

第3章 アプリケーション

3.1 最大降水量ガイダンス¹

3.1.1 はじめに

2003年度から防災気象情報として3時間最大降水量の時系列予報を2次細分予報区(以下、必要に応じ単に予報区と呼ぶ)単位で発表することが計画されている。最大降水量ガイダンスはこの基本資料として利用されるが、従来の最大降水量ガイダンス(以下、旧ガイダンスと呼ぶ。詳細は大澤(1996)を参照)には次のような問題点があった。

3時間最大降水量で30mm以上の強い降水を予測する頻度が実況よりかなり少なく、防災気象情報としての利用が難しい。

40km格子(1600km²)単位で計算した最大降水量を2次細分予報区に割り振るので、予測値が予報区より広い範囲を対象としたものになる。予報区の細分化に伴い面積が400km²前後の狭い予報区も増えており、地域毎の特性を十分に反映できないという問題が大きくなっている。平均降水量予測で降水がないときでも、最大降水量ガイダンスでは常に弱い降水を予測してしまう傾向がある。

24時間最大降水量は3時間最大降水量の積算値として求めているが、これは原理的に過大な見積りになる。

これらの問題点を改善するため、新たな手法による最大降水量ガイダンスを開発し(以下、新ガイダンスと呼ぶ)旧ガイダンスに代えて2002年6月から配信を開始した。本節では新ガイダンスの作成手法、予測精度、予測例を示し、最後に利用上の注意について述べる。

3.1.2 作成手法

最大降水量ガイダンスの目的は防災気象情報の対象となる強雨を予測することである。このため、強雨の可能性のある時は精度が十分でなくても強雨を予測することが望ましい。しかし、発現頻度が少なく予測精度の低い強雨を予測する場合、統計的な手法で直接予測しようとする、¹ や ² のような問題が生じてしまう。このため新ガイダンスでは最大降水量を次式のように分解して、右辺の最大降水量比(以下、RATIOと呼ぶ)を予測してから最大降水量を計算する方式をとった。

$$\text{最大降水量} = \text{平均降水量} \times \text{最大降水量比}$$

予測領域の単位は、¹ の問題から2次細分予報区とする。2次細分予報区の平均降水量は平均降水量

ガイダンスによる予測値(以下、MRRと呼ぶ)から求める。MRRは強い降水も予測するように補正されている(海老原1999)ため、RATIOが適切に予測されれば最大降水量も大きな値が予測されるので、問題点¹が改善される。また、平均降水量が0mmなら最大降水量も0mmになるなど、平均降水量予測との不整合がなくなり問題点²が改善される。

RATIOは、数値予報GPVから求めた説明変数を入力データ、実際の平均降水量と最大降水量の比を実況データとして作成したニューラルネットワークにより求める。実況データには5km格子単位の解析雨量から求めた予報区内の平均・最大降水量を利用するので、面積の狭い2次細分予報区に対しても、ほぼ正確に降水特性を反映できる。このため予測されるRATIOは予報区特有の値とみなすことができ、平均降水量予測値に予報区の代表性があれば、最大降水量予測値も予報区の地域特性を反映した値になる。これにより問題点³が改善される。

予測要素

時系列予報の要素になる3時間最大降水量の他、防災気象情報用に1時間と24時間の最大降水量も予測する。それぞれの予報時間は次の通りである。

3時間最大降水量 : 3-6時間から48-51時間まで

1時間最大降水量 : 上記3時間内の最大値

24時間最大降水量 : 3-27時間から27-51時間まで

1時間最大降水量は、MRRの予測単位が3時間なので、3時間平均降水量との比から求める。

また、24時間最大降水量は問題点⁴を考慮して3時間最大降水量の積算値ではなく、24時間平均降水量との比から求める。24時間平均降水量の予測値としては、3時間単位のMRRを積算して使うが、この積算値には強い降水を予測する頻度が多すぎるというバイアスがある(海老原1999)。このため24時間平均降水量の予測値はバイアスコアを1に近づける補正をしてから利用する。

RATIO予測に利用する説明変数

- (a) 850hPa 風向
- (b) 850hPa 風速
- (c) ショワルターの安定指数(SSI)
- (d) 1000hPaの比湿と400hPaの飽和比湿の差(安定度に関係する量)
- (e) 湿潤層の厚さ
- (f) 地形性降水指数
- (g) 平均降水量(実況値)

¹ 海老原 智

ニューラルネットワークの学習は過去4年程度の資料により一括して行い、ガイダンス計算時にはネットワークを固定して用いる(逐次学習は行わない)。このため、数値予報モデルの変更により特性が大きく変わる可能性のある降水量や上昇流などは、説明変数に用いないようにした。(a)から(f)の説明変数は数値予報(RSM)のGPVから求める。(g)の平均降水量は学習時には実況値を用い、ガイダンス計算時には予測値(MRR)を用いる。なお、RATIOは予報区の面積や地形(平地と山地の割合など)にも大きく依存するが、各予報区毎に独自の予測式を作成することで、これらの影響を予測式に反映させる。

3.1.3 RATIOと最大降水量の予測特性

図3.1.1に2001年4月~2002年3月(学習期間外の独立資料)における静岡県中部の例を示す。上段は実況のRATIOと、説明変数の平均降水量に実

況値を用いた時のRATIOの予測である。実況のRATIOには「平均降水量が少ない時は大きな値を取り得るが、平均降水量が多い時は平均的な値で分散が小さい」という特徴がある。これに対しRATIOの予測では極端に大きな値が予測できないなど全体に分散がやや小さいが、実況のRATIOの特徴は良く表現されている。1時間と3時間最大降水量では、平均降水量が大きい部分で予測がほとんど一定になっているが、実況のRATIOの分散がやや大きい予報区では、この区間でも実況の大小にある程度追従した予測がされている。

中段は平均降水量に実況値を用いてRATIOを予測し、そのRATIOと平均降水量の実況値により最大降水量を推定したものである。全般に強雨の予測頻度が少ないなどの偏りは見られず、比較的良く最大降水量が推定されている。平均降水量に実況値を利用しているので、これがこの手法による最大降水

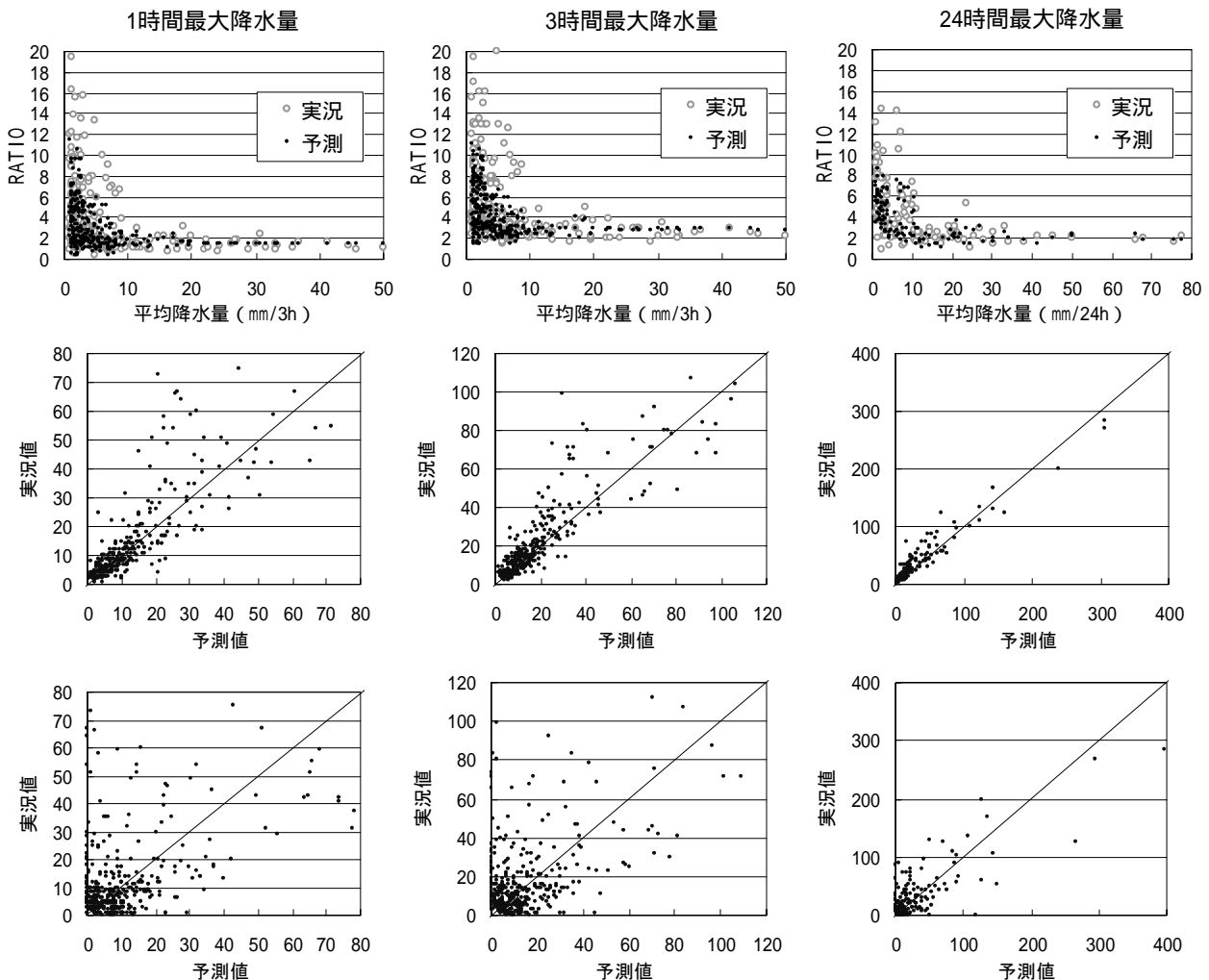


図 3.1.1 最大降水量比 (RATIO) と最大降水量の予測特性 (静岡県中部の例)

2001年4月~2002年3月の独立資料。上段は平均降水量に実況値を用いたときの最大降水量比 (RATIO) の予測と実況。なお、1時間最大降水量では3時間平均降水量(横軸)との比をRATIOとしている。中段は平均降水量に実況値を利用した場合の最大降水量の推定。下段は平均降水量に平均降水量ガイダンス(MRR)を利用した場合の最大降水量の予測(実際の最大降水量ガイダンス)。

量予測精度の上限と見る事ができる。

下段は平均降水量に誤差を含んだ予測値 (MRR) を利用した場合で、これが実際の最大降水量ガイダンスである。この場合は最大降水量の予測誤差も大きくなるが、対角線を中心とした偏りのない予測特性は変わっていない。

3.1.4 短時間強雨の予測精度

図 3.1.2 は 2001 年 4 月～9 月(暖候期) の 12UTC 初期値について、3 時間最大降水量予測の検証スコアを、旧ガイダンスと新ガイダンスで比較したものである。旧ガイダンスのバイアスコアを見ると 5mm～10mm/3h 程度の弱い降水の予測頻度が実際よりかなり多く、30mm/3h 以上の強い降水の予測頻度は実際の 1 割前後しかないなど、バイアスコアに顕著な偏りが見られる。これに対して新ガイダ

ンスのバイアスコアは降水強度による偏りが小さく、30mm/3h 以上の強い降水も 1.0 前後と実況に近い予測頻度がある。更に 70mm/3h 以上のかかなり強い降水でもバイアスコアが 0.5 以上ある。スレトスコアを見ても、新ガイダンスは 30mm/3h 以上の強い降水で旧ガイダンスを大きく上回っている。このように、新ガイダンスは短時間強雨の予測精度において旧ガイダンスを大きく改善している。

18 時間以降の予報時間でバイアスコアとスレトスコアが大きく低下しているのは、この時間帯が暖候期の午後に当たり、熱雷による短時間強雨を多く含むためである。MRR は熱雷による強雨の予測精度が悪く見逃しが多い。それが MRR を利用している最大降水量ガイダンスに反映している。また、熱雷では降水のスケールが小さいので RATIO が大きくなりやすいことから、RATIO の予測精度が悪く

