

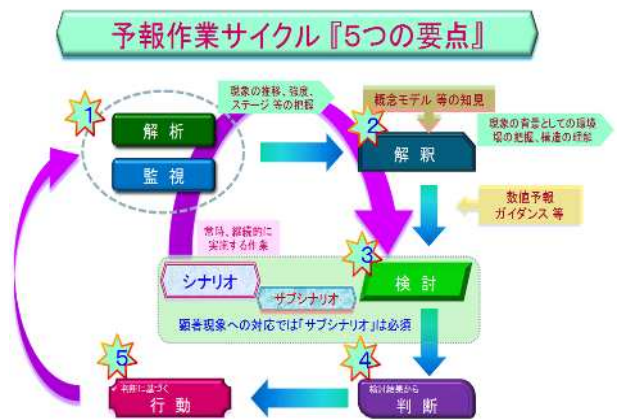
第1章 実例に基づいた予報作業の例

1.1 はじめに*

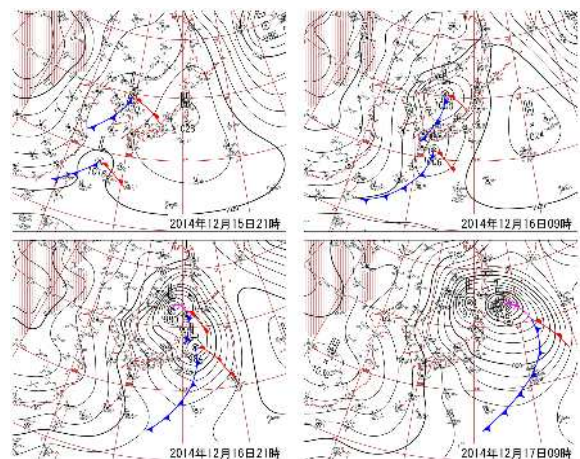
予報技術研修テキスト（以下、「研修テキスト」という）では、その時々々の予報作業環境や予報技術の変化を踏まえて、気象庁における予報業務の標準的な作業について解説を行ってきた。平成 25 年度研修テキストの第 1 章「これからの予報官に求められるもの」（村中,2014）では、予報作業サイクルの 5 つの要点（第 1.1.1 図）が示された。平成 26 年度研修テキストでは、予報作業サイクルの 5 つの要点「監視・解析」「解釈」「検討」「判断」「行動」の中の「解析・監視」に重点をあてて「現業作業における総観場の把握と局地気象解析について」（黒良・牧野,2015）として解説がなされるとともに、平成 25 年度研修テキスト、平成 26 年度研修テキストでは、大雨や大雪の実際の事例を用いて、実況監視・解釈により予報シナリオの検討・修正を行いながら必要な防災気象情報の発表を判断するという、予報作業サイクルを意識した予報作業の作業例の解説が行われた。

本章では、平成 26 年 12 月 17 日 9 時に北海道付近では平成 6 年 2 月 22 日以来となる中心気圧 948hPa と記録的に発達した低気圧を具体的な事例（以下「本事例」という）として扱う。この低気圧は、平成 26 年 12 月 15 日 21 時に東シナ海にあり、前線を伴って急速に発達しながら北東に進み、17 日 9 時に北海道付近で中心気圧 948hPa まで発達した（第 1.1.2 図）。低気圧は日本の東で動きが遅くなり、日本付近は 19 日にかけて強い冬型の気圧配置となった。この影響で北日本から東日本で非常に強い風が吹き、根室市納沙布では統計開始以来の極値となる最大風速 30.7m/s の猛烈な風を観測し、海上は大しけとなった。北海道太平洋側東部では高潮により床上浸水や道路冠水等の被害が発生した。また、北日本から東日本にかけて大雪による集落の孤立や、暴風雪や大雪、高波による交通機関への影響があった。

本事例は総観規模の現象であり、平成 25 年度研修テキストや平成 26 年度研修テキストで扱ったような、実況監視により随時予報シナリオを修正していかないと対応が困難な事例とは異なり、次項で示すように、早い段階から数値予報等で予想ができていた事例である。一方、本事例では、暴風雪、大雪、高潮、高波を伴う災害が発生しており、特に経験の浅い予報担当者にとって、予報作業に資する基礎的な知識や知見を学習するのに適した現象といえる。



第 1.1.1 図 予報作業サイクル『5つの要点』



第 1.1.2 図 地上天気図

*竹田 康生（気象庁予報部予報課）

本章では、平成 25 年度研修テキストや平成 26 年度研修テキストでは大きく取り上げていない、予報作業サイクルの 5 つの要点のうち「解釈」や「検討」に重点を置いた解説を行う。具体的には、暴風雪、大雪、高潮、高波という現象の解釈に必要な、気象、海象に関する科学的知見、防災に関する知見、高潮モデルや波浪モデルを含む数値予報資料の留意点を整理し、量的予報に必要な基礎的な知識及び災害についての知識を身に付けられるような構成としている。

また、最近の動向として、平成 27 年 1 月 20 日に国土交通省が「新たなステージに対応した防災・減災のあり方」（国土交通省,2015）を公表した。これを受けて、平成 27 年 7 月 29 日に交通政策審議会気象分科会で「「新たなステージ」に対応した防災気象情報と観測・予測技術のあり方」（以下、「気象分科会提言」という）（気象庁,2015）がとりまとめられた。予報作業では、このような気象業務を取り巻く枠組みの変化にも留意する必要がある。

なお、本事例は、冬の北日本中心の現象であるが、暴風（雪）、高波、高潮、大雨（雪）の複合的な要因による災害は全国どこでも発生可能性がある。このため、台風や発達した温帯低気圧に伴う暴風（雪）、高波、高潮、大雨（雪）の複合的な要因で発生する災害に関する、現象の解釈、防災気象情報の発表のタイミングや内容、災害発生後の現地調査等の対応など、北日本以外の地域でも参考となることが多いと思われる。また、今後ますます重要となってくる、部外機関との防災に関する知見の共有や部外機関の知見の活用についても、大雪については国土交通省や農林水産省との連携、暴風雪については札幌管区气象台と北海道開発局、北海道、（国立研究開発法人）土木研究所 寒地土木研究所（以下「寒地土木研究所」とする）との連携についての紹介を 1.3 節で示しており、参考としていただきたい。

参考文献

黒良龍太, 牧野 眞一, 2015: 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 .

(<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/yohkens/20/chapter2.pdf>)

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 . (<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/yohkens/19/chapter1.pdf>)

1.2 防災気象情報の発表状況*

本事例で気象庁は、平成 26 年 12 月 8 日の異常天候早期警戒情報で北日本から西日本の日本海側で 12 月 13 日からの約 1 週間の降雪量が「かなり多い」確率が 30%以上と発表した（第 1.2.1 図）。また、12 月 13 日夕方の北海道地方気象情報の発表から始めて、実際に顕著現象が発生し、終息する 19 日までの期間、全国予報中枢官署（本庁）、地方予報中枢官署、府県予報区担当官署それぞれがきめ細かな防災対応を行った。本節では、これら本事例における防災気象情報の発表状況について解説する。



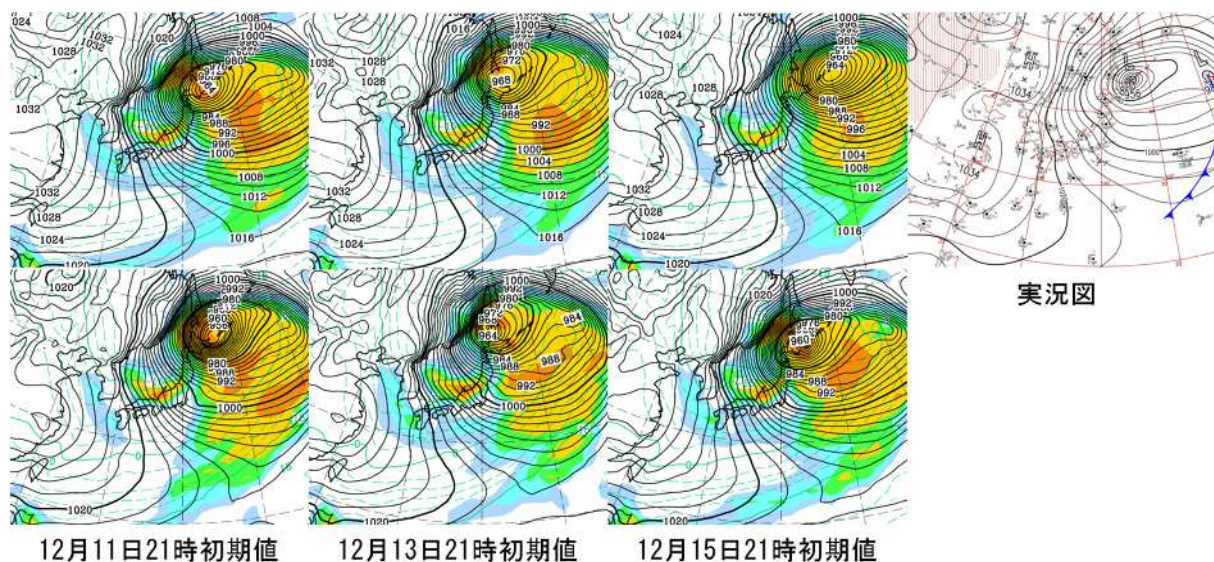
第 1.2.1 図 12 月 8 日発表の降雪量が「かなり多い」確率が 30 パーセント以上の地域

*竹田 康生（気象庁予報部予報課）

1.2.1 週間予報（数日前からの呼びかけ）

第1.2.2図は6日前（11日21時初期値）、4日前（13日21時初期値）、2日前（15日21時初期値）に12月17日21時を予想した週間アンサンブルとGSMと12月17日21時の地上天気図である。これを見ると、アンサンブル平均では6日前から安定して北海道近傍で低気圧を予想しており、中心気圧も低いことから発達する可能性が高いことを示していた。また、GSMでも6日前から北海道付近にかなり発達した低気圧が安定して予想されており、早い段階から大荒れの天気となる確度が高まっていた。

気象庁本庁は、12月14日夕方に「発達する低気圧に関する全般気象情報 第1号」を発表し、16日に低気圧が急速に発達すること、18日にかけて冬型の気圧配置が強まることから、北日本を中心に大荒れとなり、日本海側の地方を中心に大雪となるおそれがあるため、暴風や高波及び大雪に対する警戒を呼びかけた。札幌管区気象台では、気象庁本庁の対応よりも早い、13日夕方に「発達する低気圧に関する北海道地方気象情報 第1号」を発表し、16日から18日にかけて急速に発達する低気圧の影響で、北海道地方が大荒れの天気となるため、猛ふぶきや大雪による交通障害、暴風、高波に警戒するように呼びかけた。



第1.2.2図 12月17日21時を予想したアンサンブル予想図（上）、GSM予想図（下）と実況図

1.2.2 短期予報（2日程度前からの呼びかけ）

気象庁は、通常、顕著現象が発生する2日程度前から、全般気象情報、地方気象情報、府県気象情報（以下、これらをまとめて「気象情報」という）や、警報や注意報を用いて、防災に関する呼びかけを行う。気象情報には、24時間から2~3日先に災害に結びつくような激しい現象が発生する可能性のあるときに、警報や注意報に先立って現象を予告し注意を呼びかける予告的気象情報と、警報や注意報の発表中に、現象の経過、予想、防災上の留意点等を解説する、警報・注意報を補完する気象情報がある。

本事例では、気象庁本庁は、12月14日夕方の「発達する低気圧に関する全般気象情報 第1号」を引き継ぐ形で、15日夕方に予告的気象情報として、「暴風雪と高波に関する全般気象情報 第2号」を発表した。この全般気象情報では急速に発達する低気圧の影響で全国的に風が強まり、海上は大しけとなることから、暴風や暴風雪、高波に対する厳重な警戒と、湿った大雪やなだれ、着雪への注意を呼びかけた。地方予報中枢官署や府県予報区担当官署でも、それぞれの担当地域に対して同様の呼びかけを行った。暴風雪に関しては、札幌管区気象台は、16日5時25分の「暴風雪と高波及び大雪に関する北海道地方気象情報 第5号」で、防災事項として、「見通しのまったくきかない猛ふぶきや吹きだまり、大雪により、車の運転が困

難になるなど交通機関に大きな影響がでるおそれがあります。」と想定される状況を具体的にわかりやすく記述することで、現象に対する危機感と重大性を伝えた。

また、札幌管区気象台では、17日は北海道地方の広い範囲で暴風雪が見込まれるなど、警報基準をはるかに超える現象の発現も想定されることから、15日と16日の2回にわたり、防災機関や報道機関を対象にした「暴風雪に関する説明会」を開催した。この中では、見通しがまったくきかない猛ふぶきによって車の運転が困難になるなどの交通障害、高波・高潮により沿岸施設の被害や低い土地の浸水、大雪によってなだれや農業施設への被害への厳重な警戒を呼びかけた。特に17日の暴風雪に対しては、気象情報に「数年に一度の猛ふぶきとなるおそれがあります。外出は控えてください。」のキーワードを用いて、気象台のより一層の危機感を伝える呼びかけを行うことも想定していることを説明した。このキーワードを使った気象情報発表に関する経緯や札幌管区気象台における関係機関との事前の連携については、第1.3節に記述する。

気象庁では、警報・注意報を発表する際、防災機関や地域住民への伝達・周知及び防災対策に要する時間を考慮し、適切なリードタイムをとって発表するよう努めている。短時間強雨に関する大雨警報・注意報及び洪水警報・注意報は2～3時間、その他の警報及び注意報は3～6時間を標準のリードタイムとして、全国で運用している。

高潮の被害があった根室地方を担当する釧路地方気象台では、16日夕方からの強風や高波、16日夜の高潮を見込み、16日11時37分に強風、波浪、高潮注意報を発表した。この中で、16日夜遅くまでに暴風雪警報や波浪警報、17日未明までに高潮警報に切り替える可能性があることについて言及した。

16日16時26分には、16日夜遅くからの暴風や暴風雪、大しけの発現確度が高まってきたため、暴風、暴風雪、波浪警報を発表し、警戒を呼びかけた。また、16日20時30分には17日未明からの高潮の発現確度が高まり、高潮警報の発表を行った。

網走地方気象台では、16日18時20分に暴風雪警報を発表して17日未明からの現象に対する警戒を呼びかけた。さらに17日昼前から暴風雪が強まり、より一層の厳重な警戒が必要となる予想の確度が高まったため、17日6時34分には、「暴風雪と高波及び大雪に関する網走・北見・紋別地方気象情報」（第1.2.3図）を「数年に一度の猛ふぶきとなるおそれがあります。外出は控えてください。」のキーワードを用いた本文を省略した見出しのみの短文の気象情報として発表し、厳重な警戒を呼びかけた。

ワケジ ヨルウ 1 アノ シ
暴風雪と高波及び大雪に関する網走・北見・紋別地方気象情報 第7号
平成26年12月17日06時34分 網走地方気象台発表

（見出し）
網走・北見・紋別地方では、17日昼前から数年に一度の猛ふぶきとなるおそれがあります。外出は控えてください。

（本文）
なし。

第1.2.3図 網走地方気象台が発表したキーワードを用いた短文の情報

1.3 暴風雪・大雪*

1.3.1 本事例における具体的な量的予想

1.3.1.1 12月16日昼までの予報作業

16日未明の中央気象指示報では、「東シナ海の低気圧は上層のトラフと結びついて本州南岸を急速に発達しながら進む。17日は本州南岸を進んだ低気圧は、三陸沖を北上し北海道付近で中心気圧950hPa前後まで発達する。特に17日は、北日本は沿岸を中心に30m/s以上の猛烈な風が吹き、海は猛烈にしける。暴風雪、高波に厳重に警戒が必要」と指摘していた。

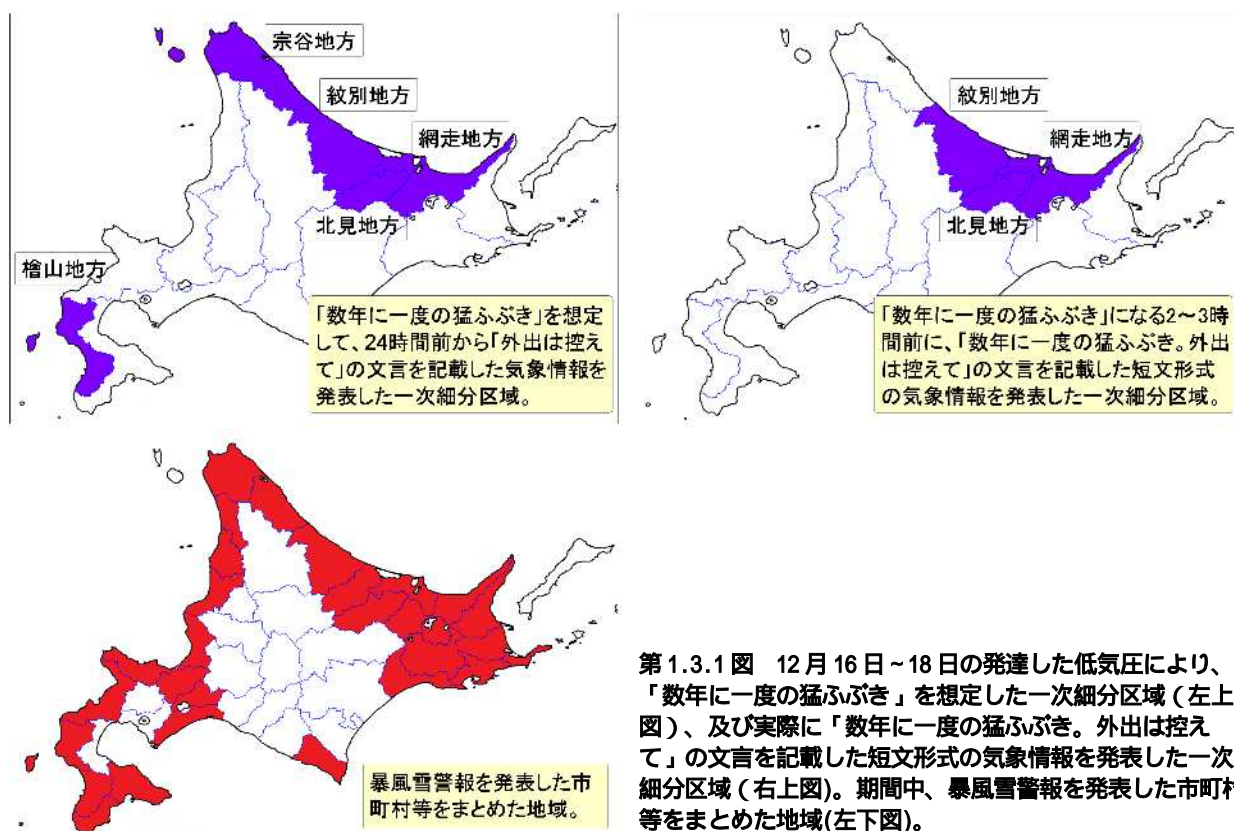
札幌管区气象台では16日朝の予報会報で以下の点について確認し、16日午前のテレビ会議システムを用いた予報打合せで、府県予報担当官署とも共有した。

- ・ 17日～18日の低気圧の動向には、モデル間あるいは初期値毎にやや違いが見られる
- ・ 現象ピークにかけての気象シナリオや量的予想について、初期値毎の多少の変化があったとしても、想定される予測誤差の範囲内であれば過度な変更は行わず対応することが重要

16日朝のシナリオで、「数年に一度の猛ふぶき。外出は控えてください。」のキーワードに相当する気象状況となるのは、

- ・ 17日昼前からオホーツク海側（網走・北見・紋別地方）と日本海側北部（宗谷地方）
- ・ 17日夜のはじめ頃から日本海側南部（檜山地方）

と予想された。16日昼前の時点で、網走・北見・紋別地方及び宗谷地方でキーワードに相当する気象状況となる24時間以内に入ったことから、北海道地方気象情報、網走・北見・紋別地方気象情報、宗谷地方気象情報で「外出は控えてください」のキーワードの記載を始めた（第1.3.1図）。



第1.3.1図 12月16日～18日の発達した低気圧により、「数年に一度の猛ふぶき」を想定した一次細分区域（左上図）、及び実際に「数年に一度の猛ふぶき。外出は控えて」の文言を記載した短文形式の気象情報を発表した一次細分区域（右上図）。期間中、暴風雪警報を発表した市町村等をまとめた地域（左下図）。

*大山 哲男（札幌管区气象台気象防災部予報課）、竹田 康生（気象庁予報部予報課）

1.3.1.2 12月16日午後における現象の予想

16日午後の中央気象指示報では、実況上の着目点として、日本海の低気圧は雲域のバルジが急に明瞭となり急発達を示唆していること、西日本や東日本の地上気圧の低下が大きく、本州南岸の低気圧は、急速に中心気圧を下げていることを指摘している。主要じょう乱の予想根拠と解説上の留意点では、500hPaの5100m付近のトラフは日本海北部でカットオフし、日本海の低気圧はこれに対応して急速に発達したあと、カットオフロー直下となり不明瞭化すること、一方、本州南岸の低気圧は500hPaの5100m付近のトラフがさらに釧路沖でカットオフしたものに对应して、急速に発達しながら北海道付近で中心気圧948hPa前後まで発達することが示された。

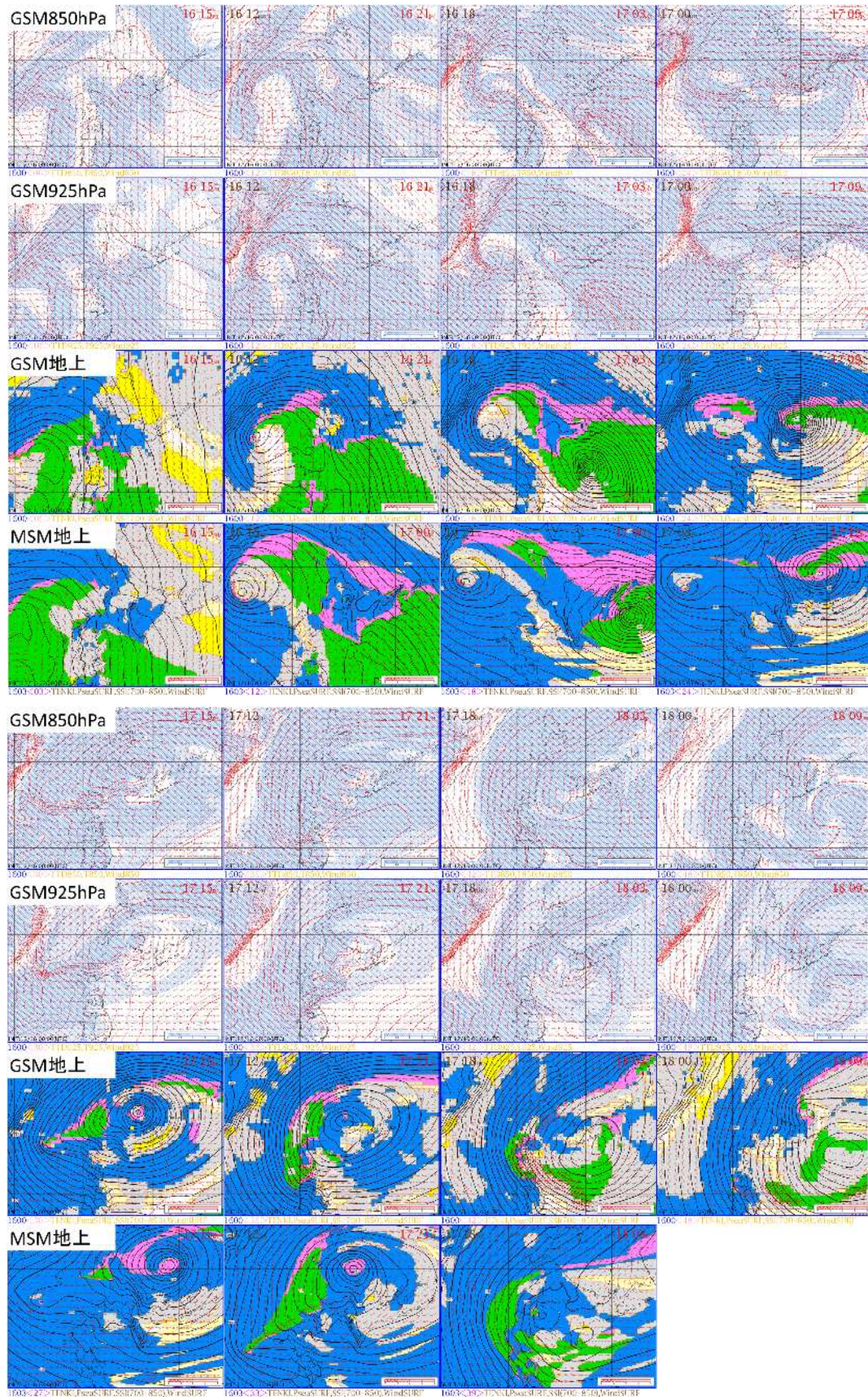
札幌管区气象台では、中央気象指示報を受けて、地方予報区の気象状況について検討した。

