

第3章 新しいメソ数値予報モデル

3.1 新モデルの特徴¹

3.1.1 はじめに

防災気象情報の発表支援を目的としたメソ数値予報は、2004年9月に数値予報モデルを静力学モデルから非静力学モデルへと変更し(藤田 2004)、降水予測等について着実に精度向上が達成されている(田中 2004)。2006年3月のNAPS更新による演算性能の強化を受けて、より一層の精度向上を図るため、数値予報モデルの水平分解能を現在の10kmから5kmに、予報回数を1日4回から8回に高頻度化することにした。分解能の強化に伴い、より小さいスケールの現象を扱えるようになるとともに、地形や海陸分布の表現が実際のそれに近くなることによる精度向上が期待される。また、予報回数が増えることにより、これまでより間近の実況を取り込んだ予報を参照できるようになる。一般に予報時間が長くなるにつれて予測精度が低下することを考慮すると、予報の高頻度化は精度向上の蓋然性が高まることにつながる。

本節では新しいメソ数値予報モデル(以下、5km-MSMという)の仕様について説明する。なお、現行のメソ数値予報モデル(以下、10km-MSMという)の仕様については藤田(2004)やSaito et al. (2005)に詳しく述べられているので、適宜参照頂きたい。また、5km-MSMと10km-MSMの統計検証による比較については第3.2節を、いくつかの事例に対しての検証結果については第3.3節をそれぞれご覧頂きたい。

3.1.2 5km-MSMの仕様

5km-MSMは10km-MSMとして用いられている気象庁非静力学モデル(気象庁予報部 2003)と基本的には同じであるが、5kmの水平分解能に適するように様々な改良を行っている。以下では10km-MSMの仕様と比較して解説を行なう。10km-MSMで用いている各過程(多くは5km-MSMでも用いる)の概略は藤田(2004)に解説されているので、適宜併せて参照してほしい。

(1) 格子間隔、格子数、投影法、座標系

前項で述べたとおり、新しいメソ数値予報モデルの水平分解能を10kmから5kmに強化する。5km-MSMの予報領域の広さ(図3.1.1)を10km-MSMと同じとするため、5km-MSMの格子数は10km-MSMの 361×289 から 721×577 とする。ただし、側面緩和領域を境界から240kmまでとしていたのを180kmまでとした。モデルの鉛直層数を40層から50層に増加する(モデル上端の高度は約22kmでほぼ同等)。図3.1.2に5km-MSMと10km-MSMの鉛直層の配置を示す。全ての高度で分解能が向上していることが分かる

(最下層の厚さは共に40m)。10km-MSMと同様に、投影法としてランベルト正角投影法(基準緯度は北緯30度と北緯60度、基準経度は東経140度)を用い、鉛直座標系として地形に沿う σ 座標と呼ばれる座標系を用いる。

(2) 初期値、側面境界値

5km-MSMの初期値にはNAPS更新当初には10km-MSMと同じく、水平分解能10kmの静力学モデルに基づくメソ4次元変分法(第4.2節)による解析値を用いる。雲水、雲氷、雨水、雪、あられの混合比の初期値に前回予報値を用いる点も変更は無い。ただし、予報頻度が1日8回になることを踏まえて、6時間前初期時刻の6時間予報値ではなく、3時間前初期時刻の3時間予報値を用いる予定である。側面境界値には現在と同様にRSMの予報値を用いる。

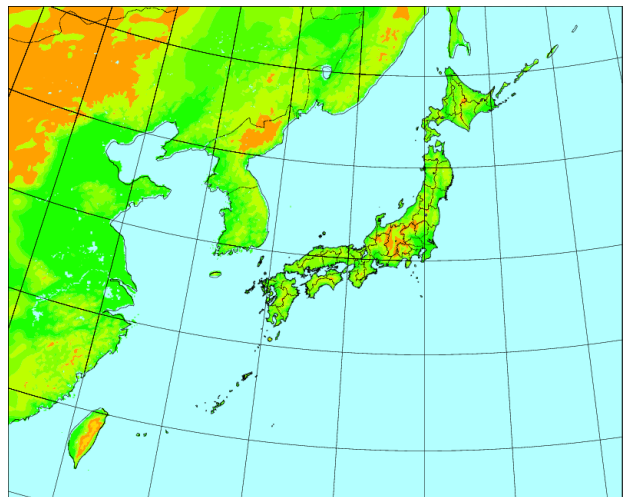


図 3.1.1 5km-MSM の予報領域。緯経度線は5度おき。塗りわけの閾値は0, 100, 200, 500, 1000, 2000m。

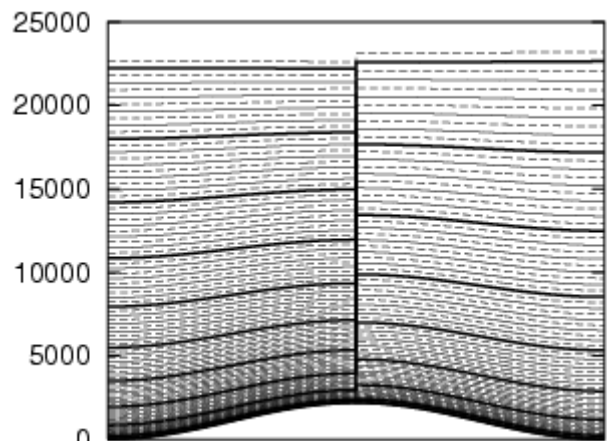


図 3.1.2 5km-MSM と 10km-MSM の鉛直層の配置。実線はフルレベル、破線はハーフレベルを表す。太実線は5本間隔。左半分が5km-MSM、右半分が10km-MSM。全ての高度で分解能が向上している。

¹ 石田 純一

(3) モデル地形、海陸分布、地表面パラメータ

モデル地形と海陸分布は国外のデータも必要であるため、10km-MSMと同様に米国地質調査所がまとめた全球30秒メッシュのGTOPO30(全球標高データ)及びGLCC(全球土地被覆特性データ)から作成する。地形の分解能を数値予報モデルの分解能と同じにすると、細かい地形に起因するノイズが計算不安定をもたらす可能性があるため、10km-MSMでは分解能15km相当に、5km-MSMでは分解能7.5km相当に平滑化している(藤田(2004)も参照のこと)。

従来は地表面パラメータのうち、運動量粗度と湿り度については都市や森林といった土地利用状況に応じた値を与えていたが、地面の熱容量と熱拡散係数及びアルベドについては土地利用状況を考慮せず地表面種別(陸、雪面、海・湖、海水)のみ考慮していた。しかし、熱容量やアルベドも土地利用状況によって異なり、その違いは地表要素の予想に違いを与えうる²ので、これらのパラメータについても土地利用状況を利用した値を設定することにした(田中・熊谷 2005)。この変更及び粗度の計算方法の一部修正により、夜間の地上気温の高温バイアス改善などの効果が得られた。また、従来は湿り度を定数として扱ってきたため、降水時や晴天時に地面が湿ったり乾いたりする効果を考慮できなかった。そこで、湿り度を予報変数として扱うように変更した結果(初期値は土地利用状況に応じた気候値)、日中の気温、露点温度のバイアスの軽減につながった(原 2005、第3.2節)。

海面水温データは海洋気象情報室で作成する高解像度全球日別海面水温解析(栗原ほか 2006)を用いるように変更する(第3.4節)。

(4) 力学過程

力学過程に大きな変更は無いが、水平分解能の変更に伴い、設定のいくつかを変更している。水平方向のCFL条件を考慮すると時間積分間隔を0.5倍にしなくてはならないが、5km-MSMや10km-MSMでは、時間積分間隔は水平方向よりも鉛直方向の速度によるCFL条件に制限されることが多く、一方で鉛直分解能は2倍までは高めていないことから、時間積分間隔を10km-MSMで用いる値の0.6倍とした³。

適応水蒸気拡散(TMD)で用いるパラメータについても変更を行なった(10km-MSMで用いているTMDについては藤田(2004)を参照のこと)。TMDとは不自然な格子スケールの対流が生じたときに、水蒸気を拡散させることによって対流を抑制するものである。分解能が雲の空間スケールよりも十分粗いとき、モデル内で生じる格子スケールの

対流は自然界では出現しない現象である。しかし、分解能が高い場合は必ずしも不自然とは言えないので、5km-MSMでは10km-MSMよりも限定的にTMDを適用すればよいと考えられる。以上の考えから、TMDを適用する上昇流の閾値を2m/sから3m/sに変更した。

格子スケールの対流に関連して数値拡散の強さも変更した。数値拡散は数値予報モデルで表現される最小スケールの波を減衰させるための人工的な拡散であり、乱流による拡散とは区別される。5km-MSMの開発中に台風の原因付近で格子スケールの対流による強い上昇流が生じて上記のTMDでも対流を抑制できない事例があったので、数値拡散を強くして安定化を図ることとした。

これらは主として計算安定性に関わってくるものであり、適切な値を設定することにより、十分な計算安定性を確保できている。

(5) 放射過程

放射過程にはGSMで使われていた放射スキーム(北川 2000)を導入することにした(長澤・北川 2004、長澤・北川 2005)。田中(2004)は10km-MSMに暖候期の200hPaの気温に負バイアスがあることを示し、放射スキームに問題がある可能性を示唆した。また、地上気温の検証から日中に気温が上がりにくく、夜間に気温が下がりにくい特性があることが分かっている(第3.2節)。10km-MSMの放射スキームにおける長波放射の計算では、全ての雲を黒体として扱い、短波放射における雲の光学特性の計算では、水雲と氷雲の違いを考慮していなかった。このような手法は特に氷雲に対して誤差が大きくなりうる。例えば、巻雲のような上層雲は黒体とはみなせない場合があるので、黒体として計算を行なうと、雲頂での放射冷却が過大に評価されてしまうことがありうる。また、氷雲が存在する場合では地表に到達する短波放射が過小評価されることになる。

新しく導入した放射スキームでは、雲水量、雲氷量及び、雲粒の有効半径(水雲の場合は定数、氷雲の場合は気温の関数で与えられる)を用いることにより、水雲と氷雲の違いを考慮することができるようになる。ただし、モデルで予想している雲水量、雲氷量を用いると地上気温の予想特性等が大きく異なってしまうため、これらの量は可降水量より診断することとした。なお、雲量の診断方法は変更せず、10km-MSMやRSMと同様に相対湿度から診断している(萬納寺 1994)。

(6) 乱流過程

乱流過程には10km-MSMと5km-MSMは同じスキームを用いるが、いくつかの設定を変更した。夜間の地上気温・風速の正バイアス(第3.2節)の原因の一つとして、夜間(安定時)の鉛直拡散が強すぎる 것이考えられた。5km-MSMで用いる乱流スキームでは、乱流の強さを決定する拡散係数は、乱流エネルギーの平方根と混合長(混合距離ともいう)の積に、ある係数(Cm)を乗じた値で表さ

² 例えば、熱容量が小さくなれば地表面温度の日変化が大きくなる。

³ スプリットイクスプリシット法(藤田(2004)を参照)で用いる長い時間積分間隔を40秒から24秒に、短い時間積分間隔を約11.4(80/7)秒から約6.85(48/7)秒に変更した。

れる。乱流エネルギーを求める手法(藤田(2004)を参照のこと)と鉛直方向の混合長は変更しないが、境界層外ではCmの値を小さくして(すなわち、拡散係数を小さくして)、鉛直拡散を小さくすることにした。また、混合長については10km-MSMでは水平方向と鉛直方向とに対して異なる値を用いていたが、水平方向の混合長が大きすぎることを考えられたので、鉛直方向の混合長と同じ値を用いることにした(原 2005)。これらの変更により、夜間の地上気温・風速の正バイアスを大幅に軽減している(第3.2節)。

(7) 積雲パラメタリゼーション、雲物理過程

5km-MSMで積雲パラメタリゼーションを用いずに実験を行なったところ、格子スケールの対流が卓越し、レーダー・アメダス解析雨量と比較して、1時間に数mm程度の降水の頻度が小さく、1時間に20mm程度以上の強い降水の頻度が大きくなることがわかった。そこで、引き続き積雲パラメタリゼーションを併用することとし、10km-MSMと同様にKain-Fritschスキーム(以下、KFスキームという)を用いることとした。

KFスキームのパラメータを全く変更せずに格子間隔のみを5kmにした実験結果から、暖候期の3時間積算雨量のバイアスコアは10mm以下では1より大きく、15mmから30mmでは1より小さくなるという特性があることが分かった。また、1時間に10mmから30mm程度の降水の頻度は実況よりも小さく、30mmを超えるような降水は、頻度がやや大きいことも分かった。寒候期には寒気の吹き出し時にライン状の降水を実況よりも多めに表現してしまう特性も見られた。以上の問題点を解決するために次の4点の変更を行なった(大森ほか 2005a)。

- ・対流性凝結物から降水への変換を小さくする。

KFスキームの内部で凝結した水物質はある閾値を超えた分を降水とし、閾値より小さい場合には降水は生成されないとしている。弱い対流が生じている際に、この閾値を超える凝結物が生成されて3時間に数mm程度以下の降水に変換されていることが分かったので、閾値を大きくして降水への変換を少なくした。

