4.1 発雷確率ガイダンスの改良¹

4.1.1 はじめに

GSM 発雷確率ガイダンス(以下、GSM-PoT)およ び MSM 発雷確率ガイダンス(以下、MSM-PoT)は、 20 km 格子毎に前3時間に発雷する確率(以下、PoT) をロジスティック回帰²を用いて予測する係数固定型 のガイダンスである。GSM-PoT 及び MSM-PoT の両 ガイダンスは、2009 年7月にその予測手法を統一した (高田 2009) 以降は大きな変更はなかった³。

今回 2015 年 5 月 26 日に、予測に用いる説明変数や 回帰式の作成方法などを改良し、その予測精度を向上 させた。本項では、これらの改良の詳細と新しいガイ ダンスの検証結果や利用上の留意点を解説する。

まず、第4.1.2項でガイダンスの変更点を述べる。次 に第4.1.3項と第4.1.4項で統計検証と事例検証から予 測特性の変化について説明する。最後に第4.1.5項で 本改良のまとめと利用上の留意点について述べる。以 降では、改良後のガイダンスを「新GSM-PoT」、「新 MSM-PoT」、または、まとめて「新ガイダンス」、改良 前のガイダンスを「旧GSM-PoT」、「旧MSM-PoT」、 または、まとめて「旧ガイダンス」と記述する。

4.1.2 予測手法の変更点について

本改良では、(1) ロジスティック回帰式で使用する説 明変数の見直し、(2) 回帰式作成時の層別化手法の変 更を行い、(3) 新たな期間で回帰式を作成した。本項 では、これらについて順に説明する。なお、発雷確率 ガイダンスの予測手法の詳細や変更のない点について は、高田 (2007) や高田 (2009) を参照されたい。

(1) 回帰式で使用する説明変数の見直し

表 4.1.1 に新旧ガイダンスの回帰式で使用する説明 変数を示す。発雷確率ガイダンスでは、予測に用いる 6 個の説明変数のうち、モデルの前 3 時間降水量、SSI⁴、 CAPE⁵ の 3 変数を必ず使用する必須変数とし、残り の 3 変数を候補変数の中から選択する。候補変数から の選択は、必須変数と候補変数の全組み合わせの回帰 式を総当たりで試し、AIC⁶を基準に最適な回帰式とな る変数を選択する。本改良では説明変数について、次 の(i)~(vi)に述べる変更を行った。まず、必須変数で あるSSIとCAPEの利用方法や計算方法の一部変更に ついて説明する。続いて、候補変数の変更として、可 降水量の気柱相対湿度への変更、850 hPa以下の気温 減率の計算方法を見直し、冬型降水指数を候補変数と する-10°C高度の層別化の限定、CAPEの前3時間 変化量の候補変数からの除外、についてそれぞれ説明 する。

(i) 大気下層の安定度に注目した SSI の利用

大気の成層安定度を表す指数の一つとして SSI があ る。一般に SSI は、850 hPa と 500 hPa 間で計算した値 (以下、SSI(850–500 hPa))が用いられる。旧ガイダン スでは、この SSI(850–500 hPa)のみを用いていたが、 新ガイダンスでは、-10 °C 高度(大気の温度が-10 °C となる高度)が3 km 未満の場合には、より大気下層の 安定度に注目した 925 hPa と 700 hPa 間で計算した値 (以下、SSI(925–700 hPa))を用いるように変更した。 これは、SSI(850–500 hPa)よりも SSI(925–700 hPa) の方が、夏季に比べて背の低い冬季の対流雲との対応 が良いと考えられるだけでなく、別途行った両 SSI の 統計調査の結果からも、冬季は SSI(925–700 hPa)の方 が発雷の予測に対して有効と判断したためである。

図 4.1.1 に、2015 年 1 月 19 日 00UTC を対象とした、 両 SSI と新旧 MSM-PoT の比較を示す。この事例では、 日本海側は広範囲に -10 °C 高度が 3 km を下回って おり(図略)、新 MSM-PoT では SSI(925-700 hPa) を用いる回帰式が使われている。旧 MSM-PoT では、 500 hPa の寒気に対応した SSI(850-500 hPa) が小さい 秋田沖を中心に高い PoT が予測されたが空振りとなっ ている。一方、SSI(925-700 hPa) は山陰沖へ広く不安 定な領域を表現しており、SSI(850-500 hPa)よりも発 雷を観測した領域との対応が良く、新 MSM-PoT は秋 田沖の空振りを軽減し、若狭湾から山陰沖の捕捉が改 善するなど旧 MSM-PoT より良い予測となった。この SSIの変更により、秋から冬にかけて日本海側で発生 する発雷に対して、ガイダンスの予測精度が改善する ことも確認しており、より下層の安定度を利用する方 が適していると言える。

(ii) CAPE の計算方法の一部修正発雷確率ガイダンスでは SSI の他に、もう一つ安定度

¹ 白山 洋平

² 実況が現象の有無の二値 (0,1) で表現できる現象の確率を 求める時に用いられる。予測式は、確率 pの対数オッズ比を 線形多項式で予測する形で、 a_i を回帰係数、 x_i を変数とし て、 $\ln(\frac{p}{1-p}) = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \cdots$ で表される。

³ GSM-PoT は、2014 年 3 月に行われた GSM の鉛直層数 増強・物理過程改良 (米原 2014) に伴って回帰式の作成期間 を新しくして回帰式を作成し直している。また、MSM-PoT は、MSM の予報時間が 2013 年 5 月に全初期時刻で 39 時間 に延長された (越智・石井 2013) 際に、予報時間の延長部分 は FT=30, 33 と同じ回帰式を使用するように変更している。 ⁴ SSI (Showalter's Stability Index): ショワルター安定指数 ⁵ CAPE (Convective Available Potential Energy):対流有 効位置エネルギー

⁶ AIC (Akaike's Information Criterion):赤池情報量基準。Lを最大尤度、kをパラメータの数として、AIC = $-2 \ln L + 2k$ で表される。モデル選択においては、多くの場合、AIC が最 小になるモデルが良いモデルとされる。発雷確率ガイダンス では、層別化ごとに AIC が最小になる回帰式を選択する。

	旧ガイダンス	新ガイダンス		
必須変数	モデルの3時間降水量	変更なし		
	SSI(850-500 hPa)	-10 °C 高度が 3 km 未満の場合は SSI(925-700 hPa)		
		に変更する。3 km 以上の場合は変更なし。		
	CAPE	変更なし。ただし、計算方法を一部修正する。		
	—10 °C 高度	変更なし		
	下層風(700 hPa 以下)の東西成分	変更なし		
	下層風(700 hPa以下)の南北成分	変更なし		
	鉛直シアー(850-500 hPa)	変更なし		
	500 hPa の渦度	変更なし		
候補変数	850 hPa 以下の気温減率	変更なし。ただし、計算方法を見直す。		
	夕刑除之长券	変更なし。ただし、 $-10~^{ m oC}$ 高度が $5~{ m km}$ 未満の場合の		
	~空阵小拍数 	み候補変数とする。		
	コ限セ星	気柱相対湿度(鉛直方向に飽和していると仮定した飽		
	」 「「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」	和可降水量に対する可降水量の比率)に変更する。		
	CAPE の前3時間変化量	候補変数から除外する。		

表 4.1.1 新旧発雷確率ガイダンスで使用する説明変数の比較



図 4.1.1 2015 年 1 月 19 日 00UTC の SSI と新旧ガイダン スの比較。(a) は SSI(925–700 hPa)[°C]、(b) は SSI(850– 500 hPa)[°C]、(c) 及び (d) は新旧 MSM–PoT[%]、(e) は 発雷実況、(f) は MSM の 500 hPa の気温 [°C](塗り分 け)と高度 [m](赤線)の予測。発雷実況は、付録 A.2.7 の目的変数と同じ方法で作成しており、発雷の観測された 格子を赤色で示している。

