

# 平成 30 年度予報技術 研修テキスト

(予報課)

February 2019

気 象 庁 予 報 部



## はじめに

近年、気象庁では、災害の激甚化などを「新たなステージ」と捉えて防災気象情報の改善を進め、また、「地域における気象防災業務のあり方」の提言を受けて地域防災の支援を強化してきた。その中、昨年度は、局地化・集中化した雨の降り方により「平成 29 年 7 月九州北部豪雨」が、そして今年度は、激甚化した雨の降り方により「平成 30 年 7 月豪雨」が発生した。日本列島を襲った平成 30 年台風第 21 号や第 24 号等では、暴風・高潮災害も顕著であった。

「平成 30 年 7 月豪雨」においては、気象庁からの防災気象情報の発表や自治体からの避難の呼びかけが行われていたもののそれらが必ずしも住民の避難行動に繋がっていなかったのではないかと、との指摘があった。これを踏まえて開催した「防災気象情報の伝え方に関する検討会」では、避難等の防災行動に役立つための防災気象情報の伝え方について課題を整理し、その解決に向けた今後の改善策について検討が行われた。

改めて言うまでもないが、我々の発信する防災気象情報が避難等の防災行動に役立つ上では、伝え方の改善だけでなく、情報の信頼性を向上させることが根本的に重要であり、予測精度をより一層向上させるとともに、災害危険度の高まりや切迫度について、情報の受け手である自治体の防災担当職員や住民等に我が事感をもって理解できる情報を提供できるよう対応を推進する必要がある。

本テキストは、予報担当者の技術力の維持・向上を目的に、予報作業や最新の予報技術等について解説する。具体的には、予報作業の解説、既存のプロダクトの理解促進、最新の予報技術の解説、という 3 つの大きな柱から構成されている。

柱の 1 つ目については、予報担当者の技術力向上を目的に、昨年度に引き続き、各種指数を用いた予報作業の実例として、予想が難しい不安定降水の事例を対象に予報作業を解説するとともに、地方予報中枢官署での実況監視・解析の具体例を解説した。また、予報作業における実況監視技術の向上を図る観点で、新しいひまわり 8 号の衛星画像を利用した事例解析を解説した。2 つ目は、従前から継続して作成・提供しているプロダクトについて一層の理解促進を図るため、総観スケールの天気図の解析手法について解説するとともに、台風予報に対する理解を深める目的で現在行っている台風進路予報の詳細について改めて解説した。3 つ目は、新しい技術力の習得・知識の向上を目的として、気象庁の警報・注意報、各種危険度分布等の根幹を成している解析雨量や降水短時間予報等についての理解を深めるため、それらの算出手法や特徴、留意点、最新の改善について解説した。

近年、ますます激甚化する災害や現象に対応して適時適切に防災気象情報を提供するとともに、地方气象台等が地域における気象防災支援強化を図り、住民の避難等の防災行動に役立つ上で、本テキストが予報担当者はもちろん、気象解説や自治体支援等を担当するすべての職員の技術力向上の一助になることを期待する。

平成 31 年 2 月

予報課長 梶原靖司



# 目次

## はじめに

### 第1章 実例に基づいた予報作業の例

1. 1	はじめに	1
1. 2	2017年8月19日の不安定降水による大雨事例	1
1. 2. 1	大雨の概要	1
1. 2. 2	天気予報発表作業	4
1. 2. 2. 1	8月18日17時予報発表に向けた作業	5
1. 2. 2. 2	8月19日5時予報発表に向けた作業	11
1. 2. 2. 3	8月19日11時予報発表に向けた作業	11
1. 2. 2. 4	天気予報発表作業のまとめ	15
1. 2. 3	警報・注意報発表作業	16
1. 2. 3. 1	大雨注意報発表に向けた作業	16
1. 2. 3. 2	警報発表に向けた作業	20
1. 2. 3. 3	警戒度ガイダンス置換による 警報切り替えに向けた作業	24
1. 2. 3. 4	緊急整合による警報切り替えに向けた作業	27
1. 2. 3. 5	警報解除に向けた作業	29
1. 2. 3. 6	警報・注意報発表作業のまとめ	31
1. 3	まとめ	32

### 第2章 大雨・洪水警報に用いている「指数と基準」の精度検証

2. 1	はじめに	33
2. 2	近年の豪雨災害事例の検証	33
2. 2. 1	平成29年7月九州北部豪雨	33
2. 2. 2	平成30年7月豪雨	37
2. 3	統計的な精度検証	43
2. 3. 1	大雨警報（浸水害）、洪水警報の基準の評価	43
2. 3. 2	客観予測資料の精度検証	45
2. 3. 3	実際に発表された大雨警報・洪水警報の精度検証	46

### 第3章 ひまわり8号による総観スケール現象の把握

3. 1	はじめに	48
3. 2	総観スケール現象の把握に用いる各種衛星画像	48
3. 3	衛星画像による総観スケールの気象の場や現象の把握	51
3. 3. 1	明域、暗域、暗化域、ドライスロット、 上層渦などの把握	51
3. 3. 2	上層ジェットを示唆する雲域 (Ciストリーク、トランスバースライン)	52

3. 3. 3 気象じょう乱を示唆する雲域 (バルジ、フックパターン)	5 3
3. 3. 4 低気圧や前線の雲域	5 4
3. 4 衛星画像による顕著事例	5 7
3. 4. 1 平成 29 年 7 月九州北部豪雨 (2017 年 7 月 6 日を対象)	5 7
3. 4. 2 九州北部の突風事例 (2017 年 8 月 9 日)	6 1
3. 4. 3 2017 年 2 月 9 日～12 日にかけての山陰の大雪	6 6
3. 5 おわりに	7 0
付録 Airmass RGB 合成画像の色調表示に関する補足	7 3

#### 第 4 章 地方予報中枢官署における実況監視・解析作業の具体例

4. 1 はじめに	7 4
4. 2 事例の概要	7 5
4. 3 事例に基づいた地方予報中枢官署での実況監視・解析作業	7 6
4. 3. 1 シナリオと実況監視の着目点やポイント	7 6
4. 3. 1. 1 シナリオ	7 6
4. 3. 1. 2 実況監視の着目点	7 7
4. 3. 2 具体的な実況監視・解析作業	7 7
4. 3. 2. 1 4 日 15 時	7 8
4. 3. 2. 2 4 日 16 時	7 9
4. 3. 2. 3 4 日 17 時	8 0
4. 3. 2. 4 4 日 18 時	8 1
4. 3. 2. 5 4 日 18 時 40 分	8 2
4. 3. 2. 6 4 日 19 時	8 3
4. 3. 2. 7 4 日 20 時	8 5
4. 3. 2. 8 4 日 21 時	8 7
4. 3. 2. 9 4 日 22 時	8 8
4. 3. 2. 10 4 日 22 時 30 分	8 9
4. 3. 2. 11 4 日 23 時	9 0
4. 3. 2. 12 5 日 0 時	9 1
4. 3. 2. 13 5 日 1 時	9 2
4. 4 まとめ	9 2

#### 第 5 章 アジア太平洋地上天気図の標準的な解析手法

5. 1 はじめに	9 4
5. 2 事例の概要	9 4
5. 2. 1 発生期 1 月 21 日 06UTC～21 日 12UTC	9 4
5. 2. 1. 1 衛星画像解析	9 5
5. 2. 1. 2 アジア 300hPa・500hPa・700hPa・ 850hPa 高層天気図解析	9 6

5. 2. 1. 3	低気圧解析・前線解析の根拠、 注目する実況観測	9 7
5. 2. 2	発達期 1月21日18UTC～22日18UTC	9 9
5. 2. 2. 1	衛星画像解析	9 9
5. 2. 2. 2	アジア300hPa・500hPa・700hPa・ 850hPa 高層天気図解析	1 0 1
5. 2. 2. 3	低気圧解析・前線解析の根拠、 注目する実況観測	1 0 3
5. 2. 3	最盛期 1月23日00UTC～23日12UTC	1 0 6
5. 2. 3. 1	衛星画像解析	1 0 6
5. 2. 3. 2	アジア300hPa・500hPa・700hPa・ 850hPa 高層天気図解析	1 0 7
5. 2. 3. 3	低気圧解析・前線解析の根拠、 注目する実況観測	1 0 7
5. 2. 4	衰弱期 1月23日18UTC～24日06UTC	1 1 0
5. 2. 4. 1	衛星画像解析	1 1 0
5. 2. 4. 2	アジア300hPa・500hPa・700hPa・ 850hPa 高層天気図解析	1 1 1
5. 2. 4. 3	低気圧解析・前線解析の根拠、 注目する実況観測	1 1 2
5. 3	まとめ	1 1 2

## 第6章 台風進路予報の高度化

6. 1	はじめに	1 1 4
6. 2	国際的動向	1 1 4
6. 2. 1	進路予報期間と発表頻度	1 1 5
6. 2. 2	進路予報精度	1 1 7
6. 2. 3	進路予報精度向上の要因	1 1 7
6. 2. 3. 1	数値予報モデルの精度向上	1 1 7
6. 2. 3. 2	数値予報モデルの利用手法の改善	1 1 9
6. 2. 4	不確実性の表現手法	1 1 9
6. 2. 5	アンサンブル予報の活用	1 1 9
6. 3	気象庁の最近の取組及び現状	1 2 2
6. 3. 1	コンセンサス手法の導入	1 2 2
6. 3. 1. 1	コンセンサス手法の先行調査	1 2 2
6. 3. 1. 2	コンセンサス手法の導入	1 2 2
6. 3. 1. 3	コンセンサス手法導入後の精度	1 2 2
6. 3. 1. 4	数値予報モデル利用手法の 高度化に向けた調査	1 2 4
6. 3. 2	予報円の見直し	1 2 5
6. 3. 2. 1	従来の予報円	1 2 5

6. 3. 2. 2	2016年の予報円見直し	1 2 6
6. 3. 2. 3	2017年の予報円見直し	1 3 0
6. 3. 2. 4	2019年の予報円見直しに向けて	1 3 2
6. 3. 3	現業作業手順	1 3 5
6. 4	まとめ	1 4 0

## 第7章 降水短時間予報等の改善

7. 1	はじめに	1 4 2
7. 2	解析雨量と降水短時間予報の改善	1 4 4
7. 2. 1	解析雨量の改善 (2018年5月23日)	1 4 4
7. 2. 2	降水短時間予報の改善	1 4 6
7. 2. 2. 1	強雨予測及び降水域の移動手法の改善 (2017年6月26日)	1 4 6
7. 2. 2. 2	マージ処理の改善 (2016年11月29日)	1 5 0
7. 2. 2. 3	降水強度上限値の利用 (2018年5月23日)	1 5 2
7. 3	速報版解析雨量と速報版降水短時間予報の改善	1 5 3
7. 3. 1	速報版解析雨量	1 5 3
7. 3. 1. 1	速報版解析雨量の処理	1 5 3
7. 3. 1. 2	速報版解析雨量の歴史	1 5 5
7. 3. 1. 3	事例	1 5 6
7. 3. 1. 4	精度評価	1 5 8
7. 3. 2	速報版降水短時間予報	1 5 9
7. 3. 2. 1	速報版降水短時間予報の初期値	1 5 9
7. 3. 2. 2	速報版降水短時間予報の移動ベクトル	1 6 1
7. 3. 2. 3	事例検証	1 6 1
7. 3. 2. 4	統計検証	1 6 1
7. 4	降水15時間予報	1 6 3
7. 4. 1	降水15時間予報の算出に用いる資料	1 6 3
7. 4. 2	FSSについて	1 6 4
7. 4. 3	予測手法	1 6 5
7. 4. 4	降水15時間予報の予測事例と利用上の留意点	1 6 6
7. 4. 5	統計検証結果	1 7 0
7. 4. 6	降水15時間予報の利用について	1 7 1
7. 5	竜巻発生確度ナウキャストの改善	1 7 1
7. 5. 1	経緯	1 7 1
7. 5. 2	竜巻発生確度ナウキャスト Ver4.0の予測精度	1 7 2
7. 5. 3	課題と Ver4.1における改善の内容	1 7 3
7. 5. 4	Ver4.1の予測精度評価	1 7 7
7. 5. 4. 1	従属資料を用いた評価	1 7 7
7. 5. 4. 2	独立資料を用いた評価	1 7 7
7. 6	雷ナウキャストの改善	1 7 8



7. 6. 1	レーダーエコーを用いた雷ナウキャスト	
	活動度1の改善（課題（A）への対応）	…………… 178
7. 6. 1. 1	雨雲の分類の変更	
	～鉛直構造を考慮した分類の導入～	…………… 178
7. 6. 1. 2	発雷可能性判定の変更	…………… 180
7. 6. 1. 3	LFCとPOTを用いた品質管理	…………… 181
7. 6. 1. 4	冬季雷の検出	…………… 181
7. 6. 1. 5	精度評価	…………… 182
7. 6. 2	ひまわり観測データを用いた雷ナウキャスト	
	活動度1の改善（課題（B）への対応）	…………… 182
7. 6. 2. 1	Step1: データの準備	…………… 182
7. 6. 2. 2	Step2: ひまわり観測データによる 下層積雲の抽出	…………… 183
7. 6. 2. 3	Step3: ひまわり観測データによる 活動度1判定	…………… 185
7. 6. 2. 4	検証	…………… 186
7. 6. 3	雷ナウキャストの利用について	…………… 187



# 第1章 実例に基づいた予報作業の例

## 1. 1 はじめに\*

気象庁はこれまで、雨による災害発生の危険度の高まりを評価する技術（土壌雨量指数、表面雨量指数、流域雨量指数）の開発を進めてきた。2017年（平成29年）出水期には、この技術を活用して大雨・洪水警報及び大雨特別警報の改善を行った。まず、大雨警報及び注意報、洪水警報及び注意報の発表基準について、これまで用いてきた1時間降水量（以後、R1と表記）や3時間降水量（以後、R3と表記）の基準に替わって、これらの指数を用いることとした。指数の基準はこれまでのR1やR3の基準よりも災害発生との相関が高く、これにより、土砂災害や低地の浸水、河川の氾濫といった災害の種類に応じて、災害発生の危険度の高まりをより客観的に判断することが可能になった。さらに、これまで提供してきた「土砂災害警戒判定メッシュ情報」に加えて、「大雨警報（浸水害）の危険度分布」及び「洪水警報の危険度分布」の提供を開始した。これは、大雨警報や注意報が発表された市町村内において、実際にどこで危険度が高まっているかを分かりやすく提供するため、危険度を色分けして地図上に表示するものである。この「危険度分布技術」を活用して、大雨特別警報を発表する際に危険度が著しく高まってはいないと判断できる市町村は、これを除外して発表できるようにした。

本章では、土壌雨量指数、表面雨量指数、流域雨量指数を使った予報作業について、標準的な予報作業や事例の検討について解説する。ここでは、作業時に入手でき得る資料と現在我々が持っている予報技術を用いた標準的な予報作業を説明することとし、事後に入手できる資料は利用せず、実践的な予報作業を示す。平成29年度予報技術研修テキストでは、平成28年台風第9号による大雨を題材として、上述した新しい指数を使った予報作業について取り上げた。今年度は、平成29年8月の不安定降水による大雨を題材として、数値予報モデルやガイダンスが不得意とする現象における標準的な予報警報発表作業の流れについて確認する。

## 1. 2 2017年8月19日の不安定降水による大雨事例

本節では、2017年8月19日の午後に東京地方で発生した不安定降水による大雨を題材として、数値予報モデルやガイダンスが不得意とする現象における、標準的な予報警報発表作業の流れについて記述する。

1.2.1項で当該事例の概要を確認し、1.2.2項、1.2.3項ではこの事例に対する標準的な天気予報及び警報・注意報の作成、発信作業についてそれぞれ記述していく。天気予報作業の解説は現象前日の8月18日17時予報作業（1.2.2.1）から開始し、以後、8月19日5時予報（1.2.2.2）、11時予報（1.2.2.3）のそれぞれの時刻について行い、予想資料の着目点等について整理した。その後、不安定降水が顕在化してくる当日午後については、注意報発表判断とこれに係る作業（1.2.3.1）、警報発表判断とこれに係る作業（1.2.3.2）、各種警戒度ガイダンスによる警報切り替え作業（1.2.3.3）、緊急整合による警報切り替え作業（1.2.3.4）、警報解除作業（1.2.3.5）のそれぞれの作業について述べ、警報等発表判断や作業上の留意事項について整理した。

### 1. 2. 1 大雨の概要\*

現行の予報技術では、広い範囲で大気の状態が不安定となり、その中の一部地域で局地的に大雨となる

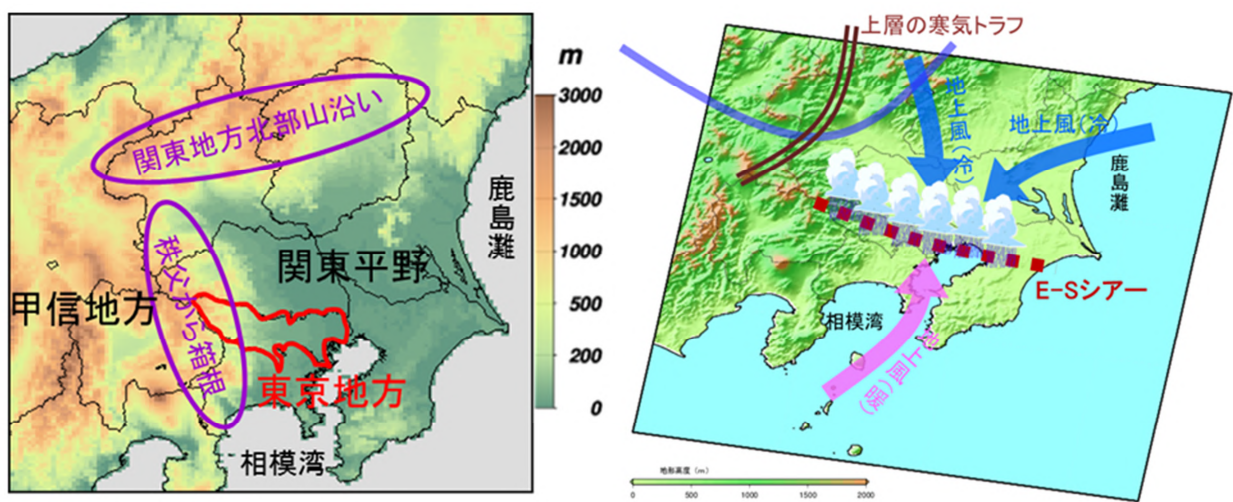
---

\*永山 隆治（気象庁予報部予報課）

ような現象については、不安定指数の予想等から現象発生の可能性を示唆することはできるものの、大雨の場所、期間、降水量等を精度よく予想することは難しい。

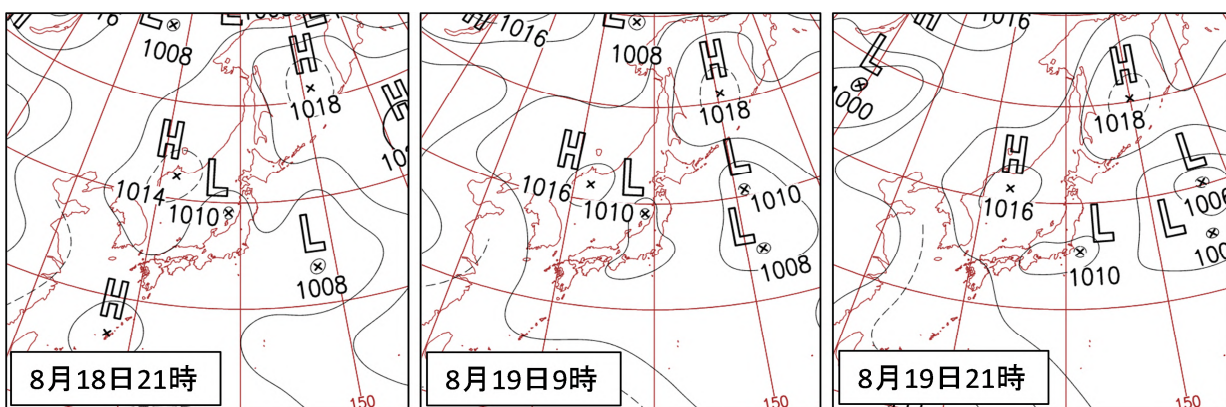
このような現象の例として、東京地方では「E-S シアー型不安定降水」があげられる。これは上層の寒気トラフの前面において、鹿島灘沿岸から吹く東寄りの風と相模湾沿岸から吹く南寄りの風によって東京地方近辺に形成されるシアーライン（第1.2.1図）に沿って不安定が顕在化するもので、東京地方に警報級の大雨をもたらす場合がある（藤村・大久保，2006）。本章ではこのシアーラインのことを「E-S シアー」と称する。本章で取り上げる2017年8月19日の大雨事例もこのE-Sシアー型不安定降水であった。

8月18日から19日にかけての地上天気図（第1.2.2図）をみると、18日夜には日本海に低気圧があって東進していた。この低気圧は19日に本州に上陸したあとは不明瞭化した。19日午後には関東の東海上に低気圧が発生して東進するなど、関東付近は弱い気圧の谷となっていた。19日の日中は地上気温の上昇によって山沿いに熱的低気圧も形成されていたが、それ以外に明瞭なじょう乱はない。



第1.2.1図 関東甲信地方の地形図（左）とE-Sシアーモデル概念図（右）

地形データにはUSGSのGTOPO30を利用。

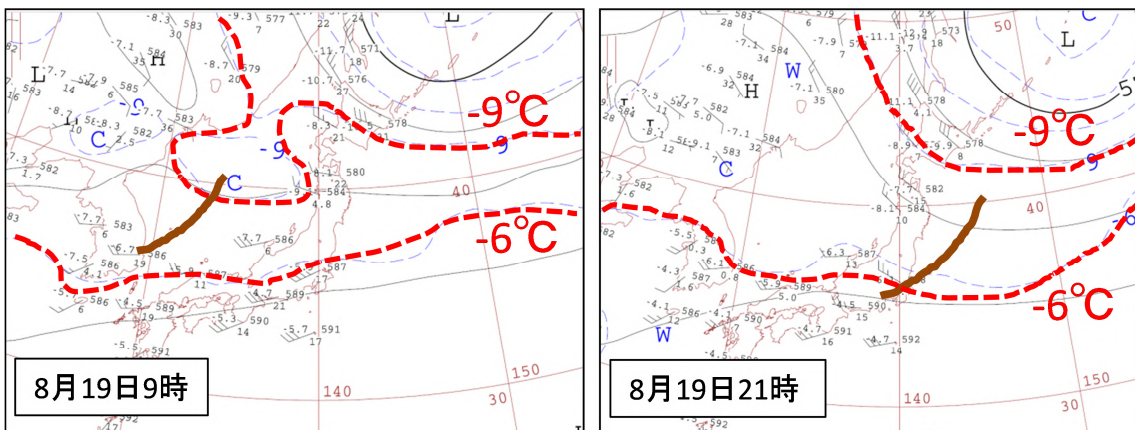


第1.2.2図 8月18日21時から19日21時にかけての12時間毎の地上天気図

8月19日、関東地方では大気の状態が非常に不安定となっていた。第1.2.3図に示すように19日9時には日本海に500hPaで $-6^{\circ}\text{C}$ 以下の寒気を伴ったトラフがあって、19日夜にかけて東北地方・東日本を通過した。一方、19日午後になると、東京都と埼玉県の間境付近にE-Sシアーが形成された。日射による地上の

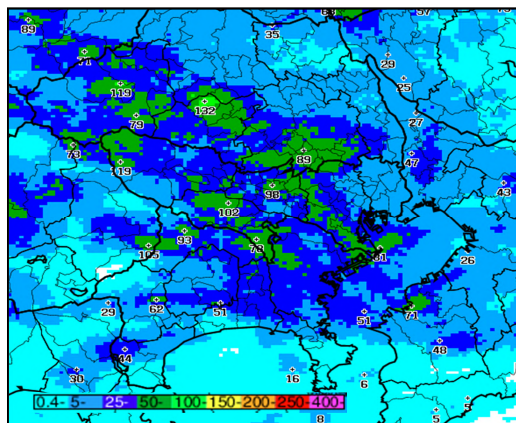
昇温（東京の最高気温は 30.3℃。練馬は 31.5℃）と E-S シアーの形成及びトラフ接近により、上昇流が励起され不安定な状態が強まり、16 時頃から積乱雲が発達、各地で活発に発雷して非常に激しい雨が降り大雨となった（第 1.2.4 図、第 1.2.5 図、第 1.2.6 図）。アメダスでは東京都練馬で R1=50.0 ミリ（17 時 18 分）、埼玉県さいたまで R1=44.5 ミリ（18 時 17 分）など、関東の各地で激しい雨や非常に激しい雨が観測された。大雨は 19 日の夜遅くになって終息した。

東京都では、19 日 16 時 28 分に多摩北部地方の一部を対象に大雨警報（浸水害）を発表、18 時 54 分までに 23 区東部・23 区西部、多摩北部・多摩南部のほとんどの市町村に対して大雨警報（浸水害）や洪水警報を発表するなど、広い範囲で警報を発表した。また、17 時 26 分と 18 時 28 分には竜巻注意情報も発表した。この大雨により 23 区を中心に床上浸水 19 件、床下浸水 20 件があったほか、世田谷区では落雷による負傷者が 9 名あった（東京管区気象台、2017）。



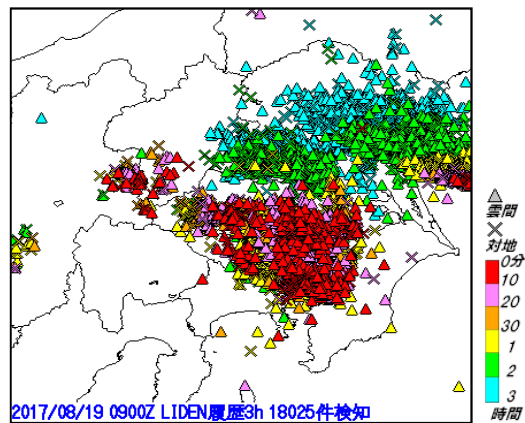
第 1.2.3 図 8 月 19 日 9 時（左）と 21 時（右）の 500hPa 天気図

赤破線は気温-9℃と-6℃、茶色線はトラフの位置を示す。9 時には、日本海に-6℃以下の寒気を伴うトラフがある。館野でも気温-5.9℃と、この時期としては強い寒気が流入。21 時にはトラフは日本の東に抜けている。



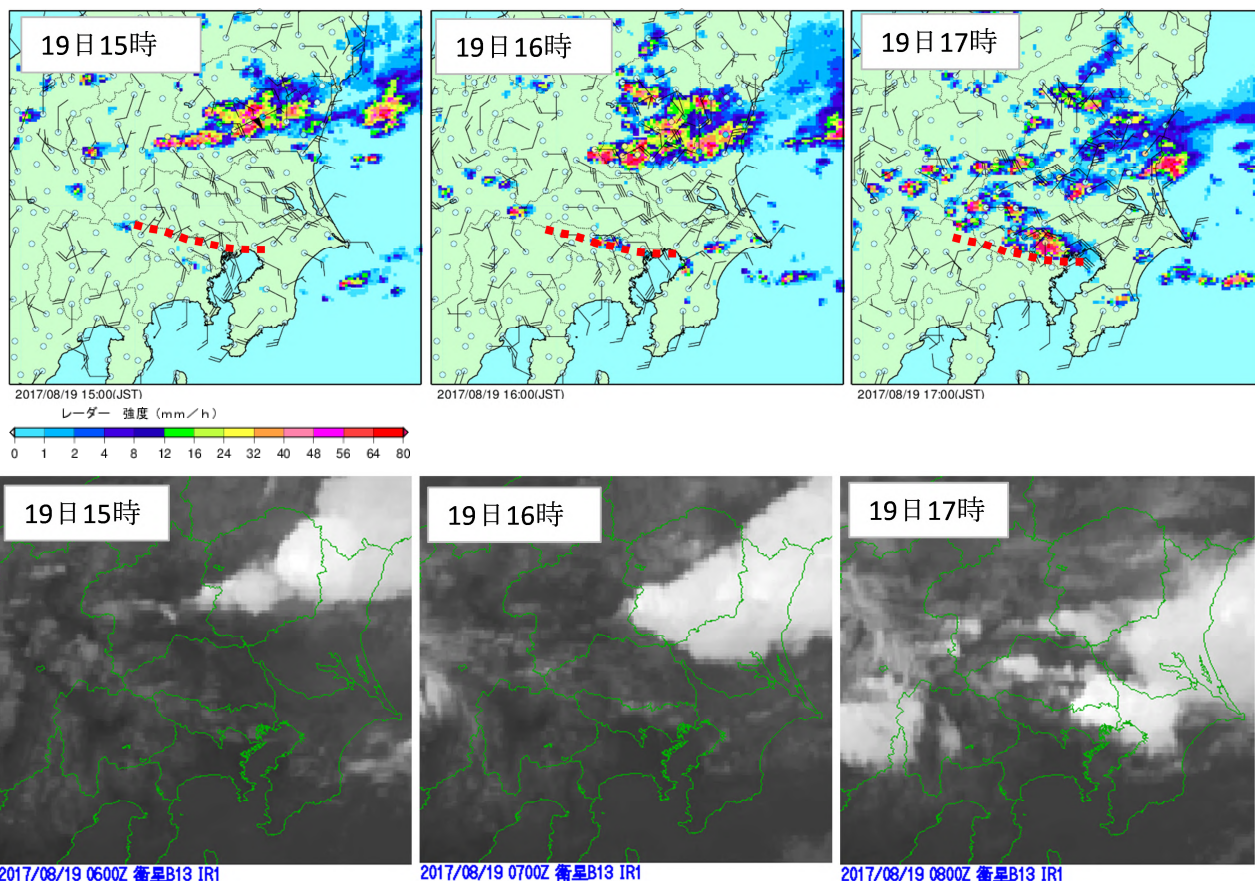
第 1.2.4 図 8 月 19 日 0 時から 20 日 0 時までの 24 時間における解析雨量の積算プロット図

多摩地方を中心に約 100 ミリの降水を解析していたところもある。



第 1.2.5 図 8 月 19 日 18 時の LIDEN（雷監視システム）履歴（3 時間）

広い範囲で落雷を検知した。



第 1.2.6 図 8 月 19 日 15 時から 17 時にかけての 1 時間毎の関東地方アメダスの風向風速、レーダーエコー強度  
(上段) と、衛星赤外画像 (下段)

上段に赤点線で E-S シアーを示す。

### 1. 2. 2 天気予報発表作業\*

予報作業を行う際に、数値予報モデルやガイダンスが示す予想だけではなく、大雨のポテンシャルを読み取ったうえで、事例解析や統計から作成した判断手法を参考にすることがある。その手法の一つに過去の事例調査から作成した官署独自の予測手法があり、東京地方では警報級の雨となる E-S シアー型不安定降水について官署独自の判断ツールを参考にしている。その他、不安定降水が発生しやすい環境場<sup>1</sup>が数日続く場合は、各日の降水分布と予測資料を比較して、予測資料の誤差に関する特徴と環境場の変化を把握し、前日の実況から翌日の降水を予測する方法がある。8 月 18 日も不安定降水が発生しやすい環境場であったため、19 日の予報作業ではこの手法も使える。本章ではこれらの手法を用いて 8 月 19 日に発生した不安定降水に対する予報作業を行うことにする。

天気予報作業時には、「①気象実況の監視・解析を行い、現象の推移を把握した後、環境場の状況、現象の構造について解釈する。」、「②数値予報資料を活用し、現象の推移の予想を行い、シナリオを作成し、量的予測を行う。」、「③適切な予報表現を選択し、天気予報や気象情報の発表を判断する。」という①～③のサイクルを繰り返す(第 1.2.7 図)。特に以下の事項についての判断に注力する。

- ・ 降水強度を示す表現に激しい雨 (R1 $\geq$ 30 ミリ) や非常に激しい雨 (R1 $\geq$ 50 ミリ) を使用するのか。
- ・ 前もって注意警戒を呼びかける府県気象情報を発表するの否か。発表する場合、タイトルを竜巻な

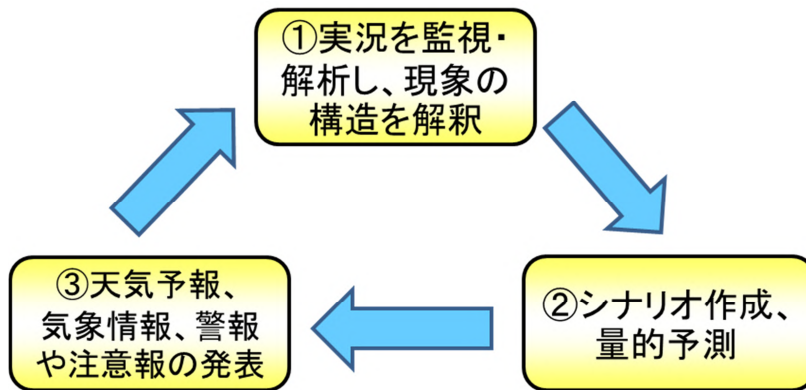
\*若杉 栄一 (気象庁予報部予報課)

<sup>1</sup> 総観場や下層の湿り、安定度、風や温度分布が不安定降水の発生しやすい気象条件にあること。

どの激しい突風があるとして「雷・突風・降ひょう」にするのか、さらに警報級の雨が予想されるとして「大雨・雷・突風」とするのか。

・警報級の現象が発生する可能性を示す確度を、[一]、[中]、[高]のどれにするのか。

予報担当者はこれらの予報表現について随時検討するが、本章では定時に発表する5時予報や11時予報、17時予報でどのような予報表現を使うかを判断していく。



第 1.2.7 図 予報作業サイクル図

### 1. 2. 2. 1 8月18日17時予報発表に向けた作業

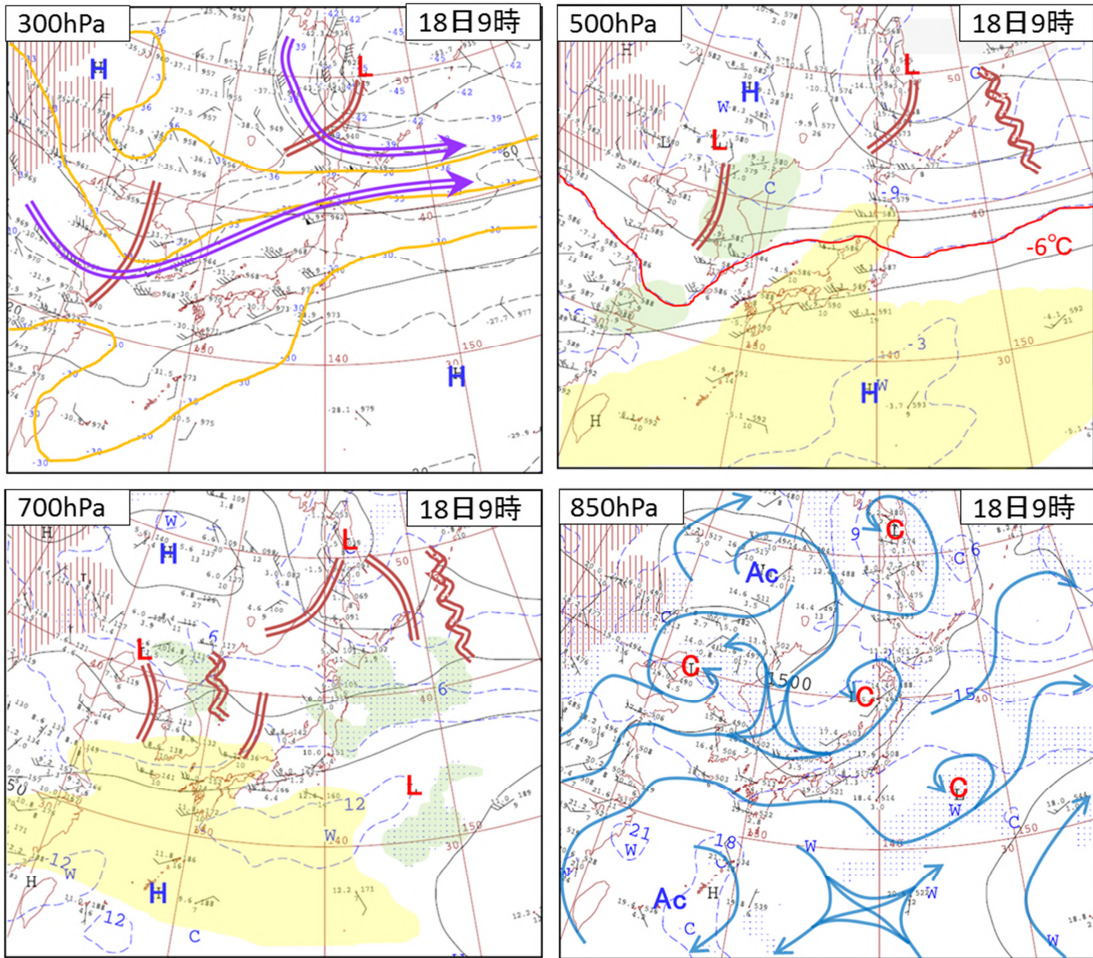
#### (1) 18日15時の関東甲信地方の実況把握

気象状況を把握するため、まずは総観場の確認を行う。

18日17時予報前に入手できる実況資料は、18日9時の高層天気図である(第1.2.8図)。300hPaでは、強風軸が華中から朝鮮半島付近のトラフで東北東に向きを変え、日本付近に達している。500hPaでは、トラフが北海道地方を通過中で北日本には $-6^{\circ}\text{C}$ 以下の寒気が南下している。500hPa~700hPaでは、気温と露点温度の差(湿数、以後T-TD)が $6^{\circ}\text{C}$ 以上のやや乾燥した空気が西日本中心に関東甲信地方の一部を覆っている。積乱雲の移動等に影響する中層の風は700hPaで南西15kt、500hPaで西30ktとなっている。850hPaでは、 $T-TD \leq 3^{\circ}\text{C}$ の湿った空気が本州付近を広く覆っており、関東甲信地方にも南西風によって湿った空気が流れ込んでいる。

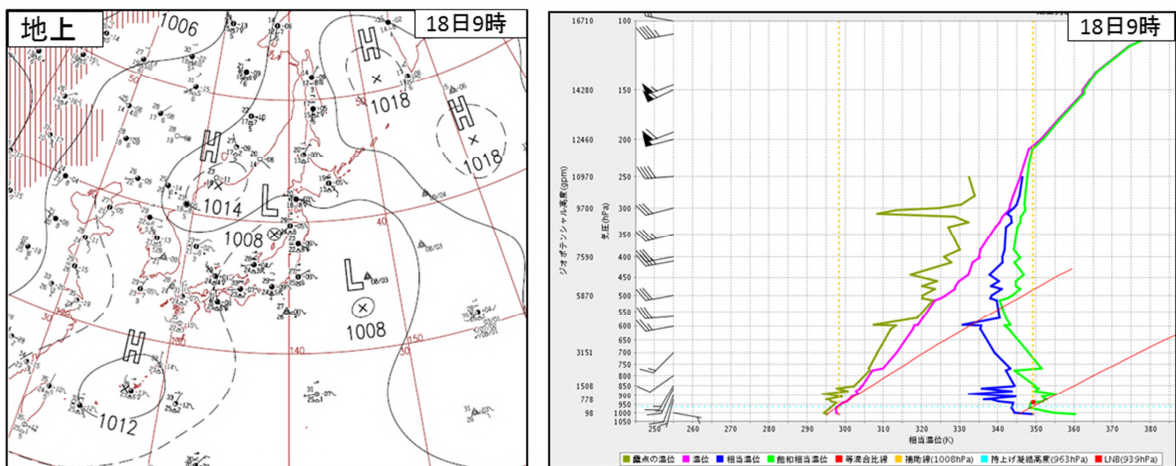
次に、関東甲信地方の環境場を把握する。18日9時の地上天気図では、関東甲信地方の近くには大規模なじょう乱は存在しない(第1.2.9図左)。同時刻における館野(茨城県つくば市)の温位エマグラム(第1.2.9図右)では、地上付近も気温が低く、下層から上層までやや湿った状態にあり、日中に地上付近で昇温し気塊が自由対流高度まで到達すれば、約200hPaまで上昇する成層状態となっている。

18日15時には、北陸地方や東海地方では $R1=30\sim 50$ ミリの雷を伴った激しい雨や非常に激しい雨を解析し(第1.2.10図)、各地で警報や注意報、竜巻注意情報を発表している。関東甲信地方では山沿いを中心に雷雲が発生しているが、東京地方を含む関東平野では、千葉県に局地的に対流雲が発達しているものの雷は検知していない。



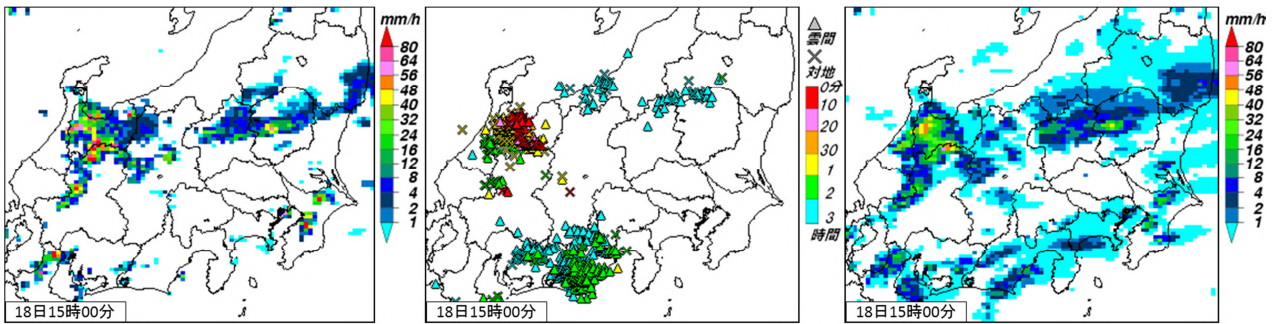
第 1.2.8 図 18 日 9 時の高層天気図 300hPa (左上)、500hPa (右上)、700hPa (左下)、850hPa (右下)

橙色実線：等温度線、茶色二重線：トラフ及びブリッジ、紫色矢印：強風軸、赤線：等温度線、黄色着色域：T-TD  $\geq 6^{\circ}\text{C}$ 、緑色着色域：T-TD  $\leq 3^{\circ}\text{C}$ 、青色線：流线、C：低気圧性循環、Ac：高気圧性循環を示す。



第 1.2.9 図 18 日 9 時の地上天気図 (左) と、館野の温位エマグラム (右)





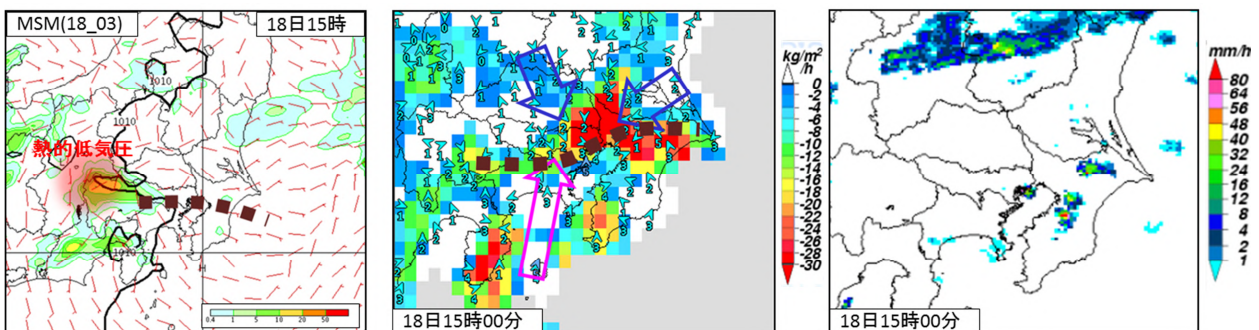
第 1.2.10 図 18 日 15 時のレーダーエコー強度 (左)、過去 3 時間の LIDEN (雷監視システム) による雷検知 (中)、解析雨量 (右)

## (2) 18 日 15 時における東京地方の予想と実況の比較

不安定降水が発生しやすい環境場の時に、東京地方の降水を見積もるうえでまず着目する点は、関東平野での地上収束域形成の有無である。18 日に続いて 19 日も不安定降水の発生しやすい環境場が続くと考えられるため、収束域の形成や降水に関して、数値予報モデルやガイダンスと 18 日 15 時現在の実況との比較を行う。

18 日 17 時予報時に入手できる最新の数値予報資料の MSM18 日 03UTC 初期値 (以後、MSM(18\_03)と表記。GSM や LFM でも同様の表記とする) の 18 日 15 時の地上予想図を第 1.2.11 図左に示す。東京付近に E-S シアーと考えられる東寄りの風と南寄りの風の収束や、熱的低気圧周辺の山梨県中心に降水を予想している。環境場からは警報級の雨となる E-S シアー型不安定降水発生の可能性はあったが、15 時の実況では第 1.2.11 図中に示すように E-S シアーが東西にのびて発生し、GNSS 可降水量 Flux 発散<sup>2</sup>で確認できる収束域が広がったにもかかわらず、E-S シアー付近でレーダーエコーは観測されていない (第 1.2.11 図右)。関東甲信地方では、山沿い中心に地形の影響で風の収束や気温の上昇により所々で雷雲が発生するような環境場となっている。しかし平野部で発生していないのは、600~750hPa の中層が比較的乾いた空気に覆われているとともに、自由対流高度が 1km 以上と比較的高く、E-S シアーが気塊を持ち上げる十分な外力になっていないためと考えられる。その後も 18 日には、東京地方で大雨となることはなかった。

この比較した結果を踏まえたうえで、19 日の予報の検討を行う。



第 1.2.11 図 MSM(18\_03)による 18 日 15 時の地上予想図 (左)、18 日 15 時の、アメダス風による GNSS 可降水量 Flux 発散とアメダス風 (中)、レーダーエコー強度 (右)

茶色点線：E-S シアー、桃色、青色矢印：主な流線を示す。

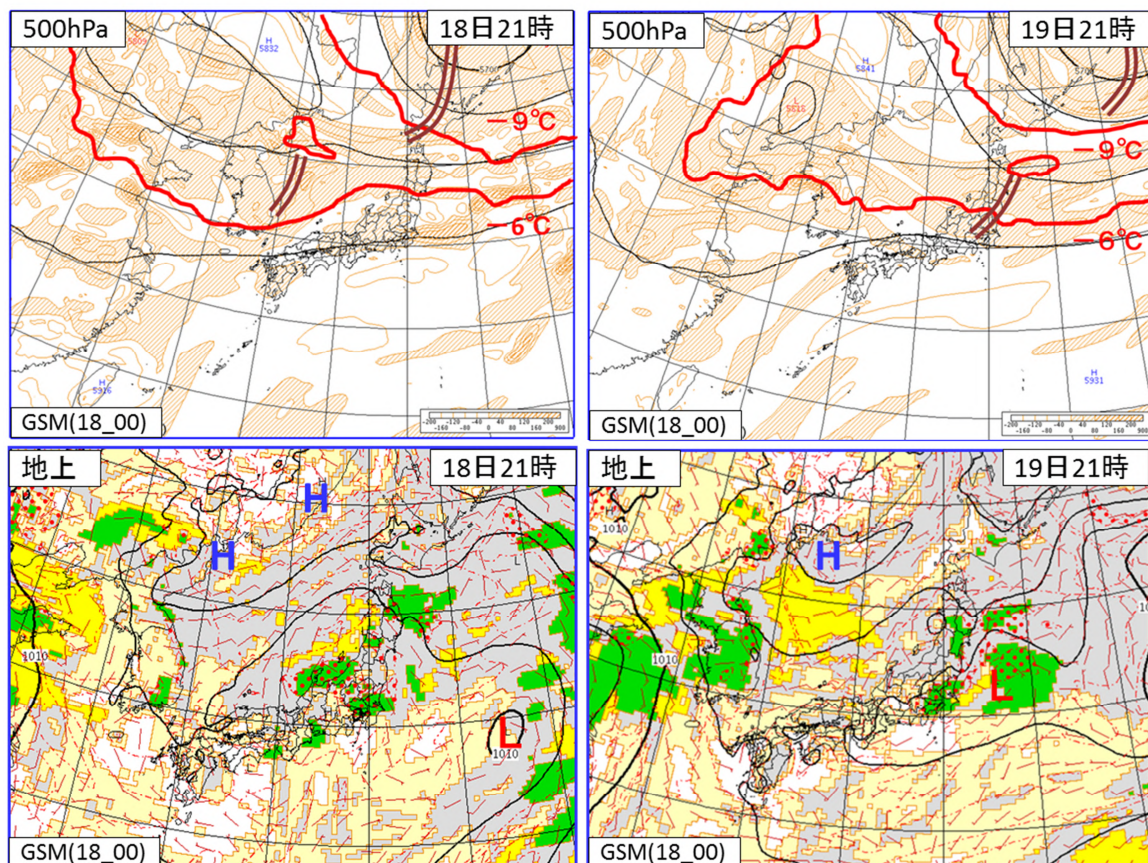
<sup>2</sup> アメダス風と GNSS 可降水量から計算する擬似的な下層水蒸気 Flux。局所的な降水現象を予測するための水蒸気が多く集まる領域を把握することができる。収束域 (Flux 値が負の領域) は地上風の収束域と対応がよい。

### (3) 18日17時予報の予測資料

まずは、GSM(18\_00)を使用し、現象当日である19日にかけての総観場の変化を把握する。その後、着目すべきポイント（午後の不安定降水）を、MSM(18\_03)や各種ガイダンスを用いて検討を行う。

500hPa 予想図では、圏界面下降を伴った（図略）5820m 付近のトラフが19日夜までに東北地方・東日本を通過し、正渦度移流により上昇流が形成されやすくなる（第1.2.12 図上）。18日夜に東北地方にある $-6^{\circ}\text{C}$ の等温度線が19日夜には関東地方北部まで南下する予想のため、18日の午後よりも19日の午後の方が上層は低温化し大気の状態は不安定になる。地上では、19日は大規模なじょう乱の発生や通過の予想はないが、午後には関東の東海上に低気圧が発生して東進するなど、関東付近は弱い気圧の谷となっている（第1.2.12 図下）。18日午後には関東地方に鹿島灘からの北東風が吹いているが、19日午後も、関東の東海上の低気圧からの北東風が吹く予想となっている。

不安定降水が予想される19日18時の予想図では、700hPaより上層で18日と同様に西日本から東日本にかけては $T-TD \leq 3^{\circ}\text{C}$ の領域はみられずやや乾燥し、関東地方の一部で $T-TD \leq 3^{\circ}\text{C}$ の領域が予想されている（第1.2.13 図左）。850hPaは、本州付近で $T-TD \leq 3^{\circ}\text{C}$ の領域が広がり、湿った状態が続く予想となっている（第1.2.13 図中）。関東甲信地方の19日午後は、日中の昇温も加わり850hPa相当温位 $342 \sim 345\text{K}$ 程度の暖湿気の領域が広がる予想で、ショワルター安定指数（SSI）も負となっている（第1.2.13 図右）。700hPaより下層は、西寄りの風で風速は15kt以下と弱く、積乱雲が発生した場合には停滞しやすくなることが予想される。

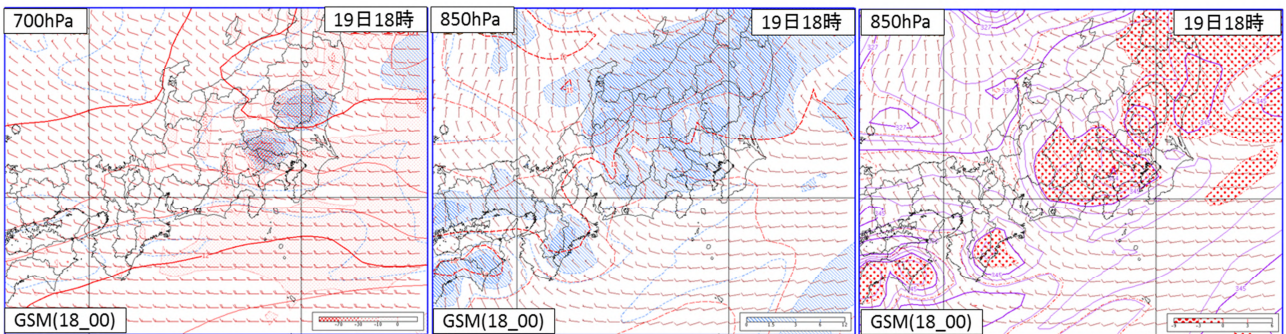


第1.2.12 図 GSM(18\_00)による18日21時と19日21時の500hPa予想図（上）、地上予想図（下）

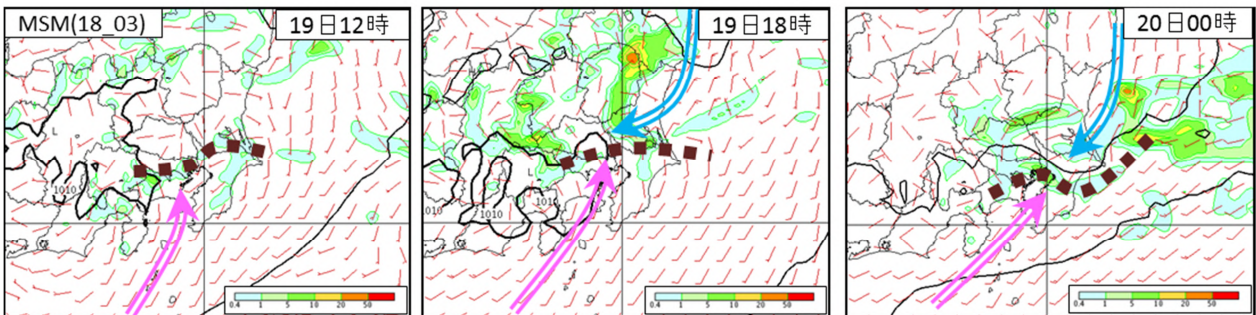
赤色実線：等温度線、茶色二重線：トラフを示す。

MSM(18\_03)による 19 日午後に予想される関東地方の地上風と降水について、第 1.2.14 図に 6 時間毎に示す。降水は不安定降水によるものとみられ、はじめは関東地方北部の山沿いにあり、その後は平野部にも広がる予想となっている。さらに東京湾付近で南寄りの風、鹿島灘からは東寄りの風で、E-S シアーの形成が予想され、その周辺で弱い降水を予想している。降水強度としては警報級になるまでの強度ではないが、東京地方に警報級の雨をもたらす E-S シアー型不安定降水のきっかけとなる、E-S シアーを予想しているため、予報担当者はその可能性を検討することになる。

1 時間最大降水量ガイダンスは MSM(18\_03)、GSM(18\_00)ともに夕方以降に 10~20 ミリの降水量を予想している (第 1.2.15 図)。また発雷確率ガイダンスは 60~70%と高い (図略)。ガイダンスの特性として不安定降水時の降水量予想は過小になる傾向があるため、どの程度上方修正するかを検討する。

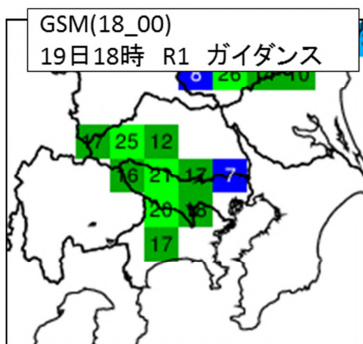


第 1.2.13 図 GSM(18\_00)による 19 日 18 時の 700hPa 予想図 (左) と 850hPa 予想図 (中、右)



第 1.2.14 図 19 日 12 時~20 日 0 時までの、MSM(18\_03)による地上気圧、地上風、R1 予想図

茶色点線 : E-S シアー、桃色、水色矢印 : 主な流線を示す。



		東京地方							
		FLV=0							
		19							
		-03	-06	-09	-12	-15	-18	-21	-24
GSM	8/18 00UTC	11				6	21	19	19
	8/17 18UTC					5	21	16	14
	8/17 12UTC						8	11	23
MSM	8/18 03UTC					8	14	8	12
	8/18 00UTC					6	5	19	14
	8/17 21UTC						6	9	

第 1.2.15 図 GSM(18\_00)による 19 日 18 時の 1 時間最大降水量ガイダンス分布図 (左) と、複数初期値による 19 日を対象とする GSM と MSM の 1 時間最大降水量ガイダンス (右)

東京地方では“対流雲の発生、発達しやすい成層状態”に加え“特徴的な地上風の収束パターン”の条件が揃ったときに、警報級の大雨が発生しやすいことが分っており、条件に合致するかを自動で判定させるツールを使用している。第 1.2.16 図に、MSM(18\_03)による官署独自のツールの判定を示す。最下段の「7条件」行が「○」である場合は、東京地方のどこかで警報級の雨の可能性のあることを示唆している。このツールの適中率は5割程度あり、複数初期値で連続して判定される場合にはその適中率が高まっていく。

MSM(18\_03)による官署独自のツールの判定は、18日の午後（第 1.2.16 図赤丸）と同様に、19日の午後（第 1.2.16 図青丸）も全ての時間帯で発生条件を満たし、東京地方のどこかで警報級の雨の可能性のあることを示唆している。前の初期値であるMSM(17\_21)、MSM(18\_00)も同様であった。

MSM 初期時刻2017年08月18日 03 UTC

FT	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	
日時(JST)	18/15	18/18	18/21	19/00	19/03	19/06	19/09	19/12	19/15	19/18	19/21	20/00	20/03	条件
①500hPa気温(℃)&500mθe(K)	-6/352	-5/353	-6/352	-6/353	-6/350	-7/350	-7/353	-7/356	-7/357	-6/357	-7/356	-6/355	-6/353	ヘルプ参照
②dLFC(m)	284	239	110	71	1207	1313	132	566	355	407	265	154	239	700m以下
③EL(m)	9808	10463	10797	11420	11297	11703	11611	12306	12573	12906	12613	12548	11684	4000m以上
④CAPE(J/kg)	593	735	990	1236	1224	580	1118	2061	2602	2218	1274	750	503	500J/Kg以上
⑤700hPa 湿度(%)	84	86	83	81	84	90	88	87	77	76	77	75	68	65%以上
⑥下層風パターン	○	○	○	○					○	○	○	○	○	ヘルプ参照
⑦地上風パターン	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	ヘルプ参照
7条件	○	○	○					○	○	○	○	○	○	①-⑦全合致

第 1.2.16 図 MSM(18\_03)による官署独自のツールの判定

赤丸：18日午後の判定、青丸：19日午後の判定。

#### (4) 18日17時予報の判断

18日午後は東京地方でE-Sシアーが発生しているが、雷を伴うような活発な対流雲が発生していない。19日も同様に発生しない可能性はあるが、19日は上空に寒気を伴ったトラフが通過するため、18日よりも総観場で上昇流が励起され不安定度が増すことが予想できる。また官署独自のツールの判定も18日午後と同様に警報級の雨(R1≥50ミリ)を示唆している。このため、19日午後の方が東京地方で警報級の雨が発生しやすくなると判断する。しかし典型的なE-Sシアー型不安定降水が発生すれば広範囲に警報級の雨となるが、条件が揃わなければ局地的な雨や東京地方以外で大雨となる可能性がある。このため17時予報の時点では、E-Sシアー型不安定降水の発生の有無や発生位置に不確実性が大きいと見込まないが、防災上の観点から注意報級の雨(R1≥30ミリ)とし、今後の新しい初期値の予測資料で、E-Sシアー型不安定降水の東京地方で発生する確度が高まれば警報級の雨を見込み、広範囲になるか局地的になるかを判断することとする。関東地方南部では、関東地方北部で発達した雷雲からの冷氣外出流の流入で温度傾度が増大し、水平収束が強化されて対流雲が発達するという知見がある(東京管区气象台, 2006)。このような状況になれば、E-Sシアー上の対流雲が発達する可能性があるため、この点について実況監視で着目する必要がある。19日は、突風関連指数の予想値は高く、警報級の雨が降らなくても竜巻などの激しい突風は発生しやすい状況になると判断できるため、注意喚起を促す情報が必要である。また予想雨量は注意報級だが警報級の可能性もあり、官署独自のツールの判定からも「警報級の可能性」は[中]を設定する。

18日17時予報の時点では予報シナリオの誤差も考慮に入れ以下のとおりとする。

- ・R1・・・・・・・・・・30ミリ
- ・予報表現・・・・・・・・雷を伴い激しく降る
- ・府県気象情報・・・・・・・・「雷・突風・降ひょう」に関する情報
- ・警報級の可能性・・・・・・・・[中]

### 1. 2. 2. 2 8月19日5時予報発表に向けた作業

総観場は数値予報モデルどおり推移しており、最新の数値予報資料である、GSM(18\_12)とMSM(18\_15)でも予想に大きな変化は無かった。18日17時予報で作成したシナリオからの大きな変更がないため、19日5時予報の判断の詳細は省略する。

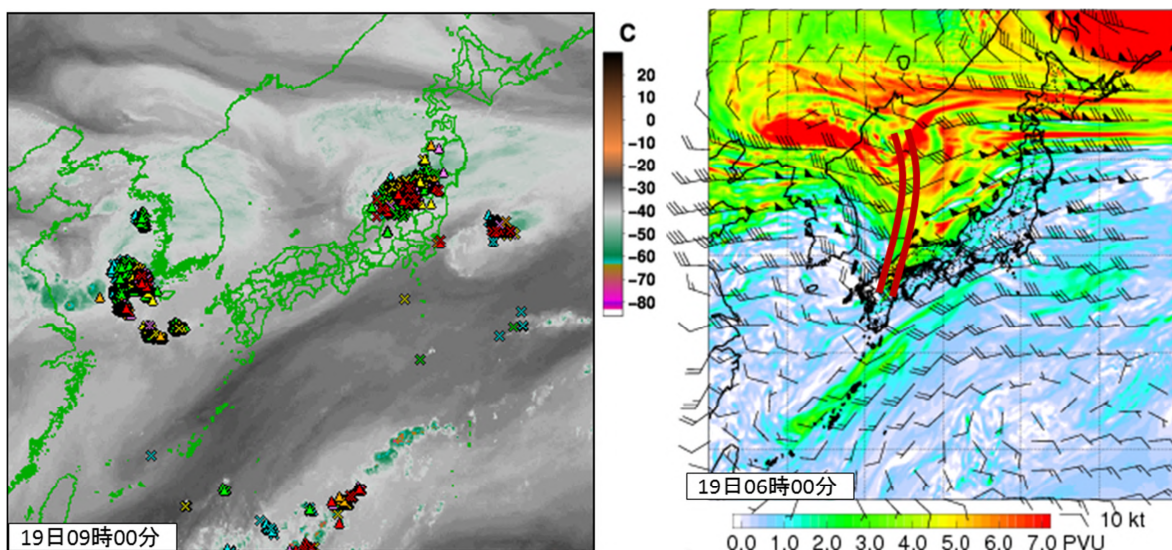
### 1. 2. 2. 3 8月19日11時予報発表に向けた作業

#### (1) 19日9時までの関東甲信地方の実況把握

19日9時の衛星水蒸気画像では日本海に暗域があり、進行方向である東側に雷を検知している(第1.2.17図左)。MSM(18\_21)の19日6時の345Kの等温位面渦位分布図にも日本海にトラフに対応する高渦位がみられ、シナリオどおりトラフが東進しているのがわかる(第1.2.17図右)。トラフに伴って東日本の上層には500hPaで $-6^{\circ}\text{C}$ 以下の寒気が流入し、19日9時の高層観測では、秋田で500hPaの気温は $-9.1^{\circ}\text{C}$ 、SSIは $-1.3$ 、館野で500hPaの気温 $-5.8^{\circ}\text{C}$ 、SSIは $-1.6$ 、850hPa相当温位は346Kであった。このように、上層の寒気と下層の暖湿気はほぼ数値予報モデルのとおりである。

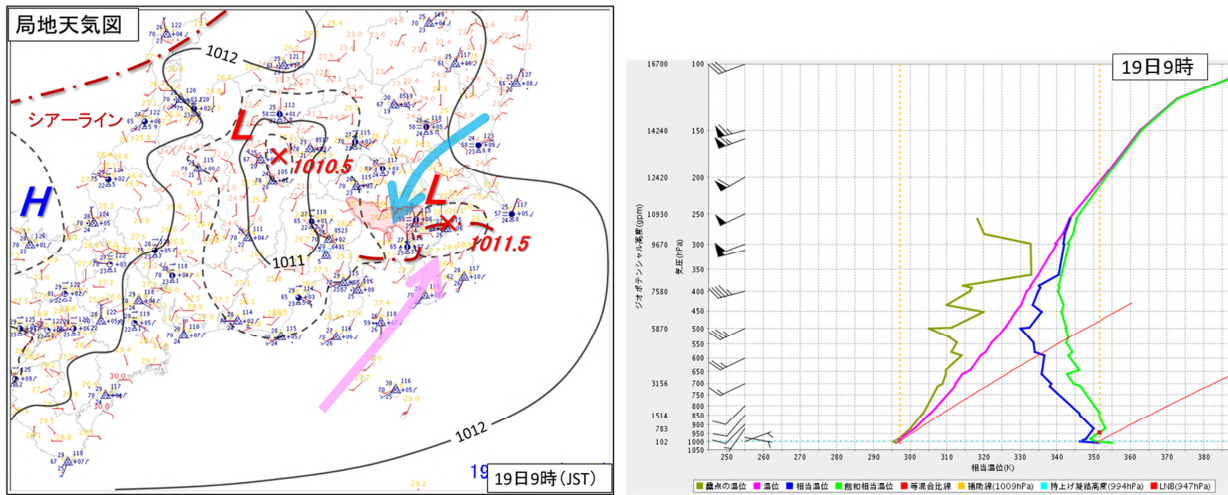
19日9時の局地天気図では、長野県中部で既に気圧が低下し、E-Sシアーが神奈川県から千葉県にかけて解析されている(第1.2.18図左)。同時刻の館野の温位エマグラムでは、18日9時の観測値(第1.2.9図右)に比べ800hPa以下の下層が湿ったため、対流有効位置エネルギー(CAPE)が $19.9(\text{J/kg})$ から $616.6(\text{J/kg})$ と大きな値になっている(第1.2.18図右)。さらに、下層の気塊が850hPaより高く持ち上げられると、気塊の相当温位が周辺の飽和相当温位よりも高くなるために、外力がなくても上昇できる大気の状態であることがわかる。

既にE-Sシアー上の東京湾から千葉県では雷を伴った激しい雨が解析されており、この雨域が東京地方に広がる可能性もあったが、E-Sシアー上のメソスケールの低気圧が東進し、10時頃には雨域は千葉県に主体を移した。一方、日本海を南下している上層のトラフに対応したシアーライン近傍や、その南東側である新潟県との県境付近にも雷を伴った激しい雨が解析されている(第1.2.19図)。



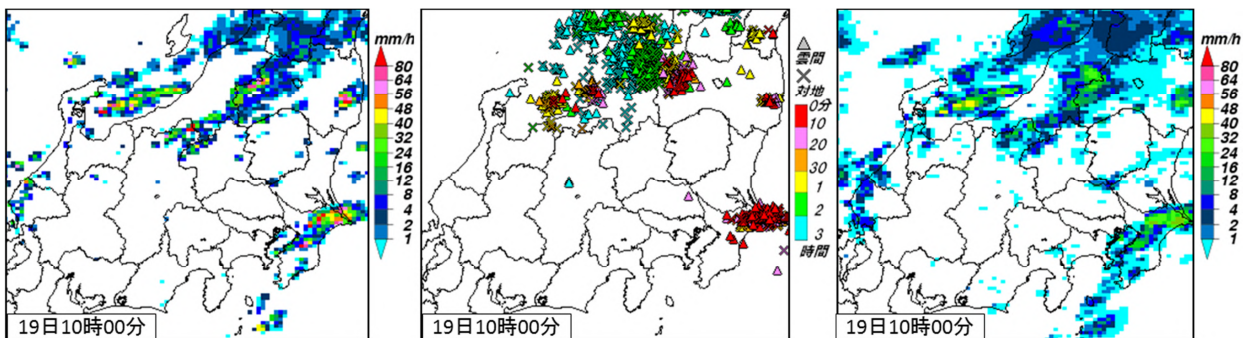
第1.2.17図 19日9時の衛星水蒸気画像と過去3時間のLIDEN(雷監視システム)による雷検知(左)、MSM(18\_21)の19日6時の等温位面渦位(右)

茶色二重線：トラフを示す。



第 1.2.18 図 19 日 9 時の局地天気図 (左) と館野の温位エマグラム (右)

黒色線：等圧線、茶色一点鎖線：シアーライン、桃色・水色矢印：主な流線を示す。



第 1.2.19 図 19 日 10 時のレーダーエコー強度 (左)、過去 3 時間の LIDEN (雷監視システム) による雷検知 (中)、解析雨量 (右)

## (2) 19 日 11 時予報の予測資料

11 時予報時には、LFM の予想時間が午後予想される不安定降水の発生時刻まで届きはじめる。解像度の高い LFM は、地上気象観測データ (アメダスを含む) を同化しているため、シアーラインの位置や動向について、精度良く予測できることから、優先して確認すべき資料の一つである。

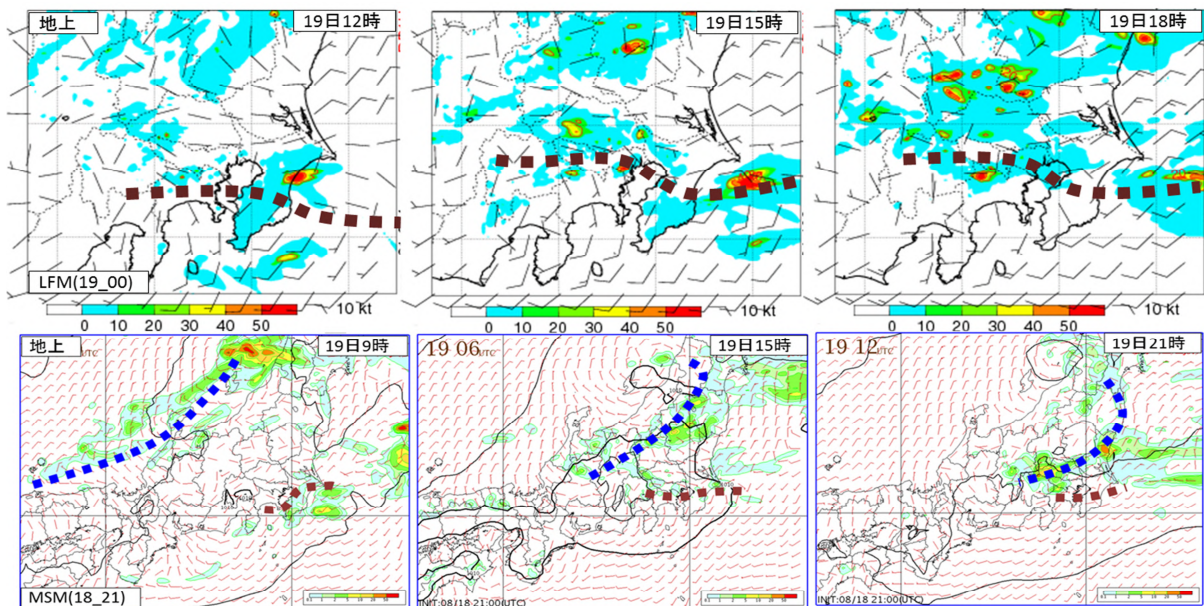
11 時予報時に入手できる最新の数値予報資料は、GSM(18\_18)と MSM(18\_21)、LFM(19\_00)になる。ここでは、午後の不安定降水について、MSM と LFM を用いて検討を行う。

LFM(19\_00)では、12 時の地上予想図で神奈川県から千葉県にかけて東西にのびる E-S シアーを予想し、15 時には東京地方まで北上する予想となっている (第 1.2.20 図上)。ただ降水強度は弱く、E-S シアーに沿って降水域が散在する程度で、警報級の雨となる E-S シアー型不安定降水が発生するとまではいけない。MSM(18\_21)では、E-S シアーは東京地方の近くまで北上しその後南下するため東京地方にかからず降水強度も弱い。一方 E-S シアーとは別に日本海から南下するシアーラインが夜には東京地方を通過する予想で (第 1.2.20 図下)、9 時の実況でも日本海のシアーライン近傍で R1=30~40 ミリの雨を解析している。日本海のシアーラインは陸地を通過する際に次第に不明瞭になりながら 21 時頃には東京地方に達するが、E-S シアーと重なると収束が強化されて R1 $\geq$ 50 ミリの非常に激しい雨になる可能性もあるため動向を注視する必要がある。

東京地方の官署独自の手法の中に、E-S シアーに対応する収束域が 1km 程度の高さまで形成され、かつトラフの通過がある場合に発生する E-S シアー型不安定降水は、警報級の雨が広範囲になりやすいとの知見がある。LFM(19\_00)による 15 時の 925hPa 予想図 (1km よりやや低い高度面) や断面図では、東京地方の南西側では 1km 以上まで南風になっており (第 1.2.21 図赤丸)、北東側では 1km まではないが 500m 以上まで東寄りの風となっている (第 1.2.21 図青丸)。トラフの通過も予想があることから、警報級の雨が広範囲になる可能性が高まっている。

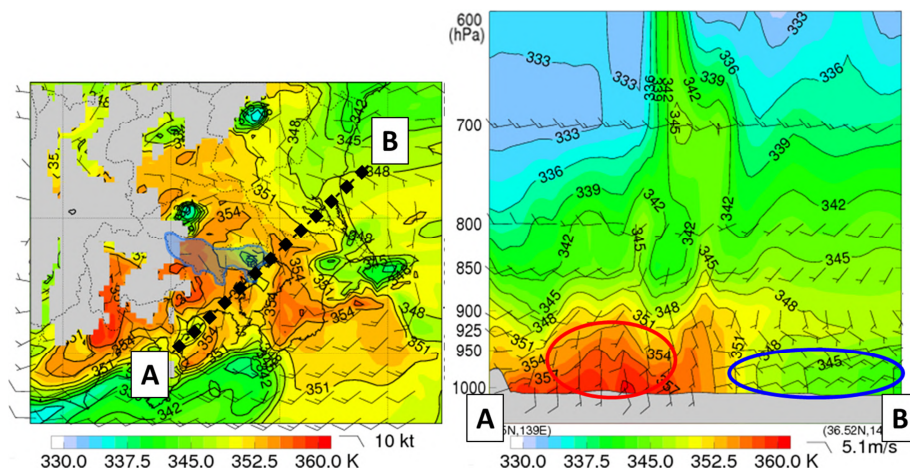
MSM(18\_21)による官署独自のツールの判定は (第 1.2.22 図)、19 日 12 時~18 時まで引き続き発生条件を満たし、東京地方のどこかで警報級の雨の可能性を示唆している。

東京地方の 1 時間最大降水量ガイダンスは、GSM と MSM の複数初期値で 10~30 ミリ程度の降水量を予想している (第 1.2.23 図)。また発雷確率ガイダンスは 80~90% と高い (図略)。



第 1.2.20 図 19 日 12 時~18 時までの、LFM(19\_00)による地上気圧、地上風、R1 予想図 (上)、19 日 9 時~21 時までの MSM(18\_21)による地上気圧、地上風、R1 予想図 (下)

茶色点線 : E-S シアー、青色点線 : シアーラインを示す。



第 1.2.21 図 LFM(19\_00)の 19 日 15 時の 925hPa 予想図 (左) と線分 A-B の断面図 (右)

黒色線 : 等相当温位線、黒色点線 : 断面位置を示す。

MSM 初期時刻2017年08月18日 21 UTC

FT	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	
日時(JST)	19/09	19/12	19/15	19/18	19/21	20/00	20/03	20/06	20/09	20/12	20/15	20/18	20/21	条件
①500hPa気温(°C)&500mθe(K)	-6/352	-6/355	-6/358	-6/358	-6/354	-6/349	-6/345	-6/343	-6/343	-6/345	-7/346	-7/346	-7/346	ヘルプ参照
②dLFC(m)	217	178	301	253	193	1300	229	2123	105	151	531	294	762	700m以下
③EL(m)	11897	11850	12660	13022	12024	10793	6078	6606	5927	5067	7703	7010	7414	4000m以上
④CAPE(J/kg)	1612	2049	2558	2314	998	590	370	332	660	1047	1371	1341	986	500J/Kg以上
⑤700hPa 湿度(%)	82	73	69	76	76	77	71	65	67	67	69	76	84	65%以上
⑥下層風パターン	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	ヘルプ参照
⑦地上風パターン		○	○	○										ヘルプ参照
7条件		○	○	○										①-⑦全合致

第 1. 2. 22 図 MSM(18\_21)による官署独自のツールの判定



第 1. 2. 23 図 GSM(18\_18)による 19 日 18 時の 1 時間最大降水量ガイダンス分布図 (左) と、複数初期値による 19 日を対象とする GSM と MSM の 1 時間最大降水量ガイダンス (右)

(3) 19 日 11 時予報の判断

各数値予報モデルは継続して 19 日午後 E-S シアーの形成を予想しており、前日 18 日の状況や最新の数値予報モデルでも E-S シアー周辺に強雨域を予想していないことを踏まえても、寒気を伴ったトラフの接近もあって広範囲に警報級の雨となる E-S シアー型不安定降水になる可能性が高まっている。しかし 9 時の E-S シアーは東京地方にはなく神奈川県から千葉県にかけてあり、その後の動向はモデルや初期値により異なり、現時点において東京地方にかかると断定することは難しい。さらに E-S シアー型不安定降水の発生を見込む場合には、広い範囲に警報級の雨とするため、警報が空振りとなる地域が多くなることも判断を難しくしている。このため 11 時予報の時点では、E-S シアー型不安定降水の発生はあるが発生位置に不確実性が大きいと警報級に近い注意報級とし、夕方から夜遅くまで R1=40 ミリの激しい雨とし予報を行う。ただし、E-S シアーの動向や対流雲の発達、降水域の広がりを見守り、E-S シアー型不安定降水の発生位置の特定や現象の確知に努める。さらに日本海から南下するシアーラインの動向、関東地方北部で発達した雷雲からの冷氣外出流の流入にも留意する。E-S シアー型不安定降水が発生した場合は短時間で R1=50 ミリの非常に激しい雨になるため、予報官コメント等で防災機関に今後の E-S シアーによる警報級の雨の見込みを伝えるとともに、ただちに R1 の上方修正が必要なことを念頭に入れて作業を進める。「警報級の可能性」は引き続き [中] を設定し、情報のタイトルは、東京地方のどこかで警報級の雨が降る可能性が高まっているとして「大雨・雷・突風」に切り替えて発表する。

- ・ R1 . . . . . 40 ミリ
- ・ 予報表現 . . . . . 雷を伴い激しく降る
- ・ 府県気象情報 . . . . . 「大雨・雷・突風」に関する情報
- ・ 警報級の可能性 . . . . . [中]

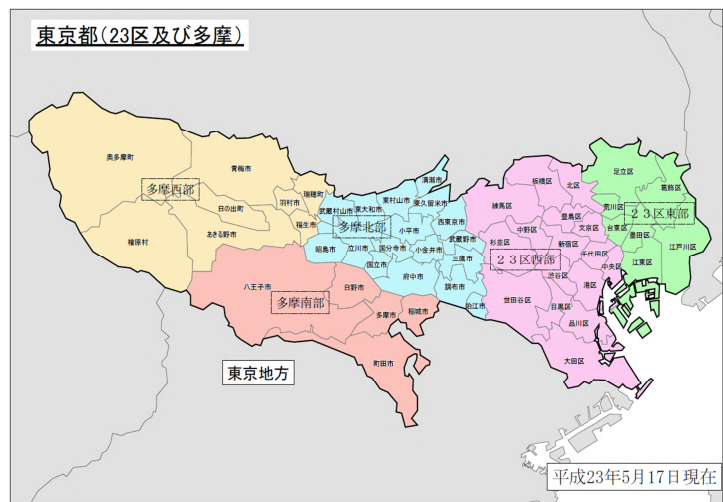


#### (4) 19日11時予報の防災時系列の入力

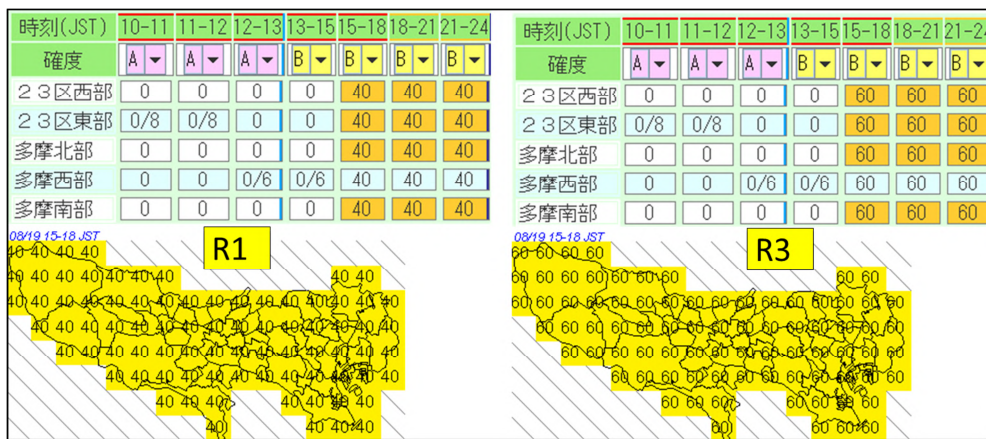
表面雨量指数や流域雨量指数、土壌雨量指数の導入により、大雨警報・注意報の基準が R1 や R3 から指数基準に変更になった。しかし、浸水害に対する大雨警報・注意報は、防災時系列に入力された R1 や R3 も利用して判定を行う。このため適切なリードタイム確保のためには、予報期間の翌日にかけて3時間毎に適切な R1 と R3 の雨量分布の予想が必要になる。

11時予報の防災時系列の降水分布は、広範囲の雨とするため地域毎に分けず均一値とし、激しい雨を予想する期間は、E-S シアーが東京地方に近づく夕方から日本海から南下するシアーラインの影響が予想される夜遅くまでとする（第1.2.24図、第1.2.25図）。また東京地方での R1 と R3 の比率については、過去の事例調査から不安定降水の場合は R3/R1=1.5 を使用している。

不安定降水における注意報の標準的リードタイムは2～3時間としている。この防災時系列により警報判定を行うと複数の区市で大雨注意報の判定となるが、警報級の雨となる E-S シアー型不安定降水の前兆として3時間程度前から E-S シアーが形成されるため、東京地方に E-S シアーが形成または停滞するのを見極めてから注意報の発表を行うこととする。



第1.2.24図 東京地方における市町村等をまとめた地域



第1.2.25図 19日24時までのR1とR3の防災時系列(上)、15-18時のR1とR3の降水分布(下)

#### 1.2.2.4 天気予報発表作業のまとめ

東京地方に警報級の雨をもたらす不安定降水の代表事例である E-S シアー型不安定降水に対し、2017年8月19日当時の資料と、改修した官署独自のツールを加えて量的予想を中心に予報作業を進めた。資料を検討した結果、当時の判断と同様に大雨が始まっていない定時予報の段階では、警報級の雨をメインのシナリオにすることはしなかった。数値予報資料や官署独自のツールは可能性があることは示唆していたが、現在の技術では不安定降水事例の警報級の雨を実況がない中、時間的、空間的に断定することが難しいと判断し

たためである。警報級の雨をいち早くメインのシナリオに置き換え、少しでも早く天気予報や気象情報、警報級の可能性などでユーザーに伝えるためには、過去の E-S シアー型不安定降水の構造、発生原因などを理解し、発生のシグナルを数値予報資料から読み取る力を予報担当者がつけることが必要となる。

### 1. 2. 3 警報・注意報発表作業\*

大雨警報・注意報や洪水警報・注意報の発表作業は、天気予報作業と同様に「①気象実況の監視・解析を行い、現象の推移を把握した後、環境場の状況や現象の構造について解釈する。」、「②数値予報資料も活用して現象の推移の予測を行ない、現シナリオと相違があれば適切なシナリオに修正し、量的予測を行う。さらに各種指数の実況値や予測値を読み込み、警報・注意報の基準を超過するか判定を行う。」、「③警報級・注意報級の期間を設定し、警報・注意報の発表を判断する。」という①～③のサイクルを繰り返す（第 1.2.7 図）。このサイクルはさらに大まかに以下の 2 つの段階に分けることができる。

(1) 気象シナリオに基づく降水現象の発生や強まりの予測によって、予告的に警報・注意報を発表する段階

(2) 既に降水現象が発生している状況において、強雨域の広がりや降水量の増加により、警報・注意報を発表する地域を拡大する段階

(1) では、十分なリードタイムの確保を目的として、主に YSS の防災時系列に入力している R1 や R3 に基づく換算雨量判定により警報・注意報を発表するのに対し、(2) では、少しでもリードタイムを確保することを目的として、主に刻々と高まる各種指数の実況値と予測値により警報・注意報を発表する。大規模に発生する顕著な不安定降水の場合は、リードタイムを確保し広範囲に警報・注意報を発表できることもあるが、局地的に発生する顕著な不安定降水の場合は、その発生地域を絞ることが難しいため、十分なリードタイムを確保することは難しい。十分なリードタイムを確保するためにも(1)による発表が求められるが、(1)による発表ができない場合は、急激な各種指数の高まりによる頻繁な警報・注意報発表に対応できるよう、YSS の「緊急整合」機能を活用し、迅速な発表に努める。

本節では、(1)による最初の注意報発表及び最初の警報発表に至る過程について、1.2.3.1 及び 1.2.3.2 で述べ、広範囲に警報を発表した場合と地域を絞って警報を発表した場合の 2 つを紹介し、比較する。また、地域を絞って警報を発表した場合における(2)の「緊急整合」機能を使用しない警報発表及び「緊急整合」機能を使用した警報発表、並びに警報・注意報の解除作業について、1.2.3.3、1.2.3.4、1.2.3.5 で述べる。なお、本節で用いる換算雨量判定、あと何ミリ判定、客観予想判定の詳細については、平成 29 年度予報技術研修テキスト第 1 章 1.2 節を参照されたい。

#### 1. 2. 3. 1 大雨注意報発表に向けた作業

##### (1) 実況の把握と予想資料の確認

11 時予報時点の気象シナリオでは、E-S シアー型不安定降水による警報級の雨の可能性はあるものの、実況で神奈川県から千葉県にかけて形成されている E-S シアーが東京地方まで北上し停滞するかどうかの不確実性が大きいと見られ、上層トラフが接近し、E-S シアー周辺で降水が予想されはじめる夕方以降、東京地方全域に R1=40 ミリ、R3=60 ミリの注意報級の雨を予想している。不安定降水における注意報の標準的なリードタイムである 2～3 時間前を目安として、対流雲が発生・発達・停滞しやすい大気の状態、大雨の前兆となる E-S シアーや上層トラフの動向に着目しながら最新の实況や各種予測資料を確認し、気象シナリオに変

---

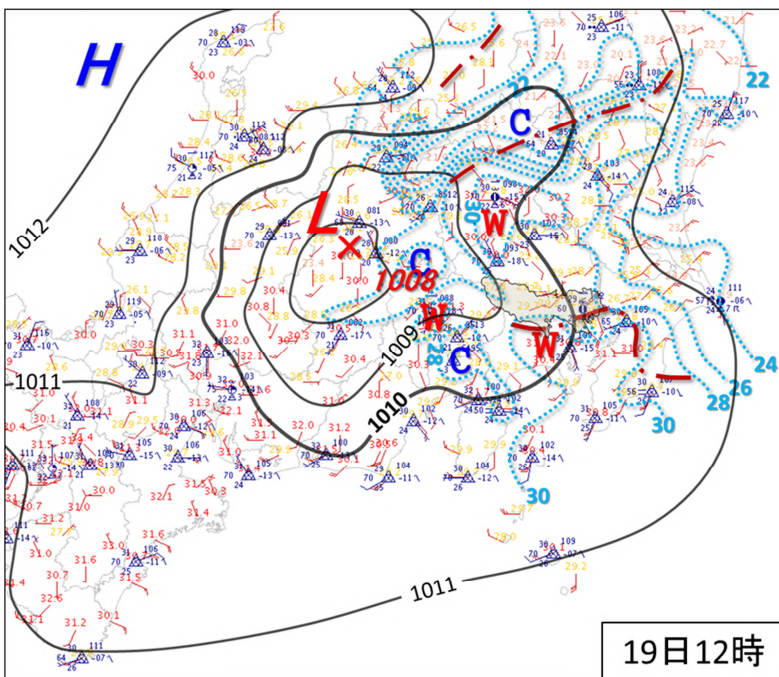
\*北村 美佐絵（気象庁予報部予報課）

更がないか確かめたいうえで注意報の発表を行う。

大気の状態は、9 時の館野の温位エマグラム（第 1.2.18 図）でも確認したように、既に潜在的に不安定な状態となっている。日射による地上の昇温や E-S シアー形成による水蒸気の収束によって、さらに自由対流高度までの距離が短くなり、対流雲が発生しやすい状態となることが予想される。また、熊谷のウインドプロファイラでは、中層は湿潤で、700hPa より下層の風速は 10m/s と弱く（図略）、対流雲が発達して停滞しやすい環境場が構築されている。

上層のトラフに着目すると、12 時の衛星水蒸気画像では、対応する日本海の暗域が能登沖まで進んでおり（第 1.2.28 図左 青色破線内）、地上のシアーラインも新潟県まで南下して、その近傍では  $R1 \geq 20$  ミリの強い雨を解析している（第 1.2.26 図、第 1.2.28 図右 紫色破線内）。また、関東地方北部の山沿いでは、シアーラインが形成され、12 時以降は局地的に  $R1 \geq 50$  ミリの非常に激しい雨を解析しはじめた（第 1.2.26 図、第 1.2.28 図右 赤色破線内）。

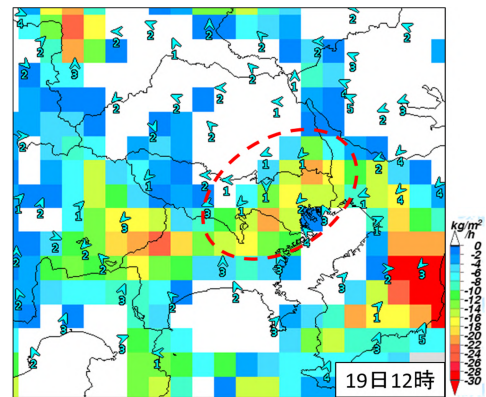
この状況を踏まえ、大雨発生の前兆となる E-S シアーの動向を確認すると、地上気温の昇温による長野県付近の気圧の低下によって熱的低気圧が明瞭になったことから、相模湾や東京湾から吹く南寄りの風が強まり、神奈川県にのびていた E-S シアーが予想よりも早く 12 時には東京地方との県境付近まで北上した（第 1.2.26 図）。12 時の GNSS 可降水量 Flux 発散からも明瞭ではないが東京湾周辺で北東風と南風による収束域が確認でき（第 1.2.27 図 赤色破線内）、東京地方に E-S シアーが形成されていることから注意報の発表を決断する。



第 1.2.26 図 19 日 12 時の局地天気図

黒色実線：等圧線（1hPa 毎）、水色点線：等温度線（2℃毎）、  
茶色一点鎖線：地上風の収束によるシアーラインを示す。

予測資料を確認すると最新初期値の MSM(19\_00)では、これまでの初期値同様、東京地方では 15 時前後から E-S シアー上に降水が予想されはじめ、21 時前後が降水のピークとなり、1 時間最大降水量ガイダンスにおける降水量予想は、周辺では 40 ミリを超える予想もあるが、東京地方の最大値は 25 ミリとなっている（第 1.2.29 図）。新潟県や関東地方北部の不安定降水も予想されているが、降水域は数 10km 程度の誤差が

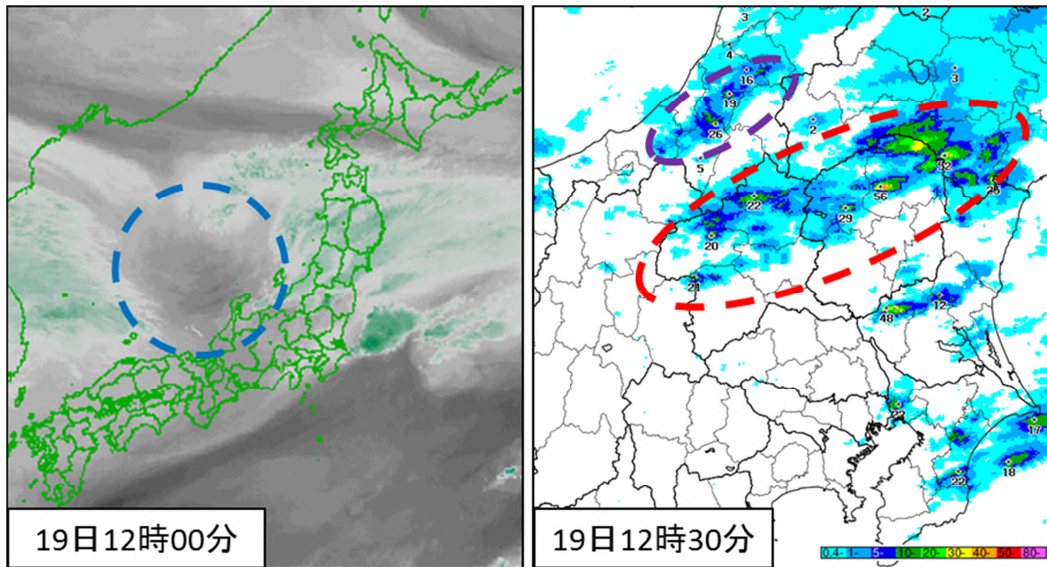


第 1.2.27 図 19 日 12 時の GNSS 可降水量 Flux 発散とアメダス風

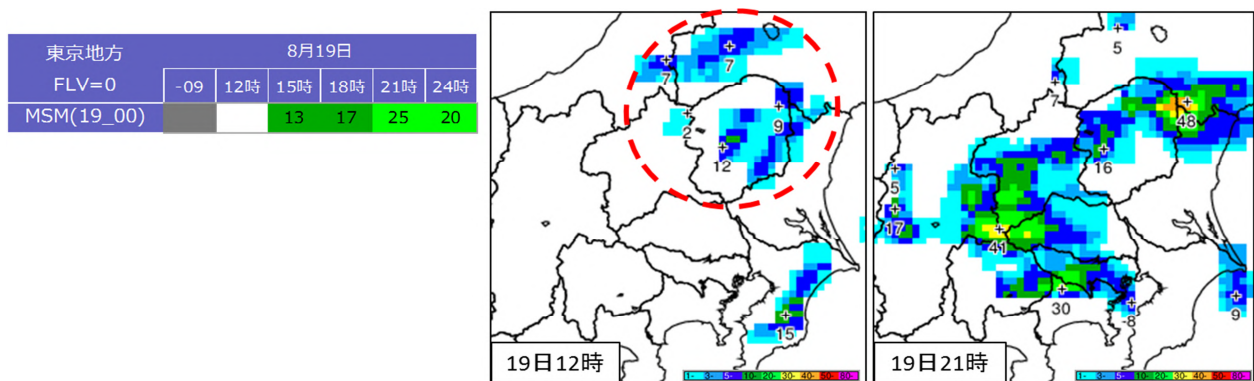
東京地方では、東京湾周辺で収束域が形成されていることが確認できるがまだ明瞭ではない（赤色破線内）。

あり、1時間最大降水量ガイダンスの降水量予想は、実況より10~20ミリ程度過小である（第1.2.29図中赤色破線内）。また、官署独自ツールの判定でも、引き続き夕方まで東京地方平野部で警報級の雨となる条件を満たしている（図略）。

最新初期値のLFM(19\_02)では、15時前後から埼玉県との県境付近でE-Sシアー上にR1=20ミリ前後の強雨域が予想されはじめて次第に東京地方を南下し、R1≥50ミリの非常に激しい雨が予想されている（第1.2.30図）。同様の傾向はLFM(19\_01)でも確認できるが、初期値毎にE-Sシアーや強雨域の位置に数10km程度の違いがあり、強雨となりはじめる時間には2~3時間程度の幅がある（図略）。

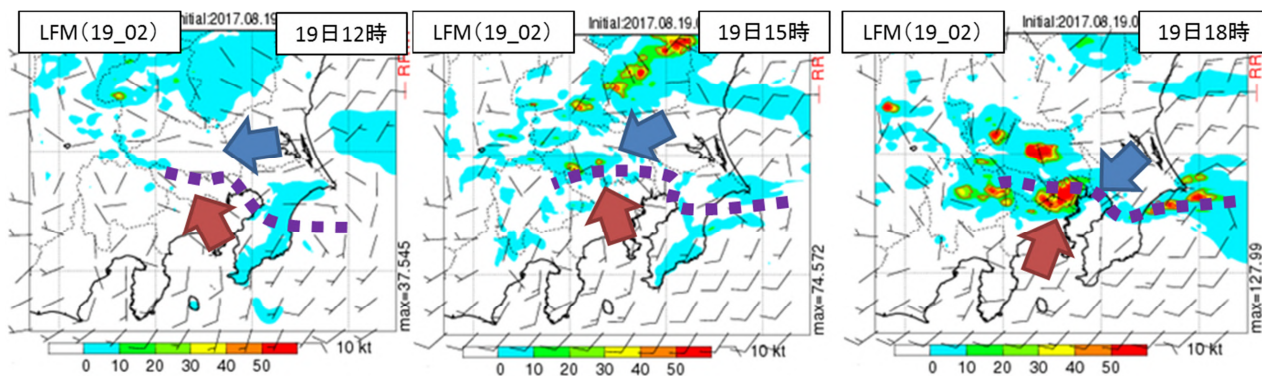


第1.2.28図 19日12時の衛星水蒸気画像（左）、12時30分の速報版解析雨量（右）



第1.2.29図 MSM(19\_00)の1時間最大降水量ガイダンス

左：帳票、中：12時に予想される分布図、右：21時に予想される分布図。



第 1.2.30 図 LFM (19\_02) の地上気圧、地上風、R1 の予想図 (予想時刻は左から 19 日 12 時、15 時、18 時)

紫色点線 : E-S シアーの位置、茶色及び青色矢印 : E-S シアー周辺の地上風の流れを示す。

気象シナリオの修正について検討すると、予想資料のとおり、夕方にかけて関東甲信地方を上層トラフが接近・通過し、新潟県や関東地方北部のシアーラインが南下して 21 時頃に東京地方の E-S シアー上の降水を強化する可能性があること、1 時間最大降水量ガイダンスの降水量予想が実況に対して 10~20 ミリ程度過小であること、空間的及び時間的な幅はあるが LFM で 18 時頃から 21 時頃にかけて R1 $\geq$ 50 ミリが安定して予想されていることから、東京地方平野部では、11 時予報発表時点の気象シナリオの量的予想 (R1=40 ミリ、R3=60 ミリ) より降水量が多くなる可能性がある。しかし、E-S シアーに対応する東京湾周辺の収束域はまだ明瞭ではなく、神奈川県との県境にある E-S シアーの動向や警報級の雨となる時間にまだ予想幅があること、LFM の R1 はモデル特性として過大となる場合があることから、発生地域や期間を絞り込んで警報級の雨を予想する確度はなく、また、東京地方の一部にしか E-S シアーがのびていない段階で広範囲に警報級の雨を予想することも空振りの地域が多くなる可能性があるため難しい。そこで、気象シナリオの量的予想は変更せず、大雨警報に言及しない大雨注意報の発表を行う。

## (2) 防災時系列の修正と大雨注意報の発表

防災時系列の R1 及び R3 は、11 時予報発表時点から変更せず、夕方から夜遅くにかけて R1=40 ミリ、R3=60 ミリとする (第 1.2.25 図) が、11 時予報時点より警報級の雨となる可能性は高まっており、今後 E-S シアーがさらに北上して東京地方にのび、E-S シアー周辺の収束域が明瞭になって E-S シアー上の強雨域が停滞した場合などは、直ちに R1 $\geq$ 50 ミリに修正する必要があることを念頭において作業を進める。

浸水危険度、土砂危険度、洪水危険度については、それぞれ最新の警戒度ガイダンスを読み込んだが、危険度 1 (注意報級) 以上が判定される市区町村はなかった。なお、この作業については、1.2.3.3 で詳細を述べる。

警報判定を行った結果 (第 1.2.31 図)、大雨 (浸水害) について、13 時 10 分に 23 区西部、多摩北部、多摩南部の一部区市に注意報を発表する。



第 1.2.31 図 第 1.2.25 図の防災時系列における大雨 (浸水害) の警報判定結果

### 1. 2. 3. 2 警報発表に向けた作業

東京地方の E-S シアー型不安定降水における官署独自の予測手法によると、明瞭な上層トラフが通過し、地上に加えて 1km 程度に達する高度においても E-S シアーに対応する収束域が形成・維持されやすい環境場では、東京地方の比較的広範囲で警報級の雨となることがわかっており、その精度は高い。このような場合には、大気の状態が不安定となっていること、かつ地上風の収束域上に降水域が発生したことを契機に、収束が明瞭な地域を  $R1 \geq 60$  ミリ、 $R3 \geq 90$  ミリとして換算雨量判定により大雨警報を発表することで、より長いリードタイムを確保することができる。

本事例では、不安定降水が比較的広範囲に広がりやすい環境場であったことから、積極的に量的予想を上方修正して換算雨量判定により大雨警報を発表すべき事例である。ただし、E-S シアーが不明瞭な場合や、不安定降水が広範囲に広がりやすい環境場でない場合は、大雨警報が空振りとなる地域が多くなる可能性があるため、強雨域が発生している地域や、強雨域の動向から警報級の雨となる確度が高まった地域に絞り、大雨警報の発表を検討していく必要がある。これら 2 つの場合における実況や予測資料の確認事項に大きな違いはないが、防災時系列の修正や YSS で利用する機能に違いがあるため、それぞれの作業について紹介する。

#### (1) 実況の把握と予想資料の確認

大雨注意報発表後は、引き続き最新の実況や各種予測資料を確認し、気象シナリオの量的予想 ( $R1$  及び  $R3$ ) に変更がないか検討を行う。実況監視では、E-S シアーの位置や E-S シアー周辺の収束域の様子、衛星可視画像やレーダーエコーによる E-S シアー付近での対流雲の発生やその動向、上層のトラフに対応するシアーラインに着目する。

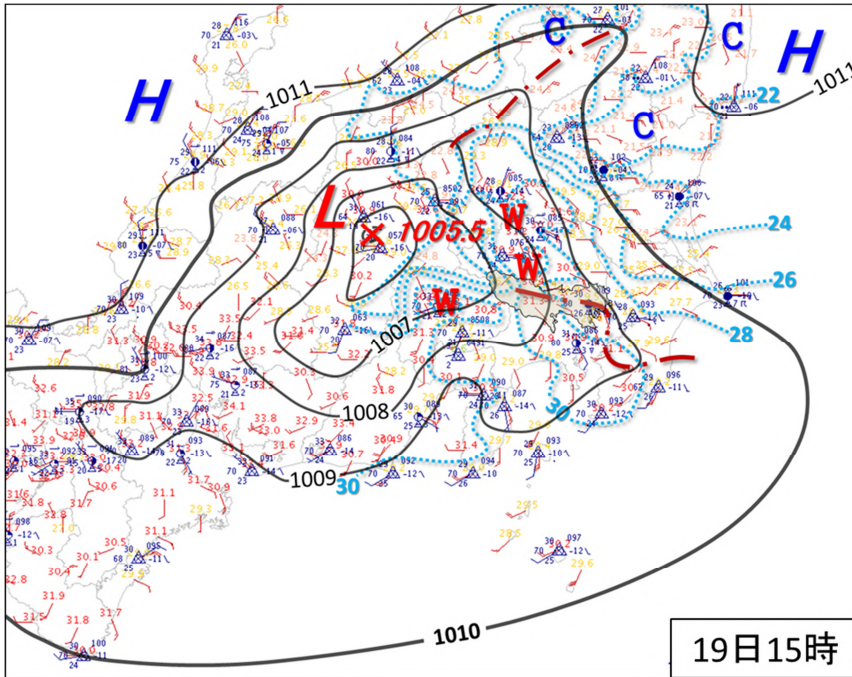
E-S シアーの位置を確認すると、神奈川県との県境にあった E-S シアーは、15 時にはさらに北上して東京地方で東西にのびており、GNSS 可降水量 Flux 発散でも、E-S シアーに対応する収束域が東京都と埼玉県の間境付近で 23 区付近を中心に東西方向に広がっている (第 1.2.32 図、第 1.2.33 図下 赤色破線内)。925hPa 面においても、東京地方周辺で東寄りの風と南寄りの風の収束が形成・維持されており (第 1.2.33 図上)、比較的広範囲で不安定降水が発生しやすい環境場となっていることが確認できる。また、衛星可視画像では、15 時頃から収束域付近で東西にのびる下層雲列 (第 1.2.34 図左 黄色実線内) がみられるようになり、この下層雲列に向かってさらに南から流れ込む南北走向の下層雲列 (第 1.2.34 図左 黄色破線内) が確認できることから、東西走向の下層雲列を活発化させるような水蒸気の流入が可視化されていると考えられる。

一方、12 時に能登沖にあった上層のトラフに対応する暗域は、15 時には新潟県付近にまで進み (第 1.2.34 図中 青色破線内)、対応する地上のシアーラインは、新潟県と群馬県の県境付近まで南下したが、シアーライン上の降水は  $R1$ =数ミリ程度に弱まった (第 1.2.32 図、第 1.2.34 図右 紫色破線内)。12 時に関東地方北部の山沿いに形成されていたシアーラインは不明瞭となったが、降水域は強まりながら南東進し、関東地方北部では  $R1 \geq 50$  ミリの非常に激しい雨を解析する地域が広がった (第 1.2.32 図、第 1.2.34 図右 赤色破線内)。この降水による冷気塊の影響で茨城県や栃木県の一部地域では周囲に比べて地上気温が低くなっており、上層トラフに対応するシアーラインが E-S シアーを強化する可能性よりも、関東地方北部の強雨域が南下して E-S シアーの北側で冷気塊が流入し、温度傾度が大きくなることで E-S シアーによる降水をさらに強化する可能性の方が考えられる。

E-S シアー付近の降水域を確認すると、多摩西部の山沿い周辺で局地的に降水域が発生していたが、15 時 30 分以降は、多摩北部を中心に降水域が東西に広がりながら停滞しはじめ (第 1.2.35 図左)、多摩北部

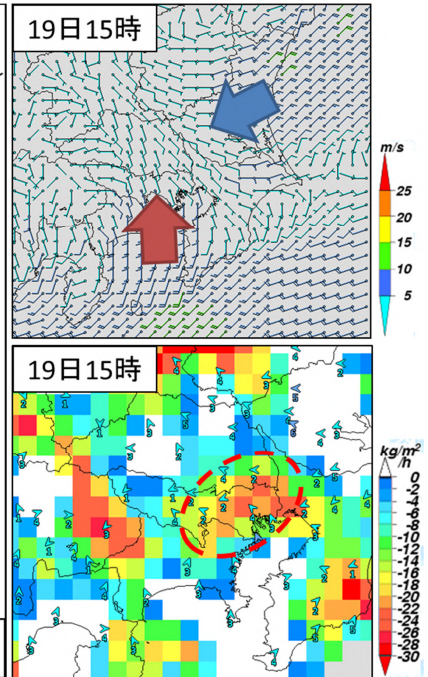
の東村山市付近では16時00分までの10分間で10ミリを超える降水を観測しはじめたため、この時点での量的予想の上方修正を決断し、警報の発表を行う。

なお、強雨域が停滞している多摩北部の小平市では、15時50分時点で大雨警報（浸水害）の表面雨量指数基準到達までに必要なR1が30ミリとなり（第1.2.35図右）、現時点での量的予想より小さい値となっていることから、1時間以内には大雨警報（浸水害）の基準に到達する予想である。リードタイムを確保するためにも警報発表作業を速やかに進める。