- ・深い対流の時間スケールを短くする。

積雲パラメタリゼーションによる大気の安定化が不十分であると格子スケールの対流が卓越する。その結果、1時間に30mm以上の降水の頻度が大きくなる代わりに、1時間に10mmから30mm程度の降水の頻度が小さくなったと考えられる。KFスキームでは、対流はある一定の寿命を持ち、パラメタリゼーションによる加熱率や混合比の時間変化率は時間スケールの長さに反比例している。時間スケールを短くすることにより、加熱率や混合比の時間変化率が大きくなるので、大気の安定化が早く行なわれるようにした。

- ・浅い対流の時間スケールを短くする。

KFスキームでは対流を深い対流と浅い対流とに分けて取り扱い、KFスキームの浅い対流は、降水はもたらさない

ものの雲や雲水を生成し、大気を安定化するにはたらく、としている。寒候期の寒気吹き出し時には浅い対流が広範囲で生じるものの、その安定化が不十分であり、実況では観測されない格子スケールのライン状の弱い降水(3時間に数mm程度)⁴をもたらす、これによって降水予測精度が低下していることがわかった。そこで、浅い対流についても時間スケールを短くすることとした。

- ・雲物理過程で雲水・雲氷から降水への変換の閾値を大きくする。

雲物理過程では雲水や雲氷の量がある閾値を超えると雨や雪へと変換されるとしている⁵。この閾値についても大きくすることにより、弱い降水(3時間に数mm程度)が過度に出現することを抑制している。

以上のような変更を行なった結果、3.2節に示されているように、降水予測精度が向上した。

(8) 地上物理量診断手法

地上物理量は、地表面における運動量、顕熱、潜熱フラックスを求める際に用いるバルク係数⁶と、大気最下層(モデル面最下層)における風や気温を用いて診断することができる(萬納寺 1994)。バルク係数の求め方にはいくつかの手法が提案されており、10km-MSMが用いていた手法では、成層が安定な時には、地上物理量として本来求めたい高度(気温は1.5m、風は10m)よりも高い高度での気温や風の値を与えてしまうことが分かった。夜間に成層が安定している時の接地層では、高度が高くなるにつれて気温が高くなり、風速が強くなるので、これは夜間の地上気温、風速の正バイアスにつながる。そこで、バルク係数の計算手法を変更し、夜間の地上気温・風速の正バイアスを軽減することに成功した(原 2005)。

地表面の凹凸度合いを表す粗度についても変更を行なっている。観測点は概ね平坦な土地(すなわち粗度が小さい)にあることを考慮して、地上物理量を診断する際に用いる粗度には上限値(0.05mとしている)を設けることとした(原 2005)。

3.1.3 今後のメソ数値予報

これまで述べてきた通り、5km-MSMへの変更の際して改良を行い、次節以降に示す通り良好な予報精度を有することが確認された。以下では2006年3月以降の計画と開発課題について簡単に述べる。

2007年に1日8回のうち4回(03,09,15,21UTC)については15時間予報から33時間予報に延長し、24時間先までの防災気象情報の高度化を目指す。その後、初期値の精度向上のため、データ同化手法を現在の静力学スペクトルモデルに基づく4次元変分法から、非静力学モデルに基づく

⁴ この降水は雲物理過程によりもたらされる。

⁵ KFスキームでも同様の計算を行なっている。これは、雲物理過程に含まれている過程をKFスキームに導入したからである。

⁶ 萬納寺(1994)では抵抗係数と呼んでいるが同じものである。

く4次元変分法に変更する予定である。さらに、2007年には、飛行場予報や都市気象予測等に利用可能な、水平格子間隔2km程度の高分解能局地モデルの試験運用も計画している。

力学過程においては、まず鉛直差分の高精度化がある。現在は、鉛直方向には2次の精度の差分式を用いているが、これを4次の精度に拡張して差分誤差を軽減する。また、一般鉛直座標の採用に向けた開発を行っている。現在のZ座標は下層で地形に沿う座標であるが、対流圏中層でも地形の凹凸に応じてモデル面が変形してしまう(図3.1.2)が、中層以上ではこのようなモデル面の変形がない座標系を採用することが望ましい。現在、鉛直差分の高精度化と一般鉛直座標について基礎的な実験を行なっているところである。

物理過程についても開発すべき課題は多い。積雲対流パラメタリゼーションとして、現在はKFスキームを用いている。しかし、水平分解能を5kmにした場合にどのようなスキームが優れているかは現時点では明らかでない。また、水平分解能が2km程度の高分解能局地モデルでは、積雲対流パラメタリゼーションが必要かどうかでさえ明らかではない。KFスキーム以外のパラメタリゼーションとして、大森ほか(2005b)ではGrellスキームを用いた予報実験について報告を行っている。ここで用いられたGrellスキームは、GSMで用いられている荒川-シュエバートスキームを元にして、一対の上昇流・下降流を考えるように変更し、さらに対流が発生するための条件を追加したものである。現在使われているKFスキームと比較して、加熱・加湿の鉛直プロファイルは異なるものの、ほぼ同等の降水分布を予想している。今後、降水精度と鉛直プロファイルの検証をしつつ、スキームの最適化を重ねて、一層の精度向上を図る。

放射スキームでは雲の取り扱いを精緻化したので、今後はいかに雲量や雲水量を決定するかが重要になる。例えば、長澤・北川(2005)は現在用いている相対湿度から診断した雲量が過大であると指摘している。雲物理過程で計算された雲水量や雲氷量の利用や部分凝結スキームの導入などによる改善を行なっていきたい。また、GSMで採用されている藪ほか(2005)による晴天放射スキームの導入に向けた開発を行っている。

地表面における運動量、顕熱、潜熱フラックスは乱流によって大気に輸送される。この影響を精度良く評価するためには、フラックスそのものの精緻化と乱流による輸送過程の精緻化が重要である。前者として植物圏モデル(以下、SiBという)の導入、後者としてレベル3のMellor-Yamadaモデル(以下、MYモデルという)の導入を計画している。SiBは植生などによるフラックスへの影響を扱うものであり、さらに土壌水分の変化や積雪についても取り扱うことができる。SiBやレベル3のMYモデルの導入は、地表面物理量の予測精度の向上だけでなく、自由大気への影響を通じた降水予測精度の向上につながるであろう。

これまでに述べてきた開発課題は既に着手しているもの

であり、期待通りの成果を得られれば、33時間予報に延長する際に導入されるものである。上記以外にもメソアンサンブル予報に向けた開発など、計画中の開発事項はあるが、紙幅の関係もあり割愛する。現業メソ数値予報における非静力学モデルの利用は開始から1年余りと日も浅く、メソ数値予報の重要性が高まるとともに開発すべき課題も増えていくと考えられる。今後も様々な観点から調査を行ない、精度向上に努めていく。

参考文献

- 大森志郎, 新保明彦, 山田芳則, 2005a: 気象庁非静力学モデルの積雲対流パラメタリゼーションについて. 第7回非静力学モデルに関するワークショップ予稿集, 33-34.
- 大森志郎, 新保明彦, 山田芳則, 2005b: Grell スキームを用いた気象庁非静力学モデルの予報実験. 気象学会春季大会予稿集, **87**, B406.
- 気象庁予報部, 2003: 気象庁非静力学モデル. 数値予報課報告・別冊第49号, 気象庁予報部, 194pp.
- 北川裕人, 2000: 放射過程. 数値予報課報告・別冊第42号, 気象庁予報部, 16-31.
- 栗原幸雄, 桜井敏之, 倉賀野連, 2006: 複数衛星データと現場データによる新しい全球日別海面水温解析. 測候時報, **73**, 特別号(提出中).
- 田中小緒里, 2004: 統計的検証. 平成16年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 11-20.
- 田中小緒里, 熊谷幸浩, 2005: 気象庁非静力学モデルの地表面パラメータの改良. 気象学会春季大会予稿集, **87**, B404.
- 長澤亮二, 北川裕人, 2004: 気象庁非静力学モデルの放射スキームの改良について. 第6回非静力学モデルに関するワークショップ予稿集, 67-68.
- 長澤亮二, 北川裕人, 2005: 気象庁非静力学モデルの放射スキームの改良について. 気象学会春季大会予稿集, **87**, B403.
- 原旅人, 2005: 気象庁非静力学モデルの5km化に向けた地表面・境界層過程の開発. 第7回非静力学モデルに関するワークショップ予稿集, 35-36.
- 藤田司, 2004: 非静力学メソ数値予報モデルの概要. 平成16年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 1-9.
- 萬納寺信崇, 1994: 数値予報モデル. 平成6年度数値予報研修テキスト 数値予報課報告・別冊第41号合併号, 気象庁予報部, 52-89.
- 藪将吉, 村井臣哉, 北川裕人, 2005: 晴天放射スキーム. 数値予報課報告・別冊第51号, 53-64.
- Saito, K., T. Fujita, Y. Yamada, J. Ishida, Y. Kumagai, K. Aranami, S. Ohmori, R. Nagasawa, S. Tanaka, C. Muroi, T. Kato and H. Eito, 2005: The operational JMA Nonhydrostatic Mesoscale Model. *Mon. Wea. Rev.*, in press.

3.2 統計検証¹

3.2.1 はじめに

本節では、新しいメソ数値予報モデル(5km-MSM)と現行のメソ数値予報モデル(10km-MSM)の予想について、降水、地上気象要素、高層気象要素の統計的検証結果を示す。検証期間は暖候期(2004年5月31日～7月31日)と寒候期(2004年12月29日～2005年2月28日)で、それぞれ248初期値である。5km-MSMの予報には、10km-MSMと同じ初期値と境界値を用い、1日あたり4回の初期値(00,06,12,18UTC)から15時間予報を行った。

検証のために用いる各スコアのうち文中に説明がないものは、巻末の付録Bを参照していただきたい。また、以下の記述では予報時間3時間目をFT=03のように略して示す。

3.2.2 降水量の統計的検証

(1) 検証方法

降水の検証では、実況値としてレーダー・アメダス解析雨量(R/A、格子間隔約2.5km)を用い、検証範囲を陸上及び沿岸40kmに限定してスコアを計算した(図3.2.1の白い領域)。検証を行った降水量は3時間積算降水量で、検証格子の大きさは20kmとした。以下では特に説明がない限りこの検証格子を用いることにする。スコアの計算には、R/Aとモデル降水量ともに検証格子内の平均降水量を用いた。閾値の設定については、「3時間積算降水量1mm以上」を「1mm以上」などと略して示す。

(2) 閾値毎の降水予測特性

ここでは、全予報時間を対象に閾値別に計算したスコアから、降水強度別の予測特性について述べる。

暖候期では、5km-MSMのスレットスコアがどの閾値でも10km-MSMを上回っており、予報精度の向上が明らかである(図3.2.2右上)。また、5km-MSMのバイアススコアについては、どの閾値でもほぼ1に近づいており、実況に近い予報頻度となっていることがわかる(図3.2.2左上)。特に、5km-MSMでは、10km-MSMで見られた5mm以下の予報頻度過剰と、20mm以上の予報頻度過少の改善が明らかである。

これに対して寒候期では、5km-MSMのスレットスコアは10km-MSMとほぼ同じである(図3.2.2右下)。バイアススコアでは、全体的に10km-MSMより予報頻度が過剰になっている(図3.2.2左下)。

以上のように、5km-MSMの降水強度別の降水予測精度は、暖候期では10km-MSMを上回っていると言えるが、寒候期では10km-MSMと概ね同等と言える。メソ

数値予報モデルでは、雲物理過程と積雲パラメタリゼーションKain-Fritschスキーム(KFスキーム)から降水が形成される。暖候期の降水は寒候期に比べて、KFスキームによる降水の寄与が大きい。暖候期の5km-MSMの降水予測精度の改善はKFスキームのパラメータの調整が効いている(第3.1節(8))。一方、寒候期の降水は雲物理過程による寄与が大きく、現実の対流の空間スケールはモデルの格子間隔よりも小さい場合が多い。5kmという分解能でも冬季の対流のスケールに対しては十分大きいため、暖候期ほど分解能による違いが現れなかったと推察できる。

(3) 予報時間毎の降水予測特性

ここでは、暖候期(閾値1mm,10mm)と寒候期(同1mm)について、予報時間毎の降水予測特性を述べる。

暖候期のスレットスコアでは、5km-MSMは、いずれの閾値についても各予報時間で精度向上がみられる(図3.2.3右上、右下)。1mmのバイアススコアで見ると、5km-MSMの予報頻度はどの予報時間に対しても実況に近づいている(図3.2.3左上)。一方、10mmのバイアススコアでは、5km-MSMは予報時間後半に予報頻度が過少となる傾向がみられる(図3.2.3左下)。一般的には、予報頻度が減少すると、スレットスコアは低下する傾向があるが、この場合、バイアススコアの低下に対してスレットスコアは向上しているため、降水予測精度の改善は明らかである。降水予報頻度については、引き続き開発の課題とする。