指数として、浮力による最大上昇流と関係する CAPE を用いている。CAPE には持ち上げる気塊の高度の設 定に任意性があるが、発雷確率ガイダンスでは、モデ ル地上面及び 925 hPa 面から持ち上げた CAPE(以 下、CAPE(925 hPa))を計算し⁷、大きい方を説明変 数として使用している。この際、旧ガイダンスではこ の CAPE(925 hPa)の計算時に、正しい高度の露点温 度が使用されていないという誤りがあった。この誤り により、旧ガイダンスでは、大気下層に逆転層があり CAPE(925 hPa)が採用される場合などに PoT が過大 になる事例があったため、適切な計算となるよう修正 した。

図4.1.2 に、旧ガイダンスで誤った CAPE による影響 が大きかった事例における、新旧ガイダンスの CAPE とPoTを示す。旧ガイダンスでは、北海道の西海上や 東北地方で大きな CAPE が計算されており、PoT も高 い予測となっているが、実況では発雷することなくガ イダンスは空振りであった。この事例での各説明変数 のPoT への寄与量を求めると、CAPE がPoT への寄 与が最も大きく、また CAPE(925 hPa)の値が採用さ れていた。新ガイダンスでは、この CAPE の計算方法 を修正したことで、旧ガイダンスに見られた PoT の空 振りが減少することを確認している。また、回帰式作 成時にもこのような誤った値が用いられなくなること で、より精度の高い回帰式を作成することができるよ うになった。

⁷ モデルの地上気圧が 925 hPa よりも低い場合には、等圧 面予報値のうち地上気圧の直上となる等圧面から持ち上げて 計算する。



図 4.1.2 2014 年 5 月 28 日 18UTC の新旧ガイダンスの CAPE と PoT の比較。(a) は修正後の CAPE[10³J/kg]、 (b) は修正前の CAPE[10³J/kg]、(c) 及び(d) は新旧 GSM-PoT[%]、(e) は発雷実況、(f) は地上天気図。発雷 実況は、付録 A.2.7 の目的変数と同じ方法で作成しており、 発雷の観測された格子を赤色で示している。

(iii) 可降水量を気柱相対湿度に変更

可降水量は、地上面から鉛直方向に大気の柱を考え た時に、気柱に含まれる水蒸気や雲がすべて凝結して 地上に落下した時の降水量を表している。気柱が含み うる水蒸気などの絶対量は、気温が高いほど多くなる。 このため、可降水量は季節によって取り得る値が大き く変動する。係数固定型のガイダンスでは、説明変数 の季節変動ができるだけ小さい方が、回帰式が期間を 通して適切な予測をし、その予測精度が向上する。そ こで、本改良では可降水量をより季節変化の小さい気 柱相対湿度に変更した。気柱相対湿度は、鉛直方向に 飽和していると仮定した飽和可降水量に対する可降水 量の比率であり、その時々の気温の鉛直プロファイル に対して気柱がどの程度の水蒸気を有しているかを表 現する。

図 4.1.3 は、MSM から計算した可降水量と気柱相対 湿度のデータの分布を、発雷実況の有無別・季節別に 示した箱ひげ図である。この図は、-10°C 高度が3~ 5 km、北陸地方の区域、予報時間が FT=3~9の場合 のデータを元に作成しており、この3つの層別化条件



図 4.1.3 MSM から計算した (a) 可降水量 [mm] と (b) 気柱 相対湿度の発雷実況の有無別・季節別のデータの分布図。 -10 °C 高度が 3~5 km、北陸地方の区域、予報時間が FT=3~9 の場合で、青色が発雷なし、赤色が発雷ありの 対の箱ひげ図が、左から春 (Spr, 3~5月)、夏 (Sum, 6 ~8月)、秋 (Aut, 9~11月)、冬 (Win, 12~2月)、通 年 (All) の順に並んでいる。箱にはデータの 50%が含ま れ、箱から伸びるひげは、データの最大値または最小値を 表す。

のもとで使用される回帰式は1つに決まる。箱の位置 に注目すると、図4.1.3(a)の可降水量は季節によって データの分布が大きく変動し、また発雷事例と非発雷 事例のデータを二分する値も変動していることが分か る⁸。一方、図4.1.3(b)の気柱相対湿度では、大きな 季節変動は見られず、また季節によらず発雷の有無を 分ける値も概ね一定であることが分かる。このような 季節変動が少ない特徴が確認できたこと、またガイダ ンスの候補変数に加えた実験でも数多く回帰式に採用 され、ガイダンスの予測精度の改善に効果があったた め、可降水量を気柱相対湿度に変更した。

(iv) 850 hPa 以下の気温減率の計算方法の見直し

より正確な気温減率を計算できるように、計算方法 の見直しを行った。旧ガイダンスの計算方法では、計算 される値が現実離れした大きな値となる場合が多かっ た。ガイダンスはこういった値に対しても、回帰係数

⁸ 図 4.1.3(a) 可降水量の春の場合なら、およそ 18 mm、夏 の場合なら、およそ 25 mm といった、可能な限り発雷・非 発雷事例を分離できる閾値に注目している。

の大きさや他の説明変数の寄与と相殺することで一見 適切な回帰式を作成してしまうため、PoTの予測とし て大きな問題が現れにくかったと考えられるが、本改 良にあわせて計算方法の見直しを行った。この変更に よって、旧ガイダンスに比べて候補変数として気温減 率が選ばれる回数が増えており、見直しの効果が表れ ていると考えられる。

(v) 冬型降水指数⁹ を候補変数とする -10 °C 高度の 層別化を限定

冬型降水指数の利用を、-10°C高度が5km未満 の回帰式のみに限定した。旧ガイダンスでは、-10°C 高度の層別化に応じて制限することなく、常に冬型降 水指数を候補変数として扱っていた。このため、主に 夏季の発雷を対象とする-10°C高度が5km以上の 場合の回帰式でも、説明変数として採用される場合が あった。これは、他に効果的な変数が無い場合に採用 されているか、もしくは冬型降水指数がその算出過程 から500hPaより下層の不安定層の厚さを加味してい るため中上層の寒気の情報を持つことによると考えら れる。しかし、もともとは冬型時の降水精度を改善す るために開発された指数であること、候補変数とする -10°C高度の層別化を限定した実験を行った場合も、 ガイダンスの予測精度に目立った影響が無かったこと から利用の限定を行うこととした。

(vi) CAPE の前3時間変化量を候補変数から除外

CAPE の前3時間変化量を候補変数から除外した。 本変数は、時間の経過とともに安定度が悪くなってい くような状態を表現することを目的とした変数であっ たが、旧ガイダンスにおける採用数は他の変数と比べ て少なかった。本変数を候補変数から除外する実験を 行った場合でも、ガイダンスの予測精度に影響が見ら れなかったため、回帰式の作成プロセスをシンプルに することを目的として候補変数から外すこととした。

(2) 回帰式作成時の層別化手法の変更

発雷確率ガイダンスでは、予測に用いる回帰式を、 (i)-10 °C 高度、(ii) 予測特性の似通った 20 km 格子 をまとめた区域 ¹⁰、(iii) 予報時間の 3 つにより層別化 している。本改良では、これらのうち (i)-10 °C 高度 に関する取り扱いを変更した (表 4.1.2)。

旧ガイダンスでは、回帰式作成時と回帰式利用時(予 測時)のどちらの場合も同じ、-10°C高度が3km未 満、3~5km、5km以上(午前)、5km以上(午後)の 4通りに層別化していた。新ガイダンスでは、回帰式作 成時の層別化を、3.5km未満、2.5~5.5km、4.5km

