

# 第1章 領域拡張・予報時間39時間化されたメソモデルの特性

## 1.1 メソモデルの領域拡張・予報時間39時間化の概要<sup>1</sup>

メソモデル(MSM)は、2013年3月に予報領域が拡張された。また、2013年5月に全初期時刻における予報時間が39時間に延長された。表1.1.1に今回の変更前後の主な仕様を、また、図1.1.1に領域拡張前後の予報領域を示す。

本節では、仕様拡張の目的及び概要を説明する。続いて、第1.2節では、領域拡張の影響が顕著に現れた事例として、南からの暖湿気の流入による降水の事例、及び予報領域の側面境界付近に台風が位置する事例を説明する。さらに、降水や地上観測、高層観測との統計検証の結果についても説明する。最後の第1.3節では、予報時間の39時間化について、初期時刻別の降水の統計検証の結果を示し、事例を用いて境界値の影響を説明した上で利用上の注意点を述べる。

### 1.1.1 予報領域の拡張

MSMの予報領域の拡張の目的は、主な予報対象である日本付近から側面境界を遠ざけ、側面境界値として利用している親モデル(GSM)の予報値に近づける人工処理が施されている緩和領域(室井2012、原2008)の影響を軽減することである。具体的には室井(2011)にもあるように、①2013年5月に領域を拡張した局地モデル(LFM)へのより適切な側面境界値の提供、及び②MSMの側面境界に近い地域の予報精度の向上である。

①については、LFMの予報領域の南端が拡張前のMSMの領域の南側境界に非常に近く、緩和領域内となる見込みであったための処置である<sup>2</sup>。②については、前述したように、側面境界付近の人工処理が施されている緩和領域を遠ざけることにより、その影響を軽減し、側面付近の予報精度を向上させることが目的である。

次節以降で事例を用いて説明するように、予報領域の拡張による予報の改善は境界付近にとどまらず、予報の後半にかけては、境界から離れた地域で

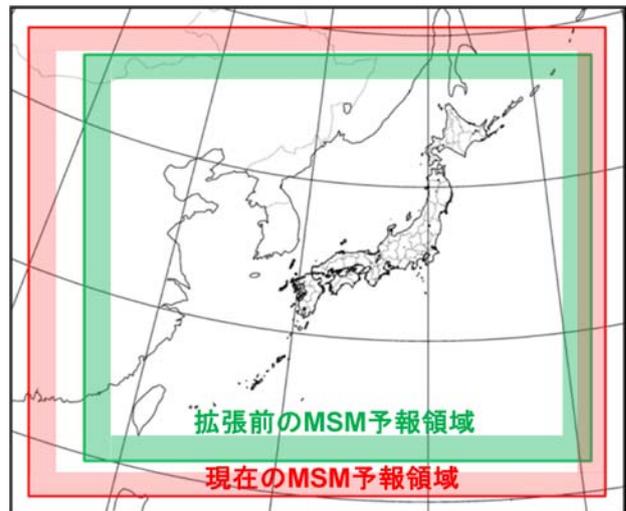


図 1.1.1 領域拡張前後の MSM の予報領域。赤枠が拡張後、緑枠が拡張前の予報領域。塗りつぶした領域は、拡張前後の境界緩和領域を表す(赤:拡張後、緑:拡張前)。

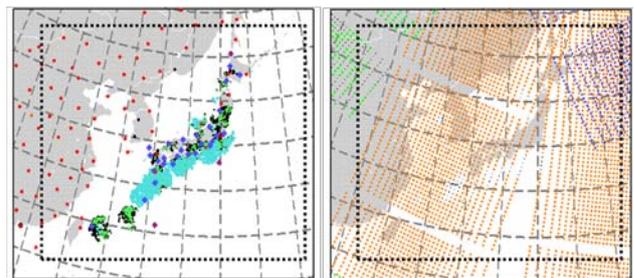


図 1.1.2 領域拡張後のメソ解析で利用された観測の分布。左図の赤点は、高層観測、右の緑点(NOAA-16)、橙点(METOP-2)、青点(NOAA-19)は衛星観測(AMSU-A)を示す。黒点枠が拡張前の MSM の予報領域(2011年7月26日03UTCの例)。

も精度向上を確認するなど、領域拡張の効果が広範囲に及んでいることがわかった。

今回の領域拡張により格子数が約3割増加しただけではなく、MSMの初期値を作成するメソ解析で利用する観測数も増加した(第1.2.1項、第1.2.2項を参照)。観測の増加の一例として、MSMの予報領域内における高層観測と衛星観測の分布の例を図1.1.2に示す。高層観測は西側と北側への領域の拡張により、大陸で利用できる観測が増えたことがわかる。また、南側及び東側に拡張された領域は大部分が海上であるため、主に衛星観測が増加したことがわかる。

### 1.1.2 予報時間の39時間化

従来、MSMの予報時間は、00,06,12,18UTC初期値においては15時間予報、03,09,15,21UTC初期値

<sup>1</sup> 第1章 越智 健太、石井 憲介

<sup>2</sup> LFMは側面境界付近では親モデルであるMSMの予報値とのギャップを抑えるため、人工処理(ダンピング)が行われる(室井2011、原2008)。解像度の違いからMSMよりもGSMの方がLFMとのギャップが大きいと考えられるため、GSMの影響が残るMSMの予報値を境界値としてLFMに与えるのは望ましくないと考えられる。また、緩和領域の人工処理されている予報値を境界値としてLFMに提供すること自体も望ましいことではない。

においては33時間予報であった。今回の変更で、全ての初期時刻において、予報時間を39時間に延長した。本変更の目的は、一般予報及び航空予報への利用の観点からの要望を受けたものであり、一般予報では予報作業の支援を強化するため、航空予報ではTAF（運航用飛行場予報）の有効期間と発表時刻の変更に対応するためである。

一方で、予報時間が延長された部分を利用する際には、境界値として用いるGSMと合わせて見ることが重要である。この点について、第1.3.4項で解説する。

表 1.1.1 予報領域の拡張・予報時間延長前後のMSMの仕様の比較

	変更前	変更後	補足
東西方向の格子数	721 格子(解析は 241 格子)	817 格子(解析は 273 格子)	西側に 76 格子、東側に 20 格子増加。
南北方向の格子数	577 格子(解析は 193 格子)	661 格子(解析は 221 格子)	北側に 36 格子、南側に 48 格子増加。
鉛直層数	50 層 (解析は 40 層)	50 層 (解析は 40 層)	変更なし。
水平格子間隔	5km (解析は 15km)	5km (解析は 15km)	変更なし。
境界緩和領域 (側面境界からの距離)	180km	180km	変更なし。
予報時間	15 時間(00,06,12,18UTC) 33 時間(03,09,15,21UTC)	39 時間 (00,03,06,09,12,15,18, 21UTC)	00,06,12,18UTC 初期値の予報時間を 15 時間から 39 時間に延長。 03,09,15,21UTC 初期値の予報時間を 33 時間から 39 時間に延長。

#### 参考文献

- 原旅人, 2008: 現業メソ数值予報モデルの概要. 数值予報課報告・別冊第54号, 気象庁予報部, 18-26.
- 室井ちあし, 2011: 数值解析予報システム. 平成23年度数值予報研修テキスト, 気象庁予報部, 61-65.
- 室井ちあし, 2012: 力学過程. 平成24年度数值予報研修テキスト, 気象庁予報部, 25-28.

## 1.2 予報領域の拡張

予報領域の拡張に関する仕様の変更内容は前節の表1.1.1のとおりである。本節では、予報領域を拡張した影響が顕著に現れた事例を通じて、その特徴を確認し、領域拡張の影響が統計検証結果にどのように現れているかを説明する。

### 1.2.1 領域拡張の影響が顕著に現れた事例

本項では、予報領域を拡張した影響が顕著に現れた2つの事例を紹介する。

なお、両事例ともに拡張後の予報領域でおこなった実験を「拡張領域実験」、拡張前の予報領域でおこなった実験を「旧領域実験」と呼ぶ。

#### (1) 事例1: 南からの暖湿気の流れによる降水

今回の変更で予報領域が南側に広がったことにより、南から流入する下層暖湿気と、それに伴う降水の予測精度が向上した事例について説明する。

本事例では、初めに実況と両実験の降水表現の違いを述べ、拡張領域実験の方が実況との対応が良かったことを示す①。次に、降水の予想の違いの原因の一つに下層水蒸気場の違いがあることを示し②、最後に、この違いが現れた理由を、両実験のメソ解析のインクリメント<sup>1</sup>を比較して説明する③。

#### ① 九州南部の降水表現の違い

2011年7月25～26日にかけて、太平洋高気圧が張り出し、その縁辺をまわる南からの暖湿気が西日本を中心に流入しやすい状況が続いていた(図1.2.1)。沖縄・奄美付近には降水域を伴う下層シアーラインがあり、25日には沖縄・奄美地方を中心に短時間強雨が観測された。その後、この降水域は、シアーラインとともに徐々に北上し、26日には九州南部に達した(図1.2.2左下図)。

本項では、拡張領域実験と旧領域実験で顕著な差が見られた7月25日03UTC初期値の予想における期間後半(FT=27)の九州南部付近の降水に注目して、予報領域拡張の効果を説明する。

まず、FT=27の降水量の予想を実況と比較すると、九州南部の降水は、拡張領域実験と旧領域実験ともに実況に比べて少ないが、拡張領域実験の方が実況に近い(図1.2.3)。アメダスの観測値と比べても、ピークの時間帯にずれはあるものの、拡張領域実験の方が実況との対応が良い地点が多かった(図略)。

<sup>1</sup> メソ解析では、前回の解析値を初期値とした3時間予報値(第一推定値)を観測で修正し、それを解析値と呼ぶ。解析値は、予報の初期値として用いられる。解析値作成の際に、第一推定値に加える修正量のことをインクリメントと呼ぶ(室井・佐藤 2012)。

次に、この降水が発生・持続した要因と両実験の降水予測の違いについて考察する。

#### ② 下層のシアーラインと暖湿気

まず、予想におけるシアーラインと降水の状況について述べる。

両実験ともに、MSM(2011年7月25日03UTC初期値)の予想によれば、この降水は下層のシアーラインに南からの暖湿気が流入し続けることでもたらされていた<sup>2</sup>。このシアーラインは25日06UTCでは奄美付近から北東側に伸びていた。その南側では降水を予想しており、シアーラインの北上とともに対応する降水域も徐々に北上していった。この降水域の北上は両実験ともに予想されており、実況と対応していた(図1.2.2、図は拡張実験のみ)。

