

第3章 ガイダンスの改良

3.1 GSM 乱気流指数の改良¹

3.1.1 はじめに

航行中の航空機にとって、乱気流は安全性と快適性に大きな影響を及ぼす大気現象の1つであり、乱気流を精度良く予測することは非常に重要である。乱気流は、ケルビン・ヘルムホルツ (KH) 波に加え、対流雲など様々な要因で発生するため、KH 波による乱気流を対象とした鉛直ウィンドシア (VWS) やリチャードソン数 (RI) などの単独の予測指数では、十分な予測精度が得られなかった。そこで工藤 (2010) は乱気流の要因別に算出した複数の指数をロジスティック回帰で組み合わせることで、様々な要因による乱気流を1つの指数で予測することを可能にし、従来の予測指数と比べて大幅に予測精度を向上させた。この指数は乱気流指数 (TBindex) と呼ばれ、2010年2月にMSMの予測値から算出する国内航空悪天 GPV で作成が開始された。また、2014年8月には説明変数の変更などの改良を行い、さらに予測精度の改善がなされた (工藤 2014)。

しかし、国内航空悪天 GPV の予測領域では、福岡 FIR² 全域を網羅していないため、福岡 FIR の悪天に関する全国航空気象解説報やシグメット³ の運用に利用するには十分ではなかった (図 3.1.1)。そこで GSM の予測値から算出する全球航空悪天 GPV および北太平洋航空悪天 GPV でも TBindex の開発が行われた (三輪 2013)。その後、より精度向上を図るため、GSM から計算される TBindex の改良を行い、2016年6月から運用を開始した。

本節では GSM から計算される TBindex の改良による変更点と検証結果を述べる。まず第 3.1.2 項で航空悪天 GPV の概要と TBindex の作成手法を、第 3.1.3 項で改良による変更点を述べる。第 3.1.4 項と第 3.1.5 項では検証結果と予測事例を示す。最後に第 3.1.6 項でまとめと今後の課題を述べる。以下、改良前の TBindex を旧 TBindex、改良後の TBindex を新 TBindex と呼ぶ。また、GSM から計算される改良後の TBindex を TBindex_GSM、MSM から計算される TBindex を TBindex_MSM と呼ぶ。

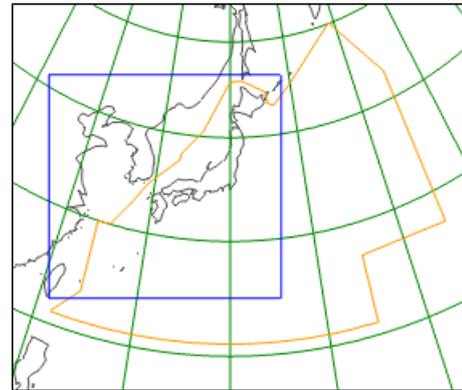


図 3.1.1 福岡 FIR と国内航空悪天 GPV の領域。橙枠は福岡 FIR、青枠は国内航空悪天 GPV の計算領域を示す。

3.1.2 航空悪天 GPV の概要と TBindex の作成手法

GSM の予測値から算出される航空悪天 GPV には、全球航空悪天 GPV と北太平洋航空悪天 GPV がある (松下 2007)。全球・北太平洋航空悪天 GPV の主な仕様を表 3.1.1 に示す。なお、今回の TBindex の改良の際に、北太平洋航空悪天 GPV の領域を従来より西に 20 度、南に 10 度拡げている。

表 3.1.1 全球・北太平洋航空悪天 GPV の概要⁴

	全球航空悪天 GPV	北太平洋航空悪天 GPV
格子系	格子間隔 1.25 度の等緯度経度座標	格子間隔 0.5 度の等緯度経度座標
領域	全球	10°S - 65°N, 80°E - 110°W
予報時間	FT=0~36 まで 6 時間間隔	FT=0~36 まで 3 時間間隔
鉛直層	等圧面 (700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100 hPa)	フライトレベル面 (FL010~550 まで 2000 ft 間隔)

TBindex は、GSM の予測値を、適合ガウス格子から 0.5 度間隔の等緯度経度座標へ内挿し、さらに鉛直層も 1000 ft 毎のフライトレベル⁵ (FL) 面へ内挿した値から算出する。その後、北太平洋航空悪天 GPV へは対象領域を切り出し、FL010~550 まで 2000 ft 毎に出力する。全球航空悪天 GPV へは 1.25 度間隔の等緯度経度座標へ内挿し、さらに等圧面 [hPa] へ内挿して出力する。

⁴ 要素などの詳細は付録 A.2.10 を参照。

⁵ 国際標準大気での気圧高度。「FL010」などと“FL”に続けて 100 フィート [ft] 単位の数値で表される。1 ft ≒ 0.3048 m。

¹ 井藤 智史 (予報課 航空予報室)

² 飛行情報区。FIR は Flight Information Region の略。国際民間航空機関 (ICAO: International Civil Aviation Organization) により制定された航空機の航行に必要な各種情報の提供又は捜索救難活動が行われる空域であり、福岡 FIR は日本の担当領域である。

³ 飛行する航空機の運航に影響を及ぼす雷電・乱気流・着氷・台風・火山の噴煙・放射性物質の状況に対して、観測または予想された場合に注意喚起する空域気象情報。

表 3.1.2 新 TBindex に用いられている説明変数の候補の略号と意味

名称	略号	意味
鉛直ウィンドシア	VWS	鉛直方向の風のシア。
対流雲中乱気流指数	CONV	対流雲の雲中および雲頂での強い上昇流や VWS の強化により発生する乱気流を予測する指数。
風下山岳波指数	MTW1	風下山岳波に伴い山頂付近の安定層下で発生する乱気流を予測する指数。
上方伝播山岳波指数	MTW2	鉛直上方に伝播した山岳波の砕波による乱気流を予測する指数。
中層雲雲底乱気流指数	BASETB	中層雲底下での対流による乱気流を予測する指数。
トランスバースバンド指数	TRAV	トランスバースバンドに伴う乱気流を予測する指数。
リチャードソン数	RI	KH 不安定の発生を予測する指数。
気温の水平傾度	GRADT	等フライトレベル面で算出した気温の水平傾度の大きさ。
斜方ウィンドシア	SWS	斜め方向に算出した風のシア。ある格子点に対して斜め方向のシアの取り方は複数存在するため、頂点を中心とした東西・南北方向での 4 つの値の平均値とする。
VHS	VHS	$VWS \times (\text{流れに沿った方向の風の水平シア}) \times (\text{風速})$

表 3.1.3 各高度の説明変数の寄与量。ここでは回帰係数に各高度における説明変数の代表値を掛けた値を示す。切片に対して 10%以上の寄与量を持つ説明変数の背景を青で表示し、係数作成時に説明変数の候補から外した高度を灰色で表示している。空欄は係数が 0 であることを示す。

高度	切片	VWS	CONV	MTW1	MTW2	BASETB	TRAV	RI	GRADT	SWS	VHS
FL410	-7.61	1.04	0.23		0.84		0.11			1.36	0.39
FL390	-7.49	0.62	0.31		0.91		0.40	-0.23		1.30	0.26
FL370	-7.25	0.63	0.40		0.74		0.38	-0.32		1.35	0.23
FL350	-7.06	0.86	0.44		0.64		0.43	-0.20		1.48	0.35
FL330	-6.82	0.83	0.71		1.26		0.44	-0.10	-0.13	1.75	0.46
FL310	-6.84	1.27	0.99		1.09		0.55		-0.24	1.79	0.36
FL290	-7.03	1.63	1.09		0.79		0.82		-0.47	1.94	0.24
FL270	-6.97	1.45	1.33		0.41		0.76		-0.31	1.80	0.22
FL250	-6.78	1.37	1.35		0.01		0.65	0.03		1.43	0.18
FL230	-6.72	1.68	1.36		0.16	0.38		0.10		1.21	0.17
FL210	-6.46	1.82	1.33	0.78	1.22	0.45		0.14		1.16	
FL190	-6.16	1.51	1.09	1.19	1.12	0.88		0.27		1.35	-0.10
FL170	-5.70	0.96	1.01	1.97	0.78	1.89		0.36		1.31	
FL150	-5.11	0.89	0.97	2.12	0.58	1.59		0.31		1.05	
FL130	-4.56	0.48	0.84	1.25	0.51	1.25		0.19	0.23	1.05	
FL110	-4.27	-0.07	0.62	0.71	0.31	1.51		0.06	0.60	1.10	0.07
FL090	-4.50	0.06	0.29	0.66	0.05	1.32		0.10	0.66	1.24	0.19
FL070	-4.83	0.14	0.41	1.14				0.06	0.48	1.63	0.12
FL050	-4.66	-0.17	0.67	1.92				-0.08	0.40	1.72	0.05
FL030	-4.68	0.15	0.78	2.21				-0.09	0.35	1.43	
FL010	-4.63	0.13	0.46	2.13						1.64	0.12

TBindex の計算時に利用する説明変数や予測式の係数は、全球航空悪天 GPV と北太平洋航空悪天 GPV で共通である。新 TBindex で利用している説明変数の候

補を表 3.1.2 に示す⁶。TBindex 作成の際には、これら 10 個の説明変数を用い、目的変数を C-PIREP⁷ で

⁶ それぞれの説明変数の詳しい計算方法などは工藤 (2010) や工藤 (2014) を参照。

⁷ 機上観測報告 (PIREP) の 1 つ。Common-PIREP の略。

MOD (並) 以上の強度の乱気流が通報された場合を 1、MOD 未満が通報された場合を 0 として、高度別にロジスティック回帰で予測式を作成する。予測式作成の際には、統計モデルの良さを評価する基準の一つである赤池情報量基準 (AIC: Akaike's Information Criterion)⁸ を基に、候補の中から適切な説明変数を選択する。

表 3.1.3 に各高度における説明変数の代表的な寄与量を示す。表では切片に対して 10% 以上の寄与量を持つ説明変数の背景を青で塗りつぶしている。また、係数作成時に説明変数の候補から外した高度を灰色で塗りつぶしている。これはそれぞれの説明変数がターゲットとする高度でのみ、予測式として採用されるようにするためである。空欄は、AIC に基づく判定でその高度では説明変数として採用されなかったことを示している。FL430 以上は実況が少ないため、FL410 と同じ係数を使用する。VWS, CONV, SWS は全ての高度で採用され、一部を除いては寄与量が大きい。MTW1, MTW2, BASET, TRAV はそれぞれ、下層、中層～上層、中層、上層を中心に採用されるようにしているが、採用されている高度での寄与量は MTW1, MTW2, BASET で大きく、TRAV はやや小さい。RI, GRADT, VHS は一部採用されていない高度があり、全般に寄与量も小さくなっている。

3.1.3 旧 TBindex からの変更点

(1) 学習期間の変更

旧 TBindex は 2010 年から 2011 年の 2 年間のデータで学習を行っているため、それ以降に行われた GSM の改良により、回帰係数や調整パラメータが最適ではない可能性があった。そこで新 TBindex では、2013 年 12 月から 2015 年 11 月の 2 年間のデータを用いて係数を学習した。GSM は 2014 年 3 月に、鉛直層数が 100 層に増強されるとともに物理過程の改良などが実施されたが (米原 2014)、今回の新 TBindex に用いたデータの内、2013 年 12 月から 2014 年 3 月までは、改良後の GSM1403 を用いて再作成した開発用のデータであるため、学習に用いた 2 年間全てのデータが GSM1403 から作成されたものである。

飛行中の乱気流や着氷、雲の状態等が通報される。従来は各航空会社内でのみ利用されていた PIREP (カンパニー PIREP) を、国土交通省航空局のシステムで集約して形式を統一した PIREP。従来の PIREP の多くが MOD 以上の強度の乱気流や着氷に対する通報であったのに対し、C-PIREP では乱気流がないという情報も数多く通報される。

⁸ 統計モデルの良さを評価する際の基準値で、学習データへの適合度だけではなく、説明変数の数も考慮している。一般に説明変数の数を増やせば学習データへの適合度は上がるが、未知のデータに対して予測精度が悪くなりやすい。AIC を用いることにより、説明変数の数が比較的多くならず、学習データと合致するようなモデルを選択することができ、未知のデータに対しても精度の良い予測ができるようになる。

(2) トランスバースバンド指数 (TRAV) と対流雲中乱気流指数 (CONV) の改良

工藤 (2014) により TBindex_MSM では、TRAV と CONV の改良が行われた。新 TBindex でもこれらの改良を導入したところ、精度の改善が見られたので変更を行った。

(3) 説明変数の組み換え

旧 TBindex では説明変数に TPI (Turbulence Potential Index; 宮腰 2003) を用いていたが、これに代わる指数として VHS を導入する。TPI は流れに沿って風向が変化する (流れが曲率を持つ) 場合に値を持ち、風速のみ変化する場合には値が 0 になる。しかしながら、ジェット気流の加速場や減速場では乱気流が発生しやすいことから、流れが曲率を持つ場合だけではなく、流れに沿って風速が変化する場合も値を持つようになる VHS を導入した (工藤 2014)。

また水平ウィンドシア (HWS) の代わりに SWS を用いるように変更した。これは風のシアを使った予測指数である VWS, HWS, SWS について、いくつかの組み合わせを試した結果、VWS, SWS の組み合わせが最も精度が高かったためである。

温度移流に着目した指数である TSI (Turbulence Source Index; 宮腰 2003) に関しては、説明変数から除外しても精度への影響はほとんどなかったため、説明変数の候補から除外した。

以上の変更により、最終的に表 3.1.2 で示す説明変数を用いて、新 TBindex を計算するようにした。TBindex_MSM との説明変数の違いは、TBindex_GSM が VWS を、TBindex_MSM が HWS を利用していることのみである。

3.1.4 検証結果

ここでは統計検証の結果を示す。検証に用いる実況データは、学習データと同様に C-PIREP のみを使用する。また、天気状態 (晴天、雲中等) による区別はしない。時刻については、予測時間の前後 60 分以内を観測時刻とした実況と比較を行う。高度については、予測高度の ±1000 ft 以内を観測高度とした実況と比較を行う。

(1) 北太平洋航空悪天 GPV の高度別検証

ここでは高度別 (FL000~FL150, FL150~FL300, FL300~FL450) の検証結果を示す。検証期間は学習期間と独立な 2015 年 12 月から 2016 年 6 月の 7 か月間である。初期時刻 12UTC の予報時間 FT=06~27 を対象とし、分割表値 (付録 D.3.1) を全て足し合わせてスコアを算出する。比較のために VWS による検証結果も示す。