表 4.1.2	新旧ガイダンスの -10 °C 高度層別化の比較		
 旧ガイダンス			

【回帰式作成時、予測時】
-10 °C 高度が 3 km 未満、3~5 km、5 km 以上
(午前) 5 km 以上 (午後)の4通り
新ガイダンス
【回帰式作成時】
-10 °C 高度が 3.5 km 未満、 2.5 ~ 5.5 km、4.5 km
以上(午前) 4.5 km 以上(午後)の 4 通り
【予測時】

-10 °C 高度が 3 km 未満、3~5 km、5 km 以上 (午前)、5 km 以上(午後)の4 通り

以上(午前) 4.5 km以上(午後)の4通りに変更し、 各層間で回帰式作成に使用するデータを重複させるよ うにした。この変更により、各層で回帰式作成に使用 できるサンプル数が増えるため、予測精度の高い回帰 式が求まりやすくなることが期待される。また、層ご とのサンプルを重複させることで、作成される回帰式 の特性は旧ガイダンスの場合よりもお互いに近いもの になりやすくなるため、予測時に –10 °C 高度が層と 層の境界に近い場合に、使用する回帰式が予報時間の 途中で切り替わる際の影響を受けにくくなると考えら れる。これら変更の効果として、高確率を中心とした PoT の空振りが減少するなど、予測精度の改善を確認 している。

(3) 新たな期間での回帰式の作成

GSM-PoT 及び MSM-PoT について、(1) および(2) の改良を加えた仕様で回帰式を再作成した。

GSM-PoT については、鉛直層数増強・物理過程改 良(以下、100 層化)された GSM のデータから作成 した回帰式を本運用とした。ただし、100 層化以降の GSM のデータのみでは検証を行うための十分な期間が 確保できなかったため、本改良の評価については 100 層化以前のデータ(図 4.1.4 中の 60 層 GSM)も用い て作成した回帰式で行っている(図 4.1.4)。この 100 層 GSM と 60 層 GSM のデータをつなげて作成した評 価用の回帰式と、100 層化以降のデータのみを使って 作成した本運用の回帰式の 2 つの性能を、両回帰式作 成に使ったデータの期間が重なる 2012 年 12 月~2013 年 11 月で比較したところ、その予測精度は同程度で あった。このことから、この後、第 4.1.3 項で示す検証 結果は本運用とする回帰式についても概ね当てはまる と考えられる。

MSM-PoT については、回帰式の作成に使用した期間にガイダンスの精度に影響を与えるほどの大きなモデルの特性の変化はなかったため、評価用と本運用の回帰式は同じである(図4.1.4)。

⁹ 冬型降水指数:風向別降水率×850 hPaの風速×(海面と下 層温位の飽和比湿差)。下層温位の飽和比湿は、850-500 hPa 間の層厚温度を一般的な気温減率で海面まで下ろした気温で の飽和比湿である。

¹⁰ 使用する区域分けは高田 (2009)の第 2.1.19 図を参照。



図 4.1.4 ガイダンス作成期間。図中の 60 層 GSM と 100 層 GSM は、それぞれ GSM の鉛直層数増強・物理過程改良 (米原 2014)の以前と以後の GSM を指す。100 層 GSM の期間のうち、2012 年 12 月~2014 年 3 月には、100 層 GSM の業務化 試験データ、GSM 発雷確率ガイダンスの回帰式の再作成のために延長された実験期間 (白山 2014)、100 層 GSM が本運用 となる前の試験運用期間のデータが含まれる。

4.1.3 統計検証

GSM-PoT 及び MSM-PoT について、新ガイダン ス、旧ガイダンスの両者の予測精度を比較する。検証 期間は、2014年4月から2015年3月の1年間とし、回 帰式作成に使用する全国の格子(20 km 格子)を対象 とした¹¹。検証対象とした初期値や予報時間は次の通 **りである。初期値は、**GSM-PoT は 00, 06, 12, 18UTC を、MSM-PoT は 03, 09, 15, 21UTC を対象とした。 予報時間は、閾値別の ETS (エクイタブルスレットス コア)及び月別のBSS(ブライアスキルスコア)では、 GSM-PoT \downarrow FT=15 ~ 36 ϵ , MSM-PoT \downarrow FT=12 ~33 を対象とした。予報時間別の BSS は、それぞれ FT=6~84、FT=6~39 をともに3時間毎、予報時間 別の信頼度では、それぞれ FT=12~84 を 12 時間毎、 FT=6~39を6時間毎を対象とした。なお、第4.1.2項 (3) で述べた通り、GSM-PoT については 100 層化前後 のデータをつなげて作成した回帰式の検証結果を示す。

はじめに、GSM-PoT 及び MSM-PoT の閾値別の ETSを図4.1.5(a), (b) に示す。GSM-PoT、MSM-PoT ともに新ガイダンスの方が旧ガイダンスより ETS の ピーク値が大きい。これは ETS がピーク値をとってい る確率値を目安に発雷の有無を予測した時に新ガイダ ンスの方が予測精度が高いことを意味している。また、 この ETS がピーク値をとる確率値は、旧ガイダンスと 変わらず GSM-PoT、MSM-PoT ともに 20%である。 このことは改良の前後で発雷の有無を検討する際のガ イダンスの目安については大きく変更する必要がない ことを示している。

図 4.1.5(c), (d) 及び (e) に予報時間別と月別の BSS を示す。BSS は気候値予測を基準とした予測の改善度 合いを示し、値が大きいほど予測精度が高いことを表 す。予報時間別 BSS からは、GSM-PoT 及び MSM-PoT の新ガイダンスは旧ガイダンスに比べて全予報時 間にわたって予測精度が改善したこと、その改善幅は GSM-PoT より MSM-PoT の方が大きいことが分か る。これは、GSM-PoT は GSM100 層化の際に回帰式 を再作成しているが、MSM-PoT は 2009 年 7 月以降 はじめての回帰式の見直しとなったため、予測手法改 良の効果に加えて、最近のモデルのデータを用いて回 帰式を再作成したことによる効果と考えられる。また、 月別 BSS からは、ほぼ1年を通して新ガイダンスは旧 ガイダンスを上回る予測精度となっていることが分か る。夏季は改良の前後で予測精度が同等であるが、こ れは今回の改良項目に夏季に効果の大きい改良が少な かったためと考えている。

次に予報時間別の信頼度曲線を図 4.1.6 に示す。確率 値を予測するガイダンスでは、予報時間に依らず予測 の信頼度が保たれることが重要である。数値予報モデル は予報時間が長くなるほど予測の不確実性が増すため、 ガイダンスもこの不確実性を考慮した回帰式を用意す る必要がある。発雷確率ガイダンスでは、予報時間に よって回帰式の係数を変化させる、つまり層別化を行 うことで信頼度を保つ仕様としている。しかし、旧ガ イダンスの信頼度曲線は特にGSM-PoT で、予報時間 後半、特に高確率の信頼度がy=xの理想直線から離 れて、予測頻度が過大となる傾向が見られた。この予測 頻度が過大な傾向は、GSMの100層化の際に行った回 帰式作成時に区域をまとめた九州南部の海上から奄美、 沖縄の区域の予測が大半を占めていることを確認して いる¹²。新ガイダンスでは、手法の改良等により当該 地域での PoT が過大な傾向が軽減され、ガイダンスの

¹¹ 海岸線から離れた格子は回帰式作成に用いていないため検 証対象外とした。図 4.1.2の予測図と図 4.1.7の検証図を比 べると、後者は一回り狭くなっている。