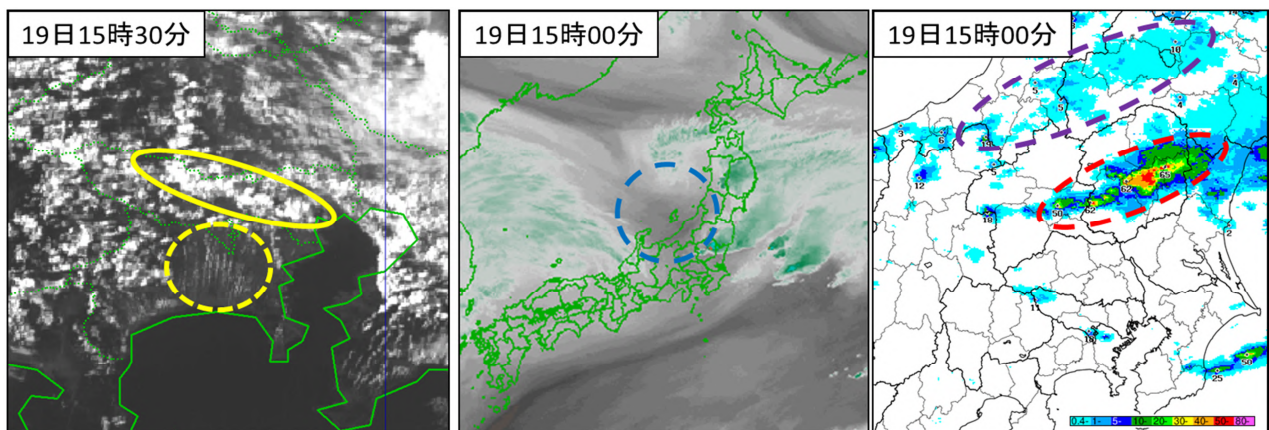


第 1.2.32 図 19日15時の局地天気図

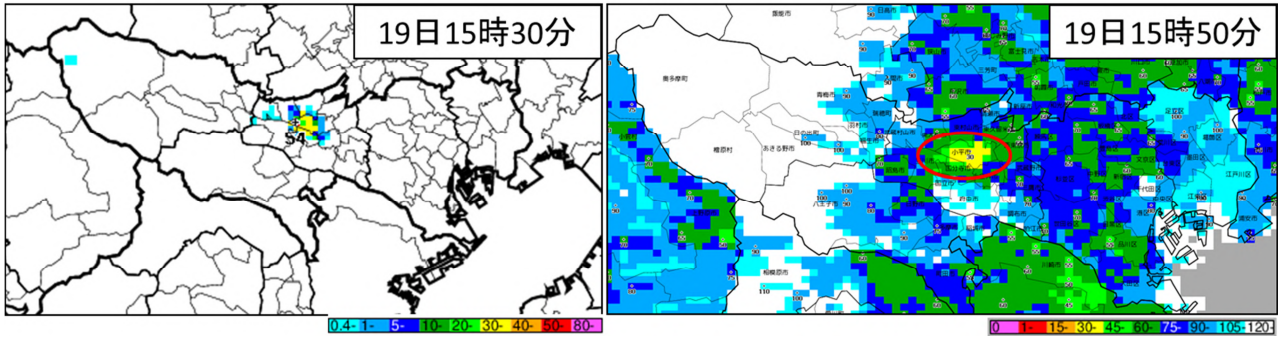
黒色：実線は等圧線（1hPa 毎）、水色点線：等温度線（2°C 毎）、茶色一点鎖線：地上風の収束によるシアーラインを示す。



第 1.2.33 図 19日15時の925hPa面毎時大気解析（上）、GNSS可降水量Flux発散とアメダス風（下）



第 1.2.34 図 19日15時30分の衛星可視画像（左）、19日15時の衛星水蒸気画像（中）と解析雨量（右）

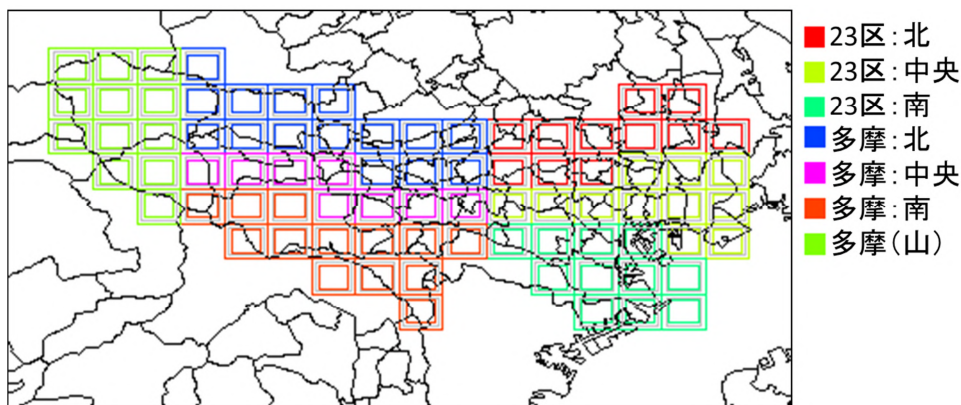


第 1.2.35 図 19 日 15 時 30 分のレーダーエコー強度（左）、15 時 50 分の大雨警報（浸水害）の表面雨量指数基準到達までに必要な R1（右）

赤色円内の小平市の広い範囲で、大雨警報（浸水害）基準到達までに必要な R1 が 30 ミリとなっている。

## （2）防災時系列の修正と大雨警報の発表

E-S シアーは東西にのび、下層雲列やレーダーエコー域も東西に広がっているため、東京地方を 23 区と多摩（多摩西部の山沿いを除く）でそれぞれ南北 3 つに分けた 7 つの地域（第 1.2.36 図）において、防災時系列の R1 及び R3 の修正を行う。



第 1.2.36 図 東京地方を東西南北 7 つに分割した地域

### （ア）広範囲に大雨警報を発表する場合

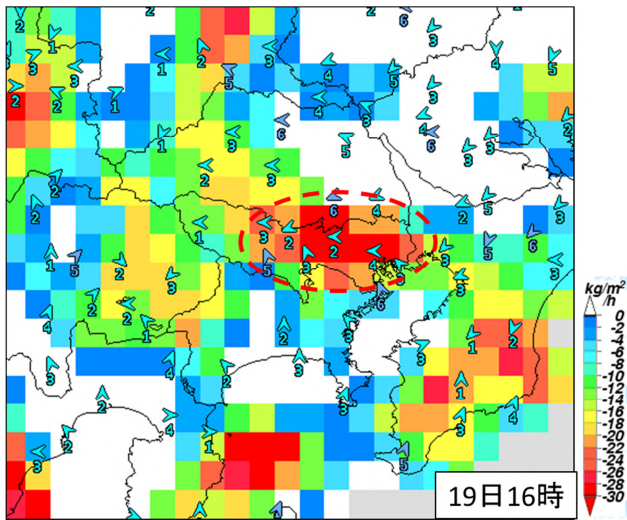
不安定降水が比較的広範囲に広がりやすい環境場である場合は、大気の状態が不安定となっていること、かつ収束域上で降水域が発生したことを契機に、過去の E-S シアー型不安定降水における降水量を参考に、収束が明瞭である地域を  $R1 \geq 60$  ミリ、 $R3 \geq 90$  ミリとして、積極的に量的予想を上方修正し、換算雨量判定により大雨警報を発表する。

実況で降水域が広範囲に広がりやすい環境場となっていることが確認できる中、多摩北部では強雨域が発生しており、16 時の GNSS 可降水量 Flux 発散（第 1.2.37 図）では、23 区、多摩北部及び多摩南部の北側を中心にさらに収束域が明瞭となって多摩北部の強雨域が発生している位置まで広がった。このため、収束が明瞭である地域（第 1.2.36 図の「多摩：南」と「多摩（山）」以外の地域）において、強雨が終息する夜遅くのコマまでを  $R1=60$  ミリ、 $R3=90$  ミリに上方修正する（第 1.2.38 図）。

浸水危険度、土砂危険度、洪水危険度については、それぞれ最新の警戒度ガイダンスを読み込んだところ、浸水危険度で危険度 2（警報級）が判定される市があったためこれを置換し、防災時系列の警報・注意報継続機能により強雨が終息する夜遅くまで警報級・注意報級の期間を継続した。なお、この作業については、同様に 1.2.3.3 で詳細を述べる。

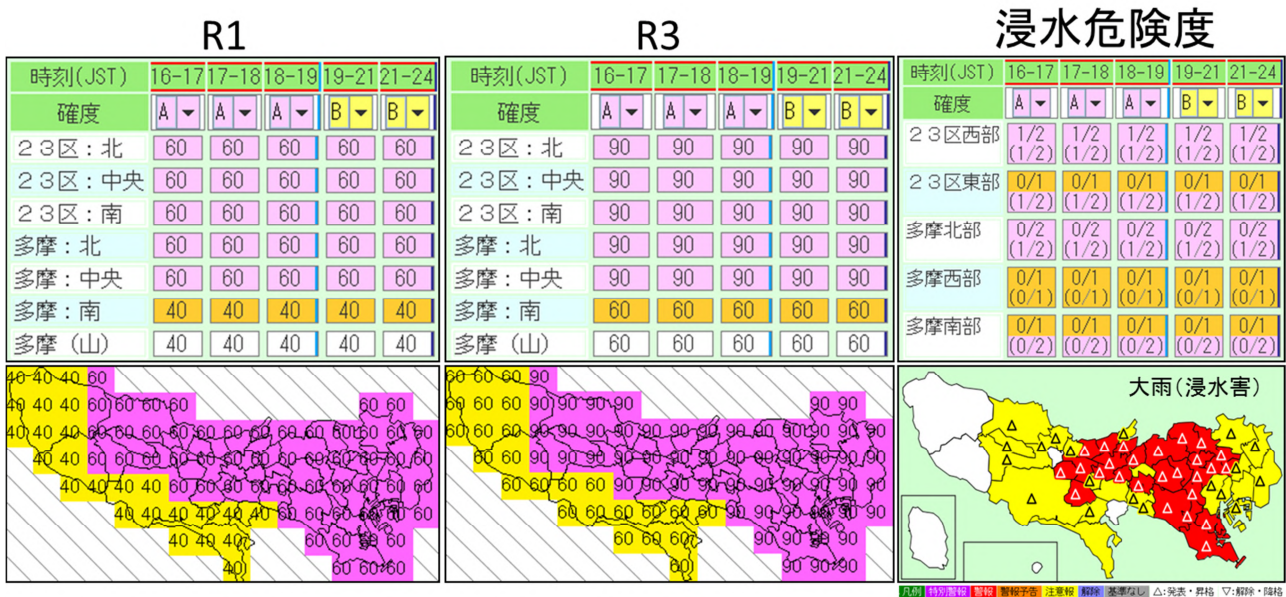


警報判定を行った結果（第 1.2.38 図右下）、大雨（浸水害）について、16 時 20 分に 23 区、多摩北部、多摩南部の一部の市区に警報を、東京地方全域の一部市区町村に追加で注意報を発表する。



第 1.2.37 図 19 日 16 時の GNSS 可降水量 Flux 発散とアメダス風

東京地方の 23 区、多摩北部、多摩南部の北側で、収束域が明瞭となった（赤色破線内）。



第 1.2.38 図 警報級の雨を広範囲に予想する場合の 19 日 16 時 10 分過ぎの防災時系列（上段）と降水分布（左下、中下）、大雨（浸水害）の警報判定結果（右下）

(イ) 地域を絞って大雨警報を発表する場合

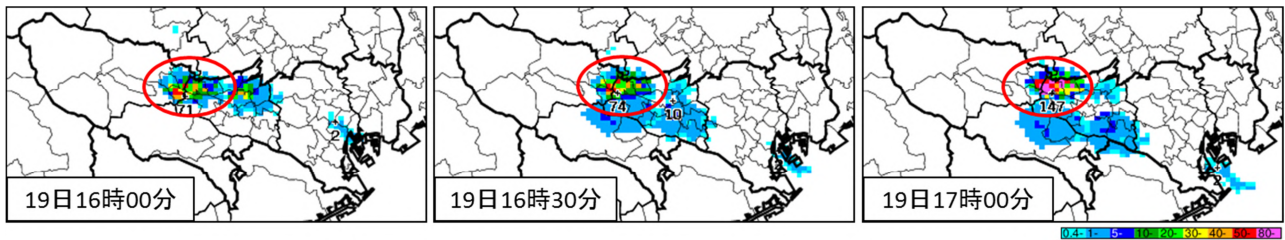
E-S シアーの位置が不明瞭な場合や、不安定降水が広範囲に広がりやすい環境場ではない場合は、警報級の雨となる確度が高まった地域に絞って大雨警報の発表を検討する。

衛星可視画像の東西走向の下層雲列やレーダーエコーはほとんど動きがなく、16 時の高解像度降水ナウキャストからも 17 時にかけて強雨域が多摩北部と多摩西部を中心に埼玉県との県境側で停滞する予想（第 1.2.39 図 赤色実線内）のため、今後同地域で R1=50 ミリの大雨となる可能性が非常に高い。強雨域は「多摩：北」（第 1.2.36 図）の地域に位置しているため、「多摩：北」の地域において、強雨が終息する夜遅くのコマまでを R1=50 ミリとし、R3 は引き続き R1 の 1.5 倍の 75 ミリに上方修正する（第 1.2.40 図）。

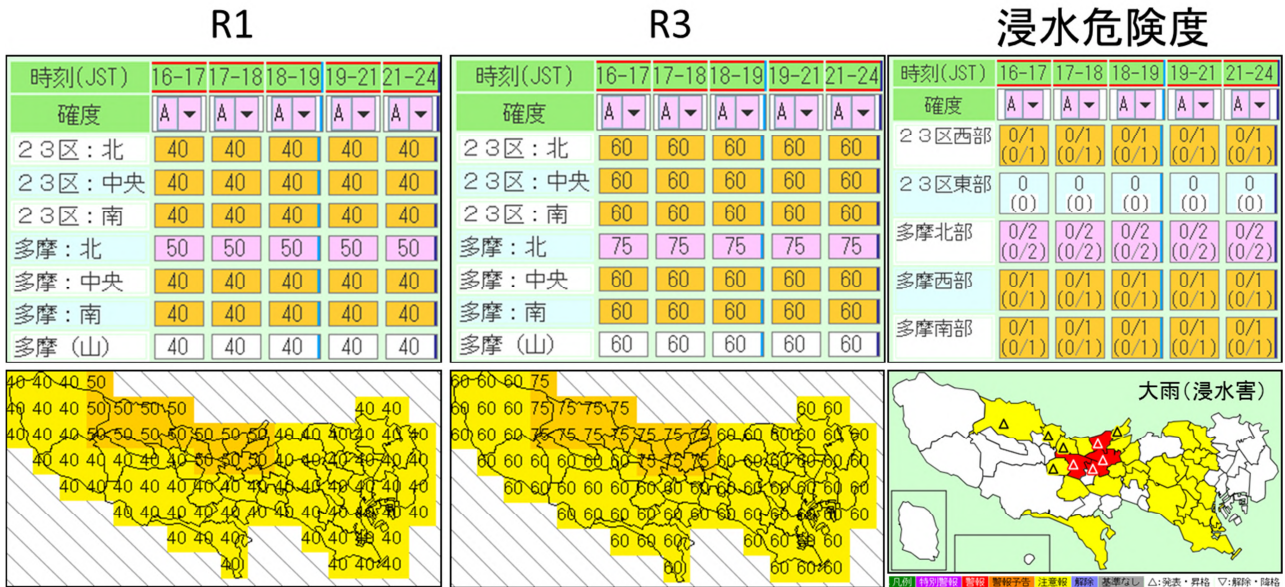
なお、この時点で防災時系列への入力を行わないが、熊谷のウインドプロファイラによる 700hPa 付近の風向は西であり（図略）、今後 R1=50 ミリ程度の強雨域が東側（23 区）にも拡大する可能性があるため、23 区でも R1=50 ミリに上方修正する可能性があることを念頭において作業を進める。

浸水危険度、土砂危険度、洪水危険度については、それぞれ最新の警戒度ガイダンスを読み込んだところ、浸水危険度で危険度 1（注意報級）以上が判定される市区町村があったためこれを置換し、防災時系列の警報・注意報継続機能により強雨が終息する夜遅くまで警報級・注意報級の期間を継続した。

警報判定を行った結果（第 1.2.40 図右下）、大雨（浸水害）について、16 時 20 分に多摩北部の一部の市に警報を、一部市町に追加で注意報を発表する。



第 1.2.39 図 19 日 16 時初期値の高解像度降水ナウキャスト



第 1.2.40 図 地域を絞った場合の 19 日 16 時 10 分過ぎの防災時系列（上段）と降水分布（左下、中下）、大雨（浸水害）の警報判定結果（右下）

### 1. 2. 3. 3 警戒度ガイダンス置換による警報切り替えに向けた作業\*

以降（1.2.3.3～1.2.3.5）では、地域を絞って警報を発表した場合において、各種指数の実況値や予測値の高まりを契機とした警報切り替え作業について述べる。

実際の予報作業では、YSS の危険度監視における実況または予想の危険度が現在発表中の警報等の危険度

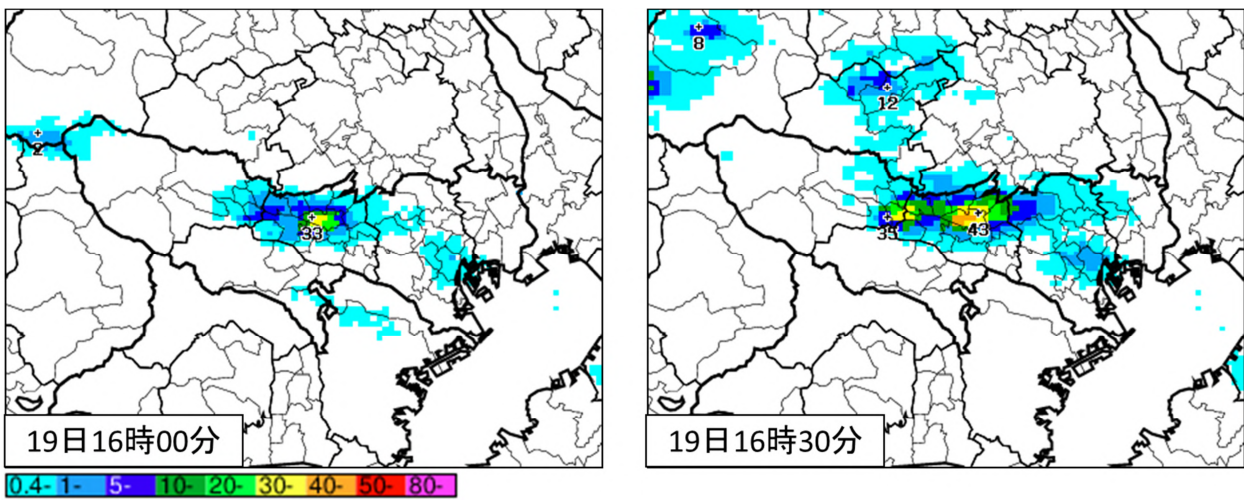
\*山口 達也（気象庁予報部予報課）

を上回る場合には、RSS により報知がなされる<sup>3</sup>。

本事例では、1.2.3.2 で 16 時 20 分に警報等を発表した後、16 時 30 分初期値の判定による報知があったため、これをトリガーとして新たな警報等発表を検討する。作業は以下の手順で行う。

- (1) 最新の実況及び予想を踏まえたシナリオ（防災時系列の R1、R3）修正
- (2) 最新の各種警戒度ガイダンスの判定結果取得
- (3) 防災時系列の整形（警戒期間の調整等）、警報等発表

まず（1）の作業を行う。16 時 30 分には降水域は東西へ広がりつつあり、局地的には R1 $\geq$ 40 ミリの降水を解析している（第 1.2.41 図）。これは現シナリオに沿った現象の推移（多摩北部で R1=50 ミリ、その他 40 ミリ）であるため、現時点で防災時系列の修正は行わない。



第 1.2.41 図 16 時 00 分（左）、16 時 30 分（右）の解析雨量

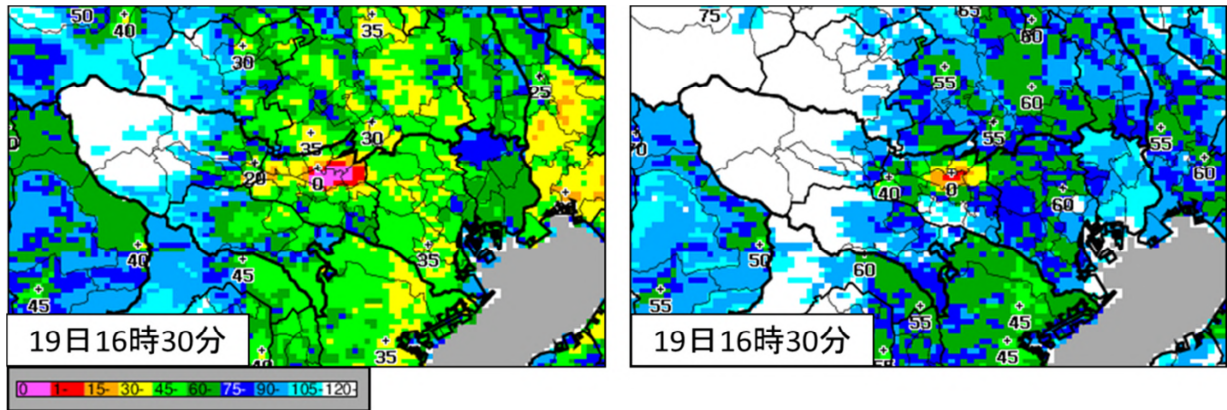
（2）について、以下①～③の操作によって浸水・洪水・土砂の各種警戒度ガイダンスを増加置換で読み込む。このとき、判定に利用する各ガイダンスがどういったデータから計算されたものであるかを把握し、これらの元データが信頼できる（異常値を示していない等）ことを確認しておく必要がある。

#### ①浸水危険度

（ア）「浸水警戒度（客観予想）ガイダンス」を読み込む。この操作によって、当該時刻で取得できる最新の情報（(a) 指数実況の警報等基準超過状況、(b) 1 時間先までのノウキャストを利用した警報等基準超過の判定結果、(c) 6 時間先までの降水短時間予報を利用した警報等基準超過の判定結果）で警報等基準を超過する市区町村に対して判定がかかる。

（イ）「浸水警戒度（あと何ミリ）ガイダンス」を読み込む。この操作によって、浸水危険度が警報等基準に達するまでに必要な 1 時間降水量（第 1.2.42 図）と、（1）の操作で防災時系列に入力した最大 1 時間降水量（現シナリオでは R1=40～50 ミリ）の直近（FT=0～1 時間のコマ）の値とを比較し、警報等基準を超過する市区町村に対して判定がかかる。

<sup>3</sup> この他、土砂災害警戒情報や指定河川洪水予報と警報・注意報が不整合となっている場合にも RSS による報知がなされる。また、RSS による報知のみに頼らず、自治体等が提供する地域のリアルタイムカメラ画像や河川水位の実況情報などについても可能な範囲で監視するなど、警報等発表状況が適当であるのかの確認は随時行う必要がある。



第 1.2.42 図 16 時 30 分の浸水あと何ミリ 危険度 1 (注意報基準) (左)、危険度 2 (警報基準) (右)

## ②土砂危険度

- (ア) 「土砂警戒度 (部外向け) ガイダンス」を読み込む。この操作によって、当該時刻で取得できる最新の情報 ((a) 指数実況の警報等基準超過状況、(b) 2 時間先までの降水短時間予報を利用した警報等基準超過の判定結果) で警報等基準を超過する市区町村に対して判定がかかる。
- (イ) 「土砂警戒度 (解除ロジ付き) ガイダンス」を読み込む。この操作によって、当該時刻で取得できる最新の情報 ((a) 指数実況の警報等基準超過状況、(b) 6 時間先までの降水短時間予報を利用した警報等基準超過の判定結果、(c) 7~30 時間先の MSM 平均降水量ガイダンスを利用した警報等基準超過の判定結果) で警報等基準を超過する市区町村に対して判定がかかる。
- (ウ) 「土砂警戒度 (あと何ミリ) ガイダンス」を読み込む。この操作によって、土砂危険度が警報等基準に達するまでに必要な 1 時間及び 3 時間降水量 (図略) と、防災時系列に入力した直近 (FT=0~1 時間のコマ) の 1 時間降水量、3 時間降水量の値 (現シナリオでは R1=40~50 ミリ、R3=60~75 ミリ) とを比較し、警報等基準を超過する市区町村に対して判定がかかる。

## ③洪水危険度

- (ア) 「洪水警戒度 (2017) ガイダンス」を読み込む。この操作によって、当該時刻で取得できる最新の情報 ((a) 指数実況の警報等基準超過状況、(b) 1 時間先までのナウキャストを利用した警報等基準超過の判定結果、(c) 6 時間先までの降水短時間予報を利用した警報等基準超過の判定結果、(d) 4~30 時間先の MSM 平均降水量ガイダンスを利用した警報等基準超過の判定結果) で警報等基準を超過する市区町村に対して判定がかかる。
- (イ) 「洪水警戒度 (充足率) ガイダンス」を読み込む。この操作によって、警報等基準を実況で超過している市区町村及び、外水氾濫型の警報等基準に対する充足率が 70%以上で、かつ、指数変化が上昇傾向である市区町村に対して判定がかかる。
- (3) では、(2) で新たに判定対象となった市区町村の注意報級・警報級の期間について、防災時系列の警報・注意報継続機能 (市区町村毎の注意報級・警報級の期間の判定を任意の期間まで延長する機能) を利用して調整する。今回は (1) でシナリオの変更を行っておらず、大雨 (浸水害) の注意報級・警報級の期間の変更の必要もないことから、前シナリオを踏襲し「夜遅く」までとした。新たに判定対象となった洪水の期間については、大雨 (浸水害) と整合をとり「夜遅く」までとした。なお、大雨 (土砂災害) についてはいずれの市区町村も注意基準に到達しなかった。

その後、(1) のシナリオや (2) で設定した警報等発表対象地域が実況資料等と齟齬がないことを最終確認し、16 時 50 分に警報等を切り替え発表した (第 1.2.43 図)。

### 最大1時間降水量

時刻(JST)	16-17	17-18	18-19	19-21	21-24
確度	A	A	A	B	B
23区：北	40	40	40	40	40
23区：中央	40	40	40	40	40
23区：南	40	40	40	40	40
多摩：北	50	50	50	50	50
多摩：中央	40	40	40	40	40
多摩：南	40	40	40	40	40
多摩(山)	40	40	40	40	40

### 最大3時間降水量

時刻(JST)	16-17	17-18	18-19	19-21	21-24
確度	A	A	A	B	B
23区：北	60	60	60	60	60
23区：中央	60	60	60	60	60
23区：南	60	60	60	60	60
多摩：北	75	75	75	75	75
多摩：中央	60	60	60	60	60
多摩：南	60	60	60	60	60
多摩(山)	60	60	60	60	60

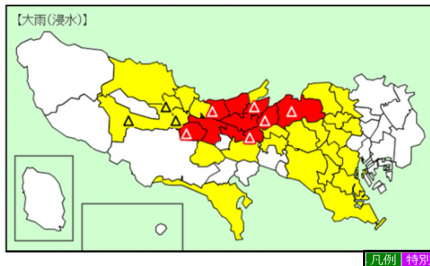
### 浸水危険度

時刻(JST)	16-17	17-18	18-19	19-21	21-24
確度	A	A	A	B	B
23区西部	0/2 (0/1)	0/2 (0/1)	0/2 (0/1)	0/2 (0/1)	0/2 (0/1)
23区東部	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
多摩北部	0/2 (0/2)	0/2 (0/2)	0/2 (0/2)	0/2 (0/2)	0/2 (0/2)
多摩西部	0/1 (0/1)	0/1 (0/1)	0/1 (0/1)	0/1 (0/1)	0/1 (0/1)
多摩南部	0/1 (0/1)	0/1 (0/1)	0/1 (0/1)	0/1 (0/1)	0/1 (0/1)

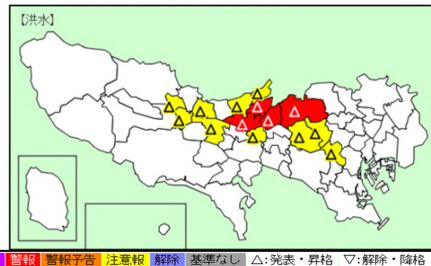
### 洪水危険度

時刻(JST)	16-17	17-18	18-19	19-21	21-24
確度	A	A	A	B	B
23区西部	0/2	0/2	0/2	0/2	0/2
23区東部	0	0	0	0	0
多摩北部	0/2	0/2	0/2	0/2	0/2
多摩西部	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1

### 警報判定結果(大雨(浸水害))



### 警報判定結果(洪水)



第 1.2.43 図 16 時 50 分の防災時系列と警報判定結果

## 1. 2. 3. 4 緊急整合による警報切り替えに向けた作業

本事例では、東京地方の広い範囲で夜遅くにかけて断続的に  $R1 \geq 40$  ミリの大雨が降ることを予想しており、場合によっては、10~20 分程度の間隔で危険度監視による RSS 報知が頻発する可能性がある。このため、以後の警報等の切り替えには「緊急整合」機能を使用し、迅速かつ適切な警報等発表に努める。

「緊急整合」機能は、防災時系列編集画面の浸水・洪水・土砂の各危険度タブで利用でき、それぞれの指数において以下(1)及び(2)の操作を一括で行う機能である。

#### (1) ガイダンス増加置換

以下の各種警戒度ガイダンスの判定結果で、ガイダンスの初期時刻から 2 時間先までの時間に属する防災時系列のコマに対して増加置換を行う。

- ①浸水危険度：「浸水危険度(客観予想+あと何ミリ)」
- ②土砂危険度：「土砂危険度(部外向け)」
- ③洪水危険度：「洪水警戒度(2017)」

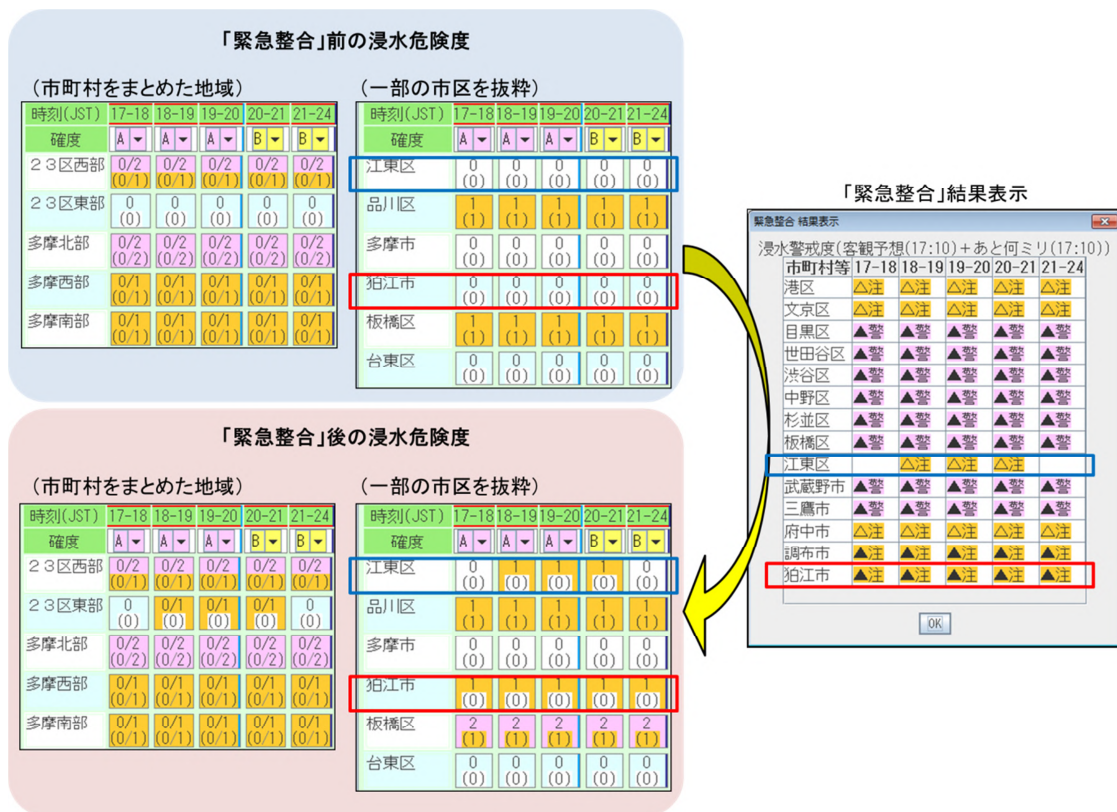
#### (2) 整形

(1)で判定の上方修正があった市区町村について、注意報級・警報級の期間の終期を次のルールで定める。

- ① 当該市区町村と同じ「市町村等をまとめた地域」内で、目先の有効な注意報級・警報級の期間を持つ市区町村がある場合は、これと終期を合わせる形で注意報級・警報級の期間を設定する。
- ② 当該市区町村と同じ「市町村等をまとめた地域」内で、目先の有効な注意報級・警報級の期間を持つ市区町村がない場合は、現在時刻を含む 3 時間コマの次の 3 時間コマまで注意報級・警報級の期間を設定する。

上記作業は、概ね、1.2.3.3 で個々の警戒度ガイダンスを順次増加置換し注意報級・警報級の期間を設定した一連の作業（1.2.3.3(2)及び(3)）をワンクリックで行うことに相当する。本機能でこういった操作が行われるのかを理解し、適切に利用することで、作業時間を短縮し迅速な警報等の切り替えを行うことが可能となる。

本事例では、17 時 10 分初期値の判定による RSS 報知を受け、「緊急整合」機能を用いて各種警戒度の設定を行った。第 1.2.44 図は、「緊急整合」機能利用前後の浸水危険度と、その結果表示画面である。



第 1.2.44 図 17 時 10 分判定による「緊急整合」機能利用前後の浸水危険度と結果表示画面

このうち、注意期間の判定結果が異なる狛江市と江東区の 2 市区を例に、どのような操作が行われたのかを確認する。

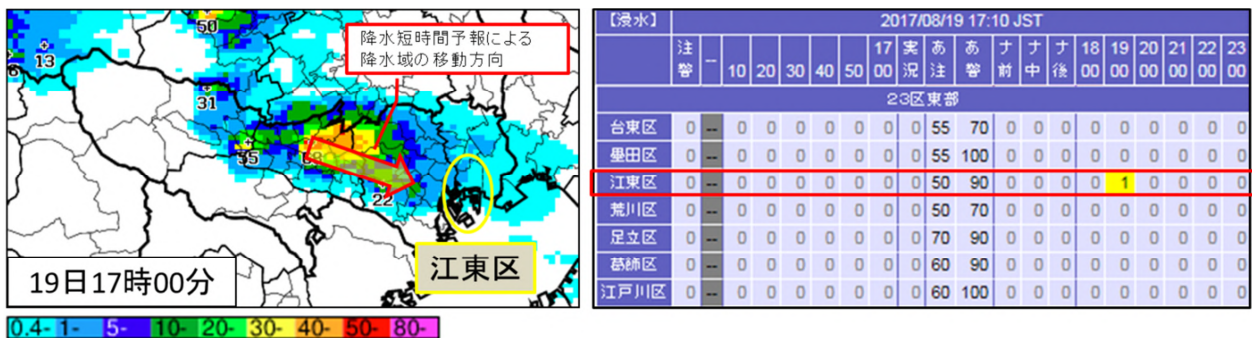
- ・「緊急整合」前に危険度が 0 であった狛江市（第 1.2.44 図 赤枠）は、(1) のガイダンス増加置換によって 17-18 時コマから危険度が 1 になった。狛江市は多摩北部に属していることから、「緊急整合」後には (2) ①のルールによって、危険度 1 の終期は、緊急整合前から多摩北部で危険度 1 の終期として設定されている夜遅くコマへと整合された。
- ・「緊急整合」前に危険度が 0 であった江東区（第 1.2.44 図 青枠）は、(1) のガイダンス増加置換によって 18-19 時コマから危険度が 1 になった。江東区は 23 区東部に属していることから、「緊急整

合」後には(2)②のルールによって危険度1の終期は、現在時刻(17時25分頃)を含む夕方コマの次のコマである、夜のはじめ頃のコマまで延長となった。

ここで、江東区の注意期間(18時~21時)は、(2)②のルールによって機械的に定められたものであるため、期間を修正する必要があるか検討する。

江東区周辺は、17時現在でR1=数ミリ程度の降水を解析(第1.2.45図左)している程度で、危険度監視によると大雨(浸水害)の注意報基準まで50ミリ程度の余裕があるが、18時~19時に、降水短時間予報(現在多摩北部にある強雨域が江東区側へと広がってくる)を基に危険度1の基準を超過すると判定されている(第1.2.45図右)。このため、注意期間の始期は判定にしたがって18-19時コマからとする。一方、注意期間の終期については、シナリオでは夜遅くまで平野部で断続的に激しい雨が降ることを予想しているため、機械的に定められた「夜のはじめ頃」コマから他地域と同じ「夜遅く」コマまで延長することとした。本事例では、上記の浸水害危険度の操作と同様に、土砂や洪水の危険度についても緊急整合を用いた各種警戒度ガイダンスの置換及びその内容の精査を行い、17時10分判定の内容について17時30分に警報を切り替え発表した。

また、その後もRSS報知等をトリガーとしてシナリオの修正や緊急整合を繰り返し、防災時系列を適切に維持し、警報等を随時切り替え発表していった。



第1.2.45図 17時00分の解析雨量(左)と17時10分の危険度監視(浸水)(右)

### 1.2.3.5 警報解除に向けた作業

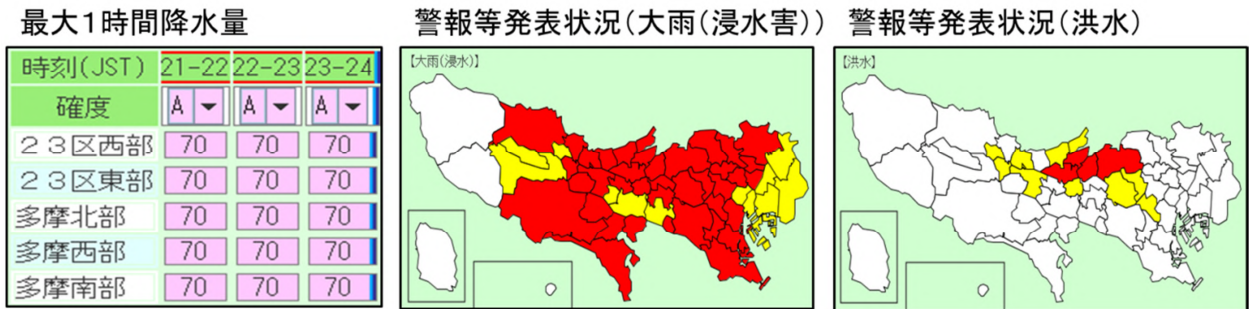
本事例では、1.2.3.4での警報発表後、夕方以降に最大でR1=70ミリ程度の降水を広い範囲で解析したことを受けてシナリオの修正を行い、最終的な降水量予想値は東京地方全域でR1=70ミリとなった<sup>4</sup>。また、指数実況・予想に応じて警報対応を重ね、21時時点では、大雨警報(浸水害)は東京地方の広い範囲に拡大、洪水警報は23区西部及び多摩北部の一部地域で発表している状態となった(第1.2.46図)。なお、本事例は短時間の現象であったため、土壌雨量指数については警報・注意報の発表基準には到らず、大雨(土砂災害)の発表は行っていない。

21時時点では、東京地方及び周辺域の解析雨量(第1.2.47図左)が次第に少なくなってきたことから、警報等の解除について検討を行う。作業は以下の手順で行う。

- (1) 最新の実況及び予想を踏まえたシナリオ(防災時系列の雨量予想値)修正
- (2) (1)のシナリオと、最新の指数実況から得られる指数予想による警報等解除の判断
- (3) 防災時系列の整形(警戒期間の調整等)、警報等発表

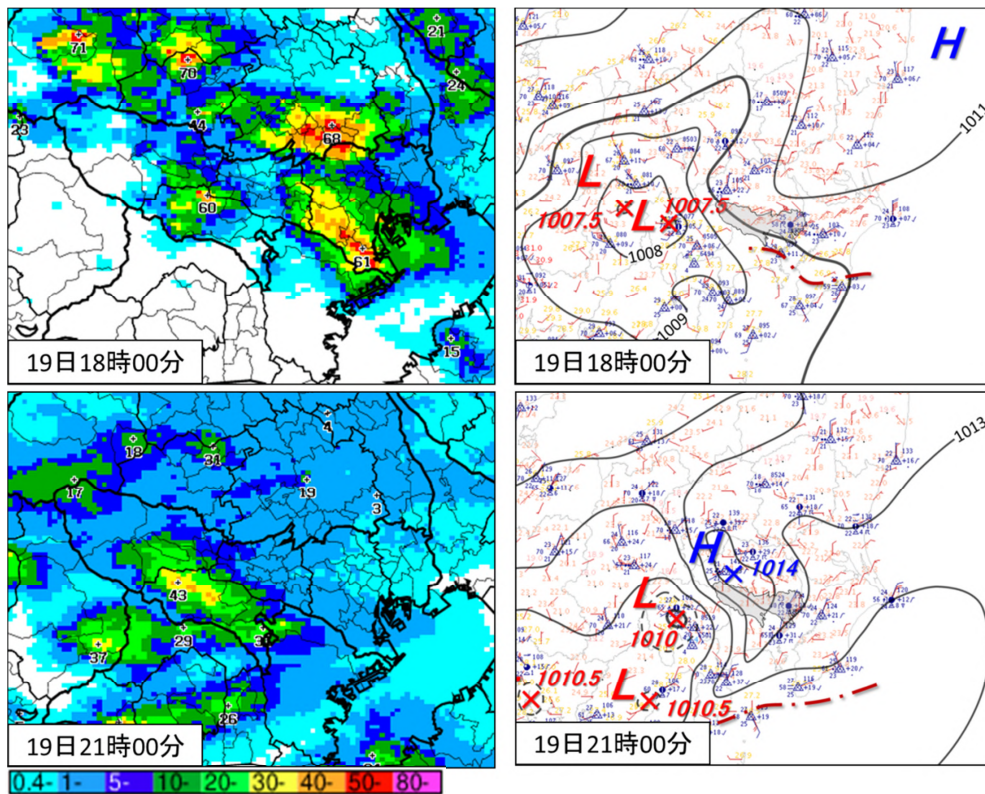
<sup>4</sup> 本章は、標準的な作業の流れを追うことを目的として、指数における作業手順に焦点を当てて記述している関係から、量的予想の見積もりの修正等については、詳しい記載を省略した。

(1) について、18 時に東京地方周辺で解析されていた E-S シアーは、21 時には、内陸の気温低下によって東京地方への南寄りの風の吹込みが弱まったことを受け伊豆諸島付近にまで南下している（第 1.2.47 図右）。解析雨量も 18 時頃の最盛期に比べて弱まっており、範囲も局地的になっている。ただし、R1=30 ミリ以上の発達した降水域は東京地方やその周辺に散在しており、強いところでは R1=43 ミリの降水を解析している。これらのことから、降水強度は今後強まる傾向にはないと判断し、最大 R1 は現在の解析雨量程度を最大として全域 50 ミリに下げる。



第 1.2.46 図 21 時 00 分現在の防災時系列と警報発表状況

中、右図で赤色は警報、黄色は注意報を表す。



第 1.2.47 図 18 時 00 分、21 時 00 分の解析雨量 (左) と局地天気図 (右)

黒色の実線は等圧線 (1hPa 毎)、茶色の一点鎖線は地上風の収束によるシアーラインを示す。

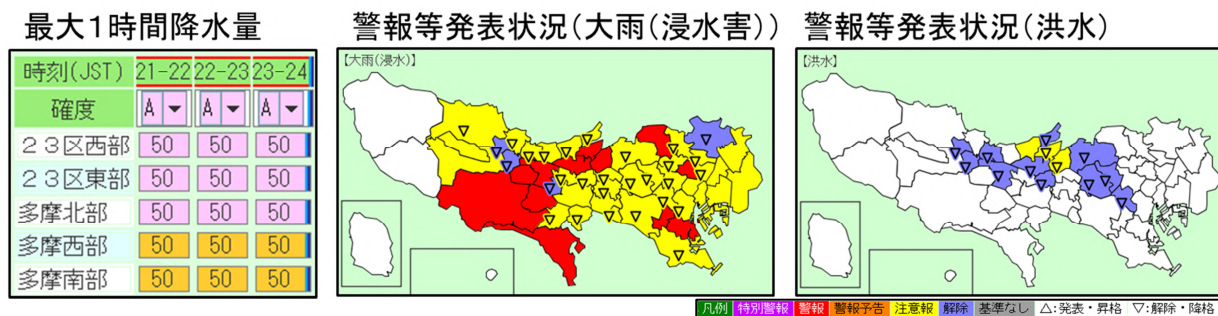
(2) について、1.2.3.3 や 1.2.3.4 では警報等の拡大ステージであったため「増加置換」を基本としていたが、以降は「指数実況が警報等基準値以上である」又は「現在は警報等基準値未満になっているが再び基準値以上となる可能性がある」のいずれかの市区町村のみを継続発表し、それ以外の市区町村を解除するため、基本的な作業は各種警戒度ガイダンスの「置換」となる。「増加置換」ではなく「置換」とする点を



除き、作業の概要は、警報拡大ステージにおける各種警戒度ガイダンス取り込み作業（1.2.3.3（2））に準ずる。

（3）について、現象が終息傾向にあり、注意報級・警報級の期間の終期は夜遅くまでで問題がない旨を確認し、21時30分に警報等を発表した（第1.2.48図）。

以降、同様の手順で、順次警報等の解除を行う。なお、顕著現象終息後の警報等解除ステージでは、警報等解除後に再発表が必要となるような事態を防ぐため、各種予想資料や実況情報、指数の推移、警報等判定結果などを確認しながら慎重に判断する必要がある。



第1.2.48図 21時30分の防災時系列(左)と警報等発表状況(中、右)

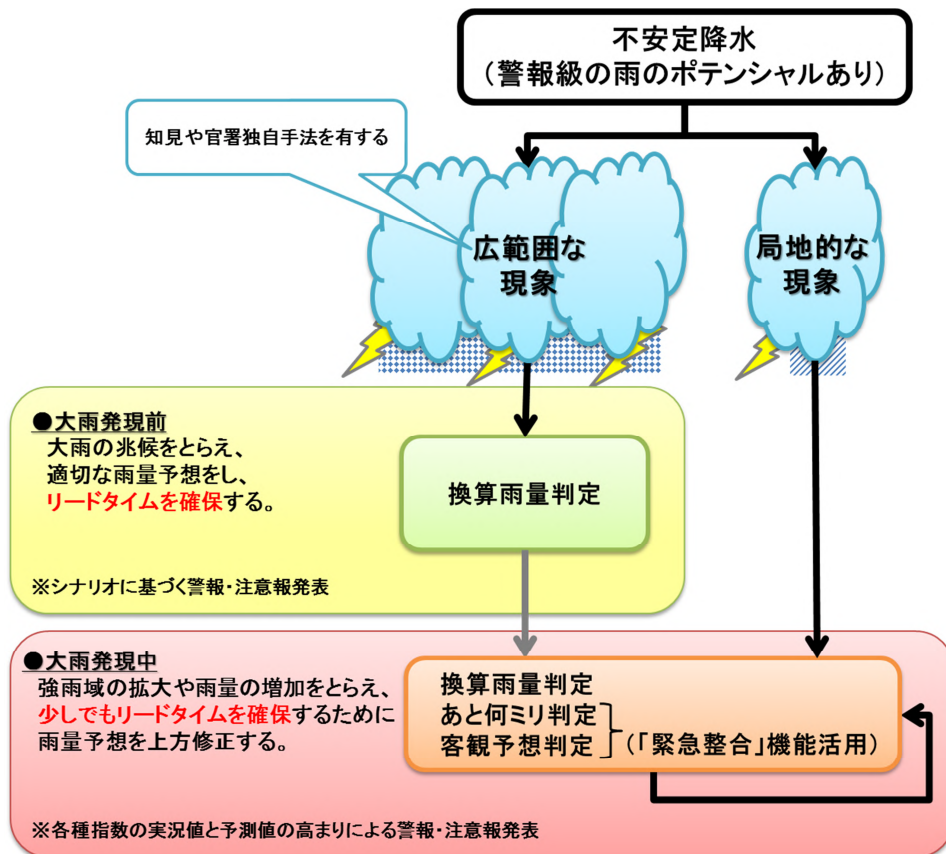
### 1.2.3.6 警報・注意報発表作業のまとめ\*

1.2.3項では、11時予報発表以降の大雨警報・注意報や洪水警報・注意報の発表作業を紹介した。

最初の大雨警報発表では、発表対象地域を広範囲にした場合と、絞った場合について紹介したが、地域を絞って発表した場合でも最終的には広範囲に大雨警報を発表していることがわかる。本事例においては、最初の大雨警報発表時におけるリードタイムはどちらも同じだが、警報基準を実況で超過した各市区町村における平均的なリードタイムの時間を比較すると、明らかに広範囲に発表した場合の方が平均的なリードタイムは長くなり、空振り率はどちらの場合も大きな違いはない。不安定降水の発生地域を予測することは難しい場合が少なくないが、広範囲に顕著な現象が発生すると予想される場合は、リードタイムの確保を意識してある程度広い範囲を対象に積極的な警報・注意報の発表作業を行うことが適切である。広範囲に影響する現象か局地的な現象かを見極めつつ、それぞれに適した警報・注意報発表作業を実施することが重要となる（第1.2.49図）。また、地域を絞って最初の大雨警報を発表した場合において、指数基準導入後のRSS報知をトリガーとする最初の警報・注意報の発表作業と、「緊急整合」機能を用いた警報・注意報の発表作業の2つを紹介した。指数基準導入以前の手順と比較すると、最新の実況と予想資料から量的予想を修正することに変更はないが、各種警戒度ガイダンスによる判定結果を取得して警報・注意報を発表することが主となるところが異なっている。

警報・注意報の発表作業においては、最新の実況の監視・解析に基づいて、随時、気象シナリオを修正し、適切なリードタイムを確保して警報を発表することが重要である。特に不安定降水の場合は、大雨のポテンシャルを把握することができても、数値予報資料による量的予想が過少の場合が多く、大雨となる地域や時間には幅があり不確実性が大きいため、適切なリードタイムを確保した警報発表ができない場合がある。しかし、大雨のポテンシャルがある場合は、実況監視・解析の着目点や予測手法を活用し、積極的に警報発表を行うことが大切である。

\*北村 美佐絵（気象庁予報部予報課）



第 1.2.49 図 不安定降水時のリードタイムを確保する大雨警報・注意報発表の流れ

### 1.3 まとめ\*

本章では、2017 年 7 月に運用を開始した表面雨量指数や精緻化した流域雨量指数を用いた標準的な予報作業について、2017 年 8 月 19 日の不安定降水事例を用いて解説した。予想が難しい不安定降水事例に対する警報・注意報の発表作業を、東京都で大雨になった事例を用いてシミュレートし、着目点や効率的な予報作業について述べた。

### 参考文献

- 藤村実代子，大久保篤，2006：暖候期の不安定降水による東京地方の強雨監視手法．平成 18 年度量的予報研修テキスト，気象庁予報部，52-56.
- 東京管区气象台，2017：平成 29 年 8 月 19 日の大雨に関する東京都気象速報 平成 29 年 8 月 22 日（平成 29 年 8 月 31 日訂正），7.
- 村中明，2014：これからの予報官に求められるもの．平成 25 年度予報技術研修テキスト，気象庁予報部，1-9.
- 東京管区气象台，2006：前兆現象の把握を重視した解析手法に関する調査研究．平成 17 年度管区推奨調査研究成果報告書，43-82.
- 田口晴夫，原基，吉田貴弘，北村美佐絵，2017：事例に基づいた予報作業の例．平成 29 年度予報技術研修テキスト，気象庁予報部，1-42.

\*若杉 栄一（気象庁予報部予報課）

## 第2章 大雨・洪水警報に用いている「指数と基準」の精度検証\*

### 2.1 はじめに

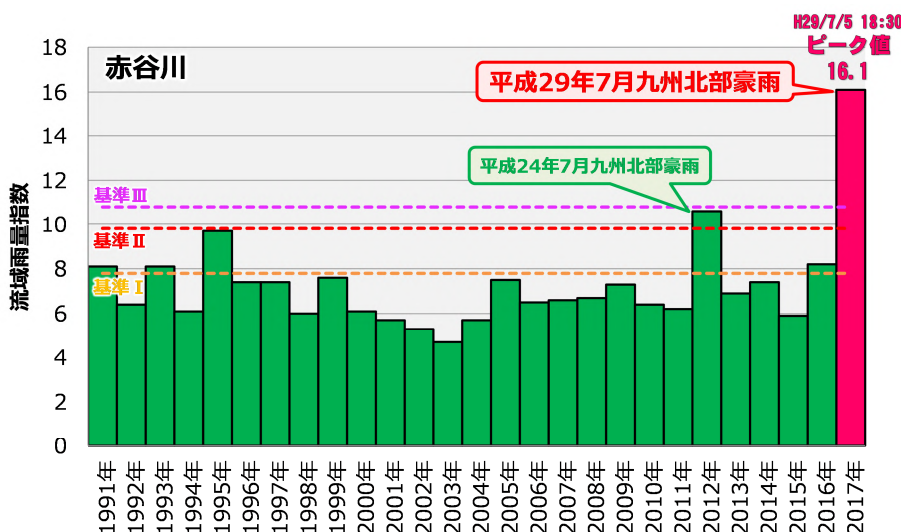
気象庁では、平成29年(2017年)7月に、大雨警報(浸水害)、洪水警報の発表基準として「表面雨量指数」(太田, 2016)と「精緻化した流域雨量指数」(太田, 2017)を導入し、あわせて「大雨警報(浸水害)の危険度分布」及び「洪水警報の危険度分布」の提供を開始した。本章では、大雨・洪水警報作業に用いている指数や危険度分布に関する理解を深めることを目的として、近年の豪雨災害事例の検証結果及び「指数と基準」の統計的な検証結果を示す。2.2節では、近年の豪雨災害事例として「平成29年7月九州北部豪雨」と「平成30年7月豪雨」を取り上げる。2.3節では、統計的な精度検証として、警報基準が想定する災害捕捉率・空振り率、客観予測資料の精度、実際に発表された警報の精度等を示す。

### 2.2 近年の豪雨災害事例の検証

#### 2.2.1 平成29年7月九州北部豪雨

平成29年(2017年)7月5日から6日にかけて、対馬海峡付近に停滞した梅雨前線に向かって暖かく非常に湿った空気が流れ込んだ影響等により、九州北部地方で記録的な大雨となった。特に、線状降水帯の形成・維持に伴って猛烈な雨が同じ場所で降り続き、7月5日から6日までの総降水量は福岡県朝倉市朝倉で586.0ミリ(期間中の1時間降水量129.5ミリ)、大分県日田市日田で402.5ミリ(期間中の1時間降水量87.5ミリ)に達した。この大雨の影響で、河川の氾濫、浸水害、土砂災害等が発生し、福岡県で死者37名、行方不明者2名、大分県で死者3名という甚大な被害が生じた(死者・行方不明者は「平成30年1月17日内閣府とりまとめ」による)。

はじめに、本事例における大雨がその地域にとってどれだけ異常であったかを示すため、第2.2.1図に、福岡県朝倉市赤谷川(杷木星丸付近)における流域雨量指数の各年の最大値を示した。



第2.2.1図 福岡県朝倉市赤谷川(杷木星丸)における流域雨量指数の年最大値

基準Iは注意報基準、基準IIは警報基準、基準IIIは警報基準を大きく超過した基準であることを示す。

\*太田 琢磨 (気象庁予報部予報課気象防災推進室)

本事例では、7月5日18時30分にピーク値である流域雨量指数16.1に達し、これは、本事例を経験するまでの最大値であった平成24年7月九州北部豪雨の流域雨量指数10.6をはるかに上回る値であった。また、赤谷川の基準Ⅱ（警報基準）は、極値統計理論（グンベル分布）による推計で「30年に一度の値」に相当する値であるが、これも大きく上回った。本事例における大雨の異常さが、赤谷川の流域雨量指数からも読み取れる。

第2.2.1表は、赤谷川流域における洪水警報の危険度分布と住民からの通報等に基づく現地の状況を表にしたものである。ここでは、赤谷川上流部・乙石川（杷木松末地区）、赤谷川中流部（杷木星丸地区）、赤谷川下流部（杷木林田地区）の3つの地区に分けて整理した。

第2.2.1表 赤谷川・乙石川における洪水警報の危険度分布と現地の状況

時刻	赤谷川上流部・乙石川 (杷木松末地区)		赤谷川中流部 (杷木星丸地区)		赤谷川下流部 (杷木林田地区)	
	危険度分布	住民からの通報等	危険度分布	住民からの通報等	危険度分布	住民からの通報等
12:50頃	注意					
13:20頃	警戒		警戒		注意	
13:30頃	非常に危険			玄関周囲にもたまり出している		
14:00頃		道路が崩壊※				
14:50頃	極めて危険					
15:00頃		乙石川が氾濫し自動車・徒歩での通行が不可※		自宅に水が流れ込む※		
15:30頃			非常に危険		警戒	
15:50頃					非常に危険	
16:00頃			極めて危険			
16:10頃				自宅に水が流れ込む※		
16:10頃					極めて危険	
17:00頃		家が半壊※				
18:00頃				家に泥水が入りはじめ、その後すぐに崩壊※		谷の水があふれて自宅に流れてきている※
20:30頃		家屋が半壊				
20:45頃				家が崩壊		

注1：「住民からの通報等」は「平成29年7月九州北部豪雨災害を踏まえた避難に関する検討会（内閣府）」より。  
※印を付した内容は、通報時刻ではなく、事後に行った聴き取り調査での住民の回答（時刻の解像度は1時間単位）であることに留意。

注2：危険度の算出方法は次のとおり。

「注意」（黄）・・・流域雨量指数の3時間先までの予測値が、軽微な洪水害が発生しうる値（基準Ⅰ：注意報基準）に到達すると予想。

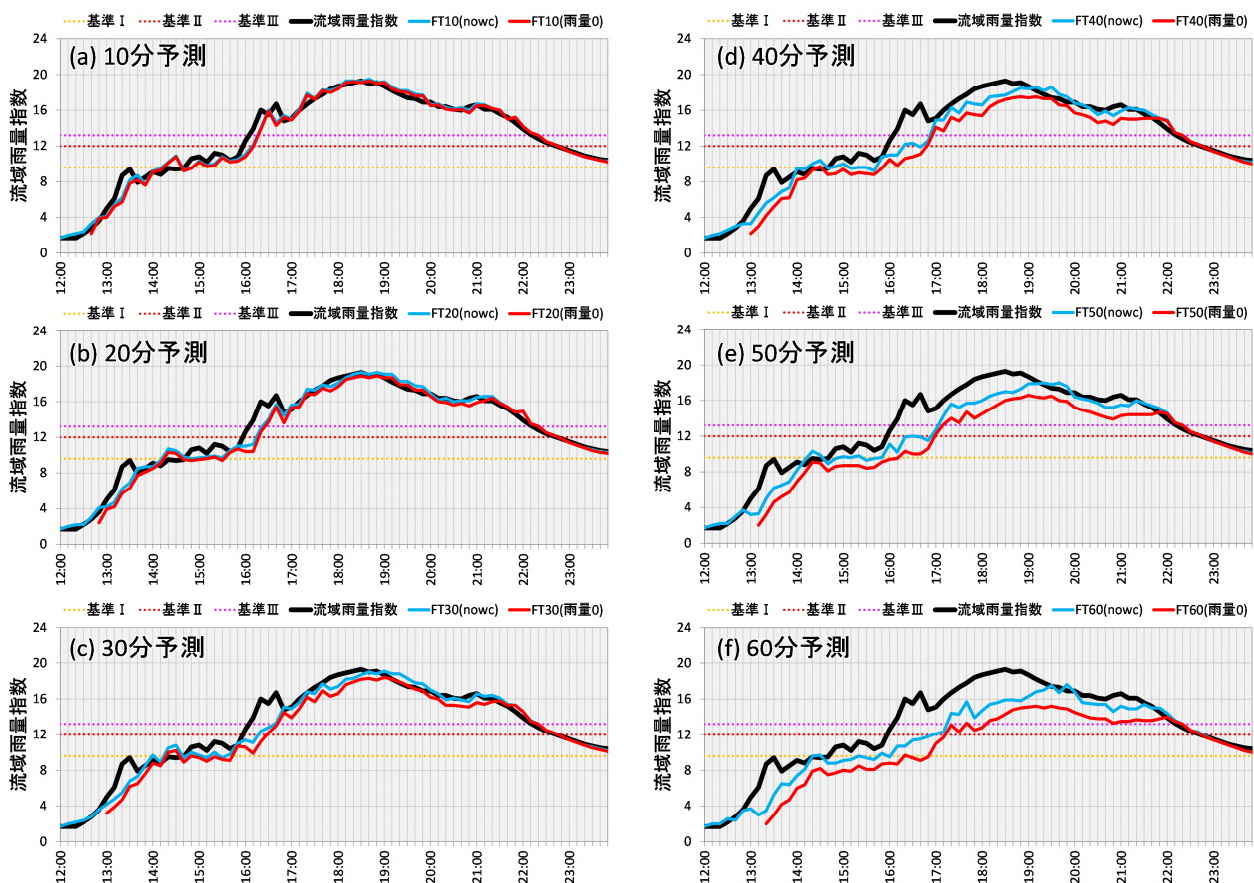
「警戒」（赤）・・・流域雨量指数の3時間先までの予測値が、重大な洪水害が発生しうる値（基準Ⅱ：警報基準）に到達すると予想。

「非常に危険」（うす紫）・・・流域雨量指数の3時間先までの予測値が、過去の重大な洪水害発生時に匹敵する値（基準Ⅲ：警報基準を大きく超過した基準）に到達すると予想。

「極めて危険」（濃い紫）・・・流域雨量指数の実況値が過去の重大な洪水害発生時に匹敵する値にすでに到達。

赤谷川上流部や乙石川（杷木松末地区）では、14 時頃に「道路が崩壊」の住民通報があった。その後、赤谷川中流部（杷木星丸地区）では 15 時頃、赤谷川下流部（杷木松末地区）では 18 時頃になってから「自宅に水が流れ込む」との住民通報があった。洪水警報の危険度分布において、避難開始の目安となる「非常に危険」（うす紫）の危険度が出現したのは、赤谷川上流部や乙石川では 13 時 30 分頃、赤谷川中流部では 15 時 30 分頃、赤谷川下流部では 15 時 50 分頃であった。赤谷川中流部（杷木星丸地区）では、「非常に危険」（うす紫）の出現前に「自宅に水が流れ込む」との住民通報があったことになるが、通報時には「警戒」（赤）の危険度は出現していた。「警戒」（赤）の判定の元となる基準Ⅱ（警報基準）は「過去に発生した外水氾濫に起因する重大な浸水害」や「30 年に一度」といった極めて稀な洪水を見逃さないように発表できるよう設定している。このため、「警戒」（赤）を単に「非常に危険」（うす紫）や「極めて危険」（濃い紫）の前段階の状況と捉えるのではなく、外水氾濫等の重大な洪水害が発生してもおかしくない状況を示していることに留意しておくべきである。

次に、中小河川の流域雨量指数の予測精度について考察する。第 2.2.1 表によると、いずれの地区においても、「非常に危険」（うす紫）と「極めて危険」（濃い紫）の到達時刻には 20～30 分程度の時間差があることがわかる。これには流域雨量指数の予測精度が密接に絡んでいる。第 2.2.2 図は、赤谷川（杷木林田地区）の流域雨量指数のシミュレーションである。



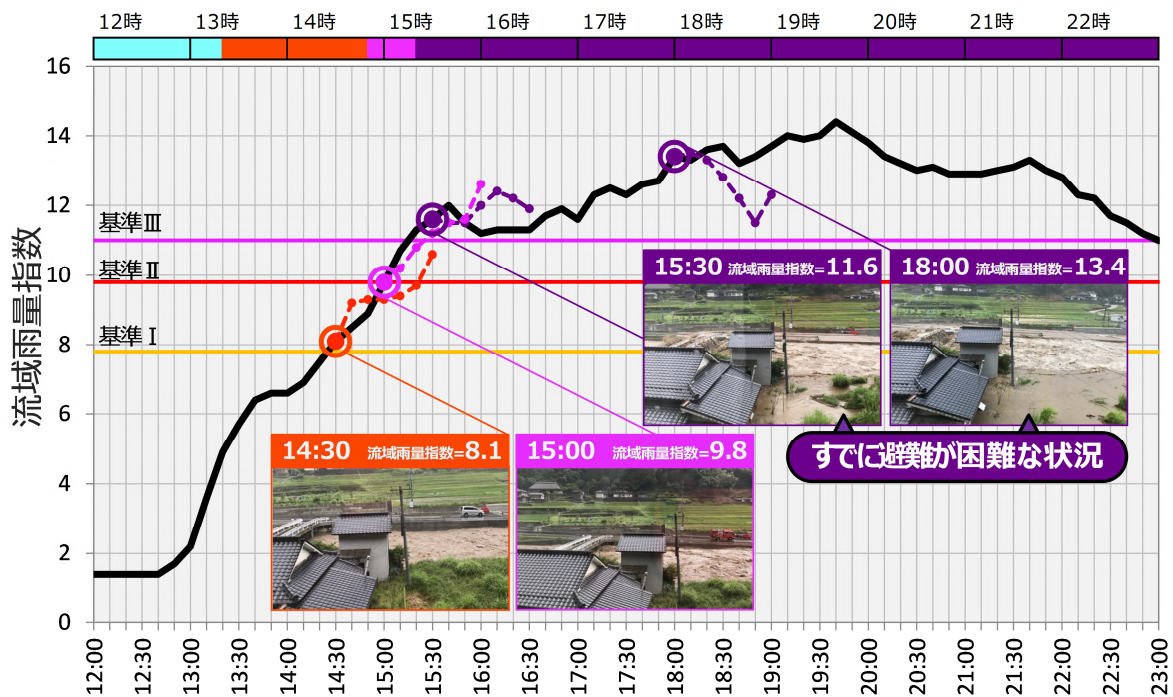
第 2.2.2 図 赤谷川（杷木林田）における流域雨量指数のシミュレーション（2017 年 7 月 5 日）

黒色の実線は、実績降雨（解析雨量）を入力した流域雨量指数、水色の実線は降水ナウキャストを入力した流域雨量指数、赤色の実線は予測雨量を 0 ミリとした場合の流域雨量指数を表す。水色と赤色のグラフは、10 分予測、20 分予測…60 分予測毎に作成している（a～f）。

黒色の実線は実績降雨（解析雨量）を入力した流域雨量指数（以降「解析値」と称す）、水色の実線は降水ナウキャストを入力した流域雨量指数（以降「ナウキャスト予測値」と称す）、赤色の実線は入力雨量を強制的に 0 ミリとして予測計算した場合の流域雨量指数（以降「雨量なし予測値」と称す）である。第 2.2.2 図からは、解析値とナウキャスト予測値と雨量なし予測値がともに降雨終了後の 22 時 30 分以降はほぼ一致していること、ナウキャスト予測値と解析値との差から、本事例では降水ナウキャストが過小であったことなどが読み取れる。ここで、雨量なし予測値と解析値との差に注目すると、予報時間が短くなるにつれてその差が小さくなることがわかる。これは、目先の予測値には実績雨量の寄与が大きく、降雨予測精度にはほとんど依存しないことを示している。中小河川の中でも流域面積の比較的小さい赤谷川の場合には、その効果は概ね 20 分から 30 分程度といえ、これは第 2.2.1 表の「極めて危険」（濃い紫）と「非常に危険」（うす紫）の時間差とも整合的である。なお、リードタイムが 20～30 分というのは、指定緊急避難場所への移動のための時間を十分に確保しているとはいえないが、少しでも高いところへ移動する（谷底平野の外、河岸段丘の上の台地に逃げる）といった避難行動（わずかな水平避難と垂直避難）のために必要な最低限の時間は確保しうると考えられる。

次に、洪水警報の危険度分布の有効性を示す例として、大分県日田市小野川の事例を紹介する。当時、小野川では水位計は設置されておらず、現地の状況把握も難しかった河川である（現在は、危機管理型水位計が設置されて水位の現況が把握可能となったが、水位上昇の見込みを判断するのは依然として容易ではない）。流域雨量指数は 1km メッシュ毎に指数値を算出しているため、洪水警報の危険度分布ではこのような水位観測を実施していない河川の洪水危険度についても把握することができ、さらに、この先の水位上昇の見込みについても判断できる点が非常に有益である。

小野川の流域雨量指数を現場写真の状況から検証したものが第 2.2.3 図である。



第 2.2.3 図 大分県日田市小野川の流域雨量指数と現地の状況（2017 年 7 月 5 日）

破線は 60 分先までの予測値を表す。図の上部にあるカラーバーは、洪水警報の危険度分布における小野川の危険度の色を表す。写真は日田市職員提供。

14時30分の時点では、小野川の水位は増水しているものの、写真を見る限り、まだあふれてはいない。この段階では、小野川の流域雨量指数の実況値は基準Ⅰを超過し、1時間以内に基準Ⅱを超過することを予想していた（洪水警報の危険度分布では赤色の表示）。15時00分の写真では、小野川はさらに増水しているものの、橋の高さまでは達しておらず、家屋の周囲の草むらもまだ浸水していない。このとき、小野川の流域雨量指数の実況値は基準Ⅱを超過し、1時間以内に基準Ⅲを超過することを予想していた（洪水警報の危険度分布ではうす紫色の表示）。そのわずか30分後の15時30分の写真では、激流が橋に打ちつけ、家屋の周囲の草むらも浸水し、すでに屋外への避難が困難な状況になっていたことがわかる。このとき、小野川の流域雨量指数は実況で基準Ⅲを超過していた（洪水警報の危険度分布では濃い紫色の表示）。以上の現場写真との比較から、小野川の流域雨量指数及び洪水警報の危険度分布の危険度は妥当であったといえる。

なお、本事例でもそうであったように、「極めて危険」（濃い紫）は、すでに氾濫した水により道路冠水等が発生し、避難が困難な状況となっているおそれがあることを示すものである。このため、遅くとも「非常に危険」（うす紫）が出現した時点で、河川の水位情報や自治体の避難情報を確認し、速やかに避難を開始することが重要となる。

最後に、洪水警報の危険度分布で「極めて危険」（濃い紫）が出現した河川の被害発生状況を第2.2.2表に示す。「極めて危険」（濃い紫）が出現した河川のうち5割弱の河川で氾濫が発生しており、河岸損傷等の被害も含めると被害発生率は7割弱にまで達する。このことから「極めて危険」（濃い紫）は災害発生の蓋然性が非常に高い状況にあることを示している。

第2.2.2表 「極めて危険」（濃い紫）と被害発生との関係

被害の種類	濃い紫が出現した場合の被害発生率 (濃い紫が出現した河川数：49)
河川の氾濫	47% (被害のあった河川数：23)
河川の氾濫もしくは河岸損傷等の被害	67% (被害のあった河川数：33)

※平成29年7月4日から6日までの福岡県、大分県内の一級河川、二級河川を集計。ただし、洪水予報河川の予報区域を除く。

※被害の情報は、内閣府資料「6月30日からの梅雨前線に伴う大雨及び平成29年台風第3号による被害状況等について」を用いており、被害発生時間は考慮していない。

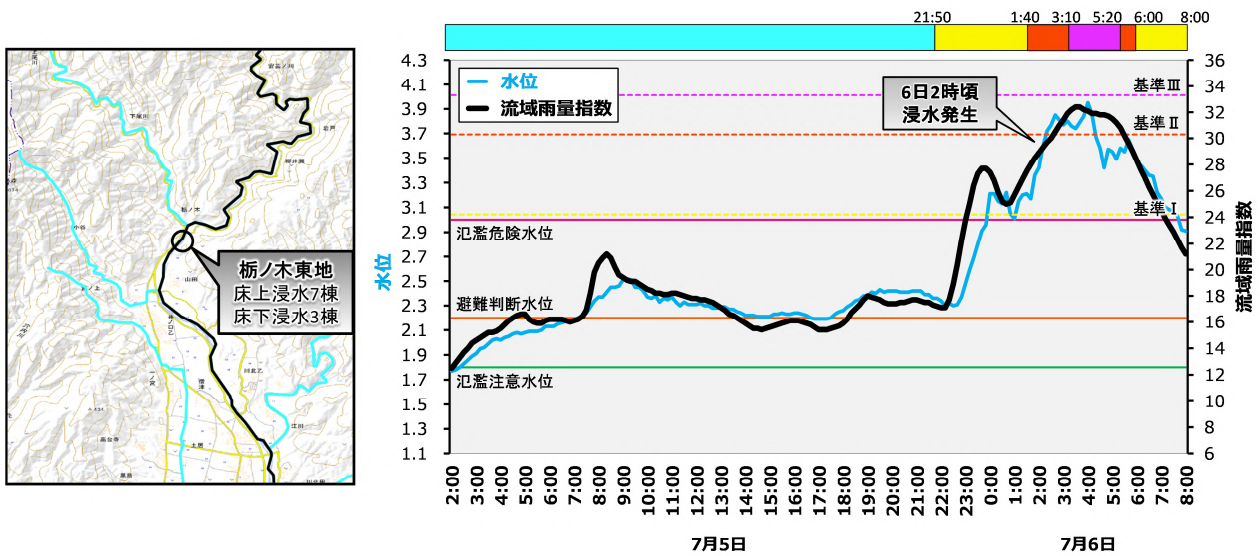
## 2.2.2 平成30年7月豪雨

ここでは、西日本を中心に広い範囲で記録的な大雨となった、平成30年7月豪雨の検証結果を報告する。

### 【高知県安芸市安芸川の氾濫】

7月5日から6日にかけての大雨の影響で、高知県安芸市を流れる安芸川が氾濫し、安芸市栃ノ木東地地区では家屋浸水10棟の浸水被害が発生した。これにより11世帯約20人が一時孤立した。

第2.2.4図に安芸市の被害状況と栃ノ木東地地区における流域雨量指数及び河川水位の状況を示した。ここで流域雨量指数と河川水位のグラフは、両者の変化傾向が比較しやすくなるよう、それぞれの最大値と



第 2.2.4 図 高知県安芸市安芸川の被害状況、流域雨量指数と河川水位の時系列

左図は安芸川（黒線）の被害状況（地理院地図使用）。右図は栃ノ木東地地区の流域雨量指数と栃ノ木水位観測所の水位（左図の黒丸）。図の上部にあるカラーバーは、洪水警報の危険度分布における安芸川の危険度の色を表す。

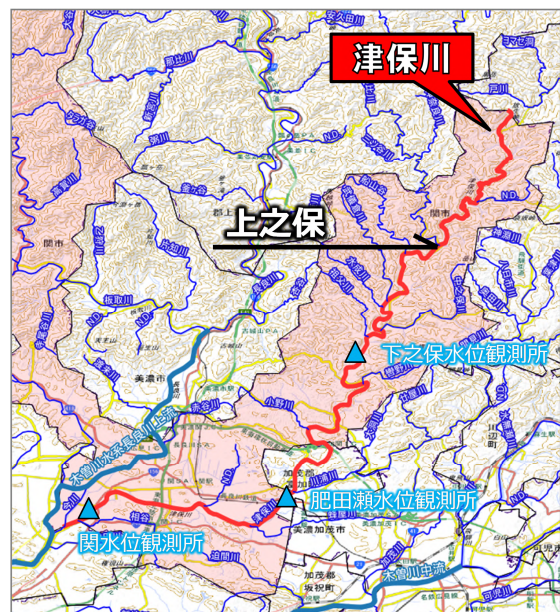
最小値が一致するよう軸を調整している。流域雨量指数は河川水位の細かい変動までは再現できていないものの、大まかな上昇・下降の傾向については両者は良く一致していることがわかる。

一方、重大な洪水害が発生しうる値として設定される基準Ⅱ（警報基準）の実況値による超過は6日2時40分であり、また、基準Ⅱ超過を最初に予想したのは1時40分初期値の降水ナウキャストであった。「警戒」（赤）の出現から災害発生までの時間が20分程度しかなかったこと、実況値での基準Ⅱの超過が災害発生後であったこと、第2.2.4図をみてわかるとおり、氾濫危険水位と基準Ⅰが同等の水準となっていること等を踏まえると、基準Ⅱがやや高い水準となっている可能性がある。今後、基準Ⅱ（警報基準）の見直し（引き下げ）を速やかに検討する必要があると考えられる。

### 【岐阜県関市津保川の氾濫】

岐阜県関市を流れる津保川で氾濫が発生し、床上浸水248棟、床下浸水162棟、全壊家屋12棟、半壊家屋221棟という甚大な被害が生じた（内閣府取りまとめ資料，平成30年10月9日17時00分現在）。また、津保川の上流域にあたる上之保地区（第2.2.5図参照）では、用水路に横転していた車両から一名の死亡が確認されている（岐阜県災害情報，平成30年7月19日16時00分現在）。

第2.2.6図に2018年7月7日21時過ぎから8日4時にかけての津保川流域の雨の状況と洪水警報の危険度分布を示す。7日21時20分に津保川上流の上之保地区で「注意」（黄）が出現し、その後、8日0時20分に「警戒」（赤）が出現した。そのわずか20分後には「非常に危険」（うす紫）が出現し、急激に危険度が高まっている様子がわかる。その後、上之

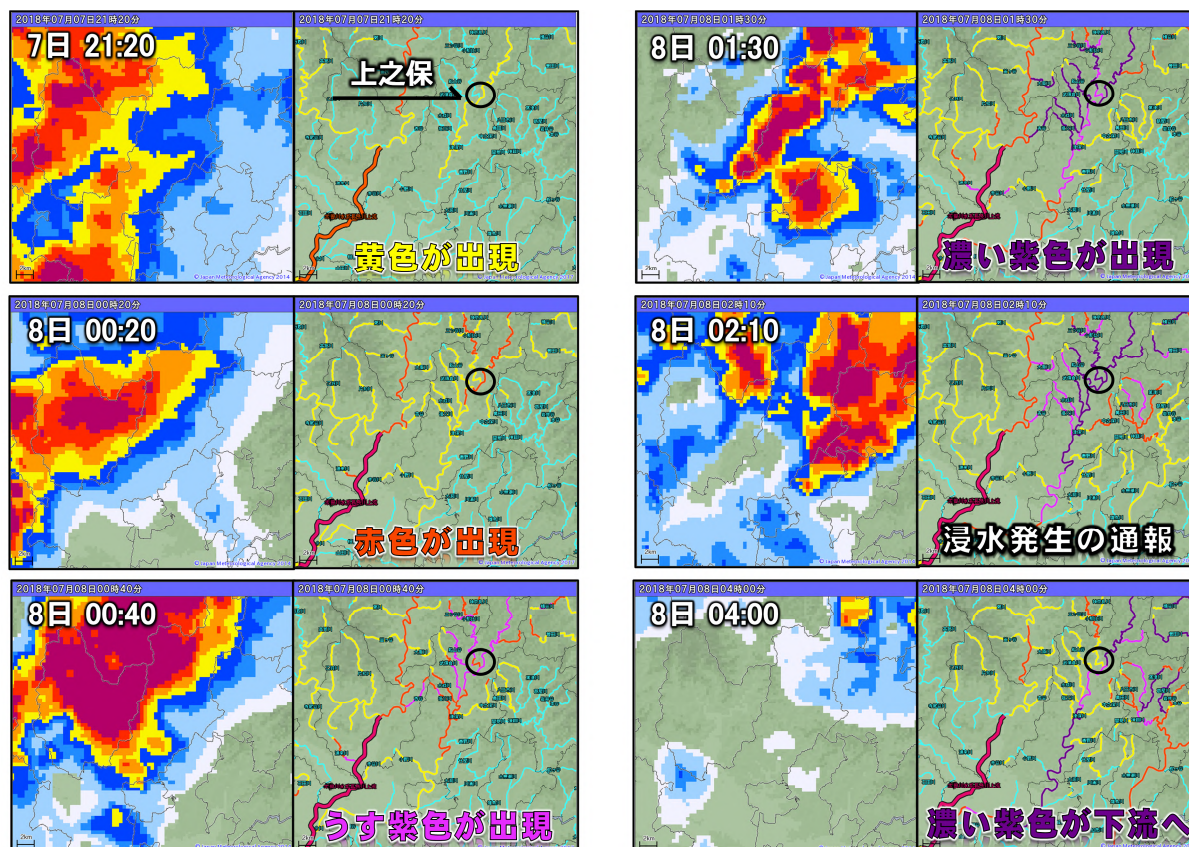


第 2.2.5 図 津保川の位置図

△は水位観測所。赤色の着色は関市を表す（地理院地図使用）。



保地区では1時30分に「極めて危険」（濃い紫）が出現し、この時点で重大な災害がすでに発生しているもおおしくない状況になっていた。関市によると、2時10分に、上之保事務所長より「川合下棚井地区の床上浸水が始まっている」旨の電話情報があったとのことから、洪水警報の危険度分布は津保川流域の危険度を適切に表していたといえる。



第 2.2.6 図 津保川流域の降雨状況と洪水警報の危険度分布  
黒丸は上之保地区の場所を表す。

### 【岡山県倉敷市の洪水災害】

岡山県倉敷市では洪水予報河川である小田川の堤防が決壊し、またその支川である末政川や真谷川でも氾濫が発生した。倉敷市真備町周辺では大規模な浸水によって最大浸水深が5mにも達したと推定されており、52名の方が亡くなるなど甚大な被害が生じた（内閣府取りまとめ資料、平成30年10月9日17時00分現在）。



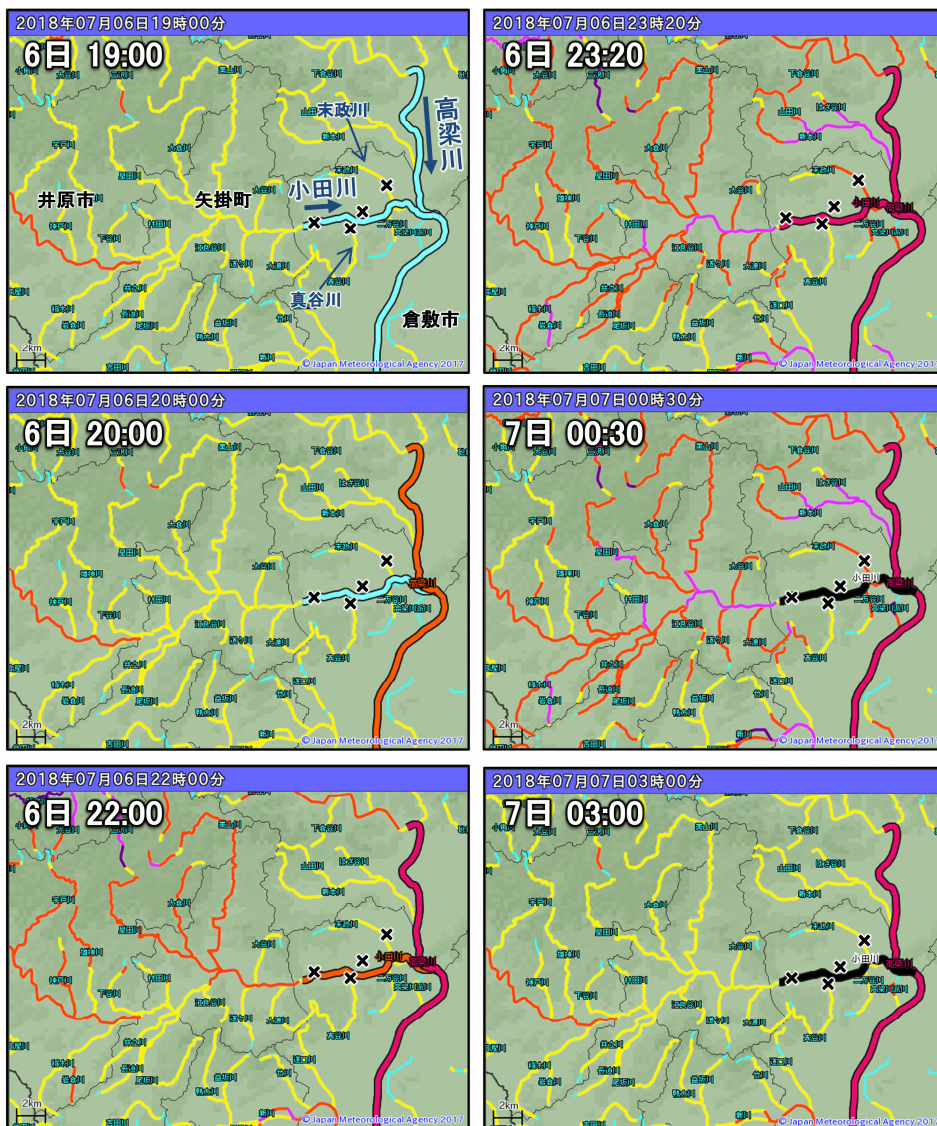
第 2.2.7 図 小田川の位置図  
地理院地図使用。

第 2.2.7 図に小田川流域の地図を、第 2.2.8 図に小田川流域周辺の洪水警報の危険度分布を示した。本事例では、一級河川高梁川の水位上昇が先行し、6日20時00分に高梁川で氾濫警戒情報、21時45分には避難勧告の目安となる氾濫危険情報が発表された。また、小田川でも、その直後の21時50分に氾濫警戒情報、22時20分に氾濫危険情報が発表された。一方、小田川の上流域でも大雨となっており、井原市や矢掛町では22時00分頃から「警戒」（赤）が

広がり、23時20分に「非常に危険」（うす紫）が出現した。その後、小田川では、倉敷市真備町箭田付近において氾濫が発生し、7日00時30分に氾濫発生情報が発表された。

本事例で特徴的なのは、小田川上流（井原市、矢掛町）の洪水危険度の高まりに先行して下流地域（倉敷市真備町）の洪水危険度が高まった点である。これについては、高梁川の背水の影響が指摘されている。もともと小田川は高梁川の水が回り込み、小田川の流れが阻害されて水位が高くなる特性（背水影響）があり、同様に末政川や真谷川についても小田川の背水の影響を受けやすいという地形的な特徴がある。本事例でも高梁川の水位上昇が小田川の堤防決壊や支川の氾濫に影響した可能性がある。

なお、倉敷市では小田川の越水・堤防決壊、末政川や真谷川の氾濫、高馬川（流域雨量指数の計算河川になっていない）の異常出水等が確認されているが、一部を除き、現時点で正確な発生時刻は明らかになっていない。平成30年7月豪雨による水害・土砂災害からの避難に関するワーキンググループによる現地調査でも、末政川等の状況把握は「水位計やカメラの設置がなく、現場からの情報のみ。氾濫発生のおそれの把握が難しい」と報告されている。

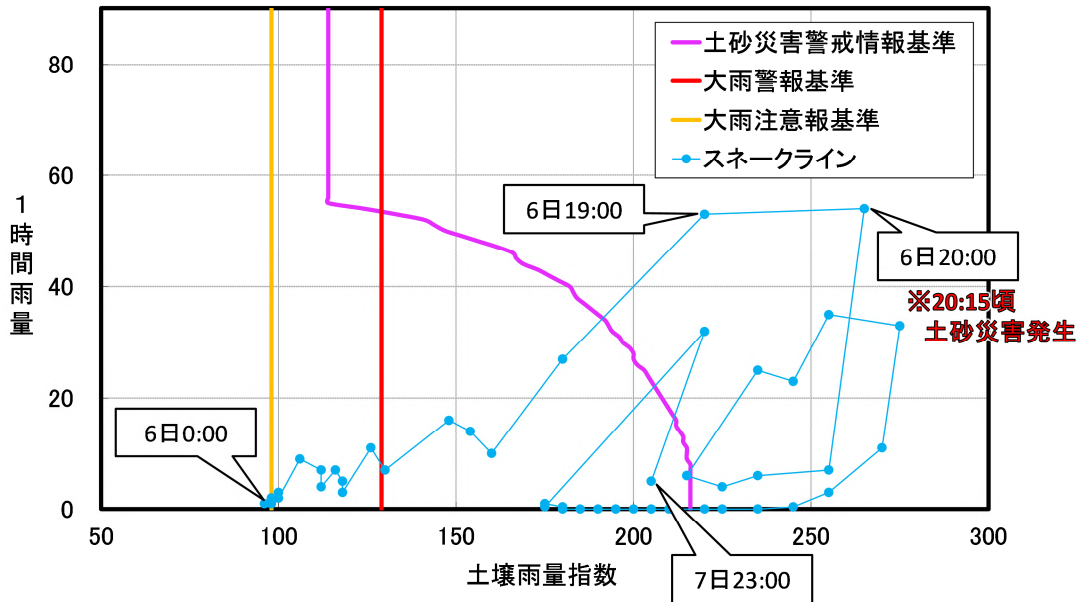


第 2.2.8 図 小田川流域周辺の洪水警報の危険度分布

図中、×は決壊箇所を表す。

### 【広島県広島市の土砂災害】

広島県広島市では多数の土砂災害が発生し、20名もの方が犠牲となった（平成30年7月豪雨による水害・土砂災害からの避難に関するワーキンググループ第一回資料より）。ここでは、広島市の中でも特に被害の大きかった安芸区矢野東地区について、土壌雨量指数による基準超過状況を検証する。



第 2.2.9 図 スネークライン図 (2018 年 7 月 6 日 00 時 00 分～7 日 23 時 00 分)

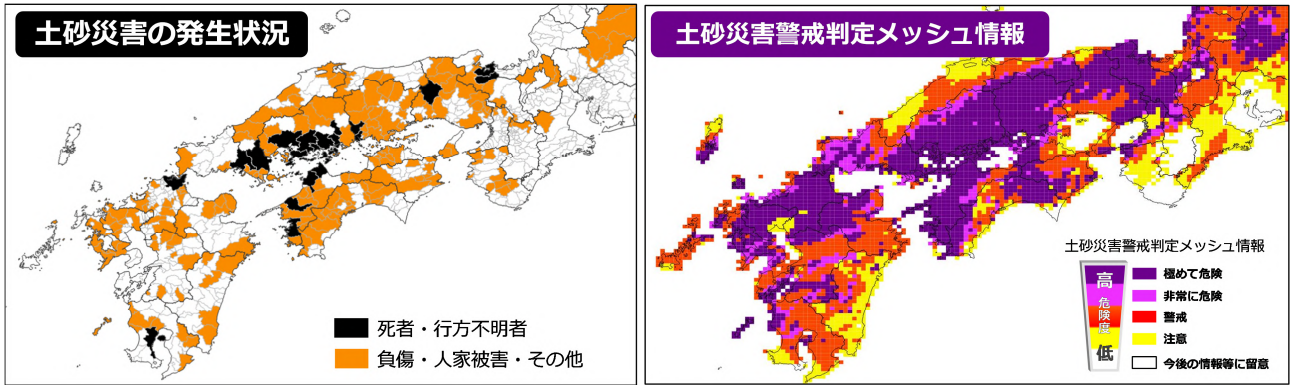
広島県広島市安芸区矢野東地区を含む 1km メッシュ。スネークラインは 1 時間毎のデータで作成。災害発生時刻は、国土交通省砂防部「第 1 回 実効性のある避難を確保するための土砂災害対策検討委員会」資料より。

第 2.2.9 図は、広島市安芸区矢野東地区を含む 1km メッシュのスネークライン図である。スネークラインとは、時々刻々と変化する土壌雨量指数と 1 時間雨量を一定時間毎（ここでは 1 時間毎）につないだ線のこと、一般的には右上の領域に向かうほど土砂災害の危険度が高まっていると考えることができる。特に、スネークラインが土砂災害警戒情報の基準線を実況値を超えた場合は、命に危険が及ぶような土砂災害がすでに発生していてもおかしくない状況であることを示している。安芸区矢野東地区で土砂災害が発生したのは 20 時 15 分であったが、スネークラインは 6 日 19 時 00 分の時点ですでに実況で土砂災害警戒情報の発表基準を超えていた。土壌雨量指数及び土砂災害警戒情報基準による判定結果は、土砂災害発生危険度の高まりを的確に表していたといえる。

土砂災害警戒情報は、基準線を超える予想となったときに市町村単位で発表するものであり、このとき広島市に対しては、6 日 14 時 5 分に土砂災害警戒情報を発表している。また、1km メッシュ単位で見ても 17 時 50 分には基準線を超える予想となっていた。

### 【危険度分布と災害発生場所の地理的対応】

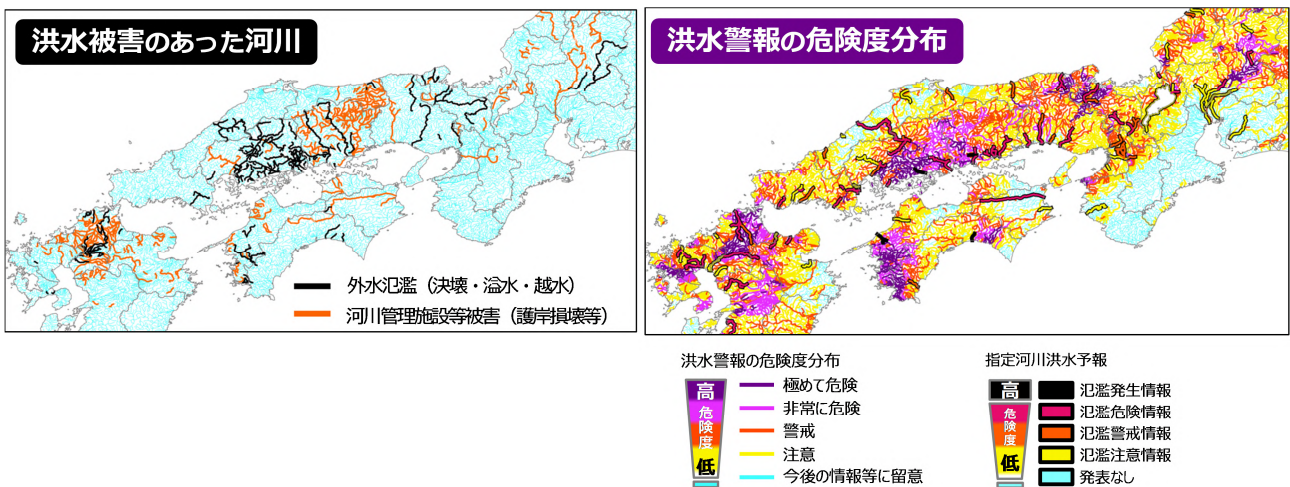
土砂災害の発生場所（市町村単位）と土砂災害警戒判定メッシュ情報の最大危険度との比較を第 2.2.10 図に示す。死者・行方不明者を伴った土砂災害の発生場所は、土砂災害警戒判定メッシュ情報で「極めて危険」（濃い紫）が出現した場所に包含されていることが読み取れる。



第 2.2.10 図 土砂災害の発生状況と土砂災害警戒判定メッシュ情報

被害の情報は、内閣府資料「平成30年7月豪雨等による被害状況等について」（平成30年8月7日14時00分現在）を用いた。土砂災害警戒判定メッシュ情報は、平成30年6月28日から7月8日までの最大危険度を表示している。

同様に、洪水被害のあった河川（河川単位）と洪水警戒の危険度分布との比較を第 2.2.11 図に示す。多数の河川が氾濫した広島県、岡山県、福岡県をはじめ、愛媛県（肱川、広見川等）、高知県（物部川、安芸川等）、京都府（由良川、竹野川等）、岐阜県（飛騨川、津保川等）では、洪水警戒の危険度分布で「極めて危険」（濃い紫）が出現していた。ただし、島根県（八戸川、濁川等）では洪水警戒の危険度分布の危険度が低くなっており、これについては江の川の背水の影響の可能性が考えられる。今後、基準値の精査が必要と思われる。



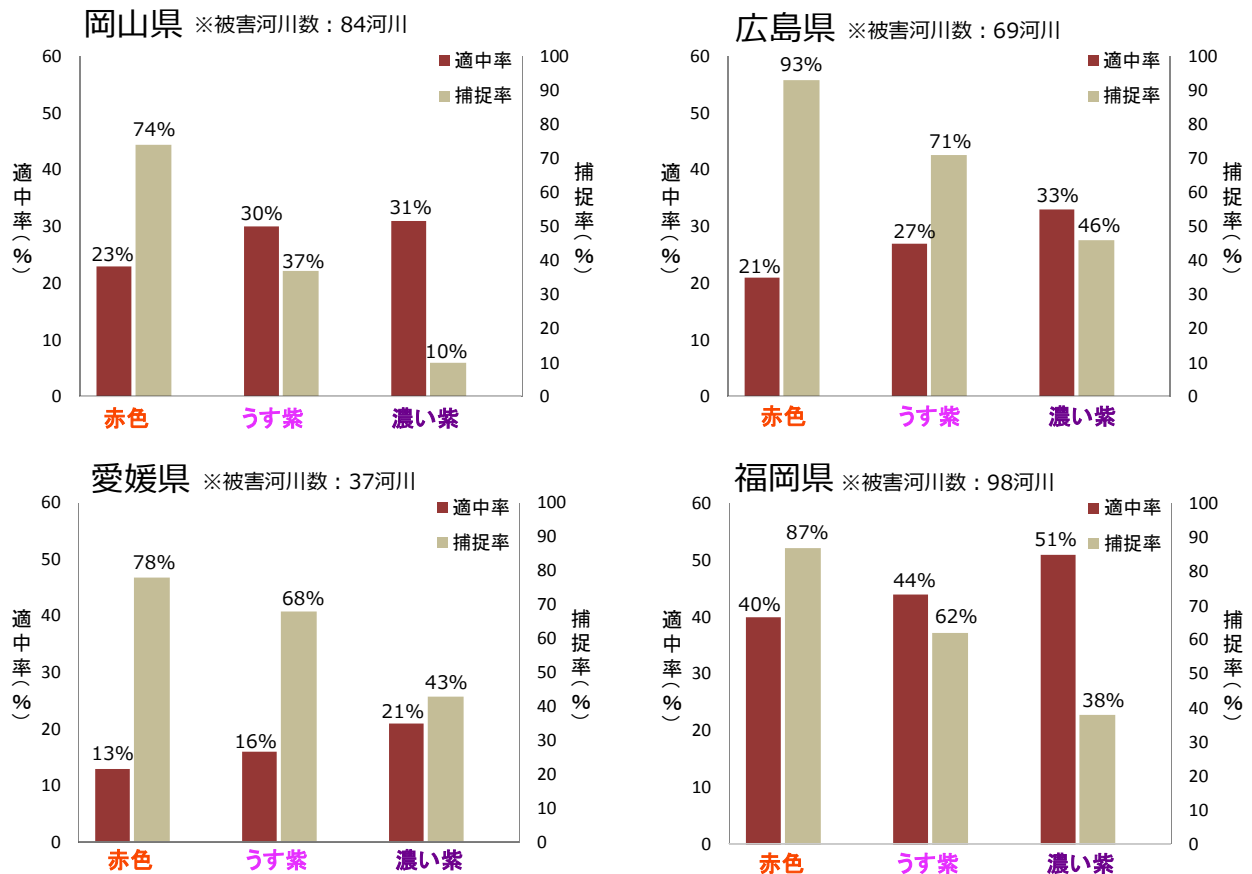
第 2.2.11 図 洪水被害のあった河川と洪水警戒の危険度分布

被害の情報は、内閣府資料「平成30年7月豪雨等による被害状況等について」（平成30年8月7日14時00分現在）を用いた。洪水警戒の危険度分布は、平成30年6月28日から7月8日までの最大危険度を表示している。

【洪水警戒の危険度分布の適中率と捕捉率】

最後に、平成30年7月豪雨における洪水警戒の危険度分布の適中率、捕捉率を示す。第 2.2.12 図は、被害河川数の多かった岡山県、広島県、愛媛県、福岡県を対象に、被害の有無と危険度分布の最大危険度を河川毎に集計して適中率と捕捉率を算出した結果である。洪水警戒の危険度分布の「極めて危険」（濃い紫）の適中率（「極めて危険」（濃い紫）が出現した河川のうち、洪水被害が実際に発生した河川の割合）は、およそ2割から5割程度であった。また、捕捉率（洪水被害が発生した河川のうち、危険度が出現した河川

の割合)については、「極めて危険」(濃い紫)はいずれの県も5割未満となっているものの、「警戒」(赤)についてはおよそ7割から9割程度であった。これらの数値は、基準作成時(従属資料)と同等であり、「極めて危険」(濃い紫)は適中率を重視、「警戒」(赤)は捕捉率を重視した基準設定のコンセプトに沿ったものであることに留意されたい。



第 2.2.12 図 洪水警報の危険度分布の適中率、捕捉率

平成 30 年 7 月豪雨において被害河川数の多かった岡山県、広島県、愛媛県、福岡県を対象に、被害の有無と危険度分布の最大危険度を河川毎に集計し、適中率と捕捉率を算出。ただし、洪水予報河川を除く。

被害の情報は、内閣府資料「平成 30 年 7 月豪雨等による被害状況等について」(平成 30 年 8 月 7 日 14 時 00 分現在)を用い、家屋や田畑への浸水及び河岸損傷等の被害を対象とした。被害発生時刻は考慮していない。

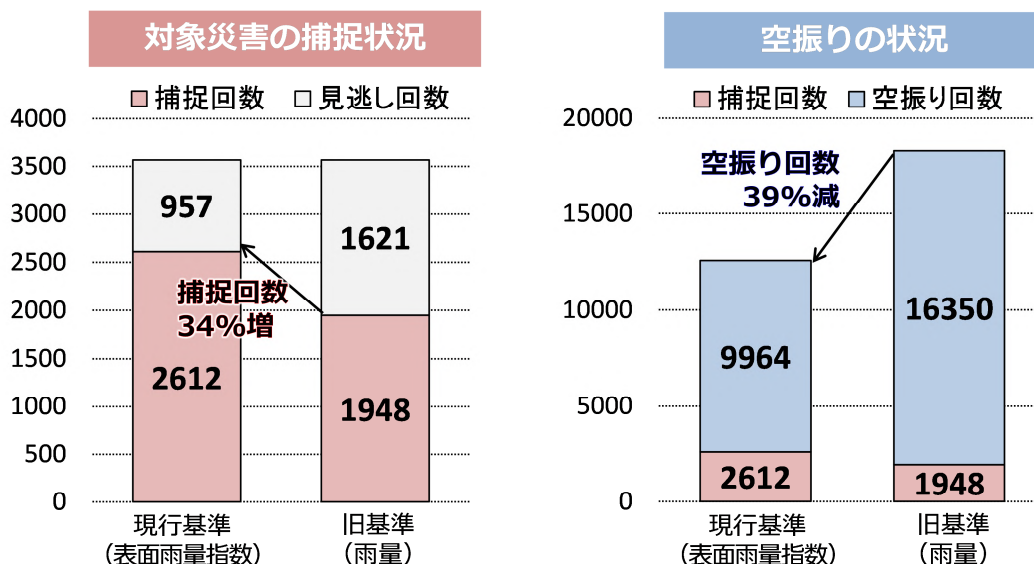
## 2.3 統計的な精度検証

### 2.3.1 大雨警報(浸水害)、洪水警報の基準の評価

ここでは、大雨警報(浸水害)及び洪水警報の基準設定時の調査データを用いて、平成 29 年(2017 年)7 月に運用を開始した現行基準の災害捕捉状況を示す。ただし、従属資料による検証であるため、厳密な意味での精度評価ということではなく、基準設定時の想定パフォーマンスを意味するものであることに留意されたい。

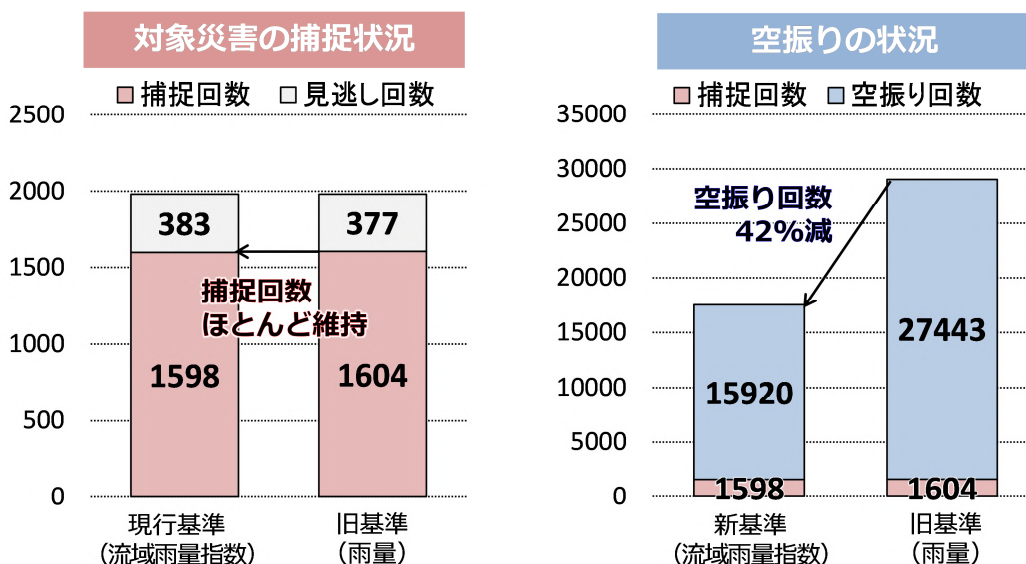
第 2.3.1 図は大雨警報(浸水害)の災害捕捉状況である。表面雨量指数基準は、従来の雨量基準に比べ、災害捕捉状況を改善したうえで、空振り回数を大幅に低減していることがわかる。洪水警報(第 2.3.2 図)についても、災害の捕捉状況はほとんど維持したまま、空振り回数を大幅に低減している。

災害捕捉を維持したまま警報の空振り回数が大幅に減ることにより、自治体や住民の方の警報に対する信頼性がより一層高まることが期待される。これは、自治体による避難情報の的確な発令や住民の主体的な避難促進につながるものとして極めて重要である。



第 2.3.1 図 大雨警報（浸水害）の災害捕捉状況

1991 年から 2013 年にかけて、全国市町村で発生した浸水害（対象災害は市町村との調整も踏まえ設定しており、市町村毎に異なる）に対して、平成 29 年（2017 年）7 月に導入した表面雨量指数基準の災害捕捉回数と空振り回数（基準を超えても災害が発生しなかった回数）を示す。比較のため、それまで用いていた雨量基準の結果もあわせて示した。



第 2.3.2 図 洪水警報の災害捕捉状況

1991 年から 2013 年にかけて、全国市町村で発生した外水氾濫に起因する水害事例（対象災害は市町村との調整も踏まえ設定しており、市町村毎に異なる）に対して、平成 29 年（2017 年）7 月に導入した新基準（流域雨量指数基準、複合基準）の災害捕捉回数と空振り回数（基準を超えても災害が発生しなかった回数）を示す。比較のため、それまで用いていた旧基準（雨量基準、複合基準、流域雨量指数基準）の結果もあわせて示した。

### 2. 3. 2 客観予測資料の精度検証

以下の方法で客観予測資料の精度検証を行った。

○期間：2017年7月5日から10月31日まで

○対象：降水ナウキャストを入力した毎10分の表面雨量指数・流域雨量指数の予測値

降水短時間予報を入力した毎30分の表面雨量指数・流域雨量指数の予測値

MSM平均降水量ガイダンスを入力した毎1時間の流域雨量指数の予測値

※短時間の基準超過事例については、降水ナウキャストでは評価されているが、MSM平均降水量ガイダンスでは評価されていないことに留意。

○方法：表面雨量指数は全計算格子、流域雨量指数は主要な河川の代表格子の流域雨量指数基準が対象（複合基準は対象外）。

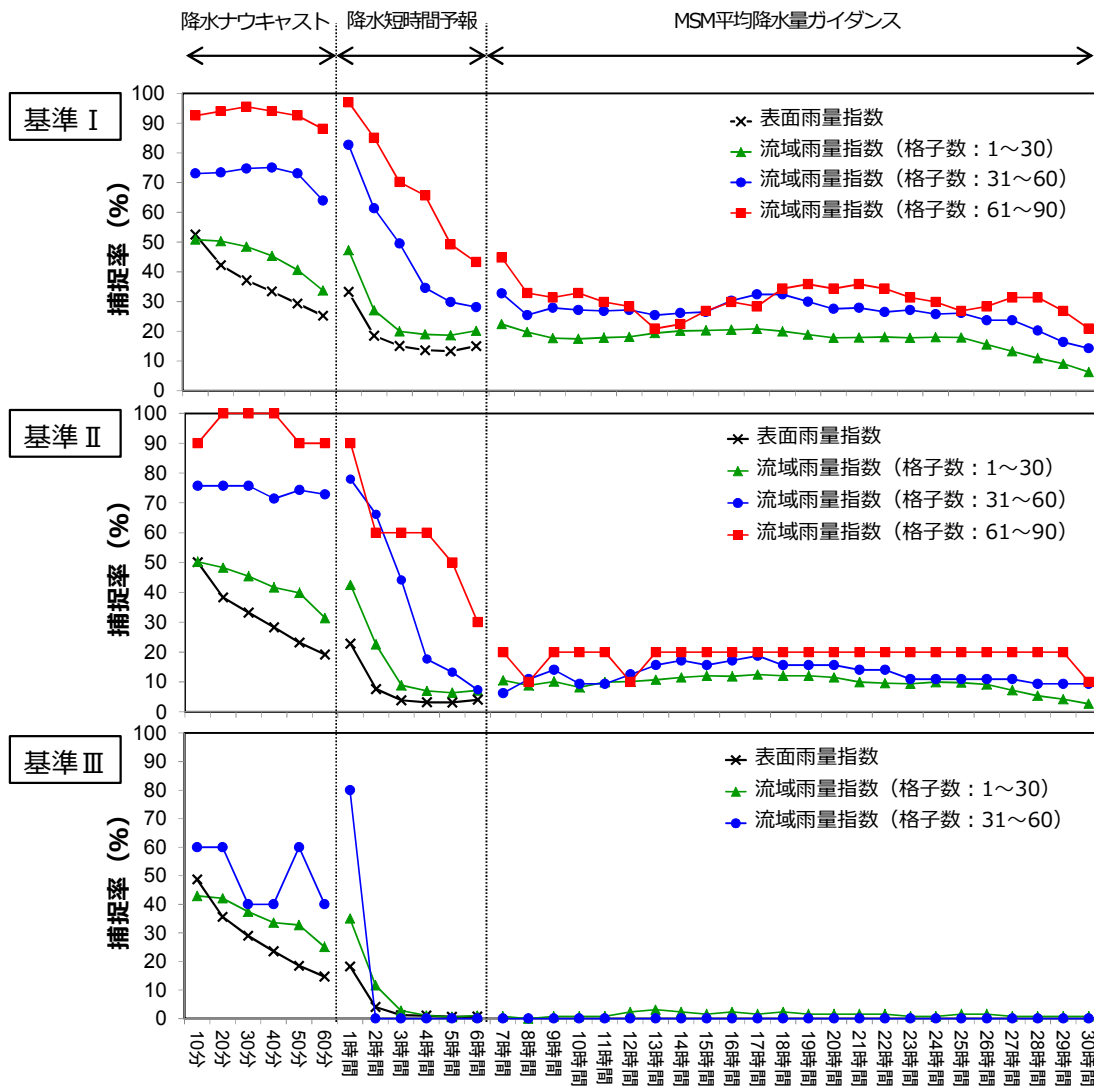
流域雨量指数については、河川長による予測精度の違いを比較するため、最上流格子からの格子数に応じて、3つのグループに分けて検証を実施。

基準Ⅰ、Ⅱ、Ⅲそれぞれに対して、「実況あり／なし」「予報あり／なし」の2×2分割表を作成し、捕捉率（実況値で基準超過した事例のうち、予測値で基準超過した事例の割合）を算出。これは、予測のリードタイムがどの程度の割合で確保できているかを意味する。

第2.3.3図に検証結果を示す。予測精度に関する一般的な傾向として、予報時間が延びるほど捕捉率が低くなるといえるが、特に降水短時間予報における1時間から3時間のところで急激な精度低下がみられる。MSM平均降水量ガイダンスについては、予報時間が延びることによる精度の低下はあまりみられず、降水短時間予報の6時間先予測と同程度の精度が25時間程度まで持続している。

流域雨量指数については、最上流からの距離が長くなる（≒流域面積が大きい）ほど精度が高いという傾向があらわれている。これには流域雨量指数の計算特性が関係しており、流域面積が大きいほど“実況降雨の寄与”や“予想雨量の位置誤差の吸収”の効果が大きくなるため、流域雨量指数の予測精度は流域面積の大きい河川ほど相対的に高い傾向にある。第2.3.3図からは、最上流からの距離による精度の違いは6時間程度まで認められる。

表面雨量指数については（直上の降雨によって指数値が算出されることから）雨量の予測精度への依存度が大きく、流域雨量指数に比べて精度が低い傾向にある。このことから、特に大雨警報（浸水害）に関しては、予報担当者による予想雨量に基づいて適切なリードタイムを確保して発表することが重要となる。



第 2.3.3 図 客観予測資料の精度検証

表面雨量指数と流域雨量指数の基準 I、II、III に対する捕捉率（実況値で基準超過した事例のうち、予測値で基準超過した事例の割合）。流域雨量指数については、最上流格子からの格子数に応じて 3 つのグループに分類した。図中、流域雨量指数（格子数：1～30）は、最上流格子から数えて 1 番目から 30 番目の格子が対象となっていることを示す。なお、流域雨量指数（格子数：61～90）の基準 III については、基準超過が実況／予測ともになかったため、図には記載されていない。

### 2. 3. 3 実際に発表された大雨警報・洪水警報の精度検証

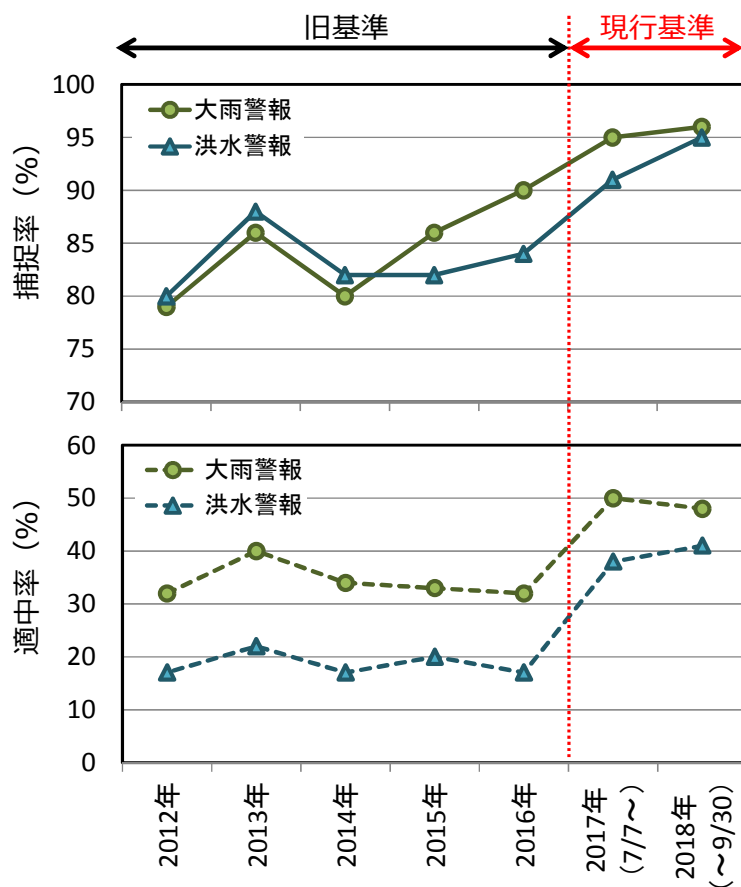
本節の最後に、実際に発表された大雨警報・洪水警報の精度検証結果を示す。

第 2.3.4 図は、2012 年から 2018 年にかけての各年の大雨警報、洪水警報の検証結果（実況値での基準超過に対する実際に発表した警報の捕捉率・適中率）である。捕捉率については、2017 年 7 月より以前の旧基準では、大雨警報、洪水警報ともに 80% から 90% 程度であったが、2017 年 7 月以降の現行基準では、ともに 90% を超える捕捉率となっている。特筆すべきは適中率で、旧基準については、大雨警報が 30%～40% 程度、洪水警報が 20% 程度であったものが、現行基準では大雨警報が 50% 程度、洪水警報 40% 程度と、どちらの適中率も大幅に改善している。降水ナウキャストや降水短時間予報などの客観予測資料の予測精度向上に日々取り組んでいるものの、2017 年以降に大幅な精度向上があったわけではないことから、2017 年以降の捕捉率・適中率の改善は、基準指標が変わったことによる発現回数（実況値による基準超過頻度）の減少や（客



観予測資料でみた場合の) 雨量予測に対する指数予測の優位性などが考えられる。

このように、新たに導入した表面雨量指数基準や洪水警報の基準は、単なる災害との対応改善にとどまらず、実際に発表する大雨警報、洪水警報の精度向上にも大きく貢献しているといえる。



第 2.3.4 図 大雨警報、洪水警報の捕捉率（上図）、適中率（下図）

2012 年から 2018 年にかけての各年の結果。2017 年 7 月 7 日から現行基準の運用を開始したため、2017 年の検証は 7 月 7 日以降の事例を対象とした。また、2018 年の検証は 9 月 30 日までの事例を対象とした。なお、大雨警報の検証において、土砂災害を対象とした土壌雨量指数基準と浸水害を対象とした表面雨量指数基準の区別はしていない。

## 参考文献

太田琢磨, 2016: 浸水雨量指数と浸水害警戒判定メッシュ情報 -浸水害と対応の良い新たな指標-. 平成 27 年度予報技術研修テキスト, 112-122.

