

第2章 メソ数値予報モデル

2.1 モデルの変更点の概要¹

2.1.1 はじめに

メソ数値予報モデル(MSM)は、2007年5月16日に1日8回のうち4回の予報時間を15時から33時間に延長するとともに、物理過程を中心に多くの改良がなされたモデルに置き換えられた。この33時間への予報時間延長にあわせた改良については、荒波・原(2006)で述べられているが、その後、いくつかのさらなる改良が行われた上で現業化されている。

一方、第1章で述べられているように、2007年11月に領域モデル(RSM)が廃止され、その役割を高解像度全球モデル(20kmGSM)が担うこととなる。現在のMSMは解析・予報ともに側面境界値としてRSMの予報値を利用しているが、RSMの廃止およびGSMの高解像度化にあわせ、MSMの側面境界値を20kmGSMの予報値に変更する。これによって、RSMと20kmGSMの間の特性の違いが、側面境界値を通じてMSMにも影響を及ぼし、MSMの特性が変わる。

本章では、荒波・原(2006)以降に行われたモデルの改良、2007年5月に現業化されたモデルの約1年間にわたる検証結果、および側面境界値がRSMから20kmGSMに変更となるMSMの仕様、検証結果、特性を紹介する。

なお、本章で示す20kmGSMの側面境界値を用いたMSMでは、GSMにおけるDCAPEの修正(第1.5節)が行われる以前のGSMの予報値を側面境界値として用いており、今後のGSMの特性の変化によってMSMも特性が変化する可能性がある。また、計算機資源の都合上、検証の対象にしたのは予報時間が33時間である03, 09, 15, 21UTCのみである。また、実験システムの都合上、09, 21UTC初期値で側面境界値とするそれぞれ06, 18UTC初期値の20kmGSMは、本運用で利用する速報解析ではなく、サイクル解析²の結果を初期値にした予報値を用いている。そのため、本運用においては本稿で示すものと特性が変わる可能性があることに注意を要する。

以下では2007年5月までMSMで使っていたモデルをMSM0603、荒波・原(2006)執筆時点における改良モデルをMSM0612³、さらに改良が加えられて2007年5月16日より現業化したモデルをMSM0705と表記することにする。

2.1.2 MSM0612 から MSM0705 への変更点

MSM0612 から MSM0705 への変更点を簡単に述べる。

(1) 雲氷の落下速度の調整

瀬川・三浦(2006)で指摘されているように、MSM0612ではMSM0603に比べて、暖候期の400hPaより下層の高度場でほぼ一定の負バイアスが見られ、上層では気温の正バイアスが拡大していた。

MSM0612においては、放射過程で用いる雲量や雲水・雲氷量を部分凝結スキームから計算しており、従来の相対湿度や可降水量による診断に比べて、MSMの大きな特徴である雲微物理過程で予報される雲水や雲氷量の情報を大きく反映するようになった(Hara 2007)。一方、MSM0603では雲氷の落下を考慮していなかったために、予報が進むにつれて上空に雲氷が蓄積されていたが、MSM0612では雲氷の落下を考慮し、上層での雲氷の蓄積を抑制するようにした(原 2006)。

しかし、MSM0612ではこの雲氷の落下が不十分であるために、部分凝結スキームによって上層雲(雲量・雲氷量)が過大に評価されている傾向が見られた。そのため、上空で太陽からの短波放射を過度に吸収することによって上層の気温の正バイアスが生じており、その結果、上空の大気が軽くなることで中層から下層にかけて高度場に負バイアスが生じていると考えられた。実際に、雲氷の落下速度をモニターしてみたところ、一般にいわれている雲氷の落下速度(最大 30cm/s)より小さいことが判明し、MSM0705では雲氷の落下速度を調整してより多くの雲氷を落下させるようにした。その結果、上空の気温の正バイアス、中層から下層の高度場の負バイアスが縮小し、精度向上を図ることができた(図 2.1.1)。

(2) 積雪時の地面熱容量の調整

MSM0603では冬の雪上で地上気温が下がりすぎることがしばしばあった。これは積雪域であっても森林や人工構造物など雪で覆われていない部分があるにもかかわらず、地表面種別が雪とされた格子全体が積雪に覆われていると仮定していることを原因と考えた。そこで、MSM0612では、森林や人工構造物など雪で覆われていない部分の効果を加味するために、熱容量などの地表面パラメータを積雪のある場合とない場合の重み付き平均で設定するようにした。これによって、MSM0603と比較して、正バイアスは拡大しているものの、平方根平均二乗誤差(RMSE)は同等でランダム誤差が縮小した(瀬川・三浦 2006)。

しかし、MSM0612では地域によっては地上気温が下がるべきところで下がりにくくなるなどの弊害が見られた。そこで、MSM0705ではMSM0612において一律

¹ 原 旅人

² サイクル解析では速報解析より観測データの入電締切時間が遅く、より多くの観測データを同化に利用できる。

³ 「MSM0612」という呼称は本稿だけのものであり、現業化されたものではない。

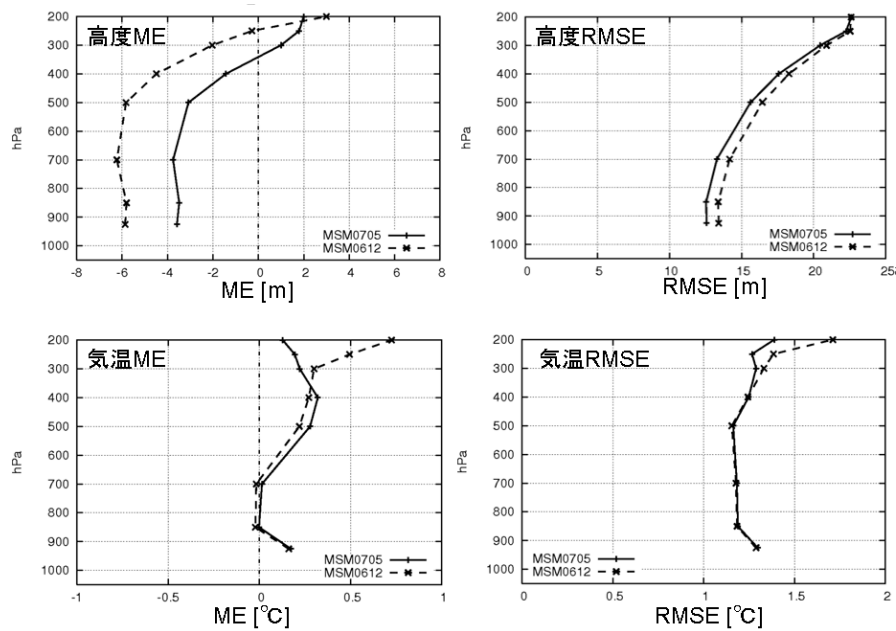


図 2.1.1 2006 年 7 月 1 日～7 月 31 日における MSM0612 と MSM0705 の高度(上段)および気温(下段)の ME(左)と RMSE(右)の鉛直分布。検証対象は日本のゾンデ観測で予報時間 33 時間の結果を示す。実線は MSM0705、破線は MSM0612。

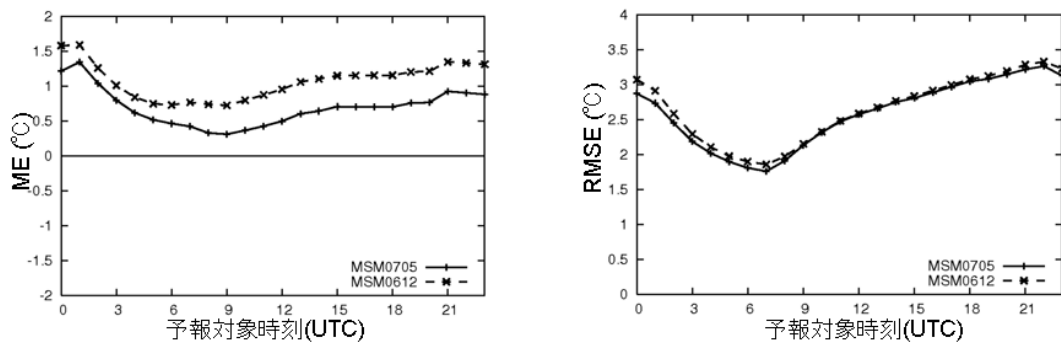


図 2.1.2 2005 年 12 月 24 日～2006 年 1 月 23 日の MSM0612 と MSM0705 の地上気温の ME(左)と RMSE(右)。検証方法は瀬川・三浦(2006)と同じ。予報時間 33 時間までの予報結果を用いて予報対象時刻ごとに示している。実線は MSM0705、破線は MSM0612。

に設定していた重み付き平均の重みを土地利用状況に応じて設定するように変更した。その結果、地上気温の正バイアスの拡大を抑制するとともに RMSE を縮小して精度が向上した(図 2.1.2)。

2.1.3 20kmGSM 予報値への側面境界値の変更に伴うモデルの変更点

20kmGSM の運用開始と同時に、側面境界値が RSM 予報値から 20kmGSM 予報値に変更になることにあわせて、以下の変更を行う。

(1) 側面境界値の更新頻度

RSM は 1 日 2 回(00,12UTC)の実行であったが、20kmGSM は 1 日 4 回(00,06,12,18UTC)の実行となる。これにあわせて、MSM で利用する側面境界値を表 2.1.1 のように変更し、従来、1 日 2 回だった側面境界値

の更新が 1 日 4 回になる。これによって、最新の観測値を反映させた初期値から予報した、予報時間が短く精度の高い予報値を側面境界値として使うことができるようになる⁴。

表 2.1.1 MSM の初期時刻と側面境界値に用いる予報値の初期時刻の対応

初期時刻 (UTC)	側面境界となる予報値の初期時刻(UTC)	
	RSM	20kmGSM
03, 06	00	00
09, 12		06
15, 18	12	12
21, 00		18

⁴ MSM で 33 時間予報を行う 03, 09, 15, 21UTC 初期値は、側面境界値の更新直後に対応している。

(2) 側面境界付近のモデル地形や海陸分布

境界条件の情報を反映させるモデルの計算領域の境界付近の格子における地形(標高)や海陸分布は、側面境界値を提供するモデルのそれらを考慮して決定されているため、側面境界値の変更により地形や海陸分布が変更になる。ただ、この変更は側面境界付近に限られるため、これによる予報特性への影響はない。

(3) 力学過程-移流のスプリット

荒波・原(2006)で述べられているように、MSM0612およびMSM0705においては、計算安定性のために移流のスプリットにおいてリープフロッグの前半でも重力波をスプリットするように変更した。しかし、これは低解像度では効果があるものの、5kmのような高解像度では逆に安定性を損ねる場合があることが判明した。そのため、MSM0603と同様にリープフロッグの後半だけで重力波をスプリットするように変更する。

2.1.4 側面境界値の変更に伴うモデルの特性の変化

第2.3節で示すように、RSMに比べて20kmGSMでは高度場、気温場の予報精度が大きく改善されることに対応して、MSMでも側面境界値のRSMから20kmGSMへの変更によって高度場、気温場に大きな改善が見られる。一方、20kmGSMで顕著に表れる下層の湿潤バイアスと中層以上の乾燥バイアス、寒候期の上空300hPa付近における高度場の負バイアス、気温場の正バイアスが、側面境界値の変更によって子モデルであるMSMにも現れてくる。特に湿りの表現の違いによって、第2.4節で示すように、対流パラメタリゼーションの働き方が変わり、降水予報の表現が大きく変わる場合がある。

また、側面境界値の更新頻度が多くなることで、最新の観測値を反映した新しい予報を側面境界値として利用できるようになり、MSMの精度の予報時間による劣化を抑制できると期待されたが、今回の実験結果では06, 18UTC初期値の20kmGSMを側面境界値に用いた09, 21UTC初期値のMSMの降水スコアの劣化は00, 12UTC初期値の20kmGSMを側面境界値に用いた03, 15UTC初期値のそれより速い傾向が見られる。これについては、側面境界値である20kmGSMの初期値による精度の違いなども含めて、今後、調査を進める必要がある。