- ・ GSMでは、500hPaの5100mのトラフ付近には対流圏界面の大きな降下がみられ、成層圏下部の渦位正偏差の接近による上昇流励起がある
- ・ 850hPaでは関東沖から北海道南東海上にかけて相当温位309K以上の暖湿気が80~90ktで流入する
- ・ 上記により、本州南岸を進む低気圧が16日21時に関東沖で980hPa、17日09時には網走付近で944hPaと急速に発達する予想となっている
- ・ その後、低気圧は18日朝にかけて勢力を維持して、オホーツク海から太平洋に向かって北海道をゆっくり南下する
- ・ 予想どおり低気圧が発達すると、網走の日最低海面気圧は、1890年の統計開始以来の極値になるおそれがある

MSMとGSMを比較すると、低気圧の最盛期である17日朝の中心気圧予想はGSMが944hPaとMSMより6hPa深い(第1.3.2図)。その後18日朝にかけて南下するときの進路にも違いが見られた。このような検討から、本事例は、北海道付近での低気圧としては例を見ないほど発達し、発達したままで北海道付近に停滞するというあまり例のない事象となるおそれが強い。このため、低気圧周辺での暴風雪の風速や領域、及び高潮の量的予想が重要となる。16日午後の時点では比較的安定した予想のGSMを基本に、初期値毎の低気圧の予想の変化を注視するとともに、地上解析や衛星画像から実況との対比を逐次行い、目先6時間程度の必要な修正を施すこととし、具体的な気象シナリオを以下のとおり組み立てた。

16日夕方から17日朝にかけては、第1.3.2図にあるように、北海道付近は、低気圧が日本海北部と根室海峡付近で急速に発達し、850hPaでは0~-3の暖湿気が南東から50~90ktで流入するため降水が強まる。内陸では府県の予報技術マニュアル(第1.3.3図)による大雪警報の目安を超過する。850hPaの気温から沿岸部では雨主体で大雨注意報基準を超過する雨量が想定されるが、925hPaは風が弱く内陸では0の冷気塊の滞留が予想されており、大雪警報の可能性に留意した。また、陸上では16日夕方から非常に強い東風が吹きはじめ、16日夜遅くには日本海側や太平洋側東部で、17日未明には太平洋側西部やオホーツク海側でも雪が降り始めるため北海道全域で暴風雪となり、17日明け方からは風向が西風が変わって暴風雪が続くと見込んだ。

17日昼前から18日朝については、第1.3.2図にあるように、北海道付近を北上する低気圧が17日昼前に網走沖で発達のピークを迎えて動きが遅くなった後、18日朝にかけて根室南東海上へゆっくりと南下する。日本海北部の低気圧は17日昼頃に不明瞭となり、網走沖の低気圧から西にのびる気圧の谷となる。これら低気圧と気圧の谷の北側は850hPaでは気温-6以下の風速70ktの北から北東風による寒気移流場、925hPaでも気温-1以下の風速60ktの北から北東風による寒気移流場を形成し、オホーツク海側と日本海側北部は17日昼前から、日本海側南部は17日夜のはじめ頃から低気圧後面の強い寒気移流場に入る。この



第 1.3.2 図 12月16日00UTC初期値のGSMの850hPa、925hPa、地上と16日03UTC初期値のMSMの地上の予想

適用条件と予報発表時の防災時系列修正

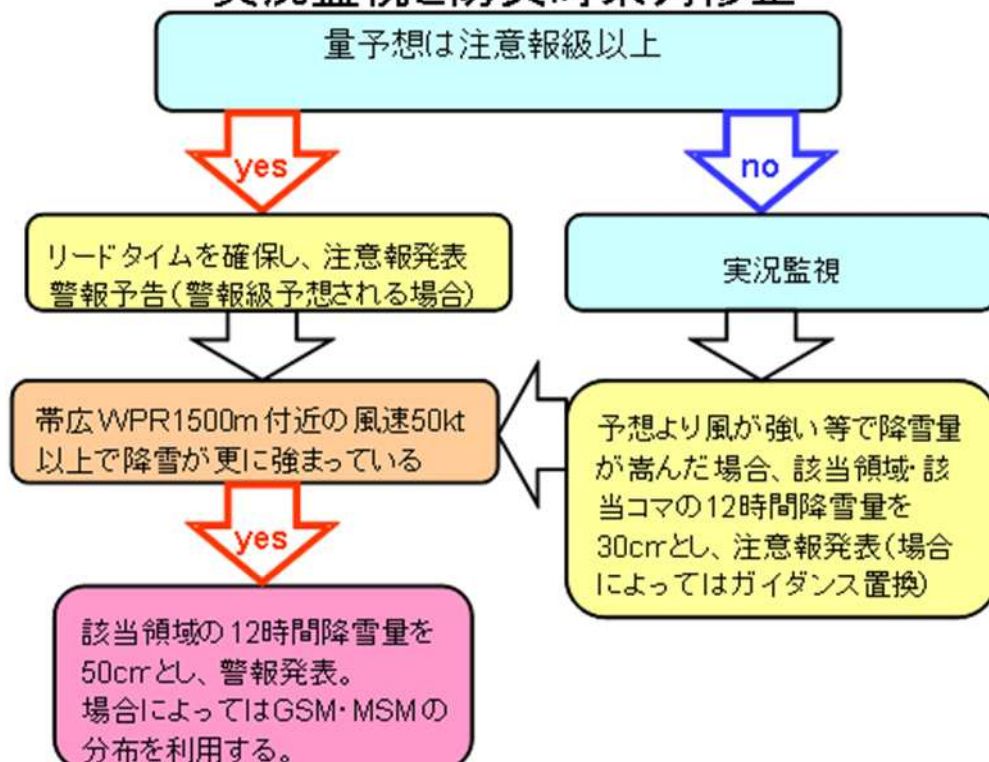
【適用条件】

- ・北海道付近を通過する低気圧
(特に南岸低気圧・二つ玉低気圧は警報級の可能性あり)
- ① 850hPa 北西～南風 30kt程度以上 湿数3以下
- ② 700hPa 湿数3以下
- ③ 6時間(2コマ)以上①、②の条件が持続

- GSM・MSMガイダンス置換(適用条件により以下の修正を行う)
- ・850hPaの卓越風向・風速ピーク時の風向により基本パターンを決定。該当領域12時間降雪量の該当コマを0cmに置換(3時間降雪量10cm)。
 - ・850hPa 60kt程度の予想がある場合は、該当領域2時間降雪量の該当コマを50cm(3時間降雪量15センチ)とする。

(a)NW-N	(b)NE	(c)ENE	(d)E	(e)SE
310～15°	15～50°	50～80°	80～110°	110～180°

実況監視と防災時系列修正



第1.3.3図 十勝地方の大雪「防災時系列修正手法」

寒気と低気圧中心付近の暖気の間で空気密度差が生じ、気圧傾度が大きくなることで、内陸でも20m/s以上の暴風となり、「数年に一度の猛ふぶき」となるおそれがあった。

このような気象シナリオを地方予報中枢官署と府県予報区担当官署が共有し、府県予報区担当官署においてガイダンス、府県の予報技術マニュアル、実況資料を参考に 1 時間最大雨量、12 時間最大降雪量、陸上の最大風の量的予報を組み立てた（第 1.3.1 表）。第 1.3.1 表で用いている細分地域等は第 1.3.4 図のとおりである。このシナリオに沿って釧路・根室地方、十勝地方、渡島・檜山地方、宗谷地方に警報発表を行った。

第 1.3.1 表 12 月 16 日の日勤者が 16 日昼過ぎ以降に予想される現象シナリオに基づいて検討した量的予報

気象種別	細分地域名等	12月16日				12月17日							
		～15時	～18時	～21時	～24時	～03時	～06時	～09時	～12時	～15時	～18時	～21時	～24時
1時間降水量(mm)	太平洋側西部		40	40	40	30							
12時間降雪量(cm)	太平洋側東部	30	40	50	60	70	70	50	50	50	50	40	30
	太平洋側西部			30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	オホーツク海側				30	50	60	60	60	60	60	60	60
	日本海側北部					30	40	50	50	50	50	50	50
	日本海側南部			30	30	40	40	40	30	30	30	30	30
陸上の最大風 風向及び風速 (m/s)	太平洋側西部	風	南東15	南東23	南東23	南東23	西23	西23	西23	西23	西23	西23	西23
		種別	強風	暴風	暴風	暴風	暴風雪	暴風雪	暴風雪	暴風雪	暴風雪	暴風雪	暴風雪
	太平洋側東部	風速		南東15	南東15	東25	東25	東25	南西25	南西25	南西20	南西20	南西20
		種別		強風	強風	暴風雪	暴風雪	暴風雪	暴風雪	暴風雪	暴風雪	暴風雪	暴風雪
	オホーツク海側	風速		南東15	南東15	南東15	東25	東25	北東25	北東25	北東25	北東25	北23
		種別		強風	強風	強風	暴風雪	暴風雪	暴風雪	暴風雪	暴風雪	暴風雪	暴風雪
	日本海側北部	風速		東15	東15	東25	東25	東25	東25	北東25	北東25	北東25	北東25
		種別		風雪	風雪	暴風雪	暴風雪	暴風雪	暴風雪	暴風雪	暴風雪	暴風雪	暴風雪
	日本海側南部	風速	南東15	南東23	南西23	南西25	西25	西25	西25	西25	西25	西23	北西23
		種別	強風	暴風	暴風	暴風雪	暴風雪	暴風雪	暴風雪	暴風雪	暴風雪	暴風雪	暴風雪

注：各気象種別で、警報基準超過は赤色、注意報基準超過は黄色、注意報基準未満は数値を記載せず無色としている。紫色枠は、「数年に一度の猛ふぶき。外出は控えてください。」のキーワードを用いる気象情報の発表目安に達している時間帯。

16 日夕方のシナリオで、「数年に一度の猛ふぶき。外出は控えてください。」のキーワードに相当する気象状況となるのは、

- ・ 17 日昼前からオホーツク海側（網走・北見・紋別地方）と 日本海側北部（宗谷地方）
- ・ 17 日夜のはじめ頃から 日本海側南部（檜山地方）

であり、シナリオの変更がないことを確認した。16 日夕方の時点で、新たに檜山地方でキーワードに相当する気象状況となる 24 時間以内に入ったことから、函館地方気象台は府県気象情報で、「17 日から 18 日は外出は控えてください」のキーワードの記載を始めた。既に「外出は控えてください」のキーワードを使っている網走・北見・紋別地方と宗谷地方の 17 日昼前からの「数年に一度の猛ふぶき」となるシナリオは継続した。キーワードを使った防災気象情報の対応は、地方予報中枢官署と府県予報区担当官署が足並を揃えるため、シナリオを常に共有しており、変更があるときには迅速に連絡する必要がある。



第 1.3.4 図 北海道地方気象情報等で使用する細分地域名

1.3.1.3 12月16日夕方以降の実況等によるシナリオの修正

本事例の場合、顕著現象は低気圧の発達によってもたらされるため、低気圧の動向の監視が重要である。低気圧の発達には地上解析や衛星画像で監視できる。

16日午後の量的予想では、網走・北見・紋別地方と宗谷地方で「数年に一度の猛ふぶき」の条件を満たすのが17日昼前からのシナリオとなっており、現象発現の2~3時間前にあたる17日朝には「数年に一度の猛ふぶき。外出は控えてください。」のキーワードを用いた気象情報の発表の検討を行う必要がある。17日06時の地上解析では、本州南岸から三陸沖を北上した低気圧は根室半島の南にあって中心気圧956hPaと発達過程にあり、日本海北部の低気圧は中心気圧974hPaと最盛期を迎えていた。17日06時までの実況の最大風速は、根室市納沙布で東30.7m/s(17日04:51)を観測し、GSMガイダンスと同程度となった(第1.3.2表)。16日12UTC初期値のGSMと16日15UTC初期値のMSMによる18日にかけての低気圧の予想を比較すると(第1.3.5図)、中心気圧はGSMが引き続きMSMより6hPa程の深まりを表現していた一方で、中心位置は両モデル間で違いは小さくなった。このため、地上風は実況と整合しているGSMガイダンスを採用することを地方予報中枢官署と府県予報区担当官署で共有した。網走・北見・紋別地方では17日昼前から内陸で20m/s、海岸で25m/sの最大風が予想され、925hPa・850hPaでも50kt以上の強風が持続することから、網走地方気象台は「数年に一度の猛ふぶき。外出は控えてください。」のキーワードを用いた府県気象情報を17日朝に発表することとした。

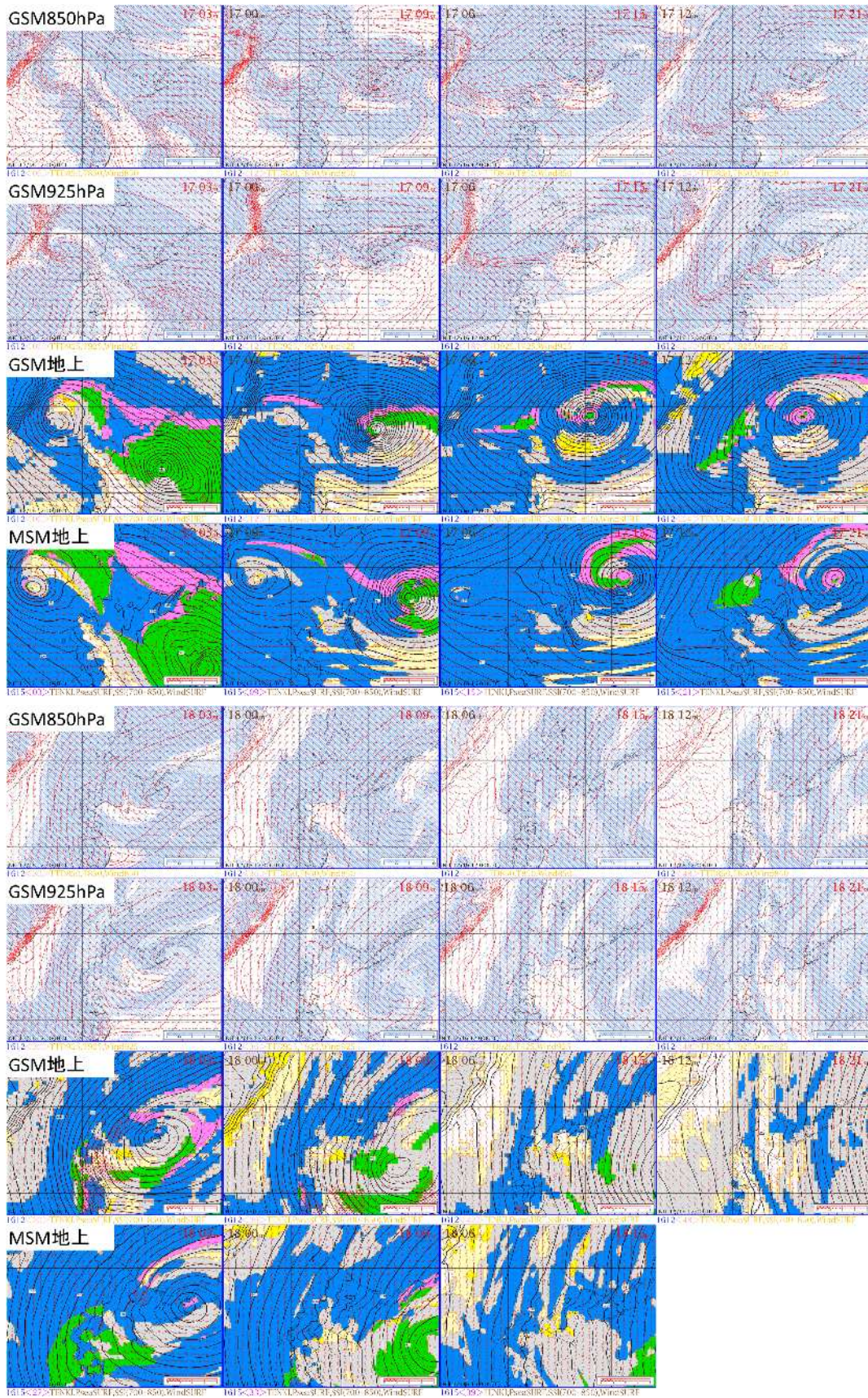
一方、宗谷地方では、17日夕方をピークに、低気圧の知床沖から北への北上傾向がなくなって、宗谷地方から遠ざかる予想に変わり(第1.3.5図)、最大風ガイダンスの値も全体に低下したことから、稚内地方気象台では17日朝でのキーワードを用いた府県気象情報の発表は見送った。

また、檜山地方では、17日明け方の府県気象情報までは、17日夜のはじめ頃からの最大風速の一層の強まりを想定して「外出は控えてください」のキーワードを記載していた。しかし、日本海北部の低気圧から変わった気圧の谷後面の最大風速に当初の予想ほどの強まりが見られなくなったことから、「数年に一度の猛ふぶき。外出は控えてください。」のキーワードを用いた府県気象情報発表の条件を満たす可能性は低くなったと判断し、函館地方気象台は17日昼前の府県気象情報からは「外出は控えてください」の記載を取り止めた。

第1.3.2表 根室市納沙布の3時間毎の最大風速とGSM最大風ガイダンスの予想

JST	16					17							
	9-12	12-15	15-18	18-21	21-00	00-03	03-06	06-09	09-12	12-15	15-18	18-21	21-00
最大風 観測	SSE	SE	ESE	ESE	ESE	E	E	ENE	W	WSW	WSW	WSW	WSW
	5.2	5.9	10.7	14.3	18.7	23.9	30.6	28.5	18.8	15.9	14.5	13.6	13
16日 00UTC	SSE	SE	ESE	ESE	ESE	E	E	SE	SW	SW	SW	SW	SSW
	6	7.4	11	17	18.3	22	30	15.7	15.8	11.3	9.3	8.8	6.8
16日 06UTC			ESE	ESE	E	E	E	SSW	SW	SW	SW	SW	SW
			11	16.3	16.8	23.3	30.7	14.7	16.4	13.6	10.9	9.6	7
16日 12UTC					ESE	E	E	E	SW	SW	SW	SW	SW
					17.4	23.6	32	23.6	18.2	16.6	12.2	10.5	9.3

表中1段目の「最大風観測」は、当該期間の10分値の最大を示している。このため、17日3時から6時の最大風は4時50分の30.6m/sとなっている。この期間の納沙布の最大風は本文にあるように30.7m/s。
2段目から4段目までは、それぞれ16日00UTC、06UTC、12UTC初期値のGSMガイダンスの予想。



第 1.3.5 図 12月16日12UTC初期値のGSMの850hPa、925hPa、地上と16日15UTC初期値のMSMの地上の予想

1.3.2 暴風雪や大雪による災害

本事例による北海道内の主な被害は、次のとおりであった。十勝地方の幕別町では大雪により倉庫が倒壊し1名が死亡した。暴風雪に関しては国道3路線、道道17路線で通行止めとなるなどの交通障害があり、網走地方の斜里町ウトロでは通行止めのため宿泊客が一時足止めとなった。また、北見地方の北見市では国道39号線で車が立ち往生し、1名が低体温症で軽症となった。

本事例では大雪により1名の人命が失われているので決して被害が少ないとは言えないが、暴風雪に関しては、北海道付近で低気圧が記録的に発達したにもかかわらず、人的被害は軽症者1名であった。このことから、北海道地方において実施した関係機関との取り組みが奏功し、暴風雪による災害の軽減に寄与することができたと考えられる。

- ・ 北海道開発局・北海道・寒地土木研究所と連携した周知啓発（北海道，北海道開発局，（独）土木研究所 寒地土木研究所，札幌管区气象台，2014）
- ・ 防災機関や報道機関を対象とする「暴風雪に関する説明会」の開催
- ・ 予報精度も考慮した適切な暴風雪警報の発表
- ・ 「数年に一度の猛ふぶき」を想定して24時間前に「外出は控えて」のキーワードを記載した気象情報の発表
- ・ 「数年に一度の猛ふぶき」になる2～3時間前に「数年に一度の猛ふぶき。外出は控えて」のキーワードを記載した気象情報の発表

1.3.3 大雪に関する関係省庁等との連携*

平成26年2月14日から15日にかけて、関東甲信地方や東北地方の広い範囲で大雪となるなど、平成25年から26年にかけて大雪や暴風雪に伴う大きな被害が発生した。これらの災害を受けて、関係省庁や関係機関と気象庁とが連携したさまざまな取り組みが進められてきている。ここでは、これらの連携した取り組みについて、主な内容を紹介する。