太田琢磨, 2017: 大雨・洪水警報作業に用いる新しい指数. 平成 28 年度予報技術研修テキスト, 30-41.

## 第3章 ひまわり 8号による総観スケール現象の把握

### 3.1 はじめに\*

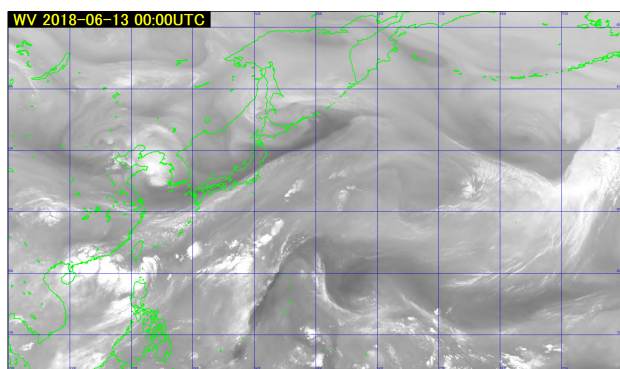
これまでの予報技術研修テキストの「ひまわり」シリーズでは、ひまわり 8号による多バンドで高分解能（時間・空間）な観測の利点を生かすテーマとして、「ひまわり 8号 RGB 合成画像の基礎」（平成 27 年度）、「ひまわり 8号の画像を用いた霧の監視」（平成 28 年度）、「ひまわり 8号による積乱雲の監視」（平成 29 年度）を解説してきた。今年度の予報技術研修テキストは、広範囲の領域を定常的に観測できる静止気象衛星の利点と、Airmass RGB 合成画像などのカラー画像の利便性を活かし、衛星画像による大気の大規模現象の把握をテーマに解説する。3.2 節では、総観スケール現象の把握に用いる各種の衛星画像を紹介する。3.3 節では、総観スケール現象の把握に便利な Airmass RGB 合成画像の利用を、従来から利用してきた水蒸気画像とも比較しながら解説する。最後の 3.4 節では、ひまわり 8号の各種衛星画像を用いて、大雨や突風、大雪について解析した事例を紹介する。

### 3.2 総観スケール現象の把握に用いる各種衛星画像\*

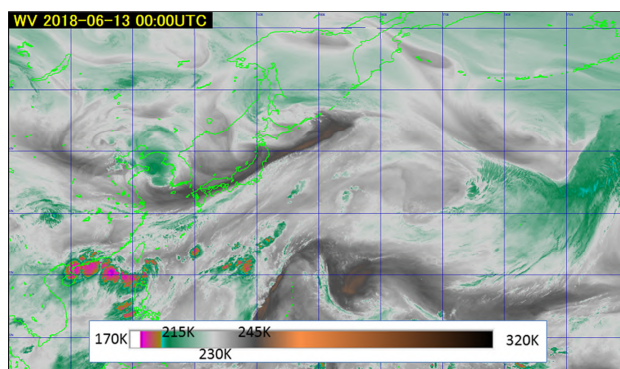
ここでは、総観スケール現象の把握において重要となる水蒸気画像（バンド 08（B08）～バンド 10（B10））と Airmass RGB 合成画像の特徴を解説する。また、RGB 合成画像とは作成方法が異なるが True color 再現画像についても有益な事例を紹介する。

可視画像（B03）や赤外画像（B13）は、観測画像の中では基本的な画像であり、総観スケール現象の把握においても、まずは確認すべき画像である。また、総観スケール現象の把握に利用できる RGB 合成画像として、Natural color RGB 合成画像や Day microphysics RGB 合成画像、Night microphysics RGB 合成画像もあげられるが、これらの画像については平成 27 年度から 29 年度の予報技術研修テキストにおいて解説しているためそちらを参照されたい。

#### 水蒸気画像（B08～B10）



第 3.2.1 図 水蒸気画像（B08）  
（2018 年 6 月 13 日 9 時）

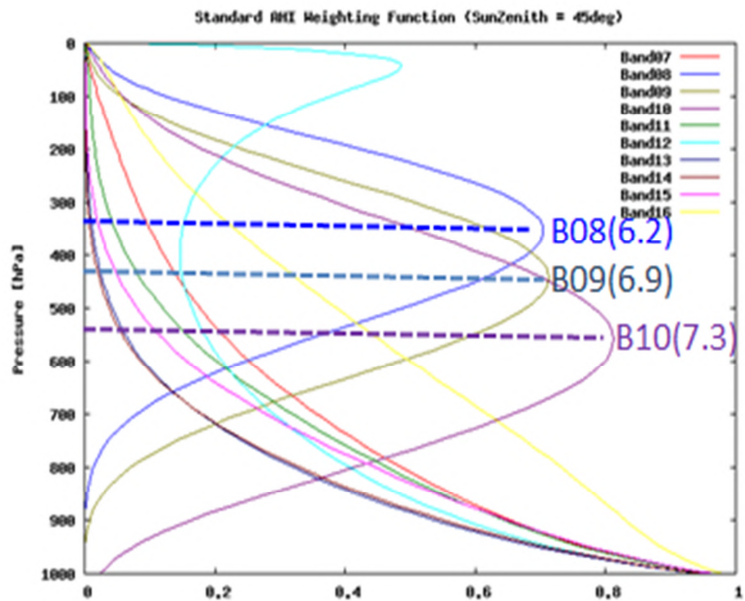


第 3.2.2 図 カラースケール表示の水蒸気画像（B08）  
（2018 年 6 月 13 日 9 時）

第 3.2.1 図には、水蒸気画像として従来からよく利用されている B08 の水蒸気画像を示した。また第 3.2.2 図には、水蒸気画像（B08）の輝度温度帯に注目してカラー表示した画像を示した。水蒸気画像（B08～B10）は、赤外線観測波長を水蒸気の吸収帯に設定して観測している。このため、大気中の水蒸気の多

\*寺坂 義幸（気象衛星センターデータ処理部解析課）

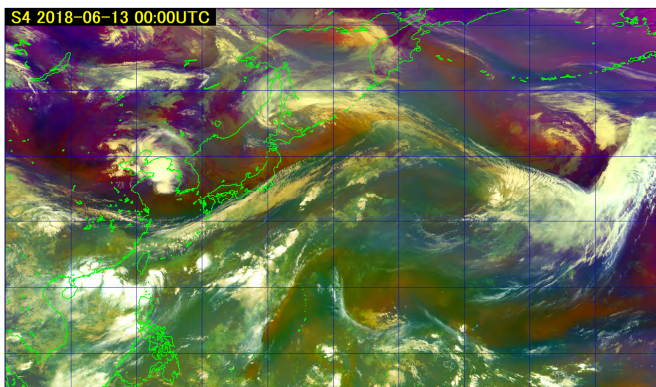
寡や水蒸気をトレーサーとして利用し、大気の流れを可視化して観測することができる。特に、第 3.2.2 図のカラースケール表示の水蒸気画像は、特定の輝度温度帯に着色しているため、上・中層の大気の流れやトラフ、リッジ、渦などがわかりやすい。また水蒸気画像は、バンドにより観測される大気の高度が異なり、中緯度の標準大気では、B08 は概ね 350hPa 付近、B09 は、概ね 450hPa 付近、B10 は概ね 550hPa 付近の高度に感度の中心を持つ（第 3.2.3 図参照）。ただし、季節や大気中の水蒸気量に依存して変化する。これら 3 種類の水蒸気画像（B08～B10）をうまく組み合わせることで、上・中層大気における水蒸気のおおよその高度分布を把握することが可能となる。水蒸気画像では、上・中層の大気の流れやトラフ、リッジ、上層渦などがわかるため、総観スケールの気象の場や現象を把握するためには欠かせない画像である。



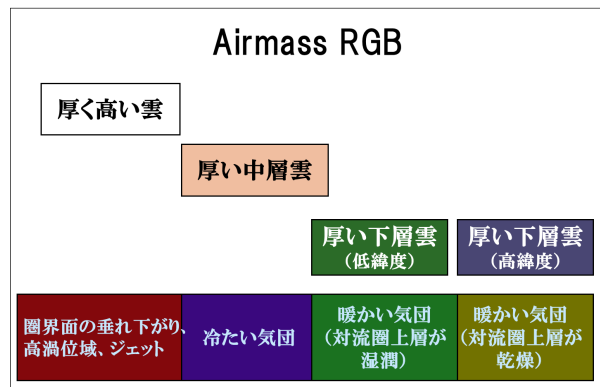
第 3.2.3 図 ひまわり 8 号 各赤外バンドの荷重関数  
(中緯度標準大気で計算)

### Airmass RGB 合成画像

第 3.2.4 図には Airmass RGB 合成画像を示した。また、第 3.2.5 図にはこの RGB 画像の色解釈を示した。この画像は、赤色に B08 と B10 の差分画像、緑色に B12 と B13 の差分画像、青色に B08 の画像を割り当て作成している。この画像では Ci ストリークやトランスバースラインなどの上層雲や積乱雲などの厚い雲域は白色に表示される。また暖かい気団や冷たい気団、圏界面の垂れ下がり、高渦位域、ジェットなどの状況も雲域と同時にわかるため、総観スケールの気象の場や現象が理解しやすい（3.3 節参照）。

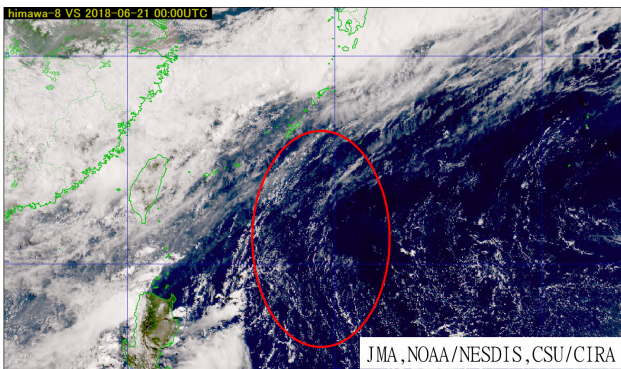


第 3.2.4 図 Airmass RGB 合成画像  
(2018 年 6 月 13 日 9 時)

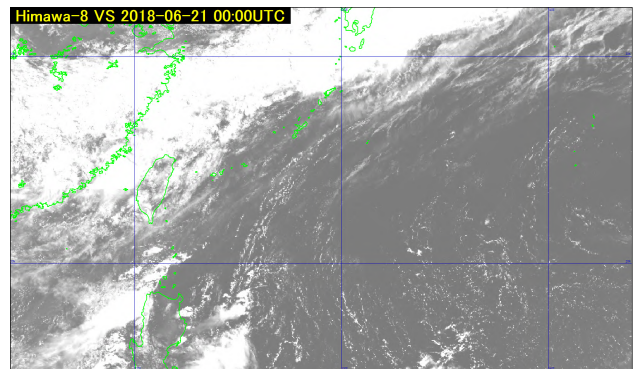


第 3.2.5 図 Airmass RGB 合成画像の色解釈

## True color 再現画像



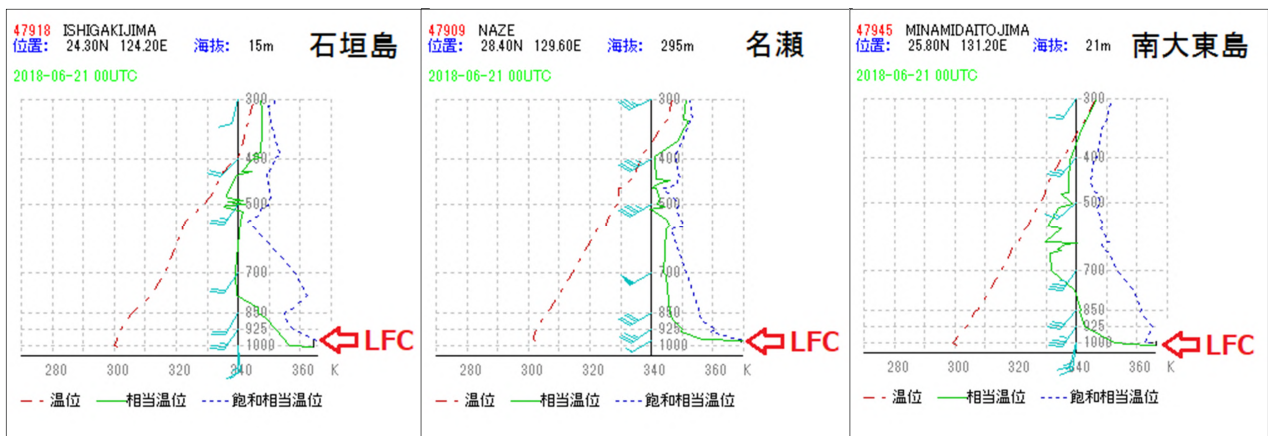
第 3.2.6 図 True color 再現画像  
(2018 年 6 月 21 日 9 時)



第 3.2.7 図 表示階調を明るくした可視画像 (B03)  
(2018 年 6 月 21 日 9 時)

第 3.2.6 図には、True color 再現画像を示した。True color 再現画像は、3 種類の可視画像 (B01～B03)、近赤外画像 (B04)、赤外画像 (B13) を用いて、大気による光の散乱の効果を補正するとともに、色調や階調を補正して作成したカラー画像である。なお、この画像は人が肉眼で見た場合と色調が同等になるように調整されている。この画像は、下層雲が強調されて表示されるため、積雲や霧・下層雲などの大気下層の雲域や現象がよくわかる。また、砂塵や火山灰といった「ダスト」や「もや」などの大気中の浮遊物質と雲域とが色調の違いにより区別しやすい。

この True color 再現画像を利用した総観スケールの気象現象把握の一例として、南西諸島の下層に湿潤な空気が入っていた事例 (2016 年 6 月 21 日 9 時) を紹介する。第 3.2.7 図には、第 3.2.6 図と同時刻の可視画像 (B03) の表示階調を明るくして示した。どちらの画像でもフィリピンの東海上から南西諸島の東海上にかけて線上に伸びた積雲列が多くみられる。特に第 3.2.6 図の True color 再現画像では、積雲列が明瞭にわかる (赤丸付近)。この線上に伸びた積雲列は、太平洋高気圧の縁辺をまわる下層に湿潤な空気が入っていることを示唆している。第 3.2.8 図には、このときの高層観測の温位エマグラムを示した。温位エマグラムから計算した自由対流高度 (LFC) はごく下層の高さとなっていて、地表面付近の湿った空気が何らかの要因でこの自由対流高度を越えれば、外力なしに対流圏上部まで持ち上がる可能性を示している。ただ、実際の観測では上・中層の大気が乾いていたため、積雲列が発生する程度となっていた。観測点の少ない洋上での下層の暖湿流の把握には便利な画像である。

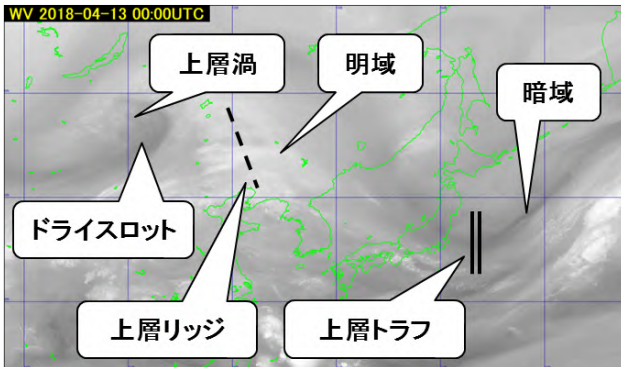


第 3.2.8 図 温位エマグラム (2018 年 6 月 21 日 9 時)

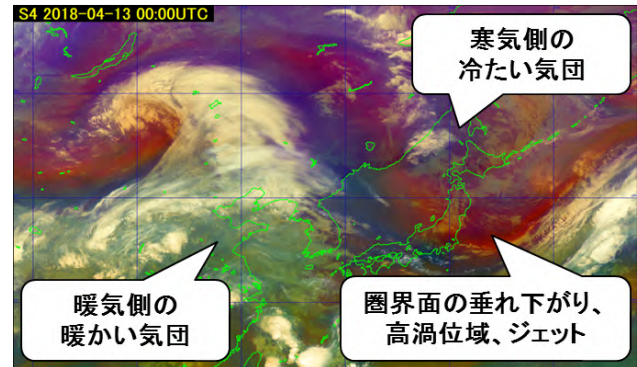
### 3. 3 衛星画像による総観スケールの気象の場や現象の把握\*

ここでは、従来から利用されてきた水蒸気画像と比較しながら、ひまわり 8 号の Airmass RGB 合成画像の利用を中心に、総観スケールの気象の場や現象の把握について解説する。

#### 3. 3. 1 明域、暗域、暗化域、ドライスロット、上層渦などの把握



第 3.3.1 図 水蒸気画像 (B08)  
(2018 年 4 月 13 日 9 時)



第 3.3.2 図 Airmass RGB 合成画像  
(2018 年 4 月 13 日 9 時)

第 3.3.1 図には、2018 年 4 月 13 日 9 時のひまわり 8 号の水蒸気画像 (B08) を示す。この水蒸気画像で見られる「明域」は輝度温度の低い領域を表しており、大気の上・中層に水蒸気が多いか、上・中層に雲頂を持つ背の高い雲域があることを示す。一方、「暗域」は、輝度温度の高い領域を表し、上・中層大気の水蒸気が少ないことを示している。また、「暗域」が時間とともに暗さを増すことを「暗化」と呼び、その「暗化域」は、大気の沈降場との対応がみられ、上層トラフの深まりや高気圧の強まりを示している。

ところで、発達中の低気圧の中心に向かって、寒気側から入り込む乾燥気塊の流入を「ドライスロット」と呼ぶ。第 3.3.1 図の事例では、「ドライスロット」を示す「暗域」が低気圧の中心付近まで達している。

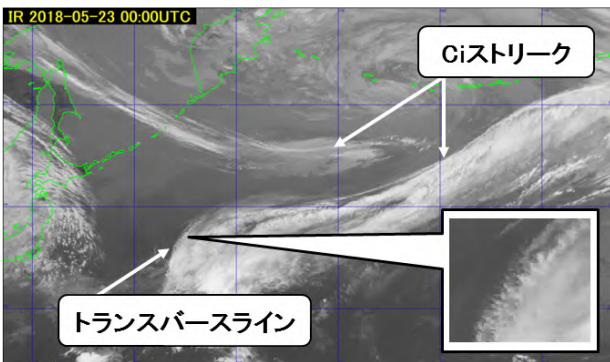
第 3.3.2 図には、第 3.3.1 図と同時刻の Airmass RGB 合成画像を示した。Airmass RGB 合成画像では、雲頂が高く厚い雲域は白色に表示される。また、暖かい気団、冷たい気団、圏界面の垂れ下がり、高渦位域、ジェットなどの状況もわかる (第 3.2.5 図の色解釈参照)。水蒸気画像 (B08) と Airmass RGB 合成画像を比較すると、「明域」は上層のリッジに発生した雲域や上層の湿りに対応する。一方、「暗域」が時間とともに暗さを増す「暗化域」は、Airmass RGB 合成画像では赤茶色の領域 (圏界面の垂れ下がり、高渦位域、ジェット) となっていて、上層のジェットとも関連している。なお、赤茶色領域の南に凸となる部分の最南端が上層のトラフに対応している。

第 3.3.1 図の水蒸気画像 (B08) では、中国大陸の「上層渦」の中心付近に「暗域」として表示された「ドライスロット」の流入がみられる。Airmass RGB 合成画像では、低気圧の中心を取り巻く赤茶色の領域として示されている。また、低気圧に伴う雲域は白色で表示されており、「上層渦」のほぼ直下に低気圧の中心があることがわかる。なお、可視・赤外画像、水蒸気画像や Airmass RGB 合成画像などの動画を利用すれば、低気圧に伴う雲域の状況や低気圧の中心付近へと流入する「ドライスロット」の動きを詳細に把握することができる。

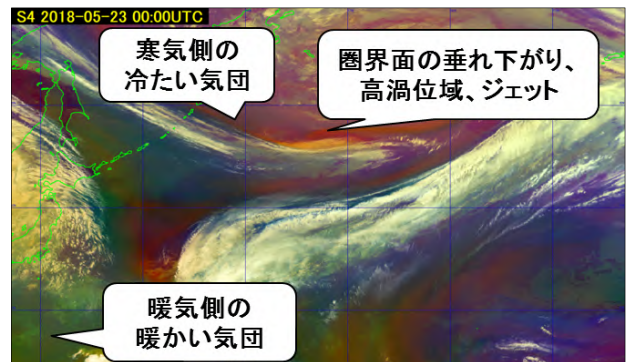
Airmass RGB 合成画像では、総観スケールの気象の場の状況とそれに伴う雲域の状況が同時にわかるため、両者の関係が総合的に把握できる。

\*寺坂 義幸 (気象衛星センターデータ処理部解析課)

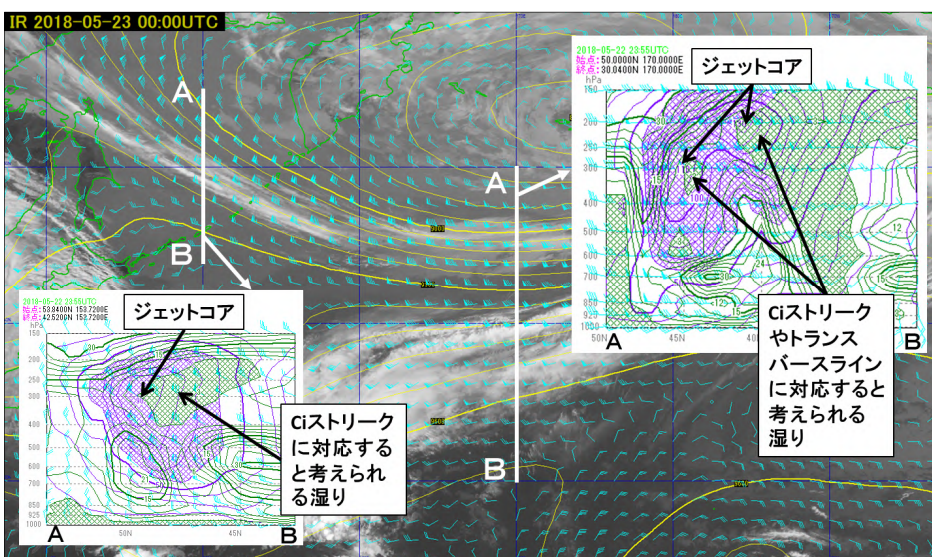
### 3. 3. 2 上層ジェットを示唆する雲域 ( Ci ストリーク、トランスバースライン)



第 3. 3. 3 図 赤外画像 (B13)  
(2018 年 5 月 23 日 9 時)



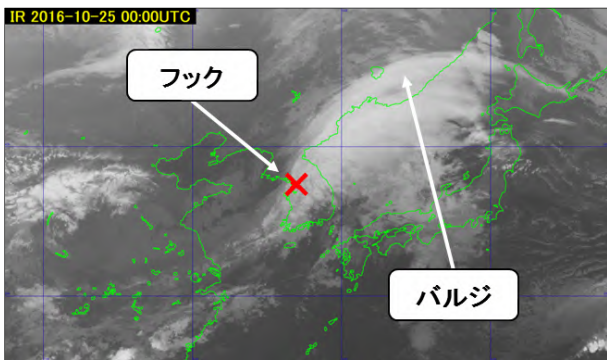
第 3. 3. 4 図 Airmass RGB 合成画像  
(2018 年 5 月 23 日 9 時)



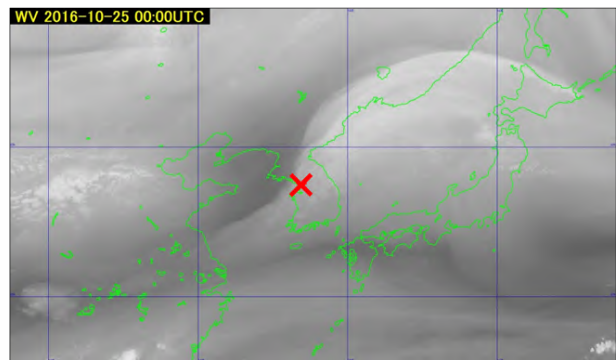
第 3. 3. 5 図 赤外画像  
(B13) と数値予報  
GPV300hPa 面及び断面図  
(GSM モデル)  
(2018 年 5 月 23 日 9 時)

第 3. 3. 3 図には、「Ci ストリーク」や「トランスバースライン」が顕著にみられた時の赤外画像 (B13) を示した。細長く筋状に伸びる上層雲を「Ci ストリーク」と呼び、上層ジェットを示唆する雲域として以前から着目されてきた。また、ジェットの流れの方向に直角な走向を持つ小さな波状の雲列を持つ「Ci ストリーク」を、特に「トランスバースライン」(第 3. 3. 3 図の拡大図参照)と呼び、上層ジェットの場所を特定する上では着目すべき重要な雲域である。第 3. 3. 4 図には、同時刻の Airmass RGB 合成画像を示した。Airmass RGB 合成画像では、雲頂が高く厚い雲域は白く表現される。また、暖気側の暖かい気団は緑色、寒気側の冷たい気団は紫色で表示され、一般に上層のジェットは、気団と気団の境界で西から東へと吹く。第 3. 3. 4 図の Airmass RGB 合成画像でも、前述の上層のジェットを示唆する「Ci ストリーク」や「トランスバースライン」が気団と気団の境界に発生していることが確認できる。ところで第 3. 3. 5 図には、第 3. 3. 3 図及び第 3. 3. 4 図と同時刻の赤外画像 (B13) と数値予報 GPV (2018 年 5 月 23 日 9 時初期値の GSM モデル) 300hPa 面の高度と風を重ねて示した。また白い直線に沿って数値予報データを南北に切った鉛直断面図 (左が北、右が南を示す) もあわせて示した。断面図中の紫色の線は等風速線を示しており、60kt 以上の風速にハッチを施している。ハッチの中心付近には最大風速を持つジェットコアが解析できる。また緑色のハッチは、湿数 (T-TD) 3°C以下の湿った領域を示した。断面図を見ると「Ci ストリーク」や「トランスバースライン」に対応すると考えられる湿った領域がみられる。

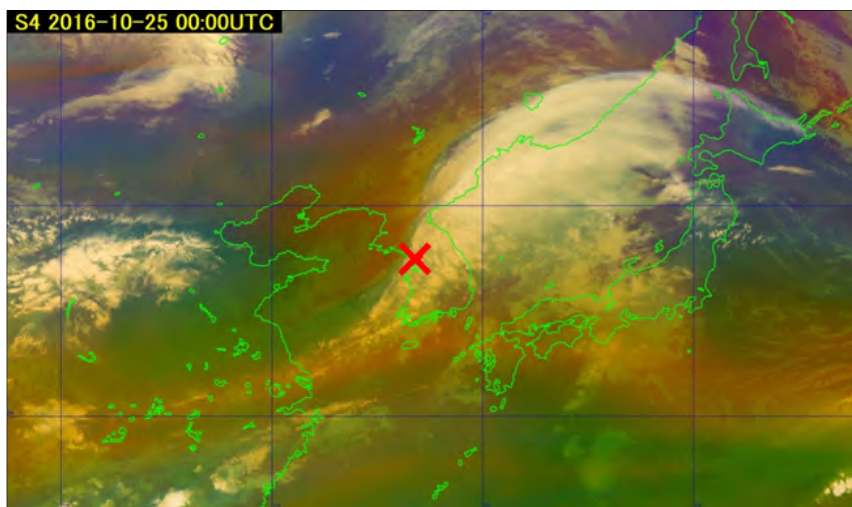
### 3. 3. 3 気象じょう乱を示唆する雲域 (バルジ、フックパターン)



第 3.3.6 図 赤外画像 (B13)  
(2016 年 10 月 25 日 9 時)

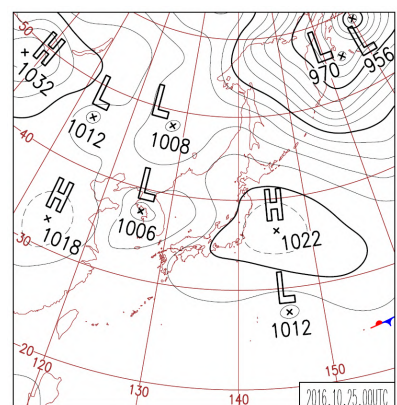


第 3.3.7 図 水蒸気画像 (B08)  
(2016 年 10 月 25 日 9 時)



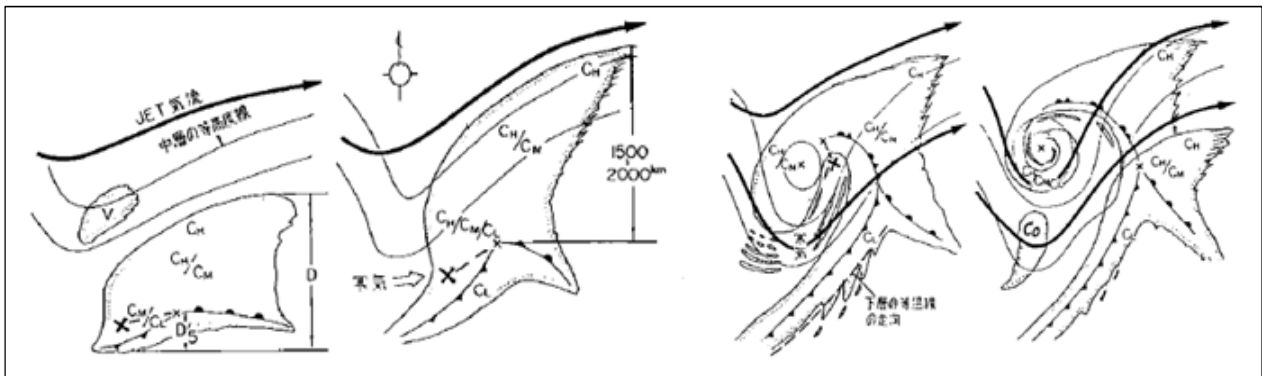
第 3.3.8 図 Airmass RGB 合成画像  
(2016 年 10 月 25 日 9 時)

衛星画像の雲解析では、低気圧や前線波動の発達により、下層からの暖湿な気流が上昇して雲域が寒気側（極側）に凸状となって膨らむ現象を「バルジ」と呼んでいる。このバルジは、低気圧や前線波動が発達していることを示しており、重要な着目点となる。第 3.3.6 図には 2016 年 10 月 25 日 9 時の赤外画像 (B13) を、また第 3.3.7 図にはこのときの水蒸気画像 (B08) を示した。さらに第 3.3.8 図には、同時刻の Airmass RGB 合成画像を示した。各画像では、沿海州付近に北側に膨らんだバルジが明瞭にみられる。このバルジは、朝鮮半島南部や東シナ海から低気圧に向かって吹き込んだ下層の暖湿な空気が、徐々に上昇しながら寒気側に膨らみ、雲域を発生させていると考えられる。北西側雲域の曲率の変曲点（赤い×印）は「フック」と呼ばれ、地上低気圧の中心位置と密接な関係があることが知られている（岡林, 1982）。なお、第 3.3.9 図にはこのときの地上天気図を示した。朝鮮半島西岸には衛星画像のフックに対応する地上の低気圧が解析されている。



第 3.3.9 図 地上天気図  
(2016 年 10 月 25 日 9 時)

### 3. 3. 4 低気圧や前線の雲域

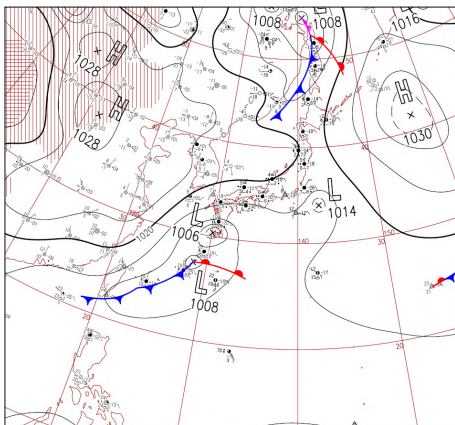


第 3.3.10 図 低気圧の発生期から衰弱期まで（通常型）（岡林（1982）の低気圧モデル）

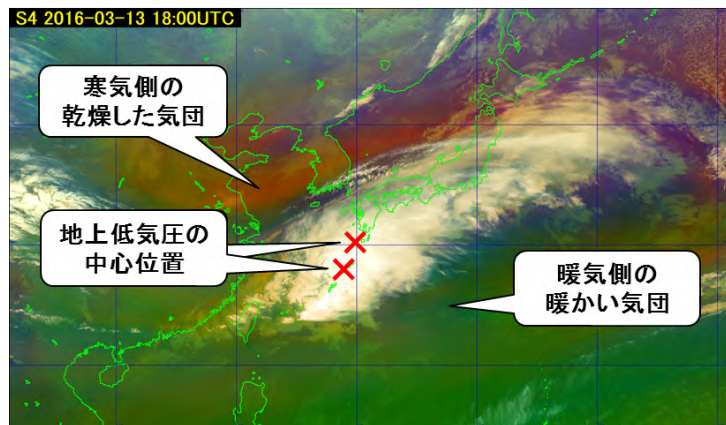
第 3.3.10 図には、上層トラフの接近や深まりにより下層の前線波動が低気圧として発達し、衰弱するまでの経過を示した岡林（1982）の低気圧発達の雲モデル図を示した。モデル図は、左から発生期、発達期、最盛期、閉塞期の 4 つの段階を示しており、×印は地上低気圧の中心位置、×—×は低気圧の中心位置がこの範囲に入ること示している。このモデル図には、衛星画像から見た各段階での雲域の特徴が記載されており、発生期から衰弱期までの低気圧や前線の位置とそのときの雲域の形状が示されている。

以下には、発生期から発達期、最盛期、衰弱期へと移行した典型的な低気圧の例として、南西諸島近海で発生し、日本の南海上を北東進しながら発達して、カムチャッカの南東海上で衰弱期を迎えた 2016 年 3 月 14～16 日にかけての事例を紹介する。ここでは、地上低気圧の中心位置や前線と Airmass RGB 合成画像からわかる雲域の形状や総観スケール場の特徴について示す。

#### 発生期（2016 年 3 月 14 日 3 時）



第 3.3.11 図 地上天気図  
(2016 年 3 月 14 日 3 時)

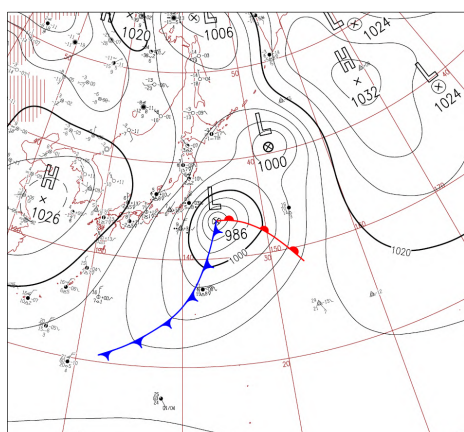


第 3.3.12 図 Airmass RGB 合成画像  
(2016 年 3 月 14 日 3 時)

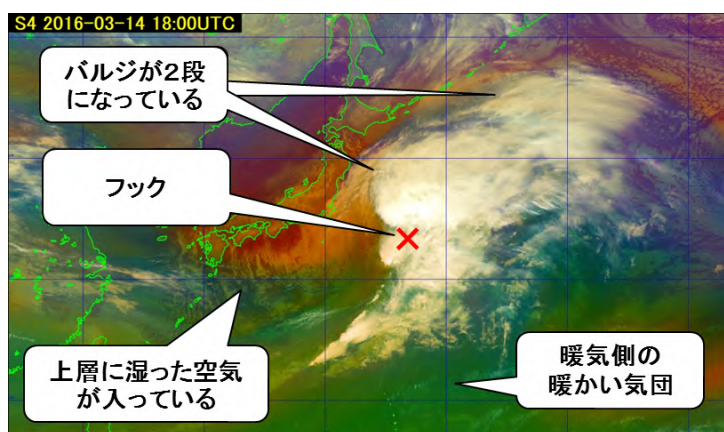
第 3.3.11 図と第 3.3.12 図には、低気圧の発生期である 2016 年 3 月 14 日 3 時の地上天気図と Airmass RGB 合成画像を示した。南西諸島付近には発達中の低気圧があつて東北東に進んでいる。Airmass RGB 合成画像を見ると低気圧に対応した雲域（白色）はバルジが顕著となり、低気圧が発達中であることを示している。また、雲域の南側は緑色となっていて、暖気側の湿った暖かい気団が入っている。一方、北側は赤茶色や紫色となっていて、寒気側の乾燥した冷たい気団が入っていることがわかる。



発達期 (2016年3月15日3時)



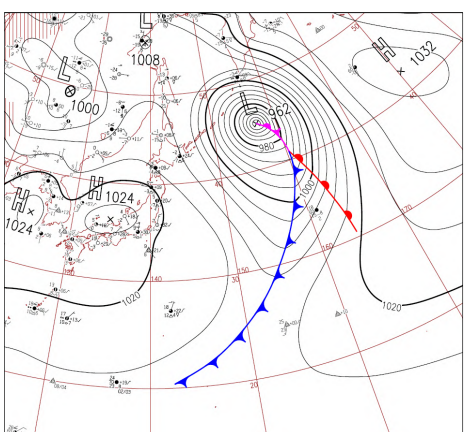
第 3.3.13 図 地上天気図  
(2016年3月15日3時)



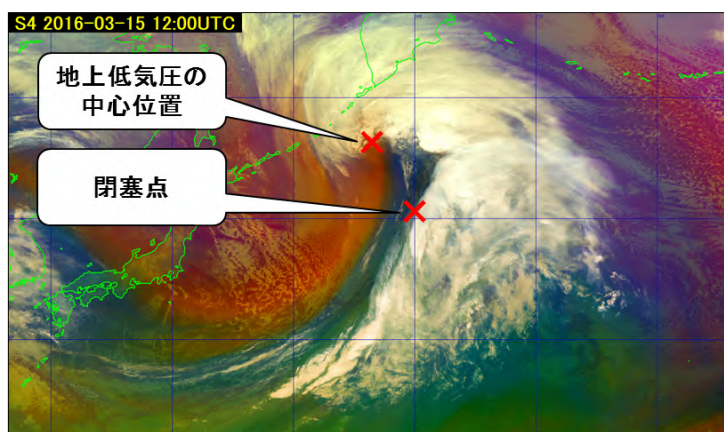
第 3.3.14 図 Airmass RGB 合成画像  
(2016年3月15日3時)

第 3.3.13 図と第 3.3.14 図には、低気圧の発達期である 2016 年 3 月 15 日 3 時の地上天気図と Airmass RGB 合成画像を示した。低気圧は、前線を伴いさらに発達している。Airmass RGB 合成画像を見ると低気圧に伴う雲域（白色）はさらに拡大し、北側に伸びるバルジもみられる。また、北海道の東海上にある別の低気圧のバルジも加わって 2 段となっている。ところで、関東南東海上の低気圧に伴う白い雲域の西側は東に凸となる曲率を持つ形状となっていて、雲域西側の変曲点付近には低気圧の中心を示唆するフックが解析できる。さらに、フック付近から雲域の西端に沿うように寒冷前線に対応する雲域がみられる。温暖前線は、フック付近から低気圧前面の暖湿流（緑色）の先端付近にかけてのびていると考えられる。なおこの事例では、寒冷前線の後面（西側）が青緑色となっているが、これは寒冷前線後面の上層に湿った空気が入っているものと考えられる。

最盛期 (2016年3月15日21時)



第 3.3.15 図 地上天気図  
(2016年3月15日21時)

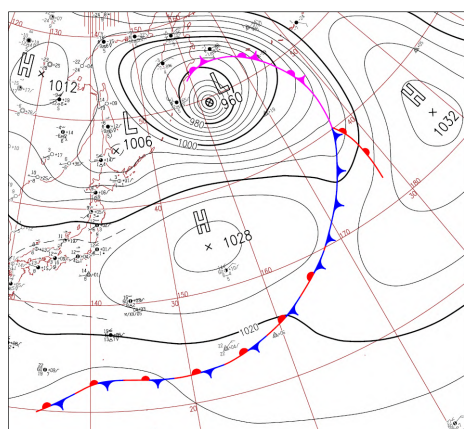


第 3.3.16 図 Airmass RGB 合成画像  
(2016年3月15日21時)

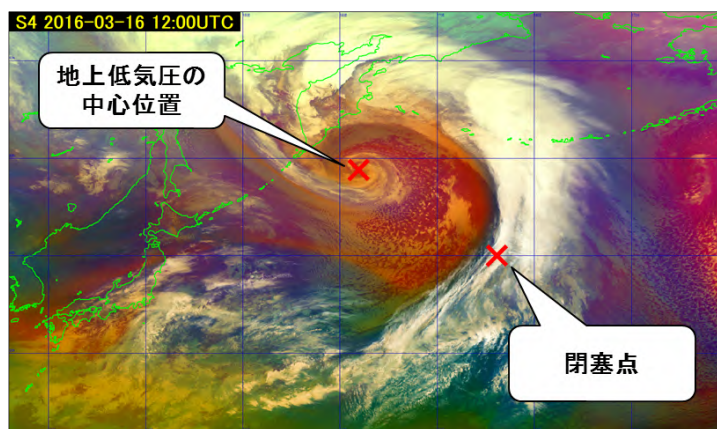
第 3.3.15 図と第 3.3.16 図には、低気圧の最盛期である 2016 年 3 月 15 日 21 時の地上天気図と Airmass RGB 合成画像を示した。地上天気図を見ると、低気圧の中心は千島列島の南東海上にあり、中心から閉塞前線が南南東にのびて閉塞点となり、ここから温暖前線が南南東方向にのびている。一方、寒冷前線は閉塞点から南西方向にのびている。Airmass RGB 合成画像では、低気圧の中心付近を取り巻く雲域（白色）のバル

ジと、低気圧中心の南東にある閉塞点上空を通るバルジが明瞭にわかる。閉塞前線は、低気圧中心を取り巻く白い雲域の内側に沿って対応していることがわかる。また、閉塞点は低気圧中心の南東にあるバルジの付け根付近に考えられ、ここから寒冷前線に対応する白い雲域が南西方向にのびていることがわかる。温暖前線は、閉塞点から閉塞点の南東側にある暖湿流（緑色）の先端に沿ってのびていると考えられるが、厚い雲域（白色）の下では暖湿流（緑色）の先端は確認できないため、南東側の厚い雲域（白色）の先端部分にみられる暖気側気団（緑色）の先端に向かってのびていると推定できる。Airmass RGB 合成画像の動画では、緑色領域の中にみえる下層雲（やや明るい緑色）の動きを見ることにより、下層の暖湿流の様子が確認できる。ただし、緑色に表示されている領域は、大気の上・中層に水蒸気が多いことを示しているが、Airmass RGB 合成画像では下層の水蒸気は観測されないため、下層の水蒸気の状態は直接的には把握できない。下層暖湿流などの水蒸気の状態は、下層雲の動きなどから間接的に推定するしかないことに留意が必要である。

### 衰弱期（2016年3月16日21時）



第 3.3.17 図 地上天気図  
(2016年3月16日21時)



第 3.3.18 図 Airmass RGB 合成画像  
(2016年3月16日21時)

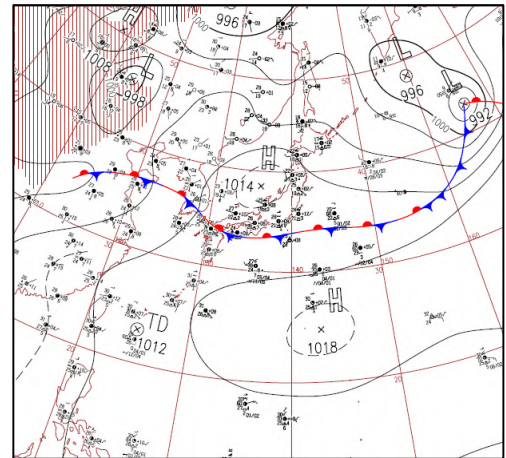
第 3.3.17 図と第 3.3.18 図には、低気圧の衰弱期である 2016 年 3 月 16 日 21 時の地上天気図と Airmass RGB 合成画像を示した。地上天気図を見ると、カムチャッカ半島の南海上には衰弱期に入った低気圧の中心がある。一方、Airmass RGB 合成画像でも低気圧に対応する下層渦の中心が同じ位置に確認できる。閉塞前線は低気圧を取り囲む白い雲域の内側に沿って解析でき、閉塞点は上層のジェットが横切り、温暖前線と寒冷前線の交点の位置に考えられる。Airmass RGB 合成画像からは、アリューシャン列島に伸びるバルジの付け根付近に閉塞点が考えられる。また温暖前線は、閉塞点から南東方向の下層暖湿流の先端にかけてのび、寒冷前線は、閉塞点から南西方向に伸びる白い雲列に沿っていると考えられる。なお、低気圧に対応する下層渦の中心位置や衛星画像による前線の位置は、Airmass RGB 合成画像や赤外面像、水蒸気画像などの動画を利用して、下層雲の動きや雲域の特徴、上層ジェットなどに着目して、総合的に解析することにより解析精度の向上を図ることができる。

### 3. 4 衛星画像による顕著事例

#### 3. 4. 1 平成 29 年 7 月九州北部豪雨 (2017 年 7 月 6 日を対象) \*

2017 年 7 月 4 日から 6 日にかけて、梅雨前線や台風第 3 号の影響により、西日本から東日本を中心に局地的に猛烈な雨が降った (第 3.4.1 図)。6 日は、対馬海峡から本州南岸に梅雨前線が停滞し、前線に向かって暖かく湿った空気が流れ込んだ影響により九州北部などで日降水量 300 ミリを超える大雨となった (気象庁, 2018)。

ここでは 6 日の九州北部周辺に着目し、大気上層のトラフやジェット気流、寒気、高渦位域といった総観スケールの場が即時的に把握できる、水蒸気画像や Airmass RGB 合成画像 (気団解析画像) 等を用いた事例解析を示す。

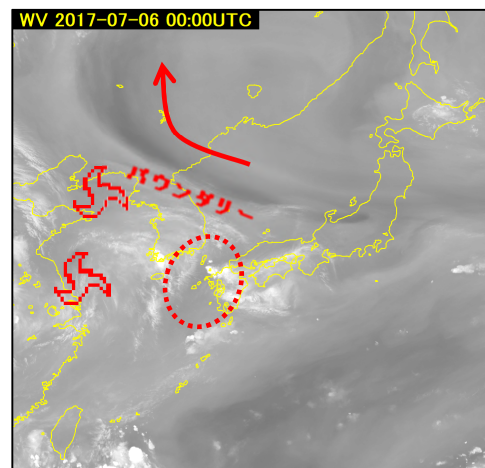
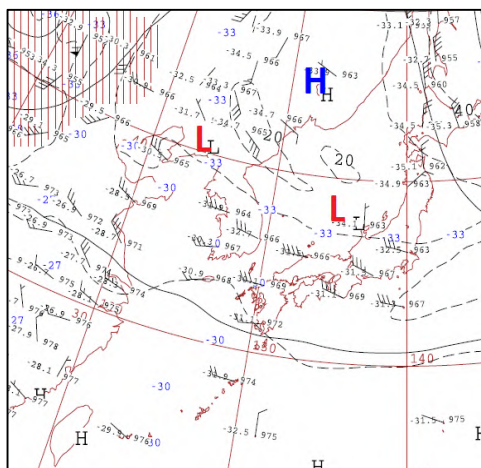


第 3.4.1 図 地上天気図  
(2017 年 7 月 6 日 9 時)

#### (1) 水蒸気画像、RGB 合成画像等による総観スケール解析

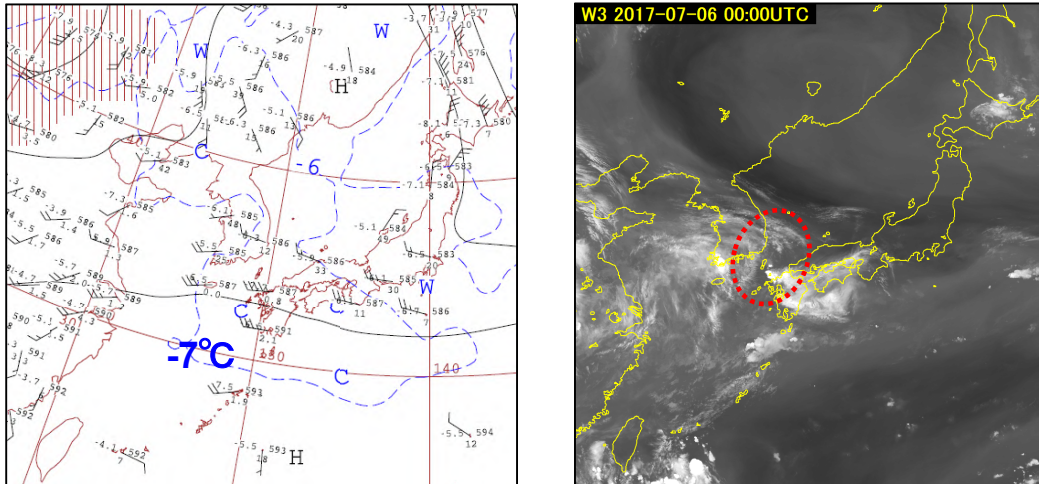
水蒸気画像 B08 (観測中心波長 6.2  $\mu\text{m}$ 、以下同じ)、B09 (6.9  $\mu\text{m}$ )、B10 (7.3  $\mu\text{m}$ ) は、上空の水蒸気の分布やその時間変化を知ることができる (寺坂, 2016)。B08 は主に大気上層、B09 は上中層、B10 は中層付近の水蒸気の多寡に対応しており、実用上しばしば B08 画像と 300 hPa 高層天気図、B10 画像と 500 hPa 高層天気図というように各水蒸気画像と天気図と比較することが多い。なお、これらの画像は、厳密には特定の高度の水蒸気・輝度温度分布ではなく、衛星から見てある程度の深さを持った分布を示しているということに注意する必要がある (志水他, 2017)。

第 3.4.2 図の 6 日 09 時の B08 水蒸気画像をみると、大陸～沿海州、日本海にかけて横たわるバウンダリ (明暗の境)、山東半島付近と黄海付近に上層渦が確認できる (動画を併用)。バウンダリは、同時刻の 300hPa 天気図 (第 3.4.2 図) より、対応するジェット気流は不明瞭であるが、沿海州付近にある高気圧南端の南東風 (第 3.4.2 図右図の矢印) と朝鮮半島付近の西風のシアアの大きい領域に対応している。また、山東半島付近の上層渦は 300hPa 天気図の低気圧に、黄海付近の上層渦は、300hPa 天気図のトラフに対応していることがわかる。



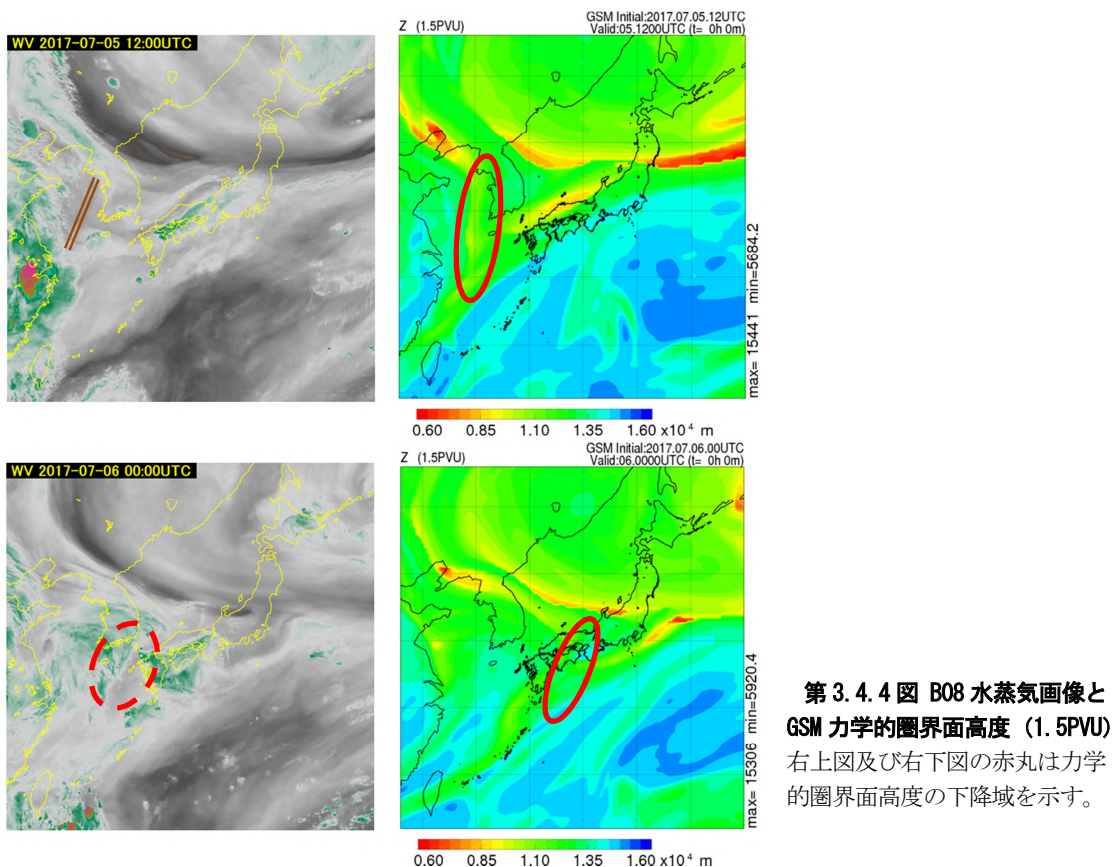
第 3.4.2 図 アジア 300hPa 天気図 (高度・気温・風・等風速線) (左) と B08 水蒸気画像 (記号は上層渦) (右)  
(2017 年 7 月 6 日 9 時)

\*志水 菊広 (気象衛星センターデータ処理部解析課)

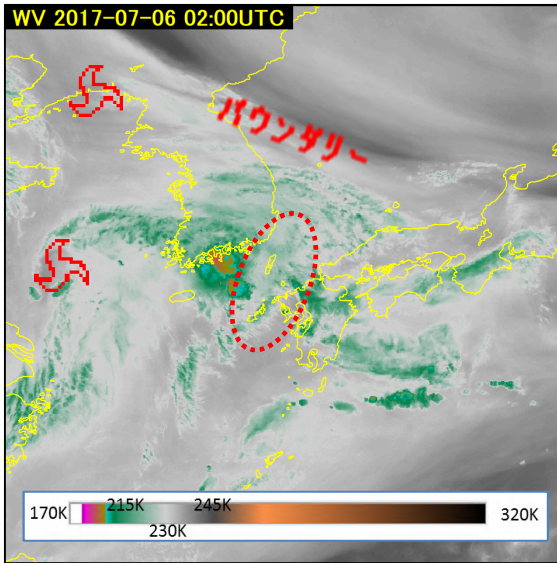


第 3.4.3 図 アジア 500hPa 天気図 (高度・気温・風) (左) と B10 水蒸気画像 (右) (2017 年 7 月 6 日 9 時)

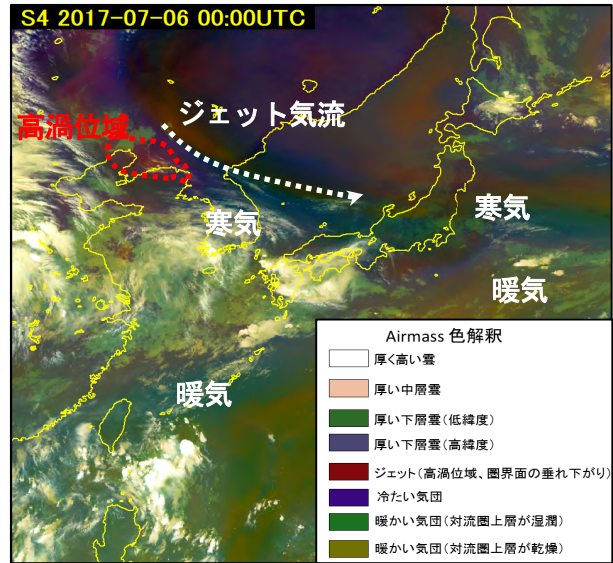
一方、6 日 9 時の B10 水蒸気画像では対馬海峡付近にやや暗い領域 (第 3.4.3 図赤点線の丸) があるが、この領域はトラフに対応したものではない。このことについて、考察してみる。5 日 21 時に黄海付近には、力学的圏界面が下降している領域 (第 3.4.4 図右上の赤丸) があり、B08 水蒸気画像のやや暗い領域と対応している (第 3.4.4 図左上の茶色二重線)。B08 水蒸気画像の動画で見ると、この位相は 6 日 9 時には中国・四国地方まで進んでいることがわかる (第 3.4.4 図右下の赤丸)。この位相の通過・接近により、西日本では対流活動が活発となったため、力学的圏界面の下降している領域に対応したやや暗い領域は不明瞭化した (第 3.4.4 図左下)。したがって、対馬海峡付近のやや暗い領域は、トラフによるものではなく、6 日 9 時に中国・四国地方に進んだ力学的圏界面の下降域後面の比較的乾燥した空気によるものだと考えられる。



第 3.4.4 図 B08 水蒸気画像と GSM 力学的圏界面高度 (1.5PVU) 右上図及び右下図の赤丸は力学的圏界面高度の下降域を示す。



第 3.4.5 図 カラースケール表示の B08 水蒸気画像  
(2017 年 7 月 6 日 11 時)



第 3.4.6 図 Airmass RGB 合成画像  
(2017 年 7 月 6 日 9 時)

なお、水蒸気画像では、第 3.4.2 図や第 3.4.3 図のようなグレースケールの画像のほかにも、第 3.4.5 図のように B08 水蒸気画像の輝度温度に対応した着色（カラースケール）画像もある。この画像は、雲域は緑色主体、暗域（乾燥域）は概ね暗灰色から茶色で表示されるため上層渦などが追跡しやすく有用である。

次に Airmass RGB 合成画像は、上層の寒気・暖気の分布やジェット気流、高渦位域や圏界面の垂れ下がりがわかるので、総観スケールの解析に有用である。Airmass RGB 合成画像の色調表示の詳細については、後述する「付録 Airmass RGB 合成画像の色調表示に関する補足」を参照いただきたい。

第 3.4.6 図より、黄海から四国を通り日本の東にのびる前線に対応した雲域をはきんで、極側に上層の寒気、低緯度側に暖気が分布している。この前線に対応した雲バンドの極側には、東西に伸びるライン状の赤茶色の領域があり、本事例では不明瞭だがジェット気流に関連する領域であることが判断できる。また、黄海・東シナ海付近の上層渦は、上層雲が覆いかぶさっていて Airmass RGB 合成画像では不明瞭だが、黄海・中国東北区の上層渦付近は赤茶色の領域がみられ、高渦位域の存在が推定できる。

一般的に各種水蒸気画像では、上中層の流れは衛星画像から直接的に確認できるが、下層の流れは確認できない。このため下層の流れは、赤外画像や可視画像による中・下層雲の動きから確認することになる。したがって、Airmass RGB 合成画像による高渦位域と可視・赤外画像でみられる朝鮮半島南部～九州北部への下層暖湿気の流入をあわせて考えれば、大気の状態が不安定な状況にあることが推測できる。

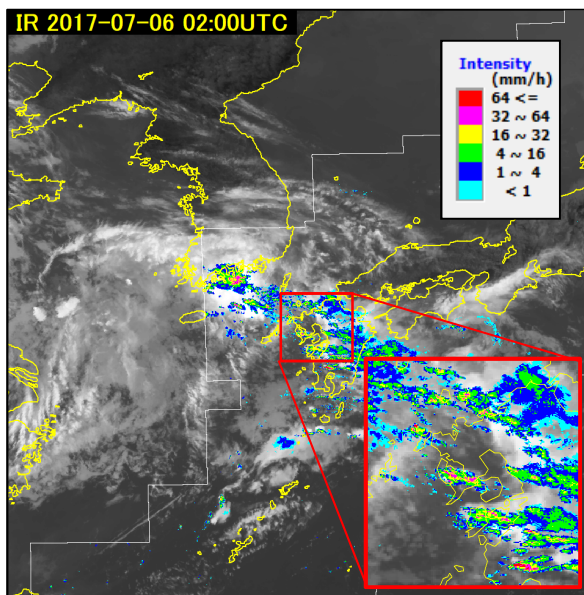
なお、Airmass RGB 合成画像単独では、水蒸気画像と同様に下層の流れは上中層のように直接的に確認することはできないため、可視・赤外画像を併用して下層の暖湿気の流入を確認することも大気不安定を考えるうえでは重要である。

## (2) 観測データなどを併用した詳細な解析

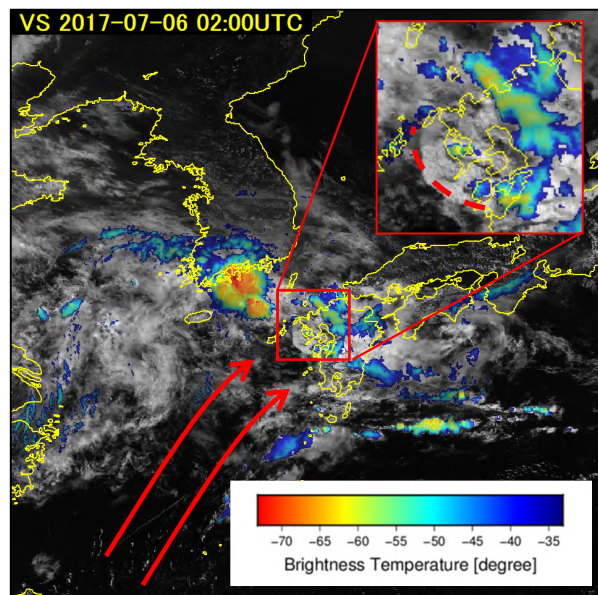
第 3.4.7 図に示すように、活発な対流雲主体の雲域は地上前線付近で前日から連続的に同じような場所で生成消滅していた。それに伴い強い降水エコーも前線付近に持続して発生していた。特に九州北部では線状の対流雲と降水エコーが持続してみられ（第 3.4.7 図右下拡大図）、九州北部において大雨事例となったことが示唆される。雷監視システム（LIDEN）の観測（図略）では活発な対流雲領域に多くの発雷が検知されていた。

可視・赤外画像、または可視画像に赤外輝度温度をカラースケールで重ねた雲頂強調画像（第 3.4.8 図）などであらためて中下層雲の動きを見ると、前線に向かって南西側から移動してきており、継続的に暖湿気が流入していたことが示唆される。第 3.4.8 図の雲頂強調画像をみると、6 日 10 時以降には東シナ海からの前線に向かって南西側から移動する下層雲とは別に、九州北部の対流雲付近から海上へ向かって弧状に広がる下層雲（アーククラウド）が認められる（第 3.4.8 図中右上拡大図の破線付近）。このアーククラウドは衛星画像から背の低い下層雲が主体であることがわかるが、積乱雲からのガストフロントが東シナ海から流入する暖湿気とぶつかって可視化されたと考えられ、下層が非常に湿っている状態であることを示唆している。また、熊本のウィンドプロファイラの観測によると（第 3.4.9 図）、下層を中心に鉛直シアーがみられ、対流雲が持続しやすい条件の一つが確認できる。

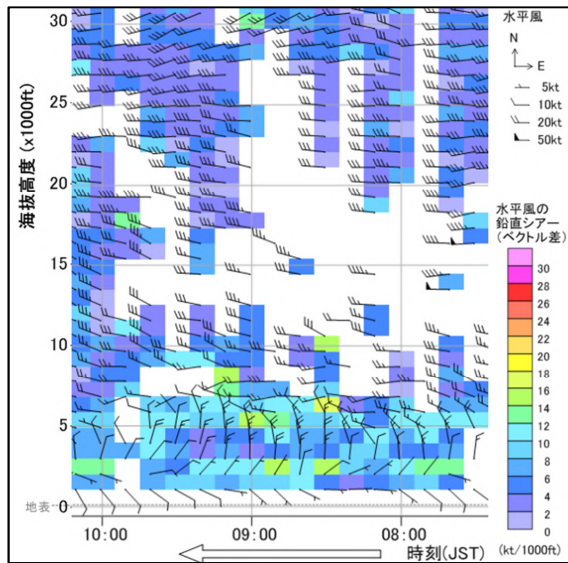
このような対流雲の活発な領域を監視するには、日中時間帯は雲頂強調画像や Day Convective Storm RGB 合成画像（日中対流雲画像）（赤：B08 と B10 の差分、緑：B07（3.9  $\mu\text{m}$ ）と B13 の差分、青：B05（1.6  $\mu\text{m}$ ）と B03 の差分の組み合わせ）などが用いられる。ここでは Day Convective Storm RGB 合成画像で事例を確認する。Day Convective Storm RGB 合成画像（第 3.4.10 図）で黄色く表示される領域は、厚みのある雲域の寄与が大きい赤色の B08 と B10 の差分と、小さな氷晶のある雲域（ここでは特に雲中の強い対流によって氷晶の粒径が十分成長する前に雲頂に達した領域）に大きく寄与する B07 と B13 の差分の両方が寄与する領域で、シビア現象が発生しやすい強い対流を伴う雲域に対応する。非常に活発な朝鮮半島南部付近の雲域だけではなく、長崎県付近などにもオレンジ～黄色い色調の雲域がみられる。その南西側に暗いアーク状の構造がみられることから、この付近の積乱雲から下層のアーククラウドが発生したものと考えられる。ただし本事例のアーククラウドは中層雲または下層雲主体のため Day Convective Storm RGB 合成画像では不明瞭である。前述の雲頂強調画像や B03 可視画像などで中層雲や下層雲を確認したうえで、Day Convective Storm RGB 合成画像から積乱雲を判別するとよい。



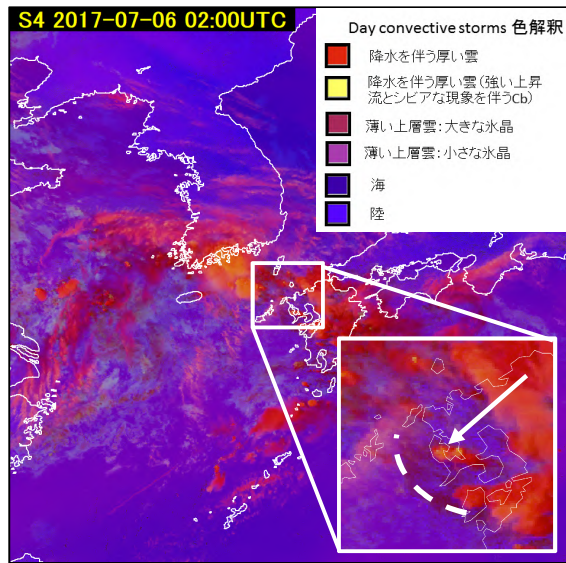
第 3.4.7 図 B13 赤外画像とレーダー観測データ  
(2017 年 7 月 6 日 11 時)



第 3.4.8 図 雲頂強調画像  
(2017 年 7 月 6 日 11 時)



第3.4.9図 熊本のウィンドプロファイラ  
(2017年7月6日6~12時)



第3.4.10図 Day Convective Storm RGB 合成画像  
(2017年7月6日11時)

### (3) まとめ

- Airmass RGB 合成画像から上空のトラフやジェット気流、高渦位域といった総観スケールの場合が即時的に解析できるので、それらの把握に有効である。
- 通常、下層の暖湿気の流れは、各種水蒸気画像や Airmass RGB 合成画像からは確認できない。このため可視・赤外面像等を併用して下層の暖湿気の流れ込みを確認する必要がある。
- 対流雲の特に活発な領域の監視（解析）には雲頂強調画像や Day Convective Storm RGB 合成画像などが有用である。雲頂強調画像などからは前線帯への暖湿気の流れを示す下層雲の動きや、活発な対流雲から吹出したアーククラウドによる下層の湿りの状態が確認できる。

## 3.4.2 九州北部の突風事例（2017年8月9日）\*

### (1) はじめに

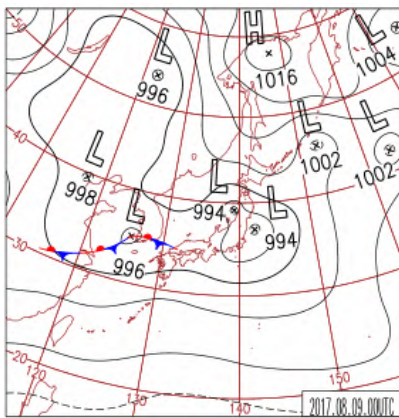
2017年8月9日朝に発生した九州北部の突風事例について紹介する。

9日朝、黄海にあった前線を伴った低気圧が9日夕方にかけて朝鮮半島南部を進んだ（第3.4.11図）。第3.4.12図に示したとおり、7時から9時にかけて弧状の降水帯が九州を通過しており、それに伴い平戸のウィンドプロファイラでは下層で強い風が観測されていた（図略）。また、第3.4.13図より850hPaでは345K以上の高相当温位を持った気塊が西から流入していることがわかる。7時頃、長崎県長崎市小江原付近で突風が発生し、ゴルフ練習場の鉄製支柱が倒れる被害があった（長崎地方気象台、2017）。その後、8時10分頃、福岡県福岡市博多区須崎町から呉服町（第3.4.14図）にかけて、住家外壁材の浮き上がりなどの突風による被害が発生した（福岡管区気象台、2017）。これらの突風害が発生した時刻は、第3.4.12図における強い降水帯の通過（16mm/hの降水強度）と対応していた。

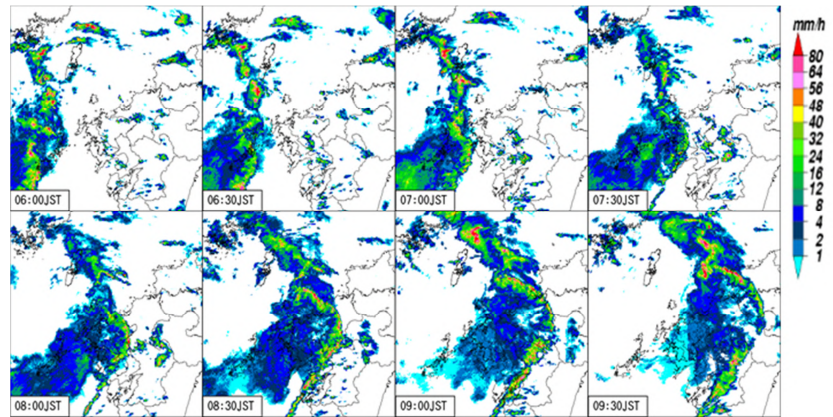
突風通過時と思われる時刻付近で、第3.4.15図（長崎の図は略）にあるとおり長崎・福岡ともに気温や気圧、風向・風速が急激に変化しているなど、特徴的な観測結果がみられた（福岡管区気象台、2017；長崎地方気象台、2017）。福岡管区気象台（2017）や長崎地方気象台（2017）でも述べられているように、この

\*安部 実希（気象衛星センターデータ処理部解析課）

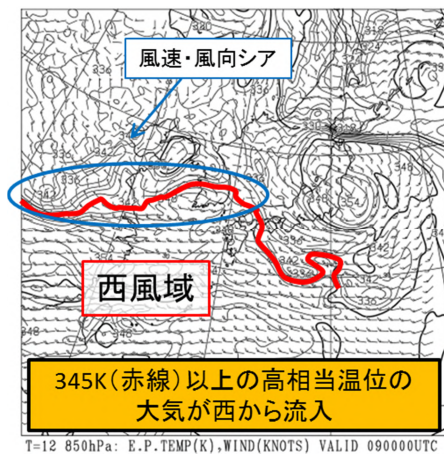
特徴的な変化は「ガストフロント」が通過した時のものであると考えられる。ガストフロントは、衰弱期にある積乱雲から流出する冷氣外出流と下層の暖かい空気との境界に発生する前線である（気象庁ホームページ;小倉, 1997・1999）。



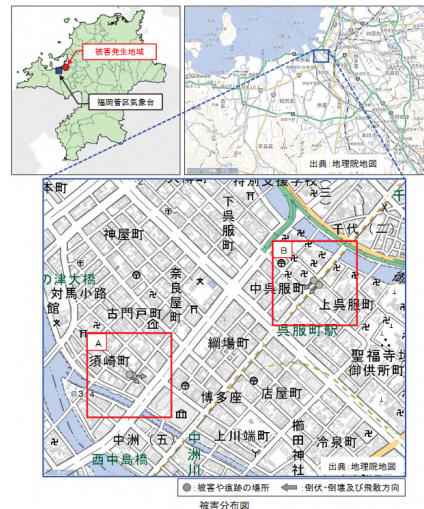
第 3.4.11 図 地上天気図  
(2017年 8月 9日 9時)



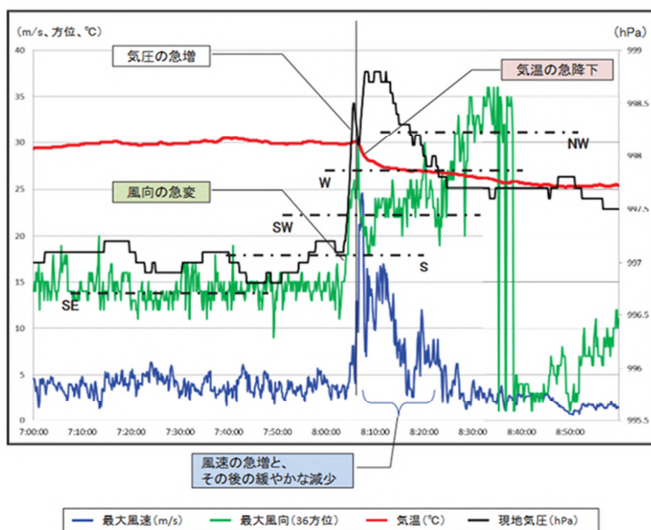
第 3.4.12 図 レーダー降水強度 (8月 9日 6時 00分~9時 30分)



第 3.4.13 図 8月 9日 9時の 850hPa の相当温位、風の予想 (8月 8日 21 時初期値 GSM)



第 3.4.14 図 福岡県福岡市博多区の被害発生地域

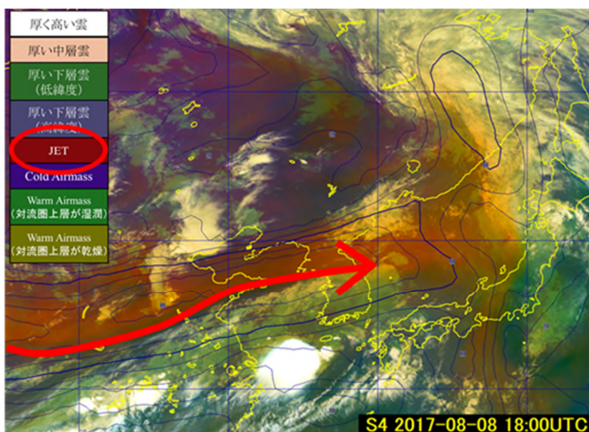


第 3.4.15 図 福岡 (福岡市中央区) の気温、風向風速、気圧の観測値  
(8月 9日 7時 00分~9時 00分)



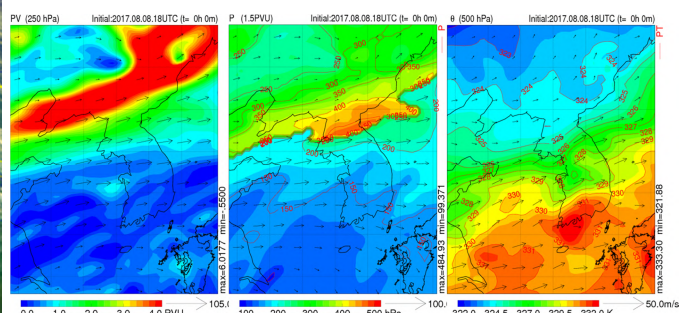
## (2) 衛星画像を用いた総観場の把握

衛星画像を利用して本現象の解析を行っていく。実況のジェット軸の位置把握に利用可能な RGB 合成画像である「Airmass RGB 合成画像」を確認した（詳細は 3.4.1 項を参照）。第 3.4.16 図の Airmass RGB 合成画像の内、赤茶色の部分が高渦度域やそれに伴うジェット軸に対応する。図中の青い実線は数値予報（全球モデル、GSM）の 250hPa 面での等風速線を表しており、60 ノット以上の強風域（ジェット軸、この事例では中国の山東半島や朝鮮半島北側上空）と Airmass RGB 合成画像で解析されるジェット軸（赤い矢印）は対応がよい。ジェット北側には乾燥した成層圏起源の高渦位・低圏界面領域の目安となる赤茶色領域がある。このような高渦位領域の下降によって低気圧性の渦位が生じ、赤茶色の領域の南側縁辺付近にジェット気流が形成されると考えられる。今回の事例では、この赤茶色の領域が地上の前線北側で解析できることから（前線の位置は第 3.4.11 図参照）、前線の北側中上層への乾燥・低温位気塊の流入が考えられる（加藤他, 2012）。そのため、Airmass RGB 合成画像より前線近傍の対流雲の発達に寄与する可能性が示唆されていたことになる。数値予報モデルの解析値にて高渦位域の有無を確認したのが第 3.4.17 図である。左側は 250hPa 面の渦位を表しており、第 3.4.16 図の Airmass RGB 合成画像で解析したジェットの位置の北側に高渦位域（赤色）があることがわかる。中央の図は 1.5PVU 渦位面での力学的圏界面高度だが、特に朝鮮半島北側で圏界面高度が低くなっている（オレンジ色）。これは高渦位域が圏界面付近にある場合の特徴のひとつである。右側の図は 500hPa 面の温位を表している。前述のとおり中上層に低温位領域が流入しており、かつ第 3.4.13 図より 850hPa では 345K 以上の高相当温位を持った気塊が流入していることから、大気は不安定だったことがわかる。



第 3.4.16 図 Airmass RGB 合成画像  
(2017 年 8 月 9 日 3 時)

実線：GSM の 250hPa の等風速域、赤い矢印はジェット



第 3.4.17 図 8 月 9 日 3 時の GSM 解析値

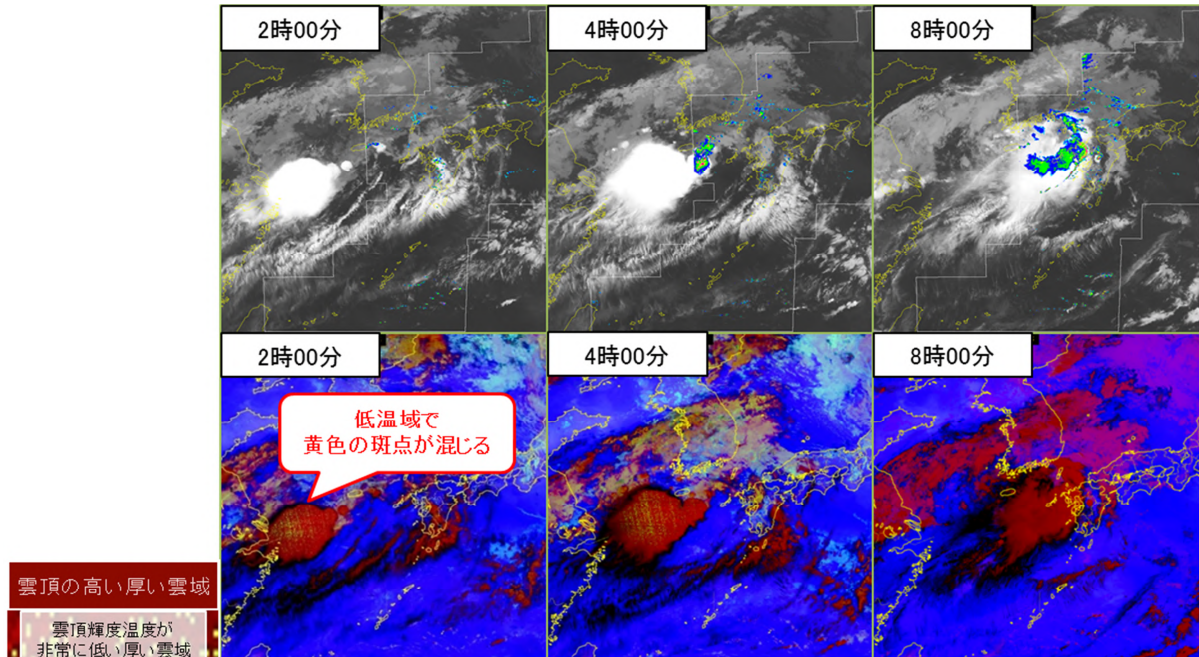
左：250hPa 面での渦位、中央：1.5PVU 渦位面での力学的圏界面高度（実線：力学的圏界面高度）、右：500hPa 面での温位（実線：温位）

## (3) 衛星画像を用いた局地解析

次に局地解析を行っていく。発達した積乱雲が大陸から東進した時間帯は夜間だったため、可視・近赤外バンドを利用しない Night microphysics RGB 合成画像を使用する。Night microphysics RGB 合成画像は雲頂の高い厚い雲域は赤色で表されるが、その中でも特に「雲頂輝度温度が非常に低い」領域では赤色に加えて黄色の斑点が現われる（寺坂他, 2018）。これは、発達した積乱雲域でよくみられるものであり、今回も東進してくる積乱雲域をよく捉えていた。

第 3.4.18 図では、上段が赤外 (B13) 画像にレーダー画像を重ねた画像、下段が Night microphysics RGB 合成画像のみの時系列となっている。図の左列にて、衛星画像ではレーダーの範囲外から東進してくる

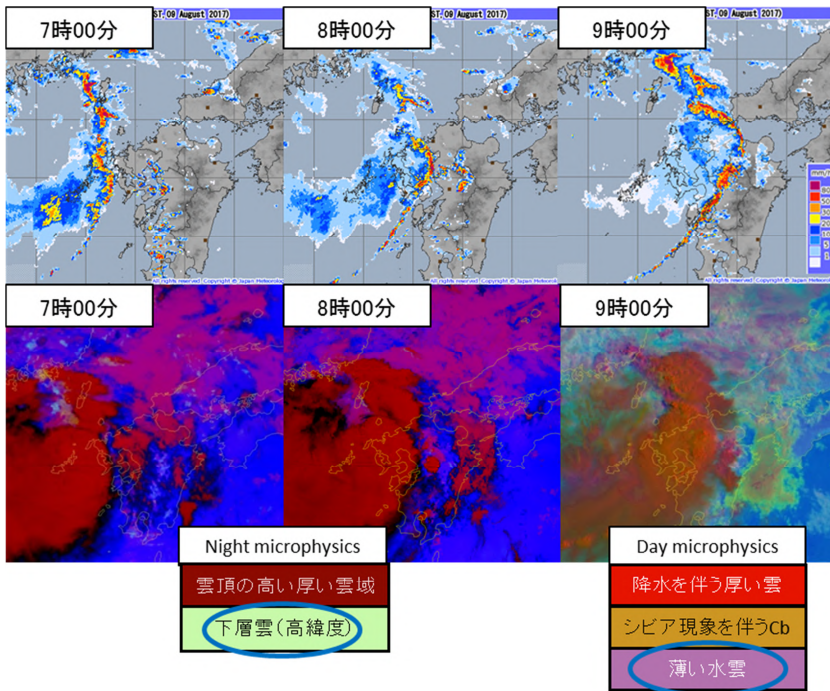
発達した積乱雲を捉えることができていることがわかる。また、4 時の時点でレーダーでも雨雲を捉えはじめているが、それよりも後方にある積乱雲はレーダーのみではわからない。このように衛星画像はレーダーのように降水を直接観測できるわけではないものの、レーダーよりも広範囲の情報が得られるため顕著現象の早期発見に活用できる。



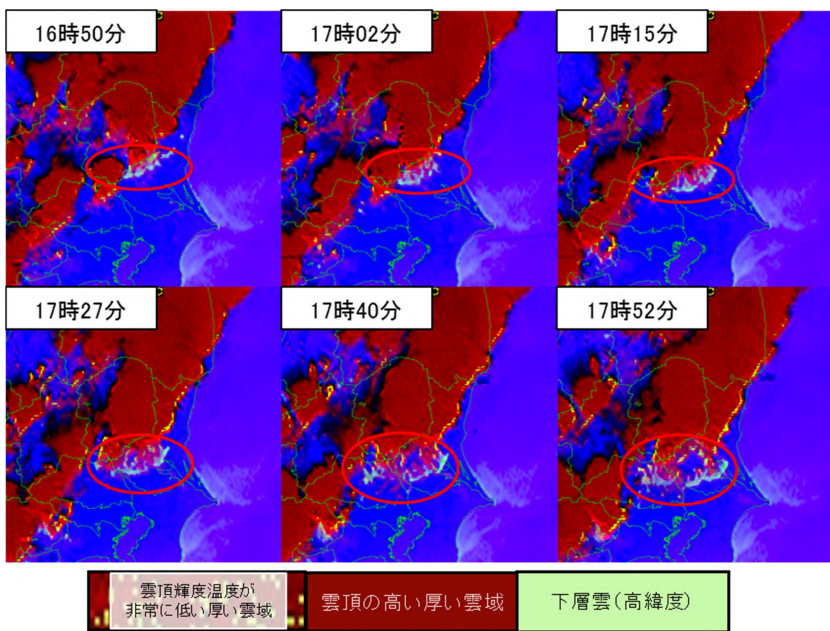
第 3.4.18 図 赤外 (B13) 画像にレーダーを重ねた画像 (上段)、Night microphysics RGB 合成画像 (下段) (2017 年 8 月 9 日 2 時~8 時)

第 3.4.15 図の観測結果より、ガストフロントが発生していた可能性が高いと述べたが、ガストフロント発生時には衛星画像からフロント上にアーククラウド（アーク状の雲）が見えることがあり、突風ないし突風が起きた場所を特定する判断材料に成り得る（小倉，1997）。今回の事例でアーククラウドが衛星から見えていたのかを第 3.4.19 図で確認した。図の右列は 9 時の画像であり、この時間帯だと可視・近赤外の画像も使用できるため日中の雲解析に用いられる Day microphysics RGB 合成画像も利用した（寺坂他，2018）。アーククラウドは、Night microphysics RGB 合成画像では黄緑色の、Day microphysics RGB 合成画像では紫色やマゼンタの厚い水雲や下層雲として見えるが、第 3.4.19 図のとおり九州付近は厚い雲で覆われていたため、直接衛星画像から確認することができなかった。

参考として、アーククラウドが衛星画像から確認できた 2015 年 8 月 6 日の栃木・茨城の事例の Night microphysics RGB 合成画像を第 3.4.20 図に示す。特にこの事例では画像のコマ送りや動画を用いるとアーククラウドが識別しやすい。この日、栃木県では 6 日 16 時 30 分頃、茨城県で 6 日 17 時 20 分にガストフロントやダウンバーストとみられる突風が発生した（宇都宮地方気象台・東京管区気象台，2015；水戸地方気象台・東京管区気象台，2015）。



第3.4.19図 レーダー画像（上段）、Night/Day microphysics RGB 合成画像（下段）  
（2017年8月9日7時00分～9時00分）



第3.4.20図 Night microphysics RGB 合成画像で見るアークラウド  
（2015年8月6日16時50分～17時52分）  
赤丸で示した部分の内、黄緑色のアーチ状の雲を示す

#### (4) まとめ

本節では、レーダーの範囲外にある発達した積乱雲について、広範囲の状況把握に活用できる衛星画像を使用することによって、早期に把握できるという利点を中心に事例解析を行った。今回の事例では衛星画像からアークラウドは把握できなかったが、事例によっては確認することが可能である。夜間は可視・近赤外の衛星画像が利用できないため、Night microphysics RGB 合成画像で現象を把握するのが有効であり、赤外（B13）画像単独で利用するよりもより発達した積乱雲域の場所の把握（黄色の斑点の有無）や下層雲と上層雲、積乱雲の区別が容易であるといった利点があり、実況監視に有効である。

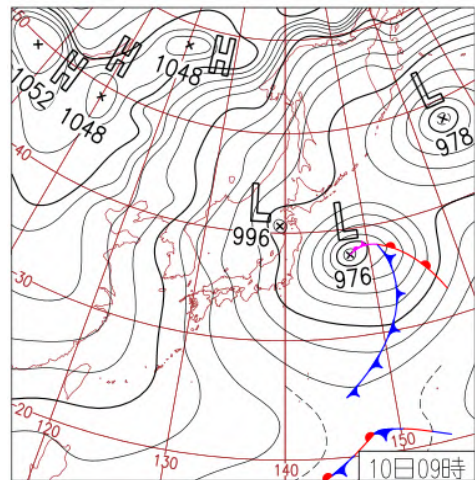
### 3. 4. 3 2017年2月9日～12日にかけての山陰の大雪\*

#### (1) 事例の概要・はじめに

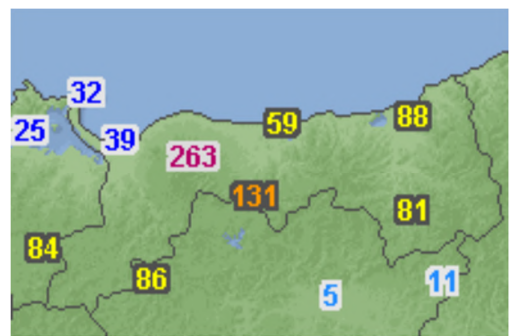
この節で取り扱う事例は、冬型気圧配置の環境場（第3.4.21図）において、2017年2月9日から2月12日にかけて山陰地方や近畿北部を中心に記録的な大雪をもたらした降雪事例である（参考として、第3.4.22図に鳥取県周辺の2月12日9時の積雪深を示す）。この事例では、鳥取県大山町大山で264cm、兵庫県香美町兎和野高原で201cm、鳥取市吉方で91cmなどの最深積雪が観測された。また、鳥取県倉吉市大塚では日最深積雪が61cmと2月として観測史上1位を更新した（大阪管区気象台，2017；鳥取地方気象台，2017）。

この事例では、日本海寒帯気団収束帯（以下 JPCZ : Japan sea Polar air mass Convergence Zone）（浅井，1988）に伴う活発な対流雲によって顕著な降雪がもたらされた。JPCZとは冬季に日本海で形成される長さ1000km程度の収束帯のことで、日本海側での大雪の原因となることが多い現象である。また、この収束帯上に低気圧が発生し、雷や突風などの顕著現象をもたらすこともある。したがって、冬季においてレーダー・衛星・数値予報などから JPCZ を把握することは、顕著現象などによる災害を軽減するために重要である。しかし、衛星による JPCZ の雲域の解析は、ひまわり7号までの単一バンドによる画像では衛星画像からの雲解析の技量を必要とするものであった。また、冬季の雲は夏季と比較して雲頂高度が低いため、特に夜間において、赤外画像から注目すべき雲域を見つけ出すことを難しくさせていた。

これらの課題を解決し得るのが、ひまわり8号の複数のバンドを組み合わせて作成するRGB合成画像である。この画像からは、各バンドの特性に従った色の違いによって雲の相や雲微物理的な特性に着目した解析を簡単に行うことができる。この節では、日中・夜間それぞれについてRGB合成画像を用いた JPCZ の雲域の解析を紹介する。



第3.4.21図 地上天気図  
(2017年2月10日9時)



第3.4.22図 2月12日の9時の積雪深(cm)  
(上)と鳥取県内のアメダス配置図(下)

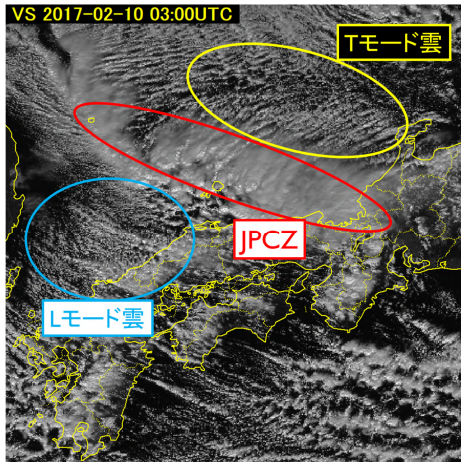
#### (2) 冬季において寒気に伴って日本海に発生する雲の基本的な特徴

ここでの解析に入る前に、冬季において寒気に伴って日本海に発生する雲について、衛星画像から見た基本的な特徴を整理する。

日本海に発生する雲はいずれも大陸上の寒気が相対的に暖かい日本海に流入することで発生するが、その雲パターンの違いには寒気の強弱や降雪パターンの違いとの対応がみられている。したがってこれ

\*井岡 佑介（気象衛星センターデータ処理部解析課）（現 静岡地方気象台）

らを把握しておくことは、衛星画像から現在の場の概況を捉える観点から重要である。以下に、これから使用する用語を説明する。



第 3.4.23 図 B03(可視)画像  
(2017年2月10日12時)

### JPCZ

北西方向からの季節風が朝鮮半島北部の白頭山や長白山脈で強制的に分割され、再び日本海上で合流することによって形成される収束帯。発達したバンド状の対流雲と北西風に直交する筋状雲で形成されており、積乱雲(Cb)などを伴って顕著な降雪・雷・突風などを引き起こすことがある。衛星画像では第 3.4.23 図に示すように帯状に広がる発達した雲域として現れる。

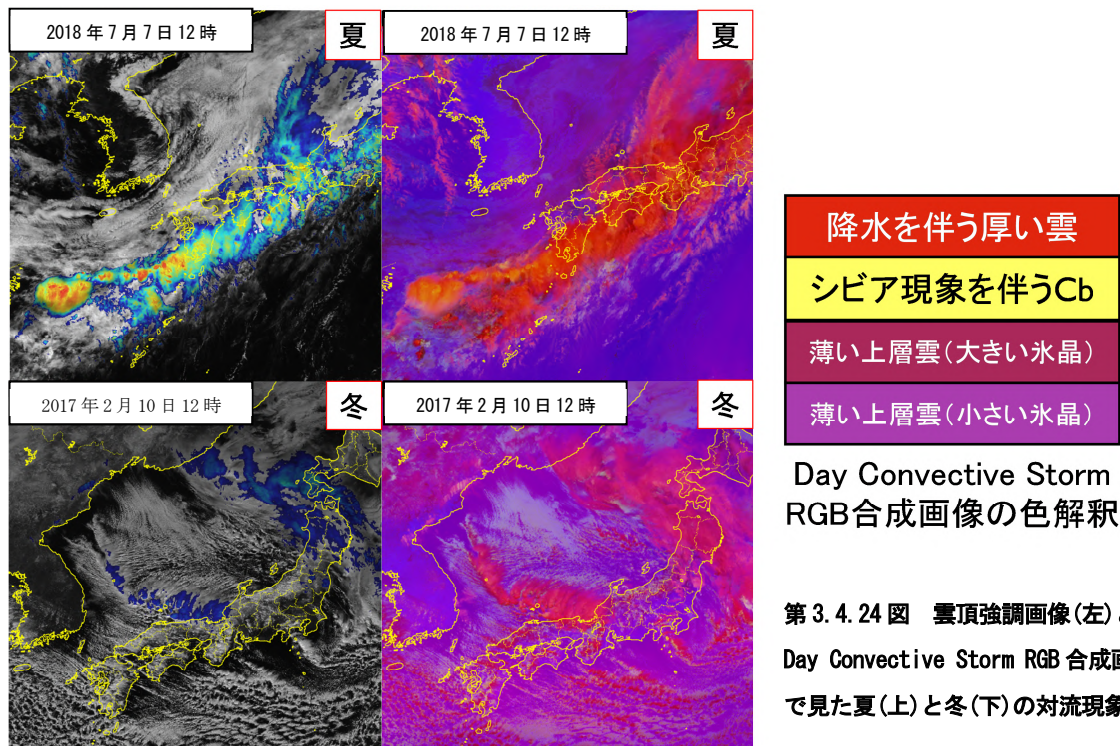
### Tモード(Transverse-mode)雲

南西から北東の走向を持った分布の筋状雲。下層風の主風向とほぼ直交した走向を持っており、風の鉛直シアベクトルの方向に平行な対流モード。日本海側の沿岸部に広範囲の降雪をもたらすことが多い。

### Lモード(Longitudinal-mode)雲

北西から南東の走向を持った分布の筋状雲。下層風の主風向とほぼ平行な走向を持っており、その筋状雲が上陸した場所において降雪が多くなる特徴がある。また、内陸部において降雪が増加する傾向がある。

### (3) 夏季の対流現象と比較した冬季の対流現象の解析の留意点



季節による衛星画像での対流雲の違いを示すために、第 3.4.24 図に冬季と夏季の雲頂強調画像と Day Convective Storm RGB 合成画像を示す。図より、同じ積乱雲(Cb)でも夏季と冬季では積乱雲の雲頂高度が違うために赤外バンドの輝度温度も異なり、また太陽高度の影響により可視・近赤外バンドの反射率も異なる。したがって、夏の対流現象の解析においてよく使われる雲頂強調画像や Day Convective Storm RGB 合成画像はそのまま利用できない点に留意が必要である。またその他の RGB 合成画像においても、色解釈と比較して色が変わってしまう影響が出ることは避けられない。

今回の事例で紹介する Day / Night microphysics(昼/夜雲解析)RGB 合成画像は、雲の微物理的特性を利用していることや、Day の場合に夏季と冬季とでレシピ(画像の作成設定)が分かれていることなどから冬でも有効なツールとして用いることができる。