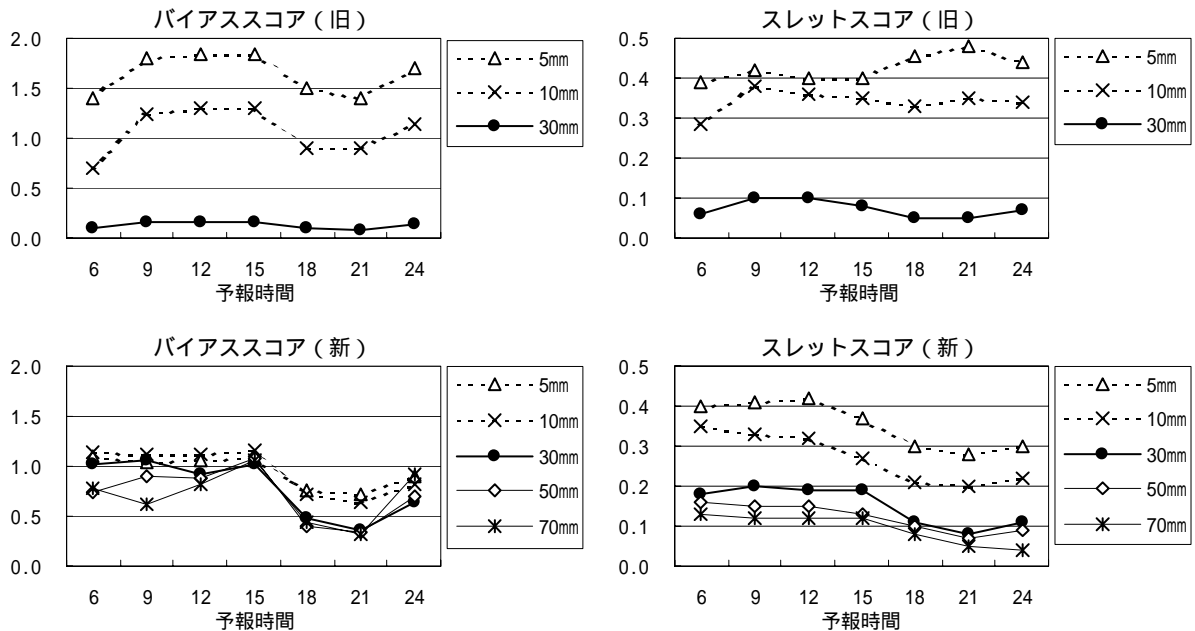


図 3.1.2 3 時間最大降水量ガイダンスの検証スコア (新旧ガイダンスの比較)

検証期間は 2001 年 4 月～9 月で、12UTC 初期値の FT=03-24 (00-21JST に対応) の検証結果を示した。上段は旧ガイダンスで下段が新ガイダンス。各スコアは 2 次細分予報区毎に検証した予測 / 実況の有無を全国分集計して算出したもの。なお、旧ガイダンスでは 50mm/3h 以上の予測頻度が少ないためスコアを表示していない。

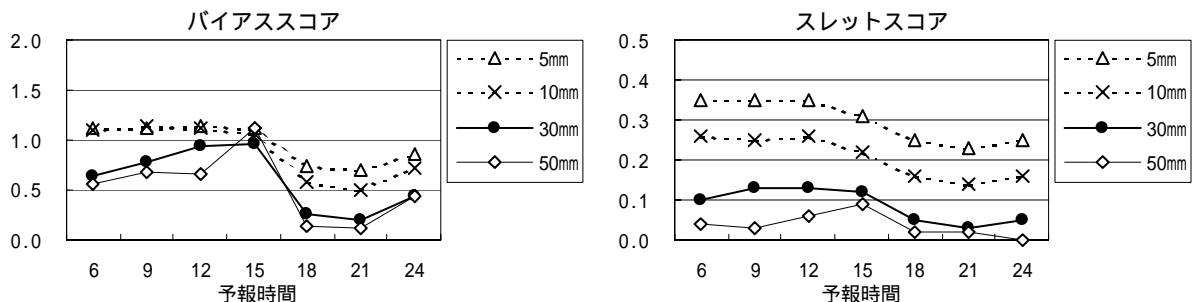


図 3.1.3 新ガイダンスによる 1 時間最大降水量の検証スコア
検証期間等は図 3.1.2 に同じ

なることも原因の一つと考えられる。この時間帯には熱雷以外の降水も含まれているので、熱雷時の予測精度はこれ以上に悪いとみられる。このように MRR の精度が悪い場合は、最大降水量ガイダンスの予測精度も低下することに注意が必要である。

図 3.1.3 は新ガイダンスの 1 時間最大降水量予測の検証スコアだが、3 時間最大降水量予測(図 3.1.2)と良く似た特徴を示している。スレットスコアは低い、熱雷の時間帯以外では 50mm/1h 以上という警報クラスの強雨も、バイアスコアが 0.5~1.0 と実況に近い頻度で予測している。

3.1.5 24 時間最大降水量の予測精度

図 3.1.4 に 24 時間最大降水量の検証スコアを示す。バイアスコアは各閾値ともに 1.0 に近く、強い降水の予測頻度も実況に近い。70mm/24h 以下の閾値でバイアスコアが 1.0 よりやや低いのは、熱雷による強雨を見逃している例が多いためと思われる。

積算雨量による注意報基準を 100mm/24h と考えるとスレットスコアは 0.3 に近く、短時間強雨による注意報基準(30mm/1h、50mm/3h 程度)でスレットスコアが 0.1 前後なのに比べて精度が高い。

3.1.6 予測事例

図 3.1.5 は台風 6 号と梅雨前線により大雨となっ

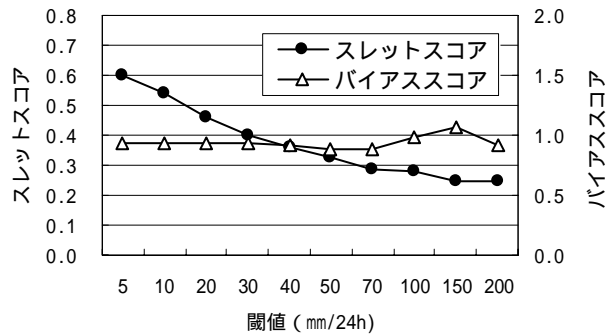


図 3.1.4 新ガイダンスによる 24 時間最大降水量の検証スコア。

検証期間は 2001 年 4 月~9 月。全ての初期時刻における FT=03-27 の 24 時間予測の検証。スコアの算出方法は図 3.1.2 に同じ。

た、2002 年 7 月 9 日 00UTC 初期値の静岡県中部の予測と実況を時系列で示したものである。

これは 3 時間平均降水量がピークのタイミングと共に精度良く予測された事例である。このため、1 時間最大降水量と 3 時間最大降水量も精度良く予測されており、警報クラスの 50mm/1h、100mm/3h といった短時間強雨も適切に予測されている。この事例のように平均降水量の予測精度が良い場合は最大降水量の予測精度も良くなる。逆に言うと平均降

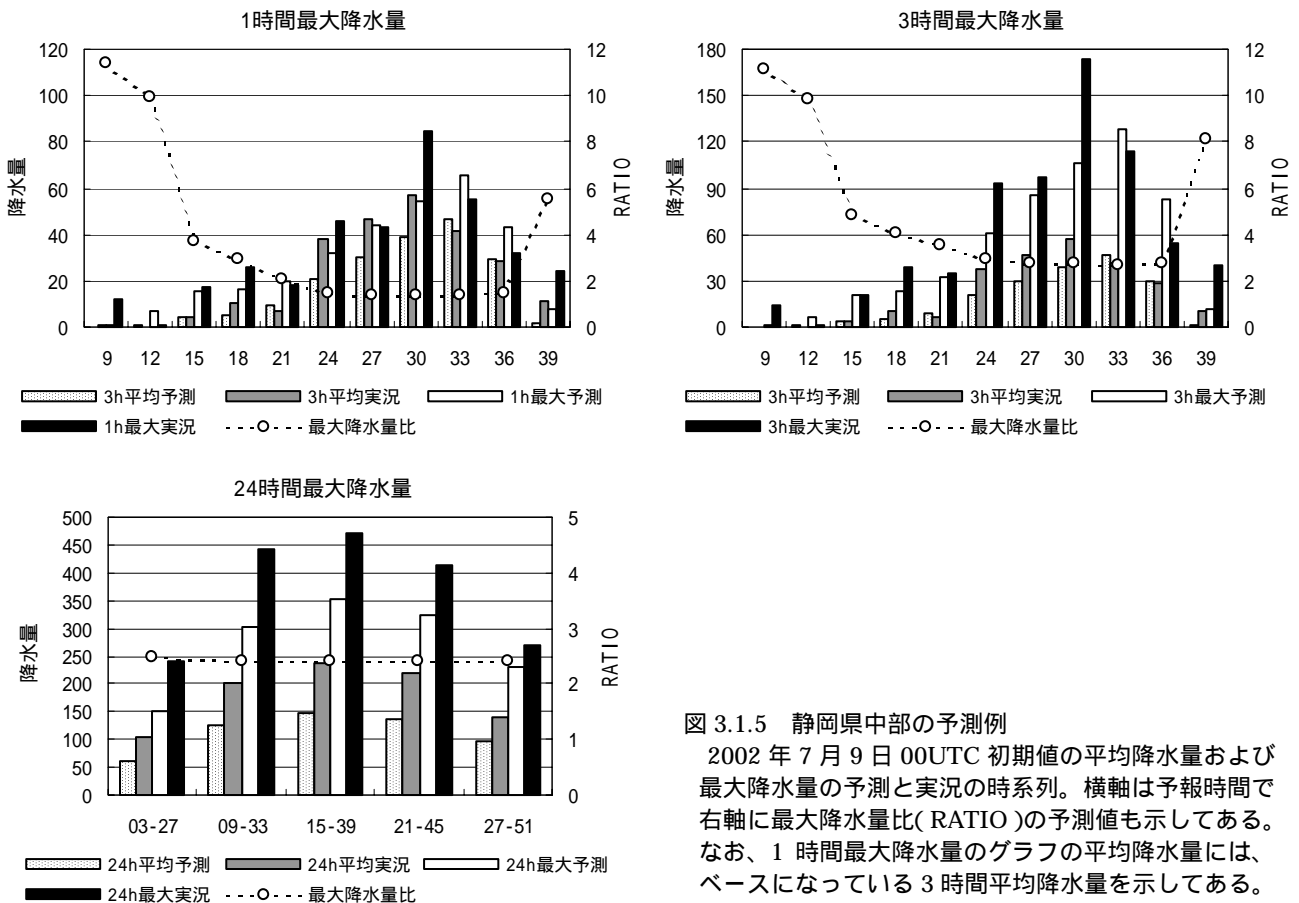


図 3.1.5 静岡県中部の予測例

2002 年 7 月 9 日 00UTC 初期値の平均降水量および最大降水量の予測と実況の時系列。横軸は予報時間で右軸に最大降水量比 (RATIO) の予測値も示してある。なお、1 時間最大降水量のグラフの平均降水量には、ベースになっている 3 時間平均降水量を示してある。

水量予測が外れると、それがそのまま最大降水量ガイダンスに反映してしまうことになる。

RATIO は平均降水量の少ない時間帯には変化が大きい、平均降水量が多くなる 24 時間から 36 時間にはほとんど一定で、図 3.1.1 上段の特性の通りとなっている。

24 時間最大降水量では 15-39 の予報時間が一連の大雨を含む時間帯に対応する。平均降水量が実況よりやや少ない予測であったため、24 時間最大降水量も実況より少なめの予測となったが、この予報区の警報基準（平地で 150mm、山地で 250mm）を大きく超える 350mm という大雨を予測している。

3.1.7 平均降水量として 20km 格子のガイダンス予測値を利用することについて

最大降水量予測に利用する 2 次細分予報区の平均降水量予測値は、20km 格子単位の平均降水量ガイダンス (MRR) から算出される。この方法では予報区よりやや広い面積の平均降水量を求めることになるが、最大値ではなく平均値なので一般的には多少領域が広がっても大きく値が異なることは少ない。