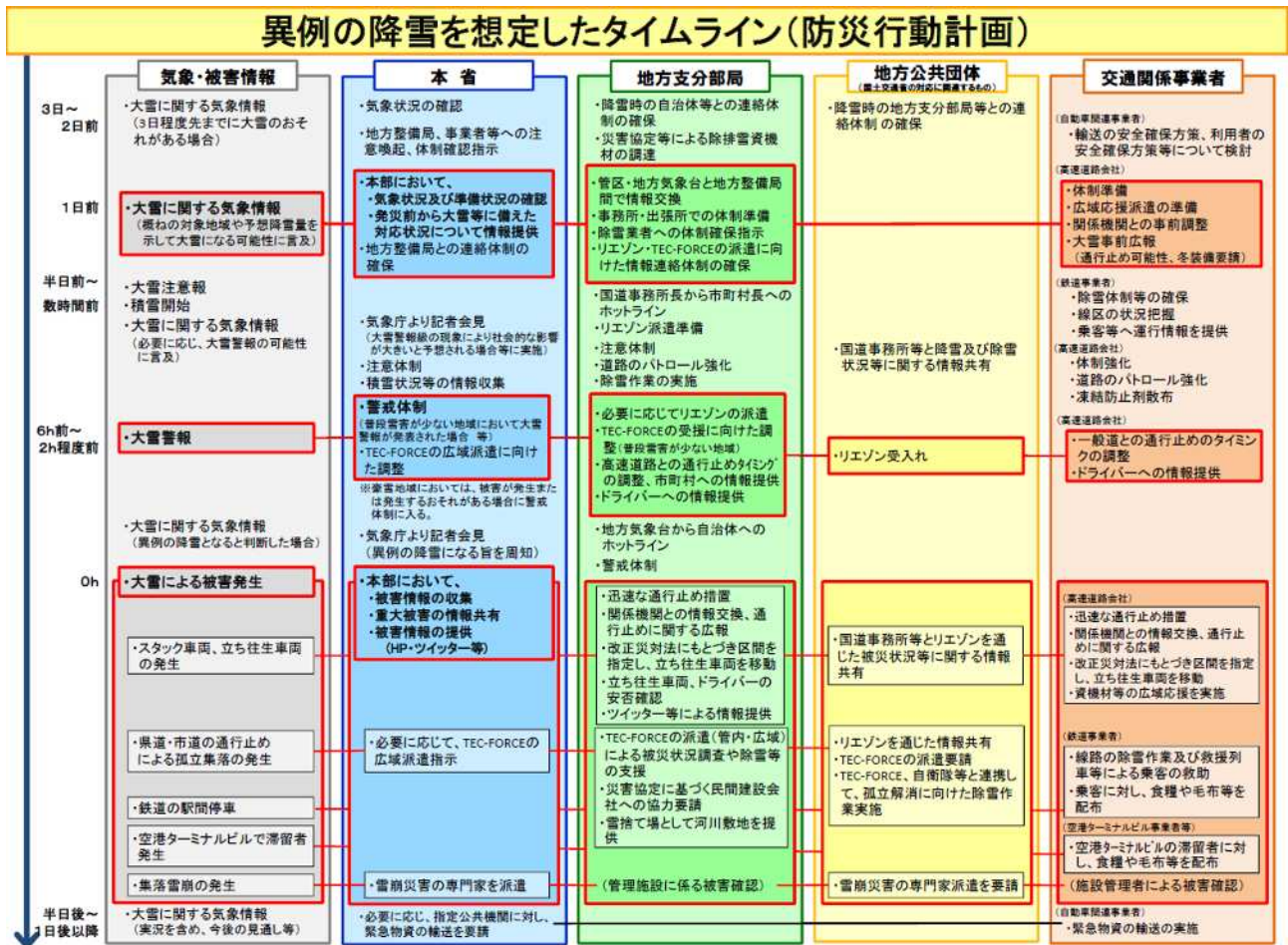
平成26年2月の大雪では、パイプハウスやビニールハウスの倒壊など、農業用施設の被害が発生した。パイプハウスの耐雪荷重は概ね20kg/m²であり、雪水比が0.5程度の湿った雪の場合は降雪量10センチに相当する。農林水産省と気象庁とで協議し、耐雪荷重を超えるような降雪や降雪後の降雨が予想される場合に、府県気象情報等で、「ビニールハウスは倒壊のおそれがあるため、注意してください」といった記述を行い、ビニールハウス等農業施設における大雪被害に対する注意を呼びかけることとした。

平成26年2月の大雪により、各地で建築物の被害が発生したことから、気象庁は国土交通省住宅局と連携し、大雪警報相当規模の降雪が見込まれ、かつ、大雪後の降雨により積雪の重さが一層増す場合等、概ね「建築基準法に定める積雪荷重」に相当する重量分を超えることが予想される場合に、府県気象情報等で「カーポートなどの簡易な建築物や老朽化している建築物などは倒壊のおそれがあるため、近寄らないよう注意してください」といった記述を行うこととした。

平成26年12月5日を中心に、普段ほとんど雪の少ない四国地方において異例のまとまった降雪があった。これにより、幹線道路で立ち往生車両による交通障害が発生するとともに、多数の孤立集落が発生するなど、大きな被害や社会的影響が生じた。このように、雪の少ない地域では雪に対する経験や備えが十分ではないため、少量の積雪でも大きな被害や混乱が生じるほか、普段から降雪の多い地域においても、記録的な降雪等により大きな被害が発生するおそれがある。異例の降雪にあらかじめ備えるため、平成26年12月

*立原 秀一（気象庁予報部予報課気象防災推進室）

から 27 年 5 月にかけて、国土交通大臣を本部長とする「異例の降雪に対する国土交通省対策本部」が常設され、異例の降雪を想定したタイムライン（防災行動計画）（第 1.3.6 図）を策定し、大雪による災害が見込まれるよりも 2～3 日前からの、国土交通省本省をはじめとする関係機関や交通関係事業者の行動計画について取りまとめられた。異例の降雪を想定したタイムライン（防災行動計画）には、それぞれの機関の行動の基点として、気象情報や被害情報があり、気象庁の「大雪に関する気象情報」「大雪警報」等が位置づけられている。



第 1.3.6 図 異例の降雪を想定したタイムライン（防災行動計画）

国土交通省ホームページ (<http://www.mlit.go.jp/common/001064323.pdf>) から引用

1.4 波浪

1.4.1 波浪の仕組みと災害に関する基礎知識*

波浪予報を行ううえで波浪についてその特性を知っておくことは極めて重要である。加えて、災害がもたらされるような状況下において、その予報が誰に向けて、何を伝えようとしているのかを理解しておくことはさらに重要である。ここでは、波浪の仕組みや災害について解説するとともに、波浪に関する予報作業を行ううえでの着目点について述べる。

海上で見られる波のうち、海上を吹く風によって発生・発達中の波を風浪と呼ぶ。風浪が伝播する過程で風向変化や風速低下等により発達がなくなった後に残される波をうねりと呼ぶ。風浪は個々の波の形状が

*羽田 純（気象庁予報部予報課）、米田 宗平（気象庁地球環境・海洋部海洋気象課海洋気象情報室）

不規則で尖っているが、うねりの形状は規則的で丸みを帯び、同じ波高の風浪よりも波長や周期が長いのが特徴である。なお、実際の海面では風浪とうねりは混在していることが多く、これら風浪とうねりを総称して「波浪」と呼んでいる。

実際の海面の波は、個々の高さや形、方向が様々で、非常に複雑である。そこで、波の状態を表すために有義波（3分の1最大波とも呼ばれている）という概念が用いられる。これは、ある地点で一定の時間に現れるすべての波のうち、高いほうから数えて3分の1の個数の波を選び、それらの波高や周期を平均した統計量で、それぞれ有義波高、有義波周期とも呼ぶ。経験的に熟練者の目視による波の観測値に一致するといわれており、気象庁が行う天気予報で用いる波の高さは有義波高である。ここで注意したいのは、有義波は統計量であり最大の波ではないことである。統計学的には100回に1回は有義波高の約1.6倍の高さの波が、1000回に1回は有義波高の約2倍の高さの波が来る可能性も含まれているということである。つまり、実際の波には有義波高よりも高い波が含まれることに留意する必要がある。

風浪は海上を吹く風からエネルギーを受け取り発達する波である。風浪は、風速が強く、風の吹き続ける時間（吹続時間）が長く、風の吹き渡る距離（吹送距離）が長いほど発達して高い波となる。風浪が風の弱い海域に進むと、波のエネルギーが減衰しながら伝播するうねりとなる。風浪が変化したうねりは、基となる風浪の波高が高ければより大きなうねりとして遠くまで伝播する。波は波長の2分の1の水深よりも浅い海域に進むと海底の地形の影響を受け始める（浅水変形）。うねりは同じ波高の風浪よりも波長や周期が長く、地形の影響を受けやすいため海岸付近では浅水変形を起こしやすく、急に波が高くなる場合がある。このため、沖合の波が比較的穏やかな日でもうねりによって海岸や防波堤にいる人が高波にさらわれることや、海水浴等の海岸付近でのレジャー中の事故、防波堤など海岸構造物の破壊などが起きる場合がある。日本の南方にある台風が太平洋高気圧に進路を阻まれて日本のはるか南海上をゆっくり北上する場合、うねりが台風自身よりもかなり早く沿岸に到達することがある。このような場合には、風が弱く天気が良くても高波が押し寄せることがあるので特に注意する必要がある。

また、多方向から波が伝播してくる状況では、海面状態が複雑となり船舶に不規則な動揺を与えやすく、航行に支障が生じることがある。このような海域では、複数の波が集中・衝突し波の先端がピラミッドのように三角形に切り立ったひときわ高い波となる「三角波」のような、有義波高に比べ特に高い「一発大波」の被害を船舶が受ける可能性があり、注意が必要である。現在、海洋気象情報室では、多方向からの波が存在し複雑な海面状態となり、船舶が航行するうえで危険となる海域の情報について提供する計画を進めている。この情報についての詳細は「波浪スペクトルを活用した波浪情報の高度化について」（高野，2014）を参照されたい。

風浪とうねりについては平成23年度研修テキストの4.1.5節（高野，2012）にも説明があるので、そちらも併せて読んでいただければと思う。

1.4.2 波浪の量的予想の概要と波浪モデルの留意点*

波浪が発達するには強い風が必要であるが、それだけでは不十分である。波浪は風が吹き始めてすぐには高くなり、発達するには十分な吹続時間と、風からエネルギーを受け取り続けるための吹送距離も必要である。

波高 H 、吹送距離 F 、吹続時間 t 、風速 U としたとき、これらは

*羽田 純（気象庁予報部予報課）、米田 宗平（気象庁地球環境・海洋部海洋気象課海洋気象情報室）

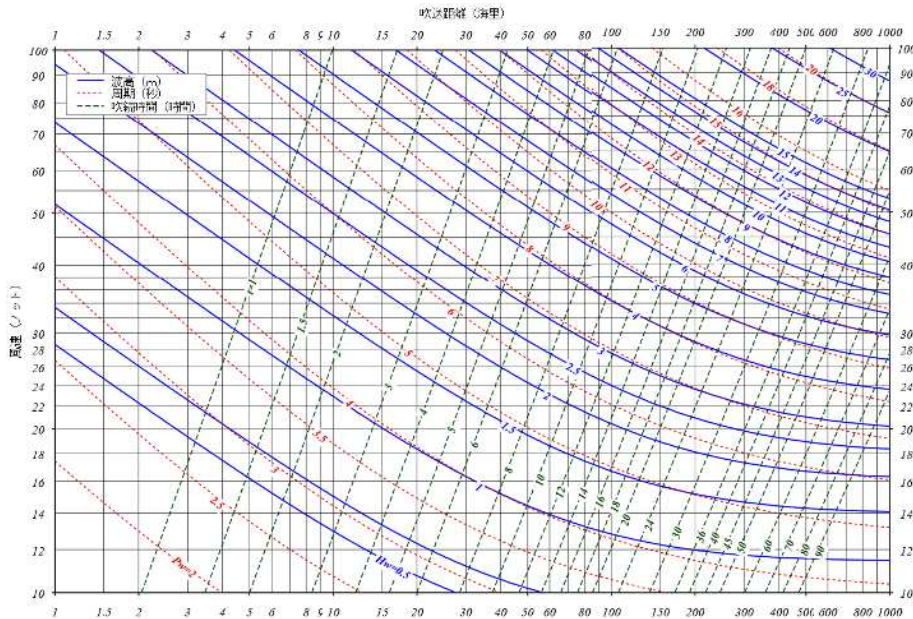
$$\frac{gH}{U^2} = f_1 \left(\frac{gF}{U^2} \right) = f_2 \left(\frac{gt}{U} \right)$$

という関係を満たし、Bretschneider は

$$\frac{gH}{U^2} = 0.283 \tanh \left\{ 0.0125 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{0.42} \right\}$$

と表現している。この詳しい説明については、測候時報第 78 巻の「有義波法による波浪推算 - 現業での利用を目的として -」（高野，2011）を参照されたい。

この式に風速などの値を代入すれば波高が求まるが、予め想定される風速と吹送距離に対して波高などの値を計算してまとめると第 1.4.1 図のとおりとなる。



第1.4.1図 Bretschneiderに基づく風浪の推算図

横軸は吹送距離（海里）、縦軸は風速（ノット）を示す。

波高（m：青実線）、周期（秒：赤破線）、吹続時間（時間：緑長破線）。

第 1.4.1 図を用いると、着目している海域が十分な吹送距離を確保できる場合には、20 ノットの風が 12 時間吹き続けると 2m 程度の波高、30 ノットの風が 12 時間吹き続けると 3.5m 程度の波高となるというように、発達中の風浪について大まかな波高を見積もることができる。

うねりの特性についても周期、距離、時間と波高の減衰に関する推算式が Sverdrup と Munk によって発表された。これに基づいて作成されたうねり推算図の詳細については高野（2011）を参照されたい。現在気象庁で運用している波浪モデルは、弱風場を伝播するうねりを過小に計算してしまう性質があるので、そのようなうねりの推算図を用いてモデルの予想値を上方修正する検討を行う必要がある。

また、波浪モデルにはこの他にも次のような特性がある。

- ・ 穏やかな状態から強風による急激な風浪の立ち上がりが遅いという特性
- ・ 伊勢湾や紀伊水道、豊後水道など湾や海峡で風が吹き抜けるときに波高が過小となる特性
- ・ 比較的弱い風で吹送距離が長い場合に波高が過大となる特性

これらの特性を踏まえて、観測データや第 1.4.1 図に示す風浪の推算図に基づき修正の要否を判断する必要がある。具体的な修正の方法や事例については、高野（2011）や竹内ら（2012）を参照されたい。

海洋気象情報室波浪班や管区气象台及び沖縄气象台の地球環境・海洋課では、波浪の実況や上記波浪モデルの特性等を踏まえ予想について解説した「波浪に関する解説資料」を、全国予報中枢官署及び地方予報中枢官署に対し、通常は毎日午前と午後の2回提供している。具体例については、1.4.3節を参照いただきたい。

また、気象分科会提言を受けて「波浪アンサンブル」についても現業利用に向けた準備を進めている。その詳細については第3章を参照いただきたい。

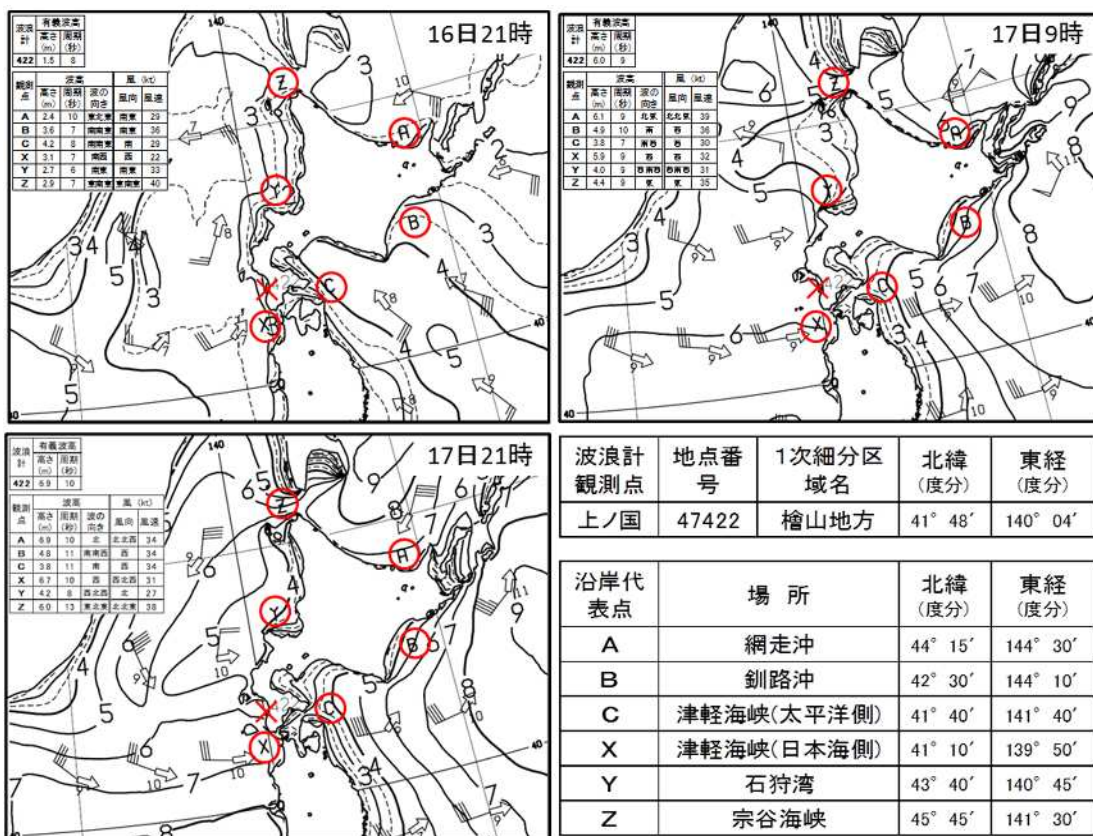
1.4.3 本事例における具体的な量的予想*

1.4.3.1 波浪の実況と発生した災害

波浪警報は、風浪やうねりによって生じる高い波により、重大な災害が発生するおそれがあると予想したときに発表する。その発表基準は、有義波高で定められている。

本事例では、沿岸波浪実況図（第1.4.2図）によると、低気圧が接近する平成26年12月16日夜には北海道の太平洋側で4mのしけとなり、17日には北海道周辺のオホーツク海と太平洋では9mの猛烈なしけとなったと推定された。また、渡島半島の上ノ国町に設置している波浪計では、17日18時に波浪警報基準（6m）を約2m超過する7.9mの波高が観測された。

十勝地方では高波により十勝港内貯木場の木材が流出するなどの被害が発生した。



第1.4.2図 沿岸波浪実況図

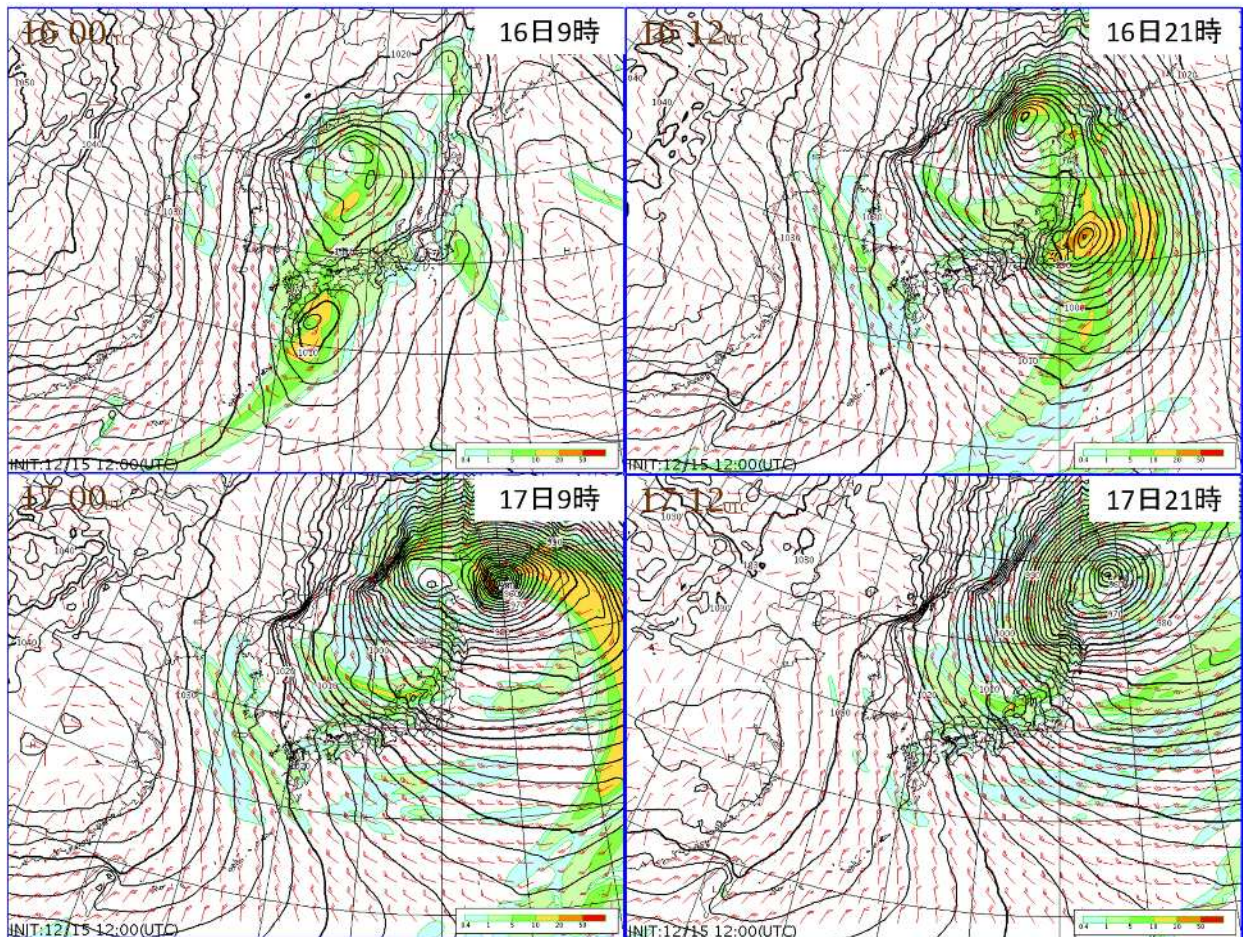
平成26年12月16日21時から17日21時の沿岸波浪実況図(AWJP)の北海道付近を拡大し、波浪観測地点の上ノ国(図中の×)の観測値と沿岸代表点(図中の英字に○)の数値予報モデルで計算された波の向き・周期、及び風向・風速推定値を記載。等値線は有義波高で、1m毎の実線と4m未満の領域の0.5m毎の破線を用いて表示。また、近海の緯度経度2度毎の点には、波の向きを表す矢印、周期(秒)を表す数字、海上の風向・風速(ノット)を表す記号を表示。

*大山 哲男(札幌管区气象台気象防災部予報課)、竹田 康生(気象庁予報部予報課)

1.4.3.2 北海道地方の量的予報作業

ここでは、16日未明から17日明け方にかけての札幌管区気象台における量的予報作業について、理想的な作業の一例を解説する。

波浪の予想では、風浪は海上風からエネルギーを得ながら発達するため、予想する時点の低気圧周辺の風の分布だけではなく、そこに至るまでの海上風の変化を把握することが重要となる。

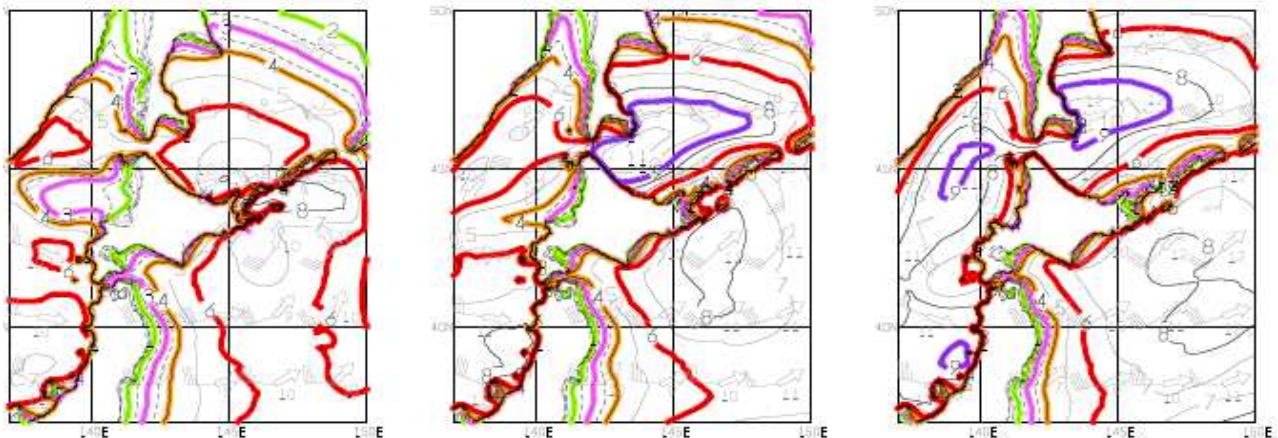


第 1.4.3 図 平成 26 年 12 月 15 日 12UTC 初期値の GSM の地上気圧、地上風、3 時間降水量

16日未明から明け方にかけての作業では、15日12UTC初期値の資料に基づく資料を利用する。第1.4.3図には15日12UTC初期値のGSMの地上気圧、地上風、3時間降水量を、第1.4.4図には15日12UTC初期値の沿岸波浪モデルを示す。本州南岸を進む低気圧は、16日夜に関東沖、17日朝に根室半島付近を通過後、17日昼前にかけて根室海峡から知床半島付近で最も発達する確度が高く、18日朝にかけて強い勢力を保ったまま北海道上をゆっくり南下する予想となっている。この低気圧による海上風の注目点は、三陸沖から知床半島付近へ北上する17日未明から夜にかけて低気圧の北東側で気圧傾度がかなり急となり、海上では南東から北東に風向を変えながら25~30m/sの東よりの風が持続する点である。このため、太平洋側東部及びオホーツク海側で風浪が急激に高まる可能性が高く、沿岸波浪モデルでも17日から18日にかけて8~11m程度の高波を予想している。一方、日本海の低気圧周辺では、日本海を北東進する16日昼過ぎから17日朝にかけて低気圧の西側で気圧傾度がかなり急となり、海上では25~30m/sの北西の風が持続する予想となっている。低気圧の発達には17日明け方がピークで、その後低気圧としては不明瞭になり、太平洋側を北上する低気圧から西にのびる気圧の谷に吸収される形となるが、その北側で下層寒気移流を伴って気圧の傾きが

