

第1章 降水予報の検証

1.1 メソモデルの降水予報¹

メソ数値予報モデル(MSM)は、防災気象情報作成の支援を主な目的として運用されている。数値予報課では、MSMの運用と精度改善に取り組んでおり、その予報精度は着実に向上してきている(長澤2008)。しかし、2008年夏の降水予測精度は、MSMの運用を開始した2001年以来、最も低い水準となった。2008年は、7月や8月を中心に局地的大雨や豪雨が日本各地で発生し、これらの顕著現象は、数多くの災害を発生させ国民生活に甚大な被害をもたらした。被害規模や社会的注目が大きかった主な事例は、7月28日の北陸・近畿地方の集中豪雨、8月5日の東京の雑司ヶ谷などの集中豪雨や局地的な大雨、また、平成20年8月末豪雨と命名された、8月26～31日の日本各地で発生した豪雨などである。本章では、2008年夏のMSMの予報精度低下の原因を究明するとともに、MSMの予報特性を明らかにする。また、MSMは、1日8回という高頻度予報を行っており、最大で8つの異なる初期時刻の予報を利用することができる(津口 2007)。複数の異なる初期時刻の予報を用いて降水予報に対する検証を行い、MSMの高頻度予報の特徴を示す。

第1.1節は、2008年の局地的大雨や豪雨事例について降水検証を行う。最初に、夏の降水予報精度の検証結果の経年変化を示す。次に各事例の分析を行う。そして、最後に分析の結果から事例ごとの降水予報特性を考察する。第1.2節では、2008年の降水予報を統計的に比較検証し、MSMの高頻度降水予報の有効利用を目的とした調査を行う。

1.1.1 2008年の夏におけるMSMの降水予報精度

ここでは、2008年夏におけるMSMの降水予報精度の検証結果を示す。検証期間は、MSMの現業運用が開始された2001年から2009年までとし、各年の6月、7月、8月のそれぞれ1ヶ月間と夏の3ヶ月間(6～8月)を対象とする。参照値は、解析雨量を用いる。検証格子は、格子間隔を20kmとし、降水量は、検証格子内で平均する。閾値は、30mm/3hとする。また利用する格子は陸上と沿岸40km以内の格子のみとする。予報時間が33時間に延長される以前の予報結果との比較を行うため、FT=15までの予報を対象とする。また、検証には、2001年から2005年は、00,06,12,18UTCの4つ、2006年から2009年は、00,03,06,09,12,15,18,21 UTCの8つの初期時刻からの予報を利用した。

夏のエクイタブルスレットスコア(ETS)は、2001年から2004年までは順調に増加し、2005年に一度大きく成績を落としたが、2006年と2007年はETSの値は回復し再び増加に転じた(図1.1.1(a))。ところが、2008年の夏は再び2005年と同程度の水準にまで落ち込んだ。ETSを6月、7月、8月の各1ヶ月平均で見ると2008年は、6月としては比較的高い部類に入ることが(図1.1.1(b))、7月としては2001年に続く第2位の低い記録となり(図1.1.1(c))、8月としては2002年に続く第2位の低い記録となった(図1.1.1(d))。2008年夏は、特に7月と8月の降水予報精度が低かったことがわかる。

次に、バイアスコアを用いて、夏の降水予報頻度に関する予報精度の経年変化を調べる。バイアスコア(図1.1.1(a))からは2001年当時で予報過多であったことがわかる。2002年では、さらに予報頻度が過多となりその後、徐々に減少した。2005年にはバイアスコアは1を下回り予報頻度が過少となった。予報過少の傾向は2009年現在に至るまで続いている。2008年の夏は、バイアスコアが現業運用開始以来最も低い値を示しており、最も予報頻度が過少であった。

夏の空振り率(図1.1.1(a))は緩やかな減少傾向にあり、近年になるにしたがって徐々に小さくなっている。しかし2005年と2008年の空振り率は高く、2008年の7月は2001年の7月に続く第2位の高い記録となった。また2008年の8月は2002年の8月と同じ水準の高い値となった。