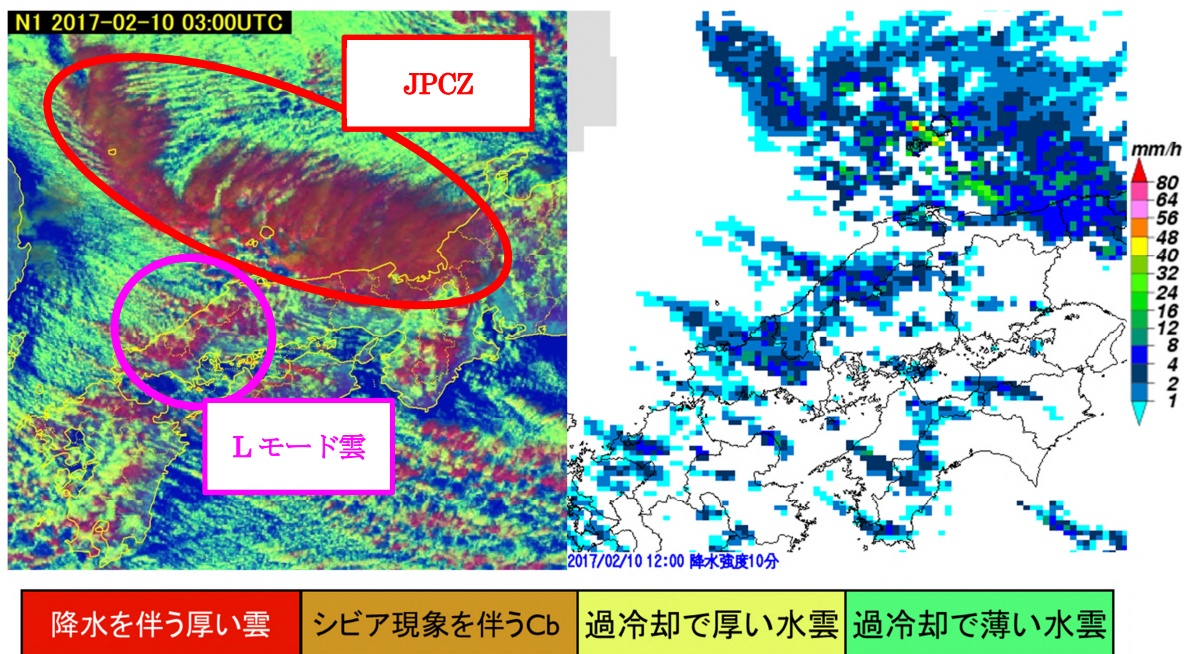
#### (4) RGB 合成画像による JPCZ の雲域の解析

今回の事例において顕著な降雪がみられた山陰地方や近畿北部では、第 3.4.25 図(右)に示すように JPCZ の帯状雲に伴う降水のほか、L モードの筋状雲域に伴う降水がレーダーにより観測された。

JPCZ は単一バンドの画像でも比較的識別しやすいが、周辺の筋状雲域との境界の区別には雲解析への習熟を必要とする。L モードの筋状雲域はその形状から単一バンドの画像でも識別は容易であるが、そのうちどこが特に発達した雲域であるかは単一バンドの画像からは識別しづらい。

そこで今回の事例では、JPCZ の雲域の把握と L モード雲のうち特に発達したものを識別するために Day / Night microphysics(昼/夜雲解析)RGB 合成画像を活用する。これらの RGB 合成画像を用いることで、昼夜それぞれの時間帯において着目すべき雲域を容易に解析することができる。

##### (a) 昼間における JPCZ の雲域と L モード雲の解析



第 3.4.25 図 Day microphysics RGB 合成画像(左)とレーダー降水強度(右) (2017年2月10日12時)

Day microphysics RGB 合成画像は、近赤外 B04(0.86  $\mu\text{m}$ )、赤外 B07(3.9  $\mu\text{m}$ )の太陽光反射成分、赤外 B13(10.4  $\mu\text{m}$ )を合成した画像である。夏季と冬季とで異なるレシピが用意されており、季節による色の変化に対してもある程度同じような表現となるように対応している。

この RGB 合成画像は雲の相・粒径などの微物理的特長を利用することで様々な雲域を識別できる汎用性を持つ代わりに、色見本が 10 色以上存在する複雑な RGB 合成画像であることが利用者にとっての難点である。

ただし、今回のような活発な対流域の把握に限れば特に覚えておくべき色の数は数個に限られる。すなわち、赤色で示される降水を伴う厚い雲、茶色で示される降水を伴う厚い雲（特にシビア現象を伴う Cb）の 2 色である。

第 3.4.25 図に、2 月 10 日 12 時における Day microphysics RGB 合成画像とレーダーによる 10 分間降水強度を示す。右図のレーダー画像で観測されている JPCZ の雲域に伴う降水域や L モード雲に伴う降水域と左の RGB 合成画像で示される赤色や茶色の領域が整合的であり、その他の雲は黄色や黄緑色の過冷却の水雲として表現されていることがわかる。このように、広範囲に雲域が広がっている状況下において着目すべき雲域を簡単に把握できるのが RGB 合成画像を用いる利点である。

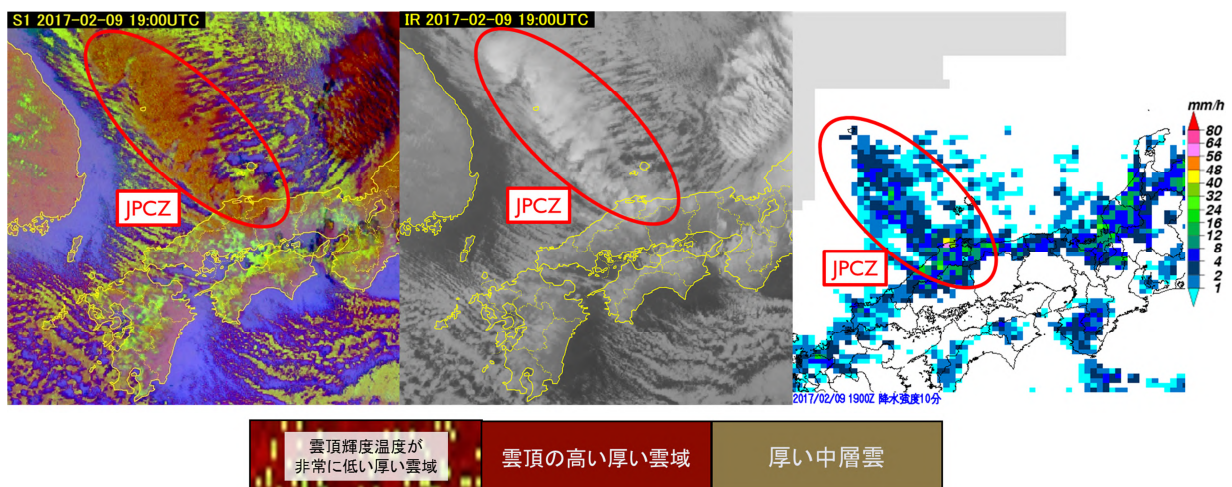
なお、この RGB 合成画像の色解釈において示される「降水を伴う厚い雲」は、あくまでも衛星画像からの解析であるため地上に降水が到達するかは分からないということには留意が必要である。

### (b) 夜間における JPCZ の雲域の解析

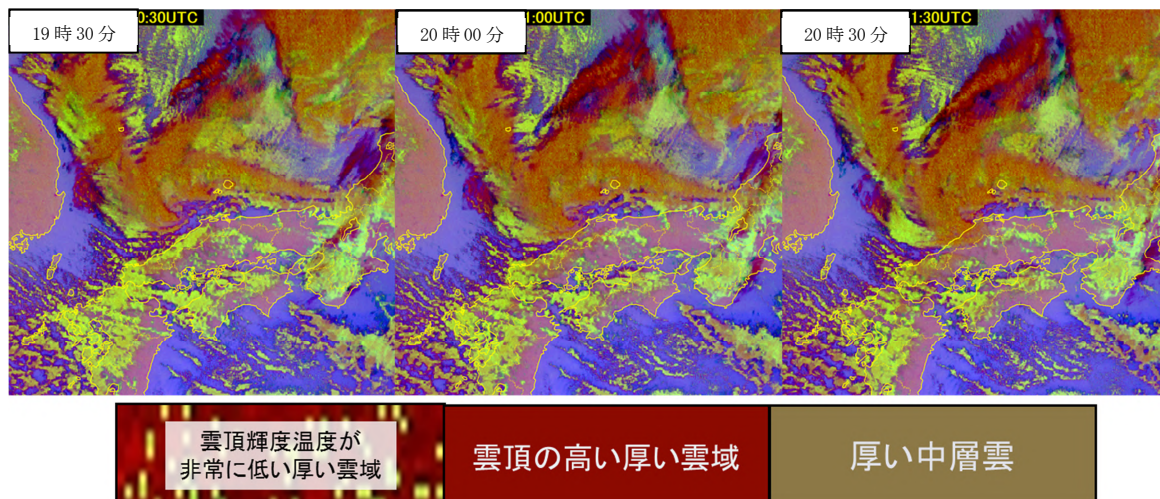
Night microphysics RGB 合成画像は、赤外 B15(12.3  $\mu\text{m}$ ) と B13 の差分、赤外 B13 と赤外 B07 の差分、B13 を合成した画像である。赤外の差分画像を主に使用しており、これまでは主に夜間における霧・下層雲の解析をするために紹介されてきた RGB 合成画像である。

第 3.4.26 図に、2 月 10 日 4 時における Night microphysics RGB 合成画像、B13 赤外画像、レーダーによる 10 分間降水強度を示す。RGB 合成画像とレーダーを比較すると、レーダー画像で観測されている JPCZ の雲域に伴う降水域と、RGB 合成画像で茶色系で示される厚い雲域との対応がよいことがわかる。また、単一バンドの赤外画像と比較すると、Night microphysics RGB 合成画像は濃淡の差が薄い赤外画像と比較して注意すべき雲域の把握が容易に行えることがわかる。

次に、この色の違いにより JPCZ の雲域の流入を把握できる例を示す。第 3.4.27 図に示すのは、2 月 9 日夜の山陰地方へ JPCZ の雲域が上陸した時間帯 (19:30~20:30) の 30 分毎の Night microphysics RGB 合成画像である。図から見てわかるとおり、日本海で発生した JPCZ の雲域が徐々に山陰へと上陸する様子が容易に解析できるようになっている。



第 3.4.26 図 Night microphysics RGB 合成画像(左)、B13(10.4  $\mu\text{m}$ )赤外画像(中)、10 分間降水強度 (右)  
(2017 年 2 月 10 日 4 時)



第 3.4.27 図 Night microphysics RGB 合成画像  
(2017 年 2 月 9 日 19 時 30 分～20 時 30 分)

### (5) まとめ

ここでは、冬季の JPCZ に伴う降雪事例に関して、RGB 合成画像からの対流雲域の把握を紹介した。雲粒の微物理特性に着目して作成されている Day & Night microphysics RGB 合成画像は、冬季の事例においても着目すべき雲域がどこなのかを色から把握することができる画像である。

RGB 合成画像は、既存の単一画像による雲解析と比較して、誰でも容易に衛星画像をツールとして使用できるようになる技術である。今回のような事例は単一画像と比較すると RGB 合成画像を利用することでその利点が活かされた事例の一つであると考えられる。

また、衛星画像の解析に熟練した解析者にとっても、RGB 合成画像は解析対象をより分かりやすく表示することができるため、より効率的で精度の高い解析を行うための有効なツールといえる。

気象衛星センター (2002) 及び(財)日本気象協会 (1993) で示されているような既存の雲解析の技術は現代の気象衛星においても変わらず使えるものであり、これらの既存技術と RGB 合成画像という新しい技術を組み合わせることで、より効率的に解析を行うことができる。

### 3.5 おわりに\*

今回の予報技術研修テキストでは、ひまわり 8 号の各種衛星画像を利用した総観スケール現象の把握について取り上げた。静止気象衛星による観測は、広範囲の領域を定常的に観測できる利点がある。この利点は総観スケール現象の把握にも適しており、さらに、ひまわり 8 号の各種 RGB 合成画像などのカラー画像を利用することにより、新しい形態での総観スケール現象の把握や解析が可能となる。

また、具体的な事例の紹介では、大雨、突風、大雪の事例を取り上げ、ひまわり 8 号の新しい画像の利用についていくつかの提案を行った。ひまわり 8 号の各種衛星画像について、一層の理解を深めていただくとともに、これらの画像の有効活用を推進していただければ幸いである。

\*寺坂 義幸 (気象衛星センターデータ処理部解析課)



## 参考文献

- 浅井富雄, 1988: 日本海豪雪の中規模的様相. 天気, 35, 156-161.
- EUMETSAT MSG Interpretation Guide  
([https://www.eumetsat.int/website/home/Data/Training/TrainingLibrary/DAT\\_2044069.html](https://www.eumetsat.int/website/home/Data/Training/TrainingLibrary/DAT_2044069.html)).  
最終閲覧日 2018 年 8 月 31 日
- 福岡管区气象台, 2017: 現地災害調査報告「平成 29 年 8 月 9 日に福岡県福岡市博多区で発生した突風について」([https://www.jma-net.go.jp/fukuoka/chosa/saigai/20170809\\_fukuoka.pdf](https://www.jma-net.go.jp/fukuoka/chosa/saigai/20170809_fukuoka.pdf)).  
最終閲覧日 2018 年 8 月 27 日
- 加藤輝之, 廣川康隆, 2012: 「6.3 高渦位流入と大雨との関係」. 平成 23 年度予報技術研修テキスト, 気象庁予報部, 104-106.
- 気象衛星センター, 2002: 気象衛星画像の解析と利用-航空気象編-  
([https://www.data.jma.go.jp/mscweb/ja/prod/pdf/book/book\\_koukukisho\\_c.pdf](https://www.data.jma.go.jp/mscweb/ja/prod/pdf/book/book_koukukisho_c.pdf)).  
最終閲覧日 2018 年 8 月 21 日
- 気象研究所, 2017: 報道発表資料「平成 29 年 7 月 5-6 日の福岡県・大分県での大雨の発生要因について」  
([http://www.jma.go.jp/jma/press/1707/14b/press\\_20170705-06\\_fukuoka-oita\\_heavyrainfall.pdf](http://www.jma.go.jp/jma/press/1707/14b/press_20170705-06_fukuoka-oita_heavyrainfall.pdf)).  
最終閲覧日 2018 年 8 月 22 日
- 気象庁, 2018: 災害時気象報告「平成 29 年 7 月九州北部豪雨及び 6 月 7 日から 7 月 27 日までの梅雨前線等による大雨等」([http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/saigaiji/saigaiji\\_201801.pdf](http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/saigaiji/saigaiji_201801.pdf)).  
最終閲覧日 2018 年 10 月 10 日
- 気象庁ホームページ: 「竜巻などの激しい突風とは」  
(<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/toppuu/tornado1-1.html>).  
最終閲覧日 2018 年 8 月 27 日
- 気象庁ホームページ: 「トゥルーカラー再現画像の利用について」  
(<http://www.jma-net.go.jp/sat/himawari/TCR.html>).  
最終閲覧日 2018 年 8 月 31 日
- 黒良龍太, 森浩俊, 加藤輝之, 2013: 予報作業における渦位の利用について. 平成 25 年度予報技術研修テキスト, 気象庁予報部, 49-61.
- 水戸地方气象台・東京管区气象台, 2015: 現地災害調査速報「平成 27 年 8 月 6 日に茨城県桜川市で発生した突風について」([https://www.jma-net.go.jp/tokyo/sub\\_index/bosai/disaster/20150806mito/20150806mito.pdf](https://www.jma-net.go.jp/tokyo/sub_index/bosai/disaster/20150806mito/20150806mito.pdf)).  
最終閲覧日 2018 年 8 月 27 日
- Murata, H., K. Saitoh, Y. Sumida, 2018: True color imagery rendering for Himawari-8 with a color reproduction approach based on the CIE XYZ color system. J. Meteor. Soc. Japan., doi: 10.2151/jmsj.2018-049.
- Miller, S., T. Schmit, C. Seaman, D. Lindsey, M. Gunshor, R. Kohrs, Y. Sumida, and D. Hillger, 2016: A Sight for Sore Eyes - The Return of True Color to Geostationary Satellites. Bull. Amer. Meteor. Soc. doi: 10.1175/BAMS-D-15-00154.1
- Murata, H., 2016: Himawari-8 True Color Reproduction Image, RA II WIGOS Project Newsletter Vol. 7, No. 2, 7-10. ([http://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/satellite/ra2wigosproject/documents/RA\\_II\\_WIGOS\\_Newsletter\\_Vol7\\_No2.pdf](http://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/satellite/ra2wigosproject/documents/RA_II_WIGOS_Newsletter_Vol7_No2.pdf)) 最終閲覧日 2018 年 8 月 31 日

- 長崎地方気象台, 2017: 現地災害調査報告「平成 29 年 8 月 9 日に長崎市小江原で発生した突風について」  
([http://www.jma-net.go.jp/nagasaki-c/gyomu/hodo/2017/ns\\_hodou20170908.pdf](http://www.jma-net.go.jp/nagasaki-c/gyomu/hodo/2017/ns_hodou20170908.pdf)).  
最終閲覧日 2018 年 8 月 27 日
- 小倉義光, 1997: メソ気象の基礎理論, 97-101.
- 小倉義光, 1999: 一般気象学 (第 2 版), 207-231.
- 岡林俊雄, 1982: 気象衛星資料の利用 (II). 測候時報, 49, 185-250.
- 大阪管区気象台, 2017: 近畿・中国地方の気象速報「平成 29 年 2 月 9 日から 12 日にかけての大雪について」  
([http://www.jma-net.go.jp/tottori/t\\_kishou/20170213kisyousoku.pdf](http://www.jma-net.go.jp/tottori/t_kishou/20170213kisyousoku.pdf)).  
最終閲覧日 2018 年 9 月 6 日
- 志水菊広, 齋藤幸太郎, 山本幹人, 2017: ひまわり 8 号・AHI の 16 バンド画像の特性. 気象衛星センター  
技術報告第 62 号, 39-71.
- 寺坂義幸, 2016: ひまわり 8 号 RGB 合成画像の基礎. 平成 27 年度予報技術研修テキスト, 気象庁予報部,  
123-136.
- 寺坂義幸, 2017: ひまわり 8 号 RGB 合成画像による霧の監視. 平成 28 年度予報技術研修テキスト, 気象  
庁予報部, 101-114.
- 寺坂義幸, 齋藤幸太郎, 鈴江寛史, 隅田康彦, 山本雅之, 佐々木勝, 2018: ひまわり 8 号による積乱雲監  
視. 平成 29 年度予報技術研修テキスト, 気象庁予報部, 56-83.
- 鳥取地方気象台, 2017: 鳥取県の気象速報「平成 29 年 2 月 9 日から 12 日の鳥取県の大雪について」  
([http://www.jma-net.go.jp/tottori/t\\_kishou/20170213kisyousoku.pdf](http://www.jma-net.go.jp/tottori/t_kishou/20170213kisyousoku.pdf)).  
最終閲覧日 2018 年 9 月 6 日
- 宇都宮地方気象台・東京管区気象台, 2015: 現地災害調査報告「平成 27 年 8 月 6 日に栃木県芳賀郡市貝町  
から益子町にかけてと矢板市及び那須烏山市で発生した突風について」  
([https://www.jma-net.go.jp/tokyo/sub\\_index/bosai/disaster/20150806utsunomiya/  
20150802utsunomiya.pdf](https://www.jma-net.go.jp/tokyo/sub_index/bosai/disaster/20150806utsunomiya/20150802utsunomiya.pdf)).  
最終閲覧日 2018 年 8 月 27 日
- (財)日本気象協会編著, 1993: 「ひまわり」で見る四季の気象-雲画像の見方- 気象衛星センター監修, 大  
蔵省印刷局.

## 付録 Airmass RGB 合成画像の色調表示に関する補足\*

4 種類の観測バンドの画像の情報をを用いる Airmass RGB 合成画像の特性の理解はやや複雑なため、ここで色調と赤緑青色に割り当てられた各画像の特性を関連付けて、主な色調解釈について再確認する。寒気・暖気はそれぞれ暗い青紫色と緑色の色調で示される。寒気を示す暗い青紫色は青・赤色の画像の寄与が中程度で、緑色の寄与が少ない領域である。青色の画像は B08 水蒸気画像なので、青色の寄与が大きいところは上層水蒸気の多い領域や上層の温度自体が低い領域に相当する。寒気においては、対応する色調は上層の温度自体が低い領域であることを示している。赤色の画像は B10 と B08 の水蒸気差分画像であり、上層が乾燥していると寄与が大きく（上中層にまたがる厚い雲域も輝度温度差が少ないため寄与が大きい）、上層が湿っていると寄与が小さくなる。寒気においては赤色の寄与は中程度以下であるため、上層の水蒸気の多寡はあまり影響せず、水蒸気の多い領域ではやや青みが強くなる程度である。

一方、暖気は緑色の色調で示される。Airmass RGB 合成画像の緑色の画像は B12 画像と B13 赤外画像の差分画像で、B12 画像は主に成層圏に存在するオゾンの吸収を受ける。B12 画像と B13 赤外画像の差分画像ではオゾンの多い領域は緑色の寄与が小さく、オゾンの少ない領域は緑色の寄与が大きくなる。一般に低緯度の強い太陽紫外線によって生成されたオゾンは成層圏の大気の流れによって中高緯度に運ばれ極域へ輸送される。そのため、極域のオゾン全量は多くなり緑色の寄与が小さく、低緯度は寄与が大きくなる傾向になる。また、中高緯度ではオゾン全量は季節変動がみられ、低緯度域から中高緯度への成層圏大気の大規模輸送は冬季に活発となり、中高緯度では冬季から春季にかけてオゾンが蓄積されてオゾン全量が多くなる。

局所的な圏界面高度の低下領域は、赤茶色の色調で示される。赤茶色の色調は、赤色の画像の寄与が中程度で、緑と青色の画像の寄与が少ない領域である。上述の各色の寄与の理由から圏界面高度の局所的な低下とともに輸送されたオゾン濃度が上昇し（緑色の少ない寄与）、上層が乾燥した領域（赤色の中程度の寄与、青色の少ない寄与）に対応する。局所的な圏界面高度の低下をしばしば「圏界面の垂れ下がり」と呼称するが、このような領域では乾燥した成層圏起源の高渦位領域の下降により低気圧性の渦位偏差が生じ、ジェット気流や寒気コアの形成などをもたらす。また、1.5 ～2PVU 等渦位面は近似的に圏界面に対応するとされる。そのため、Airmass RGB 合成画像の赤茶色で表示される高渦位領域から上層のジェット気流や寒冷渦等を解析できる。なお、渦位の説明や利用については黒良他（2013）に詳しいため、ここでは詳細は省略する。

---

\*志水 菊広（気象衛星センターデータ処理部解析課）

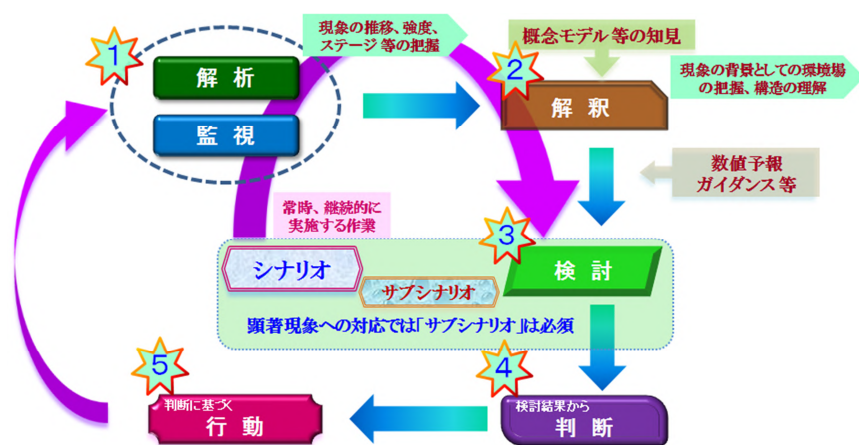
# 第4章 地方予報中枢官署における実況監視・解析作業の 具体例\*

## 4.1 はじめに

これまでの予報技術研修テキストでは、予報作業の手順や要点について第4.1.1図にあるとおり、「解析・監視」、「解釈」、「検討」、「判断」、「行動」の5つの要点及びこの予報作業サイクルを適切に実施することが最も重要であると解説してきた（村中，2013）。特に予報シナリオ作成（以下、シナリオ）のための「検討」に至る過程では、現象の推移、強度、ステージ等の把握のための「解析・監視」が予報作業サイクルの基盤である。この「解析・監視」は、基本的に全国の気象官署で日々の予報作業で行っていることである。即ち、全国予報中枢官署では総観場の把握を行って大気構造を理解し、これらから得た知見や着目点などを中央気象指示報等で全国の官署に解説・指示している。地方予報中枢官署では中央気象指示報等で示された着目点などに沿って、担当予報区内へ直接または間接的に影響を与える現象を監視・解析し、シナリオも付加して地方気象指示報等で府県予報区担当者に解説・指示している。このように全国中枢、地方中枢官署においては、府県官署が適切なリードタイムを確保した警報・注意報、府県気象情報を適切に発表できるように、「解析・監視」の結果に基づき、着目点やシナリオ等に関する解説・指示を行い、さらに「解釈」と「検討」に基づき、サブシナリオへの切り替えや、警報・注意報の発表解除、及び量的予報修正に関する指導・指示を行っている。

過去の予報技術研修テキストでは、総観場の把握や局地気象解析の具体的な作業や手順、着目点等について詳細に解説してきた。それらの中では、具体的な事例を用いて「解析・監視」、「解釈」によりシナリオの「検討」を行い、防災気象情報発表の「判断」を行うといった予報作業の例を詳細に解説してきており、これらの作業や手順等は現在でも変わりはない。

「解析・監視」の詳細な技術や方法等については、平成26年度の予報技術研修テキスト（黒良・牧野，2014）を参照していただくとして、本章では、地方予報中枢官署が「解析・監視」の結果に基づいて日々行っている「府県予報区担当官署への着目点やシナリオ等に関する解説・指示」に焦点を絞り、平成29（2017）年7月4日～5日にかけての関東地方の大雨の事例を用いて具体的に解説する。



第4.1.1図 予報作業サイクル『5つの要点』

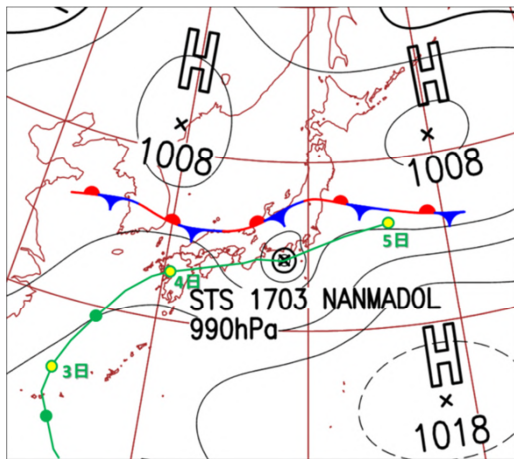
\*原 基、長田 栄治（気象庁予報部予報課）

## 4. 2 事例の概要

平成 29 (2017) 年 7 月 4 日、梅雨前線が日本海西部から東北南部に停滞している中、台風第 3 号が同日 8 時に長崎県長崎市に上陸後、中心気圧 990hPa、最大風速 25m/s の勢力を維持しながら九州から本州の南岸を東進し、5 日 9 時には日本の東で温帯低気圧に変わった (第 4.2.1 図)。

関東地方では 4 日夕方～5 日未明にかけて台風本体及び台風の北側の雨雲がかかり、茨城県や埼玉県南部、千葉県北西部では総雨量 100 ミリを超える大雨となった。特に茨城県南部では、解析雨量で 3 時間 150 ミリを超える大雨 (第 4.2.2 図) となり、3 時間雨量の 50 年に一度の格子が出現した。

4 日 17 時発表の関東地方及び伊豆諸島の明日 (5 日) までの警報級の可能性は第 4.2.1 表のとおりで、17 時より前に群馬県北部には大雨警報 (土砂災害)、伊豆諸島北部には暴風警報が発表されていた。大雨警報の可能性を「中」としていたのは、栃木県北・南部、千葉県北東・南部、神奈川県全域と伊豆諸島であった。このことから、夜勤者が日勤者から引き継ぎを受けた時点では、茨城県や埼玉県、千葉県北西部では警報級の大雨になるとは予想していなかった。

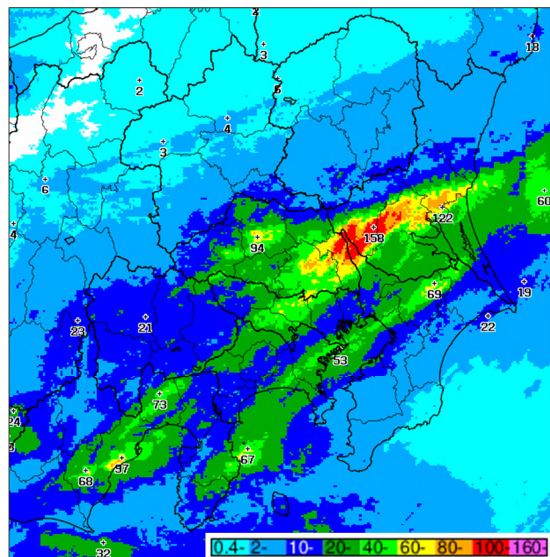


第 4.2.1 図 2017 年 7 月 4 日 21 時の地上天気図と台風第 3 号の経路図

台風の経路図 (緑線) の○は 9 時、●は 21 時の中心位置を示す。

第 4.2.1 表 7 月 4 日 17 時発表の関東地方及び伊豆諸島の明日 (5 日) までの警報級の可能性

細分名	雨		風(風雪)		波	
	18-06	06-24	18-06	06-24	18-06	06-24
[栃木県]南部	中	-	-	-	-	-
[栃木県]北部	中	-	-	-	-	-
[群馬県]南部	-	-	-	-	-	-
[群馬県]北部	高	-	-	-	-	-
[埼玉県]北部	-	-	-	-	-	-
[埼玉県]南部	-	-	-	-	-	-
[埼玉県]秩父地方	-	-	-	-	-	-
[茨城県]北部	-	-	-	-	-	-
[茨城県]南部	-	-	-	-	-	-
[千葉県]北西部	-	-	-	-	-	-
[千葉県]北東部	中	-	-	-	-	-
[千葉県]南部	中	-	中	-	-	-
[東京都]東京地方	-	-	-	-	-	-
[東京都]伊豆諸島北部	中	-	高	-	-	-
[東京都]伊豆諸島南部	中	-	中	-	-	-
[東京都]小笠原諸島	-	-	-	-	-	-
[神奈川県]東部	中	-	-	-	-	-
[神奈川県]西部	中	-	-	-	-	-



第 4.2.2 図 7 月 4 日 19 時 30 分～22 時 30 分の 3 時間解析雨量積算図

### 4. 3 事例に基づいた地方予報中枢官署での実況監視・解析作業

平成 29 (2017) 年 7 月 4 日～5 日の関東地方における大雨の事例について、「解析・監視」の中の“地方予報中枢官署における府県官署への指示”という観点で解説していく。ここでは、予想外の大雨となった「雨」に焦点を絞って実況監視・解析作業について述べる。なお、「風」や「波」については、当初の予想どおり経過したのでここでは言及しない。

#### 4. 3. 1 シナリオと実況監視の着目点やポイント

##### 4. 3. 1. 1 シナリオ

日勤者から引き継いだ 4 日 17 時予報の時点のメインシナリオとサブシナリオは、次のとおりである。

###### 【メインシナリオ】

台風は、5 日明け方にかけて暴風を伴ったまま東海道沖から伊豆諸島北部を東進する予想である(第 4.3.1 図)。雨については、台風本体の雨雲がかかる伊豆諸島中心に 1 時間 50 ミリの非常に激しい雨のおそれがある。850hPa では、東北地方にある梅雨前線に向かって台風からの高相当温位域が入り、4 日夜遅くになると台風本体の高相当温位域が関東沿岸部にかかる(図略)。

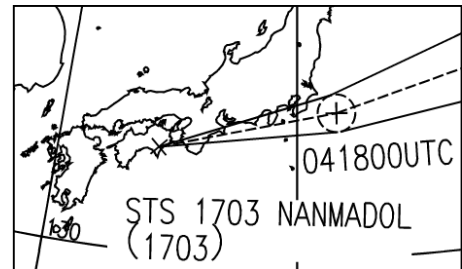
降水については MSM を基本に考え、台風前面の南海上からの下層暖湿気流入による不安定降水は、台風の予想勢力が MSM より強いことから下層風の強まりを考慮して MSM の降水量を上方修正する。24 時間降水量は、4 日 9 時初期値の 24 時間降水量ガイダンスは 3 日 21 時初期値の予想より少なくなったが、台風本体の影響もあることから上方修正し、関東地方で 100 ミリ、伊豆諸島で 120 ミリを見込む。

###### 【サブシナリオ】

4 日 17 時予報を検討中の GSM・MSM の 24 時間降水量ガイダンスはともに関東地方での大雨を予想していない(第 4.3.2 図)。

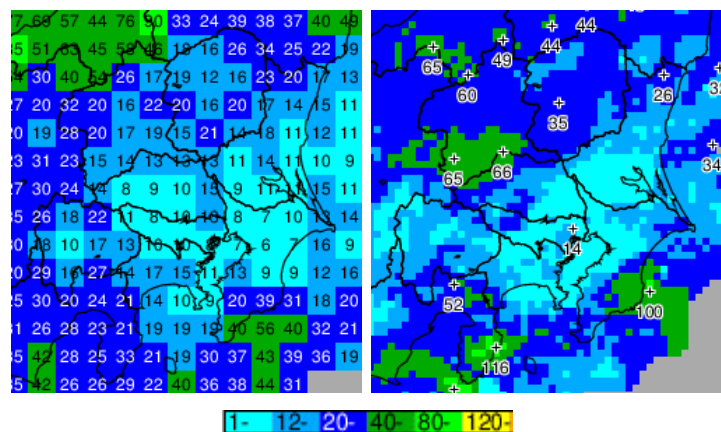
4 日 21 時を予想した GSM、MSM、LFM の 1 時間降水量(第 4.3.3 図)を見ると、MSM と LFM は、関東地方南部に房総半島～相模湾からの南寄りの風と関東地方北部や鹿島灘からの北東～東風による地上シアラインを予想し、LFM はその近傍で最大 50 ミリ以上の非常に激しい雨を予想している。台風前面の下層暖湿気が予想より強まると、局地的には 1 時間 80 ミリ以上の猛烈な雨が降り、24 時間降水量が 200 ミリ近くに達するおそれがある。

雨についてのシナリオは MSM を基本に考えるが、LFM のとおり降水が強まる可能性もあるので実況監視を行い、必要であれば LFM のシナリオへの切り替えを考える。



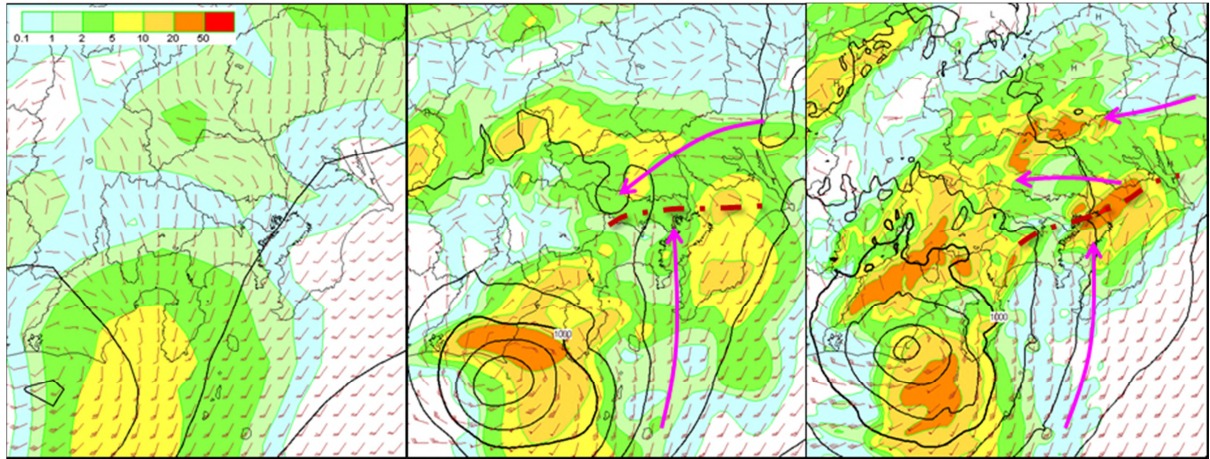
第 4.3.1 図 7 月 4 日 15 時の台風第 3 号の進路予想

×は 4 日 15 時の中心位置。



第 4.3.2 図 5 日 18 時までの 24 時間最大降水量ガイダンス分布図

左：GSM (4 日 9 時初期値)、右：MSM (4 日 12 時初期値)。



**第4.3.3図 4日21時の地上気圧、地上風、1時間雨量の予想図**

左からGSM(4日9時初期値)、MSM(4日12時初期値)、LFM(4日13時初期値)。等圧線は2hPa毎、茶色の一点鎖線は地上シアアライン、赤紫色の矢印は流線。

#### 4.3.1.2 実況監視の着目点

メインシナリオとサブシナリオを踏まえ、実況監視の着目点は、台風東側の暖湿気が流入してきたときに、地上シアアライン上でLFMのとおり降水が強まるかどうかのポイントとなる。そこで、以下の項目が実況監視の着目点となる。

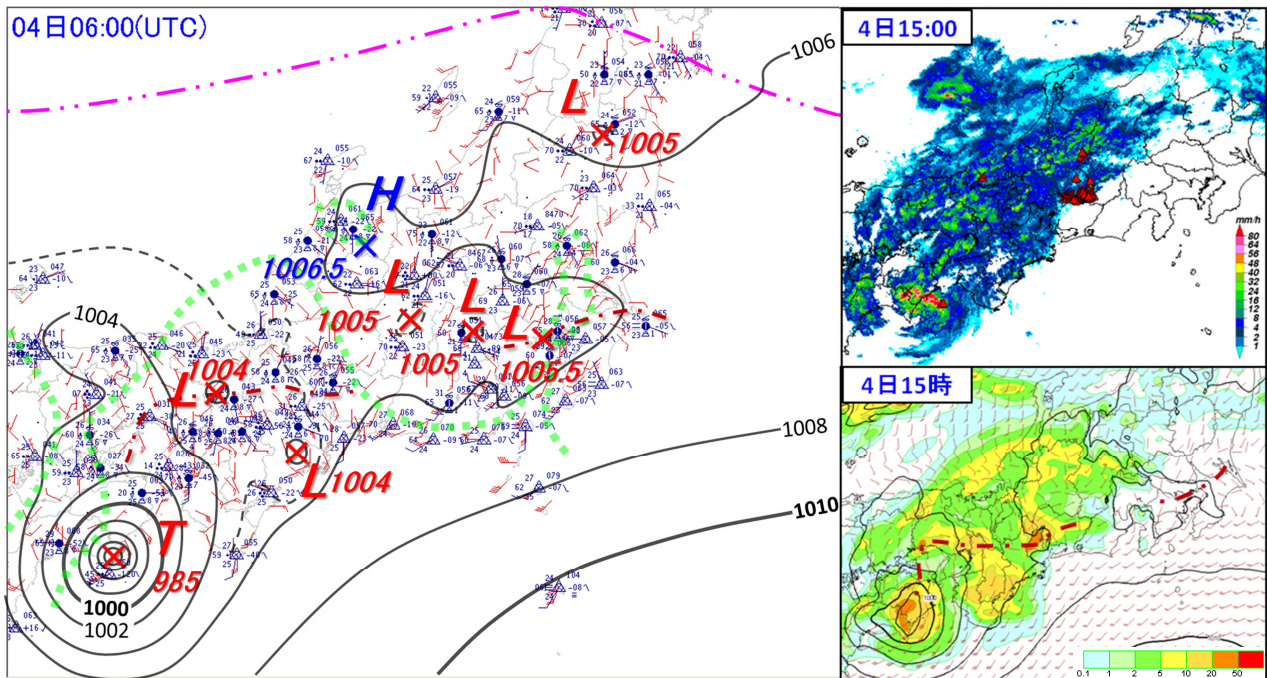
- ①台風の進路と台風本体の雨雲の広がり、台風東側の暖湿気
- ②関東地方南部の地上シアアライン
- ③雨量に影響すると考えられる台風接近前の関東地方南部の南寄りの下層強風

#### 4.3.2 具体的な実況監視・解析作業

ここでは4日の夜勤者を想定し、府県官署がリードタイムを確保した警報・注意報の発表、シナリオ変更や量的予報の修正などを適切に判断できるように、実況解析に基づいて現象の着目点やサブシナリオへの切り替え、量的予報の変更等を指示するという作業を現象が終了するまで繰り返す。

具体的には、4.3.1.2の監視項目に着目して局地天気図等の実況を解析して現象の着目点を説明するとともに、最新のLFMの予想結果を利用してサブシナリオへの切り替えや量的予想の変更を指示するという作業を行う。

#### 4. 3. 2. 1 4日15時



第4.3.4図 4日15時の局地解析、レーダー降水強度・LIDEN、4日12時初期値による4日15時のMSM予想図

実線は2hPa毎の等圧線、破線は1hPa毎の補助線、990hPa以下の等圧線は省略。茶色の一点鎖線は地上シアーライン、赤紫色の二点鎖線は総観規模の停滞前線。緑色の点線は24°Cの等露点温度線。LIDENは前10分間。MSMは地上気圧(等圧線2hPa毎)、地上風、1時間雨量の予想図で、茶色の一点鎖線は地上シアーライン。

【解析】①4日15時、台風は室戸岬付近にあって、この北東側の雨雲が紀伊半島から関東地方北部にかかっている。東海地方の地上シアーライン付近では、激しい雨を観測(第4.3.4図右上)。関東地方南部は中・下層が西寄りの風で、関東山地を越えてきた空気は乾燥している。

②愛知・長野県境付近で発雷(第4.3.4図右上)。

③千葉県～神奈川県には、房総半島～相模湾からの南寄りの風と関東地方北部や鹿島灘からの北～北東風による地上シアーラインが存在している(第4.3.4図左)。また、愛知県から近畿地方を通過して淡路島の西海上にも地上シアーラインが存在(同図)。両者のシアーラインはMSMの位置と概ね合っている。

④降水分布はMSM(第4.3.4図右下)と概ね合っているが、4日13時初期値のLFM(第4.3.3図)では4日21時に地上シアーライン近傍の東京都や千葉県で降水が強まり、最大50ミリ程度の非常に激しい雨を予想。

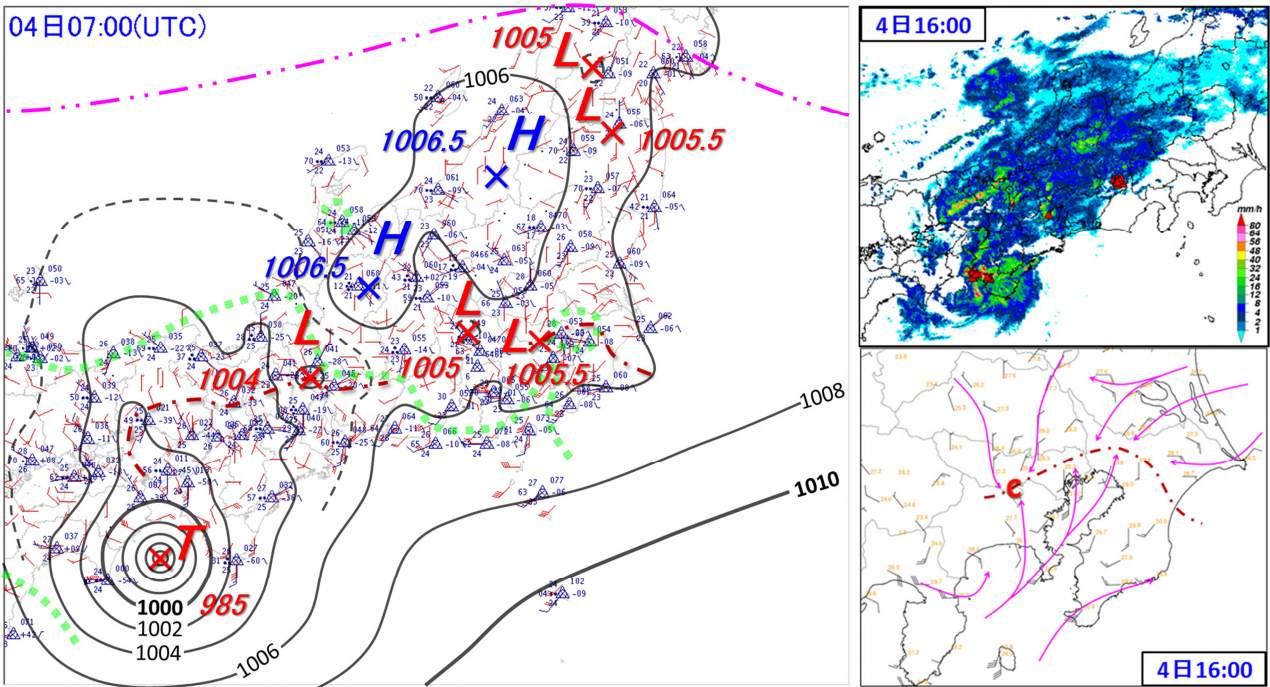
【指示】①実況の降水はMSMと概ね合っている。LFMの台風予想はMSMよりやや北寄りへ進ませていることから、今後進路が北へずれると沿岸部で大雨の可能性があるので台風の動向に注意。

②現在、MSMに沿ったシナリオだが、台風の北東側の降水と地上シアーラインによる降水が重なると、台風本体からの高相当温位の空気塊が流入するため降水が強まり、LFMのとおり東京都や千葉県で非常に激しい雨の降る可能性があり、今後、LFMのシナリオに切り替える可能性がある。

③台風本体の雨雲がかかる神奈川県や千葉県の沿岸部、伊豆諸島は、台風本体の雨雲の広がりや強さから判断してメインシナリオを変更する必要はない。リードタイムを考慮した注意報・警報の発表作業を行う。

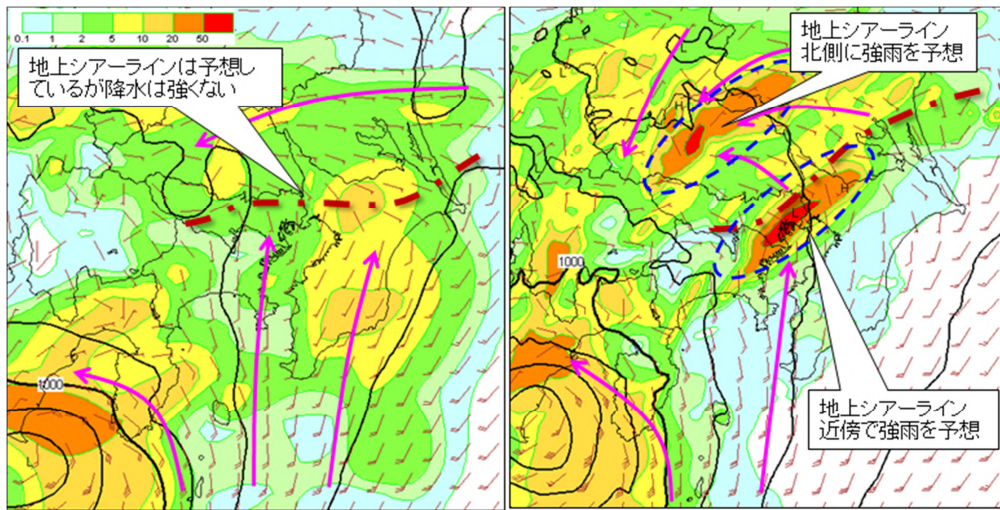


4. 3. 2. 2 4日16時



第 4.3.5 図 4日16時の局地解析、レーダー降水強度・LIDEN、アメダス風・気温

左、右上の記号は第 4.3.4 図と同じ。右下の茶色の一点鎖線は地上シアールライン、赤紫線は流線、C は低気圧性循環の中心位置。



第 4.3.6 図 4日21時の地上気圧、地上風、1時間雨量の予想図

左は MSM (4日12時初期値)、右は LFM (4日14時初期値)。記号は第 4.3.3 図と同じ。

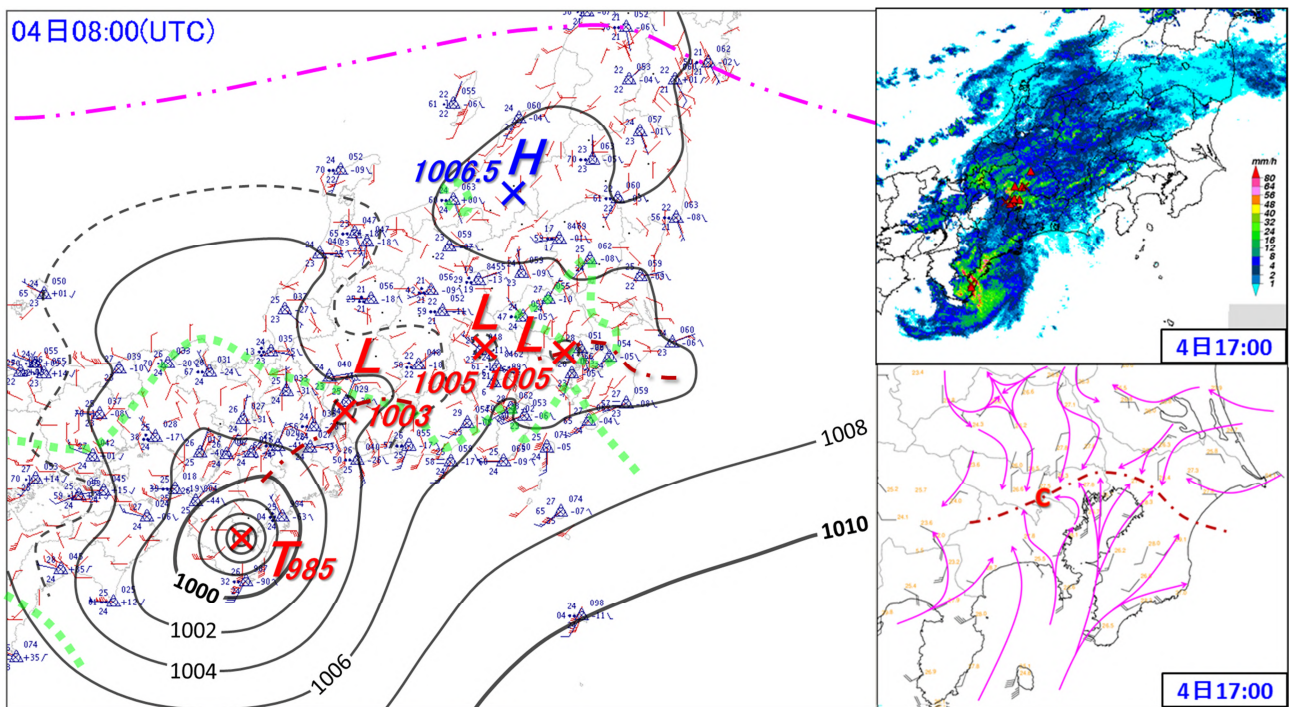
- 【解析】①千葉県～神奈川県にある南寄りと北～北東風の地上シアールラインは継続 (第 4.3.5 図左・右下)。  
 ②4日12時初期値の MSM では、4日21時に関東地方南部には強い降水を予想していないが、4日14時初期値の LFM では埼玉県と東京都・千葉県に強雨を予想 (第 4.3.6 図)。
- 【指示】①14時初期値の LFM では、13時初期値と同様に、21時に地上シアールライン近傍の東京都、千葉県で降水が強まる予想をしていて、安定している。  
 ②台風の接近に伴って南海上から暖湿気が流入し、LFM の予想のとおり地上シアールライン近傍で大雨となった場合、4日21時には東京都と千葉県で、1時間 50～80 ミリの警報級の大雨となる可能

性がある。1～2 時間程度のリードタイムを確保した警報を発表するためには、遅くとも 19 時までにはシアーライン周辺での降水量予測を再検討し、LFM のシナリオへの切り替えを判断する。

③ LFM は、地上シアーライン北側の埼玉県でも強雨を予想しているが、東京都や千葉県の地上シアーラインと異なり、まだ強雨の予想は安定しておらず不確実性が大きい。このため今後の LFM の強雨予想に注目。

④ 台風本体の雨雲がかかる神奈川県や千葉県の沿岸部、伊豆諸島は、引き続きメインシナリオを踏襲。

#### 4. 3. 2. 3 4 日 17 時

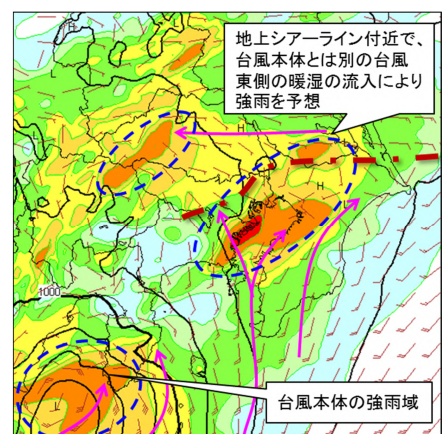


第 4.3.7 図 4 日 17 時の局地解析、レーダー降水強度・LIDEN、アメダス風・気温

左、右上の記号は第 4.3.4 図と同じ、右下の記号は第 4.3.5 図と同じ。

【解析】① 台風本体の雨雲は小さくまとまっていて、強い雨雲は台風の東側に偏在 (第 4.3.7 図右上)。台風の雨雲とは別に、台風の北～北東象限にあたる福井県～静岡県西部には強い降水帯がのびており、静岡県西部では南寄りの風による地形性の降水が強化。特に局地解析では、岐阜・愛知県境付近に地上シアーラインがあり、シアーライン上には 1003hPa の小低気圧が解析でき、この付近では収束が強まっていて 1 時間 40 ミリ前後の雷を伴った激しい雨を観測 (第 4.3.7 図左・右上)。

② 千葉県～東京都～神奈川県にある南寄りと北寄りの風による地上シアーラインはほぼ停滞しているが、シアーライン上では雨雲は発生していない。千葉県北西部、



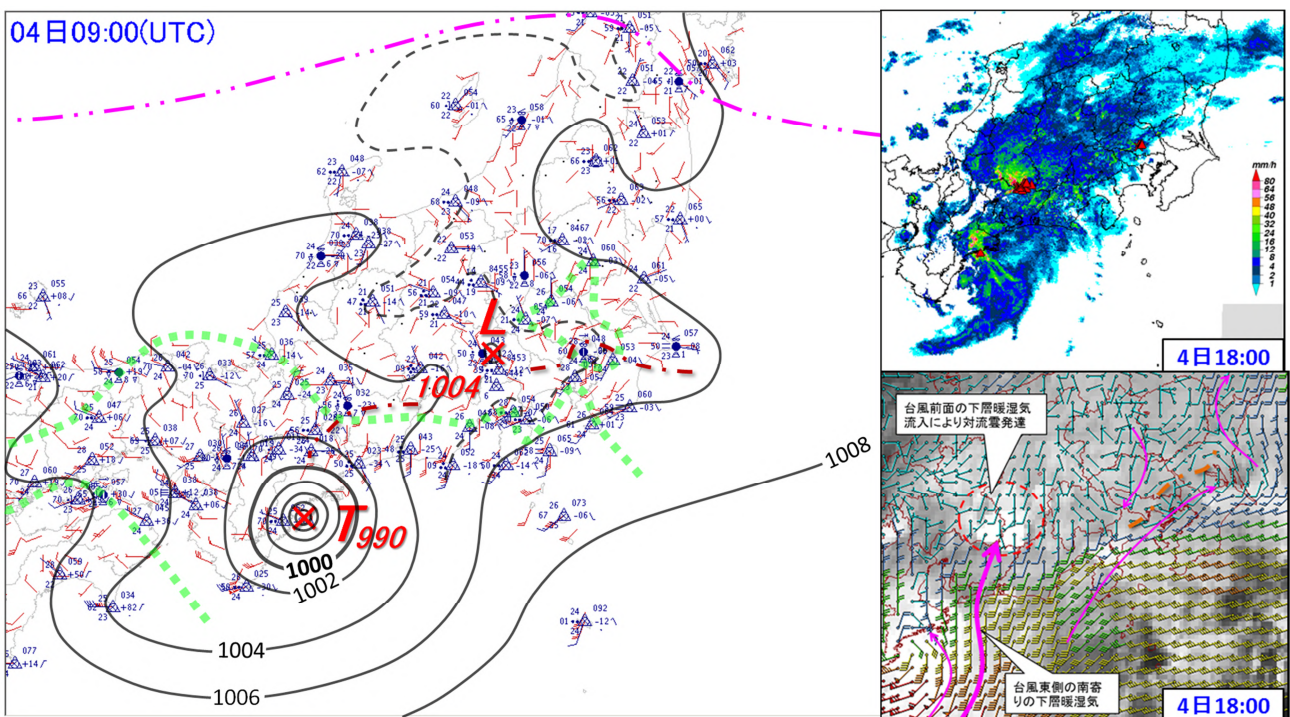
第 4.3.8 図 4 日 21 時の地上気圧、地上風、1 時間雨量の予想図

4 日 15 時初期値の LFM。記号は第 4.3.3 図と同じ。

東京都、埼玉・栃木県に露点温度 24℃の領域が広がった（第 4.3.7 図左）。

- 【指示】①4日15時初期値の LFM の 21 時の予想（第 4.3.8 図）では、静岡県から伊豆諸島北部の台風本体、東京都、千葉県の上シアーライン近傍、埼玉県、東京都、山梨県の山地での 3 つの強雨域を予想。
- ②LFM で東京都、千葉県の地上シアーライン近傍の強雨の予想は安定しているため、遅くとも 19 時までにサブシナリオへの切り替えの判断をするという見通しは継続。
- ③東京都、千葉県の地上シアーラインの北側にある埼玉県、東京都、山梨県の山地での強雨域は、大きく見ると予想は安定してきたが、位置の予想がまだ不確実。実況の降水の状況、LFM の予想に注目。
- ④台風本体の雨雲がかかる神奈川県や千葉県の沿岸部、伊豆諸島は、メインシナリオ継続。

#### 4.3.2.4 4日18時



第 4.3.9 図 4日18時の局地解析、レーダー降水強度・LIDEN、毎時大気解析 950hPa の風・赤外画像

左、右上の記号は第 4.3.4 図と同じ。右下の橙色の一点鎖線はシアーラインで、赤紫線は流線。

- 【解析】①レーダーでは、雨雲が東京都や神奈川県に広がり、埼玉県内では発雷（第 4.3.9 図右上）。1 時間雨量は 30 ミリ未満だが、埼玉県では 10 分間 10 ミリ弱の雨量を観測。
- ②東～北寄りの風と南西風の地上シアーラインは千葉県～東京都から神奈川県に東西にのび、ほぼ停滞（第 4.3.9 図左）。シアーライン上では雨雲は発達していない。
- ③千葉県北西部、東京都、埼玉・栃木県には引き続き、露点温度 24℃の湿った空気が流入している。
- ④台風本体の雨雲は大半が海上中心だが、衛星赤外画像で見ると志摩半島や東海・甲信地方の南斜面で積乱雲が発達して強い降水となっている（第 4.3.9 図右上）。特に岐阜・愛知県境付近には発雷を伴った強雨域があり、10 分間 20 ミリ前後、1 時間 60 ミリ前後の非常に激しい雨を観測。毎時大気解析の 950hPa の風を見ると、台風本体の循環とは別に台風東側の南寄りの暖湿気が流入していることも降水が強まっている要因と推測（第 4.3.9 図右下）。

⑤関東地方の山地の雨は地形性によるものだが、平野部の埼玉県で発雷している降水域はこれまでサブシナリオで考えていたLFMによる地上シアーラインとは異なり、毎時大気解析で見ると950hPa付近の南西から北東へのびるシアーラインにほぼ対応している（第4.3.9図右下）。

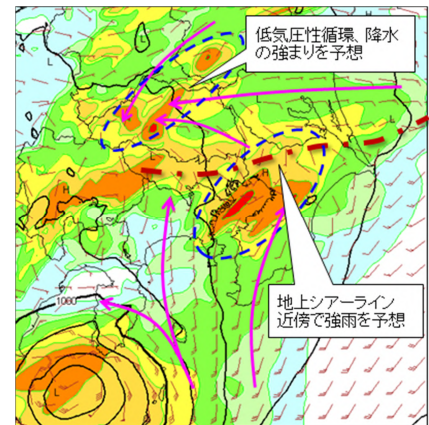
【指示】①4日16時初期値のLFM（第4.3.10図）では、21時に現存する地上シアーライン近傍の千葉県、東京都、神奈川県で雨が強まると予想。また、地上ではこのシアーラインの北側の埼玉県付近にも低気圧性循環があり、雨雲がやや強まる予想。

②千葉県、東京都、神奈川県の上シアーラインは現存しており、台風東側の南海上からの暖湿気の流入でLFMの予想のとおり強雨となる可能性がある。

③一方、埼玉県で10分間10ミリ弱の雨を観測している状況から東京都、千葉県の地上シアーライン北側の降水がLFMのとおり強まり、急な警報発表対応となる可能性がある。台風東側の南寄りの暖湿気の流入について、衛星赤外画像の雲頂高度の高い領域の移動に注目するとともに、地上シアーライン北側の対流雲の動向や雨量実況の監視を強め、状況によっては雨量予測を上方修正し、警報発表を検討。

④千葉県、東京都、神奈川県にある地上シアーラインは現在停滞しているが、今後北上する予想となっており、③の降水域と重なった場合、対流雲が発達して強雨が顕在化する可能性がある。今後、地上シアーラインの移動や近傍の対流雲の発達状況、地上シアーライン北側の対流雲と地上シアーラインの重なる可能性を確認し、19時までにはシナリオの切り替えの判断をする。

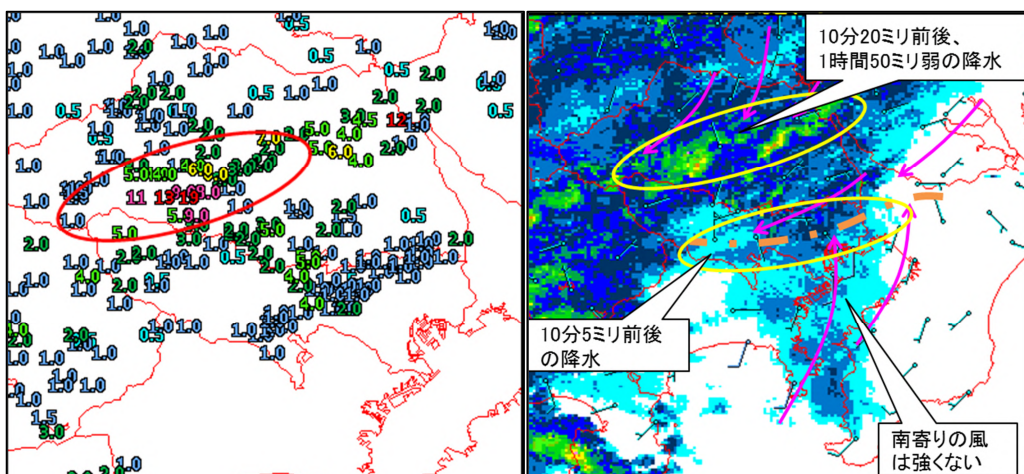
⑤台風本体の雨雲がかかる神奈川県や千葉県の沿岸部、伊豆諸島は、シナリオの変更なし。



第4.3.10図 4日21時の地上気圧、地上風、1時間雨量の予想図

4日16時初期値のLFM、記号は第4.3.3図と同じ。

#### 4.3.2.5 4日18時40分



第4.3.11図 4日18時40分の10分間雨量（左）とレーダー降水強度・アメダス風（右）

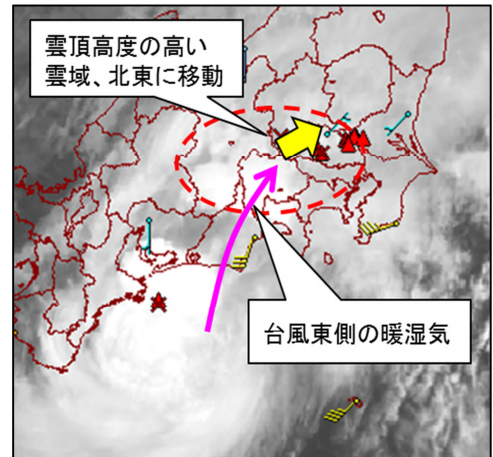
橙色の一点鎖線は地上シアーライン、赤紫線は流線。

【解析】①千葉県、東京都、神奈川県の上シアーラインは、東京湾からの南寄りの風の強まりはなくほぼ停滞（第4.3.11図右）。シアーライン近傍で10分間5ミリ前後の雨量を観測（第4.3.11図左）。

- ②千葉県、東京都、神奈川県の上シアーライン北側の埼玉県では10分間20ミリ弱、1時間50ミリ弱の激しい雨を観測（第4.3.11図左）。強い雨雲は東南東から西北西にのびており、ほとんど停滞している。
- ③赤外画像で雲頂高度の高い雲域は、長野県南部から山梨県にかけて拡大しながら北東進しており、地上シアーラインに向かっている。埼玉県付近の発雷の状況から台風東側の暖湿気の一部は埼玉県まで流入してきていると推測（第4.3.12図）。

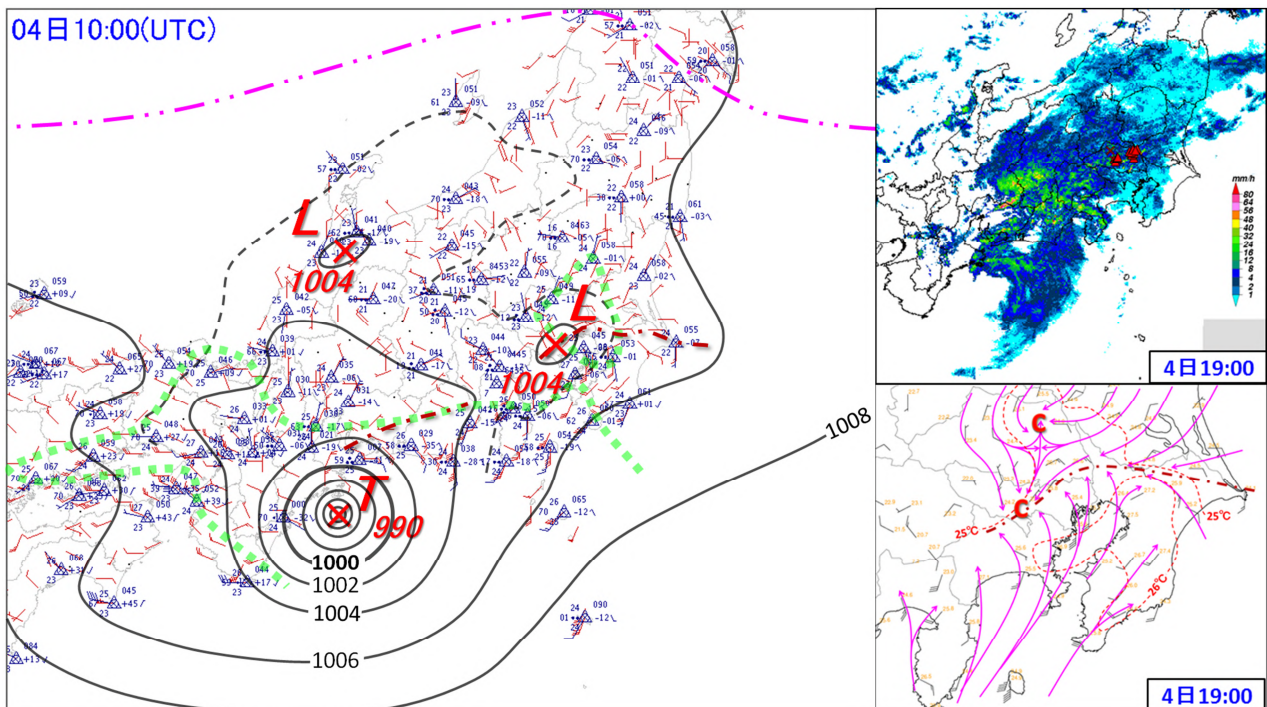
【指示】①埼玉県は、実況の雨量や降水短時間予報、降水ナウキャストを参照。1時間50～70ミリ前後の雨量を見込む。現在エコーがかかっている領域付近の雨量予測を上方修正し、警報発表を検討。

- ②千葉県、東京都、神奈川県の上シアーライン上で降水は発生しているが、シアーラインに吹き込む南寄りの風が強まっていないので、LFMの予想どおり降水が強まるのかまだ不確定。
- ③今後、台風東側の暖湿気の流入により、解析③の雲域や埼玉県付近の対流雲域が北東に移動して地上シアーラインと重なると、この近傍で対流雲が発達するおそれがある。これらの動向を注視。当初の想定どおり19時にシナリオ切り替えの最終判断をする。
- ④台風本体の雨雲がかかる神奈川県や千葉県の沿岸部、伊豆諸島は、シナリオの変更なし。



第4.3.12図 4日18時40分の衛星赤外画像、ウインドプロファイラの風(582m)・LIDEN  
赤紫線は流線。

#### 4.3.2.6 4日19時



第4.3.13図 4日19時の局地解析、レーダー降水強度・LIDEN、アメダス風・気温

左、右上の記号は第4.3.4図と同じ。右下の記号は第4.3.5図と同じで、赤色破線は等温線。

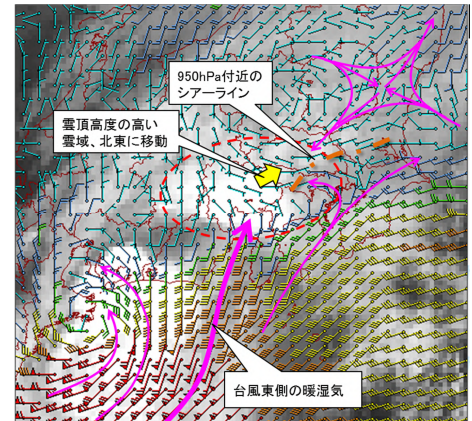
【解析】①降水は関東地方南部にも広がってきた(第4.3.13図右上)。

東海・甲信地方の降水は引き続き地形性によるものが中心。長野・岐阜・愛知県境付近で積乱雲が発達(雲頂高度は14km)しており、台風東側の暖湿気も流入している(第4.3.14図)。長野県では1時間20ミリ前後のやや強い雨を観測。

②東～北寄りの風と南西風との地上シアールラインは、大きく見ると千葉県、東京都、神奈川県に停滞しているが、地上シアールラインに吹き込む南寄りの風は1時間前と比較してやや強まっており、東京都23区付近で若干北上傾向がみられる。地上シアールライン上の東京都多摩には小低気圧が発生(第4.3.13図左)。地上シアールライン近傍やその南側では降水は強まっておらず、10分間数ミリの降水。なお、東京の地上露点温度は25℃に上昇、湿った空気の流入は継続。

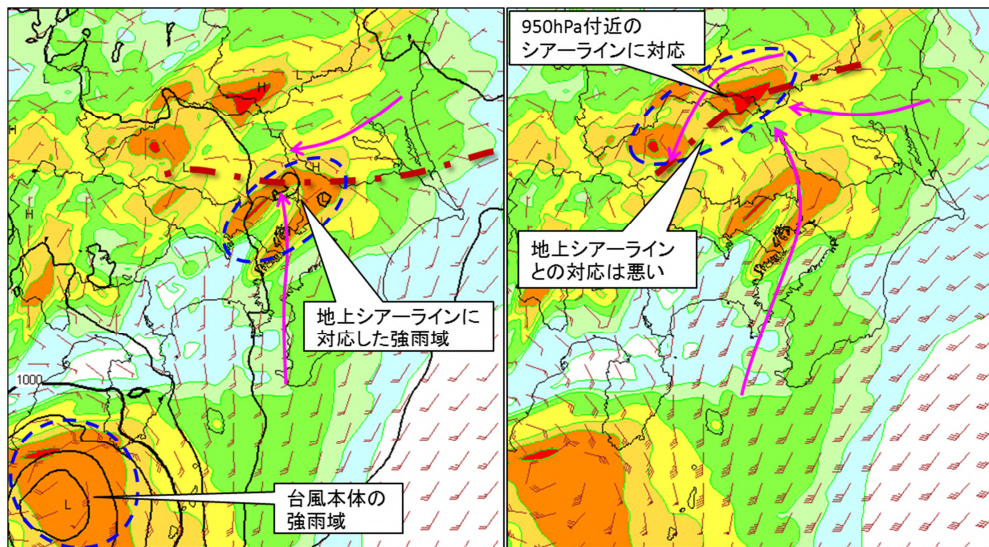
③地上シアールライン北側の茨城県南部、埼玉県にかけて西南西～東北東走向の雷を伴った強いエコーが存在(第4.3.13図右上)、10分間10ミリ前後、1時間50ミリ以上の非常に激しい雨を観測。この強い降水帯に対応した地上シアールラインは不明瞭だが、毎時大気解析から950hPa付近のシアールラインに対応している(第4.3.14図)。

④台風本体の雨雲はほぼ予想どおり。



第4.3.14図 4日19時の衛星赤外画像、毎時大気解析950hPaの風

記号は第4.3.9図右下と同じ。



第4.3.15図 4日21時の地上風、950hPaの風、1時間雨量の予想図

4日17時初期値のLFMで、左は地上風、右は950hPaの風。記号は第4.3.3図と同じ。

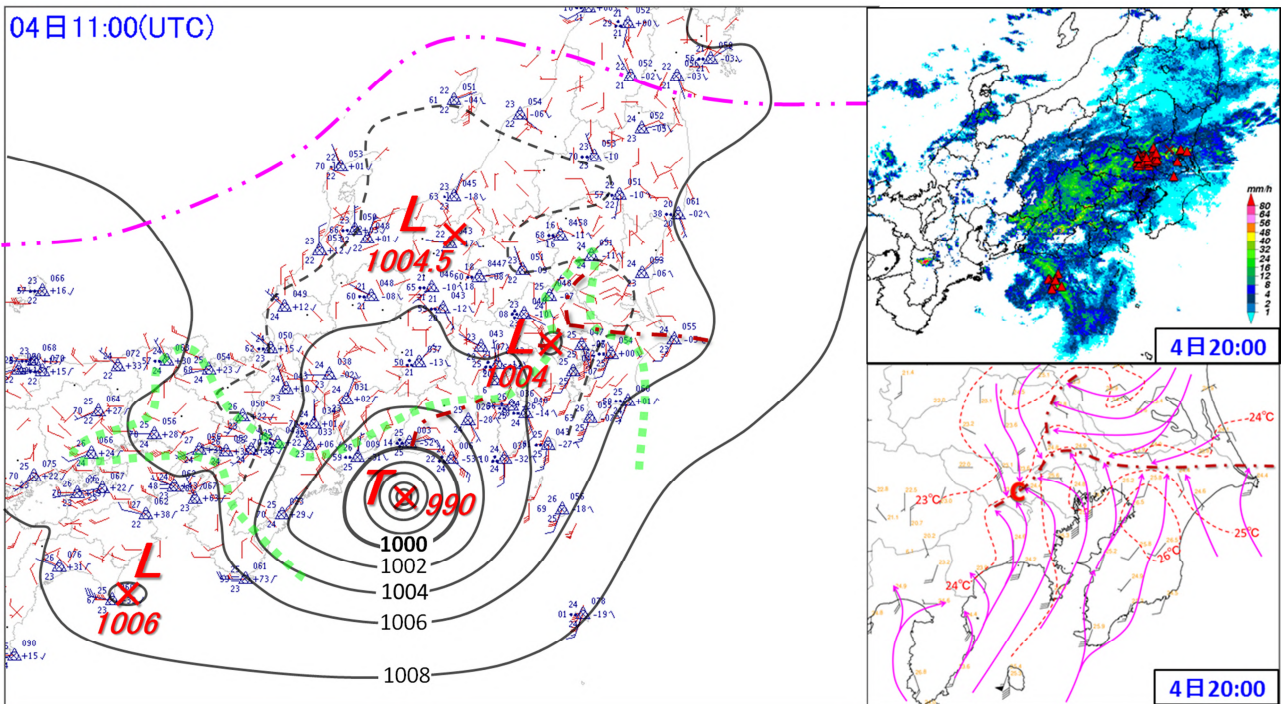
【指示】①4日17時初期値のLFM(第4.3.15図)を見ると、千葉県、東京都、神奈川県の上陸シアールライン近傍の降水はやや弱まり、その北側の950hPa付近のシアールラインに対応した茨城県南部、埼玉県の方の降水が強い予想となっており、予想も安定してきた。

②実況から千葉県、東京都、神奈川県の上陸シアールライン近傍の降水が弱めに推移していること、その北側の950hPa付近のシアールラインで降水が強まっている状況を踏まえ、当初見込んでいたLFMの千葉県、東京都、神奈川県の上陸シアールライン近傍で降水が強まる、というシナリオでは

なく、地上シアーライン北側の埼玉県・千葉県・茨城県で降水が強まる、という最新の LFM のシナリオに切り替える。

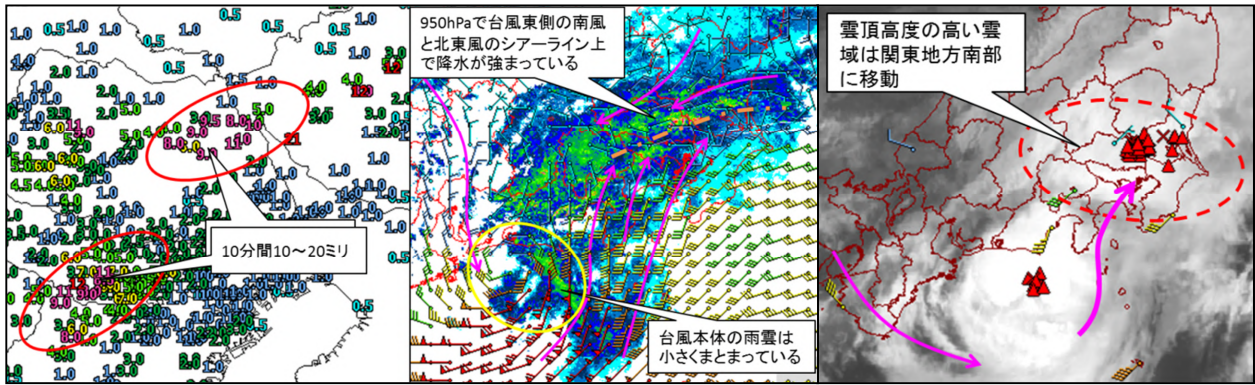
- ③東京都や神奈川県では、地上シアーライン近傍の雨量は LFM ほど強めない。950hPa 付近のシアーライン近傍で強雨が予想される埼玉県・千葉県・茨城県は、実況の雨量、LFM の予想雨量を参考に、1 時間 60 ミリ前後の非常に激しい雨を見込み、リードタイムを確保した警報を発表。なお、地上シアーラインが東京都 23 区付近で北上傾向なので 950hPa 付近のシアーラインと重なる可能性があり、その場合には東京都でも非常に激しい雨の可能性があるので、地上シアーラインの動向に留意。実況から 10 分間 20 ミリの雨の降る可能性があるので、雨雲の動きが遅い場合、1 時間 80 ミリ前後の猛烈な雨となる可能性もある。雨雲の動きと 10 分間雨量に注目。
- ④台風本体の雨雲がかかる神奈川県や千葉県の沿岸部、伊豆諸島は、シナリオの変更なし。

#### 4. 3. 2. 7 4 日 20 時



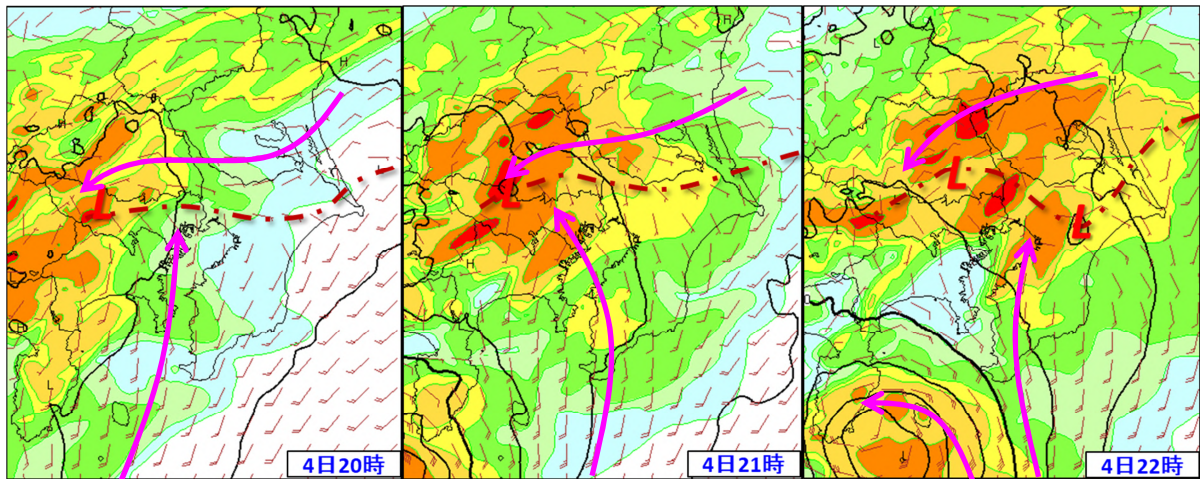
第 4.3.16 図 4 日 20 時の局地解析、レーダー降水強度・LIDEN、アメダス風・気温

左、右上の記号は第 4.3.4 図と同じ。右下の記号は第 4.3.5 図と同じで、赤色破線は等温線。



第 4.3.17 図 4 日 20 時の 10 分間降水量、レーダー降水強度と毎時大気解析 950hPa の風、衛星赤外画像とウインドプロファイラ 1455m の風・LIDEN

左は 10 分間降水量、中央はレーダー降水強度に 950hPa の風を重ね合せた図、右は衛星赤外画像にウインドプロファイラ 1455m の風と LIDEN を重ね合わせた図。中央の橙色の一点鎖線はシアーライン、中央と右の赤紫線は流線。



第 4.3.18 図 LFM 4 日 18 時初期値による 4 日 20 時、21 時、22 時の地上気圧、地上風、1 時間雨量の予想図

茶色の一点鎖線は地上シアーラインで、L は小低気圧の位置、赤紫色線は流線。

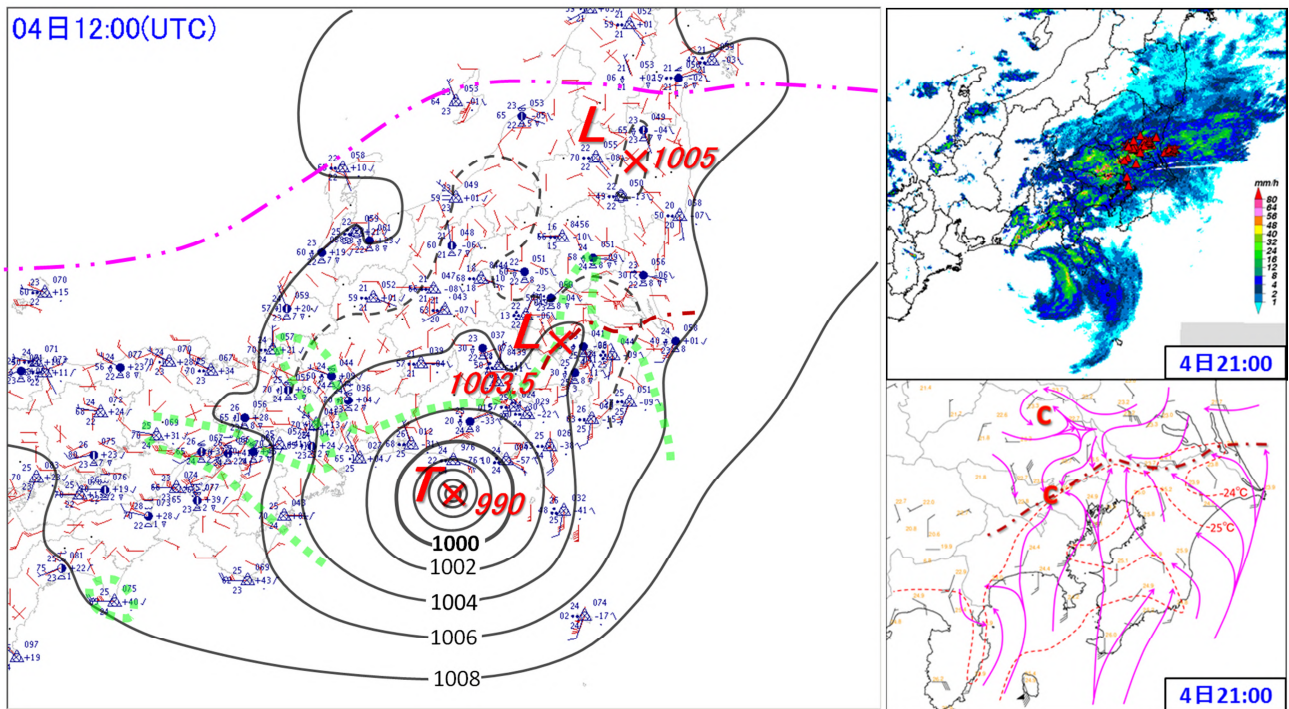
- 【解析】①千葉県～神奈川県にかけては、引き続き南寄りの風と東寄りの風との地上シアーラインがあり、そのライン上の東京都多摩には小低気圧があって 10 分間 10 ミリ前後の雨を観測 (第 4.3.16 図左、第 4.3.17 図左)。地上シアーラインは前の時間と比べると北上傾向 (第 4.3.16 図右下)。
- ②地上露点温度 24℃以上の領域が、関東地方南部から栃木県まで広がる (第 4.3.16 図左)。また衛星赤外画像の雲頂高度の高い領域やウインドプロファイラ 1455m の風より、関東地方南部は台風東側の暖湿気に広く覆われている (第 4.3.17 図右)。
- ③降水は関東地方全域に広がっており、特に茨城・埼玉県には雷を伴った強い降水帯があり、1 時間に 50 ミリ前後の非常に激しい雨を観測。この降水帯は、毎時大気解析で 950hPa 付近のシアーラインに対応しているものと考えられる (第 4.3.17 図中央)。
- ④東海・甲信地方は南斜面中心による地形性の降水により、1 時間 30 ミリ前後の激しい雨を観測。
- ⑤台風本体の雨雲は引き続き東側中心で、循環はレーダーでは弱まり傾向だが、海上で発雷を伴っている。強い雨雲は東海道沖が主体 (第 4.3.16 図右上)。
- 【指示】①4 日 18 時初期値の LFM (第 4.3.18 図) を見ると、地上シアーラインは東京都・埼玉県・千葉県と北上する予想に変わった。20～22 時の降水予想は、19 時に切り替えた埼玉県・千葉県・茨城県



で降水が強まるというシナリオに近づいている。地上シアーライン上には小低気圧が予想され、低気圧の移動とともに強い降水域も東北東進する予想。

- ②小低気圧が接近・通過する東京都、埼玉・千葉・茨城県は、10分間10～20ミリの降水があることから雨雲の動きや実況の雨量を考慮して1時間50～80ミリの降水を見込み、適宜、警報を発表。今後は、小低気圧の動向にも注視。

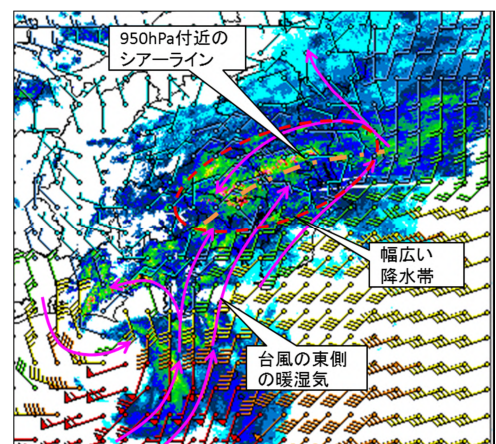
#### 4. 3. 2. 8 4日21時



第4.3.19図 4日21時の局地解析、レーダー降水強度・LIDEN、アメダス風・気温

左、右上の記号は第4.3.4図と同じ。右下の記号は第4.3.5図と同じで、赤色破線は等温線。

- 【解析】①台風は御前崎沖にあり、本体の雨雲は海上にあって西側が削れ、東側が主体で小さくまとまっている。本体の外側にある螺旋状の降水帯が静岡県沿岸～伊豆諸島にかかり強まってきた(第4.3.19図右上)。
- ②千葉県、東京都、神奈川県の上シアーラインは北上して950hPa付近のシアーラインと接近して、幅広い降水帯を形成している(第4.3.20図)。地上シアーライン上の小低気圧は東京都23区へ東北東進(第4.3.19図左・右下)。小低気圧に向かって、東京湾から露点温度25°Cの湿った空気が流入。地上シアーラインの南側の東京湾や神奈川県では降水が強まってきた。茨城・埼玉県、東京都では1時間60ミリ前後の非常に激しい雨が降っており、特に埼玉県では1時間80ミリ弱の猛烈な雨に近い降りのところがある。



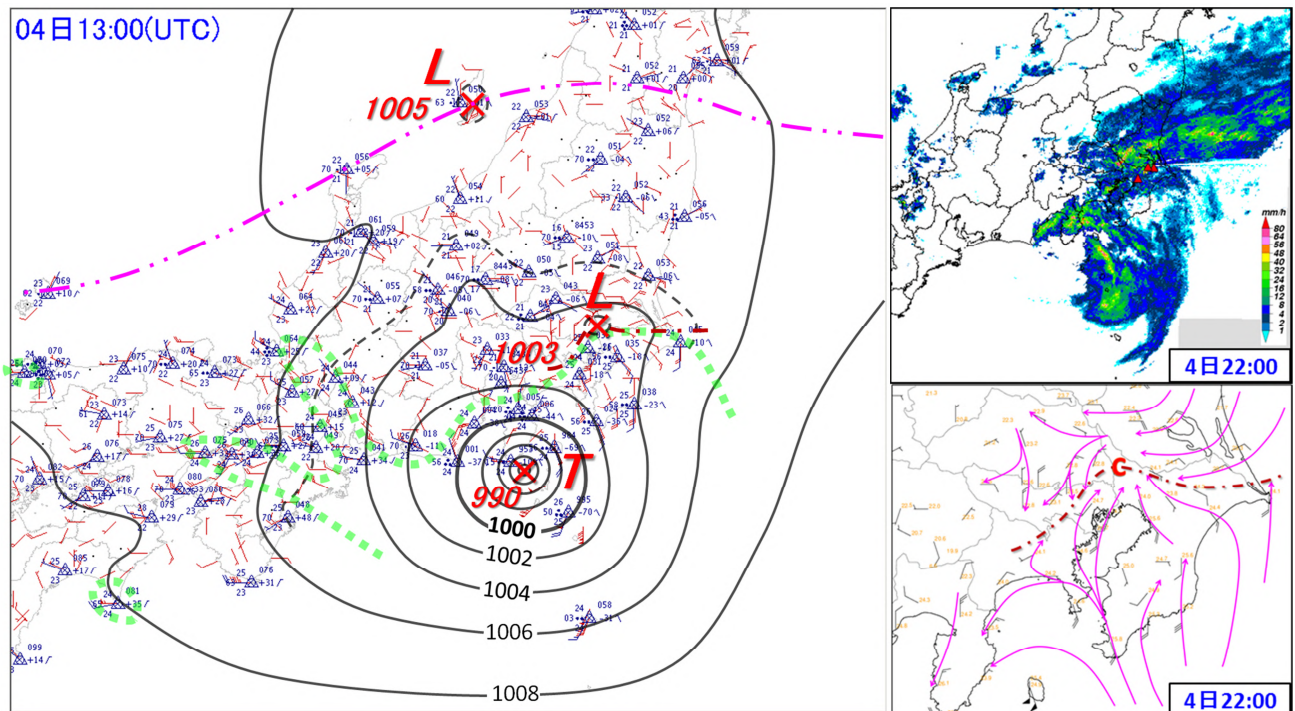
第4.3.20図 4日21時のレーダー降水強度、毎時大気解析950hPaの風

記号は第4.3.17図中央と同じ。

③勝浦のウィンドプロファイラや東京国際空港の航空機観測データ（ACARS）の下層風は、ほぼ LFM どおり（図略）。

- 【指示】①地上シアーライン、そのライン上の小低気圧、950hPa 付近のシアーライン近傍で降水が強まっており、発雷もしている。埼玉・千葉・茨城県、東京都では、実況の雨量や 10 分間雨量から 1 時間 50～80 ミリの非常に激しい雨、または猛烈な雨の降る可能性があり、短時間強雨に警戒。
- ② LFM の予想や台風東側の暖湿気の移動経過から、地上シアーラインやそのライン上の小低気圧、950hPa 付近のシアーライン近傍の降水はあと 3 時間とみる。
- ③台風本体の雨雲の動きは、ほぼモデルどおり。

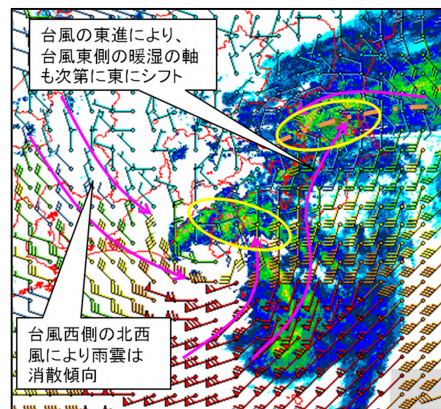
4. 3. 2. 9 4日22時



第 4.3.21 図 4日22時の局地解析、レーダー降水強度・LIDEN、アメダス風・気温

左、右上の記号は第 4.3.4 図と同じ。右下の記号は第 4.3.5 図と同じ。

- 【解析】①台風は石廊崎沖を通過中。台風本体の雨雲は、伊豆諸島～伊豆半島にかかっており、解析雨量では1時間30ミリ前後の激しい雨となっているが、発雷はしていない(第 4.3.21 図右上)。
- ②千葉県北東部、埼玉県、東京都、茨城県の強雨域は、地上シアーライン(第 4.3.21 図左・右下)や 950hPa 付近のシアーライン(第 4.3.22 図)にほぼ対応。地上シアーライン上の千葉県北西部に小低気圧があって、強い雨雲が存在。解析雨量では茨城県で 1 時間 70 ミリ前後の非常に激しい雨となっている。



第 4.3.22 図 4日22時のレーダー降水強度、毎時大気解析 950hPa の風

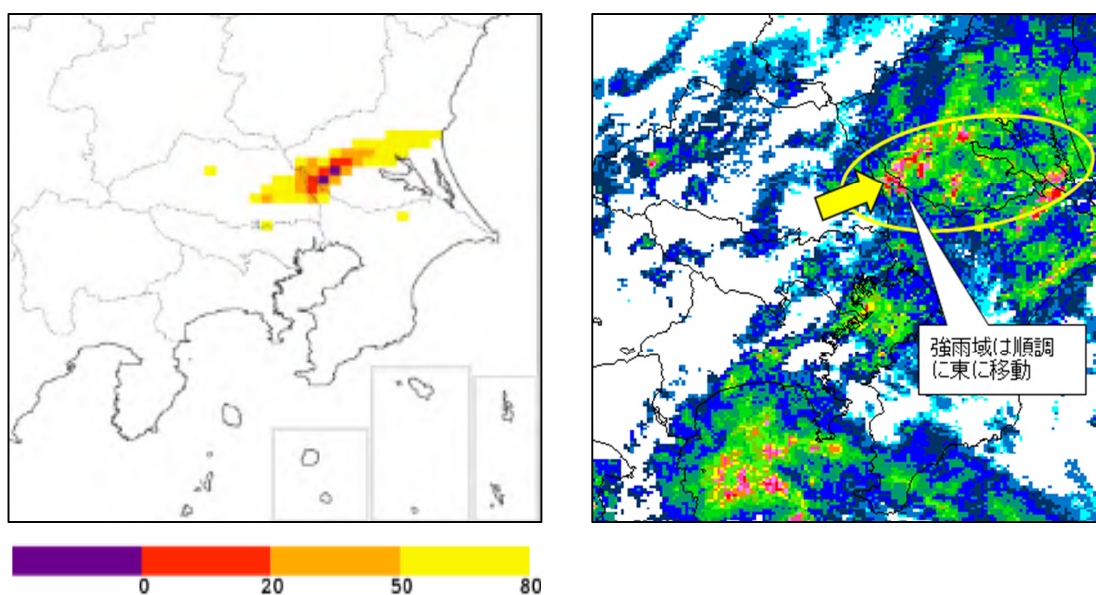
記号は第 4.3.17 図中央と同じ。

③台風の東進に伴って、甲信地方では台風の北西象限に入り、北西風が卓越。雨雲は、山越えの乾いた空気の流入により急速に消散傾向。

【指示】①台風本体の雨雲はほぼモデルどおりに推移しており、台風東側の暖湿気もこれまでの経過から台風の東進とともに順調に東進しており、地上シアールラインや 950hPa 付近のシアールラインに向かう暖湿気も順調に東海上へ抜ける。このため埼玉県、東京都、茨城県の強雨域はあと 3 時間で関東の東海上へ抜ける見込み。

②台風の北西象限の北西風領域に入った官署は、適宜注警報の解除作業。

#### 4. 3. 2. 10 4日 22時30分



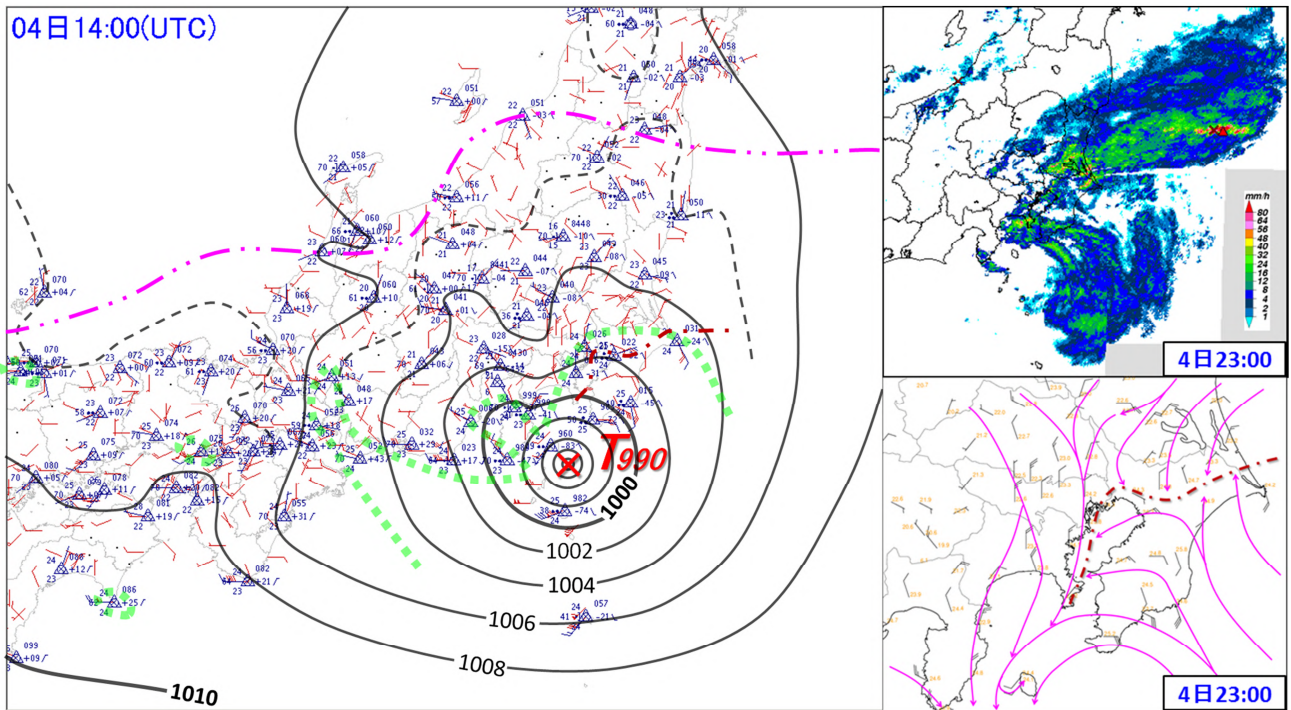
第 4.3.23 図 4日 22時30分の「50年に一度の格子」(3時間雨量)の分布、レーダー降水強度

左図は、「50年に一度の格子」に達するまでの雨量を表し、紫色の格子は「50年に一度の格子」に達したことを表している。

【解析】①20時30分頃から千葉県北西部、茨城県南部では、解析雨量で1時間70ミリ前後の非常に激しい雨が継続していたため、22時30分に50年に一度の格子が現れた(第4.3.23図)。茨城県、埼玉県の950hPa付近のシアールラインは台風が東海道沖から房総沖へ進むにつれて強まり、千葉県北東部、埼玉県、東京都付近の地上シアールラインは、小低気圧の移動に伴って次第に北上し、小低気圧は22時に千葉県北西部へ進んだ。この2つの現象が重なったことにより、当該地域に強い降水が継続したと考えられる。

【指示】①3時間雨量で「50年に一度の格子」に達したが、台風の動きはほぼモデルどおりで、台風東側の南からの暖湿気の流入も5日0時頃には東海上へ抜けること、LFMの強い降水域は23時以降停滞することなく南東進する予想を踏まえ、当該地域の強雨は持続しないと判断する。したがって、大雨特別警報の発表には至らない見込み。

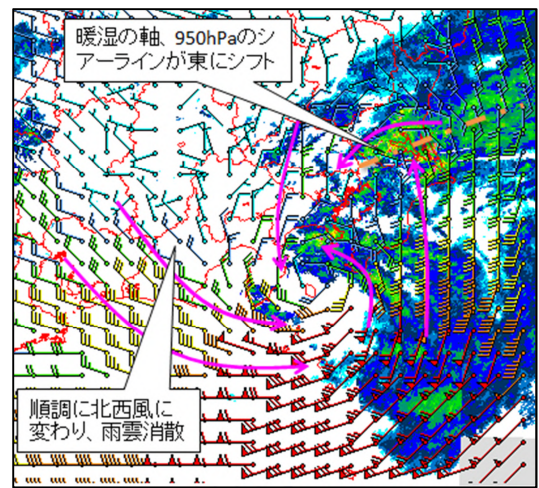
4. 3. 2. 11 4日 23時



第 4.3.24 図 4日 23 時の局地解析、レーダー降水強度・LIDEN、アメダス風・気温

左、右上の記号は第 4.3.4 図と同じ。右下の記号は第 4.3.5 図と同じ。

- 【解析】①台風は伊豆大島の南東海上を東進中。台風に吹き込む北寄りの風は、相模湾や東京湾口まで南下(第 4.3.24 図左・右下)。東京都多摩や神奈川県西部の雨雲は消散。
- ②台風東側の南からの暖湿気の流入は東京都、神奈川県を抜けた。950hPa 付近のシアーライン(第 4.3.25 図)と地上シアーラインによる強雨域は茨城県南部と千葉県北東・北西部にあり、22 時 30 分に 3 時間雨量の「50 年に一度の格子」に達した地域の降水は弱まった。
- ③台風本体の雨雲は伊豆諸島を抜けたが、北側の強い雨雲が千葉県南部や三浦半島、相模湾にあり、東進中(第 4.3.24 図右上)。

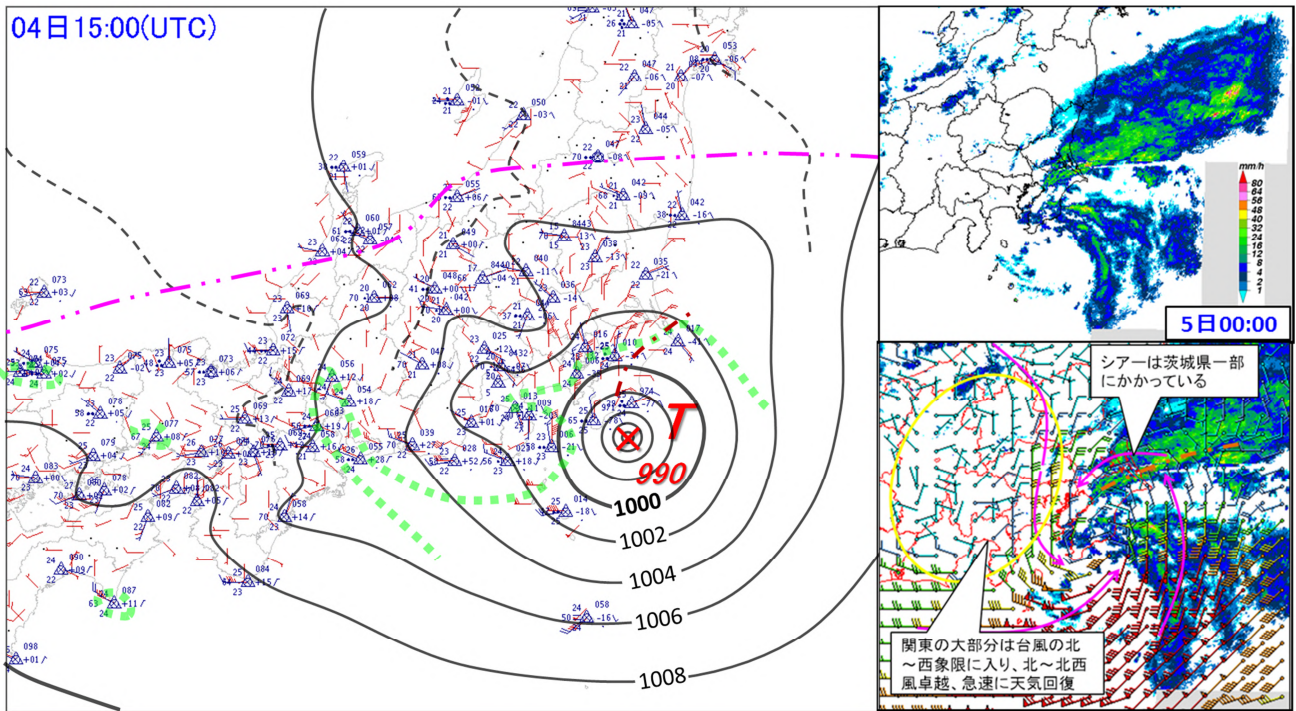


第 4.3.25 図 4日 23 時のレーダー降水強度、毎時大気解析 950hPa の風

記号は第 4.3.15 図と同じ。

- 【指示】①台風本体の雨雲は、エコーの動きや LFM 予想から、三浦半島はあと 1 時間、千葉県南部はあと 2 時間程度で抜ける。降水ナウキャストや降水短時間予報を参照。
- ②地上シアーラインや 950hPa 付近のシアーライン近傍の千葉・茨城県の雨雲は、エコーの動きや LFM 予想からあと 2 時間程度で抜ける。

4. 3. 2. 12 5日0時

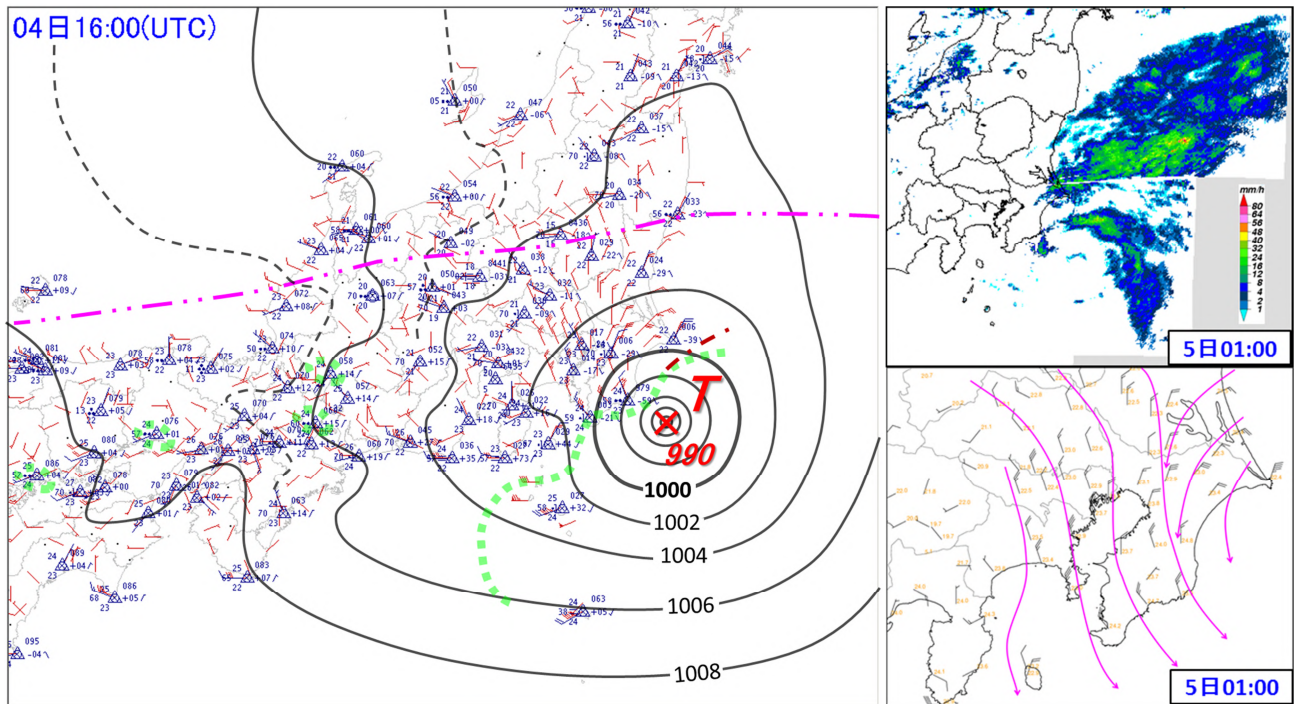


第 4. 3. 26 図 5 日 0 時の局地解析、レーダー降水強度・LIDEN、毎時大気解析 950hPa 風・レーダー降水強度

左、右上の記号は第 4. 3. 4 図と同じ。右下の記号は第 4. 3. 17 図中央と同じ。

- 【解析】
- ①台風は房総半島の南海上を東進中（第 4. 3. 26 図左）。
  - ②地上シアーラインや 950hPa 付近のシアーライン近傍（第 4. 3. 26 図右下）の雨雲は茨城県南部と千葉県北東・北西部にかかっており、10 分間 10 ミリ前後の降水。
  - ③台風本体の雨雲は三浦半島を抜け、千葉県南部にかかっているが、降水は弱まっている（第 4. 3. 26 図右上）。関東地方の大部分は台風の北西象限に入り、北～北西風が卓越。天気は急速に回復。
- 【指示】
- ①各地、実況に合わせて適宜、注警報を解除。
  - ②茨城県南部と千葉県北西部は 1 時までエコーの動向に注意。