図 3.1.2 (上段) に、TBindex の閾値別に MOD 以上の乱気流を予測した場合の捕捉率 (Hit Rate) と体積率 (Volume Rate) の関係を示す。縦軸は捕捉率で、全ての

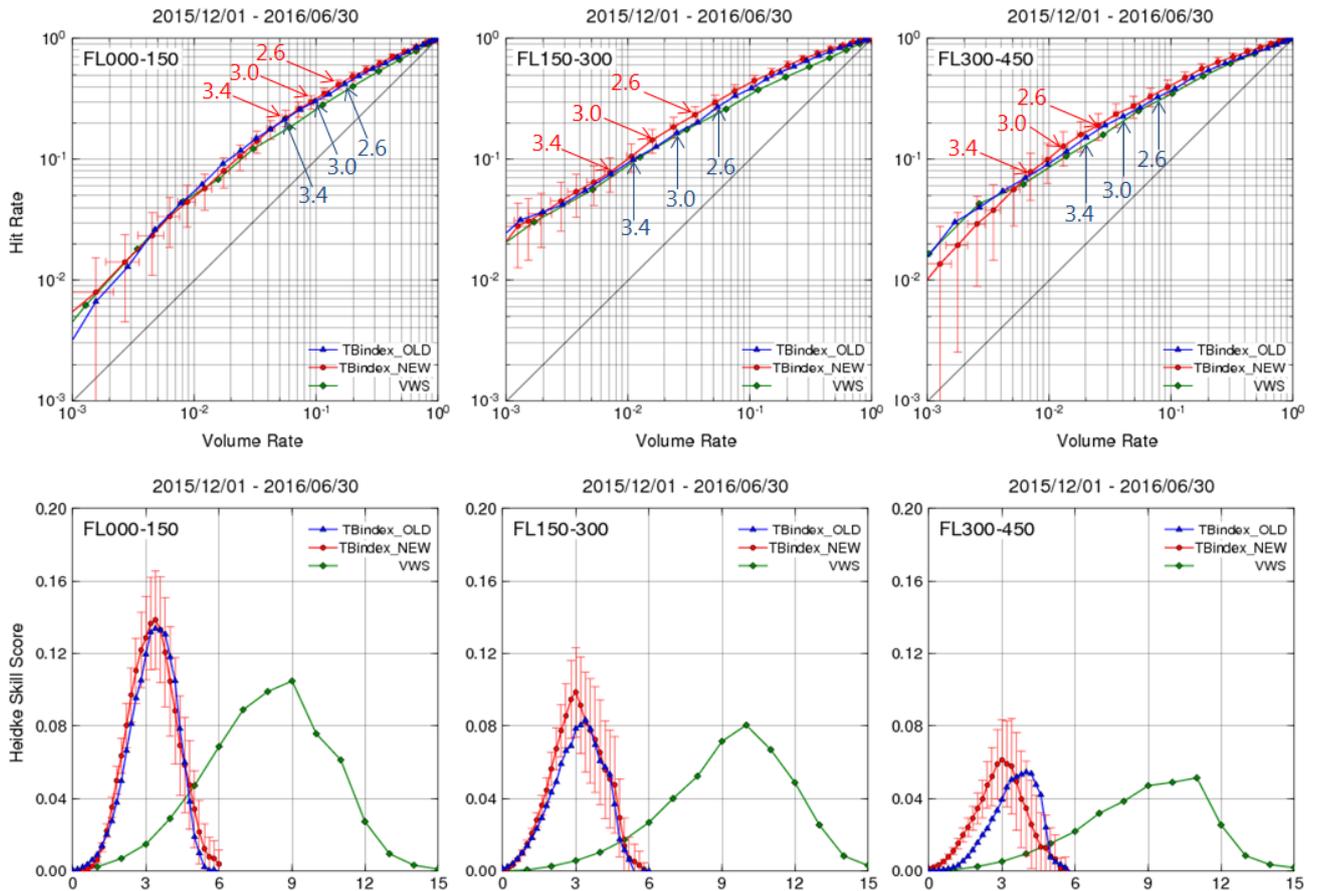


図 3.1.2 2015年12月から2016年6月のMOD以上の乱気流に対するTBindexの、(上段) 閾値別の捕捉率 (Hit Rate) と体積率 (Volume Rate)、(下段) 閾値別のスキルスコア。左からそれぞれ、FL000~FL150, FL150~FL300, FL300~FL450の結果を示している。TBindex.OLD (青) は旧TBindex、TBindex.NEW (赤) は新TBindexの検証結果を示し、TBindexは0から0.2毎に、VWS (緑) は0から1 kt/1000 ft 毎に検証した結果を示す。上段の図中の数値はそれぞれに対応するTBindexの値である。新TBindexのみに95%信頼区間を示すエラーバーを付加している。検証領域は北太平洋航空悪天GPVと同じ領域。

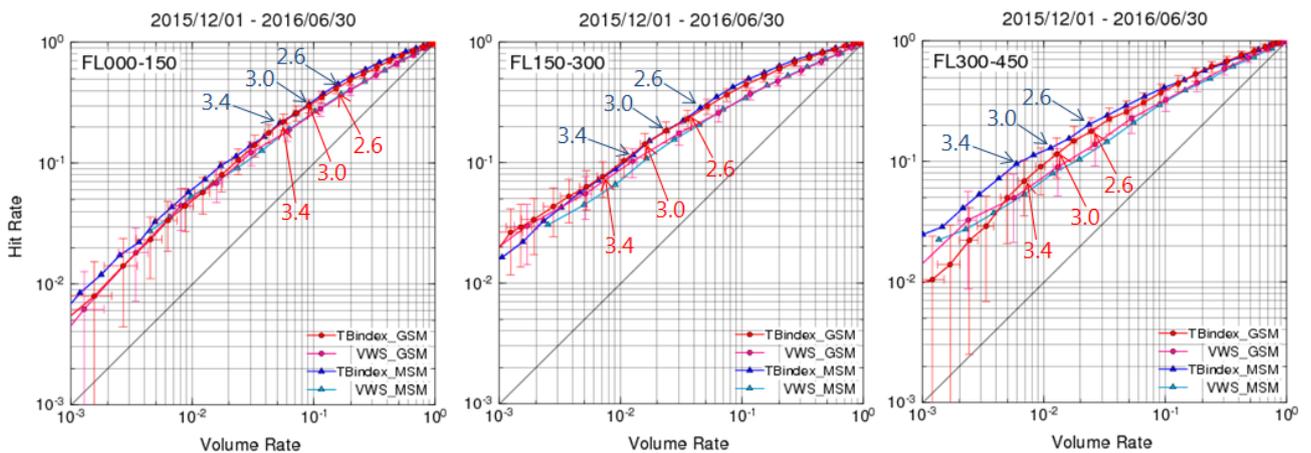


図 3.1.3 図 3.1.2 (上段) と同じ。ただし、GSM (赤) と MSM (青) の結果を示し、検証領域は国内航空悪天 GPV と同じ領域。

実況ありの通報に対する、閾値以上の予測領域から報じられた実況ありの通報の割合を示す (付録 D.3.5)。横軸

は体積率で、全ての通報に対する、閾値以上の予測領域から報じられた通報の割合を示す (付録 D.3.6)。体積率

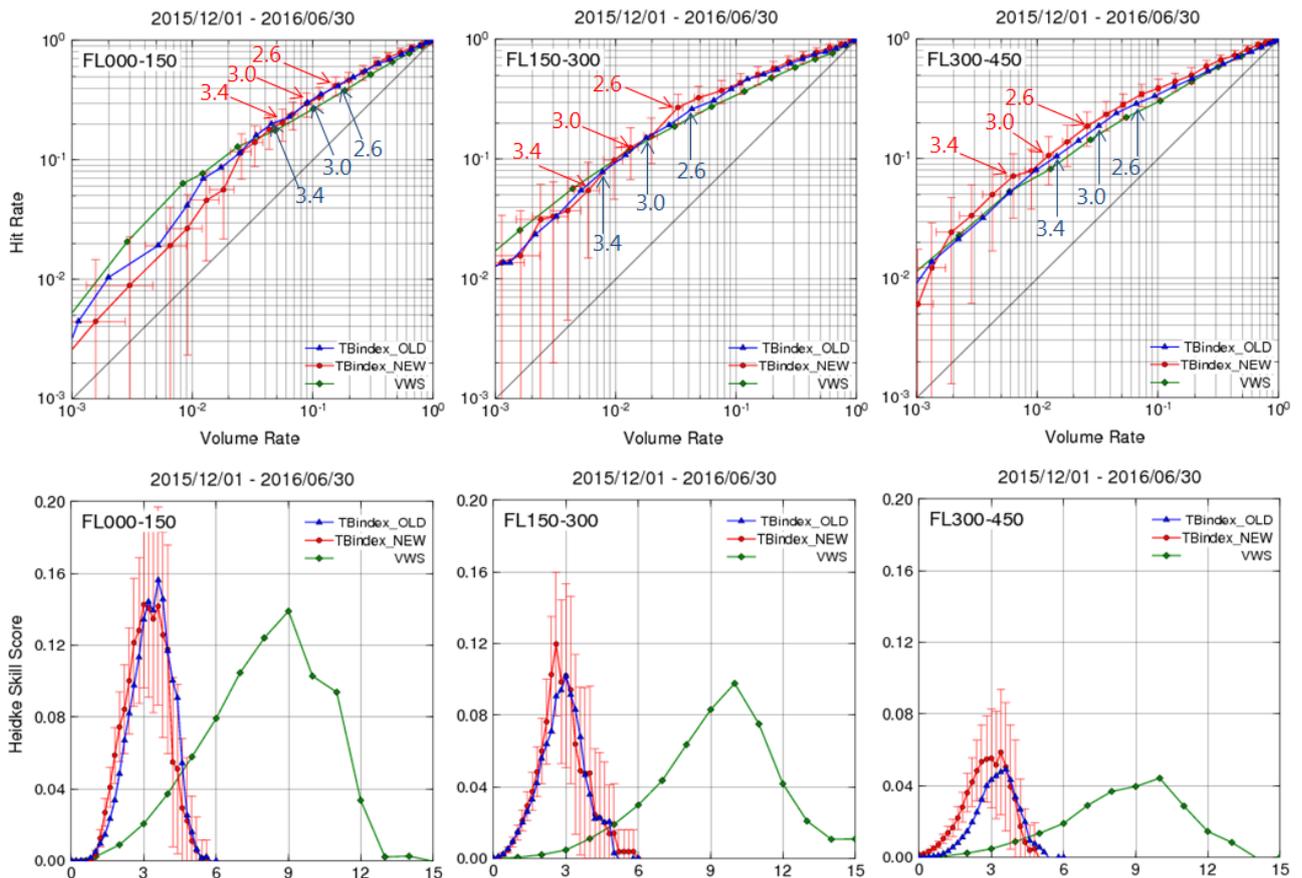


図 3.1.4 図 3.1.2 と同じ。ただし、全球航空悪天 GPV の結果を示し、検証領域は全球航空悪天 GPV と同じ領域。

が等しい予測を比べた場合には捕捉率が大きいほど乱気流を多く捕らえた良い予測であり、捕捉率が等しい予測を比べた場合には体積率が小さいほど予測領域を限定した良い予測と言えるため、図では線が左上にあるほど予測精度が高いと言える。TBindex で MOD 以上の乱気流を予測する目安となる閾値 3.0 付近に着目すると、新 TBindex は旧 TBindex と比べて、FL000~FL150 では同等、FL150~FL300 と FL300~FL450 では改善していることが分かる。

図 3.1.2 (下段) に、TBindex の閾値別に MOD 以上の乱気流を予測した場合のスキルスコアを高度別に示す。TBindex では、ロジスティック回帰で求めた確率値を調整することで、MOD 以上の強度の乱気流に対して全ての高度で同じ閾値 (TBindex=3.0) を用いて最適な予測が行えるようにしている。そのため、スキルスコアのピークは TBindex=3.0 付近にすることが望ましい。旧 TBindex は閾値 3.4~4.0 付近にピークがあり、スコアの分布としても全般に閾値が高い方にシフトしている。一方新 TBindex は、FL000~FL150 では閾値 3.4 付近でスコアが最大となっており、やや 3.0 からずれているものの、FL150~FL450 では閾値 3.0 付近でスコアが最大となっており、新 TBindex の方が適切な値でピークとなっている。また、スキルス

コアの最大値を比べると、新 TBindex は旧 TBindex と比べて、FL000~FL150 では同等、FL150~FL300 と FL300~FL450 では改善している。また VWS と比べると、いずれの高度でも新 TBindex の方が精度が高く、TBindex の有効性が確認できる。さらに VWS のスコアが最大となる閾値は、9~11 kt/1000 ft と高度で異なっており、どの高度でも同じ閾値で判断できる TBindex の方が利用者には使いやすい指数であることが分かる。

(2) 国内航空悪天 GPV との比較検証

図 3.1.3 に、TBindex_GSM と TBindex_MSM の閾値別に MOD 以上の乱気流を予測した場合の捕捉率と体積率の関係を示す。GSM と MSM の TBindex の精度を比較すると、FL000~FL300 までは同等、FL300~FL450 では MSM の方が精度が高い。これは上層で TBindex への寄与量が大きい SWS による予測精度が、MSM の方が高いためである⁹ (図略)。

(3) 全球航空悪天 GPV の高度別検証

図 3.1.4 は、全球航空悪天 GPV の TBindex と VWS の MOD 以上の乱気流に対する閾値別スキルスコアであ

⁹ MTW2 も寄与量が多いが、上方伝播山岳波による乱気流の頻度は少ないため、スコアへの影響は小さいと思われる。

る。乱気流の実況には、標準大気における各気圧面のフライトレベルから±1000 ft 以内の C-PIREP を用いた。新 TBindex は旧 TBindex と比べて、FL000~FL150 ではやや改悪、FL150~FL300 と FL300~FL450 では改善している。TBindex のスキルスコアのピークとなる閾値は概ね 3.0 付近となっており、北太平洋航空悪天 GPV と同じ係数を用いても問題ないことがわかる。また、全球航空悪天 GPV においても、TBindex の予測精度は VWS を上回っていることがわかる。

(4) MOD 以外の乱気流に対する閾値の確認

ここでは TBindex を図に表示させる際の塗りわけの閾値を決める参考とするため、乱気流の強度別に検証を行った結果を示す。予測精度を比較することが目的ではないため、検証期間は学習期間を含む 2013 年 12 月から 2016 年 6 月の 2 年 7 か月とする。

