

第6章 アプリケーション

6.1 MSM最大降水量ガイダンス¹

6.1.1 はじめに

新しいメソ数値予報モデル(5km-MSM)を利用した最大降水量ガイダンス (5km-MSMガイダンス) は、注警報発表時の区分である二次細分区を対象として、3時間毎の最大3時間降水量および最大1時間降水量を予測している。

6.1.2 作成手法

5km-MSMガイダンスは、現行のメソ数値予報モデルを利用した最大降水量ガイダンス (木村 2004) (10km-MSMガイダンス) および領域モデルを利用した最大降水量ガイダンス (海老原 2002) (RSMガイダンス) とほぼ同じ手法で計算される。

5km-MSMガイダンスは次の手順で計算される。

- 1) ガイダンス格子(20km)における3時間平均降水量をカルマンフィルター方式で導出
- 2) 1)で求めたガイダンス格子における3時間平均降水量の各二次細分子報区への割当
- 3) ニューラルネットワーク(NRN)による各二次細分子報区における「最大降水量/平均降水量」比の計算
- 4) 2)の平均降水量×3)の比で最大降水量を導出

5km-MSM ガイダンスが 10km-MSM ガイダンスと異なる点は、1)の平均降水量の導出における以下の2点である。

1 点目はカルマンフィルターの係数が 6 時間毎 (FT=3 と 6,9 と 12,15 と 18) に 3 組であったものを 3 時間毎 (FT=3,6,9,12,15) に 5 組としたことである。カルマンフィルターの係数を 3 時間毎にしたのは、予想時間が 15 時間までになることに対応した事と 10km-MSM ガイダンスと同じ学習頻度とし係数の変化傾向が変わらないようにするためである。10km-MSM ガイダンスでは、1つの係数に対して1初期値 6 時間分の学習×1日 4 初期値 (=1日当たり 24 時間分の学習) であった。5km-MSM ガイダンスでは 1 初期値 3 時間分の学習×1日 8 初期値 (=1日当たり 24 時間分の学習) となる。

2 点目はモデル格子点上でそのモデル格子を取り囲む 8 格子を用いて平滑化を行うことである。従来は平滑化処理を行わずガイダンス格子の中心を取り囲むモデル格子点 (4 点) によりガイダンス格子点への線形内挿を行っていた。5km-MSM で従来と同じ方式とするとガイダンス格子内の一部のモデル格子点値だけを利用することになる。モデル格子点からガイダンス格子点へ線形内挿する前にあらかじめモデル格子点上で平滑化処理を行うようにした。

3)の最大降水量/平均降水量比を求める手法については変更ないが、あらかじめ行う NRN 係数作成時に利用する学習期間を延長する。従来は、二次細分の変更(新規細分の設定や市町村合併に伴う細分変更)に際し、1996 年から 2001 年までの実況値を利用して一括して学習を行い係数を作成していた。計算機資源の制約等により、学習期間の延長をしていなかったが、2006 年 3 月の細分変更時には 2002 年以降の期間を追加する予定である。この新しい係数は、5km-MSM ガイダンスだけではなく、RSM ガイダンスでも利用される。より多くの事例を学習した係数を用いることにより、大雨事例の少ない地域では精度向上が期待される。

6.1.3 予測特性と精度

2003 年 12 月までの期間を追加して作成した NRN 係数を利用して、1日4回の 5km-MSM で 2004

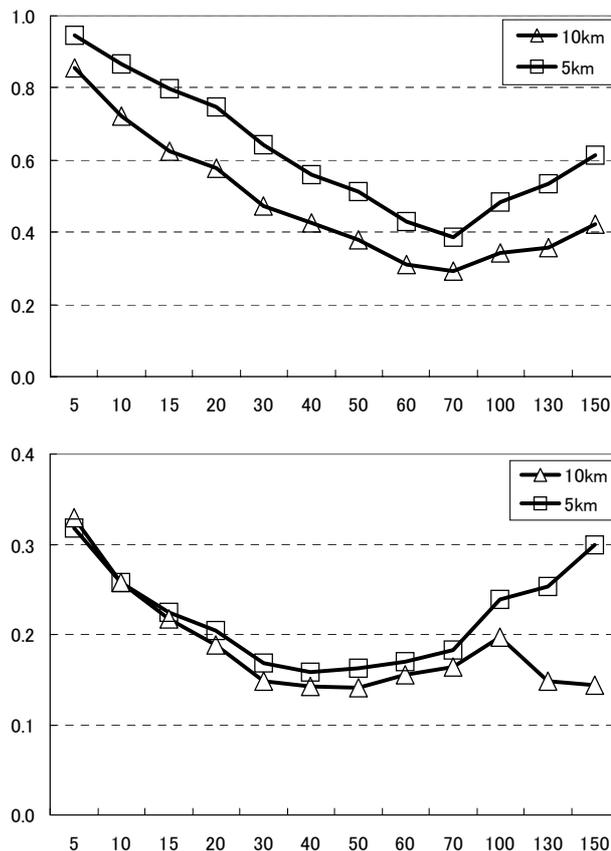


図 6.1.1 閾値別のバイアススコア (上) とスレットスコア (下)。横軸は閾値で単位は mm/3h。5km は 5km-MSM ガイダンス、10km は 10km-MSM ガイダンス (試験運用期間中の非静力学 MSM によるガイダンス) を示す。検証対象は 7 月 1 日～31 日の 124 初期値分、予報時間は 06～15 時間。予報作業支援システムでは、03 時間までの予想は降水短時間予報により置き換えられるため検証から省いた。

¹ 安藤 昭芳

年5月末から2004年7月、2004年12月末から2005年2月までの期間を順に計算した。カルマンフィルターの係数最適化に期間を要することから、夏冬各々の期間の後半1ヶ月で検証を行った。検証には、2.5km格子解析雨量の各二次細分内の最大値を用いた。図6.1.1に夏期間の5km-MSMガイダンスと10km-MSMガイダンスのバイアスコア、スレットスコアを閾値別に示す。バイアスコアで見ると全ての閾値で5km-MSMガイダンスの方が1に近い。スレットスコアでは、15mm/3h以上では5km-MSMガイダンスが高くなっている。冬期間(図省略)のスレットスコアでも、5km-MSMガイダンスは15mm/3h以上で10km-MSMガイダンスと同等か

上回っている事を確かめた。

6.1.4 予想例

図6.1.2に2004年7月31日21時(JST)初期値による5km-MSMガイダンスおよび10km-MSMガイダンスの9から12時間後までの最大1時間降水量の予想と解析雨量による実況を示す。この期間は台風第10号が高知県、続いて広島県に上陸し、8月1日9時(JST)には山口県の北の日本海にあって北上した(図3.3.6参照)。南海上から四国に向けて帯状の強い降水域が延びており、8月1日6時から9時(JST)の3時間内に高知県および徳島県の一部で80mm/h以上の猛

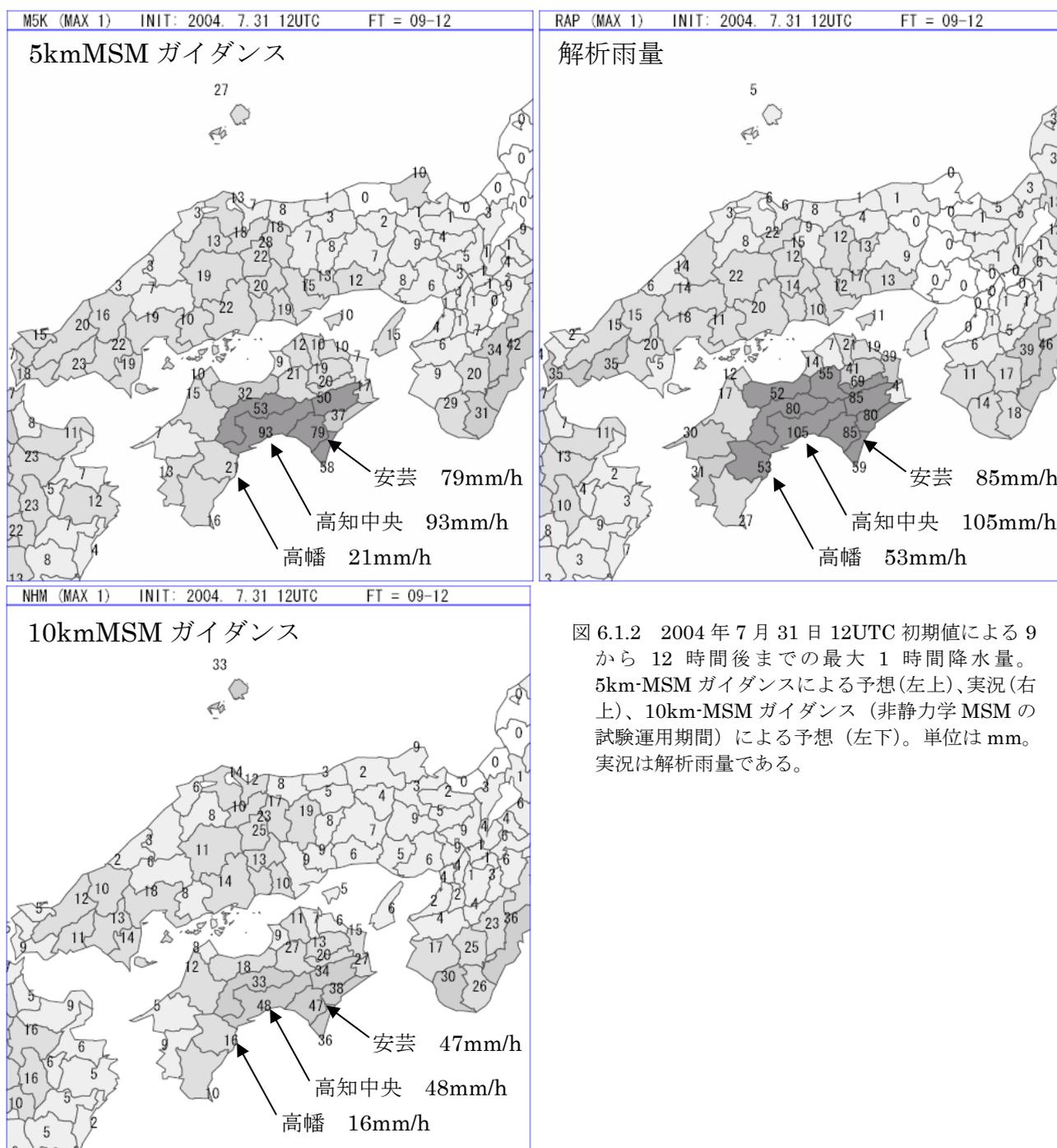


図6.1.2 2004年7月31日12UTC初期値による9から12時間後までの最大1時間降水量。5km-MSMガイダンスによる予想(左上)、実況(右上)、10km-MSMガイダンス(非静力学MSMの試験運用期間)による予想(左下)。単位はmm。実況は解析雨量である。

烈な雨が降った。

10km-MSMガイドランスでは、50mm/h以上の降水を予想していない。これに対して5km-MSMガイドランスでは、高知県の高知中央で93mm/h、安芸で79mm/hなど実況に近い猛烈な雨を予想している。予報時間9から12時間と比較的長いリードタイムを持って猛烈な雨を適切に予想できた例である。

一方、隣接する高幡では、5km-MSMガイドランスでも21mm/hと実況の半分以下である。5km-MSMガイドランスでも細分の予想値だけを利用していると現象の見逃しや空振りをすることがあるので、隣接細分や前後の時刻の予想値を参照するなど、面的および時間的な幅を持った利用が重要である。また、その他の利用上の注意点は海老原(2002)および木村(2004)に示されているので、これらの資料を参照して欲しい。

6.1.5 まとめ

メソ数値予報を利用した最大降水量ガイドランスを5km-MSMを利用するように変更した。5km-MSMガイドランスの予測精度は、注意報警報にかかわる閾値で10km-MSMガイドランスと同等以上であることが確認された。また、5km-MSMガイドランスは1日8回、3時間ごとに作成されるため、より新しい初期値のMSMに基づいた予想値を利用できるようになり、精度の向上が期待される。

参考文献

- 海老原智, 2002: 最大降水量ガイドランス. 平成14年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 35-39.
- 木村陽一, 2004: 最大降水量ガイドランス. 平成16年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 48-50.