図1.2.4に大気下層(975hPa)の比湿の水平分布と鉛直断面図及び鉛直速度の断面図を示す。この図から、シアーラインの南側は下層の水蒸気が多く、南風によってシアーライン近傍の対流が活発な領域に下層水蒸気が流入している状況がわかる。また、FT=3からFT=21にかけてシアーラインとともに対流が活発な領域は北上するが、北上しても下層水蒸気の流入は続いていることがわかる。この様子は両実験とも見られた。このように、MSMの予想では、この事例における降水は、(i)北上するシアーラインに(ii)南からの下層暖湿気の流れが続いたことが主な要因となっていることがわかる。これら(i)(ii)については解析場でも見られ、概ね実況を再現していたと考えられる。

(i)については、初期値においては沖縄付近のシアーラインは両実験ともにほぼ同じ場所に位置しており(図略)、予報時間が進んでも大きな違いはなく解析場との対応も良かった(図1.2.5)。

一方、(ii)については、シアーラインの南方における下層の水蒸気の差は顕著で拡張領域実験の方が多い(図1.2.6)。この初期値における下層の水蒸

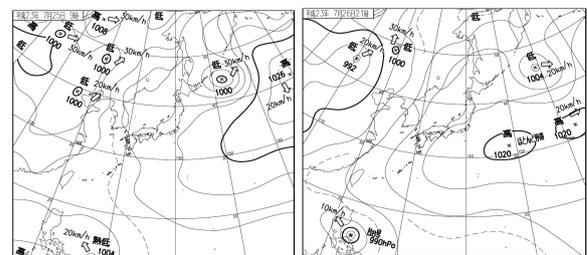


図 1.2.1 地上天気図(左図: 7月25日00UTC、右図: 7月26日12UTC)

<sup>2</sup> より正確にはシアーラインのやや南側にシアーラインにほぼ平行に伸びる収束線があり、その収束線に下層暖湿気が流入し降水をもたらしていた(図略)。予報が進むにつれて、シアーラインと収束線の区別は不明瞭になった。

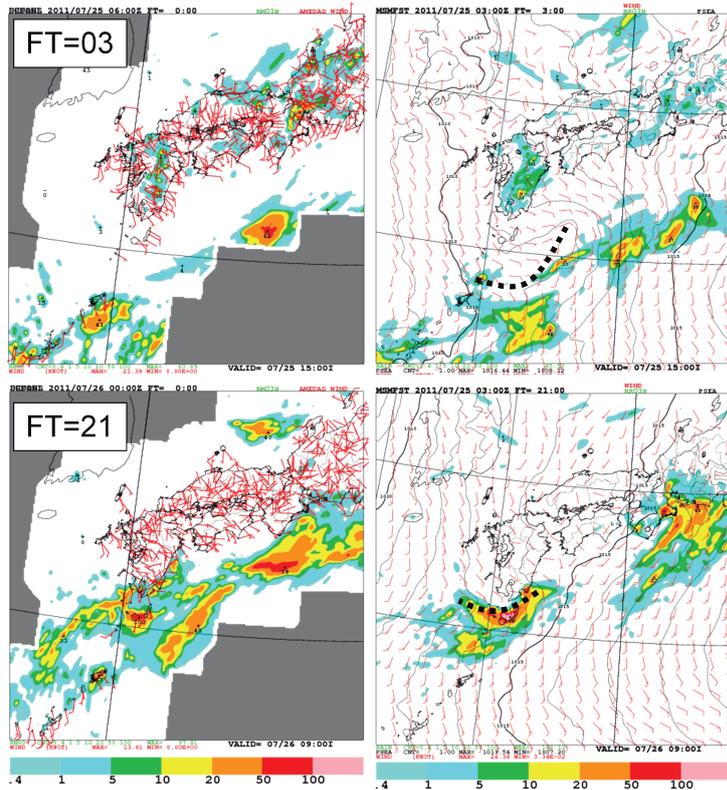


図 1.2.2 7月25日03UTC初期値の前3時間降水量(mm)と地上の風向・風速(ノット、矢羽根)の予想と実況。黒点線がシアーラインを表す。上段：FT=3、下段：FT=21。左列：解析雨量、右列：予想(拡張領域実験)

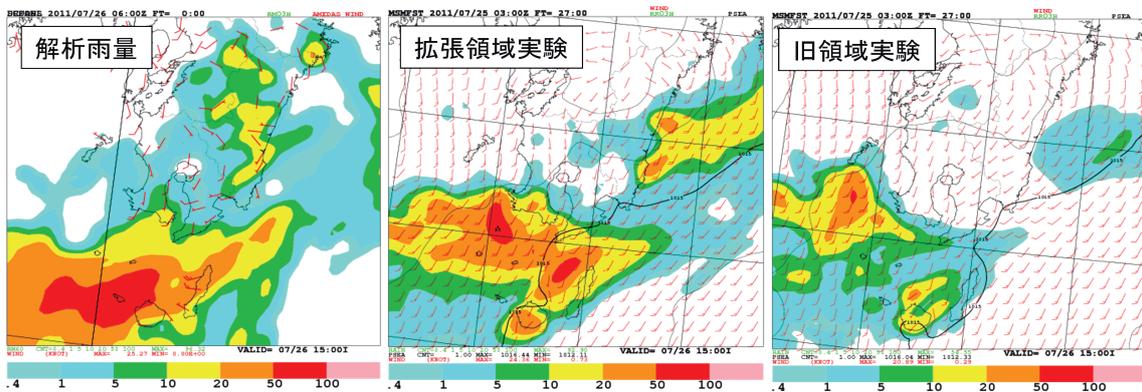


図 1.2.3 7月25日03UTC初期値の前3時間降水量(mm)と地上の風向・風速(ノット、矢羽根)の予想(FT=27)と実況。左図：解析雨量、中図：拡張領域実験、右図：旧領域実験。

気量の予想の差について示したものが図1.2.7である。初期値において旧領域実験に比べて水蒸気が多い領域(黒点線部)は、予報時間が進むにつれて北上し、FT=27前後で九州の南端付近に到達した。このことから、初期場における下層の暖湿気の違いが、両実験の降水の違い(図1.2.3)の要因のひとつであると推察される<sup>3</sup>。

<sup>3</sup> 両実験で降水の違いが見られた FT=27 をみると、シアーラインの南側では拡張領域実験の方が水蒸気フラックス(比湿と風速の積)が大きく、シアーラインに流入する水蒸気が多かった(図略)。その原因は、水蒸気と風速の両方であったが、ここでは水蒸気に注目して解説する。

### ③ 比湿のインクリメント

両実験について、初期場の下層暖湿気の違いを見るために、初期値を作成したメソ解析の結果をみてもみる。

図1.2.8に両実験におけるメソ解析の第一推定値の差と両実験のインクリメントを示す。この図から、25日03UTCにおいては、第一推定値の時点ですでに拡張領域実験の方が下層の水蒸気が多いことに加え、拡張領域実験では下層の水蒸気を増加させるインクリメントがあることがわかる(上段中図の黒点線領域)。一方で、旧領域実験には水蒸気のインクリメントはほとんど見られない。前時刻のメソ解

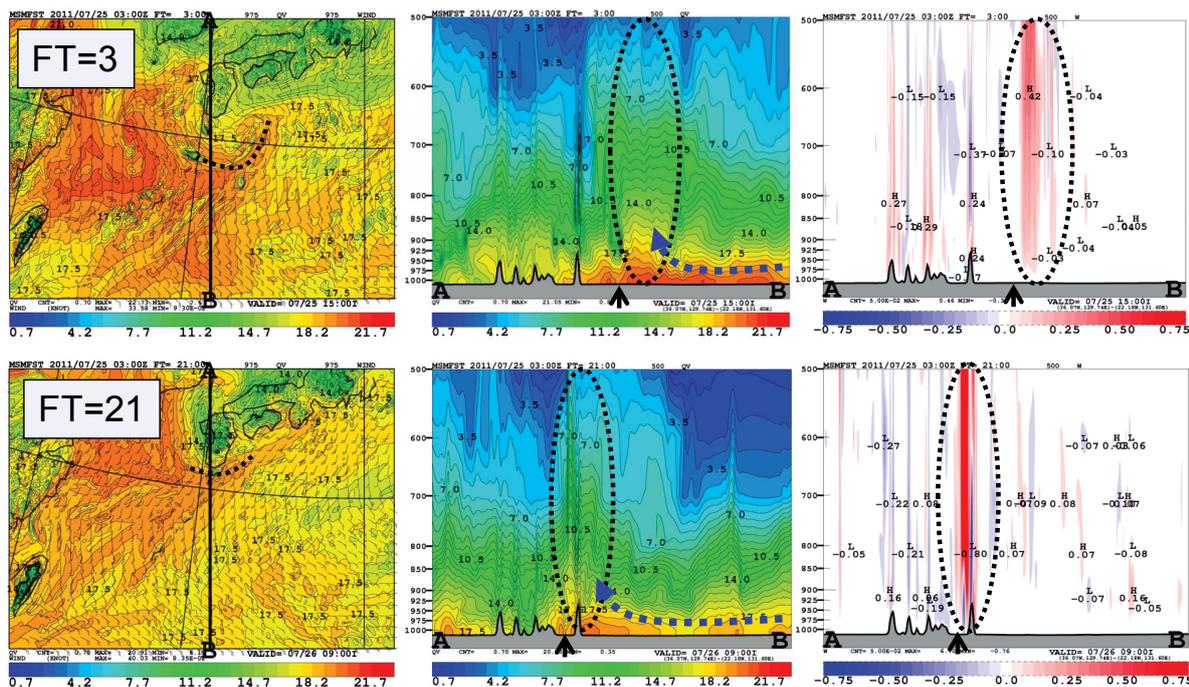


図 1.2.4 7月25日03UTC初期値(拡張領域実験)のFT=3及びFT=21の予報値。左から975hPaの比湿(g/kg)及び風向・風速(ノット、矢羽根)、比湿(g/kg)の鉛直断面図、鉛直速度(m/s)の鉛直断面図。左列の黒点線はシアアライン、中・右列図の黒点線で囲まれているのは対流が活発な領域、黒矢印は地上のシアアラインの位置、中列図の青点線は暖湿気が流入している様子を示す。鉛直断面図は、左列図の線分ABのもの。(シアアラインは、注目している降水付近のみ図示している)