しかし予報区的面積が狭く、そこにまたがる MRR の 20km 格子において、予報区の内側と外側で降雨特性が大きく異なるような場合は、平均降水量算出の段階で予報区外側の降雨特性の影響が出てしまうことがある。図 3.1.6 は徳島県の 2 次細分予報区の例である。予報区 A の平均降水量予測値は ~ のガイダンス格子の MRR を平均した値になる。しかし ~ の格子では予報区 A にかかる部分とそれ以外の部分で年降水量が大きく異なる。このため年降水量のような分布をする降水が予測される場合は、予報区 A の平均降水量予測値が実際より多めに見積もられて、予報区を代表した値にならない。

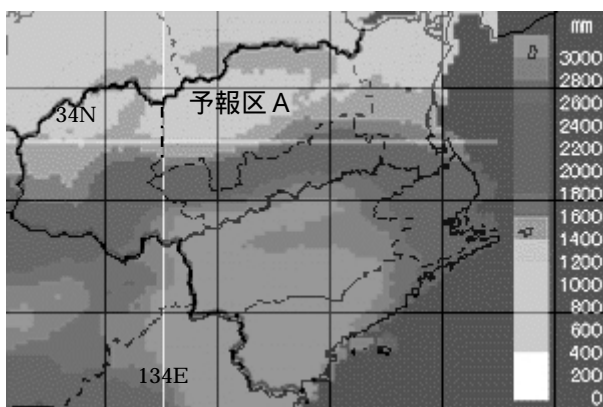


図 3.1.6 徳島県の 2 次細分予報区と年降水量平年値
太実線は県境、細破線は 2 次細分予報区境で予報区 A は徳島県北部美馬北部・阿北地方。~ は予報区 A の平均降水量計算に利用するガイダンス格子 (20km 格子)。背景は年降水量平年値 (メッシュ気候値)。

このように予報区の平均降水量の代表性を大きく損なう可能性のあるガイダンス格子は、平均降水量算出から除外するように設定している。しかし、20km のガイダンス格子から 2 次細分予報区の平均降水量を正確に見積もるには限度があり、こうして算出された平均降水量が地域特性から見て不自然な値になることもあり得る。このような場合には該当する 2 次細分予報区の平均降水量を修正してから、最大降水量を再計算する必要がある。図 3.1.1 上段で見たように、平均降水量が大きい場合は RATIO の変化は少ない。このため、修正前後の平均降水量がある程度大きい場合は、配信された平均降水量と最大降水量の比をそのまま RATIO として利用して、最大降水量を計算し直しても問題は少ない。

3.1.8 まとめと利用上の注意

- ・新しい方式の最大降水量ガイダンスでは、最大降水量比 (RATIO) をニューラルネットワークにより予測し、これと平均降水量ガイダンス (MRR) から最大降水量を計算する。
- ・新ガイダンスの 1 時間、3 時間、24 時間最大降水量は降水強度によるバイアスコアの偏りが小さく、旧ガイダンスの問題であった「強雨予測頻度の過少、弱雨予測頻度の過大」を改善している。
- ・新ガイダンスは 2 次細分予報区内に発現する最大降水量を予測しており、旧ガイダンスのように予報区外に予測される強雨を予報区の最大降水量としてしまうことはない。
- ・最大降水量ガイダンスの予測は MRR に大きく依存するため、MRR の信頼性が高い場合は最大降水量ガイダンスの信頼性も高い。
- ・MRR の信頼性が低く修正が必要な場合は、それに応じて最大降水量ガイダンスも修正する必要がある。特に熱雷では MRR の精度が大きく低下するので修正が必要になる場合が多くなる。
- ・予報区的面積が狭く周辺の降雨特性が大きく異なる場合は、20km 格子の MRR から予報区の平均降水量を算出する段階で、平均降水量が予報区を代表した値にならないことがある。このような場合は、予報区の降雨特性を考慮して平均降水量を修正してから、最大降水量を再計算する必要がある。

参考文献

- 海老原智, 1999: 降水ガイダンスの改良と検証. 平成 11 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 23-33.
- 大澤和裕, 1996: 大雨ガイダンスの解説. 平成 8 年度量的予報研修テキスト, 気象庁予報部, 30-36.

3.2 降水短時間予報¹

3.2.1 補外予測の初期値作成方法の変更

(1) 背景

降水短時間予報は、目先の天気予報や防災情報を作成する際に強雨域の移動や変化を予測するための基礎資料として利用されている。これに加え、近年、土壌雨量指数や流域雨量など、防災に関する指標の予想値を計算する際の入力データとしても利用されるようになった。降水短時間予報の利用のされ方が、高度化され定量的になったと言える。

1996年以降、新デジタル化レーダーの観測値は、5kmメッシュから2.5kmメッシュに高解像度化されたが、防災上の観点から強雨を見逃さないという方針を取り、レーダーアメダス解析雨量や降水短時間予報の初期値作成においては、5kmメッシュ格子内で最大の降水量を示す2.5kmメッシュの値を5kmメッシュの値とするというアルゴリズムを採用した。

2001年3月に沖縄気象台管内を除いて全国のレーダーが新デジタル化装置に置き換わったことから、解析雨量の格子間隔を5kmメッシュから2.5kmメッシュに細分化した。しかし、降水短時間予報は5kmメッシュのままに据え置き、5kmメッシュ格子内で最大の降水量を示すメッシュの値を通報するというアルゴリズムも変更しなかった。

新しい解析雨量を用いて降水短時間予報を検証すると、従来通りに5kmメッシュ内の解析雨量の最大値を用いた場合には特にバイアスは生じないが、5kmメッシュ内の解析雨量の平均値を用いると、降水短時間予報の方が大きな値となり、閾値以上の格子数の予報と実況の比をとったバイアスコアは1よりもかなり大きな値となる。例えば、閾値10mm/hrでは、前者と後者のバイアスコアの比は約1:2となり、しきい値を上げるほど大きくなる(山田 2001)。

今後、防災情報の高度化により降水短時間予報の定量的な利用が更に促進されると、解析雨量と降水短時間予報の定量的な差(バイアス)が、利用者に誤った印象を与えることが懸念される。バイアスコアを1に近づけるため、降水短時間予報の初期値の作成方法を以下に示すように変更することとし、2002年5月30日より実施した。

(2) 初期値作成方法と変更点

各レーダーから10分ごとに通報されるレーダーエコー強度は、2.5kmメッシュである。初期時刻に観測されたエコー強度に、解析雨量作成時に前1時間のアメダス降水量観測値とレーダーの1時間積算降水強度を用いて求めた「レーダー雨量補正係数」を掛けたものを「レーダー10分降水強度」と呼ぶ。

2002年5月29日までは、2.5kmメッシュで算出されたレーダー10分降水強度の2x2格子内の最大値を、5kmメッシュの降水短時間予報の初期値としていた。これを、2002年5月30日以降は、2.5kmメッシュで算出されたレーダー10分降水強度の2x2格子内の平均値を、5kmメッシュの降水短時間予報の初期値とすることに変更した。変更を行ったのはこの部分のみであり、補外予測に用いる移動ベクトルの算出法、地形性降水の取り扱いやメソ数値予報モデルの降水量予報値(以後、MSMと略す)との結合方法については、変更を行っていない。

以下では、降水短時間予報の初期値を格子内最大値から作成した実験を「変更前」、格子内平均値から作成した実験を「変更後」と呼んで区別する。

(3) 検証に用いたデータ

2002年4月～6月に対して、変更前と変更後の方法により、予報実験を行った。ここでは、20km格子内の平均降水量について、精度検証を行った結果を示す。降水量実況値としては、2.5kmメッシュの解析雨量から8x8格子の平均値を計算することにより作成した。検証の対象領域は、実況値が存在する格子のうち、陸上の格子および陸地から40km以内の海上格子のみとした。海上はアメダス等の雨量計による補正が十分行われないので解析の精度が落ちること、災害に結びつくのは陸上の降水であることを考慮したためである。

(4) 1時間降水量に対する検証結果

図3.2.1と図3.2.2に、それぞれ1mm/hr、5mm/hrを閾値とするエクイタブルスレットスコア(以後ETSと略す)、バイアスコア、検出率、ヒット率を示す(各スコアの定義と特性については付録を参照)。ここには、変更の影響が直接現れる補外予測(以後、「補外」と略す)と、「補外」とMSMを加重平均し、更に平滑化を行った降水短時間予報(以後、「降短」と略す)を示す。なお、MSMの結合重みは予報1～3時間目には、ほとんど0であるため、「降短」のスコアは「補外」とほとんど一致する。図の見やすさを考慮して、「降短」の予報1-3時間目の表示は省略した。

まず、バイアスコアについて検討する。1mm/hr閾値(図3.2.1 b)で見ると、変更前は1.3～1.4であったが、変更後には1.0前後になった。5mm/hr閾値(図3.2.2 b)でも、変更前は1.6～1.8であったのが、変更後には0.9～1.0になった。今回の変更の目的であったバイアスコアを1に近づけることは、ほぼ目的通り達成されていると言える。

次に、全体的な予報精度を表すETSについて検討する。図3.2.1 a)、図3.2.2 a)から分かるように、予報1時間目の「補外」のETSは、変更前に比べて変更後は0.03向上した。一方、予報2時間目以降のETSの差は、絶対値が0.01未満であり、ほとんど差がなかつ

¹ 山田 眞吾(数値予報課), 國次 雅司(予報課)

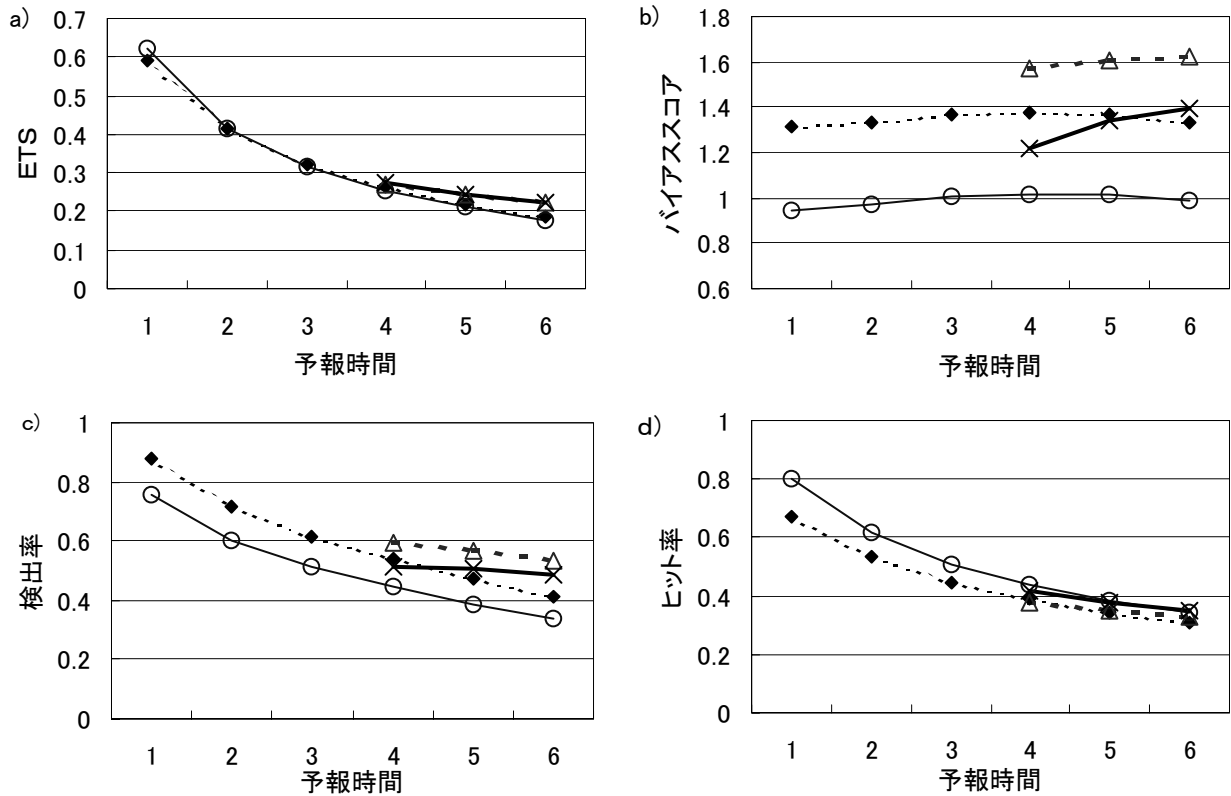


図3.2.1 20km格子平均降水予報の検証スコア (2002年4月~7月:1mm/hr閾値)
 a)エクイタブルスレットスコア、b)バイアスコア、c)検出率、d)ヒット率
 細破線:変更前の補外予測、細実線:変更後の補外予測、太破線:変更前の降水短時間予報、
 太実線:変更後の降水短時間予報を表す。降水短時間予報の1-3時間目は省略した。