6.2 MSM最大風速ガイダンス¹

6.2.1 はじめに

メソ数値予報モデル(MSM)を利用した風ガイダンスには、アメダス地点を対象としたMSM最大風速ガイダンスと空港を対象とした短距離飛行用飛行場予報(TAF-S)用のTAF-S最大風速ガイダンスがある。本節では前者について述べ、後者については第6.3.6項で述べる。

MSM最大風速ガイダンスは、3時間毎の予測時間について前3時間内の最大風速及びその風向を予測するガイダンスである。2006年3月に予定されるMSMの変更に伴い、MSM最大風速ガイダンスについても新しいMSM(5km-MSM)を用いて作成するように変更する。

6.2.2 作成手法

2006年3月のMSMの変更後もMSM最大風速ガイダンスの作成手法に変更はない。

目的変数は予測対象時間内の観測値のうちで風速が最大の風であり、予測式の説明変数には対象時間内の30分間隔のMSM地上風のうち風速が最大の風を用いている。予測式の係数は、カルマンフィルター方式によって逐次更新される。また、観測頻度と予測頻度が同じになるような風速補正も行われている(木村 1998)。最大風速ガイダンスの詳細については松本(2003)や国次(1997)も参照していただきたい。

6.2.3 予測特性と精度

2004年6-7月、2005年1-2月について実行された1日4回の5km-MSMの予測値からMSM最大風速ガイダンスを作成し、現行のMSM最大風速ガイダンスと予測特性や精度を比較した。係数の最適化に時間を要することを考慮して2004年7月及び2005年2月の結果を検証した。ここでは2005年2月の結果を示す。2004年7月についても結果は2005年2月と同様であった。

図6.2.1に全観測点平均の前3時間内最大風速の時刻別月平均値を示す。アメダス観測値は12~15時に最大値が出現し、日中強く、夜間弱いという日変化を示しているが、現行のMSM(10km-MSM)の地上風の日変化は小さい。5km-MSMでは10km-MSMより日変化が大きくなっているものの、観測値に比べるとまだ日変化が小さい傾向がある。ガイダンスでは、これらのMSMの誤差を補正しており、予測最大風速の平均値は観測値とほぼ同じ日変化を示している。図6.2.2は5km-MSM、10km-MSMの地上風及

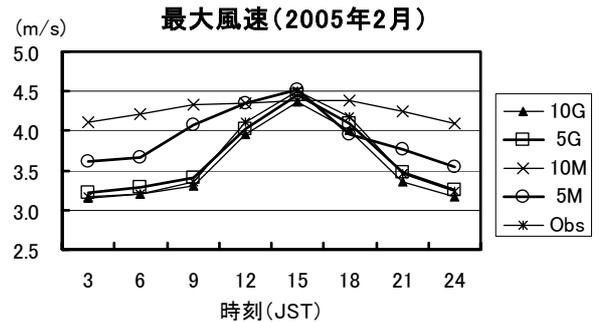


図 6.2.1 時刻別の前3時間内最大風速の月平均値。図の凡例で10Gは10km-MSMを用いたガイダンス、5Gは5km-MSMを用いたガイダンス、10Mは10km-MSM、5Mは5km-MSM、Obsはアメダス観測値を示す。

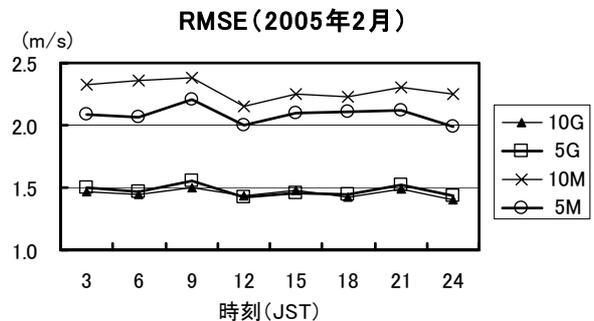


図 6.2.2 時刻別の前3時間内最大風速のRMSE。図の凡例は図6.2.1と同じ。

バイアスコア(2005年2月)

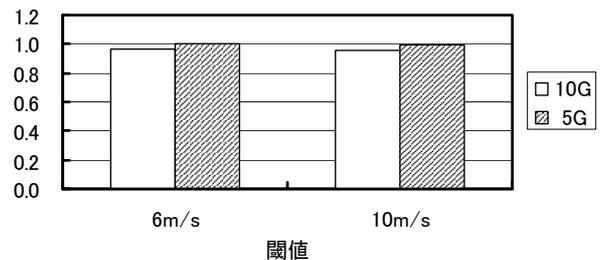


図 6.2.3 最大風速ガイダンスの閾値別のバイアスコア。図の凡例は図6.2.1と同じ。

び5km-MSMを用いたガイダンス(5kmガイダンス)、10km-MSMを用いた現行のガイダンス(10kmガイダンス)の平方根平均二乗誤差(RMSE)である。5km-MSMは10km-MSMに比べてRMSEが小さく、精度が向上しているが、ガイダンスは5kmガイダンスと10kmガイダンスがほとんど同じ精度となっている。

バイアスコア(図6.2.3)は5kmガイダンスと10kmガイダンスで大きな差はなく、5kmガイダン

¹ 新美和造

ス、10kmガイダンスとも1に近い値となっている。スレットスコア（図6.2.4）についても5kmガイダンスと10kmガイダンスでほとんど差はない。

図6.2.5は閾値別の風向適中率である。例えば閾値6m/sの場合、予測風速が6m/s以上の事例を抽出して適中率を求めている。ここでは予測した風向が観測値に対して±22.5°以内の場合を適中とした。風向の適中率は5kmガイダンスと10kmガイダンスでほとんど同じとなっている。

6.2.4 まとめ

2006年3月のMSMの変更に伴い、MSM最大風速ガイダンスも5km-MSMを用いて1日8回作成されるようになる。5km-MSMを利用したガイダンスの予測精度、予測特性は10km-MSMを利用したガイダンスとほぼ同じであることが確かめられた。ガイダンスが1日8回、3時間毎に作成されるため、より新しい初期値のMSMに基づいた予測値を利用できるようになり、精度の向上が期待できる。

5km-MSMを利用したMSM最大風速ガイダンスは、作成手法に変更はなく、予測精度や予測特性についてもこれまでとほぼ同じである。このため、利用上の留意点も従来と変わらない。最大風速ガイダンスは、数値予報モデルの系統的な誤差を補正するが、モデルのランダムな誤差は補正できない。各予測地点の風の特徴を把握した上で、実況とモデルの予想にずれが生じていないかを十分検討し、最大風速ガイダンスの修正の可否を検討していただきたい。

参考文献

- 木村陽一, 1998: 風ガイダンスの統計的特徴と風速補正. 平成10年度量的予報研修テキスト, 気象庁予報部, 79-84.
- 国次雅司, 1997: 風ガイダンスの開発. 平成9年度量的予報研修テキスト, 気象庁予報部, 39-44.
- 松本逸平, 2003: RSM及びMSM最大風速ガイダンス. 平成15年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 43-46.

スレットスコア(2005年2月)

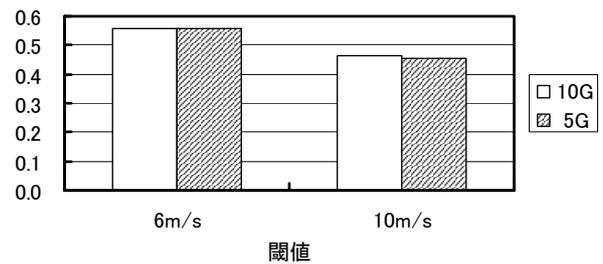


図 6.2.4 最大風速ガイダンスの閾値別スレットスコア。図の凡例は図 6.2.1 と同じ。

風向適中率(2005年2月)

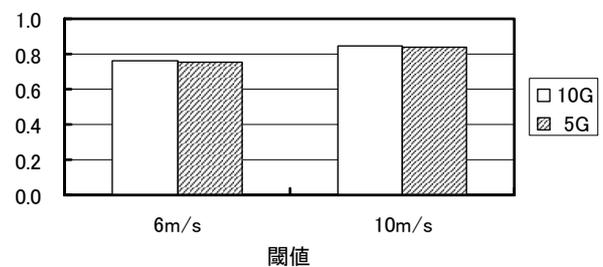


図 6.2.5 最大風速ガイダンスの風向適中率。図の凡例は図 6.2.1 と同じ。

6.3 航空気象予報¹

6.3.1 はじめに

メソモデルの格子間隔が5km(5km-MSM)となり、実行回数が現行の1日4回から8回へと倍増する。これに伴い、メソモデルを用いている国内航空悪天GPVとTAF-Sガイダンスの作成頻度も1日8回となり、予測精度の変化がある。特に国内航空悪天GPVの積乱雲量、TAF-S視程、雲、天気ガイダンスは作成手法の変更も行い精度向上を図る。

全球モデル(GSM)の仕様には変更がないが、現行の00,12UTC初期値に06,18UTCが追加され、1日4回の実行となる。国際的な航空用データ交換の仕様変更も含め、GSMを用いているFAX資料や全球航空悪天GPVを一部増強する。詳細は表1.3.1を参照していただきたい。

領域モデル(RSM)には変更がなく、航空気温ガイダンス以外のTAF-Lガイダンスには変更がない。航空気温ガイダンスは、アメダスを対象としたRSM気温ガイダンスの手法を取り入れて精度向上を図る。なお、NAPS更新の約1年後にRSMが廃止され5km-MSMの予報時間が33時間に延長されるのに伴い、TAF-LガイダンスはTAF-Sと同じ5km-MSMを利用し、作成手法もTAF-Sガイダンスと統一させる予定である。

この節では、5km-MSMを利用する国内航空悪天GPVとTAF-Sガイダンス、および変更となる航空気温ガイダンスについて、変更点と精度検証結果を解説する。

6.3.2 国内航空悪天GPV

(1) はじめに

国内航空悪天GPV (MSM航空) は、国内空域の航空悪天情報作成を支援するための格子点資料である。MSM航空はMSMモデル面予報値から作成され、FAX図(FXJP106/112, FBJP112-412)の元データとしても使用されている。

MSM航空では、風や気温などの主要な気象要素の他、航空用の要素として、積乱雲量、乱気流指数、圏界面気圧を作成している。現在運用中のMSM航空(現MSM航空)では、積乱雲量はMSMで計算された降水量と安定度から診断的に作成しているが(高田 1997; 工藤 2004)、NAPS更新以後に運用を開始するMSM航空(新MSM航空)では、Kain-Fritsch積雲対流パラメタリゼーション(KFパラメタリゼーション、山田 2003)で求められた積雲の雲頂高度を利用した方式に切り替える。乱気流指数はこれまでと同様に、風の鉛直シャーをMSMモデル面から内

挿することで求める。圏界面気圧もこれまでと同様に、高層観測指針に記載されている圏界面の定義に従って作成する。

本項ではまず、新しい積乱雲量の作成手法と検証結果を述べる。続いて乱気流指数の検証結果について記述する。

(2) 積乱雲量の作成手法と検証結果

(i) 新しい積乱雲量の作成手法

現MSM航空では、MSMの1時間降水量(R1)と安定度(SSI)に対し、月別・GPVの座標別に閾値を設け、R1とSSIが共に閾値を超えた場合に、設定した雲量の積乱雲量があるとしている。その際R1には、2初期値前および3初期値前のR1と解析雨量とを比較して学習させた比率を掛けている(高田 1997)。この手法では成因による積乱雲の違いを考慮していないため、冬季に日本海で発生する積乱雲の表現が少ないという問題があった。また各閾値の設定が複雑であり、比率の学習もさせていることから、モデル更新時等の閾値設定の最適化が困難であった。そこで、KFパラメタリゼーションで計算された対流雲の雲頂高度と深い対流の判別条件を用いた積乱雲量の作成手法を開発した。この手法ではモデルで計算された対流雲の情報を直接的に使用するため、より合理的な方法で積乱雲量が求められると期待される。

KFパラメタリゼーションでは、対流雲があると判断された場合、持ち上げ凝結高度における気塊の温度(T_{LCL})と雲の厚さ($\Delta Z =$ 雲頂高度と持ち上げ凝結高度の差)から、その対流が深いか浅いかを判別し、それぞれについて異なった対流の特性を与えている。KFパラメタリゼーションにおける深い対流の判別条件は次の通りである。

1. $T_{LCL} (^{\circ}\text{C}) < 0$ のとき
 $\Delta Z (\text{m}) \geq 2000$
2. $0 \leq T_{LCL} (^{\circ}\text{C}) < 20$ のとき
 $\Delta Z (\text{m}) \geq 2000 + 100 \times T_{LCL} (^{\circ}\text{C})$
3. $T_{LCL} (^{\circ}\text{C}) \geq 20$ のとき
 $\Delta Z (\text{m}) \geq 4000$

持ち上げ凝結高度における気塊の温度で判別条件が変えられている理由は、雲頂高度が低いにも関わらず対流活動が活発な、冬の日本海降雪雲をモデル内で表現しようとしているためである。

新MSM航空では、MSM航空の格子点内(水平80km間隔)に含まれるMSMの格子点(水平5km間隔)の内、深い対流と判別された格子点の割合を求め、それを積乱雲量とする。現手法では雲量自体を診断的に決めているが、新手法では雲量もモデルの計算

¹ 6.3.1,6.3.3,6.3.4,6.3.5 高田 伸一、6.3.2 工藤 淳(航空予報室)、6.3.6,6.3.7 新美 和造

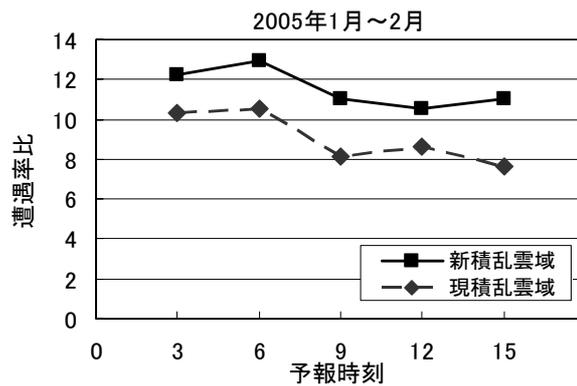
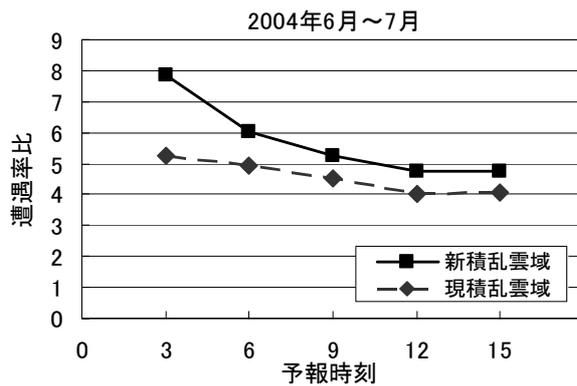