#### 4. 3. 2. 13 5日1時



第 4.3.27 図 5 日 1 時の局地解析、レーダー降水強度・LIDEN、アメダス風・気温

左、右上の記号は第 4.3.4 図と同じ。右下の記号は第 4.3.5 図と同じ。

- 【解析】①台風は房総半島の南東海上を東進中（第 4.3.27 図左）。  
 ②台風本体の雨雲は千葉県南部を抜けた（第 4.3.27 図右上）。  
 ③地上シアアーライン（第 4.3.27 図左）や 950hPa のシアアーライン（図略）に対応した雨雲は茨城県南部、千葉県北東部にかかるが、10 分間 5 ミリ前後と弱まっている。
- 【指示】①大雨の峠は越えた。茨城県は注警報の解除を実況に合わせて適宜作業。

#### 4. 4 まとめ

今回、地方予報中枢官署の「解析・監視」作業に注目し、実況がシナリオと異なる変化をする場合、府県官署へ指示する「現象の着目点やシナリオの変更」について 1 つの具体例を示した。ここでは「解析とそれに基づく分析と指示」をセットにし、図には着目すべき現象やコメントを記述するなどして、視覚的かつ直感的にわかりやすいようにした。

悪天時における地方予報中枢官署は、府県官署への指示や調整等「解析・監視」以外の作業が多くなり、「解析・監視」に費やす時間が制限されてしまう傾向にある。しかし、悪天時こそ実況と予想との比較が最も重要であり、本事例のように LFM が予想していたシナリオへの変更をどの時点で決断するかによって、予警報作業の対応が変わってくる。この事例のようにメインシナリオは注意報級以下であるが、サブシナリオとして警報級の現象を考える場合、府県官署のリードタイムを確保した警報・注意報の発表、シナリオ変更や量的予報の修正などを適切に判断するための指示としては、以下のことが重要である。

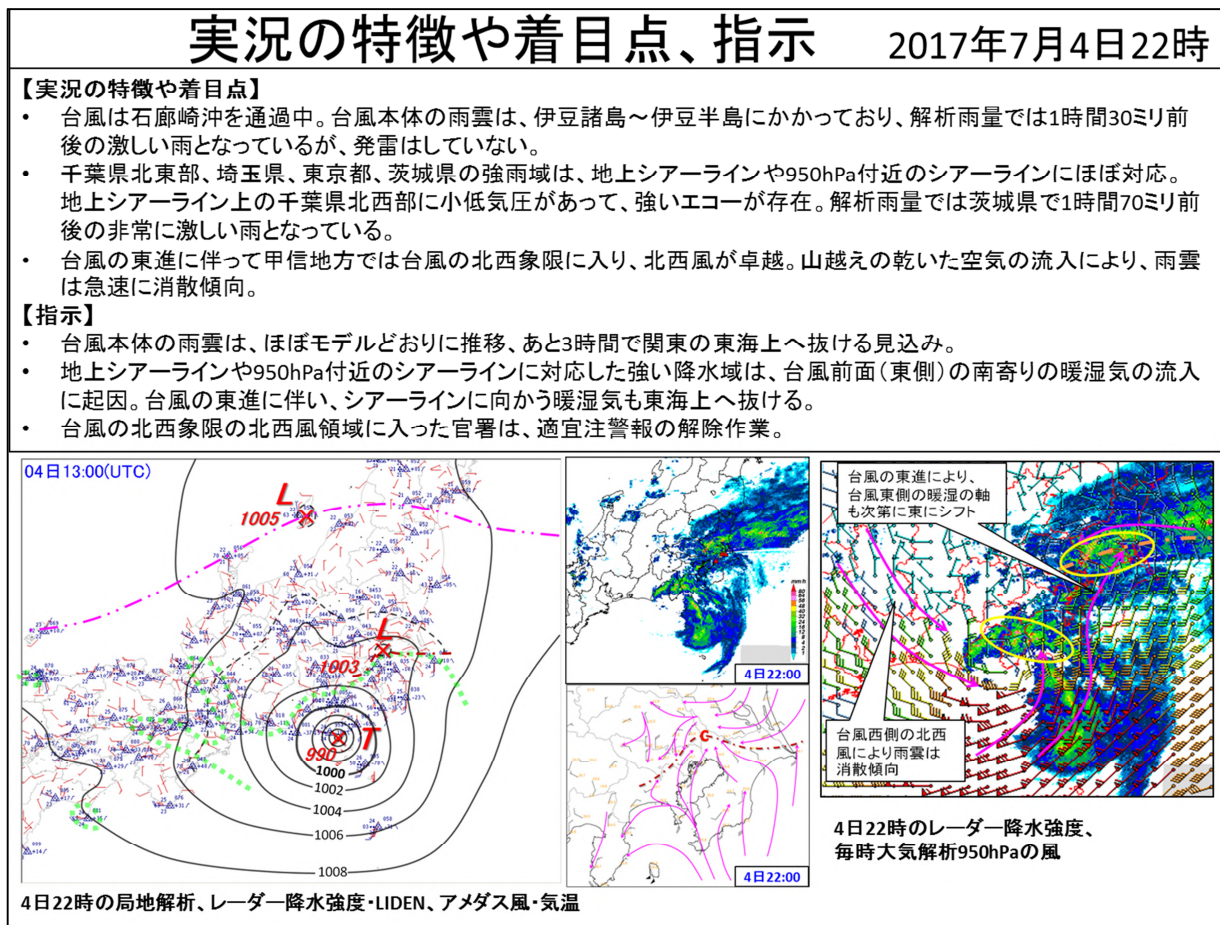
- ① サブシナリオへの切り替えの判断を行うための「解析・監視」の着目点を具体的に持つ
- ② リードタイムを確保して警報を発表するために、サブシナリオへ切り替える判断を行う具体的な目安の時刻を定めておく

特に②について、シナリオ切り替えの具体的な時刻の目安を定めていない場合、実況を監視し続けていて気

づいたら顕著現象が発現、リードタイムなしで警報発表ということにもなりかねない。したがって、①とともに②を意識した指示や作業を行うことが重要である。

とにかく大きな災害をもたらす顕著現象については、モデルどおりに推移しないことが少なくない。そのような局面では実況を解析し、現象の発生要因を見つけないと先の予想を的確に行えないことから、日頃より「解析・監視」の技術力を高めておくことが肝要となる。

最後に、各ステージで示した図やコメントを使用して1枚の紙にまとめた指示報の例を第4.4.1図に示す。通常、府県官署への指示は文章形式によるものが多く、図やコメントをまとめた指示報というのは少ないのが現状である。第4.4.1図のような図形式の指示報は、視覚的かつ直感的にわかりやすく、府県官署と現象やシナリオの共通認識を持つ上で有効なので、日々の予報作業において参考にしていただきたい。



第4.4.1図 指示報の例

**参考文献**

黒良龍太、牧野眞一、2014： 現業作業における総観場の把握と局地気象解析について。平成26年度予報技術研修テキスト，気象庁予報部，39-64。

村中明、2013： これからの予報官に求められるもの。平成25年度予報技術研修テキスト，気象庁予報部，1-8。

## 第5章 アジア太平洋地上天気図の標準的な解析手法\*

### 5.1 はじめに

平成29年度予報技術研修テキストでは、「アジア太平洋地上天気図の標準的な解析手法」と題して、天気図の作成目的と役割、天気図の種類、天気図解析の歴史等とともに、現在、気象庁で使用している低気圧及びそれに伴う前線に関する基本的な概念モデルを説明した。本章では前年度の説明を踏まえて、日本付近で発達した温帯低気圧の事例を対象として、ベルゲン学派の低気圧モデルの低気圧の一生の各段階の解析の考え方や衛星画像の利用方法、実況データの着目点について解説する。そして、典型的な低気圧の一生において、中心気圧や前線の解析の着目点について述べる。なお、本章では時刻をUTC(Coordinated Universal Time：協定世界時)で記す。

### 5.2 事例の概要

本章では、2018年1月21日から24日にかけて、華南から日本の南を経て千島近海に発達しながら進んだ温帯低気圧とそれに伴う前線について述べる。

21日06UTCに華南で前線が発生、21日12UTCには前線上に低気圧が発生した。低気圧は22日00UTCには九州の南に達し、中心気圧は1008hPaであった。24時間後の23日00UTCには低気圧の中心は三陸沖にあって中心気圧は972hPa、最大風速は75ktまで急速に発達し、三陸沖東部海域では地方海上警報で海上暴風警報(最大風速は75kt)を発表するなど、日本近海にも大きな影響を与えた。また、22日は、北日本の一部を除き全国的に雨や雪となった。東京で最深積雪23cmを観測、20cmを超えたのは2014年2月以来4年ぶりのことであった。低気圧は主に海上を進んだことから、前線の構造は明瞭で、上層のトラフとの対応も明瞭であった。

低気圧の解析結果から、この低気圧の一生における諸段階を以下の4つに分けて考える。

- ・発生期：1月21日06UTCの前線の解析開始から前線上に低気圧が発生するまで
- ・発達期：1月21日18UTCから前線が閉塞する直前まで
- ・最盛期：1月23日00UTCに前線が閉塞して、閉塞前線が低気圧中心から離れるまで
- ・衰弱期：1月23日18UTCに閉塞前線が低気圧中心から明瞭に離れ、24日12UTCに前線が消滅するまで

以下の節では発生期から衰弱期毎に、低気圧と前線の解析過程を示す。なお、解析の流れは、大まかに以下の3段階に分けて考えて、発生期から衰弱期までのそれぞれの段階毎に解説する。

- 1 衛星画像解析：衛星画像による低気圧と前線位置の推定
- 2 高層天気図解析：高層観測データを用いた低気圧と前線位置の解析
- 3 低気圧の解析・前線解析の根拠、注目する実況観測：地上気象観測、レーダー等を用いた詳細解析

#### 5.2.1 発生期 1月21日06UTC～21日12UTC

1月21日06UTCに華南に停滞前線が発生した。前線は東進して、同日12UTCには北緯30度・東経120度付近で前線上に低気圧を解析、あわせて温暖前線、寒冷前線を解析した。

---

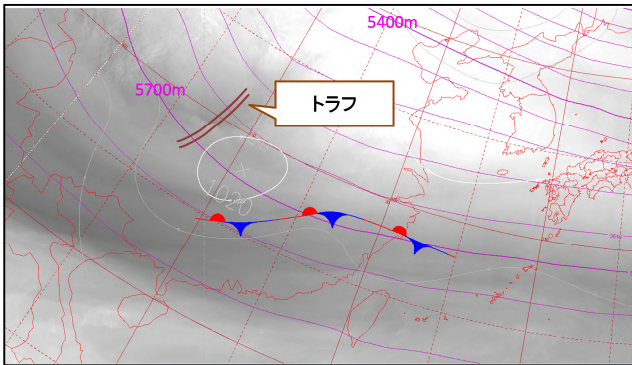
\*加藤 浩司、由宇 弘樹、永山 隆治(気象庁予報部予報課)



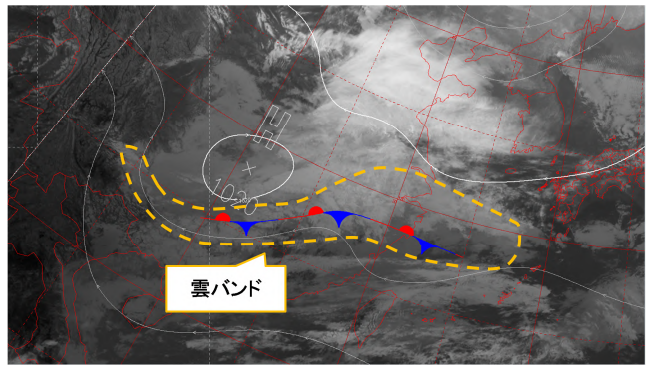
### 5. 2. 1. 1 衛星画像解析

(1) 1月21日 06UTC

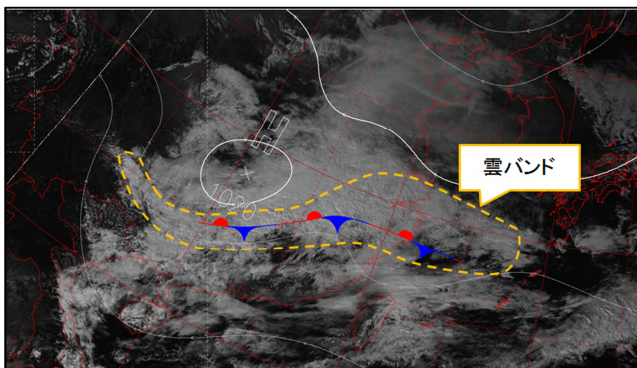
衛星水蒸気画像（第 5.2.1 図）では、華南の北緯 30 度・東経 110 度付近に暗域がみられ、500hPa の 5640m 付近のトラフに対応している。また衛星可視画像（第 5.2.3 図）では、トンキン湾の北の北緯 25 度・東経 110 度付近から東シナ海にかけてのびた厚い雲域が雲バンドを形成している。この雲バンドは衛星赤外画像（第 5.2.2 図）では明るい灰色にみえることから、緩やかな対流活動によって下層の積雲が発生し、雲バンドを形成していることがわかる。



第 5.2.1 図 2018 年 1 月 21 日 06UTC 衛星水蒸気画像  
茶色二重線はトラフ、マゼンタ線は 500hPa の高度 (60m 間隔)、白線は地上の等圧線 (4hPa 間隔) とじょう乱を示す。



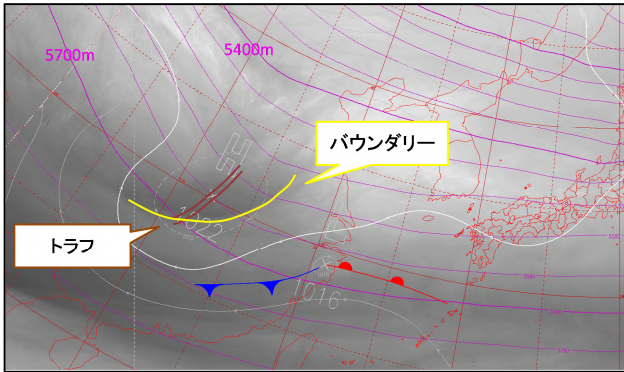
第 5.2.2 図 2018 年 1 月 21 日 06UTC 衛星赤外画像  
橙色破線は雲バンド、白線は地上の等圧線 (4hPa 間隔) とじょう乱を示す。



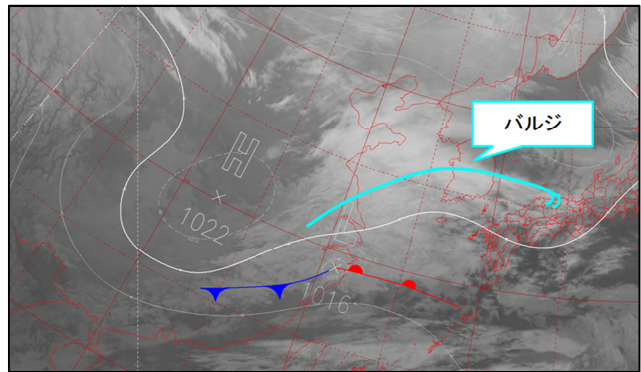
第 5.2.3 図 2018 年 1 月 21 日 06UTC 衛星可視画像  
橙色破線は雲バンド、白線は地上の等圧線 (4hPa 間隔) とじょう乱を示す。

(2) 1月21日 12UTC

衛星水蒸気画像（第 5.2.4 図）では、華中の北緯 30 度・東経 115 度付近で暗域と明域の境界（バウンダリー）が明瞭となり、500hPa の 5640m 付近のトラフがより深まりをみせている。また、衛星赤外画像（第 5.2.5 図）を見ると、長江河口付近から黄海付近でバルジが解析され、低気圧の発生が推定される。低気圧の中心はバルジの付け根のやや東に推定し、高層天気図解析や地上気象観測値を用いて詳しく解析していく。



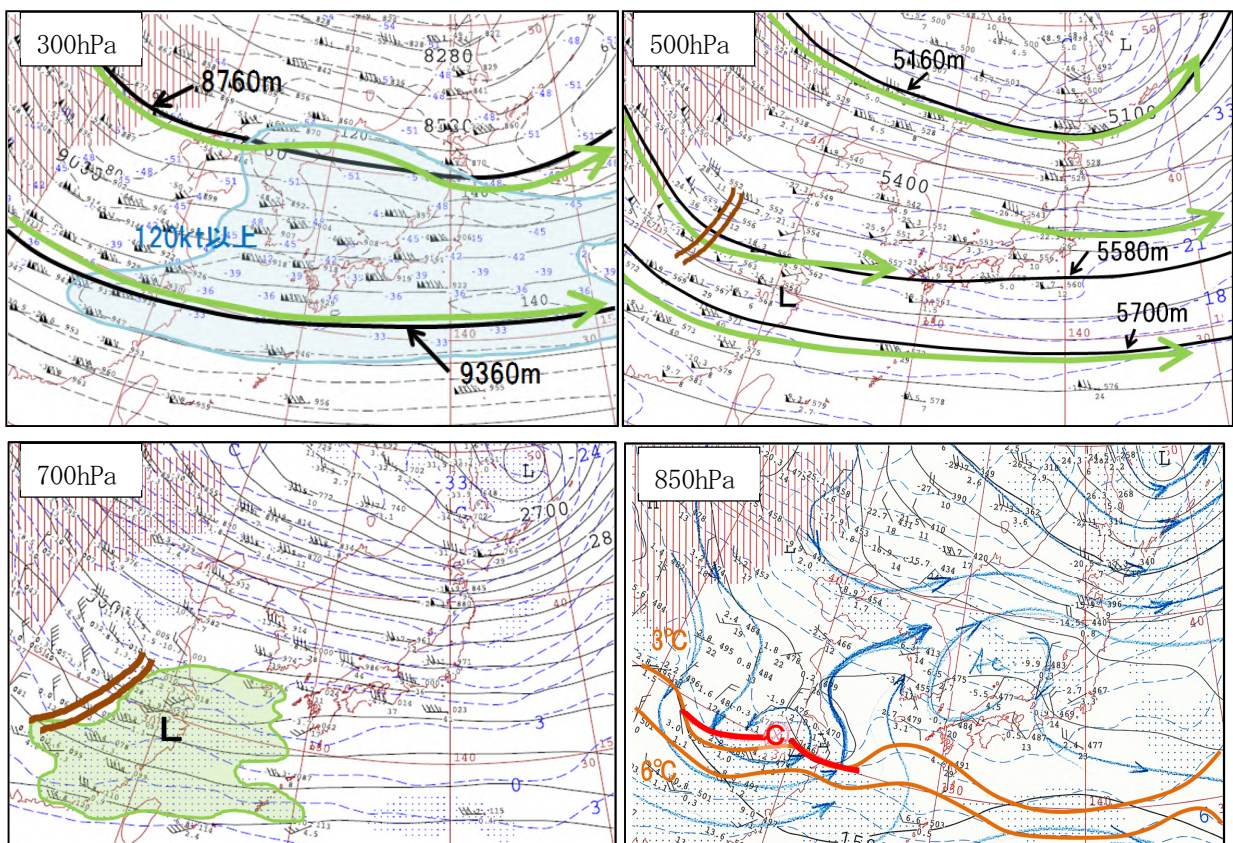
第 5.2.4 図 2018 年 1 月 21 日 12UTC 衛星水蒸気画像  
茶色二重線はトラフ、黄色線はバウンダリー、マゼンタ線は 500hPa の高度(60m 間隔)、白線は地上の等圧線(4hPa 間隔)とじょう乱を示す。



第 5.2.5 図 2018 年 1 月 21 日 12UTC 衛星赤外画像  
水色線はバルジ、白線は地上の等圧線(4hPa 間隔)とじょう乱を示す。

### 5. 2. 1. 2 アジア 300hPa・500hPa・700hPa・850hPa 高層天気図解析

(1) 1 月 21 日 12UTC



第 5.2.6 図 2018 年 1 月 21 日 12UTC 高層天気図 300hPa、500hPa、700hPa、850hPa

緑矢印：強風軸、水色領域：風速 120kt 以上、茶色二重線：トラフ、L：地上低気圧の位置、黄緑領域：湿数 3°C 以下、青矢印：流线、赤線：各高度の前線、C：低気圧性循環

300hPa や 500hPa 高層天気図 (第 5.2.6 図) を見てみると、300hPa では 8640~8760m 付近と 9360m 付近に、500hPa では 5460~5580m 付近と 5700m 付近等に風速のピークがみられ、それに沿って強風軸が解析できる。特に 500hPa では図で示した北緯 30 度・東経 113 度付近でトラフが明瞭で、北西風と西風の風向シアーも解析できる。また、トラフは 5.2.1.1 で述べた、衛星水蒸気画像の暗域 (第 5.2.4 図) ともよく対応している。

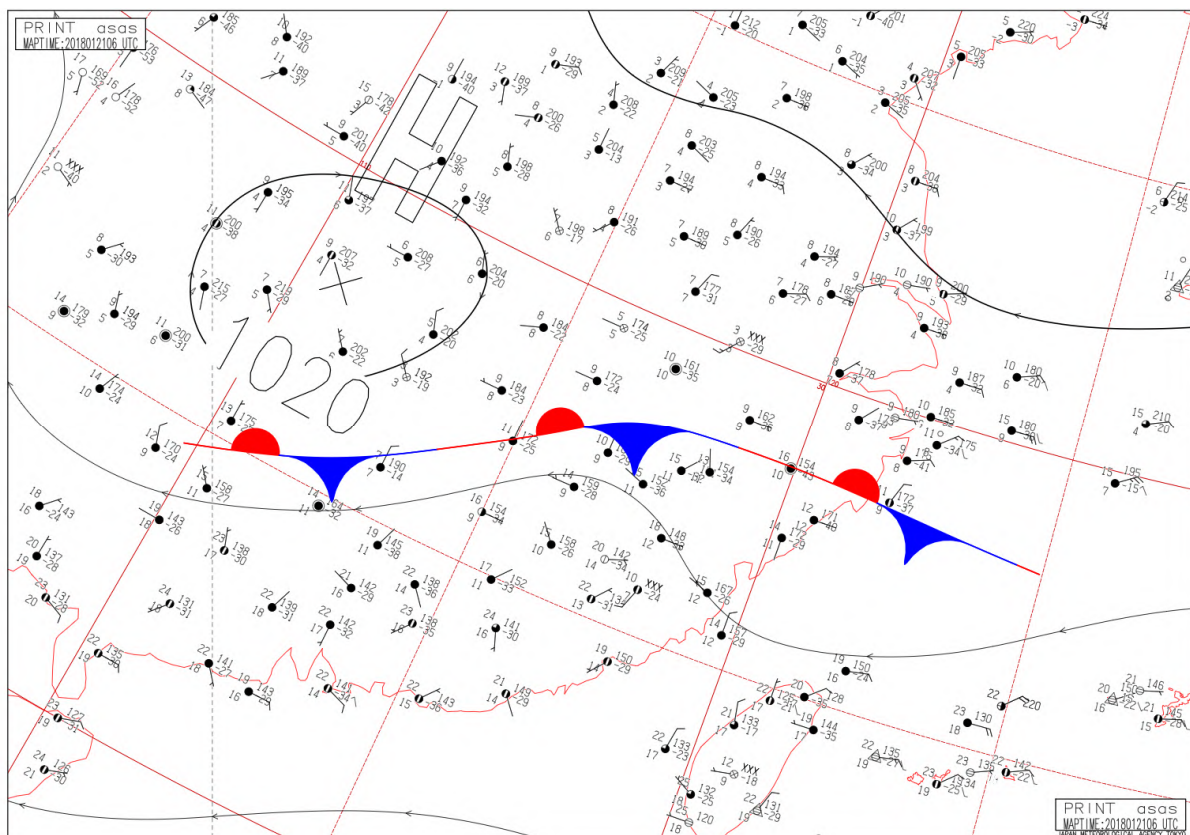
700hPa では華南から華中の沿岸域や東シナ海で湿数 3°C 以下の領域が広がっている。また、華中に北西風と西または南西風の風向シアーがあり、トラフが明瞭である。

850hPa では、300hPa や 500hPa の強風軸に沿って気温 6°C 付近に等温度線の集中帯が解析できる。この集中帯の暖気側の縁に沿って前線を解析でき、この北側と南側で風向シアーが明瞭である。また、流線解析を行うと、上海付近の前線上 (第 5.2.6 図 右下の C の位置) に低気圧性循環を解析できる。この低気圧や前線は 300hPa と 500hPa の強風軸に沿って解析されている。また、500hPa トラフの前面に当たる南東に位置しており、今後、低気圧が発達していくことが予想できる。

### 5. 2. 1. 3 低気圧解析・前線解析の根拠、注目する実況観測

(1) 1月21日06UTC

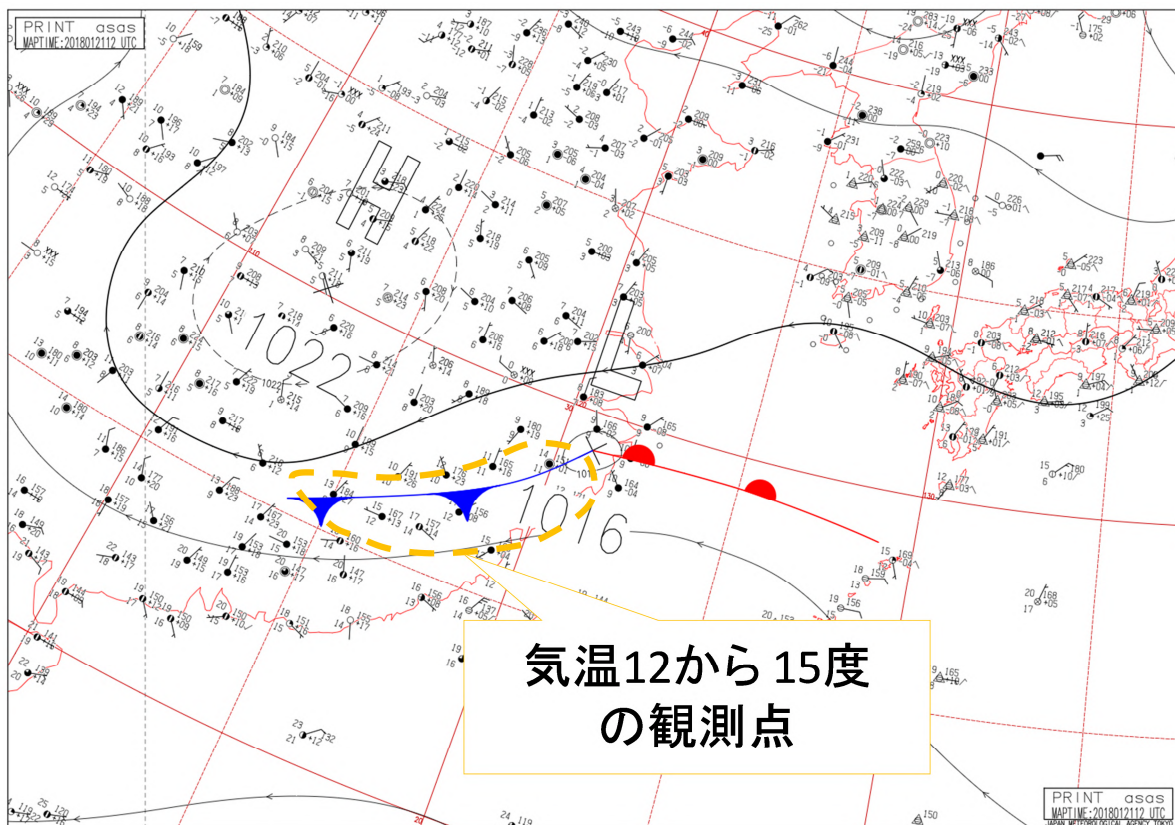
第 5.2.7 図は、最終的に解析された 1 月 21 日 06UTC の地上天気図である。衛星赤外画像 (第 5.2.2 図) や衛星可視画像 (第 5.2.3 図) で示した雲バンド付近の地上観測を見てみると、雲バンドの南側では地上気温が 15°C 以上である一方、北緯 28 度より北側や内陸部では地上気温が 9°C の地点が多く、等温度線の集中帯が顕在化している。そのため、地上気温 12~15°C を目安に前線が解析できる。



第 5.2.7 図 2018 年 1 月 21 日 06UTC の地上天気図

(2) 1月21日 12UTC

第 5.2.8 図は、最終的に解析された 1 月 21 日 12UTC の地上天気図である。地上観測では、東シナ海沿岸では気温 12℃から 15℃の地点が多く（第 5.2.8 図 橙色破線部分）、気温 12~15℃付近に等温度線の集中帯が確認できる。また、内陸では露点温度が 11℃未満の地点が多いが、沿岸の地点では 11℃から 12℃以上と高く、しかも湿数も小さくなっており、華南の沿岸部に水蒸気量の大きな変化も確認できる。このように気温 12℃付近にみられる等温度線の集中帯は、850hPa の等温度線の集中帯（第 5.2.6 図）に概ね対応している。この集中帯は上層のトラフの前面にあたる南東に位置するなどトラフとの対応もよい（第 5.2.6 図）。これらに加えて地上の風向風速にも着目して、地上気温 12~15℃に沿って図中の位置に前線を解析した。また、850hPa では北緯 30 度・東経 120 度付近に低気圧を解析できるが（第 5.2.6 図）、地上の等圧線解析を行うと前線上の北緯 29 度・東経 121 度付近に低気圧を解析し、中心気圧は 1016hPa であった。地上の低気圧位置は 850hPa の低気圧解析位置及び 500hPa のトラフの前面に位置し、気圧の谷が上層に向かって西に傾いている。したがって温帯低気圧の発生期から発達期の特徴がみられ、低気圧が今後発達することを示唆している。また、これまで停滞前線として解析していた前線は、その動きから温暖前線と寒冷前線として解析した。



第 5.2.8 図 2018 年 1 月 21 日 12UTC の地上天気図

橙色破線は地上気温が 12℃から 15℃の地点の分布。

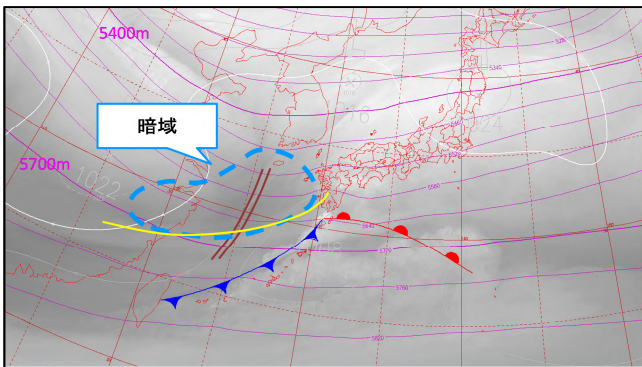
## 5. 2. 2 発達期 1月21日18UTC～22日18UTC

発生した低気圧と前線は、22日朝には東シナ海を東進した。その後、発達しながら日本の南を東北東に進み、23日朝には日本の東に達した。その間、低気圧の中心気圧は、1012hPa から 984hPa まで発達し、最大風速は 75kt に達した。また、日本付近を進む間、寒冷前線が南西諸島と伊豆諸島を通過し、地上でも風向の変化等が観測された。

### 5. 2. 2. 1 衛星画像解析

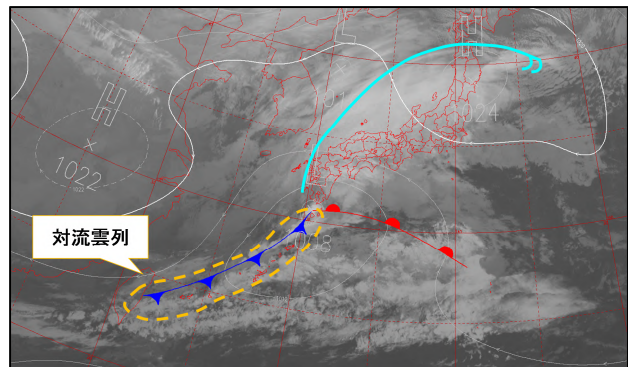
#### (1) 1月22日00UTC

衛星水蒸気画像（第 5.2.9 図）では、バルジの付け根の西側にあたる東シナ海で、トラフと対応する暗域がさらに明瞭となった。衛星赤外画像（第 5.2.10 図）では、対馬海峡から東北地方にかけてのバルジが明瞭となったほか、南西諸島に寒冷前線に相当する対流雲列がみられる。この対流雲列は衛星可視画像（第 5.2.11 図）でも粒状の雲列として確認でき、前線による対流雲の発達を示唆している。



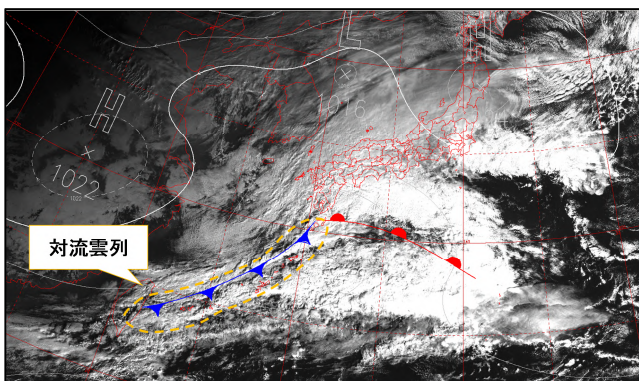
第 5.2.9 図 2018 年 1 月 22 日 00UTC 衛星水蒸気画像

茶色二重線はトラフ、黄色線はバウンダリー、青色点線は暗域、マゼンタ線は 500hPa の高度 (60m 間隔)、白線は地上の等圧線 (4hPa 間隔) とじょう乱を示す。



第 5.2.10 図 2018 年 1 月 22 日 00UTC 衛星赤外画像

水色線はバルジ、白線は地上の等圧線 (4hPa 間隔) とじょう乱、橙色破線は対流雲列を示す。

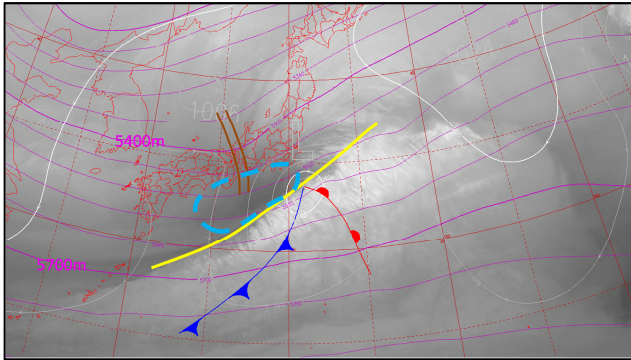


第 5.2.11 図 2018 年 1 月 22 日 00UTC 衛星可視画像

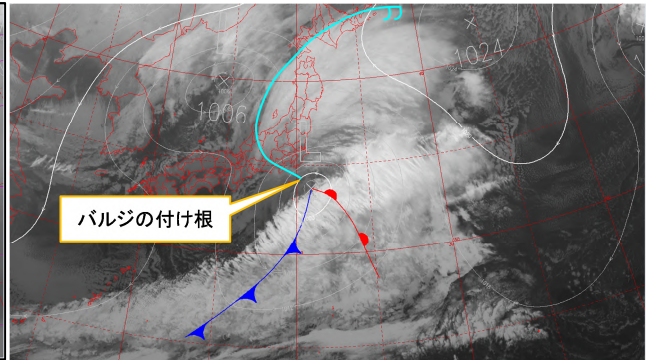
橙色破線は対流雲列、白線は地上の等圧線 (4hPa 間隔) とじょう乱を示す。

(2) 1月22日 12UTC

衛星水蒸気画像（第 5.2.12 図）では、東シナ海の暗域が西日本から東日本に達している。暗域と明域の境界であるバウンダリーは直線的な形状を明瞭にしている。これは中層の強風軸に伴う雲域（明域）と極側の暗域との境界となっており、ジェット気流平行型（気象衛星センター，2002）と呼ばれる。バウンダリーは中層の強風軸の位置を示唆し、トラフが深まっていることを示している。衛星赤外面像（第 5.2.13 図）では、伊勢湾から北日本にかけてのバルジがさらに明瞭となり、低気圧中心はバルジの付け根のやや東の伊豆諸島付近に推定される。



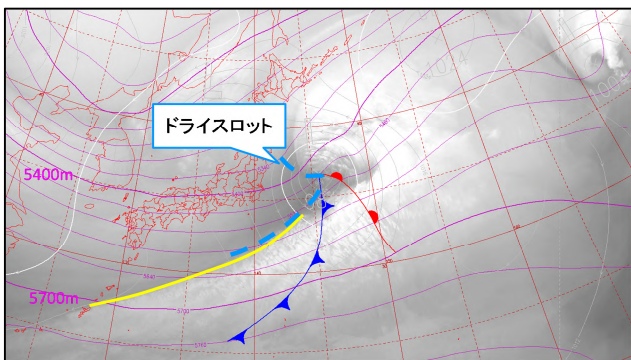
**第 5.2.12 図 2018 年 1 月 22 日 12UTC 衛星水蒸気画像**  
茶色二重線はトラフ、黄色線はバウンダリー、青色点線は暗域、マゼンタ線は 500hPa の高度 (60m 間隔)、白線は地上の等圧線 (4hPa 間隔) とじょう乱を示す。



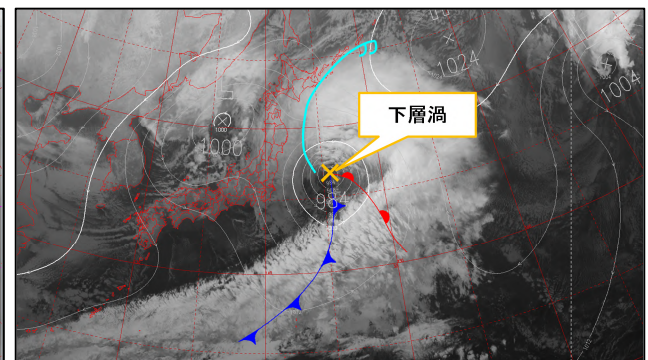
**第 5.2.13 図 2018 年 1 月 22 日 12UTC 衛星赤外面像**  
水色線はバルジ、白線は地上の等圧線 (4hPa 間隔) とじょう乱を示す。

(3) 1月22日 18UTC

衛星水蒸気画像（第 5.2.14 図）では、日本の東の北緯 37 度・東経 145 度付近の雲域で、低気圧中心に暗域が入り込むドライスロットが明瞭となり閉塞過程に入る直前と考えられる。これらのことより、低気圧は発達最盛期を迎えつつあることが推察される。衛星赤外面像（第 5.2.15 図）では、バルジの付け根付近の北緯 37 度・東経 145 度付近の下層渦が明瞭で、地上低気圧の目安となる。



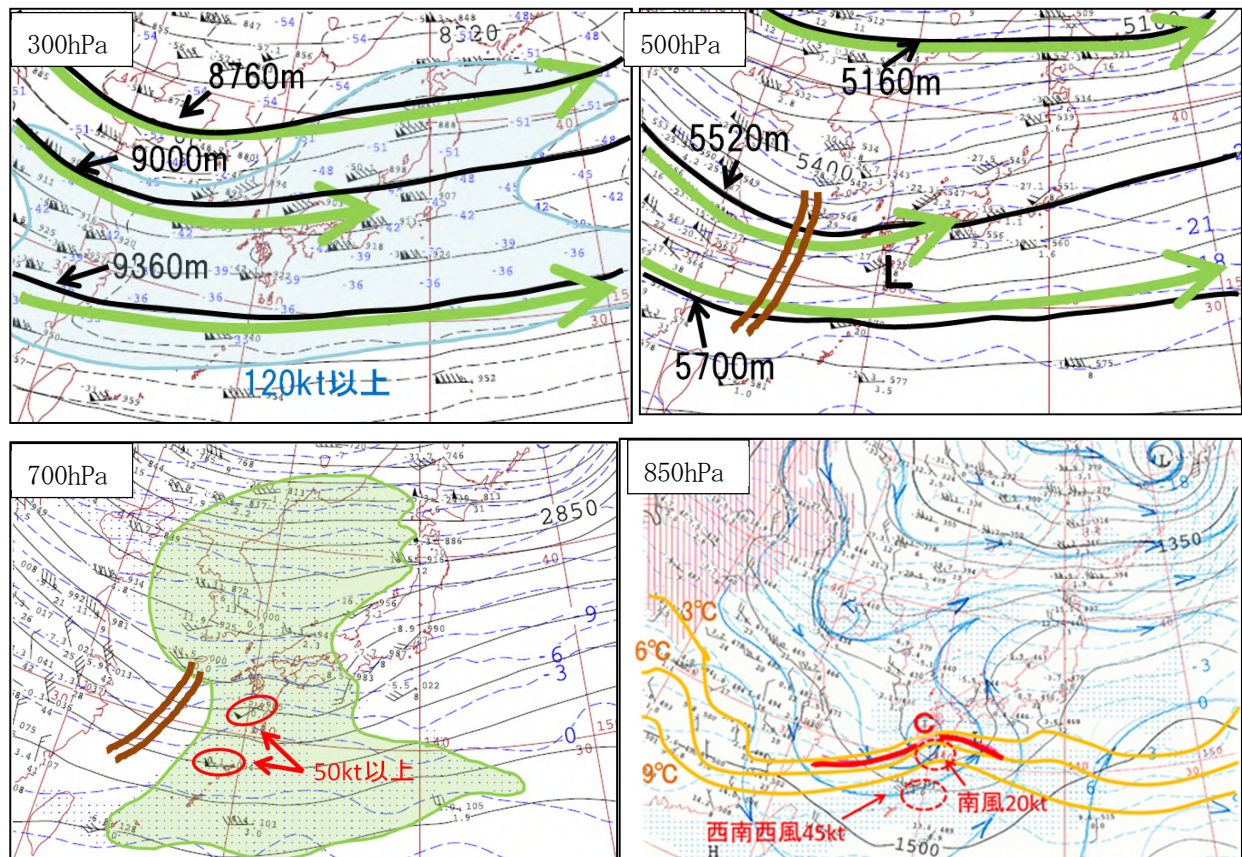
**第 5.2.14 図 2018 年 1 月 22 日 18UTC 衛星水蒸気画像**  
水色点線はドライスロット、黄色線はバウンダリー、マゼンタ線は 500hPa の高度 (60m 間隔)、白線は地上の等圧線 (4hPa 間隔) とじょう乱を示す。



**第 5.2.15 図 2018 年 1 月 22 日 18UTC 衛星赤外面像**  
水色線はバルジ、オレンジは下層渦、白線は地上の等圧線 (4hPa 間隔) とじょう乱を示す。

## 5. 2. 2. 2 アジア 300hPa・500hPa・700hPa・850hPa 高層天気図解析

(1) 1月22日 00UTC



第 5.2.16 図 2018 年 1 月 22 日 00UTC 高層天気図 300hPa、500hPa、700hPa、850hPa

緑矢印：強風軸、水色領域：風速 120kt 以上、茶色二重線：トラフ、L：地上低気圧の位置、黄緑領域：湿数 3°C 以下、青矢印：流线、赤線：各高度の前線、C：低気圧性循環

300hPa では 9000m や 9480m 付近等に風速の極大があつて、強風軸が解析できる。また、500hPa では 5520m と 5700m 付近等に風速の極大があつて、強風軸を形成している。300hPa9480m の強風軸は衛星水蒸気画像（第 5.2.9 図）で示したバウンダリーと対応している。

黄海から東シナ海にかけて 500hPa5460～5700m の深いトラフがみられ、華南の西北西の流れと西日本付近の西南西の流れでの風向シアも明瞭である。このトラフは衛星水蒸気画像（第 5.2.9 図）の暗域とも対応している。後述する地上気象観測による低気圧解析位置はトラフの南東にあり、低気圧が発達段階であることを示唆する。

700hPa 天気図では、西日本から南西諸島に沿って湿数 3°C 以下の領域が広がっている。また、鹿児島や名瀬では 50kt 以上の非常に強い西または西南西の風が観測されている。

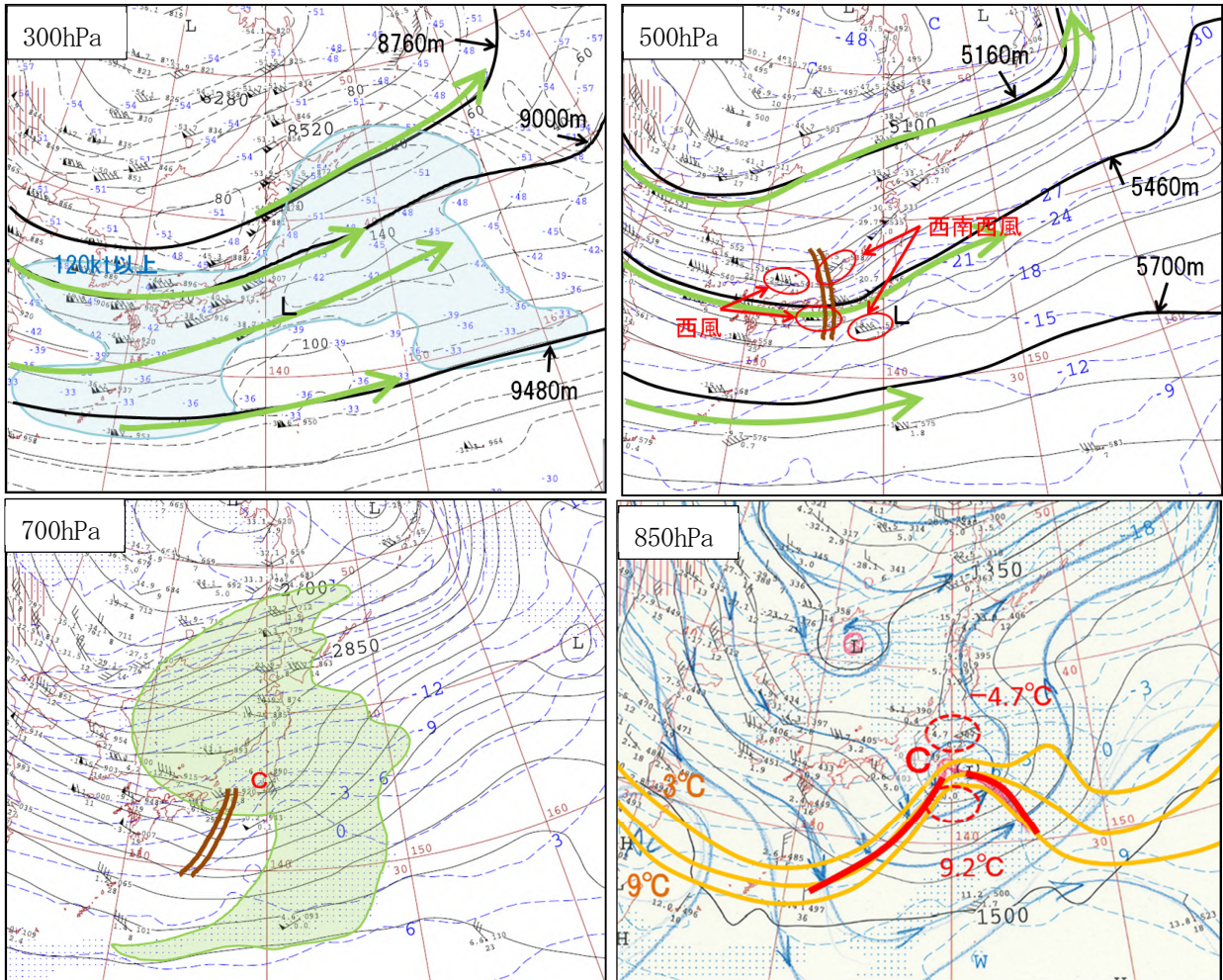
850hPa 天気図では、鹿児島で南の風 20kt が観測されるなど、九州西海上の北緯 33 度・東経 128 度付近に低気圧性の回転がみられることから、この付近に低気圧を解析できる。

鹿児島の 700hPa の風向は西南西で、850hPa からみると時計回りに風向が変化していることから、この間の高度で平均して風が暖気側から寒気側に吹いており、暖気移流が強いことを示している。このことから、低気圧の前面で暖気移流が強くなっている。また、低気圧の後面では、850hPa の流线が気温 6°C の等温度線にほぼ直行しており、寒気側から暖気側の流れとなって寒気移流場となっている。このことから、低気圧が

発達することを示唆している。

気温 6°C 付近に等温度線の集中帯がみられ、北西と南西の風向シアーもあることから、これに沿って 850hPa 面での寒冷前線を解析できる。前線の南側は湿数 3°C 以下の湿った領域となっている。

(2) 1月22日 12UTC



第 5.2.17 図 2018 年 1 月 22 日 12UTC 高層天気図 300hPa、500hPa、700hPa、850hPa

緑矢印：強風軸、水色領域：風速 120kt 以上、茶色二重線：トラフ、L：地上低気圧の位置、黄緑領域：湿数 3°C 以下、青矢印：流線、赤線：各高度の前線、C：低気圧性循環

300hPa では 9000m と 9120～9360m 付近等に強風軸が解析される。また、500hPa では 5460m と 5700m 付近等に強風軸が解析される。300hPa 9120～9360m 付近の強風軸は、衛星水蒸気画像（第 5.2.12 図）のバウンダリーとよく対応している。500hPa では若狭湾から紀伊半島付近にトラフが解析でき、高層観測をみると潮岬や松江では西風が観測されているのに対し、それより東側の輪島や八丈島では西南西の風となっており、風向シアーがみられる。また、潮岬では湿数が 39.0°C と非常に大きく乾燥域となっていて、水蒸気画像（第 5.2.12 図）で暗域部分とよく対応している。

700hPa 天気図では、伊勢湾から北日本に湿数 3°C 以下の領域の膨らみがみられ、衛星赤外面像（第 5.2.13 図）でもみられた下層雲が広がっている様子がわかる。また、伊豆諸島から小笠原諸島を通して南大東島付近にかけても湿数 3°C 以下の領域が広がっている。風の観測をみると、関東地方付近で明瞭な低気圧性循環がみられる。

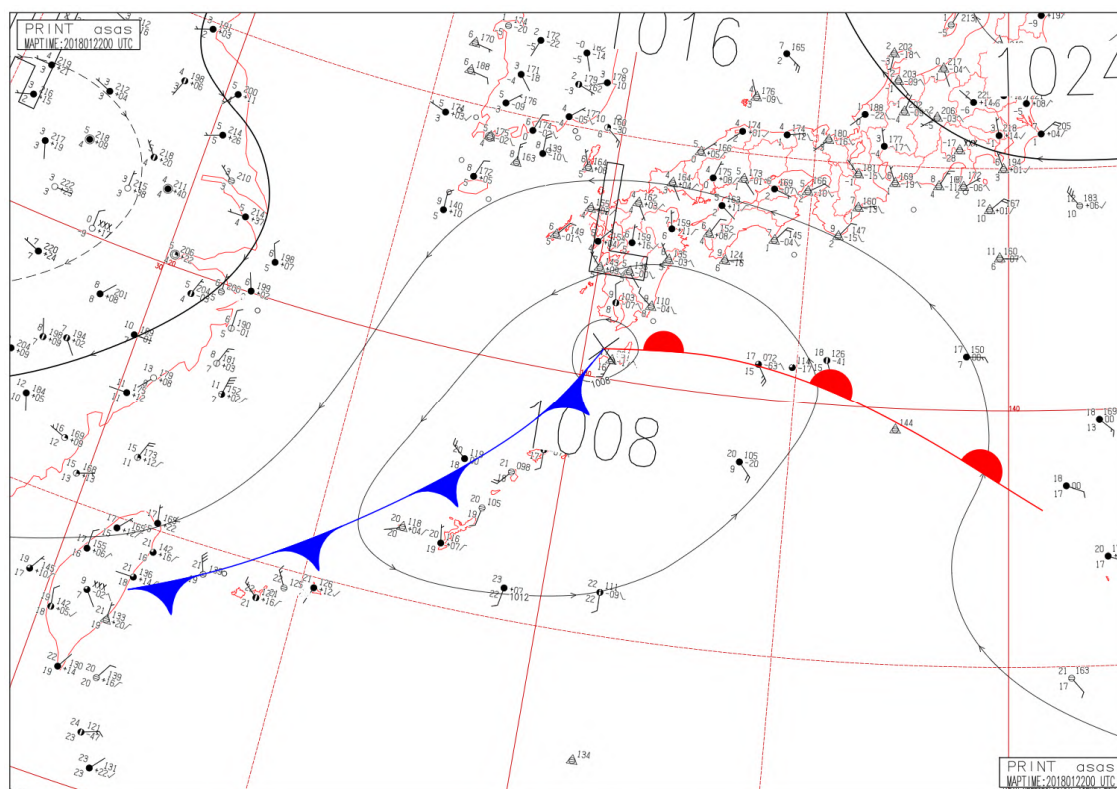


850hPa 天気図では、700hPa と同様に、伊豆諸島付近で明瞭な低気圧性循環がみられる。また、低気圧前面では南東からの流線が気温 6°C の等温度線と直行して暖気移流が強まっている。館野の気温 -4.7°C に対して八丈島の気温は 9.2°C となっており、200km ほどの距離に 14°C 近い温度差が生じるなど、水平温度傾度も大きくなっている。また、低気圧後面では北西からの流線が気温 6°C の等温度線と直行して寒気移流が強まっており、引き続き低気圧が発達していることを示している。6°C 線は低気圧中心から南西にのびているが、潮岬の湿数が 5.0°C となっているなど低気圧より西側は乾燥しており、850hPa より下層では寒気を伴う乾燥域がさらに南下している可能性がある。

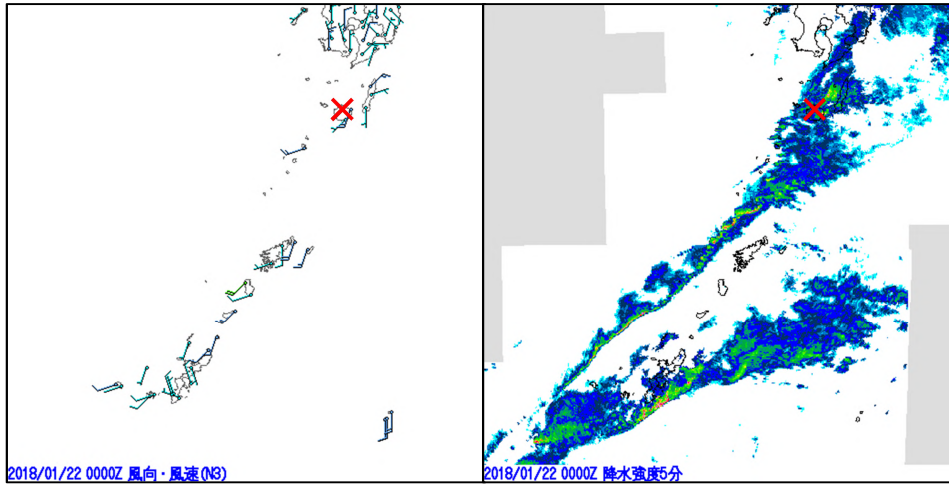
### 5. 2. 2. 3 低気圧解析・前線解析の根拠、注目する実況観測

#### (1) 1月22日 00UTC

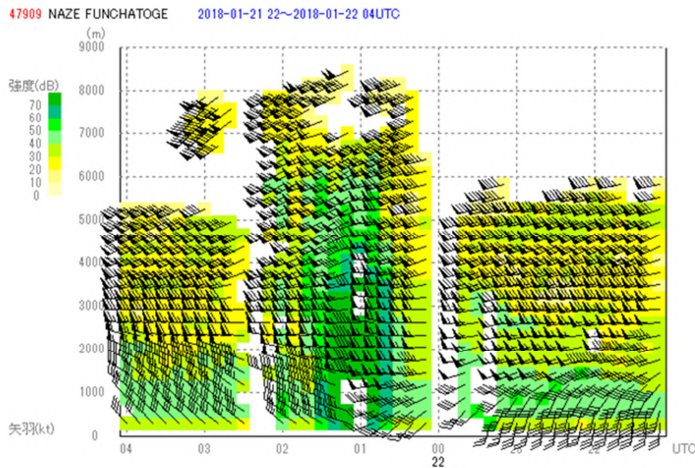
地上の等圧線解析の結果、屋久島の北の海上に 1008hPa の低気圧を解析できる（第 5.2.18 図）。この位置は東シナ海の 500hPa トラフ（第 5.2.16 図）の東に位置しており、トラフとの対応がよい。また、アメダスの風向（第 5.2.19 図）もこの付近で低気圧性の変化を示している。寒冷前線は、850hPa の気温 6°C 付近の等温度線の集中帯（第 5.2.16 図）が地上の前線の目安となる。これは、低気圧中心から南西諸島に向かってのびる降水エコーの走向（第 5.2.19 図）とも一致している。また、名瀬のウィンドプロファイラの最下層の風（第 5.2.20 図）や北原（久米島）のアメダス（第 5.2.21 図）では、22日 01UTC 頃には風向が南西から北西へ変わり、風向変化が明瞭である。さらに宮古島のアメダス（第 5.2.21 図）では、00UTC から 03UTC にかけて、気温が 21.4°C から 19.7°C に下降した。これらは、明瞭な寒冷前線が降水エコーに沿って存在したことを示している。低気圧と前線は、850hPa 面での低気圧と前線（第 5.2.16 図）の 100km 程度南東に存在し、高層解析との対応もよいことから、この位置に前線と低気圧を解析する。



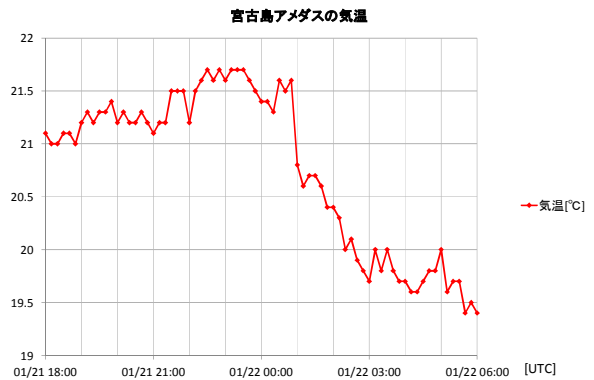
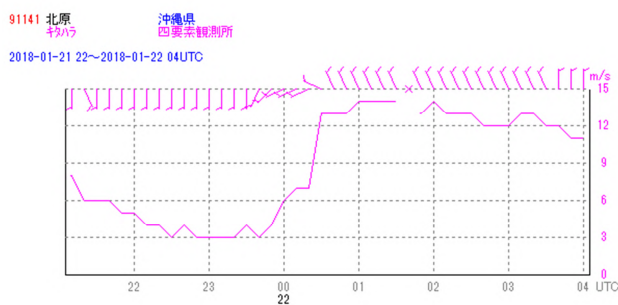
第 5.2.18 図 2018 年 1 月 22 日 00UTC の地上天気図



第 5. 2. 19 図 2018 年 1 月 22 日 00UTC アメダス風向風速（左）とレーダーエコー（右）  
赤色の×は低気圧の位置を表す。



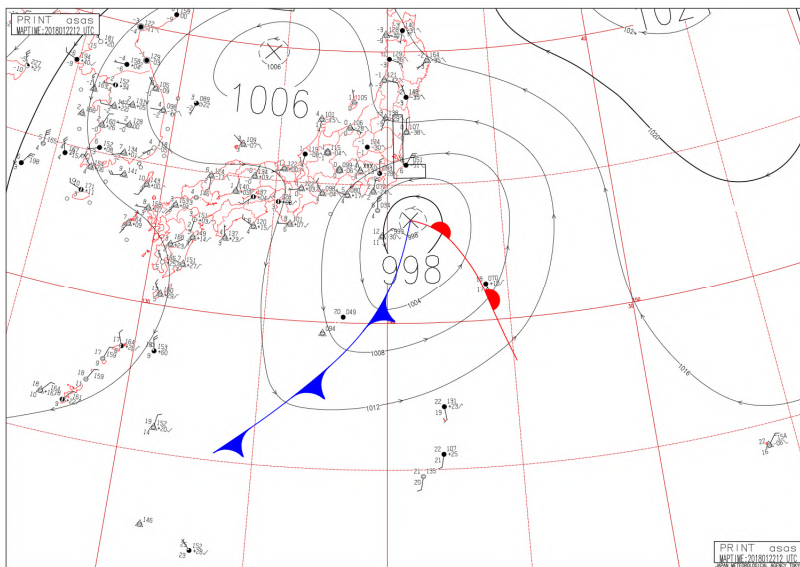
第 5. 2. 20 図 1 月 21 日 22UTC から 22 日 04UTC にかけての名瀬のウィンドプロファイラのデータ  
22UTC から 00UTC までは、最下層の風向は南から南西だったが、01UTC を境に北西に変化。



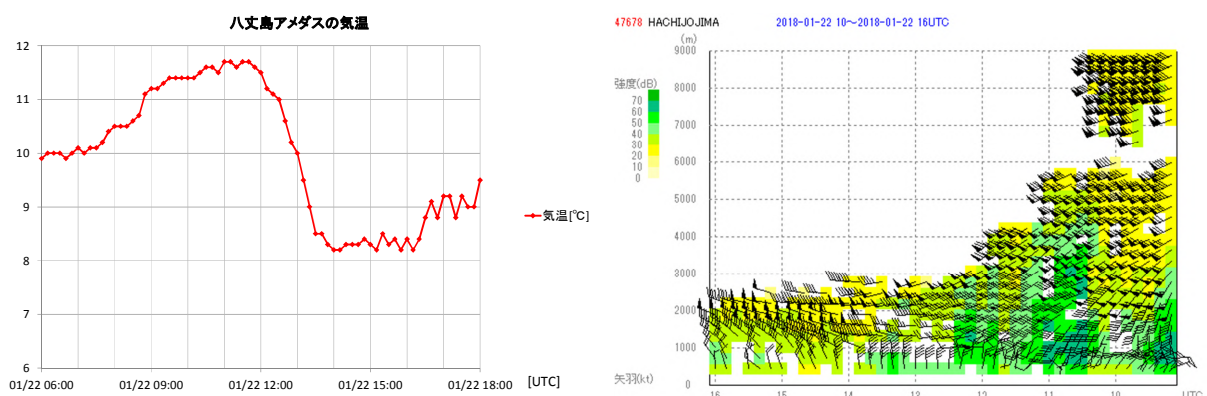
第 5. 2. 21 図 1 月 21 日 21UTC から 22 日 04UTC にかけての北原（久米島）のアメダス風向風速（左）と 1 月 21 日 18UTC から 22 日 06UTC にかけての宮古島の気温（右）  
北原（久米島）では、01UTC 頃には風向が南から北西に変わり、風速も増大している。また、宮古島では 01UTC 頃に気温の低下がみられる。

(2) 1月22日 12UTC

地上の等圧線解析を行うと、八丈島の東に 998hPa の低気圧が解析できる (第 5.2.22 図)。5.2.2.2 で述べたとおり、700hPa や 850hPa の高層天気図からも地上の低気圧に近い関東地方付近で低気圧性の風の循環が明瞭である (第 5.2.17 図)。また、トラフは若狭湾から紀伊半島付近にあり (第 5.2.17 図)、低気圧中心に追いつきつつある。低気圧は八丈島付近か、八丈島のすぐ南を通過したとみられ、八丈島の地上の観測でもその特徴がみられる。まず、22日 12UTC から 22日 14UTC にかけて、気温が 11.5℃ から 8.2℃ まで下降し、低気圧通過後の寒気が流入したことを示している (第 5.2.23 図)。ウィンドプロファイラの最下層の風向も 09UTC から 15UTC にかけて北東から北、北から北西に反時計回りに変化して、低気圧の通過を示している。また、下層における鉛直方向の風向の変化が、09UTC から 15UTC にかけて、高度とともに時計回りの回転から反時計回りの回転に変わっていることから、暖気移流場から寒気移流場が変わったことを示している (第 5.2.23 図右)。



第 5.2.22 図 2018 年 1 月 22 日 12UTC の地上天気図



第 5.2.23 図 1 月 22 日 06UTC から 18UTC にかけての八丈島の気温 (左) と、22 日 09UTC から 16UTC にかけての八丈島のウィンドプロファイラ (右)

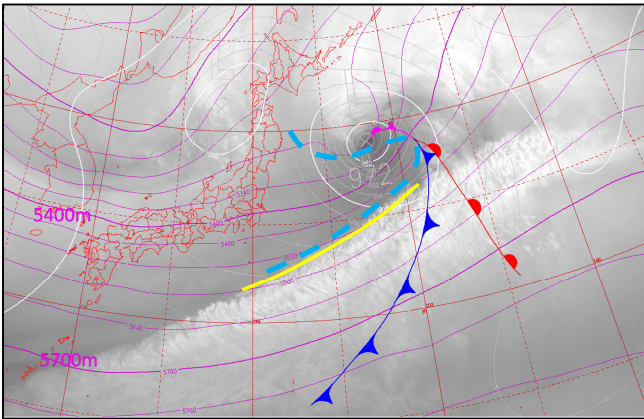
低気圧の通過後、ウィンドプロファイラの最下層の風向が北または北北西に変化、気温も下降。

### 5. 2. 3 最盛期 1月23日00UTC～23日12UTC

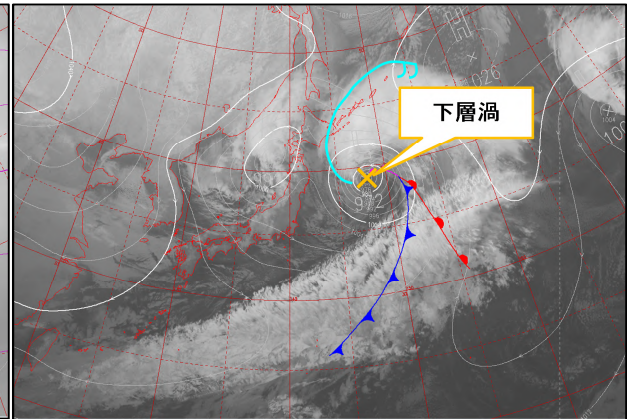
1月23日00UTCには、低気圧中心は三陸沖に達し閉塞前線を形成した。その後、中心付近への寒気流入が顕著になるとともに発達しながら北東に進み、同日12UTCには低気圧が閉塞前線をのぼしながら千島近海に達した。

#### 5. 2. 3. 1 衛星画像解析

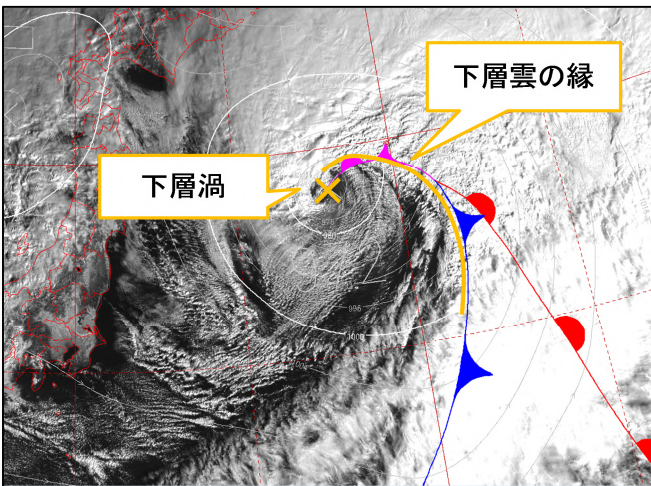
(1) 1月23日00UTC



第5.2.24図 2018年1月23日00UTC 衛星水蒸気画像  
青色破線はドライスロット、黄色線はバウンダリー、マゼンタ線は500hPaの高度(60m間隔)、白線は地上の等圧線(4hPa間隔)とじょう乱を示す。



第5.2.25図 2018年1月23日00UTC 衛星赤外画像  
水色線はバルジ、橙色×印は下層渦、白線は地上の等圧線(4hPa間隔)とじょう乱を示す。



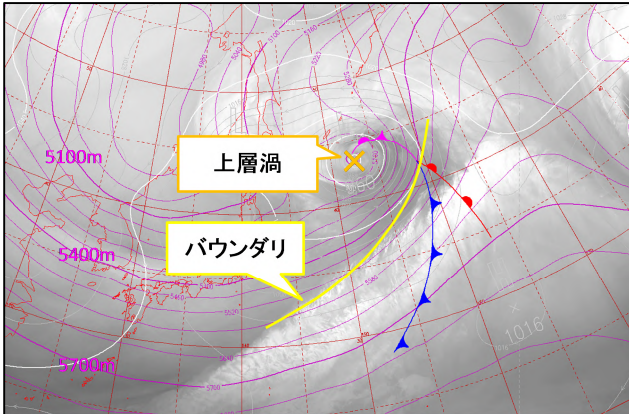
第5.2.26図 2018年1月23日00UTC  
衛星可視画像  
橙色×印は下層渦、橙色線は下層雲、白線は地上の等圧線(4hPa間隔)とじょう乱を示す。

衛星水蒸気画像(第5.2.24図)では北緯40度・東経150度付近のドライスロットが明瞭であることから、低気圧は閉塞過程に入ったことがわかる。衛星赤外画像(第5.2.25図)では、バルジがまだ明瞭で下層渦もよく見えているが、寒冷前線や温暖前線に対応する雲域はよくわからない。また、衛星可視画像(第5.2.26図)では低気圧中心に対応した下層渦がさらに明瞭となり、閉塞前線に対応した湾曲した下層雲域(第5.2.26図の橙色線)が明瞭で、ドライスロット内に寒気に伴う積雲域がみられる。

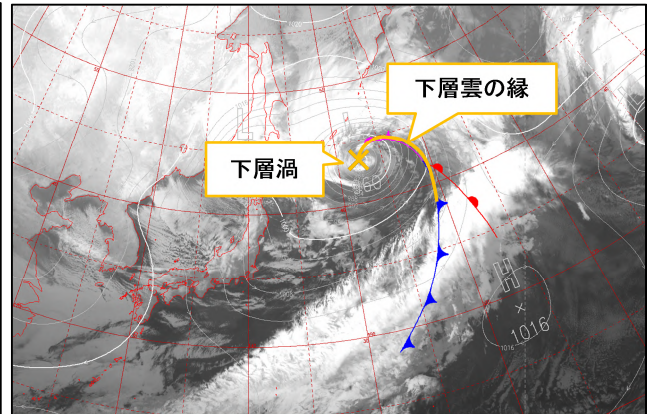
閉塞点は、衛星水蒸気画像(第5.2.24図)のバウンダリーと衛星可視画像(第5.2.26図)の閉塞前線から寒冷前線に対応した下層雲の縁の交点である北緯38度・東経152度付近に解析できる。

(2) 1月23日 12UTC

衛星水蒸気画像（第5.2.27図）では低気圧の直上に上層渦が解析され、渦管が垂直となり低気圧が最盛期に達したことを示している。衛星赤外画像（第5.2.28図）では低気圧に対応する下層渦が、北海道東方海上でさらに明瞭となる。



第5.2.27図 2018年1月23日12UTC 衛星水蒸気画像  
橙色×印は上層渦、黄色線はバウンダリー、マゼンタ線は500hPaの高度(60m間隔)、白線は地上の等圧線(4hPa間隔)とじょう乱を示す。



第5.2.28図 2018年1月23日12UTC 衛星赤外画像  
橙色×印は下層渦、黄色線は下層雲の縁、白線は地上の等圧線(4hPa間隔)とじょう乱を示す。

### 5. 2. 3. 2 アジア 300hPa・500hPa・700hPa・850hPa 高層天気図解析

(1) 1月23日 00UTC

300hPa 天気図（第5.2.29図）では9000m付近と9240~9360m付近等に強風軸が解析される。特に9240~9360m付近の強風軸は、衛星水蒸気画像（第5.2.24図）のバウンダリーと対応している。衛星赤外画像や衛星可視画像では低気圧の下層渦が確認でき、それによって、低気圧が強風軸の北側に位置するようになったことがわかる。また、500hPa 天気図（第5.2.29図）では、日本の東の5280m付近に上層渦に対応するトラフがみられ、これが地上の低気圧の直上に位置している。また、強風軸は5460mや5700m付近等に解析され、5460mの強風軸が閉塞点に対応すると考えられる。500hPaでも300hPaと同様に衛星画像から解析された地上低気圧が強風軸の北側に位置するようになった。これらのことから、低気圧に伴う前線が閉塞し最盛期に達したことがわかる。

700hPaでは閉塞前線から寒冷前線にあたる領域に沿って、湿り域が解析されている。また、低気圧の中心に向かって西側から乾いた領域がのびていて、衛星水蒸気画像でみられるドライスロットに対応している。

850hPa 天気図では、北緯38度、東経150度付近に3°C~9°Cの温度線が南から北に向かってくさび状に入りこんでおり、この温度線の盛り上がりの頂点と500hPaの5400m付近の強風軸との交点には閉塞点が解析できる。

### 5. 2. 3. 3 低気圧解析・前線解析の根拠、注目する実況観測

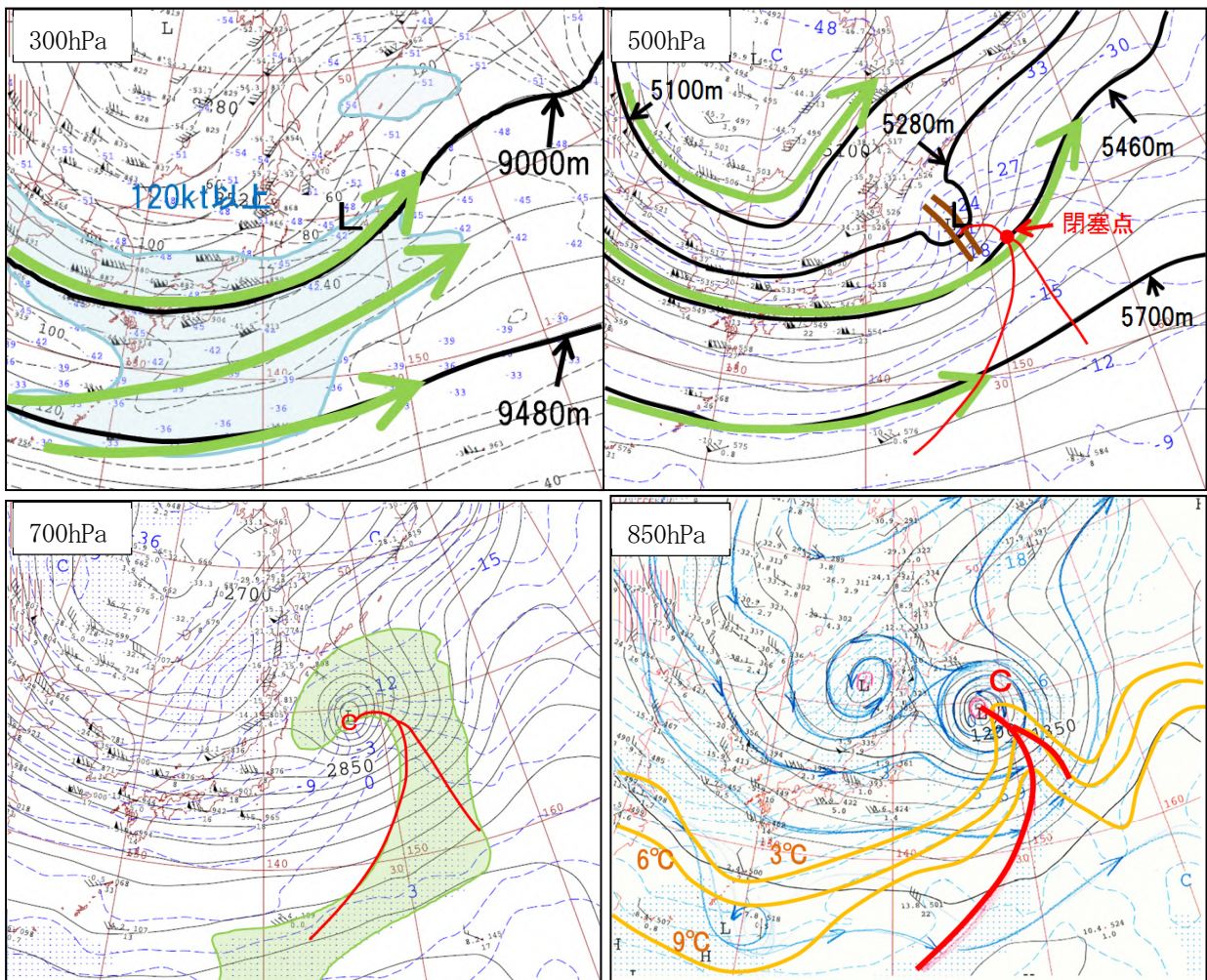
(1) 1月23日 00UTC から 12UTC

22日18UTCから23日00UTC、23日12UTCにかけては海上であるため、低気圧付近の地上気象観測データはない。ただ、衛星画像から中心位置は明瞭であることから、衛星解析に基づいて低気圧の中心を決定する。

中心気圧については衛星画像で低気圧の発達が顕著であることと、数値予報モデルでも 23 日夜にかけて低気圧の発達が予想されていることなどから中心気圧をさらに深めて解析する。その結果、23 日 00UTC には 972hPa (第 5.2.30 図)、23 日 12UTC には 960hPa (第 5.2.31 図) となった。

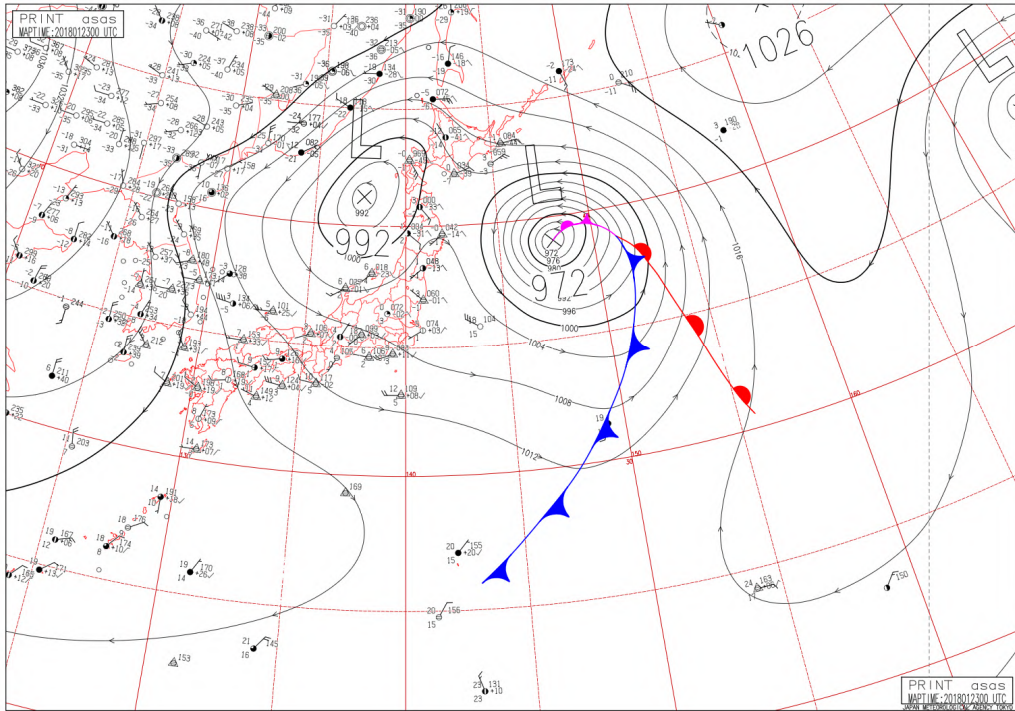
前線についても、地上気象観測データがないことから、衛星解析に基づいて決定する。

寒冷前線は、23 日 00UTC の衛星可視画像 (第 5.2.26 図) の雲バンドに沿って解析した。この雲バンドは、850hPa の等相当温位線の集中帯にも一致する。また、父島の 850hPa の風向が北西であることから、前線は父島の南に解析した。閉塞点は、500hPa の強風軸と低気圧近傍の下層雲の縁の交点に解析する。衛星水蒸気画像 (第 5.2.24 図、第 5.2.27 図) においては強風軸と暗域との対応も確認する。温暖前線は衛星画像からは不明瞭なので、これまでの解析に沿って、850hPa 気温 6°C 付近 (第 5.2.29 図) を参考に、等相当温位線の集中帯 (第 5.2.32 図) と風向シアも考慮しながら解析する。閉塞点は、500hPa の強風軸解析を踏まえて、ドライスロット縁辺の対流雲の縁辺 (第 5.2.26 図に橙色線で表示) と衛星水蒸気画像 (第 5.2.24 図) のバウンダリーの交点に解析できる。温暖前線は等相当温位線の集中帯の南端と風向シアから推定した。

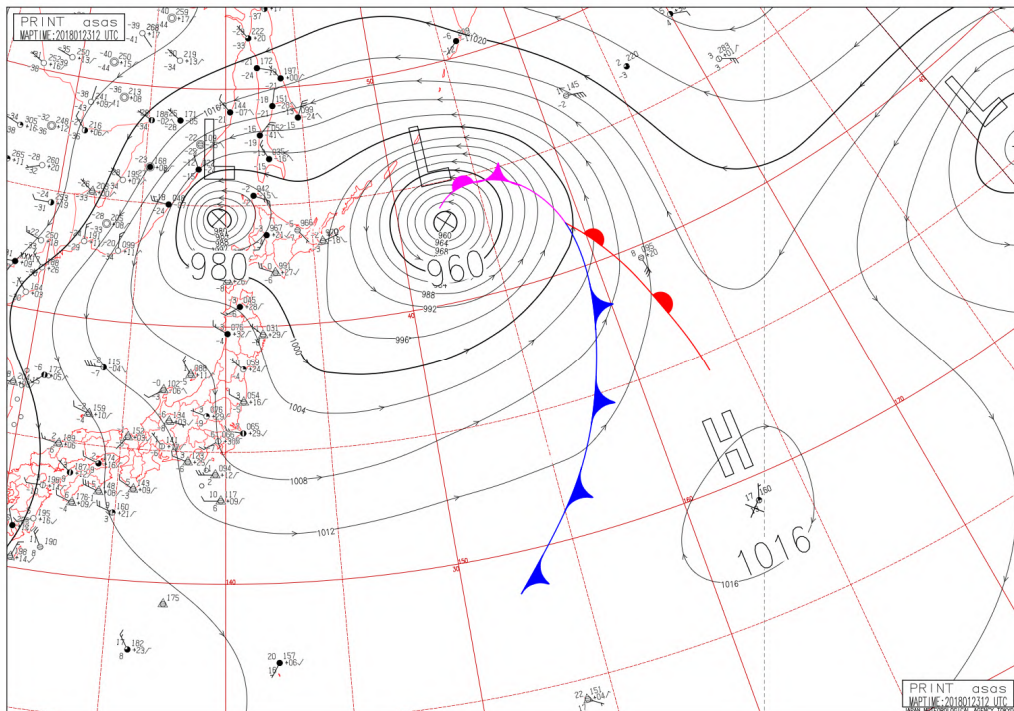


第 5.2.29 図 2018 年 1 月 23 日 00UTC 高層天気図 300hPa、500hPa、700hPa、850hPa

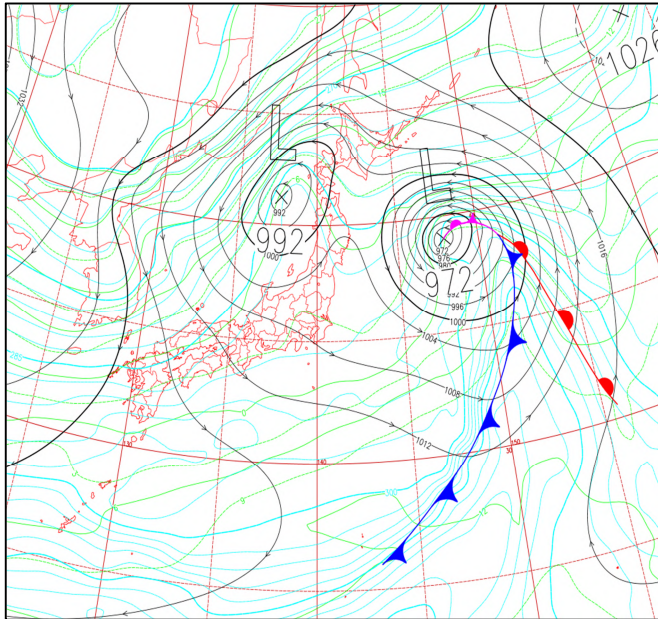
緑矢印：強風軸、水色領域：風速 120kt 以上、茶色二重線：トラフ、L：地上低気圧の位置、黄緑領域：湿数 3°C 以下、赤線：地上前線の位置 (850hPa は 850hPa 面での前線)、C：低気圧性循環



第 5.2.30 図 2018 年 1 月 23 日 00UTC の地上天気図



第 5.2.31 図 2018 年 1 月 23 日 12UTC の地上天気図



**第 5.2.32 図 2018 年 1 月 23 日 00UTC 850hPa の相当温位**

水色線は 850hPa の等相当温位 (3[K] 間隔)、緑色線は 850hPa の気温、黒線は地上等圧線 (4hPa 間隔)。

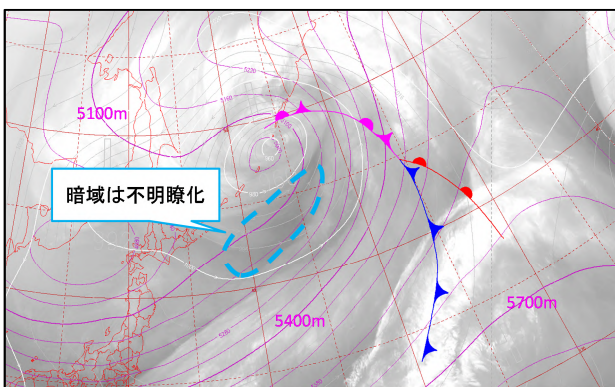
#### 5. 2. 4 衰弱期 1 月 23 日 18UTC~24 日 06UTC

1 月 23 日 18UTC には低気圧は千島近海に達し、中心気圧は 960hPa まで深まった。23 日 12UTC には閉塞前線が中心から離れて解析され、低気圧は最盛期を過ぎて衰弱期に入った。その後、低気圧は北西に進路を変えて上層の寒冷渦の直下に移動、それとともに中心付近の閉塞前線は徐々に不明瞭化して、低気圧は前線を持たない孤立した下層の低気圧性循環へと変化した。

##### 5. 2. 4. 1 衛星画像解析

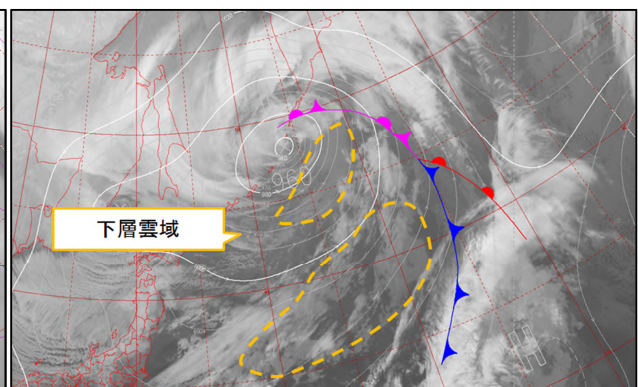
###### (1) 1 月 23 日 18UTC から 24 日 00UTC

衛星水蒸気画像 (第 5.2.33 図) では、これまで明瞭にみられたバウンダリーが不明瞭となり、低気圧中心付近は暗域が不明瞭になった。衛星赤外画像 (第 5.2.34 図 橙色破線) では、低気圧の南から南東にかけては明るい灰色となっているが、衛星可視画像 (第 5.2.35 図 橙色破線) では明るい灰色の層状の領域が広がっており、背の低い下層雲に覆われていることがわかる。また低気圧近傍の下層雲の縁が不明瞭となったことから、閉塞前線が衰弱したと判断した。以上のことから低気圧は衰弱期に入っていると考えられる。



**第 5.2.33 図 2018 年 1 月 24 日 00UTC 衛星水蒸気画像**

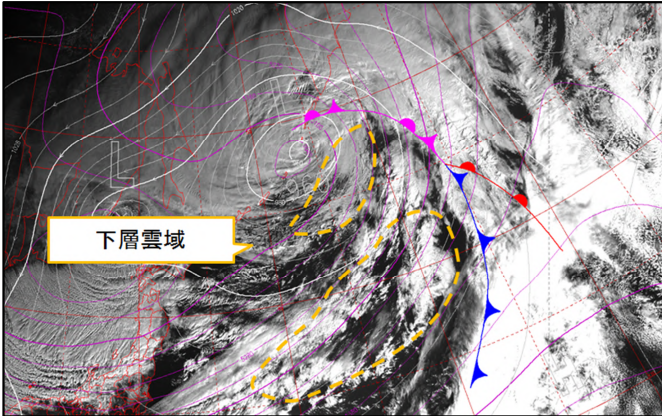
マゼンタ線は 500hPa の高度 (60m 間隔)、青色破線は暗域、白線は地上の等圧線 (4hPa 間隔) とじょう乱を示す。



**第 5.2.34 図 2018 年 1 月 24 日 00UTC 衛星赤外画像**

橙色破線は下層の雲域、白線は地上の等圧線 (4hPa 間隔) とじょう乱を示す。





第 5.2.35 図 2018 年 1 月 24 日 00UTC

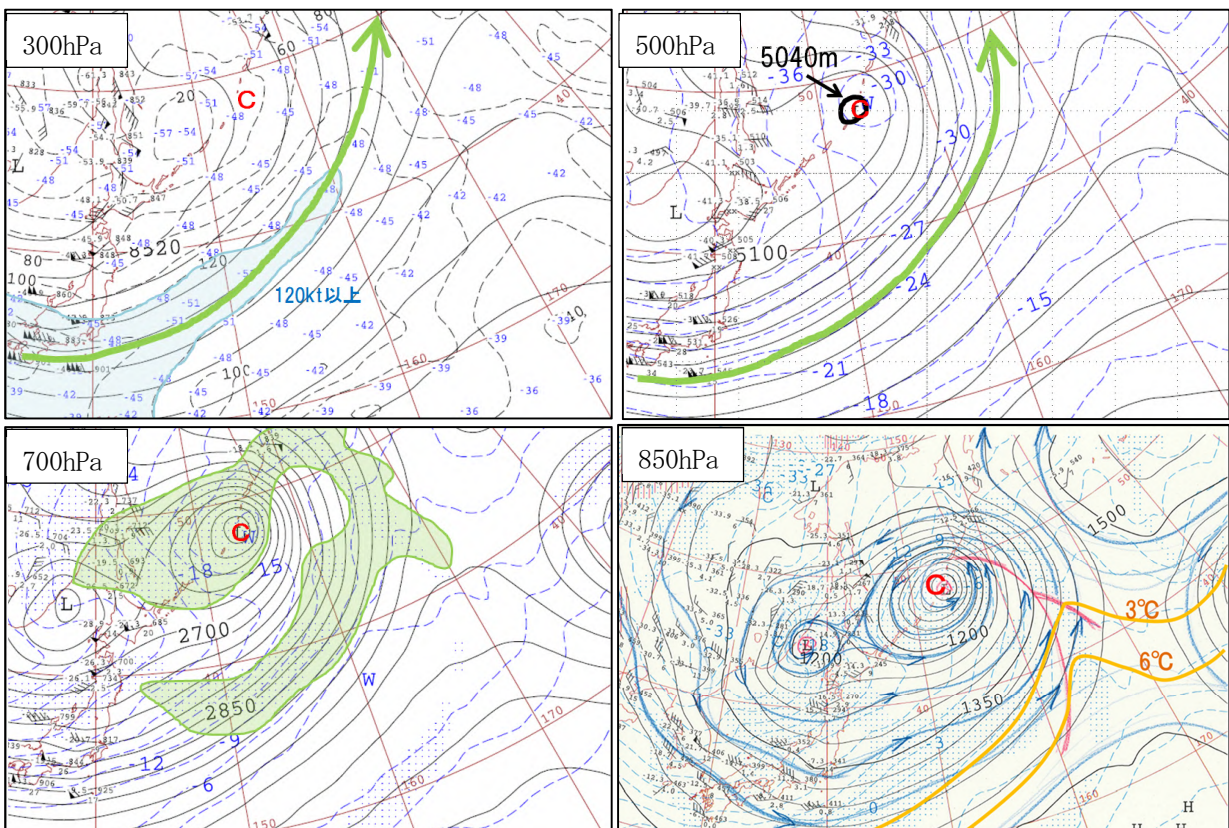
衛星可視画像

橙色破線は下層の雲域、白線は地上の等圧線 (4hPa 間隔) とじょう乱を示す。

5. 2. 4. 2 アジア 300hPa・500hPa・700hPa・850hPa 高層天気図解析

(1) 1 月 24 日 00UTC

500hPa 天気図 (第 5.2.36 図) では、地上の低気圧の直上に 5040m の渦がみられる。一方、低気圧の南東側の日本のはるか東では 850hPa の気温 3°C と 6°C の間隔が広くなるなど、最盛期に比べて寒冷前線に対応する 850hPa の等温度線の集中が弱まっていることから、前線が不明瞭になっていることがわかる。



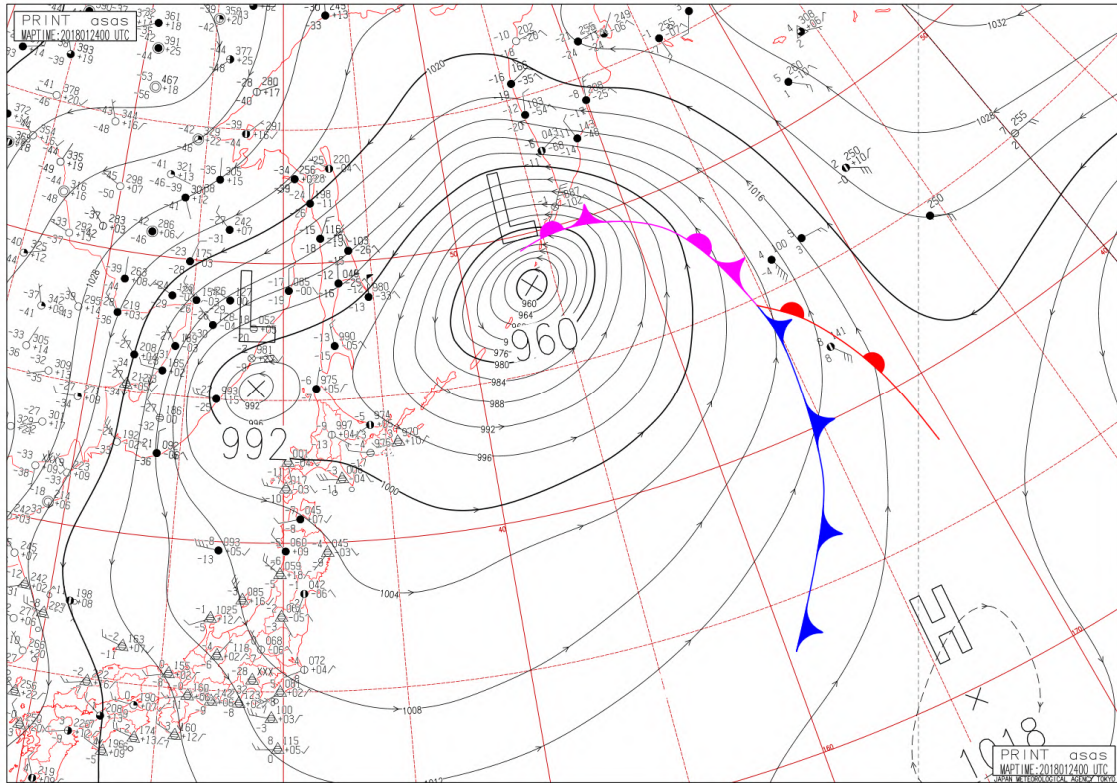
第 5.2.36 図 2018 年 1 月 24 日 00UTC 高層天気図 300hPa、500hPa、700hPa、850hPa

緑矢印：強風軸、水色領域：風速 120kt 以上、黄緑領域：湿数 3°C 以下、青矢印：流線、赤線：地上前線の位置、  
C：低気圧性循環

### 5. 2. 4. 3 低気圧解析・前線解析の根拠、注目する実況観測

(1) 1月24日00UTC

中心付近の地上観測データはないが、千島列島の観測から、中心気圧は960hPa（第5.2.37図）に解析できる。しかし、最盛期に比べると周辺の等圧線の間隔は大きくなっており、最大風速も55ktと解析した。



第5.2.37図 2018年1月24日00UTCの地上天気図

### 5. 3 まとめ

日本付近での温帯低気圧の事例を対象として、天気図解析の根拠や考え方について解説した。

今回取り上げた低気圧は、22日12UTCからの24時間で38hPaも中心気圧が深くなるような急速な発達となり、珍しい現象であったといえる。急速な発達の要因としては、以下のようなものが考えられる。

- ・ 発生期から発達期にかけて、低気圧の西側に上層のトラフが位置して上層ほど気圧の谷が西に傾いた状態だった。
- ・ 発達期から最盛期では、高層気象観測やウィンドプロファイラ、地上の観測などで、低気圧の前面で暖気移流が強いことが裏付けられた。
- ・ 低気圧の後面では寒気移流が顕著で、前線の南北での温度傾度も大きかった。
- ・ 発生期から衰弱期に至るまで低気圧や前線がほとんど海上に位置しており、地形による衰弱がなかった。

総観規模の低気圧解析では、衛星画像解析による雲の解析によって低気圧の発達段階を把握すること、高層天気図解析によって、強風軸の位置や下層の温度場を解析して3次元構造を把握することが重要である。それに加えて、地上観測データなどを詳細に解析することで最終的な低気圧中心位置や中心気圧、前線の位置を決定することができる。

本事例では、日本付近を通過した際に詳細な地上気圧解析が可能であり、中心気圧の急速な発達を捉える

ことができた。また、いくつかの観測点では、寒冷前線の通過に伴う気温の下降や、風向風速の急変を捉えることができ、前線位置をより正確に決定することができた。数値予報モデルの予想だけに頼るのではなく、これらの観測データを丁寧に解析することで、より正確な低気圧の解析を行うことができる。

解析に当たっては、低気圧の発達段階を把握することも大事である。それによって、低気圧がこれから発達するのか、衰弱に向かうのかを理解してより正確な解析が可能となる。

数値予報モデルと実況の差異を適切に把握することは、よりよい予報作業のために欠かせない。本稿が日々の予報作業の一助となることを期待する。

## 参考文献

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, 気象庁予報部, 86-100.

北島尚子, 2013: 台風の温帯低気圧化. 気象研究ノート, **226**, 127-148.

気象研究所, 2012: 平成 24 年 4 月 2~3 日に急発達した低気圧について. 気象庁報道発表資料.

(<http://www.jma.go.jp/jma/press/1204/06a/20120406teikiatsu.html>) .

Lackmann, G., 2011: Midlatitude synoptic meteorology:dynamics, analysis, and forecasting. Amer. Met. Soc., ISBN 978-1-878220-10-3, 345pp.

Thorpe. A. J., 1986: Synoptic disturbances with circular symmetry. Mon. Wea. Rev., **114**, 1384-1389.

気象衛星センター, 2000: 気象衛星画像の解析と利用.

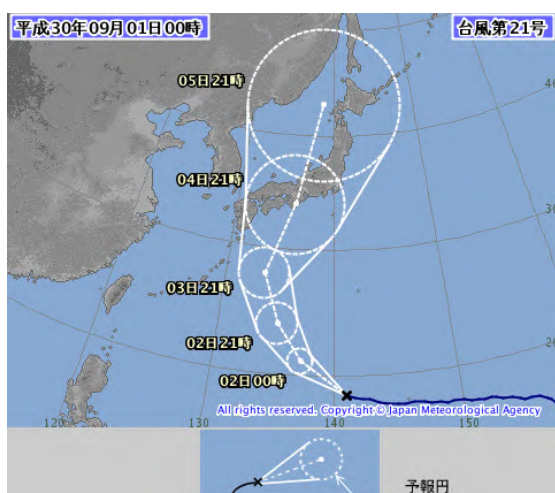
気象衛星センター, 2002: 気象衛星画像の解析と利用 ー航空気象編ー, 9-26.

山岸米二郎, 2007: 気象予報のための前線の知識.