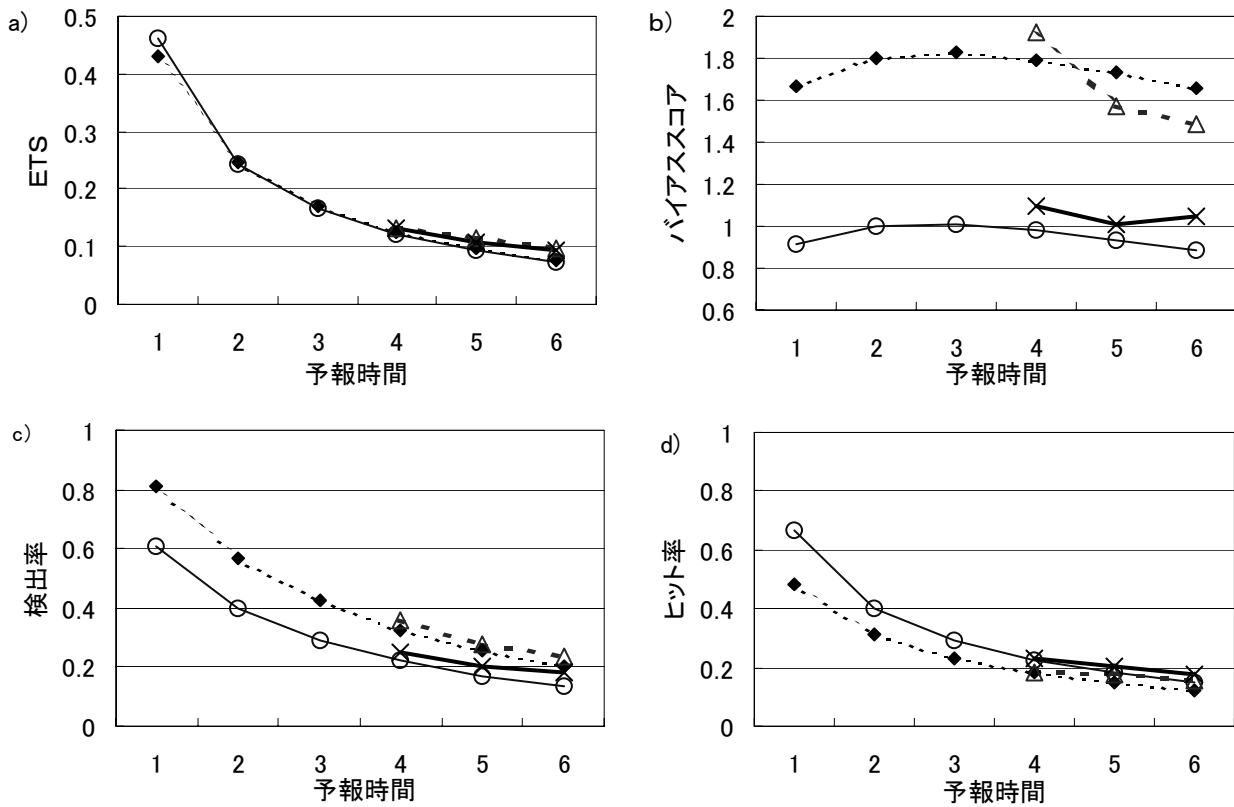


図3.2.2 図3.2.1と同じ。ただし、5mm/hr閾値に対するスコア

た。従って、「補外」の全体的な予報精度は、予報1時間目では改善が見られたが、予報2時間目以降は、改善とも改悪とも言えないと考えられる。

次に、検出率とヒット率により「補外」の予報特性の変化を検討する。変更前に比べて変更後には検出率が減少(改悪)したが、これは閾値以上の降水の予報頻度が減少したためである。一方、ヒット率は、変更後の方が変更前よりも増加(改善)した。予報1時間目に対しては、ヒット率の改善の効果が、検出率の改悪の効果を上回ったため、ETSに若干の改善が見られたが、予報2時間目以降では、それらの効果がほぼ相殺して、ETSの改善にはつながらなかったと言える。

次に、変更後の「補外」と「降短」を比較し、MSMを結合した効果を検討する。まず、1mm/hr閾値で予報6時間目のスコアを見る。バイアスコアは、「補外」がほぼ1であるのに対し、「降短」は1.4と大きかった。これを反映して、検出率も「降短」のほうが大きい(「数撃ちや当たる」の原理)。ところが、むやみに撃ったのでは低下するはずのヒット率は、「補外」と「降短」でほとんど同じである。つまり、うまく当たりそうなところに数多く撃ったことになり、「降短」は「補外」よりも予報精度が良いと言える。実際、ETSで見て、約0.04の改善となっている。次に、5mm/hr閾値で予報6時間目のスコアを見る。バイアスコアは、ほぼ1で大きな系統的誤差は見られない。ETSは、「降短」が「補外」を0.03上回っている。この閾値では、検出率とヒット率が共に改善されており、MSMを利用したことによる効果が明瞭である。

(5) 3時間積算降水量に対する検証結果

近い将来、降水短時間予報が防災気象情報の作成に定量的に利用されるようになった際には、3時間降水量のような時間積算値も用いられることが想定される。そこで、20km格子内で平均した3時間積算降水量についての検証結果を、図3.2.3と図3.2.4に示す。図3.2.3は10mm/3hrを閾値としたスコアで、図3.2.4は30mm/3hrを閾値としたスコアである。予報時間の0-2は、初期時刻の解析雨量と「降短」の予報1時間目、2時間目を積算した降水量に対するスコアであることを表しており、解析雨量と降水短時間予報を一連の降水量時系列として取り扱うことを想定して算出した場合の参考値である。

バイアスコアは、10mm/3hr閾値では変更前の約1.6が変更後にはほぼ1.0に、30mm/3hr閾値では約2.5が約1.2へと大きく改善された。一方、ETSは、予報1-3時間目では変更後に変更前に比べて0.02の改善、それ以降は変更前後でほとんど変化がなかった。予報4-6時間目の「補外」と「降短」を比較すると、10mm/3hr閾値では、ヒット率がほぼ同じで、検出率が改善され、30mm/3hr閾値では、検出率がほぼ同じで、ヒッ

ト率が改善された。その結果、ETSにもわずかではあるが、スコアの改善が見られる。

3.2.2 メソ4次元変分法導入の効果

第1章で解説されているように、2002年3月よりメソ解析に4次元変分法によるデータ同化手法が導入された。サンプルが異なるので単純な比較はできないが、昨年と本年の同時期の検証結果を比較することにより、MSMの精度改善とその降水6時間予報へのインパクトを評価する。(MSM降水量の詳しい比較検証については、第1.1節も参考にされたい)

図3.2.5と図3.2.6に、2001年4-7月と2002年4-7月のMSMおよび「降短」の検証スコアを示す。図3.2.5は20km格子平均5mm/hr閾値についてのスコア、図3.2.6は、20km格子平均3時間積算降水量30mm/3hr閾値についてのスコアである。MSMと「補外」の結合の効果は、予報4~6時間目にのみ現れるので、予報1~3時間目の「降短」のスコアは省略した。また、「降短」に用いる「補外」の初期値は、前項で述べた作成法の変更の影響を除くため、2002年6月以降についても「変更前」の手法で統一した。

まず、MSMのバイアスコアを見ると、2001年・2002年ともに1よりやや大きなスコアである。この状況は、閾値を大きくしても変わらない。昨年度の報告(山田2001)では、「MSMのバイアスコアは1より小さく、それは降水量の閾値を大きくするほど顕著である」と述べたが、昨年度の検証では実況値として2.5kmメッシュの解析雨量4格子の最大値を採用したため閾値を超える格子数が多かったことを反映した結果であり、今回の結果と矛盾するものではない。図には示さないが、10mm/hr閾値のバイアスコアも、1.1~1.2である。昨年度の報告で「MSMの1より小さなバイアスコアを改善するためにバイアス補正を検討する」と述べたが、以上の結果より、その必要はなくなったと考えている。

2001年と2002年を比較すると、2001年は予報時間とともにバイアスコアが減少する傾向が見られたが、2002年には予報時間によるバイアスコアの変化はほとんど見られない。このことは、4次元変分法の導入によって、プレランにより降水の情報を同化していた頃に比べて、よりモデルの特性に馴染んだ初期場が作られるようになり、降水系が維持されるようになったことを示すものと思われる。

その他のスコアを見ると、検出率、ヒット率ともに2001年に比べて2002年のスコアが明らかに向上している(図には示さないが、実況の降水頻度には2001年と2002年で大きな差は見られず、2002年の方が若干小さい)。これに対応して、ETSも、5mm/hr閾値で0.04~0.05、30mm/3hr閾値で0.025~0.04の改善が見られる。図には示していないが、持続予報のETSも、

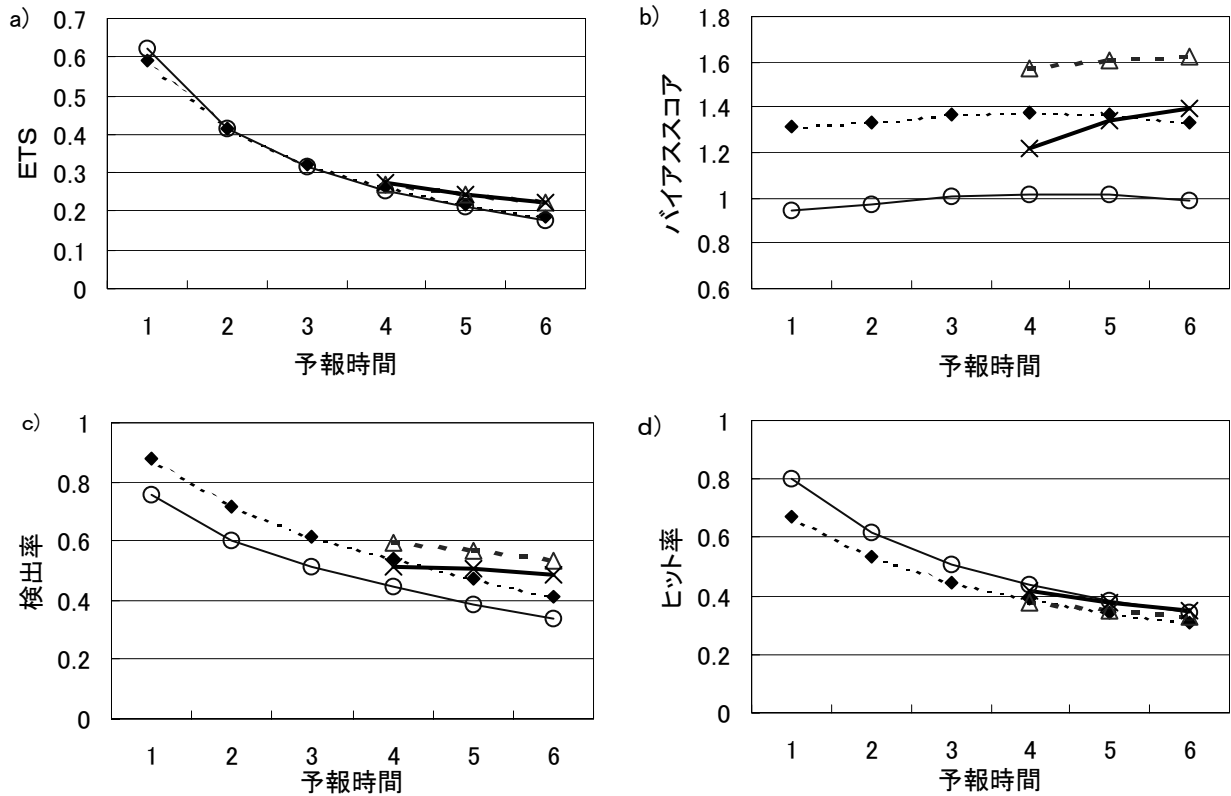


図3.2.1 20km格子平均降水予報の検証スコア (2002年4月~7月:1mm/hr閾値)
 a)エクイタブルスレットスコア、b)バイアスコア、c)検出率、d)ヒット率
 細破線:変更前の補外予測、細実線:変更後の補外予測、太破線:変更前の降水短時間予報、
 太実線:変更後の降水短時間予報を表す。降水短時間予報の1-3時間目は省略した。