寒候期のスレットスコアとバイアススコアから、5km-MSMの予報時間に対する降水予測特性は10km-MSMとほぼ同等であると言える(図3.2.4)。

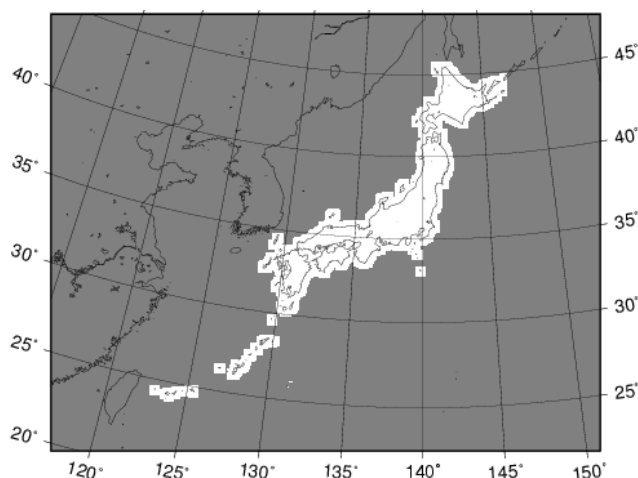


図 3.2.1 降水検証に用いた領域(白い領域が検証対象の領域)

¹ 瀬川 知則

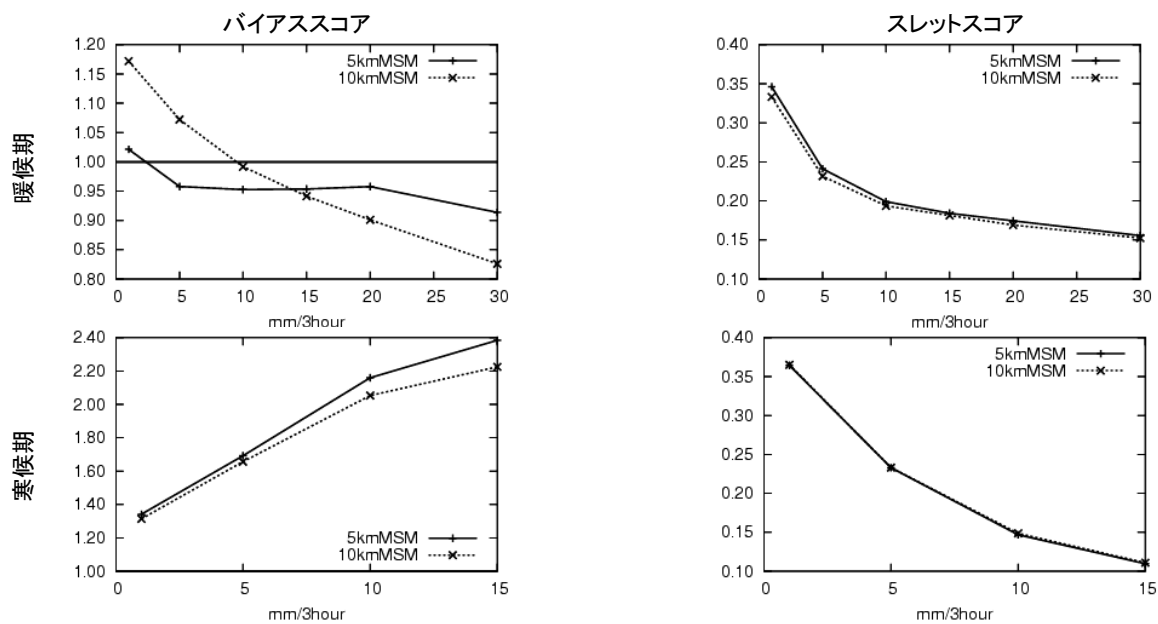


図 3.2.2 閾値毎のスコア (20km 検証格子内の平均降水量を使用、上段:暖候期、下段:寒候期、左列:バイアスコア、右列:スレットスコア、実線:5km-MSM、点線:10km-MSM、横軸:閾値)

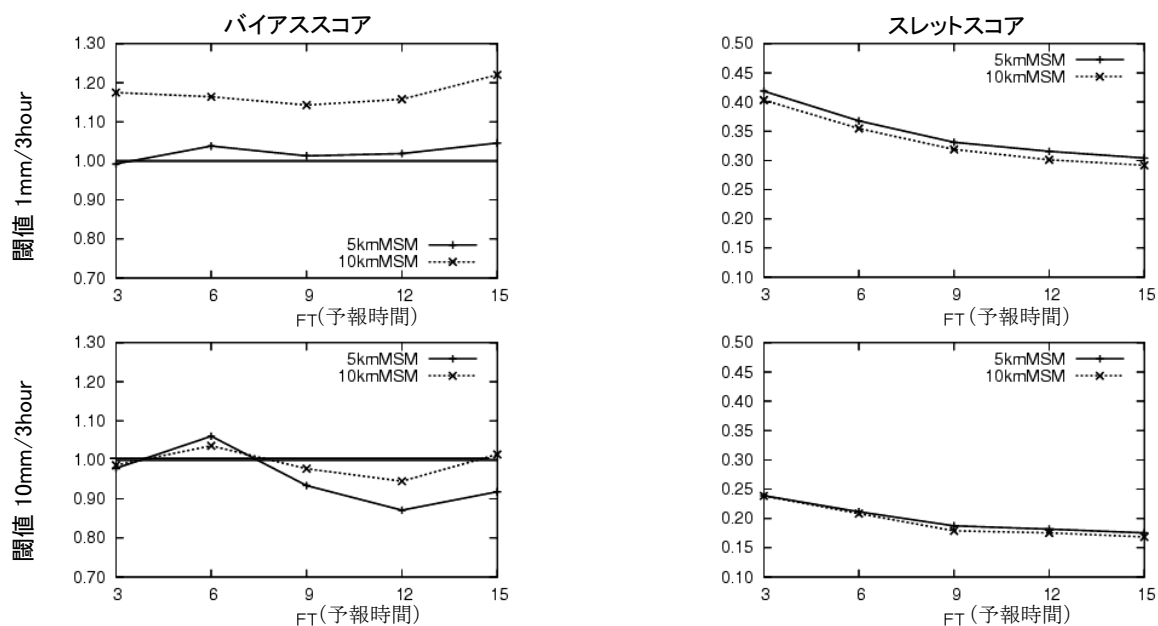


図 3.2.3 暖候期における閾値別予報時間毎のスコア (20km 検証格子内の平均降水量を使用、上段:閾値 1mm/3hour、下段:閾値 10mm/3hour、左列:バイアスコア、右列:スレットスコア、実線:5km-MSM、点線:10km-MSM、横軸:予報時間)

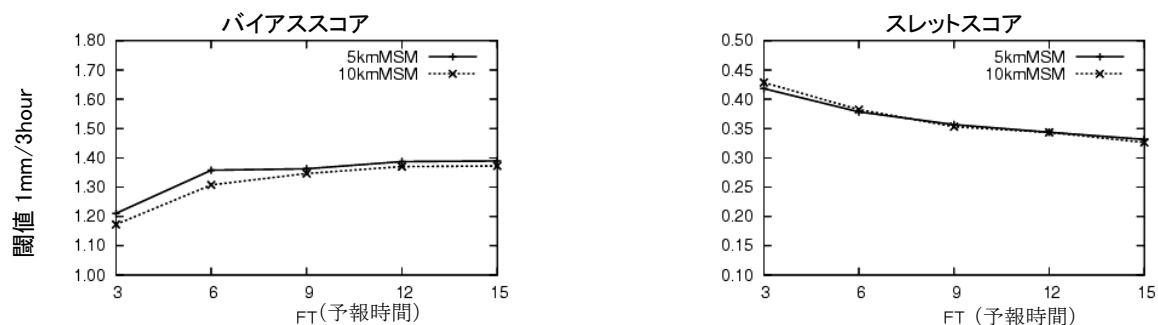


図 3.2.4 寒候期における閾値 1mm/3hour の予報時間毎のスコア (20km 検証格子内の平均降水量を使用、左:バイアスコア、右:スレットスコア、閾値 1mm/3hour、実線:5km-MSM、点線:10km-MSM、横軸:予報時間)

(4) 検証格子内の最大降水量を用いた予測特性

ここまでは、検証格子内の平均降水量(格子平均)を用いてモデルの一般的な降水特性を議論してきた。一方、MSM は防災情報の発表支援を目的として運用されていることを考慮すると、短時間の強い雨の予測特性も重要である。そこで、観測値と予報値について検証格子内の最大降水量(格子最大)を用いた検証も行った。

まず、格子平均と格子最大を用いたときの検証格子が表す降水量の違いを図 3.2.5 に模式的に示す。検証格子の間隔を 20km とすると、この格子内に含まれる R/A の格子数は 64 個、5km-MSM は 16 個、10km-MSM は 4 個となる。いま、検証格子内において、長さ 10km 程度、幅 1 格子分の降水が表現されたと仮定する(図 3.2.5 の陰影部)。各格子の降水量は R/A が 80mm/h、5km-MSM が 40mm/h、10km-MSM が 20mm/h とし、単純化するためそれ以外の格子では降水がなかったものとする。格子平均を用いる場合は R/A、5km-MSM、10km-MSM のいずれでも 5mm/h となる。これに対して、格子最大を用いる場合は R/A が 80mm/h、5km-MSM が 40mm/h、10km-MSM が 20mm/h とな



図 3.2.5 検証格子内で平均値と最大値を用いたときに表現される降水量の違い(20km 検証格子、網掛け部は降水がある格子、長さ10km 幅1 格子、各格子に図中の数字の降水がある場合を考える。単純化のため網掛け部以外に降水はないものとする。)

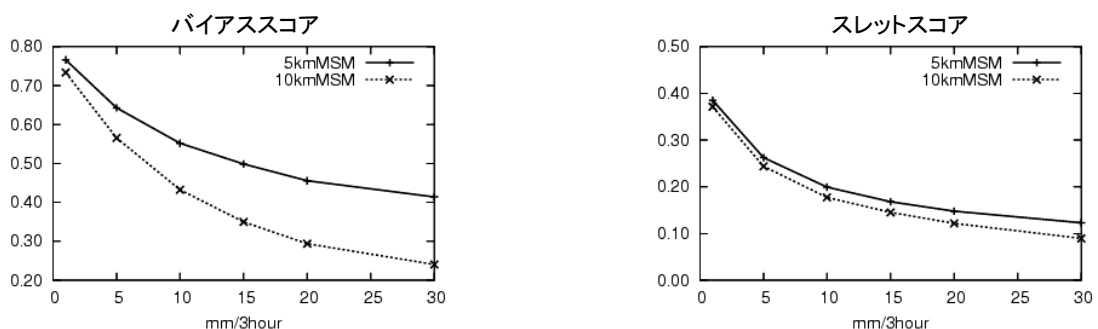


図 3.2.6 暖候期の閾値毎のスコア(20km 検証格子内の最大降水量を使用、左: バイアスコア、右: スレットスコア、実線: 5km-MSM、点線: 10km-MSM、横軸: 閾値)

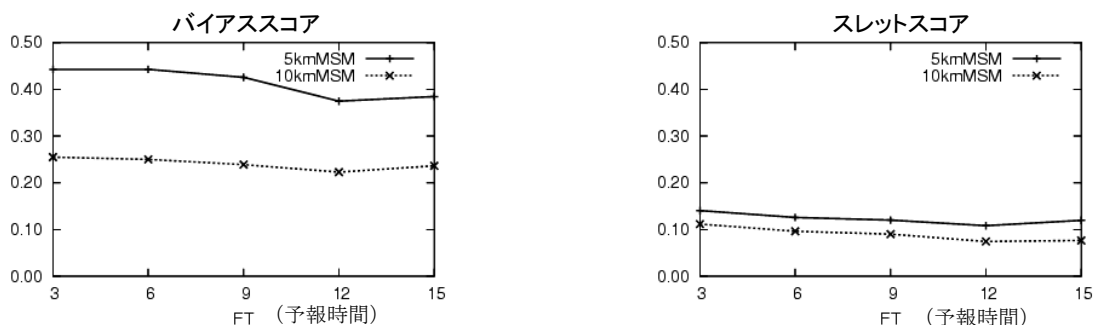


図 3.2.7 暖候期における閾値別予報時間毎のスコア(20km 検証格子内の最大降水量を使用、閾値は 30mm/3hour、左: バイアスコア、右: スレットスコア、実線: 5km-MSM、点線: 10km-MSM、横軸: 予報時間)

として予測精度が向上していると言える。ただし、強い雨の予測頻度はR/Aの観測頻度に比べて依然小さいことに注意願いたい。

3.2.3 地上気象要素の検証

(1) 検証方法

ここでは、地上気象要素（風速、気温、露点温度）についての予測精度の検証結果を示す。検証スコアには、予報対象時刻ごとの平均誤差（ME）と平方根平均二乗誤差（RMSE）を用いる。検証スコアを予報対象時刻ごとに示す理由は、前項で紹介した降水量の検証と違い、地上気象要素の予報誤差は日変化が大きいためである。なお、検証にあたっては以下の条件の下でスコアを計算した。