2.1.5 今後のメソ数値予報モデル

非静力学モデルへの変更、高解像度化、予報時間延長と続いたMSMの大きな改良は2007年5月のMSM0705の現業化、そして2007年11月の20kmGSMへの側面境界値の変更で一段落した。

モデル本体については、今後、予報結果の検証を通

じて問題点を抽出しながらモデルの改良のために開発を行い、成果が出た段階で順次、ルーチンに取り入れていく。現在進められている開発としては、植物圏モデル(SiB)の導入、積雲対流パラメタリゼーションの特性調査とさらなる改良(成田 2007)などがある。

一方、初期値の作成手法については、現在の静力学モデルを基にした4次元変分法から非静力学モデルを基にした4次元変分法(JNoVA)への変更(Honda et al. 2005)が2007年度中に予定されており、現在、開発の最終段階を迎えている。

また、水平解像度2kmの高分解能局地モデル(LFM)の開発では、関東域を予報領域とした1日8回の実験運用を2007年6月より行っている(竹之内ほか2007)。

モデル本体の開発だけでなく、メソモデルによる確率予報や複数シナリオの提供を目指して、メソアンサンブルの開発も始まっており、現在はLAF法によるアンサンブル予報の精度検証や検証手法の開発、SV法による初期値摂動を用いたアンサンブル予報の基礎的な実験が行われている。

参考文献

- 荒波恒平, 原旅人, 2006: メソ数値予報モデルの改良と予報時間延長. 平成18年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 55-58.
- 瀬川知則, 三浦大輔, 2006: 統計検証. 平成18年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 59-79.
- 竹之内健介, 荒波恒平, 中山寛, 藤田匡, 倉橋永, 石川宜広, 2007: 高分解能局地モデルの開発. 第9回非静力学モデルに関するワークショップ予稿集.
- 成田正巳, 2007: 気象庁メソ数値予報モデルにおけるKain-Fritsch対流パラメタリゼーションの特性. 第9回非静力学モデルに関するワークショップ予稿集.
- 原旅人, 2006: 物理過程の改良とその効果. 平成18年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 84-87.
- Hara, T., 2007: Implementation of improved Mellor-Yamada Level 3 scheme and partial condensation scheme to JMANHM and their performance. *CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Oceanic Modell.*, **37**, 4-07.
- Honda, Y., M. Nishijima, K. Koizumi, Y. Ohta, K. Tamiya, T. Kawabata, and T. Tsuyuki, 2005: A pre-operational variational data assimilation system for a nonhydrostatic model at Japan Meteorological Agency: Formulation and preliminary results. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **131**, 3465-3475.

2.2 2007年5月に更新されたモデルの統計検証¹

2.2.1 はじめに

本節では、2007年5月に更新された、側面境界値に領域モデル(RSM)を用いたメソ数値予報モデル（以下MSM 0705と記述する）の降水量、地上気象要素、高層気象要素について検証した結果を述べる。MSM0705の予報の特徴を調べるために、2007年5月に更新される以前のMSM（以下MSM0603と記述する）とRSMを比較の対象とした。またMSM0705とMSM0603は03,09,15,21UTC初期値、RSMは00,12UTC初期値の予報を用いた。検証期間は、瀬川・三浦(2006)では、暖候期・寒候期それぞれ20日間程度だったが、本検証では2006年7月～2007年4月の10か月間とし、これを、夏季（2006年7月～9月）、秋季（2006年10月～11月）、冬季（2006年12月～2007年2月）、春季（2007年3月～4月）に分けて検証した。検証期間は2007年5月以前であるが、MSM0705については、2007年5月に現業化されたモデルと同じ仕様で計算した結果を用いている。なお、以下では予報時間をFTと記述する。

2.2.2 降水検証

ここでは、モデルの降水予報を、対解析雨量で検証した結果を示す。瀬川・三浦(2006)と同様に、陸域と海岸から40km以内の海域において、前3時間降水量について、20km間隔の検証格子内の観測値および予報値それぞれの平均値を比較した。

(1) 降水強度別の降水予報特性

図2.2.1に、3時間ごとの各FTについて作成した四分割表（付録参照）をFT=03-15（予報前半）とFT=18-33（予報後半）でそれぞれまとめて計算した、降水強度別のスレツトスコアとバイアススコアを示

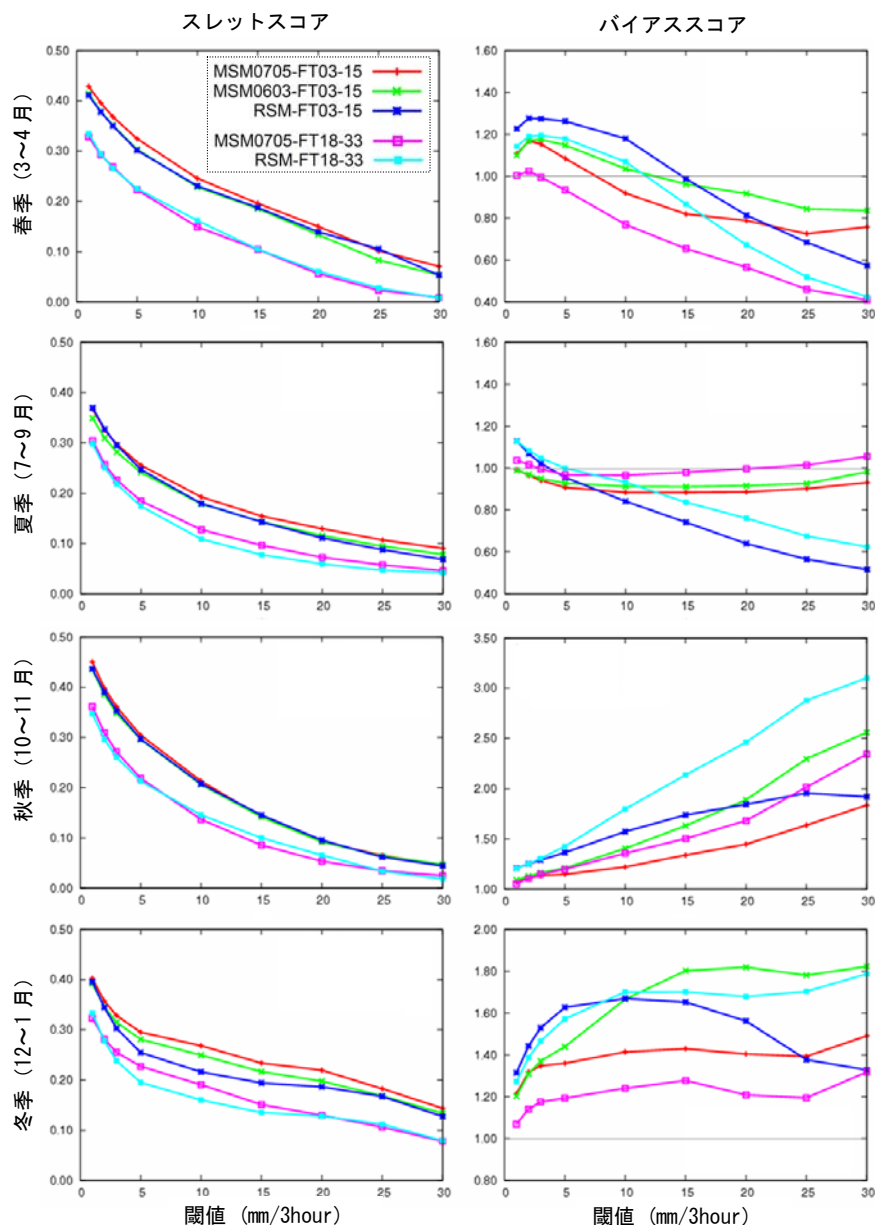


図2.2.1 解析雨量に対する各モデルの降水強度別スレツトスコア（左）とバイアススコア（右）。20km検証格子内平均降水量を使用。凡例はモデルの名称と予報の前半(FT=03-15)か後半(FT=18-33)かを表す。例えばMSM0705-FT03-15は、MSM 0705におけるFT=03-15の各FTのスコアを閾値ごとにまとめたスコアである。

す。なお、MSM0603は15時間予報のため、FT=03-15（予報前半）のみ表示している。

夏季と冬季におけるMSM0705のスレツトスコアはMSM0603から改善し、予報前半・後半ともにRSMをほぼ上回る。一方、春季のMSM0705は、予報前半はMSM0603やRSMを上回るものの、予報後半はRSMと同等である。秋季のMSM0705は、予報前半・後半ともに、MSM0603やRSMと同等である。バイアススコアは季節により以下の傾向がみられる。

- ・春季：右下がり、特に後半強雨の予報頻度過少
- ・夏季：閾値、前半・後半によらずほぼ1

¹ 三浦 大輔

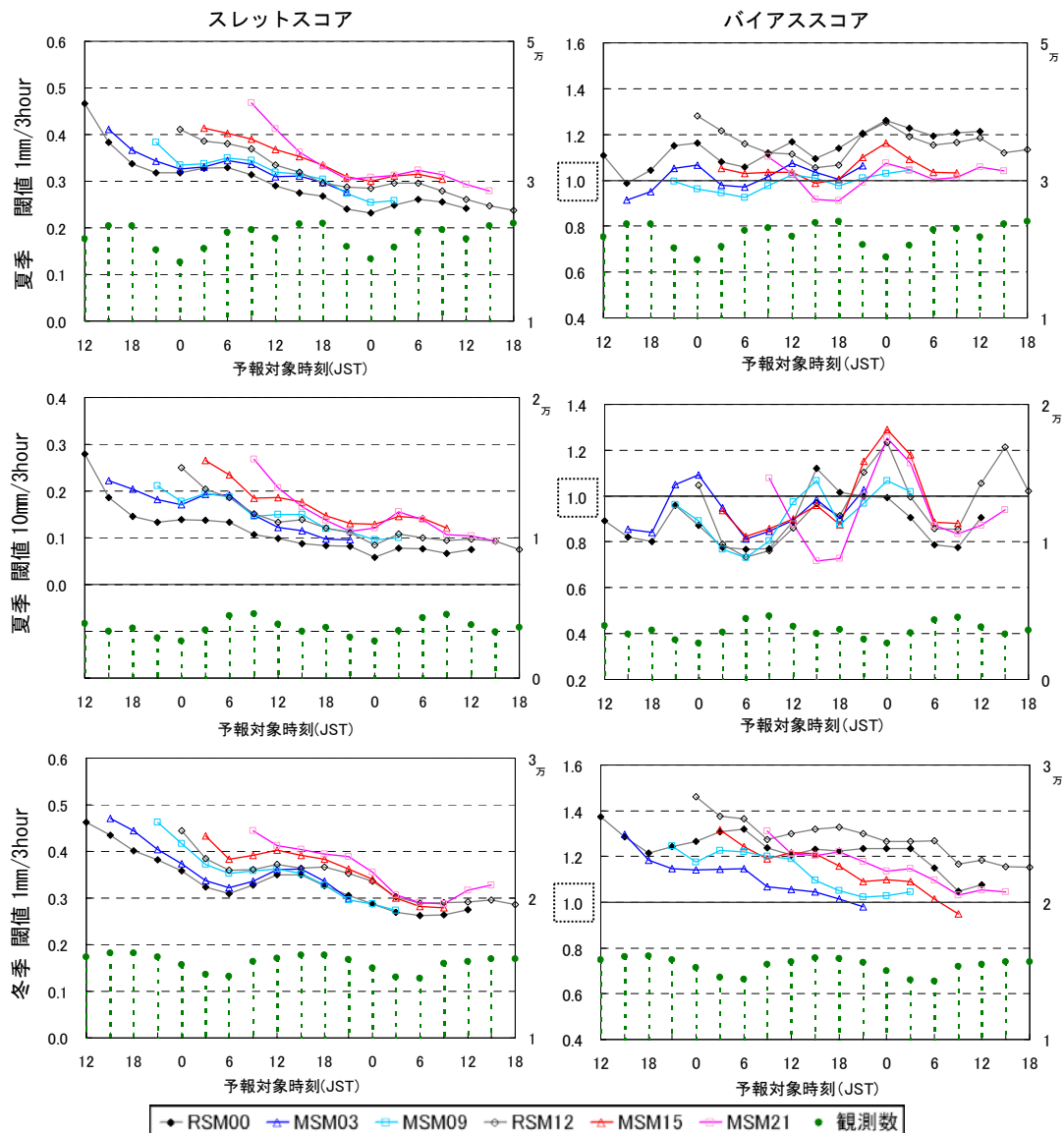


図 2.2.2 MSM0705 と RSM の初期時刻別の予報対象時刻ごとのスレットスコア (左) とバイアススコア (右)。20km 検証格子内平均降水量を使用。上から、夏季閾値 1mm/3hour, 10mm/3hour、冬季閾値 1mm/3hour。03UTC 初期値の MSM を MSM03 と表示。各グラフの右縦軸は、解析雨量が閾値を超えた数 (観測数) を表す。