かなり急となり、17日昼過ぎから18日明け方にかけて北東から北西に風向を変えながら25m/s以上の北よりの風が持続する予想となっている。このため、日本海側で風浪が高まり、沿岸波浪モデルでは9mの猛烈なしけを予想している。波浪モデルは、海上風の予想がGSMの予想に近く、風浪卓越の場合は精度が高い。中央気象指示報において総観場はGSMの予想を基本としていたことから、海上風の予想はGSMを基本と考え、波浪予想も波浪モデルの値を基本に考えることとする。このシナリオでは、17日未明から波浪警報基準を超過し、特に17日朝から18日明け方にかけてはオホーツク海側、日本海側南部、太平洋側西部の各海域で10mと、いずれも警報基準の6mを大幅に超過すると判断し、16日明け方に発表する北海道地方気象情報で「北海道地方では17日から18日にかけて、雪を伴った猛烈な風が吹き、海上は波の高さが10mの猛烈なしけとなる見込み。」と厳重な警戒を呼びかける。

北海道地方の各地域	波高及び海上風速	16日	17日				18日				19日
		18~24時	00~06時	06~12時	12~18時	18~24時	00~06時	06~12時	12~18時	18~24時	00~06時
太平洋側東部	合成波高(m)	4.9	8.6	8.4	8.4	7.8	6.4	6.5	7.2	6.6	5.6
	海上風速(kt)	41	65	64	51	47	36	40	40	38	35
太平洋側西部	合成波高(m)	5.0	5.3	6.9	7.7	8.9	9.9	8.8	6.9	5.1	3.5
	海上風速(kt)	45	50	54	51	50	50	41	37	31	27
オホーツク海側	合成波高(m)	4.0	5.5	10.0	10.8	8.7	8.7	8.7	7.9	6.9	6.0
	海上風速(kt)	46	52	64	59	49	47	46	40	36	31
日本海側北部	合成波高(m)	4.1	5.4	6.5	9.2	9.0	8.1	6.8	5.8	4.6	3.3
	海上風速(kt)	46	46	50	54	51	47	41	34	27	21
日本海側南部	合成波高(m)	3.3	5.2	6.5	6.9	9.2	9.9	8.7	7.0	5.1	3.4
	海上風速(kt)	36	38	39	40	48	48	41	37	28	22



12/17 00UTC (FT=36)

12/17 06UTC (FT=42)

12/17 12UTC (FT=48)

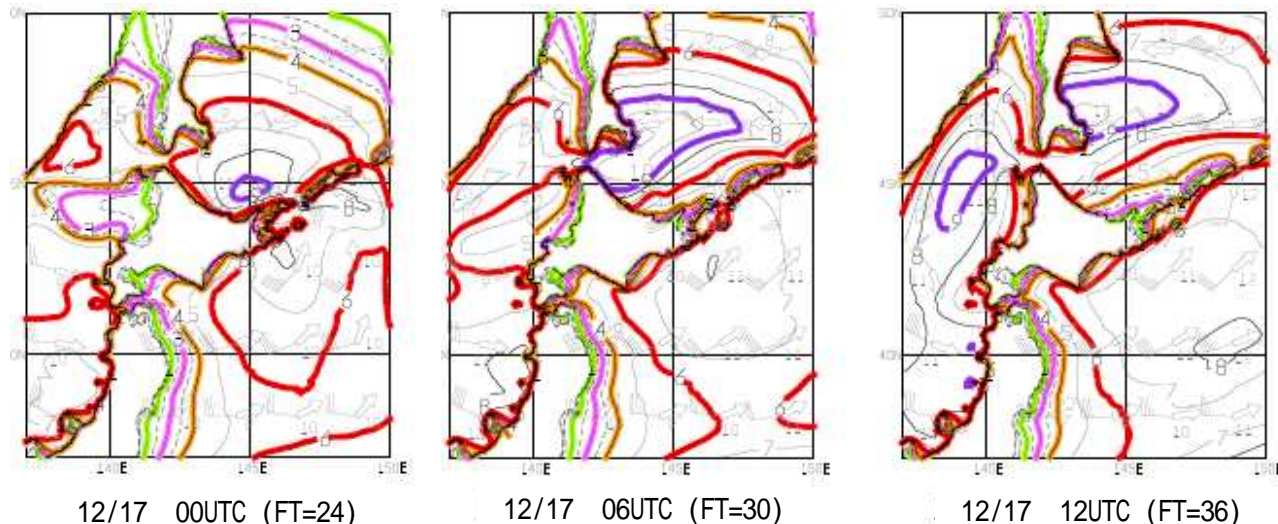
第1.4.4図 平成26年12月15日12UTC初期値の沿岸波浪モデル

上表は、北海道各地域の沿岸20海里内の波高及び海上風予想値。風・波の予想値は3時間毎に算出しているが、上表では6時間毎の最大値を抽出し記載した。下図は17日09時~17日21時の沿岸波浪予想図。

16日昼前には、朝の予報会報や昼前の中央気象指示報、新しい初期値のガイダンス等により、メインのシナリオの修正を検討する。16日10時45分の中央気象指示報では、波浪班からのコメントとして「最大波高は、風浪が発達しているところや目先中心に0.5m程度の上方向修正。今後は早目に立ち上がる可能性に注意。明日のピークはモデル基本。」との指示がある。15日18UTC初期値の数値予報モデルや沿岸波浪モデルの風、波の予想について各海域で大きな変化ないことから、波浪についてのメインのシナリオの変更は行わない。

16日昼過ぎから夕方にかけての作業では、16日00UTC初期値の資料を利用する。第1.4.5図には16日00UTC初期値の沿岸波浪モデルを示す。本州南岸を北東進する低気圧、日本海を北東進する低気圧ともに16日00UTC初期値の資料では15日12UTC初期値の資料と大きな違いはなく、沿岸波浪モデルの予想値も概ね15日12UTC初期値と同様の傾向である。このため、後述する胆振地方以外については、概ね沿岸波浪モデルを採用できると判断し、これまでのシナリオを踏襲することを地方予報中枢官署と府県予報区担当官署で共有し、16日夕方または夜のはじめ頃に、日本海側の留萌地方、石狩地方、後志地方を除く北海道の各海域で予定どおり波浪警報を発表する。留萌地方、石狩地方、後志地方では、16日12UTC初期値の沿岸波浪モデルで、17日昼過ぎに気圧の谷が通過した後の寒気移流の予想の変化を確認し、17日朝までに波浪警報の発表について判断を行うこととする。16日夕方に発表する北海道地方気象情報では、引き続き「北海道地方は17日から18日にかけて、雪を伴った猛烈な風が吹き、海上は波の高さが10mの猛烈なしけとなる見込み。」と厳重な警戒を呼びかける。

北海道地方の各地域	波高及び海上風速	16日	17日				18日				19日
		18~24時	00~06時	06~12時	12~18時	18~24時	00~06時	06~12時	12~18時	18~24時	00~06時
太平洋側東部	合成波高(m)	5.1	8.8	8.2	7.9	7.3	6.3	5.2	6.4	6.5	5.8
	海上風速(kt)	42	69	57	50	46	32	39	37	38	33
太平洋側西部	合成波高(m)	5.3	5.5	7.1	7.9	9.6	9.9	8.9	7.0	5.3	3.6
	海上風速(kt)	41	49	51	50	52	51	41	41	32	27
オホーツク海側	合成波高(m)	4.4	5.8	10.2	10.3	7.8	8.1	8.9	8.0	7.0	6.2
	海上風速(kt)	48	58	66	54	49	48	47	40	36	29
日本海側北部	合成波高(m)	4.6	5.4	7.3	9.2	8.9	8.1	7.0	6.4	5.1	3.6
	海上風速(kt)	49	45	53	53	50	47	44	36	30	23
日本海側南部	合成波高(m)	3.2	5.6	6.5	7.1	9.7	10.1	8.9	7.2	5.3	3.7
	海上風速(kt)	36	37	43	44	51	50	42	38	31	24



第1.4.5図 平成26年12月16日00UTC初期値の沿岸波浪モデル

上表は、北海道各地域の沿岸20海里内の波高及び海上風予想値。風・波の予想値は3時間毎に算出しているが、上表では6時間毎の最大値を抽出し記載した。下図は17日09時~17日21時の沿岸波浪予想図。

胆振地方については、苫小牧の波浪計（国土交通省港湾局 全国港湾海洋波浪情報網）で、16日13時に有義波高が3mを超過し、15時には4.3mに達した。15時の観測値4.3mは沿岸波浪モデルの予想値より約

1.2m 高い値である。胆振地方の沿岸波浪モデルと実況の違いは、北海道の太平洋側の沿岸部で海上風が GSM よりも強く吹いていることを示唆している。胆振地方では引き続き 16 日夜遅くにかけて南東の風が非常に強くなるシナリオとし、沿岸波浪モデルでは、16 日夜遅くまでに太平洋側西部の日高地方で 5.3m、胆振地方では 4.7m まで波高が上昇する予想となっているが、室蘭地方気象台では、胆振地方について、16 日の海上風は波浪の実況を考慮して 5m/s 上方修正して 28m/s に、波は 1.5m 上方修正し 16 日夜のはじめ頃から夜遅くにかけて 6m の内容で、16 日夕方に波浪警報を発表する。

1.4.3.3 12月19日にかけての日本海のうねり

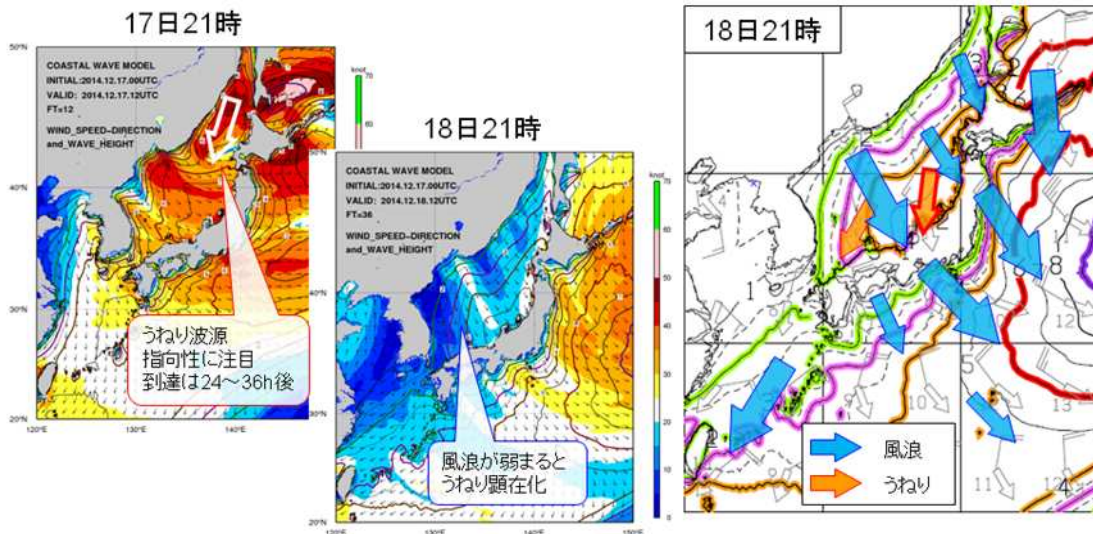
本事例のように、北海道付近で低気圧が発達すると、日本海で発生した高波を波源とするうねりが北陸地方や西日本の日本海側に到達し災害が発生することがある。本事例においても 18 日後半から 19 日にかけて、日本海側の沿岸部では海上風の弱まりとともに風浪は弱まり、うねりが顕在化する予想となっていた。

第 1.4.6 図は 17 日 16 時 00 分と 18 日 16 時 00 分に海洋気象情報室波浪班が本庁予報課へ提供した資料（以下「本庁資料」とする）である。この資料は管区及び沖縄気象台地球環境海洋課向けにも支援資料として提供されている。本庁資料では 1.4.1 節や 1.4.2 節で解説した知見を踏まえ、今後の予想についての解説をしている。本事例については、低気圧が北海道付近で最も発達した 17 日午後の波浪解説資料には、「18 日は全国的に風浪の高い状態が続くが、18 日後半から 19 日にかけて日本海側でうねりにより波浪モデルの大幅な修正が必要になる可能性があることに留意」と記述していた。その後、18 日午後の本庁資料には、「日本海のうねりについて、19 日、風浪は衰弱傾向だが 18 日の日本海の高波を波源とするうねりを考慮して、北陸から近畿、山陰では波浪モデルを最大 1m 上方修正の検討が必要」と記述していた。

第 1.4.7 図は 18 日午後の大阪管区気象台地球環境・海洋課が作成した西日本の日本海側を対象とした波浪に関する地方解説資料、第 1.4.8 図は 18 日午後の海洋気象情報室波浪班が作成した北陸地方を対象とした波浪に関する地方解説資料である。第 1.4.7 図では「昨夜（17 日）、北海道の西方を波源とするうねりが明日（19 日）日中到達する予想で、弱風場のモデル特性でモデルより高いうねりが到達する可能性があることから、バーチャートのとおり修正を検討。」とコメントしている。第 1.4.8 図でも「今夜（18 日）以降は次第に弱風場になる予想。当海域を指向するうねり波源が 2 つ（N と NW）あって、次第にモデル過小特性が現れそう。バーチャートのとおり、大きめの修正を検討。」とコメントしており、特に富山県沿岸については「『寄り回り波』に注意が必要なパターン」とのコメントもある。

第 1.4.9 図は、16 日から 19 日にかけての、気象庁が京都府に設置している経ヶ岬の波浪計の波高と、アメダス間人の風速を示したグラフである。陸上における風の観測は一般的に海上風よりも弱いことに留意する必要があるが、16 日後半から間人の風が強まるとともに経ヶ岬の波高も高くなって、風浪が発達していたことがわかる。17 日には警報基準である 6m を超える波高も観測した。18 日後半には間人の風速は弱まってくが、経ヶ岬の波高は風速の弱まりよりもゆっくりと下降していき、19 日 9 時の時点でも前日の波浪モデルの予想よりも 0.5m 程度高い 3.1m で、注意報基準を超過していた。第 1.4.7 図の西日本の日本海側を対象とした波浪に関する地方解説資料を用いることで、モデル波高を適切に修正し、適切な波浪注意報の運用ができることがわかる。

*富山湾やその周辺で低気圧が発達しながら通過した後、風や波が静まり、漁や浜辺での作業を開始しようとする頃に、突如として打ち寄せる波。主に北海道西方海上の海域で発生した波浪が、うねりとして富山湾やその周辺の海岸に伝搬してきた高波。

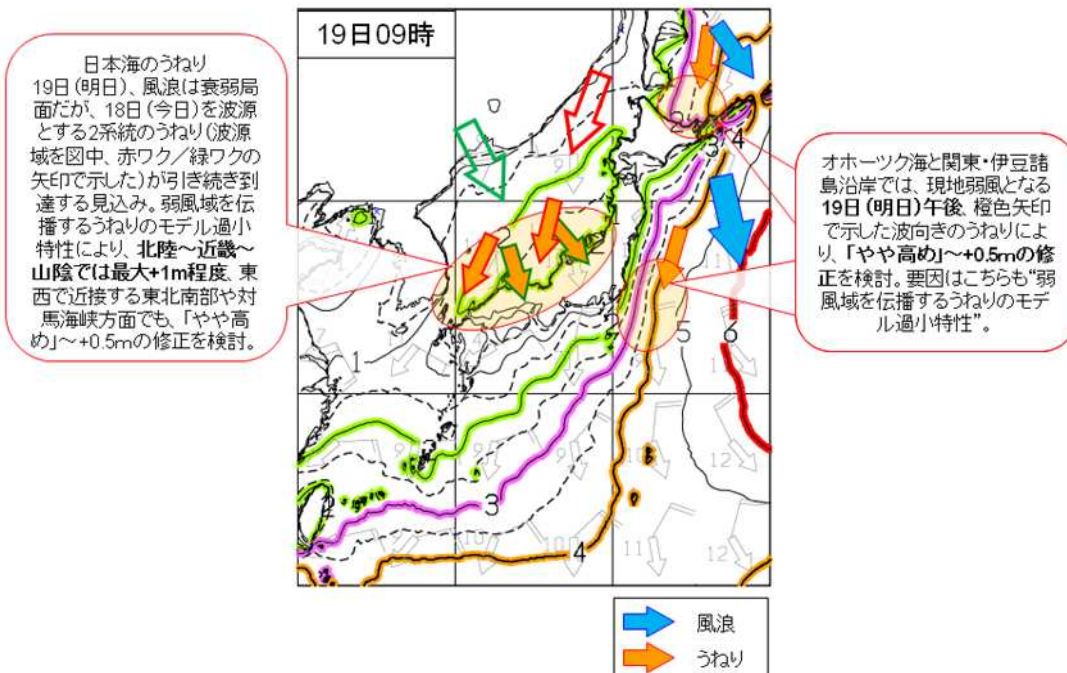


全国的に風浪継続

18日にかけて波高が高い状態が続く見込み。モデルを基本に、風シナリオに合わせて適宜修正。18日後半は次第に風が緩み波高も低下傾向。

日本海側うねり

18日後半は風浪が弱まり、次第に北西や北からのうねりが顕在化する。特に17日夜北海道西海上を波源とするうねりが18日後半に富山湾で寄り回り波を発生させるおそれがある。波源の様相が不確定な現段階においてうねりによる修正は考えないが、今後の状況次第では大幅上方修正の可能性もある点に留意。明後日は日本海全体でさらにモデル偏差が広がる可能性あり。



第1.4.6図 17日16時00分(上)と18日16時00分(下)に海洋気象情報室波浪班が本庁予報課へ提供した資料

波浪に関する地方解説資料												大阪管区気象台作成				
												2014年12月18日14時00分訂正				
沿岸波浪モデル波高予測時系列表												モデル初期時刻: 2014/12/18 00UTC				
												(波高の単位:m)				
時刻	日	今日(12/18)								明日(12/19)				修正量に寄与する要素		
		時	12-15	15-18	18-21	21-24	00-03	03-06	06-09	09-12	12-15	15-18	18-21		21-24	
京都府沿岸	一次修正値		6.2	6.1	5.7	5.2	4.2	3.5	3.3	3.3	2.9	2.6	1.9	1.8	<input checked="" type="checkbox"/> うねり	波源域の波高が高め
	修正量		0.0~+0.5								+1.0				<input type="checkbox"/> 実況風	+0.5
	モデル波高		5.9	5.8	5.4	4.9	4.2	3.5	2.8	2.3	1.9	1.6	1.4	1.3	<input checked="" type="checkbox"/> モデル特性	弱風域を指標するうねりを過小に表現
	風速 うねり		5.6	5.3	4.8	3.5	2.3	1.5	0.4	0.3	0.0	0.0	0.5	0.7	<input type="checkbox"/> その他	
	補足コメント	◆北西の風による風浪の場+北からのうねりの場。波高はモデル並~+0.5mで経過。●昨夜ウラジオストック付近を波源とするうねりが到達しており、波源域の波高がモデルより高かったため、モデルのうねり波高が過小になっていると考えられる。また、同じく昨夜、北海道の西方を波源とするうねりが明日日中到達する予想で、弱風域のモデル特性でモデルより高いうねりが到達する可能性があることから、バーチャートのとおり修正を検討。														
兵庫県北部沿岸	一次修正値		6.2	6.0	5.7	5.1	4.1	3.4	3.3	3.3	2.9	2.6	1.9	1.8	<input checked="" type="checkbox"/> うねり	波源域の波高が高め
	修正量		0.0~+0.5								+1.0				<input type="checkbox"/> 実況風	+0.5
	モデル波高		5.9	5.7	5.4	4.8	4.1	3.4	2.8	2.3	1.9	1.6	1.4	1.3	<input checked="" type="checkbox"/> モデル特性	弱風域を指標するうねりを過小に表現
	風速 うねり		5.7	5.3	4.7	3.2	2.1	1.3	0.3	0.3	0.0	0.0	0.6	0.7	<input type="checkbox"/> その他	
	補足コメント	◆北西の風による風浪の場+北からのうねりの場。波高はモデル並~+0.5mで経過。●昨夜ウラジオストック付近を波源とするうねりが明日日中到達しており、波源域の波高がモデルより高かったため、モデルのうねり波高が過小になっていると考えられる。また、同じく昨夜、北海道の西方を波源とするうねりが明日日中到達する予想で、弱風域のモデル特性でモデルより高いうねりが到達する可能性があることから、バーチャートのとおり修正を検討。														
鳥取県沿岸	一次修正値		5.8	5.4	4.9	4.4	3.8	3.3	3.2	3.2	2.9	2.6	1.9	1.8	<input type="checkbox"/> うねり	
	修正量		+0.5								+1.0				<input type="checkbox"/> 実況風	+0.5
	モデル波高		5.4	4.8	4.9	4.4	3.8	3.3	2.7	2.2	1.9	1.6	1.4	1.3	<input checked="" type="checkbox"/> モデル特性	弱風域を指標するうねりを過小に表現
	風速 うねり		5.4	4.8	3.7	2.3	1.4	0.7	0.0	0.1	0.0	0.0	0.6	0.7	<input type="checkbox"/> その他	
	補足コメント	◆北西の風による風浪の場+北からのうねりの場。波高は概ねモデル並に経過。●昨夜で北海道の西方を波源とするうねりが明日日中到達する予想で、弱風域のモデル特性でモデルより高いうねりが到達する可能性がある。バーチャートのとおり修正を検討。														
鳥根県沿岸	一次修正値		5.6	5.2	4.8	4.2	3.6	3.1	3.1	3.1	2.8	2.6	2.0	2.3	<input type="checkbox"/> うねり	
	修正量		+0.5								+1.0				<input type="checkbox"/> 実況風	+0.5
	モデル波高		5.6	5.2	4.8	4.2	3.6	3.1	2.6	2.1	1.8	1.6	1.5	1.8	<input checked="" type="checkbox"/> モデル特性	弱風域を指標するうねりを過小に表現
	風速 うねり		5.1	4.5	3.1	1.8	1.2	0.6	0.0	0.0	0.0	0.7	1.0	1.4	<input type="checkbox"/> その他	
	補足コメント	◆北西の風による風浪の場+北からのうねりの場。波高は概ねモデル並に経過。●昨夜で北海道の西方を波源とするうねりが明日日中到達する予想で、弱風域のモデル特性でモデルより高いうねりが到達する可能性がある。バーチャートのとおり修正を検討。														