¹² 新 GSM-PoT でも、この九州南部の海上から奄美、沖縄の区域をまとめる仕様は継続している。また、新 MSM-PoT は GSM-PoT と仕様を揃えるために、区域をまとめるよう変更した。

信頼度が改善している。この旧ガイダンスで過大な予測になりやすかった特徴については第4.1.4項で該当する事例を示す。また、新MSM-PoTも新GSM-PoTと同様に本改良によって予報時間後半・高確率のガイダンスの信頼度が改善している。

最後に、20 km 格子毎に検証した BSS の分布図を図 4.1.7 に示す。差分図(図4.1.7(c))から新 MSM-PoT は、ほぼ全国的にガイダンスの予測精度が改善してい ること、特に北日本や日本海側でその改善が大きいこ とが見て取れる。北日本や日本海側で改善が大きいの は、月別 BSS の傾向から秋~冬のガイダンスの予測精 度が改善したことと関係している。なお、新 GSM-PoT も新 MSM-PoT よりは改善幅が小さいが、全国的に旧 GSM-PoT を改善することを確認している(図省略)。

4.1.4 事例検証

事例を通して、本改良の効果や予測特性への影響を 示す。

はじめに、夏季の発雷事例や、旧ガイダンスでも予 測精度が高かった秋~初冬の日本海側の発雷事例につ いて示す。統計検証からこれらの季節は、新ガイダン スでも旧ガイダンスと同等かそれ以上の予測精度があ ることが確認できている。例として図 4.1.8 に夏季の 関東甲信地方で発生した顕著な発雷事例と、既出にな るが図 4.1.1 に冬季の日本海側の事例を示す。どちらの 事例も新ガイダンスは旧ガイダンス同様、実況で発雷 する領域を予測できており、特に冬季の事例について は、PoT を予測する領域がより適切になっている。こ れは前述のとおり、回帰式に使用する説明変数の見直 しによる効果である。

次に本改良によって予測特性に変化が見られる事例 を図 4.1.9 及び図 4.1.10 に示す。図 4.1.9 は屋久島の 西海上で、旧GSM-PoT で高い PoT が予測された空 振り事例であるが、新GSM-PoT では空振りの度合い が大きく軽減された。この事例は、第4.1.3項で新旧 GSM-PoT の信頼度の検証の際に述べた、予報後半に おける高確率の信頼度の改善に寄与した予測の一例で ある。図 4.1.10 は逆に、東海から関東の海上を中心に 新 MSM-PoT の確率値が高くなり、沿岸での空振りが 増してしまった例である。本改良では、前者の例のよ うに大きく改善できた場合もあるが、後者のように改 悪となってしまう場合も見られ、すべての場合に改善 するわけではない。ただし、後者の事例については、 新 GSM-PoT が新 MSM-PoT より適切な予測である ことを確認しており、両ガイダンスを併用して発雷有 無の予測に用いることは、旧ガイダンスに引き続き有 効な利用方法であると言える。

最後にガイダンスの予測が大きく改善した事例を示 す。図4.1.11は2015年4月14日09UTCを対象とする 新旧MSM-PoTで、上空に強い寒気を伴ったトラフの 接近によって大気の状態が不安定となり、西日本から東 日本の広い範囲で発雷した事例である。新 MSM-PoT は九州の西海上から中国地方、豊後水道に高い PoT を 予想しており、広範囲に及ぶ発雷をほぼ捕捉した。旧 MSM-PoT では中国地方や豊後水道の発雷を予測でき ておらず、新 MSM-PoT の予測は改善したと言える。 また、旧 MSM-PoT は九州北部で周囲より極端に高 い PoT を予測する格子があったり、九州の西海上の高 PoT 域が途切れているなど不自然な分布となっていた が、新ガイダンスではこれらが改善されている。この ように、予測手法の改良によって旧ガイダンスでは捉 えられなかった発雷も新ガイダンスでは予測できる場 合があることを示しており、本改良による改善事例の 1 つである。

4.1.5 まとめと利用上の留意点

本改良では発雷確率ガイダンスについて、(1)回帰式 で使用する説明変数の見直し、(2)回帰式作成時の層別 化手法の改良、(3)新たな期間での回帰式の作成、以上 の3点の変更を行うことで予測精度の改善を得た。新 ガイダンスの統計的、及び事例を通した検証から以下 のようにまとめられる。

- 新ガイダンスは、旧ガイダンスに比べて ETS の ピーク値が大きく、このピークとなる確率値を目 安に発雷の有無を予測したときの予測精度が改善 した。また、予報時間別や月別、格子毎の検証な ど、さまざまな検証方法で新ガイダンスの予測精 度の改善が確認できた。
- 2. 確率予報として重要な予測の信頼度は、おもに予 報時間後半、及び高確率予測時に改善した。
- 夏季の不安定事例や冬季の日本海側の発雷事例に ついては、旧ガイダンスと同等以上の予測精度で あることを示した。また、改良によって旧ガイダ ンスより高確率を予測できる発雷事例が増加した。
- ガイダンスの予測手法の改良により、予測特性が 変化する場合がある。また、事例によっては本改 良によって改悪となる場合もある。

繰り返しになるが、1. については予測精度がピーク となる確率の閾値は 20%前後で旧ガイダンスと変わり なく、発雷の有無を判断する目安の確率を大きく見直 す必要はない。また、4. の予測特性の変化については、 示した事例では GSM-PoT と MSM-PoT の比較が有 効であり、本改良前と同様に両ガイダンスの比較は、発 雷確率ガイダンス利用においての有効な方法であると 言える。この他、高田 (2009) が示したガイダンス利用 時の留意点は、新ガイダンスにおいても大きくは変わ らない。これらの点を把握して、これまで同様に発雷 確率ガイダンスを有効に利用していただきたい。



図 4.1.5 新旧ガイダンスの ETS 及び BSS。(a) 及び (b) は、各確率を閾値として発雷を予測した場合の新旧ガイダンスの ETS で、(a)GSM-PoT、(b)MSM-PoT。(c), (d) 及び (e) は、BSS の新旧比較図で、(c) 予報時間別、(d)GSM-PoT の月別、(e)MSM-PoT の月別。図の横軸は (a) 及び (b) は確率の閾値、(c) は予報時間、(d), (e) は検証対象の年月を表す。



図 4.1.6 新旧ガイダンスの予報時間別の信頼度曲線。(a) は旧 GSM-PoT、(b) は新 GSM-PoT、(c) は旧 MSM-PoT、(d) は 新 MSM-PoT で色は予報時間を表す。



図 4.1.7 MSM 発雷確率ガイダンスの BSS 分布図。(a) は新 MSM-PoT の BSS 分布図、(b) は旧 MSM-PoT、(c) は新旧 MSM-PoT の BSS の差分図。(c) の差分図は赤いほど新 MSM-PoT の予測精度が高いことを表す。



図 4.1.8 2014 年 6 月 25 日 06UTC を対象時刻とする新旧 MSM-PoT[%] と発雷実況。発雷実況は、付録 A.2.7 の目的変数と 同じ方法で作成しており、発雷の観測された格子を赤色で示している。



図 4.1.9 図 4.1.8 に同じ。ただし、2015 年 1 月 23 日 00UTC を対象時刻とする新旧 GSM-PoT[%]。



図 4.1.10 図 4.1.8 に同じ。ただし、2015 年 7 月 19 日 18UTC を対象時刻とする新旧 MSM-PoT[%]。



図 4.1.11 図 4.1.8 に同じ。ただし、2015 年 4 月 14 日 09UTC を対象時刻とする新旧 MSM-PoT[%]。

参考文献

- 越智健太,石井憲介,2013:領域拡張・予報時間 39 時 間化されたメソモデルの特性.平成 25 年度数値予報 研修テキスト,気象庁予報部,1-17.
- 白山洋平, 2014: 発雷確率ガイダンスへの影響と対応. 平成 26 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 35-39.
- 高田伸一, 2007: 発雷確率ガイダンス. 平成 19 年度数 値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 91-93.
- 高田伸一, 2009: 発雷確率ガイダンス. 平成 21 年度数 値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 39-43.
- 米原仁,2014: 改良された全球数値予報システムの特 性. 平成26年度数値予報研修テキスト,気象庁予報 部,1-3.