- (a) 検証対象とするアメダス観測点は、モデルの海陸設定で全て陸地となっている4格子点に囲まれている観測点だけとする。予報値は、この4格子点のモデル予報値を観測点に単純線形内挿した値を用いる。このような条件を用いるのは、検証に用いるモデルの格子点のうち、海格子と陸格子では特性（例えば気温の日変化など）が違うためである²。図3.2.8は、地上気象要素の検証に用いた観測点と検証から外した観測点を示す³。沿岸や島、大きな湖付近の観測点の一部で検証の対象外となっている。
- (b) 各観測点の風速は、モデルの地上風（高度10m）と比較するために、観測点における風向風速計の高さの違いを対数則で補正し、観測点の高度10mの値に換算して用いる。
- (c) モデルの気温は、モデル標高と観測点標高の差について気温減率を $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ として補正し、観測点の高度1.5mの気温に換算して用いる。

(2) 暖候期の特性

10km-MSMの風速は、実況に比べて日中に弱く、夜間に強いという日変化傾向があり、これは5km-MSMでも基本的に同じである。しかし、5km-MSMのMEは10km-MSMに比べて夜間の正バイアスを小さくし、平均で 0.2m/s 程度実況に近づいている（図3.2.9左上）。一方、夕方の風速については、5km-MSMは10km-MSMよりも弱く表現されるようになった。RMSEは、すべての予報対象時刻で改善しており、特に夜間での改善幅が大きい（図3.2.9右上）。

10km-MSMの気温は、実況に比べて日中に低く、夜

²海格子点を1点以上含む観測点において、残りの陸格子点で最も観測点に近い予報値を観測点の予報値として検証すると、地上気温のMEは陸格子点4点で囲まれる観測点よりもバイアスが縮小される傾向が見られた。しかしながら、検証手法が違うため本文中の検証とあわせた検証は見送った。

³地上露点温度検証では、(a)の条件に加えてSYNOP報を報じる観測点という条件が加わるため、対象観測点は70地点である。

間に高いという日変化傾向があり、この傾向は5km-MSMでも依然として存在する。しかし、5km-MSMのMEは、10km-MSMで最大 2°C 以上あった夜間の正バイアスを 1.5°C 未満におさえている（図3.2.9左中）。RMSEは、すべての予報対象時刻で改善しており、特に夜間で大きく改善している（図3.2.9右中）。

10km-MSMの露点温度は、実況に比べて全般的に高く（水蒸気量が多い）、特に日中に高くなる傾向があった。5km-MSMのMEでは、日中の正バイアスが小さくなり、MEの日変化が小さくなっている（図3.2.9左下）。5km-MSMのRMSEは、すべての予報対象時刻で10km-MSMよりも小さくなっており、1日を通してほぼ一定の値となっている（図3.2.9右下）。なお、この検証では水蒸気の絶対量の違いを見るために露点温度を用いたが、相対湿度についても同様の改善が見られた（図略）。

(3) 寒候期の特性

10km-MSMの風速は、実況に比べて全般的に強く、特に夜間に強いという日変化特性があり、これは5km-MSMでも基本的に同じである。しかし、5km-MSMの風速は10km-MSMに比べて夜間で平均 0.6m/s 程度弱まり、より実況に近づいている（図3.2.10左上）。RMSEでも、5km-MSMは夜間で改善が大きい（図3.2.10右上）。

10km-MSMの気温は、実況に比べて全般的に高く、特に夜間に高いという日変化傾向があったが、5km-MSMでは日変化が小さくなり、夜間に最大で約 2.5°C ほど正バイアスが小さくなっている（図3.2.10左中）。RMSEでも、ほぼすべての予報対象時刻で改善しており、特に夜間の改善が顕著である（図3.2.10右中）。

10km-MSMの露点温度は、実況に比べて全般的に

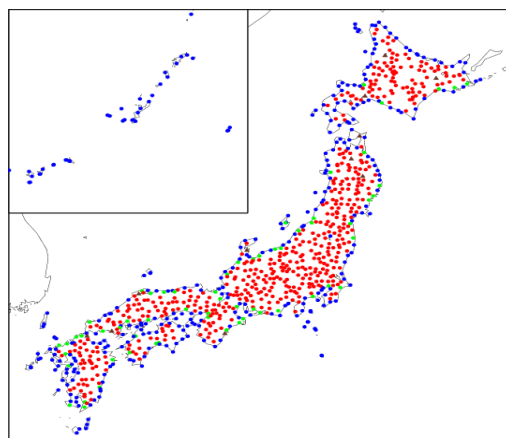


図 3.2.8 地上気象要素検証で用いたアメダス4要素観測点（赤丸は5km、10km両方の検証対象点、青丸は両方で検証対象外の点、緑丸は5km-MSMでのみ検証対象点、茶三角は10km-MSMでのみ検証対象点）

高く(水蒸気量が多い)、特に日中に高いという日変化傾向があった。5km-MSMの露点温度は10km-MSMに比べて全体的に低くなり、日中の正バイアスが改善している(図3.2.10左下)。なお、夜間については、10km-MSMでは正バイアスであったが、5km-MSMでは負バイアスとなっている。RMSEは、すべての予報対象時刻で改善しており、特に日中の改善が大きい(図3.2.10右下)。

(4) 予報初期に見られる特徴

ここでは、5km-MSMの予報初期に見られるMEとRMSEの特徴について述べる。地上風速と地上気温のMEとRMSEを予報対象時刻ごとに見ると、暖候期、寒候期ともに各初期時刻(00,06,12,18UTC)の値が、他の時刻に比べて大きくなっていることが分かる(図3.2.9、図3.2.10)。この原因を調べるために、5km-MSMの地上風速と地上気温のMEを4つの初期時刻ごとに分けて示す(図3.2.11)。なお、暖候期と寒候期のMEとRMSEは、いずれも同じような傾向なので、ここでは暖候期のみを取り上げる。

地上風速のMEは、どの初期時刻においても、FT=00の値が他の初期時刻の予報値(FT=6,12)よりも大きくなっている(図3.2.11左)。しかし、FT=01以後は他の初期時刻からの予報誤差とほぼ同じである。

地上気温のMEについても、12,18UTCの初期時刻のFT=00で、前述の地上風速のMEと同様の傾向があることが分かる(図3.2.11右)。しかし、00,06UTCの初期時刻のFT=00では、バイアスが顕著ではない。

各初期時刻の初期値(FT=00)のバイアスが他の初期時刻の予報値(FT=6,12)に比べて大きくなっている原因は、次のように考えられる。5km-MSMの初期値は10km-MSMと同じく、水平分解能10kmの静力学モデルに基づく4次元変分法が用いられている(第4.2節)。これまでは、10km-MSMと静力学モデルの地上気象要素の特性に大きな違いがなかったため、初期値と予報値の間に、このようなバイアスの違いは発現していなかった。一方、5km-MSMでは様々な改良によって、地上気象要素の予報特性が改善して予報値バイアスが小さくなったため、初期値のバイアスが際立つようになった。なお、00,06UTCの気温の初期値に顕著なバイアスの違いが見られなかったのは、5km-MSMの日中の予報特性が、以前と比べて大きく変わっていないためと考えられる。このようなことから、各観測点で予報対象時刻別に異なった初期時刻の予報を比較する場合には、この特性に注意しFT=00の値を含めないようにする等の対処が必要である。

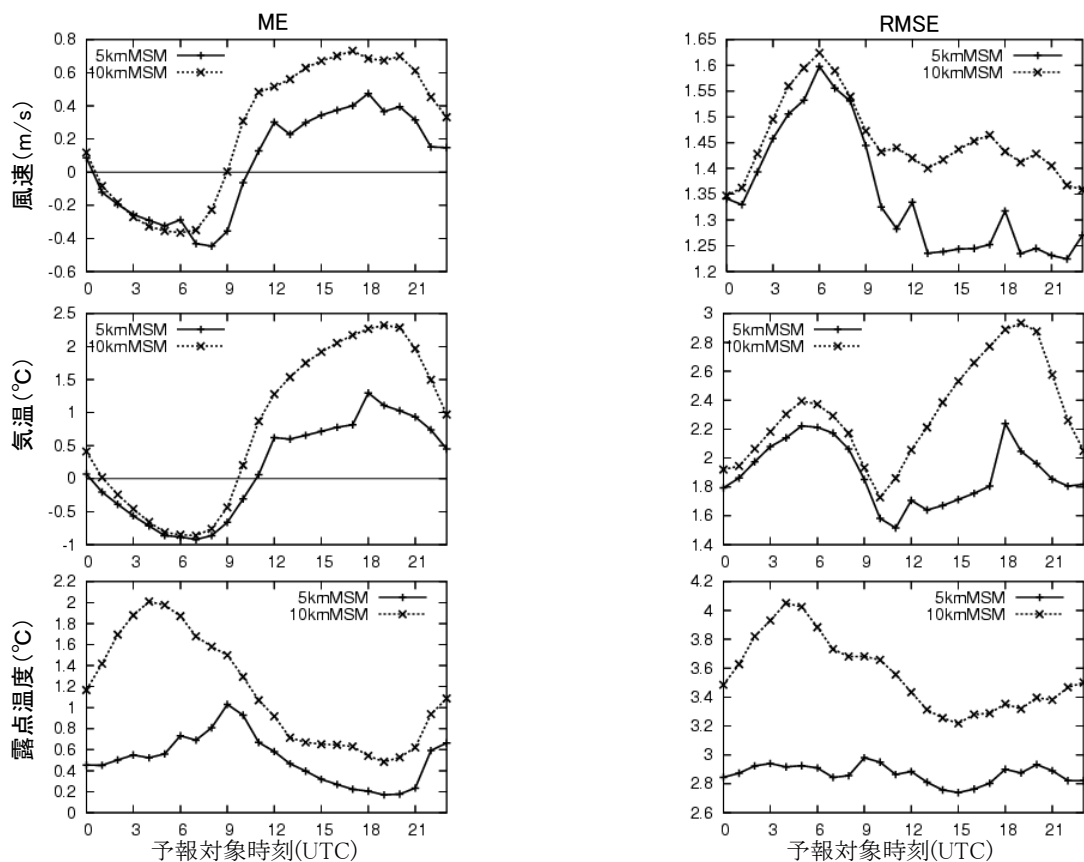


図 3.2.9 暖候期の地上気象要素の ME と RMSE (左列:ME、右列:RMSE、上段:風速[m/s]、中段:気温[°C]、下段:露点温度[°C]、実線:5km-MSM、点線:10km-MSM、横軸:予報対象時刻[UTC])

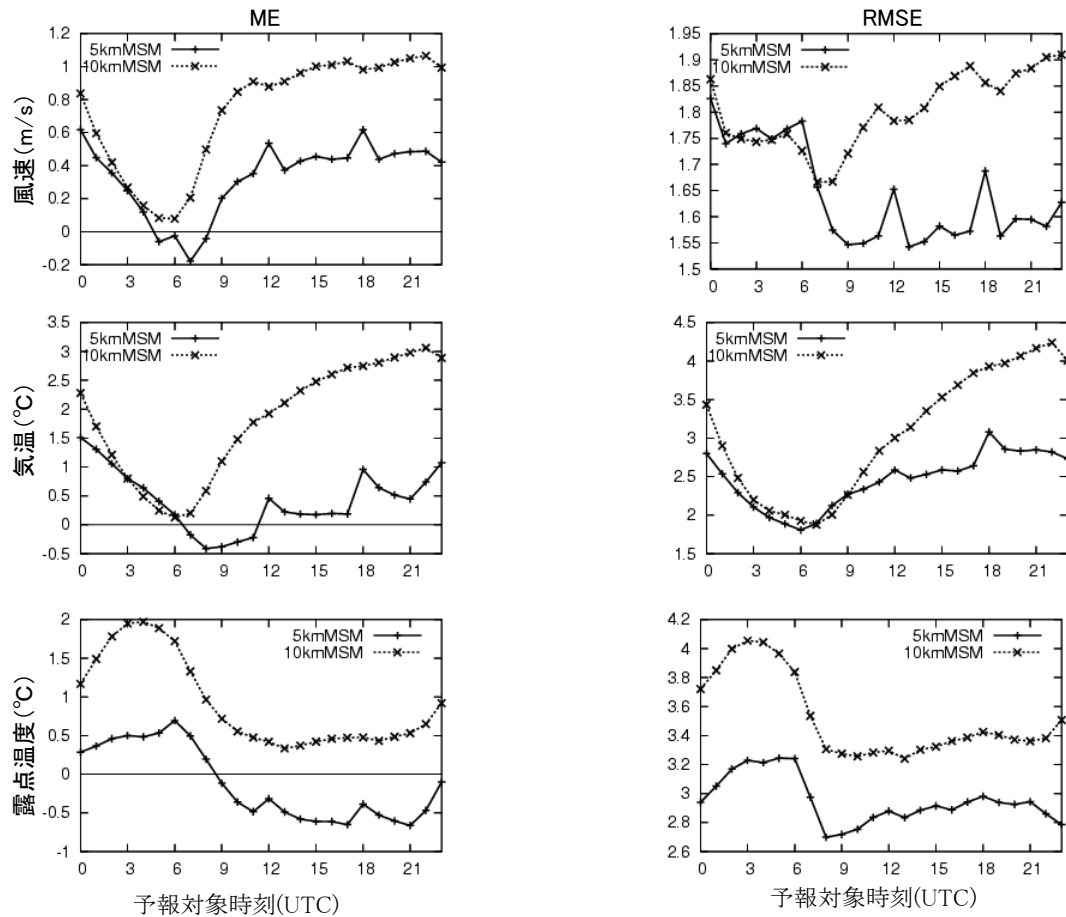


図 3.2.10 寒候期の地上気象要素の ME と RMSE (左列:ME、右列:RMSE、上段:風速[m/s]、中段:気温[°C]、下段:露点温度[°C]、実線:5km-MSM、点線:10km-MSM、横軸:予報対象時刻[UTC])