- ・ 秋季：右上がり、強雨の予報頻度が非常に大きい
- ・ 冬季：全閾値で、予報頻度過剰

(2) 予報対象時刻別の降水予報特性

図 2.2.2 は、夏季と冬季における MSM0705, RSM の各初期時刻別の予報対象時刻ごとのスコアである。両季節、各閾値について、03, 15UTC 初期値のスレットスコアは、それぞれその前の予報である 21, 09UTC 初期値のスコアよりも同じ予報対象時刻において大きい。一方、09, 21UTC 初期値のスレットスコアは、その前の予報である 03, 15UTC 初期値に対して、予報前半は上回るものの、後半は同程度になる。特に、夏季では FT=06-09 以降同程度になっている。側面境界値として使われている RSM の予報経過時間 (新鮮度) 等が予報に影響しているとみら

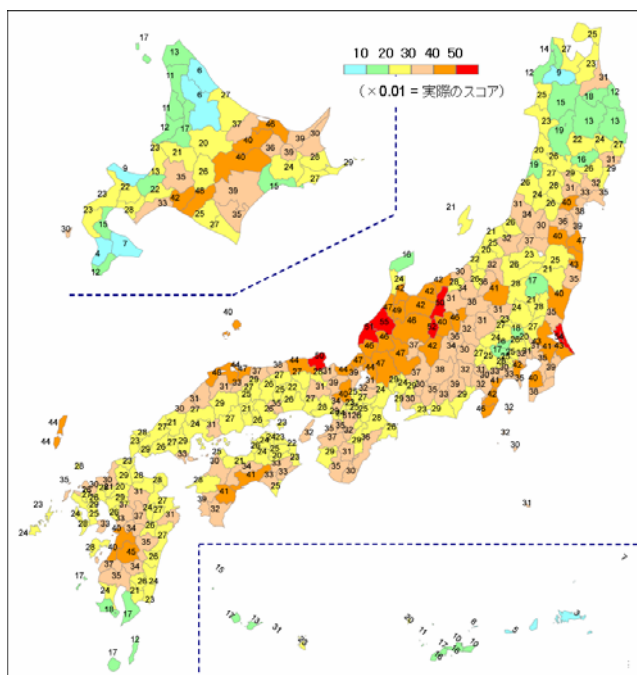
れる (第 2.3 節に GSM を側面境界として用いた場合について示している)。

また各スコアと観測数 (閾値を超えた観測の数) に日変化がみられる。夏季を中心にバイアススコアと観測数は負相関であり、観測数の少ない時間帯はバイアススコアが 1 より大きく空振りが多。このことは、スレットスコアが小さいことにつながっている。

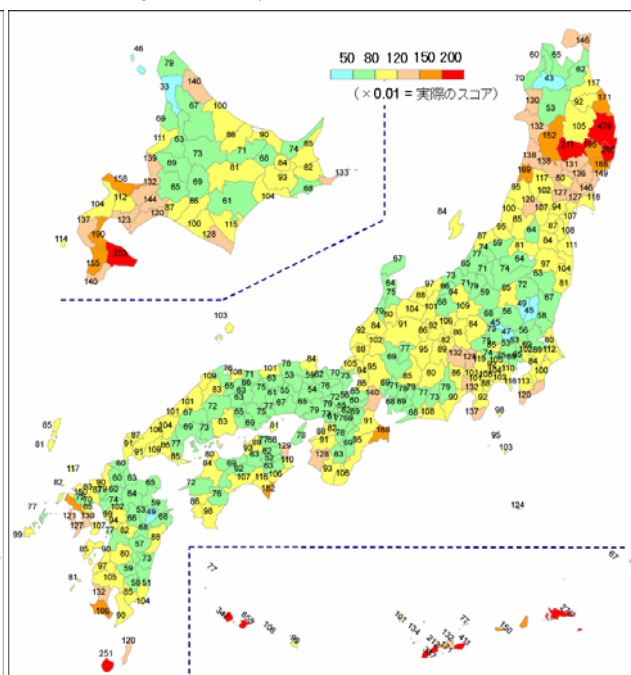
(3) 降水予報の地域特性

図 2.2.3 は、MSM0705 の FT=03-15 について、二次細分区域内で平均したモデルと観測の各 3 時間降水量を元に計算したスレットスコアとバイアススコアのスコアマップ (瀬川・三浦 2006 参照) である。以下に、夏季の閾値 5mm、冬季の閾値 1mm における

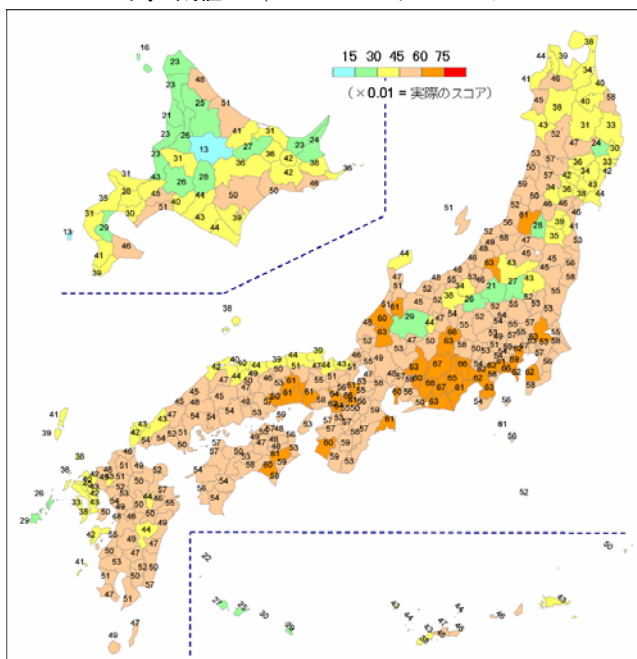
夏季 閾値 5mm/3hour スレットスコア



夏季 閾値 5mm/3hour バイアススコア



冬季 閾値 1mm/3hour スレットスコア



冬季 閾値 1mm/3hour バイアススコア

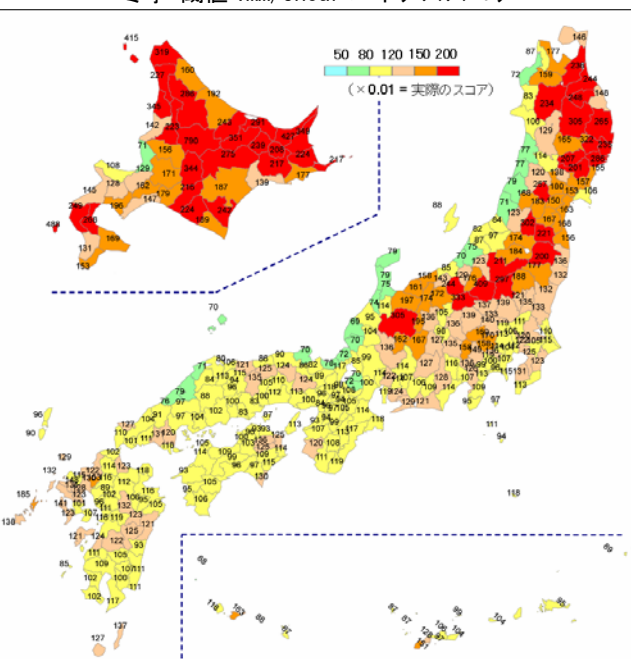


図 2.2.3 MSM0705 の FT=15 までの全予報期間を対象に、二次細分区域内平均降水量で夏季閾値 5mm/hour(上段)、冬季閾値 1mm/3hour(下段)について計算した、スレットスコア×100(左)、バイアススコア×100(右)。

スコアマップから読みとれる降水の地域的な特性について述べる。夏季は、(1)の全国のスコアではバイアススコアがほぼ1であったが、全国一様に1ではなく、北日本の一部や南西諸島で予報頻度過剰となっている他は、予報頻度がやや過少な地域が多い。スレットスコアは、梅雨前線や秋雨前線による降水の多かった北陸～中国地方の日本海側などで大きくなっている。冬季は、(1)の全国のスコアでは約1.2で予報頻度過大であると述べたが、過大なのは北海

道と東北の太平洋側、中部の山岳地帯である²。一方、積雪の多い本州日本海側の平野部は予報頻度過少となっている³。関東から西の太平洋側のバイアススコアは1に近い。スレットスコアは、バイアススコアの大きい地域でやや小さい傾向がみられる。

² 解析雨量が実際の降水よりも過少であるため、それに対するバイアススコアが大きくなっているとみられる。

³ 水平解像度を 1 km 程度まで高解像度化すると、日本海側平野部の予報過少は解消されると言われている。

2.2.3 地上気象要素の検証

MSM0705の地上付近の予報特性をみるために、地上気象要素（気温・風速）について検証した結果を図2.2.4に示す。瀬川・三浦(2006)と同様に、観測点を囲むモデル格子の海陸設定が4格子とも陸地となっているアメダス観測点の値とモデルの値を比較した。検証スコアは、平均誤差(ME)と平方根平均二乗誤差(RMSE)である。FT=00-15の予報値を用いて、予報対象時刻ごとにスコアを示した。

まず、全季節、両要素におけるMSM0705のMEとRMSEについて、ほぼ全予報対象時刻においてMSM0603、RSMよりも精度が良い。

気温のMEについては、全体的に正バイアスで、冬季以外は日中よりも夜間の正バイアスが大きいの。なお、冬季のMSM0705の正バイアスは、瀬川・三浦(2006)ではMSM0603よりも顕著であるが、本検証では夜間を中心にMSM0603よりも小さい。第2.1.2項(2)の土地利用に応じた積雪域の地面熱容量の調整の効果とみられる。

風速のMEについては、各季節似通った傾向となっており、夜間に正バイアス、日中に春と夏を中心に負バイアスとなっている。

2.2.4 高層気象要素の検証

MSM0705の大気鉛直構造の予報特性をみるために、高層気象要素について検証した結果を述べる。瀬川・三浦(2006)と同様に、気象庁の高層気象観測点におけるラジオゾンデ観測データのうち指定気圧面の観測値を用いて検証を行った。検証に用いるスコアはMEとRMSEである。FT=15におけるMSM0705とMSM0603を比較し、モデル変更の効果をみる。また、期間後半の影響をみるために、MSM0705のFT=33とRSMのFT=36を比較する。

図2.2.5に夏季、図2.2.6に冬季の検証結果を示す。両季節、全要素について、MSM0705のFT=15におけるRMSEは中層から下層を中心にMSM0603よりも小さい。FT=33になると、MSM0705のRMSEはFT=15の値から拡大するが、RSMよりは概ね小さい。

MEは、夏季と冬季について以下の特徴がある。夏季のFT=15におけるMSM0705は、500hPaより下層で高度の負バイアス、上層での気温の正バイアスがみられる。この傾向が、瀬川・三浦(2006)ではMSM0603よりも顕著であるが、本検証ではMSM0603と同程度になっている。第2.1.1項(1)の雲氷の落下速度の調整による結果とみられる。