4.2 時系列湿度ガイダンスの開発¹

4.2.1 はじめに

湿度の予測は乾燥注意報や火災気象通報の発表に必要であるとともに霧やもやなど視程障害現象の発生予想にも有効である。現在、湿度に関するガイダンスとして乾燥注意報の発表支援に用いる「最小湿度ガイダンス」(鎌倉2007)は運用されているものの、実効湿度²の予測に必要な毎時の湿度ガイダンスは運用されていない。このため、2013年度より数値予報モデルの湿度予測の系統誤差を取り除いて、モデル予測値より精度が高い時系列湿度ガイダンスの開発を進めてきた。当ガイダンスは2015年度内に運用開始を予定していることから、その概要と特性について紹介する。

4.2.2 ガイダンスの仕様

表 4.2.1 に時系列湿度ガイダンスの仕様を示す。この ガイダンスはカルマンフィルターを用いた逐次学習方 式を採用し、GSM ガイダンス及び MSM ガイダンス (以降、GSM ガイダンスを GSM-G、MSM ガイダンス を MSM-G と呼ぶ)ともに毎正時の湿度を予想する。 ガイダンス作成に用いる説明変数は、主要地点の各要 素で相関行列を作成し多重共線性を防ぐために相関の 強い要素を単一化した上で、ステップワイズ法(変数 増減法)を用いて選択する。選択された説明変数につ いては表 4.2.1 を参照されたい。予測式は GSM-G 及 び MSM-G ともに、日変化などを考慮して各初期値及 び各 FT 毎に層別化している。

この毎時の湿度予想を利用して、予想日平均湿度を 計算し、さらに、前日までの観測値による実効湿度を

ガイダンス名	時系列湿度ガイダンス		
利用モデル	GSM	MSM	
初期時刻 (UTC)	00~18の6h毎	00~21の3h毎	
予想要素	毎正時の湿度		
予報時間	FT=3~84	FT=1~39	
予報地点	気象官署、特別地域気象観測所		
	地上相対湿度		
	地上風向(東西南北)の各風成分		
	地上風速		
説明変数	下層雲量		
(モデル予想値)	中層雲量		
	前1時間降水量		
	海面更正気圧		

表 4.2.1 時系列湿度ガイダンスの仕様

¹ 高桑 健-

利用して予想実効湿度も計算する (表 4.2.2)。MSM-G の 15UTC 初期値を例とした当日の予想実効湿度の計 算は式 (4.2.1) の通りである³。

前日の観測実効湿度×0.7 + 予想日平均湿度×0.3 (4.2.1)

なお、MSM の 18UTC 及び 21UTC 初期値について はモデルの予報時間の制約で日平均湿度及び実効湿度 を作成していない。

4.2.3 ガイダンスの検証

ここでは、寒候期(2013年10月1日~2014年3月 31日)及び暖候期(2014年4月1日~9月30日)の 時系列湿度ガイダンスの検証結果と同ガイダンスから 計算した日平均湿度予想の検証結果及び実効湿度予想 の検証結果を示す。

初めに GSM の 00UTC 初期値における各予報時間 (FT=3~84) での全計算地点(154 地点)の平均の湿度 時系列ガイダンス及びモデルの RMSE と ME の検証結 果を寒候期と暖候期に分けて示す(図 4.2.1)。寒候期 では、ガイダンスの RMSE(赤線)はモデルの RMSE (青線)を各予報時間ともに $3 \sim 5\%$ 程改善しており、ガ イダンス自体の RMSE は $10 \sim 12\%$ 前後となっている。 モデルの ME(水色線)は正バイアスで1日程度の周期 的な変動があって誤差が大きいが、ガイダンスの ME (紫色線)は誤差 0%付近にあり、モデルを大きく改善 している。

暖候期については、RMSE ではガイダンス(赤線) がモデル(青線)を3~6%程度改善していて、さらに モデルにある半日程度の周期的な変動も縮小している。 ME においてもモデル(水色線)の誤差及び半日程度 の周期の時間変動を大きく改善している。

初期值 (UTC)	当日	明日	明後日	明々後日
GSM 00UTC				
GSM 06UTC				
GSM 12UTC				
GSM 18UTC				
MSM 00UTC				
MSM 03UTC				
MSM 06UTC				
MSM 09UTC				
MSM 12UTC				
MSM 15UTC				

表 4.2.2 モデルの各初期時刻から予想できる日平均湿度及 び実効湿度の予報対象日(日本時間)

² 実効湿度は木材の乾燥の程度を表す指数で、数日前からの 湿度が考慮されているという特徴がある。

³ 湿度の観測値が欠測の場合にはガイダンスの予測値を用い て実効湿度を計算する。



図 4.2.1 全計算地点の時系列湿度ガイダンス及びモデルの RMSE と ME (縦軸)。GSM の 00UTC 初期値、FT=3 ~84 (横軸)における検証結果、(a) 寒候期 (2013 年 10 月 1日~2014 年 3 月 31 日)、(b) 暖候期 (2014 年 4 月 1 日 ~9 月 30 日)。赤線:ガイダンスの RMSE、紫色線:ガイ ダンスの ME、青線:モデルの RMSE、水色線:モデルの ME。

次に MSM の 00UTC 初期値における各予報時間 (FT=1~39) での全計算地点の平均の時系列湿度ガイ ダンス及びモデルの RMSE と ME の検証結果を寒候 期と暖候期に分けて示す(図 4.2.2)。寒候期では、ガ イダンスの RMSE(赤線)は9~10%程度となってお り、モデルの RMSE(青線)を2~4%程度改善してい る。モデルの ME(水色線)は負バイアス傾向で日変 化があるが、ガイダンスでの ME(紫色線)は0%程度 と、モデルを改善している。

暖候期については、RMSE ではガイダンス(赤線) はモデル(青線)を相対誤差で1~4%程度改善してい る。ガイダンス(紫色線)のMEは0%程度であり、モ デル(水色線)の誤差を小さくしている。

以上より、各ガイダンスともに数値予報モデルのバ イアスを除去できており、ME は概ね0%程度となって いる。この結果として RMSE も小さくなりモデルを良 く改善している。GSM と MSM の精度は、現在運用中 の最小湿度ガイダンスの精度(RMSE で 8~10%前後、 ME で0~1%程度)とほぼ同等であると言える(図略)。 また、GSM-G と MSM-G とで時系列湿度ガイダンス の精度を比較すると MSM-G の方が精度が良かった。 なお、00UTC 初期値以外でも同様の結果であった。



図 4.2.2 全計算地点の時系列湿度ガイダンス及びモデルの RMSE と ME (縦軸)。MSM の 00UTC 初期値、FT=1 ~39 (横軸)における検証結果、(a) 寒候期 (2013 年 10 月 1 日~2014 年 3 月 31 日)、(b) 暖候期 (2014 年 4 月 1 日 ~9 月 30 日)。赤線:ガイダンスの RMSE、紫色線:ガイ ダンスの ME、青線:モデルの RMSE、水色線:モデルの ME。

