

REPORT ON “THE 2011 NIIGATA-FUKUSHIMA HEAVY RAINFALL
EVENT”, TYPHOON TALAS (1112) AND TYPHOON ROKE (1115)
BY
JAPAN METEOROLOGICAL AGENCY

気象庁技術報告

第134号

平成23年7月新潟・福島豪雨と平成23年（2011年）
台風第12号及び台風第15号の調査報告

平成25年2月

気 象 庁

PUBLISHED BY THE JAPAN METEOROLOGICAL AGENCY, TOKYO

FEBRUARY 2013

序

平成 23 年には、7 月の集中豪雨や、台風第 12 号をはじめとする 3 個の台風上陸などにより、全国的に多くの気象災害が発生し、人的にも物的にも甚大な被害がもたらされた。これら相次ぐ気象災害を通じて、気象庁の発表する警報・注意報等を含む防災気象情報の防災活動や住民の避難等への有効性を更に高め、住民の自助、共助に役立てることが求められている。

このため、平成 23 年に発生した顕著気象現象及びそれに伴う災害の実態等を取りまとめ、これらに関わる予報技術の課題と今後の方向性を示すことを目的として、気象庁技術報告を刊行することとした。

本報告では、平成 23 年の気象と災害を概観したあと、特に顕著な災害をもたらした、平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨、2 つの台風（第 12 号、第 15 号）についての詳細な解析、および、被災した市町村に対して実施した聞き取り調査の内容を記述した。また、防災気象情報の内容や伝達方法、活用状況についての課題を中心に整理・分析を行い、現状をレビューした。

本報告の作成については、予報部、地球環境・海洋部、気象研究所、管区气象台及び地方气象台が原稿の執筆を担当し、予報部予報課気象防災推進室長を長とする編集委員会が企画・編集を担当した。本報告の作成に関与された各位の尽力に感謝する。

本報告が、今後の防災気象情報の改善と豪雨・台風災害の軽減に寄与することを願ってやまない。

平成 25 年 2 月

気象庁長官 羽 鳥 光 彦

平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨と平成 23 年（2011 年） 台風第 12 号及び台風第 15 号の調査報告

目 次

英文アブストラクト	1
平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨と平成 23 年（2011 年）台風第 12 号及び台風第 15 号の概要	3
第 1 章 平成 23 年の顕著現象と災害の概要	5
1.1 平成 23 年の気象の状況	5
1.2 顕著気象現象と災害の概要	5
第 2 章 現象の解析と災害の状況	13
2.1 新潟・福島豪雨の解析と災害の状況	13
2.2 台風第 12 号による紀伊半島における大雨の解析と災害の状況	46
2.3 台風第 15 号による大雨の解析と災害の状況	89
第 3 章 予報技術の現状と展望	119
3.1 新潟・福島豪雨の発生要因	119
3.2 台風第 12 号と第 15 号の構造の比較	137
3.3 現業数値予報モデルによる予測	143
3.4 メソアンサンブルによる予測	170
3.5 台風第 15 号における高潮予測	195

第4章 関係省庁合同調査と防災気象情報の課題	213
4.1 合同調査の概要	213
4.2 新潟・福島豪雨に関する調査	213
4.3 台風第12号による紀伊半島における大雨に関する調査	222
4.4 台風第15号による名古屋市における大雨に関する調査	229
4.5 聞き取り調査から見えた防災気象情報の課題	233
第5章 災害後の支援業務	237
5.1 紀伊半島における災害後の支援業務	237
5.2 東北地方太平洋沖地震で被災した東北地方における台風等に係る気象支援業務	243
用語説明	247
利用にあたって	253
付録	253

平成23年7月新潟・福島豪雨と平成23年（2011年） 台風第12号及び台風第15号の調査報告

気 象 庁

**Report on “the 2011 Niigata-Fukushima Heavy Rainfall event”,
Typhoon Talas (1112) and Typhoon Roke (1115)**
Japan Meteorological Agency

Abstract

Japan experienced three remarkable weather events in 2011, namely the 2011 Niigata-Fukushima Heavy Rainfall event, Typhoon Talas (1112) and Typhoon Roke (1115).

Precipitation in the rainfall event of July 2011 exceeded the record values observed in the July 2004 Niigata-Fukushima Heavy Rainfall event, which caused serious damage in the prefectures of Niigata and Fukushima. This most recent occurrence of massive rainfall was brought by intermittent outbreaks of precipitation systems maintained by a back-building system. Analysis shows that the additional effect from adiabatic cooling of a dry upper-air mass, which was not observed in the 2004 event, contributed to the 2011 event, in addition to the major contribution made by the advection of a warm and humid air mass in the lower atmosphere.

Although the 2011 heavy rainfall event caused several dike breaks and landslides, there were fewer casualties and less damage to houses than in 2004. This is attributed to the implementation of non-structural measures (e.g., counter-disaster action such as evacuation plan formulation) in addition to structural ones (e.g., large-scale river improvement conducted after the 2004 disaster).

Typhoon Talas (1112) developed on 30 August. It featured a large area of strong wind and moved very slowly, inducing moisture advection for many hours and bringing record-breaking heavy rainfall to a wide area from western to northern Japan. Precipitation exceeded 1,000 mm over a significant swath of the country including the Kii Peninsula, and in some areas was estimated to have been over 2,000 mm based on radar/rain gauge-analyzed precipitation data. In the south of the Kii Peninsula, torrential rainfall of over 100 mm per hour was recorded as the typhoon moved to the Sea of Japan. This downpour caused serious disasters over a wide area, including deep-seated landslides, formation of landslide dams in rivers, debris flows and floods. The scale of the disaster was comparable to those of the Totsukawa flood of August 1889 and the Nanki heavy rain event of July 1953.

The heavy rainfall brought by Typhoon Talas caused serious disasters in areas where no such conditions had been experienced in recent years, and residents therefore lacked a sense of caution. Along with the Great East Japan Earthquake, this event served to highlight the possibility of serious hazards that are unimaginable in daily life. A post-disaster survey also revealed that residents and officials of municipalities did not realize the urgency of the situation from JMA's bulletins on the serious weather conditions, which has prompted the Agency to further review and improve this information.

Among the hazardous conditions brought by Typhoon Talas, deep-seated landslides caused the formation of dams in rivers and increased the risk of potential large-scale debris flows in relation to dam erosion. An urgent survey was conducted by MLIT's Kinki Regional Development Bureau and mandatory evacuation zones were set up. JMA provided tailor-made weather information to support long-term restoration activities in close collaboration with relevant offices.

Typhoon Roke (1115) hit Japan in the middle of September. After halting temporarily near Minamidaitojima, it rapidly developed, moved northward to around 30 degrees north and accelerated with maintained intensity over the Tokai, Kanto and southern Tohoku districts. Due to a large-scale and prolonged inflow of humid air around Honshu caused by the typhoon's long stay near Minamidaitojima and the continuation of its strong intensity after landfall on Honshu, heavy storm conditions and rainfall were observed over wide areas from western to northern Japan.

Around a million Nagoya residents lived in the area covered by an evacuation advisory issued in relation to potential flooding of the Shonai River, thereby highlighting the difficulty of evacuation in metropolitan areas. Massive traffic disruption on railways and aviation routes around the Tokyo metropolitan area caused by the typhoon underlined the need to discuss traffic problem countermeasures for Tokyo again after the Great East Japan Earthquake in March of the same year.

The three events discussed here had different characteristics in terms of meteorological phenomena and the disasters they caused, highlighting the need for further consideration of future weather forecasting technology and disaster mitigation information. The main text here discusses weather analysis, disaster status, past and future weather forecasting technology, post-disaster surveys and tasks relating to weather information, support information for people in the affected area and restoration activities.

平成23年7月新潟・福島豪雨と平成23年（2011年） 台風第12号及び台風第15号の概要

気 象 庁

概 要

平成23年、我が国は平成23年新潟・福島豪雨（7月27日～30日）、台風第12号による大雨と暴風（8月30日～9月5日）、台風第15号による大雨と暴風（9月15日～22日）の3つの大きな気象災害に見舞われた。

平成23年新潟・福島豪雨では、過去に大きな被害をもたらした平成16年新潟・福島豪雨を上回る降水が観測された。バックビルディング形成による複数の降水システムが断続的に長期間形成されたことにより降水域が広がり、降水量が多くなったと考えられる。また、この大雨の要因として、下層の暖湿な空気の流入だけでなくその上空の乾燥大気がゆっくりと上昇しながら断熱冷却したことによる気温低下の効果が加わるという、平成16年の豪雨にみられない特徴的なメカニズムが解析されている。

新潟県では記録的な大雨により一部河川堤防の破堤や多数のがけ崩れ・地すべり等が発生したにもかかわらず、住宅被害、人的被害ともに平成16年の豪雨に比して小規模となった。これは平成16年の豪雨以降実施されてきた大規模な河川改修等のハード対策に加え、避難等の防災活動に係るソフト対策の効果とみられる。

台風第12号は大型で速度が遅かったため台風から離れた地域を含めて長期間大雨が続き、総降水量は紀伊半島を中心に広い範囲で1000ミリを超え、多いところでは年降水量平年値の6割に達し、紀伊半島の一部の地域では解析雨量で2000ミリを超えた。更に、紀伊半島南部では台風が日本海に進む段階で太平洋高気圧周辺の暖湿な空気の流入により1時間100ミリ以上の猛烈な雨が発生した。この大雨により多数の深層崩壊及びこれに伴う河道閉塞、土石流、河川の氾濫等、広範囲で極めて激甚な災害が発生した。被害の状況は1889年（明治22年）8月の十津川大水害、1953年（昭和28年）7月の南紀豪雨と比肩する規模となっている。

台風第12号による大雨は、近年大きな災害がなく警戒感が希薄になっていた地域を含めて大規模な災害を引き起こし、同年発生した東日本大震災と共に、日常では容易に予想し得ない激しい災害が発生しうることへの警鐘を鳴らすこととなった。また、気象台の発表する情報が災害の切迫した状況であることを十分伝え切れていないことが明らかになり、その後の情報改善の契機となった。深層崩壊に伴う河道閉塞への対策として住民の立ち入り禁止を伴う警戒区域が設定され、近畿地方整備局による緊急調査とその後の長期間に及ぶ復旧作業が行われた。気象台は関係機関と緊密な連携を図り、復旧活動を支援する気象情報を提供した。

台風第15号は南大東島付近で一旦停滞し、その後北上しながら北緯30度付近まで急速に発達を続け、強い勢力を保ったまま速度を上げて東海地方から関東地方、東北地方南部を経て三陸沖に進んだ。台風が、南大東島付近で停滞したことにより暖湿な空気が長時間にわたって本州付近に流れ込んだことと、上陸後も強い勢力を保ちながら北東に進んだことにより、西日本から北日本にかけての広い範囲で、暴風や記録的な大雨となった。

名古屋市では庄内川のはん濫に伴う避難勧告の対象地域の市民の数は約100万人に及ぶこととなり、大都市における避難勧告の難しさ、対策への課題を残す事例となった。また、首都圏を中心に鉄道や航空などの交通機関に大きな影響が出て、3月の地震に続いて台風などによる大きな交通障害への対策を検討する契機となった。

上記の3つの災害は、原因となった現象並びに災害の特徴が異なり、それぞれが気象予測技術や防災気象情報の将来に示唆を与えている。以下の本文では現象の解析と災害の状況、予報技術の現状と展望、災害後の聞き取り調査と防災気象情報の課題、被災者や復旧作業に対する気象情報支援について詳述する。

第1章 平成23年の顕著現象と災害の概要*

1.1 平成23年の気象の状況

平成23年(2011)年は、7月下旬に台風第6号の影響で四国地方及び近畿地方で大雨となったほか、7月下旬から8月上旬にかけて停滞前線の活動が活発となり、新潟県及び福島県では集中豪雨が発生し、堤防の決壊や河川のはん濫が発生した。この7月27日から30日にかけて災害をもたらした大雨について、気象庁は「平成23年7月新潟・福島豪雨」と命名した。

平成23年の台風の発生数は21個(平年値25.6個)で、台風に関する昭和26年(1951年)の統計開始以降、平成15年(2003年)等と並び4番目に少ない年となった(最多は39個、最少は14個)。上陸した台風は、第6号、第12号、第15号の3個である。

平成23年の台風のうち、特に、台風第12号により8月下旬から9月上旬にかけて紀伊半島を中心に記録的な大雨となったほか、台風第15号の影響により、9月中旬から下旬にかけて全国各地で暴風・大雨となった。

「平成23年7月新潟・福島豪雨」、台風第12号、台風第15号は各地に甚大な被害をもたらし、政令に基づき、国の激甚被害に指定された。

第1.2節では、平成23年7月新潟・福島豪雨と上陸した3個の台風について記述する。

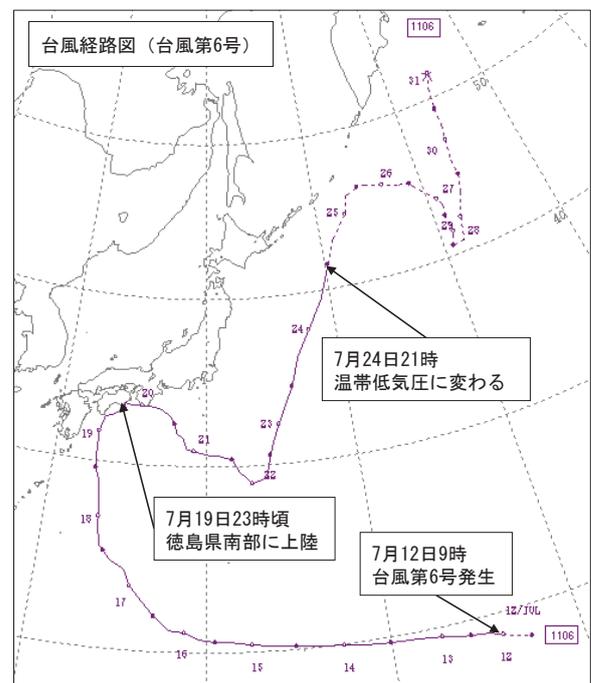
1.2 顕著気象現象と災害の概要

(1) 台風第6号

7月12日9時に南鳥島の南東海上で発生した台風第6号は、西へ進んだ後北西に向きを変え、19日23時頃に徳島県南部に上陸した。その後東に進んだ台風は、20日10時前和歌山県潮岬付近を通過し、その後南東へ向かった。台風は、22日午前中に北東へ向きを変え、24日21時に北海

道の東海上で温帯低気圧に変わった。台風経路図を第1.2.1図に示す。台風第6号により、19日に高知県馬路村魚梁瀬で日降水量851.5mmを観測し、同県室戸市室戸岬で日最大風速39.4m/sを観測するなど、西日本から東日本にかけての一部で大雨や暴風となったほか、西日本から東日本にかけての太平洋側で大しけとなった。

この台風の影響で、三重県と高知県で死者2名、奈良県で行方不明1名となったほか、住家の浸水が150棟、土砂災害が45か所に上り、また、農業被害、交通障害、停電被害が発生した。(被害状況は平成23年8月18日内閣府まとめによる)



第1.2.1図 台風第6号経路図

○印は傍に記した日の9時、●印は21時の位置を示す。また、経路の実線は台風、波線は熱帯低気圧・温帯低気圧の期間を示す。

* 予報部予報課 小川 豊(現 内閣官房)、太白 智子

(2) 平成23年7月新潟・福島豪雨

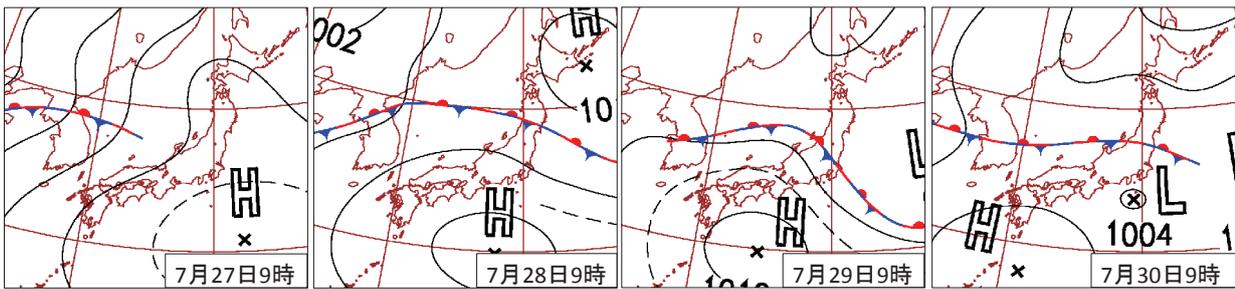
7月27日から30日にかけて、日本海の北陸の沿岸付近で発生した雨雲が新潟県中越地方や福島県会津地方に次々と流入し、同じ地域で雨が持続した。特に、28日から30日にかけては、前線が朝鮮半島から北陸地方を通して関東の東海上にかけて停滞し、前線に向かって非常に湿った空気が流れ込み、大気の状態が不安定となって、新潟県と福島県会津を中心に記録的な大雨となった。7月28日から30日の天気図を第1.2.2図に示す。

この豪雨は、この地域に大きな被害をもたらした「平成16年7月新潟・福島豪雨」を上回る記録的な大雨となった。総降水量図を第1.2.3図に、総降水量を比較した表を第1.2.1表に示す。しかし被害は、第1.2.2表に示したとおり、平成23年

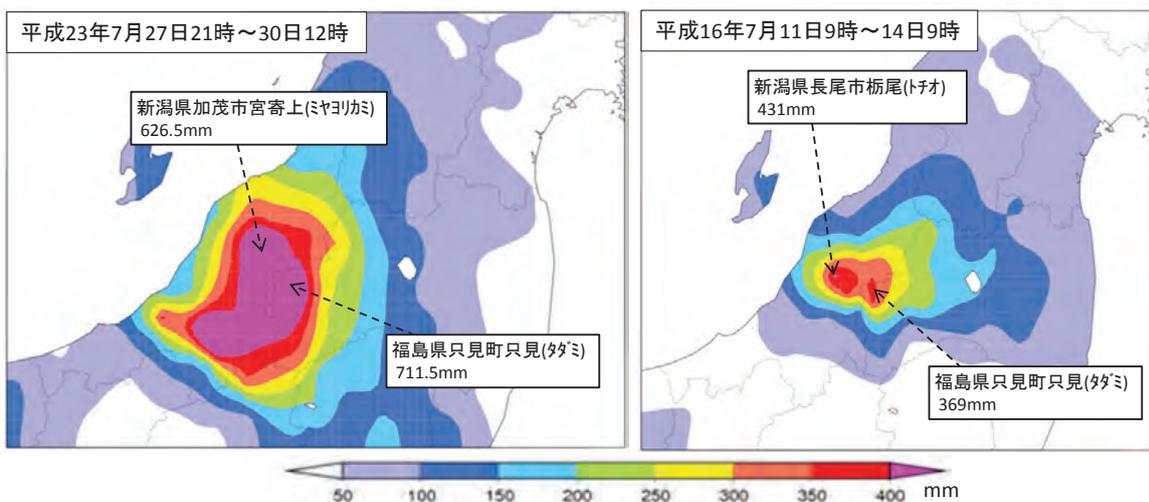
7月新潟・福島豪雨のほうが平成16年7月新潟・福島豪雨よりも少なかった。

これは、堤防嵩上げなどの河川改修や、遊水地の設置、内水処理のための雨水貯留管設置など、ハード対策の強化が行われたこととともに、気象情報で、「平成16年新潟・福島豪雨に匹敵する大雨」と呼びかけたことで、報道機関による特集へとつながり、危機感が住民に伝えられたこと、また、新潟県内の市町村では、平成16年の教訓を受けて、避難勧告等の具体的な判断基準を定め、今回の豪雨でも早めに避難勧告等を発令、その情報を広報車、エリアメール、ラジオ、テレビなど、複数の手段によって住民に伝えたこと、などが今回の被害の軽減に役立ったと考えられる。

これらの詳細は以降の章で記述する。



第1.2.2図 平成23年7月27日～30日の天気図



第1.2.3図 平成23年7月新潟・福島豪雨（左）と平成16年7月新潟・福島豪雨（右）の総降水量の分布図の比較

第1.2.1表 平成23年7月新潟・福島豪雨と平成16年7月新潟・福島豪雨の比較

- ・対象期間中の最も大きな値を太字で示した。
- ・アメダスは、平成20年3月25日以前は1mm単位、26日以降は0.5mm単位で観測している。
- ・総降水量について、平成23年7月新潟・福島豪雨は平成23年7月27日21時から30日12時の期間、平成16年7月新潟・福島豪雨は平成16年7月11日9時から14日9時の期間で集計している。

	平成23年		平成16年	
	地点	降水量	地点	降水量
日降水量の最大値	新潟県	加茂市宮寄上(ミヤヨリカミ) 290.0mm	長尾市栃尾(トチオ) 421mm	
	福島県	只見町只見(タミ) 430.0mm	只見町只見(タミ) 325mm	
総降水量の最大値	新潟県	加茂市宮寄上(ミヤヨリカミ) 626.5mm	長尾市栃尾(トチオ) 431mm	
	福島県	只見町只見(タミ) 711.5mm	只見町只見(タミ) 369mm	

第1.2.2表 平成23年7月新潟・福島豪雨と平成16年7月新潟・福島豪雨における被害の比較

- ・平成23年7月新潟・福島豪雨の被害状況は、平成23年12月28日内閣府まとめによる。
- ・平成16年7月新潟・福島豪雨の被害状況は、平成16年9月10日内閣府まとめによる。

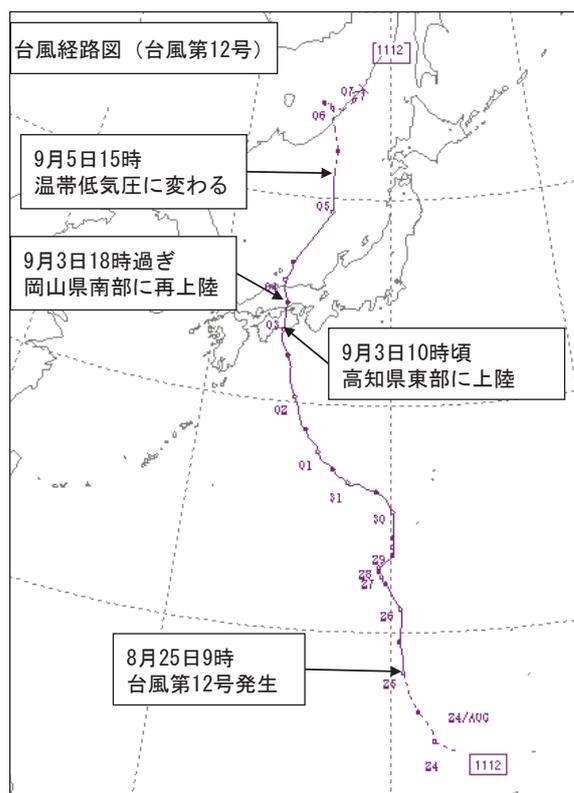
	死者・ 行方不明者数	住家被害	土砂災害
平成23年7月新潟・福島豪雨	6	10,132	262
平成16年7月新潟・福島豪雨	16	13,875	400

(3) 台風第12号

8月25日9時にマリアナ諸島の西海上で発生した台風第12号は、発生時すでに大型であり、さらに発達しながらゆっくりとした速さで北上し、30日に小笠原諸島付近で進路を北西に変え、9月2日には勢力を保ったまま四国地方に接近、3日10時頃に高知県東部に上陸した。台風は、18時過ぎに岡山県南部に再上陸した後、4日未明に山陰沖に進み、5日15時に日本海中部で温帯低気圧に変わった。台風第12号は、大型で動きが遅かったため、長時間にわたって台風周辺の非常に湿った空気が流れ込み、紀伊半島を中心に広い範囲で記録的な大雨となった。台風経路図を第1.2.4図に、上陸時の衛星画像を第1.2.5図に示す。

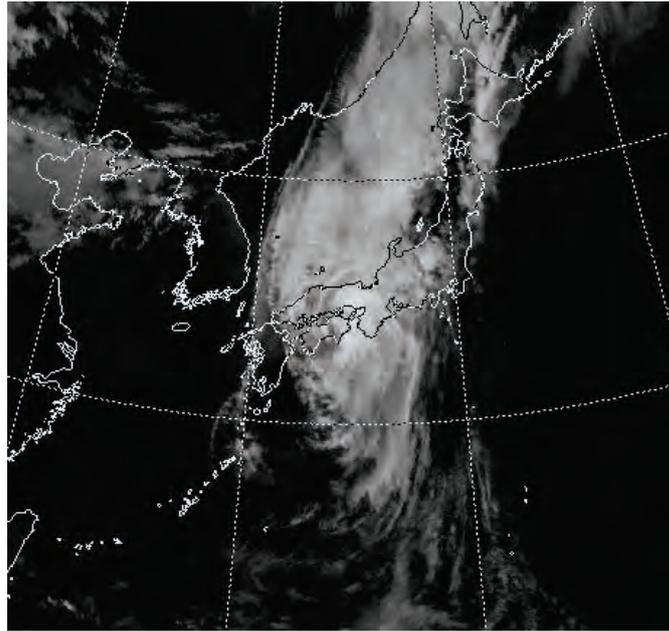
8月30日17時から9月5日24時までの総降水量は、奈良県吉野郡上北山村で1814.5mmとなるなど、全国有数の多雨地帯である紀伊半島の年降水量平年値の半分を超えるような大雨が6日間に集中して降った。このため、山腹の大規模崩壊が発生し、17か所の河道閉塞（天然ダム）が生じた。総降水量が年降水量平年値の5割を越えた地点を第1.2.3表に、総降水量図を第1.2.6図に、河道閉塞箇所を第1.2.7図に示す。

このほか、西日本から北日本にかけての一部で



第1.2.4図 台風第12号経路図

○印は傍に記した日の9時、●印は21時の位置を示す。また、経路の実線は台風、波線は熱帯低気圧・温帯低気圧の期間を示す。

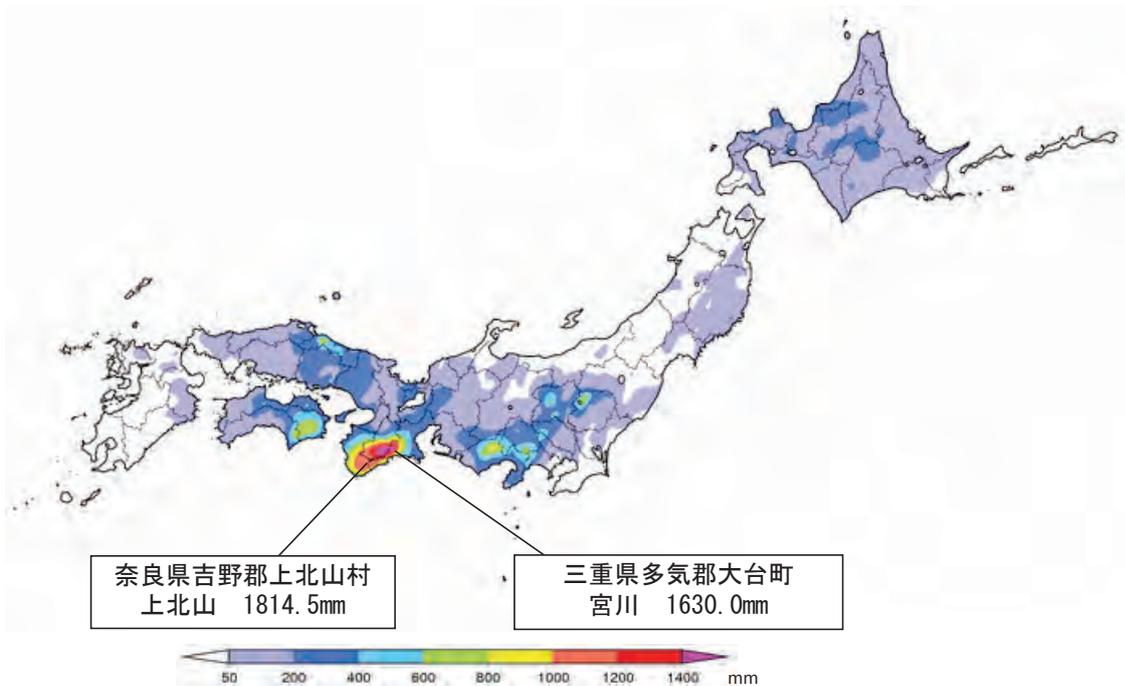


第1.2.5図 気象衛星赤外画像（平成23年9月3日10時）

第1.2.3表 総降水量が年降水量平年値の5割を越えた地点（8月30日17時～9月5日24時）

〔@〕：統計値を求める対象となる期間に欠測がある値

都道府県	地点	総降水量 (mm)	平年値 (mm)	平年値に対する 総降水量の割合(%)
奈良県	吉野郡上北山村上北山(カキタヤマ)	1814.5	2713.5	66.9
奈良県	吉野郡十津川村風屋(カセヤ)	1360.0 @	2314.0	58.7
三重県	多気郡大台町宮川(ミヤカワ)	1630	3147.5	51.8



第1.2.6図 8月30日0時から9月4日24時までの総降水量分布図



第 1.2.7 図 台風第 12 号の豪雨に伴う河道閉塞箇所
 平成 23 年 9 月 13 日 国土交通省水管理・国土保全局砂防部報道発表資料より
 赤枠：土砂災害防止法に基づく緊急調査対象箇所，黄枠：その他河道閉塞発生箇所

大雨となり、西日本の一部で暴風となったほか、西日本太平洋側では大しけとなった。

この台風により、和歌山県と奈良県で死者 66 名、行方不明者 15 名となり、全国では死者 78 名、行方不明者 16 名となった。また、四国から北海道にかけての広い範囲で住家被害が 28,439 棟、土砂災害が 203 か所に上り、また、田畑の冠水などの農林水産業への被害、鉄道の運休などの交通障害、停電、断水が発生した。（被害状況は平成 23 年 12 月 28 日内閣府まとめによる）

今回の台風と規模や経路が非常によく似た台風として、明治 22 年（1889 年）8 月の台風（第 2.2.5.3 図参照）がある。両事例ともに、台風中心が日本海側に進んだ後も大雨が継続している点でもよく似ている。和歌山県田辺市の田邊観測所（第

2.2.5.4 図参照）で、明治 22 年 8 月 18 日から 20 日までの総降水量が 1295.4mm に達しており、奈良県及び和歌山県で大被害が発生した。57 か所の河道閉塞、1,247 人の死者などを出す大災害であった。

平成 23 年台風第 12 号では、気象台の発表した防災情報が、利用者である市町村の担当者や住民に危機的な状況を十分に伝えきれていなかったこと、中山間地域では避難場所や避難経路の確保が難しいなどの理由で避難勧告の発令を見送った市町村もあったこと、夜間の短時間の猛烈な雨に見舞われ、避難に必要な時間を十分に確保できなかったこと、などが防災上の課題としてあげられる。これらの詳細は、以降の章で記述する。

(4) 台風第15号

9月13日15時に沖ノ鳥島の北東海上で発生した台風第15号は、16日にかけて大東島地方に向かって進んだ。台風は南大東島の西海上を反時計回りに円を描くようにゆっくり動いた後、勢力を強めながら奄美群島の南東海上を北東に進み、20日21時には中心付近の最大風速が45m/sの「非常に強い」勢力となった。その後台風は、21日14時ごろに大型で強い勢力で静岡県浜松市付近に上陸し、勢力を保ったまま北東へ進み、21日深夜に福島県沖へ進んで、22日15時に千島列島付近で温帯低気圧に変わった。台風経路図を第1.2.8図に示す。

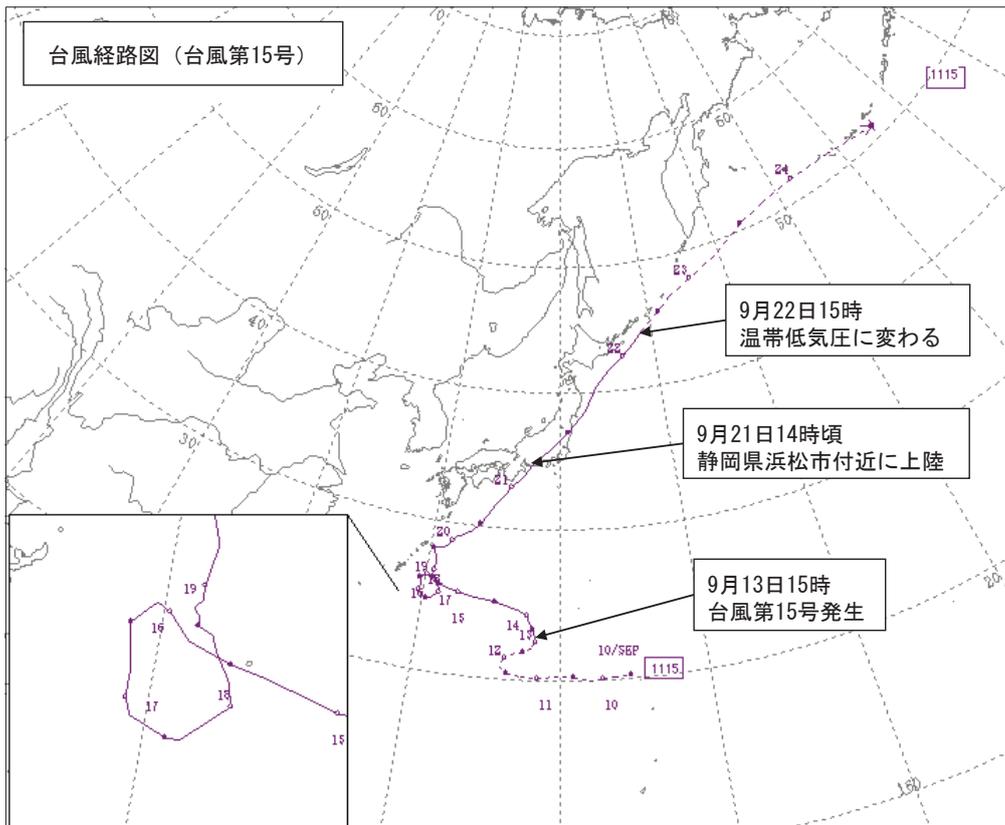
この台風により、21日に東京都江戸川区江戸川臨海で30.5m/s、八王子市八王子で24.3m/sの暴風となり、それぞれ観測史上1位を更新するな

ど、各地で暴風となった。台風通過時の暴風の様子を第1.2.9図に示す。また、東海地方付近では、有義波高が9メートルを超える猛烈なしけとなった。

この台風により、全国で死者18名、行方不明者1名となり、沖縄地方から北海道地方の広い範囲で、住家被害が11,579棟、土砂災害が194か所に上ったほか、農業・林業・水産業被害や停電被害、鉄道の運休、航空機・フェリーの欠航等による交通障害が発生した。(被害状況は平成23年12月28日内閣府まとめによる)

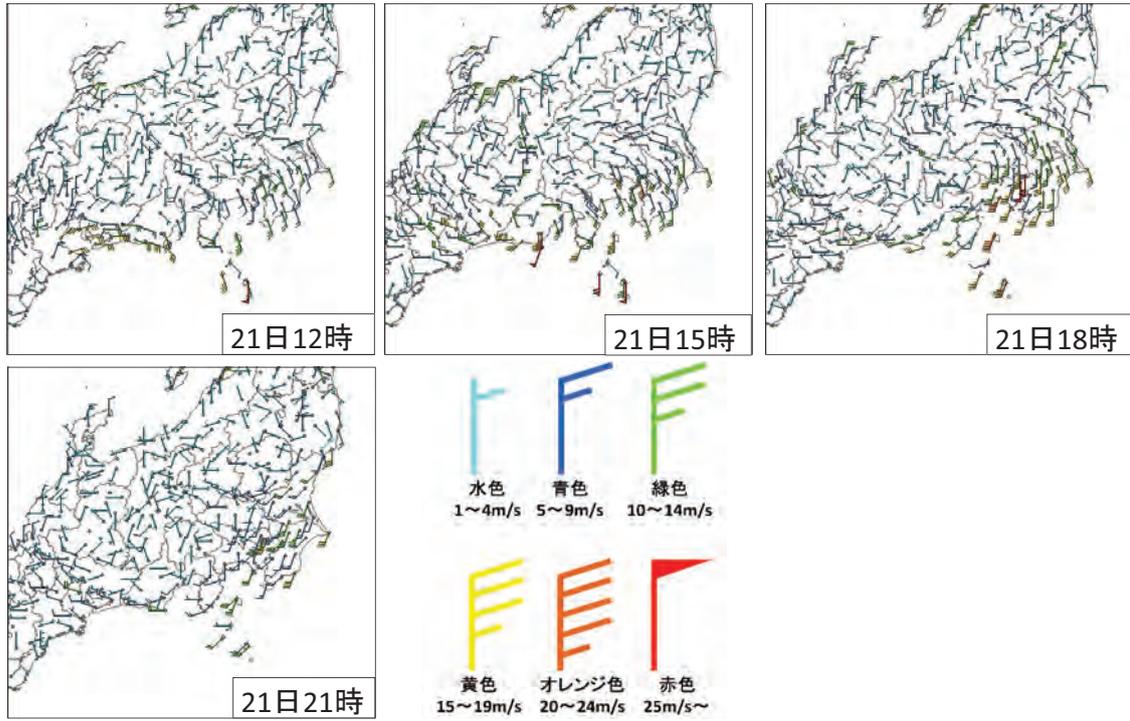
この台風は、首都圏における陸・海・空の交通網を大きく混乱させ、特に鉄道網の遅延・運休が帰宅時間に重なり、帰宅が困難になった人が多く発生した、社会的な影響度の高い台風であった。

これらの詳細は、以降の章で記述する。



第1.2.8図 台風第15号経路図

○印は傍に記した日の9時、●印は21時の位置を示す。また、経路の実線は台風、波線は熱帯低気圧・温帯低気圧の期間を示す。



第 1.2.9 図 台風第 15 号通過時の関東甲信地方の風の様子

第2章 現象の解析と災害の状況

2.1 新潟・福島豪雨の解析と災害の状況

2.1.1 総観場的状況

2011年7月27日から30日にかけて、新潟県中越・下越地方や福島県会津地方を中心に発生した豪雨（「平成23年7月新潟・福島豪雨」と命名、以下、平成23年豪雨という）について、総観場的な気象状況を報告する。

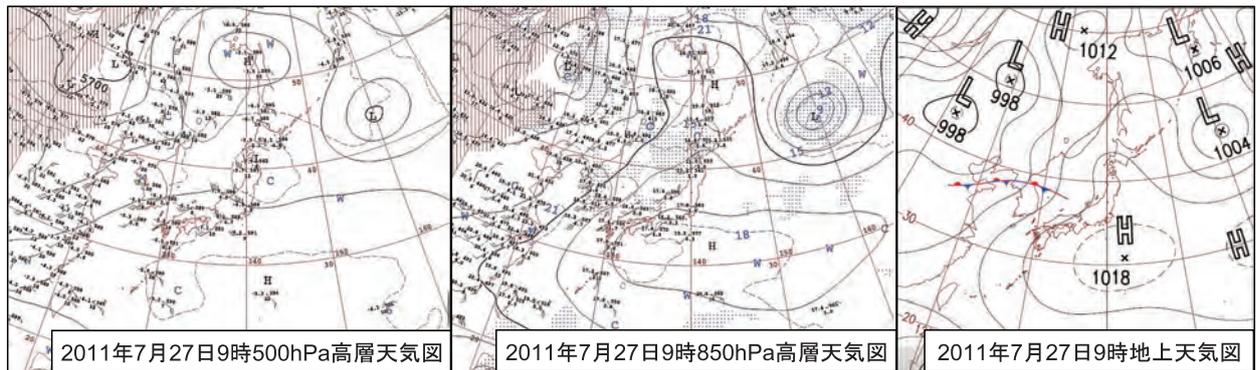
2.1.1.1 気象の状況

第2.1.1.1図から第2.1.1.4図は、豪雨となった7月27日から30日までの高層天気図と地上天気

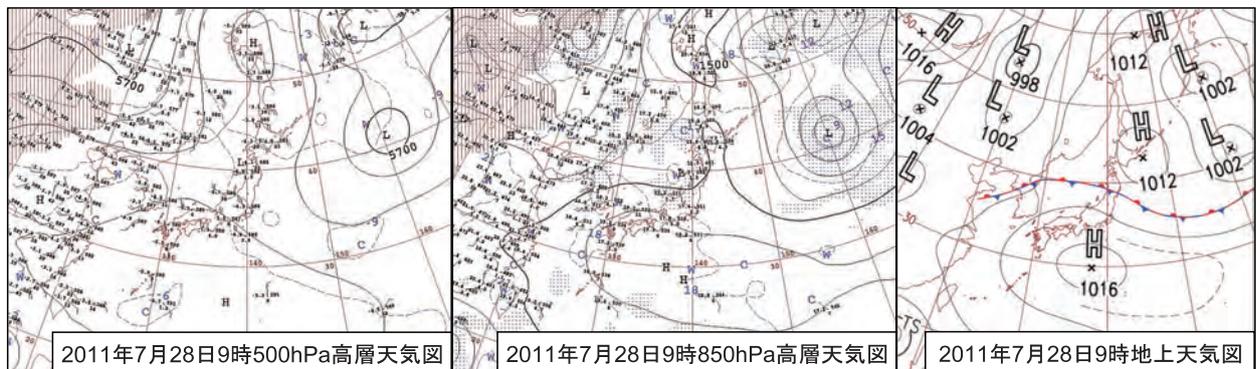
図である。

27日は、本州付近は日本の南東海上に中心を持つ高気圧に緩やかに覆われているが、停滞前線が黄海から日本海西部にのびている。500hPaでは-9℃の寒冷渦が東北地方を東進、850hPaでは太平洋高気圧の縁にあたる東シナ海から日本海を指向する暖湿流がみられる。

28日は、北海道付近の高気圧と太平洋高気圧との鞍部になる黄海から日本海、東北地方を通過して日本の東海上にかけて停滞前線がのび、北陸地方は前線の南側に位置し、850hPaで東シナ海か



第2.1.1.1図 2011年7月27日9時の天気図
500hPa (左). 850hPa (中). 地上 (右).



第2.1.1.2図 2011年7月28日9時の天気図
500hPa (左). 850hPa (中). 地上 (右).

* 新潟地方気象台 斎藤 寿秋, 内山 豊明

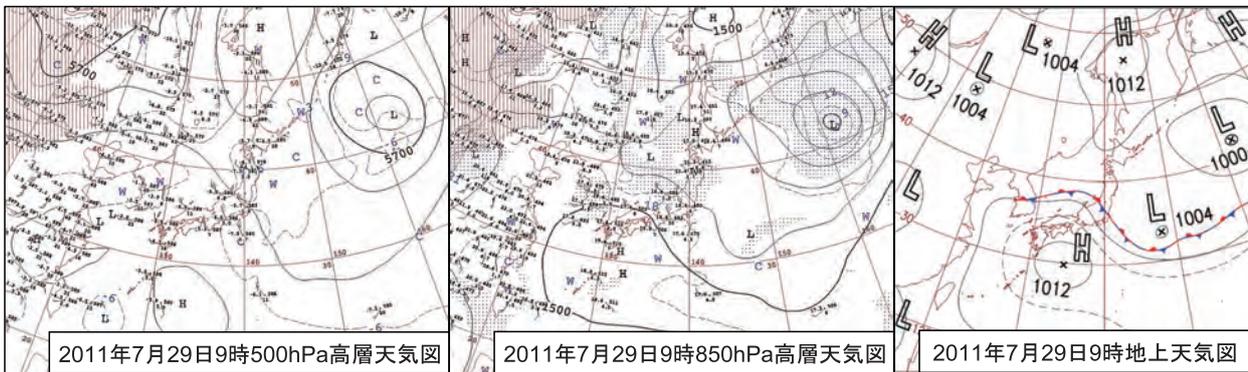
ら暖湿流が流れ込みやすい状態が続いた。

29日も西日本は太平洋高気圧に覆われ、一方オホーツク高気圧も勢力を強めている。高気圧の鞍部にあたる前線は前日に比べて少し南下し新潟県付近に停滞している。500hPa 輪島では周辺より北西の風が強くなっていた。850hPa でも太平洋高気圧が西日本を覆い日本海の湿潤域は前日と比べて広がっている。北陸付近は西の風が北西の風に変わり（高田ウインドプロファイラでは、29

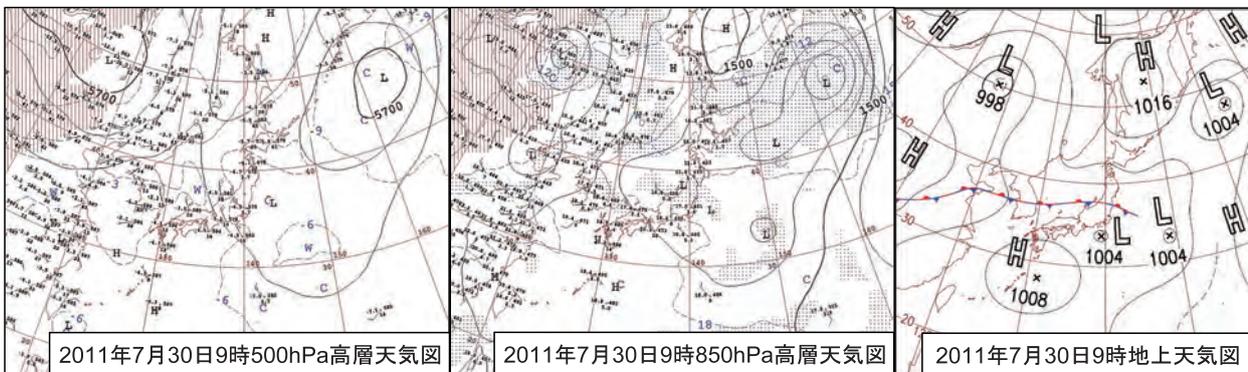
日7時頃（図略）日本海に流れ込んだ暖湿気が北陸から東北地方に流れ込んでいる。

30日には850hPaで対馬海峡付近の風向が北寄りに変わり、日本海に流れ込んでいた暖湿気の補給が弱まり、前線は次第に不明瞭化した。

7月27日21時から30日21時までの、輪島の高層観測値から計算した各種指数を第2.1.1.1表に示す。期間を通して、SSI（ショワルターの安定指数）は1℃以下、可降水量は55ミリ前後、



第2.1.1.3 図 2011年7月29日9時の天気図
500hPa (左). 850hPa (中). 地上 (右).



第2.1.1.4 図 2011年7月30日9時の天気図
500hPa (左). 850hPa (中). 地上 (右).

第2.1.1.1 表 輪島の高層観測値から計算した、各種安定度の指数
2011年7月27日21時から30日21時まで12時間ごと

時刻	SSI (°C)	可降水量 (mm)	LFC (hPa)	LNB (hPa)	K-インデックス	地上から700hPaまでの水蒸気量 (kg/m ²)
27日21時	-1.67	63.2	912	342	38.0	42.4
28日09時	-0.25	54.4	965	176	35.8	42.5
28日21時	0.93	57.1	935	400	30.6	37.5
29日09時	0.64	57.6	981	195	34.7	39.8
29日21時	0.57	54.1	856	208	34.8	39.7
30日09時	0.13	53.0	980	196	36.7	41.4
30日21時	-1.57	53.4	964	803	37.9	39.1

LFC（自由対流高度）は期間を通してほぼ900hPaより低く、LNB（浮力がなくなる高度）は、30日9時までには400hPa以上と対流雲が発生・発達しやすい大気の状態であった。

2.1.1.2 降雨の状況

第2.1.1.5図に新潟県と福島県会津の地勢図及び市町村をまとめた地域、第2.1.1.6図にアメダス観測地点を示す。また、第2.1.1.7図にレーダーエコー強度を示す。

27日夕方には上空の寒気の影響により積乱雲が発達し、中越の山沿いで局地的に1時間50～70ミリの非常に激しい雨が降った。27日夜から28日朝にかけて広範囲にエコーが広がったが、28日昼ごろを境に線状に組織化するようになった。線状に組織化したエコーは、長時間持続せず、場所をかえて発生・発達を繰り返した。第2.1.1.8図は27日0時から28日24時までの48時間積算解析雨量である。中下越の広い範囲で100ミリを超えており、山沿いでは200ミリを超える大雨となった。

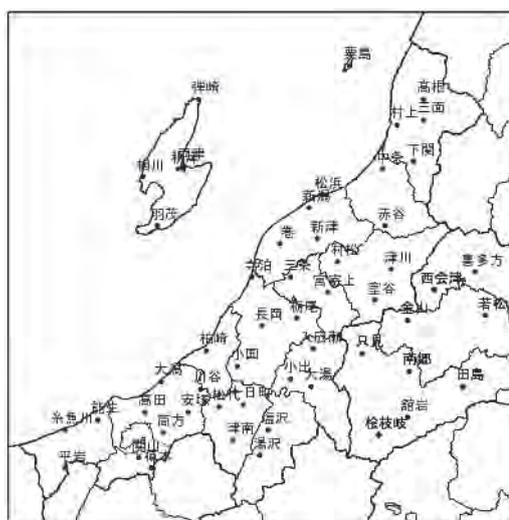
29日朝からは線状に組織化したエコーが同じ場所で持続するようになり、新潟地域や三条地域で1時間80ミリを超える猛烈な雨が降り出した。エコーは消長を繰り返し29日夕方には新潟地域や三条地域付近のエコーは一旦収まったが、夜には再び中越山沿いを中心にエコーが発達し、20時51分にはアメダス十日町で1時間121ミリを観測した。この猛烈な雨は場所を変えながら30日朝まで続いた。活発なエコーは越後山脈を越え、福島県会津南部でも豪雨となっている。

第2.1.1.9図に29日0時から30日24時までの48時間積算解析雨量を示す。三条地域で会津南部との県境にある守門岳付近では600ミリ以上となっており、その前の48時間と比較して2倍を超える大雨となった。また、降水分布も27日から28日は山沿いで雨量が多くなっているのに対して、29日から30日は北西から南東に走向を持つ何本かの明瞭な線状降水帯がみられる。第2.1.1.10図には、27日から30日までの積算降水量分布図を示す。守門岳周辺で600ミリを超えている。



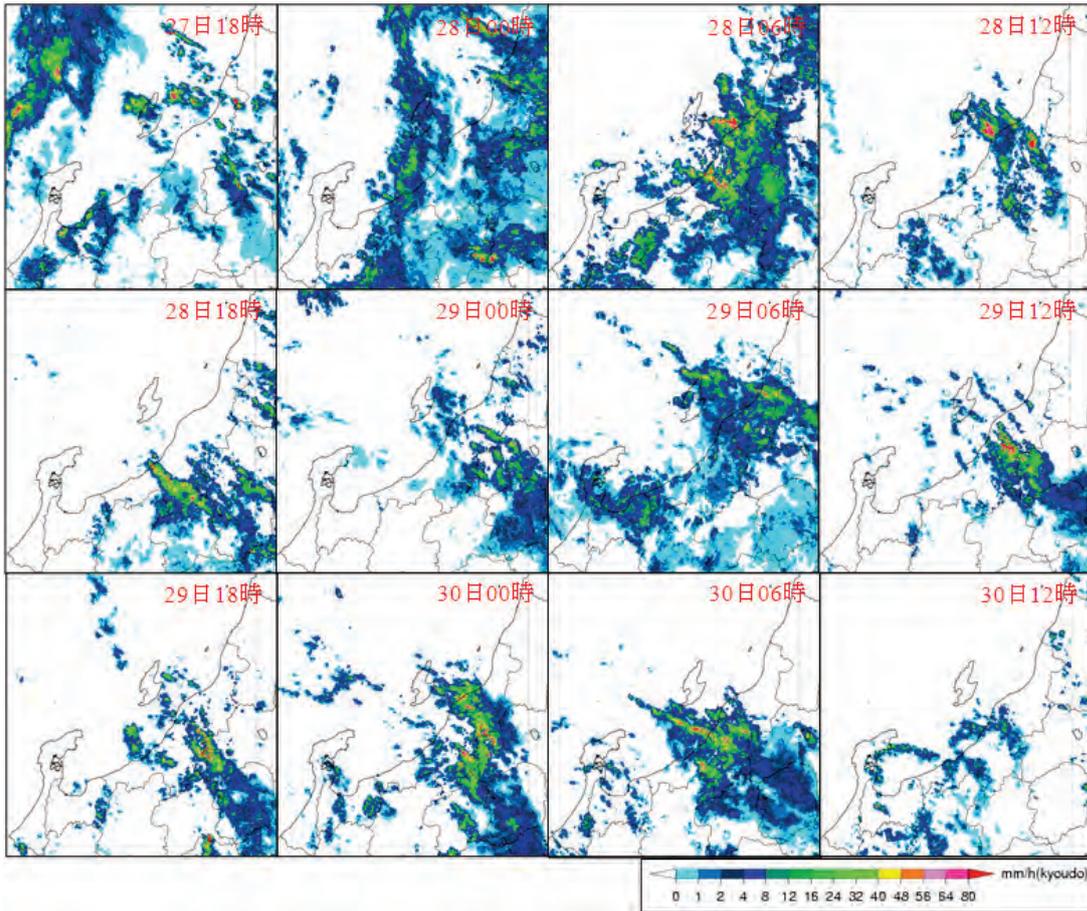
第2.1.1.5図 新潟県、福島県の地勢図及び市町村をまとめた地域

国土地理院発行の数値地図50mメッシュ（標高）を利用。

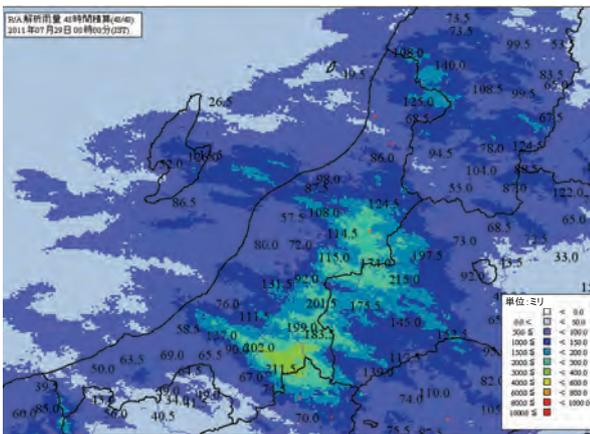


第2.1.1.6図 アメダス観測地点

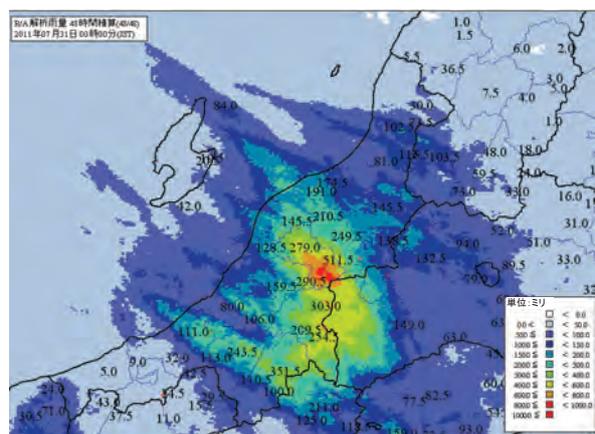
第2.1.1.11図には、27日から30日までの主なアメダス地点の降水時系列を示す。総降水量は宮寄上で626.5ミリ、十日町で499ミリ、塩沢で563ミリ、福島県只見で711.5ミリとなっている。なお、この期間の解析雨量は守門岳付近で1,000ミリを超える記録的なものであった。また、最大1時間降水量もアメダスの9地点で過去の記録を更新、「記録的短時間大雨情報」も過去に例のない30回の発表となった。



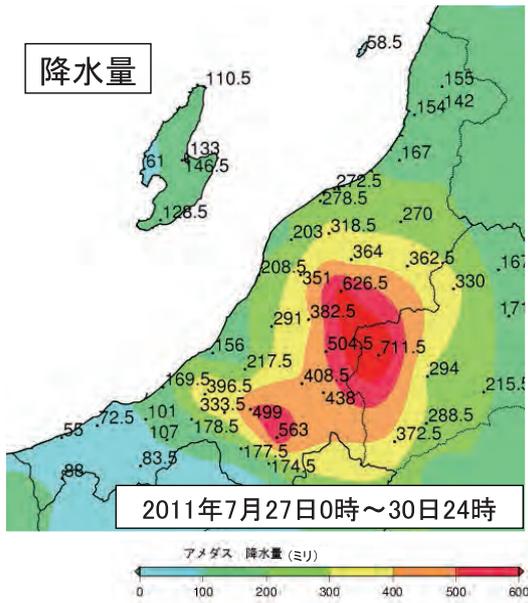
第2.1.1.7図 レーダーエコー強度図
7月27日18時から30日12時にかけて6時間ごと。



第2.1.1.8図 48時間解析雨量
7月27日0時から28日24時の積算解析雨量。



第2.1.1.9図 48時間解析雨量
7月29日0時から30日24時の積算解析雨量。



第2.1.1.10図 平成23年7月新潟・福島豪雨
7月27日0時から30日24時の積算降水量分布図。

2.1.1.3 平成16年豪雨との比較

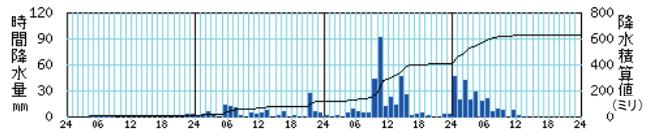
平成23年豪雨は、500hPaは西日本で太平洋高気圧の勢力が強くとオホーツク海にも高気圧があり、鞍部にあたる新潟付近は北西の流れであった。850hPaも太平洋高気圧が西日本を覆い東シナ海から日本海に暖湿流が流れ込み、北西の風が変わって北陸から東北地方に湿潤域が流れ込んだ。高田ウインドプロファイラ(図略)でも1,000m以下では南西から西の風によって暖湿気が流れ込んでいた。

第2.1.1.12図は平成16年豪雨の高層天気図と地上天気図である。500hPaでは日本海は気圧の尾根となっている。オホーツク海の気圧の谷の南下もあって新潟付近は西北西の流れとなっている。850hPaでは日本付近は南北方向の温度傾度が大きく、朝鮮半島から東北地方にかけて湿潤域が帯状に広がっている。

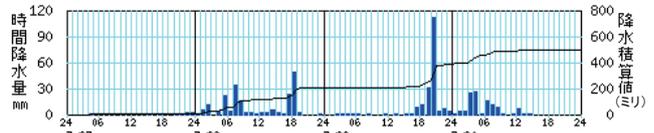
平成16年豪雨は、中下層が西よりの風に揃い、500hPaが西北西の流れとなっている。西からの暖湿流が前線近傍の新潟県付近で収束して大雨となった。平成16年豪雨は、新潟県で大雨となりやすい気圧配置と類似していた。

平成23年豪雨は、1,000m以下で西から流れ込んだ暖湿気が前線付近で上昇してエコーが発生、それがその上の北西風によって南東側へ流され、

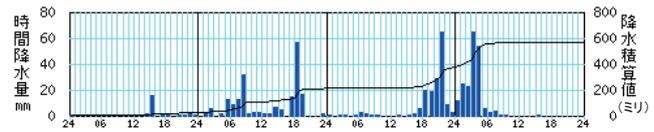
新潟県 宮寄上 2011年07月26日24時～2011年07月30日24時



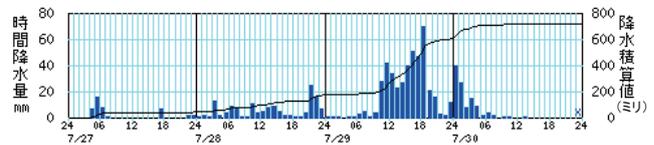
新潟県 十日町 2011年07月26日24時～2011年07月30日24時



新潟県 塩沢 2011年07月26日24時～2011年07月30日24時



福島県 只見 2011年07月26日24時～2011年07月30日24時



第2.1.1.11図 アメダス観測所の降水量時系列図

7月27日0時から30日24時。

棒グラフが1時間降水量。

折れ線グラフが積算値。

次々とエコーが発生するため北西から南東走向の線状にエコーが組織化したと考える。

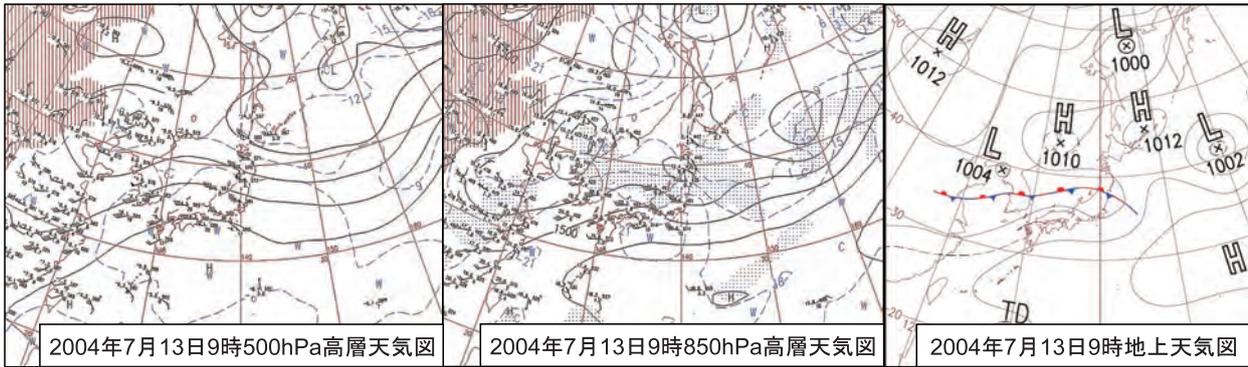
この点が、平成16年豪雨との違いと思われる。

第2.1.1.13図に平成16年豪雨の降雨状況を示す。

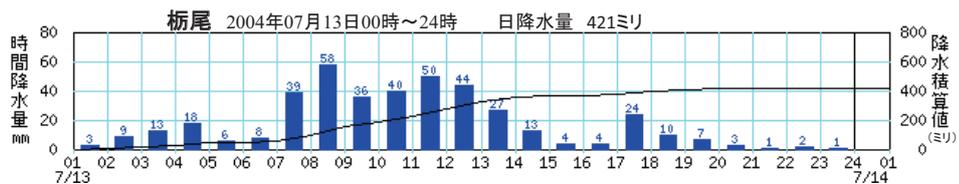
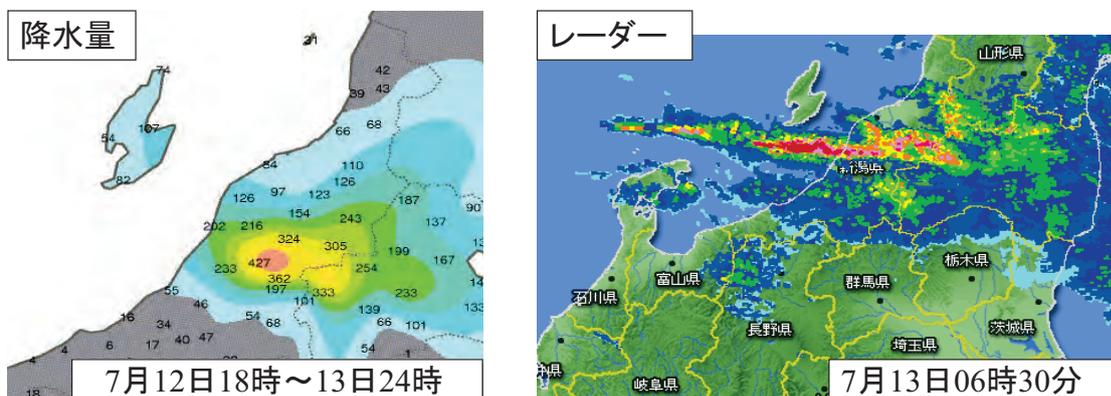
平成16年豪雨で最も激しい雨を観測した時間帯は13日の午前中であった。栃尾では13日7時から13時まで1時間に30ミリ以上の激しい雨が続き、日降水量は421ミリに達した。新潟県中越下越から福島県会津にかけて南北に狭く東西に長い線状降水帯となっている。

平成23年豪雨は、平成16年豪雨と比較すると新潟県中越を中心に1時間100ミリを超える猛烈な雨が発生し総雨量が多くなったこと、北西から南東に走向を持つ何本かの明瞭な線状降水帯が発生したこと、期間が長く続いたことが特徴である。

平成23年豪雨は、平成16年豪雨を上回る近年類をみない豪雨となったが、その要因について考察を行った。



第 2.1.1.12 図 2004 年 7 月 13 日 9 時の天気図
500hPa (左). 850hPa (中). 地上 (右).



第 2.1.1.13 図 平成 16 年 7 月新潟・福島豪雨の降水状況
積算降水量分布図 (左上). レーダーエコー図 (左上). 栃尾の降水量時系列図 (下).

2.1.1.4 平成 23 年豪雨の要因の考察

今回の豪雨については 2011 年 8 月 4 日に気象研究所が「平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨の発生要因について」として報道発表を行っている。ここではその結果も踏まえ、地元気象台が当日入手可能な資料を基にメカニズムの考察を行った。

(1) 7 月 28 日の大雨の要因

第 2.1.1.14 図に 28 日 6 時の高層解析と気象衛星の水蒸気画像・レーダーエコーを示す。温度場をみると 300hPa では -30°C 、500hPa では -6°C であり、また、水蒸気画像では暗域が佐渡付近に入り込んでいた。850hPa は西風で高相当温位

(345K) の流入があった。28 日午後は、暗域は東進したが 500hPa から下層の状況に変化はなく大気が不安定な状態が続いた。

850hPa では西風による暖湿気の流入が続き、第 2.1.1.1 表に示すように SSI は小さく可降水量も多くなっており大雨が発生しやすい条件を満たしていた。

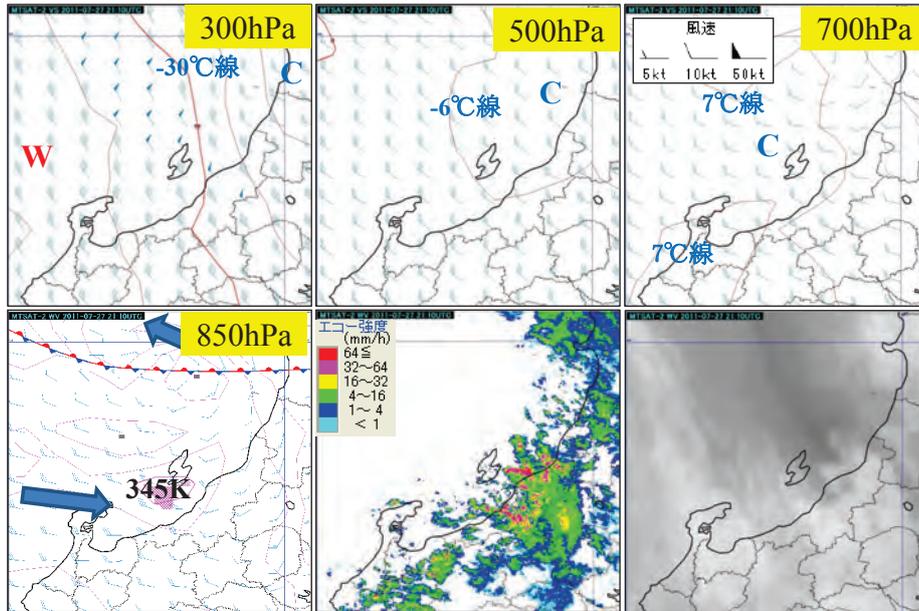
29 日のように局地的に猛烈な雨とはならなかった原因については、下層の西風で運ばれた暖湿気によりエコーは発生・発達したが、エコーは持続せず南東進したためと考える。仮に中層が西風であったとすると、平成 16 年豪雨のように線状降水帯が形成され猛烈な雨になった可能性が考

えられる。

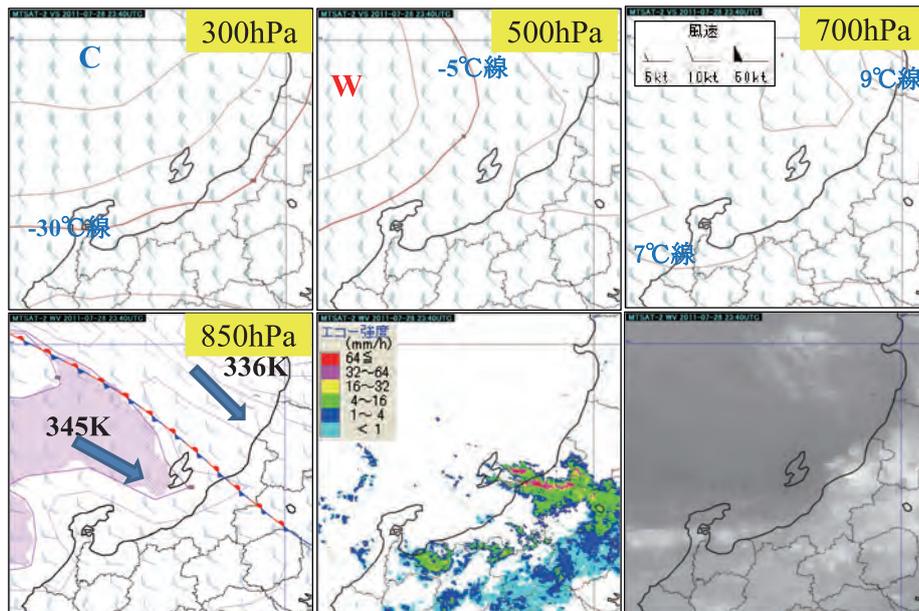
(2) 7月29日朝から昼過ぎの豪雨の要因

第2.1.1.15図に29日9時の高層解析実況と水蒸気画像・レーダーエコーを示す。29日朝には

停滞前線は新潟市付近まで南下し、この近傍でエコーが線状に組織化し、局地的に猛烈な雨となった。水蒸気画像では暗域が海上から南下していた。300hPaから700hPaは28日と同様に北西風であるが、850hPaは西風から北西風が変わっている。



第2.1.1.14図 7月28日6時の実況及び解析図
300hPa気温と風(左上)、500hPa気温と風(中上)、700hPa気温と風(右上)、
850hPa風と相当温位(左下)、レーダーエコー(中下)、水蒸気画像(右下)。



第2.1.1.15図 7月29日9時の実況及び解析図
300hPa気温と風(左上)、500hPa気温と風(中上)、700hPa気温と風(右上)、
850hPa風と相当温位(左下)、レーダーエコー(中下)、水蒸気画像(右下)。

500hPa 気温は 28 日より昇温していたが、300hPa では沿海州方面から -30℃以下の寒気が南下していた。そして、850hPa では佐渡付近の海上には 345K の高相当温位があつて陸地に向かって流れ込んでいた。また、300hPa 正渦位（図略）の中心は秋田沖付近にあり線状エコーは南象限に位置していた。

28 日との相違点は 850hPa 風が北西に変わり中層の風向と揃つたことである。これにより 1,000m 以下の暖湿気が前線付近で上昇してエコーが発生し、その上空の北西風に流されることを繰り返して線状化した。更に暗域の南下に見られるように上層には乾燥した空気が流れ込み、300hPa でも冷たい空気が流れ込んで、-30℃線が南下した。このため、大気の状態が非常に不安定となり線状エコーが急速に発達し、北西から南東走向に停滞したため集中豪雨になったと考える。この大雨は三条地域を中心に 29 日昼過ぎまで続いた。

(3) 7月29日夜から30日朝の豪雨の要因

ここでは 29 日夕方に新潟地域、三条地域付近で一旦収まった雨が 29 日夜から 30 日朝にかけて再び強まり、中越山沿いを中心に 1 時間 100 ミリを超える猛烈な雨となった要因を考察した。

第 2.1.1.16 図に 3 時間毎の衛星赤外画像と 300hPa 渦位、レーダーエコー及び 850hPa の風と相当温位、SSI を示す。

29 日 18 時は平野部の降水は弱まっているが、佐渡の北西海上には、300hPa 正渦位域や 850hPa 高相当温位域 (345K) が南東進していた。

21 時になると佐渡付近に 300hPa 正渦位域が進み、中越山沿いには 850hPa 高相当温位域が入りエコーの発達がみられる。

24 時になると 300hPa 正渦位域と 850hPa 高相当温位域が中越に流れ込んできた。新潟市付近でも対流雲が発生し SSI は 0℃以下となり、赤外画像からみられるように対流活動が非常に活発化していることが分かる。

30 日 3 時になると 300hPa 正渦位域は中部山岳に達し新潟県を超えつつある。中越付近のエコーは強いが、衛星画像は輪郭がぼやけており活発化

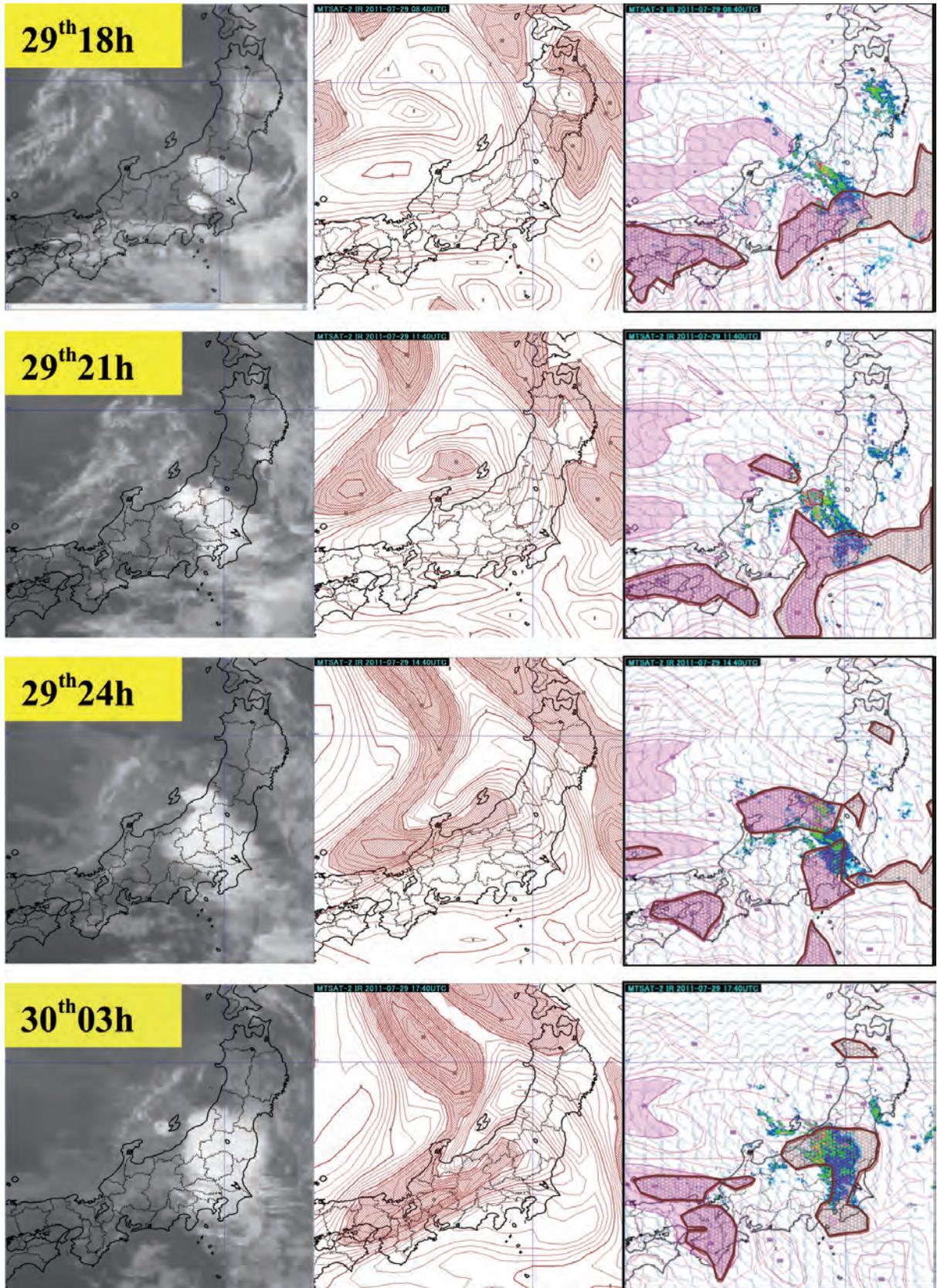
のピークは越えたとみられる。

29 日夜に再び雨が強まった原因は、海上から再び 850hPa 高相当温位域 (345K) が流れ込み、300hPa 正渦位域の南下に伴い 300hPa 付近の低温化により不安定が強まったため、更に強い上昇流が発生して 1 時間に 100 ミリを超える豪雨となったと考える。

(4) 大雨の要因のまとめ

平成 23 年豪雨の猛烈な雨が断続的に続いた 28 日から 30 日朝について、総観場からみたメカニズムの考察を行った。得られた結果は次の通りである。

- ①前線による新潟県の大雨は、対馬海峡から流れ込む暖湿流が西風に流され新潟県付近で対流性のエコーが線状化して発生するケースが多かった。平成 23 年豪雨の事例から、日本海に流れ込んだ暖湿気が北西の風によってもエコーが線状に組織化して豪雨が発生することが分かった。
- ②期間による大雨の主要因が異なっていた。
 - ・28 日は下層の暖湿気の流れにより大気の状態が不安定となり、下層の西風で運ばれた暖湿気が上昇してエコーは発生・発達したが、中層の北西風に流され南東進したため、局地的な猛烈な雨にまでは至らなかった。
 - ・29 日朝から昼過ぎの豪雨は、下層と中層の風向がともに北西に揃ったタイミングで発生した。この時、上空には乾燥空気が流入し、また 300hPa で -30℃の冷たい空気が南下したため、大気の状態が非常に不安定となり、1,000 m以下の暖湿気が前線付近で上昇して次々とエコーが発生、その上空の北西風に流されて線状に組織化したことにより豪雨となった。
 - ・29 日夜から 30 日朝にかけては、何本かの北西から南東走向の線状エコーが発生し、線状エコーの南東側は中越山沿いに達した。これは、29 日夜から再び高暖湿気が流れ込むとともに、300hPa 正渦位域の南下に伴い 300hPa 付近の低温化で不安定が更に強まったことから、対流活動が強まって、1 時間 100 ミリを超える豪雨となった。



第2.1.1.16図 7月29日18時から30日3時の3時間ごとの実況図
 赤外画像(左), 300hPa渦位(中, 網掛けは正渦位),
 850hPa風, 相当温位, SSI(右, 網掛けは相当温位345K以上, 茶色ハッチはSSI 0°C以下).

2.1.2 局地的な大雨の解析*

第2.1.1.2項に示したように、28日昼頃から30日にかけて新潟県の沿岸で発生した降水エコーが東南東や南東に進むことで線状に組織化し、その多くが下越・中越及び福島県会津地方まで達して大雨をもたらした。28日午後以降に形成された線状降水帯の特徴を調べ、その予測可能性について検討する。

2.1.2.1 線状降水帯が形成された期間の大気の状態

線状降水帯が形成された領域の上流域にあたり、降水帯を形成した領域の大気構造に類似していると考えられる。輪島の観測値から計算した値(第2.1.1.1表)を用いて推定を行う。期間を通して、SSI(シヨワルターの安定指数)は1℃以下、LFC(自由対流高度)は期間を通してほぼ900hPaより低く、LNB(浮力がなくなる高度)は、30日9時までは400hPa以上と対流雲が発生・発達しやすい大気状態であった。しかし、28日9時、21時及び30日21時のSSIは0℃以下であるのに対して、線状降水帯が形成された期間である28日21時から30日9時までの方が0℃以上と相対的に安定度は良い。K-インデックスも前者に対して後者のほうが相対的に少なく、地上から700hPaまでの水蒸気量についても後者のほうが相対的に少ない。第2.1.1.7図と合わせて考えると、大気の状態は期間を通して大雨が発生しやすい状態であったのに、線状降水帯が形成された期間で雨量が多くなっている。このことから、28日昼以降に雨量が多くなり豪雨となったのは、大気の状態が不安定で湿潤であるということに加えて、線状に組織化した降水帯が形成されたことが主要因と推察される。

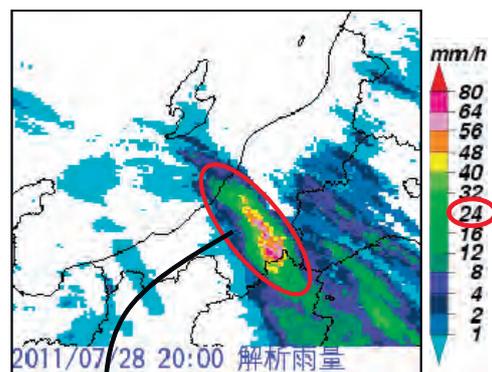
2.1.2.2 線状降水帯の特徴

線状降水帯の動向を調べるために、県内にかかった降水域について、以下の方法によって、解析雨量を用いて個々の線状降水帯を抽出した。

(1)7月28日12時から7月30日12時にかけて、

新潟県及びその周辺海上で発生した降水エコーを対象とした。

- (2) 30分ごとの解析雨量の1時間値を使用し、降水量が24ミリ以上となった降水域を対象とする。第2.1.2.1図で示すように、降水域のまとまりを楕円と考え、その長軸が15km以上あり、長軸と短軸の比が3以上となったものを線状降水帯として抽出し、この領域の中で解析雨量1時間値が16ミリ以上となった初めの時刻を発生時刻とした。
- (3) 個々の線状降水帯を区別するために、(2)項の発生時刻順に「線状降水帯1」、「線状降水帯2」…と名付けた。
- (4) 線状降水帯のうち、解析雨量の1時間降水量が48ミリ以上となった場合を「大雨あり」とし、48ミリ未満の場合はその線状降水帯を「大雨なし」とした。抽出したひとまとまりの線状降水帯から48ミリ以上の領域が複数発生した場合があったが、レーダーエコー強度図の10分値で各降水セルの発生や移動の様子を確認し、線状降水帯としては一つとして数えた。
- (5) 抽出した線状降水帯を、発生の形態別に分



1時間値24ミリ以上の範囲を囲んだ楕円の長軸が15km以上で、短軸との比が3以上の降水帯を対象とした。

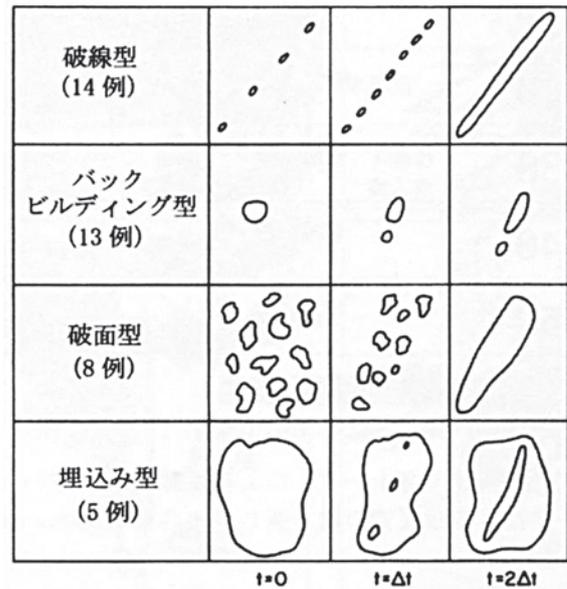
第2.1.2.1図 線状降水帯を抽出する方法

* 新潟地方気象台 高橋 英則

類した。分類は該当する期間におけるエコーの発生の形状を、Bluestein and Jain (1985) による、スコールラインの形成の形態別分類から、破線型、バックビルディング型、破面型、埋め込み型とした。第2.1.2.2図に上記の型を示す。

(6) 解消時刻は、降水帯が弱まり解析雨量1時間値で24ミリ未満となった時刻とした。

上記の方法により、11本の線状降水帯を個々に抽出した。第2.1.2.1表に、抽出した線状降水帯を示す。抽出した線状降水帯のうち8例が「大雨あり」、3例が「大雨なし」であった。降水帯の走向は北西から南東か西北西から東南東で、これは高田ウインドプロファイラの高度約2,000m以上の風向とほぼ一致していた(図略)。なお、GSMモデルの予想でも、エコーが発生している時間帯の700hPaの風向とほぼ同じであった。こ



第2.1.2.2図 スコールラインの形成の形態別分類 (Bluestein and Jain, 1985)*

※(原典) Bluestein, H.B. and M. H. Jain, 1985: Formation of mesoscale lines of precipitation: Severe squall lines in Oklahoma during spring. J. Atmos. Sci., 42, p.1713.

(出所) 吉崎正憲・加藤輝之(2007): 豪雨・豪雪の気象学。応用気象学シリーズ4, 朝倉書店, p.107.

第2.1.2.1表 個々に抽出した線状降水帯 (2011年7月28日12時から30日12時まで) 発生形状のBB型はバックビルディング型のこと。

降水帯名と大雨発生の有無	発生時刻	解消時刻	継続時間	発生, 移動場所	発生形状	走向	大雨あり(解析雨量1時間値が48ミリ)となった時刻	継続時間中で解析雨量1時間値の最大値(ミリ)
線状降水帯1 大雨あり	28日 10:30	28日 15:30	5:00	佐渡市～阿賀町	BB型	西北西-東南東	28日 11:30	75
線状降水帯2 大雨あり	28日 17:30	28日 23:00	5:30	柏崎市海上～群馬北部	BB型	西北西-東南東 28日18:30に北西-南東に変化	28日 18:30	80
線状降水帯3 大雨なし	29日 00:30	29日 04:00	3:30	三条市～猪苗代湖の南	BB型	西北西-東南東	なし	46
線状降水帯4 大雨あり	29日 04:00	29日 09:00	5:00	佐渡北西海上～山形県南部	埋込型	西北西-東南東	29日 04:30	69
線状降水帯5 大雨あり	29日 06:30	29日 20:30	14:00	佐渡北西海上～魚沼市	BB型	西北西-東南東 29日11:00に北西-南東に変化	29日 08:30	105
線状降水帯6 大雨あり	29日 18:00	30日 04:30	10:30	上越市海上～魚沼市	BB型	北西-南東	29日 19:00	120
線状降水帯7 大雨なし	29日 20:00	29日 22:30	2:30	新潟市・新発田市沿岸～阿賀町	BB型	北西-南東	なし	34
線状降水帯8 大雨あり	29日 21:30	30日 05:00	7:30	佐渡の北東海上～長岡市	BB型	西北西-東南東 30日2:30に北西-南東に変化	29日 23:00	100
線状降水帯9 大雨なし	30日 00:30	30日 04:30	4:00	新発田市北西海上～阿賀町北部	BB型	北西-南東	なし	43
線状降水帯10 大雨あり	30日 01:30	30日 07:30	6:00	柏崎市～南魚沼市	BB型	西北西-東南東	30日 02:00	90
線状降水帯11 大雨あり	30日 02:00	30日 11:00	9:00	佐渡海上～上越市	BB型	西北西-東南東	30日 05:00	76

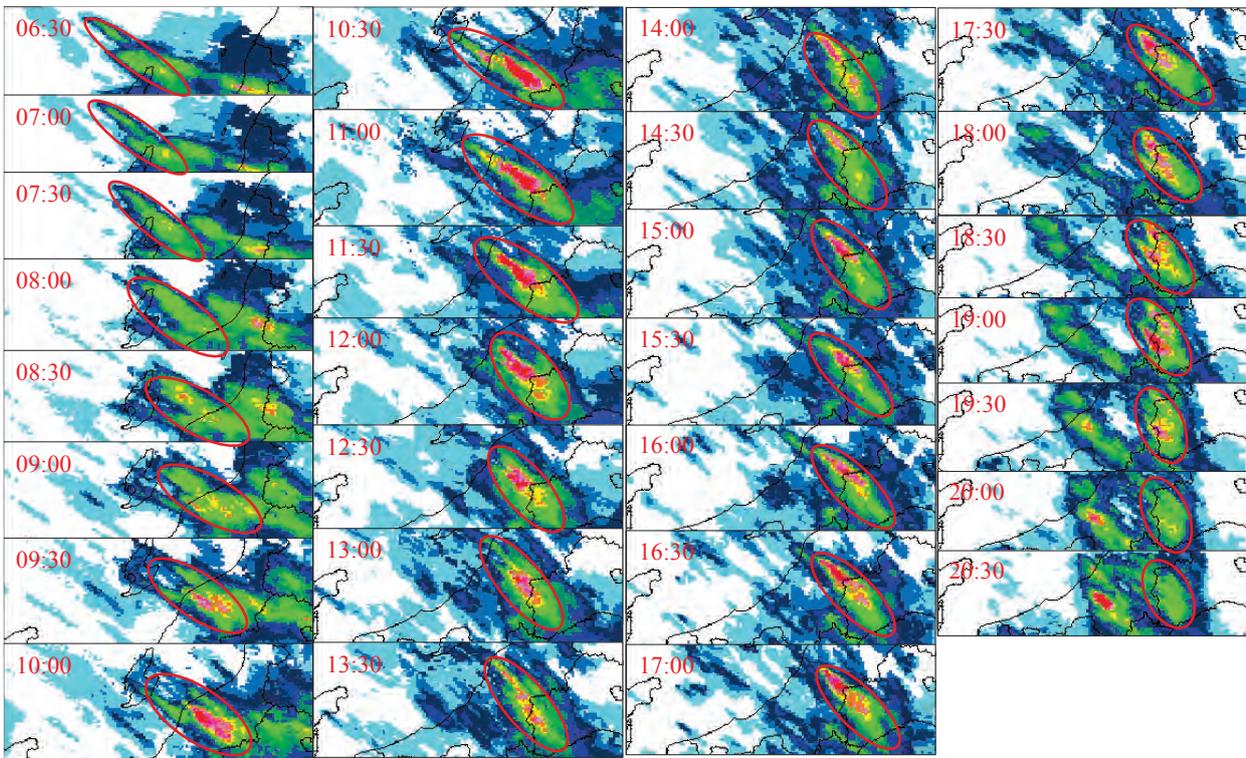
これらの降水帯を形成したエコーも東から南東に進むものが多く、エコーが次々に同じ領域にかかり続けたため、局地的な大雨になったと推察される。

第2.1.2.1表で線状降水帯5とした線状降水帯の動向を、第2.1.2.3図に示す。図の赤枠で囲んだ線状降水帯5を形成したエコーに注目すると、ある地点で発生したエコーが中層の北西風に流されつつ、同じ領域で別のエコーが発生し続けており、バックビルディング型の発生形状を示していた。線状降水帯5以外の、その他に抽出した各線状降水帯の多くが同様の発生形状を示していた。また、個々の降水帯の継続時間は2時間30分から14時間であったが、「大雨あり」の線状降水帯の方が、「大雨なし」よりも強雨の領域が長く、またその存在時間も長い傾向にあった。なお、この期間のアメダス雨量について、1時間値で50ミリ以上を観測した降水量は全て、上記の方法により抽出した線状降水帯に含まれていた。

2.1.2.3 線状降水帯形成の予測可能性

第2.1.2.1表から、大雨となった線状降水帯が発生時刻から大雨となるまでに、30分から3時間の時間があることがわかる。この間に、何らかの要素を用いて大雨となるかを予測できれば、防災上に資することになる。ここでは、第2.1.2.2項で抽出した降水帯を対象として、その解析雨量1時間値が48ミリ以上の「大雨あり」となる前に、その付近（降水帯周辺10km程度の範囲）で以下の各要素が発生しているかを調べた。

- (1) アメダスによる地上風の収束
- (2) 雷監視システムによる、降水帯に先行する発雷（LIDENによる先行発雷）の有無
- (3) メソサイクロン発生の有無
- (4) まわりよりGPS可降水量の大きい領域（55kg/m²以上）か
- (5) 925hPaの収束域か
- (6) 850hPaの収束域か



第2.1.2.3図 新潟県の30分ごとの解析雨量1時間値(ミリ)

2011年7月29日6時30分から20時30分まで。赤枠は第2.1.2.2項の方法により抽出した線状降水帯5。

(7) 850hPa と 700hPa の風向が揃っている領域か (± 10° 以内)

各要素の発生は、前項の抽出方法で定めた発生時刻から1時間前まで遡った。(2), (3) の要素は前10分ごとの値とし、レーダーエコー強度図と合わせて各降水セルの発生や移動の様子を確認して、明らかに対象の降水帯に該当しないと判断したものは除外した。また、(5) から (7) の各要素については、GSM の GPV データを1時間ごとに補完した値を用いた。

降水帯が「大雨あり」となった線状降水帯については、上記要素で現象を予想できた場合は「適中:A」、予想できなかった場合は「見逃し:B」とする。「大雨なし」となった線状降水帯については、上記要素が発生していた場合には「空振り:C」、発生しなかった場合は「予想・現象なし:D」とする。これらの適合数から、以下の式により、各要素による評価を求めた。

$$\text{適中率} = \frac{A+D}{A+B+C+D}$$

$$\text{見逃し率} = \frac{B}{A+B+C+D}$$

$$\text{空振り率} = \frac{C}{A+B+C+D}$$

$$\text{スレットスコア} = \frac{A}{A+B+C}$$

第2.1.2.2表に、上記の方法によって求めた各要素の評価を示す。適中率が良かった要素は925hPa収束域、GPS可降水量の多い領域、LIDENによる先行発雷、地上風の収束域であった。ただし、地上風の収束域については、他の要素よりも見逃し率が高めであった。

2.1.2.4 線状降水帯形成を予測する各要素の妥当性の検討

大雨をもたらす線状降水帯の予測について、前項の方法で適中率やスレットスコアの高かった3つの要素(925hPa収束域、GPS可降水量の多い領域、LIDENによる先行発雷)について、大雨の原因を基にその妥当性を検討した。

吉崎・加藤(2007)によれば、各層の全収束量をみると、高度1km付近で1つの極大があり、下層収束が強まることで、地形とは無関係に、メソ対流系は移動せずに停滞するとある。更に、積乱雲の発達高度が低い場合などでは、メソ対流系に大きな上昇流が生じない。そのようなケースでは下層風収束が十分強まらないため、メソ対流系は移動してしまい、集中豪雨は発生しないとしており、積乱雲の発達高度が高いこともメソ対流系が停滞するための条件としている。雷を発生させるための電荷は-10℃以下の高度(梅雨期では約6km)での霰と雲氷又は雪の衝突によって生じる

第2.1.2.2表 抽出した線状降水帯が1時間値48ミリになる前に各要素が発生した適合数とその評価

		925hPa 収束	GPS 可降水量の 強い領域	LIDEN による 先行発雷	アメダス 地上風 収束	メソ サイクロン 有無	700hPaと 850hPaの 風向差	850hPa 収束
適合数	適中	7	6	5	4	2	4	1
	見逃し	1	2	3	4	6	4	7
	空振り	3	2	1	0	0	2	2
	予想・現象 なし	0	1	2	3	3	1	1
評価	適中率	0.64	0.64	0.64	0.64	0.45	0.45	0.18
	見逃し率	0.09	0.18	0.27	0.36	0.55	0.36	0.64
	空振り率	0.27	0.18	0.09	0.00	0.00	0.18	0.18
	スレット スコア	0.64	0.60	0.56	0.50	0.25	0.40	0.10

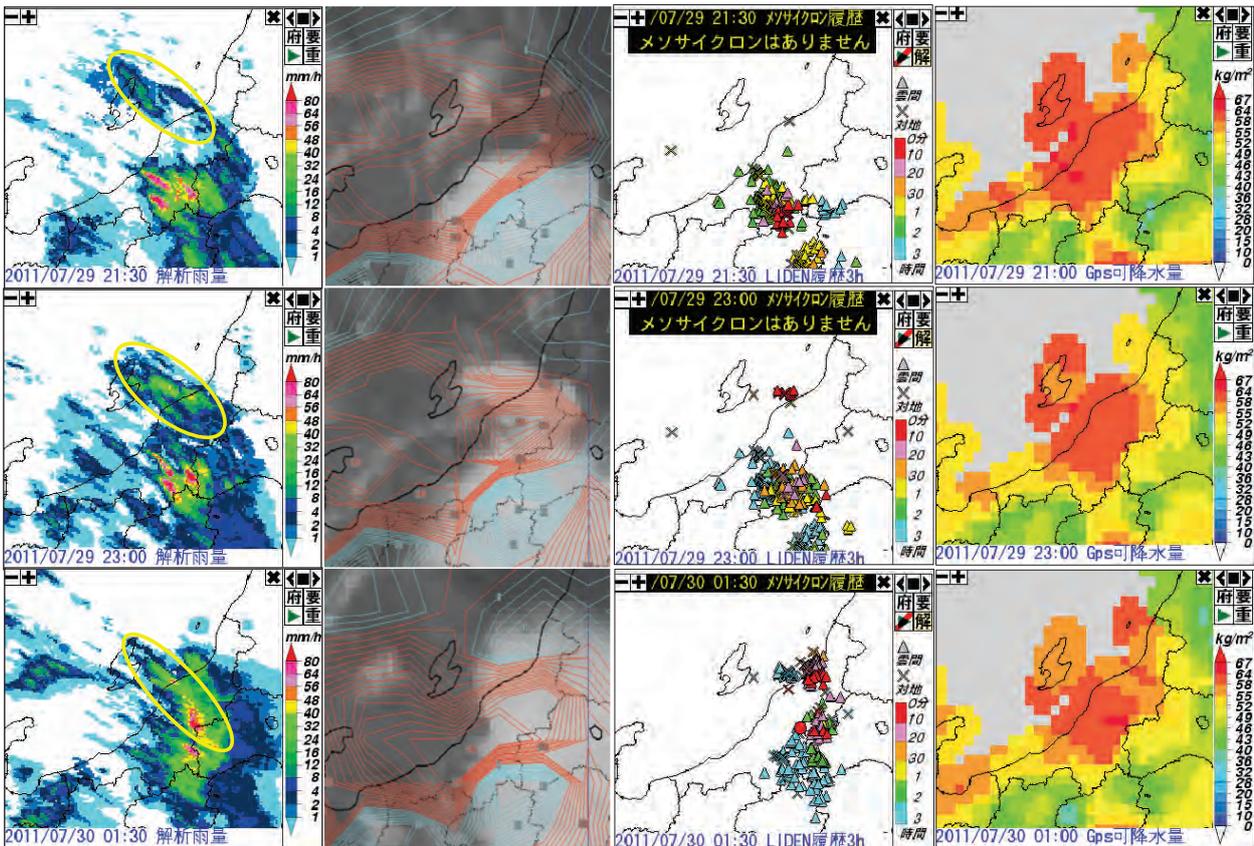
(Takahashi, 1984) ことから、積乱雲の発達高度が高くないと雷は発生しない。したがって、雷が観測される場合は積乱雲の発達高度が高いといえる。今回の検討で得られた「925hPa 収束域」は下層収束の強化を、「LIDENによる先行発雷」は積乱雲の発達高度が高いことを監視していると考ええると、メソ対流系の停滞条件を示すことになり、これらを線状降水帯の発生前のシグナルとすることは妥当であるといえる。なお、吉崎・加藤(2007)は、平成16年7月新潟・福島豪雨での雷の発生の有無と降水量との関係について調査し、線状降水帯の領域で雷放電が大量に観測され、多くの積乱雲が高度約6km以上に発達したとあり、発雷に着目することが適切であることを示している。

可降水量が多い領域は水蒸気を多く含む。この空気が持ち上げられて積乱雲が発達することで大雨をもたらしたと考えると「GPS可降水量の多

い領域」で大雨となるとしたことも矛盾はない。

以上から、925hPa 収束域、GPS 可降水量の多い領域、LIDENによる先行発雷の3つの要素が大雨をもたらす線状降水帯の発生前のシグナルとしたことは妥当であるといえる。

抽出した線状降水帯が大雨となる前にこれら3つのシグナルがあった例として、線状降水帯8について第2.1.2.4図に各要素の動向を示す。29日21時30分頃に佐渡の北東海上に発生した線状降水帯は、佐渡海上から中下越にかけて極大を持った925hPa 収束域かつ、GPS 可降水量が58kg/m²以上の領域で発達しながら23時00分には佐渡から新潟市付近にかけて南東進し、この時までには新潟市付近の海上で複数の発雷を観測した。同時刻の解析雨量は新潟市では1時間値で43ミリだった。その後も降水帯は発達し、領域を長くしながら南東進を続け、30日1時30分には解析雨量



第2.1.2.4図 抽出した線状降水帯が大雨となる前に3つのシグナルがあった事例(線状降水帯8)

左から解析雨量、衛星赤外画像と925hPa収束域(赤領域)、LIDEN履歴、GPS可降水量。

上から7月29日21時30分、23時00分、30日1時30分。

黄色の枠内は「線状降水帯8」が形成された領域。

が三条市で1時間値100ミリに達した。この降水帯はこの時間帯をピークに5時頃まで活動を続けた。

なお、適中率の高い3つの要素すべて、及び2つの要素を共に満たした場合（いずれもAND条件）の適中率等の結果を第2.1.2.3表に示す。どの要素の組合せでも適中率は50%以上、「925hPaでの収束域」と「先行して発雷があった場合」との組合せの成績が比較的良かったが、全ての要素を満たす場合であることから、見逃しが多めとなり、個々の要素の場合と同程度の成績であった。

また、平成16年7月新潟・福島豪雨について、第2.1.2.2項及び第2.1.2.3項と同じ方法で予測可能であったかを検証した。その結果、2004年7月13日6時を発生時刻として、中越・下越から福島県会津にかけて1時間値24ミリ以上の線状降水帯を抽出した（解析雨量は1時間ごとの値）。この時、各要素の状況（925hPa収束域は3時間ごと、可降水量は輪島の高層観測値から計算した値）は、12日21時から13日15時にかけて新潟県は海上も含め925hPa収束域に覆われ、13日5時50分から降水帯の周辺でLIDENによる発雷を観測し、12日21時の可降水量は57.9kg/m²だった。その後この降水帯は13日7時に48ミリを超え、8時に最大値74ミリの大雨となった。予測可能性については今後の事例においても検証が必要である。

2.1.2.5 まとめ

線状降水帯が形成された28日12時から30日12時の期間について、個々に抽出した11本の線状降水帯から、大雨の予測可能性について検討した。1時間に48ミリ以上となる30分から3時間前までに「925hPa収束域」、「GPS可降水量の多い領域」、「LIDENによる先行発雷」の要素をそれぞれ満たした場合に、猛烈な雨をもたらす大雨

第2.1.2.3表 適中率の高かった複数の要素を用いた場合の評価

抽出した線状降水帯について、「925hPa収束域」、「GPS可降水量の多い領域」、「LIDENによる先行発雷」の組合せ。

		AND条件			
		925収束 +可降水量 +発雷	925収束 +可降水量	925収束 +発雷	可降水量 +発雷
適合数	適中	4	5	5	4
	見逃し	4	3	3	4
	空振り	1	2	1	1
	予想現象なし	2	1	2	2
評価	適中率	0.55	0.55	0.64	0.55
	見逃し率	0.36	0.27	0.27	0.36
	空振り率	0.09	0.18	0.09	0.09
	スレットスコア	0.44	0.50	0.56	0.44

に発達することが多かった。これらの要素を監視することで、線状降水帯が大雨をもたらす可能性を、50%以上の予測可能性で述べることができるのではないかと考える。

なお、GPSによる観測データは、国土地理院の電子基準等観測データを使用し、解析には、カリフォルニア工科大によるGIPSY-OASIS IIを使用した。

参 考 文 献

吉崎正憲・加藤輝之（2007）：豪雨・豪雪の気象学。応用気象学シリーズ4，朝倉書店，187pp。
 Bluestein, H.B. and M. H. Jain（1985）：Formation of mesoscale lines of precipitation: Severe squall lines in Oklahoma during spring. J. Atmos. Sci., 42, 1711-1732.
 Takahashi, T.（1984）：Thunderstorm electrification -A numerical study, J. Atmos. Sci, 41, 2541-2559

2.1.3 災害の状況

2.1.3.1 災害の概要

(1) 新潟県*

今回の大雨で新潟県では、水害や土砂災害により多大な被害が発生し「激甚災害」に指定された。

水害では、中越地方の信濃川水系の6河川の9か所で破堤するなど広い範囲で洪水害が発生した。また、同じく中越地方の長岡地域、三条地域、十日町地域、南魚沼地域などを中心に県内14市町村（平成23年8月現在）で、地すべり・がけ崩れ・土石流などの土砂災害が多数発生した。

被害状況を第2.1.3.1表に、農業被害を第2.1.3.2表に示す。

新潟県での被害は24市町村におよび、死者4人、行方不明1人、重軽傷者13人などの人的被害、住家全壊（流出を含む）41棟、住家半壊805棟、住家床上浸水1,013棟、住家床下浸水7,615棟などの家屋被害のほか、公共土木施設などに大きな被害が発生した。農業被害は、水稻を主とした農作物を始めとして多大な被害となった。

7月28日以降、県内の10市町村で災害対策本部を設置したほか、新潟県は7月29日に豪雨災害対策本部を設置した。

(2) 福島県**

7月27日から30日にかけて福島県会津を中心に大雨となった。29日午後には只見町を中心に記録的な大雨となり、只見川や伊南川の増水、はん濫により多くの住宅や農地に洪水害が発生したほか、橋の流出や土砂災害による住宅や道路の被害も多数発生した。県内の土木関係被害状況を第2.1.3.3表に、農林水産業関係被害状況を第2.1.3.4表に示す。また、道路の寸断により檜枝岐村では全村が孤立したほか、只見町、金山町、南会津町では、一時547人が孤立状態となり、人的被害としては只見町で1人が川に流され行方不明となった。人的・住宅被害状況を第2.1.3.5表に示す。福島県では27日13時28分に災害対策本部を設置（3月11日、東北地方太平洋沖地震から継続

第2.1.3.1表 新潟県の住家等被害（平成24年3月29日現在 新潟県危機対策課調べ）

区分		被害	
人的被害	死者	4	
	行方不明	1	
	負傷者	重症	2
		軽傷	11
住家被害	全壊（流出含む）	棟	41
	半壊	棟	805
	一部損壊	棟	32
	床上浸水	棟	1,013
	床下浸水	棟	7,615

第2.1.3.2表 新潟県の農業被害（平成24年2月7日確定 新潟県農林水産部調べ）

被害額（千円）

農作物	5,472,751
農業施設（生産関係）	186,081
農業等在庫品等	24,524
畜産業	395
林業、林道、林業施設	16,986,045
水産業	262,350
県施設関係	4,902
被害額 合計	22,937,048

第2.1.3.3表 福島県の土木関係被害状況（平成23年8月9日福島県土木部発表）

	箇所	金額（百万円）
河川	178	6,234
砂防	7	62
道路	153	4,211
橋梁	15	3,630
下水道	1	7
計	354	14,144

中)したほか、8市町村で災害対策本部を設置した。また、8市町で避難指示や避難勧告を発令、なかでも只見町では1,960世帯4,990名の全町民に対し避難勧告を発令し、住民に避難を促した(第2.1.3.7表参照)。

* 新潟地方気象台 内山 秀明（現 名古屋地方気象台）、岡本 和己

** 福島地方気象台 岩佐 洋司

第2.1.3.4表 福島県の農林水産業関係被害状況（平成23年8月29日福島県農林水産部発表）

	箇所	金額（百万円）
農業等被害		328
水産被害	4	3
農地等被害		4,400
林業等被害		2,778
治山被害	125	2,602
計		10,111

第2.1.3.5表 福島県の人的・住宅被害状況（平成23年12月16日現在 消防庁調べ）

人的被害	死者	0人
	行方不明者	1人
	負傷者 重傷	0人
	軽傷	0人
住宅被害	全壊	33棟
	半壊	199棟
	一部破損	3棟
	床上浸水	80棟
	床下浸水	193棟

2.1.3.2 洪水害の状況

(1) 新潟県*

(ア) 洪水害

この大雨により、中越地方の魚沼市を流れる破間川、南魚沼市を流れる登川、三条地域を流れる五十嵐川など、信濃川水系の6河川の9か所で破堤した。中越地方の三条市、長岡市、魚沼市、南魚沼市、十日町市、小千谷市、下越地方の阿賀町など広範囲で洪水害が発生し、死者4人、行方不明1人及び住宅地や田畑が広範囲にわたって冠水するなど大きな災害となった。

信濃川下流域の被害状況は、五十嵐川の三条市江口で決壊し家屋33棟が浸水したのをはじめ、牧川が五泉市中野橋で決壊した。信濃川中流域の被害状況は、破間川が魚沼市長堀新田で決壊し家屋19棟、登川が南魚沼市大里・三郎丸で決壊し家屋30棟、茶郷川が小千谷市土川・上の山で決壊し2棟が浸水した。更に、阿賀野川流域の阿賀野川、早出川など県内各所で越水し、新潟県内全体では床上浸水1,013棟、床下浸水7,615棟の住家被害が発生した。

第2.1.3.1図に河川破堤箇所位置図、写真2.1.3.1に五十嵐川破堤状況、写真2.1.3.2に茶郷川破堤状況、写真2.1.3.3に信濃川・五十嵐川合流地点の浸水状況、写真2.1.3.4に破間川破堤付近の浸水状況、写真2.1.3.5に阿賀野川（阿賀町「道の駅」付近）の浸水状況を示す。

* 新潟地方気象台 内山 秀明（現 名古屋地方気象台）、岡本 和己、伊藤 英介（現 金沢地方気象台）、松木 晃一郎



第 2.1.3.1 図 河川破堤箇所位置図 (新潟県土木部河川管理課提供)



写真 2.1.3.1 五十嵐川破堤状況
新潟県土木部河川管理課提供



写真 2.1.3.2 茶郷川破堤状況
新潟県土木部河川管理課提供



写真 2.1.3.3 信濃川・五十嵐川合流地点浸水状況
国土交通省北陸地方整備局提供



写真 2.1.3.4 破間川破堤付近浸水状況
魚沼市提供



写真 2.1.3.5 阿賀野川
阿賀町「道の駅」付近浸水状況
国土交通省北陸地方整備局提供

(イ) 流域雨量指数の状況

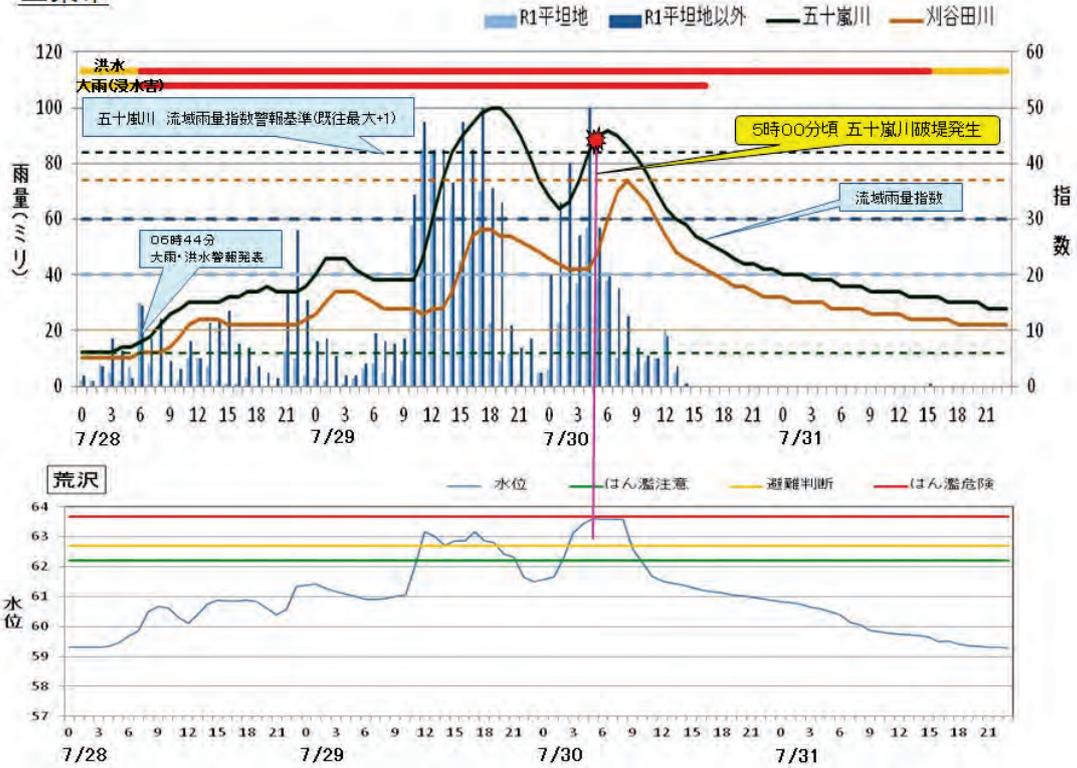
28日から30日にかけて降った大雨により、県内の下越・中越地方を中心に多くの河川で流域雨量指数が上昇した。

流域雨量指数の状況をみると、三条市五十嵐川で流域雨量指数が29日14時に「平成16年7月新潟・福島豪雨」時のピーク値である既往最大を超えた。18時頃をピークとし、雨の弱まりと伴に下降したが、その後、再び強まった雨により30日0時以降流域雨量指数が再び上昇した。三条市荒沢水位観測では、流域雨量指数が2度目の既往最大値を超えた30日5時頃に、はん濫危険水位に達し、三条市江口地内において堤防が決壊した（浸水家屋33戸）（第2.1.3.2図）。

一方、魚沼市破間川の流域雨量指数は29日12時以降断続的に強まった雨により、30日1時頃に「平成16年7月新潟・福島豪雨」時のピーク値である既往最大値を超え、その後も6時頃まで上昇した。魚沼市今泉水位観測所では、30日3時以降急速に水位が上昇し、はん濫危険水位を超えた30日4時20分頃に魚沼市長堀新田地内において堤防決壊が発生した（浸水家屋19戸）（第2.1.3.3図）。

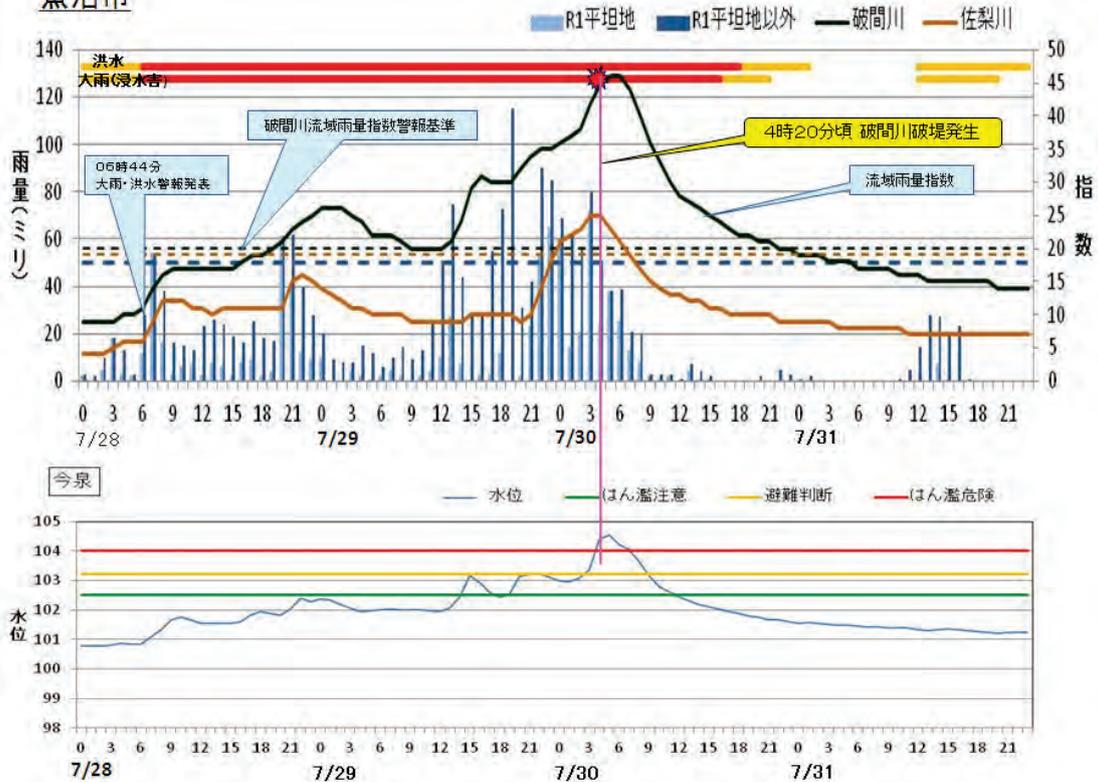
破堤の状況をみると流域雨量指数の履歴1位となった河川で堤防の決壊や河川のはん濫による住居の浸水、農地の冠水の被害が発生した。

三条市



第2.1.3.2図 三条市における流域雨量指数時系列図

魚沼市



第2.1.3.3図 魚沼市における流域雨量指数時系列図

(2) 福島県*

福島県では、この大雨により阿賀野川水系阿賀川、只見川、伊南川など会津を中心に5河川232か所で堤防の損壊や橋梁流出、JR只見線の橋脚の流失などがあり、只見町、金山町、西会津町など会津の9市町村で洪水による被害が多数発生した(写真2.1.3.6～2.1.3.10参照)。阿賀野川水系の流域範囲を第2.1.3.4図に示す。

只見川流域では、7月28日午前中から降った雨により流域雨量指数が29日未明にかけて上昇し、流域雨量指数の履歴1位(1991年1月からの履歴)を更新した。その後降水の弱まりと共に流域雨量指数はいったん下がったものの、29日昼頃から激しい雨が降り始めたことにより29日午後には流域雨量指数が急激に上昇し、30日朝



写真2.1.3.8 只見町 叶津川
8月2日撮影



写真2.1.3.6 只見町 伊南川 小川橋落橋
8月2日撮影



写真2.1.3.9 南会津町 小立岩 伊南川
8月2日撮影



写真2.1.3.7 只見町 只見ダム
8月2日撮影

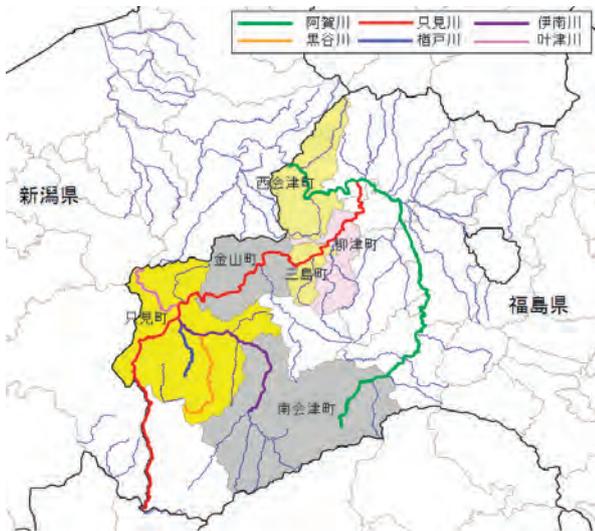


写真2.1.3.10 只見町 只見川 萬代橋
8月2日撮影

* 福島地方気象台 鈴木 隆雄(現 山形地方気象台), 園部 渉

にはピークとなり流域雨量指数の高い状態は昼頃まで続いた。この間、流域雨量指数の履歴1位を更新した状態は26時間継続した。その後は降水の弱まりと共に徐々に流域雨量指数は下降した(第2.1.3.5図)。

河川水位の上昇により29日朝から30日朝にかけて三島町、柳津町、南会津町の3町150世帯511人に避難指示が、そのほか1市6町の2,571世帯6,484人に対し避難勧告が発令された(第2.1.3.6表及び第2.1.3.7表)。



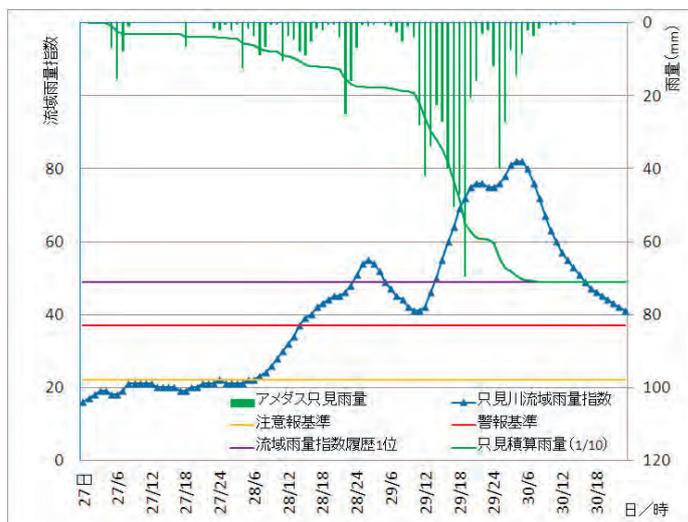
第2.1.3.4図 阿賀野川水系河川と流域市町村

第2.1.3.6表 市町村別避難指示の発令状況

8月17日17時現在消防庁調べ				
市町村名	世帯	対象	避難日時	解除日時
三島町	1	6	7月29日18:46	7月30日15:00
柳津町	1	1	7月29日11:25	7月31日10:00
	1	1	7月29日11:25	8月1日16:00
	42	208	7月29日20:50	7月30日12:30
	27	70	7月29日09:30	7月30日12:30
	50	142	7月30日06:45	7月30日12:30
南会津町	28	83	7月29日20:05	7月30日08:00
小計	150	511		

第2.1.3.7表 市町村別避難勧告の発令状況

8月17日17時現在消防庁調べ				
市町村名	世帯	対象	避難日時	解除日時
西会津町	23	90	7月30日10:30	7月30日18:00
会津坂下町	55	200	7月29日21:00	7月31日08:00
	106	232	7月29日22:09	7月30日16:00
三島町	2	5	7月29日12:20	7月30日15:30
	4	5	7月29日23:20	7月30日14:15
金山町	10	23	7月29日17:10	7月31日08:00
	55	131	7月29日18:35	7月30日15:25
	132	298	7月29日20:10	7月30日12:30
	30	70	7月29日20:30	7月30日15:25
	33	100	7月29日20:40	7月30日16:00
	107	239	7月30日00:30	7月30日15:25
南会津町	31	60	7月29日19:50	7月31日15:00
	20	28	7月29日21:10	7月30日07:30
只見町	1960	4990	7月29日17:30	8月2日09:00
喜多方市	3	13	7月30日09:15	7月31日07:10
小計	2571	6484		



第2.1.3.5図 只見川流域雨量指数(左軸)とアメダス只見雨量(右軸)の時系列
只見川警報・注意報監視基準格子(警報基準37, 過去履歴1位49)

2.1.3.3 土砂災害の状況

(1) 新潟県*

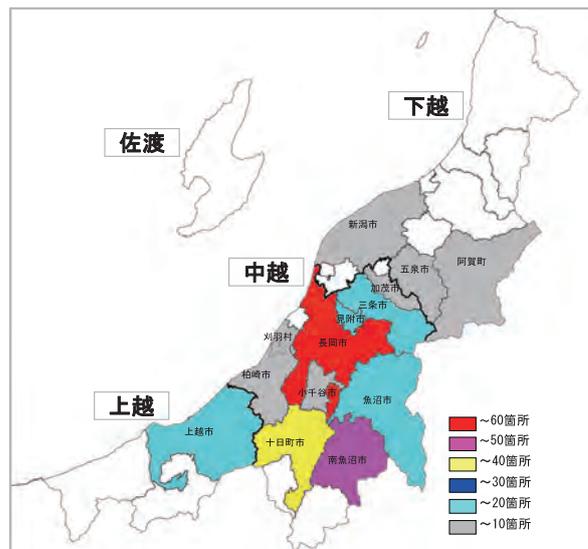
(7) 災害の状況

この大雨により中越・下越地方を中心に県内14市町村の227か所で、がけ崩れ・土石流・地すべりなどの土砂災害が発生した。市町村ごとの発生状況を第2.1.3.8表と第2.1.3.6図に示す。これらから、土砂災害は中越地方の南魚沼地域、十日町地域、長岡地域、三条地域で多く発生した。

また、災害の発生場所を分類別に表した図を第2.1.3.7図に示す。長岡市では市の東側に、十日町市、南魚沼市では、市の中央部に災害が集中していた。

第2.1.3.9表に土砂災害による被害発生状況を示す。人的被害はなかったが、家屋などの建物被害は全壊9棟、一部損壊28棟となり、がけ崩れによる被害が最も多くなった。

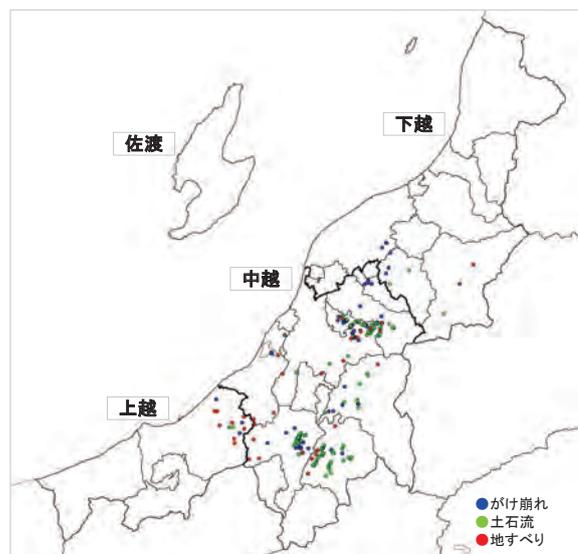
写真2.1.3.11に三条市牛野尾地内、写真2.1.3.12に十日町市麻畑地内、写真2.1.3.13に南魚沼市浦佐地内の土砂災害の状況を示す。



第2.1.3.6図 新潟県の市町村別土砂災害発生状況
新潟県土木部砂防課提供データにより作成

第2.1.3.8表 土砂災害発生状況（平成23年10月3日現在 新潟県土木部調べ）

市町村	発生件数	発生災害		
		土石流	地すべり	がけ崩れ
新潟市	3			3
五泉市	5	2		3
阿賀町	3	1	1	1
三条市	20	14	3	3
加茂市	5			5
長岡市	57	28	6	23
見附市	16	5	1	10
小千谷市	1		1	
魚沼市	15	8	1	6
十日町市	37	15	4	18
南魚沼市	45	33	5	7
柏崎市	5		5	
刈羽村	2			2
上越市	13	3	8	2
合計	227	109	35	83