図 6.3.1 2004 年夏季 (左図) と 2005 年冬季 (右図) の予報時刻別の積乱雲域検証結果。遭遇率比は、積乱雲が予報された領域で積乱雲に遭遇する確率が平均の何倍であるかを示す。

結果から直接的に決めることができる。現MSM航空では、積乱雲量を0/8, 2/8, 5/8, 7/8 の4段階でしか作成していなかったが、新MSM航空では0/8～8/8の9段階で作成する。

ただし、上記判別条件をそのまま適用すると、衛星画像等の実況資料と比べて冬季の積乱雲量が過剰に表現されることが分かった。そこで、雲頂温度 (T_{top}) に対しても条件を付加することにした。2004年12月30日～2005年1月12日の2週間分のデータを用いて調査を行い、次のように判別条件を決定した。

1. $T_{LCL} (^{\circ}\text{C}) < 0$ のとき
 $\Delta Z (\text{m}) \geq 2000$ かつ
 $T_{top} (^{\circ}\text{C}) < -20$ かつ
 $T_{top} (^{\circ}\text{C}) < T_{LCL} (^{\circ}\text{C}) - 25$
2. $0 \leq T_{LCL} (^{\circ}\text{C}) < 20$ のとき
 $\Delta Z (\text{m}) \geq 2000 + 100 \times T_{LCL} (^{\circ}\text{C})$ かつ
 $T_{top} (^{\circ}\text{C}) < -20$ かつ
 $T_{top} (^{\circ}\text{C}) < T_{LCL} (^{\circ}\text{C}) - 25$
3. $T_{LCL} (^{\circ}\text{C}) \geq 20$ のとき
 $\Delta Z (\text{m}) \geq 4000$

元の判別条件と比べ、持ち上げ凝結高度の気塊の温度が低い冬季に、深い対流と判別されにくくなるように設定してある。

(ii) 積乱雲量の検証結果

積乱雲量と比較する実況には、雷監視システム (LIDEN) の対地雷実況を用いる²。検証領域はLIDENの探知範囲と概ね一致するように設定する。発雷実況で検証するため、「雲量」としての検証は困難である。そこで「雲域」として検証を行う。積乱雲量が2/8以上³の領域を積乱雲域 (予報あり) とし、MSM

航空の格子内に含まれる対地雷数が1以上ある場合を発雷域 (実況あり) とする。発雷域を実況とするため、空振りにペナルティーを科すスコアや、出現頻度を評価するバイアススコア等では正しい検証を行うことはできない。発雷実況を実況としているため、発雷していない積乱雲を評価することができないからである。そこで、検証では以下で定義する遭遇率比を用いる。

$$\text{遭遇率比} = \frac{FO}{FO + FX} \div \frac{FO + XO}{FO + FX + XO + XX} \quad (6.3.1)$$

FO, FX, XO, XX は表6.3.1の分割表で定義する。遭遇率比は平均状態と比べ、予報した領域内で何倍その現象に遭遇しやすいかを示したスコアであり、大きいほど予報の精度がよい。工藤(2004)で述べたとおり、積乱雲域の中に様に発雷域が分布すると仮定すれば、発雷域から求めた遭遇率比と真の積乱雲域から求めた遭遇率比は一致する。

予報時刻の前後30分の発雷実況をその時刻の実況として検証を行った。図6.3.1左図に2004年6月～7月の積乱雲域の検証結果を示す。横軸は予報時刻、縦軸は遭遇率比である。全ての予報時刻において、新MSM航空の積乱雲域 (新積乱雲域) は、現MSM航空の積乱雲域 (現積乱雲域) を大きく改善している。予想した積乱雲域の面積 ($FO+FX$) を比較すると、新積乱雲域の面積は現積乱雲域の約0.9倍とやや狭くなった (図は省略)。図6.3.1右図に2005年1月13日～2月28日の積乱雲域の検証結果を示す。夏季と同様に全ての予報時刻において、新MSM航空の積乱雲域は、現MSM航空の積乱雲域を大きく改善している。予想した積乱雲域の面積を比較すると、新積

表6.3.1 積乱雲量検証に用いる予報と実況の分割表

		実況	
		あり	なし
予報	あり	FO	FX
	なし	XO	XX

²本来は雲量格子点情報の対流雲量等で検証を行うのが望ましいが、検証期間中 (2004年6月～7月及び2005年1月～2月) は雲量格子点情報は作成されていない。

³ 国内悪天12時間予想図 (FBJP112) では、積乱雲量が2/8以上に相当する領域を積乱雲域として表示している。

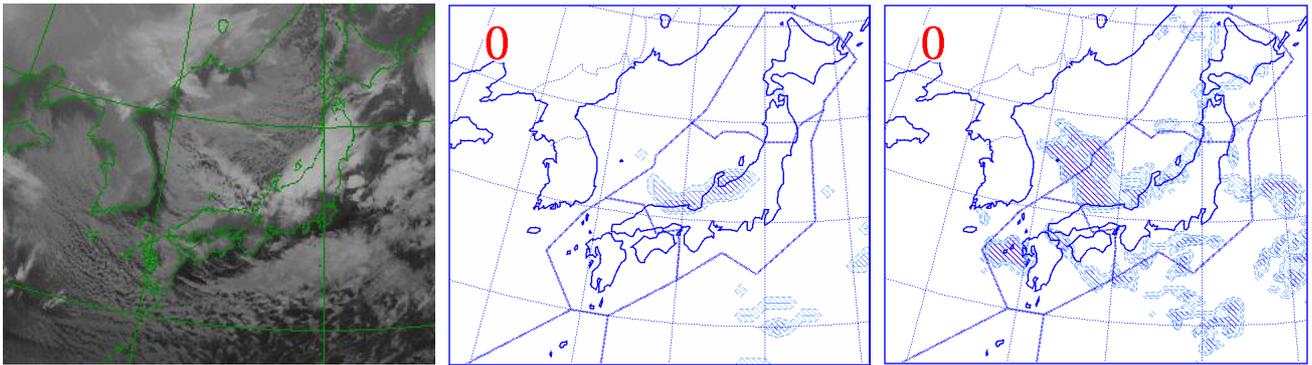


図 6.3.2 2005 年 2 月 1 日 00UTC の赤外画像 (左図)、1 月 31 日 18UTC 初期値の 6 時間予報の現積乱雲量 (中図) と新手法による積乱雲量 (右図)。積乱雲量が 2/8 以上の領域を表示してある。

乱雲域の面積は現積乱雲域の約1.2倍とやや大きくなった (図は省略)。面積の違いは冬型降雪時に特に顕著である。現手法では降水量が少ない冬型降雪雲は積乱雲と判別されにくい、新手法では持ち上げ凝結高度における気塊の温度によって判別条件を変えているため、積乱雲と判別されやすくなったからである。図6.3.2に2005年2月1日の事例を示す。この日は西日本を中心に強い冬型の気圧配置となっており、00UTCの輪島では、500hPaで-42.1℃を観測している。図6.3.2左図に、2月1日00UTCの赤外画像を示す。朝鮮半島北部から北陸にかけての日本海寒帯気団収束帯が明瞭であり、太平洋側でも寒気の吹き出しに伴う筋状雲が見られる。このような状況下にあっても、現手法では積乱雲の表現は少ない (図6.3.2中図)。これに対して新手法では、現手法よりも積乱雲を多く表現している (図6.3.2右図)。

(3) 乱気流指数の検証結果

MSM航空では、乱気流を予測するための指数として、MSMモデル面予想値から内挿した風の鉛直シャワーを作成している。以下では、乱気流指数の検証結果を述べる。

乱気流の実況には、パイロットからの乱気流通報 (C-PIREP, ARS, PIREP) を用いる。検証を行う前には以下の①～④の品質管理を行い、結果の信頼性を高めた。

① 雲中で発生した乱気流の除外

乱気流指数として作成している風の鉛直シャワーは、晴天乱気流を予測する指数の1つである。このため、対流雲中で発生した乱気流は検証の対象に含めるべきではない。これまでは解析雨量を用いて対流雲中か否かを判別していたが、閾値の設定の根拠や判別精度などは示されていなかった。そこで工藤 (2005) で示した手法により、C-PIREPのSK項⁴と、ARSや

⁴ 飛行状態と雲の関係を示す項目で、CLR (clear), OTP (on top), INC (in cloud) などが報じられる。

PIREPの飛行状態の通報を用いて空域の天候状態を判別し、「雲中」と判別された通報を検証の対象から除外する。

② 同一通報の除外

C-PIREP, ARS, PIREPはそれぞれ発信元が異なるため、例えばC-PIREPとARSで、同一内容の通報がされることがある。同一と思われる通報が複数報じられた場合には、その内の1通のみ採用する。

③ 代表性のない通報の除外

通報の中には、「A地点からB地点まで時々揺れた」とか、「高度19000ftから23000ftの間で揺れた」など、幅を持たせて報じられるものがある。このような場合は、基本的にはその中心位置を実況のあった地点として扱うが、2地点間の距離が離れすぎたり、高度の差が大きすぎたりする場合には、中心地点が必ずしもその現象を代表しているとは言えないため、検証の対象から除外する。具体的には、距離の差が240kmより大きい通報と、高度差が6000ftより大きい通報を除く。

④ 低高度で発生した乱気流の除外

C-PIREPでは、乱気流に遭遇したという通報だけでなく、乱気流に遭遇しなかったという通報もされる。ただし、上昇中や下降中はパイロットの作業が繁忙になるため、乱気流に遭遇しなければ何も報じられないことが多い。このため、10000ft以下の通報は検証の対象から除外する。

検証では予報時刻の前後30分以内の乱気流通報を用いる。Moderate (並) 以上の強度の乱気流が報じられた場合を「実況あり」とし、それより弱い乱気流を「実況なし」とする。ある値以上の乱気流指数で囲まれた領域を「予報あり」とする。表6.3.2に予報と実況の分割表を示す。検証は以下で定義する捕捉率、体積率および遭遇率比を用いて、乱気流指数

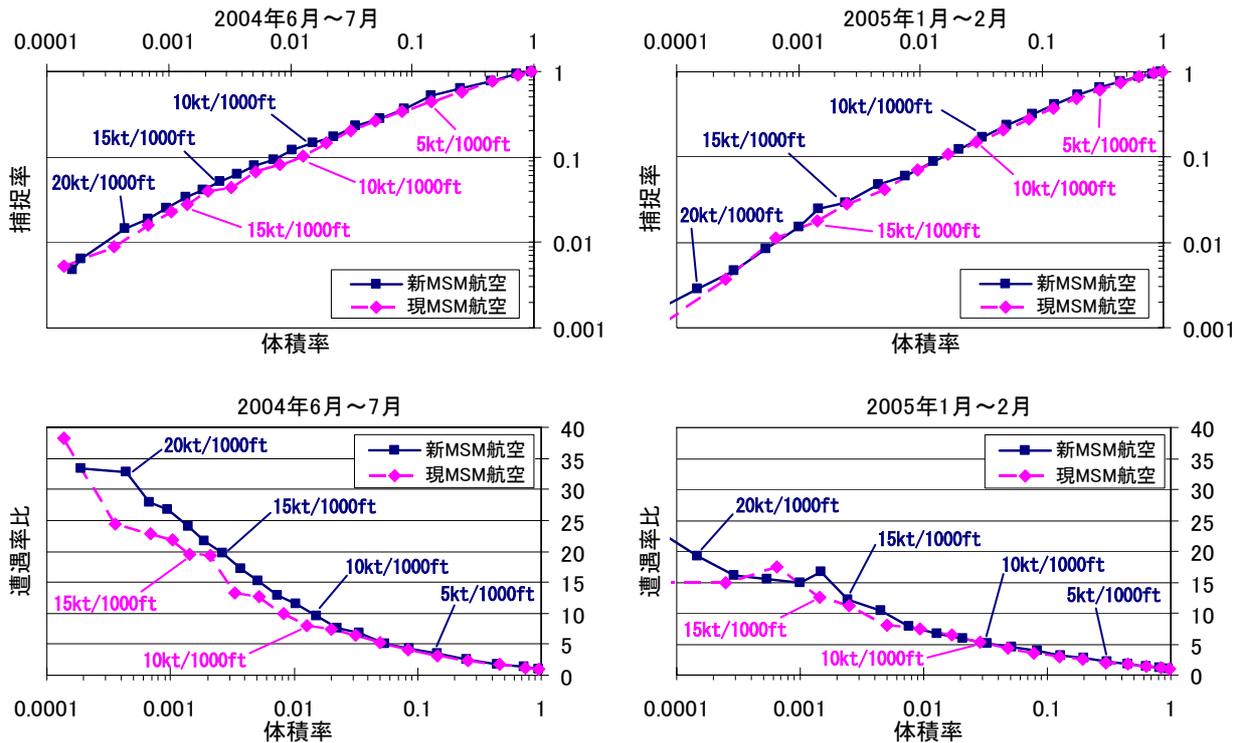


図 6.3.3 乱気流予測の検証結果。左列は 2004 年 6 月～7 月、右列は 2005 年 1 月～2 月の結果である。予報時刻は全て足し合わせている。上段は横軸が体積率で縦軸が捕捉率。体積率が小さく、捕捉率が大きいほど予測精度がよい。右上端の点が乱気流指数 1kt/1000ft 以上に対する検証結果で、左下に向かうに従って 1kt/1000ft ずつ指数の値が増える。下段は横軸が体積率で縦軸が遭遇率比。同じ体積率で比べると、遭遇率比が大きいほど予測精度がよい。右下端の点が乱気流指数 1kt/1000ft 以上に対する検証結果で、左上に向かうに従って 1kt/1000ft ずつ指数の値が増える。