全国の各地域毎の誤差の特徴や傾向を見るため、寒 候期でのGSM-GOUTC初期値のFT=24における気 象官署及び特別地域気象観測所の地点毎のRMSEを図 4.2.3に示す。RMSEは全国の地点で概ね8~10%程度 であるが、本州の中部山岳地帯では12~13%と他の地 点に比べ高くなっている。これらは標高が高い地点で あり、放射冷却等により気温の予想が実況よりも低く なることで、湿度の予想が実況より高くなったためと 考えられる。MEでも正バイアス傾向が見られる。こ のほか、北海道地方、本州及び九州北部地方の日本海 側でやや精度が低い傾向があり、これは冬型の気圧配 置におけるしぐれの天候により断続的に雪または雨に よる降水があり、湿度も時間変動が大きくガイダンス での予測が難しいことが影響している。

暖候期での GSM-G の 00UTC 初期値における FT=24 の地点毎の検証図 (図 4.2.4)を見ると、寒候 期と比べて本州中部山岳地帯の RMSE は小さいが、北 海道地方のオホーツク海側などで RMSE が大きい地点 がある。RMSE が大きくなった要因としては、寒冷なオ ホーツク海高気圧と海陸風の影響で気温の実況が予想 よりも低下したことや海霧の移流により湿度の誤差が 大きくなったことが考えられる。南西諸島では RMSE



図 4.2.3 時系列湿度ガイダンスの地点毎の RMSE[%]。GSM-G の 00UTC 初期値、FT=24 における検証結果、寒候期 (2013 年 10 月 1 日 ~ 2014 年 3 月 31 日)。



図 4.2.5 時系列湿度ガイダンスの地点毎の RMSE[%]。MSM-G の 00UTC 初期値、FT=24 における検証結果、寒候期 (2013 年 10 月 1 日~2014 年 3 月 31 日)。

が6%程度と他の地域より精度が高い。これは島は周 りが海に囲まれており高湿度の上、気温や湿度の日較 差が小さいことが影響している。

次に寒候期の MSM-G の 00UTC 初期値の FT=24 における気象官署及び特別地域気象観測所の地点毎の RMSE(図 4.2.5) を見る。RMSE は全国的には 8~10%



図 4.2.4 時系列湿度ガイダンスの地点毎の RMSE[%]。GSM-G の 00UTC 初期値、FT=24 における検証結果、暖候期 (2014 年 4 月 1 日~9 月 30 日)。



Gの00UTC初期値、FT=24における検証結果、暖候期 (2014年4月1日~9月30日)。

程度の地点が多いが、地域毎に見るとGSM-Gと同様 に本州の中部山岳地帯で12~13%程度と他の地点に比 べ大きくなっている。RMSEが大きい要因はGSM-G の場合と同じと考えられ、MEでも正バイアス傾向が 見られる。また、北海道地方、本州、九州北部地方の 日本海側で平均よりも精度が低いのは、GSM-Gと同



図 4.2.7 全地点の日平均湿度の RMSE と ME。GSM-G の 12UTC 初期値。寒候期 (2013 年 10 月 1 日 ~ 2014 年 3 月 31 日) 及び暖候期 (2014 年 4 月 1 日 ~ 2014 年 9 月 30 日) の検証結果。



図 4.2.9 全地点の実効湿度の RMSE と ME。GSM-G の 12UTC 初期値。寒候期 (2013 年 10 月 1 日~2014 年 3 月 31 日) 及び暖候期 (2014 年 4 月 1 日~2014 年 9 月 30 日) の検証結果。

様に冬型の気圧配置時におけるしぐれの天候により断 続的に降水があり、湿度の誤差が大きくなったためで ある。

暖候期の MSM-G での 00UTC 初期値の FT=24 にお ける地点毎の検証図(図4.2.6)を見ると、GSM-Gと同 様に寒候期と比べて本州中部山岳地帯の RMSE は小さ いが、北海道地方のオホーツク海側などで RMSE が大 きい地点がある。RMSE が大きくなった要因は GSM-Gと同じく、寒冷なオホーツク海高気圧と海陸風の影 響で気温と湿度の誤差が大きくなったためと考えられ る。GSM-Gと同様に、南西諸島では RMSE が 6%程 度と他の地域より精度が高い。これも GSM-Gと同様 に湿度の日較差が小さいことが影響している。本稿で は FT=24 の検証結果を示したが、他の予報時間にお いても同様の結果であった。

最後に、全地点の日平均湿度と実効湿度予想の検証 結果を示す。GSM-Gの12UTC初期値による日平均湿 度のRMSEとME(図4.2.7)を見ると、RMSEでは



図 4.2.8 全地点の日平均湿度の RMSE と ME。MSM-G の 15UTC 初期値。寒候期 (2013 年 10 月 1 日 ~ 2014 年 3 月 31 日) 及び暖候期 (2014 年 4 月 1 日 ~ 2014 年 9 月 30 日) の検証結果。



図 4.2.10 全地点の実効湿度の RMSE と ME。MSM-G の 15UTC 初期値。寒候期 (2013 年 10 月 1 日 ~ 2014 年 3 月 31 日) 及び暖候期 (2014 年 4 月 1 日 ~ 2014 年 9 月 30 日) の検証結果。

寒候期と暖候期の明日、明後日及び明々後日の各日と も 6~7%台である。ME では寒候期と暖候期の明日、 明後日及び明々後日の各日とも 0%程度である。次に MSM-G の 15UTC 初期値による日平均湿度の RMSE と ME (図 4.2.8)を見ると、当日の RMSE は寒候期 と暖候期ともに 5%台であり GSM の 12UTC 初期値で の明日予測のガイダンスより精度が良い。ME では当 日の寒候期と暖候期ともに 0%程度であった。GSM-G 及び MSM-G ともに時系列湿度ガイダンスより精度が 高くなっているが、これは、毎時のガイダンス値を 24 時間分日平均することで、時間毎の誤差が相殺されて いることによると推察される。

GSM-Gの12UTC初期値による実効湿度のRMSE とME(図4.2.9)を見ると、RMSEでは寒候期と暖 候期の明日、明後日及び明々後日のいずれも2~3%台 であり、寒候期の方が精度が良い。MEでは寒候期と 暖候期の明日、明後日及び明々後日のいずれも僅かに 負バイアス傾向である。次にMSM-Gの15UTC初期



図 4.2.11 東京の MSM 時系列湿度の予想値と実況値(2015 年1月12日)。観測値:毎時の湿度実況値、モデル: MSM15UTC 初期値によるモデル湿度予想、ガイダンス: MSM15UTC 初期値による時系列湿度ガイダンスの予想。



図 4.2.12 銚子の MSM 時系列湿度の予想値と実況値(2015 年6月12日~13日)。観測値:毎時の湿度実況値、モデ ル:MSM00UTC 初期値によるモデル湿度予想、ガイダン ス:MSM00UTC 初期値による時系列湿度ガイダンスの 予想。

値による実効湿度の RMSE と ME (図 4.2.10)を見る と、RMSE では当日の寒候期と暖候期ともに 2%前後 であり、特に寒候期では 1%台と暖候期より良くなって いる。ME では当日の寒候期と暖候期ともに 0%程度で ある。GSM-G 及び MSM-G ともに予想日平均湿度よ り精度が高くなっているが、これは、予想実効湿度の 計算に予想の日平均湿度値だけではなく観測値の実効 湿度値を用いていることによる。