※修正量はうねり・実況風・モデル特性などを総合的に検討して出した値です。時系列期間中に寄与すると見込まれる要素にチェックマークを入れて解説します。
※一次修正値は上記の修正量(幅のあるときは中央値)をモデル波高(海況最大値=ナミダンス)に単純加算した値です。
※風速に応じた量的修正の目安: 海上風25kt以上の場合、修正量は風速5ktあたり波高0.5~1m。

[一次修正値の色] [修正量の色] [修正の内容]

0 1 2 3 4 6 9 12 [m] -2.0 -1.5 -1.0 -0.5 0.0 +0.5 +1.0 +1.5 +2.0[m]

●: 実況
●: 予想

第1.4.7図 12月18日午後の大阪管区が作成した西日本の日本海側を対象とした波浪に関する地方解説資料

波浪に関する地方解説資料												気象庁海洋気象情報室波浪班作成				
												2014年12月18日14時30分発表				
沿岸波浪モデル波高予測時系列表												モデル初期時刻: 2014/12/18 00UTC				
												(波高の単位:m)				
時刻	日	今日(12/18)								明日(12/19)				修正量に寄与する要素		
		時	12-15	15-18	18-21	21-24	00-03	03-06	06-09	09-12	12-15	15-18	18-21		21-24	
新潟県沿岸	一次修正値		6.4	6.0	5.5	5.4	5.2	4.5	4.0	3.5	3.2	2.9	2.1	1.9	<input type="checkbox"/> うねり	
	修正量		+0.5								+1.0				<input type="checkbox"/> 実況風	+0.5
	モデル波高		6.4	6.0	5.5	4.9	4.2	3.5	3.0	2.5	2.2	1.9	1.6	1.4	<input checked="" type="checkbox"/> モデル特性	弱風域でのうねり過小
	風速 うねり		5.8	5.4	5.0	3.8	3.0	1.9	1.4	1.1	0.9	0.9	0.7	0.9	<input type="checkbox"/> その他	
	補足コメント	◆北西の風による風浪主体の場。JMA漂流ブイが近海に位置し、参考になる。12時で6.5m(概ねモデル並)。●今夜以降は次第に弱風域に変わる予想。当海域を指向するうねり波源が2つ(NとNW)あって、次第にモデル過小特性が現れそう。バーチャートのとおり、大きめの修正を検討。														
富山県沿岸	一次修正値		4.3	4.2	4.1	4.1	4.2	4.1	3.4	3.0	2.7	2.4	1.7	1.5	<input type="checkbox"/> うねり	
	修正量		+0.5								+1.0				<input type="checkbox"/> 実況風	+0.5
	モデル波高		4.3	4.2	4.1	3.6	3.2	2.8	2.4	2.0	1.7	1.4	1.2	1.0	<input checked="" type="checkbox"/> モデル特性	弱風域でのうねり過小
	風速 うねり		3.1	3.0	2.6	1.4	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1	<input type="checkbox"/> その他	
	補足コメント	◆沿岸部の風向はバラつき気味で、日本海で長時間継続している北西風浪からの分散うねり成分が主体と推察。予報区北東端あたりでは、モデル並+4m前後ありと推察。●今夜以降は次第に弱風域に変わる予想で、当海域で「寄り回り波」に注意が必要なパターン。バーチャートのとおり、主にNからのうねり要因で大きめの修正を検討。														
石川県沿岸	一次修正値		6.1	5.8	5.5	5.3	5.1	4.4	4.0	3.5	3.1	2.7	1.9	1.9	<input type="checkbox"/> うねり	
	修正量		+0.5								+1.0				<input type="checkbox"/> 実況風	+0.5
	モデル波高		6.1	5.8	5.5	4.8	4.1	3.4	3.0	2.5	2.1	1.7	1.4	1.4	<input checked="" type="checkbox"/> モデル特性	弱風域でのうねり過小
	風速 うねり		5.5	5.3	4.5	3.0	1.9	1.7	1.4	1.0	0.7	0.2	0.4	0.9	<input type="checkbox"/> その他	
	補足コメント	◆北西の風による風浪主体の場。JMA漂流ブイが近海に位置し、参考になる。12時で6.5m(概ねモデル並)。●今夜以降は次第に弱風域に変わる予想。当海域を指向するうねり波源が2つ(NとNW)あって、次第にモデル過小特性が現れそう。バーチャートのとおり、大きめの修正を検討。														
福井県沿岸	一次修正値		6.1	5.9	5.5	5.4	5.2	4.5	3.8	3.3	2.9	2.6	1.9	2.0	<input type="checkbox"/> うねり	
	修正量		+0.5								+1.0				<input type="checkbox"/> 実況風	+0.5
	モデル波高		6.1	5.9	5.5	4.9	4.2	3.5	2.8	2.3	1.9	1.6	1.4	1.5	<input checked="" type="checkbox"/> モデル特性	弱風域でのうねり過小
	風速 うねり		5.7	5.4	4.5	3.3	2.3	1.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	<input type="checkbox"/> その他	
	補足コメント	◆北西の風による風浪主体の場。福井港の実況は13時で4.8m(緩やかに低下中)。沖合側はもう少し高めもありそう。現状、概ねモデル並と推察する。●今夜以降は次第に弱風域に変わる予想。当海域を指向するうねり波源が2つ(NとNW)あって、次第にモデル過小特性が現れそう。バーチャートのとおり、大きめの修正を検討。														

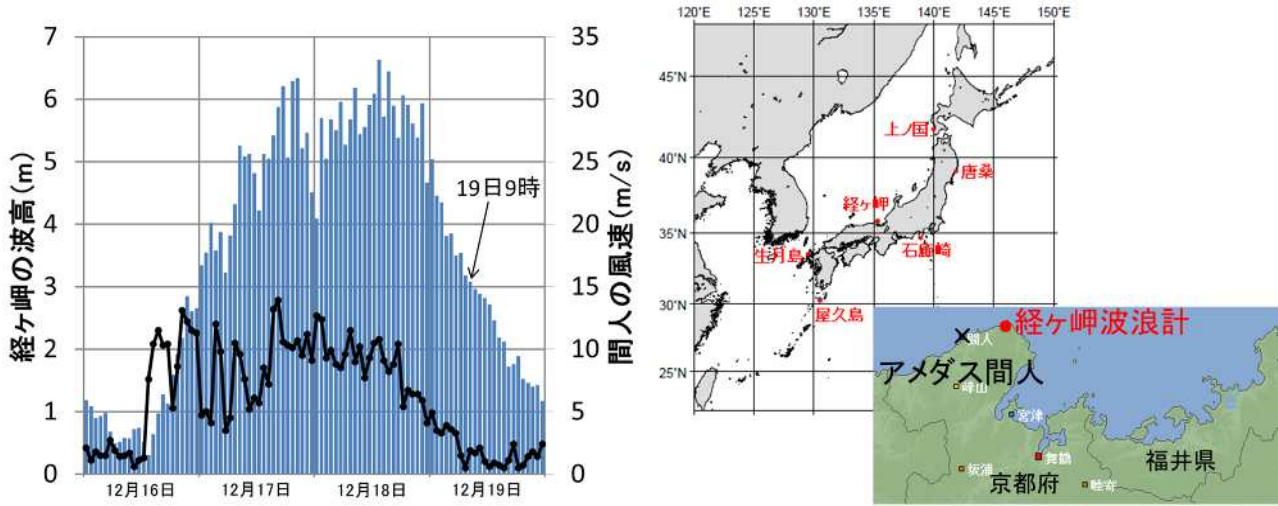
※修正量は、気象庁海洋気象情報室波浪班がうねり・実況風・モデル特性などを総合的に検討して出した値です。時系列期間中に寄与すると見込まれる要素にチェックマークを入れて解説します。
※一次修正値は上記の修正量(幅のあるときは中央値)をモデル波高(海況最大値=ナミダンス)に単純加算した値です。
※風速に応じた量的修正の目安: 海上風25kt以上の場合、修正量は風速5ktあたり波高0.5~1m。

[一次修正値の色] [修正量の色] [修正の内容]

0 1 2 3 4 6 9 12 [m] -2.0 -1.5 -1.0 -0.5 0.0 +0.5 +1.0 +1.5 +2.0[m]

●: 実況
●: 予想

第1.4.8図 12月18日午後海洋気象情報室波浪班が作成した北陸地方を対象とした波浪に関する地方解説資料



第 1.4.9 図 平成 26 年 12 月 16 日から 19 日にかけての経ヶ岬（棒グラフ）の波高と間人の風速（折れ線グラフ）

海洋気象情報室波浪班や管区及び沖縄気象台地球環境・海洋課では、1.4.1 節や 1.4.2 節の波浪や波浪モデルに関する知見に基づいて、本庁資料及び波浪に関する地方解説資料を作成しており、本庁資料は中央気象指示報に、波浪に関する地方解説資料は地方気象指示報にそれぞれ反映されている。波浪に関する予報作業では数値予報モデルを外力とする波浪モデルを基本にして、実況と比較しながら、中央気象指示報、地方気象指示報をもとに予報を組み立てるのが基本であるが、それら気象指示報に加え、この事例のように、詳細について波浪に関する地方解説資料を利用することで、府県予報区担当官署においても波浪のシナリオの修正や波浪警報・波浪注意報をより適切に運用することが可能となる。これら波浪に関する有用な資料を駆使して予測することが必要であり、こうした資料を最大限に利用するためには、解説のバックグラウンドとなっている 1.4.1 節や 1.4.2 節の基礎知識について十分な理解が必要である。

参考文献

高野洋雄，2011：有義波法による波浪推算 - 現業での利用を目的として - . 測候時報第 78 巻 .
 (<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/sokkou/78/vol78p185.pdf>)
 高野洋雄，2012：うねりの特性について. 平成 23 年度予報技術研修テキスト，気象庁予報部，75-76 .
 高野洋雄，2014：波浪スペクトルを活用した波浪情報の高度化について . 測候時報（海洋気象特集）第 81 巻 . (<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/sokkou-kaiyou/81/vol81s039.pdf>)
 竹内仁，高野洋雄，山根彩子，松枝聡子，板倉太子，宇都宮忠吉，金子秀毅，長屋保幸，2012：日本周辺海域における波浪特性の基礎調査及び波浪モデルの現状と展望 . 測候時報（海洋気象特集）第 79 巻 .
 (<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/sokkou-kaiyou/79/vol79s025.pdf>)

1.5 高潮

1.5.1 高潮の仕組みと災害に関する基礎知識*

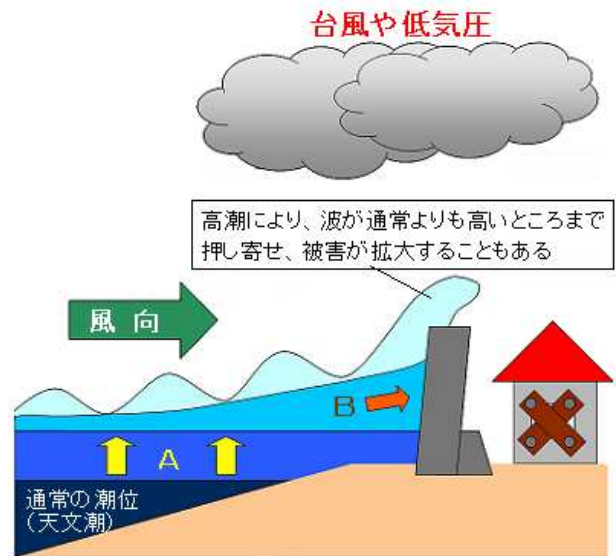
海面の水位（潮位）は月（太陽）が地球に及ぼす引力と、地球が月（太陽）と地球の共通の重心の周りを回転することで生じる遠心力を合わせた起潮力により周期的に変化しているが、台風や発達した低気圧が通過する際に、気圧や風、波浪といった気象要因によって潮位が大きく上昇することがあり、これを「高潮」と呼んでいる。この項では、高潮の仕組みとして、高潮の発生する主な要因について説明する。

1 つ目の要因は気圧の降下に伴って海面が上昇する「吸い上げ効果」（第 1.5.1 図の A）である。台風や低気圧の中心では気圧が周辺より低いいため、周囲の海水が吸い上げられる事で海面が上昇する。気圧が 1hPa 下がる毎に潮位は約 1cm 上昇する。

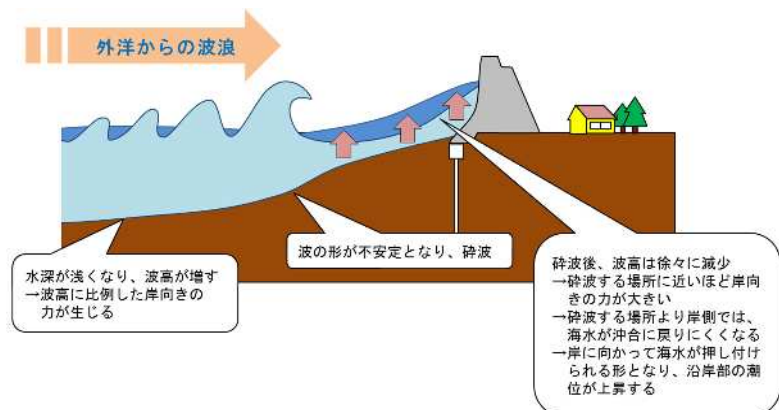
2 つ目の要因は風の影響によるもので、「吹き寄せ効果」（第 1.5.1 図の B）と「エクマン輸送」がある。「吹き寄せ効果」は、台風や発達した低気圧に伴う強い風が沖から岸に向かって吹くと、海水は海岸に吹き寄せられ、海岸付近の海面が上昇する効果である。この効果による潮位の上昇は風速の 2 乗に比例するため、風速が 2 倍になれば海面上昇は 4 倍となり、台風や発達した低気圧付近では吸い上げ効果よりも吹き寄せ効果による影響が大きくなる。遠浅の海や風が吹いてくる方向に開いた湾の場合だと、地形が海面上昇を助長させるように働くため、より潮位が高くなる。「エクマン輸送」は、海上を連続して風が吹送するときに、海水は地球自転の影響により北半球では風が吹く方向に対して右向きに移動するという性質である。太平洋側では東よりの風、日本海側では西よりの風が数日以上継続して吹いた場合は、沿岸部で潮位が上昇することがある。

3 つ目の要因は高波による「波浪効果（wave setup）」（第 1.5.2 図）である。波浪が沿岸に達すると、その形が不安定となり前方に飛び出すように崩れる砕波が生じる。砕波が生じた場所より岸側で潮位上昇が発生する。

台風や発達した低気圧の接近・上陸によって短時間の内に急激に潮位が上昇し、海水が海岸堤防等を超えると一気に浸水し、これに高波が加わるとさらに浸水の危険性が増す。平成 16 年 8 月 30 日に強い勢力で西日本を縦断し



第 1.5.1 図 吸い上げ効果と吹き寄せ効果
気圧の降下に伴って海面が上昇する「吸い上げ効果」（A）
風の影響による「吹き寄せ効果」（B）



第 1.5.2 図 波浪効果

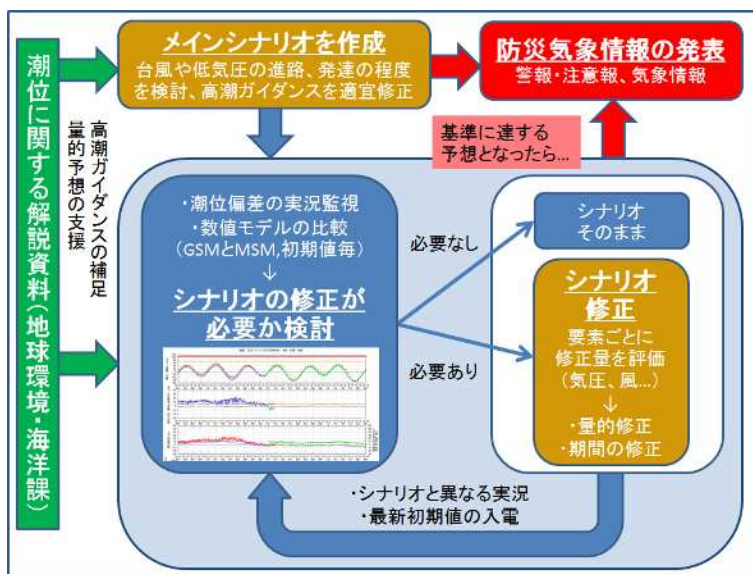
*長谷川 洋（気象庁予報部予報課）

た平成 16 年台風第 16 号の場合、台風の接近・通過に伴う気圧低下で海面が上昇し、南からの暴風による吹き寄せで豊後水道などから瀬戸内海に大量の海水が送り込まれ、瀬戸内海沿岸で高潮が発生した。1 年を通じて最も潮位の高い季節のしかも大潮の時期にあたり、さらに満潮の時間とも重なったこともあり、香川県では床上 8,393 棟、床下 13,424 棟、岡山県では床上 5,696 棟、床下 5,084 棟、広島県では床上 1,386 棟、床下 6,139 棟もの浸水被害が発生した。

このように高潮と満潮が重なると、潮位が一層上昇して大きな災害が発生しやすくなる。ただし、兵庫県や香川県で高潮による浸水被害をもたらした平成 10 年台風第 10 号のように干潮の場合でも高潮による浸水被害が発生することがあり、決して安心できない。

1.5.2 高潮の量的予想の概要と高潮モデルの留意点*

まず、高潮の量的予想の概要について説明する。第 1.5.3 図に示すように、初めに、高潮の要因となる台風や低気圧の進路や発達を数値予報モデル等から検討し、地球環境・海洋課から提供される「潮位に関する解説資料」も参考に、「高潮ガイダンス」に修正を加えるなどして潮位の時系列予想を作成する。その後、必要に応じて、じょう乱の動向のシナリオを修正し、時系列予想を修正する。また、新しい初期値の数値予報モデルが入電した時には、これを基にシナリオの見直しを検討する。これらによって高潮警報や高潮注意報の基準に達する予想となった場合に、警報や注意報、気象情報を発表する。



第 1.5.3 図 高潮の量的予想の概要

次に、高潮数値予測モデル（以下、高潮モデル）について説明する。高潮モデルは、海水の運動を計算する部分とその運動を駆動する大気からの外力を与える部分から構成され、大気からの外力として与える気圧と風向・風速の予想値は台風の有無によって異なる。台風が存在しない若しくは日本から遠方にある場合は、大気の数値予報結果（MSM）の GPV を使用する。台風が日本に接近すると予想される場合は、台風の進路によって高潮の規模や発生タイミングが大きく異なることから、台風進路予報の誤差などを考慮して高潮の予測をする必要があるため、高潮モデルでは 6 つの異なる風・気圧場を用いた 6 メンバーの予測計算を行う。1 つは台風が存在しない場合と同様に MSM の風・気圧場を使用し、その他 5 メンバーについては台風予報に基づき作成した台風周辺の風・気圧場（以下、台風ボーガス）を用い、予報円を基に 5 つの異なるコースを通過する場合の高潮を予測している。

高潮モデルは毎日、1 日 8 回 39 時間予測を行い、それに面的天文潮位による天文潮位を加えた予測潮位を日本沿岸の 1km メッシュの格子点に展開し「高潮ガイダンス」として気象官署へ提供している。また、例えば暖水渦によって潮位が上昇するといった海況要因や、波浪効果等の、高潮モデルでは考慮されない要因により潮位の予測が実際からずれてしまうことがあるため、高潮ガイダンスに高潮ガイダンス補正量を加え

*長谷川 洋（気象庁予報部予報課）

た値を「補正済高潮ガイダンス」として提供している。波浪効果による潮位上昇については、過去の観測結果から実験式が求められている検潮所で、最新初期値の沿岸波浪モデルによる有義波高の予測値を実験式に代入して補正量を計算している。

これらを踏まえて、高潮モデル及び高潮ガイダンスの使用において以下の留意点があげられる。

- ・ 高潮ガイダンス及び補正済高潮ガイダンスは最新を参照する。なお、海況要因による高潮ガイダンス補正量は1日2回更新される。
- ・ 台風時は台風ポーガスを使った予報円中心を通るメンバーを用いた高潮予測結果を基本とする。ただし、潮位に関する解説資料にメンバーに関する記述がある場合はそれを基本とする。
- ・ 台風の予想進路と実際の進路の差異に注意し、最も実況に合ったメンバーのガイダンスを参考にするとともに、メンバーの違いによって高潮が起こる時間とその大きさにどれだけの差異が起こりうるかを常に考慮する。
- ・ 海況要因等によって生じる潮位偏差の分は差分として加算する必要があり、補正済高潮ガイダンスにはこれが加算されている。解説資料では補正済高潮ガイダンスに基づいた解説を行う。
- ・ 24時間以内に台風でなくなる場合、高潮モデルの台風ポーガスは台風強度・移動速度を一定と仮定して外挿するため、台風が衰弱して熱帯低気圧化する場合や温帯低気圧化した後に再発達する場合等の変化傾向に対応しておらず、これ以降の予想が過大または過小となる可能性がある。その場合、「潮位に関する解説資料」はMSM予測値に基づいたものになる場合がある。
- ・ 面的天文潮位は海域により精度が異なるため、地形による天文潮位の誤差を把握しておくことが望ましい。

なお、高潮モデルについては、気象分科会提言で「台風によりもたらされる顕著現象の予測技術」として、台風アンサンブル予報を活用して高潮の予測を行い、高潮発生の可能性を地域毎に確率的に評価するための手法を開発すべき、との提言をいただいており、これに向けた高度化の技術開発を行っている。

1.5.3 本事例における具体的な量的予報*

高潮警報は、台風や低気圧等による異常な海面の上昇により重大な災害が発生するおそれがあると予想したときに発表する。その発表基準は、「標高」で表した数値で定められている。

本事例では、根室港潮位計で高潮警報基準を大きく超過する潮位が観測され、根室市などで浸水被害が発生した。この節では、根室地方の災害概要を述べるとともに、本事例を用いて、根室地方における適切な量的予報作業について、当時まだ提供されていなかった補正済高潮ガイダンスが提供されていたものとして、シミュレーションを行ったので解説する。

なお、本事例での根室地方の潮位は、低気圧の北上に伴い17日未明から昼前に、低気圧の南下に伴い18日明け方から昼過ぎに、それぞれ高潮警報基準を超過した。本節では前者の17日未明から昼前の高潮に対する対応を取り上げる。

1.5.3.1 高潮の実況と発生した災害

本事例における釧路・根室地方及び網走地方の検潮所で観測された最大潮位偏差と最高潮位を第1.5.1表に示す。

本事例の高潮により、根室市などで住家の床上・床下浸水の被害が発生したほか、根室市では高潮によ

*大山 哲男（札幌管区気象台気象防災部予報課）、竹田 康生（気象庁予報部予報課）

り市街地の道路が冠水し、近隣の住民が消防署員などによりゴムボートで救助された。住民避難に関する情報は第 1.5.2 表のとおりである。

第 1.5.1 表 高潮観測表 (平成 26 年 12 月 16 日 21 時~12 月 18 日 21 時)