の値別に行う。

$$\text{捕捉率} = \frac{T_{in}}{T_{in} + T_{out}} \quad (6.3.2)$$

$$\text{体積率} = \frac{T_{in} + N_{in}}{T_{in} + N_{in} + T_{out} + N_{out}} \quad (6.3.3)$$

捕捉率は「実況あり」の通報の内、「予報あり」の領域から報じられた通報の割合である。体積率が等しい予報を比べる場合、捕捉率が大きいほど精度が良い。体積率は全ての通報の内、「予報あり」の領域から報じられた通報の割合である。捕捉率が等しい予報を比べた場合、体積率が小さいほど精度が良い。

$$\begin{aligned} \text{遭遇率比} &= \frac{T_{in}}{T_{in} + N_{in}} \div \frac{T_{in} + T_{out}}{T_{in} + N_{in} + T_{out} + N_{out}} \\ &= \frac{\text{予報された領域内で乱気流に遭遇する確率}}{\text{全領域で乱気流に遭遇する確率}} \end{aligned} \quad (6.3.4)$$

遭遇率比は、乱気流に遭遇する平均的な確率に対する、「予報あり」の領域内で乱気流に遭遇する確率の比である。平均状態と比べて何倍乱気流に遭遇しやすいかを示す。同じ体積率で比較した場合、大き

いほど予報の精度が良い。

図6.3.3に乱気流検証の結果を示す。図は全ての予報時刻⁵について足し合わせた結果である。図6.3.3左列は2004年6月～7月の、図6.3.3右列は2005年1月～2月の検証結果である。図6.3.3上段の横軸は体積率、縦軸は捕捉率である。図の右上端の点が乱気流指数1kt/1000ft以上に対する値で、左下に向かうに従って1kt/1000ftずつ値が増えていく。体積率が小さく、捕捉率が大きいほど予報の精度が良いため、左上にあるほど良い予報と言える。現MSM航空と新MSM航空を比べると、夏季において新MSM航空の方がやや良いが、サンプル数が十分ではないため有意に差があるとは言えない。冬季ではほぼ同等の結果となった。図6.3.3下図の横軸は体積率、縦軸は遭遇率比である。図の右下端の点が乱気流指数1kt/1000ftに対する値で、左上に向かうに従って

表6.3.2 乱気流検証に用いる予報と実況の分割表

		実況	
		あり	なし
予報	あり	T_{in}	N_{in}
	なし	T_{out}	N_{out}

⁵ 予報時刻 3～15 までの 3 時間間隔

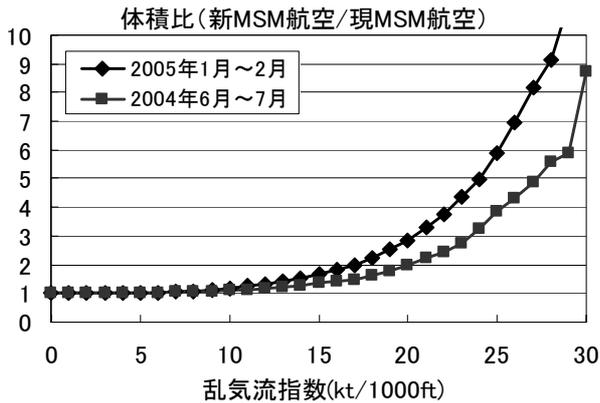


図 6.3.4 11000ft 以上の高度における、ある値以上の乱気流指数で囲まれる体積の比（現 MSM 航空に対する新 MSM 航空の比）。図は全ての予報時刻で足し合わせた結果。

1kt/1000ftずつ値が増えていく。同じ体積率で遭遇率比を比べると、夏季では新MSM航空の方がやや良いが、これもサンプル数が十分ではないため有意に差があるとは言えない。冬季ではほぼ同等の結果となった。

今回のNAPS更新では乱気流指数の作成方法は変更しないが、MSMモデル面の鉛直層数が40層から50層に増えたことと、水平格子間隔が10kmから5kmに変更されたことから、強い鉛直シアーがシャープに表現されるようになる。これにより、大きな乱気流指数で囲まれる領域の体積は、従来よりも大きくなる。図6.3.4に、11000ft以上の高度における、夏季と冬季の新・現MSM航空の乱気流指数で囲まれる体積の比を示す。例えば16kt/1000ftでは、新MSM航空の乱気流指数で囲まれる体積は、現MSM航空の1.4~1.8倍となる。FBJP112では、乱気流指数が16kt/1000ft以上の領域を乱気流予想域として表示しているが、NAPS更新後はその面積はやや広がる。

(4) まとめ

本項では、MSM航空の変更点と検証結果を述べた。新MSM航空では、積乱雲量の作成手法を、KFパラメタリゼーションで計算された対流雲の雲頂高度を用いた方式に変更する。積乱雲域の検証の結果、夏・冬とも新MSM航空は現MSM航空を大きく改善していることが分かった。個々の事例で見ると、冬型降雪時の積乱雲が従来よりも多く表現されるようになった。乱気流指数は、現在と同様にMSMモデル面から内挿した風の鉛直シアーとする。乱気流指数の検証の結果、新・現MSM航空はほぼ同等の精度を持つことが分かった。ただし、ある大きさの乱気流指数で囲まれる領域の体積は、指数の値が大きいほど従来と比べて増加することも分かった。新MSM航空の乱気流指数を利用するに当たってはこの点に注意してもらいたい。

6.3.3 TAF-S視程ガイダンス

TAF-S視程ガイダンスは短距離飛行用飛行場予報(TAF-S)の視程予報を支援する予測資料であり、MSMを利用して作成されている。このTAF-S視程ガイダンスの作成手法は、2004年9月の非静力学MSM導入時に診断方式からTAF-Lガイダンスと同じカルマンフィルター方式に変更した(高田 2004)。今回MSMの格子間隔が10kmから5kmに変更されるにあたり、このカルマンフィルター方式の視程ガイダンスの作成手法を一部変更して精度向上を目指した。ここではその作成手法、予測精度と利用上の留意点を解説する。

(1) 仕様と作成手法

表6.3.3に新TAF-S視程ガイダンスの仕様を示す。これまでと比べ、作成手法を一部変更し、作成頻度を5km-MSMの運用に合わせて現行の1日4回から8回に倍増させる。以下では作成手法の変更点について述べる。

新ガイダンスは、現行と同じくカルマンフィルター方式であるが、天気による層別化を導入する。また時刻別の層別化の廃止、説明変数の一部変更も行う。まず、天気による層別化の導入について説明する。視程悪化の特性は天気(霧、雨、雪など)によって異なるにもかかわらず、現視程ガイダンスは同じ予測式を用いていた。これは簡便ではあるが以下の弊害を生んでいた。

- 雪の頻度が少ない空港では、雪による悪視程を予測しにくい。
- 雪の頻度が多い空港では、無降水時でも悪視程を予測することがある。
- 霧の多い空港では、雨で過剰な悪視程を予測することがある。
- 視程と天気との整合が取れていないことがある。

これらの問題点を解消するために、無降水(霧・もやを対象)、雨(みぞれ含む)、雪の3種類の天気ごとに別々の予測式を作成することにした。この場合、天気の予測が外れると誤差を大きくするという欠点があるため、天気ガイダンスの精度向上も併せて行う。これについては、第6.3.5項TAF-S天気ガイダンスで解説する。

次に時刻別層別化の廃止について説明する。これには二つの目的がある。一つは、天気による層別化に伴って減少する、係数の最適化を増やすことである。もう一つは、現ガイダンスが時間に過剰に適応し、朝方に頻繁に悪視程を予測して空振りが多くなる傾向を抑制するためである。この時刻別層別化の廃止に伴い、各空港での予測式は無降水、雨、雪の3つのみになり、TAF-S天気ガイダンスによってどの予測式が適用されるかが決まる。

表6.3.3 新TAF-S規程ガイダンスの仕様。現ガイダンスからの変更箇所を陰影で示す。

予報要素	卓越規程の前1時間の最小値
予報時間	2,3,...,15時間
作成頻度	1日8回 (00,03,...,21UTC初期値)
方式	カルマンフィルター 天気層別化。頻度バイアス補正を行う。
目的変数	予報要素に同じ
説明変数 (定数除く)	5km-MSMのGPVから天気別に作成 無降水 : $(1-RH)^{1/2}$ 雨 : $(1-RH)^{1/2}$ 、 $(r1)^{1/2}$ 雪 : $(1-RH)^{1/2}$ 、 $(r1)^{1/2}$ 、 $T \times VV$ RH (地上相対湿度)、r1 (1時間降水量)、 T (地上気温℃)、VV (地上風速m/s)。T $\times VV$ は上限を10とする。

さらに説明変数の一部変更も行う。現在は地上相対湿度や1時間降水量の他に、風速と高湿度時の気温低下といった説明変数を使用している。しかし、後者2つはあまり有効でないため、今回廃止する。一方で、雪の予測式の説明変数として吹雪の効果(風速×気温)を導入する。各天気での説明変数を表6.3.3に示す。説明変数は少なくなっており、特に無降水では地上湿度のみが説明変数になっていることに留意願いたい。これは、なるべく単純にすることによって、ガイダンスの予測値の根拠が明確になると考えたためである。

(2) 予測特性と精度

5km-MSMの評価期間として設定された2004年6-7月および2005年1-2月で新ガイダンスの検証を行った。ただし、両期間とも係数が馴染む最初の1週間は検証から除いてある。実験では2005年6月終わりに10km-MSMの現カルマンフィルターの係数を引き継いだ後、5km-MSMで1ヶ月係数更新を行い、その係数を2004年6月から適用した。なお、本運用では8回/日の5km-MSMを用いるが、今回の検証では4回/日の5km-MSMを用いている。

図6.3.5、図6.3.6に評価期間における新ガイダンスのスレットスコアとバイアススコアを示す。新ガイダンスはどの閾値どの期間でも現行より改善され、特に冬は大きく改善している。天気判別ミスによる誤差増大の可能性があるにもかかわらず、精度の向上がみられた。これは、天気で層別化した効果が大きいこと、天気ガイダンスの予測精度が十分高いことによると考えられる。

冬の大きな精度向上は雨と雪の予測式を分けたことが影響しており、特に雪の多い本州日本海側、北海道での改善率が大きい。バイアススコアが小さすぎたのが1に近くなり、見逃されていた雪による悪

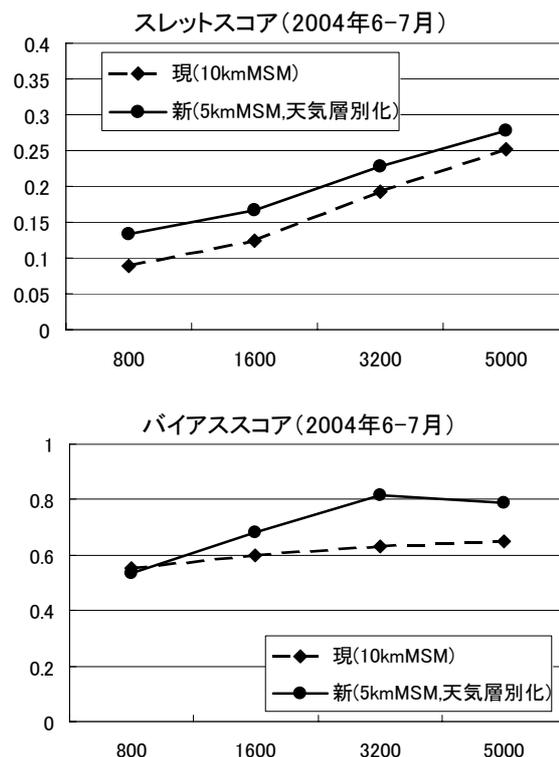


図6.3.5 新・現規程ガイダンスのスレットスコア(上)とバイアススコア(下)。全予報時間での検証。横軸は視程の閾値(m)、縦軸はスコア。検証期間は2004年6-7月だが、最初の1週間は検証から除いてある。検証地点は全国73空港。

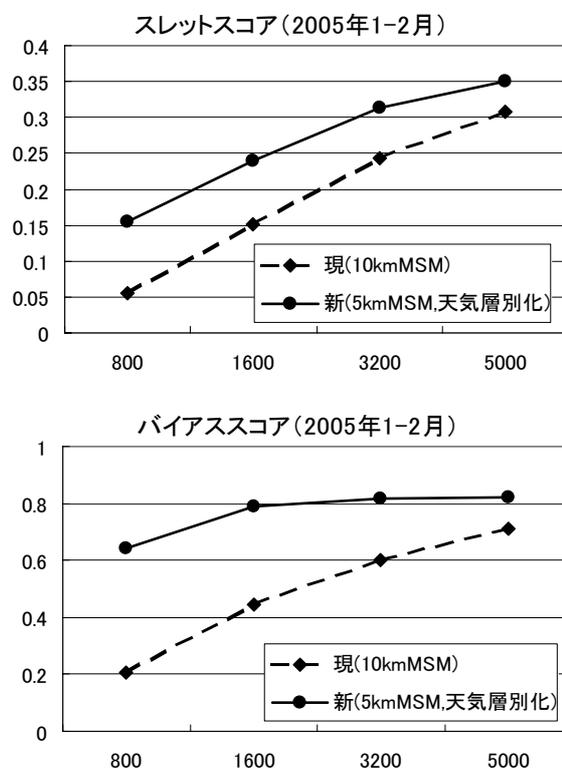


図6.3.6 新・現規程ガイダンスのスレットスコア(上)とバイアススコア(下)。検証期間は2005年1-2月。その他は図6.3.5に同じ。

視程を予測できるようになったことがわかる。図6.3.7は同期間の小松空港で雪が降った時の予測と実況の散布図である。現ガイダンス（□印）は2000m以下の予測はほとんどない。一方、新ガイダンス（×印）は2000m以下の予測値も多く、左下に×印が多いことから、雪による悪視程を予測できる例が増えている。このような予測傾向の変化は寒候期に雨と雪が混在する北陸の空港で顕著である。