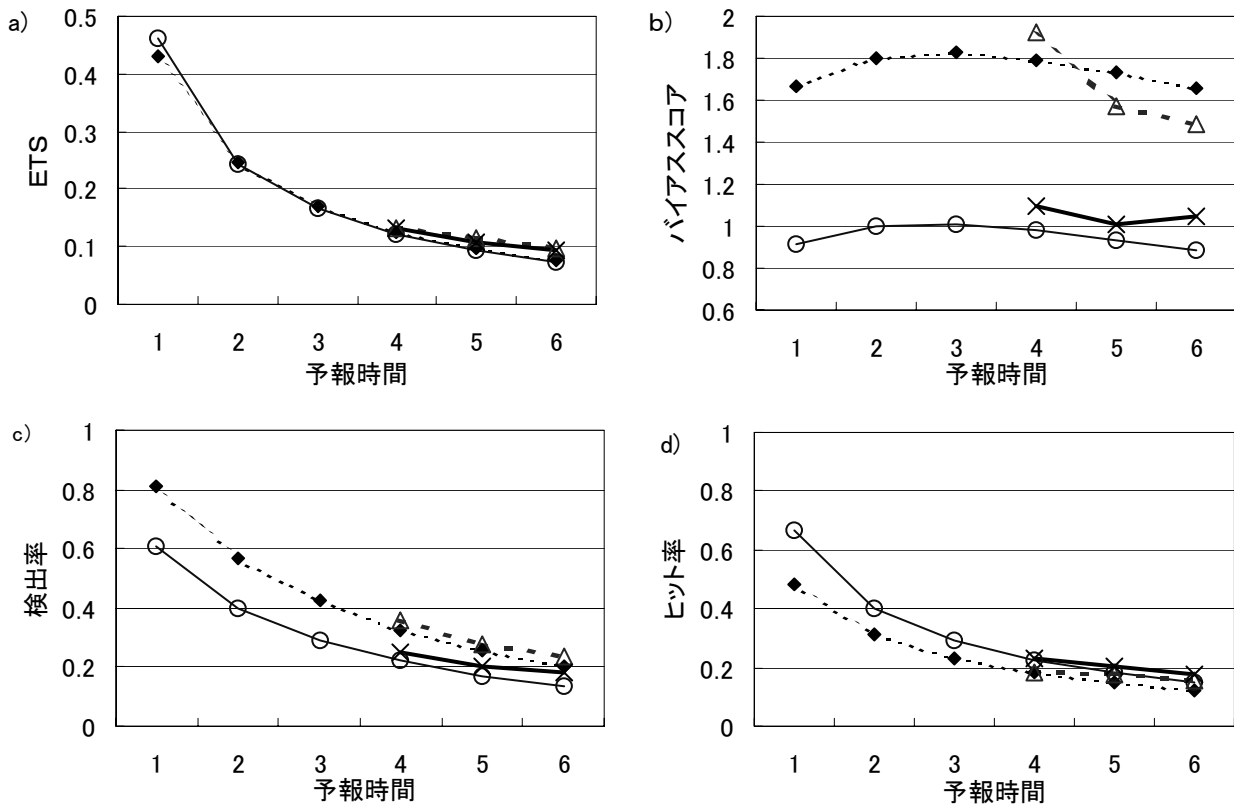


図3.2.2 図3.2.1と同じ。ただし、5mm/hr閾値に対するスコア

5mm/hr 閾値で2001年に比べて2002年のほうが0.02(予報1時間目)~0.01(予報3時間目)高い。MSMのETSの差は、持続予報のETSの差の2倍以上大きいことから、年による降水特性の違い(2001年は熱的不安定による降水が多く、2002年は台風など擾乱に伴う降水が多かった)を反映したものである可能性は小さくないが、2002年のMSMの降水予報精度が2001年に比べて改善されたと考えて良い。

MSMの降水予報精度の改善により、MSMを結合した「降短」も2002年が2001年に比べて予報精度が改善された。ただし、ETSの改善幅は、予報4時間目では予報6時間目と比べて、やや小さくなっている。

3.2.3 まとめと今後の課題

補外予測における初期値の作成方法を2002年5月に変更したが、その効果を確認するため、変更前と変更後の手法による並行実験を行って、比較検証した。20km格子平均1時間降水量で見た場合、変更前に見られた1より大きなバイアスコアが、変更後にはほぼ1となった。予報の全体的な精度を表すETSで見ると、予報1時間目には若干の改善、2時間目以降はほぼ同じであった。防災情報への利用を想定した20km格子平均3時間積算降水量による検証においても、バイアスコアが1に近づき、予報1-3時間積算では、ETSもわずかながら改善され、それ以降の精度は、ほぼ同じであった。以上の結果から、今回の変更により、予報精度を落とすことなく、バイアスコアを1に近づけることができたと言える。

メソ4次元変分法導入前の2001年4-7月のスコアと導入後の2002年4-7月のスコアを比較することにより、メソ4次元変分法の降水量予報へのインパクトを検討した。MSMのETSを比較すると、2001年に対して2002年には明瞭な改善が見られた。そのMSMを用いた「降短」にも、ETS等のスコアの改善が見られた。一方、バイアスコアには、予報時間によるバイアスコアの低下が見られなくなった。これらの変化は、年による降水特性の違いを表している可能性もあるので、すべてがメソ4次元変分法導入の効果とは言えない。来年以降の検証結果で効果を確認する必要がある。

MSMのスコアが改善されるとその有効な情報を「降短」に反映させることが重要になる。しかし、現在の結合手法では、予報3時間目、4時間目のMSMの結合重みはそれぞれ最大でも0.07, 0.37にしかならない設定になっている。それが原因で、特に予報3-4時間目において、MSMの持つ有効な情報を「降短」に十分に活かしていきっていないという事例が時々見られる。最適な結合重みを決定する手法を工夫して、MSMの持つ有効な情報を最大限に活用することを検討課題とした。

実際の予警報作業で降水短時間予報を利用するには、さらに、降水短時間予報の精度を改善する必要があると認識している。それには、実況を外挿する手法の精緻化とメソ数値予報モデルの精度向上の両方が必要である。前者については、個々の対流性降水域を抽出し、それぞれのセルの移動や発達・衰弱を予測する手法を開発しており、2003年度には部分的にでも運用したいと考えている。また、後者については、2003年度には詳細な雲物理と降水形成過程を持つ非静力学モデルの運用が予定されており、強雨の予報精度の向上が期待されている。

参考文献

山田真吾, 2001: 降水6時間予報. 平成13年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 42-46.

(付録)スコアの定義と解説

実況と予報における閾値以上の降水の有無により、下のような2x2分割表を作成する。全体の事例数に対する相対頻度で表すと、独立な変量は3個になる。ここでは、降水有りの適中相対頻度 a と実況で降水有りの相対頻度 p 、予報で降水有りの相対頻度 q を独立な変量と考えた。同じ事例に対する異なる予報法の比較を行う場合には、各予報について p は同一であるから、独立な変量は a と q の2つになる。

	予報有	予報無	予報合計
実況有	a	$p-a$	p
実況無	$q-a$	$1-p-q+a$	$1-p$
実況合計	q	$1-q$	1

各スコアの定義は、次式に示す。

- エイタブルスコア: $ETS = (a - pq) / (p + q - a - pq)$
- バイアスコア: $B = q/p$
- 検出率: $DR = a/p$ • ヒット率: $HR = a/q$

検証で良く用いられるスレットスコアは、無技術と考えられるランダム予測に対しても、正のスコアを与えるため、技術の評価には不相当であると考え、ここではランダム予測ではスコアが0となるエイタブルスコアを用いた。

ランダム予報からの改善(広義のスキルスコア)を指標として2種類の予報の精度比較を行う場合、もし両者の検出率が同じであれば、ヒット率の高い予報が低い予報より精度が高いと言える。また、両者のヒット率が同じであれば、検出率の高い予報が低い予報より精度が高いと言える。しかし、予報のスキルに大きな差が無ければ、検出率を上げようと現象有りの予報(q)を増やすと、適中(a)の増加よりも空振り($q-a$)の増加が勝つ結果となり、ヒット率は低下する。そのように、検出率の変化とヒット率の変化が逆符号になる場合には、用いるスコアの特性により、見かけ上の精度の優劣が変わることがある。

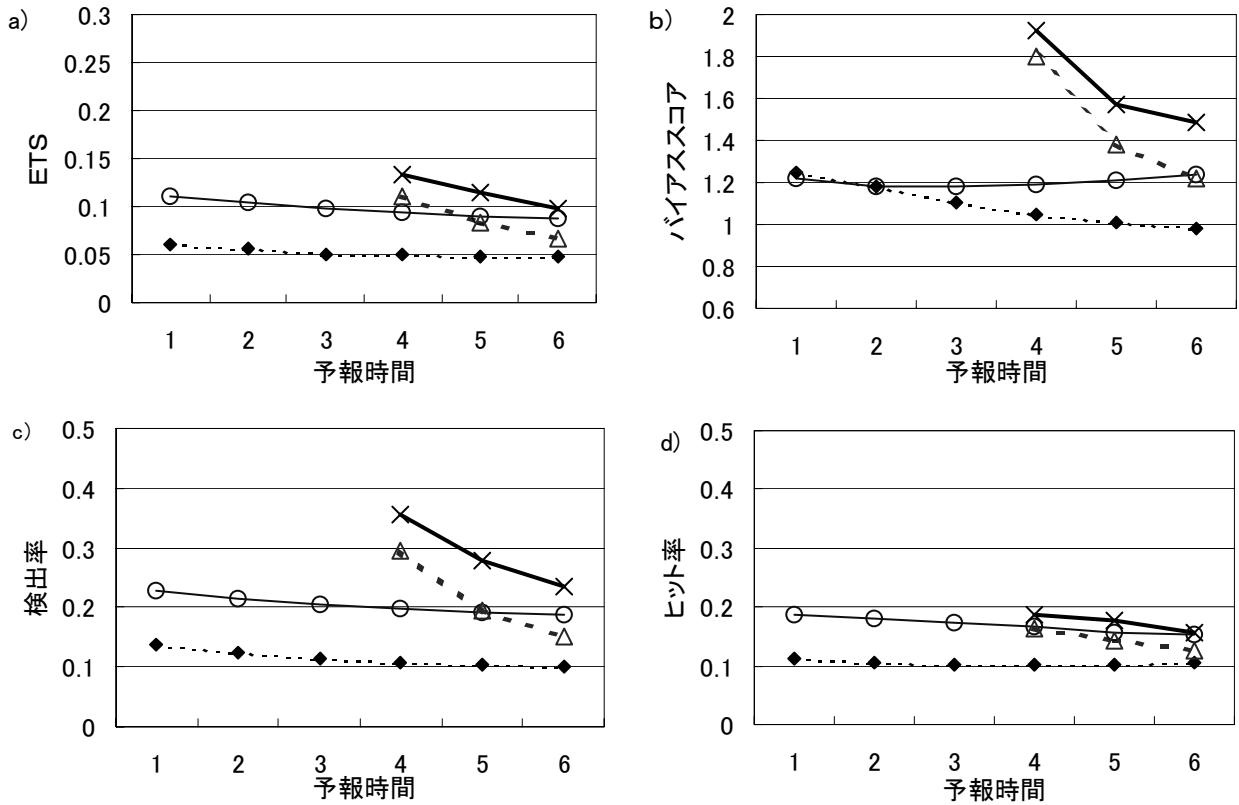


図3.2.5 20km格子平均降水予報の検証スコアの比較 (5mm/hr閾値)
 a)エクイタブルスレットスコア、b)バイアスコア、c)検出率、d)ヒット率
 細破線：2001年4-7月のMSM、細実線：2002年4-7月のMSM、太破線：2001年4-7月の降水短時間予報、
 太実線：2002年4-7月の降水短時間予報 (ただし、補外予測には「変更前」を用いたもの)を表す。