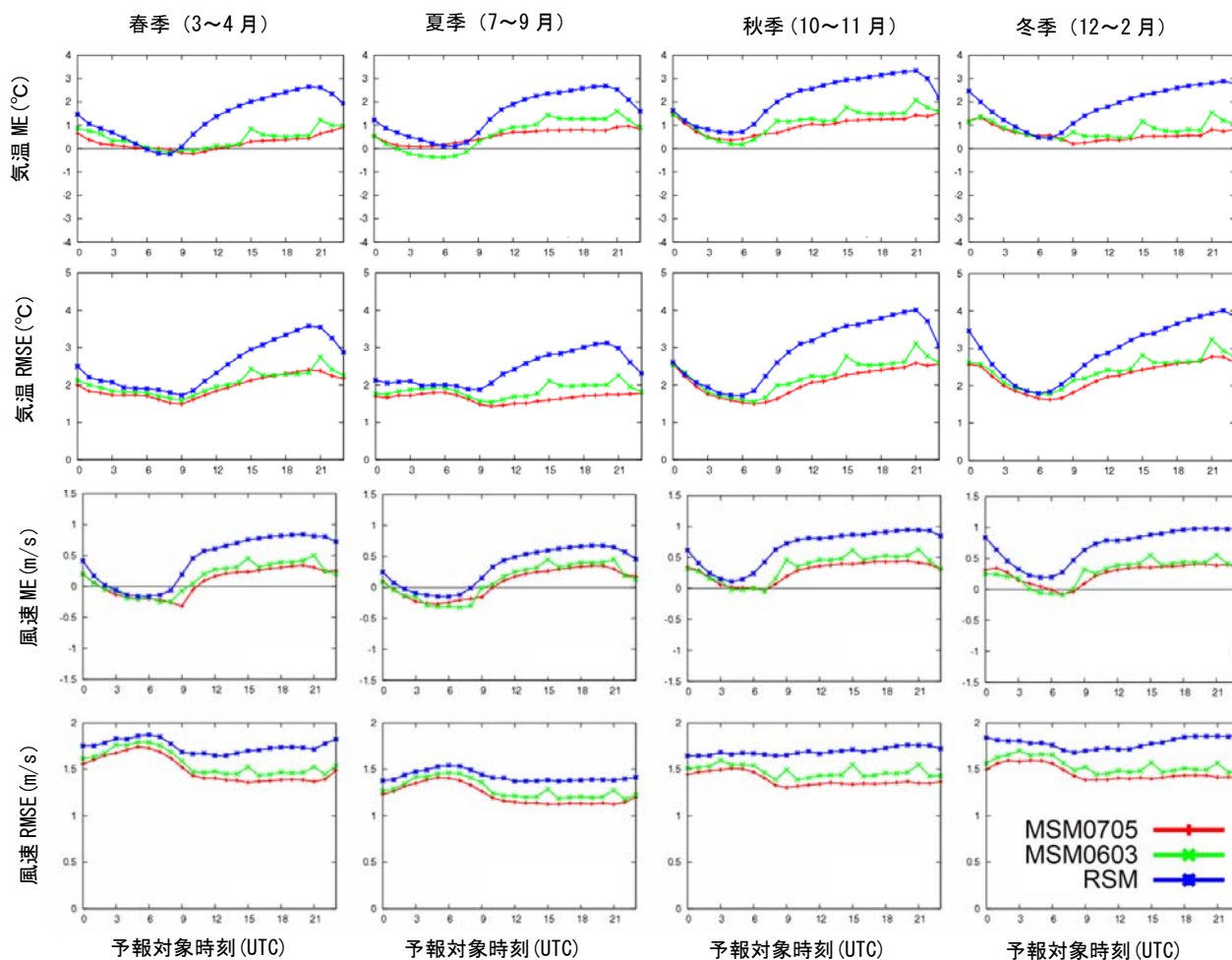


図 2.2.4 FT=00-15 を対象とした予報対象時刻ごとの地上気温と地上風速の ME と RMSE。

MSM0705の風速については高度とともに負バイアスが拡大しており、MSM0603とは同程度である。高度が高いほど風速が大きいいため、誤差も大きいと思われる。相対湿度のバイアスはほぼ0である。FT=33におけるMSM 0705のMEは、FT=15の値と比べて、風速の負バイアスが拡大している他は同程度である。また全体的にRSMよりバイアスが抑えられている。

冬季のFT=15におけるMSM0705は、500hPaより下層では0に近いが、上層で負バイアスが大きい傾向がある。高度についてはMSM0603よりもバイアスがやや拡大している。FT=33になるとMSM0705のバイアスはFT=15よりも拡大し、高度について上層負バイアス・下層正バイアス、気温および風速について全層負バイアスの傾向がみられる。また、FT=33におけるこれらのバイアスの傾向はRSMよりもやや強い。

なお、春季と秋季については、各要素、ME・RMSEについて、冬季と似た傾向がみられた（図略）。

2.2.5 まとめ

2007年5月に現業化されたMSMについて、10か月の統計的検証を行ったところ、全体的には

MSM0705の予報精度はMSM0603 やRSMよりも良く、各要素については以下の特徴がみられた。

降水については、夏季と冬季でMSM0603を全降水強度で改善し、弱い雨でもRSMよりも精度が良くなった。春季と秋季は同等であった。夏季と冬季について初期値ごとにみると、09,21UTC初期値の予報後半のスレットスコアが、それぞれの前の予報である03,15UTC初期値のスコアと同程度になるといった傾向がみられた。

地上気象要素については、ME, RMSEともにMSM0603を改善しており、RSMよりも概ね良いものの夜間を中心に気温と風速に正バイアス、春季・夏季の日中の風速に負バイアスがみられた。

高層気象要素については、各季節、各要素でそれぞれバイアスがみられ、MSM0603やRSMよりも概ね良いが、一部拡大している部分もみられた。RMSEはMSM0603やRSMと同等か改善していた。

参考文献

瀬川知則，三浦大輔，2006：統計検証．平成18年度数値予報研修テキスト，気象庁予報部，59-83。

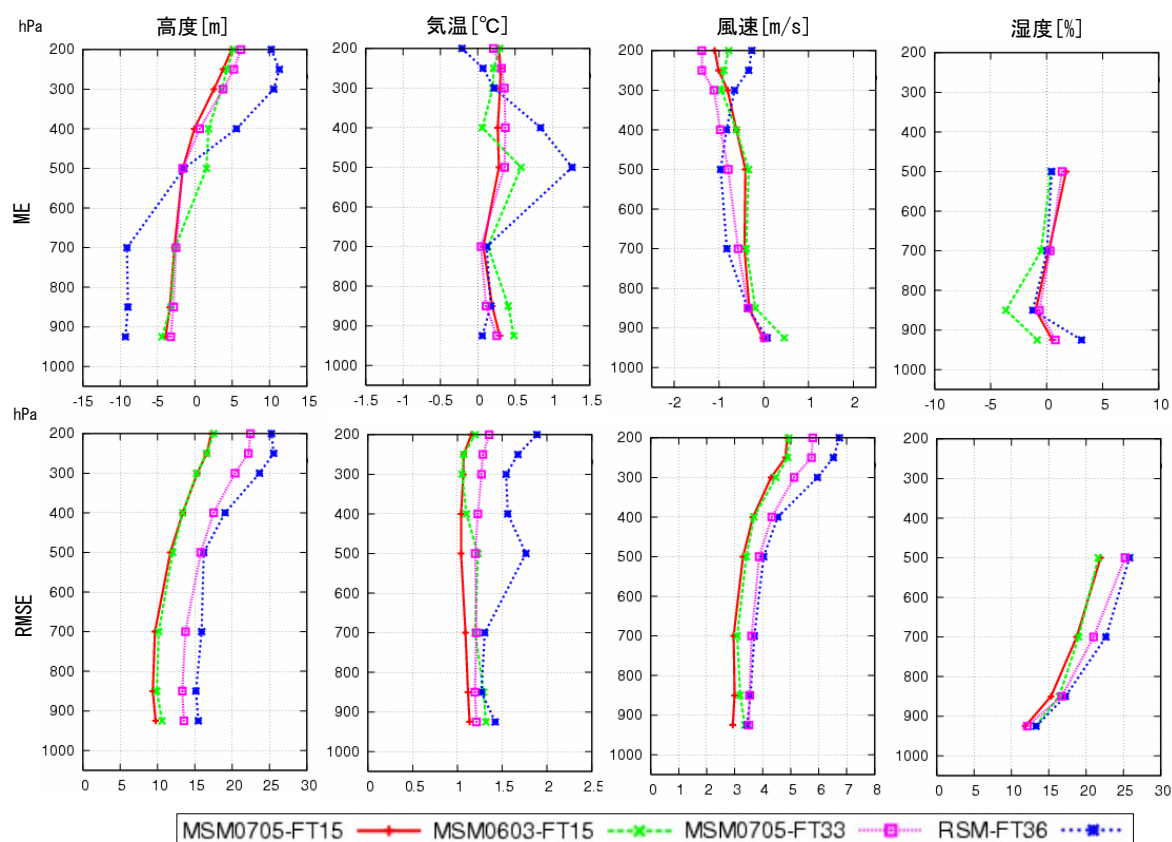


図 2.2.5 夏季における MSM0705(FT=15,33), MSM0603(FT=15), RSM (FT=36)の対ゾンデ検証。上段が ME、下段が RMSE。左から高度、気温、風速、相対湿度。上層の相対湿度は信頼できる観測が少ないため 500hPa より下層のみ表示している。

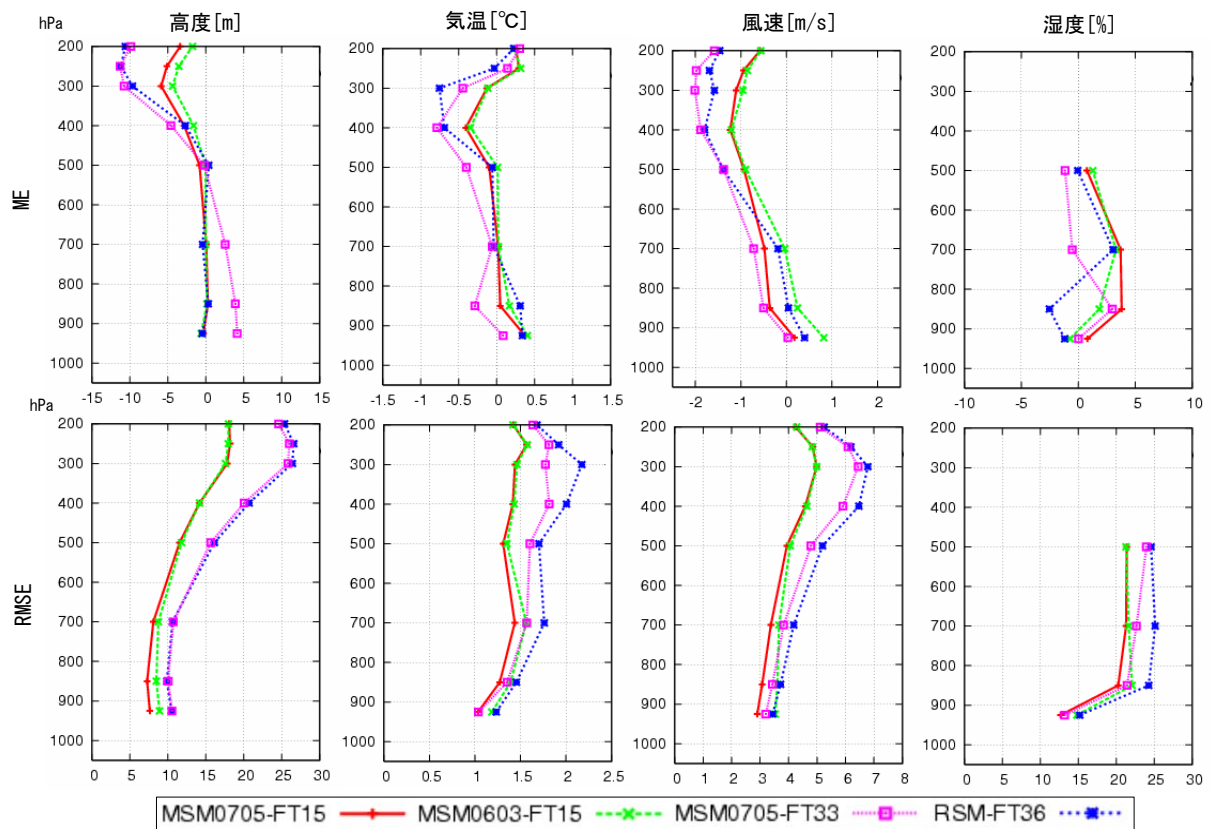


図 2.2.6 冬季における MSM0705(FT=15,33), MSM0603(FT=15), RSM (FT=36)の対ゾンデ検証。上段が ME、下段が RMSE。左から高度、気温、風速、相対湿度。上層の相対湿度は信頼できる観測が少ないため 500hPa より下層のみ表示している。