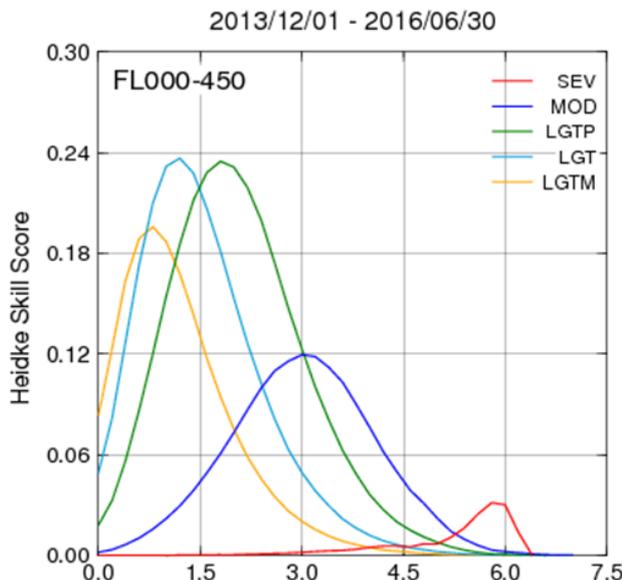


図 3.1.5 北太平洋航空悪天 GPV の各強度の乱気流に対する新 TBindex のスキルスコア。横軸は TBindex の値。高度については FL000 から FL450 までの分割表値を足し合わせてスコアを算出している。

図 3.1.5 に北太平洋航空悪天 GPV の乱気流の強度別のスキルスコアを示す。スキルスコアが最大となる TBindex の閾値は、LGTM (弱-) については 0.8 程度、LGT (弱) については 1.2 程度、LGTP (弱+) については 1.8 程度、SEV (強) については 5.8 程度となった。これらの値は TBindex_MSM とほぼ同じである (LGTM:0.9, LGT:1.3, LGTP:1.9, SEV:4.9)。このため、TBindex_GSM は、TBindex_MSM と同じ閾値で各強度の乱気流を予測することができる。ただし、SEV については TBindex_GSM の方が閾値が高いことに注意が必要である。また、SEV の乱気流に対するスキルスコアは、他の強度の乱気流と比べて極端に低くなっているが、これは SEV の出現頻度が極めて低いため

である。今回の検証期間での SEV の割合は 0.006% で、MOD の割合は 1% であった。

3.1.5 事例

今回の改良による旧 TBindex と新 TBindex の予測の違いを乱気流事例 (1) で、TBindex_GSM と TBindex_MSM の予測の違いを乱気流事例 (2) で示す。

(1) ジェット気流の圏界面側での乱気流事例

2015 年 12 月 6 日に発生したジェット気流の圏界面側での乱気流事例を示す。2015 年 12 月 6 日 03UTC の国内悪天解析図 (ABJP)¹⁰ (図 3.1.6) では、朝鮮半島から東北北部を流れる FL350 のジェット気流の圏界面側 (TROP) の、FL360~FL430 で並から強 (MOD TO SEV) の晴天乱気流 (CAT:Clear Air Turbulence) を解析している (図 3.1.6 の①)。この時の FL390 における北太平洋航空悪天 GPV による予測と C-PIREP により通報された実況 (丸印) を図 3.1.7 に示す。等風速線 (isotach) を見ると、朝鮮半島から東北付近に強風軸があり、VWS はこの強風軸周辺で大きくなっていることが分かる。これにより、TBindex は新旧ともに、MOD 程度の乱気流を予測している。しかし、旧 TBindex では青森県の日本海側上空で観測した MOD の乱気流を予測できているが、北海道の日本海側や太平洋側で観測した MOD 未満の乱気流付近でも MOD の予測をしており、やや予測領域が過大である。一方、新 TBindex では青森県の日本海側上空で観測した MOD の乱気流を捕捉しつつ、北海道の日本海側や太平洋側で観測した MOD 未満の乱気流付近では MOD 未満の予測となっており、より適切な領域での予測ができていることが分かる。これはより新しい GSM を用いて TBindex の係数の学習や指数調整を行ったことによるものである。

(2) ジェット気流前線 (ジェットフロント) での乱気流事例

2015 年 12 月 23 日に発生したジェットフロントでの乱気流事例を示す。2015 年 12 月 23 日 03UTC の ABJP (図 3.1.8) では、東北南部付近を流れる FL360 のジェットフロント (JET FRONT) の、FL290~330 で MOD の CAT を解析している (図 3.1.8 の④)。この時の北太平洋航空悪天 GPV による予測、国内航空悪天 GPV による予測と C-PIREP により通報された実況を図 3.1.9 に示す。東北南部付近では SEV や MOD の乱気流を観測しているが、TBindex_MSM では MOD 未満の予測となっている。一方 TBindex_GSM の予測では SEV の予測はないものの、MOD の予測はされており、MSM よりも適切に予測されていることが分か

¹⁰ 気象レーダーや気象衛星画像に、航空機から通報された乱気流や着氷などの実況を重ね合わせ、それにジェット気流の解析や悪天域に関する簡潔なコメント文を加えた図情報。国内航空機の主な運航時間となる 6 時から 21 時 (日本時間) まで 3 時間ごとに一日 6 回作成している。

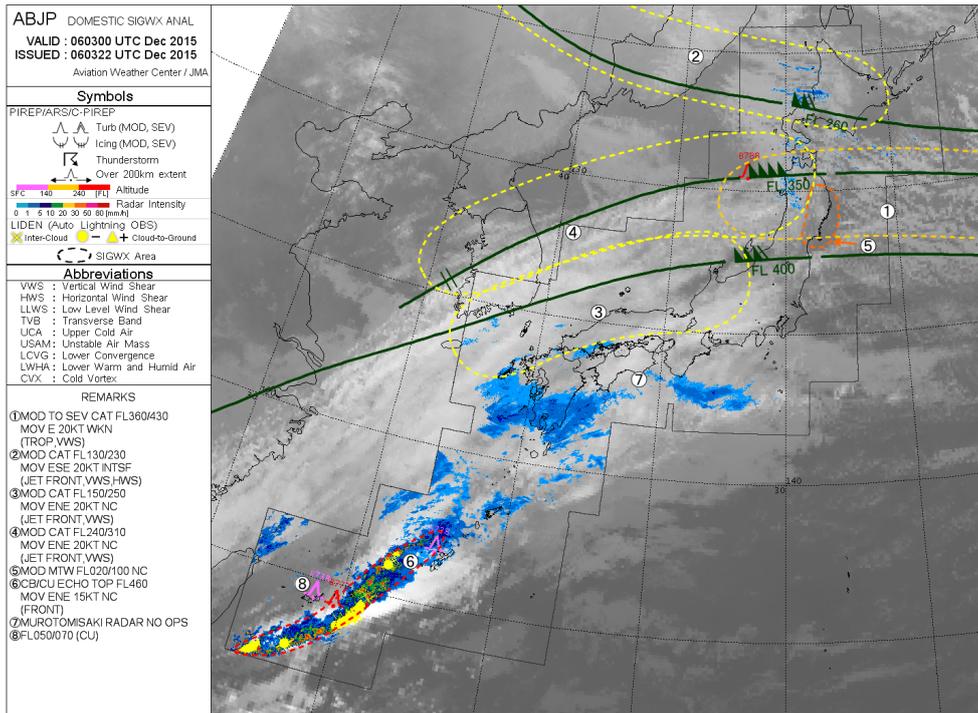


図 3.1.6 2015 年 12 月 6 日 03UTC の ABJP。80 kt 以上の主要なジェット軸を深緑色で描画し、ジェット軸の最大風速の所に矢羽（旗:50 kt、長棒:10 kt）と高度を表記している。また MOD 以上の CAT や山岳波などによる乱気流が推定される領域を、黄色や橙色の破線で囲んでいる。REMARKS 欄には、航空機の運航に影響を与える悪天域などのコメントを記しており、丸数字は図中の丸数字と対応している。

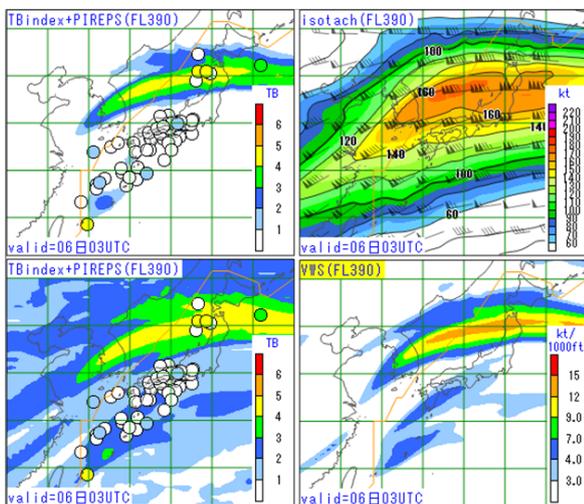


図 3.1.7 北太平洋航空悪天 GPV の 2015 年 12 月 5 日 12UTC 初期値における FT=15 の FL390 の予測。新 TBindex（左上）旧 TBindex（左下）、isotach（右上）、VWS（右下）を示す。TBindex の図には、6 日 03UTC の前後 60 分以内で FL390±1000 ft で通報された乱気流の実況を丸印で重ねている。予測値と実況値の色の塗り分けは同じで、赤色が SEV、橙色が MODP（並+）、黄色が MOD、緑色が LGTP、青色が LGT、水色が LGTM、白色が SMTH（揺れなし）を示す。isotach と VWS については、改良前後で予測値は変わらない。

る。これは、この時刻の TBindex_MSM への寄与量が大きかった SWS で MOD 未満の予測となっていたのに対し、TBindex_GSM への寄与量が大きかった VWS で MOD の予測がされていたためである。

図 3.1.3 の検証結果では、FL300~FL450 では MSMの方が精度は高かったが、この事例のように GSMの方が精度よく予測できる場合もある。利用者はモデル間の予測の違いや実況等を参考に、どちらの予測を採用するかを判断して欲しい。

3.1.6 まとめと今後の課題

GSM 乱気流指数 (TBindex) の改良を行った。主な変更点は、学習期間の変更、トランスパースバンド指数 (TRAV) の変更、対流雲中乱気流指数 (CONV) の変更と説明変数の組み換えである。独立資料による検証の結果、予測精度が向上することが確認できた。また、新しい学習期間のデータで係数の学習と指数調整を行ったことにより、概ね TBindex=3.0 で最適な予測となるように修正された。

今後の課題としては、上層の TBindex の精度向上が挙げられる。TBindex_GSM の利用は主に MSM の領域外である海上（特に福岡 FIR 内の日本の東の海上）が中心となるが、海上を飛ぶ航空機は高高度を飛ぶため、上層の予測精度が重要となる。しかし図 3.1.2（下段）からわかるように、上層ほどスキルスコアのピーク値は

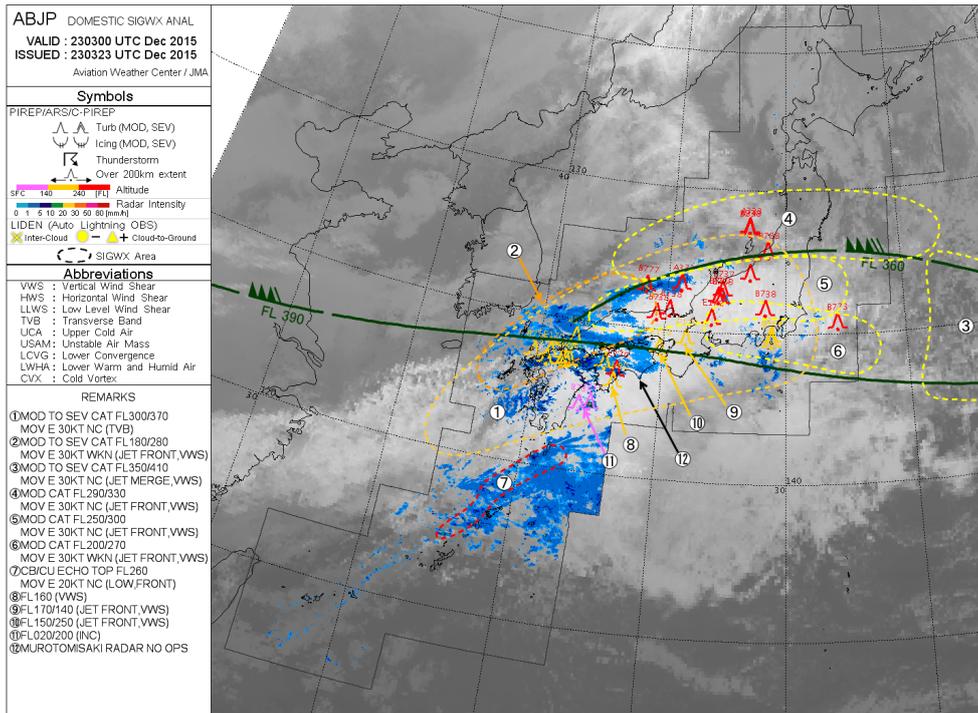


図 3.1.8 2015 年 12 月 23 日 03UTC の ABJP。

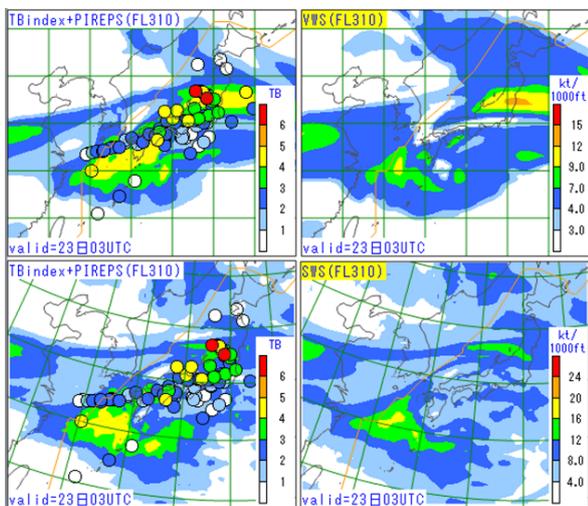


図 3.1.9 北太平洋航空悪天 GPV の 2015 年 12 月 22 日 12UTC 初期値における FT=15 の FL310 の予測。TBindex_GSM (左上) TBindex_MSM (左下) GSM の VWS (右上) MSM の SWS (右下) を示す。TBindex の図には、23 日 03UTC の前後 60 分以内で FL310±1000 ft で通報された乱気流の実況を丸印で重ねている。色の塗り分けは図 3.1.7 と同じ。

下がり、また VWS からの改善幅も小さくなっている。理由としては、上層ほど全通報数に対する MOD 以上の乱気流の割合が低くなることが挙げられる。検証期間中の MOD 以上の乱気流の割合は、FL000~FL150 で

は 3.6%であったのに対し、FL150~FL300 では 0.9%、FL300~FL450 では 0.5%と、上層ほど低くなっている。現象の発生割合が低くなるほど最適な予測係数を求めることが難しくなり、スキルスコアは小さくなる。また、説明変数に用いている TRAV の予測精度の影響もある。今回の変更により、TRAV は上層を中心に採用されるようになったが、寄与量としてはあまり大きくはない。これはトランスバースバンドの発生領域を的確には予測できていないことを示唆している。今後も改良を続け、特に上層の予測精度改善に努めたい。

参考文献

- 工藤淳, 2010: 乱気流指数の開発. 平成 22 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 95-108.
- 工藤淳, 2014: 乱気流指数の改良. 平成 26 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 87-99.
- 松下泰広, 2007: 全球航空悪天 GPV および北太平洋航空悪天 GPV. 平成 19 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 84-86.
- 宮腰紀之, 2003: 風ベクトルの外積を用いた乱気流予測の指数. 天気, 50, 327-334.
- 三輪剛史, 2013: GSM 乱気流指数の開発. 平成 25 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 63-70.
- 米原仁, 2014: 変更の概要. 平成 26 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 1-3.