図6.3.8に予報時間とスレットスコアの関係を示す。新ガイダンスは全予報時間において現ガイダンスを上回っている。ただ、新ガイダンスは予報時間が進むにつれてやや精度の低下がみられる。これは、天気判別精度が時間と共に低下するためと思われる。新ガイダンスは3時間ごとに更新される。よって、基本的には新しい初期値のガイダンスを利用するほうが良い。

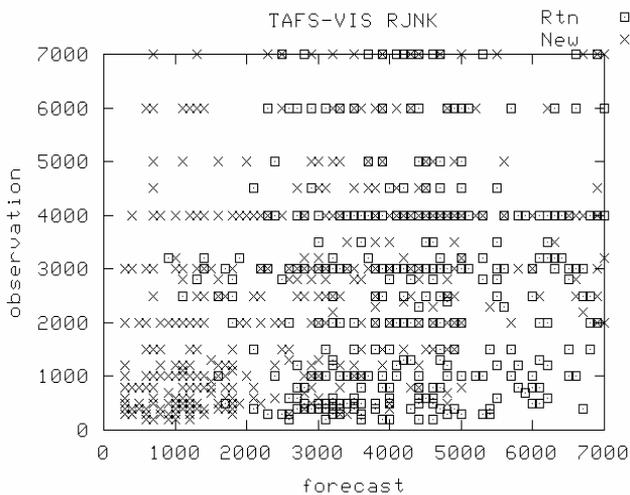


図6.3.7 小松空港での視程ガイダンス予測値と観測値との散布図（2005年1-2月）。観測で雪が降った場合に限っている。全予報時間での検証。横軸が予測、縦軸が観測（単位はm）。Rtn（□）が現ガイダンス、New（×）が新ガイダンス。

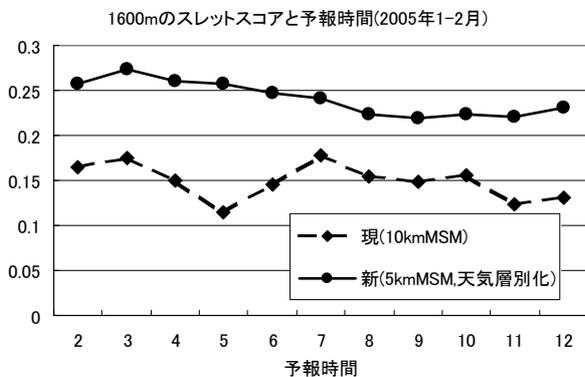


図6.3.8 新・現視程ガイダンスの予報時間によるスレットスコアの変化。横軸は予報時間（時間）、縦軸はスコア。閾値を1600mとした場合。期間は2005年1-2月で、検証地点は国内73空港。

前述したように、時刻別層別化の廃止により、霧の多い空港で朝方の空振りを減らし精度向上を目指した。この効果を検証するために、霧の多い新千歳、仙台、成田空港において2004年6-7月の朝方（日本時間で5-8時）の予測精度を調べた。この期間、霧に近い1600m以下の視程が出現した頻度は5.4%であった。この悪視程に対し、現ガイダンスでは空振り率（悪視程を予測して外れた割合）が83%であったが、新ガイダンスでは63%と大きく減少した。スレットスコアも0.05から0.16と上昇し、精度の向上がみられた。

(3) 利用上の留意点

前述したように、新ガイダンスは天気ガイダンスの予測精度に大きく影響を受ける。これを踏まえて利用上の留意点を述べる。

- ① 降水時の予測値は、MSMの降水の予測精度に大きく依存する。実況と見比べながら、MSMの降水予測の正誤を考えて修正願いたい。例えば、MSMに降水の時間的ずれがあれば、ガイダンスも同じように時間的にずらして利用する必要がある。空間的なずれによって降水がないと考えた場合は、無降水の時間帯の予測値に置換するなどの修正が必要になる。
- ② 寒候期では、MSMの降水予測を実況と比較する以外に、天気ガイダンスの雨雪判別についても実況資料と比較する必要がある。
- ③ 無降水時の説明変数は地上湿度のみである。よって、MSMの地上湿度予測が外れるような場合、例えば予想されてない移流霧や放射霧が発生する兆候がみられた場合には修正が必要となる。
- ④ 時刻による層別化を廃止したため、新ガイダンスはやや緩慢な時間的変化となりやすい。例えば、無降水時で朝方発生した霧・もやが日中に急激に解消するような場合には、実況や現象の寿命を考え、ガイダンス値にめりはりをつける修正をして頂きたい。

6.3.4 TAF-S雲ガイダンス

TAF-S雲ガイダンスは短距離飛行用飛行場予報(TAF-S)の雲量・雲底高度予報を支援する予測資料であり、MSMを利用して作成されている。今回のMSMの格子間隔が10kmから5kmに変更されるにあたり、TAF-S雲ガイダンスも作成方法の変更を行い、精度向上を目指した。ここではその作成方法、予測精度と利用上の留意点を解説する。

(1) 仕様と作成手法

表6.3.4に新TAF-S雲ガイダンスの仕様を示す。こ

れまでと比べ、作成手法を変更し、作成頻度を5km-MSMの運用に合わせて現行の1日4回から8回に倍増させる。以下では作成手法の変更点について述べる。

作成手法はカルマンフィルター方式からニューラルネットワーク方式に変更する。現ガイダンスはまずMSMモデル面の湿度を細見(1999)の手法に従って雲量に非線形変換し、かつ下層で雲量が多くなりすぎるのを調節する。その後、変換したこのモデル雲量を説明変数、各高度の観測雲量を目的変数(表6.3.4参照)としたカルマンフィルターを用いて予測している。このように湿度を直接説明変数にせず、いったん雲量に変換しているのは、線形関係を仮定するカルマンフィルターに適用しやすくするためである。今回、この途中の変換誤差を省くために非線形関係に対応できるニューラルネットワークを採用した。つまり、モデル面湿度を説明変数、各高度の観測雲量を目的変数とするニューラルネットワークを用いて予測するように変更する。

この作成方式の変更の他に次の3つの変更を行う。1つめは、現ガイダンスで使われていた、学習時に予測値を観測に埋め込む手法の廃止である。観測される雲量は最大3層なので(積乱雲がない場合)、現ガイダンスは、観測がない高度面に前回の初期値の予測値を推定値として埋め込んでいた。これは、各層の学習回数をなるべく均等にし、学習機会のない層を減らす目的で行われていた。しかし、予測値を目的変数にすることはガイダンスとしては好ましくない学習であり、今回廃止することにした。その代わりに、観測された雲底高度から見積もる雲の厚みを増やし(現在は雲底高度の0.25倍だったのを一律2000ftとする)、かつ時刻別の層別化を廃止すること

表6.3.4 新TAF-S雲ガイダンスの仕様。現ガイダンスからの変更箇所には陰影をかけてある。

予報要素	前1時間の最低シーリング*時における最大3層の雲量と雲底高度 目的変数である各高度の雲量から抽出される。抽出方法は大林(2002)を参照。
予報時間	2,3,⋯,15時間
作成頻度	1日8回(00,03,⋯,21UTC初期値)
方式	ニューラルネットワーク 逐次学習方式。頻度バイアス補正を行う。
目的変数	0,100,⋯,1000,1500,⋯,5000,6000,⋯,10000,12000,⋯,30000ftの雲量(38層)
説明変数(定数除く)	上記の各高度に近い3つのモデル面湿度、850hPaと地上気温の差(5km-MSMのGPVを使用)

*シーリング：雲量5/8以上の最低雲底高度

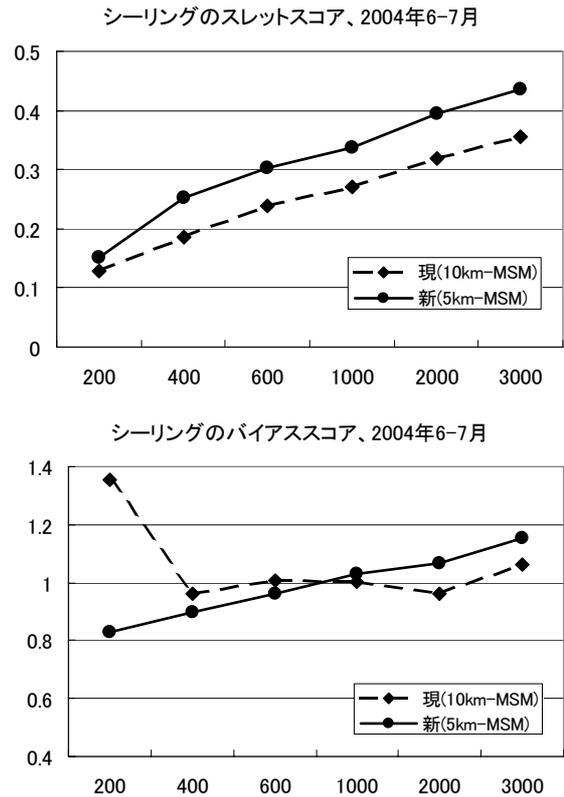


図6.3.9 新・現雲ガイダンスのスレツトスコア(上)とバイアスコア(下)。全予報時間での検証。横軸はシーリングの閾値(ft)、縦軸はスコア。検証期間は2004年6-7月だが、最初の1週間は検証から除いてある。検証地点は全国73空港。

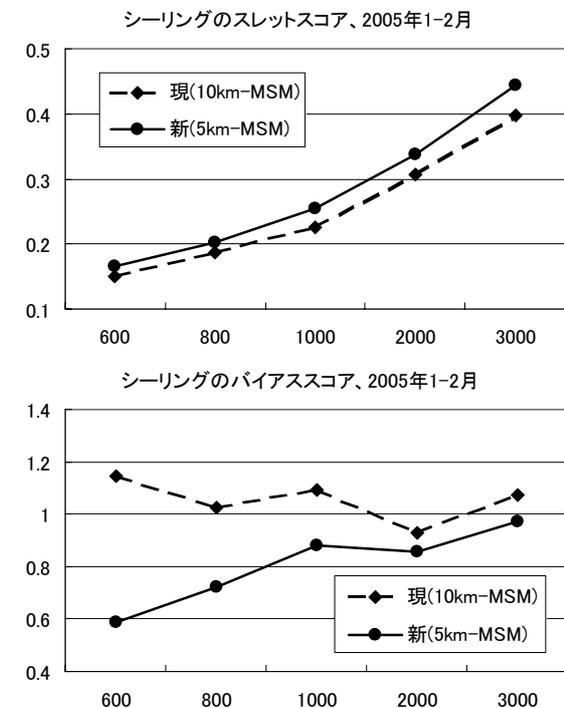


図6.3.10 新・現雲ガイダンスのスレツトスコア(上)とバイアスコア(下)。検証期間は2005年1-2月で、その他は図6.3.9に同じだが、冬は低シーリングが少ないため、閾値は600ftから示してある。

によって各層の学習機会を確保する。なお、時刻別層別化の廃止により、夜に下層の気温が下がって下層雲が発生したり、雲底が下がったりする現象を表現しにくくなる可能性がある。このため、新たに下層の安定度（850hPaと地上の気温差）を説明変数に導入する。

2つめは、現ガイドスではMSM初期時刻の6時間前～初期時刻の1時間後⁶における最新の観測を利用していなかったが、新ガイドスではこの最新の観測値も学習に利用する。

3つめは、予測のバイアスコアが1に近づくように行われている頻度バイアス補正において、過度な補正を止め予測値の2倍を限度とすることである。気象庁のガイドスでは、カルマンフィルター方式は頻度バイアス補正が併用されているが、ニューラルネット方式では頻度バイアス補正が行われていない。今回、カルマンフィルター方式からニューラルネット方式に変更したが、頻度バイアス補正は引き続き併用する。ただし、過度の補正は空振り率（悪視程を予測して外れた割合）を大きくする原因になるため、頻度バイアス補正の補正倍率に上限を設けた。この効果については次項で述べる。

(2) 予測特性と精度

5km-MSMの評価期間として設定された2004年6-7月および2005年1-2月で検証を行った。検証方法は第6.3.3項視程ガイドスとほぼ同じであり、省略する。図6.3.9、図6.3.10に評価期間における新ガイドスのスレットスコア、バイアスコアを示す。新ガイドスはどの閾値どの期間でも現ガイドスよりスレットスコアが改善され、特に低シーリングの発生しやすい6-7月に大きな改善となっている。

予測特性における新・現ガイドスの違いは、新ガイドスが低シーリングにおいてバイアスコアが小さくなっていることである。2004年6-7月の600ft以下、2005年1-2月の2000ft以下において、新ガイドスのバイアスコアは現ガイドスに比べて小さく、1以下となっている。これは、空振りを減らすように、過度な頻度バイアス補正を行わないようにしたためである。図6.3.11に2004年6-7月の空振り率を示す。空振り率は全閾値で大きく減少しており、頻度バイアス補正を抑えた効果が出ている。