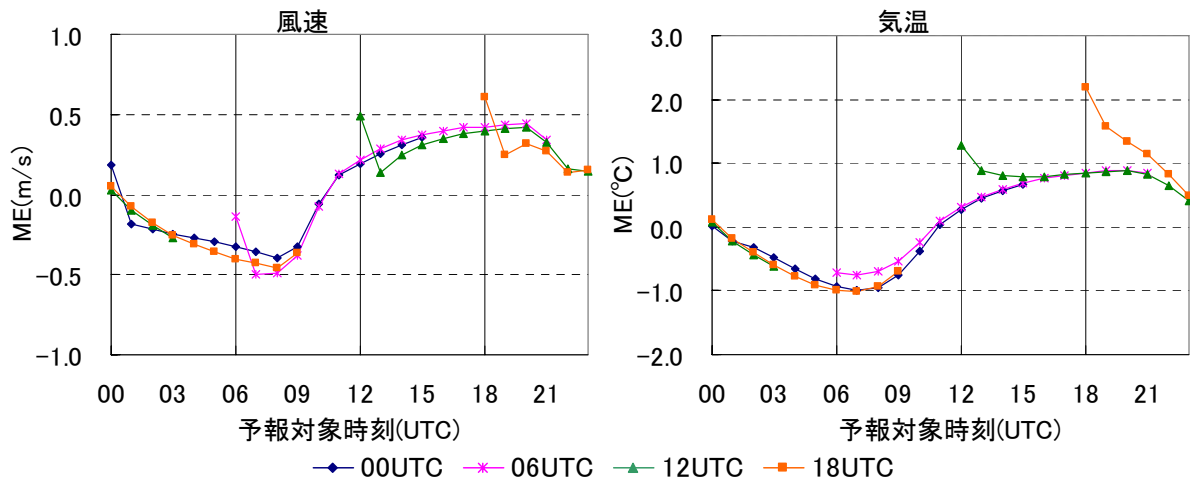


図 3.2.11 初期時刻別に分けて表示した 5km-MSM の地上風速と地上気温の ME (暖候期、左:地上風速[m/s]、右:地上気温[°C]、横軸:予報対象時刻[UTC]、各曲線は紺色:00UTC、紫色:06UTC、緑色:12UTC、橙色:18UTC を初期時刻とする予報時刻 00~15 時間目の予報値を予報対象時刻[UTC]にそろえてグラフ化してある)

3.2.4 高層気象要素の検証

5km-MSMの3次元的な大気の再現性能を調べるために、全予報領域内における高層気象観測地点のラジオゾンデ観測データを用いて、指定気圧面の高度、気温、相対湿度、東西風、南北風について検証したので、その結果について解説する。ただし、検証を行う気圧の高度が、検証地点の地表面気圧よりも高い場所については検証の対象外としている。これは、ゾンデデータは地面よりも低い高度のデータも含めて通報することがあるためである。また、FT=06とFT=12は同様の特性であったので、検証結果はFT=12に限定して示す。

(1) 暖候期の特性

暖候期における、各高層気象要素のMEとRMSEの鉛直分布を図3.2.12に示す。まず、MEについて述べる。5km-MSMの高度については、500hPaより上層の改善が顕著である。気温はほとんどの層でバイアスが小さくなっている。特に、10km-MSMで顕著であった500hPaの高温バイアスと200hPaの低温バイアスを大きく改善している。この改善には、放射スキームの改良の効果、また下層については地表面パラメータの変更による効果も反映されている(第3.1節)。相対湿度は、10km-MSMと同様に5km-MSMでも500hPaより上層で湿潤バイアスが見られる。一般的に、上層では気温が低く水蒸気量が少ないため、水蒸気量のわずかな違いが相対湿度で評価すると大きくなってしまう。なお、混合比のMEは中層と上層でほぼ同じ値となっていた(図略)。東西風と南北風では、5km-MSMは僅かなバイアス特性の変化が見られるが、概ね中立であった。

RMSEについて、気温は700hPaより上層で小さくなっているが、高度、相対湿度、東西風、南北風は10km-MSMの特性と目立った違いはない。

(2) 寒候期の特性

寒候期における、各高層気象要素のMEとRMSEの鉛直分布を図3.2.13に示す。まず、5km-MSMのMEについて述べる。高度は、400hPaより下層の正バイアスの改善が顕著である。気温は地上付近で1℃の高温バイアスを依然持っているが、10km-MSMと比べると小さくなっている。この改善は、地上気温検証(第3.2.3項)ほどではないが、モデルの改良が効いていると考えられる。相対湿度は、10km-MSMと大きな差がなかった。東西風、南北風はともに上層の1m/s程度の負バイアスが改善されなかったが、東西風では下層のバイアスを小さくしている。

RMSEは、気温の上層と下層に改善が見られた他は、各要素とも概ね10km-MSMと同等であった。

3.2.5 まとめ

新しいメソ数値予報モデル(5km-MSM)の予測性能

を調べるために、暖候期と寒候期のそれぞれ248初期値の予報結果に基づいて、降水や気温、風などの統計的検証を行った。降水予測に関しては、暖候期の精度が現行のメソ数値予報モデル(10km-MSM)に比べて向上していることが分かった。特に、強い降水強度での精度向上が顕著であった。一方、寒候期については、5km-MSMの精度は10km-MSMとほぼ同等であった。

地上気象要素では、地上風速と地上気温の予測精度が夜間で大きく向上し、特に地上気温は実況の日変化をより適切に表現できるようになった。また、10km-MSMに見られた、日中に地上付近が湿潤になりすぎるという特性が緩和されている。しかし、各要素において初期値のバイアスが、予報値に比べて大きくなっているという特徴がみられるため、異なった初期時刻の予報を予報対象時刻で比較するときには注意が必要である。

高層気象要素は、10km-MSMで顕著であった暖候期の500hPaの高温バイアスと200hPaの低温バイアスが改善された。

以上の検証の結果から、新しいメソ数値予報モデル(5km-MSM)は、総合的に現行のメソ数値予報モデル(10km-MSM)の予測精度を上回っており、より適切な防災情報発表の支援ができると考えられる。

参考文献

石田純一, 成田正巳, 2003: 検証. 数値予報課報告別冊・第49号, 気象庁予報部, 93-106.

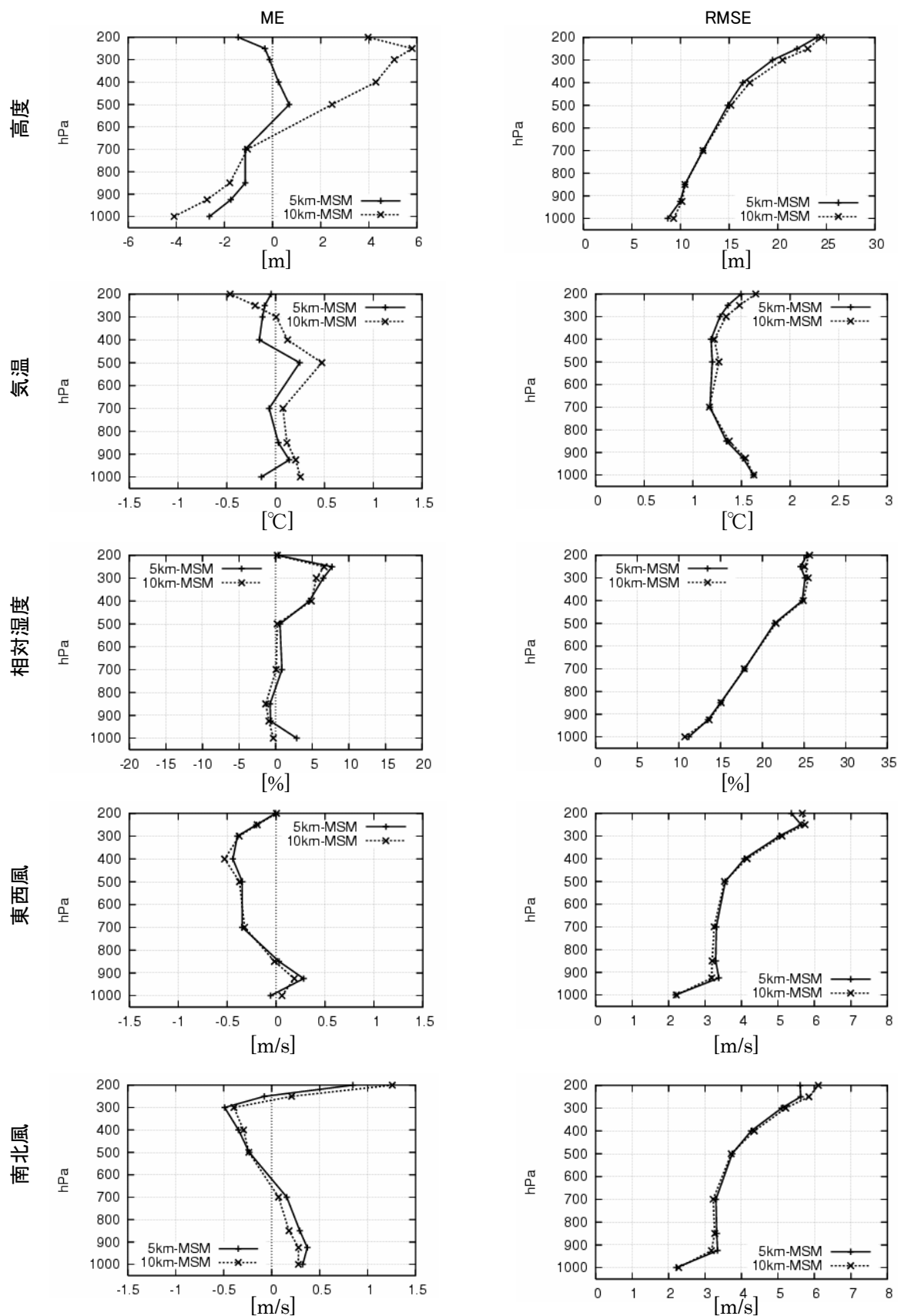


図 3.2.12 暖候期の各高層気象要素の ME と RMSE の鉛直分布(予報時間 12 時間後、実線:5km-MSM、点線:10km-MSM、左列:ME、右列:RMSE、上段から順に高度[m]、気温[°C]、相对湿度[%]、東西風[m/s]、南北風[m/s])