3.2 降雪量地点ガイダンスの改良と開発¹

3.2.1 はじめに

気象庁では、積雪深を観測している全国のアメダス地点を対象に、統計予測手法にニューラルネットワーク(松下 2012)を用いて前 12 時間降雪量を予測する降雪量地点ガイダンスを運用している。本ガイダンスは GSM でのみ作成されており、最近では 2013 年 11 月にガイダンスの仕様拡張や事前学習した係数への入れ替えによる予測精度の向上を図ったが、40 cm/12h を超える大雪の予測頻度が低いといった問題点を解決できていない(白山 2014)。

また、本ガイダンスとは別に降雪量を予測するガイダンスとして、最大降雪量ガイダンス(古市・松澤 2009)を運用している。最大降雪量ガイダンスは、雪水変換法を用いて日本付近を 5 km 格子間隔で予測するガイダンスで、現在は降雪量予報の基礎資料として予報作業に利用されている。しかし、この最大降雪量ガイダンスについても、日本海側を中心に大雪ほど予測頻度が実況の発生頻度に比べて高くなりやすいといった問題点がある(古市・松澤 2009)。また、モデルが予測する降雪時の地上気温がガイダンスの表現に直結するため、特に地上気温が雪水比の変動の大きい 0°C 前後で推移することの多い本州の南岸低気圧による降雪については、ガイダンスの利用に際して留意すべき点が多い(原ほか 2013)。

一方で近年の大雪災害に目を向けると、2013 年 1 月 14 日や 2014 年 2 月 14 日の大雪(気象庁 2014)をはじめとして、本州の南岸を進む低気圧によって雪の少ない地域で大雪となり、道路への積雪等による車両の立ち往生や交通の途絶による集落の孤立、ビニールハウスやカーポートの倒壊など多くの被害が発生している。日本海側の豪雪地域だけでなく、太平洋側平野部を中心とした雪の少ない地域も含めて、より精度の高い降雪量予測が求められており、予報作業の基礎資料であるガイダンスは一層の予測精度向上や予測資料の充実が求められている。

こうした背景のもと、気象庁では現在運用中の GSM 降雪量地点ガイダンスを改良するとともに、同じ仕様の MSM 降雪量地点ガイダンスの新規開発を進めている。GSM 降雪量地点ガイダンスについては、全体的な予測精度向上を狙ってニューラルネットワークの再構築を行う。また、特に大雪の予測精度を向上させることを狙って頻度バイアス補正(松下 2012)を導入する。新規に開発する MSM 降雪量地点ガイダンスについては、MSM の方が降水予測の表現が良いことや、GSM では特に降水量が多い事例において降水の蒸発や雪の融解に伴う気温低下が十分に表現されない場合があることが分かっているため(原ほか 2013)、GSM ガイダ

ンスと比べて高精度な降雪量ガイダンスとなることが期待される。

本節では、まず第 3.2.2 項と第 3.2.3 項で、ガイダンスの仕様や予測手法の変更点、新規開発した MSM ガイダンスについて述べる。次に第 3.2.4 項と第 3.2.5 項で、統計検証結果と大雪事例を示し、新ガイダンスの予測精度と特性について解説し、最後に第 3.2.6 項で、本改良のまとめと利用上の留意点について示す。なお、本節では改良した GSM 降雪量地点ガイダンスおよび新規に開発した MSM 降雪量地点ガイダンスを新 GSM ガイダンスおよび新 MSM ガイダンス、改良前の GSM ガイダンスを旧 GSM ガイダンスと呼ぶこととする。

3.2.2 GSM ガイダンスの変更の概要

表 3.2.1 に新旧ガイダンスの仕様を示す。本改良では主に (1) 予測対象地点の追加、(2) 予報要素と予報時間の追加、(3) ニューラルネットワークの再構築、(4) 頻度バイアス補正の導入、の 4 点の変更を行った²。これらのうち (1) 及び (2) はガイダンスの利便性の向上を、(3) 及び (4) は旧ガイダンスが持つ予測精度や特性上の問題点の解消を狙っている。以下、これらについて順に解説する。なお、表 3.2.1 に掲載していないガイダンスの詳細については、古市(2008)や白山(2014)、付録 A.2.2 を参照していただきたい。

(1) 予測対象地点の追加

旧 GSM ガイダンスでは予測対象としていなかった、主に西日本のアメダス観測点を新たに予測対象地点に追加する。これら西日本の観測点は、積雪深計が設置されてから日が浅い地点が多く、また降雪の頻度も低いため、その地点のデータのみから統計関係を作成することは難しい。実際、2013 年 11 月の改良時に地点追加を試みたが、試作したガイダンスの予測精度が悪かったために追加を見送った地点がほとんどである。本改良に際しても、この開発に用いるデータ量の事情が大きく改善されたわけではないが、作成手法を工夫することでガイダンスを作成した。まず、ニューラルネットワークの構築前に、全ての地点を対象にクラスター分析を行い、地理的に近くまた降雪特性の似た地点をグルーピングした。このグループ単位で、はじめに仮のニューラルネットワークを構築し、その後この仮のネットワークを出発点にして各予測対象地点についてニューラルネットワークを最適化することで、開発に用いるサンプル数や降雪頻度に起因する予測精度の問題を軽減でき、西日本の観測点を追加することが可能になった。

² これらの変更の他に、ニューラルネットワークの予測値を頻度バイアス補正した値に対して、気温ガイダンス(後藤 2014)やモデル降水量を用いてガイダンスを修正する処理を設けた。これらは、季節外れの大雨によるガイダンスの空振りを防いだり、冬型の気圧配置時に主に太平洋側での予測の空振りを防ぐことに効果がある。

¹ 白山 洋平

表 3.2.1 新旧降雪量地点ガイダンスの仕様比較。赤字は改良前後の変更点を表す。

	旧ガイダンス	新ガイダンス
モデル	GSM	GSM, MSM
予報要素	前 12 時間降雪量	前 6 時間降雪量、前 12 時間降雪量、前 24 時間降雪量
対象地点	主に積雪深計設置のアメダス 302 地点	積雪深計設置のアメダス 323 地点
作成方法	ニューラルネットワーク (3 層) + モデル降水量等を使った補正	ニューラルネットワーク (3 層) + 頻度バイアス補正
予報時間	FT=24 ~ 84, 12 時間間隔	前 6 時間降雪量 : FT= 9 ~ 84 (MSM, FT= 6 ~ 39) 前 12 時間降雪量 : FT=15 ~ 84 (MSM, FT=12 ~ 39) 前 24 時間降雪量 : FT=27 ~ 84 (MSM, FT=24 ~ 39) いずれも 3 時間間隔
逐次学習	あり (ニューラルネットワーク)	あり (ニューラルネットワーク、頻度バイアス補正)
層別化	対象地点、予報時間 (FT=24, 36, 48 と FT=60, 72, 84 の 2 通り)	対象地点、初期時刻、予報対象時刻 (3 時間毎 1 日分)

(2) 予報要素と予報時間の追加

旧 GSM ガイダンスは、予報要素は前 12 時間降雪量のみ、予報時間は 24 時間から 84 時間までの 12 時間間隔であった。このため、予報要素については大雪警報・注意報の基準が前 6 時間降雪量や前 24 時間降雪量である地域ではガイダンスを利用することが難しかった。予報時間については、例えば 00UTC 初期時刻と 06UTC 初期時刻の予測を比べた場合に、ガイダンスの予報時間が 6 時間ずれるため、初期値毎の予測値の変化を比較しづらかったり、夕方 18 時から翌朝 6 時までの降雪量といった、予報作業上で必要となる対象時刻の予測が作成されていないという問題点があった。そこで新ガイダンスでは、予報要素については前 6 時間および前 24 時間降雪量を追加し、大雪警報・注意報の基準が地域によって異なることに対応した。なお、前 6 時間降雪量は、前 12 時間降雪量と同様にニューラルネットワークおよび頻度バイアス補正を用いて予測を行うが、前 24 時間降雪量は前 12 時間降雪量を積算して計算する仕様とした。予報時間については、モデルから作成可能な時間をすべて 3 時間間隔で作成するように変更した。これらの変更によって、ガイダンスの仕様上の問題点を解決した。

(3) ニューラルネットワークの再構築

本改良では、2010 年 11 月から 2014 年 3 月までの 4 冬季分をニューラルネットワークの訓練期間に、2014 年 11 月から 2015 年 3 月をテスト期間に設定し、未学習のテスト期間に対して良い予測が出来るように各種設定や訓練回数、層別化などを調整し、新たなネットワークを構築した。地点毎のニューラルネットワークの構築方法は (1) で述べたとおりである。ニューラルネットワークで使用する説明変数については、旧ガイダンスから変更はなく、引き続きモデル等から算出した各種物理量や安定度指数を用いる (付録 A.2.2)。層別化については、検討の結果、旧ガイダンスで行って

いた対象地点および予報時間に加えて、初期時刻による層別化を追加した。予報時間による層別化についても、旧ガイダンスの予報時間を前半と後半の 2 つに分ける仕様から、3 時間毎 1 日分の統計関係を繰り返し用いる方法に変更し、初期時刻による層別化と合わせることで予報対象時刻毎に層別化される仕様とした。

(4) 頻度バイアス補正の導入

旧ガイダンスの問題点に、大雪の予測頻度が非常に少ないという予測特性があった (古市 2010; 白山 2014)。新ガイダンスではこの問題の解消を狙い、頻度バイアス補正を導入した。これは、(3) で述べた再構築したニューラルネットワークでも、10 cm/12h より多い降雪については十分な予測精度・頻度を実現できず、ニューラルネットワークの予測値のままでは旧ガイダンスの精度を上回ることではできなかったためである。この頻度バイアス補正の導入により、主に 10 cm/12h より多い降雪について予測頻度や精度が改善し、旧ガイダンスでは予測頻度が非常に少なかった 40 cm/12h を超えるような大雪の捕捉ができるようになった。

3.2.3 MSM ガイダンスについて

今回、新規開発した MSM 降雪量地点ガイダンスは、予報時間を除いて新 GSM ガイダンスとすべて同じ仕様である。第 3.2.1 項でも述べたとおり、MSM の方が降雪時の地上気温の予測精度が高いこと、また、モデルの解像度が細かく地形の表現が精緻であったり、レーダー反射強度データを同化しているため降水予測の表現が良いことなどから (幾田 2011)、GSM ガイダンスより高精度なガイダンスになることが期待される。

3.2.4 統計検証

新ガイダンスについて統計検証結果を示す。検証は 2014 年 11 月から 2015 年 3 月の 5 か月間の全予測対象地点を対象とし、初期値については GSM, MSM ガイダンスともに全初期値を、予報時間については前 12

時間降雪量は FT=24 を、前 24 時間降雪量は FT=36 のデータを検証に用いた。また、比較対象として示す最大降雪量ガイダンスの検証結果は、新旧ガイダンスの予測対象地点の緯度・経度に線形内挿したガイダンスを同じ条件で検証したスコアである。なお、2016 年 3 月に行われた GSM の物理過程改良（第 1.2 節）は、第 1.4 節で述べられているように多くの GSM ガイダンスに影響があった。降雪量地点ガイダンスについては、新旧ガイダンスともにモデル降水量予測の特性変化に対応して予測頻度が低くなりつつも予測精度は中立という結果が確認されており、本改良の評価には影響しないと考えたため本節では詳細を割愛する。

はじめに、新旧ガイダンスおよび GSM 最大降雪量ガイダンスの閾値別の ETS（エクイタブルスレットスコア）および BI（バイアススコア）を図 3.2.1 に示す。図 3.2.1 より、10 cm/12h 以下の並雪から 40 cm/12h を超える大雪まで全体にわたって、新ガイダンスは旧ガイダンスを改善していることがわかる。この改善によって、新ガイダンスは 50 cm/12h を超える大雪を除いて、ほぼすべての閾値で GSM 最大降雪量ガイダンスを上回るようになった。また、旧ガイダンスからの改善幅の大きい、並雪と大雪についてそれぞれ注目すると、並雪は頻度バイアス補正前の時点でその予測精度を向上させていることから、ニューラルネットワークの再構築による効果と言える。一方、大雪については、その予測頻度を高くすることで実況の捕捉率を高めて予測精度を向上させており、頻度バイアス補正の導入による効果が大きいと言える。このように新ガイダンスは、大雪をほとんど予測しないという旧ガイダンスの問題点を改善した。

次に並雪の予測特性について、地点毎のスコア分布から特徴を見る。図 3.2.2 は、新旧ガイダンスおよび GSM 最大降雪量ガイダンスの 3, 5, 10 cm/12h の BI の分布図である。GSM 最大降雪量ガイダンスでは、閾値が大きくなるにつれて日本海側の沿岸を中心に予測