第2.1.3.7図 新潟県の土砂災害発生箇所分布
新潟県土木部砂防課提供データにより作成

第2.1.3.9表 土砂災害被害（平成23年10月3日現在 新潟県土木部調べ）

発生災害	家屋損壊数		
	全壊	半壊	一部損壊
がけ崩れ	5	0	18
地すべり	1	0	2
土石流	3	0	8
合計	9	0	28

* 新潟地方気象台 内山 秀明（現 名古屋地方気象台）、岡本 和己、寺尾 剛



写真 2.1.3.11 三条市牛野尾地内の土石流（新潟県提供）



写真 2.1.3.12 十日町市麻畑地内のがけ崩れ（新潟県提供）



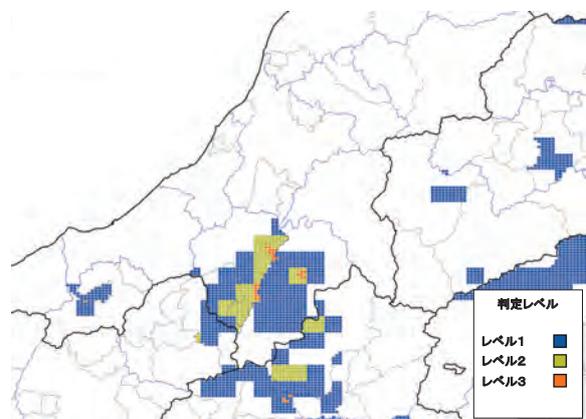
写真 2.1.3.13 南魚沼市浦佐地内の地すべり（新潟県提供）

(イ) 土壌雨量指数の状況

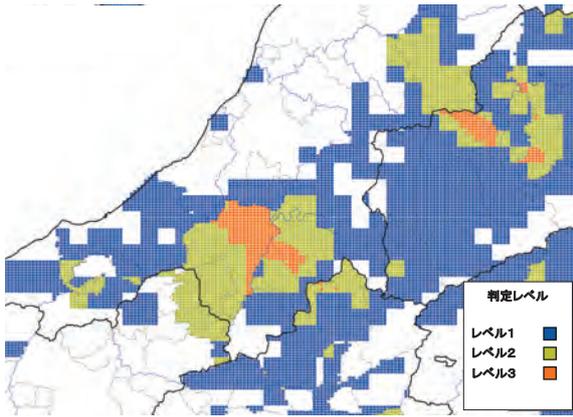
土砂災害は広範囲で発生しているものの、その多くは中越地方で発生している（第2.1.3.6図参照）。期間中の土砂災害警戒判定メッシュの状況（第2.1.3.8図から第2.1.3.14図）をみると、中越地方北部の三条地域や長岡地域などでは、28日夜に一時的に土砂災害警戒判定レベル（以下、警戒判定という）が出現するが、29日昼頃から30日夕方にかけて連続的に警戒判定が出現している。また、中越地方南部の十日町地域や南魚沼地域などでは27日夕方、28日午前中、28日夜と断続的に警戒判定が現れ、29日夜から30日夕方には広範囲に警戒判定が出現している。

なお、警戒判定の結果をみる際に、十日町市、津南町、上越市については長野県北部の地震により暫定基準による運用を行っている点に注意が必要である。

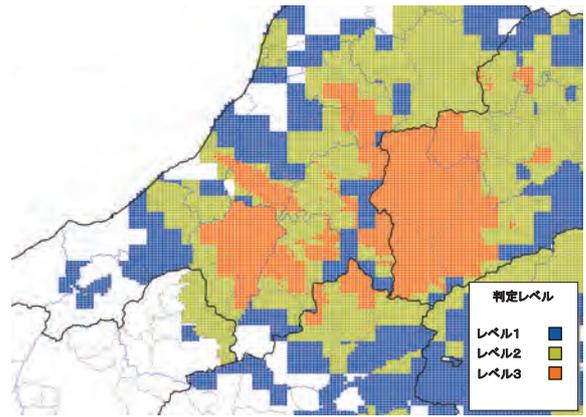
次に、中越地方で発生した災害について、三条



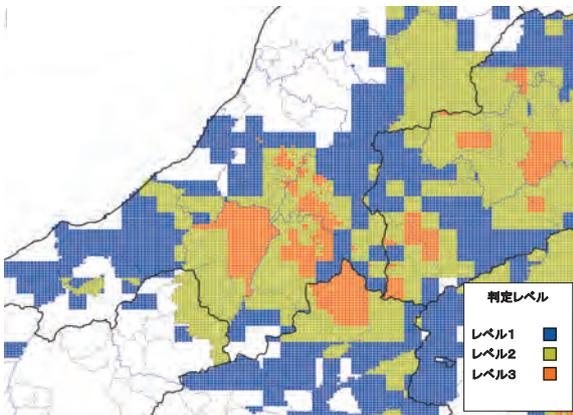
第2.1.3.8図 7月27日16時の判定状況



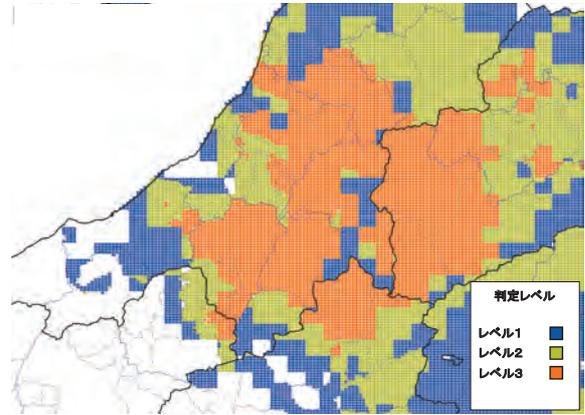
第2.1.3.9図 7月28日9時の判定状況



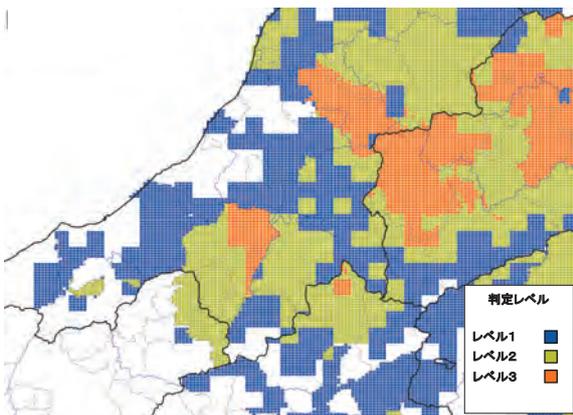
第2.1.3.12図 7月29日22時の判定状況



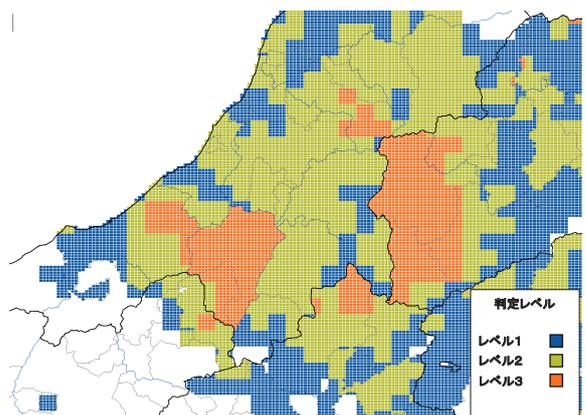
第2.1.3.10図 7月28日21時の判定状況



第2.1.3.13図 7月30日6時の判定状況



第2.1.3.11図 7月29日12時の判定状況

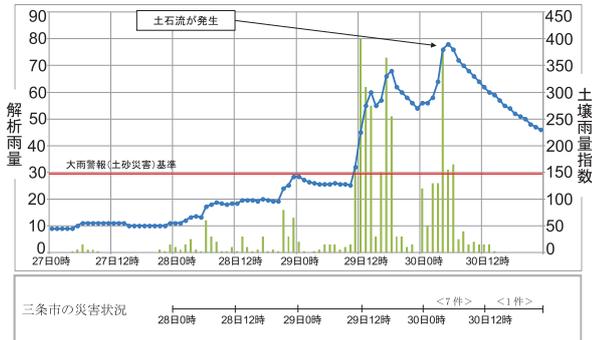


第2.1.3.14図 7月30日17時の判定状況

市、見附市、長岡市、十日町市及び南魚沼市の時間帯別の災害発生数と災害の発生した格子における降雨と土壌雨量指数の状況を各市1事例ずつ取り上げて以下に示す。

中越地方北部の三条市、見附市、長岡市の災害発生格子では29日昼以降に大雨警報（土砂災害）

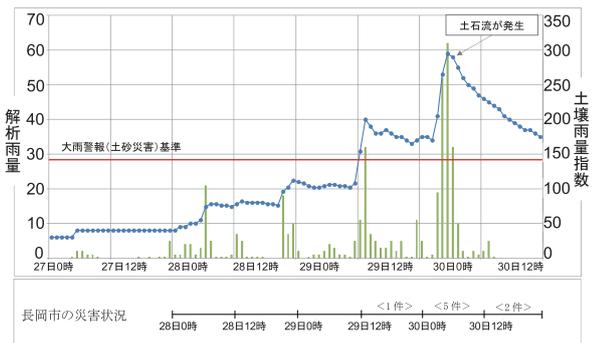
基準を超え、その後の降雨の強まりによる土壌雨量指数のピーク付近で災害が発生している（第2.1.3.15図から第2.1.3.17図参照）。一方、中越地方南部の十日町市、南魚沼市の災害発生格子では、27日から28日に大雨警報（土砂災害）基準を超え、28日以降の断続的な降雨の強まりにより、いく



第2.1.3.15 図 三条市の土石流発生格子の解析雨量・
土壌雨量指数の時系列図と土砂災害
7月27日0時から7月30日23時



第2.1.3.16 図 見附市のがけ崩れ発生格子の解析雨量・
土壌雨量指数の時系列図と土砂災害
7月27日0時から7月30日23時



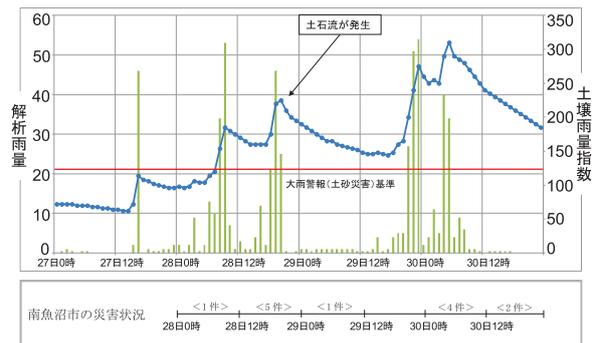
第2.1.3.17 図 長岡市の土石流発生格子の解析雨量・
土壌雨量指数の時系列図と土砂災害
7月27日0時から7月30日23時

つかできる土壌雨量指数の上昇の時間帯のピーク付近で災害が発生している（第2.1.3.18 図及び第2.1.3.19 図参照）。

中越地方全体として発生日の分かっている災害をみると、北部ではほとんどの災害発生が期間後半の30日に集中しているのに対して、南部での災害発生は期間後半の30日に多いものの、28日、29日にわたり断続的に発生している。土壌雨量指数の大雨警報（土砂災害）基準超過の状況は災害発生の状況と密接に関連しており、中越地方の北部と南部の土壌雨量指数の推移の違いが災害発生の傾向の違いに表れたと考えられる。



第2.1.3.18 図 十日町市のがけ崩れ発生格子の解析雨量・土壌雨量指数の時系列図と土砂災害
7月27日0時から7月30日23時



第2.1.3.19 図 南魚沼市の土石流発生格子の解析雨量・土壌雨量指数の時系列図と土砂災害
7月27日0時から7月30日23時

※ 留意事項：土砂災害は発生日時を特定しにくい災害である。第2.1.3.15 図から第2.1.3.19 図の作成には発生日時がわかっている災害を用いているが、その発生日時等についても後日変更される場合がある。

(2) 福島県*

(7) 災害の状況

福島県では、この大雨により会津の32か所でがけ崩れ、土石流、地すべりの土砂災害が発生した。第2.1.3.20図に土砂災害の発生場所を示す。只見町では土嚢を積む作業をしていた作業員1名が土石流に巻き込まれて只見川に流され行方不明となった。只見町、南会津町では土石流が多く発生し、家屋の損壊が発生した。また、各地の道路で法面の崩落や路肩の崩壊、土石流による交通の断絶が発生し、道路被害は全部で153か所に及んだ。



第2.1.3.20図 土砂災害発生場所
7月28日0時から29日24時 福島県

(イ) 土壌雨量指数の状況

短時間に局地的に強い雨を観測し、土砂災害が発生し大きな被害となったのは7月29日に発生した只見町や南会津町であったが、三島町の土砂災害は28日14時に発生していた。土砂災害の発生した三島町、只見町、南会津町の事例は次のとおりである。

①福島県三島町での事例

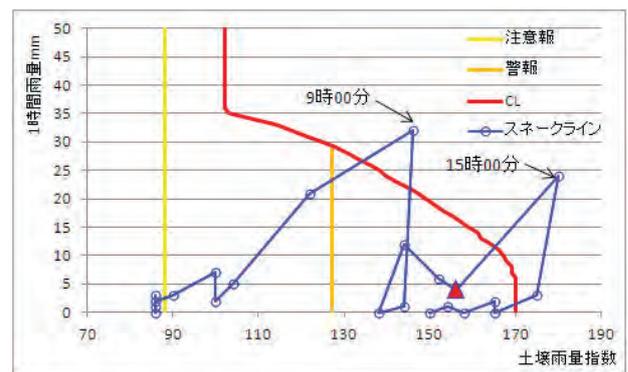
7月28日0時から21時までの土壌雨量指数と土砂災害警戒避難基準線（CL: Critical Line 以下「CL」と略す）とスネークライン（時々刻々変化する雨の状態をつないだ曲線）の図を第2.1.3.21図に示す。また、28日0時から23時までの土壌雨量指数と1時間雨量を第2.1.3.22図に示す。土石流が発生した格子における土壌雨量指数は、28日4時に注意報基準を超過し、8時から9時の間に警報基準を超過して、9時にはCLを超過した。9時以降は降水の衰弱とともに土壌雨量指数はCLを下回ったが、第2タンク値はほぼ横ばいで警報基準を超えたままであった。その後の降水により11時から再び土壌雨量指数が上昇し、第2タンク値も上昇しはじめた28日14時頃、三島町で土砂災害（土石流、がけ崩れ、地すべりの各1件ずつ）が発生している。



写真2.1.3.14 只見町赤沢 土石流 8月2日撮影

②福島県只見町での事例

只見町では7月29日に2か所で土砂災害が発生した。只見町黒沢沼頭沢のスネークラインを



第2.1.3.21図 三島町浅岐前ノ沢（格子番号56391500）
スネークライン図
7月28日0時から21時までの1時間ごと。

* 福島地方気象台 小田嶋 孝一（現 盛岡地方気象台）、小田島 秀明



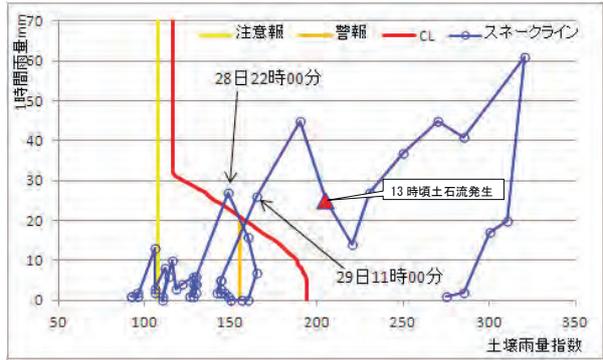
第2.1.3.22 図 三島町浅岐前ノ沢 (格子番号 56391500) 土壌雨量指数他
7月28日0時から23時までの1時間ごと。
第2タンク値：第3段に重ねたタンクのうち第2タンク値は表層での浸透流出

第2.1.3.23 図に示す。また、只見町只見御東沢のスネークラインを第2.1.3.24 図に示す。只見町の2地点では28日22時にCLを超過後、いったん下回ったが29日10時以降は再びCLを超過している。只見町黒沢沼頭沢で13時に土石流が発生、もう一方の只見御東沢ではCLを超過後、7時間を経過して土壌雨量指数がかなり高い状態となった18時に土石流が発生している。

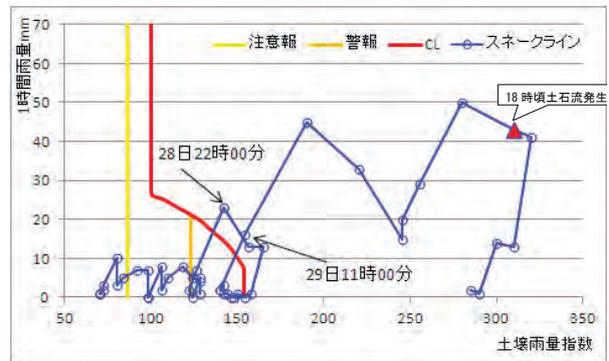
③ 福島県南会津町での事例

7月28日0時から29日23時までのスネークラインを第2.1.3.25 図に示す。南会津町内川では28日23時にCL付近まで土壌雨量指数が高まった後、警報基準付近で推移し29日13時にCLを超過してから8時間後、さらに土壌雨量指数の高い状態で21時頃土石流が発生した。

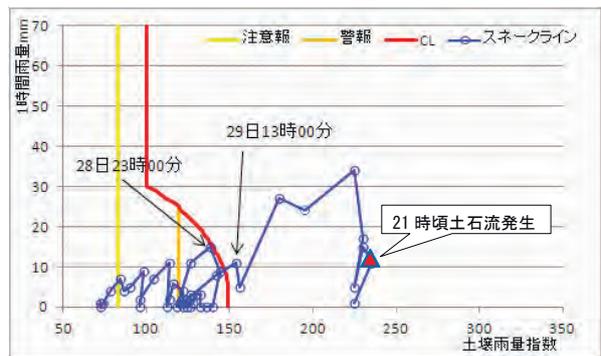
7月29日の土砂災害は土壌雨量指数がCLを大幅に超えており、いつ土砂災害が発生してもおかしくない状況で発生した。一方、7月28日の三島町の事例では、CLは一旦下回ったが、第2タンク値はほぼ横ばいの状態が続いており、再び上昇を始めた直後に発生したのが特徴的であった。



第2.1.3.23 図 只見町黒沢沼頭沢 (格子番号 56390206) スネークライン図
7月28日0時から29日23時までの1時間ごと。



第2.1.3.24 図 只見町只見御東沢 (格子番号 56390203) スネークライン図
7月28日0時から29日23時までの1時間ごと。



第2.1.3.25 図 南会津町内川 (格子番号 55395389) スネークライン図
7月28日0時から29日23時までの1時間ごと。

2.1.4 防災気象情報の発表と今後の課題

2.1.4.1 新潟地方気象台*

(1) 防災気象情報の発表

「平成23年7月新潟・福島豪雨」は、27日から30日朝まで続き、この期間の総降水量は、新潟県加茂市宮寄上（みやかみ）で626.5ミリとなり、7月の月降水量平年値の2倍以上となった。

また、1時間降水量では、新潟県十日町市十日町（とかち）で29日20時51分までに121.0ミリの猛烈な雨が降り、新潟県内の観測史上1位を更新するなど、記録的な大雨となった。

新潟地方気象台では、7月27日10時53分に新潟県気象情報第1号で「28日明け方からの大雨に対する注意・警戒」を呼びかけたが、この時点では、これほどまでの記録的な大雨になるとは予測していなかった。

雨が本格化した28日10時48分の新潟県気象情報第5号では「土砂災害の危険性が高まっている」、「河川の増水やはん濫、低地の浸水に更に警戒」と呼びかけ、29日10時36分には新潟県気象情報第13号で「総降水量が300ミリを超え、中下越では猛烈な雨が夕方まで予想される」ことを述べ「土砂災害や河川のはん濫・浸水について最大限の警戒」を呼びかけた。さらに29日12時11分の新潟県気象情報第15号では「平成16年新潟・福島豪雨に匹敵する大雨となっているため最大限の警戒」と呼びかけるなど、30日16時30分の新潟県気象情報第26号まで、状況の推移に対応しながら気象情報を計26回（文章形式15回、図形式11回）発表して警戒を呼びかけ続けた。

今回の豪雨では、指定河川洪水予報、土砂災害警戒情報、記録的短時間大雨情報も多数発表した。

- ・指定河川洪水予報は魚野川、信濃川下流・中ノ口川、阿賀野川、信濃川中流、荒川の中下越地域の5河川に対して発表。
- ・土砂災害警戒情報は、対象29市町村中25市町村に計35回（8月2日1時17分まで）発表した。特に29日夜から30日朝にかけては、再び土砂災害の危険が高まるため、県と調整（夜間の解除はしない）し、土砂災害警戒情

報の継続を相互確認し、県を通じて各市町村に警戒体制を継続するように周知・徹底を行った。

- ・記録的短時間大雨情報の発表は30回にもおよび、平成16年7月新潟・福島豪雨時の5回を大きく上回った。

このような豪雨の状況下、新潟県内の16市町で、のべ約15万世帯に対して避難勧告など（避難準備情報、避難勧告、避難指示）が発令された。

(2) 防災気象情報への報道機関の対応

29日12時11分の新潟県気象情報第15号で「平成16年新潟・福島豪雨に匹敵する大雨」となっている「最大限の警戒」を呼びかけた情報を引用して、NHKテレビ（全国放送）が29日13時のニュースから「平成16年新潟・福島豪雨に匹敵する大雨」、「最大限の警戒」と報道し、その他の報道機関も同様の内容の報道をしたことで、自治体の防災対応も一段と強化された。

NHKテレビでは、29日午後以降の全国ニュース枠を拡大し「気象庁が7年前に匹敵する豪雨になる」と警戒を呼びかけていることを中心に報道した。また、新潟NHKのローカル局における放送では、河川の増水状況の現場中継を交え、市町村の防災担当者が電話出演し最新情報を伝えるなど、住民に対して避難行動の注意点等について呼び掛けがなされた。

総降水量が平成16年豪雨に比べ約2倍であったにも関わらず被害規模が小さかったことは、新潟地方気象台が発表した防災気象情報で呼びかけた危機感が報道機関を通じて市町村の防災担当者や住民に伝わった効果が大きかったものと思われる。

(3) 防災気象情報への市町村・住民の対応

近年、豪雨災害が増加傾向にあるなか、豪雨時において自治体がとるべき防災対策については、より安全な場所への避難を住民に促す「立ち退き避難」が基本とされてきた。

このような状況の中、新潟県内の市町村では平成

* 新潟地方気象台 橘 薫、野内 修一

16年豪雨の教訓をうけて、防災体勢の見直しに取り組んできた。

平成23年4月に公表された「三条市の豪雨災害対応ガイドブック」の冒頭では「早めの避難が重要」としたうえで、浸水した場合の避難について「大変危険」と警告し、「自宅滞在が可能な場合、安全な場所で待機」と呼びかける内容となっている。これは、災害時の避難行動を研究している群馬大学災害社会工学研究室（片田敏孝教授）の監修のもと、きわめて詳細な豪雨災害対応の避難行動としてガイドブックに掲載されている。

豪雨後に、三条市が行った全世帯アンケート調査では「どの様に判断し、どの様に行動したか？」に対し「大半が自らの判断で自宅ならば安全と考え自宅に留まった（79.9%）」とし、ガイドブックを確認し2階にいれば大丈夫だと判断した。また、ガイドブックを事前に閲覧し、自宅で待機したと回答している。

これは「平屋にいる場合は浸水前に避難することは第一だが、建物の2階以上にいる場合、むやみに戸外に出ず、状況をみてとどまることの方が安全であり、この方針を事前に示せたことで、住民の冷静な判断に繋がったのではないか」と担当者は分析している。

津波や土砂災害の場合は、低層の住家に留まることはできないが、リスクを分散させ、どのような状況下でも可能な限り迅速に安全な場所に避難することを旨とする点は同じである。

豪雨災害に備える対策として、国や自治体による河川改修などのハード対策が基本となるが、個人として出来るソフト対策として「災害時には最新の情報に注意して、早めの行動を心がける」「自治体などが発行しているハザードマップを自身で活用する」など、地域の危険か所を事前に確認し、平時から取るべき行動をシミュレーションしてお

くことが重要である。

(4) 防災気象情報の今後の課題

今回の豪雨後に、各市町村の防災担当者への聞き取り調査から、担当者は避難勧告などの発令後は防災対応に追われ気象情報を見る余裕がない。「気象情報が有効に機能するには『避難勧告発令前に発表する気象情報の充実』が必要」として

- ・具体的に自市町村のどの地域が本当に危険なのか地区名を知りたい
- ・過去の雨量積算値（解析雨量積算値）と、目先数時間の先読みができる予測情報が知りたい
- ・避難判断のため、地域住民や自治体幹部を納得・説得させることができる情報が必要などの点を挙げている。

つまり、現在の防災気象情報の充実に加えて、ビジュアル的に危険度を示し、幹部に危機感を直感的に訴えられる図形式情報として、避難判断や職員配備体制をどのようにするかなどの、行動のトリガーとなるメッシュ情報が要望されている。

このため、短時間で作成が可能なツールの開発を行いつつ、市町村と意見交換を行いながら更なる情報改善のため、気象防災情報検討会などを通じて改善策を提案していきたい。

また、気象台職員が直接テレビやラジオに出演し、最新の気象情報を活用した気象状況の解説及び避難行動への注意点などを呼びかけることは、報道機関を通して住民の自主避難を促す効果が大きいと、引き続き報道機関との連携が重要になる。

今回の経験を活かして、県や市町村の防災担当者と意見交換を行いながら、より住民の避難行動に資する情報となるよう改善に努めていきたい。

2.1.4.2 福島地方気象台*

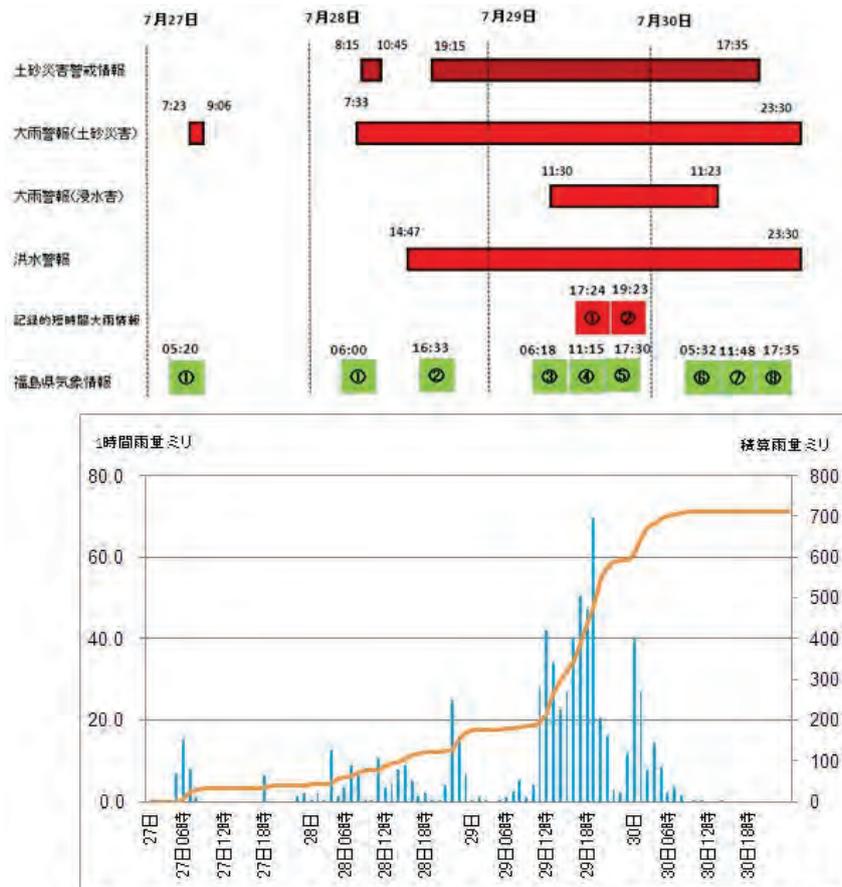
7月27日から30日にかけての防災気象情報発表状況（福島地方気象台発表）と只見町に設置しているアメダス只見の降雨状況を第2.1.4.1図に示す。只見町では、28日明け方の雨と今後の予想雨量から、土砂災害発生のおそれがあるため、28日07時33分に大雨警報（土砂災害）を発表した。加えて28日08時15分には土砂災害の危険が高まったとして土砂災害警戒情報を発表、10時45分に一旦解除し、19時15分に再び発表した。また、只見川等で流域雨量指数が上昇し、洪水害の発生するおそれがあるため28日14時47分に洪水警報を発表した。29日未明から朝にかけて雨は小康状態になったが、昼前から強まりだした雨が今後さらに強まり非常に激しい雨をもたらすとの予想から、11時30分に大雨警報（浸水害）

を発表した。

毎時間の降雨状況では、29日夕方を中心に雨が強まり、19時には只見で観測開始（1976年）以来第1位の日最大1時間降水量69.5ミリを観測した。また、17時に只見町付近で解析雨量が約100ミリ、19時にも只見町付近で解析雨量が約110ミリの猛烈な雨となったことから記録的短時間大雨情報をそれぞれ発表した。この雨は30日未明まで激しく降り続いた。

(1) 市町村からの聞き取り

今回の豪雨について避難勧告等を行った会津地方の市町村から、気象台が発表した防災気象情報の利活用状況や要望等について聞き取り調査を実施した。



第2.1.4.1図 (上図) 防災気象情報の発表状況（只見町） (下図) アメダス只見の雨量

* 福島地方気象台 園部 渉, 岩佐 洋司

(7) 防災気象情報等の利用状況

降水量等の実況監視には、気象庁ホームページにあるアメダス実況値を参考としている市町村が多く、降水予測として「降水ナウキャスト」、[降水短時間予報]を利用して、福島県気象情報については大まかな気象状況を把握するには利用しているが、予想雨量などが県内の多い所の予想となっており、具体的な防災対応の参考にするには不十分との意見があった。

また、繁忙時にはさまざまな情報が大量にFAXで入ってくるため、必要な情報を探し出すことができない(難しい)との声も聞かれた。

(イ) 市町村が避難勧告等を行うために利用している判断資料

ほとんどの市町村の初動対応では、気象台が発表する気象警報をトリガーとしている。しかし、避難勧告等の判断に用いている資料は、市町村内の消防団等による巡回や住民からの通報等の実況資料となっている。また、河川情報の水位やダム放流状況については、実況だけでなく予測と直接関わるとして随時監視し対応している。

気象台の発表している防災気象情報については、これまで気象警報が発表されても避難勧告につながるような被害がほとんどなかったことから、気象警報が発表されると自治体側では「まだ大丈夫」、土砂災害警戒情報が発表になると「そろそろ危険か」といった認識があり、気象台と自治体側での防災気象情報の受け止め方に大きなギャップがある。その一方で、記録的短時間大雨情報については「外れてもいいから予測で発表できないか」との要望もあり、各防災対応のステージに対応するような防災気象情報の「レベル化」を希望する声もあった。

(ウ) 市町村の防災担当者からの意見

聞き取りの中で「川の上流部の雨量が知りたい」「細かな積算雨量が知りたい」など自治体の要望している防災情報の中には、防災情報提供システムで提供しているコンテンツ(レーダーアメダス解析雨量の24時間積算値や流域雨量指数など)で十分知ることのできる情報もあることがわかっ

た。

また、市町村合併等で面積の広がった自治体からは、警報・注意報の市町村分割発表を望む声もあったが、仮に分割発表しても防災体制に変わりはないといった回答もあり、分割発表に防災体制が対応可能かどうかなど自治体の防災体制も考慮しながらの対応が必要である。

(2) 福島地方気象台での今後の取り組み

(7) 府県気象情報の改善

今回の豪雨では大雨等に関する府県気象情報を第9号まで発表したが、1日2ないし3回(朝、昼前、夕方)の定時的な情報のみの提供であった。また、情報の表現も定性的な表現が多かったことから、住民や防災担当者に災害が発生するおそれや危機感がうまく伝わっていなかった。今後は、随時の情報により気象状況の大きな変化を伝えるなど、発表タイミングの工夫や、危機感を伝えるための表現の工夫など、住民や防災担当者に気象台が持っている危機感をよりの確に伝えられる適時・適切な情報を提供できるように改善を行う。

(イ) ホットラインの活用

ホットラインでは、降雨の実況と予測から、極めて重大な災害が迫っている状況を気象台から自治体に直接伝え、自治体首長が行う避難勧告等の判断を即時的に支援することができる。今回の事例では、7月29日17時頃、福島地方気象台からホットラインによる電話連絡を3市町の防災担当者に行った。これを受け防災無線で雨の見込みを町民に周知し、自主避難のための情報として有効に活用した一部の自治体があったが、避難勧告の判断を後押しする情報として活用した自治体は残念ならなかった。本事例でのホットラインは、いずれも防災担当者(通常時の窓口)に対して行っており、避難勧告の発令等に直接携わっている担当責任者に気象台の危機感がどれくらい伝わったかは解らないところである。また、災害の多発した自治体からは、もっと早く、29日昼前までに連絡してもらえれば参考になったとの意見があった。これらの意見等を踏まえ、今後は避難勧告に直接携わっている担当責任者とのホットライン

を確立するとともに、降水予測の確度を考慮してホットラインを実施する基準を定め、適時・的確なタイミングでホットラインを実施することに取り組んでいく。

(ウ) 避難判断マニュアルへの支援

河川の洪水に対しては、防災担当者は水位実況等、目に見えるデータを判断材料に避難勧告等の判断を行っているが、土砂災害に対しては目に見える判断材料がないため、避難判断に苦慮している市町村が多い。土砂災害の避難勧告の判断材料として土砂災害警戒情報を活用してもらうために、土砂災害警戒情報の発表基準がどのように設定されているかなど、土砂災害警戒情報の位置付けをより理解してもらい、市町村が整備する避難

判断マニュアルの作成等を支援するとともに、地域防災計画の見直しに反映するよう働きかける。

(I) 市町村担当者へのフォローアップ

気象台では、これまでも気象庁が発表する土壌雨量指数や流域雨量指数のメッシュ情報の利活用について、防災担当者に機会あるごとに説明を行ってきているが、まだ十分に活用されているとは言えない。避難勧告等の判断に有効な土壌雨量指数・流域雨量指数やメッシュ情報も含めた防災気象情報について、これまで以上に防災担当者に理解を深めてもらうとともに、その利活用を推進し防災対応について連携しながら行えるようにフォローアップを行う。

2.2 台風第12号による紀伊半島における大雨の解析と災害の状況

2.2.1 台風第12号に伴う気象状況*

2.2.1.1 台風の概要

第2.2.1.1図に台風第12号の経路図を示す。8月24日03時にマリアナ諸島の西海上で発生した熱帯低気圧は北西に進み、25日09時に大型の台風第12号となった。台風は発達しながらゆっくりとした速さで北上し、29日21時には、硫黄島の西海上で中心気圧は970hPa、最大風速は25m/sとなった。

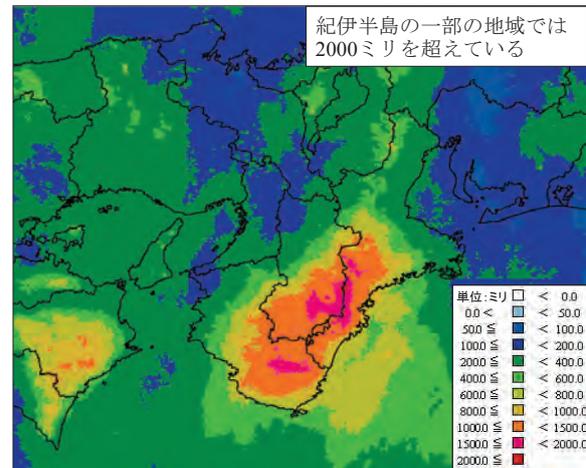
大型の台風第12号は、その後もゆっくりとした速度で北上を続け、30日に小笠原諸島付近で進路を北西に変えたが、9月2日には北北西に進み、3日10時頃に高知県東部に上陸した。台風は上陸後も勢力を維持したまま、ゆっくりと四国地方を北上し、3日18時過ぎに岡山県南部に再上陸して、中国地方を縦断した。4日朝には日本海に進み、5日15時に日本海中部で温帯低気圧となった。

台風第12号は動きが遅く、長時間にわたり台風や台風周辺の非常に湿潤な空気が流れ込んだため、8月30日から9月5日にかけて日本の広い範囲で雨が長時間継続し、西日本から北日本の山沿いを中心に大雨となった。第2.2.1.2図は、特に降水量が多かった紀伊半島を中心とする8月30日18時から9月5日24時までの解析雨量の積算値である。紀伊半島の総降水量は南東部を中心に広い範囲で1,000ミリを超え、一部の地域では2,000ミリを超える記録的な大雨となった。

この大雨により土砂災害、浸水害、河川のはん濫などが発生し、奈良県、和歌山県、三重県をはじめ全国で死者は82人、行方不明者は16人となり、北海道から四国にかけての広い範囲で床上・床下浸水などの住家被害、田畑の冠水などの農林水産業への被害、鉄軌道の損壊や鉄道の運休などの交通障害が発生した。特に降水量が多くなった奈良県、和歌山県では土砂崩れにより大規模な河道閉塞（天然ダム）が発生した（被害状況は平成24年9月28日15時現在の消防庁の情報による）。



第2.2.1.1図 台風第12号の経路図
■は09時、▲は21時の位置を表す。



第2.2.1.2図 解析雨量による総降水量分布
降り始めの2011年8月30日18時から9月5日24時までの積算値。この分布の値は雨量計で観測された値ではなく、レーダーの資料などから解析した数値で、実際の雨量と異なる場合がある。

* 大阪管区気象台 水田 至 (現 松山地方気象台), 畝田 栄作, 佐伯 亮介, 酒井 亮太

2.2.1.2 総観場の状況

台風第12号は、動きが遅く、台風中心付近の活発な対流雲だけでなく、台風周辺の湿潤な空気により長時間にわたって降水をもたらしたことが特徴である。そこで本節では対流圏中下層の風や湿潤な空気の状態を中心に、総観スケールで解析を行った。これらの解析には、地上天気図、気象衛星画像、レーダー画像の他、より立体的な構造を把握するため、メソ解析資料（メソモデル（MSM）の初期値解析データ）を利用した。特に紀伊半島で降水が強まった9月1日から9月4日にかけての局地的な解析については、第2.2.2節で述べる。

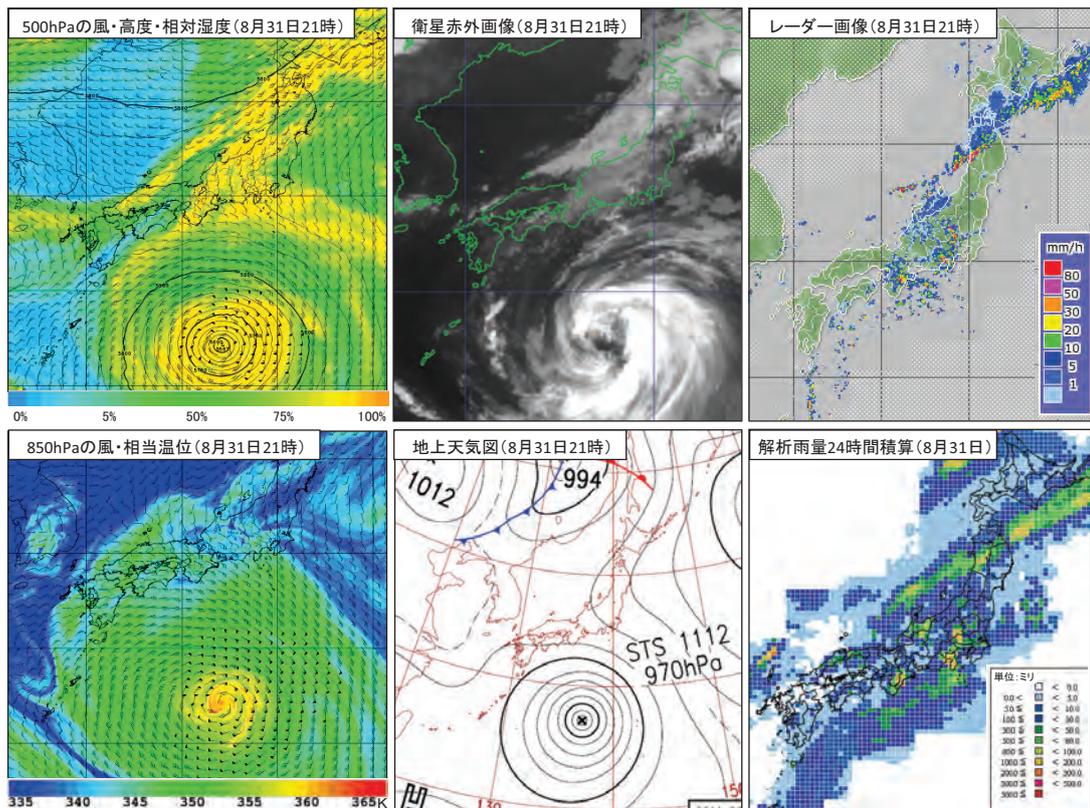
(1) 台風接近前

台風第12号は、8月30日から9月1日にかけて南海上をゆっくりと北西に進んだ。第2.2.1.3～4図に、台風が南海上を北上する8月31日21時と9月1日21時における地上天気図、衛星赤

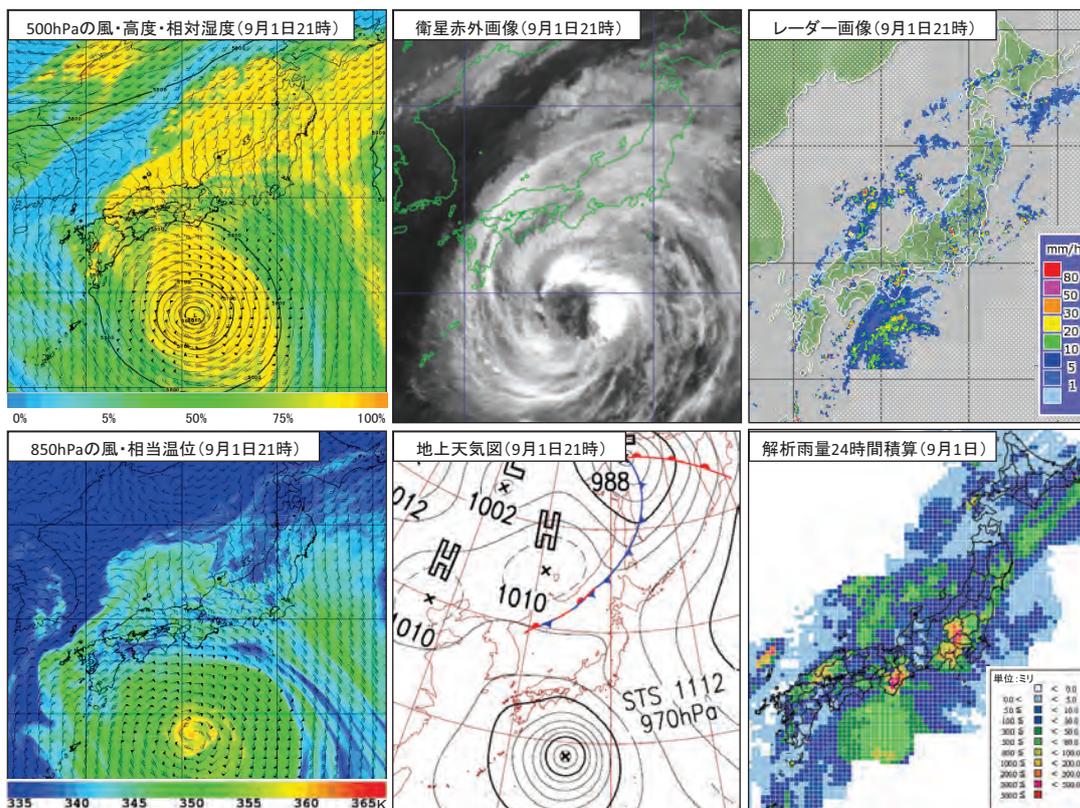
外画像、レーダー画像、解析雨量24時間積算図、メソ解析による500hPaの風・高度・相対湿度及び850hPaの風・相当温位を示す。

8月31日21時の850hPaの風の分布をみると、東日本から西日本の太平洋沿岸部では、風速30kt前後の東寄りの風が吹き、相当温位350K前後の湿潤な空気が流入していた。本州は台風から離れていたものの、台風を取り巻く湿潤な空気が流れ込んで東日本の太平洋沿岸部を中心に雨が降り、31日午後は湿潤な空気が北側に広がってレーダー画像に示すとおり東北地方や関東地方、近畿地方などで局地的に大雨となった。

9月1日21時の850hPaでは、西日本の太平洋沿岸部で50kt前後の東風となり、相当温位350K前後の湿潤な空気が東日本から西日本の広い範囲に流入した。衛星画像からは台風を取り巻く雲域が本州にかかり始めたことが確認できる。このように湿潤な空気と強い風の影響で九州北部地方から東北地方の広い範囲で雨となり、局地的に1時



第2.2.1.3図 2011年8月31日21時の500hPaメソ解析（左上）、衛星赤外画像（中上）、レーダー画像（右上）850hPaメソ解析（左下）、地上天気図（中下）、解析雨量24時間積算（右下）



第 2.2.1.4 図 2011 年 9 月 1 日 21 時の 500hPa メソ解析 (左上), 衛星赤外画像 (中上), レーダー画像 (右上) 850hPa メソ解析 (左下), 地上天気図 (中下), 解析雨量 24 時間積算 (右下)

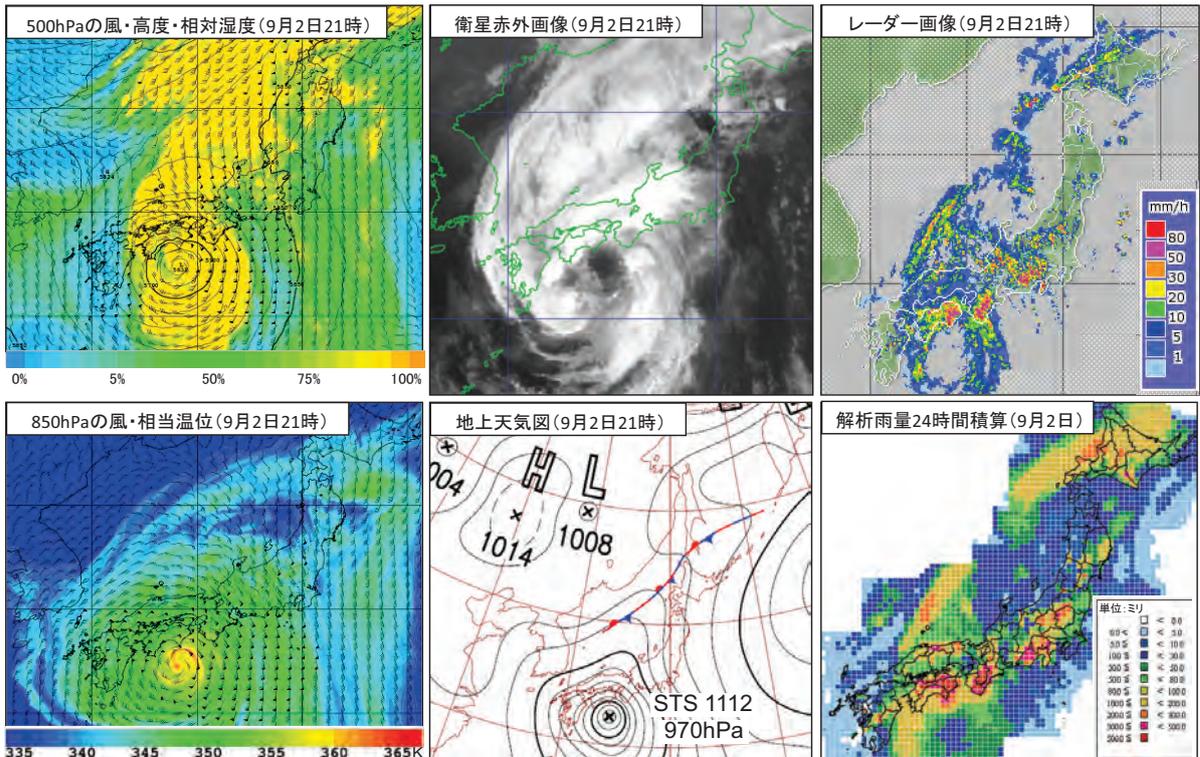
間に 50 ミリを超える非常に激しい雨が降った。近畿地方や関東甲信地方の一部では 9 月 1 日の日降水量が 200 ミリに達し、局地的に 300 ミリを超える大雨となった。

(2) 台風通過時

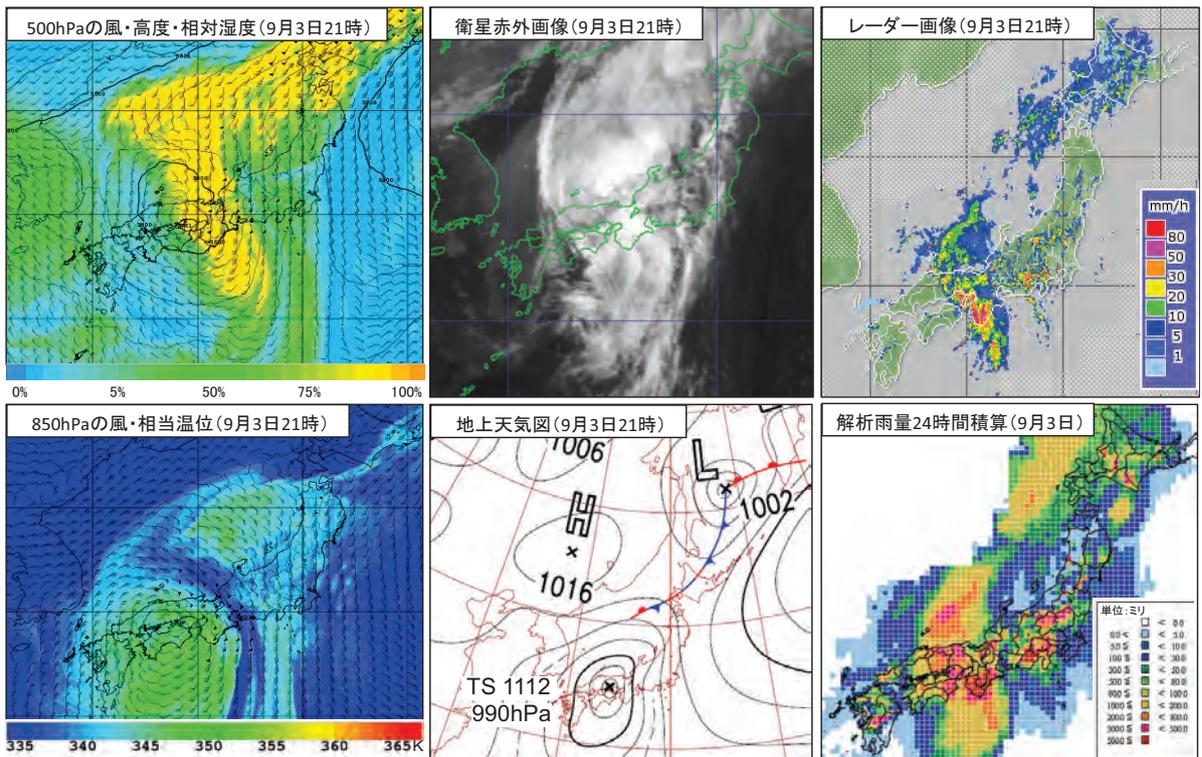
9 月 2 日から 3 日にかけて、台風は勢力を保ったまま四国沖を北上し、3 日夜から 4 日明け方にかけて四国地方から中国地方をゆっくりとした速さで北に進んだ。第 2.2.1.5 ~ 6 図に、台風が四国沖を北上する 9 月 2 日 21 時及び中国地方を北上する 3 日 21 時における地上天気図、衛星赤外画像、レーダー画像、解析雨量 24 時間積算図、メソ解析による 500hPa の風・高度・相対湿度及び 850hPa の風・相当温位を示す。

2 日 21 時、500hPa では台風東側の風速 50kt 以上の強風域は日本の南海上から近畿地方や東海地方に広がり、日本海まで強風域が分布している。台風上陸後は、500hPa では台風周辺の高度場が

急速に上昇し、台風東側の風速 50kt 以上の強風域は縮小した (第 2.2.1.6 図)。また、台風の中心から南南東方向には西北西風と南風の風向シアーが形成され、台風周辺の高度場は円形から次第に北北西 - 南南東を長軸とする楕円形に変形した。300hPa メソ解析では、3 日 10 時頃四国東部に上陸後、急速に低気圧性循環が崩れて風速は弱まり始め、3 日夜には暖気核も不明瞭となっている (図略)。850hPa では、台風の北上と共に、関東甲信地方から近畿地方では南東風から南風に変化した。9 月 2 日 21 時には四国地方から東海地方にかけての風速が 50 kt を超え、相当温位 350K 前後の湿潤な空気が東日本から西日本の広い範囲に流入したため、局地的に 1 時間に 50 ミリを超える非常に激しい雨が降った。特に台風中心付近の発達した対流雲がかかった四国地方から東海地方では、日降水量が 500 ミリを超える大雨となり、3 日夜には紀伊半島の一部で 30 日夜の降り始めからの積算降水量が 1,500 ミリを超えた。



第 2.2.1.5 図 2011 年 9 月 2 日 21 時の 500hPa メソ解析 (左上), 衛星赤外画像 (中上), レーダー画像 (右上) 850hPa メソ解析 (左下), 地上天気図 (中下), 解析雨量 24 時間積算 (右下)

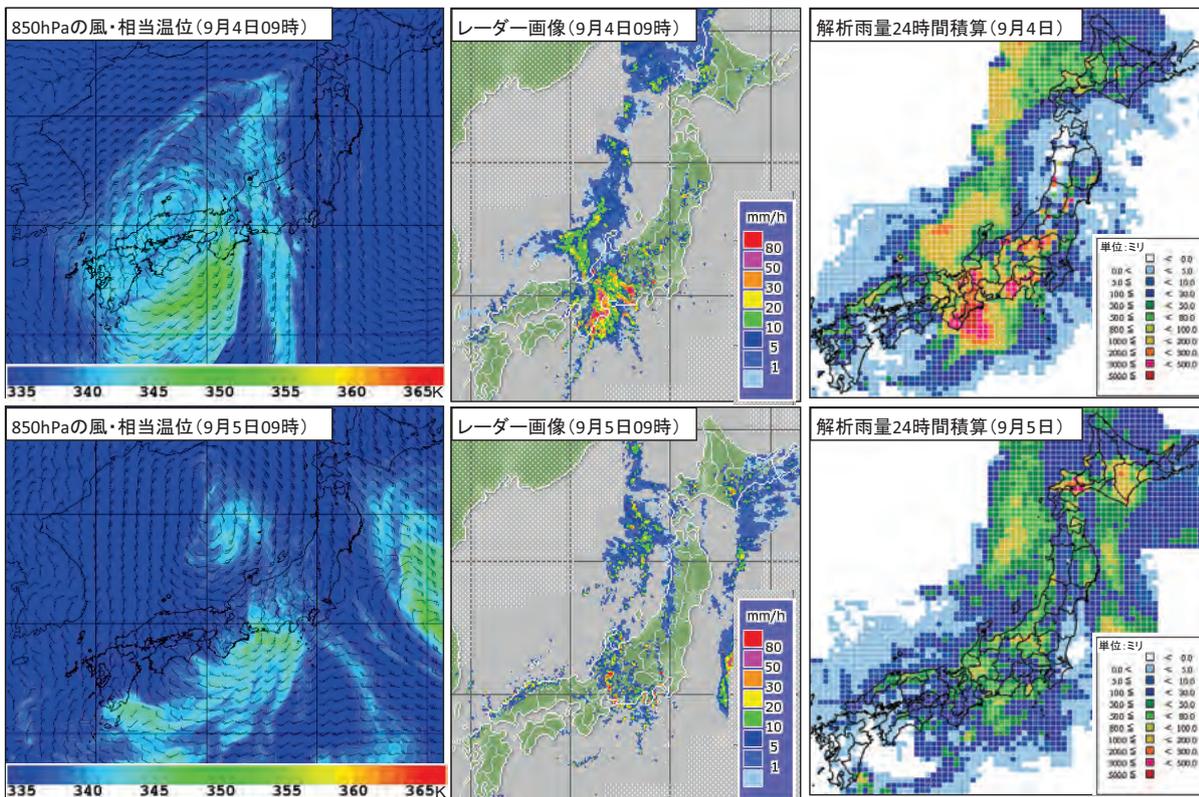


第 2.2.1.6 図 2011 年 9 月 3 日 21 時の 500hPa メソ解析 (左上), 衛星赤外画像 (中上), レーダー画像 (右上) 850hPa メソ解析 (左下), 地上天気図 (中下), 解析雨量 24 時間積算 (右下)

(3) 台風通過後

台風は4日朝には日本海に進み、5日15時に日本海中部で温帯低気圧となった。第2.2.1.7図に台風が日本海へ進んだ9月4日09時及び5日09時におけるレーダー画像、解析雨量24時間積算図、メソ解析による850hPaの風・相当温位を示す。台風周辺の風は弱まったが、低気圧性の循環は維持しており、紀伊半島を中心に南海上からの湿潤な空気の流入が持続した。このため、近畿地方から東海地方にかけて発達した対流雲がかか

り、三重県（宮川）では4日の日降水量が600ミリを超えるなど、紀伊半島を中心に日降水量が300ミリを超える大雨となった。また、和歌山県（新宮市）では、1時間に130ミリを超える記録的な強雨となったほか、和歌山県や三重県の一部では1時間に80ミリを超える猛烈な雨が降った。4日夜には風は弱まったが、5日にかけても湿潤な空気の流入は続き、東日本から北日本にかけて局地的に対流雲が発達し、激しい雨が降った。



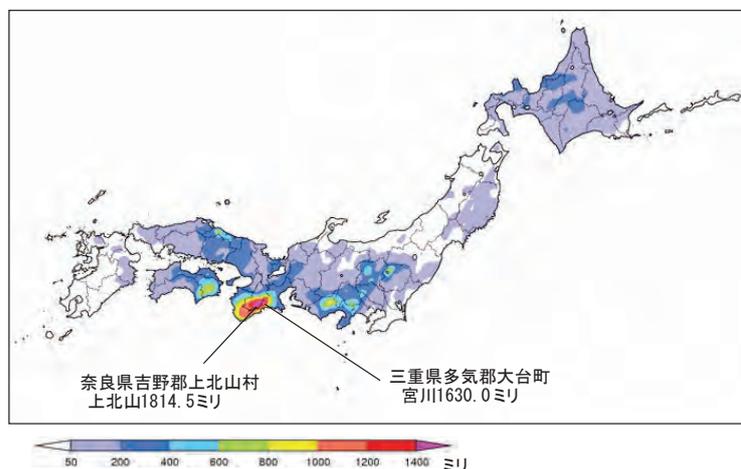
第2.2.1.7図 2011年9月4日09時（上）と5日09時（下）の850hPaメソ解析（左）、レーダー画像（中）、解析雨量24時間積算（右）

2.2.1.3 大雨の状況

第2.2.1.8図は、アメダスによる8月30日17時から9月4日24時までの期間降水量分布図である。台風第12号は大型で動きが遅かったため、長時間にわたって台風周辺の非常に湿潤な空気が流れ込み、西日本から北日本にかけての山沿いを中心に広い範囲で記録的な大雨となった。

上北山(かみきたま：奈良県吉野郡上北山村)の総降水量が1,814.5ミリを記録し、平年の年間降水量の6割に達した他、宮川(みやがわ：三重県多気郡大台町)でも1,630.0ミリを記録し、平年の年間降水量の5割に達した。最大72時間降水量では、上北山で1,652.5ミリ、宮川で1,519.0ミリを

観測し、1976年の統計開始以来の国内最大値である1,322.0ミリ(神門(かみかど：宮崎県東臼杵郡美郷町))を大幅に上回った(第2.2.1.1表)。最大1時間降水量では、新宮で4日03時57分までの1時間に132.5ミリの猛烈な雨を観測し、04時までの3時間に264.5ミリの記録的な雨となった。これらは1976年の統計開始以来の新宮における観測記録を大幅に上回った。また、熊野新鹿(くまのしんろく：三重県熊野市)でも4日05時02分までの1時間に101.5ミリの猛烈な雨を観測し、2001年の統計開始以来の熊野新鹿における観測記録を上回った。



第2.2.1.8図 アメダスによる期間降水量分布図(8月30日17時から9月4日24時)

第2.2.1.1表 アメダスの最大72時間降水量の順位
黄色の陰影は台風第12号による観測値を示す。

順位	地点名	府県名	所在地	72時間降水量(ミリ)	統計開始年	
1	上北山(かみきたま)	奈良県	吉野郡上北山村	1652.5	2011年9月4日	1976年4月
2	宮川(みやがわ)	三重県	多気郡大台町	1519.0	2011年9月4日	1978年6月
3	神門(かみかど)	宮崎県	東臼杵郡美郷町	1322.0	2005年9月6日	1979年2月
4	えびの(エビノ)	宮崎県	えびの市	1306.0	2005年9月7日	1976年1月
5	風屋(かぜや)	奈良県	吉野郡十津川村	1303.0	2011年9月4日	1977年12月
6	内海(うちみ)	香川県	小豆郡小豆島町	1231.0	1976年9月12日	1976年1月
7	魚梁瀬(イナセ)	高知県	安芸郡馬路村	1199.0	2011年7月20日	1978年10月
8	紫尾山(シビサン)	鹿児島県	薩摩郡さつま町	1113.0	2006年7月23日	1976年6月
9	天城山(アマギサン)	静岡県	伊豆市	1099.0	1983年8月18日	1976年4月
10	箱根(ハコネ)	神奈川県	足柄下郡箱根町	1092.0	1983年8月18日	1976年1月

2.2.2 局地的な大雨の解析*

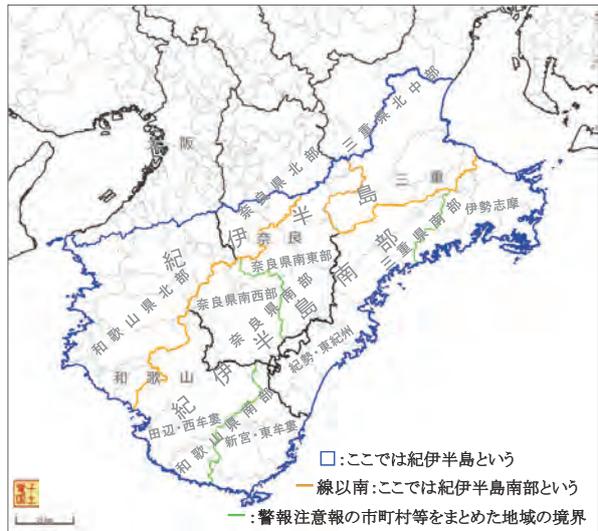
紀伊半島における大雨の推移，下層暖湿気の流れの特徴，エコーの動向，地形的な要因について，台風の構造の特徴や時間的な変化と紀伊半島における大雨の推移との関連性をまとめた。また，最後に大雨のメカニズムについて考察を行った。

2.2.2.1 紀伊半島における大雨の推移

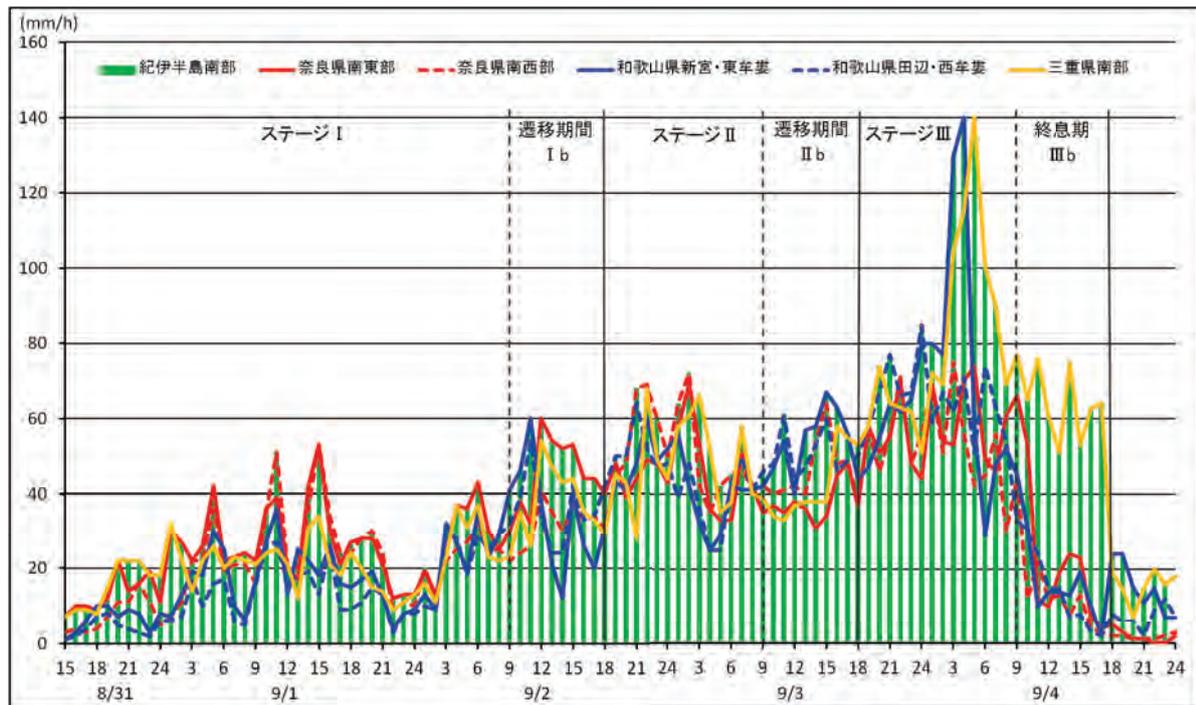
紀伊半島で強い雨を解析した期間すべてを含む8月31日15時から9月4日24時までの1kmメッシュ1時間解析雨量について，紀伊半島南部(ここでは，第2.2.2.1図に示す和歌山県南部，奈良県南部，三重県南部とする)，奈良県南東部，奈良県南西部，和歌山県新宮・東牟婁，和歌山県田辺・西牟婁，三重県南部の最大値を第2.2.2.2図に示す。

1日夕方から2日朝までは奈良県南東部の最大値が紀伊半島南部の1時間解析雨量の最大値と一致し，雨量はおおむね1時間に40ミリ以下とな

っている(この期間をステージIとする)。2日昼前から夕方にかけては，主に紀伊半島南東部の1時間解析雨量の最大値が多くなり，40～60ミリとなっている(この期間を遷移期間I bとする)。



第2.2.2.1図 紀伊半島・紀伊半島南部・細分地域の区域図



第2.2.2.2図 8月31日15時から9月4日24時までの1時間ごとの1kmメッシュ1時間解析雨量の最大値棒は紀伊半島南部全体の最大値，実線と破線は地域ごとの最大値を示す。

* 奈良地方気象台 北野 昌寛, 笠谷 博幸 (現関西航空地方気象台), 藪内 保昭, 大田 泰 (現彦根地方気象台)
和歌山地方気象台 川端 徳人, 峰本 和也, 加藤 伸一 (現奈良地方気象台)
大阪管区気象台 神内 弘, 畝田 栄作, 佐伯 亮介, 酒井 亮太

2日夜のはじめ頃から3日朝にかけては、紀伊半島南部全域の1時間解析雨量の最大値が40ミリ以上となり、60ミリを超過する時間帯が出現している。また、紀伊半島南部の比較的広い範囲で、非常に激しい雨となっている（この期間をステージⅡとする）。

3日昼前から夕方にかけては、和歌山県南部と奈良県南西部の1時間解析雨量の最大値が60ミリを超え始め、三重県南部と奈良県南東部（紀伊半島東斜面）の1時間解析雨量の最大値と相対的に逆転している（この期間を遷移期間Ⅱbとする）。

3日夜のはじめ頃からは1時間解析雨量の最大値の60ミリ以上が紀伊半島南部全域に拡大し、4日未明から朝にかけては、紀伊半島全体の中の1時間解析雨量の最大値がおおよそ80ミリに達し、4日明け方には和歌山県南部と三重県南部で120ミリ以上の猛烈な雨となった（この期間をステージⅢとする）。

4日昼前には1時間解析雨量の最大値の60ミリ以上の領域が三重県南部に移動し、4日夜には紀伊半島南部全域が抜けた（この期間を終息期Ⅲbとする）。

2.2.2.2 下層暖湿気流入の状況

各ステージ及び遷移期間における850hPa、925hPa、高度500mの相当温位（以下、EPTという）及び高度500mの水蒸気フラックス量（以下、FLWVという）のメソ解析を第2.2.2.3～4図に示す。

加藤（2011）は、高度500mでのEPTとFLWVの大雨発生の必要条件として、EPTは暖候期では355K以上、FLWVは季節によらず250g/m²sが目安になると述べている。高度500mのEPT及びFLWVを基に各ステージごとの特徴を見ていく。

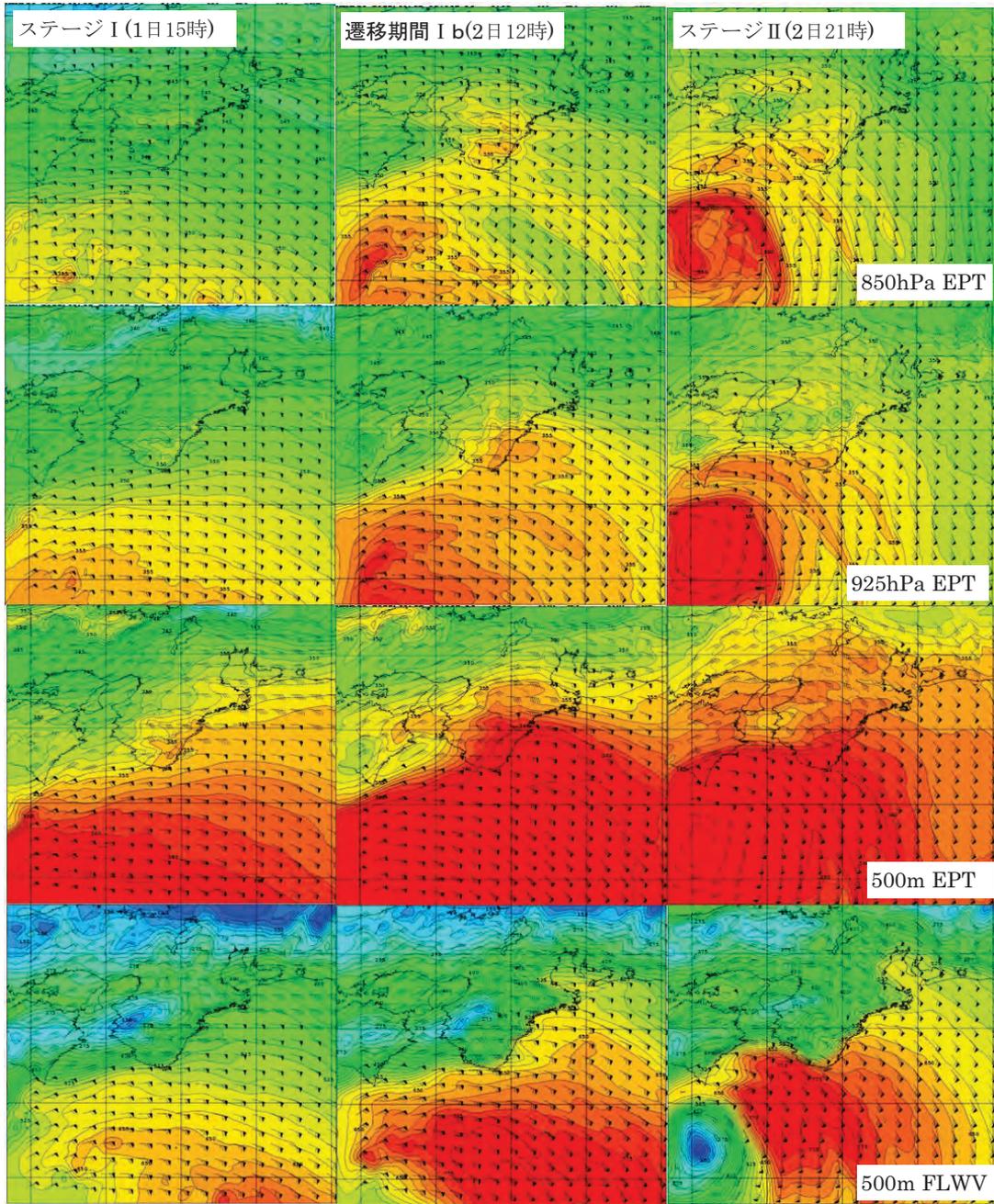
ステージⅠは、高度500mでは台風の北上に伴って台風周辺の355K以上の高EPTの暖湿気が東風によって紀伊半島へ流入している。925hPaでは、紀伊半島の東側斜面で周囲より高いEPTが解析されており、海上から紀伊半島に向かって流入した暖湿気が地形により強制上昇し、対流混合が発生している様子が伺えるが、850hPa面では

EPTが周囲に比べて特段高くはなく、この地域で対流活動を活発化させるような環境場にはなっていない。つまり、ステージⅠでは、高度500mには355K以上の高EPTの暖湿気の流入はあったが、紀伊半島の広い範囲で大気の成層状態を著しく不安定化させるまでには至らなかったものと考えられる。このため下層暖湿気は紀伊半島の東側斜面を中心に、局地的に対流性のエコーを発達させて、1時間解析雨量の最大値は、おおよそ40ミリまでとなったものと思われる。また、50ktの強い東風であったため地形の影響から奈良県南東部がもっとも多い雨量となった。

遷移期間Ⅰbでは、高度500mで360K以上の非常に高いEPTと600g/m²s以上のFLWVの暖湿気塊が東風とともに紀伊半島東岸へ到達している。また、850hPa面でも紀伊半島の東側を主体に355K以上の高EPT域が解析されるようになった。高度500mで、ステージⅠより高いEPTの暖湿気が紀伊半島の東側に流入しているため、ステージⅠより広い範囲で繰り返し対流性のエコーが発達するようになり、1時間解析雨量の最大値が40～60ミリと増加した。

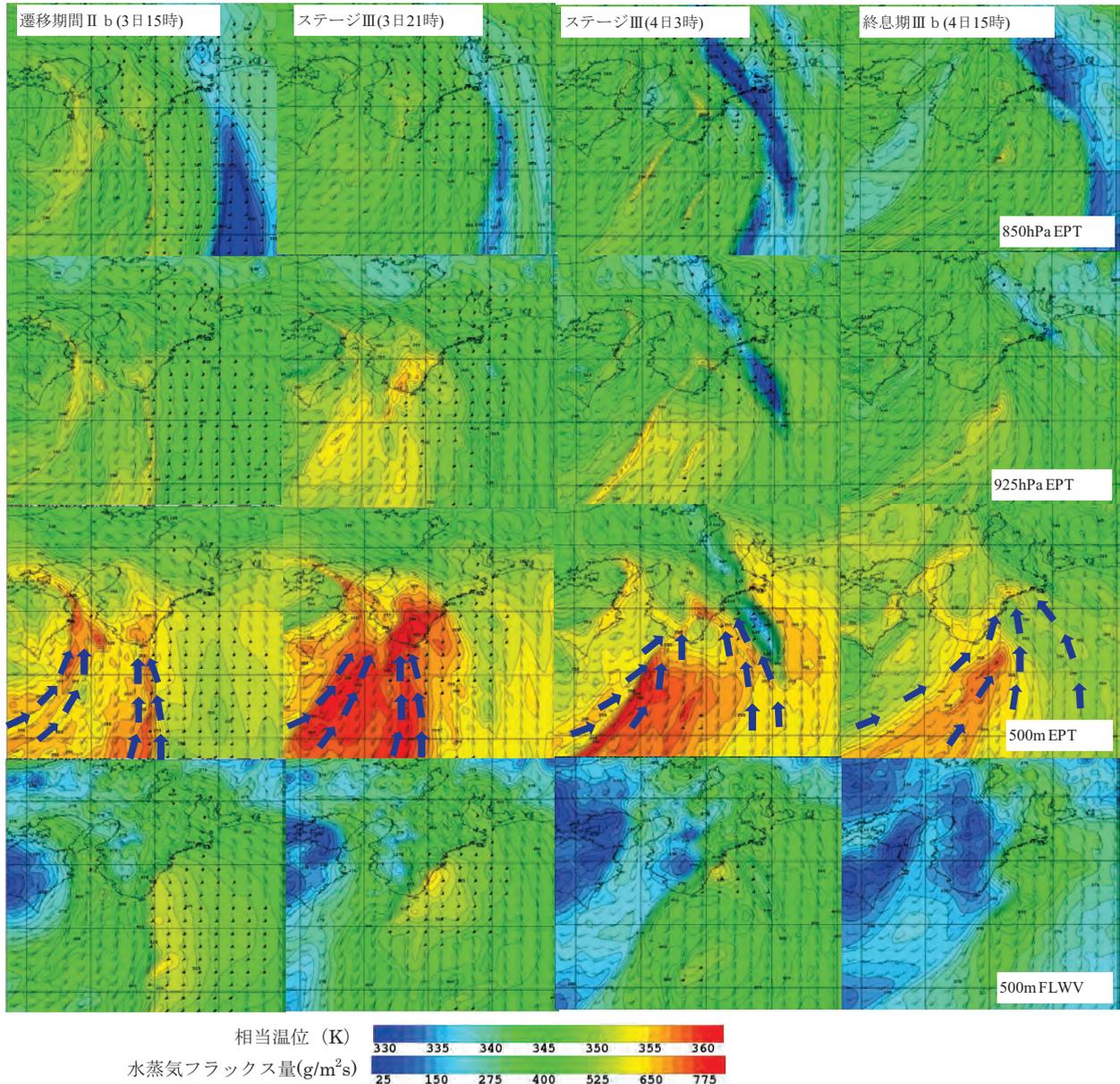
ステージⅡでは、台風の北上によって風向が南東へと変化し、高度500mではEPTが360K以上でFLWVが600g/m²s以上の暖湿気の流入が紀伊半島の東側斜面から南側斜面に変化した。また、850hPaで353K以上の高いEPTや925hPaで355K以上の高いEPTが南東の海上から帯状に延びて紀伊半島に到達していることからわかるように、台風を取り巻くスパイラルバンドが紀伊半島を指向する状況となっている。スパイラルバンドによって発達した対流性のエコーが海上から陸上へと次々に流れ込む状況となったため、1時間解析雨量の最大値が60ミリを超える状況が出現するようになった。

遷移期間Ⅱbでは、台風が四国を北上しており、ステージⅡと同様に暖湿気が流入すると共に、紀伊半島の南海上からのびる南東風と南風の収束線が明瞭化し、紀伊半島に達している。また、四国の南海上から紀伊水道へとのびる南西風と南風の収束線が顕在化している。3日15時の高度500mで、日向灘から四国の南を通過して紀伊水道に流



相当温位 (K)
水蒸気フラックス量(g/m²s)

第2.2.2.3図 ステージI, 遷移期間I b, ステージIIにおける下層暖湿気の流入の状況
上3段は, 850・925hPa, 500mの相当温位と風, 最下段は500mの水蒸気フラックス量と風.



第2.2.2.4 図 遷移期間 II b, ステージ III (初期), ステージ III (雨の最盛期), 終息期 III b における下層暖湿気の流入の状況

上3段は、850・925hPa, 500mの相当温位と風, 最下段は500mの水蒸気フラックス量と風, 矢印は風向を示す。

れ込む355K以上の高EPT域と、南海上から紀伊半島南部に向かって355K以上の高EPT域が舌状に北上している。ステージIIと同様にスパイラルバンドが紀伊半島を指向する状態となっているため、1時間解析雨量の最大値が60ミリを超える状況が続いている。

ステージIIIでは、ステージI・IIに比べて全体的に下層暖湿気の程度が弱まっている。その一方で、高度500mでは、室戸岬沖から紀伊半島への

びる南風と南西風の収束線が非常に明瞭に解析される。また、紀伊半島の南東沖から紀伊半島へとこのびる南東風と南風の収束線も明瞭となっており、これら2本の収束線が紀伊半島で合流していることがわかる。3日21時頃には、遷移期間II bで明瞭化した2つの収束線に対応する高EPT域が合流し、358K以上のEPTの領域は四国の南から潮岬の南にかけた広範囲な領域に広がっている。4日未明には2つの高EPT域が合流しながら

潮岬周辺に流入している。また、紀伊半島の遙か南海上から熊野灘を指向する形で北上するやや東回りの高EPT域が加わっている。

一方、3日21時の850hPaでは、西日本の北西風の領域でEPTの低下が見られ、乾燥気塊が九州から四国の南海上を通過して進入していることがエマグラムからも確認できる(図省略)。また、第2.2.2.3～4図に重ねた925hPa面の風向風速で熊野灘付近に解析される南風の強風域は4日6時過ぎまで存在しており、東端の収束線も長時間同じ場所にとどまった。

以上により、1日から4日にかけての長い期間、暖候期の大雨発生の必要条件とされる、EPTは355K以上、FLWVは250g/m²s以上の条件を満たす暖湿気が紀伊半島の下層に流入していたことがわかる。

第2.2.2.1表に潮岬の高層観測の時系列表を示す。これによると、1日21時までの観測では、EPTが350K以上の暖湿気の層厚は地上から925hPaまでの地上付近にある(海上から西進し

てきた散在するやや強いエコーがかかっていた1日9時を除く)。2日9時の観測では800hPaより下層でEPTが350K以上と湿り、EPTが350K以上の領域は層厚を増している。2日21時と3日9時の観測は欠測となっているが、台風のインナーバンドがかかる3日21時には全層(地上から250hPa)がEPT350K以上の暖湿気に満たされている。また、台風が上陸後は地上気圧場の同心円状の対称性が崩れ上層の低気圧性循環が衰弱したことに伴う気温の低下や大陸からの乾燥気塊の侵入がみられる。

2.2.2.3 降水エコーの動向

第2.2.1.5～7図のレーダー画像を見ると、台風本体の雨雲は、2日21時の段階では中心から100km以遠で同心円状に降水エコーが分布している。その後、台風の西～南側のエコーが時間とともに消散し、下層の渦循環の中心が中国地方に達した3日21時には、台風の西～南側のエコーがほとんど観測されなくなっている。

第2.2.2.1表 潮岬の高層観測の時系列表

気圧	8月31日21時				9月1日9時				9月1日21時				9月2日9時			
	気温	湿度	持上凝結温度	相当温位	気温	湿度	持上凝結温度	相当温位	気温	湿度	持上凝結温度	相当温位	気温	湿度	持上凝結温度	相当温位
975	24.8	95	23.35	353.54												
925	23.3	90	20.83	352.21	22.4	100	22.06	353.91	23.0	92	20.98	352.19	22.9	98	22.14	355.08
900	21.6	90	19.20	349.40	21.4	96	20.28	351.68	21.4	92	19.44	349.46	21.5	100	21.18	354.20
850	18.7	93	17.05	347.70	18.8	100	18.54	351.35	18.3	91	16.24	345.26	19.0	99	18.54	351.71
800	16.5	75	10.92	340.32	16.6	96	15.61	349.63	15.8	59	5.97	331.65	16.5	100	16.29	350.97
750	14.6	63	6.02	337.73												
700	11.7	72	5.67	341.53	11.6	100	11.47	351.29	10.8	65	3.05	336.59	12.7	77	7.80	346.45
650	9.4	75	4.21	344.96	8.0	75	2.87	340.97								
600	5.9	66	-1.26	342.45	4.4	99	4.16	347.26	3.9	81	0.24	341.24	6.1	89	3.99	349.73
500	-2.2	77	-6.48	346.18	-2.9	99	-3.13	348.66	-3.2	95	-4.10	347.12	-1.5	78	-5.60	348.11
400	-11.4	12	-39.72	341.91	-12.1	90	-13.82	350.54	-11.6	90	-13.32	351.66	-10.3	93	-11.53	355.08
350	-17.7	17	-40.72	346.62	-19.3	70	-24.49	348.50	-17.4	88	-19.45	353.74	-15.8	89	-17.69	357.23
300	-27.9	31	-42.59	347.55	-27.5	76	-31.48	350.27	-24.9	83	-27.76	355.32	-23.2	92	-24.68	359.16
250	-37.8	29	-52.18	350.54	-37.0	64	-42.91	352.61	-34.3	78	-37.94	357.53	-32.5	62	-38.88	360.11

気圧	9月3日21時				9月4日9時				9月4日21時			
	気温	湿度	持上凝結温度	相当温位	気温	湿度	持上凝結温度	相当温位	気温	湿度	持上凝結温度	相当温位
975	25.0	97	23.96	355.57								
925	22.4	99	21.86	353.37	22.6	91	20.38	349.93	22.2	93	20.42	349.31
900	21.1	100	20.79	352.43	21.1	90	18.72	347.37	21.0	95	19.68	349.48
850	18.7	100	18.45	350.93	18.3	98	17.66	348.39	18.1	95	16.87	346.27
800	16.6	100	16.39	351.37	16.3	92	14.52	346.79	16.2	90	14.01	345.58
750												
700	11.7	100	11.57	351.65	10.7	99	10.40	347.72	10.5	92	8.87	344.70
650					7.8	97	7.17	347.02				
600	6.0	100	5.92	352.65	5.4	77	0.84	344.25	6.0	66	-1.17	342.71
500	-0.9	100	-0.96	354.50	-2.7	77	-6.97	344.98	-2.5	34	-19.01	337.03
400	-9.9	93	-11.13	356.04	-12.2	14	-38.54	340.82	-15.1	26	-33.46	338.05
350	-16.3	86	-18.68	355.85	-20.9	28	-37.59	342.67	-22.0	61	-28.93	343.08
300	-24.5	80	-27.84	355.89	-27.1	64	-33.25	350.40	-30.0	8	-58.43	343.43
250	-34.3	63	-40.45	357.08	-36.8	65	-42.54	352.97	-36.9	1	-80.70	351.23

紀伊半島におけるエコーの変化を見るために、ステージⅠからⅡbの期間に相当する1日3時から3日15時のレーダーエコー強度図を12時間ごとに第2.2.2.5図に示す。また、ステージⅢの期間に相当する3日18時から4日9時のレーダーエコー強度図を3時間ごとに第2.2.2.6図に示す。

ステージⅠでは、局地的に対流性のエコーが発達している。紀伊半島の東海上から流れ込む暖湿気の一部が、地形による強制上昇によって、自由対流高度まで達するような状況であることがわかる。1日20時から2日8時頃にかけては比較的広範囲のエコーが南南東方向から入り北西方向に抜けるが、主に紀伊半島の南東斜面の所々で対流性のエコーが発達し1時間に20ミリ～40ミリとなっている。遷移期間Ⅰbでは、ステージⅠより高いEPTの下層暖湿気が紀伊半島に流れ込み、より広い範囲で対流性のエコーが発生している。

ステージⅡでは、台風のスパイラルバンドが紀伊半島を指向し、遷移期間Ⅱbでは、スパイラルバンドが紀伊半島にかかっている様子がわかる。

次に、猛烈な雨が降ったステージⅢのエコーの状況と変化を見る。台風が岡山県南部に再上陸した3日18時頃、台風を取り巻く雨雲は東側に集まり（第2.2.2.6図の降水域Z）、四国の南海上の降水エコーは15時に比べ消散している。降水エコーは台風の南東側で発生し、台風中心を回るように紀伊半島の南海上から流れ込み、沿岸部でその反射強度を強めて内陸部へ移動している。21時には、四国南海上のエコーが消散していたエリアに再び対流性のエコーが発生しはじめた。消散前には組織化した対流性のエコーは見られなかったが、南風と南西風の収束の明瞭化に伴い数本の線状降水系が形成されている。3日21時から4日3時には、3本の線状の対流性のエコー列（第2.2.2.6図のA、B、C）が形成され、3日21時と4日0時では、最も西に観測されている線状降水系Aが明瞭となり、4日3時では西から2本目の線状降水系Bが明瞭となっている。また、それぞれの線状降水系A、B、Cは中層風の風上で対流性のエコーが繰り返し発生し、風下に流されるにつれて発達していた。それらが降水域Zに交わったところでは、4日7時頃にかけて1時間解

析雨量の最大値が80ミリ以上の猛烈な雨が観測されている。

特に、新宮市と熊野市付近で1時間解析雨量の最大値が100ミリ以上の猛烈な雨となった4日2時から4日6時にかけての降水エコーの特徴を調べる。第2.2.2.7図に4日0時から4時にかけての合成レーダーエコー強度図を30分ごとに示す。

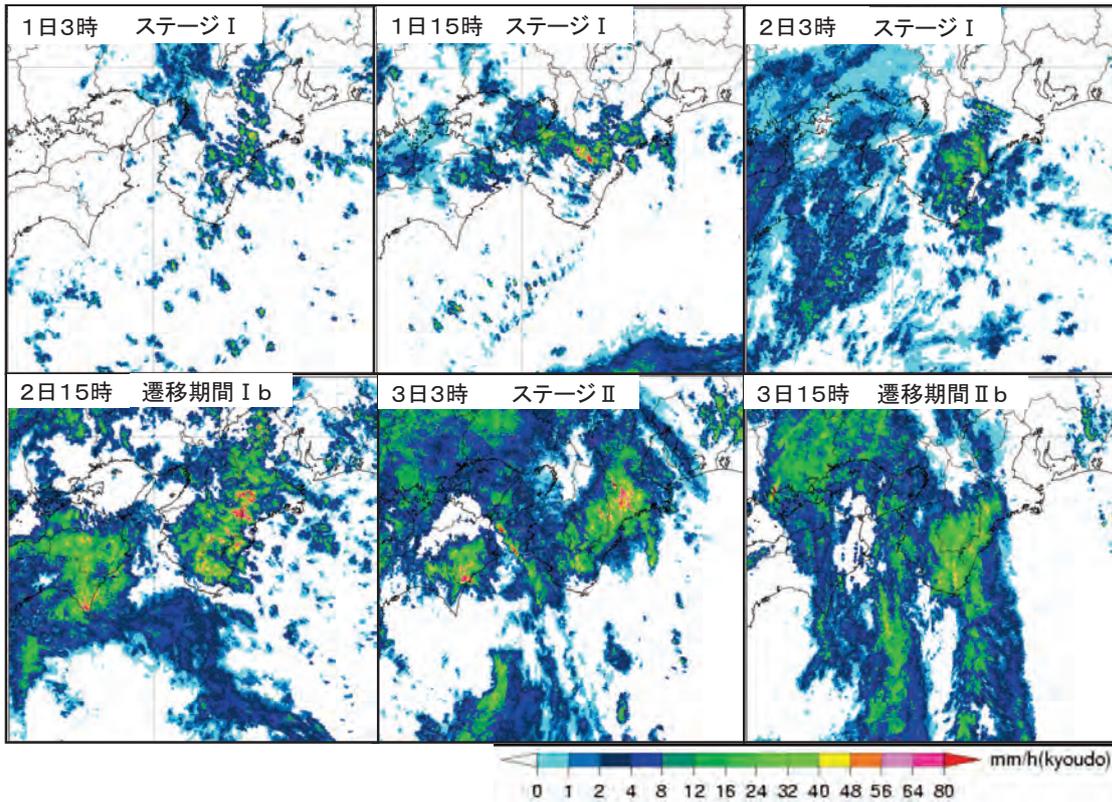
図中黄色破線楕円内では、その南端で発達したエコーが、エリアを広げながら次々と北上している。この黄色破線楕円のエリアは、3日夕方頃紀伊水道の南海上で明瞭化した第2.2.2.6図中に示す降水系Zの西端の強雨域に相当する。この強雨域は4日4時にかけて紀伊半島南岸をゆっくりと東進した。

4日0時、北東から南西の走向を持つ橙色破線楕円の降水系は第2.2.2.6図中に示す降水系Aに対応し、3日夜遅くから次第に線状が明瞭になり、4日朝まで線状の降水系を維持するが、4日6時までその流入領域は変わらず、東西への移動がなかった。

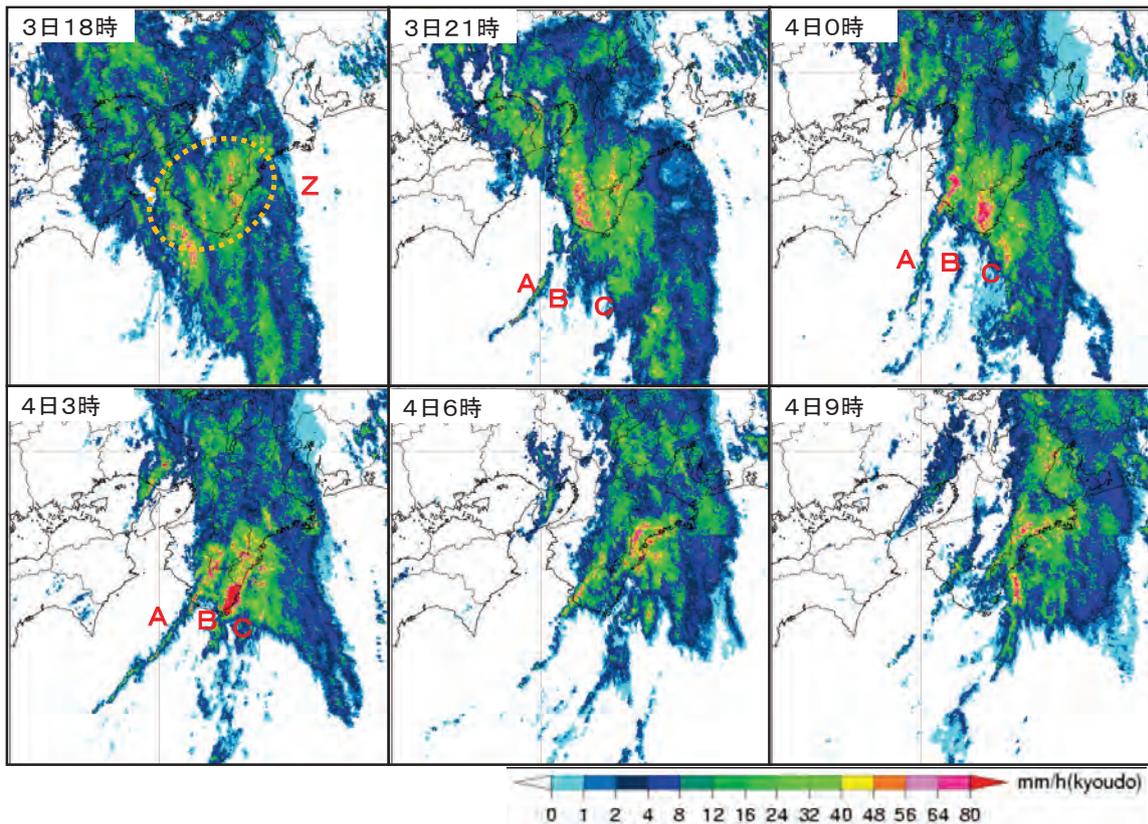
4日0時から2時にかけて発達した潮岬南東沖から北上する青色破線楕円の降水系は第2.2.2.6図中に示す降水系Cに対応し、4日0時頃から3時過ぎまで潮岬の東から新宮市沿岸に線状の降水系を維持し停滞していたが、4時頃からゆっくり東進を始めている。

赤色破線楕円の降水系は第2.2.2.6図中に示す降水系Bに対応し、0時30分頃に降水系Aの東側に現れゆっくり東進し、2時過ぎから3時頃にかけては潮岬付近を基点に北北東にのびる降水強度80ミリ以上のエコーへと発達した。この降水系は強い降水強度を保ったまま、5時頃に三重県熊野市付近を通過している。

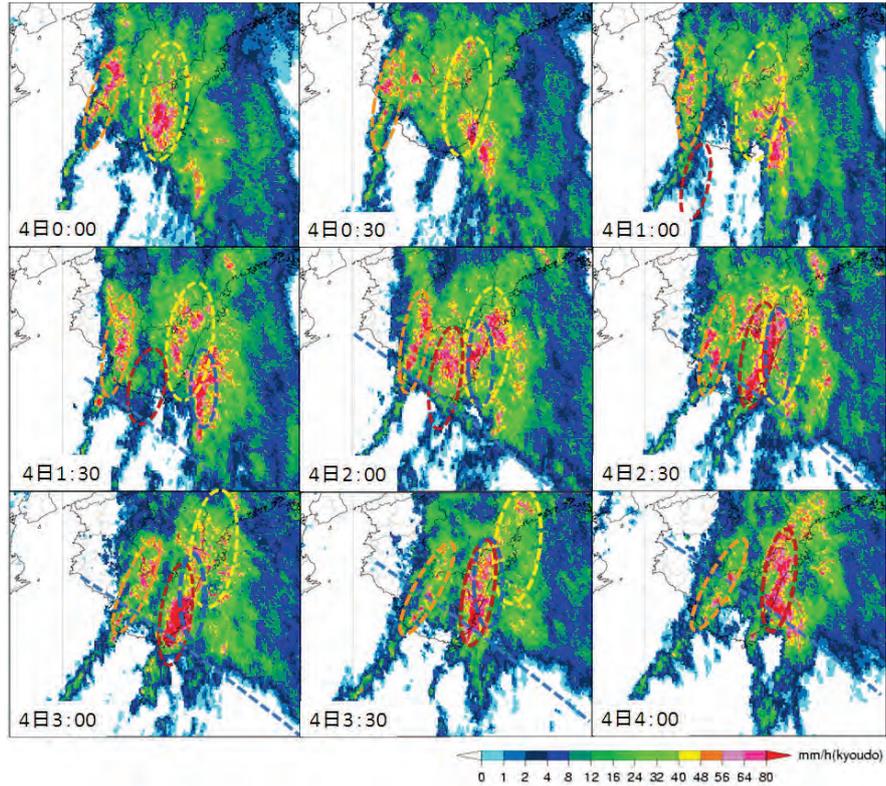
第2.2.2.8図に4日2時0分と2時20分の合成レーダーエコー強度断面図を示す。降水域Zに流れ込む線状降水系A、B、Cの海上におけるエコー頂高度は、どの線状降水系を見ても5,000m前後となっている。一方、降水系Zのエコー頂高度は全域でほぼ10,000mを超え、線状降水系と重なった最も高いところでは15,000mに達している。また、下層における高反射強度の起点は、いずれの降水系も沿岸部が基点となって北東進し



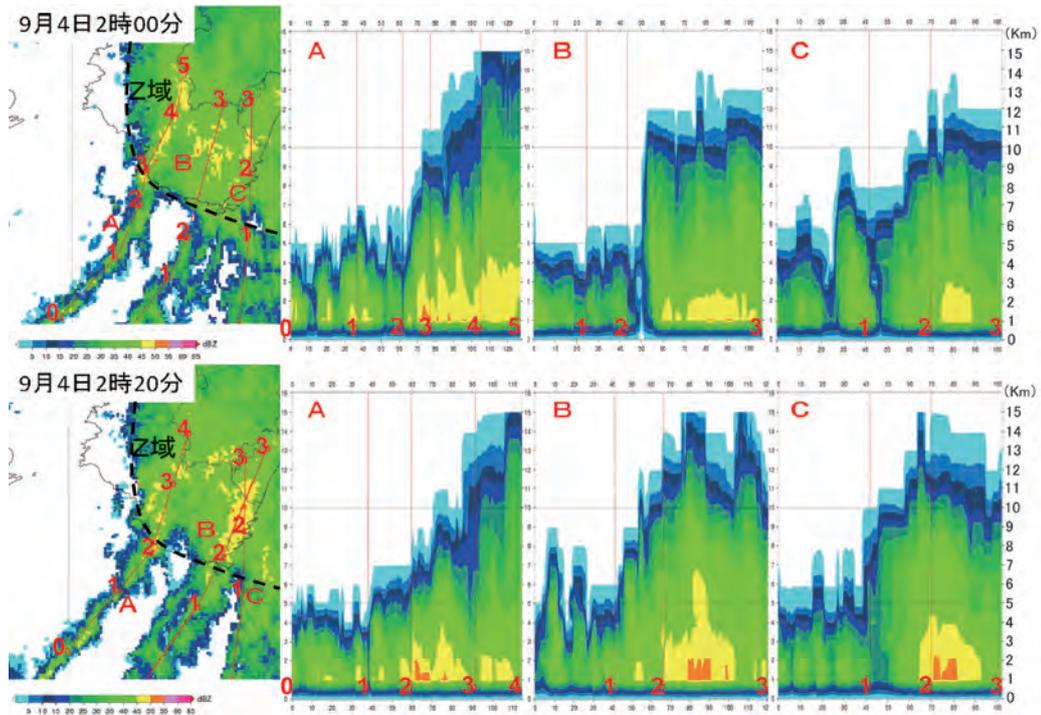
第2.2.2.5図 2011年9月1日3時から3日15時(ステージI~II b)の合成レーダーエコー強度図(12時間間隔)



第2.2.2.6図 2011年9月3日18時から4日9時(ステージIII)の合成レーダーエコー強度図(3時間間隔)



第 2.2.2.7 図 2011 年 9 月 4 日 0 時から 4 時の合成レーダーエコー強度図 (30 分間隔)
 図中の橙色破線枠は降水系 A を, 赤色破線枠は降水系 B を, 青色破線枠は降水系 C を示す.



第 2.2.2.8 図 2011 年 9 月 4 日 2 時 0 分 (上段) 及び 2 時 20 分 (下段) の合成レーダーエコー強度断面図
 左の合成レーダーエコー強度平面図の線分 A, B, C, に対応した断面図を右に並べて示す。
 海上にあたるエコー頂高度が 5,000m 程度.

ている（それぞれの線状降水系の主な対流セルとその移動を数字で示す）。第2.2.2.7図中の青破線は、エコー頂高度の変化している境界に対応している。

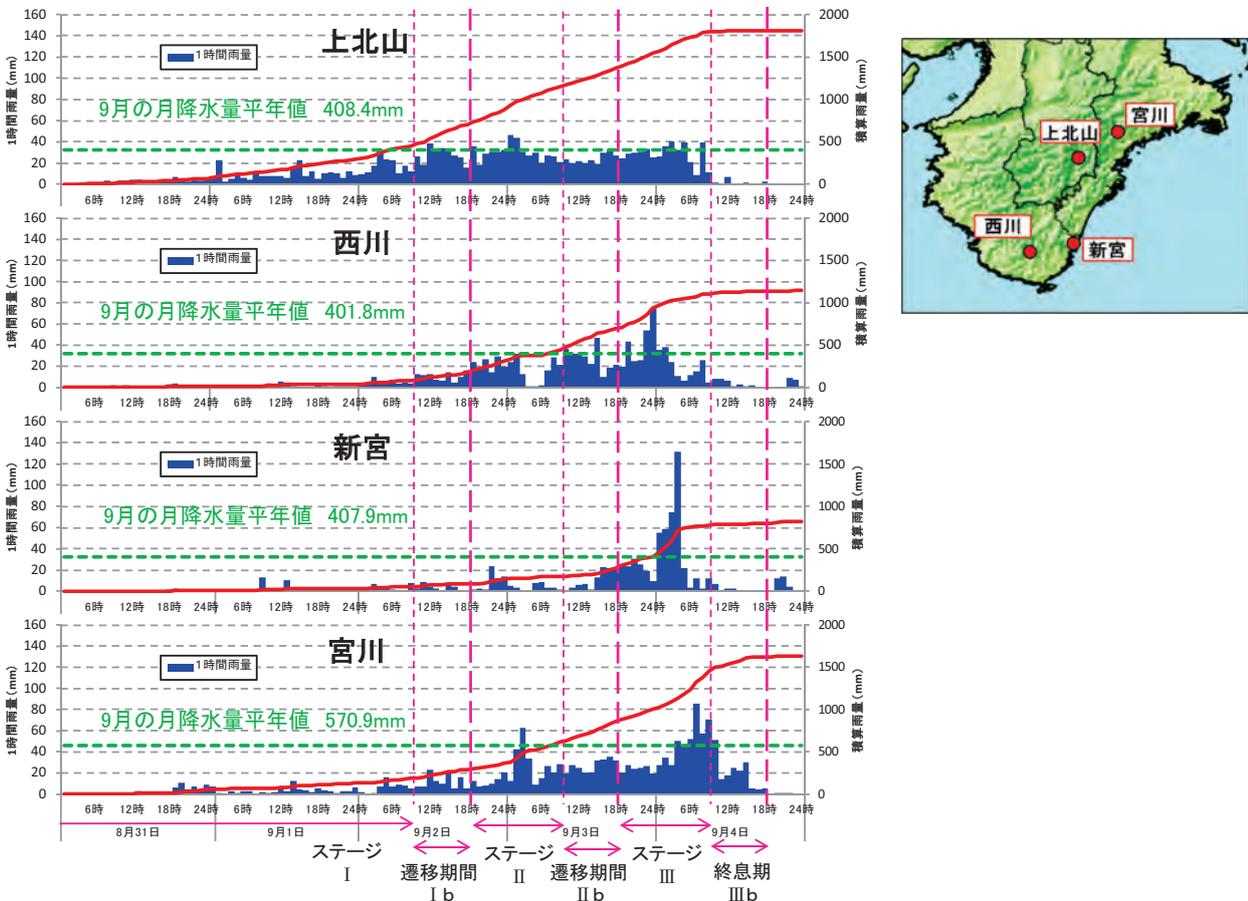
線状にのびる組織的な線状降水系が複数形成されたことやそれら線状降水系が重なり合ったことにより、1時間解析雨量の最大値が4日未明に80ミリを超え、ピーク時の4日2時から6時にかけては1時間解析雨量の最大値が100～140ミリとなる状況が出現した。第2.2.2.9図に大雨となった上北山、西川、新宮、宮川のアメダスの降水量時系列を示す。ステージⅠでは、紀伊半島の山地の東側に当たる上北山と宮川で雨量が多く、ステージⅢの線状降水系の合流による特に1時間に60ミリ以上の雨は西から東の観測地点に移動している。

2.2.2.4 地形的な要因

紀伊半島の地形図を第2.2.2.10図に示す。紀伊半島は、海岸からすぐに300m以上の山が切り立ち、中央部にある奈良県南部では、標高がおよそ1,500m以上の峰々が南北に連なる稜線が3本ある。特に中央部に位置する大峰山脈は、標高が1,800m前後に達する。

ステージⅠからステージⅡの間では、台風の接近によって紀伊半島へ流れ込む下層暖湿気が強まり、地形による力学的強制上昇による対流性のエコーの発達、大雨発生の基本的なメカニズムであると考えられる。そこで、下層の風向風速の推移と大雨の発生地域との関連性を調べる。

第2.2.2.11図に31日15時から5日00時までのWPR尾鷲及び美浜（和歌山）における高度



第2.2.2.9図 (左) 4地点の降水量時系列図 (2011年8月31日～9月4日) (右上) アメダス4地点 (上北山、西川、新宮、宮川) の位置

(左) 青色棒グラフ：1時間降水量 (左目盛), 赤色折れ線グラフ：積算降水量 (右目盛)

1,500mの風向風速の時系列を示す。ステージⅠ(2日朝まで)は、東風がおおむね持続し、風速が徐々に大きくなっている。遷移期間Ⅰb(2日昼前～夕方)では、風向が東から南東へと変化するとともに、風速がさらに強くなっている。ステージⅡ及び遷移期間Ⅱb(2日夜のはじめ頃～3日夕方)では、風向が徐々に南よりへと変化しているもののおおむね南東風が持続している一方、風速はこの時間帯の前半でピークとなり後半では風速が弱

まる傾向となっている。ステージⅢ(3日夜のはじめ頃～4日朝)では、尾鷲の風向が南東で一定のなか、美浜の風向が次第に南へと変化し、両地点の風向シアが大きくなっていることが特徴的である。

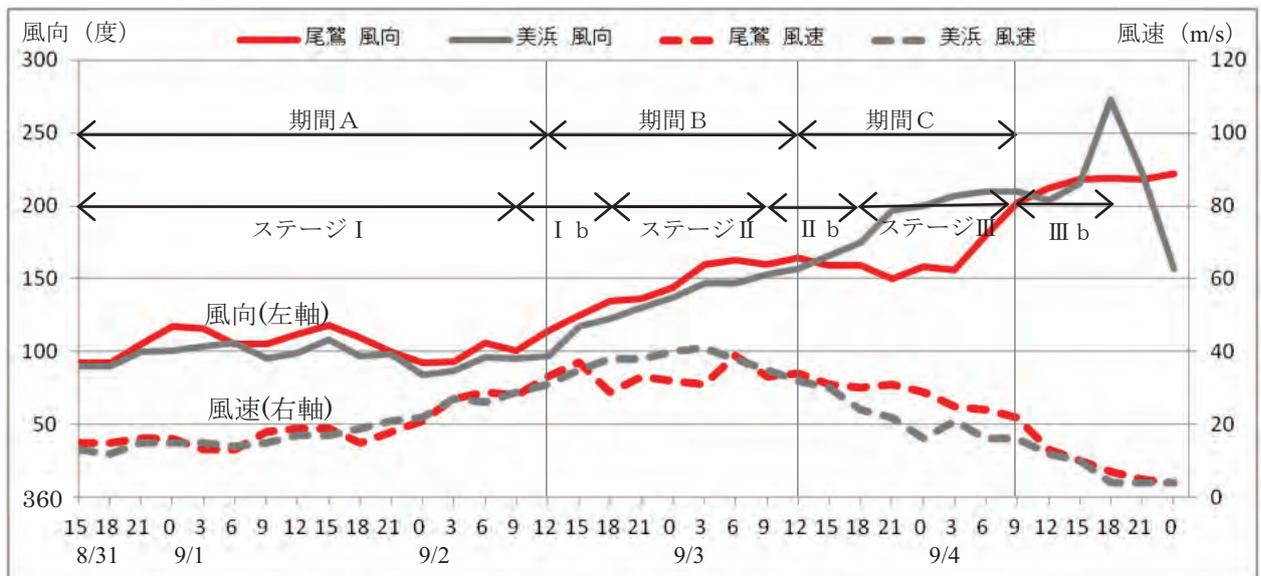
ここでは風向の違いに着目し、風向が東であった期間(期間A, 2日昼前まで)、南東であった期間(期間B, 2日昼過ぎから3日昼前まで)、風向シアのあった期間(期間C, 3日昼過ぎから4日朝まで)に分けて、解析雨量積算値の分布図を作成した(第2.2.2.12図)。

下層が東風の期間Aでは、下層風向走向に帯状の降水域が数本形成されている。最も雨量の多い降水域は、熊野灘に沿って海岸線まで山が迫り、風下に向かって次第に標高が高くなる山々が連なっている地域で、東風とともに流れ込む暖湿気が顕著に上昇させられる地域と対応している。他の帯状の降水域も周囲に比べて標高が高くなっている場所と対応しており、顕著な上昇流が発生した地域では地形による強制上昇があったことを示している。

下層が南東風の期間Bでは、高度500mで360K以上の非常に高いEPTの暖湿気が紀伊半島へ広く流れ込む状態へと変化した。紀伊半島の広い範囲で積算雨量が400ミリ以上の降水量を解析



第2.2.2.10図 紀伊半島の地形
地形データはUSGSのGTOPO30を利用



第2.2.2.11図 8月31日15時から9月5日0時にかけてのWPR尾鷲と美浜(和歌山)における高度1,500mの風向風速の時系列

している。その中でも600ミリ以上の降水域は、概ね南北に連なる3本の稜線に沿って分布している。

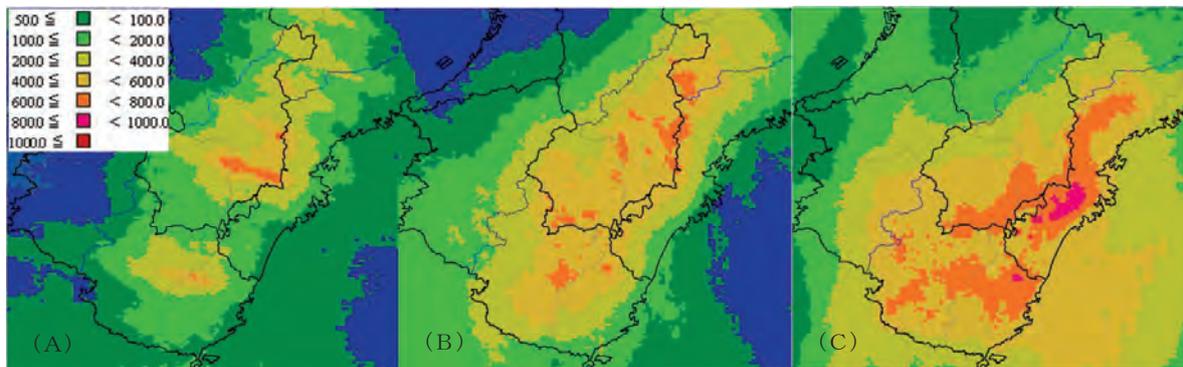
このことから、ステージⅠとⅡでは地形による下層暖湿気の力学的強制上昇が働いていたと考えられる。

次の期間Cでは、暖湿気は高度500mで355Kと期間Bよりは下がり、風速も次第に弱まっている。期間Bと期間Cの継続時間はほぼ同じである（期間Cの方が3時間短い）が、期間Cでは積算雨量600ミリ以上の降水域が広く分布し、三重県や和歌山県では800ミリ以上の降水域も見られる。暖湿気及び暖湿気の移流の程度は弱いにもかかわらず、降水はより強まっている。ステージⅢでは、地形による下層暖湿気の力学的強制上昇に加えて、線状の降水系の合流が影響していたとみられるため、収束域について考える。

台風は岡山県へ再上陸した3日夕方以降、急速にその構造を変質させている。第2.2.2.13図にメソ解析による3日15時から4日0時にかけての地上気圧の状況を3時間ごとに示す。15時ごろから台風を中心示度は次第に弱まり、1000hPaの等圧線に着目すると、18時には南西側にやや膨らみ15時までの円形を崩しはじめている。21時には南西方向に引き伸ばされ、それまでの円形を大きく崩している。地形の影響を受けた風向の変化により四国と紀伊半島の南海上には風向シアが発生している。

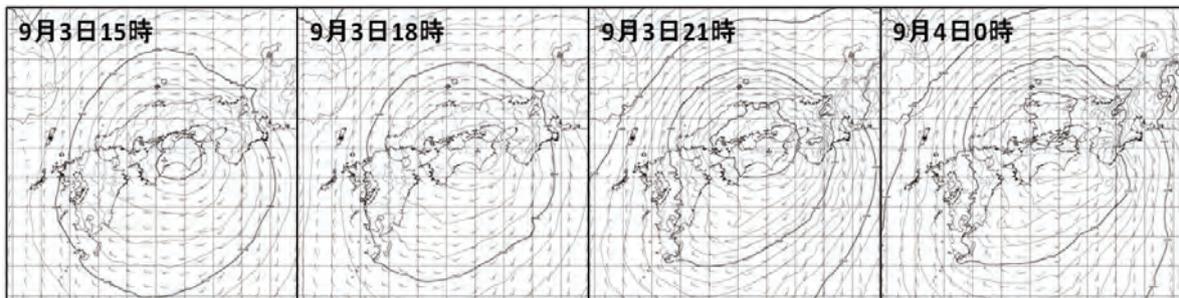
第2.2.2.14図にメソ解析初期値による3日15時から4日9時までの925hPaの収束・発散及び風の分布から下層の収束の状況を示す。

3日15時には、南南西風と南西風の収束によって形成された収束域aが四国の南海上から四国の東岸にのびている。紀伊半島の南の海上には、

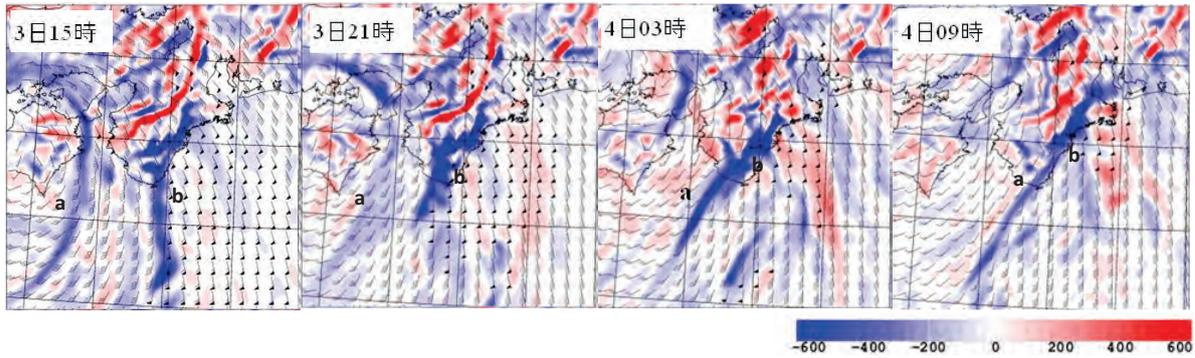


第2.2.2.12図 WPR尾鷲と美浜の風向の違いによる雨量分布の変化

- (A) 両地点の風向が東（90~112°）の期間である31日15時から2日12時までの45時間の雨量分布。
- (B) 両地点の風向が南東（113~157°）の期間である2日12時から3日12時までの24時間の雨量分布。
- (C) 両地点で風向シアがある期間である3日12時から4日9時までの21時間の雨量分布。



第2.2.2.13図 MSM初期値解析による2011年9月3日15時から4日0時までの3時間ごとの地上気圧分布
3日15時と18時の示度は2hPaごと、3日21時と4日0時の示度は1hPaごとで表示している。



第2.2.2.14図 2011年9月3日15時から4日9時にかけてのMSM初期値解析による925hPa面の収束(青色域)・発散(赤色域)

南南東風と南風との収束によって形成された収束域bが解析されている。また、熊野灘方面から紀伊半島に向かって50kt以上の強い南東風が解析されている。このため、紀伊半島に向かう暖湿気の流れが強く、南東側斜面で顕著な収束域がみられる。3日21時には、収束域aは紀伊水道に進み、収束域bは停滞している。4日3時には、収束域aと収束域bが合流して、紀伊半島南部で南風と南西風の強い収束帯が形成されている。4日9時には、収束域aと収束域bの合流による強い収束帯が東紀州・紀勢では継続し、和歌山県南部では弱まってきている。

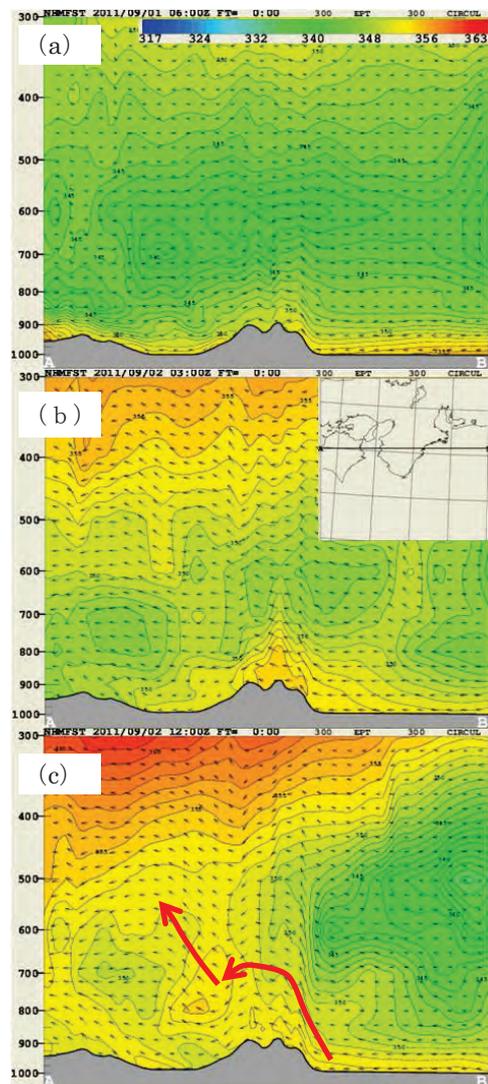
2.2.2.5 大雨のメカニズム

以上述べてきたことを降水状況により分けた三つのステージごとに、メカニズムを考察する。

ステージIでは、台風に向かう高EPTの下層暖湿気が東～南東風とともに紀伊半島へ流入し、地形による力学的強制上昇によって対流性のエコーが発達し大雨をもたらしたと考えられる。

ステージIIでは、ステージIより高いEPTの下層暖湿気が紀伊半島の地形による力学的強制上昇によって対流性のエコーが発達し大雨をもたらしたことに加えて、スパイラルバンドが紀伊半島に流入し大雨が継続したと考えられる。

この点を確認するために、ステージI(1日15時)、遷移期間Ib(2日12時)、ステージII(2日21時)の紀伊半島を横切る東西方向のEPTの断面を第2.2.2.15図に示す。ステージIでは、高度500mで355Kの高EPTの暖湿気が東風ととも



第2.2.2.15図 紀伊半島の東西方向の相当温位断面図
(a) ステージI (1日15時)
(b) 遷移期間Ib (2日12時)
(c) ステージII (2日21時)

色階調は相当温位を、小さい矢印は上昇あるいは下降のベクトルを示す。大きい矢印は紀伊半島東斜面の上昇気塊の走行を示す。

に東斜面に向かって流入しているが、対流性のエコーの発達程度は弱い。遷移期間 I b では、暖湿気の流入が強まり対流性のエコーが発達しつつある様子が示されている。ステージ II では、紀伊山地の西側斜面上空には下降流が見られ暖湿気が下降しているように見えるものの、鉛直方向の全体的な EPT の分布をみると、紀伊山地の南東側斜面の地形によって持ち上げられた暖湿気とスパイラルバンドに沿って南から流入した暖湿気が上空の風に流されつつも、中上層まで持ち運ばれている様子が見て取れ（図 c の赤い矢印）、対流性のエコーが発達できる状況となっていることがわかる。

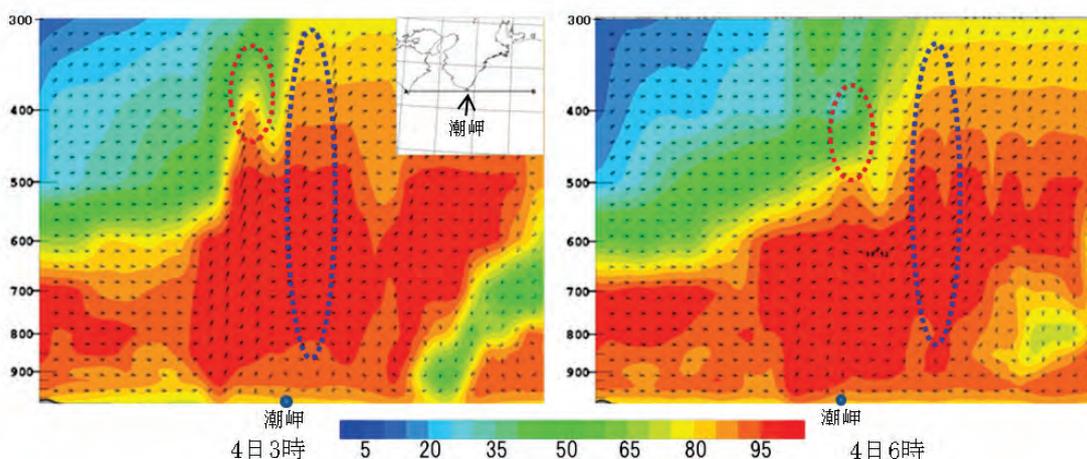
ステージ III では、台風に向かう強い下層暖湿気の流入による背の高い湿潤混合層が、紀伊半島からその南東海上に停滞したこと、及び上層の低気圧性循環の衰弱に伴う気温の低下や大陸からの乾燥気塊の進入により大気成層が潜在的に不安定化していたことを背景としている。

1時間解析雨量が100ミリ以上の猛烈な雨の発生は、第2.2.2.6図の降水系 B によってもたらされている。降水系 A では、下層の収束が非常に強かったが、北西風に伴う乾燥気塊の侵入によりエコー強度からみた対流性のエコーの発達程度は、降水系 B の方が強くなっている。

第2.2.2.16図にメソ解析初期値の4日3時及び6時における潮岬付近を通る東西方向の湿度の鉛直断面図を示す。600hPaより上層では乾燥気塊

が時間とともに西から紀伊半島上空へと進入していることがわかる。4日3時の赤点線の楕円で囲んだ高度周辺では、上昇のベクトルが小さくなっていることから、浮力がなくなり上昇気流が急速に弱まっている。これは降水系 A に対応するもので、下層における顕著な収束で中層にかけて強い上昇気流が発生しているが、上層に進入してきた乾燥気塊によって浮力がなくなり対流性のエコーの発達が抑制されていることを示している。一方、青点線で囲んだ部分は降水系 B に対応しており、下層よりも中層で上昇流が強まっている。台風の暖気核の衰弱による気温低下（図は省略）に加えて、乾燥気塊が上層にわずかに進入し雲水の蒸発によって気温が低下した領域では、第2.2.2.1表に示すように3日21時から4日9時にかけて上層の気温が2～3℃低下し、中上層の成層が不安定化していることが推察される。3時から6時にかけて降水系はゆっくり東進している。

そのような中、台風衰弱期の下層収束（豊後水道から流れ込んだ西南西風、九州の南を回り込んで紀伊半島に流入する南西風、及び南鳥島近海の熱帯低気圧に起源をもつ南風を主風向とするもの）により発生した組織的な複数の線状の降水系が、前述の背の高い湿潤混合層の不安定領域に流入したことにより、対流性のエコーが中層の風上側で繰り返し発生・発達し、瀬古(2010)によって名付けられたバックアンドサイドビルディング型と呼ばれるメカニズムが働き、急速に顕在化し