一般に、空振りを減らすことは捕捉率（低シーリングの発生数の内予測できた割合）の減少に繋がる。しかし、図6.3.11の捕捉率からわかるように、新ガイドスは空振り率の減少にも関わらず捕捉率も増加しており、精度の向上が確認できる。ただし、出現率が低く精度が低い200ft以下の低シーリングでは

⁶ ガイドスはMSM初期時刻の約2時間後に作成されるため、初期時刻の1時間後までの観測が学習に利用できる。

シーリングの捕捉率と空振り率、2004年6-7月

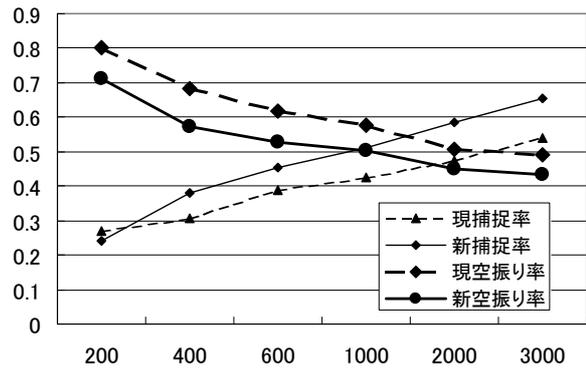


図6.3.11 新・現雲ガイドスの捕捉率と空振り率。検証期間は2004年6-7月。その他は図6.3.9に同じ。

シーリング600mのスレットスコアと予報時間
2004年6-7月

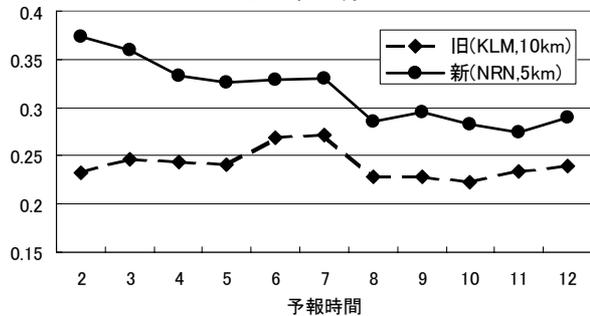


図6.3.12 新・現雲ガイドスの予報時間とスレットスコアの関係。シーリングが600ftの場合。期間は2004年6-7月。検証地点は全73空港。

捕捉率がやや低下し、改善はない。2005年1-2月でも空振り率は全閾値で大きく減少し改善されるが、捕捉率は出現率の低い800ft以下でやや低下する(図略)。

図6.3.12に予報時間とスレットスコアの関係を示す。新ガイドスは全予報時間において現ガイドスを上回っている。ただ、新ガイドスは予報時間が進むにつれて精度の低下がみられる。図には600ft閾値の場合を示したが、この傾向は他の閾値でも同様である。新ガイドスは3時間ごとに更新される。よって、基本的には新しい初期値の予測を利用する方がよい。

(3) 利用上の留意点

新ガイドスの利用上の留意点を述べる。

- ① 新ガイドスは精度が向上するものの、空振りを減らすように調整したため、出現率が低く予測が難しい低シーリングの捕捉率はほとんど改善されない。よって、低シーリングの兆候がみられた場合には、引き続き積極的な修正をお願いしたい。

② 時刻による層別化を廃止したため、新ガイダンスは時間的変化がやや緩慢になる。よって、例えば朝方に発生した低シーリングと日中における急激な解消といった現象の際に、実況や現象の寿命を考え、ガイダンス値にめりはりをつけて頂きたい。

6.3.5 TAF-S天気ガイダンス

TAF-S天気ガイダンスは短距離飛行用飛行場予報(TAF-S)を支援する資料であり、MSMを利用して2-15時間後までの飛行場の天気(晴れ、曇り、雨、みぞれ、雪)および降水強度(弱、並、強)を予測する。新TAF-S天気ガイダンスは、5km-MSMの運用に合わせて1日8回の作成頻度となる。また作成手法の一部変更も行い、精度向上を目指した。第6.3.3項TAF-S視程ガイダンスで述べたように、視程ガイダンスはこの天気ガイダンスの判別結果を使って予測式を選択する。よって、天気ガイダンスは視程ガイダンスと整合が取れると共に、天気ガイダンスの精度が視程ガイダンスの精度に大きく影響することにもなる。ここでは、TAF-S天気ガイダンスの作成手法の変更点を説明し、その精度を示す。

(1) 作成手法

現TAF-S天気ガイダンスはお天気マップ(萬納寺1994)のアルゴリズムによって作成されていた。新ガイダンスも同様にお天気マップ方式であるが、2つの変更を行う。一つは雨雪判別に使用する地上気温の変更で、もう一つは降水の有無を決める閾値の変更である。

まず、地上気温の変更について説明する。お天気マップでは雨雪判別に利用する地上気温として、MSMの格子点値を直接使用している。しかし、MSMの地上気温はモデル地形の標高が実際と異なるなどの理由によりバイアスを含む。このバイアスの軽減および精度向上を目指し、カルマンフィルター方式で地上気温を求め(航空毎時気温ガイダンス⁷と呼ぶ)、これを雨雪判別に利用する。この航空毎時気温ガイダンスは、5km-MSMの地上予報値を説明変数として航空官署の1時間ごとの気温を予測し、予報時間は2-15時間である。作成手法は第6.3.7項で解説されている航空気温ガイダンス、および松本・海老原(2003)と同じである。精度に関しては、2005年1-2月の平方根平均二乗誤差が全空港平均で約1.6°Cであるが、北日本と内陸の空港で誤差が大きく、海に近い空港で小さい傾向がある。

次に降水の有無を決める閾値の変更について説明する。お天気マップは、雨の場合にMSM1時間降水

表6.3.5 弱、並、強の降水を決めるMSM1時間降水量予測の閾値(単位:mm)。()内は現ガイダンスの閾値。

閾値(mm)	弱	並	強
雨	0.15(0.20)	1.5(1.67)	8.0(3.33)
雪	0.04(0.05)	0.4(0.67)	3.0(1.33)

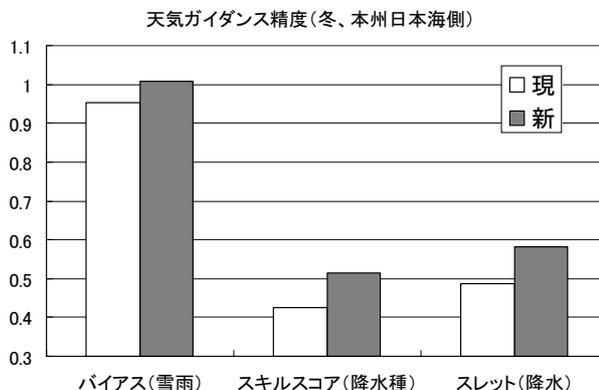


図6.3.13 新・現天気ガイダンスの精度評価

本州日本海側の16空港における2005年1-2月での検証結果。バイアス(雪雨)は雪と雨の2×2の分割表から求めたバイアススコア(雪の予測が過多の場合に1以上)、スキルスコア(降水種)は、雨・みぞれ・雪の3×3の分割表から求めたスキルスコアである。どちらも降水ありの予測が当たった場合に限って計算している。スレット(降水)は降水の有無のスレットスコア。

量予測が0.2ミリ以上、雪の場合に0.05ミリ以上で降水ありとしている。今回、飛行場気象観測の現在天気とMSM1時間降水量予測との比較を行い、降水強度を含んだ降水の閾値を表6.3.5のように変更した。弱~並の降水の閾値はやや小さく、強い降水の閾値は大きくなる。なお、今回は5km-MSMの予報結果の蓄積が少ないため10km-MSMを使って閾値を決定している。今後5km-MSMの予報結果に基づいた、閾値の再調整を行う予定である。

(2) 予測精度

新・現ガイダンスを飛行場気象観測の天気と比較し、雨雪判別の精度を検証した結果を図6.3.13に示す。ここでは、冬(2005年1-2月)に降水が多く、かつ雨雪判別が重要な本州日本海側の16空港において精度評価を行った。バイアススコア(雪雨)は降水ありの予想が当たった場合において、雪と雨の2×2の分割表から求めたバイアススコアであり、1以上が雪の予測が過多であることを示す(みぞれは検証に含めない)。航空毎時気温ガイダンスを使用した効果により、雨雪判別のバイアススコアがほぼ1となっている。現ガイダンスは雨となることがやや多いが、新ガイダンスは偏りがなくなる。スキルスコア(降水種)は、降水ありの予測が当たった場合において、雨・みぞれ・雪の3×3の分割表で計算した

⁷ NAPS更新直後は天気ガイダンスにのみ用いるが、将来は離陸用飛行場予報などに利用する予定である。

値である（巻末付録B参照）。判別精度の向上がみられる。また、降水の有無のスレットスコアも上昇している。これは、降水の有無の閾値を調整したことで、雨雪判別の精度向上が影響している（雨と雪で閾値が異なるため雨雪判別の精度も降水の有無の精度に係わる）。

なお、今回の閾値変更にもかかわらず、暖候期では降水の有無のスレットスコアは向上せず同程度である（図略）。暖候期では10km-MSMと5km-MSMの降水特性がやや変化したことによる（第3.2節）と考えられる。今後、5km-MSMの予報結果の蓄積を待った閾値の再調整により、精度向上を図りたい。

6.3.6 TAF-S最大風速ガイダンス

(1) はじめに

短距離飛行用飛行場予報(TAF-S)の作成を支援するため、予報時間2～15時間の毎時、前1時間内の最大風速及びその風向を予測し、TAF-S最大風速ガイダンスとして1日4回配信している。2006年3月に予定されるメソ数値予報モデル(MSM)の変更に伴い、TAF-S最大風速ガイダンスも新しいMSM(5km-MSM)を用いて作成するように変更する。また、MSMが1日8回実行されるのに合わせて、ガイダンスも1日8回配信される。

(2) 作成手法

TAF-S最大風速ガイダンスの作成手法は、アメダス地点を対象としたMSM最大風速ガイダンスと同一である。作成手法の詳細は第6.2節を参照いただきたい。

(3) 予測特性と精度

2004年6-7月、2005年1-2月について実行された1日4回の5km-MSMの予測値からTAF-S最大風速ガイダンスを作成し、現行のTAF-S最大風速ガイダンスと予測特性や精度を比較した。係数の最適化に時間を要することを考慮して2004年7月及び2005年2月の結果を検証した。ここでは2005年2月の結果を示す。2004年7月についても結果は2005年2月と同様であった。

ガイダンスを作成している国内74空港平均の前1時間内の最大風速の時刻別月平均値を図6.3.14に示す。この図から空港の観測値は15時頃に最大値が出現し、日中強く、夜間弱いという日変化がわかる。5km-MSMでは現行のMSM(10km-MSM)に比べて日変化はやや大きくなっているものの、観測値と比べると小さい傾向がある。ガイダンスは、これらのMSMの誤差を補正しており、予測最大風速の平均値は観測値とほぼ同じ日変化を示している。図6.3.15は、5km-MSM、10km-MSMの地上風、及び

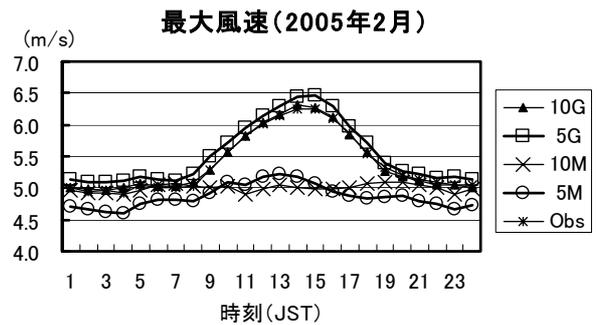


図 6.3.14 時刻別の前1時間内最大風速の月平均値。図の凡例で10Gは10km-MSMを用いたガイダンス、5Gは5km-MSMを用いたガイダンス、10Mは10km-MSM、5Mは5km-MSM、Obsは空港観測値を示す

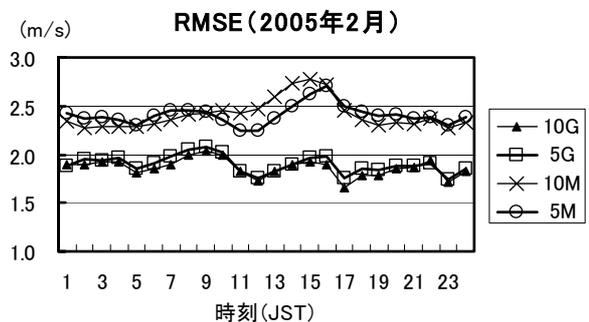


図 6.3.15 時刻別の前1時間内最大風速のRMSE。図の凡例は図6.3.14と同じ。

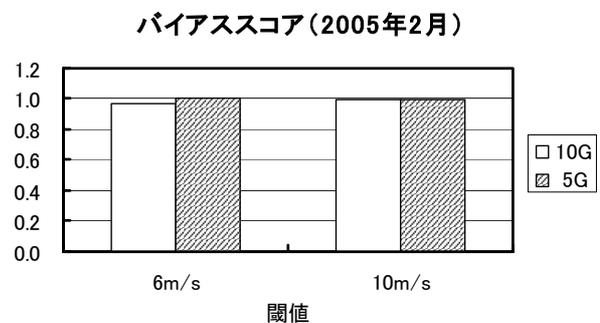


図 6.3.16 最大風速ガイダンスの閾値別のバイアスコア。図の凡例は図6.3.14と同じ。

5km-MSMを用いたガイダンス（5kmガイダンス）、10km-MSMを用いた現行のガイダンス（10kmガイダンス）の平方根平均二乗誤差(RMSE)である。5km-MSMは10km-MSMに比べて昼前から昼過ぎはRMSEが小さい。5kmガイダンスと10kmガイダンスのRMSEはほぼ同じである。