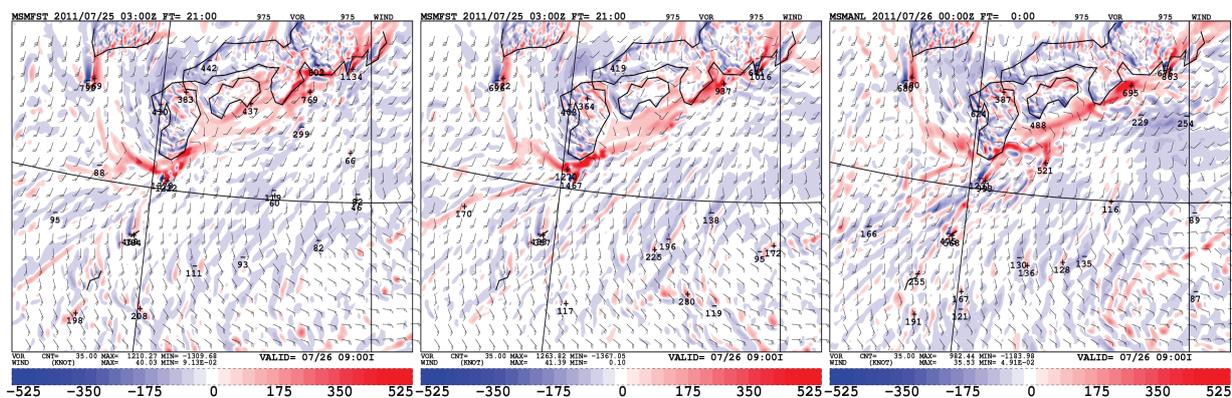


図 1.2.5 7月25日03UTC初期値のFT=21の975hPaの風向・風速(ノット、矢羽根)及び渦度(1/s、カラー)。左図：拡張領域実験、中図：旧領域、右図：解析値(拡張領域)。(旧領域実験と拡張領域実験のシアアラインは大きな差はなかった)。

析(25日00UTC)の結果をみても、25日03UTCと同様の傾向が見られる。旧領域実験においてインクリメントがほとんどない領域は、黒点線で囲まれた部分のみでなく、境界付近において広範囲に見られる。このインクリメントがほとんど見られない領域は、旧領域実験において境界緩和法を適用している領域(境界緩和領域)に対応しており(原 2008)、解析値を親モデルであるGSMの予報値に近づける効果が働くため、インクリメントが入りにくい状態になっている。一方、図1.2.8に示すように、拡張領域実験では、境界緩和領域が南に遠ざかったため

に、この領域に対して観測によるインクリメントが入った。この領域には高層観測やアメダスなどの観測がなく実況との検証は困難であるが、図1.2.9をみると、下層水蒸気に大きなインクリメントが見られる領域(図1.2.8の下段中図の黒点線部)に対応してマイクロ波イメージャの観測があり、これが下層水蒸気の修正に寄与したものと考えられる<sup>4</sup>。

<sup>4</sup> マイクロ波イメージャの同化による水蒸気量へのインパクトについては、計盛(2011)を参照。

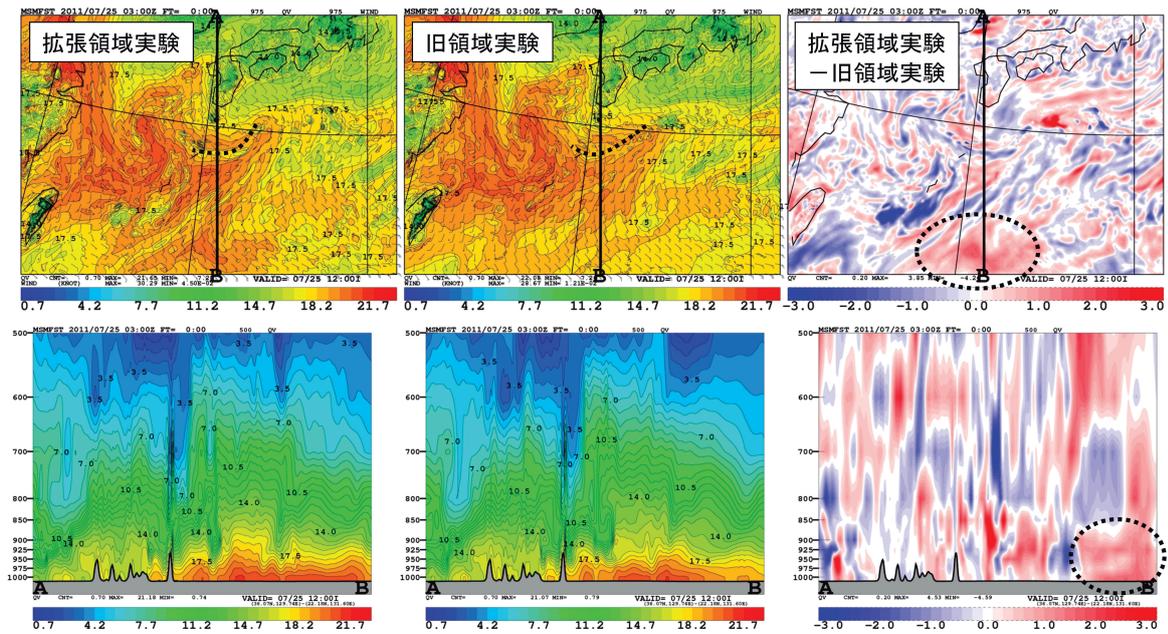


図 1.2.6 7月25日03UTCのMSM初期値における比湿(g/kg)の分布と差分(拡張領域実験から旧領域実験を減じたもの)。左列：拡張領域実験、中図：旧領域実験、右図：差分。上段は975hPa面の比湿及び風向・風速(ノット、矢羽根、下段は上段図の線分ABの断面図。黒点線部が下層の比湿の差に注目している領域(予報後半の降水の予測に影響した領域)。上段左図及び中図の黒点線はシアーラインを表す(シアーラインは、注目している降水付近のみ図示している)。

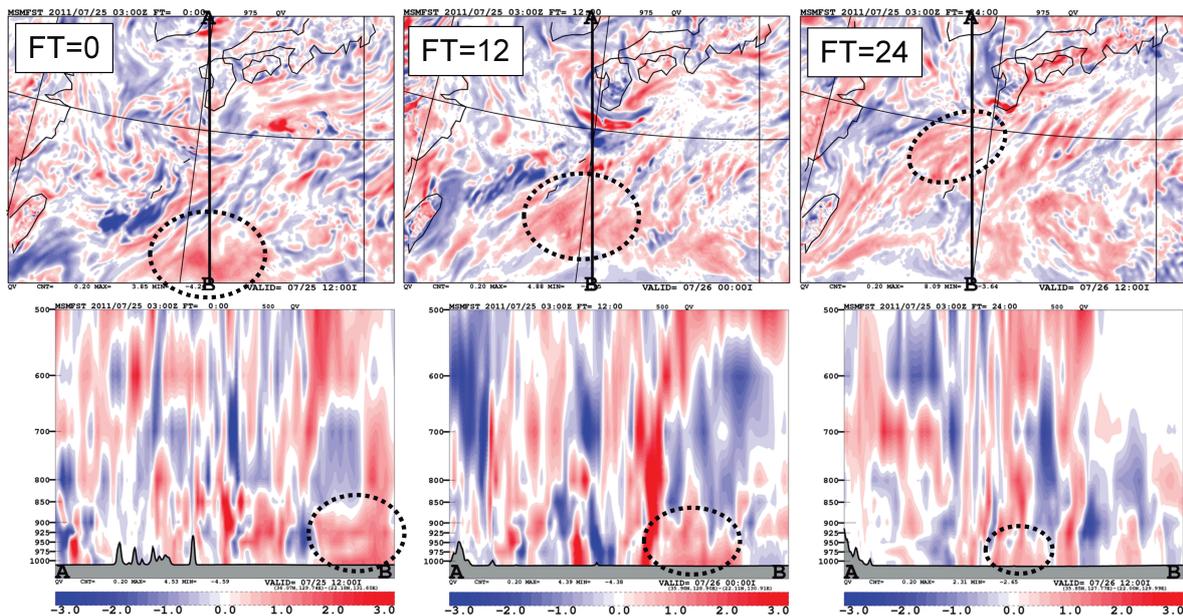


図 1.2.7 7月25日03UTCの拡張領域実験と旧領域実験の比湿(g/kg)の差分(上段は975hPa面)(拡張領域実験から旧領域実験を減じたもの)。左からFT=0,12,24。下段は上段の線分ABの鉛直断面図を示す。赤い領域は、旧領域実験よりも拡張領域実験が比湿が大きいことを示す。黒点線部は下層の比湿の差に注目している領域(予報後半の降水の予測に影響した領域)。

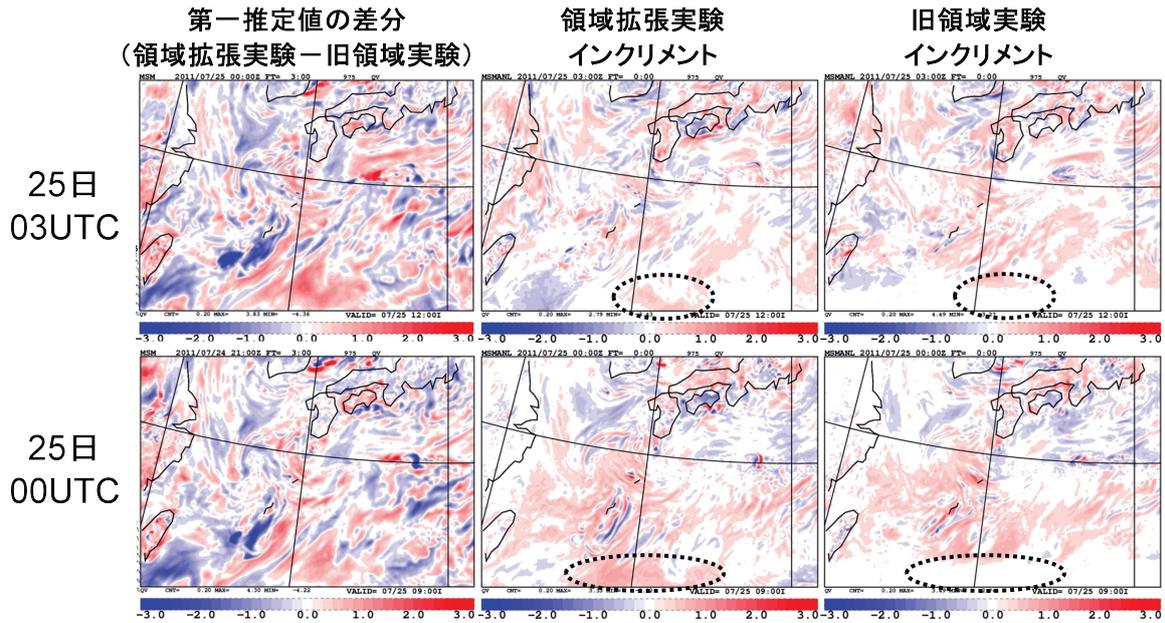


図 1.2.8 各初期値におけるメソ解析の下層(975hPa)の比湿(g/kg)の第一推定値とインクリメント。左図：第一推定値の差分(拡張領域実験から旧領域実験を減じたもの)、中図：拡張領域実験のインクリメント、右図：旧領域実験のインクリメント。上段は 25 日 03UTC、下段 25 日 00UTC 初期値。黒点線部は下層の比湿の差に注目している領域(予報後半の降水の表現に影響した領域)。