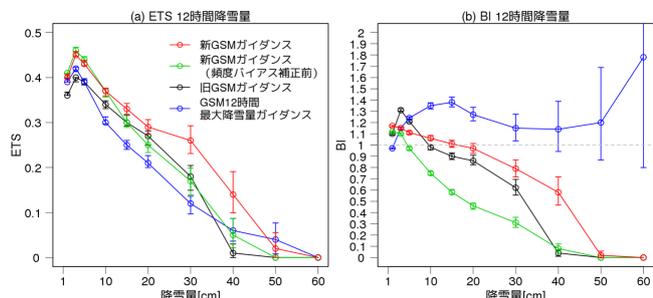


図 3.2.1 新旧 GSM ガイダンスおよび GSM 最大降雪量ガイダンスの検証結果。(a) は前 12 時間降雪量の ETS、(b) は BI で、赤線は新 GSM ガイダンス、緑線は新 GSM ガイダンス（頻度バイアス補正前）、黒線は旧 GSM ガイダンス、青線は GSM 最大降雪量ガイダンス。縦軸はスコア、横軸は降雪量の閾値、エラーバーは 95%信頼区間を表す。

頻度が実況の頻度に比べて高くなっていく傾向がある。旧ガイダンスは、5 cm/12h までは主に北日本の日本海側を中心に予測頻度が高いが、10 cm/12h になると一転して予測頻度が低くなっている。このように、どちらのガイダンスも発生頻度の高い降雪に対して適切な予測頻度で予測しているとは言い難い。一方、新ガイダンスでは、これらの閾値について関東地方をはじめとした太平洋側平野部や沿岸の一部地点を除いて、概ね予測頻度が適正に保たれており、注意報基準値未満の降雪量予測に対しても有効な予測資料になると考えられる。

続いて、大雪に注目する。図 3.2.3 は、新旧ガイダンスおよび GSM 最大降雪量ガイダンスの 40 cm/12h の ETS および BI である。GSM 最大降雪量ガイダンスは、並雪と同様に日本海側の沿岸を中心に予測頻度が実況の発生頻度に比べて高い。大雪を予測する回数が多いものの空振りが多いため、ETS は北陸地方の山間部や北海道太平洋側東部を除いて低いか 0 以下である。旧ガイダンスは、前述の通り 40 cm/12h を超える大雪の予測頻度は非常に低く、この検証期間では北海道太平洋側東部の一部地点で予測する程度である。新ガイダンスは、実際に 40 cm/12h を超える大雪が発生することの多い北陸地方の山間部や北海道太平洋側東部やオホーツク海側などで大雪を予測し、GSM 最大降雪量ガイダンスや旧ガイダンスよりも高い予測精度を得ている。このように新ガイダンスは、大雪を過剰に予測することなく、適切な地域に大雪を予測できおり、旧ガイダンスや最大降雪量ガイダンスを大きく改善していると言える。

最後に新規開発した MSM ガイダンスについての検証結果を示す。図 3.2.4 はそれぞれ前 6, 12, 24 時間降雪量の新 MSM ガイダンス、新 GSM ガイダンス、および MSM 最大降雪量ガイダンスの ETS と BI の比較図である。いずれの要素についても、全国を対象とした検証では新 MSM ガイダンスが最も予測精度が高く、特に 10 cm/12h 以下の並雪については、新 GSM ガイダンスが旧 GSM ガイダンスを大きく改善していたが、新 MSM ガイダンスはさらに精度が高い。これは、第 3.2.3 項で述べたように、MSM の方が地上気温や降水の予測が GSM よりも良いことを反映していると考えられる。一方で、すべての地域で一律にこれらのような改善が見られるわけではなく、主に日本海側や関東甲信地方の山間部での改善幅が大きく、北海道太平洋側などでは相対的に改善幅が小さい傾向がある（図 3.2.5）。このような特徴は、先に示した新 GSM ガイダンスも同様である。これは、最大降雪量ガイダンスで問題となっている大雪ほど日本海側で予測頻度が高くなってしまいう問題点を、新ガイダンスが大きく改善したために、地域によって改善幅に差が生じたと考えられる。

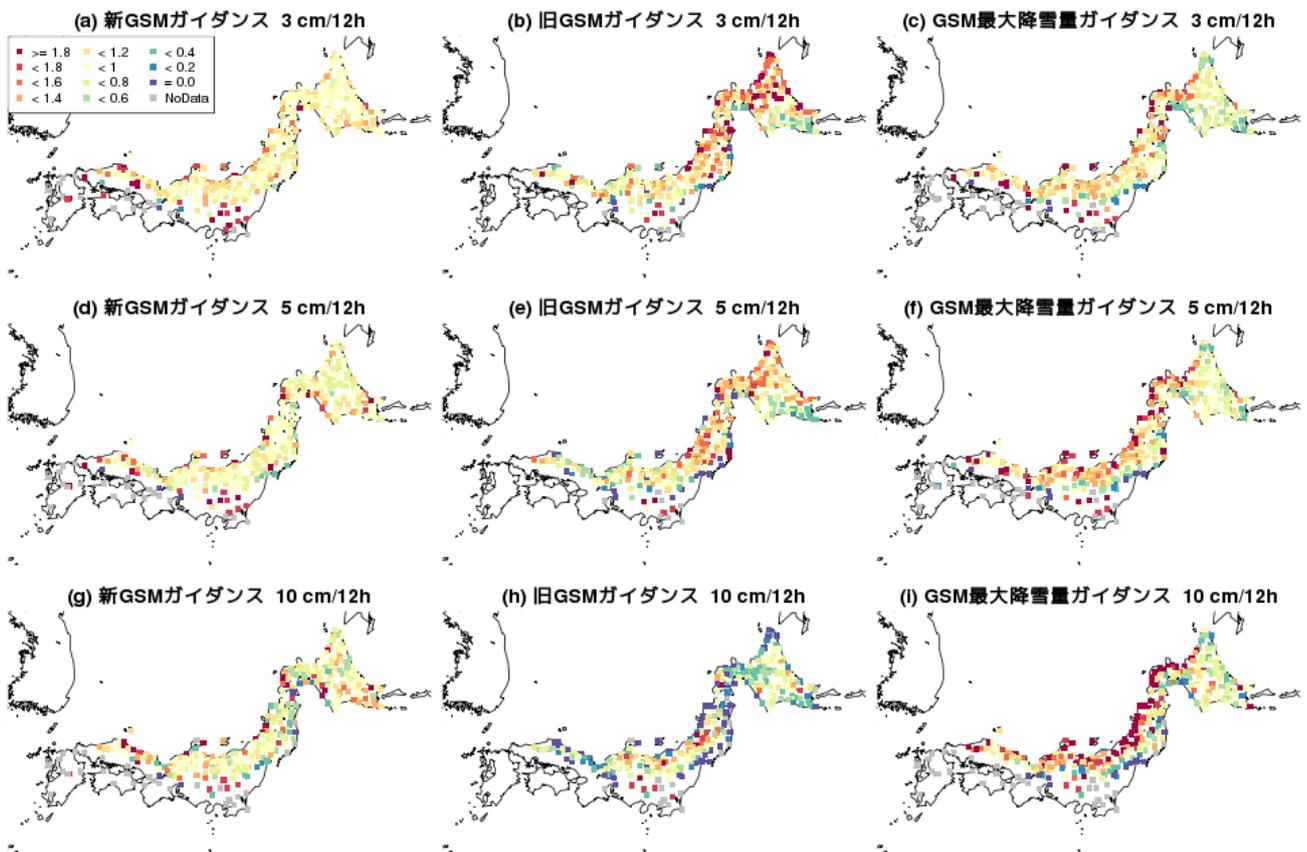


図 3.2.2 新旧 GSM ガイダンスおよび GSM 最大降雪量ガイダンスの前 12 時間降雪量の BI のスコアマップ。左列から新 GSM ガイダンス、旧 GSM ガイダンス、GSM 最大降雪量ガイダンス。上段から順に 3、5、10 cm/12h の BI である。凡例の NoData は、検証期間中に予報、観測ともに閾値を超える事例がない地点を表す。

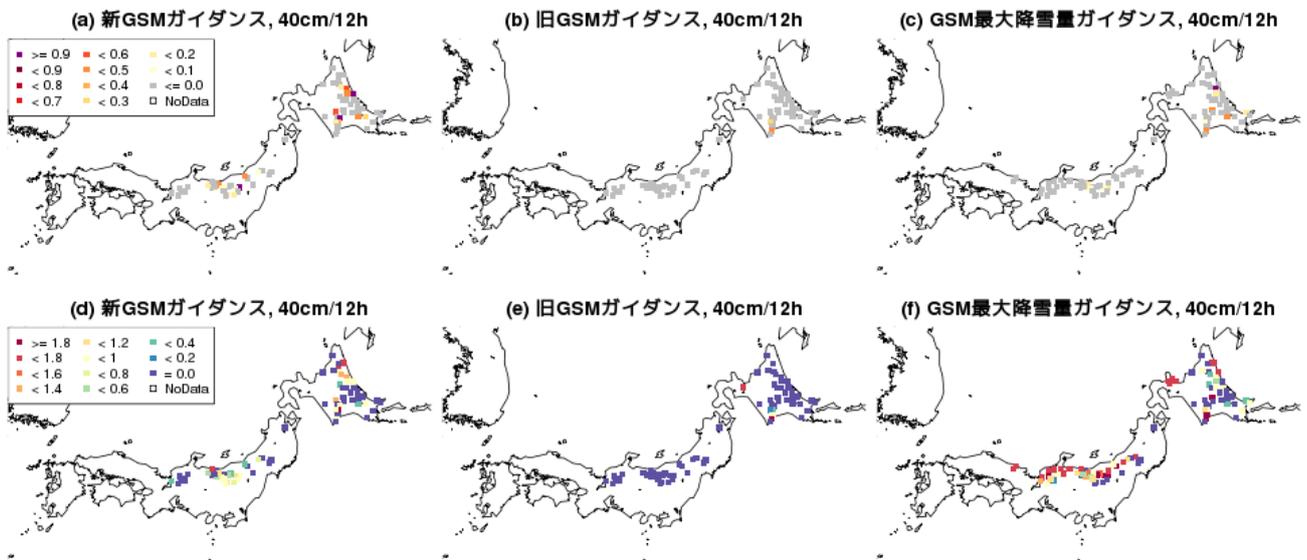


図 3.2.3 新旧 GSM ガイダンスおよび GSM 最大降雪量ガイダンスの前 12 時間降雪量の ETS および BI のスコアマップ。図 3.2.2 に同じ。ただし、上段は ETS、下段は BI で 40 cm/12h の検証結果である。なお、検証期間中に予報、観測ともに閾値を超える事例がない地点は、分布図にプロットしていない。

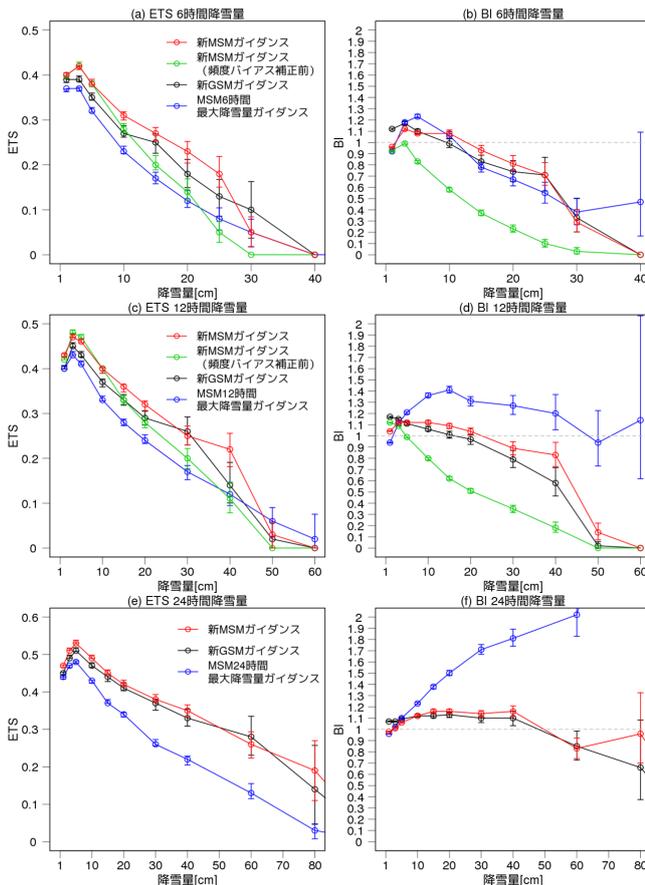


図 3.2.4 新 MSM, GSM ガイダンスおよび MSM 最大降雪量ガイダンスの検証結果。上段から前 6 時間、前 12 時間、前 24 時間降雪量についてのスコアで、左列が ETS、右列が BI である。赤線が新 MSM ガイダンス、緑線が新 MSM ガイダンス (頻度バイアス補正前)、黒線が新 GSM ガイダンス、青線が MSM 最大降雪量ガイダンス。その他図の見方は図 3.2.1 に同じ。

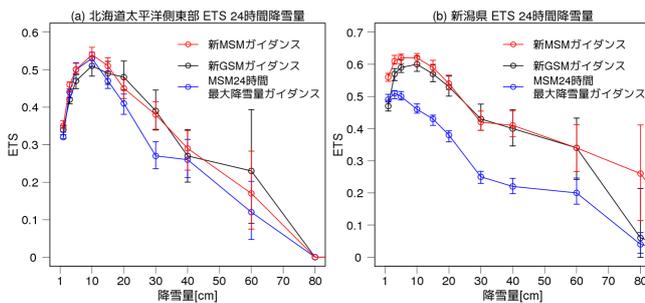


図 3.2.5 (a) 北海道太平洋側東部と (b) 新潟県の新 MSM, GSM ガイダンスおよび MSM 最大降雪量ガイダンスの前 24 時間降雪量の検証結果。赤線が新 MSM ガイダンス、黒線が新 GSM ガイダンス、青線が MSM 最大降雪量ガイダンス。その他の図の見方は図 3.2.1 に同じ。

3.2.5 事例検証

本項では、要因の異なる複数の大雪事例を通して、新ガイダンスの予測特性を示す。

(1) 急速に発達する低気圧と冬型の気圧配置による大雪事例 2014 年 12 月 16 日から 18 日

2014 年 12 月 16 日から 18 日にかけて、日本海と本州南岸を進んだ低気圧が急速に発達しながら北海道付

近に進んだ後、日本の東海上で進行が遅くなり日本付近は強い冬型の気圧配置となった (図 3.2.6)。低気圧の接近により北海道太平洋側やオホーツク海側で、冬型の気圧配置により北陸地方を中心とした日本海側で、それぞれ大雪となった。