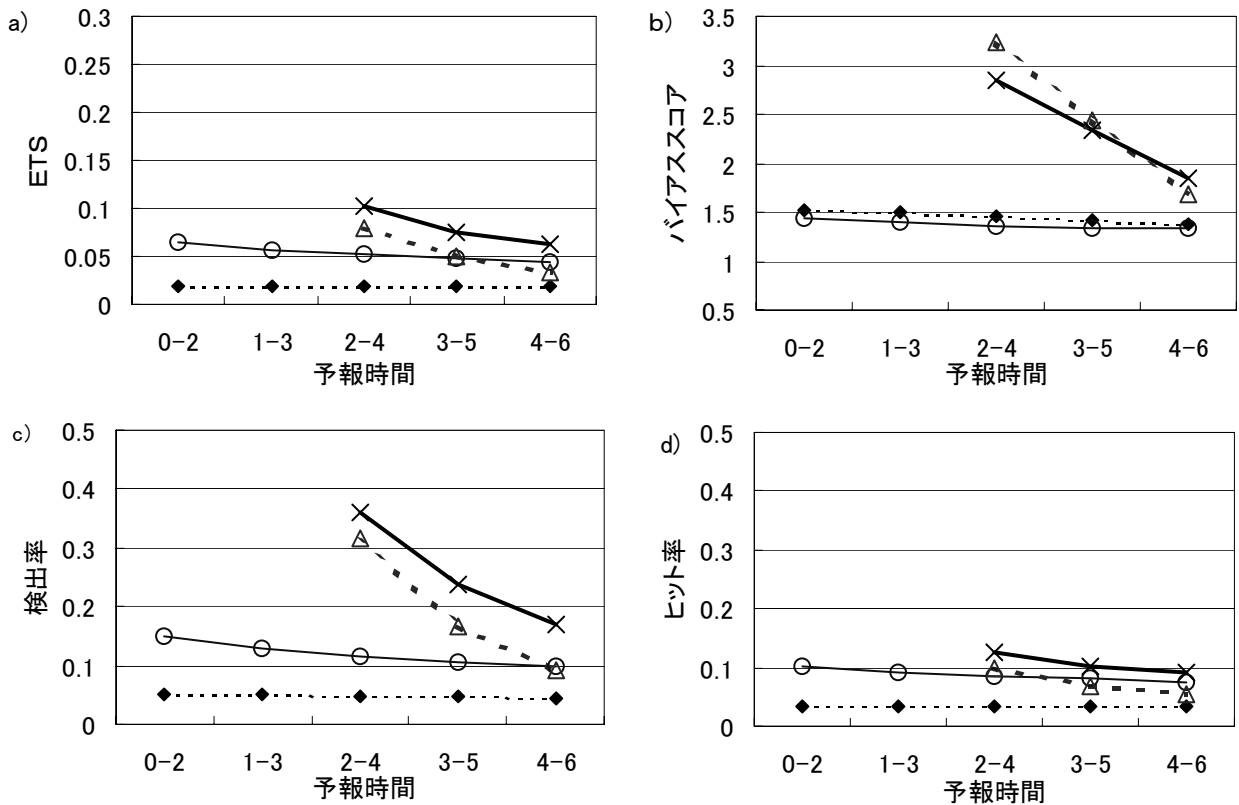


図3.2.6 図3.2.5と同じ。ただし、20km格子平均3時間積算降水量 (30mm/3hr閾値) に対するスコア

3.3 航空ガイダンス¹

3.3.1 はじめに

短距離飛行用飛行場予報(以下TAF-S²と略す)の作成を支援する新たな航空ガイダンス(以下TAF-Sガイダンスと略す)の配信を2002年8月から開始した。従来の航空ガイダンスは長距離飛行用飛行場予報ガイダンス(以下TAF-Lガイダンスと略す)と名称を変更し、新ガイダンスと区別する。

TAF-Sとは、飛行場における9時間先までの気象予報である。最新の解析に基づく予測資料を用いて、3時間ごとに1日8回作成される。作成するためには、時間的、空間的にも細かな気象変化の予測が必要とされる。このため、TAF-Sガイダンスは、高頻度、時間的・空間的高分解能であるメソ数値予報モデル(MSM)のGPVを用いて、各飛行場における1時間毎の各種予測値を作成している。MSMは1日4回実行され、その出力結果を用いてTAF-Sガイダンスも1日4回作成される。1回のTAF-Sガイダンスは、2回分のTAF-Sを支援できるように予報期間を15時間までとしている。

TAF-SガイダンスとTAF-Lガイダンスの主な仕様の比較を表3.3.1に示す。以下の項でTAF-Sガイダンスの各予報要素の作成手法と検証結果を述べる。天気ガイダンスは基本的にお天気マップのアルゴリズムを用いて作成されている。詳しくは、平成6年度数値予報研修テキスト「お天気マップ」(萬納寺 1994)を参照していただきたい。

表3.3.1 TAF-SガイダンスとTAF-Lガイダンスの比較

項目	TAF-Sガイダンス	TAF-Lガイダンス
使用するGPV	MSM	RSM
作成頻度	4回/日	2回/日
予報期間	15時間	45時間
対象時間	前1時間	前3時間または3時間毎の正時
予報要素	最大風速と風向 最小視程 雲量・雲底高度 現在天気	平均風速と風向 最小視程 雲量・雲底高度 現在天気

3.3.2 最大風に関するガイダンス

(1) 概要

「最大風に関するガイダンス」は飛行場予報に必要なガイダンスでありながら、観測データがきめ細かく通報されなかったために、これまで作成できなかった。今回TAF-S作成の支援を目的に新たにガイダンスを作成するに当たり、METAR/AUTOにより10分毎の風向風速

の入手が可能となっていることから、予測の対象を最大風としてガイダンスを作成した。このガイダンスはMSMを基に1日4回予報時間(以下「FT=」と略す)2~15の毎時、対象時刻までの1時間における各官署の「最大風速(FF)とその風向(DD)」を予測するものである。

(2) 作成手法

「TAF-Sガイダンス」の最大風速に関するガイダンス(以下「TAF-S風ガイダンス」と略記)の作成手法は基本的に現用のTAF-Lガイダンスや天気予報用の風ガイダンス(以下「従来風ガイダンス」と略記)と同じである。その手法は平成9年度及び10年度量的予報研修テキストに記述されている。簡潔には、

各地点毎、対象時間毎に、前回計算した予測値と通報された観測値を使ってカルマンフィルターにより逐次最適化を行った予測式に、予測因子を代入して風向風速を得る。(国次 1997)

①で得られた予測風速に対してバイアススコアを1に近づける補正を行って最終製品を得る。(木村 1998)

の2工程からなる。このとき使用するデータは従来風ガイダンスと同じく、観測値並びにGPVともに地上の風のみである。但し、対象時間、目的変数、及び説明変数に表3.3.2の違いがある。

表3.3.2 従来風ガイダンスとの違い

	従来風ガイダンス	TAF-S風ガイダンス
対象時間	3時間毎の正時	毎時の前1時間
目的変数	対象時刻に通報された風	対象時間帯内の通報の中の最大風
説明変数	対象時刻のRSM地上風	対象時間帯をはさむ2時刻のMSM地上風のうち強いほう

なお、このガイダンスは係数の更新に観測電報(METAR, METAR/AUTO, SCAN, SPECI)の風を使用している。したがって、METAR/AUTOを通報しない官署については10分毎の観測値が入手できないために、「毎正時を対象とした風ガイダンス」とほぼ同じになる。また、観測電報を通報していない時間帯については、MSMの値がそのままガイダンスとなる。

(3) 予測特性と精度

平均的な予測特性を把握するために、全予報地点を平均した検証スコアを利用して調査した。

図3.3.1上に「3時間毎の観測値」、「毎時間の最大風速の観測値」、「MSMの風速のRMSE」「ガイダンスの風速のRMSE」について観測値を指標に「MSM」と「ガイダンス」とを対比する形で示す。

¹ 3.3.1, 3.3.3 岩倉晋, 3.3.2 松本逸平, 3.3.4 大林正典

² TAF: Terminal Aerodrome Forecast の略。

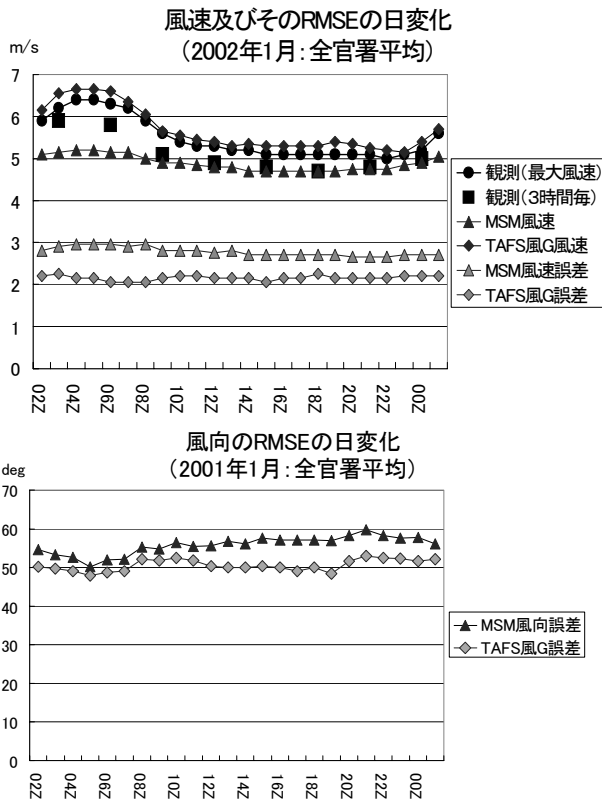


図3.3.1 TAF-S風ガイダンス及びMSMの風向・風速の予測精度。2002年1月、全官署の2-13時間予報の総計。

・ 最大風速と3時間毎の風速の差

毎時間の最大風速(観測値)は3時間毎の観測値に対して0.2~0.5m/s程度大きい。TAF-S風ガイダンスは従来風ガイダンスと比べて、観測値において、この程度大きな値を対象としている。

・ 予測風の強さと誤差

MSMは夜間に0.3~0.5m/s、日中に1m/s程度弱いものに対して、TAF-S風ガイダンスは1日を通して0.2m/sほど観測より強い程度である。また、風速のRMSEにおいて、TAF-S風ガイダンスのMSMに対する改善は夜間には0.5m/s程度、日中には0.5~0.9m/sである。

・ 風速の日変化

これまでの報告からRSMやGSMの地上風は観測に比べて日変化が小さい(国次 1997、酒井 2000)ことが知られており、MSMについても同様の傾向が見られる。しかし、TAF-S風ガイダンスは、従来風ガイダンス同様、対象とする時間帯毎に係数を持っていることから、モデルではあまり表現しない風速の日変化についても妥当な予測をしている。