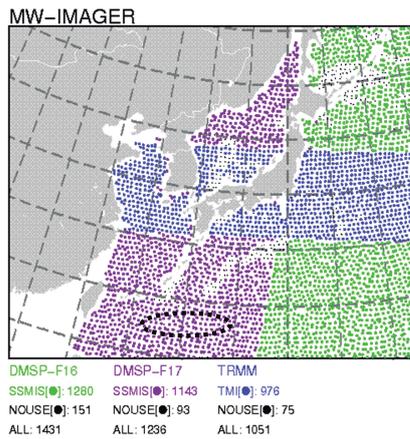


図 1.2.9 25 日 00UTC 初期値のメソ解析に使われたマイクロ波イメージャのデータ分布。青点、緑点、紫点が解析に使われた観測を示す。黒点線は、図 1.2.8 の下段中図及び下段右図の黒点線に対応する。

## (2) 事例2: 側面境界付近に台風がある例

今回の予報領域の拡張によって、MSMの予報領域は南側には約240km(48格子)広がった。これにより、境界緩和領域が日本付近から遠ざかったことに加えて、従来よりも広がった領域で解析に利用できる観測が増えた。ここでは、予報領域の拡張により、領域内に台風が入るタイミングが早まったために、台風ボーガスの投入が早くなった影響を調べるため、2011年の台風第9号を例に、特にMSMの南側の側面境界付近に着目して調査した結果を紹介する。

台風ボーガスとは、台風周辺の大気の解析精度を

上げることを目的として、台風構造を人為的に作成する擬似的な観測データである。現在、台風ボーガスは擬似観測型が採用されており、気象庁予報課によって解析された台風中心位置、中心気圧、強風半径などをもとに作成されている。これを他の観測と同様に解析に利用することにより解析値に台風の構造を反映させている(佐藤 2012)。MSMの初期値作成のためのメソ解析では、2003年からこの台風ボーガスを解析に利用している。

なお、本項では、メソ解析の解析結果と区別しやすくするために、気象庁の事後解析データ(ベストトラック)による台風の位置や中心気圧、暴風半径の値を「実況」と呼ぶ。

### ① 台風第9号の実況と解析値の比較

7月27日にマリアナ諸島近海で発生した台風第9号は西進の後に北進し、8月1日00UTCにはフィリピンの東をゆっくりと北進していた(図略)。その後、8月2日00UTCにかけて北上を続けたが、この時点では台風中心はまだ旧領域の外側にあった。この後、台風は進路を西寄りに変え、沖縄地方へ進んだ(図1.2.10)。

次にメソ解析の解析結果を確認し、領域の拡張が解析に与える影響をみている。

予報課の解析において、台風の中心がMSMの旧領域に入ったのは、8月2日03UTCである。その結果、旧領域実験では、メソ解析で台風ボーガスが使われ始め、解析値の台風の中心気圧は2日03UTCで

は971hPaだったものが、翌日3日03UTC初期値には946hPaと24時間で約25hPa低下した。この期間のメソ解析では、毎初期値ごとに、第一推定値に対して台風を中心気圧を下げるインクリメントが入った。これは台風ボーガスの影響と考えられる<sup>5</sup>(図1.2.11)。

一方、拡張領域実験の解析値の台風を中心気圧は、旧領域実験では971hPaであった2日03UTCにおいて、すでに949hPaと実況(945hPa)に近い値にまで下がっていた。これは、拡張領域実験では、旧領域実験に比べて予報領域が南に広いため、より早い段階から台風ボーガスが使われたためである<sup>6</sup>。

このように、拡張領域実験と旧領域実験のメソ解析において、台風ボーガスが解析に使われ始めるタイミングに差があり、台風を中心気圧で見ると拡張領域実験の方が早い時点で実況に近い状況になっていたことがわかった。メソ解析の結果は、MSMの初期値として使われるため、上述の解析値の違いはMSMの予想に直接影響すると考えられる。次に、南大東の観測値(気圧)と比較することにより予想への影響を説明する。

## ② 地上気象観測との比較

図1.2.12は、南大東の海面更正気圧の予報値と観測値の時系列である(2日03UTC初期値)。予報初期では、旧領域実験と拡張領域実験の予報値に差はほとんど見られないが、予報時間が進むにつれて拡張領域実験の方が実況との対応が良くなっていることがわかる。これは、予報初期では台風中心から観測地点が離れていたため両実験の差は小さいが、台風が接近するにつれて差が現れてきたためであり(図1.2.13)、拡張領域実験の方が台風の気圧の予想が実況に近かったためと考えられる。

また、拡張領域実験、旧領域実験ともに、予報の後半で気圧が上昇し、実況の推移からずれている。

<sup>5</sup> MSMに境界値を与えるGSMの初期値を作成する全球速報解析でも台風ボーガスは使われている。このため、メソ解析で台風ボーガスが使われる前から間接的には台風ボーガスの影響はある。しかし、GSMでは、台風を中心気圧は、この前後の期間(8/1 00UTC~8/4 00UTC)は実況に比べて高い値(970hPa以上)であった(図略)。

<sup>6</sup> 両実験ともに、解析値の台風を中心気圧が急激に下がり始めたのは、台風ボーガスが使われ始めた直後ではなかった(例えば、拡張領域実験の場合、2日00UTC前後)。これは、中心気圧が下がり始める前は、台風中心が境界緩和領域にあったためと考えられる。なお、現在のルーチンのメソ解析では、安定して計算を行うために、境界緩和領域では、台風ボーガスは使われない設定となっている。このため、この実験と同様に、メソ解析において、境界緩和領域を抜けた後に台風中心気圧が急に下がる場合があることに注意が必要である。

これは、両実験ともに実況に比べて台風が早く遠ざかったためである(図略)。

## ③ 暴風半径についての比較

実況によると、8月2日03UTC~3日12UTCにかけての期間は、台風の暴風半径は170kmであった。旧領域実験と拡張領域実験の風速を比較したものが図1.2.14である。両実験の暴風域(約50ノット以上の領域)を比較すると、初期値において実況に近いのは拡張領域実験であり、それは予報時間が進んでも同様であった。また、この初期値以外についても、解析値の台風に大きな差が見られた時刻の予報については同様の改善が見られた。



図 1.2.10 2011 年台風第 9 号の経路図(メソ解析で利用された台風ボーガスの中心位置を繋げたもの)。旧領域(左図)と拡張領域(右図)の南西部分を拡大したもの。台風中心は3時間おきにプロットしている。赤線の外側が境界緩和領域、赤矢印は台風中心が旧領域に進入した最初の解析時刻(2日03UTC)の地点を示す。それぞれ図内の日時は、台風ボーガスが最初に投入された日時。左図の斜線部は、今回の領域拡張により拡張された領域を表す。

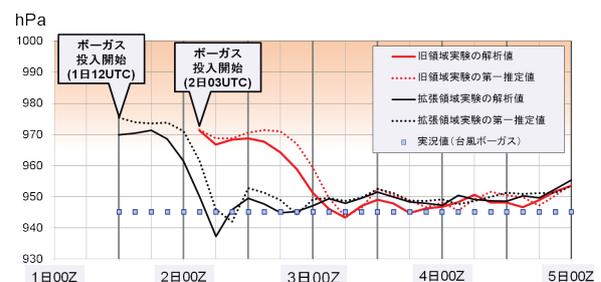


図 1.2.11 拡張領域と旧領域の台風を中心気圧の時系列(メソ解析)。点線が第一推定値、実線が解析値。黒線が拡張領域実験、赤線が旧領域実験、青四角が実況(台風ボーガス)を表す。

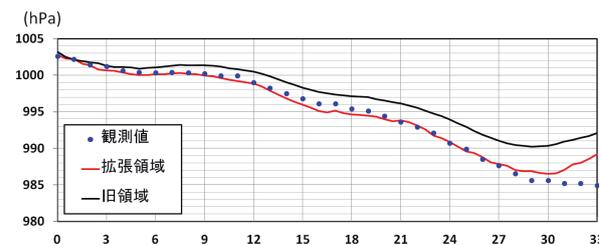


図 1.2.12 南大東における拡張領域実験(赤線)と旧領域実験(黒線)の海面更正気圧(hPa)の予報値と観測値(青点)の時系列(2日03UTC初期値)。

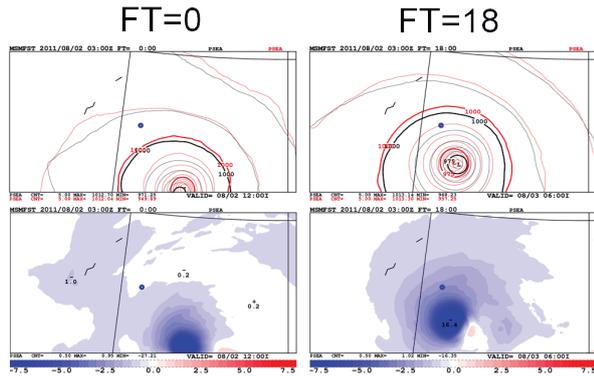


図 1.2.13 両実験における地上気圧(hPa)のMSM 予報値(上図)と差分(下図)(差分は拡張領域実験(赤線)から旧領域実験(黒線)を減じたもの)。左列が FT=0、右列が FT=18。初期値は 2 日 03UTC。青点は南大東の位置を表す。