観測点	1次細分区域名	最大潮位偏差				最高潮位				高潮警報・注意報基準値 (cm)		過去最高潮位 (平滑値)		
		瞬間値		平滑値		瞬間値		平滑値		警報	注意報	潮位 (cm)	年月日	要因
		偏差(cm)	起時	偏差(cm)	起時	標高(cm)	起時	標高(cm)	起時					
根室 (*)	根室	(169)	17日08:49	(142)	17日09時	(203)	17日08:49	(181)	17日08:44	120	70	---	---	---
花咲	根室	117	17日04:57	87	17日07時	131	17日08:03	104	17日08:10	120	70	134	1994.02.22	低気圧
枝幸 (*)	宗谷	117	17日17:52	83	17日17時	114	17日21:14	76	17日12:47	110	70	---	---	---
紋別 (*)	紋別	99	17日17:40	67	17日18時	98	18日09:25	73	18日09:35	130	90	---	---	---
網走	網走	86	17日19:27	61	17日21時	95	17日13:37	75	17日10:54	130	90	120	2010.01.01	低気圧
霧多布 (*)	釧路	84	17日05:19	60	17日05時	102	17日09:47	76	17日09:54	110	70	---	---	---
釧路	釧路	73	17日05:42	56	17日09時	104	17日10:02	90	17日10:16	110	70	122	1994.02.22	低気圧

注 : 最大潮位偏差50cm以上、または注意報基準に達した地点を潮位偏差の大きい順に記載した。
 注 : 瞬間値は波浪等の短周期成分を除いた海面の高さ。
 注 : 平滑値は日々の潮汐(満干潮)を決定するために、津波や副振動成分を平滑・除去した海面の高さ。
 注 : 潮位偏差は推算潮位(計算上の潮位)からの偏差。
 注 : (*)は北海道開発局の所管検潮所であり、偏差等の値は気象庁で独自に算出したものである。
 注 : 値に()がついているものは、期間中に欠測があったことを示す。
 注 : 「注意報基準」欄に記載している基準値は、検潮所が所在する市町村の高潮警報・注意報の基準値である。

第 1.5.2 表 高潮による北海道内の住民避難に関する情報

1 避難指示

振興局名	市町村名	対象世帯数	対象人数	発令日時	解除日時	地区数及び発令理由
根室	別海町	97	267	12/17 09:00	12/17 13:00	計1地区。高潮による越波のため。

2 避難勧告

振興局名	市町村名	対象世帯数	対象人数	発令日時	解除日時	地区数及び発令理由
根室	根室市	730	1594	12/17 08:04	12/18 14:10	計13地区。高潮による越波のため。
	別海町	361	1194	12/17 08:30	12/17 13:00	計 4地区。高潮による越波のため。
計	---	1091	2788	---	---	---

注 : 表中の住民避難情報は北海道総務部の調べによる(平成26年12月19日現在)。

1.5.3.2 釧路地方気象台の現地調査結果

本事例の高潮によって、根室地方の沿岸で建物の浸水などの被害が生じたことから、釧路地方気象台及び札幌管区気象台は、平成 26 年 12 月 25 日に第 1.5.4 図に示す尾岱沼漁港及び別海漁港で現地調査を実施した。調査の概要は次のとおりである。

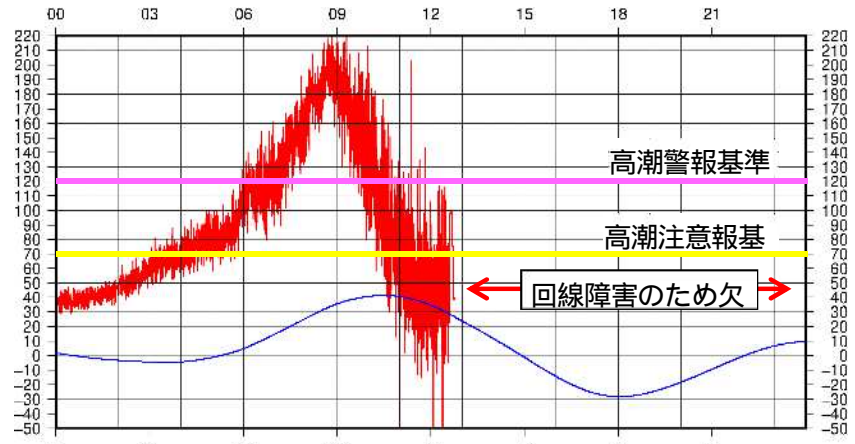
尾岱沼漁港では、観光船案内所における聞き取りの結果、高潮は 17 日 08 時 30 分頃にピークとなり、観光船案内所建屋入口が浸水する直前まで潮位が上昇したことが判明した。



第 1.5.4 図 平成 26 年 12 月 25 日に現地調査を行った地域 (内) この地図は、国土地理院の地理院地図(電子国土 Web)を使用したものである。

観光船案内所建屋入口までの水準測量結果から、尾岱沿漁港における高潮は、標高約 1.7m に達したと推定される。

別海漁港では、別海漁業協同組合における聞き取りの結果、高潮は 17 日 09 時頃にピークとなり、同漁業協同組合資材庫の内部まで浸水したことが判明した。同漁業協同組合資材庫内の浸水痕跡までの水準測量結果から、別海漁港における高潮は標高約 2.1m に達したと推定される。なお、根室港における高潮は、第 1.5.5 図に示すように、標高約 2.0m(北海道開発局：潮位観測資料)に達しており、別海町とほぼ同程度となっていた。

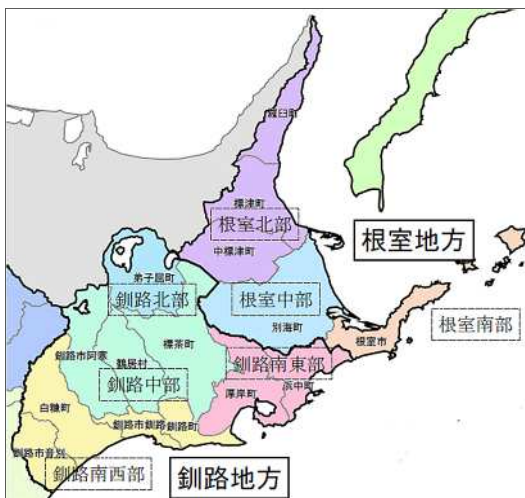


第 1.5.5 図 平成 26 年 12 月 17 日 根室港潮位記録 (北海道開発局所管)
赤線：実測値 青線：天文潮位 (標高表示：cm)

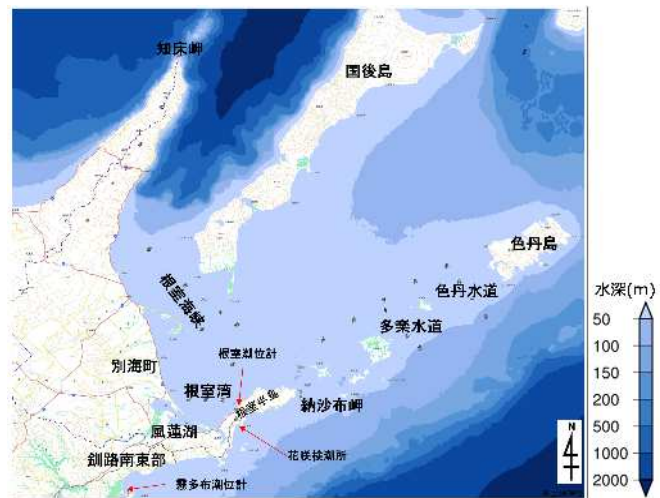
現地調査により、12 月 17 日に発生した顕著な高潮は、気圧低下による吸い上げ効果と東から北の強風による吹き寄せ効果により発生したと考えられる。根室湾は国後島と根室半島及び歯舞群島から色丹島に挟まれるような北東方向に開けた矩形となっており、遠浅な海底地形が広がっていることが潮位偏差を大きくした可能性がある。根室港潮位計の潮位偏差は約 1.7m で、そのうち吸い上げ効果による潮位上昇量は 0.6m 程度と推定されることから、残る潮位上昇量を強風による吹き寄せ効果と考えると、吹き寄せ効果による上昇量は、吸い上げ効果の 2 倍程度あったと考えられる。

1.5.3.3 釧路地方気象台の量的予報作業

ここでは、16 日明け方から 17 日明け方にかけての釧路地方気象台における量的予報作業について、補正済高潮ガイダンスが提供されていたと想定した理想的な作業の一例を解説する。なお、第 1.5.6 図に釧路・根室地方の警報・注意報の発表細分区域図を、第 1.5.7 図に根室海峡付近の水深図を示す。

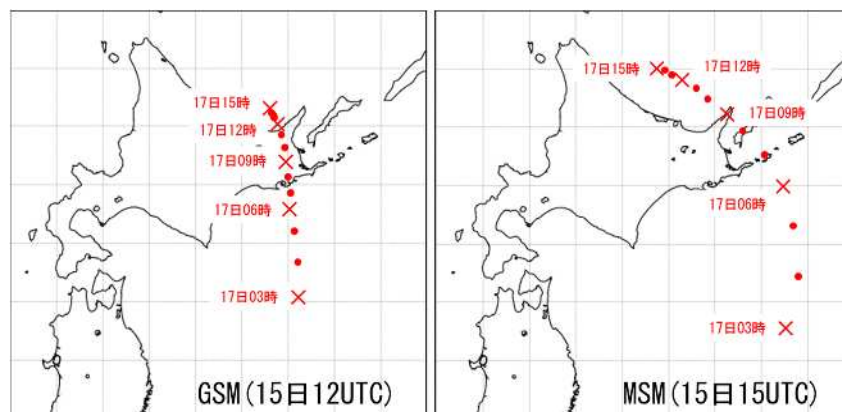


第 1.5.6 図 釧路・根室地方の警報・注意報の発表細分区域図



第 1.5.7 図 根室海峡付近の水深図

この地図は、国土地理院の地理院地図(電子国土 Web)を使用したもので、水深は日本海洋データセンターの 500m メッシュ水深データより作図した。



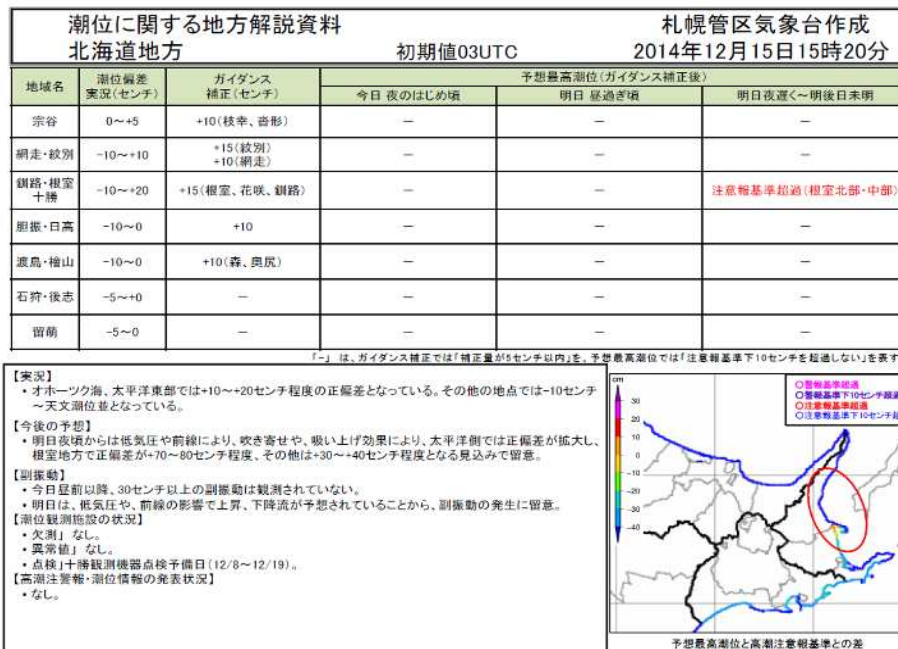
第 1.5.8 図 12月 15 日 12UTC 初期値の GSM と 15 日 15UTC 初期値の MSM の低気圧の中心の予想位置
17 日 3 時から 18 時までの 3 時間毎の予想位置を × とその時刻で、その他の 1 時間毎の位置を ● で示した。

16 日明け方に釧路地方気象台が府県気象情報を発表したときの検討状況を説明する。低気圧の進路予想については、15 日 12UTC 初期値の GSM は 948hPa に発達して根室半島の西側を北上させる一方、15 日 15UTC 初期値の MSM は 956hPa で根室半島の東側の海上を北上させる予想となっている（第 1.5.8 図）。高潮の予想においては、低気圧の東側となるか西側となるかは非常に重要な要素であるが、この段階において、低気圧の通過コースを 100km 単位の精度で確定させることは困難である。16 日未明の中央気象指示報では、数値予報資料解釈上の留意点として、「低気圧発達のモデル間の差は小さくなってきた。最新の GSM を基本に考える。」と記述していた。この時点では、低気圧の進路予想は GSM を基本に MSM も考慮して根室半島付近を通過するコースでシナリオを組み立てる。高潮や梅雨前線付近の大雨など、比較的狭い領域で激しい現象が発生することが予想されるときは、MSM の予想を不適切と判断しない限りは、低気圧や前線の位置や量的な見積もりについて、MSM も利用して予想の不確実性を把握しながらシナリオを考えることが重要である。潮位については、15 日 15UTC 初期値の補正済高潮ガイダンスが根室海峡で警報基準を超過し、最高は 17 日 06 時頃で標高 1.4m（警報基準 1.2m）と出力していた。そのため、根室地方で 17 日未明から昼前にかけて警報基準を超過し、ピークは 17 日明け方で、最高潮位は標高 1.4m（警報基準 1.2m）とシナリオを組み立てることが可能であった。このシナリオに沿って 16 日 05 時台に発表する府県気象情報で、「根室地方は 17 日未明から高潮による低い土地の浸水に厳重に警戒」を見出しに盛り込み、暴風雪と共に高潮による浸水にも警戒を呼びかけ、本文には 16 日夜のはじめ頃に高潮警報を発表予定であることを記載することができる。釧路地方は、釧路南東部で警報基準を超過するおそれはあるものの、低気圧が根室半島付近を通過するメインのシナリオを組んでいることから、この時点では警報基準を下回ると見込む。サブシナリオとして低気圧の進路が根室半島よりも西側を通過する確度が高まった場合に釧路南東部も警戒を呼びかけることとし、低気圧の実況や予想資料の変化に注意する。

16 日朝の予報会報では、次の事項について確認する。

- ・ 低気圧が 17 日朝に根室半島付近を通過し、昼前に根室海峡から知床半島付近で最も発達する
- ・ 根室地方の満潮時刻は 17 日昼前で、低気圧の最盛期と重なり、15 日午後札幌管区気象台地球環境・海洋課から提供された「潮位に関する地方解説資料」（第 1.5.9 図。以下、「潮位解説資料」とする）のとおり、吹き寄せや吸い上げ効果により、根室地方で警報基準を超過する確度が高い
- ・ 根室地方と釧路南東部の高潮警報のシナリオについて、低気圧のモデルと実況の対比を入念に行い、リードタイムを考慮して、16 日夜のはじめ頃までに判断する

- 根室海峡の沿岸では、平成18年10月8日の発達した低気圧と同程度の高潮害(第1.5.3表)が予想されることから、16日中に根室地方の各市町村及び北海道根室振興局への、暴風雪と共に高潮への警戒について、ホットライン等で具体的な解説を心がける
- 札幌管区気象台が15日に続いて16日に行う防災機関や報道機関を対象とする「暴風雪に関する説明会」でも、高潮にも重点をおいた解説を要望する

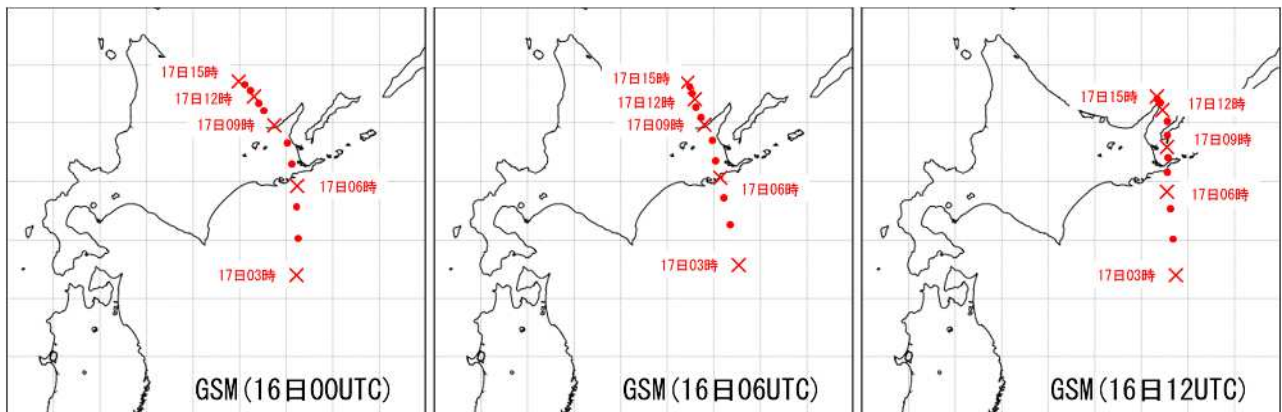


第1.5.9図 「潮位に関する地方解説資料 北海道地方」(2014年12月15日15時20分)

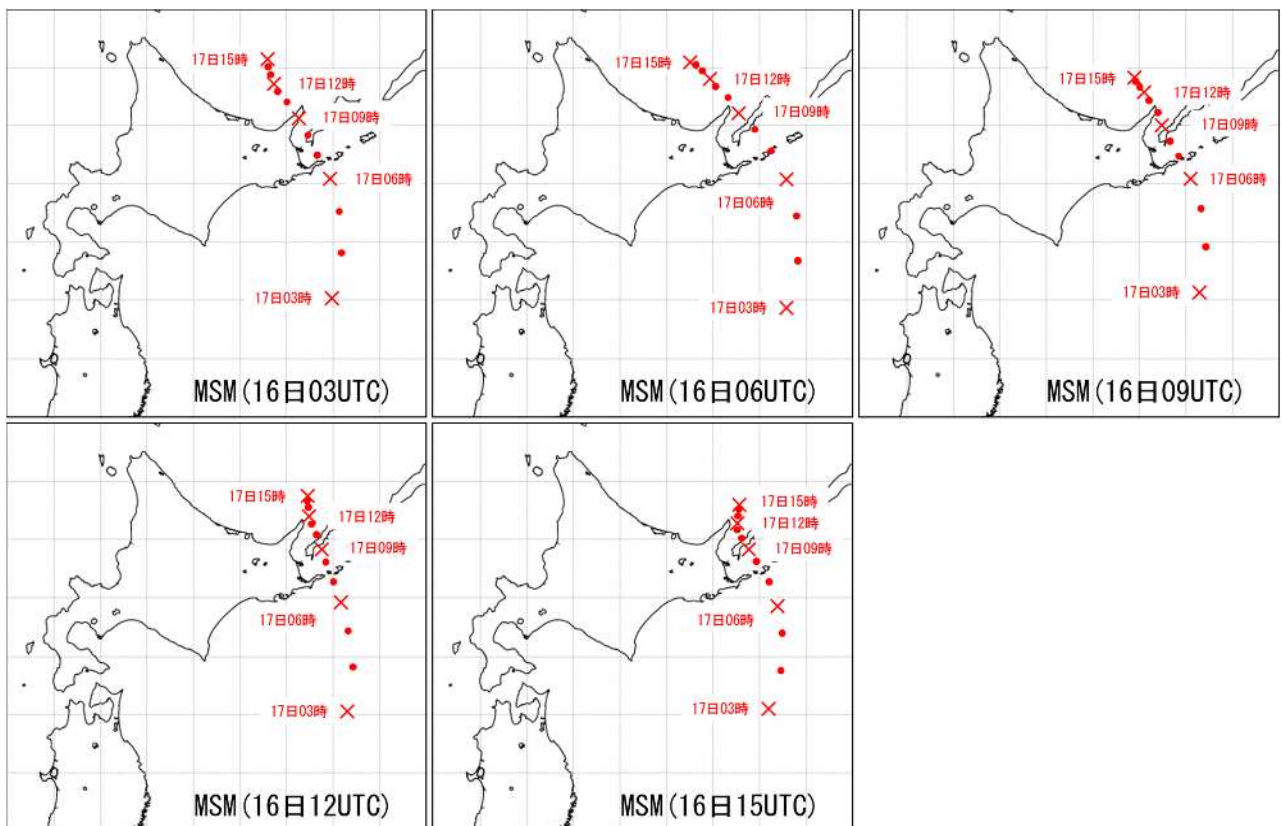
第1.5.3表 根室地方における高潮災害履歴(平成元年1月～平成27年10月)

年月日	観測点	最大潮位偏差(平滑値)		最高潮位(平滑値)		主な被害	要因
		偏差(cm)	起時	標高(cm)	起時		
平成3年(1991) 2月16～18日	花咲	41	17日07時	104	17日16:35	住家浸水(床上4棟、床下2棟)	低気圧
平成6年(1994) 2月21～22日	花咲	64	22日11時	134	22日11:00	住家浸水(床下1棟)、漁協事務所冠水1、水産倉庫冠水7	低気圧
平成7年(1995) 12月24～26日	花咲	32	25日09時	132	25日16:10	住家浸水(床下1棟)	低気圧
平成14年(2002) 1月27～28日	花咲	44	28日09時	132	28日13:35	住家浸水(床下1棟)	低気圧
平成16年(2004) 1月13～16日	花咲	51	14日09時	78	14日07:31	住家浸水(床上1棟、床下1棟)	低気圧
平成18年(2006) 1月3～4日	花咲	30	3日21時	95	3日16:38	住家浸水(床上2棟、床下9棟)、漁船25隻及び水産施設82か所被害	低気圧
平成18年(2006) 10月7～9日	花咲	71	8日05時	119	8日03:48	住家浸水(床上28棟、床下49棟)、漁船201隻及び水産施設666か所被害	低気圧
平成19年(2007) 1月7～8日	花咲	52	7日09時	98	7日16:34	住家浸水(床下2棟)	低気圧
平成26年(2014) 12月17～18日	花咲	87	17日07時	104	17日08:10	住家浸水(床上19棟、床下26棟)、漁船流出・破損12隻、非住家浸水害135件	低気圧
	根室(*)	(142)	17日09時	(181)	17日08:44		
平成27年(2015) 10月8～9日	花咲	100	8日17時	105	8日14:11	被害の詳細は、平成27年10月13日現在、調査中である	台風
	根室(*)	114	8日13時	142	8日13:25		

注：災害データは、「気象災害報告」(気象庁)による。
注：瞬間値は波浪等の短周期成分を除いた海面の高さ。
注：平滑値は日々の潮汐(満干潮)を決定するために、津波や副振動成分を平滑・除去した海面の高さ。
注：潮位偏差は推算潮位(計算上の潮位)からの偏差。
注：(*)は北海道開発局の所管検潮所であり、偏差等の値は気象庁で独自に算出したものである。
注：値に()がついているものは、期間中に欠測があったことを示す。
注：観測点データは、期間を通して観測記録がある「花咲」を基本に記載し、近年大きな被害が発生した「根室」を記載した。
注：上表の平成26年12月17～18日災害前の時点で、最も被害が大きかったのは平成18年10月7～9日の低気圧によるもので、根室市、別海町の根室海峡沿岸に被害が集中した。詳細は、「災害時自然現象報告書2006年第3号」(平成18年11月20日 気象庁)参照 http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/saigaiji/saigaiji_200603.pdf



第 1.5.10 図 12月16日00UTC初期値から12UTC初期値のGSMの低気圧の中心の予想位置
17日3時から18時までの3時間毎の予想位置を×とその時刻で、その他の1時間毎の位置を●で示した。