4.2.4 事例検証

乾燥注意報及び濃霧注意報が発表された事例におけ る時系列湿度ガイダンスの予測結果を紹介する。

(1) 2015 年1月12日の乾燥注意報事例

東京地方の乾燥注意報発表事例を示す。2015年1月 12日は日本付近は冬型の気圧配置であった(図略)。こ のため、東京地方では晴れて空気が乾燥する気象条件 であり、乾燥注意報が発表されていた。東京の MSM 時系列湿度ガイダンス(図 4.2.11)では、概ねモデル を改善し、観測値に近い湿度を予想している。特に12 日昼頃にかけて湿度が下がり、13時頃に最も乾燥する ことを良く当てている。GSM 及び MSM の時系列湿度 ガイダンスによる実効湿度予想(表 4.2.3)を見ると、 GSM-G 及び MSM-G ともに 40%前後で、また、最小湿 度ガイダンスの予想値も 23%と低く、東京地方の乾燥 注意報発表基準である「実効湿度 50%以下で最小湿度 25%以下」となっていた。実際には、「実効湿度:40%、 最小湿度 25%」となり、実効湿度の予想が良かった事 例となった。

(2) 2015 年 6 月 13 日の濃霧注意報事例

次に、2015年6月13日の千葉県での濃霧注意報発 表事例を示す。銚子地方気象台の観測では6月12日 は、未明から昼過ぎにかけて雨が降っており、12日未 明からもやとなっていた。銚子の視程は12日20時40 分(JST、以下も同様)には2km未満となり、21時 10 分には 1 km 未満、23 時 30 分には 500 m 未満と なった。視程障害は 13 日にかけて続き、13 日 03 時に は 2 km、06 時には 5 km、09 時には 8 km となり、も やの状態は 13 日 13 時まで続いた。銚子地方気象台で は 12 日夕方には対象時刻を 13 日未明から朝として銚 子を含む千葉県全域に濃霧注意報を発表した。

この時の MSM 時系列湿度ガイダンス(図4.2.12)を 見ると、12日昼前から13日朝にかけてガイダンスの予 想湿度では90%から100%であった。特に濃霧注意報 の対象時刻である13日未明から朝にかけては、モデル の予想値が93~94%程度であるのに対し、ガイダンス では予想湿度が100%近くなっており、実況も100%と 予想がほぼ的中した。なお、視程分布予想では当該時 間帯の霧の予測(視程低下)を予測してはいなかった (図略)。この事例のように、時系列湿度ガイダンスを 用いることで、霧やもやなどの視程障害現象を予測で きる可能性がある。

4.2.5 時系列湿度ガイダンスの利用方法

以下、時系列湿度ガイダンス(日平均・実効湿度を 含む)の予報現場における利用方法について列記する。

・時系列湿度は視程分布予想とともに高湿度時の霧やもやなどの視程障害現象(濃霧注意報)の予想の支援資料の一つとして利用できる可能性がある。また、注意報の発表だけではなく、注意報の継続期間(解除日時)の予想にも用いることができる。

表 4.2.3 東京の GSM 及び MSM の時系列湿度ガイダンス _ による実効湿度予想と実況

	モデル初期値	実効湿度 12 日	
GSM-G	2015年1月11日12UTC	37.7%	
MSM-G	2015年1月11日15UTC	40.1%	
実況		40%	

- 実効湿度の予想は、最小湿度ガイダンスとともに 乾燥注意報や火災気象通報の発表に際しての支援 資料として利用できる。また、濃霧注意報と同様 に、注意報の継続期間(解除日時)の予想にも用 いることができる。
- 近年、社会的関心が高まっている夏季の熱中症は、 気温だけではなく湿度も関係することから、高温 注意情報の概況などにも時系列湿度や日平均湿度 の予想を利用できる。
- 4.2.6 利用上の留意点

最後に、時系列湿度ガイダンス(日平均・実効湿度 を含む)の利用上の留意点を述べる。

- GSM-GとMSM-Gを比較すると、MSM-Gの方が統計的に精度が高いので、当日及び明日の予報は基本的にはMSM-Gの予想を利用することを推奨する。GSM-Gは明日(朝の段階で利用する際) 明後日及び明々後日の予想に用いることができる。
- 夏季の太平洋高気圧に覆われるような総観場の天候が安定しているときや湿度の日較差の小さい地点では、精度が高くなる。
- 視程分布予想ではモデルの相対湿度をそのまま使うが、時系列湿度ガイダンスではモデルの相対湿度に系統誤差補正を行っているため、視程分布予想では予想が難しい霧(放射霧等)の予想に利点がある。時系列湿度ガイダンスで湿度100%近くを予想している時は、視程分布予想で霧を予想していなくとも霧の可能性があることを考慮して用いて欲しい。
- 放射冷却や海陸風の影響が強いところ及び標高の 高いところなど、モデルの気温の予想に誤差が大 きいと湿度予想の精度も低くなる。
- 冬型の気圧配置のときは、日本海側ではしぐれの 天候となり、断続的に降水が続くため実況の湿度 変動が大きくなり、ガイダンスの精度も低下する。
 以上の点に留意しながら、時系列湿度ガイダンスを

予報作業に用いて頂きたい。

4.2.7 今後の展望

今後の展望として、時系列湿度ガイダンスから格子 形式の湿度ガイダンスへの開発につなげ、降水種別ガ イダンス(古市・松澤 2009)の入力変数に用いている 相対湿度(現在はモデルの相対湿度を使用)に使用す ることにより、雨雪判別の精度向上が期待できる。 参考文献

- 鎌倉智之,2007:最小湿度ガイダンス.平成19年度数 値予報研修テキスト,気象庁予報部,78-79.
- 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.

4.3.1 はじめに

お天気マップ (瀬上 1992) は、数値予報モデルの出 力からフローチャート方式で各天気カテゴリを判別す るプロダクトであり、天気ガイダンスとともに天気の 予測をする資料の一つとして利用されている (萬納寺 1994)。お天気マップの判別フローチャートを図 4.3.1 に示す。各天気カテゴリはあらかじめ設定した閾値に よって判別される。各閾値は2007年11月(安藤2007) に更新されて以来、変更されていない。一方、この後 にも数値予報モデルの変更があり、当初最適だった各 閾値も判別精度の低下を招いている可能性が考えられ るため、今回、GSM および MSM のお天気マップにつ いて閾値の見直しを行った2。また、これらとは別に 2012 年 8 月から新たに運用が開始された LFM のお天 気マップを作成するべく、LFM の各閾値についても設 定を行った³。以下の項では変更及び新たに設定した 閾値について述べる。なお、雨雪判別のアルゴリズム は、安藤 (2007) からの変更はない。

4.3.2 各閾値の調査

判別に利用する各閾値は、地上気象観測値(目視観 測)とお天気マップの予測値について、各天気カテゴ リの頻度分布が同じ割合になるように調整する (安藤 2007)。なお、予報における晴れの天気カテゴリ(快晴、 晴れ、薄曇り)と曇りの天気カテゴリの予想頻度は、そ れぞれ観測値と同程度の割合になるように調整してい る。今回の調査期間 (GSM と MSM は 2014 年 10 月 1日~2015年3月31日、LFMは2015年2月1日~4 月 30 日⁴)の統計では、GSM の旧閾値では曇りの予 測頻度が観測に比べ多かったことから、全雲量と中下 層雲量による曇りの閾値を、ともに 0.4 から 0.5 に変更 した。MSM では旧閾値による雪の予測頻度が観測に 比べ多かったことから、前1時間降水量による雪の閾 値を 0.03 mm/h から 0.05 mm/h に変更した。このよ うに設定した新しい閾値を旧閾値とともに表 4.3.1 に 示す。LFM では新たに各閾値を表のとおりに設定し、 雪の閾値以外は MSM と同じになっている。