夏の見逃し率は、2001年から2009年で平均すると約0.867(空振り率は約0.860)である。スコアの経年変化に大きな傾向は見られない。2001年と2005年、2008年の見逃し率は平均より高く、これらの中で2008年の見逃し率は最も高かった(図1.1.1(a))。また7月の見逃し率は2008年が2001年に続いて7月の記録として第2位の高い記録(図1.1.1(c))、8月の見逃し率は8月の記録として第1位の高い記録となった(図1.1.1(d))。2001年から2009年にかけての夏の降水予報のスコアの推移の中で2008年の夏の降水予報は、他の年と比較して降水予報頻度が過少で見逃し率が高かった。

次に、2008年の予報精度低下の要因を天候の特徴の観点から考察する。前述の予報精度の経年変化から、ETSは、現業運用開始年の2001年を除くと2005年と2008年が低く、2006年と2007年が高いことが分かる。そこで、2008年の夏の天候の特徴と予報精度との関係を調査するために比較対象期間として、予報精度が良かった2006年と2007年の各夏(6～8

¹ 幾田 泰醇

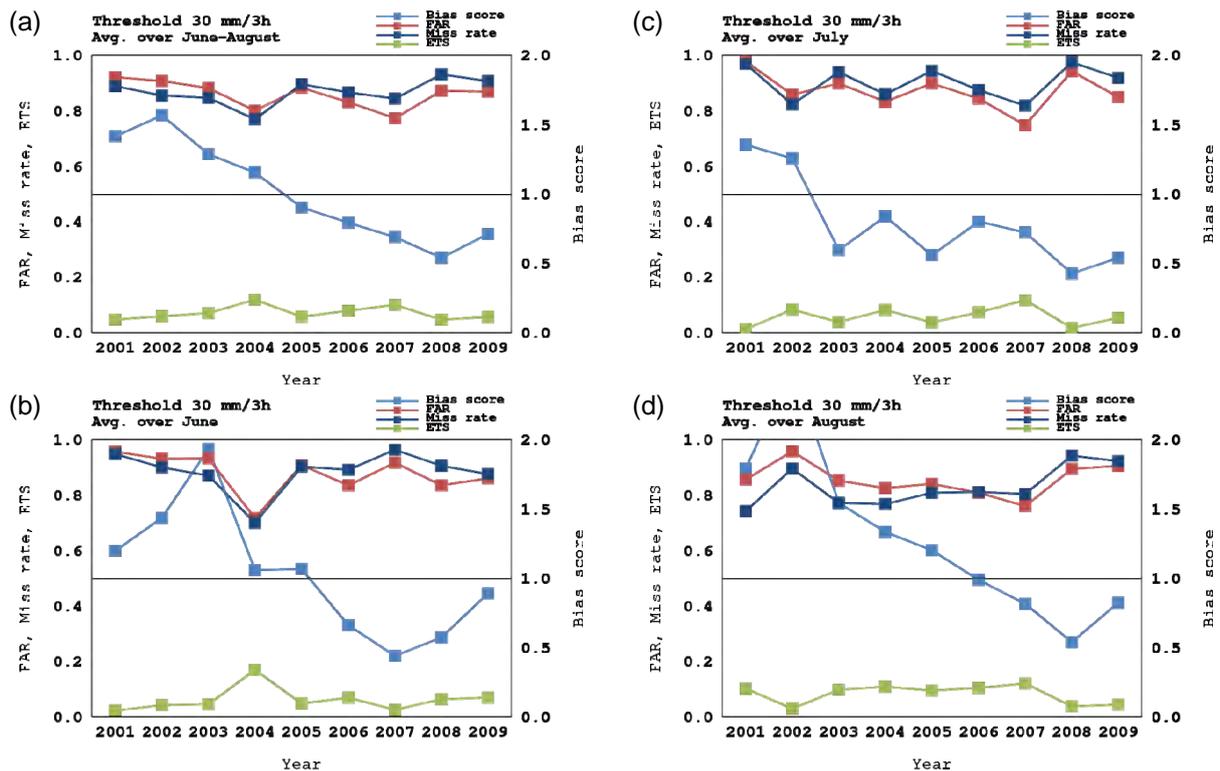


図 1.1.1 2001年から2009年までの閾値を30mm/3hとしたときのETS(緑)、バイアスコア(Bias score、薄青)、空振り率(FAR、赤)、見逃し率(Miss rate、濃青)。それぞれ(a)6月から8月の3ヶ月平均、(b)6月、(c)7月、(d)8月の1ヶ月平均。