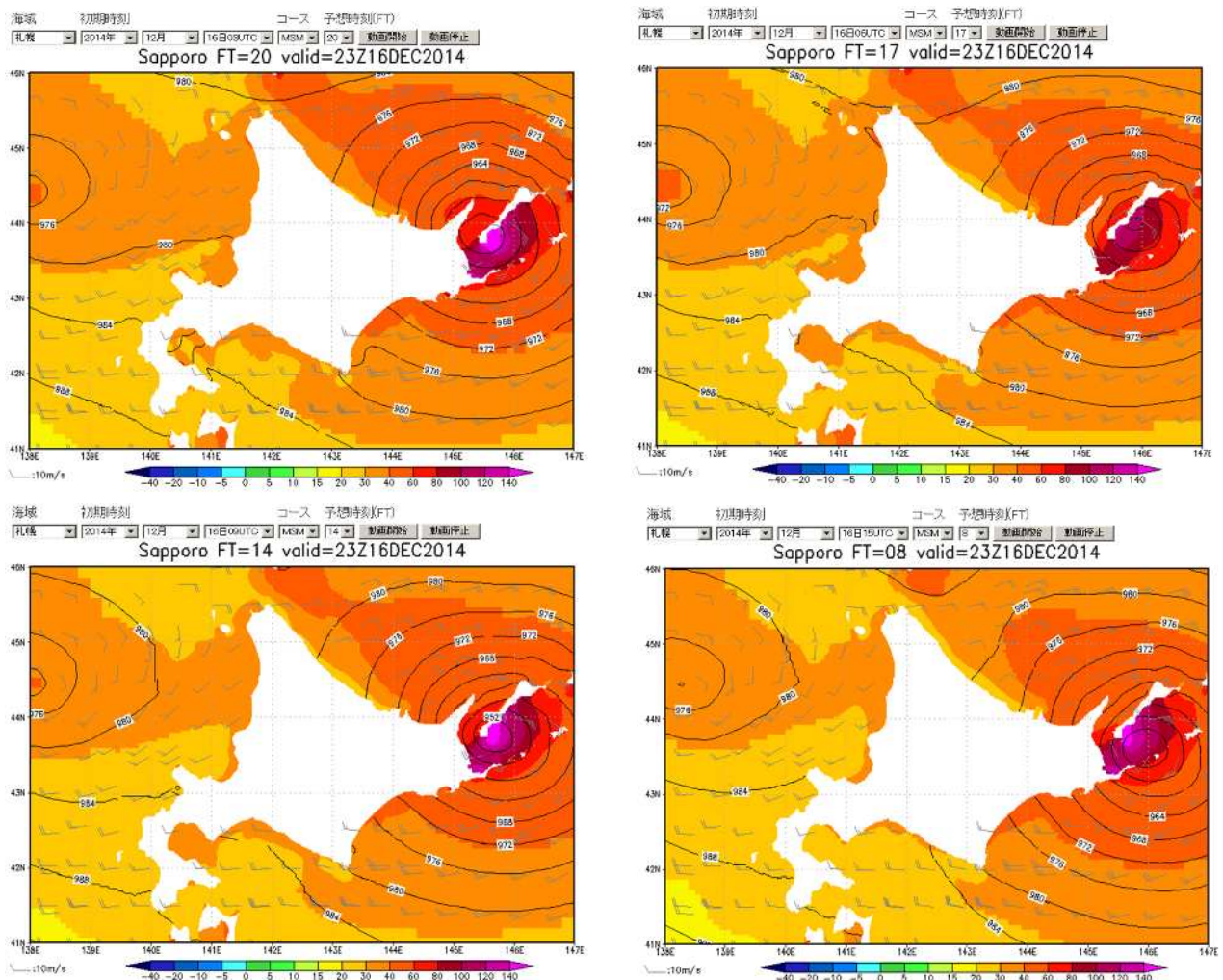


第 1.5.11 図 12月16日03UTC初期値から15UTC初期値のMSMの低気圧の中心の予想位置
17日3時から18時までの3時間毎の予想位置を×とその時刻で、その他の1時間毎の位置を●で示した。

16日昼前には、朝の会報や、昼前の中央気象指示報、新しい初期値のガイダンス等により、この時点でのメインのシナリオである、明け方の府県気象情報のシナリオの修正を検討する。10時45分の中央気象指示報では、数値予報課からのコメントとして「GSMの方がMSMより暖気を北上させている。海外他センターを見ると地上はMSMに近い。00UTC観測で、低気圧近傍の九州付近のデータが今後の予想に反映してくるので、GSMがMSM寄りになる可能性あるが、GSMの最新初期値を基本に考えられたい」と指示があった。各種資料から低気圧の進路予想はGSMを採用し、引き続き根室半島付近を通過するコースでシナリオを組立てることとする。潮位については、15日21UTC初期値の補正済高潮ガイダンスの最高値は、根室海峡で、17日07時頃に標高1.7~2.1mと警報基準を大幅に超過する予想であった。実際に提供された16日10時20分の

地方潮位解説資料では「明日にかけ正偏差が増大し、太平洋側東部は+60～+100 cmとなり、根室地方は警報基準を超過、釧路地方は警報基準下10 cm」とのコメントとなっていた。高潮ガイダンスの値はメインのシナリオよりも上昇したが、低気圧の進路や発達の変差を考慮して、この時点で高潮のシナリオの変更はしないで、最高潮位は引き続き標高1.4m（警報基準1.2m）とする。根室地方では16日夜から高潮注意警報基準を超過することから、予定通り16日11時台に釧路・根室地方に高潮注意警報を発表し、根室地方については17日未明までに高潮警報に切り替える可能性があることを言及する。また、高潮以外の気象要素についてもメインのシナリオからの変更がなかったため、昼前に府県情報を発表する必要はないと判断する。

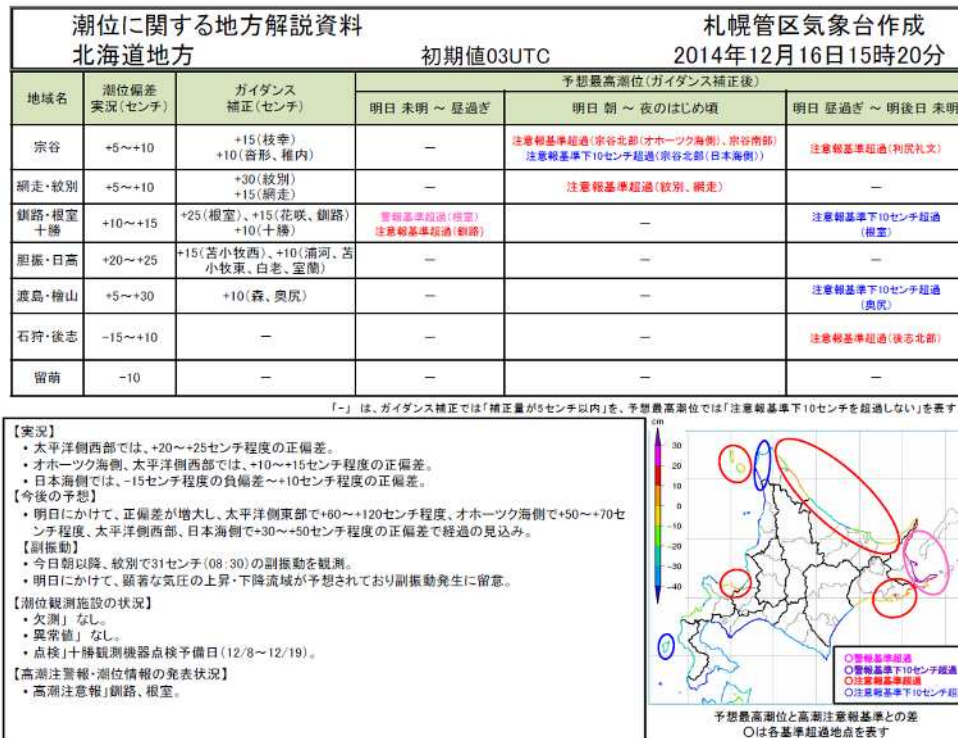
16日午後には、新しい初期値の数値予報に基づく中央気象指示報や、ガイダンス等が利用できるため、これらを用いてシナリオの変更を検討する。低気圧の進路予想については、16日00UTC初期値のGSM（第1.5.10図）は948hPaで根室半島の西側を北上させる一方、16日03UTC初期値のMSM（第1.5.11図）は954hPaで根室半島の東側の根室市納沙布岬付近を北上させる予想に変化がなかった。この時点では低気圧は中央気象指示報のシナリオに沿って根室半島付近を北上する組立てとする。潮位については、16日03UTC



第 1.5.12 図 MSM 高潮モデル潮位偏差分布図（根室海峡で最も偏差が大きい予想となる 17 日 08 時頃）

- 左上図：16日03UTC初期値のFT20 低気圧は根室市納沙布岬付近を北上する予想。
- 右上図：16日06UTC初期値のFT17 低気圧は根室半島の東側の海上を北上する予想。
- 左下図：16日09UTC初期値のFT14 低気圧は根室市納沙布岬付近を北上する予想。
- 右下図：16日15UTC初期値のFT08 低気圧は根室市納沙布岬付近を北上する予想。

初期値の補正済高潮ガイダンスの最高値は、15日 21UTC 初期値と比較すると若干低くなるものの、根室海峡で、17日 07時から 09時に標高 1.6~1.9m と引き続き警報基準を大幅に超過する予想である（第 1.5.12 図）。16日 15時 20分の地方潮位解説資料（第 1.5.13 図）では「明日にかけ正偏差が増大し、太平洋側東部は+60~+120 cmとなり、根室地方は警報基準を超過、釧路地方は注意報基準超過」とのコメントとなっていた。これらから潮位予想は、引き続き根室地方全体で 17日未明から昼前にかけて警報基準を超過し、ピークは17日朝とし、最高潮位はガイダンスが安定してきたことから、+0.2m 引き上げて標高 1.6m（警報基準 1.2m）とすることにす。



第 1.5.13 図 「潮位に関する地方解説資料 北海道地方」(2014年12月16日15時20分)

この量予想の変更を受けて、16日 16時台に発表する府県気象情報で、「根室地方は 17日未明から高潮による低い土地の浸水に厳重に警戒」を引き続き見出しに盛り込み、暴風雪と共に警戒を呼びかけることになる。本文には上方修正した警報基準超過の量的予想、及び 16日夜のはじめ頃に高潮警報を発表する見込みであることを記載する。また、根室管内の沿岸市町には、台長から各首長に直接ホットラインを用いて「暴風雪は 16日夜遅くから 18日にかけて、高潮は 17日朝をピークに急激に潮位が高くなる確度が高まっている。特に根室湾付近では、平成 18年 10月の低気圧と同程度の高潮となるおそれがあり、高潮警報は 16日 20時台に発表する見込みである」ことを伝えることが可能である。

16日午後のシナリオでは 16日夜のはじめ頃に高潮警報の発表判断を行う必要がある。低気圧の進路予想に関しては、16日 06UTC 初期値の GSM（第 1.5.10 図）は根室半島の西側を北上させる一方、16日 06UTC 初期値の MSM（第 1.5.11 図）では、低気圧が 03UTC 初期値と比較して根室半島の東側の海上を北上させる予想となった。しかし、16日 20時過ぎに配信された 16日 09UTC 初期値の MSM（第 1.5.11 図）では、03UTC 初期値と同様に根室半島の東側の根室市納沙布岬付近を北上させるコースに戻るなど MSM の低気圧進路は初期値毎に数 10km 程度のブレがあった。低気圧の進路については、これまでのシナリオどおり GSM を基本に

考え、根室半島付近を北上するシナリオとする。潮位については、根室海峡で最も偏差が大きい予想となる 17 日 08 時頃を予想した MSM 高潮モデル潮位偏差分布図（第 1.5.12 図）の 06UTC 初期値は 03UTC 初期値と比較して偏差は小さくなっているが、16 日 06UTC 初期値の補正済高潮ガイダンスの最高値は、根室海峡で、17 日 07 時から 09 時に標高 1.5～1.6m と引き続き警報基準を超過する値を出力している。偏差が小さくなったのは 06UTC 初期値では低気圧が 03UTC 初期値と比較して根室半島のより東側の海上を北上する予想となったためであると考えられる。16 日 18 時 30 分提供の臨時的な地方潮位解説資料では「ガイダンス補正量には、低気圧接近前の実況とガイダンスの定常的な差に加えて、今後高潮モデルの外力である MSM よりも GSM の方が発達する予想であることから、この気圧差（約 5hPa）による偏差増大分（+5 cm）を修正の必要あり。潮位偏差のピークは、太平洋側で今夜はじめ頃～夜遅くに +50～+60 cm、根室湾で 17 日明け方～朝に +100 cm」とのコメントがあり、根室湾の偏差は前初期値より 20 cm 下がった。これらの資料から、低気圧は根室半島付近を北上する確度が高まったものの、予報誤差を考慮し、根室海峡の最高潮位予想は標高 1.6m（警報基準 1.2m）で変更しないこととする。警戒期間も、引き続き根室地方全体で 17 日未明から昼前で、ピークは 17 日朝で、変更しないこととする。この検討を受けて、16 日夜のはじめ頃に根室地方に標高 1.6m（警報基準 1.2m）で高潮警報を発表することとする。また、この時点では、釧路地方は釧路南東部の警報の発表は見送ることとする。

このように、16 日夜のはじめ頃に高潮警報を発表するが、潮位のピークを迎える 17 日朝にかけて、実況や新しい予想資料でシナリオを随時修正し、適切な防災気象情報の発表を続けることが重要である。ここでは、高潮警報発表後、17 日朝の潮位ピークを迎えるまでの検討を解説する。低気圧の進路予想に関しては、MSM は 16 日 09UTC 初期値から 15UTC 初期値の 3 初期値連続でコースが安定すると共に、16 日 12UTC 初期値の GSM は初めて根室半島付近を北上する表現となり、モデル間の違いも小さくなった。このため、低気圧のコースはこれまでのシナリオをより精緻化し、根室半島を通過して根室海峡を北上する予想とする。これにより、根室湾付近での吹き寄せ効果がさらに懸念される一方、釧路南東部の警報の可能性はかなり小さくなった。MSM の 16 日 09UTC 初期値から 15UTC 初期値の補正済高潮ガイダンスの最高値は次のとおり初期値が 3 連続して安定している（第 1.5.12 図）。

16 日 09UTC 初期値	根室市から羅臼町の根室海峡	17 日 07 時から 09 時に標高 1.5～1.9m
16 日 12UTC 初期値	根室市から羅臼町の根室海峡	17 日 07 時から 09 時に標高 1.6～2.0m
16 日 15UTC 初期値	根室市から羅臼町の根室海峡	17 日 07 時から 09 時に標高 1.5～1.9m

実際に提供された 16 日 09UTC 初期値に基づく 16 日 21 時 10 分の潮位解説資料では、ガイダンス補正量は前回 18 時 30 分提供と同様な解説を付加すると共に、「潮位偏差のピークは、太平洋側東部で 17 日未明に +50～+70 cm、根室湾で 17 日明け方～朝に +120 cm」とコメントされていた。根室湾の偏差は前初期値より 20 cm 上がり、16 日 03UTC 初期値の解説資料の見積りに戻った。これらから、根室地方での高潮の量的予想の確度が高まったと判断し、根室海峡の最高潮位予想を 20 cm 上方修正し、標高 1.8m（警報基準 1.2m）とすることが可能である。この標高 1.8m の予想は、根室港潮位計データを平成 20 年 7 月に気象庁での業務利用を開始してから最も高い潮位となる。警戒期間は、引き続き根室地方全体で 17 日明け方から昼前で、ピークは 17 日朝で変更しない。

このシナリオ変更を受けて、根室地方の量的予報を標高 1.8m（警報基準 1.2m）と上方修正する内容で、17 日明け方に高潮警報の切り替え発表を行うこととする。また、根室管内の沿岸市町には、台長から各首長にホットラインを用いて「潮位は、17 日 07 時から 09 時をピークに急激に高くなる確度がさらに高まっている。特に根室湾付近では、平成 18 年 10 月の低気圧の高潮以上となるおそれがあり、最大限の警戒を」と直接伝え、より適切な防災対応を促すことが可能である。

参考文献

気象庁，2006：災害時気象速報 低気圧による平成18年10月4日から10月9日にかけての暴風と大雨，災害時自然現象報告書 2006年第3号。

(http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/saigaiji/saigaiji_200603.pdf)

気象庁，2015：潮汐・海面水位の知識。

(<http://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/tide/knowledge/index.html>)

釧路地方気象台，札幌管区気象台，2014：平成26年12月17日に発生した急速に発達した低気圧による根室地方の高潮に関する現地調査報告。

(http://www.jma-net.go.jp/kushiro/oshirase/pdf/sp_press150116_kushiro.pdf)

1.6 他事例との比較*

前節までに述べたように北海道地方を中心に記録的に発達した低気圧の接近に伴い暴風雪、高潮などの顕著現象が発生した。本事例における低気圧の主な特徴は、日本の東海上における急発達、中心付近における顕著な暖気核、日本海で急発達をしている別の低気圧及びこの低気圧との間に形成された不連続線が挙げられる。以下、本節では、これらの点に着目して、過去に北海道南方海上及び東方海上を通過した低気圧の中で中心気圧の低かった事例（第1.6.1表）との比較を行う。なお、掲載した図の作成には特に説明のない限り JRA-55 長期再解析データを利用した。

第1.6.1表 過去30年間（昭和61年～平成27年）に北海道南方海上及び東方海上を発達しながら通過した主な低気圧。

事例	日時	中心最低気圧(hPa)	日本海低気圧の有無	高潮災害の報告(釧路・根室地方)	備考
A	平成6年2月21～22日	954	有	有	根室で気圧の極値(948.7hPa)を記録。
B	平成18年10月7～8日	964	無	有	根室で日最大瞬間風速の極値(42.2m/s)を記録。 花咲検潮所で最大潮位偏差88cm(過去10年間では本事例に次ぐ)を観測。
C	平成19年1月7日	964	有	有	中心気圧が24時間で44hPa低下。
D	平成20年4月1日	952	無	無	中心気圧が24時間で46hPa低下(本事例に次ぐ)。
E	平成25年3月2日～3日	968	有	無	死者9名(付録1.2参照)。
本事例	平成26年12月17日～18日	948	有	有	
F	平成27年3月10日～12日	970	有	無	最新の類似事例。

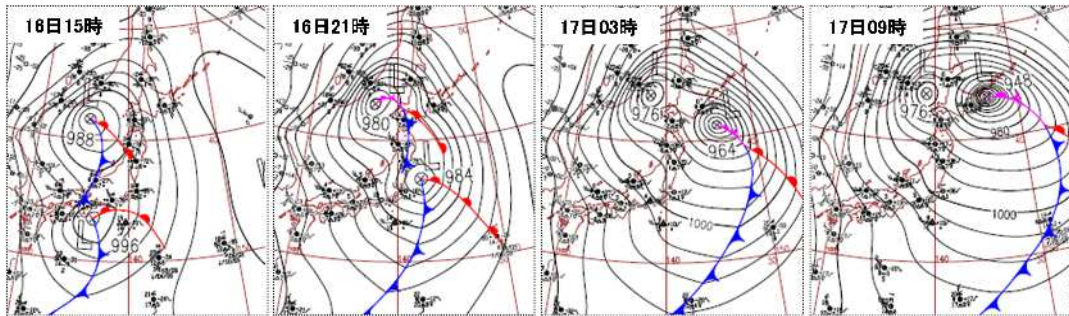
(気象庁ホームページ「災害をもたらした気象事例」、災害時気象速報(釧路地方気象台)を基に作成(台風及び台風から変わった低気圧は除く)。中心最低気圧については、事例Aは「印刷天気図」(12時間毎)、その他は「気象庁天気図」(6時間毎)、高潮災害の報告の有無については、「気象災害報告」(観測部情報管理室)による)

1.6.1 日本の東海上における急発達

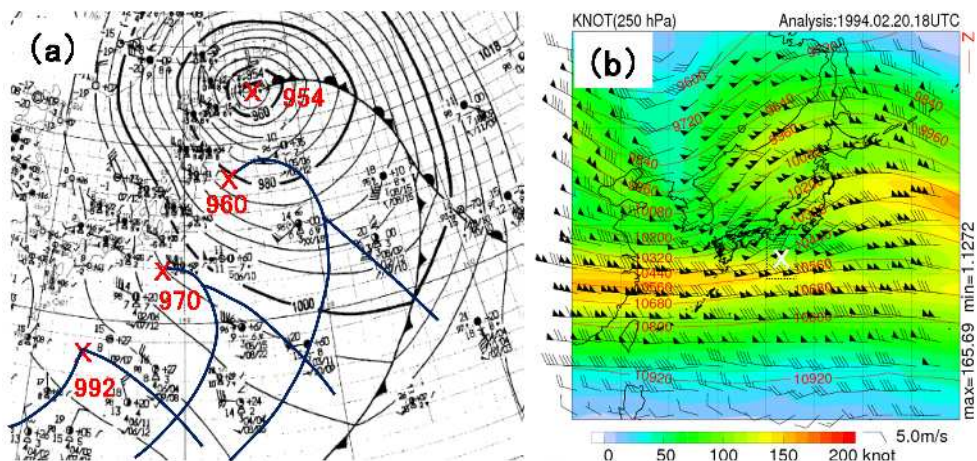
過去30年間の気象庁天気図(印刷天気図含む)によると、日本付近で低気圧(台風及び台風から変わった温帯低気圧は除く)の中心気圧が950hPaを下回することは稀である。本事例における低気圧は948hPaを記録した17日09時までの12時間に中心気圧が36hPa下降しており、三陸沖から北海道東方海上に進んだ

*木下 仁(気象庁予報部予報課)

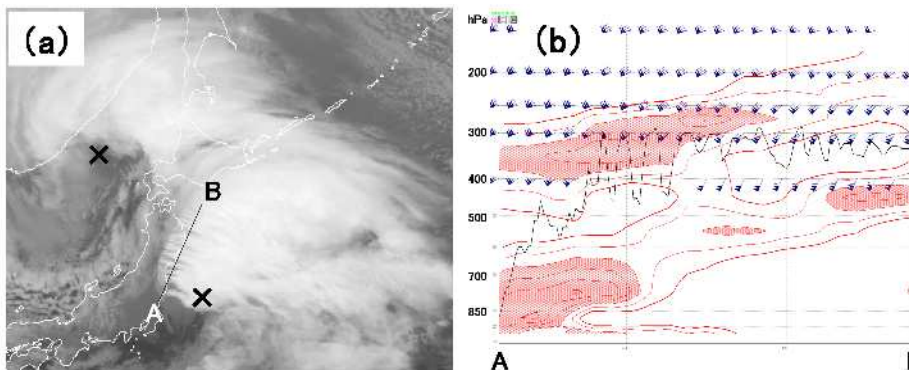
際に急発達している(第 1.6.1 図)。同時刻までの 3 時間における地上気圧の降下量は、低気圧の進行方向に当たる北海道東部付近で顕著で、千島列島の国後島では 19.6hPa も下降している。だが、第 1.6.1 表に掲載した低気圧の発達過程を見ると、必ずしもこの海域のみで急発達をしていない。例えば、1.1 節で述べられている事例 A (根室で気圧の極値 (948.7hPa) を記録) の低気圧はこの海域よりもむしろ本州南岸 (ジェットストリークの出口左側) で前日に急発達 (12 時間に 26hPa 下降) をしており、東海海域付近ですでに閉塞し、中心気圧が 970hPa にまで深まっている(第 1.6.2 図)。また、この低気圧の発達には東日本付近を入り口とする別のジェットストリークも影響していると考えられる。