第2.2.2.16図 2011年9月4日3時及び6時の潮岬付近を通る東西方向の断面図
色階調は湿度を、矢印は上昇あるいは下降のベクトルを示す。

たことによるものと考えられる。

以上をまとめると、

台風が大型でかつ移動速度がかなり遅かったこと、紀伊半島の下層への高 EPT の暖湿気の流入が持続したことから、台風の降水ステージが4日間にわたる長い期間となった。

また、前節の地上天気図に示されている日本の東海上にある高気圧の西への張り出しが、台風の東側で気圧傾度の大きい状態を持続させ、紀伊半島の下層収束線の東進を遅らせるとともに、対流活動の活発化にも寄与したと思われる。

各ステージの大雨の要因は次のとおりである。

ステージ I [遷移期間を含む]：8月31日～9月2日夕方

高度 500m で 355K の高 EPT の暖湿気が紀伊半島の東側へ流入したが、移流の程度がステージ II との比較では相対的に弱かったことから、地形による強制上昇が顕著となった地域のみで対流性のエコーが発達し、激しい雨が降った。

ステージ II [遷移期間を含む]：9月2日夜のはじめ頃～9月3日夕方

高度 500m で 360K 以上の高 EPT の暖湿気が紀伊半島の広い範囲に流入し始め、移流もより強まったため、紀伊半島の東側を中心に対流性のエコーがより広い範囲で発達するようになると共に、

南東後南の海上から紀伊半島南部に至る高 EPT の線状の収束帯が顕在化し、台風を取り巻くスパイラルバンドが紀伊半島へのびるようになったこと、下層の風向も東から南東へ次第に変化したことから、紀伊半島の東側だけでなく南側でも非常に激しい雨が降った。

ステージ III [終息期を含む]：9月3日夜のはじめ頃～9月4日夕方

南海上から紀伊半島にのびる風の収束による線状の降水系と南西海上から紀伊水道・紀伊半島にのびる風の収束、相対的に低温・乾燥の気塊の前面で顕在化した線状の降水系が形成・維持されて、紀伊半島で合流し対流性エコーが発達した。このことに加えて、上層への乾燥気塊のわずかな進入及び上層における台風の循環の衰弱による気温の低下によって大気成層が不安定化したことにより、1時間に140ミリに達する猛烈な雨が降る状況となった。

参 考 文 献

- 加藤輝之 (2011)：大雨を発生させやすい環境場について。平成23年度予報技術研修テキスト，第6章，95 - 103。
- 瀬古弘 (2010)：中緯度のメソβスケール線状降水系の形態と維持機構に関する研究，気象庁研究時報，62巻。

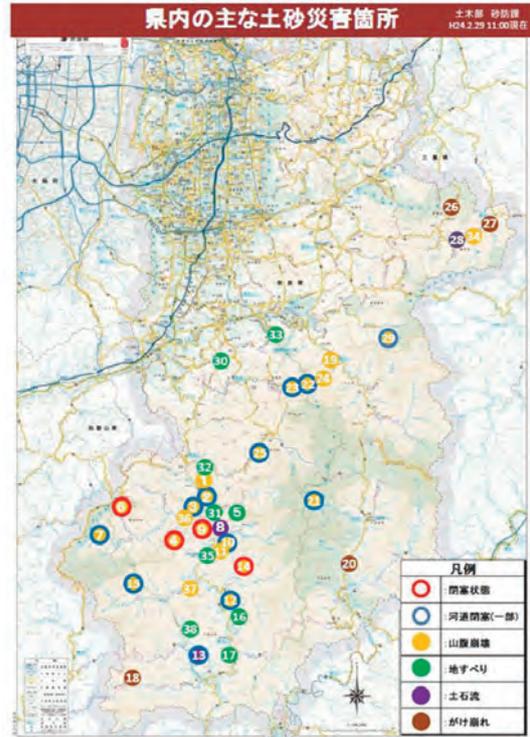
2.2.3 災害の状況

2.2.3.1 災害の概要

(1) 奈良県*

台風第12号の記録的な大雨により、奈良県では南部を中心に大規模な土砂災害が多数発生し、崩壊した土砂による河道閉塞も多数発生した。近畿地方整備局の調べでは、紀伊山系で山腹崩壊の発生による崩壊土砂量は約1億m³(東京ドーム80杯分)、そのうち9割が奈良県域で発生している。また、奈良県内での土砂災害の発生箇所は約1,800か所、そのうち大規模なものは39か所、崩壊土砂により発生した河道閉塞は16か所(第2.2.3.1図, 第2.2.3.1表)となっている。

特に、五條市、十津川村、野迫川村の4か所で発生した大規模な河道閉塞箇所では、土砂災害防止法に基づき土砂災害緊急情報が発表され、重大な土砂災害が想定される区域に指定された。これら1市2村の合計7つの地区には、立ち入り制限などの措置が取られた。



第2.2.3.1図 県内の主な土砂災害箇所

第2.2.3.1表 県内の主な土砂災害発生箇所

土木部 砂防課【H23.12.1 12:30】						
市町村	地区(溪流名)	災害形状	市町村	地区(溪流名)	災害形状	
五條市	大塔町辻堂地区(柳谷)	山腹崩壊	十津川村	今西地区	地すべり	
	大塔町辻堂地区(鍛冶屋谷)	山腹崩壊 土石流 河道閉塞(一部)		宇宮原地区	地すべり	
	大塔町宇井地区	山腹崩壊 河道閉塞(一部)		沼田原地区	地すべり	
	大塔町赤谷地区(赤谷) (国の緊急調査)	山腹崩壊 河道閉塞	川上村	迫地区(西谷川)	山腹崩壊 土石流	
	大塔町惣谷地区	地すべり	上北山村	白川地区	がけ崩れ	
	大塔町清水地区	山腹崩壊		白川地区(白川又川)	山腹崩壊 河道閉塞(一部)	
野迫川村	北股地区(岩谷) (国の緊急調査)	山腹崩壊 土石流 河道閉塞	黒滝村	赤滝地区A(黒滝川)	山腹崩壊 土石流 河道閉塞(一部)	
	松股地区	山腹崩壊 河道閉塞(一部)		赤滝地区B(柏原谷川)	山腹崩壊 土石流 河道閉塞(一部)	
				赤滝地区C(黒滝川)	山腹崩壊	
十津川村	長殿地区(テラ谷)	土石流	天川村	坪内地区A	山腹崩壊	
	長殿地区(長殿谷) (国の緊急調査)	山腹崩壊 河道閉塞		坪内地区B(九尾谷川)	山腹崩壊 河道閉塞(一部)	
	長殿地区(湯谷川)	山腹崩壊 河道閉塞(一部)		坪内地区C(坪内谷川)	山腹崩壊	
	長殿地区	山腹崩壊		広瀬地区	地すべり	
	野尻地区	山腹崩壊 土石流 河道閉塞(一部)		曾爾村	葛地区	がけ崩れ
	重里地区(大畑瀬)	天然ダム越水 溪岸浸食 河道閉塞(一部)			神末地区	がけ崩れ
	栗平地区(栗平) (国の緊急調査)	山腹全崩壊 河道閉塞	御杖村	土屋原地区(畑井谷川)	土石流	
	杉清地区(小井谷)	山腹崩壊 河道閉塞(一部)		土屋原地区(長山谷)	山腹崩壊	
	小井地区	地すべり		東吉野村	麦谷地区(妻谷)	山腹崩壊 河道閉塞(一部)
	折立地区	地すべり	下市町	広橋地区	地すべり	
	上湯川地区	がけ崩れ	吉野町	吉野山地区	地すべり	
	川津地区	山腹崩壊				

* 奈良地方気象台 山本 善弘(現 高松地方気象台), 築山 秀治

人的被害は死者14人、行方不明者10人、負傷者6人、住家被害は全壊49棟、半壊69棟など、甚大なものとなった（平成24年3月1日現在 奈良県調べ、第2.2.3.2表）。

また、避難指示は1市2町3村729世帯1,629人に、避難勧告は1市4村3,225世帯7,145人に、出された（平成23年9月5日18時現在 奈良県調べ）。

第2.2.3.2表 人的被害・住居被害等

区 分		被 害
人的被害	死者	14
	行方不明者	10
	負傷者	重傷 5
		軽傷 1
住家被害	全壊	棟数 49
	半壊	棟数 69
	一部破損	棟数 14
	床上浸水	棟数 13
	床下浸水	棟数 38

平成24年3月1日 15:00現在 奈良県調べ

(2) 和歌山県*

降り始めの8月30日18時から9月4日24時までの総雨量は那智勝浦町色川で1,183.5ミリ、古座川町西川で1,149.0ミリで、この雨量は双方とも9月の月降水量平年値の3倍近い大雨であった。また、4日3時57分までの1時間に、新宮市で132.5ミリの猛烈な雨を観測した。

被害は県内全域に及び、多くの死者や家屋の倒壊などが発生した（第2.2.3.3表）。

人的被害は 和歌山県内で死者56人、行方不明者5人、負傷者9人であった。死者は那智勝浦町28人（うち災害関連死3人）、新宮市13人、田辺市8人、日高川町3人、古座川町3人（うち災害関連死3人）、みなべ町1人であった。

死因ははん濫した濁流にのまれた、土砂崩れによる家屋の倒壊、土石流に流された、浸水した田んぼに車両水没などであった。

家屋の全壊は371棟、半壊は1,842棟、一部破損は171棟、床上浸水は2,680棟、床下浸水3,147棟であった。全壊は那智勝浦町103棟、田辺市94棟、新宮市87棟、日高川町73棟等で、土石流、濁流に流された等である。

田辺市本宮地区では家屋が水没するほどの浸水が発生し、この地区に設置してあったアメダス本宮も水没し機能を失った（写真2.2.3.1）。この地区は電力供給も通信回線も途絶えたため、新しい雨量計と太陽電池パネル、及び衛星通信回線による可搬型観測装置を9月8日に設置し雨量データを確保した。（写真2.2.3.2）。

交通被害としては、JR紀勢線が那智勝浦町の那智川に架かる橋梁流出等により、那智勝浦-新宮間の運転ができなくなったが、約3か月後の12月3日に復旧し全線開通した（写真2.2.3.3）。

道路も崩壊等で寸断され、通行止めとなる道路も多数あった。

田辺市熊野（いや）地区に堰止湖が発生し、決壊による土石流発生の危険があるため、下流の地区は立ち入り禁止となった（写真2.2.3.4）。

* 和歌山地方気象台 今川 哲之・徳田 祥如・山本 悦雄

第2.2.3.3表 平成23年台風第12号による和歌山県の被害状況（平成24年4月6日和歌山県総合防災課調べ）

	人的被害				建物被害						
	死者	（うち災害 関連死）	行方不明	負傷者	全壊	半壊	一部破損	床上浸水	床下浸水	浸水 (非住家)	
					棟	棟	棟	棟	棟	棟	
和歌山市											
海草	海南市							15	17	27	
	紀美野町				7	27	6	4	9	15	
	(計)	0		0	0	7	27	6	19	26	42
那賀	紀の川市				1			13	42	17	
	岩出市						1		11		
(計)	0		0	0	1	0	1	13	53	17	
伊都	橋本市										
	かつらぎ町					1					
	九度山町										
	高野町										
(計)	0		0	1	0	0	3	4	14	4	
有田	有田市			1				5	3	7	
	湯浅町							1		3	
	広川町									1	
	有田川町				1		1	0	1	1	
(計)	0		1	1	0	1	6	4	11	1	
日高	御坊市				1				7	73	3
	美浜町							1	12	2	
	日高町								6		
	由良町								6	1	
	日高川町	3		1		73	63		194	85	219
	みなべ町	1				1	1	1	45	30	1
	印南町				1		1		18	64	5
(計)	4		1	2	74	65	5	265	276	231	
西牟婁	田辺市	8		1	1	94	233	89	163	215	270
	白浜町						9	33	158	109	4
	上富田町						3	1	7	20	4
	すさみ町							3		9	
(計)	8		1	1	94	245	126	328	353	278	
東牟婁	新宮市	13		1		87	237	3	1,447	1,166	816
	那智勝浦町	28	(3)	1	4	103	905	2	440	962	18
	太地町								1	7	
	古座川町	3	(3)			4	362	1	83	117	176
	北山村								11	12	6
	串本町					1		18	65	150	3
(計)	44		2	4	195	1,504	24	2,047	2,414	1,019	
県計		56	(6)	5	9	371	1,842	171	2,680	3,147	1,592



写真2.2.3.1 水没し機能を失った本宮地域雨量観測所



写真2.2.3.2 本宮地域雨量観測所に仮設置した可搬型観測装置



写真 2.2.3.3 那智勝浦町の JR 紀勢線の橋梁流出（和歌山県提供）



写真 2.2.3.4 田辺市熊野（いや）地区に発生した大規模な土砂崩れとそれによる河道閉塞

(3) 三重県*

(7) 被害の概要

三重県全体の被害状況と被害額の概要は、第 2.2.3.4 表に示すとおりである。

(イ) 人的被害

三重県の被害の分布は、広く県内全域に及び、特に熊野市、紀宝町、御浜町の南部の 3 市町を中心に人的被害や多数の住家の浸水被害及び土砂災害が発生した。人的被害は御浜町と紀宝町で死者が各 1 人、紀宝町で行方不明者 1 人、負傷者は県全体で重傷者 7 人、軽傷者 10 人となった。（第 2.2.3.2 図、及び第 2.2.3.5 表）

(ウ) 住家被害

全壊 81 棟（紀宝町 59 棟、熊野市 20 棟等）、半壊 1,077 棟（紀宝町 785 棟、熊野市 272 棟等）、一部損壊 69 棟（津市 20 棟、伊勢市 15 棟、熊野市・紀宝町で各 10 棟等）、床上浸水 702 棟（熊野市 401 棟、紀宝町 128 棟、御浜町 57 棟、大紀町 53 棟等）、床下浸水 832 棟（熊野市 296 棟、紀宝町 200 棟、御浜町 104 棟等）の住家被害が発生した。（第 2.2.3.3 図、及び第 2.2.3.6 表）

(I) 経済的被害

災害の分野別では農林水産施設被害が最も多く約 76 億円、全体の被害額は約 205 億円となった。（第 2.2.3.4 表）

第 2.2.3.4 表 三重県の被害状況と被害額（三重県調べ 平成 24 年 2 月 1 日現在）

区 分			被害数	区 分				被害数	区 分	被害額(千円)	
人的被害	死 者	人	2	その他	田 畑	流失・埋没	ha	0.16	公共文教施設	0	
	行方不明	人	1		畑	流失・埋没	ha	0	農林水産施設	7,590,706	
	負傷者	重傷	人		7	文教施設		箇所	16	公共土木施設	0
		軽傷	人		10	道 路		箇所	226	その他公共施設	0
住家被害	全 壊	棟	81		橋りょう		箇所	8	小 計	7,590,706	
		世帯	80		河 川		箇所	32	その他	農業被害	716,351
	半 壊	棟	1,077		港 湾		箇所	4		林業被害	0
		世帯	1,077		崖 崩 れ		箇所	84		畜産被害	3,192
	一部損壊	棟	69		鉄 道 不 通		箇所	17		水産被害	414,554
		世帯	69		水 道	戸	16,595	商工被害		0	その他被害
	床上浸水	棟	702		電 話	回線	18,321	小 計			被害総額
		世帯	706		電 気	戸	35,860				
	床下浸水	棟	832		り災世帯数	世帯	1,863				
		世帯	832	り災者数	人	2,082					

* 津地方気象台 佐藤 真, 平野 貴嗣



第 2.2.3.2 図 人的被害が発生した市町
三重県調べ 平成 24 年 2 月 1 日現在



第 2.2.3.3 図 住家被害が発生した市町
三重県調べ 平成 24 年 2 月 1 日現在

第 2.2.3.5 表 人的被害が発生した市町
三重県調べ 平成 24 年 2 月 1 日現在

区分 市町名	死者	行方不明者	負傷者	
			重傷者	軽傷者
紀宝町	1	1	5	0
御浜町	1	0	0	0
津市	0	0	2	1
四日市市	0	0	0	2
伊勢市	0	0	0	2
松阪市	0	0	0	2
桑名市	0	0	0	1
鈴鹿市	0	0	0	1
熊野市	0	0	0	1
合計	2	1	7	10

第 2.2.3.6 表 住家被害が発生した市町
三重県調べ 平成 24 年 2 月 1 日現在

区分 市町名	全 壊	半 壊	一部損壊	床上浸水	床下浸水	
						全
紀宝町	59	785	10	128	200	
熊野市	20	272	10	401	296	
御浜町	0	13	1	57	104	
大台町	1	5	0	1	8	
津市	1	1	20	0	7	
尾鷲市	0	1	1	13	34	
伊勢市	0	0	15	21	15	
大紀町	0	0	4	53	60	
紀北町	0	0	4	22	91	
伊賀市	0	0	4	0	1	
度会町	0	0	0	6	8	
南伊勢町	0	0	0	0	3	
いなべ市	0	0	0	0	2	
名張市	0	0	0	0	2	
松阪市	0	0	0	0	1	
合計	81	1,077	69	702	832	

2.2.3.2 洪水害の状況

(1) 奈良県*

台風第12号の大雨により、名張川では、9月2日13時55分から9月4日13時50分にかけて、紀の川では、9月2日20時00分から9月4日15時00分にかけて、指定河川洪水予報が発表された。紀の川の五條水位観測所では、3日04時00分に7.99m(暫定値)を観測し、避難判断水位(7.80m)を超えた(はん濫危険水位は8.10m)。

また、流域雨量指数は12河川で警報基準を上回った。

奈良県の調べ(平成24年3月1日現在)によると、県内の住家では、破堤による大規模な浸水被害は発生していないが、小河川の増水や河道閉塞による増水で発生した溢水などで、床上浸水13棟、床下浸水38棟の被害が発生した。市町村別では、五條市で床下浸水5棟、黒滝村で床上浸水7棟、床下浸水3棟、天川村では床上浸水4棟、床下浸水13棟、野迫川村では床上浸水2棟、床下浸水2棟、十津川村では床下浸水14棟、川上村では床下浸水1棟の被害が発生した。

今回の大雨では、雨により河川が増水しているところに、崩れた土砂が流れ込み河道閉塞を起こしたことや流木等が橋梁等に引っかかったことによる増水により、家屋の流出や浸水、溢水や落橋などの被害が発生した。

天川村では、9月3日夜、天川中学校対岸のアシノセ谷から天ノ川へ崩壊土砂が流入したことにより、増水した河川が流れを変え、教員住宅1棟が流され1人が死亡した。また、9月4日昼には、坪内地区冷水で発生した山腹崩壊により天ノ川が一部で堰き止められたため河道から水が溢れ、坪内地区から南日裏地区にかけての集落が浸水した。

このほか、十津川村野尻地区や五條市宇井地区でも、山腹の崩壊等による河川への土砂流入により水流の変化や増水が起り、住家が流されるなどの被害が発生している。

(2) 和歌山県**

降り始めの8月30日18時から9月4日24時までの総雨量は那智勝浦町色川で1,183.5ミリ、古座川町西川で1,149.0ミリで、この雨量は双方とも9月の月降水量平年値の3倍近い大雨であった。また、4日3時57分までの1時間に、新宮市で132.5ミリの猛烈な雨を観測した。

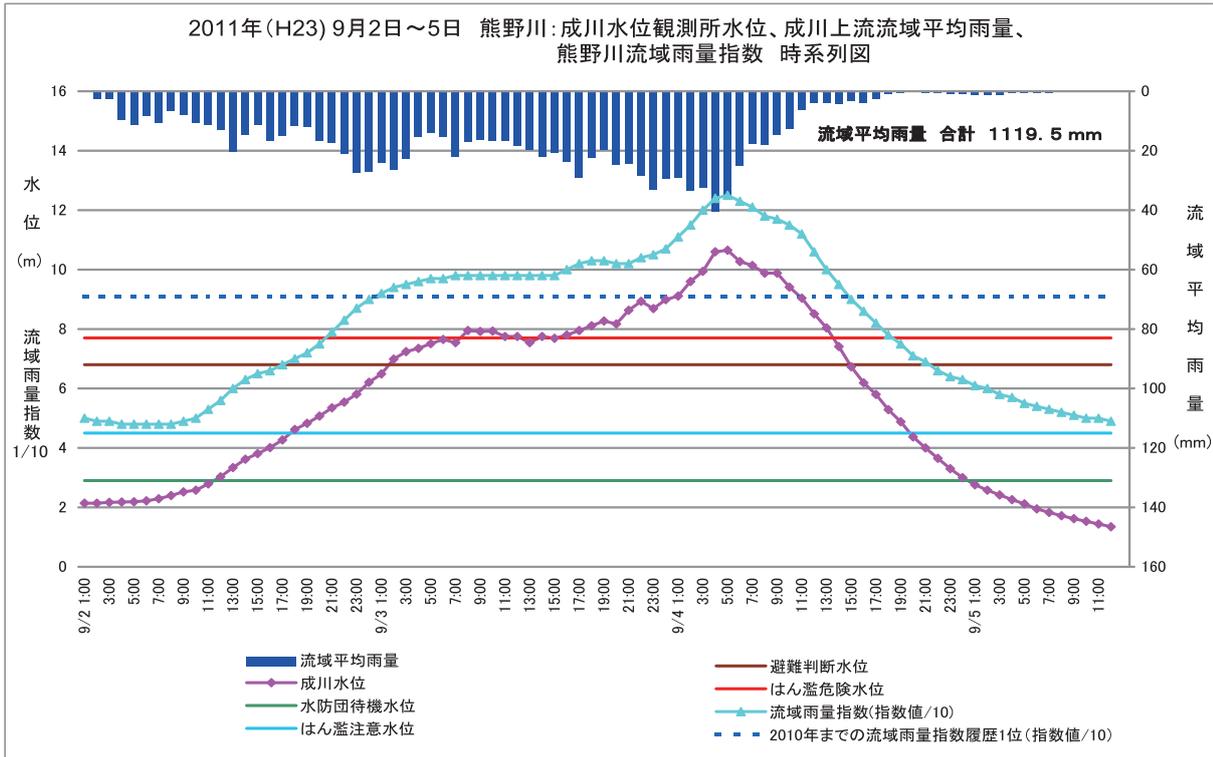
台風第12号により県南部で特に2日から4日にかけての総降水量が1,000ミリを超える大雨となり、紀中及び南部の河川でははん濫が発生し、床上浸水2,680棟、床下浸水3,147棟(県資料2012年4月6日現在)の災害が発生した。

特に被害の多かった新宮市では、熊野川で3日未明に流域雨量指数の履歴1位を超え、その後も流域雨量指数は下がらず、3日夜遅くから4日未明にかけて更に流域雨量指数が上昇し、5時には流域雨量指数125(それ以前の履歴1位は91)を記録し(第2.2.3.4図)、護岸崩壊や堤防決壊等の被害が発生した。また、古座川、日高川でも3日夜遅くに流域雨量指数の履歴1位を超え(第2.2.3.5図、第2.2.3.6図)、4日未明には、共にははん濫発生情報を発表した。さらに、那智勝浦町の太田川でも3日昼過ぎに流域雨量指数の履歴1位を超え、その後も流域雨量指数は下がらず、4日4時には流域雨量指数37(それ以前の履歴1位は24)を記録した(第2.2.3.7図、図中の水位の途切れは、水位計の水没や障害のために欠測値となったもの、また、各河川及び水位観測所の位置を第2.2.3.8図に示す)。

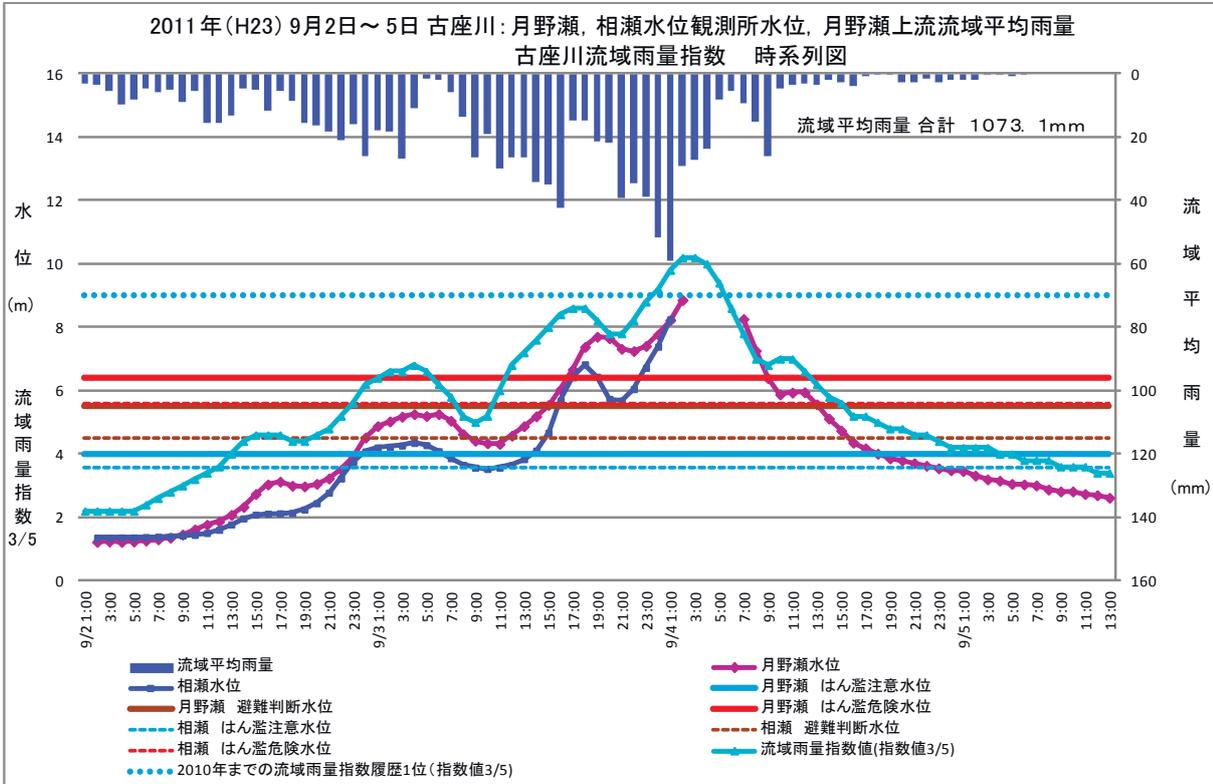
これら3河川(古座川、日高川、太田川)を含む多数の河川でも堤防決壊等の被害が発生した。

* 奈良地方気象台 山本 善弘(現 高松地方気象台)、築山 秀治

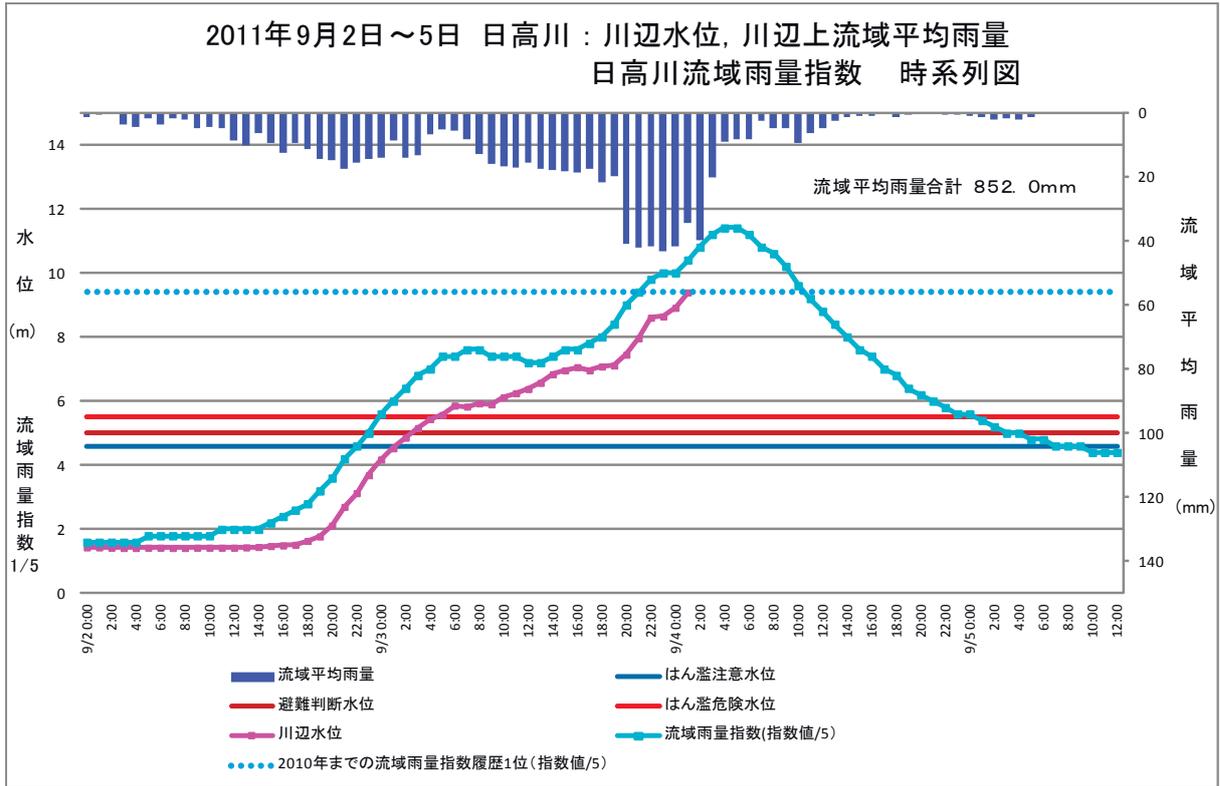
** 和歌山地方気象台 今川 哲之・徳田 祥如・山本 悦雄



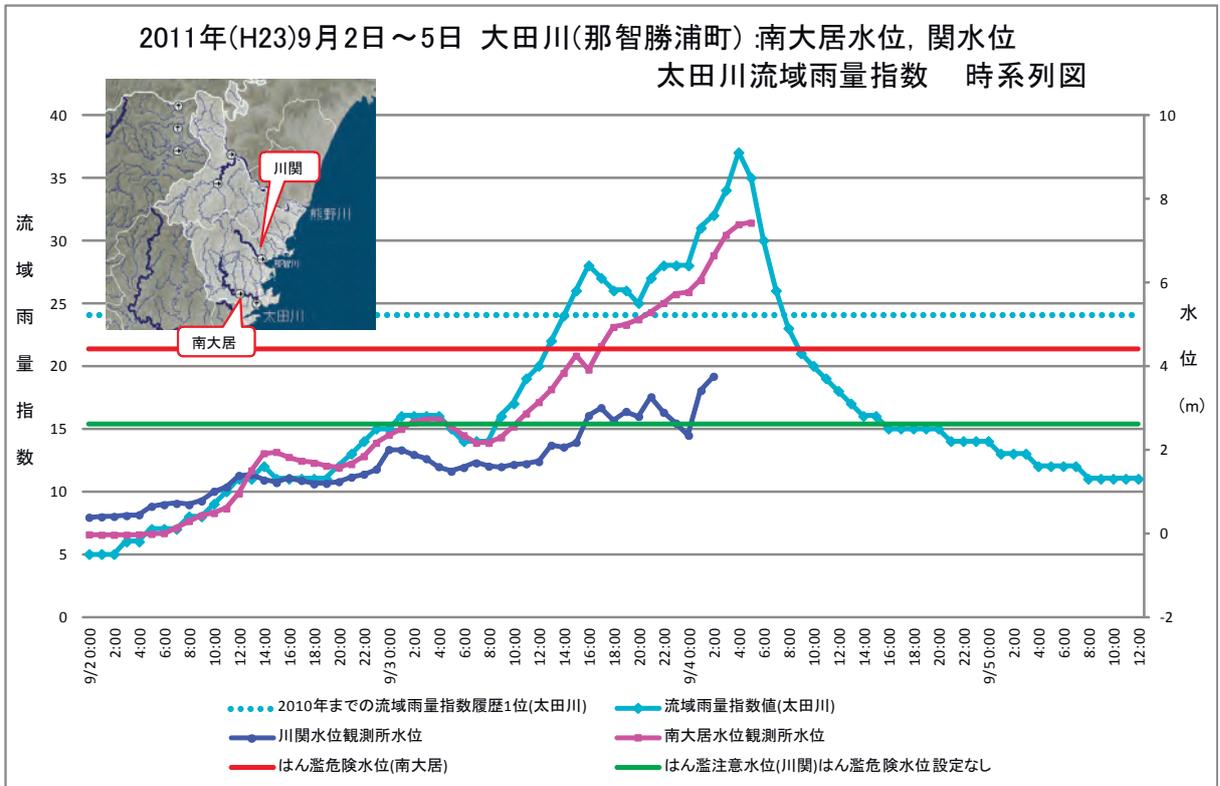
第 2.2.3.4 図 熊野川の成川水位と成川上流流域平均雨量と熊野川流域雨量指数



第 2.2.3.5 図 古座川の相瀬水位と月野瀬水位と月野瀬上流流域平均雨量と古座川流域雨量指数



第 2.2.3.6 図 日高川の川辺水位と川边上流域平均雨量と日高川流域雨量指数



第 2.2.3.7 図 那智勝浦町の太田川(南大井)と那智川(川関)の水位と太田川流域雨量指数



第 2.2.3.8 図 各河川及び水位観測所位置

(3) 三重県*

相野谷川（おのだにがわ）は鮎田で熊野川左岸に合流しており（第 2.2.3.9 図）、熊野川の水位が上昇した時に相野谷川への逆流を防ぐ目的で鮎田水門が設けられている。また、相野谷川下流部は紀南地方有数の穀倉地帯であり、熊野川水位を意識した堤防を整備すると堤防拡築用地が大幅に必要となり、当地域の農業生産額が大きく失われることとなるために、鮎田地区・高岡地区・大里地区には農業用地と宅地を分離する輪中堤（天端高 9.4m）が整備された。このため、全国でも珍しい第一避難判断水位（道路を通行止にし、輪中堤の陸閘を閉鎖する 1 時間前）と第二避難判断水位（輪中堤内の住民に危険が及ぶ 1 時間前）が設定されている。

台風第 12 号における相野谷川高岡水位観測所の水位、鮎田水門の内水位、外水位及び紀宝町の避難行動、大雨警報、流域雨量指数を第 2.2.3.10 図と第 2.2.3.7 表にまとめた。

相野谷川の流域雨量指数は、9 月 4 日の 03 時には警報基準である 16（既往最大+1）を超え、06 時には 21 となった。流域雨量指数に対応する



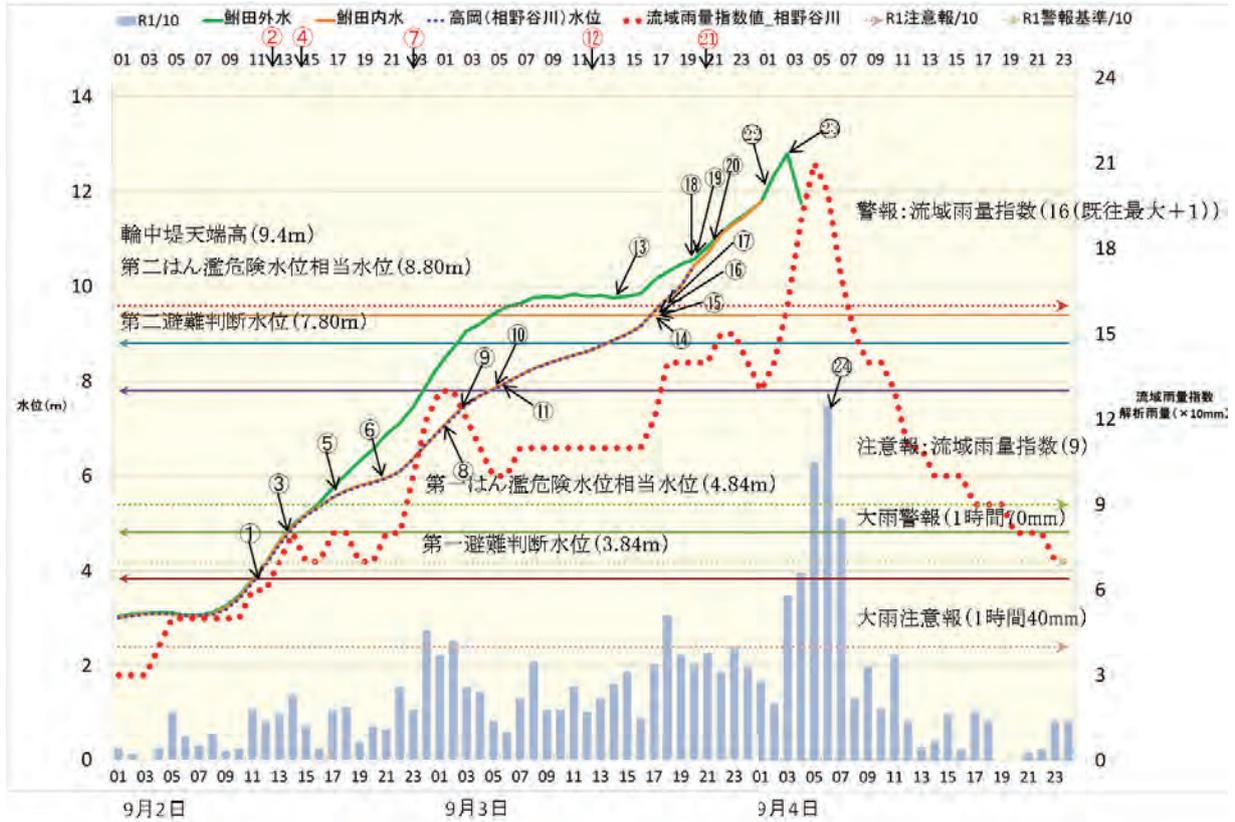
第 2.2.3.9 図 相野谷川の位置

ように各水位観測所共水位が上昇し、これまでの既往最大水位を超過した。相野谷川流域では輪中堤の天端高（9.4m）を超える 13.8m（痕跡水位：紀南河川国道工事事務所による）の浸水高となったため、輪中堤の越水が生じ多数の家屋が浸水、また、堤内側の水位低下時に輪中堤の特殊堤部分が転倒するなど（写真 2.2.3.5）大きな災害となった。

* 津地方气象台 奥田 宗廣，酒井 俊明，岡本 和己（現 新潟地方气象台），竹内 一男・白井 美忠，和喰 博司

第2.2.3.7表 紀宝町の避難行動等の状況

月日	時刻	番号	
9月2日	11時20分	1	高岡地区 第一避難判断水位(3.84m)超過
	12時50分	2	大雨警報(土砂災害), 洪水注意報
	13時30分	3	大里地区 第一避難判断水位(4.73m)超過
	14時19分	4	大雨警報(土砂災害), 洪水警報
	17時00分	5	高岡地区 避難勧告発令
	22時30分	6	鮎田地区 第一避難判断水位(6.18m)超過
	22時46分	7	大雨警報(土砂災害, 浸水害), 洪水警報
9月3日	01時00分	8	大里地区 避難勧告発令
	02時40分	9	鮎田地区 避難勧告発令
	04時50分	10	高岡, 大里, 鮎田地区 第二避難判断水位(7.80m)超過
	05時00分	11	高岡, 大里, 鮎田地区 避難指示発令
	11時59分	12	大雨警報(土砂災害), 洪水警報
	13時22分	13	鮎田水門閉鎖(熊野川本川水位が上昇したため)
	16時20分	14	大里地区輪中堤で越水を確認(輪中堤天端高=9.40m)
	16時45分	15	高岡地区輪中堤で越水を確認(輪中堤天端高=9.40m)
	17時00分	16	鮎田地区輪中堤で越水を確認(輪中堤天端高=9.40m)
	17時22分	17	鮎田排水ポンプで相野谷川の排水開始
	20時00分頃	18	鮎田水門の排水ポンプが浸水で停止
	20時20分以降	19	高岡水位観測所水没のため水位データ欠測
	20時35分	20	鮎田水門ゲート全開(熊野川本川水位と相野谷川水位が同一となったため)
20時38分	21	大雨警報(土砂災害, 浸水害), 洪水警報	
9月4日	01時00分以降	22	鮎田水門内水位欠測(鮎田内水位の既往最大12.07mを1時頃高岡の既往最大12.07m(推定値)を1時半頃に観測した)
	04時00分以降	23	鮎田水門外水位欠測(鮎田外水位の既往最大12.9mを3時頃観測)
	06時00分	24	紀宝町の平坦地以外の解析雨量で「125mm」を観測



第 2.2.3.10 図 時刻別の相野谷川水位と解析雨量・流域雨量指数

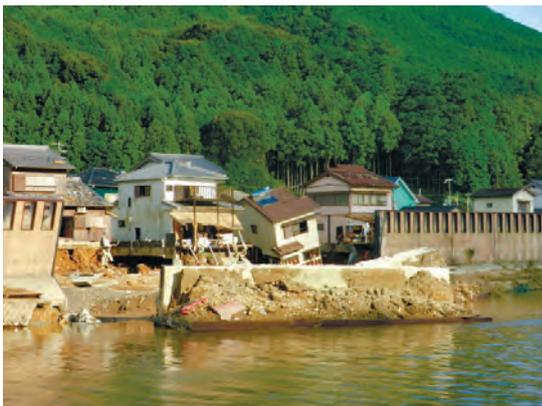


写真 2.2.3.5 高岡地区輪中堤の被害

2.2.3.3 土砂災害の状況

(1) 奈良県*

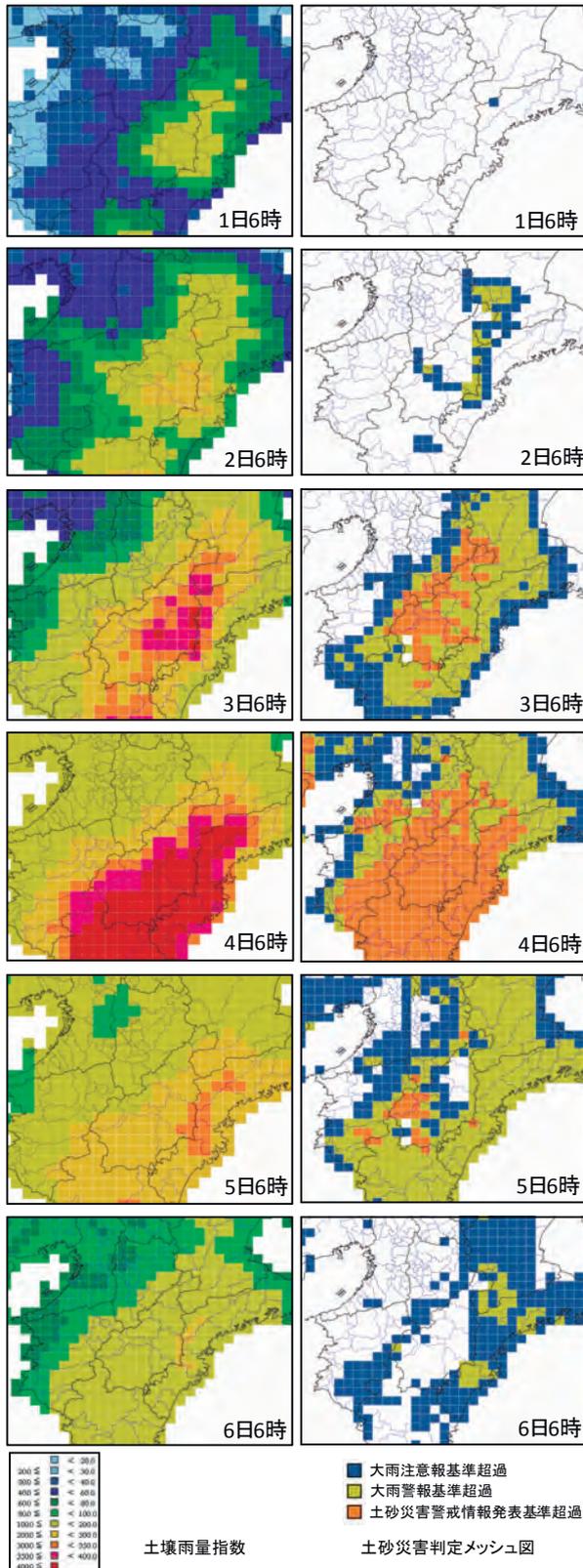
第 2.2.3.11 図に 9 月 1 日から 6 日にかけての降雨により、土壌雨量指数がどのように上昇したのか、また、指数の上昇により土砂災害警戒情報や大雨警報（土砂災害）・注意報に該当する格子がどのように広がったのかを示す。

土壌雨量指数は県南東部から上昇し始め、4 日には土砂災害警戒情報の発表基準を超える領域が県南部のほとんどの地域に広がっているのがわかる。

この頃が、土砂災害警戒情報の発表基準を超える領域がもっとも広がった時で 4 日 06 時の時点では、土砂災害警戒情報の発表地域は 8 市 5 町 12 村に上り、広範囲に降った記録的な大雨により、土砂災害の危険度が非常に高まっていたことがわかる。

第 2.2.3.12 図は、土砂災害警戒情報の発表基準

* 奈良地方気象台 山本 善弘（現 高松地方気象台）、築山 秀治



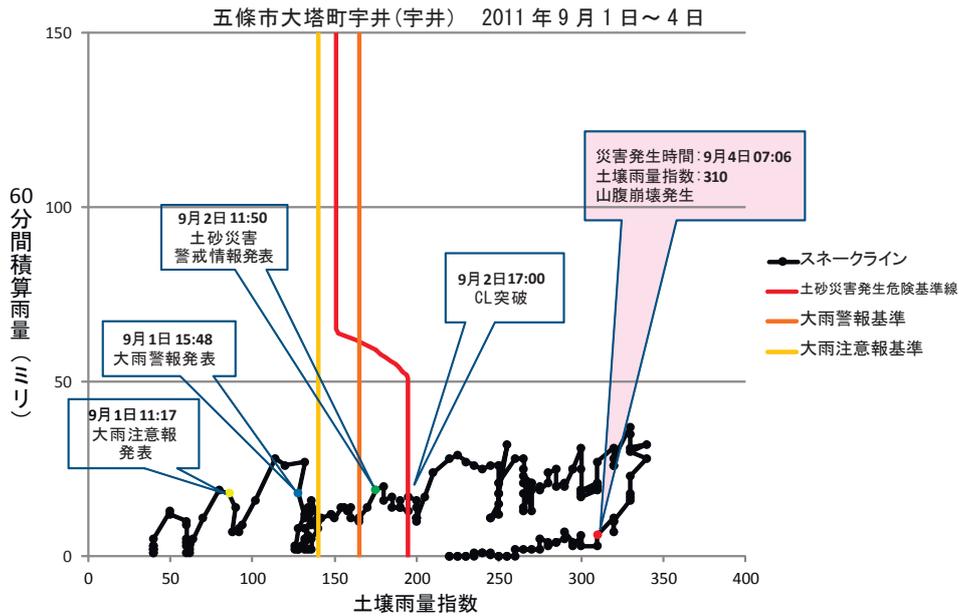
第 2.2.3.11 図 土壌雨量指数 (左) と土砂警戒判定メッシュ (右)

を超える領域が最も広がった9月4日06時に近い時間帯で災害が発生したとみられる五條市大塔町宇井地区におけるスネークラインである。土砂災害発生危険基準線 (CL) を突破し、60分間積算雨量と土壌雨量指数のピークが過ぎたあとに災害が発生していた。

専門機関、研究機関の調査報告書等から、今回の土砂災害の特徴として、「熊野川流域の河川や溪床に面した斜面で多く発生した、いわゆる深層崩壊と呼ばれる大規模な崩壊と比較して、小規模な表層崩壊は少ない。」といった報告がされている。

その原因として、奈良県南部では、降り始めからの雨量が1,000ミリを超える地域が広がっているが、短時間の強雨は1時間30ミリから40ミリ程度でそれほど強くなかった。このことが小規模な表層崩壊が少なかった原因のひとつではないかという報告もされている。

今回、県南部のほとんどの地域で土壌雨量指数の歴代1位を大きく更新し、大量の水が土壌に含まれた結果、大規模な山腹崩壊が多発したと推測されるが、深層崩壊については土壌雨量指数を含めて現時点では十分な調査がなされておらず、今後の災害発生メカニズムの解明を待ちたい。



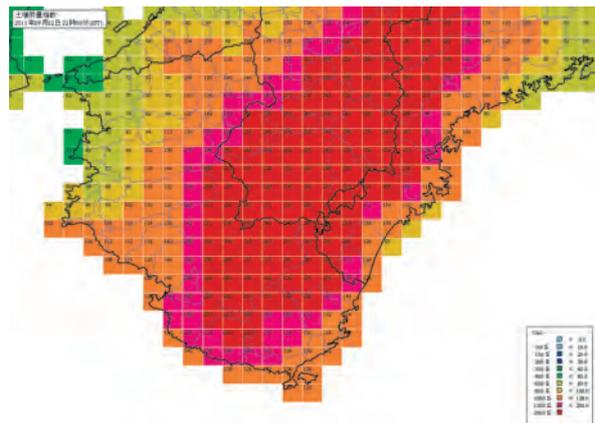
第2.2.3.12 図 五條市大塔町宇井地区でのスネークライン (2011年9月1日～4日)

(2) 和歌山県*

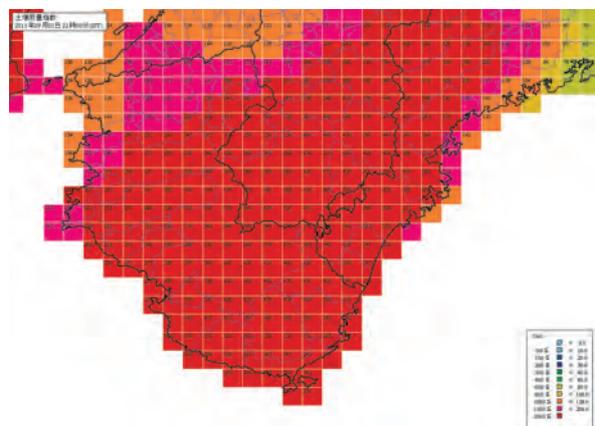
この大雨により、和歌山県内では土石流 20 件、がけ崩れ 2 件、地すべり 2 件 (国土交通省砂防部 HP による) の土砂災害が発生した。

台風の接近に伴って長時間雨が降り続いたため、土砂災害のポテンシャルが高まっていることを示す土壌雨量指数 200 以上の格子 (赤色) が 2 日夜には紀伊半島中央部を中心に広がり (第 2.2.3.13 図)、3 日夜にはその範囲が紀伊半島全体に広がった (第 2.2.3.14 図)。4 日未明には解析雨量で 1 時間に 120 ミリを超える猛烈な雨が降り、このころ那智勝浦町的那智川や太田川などの流域で大規模な土石流が集中的に発生したと考えられる (写真 2.2.3.6)。

大規模な土砂の崩落により田辺市熊野 (いや) 地区では堰止湖が形成され (写真 2.2.3.7)、長期間にわたり警戒区域が設定され、地元住民の立ち入りが制限されるなど住民の生活に深刻な影響をもたらした。



第 2.2.3.13 図 2011 年 9 月 2 日 22 時の土壌雨量指数



第 2.2.3.14 図 2011 年 9 月 3 日 22 時の土壌雨量指数

* 和歌山地方気象台 今川 哲之・徳田 祥如・山本 悦雄



写真 2.2.3.6 那智勝浦町色川地区（太田川上流部）の土石流



写真 2.2.3.7 田辺市熊野の堰止湖（国土交通省近畿地方整備局 HP より）

(3) 三重県*

紀勢・東紀州と中部の山沿いでは、8月30日から降り続いた雨により土壌雨量指数が上昇し、9月2日午後には土壌雨量指数が300を超える格子が現れ始めた。

特に尾鷲市以南の地域では降り続く雨により、3日には土壌雨量指数が300を超える格子が海岸線の平野部にかけて広く分布し、山沿いでは400を超える格子が現れ、4日には1時間100ミリ前後の猛烈な雨により土壌雨量指数は更に高まり500を超える格子も現れた。

4日02時頃に、南牟婁郡紀宝町浅里和田で土石流（行方不明1名、8戸全壊）が発生した。（第2.2.3.15図）

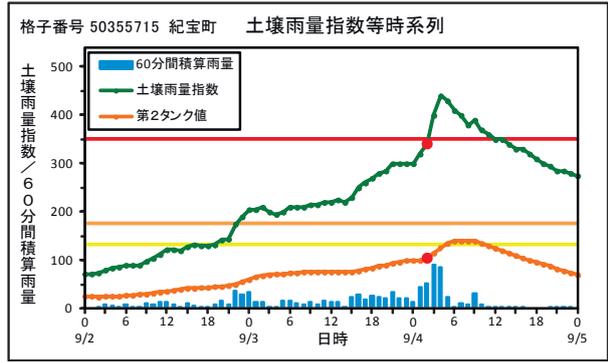
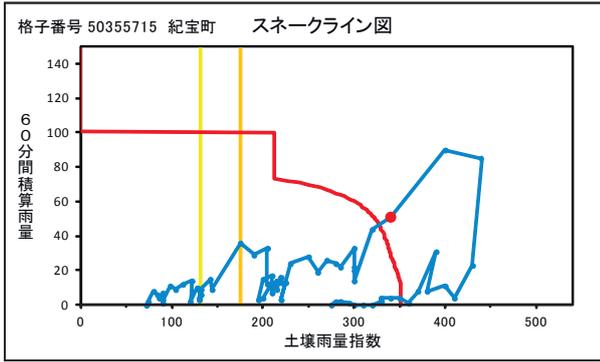
4日04時には、南牟婁郡紀宝町高岡で土石流（5戸全壊、3戸半壊、2戸一部破壊）が発生し、熊野市井戸町大馬で土石流が2件発生した。（第2.2.3.16図）

更に、4日05時30分には、南牟婁郡紀宝町神内で土石流（1戸半壊、5戸一部損壊）が発生した。（第2.2.3.17図）

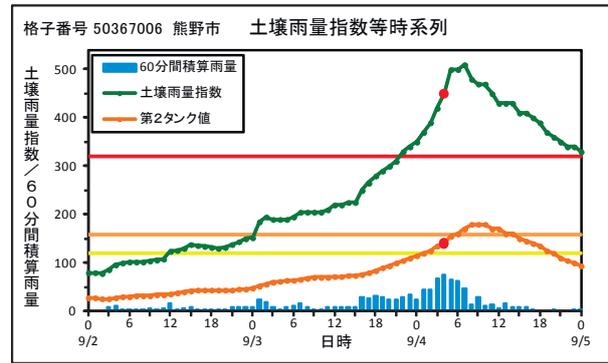
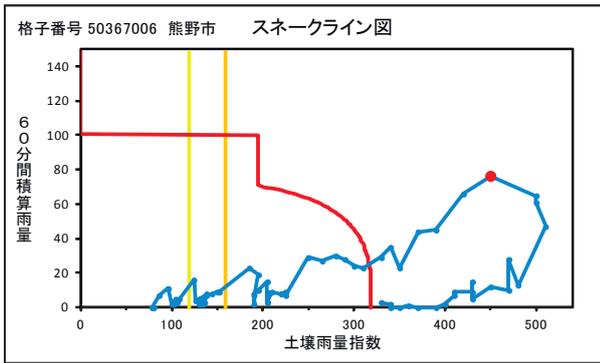
尾鷲以南の地域での災害事例は、土壌雨量指数が300を超える格子が広範囲に出現した地域で、スネークラインがCL基準線を超過後に発生しており、土壌雨量指数の第2タンク値が上昇中に多数の土砂災害が発生していた。

この地域の過去の土砂災害事例2008年9月19日尾鷲市の土砂災害（第2.2.3.18図）を含めて、何れの場合も土壌雨量指数の第2タンク値が上昇中からピーク時くらいまでに土砂災害が発生している。

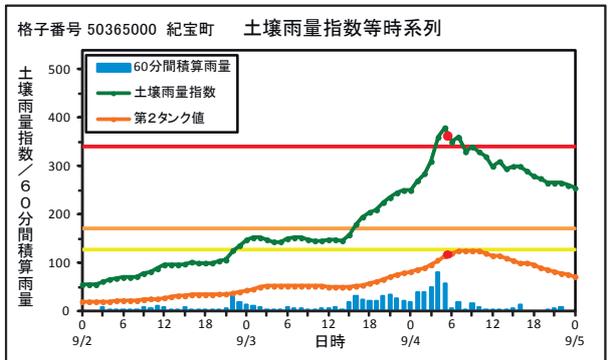
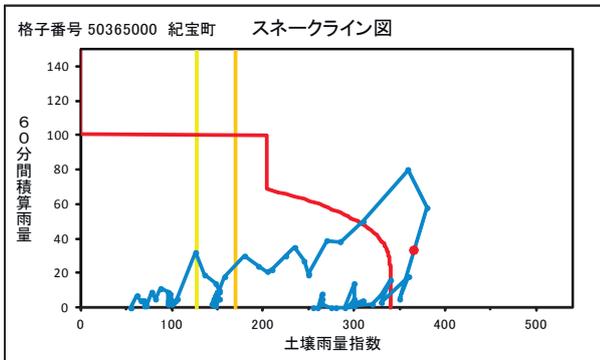
* 津地方気象台 梶家 英治（現 岐阜地方気象台）、岡本 和己（現 新潟地方気象台）、佐藤 真、田本 嘉巳、和喰 博司



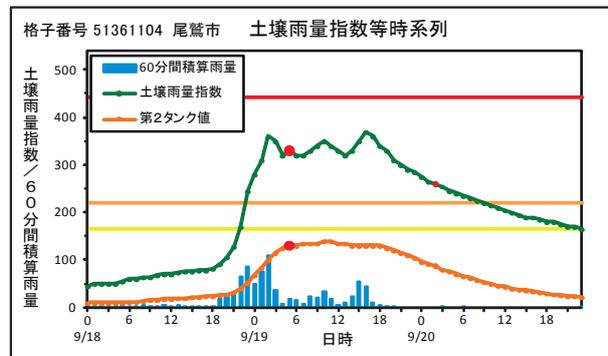
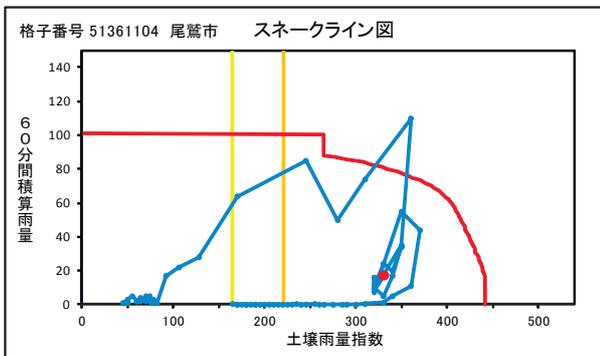
第2.2.3.15図 2011年9月2日～4日の紀宝町浅里和田におけるスネークラインと土壌雨量指数等の時系列図 (●は土砂災害発生時刻)



第2.2.3.16図 2011年9月2日～4日の熊野市井戸町大馬におけるスネークラインと土壌雨量指数等の時系列図 (●は土砂災害発生時刻)



第2.2.3.17図 2011年9月2日～4日の紀宝町神内におけるスネークラインと土壌雨量指数等の時系列図 (●は土砂災害発生時刻)



第2.2.3.18図 2008年9月18日～20日の尾鷲市南蒲地内におけるスネークラインと土壌雨量指数等の時系列図 (●は土砂災害発生時刻)

2.2.4 防災気象情報の発表と今後の課題

2.2.4.1 奈良地方気象台*

台風第12号の大雨により、奈良県南部では大規模な土砂災害による甚大な被害が発生した。

ここでは、被害の大きかった南部の市町村に発表した防災気象情報についての考察及びこれら市町村への訪問による聞き取り調査から今後の課題を整理した。

(1) 大雨・洪水警報等

9月1日11時17分、県南部に警報発表の可能性に言及した大雨・洪水注意報を発表した。同日15時48分には、一部の市町村に最初の大雨警報(土砂災害)を発表し、2日午前中までには雨域の状況に応じて、順次大雨警報(土砂災害)を発表した。2日16時02分には、大雨警報(土砂災害、浸水害)に切替え洪水警報と合わせて発表した。

4日には強い雨域は抜けたが、記録的な大雨による土砂災害の発生等を踏まえ、その後も大雨警報(土砂災害)や洪水警報を継続し、7日11時46分に全ての警報・注意報を解除した。発表、切替え、解除は合計37回に及んだが、概ね適切に発表することができた。

(2) 土砂災害警戒情報

9月2日10時35分、北部の一部市町村を対象に土砂災害警戒情報第1号を発表した。17時55分には第6号を発表し、その時までには南部の全市町村が警戒対象地域となった。その後も警戒対象地域を広げ、最終的には奈良県全40地域中、26地域(全39市町村中、25市町村)が警戒対象となった。

今回は台風の色が遅いため、長い期間大雨に警戒が必要で総降水量も多くなることが予想された。このため、土砂災害への警戒が必要と認められた地域に対しては、奈良県の担当部局と協議し、発表基準到達までに時間的に余裕がある地域に対しても、発表基準に到達した地域の発表に併せて、できるだけ早いタイミングで土砂災害警戒情報を

発表した。

奈良県で発生した大規模な土砂災害のうち、発生時刻が判明している15事例について調査した結果、土砂災害が発生した時刻は、いずれも土砂災害警戒情報発表後であった。

なお、土砂災害の発生場所の土壌雨量指数がCL基準に達する前に土砂災害が発生したケースもあったが、これらのケースについては、土砂災害警戒情報の対象となる現象であったかどうかも含めて今後も調査を進めたい。

(3) 府県気象情報

8月31日に「平成23年台風第12号に関する奈良県気象情報第1号」を発表し、3日にかけて大雨となるおそれがある旨の警戒を呼びかけた。その後、9月1日17時19分に発表した第4号では、2日から3日にかけて南部を中心に猛烈な雨が降る見込みとして、土砂災害や浸水害、河川のはん濫に厳重に警戒を呼びかけた。2日17時10分の第8号では、南部では総雨量が600ミリを超え、さらに今後24時間に800ミリの雨量を予想していること、3日05時54分の第12号では総雨量が1,000ミリを超えていることを伝えた。また、3日17時28分の第13号では総雨量が1,300ミリを超え、72時間降水量が極値を更新した地点があるなど記録的な大雨となっていることを伝えた。さらに、23時37分の第15号では引き続き土砂災害、浸水害、河川のはん濫に「最大限の警戒」を呼びかけた。その後、5日17時03分にかけて第22号まで発表した。

(4) 防災気象情報と各市町村の防災体制

平成23年10月から11月にかけて、南部の11市町村を訪問し、台風第12号の際の各市町村の防災対応と防災気象情報のかかわりについて聞き取り調査を行った。

各市町村とも防災体制の構築には、防災気象情報が判断基準の一つとして地域防災計画に位置づけられていた。今回、動きの遅い台風で長期間に

* 奈良地方気象台 鈴木 勇次(現 広島地方気象台)、武部 悦次(現 関西航空地方気象台)、小野 善史、政岡 孝明

わたって大雨が予想されていたことから、各市町村の初動の防災体制は防災気象情報を参考に早めに構築されていた。ただし、警報・注意報は、タイトルのみ確認し内容を確認していない市町村や、大雨警報は土砂災害と浸水害を区別して発表していることについて理解不足の市町村もあった。

府県気象情報の活用状況としては、今回の台風のような場合は、防災対応が繁忙を極めるため、内容までは確認できないときがあるとの声を多く聞いた。

今回の場合も奈良県気象情報で記述した「総雨量1000ミリ」や「最大限の警戒」については、十分に伝わっていなかった。その一方で、自主避難や避難勧告を防災行政無線で呼び掛ける際、奈良県気象情報を参考として活用している市町村もあった。

避難勧告等の発令については、防災気象情報が基本となっているものの、土砂災害の発生状況、河川の水位、ダムの放流情報、職員の巡回等による情報から発令の判断が行われていた。土砂災害警戒情報の発表は、避難勧告等の判断基準の一つとして、地域防災計画に記されている市町村もあり、土砂災害の危険性が高くなることは理解されていた。

(5) 今後の課題

各市町村では、災害発生前に避難勧告等を発令するとの意識はあるものの実際には災害発生後に発令されていた場合が多かった。

これは、避難勧告等を判断する上では、具体的に「どこで」「いつ頃」といった情報が必要であることや集落や避難所の殆どが土砂災害危険区域内に位置するため避難勧告等の発令は難しいとの問題もある。

また、土砂災害警戒情報発表中における対象災害の発生割合が低いことも原因の一つとして考えられる。

府県気象情報では、例えば24時間予想降水量が「南部の多い所で800ミリ」と発表しても、自市町村が対象になっているのかわからないとの意見があった。これについては、現在の一次細分区

域より具体的な地域別（市町村または市町村等をまとめた地域）の予想が必要である。さらに、県南部のほとんどが山地である地勢を考慮すると、早め広めの住民避難への支援の一つとして、48時間先や72時間先の予想降水量の提供も必要である。

早め広めの住民避難を行うためには、例えば800ミリの雨が降る予想に対して、市町村の防災担当者や住民が災害をイメージすることが大切である。そのためには、各市町村でも過去の災害について理解し、自市町村に何ミリの雨が降れば災害が発生して避難が必要であるのかを確認しておくことが必要であり、気象台としても市町村との連携を通じて協力していきたい。

奈良県では、近年、大雨による大きな災害が発生しておらず、7月の台風第6号により県南部のアメダス観測所で総降水量が800ミリを超えたが、大きな災害は発生しなかった。このため、このような災害に繋がることまでは想定できていなかった。

また、これまで市町村キャラバンなどで、防災行政無線を使ったホットラインの仕組みを伝えてはいたが、市町村の防災担当者が数年で交代したり、実際に照会するケースがほとんどなかったことなどにより、今回もお互いに連絡を取り合うことがなかった。

気象台としては、「総雨量1000ミリ」や「最大限の警戒」等の特別なキーワードを記した府県気象情報を発表した場合は、必要に応じて適宜ホットラインによる解説を行い、市町村が気象台と予報担当者が持つ危機感を共有することや情報の「短文化」など受け取る側が理解しやすい情報の発表に努めることが今後の課題であると考え。また、防災気象情報は複数のルートから市町村へ入るため、大雨による繁忙時は確認し難いのが現状である。防災気象情報を一元的に管理できるシステムの検討も必要であると考え。

気象台では、今回明らかになった課題に対処するため、市町村の防災担当者への気象知識や安全知識の普及・啓発、ホットラインの利活用のためのキャラバンや気象台でのインターネット防災情報提供システムの講習会を実施し、連携強化を図

っている。

また、過去の災害について検証を行い、市町村の防災担当者や住民が災害をイメージできる情報の提供を進めて行く。

2.2.4.2 和歌山地方気象台*

平成23年台風第12号の大雨により、和歌山県南部では大規模な土砂災害と洪水による甚大な被害が発生した。ここでは、発表した一連の防災気象情報について、被害の大きかった4つの市町村への聞き取り調査から今後の課題を整理した。

(1) 府県気象情報

8月31日11時37分に「平成23年台風第12号に関する和歌山県気象情報第1号」を発表し、南部では9月1日朝から局地的に雷を伴った激しい雨が降り、大雨となるおそれがある旨の警戒を呼びかけた。

その後、9月1日17時0分に発表した第4号では、南部を中心に総雨量がかなり多くなるおそれがあり、土砂災害や、浸水害、河川のはん濫に嚴重な警戒が必要なことを呼びかけた。2日16時49分の第7号からは降り始めからの総雨量を伝え、3日5時50分の第9号では600ミリ、3日22時57分の第14号では1,000ミリを超えていることを伝え、引き続き4日にかけて猛烈な雨が予想されることから嚴重な警戒を続けることを呼びかけた。また、台風が山陰沖に進んだ4日5時46分の第15号では、台風を取り巻く発達した雨雲による雨に対するさらなる警戒を呼びかけるために、「特に南部では最大級の警戒が必要です」のコメントを付加した。同日17時25分の第17号では、雨のピークは過ぎたが夜遅くにかけて局地的な激しい大雨が予想されたため、「記録的な大雨」となっていることを伝えて最大級の警戒を続けることを呼びかけた。その後、6日5時55分の最後の情報まで府県気象情報をのべ22回発表した。

(2) 大雨に関する警報・注意報

9月1日16時55分、県南部に警報発表の可能性を言及した大雨・洪水注意報を発表した。2日4時15分には南部の全市町村に大雨・洪水警報を発表し、同日13時10分には全市町村に大雨警報・洪水警報を発表した。

3日23時50分から大雨・洪水警報を徐々に解除、6日5時45分に田辺市、新宮市、那智勝浦町、北山村の大雨警報（土砂災害）の解除をもって全ての警報を解除した。

(3) 土砂災害警戒情報

9月2日11時45分に田辺市、新宮市に土砂災害警戒情報第1号を発表した。その後も警戒対象地域を広げ、3日23時5分に第14号を発表し、和歌山県全30地域中、25地域が警戒対象となった。

その後は4日8時30分の第15号から徐々に警戒対象地域が減少し、5日9時50分の第19号で日高川町が警戒解除地域となりすべての地域で解除となった。

(4) 指定河川洪水予報

9月2日19時15分に熊野川洪水予報第1号ではん濫注意情報を発表した。その後、紀の川、古座川、日高川、有田川でも相次いではん濫注意情報を発表した。さらに各河川とも水位上昇を続け、古座川では4日1時15分、日高川では4日1時20分にはん濫発生情報を発表した。また、熊野川、有田川でははん濫危険情報、紀の川でははん濫警戒情報を発表した。

(5) 記録的短時間大雨情報

9月4日3時に新宮市南部付近及び那智勝浦町付近で120ミリ以上、古座川町付近及び串本町付近で約110ミリを観測したため、3時26分に和歌山県記録的短時間大雨情報第1号を発表した。また、3時30分に太地町付近でも120ミリ以上を観測したため、4時1分に和歌山県記録的短時間大雨情報第2号を発表した。

* 和歌山地方気象台 片桐 一彦（現 八尾空港出張所）・藤崎 幹夫

(6) 今後の課題

各市町村における聞き取り調査では、何によってまたどのタイミングで危機感を持ったか、気象台が発表した防災気象情報を防災対応に活用できたかなどを、土砂災害警戒情報を中心に聞き取りを行った。

各市町村は、3日夕方から4日未明頃の降水によって危機感を持ったとの意見が多く、1,000ミリ程度の雨量は、たびたび経験しており、これまでに発生した被害から、あまり危機感を感じないとの意見もあった。また、土壌雨量指数や流域雨量指数などの数値より、水位情報などの実況の方が利用しやすいという意見や、府県気象情報の「今後予想される降水量は多い所〇〇ミリ」によって自市町村が対象になると思えず、その量が被害に結びつく量なのか判断できないとの意見があった。土砂災害警戒情報は、防災対策に活用できたとの意見もあったが、5km格子内の危険度から地区ごとの避難情報に結びつけることの困難さから、情報の発信側と受け手側との認識の相違が改めて浮き彫りとなった。

聞き取り調査から、防災気象情報に記述した降り始めからの総雨量や雨の予想が、市町村の危機感にすぐにつながっていなかったが、実況と今後の予想は、各市町村それぞれに対する情報であることをしっかりと認識してもらう事が課題である。台風第12号災害の後に気象台から能動的ホットラインという形で何度か市町村に直接電話をして解説した。それに対し、各市町村ともに非常に有効な情報で今後も継続を望んでおり、種々の防災気象情報が流れてくる中で、気象台からの直接的な情報支援はとても重要と評価されている。市町村に対してさらに積極的に働きかける情報のあり方とそのタイミングが重要で、非常時には、インターネット防提などを利用して、互いに同じ画面を見て話し合うなど、気象台と市町村が認識を共有していく。平常時には、市町村との継続し

た連携を通して、土砂災害警戒情報などの持つ意味の周知が大切であるとともに、市町村の実情を把握して、より防災対応に結びつく情報の検討を進めていく。

2.2.4.3 津地方気象台*

(1) 防災気象情報の発表状況

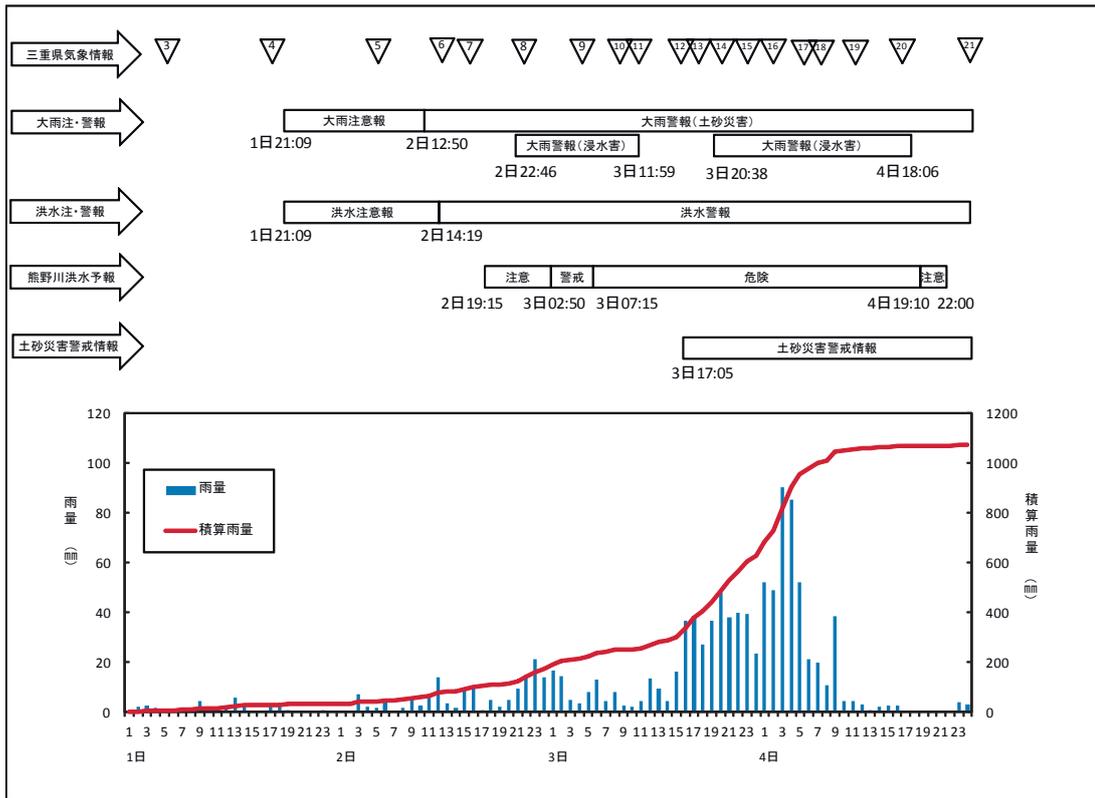
津地方気象台では、土砂災害危険箇所がない木曾岬町と川越町を除く全市町に大雨警報（土砂災害）、南部を中心に大雨警報（浸水害）、県内に広く洪水警報を発表した。また、土砂災害警戒情報は、南部を中心に17市町（18地域）、指定河川洪水予報は対象となる4河川全てに発表した。

この期間に、三重県内で最も激しい雨が降ったのは、台風が岡山県南部に再上陸して中国地方を北上していた3日夜から4日朝にかけてである。特に9月4日4時40分までの1時間には、熊野市瀬戸（三重県管理）で131ミリを観測し、記録的短時間大雨情報を発表した。3日夜には、台風が遠ざかるステージであったが、南からの暖湿流による大雨ポテンシャルの高い状況が継続することの判断から、実況監視の一層の強化を続けたことにより、適切な警報の切替えや「最大級の警戒」のキーワードを用いた気象情報を早期に発表できた。

防災気象情報等の発表状況を甚大な被害の発生した紀宝町を例に、第2.2.4.1図に示す。

今回、県庁の防災部局を対象に台風説明会を3回実施し、9月1日に行った2回目には、総雨量が1,000ミリを超える可能性があること、及び台風の上陸後も南部を中心に大雨が続く可能性があることを説明し、危機感を伝えた。しかし、1,000ミリを超える総雨量がどういう状況になるのかを受け手側がイメージできなかったため、県から市町の防災担当者に対して気象台からの危機感を十分に伝えられなかったと思われる。

* 津地方気象台 岡田 健一（現 名古屋地方気象台）、岡本 和己（現 新潟地方気象台）、奥田 宗廣、和喰 博司



第2.2.4.1図 紀宝町に発表した防災気象情報の発表状況とアメダス御浜(御浜町)の降水量(2011年9月1日～4日)

(2) 今後の課題

台風第12号に係る市町防災担当者への聞き取り調査から、防災気象情報の中で大雨警報は、その発表をトリガーとして災害対策本部を設置するなど市町の防災体制に使用されているが、避難勧告等の発令には直接的に利用されていないことが分かった。特に浸水害を対象とした避難勧告等の発令基準は、防災気象情報の地域防災計画への記述がなく、河川の水位実況等が基準とされている。

また、土砂災害警戒情報については、土砂災害を対象とした避難勧告等の発令基準としているものの、発表対象を市町としているため、詳細な危険地域が絞れないことから、発令に直接的には利用されていないとの回答があった。気象情報では危機感を伝えるため、「最大級の警戒」のキーワードを使用した。市町防災担当者への聞き取り調査では「災害へのイメージができなかった」との回答があり、気象台で意図した効果が必ずしも

得られなかった。

危機感が伝わらなかった原因は、「最大級の警戒」のキーワードはどういった時に使用するのか、気象情報が具体的に何を伝える情報なのか、事前に市町の防災担当者に対して、気象台からの周知・広報が十分でなかったことが考えられる。

これを踏まえて、津地方気象台では、平成23年度から市町の防災担当者を対象に、基本的防災知識普及を目的とした「市町防災担当者研修」を、三重県と共同で実施している。研修では、気象台の防災気象情報がどういう場面で発表され、どのように役立てていただくか説明している。

また、台長の首長訪問などの機会にも、首長や防災担当者に同様の説明を行い、防災気象情報が避難勧告等の発令の判断に利用してもらえるように周知・啓発している。同時に、ホットラインについても説明し、活用していただくようお願いしている。

2.2.5 明治22年8月の台風大水害との比較*

2.2.5.1 はじめに

明治22年(1889年)8月に台風により奈良県及び和歌山県で大水害があり、その記録が残っている。これは、奈良県十津川郷(現十津川村)の被災住民2,700人あまりが北海道(現新十津川町)に移住することとなった災害であるが、この台風による気象状況が、このたびの平成23年台風第12号によるものに類似しているということが判ってきた。

この明治22年の台風に関する資料は、当時の観測資料や災害史等が残ってはいるものの、限られており、また近年の台風のように予報業務にすぐに活用できるほどに整理されたものはない。ここでは、今後、台風等の気象現象により大災害が予想される状況において、防災気象情報に過去の災害経験を盛り込むことによってより危機感を伝える方策を検討していくに当たって、相当古い災害資料でも整理しておけば活用できるのではないかと、の観点から、そのきっかけとなるよう、今回の事例の類似点を確認しておくことにする。ただし、明治時代の観測値等には、資料によって食い違

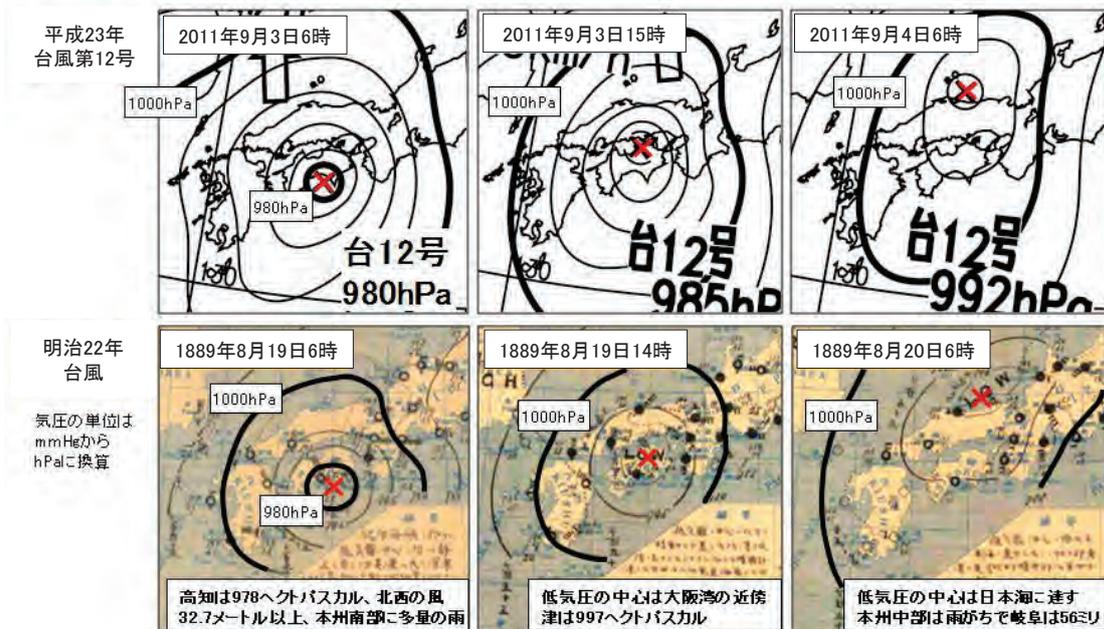
ものや不正確と思われるものが含まれており、資料の取り扱いには注意が必要である。

ここに上げる資料は、今回の台風災害後に和歌山地方气象台、奈良地方气象台及び気象庁本庁において調査した資料によっている。また、それぞれの調査の元となった資料は次に示すものである。

- ・中央气象台作成天気図1
- ・和歌山県下各地気象比較表:和歌山測候所(当時の観測値の記録表)
- ・和歌山県災害史:和歌山県
- ・大水害(明治22年十津川郷における大水害と北海道移住の記録):平成18年9月十津川村歴史民俗資料館
- ・十津川水害と北海道移住:平成18年1月:蒲田文雄,小林芳正共著(注:データ等は「吉野郡水災誌」が元になっている)

2.2.5.2 台風の経路, 気象状況等

平成23年台風第12号と明治22年の台風に関する天気図を第2.2.5.1図に示す。また、平成23年台風第12号の経路図を第2.2.5.2図に、明治22

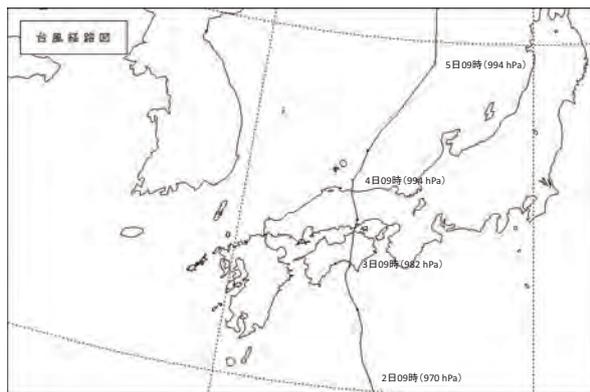


第2.2.5.1図 平成23年台風第12号と明治22年の台風に関する天気図

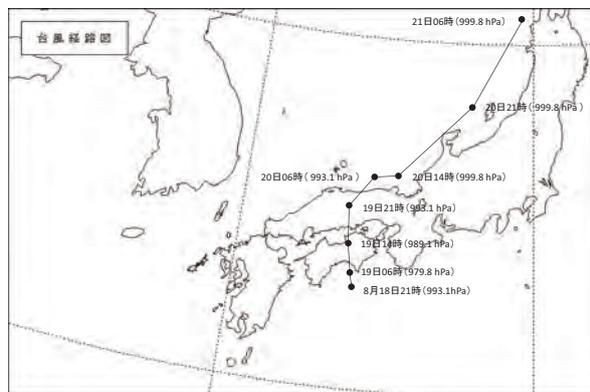
* 大阪管区气象台 楠木 英典(現鳥取地方气象台), 小笹 幸和, 佐伯 準司, 橋本 修(現松山空港出張所), 坂田 賢志

年の台風の経路図を第2.2.5.3図に示す。

中心気圧、台風の規模、台風の進路・速度とも、両者は非常によく似ている。四国の南海上に北上した台風は高知県東部に上陸し、その後も北上を続け岡山県に再上陸した後中国地方を北上し山陰沖に抜けている。また、上陸時の中心気圧も共に980hPa前後であったが、明治22年の台風の1,000hPaの等圧線に囲まれた範囲は台風第12号よりやや小さく、等圧線の間隔が狭いため気圧の傾きが大きく、紀伊半島の山地斜面に吹き付ける南寄りの風とそれに伴う大雨は、台風第12号より強かったと推察される。



第2.2.5.2図 平成23年台風第12号の経路図



第2.2.5.3図 明治22年の台風の経路図

本図は、中心位置に天気図の最小の等圧線の中心を、また、中心気圧に最小の等圧線の値を当てはめて作成した。

2.2.5.3 大雨の状況

平成23年台風第12号による降雨は、9月1日から5日にかけて降り続き、3日がピークとなった。第2.2.5.4図に示す田邊観測所の近隣のアメダスでは、3日に和歌山県内の南紀白浜で日雨量346.0ミリ、総雨量は555.0ミリ、日置川で日雨量470.5ミリ、総雨量は839.5ミリを観測した(第2.2.5.1表参照)。また、山間部の奈良県内の上北山では総雨量が1,814.0ミリを観測した。

明治22年の台風では、8月17日から20日にかけて降り続き、和歌山県内の田邊観測所で20日に日雨量901.7ミリ(14時までの前24時間雨量)、総雨量は1,295.4ミリに達した(第2.2.5.2表参照)。災害が多発した山間部では、さらに雨量が多かったと推察される。田邊観測所の位置は沿岸部であるが、3日の日雨量は同じ沿岸部に位置する南紀白浜の平成23年台風第12号による雨量の約2.5倍の値を観測している。

明治時代の詳細な雨量分布が不明であるため詳細な比較はできないが、大雨の規模としてはおおむね似ていると思われる。また、両事例ともに、台風中心が日本海側に抜けた時点でも大雨が継続している点が非常によく似ている。



第2.2.5.4図 現在のアメダス配置と明治22年の田邊観測所位置

第2.2.5.1表 アメダス日雨量(平成23年台風第12号)
単位はミリ

	南紀白浜	日置川	来栖川	川辺
9月1日	3.0	13.5	76.5	38.0
9月2日	130.0	216.0	271.0	57.0
9月3日	346.0	470.5	396.5	302.0
9月4日	73.5	139.5	221.5	8.0
9月5日	2.5	0.0	2.0	4.0
総雨量	555.0	839.5	967.5	409.0

第2.2.5.2表 田邊観測所の日雨量(明治22年の台風)
単位はミリ

	田邊
8月18日	25.4
8月19日	368.3
8月20日	901.7
総雨量	1295.4

2.2.5.4 災害の状況

平成23年台風第12号と明治22年の台風に関する被害状況を第2.2.5.3表に示す。

死者、全壊家屋、堰止湖発生数のいずれも明治22年の台風が多く、特に和歌山県では1,247人の犠牲者が出ている。災害の規模としては、明治22年の台風によるものの方が大きいと言える。

2.2.5.5 まとめ

平成23年台風第12号と明治22年の台風を比較した結果、両者の進路や中心気圧などが良く類

第2.2.5.3表 被害状況

		平成23年 台風第12号	明治22年の台風
死者・行方不明者	奈良県	24人+	168人++
	和歌山県	60人+	1247人++
全壊家屋 (流出を含む)	奈良県	49戸+	610戸
	和歌山県	371戸+	不明
崩壊土砂による 堰止湖発生数	奈良県	13か所	57か所
	和歌山県	4か所	

+ : 平成24年3月12日現在(県発表)

++ : 死者のみ的人数として記録されている。

似していることが分かった。

120年以上前の明治22年台風大水害はあまりにも過去の災害であり、聞き取り調査の結果、現在の住民がその大災害をイメージすることは難しく、また災害経験を教訓とした避難行動は取っていない。しかし、住民は近年の台風時の降雨や河川の状況から、避難場所の確保が困難な地域にあっても、より安全な場所へと自主的に避難している。このことが自治体の早めの避難の呼びかけに繋がり、被害を免れた住民も多かった。

これらのことから、相当過去の災害であっても、顕著な災害事例については、気象や災害の主要な資料が残っている場合には、最近の気象災害と比較できるようにその資料を整理したうえで、気象台と府県及び関係市町村が共有して災害をイメージできるようにしておけば、気象台が発表する防災気象情報に活用して危機感を共有する材料の一つになるものと考えられる。

2.3 台風第15号による大雨の解析と災害の状況

2.3.1 台風第15号に伴う気象状況

2.3.1.1 台風第15号の概要*

平成23年9月13日15時に日本の南海上で発生した台風第15号は、北に進んだ後西に向きを変え、15日にかけて大東島地方に向かって進んだ。台風は、南大東島の南海上を通過した後速度を緩め、16日から18日にかけて南大東島の西海上を反時計回りに円を描くようにゆっくり動いた。その後、19日21時には大型で強い台風（中心気圧970hPa、最大風速35m/s）となって奄美群島の南東海上を北東に進み、20日21時には四国の南海上に達し、大型で非常に強い勢力（中心気圧940hPa、最大風速50m/s）となった。台風は、速度を速めつつ四国の南海上から紀伊半島に接近した後、勢力をやや弱めたものの、大型で強い勢力を保ったまま21日14時頃に静岡県浜松市付近に上陸した（中心気圧950hPa、最大風速40m/s）。その後も強い勢力を保ったまま東海地方から関東地方、東北地方を通過し、21日夜遅くに福島県沖に抜けた。その後、22日朝に北海道の南東海上に進み、同日15時に千島近海で温帯低気圧に変わった（第2.3.1.1図）。

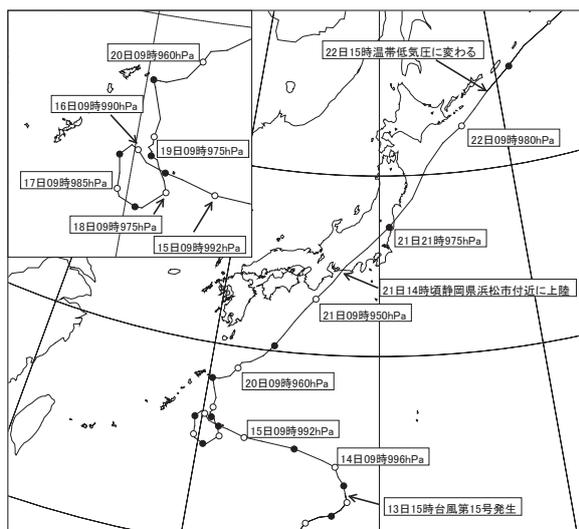
台風第15号の接近、通過により、九州地方から北海道地方にかけての広い範囲で被害が発生

し、土砂崩れや強風による転倒、高波にさらわれるなどにより全国で18人が死亡、1人が行方不明となっている（被害状況は平成23年12月28日内閣府まとめによる）。

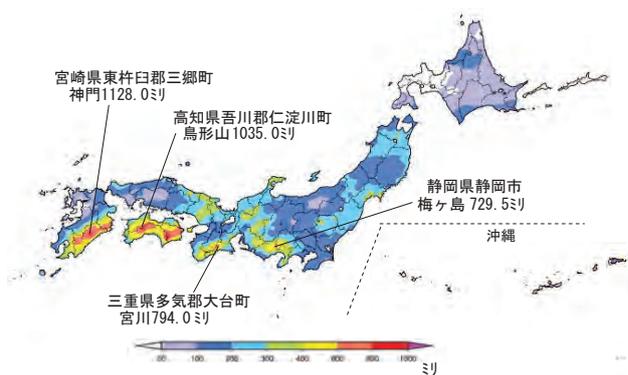
2.3.1.2 大雨の状況

台風が、9月16日から18日にかけて南大東島の西海上にしばらく留まり、21日にかけての長期間にわたり湿った空気が本州に流れ込んだこと、上陸後も強い勢力を保ちながら北東に進んだことにより、西日本から北日本にかけての広い範囲で大雨となった。

第2.3.1.2図に9月15日0時から9月22日24時の総降水量の分布図を、第2.3.1.1表及び第2.3.1.2表に24時間降水量と72時間降水量の極値の更新について示す。9月15日0時から9月22日24時の総降水量は、宮崎県美郷町神門で1,128.0ミリ、高知県仁淀川町鳥形山で1,035.0ミリとなるなど、九州や四国の一部で1,000ミリを超え、九州地方から東海地方にかけての南東斜面を中心に総降水量が500ミリを超えた。また、24時間降水量では四国地方から東北地方にかけての17地点で、72時間降水量では九州地方から東北地方にかけての36地点で極値を更新した（いずれも統計期間10年以上の地点）。



第2.3.1.1図 台風第15号の経路図



第2.3.1.2図 台風第15号に伴う降水量の分布（9月15日～9月22日の総降水量）

* 予報部予報課 大矢 正克

第2.3.1.1表 台風第15号に伴う24時間降水量の極値更新状況

統計期間10年以上の地点に限る。@は対象期間に欠測等がある値を示す。

都道府県	市町村	地点名(よみ)	最大24時間降水量			これまでの観測史上1位		
			(ミリ)	月日	時分	(ミリ)	年月日	時分
宮城県	石巻市	雄勝(オカツ)	437.0@	9/21	23:10	357	2000/07/08	24:00
宮城県	石巻市	石巻(イシマキ)	231.0	9/21	23:10	214	2002/07/11	08:00
山梨県	甲府市	古閑(フルセキ)	376.0	9/21	18:20	359	1982/08/02	04:00
岐阜県	下呂市	宮地(ミヤジ)	293.5	9/20	21:40	234	1976/09/09	20:00
岐阜県	下呂市	金山(カナヤマ)	251.5	9/20	20:40	240	1976/09/09	19:00
岐阜県	中津川市	付知(ツチ)	247.5	9/20	21:30	213	2000/09/12	07:00
岐阜県	加茂郡八百津町	伽藍(ガラン)	338.5	9/20	19:40	239.0	2010/07/15	23:30
岐阜県	加茂郡白川町	黒川(クロカワ)	265.0	9/20	21:30	204	1999/09/15	17:00
岐阜県	多治見市	多治見(タジミ)	432.0@	9/20	19:00	366	2000/09/12	06:00
石川県	輪島市	門前(モンゼン)	185.0	9/21	10:50	169	2002/07/10	07:00
石川県	羽咋郡志賀町	志賀(シカ)	162.5	9/21	11:50	158.0	2010/09/08	11:10
兵庫県	西脇市	西脇(ニシワキ)	199.0	9/21	03:10	190	1983/09/28	17:00
兵庫県	三木市	三木(ミキ)	203.0	9/21	05:10	165	1983/09/28	18:00
兵庫県	神戸市中央区	神戸(コウベ)	167.5	9/21	05:40	160	2000/09/12	08:00
兵庫県	淡路市	郡家(グンケ)	375.5	9/21	03:30	334@	2004/10/20	17:40
兵庫県	洲本市	洲本(スモト)	332.0	9/21	04:30	317	2004/10/20	18:00
徳島県	徳島市	徳島(トクシマ)	489.0	9/21	06:30	294	1988/06/03	15:00

第2.3.1.2表 台風第15号に伴う72時間降水量の極値更新状況

統計期間10年以上の地点に限る。@は対象期間に欠測等がある値を示す。

都道府県	市町村	地点名(よみ)	最大72時間降水量			これまでの観測史上1位		
			(ミリ)	月日	時分	(ミリ)	年月日	時分
秋田県	鹿角郡小坂町	藤原(フジワラ)	198.0	9/20	14:00	184	2002/08/11	09:00
宮城県	栗原市	築館(ツキダテ)	208.0	9/22	19:10	197	2002/07/11	19:00
宮城県	登米市	米山(コネヤマ)	265.5	9/22	09:00	245	1991/10/14	02:00
宮城県	大崎市	古川(フルカワ)	246.5	9/22	13:30	224	1986/08/07	09:00
宮城県	石巻市	雄勝(オカツ)	542.0@	9/22	03:20	408	1991/10/13	24:00
宮城県	黒川郡大衡村	大衡(オオヒラ)	313.5	9/22	13:50	281	1986/08/07	09:00
宮城県	大崎市	鹿島台(カシマダイ)	334.0	9/22	07:30	271@	1986/08/07	08:00
山形県	西村山郡西川町	大井沢(オオイサワ)	244.5	9/22	12:00	229.0	2011/06/25	19:00
山形県	山形市	山形(ヤマガタ)	231.5	9/22	12:50	185	1981/08/24	05:00
山形県	東置賜郡高島町	高島(タカハタ)	202.5	9/22	18:00	186	1978/06/28	23:00
山形県	西置賜郡飯豊町	中津川(ナカツカワ)	235.0	9/22	18:10	192	2002/07/12	12:00
山形県	米沢市	米沢(コネサワ)	216.0	9/22	13:40	216	1978/06/28	21:00
福島県	福島市	茂庭(モエテ)	228.0	9/22	18:40	224	2002/07/12	14:00
福島県	福島市	福島(フクシマ)	289.0	9/22	19:50	270	1998/08/30	14:00
福島県	郡山市	郡山(コオリヤマ)	250.5@	9/22	16:40	241	1998/08/30	14:00
岐阜県	下呂市	宮地(ミヤジ)	348.5	9/22	15:40	317	2006/07/19	10:10
岐阜県	中津川市	付知(ツチ)	293.0	9/22	15:50	262	1989/09/05	23:00
岐阜県	加茂郡八百津町	伽藍(ガラン)	402.0	9/22	15:30	319.5	2010/07/16	00:50
岐阜県	加茂郡白川町	黒川(クロカワ)	332.5	9/22	15:40	291.5	2010/07/16	05:40
岐阜県	多治見市	多治見(タジミ)	496.0@	9/22	19:00	390	2000/09/14	02:00
新潟県	岩船郡粟島浦村	粟島(アワシマ)	250.5	9/22	16:30	203	1997/06/29	09:00
富山県	南砺市	南砺高宮(ナトタカミヤ)	268.0	9/22	13:40	254	2006/07/19	01:20
石川県	輪島市	輪島(ワジマ)	326.5	9/22	11:50	298	1976/09/11	21:00
石川県	輪島市	門前(モンゼン)	292.0	9/22	11:40	245	1976/09/11	21:00
石川県	羽咋郡志賀町	志賀(シカ)	270.0	9/22	12:20	237	1976/09/11	21:00
石川県	七尾市	七尾(ナナオ)	306.0	9/22	13:10	244	1985/07/13	21:00
石川県	かほく市	かほく(カホク)	290.0	9/22	23:50	246	1991/07/01	22:00
京都府	宮津市	宮津(ミヤツ)	320.0	9/22	16:20	314	1976/09/11	18:00
京都府	綾部市	綾部(アヤハ)	304.0	9/22	09:10	303	2004/10/22	03:30
京都府	福知山市	三和(ミワ)	309.5	9/22	09:50	308	2004/10/22	03:30
兵庫県	三木市	三木(ミキ)	247.5	9/22	19:00	216	1983/09/28	19:00
兵庫県	淡路市	郡家(グンケ)	444.0	9/22	18:00	374@	2004/10/22	02:10
兵庫県	洲本市	洲本(スモト)	411.0	9/22	18:00	373	2004/10/22	02:40
徳島県	徳島市	徳島(トクシマ)	600.0	9/21	12:10	550	1976/09/12	13:00
大分県	大分市	佐賀関(サガノセキ)	370.0	9/21	02:30	344	2005/09/07	11:10
大分県	臼杵市	臼杵(ウスキ)	562.0	9/20	21:40	546	2005/09/07	09:30

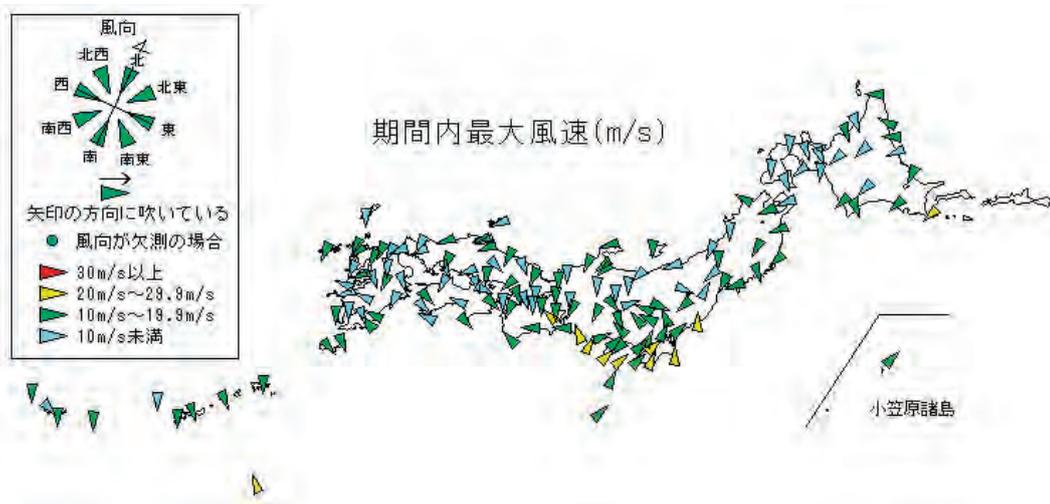
2.3.1.3 暴風の状況

台風が強い勢力で本州に接近し、上陸した後も強い勢力を保って東海地方から関東地方を通過したため、東海地方から関東地方の太平洋沿岸を中心に最大風速 20m/s を超える非常に強い風を観測した。

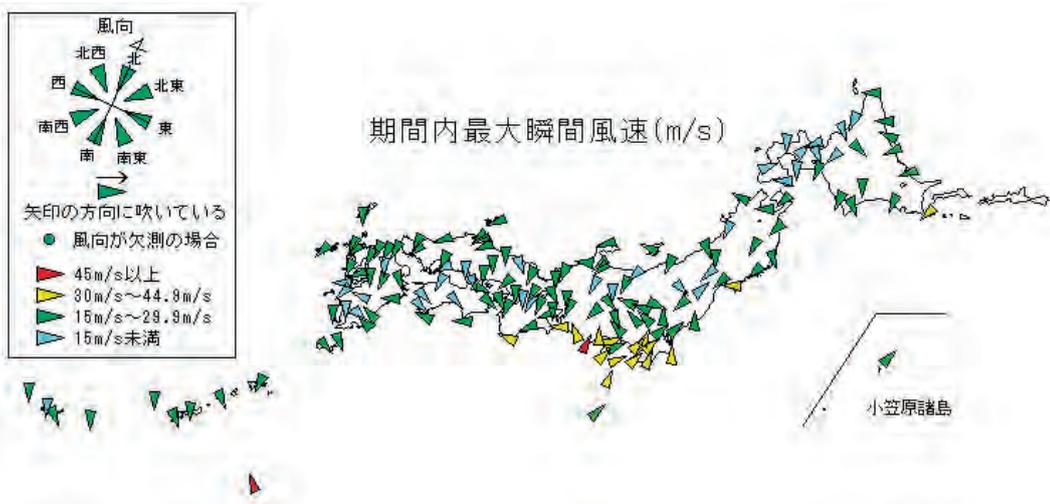
第 2.3.1.3 図及び第 2.3.1.4 図に 9 月 15 日から 22 日にかけての最大風速と最大瞬間風速の分布（気象官署）を、第 2.3.1.3 表及び第 2.3.1.4 表に最大風速が 25 m/s 以上を観測した地点と最大瞬間

風速が 40 m/s 以上を観測した地点を示す。

東京都の江戸川臨海ではこれまでの記録を更新する最大風速 30.5m/s を観測し、最大瞬間風速は 41.0m/s を観測した。首都圏では 21 日夕方から夜のはじめ頃にかけて台風の接近により非常に強い風が吹き、電車を中心とする公共交通機関がストップした。帰宅時間と重なったため、都内の主要な駅では足止めされた人々により大混雑となった。



第 2.3.1.3 図 台風第 15 号に伴う最大風速の分布



第 2.3.1.4 図 台風第 15 号に伴う最大瞬間風速の分布

第2.3.1.3表 台風第15号に伴う最大風速25m/s以上を観測した地点

順位	都道府県	市町村	地点名(よみ)	風速			
				(m/s)	風向	月日	時分
1	北海道	幌泉郡えりも町	えりも岬(エリモサキ)	35.4	北北東	9/22	04:40
2	東京都	神津島村	神津島(コウヅシマ)	31.1	南	9/21	14:07
3	東京都	三宅村	三宅坪田(ミヤケツボタ)	30.7	南南西	9/21	16:10
4	東京都	江戸川区	江戸川臨海(エトガワリンカイ)	30.5	南南西	9/21	18:25
5	静岡県	御前崎市	御前崎(オマエザキ)	29.7	南	9/21	14:34
6	沖縄県	島尻郡南大東村	南大東島(ミナダイトウジマ)	29.4	南東	9/18	10:46
7	静岡県	賀茂郡南伊豆町	石廊崎(イロウザキ)	29.3	南南西	9/21	15:31
8	東京都	大田区	羽田(ハネダ)	26.7	南	9/21	17:37
9	北海道	根室市	納沙布(ナサブ)	26.2	東北東	9/22	06:05
10	東京都	大島町	大島北ノ山(オオシマキタノヤマ)	26.1	南南西	9/21	16:20
11	神奈川県	藤沢市	辻堂(ツジドウ)	25.8	南南西	9/21	17:34
12	静岡県	牧之原市	静岡空港(シズオカクウコウ)	25.7	南	9/21	14:42
13	沖縄県	島尻郡北大東村	北大東(キタイトウ)	25.6	東南東	9/18	09:59
14	東京都	大島町	大島(オオシマ)	25.2	南南西	9/21	16:35
14	沖縄県	島尻郡南大東村	旧東(キョウトウ)	25.2@	東南東	9/18	08:39
15	愛知県	常滑市	セントレア	25.0	北北西	9/21	13:38

第2.3.1.4表 台風第15号に伴う最大瞬間風速40m/s以上を観測した地点

順位	都道府県	市町村	地点名(よみ)	風速			
				(m/s)	風向	月日	時分
1	北海道	幌泉郡えりも町	えりも岬(エリモサキ)	46.1	北北東	9/22	03:23
2	沖縄県	島尻郡南大東村	南大東島(ミナダイトウジマ)	45.5	南東	9/18	10:40
3	静岡県	御前崎市	御前崎(オマエザキ)	45.1	南	9/21	14:34
4	東京都	八王子市	八王子(ハチオウジ)	43.1	南	9/21	16:37
5	東京都	大島町	大島(オオシマ)	42.1	南西	9/21	16:00
6	東京都	江戸川区	江戸川臨海(エトガワリンカイ)	41.0	南南西	9/21	18:24
7	東京都	神津島村	神津島(コウヅシマ)	40.1	南	9/21	14:57
7	静岡県	牧之原市	静岡空港(シズオカクウコウ)	40.1	南	9/21	14:41
9	静岡県	賀茂郡南伊豆町	石廊崎(イロウザキ)	40.0	南南西	9/21	15:19

2.3.1.4 高潮の状況

台風による高潮は、台風が強い勢力で日本付近に接近、通過したため、九州地方から北海道の広い地域で潮位偏差50cm以上を観測し、近畿地方から東北地方の太平洋沿岸では1m以上の潮位偏

差を観測した(第2.3.1.5表)。東日本大震災により地盤が沈下した東北地方の太平洋沿岸では注意報基準を超える潮位となり、一部では警報基準を超え、浸水などの被害が発生した。

第2.3.1.5表 台風第15号に伴う最大潮位偏差と最高潮位（最大潮位偏差50cm以上の地点）
 () がついている場合は、期間内に欠測があったことを示す。

観測地点	都道府県	最大潮位偏差		最高潮位	
		(cm)	起時	(標高, cm)	起時
種子島	鹿児島	57	2011/09/20 14:04	111	2011/09/19 21:49
洲本	兵庫	54	2011/09/21 01:12	99	2011/09/20 19:38
土佐清水	高知	58	2011/09/21 02:26	112	2011/09/20 22:24
高松	香川	54	2011/09/21 03:00	128	2011/09/20 16:19
宇野	岡山	54	2011/09/21 03:08	133	2011/09/20 16:09
大阪	大阪	54	2011/09/21 04:59	108	2011/09/21 16:25
淡輪	大阪	58	2011/09/21 05:20	108	2011/09/21 16:39
室戸岬	高知	86	2011/09/21 05:24	120	2011/09/20 22:26
和歌山	和歌山	55	2011/09/21 05:49	94	2011/09/20 23:01
小松島	徳島	65	2011/09/21 05:55	108	2011/09/20 23:00
高知	高知	65	2011/09/21 06:07	114	2011/09/20 21:44
阿波由岐	徳島	83	2011/09/21 06:28	108	2011/09/20 22:17
御坊	和歌山	127	2011/09/21 06:53	121	2011/09/20 23:05
神戸	兵庫	54	2011/09/21 07:02	107	2011/09/21 16:18
白浜	和歌山	83	2011/09/21 07:25	112	2011/09/20 22:18
浦神	和歌山	86	2011/09/21 08:42	100	2011/09/21 09:45
串本	和歌山	100	2011/09/21 08:49	126	2011/09/21 10:34
尾鷲	三重	75	2011/09/21 10:30	104	2011/09/21 12:08
熊野	三重	81	2011/09/21 10:35	99	2011/09/21 10:35
名古屋	愛知	81	2011/09/21 12:26	127	2011/09/21 12:27
三宅島	東京	65	2011/09/21 12:55	87	2011/09/21 12:55
赤羽根	愛知	148	2011/09/21 13:11	171	2011/09/21 13:11
鳥羽	三重	111	2011/09/21 13:12	150	2011/09/21 13:12
御前崎	静岡	53	2011/09/21 14:22	85	2011/09/21 14:22
石廊崎	静岡	(125)	2011/09/21 14:58	(152)	2011/09/21 14:58
舞阪	静岡	128	2011/09/21 15:12	151	2011/09/21 15:00
岡田	東京	74	2011/09/21 15:37	96	2011/09/21 15:37
清水港	静岡	67	2011/09/21 15:49	104	2011/09/21 15:49
小田原	神奈川	99	2011/09/21 16:09	123	2011/09/21 16:09
布良	千葉	118	2011/09/21 18:07	152	2011/09/21 18:07
内浦	静岡	73	2011/09/21 18:29	105	2011/09/21 20:41
東京	東京	123	2011/09/21 18:35	166	2011/09/21 19:49
小名浜(臨時)	福島	(76)	2011/09/21 19:02	(105)	2011/09/21 19:02
大洗(臨時)	茨城	(68)	2011/09/21 20:38	(108)	2011/09/21 20:38
鮎川(臨時)	宮城	67	2011/09/21 22:35	103	2011/09/21 21:45
大船渡(臨時)	岩手	62	2011/09/22 00:41	81	2011/09/21 20:29
宮古(臨時)	岩手	119	2011/09/22 05:43	142	2011/09/22 11:21
花咲	北海道	60	2011/09/22 10:05	68	2011/09/22 20:30

(注)：標高の基準は、TP（東京湾平均海面）又は国土地理院の高さの基準若しくは平均潮位
 潮位偏差は推算潮位（天文潮位）からの偏差

2.3.2 局地的な大雨の解析*

2.3.2.1 下層暖湿気の流れの状況

(1) 降水の特徴

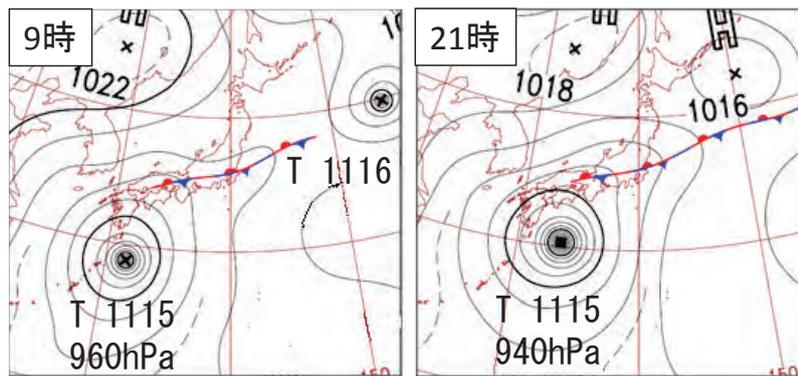
台風第15号の影響で愛知県名古屋市から岐阜県多治見市付近では2011年9月20日朝から夕方にかけて大雨となった。降水の特徴は、本州上に停滞していた前線に向かって、台風の周辺を回る下層暖湿気が流れ込み、線状降水帯が形成され、この状態が長時間維持されたことである。

(2) 総観場と降水実況

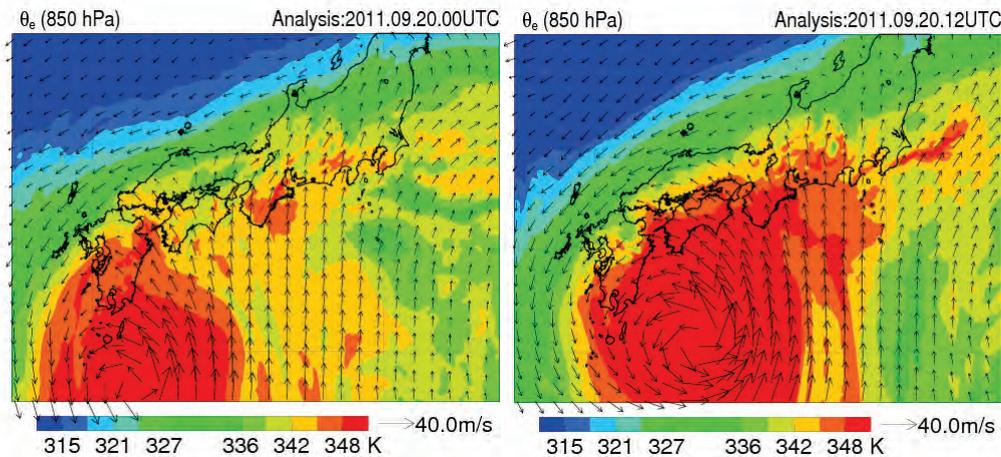
第2.3.2.1図に示すように、9月20日9時と21時の地上天気図では、停滞前線が日本の東海上から本州上にのび、台風第15号は日本の南海上を発達しながら北東に進んだ。

第2.3.2.2図に示すように、850hPa面では9月20日の9時から21時にかけて、愛知県付近の風向が、台風の北上と共に南南西から南南東に変わり345K以上の高相当温位が流入した。特に12時から15時にかけては、第2.3.2.3図に示すように、愛知県西部から岐阜県美濃地方にかけて高相当温位域が存在し、線状降水帯はこの高相当温位域の近傍で形成されている。

愛知県から岐阜県では、19日夕方から20日夕方にかけて断続的に激しい雨を観測した。特に20日昼前から夕方には、愛知県名古屋市から岐阜県多治見市付近にかけて形成された線状降水帯の影響で、第2.3.2.4図に示すように複数の市町村で土壌雨量指数履歴順位の1位を更新する大雨となり、土砂災害警戒情報が発表された。

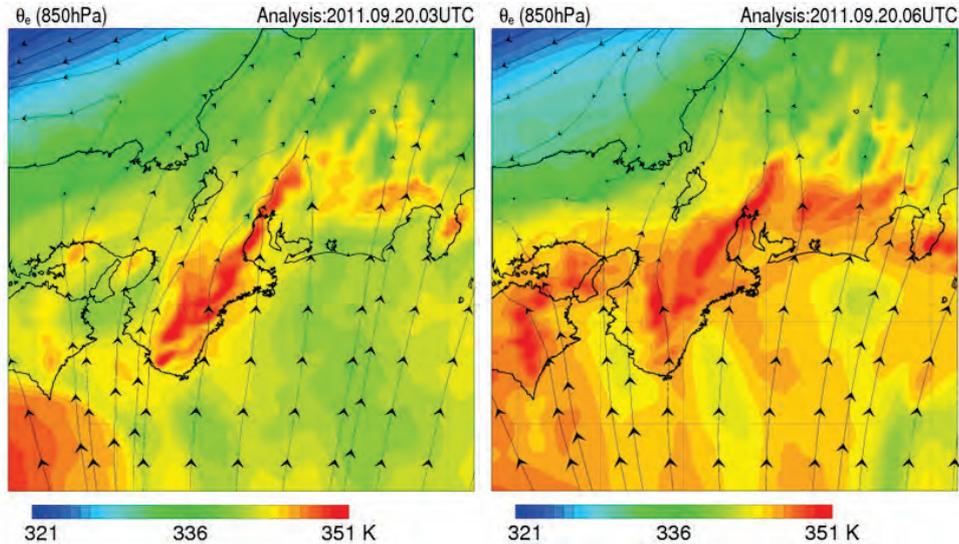


第2.3.2.1図 2011年9月20日9時と21時の地上天気図

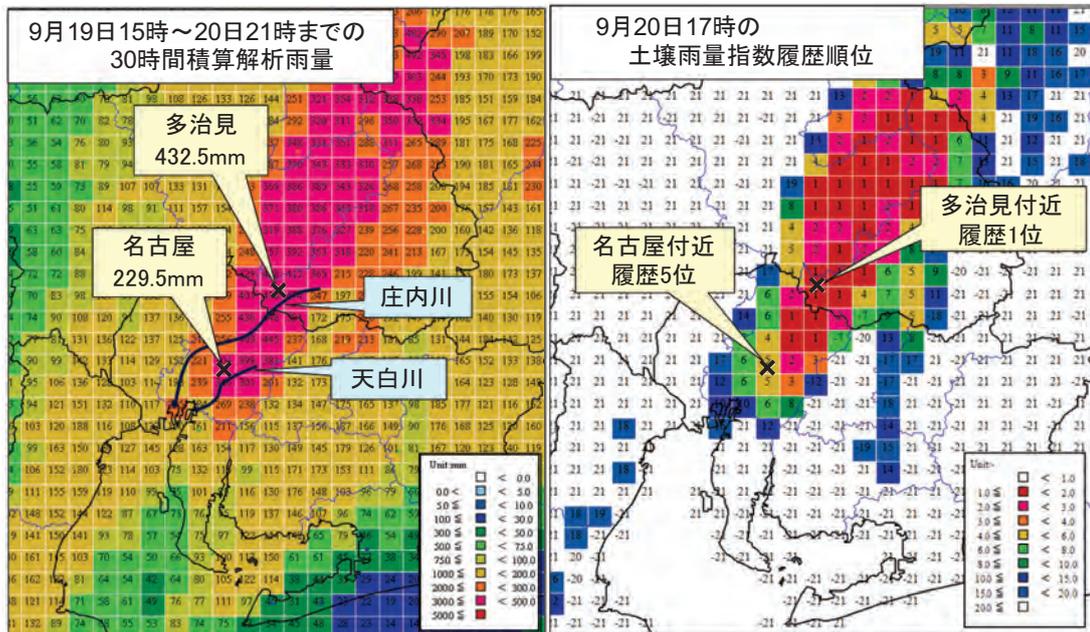


第2.3.2.2図 メソ解析による2011年9月20日 (a) 9時、(b) 21時の850hPa面の相当温位(K)と水平風(m/s)

* 名古屋地方気象台 瀧川 貞二, 山岸 昌伸



第2.3.2.3図 メソ解析による2011年9月20日 (a) 12時, (b) 15時の850hPa面の相当温位 (K) と流線



第2.3.2.4図 9月19日15時から20日21時までの積算解析雨量と9月20日17時の土壌雨量指数履歴順位

アメダス多治見では、20日9時から18時までの9時間に326.5ミリを観測した。20日の日降水量383.5ミリは、2000年9月11日から12日に名古屋市周辺で発生したいわゆる東海豪雨（以下東海豪雨）の記録を超え、日降水量の極値を更新した。

名古屋地方气象台では、20日9時から18時までの9時間に127ミリ、日降水量169.5ミリを観測した。愛知県尾張東部から岐阜県東濃にかけて

の大雨により庄内川がはん濫した。

2.3.2.2 エコーの動向と大雨のメカニズム

(1) 大雨ステージ

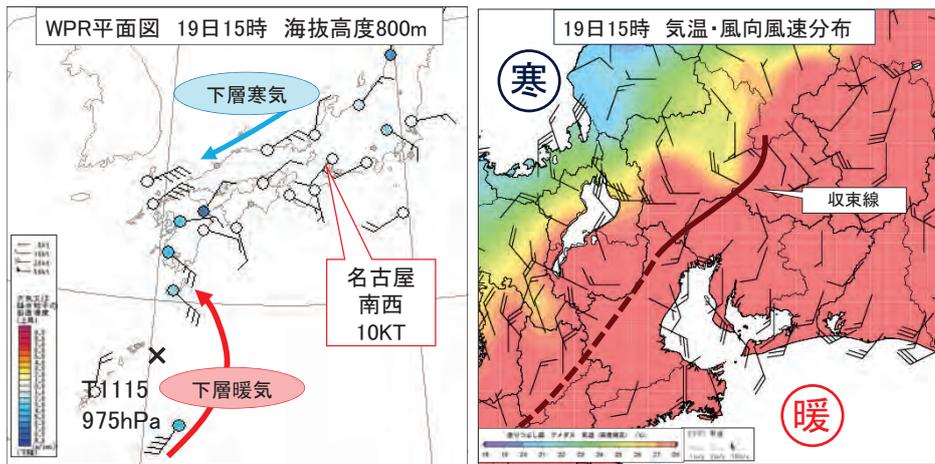
19日から20日の大雨は、降雨の状況から4つのステージに分けられる。第1ステージは19日夕方から20日未明にかけて地上収束線の南下に伴って発生した線状エコーによる大雨で、1時間50ミリ前後の強雨となったが短時間の現象であ

った。第2ステージは台風の接近で暖湿気の流れが次第に強まり、20日明け方から朝にかけて線状エコーが発達し、多い所では1時間80ミリを超える猛烈な雨となったが、線状エコーは停滞することなく短時間の現象であった。第3ステージは20日昼前から夕方、線状エコーが発達して線状降水帯を形成し、線状降水帯が停滞することで記録的な大雨となった。第4ステージは20日夜のはじめ頃からは、地上収束線の北上と共に線状降水帯による大雨は終息した。

(2) 第1ステージの地上収束線の状況

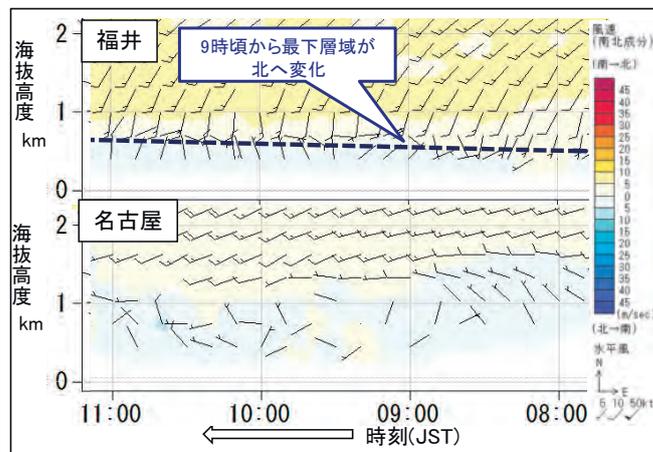
第2.3.2.5図の名古屋のウインドプロファイラー（以下WPRとする）の高度800m風や第2.3.2.6図の名古屋のWPRの高度1km以下（以下、WPR最下層域とする）の風は弱く下層暖湿気流入は弱い。

福井WPRの最下層域は、19日9時頃から風向が北よりに変化した。この変化に伴い北陸地方では朝から昼前にかけて地上収束線が南下した。第2.3.2.7図に示すように、この地上収束線が昼過ぎから濃尾平野を南下し、南下する地上収束線と日中の昇温による対流不安定が重なり収束線上にエコーが発生した。一部発達しながら濃尾平野を進み、岐阜県を中心に激しい雨となったが短時間の