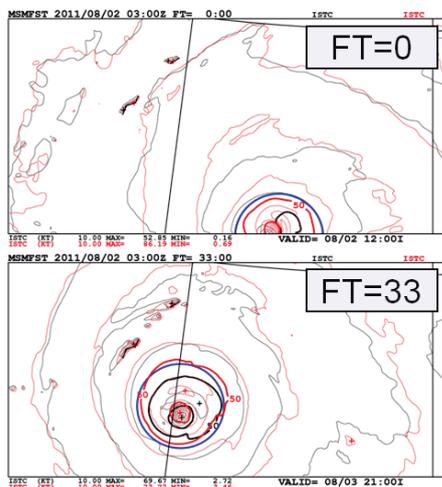


図 1.2.14 拡張領域実験(赤線)及び旧領域実験(黒線)における風速(ノット)のMSM 予報値。8月2日03UTC初期値のFT=0(上図)及びFT=33(下図)。青線は半径170kmの円。

### (3) まとめ

本項では、2つの事例を通じてMSMの予報領域が拡張された影響を見てきた。(1)の南からの暖湿気の流入による降水の事例では、旧領域では境界緩和領域だった領域が領域拡張後は観測データの効果によるインクリメントが入りやすくなったことにより下層の水蒸気が増えた結果、降水の予測精度が向上したことが確認できた。また、(2)の台風が南側の境界付近に位置する事例では、領域が広がったことにより台風ボーガスがより早い初期値の予報から使われるようになり、台風の強度の予測精度が向上したことが確認できた。

ここで紹介した事例に共通する点として、まず予報領域が拡張されたMSMでは、旧領域に比べて境界が広がり観測が増えたことである。さらに、境界緩和領域が遠ざかったことにより、境界付近の観測

(台風ボーガス含む)がMSMの初期値に反映されやすくなっていた。これらによって、従来より多くの観測データが利用され初期値が改善された結果としてMSMの予測精度の向上につながったといえる。

## 1.2.2 領域拡張したMSMの統計検証

### (1) はじめに

前項では、MSMの領域拡張によって利用できる観測データが増加した結果、初期値の精度向上を通じて、MSMの予測が改善された事例を示した。本項では、解析・予報サイクルを通じたMSMの予測特性の変化を見るために統計検証を行った結果を示す。

実験期間は、夏実験期間が2011年7月22日～8月15日、冬実験期間が2012年1月8日～1月31日である。ここでも、前項までと同様に拡張後の予報領域で行った実験を拡張領域実験、拡張前の予報領域で行った実験を旧領域実験と呼ぶ。検証対象とする予報時間は、予報後半における領域拡張による影響も合わせて見るために、従来33時間予報であった03, 09, 15, 21UTC初期値の予報を検証対象とした。また、本文中で用いる統計的な指標の詳細については、付録Cを参照されたい。

### (2) 降水の統計検証

図1.2.15に、FT=33までの全ての予報時間を対象とした閾値ごとのエクイタブルスレットスコア(ETS)とバイアススコア(BI)を示す。検証格子は20km、検証領域は陸上及び海岸から40km以内の海上格子を含むものとした。また、検証には解析雨量の3時間積算降水量を検証格子内で平均したものを使用した。これらの検証の設定は、MSMが表現しうる現象(水平格子間隔の5～8倍程度)を、その現象の時間スケール程度の幅を持って評価するためのものである。まず、夏実験期間におけるETSを見ると、全ての閾値で領域拡張による精度の向上が見られる。BIは、強い雨で過大であるものの、弱い雨では1に近づいていることが分かる。このような降水予測特性の変化は、拡張領域実験において旧領域よりも増加した観測データを取り除いた実験では見られなかった(図略)。このことは、従来の側面境界付近で利用できる観測データが増加した結果、解析・予報サイクルを通じて予測精度が向上したことを示唆している。第1.2.1項で示した南からの暖湿気の流入による降水事例は、その一例を示している。

一方、冬実験期間では、信頼区間の範囲で有意な関係は判定できないものの、10mm/3h以上を閾値とする降水など強い降水を対象としたETSで、拡張

領域実験が旧領域実験をやや下回る結果が得られている。冬期間に強い降水をもたらす現象は主に南岸低気圧であり、ある事例での局所的な降水表現の違いがETSの差に寄与していたことを確認している。

### (3) 地上の気温・相対湿度・風速の統計検証

図1.2.16に、夏実験期間における地上気温・相対湿度・風速の平均誤差(ME)と平方根平均二乗誤差(RMSE)を示す。検証には、日本国内における地上気象観測地点、アメダス観測地点における地上気象観測データを用いた。検証方法の詳細は草開(2013)を参照されたい。これらを見ると、夏実験期間における相対湿度のRMSEがやや小さくなっている傾向は見られるが、拡張領域実験と旧領域実験との間に大きな違いは見られない。また、ME・RMSEに見られる傾向も長澤(2008)で示されている旧領域MSMの統計結果と大きな違いは見られない。気温については、日中に負バイアス、夜間に正バイアスが見られており、気温の日変化の振幅が実況よりも小さいことを示している。また、風速については日中の負バイアス、夜間の正バイアスが見られ、実況よりもMSMの地上風速が日中は弱く、夜間は強いことが分かる。これらの要素で見られるME・

RMSEの傾向は、図1.2.17に示す冬実験期間でもほぼ共通に見られるが、冬は特に夜間の気温の負バイアスが大きいことが分かる。

### (4) 高層の高度・気温・相対湿度・風速の統計検証

図1.2.18、図1.2.19にそれぞれ夏・冬実験期間における高層の高度・気温・相対湿度・風速のME・RMSEを示す。検証には、日本国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た。地上検証と同様に、検証方法の詳細は草開(2013)を参照されたい。これらも、拡張領域実験と旧領域実験で明確な差は見られない。

### (5) まとめ

ここまでの統計検証によって、特に夏期間について、MSMの領域拡張により降水予測精度が向上したことが示された。これは、領域を広げた部分の新たな観測データが利用できるようになった効果であり、第1.2.1項の事例で確認された内容と整合するものがある。なお、地上・高層検証では、領域拡張前後で各要素のバイアス傾向に大きな変化は見られなかった。

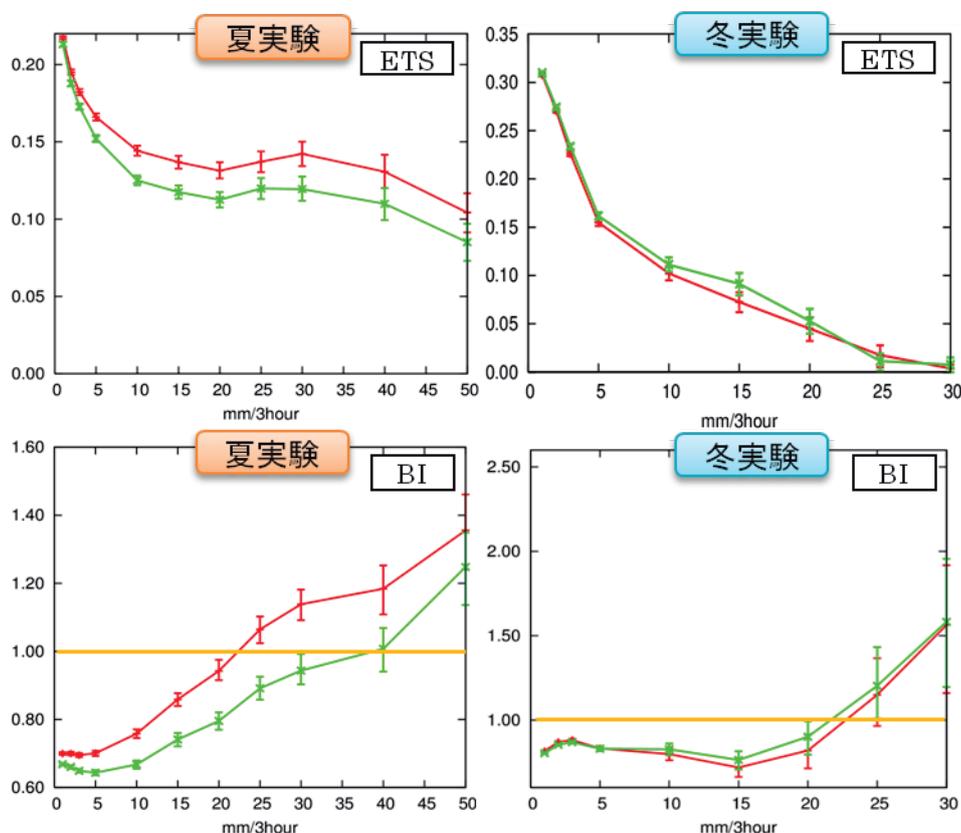


図 1.2.15 夏実験と冬実験における拡張領域実験（赤線）、旧領域実験（緑線）の閾値ごとの降水スコア。検証には20km 検証格子内の解析雨量の3時間積算降水量の平均を使用。上段：ETS、下段：BI。左列：夏実験期間（2011年7月22日～8月15日）、右列：冬実験期間（2012年1月8日～1月31日）。エラーバーは95%信頼区間を示す。

## 参考文献

- 計盛正博, 2011: メソ解析における衛星観測輝度温度データの同化. 平成23年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 3-8.
- 草開浩, 2013: 現業モデルにおける検証(メソモデル). 数値予報課報告・別冊第59号, 気象庁予報部, 16-24.
- 佐藤芳昭, 2012: 擬似観測. 平成24年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 9-10.
- 長澤亮二, 2008: 2007年11月に更新された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. 平成20年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 31-37.
- 原旅人, 2008: 現業メソ数値予報モデルの概要. 数値予報課報告・別冊第54号, 気象庁予報部, 18-26.
- 室井ちあし, 佐藤芳昭, 2012: データ同化手法. 平成24年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 18-20.
- 室井ちあし, 2012: 力学過程. 平成24年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 25-28.