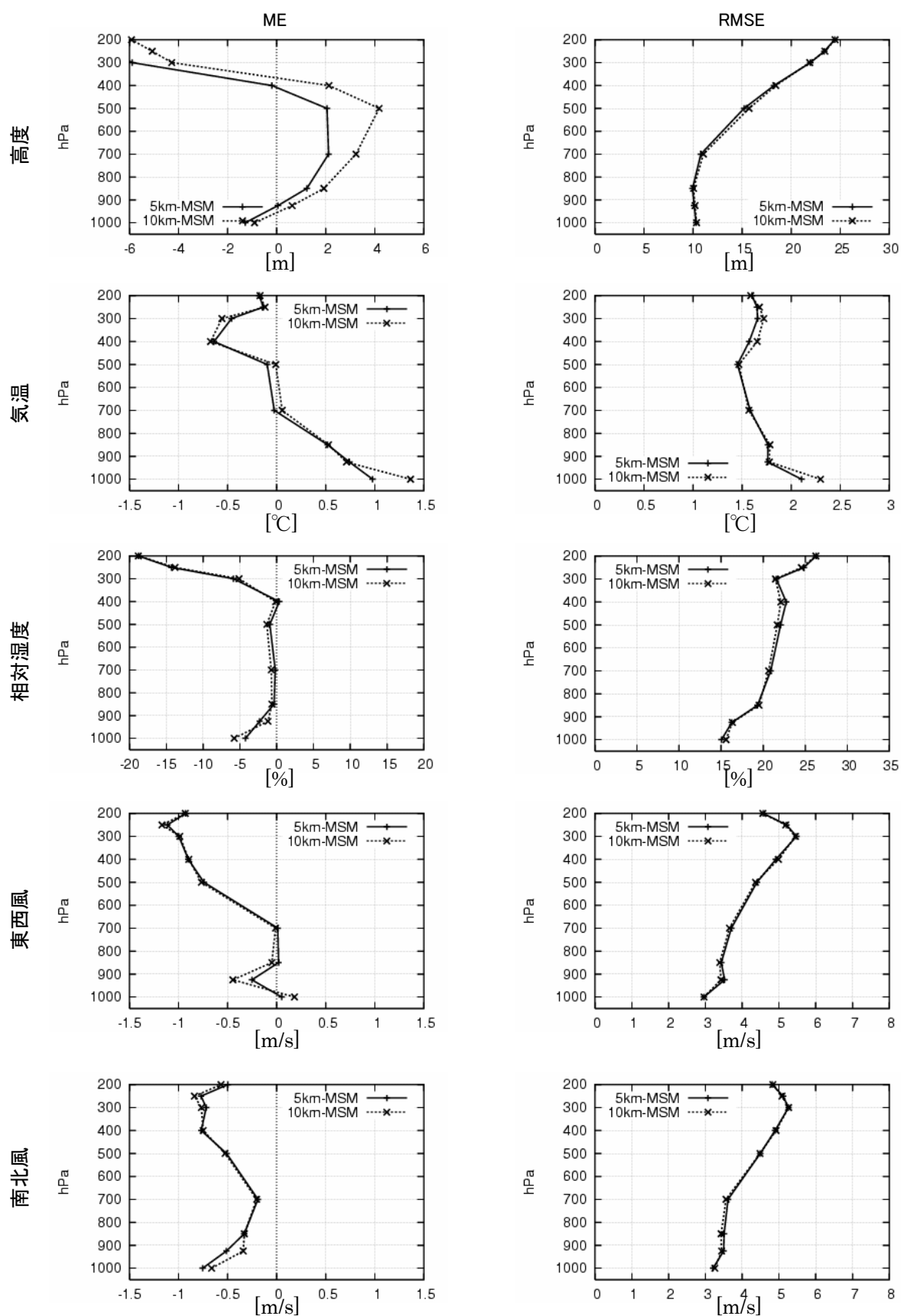


図 3.2.13 寒候期の各高層気象要素の ME と RMSE の鉛直分布(予報時間 12 時間後、実線:5km-MSM、点線:10km-MSM、左列:ME、右列:RMSE、上段から順に高度[m]、気温[°C]、相対湿度[%]、東西風[m/s]、南北風[m/s])

3.3 事例検証¹

3.3.1 はじめに

非静力学MSMの水平解像度を10kmから5kmにすることで降水や地上気象要素などの予測精度が向上することは前節の統計的な検証で示されている。本節では5km-MSMによる予測が10km-MSMに比べて優れていた事例について紹介する。

第3.2.2項で述べたように、10km-MSMでは弱い降水(1~5mm/3時間)の頻度が観測に比べて多く、強い降水(15~30mm/3時間)の頻度は観測に比べて少ない特性がある。一方、5km-MSMでは10km-MSMに比べて弱い降水の頻度を抑え、強い降水の頻度を増やしており、この結果、全体的に観測に近い降水頻度が再現されている。この節では、モデルの解像度が高くなることで、強い降水強度を、より実況に近く表現できるようになった事例を第3.3.2項で紹介し、第3.3.3項では、10km-MSMよりも詳細な降水分布をモデルが表現した事例を取り上げる。

3.3.2 2004年6月26日の広島・愛媛県の強雨

最初の例として、2004年6月26日に広島・愛媛県で観測された強雨の予測について解説する。

6月26日午前9時の地上天気図(図3.3.1)では、前線が東シナ海から西日本・東日本を通して日本の東海上に伸び、三陸沖では前線上に低気圧が解析されていた。強雨はこの前線上の降水雲によってもたらされたものである。図3.3.2に解析雨量による26日午前9時(00UTC)までの1時間降水量と26日午前3時(25日18UTC)初期値の5km-MSMと10km-MSMによる6時間

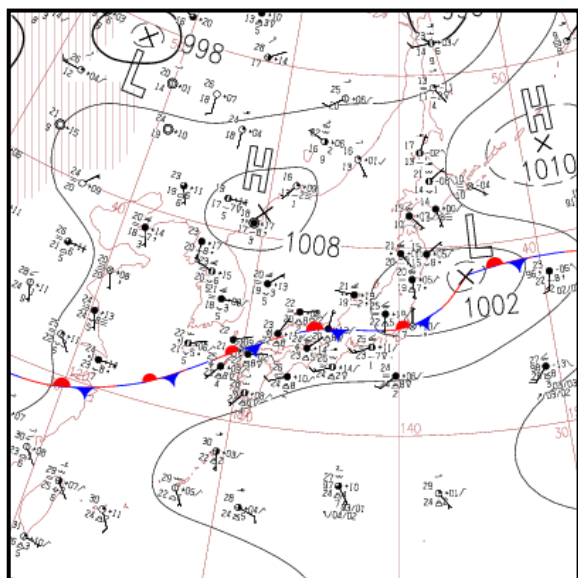


図3.3.1 2004年6月26日午前9時(00UTC)の地上天気図。

予報の前1時間積算降水量を示す。5km-MSMと10km-MSMで予測された近畿から中国地方にかけての降水域は、実況と比較して降水強度は弱いものの、どちらのモデルでもおおむね再現できている。ただし、広島県から愛媛県にかけて長さ約100km、幅約30kmの1時間30mm程度の強い降水域(図3.3.2の実線で囲まれた領域)の予測については5km-MSMの方が10km-MSMに比べて再現性がよいことがわかる。

次に、このときのモデル大気の状態を詳しく調べた。図3.3.2中の線分ABに沿った6月26日午前9時(00UTC)の相当温位の鉛直断面図(図3.3.3)では、北側(A側)の低相当温位の大気の上を南側(B側)の高相当温位の大気が上昇していることはどちらのモデルでも明らかである。このことは地上天気図で見られた前線をどちらのモデルでも表現出来ていることを示している。しかし、5km-MSMと10km-MSMによる同時刻の700hPa鉛直流の場合(図3.3.4)では、5km-MSMでは強い降水が発生した地域の上空で上昇流の大きな領域が明瞭に見られる(図中の実線で囲まれた領域)のに対し、10km-MSMではこの上昇流域は不明瞭である。また水平風の収束の鉛直断面図(図3.3.5)では、5km-MSMと10km-MSM共に前線面での水平風の収束とその上方での発散が見られるが、前線面の南側(B側)では、5km-MSMでは800hPaよりも上層で明瞭な収束域および上昇流域が存在している(図3.3.5の実線で囲まれた領域)。この上昇流は強雨域および図3.3.4で実線で囲まれた上昇流域に対応している。一方、10km-MSMではこの前線面南側での収束域は存在せず、むしろ発散域になっている。5km-MSMで予測された収束域及び上昇流域の幅は約30km程度なので、10km-MSMでは適切に表現することが難しく、降水強度も弱くなったと考えられる。

3.3.3 2004年8月1日の高知県の強雨

もう一つの事例として高知県での強雨について解説する。8月1日午前9時の地上天気図(図3.3.6)では、台風第10号が山陰沖にあり北北東に進んでいた。この台風の南東側にあたる高知県付近では強い南風が吹いており、幅10~30km程度の数本のバンド状の強い降水域が見られた(図3.3.7左)。バンド状降水域の間隔は、およそ5~30km程度であった。

5km-MSMによる8月1日午前3時(7月31日18UTC)初期値の6時間予報の前1時間降水量(図3.3.7中)では、位置は観測からずれているが高知県付近に2本の強雨バンドを予想しており、10km-MSMの降水予想(図3.3.7右)よりも小さなスケールの現象をより詳しく再現している。

8月1日午前9時(00UTC)の5km-MSMと10km-MSMの700hPaの鉛直流の場合(図3.3.8)を調べると、5km-MSMでは降水域に対応した上昇流域が見られる(図中の実線で囲まれた領域)のに対し、10km-MSMでは、上昇

¹ 大森 志郎

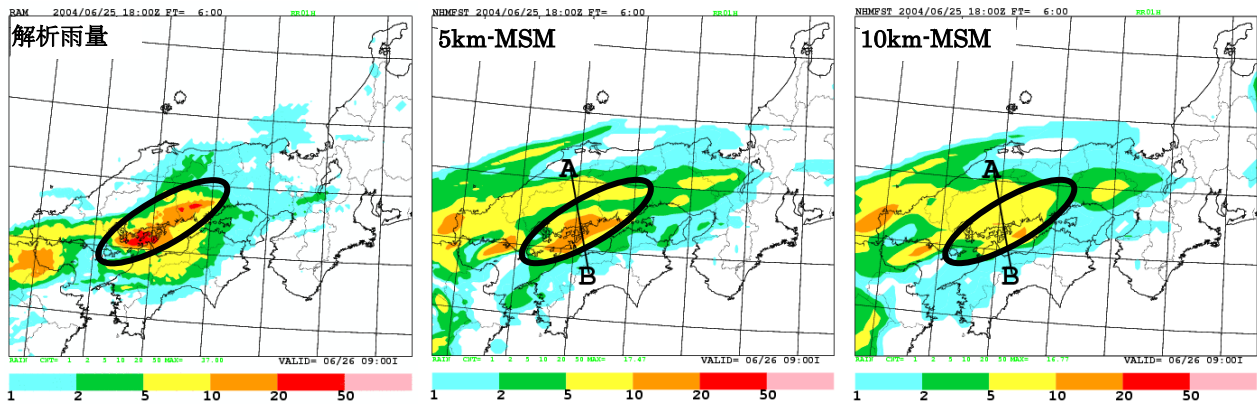


図3.3.2 2004年6月26日午前9時(00UTC)の前1時間積算降水量(mm)。左:解析雨量、中:5km-MSM(6時間予報)、右:10km-MSM(6時間予報)。モデルの初期時刻は2004年6月26日午前3時(25日18UTC)。

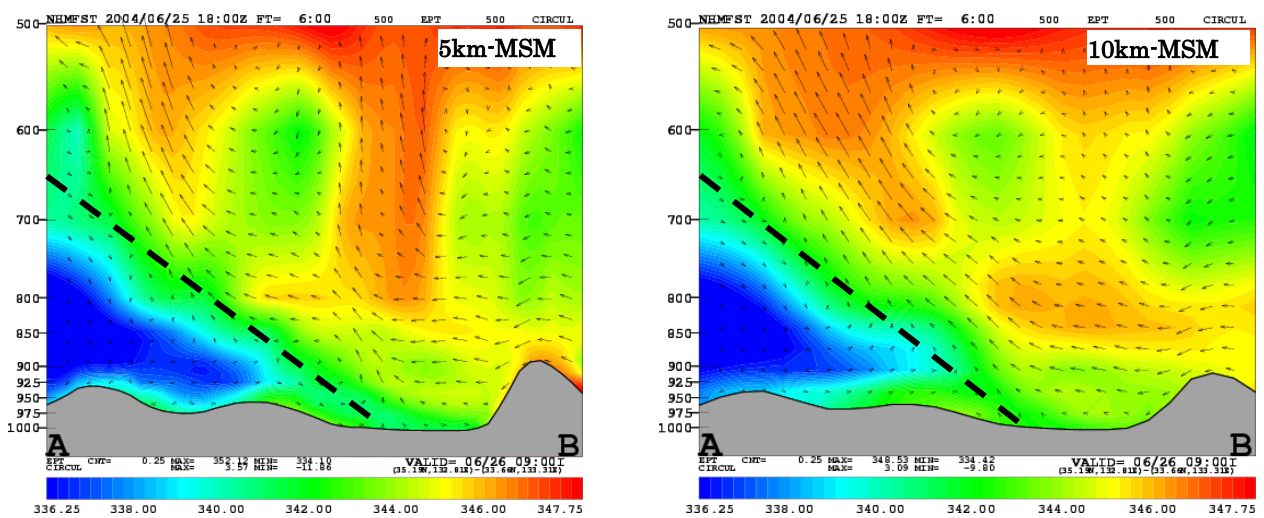


図3.3.3 図3.3.2の線分ABに沿った鉛直面内の相当温位(図中の塗りつぶし、単位K)及び循環(図中の矢印、約10km間隔で描かれている)。縦軸は気圧(hPa)。矢印は5km-MSMでは水平2格子ごとに間引き、10km-MSMは間引かずに描いている。破線は前線面のおおよその位置を示す。左:5km-MSM、右:10km-MSM。