第2.3.2.5図 9月19日15時のWPR高度800m平面図と地上の気温・風向風速分布

×は台風のおよその位置、気温はアメダス高度補正值、寒は寒気を、暖は暖気を示す。地上収束線はアメダス実況値等から総合的に判断。以下の図も同じ。

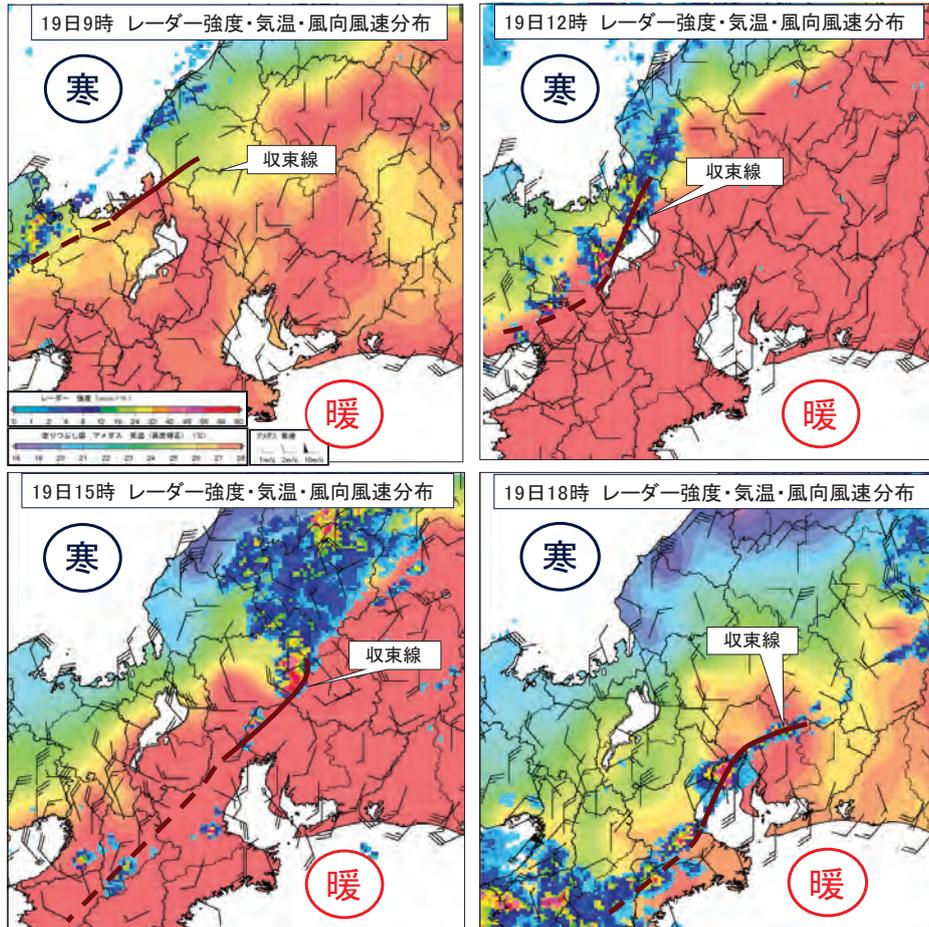


第2.3.2.6図 9月19日8時から11時の福井と名古屋のWPR時系列図

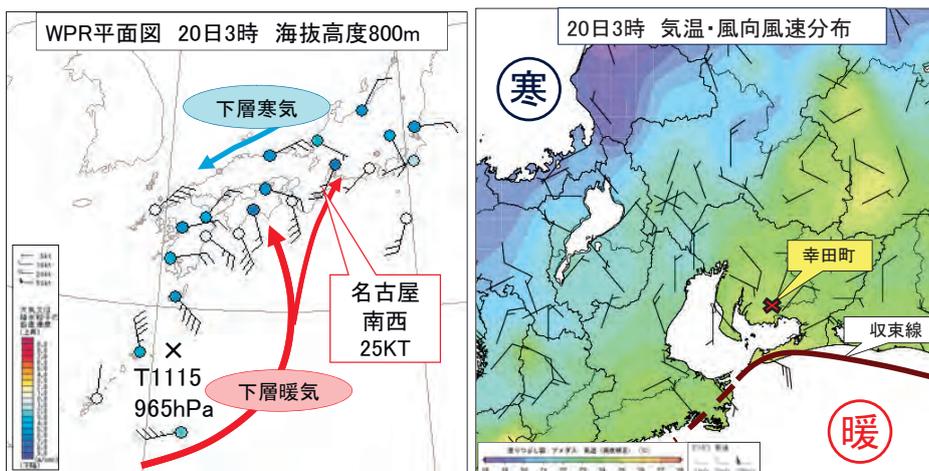
現象であった。その後地上収束線は次第に不明瞭になりながら20日未明には渥美半島沿岸付近まで南下した。

(3) 第2ステージの降雨状況

第2.3.2.8図の気温・風向風速分布や第2.3.2.9図に示すJMANHM再現実験から3時の濃尾平野は地上収束線の北側にあり、前日の降雨の影響により冷気塊が形成され、冷気塊の南端が渥美半島付近まで達している。WPRの高度800mの風



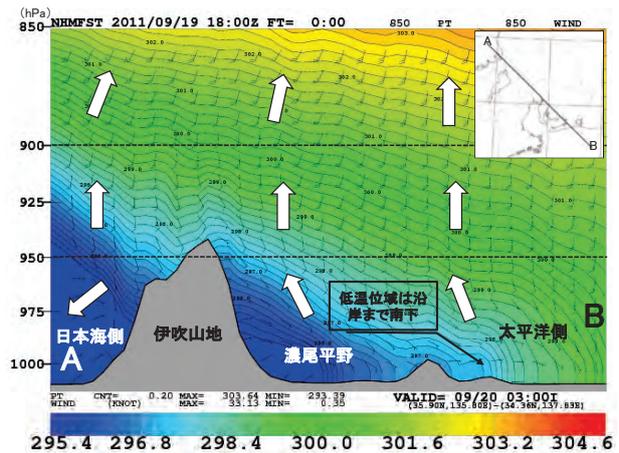
第2.3.2.7図 9月19日9時から18時までのレーダー強度と地上の気温・風向風速分布



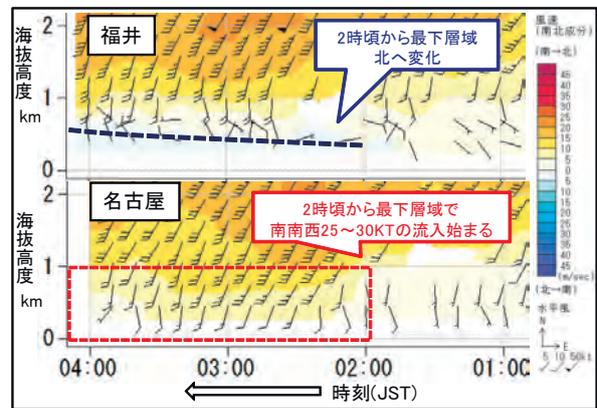
第2.3.2.8図 9月20日3時のWPR高度800m平面図と地上の気温・風向風速分布

は、名古屋で南西25KTと強くなり、八丈島や美浜の風も南よりに変わり、台風の接近により広範囲で暖湿気の流入が明瞭となった。第2.3.2.10図の名古屋WPRの最下層域では、20日2時過ぎから南西約25～30KTと暖湿気流入が強まり始めた。3時頃から渥美半島付近の地上収束線が明瞭となりながら次第に北上した。一方、同時刻の福井WPRの最下層域の風向は北よりに変化した。

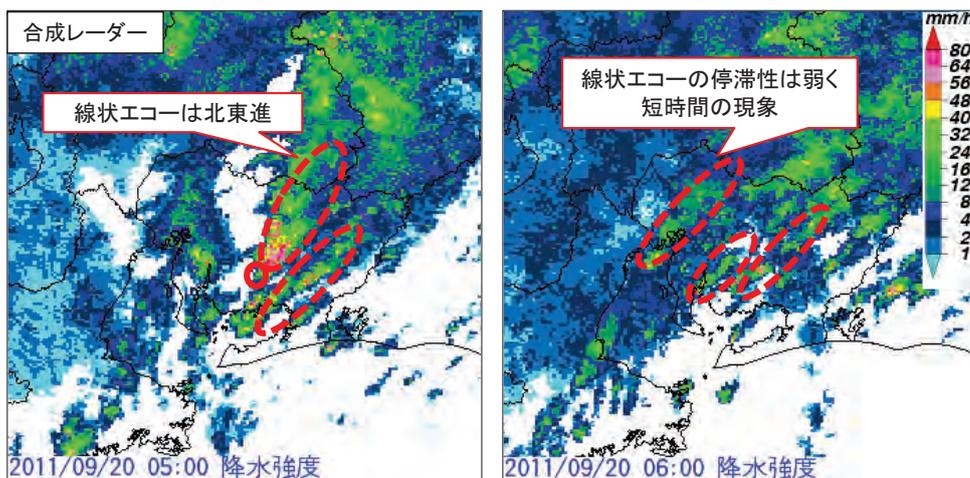
このステージでは地上収束線を境に、北側の濃尾平野に形成された冷氣塊と、南側の海上から流入した暖湿気との間で大気の状態がより不安定となり、第2.3.2.11図で示すように、第1ステージより線状エコーが発達した。愛知県幸田町（県雨量計）では20日4時50分までの1時間に83ミリの猛烈な雨を観測したが、第2.3.2.11図に示すように線状エコーは地上収束線の北上と共に停滞することなく北東へ進み、線状化したエコーそのものも短時間の現象であった。



第2.3.2.9図 JMANHM 再現実験*から求めた9月20日3時の日本海～濃尾平野～太平洋にかけての風向風速と温位断面図



第2.3.2.10図 9月20日1時から4時の福井と名古屋のWPR時系列



第2.3.2.11図 9月20日の5時と6時の合成レーダー降水強度（○は幸田町雨量計）

* JMANHM では地形データ：USGS の GTOPO30 を使用

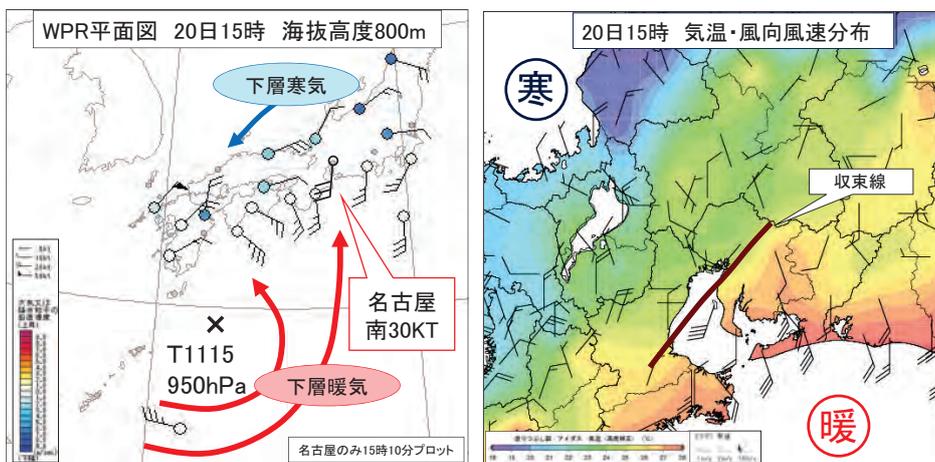
(4) 第3ステージの線状降水帯と降雨の状況

第2.3.2.12図で示すように、WPRの高度800mの風は名古屋で南30KTへ強まり、静岡や尾鷲も南25KTとなり、発達しながら接近する台風の影響で、東海地方で暖湿気の流入が第2ステージより強まった。第2.3.2.13図に示すように、名古屋WPRの最下層域は14時頃から南西風から南風30～35KTに変化し、下層暖湿気の流入がさらに強まった。一方、福井WPRは、北よりの風の高度が約1.2km付近まで高まり、日本海側の寒気の流入が明瞭になった。

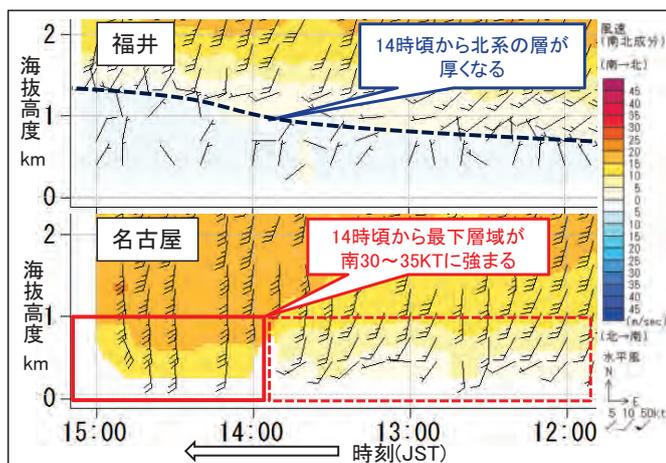
下層暖湿気流入の強まりや、日本海側の寒気の流入により線状エコーが発達し、線状降水帯が形成された。第2.3.2.14図に示すように名古屋市から多治見市付近にかけて南南西から北北東の走向

をもつ対流性エコーが尾張東部域で発生・発達を繰り返しながら多治見市方面に広がり、線状降水帯が数時間停滞したため、第2.3.2.15図で示すように带状の地域で大雨となった。

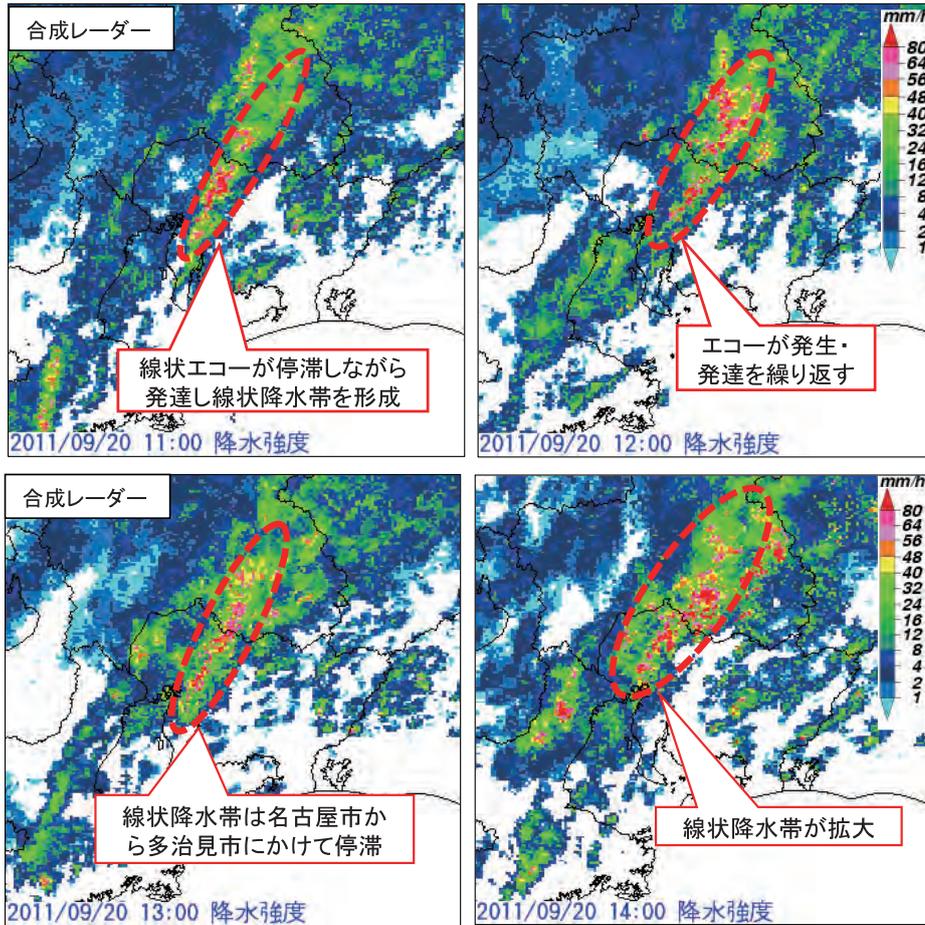
第2.3.2.16図で示すように、名古屋市から多治見市付近にかけてのびる線状降水帯のAB間で断面図をとると、複数の反射強度の強い領域が、風上Aから風下Bへ向かって並んでいる。第2.3.2.17図のAB間ドップラー速度断面図では、高度1km以下には、レーダーサイトと直線上に並ぶ気流の乱れた領域（暖色系と寒色系が交互に並ぶ）が観測されている。反射強度やドップラー速度の観測から、このAB間には複数の対流セルが並んでいる。動径風データ（以下VVPとする）から求めた高度500mの風分布を第2.3.2.18図に



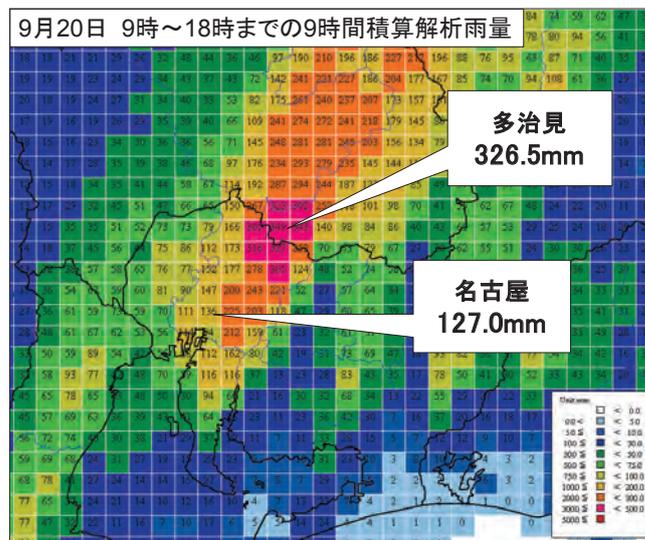
第2.3.2.12図 9月20日15時のWPR高度800m平面図と気圧・気温分布



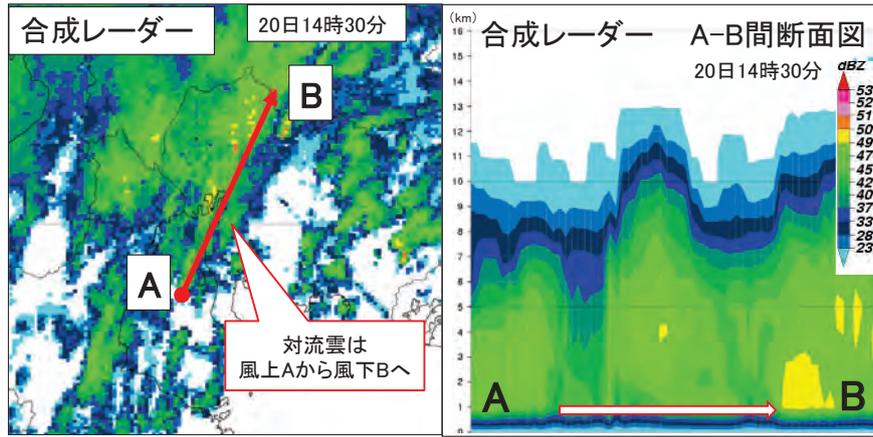
第2.3.2.13図 9月20日12時から15時の福井と名古屋のWPR時系列



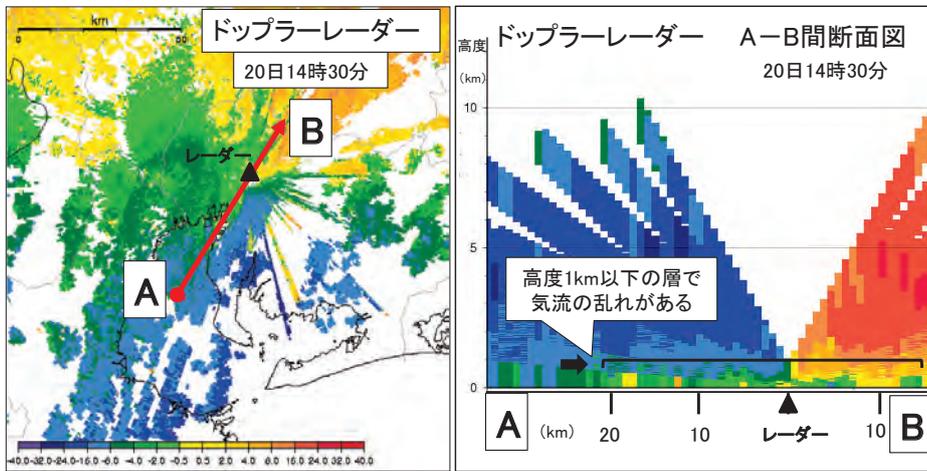
第2.3.2.14図 9月20日11時から14時の合成レーダー降水強度



第2.3.2.15図 9月20日9～18時の積算解析雨量



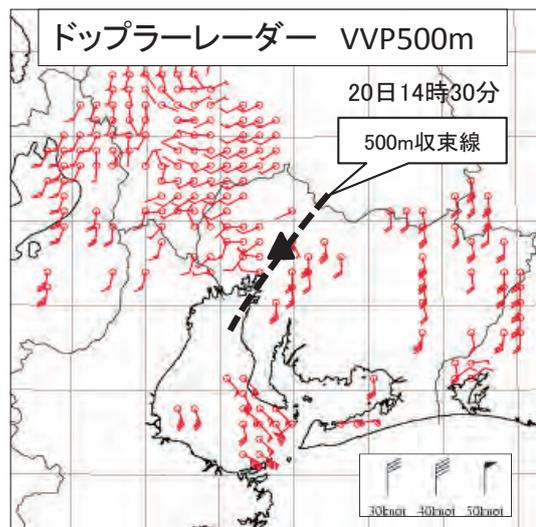
第2.3.2.16図 9月20日14時30分の合成レーダー降水強度と断面図



第2.3.2.17図 9月20日14時30分の名古屋レーダーによる仰角0.4度のドップラー動径風と断面図

示す。第2.3.2.16図のAB間の複数の対流セルが観測されている上空には、高度500mのVVPで南南西から北北東の走向をもつ収束線が確認できる。この収束線は、高度1kmのVVPでも確認できることから地上から高度1km付近まで明瞭な収束がみられる。

第2.3.2.18図で示す高度500mの収束線についてJMANHMによる再現実験を行い、最下層域の収束線や暖湿気流入の状況を検証した。第2.3.2.19図の950hPaの風向風速と相当温位では三重県中部から伊勢湾を横切り岐阜県東濃にのびる収束線や、この収束線の風上側の志摩半島方面から高暖湿の気塊が収束線に沿って北上する様子が再現できた(図省略)。この収束線は第2.3.2.18図の高度500mの収束線におおむね合致してい



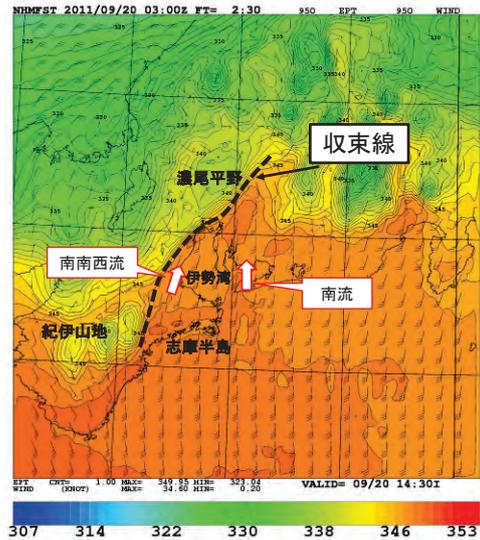
第2.3.2.18図 9月20日14時30分のドップラーレーダーによる高度500mの風分布(VVP風)(▲は名古屋レーダーサイト)

る。この実験から、収束線の存在と、濃尾平野へ向かって南方向から流入暖湿気と、収束線に沿って南南西方向から流入する暖湿気が確認できる。次に第2.3.2.20図の風向風速と温位の断面図から、地上収束線上約900hPa(約1,000m)付近まで明瞭な収束が確認できる。特に地上から950hPa(約500m)まで(以下、最下層とする)の鉛直方向の明瞭な収束を境に北側と南側の温位の差が大きくなっている。また、第2ステージの第2.3.2.9図の断面図とは異なり、濃尾平野上空約900hPa(約1,000m)以下の層の風向が北よりに変化している。これは日本海側からの寒気の流入に対応するもので、地上から約1,000m付近まで明瞭な収束が形成されたことを示唆する。この再現実験から最下層の収束が線状降水帯の形成に大きく寄与していることが分かる。

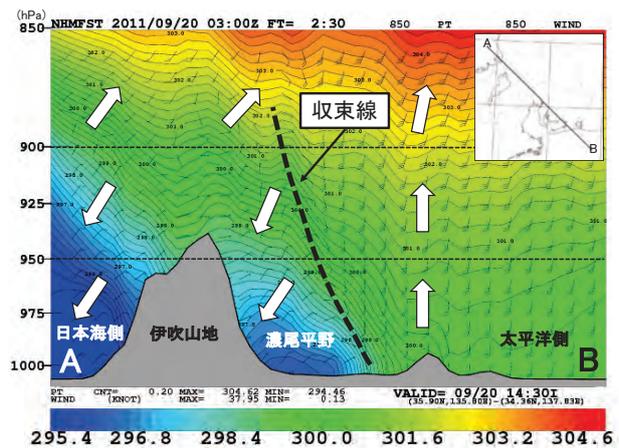
第3ステージでは、南海上からの下層暖湿気流入が強まる一方、日本海側からの下層寒気の流入が明瞭となり双方の気塊の収束が濃尾平野の最下層でさらに強まった。第2.3.2.21図に示すように、第2.3.2.18図の高度500mの収束線に沿った地域で発生した対流セルは、5回の世代交代を繰り返しながらバックビルディング型の降水系による線状降水帯を形成した。

(5) 第4ステージの地上収束線の状況

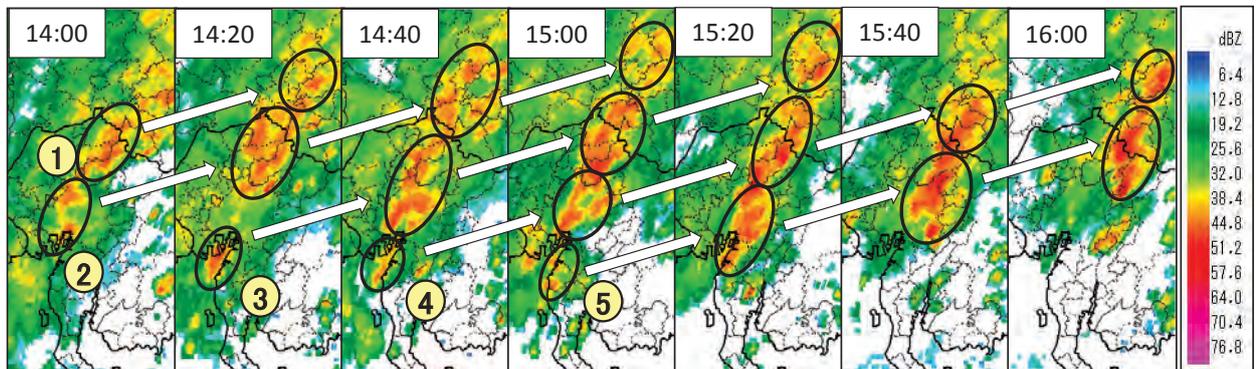
第2.3.2.22図や第2.3.2.23図で示すように、第3ステージよりも台風は発達しながら北東へ進み、名古屋WPRの高度800mや、最下層域では20日19時頃から南南東30KTと風向が東より



第2.3.2.19図 JMANHM 再現実験から求めた9月20日14時30分の950hPa面の相当温位(EPT)と風向風速分布図



第2.3.2.20図 JMANHM 再現実験から求めた9月20日14時30分の日本海～濃尾平野～太平洋にかけての風向風速と温位断面図

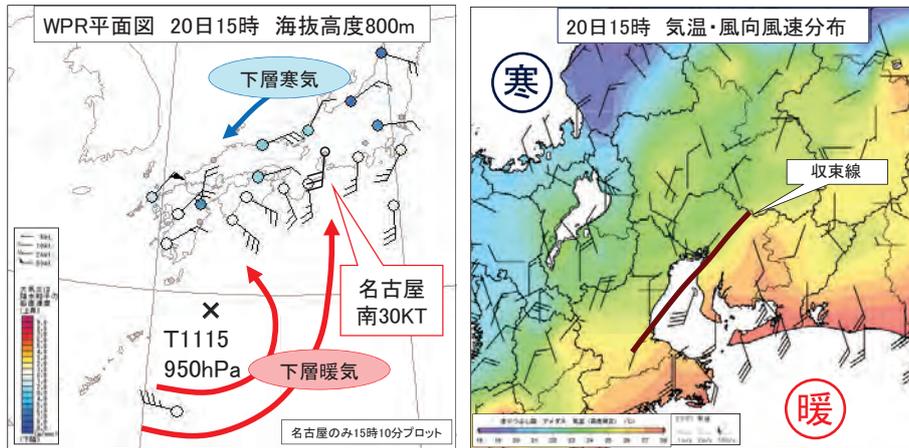


第2.3.2.21図 9月20日14時00分から16時00分の20分ごとの静岡レーダー極座標仰角(1.5度)の反射強度分布

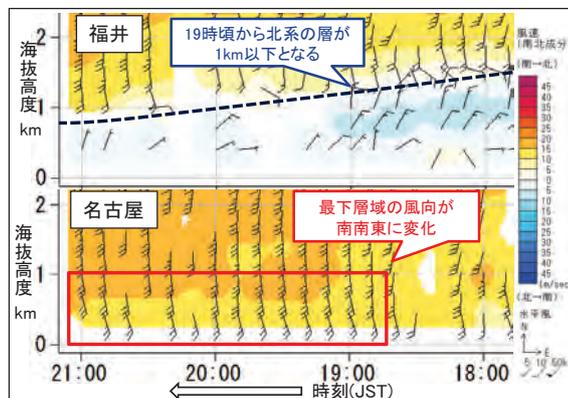
に変化し、地上収束線は北上した。また、福井WPRの最下層域では、北よりの風の高度が18時頃から低下し、日本海側からの下層寒気の流入が

次第に弱くなった。

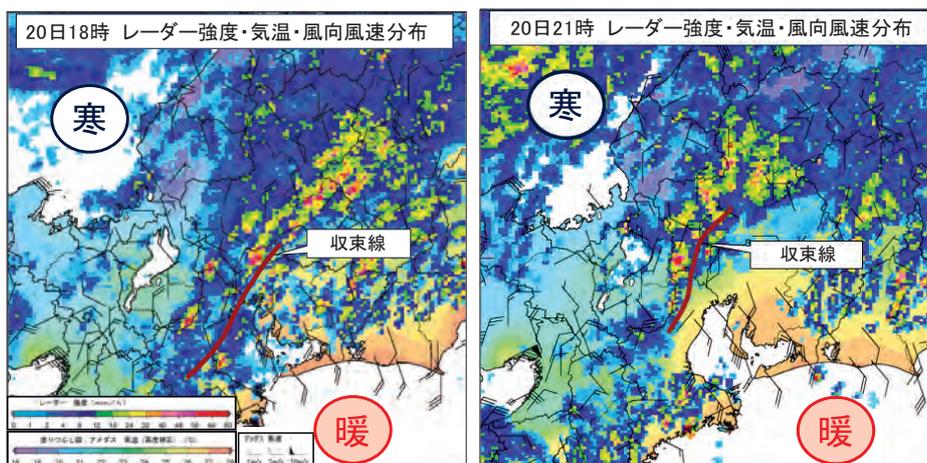
第2.3.2.24図に示すように、地上収束線の北上と共に線状降水帯の構造が次第に崩れ、愛知県西部から岐阜県美濃地方の大雨は終息した。



第2.3.2.22図 9月20日21時のWPR高度800m平面図と地上の気温・風向風速分布



第2.3.2.23図 9月20日18時から21時の福井と名古屋のWPR時系列



第2.3.2.24図 9月20日18時と21時のレーダー強度と地上の気温・風向風速分布

(6) 地上収束線の南下と北上の相違点

第2.3.2.25図と第2.3.2.26図に19日と20日の地上収束線の解析図を示す。19日は、日本海からの下層寒気の流入に伴って地上収束線が南下し、この収束線に沿って形成された線状エコーによる大雨は発生したが短時間の現象であった。20日は、南海上からの暖湿気の流入に伴い地上収束線が北上したが、日本海側からの下層寒気の流入により昼前から夕方にかけて線状エコーが停滞し、線状降水帯を形成した。

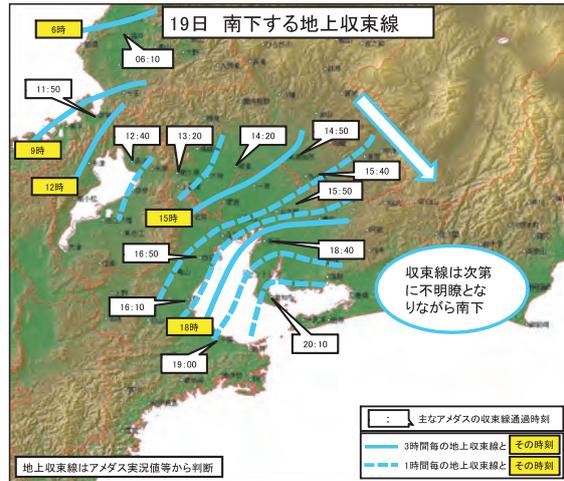
(7) 東海地方の特徴的な地形

濃尾平野は、第2.3.2.27図のように日本海側からの寒気と内陸で発生する冷氣及び、南海上から流入する暖気の影響を受けやすい地形である。寒気や冷氣は主に標高の低い関ヶ原や長良川などの谷筋から流入し、伊勢湾方向へ流出する一方、暖気は伊勢湾から直接流入しやすい地形である。また、濃尾平野は三方を山で囲まれ、地形性の対流雲が発生しやすく、その影響を受けやすい地形である。

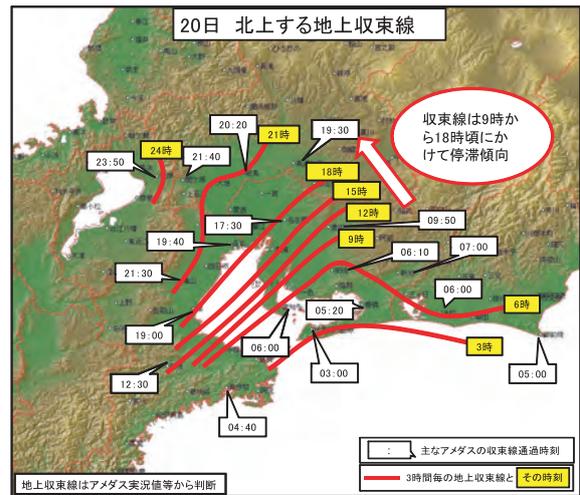
(8) 大雨のメカニズム

19日から20日の大雨は、東海地方特有の地形が影響し、日本海側の寒気や内陸の冷氣塊と、南海上から北上する暖気との収束により発生した。これらの寒気や暖気の移流の強弱により地上収束線が移動した。

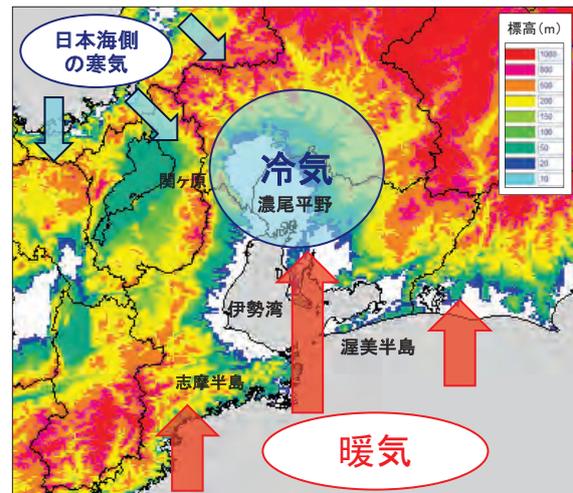
20日は、台風の北上と共に南西から南方向から下層暖湿気移流が次第に強まり、地上収束線付近に線状エコーを発生させ、停滞することでバックビルディング型の降水系による線状降水帯が形成された。このため地上収束線に沿った風下側を中心に記録的な大雨となった。台風がさらに北上することで下層暖湿気移流が南南東に変化すると共に、日本海側の寒気の流入が弱まり、地上収束線は次第に北上し、線状降水帯による大雨は終息した。



第2.3.2.25図 9月19日の地上収束線の解析図



第2.3.2.26図 9月20日の地上収束線の解析図



第2.3.2.27図 東海地方の地形と気団流入概念図※

※ 概念図標高データは「国土数値情報（標高・傾斜度3次メッシュデータ）国土交通省」を使用

2.3.2.3 東海豪雨との類似性

2000年9月の東海豪雨では三重県から愛知県にかけて大雨が発生した。第2.3.2.28図は2011年9月20日と2000年9月12日の地上天気図で、どちらの気圧配置も本州上に停滞前線があり、日本の東海上に中心を持つ太平洋高気圧が本州付近まで勢力を広げている。同様の気圧配置の中、九州の南海上を台風が北上している時に大雨が発生した。2000年の台風第14号は、2011年の台風第15号より大きく、強かった。第2.3.2.29図の500hPa高層天気図では、5,880m高度線が2000年9月12日は北緯40度以北まで張り出し太平洋高気圧の勢力が強いことを示している。台風第14号は九州の南を北上した後、高気圧に押される形で北北西に進み東シナ海へ進んだ。一方、2011年9月20日は高気圧の勢力が弱く、台風第15号は高気圧の縁を北東に進み静岡県に上陸した。

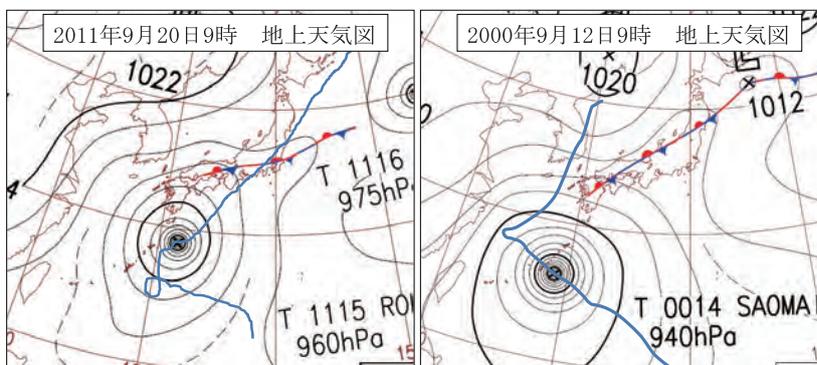
また、2000年の東海豪雨では、第2.3.2.30図に示すように14時頃から伊勢湾（志摩半島付近）

から愛知県と三重県の県境付近に、南北走向の線状エコーが発生した。

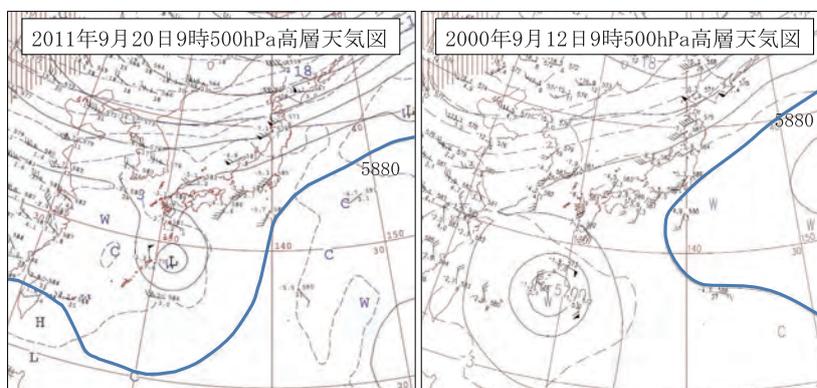
線状エコーは18時頃にかけて、ゆっくり東進し名古屋市付近で停滞した。第2.3.2.31図に示すように19時頃からは三重県南部から愛知県西部にかけ、のびてきた線状エコーと一体となり南南西から北北東の走向をもつ線状降水帯を形成した。線状降水帯は23時頃まで停滞し、名古屋では19時までの1時間に93.0ミリの猛烈な雨を観測している。

東海豪雨では、第2.3.2.32図に示すように、東海地方の広い範囲で2日間に降った降水量が500ミリを超える大雨となった。2011年9月20日の大雨では、愛知県尾張東部から岐阜県東濃にかけての比較的狭い地域に、短い時間で猛烈な雨を降らせている。

2011年9月20日の大雨と2000年の東海豪雨は、いずれも本州上に停滞前線があり、西日本の南海上に台風が存在する気圧配置で、東海地方では高



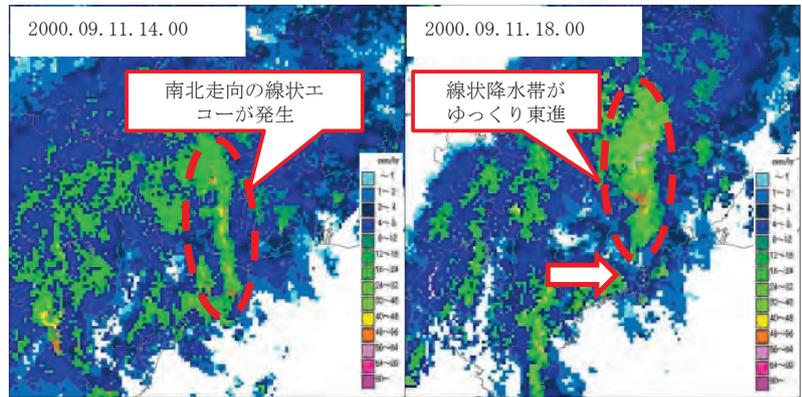
第2.3.2.28図 2011年9月20日9時と2000年9月12日9時の地上天気図（青実線は台風経路）



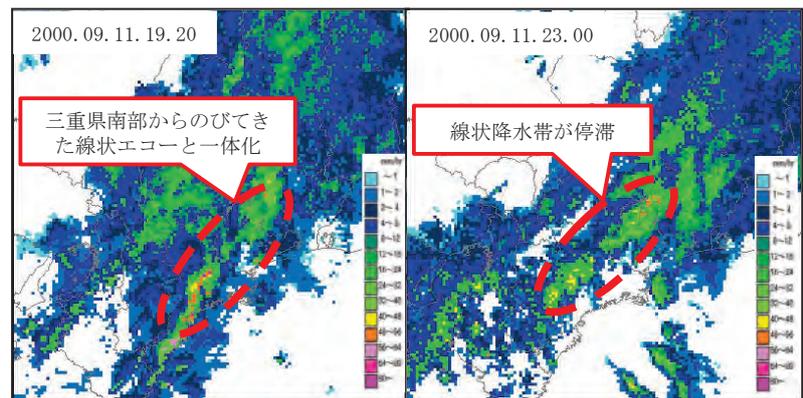
第2.3.2.29図 2011年9月20日9時と2000年9月12日9時の500hPa高層天気図（青実線は5880m等高度線）

気圧西側の縁辺流と台風東側の強い暖湿流が持続する状態が続き、濃尾平野を中心に線状降水帯を形成し大雨をもたらす東海地方の大雨パターンである。南南西から北北東走向の降水帯が停滞した

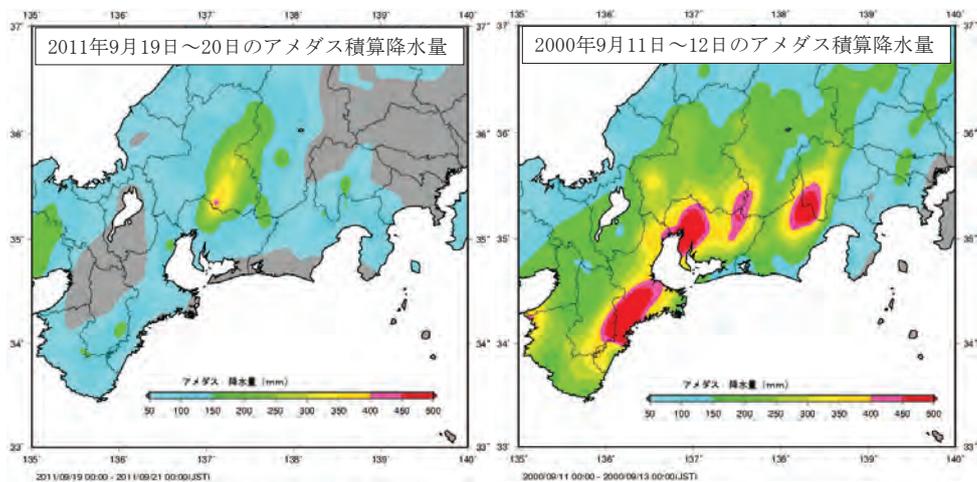
ことなど共通点もあるが、今回の大雨は東海豪雨時と比較し台風や高気圧の勢力が弱く、降水量や雨の降り方に違いがあった。



第2.3.2.30図 2000年9月11日14時と18時の合成レーダー降水強度



第2.3.2.31図 2000年9月11日19時20分と23時の合成レーダー降水強度



第2.3.2.32図 2011年9月19日～20日と2000年9月11日～12日のアメダス積算雨量

2.3.3 災害状況

2.3.3.1 東海地方における被害状況*

(1) 東海地方の被害の概要

各県の被害を第2.3.3.1表から第2.3.3.3表に示す。愛知県では死者4人、負傷者8人、岐阜県で死者2人、行方不明者1人、負傷者5人、静岡県で死者3人、負傷者155人の人的被害が発生した。愛知県の死者は、河川増水によるものが3人、強風によるものが1人、岐阜県の死者は、河川増水によるものが1人、土砂崩れによるもの1人で、行方不明者1人は水路に流されたことによるものである。静岡県での死者は、土砂崩れ、河川増水、高波によるものであった。また、住居被害については愛知県と岐阜県では大雨による被害が多く、床上浸水は愛知県で239棟、岐阜県で214棟、床下浸水は愛知県で572棟、岐阜県で470棟であった。この浸水による被害のほとんどは、庄内川の沿川の市町で発生しており、床上浸水被害が多かったのは、愛知県では春日井市161棟、名古屋市61棟、岐阜県では多治見市159棟などである(第2.3.3.1図)。

静岡県では床上浸水が34棟、床下浸水が73

棟であった。また、住家全壊・半壊・一部破損1,514棟の被害が発生した。他県に比べ、御前崎で最大瞬間風速45.1m/sを観測する等、沿岸部を中心に各地で極値を更新する非常に強い風によって被害が出たほか、山地を中心に各地で極値を更新する記録的な大雨により崖くずれ等による被害も多く発生した(写真2.3.3.1)。

岐阜県が多治見市では、大量に降った雨が水位の上昇した庄内川に流れ込めず、そのまま溜まっていったため、内水氾濫が発生した。

(2) 愛知県の洪水害の状況

名古屋市守山区にある庄内川の志段味水位観測所では、9月20日朝からの大雨により急激に水位が上昇し、20日11時30分には避難判断水位、11時40分にははん濫危険水位を超え、13時50分には最高水位6.87mに達した。これは平成12年9月11日から12日に発生した東海豪雨の既往最高水位6.32mを超える水位であった。また、11時40分から17時50分まで約6時間10分にわたって5.50mの「はん濫危険水位」を超過する洪水となった(第2.3.3.2図)。このため、庄内川左

第2.3.3.1表 愛知県の被害状況(平成23年12月15日現在 愛知県調べ)

市町村名	人的被害			住家被害					非住家被害	
	死者	負傷者		全壊	半壊	一部損壊	床上浸水	床下浸水	公共建物	その他
		重傷	軽傷							
名古屋市	3	2	2			4	61	317		
瀬戸市			1				3	5		
春日井市							161	157		
犬山市							1	2		
小牧市							1	13		
稲沢市	1									
尾張旭市								1		
日進市								1		
長久手町							1	6		
豊山町								2		
岡崎市						2	5	15		
碧南市			1							
安城市								1		
西尾市								5		
知立市			1							
幸田町							1	1		
新城市								19		
豊橋市						48	5	24		1
豊川市						11		3		
田原市			1			4				1
計	4	2	6			69	239	572		2

第2.3.3.2表 岐阜県の被害状況(平成23年12月15日現在 岐阜県調べ)

市町村名	人的被害				住家被害					非住家被害	
	死者	行方不明者	負傷者		全壊	半壊	一部損壊	床上浸水	床下浸水	公共建物	その他
			重傷	軽傷							
岐阜市							1				
岐阜南町										1	
笠松町										6	
多治見市	1		1				1	159	181	3	
中津川市							1		3		
瑞浪市									7		1
惠那市								1	15		4
土岐市								6	34		
美濃市											1
美濃加茂市				1				9	4		7
可児市				1		1	2	7	54		60
坂祝町									1		5
川辺町									1		
八百津町				1	1		2	4	70		
白川町		1					1	14	25	27	4
東白川村								3	17		
御嵩町	1			1		2		11	55	1	2
下呂市									3		
計	2	1	1	4	1	3	8	214	470	38	84

* 名古屋地方気象台 平野 貴嗣(現 津地方気象台)、日吉 純一(現 富山地方気象台)、内山 秀明、岡田 健一

第2.3.3.3表 静岡県内の被害状況（平成23年12月15日現在 静岡県調べ）

市町名	人的被害			住家被害					非住家被害		崖くずれ
	死者	負傷者		全壊	半壊	一部破損	床上浸水	床下浸水	公共建物	その他	
		重症	軽傷								
静岡市	1	2	19	2	4	179				8	
浜松市		1	33			2	24	24		14	
沼津市	1		10			70	1	7	32	30	
熱海市		1				3		1	1	1	10
三島市			4			118		4		2	7
富士宮市						60	5	23		1	
伊東市			5		1	12		1			7
島田市						15					3
富士市	1	3	8								
磐田市		1	19			3					
焼津市			4			45					
掛川市			5			862			51		28
藤枝市			1			4					4
御殿場市			4			8		1		1	
袋井市		3	9				1				
下田市		1			1						
御前崎市			8			19					
裾野市			2						2		2
湖西市								3			
伊豆市						5		3	1		2
菊川市			1			21					
伊豆の国市			1			10	3	5			
牧之原市			1		1	16			21	3	
東伊豆町			1			1					
河津町			1							1	3
南伊豆町						1				4	
松崎町											1
西伊豆町			1			6		1			
函南町						1					
清水町			5			7			14		2
小山町					1	26					
吉田町			1			3				2	
森町						7					
計	3	12	143	2	8	1504	34	73	122	67	69



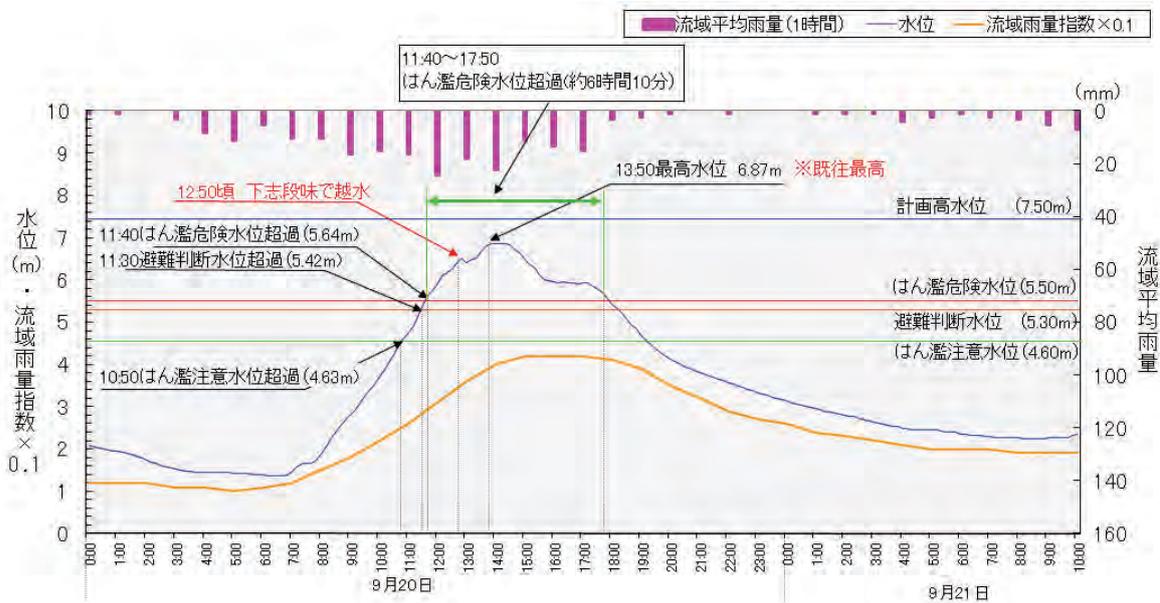
第2.3.3.1図 庄内川沿江市町の床上・床下浸水棟数（平成23年12月15日現在）



写真 2.3.3.1 静岡市清水区布沢の土砂崩れ
静岡県交通基盤部河川砂防局提供：9月23日撮影

岸 31.6 km 付近 (名古屋市守山区志段味地先) では、堤防からの越水により約 20ha が浸水した (写真 2.3.3.2)。

庄内川の志段味水位観測所付近の流域雨量指数は、水位に比べて上昇が緩やかで 9 月 20 日 15 時頃ピークに達した。既往最大が東海豪雨時の 48 であるが今回の大雨では流域平均雨量が少なかったため、指数値は 42 となり、そこまで至らなかった。



第 2.3.3.2 図 庄内川志段味水位観測所の水位と志段味水位観測所付近の流域平均雨量及び流域雨量指数 (橙色線)
平成 23 年 9 月 20 日 00 時 00 分～9 月 21 日 10 時 00 分



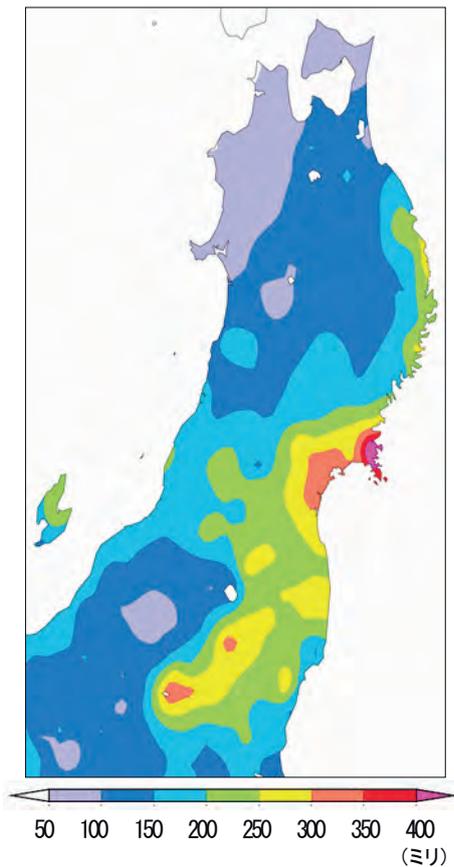
写真 2.3.3.2 庄内川左岸 31.6km 付近 (守山区下志段味地先) の堤防を越水する状況
(9 月 20 日 12 時 50 分頃, 庄内川河川事務所提供)

2.3.3.2 東北地方における災害の状況*

(1) 大雨による災害の状況

東北地方の9月20日00時から22日06時にかけての総降水量分布を第2.3.3.3図に、また、総降水量が特に多かった観測地点を第2.3.3.4表にそれぞれ示す。各県の主な地点の総降水量は、岩手県では岩泉町小本で273.0ミリ、釜石市で267.5ミリ、宮城県では石巻市雄勝で532.5ミリ、女川町で452.5ミリ、福島県では福島市鷲倉で280.0ミリ、福島市で271.0ミリとなった。総降水量が最も多かった宮城県石巻市雄勝の532.5ミリは、平年の年間降水量の約3分の1に相当し、また同地点における21日の日降水量430.5ミリは観測開始(1976年)以来、第1位となった。

東北地方では、太平洋側南部を中心に山・崖崩



第2.3.3.3図 アメダスによる総降水量分布図
9月20日00時から22日06時まで、単位：ミリ

れ、河川のはん濫、家屋の全壊・損壊や浸水などが発生し、人的被害もあった。東北地方の被害状況を第2.3.3.5表に示す。

人的被害の死者は、岩手県二戸市で住宅の裏山が崩れて住宅にいた女性1人が死亡し、宮城県仙台市で下水が吹き出しているとの通報を受け現場の確認に向かった仙台市職員2人が流されて死亡したものである。

住家の被害は、全壊が青森県1棟、岩手県2棟、宮城県3棟、福島県20棟、半壊が青森県69棟、宮城県202棟、福島県1,290棟に上った。また、

第2.3.3.4表 総降水量250ミリ以上を観測した地点
単位：ミリ

都道府県	市町村	アメダス地点名	総降水量(ミリ)	都道府県	市町村	アメダス地点名	総降水量(ミリ)	
岩手県	岩泉町	小本	273.0	宮城県	加美町	加美	288.5	
	釜石市	釜石	267.5		東松島市	東松島	283.5	
	久慈市	下戸鎖	255.0		南三陸町	志津川	273.0	
宮城県	石巻市	雄勝	532.5		蔵王町	蔵王	265.5	
	女川町	女川	452.5		登米市	米山	261.5	
	名取市	名取	332.0		丸森町	丸森	257.5	
	大崎市	鹿島台	331.0		仙台市	泉ヶ岳	254.5	
	仙台市	仙台	318.0		福島県	福島市	鷲倉	280.0
	塩竈市	塩釜	316.5			福島市	福島	271.0
	大衡村	大衡	307.5	川内村		川内	270.0	
	石巻市	石巻	302.0	浪江町		浪江	269.5	
	岩沼市	岩沼	294.0	白河市		白河	267.5	
	亘理町	亘理	293.0	新地町		新地	260.5	

第2.3.3.5表 東北地方の被害状況(平成23年12月15日現在 消防庁調べ)

区分	人的被害				住家被害					山崖崩れ箇所
	死者	行方不明者	重傷者	軽傷者	全壊	半壊	一部損壊	床上浸水	床下浸水	
都道府県	人	人	人	人	棟	棟	棟	棟	棟	箇所
青森県	0	0	0	1	1	69	4	128	105	0
秋田県	0	0	0	0	0	0	1	0	2	5
岩手県	1	0	0	2	2	1	7	139	197	24
山形県	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
宮城県	2	0	0	3	3	202	8	647	2,307	291
福島県	0	0	0	4	20	1,290	166	242	324	0
合計	3	0	0	10	26	1,562	186	1,156	2,935	320

* 仙台管区气象台 吉田 薫, 三浦 誠, 村元 賢一

非常に激しい雨が降ったことに加え、台風の接近と満潮が重なったため、沿岸部を中心に浸水被害が多数発生した。床上浸水は、青森県128棟、岩手県139棟、宮城県647棟、福島県242棟、床下浸水は宮城県が最も多く2,307棟、東北地方で合わせて2,935棟に上ったほか、農地や道路の冠水も各地で発生した。宮城県の浸水被害の状況を第2.3.3.6表に示す。宮城県の沿岸部では、非常に激しい雨となった21日夕方から浸水被害が出始めたが、3月の東北地方太平洋沖地震により地盤が大きく沈下していることに加え、潮位の上昇によって排水能力を超えたため浸水被害が拡大したと考えられる。

農林水産業関係では、施設の冠水や浸水などにより大きな被害を受け、被害額は青森県で1,453,707千円、岩手県で186,910千円、宮城県で1,248,281千円に上るなど大きな被害となった。土木関係の被害額は、青森県2,254,200千円、岩手県186,910千円、宮城県1,205,060千円、福島県4,302,000千円に上った（各県調べ）。

第2.3.3.6表 宮城県の浸水被害の状況（平成23年12月1日現在 宮城県調べ）

市町村	床上浸水	床下浸水
	棟	棟
塩竈市	194	247
松島町	146	165
仙台市	45	161
多賀城市	45	269
女川町	35	191
利府町	25	34
石巻市	16	781
亶理町	2	10
東松島市	0	5
角田市	9	57
大崎市	87	145
柴田町	23	104
大河原町	13	68
大郷町	6	17
登米市	0	14
美里町	1	28
白石市	0	1
村田町	0	3
丸森町	0	3
大衡村	0	1
加美町	0	3
合計	647	2,307

(2) 東北地方の高潮による被害の概要

台風第15号の接近・通過に伴って東北地方の太平洋側では高潮が発生し、「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」の影響で地盤沈下の大きかった沿岸部(第2.3.3.4図参照)を中心に、住宅等の床上・床下浸水や道路、港湾施設、農地等の冠水が発生した。

台風は、9月21日14時頃に静岡県浜松市付近に上陸後、北東に進み、同日夜のはじめ頃に東北地方南部を通過し、夜遅くには三陸沖に達した(第2.3.3.5図参照)。

台風の接近・通過に伴って東北地方の太平洋沿岸の地域では高潮が発生し、岩手県宮古市の最大潮位偏差は119cm、最高潮位(標高)は142cmに達した。

地盤沈下の大きかった宮城県石巻市鮎川における潮位と潮位偏差を第2.3.3.6図に示す。

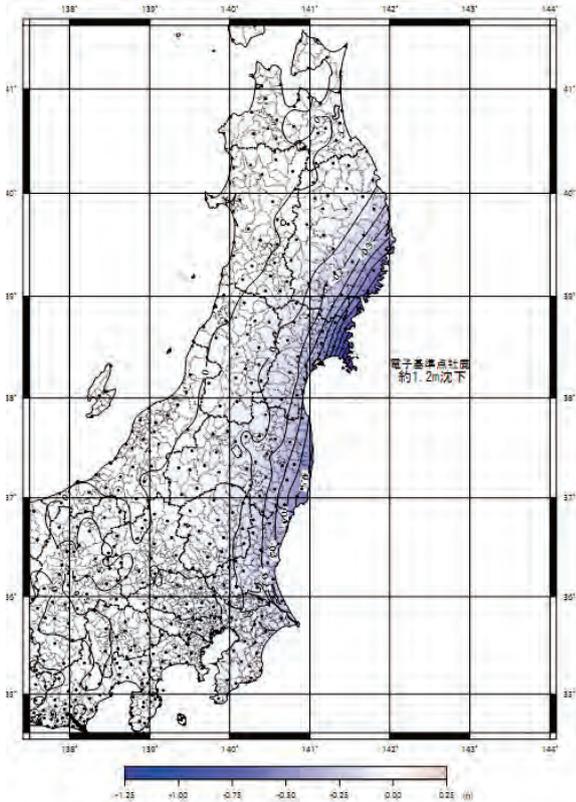
台風の接近に伴って21日午後から次第に潮位が高くなり、満潮時刻の19時頃には警報基準の90cmを超え、台風が最接近した21時45分には103cmの最高潮位を観測した(第2.3.3.7表参照)。

牡鹿半島付近の地盤沈下量が約100cmであることを考慮すると、鮎川の最高潮位103cmは、震災前の約200cmに相当する顕著な高潮となった。

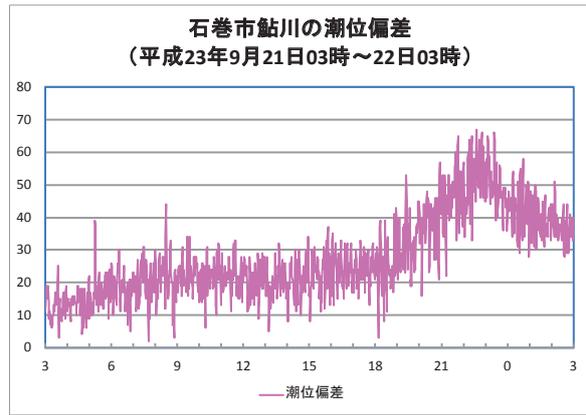
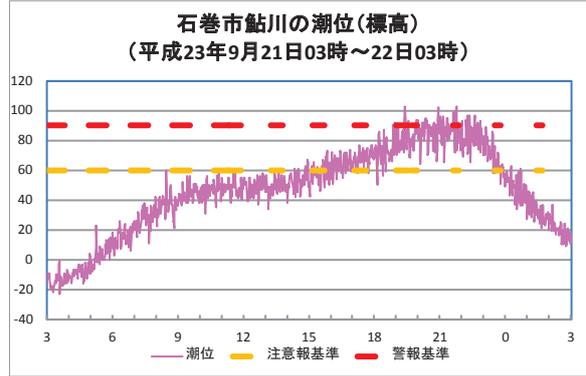
この高潮により東北地方の太平洋沿岸の地域や旧北上川下流河岸の地域の広い範囲で、約4,000棟にのぼる床上・床下浸水が発生したほか、道路や農地等の冠水が発生した。

東北地方の太平洋沿岸の地域では、震災後の応急復旧対策として仮設の防潮堤や排水ポンプが整備されつつあったが、台風第15号の接近が満潮時刻と重なったことに加えて、石巻市雄勝では1時間に30ミリ程度以上の雨が7時間連続するなど、沿岸市町村では排水能力を超える激しい雨が続いたため、浸水域が拡大することとなった。

なお、気象台は、高潮等による浸水被害を軽減する対策に活用していただくことを目的に、地盤沈下の大きい宮城県を中心とした沿岸市町村及び防災関係機関に対して潮位・雨量予想図や浸水予測マップ等、新たな支援情報の提供を行った。

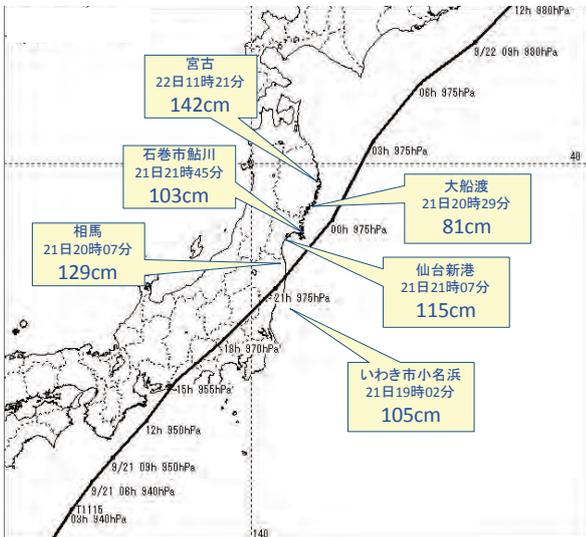


第2.3.3.4図 平成23年3月11日の地震による地盤沈下量(国土地理院提供)



第2.3.3.6図 石巻市鮎川の潮位変化(上段)と潮位偏差(下段)

平成23年9月21日03時~22日03時
値は標高(単位 cm)



第2.3.3.5図 台風第15号の経路と主な地点の最高潮位(経路上の記述は日時と台風の中心気圧)

第2.3.3.7表 平成23年台風第15号による最大潮位偏差と最高潮位(単位 cm)

観測地点	都道府県	最大潮位偏差		最高潮位	
		(cm)	起時	(標高, cm)	起時
小名浜(臨時)	福島	76	21日 19:02	105	21日 19:02
相馬	福島	85	21日 20:07	129	21日 20:07
仙台新港	宮城	78	21日 21:07	115	21日 21:07
鮎川(臨時)	宮城	67	21日 22:35	103	21日 21:45
大船渡(臨時)	岩手	62	22日 00:41	81	21日 20:29
宮古(臨時)	岩手	119	22日 05:43	142	22日 11:21

2.3.3.3 首都圏での交通機関への影響*

今回の台風第15号は、強い勢力を保ったまま9月21日14時頃静岡県浜松市付近に上陸し、その後も北東に進んだため、首都圏では昼過ぎから広い範囲で暴風となった。

首都圏では、早いところでは20日のうちに強風注意報を発表し、21日朝から順次暴風警報に切り替えて警戒を呼びかけた。21日は、東京都の大田区羽田では15時、江戸川区臨海では17時には平均風速20m/sを超え、場所によっては夜のはじめ頃まで非常に強い風が続いた。このため、東京近郊の鉄道各線のほとんどで、昼過ぎから夜遅くにかけて運転見合わせとなった。

台風の影響を考え、多くの企業で就業時間繰り上げの措置が執られたが、運転見合わせの影響の少なかった午前中に帰宅を開始したところが少なかったため、多くの帰宅困難者が発生した。特に大規模なターミナル駅では、家路を急ぐ人によりバスやタクシーなどを待つ長い列ができた。(写真2.3.3.3)

その他、道路については、静岡県などで路肩崩落や崩土により通行止めが発生し、埼玉県などでは道路冠水が発生した。また、航空機では、成田空港発着便を中心に500便以上の欠航が発生し、羽田空港ではフェンスが約200m倒壊するなど、航空機の運航に大きな影響を与えた。また、船舶の欠航や港湾施設の破損など、船舶の航行にも大きな影響を与えた。



写真 2.3.3.3 渋谷駅周辺の様子
平成23年9月21日撮影 画像提供：NHK

2.3.4 防災気象情報の発表と今後の課題**

2.3.4.1 名古屋地方気象台

台風第15号は、平成23年9月21日の昼過ぎに愛知県に最接近したが、県内で被害が発生したのは、非常に激しい雨が降った9月20日で、主な被害は、死者4人、床上浸水239棟、床下浸水572棟であった(平成23年12月15日愛知県調べ)。このうち、名古屋市では死者3人、床上浸水61棟、床下浸水317棟の被害となった。ここでは、庄内川が避難判断水位に達したこと等から、およそ109万人の住民を対象に避難勧告が発令された名古屋市を中心に、防災気象情報の発表と今後の課題を検証する。

(1) 防災気象情報の発表状況

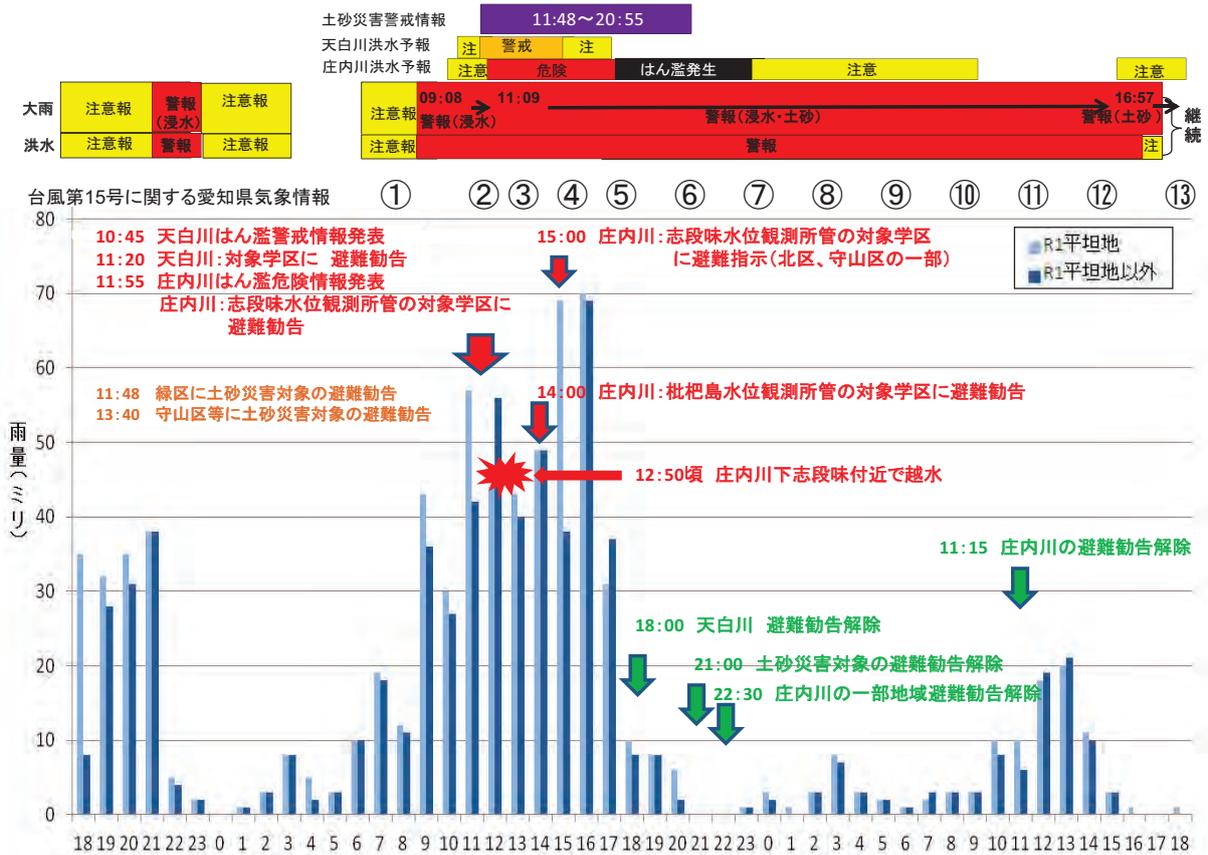
名古屋地方気象台が名古屋市を対象に発表した大雨と洪水の警報・注意報、指定河川洪水予報、土砂災害警戒情報等の防災気象情報と1時間雨量(解析雨量)及び名古屋市での避難勧告等の経過を第2.3.4.1図に示す。9月20日7時15分には台風第15号に関する愛知県気象情報の第1号を発表し、9時8分には名古屋市に1時間最大雨量50ミリの予想で大雨(浸水害)・洪水警報を発表した。そのおよそ2時間後の11時00分に名古屋市の平坦地での1時間雨量が大雨警報と洪水警報の基準値である50ミリを超過し、12時50分頃に庄内川で越水が発生した。

(2) 名古屋市の防災対応への支援

名古屋地方気象台では、大雨等により災害が発生しやすい状況が予想された場合には、名古屋市の防災担当者に対して今後の気象状況について電話等による連絡を行っている。また、大雨等により甚大な気象災害の危険性が切迫していると判断した場合に、該当する市町村へ気象台の危機感を電話で直接伝える能動的ホットラインの運用を平成23年11月1日から開始する予定としていたが、台風第15号に伴う大雨時に試行的に運用し、9月20日に名古屋市を含む8市町に対して延べ

* 予報部予報課 太白 智子

** 名古屋地方気象台 上杉 和哉(現 東京管区気象台)、日吉 純一(現 富山地方気象台)、川端 昇、岡田 健



第 2.3.4.1 図 名古屋市を対象に発表した防災気象情報と解析雨量及び名古屋市の避難勧告等の経過
丸数字は台風第 15 号に関する愛知県気象情報の発表番号を示す。

9 回, 9 月 21 日に 8 市町村に対して延べ 9 回実施した。この能動的ホットラインでは, 当該市町村の過去の災害履歴のほか, 規格化版流域雨量指数や土壌雨量指数の履歴順位などを総合的に判断し, 水害や土砂災害に一層警戒するように伝えた。

(3) 防災気象情報の改善に向けた課題

9 月 20 日 15 時 38 分に発表した台風第 15 号に関する愛知県気象情報第 4 号では, 「2000 年東海豪雨並みの総雨量となるおそれがある」のキーワードを入れ, 気象台の危機感を伝えた。これについて, 県内の市町村の防災担当者に聞き取り調査を行った結果, 東海豪雨で災害が発生した名古屋市等の防災担当者からは, 「東海豪雨は認識しており, おおむね危機感は共有できた」との意見があった。しかし, 東海豪雨で災害が発生しなかった東三河南部の市町の防災担当者からは, 「①東海豪雨当時, 隣町で災害が発生し, 自町にも災害

の危機が迫った経験からこのキーワードは有効である。②東海豪雨については, 認識はあるが, 当時近隣の市町村にも災害がなかったので実感がなく降水量の予想のほうに分かる。」との二つの別れた意見があった。このことから, 災害経験の有無により, 「東海豪雨」のキーワードから抱く危機感に違いのあることが分かった。

名古屋市では防災担当の職員が多く, 気象台が発表する情報は内容を全て確認しているが, 一部の市町村からは防災部局は担当職員が少なく気象情報の内容を全て確認することは難しいとの意見があった。このことから府県気象情報にキーワードを記載するときは, 「見出し」に記載するなどの工夫が必要である。

名古屋市等の能動的ホットラインを実施した県内の市町村からは, 「気象台から直接電話があると一層の警戒感を高めることができるので大変有り難い」との意見があった。

(4) 今後の改善の取り組みに向けて

重大な災害の発生が差し迫っていると考えられるときに、気象情報に地域における過去の大きな被害をもたらした災害を引用して記述することは、気象台のもつ危機感を市町村の防災担当者に伝えることに有効であり、ひいては住民の安全確保行動に結びつくものと考えられる。このことから、平常時から地域の過去災害事例を抽出する作業を進めるとともに、抽出した過去災害をもとに災害知識や防災気象情報についての一層の普及啓発に取り組んでいる。

能動的ホットラインについては、平常時から地域の過去の顕著な災害事例をもとにした災害特性について市町村の防災担当者へ説明を行うとともに、非常時にあっては過去の災害事例をもとに地域の災害特性を踏まえて、適切なタイミングで市町村の責任ある立場の管理職に直接連絡する運用を行うこととしている。

2.3.4.2 仙台管区気象台*

平成23年9月21日14時頃、静岡県浜松市付近に上陸した台風第15号は、その後も北東へ進み、9月21日夜遅く福島県付近を通過し、9月22日未明に三陸沖へ達した。

台風の北上に伴って宮城県では、活発化した前線の影響による雨が9月20日から降り続き、台風が最も接近した9月21日夜には沿岸部を中心に非常に激しい雨となり、降り始め(9月20日00時)からの総雨量が石巻市雄勝で500ミリを超える記録的な大雨となった。この大雨に加え、平成23年3月11日に発生した「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」により地盤沈下量が大きかった沿岸部では、台風の接近と満潮時刻が重なったため、高潮による床上・床下浸水などの被害が多数発生し、東松島市、石巻市など合わせて約11,000世帯、約30,000人に対して避難指示や避難勧告が発令された。

東北地方の各県では、東日本大震災等の影響を考慮して、①地震による地盤の緩みを考慮して揺れの大きかった地域の土砂災害を対象とする大雨

警報・注意報、土砂災害警戒情報の発表基準を引き下げて運用、②地震や津波による堤防や排水施設等の被害を考慮して洪水警報・注意報、浸水害を対象とする大雨警報・注意報や指定河川洪水予報の発表基準を引き下げて運用、③地盤沈下及び海岸堤防や排水施設等の被害を考慮して高潮警報・注意報の発表基準を引き下げて運用している。

ここでは、市町村を訪問し聞き取り調査を行った結果を参考に、台風第15号接近・通過時の市町村の防災対応・防災体制や、気象台が発表した防災気象情報の利活用状況を考察しながら、課題や改善策を検討する。

(1) 防災気象情報の発表状況

降り始めからの総雨量が300ミリを超えた宮城県沿岸部の石巻市の雨量の推移と防災気象情報の発表状況を、第2.3.4.2図に示す。

仙台管区気象台は9月20日11時35分に、栗原市(東部・西部)、白石市、蔵王町、川崎町及び七ヶ宿町の5市町を対象に大雨警報(土砂災害)を発表した。その後、9月20日17時46分には、仙台市(東部・西部)や石巻市、気仙沼市を含む30市町村に大雨警報(土砂災害)を発表し、さらに、台風が東海地方に上陸する直前の9月21日13時21分には、大雨警報(浸水害)や暴風警報を発表するとともに、沿岸部の市町には波浪警報、高潮警報を発表し、警戒を呼びかけた。

土砂災害警戒情報については、9月21日1時14分に東松島市、大崎市東部、松島町及び美里町を対象に発表した第1号を皮切りに、9月21日19時08分に大崎市西部、村田町、柴田町、七ヶ浜町、色麻町及び加美町を追加した第10号までで県内全市町村を対象に発表し、台風が通過した9月22日未明から朝にかけて全て解除した。

指定河川洪水予報については、9月21日6時45分の名取川はん濫注意情報を皮切りに、吉田川、江合川、鳴瀬川、阿武隈川下流、旧北上川及び迫川に対して発表し、はん濫の警戒や危険を呼びかけた。

宮城県気象情報については、9月20日6時18

* 仙台管区気象台 三浦 誠



第 2.3.4.2 図 石巻市の雨量の推移と防災気象情報の発表状況

分の大雨に関する宮城県気象情報第1号から発表を開始し、同日11時59分発表の平成23年台風第15号に関する宮城県気象情報第1号から9月22日7時00分発表の第11号まで計12回発表し、大雨や暴風、高潮などに対する警戒を呼びかけた。

(2) 東日本大震災後の復旧・復興対応機関向け気象支援情報の提供

東日本大震災後の平成23年4月27日から気象庁ホームページの東日本大震災関連ポータルサイトに、市町村ごとの「復旧担当者・被災者向け気象支援資料」を掲載している。台風第15号の際にも、この支援資料の〈天気変化等の留意点〉の欄に、大雨の見込みや土砂災害、低い土地の浸水や河川の増水への警戒、暴風や高波、高潮への警戒について9月20日昼の支援資料から記載し、被災者や復旧担当者へ警戒を呼びかけた。

平成23年5月9日に仙台管区気象台予報課に設置の「東日本大震災復旧・復興対応気象支援班」から関係機関や市町村に対し、翌日または当日の「大雨の予想」や、主な港湾の潮位の予想に3時間毎の予想雨量を重ねた「潮位・雨量予想図」、地震による地盤沈下の影響で大潮期間を中心とした満潮時に浸水が予想される地域を示した「浸水予測マップ」などを提供している。台風第15号

の接近でも、道路の通行止め等の判断や避難勧告対象地域の絞り込みなど防災対応に利用された。

(3) 市町村ホットラインによる気象解説

市町村の防災担当者からホットラインを使っての仙台管区気象台予報課への問い合わせは、台風第15号がまだ九州の南にあった9月20日午前中から始まり、9月23日午後までに宮城県、仙台市、岩沼市、石巻市などから延べ26回の問い合わせがあった。問い合わせのピークは9月21日の13回で、今後の雨や風の見通し、土砂災害警戒情報、洪水警戒の見通し等について解説した。

(4) 市町村訪問による聞き取り調査の結果

台風第15号の通過後、宮城県内8市12町を訪問し、大雨や暴風、高波、高潮等による被害の状況や市町村の防災体制、避難勧告等の発令状況の調査と、気象台が発表した防災気象情報の利活用状況等について聞き取りを実施した。自治体が避難勧告等を発令する判断材料は、①河川の水位実況や河川工事事務所からの電話による助言（ホットライン）、②被害が発生した、あるいは（消防団の見回りや住民等からの情報により）被害が発生しそうな状況の入手、③気象レーダーや降水ナウキャスト等降雨の実況、④気象台が発表した防

災気象情報というのが実態であった。ここでは、沿岸部で大雨となった石巻市や、気仙沼市で聞き取った結果を記載する。

石巻市の防災担当者は、気象台から提供された潮位や雨量の予想をもとに、災害対策本部会議において、明るいうちの避難完了のためには15時を目途に避難勧告を行う必要があることを進言したが、災害対策本部会議メンバーに予想の確度や切迫感が伝わらなかったため、一旦、ホットラインで気象台に問い合わせたのち、気象台の助言を参考に次の災害対策本部会議で、台風の最接近と強雨の時間帯が重なるため厳重な警戒が必要であると説明し、避難勧告が決定された。後日の聞き取りでは、気象台の予報官をリエゾンとして派遣し、市の災害対策本部で説明してもらえれば、明るいうちに避難ができたかも知れないとの意見があった。

気仙沼市の防災担当者から気象台への問い合わせ等はなかったが、市内複数の場所で冠水が始まったことや住民が自主避難を始めつつあること、市内を流れる渋抜川が越水して被害が拡大するおそれがあったことから、9月21日18時45分に避難勧告を発令した。警報発表のタイミングについてはおおむね適切で、早めに対策を講じることができたとの意見だった。

石巻市、気仙沼市に共通のこととして、台風第15号接近前に提供した「浸水予測マップ」は、非常に有効であったと評価されていた。

(5) 防災気象情報の今後の課題

警報発表のタイミングについては、台風本体の

雨が降り始める前に、前線による雨で既に警報が発表されており、特段の問題はなかった。府県気象情報においては、危険度が増した時点（9月21日17時09分）で見出しの部分に「最大級の警戒」といったキーワードを記述したが、「最大級の警戒」のような漠然とした表現では住民に気象台の抱いている切迫感が伝わりにくいと意見があるため、そのような意見を反映すべく市町村ごとの災害データベース（既存の「市町村カルテ」）の更新を随時行っている。

気象台とのホットラインについては、自治体では繁忙時に気象台へ問い合わせている余裕がなく、PULL型の利用は難しいとの意見があった。判断に迷った時ほどホットラインを用いることで気象状況の解説や予測を速やかに入手できることを説明し、一層の利活用促進を図ることが必要で、市町村訪問時など機会あるごとに利用促進に努めている。また、気象台から自治体へ連絡するホットラインをさらに推進することや、気象台側の体制を考慮しつつ、自治体の災害対策本部等へリエゾンを派遣し気象解説を行うことなども検討している。

東日本大震災後、新たに「さいがいFM局」*へ防災情報提供システムのID、パスワードを配布したが、ある「さいがいFM局」からは月に3,000～5,000回のアクセスがあったことをみても、防災情報提供システムは、ユーザーにとって非常に有効な情報入手アイテムであると考えられ、機会あるごとに防災情報提供システムの一層の利用促進に努めている。

* 臨時災害放送局のことで、放送法第3条の5に規定する「臨時かつ一時の目的のための放送」（臨時目的放送）のうち、「暴風、豪雨、洪水、地震、大規模な火事その他による災害が発生した場合に、その被害を軽減するために役立つこと」を目的とする放送を行う放送局をいう。

第3章 予報技術の現状と展望

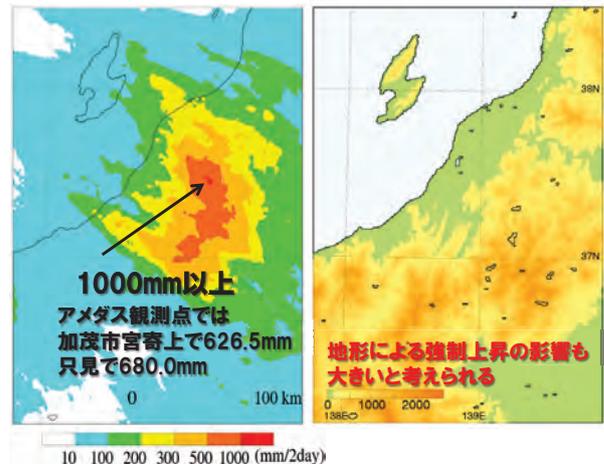
3.1 新潟・福島豪雨の発生要因*

第2.1.1項及び第2.1.2項で2011年7月28日～30日にかけて発生した新潟・福島豪雨（以降、今回の豪雨と記述する）の総観場と局地的状況について簡潔に示されているが、本節では豪雨をもたらした複数の降水システムに着目し、豪雨の発生要因を平成16年7月新潟・福島豪雨のケースとも比較しつつ考察する。また、平成10年8月の新潟での豪雨も含めて、3つの豪雨事例の発生環境場を比較し、今回の豪雨の特徴を議論する。更に、豪雨をもたらす積乱雲の発達条件となる中層（～500hPa）の低温の要因についても考察する。

3.1.1 豪雨をもたらした降水システム

第3.1.1図に2011年7月28日9時から30日9時までの2日間の積算降水量分布と地形を示す。第2.1.1項に述べられているように、この期間に今回の豪雨でのほとんどの降水が観測されている。500mm以上の降水が観測されている場所はほぼ山岳域に対応しており、この分布からは地形の影響を強く受けていることが考えられる。すなわち、日本海から流れ込んだ下層の暖湿な空気が地形によって強制的に持ち上げられて山岳域を中心に降水をもたらされるメカニズムで、台風本体による大雨でよく見られるものである。しかし、そのような簡単なメカニズムではなく、複数の降水システムによって豪雨がもたらされていたことをこの後説明する。

また、豪雨の発生要因の一つとして、豪雨域の風上（北西側）に存在している佐渡島の地形の影響も考えられる。この島の影響をみるために、水平分解能1kmの気象庁非静力学モデルを用いて数値実験を行った。降水分布は非常によく再現され、佐渡島を除去して海とした感度実験でもほぼ



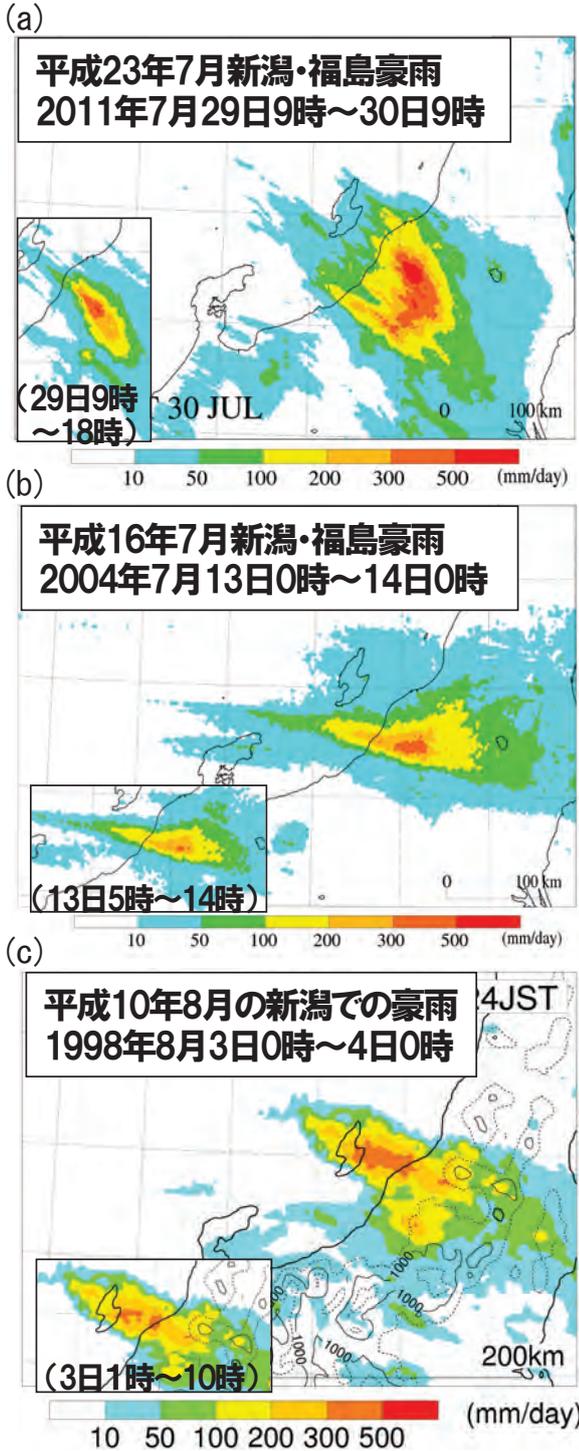
第3.1.1図 2011年7月28日9時から30日9時までの2日間積算降水量分布（左図）と地形（右図）
降水量は正時の解析雨量を積算した。

同様の結果を得た（図略）。この結果は豪雨発生に佐渡島の地形がほとんど影響しないことを示しており、平成10年8月の新潟での豪雨のケースでも同様の結論が示されている（Kato and Goda, 2001）。ただ、佐渡島は豪雨発生の要因にはならないが、その風下（南東側）に当たる領域での降水分布には少なからず影響を与える。このことは加藤ほか（2011）でも議論されている。

今回の豪雨で最も24時間積算降水量が多かった期間の降水量分布の特徴を示すために、過去に新潟県～福島県付近で発生した豪雨事例（平成10年8月の新潟での豪雨、平成16年7月新潟・福島豪雨）と比較する（第3.1.2図）。第3.1.2図には豪雨最盛期の9時間積算降水量分布も示している。また、地上天気図（第3.1.3図）で解析されている停滞前線との位置関係をはじめとする総観場についても比較する。

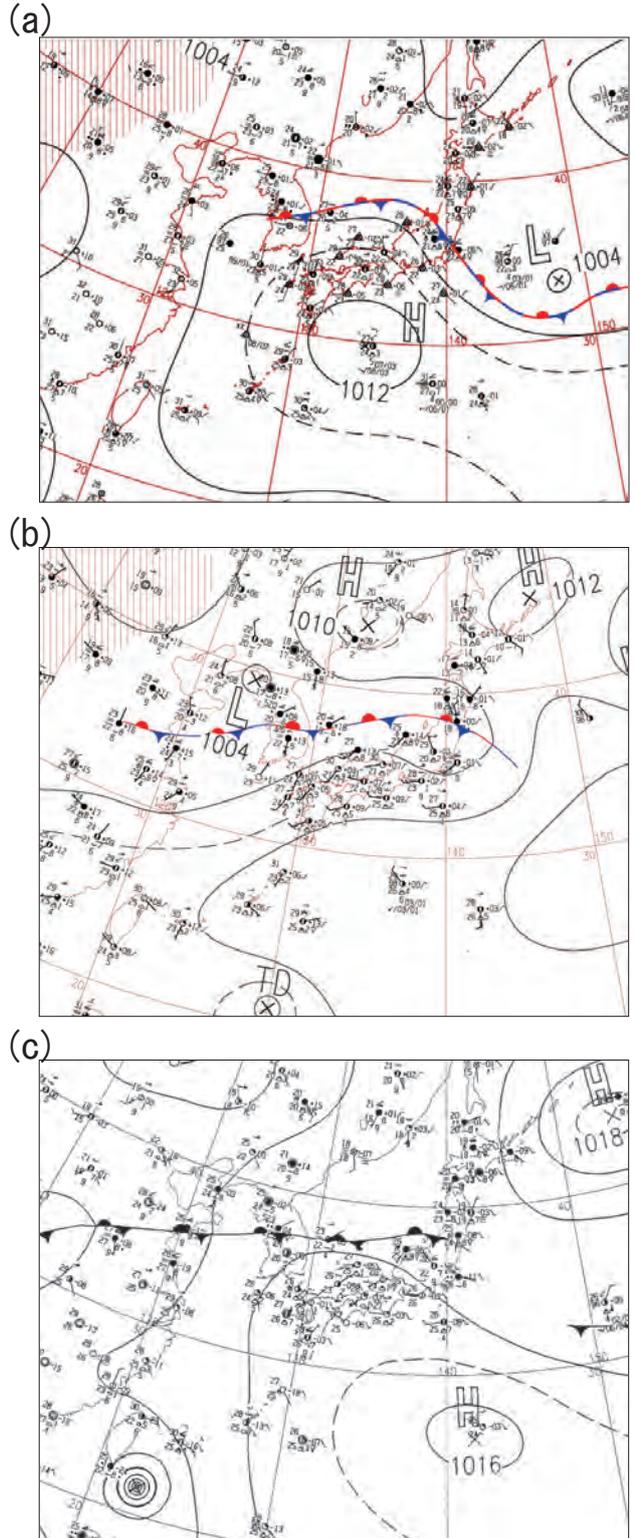
今回の豪雨（第3.1.2図a）では、既に述べたように内陸部を中心に200mmを超える大雨域が

* 気象研究所 加藤 輝之



第3.1.2図 (a) 2011年7月29日9時～30日9時, (b) 2004年7月13日0時～14日0時, (c) 1998年8月3日0時～4日0時までの24時間積算降水量分布。

降水量は正時の解析雨量を積算した。各図中の小窓に最盛期9時間の積算降水量を示す。



第3.1.3図 (a) 2011年7月29日9時, (b) 2004年7月13日9時, (c) 1998年8月4日3時の地上天気図

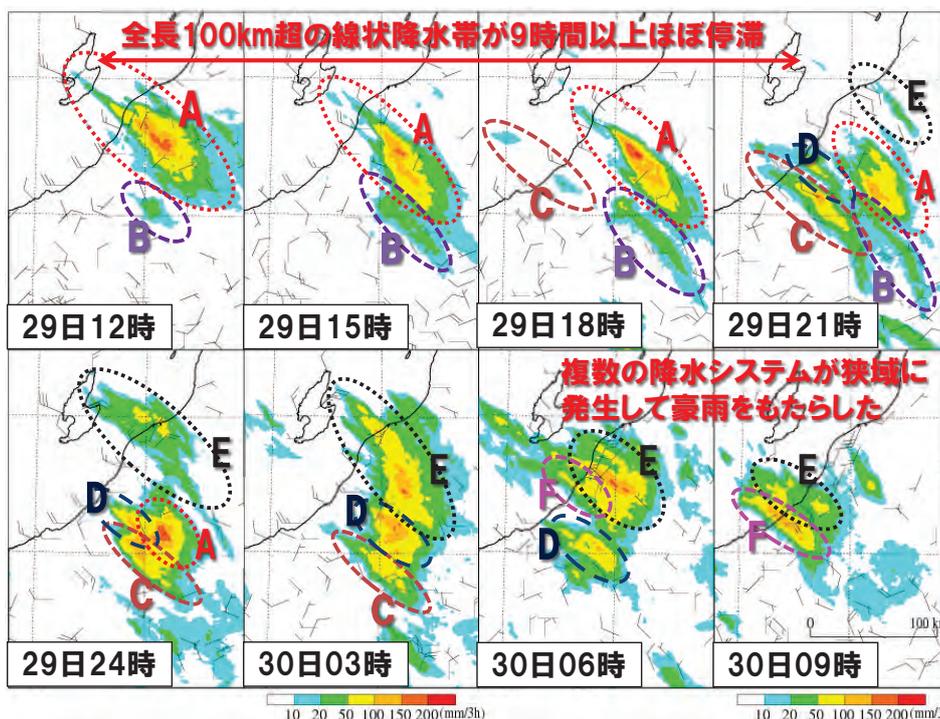
幅広く観測されているが、平成10年8月の新潟での豪雨（第3.1.2図c）では佐渡島から新潟県にかけての海上を中心とした線状の降水帯（線状降水帯）が、平成16年7月新潟・福島豪雨（第3.1.2図b）では今回の豪雨より西側の平野部に降水のピークをもつ線状降水帯がみられる。また、過去の2事例では、豪雨最盛期の9時間積算降水量分布は24時間積算降水量分布とほとんど一致しており、このことは約9時間という短時間に豪雨がもたらされたことを示している。一方、今回の豪雨では9時間積算降水量分布には1つの線状降水帯が見られるだけで、このことは長時間に異なる領域にもたらされた降水によって大雨域が広がったことを示唆している。

線状降水帯の走向をみると、過去の2事例では風下（東側）で若干南側に向かっているものの、ほぼ東西方向に伸びている。一方、今回の豪雨（豪雨最盛期の9時間積算降水量分布）では北西から南東への走向になっている。また、24時間積算降水量分布でも、そのような走向の線状降水帯が重なっているようにみえる。これらの走向は全て、

地上天気図（第3.1.3図）にみられる停滞前線の走向にほぼ一致している。なお、今回の豪雨では梅雨明け後なので、停滞前線は梅雨前線ではない。

3つの豪雨事例の総観場を比較してみると、共通点として西日本に太平洋高気圧が張り出し、その縁辺を回って暖湿流が日本海に流入しやすい場であり、朝鮮半島から新潟県に停滞前線が存在していることが挙げられる。このような場であると、大雨になりやすいことが指摘されている（加藤、2011）。相違点としては、過去の2事例では北海道の東海上に高気圧（オホーツク海高気圧）が存在する一方、今回の豪雨では逆に低気圧が存在している点である。これは今回の停滞前線が梅雨前線のようにオホーツク海高気圧と太平洋高気圧との狭間域（梅雨前線帯）として形成されているものではないことを示している。

第3.1.2図aから、今回の豪雨の降水分布は北西から南東方向の走向をもつ複数の線状降水帯が重なって作り出されているようにみえることを述べた。このことを3時間積算降水量分布の時系列（第3.1.4図）から確かめてみる。7月29日12時



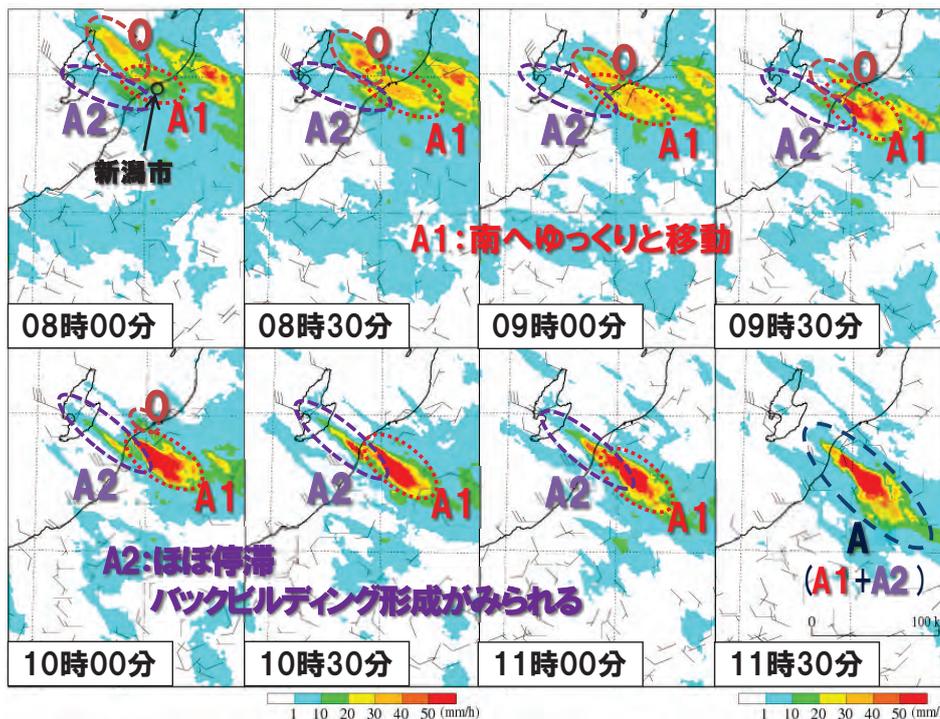
第3.1.4図 2011年7月29日12時～30日9時までの前3時間積算降水量分布（正時の解析雨量を積算）とアメダスで観測された風（長矢羽は 5 m s^{-1} 、短矢羽は 2.5 m s^{-1} ）
A～Fは豪雨をもたらした代表的な降水システム。

～18時の分布から、豪雨最盛期の9時間積算降水量分布にみられる線状降水帯は佐渡島から南東方向に100km超の長さをもつ線状の降水システムAが長時間ほぼ同じ位置に停滞することによって作り出されていることがわかる。18時以降、降水システムAは内陸部に移動して弱まっている。また、同期間には降水システムAほど発達したものではないが、その南側に別の線状の降水システムBが存在している。

18時にはその後発達する降水システムCが形成され、30日3時にかけては降水システムAによる大雨域の南西側に存在する線状の降水域を作り出している。それ以外にも、少なくとも降水システムD～Fが異なる場所で発生・発達して、新潟県・福島県の各地で大雨をもたらしていることがわかる。このようにほぼ線状の降水システムが24時間の間に狭域に複数発生・発達することで、今回の豪雨をもたらしていた。吉崎・加藤(2007)は台風や熱雷によるものを除いて、集中豪雨のほとんどは線状降水帯によってもたらさ

れると説明している。今回の豪雨では24時間や2日間の積算降水量でみる限り、線状の降水分布を示さない。しかし、複数の時間に分割してみると、吉崎・加藤(2007)の説明どおり、線状降水帯により集中豪雨がもたらされていることがわかる。

次に、線状の降水システムAの形成過程を30分ごとの解析雨量分布の時系列(第3.1.5図)からみる。7月29日8時には、佐渡島周辺から新潟市付近にかけて3つの降水システム(O, A1, A2)が存在している。その中で北側の海上に存在している降水システムOはわずかに発達するものの、10時頃にかけて次第に衰退・消滅している。降水システムAの形成に直接関係していない。新潟市北部に位置していた降水システムA1は南へゆっくりと移動しながら南東方向の山岳域へ伸びるとともに、9時以降急速に発達して線状の降水システムAのベースになっている。降水システムA2は10時頃まで発達しないが、佐渡島から南東方向に約100kmの長さ



第3.1.5図 2011年7月29日8時～11時30分までの前1時間積算降水量(解析雨量)分布とアメダスで観測された風(長矢羽は 5 m s^{-1} , 短矢羽は 2.5 m s^{-1})

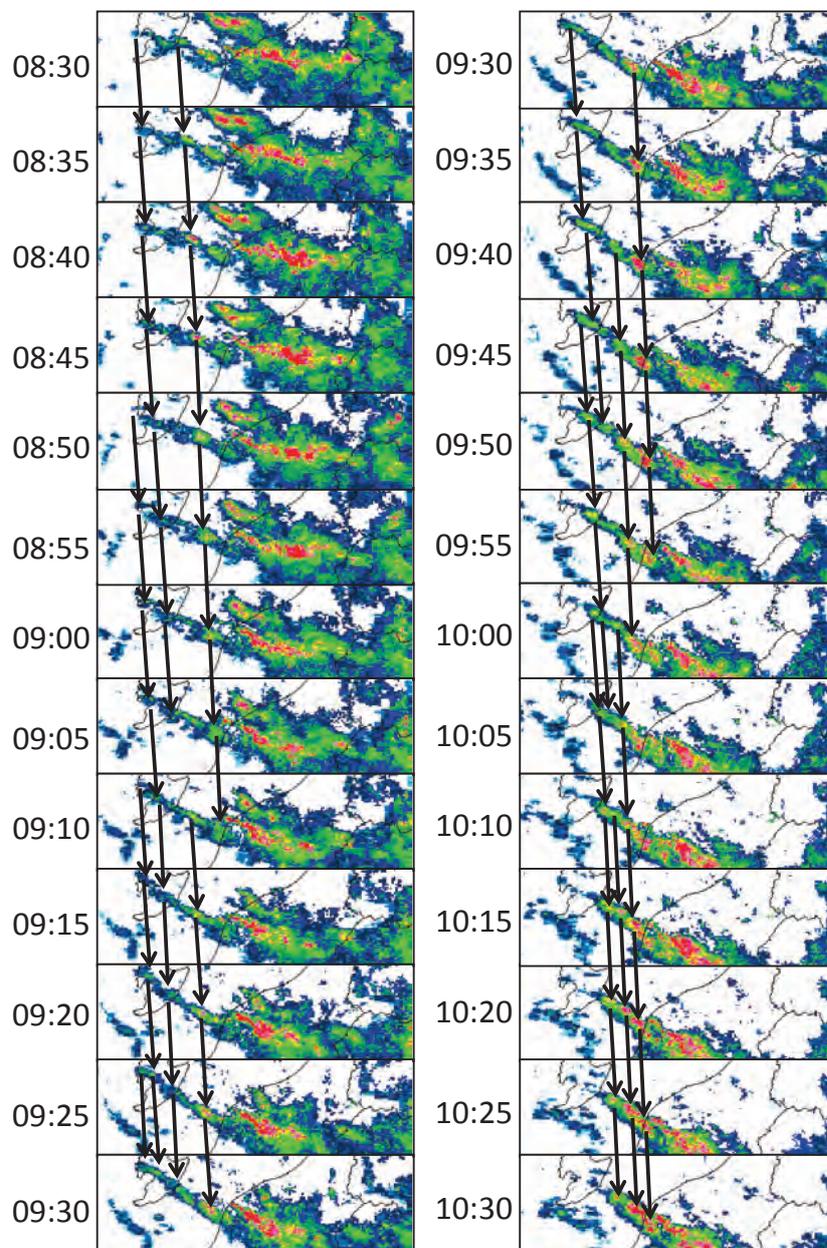
第3.1.4図の降水システムA(線状降水帯)の形成過程を示す。

もつ線状の形態を維持しつつほぼ同じ場所に停滞している。降水システムA2は、その後急速に発達して降水システムA1と合体して、降水システムAを作り出している。このように、第3.1.2図aの12時までの3時間積算降水量分布では1つの線状の降水システムAにみえるものが、実際は複数の降水システムから形成されていたことがわかる。

吉崎・加藤(2007)は、日本国内で集中豪雨をもたらす線状降水帯のほとんどが風上側に繰り返

し積乱雲が発生することにより形成する“バックビルディング形成”により作り出されると述べている。そこで、第3.1.5図で示した線状の降水システムA2に着目して、その形成過程を5分間隔の気象庁レーダー観測(第3.1.6図)から確認する。

線状の降水システムの先端(西端)では15~20分間隔で新しい降水セル(積乱雲に対応)が発生し、発達しながら東側に移動していることがわかる。このように風上側で降水セルが発生して線状の降水システムが形成されていることは、典



第3.1.6図 2011年7月29日8時30分~10時30分までの気象庁レーダーで5分ごとに観測された降水セルの動き

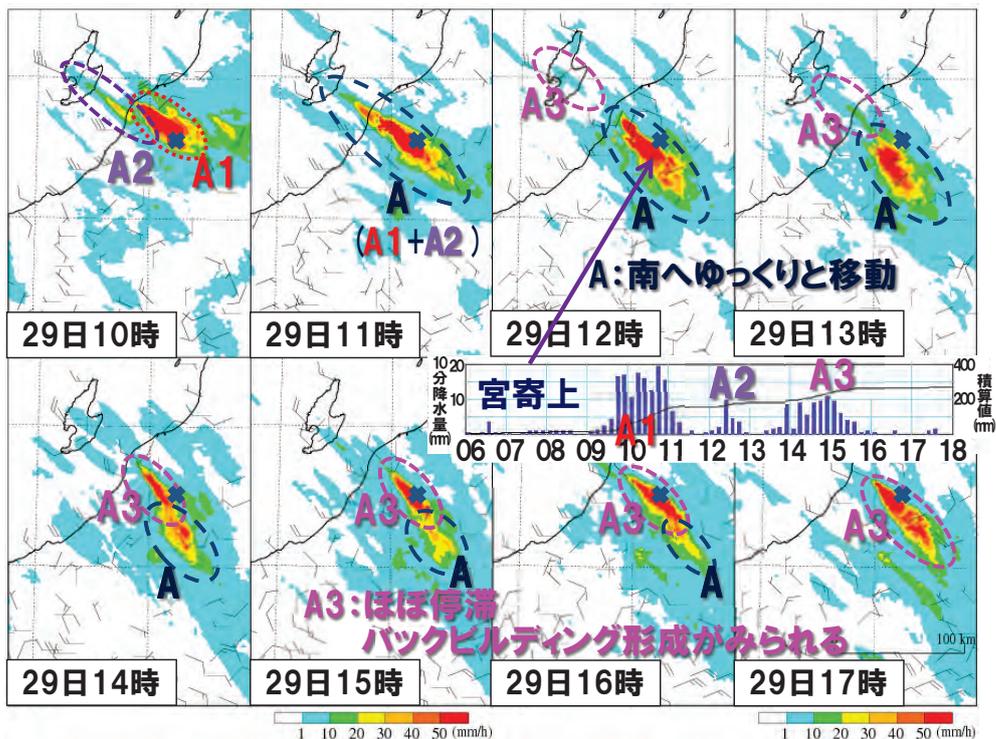
典型的な“バックビルディング形成”であることを示している。また、線状の降水システムの西端以外にも降水セルの発生が認められることから“バックビルディング形成”の中でも、瀬古(2005)が提唱している“バックアンドサイドビルディング形成”に分類できる。“バックビルディング形成”は降水システムA2だけでなく、第3.1.7図で示す降水システムA3をはじめ、第2.1.2項で述べられているように複数の線状の降水システムでも確認されている。

複数の降水システムにより今回の豪雨がもたらされたことから、豪雨が観測された地点での降水量の推移を降水システムの盛衰と関係づけてみる。ここでは、新潟県内で最大降水量626.5mmを観測したアメダス地点(加茂市宮寄上)を例として取り上げる。第3.1.7図に7月29日10時～17時までの前1時間積算降水量分布と宮寄上で観測された10分間/積算降水量の時系列を示す。

宮寄上の降水の推移をみると、10時～11時、12時～13時、14時～15時30分の期間に3つの

降水のピークがあることがわかる。また、ピーク間ではほとんど降水が観測されていない時間帯(10～20分)がある。最初のピークは第3.1.5図でも示したように、9時頃から急速に発達した降水システムA1によってもたらされたものであり、この降水システムがゆっくりと南下したために11時過ぎには宮寄上(第3.1.7図の×で位置を示す)は降水帯の範囲外になっている。12時からの小さなピークは10時以降に発達を始めた降水システムA2が降水システムA1と合体することで、降水システムAが一時的に強化されたためにもたらされたものである。

12時前には佐渡島上に別の降水システムA3が形成され、その後“バックビルディング形成”により南東方向に線状構造をもつとともに急速に発達している。14時頃には宮寄上に達し、衰弱しつつある降水システムAと合体し、線状の降水システムAとして再発達している。これにより、14時からの降水のピークが宮寄上で観測された。第3.1.4図のように降水システムAを単純に“1



第3.1.7図 2011年7月29日10時～17時までの前1時間積算降水量(解析雨量)分布とアメダスで観測された風(長矢羽は 5 m s^{-1} , 短矢羽は 2.5 m s^{-1})新潟県加茂市宮寄上(×で位置を示す)での10分間/積算降水量の時系列を中央に示す。

つの線状降水帯=1つの降水システム”とみてしまうと、宮寄上で観測された降水のメリハリを説明できないが、ここで述べたように1つの線状降水帯が複数の降水システムにより形成されていたことで理解できる。このように、今回の豪雨では複数の降水システムが発生・発達したことで、ある特定の領域に強雨が継続的に降るのではなく、多くの地点で断続的に強雨が観測されたのが特徴である(第2.1.1.8図参照)。

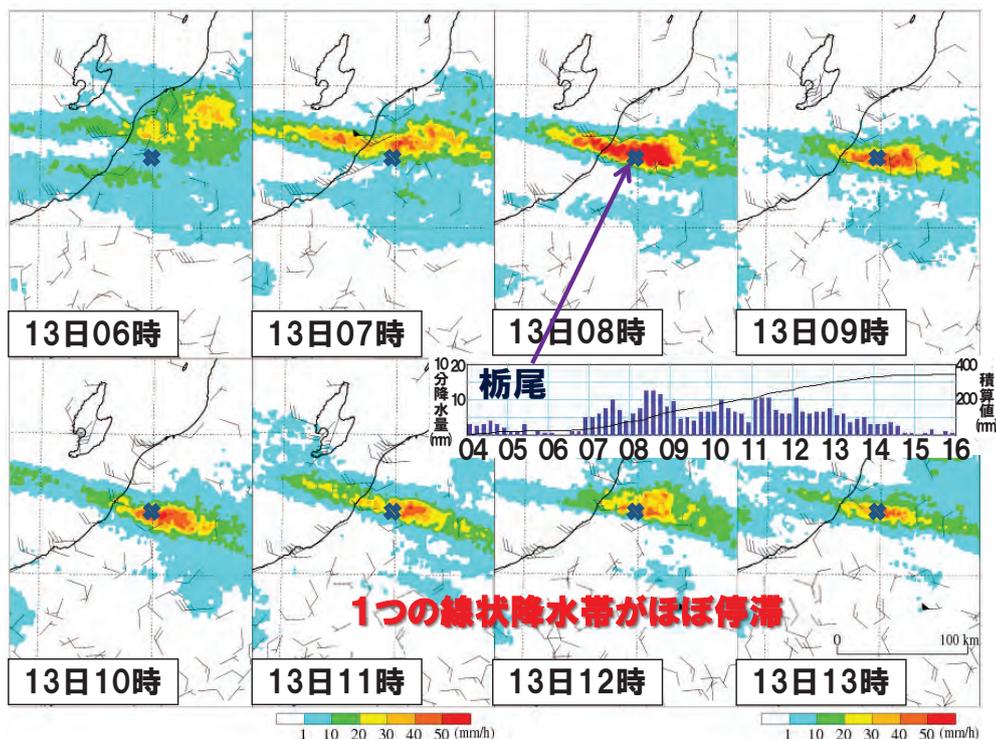
過去の豪雨事例との比較として、平成16年7月新潟・福島豪雨での豪雨が観測された地点での降水量の推移と降水システムとの関係を見てみる。第3.1.8図に2004年7月13日6時～13時までの前1時間積算降水量分布と最大降水量を観測した新潟県長岡市栃尾での10分間降水量の時系列を示す。栃尾では7時から14時過ぎまでの7時間以上、多少弱まった期間があるものの強雨が降り続いていたことがわかる。この強雨は6時以降に急速に発達した1つの線状の降水システム(=線状降水帯)によってもたらされている。また、

この降水システムは発達・衰弱を繰り返しながらほぼ同じ場所に停滞している。

このように1つの線状の降水システム(=線状降水帯)によって集中豪雨がもたらされることが一般的だと考えられるが、今回のように複数の降水システムによって豪雨がもたらされる事例もあることから、今後豪雨事例の解析を統計的に積み上げる必要がある、気象庁内ではその取り組みを既に開始している(加藤,2010)。

3.1.2 平成10年8月の新潟での豪雨と平成16年7月新潟・福島豪雨の発生環境場との比較

前項では降水システムに着目して、今回の豪雨の特徴を議論し、長期間に複数の降水システムが発生・発達したことで、ある特定の領域に強雨が継続的に降るのではなく、多くの地点で断続的に強雨が観測されたことを述べた。ここでは、過去に新潟県～福島県付近で発生した豪雨事例(平成10年8月の新潟での豪雨、平成16年7月新潟・



第3.1.8図 2004年7月13日6時～13時までの前1時間積算降水量(解析雨量)分布とアメダスで観測された風(長矢羽は 5 m s^{-1} 、短矢羽は 2.5 m s^{-1})新潟県長岡市栃尾(×で位置を示す)での10分間/積算降水量の時系列を中央に示す。

福島豪雨)と比較することで、長期間に複数の降水システムが発生することができた環境場の特徴を明らかにする。

今回及び過去の豪雨事例の発生前後数日における、風上側約200km西方に位置する輪島での高層観測データを第3.1.1表に示す。加藤(2011)は日本付近で豪雨をもたらす積乱雲の発生に関して、500m高度での相当温位(EPT: Equivalent potential temperature)とその高度からの自由対流高度(LFC: Lifting condensation level)に達するまでの距離及び対流圏中層の気温に着目すべきだと主張している。また、加藤・廣川(2012)は、豪雨発生の目安となる500m高度でのEPTが暖候期日本海側では350K程度だと述べている。そこで少し余裕をみて、EPTが346K以上を豪雨発生の必要条件とし、500hPaでの気温が-5℃以下、LFCに達するまでの距離が1km未満であることを条件に加えて、その発生環境場を考察する。

過去の2事例では豪雨発生の直前に一度だけ上で挙げた3つの条件に適した環境場(ただし、一つの条件はわずかに満たしていない)が観測されている。その一方、今回の豪雨では強雨が観測された期間(7月28日9時~30日9時)の1日前から3つの条件に適した環境場が観測され、28日9時ではLFCの条件、29日21時ではEPT以外の条件が満たされていないものの、約3日間豪

雨発生に適した環境場が継続的に観測されている。EPTだけでみると、平成10年8月の新潟での豪雨事例が最も大きな値(351.2K)を示している。

以上から、今回の豪雨では、豪雨発生の条件が際だって高い値を示してはいなかったが、その条件が継続していたために、長期間に複数の降水システムが発生・発達したと考えられる。

次に、豪雨の発生環境場を対流圏下層及び中層の気温や水蒸気量などの水平分布から比較してみる。本節では、豪雨の最盛期直前の時刻での客観解析データ(気象庁メソ解析)又は領域モデルの予報値から作成したものを示して議論する。なお、平成10年8月の新潟での豪雨事例に関しては豪雨の再現性が良かった、Kato and Goda(2001)が実行した領域モデルの予報値を用いる。

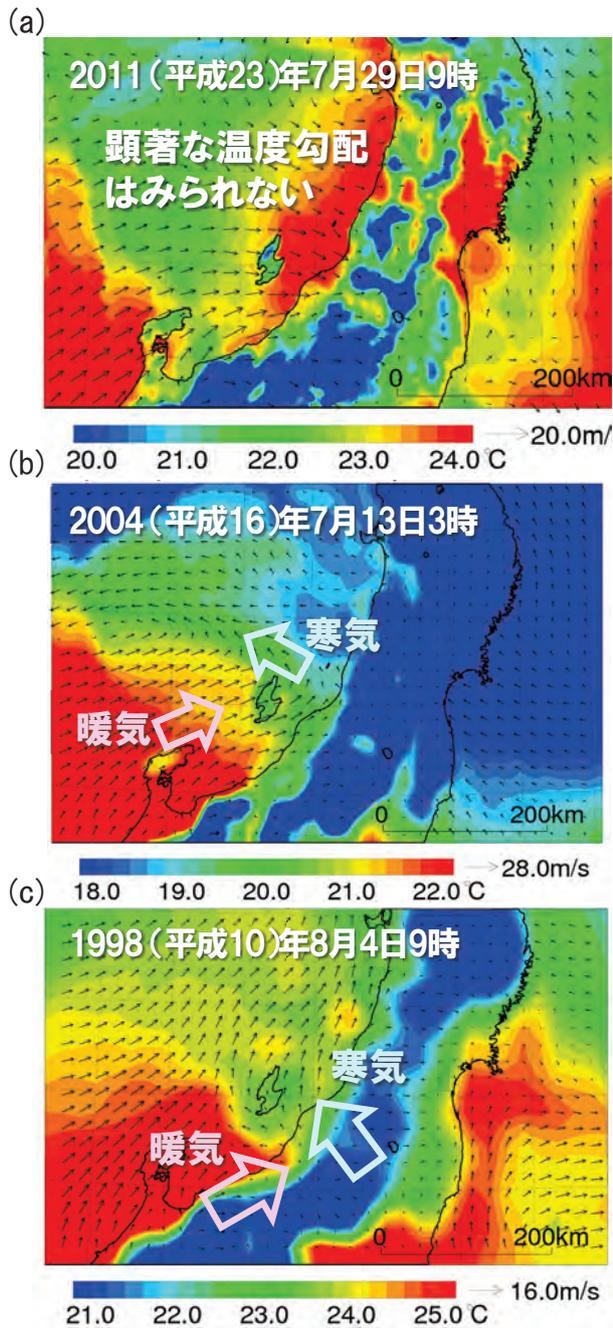
第3.1.9図に豪雨発生直前の地表付近の温度分布と水平風を示す。過去の豪雨事例では、地上天気図(第3.1.3図)に解析されている梅雨前線に対応した温度勾配がみられる。その一方、今回の豪雨では能登半島から北北西方向に温度勾配がみられるものの、新潟県付近にはみられず、そこには顕著な水平風の収束も存在しない。しかし、500m高度の温度分布(第3.1.10図)をみると、西からの暖気と北西からの寒気により作られている前線構造が明瞭に確認できる。同様に、2004

第3.1.1表 平成23年7月新潟・福島豪雨, 平成16年7月新潟・福島豪雨, 平成10年8月新潟での豪雨発生前後での輪島での高層観測

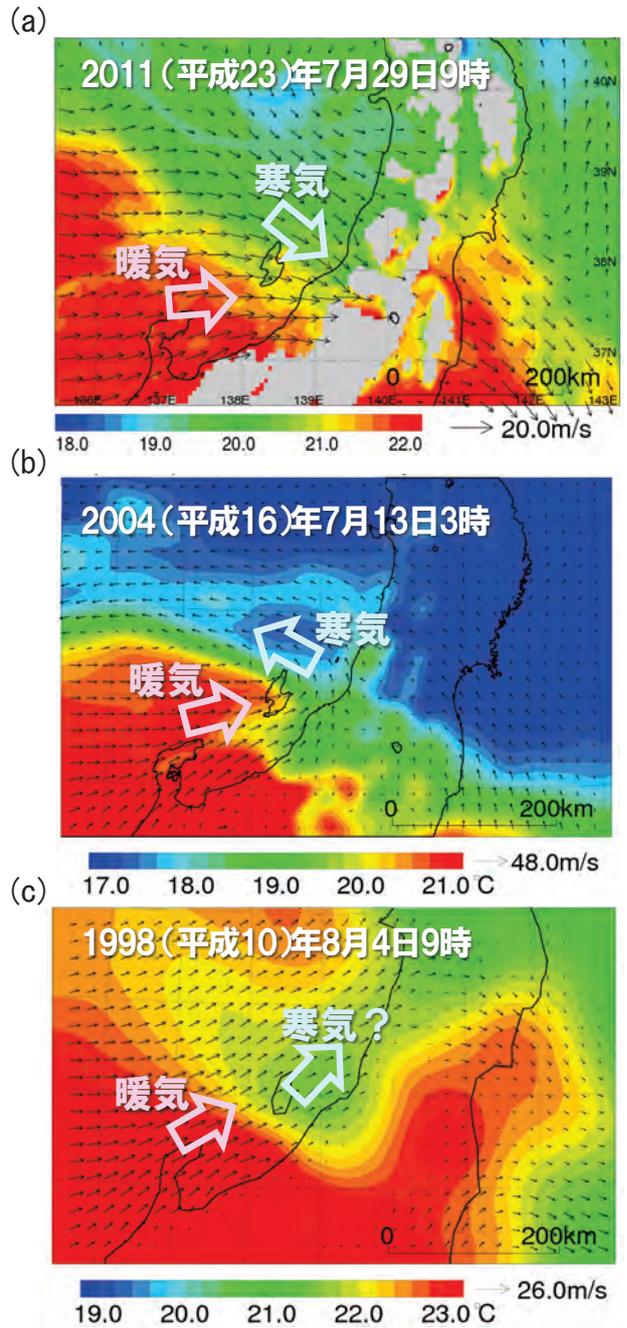
T500は500hPa気圧面での気温, EPT500Mは500m高度での相当温位, LFC500Mは500m高度の気塊を持ち上げたときの自由対流高度に達するまでの距離。赤矢印で大雨が観測された期間, 赤枠で積乱雲が発生・発達しやすい期間を示す。「算出できず」は絶対安定な大気状態であったことを意味する。

2011(平成23)年	7月26日9時	21時	27日9時	21時	28日9時	21時	29日9時	21時	30日9時	21時
T500	-9.1	-7.3	-7.7	-6.6	-5.7	-5.1	-5.5	-3.9	-4.5	-6.1
EPT500M	340.2	345	346.6	346.6	347.3	346.6	348.7	346.7	348.1	343.3
LFC500M	1584.8	1630.2	523.9	730	2092.7	325.4	258.8	2659.1	45.2	2734.2
2004(平成16)年	7月11日9時	21時	12日9時	21時	13日9時	21時	14日9時	21時		
T500	-10.3	-8.9	-7.7	-6.5	-5.9	-1.7	-4.5	-6.9		
EPT500M	331	330.5	329.4	336.2	346.7	345.8	343.2	334.4		
LFC500M	1803	276	xx	xx	1084.7	1308	2953.8	xx		
1998(平成10)年	8月2日9時	21時	3日9時	21時	4日9時	21時	5日9時	21時	凡例	
T500	-4.5	-3.6	-4.1	-4.9	-4.9	-3.9	-5.2	-4.1	-5℃以下	
EPT500M	349.9	346.2	346.1	351.2	348.3	345.5	345	346.8	346K以上	348K以上
LFC500M	869.3	2655.1	1099.8	352.5	3092.9	2512.2	2176.6	3487.1	1000m以下	xx:算出できず

大雨が観測された時間帯



第 3.1.9 図 (a) 2011 年 7 月 29 日 9 時, (b) 2004 年 7 月 13 日 3 時, (c) 1998 年 8 月 4 日 3 時の地表面付近の気温 (°C) と水平風ベクトル (a), (b) は気象庁メソ解析, (c) は領域モデルの予報値 (3 日 21 時初期値) から作成.



第 3.1.10 図 第 3.1.9 図と同じ, ただし 500m 高度の気温 (°C) と水平風ベクトル (a) についてのみ 500m 高度以下をマスクしている.