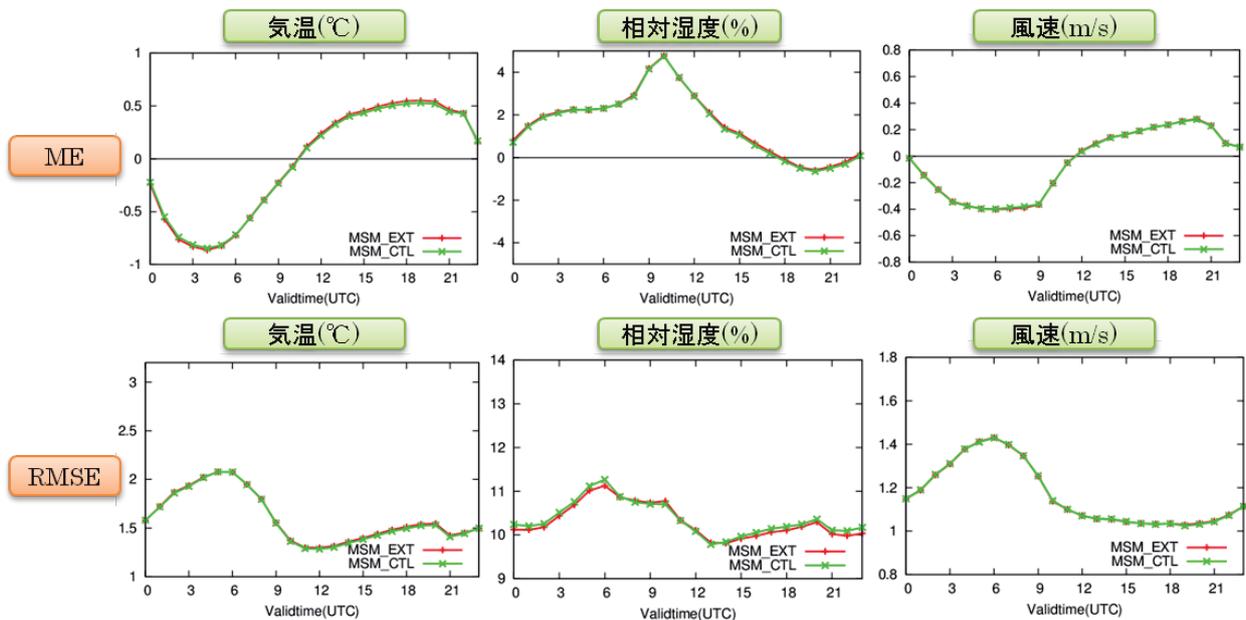


図 1.2.16 夏実験期間（2011年7月22日～8月15日）における地上の気温(°C)（左列）、相対湿度(%)（中列）、風速(m/s)（右列）に対する予報対象時刻ごとのスコア。上段：ME（平均誤差）、下段：RMSE（平方根平均二乗誤差）。MSM\_EXT：拡張領域実験、MSM\_CTL：旧領域実験。横軸は予報対象時刻(UTC)。

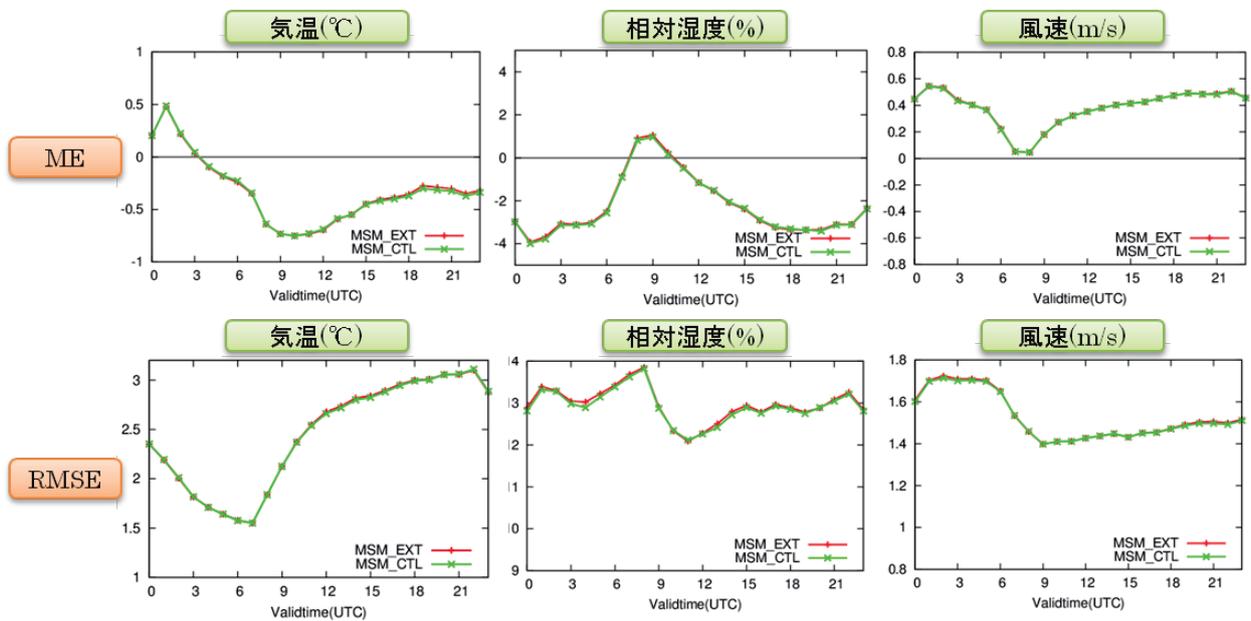


図 1.2.17 図 1.2.16 と同様。ただし、期間は冬実験期間（2012年1月8日～1月31日）。

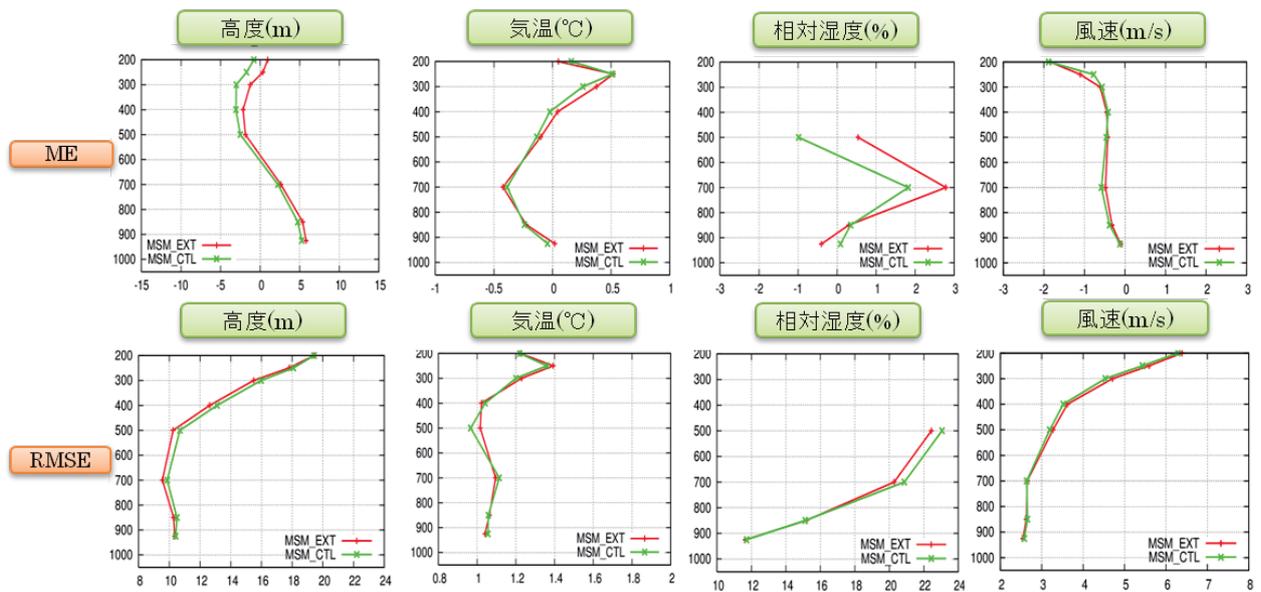


図 1.2.18 夏実験期間（2011年7月22日～8月15日）における03UTC、15UTC初期値のFT=33における対ゾンデ検証結果。要素は左から順に高度(m)、気温(°C)、相対湿度(%）、風速(m/s)。上段：ME（平均誤差）、下段：RMSE（平方根二乗平均誤差）。MSM\_EXT：拡張領域実験（赤線）、MSM\_CTL：旧領域実験（緑線）。縦軸は気圧(hPa)。

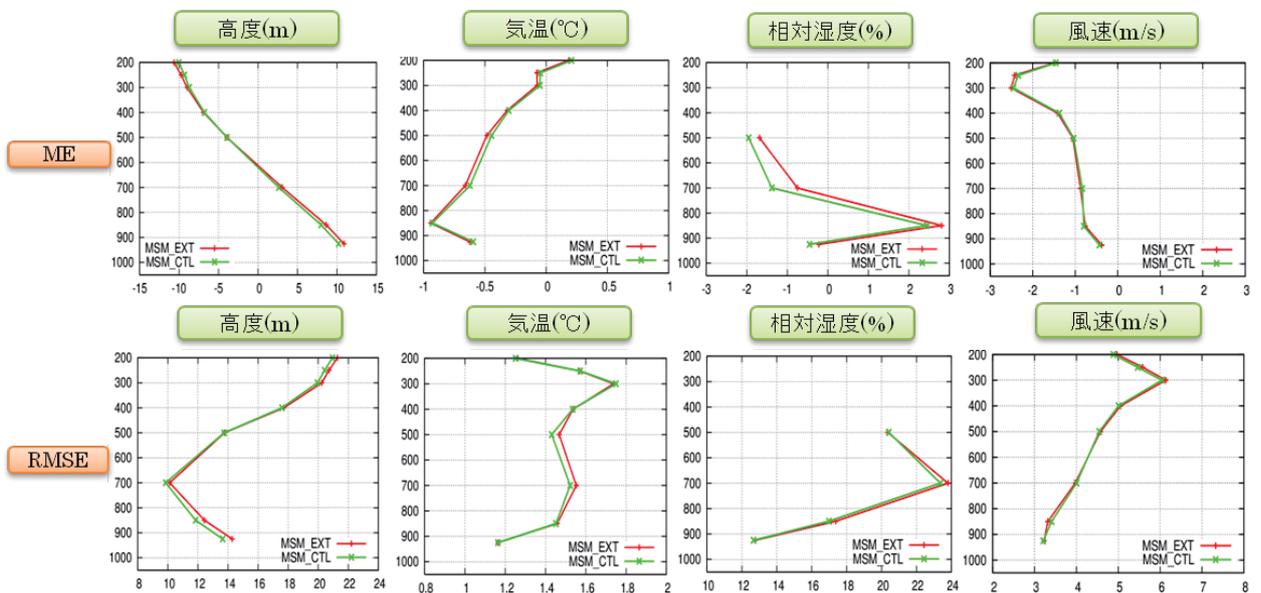


図 1.2.19 図 1.2.18 と同様。ただし、期間は冬実験期間（2012年1月8日～1月31日）。

### 1.3 予報時間を39時間に延長したMSMの初期時刻別統計検証

#### 1.3.1 はじめに

第1.1節で述べたように、平成25年5月の変更でMSMの予報時間は1日8回全ての初期値で39時間に延長された。本節では、領域拡張MSMの延長された予報時間における予測精度について評価する。そのために、まず次項で、森安(2009)と同様に初期時刻別に降水予測特性検証を行うことによって、各初期時刻の予報の予報時間延長部分における予測精度を確認した結果を示す。