2.3 高解像度全球モデルを側面境界とするメソ数値予報モデルの統計検証¹

2.3.1 はじめに

高解像度全球モデル(20kmGSM)が2007年11月から運用されるため、メソ数値予報モデル(MSM)に用いている側面境界値を領域モデル(RSM)から20kmGSMに変更する。また、側面境界値はこれまで1日2回の更新を行っていたが、1日4回の頻度で更新するように変更した(第2.1.3項)。本節では、MSMの側面境界値としてRSMを用いた場合(以下、RSM境界MSM)と20kmGSMを用いた場合(以下、GSM境界MSM)について、降水、地上気象要素、高層気象要素について統計的検証を行ったので報告する。検証には、03,09,15,21UTCを初期値とする33時間予報を使用した。検証期間は、夏実験(2004年8月6日～2004年9月5日)、冬実験(2005年12月24日～2006年1月23日)とした。検証方法は、降水、地上気象要素、高層気象要素ともに第2.2節と同様である。なお、本節で使用している統計スコアの説明は、巻末の付録を参照していただきたい。予報時間はFTと表記した(例えば、予報時間3時間目はFT=03)。検証結果について注意する点については第2.1.1項を参照していただきたい。

2.3.2 降水の統計的検証

検証では、閾値に前3時間降水量を使用した(例えば、閾値1mmとは1mm/3hのことである)。

(1) 降水量の閾値ごとの検証

夏実験の降水量の閾値ごとのスコアを図2.3.1上段に示す。スレットスコアは15mm以下の閾値に対しては、GSM境界MSMがRSM境界MSMより高い。それ以上の閾値では両者は同程度になっている。これはGSM境界MSMでは全閾値でやや見逃しが減っている一方で、20mm以上の閾値ではやや空振りが多くなっているためである(図略)。また、MSMは強い降水ほど予報頻度が過剰になっており、GSM境界MSMではその傾向が顕著になっている。2006年7月を検証期間にした瀬川・三浦(2006)では、RSM境界MSMにこのようなバイアスはみられなかったため、検証期間に大きく依存していると思われる。

次に、冬実験の降水量の閾値ごとのスコアを図2.3.1下段に示す。スレットスコアは10mm以上の閾値に対して、GSM境界MSMがRSM境界MSMより高い。これはGSM境界MSMではやや見逃しが減っているためである(図略)。MSMは全閾値を通して予報頻度が観測頻度よりも大きい。また夏実験と同様に、強い降水に関してはGSM境界MSMの方が、この傾向が顕著になっている。

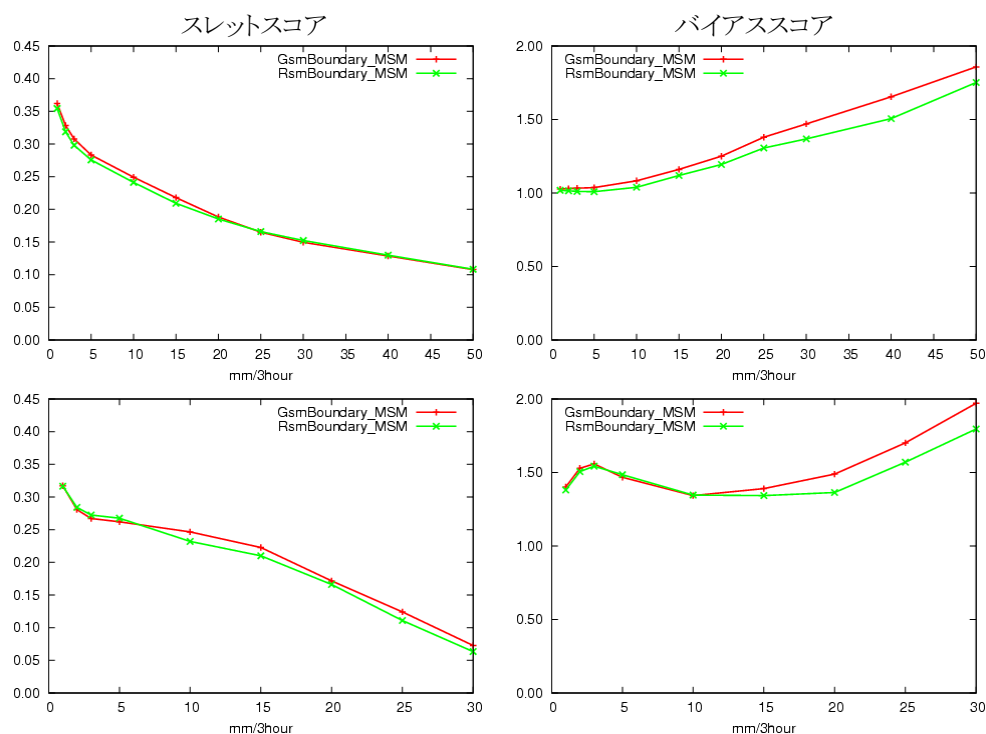


図 2.3.1 夏実験と冬実験における GSM 境界 MSM と RSM 境界 MSM の閾値ごとのスコア。20km 検証格子内平均降水量を使用。左:スレットスコア、右:バイアススコア。上段:夏実験(2004 年 8 月 6 日～2004 年 9 月 5 日)、下段:冬実験(2005 年 12 月 24 日～2006 年 1 月 23 日)。GsmBoundary_MSM(赤実線):GSM 境界 MSM。RsmBoundary_MSM(緑実線):RSM 境界 MSM。横軸:閾値(mm/3h)。

¹ 古市 豊

(2) 予報時間ごとの検証

夏実験の予報時間ごとのスコア(閾値 1mm)を図 2.3.2 上段に示す。スレットスコアは FT=18 以降で、GSM 境界 MSM は RSM 境界 MSM より高くなっている。バイアスコアは両者ともに 1 に近いいため、このスレットスコアの向上は、空振りと見逃しの両方が減ったためである。閾値 20mm のスコアを図 2.3.2 下段に示す。スレットスコアは FT=09 にかけて、見逃しが少ないため GSM 境界 MSM の方がやや高くなっている。またバイアスコアは GSM 境界 MSM の方が全予報時間を通して概ね高くなっている。これは GSM 境界 MSM では

RSM 境界 MSM に比べて空振りが多くなっているからである(図略)。

次に冬実験の予報時間ごとのスコア(閾値 1mm)を図 2.3.3 上段に示す。スレットスコア、バイアスコアともに GSM 境界 MSM、RSM 境界 MSM は同程度である。閾値 10mm のスコアを図 2.3.3 下段に示す。RSM 境界 MSM には、予報期間中頃(FT=12~FT=21)にスレットスコアの一時的な低下がみられるが GSM 境界 MSM にはそのような傾向はみられない。またどちらも予報時間前半は予報頻度過剰であるが、予報時間が進むにつれて観測頻度に近づく傾向がある。

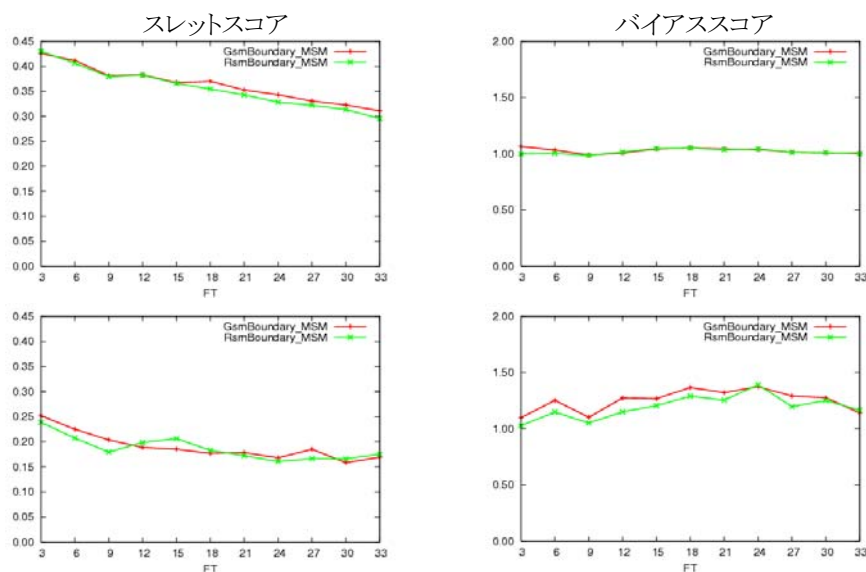


図 2.3.2 夏実験(2004 年 8 月 6 日~2004 年 9 月 5 日)における GSM 境界 MSM と RSM 境界 MSM の予報時間ごとのスコア。20km 検証格子内平均降水量を使用。左:スレットスコア、右:バイアスコア。上段:閾値 1mm/3h。下段:閾値 20mm/3h。GsmBoundary_MSM(赤実線):GSM 境界 MSM。RsmBoundary_MSM(緑実線):RSM 境界 MSM。横軸:FT(h)。

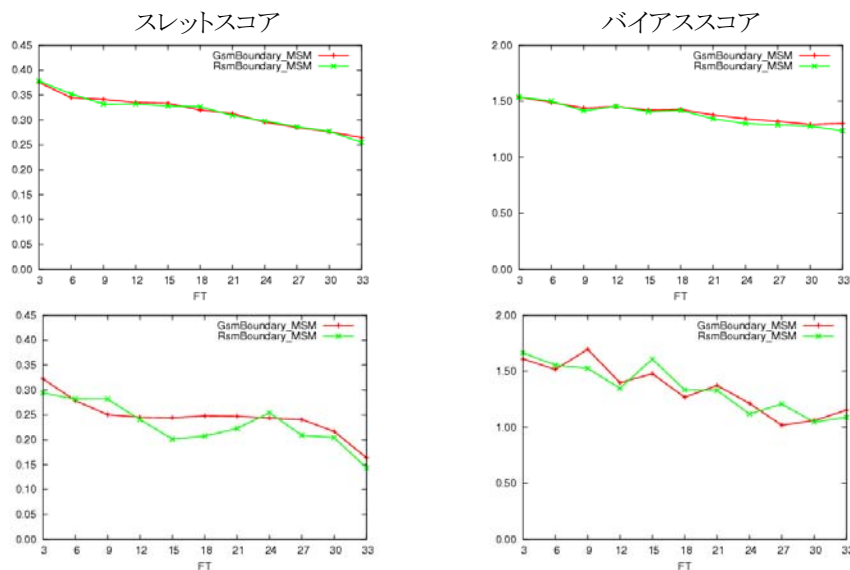


図 2.3.3 冬実験(2005 年 12 月 24 日~2006 年 1 月 23 日)における GSM 境界 MSM と RSM 境界 MSM の予報時間ごとのスコア。20km 検証格子内平均降水量を使用。左:スレットスコア、右:バイアスコア。上段:閾値 1mm/3h。下段:閾値 10mm/3h。GsmBoundary_MSM(赤実線):GSM 境界 MSM。RsmBoundary_MSM(緑実線):RSM 境界 MSM。横軸:FT(h)。

(3) 初期時刻別の検証

GSM 境界 MSM の夏実験における初期時刻別のスコア(閾値 1mm)を図 2.3.4 上段に示す。スレツスコアは同じ予報対象時刻で比較すると、概ね最新の初期値を使用したものが高、もしくは同程度になっている。特に、FT=09 までは見逃しが少なく、その傾向が大きくなっている(図略)。バイアスコアは日中にやや高くなっており、予報頻度がやや過剰になっている。

次に、冬実験の初期時刻別のスコア(閾値 1mm)を図 2.3.4 下段に示す。スレツスコアは同じ予報対象時刻で比較すると、日中は一定のスコアを維持しているが、

夜間から明け方にかけて低下している。一方でバイアスコアの変化が小さいことから、見逃し、空振りともに多くなっている(図略)。バイアスコアは、21UTC 初期値のものが他の初期値のものに比べて高い。