年7月新潟・福島豪雨の事例でも、温度勾配はあるものの地表付近では前線構造が不明瞭であり、500m高度の方が明確に認められる。これらから、前線構造の把握における地表面温度の分布の利用は再考すべきである。また、今回の豪雨では前線付近での500m高度の空気を持ち上げた場合のLFCまでの距離(図略)は100m以下であり、温位の鉛直勾配約3K/kmから温度差約0.3K以上あれば前線の北側に存在する寒気に暖気が乗ることができる。そのため、豪雨をもたらした積乱雲が容易に発生したと考えられる。

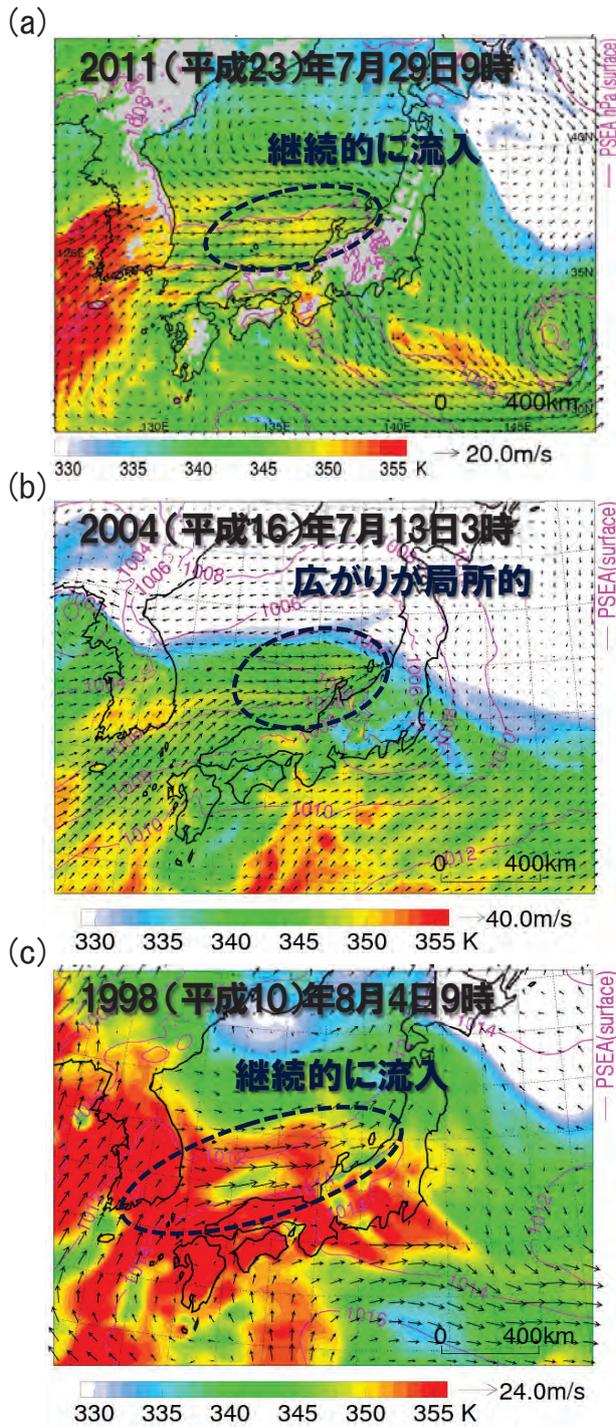
次に、豪雨発生の目安となる500m高度の高EPTの存在をその分布(第3.1.11図)から比較してみる。最もEPTが高かったのは平成10年8月の新潟での豪雨事例で、350K以上の空気が新潟県に流入しているだけでなく、355Kに達する領域が新潟沖から対馬海峡まで帯状に広がっている。ただし、輪島の高層観測(第3.1.1表)では346K以上の高EPTをもった空気は継続して流入していない。これは高EPT帯の中に345K程度と相対的に低いEPT領域が存在し、その領域が流入したためだと考えられる。2004年7月新潟・福島豪雨では350K以上の高EPT領域の広がり局所的で、今回の豪雨では平成10年の事例ほどではないが新潟県に継続的に高EPTの空気が流入しやすい状況であることを示している。これらのことも輪島の高層観測と整合的である。

積乱雲を発達させる、すなわち大気の安定度を低下させるもうひとつの要因である上空の低温の程度を500hPaの気温分布(第3.1.12図)からみってみる。新潟県から福島県上空で最も気温が低いのは今回の豪雨で、 -6°C 前後と過去の豪雨事例よりも約1度低い。ここで、風上(西側)との温度差に着目する。一般的に低温な状態が持続するためには温度差がない、又は低温な空気が流入して

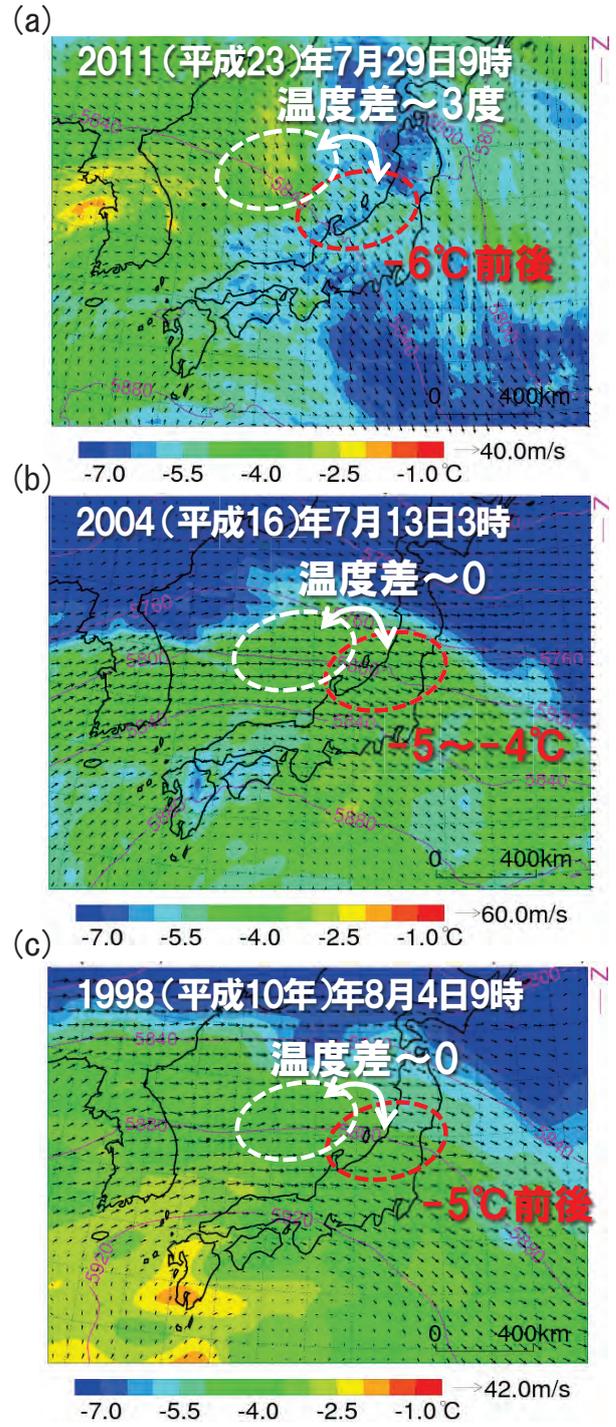
くる必要がある。過去の豪雨事例では、風上側との温度差がほとんどない。その一方、今回の豪雨では風上側に3度程度温度が高い領域が存在し、このことは今後大気の安定度が高くなる方向に進展することを示唆している。しかし、輪島の高層観測(第3.1.1表)では低温が持続しているので、これについて500hPaの気温分布の推移(第3.1.13図)から調べてみる。

日本海上500hPaでの風速は10m/sを超える程度なので、空気は6時間に約250km移動する計算になる。この計算によると、28日21時に朝鮮半島北部から日本海上に伸びている -1°C 前後の相対的に暖かい領域(第3.1.13図の左上図)は、24時間後には豪雨が発生した新潟県付近に達することになる。しかし、500hPaの気温分布の推移をみると、29日21時でも新潟県から福島県上空では -5°C 以下の低温な状態が持続していることがわかる。

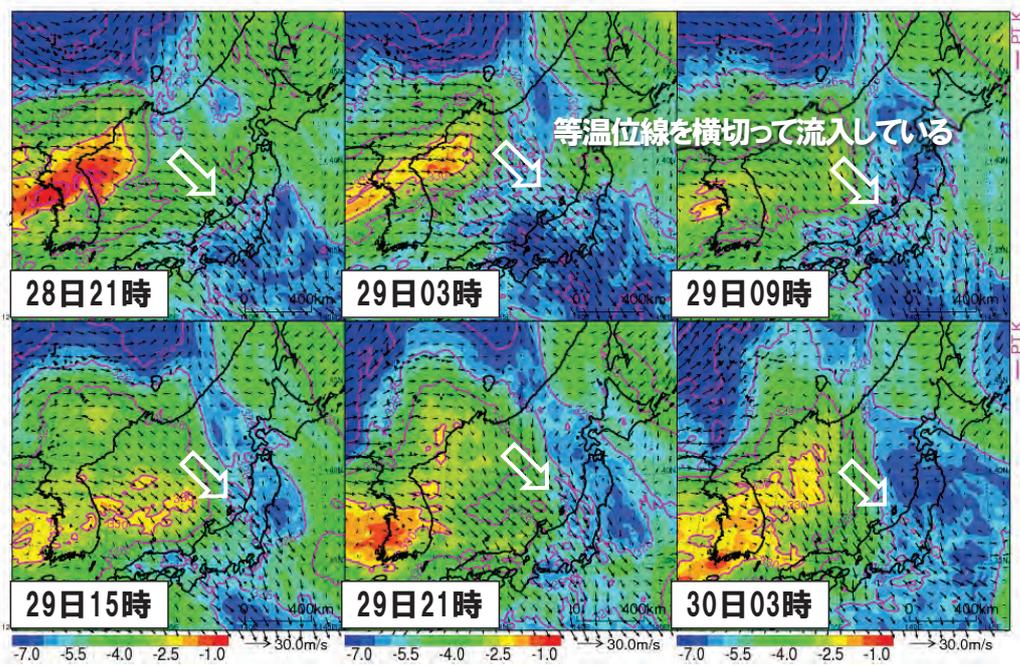
基本的には、空気は非断熱加熱の影響を受けられない限り等圧面上ではなく、等温位面上を移動する。そこで、500hPaでの空気の流れと温位分布(第3.1.13図のピンクの等値線)との関係のみてみる。朝鮮半島から日本海の中央付近までは等温位線を横切るような空気の流れはあまりみられないが、新潟県付近には等温位線を横切って流入している。風下(南東側)に向かって温位が低くなっていることから、より温位の高い上空に空気は移動していることになる。なお、その領域にはMTSAT-2が観測した赤外画像から雲頂高度が4km以下の背の低い雲しか存在していなかったことが確認できる(図略)。これらから、非断熱加熱の影響を受けないで、空気が新潟県沖で上昇することで低温化していることが示唆される。次項ではその低温化の要因について考察する。



第3.1.11図 第3.1.9図と同じ、ただし500m高度の相当温位(K, カラー)、海面気圧(hPa, 等値線)と水平風ベクトル



第3.1.12図 第3.1.9図と同じ、ただし500hPa気圧面の気温(°C, カラー)、高度(m, 等値線)と水平風ベクトル



第3.1.13 図 2011年7月28日21時～30日3時までの500hPa気圧面の気温(°C, カラー), 温位(2K間隔, 等値線)と水平風ベクトル
気象庁メソ解析から作成.

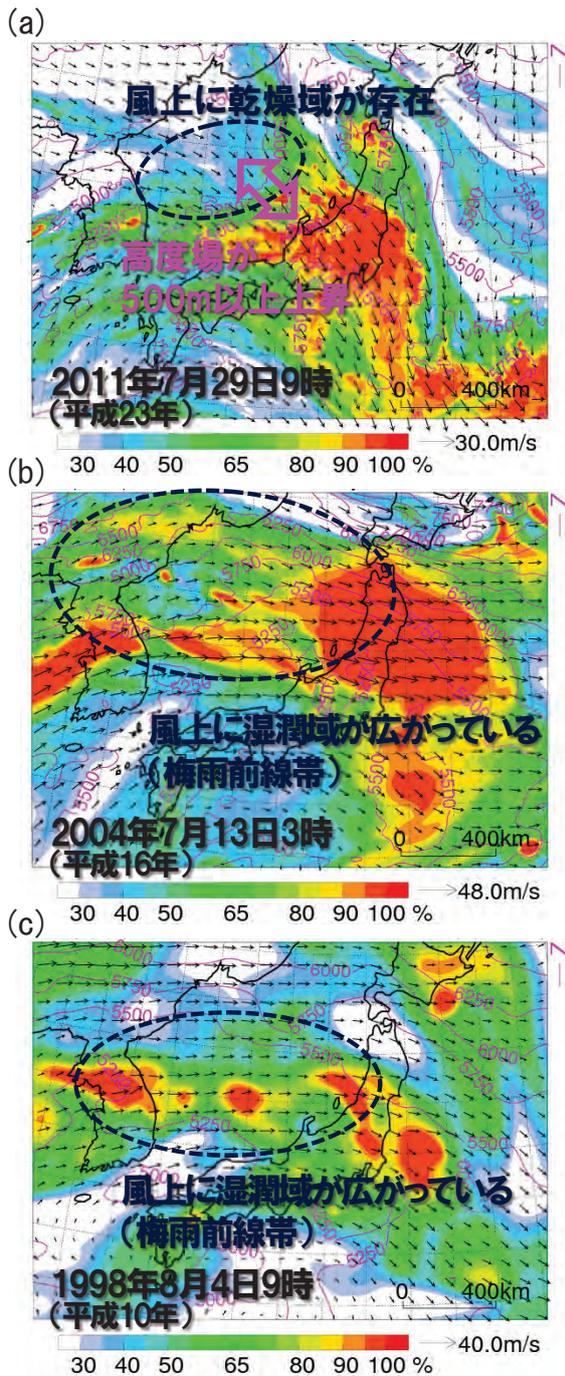
3.1.3 中層流入空気の低温化の要因

この項では、第3.1.2項で示した空気が上昇することによって低温化し、新潟県沖の上空で低温状態が持続した要因について考察する。日本付近の対流圏下層から中層の大気は1kmで約6度低くなっている一方、乾燥した空気であれば、周囲との熱のやりとりがなければ乾燥断熱減率(1km上昇することで約10度)で低下する。すなわち、乾燥空気が1km上昇すると、周囲より約4度低下することになる。しかし、湿った空気であれば、低温化することで余剰となった水蒸気(相対湿度が100%を超えた分)が凝結するために潜熱が解放され、凝結後は湿潤断熱減率で低下する。その減率は気温と気圧によって変わるがおおむね6度よりも小さく、空気が上昇することで周囲よりも低くなることはない。以上から、上空の低温状態の維持については上昇した空気がどの程度乾燥していたかが鍵となる。

第3.1.14図に、過去の豪雨事例も含めて、豪雨発生直前の325K等温位面(暖候期日本列島付近での500hPa高度を含む)での相対湿度分布を示す。過去の豪雨事例では梅雨前線帯に対応する湿

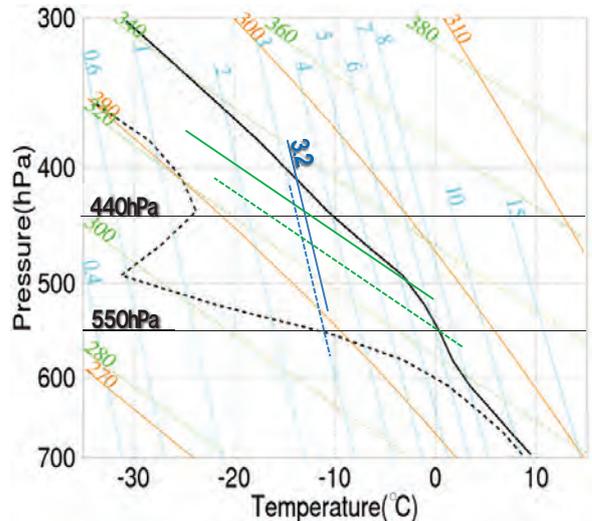
った領域が新潟県沖の風上(西側)に広がっている一方、今回の豪雨では風上が乾燥しており、相対湿度が50%未満の領域も幅広くみられる。また、新潟県に近づくにつれて相対湿度が大きくなるとともに等温位面高度が500m以上上昇しており、空気が上昇していることを示唆している。

相対湿度100%の時に大気中に存在する水蒸気量(飽和水蒸気量: q_{vs})は気圧変化がない場合、気温が10度低下すると約半分になり、気温変化がない場合、気圧が下がると大きくなる(第3.1.15図参照)。このことについて、2011年7月29日12時の新潟西方海上での500hPa気圧面とその気塊を乾燥断熱線に沿って1km上空(～440hPa)まで持ち上げたときの q_{vs} の違いをエマグラム(第3.1.15図)から具体的にみている。500hPaと440hPa気圧面の q_{vs} はそれぞれ6.4g/kgと3.3g/kgであり、1km持ち上げることで q_{vs} は約52%になる。このことから50%の相対湿度を持つ500hPa気圧面付近の空気が凝結するには約1.1km(第3.1.15図の太緑線と太青線の交点まで)上昇する必要がある。また、第3.1.12図aで見られる温度差3度は凝結しないで0.75kmの上



第3.1.14図 第3.1.9図と同じ、ただし325K等温位面での相対湿度(%,カラー)、高度(m,等値線)と水平風ベクトル

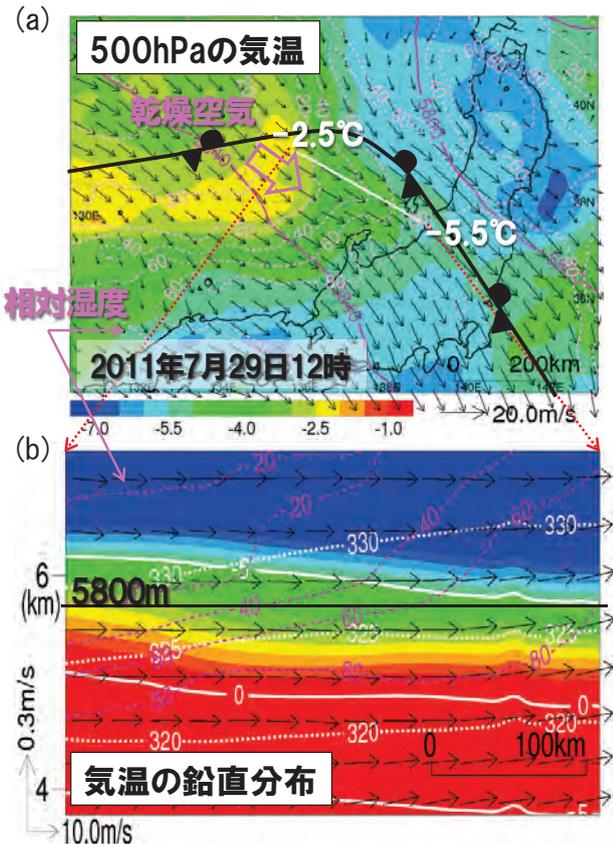
昇した場合に対応する。これらから、新潟県西方沖に流入する空気の相対湿度は50%以下なので、0.75km上昇しても凝結しないで温度差3度を作り出すことが説明できる(500hPaの0.75km下部(~550hPa)から持ち上げた場合を第3.1.15図の緑と青の破線で示す)。



第3.1.15図 2011年7月29日12時の新潟西方海上(第3.1.16図bの右端)でのエマグラム、黒太線:気温、黒破線:露点、緑線:乾燥断熱線、オレンジ:湿潤断熱線、水色:等混合比線(3.2の補助線は500hPaの飽和混合比6.4g/kgの半分の量を示す)気象庁メソ解析から100km四方で空間平均した。

鉛直断面図から空気が上昇して低温化が起きている様子を確認してみる。第3.2.12図aの3時間後の新潟県沖を中心に拡大した500hPa気圧面の気温(カラー)と相対湿度(破線の等値線)の分布を第3.1.16図aに示す。約400kmの白線上の北西側と南東側で約3度の温度差があり、北西側の空気の相対湿度は20%以下であることがわかる。その線分の鉛直断面を第3.1.16図bに示す。高度5~6kmの空気の流れを断面図に射影したベクトルでみると、多少下降している部分もあるが、新潟県に近づくほど上昇速度が大きくなり、それとともに気温が低下していることがわかる。特に、図の右側では等温位線に沿って空気が移動している様子がみられる。これは、断面図北西側の高度5kmの相対湿度は約50%と乾燥しており、その空気が500hPa気圧面(~高度5800m)に達しても上述の説明から凝結しないで、低温化が生じたためである。また、低温化にともなう相対湿度の増加もみることができる。なお、第3.1.16図は7月29日12時での解析値であり、定常状態を示すものではないが、前後の解析値(9時・15時)でも同様の特徴がみられる(図略)。

高度5~6kmの空気の上昇速度の大きさ(第



第3.1.16図 (a) 2011年7月29日12時の500hPaの気温(°C, カラー), 高度(m, 実線の等値線), 相対湿度(% , 破線の等値線), 水平風ベクトルと(b) (a)の白線上の鉛直断面図(カラーと実線の等値線:気温, 点線の等値線:温位, 破線の等値線:相対湿度), 鉛直断面に射影した風ベクトル) 気象庁メソ解析から100km四方で空間平均した。

3.1.16図b)は高々2~3cm/s(1時間で100mほどの上昇)であり, 積乱雲中にみられるような大きなもの(数m/s)ではない。一方, 水平風速は10m/sを超える程度なので, 400kmを移動するのに約10時間かかる。これらから, 400kmを移動する間に0.75km程度上昇することによって, 温度が約3度低下して500hPa気圧面での気温差を作り出したことが説明できる。

次に, 500hPa気圧面付近での低温状態の維持の要因となる上昇流の存在について考察する。大気中の鉛直流は対流以外に, 総観場での力学によっても引き起こされる。そこで, 背景場として上昇流が励起される領域を準地衡風方程式系(小倉, 2000など参照)から求まるQベクトルの収束・

発散から考えてみる。なお, 新潟県上空付近で西方から流入している乾燥空気の水平スケール(第3.1.14図a)は500~1000kmであり, 1000km以上とされる総観スケールに比べて若干小さいため, ここでは総観場の力学をそのスケールまで拡張できるかについても合わせて検討する。また, Qベクトル(Q_x, Q_y)は以下のように定義される。

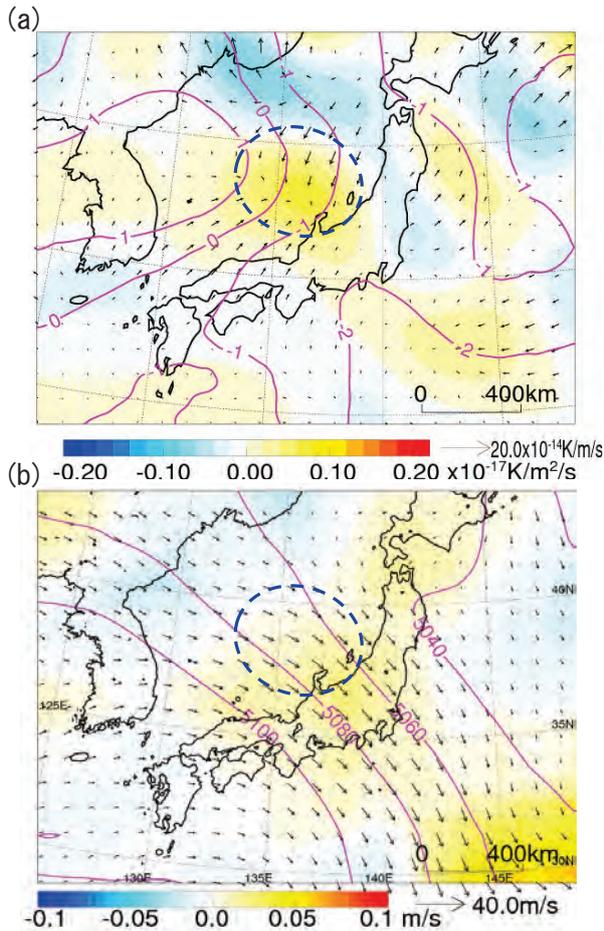
$$Q_x \equiv -\frac{R_d}{p} \left(\frac{\partial u_g}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial v_g}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (1)$$

$$Q_y \equiv -\frac{R_d}{p} \left(\frac{\partial u_g}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial v_g}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (2)$$

ここで, u_g, v_g は東西(x方向), 南北成分(y方向)の地衡風速, T は気温, R_d は乾燥空気の気体定数, p は気圧である。

29日12時の550hPa気圧面のQベクトルとその収束・発散及び鉛直流の分布を第3.1.17図に示す。なお, 水平スケール400km以下の細かい規模の変動は除去している。Qベクトルの収束・発散の分布(第3.1.17図a)をみると, 新潟県西方沖(破線の楕円内)は暖色系になっており, 上昇運動が励起される領域になっていることが示唆される。その領域に対応して, 3cm/s程度の弱い上昇流が解析されている(第3.1.17図b)。また, Qベクトルの収束域は上昇運動が励起される領域であって, 上昇流域を表現しているわけではないが, おおむね解析にみられる上昇流に対応している。このことは, 水平スケール500km程度までならQベクトルを用いての考察に無理がないことを示唆している。これらから, 低温化をもたらした上昇流(第3.1.16図b)は総観場の力学によって作られたものだと考えられる。次に, 新潟県西方沖でQベクトルが収束した要因について説明する。

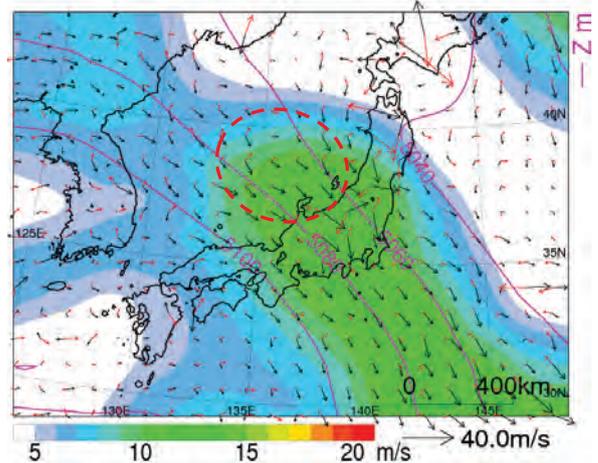
第3.1.18図に, 同時刻(29日12時)での水平スケール400km以下の変動を除去した550hPa気圧面の水平風速分布及び地衡風・非地衡風ベクトルを示す。風速5m/s以下の領域や新潟県や福島県といった大雨が観測されている領域を除いて, 非地衡風成分(赤ベクトル)は小さく, ほぼ地衡風で近似されていることがわかる。このことから, ここでは簡単のために, 水平風速は地衡風速だと考え, 風向き(南東)方向をQベクトルのx方



第 3.1.17 図 2011 年 7 月 29 日 12 時の 550hPa 気圧面の (a) Q ベクトルとその収束・発散 (K/m²/s, カラー), 気温 (°C, 等値線) と (b) 鉛直流 (m/s, カラー), 高度 (m, 等値線) と水平風ベクトル
気象庁メソ解析から作成。Q ベクトルについては水平スケール 400km 以下の変動を High Pass filter で除去し, その他については 400km 四方で空間平均した。(a) の暖色 (寒色) 系は Q ベクトルの収束 (発散) 域を示し, その領域では上昇 (下降) 運動が励起される。なお, 鉛直流を算出するには 3 次元のポアソン方程式を解く必要がある。

向に取って議論する。これにより, v_g は無視できるので, ここでは式 (1)・(2) の右辺第 1 項だけを考える。

第 3.1.17 図 a の気温分布から, 式 (1)・(2) に共通する $\partial T/\partial x$ は x 方向に温度が低下しているため, Q_x と Q_y はそれぞれ $\partial u_g/\partial x$ と $\partial u_g/\partial y$ と同符号になる。第 3.1.18 図をみると, 新潟県西方沖 (破線の楕円内) では風下に向かって風速が大きくなっているため, $\partial u_g/\partial x$ (Q_x) は正



第 3.1.18 図 2011 年 7 月 29 日 12 時の 550hPa 気圧面の水平風速 (m/s, カラー), 高度 (m, 等値線) と地衡風 (黒ベクトル)・非地衡風 (赤ベクトル)
気象庁メソ解析から 400km 四方で空間平均した。

になる。ただ, 新潟県寄りの領域では u_g の変化が小さいので, $\partial u_g/\partial x$ はかなり小さな値になる (新潟県西方沖では風上側の Q_x の方が大きくなり, Q_x の収束域になる)。一方, u_g の y (南西 - 北東) 方向の変化をみると, 新潟県西方沖に u_g のピークがあることから, $\partial u_g/\partial y$ (Q_y) はその領域から南西側で正, 北東側で負になる。また, 新潟県西方沖での風速変化は x 方向よりも y 方向の方が大きいので, Q_x よりも Q_y の絶対値の方が大きな値を持つ。以上から, 第 3.1.17 図 a のような新潟県西方沖での Q ベクトルの収束が顕著になる。このような新潟県西方沖での Q ベクトルの収束は 29 日 0 時頃から 30 日 3 時頃まで見られ, この領域では上昇流が定常的に存在し, 上空の低温状態も維持されていたことが示唆される。なお, このような場合は非断熱加熱を受けないという条件下で成り立つことから, 第 3.1.14 図 a で示した乾燥空気の流入がこの定常状態の維持に重要であったと考えられる。

今回の豪雨のように, 強風軸をもつ流れがあり, 風下に向かって気温が低下する領域では上昇運動が励起される。このような領域は気圧の谷の前面の暖気移流場でよく見られ, そこでは風向きは南よりの風になっている。一方, 今回の事例は逆の状態, すなわち北よりの風で, 南に向かって気温が低下しており, さらに総観場に大きな変化がな

い非常に稀なケースである。

過去の豪雨事例では、今回の豪雨に比べて上空の気温変化（第3.1.12図）が小さく、式（1）・（2）にある水平温度傾度が小さいため、 Q ベクトルの収束・発散は大きな値を取れない。これは、背景場として大きなスケールでの鉛直運動の励起が小さく、ほぼ高度を変えずに空気が移動することを示唆している。

3.1.4 上空の高渦位域の流入の影響

今回の豪雨では、第3.1.4図で示した降水システムAによって最盛期（29日9時～18時）の降水がもたらされたことを第3.1.2項で示した。ここでは、その期間に降水が強まった要因について上空の等温位面上の高渦位域（渦位アノマリ）の流入に着目して考察する。

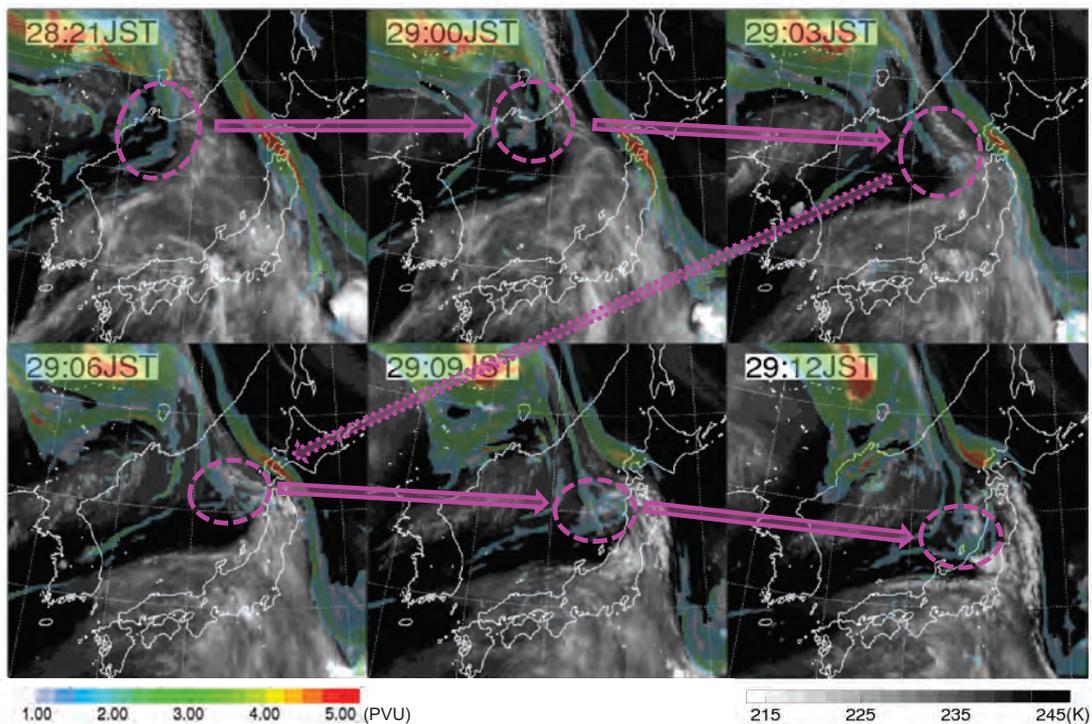
等温位面上の渦位 P_θ は、絶対渦度（渦度 ζ_θ とコリオリ力 f との和）と大気の安定度（温位の鉛直勾配 $\partial\theta/\partial p$ ）の積として、

$$P_\theta = -g(\zeta_\theta + f) \frac{\partial\theta}{\partial p},$$

$$\zeta_\theta = \left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)_\theta - \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)_\theta$$

のように表される。ここで、添え字 θ は等温位面上であることを示す。圏界面付近の高渦位域が近づくとその前面で上昇流が誘起され（小倉（2000）や加藤（2011）を参照）、第3.1.3項で説明した理由と同じく、対流圏中層の大気が乾燥していれば低温化し、大気の安定度は低下する。その結果、自由対流高度が低下して浮力がなくなる（平衡）高度が上昇し、積乱雲が発生・発達しやすくなる。ここでは、今回の豪雨で新潟県沖の中層の空気が乾燥していたことを第3.1.3項で既に示していることから、豪雨の最盛期での圏界面付近の高渦位域流入の有無について確認する。

2011年7月28日21時～29日12時までのMTSAT-2が観測した水蒸気画像に345K等温位面での渦位を重ねた分布を第3.1.19図に示す。図中に示す345Kの温位面は10～11km（～250hPa）



第3.1.19図 2011年7月28日21時～29日12時までのMTSAT-2が観測した水蒸気画像（グレースケール）と345K等温位面渦位分布（PVU, カラー）

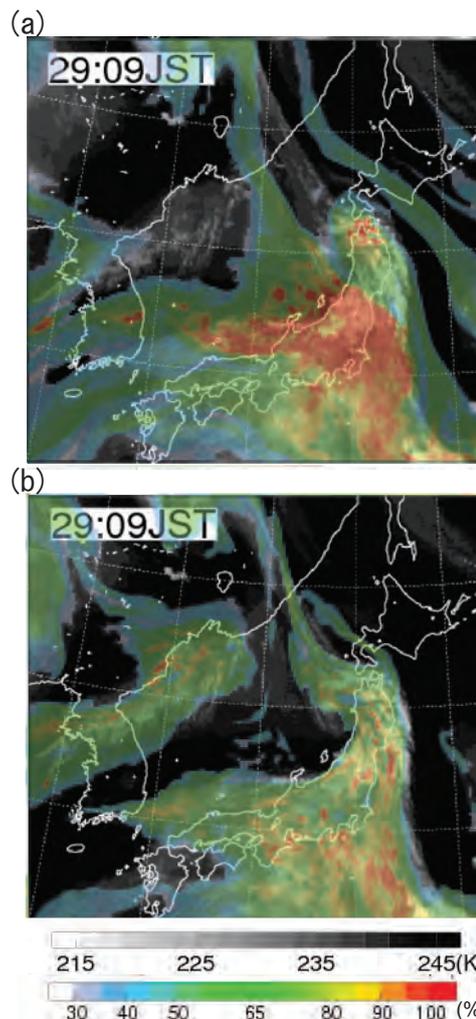
渦位は気象庁メソ解析から作成。楕円で大雨の一要因となったメソスケール高渦位域の移動を示す。

の高度（図略）であり，日本付近での暖候期の圏界面よりも若干低い高度である．29日12時頃に200～300kmの水平スケールをもつメソスケールの高渦位域（第3.1.19図のピンクの円で示す）が新潟県付近にみられ，その領域は28日21時以降に極側の高渦位域から切り離されて日本海上を南東進していることがわかる．この高渦位域の接近により新潟県沖の対流圏中層では上昇流が誘起されるとともに低温化が生じ，大気安定度の低下につながったと考えられる．また，この高渦位域は上空の小規模な気圧の谷にともなって移動してきたものである（図略）．

この高渦位域の移流とMTSAT-2の水蒸気画像との関係を考えてみる．上空の寒冷渦（500hPa気圧面での渦度をもった低温域で判断されることが多い）は水蒸気画像の暗域（輝度温度の高い領域）との関連が高いと考えられ，その存在や移動を水蒸気画像で判断することが多い．水蒸気画像は300Pa気圧面付近の水蒸気量に感度があるので，その高度での乾燥の程度を表現している．その高度は，総観スケールをもつ多くの寒冷渦の場合には圏界面が300hPa気圧面よりも下層に低下することから成層圏に位置し，そのために乾燥した領域となって水蒸気画像では暗域として現れる．

今回の豪雨に関連していると考えられる高渦位域はメソスケールであり，圏界面の低下は300hPaに達していない．第3.1.19図をみると，対象の高渦位域は輝度温度の高い暗域ではなく，逆に低い領域になっている．これは上昇流にともない空気が持ち上げられ，低温化によって相対湿度が上昇したためである．このように水蒸気画像の暗域をみるだけでは，上空の高渦位域の流入を判断することはできない．

最後に，水蒸気画像が500hPa気圧面ではなく，300hPa気圧面付近の水蒸気量に感度があることを確認してみる．2011年7月29日9時のMTSAT-2が観測した水蒸気画像に500hPaと300hPa気圧面の相対湿度を重ね合わせた分布を第3.1.20図に示す．500hPa気圧面の相対湿度をみると，低い領域と暗域とはある程度は対応しているものの，日本海上の一部では高い領域が暗域



第3.1.20図 第3.1.19図と同じ，ただし29日09時の
(a) 500hPaと (b) 300hPa 気圧面の相対湿度（%，カラー）

と対応しており，水蒸気画像は500hPa気圧面の相対湿度を表現しているものではないことがわかる．その一方，300hPa気圧面の相対湿度は水蒸気画像との対応が非常に良いことが確認できる．

3.1.5 まとめ

本節では，2011年7月28日～30日にかけて発生した新潟・福島豪雨の発生要因について，豪雨をもたらした複数の降水システムに着目するとともに，平成10年8月の新潟での豪雨と平成16年7月新潟・福島豪雨の発生環境場を比較することで議論した．また，豪雨の要因の一つとなった中層での低温の維持の要因として乾燥空気の流入と水平スケール500～1000km（メソ α スケール）

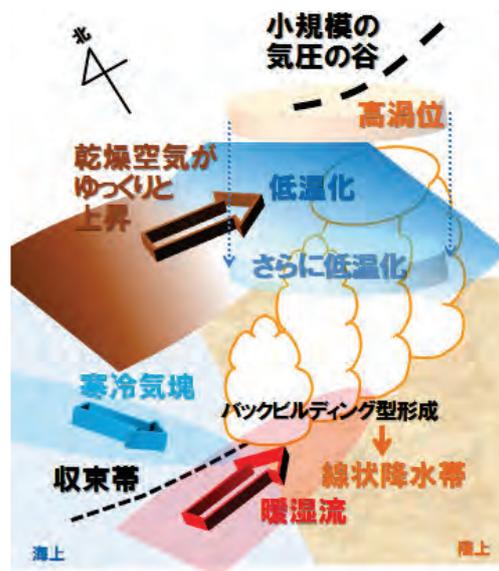
の上昇流に着目し、あわせて最盛期の降水をもたらした要因の一つとして上空の高渦位域流入による影響を議論した。

豪雨最盛期（29日9時～18時）に500mm以上の降水をもたらした線状降水帯の発生・維持メカニズムの概念図を第3.1.21図に示す。大気下層には西から暖湿な空気、北西から寒冷な空気が流入して高度500m付近に顕著な前線が形成されており、その前線上で暖湿な空気が前線の北側に流入している寒気の上に持ち上げられて積乱雲が繰り返し発生すること（バックビルディング形成）で線状降水帯が形成された。上空（高度5～6km）では北西からの乾燥した空気がメソ α スケールの上昇流でゆっくりと上昇して、新潟県上空の大気は断熱冷却により約3度低温化することで、 -6°C 前後に維持されていた。より上空の小規模な気圧の谷にとまって、圏界面よりやや下層（高度10～11km）にはメソスケールの高渦位域が流入して新潟県上空の大気をさらに低温化させていた。これらの上空の低温化により大気の安定度が低下し、積乱雲がより発生・発達するとともに、線状降水帯が長時間停滞することで今回の豪雨をもたらしたと考えられる。

また、平成16年7月新潟・福島豪雨の事例とは異なり、今回の豪雨では降水の止み間が観測された。3時間積算降水量分布では1つの線状降水帯に見えるものであったが、複数の降水システムが入れ替わり発生・発達していたことがわかった。このことは、事例によっては、降水が止んだとしても安心することは危険で、周囲の状況も引き続き監視すべきであることを示唆している。

参 考 文 献

加藤雅也・尾上万里子・篠田太郎・坪木和久（2011）：
平成23年7月新潟・福島豪雨のCReSSによる数
値シミュレーション。第13回非静力学モデルに関
するワークショップ予稿集，15-16。
Kato, T. and H. Goda（2001）：Formation and maintenance
processes of a stationary band-shaped heavy rainfall



第3.1.21図 2011年7月29日9時～18時に新潟県・福島県に500mm以上の降水をもたらした線状降水帯の発生・維持メカニズム

observed in Niigata on 4 August 1998. J. Meteor. Soc. Japan, 79, 899-924.
Kato, T., and K. Aranami（2005）：Formation factors of
2004 Niigata-Fukushima and Fukui heavy rainfalls and
problems in the predictions using a cloud-resolving
model, SOLA, 1, 1-4.
加藤輝之（2010）：豪雨監視・予測技術の開発。平成22
年度数値予報研修テキスト，109-115。
加藤輝之（2011）：大雨発生で着目すべき下層水蒸気
場の高度。平成22年度予報技術研修テキスト，
71-88。
加藤輝之・廣川康隆（2012）：大雨を発生させやすい
環境場について。平成23年度予報技術研修テキ
スト，86-100。
小倉義光（2000）：総観気象学入門。東京大学出版会，
289pp。
瀬古弘（2005）：1996年7月7日に南九州で観測され
た降水系内の降水帯とその環境。気象研究ノート，
208, 187-200。
吉崎正憲・加藤輝之（2007）：豪雨・豪雪の気象学。朝
倉書店，187pp。

3.2 台風第12号と第15号の構造の比較*

台風第12号と第15号は、共に9月に上陸し大雨をもたらした。ただし、台風第12号の大雨は奈良県を中心とする台風の進路右側で特に多かった(第2.2節)のに対して、台風第15号の大雨は北東進する台風の前方左側である西日本から東海地方にかけてと宮城県で特に多かった(第2.3節)。このような降水分布の差異は大気環境場の影響を受けた台風の構造に関係することがAtallah et al. (2007) などにより指摘されている。更に、この2個の台風は上陸前のスケールや構造にも大きな差異があった。台風が海上にある間の実況把握は静止気象衛星の可視・赤外画像への依存度が大きい。対流雲分布の把握は上層の雲が広がっているために困難である。本節では、極軌道衛星等のマイクロ波観測データの解析による台風の上陸前の暖気核及び対流の分布の変化と、上陸前後の構造変化について述べる。

3.2.1 衛星搭載マイクロ波センサーによる台風の構造

はじめに、衛星搭載マイクロ波センサーの観測データの解析による上陸前の台風の構造について述べる。まず、二つの台風の上層暖気核とその変化について、NOAA(15, 16及び18号)のマイクロ波探査計AMSU-Aの輝度温度(50GHz帯)を用いコロラド州立大学大気共同研究所(CIRA)のアルゴリズム(Demuth et al., 2004)によって推定された三次元気温データを使用した解析結果を示す。解析で使った気温偏差は、ベストトラック台風中心から半径600kmと半径700kmの間にある観測データの平均値からの差とした。

第3.2.1図a,bには、最盛期における台風第12号及び第15号の中心を通る南北断面図における気温偏差を示す。200hPa面の気温偏差2K以上の範囲(半径)は、台風第12号(第3.2.1図a)が約400kmであるのに対して、第15号(第3.2.1図b)は200km程度で、二つの台風の温度構造の水平スケールが異なっていたことを示している。

同じ第3.2.1図c,dには、それぞれの台風の上

層暖気核の最大気温偏差の時系列変化を示す。これは具体的には、台風中心から半径200km内、100~350hPaの気圧面内の最大気温偏差であり、中心気圧と良い線形関係(反比例)があることがわかっている(小山, 2011)。

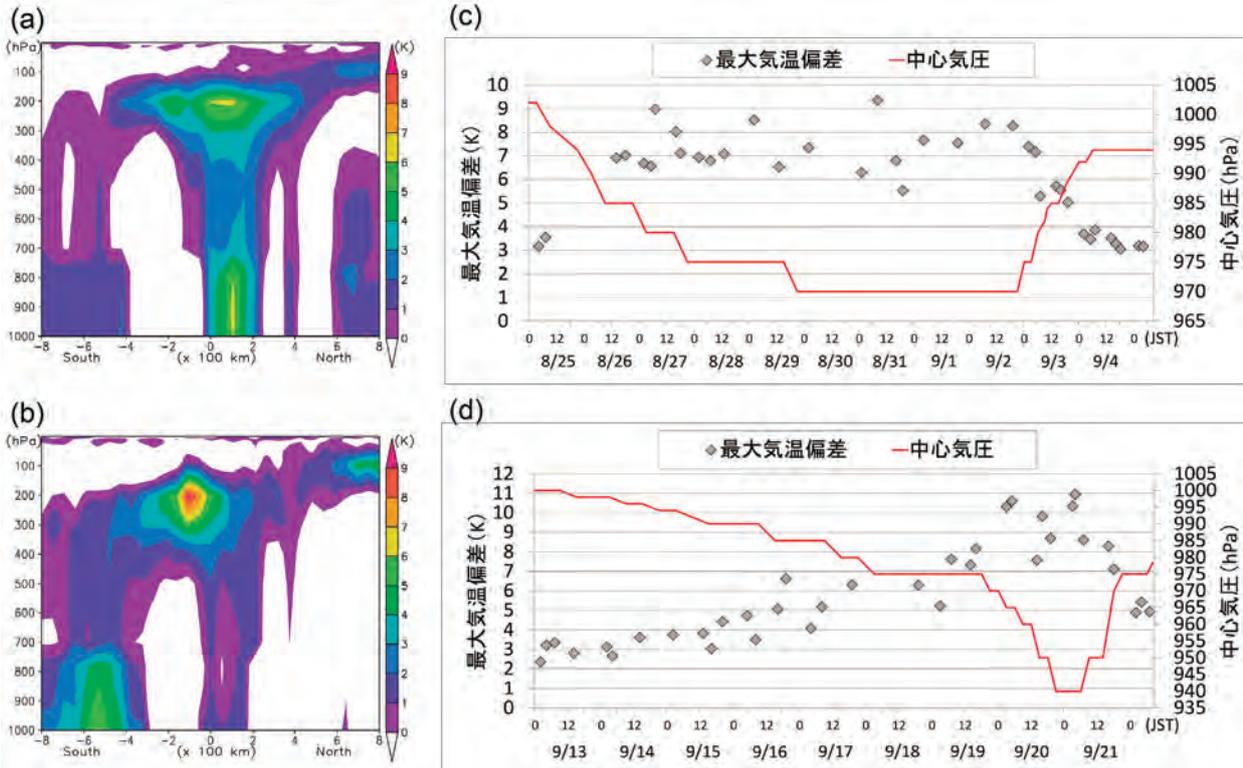
台風第12号の上層暖気核の最大気温偏差は、発達期にあった8月26日に既に最盛期以降(29日21時~)の値(約7K)に達しており(第3.2.1図a, c)、9月2日頃まで日変化などの対流活動の変化を伴って約7Kで推移していた。対流雲域の北側が陸地にかかり始めた2日以降は急激に気温偏差の値が減少した。

台風第15号の上層暖気核の最大気温偏差(第3.2.1図b, d)は、第12号同様、対流活動の強まりなどに対応して変化した。ただし第12号とは異なり発生時(約3K)から9月18日頃までは、気温偏差は緩やかに増大していた。その後、19日から20日にかけての急激な発達に対応して、約11Kまで増大した。

このように、台風第12号と第15号を比較すると、第12号は発生期から上層暖気核の強い状態が長期間継続して日本本土に接近したのに対して、第15号は発生直後には弱かった上層暖気核が急速に発達しながら日本本土に接近し上陸した。これらの差異は気象庁の解析による台風の中心気圧の変化と整合している。

次に、衛星搭載マイクロ波放射計の観測から推定される対流域の分布について述べる。使用したデータはTRMM TMI 85GHzとAqua AMSR-E 89GHzの輝度温度である。この周波数帯では強い対流雲中で氷晶が多いほど輝度温度が低くなる傾向があるが、地表面からの放射の影響を除くため、水平・垂直偏波の輝度温度から偏光修正温度(Polarized Corrected Temperature: PCT)を算出した。PCTを用いることで、上層雲に隠されて見えない台風の眼の壁雲やレインバンドの分布を知ることができる。AMSR-Eについては、同様のPCTをTMI 85GHzに相当する値に変換して用いた。換算式を含めたPCTの詳細については気象研究所台風研究部(2006) p.34を参照していただ

* 気象研究所 北畠 尚子, 小山 亮, 星野 俊介(現 高層気象台)



第3.2.1図 台風第12号と第15号の上層暖気核

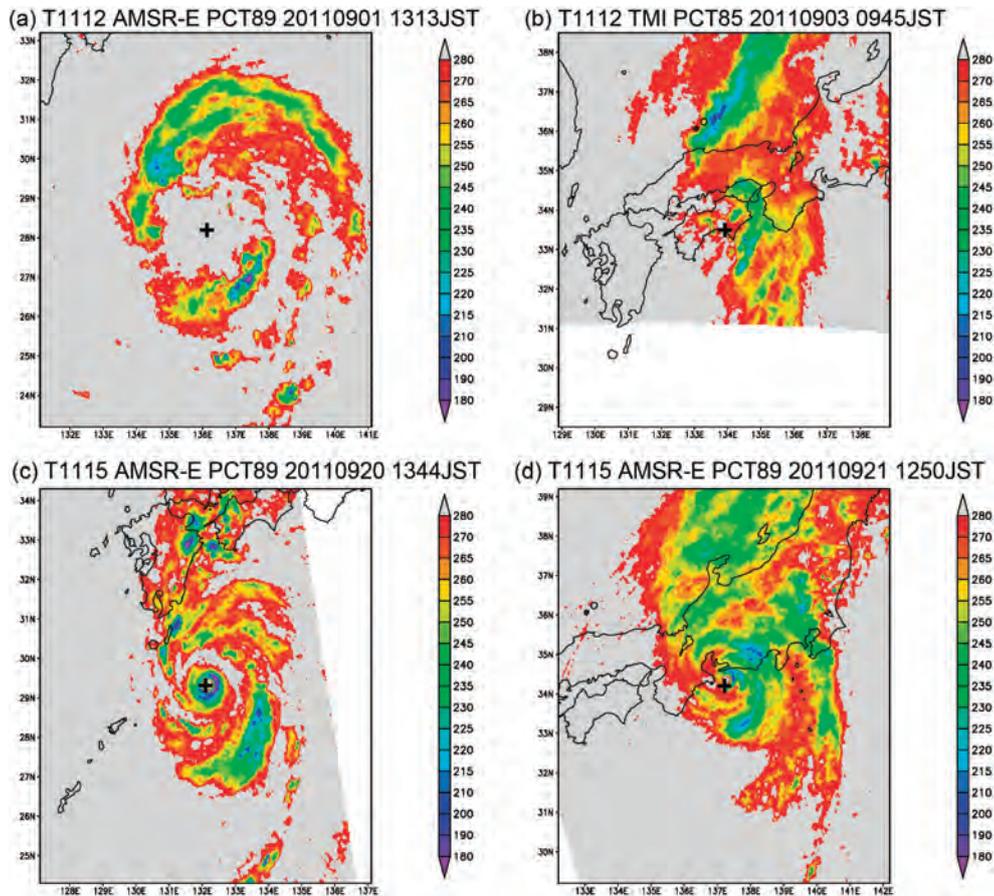
(a) 台風第12号の8月31日1時頃の中心の気温偏差南北断面図。(b) (a)と同じ、ただし台風第15号の9月20日16時頃。(c) 台風第12号の上層暖気核の最大気温偏差(プロット)及び中心気圧(気象庁ベストトラックデータによる、赤線)の時系列。(d) (c)と同じ、ただし台風第15号。

きたい。

第3.2.2図に台風第12号に関する(a)9月1日13時過ぎと(b)台風が上陸時刻頃の9月3日09時過ぎのPCT分布、及び台風第15号に関する(c)9月20日13時過ぎと(d)上陸直前の21日12時過ぎのPCT分布を示す。台風第12号に関しては、1日には眼の壁雲に相当する強い対流域の位置は中心から200km以上離れており(第3.2.2図a)、多くの場合に台風の眼の大きさが半径100km以下であるのと比較してかなり大きい。またこの時刻には特に北側のレインバンドの幅が広い。この眼の壁雲は3日には崩れているが、東側の強い対流域が紀伊水道から紀伊半島にかかっている(第3.2.2図b)。台風の移動速度が遅く、この北側～東側の対流雲バンドが長時間かかった紀伊半島で降水量が多くなった。

対照的に、台風第15号は眼が小さいのが特徴である。20日の対流雲分布(第3.2.2図c)では二重眼の特徴が見られ、内側の眼の壁雲の位置は

半径30km程度とかなり小さい。第12号との眼の大きさの差異は、第3.2.1図で見られた上層暖気核の水平スケールの差異に定性的に対応している。このような内部コア領域の対流とは別に、外側のレインバンドが半径200km以遠に広がっている。更に、第3.2.2図cの西日本の降水システムは台風とは独立して16日頃から数日にわたって断続的に発生していた。これは中緯度のジェット気流・前線帯に関連するものと考えられる。上陸直前の第3.2.2図dでは、台風の眼はまだ明瞭に維持されているが、もともと日本付近に発生していた幅の広い降水域(図中では日本海～東北地方)と台風のシステムが一体化している。この台風の北側の幅の広い降水域は台風が傾圧帯に接近する際に前線が強化されることでしばしば見られるもので(例えば北畠ほか、2006を参照)、このために台風自体の移動速度が比較的速かったにもかかわらず日本本土に長時間の降水をもたらした。



第3.2.2図 衛星マイクロ波観測による輝度温度分布

(a) 台風第12号の9月1日13時13分のAqua AMSR-E 89GHz輝度温度をTRMM TMI 85GHz PCTに換算したものの(K)。(b) 台風第12号の9月3日09時45分のTRMM TMI 85GHz PCT。(c) (a)と同じ、ただし台風第15号の9月20日13時44分。(d) (c)と同じ、ただし9月21日12時50分。図の中央の+印はベストトラックデータを内挿した台風中心の位置。

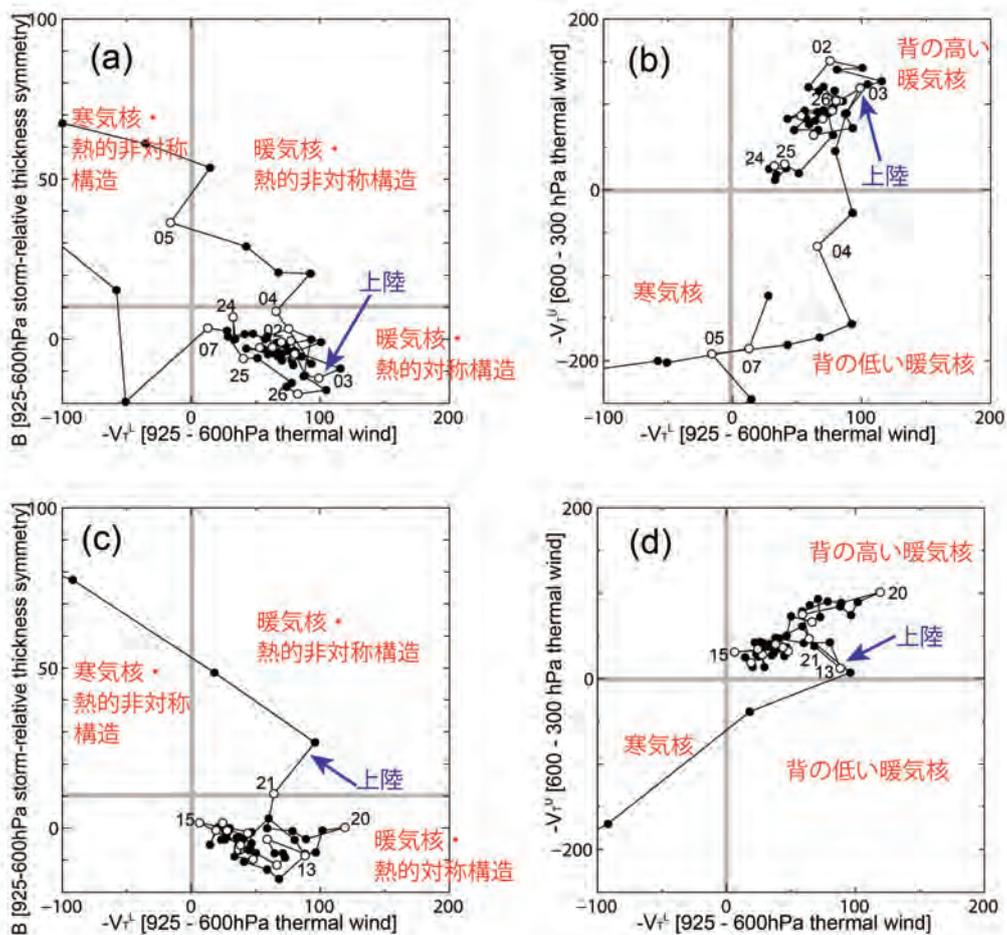
このように、台風第12号に関する大雨は主に台風本体のシステムによる雨で、台風第15号に関する大雨は別のシステムも関与した点が異なる。

3.2.2 台風のライフサイクルと上陸時の構造の差異

この項では、台風の上陸前後の構造変化と、日本付近の大規模場の特徴について述べる。第3.2.3図に、台風第12号(a,b)と第15号(c,d)の構造変化を示す。これはHart(2003)のcyclone phase space(CPS)の手法を用いて台風の中心から半径500kmの構造を表すもので(北島ほか, 2006; 北島, 2011を参照), 気象庁気候データ同化システム(JCDAS)の6時間ごとのデータ(解

像度 $1.25^{\circ} \times 1.25^{\circ}$)を使用して作成した。Hart(2003)では下層のパラメータは900-600hPaのデータで計算しているが、ここではデータセットの気圧レベルに合わせるため925-600hPaについて計算している。第3.2.3図a,cは横軸に下層暖気核/寒気核を表すパラメータ、縦軸に下層熱的非対称性(前線性)/対称性(非前線性)を表すパラメータをとっている。第3.2.3図b,dは横軸はa,cと同様だが、縦軸は上層(600-300hPa)暖気核/寒気核を表すパラメータである。この手法は総観規模(1000km程度)での低気圧の構造を判別するもので、前項で見たような比較的小さいスケールでの構造の差異は別の問題となる。

台風第12号(第3.2.3図a,b)は、四国・中国地方に上陸した9月3日夜までは下層暖気核・熱



第 3.2.3 図 台風第 12 号と第 15 号の構造変化

(a) 台風第 12 号 (8 月 24 日～9 月 7 日). 横軸は下層暖気核 (正值) / 寒気核 (負値) を表すパラメータ, 縦軸は下層熱的非対称 (前線性, $B > 10$) / 対称 (非前線性, $B < 10$) 構造を表すパラメータ. ○は 09 時, ●はその他の 6 時間ごとの値. ○の横の数字は日付を表す (一部省略). (b) (a) と同じ, ただし縦軸は上層暖気核 (正值) / 寒気核 (負値) を表す. (c) (a) と同じ, ただし台風第 15 号 (9 月 13 日～22 日). (d) (b) と同じ, ただし台風第 15 号. 図中の青矢印は日本本土上陸時を示す.

熱的対称構造, 上層暖気核を持つ典型的な熱帯低気圧の構造であった. 中国地方通過中の 3 日深夜の上層暖気核衰弱 (第 3.2.3 図 b) は衛星マイクロ波観測による最大気温偏差の減少 (第 3.2.1 図 c) と矛盾がない. 日本海に抜けた 4 日朝には下層で非対称構造となって (第 3.2.3 図 a), 温帯低気圧化 (温低化) の段階に入った. 上層の変化に約 1 日遅れて下層も寒気核化し (第 3.2.3 図 b), 熱帯低気圧の特徴を全て失ったのはこの図では台風が日本海中部に進んだ 5 日朝であった.

台風第 15 号 (第 3.2.3 図 c,d) は, 20 日までは典型的な熱帯低気圧の構造であったが, 紀伊半島沖を北東進していた 21 日朝には下層は熱的非対

称化した (第 3.2.3 図 c). その日の午後には静岡県に上陸した後, 東日本通過中に上層が寒気核化した (第 3.2.3 図 d). これも第 12 号の場合と同様, 衛星マイクロ波観測で見た暖気核の衰弱 (第 3.2.1 図 d) と矛盾がない. 福島県から海上へ抜けた 21 日深夜には下層も寒気核化して (第 3.2.3 図 c), 熱帯低気圧の特徴を全て失った.

すなわち, 上陸時には, 台風第 12 号は眼の構造は崩れていても熱的構造としては熱帯低気圧の特徴である軸対称性をまだ保持していたが, 上陸後に対流が弱まって上層が寒気核化し, その後に傾圧帯の影響で温低化した. それに対して第 15 号は上陸時には眼は明瞭であったが, 下層では既

に非対称性を強め温帯低気圧の性質を持ち始めていた。

このような差異を生じさせた原因として、上陸前の大規模場(JCDASによる)を第3.2.4図に示す。ここでは渦位 2PVU で定義した力学的圏界面の温位・気圧・風を示している。この温位・高度が特に低い領域は対流圏中上層で寒気を伴ったトラフに対応し、その水平傾度が大きい領域は上部対流圏ジェット気流に対応する。台風などで潜熱解放による加熱があると、その下側では渦位が増大するのに対して上側では渦位が減少する(これは層厚の増大により下層では低気圧性循環が強まり上層では高気圧性循環が生じることを反映する)ため、結果的に 2PVU 面は持ち上げられる。

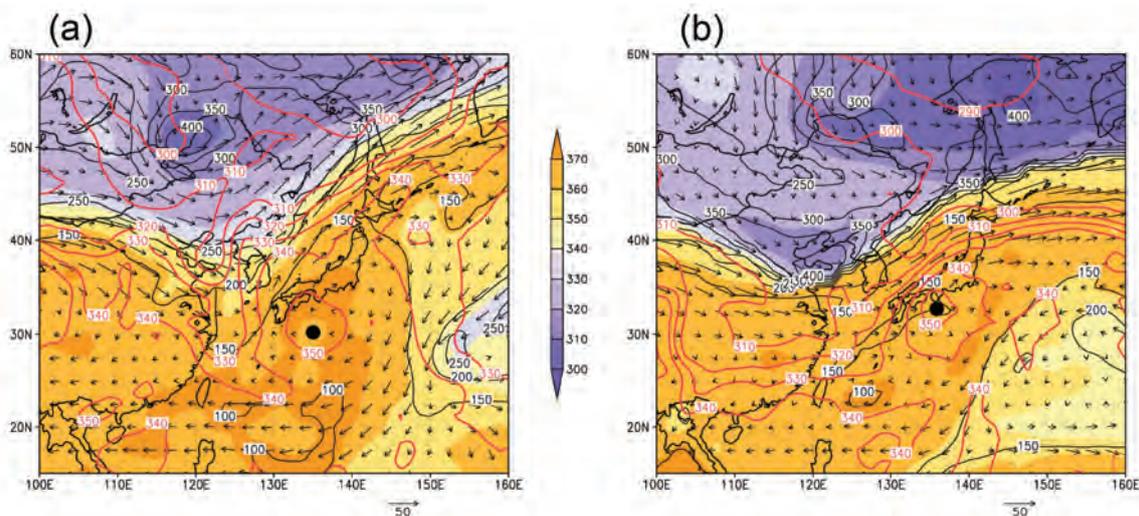
同じ図中で、下層の前線帯等を表すために 850hPa 面の相当温位も示している。2PVU 面温位と下層相当温位の差は、対流圏の鉛直安定度で、対流圏上層起源の擾乱(トラフ・ジェット)と下層起源の擾乱(台風など)とのカップリングのしやすさを表す。

台風第12号(第3.2.4図a)は第3.2.1図及び第3.2.2図で見たように水平スケールが大きいことが特徴で、潜熱加熱のため 2PVU 面が広い範囲で 370K 以上、150hPa より上まで持ち上げられていた。下層傾圧帯は日本海北部に位置しており、第3.2.3図aで台風構造の熱的非対称化開始が台

風中心が日本海へ抜けてからであったことと整合する。CPS で示された熱的非対称化に先だって上陸前に対流雲分布が非対称化した(第3.2.2図b)のは、第2.2節に述べられているように台風の東側の南寄りの風に伴う地形性降水の強化と、台風の西側への西寄りの風に伴う乾燥空気の流入で説明できる。

台風第15号は、前日から日本本土付近に停滞していた下層相当温位傾度の大きい領域(秋雨前線)の南側を北東進して(第3.2.4図b)上陸した。台風の北上による前線帯の水平温度傾度の増大と、台風の接近による風速増大により、台風の北東象限では暖気移流が強まり、上昇運動を励起して降水が多くなることが容易に説明できる。ただし、第3.2.2図dでは下層低気圧性循環に伴い寒気移流が予想される北西象限にも温帯低気圧発生期に典型的な baroclinic leaf (木の葉状の雲域)に類似した組織的な雲域が見られる。この点は台風第12号(第3.2.2図b)とは異なる。

一般に、中緯度の低気圧の西側では低気圧自身の循環により寒気移流が生じるが、そこで組織的な上昇流とそれによる雲域が生じるのは西から接近する上層トラフの寄与による。台風第15号の温低化にかかわった中緯度トラフは、21日09時には 2PVU 面(力学的圏界面)が 320K 以下(400hPa)まで下がる顕著な圏界面折れ込みで



第3.2.4図 2PVU面温位(カラー, K), 気圧(黒線, hPa), 風(ベクトル, m/s)と850hPa面相当温位(赤線, K) (a) 9月2日09時(台風第12号), (b) 9月21日09時(台風第15号). 台風中心を●で示す。

あった。この圏界面の折れ込みと、台風が圏界面を持ち上げていたことの両方により、第3.2.4図bでは台風の西側では等渦位面上の温位傾度（及び、図には示さないが温位移流も）が非常に大きい。これは、等温位面上の渦位傾度及びそれに関連した渦位移流（又は等圧面上の渦度傾度及び渦度移流）が強いことに対応し、そこで強い上昇運動が励起されることを意味する。ジェット気流に伴う強い鉛直シアは台風の鉛直軸を傾斜させ台風を衰弱させる方向に働くが、中緯度トラフ前面で台風西側に励起される上昇運動は、傾圧帯のみならず台風における上昇運動及びそれに伴う潜熱解放も促進することになるので、鉛直シアによる台風の構造変化や衰弱を抑制する。このように前線やトラフといった中緯度システムと台風自身の相互作用は、下層傾圧帯に沿った降水の強化に加え、台風自身の勢力維持にも寄与したことが考えられる。こうして、台風第15号は下層・上層とも暖気核構造のまま下層非対称化が先行し、また第12号と比較して移動速度が速かったにもかかわらず進路左側の前線帯で総降水量が多くなったと考えられる。

3.2.3 まとめ

台風第12号は通常より水平スケールがかなり大きく、眼の壁雲を含む幅の広いレインバンドを伴っていた。日本本土上陸時には中緯度傾圧帯が日本海北部に位置していて、上陸前から通過中は台風の総観規模での熱的構造変化は大きくなかったため、相対的に水蒸気の流入の多い台風進路右側で降水が多くなった。特に移動速度が遅かったため、レインバンドが長時間かかった紀伊半島を中心に総降水量が非常に多くなった。

台風第15号は上陸時にはまだ眼を持ってはいたが、上陸前には本州には中緯度傾圧帯が停滞しており、台風も総観規模での構造としては上陸前

から熱的非対称化を開始していた。また台風と中緯度システムの相互作用により傾圧帯上での降水が強められることにより、台風の進路左側で総降水量が多くなった。

なお、台風第12号のスケールが非常に大きかったこと、台風第15号が九州の南で小さいスケールで急発達したことの原因は、未解明であり、今後の研究が必要である。また台風から北側に離れた位置での大雨は傾圧帯がまだ明瞭でない状況でも発現しており、このような現象に関しても今後の研究が必要である。

参 考 文 献

- Atallah, E. H., L. F. Bosart and A. R. Aiyyer (2007) : Precipitation distribution associated with landfalling tropical cyclones over the eastern United States. *Mon. Wea. Rev.*, 135, 2185-2206.
- Demuth, J. L., M. DeMaria, J. A. Knaff, T. H. and Vonder Haar (2004) : Evaluation of advanced microwave sounding unit tropical-cyclone intensity and size estimation algorithms. *J. Appl. Meteor.*, 43, 282-296.
- Hart, R. E. (2003) : A cyclone phase space derived from thermal wind and thermal asymmetry. *Mon. Wea. Rev.*, 131, 585-616.
- 気象研究所台風研究部 (2006) : 平成16 (2004) 年日本上陸台風の概要. 気象研究所技術報告, 49, 36pp.
- 北島尚子 (2011) : Cyclone Phase Space (低気圧位相空間). *天気*, 58, 801 - 803.
- 北島尚子・藤部文昭・星野俊介・別所康太郎 (2006) : 台風の温帯低気圧化に関する理解の現状とその解析・予報の問題. *測候時報*, 73, 87 - 116.
- 小山亮 (2011) : マイクロ波探査計データを使った台風強度推定手法の開発—暖気核推定誤差の要因と特徴について—. 日本気象学会 2011 年度秋季大会講演予稿集, B166.

3.3 現業数値予報モデルによる予測*

数値予報課では、水平解像度 20km で地球全体を覆う全球モデル (GSM) を運用し、日々の天気予報や週間予報のための基礎資料を提供している。また、GSM を基にした週間アンサンブル予報システム (WEPS) と台風アンサンブル予報システム (TEPS) の運用も行っており、確率予報やそれぞれの予報に対する信頼度情報を提供している。これら全球を対象とするモデルに加えて、日本周辺を中心とした東アジア域を水平解像度 5km で覆うメソモデル (MSM) の運用も行っている。MSM は、GSM よりも高解像度で、精緻な雲・降水過程を表現できることから、メソスケール現象による数時間から 1 日先程度の大雨や強風の予測を目的としており、防災気象情報作成や航空予報に用いられている。また、新計算機システム (平成 24 年 6 月運用開始) 上では、水平解像度 2km の局地モデル (LFM) の運用を開始している。LFM は、MSM 以上の高解像度でより時空間規模が小さい現象や地形の詳細な表現が可能なることから、飛行場周辺の詳細な気象や強雨の表現性向上が期待されている (永戸ほか, 2010)。これらの各システムの仕様を第 3.3.1 表にまとめる。

本節では、今回の台風第 12 号、台風第 15 号及び平成 23 年新潟・福島豪雨について、これらの現業数値予報システムによる予報結果を示し、台風・豪雨予報についての数値予報技術の現状について明らかにすると共に、その改善に向けた課題についても触れる。第 3.3.1 項では、新潟・福島豪雨について、MSM や LFM などのメソ数値予報による大雨予報の特徴を示す。続く第 3.3.2 項、第 3.3.3 項では、台風第 12 号・台風第 15 号について、GSM・WEPS・TEPS などの全球モデル・アンサンブル予報システムによる主に進路予報を中心とした結果について述べる。第 3.3.4 項では、これらの各数値予報システムの予報結果をベースとして作成されている数値予報ガイダンスの結果とその特性について示す。

3.3.1 新潟・福島豪雨の予測結果

2011 年 7 月 28 日～30 日にかけて発生した新潟・福島豪雨 (以降、豪雨と記述する) については、既に第 2.1.1 項及び第 2.1.2 項で総観場と局地的状況について示されている。更に、第 3.1 節では、豪雨をもたらした複数の降水システムの生成・維持機構とそれに寄与した環境場の特徴に着目した

第 3.3.1 表 数値予報課で現業運用中の数値予報システムの仕様一覧 (2012 年 8 月現在)

	局地	メソ	全球	週間アンサンブル	台風アンサンブル
目的	航空予報 防災気象情報	防災気象情報 航空予報	週間天気予報 府県天気予報 航空気象情報 台風予報	週間予報	台風予報
予報領域	東日本(1100km x1600km)	日本周辺(3600km x2880km)	地球全体		
水平解像度	2km	5km	0.1875° (~20km)	0.5625° (~60km)	
鉛直層(上端高度)	60層(約20km)	50層(約22km)	60層(0.1hPa)		
予報時間 (初期時刻)	9時間 (00,03,06,09,12, 15,18,21UTC)	15時間 (00,06,12,18UTC) 33時間 (03,09,15,21UTC)	84時間 (00,06,18UTC) 216時間 (12UTC)	216時間 (12UTC)	132時間 (00,06,12,18 UTC)
予報モデル	局地モデル(LFM)	メソモデル(MSM)	全球モデル(GSM)		
解析システム	局地解析 (3次元変分法)	メソ解析 (4次元変分法)	全球解析 (4次元変分法)	全球解析+特異ベクトル法による初期摂動作成	
メンバー数	-	-	-	51	11

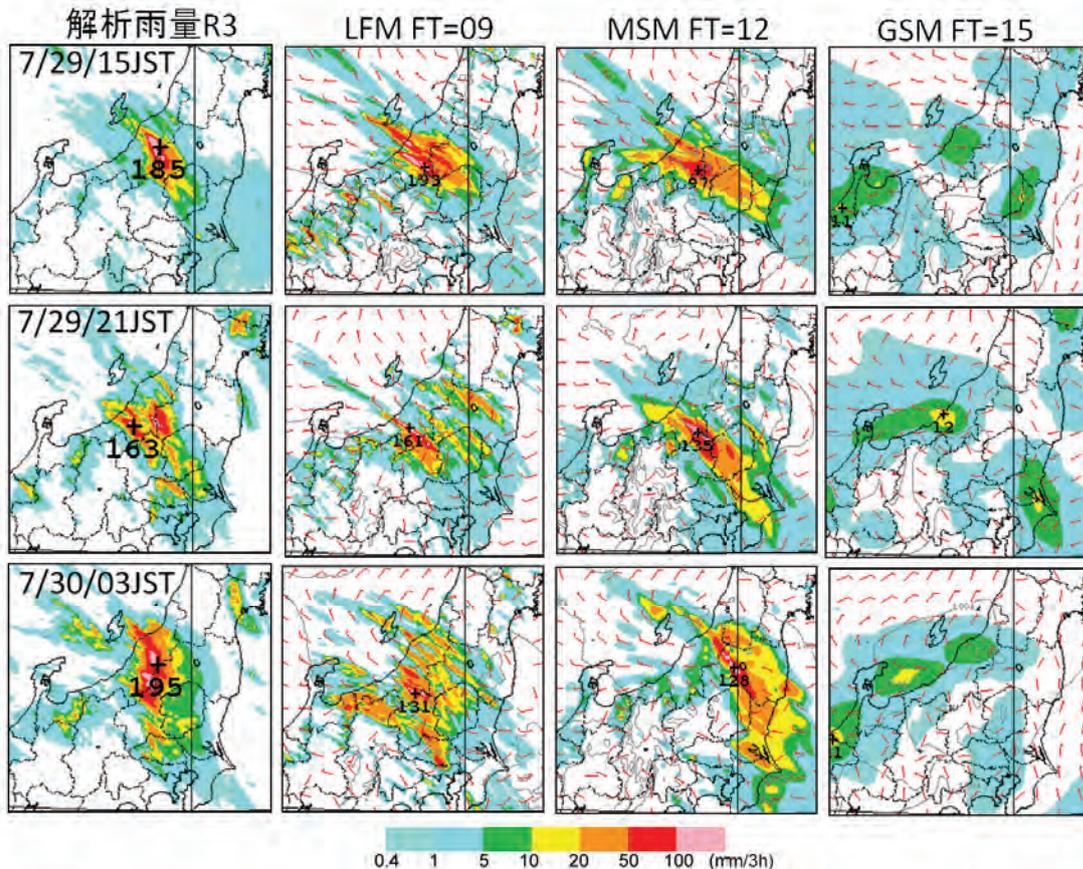
* 予報部数値予報課 永戸 久喜

解析結果から、豪雨の発生要因についての議論がなされている。本項では、これらの解析結果も踏まえつつ、今回の豪雨についての現業数値予報の結果について示す。

第3.3.1.1図に、豪雨のピークとなった7月29-30日の各モデルの降水予報結果を示す。ここでは、LFMの親モデル（側面境界を与えるモデル）は初期時刻の3時間前を初期時刻とするMSMであり、更に、そのMSM（ここでは、03, 09, 15UTC初期値）の親モデルは初期時刻の3時間前を初期時刻とするGSMである。そのため、ここでは、各モデルの予報結果を比較する際に、LFMの初期時刻に対して3時間前を初期時刻とするMSMと、更にその3時間前を初期時刻とするGSMを比較対象とする。GSMは、新潟から福島・北関東に至る降水域を表現しており、停滞前線とそれに伴う降水発生ポテンシャルは良く予

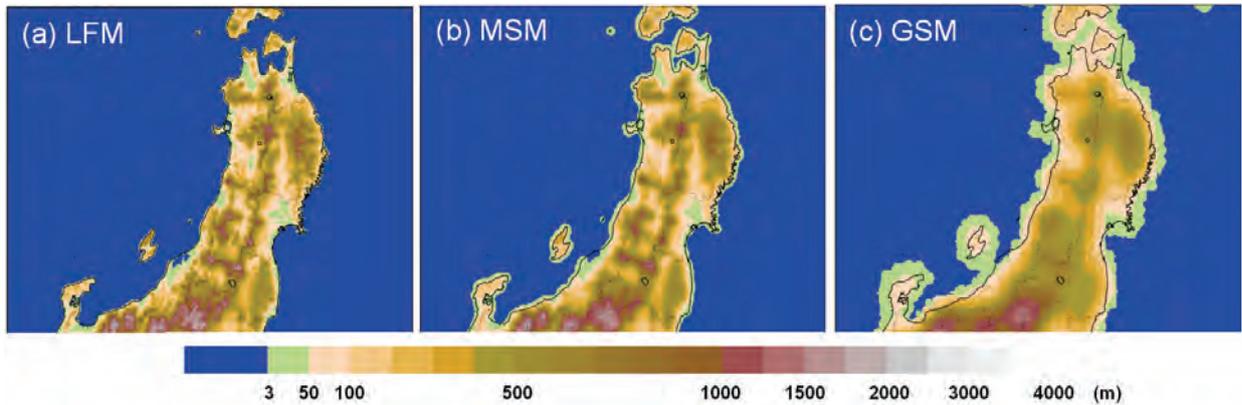
想していることがわかる。しかしながら、GSMでは実況で見られるような強い降水を伴う線状の降水域は再現されておらず、実況では内陸にある降水のピークが海岸付近にあることや、実際には観測されていない富山県や石川県に比較的まとまった降水を表現するなど、観測された降水の特徴を十分に再現できていない。これは、GSMの水平解像度が20kmと粗く、降水をもたらした線状降水系（第3.1節）を十分に表現できないことや、モデルの地形表現が粗いため、佐渡島を含む北陸地方の陸地が実際の海岸線よりも海上に広がっていたり、脊梁山脈などの山岳が実際よりも低い（第3.3.1.2図）などの影響が現れているものと考えられる。

一方、MSMでは、線状で強い降水を伴うといった、観測された降水域の特徴を良く再現している。強い降水域が広がりすぎている、降水のピー



第3.3.1.1図 前3時間積算降水量分布

左から、解析雨量、LFMの9時間予報値、MSMの12時間予報値、GSMの15時間予報値をそれぞれ示す。上から、2011年7月29日15JST、21JST、30日03JSTの時刻を示す。



第3.3.1.2図 各モデルの地形
(a) LFM, (b) MSM, (c) GSM.

ク値がやや小さいなど、実況と異なる点も見られるものの、時間とともに変化している線状の降水域の走向や強雨域の場所についてもおおむね良い表現をしている。これは、GSMよりも高解像度で精緻な雲・降水過程を実装し、豪雨をもたらした線状降水系のようなメソ対流系の表現に優れているMSMの特徴を表した結果といえる。

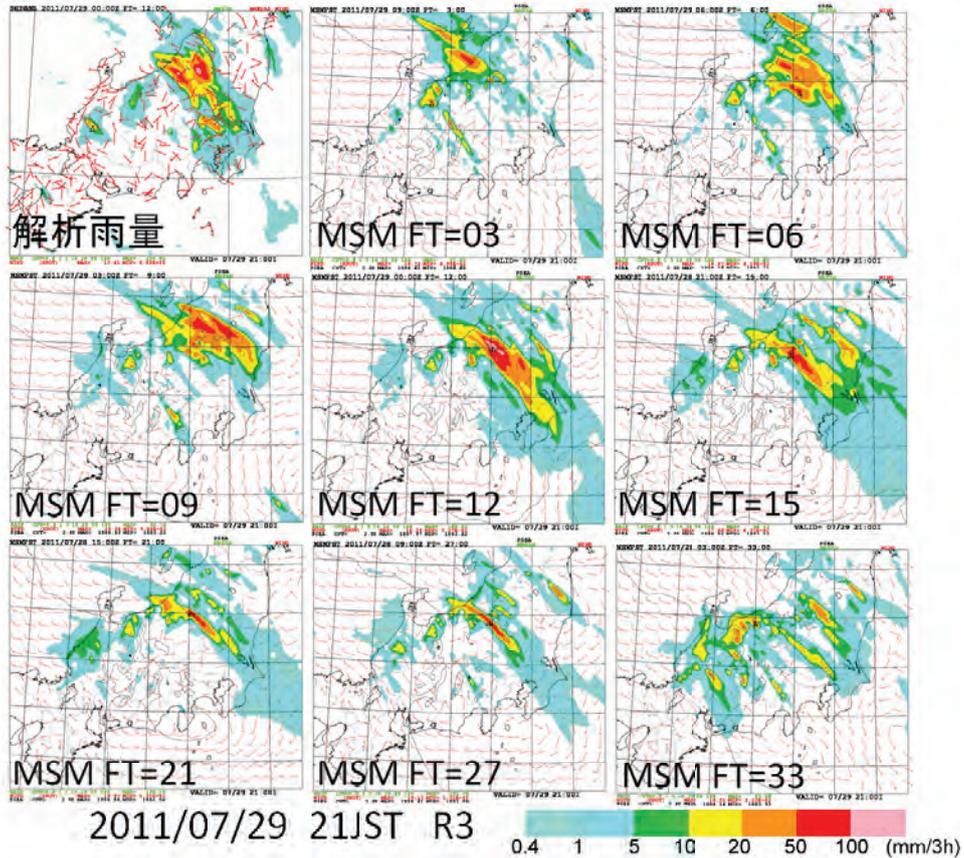
これに加えて、MSMの初期値を作成するメソ解析に2010年12月から導入された衛星観測輝度温度データの直接同化(計盛, 2011)や、2011年6月から導入されたレーダー反射強度からリトリブされた相対湿度の同化(幾田, 2011)などの幾つかの改善の効果が考えられる。前者は、海上の気温・水蒸気場を改善することから、豪雨の発生・維持に寄与している日本海上から停滞前線に流入する暖湿気流の予測精度を高める効果がある。また、後者は、観測されたレーダー反射強度の情報を初期値に取り込むことができるため、降水系の予報を直接改善する効果がある。

LFMでは、MSMと同様に観測された降水域の特徴をよく再現するとともに、降水のピーク値としてはMSMより強く、実況に近い値を予測している。第3.1節でも述べられているように、今回の豪雨は、複数の線状降水系の発生・維持によってもたらされている。LFMは2kmというMSMより高い水平解像度で線状降水系の表現に優れており(永戸ほか, 2010)、今回の豪雨に対してもこの特性が発揮されたものと考えられる。

一方で、実際より降水が過剰に表現される傾向

(7月29日15JST)や、降水のピークがやや分散する傾向(7月30日03JST)も見られた。LFMでは、水平規模10km程度以上の発達した積乱雲を格子平均として直接解像できることから、MSMで用いている積雲対流パラメタリゼーションは使われていないが、その影響で降水が過剰に表現される場合がある(永戸ほか, 2010)。これは、LFMの解像度でも格子平均として表現できない10kmより小さい雲や対流の効果を扱う必要があることを示唆しており、その手法について検討を進めているところである。また、高解像度で降水系の詳細な構造を表現できる反面、個々の降水系については時空間的な位置ずれが生じやすい傾向もある(永戸ほか, 2010)。今回の事例では、LFMに見られるこれらの改善すべき特性についても顕在化していることがわかる。

次に、初期値が異なるMSM予報値について、同じ予報対象時刻の結果を比較するために、7月29日21JSTの前3時間積算降水量について第3.3.1.3図に示す。この時刻については、6-15時間予報(FT=06-15と標記。以下、この標記に従う)の結果が、実況で見られる強雨発生のポテンシャルをほぼ予測できていることが見て取れる。一方、それより先の予報時間の結果を見ると、実況と比べると降水分布は狭く、降水量が過少傾向となっている。他の予報対象時刻を見ても、第3.3.1.3図と同様の傾向が示されており、半日程度までの予報は、降水の場所・量ともに比較的良好な結果を示しているが、その先1日程度になると、過少傾



第 3.3.1.3 図 2011 年 7 月 29 日 21JST の前 3 時間積算降水量分布
解析雨量及びそれぞれ初期値が異なる MSM の当該予報対象時刻の予報値を示す。

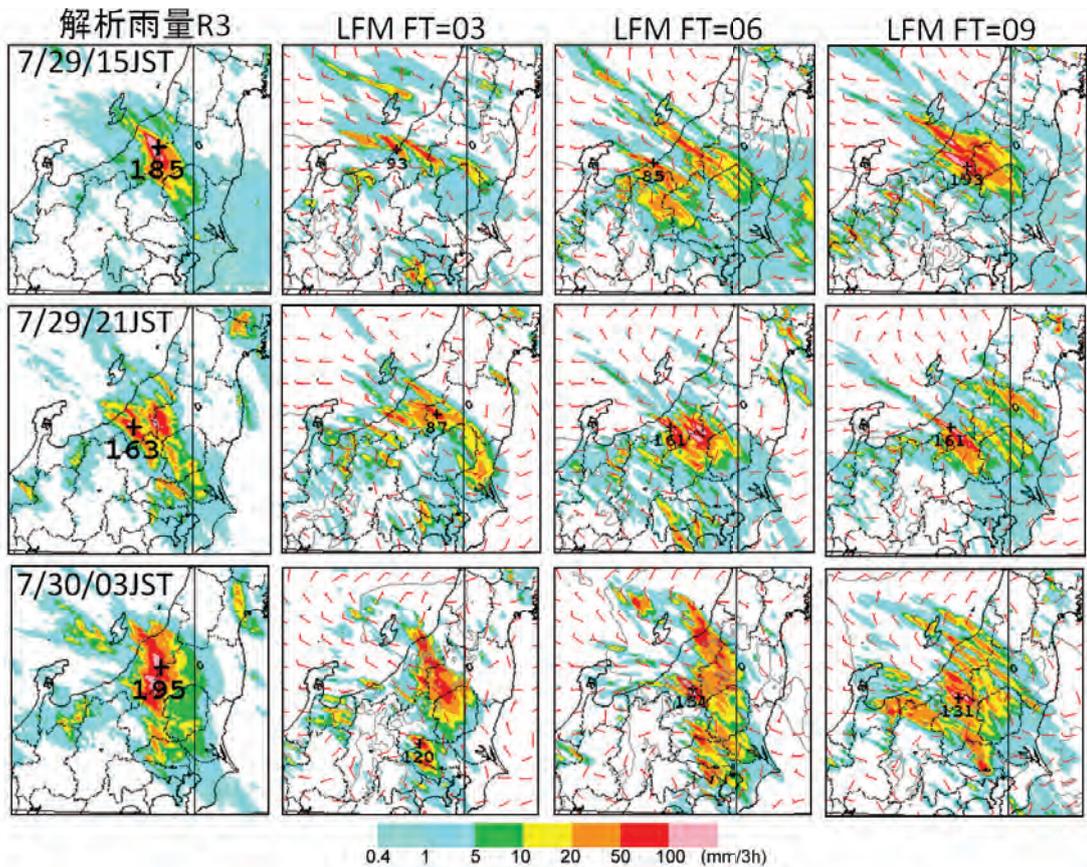
向が見られた。

今回は、複数の線状降水系が発生・停滞を繰り返すことによって、強い雨が長時間持続したことで豪雨をもたらされた(第 3.1 節)。予報作業上は、一日先程度の積算降水量の見積もりや大雨がいつ終息するのかという見通しを立てることが重要であるが、今回の MSM の予報結果は、その目的のために利用するには不十分であったと言わざるをえない。

MSM については、新計算機システム上で予報領域の拡張と鉛直層増強及び予報時間延長等の仕様拡張を行う予定(室井ほか, 2011)で、現在それに向けた開発を進めている。ここで、鉛直層増強については、下層の高解像度化とモデルトップ引き上げの両方の実現を目指している。特に、下層の高解像度化は、物理過程へのインパクトが大きいことから、これを機にした物理過程の見直しと改善に取り組む予定である。また、モデルトッ

プの引き上げによって、これまでに同化されていなかった、上空に感度のある衛星観測データも新たに利用可能となる見込みである。これらにより、予報後半まで精度を保つようなモデル全体としてのパフォーマンスの向上を目指したい。

最後に、LFM についても、異なる初期値の予報について同じ予報対象時刻の結果を第 3.3.1.4 図に示す。これによると、初期値の違いによる結果のばらつきが大きい傾向が見て取れる。ここで、予報時間ごとという観点でみると、FT=03 については他の予報時間の結果と比べて降水量がやや少なめになっており、初期の降水の立ち上がりの問題などの影響と考えられる(永戸ほか, 2010)。この結果から、初期時刻別の予報特性について把握するのは難しいが、LFM の初期時刻による特性の違いについては、夏季の対流性降水における調査が行われており(平原ほか, 2011)、現在その改善に向けて、解析システムと予報モデルの



第 3.3.1.4 図 前 3 時間積算降水量分布

左から、解析雨量、LFM の 3 時間予報値、6 時間予報値、9 時間予報値をそれぞれ示す。上から、2011 年 7 月 29 日 15JST、21JST、30 日 03JST の時刻を示す。

両方についての改良の取り組みを進めているところである。具体的には、現在の LFM では、初期値での過剰な成層不安定や日中の地上気温の負バイアスなどの課題を抱えており、そのために、夏季の対流性降水では、日中の降水過少・夕方以降の降水過剰という課題が明らかになっている。これらの課題解決のために、解析での地面温位の制御変数化などの導入、及び予報モデルでの雲量表現の最適化といった改良を行うことにより、地上気温の予報の改善とそれに伴う対流性降水予報の改善が図られる結果が得られている（本改良は 2012 年 8 月に現業化された）。今後予定されている LFM 予報結果の降水短時間予報への入力や予報作業への利用を有効に行うためには、このように、様々な降水系についての LFM の予報特性について明らかにした上で、必要な改良を進めていくことが、重要な課題である。

参 考 文 献

- 永戸久喜・石田純一・藤田匡・石水尊久・平原洋一・幾田泰醇・福田純也・石川宜広・吉本浩一（2010）：局地モデルの試験運用。平成 22 年度数値予報研修テキスト，1-27.
- 幾田泰醇（2011）：メソ解析におけるレーダー反射強度データの同化。平成 23 年度数値予報研修テキスト，9-12.
- 計盛正博（2011）：メソ解析における衛星観測輝度温度データの同化。平成 23 年度数値予報研修テキスト，3-8.
- 平原洋一・田村一卓・森安聡嗣・石水尊久（2011）：局地モデルの特性。平成 23 年度数値予報研修テキスト，37-49.
- 室井ちあし・松下泰広・西尾利一（2011）：第 9 世代数値解析予報システム。平成 23 年度数値予報研修テキスト，56-70.

3.3.2 全球数値予報による台風の予測結果*

今日の予報業務において数値予報の利用は欠かせないものとなっており、台風予報においても数値予報は重要な役割を担っている。本項では、台風予報を支援するための数値予報モデルの概要と、数値予報での台風予報の統計検証結果を示した後、2011年に日本に大きな影響を与えた台風第12号、第15号の数値予報結果について検証する。

3.3.2.1 台風予報に使用される数値予報モデル

現在、台風予報に用いられる主要な数値予報モデルは、全球モデルGSMと台風アンサンブル予報システム（以下、台風EPS）である。GSMは3日先までの進路予報、及び強度予報の役割を主に担っている。第3.3.2.1表にGSMの仕様概略を示す。水平解像度約20kmのGSMは2007年11月のモデル更新時に導入されたものであり（北川, 2007）、それ以前は約55kmであった。20kmという全球モデルとしては高い水平解像度を導入することで、台風中心付近の構造をある程度表現可能になってきたことから、GSMは強度予報の役割も担うようになってきている。

台風EPSは5日先までの進路予報と確率情報・予報信頼度を提供することを主眼として2008年より運用されている。台風EPSの概要については本報告第3.3.3項の解説や山口(2006)、小森・山口(2008)を参照されたい。

精度の良い数値予報を行うにあたっては精度の良い初期値が欠かせないが、台風は観測データの

少ない熱帯海上に存在する時間が長いため、真の観測データのみを用いたデータ同化では台風周辺で精度良く初期値を求めることは容易ではない。そこで、台風の位置・強度を初期値で適切に表現するための手法として、台風ポーガスと呼ばれる手法が用いられている（大野木, 1997）。現在GSMの初期値を作成する全球解析においては、疑似観測型と呼ばれる台風ポーガス手法が採用されている（新堀, 2005）。この手法では、予報現業で解析された台風の位置・強度の情報を用いて典型的な台風構造を仮定し、そこからあたかも観測したかのように擬似的な観測データを台風周辺数点について作り、他の観測データと共に解析システムに与えるものである。作成される疑似観測データの種別は海面気圧及び指定気圧面での風ベクトルである。疑似観測データの個数、配置が現在の解析予報システムに対して最適な設定となるよう、近年も改善が図られてきている（高坂, 2009; 岡垣, 2010）。

3.3.2.2 台風進路予報の統計的検証

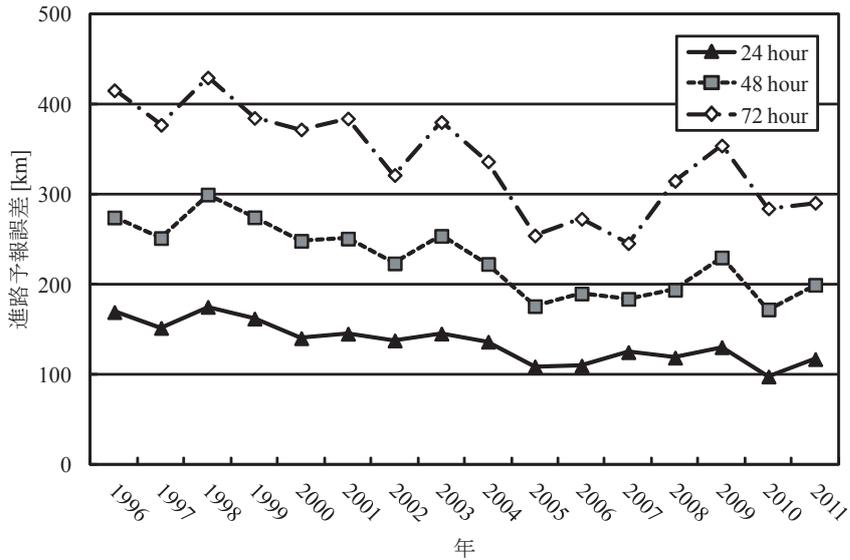
第3.3.2.1図に1996年から2011年までのGSM進路予報誤差を示す。図中、24,48,72時間予報それぞれの進路予報誤差が示されている。年々の変動はあるものの、大局的には各予報時間とも年を追うごとに予報誤差が減少傾向にあることが分かる。これは、予報モデル自体の改善、及び初期値を作成する全球解析の改善を反映していると考えられる。

次に2011年の全台風を対象とした予報進路誤差の統計検証の結果を第3.3.2.2図に示す。対象とした予報モデルは、GSM及び台風EPSである。アンサンブル予報システムによる台風予報結果については主に第3.3.3項で述べるが、本項でもGSMとの比較の観点から一部取り上げることにする。ここでは、台風EPSから得られる決定論的予報結果として、各アンサンブルメンバーの予報結果を平均して得られるアンサンブル平均と、コントロール予報（初期値に摂動を与えない予報メンバー）の進路予報誤差も合わせて図に示して

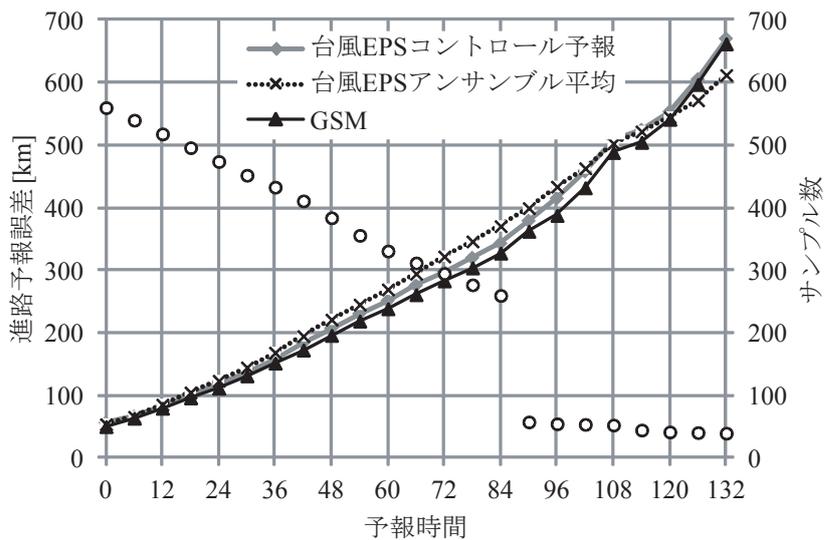
第3.3.2.1表 全球モデルGSMの仕様

予報頻度 (初期時刻)	1日4回(00,06,12,18UTC)
予報時間	84時間(00,06,18UTC) 216時間(12UTC)
解像度	水平解像度約20km 鉛直層60層 モデルトップ0.1hPa

* 予報部数値予報課 檜垣 将和



第3.3.2.1図 1996年から2011年までのGSM進路予報誤差(24,48,72時間予報)



第3.3.2.2図 2011年台風に対するGSM, 台風アンサンブル予報システムの進路予報誤差
 図中, 丸は各予報時刻のサンプル数である.

いる。図中横軸は予報時間であり、台風EPSの予報時間である0～132時間を表示した。合わせて、検証に用いた事例サンプル数も示してある。同図ではGSM, 台風EPS両方の予報で台風が追跡可能であった事例のみを用いた検証結果を示している。90時間以降の予報事例数は、84時間以前と比べて約1/4とサンプル数が少なくなっていることに注意されたい。これは第3.3.2.1表に示したように、GSMが216時間予報を行うのは

12UTC初期値のみであり、それ以外の初期値では84時間予報を行うといった運用形態を反映した結果である。

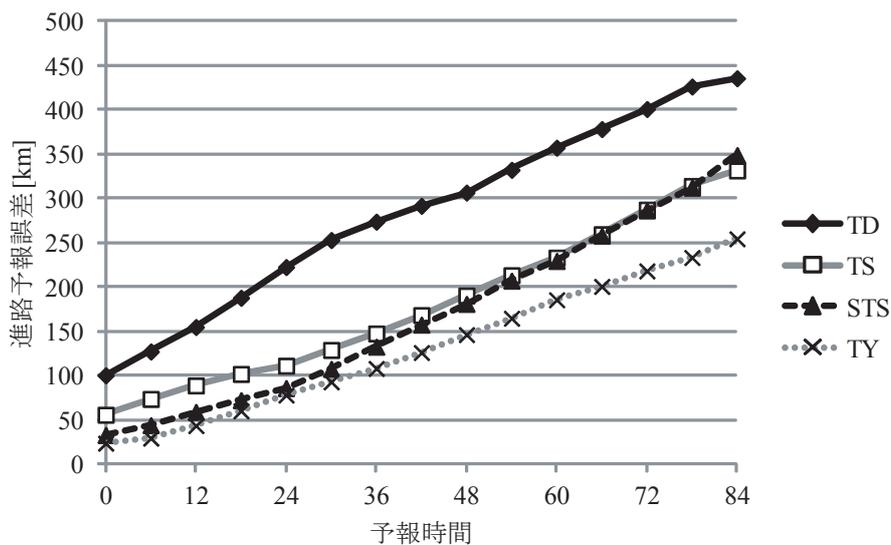
各モデル間の進路予報誤差を比較すると、差は大きくはないものの、予報時間0～120時間の期間を通じてGSMの誤差が最も小さい結果となっている。GSMと台風EPSのコントロール予報は水平解像度を除き基本的に同じモデルであることから、この差の主要な要因は水平解像度であると

推察される。また、台風 EPS について、そのアンサンブル平均とコントロール予報の精度を比較すると、102 時間予報以前ではコントロール予報の方が、108 時間以降ではアンサンブル平均の誤差が小さい。理想的なアンサンブル予報システムにおいては、アンサンブル平均の精度は統計的には個々のメンバーによる予報よりも良いことが期待される（高野，2002 など）。この観点から見ると、台風 EPS の結果は予報期間の前半から中盤にかけては、必ずしも期待される結果とはなっていない。5 日予報を特にターゲットにしているということを考えると、予報期間後半である程度目的に応じた結果を出していると言えるかもしれないが、さらに最適なアンサンブル予報システムを目指して、改善を図っていくことが必要であろう。今後の改善計画等については第 3.3.3 項を参照されたい。

次に台風強度と進路予報精度の関係をみるために、第 3.3.2.3 図に初期時刻における台風及び熱帯低気圧の階級で層別化した GSM 進路予報誤差検証結果を示した。これによると、初期時刻において勢力が台風に達しない熱帯低気圧 (TD) に対する進路予報誤差が最も大きく、強度が強い階級ほど誤差が小さいことが分かる。後述の台風第

15 号の例（第 3.3.2.13 図）でも、発生後の TD の段階で進路誤差が大きい傾向が顕著である。TD の場合、初期値（予報時間 0）から位置の誤差が大きく、このことが全予報時間を通じて他の階級より進路誤差が大きい結果につながっていると推察される。特に台風発生初期の段階では、熱帯の海上に存在するため観測データが少ないこと、台風典型的な同心円状の構造が明瞭でないこと、雲域の形状が十分組織化されていないため台風ボーガスとして用いられる熱帯低気圧解析情報の精度がやや低くなるなどの要因も考えられる。

さらに台風進路予報の系統誤差を見るために、台風の進行方向に沿った成分 (along-track, AT) と直交する成分 (cross-track, CT) に分けた検証結果を以下に示す。第 3.3.2.4 図に示すように、事後解析での台風進行方向によって転向前、中、後と層別化する。ここでは北向きを 0° として、進行方向が $180^\circ \sim 320^\circ$ であれば転向前、 $320^\circ \sim 10^\circ$ なら転向中、 $10^\circ \sim 180^\circ$ なら転向後としている。このように進行方向で層別化した上で、予報時間ごとに各進路誤差成分の平均を示したのが第 3.3.2.5 図である。これによると、進行方向成分は 84 時間程度までは GSM、台風 EPS とも負の値を示しており、実際の台風の進行よりも遅



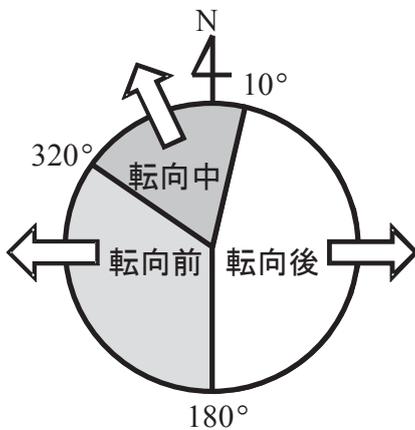
第 3.3.2.3 図 GSM による 2011 年の台風及び熱帯低気圧の強度別進路予報誤差

TD, TS, STS, TY は初期時刻における熱帯低気圧の最大風速で層別化した階級である。TD は最大風速 34 ノット未満、TS は 34 ノット以上 48 ノット未満、STS は 48 ノット以上 64 ノット未満、TY は 64 ノット以上に対応。

めに予報されている傾向を示している。

直交成分について着目すると、転向前では正の値すなわち進行方向に対して右寄りの傾向が、また転向後は負の値すなわち左寄りとなる傾向が、0～72時間予報程度の期間を通じて認められた。これらの結果は、予報が実況よりも北寄りになる傾向（北上バイアス）を示している。転向前の北上バイアス傾向は気象庁のモデルに限ったものではなく、主要な海外センターの全球モデルでも認められている傾向である（例えば Sakai

and Yamaguchi, 2005 や Yamaguchi *et al.*, 2012)。北上バイアスの要因については、上野(2000)が過去の研究をレビューし、台風ボーガス投入方法、積雲対流パラメタリゼーション、モデル水平分解能、亜熱帯高気圧の維持表現など複数の要因があり得ることを示唆しており、バイアスの原因特定・改善に向けては更なる調査が必要である。また、GSMと台風EPSアンサンブル平均で比較すると、いずれの方向のバイアスも台風EPSの方が大きい傾向が認められた。その原因の一つとしてはモデルの水平解像度の違いが考えられる。第3.3.3.4目で述べているように、今後の台風EPSの改善課題として高解像度化つまり両者間の解像度差を減らすことを予定しており、その開発の中で解像度の寄与も調べていく予定である。

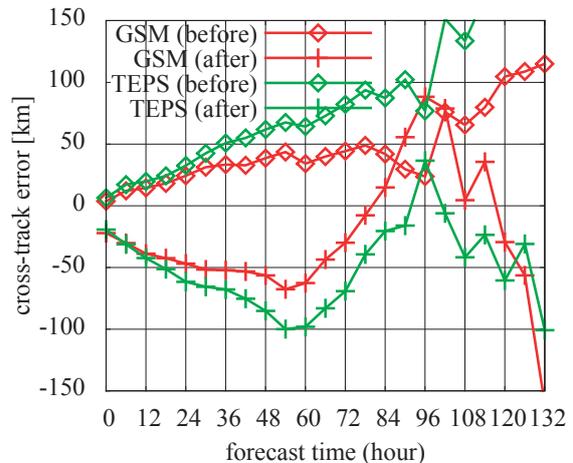
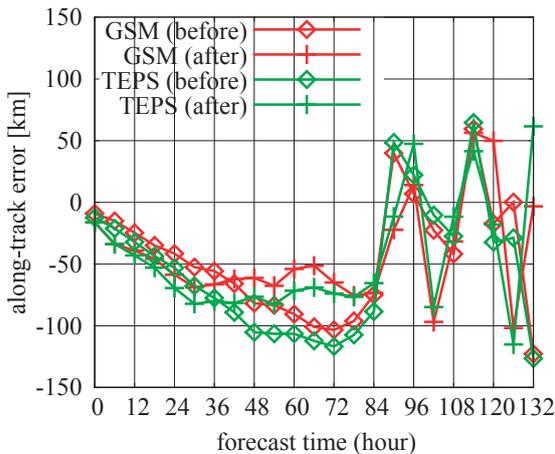


第3.3.2.4図 台風の進行方向による層別化

北向きを0°として、台風の進行方向が180°～320°であれば転向前、320°～10°なら転向中、10°～180°なら転向後としている。

3.3.2.3 台風強度予報の検証

前段で述べたように、GSM予報結果は現在台風強度予報の目的でも利用されていることから、以下では台風中心気圧を指標として強度予報を検証する。第3.3.2.6図にGSMによる台風中心気圧と実況中心気圧の散布図を示す。これを見ると、GSMの強度予報は初期時刻の段階では中心気圧が高く弱めの傾向であるが、72時間予報になるとばらつきが大きくなり、実況より台風を強く表現する事例も多くあることが分かる。ま

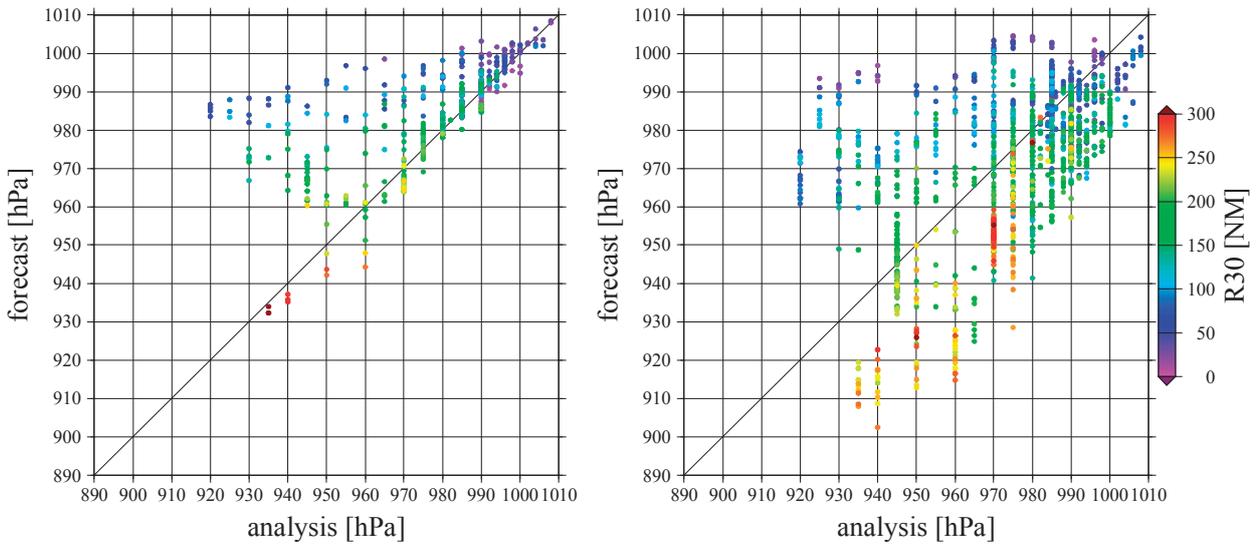


第3.3.2.5図 台風の進行方向に相対的な進路予報誤差

左図は台風進行方向に沿った成分、右図は台風進行方向に直交する成分。赤はGSM、緑は台風EPSアンサンブル平均を示す。◇は転向前、+は転向後の事例についての検証結果を示す。

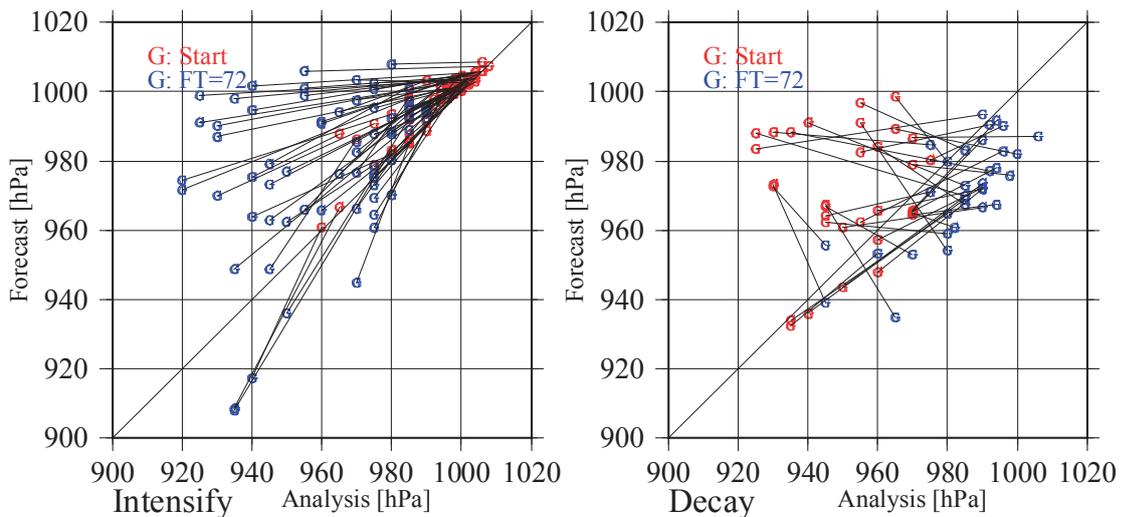
た、台風の大きさと関連付けてみると、強風域が狭い台風ほど弱く予報される傾向であり、強風域が大きい台風になると予報が進むにつれて強度を過大に予報される傾向がある。前者の傾向については、現在の GSM の水平解像度 20km が小さめの台風を表現するには必ずしも十分でないということが、一つの理由として考えられる。また、GSM が発達-衰弱傾向を適切に予報してい

るか確認するため、72 時間の中心気圧変化傾向で発達期と衰弱期に事例を分けて、散布図を示した(第 3.3.2.7 図)。発達期での GSM の予報は強度の値そのものは実況よりやや弱い傾向であるものの、発達の傾向はおおむね表現されている。一方、衰弱期に GSM が発達する傾向を予測している事例も多くあり、衰弱の傾向は適切に予報されているとは言い難い。その要因の一つとし



第 3.3.2.6 図 2011 年の GSM 台風中心気圧予報と実況台風中心気圧の散布図

横軸は実況の台風中心気圧、縦軸が予報での中心気圧を表す。左は初期時刻、右は 72 時間予報。各点の色は実況における強風域半径 [NM] を示す。



第 3.3.2.7 図 2011 年台風に対しての中心気圧変化傾向

横軸は解析値、縦軸は予報値。図中、赤点は初期時刻における中心気圧、青点は 72 時間後の中心気圧を示す。左図は実況で台風が発達した事例、右図は衰弱した事例について示した。

では、台風と海面水温の相互作用がGSMに組み込まれていないことが考えられる。台風の通過に伴う海面付近での海水の混合・湧昇による水温低下が、台風の強度を抑制する方向に影響を与えることは、過去の多くの研究（例えば、Bender and Ginis, 2000; Wada *et al.*, 2010 等）で示されているが、現在のGSMではこの相互作用は考慮されていない。この効果をGSMに取り込むため、気象庁ではGSMに海洋混合層モデルを結合する開発も進めている。

3.3.2.4 2011年台風個別事例の検証

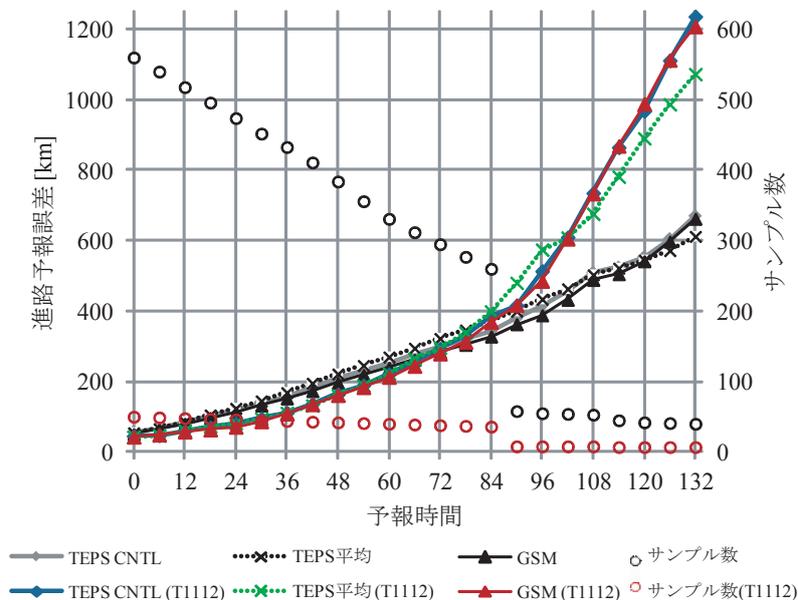
以下では、2011年に日本に上陸し大きな影響をもたらした台風第12号と第15号に対する数値予報の結果を示し、その精度や誤差の要因等について論じる。

(1) 2011年台風第12号

第3.3.2.8図に台風第12号に対するGSMと台風EPSの予報時刻別進路予報誤差のグラフを示した。図中、色付きの線は台風第12号について

の進路予報誤差、白黒の線は2011年全台風で平均した進路予報誤差であり第3.3.2.2図に示された結果と同じである。予報時間0～72時間にかけてはGSM、台風EPSとも2011年全台風での平均と比較して進路誤差がやや小さい。この予報時間でのGSM、台風EPSアンサンプル平均、台風EPSコントロール予報間の差は小さい。一方、予報時間72時間以降については、2011年全台風平均と比較していずれも誤差が大きかった。各モデルの誤差を比較すると、126時間予報等では台風EPSアンサンプル平均はGSMより100km程度誤差が小さく、この事例については5日予報をターゲットとしてみると台風EPSが相対的に良い予報を与えていたと言える。

次に第3.3.2.9図で進路予報結果について確認する。主な特徴としては、(1) 実況では台風は8月30日頃より西進した後、北西～北北西進し四国地方に進んだが、GSMは8月30日06 UTC頃の予報まで西進成分が小さく実況よりも東寄りのコースを北上する進路を予想していたこと、(2) 実況では台風は四国上陸後非常にゆっくりとし



第3.3.2.8図 2011年台風第12号に対するGSMと台風EPSの進路予報誤差

図中、色付きは台風第12号を対象とした進路予報誤差、白黒は2011年の全台風を対象とした進路予報誤差を表す。TEPS CNTLは台風EPSコントロール予報、TEPS平均は台風EPSアンサンプル平均を指す。図中、丸は各予報時刻のサンプル数である。

た速度で北上したが、GSMの予報では実況よりも速い北上を予報していたことの2点が挙げられる。

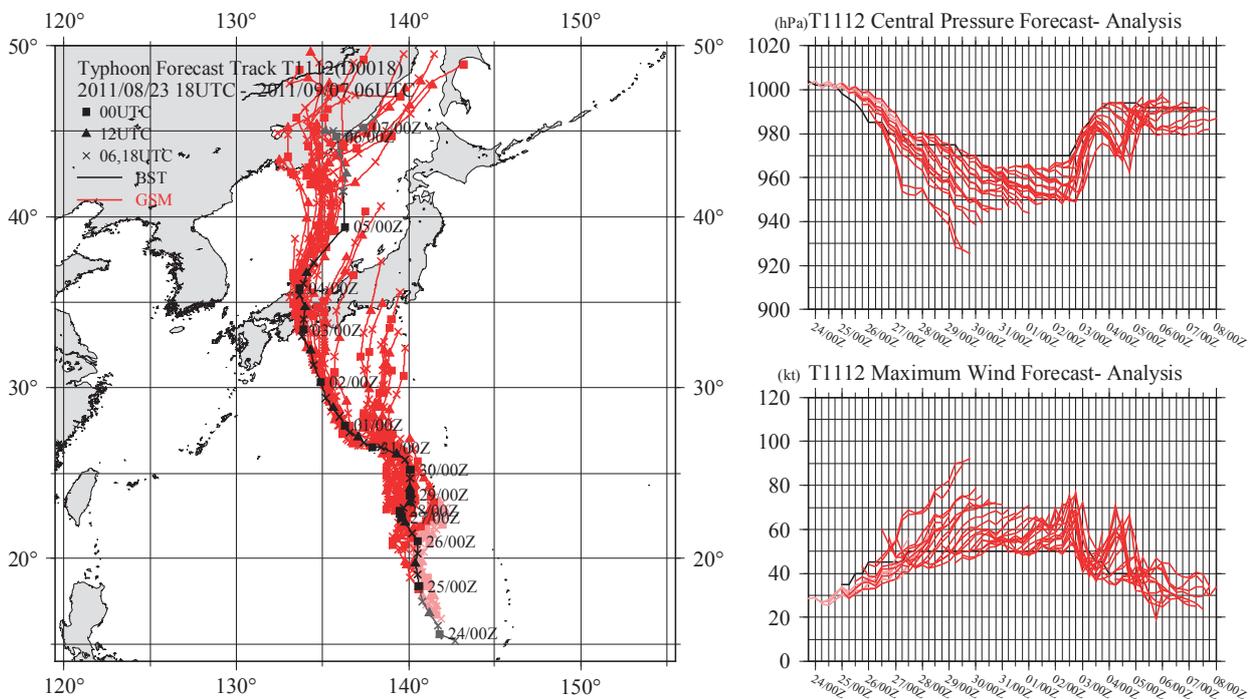
前者の特徴についていえば、先の2011年全台風統計検証で見たように、GSMは統計的には転向前のステージで実況よりも北寄りに進路を予報するバイアスがあるが、本事例もその一例にあたると思われる。本事例の場合の要因について考察するため、予報場を初期時刻間で比較してみる。第3.3.2.10図は300hPa高度場予報値を30日06UTCと12UTCで比較したものである。解析場では台風の北側に9720mの高圧部があり、台風周辺の平均的な風の場合は東寄りとなっていた(図略)。これにより台風を西に駆動する効果があったと推測される。一方、予報ではこの高圧部は明瞭には表現されておらず、特に06UTC初期値予報は台風の北側に位置する気圧の谷の表現が深く、台風周辺の平均的な風の場合は西寄りであったため、台風を実況よりも東寄りに駆動する効果があったものと思われる。06UTC以前の初期時刻

の予報も同様な傾向であった(図略)。12UTC初期値予報では、06UTC予報と比べ高度場が解析に近づいており、この台風周辺の環境場での予報表現の違いにより、進路予報に差が出たものと考えられる。

強度についてみると、実況では29日12UTC以降、中心気圧は970hPaと一定であったが、予報では各初期時刻とも発達を示す傾向があった(第3.3.2.9図右上)。先に強度予報統計検証で示したように、実際には台風が最盛期～衰弱期に入っても予報では発達を予報するといった傾向が、台風第12号でも認められた。

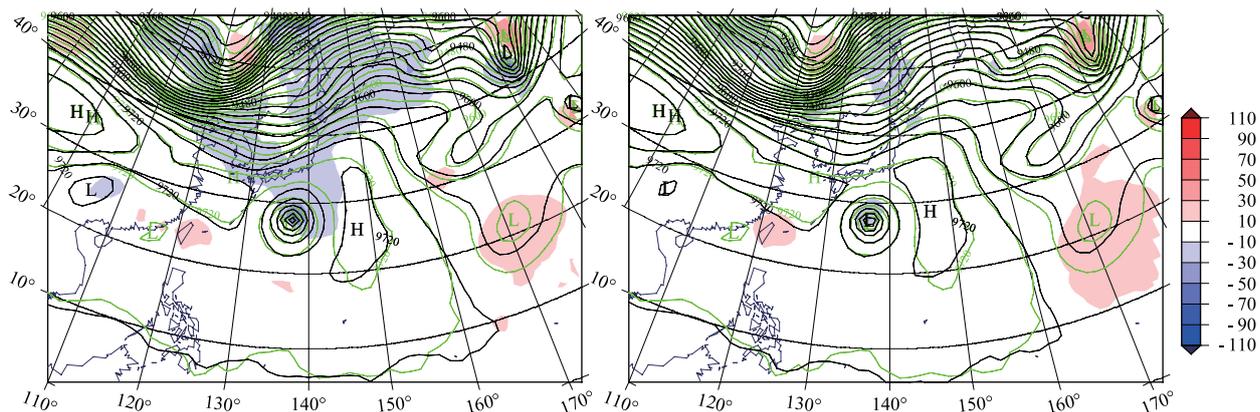
(2) 2011年台風第15号

台風第15号に対してのGSM及び台風EPSの進路予報誤差は、第3.3.2.11図に示されるように、2011年全台風平均と比べ全ての予報時間について大きかった。第3.3.2.12図の予報対象時刻別進路誤差を見ると、9月12日から14日頃までの期間初期の段階で進路誤差が約600～1000km



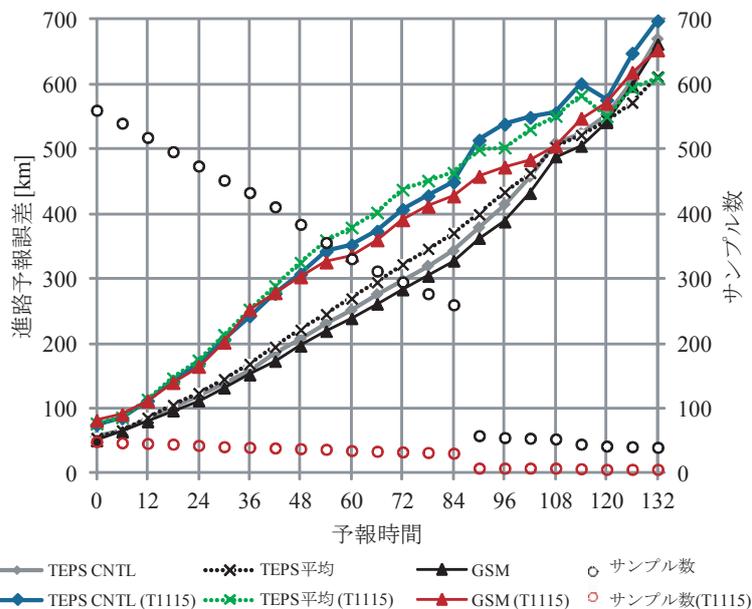
第3.3.2.9図 2011年台風第12号のGSM予報結果

左図は進路、右上図は中心気圧時系列、右下は最大風速時系列。図中、赤線で示したのがGSM予報、黒線は事後解析結果(ベストトラック)である。図中、薄い赤線で示されているのは初期時刻において最大風速が34ノット未満の熱帯低気圧であったことを示す。



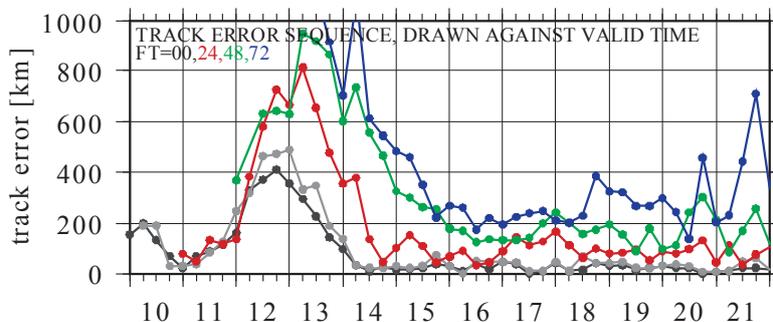
第 3.3.2.10 図 予報対象時刻 2011 年 8 月 31 日 12UTC の GSM 300hPa 高度予報場

左図：2011 年 8 月 30 日 06UTC を初期値とした予報，右図：30 日 12UTC を初期値とした予報．図中，黒線は予報値，緑線は同じ対象時刻の解析場．陰影は予報－解析差で，赤（青）は予報が解析に比べ高い（低い）ことを示す．単位はいずれも [m].