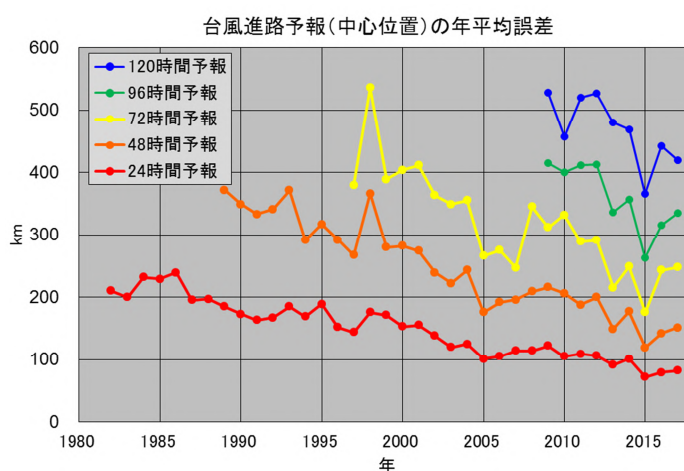
## 第6章 台風進路予報の高度化\*

### 6.1 はじめに

気象庁は、北西太平洋にある台風に対して進路予報を実施しており、2009年に予報期間をそれまでの3日から5日に延長した(岸本, 2009)。進路予報は、第6.1.1図のように各予報時間の台風の中心位置が70%の確率で入ると予測される範囲を円(予報円)で示して発表している。予報円の中心は数値予報モデルの結果等を参考に決定し、半径は予測された進行方向や速度、アンサンブル予報システム(EPS)によるばらつき具合毎に、過去の統計から予め算出された値を用いている。気象庁では、数値予報モデルの改善や、進路予報に関する国際的動向を踏まえた予報手法及び現業作業手順の改善等を通じて、進路予報の改善を図ってきた。その結果、進路予報の精度は第6.1.2図のように着実に改善するとともに、予報円半径も縮小されている。本章では、進路予報に関する国際的動向、当庁における予報手法や現業作業手順の現状及び改善に向けた最近の取組についてまとめる。



第6.1.1図 5日進路予報の例

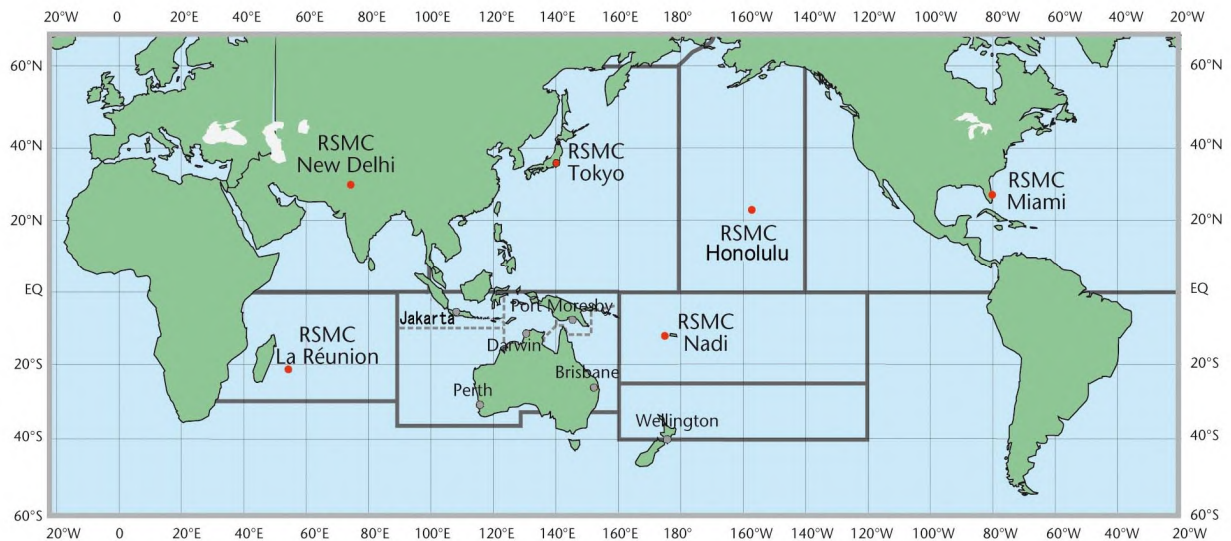


第6.1.2図 進路予報の年平均誤差の推移

### 6.2 国際的動向

気象庁は世界気象機関(WMO)の枠組のもと、北西太平洋の熱帯低気圧に関する地区特別気象センター(RSMC)に指名されており、台風解析・予報情報をリアルタイムで提供するなど、熱帯低気圧の解析・予報を行っているアジア太平洋の国や地域を支援している。第6.2.1図に示すように、世界には6つのRSMC(赤丸:東京、ニューデリー、ホノルル、マイアミ、レユニオン、ナンディ)と、それらを補完する6つの熱帯低気圧警報センター(TCWC)(灰色丸:パース、ダーウィン、ブリスベン、ポートモレスビー、ウェリントン、ジャカルタ)があり、それぞれの責任領域の熱帯低気圧に対する解析・予報情報をリアルタイムで提供している。本節では、各海域の責任機関(RSMC、TCWC)及び北西太平洋において気象庁(RSMC東京)以外に台風解析・予報を行っている4つの機関(米軍合同台風警報センター(JTWC)、中国気象局(CMA)、韓国気象庁(KMA)、香港天文台(HKO))から進路予報に関する情報を収集した結果を国際的動向として紹介する。情報収集にあたっては、WMO熱帯低気圧に関する国際ワークショップにおける報告資料(第8回: Elliott and Yamaguchi (2014)、第9回: Yamaguchi et al. (2018))や、各機関のHP等を参考にした。

\*西村 修司、福田 純也(気象庁予報部予報課アジア太平洋気象防災センター)



第 6.2.1 図 各海域の責任機関

WMO の HP (<http://www.wmo.int/pages/prog/www/tcp/Advisories-RSMCs.html>) から引用。

### 6. 2. 1 進路予報期間と発表頻度

進路予報期間と発表頻度について、各海域の責任機関及び北西太平洋の各機関のものをそれぞれ第 6.2.1 表、第 6.2.2 表に示す。進路予報期間は気象庁も含め 5 日の機関が多い。RSMC ホノルル・マイアミでは、7 日への延長が検討され、部内では 7 日予報を実施しているが、精度がそれほどよくなく利用の仕方が難しいこと、台風が発生してから消滅するまでの台風期間の平均が 7 日よりも短いこと、強度予報の精度向上や発生予報の開発等の他の課題と比べて優先順位がそれほど高くないこと等の理由から、まだ部外発表には至っていない。発表頻度については、1 日 4 回が多いが、責任機関の自国に影響を及ぼす場合など、必要に応じてより高頻度に発表する機関が多い。

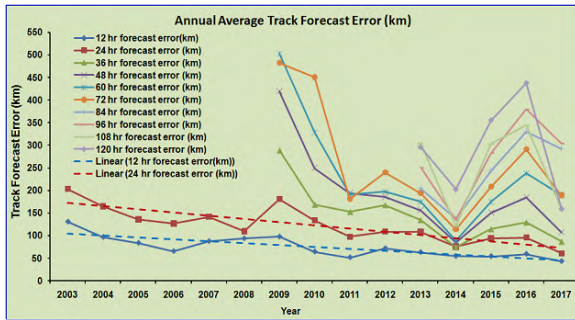
第 6.2.1 表 各海域の責任機関における進路予報期間と発表頻度

海域	機関	予報期間	発表頻度[1 日あたり]	備考
北インド洋	RSMC ニューデリー	5 日	4 回 ※必要に応じて 8 回	2013 年に 3 日から 5 日に延長
北西太平洋	RSMC 東京	5 日	8 回 ※1 日予報は 8 回 5 日予報は 4 回	2009 年に 3 日から 5 日に延長
中部太平洋	RSMC ホノルル	5 日	4 回 ※必要に応じて高頻度化	2003 年に 3 日から 5 日に延長 5 日から 7 日への延長を検討
北東太平洋 大西洋	RSMC マイアミ	5 日	4 回 ※必要に応じて高頻度化	2003 年に 3 日から 5 日に延長 5 日から 7 日への延長を検討
南インド洋	RSMC レユニオン	5 日	4 回	2010 年に 3 日から 5 日に延長
南太平洋	RSMC ナンディ	3 日	4 回	
オーストラリア ア周辺海域	TCWC パース・ダー ウィン・ブリスベン	5 日	4 回 ※必要に応じて 8 回、24 回	2013 年に 3 日から 5 日に延長
ニュージーラ ンド周辺海域	TCWC ウェリントン	1 日 ※ニュージーランドに 影響がある場合は 5 日	4 回	
インドネシア 周辺海域	TCWC ジャカルタ	3 日	4 回または 8 回	

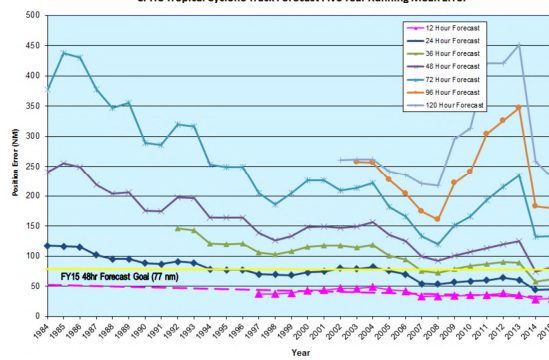
第 6.2.2 表 北西太平洋の各機関における進路予報期間と発表頻度

機関	予報期間	発表頻度[1日あたり]	備考
JTWC	5日	4回	
HKO	5日	2回 ※必要に応じて8回、24回	
CMA	5日	4回 ※必要に応じて8回	
KMA	5日	4回 ※必要に応じて8回	2010年に3日から5日に延長 5日から7日への延長を検討

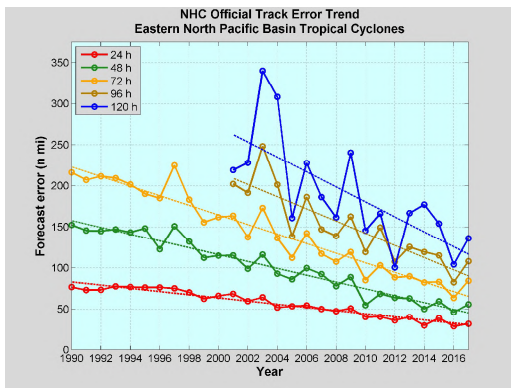
RSMC ニューデリー (北インド洋)



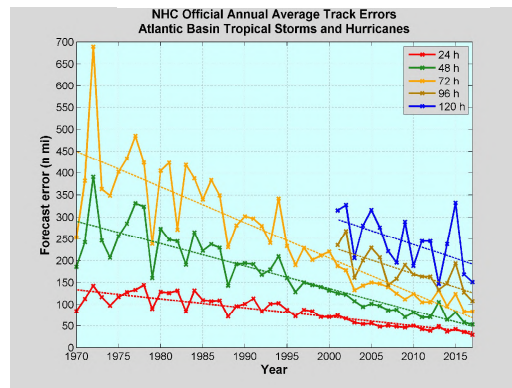
RSMC ホノルル (中部太平洋)



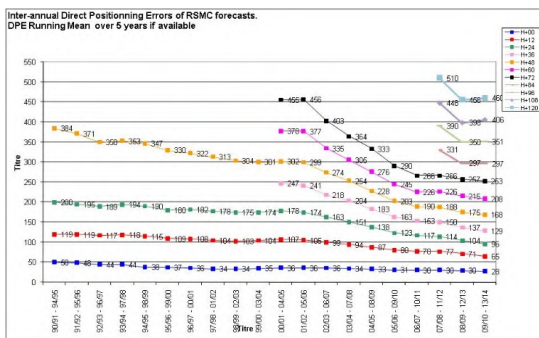
RSMC マイアミ (北東太平洋)



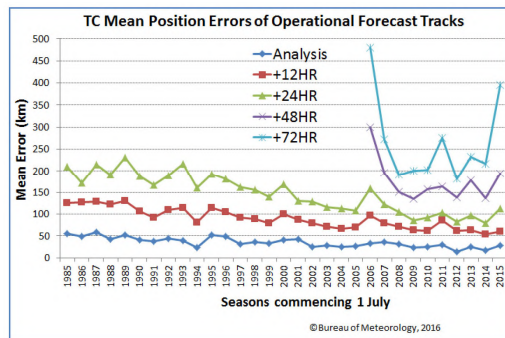
RSMC マイアミ (大西洋)



RSMC レユニオン (南インド洋)



TCWC パース・ダーウィン・ブリスベン (オーストラリア周辺)



第 6.2.2 図 各海域の責任機関における進路予報の年平均誤差の推移

RSMC ホノルルは第 8 回 WMO 熱帯低気圧 RSMC/TCWC 技術調整会合の報告資料 ([http://www.wmo.int/pages/prog/www/tec/documents/Doc4.2-5\\_RSMC-Honolulu.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/www/tec/documents/Doc4.2-5_RSMC-Honolulu.pdf))、RSMC レユニオンは Elliott and Yamaguchi (2014)、その他は各機関の HP から引用。海域・機関によって横軸の期間、縦軸のスケールや単位が異なることに注意。

## 6. 2. 2 進路予報精度

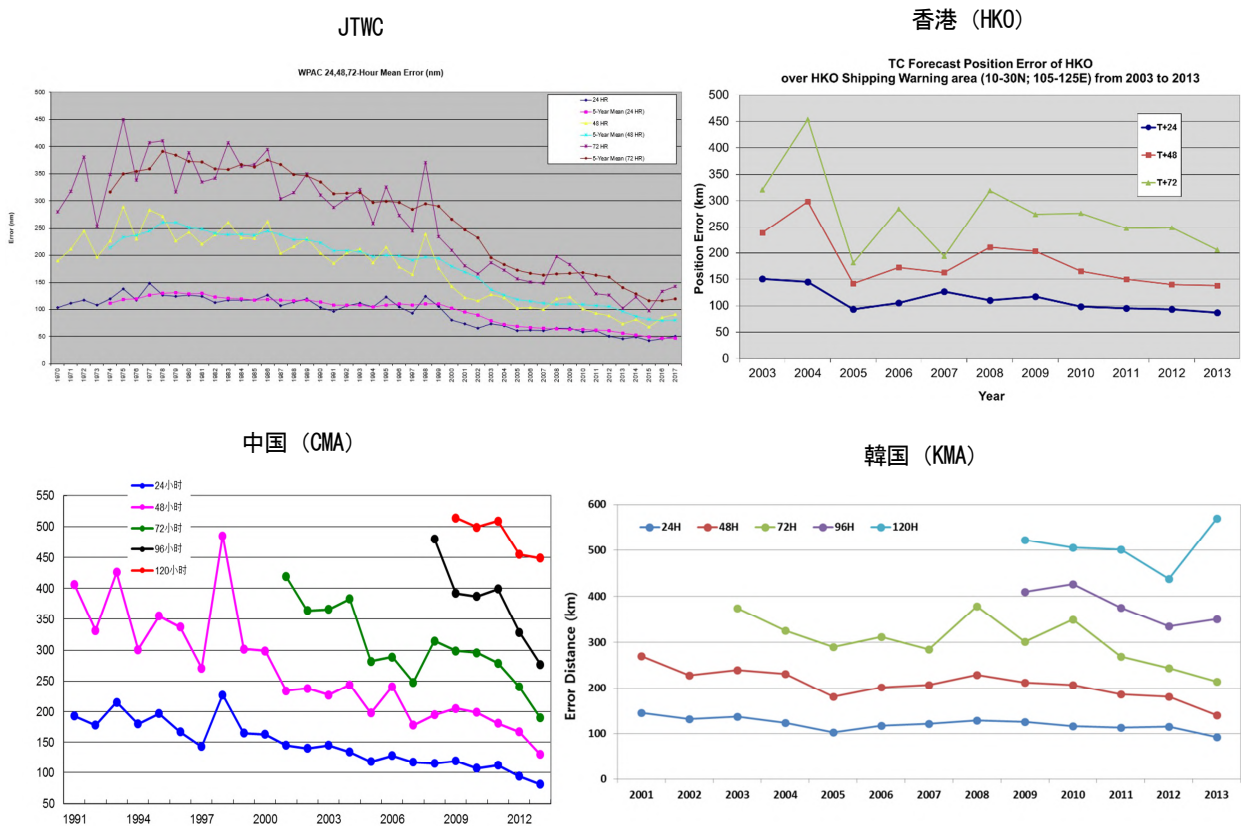
進路予報精度の推移について、各海域の責任機関及び北西太平洋の各機関のものをそれぞれ第 6. 2. 2 図、第 6. 2. 3 図に示す。主に熱帯低気圧の特性の違いに起因する年々変動はみられるものの、長期的にみれば、どの海域・機関についても精度が向上している。

## 6. 2. 3 進路予報精度向上の要因

進路予報精度向上の要因としては、進路予報に主に利用される数値予報モデルの精度向上及び利用手法の改善があげられる。以下、それぞれについて説明する。

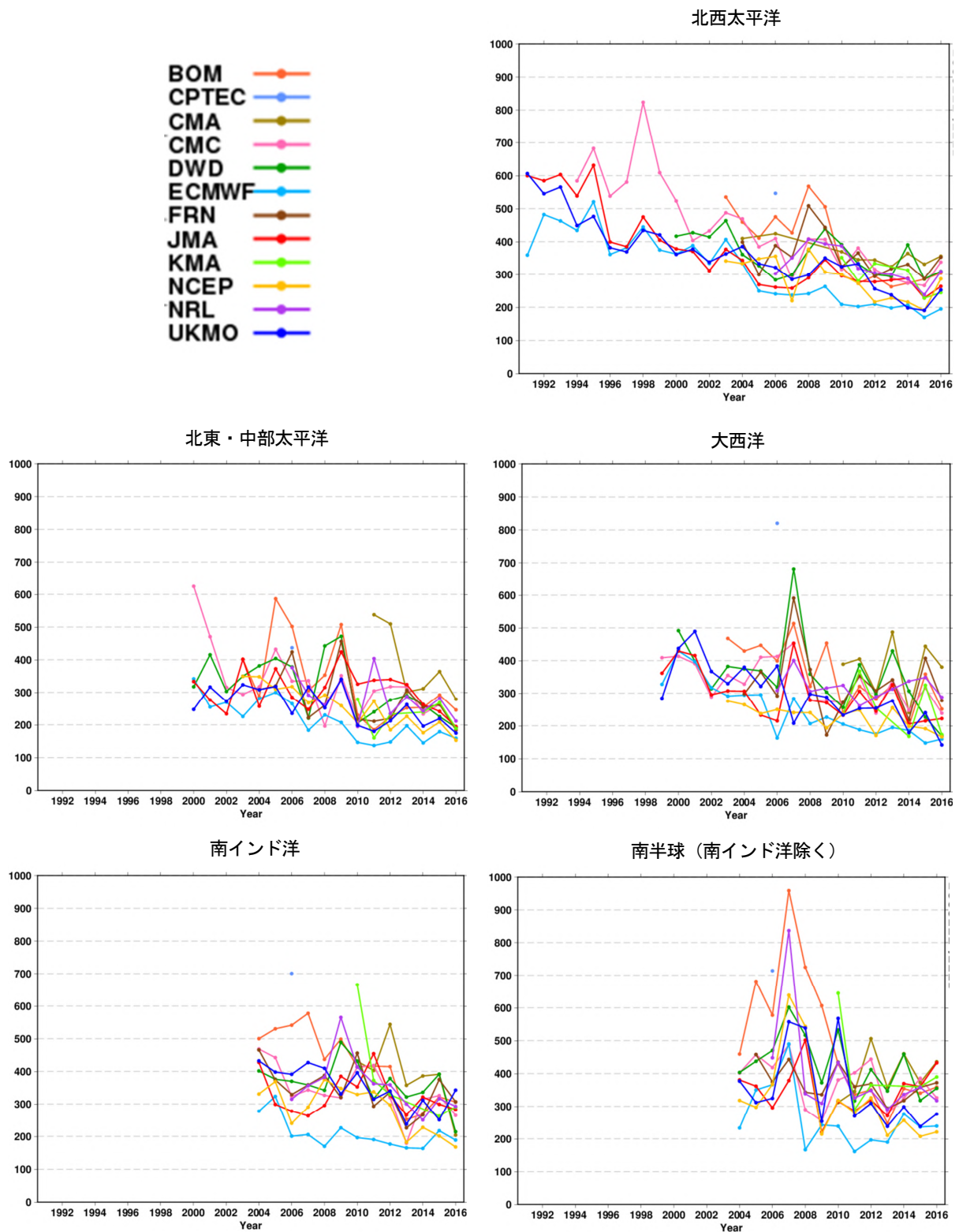
### 6. 2. 3. 1 数値予報モデルの精度向上

第 6. 2. 4 図に各海域での数値予報モデルによる 3 日進路予測の年平均誤差の推移を示す。熱帯低気圧の年間発生数が比較的少ない海域において年々変動が大きいものの、数値予報モデルの改良に伴い、各海域とも誤差が減少傾向にある。



第 6. 2. 3 図 北西太平洋の各機関における進路予報の年平均誤差の推移

HKO、CMA、KMA は Elliott and Yamaguchi (2014) から引用。JTWC は HP から引用。気象庁は第 6. 1. 2 図を参照。機関によって横軸の期間、縦軸のスケールや単位が異なることに注意が必要。



第 6. 2. 4 図 各海域での数値予報モデルによる 3 日進路予測の年平均誤差 [km] の推移

WMO 大気科学委員会及び世界気候研究計画合同科学委員会数値実験作業部会第 33 回会合における講演資料

([http://wgne2018.kishou.go.jp/files/PresentationFiles/1st\\_09Oct\\_Tuesday/TC\\_verification.pptx](http://wgne2018.kishou.go.jp/files/PresentationFiles/1st_09Oct_Tuesday/TC_verification.pptx)) から引

用。ただし、北インド洋は事例数が少ないため図略。



### 6. 2. 3. 2 数値予報モデルの利用手法の改善

各機関では数値予報モデルの利用手法の改善により進路予報の精度向上を実現している。

一つは、複数の数値予報モデルの進路予測結果を平均する手法（コンセンサス手法）の導入である。精度が高く独立性の高い数値予報モデルを活用するのが効果的で、特に長いリードタイムの予測では単独モデルの予測より精度が高くなる。以下にあげるコンセンサス手法が各機関の進路予報で現業利用されている。

- 単純コンセンサス手法：各数値予報モデルの進路予測結果を単純平均する手法
- 重み付けコンセンサス手法：各数値予報モデルの進路予測結果を精度等に応じて重み付けして平均する手法
- 選択的コンセンサス手法：最新の解析結果や直近の精度検証結果を用いて数値予報モデルを選択し、選択されたモデルの進路予測結果を平均する手法

一般的に各数値予報モデルの予測精度に応じて重み付けをすることで単純コンセンサス手法に対して数パーセント程度の精度向上が期待できる。しかし、各数値予報モデルは年々変更されること、また重み付けの効果はそれほど大きくないことから、コンセンサス手法を開発し、いち早く現業に導入した米国では主に単純コンセンサス手法を利用し、近年の進路予報の精度向上を実現している。

もう一つは、EPS の各メンバーの予測結果を平均する手法（アンサンブル平均手法）の導入である。長いリードタイムの予測においては、初期値等を変える前のコントロールメンバーよりも精度がよい傾向があるが、高解像度の決定論的数値予報モデル<sup>1</sup>の予測より十分精度がよいとはいえない。この主な原因としては、EPS では計算機資源の制約から、決定論的数値予報モデルよりも低解像度の予測モデルを利用することが多く、強度や降水域の表現など台風の構造を粗くしか表現できていないことが考えられる。一方で、アンサンブル平均を求める際、台風の追跡に失敗したメンバー等を適切に除くことができれば精度が向上する可能性があり、今後調査する予定である。

### 6. 2. 4 不確実性の表現手法

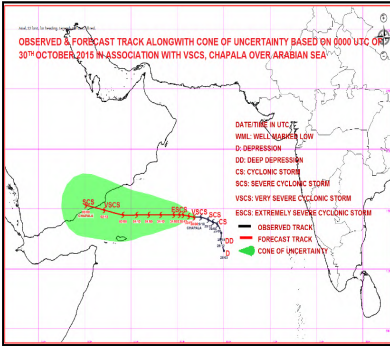
進路予報の不確実性を表現するため、気象庁は予報円を用いているが、各機関も様々な手法を用いている。各海域の責任機関における進路予報図及び不確実性の表現手法をそれぞれ第 6.2.5 図、第 6.2.3 表に、北西太平洋の各機関のものをそれぞれ第 6.2.6 図、第 6.2.4 表に示す。多くの機関で台風中心が 60～70%の確率で入る領域を円やコーン（以下、まとめて予報円と記す）で表現している。予報円の大きさについては、多くの機関が過去の予報誤差に基づき統計的に算出しているが、第 6.2.5 表に示すように、気象庁（RSMC 東京）、RSMC レユニオン、TCWC パース・ダーウィン・ブリスベンのみが、EPS のばらつき具合（スプレッド）の情報を活用して予報円の大きさを調整している。

### 6. 2. 5 アンサンブル予報の活用

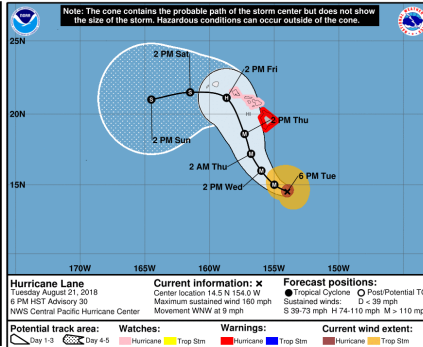
6.2.3 項で述べたように、EPS の結果を進路予報の位置決定に活用するのは、決定論的数値予報モデルよりも十分精度がよいとはいえない状況だが、多くの機関において予報の不確実性に関する情報、つまり予報の信頼度情報を得る目的で活用されている。例えば、第 6.2.7 図の左図のようにスプレッドが小さい事例では、予報の不確実性が低く、予報の信頼度が高いという情報が得られるし、右図のようにスプレッドが大きい事例では、予報の不確実性が高く、予報の信頼度が低いという情報が得られる。

<sup>1</sup> EPS のように複数の予測結果を出力するのとは対比して、1つの予測結果のみを出力する通常の数値予報モデルのことを決定論的数値予報モデルと呼ぶことがある。

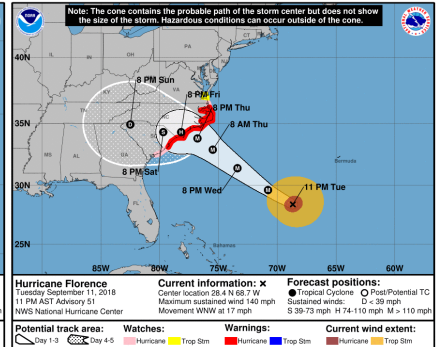
RSMC ニューデリー  
(北インド洋)



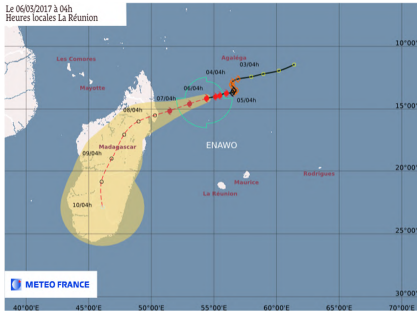
RSMC ホノルル  
(中部太平洋)



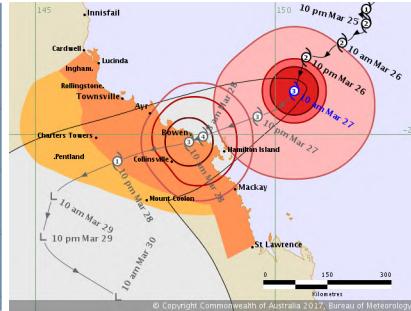
RSMC マイアミ  
(北東太平洋・大西洋)



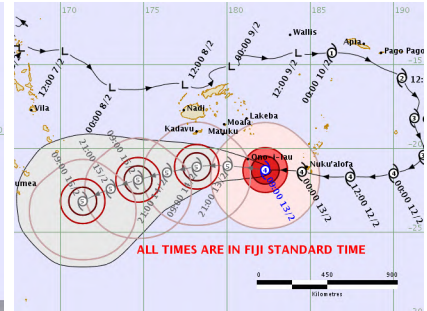
RSMC レユニオン  
(南インド洋)



TCWC パース・ダーウィン・ブリスベン  
(オーストラリア周辺)

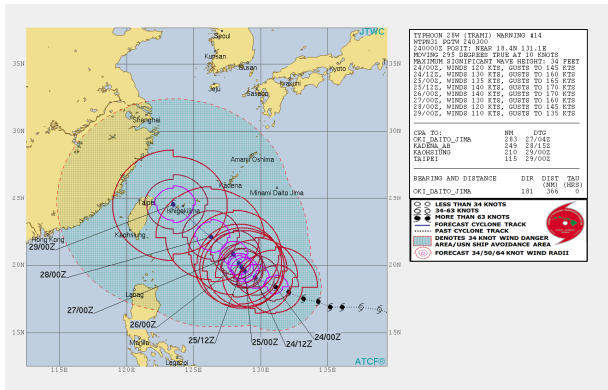


RSMC ナンディ  
(南太平洋)

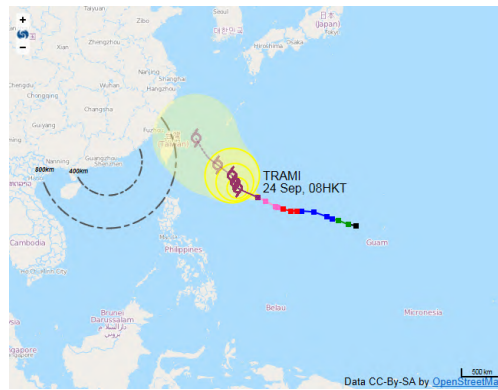


第 6.2.5 図 各海域の責任機関における進路予報図

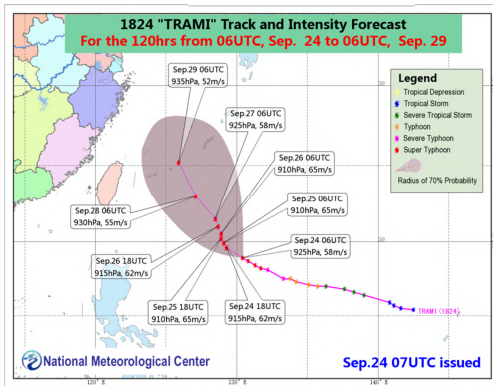
JTWC



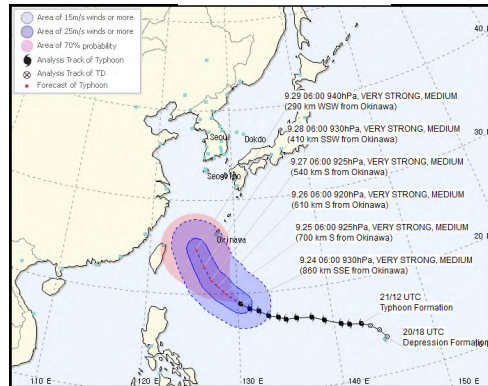
香港 (HKO)



中国 (CMA)



韓国 (KMA)



第 6.2.6 図 北西太平洋における各機関の進路予報図

第 6.2.3 表 各海域の責任機関における不確実性の表現手法

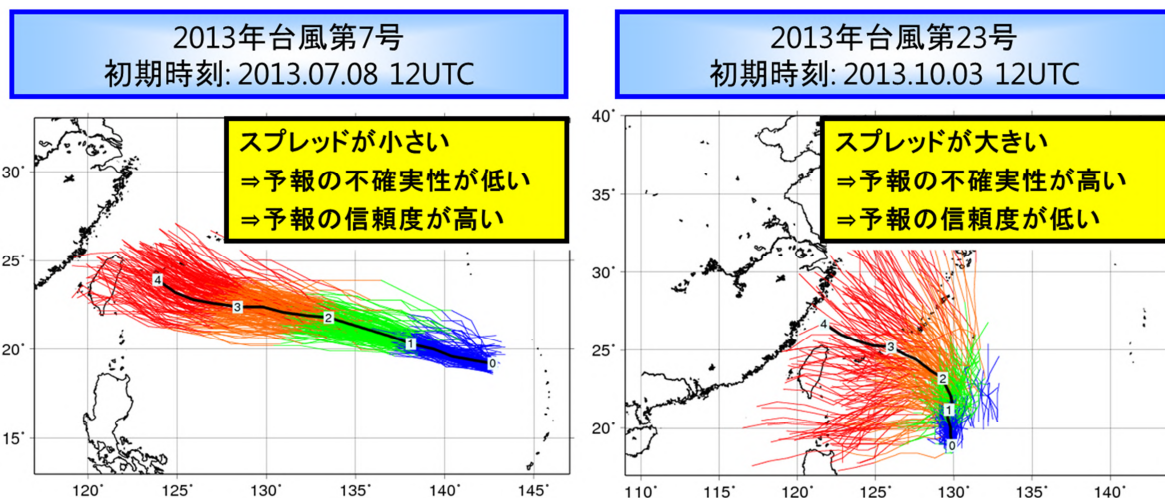
海域	機関	手法	定義
北インド洋	RSMC ニューデリー	コーン	台風中心が 72% の確率で入る領域
北西太平洋	RSMC 東京	円	台風中心が 70% の確率で入る領域
中部太平洋	RSMC ホノルル	コーン	台風中心が 67% の確率で入る領域
北東太平洋 大西洋	RSMC マイアミ	コーン	上記と同じ
南インド洋	RSMC レユニオン	コーン	台風中心が 75% の確率で入る領域
オーストラリア 周辺海域	TCWC パース・ダー ウィン・ブリスベン	コーン	台風中心が 70% の確率で入る領域
南太平洋	RSMC ナンディ	コーン	情報なし

第 6.2.4 表 北西太平洋の各機関における不確実性の表現手法

機関	手法	定義
JTWC	エラー帯	最大風速 34kt 半径の予報に 5 年移動平均の進路予報誤差を加えた領域。 ただし、96/120 時間予報では 34kt 半径を予報しないため、72 時間 34kt 半径に当該時刻の進路予報誤差を加えた領域。
HKO	コーン	台風中心が 70% の確率で入る領域
CMA	コーン	台風中心が 70% の確率で入る領域
KMA	コーン	台風中心が 70% の確率で入る領域

第 6.2.5 表 各機関の予報円の算出手法

海域	機関	手法	予報円の算出手法
北西太平洋	RSMC 東京	円	3 日予報までは過去の予報誤差に基づき算出、4 日・5 日予報のみ気象庁の EPS のアンサンブルスプレッドを活用して算出。
南インド洋	RSMC レユニオン	コーン	台風予報官が気候学的予報円か、ECMWF の EPS のアンサンブルスプレッドに基づいた予報円を選択。後者を選ぶ場合が多い。
オーストラリア 周辺海域	TCWC パース・ダーウ イン・ブリスベン	コーン	デフォルトは、過去の予報誤差に基づく気候学的予報円。台風予報官が総観規模スティアリングメカニズム、コンセンサススプレッド、アンサンブルスプレッドに基づき調整。



第 6.2.7 図 アンサンブル予報活用による信頼度情報

### 6. 3 気象庁の最近の取組及び現状

本節では、進路予報に関する気象庁の最近の取組及び現状として、コンセンサス手法の導入及びさらなる数値予報モデル利用手法の高度化に向けた調査、予報円に関して 2016 年と 2017 年に実施した見直し及び 2019 年の台風シーズン前に予定している見直し、現状の現業作業手順について述べる。

#### 6. 3. 1 コンセンサス手法の導入

##### 6. 3. 1. 1 コンセンサス手法の先行調査

気象庁の進路予報は、2014 年までは主に気象庁の数値予報モデルの予測結果を基にしていたが、6.2 節で述べた国際的状況を踏まえ、2014 年に気象研究所が「選択的アンサンブル平均手法による台風予測に関する研究」(Nishimura and Yamaguchi, 2015 ; 西村, 2015) を実施した。同研究において、海外数値予報モデルの入手可能時刻も考慮した「単純コンセンサス手法(初期誤差補正<sup>2</sup>あり)」を用いて 2010～2013 年のデータに対して進路予測の精度検証を行った結果、同手法の有効性が示された。なお選択的コンセンサス手法の有効性は、スプレッドが大きい場合に若干改善したのみで限定的であった。

##### 6. 3. 1. 2 コンセンサス手法の導入

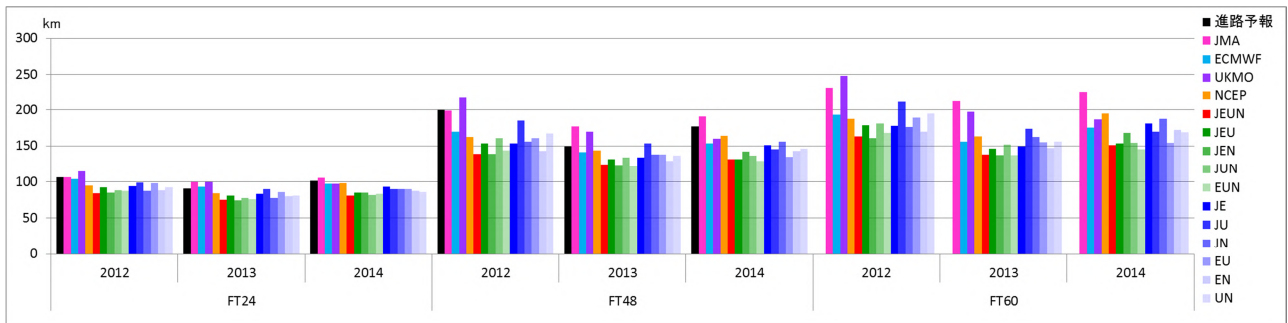
この先行調査の結果を基に、予報部予報課において 2012～2014 年の気象庁(JMA)・欧州中期予報センター(ECMWF)・米国環境予測センター(NCEP)・英国気象局(UKMO)の主要な 4 つの数値予報センターの全球数値予報モデルを利用し、コンセンサス手法の有効性を再検証した。その結果、第 6.3.1 図のように 4 モデルの単純コンセンサス手法(初期誤差補正あり：赤色)が全ての予報時間で安定して精度が高い結果が得られたことから、2015 年は同手法を主に利用することとした。また、毎年度末に検証を実施し次年度に利用するモデル・手法を見直すこととした。なお、気象庁の進路予報は、同手法の結果をそのまま利用するわけではなく、あくまで第一候補として利用し、予報官がコンセンサス手法で利用する数値予報モデルを取捨選択したり、前回予報からの変化や過去の知見など様々な点を考慮して調整したりしている(6.3.3 参照)。

##### 6. 3. 1. 3 コンセンサス手法導入後の精度

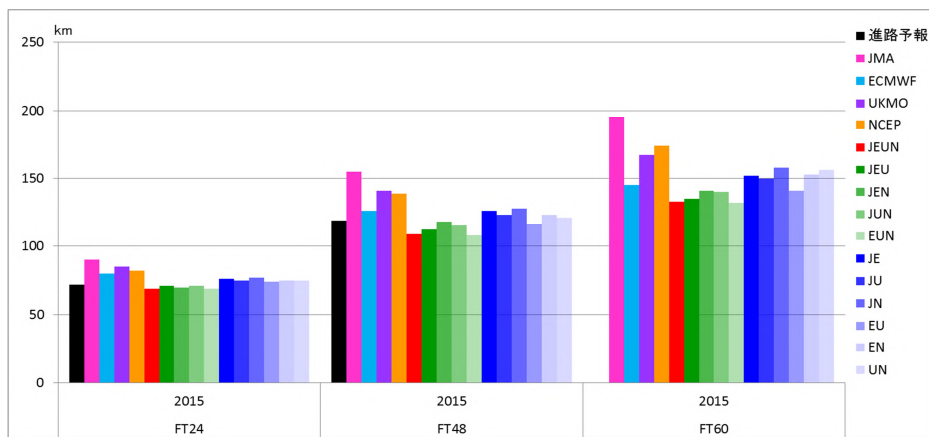
気象庁の進路予報は、2014 年までは主に気象庁の数値予報モデルの予測結果を基にしていたため、第 6.3.1 図でもわかるように精度は気象庁モデルと同程度であり、主要 4 モデルのコンセンサス手法の精度と比べて悪かったが、コンセンサス手法を導入した 2015 年の検証結果(第 6.3.2 図)をみると、気象庁の進路予報が気象庁モデルよりも大きく改善していることがわかる。また、その後も主要 4 モデルのコンセンサス手法の精度が最もよいことが確認されたことから、2016 年以降も同手法を主に利用している。第 6.1.2 図の気象庁の進路予報精度の推移をみると、2015 年にコンセンサス手法を導入して前年に比べて大きく精度が向上したが、その後 2016 年、2017 年とやや悪化している。これは、進路予報の精度はその年の台風の特徴に起因する年々変動の影響を受けるため、精度向上しているかどうかをみるためには、それらの影響を除く必要がある。例えば、2015 年はエルニーニョの影響で、台風が通常よりも東の海上で発生し、西～北西方向に速度をあまり変えずに長期間にわたり進む台風が多かったため、進路予報が容易な台風が多い年だった。そのような影響を除くため、第 6.3.3 図に、24、48 時間予報について、直前の 12 時間の移動から

<sup>2</sup> 気象庁の台風予報作業では、観測時刻から 50 分以内に台風の解析・予報電文を発信するため、例えば 09 時の予報作業には、03 時または前日 21 時の各機関の数値予報モデルを利用する。しかし 09 時の実況解析の中心位置と 03 時の 6 時間予報または前日 21 時の 12 時間予報の位置には少なからず誤差が発生するため、09 時の実況解析の位置と数値予報モデルの予測位置の差を、数値予報モデルの全予報期間の予測位置に加える処理のことを「初期誤差補正」と呼ぶ。

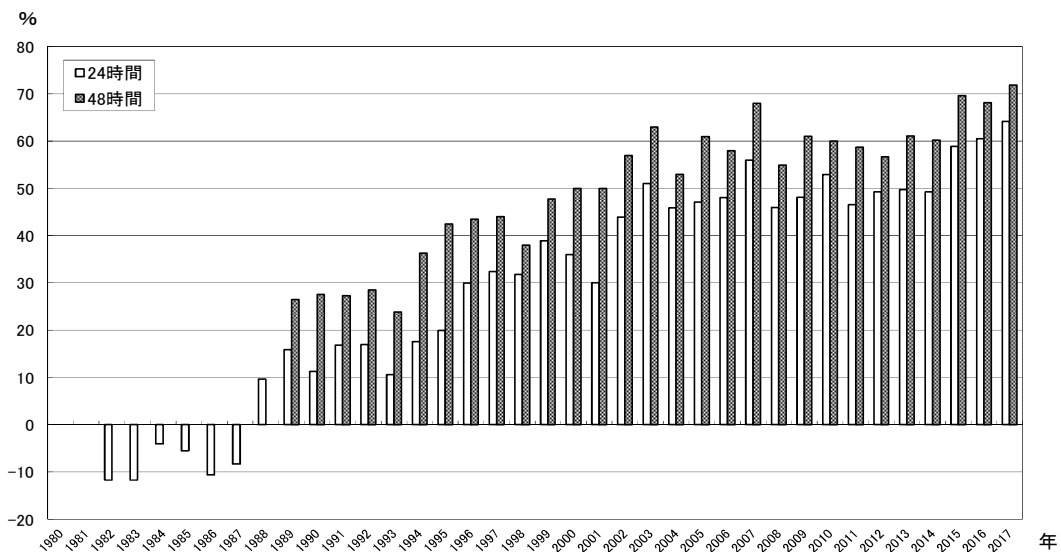
単純外挿した持続予報からの改善率を示す。2015年～2017年は、24、48時間予報ともに改善率が2014年以前の改善率を上回っており、予報精度の向上が確認できる。



**第 6.3.1 図 2012～2014 年の気象庁の進路予報と各数値予報モデルの進路予測結果の全ての組合せに対する精度検証結果**  
 左が 24 時間、中が 48 時間、右が 60 時間予報の結果。組合せは利用モデルの頭文字を並べて表示する。例えば、4 つのモデルの組合せは JEUN と表す。



**第 6.3.2 図 2015 年の気象庁の進路予報と各数値予報モデルの進路予測結果の全ての組合せに対する精度検証結果**  
 表記は第 6.3.1 図と同様。

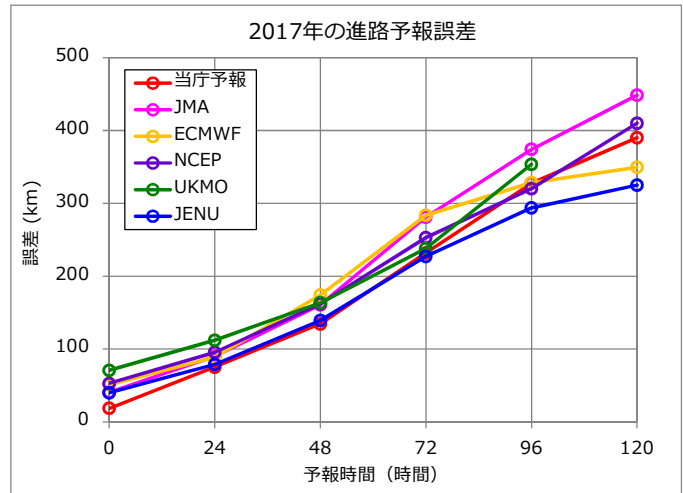


**第 6.3.3 図 気象庁の進路予報の持続予報からの改善率の推移**

白色が 24 時間予報、ハッチが 48 時間予報を表す。

### 6. 3. 1. 4 数値予報モデル利用手法の高度化に向けた調査

2017年の気象庁の進路予報、各主要4モデル及びそれらのコンセンサス手法の進路予測精度を第6.3.4図に示す。2015年に導入した単純コンセンサス手法（青色）は、非常に単純な手法だが、各主要4モデルのいずれよりも精度がよく非常に有効な手法である。一方で、2017年の北西太平洋の各機関の進路予報精度をみると、北西太平洋の他の機関も同様の手法を利用していると考えられ、精度にはあまり差がみられない（図略）。そこで、さらなる精度向上を図り他の機関に差をつけるべく、2017年度末から2015年～2017年の3年分のデータを用いて、数値予報モデルの利用手法高度化に向けた調査を開始した。



第6.3.4図 2017年の精度検証結果

当庁の進路予報、各主要4モデル及びそのコンセンサス（JENU）を示す。

まず、現状、進路予報に利用できる各機関の単独モデル、それらのコンセンサス、各機関のEPSのアンサンブル平均及びそれらの初期誤差補正の有無といった既存資料のポテンシャルを把握するため、各時刻で最適な資料を選択できた場合の誤差について調査した。その結果、全ての資料のうち予報時間毎に最適な資料を選択できた場合は、3年平均誤差が概ね1日後30km、3日後100km、5日後200kmとなり、資料を単独モデルとそれらのコンセンサスに限定し、かつ全予報期間で同じ資料しか選択できない場合でも、1日後50km、3日後150km、5日後350kmとなった。事前の情報から最適な資料を選択する手法が見出せれば、気象庁の進路予報誤差の概ね1日後80km、3日後200km、5日後400kmを大きく改善できる可能性がある。

そのような手法を見出すため、以下の調査を実施した。

- 初期誤差補正による効果の予報時間後半への持続性
- 初期誤差が大きいメンバーを除外・補正した場合の誤差
- 予測誤差が大きいメンバーを除外した場合の誤差
- メンバー間の重み付けを最適化した場合の誤差
- 直近の最適なメンバー間の重み付けを適用した場合の誤差

その結果、これらの事前情報とその後の誤差の間の相関がそれほど大きくないため、誤差が十分小さくなる手法は見出せなかった。一方で、これらの調査において3年間一貫して精度が良かった手法は、主要4モデルの単純コンセンサス（24時間先までは初期誤差補正を実施）手法であったため、2018年にはその手法を採用した。今後も引き続き以下のような調査を行い、数値予報モデル利用手法の高度化に繋げたい。

- 誤追跡事例の除去（検証の土台としても必要）
- 台風の存在位置、進行方向・速度、強度によるクラス分け
- モデルの予測が大きく変化した場合の利用手法

### 6.3.2 予報円の見直し

#### 6.3.2.1 従来の予報円

1997年に3日先までの進路予報を開始して以降、72時間先までの予報円半径は、進行方向と速度による区分毎に、過去の予報誤差の検証結果に基づいて算出していた。それ以降、2000年、2004年、2008年に最新の検証結果に基づいて半径の見直しを行い、特に2008年に行った見直しでは2004年から2007年の検証結果に基づいて予報円半径を算出した。

なお、96、120時間先の予報円半径については、2009年に5日先までの進路予報を開始した際、台風アンサンブル予報システム（TEPS）の積算スプレッドに基づく信頼度<sup>3</sup>毎に2004年～2007年の検証結果に基づいて算出した。その後、TEPSのメンバー数の11から25への増強や水平解像度の55kmから40kmへの高解像度化等の大幅な改良に伴い、2011年から2013年の試験結果に基づいて2014年3月に半径を見直した。

これらの72時間先まで、96、120時間先の予報円半径の見直しを反映した2016年1月時点での半径を第6.3.1表に示す。

第6.3.1表 2016年1月時点での予報円半径【海里】

予報時間 [時間]	進行方向 <sup>4</sup>	進行速度 V		
		V ≤ 10 kt	10 kt < V ≤ 30 kt	V > 30 kt
3	全方向	20	20	35
6	全方向	30	30	50
9	全方向	40	40	70
12	全方向	50	50	85
15	北西方向	55	55	95
	その他方向	60	60	
18	北西方向	60	65	110
	その他方向	70	70	
21	北西方向	65	70	120
	その他方向	75	75	
24	北西方向	70	75	130
	その他方向	85	85	
48	北西方向	110	140	210
	その他方向	160	180	
72	北西方向	160	210	325
	その他方向	220	250	

予報時間 [時間]	積算スプレッドに基づく信頼度 <sup>5</sup>				
	A	A'	B	B'	C
96	200	240	280	350	425
120	250	300	375	450	500

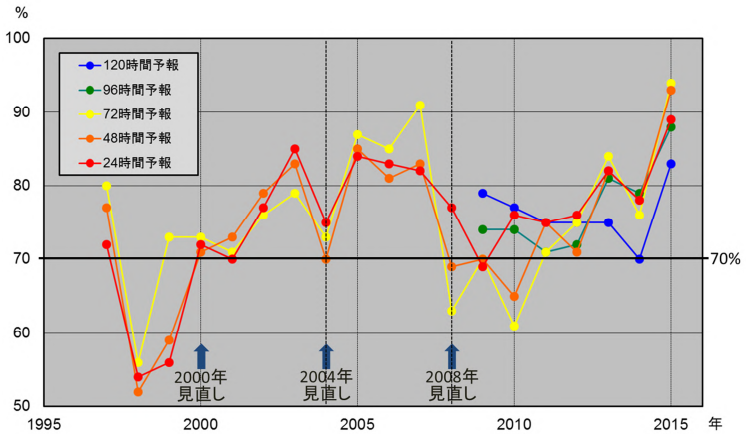
<sup>3</sup> スプレッドは、ある予報時間の不確実性を表すものとして6時間間隔の予報時間毎に求め、積算スプレッドは、ある予報時間までの不確実性の履歴を表すものとして初期時刻からその予報時間までの6時毎のスプレッドを積算して求める。信頼度は、予報時間毎に統計期間全ての積算スプレッドを小さいものから並べ、事例数が40%、40%、20%の割合で入る区分をそれぞれ信頼度A（高）、B（中）、C（低）と定義する。

<sup>4</sup> 全方向、北西方向、その他方向は、北方向0度からの時計回りを正方向として、それぞれ0～359度、260～359度、0～259度を表す。

<sup>5</sup> 信頼度A'、B'は、A、B、Cのみの場合に半径が急激に変化するのを緩和するため、補完区分として導入した。

### 6.3.2.2 2016年の予報円見直し

第6.1.2図に示すように、2008年以降、数値予報モデルの精度向上や数値予報モデルの利用手法の改善等に伴い進路予報の精度が向上してきた。その結果、第6.3.5図に示すように、台風中心が予報円に入る確率が70%を大きく超えるようになってきた。また、これまで、72時間までと96時間以降で予報円半径の算出方法が異なっていたため、予報円半径の時間変化が不自然な場合があり、予報官が実際に想定される予報の不確実性に応じて半径を調整する場合



第6.3.5図 台風中心が予報円に入る確率の推移

があった。これらの問題に対処するため、2016年に最新の予報誤差の検証結果を用いて予報円半径の見直しを実施した。

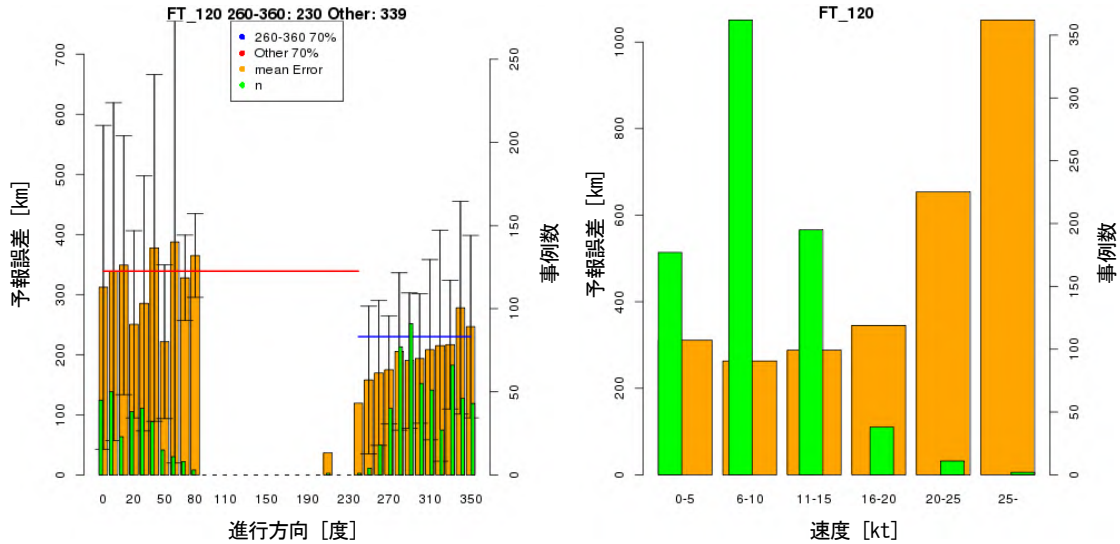
まず、2011年から2015年の予報誤差の検証を行った。第6.3.2表に台風の進行方向と速度による区分別に予報誤差の70%値から求めた予報円半径を示す。また、第6.3.6図に予報誤差の進行方向と速度との関係を示す。これらから、半径は速度が大きくなるとともに徐々に大きくなること、進行方向がその他方向のときに大きくなること、予報時間が15時間以降で速度が30ktを超える事例が少ないことがわかる。

第6.3.2表 2011年から2015年までの予報誤差の検証結果に基づく予報円半径〔海里〕( )内は事例数

予報時間 〔時間〕	進行方向	進行速度 V		
		V ≤ 10 kt	10 kt < V ≤ 30 kt	V > 30 kt
3	全方向	13 (251)	19 (295)	37 (30)
6	全方向	21 (229)	24 (285)	31 (28)
9	全方向	26 (227)	31 (262)	36 (26)
12	全方向	36 (842)	42 (1070)	42 (26)
15	北西方向	29 (106)	37 (87)	52 (23)
	その他方向	41 (95)	53 (145)	
18	北西方向	32 (109)	46 (68)	51 (20)
	その他方向	37 (81)	61 (150)	
21	北西方向	36 (91)	47 (73)	51 (18)
	その他方向	41 (83)	71 (139)	
24	北西方向	55 (1059)	60 (673)	49 (21)
	その他方向	59 (401)	79 (324)	
48	北西方向	96 (888)	106 (447)	67 (2)
	その他方向	113 (326)	146 (189)	
72	北西方向	130 (644)	139 (316)	299 (1)
	その他方向	166 (317)	222 (149)	
96	北西方向	191 (488)	212 (195)	- (0)
	その他方向	234 (264)	305 (126)	
120	北西方向	228 (341)	250 (134)	- (0)
	その他方向	331 (198)	361 (112)	

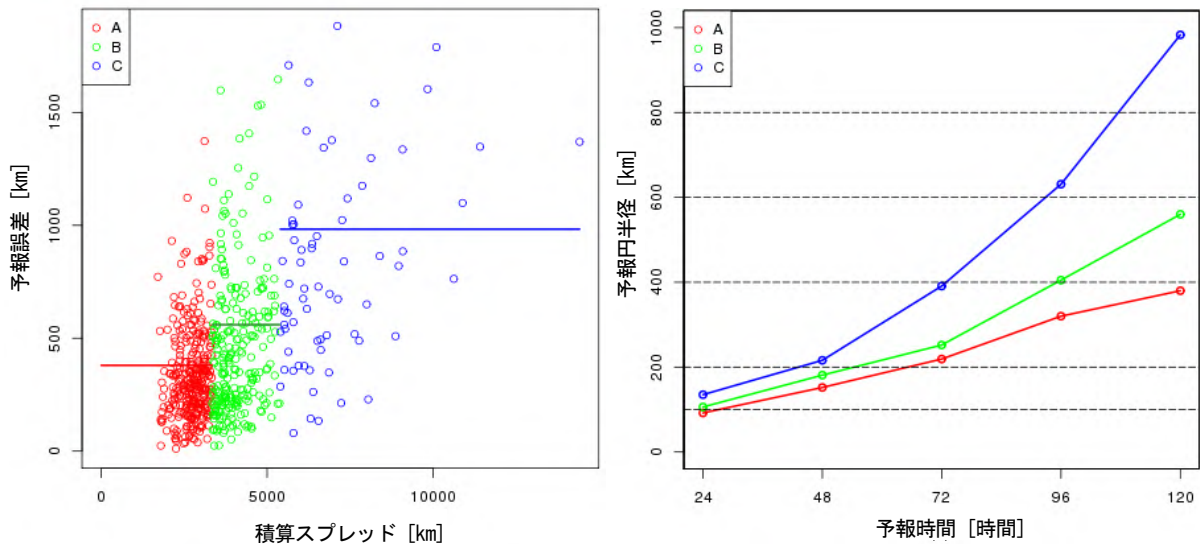


次に、TEPS 改良後の 2014 年から 2015 年のデータに対して、予報誤差と積算スプレッドの関係を調査した。第 6.3.7 図に積算スプレッドと予報誤差の散布図及び予報時間毎の予報円半径と信頼度との関係を示す。これらから、予報誤差と TEPS の積算スプレッドにはよい相関があること、また、信頼度が低いほど予報円半径が大きく、信頼度間での分離度が大きいことから予報円半径と信頼度にもよい相関があることがわかる。



第 6.3.6 図 予報誤差の進行方向と速度との関係

120 時間予報に対して、左は進行方向、右は速度との関係を示す。オレンジ色と緑色はそれぞれ平均誤差と事例数、赤線と青線はそれぞれその他方向と北西方向の 70% 予報円半径を示す。



第 6.3.7 図 予報誤差と TEPS 積算スプレッドとの関係

(左図) 120 時間予報に対する積算スプレッドと予報誤差の散布図。横線は信頼度毎の 70% 予報円半径を示す。

(右図) 予報時間に対する信頼度毎の予報円半径を示す。両図とも赤、緑、青色はそれぞれ信頼度 A、B、C を示す。

最後に、上記 2 つの検証結果の組合せとして、2014 年～2015 年の期間に対して、台風の進行方向と速度による区分を、さらに TEPS による信頼度 A～C で区分した検証結果を第 6.3.3 表に示す。さらに、以下の関係を基に、現業作業の複雑化を防ぐ観点から半径の選択肢を出来る限り減らすため、いくつかの区分の統合を行った。

- 同じ速度・信頼度の場合の進行方向による予報誤差の違いは比較的大きい
- 同じ進行方向・信頼度の場合の速度による予報誤差の違いは比較的小さい（その他方向信頼度 AB を除く）
- 同じ進行方向・速度の場合の信頼度 A と B の予報誤差の違いは比較的小さい

結果として、信頼度 A と B を統合し、その他方向信頼度 AB の場合以外は速度による区分分けをしないこととした。

第 6.3.4 表に最終的な予報円半径、第 6.3.8 図に予報円半径の変化例を示す。本見直しにより、予報円半径は一部の例外を除き概ね 20%～40%小さくなった。また、TEPS 積算スプレッドに基づく信頼度区分については、現業システムの制約により、これまでと同様 96、120 時間予報のみに導入した。一方で、96、120 時間予報に新たに進行方向と速度による区分を導入したことにより、第 6.3.9 図に示すように、予報円半径の不自然な時間変化が一部解消した。

本見直しは 2016 年 6 月から導入され、2016 年台風第 1 号から適用された。台風中心が予報円に入る確率の推移について、2016 年を含んだものを第 6.3.10 図に示すが、本見直しの効果もあり確率が小さくなって 70%に近づいており、より適切になっていることがわかる。

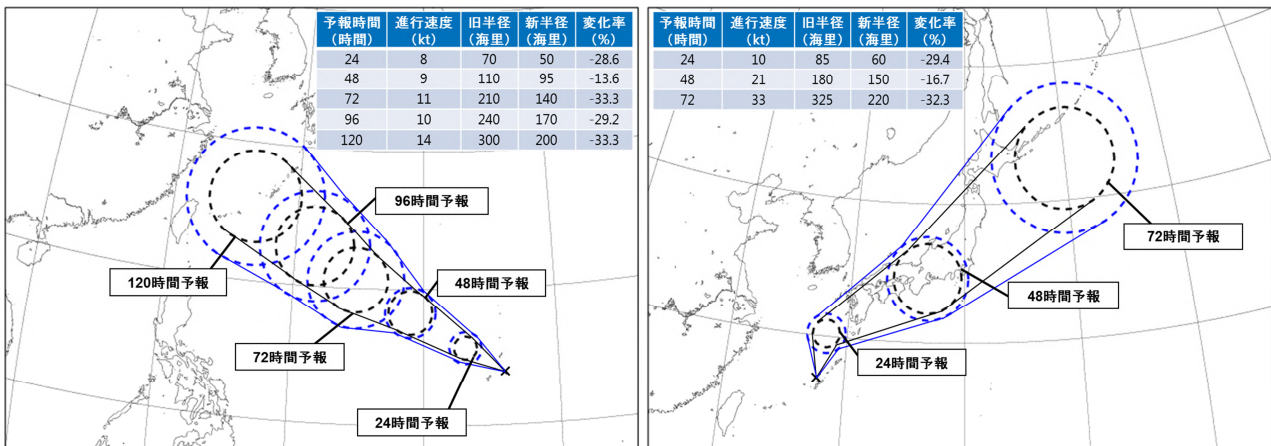
**第 6.3.3 表 2014 年から 2015 年までの予報誤差の検証結果に基づく予報円半径 [海里] ()内は事例数**

予報時間 [時間]	進行方向	V ≤ 10 kt			V > 10 kt		
		A	B	C	A	B	C
24	北西方向	42 (224)	59 (199)	67 (61)	55 (146)	54 (171)	75 (47)
	その他方向	48 (104)	60 (63)	73 (27)	65 (56)	57 (63)	78 (51)
48	北西方向	78 (251)	95 (162)	119 (46)	73 (113)	92 (137)	110 (28)
	その他方向	91 (81)	100 (68)	170 (30)	103 (34)	125 (68)	102 (36)
72	北西方向	112 (204)	123 (116)	167 (30)	109 (102)	124 (118)	147 (10)
	その他方向	140 (79)	152 (68)	242 (35)	155 (37)	150 (59)	241 (36)
96	北西方向	157 (175)	192 (98)	235 (24)	169 (84)	197 (71)	265 (1)
	その他方向	190 (73)	240 (68)	434 (20)	269 (22)	242 (61)	435 (46)
120	北西方向	185 (142)	271 (77)	367 (14)	197 (83)	252 (47)	78 (1)
	その他方向	253 (54)	283 (55)	536 (18)	287 (35)	365 (72)	711 (36)

第 6.3.4 表 2016 年の予報円見直し後の予報円半径 [海里] ()内は信頼度

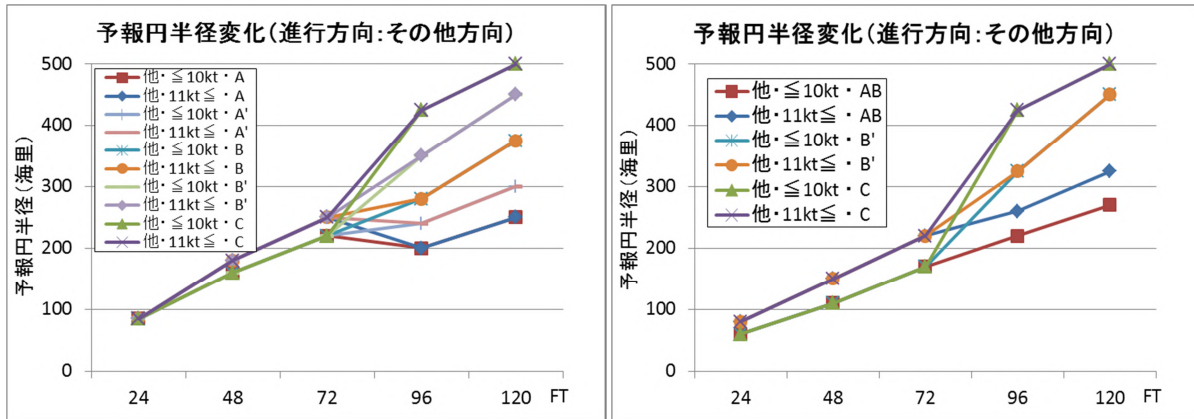
信頼度 B' は、AB、C のみの場合に半径が急激に変化するのを緩和するため、補完区分として導入した。

予報時間 [時間]	進行方向	速度 V		
		V ≤ 10 kt	10 kt < V ≤ 30 kt	V > 30 kt
3	全方向	15	20	25
6	全方向	20	25	30
9	全方向	25	30	35
12	全方向	30	40	
15	北西方向	35	45	
	その他方向	40	50	
18	北西方向	40	50	
	その他方向	45	60	
21	北西方向	45	55	
	その他方向	50	70	
24	北西方向	50	60	
	その他方向	60	80	
48	北西方向	95	110	
	その他方向	110	150	
72	北西方向	130	140	
	その他方向	170	220	
96	北西方向	170 (AB) / 240 (C)		170 (AB) / 240 (C)
	その他方向	220 (AB) / 325 (B' ) / 425 (C)		260 (AB) / 325 (B' ) / 425 (C)
120	北西方向	200 (AB) / 350 (C)		200 (AB) / 350 (C)
	その他方向	270 (AB) / 450 (B' ) / 600 (C)		325 (AB) / 450 (B' ) / 600 (C)



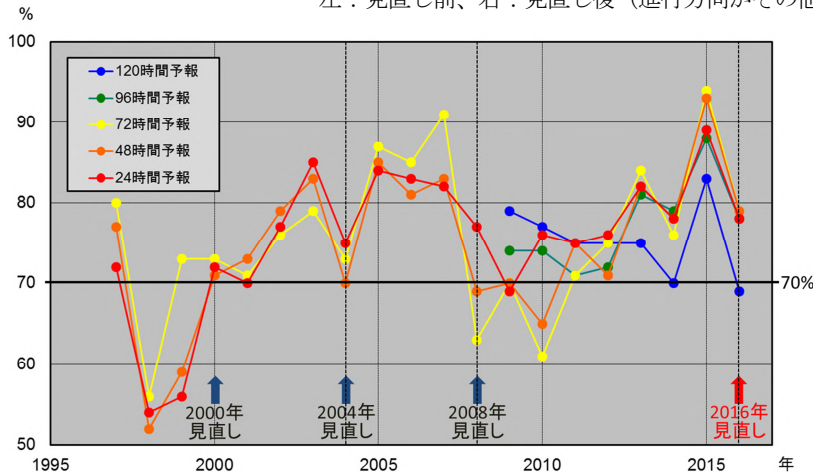
第 6.3.8 図 2つの進行方向の台風に対する予報円半径の変化例

見直し前の予報円を青色で、見直し後の予報円を黒色で表す。左図は北西方向に進んでいた 2015 年第 9 号の 2015 年 7 月 5 日 03 時の事例、右図はその他方向に進んでいた 2014 年第 19 号の 2014 年 10 月 12 日 03 時の事例。



第 6.3.9 図 2016 年の予報円見直し前後の半径の予報時間に対する変化

左：見直し前、右：見直し後（進行方向が其他方向の場合）



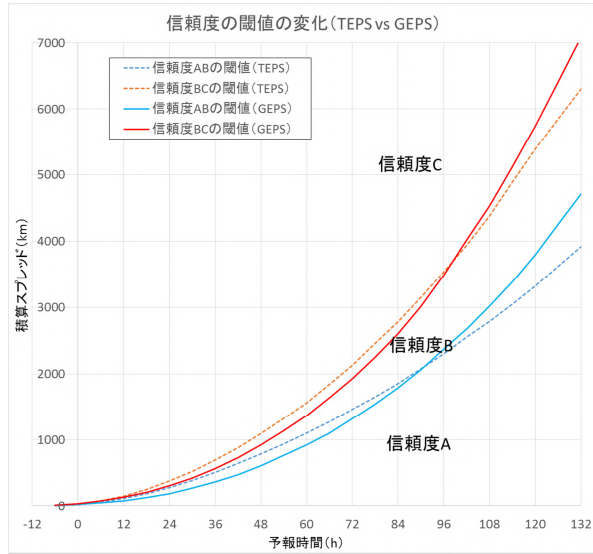
第 6.3.10 図 2016 年までの台風中心が予報円に入る確率の推移

### 6. 3. 2. 3 2017 年の予報円見直し

気象庁では、2017 年 1 月にそれまでの TEPS や他の EPS を統合し、使用する予報モデルと摂動作成手法の改良等を加えた新たな EPS である全球アンサンブル予報システム (GEPS) を運用開始した (山口, 2017)。台風進路予測については、2015 年から 2016 年の期間に対する検証結果において、24 時間から 120 時間の全ての予報時間について進路予測誤差が小さくなるなど、様々な点で改善がみられた。

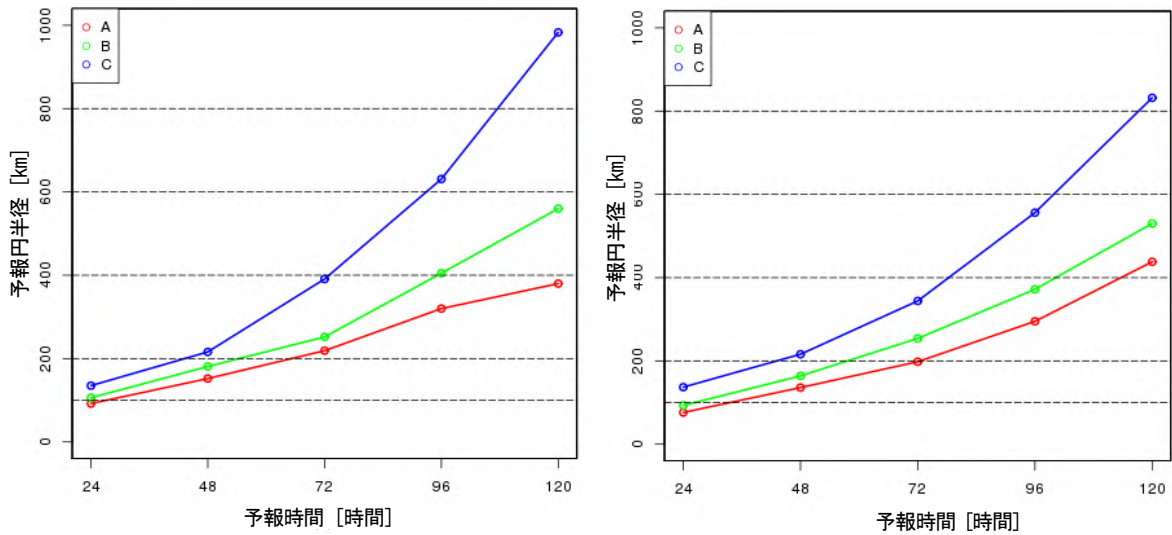
96、120 時間予報の予報円半径を GEPS に基づくものに見直すため、2015 年から 2016 年の GEPS の試験データと同期間の TEPS のデータそれぞれに基づく予報円半径の特性の違いについて調査した。第 6.3.11 図に信頼度 AB、BC 間の積算スプレッドの閾値の違いを示す。予報モデルの特性の変化を反映し、予報時間の前半は GEPS による閾値の方が小さく、予報時間の後半は大きくなっている。第 6.3.12 図に TEPS と GEPS における予報円半径と信頼度との関係を示す。TEPS、GEPS とともに相関が確認できるが、GEPS の方が予報時間前半でより相関が強く、後半で弱くなっている。また、GEPS では、半径の予報時間に対する変化が滑らかになっていることがわかる。

次に、TEPS と GEPS に対して、台風の進行方向、速度、信頼度の区分毎の予報円半径を比較した。GEPS と TEPS は区分間の半径の変化に同様の特性を持っていたため、信頼度 A と B を統合し、其他方向信頼度 AB の場合以外は速度による区分分けをしないこととした。第 6.3.5 表に 96、120 時間予報における TEPS、GEPS による予報円半径の違いを示す。また、第 6.3.13 図に示すとおり、TEPS による予報円は 72 時間予報から 96 時間予報で半径が急激に大きくなる場合があったが、GEPS ではそれが緩和されていることがわかる。本見直しは 2017 年 6 月から導入され、2017 年台風第 3 号から適用された。



第 6.3.11 図 TEPS と GEPS における信頼度 AB、BC 間の積算スプレッドの閾値

赤線と青線はそれぞれ信頼度 AB 間、信頼度 BC 間の積算スプレッド閾値、点線と実線はそれぞれ TEPS と GEPS における結果を示す。



第 6.3.12 図 TEPS と GEPS における予報円半径と信頼度の関係

左図が TEPS、右図が GEPS における結果。赤、緑、青色はそれぞれ信頼度 A、B、C の結果を示す。

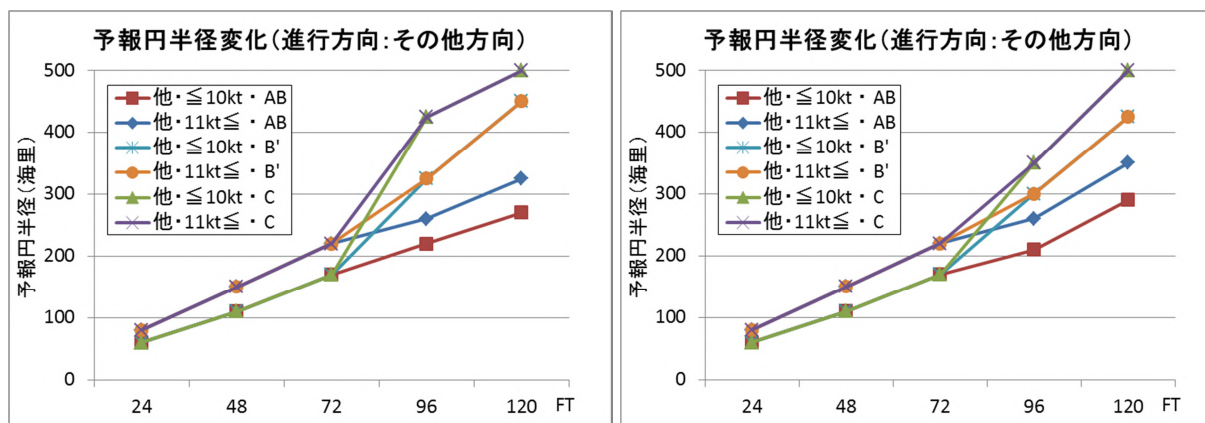
第 6.3.5 表 96、120 時間予報における TEPS、GEPS による予報円半径 [海里] ()内は信頼度

(a) TEPS

予報時間 [時間]	進行方向	速度 V	
		V ≤ 10 kt	V > 10 kt
96	北西方向	170 (AB) / 240 (C)	170 (AB) / 240 (C)
	その他方向	220 (AB) / 325 (B' ) / 425 (C)	260 (AB) / 325 (B' ) / 425 (C)
120	北西方向	200 (AB) / 350 (C)	200 (AB) / 350 (C)
	その他方向	270 (AB) / 450 (B' ) / 500 (C)	325 (AB) / 450 (B' ) / 500 (C)

(b) GEPS ※北西方向についても、AB、C のみの場合に半径が急激に変化するのを緩和するため、補完区分 B' を導入。

予報時間 [時間]	進行方向	速度 V	
		V ≤ 10 kt	V > 10 kt
96	北西方向	160 (AB) / 200 (B' ) / 240 (C)	160 (AB) / 200 (B' ) / 240 (C)
	その他方向	210 (AB) / 300 (B' ) / 350 (C)	260 (AB) / 300 (B' ) / 350 (C)
120	北西方向	200 (AB) / 290 (B' ) / 375 (C)	200 (AB) / 290 (B' ) / 375 (C)
	その他方向	290 (AB) / 425 (B' ) / 500 (C)	350 (AB) / 425 (B' ) / 500 (C)



第 6.3.13 図 TEPS、GEPS による半径の予報時間に対する変化

左：TEPS、右：GEPS（進行方向がその他方向の場合）

### 6. 3. 2. 4 2019 年の予報円見直しに向けて

これまで、現業システムの制約等により、72 時間までと 96 時間以降で予報円半径の算出手法が異なるため、予報円半径の時間変化が不自然な場合があった。2016 年と 2017 年の予報円見直しにより大分改善されたものの、完全には解消されていない。この問題を解決するため、2019 年の台風シーズン前に現業システムの改修を行い、全ての予報時間で進行方向、速度、アンサンブルスプレッドに基づく信頼度による区分を統一的に用いることが可能となる予定である。それに向けて、どのような手法・区分を用いればよりよい予報円となるかについて、2016 年から 2017 年の 2 年間のデータを用いて調査を進めている。あわせて、これまでは 96 時間以降に GEPS に基づく予報円を用いてきたが、現在予報円の中心位置決定には他機関の数値予報モデルも利用していることから、他機関の EPS 及びそれらの組合せも調査の対象とした。

ここで、よい予報円とは、以下の 2 点を満たすものとする。

- 平均半径ができるだけ小さい
- 半径と予報誤差の相関がよい（区分間の分離度が大きくメリハリがある、アウト라이어率<sup>6</sup>が小さい）

まず、台風の進行方向・速度毎に過去の予報誤差から算出する統計的手法と、アンサンブルの積算スプレッドによる信頼度毎に過去の予報誤差から算出する力学的的手法（そのうち、単独アンサンブルを用いるものと、複数のアンサンブルを組合せるマルチアンサンブルを用いるものの 2 つに分類）の合計 3 つの手法について比較を行った。第 6.3.14 図に、3 つの手法における気象庁の進路予報誤差と 48、96 時間予報の予報円半径の散布図とともに、相関係数と平均半径を示す。これをみると、平均半径は 3 つの手法でそれほど変わらないものの、相関係数は統計手法、単独アンサンブル、マルチアンサンブルの順によくなり、区分間の分離度も大きくなっていることがわかる。また、第 6.3.15 図に、単独・マルチアンサンブルにおける気象庁の進路予報誤差の累積相対度数分布を示す。赤点線内では、マルチアンサンブルの方が、信頼度 A で予報誤差の大きい事例の割合が減っており、青点線内では、信頼度 C で予報誤差の小さい事例の割合が減っており、アウト라이어率が減っていることがわかる。以上から、マルチアンサンブルを用いた予報円が、統計的手法、単独アンサンブルを用いた予報円よりもよいと考えられる。また、マルチアンサンブルの中では、主要 4 機関のマルチアンサンブルが最もよい予報円となっていた。

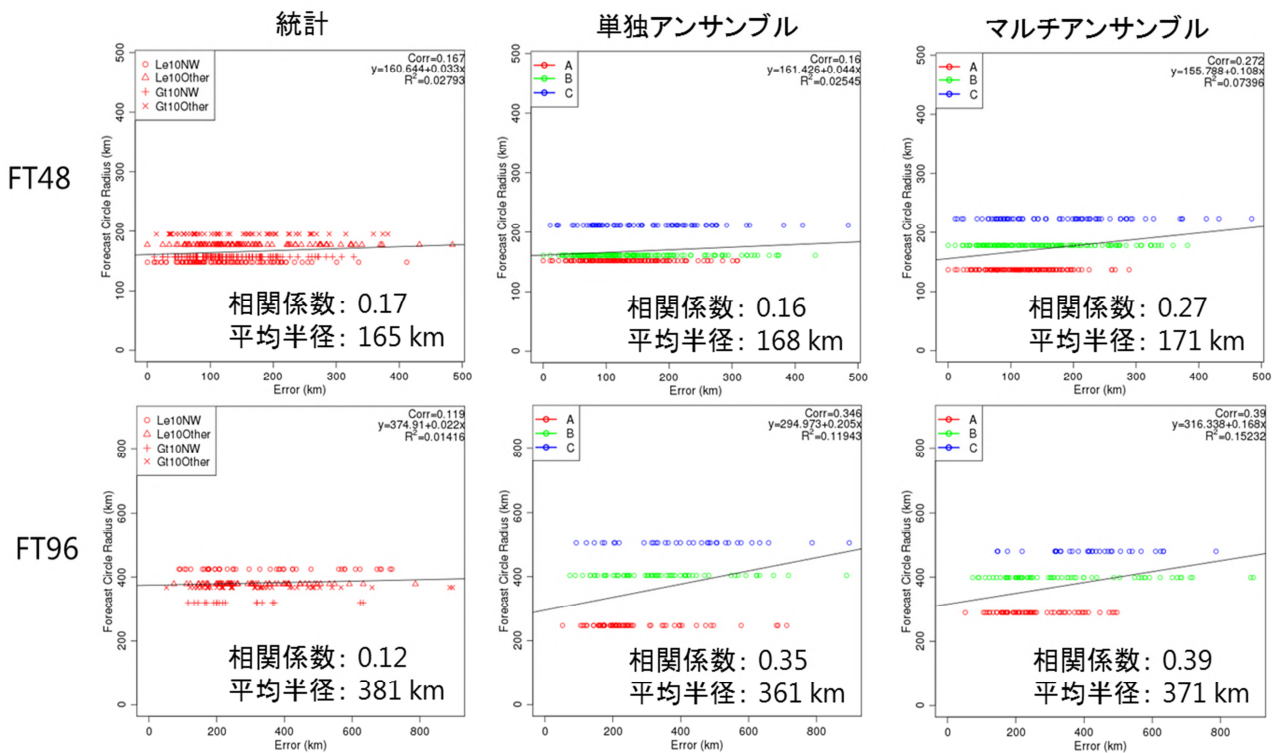
次に、第 6.3.14 図の統計的手法の図をみると、進行方向が北西方向の方がその他方向よりも半径が大き

<sup>6</sup> 例えば、信頼度 A で予報誤差が大きい事例の割合や、信頼度 C で予報誤差が小さい事例の割合のこと。

く、また、速度が大きい方が半径が小さい場合があることがわかる。これは従来みられていた関係と異なることから、予報誤差の進行方向や速度との関係を調査した。その結果、第 6.3.16 図にみられるように、2016 年から 2017 年の検証結果では、予報誤差と進行方向や速度との間に明確な関係性は無くなっていることがわかる。これは、2015 年以降にコンセンサス手法を導入したことや、数値予報モデルの精度向上等により、予報誤差が進行方向や速度に依らなくなったことが考えられる。

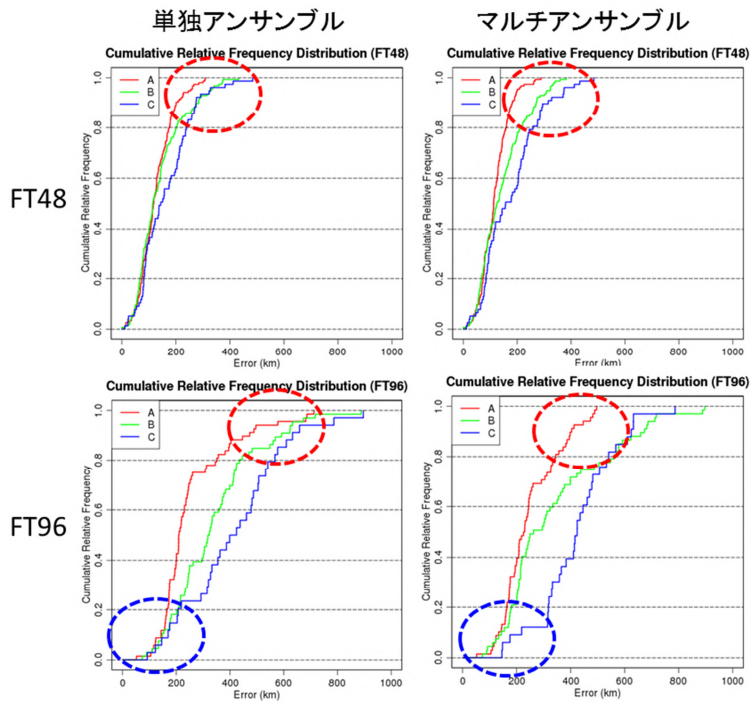
また、信頼度による区分数を変化させた場合の予報円についても調査したところ、区分数を 4 つ以上にすると区分毎の事例数が少なくなり、信頼度間で予報円半径の逆転がみられたため、区分数は 3 つが妥当であることもわかった（図略）。

以上より、2019 年の台風シーズンから用いる新しい予報円としては、全予報時間に対して、進行方向と速度による区分は廃止し、主要 4 機関のマルチアンサンブルの積算スプレッドに基づく信頼度 3 つに区分する案を作成している。この他、信頼度の事例数の割合を現行の A:B:C=40%:40%:20%から変化させた場合の効果等についても調査を進めている。2018 年が終わった段階で、2016 年から 2018 年の 3 年分のデータを用いてあらためて調査を行い、最もよい予報円となる手法・区分を 2019 年の台風シーズンから導入する予定である。



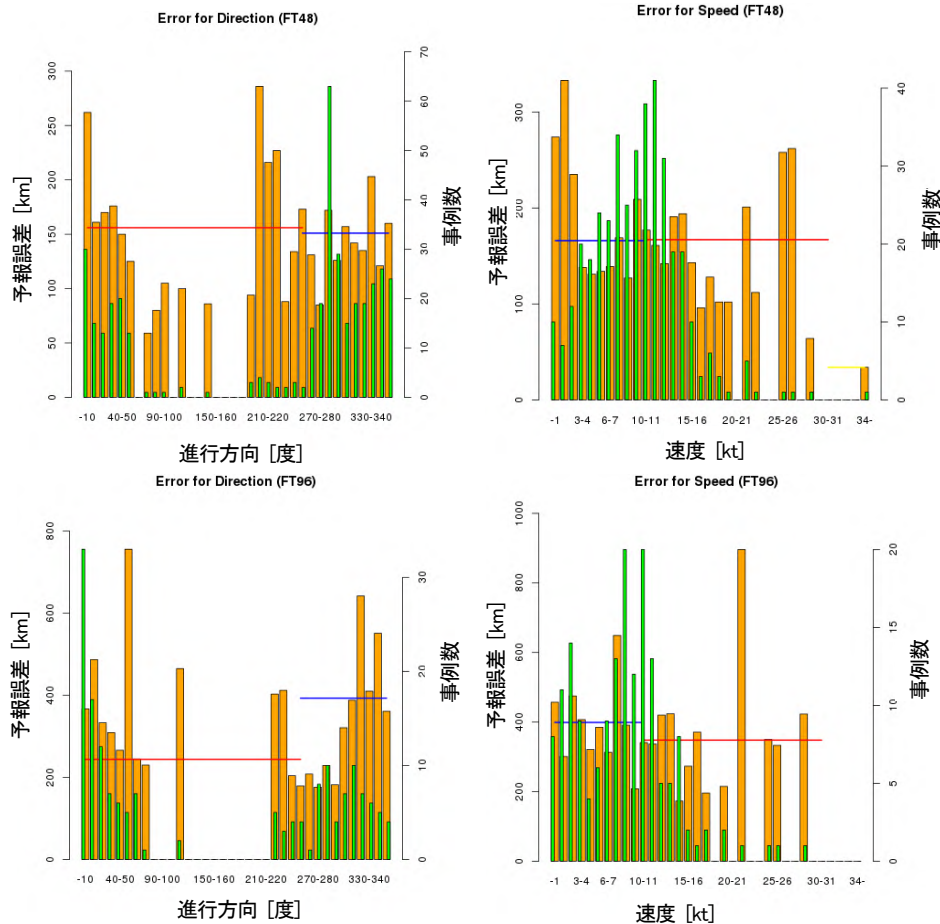
第 6.3.14 図 統計的手法、単独・マルチアンサンブルにおける予報円半径と当庁の進路予報誤差の関係

予報円半径と当庁の進路予報誤差の散布図。左列が統計的手法、中列が単独アンサンブル（GEPS）、右列がマルチアンサンブル（主要 4 アンサンブル）の結果。上段が 48 時間予報、下段が 96 時間予報。統計的手法は台風の進行方向（北西:NW・その他:Other）と速度（10kt 以下:Le10、超:Gt10）で区分し、単独・マルチアンサンブルは信頼度 ABC（40%:40%:20%）で区分。



第 6.3.15 図 単独・マルチアンサンブルにおける当庁の進路予報誤差の累積相対度数分布

左列が単独アンサンブル（GEPS）、右列がマルチアンサンブル（主要 4 アンサンブル）の結果。上段が 48 時間予報、下段が 96 時間予報。単独・マルチアンサンブルともに信頼度 ABC（40%:40%:20%）で区分。赤点線内ではマルチアンサンブルの方が、信頼度 A で予報誤差の大きい事例の割合が減っており、青点線内では信頼度 C で予報誤差の小さい事例の割合が減っている様子がわかる。



第 6.3.16 図 予報誤差の進行方向と速度との関係

上段は 48 時間予報、下段は 96 時間予報に対して、左列は進行方向、右列は速度との関係を示す。オレンジ色と緑色はそれぞれ誤差 70% 値と事例数、左図の赤線と青線はそれぞれその他方向と北西方向の 70% 予報円半径、右図の青線と赤線はそれぞれ 10kt 以下、超の 70% 予報円半径を表す。



### 6.3.3 現業作業手順

6.3.1 項で説明した各種調査結果に基づき、気象庁では、台風進路予測に主要 4 機関の数値予報モデルのコンセンサス手法を主に利用している。以下に進路予測の現業作業手順を説明する。

なお 2018 年現在、気象庁が進路予測で利用している数値予報モデルは以下のとおりである。

全球モデル（略称：説明）

GSM：気象庁の全球モデル

EC：ECMWF の全球モデル（IFS）

UKMO：UKMO の全球モデル（UM）

NCEP：NCEP の全球モデル（GFS）

全球 EPS（略称：説明）

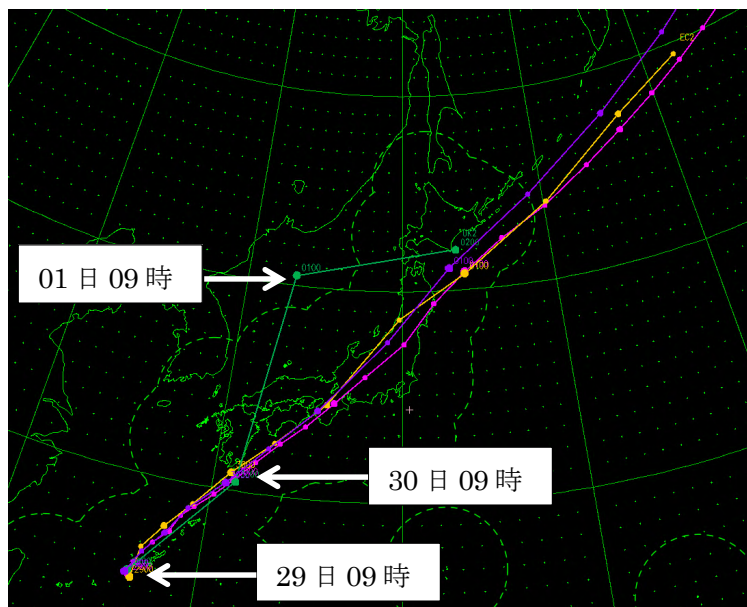
GEPS：気象庁の全球 EPS

EC-EPS：ECMWF の全球 EPS（ENS）

UKMO-EPS：UKMO の全球 EPS（MOGREPS）

NCEP-EPS：NCEP の全球 EPS（GEFS）

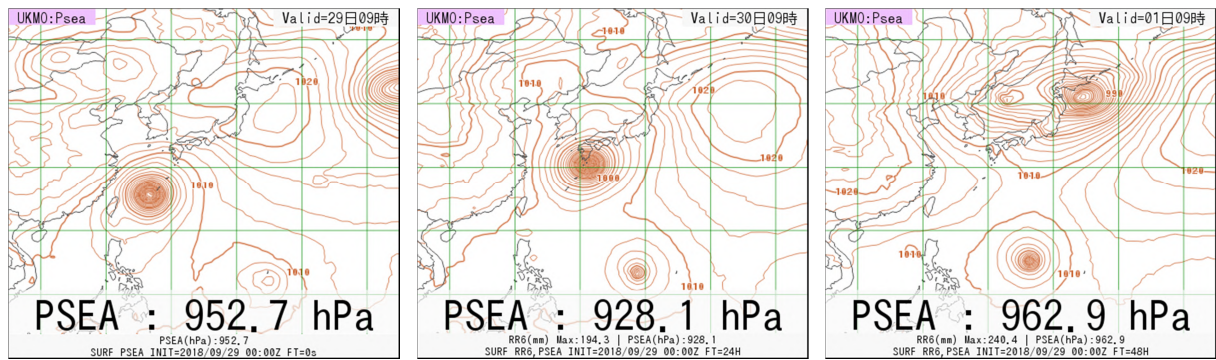
- (1) 4 機関の全球モデルの予測結果から熱帯じょう乱の中心位置を追跡（自動処理）する。EPS については、各メンバーの追跡結果を各機関から受け取り、アンサンブル平均のみ自動処理で計算している。
- (2) 4 機関の全球モデルの中心位置追跡と実況解析や地上予想天気図を比較し、誤追跡の有無を検討する。第 6.3.17 図に、4 機関の数値予報モデルによる進路予測のモニター図の例、第 6.3.18 図に、UKMO の 24 時間毎の地上予想天気図を示す。この 2 つの図を比較すると、UKMO（緑色）の 2018 年 10 月 1 日 09 時は誤追跡であると判断できる。



第 6.3.17 図 中心位置の誤追跡を含む 4 機関の数値予報モデルによる進路予測のモニター図の例

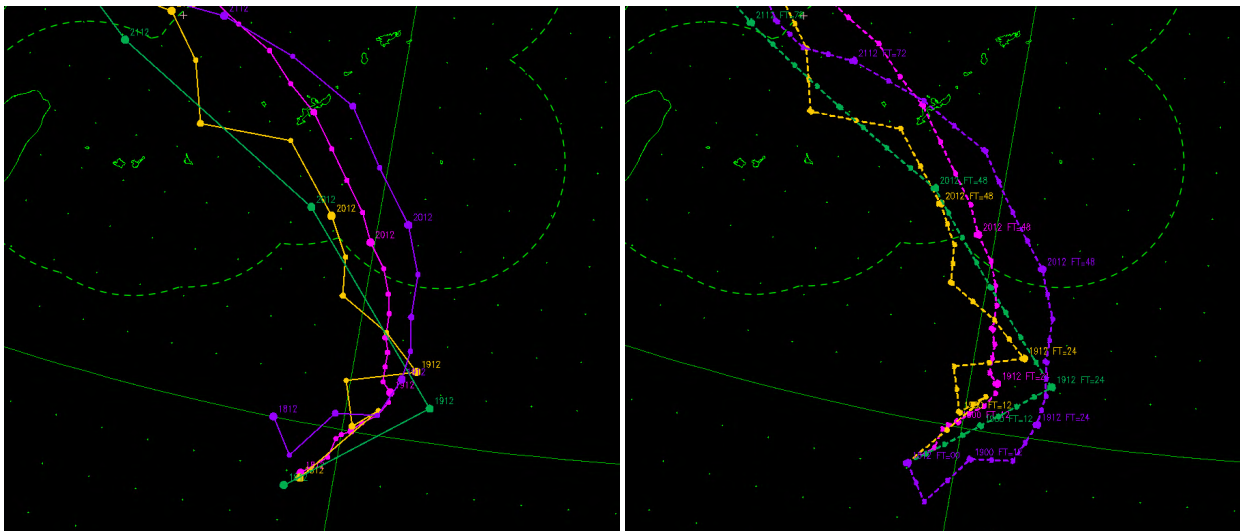
2018 年台風第 24 号に対する 2018 年 9 月 29 日 09 時の解析時刻における事例。

マゼンダが GSM、青色が NCEP、黄色が EC、緑色が UKMO の追跡結果をそれぞれ表す。



第 6.3.18 図 UKMO の 9 月 29 日 09 時～10 月 1 日 09 時の 24 時間毎の地上予想天気図

- (3) 誤追跡が明らかな場合は、コンセンサスの対象から除外する。なお特定のモデルをコンセンサスから除外した場合、必要に応じて以下の手順でコンセンサスメンバーの補充を行う。
- ① 同じ機関の全球 EPS の平均データを利用
  - ② 同じ機関の 1 つ前の初期時刻の中心追跡を利用
  - ③ ①及び②がともに利用できないと判断した場合は、3 機関以下の全球モデルでコンセンサスを行う。
- (4) コンセンサスに利用する各モデルのデータを初期誤差補正 (6.3.1.1 参照) し、そのデータでコンセンサスを計算し、5 日先までの予測位置を作成する。第 6.3.19 図に各モデルの予測位置と実況解析の中心位置で初期誤差補正した予測位置の例を示す。なお初期誤差補正が何時間先まで有効であるかについては、6.3.1.4 を参照願いたい。
- (5) コンセンサスの結果を基に 12 時間～120 時間の予想位置を決定する (第 6.3.20 図、第 6.3.22 図参照)。
- (6) 決定した予想位置から、進行方向・速度を計算する (第 6.3.21 図、第 6.3.23 図参照)。



第 6.3.19 図 各モデルの予測位置と初期誤差補正済み予測位置の例

2018 年台風第 10 号に対する 2018 年 7 月 18 日 21 時の解析時刻における各モデルの予測位置 (左) と初期誤差補正した予測位置 (右) の例。

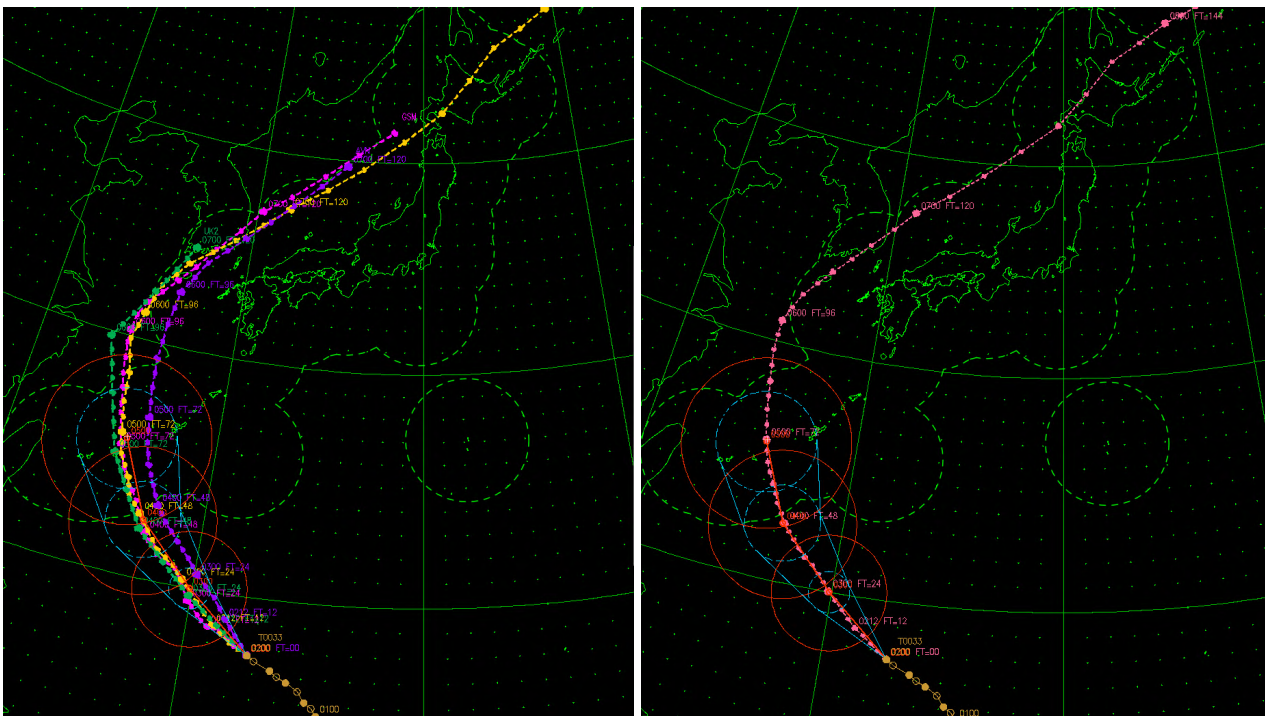
- (7) 過去の知見や前回の予報を考慮し、予想位置や進行方向・速度の変化が適切であるか検討し、必要に応じて修正する。
- (8) 12 時間～72 時間予報までは進行方向・速度を基に統計的手法により、96 及び 120 時間については、GEPS の積算スプレッドに基づく信頼度と進行方向・速度を基に予報円を計算する（第 6.3.24 図参照）。また 96 及び 120 時間予報については、各予報時間の GEPS の全メンバーを描画し、予報円に概ね 70% 程度が入っているかを確認する（第 6.3.25 図参照）。なお予報円の大きさについても、過去の知見や前回の予報を考慮し、その大きさや変化が適切であるか検討し、必要に応じて修正する。

ここまでが、進路予報の作業で、その後以下の手順で強度予報を作成する。

- (9) 強度予報ガイダンス・統計ガイダンス等を基に各進路予報位置での最大風速・最大瞬間風速・中心気圧・暴風域などの強度とじょう乱種別（熱帯低気圧化・温帯低気圧化など）を予報する。
- (10) 進路予報（進行方向・速度、予報円など）と強度予報（最大風速・最大瞬間風速・暴風域）を図及びグラフ表示し、予報の連続性などを確認する。

第 6.3.20～6.3.25 図に 2018 年台風第 25 号に対する 2018 年 10 月 2 日 09 時の解析時刻における進路予報作業画面を示す。

このように、2018 年現在、主要 4 機関の全球数値予報モデルによるコンセンサス手法を主に利用しているものの、実況解析や数値予報モデルによる地上予想天気図から誤追跡が明らかなモデルの除外、代替りのメンバーの補充、位置・進行方向・速度・予報円半径の前回の予報からの変化、予報時間毎の変化が適切かどうかの検討、その結果や過去の知見に基づく調整など、予報官が果たすべき役割は大きい。



第 6.3.20 図 3 日進路予報の数値予報モデル表示画面

各モデルの予測値表示（左）、コンセンサス予測値表示（右）

3日予報入力

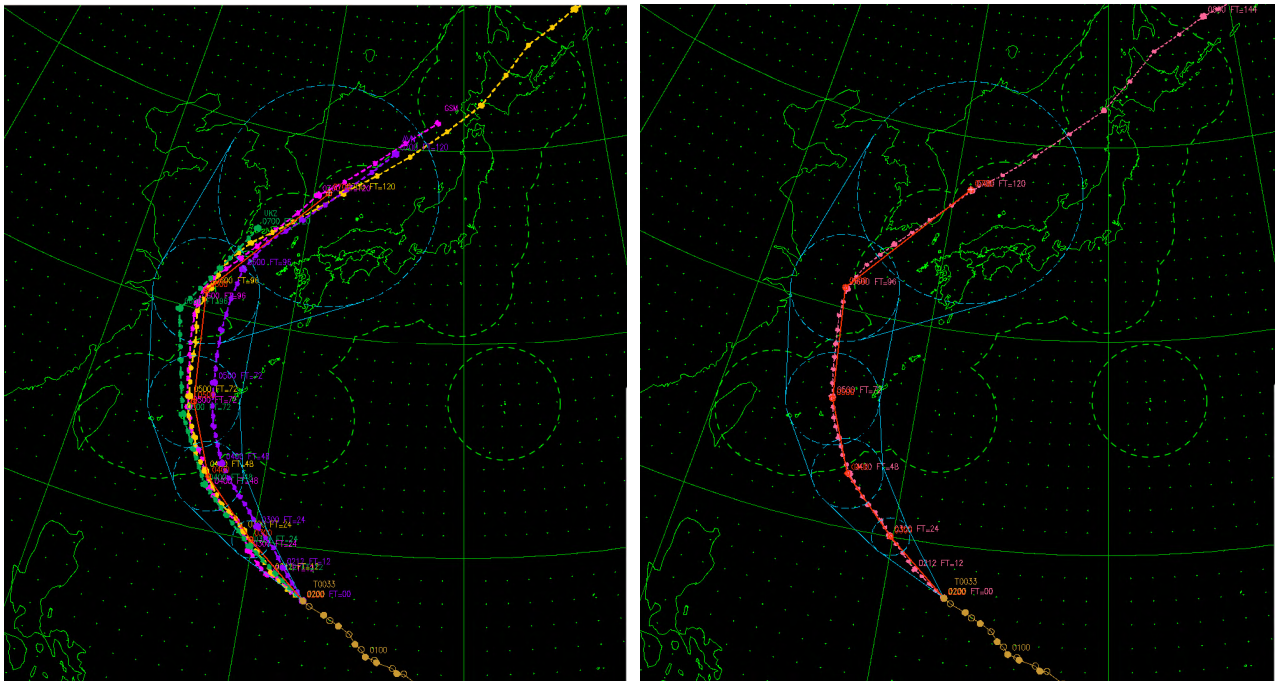
12時間予報  あり  なし      位置詳細  あり  なし      低気圧化 -      時間後  温低化  TD化      位置詳細へ (F1)      閉じる (F4)

予報値入力

全選択	緯度	経度	予報円	移動方向	速度	気圧	1000半径	風記事	最大風	瞬間風	強風域	暴風域
FT0	17.7	132.7	0	300	11	915	140	中心	105	150	ALL 240	ALL 90
FT12	42.3	143.6	40	70	35	984	150	記事無し	50	70	ALL 0	ALL 0
FT24	20.0	129.9	50	310	9	925	150	中心	100	140	ALL 0	ALL 90
FT48	22.4	127.3	95	320	9	935	150	中心	95	135	ALL 0	ALL 90
FT72	25.6	125.7	130	340	9	940	150	中心	90	130	ALL 0	ALL 90

入力補助と計算

第 6.3.21 図 3日予報作業画面



第 6.3.22 図 5日進路予報の数値予報モデル表示画面

各モデルの予測値表示 (左)、コンセンサス予測値表示 (右)

5日予報入力

予報の省略  
 時間以降は省略 閉じる (F4)

予報値入力

全選択	緯度	経度	予報円	移動方向	速度
FT0	17.7	132.7	0	300	11
FT24	20.0	129.9	50	310	9
FT48	22.4	127.3	95	520	9
FT72	25.6	125.7	130	340	9
FT96	31.0	124.8	160	350	14
FT120	37.2	131.0	350	40	20

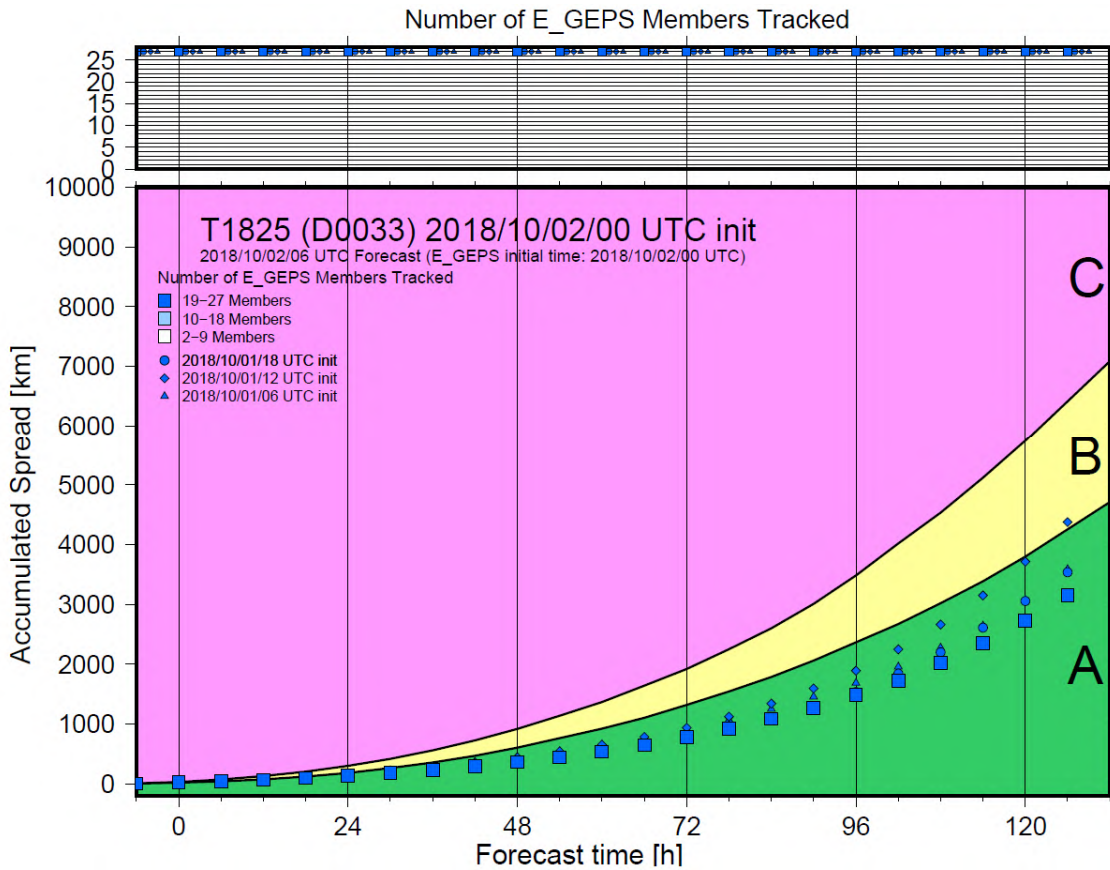
入力補助と計算

入力値消去 96 予報円

移動計算 
 北西(260-359)AB 160NM
  北西B' 200NM
  北西C 240NM
 | 
  他AB\_10kt以下 210NM
  他AB\_11kt以上 260NM
  他B' 300NM
  他C 350NM
 前回 
信頼度G参照

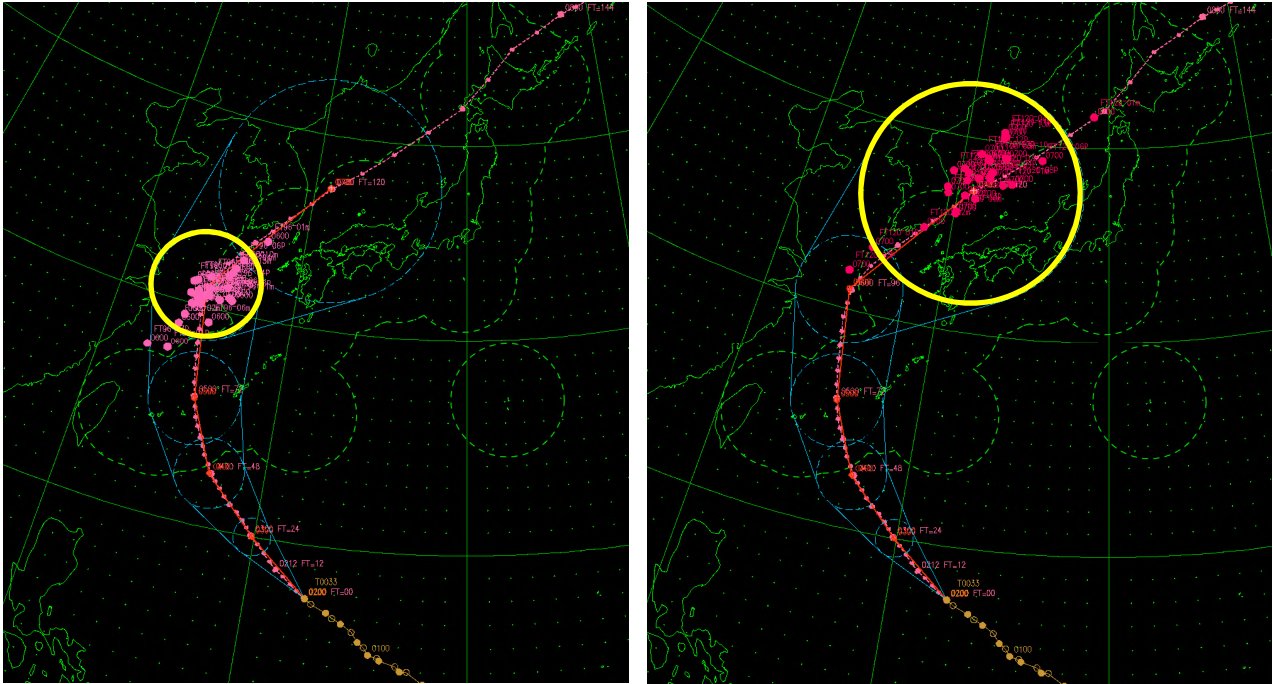
北西(260-359)AB 200NM
  北西B' 290NM
  北西C 375NM
 | 
  他AB\_10kt以下 290NM
  他AB\_11kt以上 350NM
  他B' 4.25NM
  他C 500NM
 前回 
予報省略判定

第 6.3.23 図 5 日進路予報作業画面



第 6.3.24 図 5 日進路予報の信頼度を定める GEPS の信頼度情報図

上図は追跡可能なメンバー数の予報時間変化、下図は積算スプレッドの予報時間変化を示し、■は最新、●は6時間前、◆は12時間前、▲は18時間前の計算結果に対するものをそれぞれ示す。



第 6.3.25 図 5 日進路予報の GEPS メンバー表示画面

左図は 96 時間後の予報円を強調表示し、GEPS の各メンバーの 96 時間後の予測位置を重ね合わせて表示。

右図は 120 時間後の予報円を強調表示し、GEPS の各メンバーの 120 時間後の予測位置を重ね合わせて表示。

## 6.4 まとめ

気象庁では、数値予報モデルの改善や、進路予報に関する国際的動向を踏まえた予報手法及び現業作業手順の改善等を通じて、進路予報の改善を図ってきた。

まず、国際的動向をまとめると、進路予報期間は気象庁を含め 5 日の機関が多く、発表頻度については、1 日 4 回が多いが、責任機関の自国に影響を及ぼす場合など、必要に応じてより高頻度に発表する機関が多い。進路予報精度は、主に熱帯低気圧の特性の違いに起因する年々変動はみられるものの、長期的にみれば、どの海域・機関についても精度が向上している。精度向上の要因としては、数値予報モデルの精度向上、及びコンセンサス・アンサンブル平均手法の導入等の利用手法の改善があげられる。また、進路予報の不確実性は、気象庁を含む多くの機関で台風中心が 60~70%の確率で入る領域を円やコーンで表現している。予報円の大きさは、多くの機関が過去の予報誤差に基づき統計的に算出しているが、気象庁、RSMC レユニオン、TCWC パース・ダーウィン・ブリスベンのみが、EPS のスプレッドの情報を利用して予報円の大きさを調整している。その他、多くの機関が予報の不確実性に関する情報を得るために EPS を活用している。

次に、気象庁の予報手法や現業作業手順に関する最近の改善と現状についてまとめる。気象庁の進路予報は、2014 年までは主に気象庁の数値予報モデルの結果を基にしていたが、2014 年の気象研究所における先行調査を受けて、本庁において気象庁・ECMWF・NCEP・UKMO の主要な 4 つの全球数値予報モデルの単純コンセンサス手法の有効性が確認できたことから、2015 年以降は同手法を主に利用している。その結果、2015 年以降はそれ以前に比べて精度が大きく向上した。また、さらなる精度向上を図るため、2017 年度末から数値予報モデルの利用手法高度化に向けた調査を開始した。その結果、事前の情報から最適な資料を選択する手法が見出せれば、精度を大きく改善できる可能性があることがわかった。そのような手法を見出すため、引き続き調査を実施し、数値予報モデル利用手法の高度化につなげたい。

また、予報円については、近年、進路予報の精度向上に伴って台風中心が予報円に入る確率が 70%を大きく超えるようになった。また 72 時間までと 96 時間以降で予報円半径の算出方法が異なるために予報円半径の不自然な時間変化がみられる場合があった。これらの問題に対処するため、2016 年 6 月に最新の予報誤差の検証結果に基づく予報円半径を導入した。その結果、予報円半径は概ね 20%~40%小さくなり、台風中心が予報円に入る確率は小さく、より適切になった。また、96、120 時間予報に新たに進行方向と速度による区分を導入したことにより、予報円半径の不自然な時間変化が一部解消した。さらに、2017 年 6 月に、96、120 時間予報の予報円半径を 2017 年 1 月に運用を開始した GEPS に基づくものに更新した結果、予報円半径の不自然な時間変化がさらに緩和された。予報円半径の不自然な時間変化を完全に解決するため、2019 年の台風シーズン前に、全ての予報時間で統一的な手法に基づく予報円を導入する予定である。それに向けて、現在どのような手法・区分を用いればよりよい予報円となるかについて調査を進めている。現状、全予報時間に対して、進行方向と速度による区分は廃止し、主要 4 機関のマルチアンサンブルの積算スプレッドに基づく信頼度 3 つに区分する案を作成している。2018 年が終わった段階で、あらためて調査を行い、最もよい予報円となる手法・区分を導入する予定である。

これらの国際的動向や調査結果を踏まえて、予報作業手順についても改善に努めている。2018 年現在、主要 4 機関の全球数値予報モデルによるコンセンサス手法を主に利用しているものの、実況解析や数値予報モデルによる地上予想天気図から誤追跡が明らかなモデルの除外、代替りのメンバーの補充、位置・進行方向・速度・予報円半径の前の予報からの変化、予報時間毎の変化が適切かどうかの検討、その結果や過去の知見に基づく調整など、予報官が果たすべき役割は大きい。

このように、今後も国際的動向に注視しながら、予報手法や現業作業手順の改善等を通じて、進路予報の精度向上に向けて取り組んでいきたい。

## 参考文献

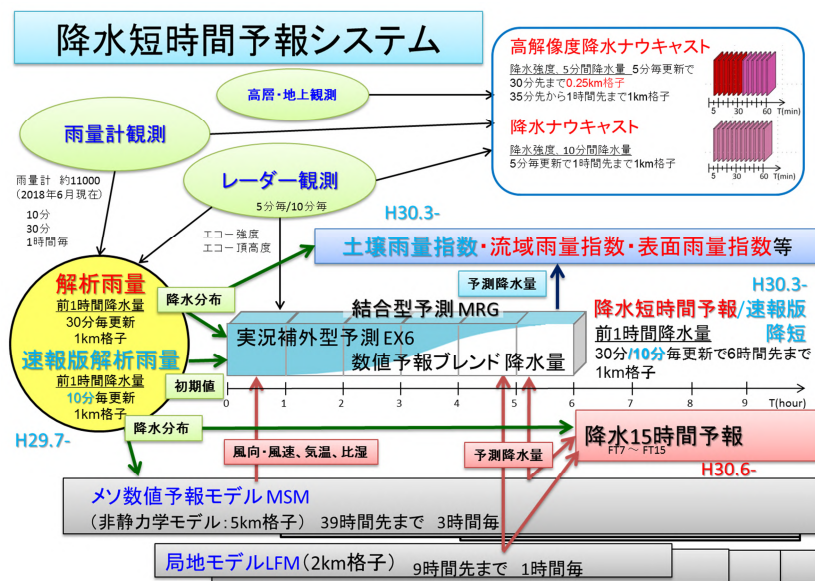
- 岸本賢司, 2009: 台風 5 日進路予報. 平成 20 年度量的予報研修テキスト, 気象庁予報部, 103-112.
- 西村雅人, 2015: 選択的アンサンブル平均手法による台風予測に関する研究, 気象大学校 2014 年度卒業論文, 1-29.
- 山口春季, 2017: 全球アンサンブル予報システムの導入, 平成 29 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 35-41.
- Elliott, G. and M. Yamaguchi, 2014: Topic 1: Motion -Recent Advances-. WMO 8<sup>th</sup> International Workshop on Tropical Cyclones ([https://www.wmo.int/pages/prog/arep/wrrp/new/documents/T1\\_AdvancesinForecastingMotion\\_GElliott\\_MYamaguch\\_5dec2014i.pdf](https://www.wmo.int/pages/prog/arep/wrrp/new/documents/T1_AdvancesinForecastingMotion_GElliott_MYamaguch_5dec2014i.pdf)).
- Nishimura, M., and M. Yamaguchi, 2015: Selective Ensemble Mean Technique for Tropical Cyclone Track Forecasts Using Multi-Model Ensembles. Tropical Cyclone Research and Review, 4(2), 71-78.
- Yamaguchi, M., H. Titley and L. Magnusson, 2018: Topic 6.3: Current and potential use of ensemble forecasts in operational TC forecasting. WMO 9<sup>th</sup> International Workshop on Tropical Cyclones ([https://www.wmo.int/pages/prog/arep/wrrp/tmr/documents/IWTC-9\\_Subtopic\\_6-3.pdf](https://www.wmo.int/pages/prog/arep/wrrp/tmr/documents/IWTC-9_Subtopic_6-3.pdf)).