第 1.6.1 図 平成 26 年 12 月 16 日 15 時 ~ 17 時 09 時 (本事例) の 6 時間毎の地上天気図。



第 1.6.2 図 事例 A の (a) 平成 6 年 2 月 22 日 09 時の地上天気図 (前 36 時間の 12 時間毎の低気圧の位置、中心気圧 (hPa) 及び前線 (印刷天気図による) を付加)、(b) 21 日 03 時の 250hPa 面の等高線 (赤線、120m 毎)、250hPa 面の等風速線 (kt)、風 (m/s) の分布図。記号 x は低気圧の中心を示す。

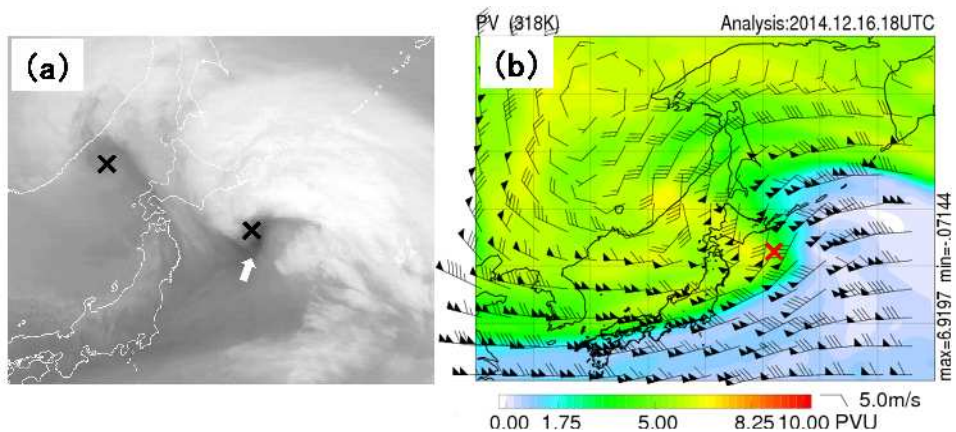


第 1.6.3 図 16 日 21 時 (本事例) の北日本付近における (a) 赤外画像 (記号 x は低気圧の中心を示す)、(b) MSM による (a) 図の A - B に沿った鉛直断面における雲頂高度 (黒線、 T_{bb} による)、鉛直シア (赤線、5kt/1000ft 以上を 1kt/1000ft 毎に表示、ハッチ域: 7kt/1000ft 以上) 及び風 (100kt 以上を表示)。

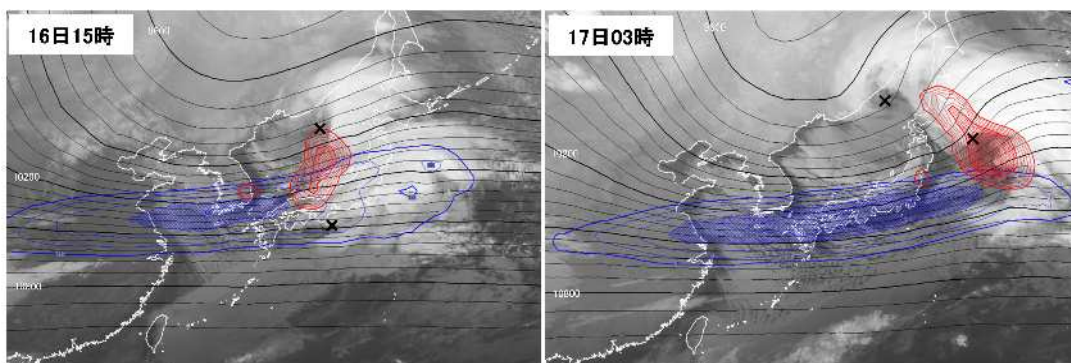
16日21~22時頃の衛星赤外画像(第1.6.3図a)を見ると、三陸沿岸付近には低気圧の発達を示唆するバルジ状の雲域の中に明瞭なトランスバースバンドが見られる。鉛直安定度が高く、鉛直シアの大きい環境場においては、鉛直シアに直交したロール状の循環や重力波が発生することがあり、これらが下層から供給された湿りにより可視化された結果がトランスバースバンドだと考えられる(同図b)。このようなトランスバースバンドは他の事例でも見られたが、本事例が最も顕著であった。

また、一般に、上層の正の渦位移流が大きい領域では上昇流が励起され、下層循環が形成・強化されるが、本事例における低気圧もこのような過程で発達をしている。水蒸気画像(第1.6.4図a)では低気圧の最発達期に当たる17日03時には南西象限に上層の分流のトラフ付近の明瞭な暗域(矢印の先端付近)が見られる。例えば318K等温面は250~500hPa付近の気圧面に分布しているが、この318K等温面の渦位分布(同図b)を時系列でみると、暗域は低気圧の南西側に進入する高渦位域に対応している。

ここで16~17日の上層250hPaの天気図(第1.6.5図)を見ると、日本の東海上のリッジが強いことが特徴的である。本州付近には明瞭なジェットストリークが存在し、17日03時の地上低気圧はこの出口左側付近で急発達をしている(同図右図)。同時刻、北海道東方海上を北上している低気圧の中心付近では、等高度線に密集した等温線が直角に近い角度で交わっていて顕著な暖気移流が存在し、地上低気圧の発達に寄与している状況を把握できる。また、力学的圏界面の高度の分布を示した第1.6.6図aによると、北海道東方海上の低気圧の上層の風上側(南西側)に力学的圏界面の気圧が極大となる領域があり、低気圧は圏界面

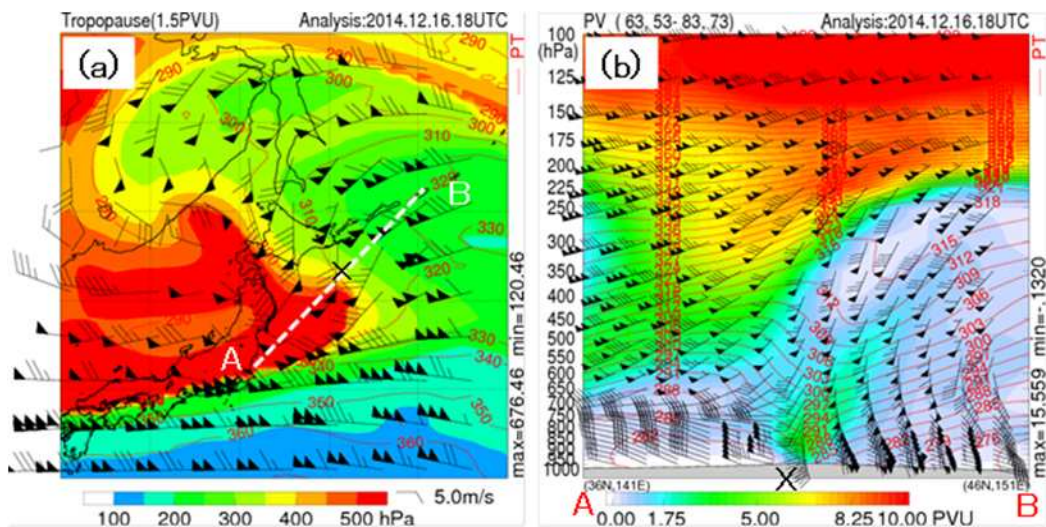


第1.6.4図 17日03時(本事例)の北日本付近における(a)水蒸気画像(矢印については本文参照)、(b)318K等温面における渦位(PVU)、風(m/s)の分布図。記号×は低気圧の中心を示す。

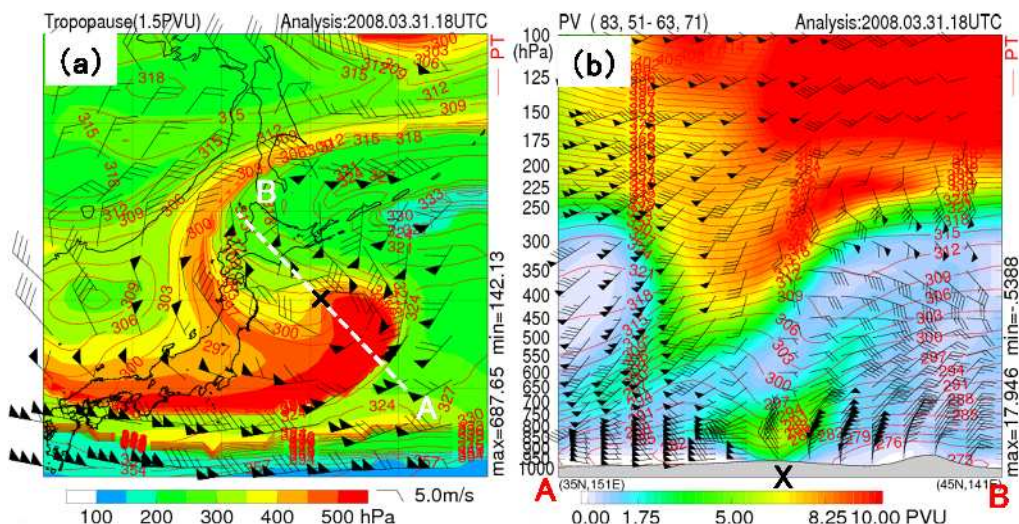


第1.6.5図 本事例の(a)16日15時、(b)17日03時の日本付近における赤外画像、GSM(初期値:同時刻)による250hPa面の等高度線(黒線、60m毎)、等風速線(青線、150kt以上を10kt毎に表示、ハッチ:180kt以上の領域)、温度移流(赤線、3/h以上を0.3/h毎に表示、ハッチ:4.5/h以上の領域)。記号×は低気圧の中心を示す。

の傾斜が急な領域（上述の暖気移流が最も顕著な領域）の下に位置していることがわかる。さらに、下層に目を向けると、同時刻には低気圧の中心付近には成層圏起源のものとは異なる正の渦位域が形成されている（図略）。これは、日本のはるか東海上に中心を持つ優勢な高気圧の周辺に位置する低気圧近傍の激しい降水に伴う潜熱解放が加わって形成されたものであると推察される。地上低気圧の中心を通る南西 - 北東走向の鉛直断面における渦位の分布図（同図 b）を見ると、低気圧近傍の水平シアアの比較的大きい下層にはほぼ垂直にのびる高渦位域（地上～約 500hPa）が見られる。上層では等温面にほぼ沿って成層圏の高渦位域が 700hPa 面付近にまで下降している様子がわかる。第 1.6.1 表に示した他の事例でも程度の差異はあるが、下層の低気圧近傍の孤立した高渦位域と上層の高渦位域との間の相互作用が見られ、発達する低気圧の顕著事例における共通点と言える（第 1.6.7 図）。



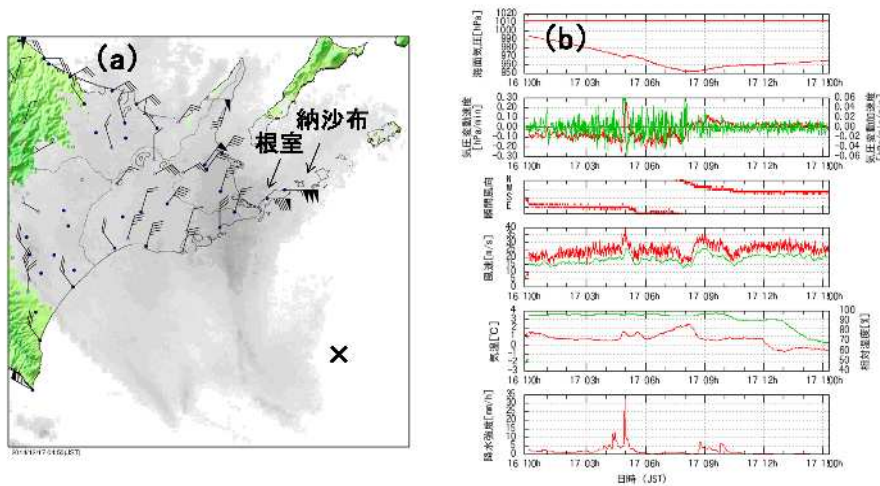
第 1.6.6 図 17 日 03 時（本事例）の北日本付近における (a) 力学的圏界面(1.5PVU)の気圧(hPa)、等温位線 (10K 毎)、風 (m/s) の分布図、(b) (a) 図の低気圧 (記号 x) の中心を通る破線 A - B に沿った鉛直断面における渦位(PVU)、等温位線(3K 毎)、風 (m/s) の分布図。



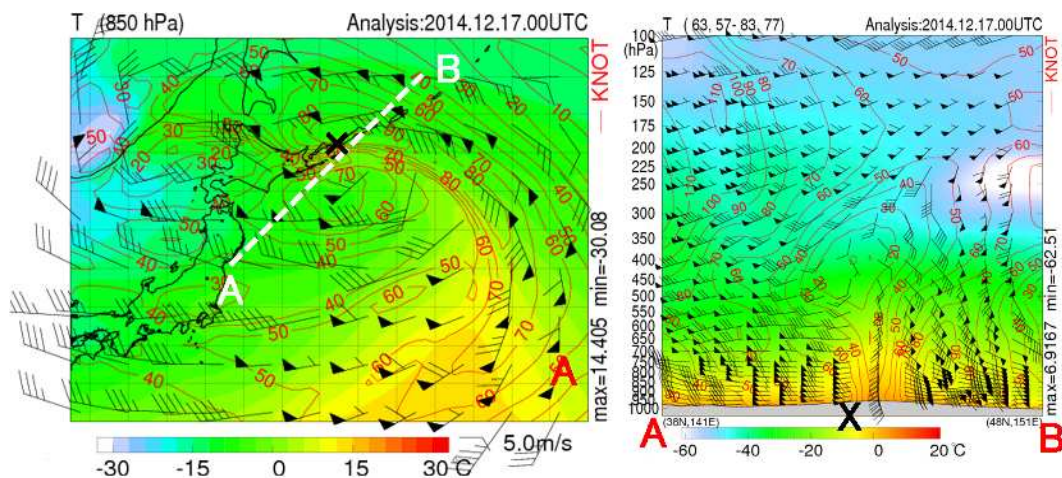
第 1.6.7 図 事例 D の平成 20 年 4 月 1 日 03 時の第 1.6.6 図と同じ分布図。

1.6.2 中心付近の顕著な暖気核

本事例では低気圧が北海道東部に達した際、中心の北側の閉塞前線に対応した雲バンドが比較的明瞭であった。1.1 節で述べられている納沙布、根室などの最大風速、最大瞬間風速は低気圧の中心付近ではなく、この雲バンドの南縁付近で観測されている（第 1.6.8 図）。高層天気図などによると低気圧の中心付近には暖気核が形成されており、下層では閉塞前線の北側を中心に広範囲で風が強くなっている（第 1.6.9 図）。また、低気圧の経路に近い地上観測データを見ると、周辺に比較して高温低湿となっている。さらに、17 日の衛星画像（図略）では、低気圧の中心付近に発達した対流雲がほとんど見られず、寒気の進入に伴って形成されるセル状対流雲も存在していないことから、中心付近は周辺より相対的に暖かい気塊で成り立っていると考えられる。このように中心付近の下層が暖気核となっている構造は第 1.6.1 表に示した他の事例でも見られる。なお、各事例の地上天気図を比較すると、本事例の低気圧は発達時に中心付近での気圧傾度が大きい上に等圧線の円形度も増しており（第 1.6.1 図）、軸対称構造が明瞭であったと推察される。



第 1.6.8 図 (a) 17 日 04 時 50 分（本事例）の北海道東部付近におけるアメダスの風 (m/s) 及びレーダー降水強度（記号×は低気圧の中心）、(b) 同日 00 時～15 時の根室特別地域気象観測所の海面気圧、気圧変動速度及び加速度、風向風速、気温、相対湿度、降水強度の時系列変化図。

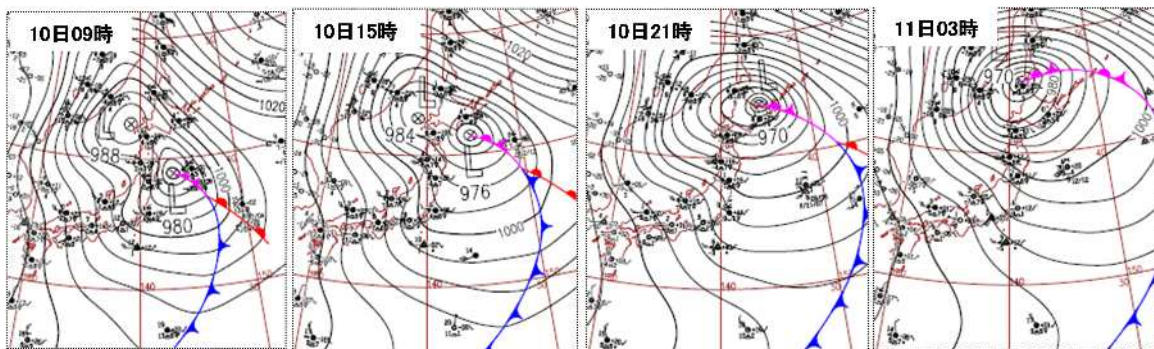


第 1.6.9 図 17 日 09 時（本事例）の北日本付近における (a) 850hPa 面の温度 ()、等風速線 (kt)、風 (m/s) の分布図、(b) (a) 図の低気圧（記号×）の中心を通る破線 A-B に沿った鉛直断面における温度 ()、等風速線 (kt)、風 (m/s) の分布図。

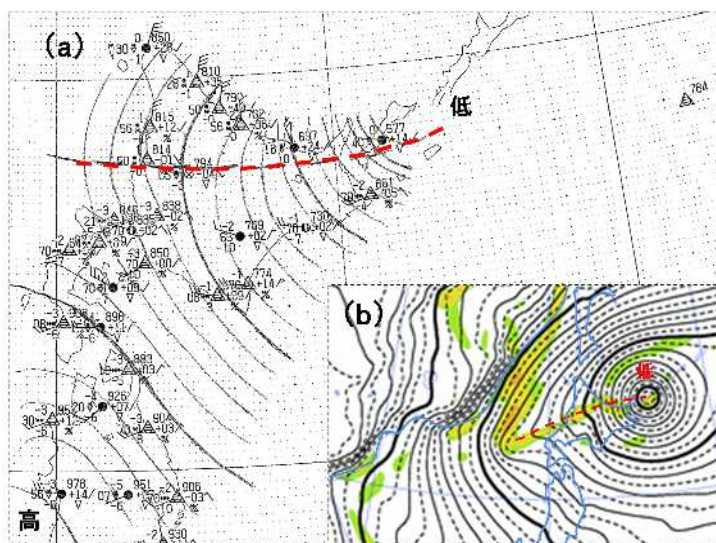
1.6.3 別の発達する低気圧の存在

本事例では日本海にも低気圧があり、中心近傍の下層の高渦位域に上層の高渦位域が西から近づいた 16 日 15 時までの 12 時間に中心気圧が 22hPa も下降する急発達を遂げている（図略）。同時刻、上層では近傍に顕著な暖気移流が存在し、低気圧の発達に関与していることが理解できる（第 1.6.5 図左図）。このように本州を挟んで存在する二つの低気圧が SW（海上暴風警報）級にまで発達し、中心気圧が共に 12 時間で 20hPa 以上降下している例は極めて珍しい。事例 D（平成 20 年 4 月 1 日）の低気圧は北海道東方海上付近において急発達し、中心気圧の 24 時間降下量が本事例に次いで大きい。日本海には低気圧は存在していない。事例 A、C、E、F では日本海に低気圧が存在しているが、ほとんど発達せずに北海道の西海上付近で衰弱している。このような別の低気圧の差異は上層の環境場（さらに高緯度の寒冷渦の位置など）による。

また、別の低気圧が日本海に存在するケースでは、北海道東方海上付近の発達した低気圧は急速に衰弱することなく、上層の寒冷渦に捕捉されて速度が遅くなることがある（第 1.6.10 図）。本事例の低気圧も 17～18 日に網走沖で反時計回りのループを一度描いてから北海道の東海上にゆっくり進んだ（第 1.3.2 図）。なお、日本海の低気圧がすぐに不明瞭化しない場合は、本事例のように 2 つの低気圧の間に不連続線が形成されやすい（第 1.6.11 図）。本事例では局地天気図などを解析することにより、17～18 日に北海道付近の下層をこのような不連続線がゆっくり南下し、同地域の暴風雪の一因となっている状況がわかる。



第 1.6.10 図 事例 F の平成 27 年 3 月 10 日 09 時～11 時 03 時の 6 時間毎の地上天気図。



第 1.6.11 図 17 日 21 時（本事例）の北海道付近における（a）局地天気図（等圧線は 2hPa 毎）、（b）GSM（初期値：同時刻）による地上天気図（等圧線は 2hPa 毎）及び 950hPa 面における TFP（Thermal Front Parameter（平成 26 年度予報技術研修テキスト 2.2.4.1 項参照））。赤破線は不連続線を示す（本文参照）。

1.6.4 終わりに

本事例における低気圧を過去 30 年間に北海道南方海上及び東方海上を通過した中心気圧の低かった低気圧と比較することにより、以下の点が浮き彫りになった。

- ・日本付近で中心気圧が 950hPa 以下となった数少ない低気圧の一つである。下層の暖気移流が発達の主因である閉塞前の低気圧と異なり、閉塞後の低気圧では上層の暖気移流と高渦位の流入が発達に寄与している。過去の顕著事例と共通する点としては、下層の低気圧近傍の孤立した高渦位域と上層の高渦位域との間の相互作用が挙げられる。また、本事例では低気圧の北西象限におけるトランスバースバンドが顕著であった。
- ・納沙布、根室などの最大風速、最大瞬間風速の極大値は、低気圧の中心付近ではなく、閉塞前線に対応した降水バンドの南縁付近で観測されている。また、低気圧の中心付近には顕著な暖気核が形成されており、下層では閉塞前線の北側を中心に広範囲で風が強くなっていた。このような状況は他の顕著事例でも見られる。
- ・日本海にも別の低気圧があり、本州を挟んで存在する 2 つの低気圧が約半日の時間差で共に急速に発達（中心気圧が 12 時間で 20hPa 以上降下）しており、本事例の特徴と言える。また、日本海の低気圧がすぐに不明瞭化しない場合は、本事例のように 2 つの低気圧の間に不連続線が形成され、暴風雪の一因となる。

本事例の顕著現象は低気圧の急速な発達によってもたらされており、1.3、1.4、1.5 項ではそれぞれ暴風雪・大雪、波浪、高潮をターゲットに解説を行ったが、これらの予報作業において、低気圧の動向を監視することは必須である。中高緯度で発達する低気圧については数値予報の精度は高いが、第 1.6.1 表で紹介したような顕著事例における低気圧の発達過程は一樣ではない。また、1.5 項で述べられているように低気圧の進路、通過タイミングがわずかに異なるだけで、潮位の推移は大幅に変化する。予報担当者におかれては、各ステージにおける低気圧が現在どのような状況にあり、そしてどのような特徴を持つのかということを十分把握した上で、担当する予報区において今後想定される現象を入念に整理・確認されながら作業を進めていただきたい。

参考文献

小倉義光,2000: 総観気象学入門, 東京大学出版会, 163-176.

北畠尚子,2013: 暖気核隔離の低気圧. 天気, 60, 194-196.

黒良龍太, 森浩俊, 加藤輝之, 2014: 現業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.

(<http://yohou2.met.kishou.go.jp:8090/wwwroot/tanki/kakar i2/buntan/text/h25/press/3.pdf>)

黒良龍太, 牧野眞一, 2015: 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.

(<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/yohkens/20/chapter2.pdf>)

下村早也香,2013: 急速に発達した低気圧の経路図と災害リスト, 平成 24 年度予報技術研修テキスト, 気象庁予報部, 133-137.

(<http://yohou2.met.kishou.go.jp:8090/wwwroot/tanki/kakar i2/buntan/text/h24/press/furoku.pdf>)