・ 風向の誤差

図3.3.1下にMSMの風向のRMSE及び、TAF-S風ガイダンスの風向のRMSEを示す。

風向についても全ての時間帯について改善しており、特に風速の弱い時間帯の改善が大きい。

・ スレットスコアとバイアスコアによる検証

TAF-S風ガイダンスは最大風速を対象としているため、強い風に対する予測精度が重要である。このため、閾値を1m/s刻みにして、閾値より強い風が吹いたか否を対象としたスレットスコア(図3.3.2上)及びバイアスコア(図3.3.2下)により検証を試みた。

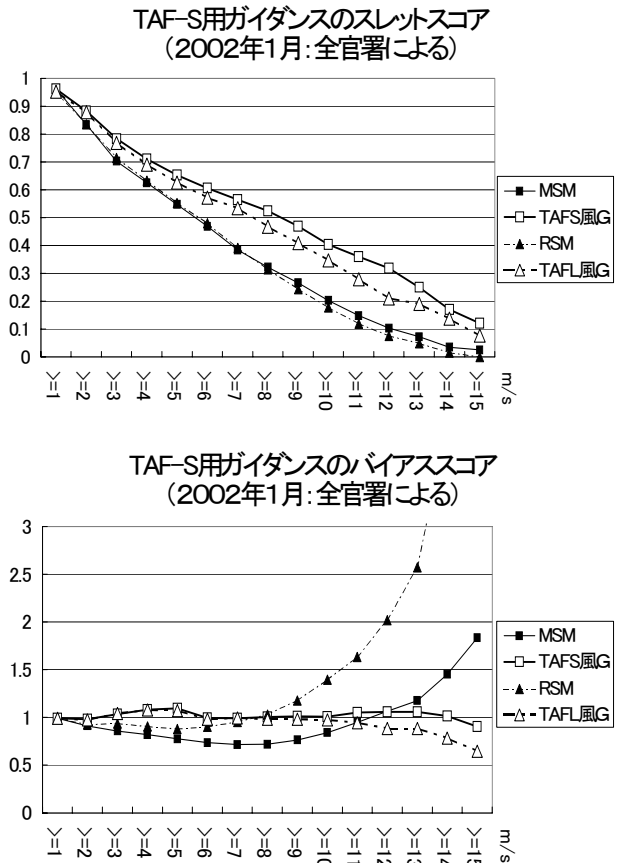


図3.3.2 TAF-SガイダンスとMSMの風速予測精度。2002年1月、全官署の2-13時間予報の総計。MSM及びTAF-S風ガイダンスはFT=02-13について、RSM及びTAF-L風ガイダンスはFT=06-15のデータを使用。

これによるとTAF-S風ガイダンスは、バイアスコアが示すとおり、10m/s以上の強い風についても観測と同程度の頻度で予測している。また、スレットスコアで見ると、最大風速を予測しているために大きな風速を閾値とした場合にTAF-Lガイダンスより高いスコアを示し、モデルからの改善も大きい。しかし、TAF-S風ガイダンスは最大風速を予測するものであるため、3時間毎の正時の風を対象(検証も)としたTAF-L風ガイダンスとは予測対象が異なるため、両者を単純に比較することはできない。

(4) 強風の予測精度

官署によって風の強さの特性は異なるが、TAF-S風

ガイダンスは、検証した期間について全体としては10m/s以上の風を予測した4390例(総予測例の8.0%)中59%が10m/s以上の風を観測しており、12m/s以上の風を予測した1618例(総予測例の2.9%)中48%が12m/s以上の風を観測している。

バイアスコアがほぼ1であることも併せて、概ね実用的な精度は確保していると考えられる。

3.3.3 視程に関するガイダンス

(1) 概要

本ガイダンスは、TAF-Sの視程予測を支援する目的で作成される。視程の予測値は統計的手法によって求めた係数とMSMの予報出力結果(地上の気温、相対湿度、1時間降水量)を診断式に適用して求められる。TAF-Lガイダンスに用いられている診断式は、高湿度時の視程を過大に見積もる。本TAF-S用視程ガイダンスは、TAF-Lガイダンスの予報特性の一部を改善する目的で、診断に用いる式を変更した。これについては(2)および(3)で詳しく述べる。

(2) 作成手法

作成手法において、本ガイダンスとTAF-Lガイダンスとで異なる主な特徴を2点あげる。

一つめは、TAF-Lガイダンスの視程予測特性の一部を改善する目的で、新たな診断式を用いたことである。診断式に用いた式を以下に示す。

視程 $V(m)$ は光消散係数 $\sigma(m^{-1})$ によって次のように求められる(Middleton, 1952)。

$$V = \frac{3.912}{\sigma} \quad (3.3.1)$$

光消散係数とは簡単にいうと、粒子による光の吸収と散乱の特性を表すものである。これと物体の識別限界となるコントラストから(3.3.1)式によって視程が求まる。

光消散係数は、空気分子と霧による散乱・吸収を無視すると、

$$\sigma = \sigma_p + \sigma_R + \sigma_S \quad (3.3.2)$$

と表すことができる。ここで、 σ_p 、 σ_R 、 σ_S はそれぞれ大気中の浮遊塵、雨滴、雪片による光消散係数を表す。

浮遊塵による光消散係数 σ_p と地上における相対湿度 H の関係は次のように近似できる(岩倉 2000)。

$$\sigma_p = \alpha_p (1 - H)^{\beta_p} \quad (3.3.3)$$

相対湿度 H は湿度100%に対する比を表すものとする。ここで、 α_p 、 β_p はそれぞれ浮遊塵に関連した係数を表す。係数は各地点での通報された卓越視程と予測相対湿度を用いて統計的に求められる。ただし、(3.3.3)式の

近似は相対湿度が100%の近傍では成り立たない。このため、湿度が80%以上では90%より大きくならないように線型式を用いて変換している。

また、雨滴および雪片による光消散係数は、

$$\sigma_R = \alpha_R R^{\beta_R} \quad (3.3.4)$$

$$\sigma_S = \alpha_S R^{\beta_S} \quad (3.3.5)$$

と近似できると仮定する。 R は1時間降水量である。ここで、 α_R 、 β_R 、 α_S 、 β_S は各々雨滴、雪片の光消散係数に関連した係数を表し、通報された卓越視程と予測された1時間降水量から統計的に求められる。

本ガイダンスの精度の検証結果については(4)で述べるが、決して精度は高いといえない。これはTAF-Lガイダンスが前3時間内を対象とする予測値であるのに対し、TAF-Sガイダンスは前1時間内を対象としており、時間的な誤差の許容範囲がTAF-Lガイダンスに比べ小さいことが原因の一つである。TAF-Lガイダンスではバイアスコアを1に近づけるような補正をして、メリハリのついた予測を行っている。同様なことをTAF-Sガイダンスで行うと、見逃しと空振りが多くなり、結果としてこのようなガイダンスはユーザーにとって使いにくいものになってしまう。そこで、バイアスコアを1に近づける補正は行わず、ガイダンスがある閾値未満となると予想した場合の空振りを少なくするように係数を求めた。なお、(3.3.3)、(3.3.4)および(3.3.5)は非線型の式なので、線形の式を用いているTAF-Lガイダンスとは異なりカルマンフィルターを適用して係数を更新することはできない。

(3.3.2)式から明らかなように、光消散係数は、降水現象がない場合(3.3.3)式から、降水現象を伴う場合には(3.3.3)式および(3.3.4)式または(3.3.5)式から求めることができる。得られた光消散係数を用いて(3.3.1)式から視程を予測する。

二つめは、雨と雪の取り扱いを分けたことである。TAF-Lガイダンスでは、降水量に関する説明変数の係数をカルマンフィルターを用いて逐次更新しているが、雨と雪の判別は行っていない。しかし、雨と雪では降水量の視程に対する特性が大きく異なる。したがって、本ガイダンスでは係数を固定化し、雨と雪それぞれに係数を求めた。雨雪判別はMSMの地上気温の予測値が2°C以上ならば雨、それ未満は雪としている。

(3) 予測特性

(2)で示した診断式の採用で、TAF-Lガイダンスと比べ、相対湿度が高い時により視程を低下させ、降水が強い時に必要以上の低下を生じさせないようにした。以下に例を示してTAF-L、TAF-Sガイダンスの特性の違いを解説する。

降水量と相対湿度それぞれを以下のように変数変換したものを考える。

$$h = \sqrt{1-H} \quad (3.3.6)$$

$$r = \sqrt{R} \quad (3.3.7)$$

これらを用いると線型結合した診断式(以下TAF-L型と略す)と線型結合ではない診断式(以下TAF-S型と略す)の二つの式は次のようになる。

$$V = 5.4 + 6.0h - 1.8r \quad (3.3.8)$$

$$V = 3.912 / (0.19/h + 0.20r) \quad (3.3.9)$$

ここでは視程Vの単位をkmとしている。TAF-L型の係数は本稿執筆時点での東京国際空港での係数を参考に多少変更して使用した。また、比較しやすいようにTAF-L型は定数項、相対湿度に依存する項、降水量に関する項のみを用いて簡略化している。また、降水量として3時間降水量を用いて係数を求めているため、係数を1時間降水量に対応するよう補正して用いている。

(3.3.8)式では降水現象を伴わない場合、5.4km未満とならない。これに対し(3.3.9)式では、高湿度時での視程の低下を予測できる。図3.3.3に降水量を2mm/hrとした時の相対湿度に対する視程の変化の例を示す。破線がTAF-L型による変化曲線、実線がTAF-S型による変化曲線である。この例では、相対湿度が0.8未満ではどちらも同様の変化を示しているが、0.8以上ではTAF-S型がより大きく低下している。

同様に(3.3.8)式の降水量に大きな値が与えられると、視程が負の値になる。現実には負の値とはならないので補正が必要となる。これに対し、(3.3.9)式は0に漸近する。相対湿度を0.85とした時の、1時間降水量に対する視程の変化の例を図3.3.4に示す。降水量が2.5mm/hr未満ではどちらも同様の変化を示しているが、2.5mm/hr以上では破線で示したTAF-L型の変化がより大きく、降水量が大きくなると負の値となってしまう。

MSMの出力結果から予測される相対湿度および1時間降水量の現在の精度を考えると、ここで示した両者の差は無視できると考えられるが、今後数値予報モデルの高度化により精度が向上すると無視できなくなる。

ただし、診断式が(3.3.8)式のような線型結合ではないため、係数を逐次更新するカルマンフィルターの手法を利用できなくなった。今後このような診断式に適用するための係数を逐次更新する手法を開発していく必要がある。

(4) 検証結果

係数を2001年3月からの1年間のデータで作成し、検証は2002年3月から7月までの5ヶ月間の独立資料を用いて行った。対象は三宅島空港を除く73の航空ガイドンス作成地点である。

表3.3.3に視程5km未満の場合を的中としたスレツス

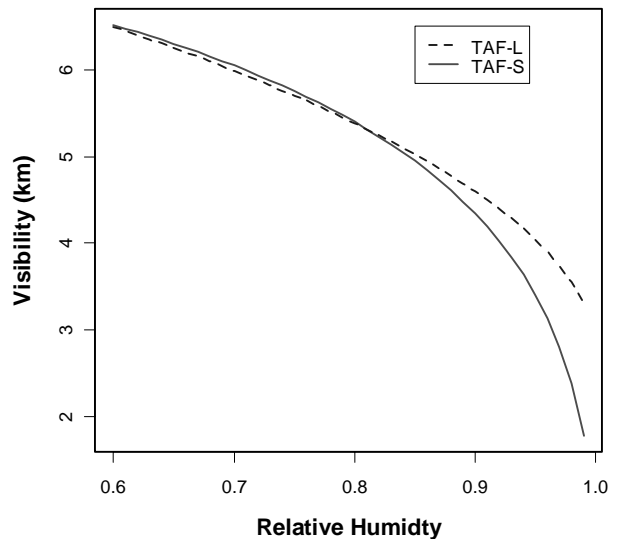


図3.3.3 降水量が2mm/hrの時の相対湿度に対する予測視程の変化特性。実線はTAF-S型、破線はTAF-L型。相対湿度が0.8以上でTAF-S型の低下がより大きい。