# 第7章 降水短時間予報等の改善

## 7.1 はじめに\*

2006（平成 18）年 3 月以来、気象庁では防災気象情報の基盤となる降水量に関して、**30 分毎更新・1km 格子**で、実況解析値である「**解析雨量**」、6 時間先までの「**降水短時間予報**」を運用してきた。2017/2018 年は、ほぼ 10 年ぶりに枠組を大きく変えて、これら 30 分毎更新のプロダクト（以下ではこれらを「**正規版**」<sup>1</sup>と呼ぶ）に加えて **10 分毎更新・1km 格子**での実況解析値として「**速報版解析雨量**」（2017 年 7 月 4 日～）、同じく **10 分毎更新・1km 格子**で **6 時間先までの「速報版降水短時間予報**」（2018 年 3 月 5 日～）、更に 2018 年 6 月 20 日から **1 時間毎更新・5km 格子**で **7～15 時間先までの「降水 15 時間予報**」の運用を開始した。降水量関連プロダクト間の観測・予測資料の流れは第 7.1.1 図に示したとおりで、これらのプロダクトを利用して作られる各指数及び危険度分布の関係を第 7.1.2 図で確認していただきたい。また、降水 15 時間予報の運用開始にあわせて気象庁ホームページの関係ページを刷新し、「**今後の雨（降水短時間予報）**」として解析雨量、速報版解析雨量、速報版降水短時間予報、降水 15 時間予報がシームレスに表示されるようになった（第 7.1.3 図）。

本章では、2017/2018 年 2 年間の解析雨量、降水短時間予報及びナウキャストに関する改善について解説する。7.2 節では正規版／速報版に共通する基本的な改善について述べる。新しいプロダクトである速報版解析雨量・速報版降水短時間予報、降水 15 時間予報についてはそれぞれ節をあらため、ナウキャストについては最後の 7.5 節と 7.6 節で解説する。



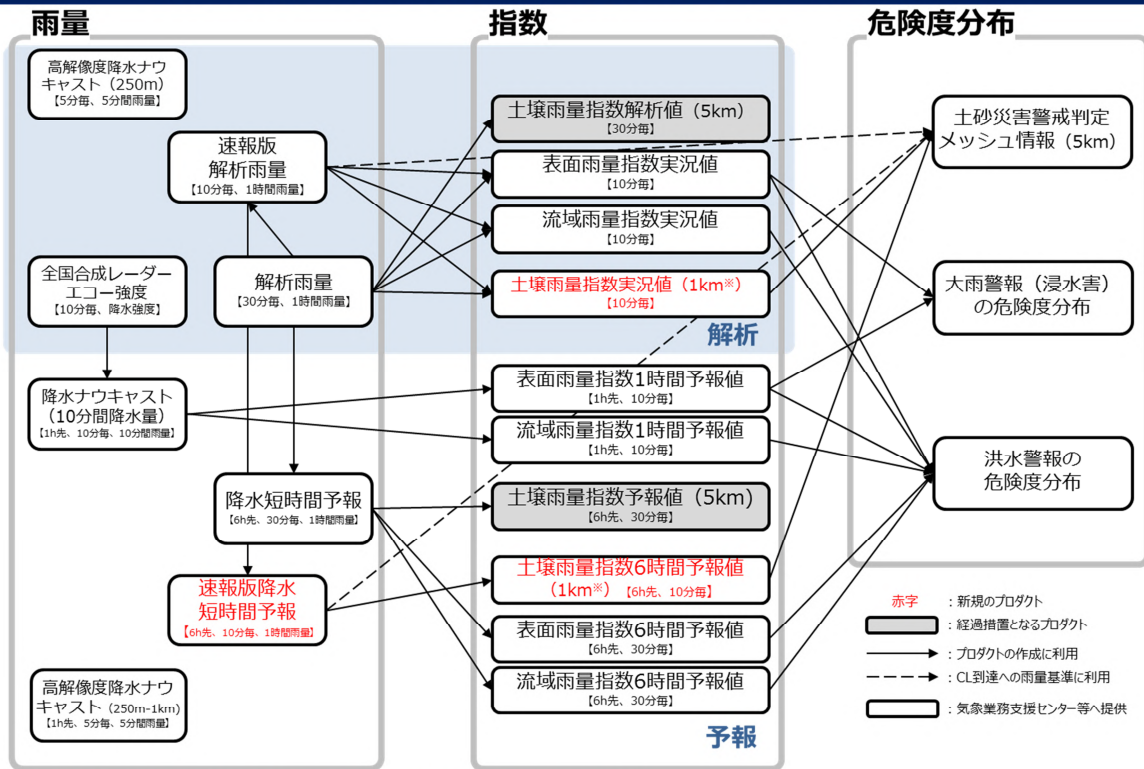
第 7.1.1 図 降水短時間予報システム：降水に関する観測・予測資料の流れ

\*辻村 豊（気象庁予報部予報課）

<sup>1</sup> 正規版／速報版解析雨量は利用できる雨量計データの数が異なる。精度は雨量計の数の多い正規版の方がよいが、速報版は観測後 5 分程度で入手できる。降水短時間予報の初期値にも各々の解析雨量が利用されるため、解析時刻を基準としたときのある予想時刻における予測精度は正規版降水短時間予報の方がよいものの、リードタイムという観点では速報版降水短時間予報が優れている。なお、正規版解析雨量に間に合わなかった雨量計データや各雨量計利用の適／不適も反映させた最終版解析雨量として、「**解析雨量（再解析）**」を 16 日後に作成している。業務支援センター作成の CD-ROM 等には、この解析雨量（再解析）のデータが収録されている。

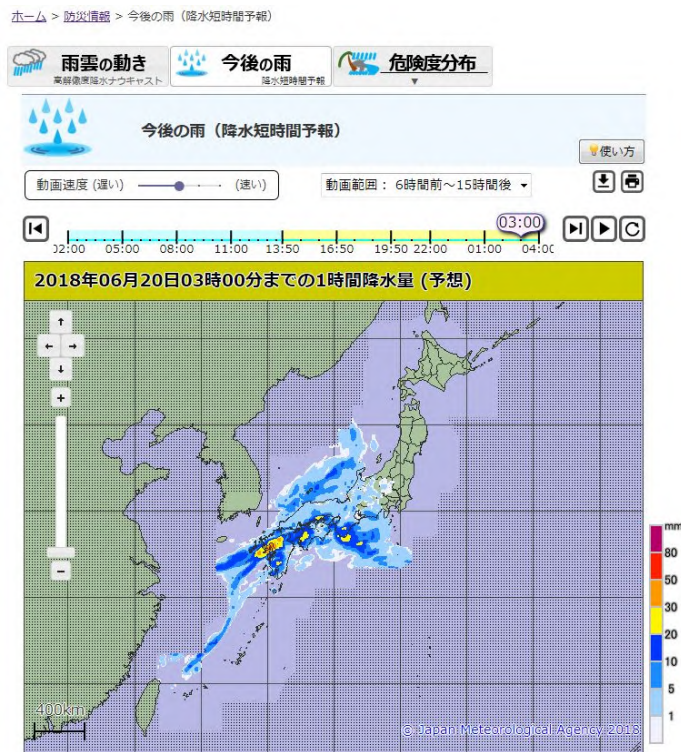


## 雨量・指数・危険度分布の主なプロダクト (H30.3時点)



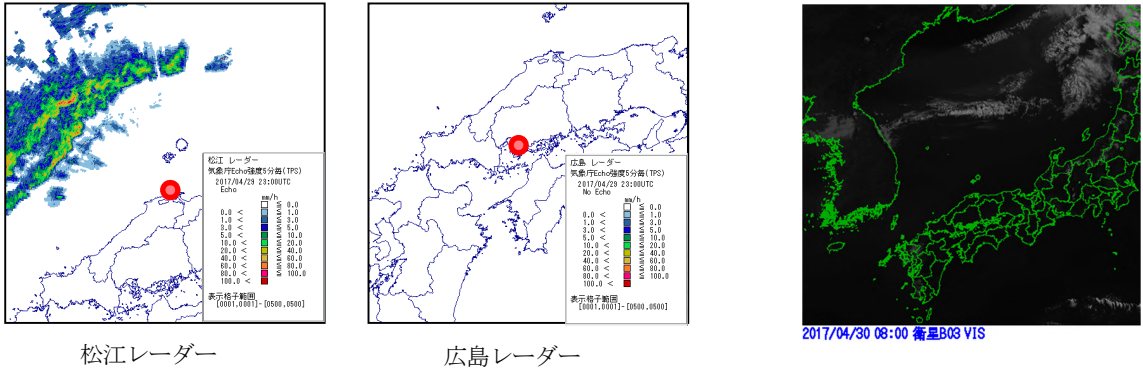
※「土壌雨量指数実況値・6時間予報値(1km)」の5km格子内は同じ値

第 7.1.2 図 解析雨量・降水短時間予報を用いた主なプロダクトと利用データの流れ



第 7.1.3 図 「今後の雨 (降水短時間予報)」 ページの表示例 (2018 年 6 月 19 日 13 時 50 分 (JST) 初期値)

解析雨量、速報版解析雨量、速報版降水短時間予報、降水 15 時間予報をシームレスに表示。



第 7.2.1 図 2017 年 4 月 30 日 08 時 00 分 (JST) の松江と広島のレーダー降水強度 (左図) と衛星可視画像 (右図)

## 7. 2 解析雨量と降水短時間予報の改善

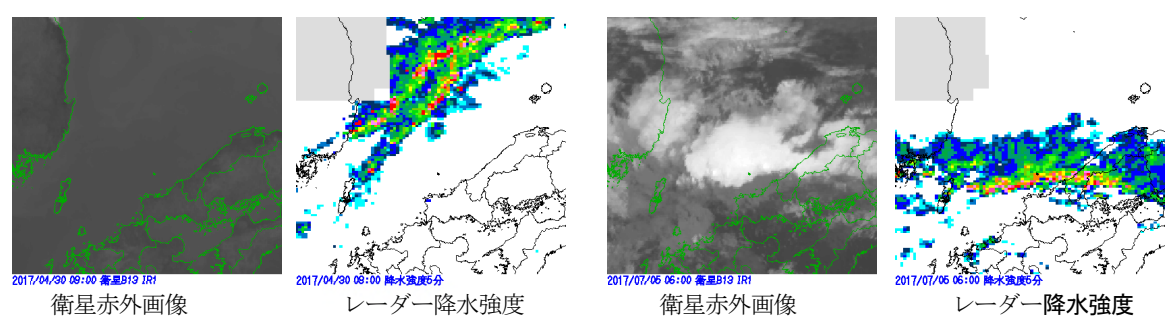
### 7. 2. 1 解析雨量の改善 (2018 年 5 月 23 日) \*

気象レーダー観測では、アンテナから送信された電波が雨滴によって反射される割合を測定することにより降水の強さを観測する。電波は雨滴以外の山や建物、大気中を飛ぶ鳥や虫、海面などによっても反射されるため、実際には降水がないにもかかわらず、見かけ上降水があるように観測される事がある。これを「非降水エコー」という。特に春には、大気の状態により電波が屈折して海面で顕著に反射され、解析雨量や降水短時間予報において遠方の海上で過大な降水が表示されることがある。

一例として、第 7.2.1 図に 2017 年 4 月 30 日 08 時 00 分 (JST) の事例を示す。松江レーダーでは日本海に強度の強いエコーがみられるが、広島レーダーでは、同じ場所にエコーはみられない。衛星の可視画像でも同領域に明瞭な雲はみられない。

このような非降水エコーを軽減するため、まず高解像度降水ナウキャストに、2017 (平成 29) 年 11 月 1 日から、海上の非降水エコーを対象にした品質管理を導入した。続いて解析雨量 (正規版/速報版とも) にも、2018 (平成 30) 年 5 月 23 日に同様の処理を導入した。この品質管理の具体的方法について、以下に述べる。

衛星の赤外画像では、雲頂高度が低いほど輝度温度が高くなり、地上・海面温度に近づく。輝度温度が地上温度・海面水温に近いことは、発達した雲がないこと、即ち同じ場所にレーダーで観測された強いエコーは非降水エコーである可能性が高いことを意味する。そこで衛星赤外画像を利用して、海上の非降水エコーの強度を弱めることができる。



第 7.2.2 図 衛星赤外画像とレーダー降水強度

左側の 2 枚の図のように、レーダー画像でエコーがある場所で衛星赤外画像による輝度温度が高い場合はエコーが非降水エコーであるとみなして降水強度の上限値を小さくする。一方、右側の 2 枚の図のように、レーダー画像でエコーがある場所で衛星赤外画像による輝度温度が低い場合はエコーが本物とみなして、降水強度の上限値を大きくする。

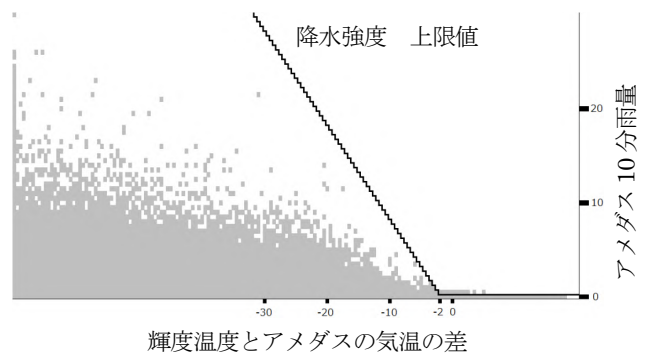
\*永田 和彦 (気象庁予報部予報課)

具体的には、気象衛星ひまわりの赤外 1 チャンネル（バンド 13、波長  $10\mu\text{m}$ ）の輝度温度と海面水温の差とアメダス 10 分雨量を比べて、アメダス 10 分雨量を上回るように降水強度上限値を設定する。即ち、赤外面像の輝度温度が低いときは、降水強度上限値を大きく（第 7.2.2 図の右図）、海面水温と等しいときは上限値をゼロに設定（同左図）する。この上限値でレーダーの降水強度を切り捨て処理することにより、雲に対応しない非降水エコーの強度を弱めることができる。

衛星で観測された赤外輝度温度と降水強度上限値の関係式を、2011 年 1 月から 2015 年 6 月までのアメダス 10 分雨量と、輝度温度とアメダスの気温の差の分布から導出した（第 7.2.3 図）。アメダス観測点を中心とした 24km 四方の領域内で最も低い輝度温度とアメダスの気温の差と、アメダス 10 分雨量の散布図を作成して、降水イベントが全て含まれるように降水強度上限値を設定した（第 7.2.3 図）。地形の起伏によりアメダス気温が周囲の地上気温を代表していない場合や、霧などの場合には、10 分雨量が最も小さい  $0.5\text{mm}$  の階級において降水強度上限値を超えることがある（全体の  $0.01\%$ ）が、10 分雨量が大きいときには降水強度上限値を超えないことがわかる。こうして得られた地上における関係式を用いて降水強度を弱める非降水エコーの除去処理を、顕著な非降水エコーの生じうる海上の格子点において適用する。また、この関係式にあてはめる海面水温は季節変動・年々変動することを考慮し、格子点毎に過去 20 日間に観測された赤外輝度温度の最大値を求め、その温度を海面水温の推定値とする。

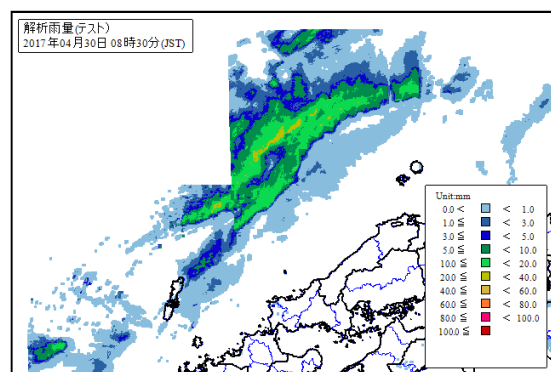
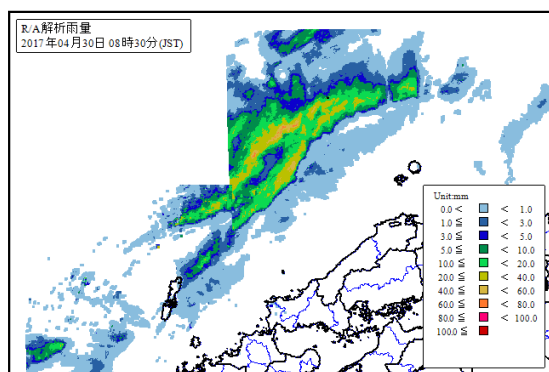
衛星赤外面像を用いた降水強度上限値として、高解像度降水ナウキャストと解析雨量で共通のものを利用する。解析雨量では、レーダーサイト毎に観測された降水強度を積算して 1 時間降水強度を作成するため、当該非降水エコー除去処理は、降水強度の積算の前に、5 分毎の降水強度観測値に対して行う。

第 7.2.4 図に衛星赤外面像による降水強度上限値を適用した解析雨量の例を示す。日本海西部に広がっていた強い非降水エコーにより、多いところで  $60\text{mm}$  程度の雨量が解析されていたが、上限値適用後は、最大  $30\text{mm}$  程度に抑制されたことがわかる。しかし、海面水温と輝度温度に差があったことから、完全に消去することは難しい。



第 7.2.3 図 降水強度上限値の求め方

2011 年 1 月～2015 年 6 月の全ての降水事例を、灰色の点として示した。



第 7.2.4 図 降水強度上限値を適用した解析雨量の例（2017 年 4 月 30 日 08 時 30 分（JST））

左図は改良前、右図は改良後。図中の雨量は全て非降水エコーによるもの。

## 7. 2. 2 降水短時間予報の改善\*

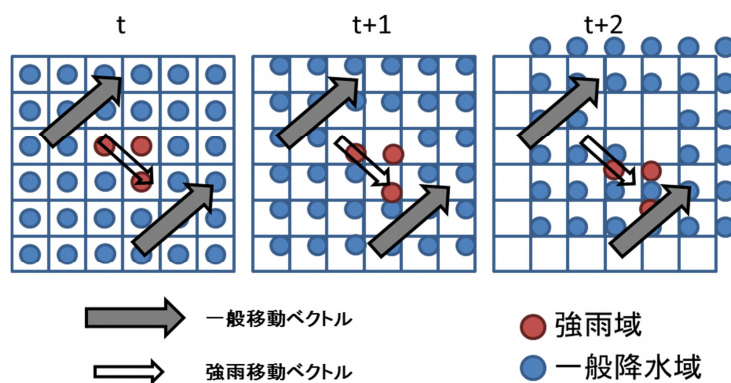
降水短時間予報は、実況補外型予測による降水量予測値（EX6：実況補外）と、数値予報モデルの MSM 及び LFM の降水量予測値を合成したもの（BLD：ブレンド）を、更に合成（MRG：マージ）して予報を作成している。ここでは平成 28 年度予報技術研修テキスト以降に実施した降水短時間予報の改善について、7.2.2.1 では実況補外型予測 EX6 内での予測の改善について、7.2.2.2 では EX6 予測値と BLD 予測値を合成する MRG 処理での改善について簡単に解説する。なお、ここで述べる内容は、正規版／速報版降水短時間予報いずれにも共通の改善項目である。

### 7. 2. 2. 1 強雨予測及び降水域の移動手法の改善（2017 年 6 月 26 日）

#### (1) 強雨域の予測改善

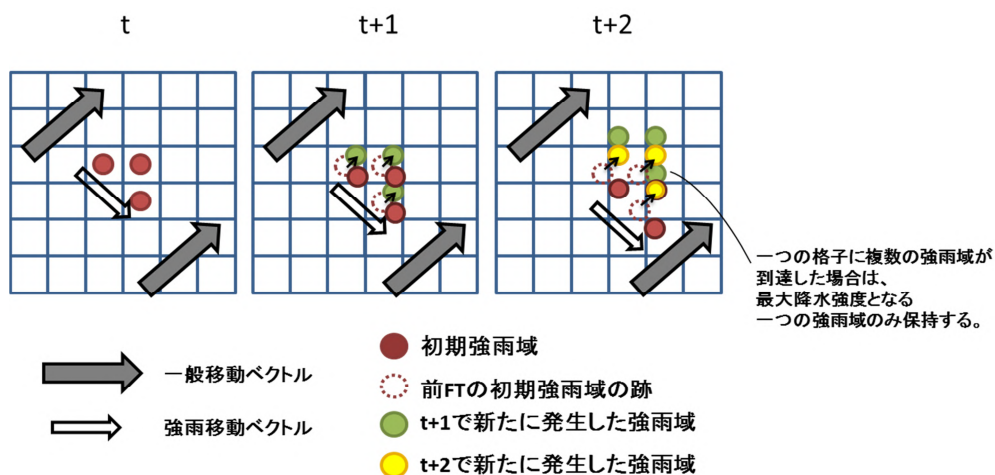
実況補外型予測 EX6 では降水域の予測を、強雨域（10mm/h 以上：強雨ベクトル 1、30mm/h 以上：強雨ベクトル 2）と一般降水域（一般移動ベクトル）とで別々の移動ベクトルを算出して行っている。

第 7.2.5 図に典型的な強雨域と一般降水域での降水予測の模式図を示した。実況補外型予測 EX6 の予測は強雨域と一般降水域を移動ベクトルによって移動させ、各格子点での積算値を予測するというものである。強雨が存在する事例では、強雨が新たに発生したり消滅したりすることにより、強雨移動ベクトルと一般移動ベクトルは通常は一致しない。それにより時間経過とともに両者のずれが目立ってくることになる。通常、



強雨移動ベクトルの絶対値は小さいので初期値（降水強度）があまり移動せず、結果として強い降水積算値を予測する。一方、一般移動ベクトルは絶対値が大きいため 1 格子の滞在時間が短くなるので積算値も小さくなる。このことは原理どおりでよいのだが、両者の移動方向や速さに大きな違いがある場合、結果的に予測降水域の分断

第 7.2.5 図 実況補外型予測 EX6 における強雨域と一般降水域の動きの違い  
大きな矢印は一般移動ベクトル、中程度の矢印は強雨移動ベクトルを表す。



第 7.2.6 図 強雨かつ動きの遅い降水域に対する強雨の分布変化のモデル化

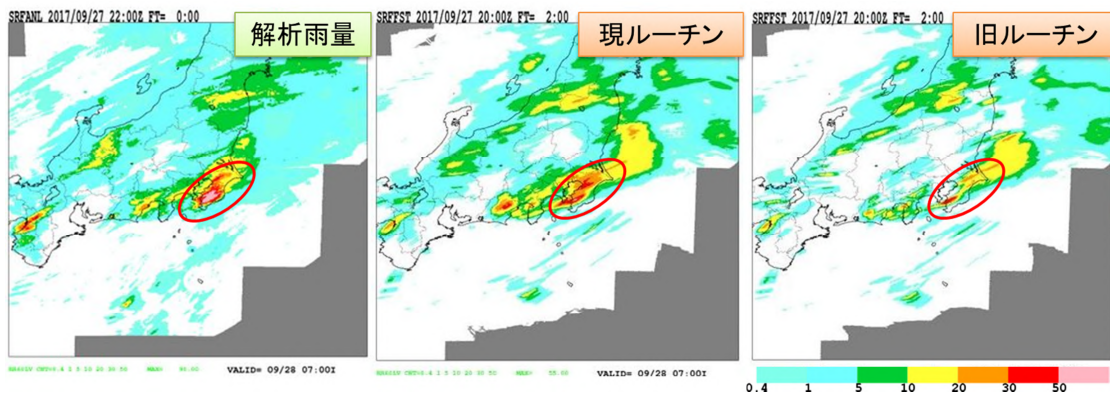
\*辻村 豊（気象庁予報部予報課）

や無降水域を出現させることがある。

そこで、周辺の弱い降水域の移動を考慮した強雨分布変化モデルを導入することとした。これを簡潔に述べれば、「一般降水域中にある強雨かつ動きの遅い降水域」に対して、強雨ベクトルと一般移動ベクトルの差で生じる空白域を埋めるように新たな強雨域を発生させるというものである。

第 7.2.6 図にその概念図を示した。「強雨かつ動きの遅い降水域」<sup>2</sup>を強雨ベクトルで移動させ（左）、前時刻に強雨のあった場所で新たに強雨域を発生させて一般移動ベクトルで移動させる（中央）。更に次の時刻で再び前時刻に強雨のあった場所で新たに強雨域を発生させて移動させることを繰り返す（右）。もちろん、いつまでも強雨を発生させ続ければ降水予測を過大にし、予測精度も改悪するのは明らかなので、「発生した降水域は時間経過とともに 5km 平均降水強度に漸近させる（＝発生させた強雨域を周囲の一般降水域に馴染ませる）」ようにしている。また、第 7.2.6 図の図中にも書いたように「複数の強雨域が同一の格子に到達した場合には最大強度のもの一つだけを残す」ようにしている。後者の条件により、強雨ベクトルと一般ベクトルの差違が大きくないような場合には強雨域を発生させたとしても重なりが多くなるだけなので、あまり過大にならないことが期待できる。

強雨予測の改善の顕著な例として 2017 年 9 月 28 日 07 時 00 分 (JST) の例を示す。第 7.2.7 図の解析雨量(左)で、房総半島付近にはおよそ 70mm 前後の降水域が広がっているが、その 2 時間前の 2017 年 9 月 28 日 05 時 00 分 (JST) 初期値の実況補外型予測 EX6 の 2 時間先予測値 (FT2)<sup>3</sup> の現ルーチン(中央)と旧ルーチン(右) を比較すると、旧ルーチンでは強雨域が狭くて周辺に無降水域がみられるのに対し、現ルーチンでは強雨域が房総半島に広がり実況に近い。すなわち、今回導入したメカニズムがうまく機能しているのがわかる。なお、第 7.2.7 図の新旧ルーチン比較では、岐阜県や神奈川県、福島県などに、現ルーチンでの山越え評価(詳しくは蟻坂(2017)を参照)の再調整結果による違いがみられる。



第 7.2.7 図 強雨かつ動きの遅い降水域に対する強雨予測の改善例

2017 年 9 月 28 日 07 時 00 分 (JST) の解析雨量(左)、05 時 00 分 (JST) 初期値による実況補外型予測 EX6 の 2 時間先予測値 FT2 の現ルーチン(中央)、旧ルーチン(右) : 赤丸領域での強雨予測の改善が顕著。

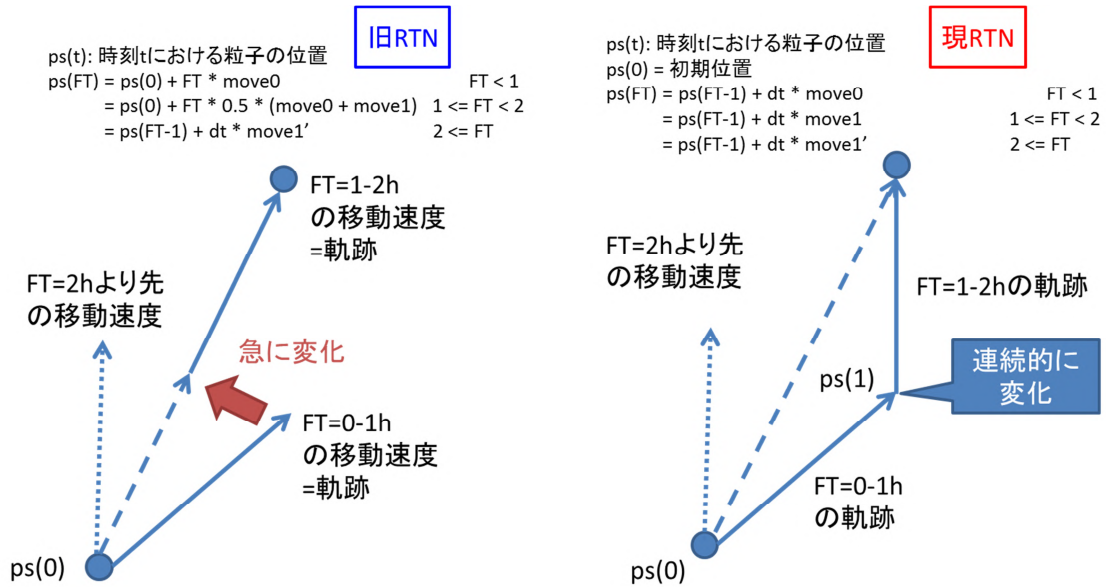
## (2) 降水域の移動手法の改善

従来の実況補外型予測 EX6 では、移動ベクトルが大きく変化する場において、降水域が不自然な移動をする事例があったが、これを滑らかに移動するよう改良した。

<sup>2</sup>対象とする「強雨かつ動きの遅い降水域」は以下の条件を満たすものとしている：

$$| \text{一般移動速度} - \text{強雨移動速度} | \geq 1 \text{ [km/h]} \quad \text{かつ} \quad \text{降水強度} / \max(1, |\text{強雨移動速度}|) \geq 0.2 \text{ [mm/km]}$$

<sup>3</sup> FT2 のように書いた場合は 2 時間先の 1 時間積算値を表す。FT1~2h 等と書いた場合には予測時刻 FT の時間範囲  $1 \leq \text{FT} \leq 2$  を表す。

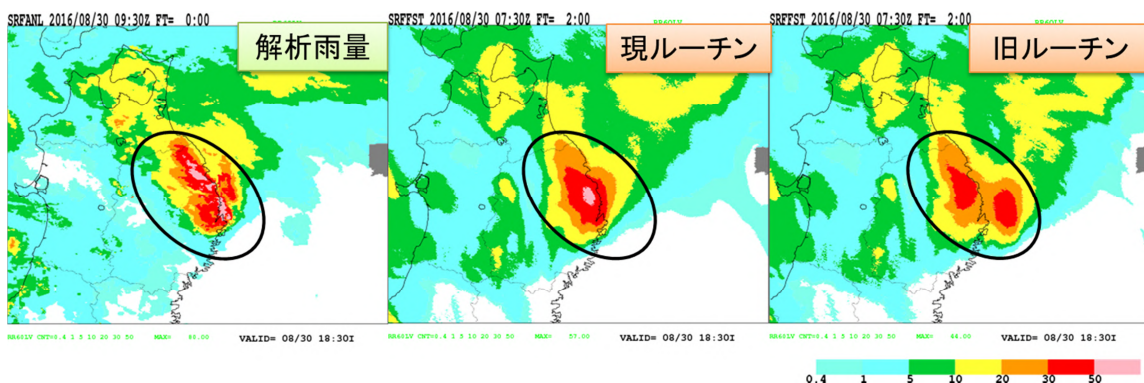


第 7.2.8 図 実況補外型予測 EX6 での移動ベクトルの利用方法の改善

図中の {前期ベクトル move0、中期ベクトル move1、move1' } 等の詳細については熊谷(2015)を参照。

具体的には第 7.2.8 図に示したように旧ルーチンでは  $FT=1\sim 2h$  の部分を「線形補外」予測の遷移期間と位置づけて、同じ初期位置  $ps(0)$  から移動させて予測するようにしていたが、現ルーチンでは  $FT=1\sim 2h$  の部分を  $FT=1h$  での移動先の位置  $ps(1)$  を起点として計算するように改めた。実はこのような移動先の位置から順次計算するやり方は 2006 年以來  $FT=2h$  以降で用いられていた方法<sup>4</sup>であるが、計算時間・精度等の制約もあって  $FT=2h$  までの計算では採用していなかった。今回様々なアルゴリズムを見直して計算処理の高速化を図り、滑らかな予測への改善・保守の容易さなどから、全ての予報時間  $FT=0\sim 6h$  で 1km 格子かつ初期時刻から移動ベクトルを追いながら各予報時刻の降水域の位置を決めていく形式に改めた。

第 7.2.9 図は、2016 年 8 月 30 日 16 時 30 分 (JST) 初期値の台風第 10 号の事例である。変更前の旧ルーチンでみえる三陸沖の海上の降水域は、旧ルーチンのアルゴリズムに則って  $ps(0)$  の初期位置から移動させた結果、陸地から離れた経路を通って海上に降水を予測した。一方、変更後の現ルーチンでは移動先の位置  $ps(1)$  を起点としたため陸地に近い経路を通り、別の降水域の予測値と重なった結果、実況に近い強い予測値となった。今回の移動手法の改善の効果がよくあらわれている事例である。



第 7.2.9 図 2016 年 8 月 30 日 16 時 30 分 (JST) 初期値の事例検証

左: 解析雨量 18 時 30 分 (JST)、中: 現ルーチン、右: 旧ルーチン。予測値はいずれも予報 2 時間目の  $FT2$  で、解析雨量は予報時刻に対応する時刻を示す。

<sup>4</sup> 高速化のために計算格子も「 $FT=2h$  以降で 2km 格子」に粗くして計算していた。

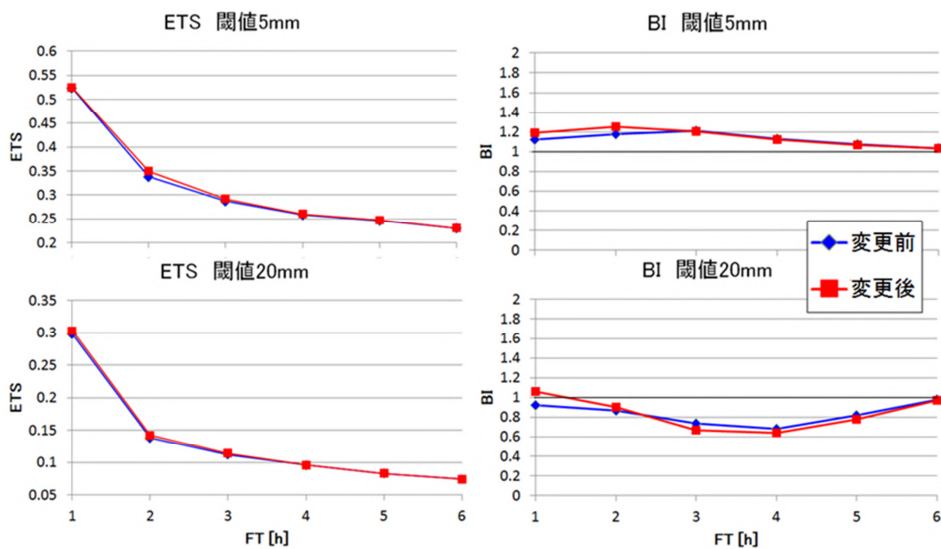
### (3) 統計検証結果

第 7.2.10 図に、統計検証結果として、7.2.2 項の改善を実施する前後の ETS<sup>5</sup>及び BI<sup>6</sup>を示す。検証では、真値に解析雨量を利用し、陸域を対象として 5km 格子平均で比較を行った。

第 7.2.10 図を見ると、5mm・20mm 閾値ともに、予報 2 時間目 FT2 までにおいて、ETS は若干改善していることがわかる。BI は若干増加し、改善前に比べて 5mm 以上の降水予測の頻度は過大、20mm 以上は適切となった。個々の事例（図略）を見ると、BI 増加に伴う空振り事例よりも、捕捉事例の増加の方が多く、予測精度の改善が確認できた。3 時間目 FT3 以降の予測について、5mm 以上の降水予測は ETS、ともにほぼ変わらない。20mm 以上について、BI は減少傾向であるものの、ETS は従来とほとんど変わらず予測精度は従来と同等である。

### (4) 業績指標：降水量比スコア

第 7.2.11 図に統計検証結果の一つとして降水量比スコア<sup>7</sup>を示した。2013～2017 年の 5 年計画の業績指標目標（第 7.2.12 図の赤線）は、閾値 20mm の降水量比スコア 5km 格子平均 FT3 の値で 0.52（2012 年は 0.47）であったので、7.2.2 項のルーチン変更に伴う +0.9 ポイント改善は業績指標の達成にとって重要であった。



第 7.2.10 図 解析雨量を真値とした 5km 格子平均値の陸域による統計検証

期間は 2016 年 1 月 1 日～31 日、2016 年 6 月 1 日～30 日、2016 年 8 月 16 日～31 日。

上段は閾値 5mm、下段は閾値 20mm。左列は ETS、右列は BI。

各グラフの横軸は予報時間[h]、青線が変更前の旧ルーチン、赤線が変更後の新ルーチン。

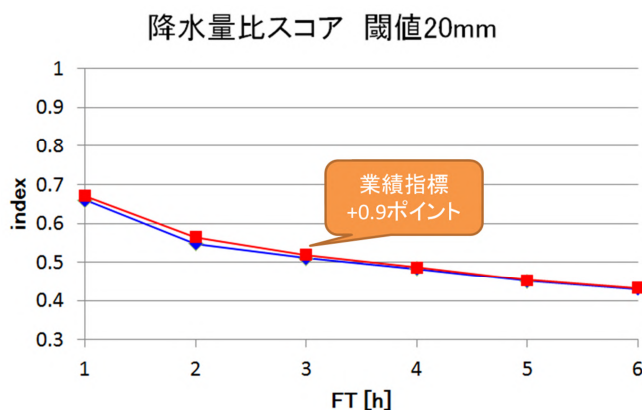
<sup>5</sup> ETS：エクイタブルスレットスコア。降水予測が適中した割合を示し、最大値の 1 に近くなるほど予測精度が高い。

<sup>6</sup> BI：バイアスコア。降水の予測頻度の指標を示し、1 のとき予測頻度が実況頻度と一致、1 より小さいとき予測頻度が実況頻度より過小、1 より大きいとき予測頻度が実況頻度より過大を意味する。ともに、詳しくは小林(2018)を参照。

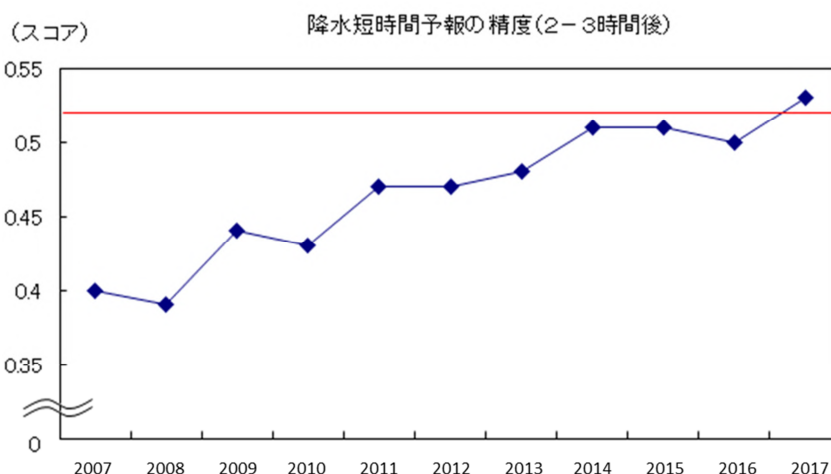
<sup>7</sup> 降水量比スコアは実況値と予測値の和が閾値以上の場合に大きい方で小さい方を割った値として以下のように定義される：  
例えば、<降水量比スコア 閾値 20mm> とは 解析雨量 + 当該時刻の降短  $\geq 20\text{mm}$  の時

$$\text{降水量比スコア} \equiv \frac{\text{解析雨量と降短の降水量が小さい方}}{\text{解析雨量と降短の降水量が大きい方}}$$

降水量比スコア=0.5 のシステムならば、予測値は実況値の概ね半分～2 倍の範囲内と期待される。降水量比スコアは降水短時間予報の業績目標として 2005 年以来用いられており、システム開発の目標の一つとなっている。



**第 7.2.11 図 解析雨量を真値とした 5km 格子平均値の陸域による統計検証 (降水量比スコア、閾値 20mm)**  
 期間は 2016 年 1 月 1 日～31 日、2016 年 6 月 1 日～30 日、2016 年 8 月 16 日～31 日。  
 青線が変更前の旧ルーチン、赤線が変更後の新ルーチン。FT3 の値が業績指標で、0.01 を 1 ポイントとする。この場合、0.510 ⇒ 0.519 に改善したので+0.9 ポイント。



**第 7.2.12 図 業績指標の推移**：降水量比スコア 5km 格子平均での FT3 の値 (閾値 20mm)  
 赤線は 2017 年の目標値 (0.52)。

なお、7.2.2.2 のマージ処理の改善 (2016 年 11 月) とこの強雨予測等の改善 (2017 年 6 月) を施した結果、2017 年の業績指標は 0.53 となり、5 年計画の目標をクリアすることができた。

筆者(辻村)が以前に降水短時間予報を担当していた 2007 年当時に比べて現在の降水短時間予報は格段に精度が向上しているのが見て取れる。一方でスコアの改善幅が徐々に小さくなってきており、更なる改善が難しくなっていることもわかる。危険度分布も含め防災気象情報に対する精度向上の要望は益々強くなっているため、2018～2022 年の業績指標の目標 (2022 年で 0.55) に向けて更に努力する必要がある。

### 7.2.2.2 マージ処理の改善 (2016 年 11 月 29 日)

近年の数値予報モデルの精度向上に伴い、数値予報モデルの BLD 予測値を従来よりも大きな比率で合成できるように変更した。これにより、降水短時間予報の主に予報 2～3 時間目の予測精度が向上した。

#### (1) マージ処理とは

降水短時間予報は、過去から現在までの降水域の動きを追跡して予測する実況補外型予測 EX6 と、物理法則に基づいて予測する数値予報モデルの MSM と LFM をその時々々の予測精度に応じて重み付き平均した降水量予測値 BLD とを合成(マージ処理)したプロダクトである。

第 7.2.13 図に ETS を示した。EX6 は、予報 1 時間目の予測精度は非常に高いものの、予報時間が進むに



つれて急速に精度が低下する。一方、BLD は、予報 1 時間目の予測精度は EX6 に比べて低いものの、予報時間が進んでも精度がわずかに低下しない。予報時間の初めは EX6 の利用率を大きくし、予報時間が進むにつれて徐々に BLD の利用率を大きくすれば、両者の強みを最大限引き出せると考えられる。ただ、BLD の予測精度は事例による変動が大きいいため、両者の合成比率も事例毎に EX6 と BLD の予測精度を比較しつつ調整することになっている。即ち、予報 2 時間目以降は、初期時刻における BLD の予測精度が高いときほど BLD の利用率を大きくしている。

### (2) 変更の概要

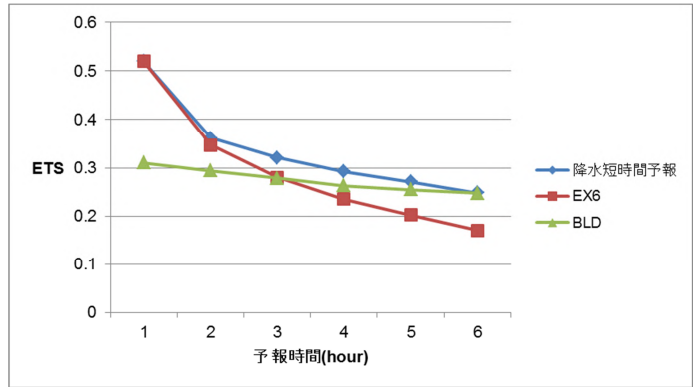
近年の数値予報モデルの精度向上により、主に低気圧や台風に伴う広範囲の降水において、予報 2 時間目でも BLD が EX6 の予測精度を上回る場合がみられるようになった。そこで、3 時間前の初期時刻において EX6 よりも BLD の予測精度（解析雨量との類似度）<sup>8</sup>がよい場合には、早い予報時間帯の BLD の利用率を従来よりも大きくするよう変更した。逆に、BLD よりも EX6 の精度がよい場合は、従来と同じく EX6 の利用率を大きくして合成を行っている。

具体的な EX6 の重みを第 7.2.14 図に示した。EX6 と BLD の精度が同等であれば BLD 信頼度=0.5 となり、第 7.2.14 図の点線の割合で EX6 と BLD をマージする。相対的に BLD の精度が高い（=EX6 の精度が低い）場合は、BLD 信頼度は 0.5~1.0 となり、予報時間の早い段階から BLD の利用率が大きく（EX6 の利用率は小さく）なる。ただし、予報 1 時間目までは、BLD 信頼度にかかわらず全て EX6 が使われる。比率は予報時間 10 分毎に決められており、その比率で EX6 と BLD を加重平均した 10 分間降水量を積算して、最終的な降水短時間予報（1 時間降水量予測値）を作成している。

### (3) 変更の効果

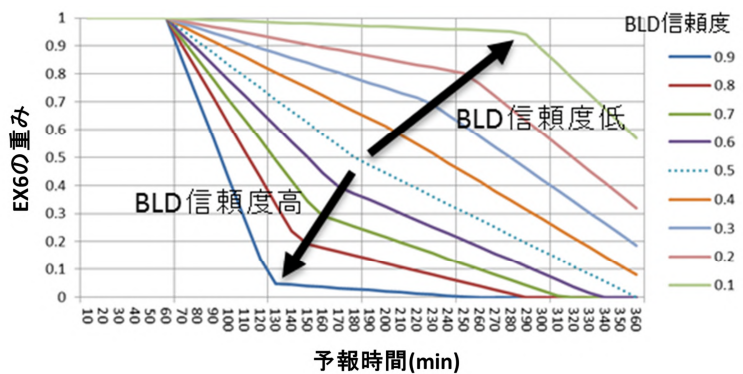
今回の変更前後の降水短時間予報の精度を比較するため、ETS 及び BI の変化を第 7.2.15 図に示した。

第 7.2.15 図を見ると、5mm 以上の雨に対しては、変更後(赤)は変更前(青)に比べて主に予報 3 時間目で ETS は向上し BI も 1 に近付いていることから改善となっていることがわかる。20mm 以上の強い雨に対しては、予報 3 時間目以降で予測頻度が実況頻度より過少となる傾向が強まるものの ETS は向上していることから、降水予測の適中という観点では主に予報 2~3 時間目に変更前より変更後がよい結果になっていること



第 7.2.13 図 降水短時間予報と EX6、BLD の精度比較

グラフは、2014 年 5 月の閾値を 5mm とする 5km メッシュ平均降水量の ETS。全ての予報時間において、降水短時間予報の精度が最もよい結果になっている。



第 7.2.14 図 実況補外型予報(EX6)の重み

BLD 信頼度によって設定線が引かれる。BLD 信頼度は

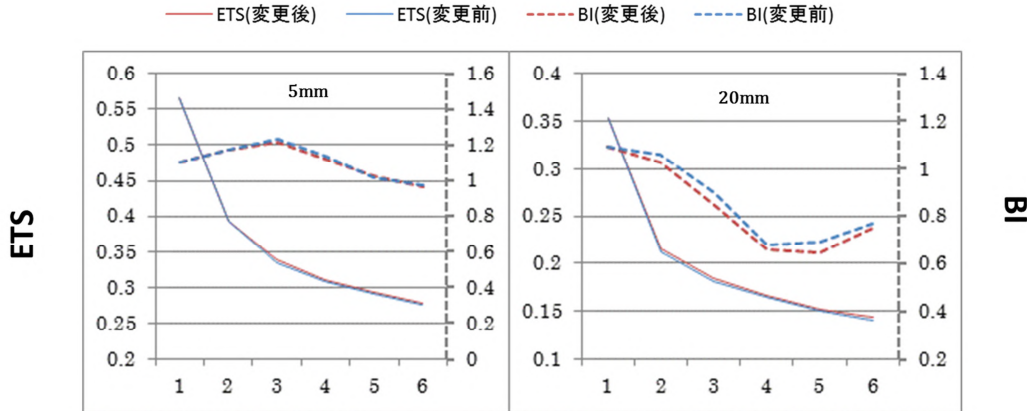
$$\text{BLD 信頼度} = \text{Score (BLD)} / \{\text{Score (BLD)} + \text{Score (EX6)}\}$$

と定義される。

<sup>8</sup> (位置誤差×量誤差) をスコア化している。スコアは、閾値 (10mm, 20mm) をより重視。詳しくは熊谷 (2014) を参照。

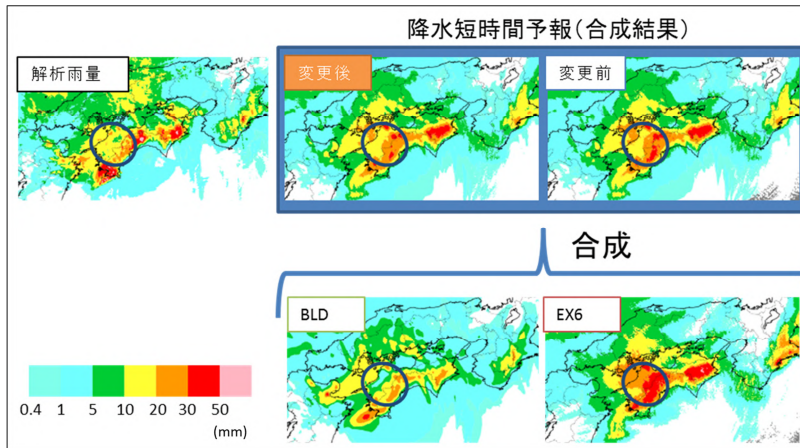
がわかる。

第 7.2.16 図に、今回の変更による降水短時間予報の改善例として、2014 年 10 月 13 日 10 時 00 分 (JST) 初期値の予報 3 時間目を対象とした事例(台風第 19 号接近時)を示した。EX6 は実際の降水よりも強い予想をしている部分があり(青丸部分)、一方で、BLD は降水量が十分でない部分もあるものの、降水パターンとしての確かな予想をしている。このように、今回の変更によって BLD の重みを大きくすることにより、変更前よりも第 7.2.16 図の青丸部分の過大値を抑えて予測を改善している。



第 7.2.15 図 降水短時間予報の ETS と BI

陸上付近の 5km メッシュ平均降水量を対象とした期間集計スコア (期間は 2014~2016 年の出水期での 38 日間) 各グラフ上部の数値 mm はスコアの閾値。各グラフの横軸は予報時間(1~6h)を表し、グラフの実線(青: 変更前、赤: 変更後)は ETS(左軸)、点線(青: 変更前、赤: 変更後)は BI(右軸)を示す。



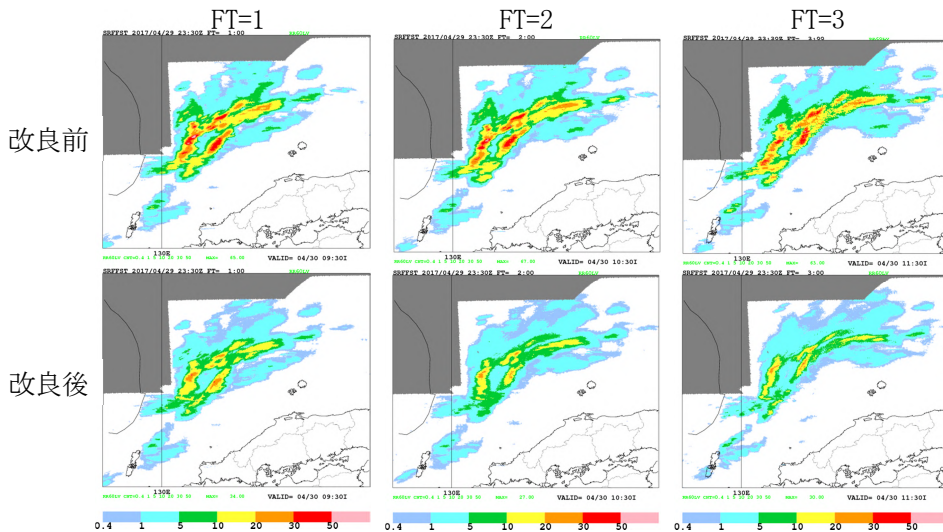
第 7.2.16 図 2014 年 10 月 13 日 10 時 00 分 (JST) 初期値の降水短時間予報(予報 3 時間目)

上左図: 解析雨量(実際の降水分布)。下中図: BLD、下右図: EX6。

BLD と EX6 の合成結果が降水短時間予報(合成結果)となり、上中図は変更後で、上右図が変更前。

### 7. 2. 2. 3 降水強度上限値の利用 (2018 年 5 月 23 日)

解析雨量と同様に、降水短時間予報(正規版/速報版とも)の初期値にも、7.2.1 項で説明した衛星赤外面像による降水強度上限値を適用した。即ち、海上のエコーにおいて降水強度が上限値を超えた場合には、上限値で頭切りする。第 7.2.17 図に、衛星赤外面像による降水強度上限値を適用した降水短時間予報の例を示す。改良前は日本海の広い範囲で非降水エコーが広がっており、降水短時間予報でも多いところで 60mm 程度の雨量が予想された。しかし、降水強度上限値を適用すると、多いところでも 30mm 程度になった。



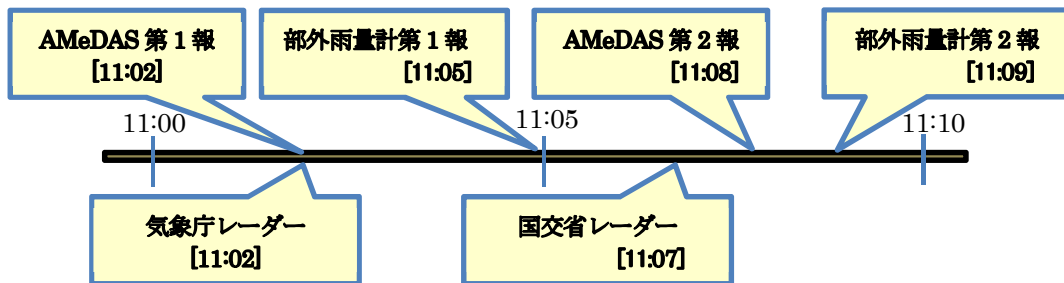
第 7.2.17 図 降水強度上限値を適用した降水短時間予報（2017 年 4 月 30 日 08 時 30 分（JST）初期値）  
 図中の雨量は全て非降水エコーによるもの。

### 7. 3 速報版解析雨量と速報版降水短時間予報の改善

#### 7. 3. 1 速報版解析雨量\*

##### 7. 3. 1. 1 速報版解析雨量の処理

現在、正規版解析雨量の計算開始時刻は観測時刻から 9 分後、計算が終了して各気象台に送られるのが観測時刻から 15 分後程度である。解析雨量の下流プロダクトである、土壌雨量指数などが各気象台に送られる時刻はさらに遅くなり、観測の約 20 分後になる。20 分のうち概ね半分は、雨量計データとレーダーデータの入電待ちに費やされる。



第 7.3.1 図 観測データの入電時刻（11 時の例）

解析雨量の計算で用いるデータのうち、気象庁レーダーと AMeDAS 第 1 報の入電時刻が観測時刻から約 2 分後である。部外雨量計第 1 報の入電時刻は観測時刻から約 5 分後だが、第 1 報に間に合う部外雨量計の数は少ない。一方、国交省レーダーは観測時刻から約 7 分後、部外雨量計第 2 報は観測時刻から約 9 分後であり（第 7.3.1 図）、観測時刻の約 5 分後に提供する速報版解析雨量の計算は、国交省レーダーと部外雨量計第 2 報を待たずに始めている。そこで、利用可能なデータで可能な限り正規版解析雨量と同等な精度を確保するよう、処理にいくつかの工夫を行っている。正規版解析雨量と速報版解析雨量の主な違いは以下のとおりである。

#### (1) 気象庁レーダー及び国交省レーダーの積算値

前述のとおり、気象庁レーダーは観測時刻 2 分後に全時刻の観測データを入手できるが、国交省レーダーの最後の時刻の観測値が入手できるのは観測時刻 7 分後になる。観測時刻の約 5 分後に提供する速報版解

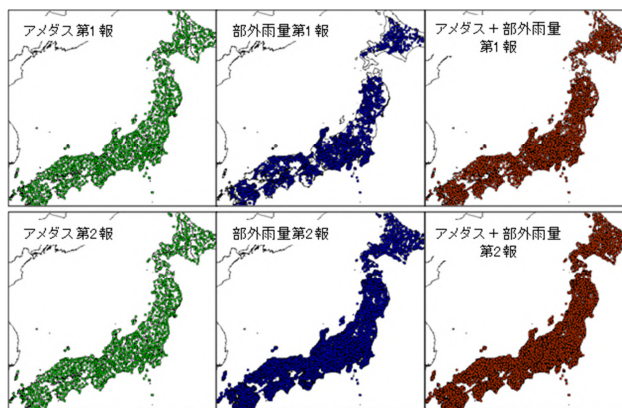
\*永田 和彦（気象庁予報部予報課）

析雨量では、全ての観測時刻のデータの入電を待って降水強度の1時間積算値を作成することができないため、初めの50分間と最後の10分間に分けて、それぞれ解析雨量を計算する。初めの50分間については、観測データがそろっているので正規版解析雨量と同様なアルゴリズムで降水強度の50分積算値を計算する。一方、最後の10分間については、気象庁レーダーは、解析雨量と同様な方法で降水強度の10分間積算値を作成する一方、国交省レーダーについては、最後の時刻のデータがないため、最後の時刻から5分前のエコーを降水ナウキャストの移動ベクトルを用いて移動させたものを、仮のデータとして用いて、降水強度の10分間積算値を作成する。

## (2) 雨量換算係数

雨量換算係数は、雨量計観測値を使って降水強度の1時間積算値の分布を実際の1時間降水量に相当する分布に補正するための係数である。雨量換算係数の精度は雨量計の数に依存するため、できるだけ多くの雨量計を使い作成することが望ましい。雨量計は、アメダスが全国約1300箇所、部外雨量計が約9000箇所設置されており、第7.3.1図で示すタイミングで配信される。正規版解析雨量は、アメダス、部外雨量計とも、ほぼ全ての観測データが出揃う第2報を待って雨量換算係数を作成する。第7.3.2図は2011年6月17日15時のアメダスと部外雨量計第1報、第2報の入電状況の違いを示す。第2報は、第1報の配信時刻までに集信できなかった雨量計と第1報で報じられた雨量計をあわせて配信される。アメダスでは第1報と第2報にほとんど違いがないが、部外雨量計では違いがはっきりわかる。

観測データがそろっていない最後の10分間については、解析雨量と同様な方法で計算した10分前の時刻の降水強度の1時間積算値と1時間降水量を使って雨量換算係数を計算し、それを降水強度の10分間積算値にかけることで10分間解析雨量を作成する。すなわち、10分前の時刻における前1時間の全データを利用して雨量換算係数を計算し、それを直近10分間のレーダー積算降水強度に適用する。この10分

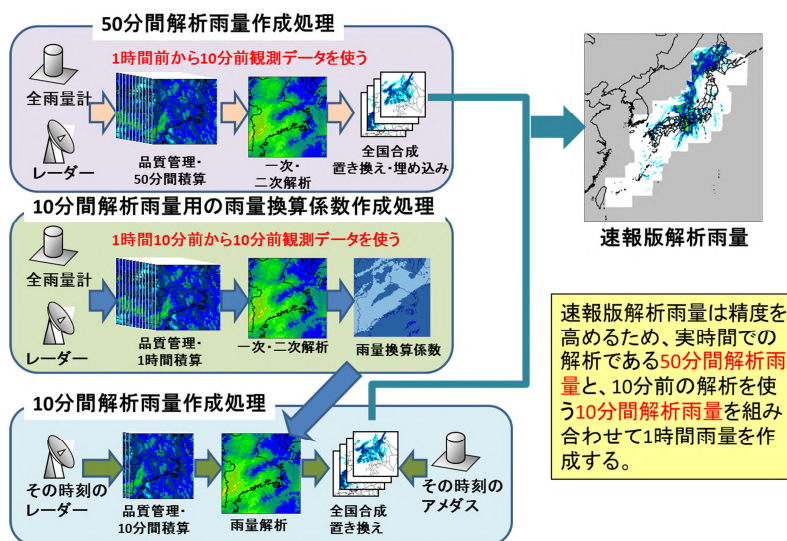


第7.3.2図 部外雨量計第1報と第2報に含まれる雨量計の配置

間ずらした雨量換算係数適用の考え方は、全国合成レーダーエコー強度における処理と同様であるが、全国合成レーダーエコー強度では、雨量換算係数を観測時刻のレーダーエコー強度（瞬間値）に適用する点異なる。

## (3) 置き換え・埋め込み処理

解析雨量では、最終処理として雨量計観測値での置き換え・埋め込み処理を行っている。「置き換え」は解析値より雨量計の降水量が大きい



第7.3.3図 速報版解析雨量の作成方法概要

ときに、当該メッシュを雨量計の値に置き換える処理である。「埋め込み」は、レーダーで観測できない低層のみに存在する雨雲による弱い降水を表現するために、雨量計の値を使った雨量分布を埋め込む処理である。速報版解析雨量では、アメダス第1報と部外雨量計第1報のみ置き換え・埋め込み処理に利用する。速報版解析雨量作成の流れを第7.3.3図にまとめたので、参考にしていただきたい。

### 7.3.1.2 速報版解析雨量の歴史

ここでは、速報版解析雨量の改良について歴史的経緯をまとめる。

#### (1) 高頻度速報版解析雨量 (2012年5月29日試験運用開始、2016年9月28日運用終了)

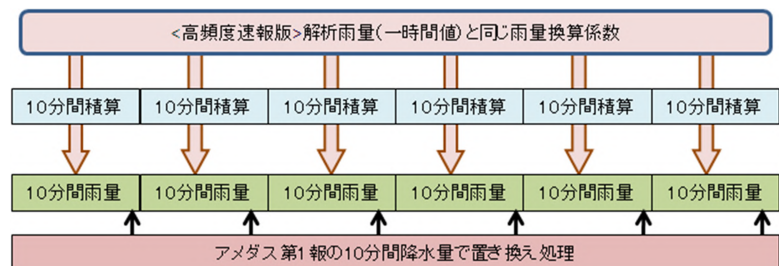
高頻度速報版解析雨量は、いち早く解析雨量に準ずるデータを提供するために2012年度に開発された。大まかな作成手法は以下のとおりである。

- ・10分前までのレーダー1時間積算降水強度と雨量計の1時間雨量を使い雨量換算係数を作成する。
- ・当該時刻のレーダー1時間積算強度を作成し、これに7.3.1.1(2)の雨量換算係数を乗じ、全国合成を行う。
- ・全国合成した解析結果より大きいアメダス雨量が存在する格子について置き換え処理を行う。

これらの処理により高頻度速報版解析雨量は解析時刻から約5分後に配信することが可能となった。しかし、高頻度速報版解析雨量は10分前の解析結果を基にしているため、急速に発達や衰弱等の変化をする場合や、降水減衰によりレーダーエコーが弱まっている場合などに雨量換算係数の誤差が大きくなる場合がある点に注意が必要であった。

#### (2) 10分間解析雨量

10分間解析雨量は高頻度速報版解析雨量のデータを利用して作成する。まず、レーダー10分間積算降水強度を算出し、それぞれに高頻度速報版解析雨量で作成した雨量換算係数を掛ける。最後に、アメダス第1報の10分間降水量による置き換え処理を行う。1つのファイルの中に6時刻分の10分間解析雨量が含まれている(第7.3.4図)。



第7.3.4図 10分間解析雨量の概要

#### (3) 旧速報版解析雨量

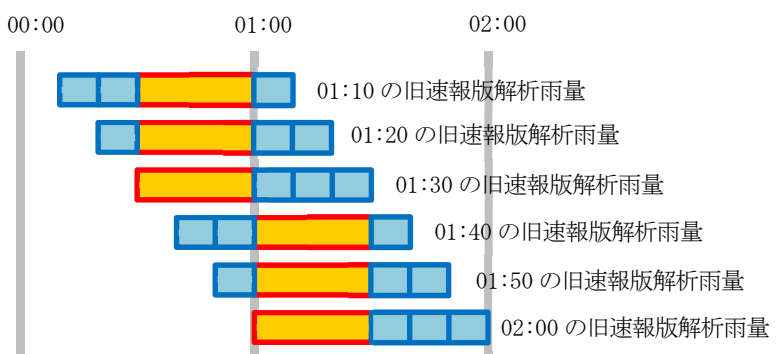
(2016年9月28日運用開始、  
2017年7月4日運用終了)

旧速報版解析雨量は、解析雨量の計算の際に作成される30分解析雨量(同時刻の30分間積算降水強度と30分間雨量から作成される)と

(2)と同様の方法で作成した10分間解析雨量を使用して作成する。

第7.3.5図に示すように、利用可能な最新の30分解析雨量を利用し、残りの30分は10分解析雨量を積算して1時間降水量を作成する。

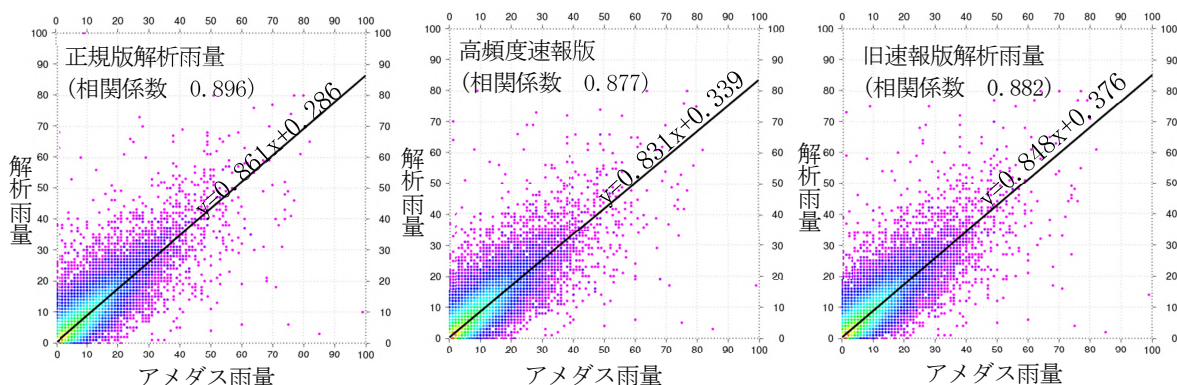
旧速報版解析雨量は、1時間積算のうち半分が通常の解析雨量と同様に利用可能な全ての観測データを用



第7.3.5図 旧速報版解析雨量の概要(0時~2時の例)

黄色い四角は30分解析雨量、青い四角は10分間解析雨量を示す。

い、同時刻の雨量換算係数を使っているため、(1)の高頻度速報版解析雨量と比べ、精度向上が期待できる。実際、複数のアメダス地点を除外して解析し、除外したアメダス地点(独立資料)で精度を検証すると、高頻度速報版解析雨量より精度は高くなっている(第7.3.6図)。しかし、残り半分は高頻度速報版と同様に前の時刻の雨量換算係数を使っていたり、置き換え処理がアメダスのみとなっているため、高頻度速報版解析雨量と同様の注意が必要であった。



**第7.3.6図 旧速報版解析雨量の精度**

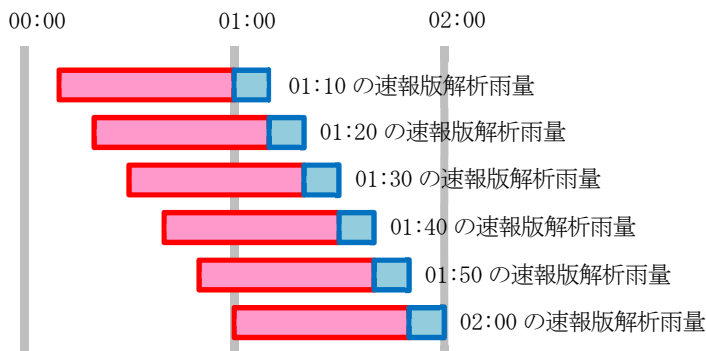
2014年1月～12月の期間について、アメダス200地点を除外して毎正時のみを解析し、除外したアメダス地点で検証した結果。y切片は若干高いが、傾き、相関係数ともに正規版と高頻度速報版の間の精度を示している。

#### (4) 速報版解析雨量 (2017年7月4日部外提供開始)

解析雨量と同様に利用可能な全ての観測データと同時刻の雨量換算係数を用いて作成する10分前の時刻までの50分間解析雨量と、(2)で述べたのと同じ方法で作成した観測時刻の前10分間解析雨量を足し合わせて前1時間解析雨量とする(第7.3.7図)。

現在の速報版解析雨量はこの方法で作成されている(詳しくは、7.3.1.1で説明済み)。前10分間解析雨量は、

解析時刻の降水強度の10分間積算値に10分前までの降水強度の1時間積算値と1時間雨量から算出した雨量換算係数をかけて作成するので、急速な発達や衰弱などエコーの変化が大きい場合には誤差が大きくなることがある。実際に、10分間解析雨量に過大値があらわれることがあったため、その上限値を55mm/10min(アメダス10分間降水量の歴代最大値50mmに10%上乗せした値)とし、この上限値で10分間解析雨量を頭切りしている。



**第7.3.7図 速報版解析雨量の概要(00時～02時の例)**

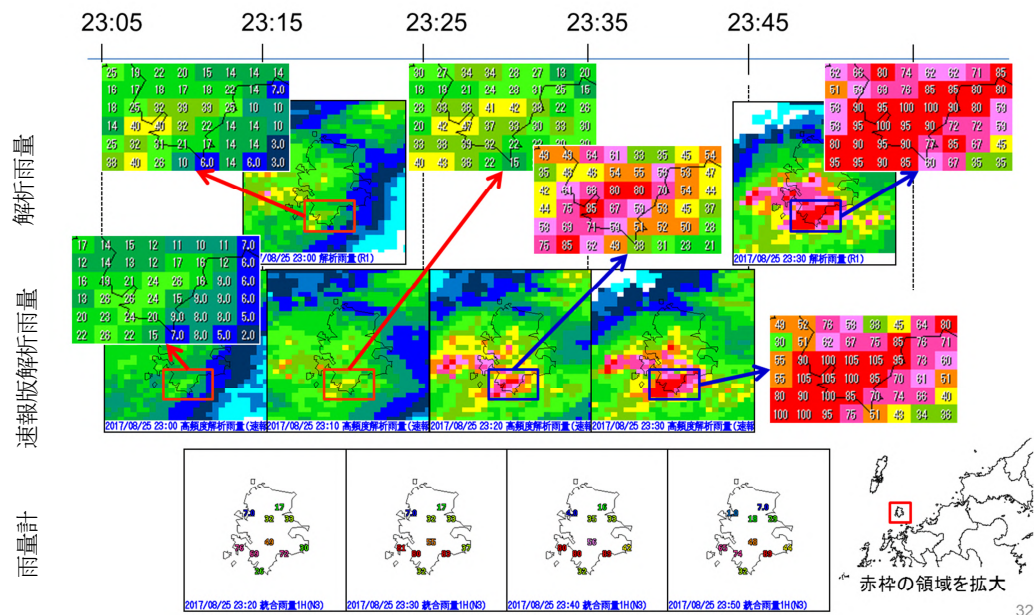
赤い四角は50分解析雨量、青い四角は10分間解析雨量を示す。

#### 7.3.1.3 事例

第7.3.8図は2017年8月25日23時00分から23時40分までの長崎県壱岐地方での降水を速報版解析雨量と正規版解析雨量それぞれの発表時系列(JST)に沿って比較したものである。各解析雨量の図の左端が発表時間に対応する。壱岐南西部では23時10分頃までの積算値が40mm程度だったのに、図下の1時間雨量が示すように23時20分頃には70mm超、23時30分頃には80mm超となっている。正規版解析雨量で100mm以上を示す23時30分の解析値が入手できるのは23時45分頃であるのに対して、速報版解析雨量では80mm超を示す23時20分の解析値は23時25分頃に、100mm以上を示す23時30分の解析値は23時35

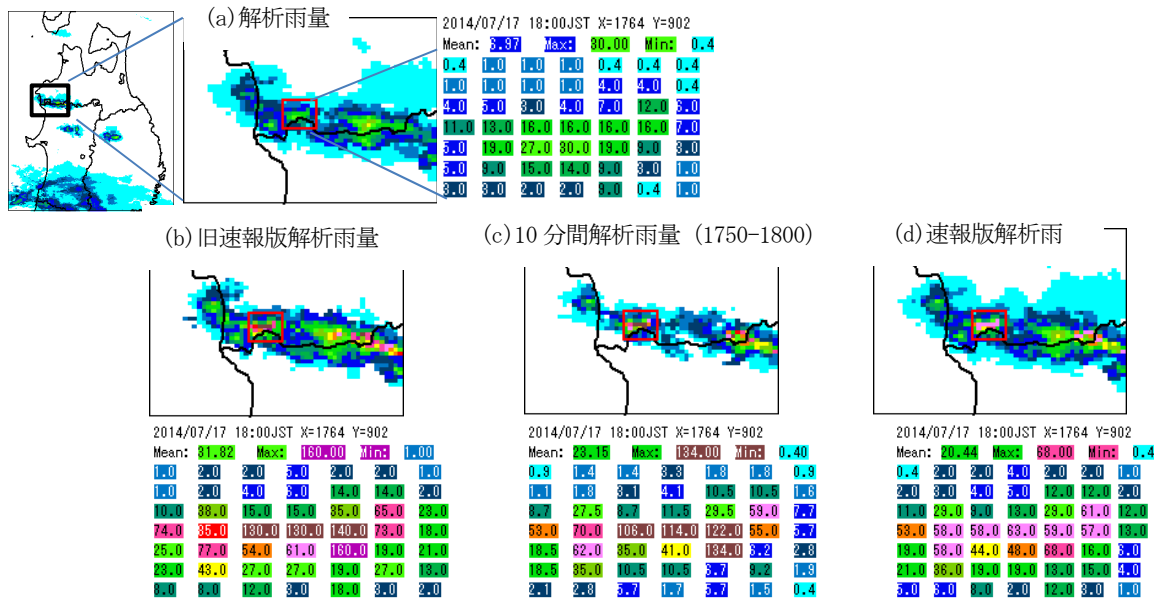
分頃に入手できる。速報版解析雨量は、利用可能データに制限があるため、正規版解析雨量に比べて若干の精度低下は避けられない（7.3.1.4 参照）が、高頻度化・速報化によるメリットは大きいといえる。

第 7.3.9 図に、10 分間解析雨量に上限値を導入した効果を示す。2014 年 7 月 17 日 18 時の正規版解析雨量(a)、旧速報版解析雨量 (b)、上限値で頭切りする前の 10 分間解析雨量(c)、上限値導入後の速報版解析雨量 (d)である。赤い四角で囲んだ範囲内の雨量の最大値は、正規版解析雨量では 30mm であるが、旧速報版解析雨量では 160mm と大きな差があった。この過大値の原因は、10 分間解析雨量が 134mm と過大だったことである。10 分間解析雨量に上限値を導入した速報版解析雨量では、最大値が 68mm となり、過大値が抑えられていることがわかる。



第 7.3.8 図 速報版解析雨量導入の効果 (2017 年 8 月 25 日 23 時 05 分-23 時 50 分)

上段が解析雨量、中段が速報版解析雨量、下段が雨量計による雨量。



第 7.3.9 図 10 分間解析雨量上限値導入の効果 (2014 年 7 月 17 日 18 時 00 分)

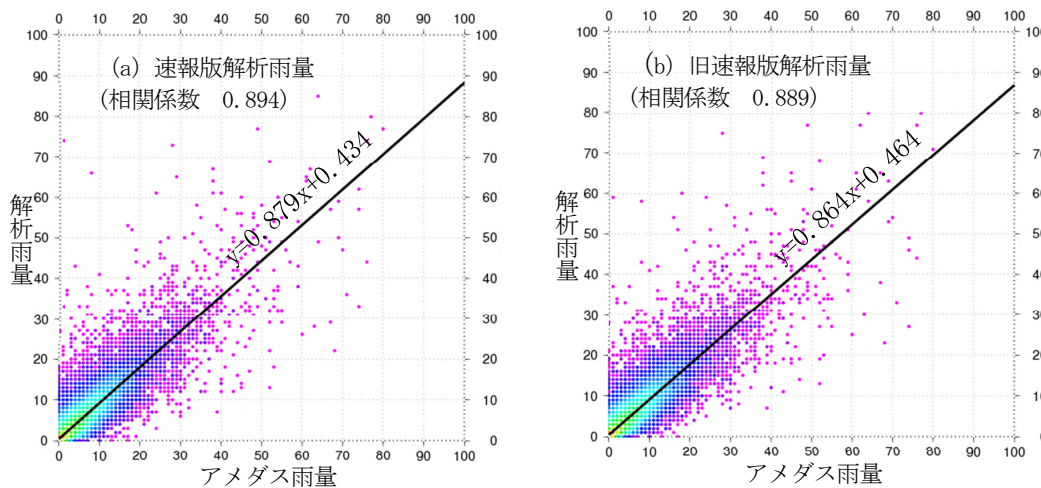
図(a)は解析雨量、図(b)は旧速報版解析雨量、図(c)は上限値をかけない 10 分間解析雨量、図(d)は速報版解析雨量を示す。各図の赤い四角の部分拡大した箇所の降水量を各図の右側または下側に示す。

### 7.3.1.4 精度評価

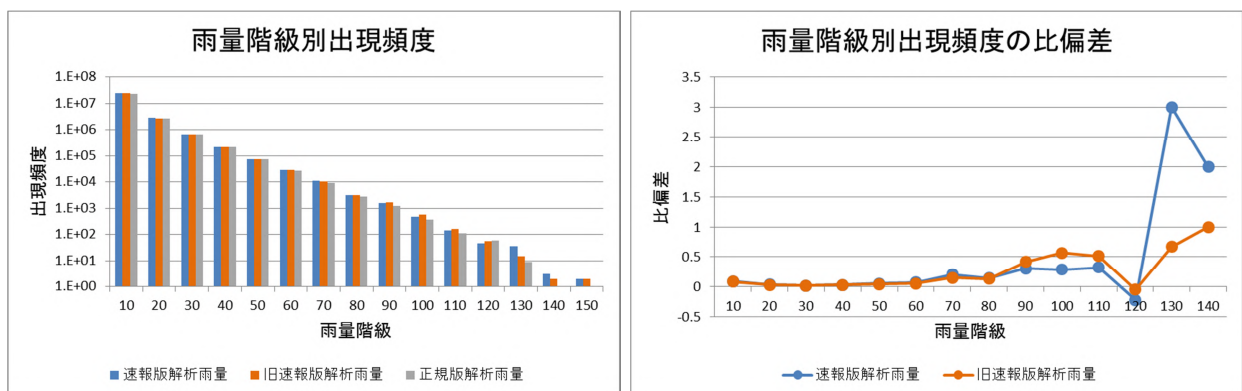
速報版解析雨量と旧速報版解析雨量について、2014年5月1日から10月31日までの間、アメダス地点のうち200地点を除いて毎正時のみ解析を行い、そのアメダス地点の雨量とそれが含まれる格子の解析雨量を比較した(第7.3.10図)。相関係数、傾き、 $y$ 切片ともに速報版解析雨量が旧速報版解析雨量の精度を上回った。

第7.3.11図は、10mm刻みの雨量階級に分けて降水の出現回数を集計したものである(2014年5月1日～10月31日:毎正時)。図(a)は、出現頻度を対数表示したもの、図(b)は、正規版解析雨量を基準にして雨量階級別出現数の比偏差を示したものである。概ね速報版解析雨量の方が旧速報版解析雨量よりも正規版解析雨量に出現回数に近い。

第7.3.12図に2014年5月1日から10月31日の期間(毎正時)における、旧速報版解析雨量(オレンジ線)と速報版解析雨量(水色線)の正規版解析雨量に対する平方根平均二乗誤差(RMSE、左図)と平均誤差(ME、右図)を、解析雨量の階級別に示す。ほとんどの階級で速報版の誤差が旧速報版よりも小さい。



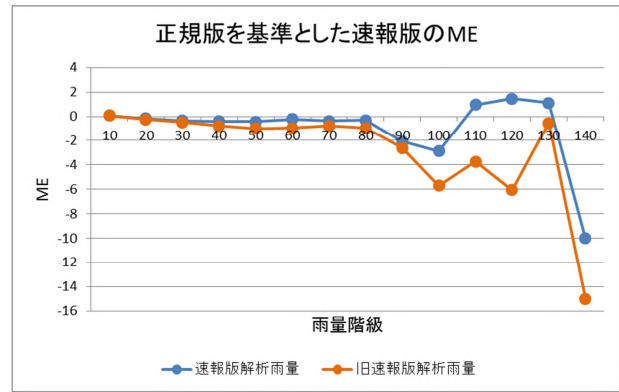
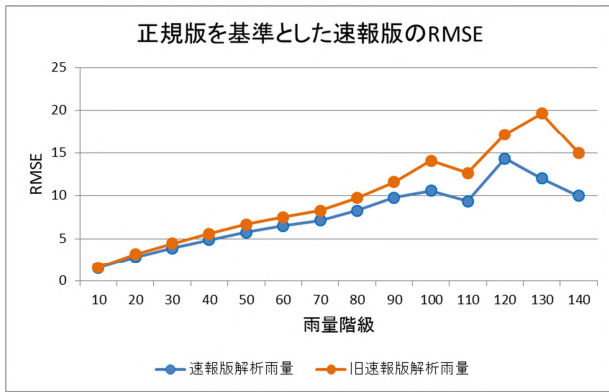
第7.3.10図 速報版解析雨量と旧速報版解析雨量の比較  
(統計期間:2014年5月1日から10月31日)



第7.3.11図 各雨量階級における降水の出現状況(統計期間:2014年5月1日から10月31日)

左図は出現頻度を片対数グラフで示したもの、右図は正規版解析雨量を基準にして雨量階級別出現頻度の比偏差を示したものの。





第 7.3.12 図 各雨量階級における正規版解析雨量に対する各速報版解析雨量の RMSE (左図) と ME (右図)  
(統計期間：2014 年 5 月 1 日から 10 月 31 日)

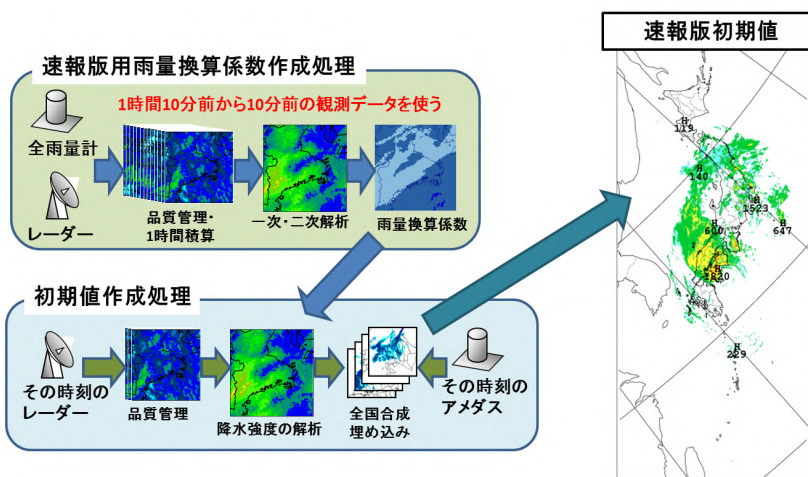
### 7. 3. 2 速報版降水短時間予報\*

2018 年 3 月 5 日より新たに運用を開始した速報版降水短時間予報は、従前の降水短時間予報を高頻度化（作成頻度が 30 分間隔から 10 分間隔に）かつ迅速化（観測時刻後約 18 分後発表から約 8 分後発表に）したものである。現在、大雨注意報・警報（土砂災害）や土砂災害警戒情報の基準となる土壌雨量指数の予測値の計算に利用されている（第 7.1.2 図参照）。

予測手法は、従前の降水短時間予報と基本的には変わらないが、速報性を実現するために初期値の作成方法が異なり、予測特性が従前の降水短時間予報とやや異なる。ここでは、速報版降水短時間予報の予測手法の変更点と特徴について述べる。更に、2018 年 6 月 7 日に行った過大な予測を防ぐための変更点についても解説する。

#### 7. 3. 2. 1 速報版降水短時間予報の初期値

降水短時間予報の初期値の降水強度は、レーダーで観測した降水強度を雨量換算係数によって補正することで作成している。速報版降水短時間予報では、速報版解析雨量のように工夫して初期値を作成し、観測後の迅速な提供を図っている。



第 7.3.13 図 速報版初期値の作成方法概要

第 7.3.13 図に作成方法の概要を示す。速報版降水短時間予報の初期値は、初期時刻の約 5 分後に作成する速報版解析雨量と同時に作成される。正規版降水短時間予報では、初期時刻から過去 1 時間前までの期間の雨量換算係数を利用しているが、初期時刻の約 5 分後にはまだ計算できておらず、速報版の初期値作成には間に合わない。そのため、速報版の初期値作成には、速報版解析雨量を作成する際

に計算している 1 時間 10 分前から 10 分前までの 1 時間で作成した雨量換算係数を用いている。また、初期時刻から約 5 分後の時点で気象庁レーダーのデータはそろっており、初期時刻の降水強度を利用することが

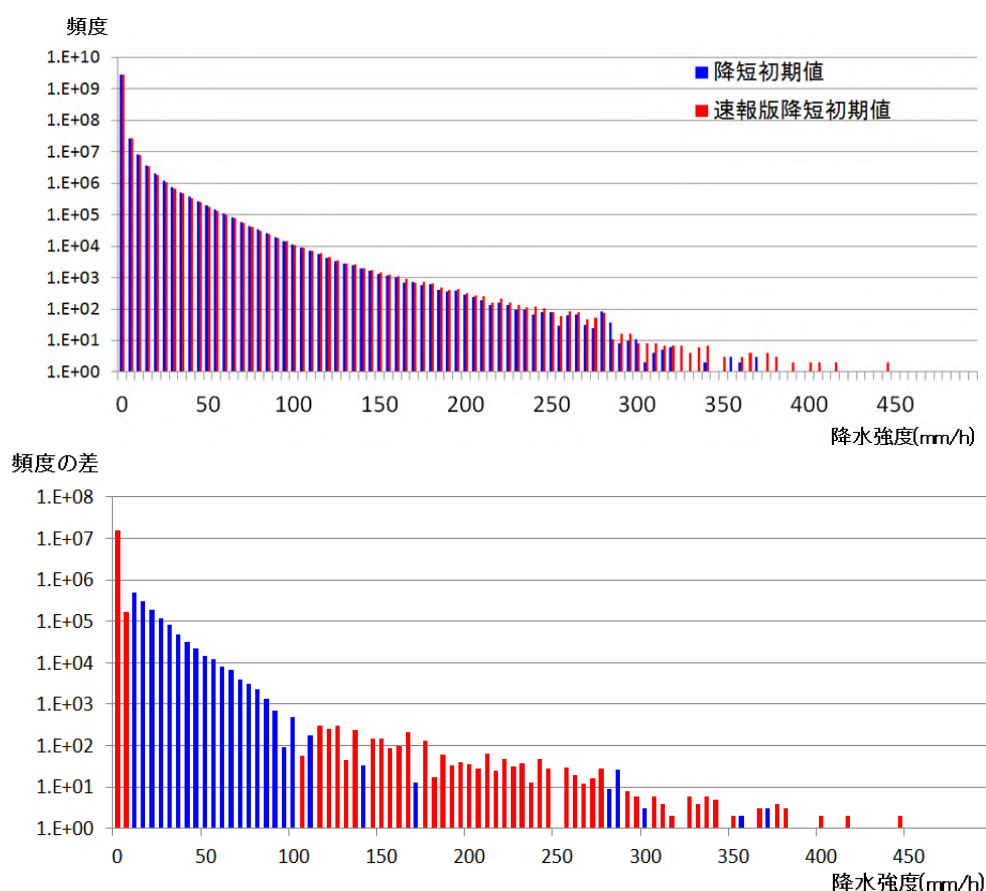
\*一川 孝平（気象庁予報部予報課）

できるが、国交省レーダーについては、初期時刻のデータが未入電のため、初期時刻から5分前のエコーを降水ナウキャストの移動ベクトルで動かすことで初期時刻の降水強度を作成する。

速報版の初期値と正規版の初期値（降水強度）を各 1km 格子について、全格子を対象に積算した降水強度毎の出現頻度を第 7.3.14 図に示す。対象期間は以下の大雨事例を中心とした 25 日間である（かつこ内は期間中の主な事例）。

- 2017 年 7 月 20～23 日（梅雨前線）
- 2017 年 8 月 5～7 日（台風第 5 号）
- 2017 年 8 月 16～19 日（不安定性降水）
- 2017 年 9 月 10～19 日（低気圧、前線、台風第 18 号）
- 2017 年 9 月 26～29 日（低気圧、前線）

第 7.3.14 図（下）に示した頻度の差を見ると、速報版の初期値は約 10mm/h 未満と約 100mm/h 程度以上の降水強度の頻度が正規版の初期値に比べて高く、約 10～100mm/h は正規版の初期値の方がより頻度が高い。速報版の初期値は正規版の初期値に比べて、弱い・強いがやや極端な分布となっているといえる。これは速報版初期値を作成する際に用いる雨量換算係数が 10 分前のものであることが影響して、初期値の特性が変化していると考えられる。この速報版の極端な特性を抑えるため、運用開始時は利用する初期値の強度に 400mm/h の上限を設定（400mm/h 以上の格子は 400mm/h として計算）していたが、予測特性を正規版に近づけるため、2018 年 6 月 7 日から初期値の上限設定を 200mm/h に下げる変更を行った。



**第 7.3.14 図 初期値（降水強度）の出現頻度比較**

（上）降水短時間予報の計算対象となる全格子について、1km 格子毎に降水強度を 5mm/h 単位でそれぞれ積算。赤が正規版の初期値、青が速報版の初期値。縦軸は常用対数。

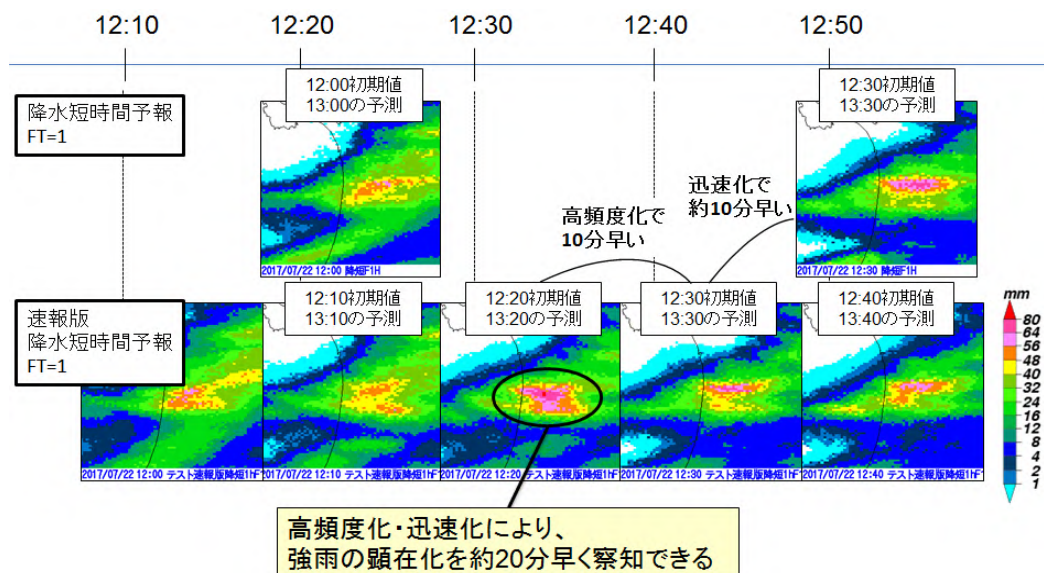
（下）上図の差分の絶対値。速報版（正規版）の頻度がより高いときは、赤（青）で着色。縦軸は常用対数。

### 7. 3. 2. 2 速報版降水短時間予報の移動ベクトル

降水短時間予報では、パターンマッチングにより複数の移動ベクトルの候補を計算し、その中から時空間連続性を考慮して移動ベクトルを選出している。この移動ベクトルの候補には当該初期時刻の移動ベクトルの候補に加えて、30分前の初期時刻の移動ベクトルの候補も入っている。正規版は30分毎に予報を計算しているため、30分前の移動ベクトルを候補に入れているが、速報版では、10分毎に予報を作成するメリットを活かし、10分前の移動ベクトルを候補に入れるように設定した。なるべく近い時刻のベクトルを引き継ぐことで時間的に滑らかに予測を変化させる効果があると考えられる。

### 7. 3. 2. 3 事例検証

第7.3.15図に2017年7月22日の秋田県での梅雨前線による大雨の予報事例を示す。各予報を取得できる時刻の順に並べている。正規版は12:30初期値で強雨が顕在化する予想が初めてあらわれるが、速報版では12:20初期値の予想で強雨の予想があらわれている。この予想を利用することで、高頻度化・迅速化により、強雨が顕在化する可能性があることを従前より約20分早く察知できる。



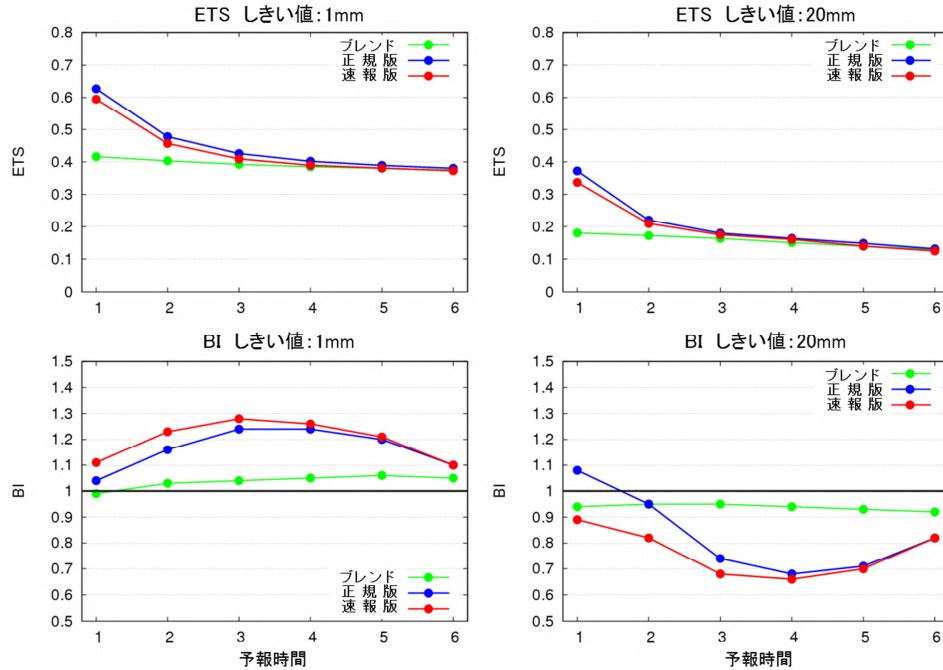
第7.3.15図 正規版降水短時間予報と速報版降水短時間予報の予報発表時系列

2017年7月22日の秋田県での梅雨前線による大雨事例における各FT=1の予報結果。横軸は予報が入手できるおおよその時刻(JST)で各画像の左端の位置が概ねの作成時刻を表している。

### 7. 3. 2. 4 統計検証

統計検証は、解析雨量を真値として全国の陸上における5km格子陸上平均値を対象として行った。検証期間は7.3.2.1で示した期間と同じ25日間である。

第7.3.16図にETSとBIの検証結果を示す。ETSを見ると、1mm以上、20mm以上ともに、予報初期で速報版は正規版に比べて精度がやや悪いが、速報版・正規版で共通に利用しているブレンド降水の占める比率が大きくなる予報期間の後半になるにつれてその差が小さくなっている。BIを見ると、1mm以上の降水は、速報版が正規版に比べてやや予測頻度が増加している。一方20mm以上の降水では、反対に速報版の予測頻度が低下している。これは速報版の初期値で10mm/h未満の弱い降水強度の頻度が正規版に比べて高く、10~100mm/hの頻度が低いことを反映しているためである。ETSと同様に予報期間の後半になるにつれて、それらの速報版と正規版の差は小さくなっている。



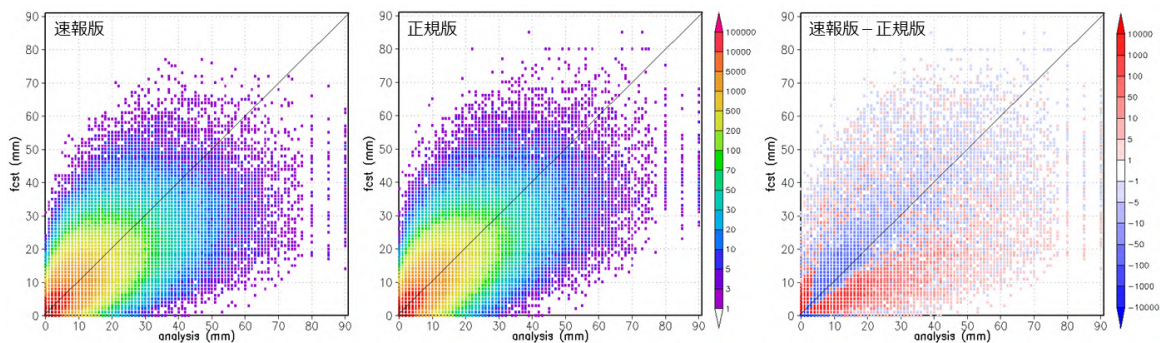
第 7.3.16 図 速報版降水短時間予報と正規版降水短時間予報の精度比較

上段は ETS、下段は BI。左列は 1mm 以上、右列は 20mm 以上の降水をそれぞれ対象としている。グラフの横軸は予報時間(時)、縦軸は各指標。赤線が速報版、青線が正規版、緑線がブレンド降水を表している。

次に、第 7.3.17 図に 1 時間先の予測値と解析値の散布図を示す。速報版、正規版それぞれの分布を比較すると大きな差は無いが、速報版は 70mm 以上を予測する格子が正規版に比べて少ないことがわかる。右の差分の図を見ると、速報版は正規版に比べて  $y=x$  付近の予測値が解析値に近い格子の数が減っていることがわかる。これに伴い、解析値に比べて過大または過小な予測が増えているが、過大な予測に比べて過小な予測の増加が大きい。これは初期値の特性と初期値の上限設定の違いが主に影響していると考えられる。

以上の結果についてまとめると、以下のようなになる。

- 速報版降水短時間予報と正規版降水短時間予報の精度比較を行ったところ、予報期間の初期では、速報版は正規版に比べてやや精度が低いが、期間後半になるにつれて正規版との差は小さくなる。
- 1 時間 20mm 以上の強い雨では、速報版初期値の特性により速報版降短のバイアスコアが正規版に比べてやや低い。
- 一方で正規版より早く取得できることから、防災情報のリードタイムをより長く取ることができるという大きなメリットがある。



第 7.3.17 図 1 時間先の予測値と解析値の散布図

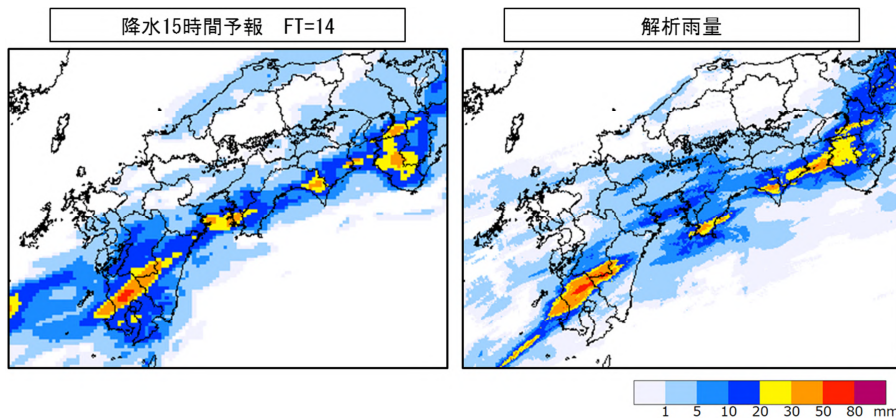
左：速報版、中：正規版、右：速報版と正規版の差分（速報版－正規版）

横軸が解析値、縦軸が予測値で、陸上全格子（5km 格子平均値）の頻度をプロット。

利用するうえでは、正規版と速報版含めてその時点で手に入る最新の予報で最も精度の高い予測が期待できる。ただし、ここまで述べた正規版と速報版の両者の予測特性の違いにも留意して利用する必要がある。

#### 7. 4 降水 15 時間予報\*

台風等により夜間から翌日の明け方に大雨となる可能性がある地域を夕方の時点で把握できるようにすることなどにより、現状より早い段階で市町村長の避難準備・高齢者等避難開始や住民の自主避難の判断を支援するため、降水短時間予報の先にあたる 7~15 時間先の降水量予測を提供する「降水 15 時間予報」の開発を行い、2018 年 6 月 20 日から提供を開始した（第 7.4.1 図）。本節では、この降水 15 時間予報の予測手法や予測事例、利用上の留意点などを紹介する。