第 3.3.2.11 図 第 3.3.2.8 図に同じ

ただし，2011 年台風第 15 号について示した．



第 3.3.2.12 図 台風第 15 号の GSM 進路予報誤差時系列

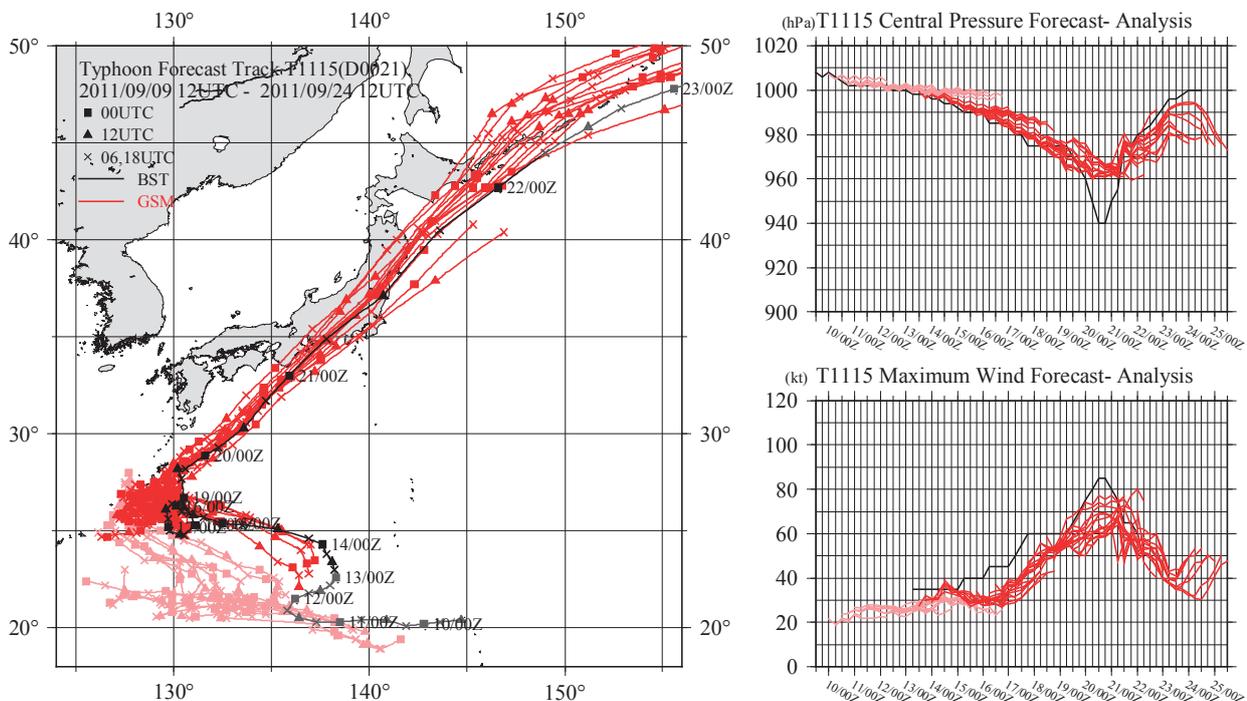
横軸は予報対象日時であり，数値は日付．赤，緑，青の各線はそれぞれ 24, 48, 72 予報時間に対応する．単位は km.

と特に大きい。この期間は熱帯低気圧発生から台風になるまでの初期のステージに相当する（第3.3.2.13図）。強度が台風に達しない熱帯低気圧の段階で進路予報誤差が大きいこの傾向は、前述の進路予報統計検証でも認められた傾向である。

台風第15号は発生後西進を続け、南西諸島付近で複雑な進路を取った後、北東方向に転向し速度を上げつつ日本に上陸した。転向後の北東進については、方向についてはほぼ一貫して予報されていたものの、その速度については初期時刻ごとに差があり、平均的には実況よりも遅い傾向があった。台風が転向した後の段階では台風から北西方向に気圧の谷が存在し、これが東進するに伴い

台風の移動速度が速まったが、この気圧の谷の表現が初期時刻によって異なり、上空の気圧の谷の南下が小さい初期値においては台風の北上が遅い傾向が認められた（図略）。

強度について着目すると、台風は9月19日頃から奄美群島付近で北東に転向した後急速に発達し、最盛期には940hPaに達したと解析されているが、GSMによる予報は緩やかな発達傾向を示すのみで、この実際の急発達を予報することはできなかった（第3.3.2.13図右上）。このような強度予報の特性を改善していくには、積雲対流パラメタリゼーションをはじめとしたGSMの物理過程の改良等を引き続き行っていく必要がある。



第3.3.2.13図 第3.3.2.9図に同じ
ただし、2011年台風第15号について示した。

参 考 文 献

Bender, M. and I. Ginis (2000): Real-time simulation of hurricane-ocean interaction. *Mon. Weather Rev.*, **128**, 917-946.

北川裕人 (2007): 高解像度全球モデル. 平成 19 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 1-4.

小森拓也・山口宗彦 (2008): 台風アンサンブル予報システムの導入. 平成 20 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 27-30.

高坂裕貴 (2009): 擬似観測型台風ポーガスの配置変更. 平成 21 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 57-60.

岡垣晶 (2010): 全球解析における台風ポーガスの改良. 平成 22 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 48-52.

大野木和敏 (1997): 台風ポーガス. 数値予報課報告・別冊第 43 号, 気象庁予報部, 52-61.

Sakai, R. and M. Yamaguchi (2005): The WGNE Intercomparison of Tropical Cyclone Track Forecasts by Operational Global Models. *CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modeling*, **35**, WMO/TD No.1276, 2.7-2.8.

新堀敏基 (2005): 全球 4 次元変分法の台風ポーガス. 数値予報課報告・別冊第 51 号, 気象庁予報部, 106-110.

高野清治 (2002): アンサンブル予報の利用技術. アンサンブル予報, 気象研究ノート, **201**, 73-103.

上野充 (2000): 数値予報モデルによる台風予報, 予報の実例と検証. 気象研究ノート, **197**, 171-173.

Wada, A., N. Kohno and Y. Kawai (2010): Impact of wave-ocean interaction on Typhoon Hai-Tang in 2005. *Scientific Online Letters on the Atmosphere*, **6A**, 13-16.

山口宗彦 (2006): 台風アンサンブル予報. 平成 18 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 49-54.

Yamaguchi, M., T. Nakazawa and K. Aonashi (2012): Tropical cyclone track forecasts using JMA model with ECMWF and JMA initial conditions. *Geophys. Res. Lett.*, **39**, L09801.

3.3.3 アンサンブル予報による台風の予測結果*

3.3.3.1 二つの現業アンサンブル予報とその特徴

台風にひとたび襲われると、風害、水害、高潮害などの災害が複合して発生し、時には甚大な被害を受ける。この台風の接近や暴風といったリスクの高い事象の予測はたとえ実現可能性が低くとも利用価値の高い情報であり、気象庁は確率情報として発表している。

現在、5日先までの台風情報や7日先までの天気予報の確率情報作成のため、台風アンサンブル予報と週間アンサンブル予報を現業的に用いている(岸本, 2009; 村, 2011, など)。これらアンサンブル予報は仕様と運用に以下のような違いのあるアンサンブル予報システム (EPS) により生成されている(室井, 2011a)。

- ・台風 EPS は、“全般海上予報区内に、現に台風が存在する、若しくは同区内で 24 時間以内に台風になると予想される熱帯低気圧が存在する場合”又は“全般海上予報区外に最大風速 34 ノット以上の熱帯低気圧が存在し、24 時間以内に予報円又は暴風警戒域が同区内に入ると予想される場合”に起動され、1 日当たり最大 4 回 (00,06,12,18UTC 初期値分)、1 回当たり 11 メンバーの台風アンサンブル予報を生成する。
- ・週間 EPS は、毎日実行され、週間天気予報作業に間に合うよう前日 12UTC を初期時刻とする 51 メンバーの週間アンサンブル予報を生成する。

台風・週間 EPS の仕様を第 3.3.3.1 表に示す。両 EPS とも台風の周辺や中・高緯度域で予報初めによく成長する摂動を使い、台風やその環境場にばらつきを与えて台風の予測にある不確実性を見積もる。また、両 EPS に用いる全球モデルの仕様は水平解像度が粗い以外 GSM と同じである。これらから、台風アンサンブル予報の特徴は、メンバー数が 11 と限られるために確率の刻み幅は 10% 程度と粗いものの、台風の上陸といった事象の起こる可能性を 6 時間ごとと高頻度に見積

* 予報部数値予報課 経田 正幸

第3.3.3.1表 台風EPSと週間EPSの仕様

	台風EPS	週間EPS
メンバー数	11 (コントロール予報を含む)	51 (同左)
予報時間	132時間	216時間
予報頻度 (初期時刻)	最大1日4回(00, 06, 12, 18UTC)	1日1回(12UTC)
予報モデル	気象庁全球モデル(水平解像度約55km, 鉛直層数60, モデルトップ0.1hPa)	
初期摂動	特異ベクトル法にて生成.	
初期摂動領域	北西太平洋域(20°N-60°N, 100°E-180°)と台風周辺域(最大3領域)で台風の周辺と環境場を効率的に覆う.	北半球域(30°N-90°N), 南半球域(30°S-90°S), 熱帯域(30°N-30°S)で全球を覆う.
モデルアンサンブル	確率的物理過程強制法の導入にて考慮.	

もる点にある。一方、週間アンサンブル予報の特徴は、確率の刻み幅数%とより細かく可能性を見積もるものの、その更新は1日1回である。なお、第3.3.2項のGSMに見られる特徴、特に系統的な誤差はそのままアンサンブル予報のものになる。さらに、台風の中心構造といった小さな現象の表現可能性は、水平解像度のより低いアンサンブル予報で低下しやすいことに注意が必要である。

本項では、台風の接近や転向の可能性を早期に判断する段階となる、台風第12号が日本の南海上にあった時と台風第15号が大東島地方に近づいた時のアンサンブル予報の結果を報告する。最後に今後の現業アンサンブル予報の改良計画について報告する。

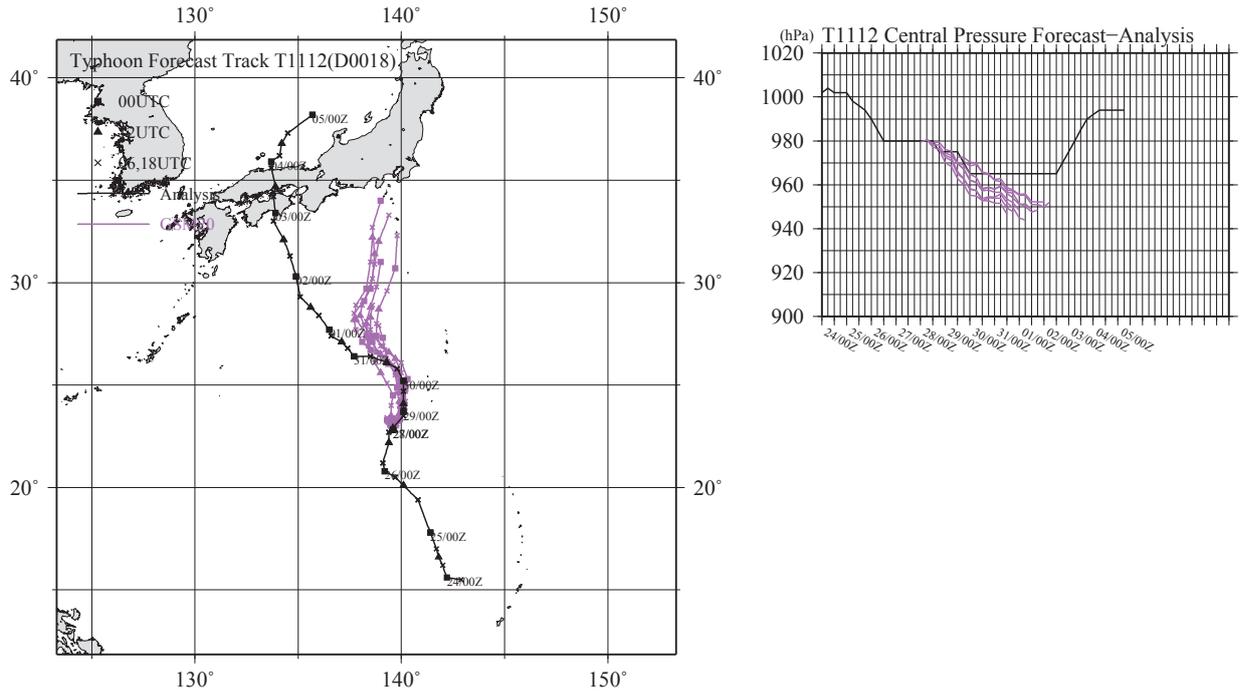
3.3.3.2 台風第12号の北西進の可能性

GSMによる台風予測の特徴に北上バイアス(北進への偏向)と過発達があるが、台風第12号が日本の南にある時の予測にも同様の偏向がみられた。第3.3.3.1図にGSMによる8初期値分(8月27日18UTC～29日12UTC)の台風中心追跡結果を示す。いずれの進路予測も北緯27度あたりまで北西進、その後に関東地方へ接近としていたが、実況では進路を大きく西に向けた後(8月31日～9月2日)は比較的ゆっくりと北西進した。新しい初期値の結果ほどより西側を進むという振る舞いも北上バイアスのある結果の特徴である。また、中心気圧の予測をみると、最盛期となる実

況に対していずれも過発達となっている。

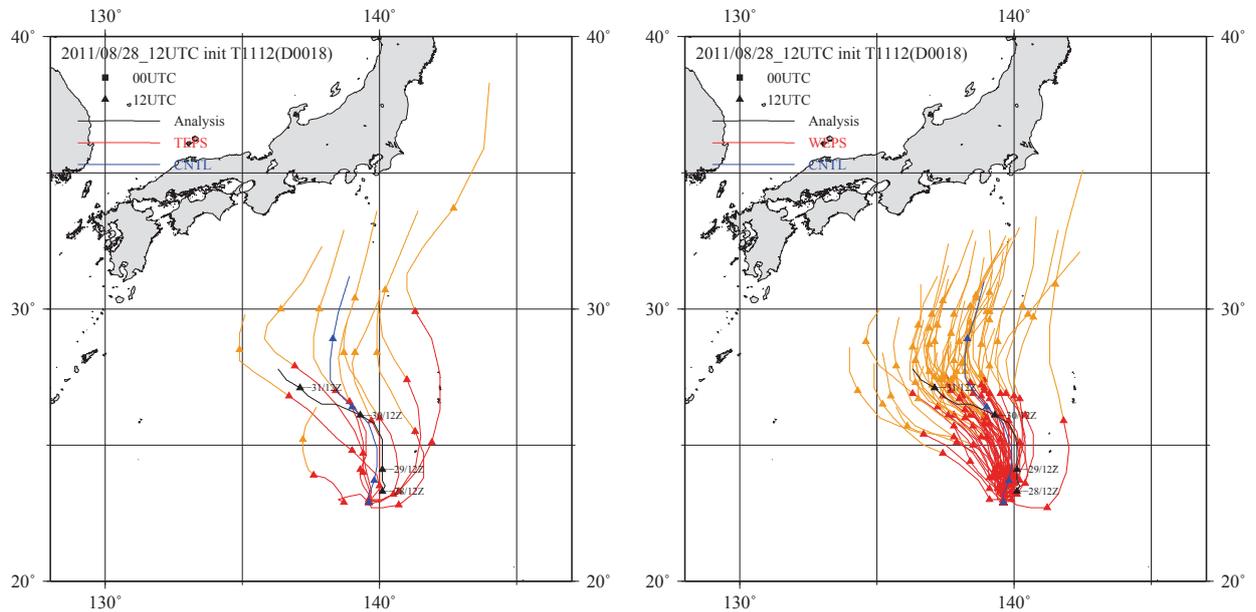
さて、アンサンブル予報の結果にはGSMと同じ偏向があるものの、北西進の可能性が高いことを早期に示していた。第3.3.3.2図に、台風及び週間アンサンブル予報による8月28日12UTC初期値の台風第12号の進路予測を示す。コントロール予報(摂動を加えないメンバー)は後半でGSMと同様に関東地方への接近を示すものの、メンバー間のばらつきは他地域への接近可能性も示す。特にメンバー数の多い週間アンサンブル予報の中でより北西進するメンバーは、84時間先でも北緯30度に達しないものが多く、接近の時期に大きな違いがあることを示している。

そこで、実況に近い北西進シナリオとGSMの北進シナリオの要因を、週間アンサンブル予報の結果でみる。第3.3.3.3図は週間アンサンブル予報による8月28日12UTC初期値の4日先の予測図と対応する実況図である。第3.3.3.2図の追跡結果のとおり、第3.3.3.3図a,dに示すコントロール予報にある台風は関東地方への接近を示す一方、第3.3.3.3図b,eに示す摂動予報は第3.3.3.3図c,fに示す実況に近い北西進を示した。2つのシナリオの違いをみると、太平洋高気圧の強まりと5700m等高度線にみられる大陸上空の偏西風帯の南下具合(谷の深まり)に支配されていたことがわかる。北西進シナリオの摂動予報(摂動を加えたメンバー)の予測図をみると、大陸上の流れが実況に近い。一方で、高気圧の強まりが十分でない、台風の過発達がみられる、といった共通



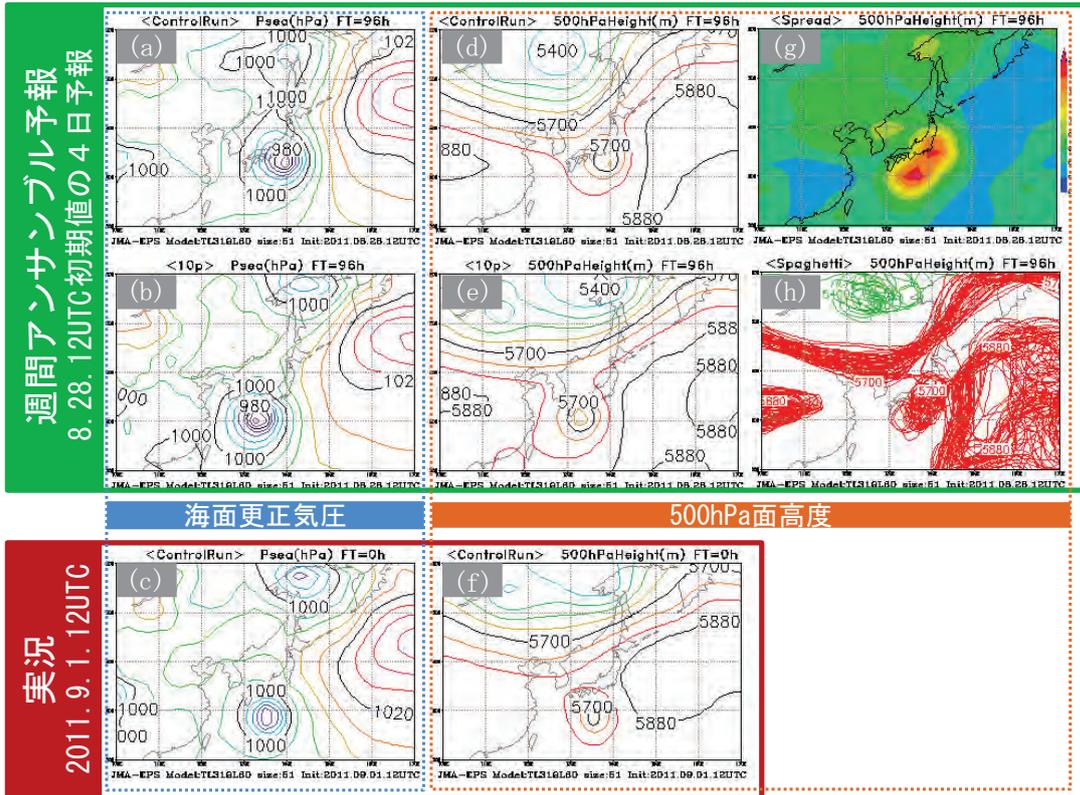
第 3.3.3.1 図 GSM による 8 初期値分 (2011 年 8 月 27 日 18UTC ~ 29 日 12UTC) の台風中心追跡結果

紫線が GSM の 84 時間先までの結果, 黒線が実況 (8 月 24 日 00UTC ~ 9 月 5 日 00UTC) を示す. 左は台風第 12 号の進路, 右は台風第 12 号の中心気圧の時系列.



第 3.3.3.2 図 台風アンサンブル予報 (左) 及び週間アンサンブル予報 (右) による 2011 年 8 月 28 日 12UTC 初期値の台風第 12 号進路予測結果

いずれも 84 時間先までの追跡結果で, 青線がコントロール予報, 暖色系線 (赤が予報前半, 黄が後半を表す) が摂動予報を示す. 黒線が予測に対応する実況.



第3.3.3.3図 週間アンサンブル予報による2011年8月28日12UTC初期値の4日先の結果と対応する実況
 (a),(b),(c)は海面更正気圧, それ以外は500hPa面高度の図で, 実況図はそれぞれ(c)と(f). (a),(d)はコントロール予報, (b),(e)は台風第12号の北西進を予測した摂動予報, (g)はアンサンブルスプレッド, (h)はスパゲッティ図(赤線が5880mと5700m, 緑線が5400mの全メンバーの等高度線).

の誤差もある。

さて、予測の不確実性は予報時間の長さにも通常依存する。28日12UTC初期値前後の結果に注目すると、27日初期値の結果でも北西進シナリオが示されていた。一方、29日初期値の結果には偏西風帯の南下具合の不確実性は減り、進路予測にあるメンバー間のばらつきも減った。ただし、ほとんどのメンバーは早めに北上して東日本に上陸若しくは接近という北上バイアスのあるシナリオを示した。

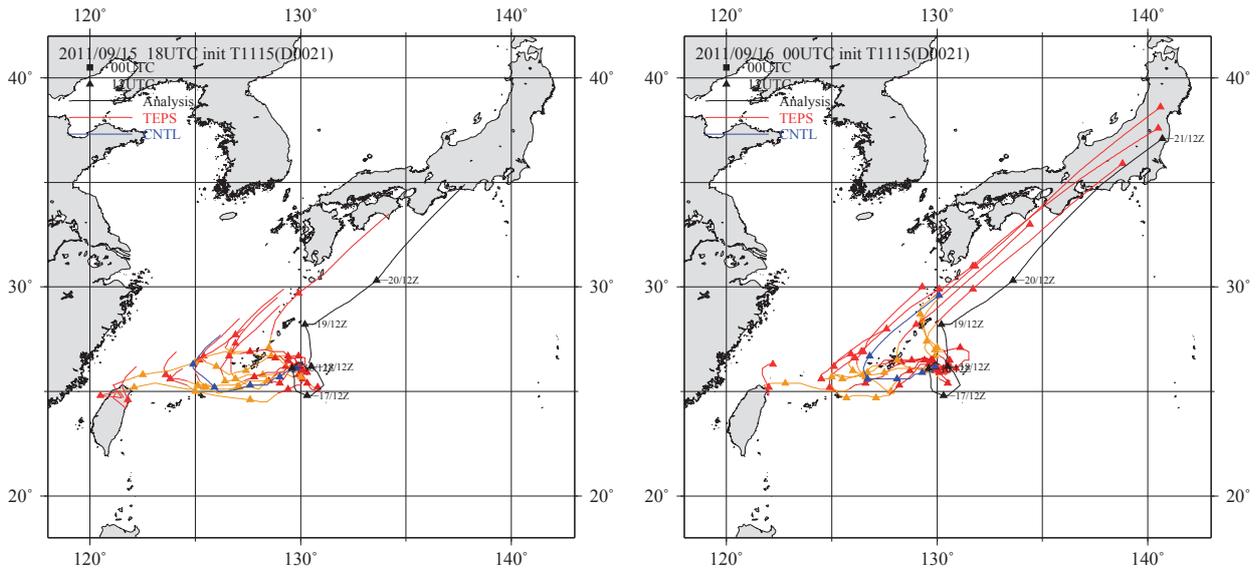
第3.3.3.2図から台風第12号が84時間先までに北緯30度に達しない確率は10%程度あると見積もれるように、アンサンブル予報の結果を用いることで、GSMの結果からは知りえなかった北西進シナリオを早期に知ることは出来た。また、シナリオの違いは台風の動向を支配する中高緯度の大気の流れに起因していた。しかし、進路にはGSMと同じ傾向がみられ、また太平洋高気圧の

強まりが十分予測できなかったこともあり、新しい初期値の結果でも実況に近い北西進シナリオの可能性が高まるということにはなかった。

3.3.3.3 台風第15号の転向予測

台風第15号の動きは、西進して大東島地方に近づいた後3日間かけて反時計回りに円を描くようにゆっくり動き、その後北東に速度を上げて東海地方に上陸するという特徴的なものであった。

大東島地方に近づいた時の台風アンサンブル予報による台風第15号の132時間先までの進路予測を第3.3.3.4図に示す。同図左が15日18UTC初期値、同図右が16日00UTC初期値の結果と両者に6時間のずれはあるが、いずれも19日から進路を北東に変えて速度を増すという転向シナリオを示している。そして、新しい初期値になって20日以降の本州に近づくまでの進路がわかり、転向の時期が19日、予報期間終わりで本州上陸



第3.3.3.4図 台風アンサンブル予測による2011年9月15日18UTC初期値(左)と16日00UTC初期値(右)の台風第15号進路予測結果

いずれも132時間先までの追跡結果で、青線がコントロール予測、暖色系線(色の違いで予測時間の違いを表す)が摂動予測を示し、予報対象時刻12UTCの位置に▲を印す。黒線が予測に対応する実況。

という可能性が高いことがわかる。

このように転向とその時期は早い段階から高い確度で知り得たものの、東西方向に大きくばらつく転向場所は新しい初期値の結果でも比較的ばらつきが大きく、ゆっくりと円を描く転向前の進路の予測は難しかった。

3.3.3.4 現業アンサンブル予測の改良計画

平成24年6月に数値予測に用いるスーパーコンピュータシステムを、従来と比較して処理速度が約30倍のものに更新した。台風情報の高度化を図るため、この性能向上を活かし、平成25年に台風EPSのモデルの高解像度化とメンバー数の増強(11から25)による台風に伴う顕著現象予測や確率予測の精度向上、また新システム期間中に週間EPSとの統合を計画している(室井, 2011b)。

以下に、メンバー数増強の効果と統合の目的について述べる。

(a) 台風アンサンブル予測のメンバー数増強の効果

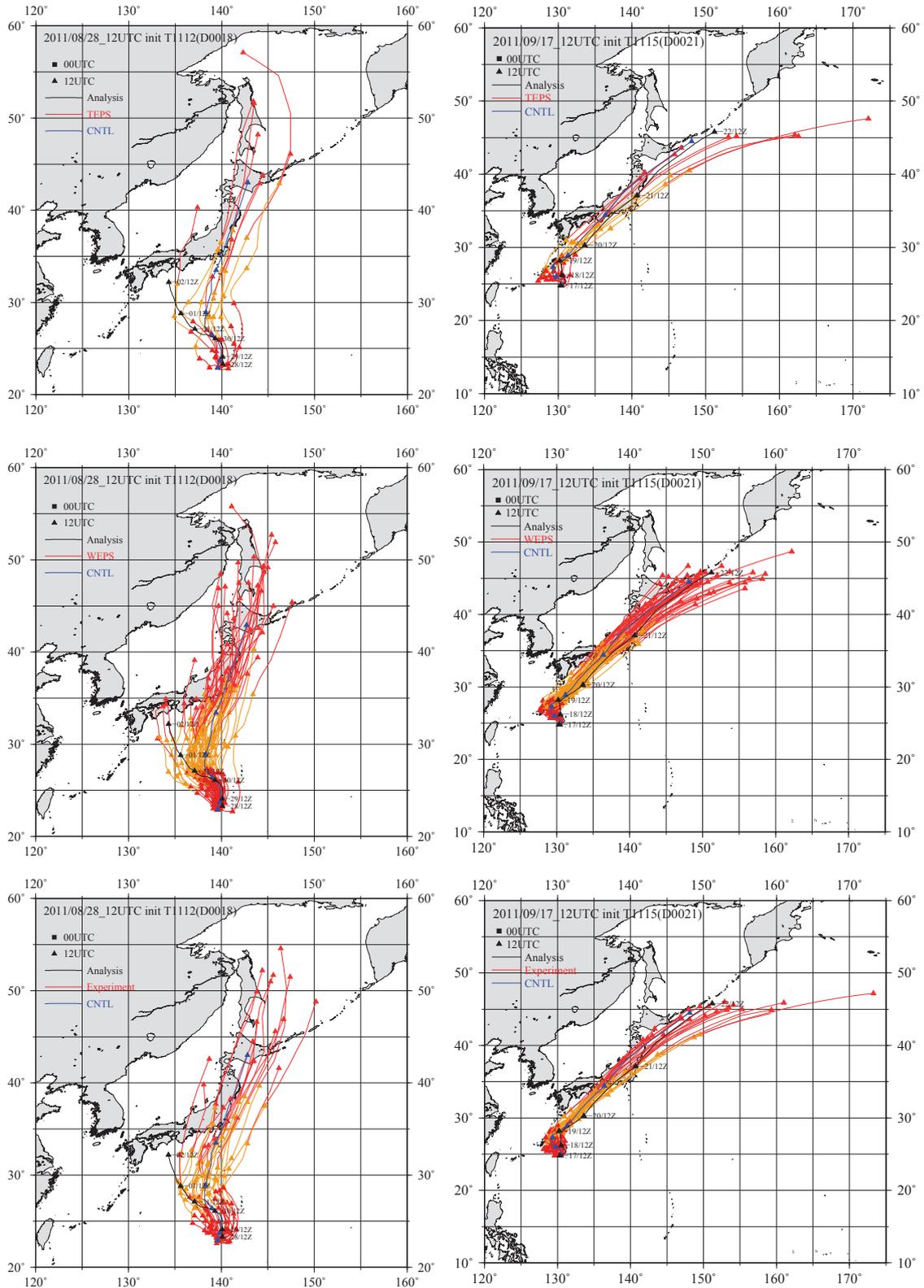
台風EPSの初期摂動計算方法にメンバー数増強のための変更のみを施した台風EPSにて、台

風第12号と台風第15号を対象にした数値予測実験を行った。ここでは、その結果からメンバー数増強の効果のみをみる。

実験で対象とした初期値は、第3.3.3.2目で注目した2011年8月28日と、第3.3.3.3目で注目した転向の直前となる9月17日の各4初期値分(合計8事例。運用中の結果では、前者は比較的ばらつきが大きく、後者は小さかった)とした。

それぞれ1初期値分の実験結果を現業の台風及び週間アンサンブル予測の結果と比較する(第3.3.3.5図)。同図左列に示す台風第12号の事例について、台風アンサンブル予測の結果は関東地方に接近する可能性が高いことを示す一方、週間アンサンブル予測の結果は他地域への接近可能性も低いながら示していた。実験の結果をみると、メンバー数の多い週間アンサンブル予測の結果が示したこの低い可能性を、同様に一定程度示すことができている。また、同図右列に示す台風第15号の事例については、いずれの結果からも東海地方を中心に近畿太平洋側から関東地方南部までに上陸する可能性がかなり高いという一致した判断を示すことができる。

このように、台風アンサンブル予測のメンバー



第3.3.3.5図 現業台風アンサンブル予報（上段）と現業週間アンサンブル予報（中段），メンバー数を増やした台風アンサンブル予報（下段）による台風進路予測図。

初期時刻は左列が2011年8月28日12UTC，右列が2011年9月17日12UTCで，対象はそれぞれ台風第12号，台風第15号。いずれも全メンバー（メンバー数はそれぞれ11,51,25）の追跡結果で，描画範囲は予報初期から120時間先まで。ただし，黒線が予報に対応する実況。

数増強により、進路の可能性を詳細に示すことが可能になる。今後は、安定して初期摂動を計算できるか、より良いアンサンブル予報を生成するための初期摂動の大きさの適正化を図る必要があるか、を確認するため、様々な過程の台風事例を調査する必要がある。また、メンバー数増強と同時にEPSモデルの高解像度化を合わせて行う計画であり、高解像度化が与える初期摂動の成長率増加の程度も調査する必要がある。

(b) EPSの統合

気象庁の現業運用するEPSには、台風及び週間EPSの他に、異常天候早期警戒情報と1か月予報の発表作業を支援する1か月EPSがある。これらの違いは、例えば台風EPSは台風周辺の初期摂動を導入するなど、限られた資源の中でそれぞれの支援形態にあったシステムとその運用の中で技術開発を進めた結果生じている。

開発成果の相互活用や運用資源の効率的な利用、予報支援資料間の整合を図るため、新計算機システムにて台風・週間・1か月アンサンブル予報を生成する一つのEPSを運用する計画としている。これにより、将来の台風アンサンブル予報はこの一つのEPSから生成され、初期摂動の領域を全球域に広げることなどから性能向上が見込まれる。また、この統合はガイダンスといった応用技術の統合や共通化にも寄与するものと期待される。

参 考 文 献

- 岸本賢司 (2009)：台風5日進路予報。平成21年度予報技術研修テキスト，気象庁予報部，103-112。
- 村規子 (2011)：週間天気予報の新しい作業支援図。平成23年度予報技術研修テキスト，気象庁予報部，88-94。
- 室井ちあし (2011a)：数値予報モデル。平成23年度数値予報研修テキスト，気象庁予報部，71-75。
- 室井ちあし (2011b)：数値解析予報システム。平成23年度数値予報研修テキスト，気象庁予報部，61-65。

3.3.4 最大降水量・最大風速ガイダンス

3.3.4.1 最大降水量ガイダンス*

(1) はじめに

最大降水量ガイダンスは、予測格子に含まれる1kmメッシュ解析雨量の最大値、これを予測対象とした、降水量の量的予測を目的とするプロダクトであり、防災気象情報の基本資料として予報作業に利用されている。数値予報モデルは自身の解像格子における平均的な状態を予測するため、その予測降水量を最大降水量予測に用いる場合、統計的には量的に過小傾向となる。数値予報における最大降水量ガイダンスの位置づけは、このような数値予報モデルの出力を元に、地形性降水などの付加的効果を見積もることで統計的に補正し、より情報価値の高いものへ変換するところにある。最大降水量ガイダンスの予測対象は前3時間内1時間最大降水量、前3時間最大降水量、前24時間最大降水量(RMAX24)の3種である。数値予報モデルとしてGSM,MSMを利用し、予測格子はGSMで約20km格子の等緯度経度座標、MSMで約5km格子の等緯度経度座標である。この目では、最大降水量ガイダンスの各予測要素のうち、台風による降水の特徴を最もよく表すと考えられるRMAX24に焦点を当てていく。

以下、GSMを利用したRMAX24をGSM-RMAX24、MSMを利用したRMAX24をMSM-RMAX24、実況とする解析雨量をRA-RMAX24、GSMの24時間降水量をGSM-FRR24、MSMの24時間降水量をMSM-FRR24と表記する。MSM-RMAX24はGSM-RMAX24と比較するため、GSM-RMAX24と同じ20km格子の等緯度経度座標に内挿したもので全て検証する。FTとはその予報時刻の前24時間降水量を指し、FT=27とあれば、FT=3～27の24時間降水量を指す。

(2) 2011年台風第12号の事例検証

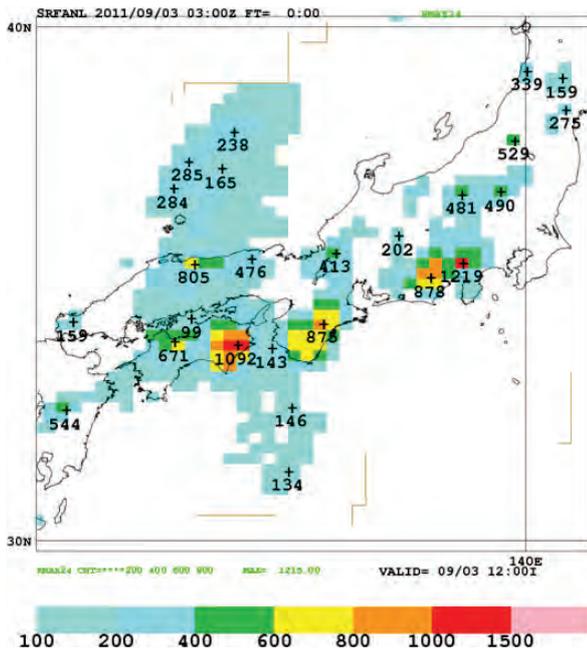
第3.3.4.1図にRA-RMAX24を、第3.3.4.2図に2011年9月2日00UTC初期値のGSM-RMAX24をそれぞれ示す。対象時間はともに2011年9月3日03UTCである。GSM-RMAX24はRA-

* 予報部数値予報課 蟻坂隼史

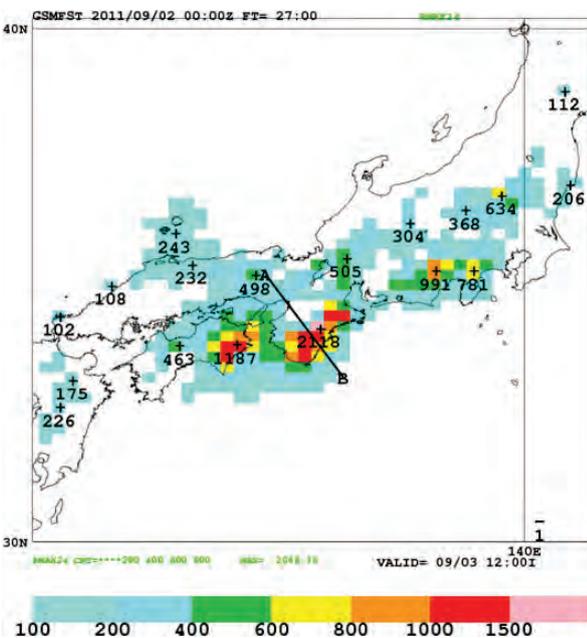
RMAX24の四国南東部から紀伊半島南東部にかけての強雨を予測し、大規模な災害のポテンシャルを予測できていることが分かる。よって、強雨の分布はよく予測できたといえる。一方で、その極値は最大で2000mmを超えるという非常に大きな降水量を予測しており、この予測値をそのま

ま情報として利用することは妥当でない。8月30日17時から9月6日24時までの解析雨量による総降水量では、近畿地方内の最大値が2000mm程度であり、アメダスによる日降水量の歴代1位は執筆時現在851.5mmである。これらからも、2000mmという予測値がいかに大きいか分かる。最大降水量ガイダンスの予測関係式は過去の統計調査によって決定されている。統計的な手法上、数年に1度という統計的に稀な現象の情報は、予測関係式にほとんど反映することができない。このため、台風を代表とした統計的に特異な気象条件から地形性降水などを過度に見積もり、極端な予測をする危険がある。このような予測値に対する信頼性は低く、過去にほとんど発現していない降水をもたらす顕著現象、このポテンシャル情報として捉えるべきである。

次に、第3.3.4.3図に強雨が継続した予報時間帯に対し、GSM-RMAX24、GSM-FRR24、RA-RMAX24を時系列で示す。GSM-RMAX24、GSM-FRR24ともに、各イニシャルでFT=27に固定した予測値を示している。図から、最大降水量ガイダンスを利用することで、GSM-FRR24では十分でない強雨の量的予測をし、数値モデルの結果をより情報価値の高い予測に補正していることがわかる。ただし、その予測特性は数値予報モデルに依存しており、RA-RMAX24は9月4

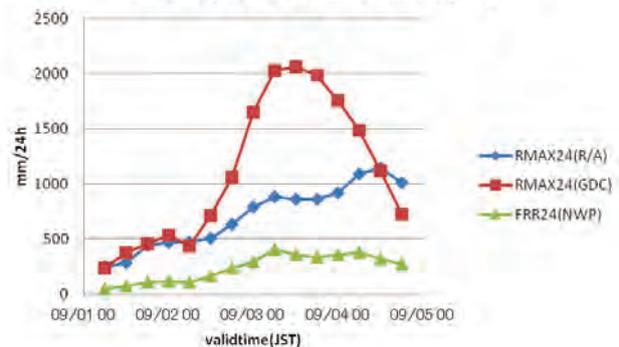


第3.3.4.1図 2011年9月3日03UTCのRA-RMAX24



第3.3.4.2図 2011年9月3日03UTCに対するGSM-RMAX24 9月2日00UTC初期値の予測

前24h最大降水量の領域最大



第3.3.4.3図 GSM-RMAX24FT=27の時系列予測
予測値は第3.3.4.2図の直線A,Bを対角とする矩形内最大。

横軸：予報時刻(JST)，縦軸：前24時間最大降水量
青：RA-RMAX24，赤：GSM-RMAX24，緑：GSM-FRR24

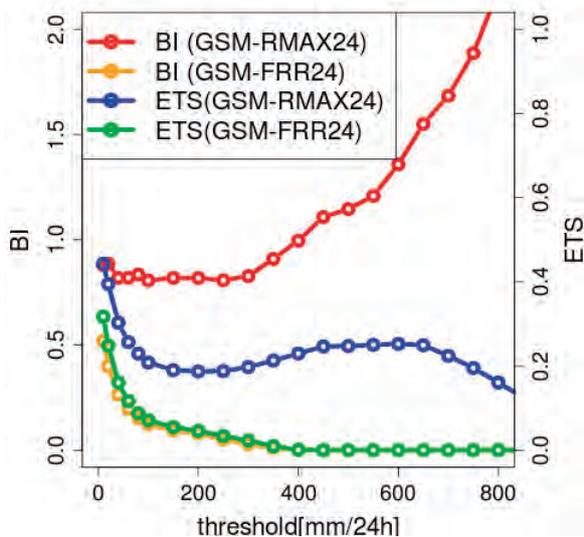
日 00JST 以降にピークをとっている一方で GSM-FRR24 は 9月3日 06JST にピークをとり、GSM-RMAX24 も同様の傾向を示している。最大降水量ガイダンスの精度は、利用している数値モデルが対象としている現象をある程度表現しているかどうかによって依存している。数値予報モデルが実況をうまく予測していない場合はガイダンスで補正できないため、アンサンブル予報により予測誤差を見積もるなど、予報官の適切な判断が重要となる。

(3) 統計検証

第 3.3.4.4 図に GSM-RMAX24, GSM-FRR24 の対 RA-RMAX24 検証を示す。検証期間は 2010 年 1 月から 2011 年 12 月までの 2 年間、利用インシヤルは全て、FT=27-48、領域は陸域格子、とした結果である。GSM-FRR24 は、バイアスコア (BI) から 200mm/24h を超えるような予報をほとんどせず、エクイタブルスレットスコア (ETS) からその正確さも低いことが分かる。このため、GSM-FRR24 を最大降水量として防災気象情報に利用する場合、その情報価値はほとんどないといえる。一方で GSM-RMAX24 は実況と同程度の予報頻度であり、ETS も GSM-FRR24 と比べ

て大きく向上させていることが分かる。よって GSM-RMAX24 は、防災気象情報に対する資料として、数値予報モデルの結果から GSM-FRR24 に比べてより価値の高い情報を引き出しているといえる。ただし、600mm/24h を超えるような非常に強い降水に対する予測では実況に比べ予測頻度が大きく、降水量に比例して予測頻度も大きくなる傾向がある。なお、600mm/24h 程度に ETS のピークがあるが、通常降水予報の検証において ETS はしきい値によって単調減少となるため、不自然である。第 3.3.4.5 図に 2008 年 3 月から 2012 年 3 月までの ETS 及び事例数の月別時系列を示す。検証期間以外の条件は第 3.3.4.4 図と同等である。特に 2011 年 7 月、同年 9 月でしきい値 400mm/24h の ETS が高く、事例も多いことが分かる。これらの月は日本の広い範囲で強い降水をもたらした 2011 年台風第 6 号、2011 年台風第 12 号を含んでいる。一方で 2010 年以前では目立って精度の高い月は存在しない。よって、2011 年台風第 12 号は過去の事例と比較して精度が良かったと言える。台風事例は他の降水事例と比べ事例数が多いため、第 3.3.4.4 図の高しきい値のピークはこれらの台風事例を反映した結果と考えられる。このため、第 3.3.4.4 図の高しきい値のピークは今後の台風予測一般で適用できるとは言えず、参考程度に捉えて欲しい。

事例検証でも触れたが、非常に強い降水では予測式に対して統計的な精度は保証されていない。このため、現実的な運用では予測値をそのまま使うのではなく、600mm/24h を超える予測頻度が過多であることを踏まえて下方修正を前提に利用し、実況監視や新しい数値予報結果に注意すべきである。ただし、600mm/24h 未満であれば予測頻度は適正かやや過小であるため、全ての予測値に対して機械的に下方修正することは統計的に有利でなく、多角的な視点で判断する必要がある。



第 3.3.4.4 図 GSM-RMAX24 対 RA-RMAX24 統計検証
 横軸：検証しきい値 [mm/24h]、
 縦軸左：BI、縦軸右：ETS
 赤：BI(GSM-RMAX24)、青：BI(GSM-FRR24)、
 橙：ETS(GSM-RMAX24)、緑：ETS(GSM-FRR24)

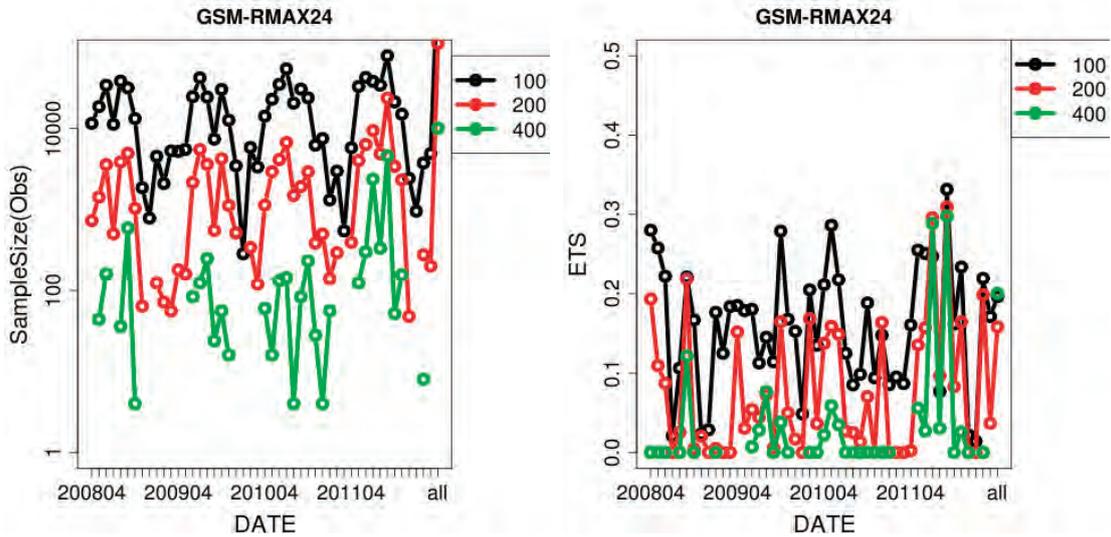
(4) GSM と MSM との比較

第 3.3.4.6 図に、FT=24 に固定した MSM-RMAX24, MSM-FRR24 の予測値と RA-RMAX24 の時系列を示す。その他の条件は第 3.3.4.3 図と同様であり、この検証条件は GSM の最新インシ

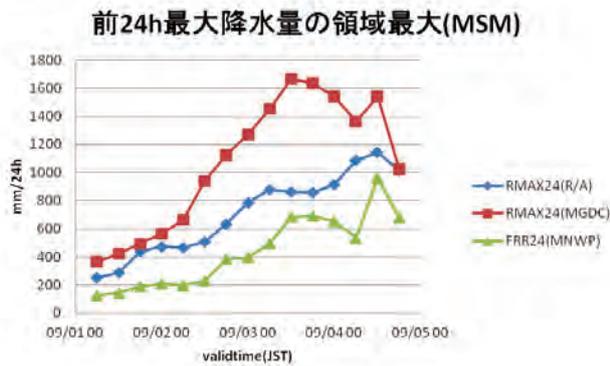
ャル直後の MSM イニシャルを利用した予測を想定している。GSM-RMAX24 と比較し、MSM-RMAX24 は現象の推移をよりよく捉えている事がわかる。GSM-RMAX24 同様、MSM-RMAX24 は実況に比べて過大であるが相対的に差は小さい。また、GSM-FRR24 とは異なり、MSM-FRR24 でも実況の推移を把握しうる。予報時において、最大降水量ガイダンスの予測値が経験的な降水量

値と比較して過大と考えられる場合には、MSM の予測値を参照して最大降水量ガイダンスの妥当性を判断する、ということも有益である。

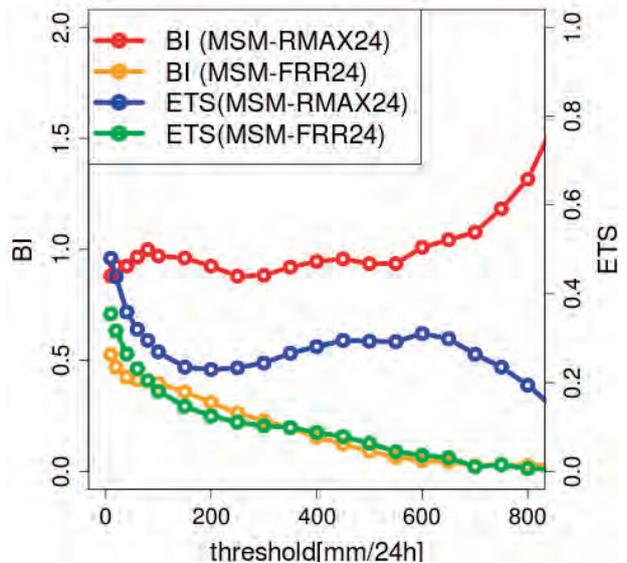
第 3.3.4.7 図 に、MSM-RMAX24,MSM-FRR24 の対 RA-RMAX24 検証を示す。利用イニシャルは 03,09,15,21, FT=24-33 で、その他の条件は第 3.3.4.4 図と同様である。特徴はおおむね GSM-RMAX24 と同様で、数値予報モデルからより



第 3.3.4.5 図 GSM-RMAX24 対 RA-RMAX24 月別検証
 横軸：検証月 [month], 左図縦軸：ETS, 右図縦軸：実況数, 配色：検証しきい値 [mm/24h]
 ただし、横軸右端は全期間のスコア・事例数を示す



第 3.3.4.6 図 MSM-RMAX24FT=24 の時系列予測
 表記は第 3.3.4.3 図と同様。参照モデルは MSM.



第 3.3.4.7 図 MSM-RMAX24 対 RA-RMAX24 統計検証
 表記は第 3.3.4.4 図と同様

利用価値の高い情報を取り出せていることが分かる。BIはおおむね1程度で、ETSはGSM-RMAX24に比べて全体に高く、GSM-RMAX24よりも精度が高いといえる。直近の予報であればMSM-RMAX24の予測値を利用することで、GSM-RMAX24単体に比べ、数値予報結果の情報をより引き出すことができる。また、MSM-FRR24の予測頻度はGSM同様十分でないが、GSMに比べれば予測頻度や正確さは高い。MSM最大降水量ガイダンスにおいて、冒頭で述べた最大降水量ガイダンスの役割やその補正量は、GSMに比べ相対的に小さい。現状の数値予報モデルでは最大降水量として利用する場合には十分な精度でないものの、今後数値予報モデルがより精緻化していくことで、現在の最大降水量ガイダンスが担う役割の重要性は相対的に小さくなっていくと想定される。

(5) まとめ

最大降水量ガイダンスの目的である、数値予報モデルからより価値の高い情報を引き出すこと、これが達成されていることを事例・統計検証で示した。特に2011年台風第12号について、極値は過大であるものの、強雨のポテンシャルをうまく捉えていた事が分かった。数値予報モデルによる予測降水量が実況の最大降水量と比較して過小であっても、量的情報はガイダンスで補正することができる。しかしながら、ガイダンスはあくまで統計的な情報に基づいて構成されている。このため、台風のように、その情報から大きく外れる事例に対しては、精度を十分保証できない点には注意が必要である。統計的に補正する以上、数値予報モデルの精度が今後どれだけ向上しようとも、この問題の本質的な解決は見込めない。ただし、数値予報モデルが今後より精緻化していけば、現在の最大降水量ガイダンスが担う、統計的な補正という役割の重要性は小さくなり、物理的な意味をもった予測ができるようになると期待される。

3.3.4.2 台風第15号における最大風速ガイダンスによる予測*

(1) はじめに

気象庁では数値予報の結果に基づいた最大風速ガイダンスを作成し、地上風予測の基礎資料として利用している。ここでは、台風第15号が日本列島を通過した期間に各地で観測された最大風速について、最大風速ガイダンスがどの程度予測できたかを示す。

(2) 最大風速ガイダンスの作成手法

最大風速ガイダンスは、3時間ごとの予測時刻について前3時間内の最大風速及びその風向を予測するガイダンスである。予測式の説明変数には数値予報モデルの地上風が用いられ、説明変数の係数はカルマンフィルターによって逐次更新される。また、予測値の系統的な誤差が小さくなるように、風速別に観測頻度と予測頻度が同じになるような風速補正も行っている(木村, 1998)。最大風速ガイダンスの詳細については松本(2003)や井手(2007)を参照していただきたい。

現在運用中の最大風速ガイダンスには、GSMの地上風を説明変数とするGSM最大風速ガイダンスと、MSMの地上風を説明変数とするMSM最大風速ガイダンスがあるが、ここではGSM最大風速ガイダンスの検証結果を示す。

(3) 検証方法

台風第15号は、四国の南海上から紀伊半島に接近した後、21日14時頃に静岡県浜松市付近に上陸し、東海地方から関東地方、東北地方を北東に進んだ。その後、台風は21日夜遅くに福島県沖に進み、22日朝に北海道南東海上に進んだ。このため、21日から22日朝にかけて各地で25m/sを超える最大風速を観測した。そこで、最大風速ガイダンスがどの程度量的に予測できたかについて検証した。台風に伴う最大風速の予測においては、数値予報モデルが予測する台風の位置ずれや時刻ずれによる影響が大きく、発現時刻まで精度よく予測することは困難である。よって、

* 予報部数値予報課 小泉 友延

この検証では最大風の風速に着目し、発現時刻のずれを許容して検証した。検証に用いた資料は21日6時から22日6時までで全国のアメダスで観測された最大風速と、同期間に最大風速ガイダンスが予測した風速の最大値である。ガイダンスの予測値には4つの初期時刻(19日18UTC, 20日00UTC, 06UTC, 12UTC)の最大値を採用した。検証に用いたガイダンスの初期時刻を20日12UTC以前としたのは、現業作業において21日6時(20日21UTC)以降の予測をする際に得られる最新のガイダンスの初期時刻が20日12UTCとなるからである。

検証には平均誤差, 平方根平均二乗誤差(RMSE)を用いた。

(4) 検証結果

第3.3.4.1表に観測値の平均値, 最大風速ガイダンスの平均値, 平均誤差, RMSEを示す。併せて, 強風が観測又は予測された地点の特徴を見るために観測又は予測が15m/s以上であった地点(以降, 強風地点とする)を対象とした検証結果も示す。平均誤差は全地点では+1.1m/sとガイダンスが観測よりもやや強い傾向があったが, 強風地点では+0.2m/sと0に近くなっていた。RMSEは全地点では2.9m/s, 強風地点では4.4m/sと強風地点の方が大きくなった。しかし, 観測の平均値とRMSEとの比をとり規格化して比較すると, 観測の平均値とRMSEの比は強風地点の方が全地点

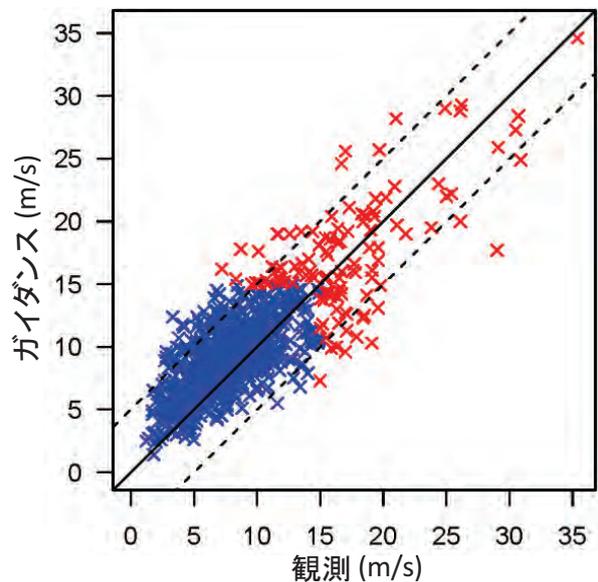
第3.3.4.1表 最大風速ガイダンスの検証結果

	全地点	観測又は予測が15m/s以上の地点
地点数	912	113
観測の平均値(m/s)	8.6	17.2
予測の平均値(m/s)	9.7	17.4
平均誤差(m/s)	+1.1	+0.2
RMSE(m/s)	2.9	4.4

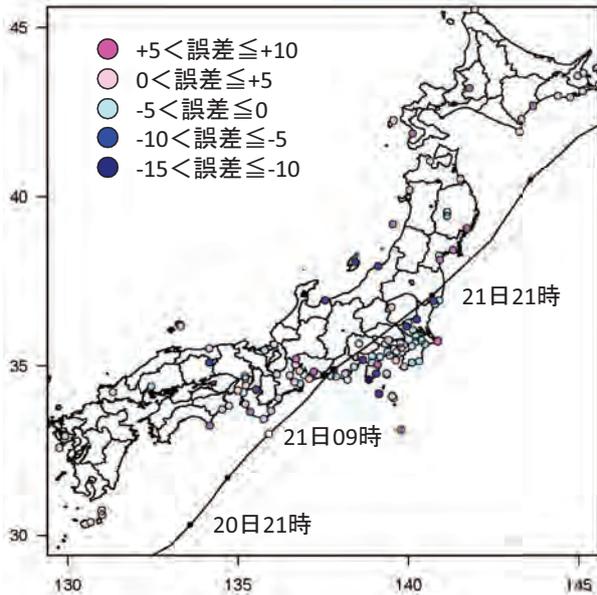
より小さかった。これらのことから最大風速ガイダンスは強風地点でも全地点と同程度の精度の予測ができていたと言える。

第3.3.4.8図は観測値を横軸, ガイダンスを縦軸にした散布図である。赤でプロットした地点は強風地点である。誤差の大きい地点も見られるが, おおむね「予測」=「観測」の直線を中心に分布しており, 強風時に予測が大きすぎる, 小さすぎるといった系統的な偏りは見られなかった。

第3.3.4.9図はガイダンスの誤差の分布と台風経路を示した図である。図には強風地点の誤差をプロットしている。強風地点は台風の経路に沿って太平洋沿岸に分布していた。第3.3.2.13図にある通り, GSMの台風の進路予測は台風が北東に転向してからは進行方向についてはほぼ一貫した予測をしていた。強風地点が台風の経路に沿って分布していたのはGSMの進路予測が安定していたためである。ガイダンスの誤差は伊豆半島の石廊崎で-10m/sを超えたものの, 多くの地点で±5m/s以内に収まっており, ガイダンスが観測に近い風速を予測していた地点が多くあった。図を詳しく見ると台風経路の西側に当たる西日本では誤差が正となっている地点が多く, 東側に当た

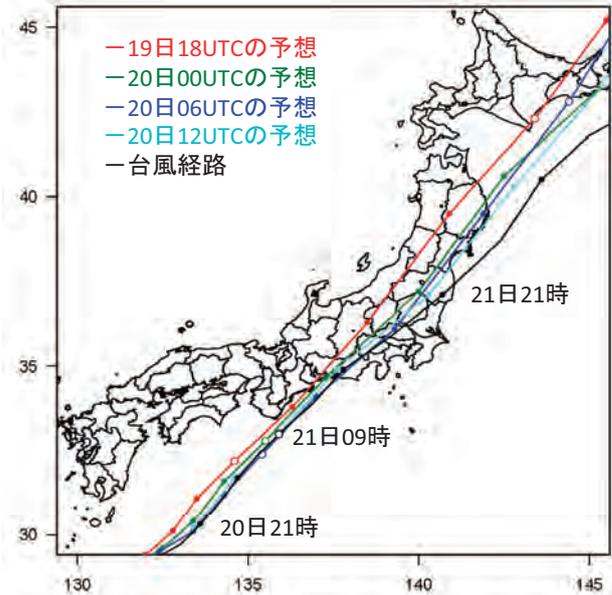


第3.3.4.8図 観測と最大風速ガイダンスの散布図
赤い×印は観測又は予測が15m/s以上の地点を表す。直線は観測=予測の理想直線, 破線は誤差±5m/sの範囲を示す。



第 3.3.4.9 図 最大風速ガイダンスの誤差と台風経路

強風地点の誤差をプロットしている。暖色系はガイダンスの予測が観測値よりも大きかった地点、寒色系はガイダンスの予測が観測値よりも小さかった地点を表す。台風経路には6時間ごとの台風の位置を点で示している。



第 3.3.4.10 図 GSM が予測した台風経路と台風経路

色分けしているのは GSM が予測した各初期時刻の台風経路、黒は解析された台風経路である。

る東海地方沿岸，関東南部では誤差が負となっている地点が多かった。これは GSM が予測した台風経路の初期時刻による違いによるものである。第 3.3.4.10 図は GSM が予測した台風経路と解析された台風経路の図である。GSM が予測した台風経路は，検証対象とした 19 日 18UTC 初期値が最も西を通り，初期値が新しくなるにつれて東寄りに変わっていった。しかし，実際には台風は GSM の予測より東寄りを進んだ。ガイダンスの誤差の分布はこれらの予測の違いを反映したものであった。ガイダンスは，数値予報モデルの台風の位置に応じて変化し，一般に初期時刻が新しい程精度が良い。今事例においては GSM が予測した台風経路の初期時刻による違いが小さかったため，ガイダンスでも最大風速が観測される 1 日前から観測に近い予測ができていた。

(5) まとめ

台風第 15 号の通過に伴う強風について最大風速ガイダンスの予測結果を検証した。

台風が通過した期間を対象とした検証（検証期

間 9 月 21 日 6 時から 9 月 22 日 6 時まで）では，風速 15m/s 以上の風の予測について，最大風速ガイダンスの平均誤差は +0.2m/s，RMSE は 4.4m/s であり，最大風速が観測される 1 日前からガイダンスが観測に近い風速を予測していた地点も多くあった。

これらの検証結果から，最大風速ガイダンスは数値予報モデルが台風の進路を精度よく予測している場合，強風についても実用的な予測ができることが示された。今後，数値予報モデルの予測精度が向上することにより最大風速ガイダンスの予測精度はさらに向上するものと期待できる。

参 考 文 献

- 井手和彦 (2007)：風ガイダンス，平成 19 年度数値予報研修テキスト，67-72.
- 木村陽一 (1998)：風ガイダンスの統計的特徴と風速補正，平成 10 年度量的予報研修テキスト，79-84.
- 松本逸平 (2003)：RSM 及び MSM 最大風速ガイダンス，平成 15 年度数値予報研修テキスト，43-46.

3.4 メソアンサンブルによる予測

3.4.1 新潟・福島豪雨のメソアンサンブル予報実験*

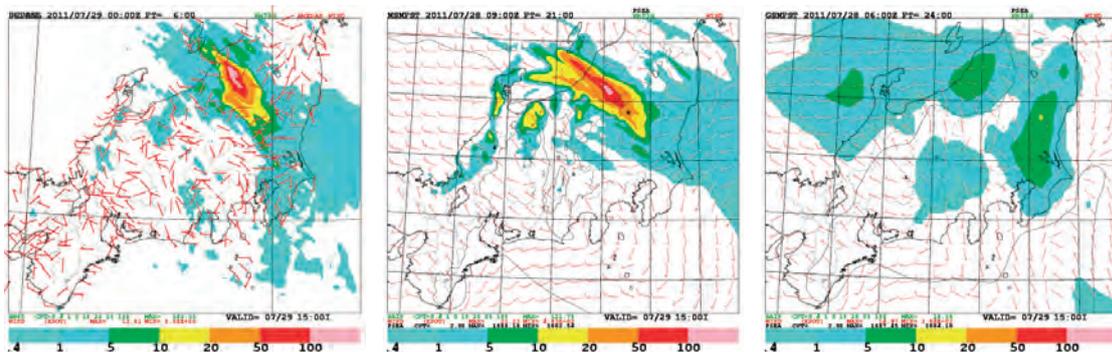
3.4.1.1 はじめに

高解像度化と力学フレーム・物理過程の高度化によって数値予報モデルの表現能力は近年大きく向上し、メソモデル（MSM）ではメソ対流系を含むメソβスケールの現象が予報対象になり始めている。非静力学4次元変分法など高度な同化手法の導入とGPS可降水量やレーダー反射率からの水蒸気量のリトリーブなど新規データ利用の進展により、モデルの初期条件も着実に改善されてきており、以前は予報が難しかった梅雨末期の集中豪雨がモデルで上手く予測されるケースも見られるようになってきている。中でも平成23年7月の新潟・福島豪雨は、現業数値予報システムで比較的予報が良かった例であり、その詳細は第3.3.1項に述べられている。その一方で、後述するように場所と時間を特定して予測することが非常に難しい豪雨のケースもある。予測可能性を分けるのは、地形や総観規模の収束などの強制の有無で、齊藤ほか（2011）が論じているように、アンサンブル予報はケースごとに変わる予測可能性の高低を定量的に提示するための有力な手段となりうる。ここでは、気象庁非静力学モデルを用いた新潟・福島豪雨のメソアンサンブル実験を解像度10kmと2kmで行った結果について報告する。

3.4.1.2 降雨の実況と現業モデルの予報

平成23年7月新潟・福島豪雨は、2011年7月27日から7月30日にかけて発生した集中豪雨で、新潟県では十日町市で121ミリの時間雨量を記録し、信濃川水系の河川の堤防が決壊して、三条市など、広範囲で浸水被害が発生するなど大きな洪水被害をもたらした。豪雨の総観場的状況や被害の状況については第2.1節に、発生要因については第3.1節に詳しく述べられている。明瞭な総観規模の停滞前線があり、前線に沿った狭い範囲に非常に強い雨が継続的に降ったことが特徴である（第3.1.3図参照）。

この豪雨についての当時のルーチンモデルの予報がどうであったかについては、第3.3.1項に詳しく述べられているが、全球モデル（GSM）に対して、MSMの予報が比較的良く、しかも異なる初期値でも傾向はほぼ同じだったのが大きな特徴である。第3.4.1.1図に2011年7月29日12-15時の降水量の実況（解析雨量）及びその時刻に対する28日09UTCを初期値とするMSMの21時間予報と28日06UTCを初期値とするGSMの24時間予報を示す。MSMの初期時刻がGSMより後で、予報時間が21時間と3時間短いことを差し引いても両者の表現力の差は歴然である。なおMSMは異なる初期値のほぼ全てにおいてほぼ一貫して強雨の集中を中越～福島県境に予測していた。筆者の知る限り、これまでの集中豪雨事例の



第3.4.1.1図 (左) 7月29日12-15時の降水量の実況 (中央) 28日09UTCを初期値とするMSMの21時間予報による前3時間雨量 (右) 28日06UTCを初期値とするGSMの24時間予報

* 気象研究所 齊藤 和雄・折口 征二、海洋研究開発機構 Le Duc、京都大学学際融合教育研究推進センター 小林 健一郎（現 神戸大学都市安全研究センター）

中で、このMSMの予報は、現業数値予報の予報として最も良い部類に属するものだった。この精度向上には、モデルと初期値の改善が大きく寄与していることは明らかだが、後で示すように予報可能性が比較的高かったケースであると言える。

ただし、MSMの予報が良いのはFT=24程度までであり、その後予報時間が延びるに従って、予報される降水が弱くなる傾向も見られた。第3.4.1.2図に示すのは、12時間後に当たる7月7月30日00-03時の降水量の実況とその時刻に対するMSMの33時間予報と28日06UTCを初期値とするGSMの36時間予報である。この時刻では、実況では新潟福島県境付近に極大値で145mmの強い降水が継続しているが、右上に示すMSMの予報では強い降水域は福島県中部の狭い線状域に限定されており、実況との対応も良くない。GSMの予報では陸上には強い降水域は見られず、実況で強い降水が見られた場所は無降水になっている。ここでは09UTC初期値の予報の結果を示したが、同様な傾向は他の初期値時刻からの予報でも見られた。予報時間がFT=24よりも先の場合のメソモデルの表現については、後の節で再度議論する。

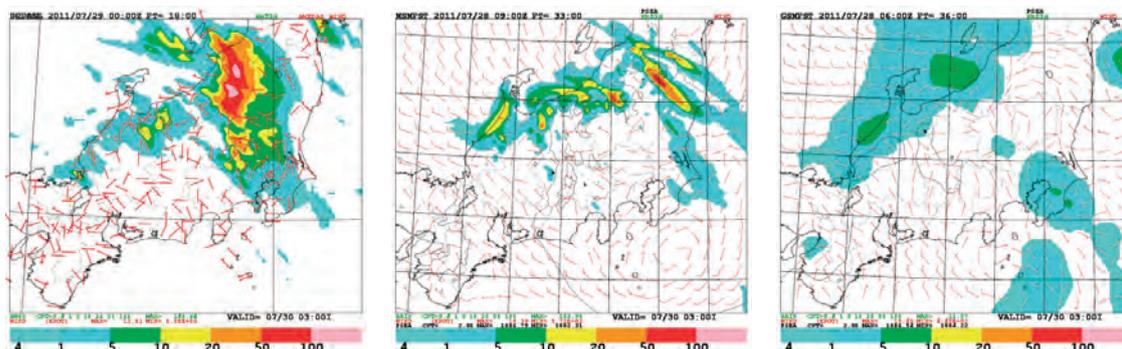
3.4.1.3 実験設定

平成23年7月新潟・福島豪雨を対象に、気象庁非静力学モデル(NHM; Saito, 2012)によるメソアンサンブル予報実験を行った。2011年7月28日12UTCを初期値とする11メンバー10km(50層)のメソアンサンブル30時間予報及びそ

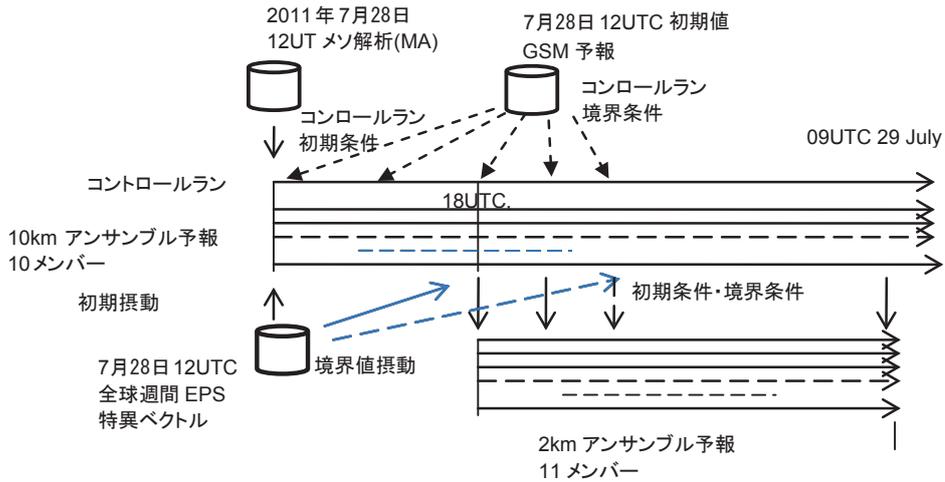
の2km(60層)雲解像モデルによるダウンスケールアンサンブル実験で、10kmモデルの領域はMSMと同じ3600km×2800km、2kmモデルの領域は中部日本を中心とする700km四方とした。この領域は平成24年8月から気象庁で運用が開始された局地モデルLFMの領域(1600km×1100km)より狭いが、第3.4.2項で述べられているのと同様にLFM領域を用いた場合と予報結果はほとんど変わらないことを確認している。10kmメソアンサンブルは7月28日12UTCの気象庁メソ解析と28日12UTCを初期値とする気象庁高解像度GSM予報から初期条件と境界条件を与える。アンサンブル予報の初期摂動と境界摂動は、気象庁週間アンサンブル予報システム(EPS)の摂動を用いた。北京オリンピック2008RDP実験でテストしたメソアンサンブル予報システム(Saito *et al.*, 2011; 2012a)の'WEP'や、著者らによるサイクロナルギスのアンサンブル実験(Saito *et al.*, 2010)に相当する。2kmアンサンブルは、10kmアンサンブルの6時間予報から初期値と境界値を与えた。第3.4.1.3図に実験の流れを示す。

3.4.1.4 10kmコントロール予報

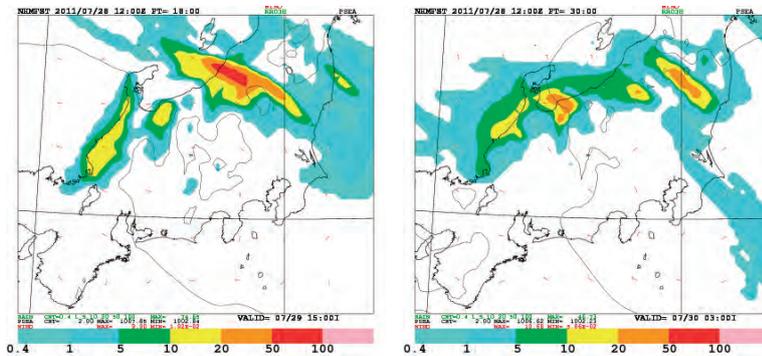
アンサンブル予報の結果を示す前に、7月28日12UTCのメソ解析を初期値とする10kmNHM予報の結果を第3.4.1.4図に示す。計算領域、初期値、境界値ともルーチンMSMと同じであるので、実験条件の違いは解像度の違いのみである。7月29日12-15時に対応する10kmNHMの18時間予報の前3時間雨量(左)は、極大値が74mm



第3.4.1.2図 (左) 7月30日00-03時の降水量の実況 (中央) 28日09UTC初期値とするMSMの33時間予報による前3時間雨量 (右) 28日06UTC初期値とするGSMの36時間予報



第 3.4.1.3 図 メソアンサンブル予報実験の流れ



第 3.4.1.4 図 (左) 7月29日 12-15 時の降水量に対応する 28 日 12UTC を初期値とする 10kmNHM の 18 時間予報による前 3 時間雨量 (右) 同じく 10kmNHM の 30 時間予報

と強度が少し弱めながら、同時刻に対するルーチン MSM の予報 (第 3.4.1.1 図中央, なお 12UTC 初期値の MSM の予報時間は 15 時間までであることに注意) に似て実況の降水の集中を良く表現している。

右は、7月30日 00-03 時の降水に対応する 10kmNHM の 30 時間予報で、同じ時間に対する第 3.4.1.2 図中央の MSM 予報と同様に強い降水がなくなる傾向が見られ、降水の極大は 46mm に留まっている。図は省略するが、この間、29日 15 時に新潟福島県境に見られる強雨域は弱まりながら南東に移動し 30 日 0 時には一旦関東に到達している。

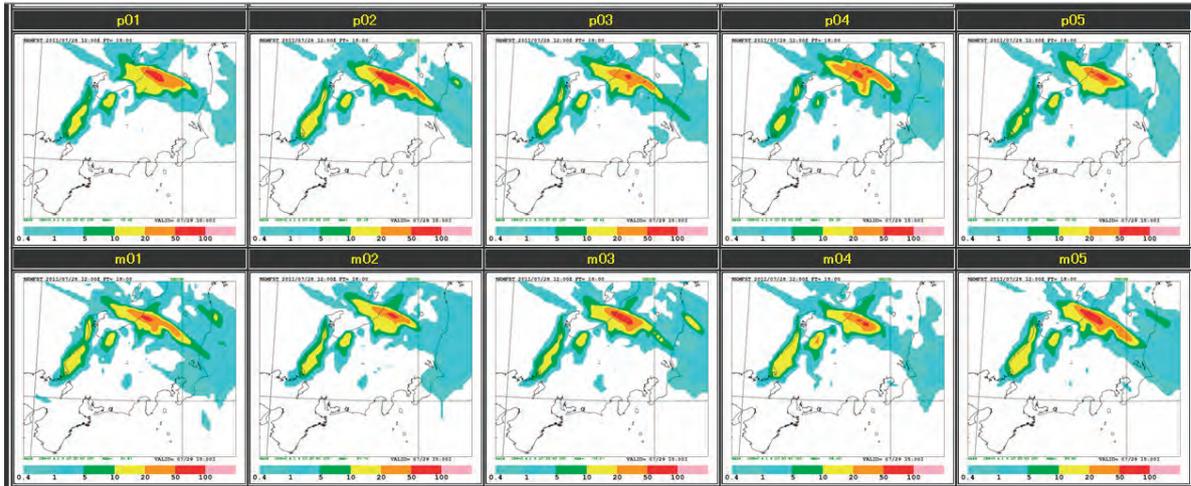
3.4.1.5 10km アンサンブル予報

7月28日 12UTC を初期値とする 10km メソア

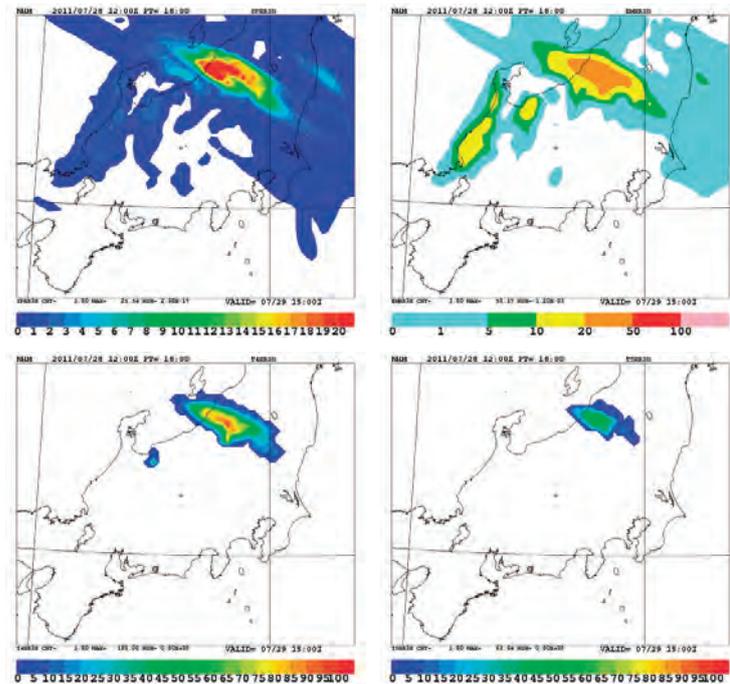
ンサンブルによる各メンバーの前 3 時間雨量の予報を第 3.4.1.5 図に示す。各メンバーの予報はどれも比較的良く似ている。降水量の極大が一番大きかったのはメンバー p02 による 89mm であった。

第 3.4.1.6 図の上段は、コントロールを含む 11 メンバーに対する降水量のアンサンブルスプレッドとアンサンブル平均である。アンサンブル平均の降水分布は、強雨域での降水量が減っているものの一見してコントロールランのそれと大きく変わらず、またアンサンブルスプレッドの大きな場所は強雨域に限られている。このことは、各メンバーにおいて、降水量に違いはあるものの、降水の場所はどのメンバーでもほぼ同じ位置に予想されていることを意味している。

第 3.4.1.6 図の下段には、このメソアンサンブ



第 3.4.1.5 図 第 3.4.1.4 図に対応する 28 日 12UTC を初期値とする 10kmNHM メソアンサンプル 18 時間予報による前 3 時間雨量
 上段は正摂動 (p01 ~ p05), 下段は負摂動 (m01 ~ m05) の結果を示す。



第 3.4.1.6 図 (左上) 10kmNHM メソアンサンプル 18 時間予報による 7 月 29 日 15 時の前 3 時間雨量のアンサンブルスプレッド (右上) 同じくアンサンブル平均 (左下) 20mm/3 時間のしきい値以上の雨が降る確率 (右下) 同じくしきい値 50mm/3 時間の場合

ルによって、あるしきい値以上の雨がもたらされる確率の分布図を示す。左下の図は 20mm/3 時間、右下は 50mm/3 時間の確率である。20mm のしきい値で最大 90%、50mm のしきい値でも 40% 程の高い確率で予測が来ている。即ち、新潟福島豪雨は 10km 解像度のアンサンブル予報でも予測

が可能だった例であると言える。総観規模強制が弱かった 2008 年 8 月 5 日の首都圏局地的大雨では、10km アンサンブル予報は、20mm/3 時間を超える強い雨を殆ど予測できなかった (Saito et al., 2012b)。この 2 つの事例は非常に対照的であり、この新潟・福島豪雨は、予測可能性が比較的

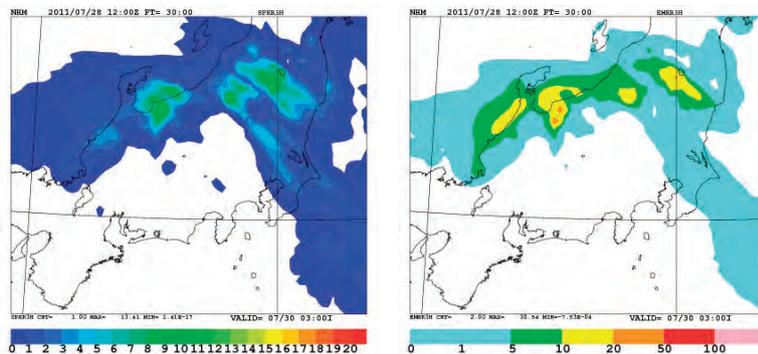
高いケースであったことを示唆している。このことは、ルーチンの気象庁MSMが異なる初期値でも降水の集中を良く予報していた事実と整合的である。

コントロールランに見られた予報時間が延びた場合の予報の劣化の傾向は、アンサンブル予報でも見られた。第3.4.1.7図は、10kmアンサンブル30時間予報による7月30日00-03時の降水スプレッドとアンサンブル平均で、第3.4.1.4図右に対応する。アンサンブル平均では20mm/3時間を超える強い雨が殆ど見られなくなっており、降水確率(図略)でも50mm/3時間を超える確率は殆ど見られなくなっている。注目すべきこととして、石川県の日本海沿岸に見られる降水域で、予報期間中ほぼ全てのメンバーで10mm/3時間を超える降水が継続して予報されている。実況には対応するはっきりとした降水は見られない。Kain-Fritsch積雲パラメタリゼーションではこのような海岸線に沿った降水域が出現することが知られており、

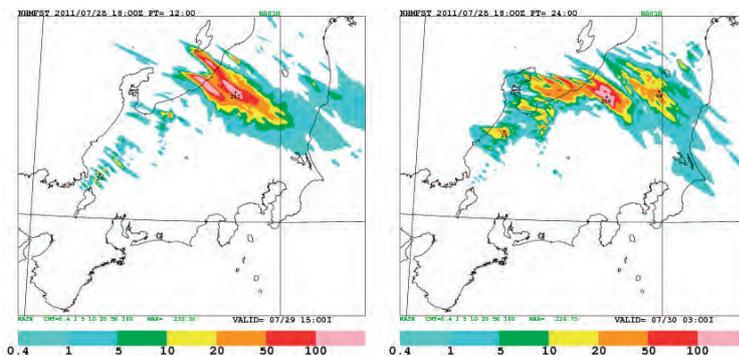
ここで見られる降水も同じものと考えられる。

3.4.1.6 2kmコントロール予報

10kmモデルの6時間予報を初期値に、以後の10kmモデルの予報を境界値に用いたダウンスケール予報について、まずコントロール予報の結果を示す。第3.4.1.8図は、7月29日12-15時と7月30日0-3時の2kmNHMによる降水量で、第3.4.1.4図に対応する。12時間予報にあたる、7月29日12-15時で強い雨の集中がシャープに表現されており、降水量の極大は237mmに達している。10kmモデル予報と大きく異なる点として、石川県の海岸線に見られた降水域がないことが挙げられる。これらは、積雲対流パラメタリゼーションを用いないことによる。予報時間が延びた30日3時では、10kmモデルとの違いは歴然で、この時間でも50mmを超える強い雨域が中越に予報されており、降水量の極大も236mmと殆ど変わっていない。



第3.4.1.7図 10kmNHM メソアンサンブル30時間予報による7月30日03時の前3時間雨量のアンサンブルスプレッド(左)とアンサンブル平均(右)



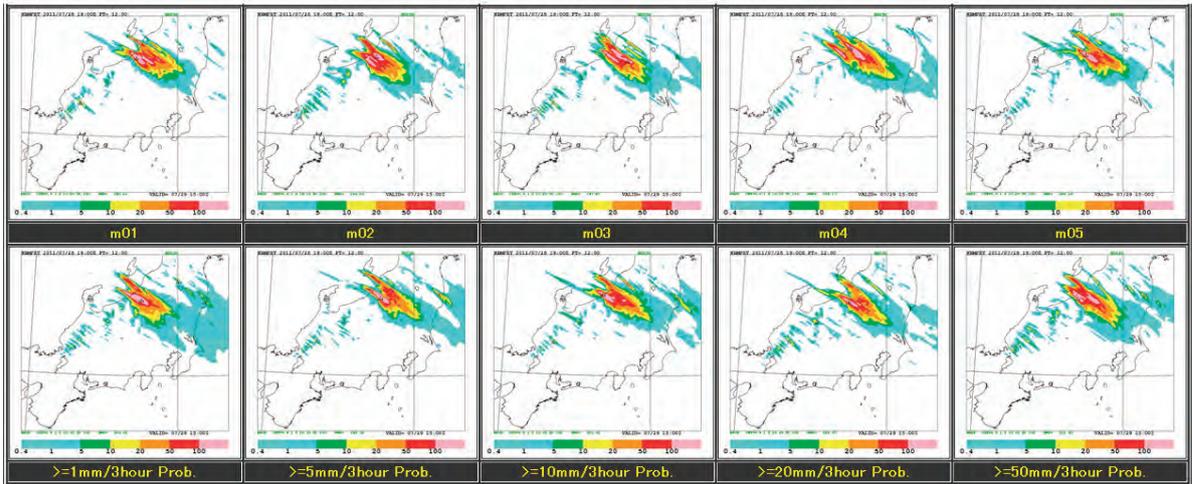
第3.4.1.8図 (左) 7月29日12-15時の降水量に対応する28日18UTC初期値とする2mNHMの12時間予報による前3時間雨量 (右) 同じく2kmNHMの24時間予報

3.4.1.7 2km アンサンブル予報

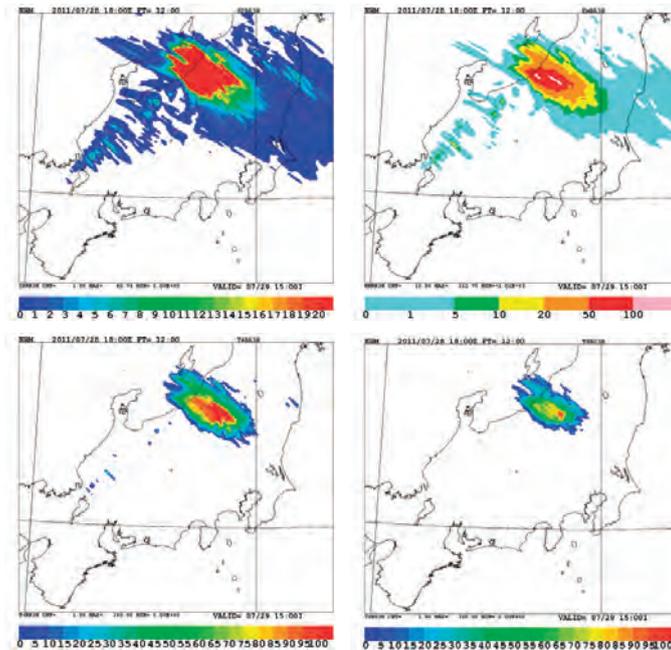
7月29日12-15時の降水量に対応する2kmアンサンブルによる各メンバーの前3時間雨量の予報を第3.4.1.9図に示す。ほぼ全てのメンバーで、新潟福島県境の同じような場所で強雨を予測している。総観規模強制が弱かった2008年8月5日の局地的大雨の雲解像アンサンブル予報（斉藤は

か、2011）では、降水セルがメンバーごとに異なる場所に予想されたのと対照的である。後述するように各メンバーの雨量には開きがあり、この前3時間雨量の極大はメンバー m02 による 294mm で、p02, m04 を除くメンバーで極大が 200mm を超えている。

第3.4.1.10図の上段は、コントロールを含む11



第3.4.1.9図 第3.4.1.8図（左）に対応する28日18UTC初期値とする2kmNHM雲解像アンサンブル12時間予報による前3時間雨量
上段は正摂動（p01～p05）、下段は負摂動（m01～m05）の結果。



第3.4.1.10図（左上）2kmNHMメソアンサンブル12時間予報による7月29日15時の前3時間雨量のアンサンブルスプレッド（右上）同じくアンサンブル平均（左下）しきい値以上の雨が降る確率で20mm/3時間の場合（右下）同じく50mm/3時間の場合

メンバーに対する降水量のアンサンブルスプレッドとアンサンブル平均である。アンサンブル平均でも100mmを超える降水が表現されている。アンサンブルスプレッドの大きな場所は強雨域に対応しており、降水の場所が各メンバーでおおむね同じ位置であることを示唆している。

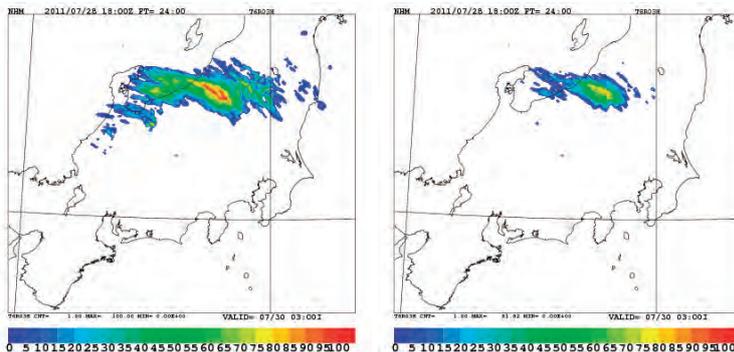
第3.4.1.10図の下段に示す強雨の確率分布図では、20mmのしきい値で100%、50mmのしきい値でも最大90%程の高い確率で予測が来ている。

コントロールランで見られた予報時間が延びても2kmモデルが降水の継続的な集中を表現する特徴は、アンサンブル予報にも反映されている。第3.4.1.11図は、7月30日00-03時の降水量に対する確率分布で、引き続き高い確率で強雨の発生が予測されている。10kmモデルではこの時間の強雨の継続は、アンサンブル予報でも予測されな

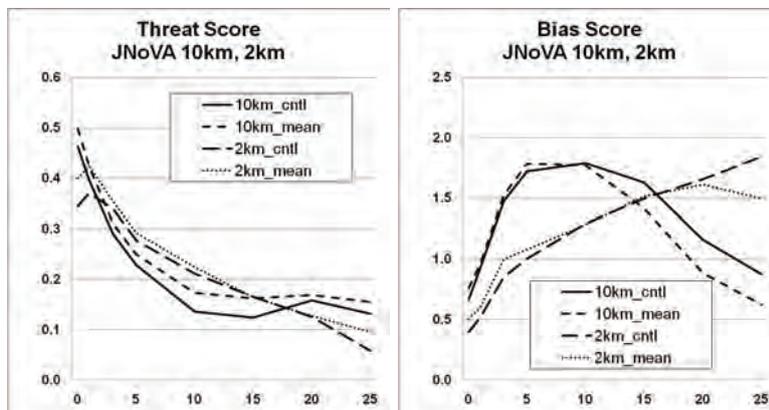
かった。10kmと2kmのアンサンブル予報での摂動は同じであるので、予報時間が延びた場合の10kmモデルとの差は、地形の表現を含むモデル性能の差によると考えることができる。

3.4.1.8 降水検証

アンサンブル平均とコントロール予報の降水予測精度について、気象庁解析雨量との比較による検証を行った。検証領域は、ほぼモデル領域をカバーする本州中部域で、解析雨量とモデル雨量を格子サイズ5kmの検証格子内で平均した。第3.4.1.12図は10kmモデルの予報結果が比較的良かった2011年7月29日6時から18時の12時間における10km予報と2km予報の3時間雨量スレットスコアとバイアススコアを示す。平均の取り方は、10km予報に対しては、FT=9,12,15,18,21の各時間、2km予報に対しては、FT=3,6,9,12,15



第3.4.1.11図 第3.4.1.10図の下段に対応する、7月30日3時の前3時間雨量におけるしきい値以上の雨が降る確率の分布図(20mm(左)と50mm(右))



第3.4.1.12図 2011年7月29日6時から18時の12時間における10km予報と2km予報の3時間雨量スレットスコア(左)とバイアススコア(右)

の各時間、のそれぞれ5回の予報時間について4分割表の数字の和をとることにより行った。

スレットスコア（左）では2kmコントロール予報のスコアはしきい値3-15mmの主要な領域で、10km予報のスコアを大きく上回っており、バイアススコア（右）も1に近い。しきい値0.1mmでは、2kmモデルのバイアスは0.5以下と小さく、予報の過少がスレットスコアの低下につながっている。意外に感じられるのは、一見表現が良い20mm以上の強雨に対して2kmモデルのスレットスコアが10kmモデルよりも低くなっていることである。20mm以上のしきい値に対して2kmモデルの降水は過剰になっていることと、予報と実況に位置ずれが存在することが、予報の空振りを増やしスレットスコアの低下につながったと考えられる。強い雨ほどバイアスが過剰になる2kmモデルのこの結果は、2008年8月5日のケースや2010年夏季を対象とする雲解像アンサンブル予報の統計検証（Duc *et al.*, 2012）でもみられており、2kmという解像度が、対流システムに伴う層状性降雨を表現するにはまだ十分ではないことを示唆している。

アンサンブル平均のスレットスコアは、1mm-15mmのしきい値においてコントロールランを改善している。通常、降水についてアンサンブル平均をとると、弱い雨域が広がる一方で強い降水が見られなくなり、バイアススコアが弱雨で過多、強雨で過小に歪むことが知られているが、予測可能性が高く各メンバーの降水位置がそれほど違わないこのケースでは、バイアススコアの傾向も弱雨側でスコアがやや大きくなるだけで極端な違いは見られない。これも2008年8月のケースと非常に大きな違いである。特に2kmアンサンブルの場合、上記はコントロールランのバイアス傾向を緩和する方向に働いている。

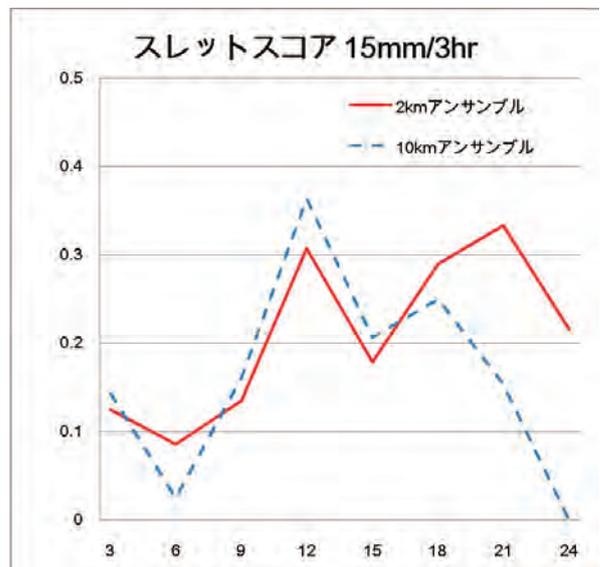
予報時間が延びた場合、10kmモデルの予報精度が低下することについて、第3.4.1.5目で述べたが、第3.4.1.13図に7月29日6時から7月30日3時までの10kmと2kmのアンサンブル平均予報の3時間15mmのしきい値雨量に対するスレットスコアの時間変化を示す。10kmアンサンブルでは、予報時間がFT=24までは2kmアンサ

ンプルと遜色ないが、その後雨域が南東に移動してしまい、スコアを急に落としている。

第3.4.1.12図に示したスレットスコアでは、見た目の印象に反して、2km高解像度予報の強雨に対するスコアは、10km予報に対して明瞭な優位を示せなかった。これは、5kmという小さなサイズの検証格子を用いたことにより、高解像度予報における僅かな位置ずれが、予報の見逃し空振りの両方をカウントすることにより、スレットスコアを低下させてしまうというダブルペナルティの問題として知られている。このような問題に対処するための検証手法として、位置ずれを許容するFraction Skill Score（FSS；Roberts and Lean, 2008）が提案されている。FSSは、次式で定義される。

$$FSS = 1 - \frac{MSE}{MSE_{ref}}$$

ここでMSEは、位置ずれを許容する矩形内における観測頻度と予測頻度の平均二乗誤差で、添え字refのついたものは参照値としての観測頻度と予測頻度の二乗和の平均値で、FSSは完全予報では1に、無意味な予報では0になる。Ebert



第3.4.1.13図 2011年7月29日6時から7月30日3時までの10kmと2kmのアンサンブル平均予報の3時間15mmのしきい値雨量に対するスレットスコアの時間変化

横軸は2kmアンサンブルの予報時間で、10kmアンサンブルでは6を加えた数が予報時間になる。

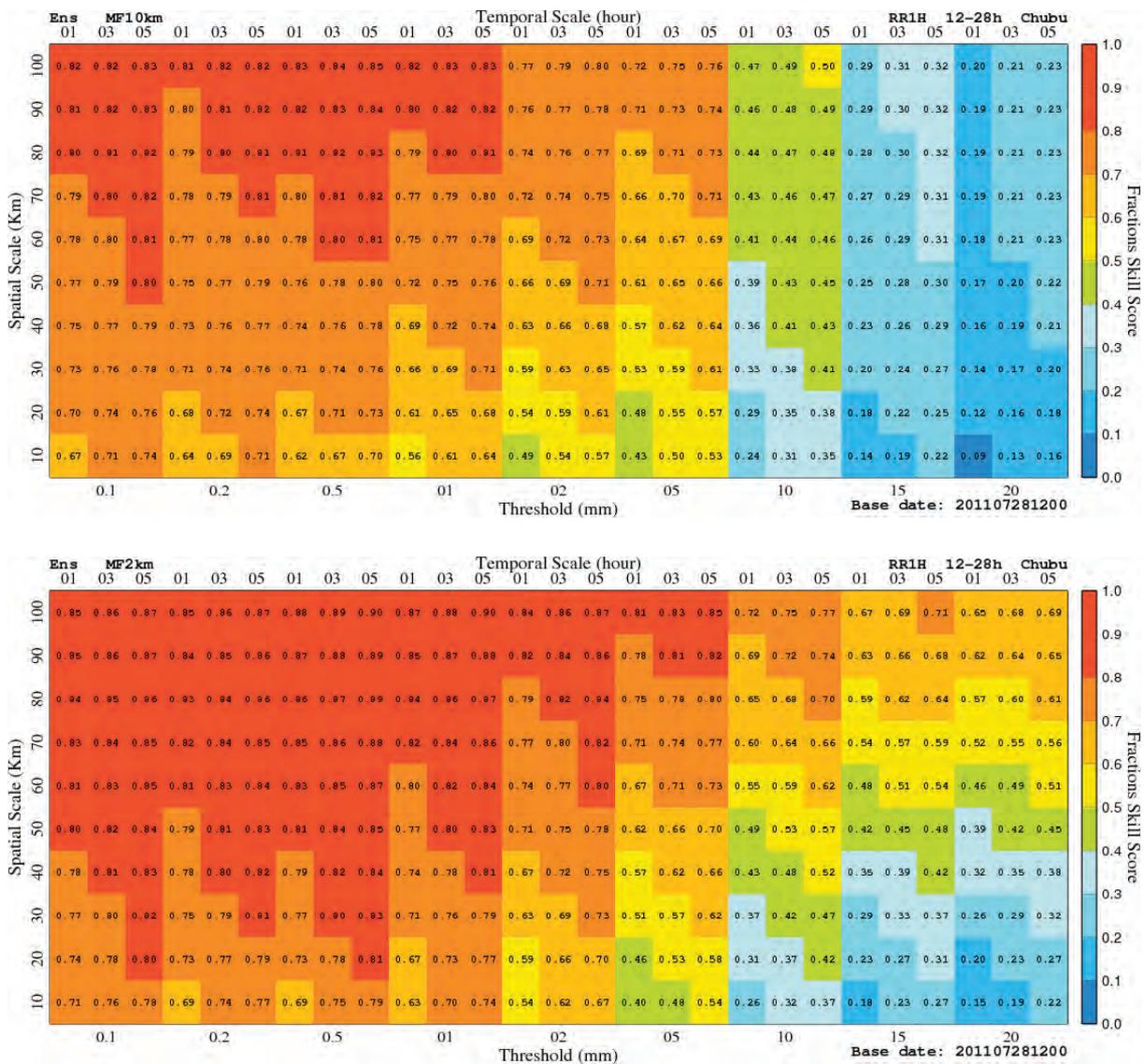
(2008) は、降水検証において、空間スケールと降水強度に対するダイアグラムを提案している。

Duc *et al.* (2012) は、2010年夏季を対象に気象研究所が行った10kmと2kmのアンサンブル予報の検証において、FSSを時間方向にも拡張して計算し、2kmアンサンブル予報の強い雨予測に対する優位性を示している。第3.4.1.14図に同様の手法による新潟・福島豪雨のケースに対する10kmアンサンブル予報と2kmアンサンブル予報の1時間降水量についてのFSSを示す。ほぼす

べての雨量強度に対して2kmアンサンブル予報の優位性は明らかで、特に15mm/時間以上の強雨に対し、差が際立っている。

3.4.1.9 予測可能性への地形の影響

今回の平成23年新潟・福島豪雨のケースでは、初期時刻の異なるルーチン予報や、10kmと2kmのアンサンブル予報において、どのメンバーでも強雨が予測されていた。前線に沿って発生した豪雨であり、総観場の下層収束が、予測可能性を高



第3.4.1.14図 (上) 10kmアンサンブル予報のFT=12-28の1時間降水強度に対するFraction Skill Score (下) 同じく2kmアンサンブル予報の場合

横軸は雨量強度で、前後1時間若しくは2時間の時間ずれを許容した場合の時間スケールを上横軸に示す。縦軸は格子ずれを許容した場合の水平スケール。

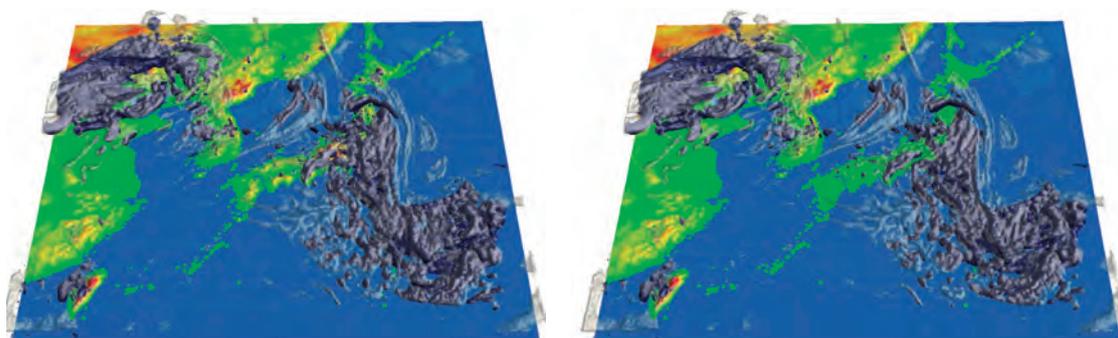
めたことは明らかなが、地形の存在が予測可能性に影響を与えていた可能性がある。佐渡の存在については、豪雨の発生にはほとんど影響しないことが前節で報告されている。ここでは日本の地形を海陸分布のみにして山の高度をゼロにした場合の比較実験を行った。

第3.4.1.15図は、日本の山無し実験における10kmコントロールランのFT=18における計算領域雲の分布を示す。このスケールで見ると、両者に差は見られず、日本の山の有無は総観規模の気象場の短時間予報には影響しないことが分かる。

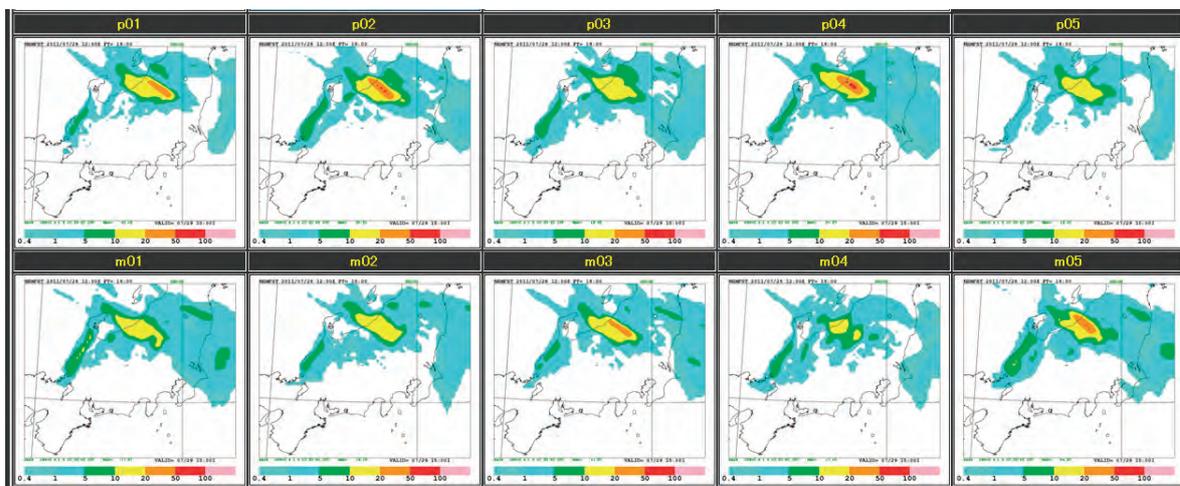
しかしながらこの時間のアンサンブル予報の各メンバーの降水の予測（第3.4.1.16図）ではライン状の降水が弱くなるとともに、各メンバーの予報に大きな違いがあり、山あり実験（第3.4.1.5図）

との差が明白である。第3.4.17図上は、アンサンブルスプレッドとアンサンブル平均である。山あり実験（第3.4.1.6図）の結果に比べ、降水の集中度が弱まり、スプレッドがより広い範囲に広がっている。しきい値20mm/3時間の降水がある確率は最大でも30%程度に低下し、50mm/3時間の確率はほとんど見られなくなっている。すなわち、新潟・福島豪雨は、10kmモデルでも高い確率で強い降水の出現の可能性を表現できたが、地形の存在が降水位置の特定に寄与していたことが分かる。予報時間を30時間まで伸ばした場合（第3.4.1.18図）、降水域は南東に流れてしまい、新潟付近の降水の集中はもはや見られなくなっている。

地形強制がない場合の予測可能性の低下は、当然ながら2kmダウンスケールアンサンブル（第



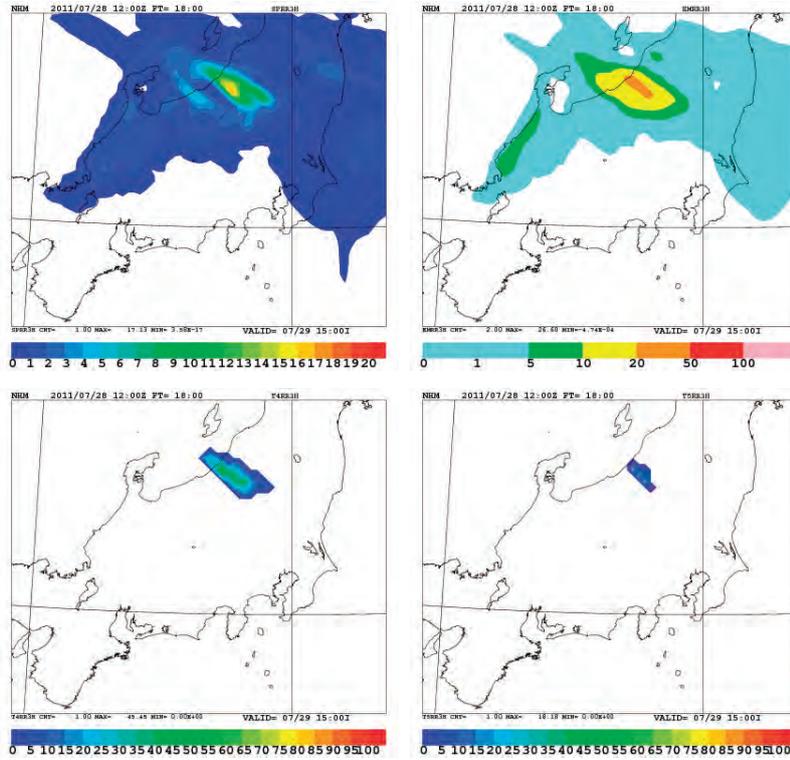
第3.4.1.15図 山あり実験（左）と山なし実験（右）における7月29日15時の10kmNHMによる雲域（FT=18）



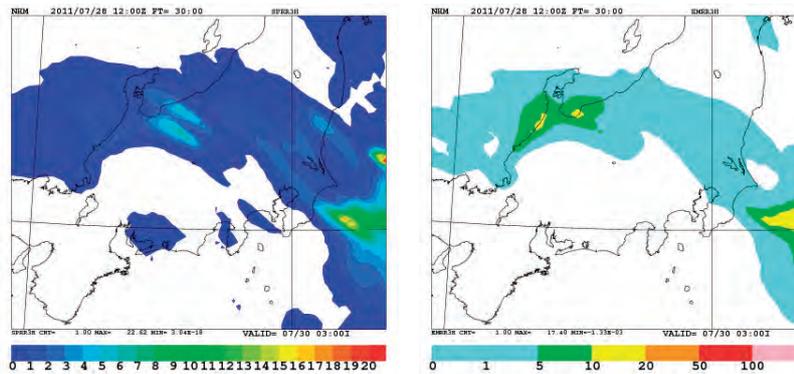
第3.4.1.16図 第3.4.1.5図に対応する28日12UTC初期値とする10kmNHMメソアンサンブル18時間予報による前3時間雨量（山なし実験の場合）

3.4.1.19 図)でも明瞭で、山あり実験(第3.4.1.10 図)に比べ、スプレッドが広がり、アンサンブル

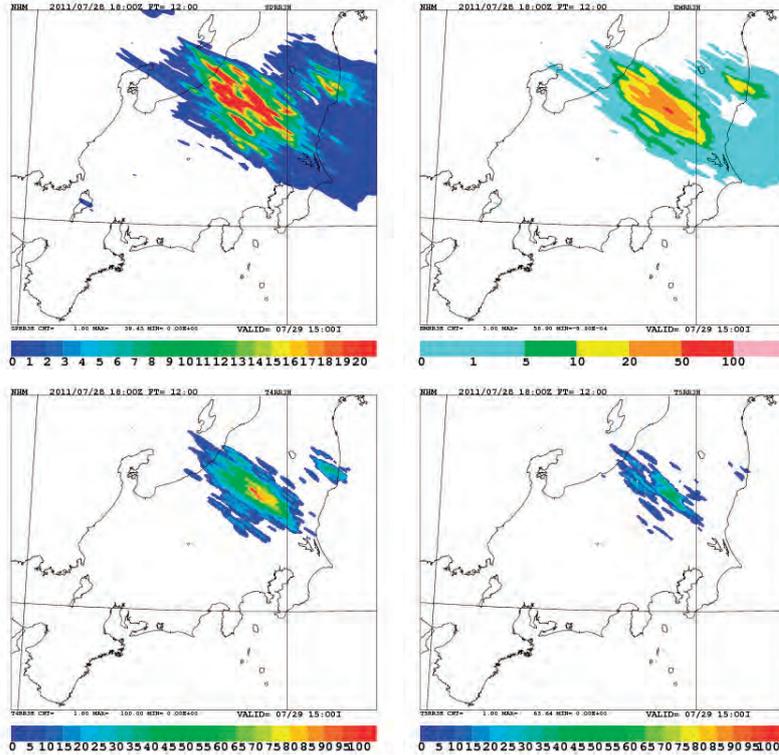
平均の極大が小さくなり、強雨確率予測も大きく低下している。



第3.4.1.17 図 第3.4.1.6 図と同じ(山なし実験の場合)



第3.4.1.18 図 第3.4.1.7 図と同じ(山なし実験の場合)



第3.4.1.19図 第3.4.1.10図と同じ（山なし実験の場合）

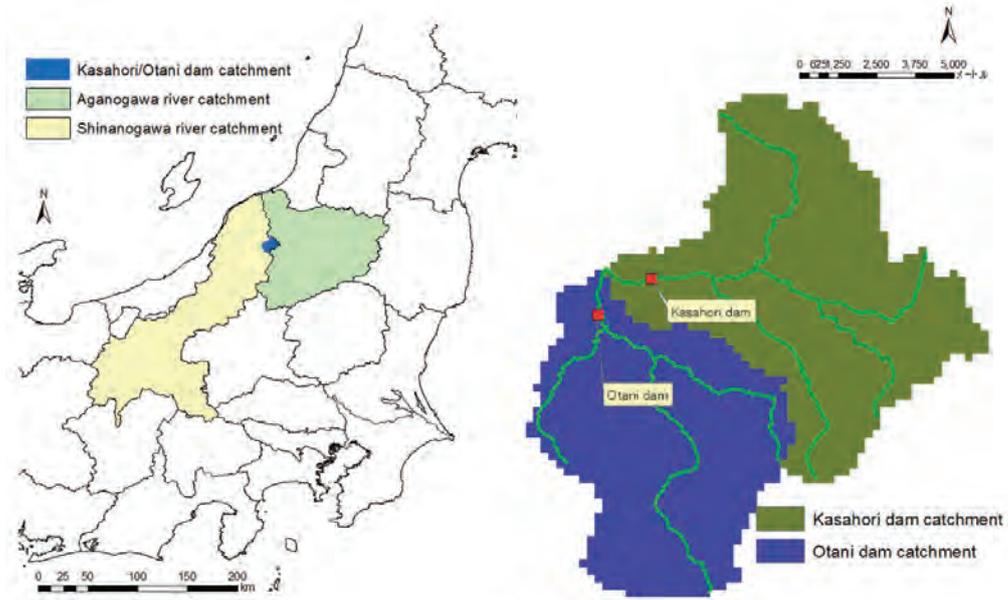
3.4.1.10 流出モデルへの応用

アンサンブル予報による降水予測の信頼度情報は、リスクマネジメントに有効で今後さまざまな応用が考えられる。Kobayashi *et al.* (2012) は、本報告で行われた2km アンサンブル予報による降水予測を入力とした、流出モデルによるダム流入量の評価を行っている。対象となったのは、第3.4.1.20図に示す新潟県信濃川と阿賀野川の集水域の境界に位置する笠堀ダムと大谷ダムの集水域である。ここでは特に、笠堀ダム流域について示す。集水域面積は72.7km²で、8.5km四方に相当する比較的狭い領域である。通常、このような狭い領域の降水量を数値モデルで正確に見積もるのは大変難しい。気象庁の土壌雨量指数や流出雨量指数では解析雨量を入力と、予想においては降水短時間予報とMSM ガイダンスを入力として用いている（斉藤・牧原，2007）。

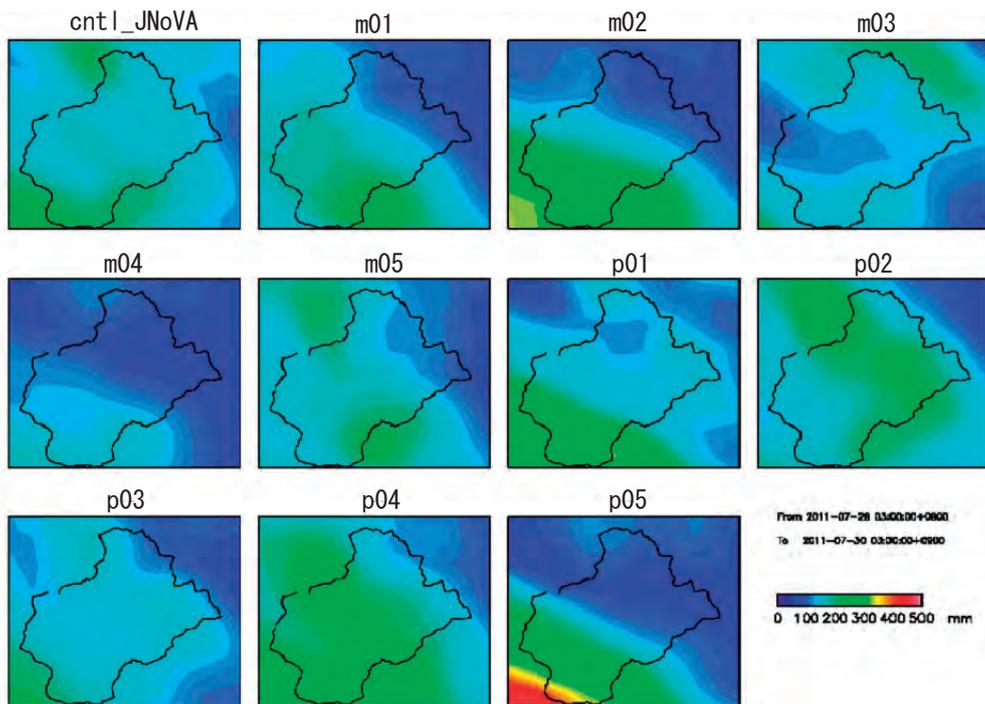
第3.4.1.21図は両ダム集水域における2km アンサンブル予報各メンバーの積算降水量を示す。第3.4.1.7目において、2km アンサンブル予報の各メンバーの予報は良く似ていると述べたが、この

スケールで見ると、各メンバーの降水量は大きく異なっている。降水量が多いのはメンバー p02 と p04、降水量が最も少ないのはメンバー m04 による予報である。

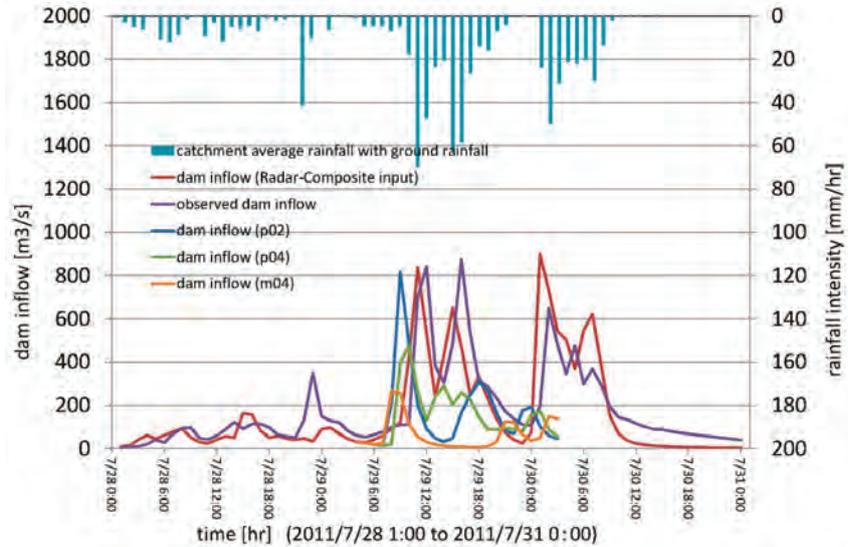
第3.4.1.22図の折れ線グラフは、観測された笠堀ダム流入量、解析雨量とこれら3つのメンバーによる降水量を入力とした場合の流出モデルによる笠堀ダムへの流入量の時間変化である。図に棒グラフで示すのは、地上の雨量計観測に基づく集水域での平均降水量（単位は右軸）である。p02 と p04 の予報を入力に用いた結果は、実況よりもややタイミングが早いものの、7月29日午前中と午後に見られた降水の強まりに応じた流入の二つのピークの傾向をおおむねよく表現している。このレベルで見た時、今回示した雲解像アンサンブル予報の定量的な降水予測の精度はまだ必ずしも十分とは言えないが、今後精度を上げることによって、事前放流の調節によるダム貯水量のコントロールなど、災害の軽減や貯水量の有効利用などにつなげることが出来る可能性を示している。



第3.4.1.20図 (左) 信濃川と阿賀野川の集水域 (右) 笠堀ダムと大谷ダムの集水域
Kobayashi *et al.* (2013) より.



第3.4.1.21図 笠堀ダムと大谷ダムの集水域における2kmアンサンブル予報各メンバーの積算降水量
Kobayashi *et al.* (2013) より.



第 3.4.1.22 図 笠堀ダムの集水域における 2km アンサンブル予報メンバー (p02, p04, m04) による ダム流入量の時間変化 (左軸) と地上観測に基づく集水域での平均降水量 (右軸) Kobayashi *et al.* (2013) より。

3.4.1.11 まとめ

平成 23 年新潟福島豪雨のアンサンブル予報を水平解像度 10km のメソモデルと 2km の雲解像モデルで行った。強制の弱い対流性セルによる局地的な大雨だった 2008 年 8 月 5 日のケースと違って、10km メソアンサンブルでも強雨を高い確率で予測出来た。各アンサンブルメンバーの結果は比較的良好に似ており、10km メソモデル単独予報でも予測が可能なケースであった。総観規模の下層収束に伴う降水であることが、予測可能性を高めていたと言える。2km 雲解像アンサンブルでは、50mm の強雨の出現を高い確率で予測した。

バイアススコアでは 2km モデルの予報は強雨で過剰で、解像度がまだ十分とは言えない可能性が示唆された。スレットスコアは 2km 予報が 3mm-15mm の広いしきい値の領域で 10km 予報を上回ったが、20mm 以上の強雨に対しては 2km 予報の優位性を示すには位置ずれを考慮する検証を行う必要があった。予報時間が伸びた場合、積雲対流をパラメタライズしている 10km モデルの予報では強雨の継続的な集中を維持できなかったが、2km アンサンブルでは、予報期間中強雨の発

生を比較的高い確率で予報できた。このことは、雲解像モデルは短時間予報のみならず、翌日予報などにも威力を発揮する可能性があることを示唆している。

地形の有無による感度実験を行い、山がない場合、10km と 2km の両実験で強雨の予報可能性が低下することを確認した。

平成 23 年新潟福島豪雨は、メソモデル単独予報でもある程度予測が可能なケースだったと言えるが、アンサンブル予報は予報の信頼度を見える形で表現してくれるという点で極めて有用である (Duc *et al.*, 2013)。洪水予測の確率的な予測やそれをを用いたダム管理など、高解像度アンサンブル予報は、今後さまざまな応用が考えられるが、そのためには、予測精度をさらに高めていく必要がある。

謝 辞

アンサンブル予報の実行と検証に関して、気象研究所の国井勝研究官、瀬古弘主任研究官の助力を頂きました。ここに感謝します。

参 考 文 献

- Duc, L., K. Saito and H. Seko (2013) : Spatial-temporal fractions verification for high resolution ensemble Tellus. (conditionally accepted)
- Ebert, E. (2008) : Fuzzy verification of high resolution gridded forecasts: A review and proposed framework. Meteor. Appl., 15, 51-64.
- Kobayashi, K., S. Otsuka, Apip, K. Takara and K. Saito (2013) : An Ensemble flood forecasting for a Japanese small dam catchment with high resolution numerical ensemble rainfalls. (manuscript in preparation)
- Roberts, N. M., and H. W. Lean (2008) : Scale-selective verification of rainfall accumulations from high-resolution forecasts of convective events. Mon. Wea. Rev., 136, 78-97.
- 斉藤和雄・牧原康隆 (2007) : 降水現象の予報高度化の技術. 天気, 54, 622-631.
- Saito, K., T. Kuroda, M. Kunii and N. Kohno (2010) : Numerical Simulations of Myanmar Cyclone Nargis and the Associated Storm Surge. Part 2: Ensemble prediction. J. Meteor. Soc. Japan. 88, 547-570.
- Saito, K., M. Hara, M. Kunii, H. Seko and M. Yamaguchi (2011) : Comparison of initial perturbation methods for the mesoscale ensemble prediction system of the Meteorological Research Institute for the WWRP Beijing 2008 Olympics Research and Development Project (B08RDP) . Tellus, 63A, 445-467.
- 斉藤和雄・折口征二・小司禎教・瀬古弘・LeDuc (2011) : アンサンブル予報に見られる集中豪雨/局地的大雨の予測可能性について. 第13回非静力学モデルに関するワークショップ講演予稿集, 17-18.
- Saito, K. (2012) : The Japan Meteorological Agency nonhydrostatic model and its application to operation and research. InTech, Atmospheric Model Applications, 85-110. doi: 10.5772/35368.
- Saito, K., H. Seko, M. Kunii and T. Miyoshi (2012a) : Effect of lateral boundary perturbations on the breeding method and the local ensemble transform Kalman filter for mesoscale ensemble prediction. Tellus. 64,

doi:10.3402/tellusa.v64i0.11594.