#### 1.3.2 初期時刻別の降水予測特性検証

ここでは 2012年1月8日～2月7日（冬実験期間）、

2012年6月29日～7月29日（夏実験期間）の各1か月の期間を対象とした、領域拡張MSMにおける初期時刻別の降水予測の対解析雨量検証結果を示す。なお、検証格子・検証領域は第1.2.2項と同様である。

図1.3.1に冬実験期間のETS及びBIの時系列を初期時刻ごとに示す。まず、初期時刻別のETSの時系列図（上段）を見ると、新しい初期時刻から始まる予報ほど予報初期で前初期値よりも精度が良いことが分かる。このことは最新の観測データを同化している最新初期値による予測の精度が最も良いことを示している。この検証結果は森安(2009)と同様である。

次に、予報初期時刻から追って見ると、予報初期では18UTC初期値の予報のETSは、1つ古い初期時刻の15UTC初期値よりも良い。しかし、予報時間が

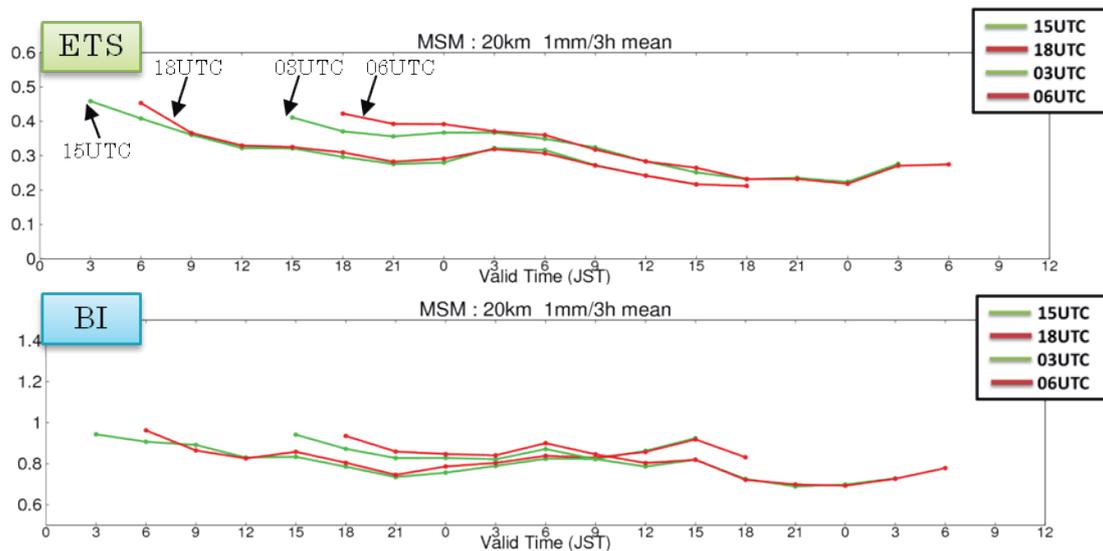


図 1.3.1 1mm/3h以上の降水を対象とした初期時刻別のETS（上段）及びBI（下段）の時系列。横軸は予報対象時刻（日本時間）を示し、初期時刻別の降水スコアが予報対象時刻の順に並んでいる。期間は2012年1月8日～2月7日（冬実験期間）。緑線は03, 15UTC初期値の予報、赤線は06, 18UTC初期値の予報を表し、最も左から始まる線が15UTC初期値である。

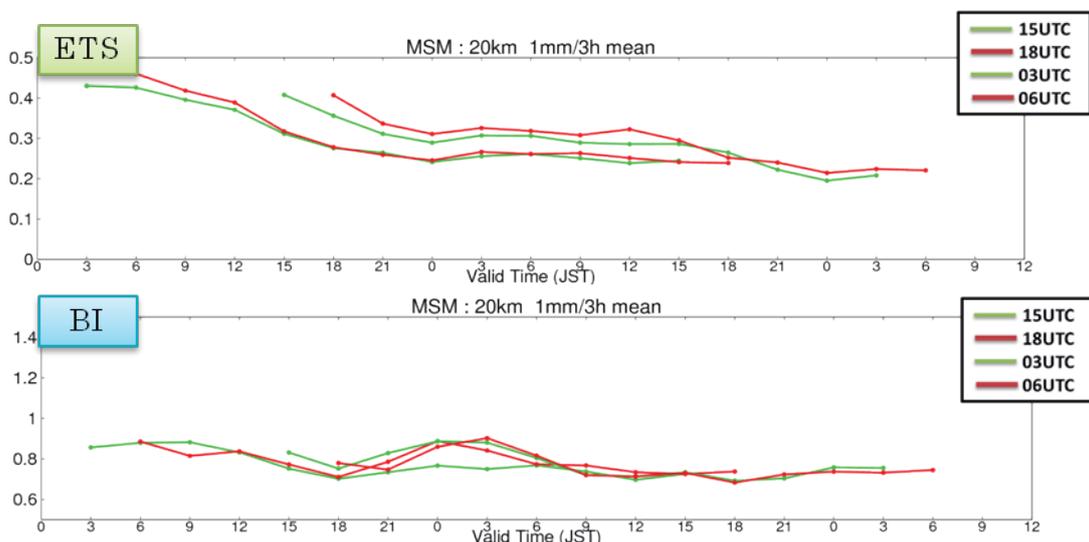


図 1.3.2 図 1.3.1 と同様。ただし期間は2012年6月29日～7月29日（夏実験期間）。

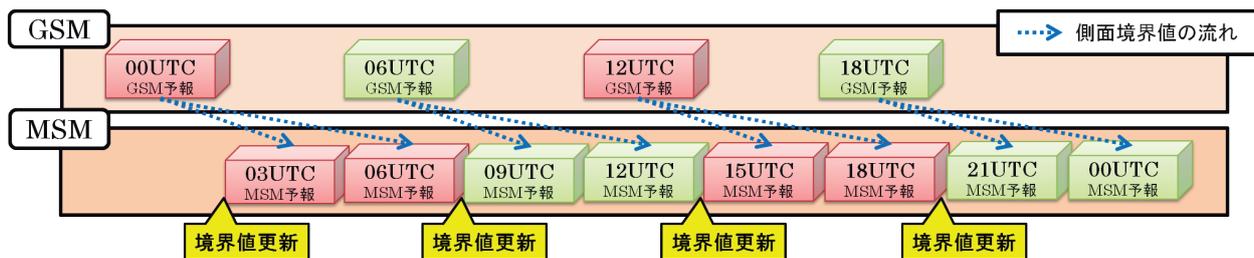


図 1.3.3 MSM が側面境界値として用いる GSM 予報値の初期時刻と MSM の初期時刻との関係。

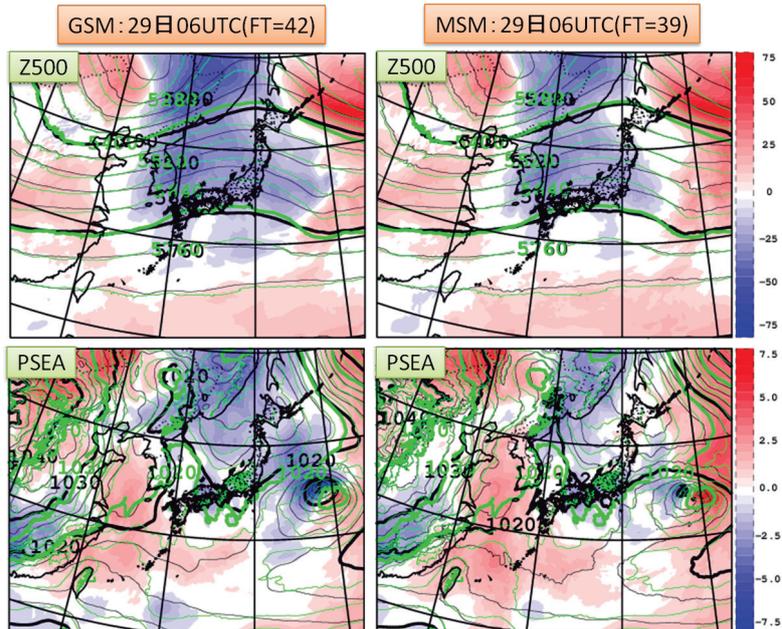


図 1.3.4 2012 年 12 月 29 日 06UTC を対象とした GSM (2012 年 12 月 27 日 12UTC 初期値) (左列) とその GSM 予報値を側面境界値とする MSM (同日 2012 年 12 月 27 日 15UTC 初期値) (右列) の予報値 (黒線)。参照値とするメッシュ解析は緑線で示し、赤青塗り分けは予報値と解析値との差を示す。上段：500hPa 等圧面高度(m)、下段：海面更正気圧(hPa)。

経過すると次第にその差は小さくなり、15UTC初期値予報のFT=6~15付近では、ほぼ同じ精度を示すようになる。その先の予報時間でも、ETSの値はほぼ同じであり、前後した2初期値の予報の予測精度が同程度であることを示唆している (BIも2初期値間で大きな差は見られない)。03UTC、06UTC初期値の予報についても同じ傾向が見られる。ただし、夏実験期間についてはFT=15以降でも、新しい初期値の予報の方がやや精度のよい傾向が見られる。

以上のことから、予報初期については最新初期値の予報の予測精度が最も良い一方で、大幅に予報時間が延長された00、06、12、18UTC初期値の予測精度は、予報時間が進むにつれて前初期値の03、09、15、21UTC初期値の予測精度とほぼ一致していることが分かる。このような特性を理解するため、次項で側面境界値の影響について述べる。