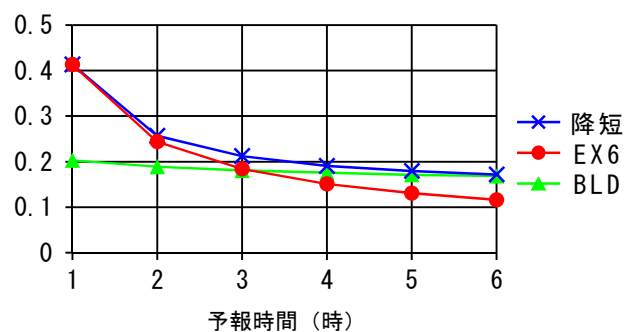
第 7.4.1 図 降水 15 時間予報の予報事例

（左）2018 年 6 月 19 日 18 時（JST）初期値の 14 時間先の予報、（右）2018 年 6 月 20 日 08 時の解析雨量。20 日の朝、九州地方から近畿地方に強雨域がかかることを前日 19 日の夕方時点で予想している。

##### 7. 4. 1 降水 15 時間予報の算出に用いる資料

降水短時間予報は、EX6（実況補外型予測）と BLD（MSM 及び LFM の降水量予測を重み付け平均して算出）の重み付け平均で算出している。第 7.4.2 図に降水短時間予報の 2017 年におけるスレットスコアを示す。EX6 は予報時間の経過につれ精度が低下するため、降水短時間予報で 6 時間先の予報はほとんど BLD が用いられている。そのため、7~15 時間先の降水量予測を提供する降水 15 時間予報では実況補外型予測を利用せず、数値予報資料のみで作成することとした。

降水 15 時間予報は、早い段階での避難判断を支援するため、一格子一格子を正確に当てることを目指すよりも、全体の傾向として降水分布をとらえ、見逃しや大外れが少ない予測となるように設計した。具体的に、MSM の降水量予測や MSM の降水ガイダンス、LFM の降水ガイダンスを用いて重み付け平均を行うための重みを算出する際、位置ずれを許容したスコア FSS（Fractions Skill Score）を用いている。FSS の算出方法は次項で説明を行う。降水ガイダンスについては白山(2018)を、FSS の詳細については Roberts and Lean(2008)または幾田(2010)を参照いただきたい。



第 7.4.2 図 降水短時間予報のスレットスコア (2017 年)

5km 格子平均で 10mm 以上の降水を対象としている。EX6 は実況補外型予測、BLD は MSM と LFM の降水量予測を重み付け平均して算出したもの。横軸は予報時間 (時)、縦軸はスレットスコアを表す。

\*橋口 祥治 (気象庁予報部予報課)

### 7. 4. 2 FSS について

FSS は位置ずれを考慮し、一定の範囲内の降水量分布の適切さを示す指標で、完全予報では 1、無意味な予報では 0 になる。以下、第 7.4.3 図を例にして、位置ずれの違いを考慮する FSS と、格子毎に予報を評価するスレットスコアの違いを説明する。

第 7.4.3 図の観測と予測は概ねよく一致しているようにみえるが、詳細に見ると全ての格子がずれている。そのため、一格子一格子を正確に当てることを評価するスレットスコアを算出すると 0 になってしまい、全体の降水パターンをおおまかに見た時の印象とは異なる結果となる。しかし、格子ずれを許容する FSS は異なる評価となる。例えば、2 格子ずれを許容する FSS を算出する場合、赤枠□を付けた格子を検証する際にその周囲の青枠□を付けた 5×5 格子内の格子数を比較する。この場合、赤枠□を付けた格子は観測と予測で一致していないが、周囲の青枠□を付けた 5×5 格子内のしきい値を超える格子数はともに 8 で一致している。この様な比較を全ての格子に対して行い、FSS を算出すると約 0.50 となり、観測と予測が概ねよく一致しているという感覚とも一致する。すなわち、全体の傾向として降水分布を捉えて評価する場合に適した指標と考えられる。以下に FSS の算出方法を示す。

観測値と予測値について、しきい値を超過する場合 1、超過しない場合 0 と二値化することができる。これは、任意のしきい値を  $q$  として、観測値  $O_r$ 、予測値  $F_r$  について次のように表せる。

$$I_o = \begin{cases} 1 & (O_r \geq q \text{ のとき}) \\ 0 & (O_r < q \text{ のとき}) \end{cases}, \quad I_F = \begin{cases} 1 & (F_r \geq q \text{ のとき}) \\ 0 & (F_r < q \text{ のとき}) \end{cases}$$

この  $I_o$  と  $I_F$  に  $m$  格子ずれの空間スケールを考慮し、 $(2m+1) \times (2m+1)$  格子の領域平均値  $O(m)_{i,j}$ 、 $F(m)_{i,j}$  を算出する。添え字の  $i, j$  は  $x$  軸方向及び  $y$  軸方向の格子番号である。

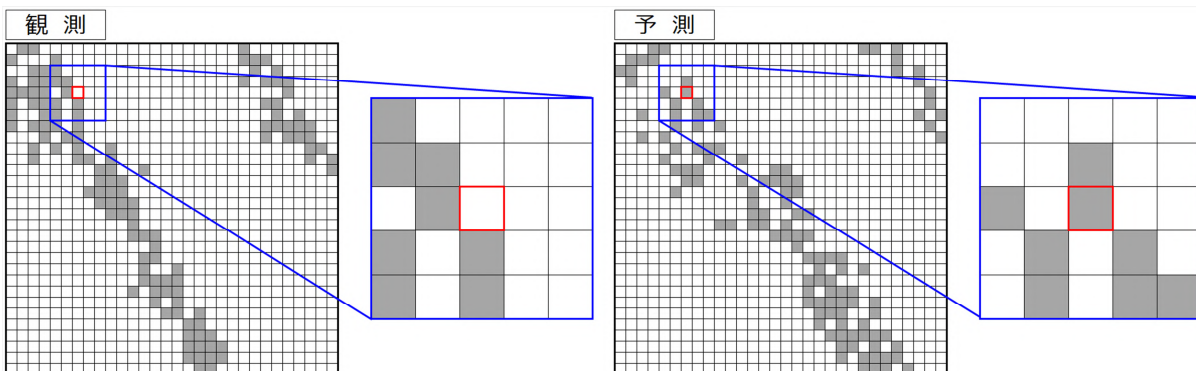
$$O(m)_{i,j} = \frac{1}{(2m+1)^2} \sum_{k=-m}^m \sum_{l=-m}^m I_{o\ i+k,j+l}$$

$$F(m)_{i,j} = \frac{1}{(2m+1)^2} \sum_{k=-m}^m \sum_{l=-m}^m I_{F\ i+k,j+l}$$

この  $O(m)$  と  $F(m)$  によって、二乗平均誤差  $(MSE(m))$  が算出される。 $N_x$  と  $N_y$  は検証領域の  $x$  方向と  $y$  方向の格子数であり、簡単のため検証領域を矩形領域と仮定している。

$$MSE(m) = \frac{1}{N_x N_y} \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} [O(m)_{i,j} - F(m)_{i,j}]^2$$

また、観測と予測の二乗和の平均値を参照値  $(MSE(m)_{ref})$  として算出する。これは、格子ずれを許容しても



第 7.4.3 図 FSS の精度評価の特性を理解するための降水分布例

しきい値を超過しているセルを塗りつぶしており、青枠で囲った部分を拡大して表示している。この例でスレットスコアは 0 だが、2 格子ずれを許容する FSS はおよそ 0.50 となる。

予報が外れている場合の二乗平均誤差に相当する。

$$\text{MSE}_{(m)\text{ref}} = \frac{1}{N_x N_y} \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} [O^2(m)_{i,j} + F^2(m)_{i,j}]$$

さらに、完全に予報が実況と一致している場合の二乗平均誤差 ( $\text{MSE}_{(m)\text{perfect}}$ ) は 0 となることを用いて、 $\text{FSS}_{(m)}$  は以下のとおり定義される。

$$\text{FSS}_{(m)} = \frac{\text{MSE}_{(m)} - \text{MSE}_{(m)\text{ref}}}{\text{MSE}_{(m)\text{perfect}} - \text{MSE}_{(m)\text{ref}}} = 1 - \frac{\text{MSE}_{(m)}}{\text{MSE}_{(m)\text{ref}}}$$

この式からも明らかなように、FSS は 0 から 1 の値をとる。

### 7. 4. 3 予測手法

降水 15 時間予報の算出方法について述べる。降水 15 時間予報は、以下の手順で算出を行う (第 7.4.4 図)。

- ① MSM の 1 時間降水量予測値 (FRR) を用いて MSM の平均降水量ガイダンス (MRR3)、3 時間最大降水量ガイダンス (RMAX33)、3 時間内 1 時間最大降水量ガイダンス (RMAX31) を 1 時間値に変換する (MRR3→MRR、RMAX33→RMAX13、RMAX31→RMAX11)。MRR3 は 3 時間降水量予測値のため、FRR に応じた比例配分を行う。RMAX33 も同様の手法で 1 時間値に変換する。一方、RMAX31 は 3 時間内で最大となる 1 時間降水量予測値のため、RMAX31 に FRR の当該時刻の予測値と 3 時間内の最大予測値の比率を乗じる。例えば、FT=3h のときの MRR と RMAX11 は、以下ようになる。

$$\text{MRR}(\text{FT3}) = \text{MRR3} \times \frac{\text{FRR}(\text{FT3})}{\sum \text{FRR}(\text{FT1} \sim 3)}$$

$$\text{RMAX11}(\text{FT3}) = \text{RMAX31} \times \frac{\text{FRR}(\text{FT3})}{\text{MAX}(\text{FRR}(\text{FT1} \sim 3))}$$

- ② 数値予報資料を格子内平均の降水量を予測している FRR、MRR からなるグループ 1 と格子内最大の降水量を予測している RMAX13、RMAX11、RMAX1 からなるグループ 2 に分け、降水 15 時間予報の初期時刻における解析雨量と各予報との FSS を算出し、スコアが一番よい予測をグループ毎に選出する。なお、グループ 2 の RMAX1 は LFM の最大降水量ガイダンスである。グループ 1 で選出された予測とそのスコアを Fcst1、FSS1、グループ 2 で選出された予測とそのスコアを Fcst2、FSS2 とする。グループ 1 とグループ 2 で選出された予測を使って降水 15 時間予報を作成する。
- ③ グループ 1 とグループ 2 で選出された予測を線形結合させるために、FSS を基に重みを算出する。

$$\text{weight} = \text{FSS1} / (\text{FSS1} + \text{FSS2})$$

- ④ グループ 1 とグループ 2 で選出された予測の重み付け平均を行い、降水 15 時間予報を算出する。このとき、重みは全 FT、全領域で共通とする。また、最大降水量ガイダンスは陸域周辺のみを予測しているため、予測範囲外は重みによらずにグループ 1 の予測を用いる。

$$\text{F15H} = \text{Fcst1} \times w1 + \text{Fcst2} \times w2$$

$$[w1 = \text{weight}, w2 = 1 - \text{weight}]$$

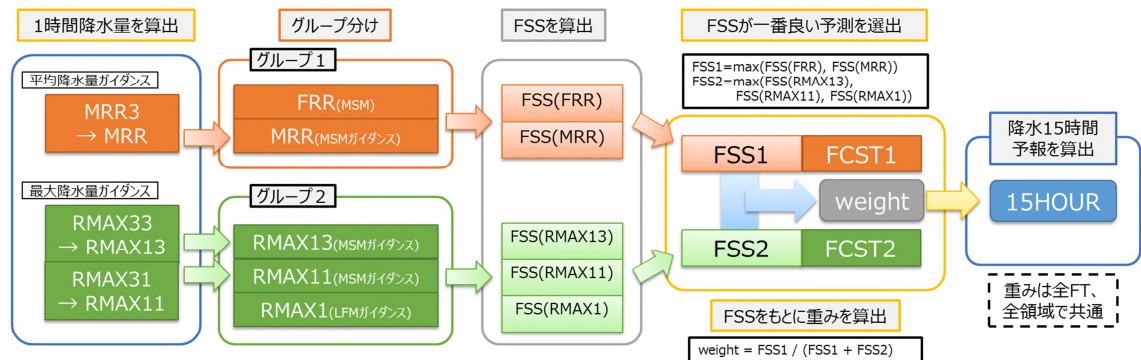
- ⑤ グループ 2 から LFM の最大降水量ガイダンス (RMAX1) を選出している場合、LFM の予報最終時刻は 9 時間であるため、それ以降のデータがない。LFM の予報最終時刻 (降水 15 時間予報では FT=8h もしくは FT=7h) は次の予報時刻とのギャップを小さくするため、RMAX1 の重みを下げ ( $w2'$ ) つつ、下げ

た分の重みはグループ 2 の 2 番目のスコアがよい予測 (Fcst2') の加算に用いる。

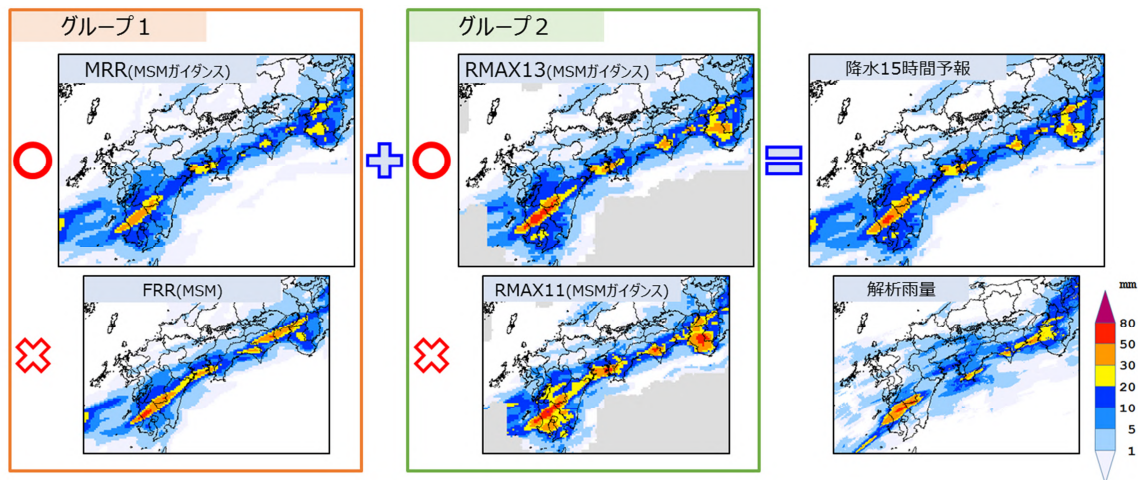
$$F15H = Fcst1 \times w1 + Fcst2 \times w2' + Fcst2' \times (w2 - w2')$$

それ以降はグループ 1 の 1 番スコアがよい予測とグループ 2 の 2 番目にスコアがよい予測の重み付け平均で降水 15 時間予報を算出する。

どのような数値予報資料が選択されて降水 15 時間予報が構成されているか、第 7.4.1 図の事例により示す (第 7.4.5 図)。グループ 1 は MRR、グループ 2 は RMAX13 を選択しており、どちらも弱めの予測を採用することで実況に近い予測となっていることがわかる。



第 7.4.4 図 降水 15 時間予報の構成手順



第 7.4.5 図 降水 15 時間予報の数値予報資料選択例

2018 年 6 月 19 日 18 時初期値の 14 時間先 (20 日 08 時) の予測。MSM、MSM ガイダンスは 19 日 15 時初期値の 17 時間先の予測。グループ 1 では、MRR の方が FRR よりもスコアがよかったため、MRR が採用された。また、グループ 2 では RMAX13 の方が RMAX11 よりもスコアがよかったため RMAX13 が採用された。

#### 7. 4. 4 降水 15 時間予報の予測事例と利用上の留意点

第 7.4.1 図は降水 15 時間予報が実況に近い事例である。本項では、降水 15 時間予報の他の予測事例として、以下の事例を示す。

- 初期時刻によって予測が変化する場合
- 強度、位置、時間のずれが生じる場合
- 降水の予測ができない場合
- 降水短時間予報と降水 15 時間予報にギャップが生じる場合

##### ① 初期時刻によって予測が変化する場合

降水 15 時間予報は MSM、MSM の降水ガイダンスを用いていることから、MSM の初期値が 3 時間毎に変わ



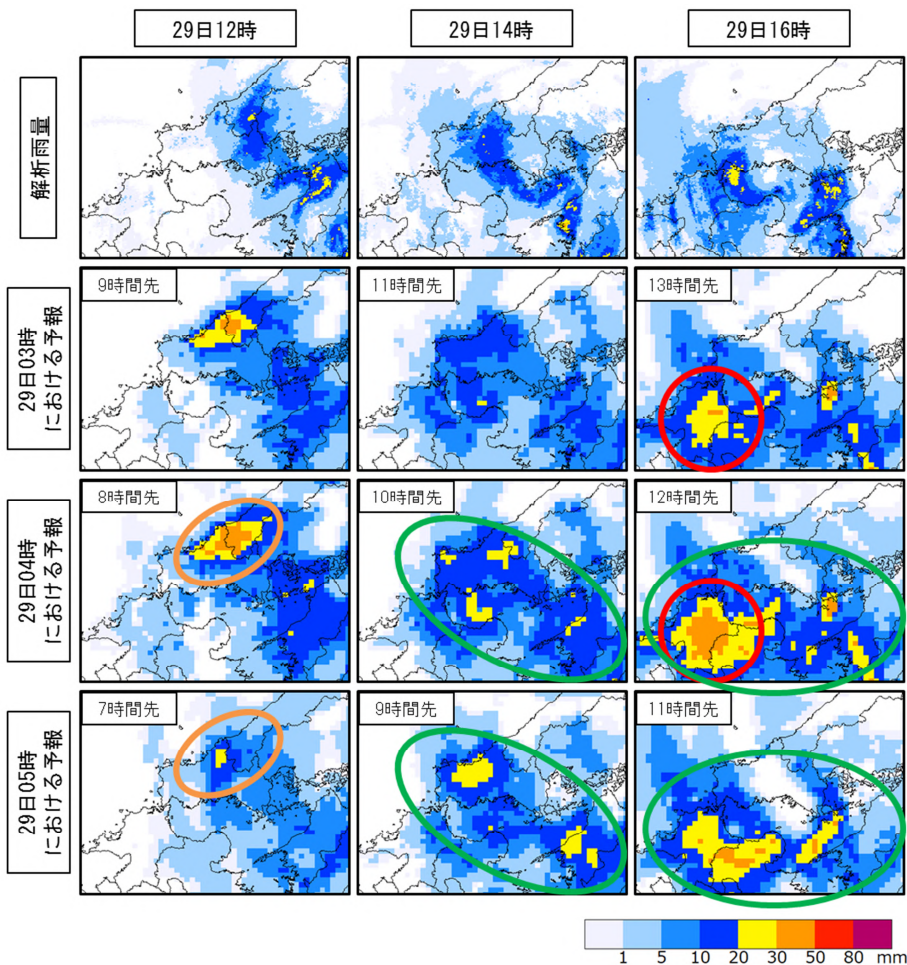
るタイミングで予測が大きく変化する場合がある。また、算出に用いる（選択される）数値予報資料が初期時刻毎に変わることによって予測が変化する場合もある。このような事例を第 7.4.6 図に示す。初期値が変わる毎に予測に変化が生じているが、それぞれ以下のような理由による。

- 03 時初期値に比べ、04 時初期値の予測では 16 時時点の福岡県付近の予測が強まっている（赤色の丸）。これは、03 時初期値は RMAX13 を選択しているのに対し、04 時初期値は RMAX11 を選択しているためである。
- 04 時初期値に比べ、05 時初期値では 12 時時点の山口県付近の予測が弱まっている（オレンジ色の丸）。これは、05 時初期値は RMAX1 を選択しているためである。
- 04 時初期値と 05 時初期値の 14 時時点、16 時時点の予測も異なっている（緑色の丸）。これは、予測に用いる MSM が変更され、ともに選択している MRR や RMAX11 の予測結果も異なるものとなったためである。

このように、初期時刻によって予測が大きく変化する場合がある。一般的には予報時間が短いほど精度は高くなるため、最新の予報を利用いただきたい。

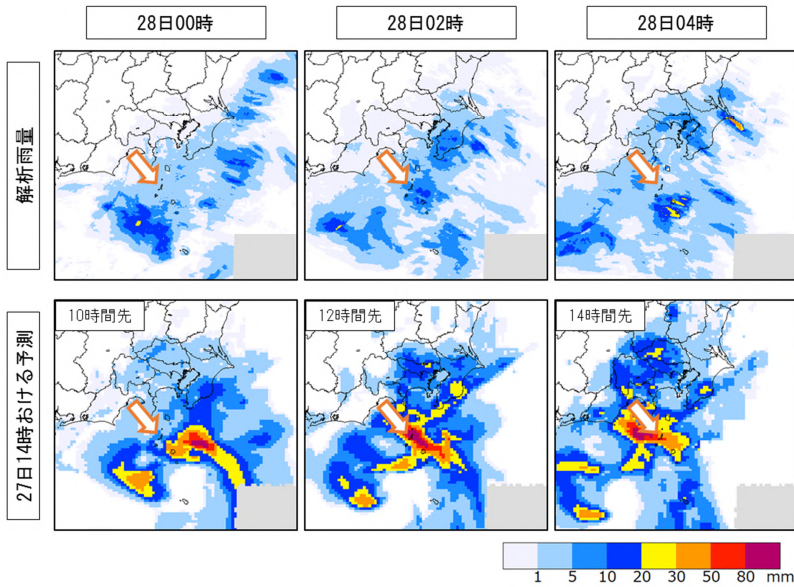
### ②強度、位置、時間のずれが生じる場合

降水 15 時間予報は、実際の雨量と比較すると降水量や降水域の位置、降水域のかかる時間などにずれが生じる場合がある。第 7.4.7 図に、降水量に大きなずれが生じている事例を示す。



第 7.4.6 図 降水 15 時間予報の予測が初期時刻によって変化する場合

1 段目：解析雨量、2 段目：2018 年 7 月 29 日 03 時初期値の予測、3 段目：29 日 04 時初期値の予測、4 段目：29 日 05 時初期値の予測。図中の丸については、本文を参照のこと。

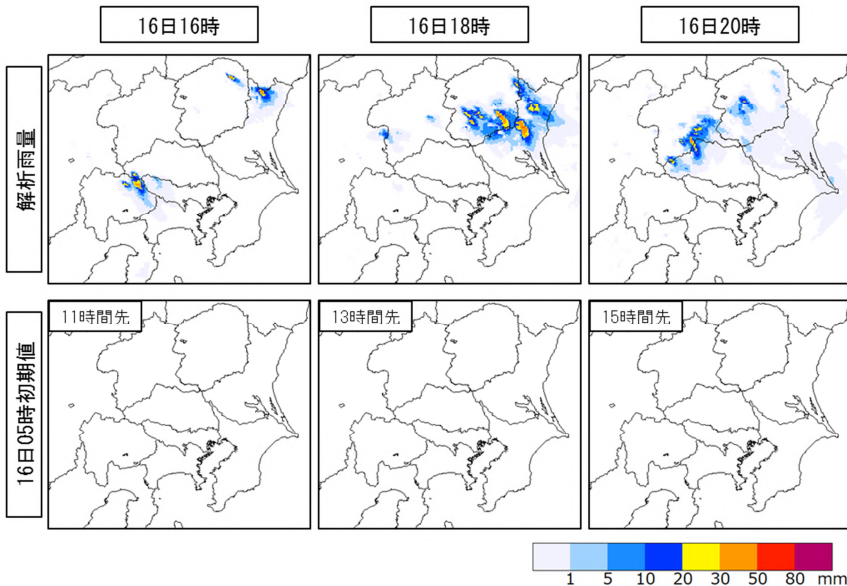


第 7.4.7 図 降水 15 時間予報が過大予測となった事例

上：解析雨量、下：2018 年 7 月 27 日 14 時初期値の予測。オレンジ色の矢印は新島を示す。

してくる過程で、外側の強雨域が伊豆諸島や関東地方にかかるというものであるが、初期時刻の 27 日 14 時ごろでは台風周辺や外側の強雨域は解析雨量の範囲外であり、解析雨量と数値予報資料との比較ができなかったことも適切な予測を選択できなかった要因の一つと考えられる。

### ③降水の予測ができない場合



第 7.4.8 図 局地的な大雨を予測できない事例

上：解析雨量、下：2018 年 7 月 16 日 05 時初期値の予測。

### ④降水短時間予報と降水 15 時間予報にギャップが生じる場合

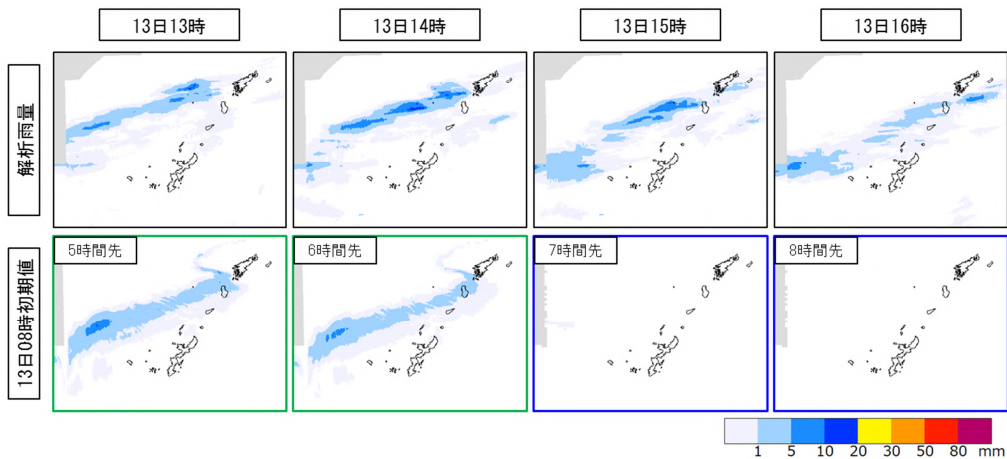
降水短時間予報と降水 15 時間予報は予報手法が異なるため、降水短時間予報の 6 時間先の予報と降水 15 時間予報の 7 時間先の予報にギャップが生じる場合がある。第 7.4.9 図と第 7.4.11 図に降水短時間予報の 6 時間先と降水 15 時間予報の 7 時間先の予測にギャップが生じる事例を示す。

降水短時間予報は 6 時間先の予測では MSM と LFM の降水量予測を重み付け平均した BLD の予測が主と

27 日 14 時初期値の降水 15 時間予報では 28 日未明に新島（オレンジ色の矢印）付近で約 130mm の猛烈な雨を予測しているが、解析雨量では 10mm 未満となっており、かなり過大な予測となっている。MSM の降水量予測（FRR）が最大で 150mm 近い降水量を予測するなど過大な予測していることから、最大降水量ガイダンスは RMAX11、RMAX13 とともに過大となった。一方、平均降水量ガイダンスもかなり過大ではあるものの、最大で 80mm 程度であり、MSM の降水量予測（FRR）に比べるとピークを抑えて予測している。この事例は、台風が北上

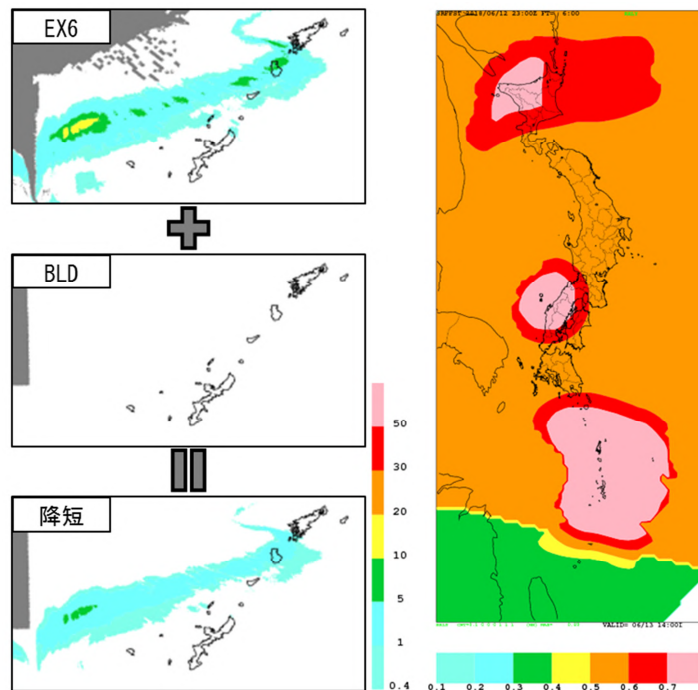
降水 15 時間予報で降水の予測ができなかった事例を第 7.4.8 図に示す。16 日午後、関東地方では局地的に強い降水域がかかっているが、降水 15 時間予報では降水域を予測することができていない。このように、大気不安定による局地的な大雨等で、MSM や LFM が降水を予測していない場合、それらに基づく降水 15 時間予報も降水の予測ができない。

なるが、第 7.4.9 図の事例では、第 7.4.10 図に示すように実況補外型予測 (EX6) が 6 時間先の予測でも用いられており、数値予報資料のみで作成する降水 15 時間予報とギャップが生じたものである。この事例では実況補外型予測を用いた降水短時間予報は実際のライン状の降水分布をよく表現できており、降水 15 時間予報では予測することができていない。上述のとおり降水短時間予報の 6 時間先の予測で用いる数値予報資料は MSM と LFM の降水量予測であるが、降水 15 時間予報は MSM の降水量予測、降水量ガイダンス、LFM の降水量ガイダンスを用いており、算出手法も降水短時間予報と降水 15 時間予報では異なっている。そのため、第 7.4.11 図のように 6 時間先の予測と 7 時間先の予測でギャップが生じることがある。この事例では、降水 15 時間予報は最大降水量ガイダンスの RMAX11 を高い比率で採用しており、降水短時間予報よりも強い降雨域が青森県に近いところで広がる予測となっている。



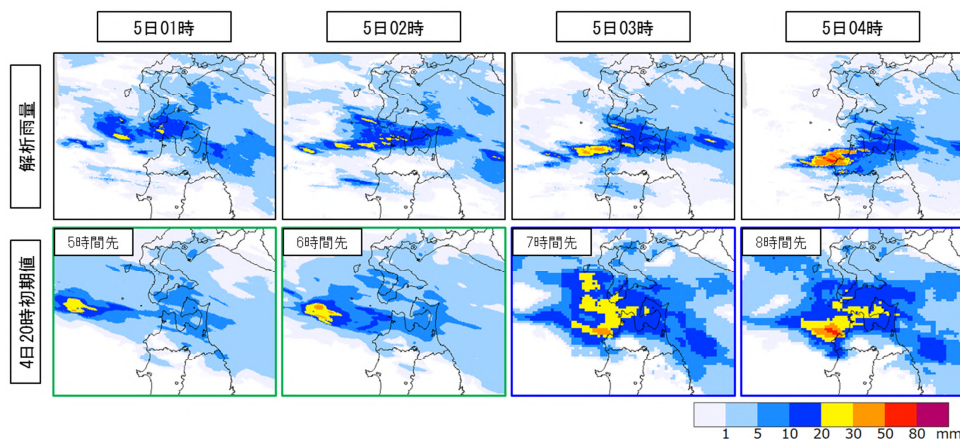
第 7.4.9 図 降水短時間予報の EX6 が残り降水 15 時間予報とギャップが生じる事例

上：解析雨量、下：2018 年 6 月 13 日 08 時初期値の予測。5 時間先と 6 時間先は降水短時間予報（緑色の枠）、7 時間先と 8 時間先は降水 15 時間予報（青色の枠）の予測。



第 7.4.10 図 第 7.4.9 図の事例における降水短時間予報の構成

左：2018 年 6 月 13 日 08 時初期値の 6 時間先の降水短時間予報を構成する EX6 と BLD、右：同時刻の EX6 の比率。南西諸島では 6 時間先の予測でも EX6 の比率が大きくなっている。



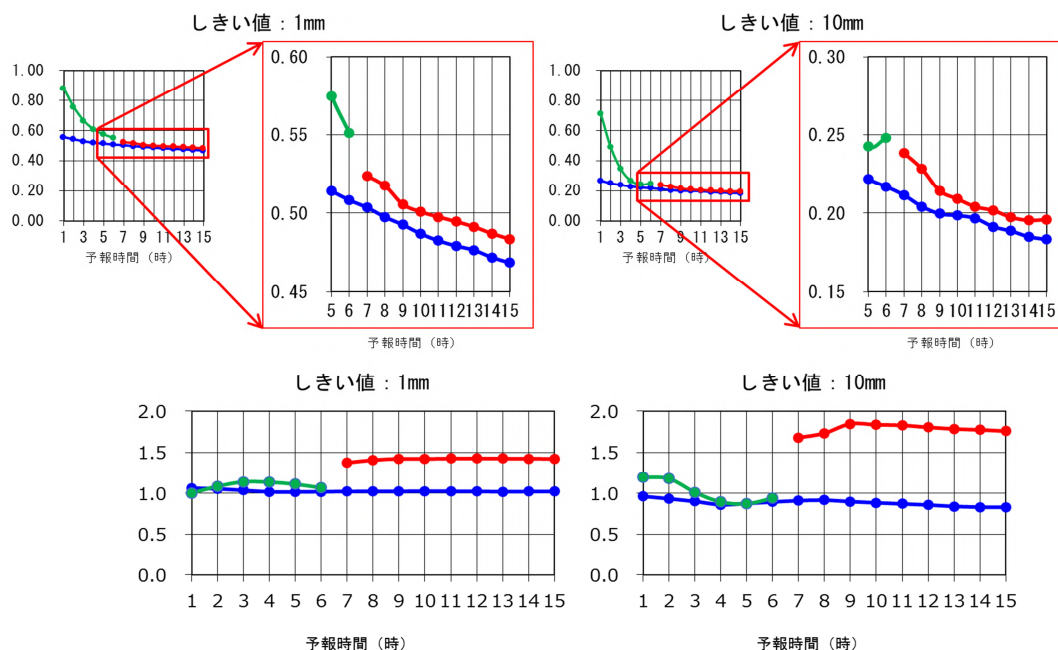
第 7.4.11 図 用いる数値予報資料の違いで降水短時間予報と降水 15 時間予報にギャップが生じる事例

上：解析雨量、下：2018 年 8 月 4 日 20 時初期値の予測。5 時間先と 6 時間先は降水短時間予報（緑色の枠）、7 時間先と 8 時間先は降水 15 時間予報（青色の枠）の予測。

### 7. 4. 5 統計検証結果

2017 年 7 月、2017 年 10 月、2018 年 1 月の 3 ヶ月間を対象として統計検証を行った。5km 格子、陸域周辺格子で解析雨量を真値として FSS とバイアスコアを算出する。FSS の算出においては、6 格子ずれを許容する。これは、約 65km 四方で、概ね富山県程度の広さで比較することに対応する。検証対象は降水 15 時間予報、MSM の平均降水量ガイダンス（MRR）、降水短時間予報（参考として 6 時間先まで 5km 格子平均）である。

第 7.4.12 図に FSS とバイアスコアの結果を示す。降水 15 時間予報の精度は降水短時間予報の予報時間後半と同程度かやや低くなっている。予報期間を通して降水 15 時間予報は MSM の平均降水量ガイダンスより FSS の値は大きく、MSM の平均降水量ガイダンスに比べ全体の傾向として降水分布をよりよくとらえていることを示している。バイアスコアは 1 よりやや大きくなっており、頻度がやや高く、見逃しが少ないことを示唆している。



第 7.4.12 図 降水 15 時間予報、降水短時間予報、MSM 平均降水量ガイダンスの FSS (上) とバイアスコア (下)

左：1mm 以上、右：10mm 以上の降水を対象。上図は赤色の枠で囲った部分を拡大している。各グラフの横軸は予報時間（時）、縦軸は各スコアを表す。赤は降水 15 時間予報、青は MSM 平均降水量ガイダンス、緑は降水短時間予報を表す。

#### 7. 4. 6 降水 15 時間予報の利用について

一般のユーザーにも降水 15 時間予報を利用していただけるよう、気象庁ホームページの「今後の雨」ページで解析雨量、降水短時間予報、降水 15 時間予報を連続して確認できるようにしている。

降水 15 時間予報を用いることで、これまで降水短時間予報による 6 時間先までだった降水量予測を 15 時間先まで確認することができるようになる。そのため、例えば台風等により夜間から明け方のいつ頃、どこで大雨となる見込みかについて前日夕方の時点で把握できるようになり、夜間に大雨警報（土砂災害）が発表される可能性が高い状況の場合、土砂災害警戒区域等に住んでいる方の避難準備や避難開始の判断、自治体の「避難準備・高齢者等避難開始」の判断に活用できる。また、日常生活においても、朝出かける前に夜までの雨の予報を確認して傘を持っていくかどうかを判断する、休日前の夜に翌日午前中の雨の予報を確認して休日の予定を変更するなど、幅広く利用することができる。

### 7. 5 竜巻発生確度ナウキャストの改善\*

#### 7. 5. 1 経緯

竜巻発生確度ナウキャストは、2010 年に運用を開始して以来（瀧下，2011）、概ね 2 年毎に改善を行ってきた。2014 年にはメソサイクロン検出の改善を行った（以下、Ver3.4 と呼ぶ）（中里他，2017）。2016 年 12 月 15 日には、竜巻注意情報の一次細分区域単位での発表開始にあわせて国土交通省 X バンドレーダの活用（木川他，2017）、新しい予測指数の導入、リードタイムの調整等の改善を行った（以下、Ver4.0 と呼ぶ）（中里・西村，2017）。このときの改善では、予測に使用する統計式（突風危険指数）の作成方法の変更なども行い、統計式の閾値の設定と予測精度検証を自動で行うことができるようにした。

統計式の作成方法の変更で、より合理的な開発が可能となったが、Ver4.0 ではそれまで表面化していなかった課題が顕在化し、結果的に次の 3 点について技術的な改悪となることが明らかになった。

- Ver3.4 以前の統計式を作成したときよりも少ない突風事例を用い、多くの予測指数を使って統計式を作成したことによって過学習が生じた。
- メソサイクロン検出結果を統計式に含めて判定する方式に変更したことによって、3 つの突風危険指数の閾値が一樣になり、竜巻型（TR 型）による突風判定が増加した。
- 統計式に低めの閾値が適用されていた。過学習した統計式は従属資料に対しては低い閾値でも発表回数が増加しないことから、閾値を下げて捕捉率を上げるように閾値の自動最適化プログラムで低めの閾値が選ばれていた。

これに伴い、Ver4.0 運用開始前に行った従属資料による精度検証では、見かけの予測精度が大幅に向上したが、実際には上記 3 点の影響が大きく、精度向上には至らなかった。そこで 2018 年 10 月からこれらの改悪点を修正するとともに、Ver4.0 に含めることができなかった改善点を追加した（以下 Ver4.1 と呼ぶ）。

本節では、竜巻発生確度ナウキャスト Ver4.1 における改善点と予測精度の検証結果について説明する。内容は次のとおりである。

- 7.5.2 項 竜巻発生確度ナウキャスト Ver4.0 の予測精度
- 7.5.3 項 課題と Ver4.1 における改善の内容
- 7.5.4 項 Ver4.1 の予測精度評価

---

\*中里 真久、笠原 真吾（気象庁予報部予報課）

### 7. 5. 2 竜巻発生確度ナウキャスト Ver4.0 の予測精度

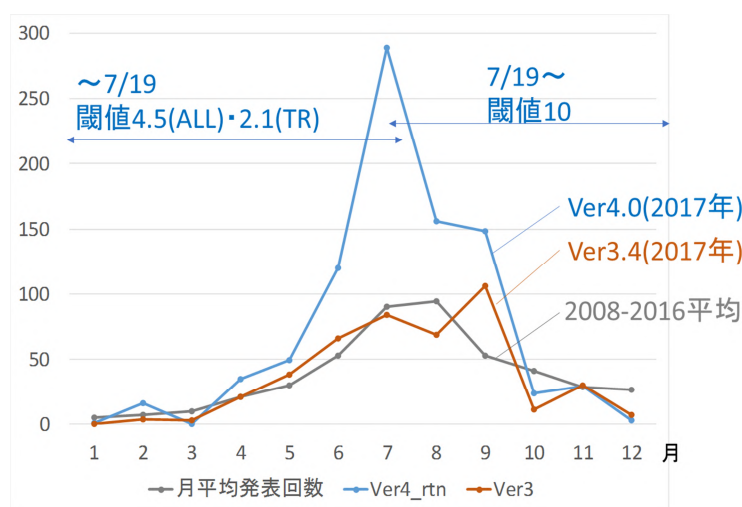
第 7.5.1 表は竜巻注意情報の予測精度（実績値）の推移である。Ver4.0 が運用された 2017 年は捕捉率が高かったものの、発表回数が増加し、適中率は低めであった。発表回数が増加した理由は、閾値が低めに設定されていたためである。第 7.5.1 図は 2017 年の月毎の竜巻注意情報の発表回数を 2008-2016 年（9 年間）の平均値と比較したものである。5 月まではほぼ例年並みであったが、6 月から急激に発表回数が増加した。これを受けて同年 7 月 19 日に TR 型及び突風の種類を区別しない ALL 型の突風危険指数の閾値（それぞれ 2.1 と 4.5）を 10 に引き上げた。このことにより、8 月の発表回数は 7 月に比べて減少したが、9 月まで発表回数が多い状況は続き、2017 年の発表回数は例年の約 2 倍の 909 回となった。

Ver4.0 の開発段階では、従属資料を用いて自動で閾値の最適化を行うとともに予測精度を評価しており、独立資料を用いた予測精度の検証は行っていなかった。このため、独立資料を用いた場合、Ver4.0 の突風危険指数では予測精度がどうなるのか、2015-2017 年の 3 年分のデータを用い、TR 型と ALL 型の閾値を 10 から 30 の間で変化させて評価した（第 7.5.2 表）。その結果、Ver3.4 と比較して発表回数が多くなり、捕捉率は高くなるが適中率が低くなっていることがわかった。また、閾値を 25 に引き上げることにより、Ver3.4 と同程度の予測精度になることがわかった。この結果に基づいて、2018 年 3 月 29 日に Ver4.0 の閾値を 25 に引き上げた。

第 7.5.1 表 竜巻注意情報の予測精度の推移

	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年*	2017年*
適中率 (括弧内)は 最大瞬間風速 20m/s以上の事例 を含めた適中率	9% (22%)	5% (30%)	5% (26%)	1% (18%)	3% (25%)	4% (24%)	2% (22%)	4% (24%)	4% (25%)	2% (18%)
捕捉率 【括弧内】は F1以上の捕捉率	24% [31%]	21% [67%]	34% [67%]	21% [20%]	32% [40%]	42% [38%]	27% [33%]	35% [78%]	34% [50%]	40% [36%]
発表回数	172	128	490	589	597	606	604	402	372	909
突風回数 【括弧内】は F1以上の回数	70 [13]	34 [6]	67 [6]	39 [5]	50 [10]	59 [21]	37 [6]	48 [9]	44 [14]	45 [11]

※2016年と2017年は速報値。



第 7.5.1 図 2017 年の月毎の竜巻注意情報の発表回数

第 7.5.2 表 独立資料を用いた竜巻発生確度ナウキャスト Ver4.0 の予測精度

	Ver4.0					Ver3.4
	閾値10	閾値15	閾値20	閾値25	閾値30	
発表回数	779回	603回	499回	424回	377回	389回
適中率	2.27 %	2.60 %	2.67 %	3.06 %	3.18%	3.60 %
捕捉率	44.9 %	40.6 %	34.8 %	32.6 %	30.4%	32.6 %
F1以上の捕捉率	55.6 %	55.6 %	47.2 %	44.4 %	38.9 %	50.0 %
F2以上の捕捉率	60.0 %	60.0 %	60.0 %	60.0 %	60.0 %	40.0 %

7. 5. 3 課題と Ver4.1 における改善の内容

従属資料を使った精度評価では高い値が出たにもかかわらず、独立資料を使った場合の予測精度は従来と変わりがなく閾値が低めに設定された原因は、突風危険指数の係数に過学習の影響が含まれていたためである。過学習が生じた理由は、1) 従来の突風危険指数の作成では 60 ヶ月分のデータを使っていたが、Ver4.0 では半分の 30 ヶ月分であったこと、2) 新しい予測指数を多数導入したため多数の説明変数で突風危険指数が作成され、従属資料に特化した統計式が作られてしまったこと、の2点である。この過学習の影響がある突風危険指数を使って自動で閾値の最適化を行うと、閾値を下げてでも発表回数はあまり増加せず（適中率が低下せず）、一方で閾値を下げることにより捕捉率は上がるため、閾値を過剰に下げよう調整される。こうして決められた突風危険指数と閾値を独立資料に対して適用したことから、予測精度は従属資料を用いた評価とは異なり、発表回数が増加して適中率が低下した。

また、Ver4.0 では複合判定をなくしたため、Ver3.4 で信頼性が高くなったメソサイクロン検出結果が Ver4.0 では相対的に重視されなくなり、閾値が低かったこととあわせて発表回数が増加した一因になっていたと考えられる。

Ver4.0 に含まれるこれらの課題を改善し、その他の改善点とあわせて、竜巻発生確度ナウキャスト

第 7.5.3 表 竜巻発生確度ナウキャストのバージョン間比較

	Ver4.1	Ver4.0	Ver.3.4	備考
データ期間	60ヶ月 (2012～2016年)	30か月 (2012～2014年)	60ヶ月 (2008～2012年)	Ver4.1は過学習対策
説明変数の選択方法	赤池情報量基準(AIC)と逸脱度 ※予測式の係数が負になった説明変数は使用しない。	赤池情報量基準(AIC)と逸脱度	赤池情報量基準(AIC)と逸脱度	Ver4.1は過学習対策
複合判定	使用	不使用	使用	Ver4.1は発表回数抑制策
独立資料を用いた精度検証	あり (2017年4月～2017年12月)	なし	なし	
突風リストの扱い	・現象の種類を再評価 ・降水が全くない事例を使用しない	そのまま使用	そのまま使用	Ver4.1は突風危険指数の改善策
突風あり事例のサンプリングの時刻	突風発生の70分前から突風発生時刻までの間で、 ・メソサイクロンが検出された時はその時刻。 ・メソサイクロンが検出されなかった時は、鉛直積算雨量が最大になった時刻	突風発生の15分前	突風発生時刻	
ダウンバースト型突風危険指数の扱い	・ダウンバースト型突風危険指数を更新して使用	実質的に突風判定に使用せず	Ver.3.0と同じものを使用	Ver4.1は、現象の種類再評価の結果、DB型突風危険指数の作成に使用可能な事例が増加したため
降水強度条件 (発生確度2を表示する条件)	$iemx/(LEL/ZEL) \geq 10$ (概ね季節によって変化する)	100mm/h以上	100mm/h以上	冬季に、突風判定があったにもかかわらず、発生確度2が出ないことがあることに対する対策
Xバンドメソサイクロン	メソサイクロン指数として使用	メソサイクロン指数として使用	使用せず	
新突風関連指数	・説明変数に活用 ・閾値を設定	・説明変数に活用 ・閾値を設定	使用せず	

Ver4.1の開発を行った。Ver4.1における改善点は第7.5.3表に示すとおりである（表に記載されている指数については、第7.5.4表を参照）。以下では、第7.5.3表の各項目について解説する。

### (1) データ期間

Ver4.0におけるデータ期間は、国交省 X バンドレーダのデータを利用でき、気象庁レーダー20基がドップラー化された2012年4月から2014年9月までの30か月であり、事例数が少なかったことが過学習の要因の一つになっていた。Ver4.1では、突風危険指数の作成に用いたデータ期間を2012年4月から2017年3月までの5年間とした。期間中のデータ数については「4) 突風リストの扱い」を参照。

### (2) 新突風関連指数の扱い及び説明変数の選択（過学習対策）

Ver4.1でもVer4.0と同じ数の突風関連指数を説明変数候補として、ロジスティック回帰分析と赤池情報量基準（AIC）による変数選択を行って統計式の作成を行った。一方、Ver4.0では新しい予測指数を導入し説明変数候補の数が増加したことが、過学習が生じた原因の1つであるため、Ver4.1では説明変数の選択の方法を工夫した。

突風関連指数には、突風が発生しやすい時に値が増加するものと値が減少するものの2種類がある。このため、正しく作成された統計式の係数の符号は前者ではプラス、後者ではマイナスになることが期待される。これに対して過学習した統計式では、説明変数の数が多く、係数の符号が期待されるものとは逆符号になっているものを含むという特徴がある。このような特徴を踏まえて、係数の符号が期待されるものとは逆符号になっている説明変数がある時はその説明変数を除いて再度ロジスティック回帰分析を行うことを複数回繰り返すことにより、統計式を最適化する手法を採用した。

このようにして選択されたVer4.1における突風危険指数の説明変数を第7.5.4表に示す（説明変数の意味については、瀧下(2011)と中里・西村(2017)を参照）。Ver4.1の説明変数の数はTR型14個、ダウンバースト型（DB型）8個、ALL型13個であり、Ver3.4と同程度になった。

第7.5.4表 竜巻発生確度ナウキャスト Ver4.1の説明変数

説明変数			
型判別	hemx, r_vil, TVPEz, PTORS, DBVw, DnstTR, DnstDB		
TR型	iemx, hemx, zmax, dbz2, rsvil, SSIm, TTIm, MLCAP3, SREH, BRNsh, VGP, TVPO, PTORS, VILen		
DB型	zmax, pzt10r, dbz5R, svil, TTIm, BRNsh, LEL, RMC		
ALL型	iemx, hemx, vil, zmax, k01r7, dbzE, SSIm, TTIm, MLCAP3, BRNsh, TVPO, LEL, VILen		
記号	説明変数名称(レーダー・調査資料)	記号	説明変数名称(数値モデル)
iemx	レーダー降水強度	SSIm	ショワルター安定指数
hemx	レーダーエコー頂高度	TTIm	トータル・トータルズ指数
zmax	レーダー最大反射強度	MLCAP3	地上から高度1000mの平均空気塊を持ち上げて計算したCAPE
vil	鉛直積算雨量	SREH	ストームに相対的なヘリシティ
r_vil	鉛直積算雨量比(vil比)	VGP	渦生成パラメータ
svil	鉛直シアを考慮したvil	BRNsh	バルクリチャードソン数シア
rsvil	鉛直シアを考慮したvil比	TVPEz	竜巻風速パラメータ(エネルギー保存)
dbz2	高度2km反射強度	TVPO	竜巻風速パラメータ(中層鉛直シアなし)
dbz5R	高度5km反射強度	PTORS	竜巻の種の発生確率予想値
dbzE	高度14km反射強度	VILen	降水分布の長さ予想値
k01r7	周辺内1mmh <sup>-1</sup> 以上の個数	RMC	高度1kmの積乱雲半径予想値
pzt10r	-10°C面エコー強度	DBVw	ウェットダウンバースト予想風速
DnstTR	竜巻の突風密度	LEL	平衡高度までの積算雨量予想値
DnstDB	ダウンバーストの突風密度		



### (3) 複合判定

Ver3.4 までの突風判定では、メソサイクロン検出と ALL 型突風危険指数を用いた複合判定、及び TR 型と DB 型の指数単独判定の 2 つの判定を用いていた。Ver3.4 以前はメソサイクロン検出結果を重視し ALL 型突風危険指数の閾値を低めに設定していたため、メソサイクロンの誤検出がある場合は空振りが増える傾向にあったが、Ver3.4 でメソサイクロン検出の誤検出が減少し信頼性が向上したことから、複合判定による発表回数の減少に寄与していた。Ver4.0 では、国交省 X バンドメソサイクロン検出が 6 段階のレベル値として提供されたことと従属資料による精度検証の結果を踏まえて、複合判定をなくしたうえでメソサイクロン検出結果を他の予測指数と同じく突風危険指数の説明変数として利用し、全て単独判定（ALL 型、TR 型、DB 型）とした。しかし実際には、降水強度が極めて大きくなる場合は発生確度 2 が出やすくなり空振りの増加につながった。これをふまえて、Ver4.1 では複合判定を再び採用することにした。なお、国交省 X バンドメソサイクロン検出結果は、統計式の説明変数としての活用がしやすいため、Ver4.1 においても Ver4.0 と同様に統計式の説明変数に含めて利用している。

### (4) 突風リストの扱い

気象庁では、突風による被害が発生した際に気象台職員が現地調査を行い、現象の種類やその強さなどの調査結果を取りまとめ、突風リストとして整理している。突風危険指数の作成においては、この突風リストを用いて目的変数（突風の有無）を作成している。Ver3.4 以前は、突風リストに記載されている積乱雲に伴う突風事例（現象の種類が「不明」と評定されたものを含む）をそのまま統計式の作成と予測精度の検証に使用していた。しかし、Ver4.1 では次の 3 つの場合について突風リストを修正したうえで、統計式の作成及び予測精度の検証に使用した。

#### ①じん旋風が疑われるものの証拠不十分で現象の種類が「不明」と評定された事例

竜巻発生確度ナウキャストの予測対象は、竜巻、ダウンバースト、ガストフロントなどの積乱雲に伴う突風であるため、じん旋風は統計式の作成には使われていないが、現地調査で現象の種類が不明と評定されたものの中には、じん旋風が疑われるものの証拠不十分で不明とされたものが含まれている。従来の突風危険指数の作成では、このような事例が含まれていた可能性があるため、Ver4.1 では降水がないなどレーダーによる観測データから見て積乱雲に伴う突風の可能性が低い事例については統計式の作成及び予測精度検証に使用しないこととした。

#### ②ほぼ同時刻に近い場所で複数の突風が発生した事例

ほぼ同時刻に近い場所で複数の突風が発生することがあるが、これらを別個に評価するのは適切でない。このため、同一の 10km 格子で発生し発生時刻差が 10 分以内の事例については、後続の突風事例を統計式の作成及び予測精度検証に使用しないこととした。

#### ③統計式の作成を目的とした突風現象の分類

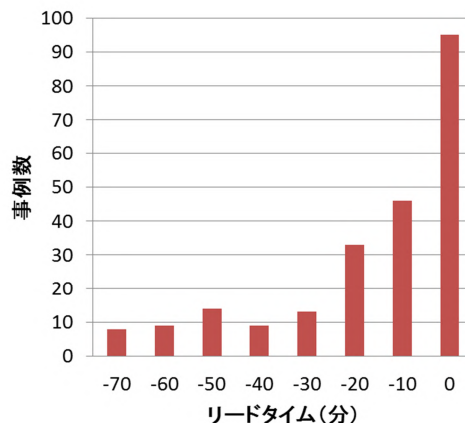
統計式の作成に用いるデータ期間中における現象の種類毎の事例数は、単独判定（瀧下，2011）用の突風危険指数（TR 型、DB 型）の良し悪しに大きな影響があるが、現地調査における現象の種類の評定で「不明」と評定された事例が相当数ある一方で、ダウンバーストと評定された事例は少ない。Ver4.0 の DB 型突風危険指数の作成時には、従属資料期間中のダウンバーストの事例数が 11 事例しかなかったため、実質的に有効な DB 型突風危険指数は作成されなかった。そこで、単独判定用の突風危険指数の作成に使用できる事例数を増やして予測精度を改善するために、突風リストに記載の全ての事例について、レーダー観測や数値予報から計算される突風関連指数から見て「竜巻らしいもの」と「ダウンバーストラしいもの」に便宜上の分類を行い、TR 型突風危険指数と DB 型突風危険指数の作成ではこの結果を用いることとした。「ガストフロント」については「ダウンバーストラしいもの」に分類した。

その結果、データ期間中の事例 409 事例に対して、統計式の作成及び精度検証に使用した従属資料の事例数は 227 事例となった。内訳は、「竜巻(らしいもの)」は 180 事例、「ダウンバースト(らしいもの)」は 47 事例となった。

#### (5) 突風あり事例のサンプリングの時刻(リードタイム調整)

Ver4.0 では、突風が発生した時刻よりも 15 分前の説明変数をサンプリング(中里・西村, 2017)して統計式を作成することにより、リードタイムを調整した。しかし、実際は突風が発生する兆候があらわれるタイミングは様々であり、一律に 15 分前の値を基にして統計式を作成すると閾値が低めに設定されがちになってしまう。

Ver4.1 では、竜巻注意情報の有効時間と発表作業に要する時間を考慮し、突風発生 70 分前から突風発生時刻までの間で  $v_{il}$  が最大となる時刻の値を使用することにした。このため、サンプリングされた時刻は個々の事例毎に異なる。サンプリングされた時刻の分布を第 7.5.2 図に示す。分布の平均値、すなわち期待されるリードタイムは 16 分であった。



第 7.5.2 図 サンプルされた時刻の分布

#### (6) DB 型突風危険指数の扱い

ダウンバーストは竜巻に比べて事例数が少ないため、DB 型突風危険指数の作成のためにはデータ期間を長くし、事例数を確保する必要がある。Ver3.4 では DB 型突風危険指数の作成は見送られ Ver3.0 と同じものが使用された。Ver4.0 では、DB 型突風危険指数の作成が行われたが、データ期間が短かったため閾値が TR 型や ALL 型に比べて高く設定され、実質的には DB 型突風危険指数による判定が行われないような設定となっていた。

この課題に対処するために、4)で修正した突風リストを用いて DB 型突風危険指数の作成を行った。1)で説明したようにデータ期間を 5 年とし、4)で説明した突風現象の分類により、DB 型突風危険指数の作成に使える突風事例の数が増加したため、有効な DB 型突風危険指数の作成が可能となった。

#### (7) 降水強度条件

竜巻発生確度ナウキャストでは、捕捉率を上げるために突風判定があった格子を中心とする半径 40km 以内に発生確度 2 背景を設定し、降水強度条件を課すことにより発生確度 2 を解析している。この降水強度条件としては、これまで「発生確度 2 背景内の各格子点において、降水強度  $20\text{mmh}^{-1}$  以上かつ半径 20km 以内に降水強度  $100\text{mmh}^{-1}$  以上の格子があること」(以下、降水強度条件 A)を採用していた。しかし、寒候期については大気中の水蒸気が少ないため、この条件は厳しいものになっていた。突風判定があっても、この条件によって発生確度 2 が解析されず、見逃しとなる例がみられたため、大気状態に応じて条件を変化させる方法を試みた。具体的には、「発生確度 2 背景内の各格子点において、降水強度  $20\text{mmh}^{-1}$  以上かつ半径 20km 以内に次の式で表される降水強度以上の格子があること」(以下、降水強度条件 B)とした。

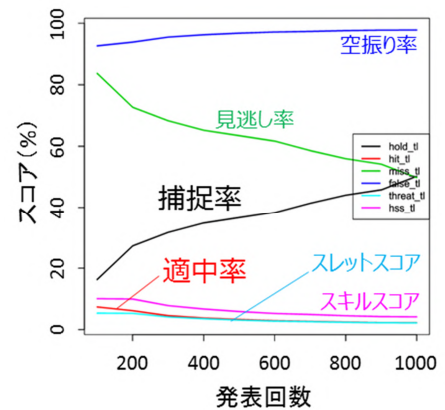
$$iemx/(LEL/ZEL) \geq 10$$

ここで、 $iemx$  ( $\text{mmh}^{-1}$ ) と  $LEL$  ( $\text{kgm}^{-2}$ ) は第 7.5.4 表のとおりであり、 $ZEL$  は地上から高度 500m までの平均した空気塊を持ち上げたときの平衡高度の高さ (km) である。上式右辺の数値は、水の密度と雨粒の終端速度で決まる次元を持つ。なお、実際にどちらの降水強度条件を採用するかは、7.5.4 項の独立資料を用いた評価結果に基づいて決めた。

## 7. 5. 4 Ver4. 1 の予測精度評価

### 7. 5. 4. 1 従属資料を用いた評価

第 7. 5. 3 図は、3 つの突風危険指数 (TR 型、DB 型、ALL 型) の閾値を自動的に最適化するプログラム (中里・西村, 2017) を用いて、指定した発表回数に対する予測精度 (捕捉率、適中率等) をグラフにしたものである。閾値を自動的に最適化する計算は、3 つの突風危険指数の閾値として高い値を初期値として与え、「3 つの閾値のそれぞれで捕捉数が 1 増えるまで仮の閾値を下げ、そのときの発表回数を比較し、発表回数の増加が最も小さい突風危険指数の閾値だけを実際に下げる」という動作を繰り返すことにより行う。この計算結果を用いると、発表回数を指定すれば、3 つの突風危険指数の閾値とそのときの予測精度が決まる。この計算で得られる予測精度と閾値を基にして、7. 5. 4. 2 の「独立資料を用いた評価」のための計算条件を決めた。



第 7. 5. 3 図 従属資料を用いた予測精度の評価結果

### 7. 5. 4. 2 独立資料を用いた評価

独立資料を用いた予測精度の評価を行うために、2017 年 4 月～12 月 (9 ヶ月間) の竜巻発生確度ナウキャストを計算し、予測精度を評価した。精度評価は、降水強度条件 (7. 5. 3 項 7) で説明した降水強度条件 A 又は B) と複数の突風危険指数の閾値を組合せることにより、条件を変えて行った。発表回数が 300～400 回程度となった 4 通りの解析手法に対する結果を第 7. 5. 5 表に示す。ここで、3 つの突風危険指数 (TR 型、DB 型、ALL 型) の閾値の組合せは、従属資料を用いて最適化された閾値 (第 7. 5. 3 図) を参考にした。降水強度条件 B を課した場合は、降水強度条件 A を課した場合より発表回数が少し増加するが、捕捉数と適中数が増加することにより予測精度が向上する。Ver4. 1 では、発表回数が年間 300 回程度になり適中率ももっとも高い解析手法 4 を採用することとした。解析手法 4 の予測精度は、捕捉率約 33%、適中率約 4%である。なお、Ver4. 1 の予測精度を Ver3. 4 の予測精度と比較するには、第 7. 5. 5 表の解析手法 2 (解析手法 4 とは閾値のみが異なる) と Ver3. 4 を比較する。捕捉率と適中率ともに解析手法 2 の方が大きいことから、Ver4. 1 の予測精度が向上していることがわかる。7. 5. 3 項 1) 及び 2) の過学習対策を採用したことにより、

第 7. 5. 5 表 独立資料を用いた予測精度の評価結果

解析手法	1	2	3	4	Ver3.4
<b>計算条件</b>					
降水強度条件	iemx $\geq$ 100mm/h	iemx/(LEL/ZEL) $\geq$ 10	iemx $\geq$ 100mm/h	iemx/(LEL/ZEL) $\geq$ 10	iemx $\geq$ 100mm/h
TR型閾値	15	18	24	24	31
DB型閾値	40	12	40	40	36
ALL型MC背景閾値	22	11	35	35	14
ALL型MC現在閾値	27	13	38	38	16
<b>予測精度</b>					
発表回数	419	<b>440</b>	306	<b>319</b>	432
捕捉数	17	<b>18</b>	13	<b>15</b>	17
適中数	15	<b>16</b>	12	<b>14</b>	15
捕捉率	37.8	<b>40.0</b>	28.9	<b>33.3</b>	37.8
適中率	3.58	<b>3.64</b>	3.92	<b>4.39</b>	3.47
突風事例数	45	45	45	45	45

作成した突風危険指数には過学習の影響がなくなったため、独立資料を用いた予測精度の評価結果は従属資料を用いた評価結果と概ね一致した。

## 7. 6 雷ナウキャストの改善\*

雷ナウキャストは、1km 格子単位で雷の激しさや雷の可能性を解析し、10 分毎に 1 時間先までの予測とあわせて提供する図形式の解析・予測プロダクトである（笠原，2010;笠原，2011）。情報は 10 分毎に最新のものを提供し、雷の発生可能性と激しさを 4 つの階級で表現している（第 7.6.1 図）。

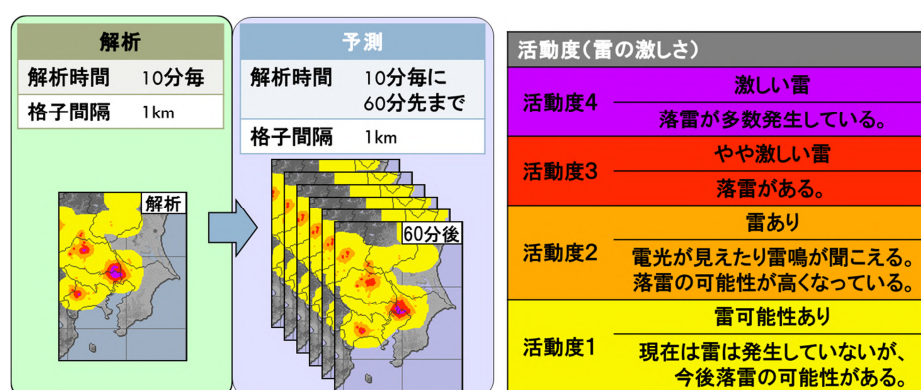
活動度 1 は、“現在発雷に至っていないが、今後 1 時間以内に発雷に至る可能性がある”領域を広く解析することが目的である。2010 年の雷ナウキャスト提供開始時は、雷注意報とレーダーエコー強度により活動度 1 を解析していたが、2011 年の改善によりレーダー指数など複数の指標で解析する手法（雷可能性の解析）を導入した（笠原，2011）。

雷可能性の解析の導入後、以下に示す課題があった。

(A) 活動度 1 は、30 分後の発雷の 95%以上を捕捉する一方で、検出過多で適中率が低めである。

(B) 夏季の熱雷のように急激に発達する雷雲は、レーダー観測により明瞭に捉えられてから発雷するまでの時間が短く、十分なリードタイムを確保することが難しい。

これら課題の解決のため、(A)については、レーダー観測等の利用方法を見直すことにより適中率を改善する手法を 2016 年 12 月に導入した。(B)については、気象衛星ひまわりの高頻度観測データ（以下、ひまわり観測データ）を用いて、発雷に至る可能性がある積雲を早期に検出する手法を開発し、2017 年 7 月に適用した。これらの改善の手法について、7.6.1 項及び 7.6.2 項で解説する。



第 7.6.1 図 雷ナウキャストの概要

### 7. 6. 1 レーダーエコーを用いた雷ナウキャスト活動度 1 の改善（課題（A）への対応）

課題(A)への対応のため、発雷捕捉精度を維持しつつ、より領域を絞り込んだ活動度 1 の解析を可能とする改善を行う。活動度 1 の解析手法の概要と変更点を第 7.6.2 図に示す。

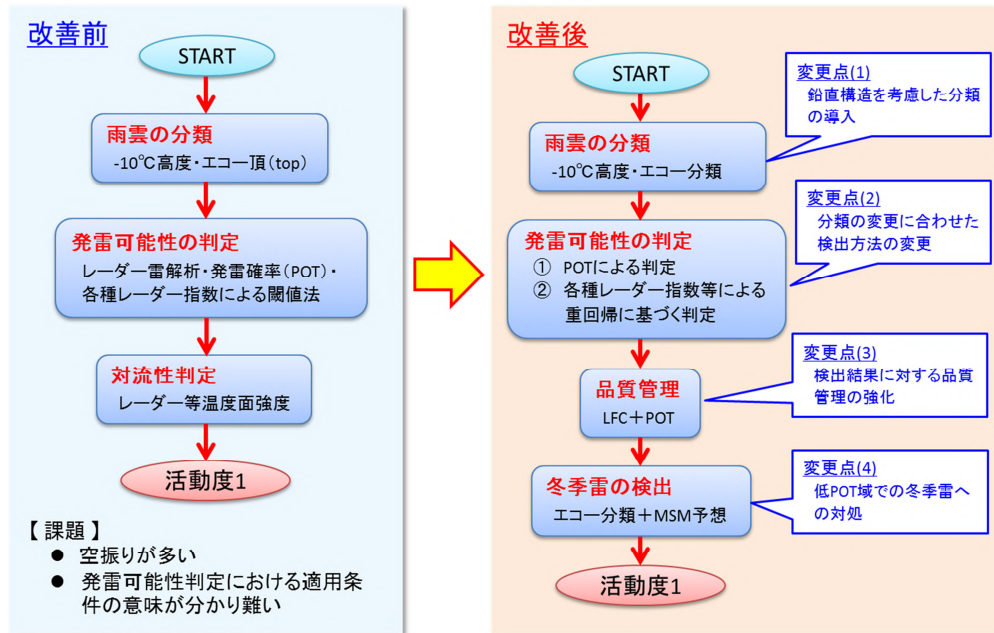
この変更は、2016 年 12 月 15 日に現業化したものである。7.6.1.1～7.6.1.4 では、図に示した(1)～(4)の 4 つの変更点をそれぞれ解説する。

#### 7. 6. 1. 1 雨雲の分類の変更 ～鉛直構造を考慮した分類の導入～

これまでは、雨雲の発達度合を示すレーダーエコー頂高度（TOP）、及び発雷機構の季節性を考慮するためのメソモデル（MSM）の $-10^{\circ}\text{C}$ 高度（以下、 $-10^{\circ}\text{C}$ 高度）を用いて雨雲を分類していた。しかし、雷の発生

\*金井 祐樹（気象庁予報部予報課）、傍嶋 明（気象庁予報部予報課気象防災推進室）

予測において、TOP による雨雲の分類は簡易的なものであり、活動度 1 が広めに出る原因の 1 つになっていた。このため、新手法では TOP に代わりレーダー3次元観測から得られる鉛直構造に着目し、発雷との対応に基づいた①発雷をもたらす雨雲にみられる上空の霰・氷晶などの層の厚さ、②エコー強度の鉛直変化の大きさを評価する手法を導入した（第 7.6.3 図）。

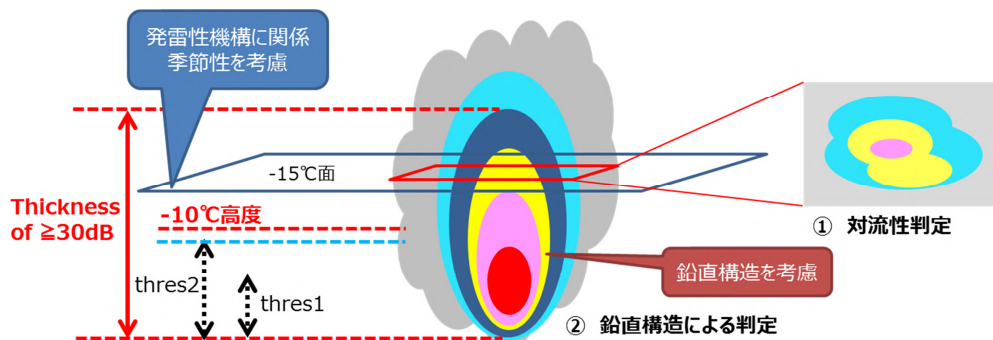


第 7.6.2 図 雷活動度 1 の解析手法の流れと従来と新手法の比較

①の指標として、レーダー3次元観測（15層 CAPPI）の 30dB 以上の深さ（層数）を計算し、②の指標として、各層のエコー強度から得られる以下の指数（ver\_index）を導入した（鉛直判定）。

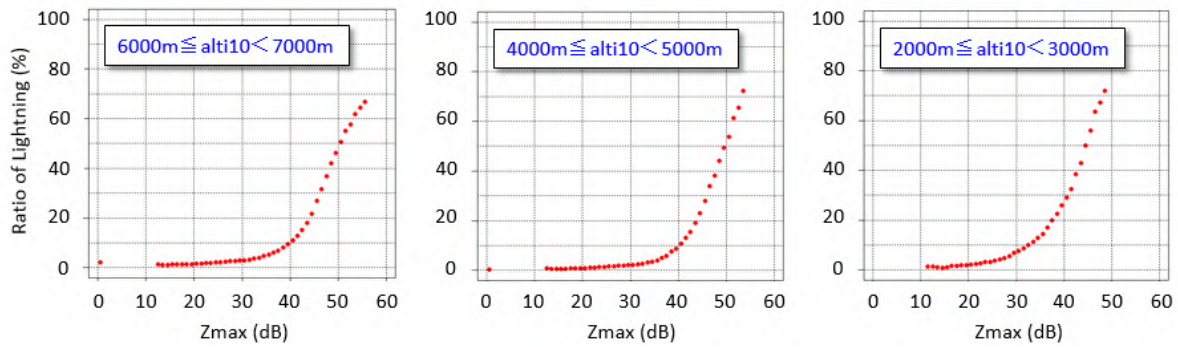
$$ver\_index = \exp\left(\frac{ZMAX}{20.0}\right) - \exp\left(\frac{mean}{20.0}\right)$$

ここで、ZMAX は最大エコー強度、mean は TOP 以下の高度面から求めた平均エコー強度である。エコー強度を 20.0 で規格化するのは、最大エコー強度が 20dB を下回る場合には発雷がほとんどみられないという調査に基づく。季節にかかわらず、この指数が大きいほど発雷率が高まるということが統計的調査で得られていることから（第 7.6.4 図）、30dB 以上の層数が一定以上（第 7.6.3 図の閾値 thres2 との比較による）の場合に、-10°C 高度毎に設定した閾値によって発雷可能性が高いか、またはそうでないかの判定に用いる。



第 7.6.3 図 レーダーエコー分類の模式図

レーダーエコー強度の鉛直構造を解析することによって雨雲の分類を行う。図中の thres1 と thres2 はレーダー3次元観測の反射強度が 30dB 以上の層数の閾値を表す。thres2 は下層から-10°C 高度程度までの 30dB 以上の層数、thres1 は thres2 の半分程度の層数である。



第 7.6.4 図 レーダー最大エコー強度と発雷率の関係

図中の alti10 は MSM-10°C 高度を表す。横軸は最大エコー強度 (dB) を、縦軸は降水強度 > 0mm/h 以上のエコー域における、実況を含む後 60 分以内の発雷率を示す。「発雷あり」は周囲 10km 以内に雷ナウキャスト解析における活動度 2 以上が出現した場合とした。統計期間は 2011 年～2013 年。季節にかかわらず、最大エコー強度が 20dB 未満では発雷率は非常に低く、30dB 付近を境に発雷率が増加することがわかる。

加えて、エコーを対流性、または非対流性に分類する (対流性判定)。対流性判定は、従来の活動度 1 解析手法で用いられた手法 (笠原, 2011) と同一のエコーの先鋭度を評価するものであり、ブライトバンドの影響を除くため -15°C 高度面のエコー強度を用いる。

ここまでで得た鉛直判定と対流性判定を組み合わせることで、降水エコー域を、発雷可能性をある程度考慮して 8 種類へ分類することが可能となる (第 7.6.1 表 (左))。これに、従来から用いる -10°C 高度による 7 層 (1~2km、2~3km、…、6~7km、7km~) の分類 (第 7.6.1 表 (右)) を組合せて、降水エコー域を季節や雨雲の鉛直構造に応じて計 56 種類に分類する。以上により、従来よりも雷の発生機構をより反映した分類が可能となった。

第 7.6.1 表 雨雲の 8 分類 (左) と鉛直判定に用いる閾値 (右)

左は 30dB の層の数と ver\_index、対流性判定結果の組合せと 8 種類の分類の関係を示す。ID は各区分に対応する識別番号である。右は -10°C 高度別に設定されている閾値であり、統計的調査に基づき決定したものである。

ID	30dB 以上の層数	ver_index	対流性判定	-10°C 高度 (m)	ver_index 閾値	thres2	thres1
8	thres2 ≤	閾値以上	対流性	7000 ≤	3.0	6	4
7			非対流性	6000 ≤ < 7000		5	3
6		閾値未満	対流性	5000 ≤ < 6000	2.5	4	2
5			非対流性	4000 ≤ < 5000		3	
4	thres1 ≤ < thres2	非適用	対流性	3000 ≤ < 4000	2.0	2	1
3			非対流性	2000 ≤ < 3000			
2	< thres1		対流性	< 2000	2.0	2	1
1			非対流性				

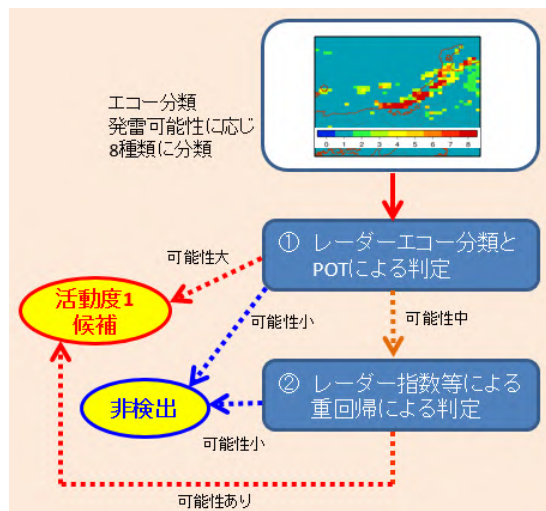
### 7.6.1.2 発雷可能性判定の変更

発雷可能性の判定方法は、従来は TOP と -10°C 高度の値の組合せで分類された区分毎に判定条件 (POT (MSM 発雷確率ガイダンス)、レーダー雷解析が閾値以上か、等) を適用していた (笠原, 2011) が、7.6.1.1 の分類変更を受け、判定に用いるデータ及び判定方法を変更した。以下に変更後の流れを述べる (第 7.6.5 図)。

7.6.1.1 で述べた変更点は概ねレーダー観測のみによる分類であり、環境場は基本的に考慮されていないため、POT を利用することにより環境場を評価する。このため、7.6.1.1 で 56 種類に分類された各区分にお

いて、POT の閾値をそれぞれ設定し、「Level-2（発雷可能性大）」「Level-1（発雷可能性中）」「Level-0（発雷可能性小）」の3段階に判定する。POT の閾値は、見逃しを排除しつつ、実況を含む60分後までの捕捉率を一定以上満たすように決定している。発雷可能性大と見なされるレーダーエコー分類であれば、POT が低値でも Level-2（活動度1候補）とする。逆に、発雷可能性小のレーダーエコー分類では、POT が高い値でない限り Level-0 と判定する。

①のレーダーエコー分類と POT による判定で Level-1 とされた格子については、レーダー3次元指数と POT を説明変数としたロジスティック回帰分析に基づく判定指数により、発雷可能性をより詳細に評価する（図中の②の判定）。ここでは、季節及び地域毎に閾値を設定し、活動度1候補とするか否かを判定する。ロジスティック回帰における説明変数として、TOP・ZMAX・VIL（鉛直積算）・IRR（降水強度）・RAD10（-10°C面エコー強度）の5つのレーダー指数、及びPOTの計6変数を用いる。



第7.6.5図 レーダー雷解析で検出されなかった領域における判定の流れ

### 7.6.1.3 LFCとPOTを用いた品質管理

活動度1判定領域の絞り込みを目的として、MSM予想で自由対流高度(LFC)が存在しない領域について、活動度1候補として妥当か品質管理を行う。具体的には、数値モデルの予想には空間的・時間的なずれが

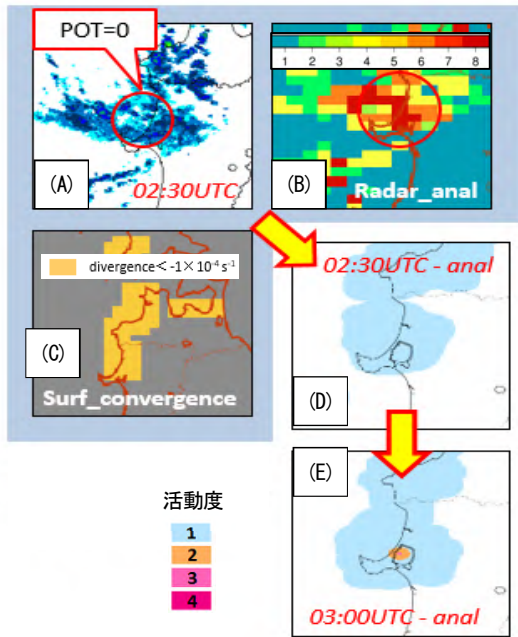
第7.6.2表 自由対流高度(LFC)とPOTによるfiltering条件

-10°C高度(alti10)	LFC + POT filtering条件
$4000 \leq alti10$	LFCなし & POT < 1
$alti10 < 4000$	LFCなし & POT < 3

存在することを考慮し、“LFCが存在せず、かつPOTが十分小さい”条件(第7.6.2表)を満たした場合のみ、7.6.1.2で検出された活動度1の領域を候補から除外する。条件は、-10°C高度により場合分けし、LFCが存在しない場合におけるPOTと実際の発雷率から統計的に決定した。

### 7.6.1.4 冬季雷の検出

冬季雷(特に強い寒気場で発生する一発雷)の捕捉は簡単ではなく、発雷ポテンシャルが特段高くなくとも発生する場合も多く、十分な捕捉精度が得られないことがある。7.6.1.1~7.6.1.3の判定・品質管理で検出されなかった場合でも、冬季雷の見逃しを防ぐ目的で、次の方法によって活動度1の解析を行う(第7.6.6図)。-10°C高度が2000m未満において、7.6.1.1のエコー分類でID(識別番号)が8と分類され、MSMの地上収束が明瞭である場合には、下層の収束により対流が発生し、かつ相当量の氷晶・霰が雲内に存在していると思われ、その領域ではPOTの値にかかわらず活動度1格子とする。



第 7.6.6 図 沿岸収束とレーダーエコー分類による冬季雷の解析例

評価に用いる資料（青色塗り背景）と実際の雷ナウキャストの解析（2014 年 12 月 15 日の事例）。(A) レーダーエコーの様子。赤丸の領域は POT=0。(B) レーダーによる雨雲の分類（数字は第 7.6.1 表の ID（識別番号）である）。赤丸は ID=8 と多く区分される領域を示す。(C) 下層収束域があると判定される領域（橙色領域）。(D) 改善された活動度 1（雷可能性あり）解析。(E) 30 分後に落雷（活動度 3）が解析されている。

### 7. 6. 1. 5 精度評価

2014～2015 年の 2 年間における活動度 1 の統計精度検証を行った結果を第 7.6.3 表に示す。発雷捕捉精度は従来と同程度を維持しながら活動度 1 の面積が減少し、適中率は向上している。

第 7.6.3 表 統計精度検証結果（2014～2015 年）

捕捉率は、活動度 2 以上の捕捉率を意味する。「適中」の定義は、解析時刻から 60 分以内・周囲 0.05 度以内に活動度 2 以上が一度以上出現した場合とした。

	30分予報全発雷捕捉率(%)		適中率(%)		改善前を基準とした活動度1面積変化率(%)
	改善前	改善後	改善前	改善後	
12～2月	96.6	97.4	11.2	11.6	-1.4
3～5月	97.3	97.4	12.2	13.4	-9.0
6～8月	98.7	98.7	14.6	17.4	-16.7
9～11月	98.2	98.4	15.9	16.8	-5.3
全期間	98.1	98.3	13.9	15.5	-10.1

### 7. 6. 2 ひまわり観測データを用いた雷ナウキャスト活動度1の改善（課題（B）への対応）

夏季日中の陸上雷（主に熱雷）に対し、ひまわり観測データの利用により、従来よりも早い段階で活動度 1（発雷可能性あり）を解析することを目指して、処理の改善を行った。これにより、活動度 1 の解析から発雷までの時間（リードタイム）が短かった発雷事例で、全体に早い段階で活動度 1 の解析が可能となることが確認された（2015 年及び 2016 年の 7～8 月を対象とした精度検証結果）。本改善は、2017 年 7 月 19 日に現業化した。

以降、本改善に用いる手法を説明する。流れの概要は以下のとおりである。

- (1) ひまわり観測データを用いた着目すべき雲の抽出（Step1～2）
- (2) ひまわり観測データと MSM 予想データを併用した発雷可能性のある雲の判定（Step3）

#### 7. 6. 2. 1 Step1：データの準備

##### ・MSM 熱雷指数

CAPE、SSI と下層気温減率から算出する指数であり、成層不安定な条件下で地表面加熱が発生・発達の特リガーとなる熱雷を捕捉する目的で、Step2 のひまわり観測データによる下層積雲の検出、及び Step3 の



ひまわり観測データによる活動度 1 判定で用いる（以降、MSM\_index とも表す）。これらの変数は、POT の説明変数の一部であり（白山，2015）、計算を簡略化し、主に熱雷に感度を持たせた指数である。

・ひまわり観測データ

ひまわり 8 号の運用開始に伴い、2.5 分間隔の日本域の高頻度観測が得られることになり、雷ナウキャストへの衛星観測データの利用が可能となった。本改善では、急速に発達する前の下層積雲を抽出するために、ひまわりに搭載される 16 バンド（志水他，2017）のうち可視・赤外を含む計 7 バンドを利用する（第 7.6.4 表に示す 6 バンド及び B15）。以下、利用するバンド及びパラメータについて述べる。

**第 7.6.4 表 ひまわり観測データによる活動度 1 の判定に用いるパラメータ**

B13 時間変化（2.5 分）は単独で、その他は層別化や回帰式の説明変数として Step3 にて利用する。

Parameters	Purpose
B03 – B05	雲相推定
B07 reflectivity	雲相推定
B10 – B08	対流層の深さの評価
B13	発達段階の把握
B13 standard deviation	雲システムの不均質性評価
B13 time trend (2.5min)	雲の成長率(≒上昇流の強さ)の推定

- B03 (0.64 $\mu$ m) と B05 (1.6 $\mu$ m) 反射率の差分 (B03–B05) は、主に雲頂付近の相変化を捉える目的で利用する。雲頂付近に氷粒子が卓越することにより B05 の吸収の効果が強くなることから、電荷の発生に必要な氷晶・霰の生成により B03–B05 が増加する特性を利用する。
- B07 (3.9 $\mu$ m) 反射率は、主に雲頂付近の相変化を捉える目的で利用する。B07 は太陽放射と赤外放射の両者をあわせて観測し、雲頂上昇（温度低下）の効果を除くため赤外放射成分を除去し、太陽放射成分（反射率）を計算する（Oku et al, 2010）。氷粒子の生成により B07 反射率が低下する特性を利用する。
- B10 (7.2 $\mu$ m) と B08 (6.2 $\mu$ m) の差分は、雲頂の上昇を捉えることを目的とする。B10 と B08 はともに水蒸気バンドであるが、B08 の方が水蒸気による吸収が強いため、雲頂上昇に伴って雲頂よりもさらに上層の水蒸気吸収の効果の差が不明瞭となり、B10–B08 が次第に減少する特性を利用する。
- B13 (10.4 $\mu$ m) は、積雲の発達度合を評価するために利用する。後述のひまわり観測データ等を用いた判定指数の説明変数として利用するだけでなく、発達度合に応じた層別化にも利用する。また、B13 の標準偏差を計算することで、発達する積雲の雲頂付近にみられる不均質性の評価に用いる。類似の手法は、ひまわり 8 号による積乱雲プロダクト（Sumida et al, 2017）でも導入されている。

**7. 6. 2. 2 Step2： ひまわり観測データによる下層積雲の抽出**

ひまわり観測データで解析対象とする下層積雲を抽出する。効率的な処理のため、10km 格子単位で衛星データ適用領域の抽出を行う。処理の流れの概要を第 7.6.7 図に示す。

「適用領域の抽出処理」において適用する条件は第 7.6.5 表に示しており、全てを満たしたものを適用領域とする。Condition6~7 のように、ひまわり観測データに基づくパラメータだけでなく、MSM 熱雷指数が一定以上、かつレーダーの微弱エコーの存在（0 $^{\circ}$ C面高度強度 Rad00）も条件として課すことにより品質管理を行う。なお、ひまわり観測データの利用は B13 輝度温度が 10 $^{\circ}$ C以下かつ-15 $^{\circ}$ C以上に限定する。

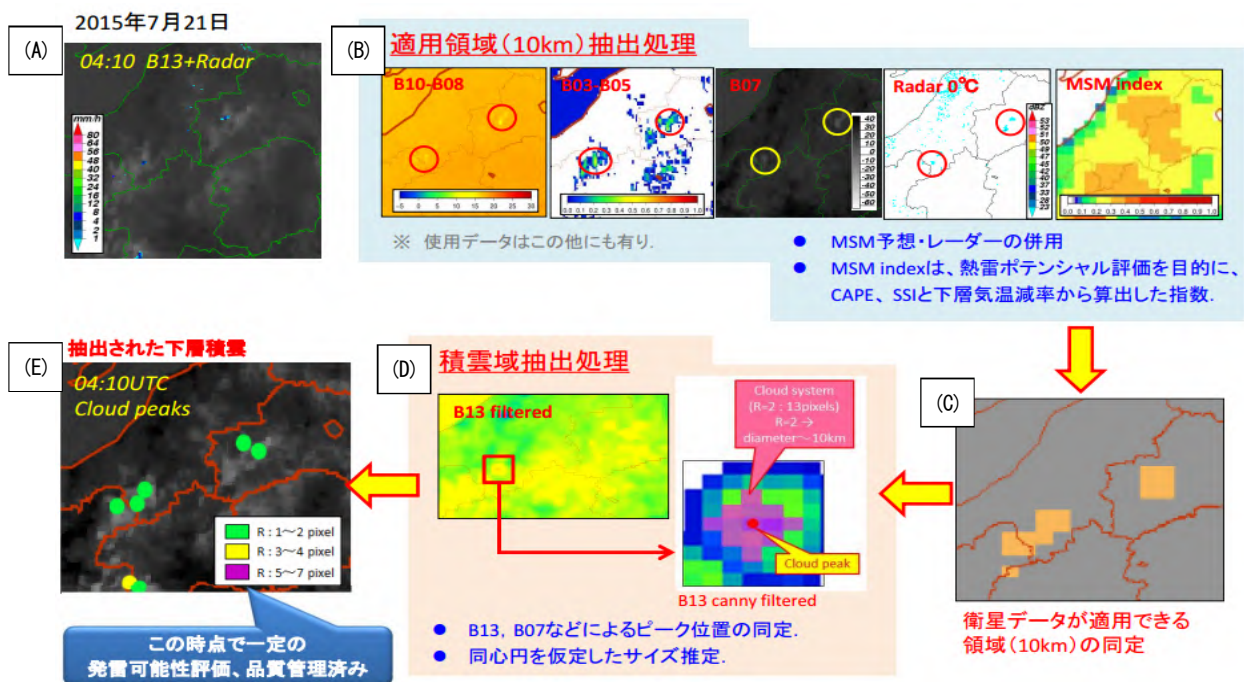
この理由は、B13 輝度温度が-15 $^{\circ}$ C以下の発達に至る積雲は、概ねレーダーで明瞭に捉えられるものが多

く、10°C以上であれば晴天域または発達を始める前の積雲であると判断できるためである。抽出されたひまわり観測データ適用領域について、B13 や B07 等を用いた画像処理（メジアンフィルターによる平滑化等）を経て、輝度温度の最も低い点を中心とした領域（積雲システム）を決定する。

	Conditions	データ種別
0	陸上	-----
	太陽天頂角 ≤ 80deg	-----
	-10°C 高度 ≥ 5500m	NWP (MSM)
1	-15°C ≤ B13_BT ≤ 10°C	Himawari-8 (B03/05/07 /08/10/13/15) B05/B10は 新センサー
2	B07_BT ≤ 23°C	
3	$0.2 \leq (B03\_A - B05\_A) / \cos\theta$	
4	B13_BT - B15_BT ≤ 2°C	
5	B10_BT - B08_BT ≤ 20°C	
6	Rad00 ≥ 10dB or 0mm/h < IRR	Radar (JMA C-band)
7	0.05 ≤ MSM_index	NWP (MSM)

第 7.6.5 表 ひまわり観測データ利用可能領域 (10km) 判定に用いる条件

表中、BT は輝度温度を、A は反射率を示す。例として、B03\_A は B03 の反射率を表す。B03\_A 及び B05\_A は  $\cos\theta$  ( $\theta$  は太陽天頂角) で除することで、太陽天頂角による変化を補正する。また、Rad00 は-0°C面のエコー強度、IRR はレーダーより得られる降水強度である。



第 7.6.7 図 ひまわりデータによる下層積雲の抽出手法の概要

(A)のような例に対して、10km メッシュ単位で(B)の抽出処理を行い、適用領域を同定する(C)。この領域に対して、(D)の処理で輝度温度の最低点を中心とした領域（積雲システム）を決定する(E)。

### 7. 6. 2. 3 Step3: ひまわり観測データによる活動度1判定

判定の流れは、第 7.6.8 図に示すとおり大きく 3 段階で行う。①から判定を開始し、各段階における判定結果が真であれば、発雷可能性あり（活動度 1）とする。結果が偽であれば次の②・③の判定に進む。

#### ① B13 輝度温度時間変化の評価

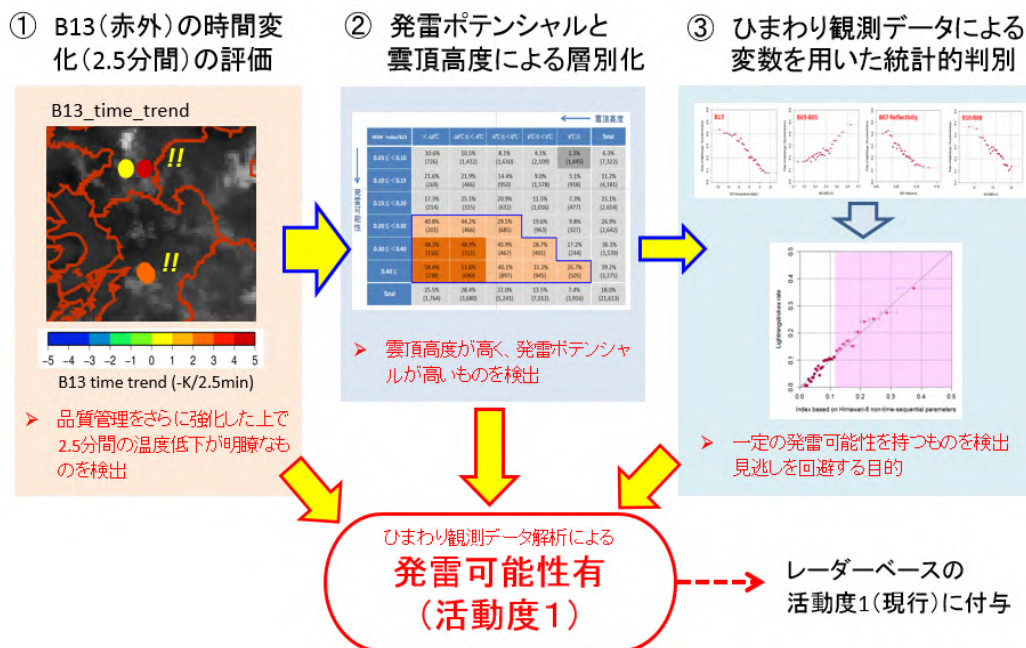
急速な雲頂上昇が認められる積雲を、間もなく発雷に至る可能性が高いと判定し、「発雷可能性あり」（活動度 1）とする。現在時刻と 2.5 分前の雲システムの類似度が高いことを前提とし、2.5 分前との温度差 ( $dT_{2.5}$ ) 及び 5 分前との温度差 ( $dT_{5.0}$ ) を用いて温度低下の継続性を評価する。判定に用いる条件は " $dT_{2.5} \leq -2^{\circ}\text{C}$ かつ  $dT_{5.0} \leq -3^{\circ}\text{C}$ " であり、経験的に決定したものである。これは、米国の CI (Convective Initiation) ナウキャストで用いられる  $-4^{\circ}\text{C}/15$  分という値 (例えば、Sieglafl et al (2011)) と比しても大きな温度変化といえる。

#### ②発雷ポテンシャルと雲頂高度による判別

雲頂温度と発雷ポテンシャルを示す MSM 熱雷指数の関係により、発雷可能性を統計的に評価する。この統計処理に用いるテーブルは 2015 年夏季のデータを用いた統計に基づくものである (第 7.6.6 表)。第 7.6.6 表から、同じ MSM 熱雷指数でも雲頂温度が低い場合は高い場合に比べ発雷に至りやすく、また同じ温度帯でも MSM 熱雷指数が高い方が発雷率は高いことがわかる。発雷率が 20%を超える区分に該当する場合には、その時点で「発雷可能性あり」とする。

#### ③ひまわり観測データによる変数を用いた統計的判別

ここでは、第 7.6.4 表に示した B13 時間変化以外の衛星パラメータ及び MSM 熱雷指数を用いて、ロジスティック回帰により計算する指数 (以下、判定指数) によって判定を行う。対象は第 7.6.6 表の青枠内の区分に属するものに限定し、B13 輝度温度が  $0^{\circ}\text{C}$  以上の場合と  $0^{\circ}\text{C}$  未満の場合それぞれにおいて、実況で発雷がないデータに対する解析時刻から 30 分以内の発雷率 (活動度 2 以上があらわれる確率) を目的変数に、Step1 で述べた 6 変数を説明変数として採用し、閾値を上回る場合は「発雷可能性あり」（活動度 1）、下回る場合は「発雷可能性低」（活動度 1 としない）とする。



第 7.6.8 図 ひまわり観測データによる活動度 1 判定フローの概略図

図中の赤枠と青枠の矢印は、それぞれ評価結果が真/偽であった場合の流れを示す。

**第 7.6.6 表 B13 温度（雲頂温度）と発雷ポテンシャルによる判定（層別化）**

標本期間は 2015 年 7 月 16 日から 8 月 15 日。各カテゴリの数値は実況で発雷がない積雲数に対する後 30 分以内の発雷率を示す。発雷の有無は活動度 2 以上の有無とした。括弧内の数はサンプル総数を示す。赤枠で囲んだものは発雷確率が 20%を超えるもので②発雷ポテンシャルと雲頂高度による判別で発雷可能性ありとされる。青枠内は③ひまわり観測データによる変数を用いた統計的判別で統計的判別に用いられるものである。

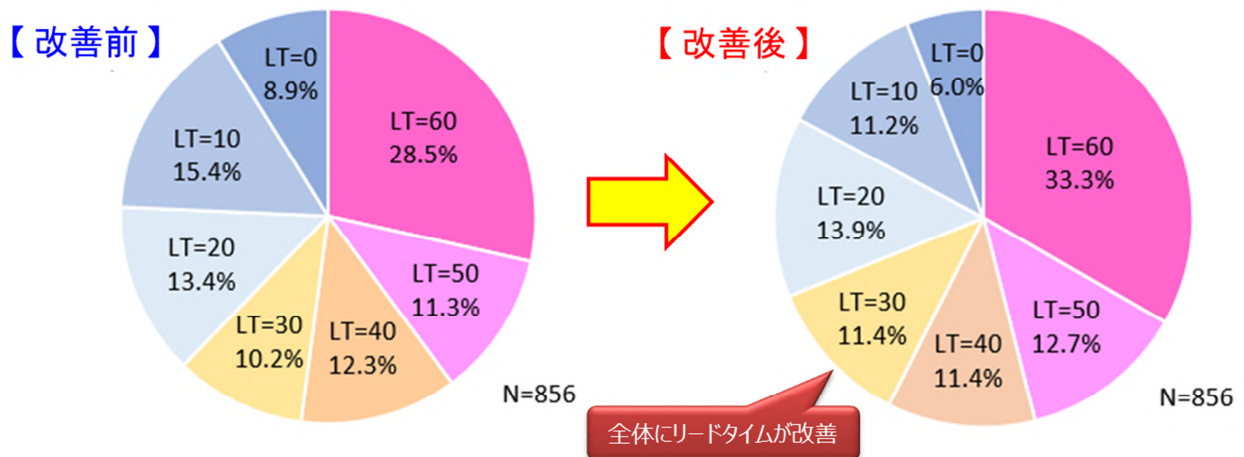
MSM index/B13	<-10°C	-10°C≤<-5°C	-5°C≤<0°C	0°C≤<5°C	5°C≤	Total
0.05 ≤ < 0.10	6.6% (593)	4.2% (1,201)	4.4% (1,304)	3.3% (1,795)	1.5% (1,319)	3.6% (6,212)
0.10 ≤ < 0.15	10.5% (181)	10.9% (338)	9.9% (689)	6.0% (1,213)	3.5% (765)	7.0% (3,186)
0.15 ≤ < 0.20	10.9% (137)	17.1% (210)	15.2% (374)	9.5% (768)	6.4% (423)	10.9% (1,912)
0.20 ≤ < 0.30	29.9% (117)	30.7% (277)	23.2% (469)	15.6% (745)	7.2% (291)	19.3% (1,899)
0.30 ≤ < 0.40	35.1% (97)	46.2% (264)	35.3% (306)	29.6% (324)	17.3% (214)	32.9% (1,205)
0.40 ≤	48.3% (259)	45.7% (676)	33.1% (871)	29.6% (945)	26.0% (488)	34.9% (3,239)
Total	19.3% (1,384)	21.5% (2,966)	17.1% (4,013)	12.1% (5,790)	7.4% (3,500)	14.4% (17,653)

**7. 6. 2. 4 検証**

7.6.2.3 までの変更を適用した雷ナウキャストの統計検証結果を示す。

第 7.6.9 図は、夏季日中の陸上で発生した雷について、適用前後のリードタイムの分布を示したものである。これによると、リードタイムが 30 分以上の割合が改善前は約 62%であるのに対し、改善後は約 69%に向上するなど、リードタイムの延長に繋がることがわかる。この一方で、適用前後の活動度 1 の適中率はほぼ不変であり（2016 年 8 月陸上日中の検証では、改善前：25.4%、改善後：25.2%）、適中率の維持と早期検出精度を両立させている。

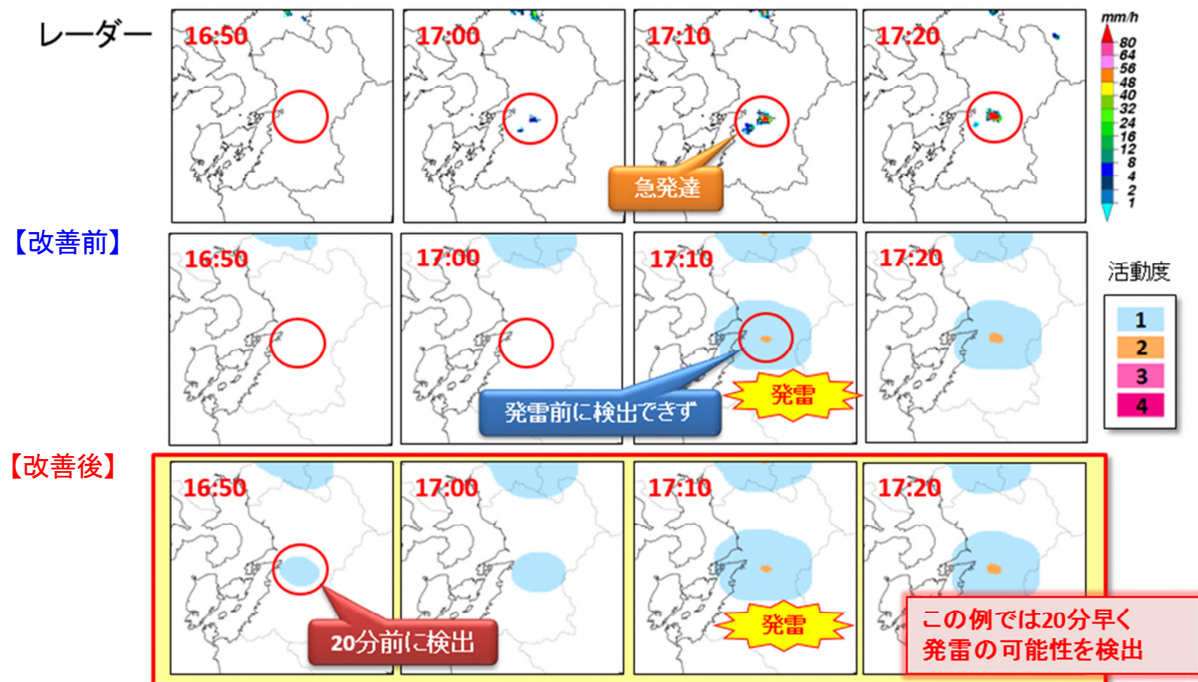
また、夏季日中の熱雷を本改善により早期に捉えた事例を第 7.6.10 図に示す。



**第 7.6.9 図 統計的検証結果**

検証に用いたサンプルは、2015 年 7 月 16 日～8 月 31 日・2016 年 7 月 1～31 日の日中の陸上で発生した雷である。

LT はリードタイム（分）を表す。



第 7. 6. 10 図 実事例による改善例 (2015 年 8 月 6 日、時刻は JST)

### 7. 6. 3 雷ナウキャストの利用について

改善後の雷ナウキャストの利用上の注意点としては、従来から大きな変更はない。雷に関する気象情報、雷注意報、雷ナウキャストの段階的な利用が、雷から身を守るために有効である。

雷注意報が発表されている場合に活動度 1 が出現した場合には、雷ナウキャストから詳細な状況を把握するとともに、周辺の空の様子に注意する。雷注意報が発表されていない場合でも、雷ナウキャストの活動度 1 が出現した場合には周辺の空の様子に留意する。

これらの情報は、気象庁ホームページでも提供されており、レーダー・ナウキャストのコンテンツの一つとして、降水（レーダー実況、降水ナウキャスト）と竜巻発生確度ナウキャストと切り替え可能な形で掲載されている。また、雨雲の動き（高解像度降水ナウキャスト）のページでは、降水や竜巻発生確度、また雷の実況（LIDEN による前 5 分間の観測）とともに重ねて表示可能であり、雷雨の監視や危険性の把握に有効である。

## 参考文献

- 蟻坂隼史, 2017: 降水短時間予報の改善. 平成 28 年度予報技術研修テキスト, 気象庁予報部, 79-83.
- 幾田泰醇, 2010: 高分解能モデルの降水予報精度評価に適した検証手法. 平成 22 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 11-17.
- 笠原真吾, 2010: 雷ナウキャスト. 平成 21 年度予報技術研修テキスト, 気象庁予報部, 116-135.
- 笠原真吾, 2011: 雷ナウキャストにおける雷の解析・予測技術と利用方法. 測候時報, 78. 3, 95-140.
- 木川誠一郎, 杉原 良, 青木大佳, 武樋落子, 2017: 国土交通省 X バンド MP レーダと気象庁気象ドップラーレーダーの複合利用によるメソサイクロン検出について. 平成 28 年度予報技術研修テキスト, 気象庁予報部, 57-59.
- 熊谷小緒里, 2014: 降水短時間予報の改善. 平成 25 年度予報技術研修テキスト, 気象庁予報部, 67-71.
- 熊谷小緒里, 2015: 降水短時間予報の改善. 平成 26 年度予報技術研修テキスト, 気象庁予報部, 87-93.
- 小林大輝, 2018: 数値予報課報告・別冊で用いた表記と統計的検証で用いる代表的な指標. 数値予報課報告・別冊第 64 号, 気象庁予報部, 242-246.
- 志水菊広, 齋藤幸太郎, 山本幹人, 2017: ひまわり 8 号・AHI の 16 バンド画像の特性. 気象衛星センター技術報告 第 62 号, 39-71.
- 白山洋平, 2015: 発雷確率ガイダンスの改良. 平成 27 年度数値予報研修テキスト, 64-72.
- 白山洋平, 2018: 降水ガイダンス. 数値予報課報告・別冊第 64 号, 95-118.
- 瀧下洋一, 2011: 竜巻発生確度ナウキャスト・竜巻注意情報について. 測候時報, 78, 57-93.
- 中里真久, 西村建志, 吉田公一, 田中恵信, 2017: 竜巻注意情報の改善. 平成 28 年度予報技術研修テキスト, 気象庁予報部, 48-56.
- 中里真久, 西村建志, 2017: MSM 突風関連指数とレーダーエコー指数の改善. 平成 28 年度予報技術研修テキスト, 気象庁予報部, 60-78.
- Oku, Y., M. Kajino, and H. Ishikawa, 2010: Estimation of the cloud effective particle radius using MTSAT-1R data. *International Journal of Remote Sensing* 31(20): 5439-5447.
- Roberts, N.M. and H. W. Lean, 2008: Scale-Selective Verification of Rainfall Accumulations from High-Resolution Forecasts of Convective Events. *Monthly Weather Review*, 136, 78-97
- Sieglaff, J. M., L. M. Counce, W. F. Feltz, K. M. Bedka, M. J. Pavolonis, and A. K. Heidinger, 2011: Nowcasting convective storm initiation using satellite-based box-averaged cloud-top cooling and cloud-type trends. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 50, 110-126.
- SUMIDA Yasuhiko, SUZUE Hiroshi, IMAI Takahito, and SOBAJIMA Akira, 2017: Convective Cloud Information derived from Himawari-8 data. 気象衛星センター技術報告 第 62 号, 19-37.