バイアスコア（図6.3.16）は、5kmガイダンスと10kmガイダンスで大きな差はなく、ほぼ1に近い値となっている。スレットスコア（図6.3.17）に

表 6.3.6 航空気温ガイダンスの仕様概要

	現ガイダンス	新ガイダンス
利用モデル	RSM	RSM
統計手法	カルマンフィルター	カルマンフィルター
予測要素	最高、最低	最高、最低、時系列
最高最低	今日と明日	今日と明日
	なし	FT=06-51 (3時間毎)
予測地点	国内空港	国内空港
説明変数	バイアス項	バイアス項
	RSM 地上気温	RSM 地上気温
	RSM 地上東西風成分	RSM 地上西風成分
		RSM 地上東風成分
	RSM 地上南北風成分	RSM 地上南風成分
		RSM 地上北風成分
		RSM 地上風速
	RSM 中下層雲量	RSM 中下層雲量

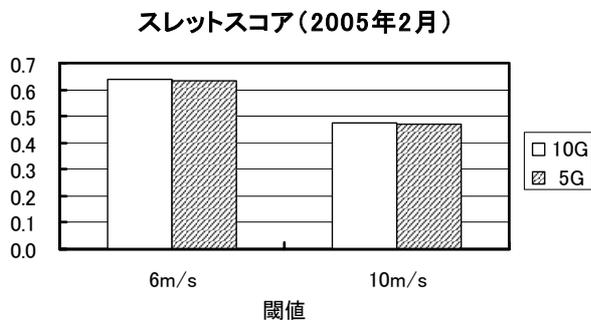


図 6.3.17 最大風速ガイダンスの閾値別スレットスコア。図の凡例は図 6.3.14 と同じ。

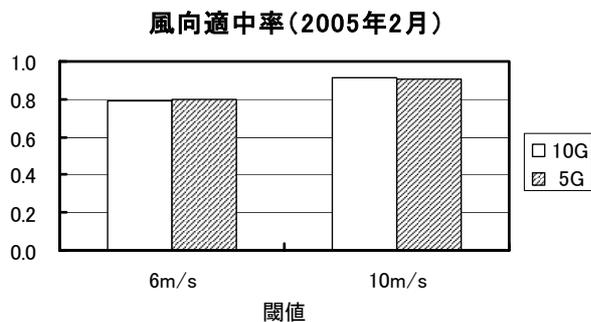


図 6.3.18 最大風速ガイダンスの風向適中率。図の凡例は図 6.3.14 と同じ。

についても5kmガイダンスと10kmガイダンスはほとんど同じ値となっている。

図6.3.18は閾値別の風向適中率である。閾値6m/sの場合、予測風速が6m/s以上の事例から適中率を求めている。ここでは予測した風向が観測値に対して±22.5°以内の場合を適中とした。5kmガイダンスの風向適中率は10kmガイダンスとほとんど同じであった。

(4) まとめ

2006年3月のMSMの変更に伴い、TAF-S最大風速ガイダンスについても5km-MSMを用いて1日8回作成されるようになる。5km-MSMを利用したガイダンスの予測精度、予測特性は10km-MSMを利用したガイダンスとほぼ同じであることが確かめられた。ガイダンスが1日8回、3時間毎に作成されるため、より新しい初期値のMSMに基づいた予測値を利用できるようになり、精度の向上が期待できる。

6.3.7 航空気温ガイダンス

(1) 変更点

2006年3月のNAPS更新に合わせて、飛行場予報を支援するための航空気温ガイダンスを、アメダス地点を対象としたRSM気温ガイダンスと同じ仕様に変更し、精度向上を図る。

航空気温ガイダンスは、表6.3.6に「現ガイダンス」として示した仕様で運用されており、運用開始以来大きな変更はなかった。一方、RSM気温ガイダンスは、2003年1月にそれまでに報告されていた様々な問題点を踏まえて大幅な改善が実施された(松本・海老原 2003)。航空気温ガイダンスでも、2003年1月以前のRSM気温ガイダンスと同様に以下のような問題を抱えていたため、今回これらの改善を図る。

- ・風の正負が原因で異常値が計算されることがある。
- ・係数変化の小さい地点があり、気温ベースの変化に追従できないことがある。

2006年3月以降の航空気温ガイダンスの仕様を表6.3.6の「新ガイダンス」に示す。新ガイダンスでは地上風の説明変数を西風成分、東風成分、南風成分、北風成分、及び風速の5つの項に分けたこと、地点毎に係数の変化速度を決めるパラメータを再調整して全地点で一定の係数変化速度を確保するようにしたこと、さらに3時間毎の時系列気温についても予測できるようになったことが主な変更点である。新

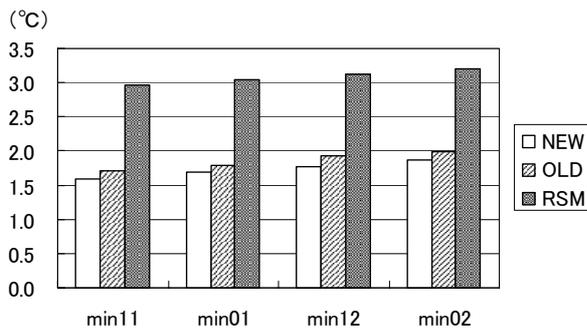
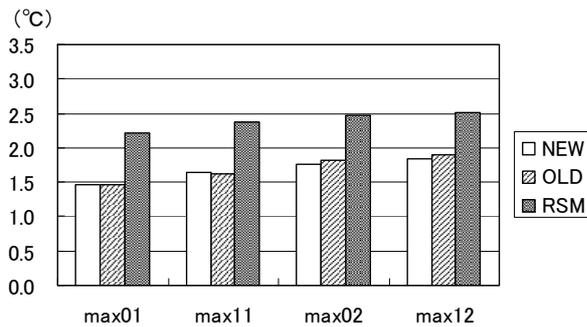


図 6.3.19 航空気温ガイダンスの RMSE。図の凡例で NEW が新ガイダンス、OLD が現ガイダンス、RSM は RSM 地上気温を示す。max01、max02、min01、min02 はそれぞれ 00UTC 初期値の当日最高気温、翌日最高気温、翌朝最低気温、翌々朝最低気温を示し、max11、max12、min11、min12 はそれぞれ 12UTC 初期値の翌日最高気温、翌々日最高気温、翌朝最低気温、翌々朝最低気温を示している。

ガイダンスの仕様の詳細については松本・海老原(2003)を参照していただきたい。

(2) 予測精度

2003年4月から2004年3月までの空港の気温観測値及びRSMによる予測値を用いてカルマンフィルターの各種パラメーターを最適化し、2004年4月から2005年3月までのデータを用いて予測精度を検証した。最高・最低気温ガイダンスの平方根平均二乗誤差(RMSE)を図6.3.19に示す。RMSEは00UTC初期値の当日最高気温(max01)、12UTC初期値の翌日最高気温(max11)ではほぼ同等であるが、それ以外は全て新ガイダンスの方が改善している。特に最低気温のRMSEは新ガイダンスの方が0.1°C以上改善している。平均誤差は新・現ガイダンスともにほぼ0となり、RSMのバイアスをほぼ完全に補正している(図略)。図6.3.20には全予測の中で誤差が3°C以上であった予測回数の割合(3°Cはずし率)を示した。3°Cはずし率は12UTC初期値の翌日最高気温(max11)ではほぼ同じであるほかは、新ガイダンスの方が現ガイダンスより小さくなっており、精度が向上している。

図6.3.21は3時間毎の時系列気温の予測精度である。

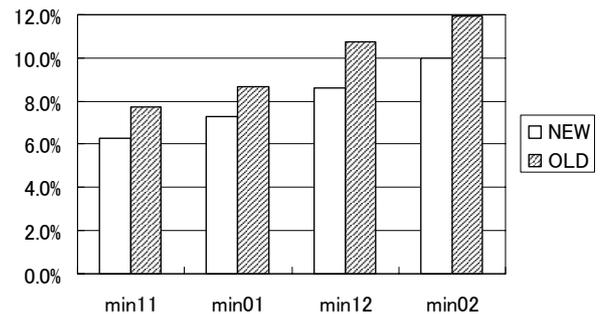
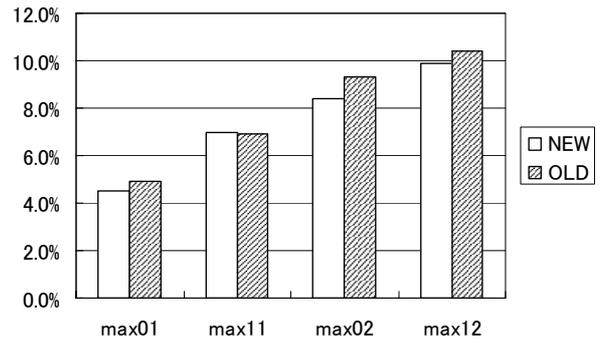


図 6.3.20 全予測の内 3°C以上はずした割合。図の凡例は図 6.3.19 と同じ。

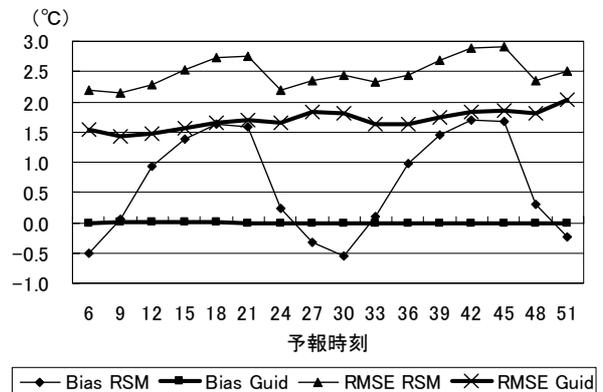


図 6.3.21 00UTC 初期値のガイダンスと RSM 地上気温の平均誤差と RMSE。図の凡例で Bias RSM は RSM 地上気温の平均誤差、Bias Guid はガイダンスの平均誤差、RMSE RSM は RSM 地上気温の RMSE、RMSE Guid はガイダンスの RMSE を示す。

RSM地上気温には夜間に高温バイアス、日中に低温バイアスが見られるが、ガイダンスではこれらのバイアスは取り除かれている。また、ガイダンスのRMSEは、全ての予報時刻についてRSM地上気温のRMSEより小さく、予報前半で1.5°C程度、予報後半でも2°C以下となっている。

参考文献

大林正典,2002:雲に関するガイダンス.平成14年度数

- 値予報研修テキスト,気象庁予報部,50-51.
- 工藤淳, 2004: 国内航空悪天GPV. 平成16年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 58-62.
- 工藤淳, 2005: SK通報のないC-PIREPに対する晴れ・曇り判別法. 航空気象ノート第64号, 気象庁航空気象管理官, 6-9.
- 高田伸一, 1997: 国内悪天予想資料のCB予測について. 平成8年度航空気象予報技術検討会及び航空気象予報研修, 気象庁予報部, 123-126.
- 高田伸一, 2004: TAF-S視程ガイダンス. 平成16年度数値予報研修テキスト,気象庁予報部, 53-55.
- 細見卓也, 1999:雲水の予報変数化.平成11年度数値予報研修テキスト,気象庁予報部, 52-57.
- 松本逸平, 海老原智, 2003: 気温ガイダンスの改善. 平成15年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 47-52.