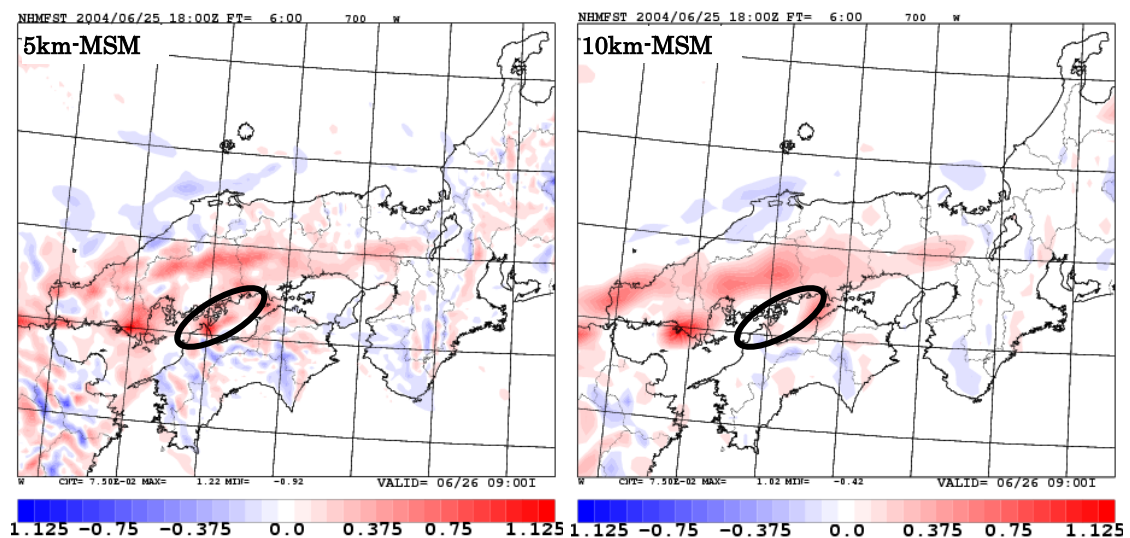


図3.3.4 2004年6月26日午前9時(00UTC)の700hPa鉛直速度(m/s)。赤い領域は上昇流域、青い領域は下降流域を表す。左:5km-MSM、右:10km-MSM。初期時刻は6月26日午前3時(25日18UTC)。

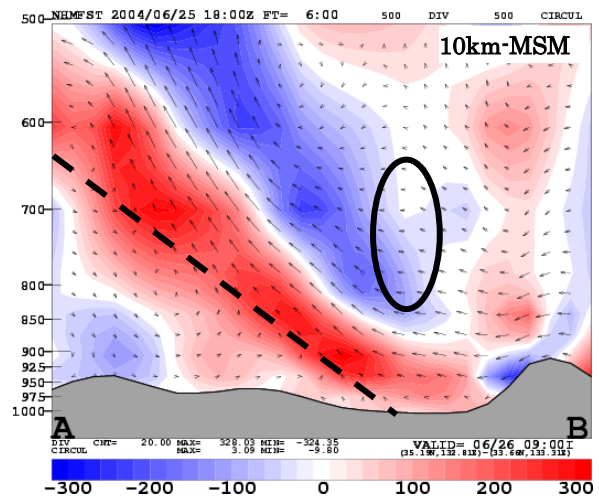
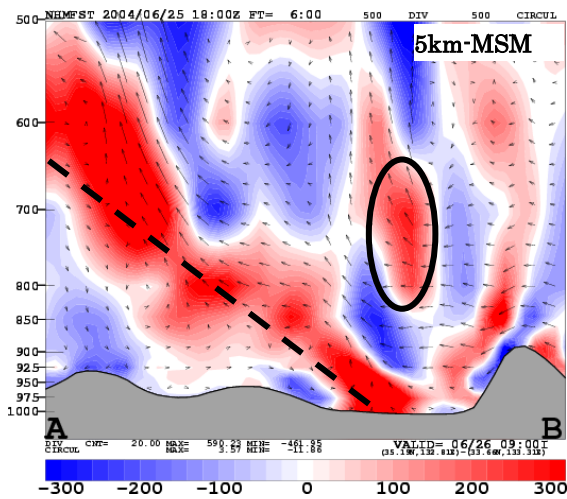


図3.3.5 図3.3.2の線分ABに沿った鉛直面内の水平風の収束(図中の塗りつぶし、単位1/s)及び循環(図中の矢印、約10km間隔で描かれている)。赤色の領域が収束域、青色の領域が発散域を表す。縦軸は気圧(hPa)。矢印は5km-MSMでは水平2格子ごとに間引き、10km-MSMは間引かずに描いている。破線は前線のおおよその位置を示す。左:5km-MSM、右:10km-MSM。

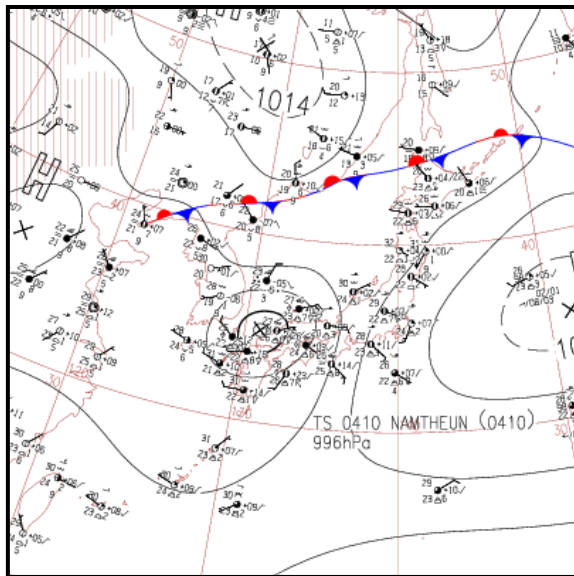


図3.3.6 2004年8月1日午前9時(00UTC)の地上天気図。

流の強さが弱く降水域との対応もはっきりとしない。また、図3.3.7の線分ABにおける相当温位の鉛直断面図(図3.3.9)を見ると5km-MSMでは強雨域に対応する上昇流域があり、高相当温位域が地表から中層まで広がっているが、10km-MSMでは5km-MSMに比べて上昇流域がはっきりせず、地表面付近の高相当温位域の大気中層への広がりもあまり見られない。

また、5km-MSMで見られる2本の降水域に対応した上昇流(図3.3.8左)は、水平5格子程度の幅(約25km)で発生しており、上昇流同士の間隔は4格子程度(約20km)である。この間隔は10km-MSMでは2～3格子程度の幅に相当しており、この程度の水平格子間隔で図

3.3.7のような強雨バンドを伴った上昇流域を詳細に表現することは難しい。そのため1つの強雨域にまとめた表現になったと考えられる。

3.3.4 まとめ

5km-MSMによる降水予測結果を、2004年6月26日の梅雨前線に伴う広島・愛媛県の強雨の事例と、2004年8月1日の台風第10号に伴う高知県の強雨の事例の2つについて10km-MSMによる結果と比較した。

広島・愛媛県の強雨の事例では、前線に伴う降水域については5km-MSM・10km-MSM共によく表現していたが、前線の南側にある強雨域については5km-MSMの方がより観測に近い降水強度を予想していた。これは、5km-MSMの方が700hPa付近の局所的な上昇流を強く表現していたことによると考えられる。

また、高知県の強雨の事例については、四国の南岸で強雨が発生することは、5km-MSM・10km-MSM共に予想していた。しかし、観測で見られたような、複数のバンド状降水域の予想については、5km-MSMの方が実況に近い。これについても、広島・愛媛県の強雨の事例と同様に、5km-MSMの方が局所的な上昇流を強く予想していたことと関係している。

一般的に、水平解像度を強化することによってこれまでよりも小さなスケールの現象をモデルで表現できるようになるが、高知県の強雨の事例で見られたように、強雨域が実際と比べてずれて表現される場合も少なくない。また、現象の発現する時刻がモデルと実況でずれる場合もある。実際に利用する際にはこの「時間的・空間的ずれの可能性」を常に考慮して利用していただきたい。

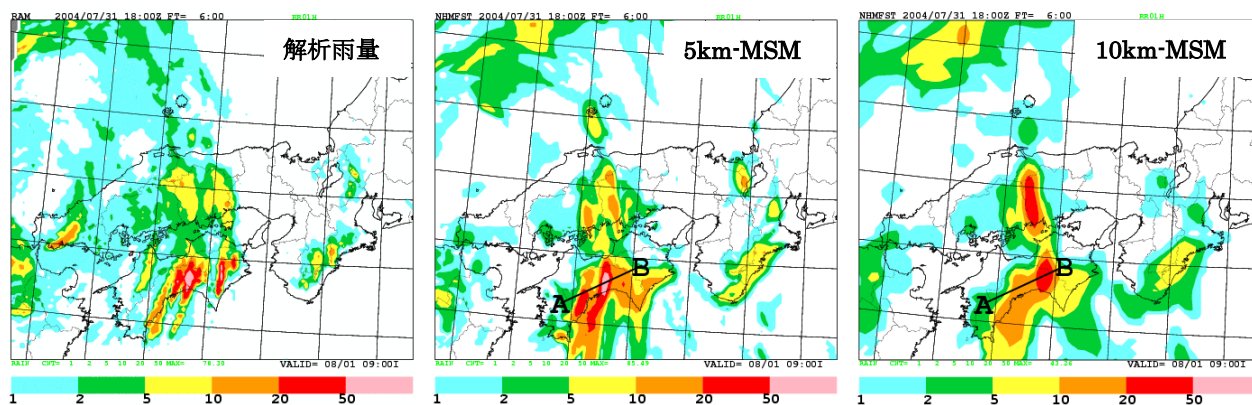


図3.3.7 2004年8月1日午前9時(00UTC)の前1時間積算降水量(mm)。左:解析雨量、中:5km-MSM(6時間予報)、右:10km-MSM(6時間予報)。モデルの初期時刻は2004年8月1日午前3時(7月31日18UTC)。

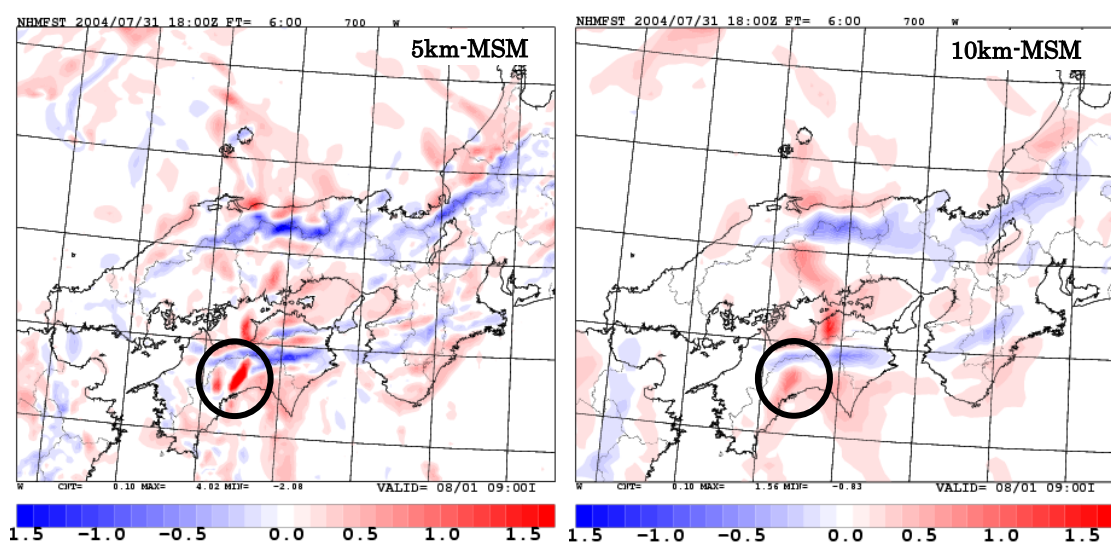


図3.3.8 2004年8月1日午前9時(00UTC)の700hPa鉛直速度(m/s)。赤い領域は上昇流域、青い領域は下降流域を表す。左:5km-MSM、右:10km-MSM。初期時刻は8月1日午前3時(7月31日18UTC)。