月)と、予報精度が低かった2005年の夏を選ぶこととする。

ここで選択した2005年から2008年までの夏の降水予報精度の特徴を各夏の天候の特徴から説明するために、各夏におけるETSの地域分布(以下ではスコアマップと呼ぶ)を図1.1.2に示す。スコアマップは、地域特性を把握しやすくするため検証格子間隔40kmとし、前述の領域平均スコアよりも粗視化している。また、閾値を20mm/3hに設定している。

予報精度の低かった2005年のスコアマップは、全国的にETSが低くランダム予報以下の評価となった格子が多い。ただし、関東地方南部と南西諸島では僅かに精度の改善が見られる。このときの天候の特徴は、「夏(6~8月)の天候」(気象庁 2005)によると全般に平年並から早い梅雨明けとなっており、台風に関しては「台風の発生は、10個で平年程度(平年11.2個)だった。上陸は2個あり、平年程度(平年1.5個)で、台風第7号と第11号がともに千葉県に上陸した。南西諸島に接近した台風は4個で、平年程度(平年4.4個)だった。」とある。このことから、2005年の夏のスコアマップ(図1.1.2(a))の関東地方南部と南西諸島におけるETSの改善は、MSMが台風による降水を精度良く予報していたことを示唆している。

予報成績が良好であった2006年(図1.1.2(b))と2007年(図1.1.2(c))のETSのスコアマップでは、南

西諸島を含め九州地方から関東地方の太平洋側や中部地方の内陸部の格子で0.3を超えた。このようなETSの高い領域は、南西諸島を含め九州から東日本にかけての太平洋沿岸に集中していたことが分かる。2006年の夏は、「夏(6~8月)の天候」(気象庁 2006)によると梅雨前線の活動が活発で南西諸島から東・西日本にかけての広範囲で大雨となった。特に7月15日から24日かけて「平成18年7月豪雨」によって大きな災害がもたらされ、梅雨明け後も時々大気の状態が不安定となって局地的に大雨となるなど、短時間強雨の発生が多く、1時間80mm/h以上の猛烈な雨の発生回数は、1976年以来最多となった。2007年の夏は、「夏(6~8月)の天候」(気象庁 2007)によると、7月の上旬には活発な前線の影響で、九州地方を中心に大雨となり、中旬には台風第4号が13日に南西諸島を通過し、15日にかけて九州から本州南岸を東進したため、南西諸島と東・西日本の太平洋側を中心に大雨となった。2006年(図1.1.2(b))と2007年(図1.1.2(c))のスコアマップに表れている太平洋沿岸のETSの高い領域は、梅雨前線による降水や台風による降水の予報精度が高かった可能性を示唆している。

2008年夏(図1.1.2(d))のスコアマップは全般的にETSの低い格子が多かった。また、他の夏では、限定的ではあってもETSが高い領域が見られたが、そのような領域は無い。ただし、九州地方と四国地