- Saito, K., Y. Shoji, S. Origuchi, L. Duc and H. Seko (2012b) : GPS TPW Assimilation with the JMA Nonhydrostatic 4DVAR and Cloud Resolving Ensemble Forecast for the 2008 August Tokyo Metropolitan Area Local Heavy Rainfalls. CAS/JSC WGNE Res. Act. Atmos. Ocea. Model., 42, 01.19-01.20.

3.4.2 台風第12号のメソアンサンブル予報実験*

3.4.2.1 はじめに

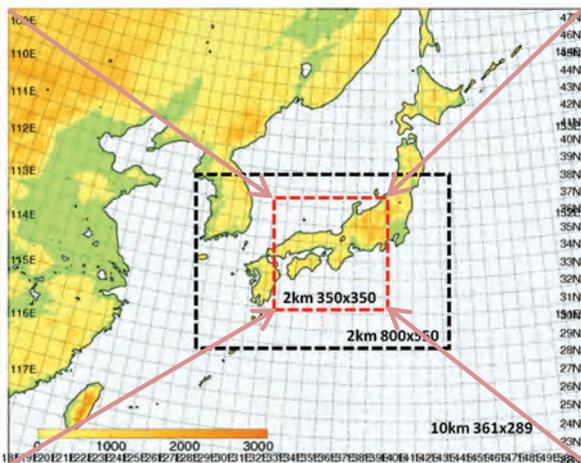
2011年の台風第12号は、9月3日10時頃に高知県東部へ上陸した後、四国地方から中国地方を縦断し4日に日本海へ進んだ。西日本を中心に広い範囲で記録的な大雨となり、特に近畿南東部、四国東部、山陰、東海では土砂災害等による被害は甚大で、死者78名・行方不明者16名(消防庁調べ、12月15日18時時点)となった。当時のルーチンのMSMでは、台風の進路予想は実況に比べて速く北進し、降水量予想は過少であった。この台風は社会的に非常に大きな影響を与えていることもあり、メソアンサンブル予報による予測可能性について調査を行った。

3.4.2.2 数値モデルと予報実験の概要

気象庁非静力学モデル(JMANHM)を用いて、8月31日から9月4日までのそれぞれ21時を初期時刻とする5初期値のアンサンブル予報実験を行った。まず、それぞれの初期時刻に対して解像度10km・格子数361×289・メンバー数11のアンサンブル予報を36時間実行して、その後、解像度2km・格子数350×350・メンバー数11のダウンスケール予報を30時間実行した(第3.4.2.1図、第3.4.2.2図参照)。10kmアンサンブル予報のコントロールランの初期場は解像度5kmの気象庁メソ解析(JMA Nonhydrostatic Variational Assimilation; JNoVA)から作成し、初期摂動・境界摂動は気象庁週間アンサンブル予報(RSMC東京責任領域P面データ)を用いて与えた。2km

* 気象研究所 折口 征二・斉藤 和雄, 京都大学学際融合教育研究推進センター 小林 健一郎(現 神戸大学都市安全研究センター)

アンサンブル予報は、10 kmアンサンブル予報の6時間予報値を初期値とするダウンスケール予報である。雲・積雲対流に関する物理過程の基本的な設定について、10 kmアンサンブル予報は雲物理過程と Kain-Fritsch 積雲対流スキームを併用し、2 kmアンサンブル予報は single-moment bulk 法雲物理過程のみを使用した。



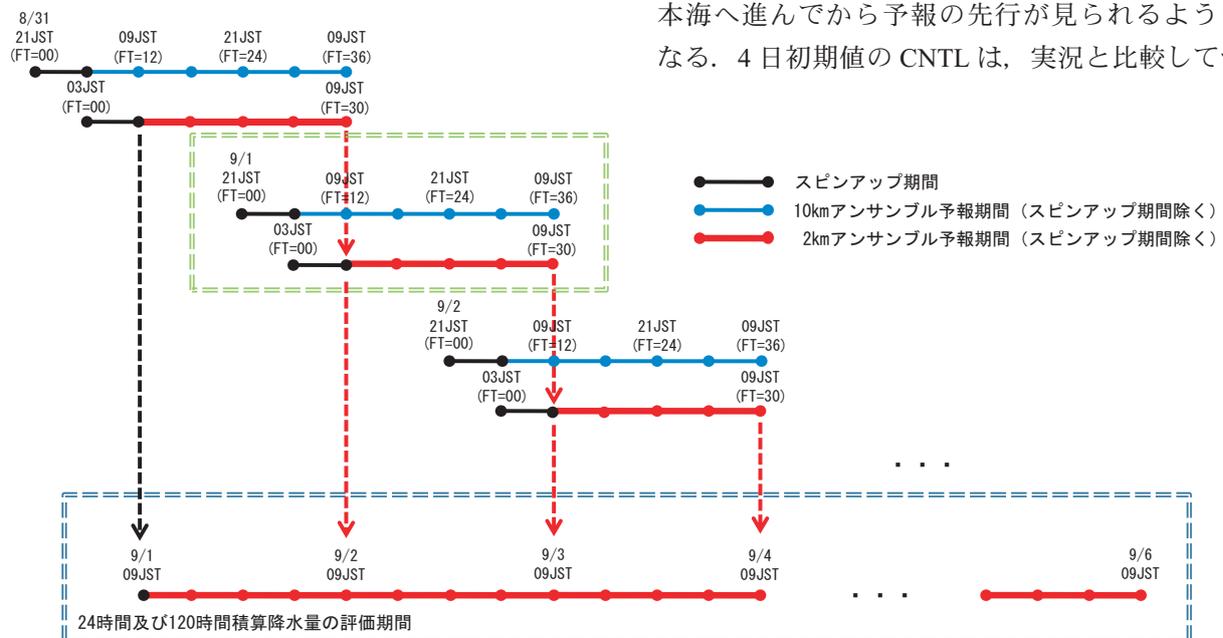
第 3.4.2.1 図 10 kmアンサンブル予報領域 (10 km 361 × 289)、2 kmダウンスケール領域 (2 km 350 × 350 (赤色破線)、2 km 800 × 550 (黒色破線))

3.4.2.3 ダウンスケール予報の領域非依存性

ダウンスケール予報の領域の違いに対する再現性についても調べた。361 × 289 の領域による 10 kmアンサンブル予報の結果より、9月1日から5日までの3時を初期時刻とする5初期値の2 kmダウンスケール18時間予報を800 × 550 領域と350 × 350 領域で行い、全メンバーについて、台風、降水などの表現の領域非依存性を確認した。5初期値全ての2 kmアンサンブル予報の800 × 550 領域の30時間予報は、気象研究所スーパーコンピュータ SR16000 に大きな負荷をかけるため予報時間を短縮した18時間で行った。本調査では、この領域非依存性を確認した上で、2 kmアンサンブル予報の350 × 350 領域の30時間予報を実行しており、計算資源の立場からみても妥当な設定と考えられる。

3.4.2.4 台風第12号の予測結果

最初に10 kmアンサンブル予報の8月31日から9月4日までの21時を初期時刻とする5初期値、及び2kmダウンスケール予報実験の特徴を述べる。31日、1日初期値のコントロールラン(CNTL)は、実況と比較して台風中心が僅かに北に位置しており若干先行する予想となった。2日、3日初期値のCNTLは、実況と比較して台風中心が日本海へ進んでから予報の先行が見られるようになる。4日初期値のCNTLは、実況と比較して台

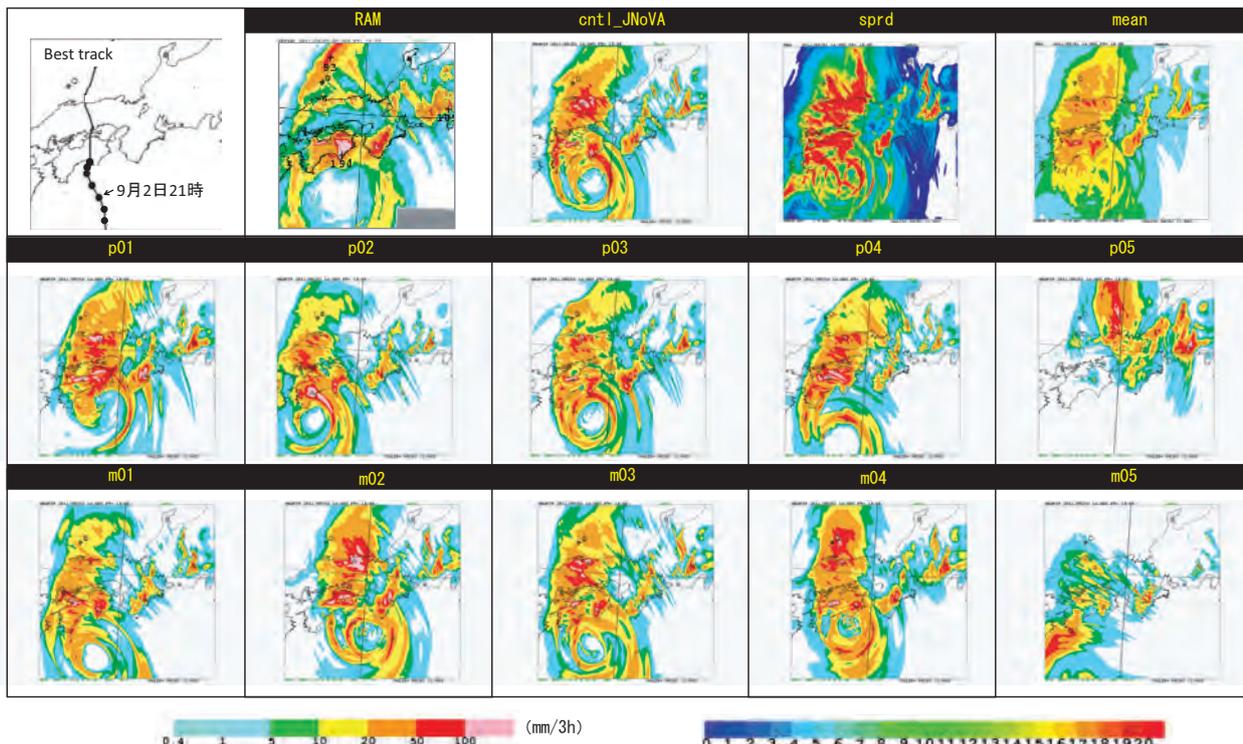


第 3.4.2.2 図 スピンアップ期間を除く 10 km及び 2 kmアンサンブル予報実験の概要

緑色2重破線で囲んだ部分は予報検証期間、青色2重破線で囲んだ部分は24時間及び120時間積算降水量の計算期間

風中心位置の先行が目立つようになる。また、降水分布予想は、5初期値全てにおいて10kmアンサンブル予報のCNTLは直近のルーチンMSMと類似の予想を示しており、地形による外部強制力の大きい近畿南東部と四国東部、強制力が比較的強くないと考えられる山陰、台風による遠隔作用で降雨となった東海を中心に分布していた。降水量予想は、5初期値全てにおいて10kmアンサンブル予報のCNTLと直近のルーチンMSMは、観測の多かった近畿南東部、四国東部、山陰、東海の降水量は実況と比べてかなり少ない予想となっていた。2kmアンサンブル予報のCNTLの降水分布予想は、5初期値全てにおいて10kmアンサンブル予報のCNTLと同等以上の分布精度を示した。また降水量予想は、5初期値全てにおいて10kmアンサンブル予報のCNTLやルーチンMSMを上回っており、実況値へ大きく近づいたが、場所や領域によっては不十分である所も見られた。アンサンブル予報の予報精度や予報特性を

調べる時、まず、CNTLの予報精度の高さが重要となる。CNTLが台風中心の位置や強度を大きく外していた場合、アンサンブル情報を付加したとしても、予報精度の向上はそれほど望めないと考えられる。これを踏まえて、5初期値の中で、10kmアンサンブル予報と2kmアンサンブル予報のCNTLで、台風中心位置や強度の予報精度が最も良く、降水現象の顕著な時間帯を含んだ9月1日21時初期時刻の予想について検証を行った。この初期時刻の10kmアンサンブル予報を利用した2kmダウンスケール予報実験（FT=06までのスピニアップ期間を除く）について、予報精度検証と予報特性について示す（第3.4.2.2図の緑色2重破線で囲んだ部分参照）。2kmアンサンブル予報の18時間予報値（FT=18, validtime=9月2日21時）の3時間積算降水量とスプレッドの予報結果を第3.4.2.3図に示す。CNTLの特徴は経路図と比較して台風の位置を若干北に予想しているがおおむね正確であった。降水予想分布は、解



第3.4.2.3図 Best trackは平成23年台風第12号の経路図、RAMは解析雨量による3時間雨量（9月2日21時）、RAMに対応する2kmアンサンブル予報（FT=18）の3時間積算降水量（cntl_JNoVAはコントロールラン、meanはアンサンブル11メンバー平均、p01～m05は各メンバー）とスプレッド（sprd）
左下は3時間積算降水量のカラーバー、右下はスプレッドのカラーバー

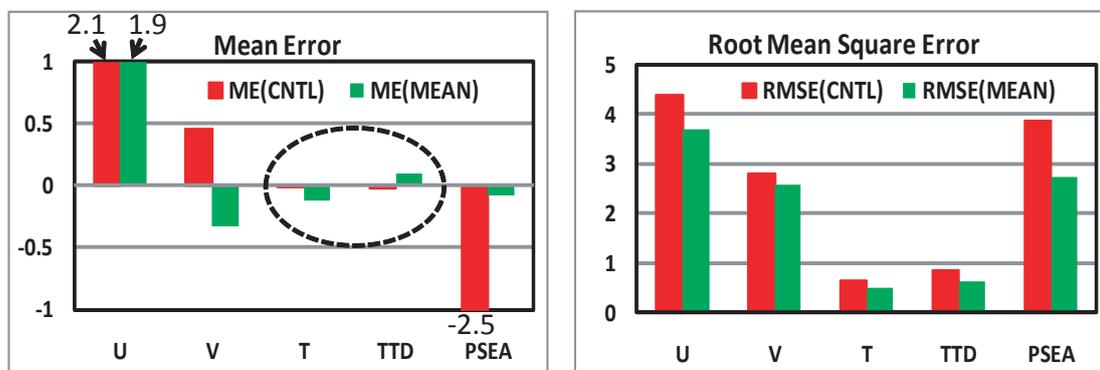
析雨量と比較して、台風の眼中心付近の表現はある程度特徴を捉えている。強雨のピークを近畿南東部、四国東部、山陰、東海に予想し、解析雨量とおおむね一致しているが、降水量は山陰を除いて全体的に少なかった。各メンバーの特徴は、台風の形状や降水量・分布を良く表現していたのが p03 と p04 である。両メンバーは進路予想もほぼ正確（p03 は経路図より若干北、p04 は若干南に予想）で、降水分布は台風の大きな眼の特徴を捉え、予報期間を通して強雨を良く表現している。m02 は強雨を良く表現しているが、台風の眼が小さく、中心が北東に位置して進路も東にずれていた。p05 は速く北進させる予想であり、m05 は大きく西へ進路をずらしていた。また、スプレッドを見ると、強雨域を中心にメンバー間のばらつきが大きくなっており、台風中心付近は各メンバーの位置の違いを反映して、異なる位置・方向の複数の円弧模様となっている。一般的なアンサンブル予報でも同様に、台風の眼の内部のスプレッドは円弧上に大きくなってしまふ特徴が見られる。

次に、2km アンサンブル予報の FT=18 (validtime=9月2日21時) におけるメソ解析値 (JNoVA) に対する地上の風速 (U, V)・気温 (T)・湿数 (TTD)・海面更正気圧 (PSEA) の平均誤差 (ME) と 2 乗平均平方根誤差 (RMSE) を示す (第 3.4.2.4 図参照)。ME を CNTL と MEAN で比較すると、MEAN の方が気温、湿数は悪かったが (第 3.4.2.4 図参照、黒丸部分)、風、海面更正気圧は精度が良く、また RMSE は MEAN の方が全要素

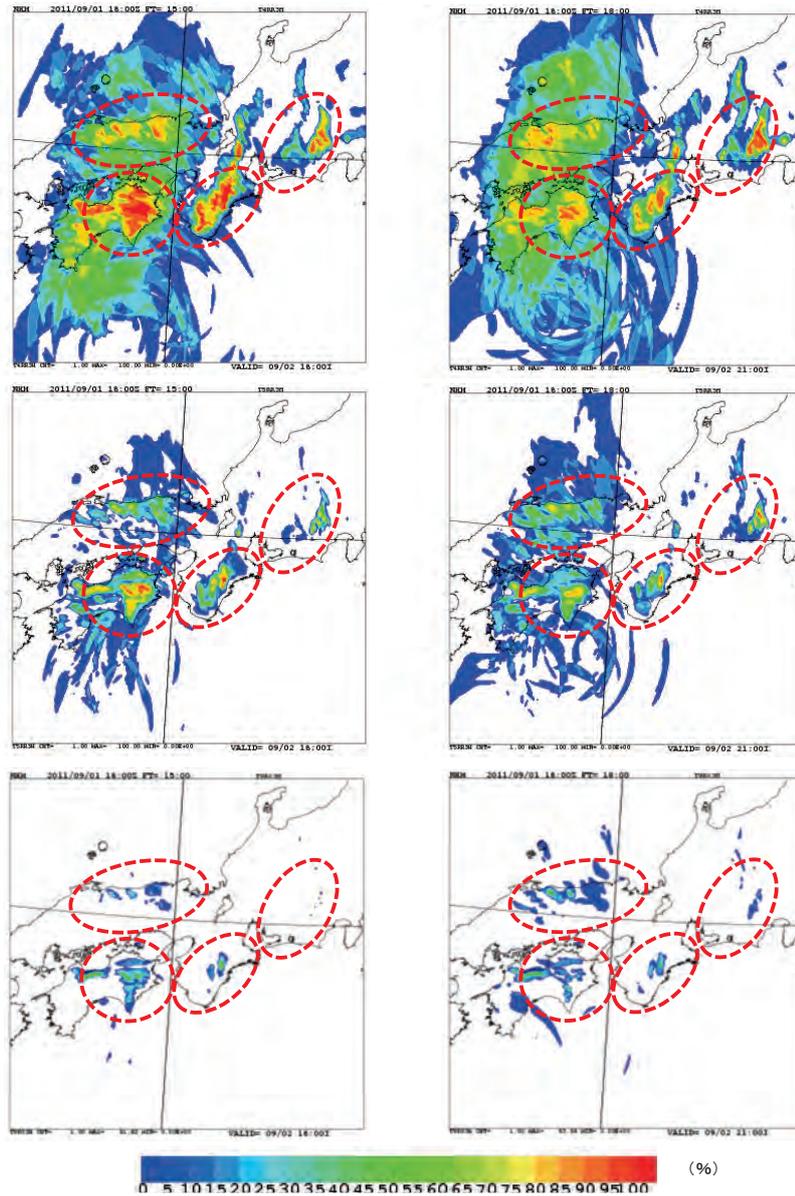
で良かった。ME の CNTL の海面更正気圧が負となる理由は、台風の中心気圧が低く表現されていることや、台風の北進が早いため領域内に入る台風の面積が大きいことなどが考えられる。高度別で見ると、ME は MEAN の方が全層の湿数、850hPa と 700hPa の風の精度が落ちるのを除き、それ以外の要素と RMSE では全要素で良かった (図省略)。

第 3.4.2.5 図に、FT=15, FT=18 における降水強度別発生確率分布を示す。降水強度 20mm/3h 以上の発生確率を見ると、近畿南東部、四国東部、山陰、東海で 100% 近くの確率が予想されている。降水強度 50mm/3h 以上の発生確率では、近畿南東部、四国東部で 90% 以上、地形による外部強制力がそれほど強くないと考えられる山陰でも 80% 以上、台風本体でなく遠隔作用で大雨となった東海でも 90% 以上の高確率が予想されている。100mm/3h 以上についても東海で 20% を超えて、近畿南東部、四国東部、山陰では 40% 近くの確率を表現していた (第 3.4.2.5 図参照、赤丸部分)。

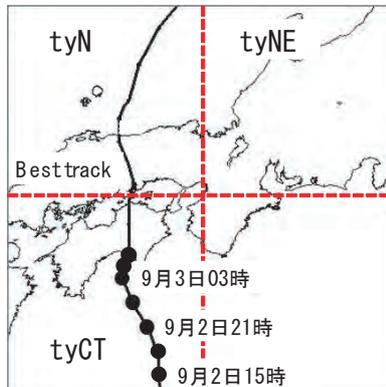
次に、2 km アンサンブル予報より、FT=06 までのスピニアップ期間を除いた FT=07 から FT=30 までの予報精度を見るため、第 3.4.2.6 図のように 2 km 予報全領域 (2kmD) 内に台風中心域 (tyCT)、進行方向右前方域 (tyN)、遠隔作用域 (tyNE) の 3 つの部分領域を考え、それぞれについて 3 時間積算降水量のしきい値ごとのスレットスコアとバイアススコアを調べた (第 3.4.2.7 図参照)。予報検証の解像度は解析雨量、2 km アンサンブル予



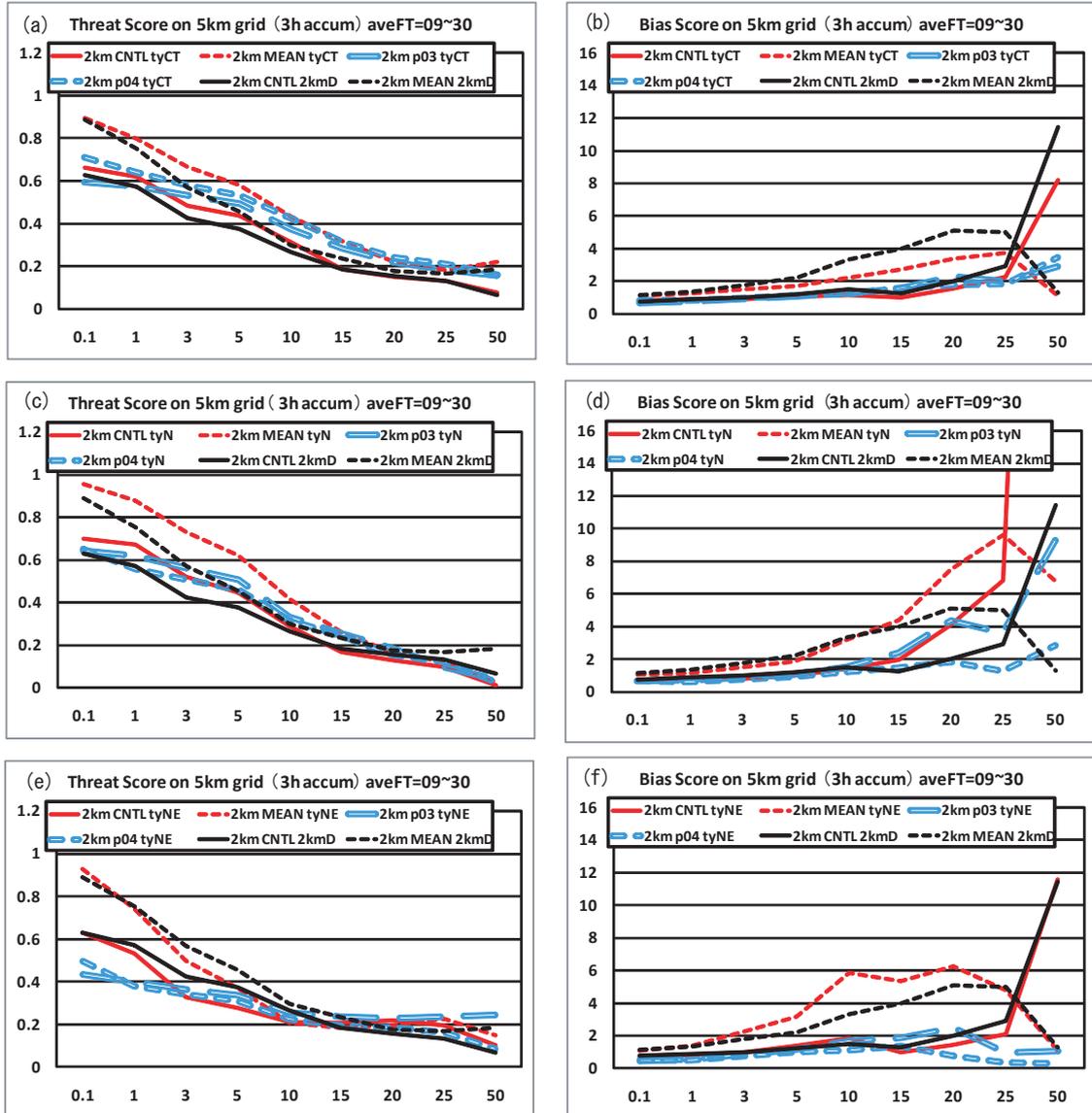
第 3.4.2.4 図 2 km アンサンブル予報のコントロールラン (CNTL) と 11 メンバー平均 (MEAN) の地上の風速 (U, V)・気温 (T)・湿数 (TTD)・海面更正気圧 (PSEA) の平均誤差 (ME, 左図)、2 乗平均平方根誤差 (RMSE, 右図)、FT=18 VS. JNoVA (9月2日21時)



第3.4.2.5図 2kmアンサンブル予報の降水強度別発生確率分布
 降水強度のしきい値 上段 20mm/3h, 中段 50mm/3h, 下段 100mm/3h
 左列 FT=15 (9月2日18時), 右列 FT=18 (9月2日21時)



第3.4.2.6図 2kmアンサンブル予報の領域分割, 検証のために2km予報全領域(2kmD)内に, 3つの部分領域として台風中心域(tyCT), 進行方向右前方域(tyN), 遠隔作用域(tyNE)を考えた



第3.4.2.7図 3時間積算降水量のしきい値ごとのスレットスコアとバイアススコア
5 km格子上に内挿した2 kmアンサンブル予報のFT=09からFT=30までの平均、
スレットスコア；(a) tyCT, (c) tyN, (e) tyNE, バイアススコア；(b) tyCT, (d) tyN, (f)
tyNE

横軸は3時間積算降水量のしきい値

報ともに5 km格子に内挿して行っている。

第3.4.2.7図 a, bを見ると、2km 予報全領域と台風中心域では、25mm/3hより小さいしきい値で、MEANの方がCNTLと比べてスレットスコアで見ると精度が良いが、バイアススコアは大きい。また、しきい値が小さくなるに従い、スレットスコア、バイアススコアともに精度が高くなる。これは、MEANの方がCNTLと比べて降水出現頻度が増えるため、スレットスコアは高くなるが、

本事例のようにCNTLが現象を適度に再現できている場合は、アンサンブル平均をとることにより降水量のバイアススコアは大きくなってしまふ。

また、MEANで見るとしきい値が小さい程、降水出現頻度がより高くなり、平均した降水量と解析雨量の差は小さくなるため、スレットスコア、バイアススコアともに精度が向上する。50mm/3hのしきい値では、MEANの方がCNTLと比べて、

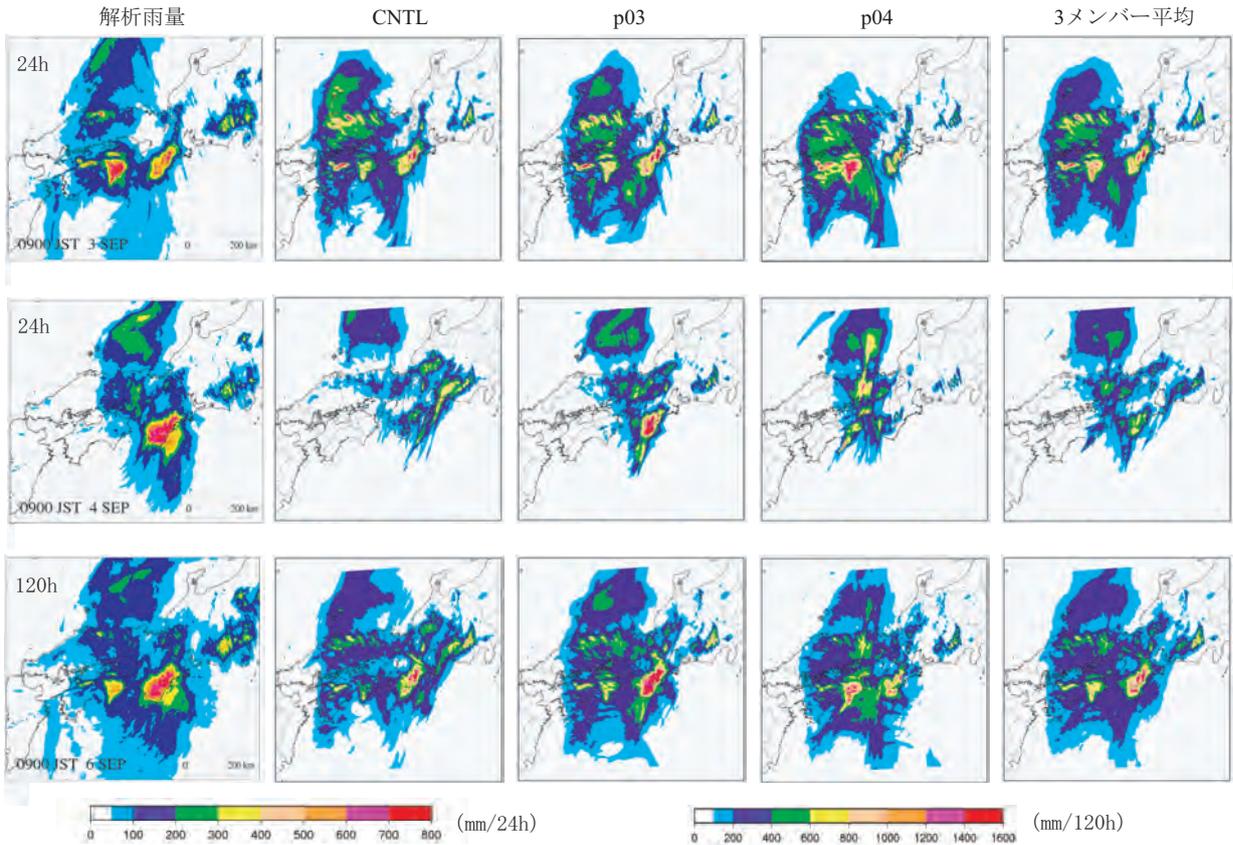
25mm/3hより小さいしきい値と同様にスレットスコアの精度が良いが、バイアスコアは逆に小さくなる。スレットスコアが高い理由は、降水出現頻度が増えるためであるが、CNTLのバイアスコアが急激に大きくなる理由は、MEANと比べて降水出現頻度が少なく降水量のメリハリが大きい分、バイアスが大きくなってしまふと考えられる。また、スレットスコアでは、台風中心域において15mm/3hより小さいしきい値でMEANの精度が最も高く、20mm/3hより大きいしきい値でも11メンバーの中で強雨の表現が良いp03やp04と同程度のスコアを示していることが分かる。弱雨から並雨に関してMEANの方がCNTLより精度が高いだけでなく、強雨においてもp03、p04の表現の良いメンバーと同程度であった。第3.4.2.7図c、dを見ると、顕著な大雨となった進行方向右前方域では、スレットスコア、バイアスコアともに台風中心域の振舞いに近い。すなわち、スレットスコアでは弱雨に関してMEANの精度が高く、強雨に関してp03、p04メンバーと同程度を示している。しかし、台風中心域と比べて精度は僅かに低くバイアスも大きくなる。第3.4.2.7図e、fを見ると、遠隔作用域では、台風中心域、進行方向右前方域に比べて降水出現頻度が少ないためスレットスコアは、MEANの弱雨から並雨を中心に台風中心域、進行方向右前方域と比べて全体的に精度がやや低い傾向にある。しきい値ごとに見ると、弱雨はMEANの精度が高いが、強雨はp03、p04メンバーと同程度か強いて言えばp03より精度が低くなっている。バイアスコアは、MEANの並雨が台風中心域、進行方向右前方域に比べて大きくなっている。

本事例は、顕著な短時間強雨をもたらしただけでなく、総降水量に関しても記録的な雨量となり、広範囲で土砂災害が発生した。そこで、9月1日から5日の3時を初期時刻とする5初期値の2kmアンサンブル予報結果から、スピニング期間を除いた24時間積算降水量（日降水量）と120時間積算降水量（5日間降水量）を評価した（第3.4.2.2図、第3.4.2.8図参照）。5初期値全ての2kmアンサンブル予報の多数のメンバーが、実況と比較して強雨域を中心に降水量を過少に予

測していたため、MEANの降水量予想も少なくなる。このため、11メンバーの中で強雨域を中心とした降水量予想の再現性の高いCNTL、p03、p04の3メンバーを選択して積算降水量を計算した。初期摂動・境界摂動の与え方に依存して初期値ごとに強雨域の降水量の再現性の高いメンバーが変わる可能性もあるが、本事例では5初期値全てにおいてp03、p04メンバーの精度が高かったため統一して行った。9月3日9時までの24時間積算降水量を見ると、3メンバーの中で近畿南東部はp03が比較的良く、四国東部はp04が非常に良く降水量を表現しているが、どちらも部分的領域の表現に留まる。領域全体の強雨域の降水量については3メンバー平均が、CNTLと比べて近畿南東部、四国東部の降水量を増加、山陰を僅かに減少させており改善する。

9月4日9時までの24時間積算降水量を見ると、3メンバーの中で近畿南東部の降水量についてp03が際立って良く表現している。領域全体の強雨域の降水量については3メンバー平均が、CNTLと比べて近畿地方の降水量を中心に増加させており改善するが、p03の単独の精度に及ばなかった。9月2日9時まで、5日9時まで、6日9時までのそれぞれ24時間積算降水量に関するCNTL、p03、p04、3メンバー平均は、前述の期間と比較しても、際立った特徴の差は見受けられなかった。6日9時までの120時間積算降水量を見ると、p03とp04はそれぞれ近畿南東部と四国東部の大雨の表現が良いが部分的な領域に留まる。3メンバー平均はp04の四国東部とp03の近畿南東部の大雨を良く反映し、CNTLを改善している。

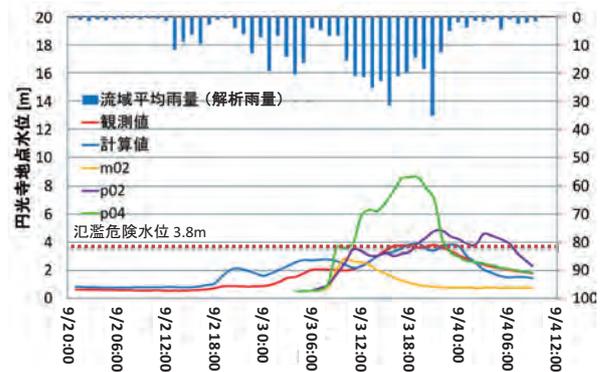
顕著な豪雨をもたらした台風第12号のような事例においては、外部強制力の強い地形性の豪雨による降水量でもCNTLが精度良く予想することは難しい。9月2日3時を初期値とする2kmアンサンブル予報の精度検証で述べたように、弱雨に関してはスレットスコアやバイアスコアの精度が強雨に比べて良い傾向にあり、メソアンサンブル情報を用いればCNTLのみの量的予測より改善できることは大いに期待できる。しかし、強雨に関しては、スレットスコアやバイアスコア



第 3.4.2.8 図 2 km アンサンブル予報の 24 時間積算降水量 (上段：9 月 2 日 10 時～3 日 9 時，中段：9 月 3 日 10 時～4 日 9 時)，120 時間積算降水量 (下段：9 月 1 日 10 時～6 日 9 時)
 左 1 列目：解析雨量，左 2 列目：CNTL，中央：p03，右 2 列目：p04，右 1 列目：3 メンバー平均
 左下は 24 時間積算降水量のカラーバー，右下は 120 時間積算降水量のカラーバー

の精度は弱雨に比べて低い。メソアンサンブル予報では、メンバー中の何れかが部分的でも大雨を予測している可能性がある。強雨を予想したメンバーを用いたクラスター平均から降水量を評価することで大雨が発生する地域をある程度表現できる可能性がある。

最後に 2 km アンサンブル予報の結果を入力データとした洪水はん濫モデルの予測結果 (小林ほか 2013) を紹介する。第 3.4.2.9 図に兵庫県佐用川流域の水位 (円光寺地点) の時系列を示す。アンサンブルメンバーの中で、p04 は、はん濫危険水位を超えることを早く予想したが、その後の水位の予想量が大きくなり過ぎている。一方で、m02 は、全体的に低く予想していた。各メンバーによるはん濫注意水位・はん濫危険水位に達するタイミングを把握することで将来適切な情報を発表できる可能性がある。



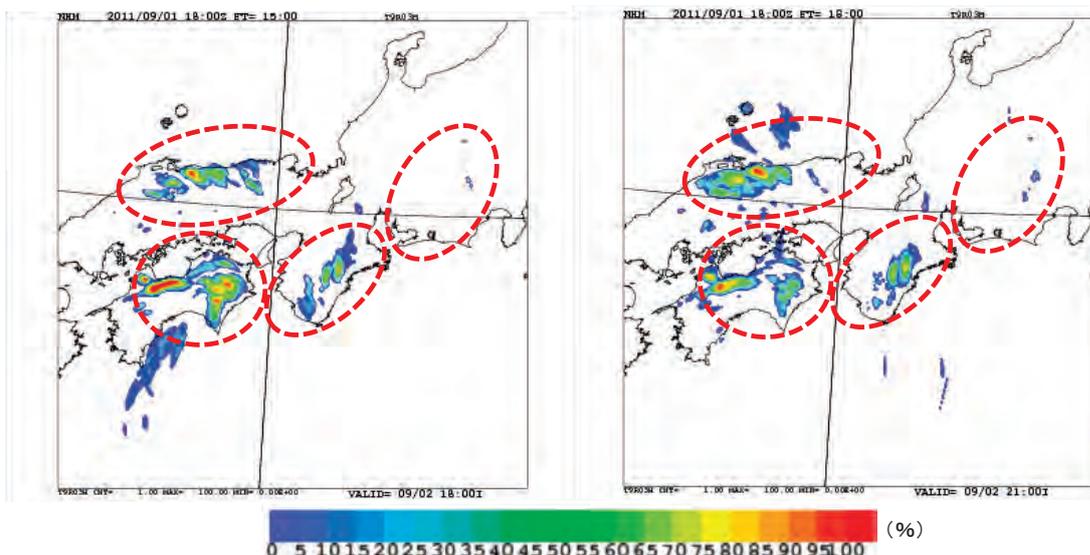
第 3.4.2.9 図 2 km アンサンブル予報結果に基づく洪水はん濫モデルの予測 (小林ほか (2013) より)

3.4.2.5 NHM-LETKF を用いた予報実験との比較

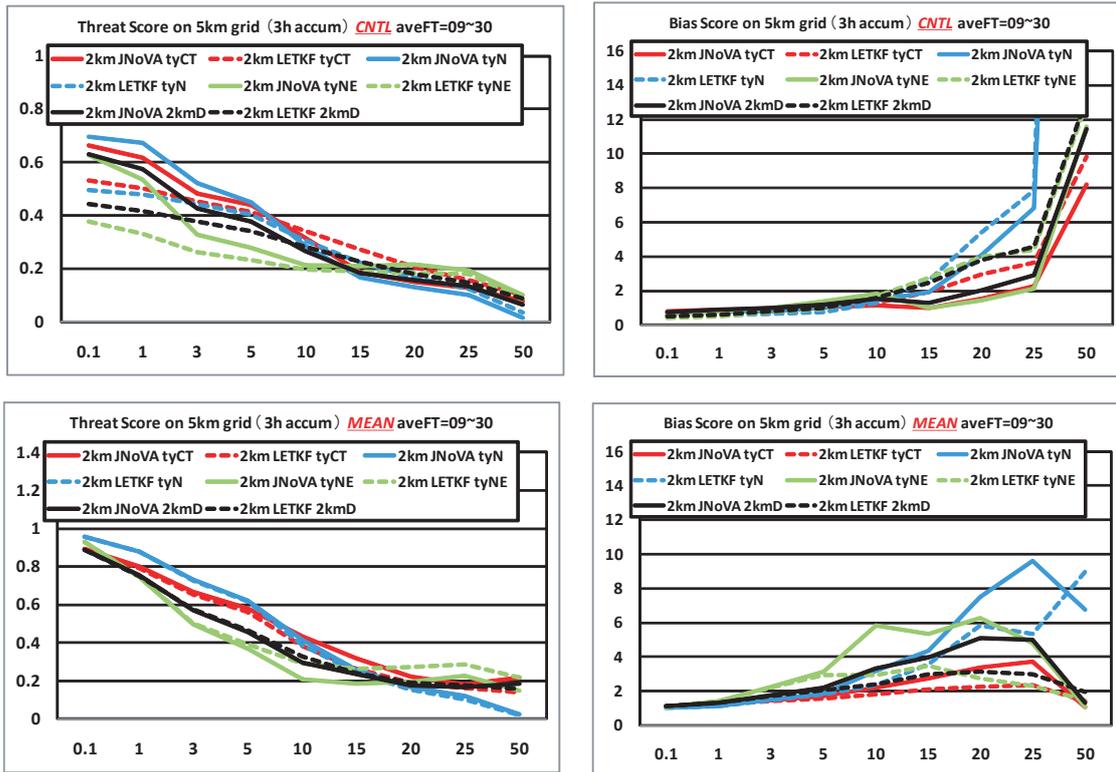
これまで、CNTLの初期場を気象庁メソ解析(JNoVA)、初期摂動を気象庁週間アンサンブル予報(RSMC東京責任領域P面データ)から与えた実験結果を示したが、4次元変分法と同様に高度な解析手法である局所アンサンブル変換カルマンフィルター(LETKF)から初期場・初期摂動を作成した実験も行い予報精度を比較した。LETKFによる解析は6時間ウインドウ、41メンバーで行い、従来型観測のほか衛星輝度温度を直接同化した9サイクルの解析でアンサンブル予報初期値を作成し、延長予報はJNoVAと同じ11メンバーで行った。メンバーの選定に客観的な基準はないが初期値の解析結果を勘案して降水分布が類似しないようばらつきを持つように選択した。9月1日21時を初期時刻とする10kmアンサンブル予報からの2kmダウンスケール予報の結果より、FT=15,18の降水強度100mm/3h以上の発生確率(第3.4.2.10図参照、赤丸部分)を見ると、東海で一部20%を超えて、近畿南東部、四国東部、山陰では40%を上回り一部で90%を超える確率を表現していた。第3.4.2.5図の下段と比較するとLETKFの方がJNoVAからの結果より確率予想の精度が高かったことが伺えるが、この理由としてJNoVAからの予報はp05, m05のように

予報が大きく外れたメンバーがあるのに対し(第3.4.2.3図参照)、LETKFからの予報には存在しなかったことが考えられる。また、LETKFのほとんどのメンバーが台風中心位置を実況より北側に表現して、降水量を過大に評価していたため割引いて考える必要がある。

更に、2kmアンサンブル予報結果からFT=06までのスピニアップ期間を除いたFT=07からFT=30までの結果を2kmDとtyCT, tyN, tyNEの3領域に分割(第3.4.2.6図参照)して、降水量しきい値ごとのスレットスコアとバイアスコアを調べた。まず、第3.4.2.7図a~fに対応するLETKFからの結果を見ると(図省略)、JNoVAから予報した結果と定性的におおむね同様の振舞いを示した。次に、JNoVAとLETKFにおけるCNTLとMEANそれぞれのスレットスコアとバイアスコアを見ると、CNTLではJNoVAの方がLETKFと比べて弱雨でスレットスコアが、強雨でバイアスコアが良く、JNoVAの方がLETKFより予報精度が高い。MEANではLETKFとJNoVAを比べてスレットスコアの差は小さいが、LETKFの方が強雨を中心にバイアスコアが良く、LETKFの方がJNoVAより予報精度が高い(第3.4.2.11図参照)。



第3.4.2.10図 2kmアンサンブル予報の降水強度100mm/3h以上の発生確率分布
左;FT=15(9月2日18時)、右;FT=18(9月2日21時)



第3.4.2.11 図 3時間積算降水量のしきい値ごとのスレットスコア、バイアススコア
 JNoVA と LETKF におけるコントロールラン (CNTL) と 11 メンバー平均 (MEAN) 5 km 格子上に内挿した 2 km アンサンブル予報の FT=09 から FT=30 までの平均 横軸は 3 時間積算降水量のしきい値

3.4.2.6 まとめ

8月31日から9月4日までの21時を初期時刻とする5初期値から台風第12号の10kmアンサンブル予報実験、及びその6時間予報値を初期値とする2kmダウンスケール予報実験を行った。2kmダウンスケール予報のCNTLについて、台風中心が実況に比べて北に位置しており、降水強度は弱い傾向にあったが、台風の大きな眼の表現などは良く、ルーチンのMSMや10kmアンサンブル予報と比べて降水表現を大きく改善していた。9月1日21時の初期値から10kmアンサンブル予報を行い、及びその6時間予報値を初期値とする2kmアンサンブル予報の予報精度、予報特性の検証を行った結果、強雨に対してMEANはCNTLより大雨を予想しているp03、p04と同程度のスレットスコアの精度を持つが、平均化しているためバイアススコアは大きかった。強雨事例の降水量予想は、CNTLの精度が非常に高ければ良い

が、本事例のようにそれほど高くない場合もある。p03、p04などの強雨を予想した個々のメンバーや、CNTLを含めた強雨を予想したメンバー(p03、p04)の平均を降水量予想の参考にすることは有効であろう。予報現業の立場から考えると、今後の集中豪雨予想を考える上で、強雨クラスター平均などの予報参考資料があっても良いのかもしれない。

また、アンサンブル予報の降水量予測結果から洪水はん濫モデル等の入力データとして使用することも意識している。日本の河川の流域面積は狭く解像度2kmの予報では難しい面があり、さらに高解像度化・高精度化した予測が要求される。今後のメソデータ同化技術や摂動手法の開発による初期場・初期摂動の精度向上及びメソアンサンブル予報技術開発による予報精度のさらなる向上が期待される。

謝 辞

気象研究所の瀬古弘主任研究官, 國井勝研究官, 海洋研究開発機構の黒田徹氏には, メソアンサンブル予報の実験・検証について日頃より有益なご助言を頂いており, ここに記して感謝致します。

参 考 文 献

今脇資郎, 平成24年: ①高解像アンサンブル気象予報を用いたアンサンブル洪水予測. 「HPCI 戦略プログラム」成果報告書(平成23年度)分野3 防災・減災に資する地球変動予測, 独立行政法人海洋研究開発機構, 74-76.

折口征二・斉藤和雄・瀬古弘・黒田徹・藤田匡(2012): 2011年台風第12号の雲解像アンサンブル実験. 日本気象学会春季大会予稿集 A461, 420.

加藤輝之(2006): 新潟・福島豪雨, 福井豪雨の高解像度非静力学モデルによる予測. 気象庁技術報告・第129号, 平成16年梅雨期豪雨と顕著台風の調査報告.

経田正幸(2000): 週間アンサンブル予報システムの性能. 数値予報課報告・別冊第47号, 気象庁予報部, 88-93.

國井勝・大関誠・本田有機(2006): 気象庁非静力学モデルに対する特異ベクトルの計算(第3報). 日本気象学会秋季大会予稿集 P131, 289.

小林健一郎・大塚成徳・寶馨・折口征二・斉藤和雄(2013): 中小河川流域における豪雨・洪水のアンサンブル予測. 水工学論文集 第57巻(受理)

斉藤和雄(2006): 第5章メソアンサンブル予報. 数値予報課報告・別冊第52号, 気象庁予報部, 66-79.

斉藤和雄・小司禎教・折口征二・國井勝・瀬古弘(2011): 2008年8月5日首都圏局地的大雨の雲解像アンサンブル実験(その3検証). 日本気象学会秋季大会予稿集 P155, 404.

藤田匡(2011): 第3章4節 LETKFの開発. 数値予報課報告・別冊第57号, 気象庁予報部, 138-143.

3.5 台風第15号における高潮予測

3.5.1 面的天文潮位を用いた高潮ガイダンス*

気象庁では、1998年（平成10年）に力学的な高潮数値予報モデル（以下、「高潮モデル」とする）の運用を開始し（小西・檜垣1998）、以降そのプロダクトである高潮ガイダンスを高潮の予測に利用してきた。その後、計算領域の拡大や高解像度化など、高潮モデルの改善を実施してきた（森、2010）。そして、2010年5月の市町村を対象とした警報・注意報の運用開始に合わせ、新たに導入した面的天文潮位と高潮モデルを組み合わせた新しい高潮ガイダンスの運用を開始した。本項ではその概要を述べる。

3.5.1.1 高潮モデルの概略

高潮モデルの基本的な仕様は小西・檜垣（1998）や林原（2011）に詳細に示されていることから、ここではその概略のみ述べる。

高潮が生じる主な原因として、海面気圧が低下することにより海面が盛り上がる「吸い上げ」効果と海上風により引きずられた海水が岸側に蓄積される「吹き寄せ」効果が挙げられる。高潮モデルは、こうした台風などによる気圧の低下や強風、海底摩擦等の外力によって引き起こされる海水の運動を計算する海洋モデルで、このモデルに、海上風や海面気圧を外力として入力し、これを電子計算機で数値的に解くことにより、将来の海水の運動や潮位偏差（天文潮位**と実際の潮位の差）の変化を予測する。

海上風や海面気圧は、通常時はメソ数値予報モデル（MSM）による予測結果を用いるが、台風時にはこれに加えて、台風の解析及び予測結果をもとに仮想的に作成した台風ポーガスを用いる。台風進路予想の誤差を考慮して、予想進路の中央を進む場合と予報円周上を進む場合（速い・遅い・右・左）の計5つのコースを進む場合の予測を計算している。

3.5.1.2 面的天文潮位の開発

前述した高潮モデルは、気象に起因する潮位偏差のみ予測することができる。しかし、実際の予報作業では、潮位偏差と天文潮位を足し合わせた潮位を予測する必要がある。従来は、日本の沿岸約290の地点ごとに算出した天文潮位に、高潮モデルにより計算された潮位偏差を加えた値を高潮ガイダンスとして提供してきた。しかし、2010年5月に市町村の高潮警報・注意報の運用を開始するにあたり、全国に約700ある全ての沿岸市町村における天文潮位を算出する必要が生じた。そこで、日本全国の沿岸域を水平解像度1kmの格子に区切り、格子ごとに天文潮位（以下、「面的天文潮位」とする）を計算する手法を開発した（高佐ほか、2011）。

3.5.1.3 面的天文潮位の予測手法

面的天文潮位は、オレゴン州立大学の潮汐モデル（Egbert and Erofeeva, 2002）の計算結果を第一推定値として、検潮所の潮汐調和定数をアンサンブル変換カルマンフィルタにより同化して、格子点ごとに求めた潮汐調和定数（27分潮）から天文潮位を計算するものである。計算に用いた海底地形は、高潮モデルと同じ1km格子のものである。

ただし、上記潮汐モデルでは計算できない年周期成分の潮汐調和定数については次の手法で求めている。まず、気象庁の海洋データ同化システム（MOVE/MRLCOM；石崎ほか、2009）の海面高度解析値を長期大気再解析及び気候データ同化システム（JRA-25/JCDAS；Onogi *et al.*, 2007）による海面気圧解析値を用いて気圧補正する。この値を調和解析して格子ごとの年周期成分の調和定数を算出する。これに近傍の検潮所の年周期成分の調和定数を最適内挿法により同化した値を使用している。

こうして得られた面的天文潮位は各地の平均潮位上の高さとして表現されているため、高潮警報・注意報作業に用いるためには面的天文潮位を標

* 地球環境・海洋部海洋気象情報室 田中 明夫

** 月と太陽の運行をもとに計算した潮位の予測値

高に換算する必要がある。そこで、面的天文潮位を標高に換算するため、先に述べた MOVE/MRI.COM による数十年程度の海面水位データから求めた平均海面高度を第一推定値として、検潮所ごとに水準測量から得られている平均海面の標高を最適内挿法により同化している（一部離島などを除く）。

面的天文潮位と近接の検潮所における天文潮位との差を算出した結果では、面的天文潮位の精度は海域によって違いがあり、外洋に面した地点に比べて内湾の湾奥部で誤差が大きい傾向がある（森，2010）。

3.5.1.4 高潮ガイダンス

高潮ガイダンスは、高潮モデル初期時刻から約2時間15分後に配信され、予報作業に利用される。それを分布図にしたイメージを平成23年台風第15号の例で第3.5.1.1図に示す。

高潮ガイダンスでは、高潮モデルによる潮位偏差の予測値（上図）及び面的天文潮位（中図）を用いて、以下の3要素を作成して提供している（森，2010）。

- ①前1時間最高潮位（1時間ごとの値）
- ②前1時間最高天文潮位（1時間ごとの値）
- ③予報期間内の最高潮位の起時

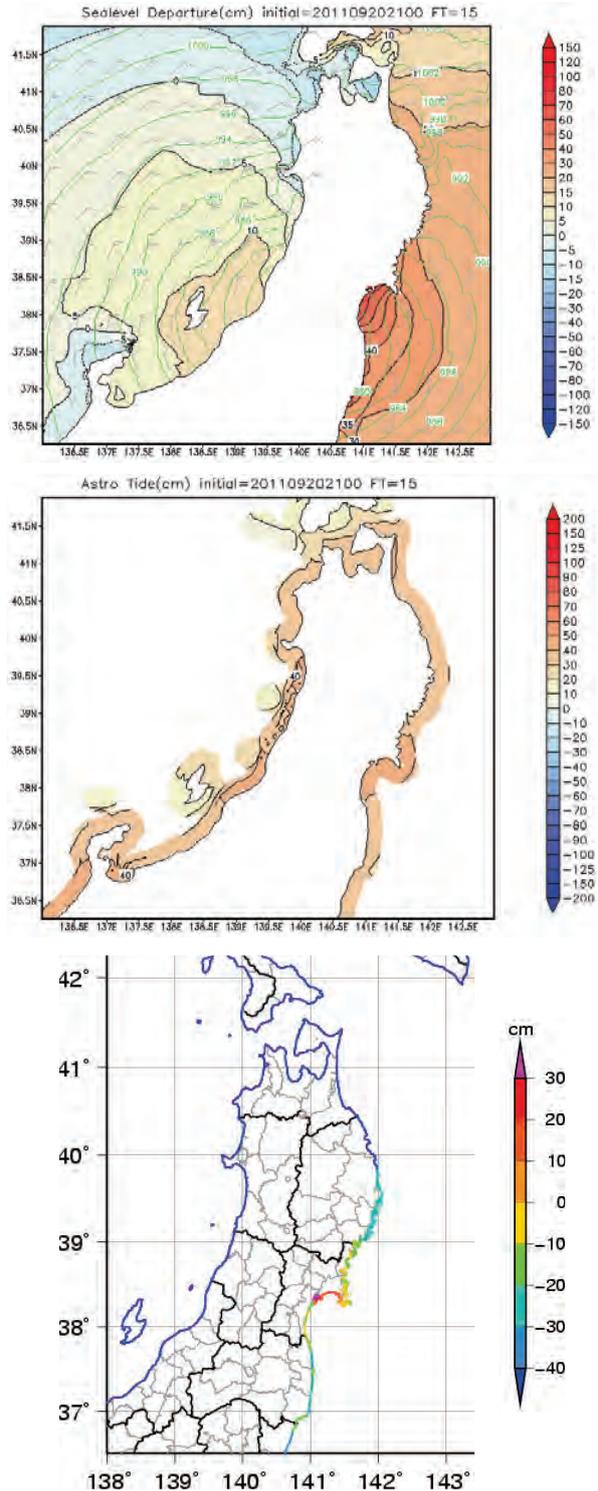
なお、下図は高潮ガイダンスによる予測潮位の初期時刻から33時間後までの最高値と高潮警報基準との差を示したもので、この例では、予想期間中に、仙台湾とその周辺で、期間中に予想される潮位が高潮警報基準を超過するか接近する予想となっていたことが分かる。

参 考 文 献

Egbert, G. D., and S. Y. Erofeeva (2002): Efficient Inverse Modeling of Barotropic Ocean Tides. *J. Atmos. Oceanic Technol.*,19,183 - 204.

林原寛典 (2011) : 気象庁の高潮数値予測モデルについて. *天気*, 58, 235-240.

石崎士郎・曾我太三・碓氷典久・藤井陽介・辻野博之・石川一郎・吉岡典哉・倉賀野連・蒲地政文 (2009): MOVE/MRI.COM の概要と現業システムの構築. *測候時報*, 76, 特別号, S1-S15.



第3.5.1.1図 面的天文潮位と高潮モデル予測分布図（2011年9月21日06時初期時刻，単位はcm）
 上図は高潮モデル（海面気圧（緑線）と海上風（矢羽はMSMによる）による潮位偏差（18時間後予測）、中図は面的天文潮位（18時間後予測）、下図は高潮モデル潮位偏差と面的天文潮位を足し合わせた33時間後までの予測潮位の最高値と高潮警報基準との差の分布を示す。

小西達男・檜垣将和 (1998) : 数値モデルによる高潮予測とその精度について . 測候時報 65, 特別号, S31-S38.

森裕之 (2010) : 新しい高潮ガイダンス . 平成 21 年度 予報技術研修テキスト, 82-97.

Onogi, K., J. Tsutsui, H. Koide, M. Sakamoto, S. Kobayashi, H. Hatsushika, T. Matsumoto, N. Yamazaki, H. Kamahori, K. Takahashi, S. Kadokura, K. Wada, K. Kato, R. Oyama, T. Ose, N. Mannoji and R. Taira, (2007) : The JRA-25 Reanalysis. J. Meteor. Soc. Japan, 85, 369-432.

高佐重夫・近澤昌寿・森裕之 (2011) : 面的天文潮位の予測手法とその精度 . 測候時報, 78, 特別号, S29-S38.

3.5.2 高潮ガイダンスにおける予測結果*

平成 23 年台風第 15 号 (以下, 「台風第 15 号」とする) による高潮について, 潮位・潮位偏差の観測値と高潮モデル・高潮ガイダンス予測値との比較検証を行った。

3.5.2.1 データについて

本調査では, 台風第 15 号通過時に大きな潮位偏差が観測された近畿地方から東北地方にかけての太平洋側の潮位観測地点における 2011 年 9 月 20 日 15 時～9 月 23 日 00 時 (以下, 断りのないものは日本時で表記) の観測データを使用した。地点 (計 57 地点) には, 気象庁のほか, 観測データが共有化されている海上保安庁, 国土交通省港湾局, 国土地理院及び自治体の観測点を含む。

観測潮位 (標高) 及び観測潮位偏差はそれぞれカットオフ周期を 3 分としたローパスフィルターを適用した 1 分ごとの値 (以下「瞬間値」という) 及びカットオフ周期を 209 分 (一部地点で 160 分) としたローパスフィルターを適用した 1 時間ごとの値 (以下「平滑値」という) を調査に用いた。

一方, 高潮モデルの計算結果については, ハインドキャストのデータ (潮位及び潮位偏差: 10 分値) を用いた。ハインドキャストは, 高潮モデルに外力として入力する気象データ (MSM) に

予測値ではなく解析値を用いて算出した推算値で, 高潮モデルそのものの特性を反映した結果を表すものである。また, 高潮ガイダンスについては, 2011 年 9 月 20 日 12 時, 9 月 21 日 06 時, 9 月 21 日 12 時のそれぞれの初期時刻における MSM, 台風ボーガス中央コース (以下, 単に「中央コース」とする) による予測値を用いた。

3.5.2.2 観測された最大潮位偏差

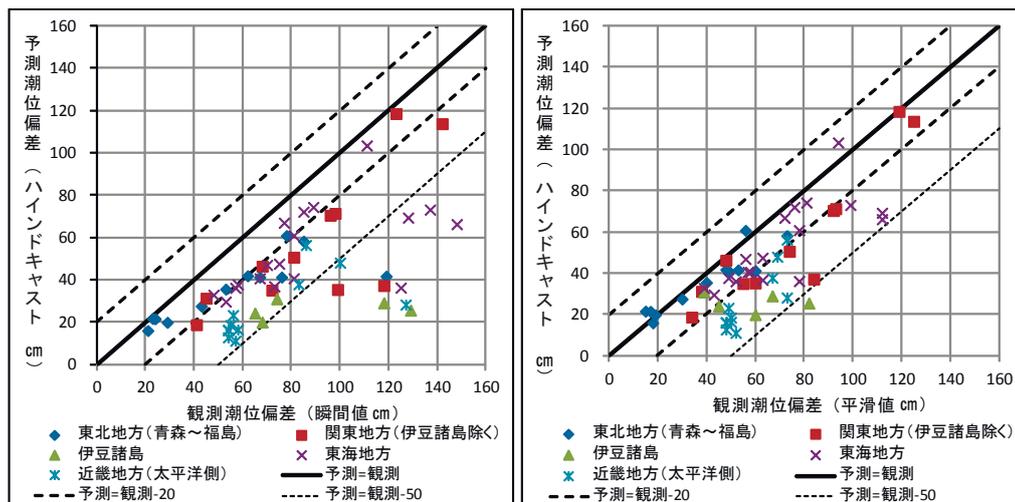
前目で述べた台風第 15 号の期間中に, 潮位観測地点で観測された最大潮位偏差 (瞬間値で 100cm 以上の地点) を第 3.5.2.1 表に, また, 各地点で観測された最大潮位偏差の平滑値と瞬間値の分布図を第 3.5.2.1 図に示す。このうち宮古 (臨時) は, 東北地方太平洋沖地震による津波で損壊した検潮所に代わり, 近傍に臨時的に設置された観測点である。

この表は, おおむね台風経路近傍となる紀伊半島から東北地方にかけての太平洋側の地点, 特に千葉, 東京など内湾のほか, 赤羽根, 御坊, 三宅島 (阿古), 石廊崎など外洋に面した地点や島しょ部で大きな潮位偏差が観測されたことを示している。この中で, 東京では瞬間値と平滑値の差が 4cm と小さいのに対し, 宮古 (臨時) (66cm) や御坊 (54cm) ではその差が大きくなっていった。

前目で述べたカットオフ周期が長いフィルター処理により, 平滑値は副振動や波浪の影響による短い周期の潮位の変動をほぼ除去しているため, 短時間に潮位が上昇する場合の高潮のピークを十分に捕捉できない。一方で瞬間値はカットオフ周期が短いフィルター処理であるため, 潮位偏差のピークをよく捕捉するものの, 波浪の影響による潮位の変動が大きくなりやすい特徴がある。このことから, 宮古 (臨時) や御坊のように観測方法の違いや観測点周辺の地形により, 最高潮位や最大潮位偏差記録時における平滑値と瞬間値の差が大きくなる地点が出てくる。

平滑値と瞬間値の差が大きい (20cm 以上) 地点は, 前述した宮古 (臨時), 御坊のほか, 神津島 (51cm), 石廊崎・三宅島 (阿古) (ともに

* 地球環境・海洋部海洋気象情報室 田中 明夫, 林原 寛典



第 3.5.2.2 図 台風第 15 号時の最大潮位偏差とハインドキャストの比較
 単位は cm, 左図は観測潮位偏差が瞬間値, 右図は平滑値

出して大きくなったほかは比較的差が小さい。

一方で、観測潮位偏差の平滑値について、ハインドキャストより 50cm 以上大きな地点が三宅島(阿古)の1地点のみであることからわかるように、観測値とハインドキャストの最大潮位偏差の差は全体的に小さかった。これは、前目で述べたように平滑値では波浪の影響による短周期の変動が除去されるためと考えられる。地域別にみると、東北地方(青森~福島)については全ての地点において観測値とハインドキャストの最大潮位偏差との差が±20cm以内に収まっている。一方で、それ以外の地域はハインドキャストよりも観測値が大きい傾向が見られる。特に、伊豆諸島と近畿地方(太平洋側)でこの傾向が顕著である。これに関して考えられる要因を以下に考察する。

台風第15号が本州に接近する数日前から、関東から西の太平洋側の沿岸でハインドキャストによる潮位偏差に比べて観測潮位偏差が大きい状況が続いていた。特に紀伊水道から瀬戸内海中部にかけてはその差が10~20cm程度、伊豆諸島においては30~40cm程度に及んでいた(第3.5.2.3図)。

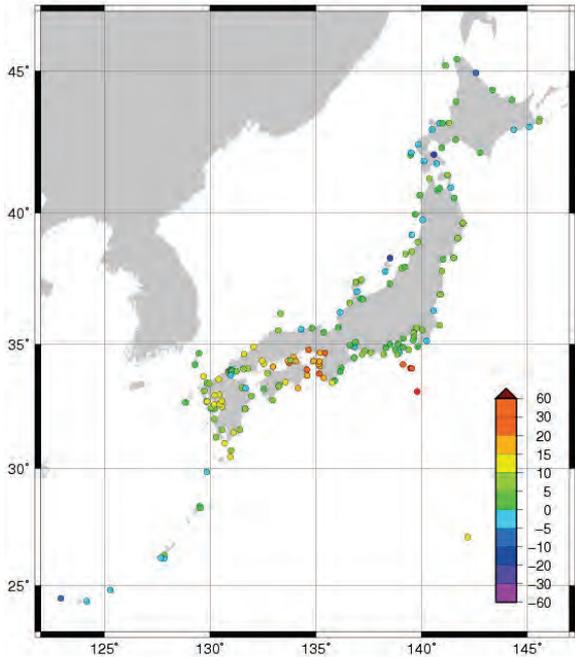
一方、第3.5.2.4図に示した9月中旬から下旬にかけての日本南岸における表層水温の平年差分布図では、四国の南岸から紀伊水道にかけて、9月中旬から海水温が平年より高い領域が現れ始め、下旬には紀伊水道に平年より2℃以上高い領

域が広がっていた。また、同じ時期に伊豆諸島にも黒潮の流路(第3.5.2.5図を参照)の影響により平年より3℃以上高い領域がかかっていた。したがって台風第15号の期間中、これら沿岸地方では、海洋の影響(黒潮流路の変動や表層水温の上昇)による潮位上昇分がプラスされていた可能性が高い。

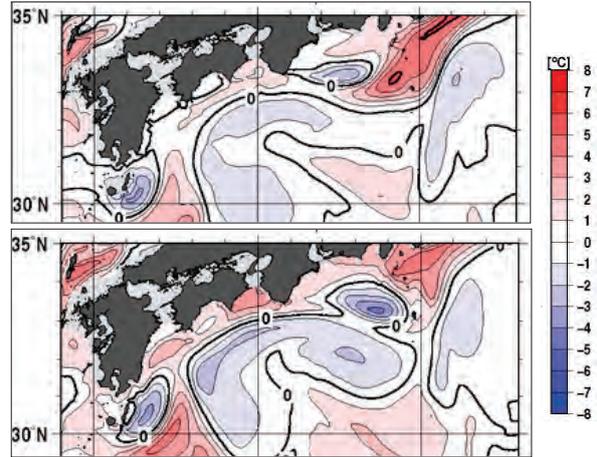
また第3.5.1項で述べたように、高潮モデルは気圧降下による吸い上げ効果と風による吹き寄せ効果による潮位上昇のみを扱っており、海水温(表層水温)や海流など海洋の影響による潮位の変化は考慮されていない。このことが、前述した誤差の要因の一つとして考えられる。

そこで、海洋による影響を考慮するため、台風が接近・通過する前の9月17日から9月20日までの4日間の各地点の日平均潮位偏差の差(観測-ハインドキャスト)の期間平均を算出し、第3.5.2.2図の右図(平滑値)のハインドキャストによる潮位偏差にプラス補正したものを第3.5.2.6図に示す。比較のため、ここでは補正前の値を白抜きマークで表した。

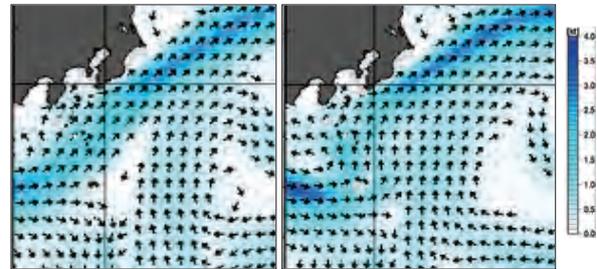
ハインドキャストの潮位偏差に補正を加えた場合、瞬間値、平滑値ともに観測値とハインドキャスト間の差は小さくなる。それでも瞬間値ではその差が+50cmを超える地点が10地点あるものの、平滑値では観測値とハインドキャストの差が+50cmを超える地点は見られなくなり、多くの地



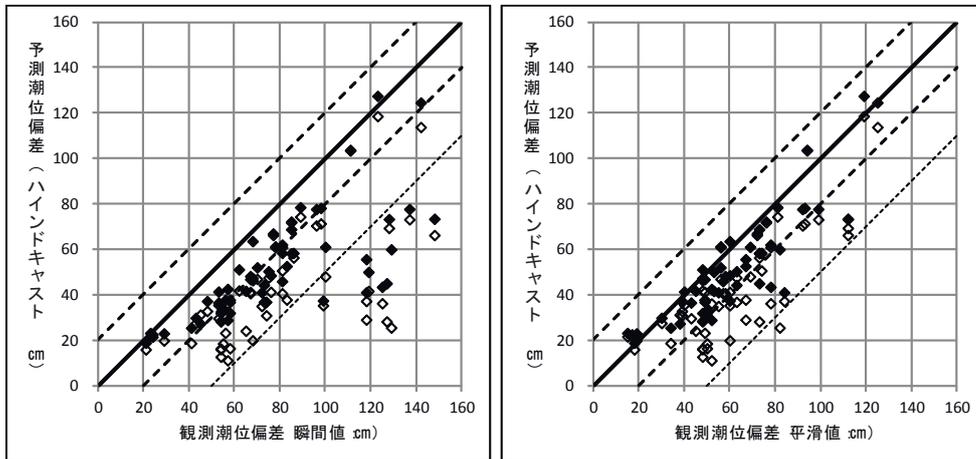
第3.5.2.3図 台風第15号接近前(9月20日)の日平均潮位偏差とハインドキャストの差(単位はcm)



第3.5.2.4図 9月中旬(上图), 下旬(下图)の日本南岸の水深100m付近の海水温平年差(°C)



第3.5.2.5図 9月中旬(左図), 下旬(右図)の伊豆諸島周辺の50m深の海流(流速の単位はkt)



第3.5.2.6図 最大潮位偏差とハインドキャストの比較

左:瞬間値, 右:平滑値 単位はcm

◆印はハインドキャスト補正後, ◇印は補正前 地域分けはしていない。

点で差が±20cm以内に収まる。平滑値での観測値とハインドキャスト間の差が+20cmを超えているのは9地点あり、差の大きい順に並べると布良(+43cm)、赤羽根・舞阪(ともに+38cm)、石

廊崎(+34cm)、御坊(+28cm)、姫路(飾磨)(+23cm)、小田原(+22cm)、三宅島(阿古)(+22cm)、三河(+21cm)となる。

したがって、台風第15号時のハインドキャスト

トは、それに海洋の影響を適切に加味すれば、観測値（平滑値）に近い結果となっていた可能性が高い。しかし、それでもなお観測とハインドキャストの差が大きかった地点が見られるが、これらの地点については、波浪による潮位上昇効果など、他の要因をさらに検討する必要がある。

3.5.2.4 時系列でみた観測値と予測値の対応

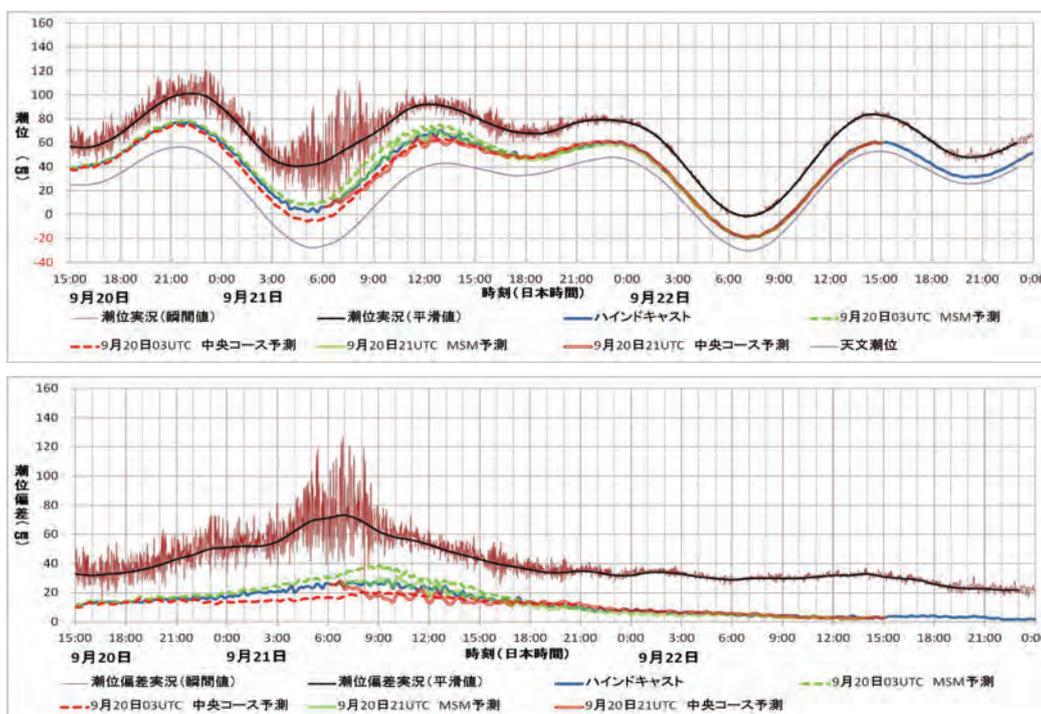
第3.5.2.7図～第3.5.2.10図にそれぞれ御坊、舞阪、東京、宮古（臨時）の潮位、潮位偏差の観測値とハインドキャスト及び高潮ガイダンスによる予測値の時系列図を示す。予測値は9月20日12時、9月21日06時及び9月21日12時初期時刻のMSM及び中央コースの潮位と潮位偏差を用いた。以下、時系列図の特徴を述べる。

・MSMと中央コースそれぞれの予測値を比較すると、上記4地点とも台風直近の際はその差が小さいか、または中央コースによる予測値の方の潮位が高い傾向が見られる。台風からやや離れた時間帯ではMSMによる予測値の方がやや高くなり、観測値にも近くなる傾向が見られた。

・9月20日12時初期時刻の中央コースの予測値は、各地点ともMSMによる予測値や観測値に比べてピークの出現が遅れた。

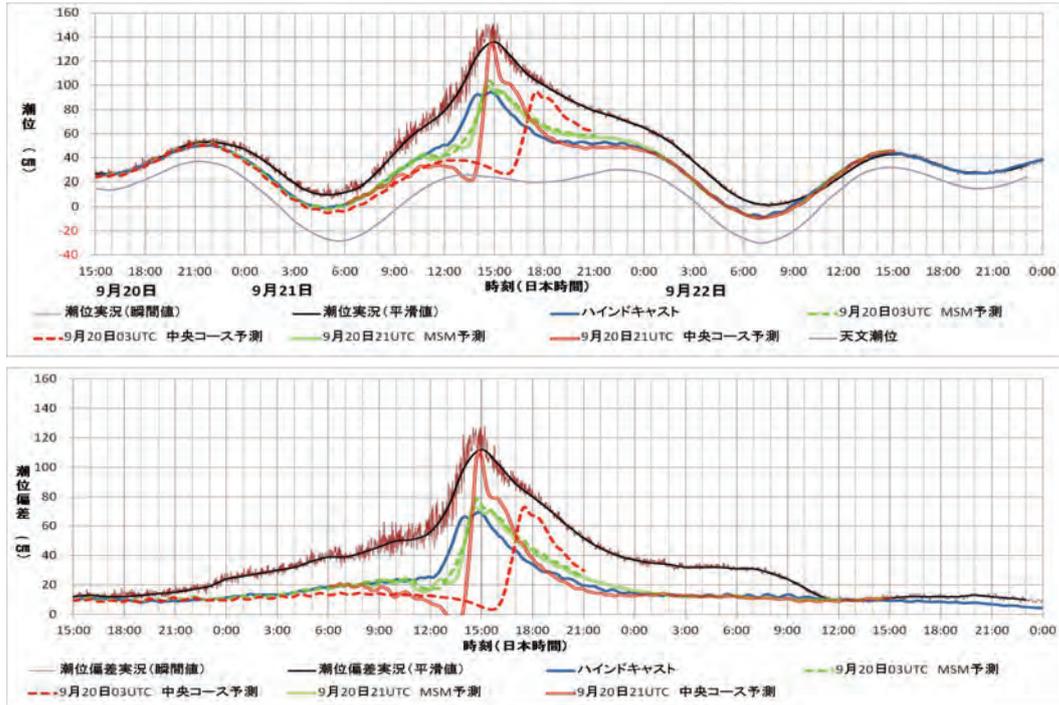
また、地点別の特徴としては、

- ・御坊（第3.5.2.7図）では、台風接近以前から観測値はハインドキャストや高潮ガイダンスよりも20～30cm高い傾向にあり、この傾向は台風の影響がなくなった22日も続いていた。
- ・舞阪（第3.5.2.8図）では、台風による高潮のピーク時前後に、観測値とハインドキャストとの差が大きかった。
- ・東京（第3.5.2.9図）では、高潮のピーク時の高潮ガイダンスが観測値と比較的よく合っていた（中央コースよりMSMによる予測値の方が観測値に近い）。高潮のピークが過ぎてから、観測値には6～7時間程度の周期の副振動が見られた。高潮ガイダンスでは、振幅が若干異なることや位相に1時間程度のズレがあるという問題点はあるものの、定性的にはこの副振動を予測できていたことがわか



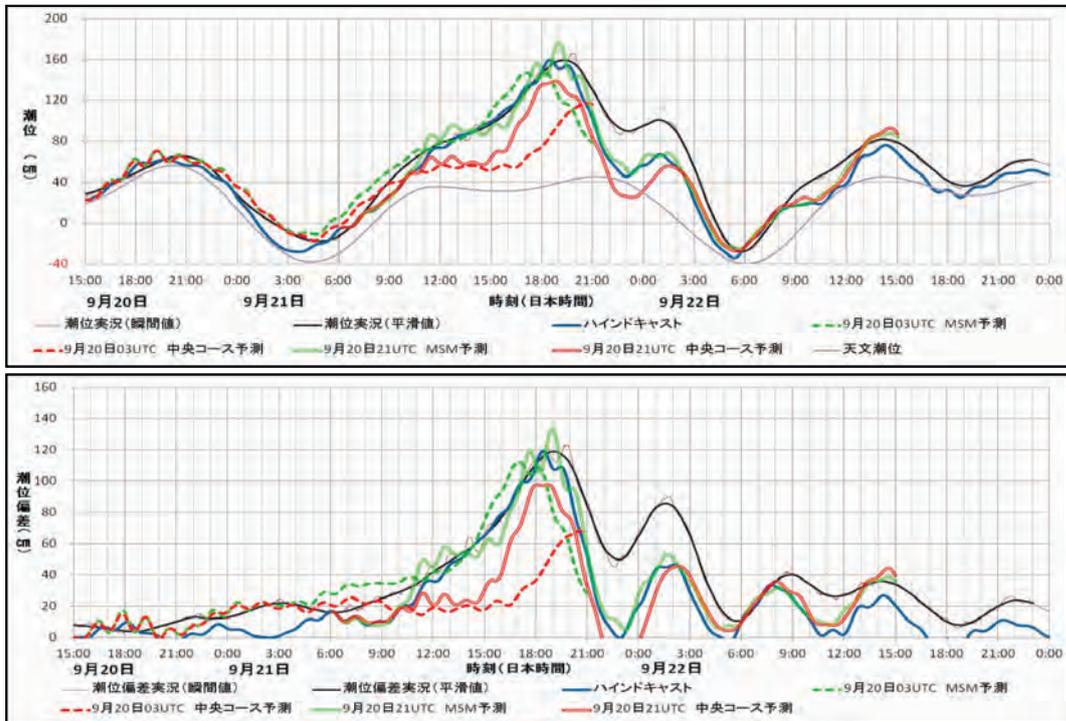
第3.5.2.7図 台風第15号接近前後の御坊における潮位・潮位偏差の観測とハインドキャスト、高潮ガイダンス予測の比較（9月20日15時～9月23日00時）

単位は cm, 上図は潮位の観測と予測, 下図は潮位偏差の観測と予測



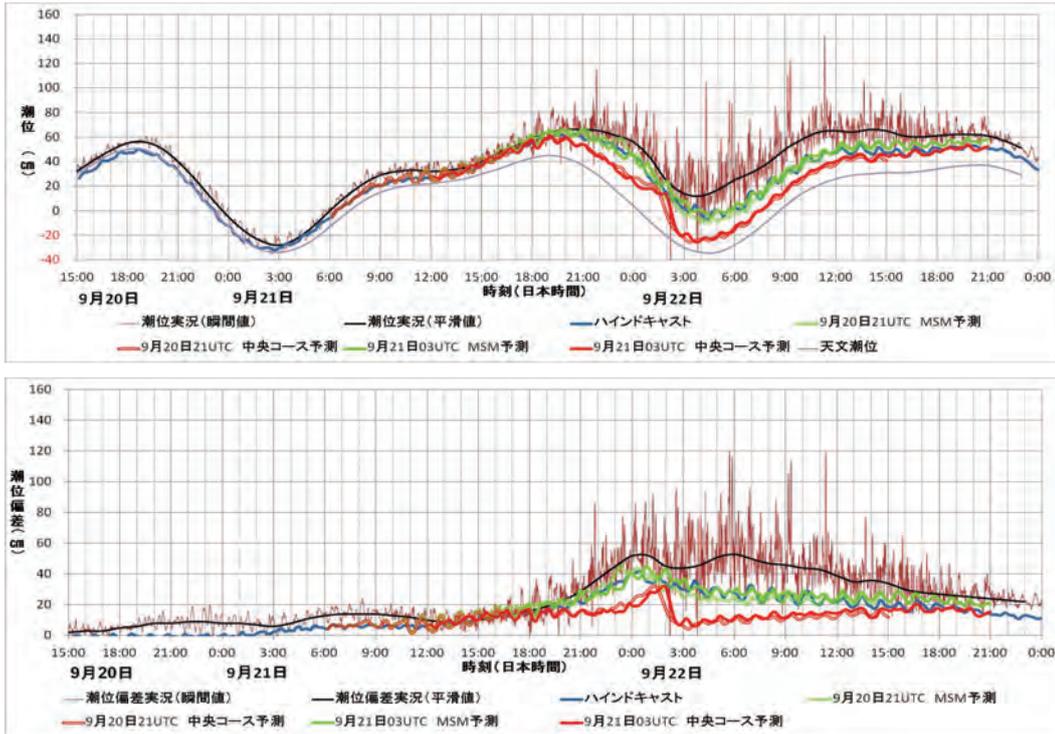
第3.5.2.8図 台風第15号接近前後の舞阪における潮位・潮位偏差の観測とハインドキャスト，高潮ガイダンス予測の比較 (9月20日15時～9月23日00時)

単位は cm, 上図は潮位の観測と予測, 下図は潮位偏差の観測と予測



第3.5.2.9図 台風第15号接近前後の東京における潮位・潮位偏差の観測とハインドキャスト，高潮ガイダンス予測の比較 (9月20日15時～9月23日00時)

単位は cm, 上図は潮位の観測と予測, 下図は潮位偏差の観測と予測



第 3.5.2.10 図 台風第 15 号接近前後の宮古（臨時）における潮位・潮位偏差の観測とハインドキャスト，高潮ガイダンス予測の比較（9 月 20 日 15 時～9 月 23 日 00 時）
 単位は cm，上図は潮位の観測と予測，下図は潮位偏差の観測と予測

る。なお、名古屋についても、観測値や高潮ガイダンスに台風通過後の副振動が見られたが、高潮ガイダンスでは副振動をやや過大に表現する傾向が見られた（第 3.5.3 項参照）。

- ・宮古（臨時）（第 3.5.2.10 図）では、前述した台風からやや離れた時間帯での MSM による予測値と中央コースによる予測値の差が明瞭であった。

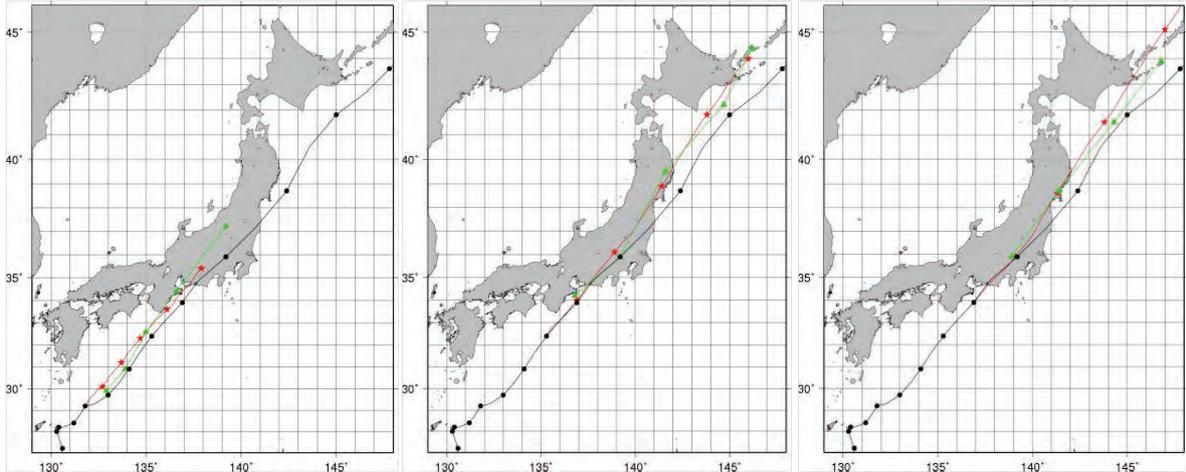
このうち、御坊における観測と予測の差については、第 3.5.2.3 目で述べた海洋の影響による潮位の上昇に起因するものと考えられる。

次に、中央コースでの高潮ガイダンスについて検討するため、第 3.5.2.11 図にベストトラックによる台風第 15 号の経路と進路予想の対応を示した。台風の進路予想は、9 月 20 日 12 時初期時刻の進路予想では MSM・中央コースとも、実際に比べて若干西寄りであった。また、進行速度は MSM では実際よりやや速め、中央コースではやや遅めであった。各地点に共通してみられる 9 月 20 日 12 時初期時刻の中央コースでの高潮のピー

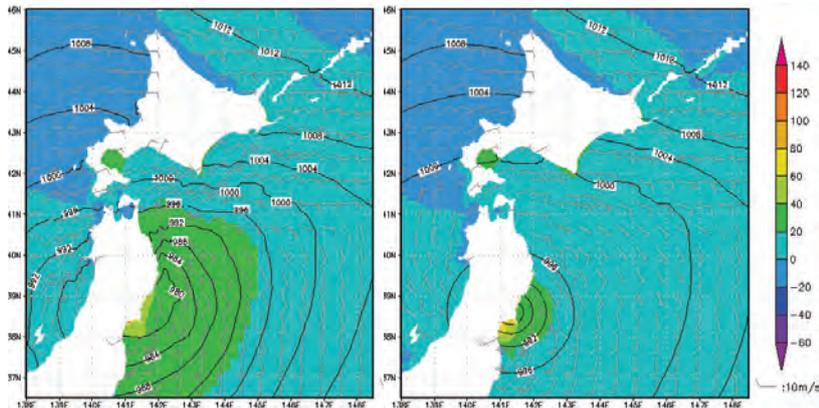
ク位相の遅れは、台風進路予想がやや遅めであったことに起因していたと考えられる。なお、9 月 21 日 06 時初期時刻、9 月 21 日 12 時初期時刻の進路予想でも MSM・中央コースとも実際に比べて若干西寄りであったが、進行速度は実際とほぼ整合していた。

また、台風第 15 号の強度(中心気圧, 最大風速), 大きさ(強風半径, 暴風半径)について、ベストトラックによる確定値と予想値の比較を行った。その結果、9 月 20 日 12 時初期時刻では強度, 大きさともに実際よりも小さく、9 月 21 日 06 時初期時刻, 9 月 21 日 12 時初期時刻では大きさが実際よりも小さかった。

このほか、台風からやや離れた地域における潮位偏差については、MSM による予測値が中央コースによる予測値より大きかった。このことに関して、東北地方を台風が通過する際の潮位偏差分布について MSM と中央コースのそれぞれの予測値を比較した結果を第 3.5.2.12 図に示す。この時間の台風の予想位置は MSM と中央コースでほぼ



第3.5.2.11図 台風第15号の経路（ベストトラック）と各初期時刻のMSM，中央コースによる進路予想
 左図：9月20日12時，中図：9月21日06時，右図：9月21日12時の各初期時刻の進路予想
 黒は6時間ごとのベストトラック，赤は中央コース予想，緑はMSM予想．予想はFT=30まで



第3.5.2.12図 MSMと中央コースによる高潮モデル予測の違い
 色は潮位偏差（単位はcm），矢羽は風向風速，等値線は気圧
 ともに9月21日12時初期時刻による12時間後の予測 左図：MSM 右図：中央コース

同じであった（実際のコースはこれより100kmほど東よりであった）が，中央コースでは台風の中心付近を除くと潮位偏差20cm以上の領域が狭いのに対し，MSMではその領域が大きく広がっている．この傾向は，台風が紀伊半島に接近した際にも見られた（図省略）．宮古（臨時）のほか各地点におけるMSMと中央コースの潮位偏差予測の差は，台風周辺部の気圧と風の分布予想が両者で若干異なることに起因している可能性がある．主な要因として，前述した台風の強度，大きさの予想が実際よりも弱く，小さかったことのほか，地形の影響による台風の変形や台風が中緯度まで北上してきたことにより台風構造が変化する

過程を，MSMではある程度考慮することができるものの，台風ポーガスでは十分に考慮できていない（森，2010）ことが考えられる．

また，舞阪における高潮ピーク前後に見られる観測潮位偏差とハインドキャスト・高潮ガイダンスの予測潮位偏差の差は，波浪による潮位上昇効果（wave setup）が原因である可能性があるが，これについては第3.5.3項で詳しく述べる．

参 考 文 献

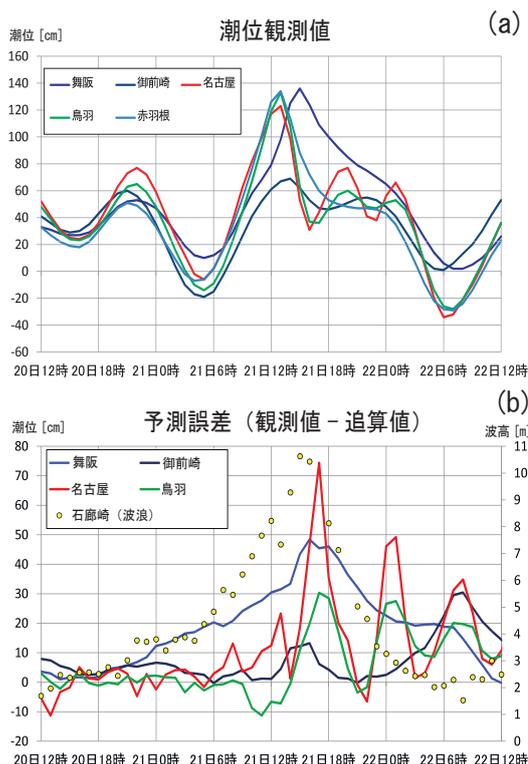
森裕之（2010）：新しい高潮ガイダンス．平成21年度予報技術研修テキスト，82-97．

3.5.3 波浪による潮位上昇の効果*

平成23年の台風第15号は、南大東島の西海上をゆっくり動いた後、9月19日21時には最大風速が65kt (35m/s) の強い台風となって奄美群島の南東海上を北東に進み、20日21時には中心気圧940hPa、最大風速85kt (45m/s) と非常に強い台風となった。台風は、速度を速めつつ四国の南海上から紀伊半島に接近した後、21日14時頃に静岡県浜松市付近に上陸した。台風の接近に伴い、日本の南岸をはじめ各地で高潮が発生した。

第3.5.3.1図に、(a) 東海地方の検潮所における観測潮位と、(b) 高潮モデル追算値(追算値)については第3.5.2項の説明を参照)と観測値の差(以下「予測誤差」)を示す。予測誤差の図には、石廊崎沿岸波浪計で観測された波高も示した。伊勢湾内の名古屋と鳥羽の両検潮所では高潮モデルが台風通過後の副振動を過大評価したため、21日から22日にかけて大きな予測誤差の振動が出ているが、台風接近までは御前崎を含めた3検潮所ともおおむね予測誤差は±10cm前後で推移しており、高潮モデルは精度よく予想できている。一方、舞阪では20日18時頃より予測誤差が増大し始め、台風最接近前後には最大48cmの差となり、その後22日12時ごろまで大きな予測誤差が続いた。この予測誤差の増大は石廊崎の波高と対応がよく、舞阪における高潮(潮位偏差)の過小評価は、波浪に起因していると考えられる。過去にも、磯崎(1970)は複数の台風事例の解析から、舞阪の高潮の一因として波浪の影響(wave setup, 以下「ウェーブセットアップ」)があることを報告している。

本項では、潮位に対する波浪の影響(ウェーブセットアップ)について解説し、台風第15号による高潮と波浪の状況について解説する。また、現在高潮モデルには波浪の影響は考慮されていないため、気象庁海洋気象情報室ではウェーブセットアップによる潮位上昇量を推算する手法の開発を進めている。同手法の概要と性能についても紹介する。



第3.5.3.1図 2011年9月20日12時～22日12時における東海地方の検潮所の(a)観測潮位と(b)予測誤差
石廊崎波浪計の波高観測値も付けた。

3.5.3.1 潮位に対する波浪の影響

舞阪検潮所をはじめとして、高潮の予測誤差が大きくなる理由の一つに波浪の影響が挙げられる。潮位のような平均水位に対する波浪の影響として、ウェーブセットアップがある。ウェーブセットアップとは、波から海水に作用が働き、吹き寄せ効果と同様に海水を上昇させる現象である。

Longuet-Higgins and Stewart (1962, 1964)は、波が運動量を持つことから海水に作用が生じることを示し、その作用(応力)を radiation stress (以下「ラディエーションストレス」)と名付けた。

ラディエーションストレスの詳細は、上記論文や Mei *et al.* (2005) 等を参照してもらいたい。重要な点は、波が存在することにより海水に作用が生じるということである。ウェーブセットアップは、このラディエーションストレスによって発生する。岸に向かう方向成分 x について、平均水

* 地球環境・海洋部海洋気象情報室 高野 洋雄・近澤 昌寿(現 舞鶴海洋気象台)

位 η , 水深 h , ラディエーションストレス S_{xx} とし, 海水とラディエーションストレスの作用のバランスを考えると, 以下の式が成り立つ (Longuet-Higgins and Stewart, 1964).

$$\frac{d\eta}{dx} = -\frac{1}{\rho g(\eta+h)} \frac{dS_{xx}}{dx} \quad (3.5.3.1)$$

ここで, ρ は海水の密度, g は重力加速度である. 平均水位は, ラディエーションストレスと水深の関数になる. ラディエーションストレス S_{xx} は, 波高の2乗に比例するので, 進行先で波高が減少する場合 $dS_{xx}/dx < 0$ となり, 平均水位は高くなる. これがウェーブセットアップである. 一方, 波高が増大する場合は, 水位は低下する. この水位低下を wave setdown (以下「ウェーブセットダウン」という). なおウェーブセットアップは「波によるエネルギーが海水に与えられて水位が上昇」と説明されることがあるが, 砕波等の現象では運動エネルギーは保存されないの厳密には正しくない. また, ウェーブセットアップは砕波により局所的に波高が低くなる時の現象であり, 波が高くなる時には逆にウェーブセットダウンとなる点にも注意が必要である (波が高いからウェーブセットアップとなっているというのは短絡的表現であり, 厳密には正しくない). ウェーブセットアップは, (3.5.3.1) 式を用いて, ラディエーションストレスの水平変化 (水平勾配) から求められる.

ウェーブセットアップは, 通常砕波帯における波の変形と砕波による水位変化という, 海岸部の局所的現象である. このため, その量を正確に見積もるには高解像度の計算が必要となる. Sasaki and Iizuka (2007) は, 格子解像度を変えた仮想的な計算を行い, 妥当なウェーブセットアップ量を得るには 50m 程度の水平解像度が必要という結果を得た.

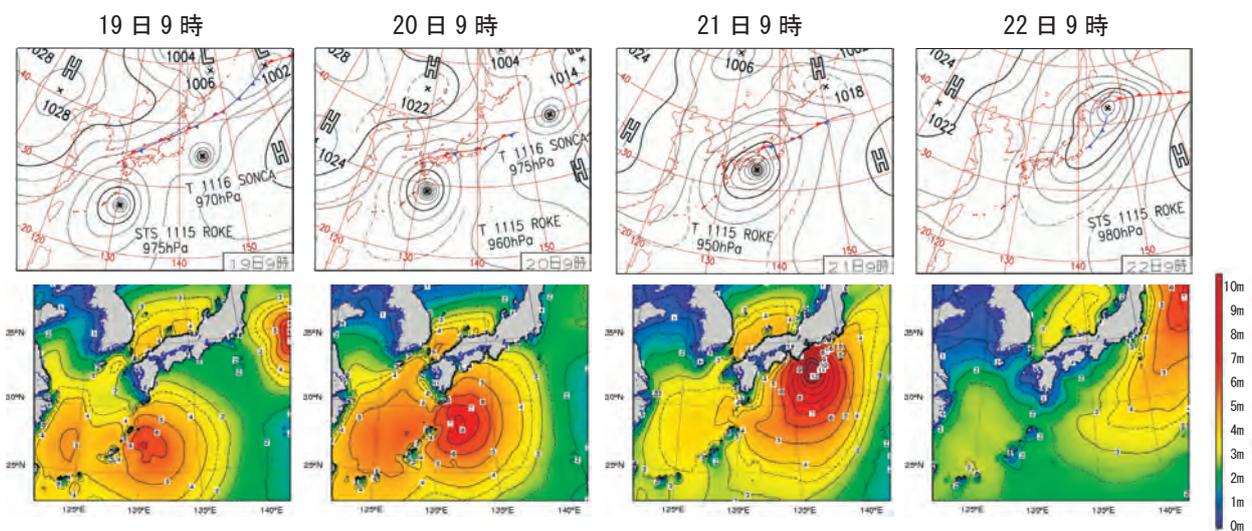
3.5.3.2 台風第15号による高波と舞阪検潮所の波浪

(1) 台風第15号による東海沖の波浪

第3.5.3.2図に, 9月19日から22日にかけての天気図と沿岸波浪図を示す. 台風第15号は19日に奄美群島の南東海上を北東に進み, 20日09時には速度を速めつつ東に進み, 21日14時頃に静岡県浜松市付近に上陸, 強い勢力を保ったまま東海地方から関東地方, 東北地方へと進んだ.

台風中心付近の波高は, 波浪図によると19日09時で8m超, 21日09時には波高12m超がそれぞれ解析されており, 高波であったことが分かる. 沿岸部においても台風の接近に伴って10m超を超える高波が観測された.

気象庁は, 静岡県石廊崎に沿岸波浪計を設置して波浪観測を行っている. なお, 気象庁では平成22年より従来の超音波式沿岸波浪計に代わりレ



第3.5.3.2図 9月19日から22日にかけての天気図 (上段) と沿岸波浪図 (下段) 波浪図は波高を示す.

レーダー式沿岸波浪計の導入を進めており、石廊崎沿岸波浪計も平成22年7月7日からレーダー式波浪計となった。

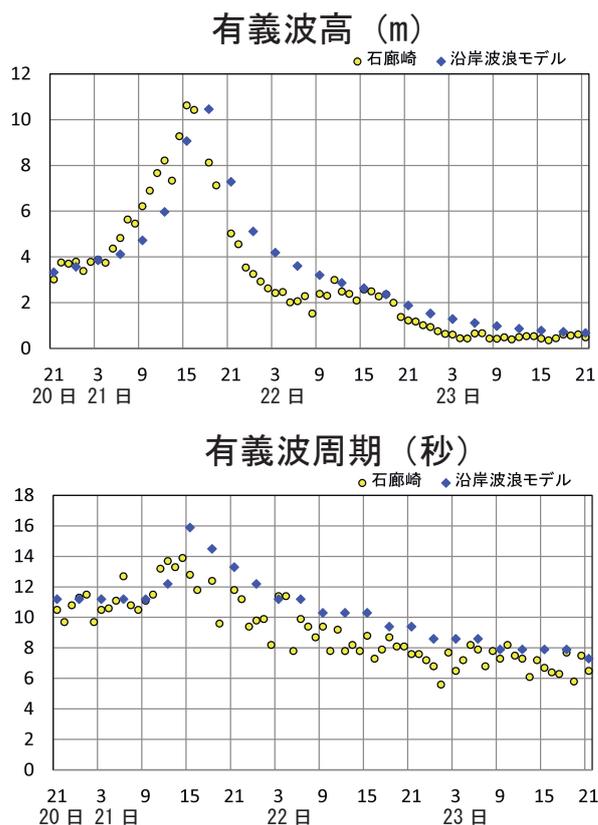
第3.5.3.3図に、20日21時から23日21時までの石廊崎の沿岸波浪計の観測値（毎時）と、沿岸波浪モデルの予測結果（3時間ごと）を示す。波浪モデルの結果は、19日21時初期値の予測値である。

石廊崎は、うねりの到達により台風の接近前の20日から波高4m近い値が観測されていたが、台風の接近に伴って急に波高が高まり、21日15時に最大波高10.63mを観測した。この値は、従来型沿岸波浪計による観測値を含めても、石廊崎における過去最大の波高となった。波浪計の形式が異なるため単純に比較できないものの、台風による稀な高波観測値であったことは確実である。

レーダー式波浪計は、従来の観測項目である波高や周期に加え、波向、更には方向・周期別のエネルギー（波高の2乗に相当）成分である波浪スペクトルも観測できる。台風による波は、風浪とうねりが混在した状態になっていると考えられるが、実際に高波の波浪スペクトルを観測した事例は少なかった。今回のように、台風による波高10mクラスの波浪スペクトルが観測された例は珍しく、その意味においても貴重な観測結果といえる。

第3.5.3.4図に、石廊崎波浪計の観測した波浪スペクトルと、20日21時初期値の沿岸波浪モデル予測値の波浪スペクトルを示す。なお、モデルの波浪スペクトルは、格子解像度の関係で若干沖合地点の値を使用した。

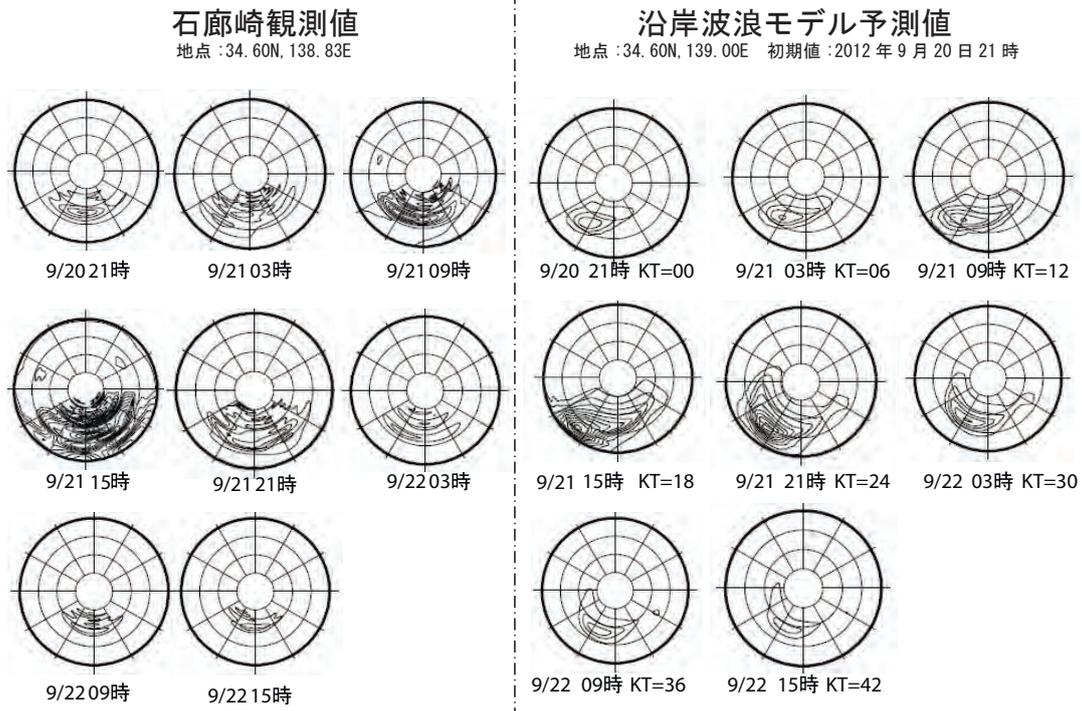
台風が接近する前の20日21時は、南からうねりが入っていたが、その後21日にかけて南西のうねりが卓越し、エネルギー（波高）が大きく、かつ長周期成分が卓越した。台風が近づくとつれて、波向は再び南寄りとなり、台風前面の南東風による風浪が加わった。南東の風浪エネルギーはうねりに比べてピークが図の中心よりであり、周期が短めであったことを表している。台風が接近した21日15時前後には風浪も発達して周期も長くなり、スペクトル分布から風浪とうねりを識別することは難しい。台風通過後は、南象限でうね



第3.5.3.3図 石廊崎波浪計の観測値
上段は有義波高 (m), 下段は有義波周期 (s) を表し、●は観測値、◆は沿岸波浪モデル (9月19日21時初期値) の予測値を示す。

りが残るものの、全体のエネルギーは小さくなった。

なお、観測された波浪スペクトルは、方向成分の広がり方が120度付近で途切れているように見える。これは波浪計の設定による。レーダー式波浪計では、30度の範囲（セクタ）を観測するアンテナを6つ備え、各セクタで去来する2成分の波を観測し、360度分の波浪エネルギーを得ている。なお、波浪スペクトルの方向については、観測値から10度毎の36成分が算出される。石廊崎沿岸波浪計の場合は、地形の影響を避けるため両端の2セクタを除いた4セクタ（120度分）の南側範囲しか観測を行っていない。21日15時のように広範囲にわたって方向成分が算出されることがあるが、それ以外の観測についても、120度付近で急にエネルギーが途切れている場合は、それ以上の範囲に波浪スペクトルがエネルギーを持つと推



第3.5.3.4図 石廊崎波浪計（左）と沿岸波浪モデル（右）の波浪スペクトル

スペクトルは、平方根をとった値（波高の次元）で表した。また、偏角は波向、動径は周期を表し、周期の円環は原点から5秒ごと（外側が長周期）に引いてある。

察される。

モデルの波浪スペクトルは、大筋で観測とよく一致した分布をしていたことから、波浪モデルは、波高や周期などの統計量だけでなく、波浪スペクトルも精度よく予測していたと評価できる。ただし、波浪モデルでは、波向は南西にピークを予測しているほか、台風通過後のうねりを過大評価する等の違いが見受けられた。波浪モデルの精度向上には、波高等の統計量に加えて、モデルの物理量である波浪スペクトルの改善が必要であり、今後、波浪スペクトル観測値の活用（データ同化）が期待される。

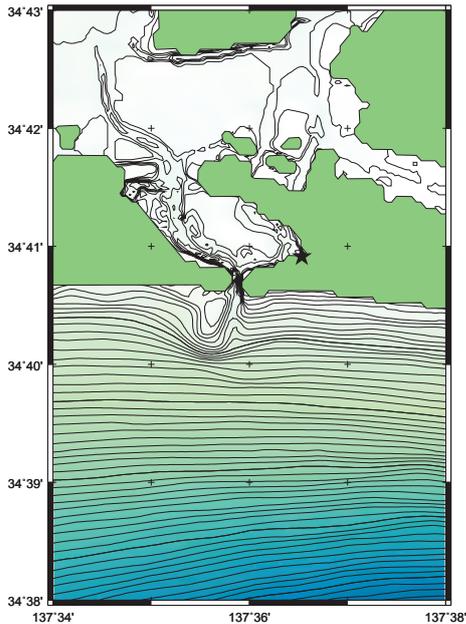
(2) 舞阪付近の波浪についての考察

舞阪検潮所付近の海底地形と波浪状況を詳細に検討し、ウェーブセットアップの寄与を考察する。舞阪検潮所付近の海底地形を第3.5.3.5図に示す。舞阪検潮所は、浜名湖内に設置され外洋に面していないので、高波の影響を受けるとは考え難い。

しかし、海岸線を見ると湾口部には、山型に水深の浅いところがあり、そこでは浅水効果によって波浪が変形すると考えられる。

前述のとおり、沿岸波浪モデルは台風第15号による波浪を比較的精度良く予測しており、モデル予測値は、舞阪の付近の沖合波浪とみなせる。第3.5.3.6図は舞阪沖（北緯34.6度、東経137.6度）における沿岸波浪モデルの予測値を示す。21日15時に、最大波高10m、周期15秒という高波が南南西から入っている。

この波高を参考に、浜名湖に入射する波浪の浅水変形計算を行ったところ、南南西の沖から入射した波は、湖開口部南の水深が浅いところで屈折によりエネルギーが集積し、屈折の結果、波が主に湖内北東部へ向かって伝播していく様子が確認できた（図省略）。屈折のみを考慮した結果であるが、舞阪検潮所は、浜名湖内に設置されているものの外洋波浪の影響を受けやすい場所といえよう。



第3.5.3.5図 舞阪検潮所付近の海底地形
星印は舞阪検潮所の地点を表す。

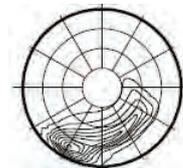
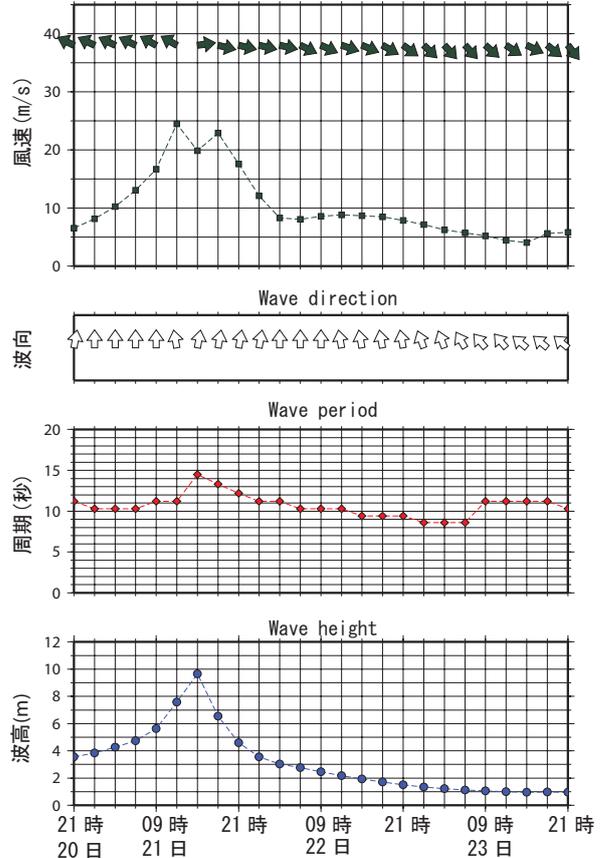
3.5.3.3 ウェーブセットアップ推算手法

気象庁は、1998年7月に高潮モデルの運用を開始してから、対象領域の拡大、予想時間の延長、温帯低気圧への対応、1km格子への高解像度化などを行ってきた。一方で、ウェーブセットアップは考慮されていないため、高波が来襲する、外洋に面した地域等では高波高時に潮位偏差が過小評価となりやすい（上野, 2006）。

このため、海洋気象情報室では、沿岸波浪モデルGPV（有義波の波高、周期、波向）から診断的にウェーブセットアップ量を計算する手法（以下、「ウェーブセットモデル」）の開発を進めてきた。この手法は、合田（1975）の手法を基とし、以下の手順で計算を行う。沖から汀線までを複数の格子に分割し、海底勾配等を参照して各格子における波の浅水変形係数を算出する。この係数から、各格子における波高（実際には波のエネルギー）の変化を求め、エネルギー変化（ラディエーションストレスの変化に相当）から水位変化（ウェーブセットアップ）量を計算する。

なお、合田（1975）の手法をそのまま用いて計算すると、ウェーブセットアップ量が過大評価される等の問題があったため、実用的な方法として以下の2点を変更した。

34. 6N, 137. 60E地点の波浪と海上風
(2011年9月20日21時初期値)
Wind speed and direction



9/21 12時 KT=15

第3.5.3.6図 舞阪沖合の沿岸波浪モデル予測値
上から海上風、波向、周期、波高の時系列と21日15時の波浪スペクトルを示す。

1) 合田（1975）では、ウェーブセットアップの他に surf beat（以下「サーフビート」）も考慮するようになっていた。サーフビートとは、海浜にみられる周期が2、3分程度の海面の変動で、波群によって引き起こされるとされる。サーフビートの詳細については Holthuijsen（2007）等を参照されたい。サーフビートは汀線付近の波高・水位に影響を与えるが、水位上昇への影響はウェーブセットアップに比べて数%程度と小さいため（合田1975）、この効果は考慮していない。

2) 座標軸は海岸線に垂直な方向に軸をとり、この軸と波向の角度に応じて海岸へ向かう波エネルギーを補正している。また、沿岸波浪モデルの予測値は、卓越波向しか利用できないため、波浪の方向分布は $\cos^2\theta$ 型と仮定し、この分布関数を用いてウェーブセットアップ量を計算している。また、離岸の波浪の時はウェーブセットアップ量を0としている。

3.5.3.4 ウェーブセットモデルの性能

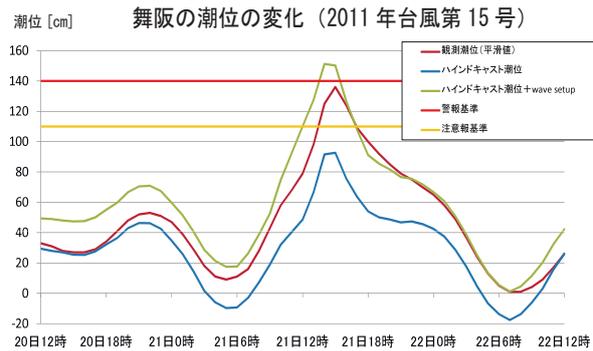
(1) 台風第15号による舞阪の事例への適用結果

舞阪検潮所では、台風第15号最接近前後の15時に高潮警報基準(140cm)を超える151cmの最高潮位(瞬間値)を観測した。第3.5.3.7図は、2011年9月20日12時～22日12時の、舞阪検潮所における毎時潮位時系列である。赤線は観測潮位(平滑値)、青線は高潮モデルの追算潮位を示している。観測された潮位は、瞬間値から副振動等の短周期変動を除去した平滑値でも15時に136cmと警報基準値に近くなった。一方、追算潮位は最高93cmと、注意報基準値(110cm)にすら到達していなかった。

第3.5.3.7図の緑線は wave setup モデルによる推定量を追算潮位に加算したものである。ウェーブセットアップ量の加算により、台風が種子島付近にあった20日は、逆に過大な潮位となっているものの、台風が接近し波高が5mを超え始めた21日06時以降22日の06時くらいまではおおむね観測と一致し、今回の舞阪の追算潮位の過小評価はほぼ解消された。wave setup モデルは、台風最接近前後の警報級の波高時に、ほぼ適切なウェーブセットアップ量を推算できたといえよう。

(2) ウェーブセットモデルの統計的検証

第3.5.3.8図は、追算潮位及び追算潮位にウェーブセットアップ量を加算した値の、観測潮位に対する平均二乗誤差(RMSE)を波高階級別に示したものである。期間は、沿岸波浪モデルが高解像度化された2007年5月から2010年12月までをとり、舞阪のほかウェーブセットアップの影響が顕著と思われる数地点も挙げた。



第3.5.3.7図 2011年9月20日12時～22日12時における舞阪の毎時潮位時系列

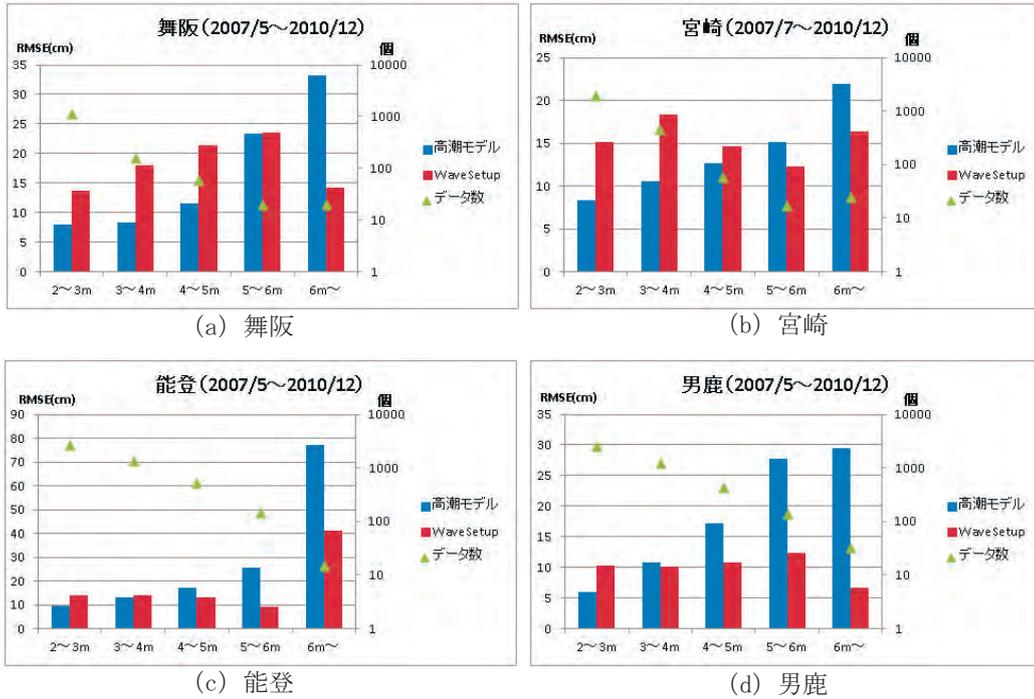
観測潮位(赤)、追算潮位(青)、追算潮位+ウェーブセットアップ量(橙)を示す。なお、赤と黄色の点線はそれぞれ警報基準と注意報基準である。

舞阪の場合、RMSEは波高4mまでは追算値そのままの方が小さいが、6m以上ではウェーブセットアップを加算した方が小さくなる。この傾向は他の地点でも同様に見られ、高波高時にはウェーブセットアップモデルの結果を加味した方が予測誤差は小さくなるのが、統計的に確認できた。一方で、低波高時には、ウェーブセットアップモデルによる上昇分を加えると、逆に過大な推定値となる場合があった(例えば、第3.5.3.1図の20日12～18時)。

3.5.3.5 今後の計画と課題

開発したウェーブセットアップモデルは、平成24年度に試験運用を開始して評価を進め、平成26年度の台風シーズン前には、潮位観測地点を対象に同モデルを業務運用する計画である。潮位観測地点に限定したのは、ウェーブセットアップが局所的な現象であり、その精度・信頼性の評価は観測のある地点でしかできないためである。将来的にウェーブセットアップモデルの予測信頼性等が確認できれば、全海岸への適用も検討したい。

なお、特定地点のみ計算を行うため、ウェーブセットアップ情報の加算・不可算地点が混在しないよう、ウェーブセットアップ予測値はガイダンスに加え、別途参照する提供形態を予定している。また、今回の精度評価結果を踏まえて、波高が2mを超える場合のみウェーブセットアップの



第3.5.3.8図 2007年5月～2010年12月の波高階級別のRMSE（目盛は左）とデータ数（目盛は右：対数）
 地点は(a)舞阪，(b)宮崎，(c)能登，(d)男鹿の4地点。(宮崎は国土交通省港湾局所管，男鹿は国土地理院所管。)

計算を行う予定である。

今後、ウェーブセットアップモデルの低波高時の精度改善等、更に改善を図っていく予定である。また、ウェーブセットアップモデルで用いる沿岸波浪モデルの波高予測値は、解像度が 0.05° （約5km）とウェーブセットアップを評価するには決して十分とはいえないうえ、沿岸波浪モデルには浅水効果が含まれていない（今後、沿岸波浪モデルにも浅水効果を導入する計画である）。現在展開を進めている浅海波浪モデルは、浅水効果を含み、格子解像度も1分（約1.8km）と、沿岸波浪モデルよりも詳細な波浪場を推算できるので、同モデルの利用も検討している。

参 考 文 献

合田良美 (1975) : 浅海域における波浪の碎波変形. 港湾技術研究所報告, 14 (3), 59-106.
 Holthuijsen (2007) : Waves in Oceanic and Coastal Waters. Cambridge Univ. Press, 381pp.

磯崎一郎 (1970) : 舞阪の高潮. 沿岸海洋研究ノート, 8 (2), 40-47.
 Longuet-Higgins, M.S. and R.W. Stewart (1962) : Radiation stress and mass transport in gravity waves, with applications to 'surf-beats'. J. Fluid Mech., 13, 481-504.
 Longuet-Higgins, M.S. and R.W. Stewart (1964) : Radiation stress in water waves; physical discussion, with applications. Deep-Sea Res., 11 (4), 151-159.
 Mei, C.C., M. Stiassnie, and D. K.P. Yue (2005) : Radiation Stress, Bound Long waves and Longshore Currents. Theory and Applications of Ocean Surface Waves. Part 2: Nonlinear Aspects. World Scientific Pub., 547-609.
 Sasaki, W. and S. Iizuka (2007) : Sensitivity of model resolution to wave setup calculation. Proceedings of 1st JCOMM Scientific & Technical Symposium on Storm Surges, Seoul, Korea 2-6 Oct. 2007, WMO/TD-No. 1442. 1-10.
 上野大輔 (2006) : 高潮数値予報モデルの検証. 気象庁技術報告, 129, 210-225.