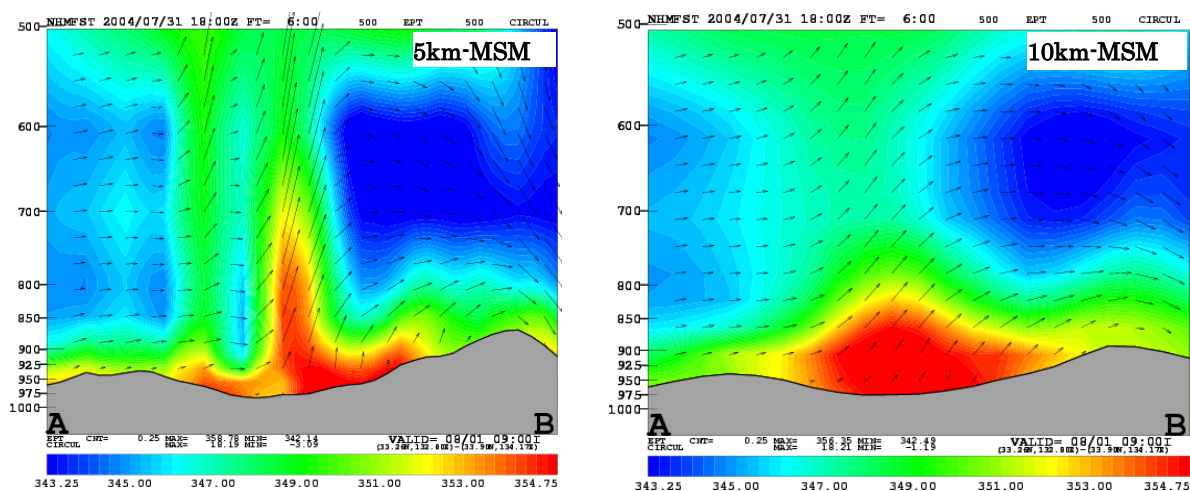


図3.3.9 図3.3.7中の線分ABに沿った鉛直面内の相当温位(図中の塗りつぶし、単位K)及び循環(図中の矢印、約10km間隔で描かれている)。縦軸は気圧(hPa)。矢印は5km-MSMは水平2格子ごとに間引き、10km-MSMは間引かずに描いている。左:5km-MSM、右:10km-MSM。

3.4 海面水温解析値変更の影響¹

3.4.1 はじめに

現行のメソ数値予報モデル(10km-MSM)の海上の下部境界条件となる海面水温には、数値予報課が作成している水平解像度が緯度経度格子で 1 度の全球日別海面水温解析(NPDSST、野村 1995)が用いられている。新しいメソ数値予報モデル(5km-MSM)では、地球環境・海洋部海洋気象情報室作成の水平解像度 0.25 度の全球日別海面水温解析(MGDSST、栗原ほか 2006)を用いることで下部境界条件の高精度化を図る。NPDSST と MGDSST のおもな違いは、水平解像度のほかに、MGDSST では曇天域でも海面水温を観測することが出来るマイクロ波放射計の衛星データが解析に用いられている点である。本節では、MGDSST の導入実験の統計的検証と事例検証の結果を述べる。

3.4.2 実験の概要

統計的検証には現業ルーチンと同じ 10km-MSM を用い、現業システムで解析された地表面解析値のうち海面水温のみを MGDSST に差し替えて比較を行った。期間は、MGDSST 導入によるインパクトを調べるため、暖候期・寒候期それぞれについて、日本付近において MGDSST と NPDSST の差が大きかった連続した 10 日間を抽出した。また、事例検証では、第 3.1 節で述べている 5km-MSM を用いた。

3.4.3 統計的検証

統計検証に用いた期間は以下の暖候期・寒候期それ

ぞれ 10 日間ずつ、1 日 4 回で合計 80 初期値からの予報を行った。

暖候期:2004 年 6 月 22 日 00UTC~7 月 1 日 18UTC

寒候期:2005 年 1 月 3 日 00UTC~1 月 12 日 18UTC

図 3.4.1 はそれぞれの期間の海面水温差(MGDSST - NPDSST)の平均である。暖候期では、東日本の太平洋沿岸で MGDSST の方が約 3℃低く、逆に三陸沖やオホーツク海沿岸では約 3℃高くなっていた。また、寒候期の MGDSST には NPDSST と比較して北日本で 2~3℃低い海域が点在していたが、日本海西部や関東の東海上には約 3℃高い海域が広がっていた。

検証は、2.5km 格子のレーダー・アメダス解析雨量(R/A)を用いた 3 時間積算降水量、地上気象要素、および高層気象要素について行った。

R/A による降水検証の結果を図 3.4.2 に示す。暖候期・寒候期ともに MGDSST を用いた場合(テスト)は NPDSST を用いた場合(コントロール)に比べてバイアススコアがやや大きくなっており、特に強い雨でその傾向が強い。これは、MGDSST が高くなっていた地域で特にバイアススコアが大きくなっていたことを考慮すると、海面からの潜熱・顕熱フラックスの増加によって降水が形成されやすくなっていたと考えられる(図略)。スレットスコアでは暖候期・寒候期ともに概ね中立かわずかな改善がみられた。予報時間ごとでは、予報後半を中心にスレットスコアの改善率が高かった(図略)。

なお、地上気象要素・高層気象要素は、すべての要素で概ね中立だった(図略)。

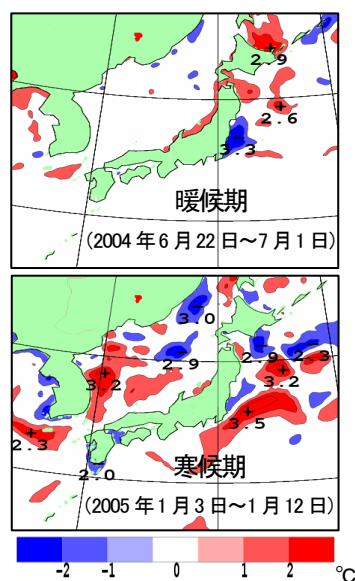


図 3.4.1 統計検証の実験期間の海面水温差(MGDSST - NPDSST)の平均(1℃毎に塗り分け)。

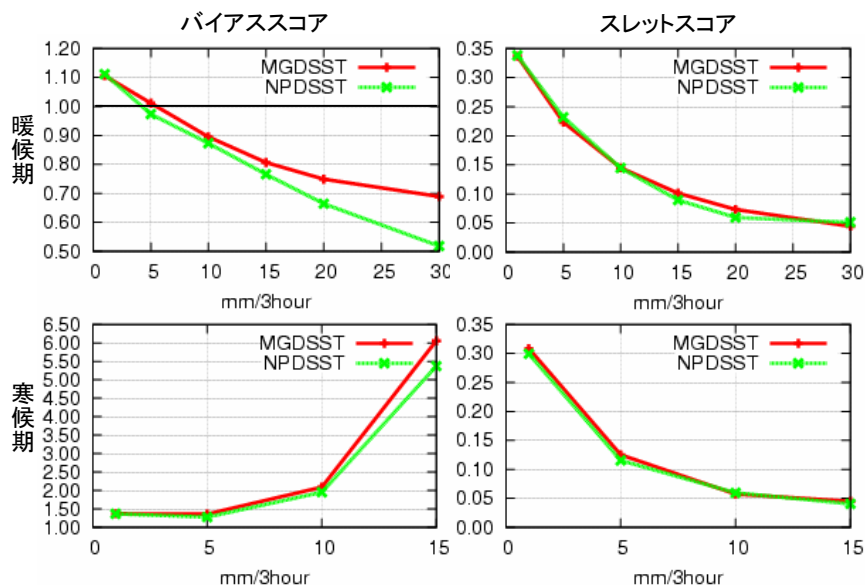


図 3.4.2 R/A による降水検証の閾値ごとのスコア(10km 検証格子を内の平均降水量を使用、左列:バイアススコア、右列:スコア、上段:暖候期、下段:寒候期、緑線:コントロール、赤線:テスト、横軸:閾値)

¹ 中山 寛、瀬川 知則

3.4.4 事例検証

MGDSSTとNPDSSTの差が大きく、この海面水温の差が陸上の気象に大きく影響しそうな事例を抽出し調査した。図3.4.3は2005年5月26日00UTCの地上天気図である。北海道の東に位置する高気圧のために、北日本と東日本は東または北東の風となっており、海上からの冷気の影響を受けて、東北南部から関東の太平洋沿岸で霧やもやを観測した。図3.4.4は2005年5月25日の海面水温差(MGDSST-NPDSST)である。東北南部から関東の太平洋沿岸では、MGDSSTはNPDSSTより低くなっており、福島県沖ではその差が4℃以上となっている。そこで、2005年5月26日00UTCを初期値として、5km-MSMのNPDSSTを用いたもの(コントロール)とMGDSSTを用いたもの(テスト)の予報を比較した。

図 3.4.5 は予報時間 12 時間後のコントロールに対するテストの地上気温の差である。図 3.4.4 で示した MGDSST の低くなっていた領域周辺で、テストの地上気温が最大で約 4℃低くなっている。なお、この地上気温の差は予報開始直後から現れていた(図略)。また、地上付近では弱い東風であったものの、気温変化は内陸へあまり進行せず東北部から関東の太平洋沿岸に限定されていた。

図 3.4.6 はテストとコントロールの地上気温の差が大きかった石巻・仙台・水戸で観測された地上の気温・露点温度とその予想の時系列である。どの官署でも予報時

間後半でテストの気温と露点温度が1～2℃低くなり、観測値に近い予想となっている。なお、図 3.4.5 に示した官署では気温・露点温度ともに同程度に低くなったため、相対湿度には大きな違いは見られず、実況より平均で約 10%低いままだった。

3.4.5 まとめ

新しいメソ数値予報モデルでは、現行より高解像度の海面水温解析を用いることで下部境界条件の高精度化を図る。導入実験を行った結果、降水についてわずかに改善が見られたほかは、地上気象要素・高層気象要素ともに概ね中立であった。一方、海上からの移流による霧やもやの事例で、海岸にごく近い地域では、地上の気温・露点温度の予想が改善する場合があった。

今回の実験結果には、同化サイクルにおける海面水温変更の効果は反映されていないので、同化サイクルにも MGDSST を用いることによって、予報前半にもより大きな効果が期待される。

参考文献

- 野村厚, 1995: 海面水温解析. 平成 7 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 37-38.
栗原幸雄, 桜井敏之, 倉賀野連, 2006: 複数衛星データと現場データによる新しい全球日別海面水温解析. 測候時報, 73, 特別号(提出中).

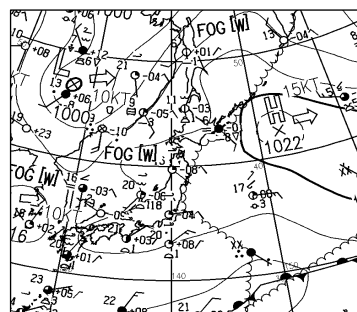


図 3.4.3 2005 年 5 月 26 日 00UTC の地上天気図

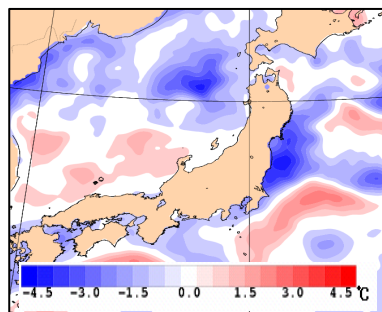


図 3.4.4 2005 年 5 月 25 日の海面水温差(MGDSST-NPDSST)

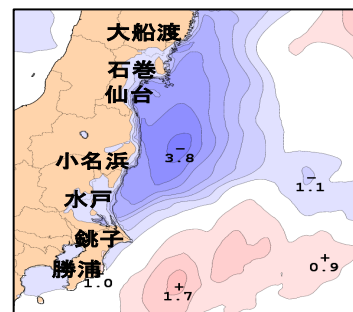


図 3.4.5 予報時間 12 時間後のコントロールに対するテストの地上気温の差(0.5℃毎に塗り分け)

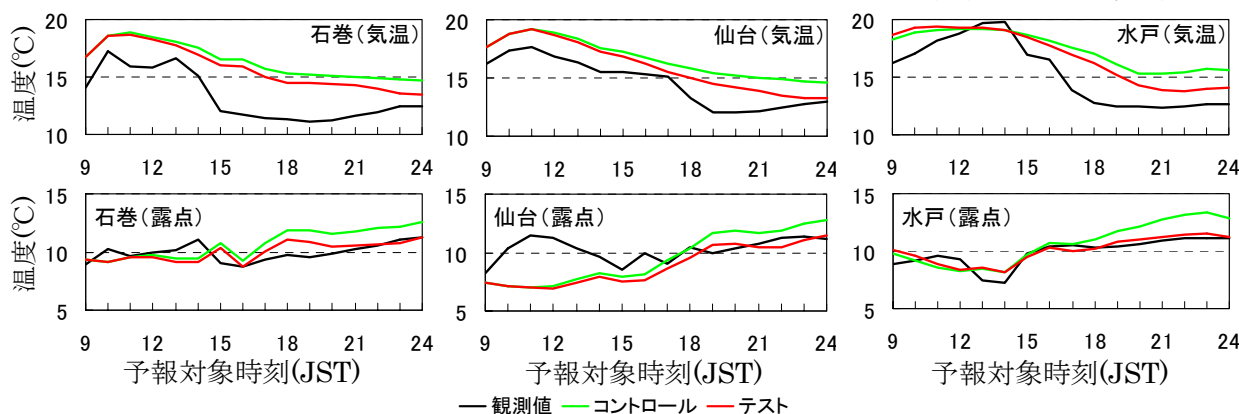


図 3.4.6 2005 年 5 月 26 日の石巻、仙台および水戸の地上気温(上段)と露点温度(下段)の時系列(縦軸:温度℃、横軸:予報対象時刻 JST、黒:観測、緑線:コントロール、赤線:テスト)