夏実験における MSM21 のスレツスコアの劣化は MSM15 に比べて速く、18 時以降はスコアが同程度になっている。また、冬実験においてもスコアの劣化が速い。側面境界の更新頻度が高くなったにも関わらず、スコアの劣化が速いことについては今後調査が必要である。

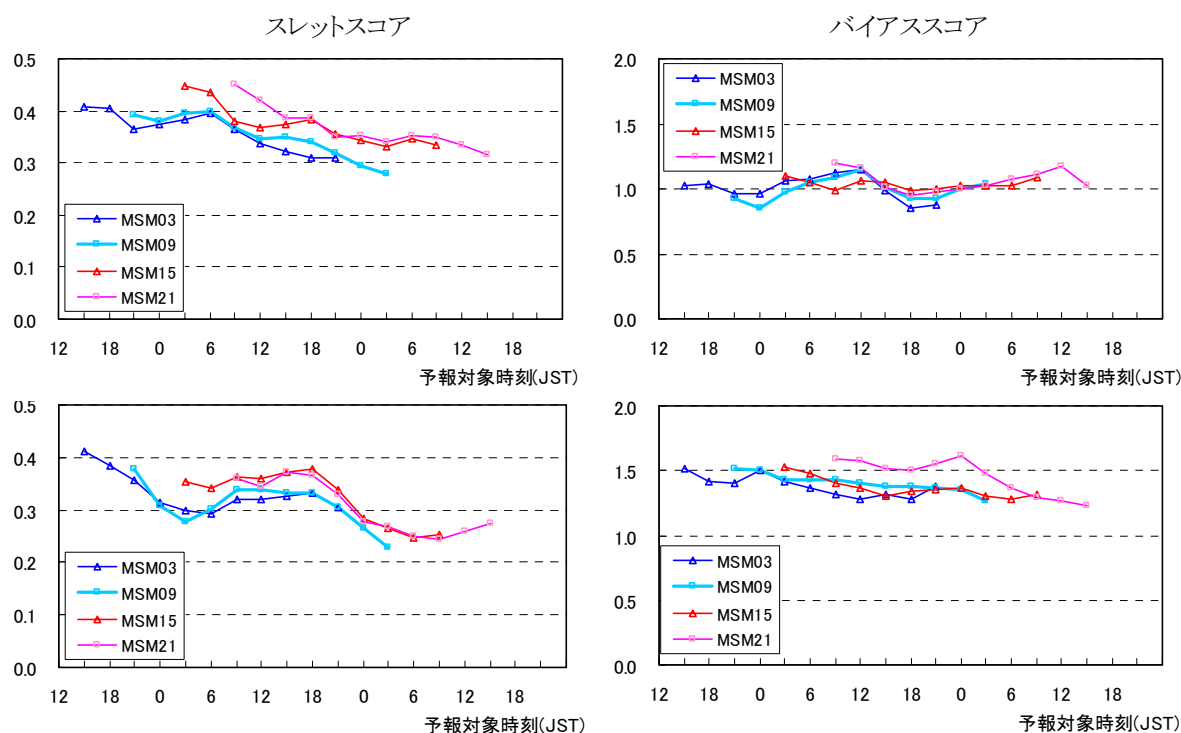


図 2.3.4 夏実験と冬実験における GSM 境界 MSM の初期時刻別のスコア。上段: 夏実験 (2004 年 8 月 6 日～2004 年 9 月 5 日)。下段: 冬実験 (2005 年 12 月 24 日～2006 年 1 月 23 日)。左: スレツスコア。右: バイアスコア。閾値は 1mm/3h。MSM03: 初期時刻 03UTC、境界値 20kmGSM(初期時刻 00UTC)。MSM09: 初期時刻 09UTC、境界値 20kmGSM(初期時刻 06UTC)。MSM15: 初期時刻 15UTC、境界値 20kmGSM(初期時刻 12UTC)。MSM21: 初期時刻 21UTC、境界値 20kmGSM(初期時刻 18UTC)。横軸: 予報対象時刻(JST)。

2.3.3 地上気象要素の統計的検証

(1) 夏実験の検証

夏実験の地上気象要素のスコアを図 2.3.5 に示す。風速、露点温度には GSM 境界 MSM と RSM 境界 MSM の違いはみられない。MSM の予報特性としては、夜間に風を実況よりもやや強めに予報するバイアスがある。気温については、GSM 境界 MSM と RSM 境界 MSM は同程度であり、夜間に実況よりもやや高く予報するバイアスがある。

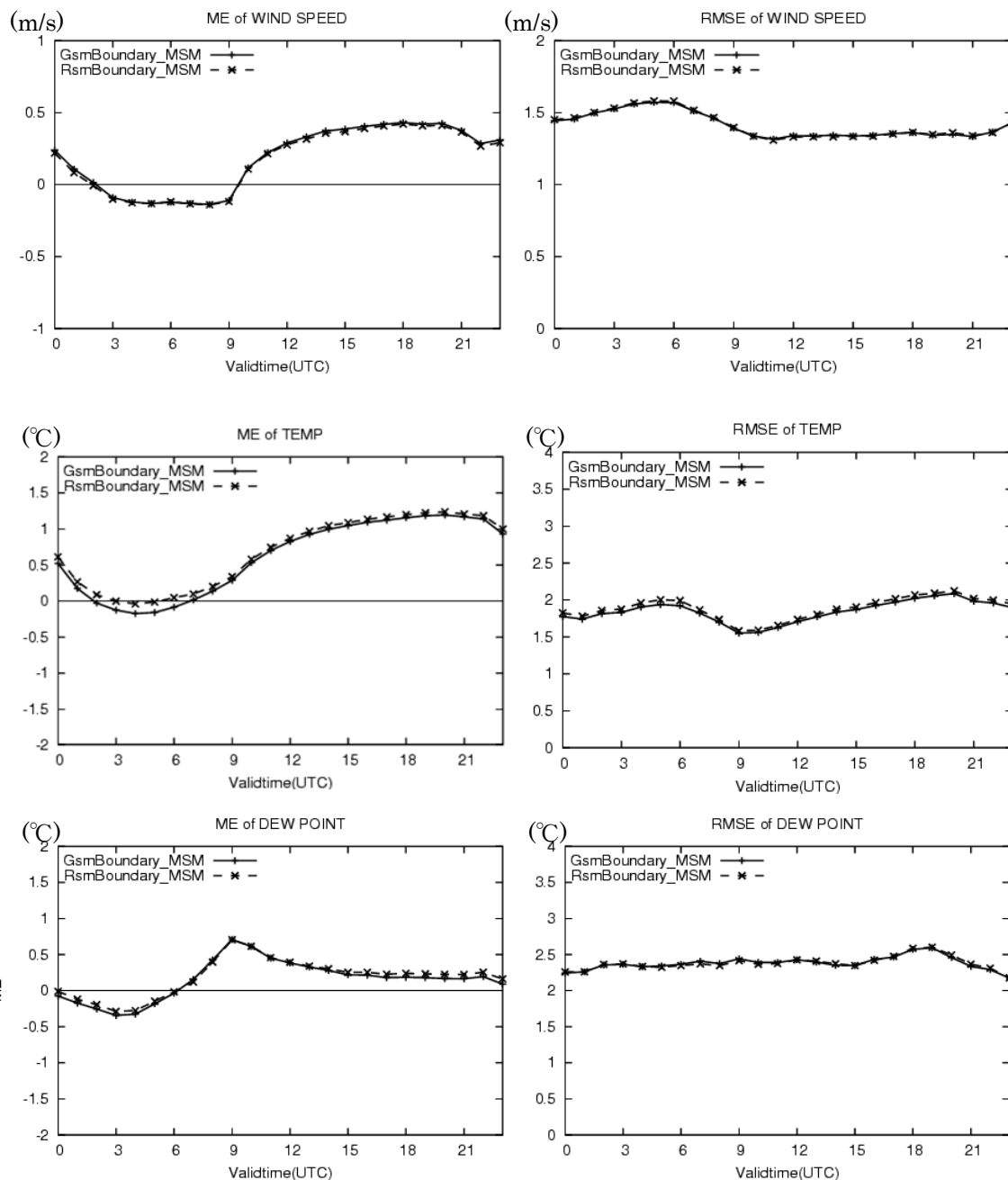


図 2.3.5 夏実験(2004 年 8 月 6 日～2004 年 9 月 5 日)における地上気象要素の予報対象時刻ごとのスコア。
上段:風速(m/s)、中段:気温(°C)、下段:露点温度(°C)の順に示している。左:ME(平均誤差)、右:RMSE
(平方根平均二乗誤差)。GsmBoundary_MSM:GSM 境界 MSM。RsmBoundary_MSM:RSM 境界
MSM。横軸:予報対象時刻(UTC)。

(2) 冬実験の検証

冬実験の地上気象要素のスコアを図 2.3.6 に示す。風速には夏実験同様に、GSM 境界 MSM と RSM 境界 MSM に違いはみられない。MSM の予報特性は夏実験とやや異なり、夜間に限らず風を実況よりもやや強めに予報する傾向がある。気温は RSM 境界 MSM にみられる高温バイアスをやや改善している。露点温度は夜間に負バイアスをやや高くしているが、日中は正バイアスを改善している。

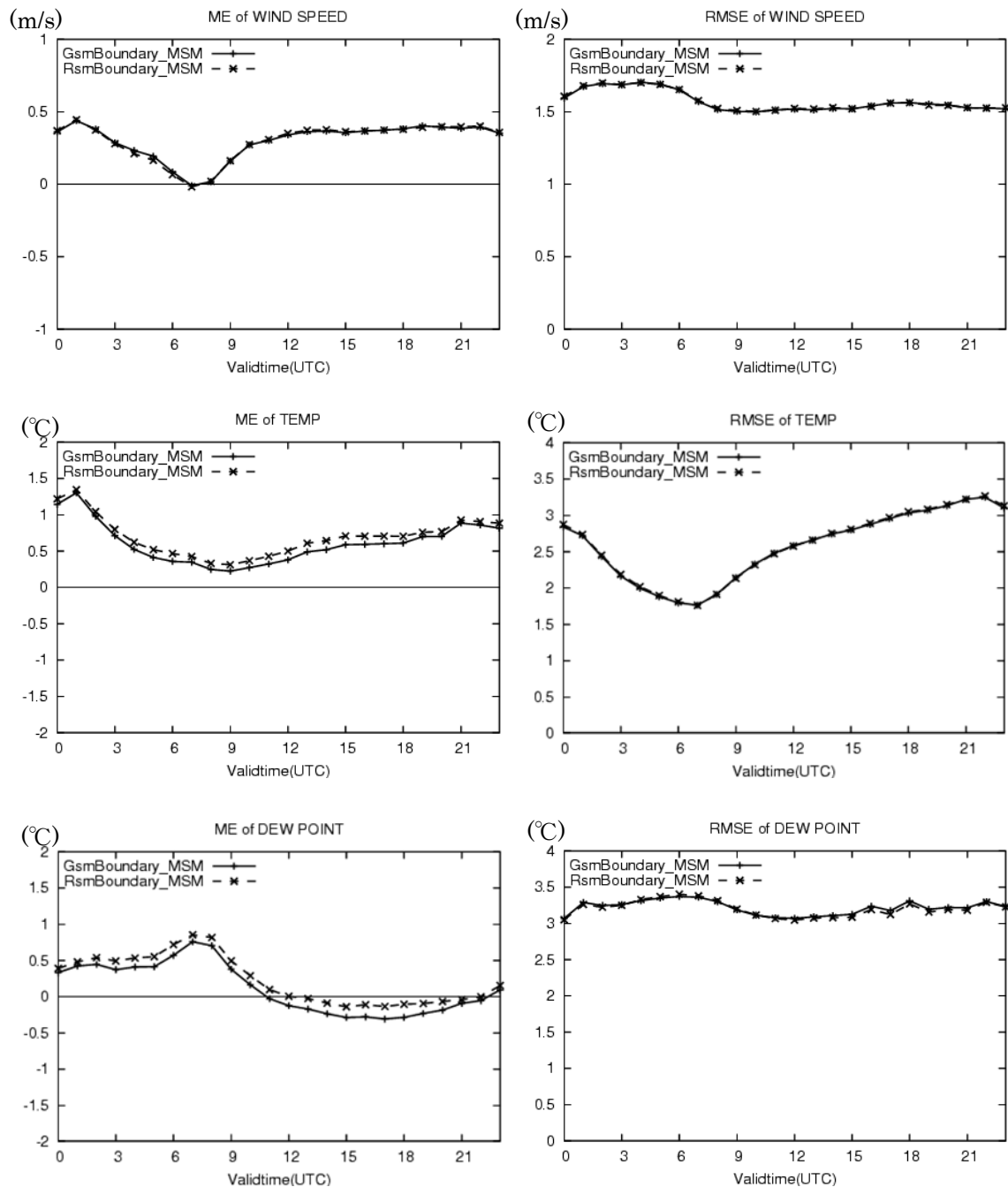


図 2.3.6 冬実験(2005 年 12 月 24 日～2006 年 1 月 23 日)における地上気象要素の予報対象時刻ごとのスコア。上段:風速(m/s)、中段:気温(°C)、下段:露点温度(°C)の順に示している。左:ME(平均誤差)、右:RMSE(平方根平均二乗誤差)。GsmBoundary_MSM:GSM 境界 MSM。RsmBoundary_MSM:RSM 境界 MSM。横軸:予報対象時刻(UTC)。