次に、GSM と MSM における全ての初期値と予報 対象時間を用いた設定前後の旧閾値と新閾値による予 想値と観測値の従属期間による各天気カテゴリの頻度 分布の割合を図 4.3.2 と図 4.3.3 にそれぞれ示す。GSM では旧閾値に比べ新閾値では曇りの頻度が少なくなり、 晴れの頻度が多くなった。MSM の新閾値では旧閾値 に比べ雪の頻度が 8.4%から 7.4%と少なくなり観測値 の頻度 6.0%に近づいている。なお、観測値の雨の天気



図 4.3.1 お天気マップのアルゴリズム。フローチャート内の 各種文字の意味は以下のとおりである。Pr1:前1時間降 水量 [mm/h]、Cl:下層雲量、Cm:中層雲量、Ch:上層雲 量、Clmh=1-(1-Cl)(1-Cm)(1-Ch):全雲量、Clm= 1-(1-Cl)(1-Cm):中下層雲量。判別の閾値 R_yuki:雪 の閾値、R_ame:雨の閾値、Clmh_k:全雲量による曇りの 閾値、Clm_k:中下層雲量による曇りの閾値、Kaisei:全雲 量による快晴の閾値。なお、雨雪判別のアルゴリズムにつ いては安藤 (2007) を参照されたい。

表 4.3.1 お天義	気マップの各閾値。	下線部が変更または新規
に設定された	:閾値。	

	GSM		MSM		LFM
閾値名	旧閾値	新閾値	旧閾値	新閾値	閾値
R_yuki	0.05	0.05	0.03	<u>0.05</u>	<u>0.03</u>
R_ame	0.4	0.4	0.1	0.1	<u>0.1</u>
Clmh_k	0.4	<u>0.5</u>	0.4	0.4	<u>0.4</u>
Clm_k	0.4	<u>0.5</u>	0.4	0.4	0.4
Kaisei	0.1	0.1	0.1	0.1	<u>0.1</u>

カテゴリでは観測測器における感雨程度のごく弱い雨 も雨として分類されるため、予想に比べ観測頻度が多 くなっていることに留意されたい。

LFM のお天気マップの予測値と観測値の頻度分布の 割合を図 4.3.4 に示す。LFM の特徴として、GSM や MSM と比べて観測に対する快晴の予測頻度が多くな り、晴れの頻度が少なくなっているが、予報では快晴 と晴れは「晴れ」として発表するため、予報作業にお いての影響は小さいと思われる。

⁻¹ 高桑 健一

² 2015 年秋に変更後の閾値で運用開始予定である。

³ 2015 年 5 月に運用を開始している。

⁴ LFM が asuca 版 (第 1 章を参照) になってからの期間と した。



図 4.3.2 観測と GSM お天気マップについて各天気カテゴ リの頻度の割合(期間 2014 年 10 月 1 日 ~ 2015 年 3 月 31 日)。上から観測値、予想値(新閾値)、予想値(旧閾値)。



図 4.3.3 観測と MSM お天気マップについて各天気カテゴ リの頻度の割合(期間 2014 年 10 月 1 日 ~ 2015 年 3 月 31 日)。上から観測値、予想値(新閾値)、予想値(旧閾値)。



図 4.3.4 観測と LFM お天気マップについて各天気カテゴ リの頻度の割合 (期間 2015 年 2 月 1 日 ~ 2015 年 4 月 30 日)。上が観測値、下が予想値。

4.3.3 お天気マップの予測例

図 4.3.5 に 2015 年 3 月 11 日 18UTC 初期値の FT=6 の各モデルにおける新閾値によるお天気マップの予測 例を示し、その時の衛星可視画像と解析雨量及び日照 時間を、それぞれ図 4.3.6、図 4.3.7、図 4.3.8 に示す。 お天気マップと実況を比較すると、モデルの解像度に よる差はあるものの、概ね衛星画像による曇り域、解 析雨量による雨(雪)域、日照時間による晴れ域の各 天気カテゴリを表現できている。なお、図は省略する が、GSM, MSM ともに新閾値の方が旧閾値より実況 に近くなっていた。LFM の図を見ると解像度が高いた め、MSM と比較しても日本海の筋状の雪や日本の南 海上の雨を高い分解能で予測できている。

4.3.4 利用上の留意点

最後にお天気マップへのモデルの下層雲予測の影響 や、予測精度の面から比較した天気ガイダンスとの相 違点といった利用上の留意点を説明する。

GSM は下層雲を MSM と比べ広い範囲に予想する 傾向がある。これに対応して、GSM のお天気マップも 曇り域を広く予測すると考えられる。この傾向には、 2014 年 3 月に実施された GSM の境界層スキームの改 良によって、境界層の構造が維持されやすくなったこ とも寄与している(中川 2014)。ただしお天気マップに おいては、今回、雲量の閾値を0.4から0.5に変更した ことによって、この影響は軽減されているものと思わ れる。なお、どの予測が適切であったかは事例によっ て異なる。

また従前は、GSM で使用している層積雲スキーム (川合 2004)の発動条件に水蒸気量についての情報が含 まれていなかったため、GSM では水蒸気量が不十分で あってもスキームの発動により過剰に下層雲を生成し てしまうことがあった。このような場合、雲量を説明 変数としているお天気マップでは、曇り域が広がりす ぎるという影響を受けていた(この場合、相対湿度を 説明変数とし、雲量を説明変数としていない天気ガイ ダンスでは、その影響は受けない)。その後、層積雲ス キームの発動条件に相対湿度がある閾値以上という条 件を追加する改良が実施されて、層積雲スキームによ る過剰な下層雲の生成は減少しており(下河邉・古河 2012)、お天気マップへの影響も軽減されていると考え られる。

また、お天気マップの晴れ・曇りは予報対象時刻の 天気を予測しているのに対して、天気ガイダンスの晴 れ・曇りは、前3時間の卓越天気を予測している。な お、天気ガイダンスでは、日照が50%/3h以上で晴れ となり、50%/3h未満では曇りと表現される。同様にお 天気マップは(モデルの前1時間降水量を用い)予測 対象時刻の降水の有無を予測しているのに対し、天気 ガイダンスは前3時間の降水量が1mm/3h以上(雪 は0.5 mm/3h以上)となるかを予測している。

お天気マップの各閾値は全国一律であり、地域や季 節による変化はない。これに対し天気ガイダンスは逐 次学習型のガイダンスである日照率ガイダンスや降水 量ガイダンスの予測結果を用いており、お天気マップ より総じて精度が良い。お天気マップを予報作業に利 用する際は、このような点に留意しながら用いて頂き たい。

参考文献

- 安藤昭芳, 2007: お天気マップ. 平成 19 年度数値予報 研修テキスト, 気象庁予報部, 94-97.
- 川合秀明, 2004: 雲水過程. 数値予報課報告・別冊第 50 号, 気象庁予報部, 72-80.
- 下河邊明,古河貴裕,2012: 層積雲スキームの改良. 平成 24年度数値予報研修テキスト,気象庁予報部,92-96.
- 瀬上哲秀, 1992: お天気マップ. 平成4年度数値予報研 修テキスト, 気象庁予報部, 69-82.
- 中川雅之, 2014: 事例検証. 平成 26 年度数値予報研修 テキスト, 気象庁予報部, 19-23.
- 萬納寺信崇, 1994: お天気マップ. 平成6年度数値予報 研修テキスト, 気象庁予報部, 90-91.





図 4.3.6 気象衛星による可視画像 (2015 年 3 月 12 日 09JST)



図 4.3.7 解析雨量 (2015 年 3 月 12 日 09JST 前 1 時間降 水量)



図 4.3.8 日照時間 (2015 年 3 月 12 日 09JST 前 1 時間)





図 4.3.5 お天気マップの予測例 (2015年3月11日18UTC初 期値、対象時刻 12日 09JST)。(a) が GSM、(b) が MSM、 (c) が LFM。