図 3.2.7 および図 3.2.8 は、12 月 17 日 12UTC を対象とする北陸地方の前 12 時間降雪量と北海道地方の前 24 時間降雪量の予測と実況図で、新旧 GSM ガイダンスは 16 日 00UTC 初期値、新 MSM ガイダンスは 16 日 03UTC 初期値である。

図 3.2.7 の冬型の気圧配置による大雪について、新ガイダンスは GSM, MSM どちらも実況に見られる新潟県から福島県にかけて東西に広がる 40 cm/12h を超える降雪を適中させている。これは旧 GSM ガイダンスでは予測頻度が非常に低く、発生を捕捉することが難しかった大雪であり、ガイダンスの改善事例と言える。また、旧 GSM ガイダンスは日本海側の山間部にピークを予測しており、岐阜県を中心とした山間部では空振りとなっている。しかし、ガイダンスの入力としている GSM では、新潟県から福島県にかけてシアーや降水、上昇流域を予測しており (図略) 旧 GSM ガイダンスの分布と特徴が異なっていた。これらのことから、旧 GSM ガイダンスの統計関係は逐次学習が行われてきてはいるものの、これまでに行われてきたモデルの変更によって最適な関係ではなくなってきたと考えられる。新ガイダンスでは、ニューラルネットワークの再構築によって最新のモデルが予測する気象場を適切に降雪量予測へと変換できるようになり、より適切な予測ができるようになったと考えられる。

図 3.2.8 の低気圧の接近による大雪について見ると、旧ガイダンスでは北海道におけるガイダンスの最大値として 60 cm/24h を超えるような大雪は予測するものの、その分布は実況とは異なっており、特に北海道太平洋側やオホーツク海側の予測が実況に比べて少ない。新 GSM ガイダンスは、北海道における最大値は大きく変わらないものの、北海道太平洋側やオホーツク海側に集中した低気圧前面や低気圧からの北東風によってもたらされた大雪の分布を予測しており、予測分布が良くなっている。新 MSM ガイダンスは、新 GSM ガイダンスより北海道における最大値が実況に近付いただけでなく、新 GSM ガイダンスで予測できなかった留萌地方で実況に近い降雪を予測したり、新旧 GSM ガイダンスで見られる日高地方の空振りを改善した。留萌地方については、MSMの方が太平洋側と日本海側の 2 つの低気圧間の気圧の谷や伴う降水の表現が良かったこと、日高地方については GSMの方が降水量の予測が多かったことが影響していると思われる。本事例は、顕著な大雪に対する予測の改善だけでなく、GSM, MSM 両モデルのガイダンスを参照できることの利点も見える事例と言える。

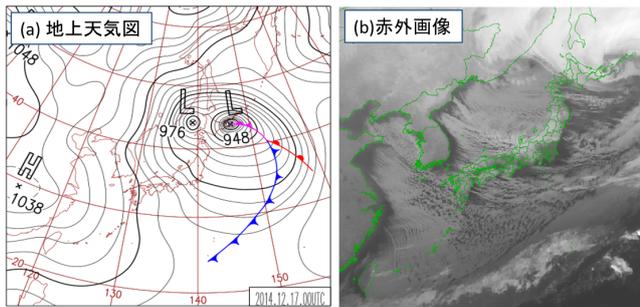


図 3.2.6 2014 年 12 月 17 日 00UTC の (a) 地上天気図と (b) 衛星赤外画像。

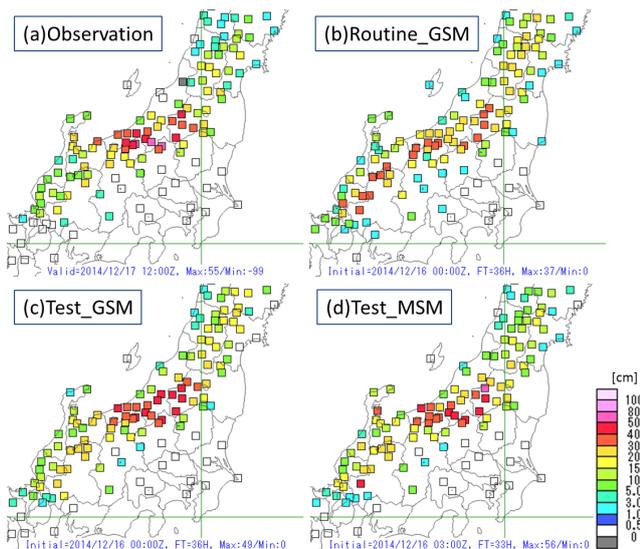


図 3.2.7 2014 年 12 月 16 日から 18 日にかけての冬型の気圧配置による日本海側の大雪事例。(a) から (d) は 17 日 12UTC を対象とする前 12 時間降雪量の実況と予測の降雪量。(a) 実況の前 12 時間降雪量 (毎正時の前 1 時間積雪深差が正の場合を積算、灰色の場合は期間中に積雪深に欠測を含むことを表す。) (b) 旧 GSM ガイダンス、(c) 新 GSM ガイダンス、(d) 新 MSM ガイダンス。

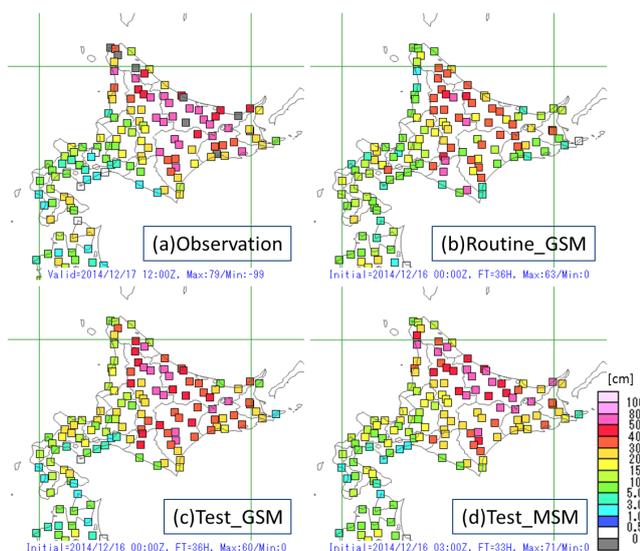


図 3.2.8 2014 年 12 月 16 日から 18 日にかけての急速に発達する低気圧による北海道地方の大雪事例。図 3.2.7 に同じ。ただし、17 日 12UTC を対象とする前 24 時間降雪量の実況または予測の降雪量。

(2) 南岸低気圧による大雪事例 2016 年 1 月 18 日
この事例では、本州の南岸を進んだ低気圧によって関東甲信地方で大雪となり、最深積雪が前橋 20 cm、熊谷 15 cm、東京でも 6 cm など関東地方の平野部でもまとまった降雪となった。

図 3.2.9 は、1 月 18 日 00UTC を対象とする前 12 時間降雪量の各ガイダンスの予測と実況図で、新旧 GSM ガイダンスおよび GSM 最大降雪量ガイダンスは 16 日 12UTC 初期値、新 MSM ガイダンスおよび MSM 最大降雪量ガイダンスは 16 日 15UTC 初期値である。この事例は、MSM の地上気温予測が良く、MSM 最大降雪量ガイダンスでは関東地方平野部南部について実況に近い予測ができていたが、GSM 最大降雪量ガイダンスや旧 GSM ガイダンスでは、平野部に MSM ガイダンスほどの降雪を予測はできていなかった。これは、GSM が MSM ほど降雪時の地上気温を低く予測できなかったことに原因がある。

一方で新 GSM、MSM ガイダンスは、甲信地方や関東北部山間部に実況よりもやや過大な予測が目立つものの、両ガイダンスともに平野部南部の東京や横浜についても降雪を予測できている。モデルの地上気温予測が十分でなかった GSM を使った新 GSM ガイダンスでもこれらの降雪を予測できるようになったのは、降雪時の地上気温の低下を実況ほどは低く予測できなくとも、再構築したニューラルネットワークではその他の気象要素も合わせて考慮することで降雪を予測できる場合があるためと考えられる。当然、この事例のように南岸低気圧による降雪事例すべてに適切な予測が出来るようになったわけではないが、関東地方平野部の降雪予測に有効な予測資料を提供でき、利用価値が高いと考える。

(3) 強い寒気の南下による大雪事例 2016 年 1 月 23 日から 25 日

2016 年 1 月 23 日から 25 日にかけて、強い寒気の南下によって沖縄や西日本を中心に記録的な低温となり、24 日には長崎県で観測史上 1 位となる積雪 17 cm を記録するなど、普段は降雪の少ない西日本で大雪となった。

図 3.2.10 は、1 月 24 日 12UTC を対象とする前 24 時間降雪量の各ガイダンスの予測と実況図で、新旧 GSM ガイダンスと GSM 最大降雪量ガイダンスは 23 日 00UTC 初期値、新 MSM ガイダンスと MSM 最大降雪量ガイダンスは 23 日 03UTC 初期値である。旧 GSM ガイダンスは、西日本の多くの観測点が予測対象地点外であり参照することができない。一方、新 GSM、MSM ガイダンスは本改良で新たに追加した西日本の地点のうち、特に九州の多くの地点で降雪を予測している。降雪量を正確に適中させることは難しいが、降雪頻度の少ない西日本の対象地点についても、予報作業において新たな予測資料を提供できるようになった

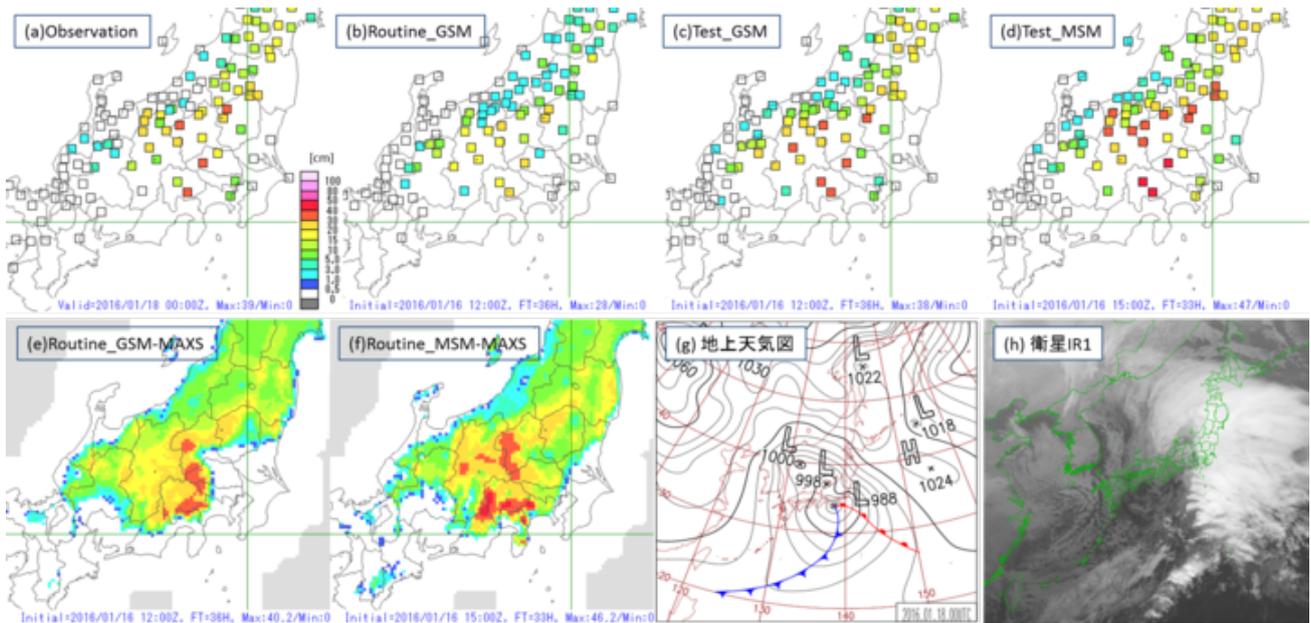


図 3.2.9 2016 年 1 月 18 日の南岸低気圧による関東甲信地方の大雪事例。(a) から (f) は 18 日 00UTC を対象とする前 12 時間降雪量の実況または予測降雪量、(g) 及び (h) は 1 月 18 日 00UTC の地上天気図及び衛星赤外画像。(a) 実況降雪量（毎正時の前 1 時間積雪深差が正の場合を積算、灰色の場合は期間中に積雪深に欠測を含むことを表す）、(b) 旧 GSM ガイダンス、(c) 新 GSM ガイダンス、(d) 新 MSM ガイダンス、(e)GSM 最大降雪量ガイダンス、(f)MSM 最大降雪量ガイダンス。

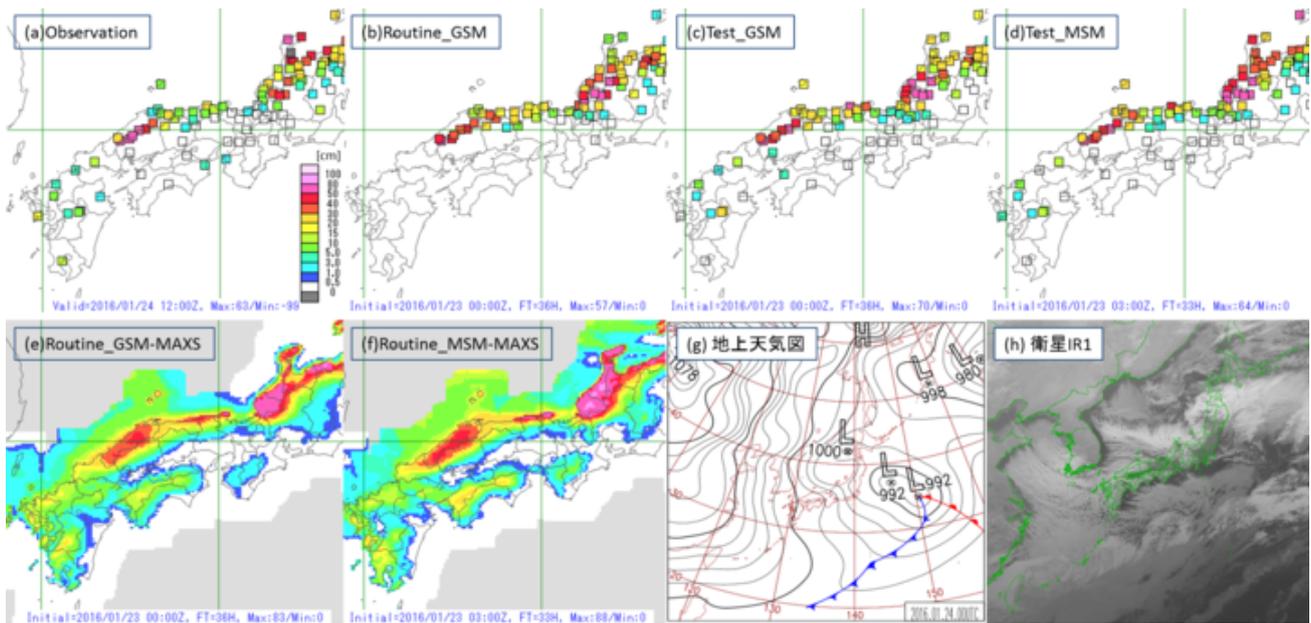


図 3.2.10 2016 年 1 月 23 日から 25 日にかけての強い寒気による西日本の大雪事例。図 3.2.9 に同じ。ただし 1 月 24 日 12UTC を対象とする前 24 時間降雪量の予測または実況の降雪量と 1 月 24 日 00UTC を対象とする地上天気図と衛星赤外画像。