2.3.4 高層気象要素の統計的検証

(1) 夏実験の検証

夏実験の高層気象要素のスコアを図 2.3.7 に示す。GSM 境界 MSM は中層から上層にかけて顕著な乾燥バイアスがみられる。この中層から上層にかけての乾燥バイアスは 20kmGSM にもみられる傾向(第 1.2.4 項)であるため、その影響を強く受けたと思われる。気温は中層から上層にかけてやや低温バイアスになり、高度

は全層で正バイアスに変化した。風速のバイアスはほぼ同程度である。RMSE はすべての要素で小さくなっており、予報精度は改善していると言える。

(2) 冬実験の検証

冬実験の高層気象要素のスコアを図 2.3.8 に示す。相対湿度には夏実験同様に、中層から上層にかけて乾燥バイアスがある。特にその傾向は 700hPa 付近に顕

著にみられる。このバイアスも 20kmGSM とよく似ているため、その影響を受けた可能性がある(第 1.2.4 項)。気温は下層から中層にかけて低温バイアスがあり、上層では高温バイアスとなっている。また、風速は RSM 境界 MSM にみられる、中、上層の負バイアスをやや改善している。RMSE は、上層の気温、高度、中層の相対湿度を除いて概ね改善している。

2.3.5 検証のまとめ

降水、地上気象要素、高層気象要素ともに側面境界値を RSM から 20kmGSM に変更することによって、予報精度は同程度かやや改善した。バイアスは RSM と 20kmGSM の予報特性が異なるため、その影響が MSM にも現れる結果となった。以下に、要素ごとの特徴をまとめた。

(1) 降水

20kmGSM を側面境界に用いることによって、夏実験、冬実験とも、スレツスコアがやや向上した。夏実験の閾値 1mm の降水では、予報時間後半にその傾向が顕著になっている。また冬実験では閾値 10mm 以上の降水でスレツスコアが向上した。一方、夏実験、冬実験ともに RSM 境界 MSM に比べて、強い降水ほど予報の頻度が過剰になっている。

(2) 地上気象要素

夏実験の地上気温、風速は、側面境界の違いによる大きな変化はみられない。冬実験の地上気温は、RSM 境界 MSM にみられる高温バイアスをやや改善した。冬実験の露点温度は RMSE に大きな変化はない。しかし、バイアスは日中の正バイアスを改善したが、夜間から明け方に負バイアスを高くしている。

(3) 高層気象要素

RMSE は全要素ともに概ね改善した。特徴的なことは夏実験、冬実験ともに中層から上層にかけては乾燥バイアスに変化したことである。特に、中層付近が顕著な乾燥バイアスになっている。これは側面境界に用いている 20kmGSM にもみられるため、メソ解析や境界を通してその影響を受けたからだと思われる。

参考文献

瀬川知則，三浦大輔，2006：統計検証．平成 18 年度数値予報研修テキスト，気象庁予報部，59-83.

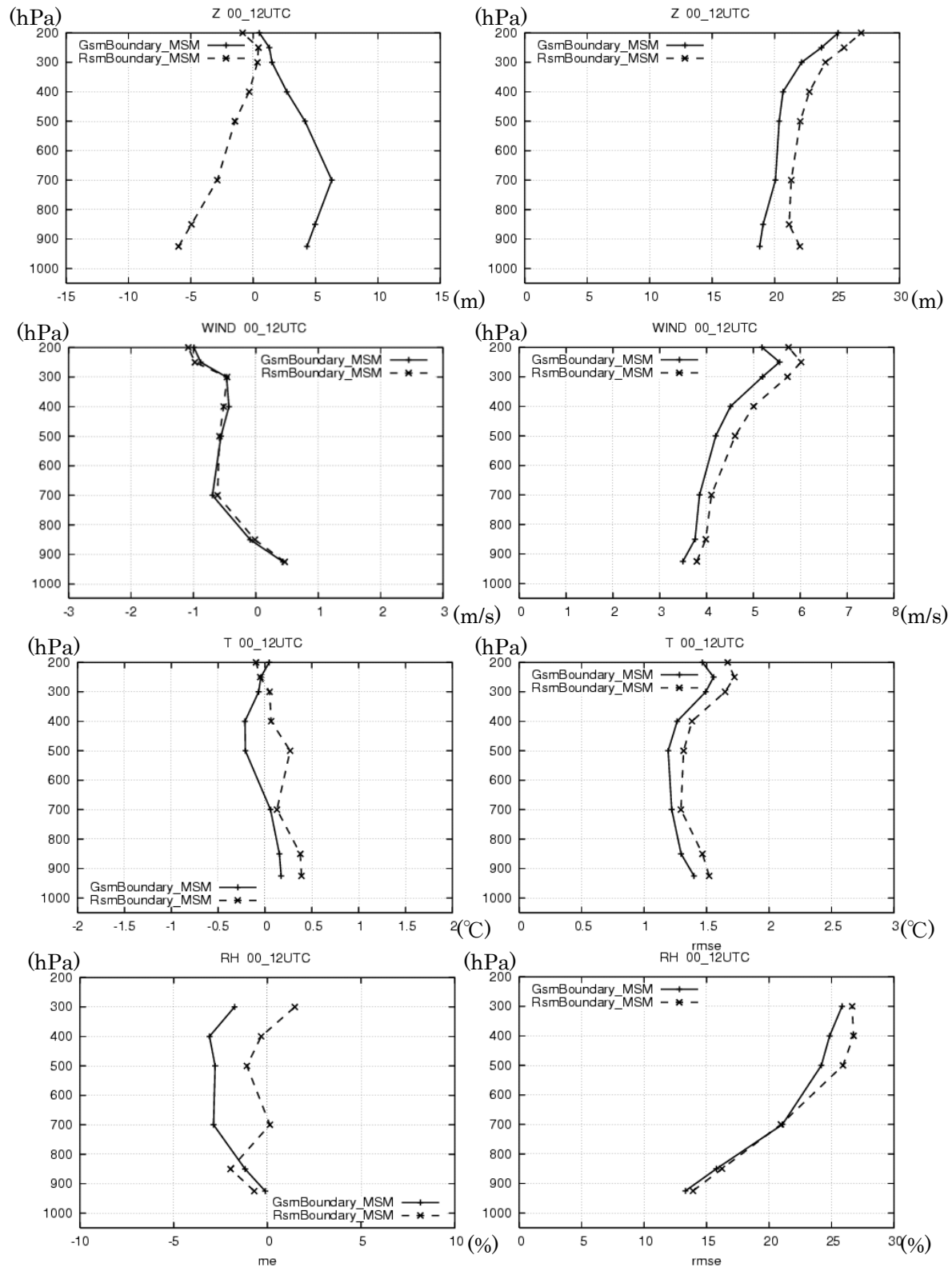


図 2.3.7 夏実験(2004 年 8 月 6 日～2004 年 9 月 5 日)における高層気象要素の FT=33 のスコア。上から高度(m)、風速(m/s)、気温(°C)、相対湿度(%)の順に示している。左:ME(平均誤差)、右:RMSE(平方根平均二乗誤差)。GsmBoundary_MSM:GSM 境界 MSM。RsmBoundary_MSM:RSM 境界 MSM。

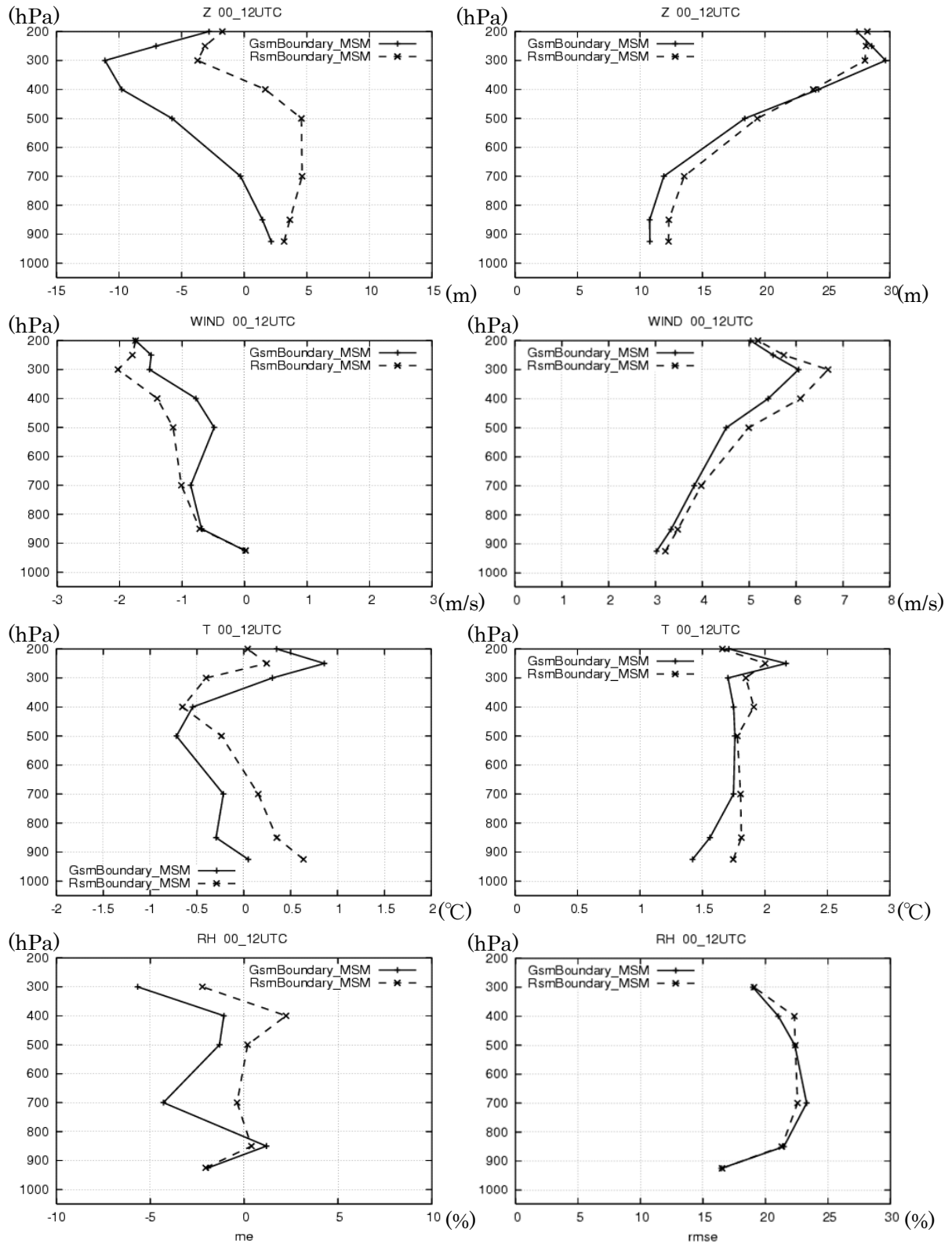


図 2.3.8 冬実験(2005 年 12 月 24 日～2006 年 1 月 23 日)における高層気象要素の FT=33 のスコア。上から高度(m)、風速(m/s)、気温(°C)、相対湿度(%)の順に示している。左:ME(平均誤差)、右:RMSE(平方根平均二乗誤差)。GsmBoundary_MSM:GSM 境界 MSM。RsmBoundary_MSM:RSM 境界 MSM。