第4章 関係省庁合同調査と防災気象情報の課題

4.1 合同調査の概要*

気象庁では、平成23年7月新潟・福島豪雨、平成23年台風第12号及び台風第15号で被災した主な市町村に対して聞き取り調査を実施し、当時の市町村における防災体制や避難勧告等の判断への防災気象情報の利活用などについて話を聞いた。

平成23年7月新潟・福島豪雨関連では、内閣府及び気象庁が合同で聞き取り調査を実施し、新潟県長岡市、見附市、三条市、福島県柳津町、金山町、只見町を訪問した。東京管区気象台及び新潟地方気象台も同行した。

台風第12号関連では、内閣府、消防庁、国土交通省及び気象庁の4府省庁による合同調査を実施し、甚大な被害となった奈良県五條市、十津川村、和歌山県田辺市、那智勝浦町、新宮市を訪問した。大阪管区気象台、奈良地方気象台、和歌山地方気象台も同行した。

台風第15号関連でも同じく4府省庁による合同調査を実施し、100万人を超える市民に避難勧

告等を発令したと報道された名古屋市を訪問した。東京管区気象台、名古屋地方気象台も同行した。

4.2 新潟・福島豪雨に関する調査*

平成23年7月27日から30日にかけて、新潟県と福島県会津を中心に「平成16年7月新潟・福島豪雨」を上回る記録的な大雨となった。この大雨により、新潟県、福島県では各地で堤防の決壊や河川の氾濫による住家の浸水・農地の冠水が発生したほか、土砂災害による住家や道路の被害も多数発生した。一方、新潟県、福島県における死者は4名、行方不明者は2名と、平成16年7月新潟・福島豪雨の際の死者16名と比べて人的被害が少なかった（第4.2.1表）。

気象庁は、平成23年7月27日から30日にかけての大雨を「平成23年7月新潟・福島豪雨」と命名した。

内閣府は、「平成23年7月新潟・福島豪雨」（以下「平成23年豪雨」という。）では、「平成16年

第4.2.1表 平成23年7月新潟・福島豪雨と平成16年7月新潟・福島豪雨との被害状況の比較

平成23年7月新潟・福島豪雨の被害状況は、平成23年12月16日18時現在、消防庁資料により、福島県と新潟県のみを抜粋した。

平成16年7月新潟・福島豪雨の被害状況は、平成16年9月10日15時現在、消防庁資料による。

	都道府県名	人的被害				住家被害				
		死者	行方不明者	負傷者		全壊	半壊	一部損壊	床上浸水	床下浸水
				重傷	軽傷					
人	人	人	人	棟	棟	棟	棟	棟		
平成23年7月 新潟・福島豪雨	福島県		1			33	199	3	80	193
	新潟県	4	1	2	11	40	799	32	1,133	7,567
	計	4	2	2	11	73	998	35	1,213	7,760
平成16年7月 新潟・福島豪雨	福島県	1		1					8	90
	新潟県	15		2	1	70	5,354	94	2,141	6,118
	計	16		3	1	70	5,354	94	2,149	6,208

* 予報部予報課 向井 利明

7月新潟・福島豪雨」(以下「平成16年豪雨」という。)を上回る大雨となったにもかかわらず人的被害が平成16年豪雨よりは少なかったのかという観点で、新潟県及び福島県の主な市町村に、平成16年以降の水害対策や平成23年豪雨に際しての対応等について、聞き取り調査を行うことにした。気象庁でも、市町村における防災体制や避難勧告等の判断に防災気象情報がどのように活用されたのかという観点で聞き取り調査を行うことを計画していたため、内閣府と合同で調査を行うこととした。

4.2.1 調査概要

(1) 日程及び参加者

聞き取り調査は、以下の日程で実施した。

平成23年

9月7日 新潟県長岡市

9月8日 福島県柳津町, 福島県金山町

9月9日 福島県只見町

9月26日 新潟県見附市, 新潟県三条市

気象庁からは予報部予報課気象防災推進室調査官と洪水情報係員が参加し、新潟県内の調査には東京管区气象台気象防災情報調整官と新潟地方气象台気象防災情報調整官及び防災気象官が、福島県内の調査には福島地方气象台防災気象官と予報官がそれぞれ参加した。内閣府からは政策統括官(防災担当)付災害応急対策担当参事官補佐 防災情報官が参加し、内閣府の依頼を受けた新潟大学危機管理本部危機管理室の田村圭子教授、新潟大学災害・復興科学研究所の井ノ口宗成助教も参加した。その他、新潟県及び福島県の防災担当者もそれぞれの県内での聞き取り調査に同席した。

市町側は、新潟県内の市は防災担当部署の長と担当者が、福島県内の町は町長若しくは副町長及び防災担当課の長と担当者に出席していただいた。

(2) 聞き取り調査の方法

あらかじめ、両府庁で用意した調査票を内閣府から各市町に送付した。聞き取り調査当日各市町は、被害概要、当時の対応状況、調査票への回答などを用意していた。まずはこれらの資料につい

て、市町側から説明を受けた。この説明に対して、新潟大学田村教授が質問し、市町が答えるという形で聞き取り調査が進行した。次に気象庁から、防災気象情報の利活用を中心に質問し、市町に答えてもらった。1市町あたり1時間30分から2時間かけて調査した。

なお、気象庁からは、当時の気象状況を思い出しながら話ができるように、各市町のハイエトグラフ(1時間雨量、流域雨量指数、防災気象情報の発表状況等をグラフにしたもの)と、防災気象情報と市町の主な防災対応等を時系列でまとめた表形式の資料を参考配布した。

4.2.2 聞き取り調査結果の概要

(1) 新潟県長岡市

①被害の概要について

- ・平成16年豪雨では死者4人、平成23水害では死者は0。
- ・雨量は平成23年水害の方が多かった。平成23年水害では山間地の栃尾地域でも大雨となった。今回住宅全壊(4棟)は全て土砂災害。
- ・平成16年豪雨では、信濃川支流の刈谷田川左岸が決壊した。
- ・平成16年豪雨と比べて人的被害、住宅被害が大幅に減少したのは、①河川改修、②早期避難と住民への情報伝達強化、の二つが考えられる。

②平成16年豪雨以降の対策について

- ・刈谷田川、稚児清水川、猿橋川水系における河川改修が行われた。
- ・災害対策本部機能を強化するため危機管理防災本部を新設した。
- ・本庁(本部)と支所10か所(現地対策本部)の2本立ての体制をとるようにした。
- ・「長岡市災害対策本部 本部設置・運営マニュアル」を策定し、河川の水位、土砂災害警戒情報等による避難勧告等の判断基準を設定した。
- ・住民への情報伝達を強化した。緊急告知FMラジオ、エリアメール、NPOのメールサービス等複数の手段を導入。臨時災害放送局にコミュニティFMを利用、放送エリアの拡大

など。

- ・自宅の2階への避難や近くのビルなどへ避難する方が安全な場合もあることの呼びかけ(第4.2.2.1図)。
- ・自主防災会の結成を支援。平成16年の結成率(会加入世帯/総世帯数)は31%だったが平成23年は90%に上昇。

③平成23年豪雨での対応について

- ・避難勧告等は、各河川の水位及び土砂災害警戒情報並びに現場の状況等により判断して発令した。
- ・避難勧告等の対象人数(勧告:約6万5千人、指示:約7千人)に対して実際に避難所に避難した人数(2,360人)は必ずしも多いとは言えないが、2階への避難が安全な場合もあることを呼びかけたため(第4.2.2.2図)、そのように避難した人も多いと思われる。
- ・夜間に避難勧告等の基準になった場合に、避難させた方がよいかどうか悩んだ。土砂の危険地域は限られているので、夜中に避難の連絡をする場合があることを支所にはあらかじめ連絡しておいた。
- ・栃尾地域で土砂災害が発生したが、事前に避難行動がとられており、人的被害はなかった。
- ・避難勧告等の情報は、緊急告知FMラジオ、エリアメール、NPOによるメールサービス、町内会への連絡、ホームページ、広報車など多様な手段で住民に伝達した。
- ・今回の水害では、エリアメールを14回発信。長岡市への旅行者にも情報を伝達することができた。
- ・緊急告知FMラジオは、緊急時には自動的に受信電源が入り、大音量で緊急放送を流せる。流す情報は、あらかじめ何パターンかの原稿を用意してある(平成22年9月の大雨時、原稿準備に手間取ったため、あらかじめ原稿を用意するよう改善した)。
- ・緊急告知FMラジオやエリアメールで「対象地域+避難場所+気象の情報」の形式で流す。気象の情報については、「今後も昼過ぎまで大雨に警戒」等、短文にまとめて放送している。



第4.2.2.1図 長岡市パンフレット「大雨による災害に備えて」より

7月30日5時50分 避難勧告発令
 現在、栖吉川は、河川の増水のため危険な状態になりつつあります。

午前5時50分に栖吉川から概ね300m以内の地域に「避難勧告」を発令しました。落ち着いて指定された避難所に避難を開始してください。

(略)

ご近所に避難が困難な人がおられましたら、避難の手助けをお願いします。
 避難所へ避難するよりも、自宅の2階への避難や、お近くのビルなどへ避難する方が安全な場合もありますので、ご検討ください。

長岡市危機管理防災本部

第4.2.2.2図 住民への避難情報の例(長岡市)

④防災気象情報の利活用について

- ・土砂災害の場合は、気象台の大雨警報を補完する新潟県の「土砂災害前ぶれ注意情報」や県と気象台による「土砂災害警戒情報」を土砂災害の危険度が高まっている地域の町内会長へ伝達している。
- ・気象会社と契約し、「長岡市防災気象情報」というホームページで各種気象情報を住民に提供している。市町村ごとに発表された警報・注意報の本文も見るができる。
- ・平成23年豪雨での新潟地方気象台の気象情報で一番印象的だったのは「平成16年の新潟・福島豪雨に匹敵する」のキーワード。何ミリ降りますといわれるより「とんでもない

雨だ」と実感できた。平成16年の鮮烈なイメージが強く残っている。インパクトがあった。

- ・災害対策本部では気象レーダーは見ている。スネークライン図は参考程度に確認している。

⑤今回の豪雨を振り返って

- ・今回の豪雨を経験して、地域（支所）との連携強化がさらに大切だと感じた。避難判断をめぐり課題もあったので、検証して行く。

⑥気象庁側からの主なコメント

- ・土砂災害に対する避難の判断は難しいと思うが、スネークラインは参考になるはず。今回の土砂災害が、一連の降雨のなかのどの時点で発生したのかを、スネークライン等で確認しておくことも大切。
- ・水位データのないところでは、流域雨量指数も参考にしてほしい。
- ・大雨時には气象台とのホットラインを活用してほしい。
- ・実践的な防災訓練では、シナリオ作成段階から气象台は協力できる。
- ・防災気象情報に係る平常時の職員研修等でも气象台は協力できる。

(2) 新潟県三条市

①被害の概要について

- ・平成16年豪雨では、死者9名。6河川で11か所が破堤、全半壊家屋5,283棟となった。五十嵐川の破堤や市街地の浸水などで大きな被害となった。
- ・平成23年豪雨では、死者1名。旧下田村（中山間地）で河川改修のされていない部分の五十嵐川が破堤し家屋が流失。土砂災害により道路や家屋にも被害が出た。全半壊家屋410棟。
- ・避難指示は2,946世帯10,253人、避難勧告34,542世帯103,997人を対象に発令した。

②平成16年豪雨以降の対策について

- ・五十嵐川及び信濃川下流本川の改修がなされた。
- ・防災対策室の設置、対策本部内への市民班、

福祉班等の設置により役割分担を明確化したなど、防災体制を見直した。

- ・現地対策本部（副市長）の設置により地域の特性に応じた迅速な現場判断ができるようにした。
- ・雨量、河川水位情報、民間気象情報等の情報収集と共有を強化した。これらの情報はテレビモニターで対策本部にて共有できる。
- ・「三条市災害対応マニュアル」を整備した（市のホームページで公開）。防災体制と避難勧告等の判断基準は、水害については、河川ごと（五十嵐川、刈谷田川、信濃川）の水位で、発令地区を関連付けて決めている。土砂災害については、雨量、県の土砂災害前ぶれ注意情報、土砂災害警戒情報で決めている。
- ・住民への情報伝達手段の複数化（同報系防災行政無線（スピーカー）の整備、緊急告知FMラジオ、ケーブルテレビ、安全安心メール、携帯エリアメールの導入など）
- ・群馬大学大学院の片田教授の監修による「三条市豪雨災害対応ガイドブック」を全戸配布した。住民自らに避難を判断してもらうもので、夜や避難の困難な場合には垂直避難（2階）することも推奨している。防災訓練時にも「垂直避難」を指導している。
- ・災害時要援護者対策として、自治会、自主防災組織、民生委員、消防団員、介護保険サービス事業者による避難支援を実施。

③平成23年豪雨での対応について

- ・五十嵐川（渡瀬橋）の水位基準に基づき7月29日13時25分に災害対策本部を設置した。
- ・平成22年度に内閣府の実証実験（風水害シミュレーション型防災訓練）に参加してから、従来の紙による情報伝達ではなく、できるだけ電子媒体での情報伝達・共有を図るようにした（市長の考え）。
- ・防災担当者が、気象会社の情報、气象台の情報、河川水位などを収集した上で、本部長（市長）に状況を説明し、避難勧告等の判断を仰いだ。
- ・1時間又は30分ごとに災害対策本部会議を開催し、各班が被害や対応状況を報告した。
- ・7月29日13時25分、五十嵐川浸水想定地区

に避難準備情報を発令した。それ以降も、マニュアルに定めた基準に基づき、地域ごとに避難準備情報、避難勧告、避難指示を順次発令した。

- ・市役所から離れている旧下田村の状況が分からなかったため、下田支部に現地災害対策本部を置いた。現地の様子が把握できる現地災害対策本部の有効性を実感できた。
- ・避難勧告等の住民への伝達は、同報系防災無線、緊急告知FMラジオ、NCTケーブルテレビ（長岡市、三条市、小千谷市が出資）のテロップ、安心安全メール、エリアメール、各報道機関への周知など、複数の手段により行った。更に、特に危険な場所については、消防本部や消防団の車載スピーカーによる広報を行った。
- ・このうち、コミュニティFMの割り込み放送は、同報系防災行政無線の屋外スピーカーによる放送よりも確実に情報が把握できたということで、市民から高い評価を得ている。
- ・平成23年豪雨では、安全な建物の2階への避難を呼びかけた。

④防災気象情報の利活用について

- ・合併して大きな市となったが、旧市町村単位で防災対応の判断を行うので、できれば警報や気象情報は旧市町村名を明示してほしい。住民や自主防災組織は、「三条市〇〇地区」と言われないと、自分のこととして捉えることは難しい。

⑤今回の豪雨を振り返って

- ・水害に対しては、マニュアルに従って、河川水位に応じて、配備体制や避難勧告が発令できた。五十嵐川については、市街地に近い渡瀬橋の水位のみで判断しているが、このポイントは変える必要はないと考える。ただし、上流部の水位の活用については県と協議を行う必要があると考えている。
- ・土砂災害については、土砂災害警戒情報が28日22時39分に発表されてから長時間発表されたままで、危険度が見えない土砂災害への危機感をどのように持つか、現地ではたいした雨が降っていないときに夜間に見回りをさ

せるべきか、などが今後の課題と感じた。土砂災害に対する情報収集・分析力の向上を図りたい。

- ・ただし、その場合も、土壌雨量指数は専門的だし公開されていないので、インターネットで容易に入手できてだれにも分かりやすいもの（例えば雨量）を活用したい。
- ・平日昼間は高齢者だけとなる世帯が多く、インターネット等を使っている情報収集は難しいことから、今後は、「ラジオを付けてください」と付け加えることを検討している。
- ・市ができることにも限度があり、「自分の命は自分で守る」ことが基本だということを住民に啓発して行きたい。

⑥気象庁側からの主なコメント

- ・土砂災害に対する情報収集、分析力の向上を図りたいとのことであるが、過去の土砂災害時の雨量や土壌雨量指数のデータ提供など、气象台で協力できる部分があると思うので、相談してほしい。

(3) 新潟県見附市

①被害の概要について

- ・平成16年豪雨では軽傷6人、家屋被害3,814棟など大きな浸水害となったが、平成23年豪雨は軽傷1人、家屋被害720棟など浸水害は少なかった。
- ・平成23年豪雨では、刈谷田川の越水はなかったが、土砂崩れで堰止められた小河川からの溢水、短時間強雨による内水氾濫、土砂災害などの災害が発生した。被害の内全壊2棟・半壊家屋3棟は土砂崩れによるもの。
- ・総雨量は平成16年豪雨より少なかった（見附市消防署で平成16年は316.5ミリ、平成23年は170.5ミリ）。短時間強雨は平成23年7月30日5時に68.0ミリを観測し、平成16年の44ミリの約1.5倍だった。

②平成16年豪雨以降の対策について

- ・治水管理対策の推進（流出抑制対策）。具体的には、刈谷田川改修（堤防嵩上げ、屈曲部の是正）と遊水地の設置（235万 m^3 ダム容量の60%確保）、浸水想定区域への内水

処理のための雨水貯留管の設置（直径2.6m×586m 3,433m³）、出水期のダム洪水調節容量の拡大（刈谷田ダム容量の20%増393万m³）、田んぼの排水口に水位調整管を設け遊水地として活用（市長発案）、などの対策を実施。

- ・水害時非常配備・避難情報発令基準を整備した。基準は河川水位（刈谷田川の本明と大堰の観測所）で決めているが、雨量、気象会社の情報、ダム情報なども併せて総合的に判断している。そのほか、土砂災害警戒情報、携帯電話からの現地映像（5台）、防災カメラの映像（6か所）などの情報も収集している。
- ・住民への情報伝達手段を複数整備した。具体的には、サイレン増設（17か所→34か所）、町内会長、福祉施設、学校、企業等に防災FAXを設置（550台）、携帯メールによる情報発信（登録約1万件）、FM新潟と災害時緊急情報発信協定を締結など。
- ・高い防災意識により、自助、共助、公助のシステムを構築。防災ファミリーサポート制度（要援護者をサポートする人を決めておく）、自主防災組織の充実（138/171町内組織率81%）、市民の1/4（約1万人超）が参加する防災訓練など。

③平成23年豪雨での対応について

- ・災害対策本部では、気象会社からの情報、気象台の情報、ダム情報、河川水位情報、県ホームページのスネークライン、地域からの被害情報などをリアルタイムで入手し、市長が住民避難等を総合的に判断した。
- ・7月29日20時頃、雨が弱まる予想だったので配備体制を緩めたが、30日未明に豪雨となり、災害対策本部設置（30日5時00分）までに時間を要した。
- ・7月29日夜、大雨時の要員（第1次配備要員）は庁舎に残っていた。帰宅させた職員にも参集の可能性は伝えてあった。30日4時に全職員参集とし、個人の携帯電話に連絡した。
- ・7月29日20時に県のシステムでスネークラインを確認した。下降したので体制を落としと良いと考えた。過去の降り方のイメージと

今回は違っていた。警報はずっと継続中なので、どこかで強弱をつけたかった。一旦、自宅待機として、呼び出しに対応できる体制とした。

- ・一部の職員（30人ほど）は、「かけつけ要員」として登録しており、これらの職員は市役所に登庁ではなく、まずは、浸水危険個所の通行止めにあたる。
- ・7月30日6時40分に刈谷田川流域に避難勧告を、7時25分に土砂災害危険地域に避難勧告を発令した。暗い中で、しかも、道路冠水等で職員が避難所へたどり着けない中での避難勧告発令に苦慮した。
- ・土砂災害危険個所に対する避難勧告は（豪雨のピークが過ぎた）30日7時25分だったが、6時20分に自主避難を要請したことで、住民は既に避難していた。
- ・避難勧告等の情報は、サイレン、緊急情報メール、町内会長へのFAXと電話、市ホームページ等で住民に伝えた。自宅の2階への避難も呼びかけた。エリアメールは平成23年9月26日から導入した。

④防災気象情報の利活用について

- ・7月29日21時40分の新潟県気象情報 第20号で、佐渡付近に新たに発生した強雨域が下越にかかるようになっていたが、それが見附市に影響するかは分からなかった。強い雨雲が順調に移動して見附市に来るものはレーダー動画である程度分かるが、突然に発生したり、強まったり、範囲が広がるものは分からない。
- ・新潟地方気象台では、7月29日12時11分の新潟県気象情報から「平成16年の新潟・福島豪雨に匹敵する大雨」との表現が使われていたが、見附市では30日未明に豪雨があり、29日時点ではそれほどの雨ではなかったので実感がなかった。府県気象情報も市町村単位で表現できると良い。
- ・警報や土砂災害警戒情報が発表されたことは、緊急情報メールで住民に伝えている（見附市人口4万2千人中、約1万人が登録）。
- ・見附市に対する土砂災害警戒情報は7月29

日 11 時 41 分に発表された。県のシステムでスネークラインも見ていた。29日に一旦、CLを下回った。その後、30日未明に豪雨となった。

- ・7月29日夜は一旦、雨が収まった。「まだ、降りますよ」という情報は気象台、気象会社ともに貰ってはいたが、一旦体制を緩めて良いと判断してしまった。29日夜の時点では、深夜に入る時間帯であったため、全職員を残すという判断は難しかった。
 - ・平成22年度、見附市では内閣府の実証実験(シミュレーション型図上訓練)が行われ、これにより市長や防災担当者のスキル(情報収集・分析力)が上がっていると感じている。
- ⑤今回の豪雨を振り返って
- ・今後は、FM ラジオ等も利用して住民に情報提供したい。
 - ・土砂災害警戒情報の発表が長引く中で、土砂災害の危険度の変化(場所と程度)は確認のしようがない。今後、県とも相談して、土砂災害に対する避難勧告等の判断基準の見直しを検討したい。
 - ・今回の水害後、群馬大学大学院の片田教授監修による「見附市豪雨災害対応ガイドブック」を作成し、各家庭に配布した。

⑥気象庁側からの主なコメント

- ・土砂災害に対する避難勧告等の判断基準の見直しを検討したいとのことであるが、気象台からは、解析雨量や土壌雨量指数等のデータ提供や助言などの協力ができる。
- ・大雨時の判断に迷うときは遠慮なく気象台に気象状況等を聞いてほしい。

(4) 福島県柳津町

①被害の概要について

- ・平成16年豪雨では、只見川支流の滝谷川流域(支所地区)の山間部に被害が集中。床上浸水2棟、床下浸水2棟、死者、負傷者0人。
- ・平成23年豪雨では、只見川本流の増水により支流銀山川の水位が上昇、越水した。床上浸水38棟、床下浸水15棟、死者、負傷者0人。
- ・平成23年豪雨では只見川の上流の只見町で

700ミリという記録的な大雨となった。

②平成16年豪雨以降の対策について

- ・平成16年豪雨で越水した箇所(2mの嵩上げ工事)の堤防を改修(2mの嵩上げ工事)
- ・平成22年豪雪を教訓に、消防団、区長、民生委員のほか、職員10班体制(1班2名)による各地域の情報収集体制を強化した。
- ・避難勧告等の情報は、①町長から消防団経由で各戸へ、②役場からの防災無線(屋外・屋内)と2ルート化した。
- ・要援護者支援プランを策定し、区長、消防団員、民生委員による避難誘導(町有バスによる搬送)を行うこととした。
- ・避難者リストを作成し、本部で照合した後、消防団により現地で再確認することとした。

③平成23年豪雨での対応について

- ・7月29日11時25分、土砂崩れが発生し住宅に被害があると判断して避難指示を2世帯に発令した。
- ・7月29日夜(20時50分、21時30分)と30日6時45分の避難指示は、只見川の増水が尋常ではなかったことから発令した。
- ・移動式の現地災害対策本部(町長、消防団長、事務局)が、只見川の見える現場から、水位の状況を見て避難指示の判断を下した。只見川の水位上昇などによる現場の危険性を考慮し、移動しながら3個所で判断した。
- ・現地対策本部では、無線で本部と連絡を取り合っている。
- ・只見川上流の大雨がどのように下流の柳津町の水位に影響するのかが知りたいが、ダムがあることと水位観測所もないためわからなかった。
- ・避難指示に対して、住民は概ね従ってくれた。発令対象の全住民が避難した。
- ・避難勧告ではなく、いきなり避難指示としたが、2時間くらい前から予告していた。
- ・避難対象地域の絞り込みは、現場判断があったからこそできた。
- ・避難勧告等の具体的な判断基準は作っていない。

④防災気象情報の利活用について

- ・移動式の現地災害対策本部においてモバイル端末等を使って気象レーダー等の気象情報を見るようなことはない。
 - ・本部では、気象レーダー、雨量、降水短時間予報などは見ている。これらの情報は、本部（役場）から現地対策本部へ防災無線を使って、必要に応じてやりとりをした。なお、現場情報収集に迫られたため、気象庁の防災情報提供システムは使っていない。
 - ・河川は状況が見えるから住民にも危険度を伝えられるが、土砂に関しては、防災行政無線で雨量など警戒情報を伝えるようにしている。総雨量100ミリになった、200ミリになったなど。その値に（災害に対する）根拠はない。経験値。
 - ・気象台の気象情報には「平成16年7月新潟・福島豪雨を上回る記録的な大雨」とあったが、当町は昭和44年の水害の方が被害が大きかった。
- ⑤今回の豪雨を振り返って
- ・避難勧告等の具体的な判断基準は今後の防災計画の見直しと共に作成していかなければならないものと考えている。
- ⑥気象庁側からの主なコメント
- ・流域雨量指数は、ダムの影響を考慮していないが、今回のようにダムが放流している場合には、河川水量の推定に利用できる。水位ではないが、変化傾向と危険度の程度が分かる。特に、今回は、只見川の洪水警報基準を大幅に超過しており、いかに危険な状況だったが分かる。
 - ・流域雨量指数の値は防災情報提供システムで見ることができる。また、洪水の危険度を面的に示す規格化版流域雨量指数というものもある。見方などは、後ほど、福島地方気象台から説明させていただく。
- (5) 福島県金山町
- ①被害の概要について
- ・平成16年豪雨では、小河川の氾濫、斜面の崩壊等による道路、農地等への被害のみで、死者、負傷者0人。
 - ・平成23年豪雨では、只見川が過去に例がないほど増水し、住宅被害103棟、全壊23、大規模半壊33、半壊28、床下浸水19、国道、町道の橋流失、JR鉄橋の流失等の大きな被害となった。
 - ・平成16年と今回とでは雨の降り方も被害の大きさも全く違うため16年と今回を比較しても意味がない。この町では、昭和44年に大きな水害があった。
- ②平成16年豪雨以降の対策について（話を聞けなかった）
- ③平成23年豪雨での対応について
- ・7月29日16時10分に災害対策本部を設置。それ以降、7月30日0時40分までに防災無線で13回情報提供した。
 - ・避難勧告等の具体的な発令基準はない中で、今回の豪雨での避難勧告等の意思決定は、a. 職員、行政区長等からの増水等の情報を勘案し、本部が避難勧告等の必要性を認め、町長が決定したというやり方と、b. 現地にいる職員、行政区長、消防団幹部等が避難の必要性を認め本部に報告し、本部が必要性を追認し町長が決定という2通りであった。
 - ・a. の方法では、事前に区長と発令時刻を調整できたので発令時には避難開始の準備ができていた。
 - ・b. の方法では、本部からの避難勧告の有無にかかわらず、現地では既に自主的な避難を開始、又は、避難の準備ができた。
 - ・いずれの方法も、現場での判断が大きい。
 - ・勧告を発令した7地区全てで、区長、消防団(63人)等が各戸を訪問し、安否確認するとともに取り残された人がいないかどうか確認しながら、避難場所へ誘導した。一部の地域では町有バスによる搬送を実施した。
 - ・避難勧告に対して、東日本大震災のこともあり住民は概ね避難してくれた。中には、避難に抵抗する住民もいたが、区長が説得して避難させた。対象者は全員避難した。
 - ・只見川増水による孤立を避けるため、（只見川を挟んで国道の対岸の住民には）国道側に移動するように呼びかけた。間に合わなかつ

た地区もあり，その場合には住民は地区の高台にある神社に避難した（日頃から，何かあった時には神社に避難することにしていた）。

④防災気象情報の利活用について

（時間がなくて話を聞けなかった）

⑤今回の豪雨を振り返って

- ・避難勧告等の具体的な判断基準を作る予定はない。今後も，地域の自主的な判断が重要。そのためには，日頃からの地域住民に対する防災啓発（危険個所の周知，早期避難の重要性，住民相互の協力）が重要。また，大雨時には，雨量など本部から地域への情報提供も大切。
- ・特に，土砂災害に対する避難は，町内のいたるところが危険地域であり，地域を絞ることはできないし，各所に雨量計を置くこともできないため，役場で判断するのではなく，地域住民が早期に自主的に避難することが大切である。

(6) 福島県只見町

①被害の概要について

- ・平成16年豪雨では，最大時間降水量50mm，日降水量325mmで，床上浸水1棟，床下浸水8棟の被害があった。死者，負傷者0人。
- ・平成23年豪雨では，7月29日9時～30日9時の24時間で523.5ミリ，特に，29日11時から21時の10時間に381ミリと集中的に雨が降り，行方不明者1人，家屋流失10棟，家屋土砂埋没4棟，床上浸水100棟，床下浸水250棟，落橋3箇所など，町始まって以来の甚大な被害となった。
- ・只見川と伊南川の合流点より下流では，只見川の洪水による浸水，道路損壊，落橋，周辺の沢からの土石流が発生。伊南川沿いでは土砂災害が，黒谷入でも土砂災害が発生した。道路は各地で寸断。
- ・只見川と伊南川の合流点での農地浸水害は想定範囲だったが，それ以外の被害は想定外であった。

②平成16年豪雨以降の対策について

- ・平成16年豪雨による被害箇所の地域治山事

業を実施。

- ・平成22年度に避難勧告等の判断マニュアルを作成した。1時間雨量40ミリ，3時間雨量80ミリなど，具体的な判断基準を作った。その雨量が災害に対してどのような意味を持っているのかは経験で決めている。

③平成23年豪雨での対応について

- ・7月29日11時00分，危険個所を把握し自主避難を呼びかけた。
 - ・7月29日12時に水防本部を設置した。迅速な土のう積み等，水防活動を展開した。
 - ・その後，29日午後には，住民，区長，消防団，地区センターなどから，浸水，土砂崩れ，落橋などの連絡がひっきりなしに入ってきた。只見町では消防団員が321人いて，実動の面では消防団の協力が大きかった。
 - ・7月29日15時頃から，地区ごとに避難勧告を順次発令し，17時30分には全町に避難勧告を発令した。その前の17時に災害対策本部を設置した。
 - ・避難勧告の発令は，地区から本部に入ってくる被害発生情報や雨の降り方などから，災害対策本部にて町長と直接協議し，町長の決定により発令した。「かなりひどくなる前」かつ「夜になる前」に発令すべきとの判断もあった。
 - ・17時45分には叶津集落が停電。状況がわからなくなった。
 - ・18時，自衛隊の派遣を要請した。
 - ・職員，各地区役員，消防団が避難所への誘導・案内を実施した。床上浸水したとの情報者（被災者）に，2階への避難を呼びかけた。
 - ・災害時要援護者支援プランは策定中であったが，目的・意識が共有されていたため，病院，医療機器会社との連携により，孤立集落の患者を発見，無事搬送することができた。
- ④防災気象情報の利活用について
- ・既に土砂災害警戒情報，洪水警報が出ている中で，7月29日11時30分に大雨警報（浸水害）が加わったが，今回，大雨警報（浸水害）よりも先に，被害の連絡が入り始めたことで危機感を持った。

- ・災害対策本部では、気象庁ホームページの降水ナウキャストを一番見ている。もっと先まで予想できるとありがたい。解析雨量も見ている。
- ・防災情報提供システムは使っていない。ID、パスワードが面倒である。
- ・住民には警報は伝えていない。大雨警報が出てもたいして雨が降らないことが多いため。土砂災害警戒情報は、J-ALERTからの入電があると自動放送されるようにしている。
- ・7月29日17時前後に、福島地方気象台から今後の見込み等の電話連絡をもらったが、連絡のあった時間には、既に災害が発生していた。29日10時又は11時台にほしかった。
- ・大雨のピークを過ぎ、大雨のおそれがなくなったという情報については、避難勧告等解除の時の解除の目安になるため、職員の体制や消防団の配置を考えるうえで必要な情報。提供をお願いしたい。

⑤今回の豪雨を振り返って

- ・「かなりひどくなる前」かつ「夜になる前」に発令した避難勧告のタイミングは適切だったと思う。
- ・今回の豪雨では、被害がひどくなる前はマニュアルに従っていたが、被害がひどくなってからは現地からの被害情報が頼りだった。所詮、マニュアルとはそういうもの。今後、マニュアルを見直すかどうかはわからない。
- ・停電した集落の状況が分からなくなってしまうし、役場からの連絡もとれなくなってしまう。今後、衛星携帯電話の導入を検討中。自家発電機も増設する。
- ・今回の水害については、上流部のダムの影響を検証する必要があると考えている。
- ・昭和44年水害で被害が発生した伊南川上流部では今回は被害がなかった。伊南川は河川改修がされている。その地域には雨量計がないのでわからないが、今回なぜ被害がなかったのかのかも検証する必要がある。

- ・各地区の雨量を把握する必要があると感じており、今後、雨量計を増設したいと考えている。

⑥気象庁側からの主なコメント

- ・気象庁では、解析雨量というもので1キロごとの面的な雨量を把握している。雨量計のないところの雨量も分かる。雨量と災害との関係の検証するのであれば、データ提供等の協力ができる。

4.3 台風第12号による紀伊半島における大雨に関する調査*

8月25日にマリアナ諸島の西の海上で発生した台風第12号は、日本の南海上をゆっくり北上して9月3日10時前に高知県東部に上陸し、四国地方、中国地方を縦断して4日未明に日本海へ進んだ。その後もゆっくり北上を続け、5日15時に熱帯低気圧に変わった。

台風が大型で、さらに台風の動きが遅かったため、長時間にわたって台風周辺の非常に湿った空気が流れ込み、西日本から北日本にかけて、山沿いを中心に広い範囲で記録的な大雨となった。

8月30日17時からの総降水量は、紀伊半島を中心に広い範囲で1000mmを超え、奈良県上北山村上北山（カミキタヤマ）で総降水量は1808.5mmとなるなど、総降水量が年間降水量平年値の6割に達したところもあり、紀伊半島の一部の地域では解析雨量で2000mmを超えるなど、記録的な大雨となった。

この大雨により紀伊半島南部を中心に河川の氾濫や深層崩壊等の大規模な土砂災害が発生し、奈良、和歌山、三重の三県で死者・行方不明者87名、住家の全半壊3266棟、床上浸水3407棟（第4.3.1表参照）など甚大な被害となった。

気象庁では、内閣府や消防庁、国土交通省等と合同で人的被害の大きかった奈良県及び和歌山県の五つの市町村に対して、避難勧告等の判断や防災情報の住民への情報伝達等について聞き取り調査を行った。

* 予報部予報課 上野 健志郎

第4.3.1表 平成23年台風第12号による紀伊半島南部（三重県，奈良県，和歌山県）の被害状況
平成24年3月19日現在，消防庁資料より三重県，奈良県，和歌山県の被害状況を抜粋。

都道府県名	人的被害				住家被害					がけ崩れ 箇所
	死者 人	行方不明者 人	負傷者		全壊 棟	半壊 棟	一部損壊 棟	床上浸水 棟	床下浸水 棟	
			重傷 人	軽傷 人						
三重県	2	1	7	10	81	1077	71	702	832	84
奈良県	14	10	5	1	49	69	14	13	38	43
和歌山県	55	5	5	4	239	1751	90	2692	3148	31
計	71	16	17	15	369	2897	175	3407	4018	158

4.3.1 調査概要

(1) 聞き取り調査の日程

10月26日（水）13時～16時 奈良県五條市
 10月27日（木）9時～12時 " 十津川村
 10月28日（金）13時～16時 和歌山県田辺市
 10月29日（土）9時～12時 " 那智勝浦町
 14時～17時 " 新宮市

(2) 参加者

①奈良県調査

<国>（○：国側の団長）
 ○内閣府（防災担当）政策統括官（防災担当）
 付 参事官（災害応急対策担当）付主査付
 消防庁 消防大学校消防研究センター 上席研究官
 消防庁 国民保護・防災部防災課 地域防災係長
 国土交通省 水管理・国土保全局防災課 水防企
 画係長
 国土交通省 国土技術政策総合研究所 主任研究官
 国土交通省 近畿地方整備局河川部 洪水予測専門官
 （27日のみ）
 気象庁 予報部予報課気象防災推進室 調査官
 大阪管区气象台 技術部 気象防災情報調整官
 奈良地方气象台 防災業務課 防災気象官
 奈良地方气象台 技術課 気象情報官
 <県>
 奈良県 総務部防災統括室 室長補佐
 奈良県 総務部防災統括室 主査
 <五條市>
 五條市長，市長公室長，市長公室 危機管理課長
 大塔支所長，大塔支所 市民生活課 課長補佐

<十津川村>

十津川村長，総務課長，総務課課長補佐，他2名
 ②和歌山県調査
 <国>（○：国側の団長）
 ○内閣府（防災担当）政策統括官（防災担当）
 付参事官（災害応急対策担当）付参事官補佐
 消防庁 消防大学校消防研究センター 主任研究官
 消防庁 国民保護・防災部防災課 防災企画係国
 土交通省 水管理・国土保全局防災課 水防企
 画係長
 紀南河川国道事務所 調査第一課長（新宮市のみ）
 気象庁 予報部予報課気象防災推進室 予報官
 気象庁 予報部予報課気象防災推進室 調査係
 大阪管区气象台 技術部 気象防災情報調整官
 和歌山地方气象台 防災業務課 防災業務係長
 和歌山地方气象台 技術課 予報官
 <県>
 和歌山県 総務部危機管理局総合防災課 課長補佐
 和歌山県 総務部危機管理局総合防災課 防災対
 策班 主事
 <田辺市>
 田辺市長，副市長，総務部長，総務課防災対策
 室長，総務課防災対策室 主任
 <那智勝浦町>
 那智勝浦町長，副町長，総務課長，他2名
 <新宮市>
 新宮市長，総務部長，総務部防災対策課長，総
 務部防災対策課 課長補佐
 新宮市消防本部 消防長

(3) 聞き取り調査の方法

あらかじめ、参加府省庁で用意した調査票を消防庁から各市町に送付した。聞き取り調査当日各市町は、被害概要、当時の対応状況、調査票への回答などを用意していた。調査では先ず気象庁から当時の気象状況や防災気象情報の発表状況について用意した資料に沿って説明を行い、その後市町村側から調査票に沿って被害状況や対応状況等についての説明を受けた。

4.3.2 聞き取り調査結果の概要

(1) 奈良県五條市

①被害の概要について

- ・死者・行方不明者11名、重傷者2名の人的被害があった他、住家全半壊19棟、一部損壊5棟、床下浸水5棟などの被害があった。
- ・大塔町辻堂地区では土石流により住家が流出。
- ・大塔町宇井地区では対岸の土砂の大崩落により増水した河川の水が住家を押し流した。また避難所に指定されている集会所も崩壊した。
- ・大塔町赤谷地区では大規模の土砂崩壊により河道閉塞が発生した。

②五條市の主な対応状況について

- ・9月1日17時15分 1号警戒準備体制。
- ・9月2日12時33分 災害警戒体制1号警戒。猿谷ダム放流量800トの情報により自主避難を呼びかけ。
- ・9月2日20時35分 災害対策本部設置。
- ・9月3日12時00分 1号動員体制。
- ・9月3日15時00分 猿谷ダム放流量1500トの情報により自主避難を呼びかけ。
- ・9月3日22時25分 赤谷地区、清水地区に避難指示発令（河道閉塞情報による）。
- ・9月4日07時35分 奈良県知事へ自衛隊災害派遣要請。
- ・大塔支所には防災の専任職員はおらず災害時は全職員で対応している。災害対策本部は五條市役所に設置するが避難勧告等は支所長が判断することを許可している。

③防災気象情報の利活用について

- ・大塔支所では大雨警報が発表されると必ず防

災行政無線（戸別受信機を設置）で住民に伝達し、危険を感じたら自主的に避難するよう呼びかけている。警報は自主避難の呼びかけを行う判断に用いている。

- ・大雨警報に括弧付きで表記される浸水害と土砂災害について区別した呼びかけは行っていない。
 - ・情報の種類や量が多く高齢化率が50%を超えるこの地域ではそのまま伝えてもまずわからない。噛み砕いて文言を変える必要がある。
 - ・防災情報提供システムはIDをもらっているが利用していない。
 - ・災害後に提供されている支援情報は重宝している。平時から提供して欲しい。
- ###### ④住民の避難について
- ・大塔町は猿谷ダムの放流情報（第4.3.2.1図参照）を受けて自主的に避難することが定着している。ダムの放流量に応じて川沿いのどこまでが危険か住民が把握している。
 - ・高齢者には避難勧告や避難指示という言葉が難しいこともあり、警報等が発表されると「早めの避難」というキーワードを用いて自主避難を呼びかけている。住民も早めに避難していただいております。職員も直ぐに避難所を開設できる体制をとっている。
 - ・辻堂地区で土石流により家屋が流失したが、住民は事前に自主避難し人的被害はなかった。
 - ・宇井地区は河川敷に近いところと上側に分かれているが、河川敷に近いところの住民は普段から大雨警報が発表されると自主避難しており、今回も早めに避難した。上側は水が上がることは無いと思えば避難誘導はしていなかったが、対岸の土砂崩れによって水位が上昇し、溢れた水が家を押し流していった。
- ###### ⑤今回の豪雨を振り返って
- ・大塔町内にある20の避難所のうち13か所が土砂災害警戒区域内にある。一方で大雨が降ると国道が規制され通行できなくなるため、遠く（安全なところ）へ避難させることもできない。
 - ・今回の事例で事前に安全なところへ避難させ

- 避難準備情報にあたる呼びかけ
(放流量 200t の放流予告)
「下流域の人は早めに避難してください。」
- 避難勧告に相当する呼びかけ
(放流量 800t の放流予告)
「下流域の人は危険を感じたら早めに避難してください。」
- 避難指示に相当する呼びかけ
(放流量 1800t の放流予告)
「ダム下流域の住民の皆様は、河川が増水しますので避難してください。」

第4.3.2.1 図 防災行政無線による避難の呼びかけ例

るとしたら9月1日には判断しなければならない。

- ・スネークラインは活用していなかったが、今回の事例を見ると判断資料の一つになると思われる。

⑥気象庁側からの主なコメント

- ・大雨警報や土砂災害警戒情報は市町村ごとに発表（五條市は北部・南部に分けて発表）するが、実際にどこが基準を超えているかについては土砂災害警戒判定メッシュ情報を活用していきたい。
- ・9月1日の段階でも各種気象情報を発表して警戒を呼びかけているが気象予測は先の時間ほど精度が落ちる。早めに住民を避難させるために、そのきっかけとなるような情報をどのような形で出せるかは今後の検討課題である。

(2) 奈良県十津川村

①被害の概要について

- ・死者・行方不明者12名、重傷者3名の人的被害があった他、住家全半壊48棟、床下浸水14棟などの被害があった。
- ・上湯川では崩土により住家が被災し1名亡くなった。
- ・野尻では対岸の大規模な土砂崩れにより増水した水が村営住宅を襲い3世帯が被災した。
- ・長殿では大規模な土砂崩れで河道閉塞が発生

し、水の逆流により2世帯が被災した。またこの下流にある長殿発電所も鉄塔が流失するなど大きな被害を受けた。

②十津川村の主な対応状況について

- ・9月2日06時00分 災害対策本部設置, 1号動員。前日に会議を開き深夜に警報が発表されたら06時に集合と決めていた。(2日03時34分に大雨警報発表)
- ・9月2日08時00分 防災行政無線(全戸に戸別受信機を設置)による臨時放送。台風に関する注意喚起, 早めの自主避難を呼びかけ。2日14時00分, 3日06時47分, 08時55分, 13時25分, 15時20分, 16時00分にも同様の放送を実施)
- ・9月3日10時15分 災害対策本部, 3号動員に変更。
- ・9月3日15時40分 出谷殿井地区に避難勧告(山側からの大量の湧水と床下浸水発生のため)
- ・9月3日19時09分 大畑瀨(堰止湖)から越流したため下流域の住民に, なるべく高いところへ避難するよう防災行政無線で呼びかけ(避難勧告ではない)。
- ・9月3日23時33分 防災行政無線で「二津野ダムの水位上昇により危険な状態。河川付近やダム付近に住んでいる人は安全な場所に避難してください。」と呼びかけ。
- ・9月4日02時45分 奈良県に自衛隊の災害派遣を要請。
- ・9月4日07時50分 大畑瀨の下流域である, 重里, 平谷, 桑畑地区に避難勧告。
- ・9月4日09時12分 五條市大塔町宇井地区の河道閉塞により, 十津川沿いの住民に避難勧告。その後防災行政無線で数回にわたって避難を呼びかけた。

③防災気象情報の利活用について

- ・最初(9月2日08時)の防災行政無線による臨時放送は大雨警報発表がきっかけだった。
- ・停電が発生したり消防団が現場へ出動するなど慌ただしくなってくると気象情報を落ち着いて見る状況にはなかった。
- ・土砂災害警戒情報は避難勧告の判断基準の一

つとしているが、その通りには運用できなかった。住民への伝達と注意喚起は行った。

- ・土砂災害警戒情報の解除についてはもう少し早くできないか。また同じ村内でも降っているところとそうでないところがあり、もう少し詳細な情報が欲しい。
- ・防災情報提供システムは利用していない。降水ナウキャスト等は気象庁HPから利用している。
- ・奈良県HPも利用しているが主に雨量の情報を見ている。メッシュ情報やスネークラインは利用していなかった。
- ・総雨量〇〇〇ミリと言われてもピンと来ない。ただし今回は何日も大雨が続いたので危機感を抱いていた。
- ・气象台から直接電話等で「危ないですよ」と言われるとより危機感が持てたと思う。現在は電話等でも情報をいただいております。

④住民の避難について

- ・自主避難の呼びかけを受けて早いところでは9月2日午前から自主避難した。避難勧告や避難指示より自主避難が住民に定着している。
- ・集落の避難所の鍵開けは自治会長が行うが、避難所が必ずしも安全ではなく知人宅へ避難する人もいた。
- ・野尻の被災した村営住宅には他から避難してきた人もいた。安全なところという認識だった。
- ・9月4日朝に避難勧告を発令したのは、9月3日夜に大雨の最中、住民を避難させることはかえって危険と判断したため。国道より低いところの住民は全員避難した。

⑤今回の豪雨を振り返って

- ・台風第6号を受けて地域防災計画の見直しや研修・訓練などに着手した矢先の災害だった。
- ・予想を超えるような雨で今回のような災害になってしまったと言えればそれまでだが、そのあたりも含めてこれから対応する必要があると考える。
- ・災害が発生すると孤立する地域が出る可能性

が高く、今回非常に役立った衛星携帯電話の整備を進めていきたい。

⑥気象庁側からの主なコメント

- ・安全な避難場所の確保など厳しい現状はよくわかった。ただ自然のことなのでまたいつ同じような台風がこないとも限らない。その時にどうするかということと一緒に考えていきたい。

(3) 和歌山県田辺市

①被害の概要について

- ・死者・行方不明者9名、負傷者1名の人的被害があった他、住家の全半壊327棟、床上・床下浸水378棟などの被害があった。
- ・熊野川、大塔川沿いの地区では9月3日未明から浸水被害が発生。3日夜にはさらに広範囲に広がり左会津川沿いなどでも被害が発生。
- ・伏菟野地区では9月4日未明に大規模な土砂災害が発生し住家7棟が全壊。熊野地区では土石流が発生した。
- ・9月4日朝には本宮町の三越川沿いで大規模な土砂災害が発生し土砂ダムができた。溢れた水が集落を寸断し6戸中5戸全壊。
- ・龍神村三つ又地区では土砂崩れにより6戸全壊。

②田辺市の主な対応状況について

- ・9月2日04時15分 警戒準備体制（大雨警報を受けて）
- ・9月2日13時10分 警戒体制（暴風警報を受けて）
- ・9月2日12時50分 川湯地区（大塔川）に避難指示
- ・9月2日16時00分 災害対策準備室設置（今後台風が接近し今以上の嚴重な体制が必要と判断）
- ・9月2日23時50分 本宮町本宮地区に避難勧告発令
- ・9月3日08時00分 災害対策本部設置
- ・9月3日16時45分 本宮町伏拝（萩）地区に避難指示発令
- ・9月4日02時50分 本宮消防署が熊野川越

- 水により活動拠点を本宮中学校に移す
- ・災害対策本部は本庁舎の他、行政局（旧役場）にも設置。当初は行政局との連絡は取れていたが停電で連絡が取れなくなった。イリジウム衛星電話も不安定で繋がったり繋がらなかったりで、一晩中連絡が取れなかった。避難勧告等の判断は行政局に委ねている。
 - ・住民への情報伝達手段は、防災行政無線の他、防災行政メール、広報車、戸別訪問など、それぞれに重要な役割を担った。
- ③防災気象情報の利活用について
- ・土砂災害警戒情報が発表されたら防災無線で市内全域に伝達し注意喚起を行っている。
 - ・行政局での気象情報収集は主にインターネットによるが、停電により途中から見る事ができなかった。本庁からの通信手段も途絶え情報提供ができなかった。
 - ・3日には降水量が1,000mmを超えて「大変なことになるかもしれない」と考えたが、雨がさほど強くなかったこと、台風が次第に遠ざかることから、「もうすぐ止むのでは」と考えてしまった。
 - ・様々な気象情報を受け取るが、それを市側が住民に対してどのように効果的に情報提供できているかという課題がある。情報が多すぎてどうリンクさせて見ればよいか分からない。職員が分からないものを住民には伝えられない。
 - ・土砂災害については、市内に危険箇所が1900カ所ほどあり、いろいろ情報をもらっても何処が危ないかという特定は出来ない。土砂災害警戒判定のメッシュをさらに細かくしてもらいたい。
 - ・田辺市は5つの市町村が合併しており面積が広い。旧市町村単位で警報・注意報を発表してもらいたい。
 - ・雨が止んでも大雨警報がなかなか解除されない。災害後、警報によって道路の通行規制を行っており、解除されないことについて市レベルでは住民に説明できない。警報の名称を変える等してもらいたい。
- ④住民の避難について
- ・水害については水位データや巡視を基に概ね避難勧告を発令できた。
 - ・本宮地区の浸水については、二津野ダム（熊野川上流）の放流量を常にチェックしており、防災行政無線でも放流量を伝えるようにしている。住民もダム放流量と被害の関係をよく理解している。
 - ・土砂災害については残念ながら発令できなかったところもあるが、本宮町伏拝地区などは事前に避難勧告等を発令した。
 - ・龍神村三ツ又地区では先に自主避難した人が雨脚を見て引き返し、避難していない人を説得して避難させた。その直後に土砂災害が発生した。
 - ・ピーク時には1,051人が指定避難場所へ避難している。その他、知人宅や高台に避難した人もいる。
- ⑤今回の災害を振り返って
- ・四つの行政局の職員数は年々減少している。今回本庁は被災しなかったため職員や消防を被災地に投入できたが課題も残した。
 - ・住家から離れた山が一気に崩壊して被災したところもあるが、そのような場所の避難判断が可能かということは今後の大きな課題である。
- ⑥気象庁側からの主なコメント
- ・警報、注意報や土砂災害警戒情報は市町村ごとの発表を基本としているが、土砂災害警戒判定メッシュ情報や規格化版流域雨量指数をどの地域が危険度が高いかなどの判断に利用いただきたい。また避難勧告等の判断には気象台とのホットラインも活用いただきたい。
- (4) 那智勝浦町
- ①被害の概要について
- ・死者・行方不明者28名、負傷者4名の人的被害の他、住家の全半壊1,008棟、床上・床下浸水1402棟などの被害が発生した。
 - ・太田川流域では小匠ダムの非常放流に伴い9月4日未明から浸水被害が発生。
 - ・那智川流域の市野々地区や伊関地区などでは9月4日未明に同時多発的に土石流が発生し

た。

②那智勝浦町の主な対応状況について

- ・9月2日04時45分 警戒体制（大雨・洪水警報を受けて）
- ・9月3日16時45分 那智川流域（天満・川関地区）に避難勧告発令
- ・9月3日17時15分 太田川流域に避難勧告発令
- ・9月3日18時00分 災害対策本部設置
- ・9月3日20時30分 太田川流域（太田・八尺鏡野・下里地区）に避難指示発令
- ・9月4日01時45分 那智川流域（天満、川関地区）に避難指示発令
- ・9月4日02時12分 那智川流域（井関、八反田地区）に避難指示発令
- ・太田川流域は平成13年に大きな水害があり、今回はそれ以上になるのではと警戒していたが那智川流域で大きな災害が起きるとは考えておらず、土石流が発生するということも想定していなかった。
- ・明るいうちの避難勧告も考えたが、9月3日日中は雨が小康状態となり、深夜台風が遠ざかるなかであれほどの大雨が降るとは思わなかった。
- ・那智川流域については川関にしか水位計がなく、その上流については9月3日23時に警戒巡回を行って以降、9月4日1時45分に現地から連絡（④項参照）があるまで状況を把握できていなかった。

③防災気象情報の利活用について

- ・土砂災害については、土砂災害警戒情報やメッシュ情報を参考に区長と相談し、避難所の開設等の対応を行っているが、今回は対応しきれなかった。
- ・大雨警報等を受けて避難勧告等を発令することは難しく、判断には水位や雨量といった具体的な数値が必要。解析雨量や気象レーダーの画像は見ているが、イメージとしてしか受け止められない。
- ・浸水等の被害情報が次々に上がってくると、その対応に追われて気象情報を入念に見る余裕はなくなった。

・气象台とのホットラインを知っていれば是非使いたかった。

④住民の避難について

- ・避難所は9か所設置し職員25名が運営にあたった。
- ・4日1時45分に井関保育所（避難所）から水位が上昇して危険なため市野々小学校へ移動したと連絡があった。
- ⑤今回の災害を振り返って
- ・今回は太田川流域は避難判断マニュアル通りに対応できたが那智川流域はできなかった。太田川流域は小匠ダムの放流で判断できるが那智川ではそのような判断ができない。
- ・太田川水系では平成13年に大きな浸水害があり今回はそれ以上になるという危機感があった。那智川流域も川関、中村、島等の水位計は常に監視していたが上流域については平成13年の時も影響はなく土石流が発生するという想定もできなかった。雨量や水位の上がり方も急激だった。
- ・土石流が起きると言ってもおそらく逃げなかつただろう。今回の災害を教訓に今後に生かしていかなければならない。

⑥気象庁側からの主なコメント

- ・避難勧告等の具体的な判断基準作りに際しては气象台もお手伝いする用意があるので活用していただきたい。

(5) 新宮市

①被害の概要について

- ・死者・行方不明者14名の人的被害が発生した他、住家の全半壊324棟、床上・床下浸水2613棟などの被害が発生した。
- ・人的被害の最も大きな要因は熊野川の氾濫によるもの。
- ・南檜杖と木ノ川では土砂災害による人的被害が発生した。

②新宮市の主な対応状況について

- ・9月2日04時15分 第1次配備体制（大雨・洪水警報を受けて）。消防を除く約60名が参集。
- ・9月2日08時30分 熊野川行政局では第2

次配備体制。10か所の集会所に各2名ずつ配備。熊野川町には浸水・孤立するところが多いことから行政局長の判断で早めの体制強化を図った。

- ・9月2日19時00分 災害対策本部設置（熊野川の水位が上昇し始めたため）。
- ・9月2日20時40分 熊野川町（日足・能城山本地区）に避難勧告発令（熊野川と支流の合流部分で浸水発生）。
- ・9月3日19時00分 和歌山県に自衛隊の災害派遣を要請（孤立した要援護者がいたこと等）
- ・9月3日20時40分 相筋地区に避難指示発令（内水の上昇により）以後、新宮市街地域に順次避難指示を発令（避難所の開設や広報体制を整えながら）
- ・これまで市の防災対応は熊野川及びその支流への水害対応が主となっていた。4日未明には雨がさらに激しくなり、その頃至る所で災害が発生したようだが、その時点ではわからず夜が明けてから甚大な被害であることが認識できた。

③防災気象情報の活用について

- ・警報が発表されると防災無線で住民に伝達している。土砂災害警戒情報や熊野川洪水予報は防災無線が地域を絞って放送できないことから伝達していない。
- ・行政局ではグループウェアにより気象情報の収集も行っている。気象庁HPや県砂防課のHP等も利用している。
- ・土砂災害警戒情報が発表された際、メッシュ情報を参考に該当地域の2世帯に直接注意喚起を行ったが、その後は水害対応に時間をとられ、拡大する土砂災害の危険性に対して同様の対応を行うことはできなかった。
- ・3日日中は雨がそれほど強くなかったため、このまま（雨が）終わってくれればと思っていた。
- ・府県気象情報に「今後、多い所で〇〇ミリ降る」と書いてあっても、これまでの経験の中でそ

れが自分の所のこととは思えなかった。

④住民の避難について

- ・熊野川の堤防で漏水が発生したことから、決壊のおそれのある地区を最優先に、以降は浸水するおそれのある地域に対して順次、避難勧告を実施していった。全域ではなく地域を分割することで、地域の住民に避難の意識付けをしたかった。
- ・平成23年台風第6号で熊野川町に避難勧告をかけた際、住民から「これまでは過去の経験から行政局と区長等が相談したうえで地域住民の避難を決断していたのに、突然『避難勧告』と言われても」という苦情があった。避難体制については、行政と住民が共通認識を持つことが大事である。

⑤今回の災害を振り返って

- ・熊野川がこれほどまでに氾濫したことがなく、今回はまさかという気持ちがあった。現場を見ていればもっと早く本部判断できたかも知れず、情報収集体制に課題があったと思われる。
- ・3日昼の段階で气象台等からホットライン等で「今回は異常ですよ」というような連絡があればもっと危機感が高まったかも知れない。直接「生の声」で伝えられると受け止め方が違う。
- ・どうしても経験則の中で災害対応にあたってしまうところがある。そういう流れの中で対応していると大災害の時に対応できなくなってしまう。

⑥気象庁側からの主なコメント

- ・台風の予想は大きく外れることは少ないので、予想に基づいて早め早めの対応をお願いしたい。また住民の避難判断に際してはホットライン等で河川事務所や气象台をもっと利用していただきたい。

4.4 台風第15号による名古屋市における大雨に関する調査*

平成23年9月13日15時に日本の南海上で発

* 予報部予報課 佐藤 貴洋

生した台風第15号は、20日には非常に強い台風となり、四国の南海上から紀伊半島に接近した後、21日14時頃に静岡県浜松市付近に上陸し、関東地方、東北地方を北東に進んだ。この台風に伴い、全国では死者・行方不明者19名、住家損壊3,739棟、住家浸水7,840棟、農業被害48億円等の被害があった（被害状況は平成23年12月28日内閣府まとめ、農業被害については農林水産省平成23年農作物災害種類別被害統計による）。

台風が上陸する前日の20日、東海地方では記録的な大雨となり、庄内川では名古屋市守山区で氾濫し、住家等の浸水が発生した。名古屋市においては、同日午前中から市内の広い範囲に避難勧告等を発令し、報道では「100万人に避難勧告」と報じられるなど、大規模な防災対応をとった。内閣府、消防庁、国土交通省及び気象庁では、当時の名古屋市の対応や、気象情報等がどのように防災体制の立ち上げ・避難勧告等へ活用されたかを調査するため、合同で聞き取り調査を実施した。

4.4.1 調査概要

(1) 日程及び参加者

聞き取り調査は、平成23年12月16日に名古屋市役所において実施した。

気象庁からは予報部予報課気象防災推進室水害対策気象官のほか、東京管区気象台と名古屋地方気象台からも担当官がそれぞれ参加した。内閣府からは政策統括官（防災担当）付企画官、総務省消防庁からは防災課長、消防大学校消防研究センター上席研究官、国土交通省からは水管理・国土保全局防災課水防企画係長、中部地方整備局河川部水災害予報企画官らが参加した。

名古屋市からは、防災・危機管理監、防災部長、防災室長らに出席していただいた。

(2) 聞き取り調査の方法

あらかじめ、参加府省庁で用意した調査票を内閣府から名古屋市へ送付し、回答をいただいた。

聞き取り調査当日は、まず気象庁から当日の気象状況等を、中部地方整備局庄内川河川事務所から庄内川の状況等を、それぞれ説明した。その後、名古屋市から当日の対応状況、調査票への回答な

どについて説明していただいた。

この説明に対して、総務省消防庁防災課長が司会進行する形式で、調査票への回答内容の確認や個別事項の質問等を行った。

なお、気象庁からは、天気図や解析雨量等当時の気象資料、庄内川（志段味水位観測所）の水位グラフ、解析雨量・土砂災害警戒判定メッシュ情報・規格化版流域雨量指数の図、名古屋市のハイエトグラフ（1時間雨量、防災気象情報の発表状況等をグラフにしたもの）と、防災気象情報と名古屋市の主な防災対応等を時系列でまとめた表形式の資料を参考配布した。

4.4.2 聞き取り調査結果の概要

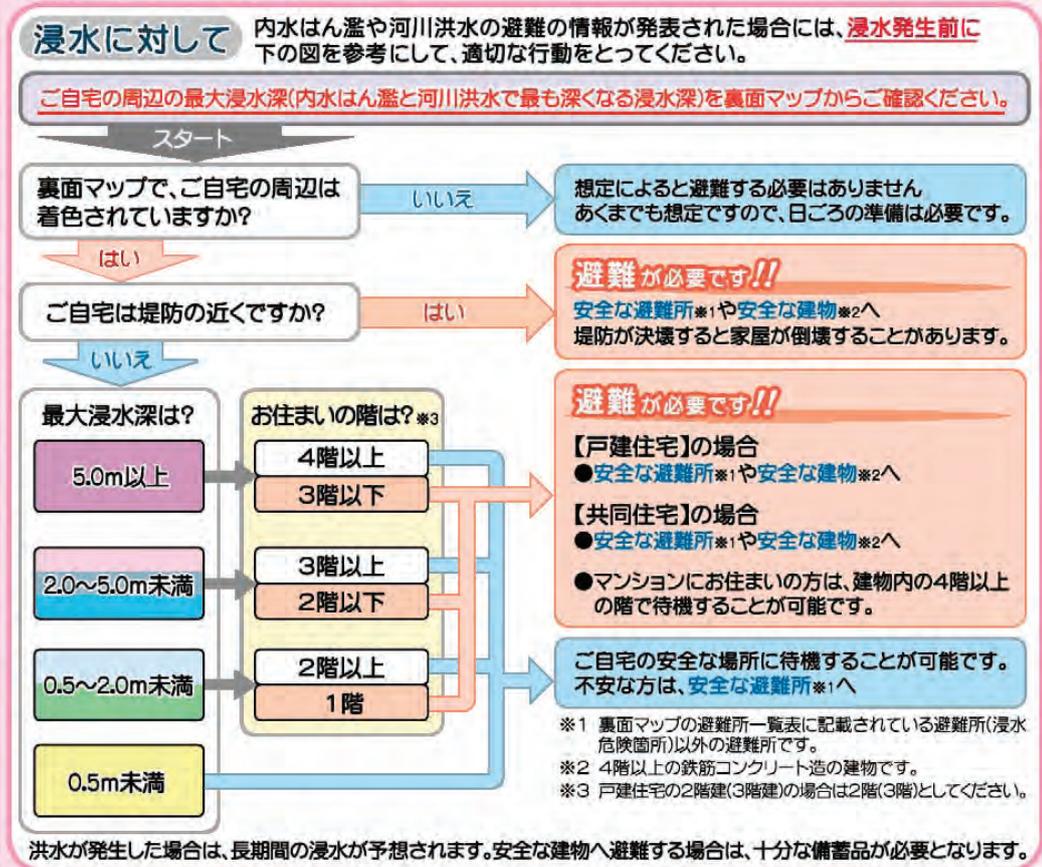
①被害の概要について

- ・台風第15号に伴い、名古屋市では死者・行方不明者3名、負傷者4名、床上浸水は61棟、床下浸水は317棟。
- ・東海豪雨（平成12年）は河川の氾濫による大規模な浸水害であり、平成20年8月末豪雨では内水による大規模な浸水害があった。今回は名古屋市の北東部の守山区に被害が集中した。
- ・庄内川では、守山区下志段味（31.6k付近、長戸川との合流点付近）で越水し浸水被害が発生した。
- ・その上流の守山区中志段味では、野添川（庄内川支川）では、庄内川との合流部で越流し浸水被害が発生した。
- ・守山区吉根地区においても、庄内川と排水路の合流部周辺地域で浸水害が発生した。

②東海豪雨以降の対策について

- ・東海豪雨の反省から平成13年に避難準備情報、避難勧告の発令基準を策定した。平成14年には洪水ハザードマップを作成した。
- ・平成20年8月末豪雨では内水氾濫の被害が大きかったことから、平成22年に従来のハザードマップに内水氾濫の想定を追加した「あなたの街の洪水・内水ハザードマップ」を各区ごとに作成し、全戸に配布した。マップの中では高所避難・垂直避難も記述している。（第4.4.2.1図）

避難行動の目安



第4.4.2.1図 避難行動の目安(名古屋市作成「あなたの街の洪水・内水ハザードマップ」より)

- ・新川・天白川等を対象に、河川激甚災害対策特別緊急事業(激特事業)による河川改修も行なわれた。
- ・緊急速報「エリアメール」の運用を平成23年6月から開始した。
- ・民間気象会社と提携して住民から被害状況等の写真等を掲載し、災害状況の情報共有をはかる「なごや減災プロジェクト」を平成23年8月から開始。
- ・携帯メール情報配信サービス「きずなネット防災情報」を平成18年から運用開始した。
- ③平成23年9月20日の対応について
- ・9時08分の大雨・洪水警報で自動的に災害警戒本部を立ち上げた。その後、雨量・水位やXバンドレーダー、解析雨量などの実況監視に入った。
- ・10時50分にはん濫注意水位を超えたため避

- 難準備情報の検討を始めたが、その後急激に水位が上昇し11時20分過ぎに避難判断水位を超過したこと等をふまえ、避難準備情報を発表することなく、11時55分に避難勧告を発令した。
- ・12時10分頃越水の情報があつたが、事実確認ができないうちに、12時50分頃には、下流に位置する水分橋で庄内川の水が橋桁まで達している情報を庄内川河川事務所から入手したため、周辺地域は浸水の恐れがあり、危険な状態であると認識し、避難指示等を検討した。
- ・14時00分に第4非常配備(関係部区、最高レベル)を取った。
- ・15時に避難指示を発令した。
- ・河川に関する避難勧告等は、天白川、天白川の支川の扇川、庄内川を対象に発令した。扇

川は東海豪雨で大きな被害があったために基準水位でサイレンが鳴り自動的に避難勧告等を発令する基準となっている。

- ・土砂災害に関する避難勧告は、土砂災害警戒情報等を基準としているが、愛知県防災情報システムによる土砂災害危険度情報の危険度レベルのメッシュ情報から地域を絞って、学区単位（あらかじめ土砂災害危険地域から指定した地区に限る）で発令した。
- ・避難勧告は、全265学区中165学区に発令。マスコミ等から対象人員の問い合わせがあったため、住民登録している人数を事実として回答したところ、100万人の積み上げとなり、それがそのまま放送された。
- ・避難指示は、水分橋付近で越水や破堤の恐れがあり、14時頃危険であると認識したため、瀬古水位観測所付近のハザードマップで浸水深4～6メートルの地域に発令した。なお、北区の避難指示対象地域では避難所に避難していた住民を、別の安全な避難所へ誘導した。
- ・避難勧告等は、地域防災計画に定められた発令基準に基づき、指定河川洪水予報、土砂災害警戒情報及び各河川の水位等をもとに、原則として本部員会議で判断して発令した。
- ・避難勧告はエリアメールでも発信したが、有効であったとの調査結果が出た。ただし、文字数の制限等で「〇〇区の一部」としか記述できず、具体的にどこなのかかわからない、との問い合わせがあったり、誘導した名古屋市のHPが高負荷でダウンしたりなど、課題もあった。
- ・防災無線のスピーカや広報車からの周知は、雨の中では十分に聞こえず、自宅にいる人には伝わらなかった。

④防災気象情報の利活用について

- ・体制の立ち上げには、大雨警報等を利用し、警報等が出たら自動的に立ち上がるようにしている。
- ・避難勧告等の基準には、指定河川洪水予報や土砂災害警戒情報を利用しているが、原則として自動的に発令ではなく、本部員会議で判断を加えることとしている。現在の発令基準

は、地元防災関係機関や報道機関、有識者等からなる「名古屋水防災情報共有推進連携会議」にも確認してもらって作成した。

- ・土砂災害に関する避難勧告等発令の判断のため、スネークラインや愛知県提供の土砂災害危険度情報を利用して地域を絞り込んでいる。30分ごとに更新されるため、「モグラたたき」になってしまうことが課題である。
- ⑤今回の豪雨を振り返って
- ・今回、名古屋市としては初めて避難指示を出したが、「避難指示よりも勧告の方が上と考えていた」という住民の意見もあり、今後の周知が必要。
 - ・名古屋市のHPがアクセス過多でダウンしてしまった。（これについては、既にサーバ増強済とのこと。）
 - ・避難勧告等をいかにもいろいろなツールを活用して出せるのかを検討していく必要があると感じた。特にエリアメールについては、使い方によっては非常に有効な手段と考えており、情報の出し方に工夫が必要である。
 - ・結果的に「100万人に避難勧告」と報道されたが、学区内の住民の数を機械的に積み上げただけ。なお、実際に下層階に住んでいた人数や垂直避難した人数等は把握できない。
 - ・外国人（日本語のわからない居住者）向けの避難の呼びかけ方も課題である。
 - ・自分の頭の上の気象状況は把握しているつもりだったが、河川の水位に関係する上流側の雨の影響は把握していなかった。

⑥気象庁側からの主なコメント

- ・9月20日は7時15分の愛知県気象情報では、20日～21日にかけて非常に激しい雨の予想であった。ただ、9時08分の大雨（浸水）洪水警報では、警戒期間は昼前までの予想であった。11時09分の大雨（土砂、浸水）洪水警報で警戒期間を夕方までとしたように予測の難しい現象であった。
- ・流域雨量指数は、上流の雨の降り方も考慮した、その地域の洪水の危険性を示しているので、参考にしてほしい。

4.5 聞き取り調査から見た防災気象情報の課題*

(1) 住民への防災気象情報の伝達

聞き取り調査を実施した範囲において、自市町村に発表された大雨、洪水等の警報と土砂災害警戒情報並びに自市町村に係る指定河川洪水予報等を、積極的に住民に伝達している市町村は多くなかった。警報の内容（警戒期間、警戒事項、量的予想等）までを住民に伝達している市町村となると皆無である。これらの防災気象情報は、市町村における防災対応の判断を支援する一方、住民の自主的な安全確保行動の判断にも資するものである。

住民への災害情報の伝達手段としては、従来からの広報車、防災行政無線等に加えて、住民向けメールサービス、市町村ホームページ、携帯電話事業者による一斉配信メール（エリアメール／緊急速報メール）、緊急告知FMラジオ等、ITの進展に伴って多様化しつつある。自らがツイッターで情報発信する市町村も現れてきた。

気象庁では平成22年5月27日より、大雨、洪水等の警報・注意報を市町村ごとに発表するよう見直した。土砂災害警戒情報も市町村ごとに警戒対象地域を示している。指定河川洪水予報は指定した河川の区間ごとの発表ではあるが、自市町村に関係する区間は水防計画等に明記されておりあらかじめ知っておくことができる。

気象庁は、自市町村に係る防災気象情報を住民にも伝達していただくよう、関係法令（参考参照）の趣旨を説明しながら、各気象台を通して引き続き市町村に対して啓発を行っていく必要がある。

(2) 市町村における防災気象情報の理解と活用

聞き取り調査を行った一部の市町村では、避難勧告等の判断に、土砂災害警戒情報等の防災気象情報や気象レーダー、土砂災害警戒判定メッシュ情報等の補足情報を活用していた。しかし、これらの情報を十分に活用していない市町村も多く見られた。特に土砂災害に関しては、その危険度の

高まりが目に見えない状況にあるため、土砂災害警戒判定メッシュ情報やスネークライン図を活用することが有効であるが、情報を読み解くにはやや専門的な知識を要するため、使いこなしている市町村はなかった。これらの情報の存在が知られていない場合もあった。

一方、市町村によっては、少ない人数で防災業務を担当していたり、数年で異動したりという現実がある。また、市町村では、災害が発生し始めると電話対応等に忙殺され、新たな防災気象情報や各種気象情報の確認ができなくなるという声も聞かれた。

気象庁では、「避難勧告等の判断・伝達マニュアル作成ガイドライン」（平成17年3月中央防災会議）に則して、防災気象情報と市町村における避難勧告等の判断との関連を第4.5.1表のように整理している。各地の気象台では、市町村に対して、防災気象情報を避難勧告等の判断基準の一つに位置付けるとともに、土砂災害警戒判定メッシュ情報や規格化版流域雨量指数等の情報も活用するよう説明してきている（第4.5.2表）。

平成23年7月新潟・福島豪雨の際の新潟県長岡市、三条市、平成23年台風第15号による大雨の際の愛知県名古屋市など、避難勧告等の具体的な判断基準を定めている市町村では、比較的スムーズに避難勧告等が発令されている。

気象庁及び気象台は、今後とも、消防庁や都道府県とも連携しつつ、市町村における避難勧告等の具体的な判断基準策定及び見直しに対して、積極的に支援していく必要がある。

また、防災気象情報の活用に慣れていない市町村防災担当者ばかりではない現状を踏まえ、平常時からの防災気象情報や気象知識の普及啓発、大雨時の電話による解説などについても、引き続き、取り組んでいく必要がある。

(3) 起き得る災害をイメージできない

気象台では、第4.5.1表の区分に従い、各種の防災気象情報を発表している。更に、これらの情報を補完するために府県気象情報を随時発表し、

* 予報部予報課 向井 利明

第4.5.1表 防災気象情報と避難勧告等の判断の目安

災害種類 防災対応	大雨による 土砂災害	大雨による 浸水害 (内水による浸水害)	洪水害 (外水による浸水害)		高潮害 (高潮による 浸水害)
防災体制の立ち上げ (避難行動を要しない 程度の災害)	大雨注意報 市町村ごと	大雨注意報 市町村ごと	洪水注意報 市町村ごと		高潮注意報 市町村ごと
避難準備情報 (要援護者避難)	大雨警報 (土砂災害) 市町村ごと	大雨警報 (浸水害) 市町村ごと	洪水警報 市町村ごと	はん濫 注意情報 指定河川ごと	高潮警報 市町村ごと
避難勧告	土砂災害 警戒情報 市町村ごと			はん濫 警戒情報 指定河川ごと	

注：市町村が避難勧告等の判断の具体的な基準を策定する場合は、本表を参考にしつつ、市町村の災害特性も踏まえて検討されることを想定している。

第4.5.2表 避難の判断の参考となる主な気象情報

主な災害等	避難の判断の参考となる補足情報 (参考のため気象庁以外の情報も掲載しています)
全般	<ul style="list-style-type: none"> 注意警戒時系列 ※ 注意警戒分布図 ※ 台風経路図 台風の暴風域に入る確率 地元気象台発表の気象情報
土砂災害	<ul style="list-style-type: none"> 土砂災害警戒判定メッシュ情報 ※ レーダー・降水ナウキャスト 解析雨量・降水短時間予報 都道府県提供の土砂災害警戒情報の補足情報
浸水害	<ul style="list-style-type: none"> レーダー・降水ナウキャスト 解析雨量・降水短時間予報 記録的短時間大雨情報 国土交通省や都道府県が提供する川の水位、映像や雨量等の情報
洪水	<ul style="list-style-type: none"> 規格化版流域雨量指数 ※ 流域雨量指数 ※ レーダー・降水ナウキャスト 解析雨量・降水短時間予報 国土交通省や都道府県が提供する川の水位、映像や雨量等の情報

※は、気象庁「防災情報提供システム」により防災関係機関向けに提供している。

「土砂災害、低地の浸水、河川のはん濫に嚴重に警戒」「最大級の警戒」「〇〇豪雨に匹敵する」などの表現を用いて警戒を呼びかけている。さらに府県気象情報では、予想される24時間雨量や観測された雨量なども記載している。

実際、平成23年7月新潟・福島豪雨に際しては、新潟地方気象台では新潟県気象情報に「平成16年の新潟・福島豪雨に匹敵する大雨」「最大限に警戒」、福島地方気象台でも福島県気象情報に「平成16年7月新潟・福島豪雨を上回る記録的な大雨」との表現を用いていた。平成23年台風第12号に際しては、奈良地方気象台では奈良県気象情報の中で「土砂災害、浸水害、河川のはん濫に最大限の警戒」「降り始めからの総雨量が南部の多いところでは1500ミリを超えているところがある」「24時間降水量及び72時間の最大値の極値を更新した地点がある」などとしたうえでさらに「予想される24時間降水量は多いところで南部400ミリ」などと記述している。和歌山地方気象台でも和歌山県気象情報の中で「特に南部では最大級の警戒が必要」「4日昼前にかけて猛烈な雨が降る見込み」「降り始めからの総雨量が南部の多いところでは1000ミリを超えている」「広い範囲で土砂災害の危険度の高い状態が続いている」としたうえでさらに「予想される24時間降水量は多いところで南部300ミリ」などと記述している。

このように各地の気象台では、警報、土砂災害警戒情報、指定河川洪水予報を発表した後も、府県気象情報を随時発表して警戒事項や予想雨量を伝え続けていた。

しかし、聞き取り調査では、以下のような声が聞かれた。

- ・経験のない〇〇〇ミリという雨量を聞いてもそれが自市町村にとってどのような事態（災害）になるのかイメージできなかった
- ・多いところで〇〇〇ミリと言われても自分の市町村のことか分からなかった
- ・〇〇豪雨に匹敵と言われても当市町村は当時大した災害が起こらなかった

その一方で、その当時被災した地域では「〇〇豪雨に匹敵」と言われて危機感を持ったという市

町村もあった。

これらのことから、これまでに経験のない大雨が予想されるような状況において、如何にして当該市町村に起こり得る危機（災害）を自分のこととしてイメージしてもらい、適切な対応に結びつけてもらうかということが課題であると言える。

このことは、市町村防災担当者のみならず、住民にとっても同様である。府県気象情報に記述されていることの一部は、報道機関にも取り上げられ、テレビやラジオで住民に伝えられるからである。

(4) 気象台の危機感を伝えるために

(3)で浮かび上がってきた課題に対処するため、気象庁では、平成24年度の出水期から、全般・地方・府県気象情報の運用を改善することとした。重大な災害が差し迫っていると考えられるときに一層の警戒を呼びかけるために重要なことのみを記載した短い文書で情報を作成するというものである。重要な事項として考えているのは、次の4つである。

- ・過去の災害の引用
- ・顕著な現象の解説
- ・記録的な大雨の発生
- ・住民の避難等への留意

記録的な大雨の発生については、大雨、洪水警報や土砂災害警戒情報等で警戒を呼びかける中で、更に降水量が過去の豪雨や統計的な分析から求めた目安を超えるような場合には、標題を「記録的な大雨に関する気象情報」とし、見出しには“これまでに経験したことのないような大雨”などと記述した全般・地方・府県気象情報を発表し、一層の警戒を呼びかけることとする（例1参照）。

また、過去の災害の引用や顕著な現象の解説については、“東海豪雨に匹敵”、“激しい雨を降らせる雨雲が〇〇県南部で停滞”など、そのときどき、気象台が最も伝えたいことを簡潔に記述する運用を行う（例2参照）。

更に、必要に応じて、“明るいうちの避難を心がけてください”など、具体的な安全確保行動をとる状況であることも記述する。

例1

記録的な大雨に関する全般気象情報 第〇号
平成24年〇月〇日△時△分
気象庁予報部発表
(見出し)

〇〇県，△△県を中心とする広い範囲において、
これまでに経験したことのないような大雨になっ
ています。この地域の方は，嚴重に警戒してくだ
さい。

(本文)
なし。

例2

平成24年台風第〇号に関する愛知県気象情報
第〇号
平成24年〇月〇日△時△分
名古屋地方気象台発表
(見出し)

〇〇市，〇〇町を中心とする愛知県西部の広い範
囲において，2000年の東海豪雨に匹敵する大
雨となっています。前線が東海地方に停滞して
おり，今後も大雨が続く見込みですので，この地
域の方は嚴重に警戒してください。

(本文)
なし。

参考

気象業務法第15条

気象庁は，第十三条第一項，第十四条第一項又は前条第一項から第三項までの規定により，気象，地象，津波，高潮，波浪及び洪水の警報をしたときは，政令の定めるところにより，直ちにその警報事項を警察庁，国土交通省，海上保安庁，都道府県，東日本電信電話株式会社，西日本電信電話株式会社又は日本放送協会の機関に通知しなければならない。地震動の警報以外の警報をした場合において，警戒の必要がなくなるときも同様とする。

2 前項の通知を受けた警察庁，都道府県，東日本電信電話株式会社及び西日本電信電話株式会社の機関は，直ちにその通知された事項を関係市町村長に通知するように努めなければならない。

3 前項の通知を受けた市町村長は，直ちにその通知された事項を公衆及び所在の官公署に周知させるように努めなければならない。

災害対策基本法 第56条

(市町村長の警報の伝達及び警告)

市町村長は，法令の規定により災害に関する予報若しくは警報の通知を受けたとき，自ら災害に関する予報若しくは警報を知ったとき，法令の規定により自ら災害に関する警報をしたとき，又は前条の通知を受けたときは，地域防災計画の定めるところにより，当該予報若しくは警報又は通知に係る事項を関係機関及び住民その他関係のある公私の団体に伝達しなければならない。この場合において，必要があると認めるときは，市町村長は，住民その他関係のある公私の団体に対し，予想される災害の事態及びこれに対してとるべき措置について，必要な通知又は警告をすることができる。

第5章 災害後の支援業務

5.1 紀伊半島における災害後の支援業務*

5.1.1 近畿地方整備局への支援

台風第12号の大雨により、紀伊半島の各地で大規模な河道閉塞が形成された。重大な土砂災害の発生する可能性が高い状況となったことから、近畿地方整備局は土砂災害防止法に基づき、9月8日に土砂災害緊急情報を発表した。これらの地域における二次災害及び被害拡大防止のため、大阪管区気象台は気象の解説や情報提供を行うことで近畿地方整備局の緊急調査及び緊急対策工事を支援している。それら支援の内容を以下に記述する。

5.1.1.1 近畿地方整備局災害対策本部への職員派遣

近畿地方整備局等の実施する緊急調査及び緊急対策工事が安全性を確保しつつ迅速に行えるように、大阪管区気象台では9月9日から近畿地方整備局災害対策本部へ職員を派遣し、迅速な支援対応のための情報収集及び気象解説を実施している。派遣は、同整備局との連絡調整及び情報収集を行うための要員（以下「リエゾン」と記述する。）1名を終日（おおむね9時～21時）常駐させるとともに、気象解説を行う要員（以下「解説要員」と記述する。）については、1日に2回程度開催される同整備局の災害対策本部会議等の開催時に派遣する体制で開始した。大雨が予想される場合には、夜間にもリエゾンを常駐させつつ、必要に応じて解説要員を派遣した。

9月22日からは、管内官署や当台技術部各課からの応援体制を確保したうえで、当台技術部予報課に「近畿地整災対応対応班」を設置し対応にあたった。9月26日以降は、解説要員がリエゾンの業務を兼ね、常駐することとした。

11月12日以降は、同整備局の体制縮小に伴い、同整備局の会議開催時に解説要員を派遣することとした。

5.1.1.2 近畿地方整備局を支援するための各種資料

大阪管区気象台から、近畿地方整備局災害対策本部へ提供を行っている資料の内容を以下に記す。

(1) 台風第12号の被災地に関する天気解説資料

第5.1.1図及び第5.1.2図は、奈良県南部及び和歌山県南部で予想される天気や雨量及び留意事項をまとめた資料であり、近畿地方整備局の当日及び翌日の体制の判断や週間スケールの工事の工程管理等を支援することを目的に提供した。資料は予想される天候により使い分けた。

資料の提供開始時期は9月9日から、提供頻度は同整備局の会議等の開催に合わせ、1日2回（13時及び18時）とした。12月7日以降は、同整備局が気象庁ポータルサイトに掲載されている被災市町村ごとの気象予測資料（後述）を入手、利用することとした。

(2) 河道閉塞地点付近に対する雨量予測資料

第5.1.3図は、土砂災害緊急情報が発表されている河道閉塞地点付近（奈良県五條市大塔村赤谷地区、同県野迫川村北股地区、同県十津川村長殿及び栗平地区、和歌山県田辺市熊野地区）における24時間先までの3時間ごとの雨量等をまとめた資料である。同整備局では、この雨量予測値を用いて流出解析を行い、湛水池の越流の可能性を判断した。

資料の提供開始は9月10日（北股地区は9月

* 大阪管区気象台 榎本 淳一，古田 圭

復旧作業担当者向け専門資料

台風第12号の被災地に関する天気解説資料

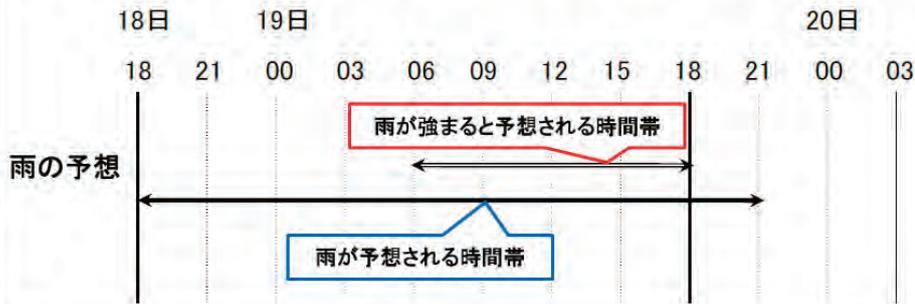
平成23年11月18日18時
大阪管区气象台

【留意事項】

- ◎17時現在、奈良県南部及び和歌山県南部では、弱い雨の降っている所があります。
- ◎これから19日夜のはじめ頃まで雨が降り、19日の朝から夕方にかけて雨が強まる見込みです。
- ◎18日18時～19日18時の雨量は、多いところで250ミリが予想されます。

【予想雨量 18日18時～19日18時】

1時間雨量 多いところ 50ミリ 24時間雨量 多いところ 250ミリ



【和歌山県の海上の波】

北部 18日 3メートル 19日 3メートル
南部 18日 3メートル 19日 3メートル → 4メートル

第 5.1.1 図 台風第12号の被災地に関する天気解説資料 (大阪管区气象台発表)

復旧作業担当者向け専門資料

台風第12号の被災地に関する天気解説資料

平成23年10月26日13時
大阪管区气象台

【留意事項】

- ◎12時現在、奈良県南部及び和歌山県南部では、雨を観測している所はありません。
- ◎これから27日にかけては、移動性高気圧に覆われて概ね晴れる見込みです。
- ◎1週間先までの天気は、以下のとおりです。

【予想雨量 26日12時～27日12時】 1時間雨量 0ミリ 24時間雨量 1ミリ

【週間天気予報】

奈良県

日	27日(木)	28日(金)	29日(土)	30日(日)	31日(月)	1日(火)	2日(水)
天気	晴時々曇	曇時々晴	曇時々晴	曇	曇時々晴	晴時々曇	晴時々曇
降水確率(%)	0/0/0/0	20	30	40	30	20	20
最高気温(℃)	20	22	23	21	23	24	24
最低気温(℃)	6	10	11	13	13	12	13

降水確率の1日目は、0-6/6-12/12-18/18-24時です。

和歌山県

日	27日(木)	28日(金)	29日(土)	30日(日)	31日(月)	1日(火)	2日(水)
天気	晴時々曇	曇時々晴	曇時々晴	曇	曇時々晴	晴時々曇	晴時々曇
降水確率(%)	0/0/10/10	20	30	40	30	20	20
最高気温(℃)	22	23	23	23	24	24	25
最低気温(℃)	11	14	14	15	15	14	16

降水確率の1日目は、0-6/6-12/12-18/18-24時です。

【和歌山県の海上の波】

北部 26日 3メートル 27日 2メートル → 1メートル
南部 26日 3メートル 27日 2メートル → 2.5メートル

第 5.1.2 図 台風第12号の被災地に関する天気解説資料 (大阪管区气象台発表)

河道閉塞地点付近に対する雨量予測資料

復旧作業担当者向け専門資料

平成24年2月22日17時

大阪管区气象台発表

3時間雨量は付近の最大値です。 *積算雨量は上記3時間雨量を積算した値です。		日		23日						
		22日		23日						
		時刻	18-21時	21-24時	00-03時	03-06時	06-09時	09-12時	12-15時	15-18時
奈良県	五條市大塔町赤谷付近	3時間雨量(ミリ)	0	5	5	5	5	10	5	0
		積算雨量(ミリ)	0	5	10	15	20	30	35	35
奈良県	十津川村長殿付近	3時間雨量(ミリ)	0	5	5	5	5	10	5	0
		積算雨量(ミリ)	0	5	10	15	20	30	35	35
奈良県	十津川村栗平付近	3時間雨量(ミリ)	0	5	5	5	5	10	5	0
		積算雨量(ミリ)	0	5	10	15	20	30	35	35
奈良県	野迫川村北殿付近	3時間雨量(ミリ)	0	5	5	5	5	10	5	0
		積算雨量(ミリ)	0	5	10	15	20	30	35	35
和歌山県	田辺市熊野付近	3時間雨量(ミリ)	0	5	5	5	10	15	5	0
		積算雨量(ミリ)	0	5	10	15	25	40	45	45

【予報に関する補足】

- ◎ 16時現在、奈良県南部及び和歌山県南部では、1時間に1～3ミリの雨量を観測しているところがあります。
- ◎ 雨は23日6時～12時にピークとなる見込みです。
- ◎ 0ミリを予想している時間帯でも、弱い雨が降る見込みです。

第 5.1.3 図 河道閉塞地点付近に対する雨量予測資料（大阪管区气象台発表）

14日)から、提供頻度は1日2回(11時及び17時)とした。同整備局等が実施している緊急工事の進捗に伴い、同整備局の体制縮小により、12月7日以降は一雨30ミリ以上等、さらに緊急工事が進んだ2012年6月28日以降は一雨80ミリ以上が予想された場合や同整備局から依頼があった場合に提供することとした。

(3) 被災地域雨量判定結果

「被災地域雨量判定結果」(第5.1.4図)とは、平成20年岩手・宮城内陸地震の際に発生した河道閉塞への災害復旧作業等の退避判断を支援するため、仙台管区气象台と東北地方整備局が調整を行い、仙台管区气象台から東北地方整備局へ提供

した予測資料である。これには、「退避雨量判定」と「流域雨量」の二つの内容が含まれる。

9月18日に近畿地方整備局から大阪管区气象台に、河道閉塞地点付近の水位予測に使用するため、1時間ごとの流域平均雨量の提供について要望があった。この要望については、本庁予報部の協力を得ながら当台予報課及び通信課が準備を進めた。

資料の提供は、「流域雨量」については9月19日から開始し、提供頻度は毎時とした。当初はFAXにより提供し、同月21日からはメールによる提供に切替えた。

「退避雨量判定」は、気象庁側の準備が整った11月9日から提供を開始した。

カンシヨドクジ81 オオサカ

被災地域雨量判定結果 2012年02月07日06時26分 大阪管区气象台

<退避雨量判定> 単位(ミリ)

地域名	実況	1時間後	2時間後	3時間後	退避雨量に達する時刻
(奈良県)					
栗平	◎	◎	◎	○	退避雨量に到達
1時間雨量	11	9	8	0	
赤谷	◎	◎	○	—	退避雨量に到達
1時間雨量	10	9	7	0	
長殿	◎	◎	◎	—	退避雨量に到達
1時間雨量	9	8	8	0	
北股	※	◎	○	—	退避雨量に到達
1時間雨量	9	9	6	0	
(和歌山県)					
熊野	※	◎	◎	●	退避雨量に到達
1時間雨量	16	22	12	0	

(奈良県)
 [判定] ー:なし ○:1時間1ミリ以上 ◎:1時間10ミリ以上 ●:3時間30ミリ以上 ※:◎●両方の基準以上
 (和歌山県)
 [判定] ー:なし ○:1時間1ミリ以上 ◎:1時間10ミリ以上 ●:3時間30ミリ以上 ※:◎●両方の基準以上

予報誤差等を考慮し、判定は、広がりを持った領域内の最大値によります。
 表示の1時間雨量は、領域内の平均値です。

<流域雨量> 単位(ミリ)

地域名	実況	1時間後	2時間後	3時間後
(奈良県)				
栗平	11	10	8	0
赤谷	10	10	7	0
長殿	9	7	7	0
北股	8	8	6	0
(和歌山県)				
熊野	16	22	15	1

解析雨量時刻 2012年02月07日06時00分
 降水短時間予報 2012年02月07日06時00分

第5.1.4図 被災地域雨量判定結果 (大阪管区气象台発表)

5.1.2 県や市町村への支援

5.1.2.1 県等への支援

奈良及び和歌山の両地方气象台は、災害復旧活動を支援するため、県災害対策本部会議（幹事会議を含む）に参加し気象解説を実施した。また、災害時気象支援資料を05時頃及び17時頃の1日2回、期間は、奈良県へは9月5日17時から9月30日17時まで、和歌山県へは9月4日17時30分から9月6日17時30分まで提供した。加えて、大雨注意報発表中においては「流域雨量」を毎時提供した。

この他、府県気象情報においては24時間以上先の予想雨量を記述する運用を9月14日から、避難行動を促す内容を記述する運用を9月16日から2012年2月8日まで実施した。

5.1.2.2 河道閉塞にかかる協議会

近畿地方整備局が9月8日に土砂災害緊急情報

を発表したことを受けて、各市村（和歌山県田辺市、奈良県五條市、同県野迫川村及び十津川村）では、二次災害の防止等のために9月16日に警戒区域を設定した。これらの警戒区域等の設定や区域への立入、一時帰宅、避難指示等について関係機関が連携して対応を協議することを目的として、奈良県五條市及び和歌山県田辺市では22日に、奈良県野迫川村及び十津川村では23日に協議会（和歌山県田辺市における名称は、田辺市熊野地区河道閉塞対策協議会、奈良県各市村における名称は、土砂災害緊急情報現地対策協議会。以下、いずれも「協議会」と記述する。）がそれぞれ設置された。

これらの協議会に奈良及び和歌山両地方气象台が参画し、一時帰宅等の実施判断に資する気象の解説を解説要員が行った。加えて、同協議会に合わせて開催された各市村の災害対策本部会議にも出席し、気象の解説を行った。

23日には、奈良県野迫川村と十津川村で協議会が同日に開催されたことから、十津川村の協議会へは奈良地方気象台の代理として大阪管区気象台職員が出席した。十津川村へのアクセスが困難であったため、同村協議会への出席にあたっては近畿地方整備局の協力で同整備局が管理するヘリコプターなどを移動手段とした。

河道閉塞の緊急工事が進んで、近畿地方整備局から重大な土砂災害の発生する可能性は低くなった旨の「土砂災害防止法に基づく緊急調査の随時情報」が該当市村に順次発表された。発表を受けた各市村では協議会が警戒区域の解除を決定し、12月3日には和歌山県田辺市の、同月23日には

奈良県野迫川村の、2012年2月8日には奈良県野迫川村及び十津川村の各協議会が解散した。

5.1.2.3 台風第12号被災地向けの気象情報

被災者及び被災地で復旧活動にあたる担当者向けに9月5日19時から、「台風第12号に係るポータルサイト」を気象庁ホームページに開設した。掲載資料は、台風第12号の概要や奈良、和歌山、三重各県の被災市町村ごとの気象予測資料並びに関係機関へのリンクなどである。第5.1.5図及び5.1.6図は被災市町村ごとの気象予測資料の例である。

ポータルサイト開設について、被災した県の担

台風第12号被災地向け気象支援資料（奈良県上北山村）

平成23年9月21日 5時00分

奈良県の天気解説

今日の奈良県は、台風第15号が接近するため雨が降り、南部を中心に雷を伴った非常に激しい雨の降る所があるでしょう。また、風が非常に強い見込みです。

<天気変化等の留意点>

奈良県では今日は雨や雷雨となり、南部では非常に激しく降る所がある見込みです。台風第12号による記録的な大雨により災害の発生した地域では、引き続き新たな土砂災害の発生に警戒して下さい。夕方にかけて風が非常に強い見込みです。飛散物等に注意して下さい。明日は湿った空気と寒気の影響で弱い雨の降るところがあります。気温は平年並みとなる見込みです。

上北山村付近の天気

日 / 気温	21日 / 日中の最高23℃						22日	
	6-9時	9-12時	12-15時	15-18時	18-21時	21-24時	0-3時	3-6時
天気								
3時間雨量(ミリ)	10以上	10以上	10以上	10以上	10以上	5~9	1~4	1~4
気温(℃)	20	22	21	21	20	19	18	18
風向								
風速(m/s)	20	20	20	20	15	8	2	2

風向 0m/s 1-4m/s 5-9m/s 10m/s以上

気温は各時間帯の初めの時間の予想値です。例えば18-21なら18時の予想値です。

週間天気予報（奈良県 気温：奈良）

日	21日(水)	22日(木)	23日(金)	24日(土)	25日(日)	26日(月)	27日(火)
天気	雨で暴風を伴う 	曇後晴 	晴時々曇 	晴時々曇 	曇時々晴 	晴時々曇 	曇時々晴
降水確率(%)	90/80/50	30/20/10/0	20	20	30	20	30
最高気温(℃)	26	24	27	28	28	29	28
最低気温(℃)	17	20	14	15	17	17	17

降水確率の1日目は、6-12/12-18/18-24時、2日目は、0-6/6-12/12-18/18-24時です。

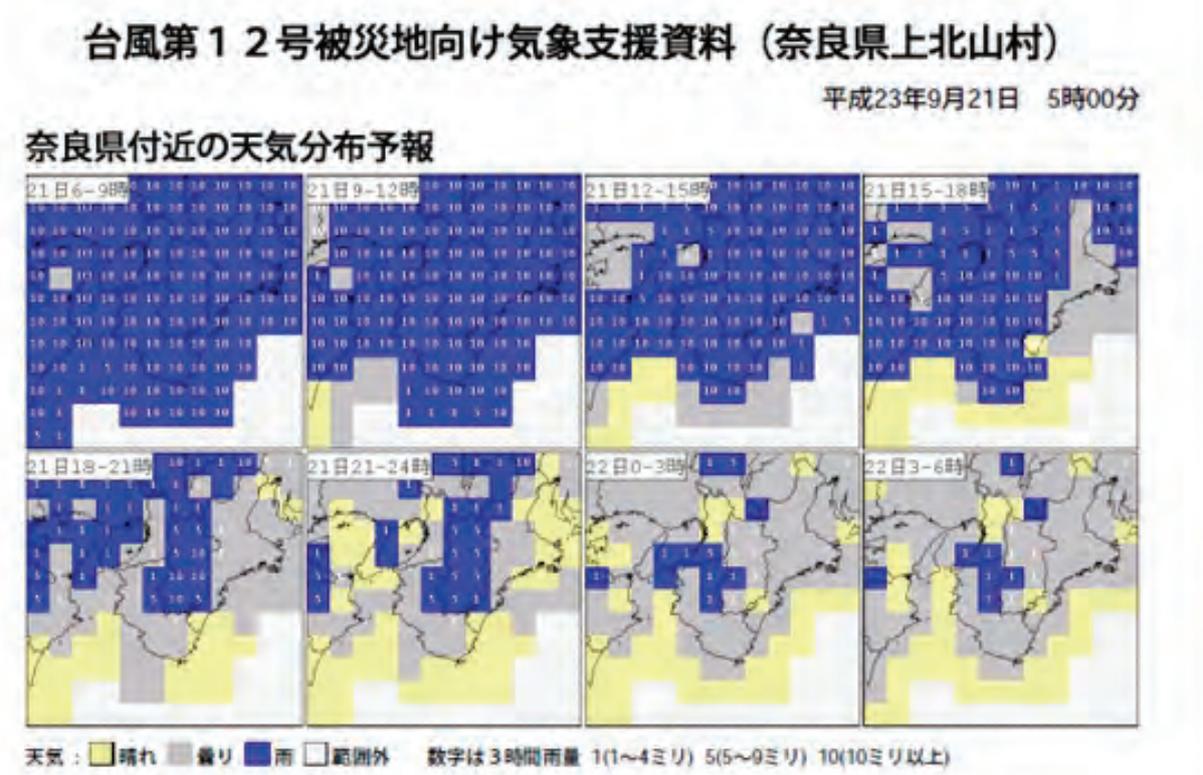
第5.1.5図 台風第12号被災地向け気象支援資料1ページ目（奈良県上北山村の例）

当者に管内官署を通じて周知するとともに、利用者の利便性を高めるため当管内官署の各ホームページに本サイトへのリンク(バナー)を掲載した。

また、同サイトは被災地のみならず、被災地へ支援を実施する担当者にも活用いただくことを目的としていることから、被災していない府県の担当者へも管内官署を通じて同サイト開設を周知した。

5.1.3 政府調査団等への対応

奈良、和歌山、三重各県の被災地の状況及び現地の対応等の把握のため、同地に政府調査団等が派遣された。それらの視察時には当庁が気象の解説や資料の提供を行った。



第 5.1.6 図 台風第12号被災地向け気象支援資料 2 ページ目 (奈良県上北山村の例)

5.2 東北地方太平洋沖地震で被災した東北地方における台風等に係る気象支援業務*

5.2.1 気象支援班の概略

気象庁は、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による広域かつ甚大な被害を踏まえ、被災地における復旧・復興活動や防災活動を行っている機関等に対し、気象情報による支援を的確に行うための効果的・効率的な体制を構築するために、仙台管区気象台予報課に「東日本大震災復旧・復興対応気象支援班」（以下、気象支援班）を5月9日に設置した。気象支援班は、管区予報課の班長と副班長2名のほか、本庁及び各管区からの派遣要員により構成されている。

気象支援班の任務は大きく二つに分けられる。まず一つ目としては、被災地における気象情報に対するニーズの把握である。今回の東北地方太平洋沖地震の被害に対して、実施している復旧・復興活動や防災活動の内容、及びその活動に伴い必要とされる気象情報を把握する必要がある。このため気象支援班設置の周知とニーズの把握のために、平成23年の出水期前に被災地の復旧・復興活動や防災活動において主たる役割を担っている東北地方整備局、東北農政局、第二管区海上保安本部、陸上自衛隊東北方面総監部、東北運輸局、東北地方測量部といったブロック機関を訪問した。また、秋には復旧・復興活動の最新事情の把握と冬季の気象情報のニーズ把握のために、同機関を再訪し聞き取りを行った。

二つ目として、この把握したニーズに合致した気象情報の提供である。今回の震災においては、津波や地震に伴う地盤沈下など、影響が広域に及び、かつ長期間続くことから、気象情報へのニーズも既存の対応では収まらないものもあった。このため、本庁と気象支援班で協力しつつ情報を作成し提供を開始した。

気象支援班が提供している主な情報はつぎのとおり。

①明日（今日）の防災気象情報

これは被災地の復旧・復興活動を管理する部署が明日の工事計画等を立てるための情報として、

雨・雪・風・波などについて目安を超えると予想した時にPCメールにて夕方（昼前）に提供する情報である（第5.2.1図）。

平成23年6月22日より、東北地方整備局、東北農政局、東京航空局、東北森林管理局、水産庁、東北運輸局、第二管区海上保安本部、陸上自衛隊東北方面総監部、宮城県、仙台市に対して雨の見通しについて「大雨の予想」として提供を開始した。

また、平成23年11月14日より提供先は変更せず、新たに雪なども予想の対象に加え、「明日（今日）の防災気象情報」と名称を変更して提供を開始した。

②地域の防災情報

これは復旧・復興活動において屋外などの気象情報等を入手しにくい環境で作業管理に従事している方々に対して、顕著現象が始まった、若しくは現象の見通しが予想より早まった場合に、作業現場での実況監視を促すための情報として携帯電話向けにメールで提供する情報である（第5.2.2図）。

平成23年9月20日より、復旧・復興に携わっているブロック機関や県・市町村及び一部作業を請け負っている民間業者に対して提供を開始した。

③潮位雨量図

これは地盤沈下と排水施設の損傷により、満潮と強い雨の時間帯が重なると、浸水が非常に起こりやすくなっていることから、排水設備の臨時の増設などに利活用してもらうために、潮位の予測と雨量の予測を一つにまとめた図としてメールにて提供する情報である（第5.2.3図）。

平成23年7月7日より、東北地方整備局、東北農政局に提供を開始した。また、8月22日に宮城県を、9月20日に宮城県内の沿岸市町を提供先に追加することとなった。

④浸水予測マップ

これは地点の標高と潮位の予測を比較し、大潮期間中において満潮時に浸水すると予想される地域を地図上に表示した図を作成し、満潮時の浸水

* 仙台管区気象台 小畑 英樹（現 福島地方気象台）

明日にかけての宮城県の前・風・波・高潮の見通しについて、お知らせします。

【雪】
7日18時から8日18時までの12時間毎の降雪量

地域	7日18時～8日06時	8日06時～18時
東部	平野部 5～9cm	5～9cm
西部	平野部 5～9cm	10～19cm
	山沿い 10～19cm	20cm以上

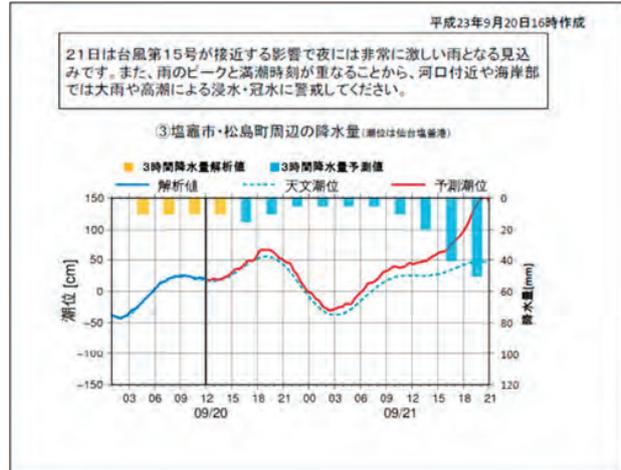
7日夜遅くから8日昼過ぎにかけて雪となり、ピークは8日明け方
東部平野部の降雪は、北部中心となる見込み

【風と波】
風は、8日明け方から9日にかけて、北西の風、陸上15メートル、海上25メートル、
ピークは8日明け方から夕方
波は、8日明け方から9日にかけて、6メートルの大しげ
沿岸風のため沿岸部の波は、これより低い見込み
ピークは8日明け方から夕方

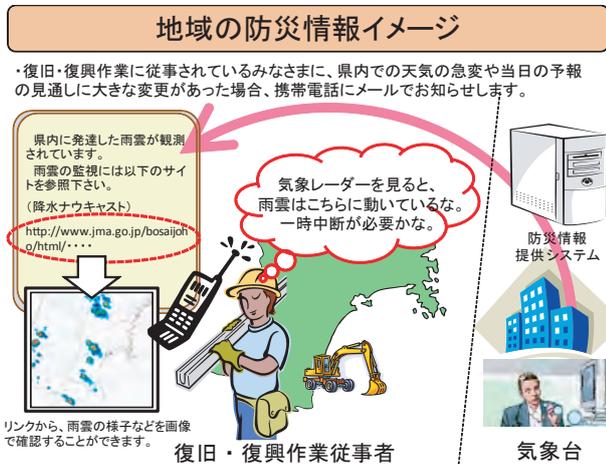
【警報の見通し】
大雪警報は、西部を対象に8日明け方から昼過ぎにかけて発表する可能性があります。
暴風・波浪警報は、7日夜遅くに、東部を対象に発表する見込み
高潮警報は、8日夕方まで継続の見込み

7日夕方に、「暴風と高波に関する宮城県気象情報」を発表する予定です。

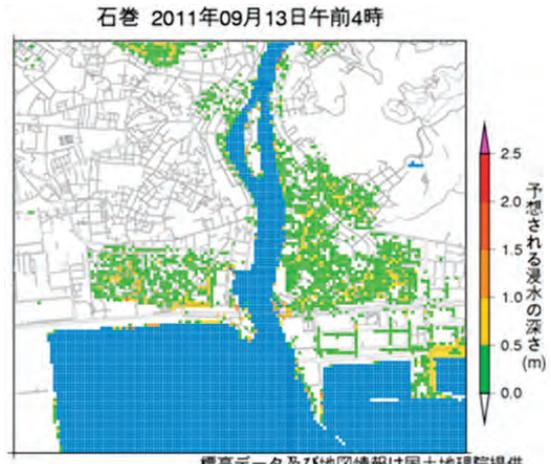
第 5.2.1 図 明日の防災情報提供例



第 5.2.3 図 潮位雨量図(台風第15号提供例)



第 5.2.2 図 地域の防災情報イメージ図



第 5.2.4 図 浸水予測マップ(石巻市の例)

地域の立ち入り禁止や道路の通行止めの判断等に利用してもらう図としてメールにて提供する情報である(第5.2.4図)。

平成23年9月15日より、東北地方整備局、東北農政局、宮城県、気仙沼市、石巻市に提供を開始した。また、平成24年1月5日に岩手県、宮古市、釜石市、大船渡市を提供先に追加することとなった。

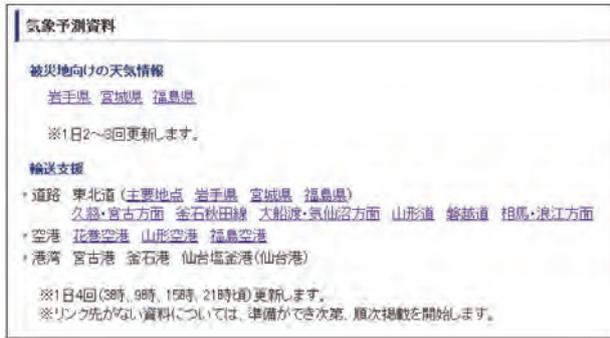
ほかにも、他の機関と比較して早めの体制を組む東北地方整備局に対しては、「明日の防災気象情報」よりも少ない雨量を目安に「雨の見通し」の提供も実施している。

これらの気象支援班が提供している防災気象情報は、提供先の関係機関において翌日の計画立案や大雨時の防災対応などに活用され、おおむね好

評を得ている。

5.2.2 被災者、関係機関への気象支援資料について

気象庁では東北地方太平洋沖地震に伴う応急対策等を支援するために、気象庁ホームページ内に「東日本大震災～東北地方太平洋沖地震～関連ポータルサイト」を平成23年3月16日に立ち上げ、地震・津波関連資料のほかに、被災者や各関係機関向けに被災地のニーズに対応した気象支援資料の提供を開始した。ポータルサイトの開設当初は、被災地の救難・救助や捜索活動、被災地への物資等の輸送を支援する資料を中心に提供を行った(第5.2.5図)。その後、被災地での活動内容が徐々に復旧・復興へ移行していくことに伴い、



第 5.2.5 図 開設時のポータルサイト

支援資料も避難所へ避難している方々の生活の支援や復旧作業を行っている機関などの支援を対象としたものを新たに提供するなど、その時の状況に適合した情報の提供を行った。これらのニーズの把握には、現地災害対策本部会議での各機関からの作業状況報告や、気象支援班などによる関係機関への聞き取り結果などを活用した。

また、仙台管区气象台では、津波により防災行政無線が壊滅的な被害を受けた被災地における防災気象情報の入手手段としてラジオが有効であるとの情報を得て、既存のラジオ局に対してラジオでの防災気象情報の放送が被災地などにとっていかに重要であるかを説明し、放送への更なる協力をお願いした。同時に、各被災地で立ち上がっていた「さいがいエフエム」や「コミュニティ放送局」等に対して、防災気象情報の入手手段として防災情報提供システムを紹介するとともに、气象台が望ましいと考えている防災気象情報から放送原稿への活用方法についても説明を行った。これらの放送局では、大雨時などに警報が発表されたことを放送し一般住民に注意を呼び掛けるなど、防災気象情報が活用されている。

5.2.3 台風第 15 号接近時に実施した関係機関への支援内容

仙台管内では、台風第 15 号の接近に伴い、事前の対応として、各県において台風説明会を開催し防災機関や報道機関に説明を行うとともに、報道機関等を通じて広く一般住民へも警戒を呼びかけた。気象支援班では、台風説明会に参加できなかった関係機関に台風説明会で使用した資料をメールで送付するとともに、通常は夕方の一回の提供としている「潮位雨量図」や「明日の防災気象情報」などについても、台風の影響が予想される当日と前日に臨時の対処としてそれぞれ昼前と夕方の 2 回提供を行った。

台風第 15 号の際には、大雨や暴風・高波が発生したほか、台風の接近と満潮時刻が重なったことや地震による地盤沈下の影響があったことから、高潮による浸水害が沿岸部で多発した。事後の聞き取り調査によると、気象支援班で提供を行った浸水予測マップや潮位雨量図をもとに避難勧告対象地域の絞り込みを行うなど、防災対応に役立ったと報告されている。

その他、自治体の支援としては、仙台管区气象台では、臨時に開催された宮城県災害対策本部会議において台風第 15 号の影響について説明を行ったほか、台風説明会の資料を県の教育機関に提供した。提供を受けた教育機関では、この資料を臨時休校などの判断材料として活用したところもあった。

他の県においても、防災気象情報の提供のほかに、ホットラインを用いて自治体防災担当者に直接警戒の呼び掛けを行ったところもあった。また、東日本大震災により、これまで人の住んでいない所に仮設住宅を建設した自治体もあり、このような場所では、どの位の雨でどのような状態になるのかが地元自治体でも未経験であるため、今後の気象の見通しを頻繁に確認して防災体制を即応させるため、ホットラインによる問い合わせが度々あった。

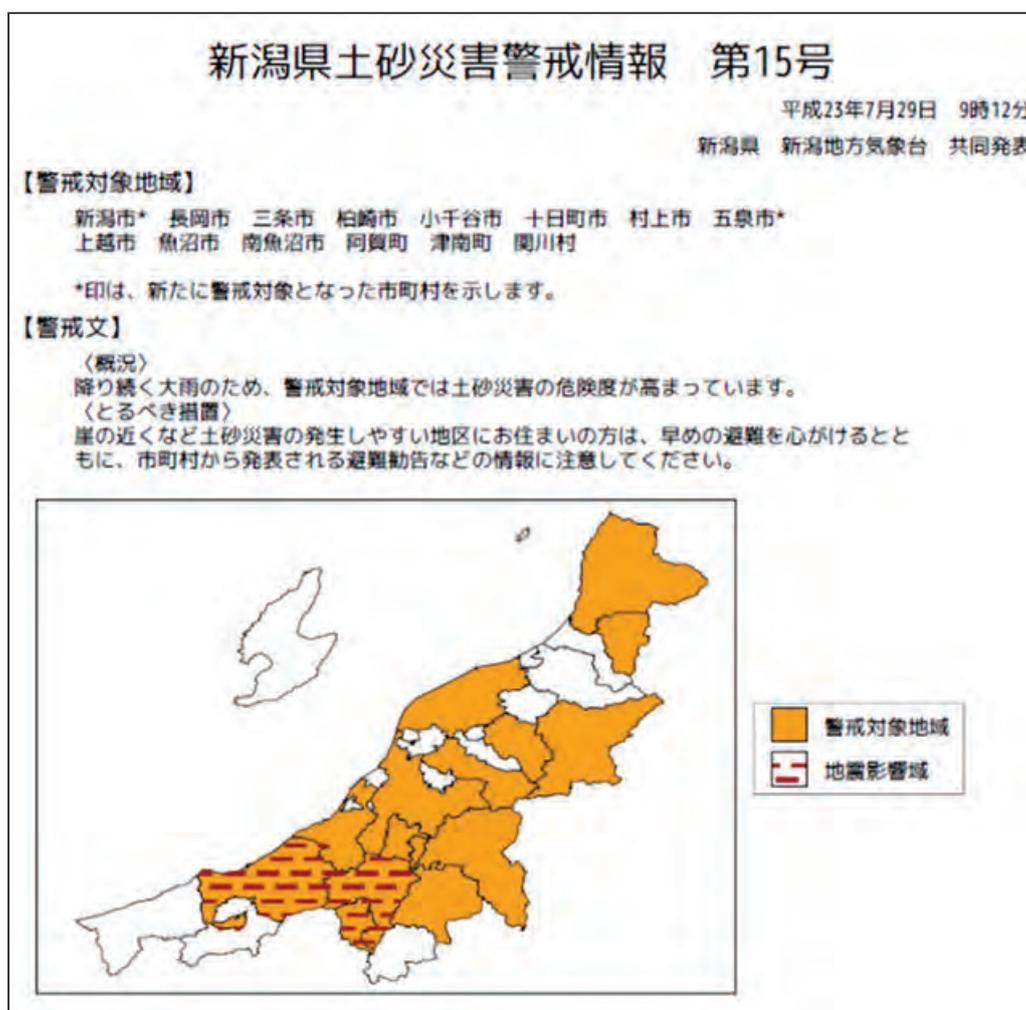
用語説明

■ 土砂災害警戒情報とは

土砂災害警戒情報は、大雨警報が発表されている状況で、土砂災害の危険度が非常に高まったときに、市町村長が避難勧告等の災害応急対応を適時適切に行えるよう、また、住民の自主避難の判断の参考となるよう、都道府県と気象庁が共同して発表する防災情報である。

土砂災害警戒情報は、降雨から予測可能な土砂災害のうち、避難勧告等の災害応急対応が必要な土石流や集中的に発生する急傾斜地の崩壊を発表対象としている。技術的に予測が困難である地すべり等は、土砂災害警戒情報の発表対象とはしていない。また、個別の災害発生箇所・時間・規模等を詳細に特定するものでもない。

この情報は、平成17年9月1日に全国に先がけて鹿児島県において運用を開始し、平成20年3月21日には全都道府県で運用が行われるようになった。



平成23年7月新潟・福島豪雨における新潟県土砂災害警戒情報の発表例

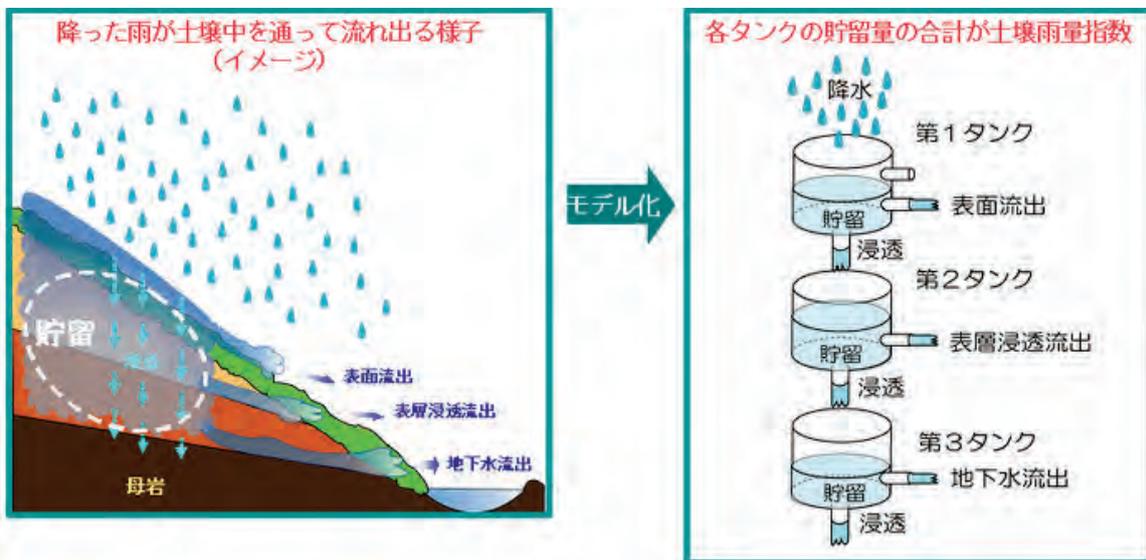
■ 土壌雨量指数とは

土壌雨量指数とは、降った雨が土壌中に水分量としてどれだけ貯まっているかを、解析雨量を基に「タンクモデル」という手法を用いて指数化したものである。地表面を5km四方の格子（メッシュ）に分けて、それぞれの格子で計算している。

大雨によって発生する土砂災害（土石流・がけ崩れなど）は土壌中の水分量が多いほど発生の可能性が高く、また、何日も前に降った雨が影響する場合もある。土壌雨量指数は、これらを踏まえた土砂災害の危険性を示す指標として、土砂災害警戒情報及び大雨警報・注意報の発表基準に使用している。

「タンクモデル」とは、下図のように降った雨が土壌中を通して流れ出る様子を孔の開いたタンクを用いてモデル化したもので、3段に重ねた各タンクの側面には水がまわりに流れ出すことを表す流出孔が、底面には水がより深いところに浸み込むことを表す浸透流出孔がある。土壌雨量指数は、各タンクに残っている水分量（貯留量）の合計として算出している。

なお、土壌雨量指数は、土砂災害の危険性把握を目的とした指数であり地中に貯まった雨水量を正確に推計するものではない。



土壌雨量指数のイメージ

■ 土砂災害警戒判定メッシュとは

土砂災害警戒判定メッシュは、雨量に基づいて土砂災害発生の危険度を判定したものである。土砂災害警戒判定メッシュが対象としている土砂災害は、表層崩壊による土砂災害のうち、土石流や集中的に発生する急傾斜地の崩壊であり、技術的に予知・予測が困難な斜面の深層崩壊、山体の崩壊、地すべり等については対象としていない。

土砂災害警戒判定メッシュは、個々の急傾斜地等における植生・地質・風化の程度等の特性や地下水の流動等を反映したものではなく、個別の災害発生場所・時間・規模等を特定するものではない。

なお、大雨警報・注意報及び土砂災害警戒情報は気象状況等を総合的に判断して発表している。このため、これらの発表状況と土砂災害警戒判定メッシュとは、整合しない場合がある。

(凡例の説明)

本文中に用いた土砂災害警戒判定メッシュ図には、左下図の凡例を付している。その意味は右下図のとおりである。

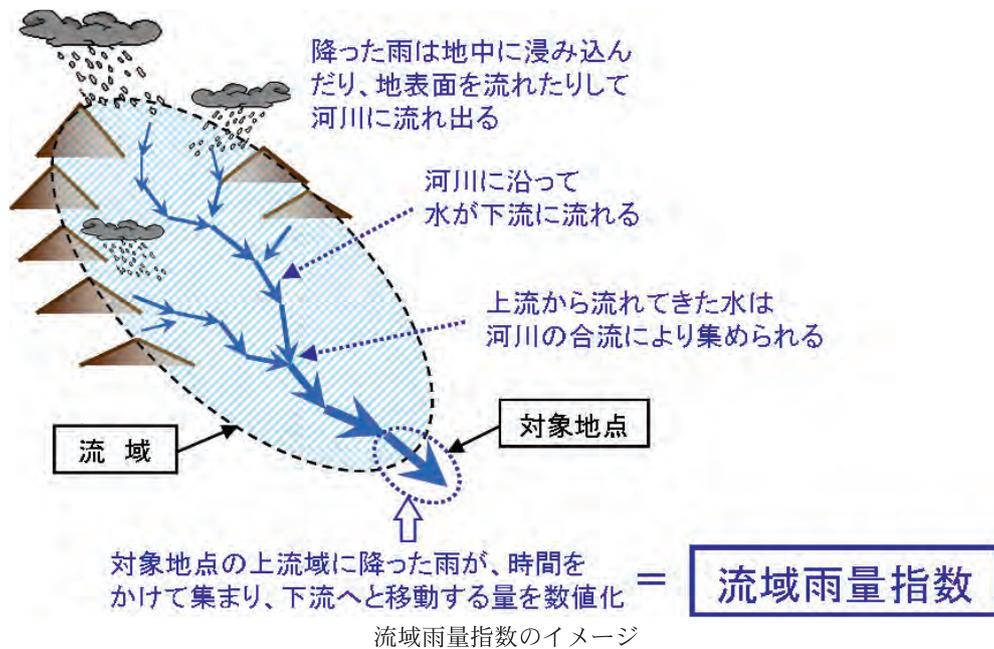
Unit:Level	
	< 1.0
1.0 ≤	< 2.0
2.0 ≤	< 3.0
3.0 ≤	

	< 1.0	大雨注意報基準未滿
1.0 ≤	< 2.0	大雨注意報基準超過
2.0 ≤	< 3.0	大雨警報(土砂災害)基準超過
3.0 ≤		土砂災害警戒情報基準超過

■ 流域雨量指数とは

流域雨量指数は、河川の流域に降った雨が河川に沿って下流へと移動する量を数値化したものである。長さがおおむね15km以上の全国の河川を対象に、流域を5km四方の格子(メッシュ)に分けて、解析雨量と降水短時間予報を入力し、流出過程と流下過程の計算により算出している。

大雨によって発生する河川の増水・はん濫などの洪水害は、流下してくる雨水の量が多いほど発生の可能性が高く、かつ、上流の降雨が下流に集まるまでの時間差も考慮する必要がある。流域雨量指数は、これらを踏まえた洪水害の危険度を表す指標として、各地気象台が発表する洪水警報・注意報の発表基準に使用している。



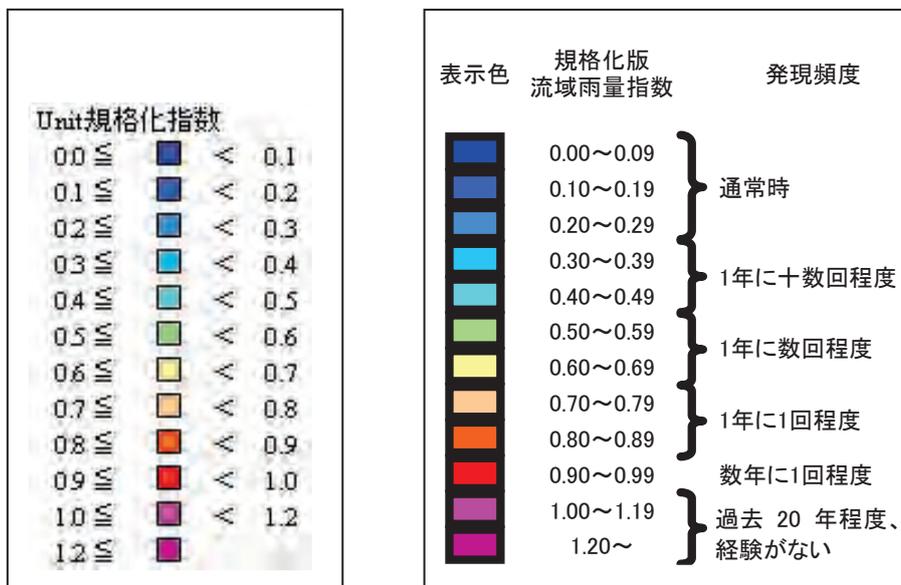
■ 規格化版流域雨量指数とは

規格化版流域雨量指数とは、5km四方の格子（メッシュ）内を流れる河川の1991年以降（2012年8月現在、1991年～2010年の20年間を統計期間としている）の流域雨量指数最大値に対して、その時点での流域雨量指数の比率をとったものであり、全国の5km四方の格子（メッシュ）の分布図として提供している。これにより、洪水害の危険度の面的な分布をある程度把握することができる。規格化版流域雨量指数は、その値により、おおよその発現頻度を推定することができる。例えば、規格化版流域雨量指数が0.40～0.49であれば1年に10回程度の発現頻度、0.70～0.79であれば1年に1回程度の発生頻度ある。なお、規格化版流域雨量指数が洪水注意報・警報の発表と常に対応するわけではないので、この点に留意されたい。

また、規格化版流域雨量指数が1を超えた場合には、その5km四方の格子（メッシュ）では、過去20年間の流域雨量指数の最大値を上回る状況であり、過去20年程度で経験がないほど洪水の危険度が高まっていることを意味する。

（凡例の説明）

本文中に用いた規格化版流域雨量指数の図には、左下図の凡例を付している。その意味は右下図のとおりである。また、規格化版流域雨量指数と発現頻度の関係は、右下図のとおりである。



利用にあたって（留意事項）

■ 著作権及び転載・引用について

- ・本技術報告（DVD含む）の著作権は、気象庁に帰属します。
- ・本技術報告（DVD含む）の内容を論文・報告等で転載・引用する場合は、必ず参考文献欄等に本技術報告について明示してください。
- ・本技術報告（DVD含む）について、複製し第3者に提供することは禁じます。

付録

■ 付録DVDには、気象庁技術報告第134号「平成23年（2011年）台風23号等調査報告」の全編のAdobe Portable Document Format（PDF）ファイル、データなどを収録しています。

付録DVDをDVDドライブにセットすると、自動的に初期画面が起動します。自動起動しない場合は、エクスプローラを開いて、DVDドライブを選択し、「INDEX.HTM」をダブルクリックしてください。

収録内容

- 気象庁技術報告第134号全編のPDFファイル
- 資料など
 - ・地上天気図
 - ・高層天気図
 - ・気象衛星画像
 - ・ウインドプロファイラデータ
 - ・レーダーデータ
 - ・解析雨量
 - ・土砂災害警戒判定メッシュ
 - ・規格化版流域雨量指数
 - ・台風経路図
 - ・台風位置表
 - ・高層気象観測
 - ・潮位観測
 - ・防災気象情報発表履歴

商標

Adobeは、米国のAdobe Systems Incorporated（アドビシステムズ株式会社）の商標です。