6.4 毎時大気解析¹

6.4.1 はじめに

毎時大気解析は従来の毎時風解析を拡張して風と気温の実況監視資料としたもので、2006年3月から運用を開始する²。その仕様を表6.4.1に示す。作成手法は毎時風解析と同様に、最適内挿法によりMSM予報値を観測値で修正するというもので、詳細については酒井(2001)及び西嶋(2004)を参照されたい。本節では毎時風解析からの変更事項を中心に解説する。

6.4.2 気温解析の開始

(1) 気温解析に使用する観測値

毎時大気解析の気温解析で使用する観測値は、地上解析ではアメダス気温、高層解析ではアメダス気温及び航空機自動観測(ACARS)の気温である³。ただしアメダス気温観測値が高層の気温解析に与える影響は小さく、高層気温解析値はACARS気温観測値と第一推定値であるMSM気温予報値によってほぼ決まる。

ACARS観測値の分布例を図6.4.1に示す。ACARSデータは航空路上あるいは空港周辺に多く分布し、高度は航空機の巡航高度である300hPa付近に多い。空港周辺では500hPaより下層の観測値も得られる。ただし高度1,000ft以下の観測値は解析に使用しない。その理由は、高度1,000ft以下では観測高度として電波高度計による対地高度が通報されるが、通報地点の標高が不明なため、解析処理が必要とする観測点の気圧が算出できないためである。

(2) 地上気温解析の事例

毎時大気解析における地上気温解析の例を図6.4.2に示す。これは2005年2月23日00UTCに、日本海にある発達中の低気圧に向かって暖かい南西風が吹き込み、関東地方でこの南西風と内陸の冷氣塊との間に顕著な収束帯が形成された事例である。第一推定値として用いたMSM予報値⁴(22日18UTC初期値の6時間予報値)では関東平野に収束帯が存在しないのに対し、解析値は収束帯を挟んで存在する大きな温度傾度を適切に表現している。

(3) 高層気温解析の特性

高層の気温解析では観測値が少ないため、MSM予報値が修正されない領域が広い。例として、前述した地上気温解析の事例と同じ日時の館野における気温鉛直プロファイルを図6.4.3に示す。館野は収束帯の冷氣

側にあり、ゾンデ観測値によると950hPa付近より下層が冷氣層になっている。解析値は地上を除いて第一推定値として用いたMSM気温予報値に近い値となり、冷氣層の厚みを表現できていない。

次に高層気温解析値の統計的な特性を調べる。図6.4.4は2005年8月一ヶ月間の00、12UTCの毎時大気解析気温解析値及びMSM予報値(06、18UTC初期値の6時間予報値)の、ゾンデ観測値に対する平方根平均二乗誤差(RMSE)である(南鳥島を除く日本国内高層観測地点の平均値)。ACARS観測値が上層に多いため、解析値がMSM予報値を改善する度合いも上層ほど大きいという傾向がある。一方、925hPaでは解析値の方がMSM予報値よりもRMSEが大きい。これは図6.4.5の模式図が示すように、逆転層が存在すると解析値の誤差が大きくなる場合があるためである。逆転層付近での気温解析値の利用には注意が必要である。

6.4.3 毎時衛星風の利用

気象衛星の画像から雲や水蒸気のパターンを追跡して大気の移動を推定したものを衛星風と呼ぶ。衛星風の観測値は250~300hPaの高度に最も多く存在する。MTSAT-1Rでは毎時衛星風として一時間ごとの衛星風を算出している(今井・橋本 2005)。毎時大気解析では2006年3月の運用開始時からこのデータを使用する予定である。

毎時衛星風を利用した解析の例を図6.4.6に示す。毎時衛星風を使うことで300hPaにおける風速30m/sの等風速線が三陸沖まで延び、強風軸がより明瞭に表現されている。このように、毎時衛星風の利用により特に300hPa付近で風解析値の精度向上が期待される。

6.4.4 強風時における地上風解析の精度向上

従来の毎時風解析の問題点として、アメダスでは強風を観測しているにもかかわらずその周辺の地上風解析値の風速が弱いことがあげられていた(佐々木 2005)。これは、風解析値は解析格子で表現可能な数十kmスケールを代表する風の流れを表すものであり、スケール

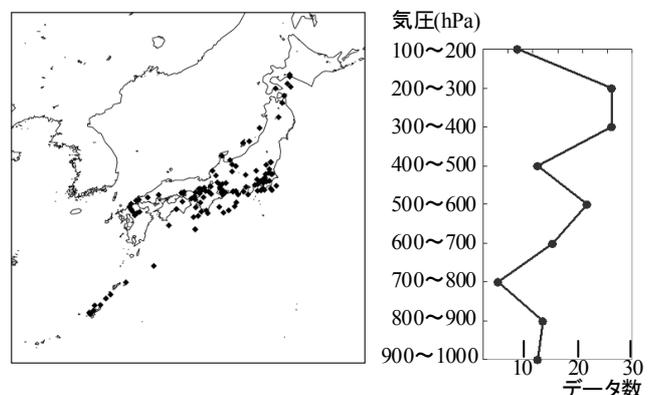


図6.4.1 2005年2月23日00UTCの毎時大気解析で使用されたACARS観測値の分布。左:水平分布(日本周辺)、右:鉛直分布(全解析領域内)。

¹ 西嶋 信

² 気象業務支援センターに対しては2005年7月1日から風解析値を毎時大気解析の名称で配信している。2006年3月には気温解析値も追加する予定である。

³ ゾンデは入電が解析開始時刻(正時20分)に間に合わないため使用しない。

⁴ 10km-MSM予報値を5km格子に内挿したもの。以下の事例も同様。

表6.4.1 毎時大気解析の仕様

解析方法	地上：2次元最適内挿法	高層：3次元最適内挿法
観測値	アメダス(風、気温)	ウィンドプロファイラ、ドップラーレーダー(VVP風) ACARS、毎時衛星風、アメダス(気温のみ)
	ACARSは解析時刻の前後15分、その他は正時の観測値のみを使用。	
第一推定値	解析時点における最新のMSM予報値(通常は02~04時間予報)	
解析要素	風(U、V成分)、気温。風と気温はそれぞれ独立に解析される。	
解析範囲	水平：MSMと同じ領域、5km格子	鉛直：約150hPaまで
解析時刻	毎正時(計算開始は毎正時後20分)	
配信資料	表7.4.2参照。毎正時後30分を目処に配信	

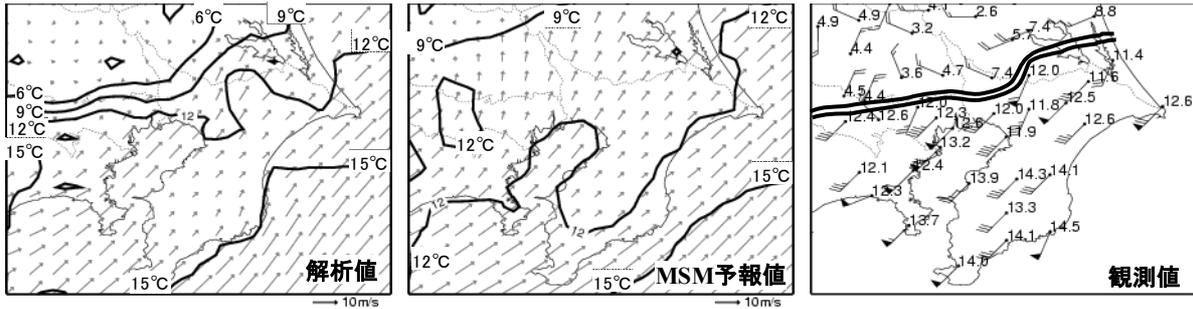


図6.4.2 2005年2月23日00UTC 関東南部の地上風と地上気温。左:解析値、中:MSM予報値、右:観測値。等温線は3°C間隔、矢羽は長い棒が2m/s。MSM予報値は22日18UTC初期値の6時間予報値。右図内の二重線は収束帯の位置を示す。

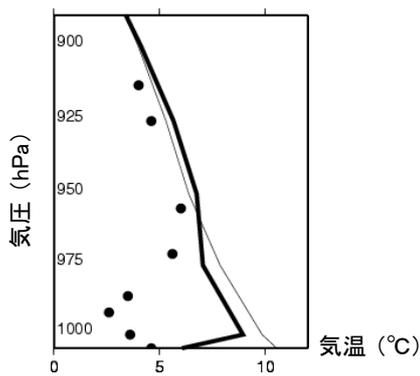


図6.4.3 2005年2月23日00UTC 館野の気温プロファイル。太線:解析値、細線:MSM予報値、点:ゾンデ観測値。MSM予報値は22日18UTC初期値の6時間予報値。

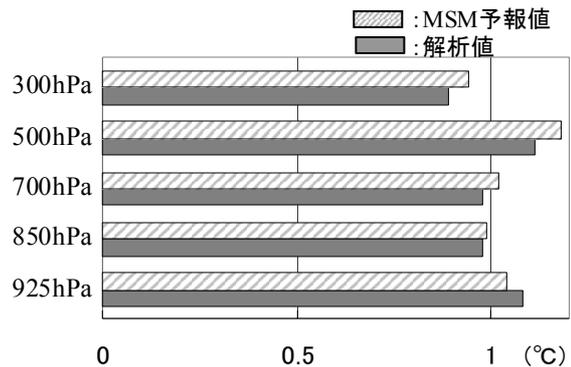


図6.4.4 毎時大気解析とMSM予報値の気温RMSE。2005年8月、日本高層観測地点(南鳥島を除く)での平均。MSM予報値は06,18UTC初期値の6時間予報値。

の小さい局地的な強風は表現できないためである。

毎時大気解析では解析格子が5kmに高解像度化され(後述)、モデル地形も細くなるため、より小さなスケールの風を表現できるようになる。これに伴い、観測値の影響が及ぶ範囲の目安となる「観測値の重みが観測点付近の概ね半分になる距離(相関距離)」を、地上解析では従来の50km程度から25km程度に縮小する⁵⁾。この変更により、格子点から遠い観測値の影響は従来より小さくなり、近い観測値の影響が相対的に大きくなる。そのため強風を観測した地点の近くでは従来より強く、弱風観測点の近くでは従来より弱い地上風解析値が得られる。

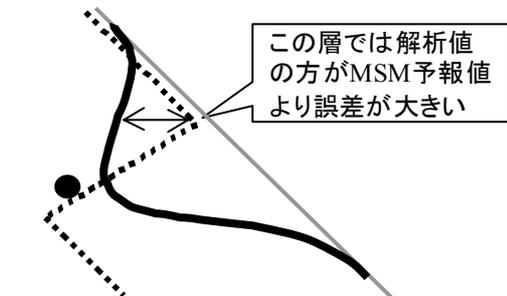


図6.4.5 逆転層付近で解析値に誤差が生じる場合の模式図。黒太線:解析値、灰細線:MSM予報値、黒丸:観測値、破線:真の気温プロファイル。

⁵⁾ 地上風・地上気温とも同じ値を使用する。



図6.4.6 2005年8月9日12UTC 300hPa風解析値の等風速線 (10m/s間隔)。左: 毎時衛星風を使用した解析値、中: 毎時衛星風を使用しない解析値、右: 観測値 (長い棒が10m/s)。観測値で矢羽の根元に×印があるのはウィンドプロファイラまたはACARS、それ以外は毎時衛星風。

相関距離を縮小する効果を図6.4.7に示す。この図は2005年9月6日00～12UTCのアメダスと地上風解析の風速散布図である。この日は台風第14号が九州西岸を北上し、広い範囲で強風が吹いていた。図6.4.7左図は地上風解析値として5km格子・相関距離約25kmで解析した値を、右図は10km格子・相関距離約50kmで解析した値をそれぞれ使用している。5km格子の第一推定値は10km格子の値を内挿したものである⁶。相関距離を縮小することで、観測された風に近い地上風解析値が得られることがわかる。

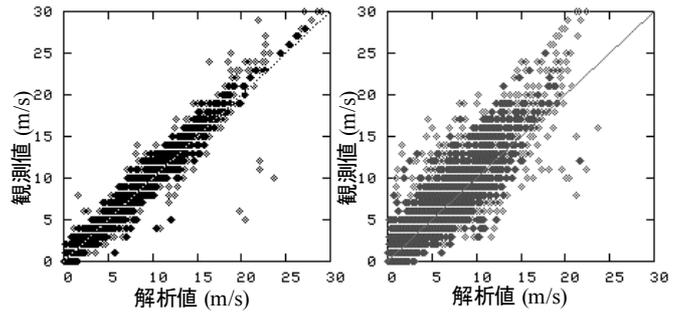


図6.4.7 地上風解析の風速と観測の風速との比較 (2005年9月6日00～12UTC)。左: 5km格子・相関距離約25km、右: 10km格子・相関距離約50km。

6.4.5 その他の変更

(1) 解析範囲の拡大

従来の毎時風解析では計算時間短縮のために解析範囲を日本周辺に限定していた。新NAPSでは計算機的能力が向上することに加え、毎時衛星風により広範囲の観測値が得られることから、毎時大気解析では解析領域をMSMと同じ領域まで拡大する。これにより、航空分野など広範囲の解析値を必要とする利用者に対して、より精度の高い解析値を提供できるようになる。

(2) MSMの水平分解能5km化・1日8回予報への対応

第一推定値となるMSMの水平分解能が5kmになることにあわせて、毎時大気解析も5km格子で解析を行う。またMSMの予報回数が従来の1日4回から8回に増えることで、第一推定値として従来よりも予報時間が短く精度のよいMSM予報値を使えるようになる。

(3) 航空用毎時解析

航空利用者向けの気象情報提供環境において、毎時風解析の画像をwebにより提供している(工藤 2004)。この画像は、解析値を鉛直2,000ft間隔、水平80km間隔に内挿したGPVから作成している。2006年3月以降は画像作成のためのGPVの水平格子間隔を40kmに高解像度化する。気温解析値のwebでの提供は、気温

解析値の有効性を調査した上で行う予定である。

6.4.6 まとめと今後の計画

従来の毎時風解析に対して解析要素への気温の追加、毎時衛星風の利用、水平分解能5km化などの拡張を行い、毎時大気解析という名称で2006年3月から運用する。シヤールラインや暖気・寒気移流の把握、数値予報と実況との比較等に有効利用していただきたい。

今後は2007年3月を目処に解析手法を3次元変分法に変更し、ドップラーレーダー動径風の直接同化、地形に応じた相関距離の調節などの改善を行う予定である。

参考文献

- 今井崇人, 橋本徹, 2005: 衛星風. 気象衛星センター技術報告特別号 (刊行予定).
- 工藤淳, 2004: 毎時風解析について. 航空気象ノート第63号, 気象庁航空気象管理官, 33-36.
- 酒井喜敏, 2001: 毎時下層風解析. 平成13年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 59-61.
- 佐々木洋, 2005: 毎時大気解析 (地上風) の利用方法と注意点. 平成17年度量的予報研修テキスト, 気象庁予報部 (刊行予定).
- 西嶋信, 2004: 毎時風解析. 平成16年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 63-65.

⁶ 解析格子が小さい方が格子位置が観測点に近いので解析値が観測値に近づく効果も考えられる。