と考える。

3.2.6 まとめと利用上の留意点

GSM 降雪量地点ガイダンスを改良し、また同仕様の MSM 降雪量地点ガイダンスを新規に開発した。新ガイダンスでは、(1) 予測対象地点の追加および (2) 予報対象と予報時間の追加でガイダンスの利便性が向上し、(3) ニューラルネットワークの再構築、(4) 頻度バイアス補正の導入、を行うことで予測精度、特性の改

善を図った。新ガイダンスについて、統計検証及び事例を通した検証から分かる特徴を以下にまとめる。

1. 新 GSM ガイダンスは、旧 GSM ガイダンスに比べて、10 cm/12h 以下の並雪から 40 cm/12h 以上の大雪まで、その予測精度が改善する。これらはニューラルネットワークの再構築や頻度バイアス補正の導入によって実現されている。
2. 地点毎のバイアスコアのマップからは、新ガイダンスには最大降雪量ガイダンスで見られるよう

な、主に日本海側で大雪ほど予測頻度が高くなりやすいといった特徴や、旧ガイダンスのように並雪の予測頻度が閾値によって上下する傾向は見られない。また、40 cm/12h を超えるような大雪に対しても旧ガイダンスや最大降雪量ガイダンスよりも適切な分布、頻度の予測となっている。新ガイダンスは、注意報基準値未満の日々の降雪量予測、大雪警報・注意報の対象となるような事例、どちらに対しても改善したと言える。

3. 新 MSM ガイダンスは、新 GSM ガイダンスよりも予測精度が高い。これは、両モデルの地上気温や降水の予測精度の違いを反映していると考えられる。
 4. 新 MSM ガイダンスは、MSM 最大降雪量ガイダンスよりも全国平均では予測精度が高いが、その改善度合いは地域によって異なる。これは、北陸地方などの日本海側では最大降雪量ガイダンスが大雪ほど予測頻度が高くなりやすい問題があるために、予測頻度がより適切な新ガイダンスの改善度合いが他の地域よりも大きくなるためである。
 5. 南岸低気圧による太平洋側の降雪や西日本の降雪事例について、新ガイダンスの予測が有効な事例が確認できた。旧ガイダンスでは降雪を予測できないことの多かった関東地方平野部南部を改善し、対象地点ではなかった西日本のアメダス地点に対して、新たな予測資料を提供できるようになった。また、以下の点について留意が必要と考える。
1. 新ガイダンスの前 6 時間降雪量は、前 12 時間降雪量とは独立に作成する。そのため、前 12 時間降雪量と対応する 2 時刻分の前 6 時間降雪量の和は一致しない。一方で、前 24 時間降雪量は、対応する 2 時刻分の前 12 時間降雪量を足し合わせて作成する。これらの作成方法の違いと予報要素間の予測値の整合性の有無には留意が必要である。
 2. 新ガイダンスは、統計的には MSM ガイダンスの方が GSM ガイダンスよりも予測精度が高い。実況経過から考えて MSM の予測が大きく外れており、予報シナリオとして GSM の予測を採用する状況で無い限りは、MSM の予報時間内では精度の高い新 MSM ガイダンスを利用することを推奨する。
 3. 新 GSM, MSM ガイダンスともに最大降雪量ガイダンスよりも予測精度・頻度の両面で優れている。実際の予報作業では、精度の高い新ガイダンスを最大降雪量ガイダンスの面的な降雪量予測を修正する参考に利用していただきたい。ただし、地点ガイダンスの予測対象地点から大きく距離の離れた、または距離は近くとも標高差の大きい地域については、最大降雪量ガイダンスの方が良い予測である場合もあると考えられるため、これらの使い分けは適切に行う必要がある。

参考文献

- 幾田泰醇, 2011: メソ解析におけるレーダー反射強度データの同化. 平成 23 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 9-12.
- 気象庁, 2014: 災害時気象速報 発達した低気圧による 2 月 13 日から 2 月 19 日の大雪、暴風雪等. 災害時自然現象報告書 2014 年第 2 号, 気象庁.
- 後藤尚親, 2014: 気温ガイダンスの改良. 平成 26 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 72-79.
- 白山洋平, 2014: 降雪量地点ガイダンスの改良. 平成 26 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 80-86.
- 原旅人, 白山洋平, 檜垣将和, 氏家将志, 2013: 2013 年 1 月 14 日の関東大雪. 平成 25 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 71-89.
- 古市豊, 2008: 降雪量ガイダンス. 平成 20 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 73-76.
- 古市豊, 松澤直也, 2009: 最大降雪量ガイダンス. 平成 21 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 27-38.
- 古市豊, 2010: 降雪ガイダンスの改良と利用. 平成 22 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 78-81.
- 松下泰広, 2012: ガイダンス作成に用いる予測手法. 平成 24 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 44-48.

3.3 台風アンサンブル最大降水量ガイダンスの開発¹

3.3.1 はじめに

気象庁では GSM や台風アンサンブル予報システム (TEPS) など複数の数値予報システムを参考にして台風予報を行っており、発表予報と個々の数値予報モデルの台風予測が異なる場合がある。既存の降水ガイダンスは GSM や MSM を入力に作成されているため、このような場合には適切に降水量の予測を行うことができない。したがって、既存の資料の他に発表予報の台風予測と整合のとれた客観的な降水量の予測資料が必要とされている。

このような背景から、数値予報課では TEPS を入力とした最大降水量ガイダンス (台風アンサンブル最大降水量ガイダンス、以下 TEPS 最大降水量ガイダンス) の開発を行い、2016 年 5 月より数値予報ルーチンとして運用を開始した。本ガイダンスは TEPS の各メンバーについて最大降水量ガイダンス (以下 RMAX) を作成したものであり、発表予報の台風進路予測と近いメンバーを参照することで、発表予報と整合した降水ガイダンスを得ることを目的としている。

本ガイダンスに関連するプロダクトとして、2008 年より TEPS の平均降水量ガイダンス (MRR) と降水確率ガイダンス (PoP) を作成するシステムが数値予報ルーチンとして運用されている (以下、MRR, PoP, RMAX をまとめて降水ガイダンスと呼ぶ)。本節では、新たに開発した TEPS 最大降水量ガイダンスを中心に、TEPS 降水ガイダンスの仕様や特性について述べる。なお、本ガイダンスは試験運用中のため部外配信の予定はない。本節では現在開発しているものについて紹介する。

3.3.2 仕様

TEPS 降水ガイダンスは、基本的に GSM や MSM の降水ガイダンスと同じ手法で作成されている。降水ガイダンスでは、数値予報モデルから求めた説明変数 (付録 A.2 参照) を用いて、3 時間 MRR (MRR3)、6 時間 PoP (PoP6)、前 3 時間の 1 時間 RMAX (RMAX31) および 3 時間 RMAX (RMAX33)、24 時間 RMAX (RMAX24) を予測している²。作成手法は、まず (i) カルマンフィルターで MRR, PoP を作成し、MRR に頻度バイアス補正を行う (小泉・蟻坂 2010)。その後、(ii) ニューラルネットワークや線形重回帰で作成した実況の平均降水量と最大降水量の関係式に (i) の MRR を当てはめることで RMAX の予測値を作成している (小泉 2009、蟻坂 2013)。

(i) では係数の逐次更新を行っており、常に最新の観測と説明変数を用いて予測式を更新している。一方

で、(ii) の RMAX 作成部分の予測式は係数固定型である。RMAX の予測式を作成する際には、説明変数の 1 つである MRR を解析雨量から算出した実況の平均降水量に置き換えている。このように、説明変数の中でも特に寄与の大きい MRR を実況値に置き換えることで、数値予報モデルへの依存性を軽減した統計関係を得ることができ、適切な MRR が作成できれば精度の高い RMAX が作成されることになる³。これにより、RMAX の精度は入力 MRR に強く依存しており、RMAX31, RMAX33 は MRR3 に、RMAX24 は MRR24 に強く依存している。

表 3.3.1 に、TEPS 降水ガイダンスの基本的な仕様をまとめた。作成対象格子や作成手法などの基本的な仕様については GSM 降水ガイダンスと同じであり、同様のプロダクトとして利用できるようにしている。一方、数値予報モデルの解像度・特性や、アンサンブルというシステム上の違いがある TEPS に降水ガイダンスを適用する上で、いくつか GSM 降水ガイダンスとは仕様異なる点も存在するので、以下で説明する。

(1) 係数の逐次学習について

TEPS 降水ガイダンスでは、TEPS ではなく週間アンサンブル予報システム (WEPS) のコントロールランを学習データとして係数の更新を行っており、予測時はその係数を TEPS のコントロールランと各摂動メンバーに適用している。WEPS では基本的に TEPS と同じ数値予報モデルが使用されているため、WEPS で学習した係数は TEPS にも適用することができる⁴。また、WEPS は 1 日 2 回 (00, 12UTC 初期値) 必ず予測が行われるため、予測が台風発生時に限られる TEPS と比べ、係数の逐次更新に適している。これらが WEPS を学習データとした理由である。なお、本ガイダンスでは初期時刻で係数の層別化を行っているが、06, 18UTC 初期値のものについては対応する WEPS の初期時刻が存在しないため、それぞれ直近の 00, 12UTC 初期値の係数を予報対象時刻が整合するように調整した上で利用している。

(2) RMAX24 作成手法について

現在の GSM 最大降水量ガイダンスでは RMAX24 を線形重回帰式により作成しているが、TEPS 最大降水量ガイダンスではニューラルネットワークにより作成している。RMAX24 をニューラルネットワークで作成する手法は、蟻坂 (2013) による改良以前の最大降水量ガイダンスで用いられていた手法である。

当初は TEPS 最大降水量ガイダンスでも蟻坂 (2013) の線形重回帰式による手法で RMAX24 の作成を試みた

¹ 黒木 志洸

² 中間製品として 3 時間 PoP (PoP3) と 24 時間 MRR (MRR24) も作成している。

³ 説明変数に観測値を用いるガイダンス作成方式を PPM (Perfect Prognosis Method) 方式という。

⁴ 厳密には、モデル更新時期の違いにより、TEPS・WEPS の数値予報モデルが異なる期間も存在するが、この問題は今後予定されている TEPS・WEPS のシステム統合により解決する見込みである。

表 3.3.1 TEPS 降水ガイダンスの作成要素・作成手法の一覧。GSM 降水ガイダンスと仕様が異なる箇所を赤字で記している。説明変数や層別化等の設定については付録 A.2 を参照。

要素	作成格子	予報時間	作成手法
MRR3 (3 時間平均降水量)	20 km	6~ 132	カルマンフィルター + 頻度バイアス補正 + PoP 補正
PoP3 (3 時間降水確率)			カルマンフィルター
PoP6 (6 時間降水確率)			カルマンフィルター
RMAX31 (1 時間最大降水量)			ニューラルネットワーク
RMAX33 (3 時間最大降水量)			ニューラルネットワーク
MRR24 (24 時間平均降水量)		27~ 132	MRR3 の積算 + 頻度バイアス補正
RMAX24 (24 時間最大降水量)			ニューラルネットワーク

が、開発段階でニューラルネットワークによる RMAX24 に勝る精度が得られなかったため、導入には至らなかった (図略)。蟻坂 (2013) の手法で精度が得られなかった理由として、MRR 以外の説明変数に GSM の特性や解像度に強く依存するもの (500m 物理量、上昇流など) が利用されていることが挙げられる。一方、安藤 (2007) のニューラルネットワークによる手法では、MRR 以外の説明変数も GSM への依存性が小さいものが利用されているので、TEPS への適用がうまくいったものと考えられる。

GSM と MSM の RMAX24 で予測手法を線形重回帰に変更したのは、強雨の予測精度向上や、過大な降水量の予測の解消を狙ったことである。本ガイダンスでも、WEPS を用いて係数を再作成すれば蟻坂 (2013) の手法で精度が得られる可能性はあるが、今回は係数の再作成は行っていないため、比較的精度の良かった安藤 (2007) の手法を採用した。このため、GSM の RMAX24 と比べると 200 mm/24h を超える大雨の予測精度が相対的に悪くなっているため、利用の際は留意していただきたい。

3.3.3 統計検証

TEPS 降水ガイダンスについて、解析雨量から求めた平均降水量、最大降水量と比較統計検証を行った。検証対象は 2015 年 7 月から 2015 年 10 月までの TEPS が起動した初期値としている (389 初期値)。検証スコアはバイアスコア (BI) とエクイタブルスレットスコア (ETS) を用いており、それぞれ閾値以上の降水の有無で分割表を作成し計算している。

(1) TEPS 降水ガイダンスコントロールラン (TEPS-Cntl) の精度検証

まず、TEPS 降水ガイダンスの利用の際の基礎資料として、TEPS 降水ガイダンスのコントロールラン (以下 TEPS-Cntl) について統計検証を行う。図 3.3.1 は TEPS-Cntl について、FT=84 までの MRR3 と RMAX31, RMAX33, RMAX24 の検証結果である。精度比較のために、同じ初期時刻の GSM 降水量ガイダンスについても同様の検証を行い、併せて描画している。

図 3.3.1 より、MRR3 や RMAX31, RMAX33 について両ガイダンスの ETS は概ね同程度であり、BI も概ね同じ傾向を示していることが分かる。したがって、降水ガイダンスとして利用する上では、両ガイダンスは同程度の精度を持ったプロダクトとして利用することができる。一方で、前項 (2) で述べた作成手法の違いにより、RMAX24 については TEPS-Cntl と GSM ガイダンスで精度やバイアス特性が異なっており、特に 200mm/24h を超える強雨で TEPS-Cntl の精度が悪くなっている点には留意が必要である。