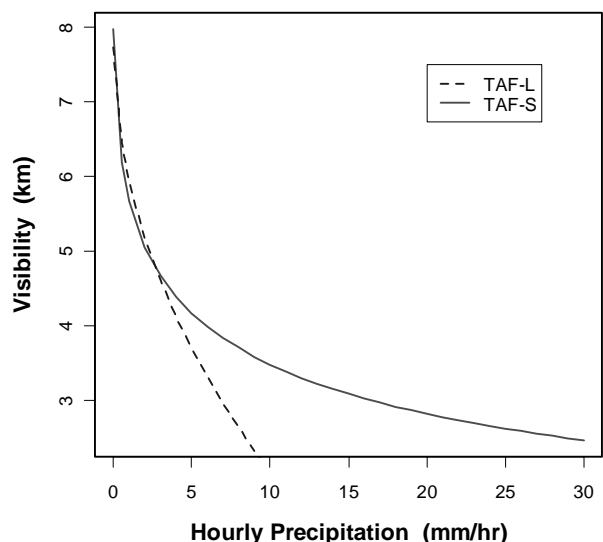


図3.3.4 相対湿度が0.85の時の1時間降水量に対する視程の変化特性。実線はTAF-S型、破線はTAF-L型。降水量が2.5mm/hr以上でTAF-S型の低下がより小さい。

コアの各階級別地点数を月別に示した。TAF-Lガイドンスでは全地点平均で約0.3であるのに対し、半数以上の官署でスレツスコアは0.1未満とかなり低い。一つにはTAF-Lガイドンスが前3時間内の最小視程を予測するのに対し、TAF-Sガイドンスでは前1時間内と時間的な制約が大きいことが考えられる。

5km未満と予想した中での的中した割合は、全地点の合計では4月と7月では約0.4と低いが、その他の期間では0.5前後と(2)で述べた目的どおりの結果が得られた。地点毎に精度のばらつきがみられるが、データ数を増やして係数の再計算を行うことにより改善されることが期待される。

手法の基本方針は、旧アルゴリズムを踏襲している。

表3.3.3 5km未満を的中としたスレットスコアの階級別地点数

スレットスコア	3月	4月	5月	6月	7月
$x < 0.1$	38	50	51	52	50
$0.1 \leq x < 0.2$	10	15	11	13	15
$0.2 \leq x < 0.3$	14	6	5	4	5
$0.3 \leq x$	11	2	6	4	3

3.3.4 雲に関するガイダンス

(1) 開発の経緯と方針

従来から配信してきたTAF-L雲ガイダンスでは、2001年3月に、モデルの雲量予測バイアスやモデル地形の標高と実際の空港標高の差による誤差を軽減することを目的として、それまでのモデル予測雲量をそのまま用いた診断方式から、カルマンフィルターによる逐次最適化方式に変更した(大林・榊原 2000)。その後、実況と異なり100ft以下の雲量8/8を連続して予測する事例が散見されたため、2001年6月8日からは、1000ft以下かつ対流凝結高度以下では雲を作らないように修正して運用してきた。この結果、低シーリング(雲量5/8以上の最低雲層の雲底高度)の予測頻度が実況より少なく、スレットスコアも低いという悪影響が現れていた(大林 2001)。

今回のTAF-S雲ガイダンス開発では、従来のTAF-L雲ガイダンスのアルゴリズム(以下、旧アルゴリズム)に改良を加え、低シーリングの予測精度改善を目指した。

なお、この新しいアルゴリズムを適用することにより、TAF-L雲ガイダンスも改善されることがわかったので、同ガイダンスも2002年7月9日からこのアルゴリズムに変更した。

(2) 配信要素

FT=2~15の毎時、前1時間で雲量5/8以上の雲層(無い場合は最低雲層)が最も低い時の、下から3層の雲量(8分値)・雲底高度(ft)を配信³する。

3層は、TAFにおける雲の表現(気象庁 1998)に合わせ、最も低い雲層、その上で雲量3/8以上の雲層、さらにその上で雲量5/8以上の雲層である。TAFに表現すべき「それ以外の重要な対流雲(積乱雲、塔状積雲)」は考慮していない。

(3) 作成手法

カルマンフィルターで最適化した係数を用いて、空港上空のモデル面予測雲量から高度別の雲量時系列を作成し、それから出力すべき3層を抽出する。この作成

(ア) 高度別の雲量時系列予測作成

各空港上空のモデル面雲量予測値から、高度別の雲量時系列を予測する。

雲量予測の対象高度は、旧アルゴリズムでは、「100m毎10000mまで(下から2000mまではカルマンフィルターによる予測、2500mより上はモデル面雲量を内挿、その間是不連続を避けるため両者の重み付き平均)」であったが、最終的に100ft単位で出力するための内挿・外挿による誤差や、係数最適化を行う高度とその上での特性の違いが発生していた。これらの欠点を解消するため、TAFで要求される鉛直方向の解像度を考慮して、予測対象高度を表3.3.4の通り下層ほど間隔を狭く設定し、全層で係数最適化を行うこととした。

表3.3.4 雲量予測の対象高度

地表面からの高度	層間隔
地表 ~ 1000ft	100ft毎
~ 5000ft	500ft毎
~ 10000ft	1000ft毎
~ 30000ft	2000ft毎

それぞれの対象高度の雲量 C^{klm} を、その高度に近いモデル面3層の予測雲量 C^{mdl} から次式で求める。

$$C^{klm} = X_0 + \sum_{i=1}^3 C_i^{mdl} X_i \quad (3.3.10)$$

バイアス項 X_0 および係数 X_i ($i=1\sim 3$)に関して、カルマンフィルターによる逐次最適化を行う。旧アルゴリズムでは、係数は対象時間帯によらず地点毎に1セットであったが、これを対象時間帯毎に持つようにした。これにより、モデルでは日変化が不十分な場合でもガイダンスである程度表現できるようにした。

さらに、頻度バイアス補正(降水量ガイダンス等で適用されている、予測値が閾値以上となる頻度を実況の頻度に近づけるための補正(藤田 1996))を適用し、最終的な高度別の雲量時系列予測値とする。

(イ) 出力すべき3層の抽出

各予測対象時刻の高度別雲量予測値を最下層から検索し、TAFにおける雲の表現に合わせ、最も低い雲層、その上で雲量3/8以上の雲層、さらにその上で雲量5/8以上の雲層、の3層を抽出する。この際、あまり近接した層が選択されないよう、高度差が高度の20%以内である2層は、1層とみなすようにしている。例えば、900ftで雲量1/8、1000ftで雲量3/8の場合、2層を一体とみなし、900ftを雲量3/8とする。

下にある層が雲量8/8の予測でも、それより上の層も抽出する。これは、予報を作成する際にガイダンスに修正が必要な場合、より上層の情報が必要となることが考

³ TAF-Lガイダンスでは、従来、上・中・下層雲を配信していたが、2002年7月9日からTAF-Sガイダンスと同じ下から3層の雲に配信内容を変更した。

えられるためである。

(4) 精度

24時間観測値が得られる11空港について、シーリング600ftのスレットスコア、バイアススコアを求めた。スコアの算出には、ルーチンで配信したTAF-Lガイダンスと比較するため、3時間の最低シーリングを対象とした。図3.3.5は、閾値600ftのスレットスコア(上)とバイアススコア(下)である。今回のTAF-S雲ガイダンスのアルゴリズムにより、低シーリング出現頻度が少ない(バイアススコアが小さい)欠点は解消され、スレットスコアは大幅に改善されている。

参考までに、同じアルゴリズムを適用した改良TAF-L雲ガイダンスのスコアも示してある。改良TAF-L雲ガイダンスでも、TAF-Sガイダンスとほぼ同程度の精度に改善されることがわかる。

(5) 今後の課題

現在、(3.3.10)式の C_{mdl} (モデル面の予測雲量)は、相対湿度から診断的に求められている(細見 1999)。一方、TAF-Lガイダンスに利用しているRSMについては、雲水量の予報変数化の開発が進められている(第1.3節)。雲水スキームから得られる予測雲量は、現行の予測雲量と比較するとバイアス傾向に大きな変化が見られるため、当面は雲ガイダンスの説明変数としては雲水スキームから得られる雲量は使わず、相対湿度から計算した雲量を引き続き使用する予定である。今後、雲水スキームで予測される雲量の特性を調査し、雲ガイダンスへの利用方法を検討していく。

また、TAF-Sガイダンスに利用するMSMは、2003年度中に非静力学モデルに置き換え、より高度な雲物理過程が導入される。雲物理過程はもともと水平格子間隔1km以下のモデルのためのパラメタリゼーションであるため、当初導入される10km程度の格子間隔のモデルで、どの程度雲量予測精度が改善できるか、現在の雲ガイダンスのアルゴリズムでその改善を的確に反映させることができるかどうか等について調査していく必要がある。

参考文献

岩倉晋, 岡田菊夫, 1999: 東京国際空港における卓越視程の相対湿度依存性. 気象研究所報告, **50**, 81-90.
 大林正典, 榊原茂記, 2000: 航空気象予報. 平成12年度数値予報研修テキスト, 42-45.
 大林正典, 2001: 航空ガイダンス. 平成13年度数値予報研修テキスト, 48-49.
 気象庁, 1998: 飛行場予報. 航空気象予報作業指針, 5-1 - 5-42.
 木村陽一, 1998: 風ガイダンスの統計的特徴と風速

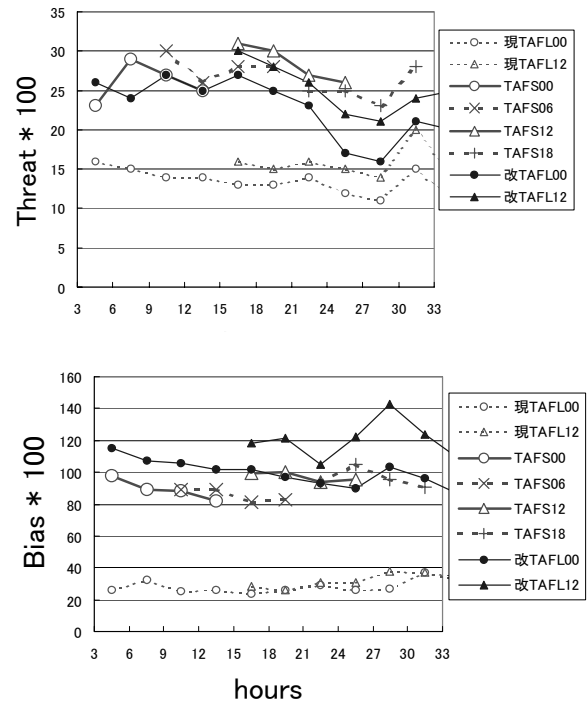


図3.3.5 雲ガイダンスの3時間最低シーリング閾値600ftのスレットスコア(上)とバイアススコア(下)。横軸は00UTCからの予測時間。

24時間観測値が得られる11空港を対象とし、期間は2001年7月～2002年6月の1年間。

図中「現TAF-L」はルーチンのTAF-Lガイダンス、「TAF-S」はTAF-Sガイダンス、「改TAF-L」は改良TAF-Lガイダンス。その後ろの数字は初期時刻。

なお、TAF-Sガイダンスは00,06,12,18UTC初期値で15時間予測を、TAF-Lガイダンスは00UTC初期値から33時間予測、12UTC初期値から21時間予測まで図示しているが、初期値の時刻から3時間後の予報発表に対し、TAF-Sガイダンスは利用できるが、配信が遅いTAF-Lガイダンスは利用できない(すなわちFT=3～6は実際の予報には使えない)ことに注意が必要である。

補正. 平成10年度量的予報研修テキスト, 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, 39-44.
 酒井喜敏, 2000: GSM 風ガイダンス. 平成12年度数値予報研修テキスト, 31-32.
 藤田司, 1996: 降水ガイダンスの統計的検証. 平成8年度数値予報研修テキスト, 34-40.
 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, 52-57.
 萬納寺信崇, 1994: お天気マップ. 数値予報課報告・別冊第41号, 90-91.
 Middleton, W. E. K., 1952: Vision through the Atmosphere. The University of Toronto press, 250pp.