### 1.3.3 MSMで用いる側面境界値とその影響について

領域モデルは、地球全体で連続している大気のある

一部の領域のみを予測対象とする。領域モデルではその外側の気象状態を予測していないため、領域の縁 (側面境界) を通じて出入りする大気の状態は分からない。そこで、領域モデルであるMSMに対して、それが実行される時点で最新初期値のGSM予報値を用いて側面境界から流入・流出する質量を与えている。図1.3.3は、MSMが側面境界値として使用するGSM予報値の初期時刻とMSMの初期時刻との関係を示している。図1.3.3が示すように、MSMで用いる側面境界値は、03、09、15、21UTC初期値の予報で新しい初期時刻のGSM予報値に更新され、06、12、18、00UTC初期値の予報は、前初期値の予報と同じGSM予報値を側面境界値として用いるという関係がある。

この側面境界値の利用の関係を踏まえて、前項で示した降水の予測精度を見ると、同じGSM予報値を側面境界値として利用している2つの初期値のMSM予報の予測精度がほぼ同じになっていることがわかる。このことから、MSMの予報が側面境界値の影響を大きく受けることが示唆される。

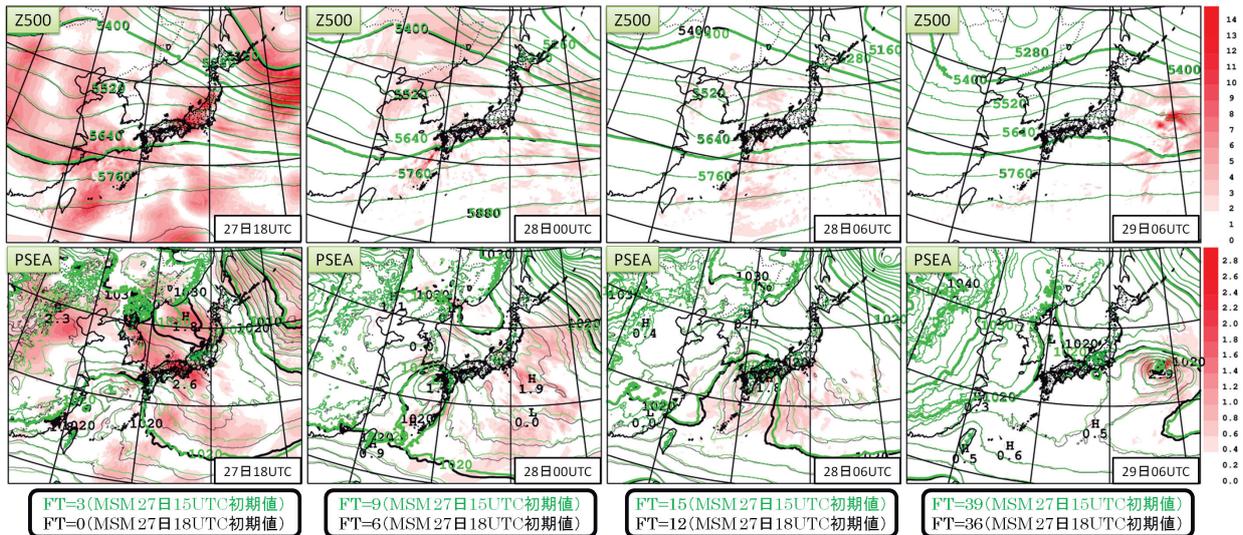


図 1.3.5 同じ GSM 予報値を側面境界値とする MSM の 2 つの初期値 (2012 年 12 月 27 日 15UTC 初期値、同日 18UTC 初期値) の予報の差 (平方根平均二乗差; RMSD)。予報対象時刻は左から順に 27 日 18UTC、28 日 00UTC、28 日 06UTC、29 日 06UTC を示す。上段: 500hPa 面高度(m)、下段: 海面更正気圧(hPa)。

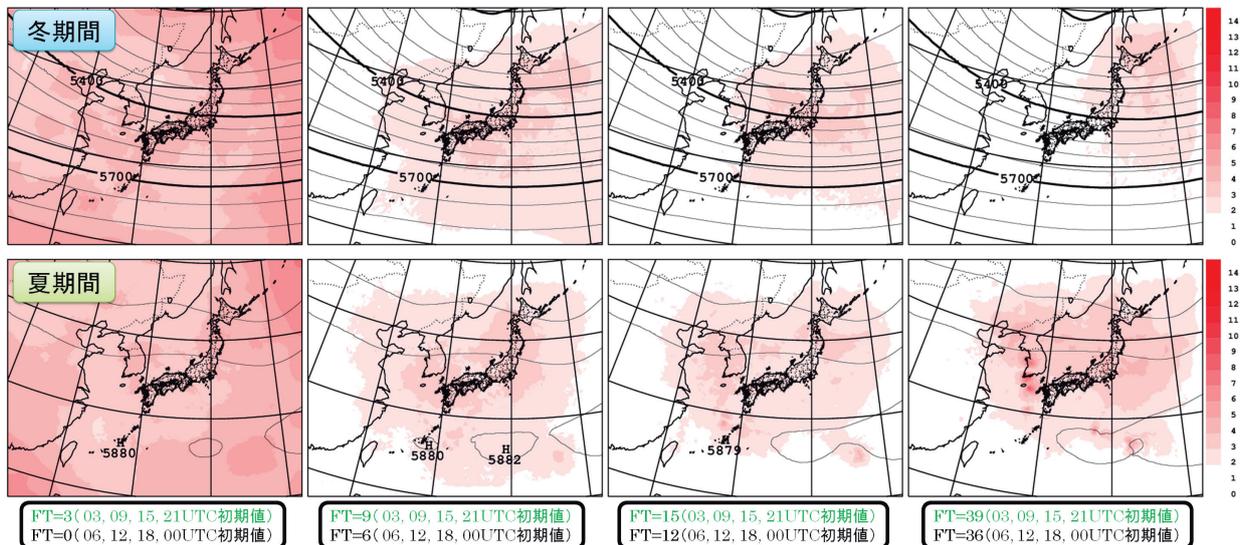


図 1.3.6 図 1.3.5 で示した 500hPa 面高度の差の 1 か月分の平均をとったもの。等値線は 500hPa 面高度の 1 か月平均を示す。上段: 統計期間 2012 年 1 月 8 日~2 月 7 日 (冬実験期間)、下段: 統計期間 2012 年 6 月 29 日~7 月 29 日 (夏実験期間)。MSM の 2 つの初期値の予報時間は図 1.3.5 と同様である。

では実際に、MSMの予報と側面境界値として用いたGSM予報値とを比べてみる。図1.3.4に2012年12月29日06UTCを予報対象時刻としたGSM (27日12UTC初期値FT=42)、そのGSM予報値を側面境界値として利用しているMSM (27日15UTC初期値FT=39) による500hPa面高度と海面更正気圧の予報 (図中の等値線) と、参照値として用いるメソ解析からの差 (図中の赤青塗り分け) を示す。メソ解析に対する予報誤差の分布はGSMとMSMで類似したパターンを示しており、MSMの予報がGSMと類似した予報になっていることを示している。

MSMの予報が側面境界値として用いたGSM予報値と類似したものになりうるのであれば、同じGSM予報値を側面境界値に用いている2つのMSMの予

報も類似したものになることがあると予想される。その例として、図1.3.5に、同じGSM予報値を側面境界値として用いる2つの初期値 (27日15UTC、同日18UTC) のMSMの予報について、同じ予報対象時刻の予報値とその差 (平方根平均二乗差; RMSD) を示す。予報初期 (図1.3.5左端) には、新しい初期値にメソ解析による修正が加わるために差が大きいが、予報時間の経過とともに2つの予報の間の差が小さくなっていることが分かる。すなわち、予報時間の経過とともに、側面境界値が同じMSMの予報は類似したものになっていることを示している。

これまで、事例を通じて同じ側面境界値を用いたMSMの予報の類似性を示してきたが、これは統

計的にも確認することができる。図1.3.5で計算したような同じ側面境界値を用いるMSMの予報の差を冬期間、夏期間それぞれについて1カ月分にわたって平均をしたものが図1.3.6である。冬期間、夏期間ともに、図1.3.5の事例で見たように、予報時間の経過とともに同じ側面境界値を用いたMSMの予報値の差は小さくなることを見て取れる。このために、同じGSM予報値を側面境界値としたMSMの降水予測精度が、予報時間の経過とともにほぼ一致するようになるという特徴（第1.3.2項）を持つと考えられる。

なお、予報時間の経過による2つのMSMの差は、冬期間よりも夏期間の方が大きく、冬期間の方がより側面境界値の影響を受けやすいことがわかる。

### 1.3.4 予報時間が延長されたMSMの利用上の注意点

これまでの議論を踏まえて、予報時間が延長されたMSMの利用上の注意点を述べる。

- 森安(2009)で行われた統計検証と同様、最新初期値の予報の予測精度が最も良い傾向があることを示した。これまでと同様、最新初期値の予報を重視して利用することを基本としていただきたい。
- 複数の初期時刻の予報を比較することで予報の不確実性を評価することが行われており、初期値が更新されても予報の変化が小さい（初期値変わりが小さい）場合には、不確実性が小さく信頼性が高いと評価される。しかし、側面境界値が同じ予報は、特に予報後半（概ね12時間～15時間以降）で側面境界値の影響を受けて互いに類似したものになりやすく、初期値更新による予報の変化が小さい場合でも、不確実性が小さいことを表現しているとは限らないことに注意が必要である。
- 側面境界値として用いるGSM予報値が初期値の更新によって大きく変化すると、その影響を受けて、MSMの予報も側面境界値の更新の際に大きく変化することがある。特に、大きなスケールの場の表現は、側面境界値の影響を受けやすいので、MSMの大きなスケールの場の解釈に際しては、側面境界値となったGSMの予報にも着目していただきたい。
- 一方、側面境界値として利用しているGSMの予報とMSMの予報が大きく異なる場合もある。その場合には、高解像度のMSMで表現できるより小さなスケールの現象や地形、初期値の違い、物理過程の違いなどが影響している場合がある。それらについては、第4.2.8項も合わせて参照いただきたい。

### 参考文献

森安聡嗣, 2009: 統計的検証. 平成21年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 13–19.