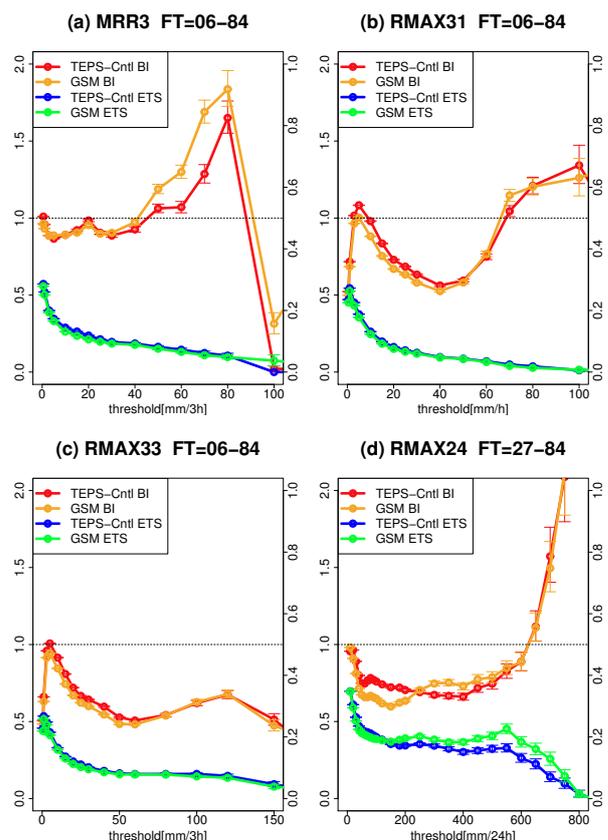


図 3.3.1 TEPS-Cntl と GSM 降水量ガイダンスの BI, ETS を閾値別に比較した図 (赤: TEPS-Cntl の BI、橙: GSM の BI、青: TEPS-Cntl の ETS、緑: GSM の ETS)。それぞれ (a) MRR3, (b) RMAX31, (c) RMAX33, (d) RMAX24 についての検証図であり、(a) ~ (c) は FT=06-84 で (d) は FT=27-84 で検証を行っている。縦軸はそれぞれ左軸が BI、右軸が ETS で、エラーバーは 95% 信頼区間。

(2) TEPS 降水ガイダンス摂動メンバー (TEPS-members) の精度検証

TEPS 降水ガイダンスでは、アンサンブルメンバーを決定論的予報値とは異なるシナリオと見なす使い方を想定しているため、コントロールランだけでなく各摂動メンバーについても一定の精度が保証される必要がある。したがって、TEPS-Cntl と同様の検証を TEPS 降水ガイダンスの摂動メンバー (TEPS-members) についても行った。ここでは、そのうち MRR3 の精度について紹介する (図 3.3.2)。

図 3.3.2 より、各メンバーについても概ね BI はコントロールラン程度となっており、適切に系統誤差が補正されていることが分かる。一方で、ETS については、平均的に見ると TEPS-members の精度は TEPS-Cntl と比べ低くなっている。これはアンサンブル予報の特徴であり、コントロールランはアンサンブル予報の最尤推定値となるので統計的には摂動メンバーよりも精度が高くなるのが期待される。したがって、TEPS-members については事例に限った利用が推奨される。

(3) TEPS 降水ガイダンスアンサンブル平均 (TEPS-Esbl) の精度検証

次に、アンサンブルの主要な利用手法の 1 つであるアンサンブル平均について統計検証を行う。ここでのアンサンブル平均とは、各メンバー毎に作成した降水ガイダンスの単純平均を指す (以下、TEPS-Esbl)。図 3.3.3 は TEPS-Esbl について、MRR3 と RMAX31, RMAX33, RMAX24 の検証結果である。なお、検証は FT=48 以降を対象に行い、精度比較のために TEPS-Cntl も併せて描画している。

図 3.3.3 より、TEPS-Esbl の ETS は概ね TEPS-Cntl と同程度であるが、低閾値では BI が大きく予報頻度が高めに、中～高閾値では BI が小さく予報頻度が低めになっていることが分かる。一般に、アンサンブル平均はピーク値の鈍った予測となるため、単一の予測と比べると弱雨の予報頻度が増加し、強雨の予報頻度が減少する。仮に、アンサンブル平均そのものを補正するガイダンスを作成すればアンサンブル平均の降水頻度を補正することも可能だが、本ガイダンスでは各メンバーに対して統計補正を行っているため、アンサンブル平均としては元の性質がそのまま反映されたものになっている。したがって、現状では TEPS-Esbl を強雨の量的な見積りに用いるのは難しい。

一方で、ある程度予測が類似したメンバー (予想台風進路が東寄りのメンバー、など) に限定した平均値を用いれば、予報頻度を維持しつつ予報のランダム誤差を軽減する効果が期待できるため、本ガイダンスではそのような利用を推奨したい。

3.3.4 事例

TEPS 降水ガイダンスの予測事例として 2015 年台風第 11 号 (T1511) の事例を紹介する。図 3.3.4 は上陸

3~4 日目の初期値における TEPS と GSM の予想台風進路である。実況では台風は四国を指向しているのに対し、GSM や TEPS コントロールランの予測はいずれも九州を指向していた。一方、TEPS 摂動メンバーの予測は大きくばらついており、その中には四国を指向しているメンバーも存在していた。

この事例について、GSM と TEPS コントロールラン、及び進路予報誤差の小さい摂動メンバーの RMAX24 の予測を比較したものを図 3.3.5 に示す。TEPS コントロールランや GSM では西日本太平洋側の広い範囲に

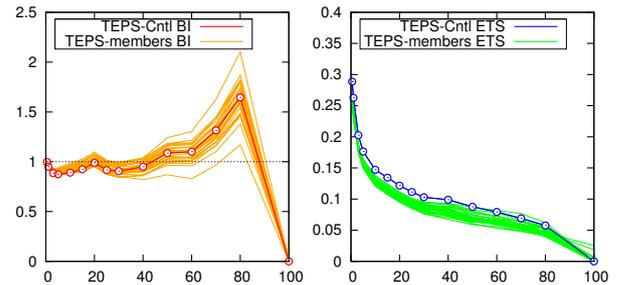


図 3.3.2 TEPS-Cntl と各摂動メンバーの MRR3 について、BI (左図、赤: TEPS-Cntl、橙: 各摂動メンバー) と ETS (右図、青: TEPS-Cntl、緑: 各摂動メンバー) を閾値別に比較した図。横軸は閾値 [mm/3h]。それぞれ FT=06-84 で検証を行っている。

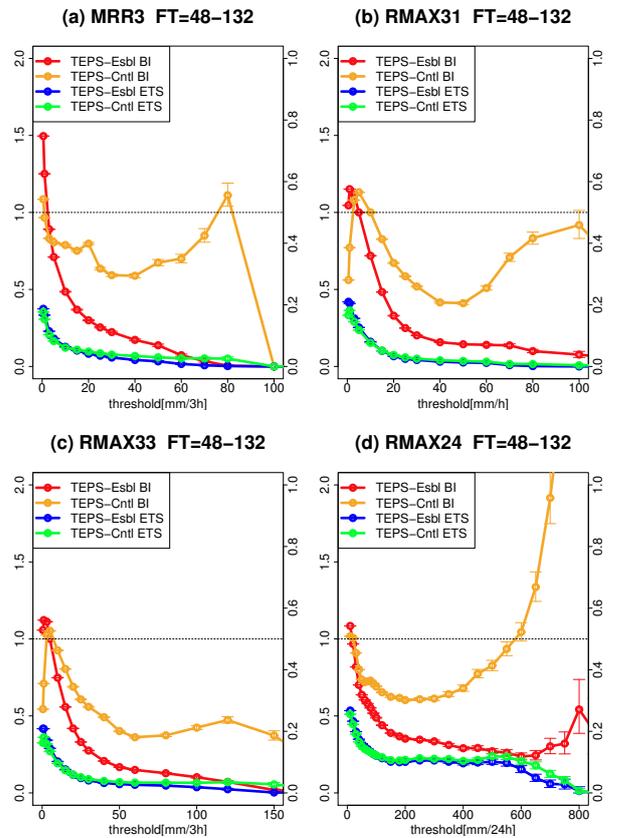


図 3.3.3 TEPS-Esbl と TEPS-Cntl の BI, ETS を閾値別に比較した図 (赤: TEPS-Esbl の BI、橙: TEPS-Cntl の BI、青: TEPS-Esbl の ETS、緑: TEPS-Cntl の ETS)。図の配置や軸、エラーバーの設定は図 3.3.1 と同じであり、すべて FT=48-132 で検証を行っている。

大雨を予測しているのに対し、進路予報誤差の小さいメンバーは四国東部と紀伊半島に大雨を予測しており、より実況に近い降水分布が得られていることが分かる。本事例のように、TEPS の予測が実況の台風進路を捉えられていれば、台風進路に近い摂動メンバーを参照することで、台風進路と整合のとれた降水ガイダンスを利用することができる。

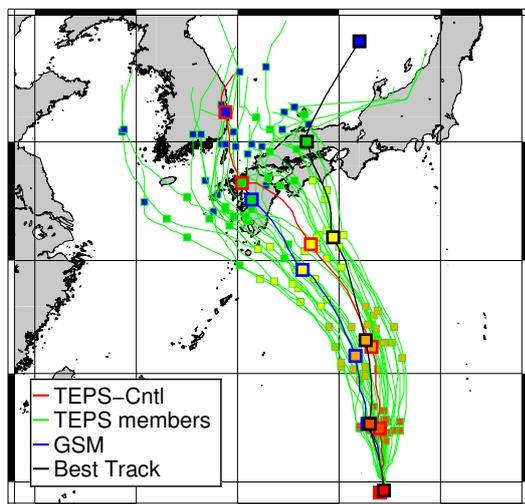


図 3.3.4 T1511 の各数値予報モデルの予想台風進路とベストトラックを示した。TEPS は 2015 年 7 月 13 日 00UTC 初期値、GSM は 2015 年 7 月 13 日 12UTC 初期値であり、赤線が TEPS コントロールラン、緑線が TEPS 摂動メンバー、青線が GSM の進路予測であり、黒線はベストトラックを示している。マーカーは 2015 年 7 月 13 日 00UTC から 24 時間毎にプロットしている。

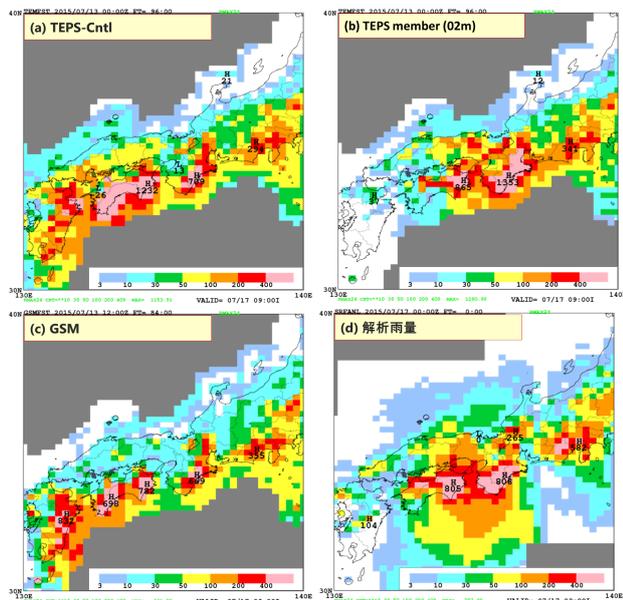


図 3.3.5 2015 年 7 月 17 日 00UTC を対象時刻とした RMAX24 の予測と解析雨量の比較図。(a) ~ (c) はそれぞれ TEPS コントロールラン、進路誤差の小さい摂動メンバー、GSM の降水量ガイダンス予測を、(d) は 24 時間積算の解析雨量を示している。なお、TEPS は 2015 年 7 月 13 日 00UTC 初期値の FT=96 の予測を、GSM は 2015 年 7 月 13 日 12UTC 初期値の FT=84 の予測を描画している。

3.3.5 まとめと利用上の注意点

TEPS 降水ガイダンスは TEPS の各メンバーについて GSM 相当の降水ガイダンスを作成したプロダクトである。本ガイダンスでは WEPS コントロールランで学習した係数を TEPS の各摂動メンバーに適用しており、コントロールラン相当に統計補正された降水ガイダンスを各摂動メンバーについて利用することができる。本ガイダンスについて、統計検証及び事例を通じた検証から分かる特徴を以下にまとめる。

1. TEPS 降水ガイダンスのコントロールランは、RMAX24 を除き、概ね GSM 降水ガイダンスと同等の精度・特性を持っている。RMAX24 については、200 mm/24h を超える強雨で GSM 降水ガイダンスより精度が低い。
2. 摂動メンバーの BI はコントロールランと同程度であり適切に系統誤差が補正されている。一方、摂動メンバーの ETS は統計的にはコントロールランに劣る。
3. アンサンブル平均の予測は弱い雨で降水頻度が高く、強い雨で降水頻度が低くなっており、そのまま量的な見積りに用いることは難しい。
4. 発表予報に近い摂動メンバーを選択することで、発表予報と整合のとれた降水ガイダンスを利用することができる。この際、台風進路の誤差が小さいメンバーを選択できれば、精度の高い降水ガイダンスを期待できる。

これらの点に留意して、TEPS 降水ガイダンスを有効に活用していただきたい。

3.3.6 今後の展望

最後に、本ガイダンスの今後の開発予定を述べる。まず、今後 GSM や MSM の降水ガイダンスが改良された場合には、本ガイダンスでも随時同様の変更を取り入れていく予定である。また、係数固定型である RMAX の予測式については、今後の降水ガイダンスの改良や数値予報モデルの更新予定などを踏まえつつ、作成手法の見直しや係数の再作成を検討していきたい。

参考文献

- 蟻坂隼史, 2013: 24 時間最大降水量ガイダンスの改良. 平成 25 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 42-48.
- 安藤昭芳, 2007: 降水確率、平均降水量、最大降水量ガイダンス. 平成 19 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 50-59.
- 小泉友延, 2009: 最大降水量ガイダンス. 平成 21 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 21-26.
- 小泉友延, 蟻坂隼史, 2010: 降水ガイダンスの改良. 平成 22 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 71-77.