2.4 高解像度全球モデルを側面境界とするメソ数値予報モデルの降水予報の例¹

2.4.1 はじめに

現在のメソ数値予報モデル (MSM) には、特に梅雨期の九州や四国において、地形や海陸の地表面粗度の差への過度な応答によって実況との対応が悪い不自然な降水を予報する欠点がある (成田 2006)。このような降水が予報されるときには、海岸線の風下となる陸地や山岳の風上側に大きな上昇流と高い相対湿度の領域が鉛直に分布することが多い。MSM で採用している Kain-Fritsch 対流パラメタリゼーションの発動の有無は下層の上昇流と相対湿度に敏感であり、相対湿度の鉛直分布の違いは降水量の予報に大きな影響を与える。一方、第 1.2 節によると、高解像度全球モデル (20kmGSM) には季節によらず 925 hPa 面に湿潤バイアスがあり、夏季の 850 hPa 面より上層に乾燥バイアスがある。

これらのバイアスは、側面境界値としてメソ解析とメソ予報の両方に影響を与える。特に、下層の湿潤バイアスによって対流パラメタリゼーションの効果が大きくなり、降水を過剰に計算する可能性がある。統計的な検証によると、MSM の側面境界値を領域モデル (RSM) の予報値から 20kmGSM の予報値に変更することによって強い降水を予報する頻度が観測よりも過剰になることがわかっている (第 2.3 節)。

本節では、2004 年 8 月を対象とする MSM の予報の結果から、側面境界値の変更によって降水の分布に大きな違いが見られた事例を選んで紹介する。以下では RSM を側面境界とする MSM を「RSM 境界 MSM」、20kmGSM を側面境界とする MSM を「GSM 境界 MSM」と表記する。

2.4.2 海岸線や地形に沿った過剰な降水の予報

図 2.4.1 と図 2.4.2 に、海から陸に、または低地

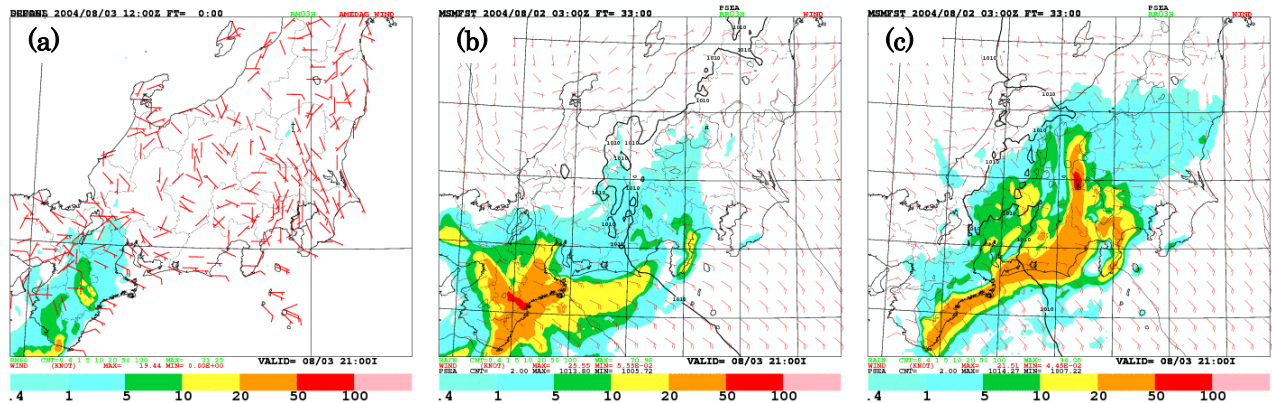


図 2.4.1 2004 年 8 月 3 日 09 UTC から 12 UTC までの 3 時間降水量 [mm/3h]。(a)解析雨量、(b) RSM 境界 MSM による予想降水量、(c) GSM 境界 MSM による予想降水量。モデルは、初期時刻 2004 年 8 月 2 日 03 UTC からの 33 時間予想。

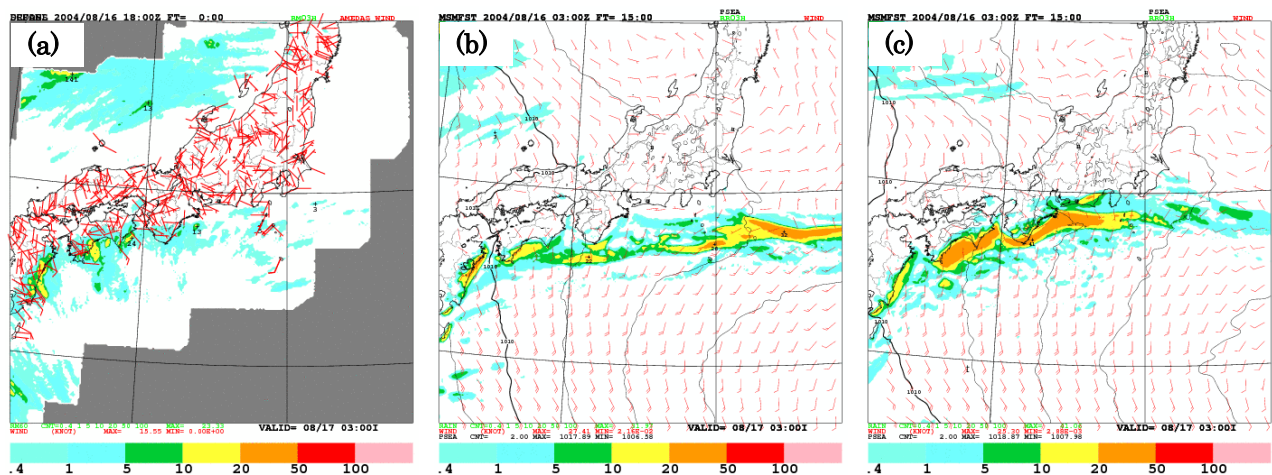


図 2.4.2 2004 年 8 月 16 日 15 UTC から 18 UTC までの 3 時間降水量 [mm/3h]。(a)解析雨量、(b) RSM 境界 MSM による予想降水量、(c) GSM 境界 MSM による予想降水量。モデルは、初期時刻 2004 年 8 月 16 日 03 UTC からの 15 時間予想。

¹ 成田 正巳

から高地に向かって風が吹くときに、MSM が過剰な降水を予報した例を示す。実況 (a) と比べて、RSM 境界 MSM (b) の降水は特に海岸線付近で過剰になっており、GSM 境界 MSM (c) ではこの傾向がより顕著である。また、いずれの例でも 5~50 mm/3h の降水のほとんどは対流パラメタリゼーションによって計算されている (図略)。特に図 2.4.1 (c) では、中部山岳の風上側で実況には見られない降水が対流パラメタリゼーションによって過剰に計算されている。このように、雲物理過程による降水が少なく、対流パラメタリゼーションによる降水が支配的な場合は、実況に比べて MSM が予報した降水は過剰である事例が多い。

いくつかの事例で RSM 境界 MSM よりも GSM 境界 MSM のほうが海岸線付近の降水が過剰に計算されており、逆の事例は少数である。このような過剰な降水によってバイアスコアが大きくなったと考えられる (第 2.3 節)。ただし、図 2.4.2 のように過剰な降水が海上に分布する場合は、陸地及び海岸から 40 km 以内の格子を対象とする統計検証のスコアには大きな悪化として表れないことに注意が必要である。

2.4.3 海岸線や地形に沿った適切な降水の予報

図 2.4.3 に RSM 境界 MSM と比べて GSM 境界 MSM の降水予報が改善された例を示す。実況 (a) では四国南部の海岸線から紀伊半島にかけてと山陰地方、山陰沖の日本海に西南西から東北東にのびる降水域が見られる。一方、RSM 境界 MSM (b) では紀伊半島南東部の海岸線付近などに降水のまとまりが見られ、降水が分布する方向は実況と対応している。GSM 境界 MSM (c) では降水の極大の位置にずれが見られるものの、降水が分布する方向や降水量は実況に近く、RSM 境界 MSM より改善できている。この例では、四国付近の 5~50 mm/3h の降水のほとんどは対流パラメタリゼーション、50 mm/3h 以上の降水と中国地方の降水は主

に雲物理過程によって計算されている (図略)。第 2.4.2 項で述べた対流パラメタリゼーションによる過剰な降水の事例とは異なり、雲物理過程による降水が計算されている場合には対流パラメタリゼーションによる降水と合わせて実況との対応が良い事例が多い。同様の例は予報期間の前半に見られることもあり (図略)、スレットスコアの改善に結びついていると考えられる。

2.4.4 おわりに

本節では、2004 年 8 月を対象に 20kmGSM を側面境界とする MSM の降水予報の事例を紹介した。雲物理過程による降水がほとんど計算されておらず、対流パラメタリゼーションによる降水が支配的な場合には予報の信頼度が低く、雲物理過程による降水が計算されている場合には対流パラメタリゼーションによる降水と合わせて予報の信頼度が高い傾向が見られた。

第 2.4.1 項で述べたように、MSM の欠点である地形や海陸の地表面粗度の差への過度な応答による不自然な降水は主に梅雨期に見られるが、本稿の執筆時点では梅雨期を対象とする GSM 境界 MSM においてこのような降水の分布がどのように計算されるか、確認することはできない。また、DCAPE の計算方法を改良した 20km GSM (第 1.5 節) を側面境界としたときに GSM 境界 MSM の特性がどのように変化するかも、確認できない。いずれも 20kmGSM を側面境界とする MSM を現業運用しながら確認を続ける必要がある。特に側面境界の変更によって湿りの鉛直分布のバイアスが変わると対流パラメタリゼーションの効果に大きな影響を及ぼすと考えられるので、引き続き予報精度の改善を目指して開発を進める必要がある。

参考文献

成田正巳, 2006: 降水予測の改良. 平成 18 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 88-91.

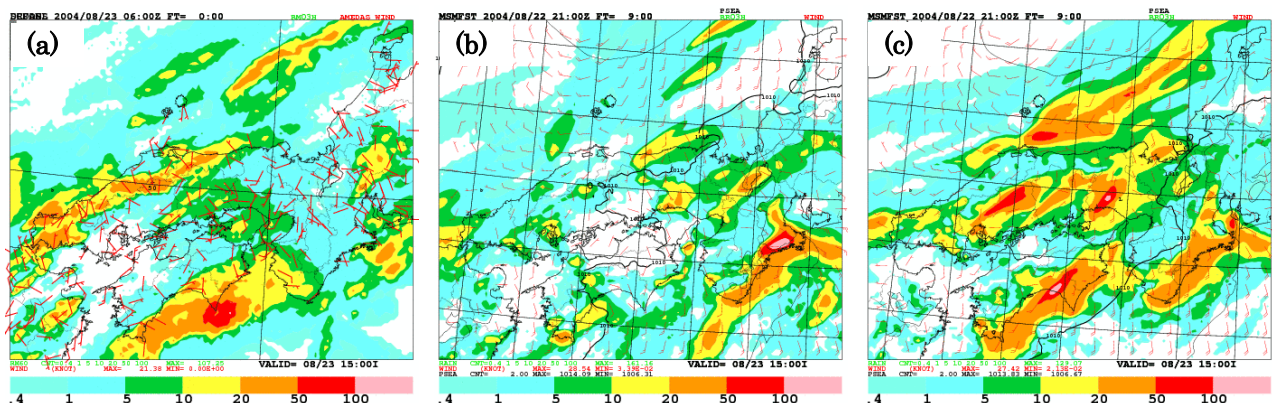


図 2.4.3 2004 年 8 月 23 日 03 UTC から 06 UTC までの 3 時間降水量 [mm/3h]。(a) 解析雨量、(b) RSM 境界 MSM による予想降水量、(c) GSM 境界 MSM による予想降水量。モデルは、初期時刻 2004 年 8 月 22 日 21 UTC からの 9 時間予想。