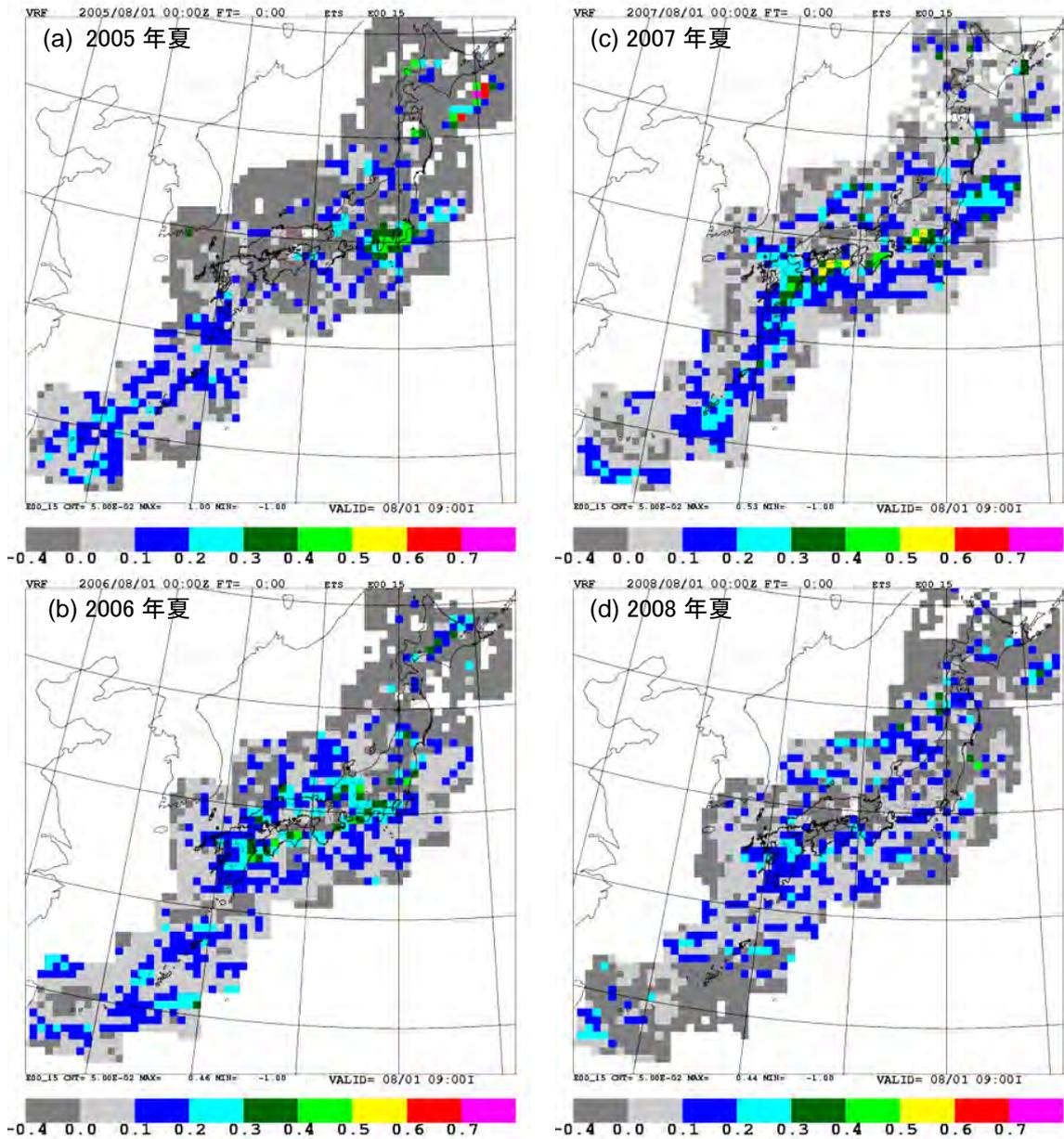


図 1.1.2 (a) 2005 年、(b) 2006 年、(c) 2007 年、(d) 2008 の夏(6~8 月)の閾値を 20mm/3h としたときの ETS 分布。

方で ETS が 0.1~0.3 程度の格子が分布していた。この格子点数が多いことが、本項の冒頭で示したスコアの経年変化において、2005 年 6 月と比較して 2008 年 6 月の ETS が僅かに高い原因である。「夏(6~8 月)の天候」(気象庁 2008a)によると梅雨前線は平年に比べ活動が弱く、西日本を中心に太平洋高気圧の日本付近への張り出しが強かったため、全国的に梅雨明けが平年より早く、台風に関しては「台風の発生は 7 個(平年 11.2 個)、日本に接近した台風 4 個(平年 6.2 個)、うち本土(本州、北海道、九州、四国)への接近は 1 個(平年 3.1 個)、沖縄・奄美への接近は 2 個(平年 4.4 個)とそれぞれ平年を下回った(速報値)」とある。また、2008 年の夏は各地で局地的大雨や豪雨が数多く発生し、全国 1205 地点のうち 59 地点で、

日最大 1 時間降水量の観測史上 1 位の値を更新した(気象庁 2008a)。局地的大雨や豪雨によって災害が発生した関東地方や北陸地方、近畿地方では、ETS が 0 に近く予報精度が悪かった(図 1.1.2(d))。九州地方で多少 ETS が高いが、これは 6 月に九州地方に大雨をもたらした梅雨前線を比較的良い精度で予報できていた事例があったためである。

2005 年から 2008 年にかけてスコアが比較的高かった検証格子は、いずれも台風や梅雨前線などの規模の大きな擾乱による雨が多かった地域にみられた。2008 年の天候の特徴は、そのような大規模擾乱による降水自体が非常に少なかった。これは、スコアの経年変化(図 1.1.1(a))が示した 2008 年の予報精度の低下が、統計期間における天候の特徴に非常

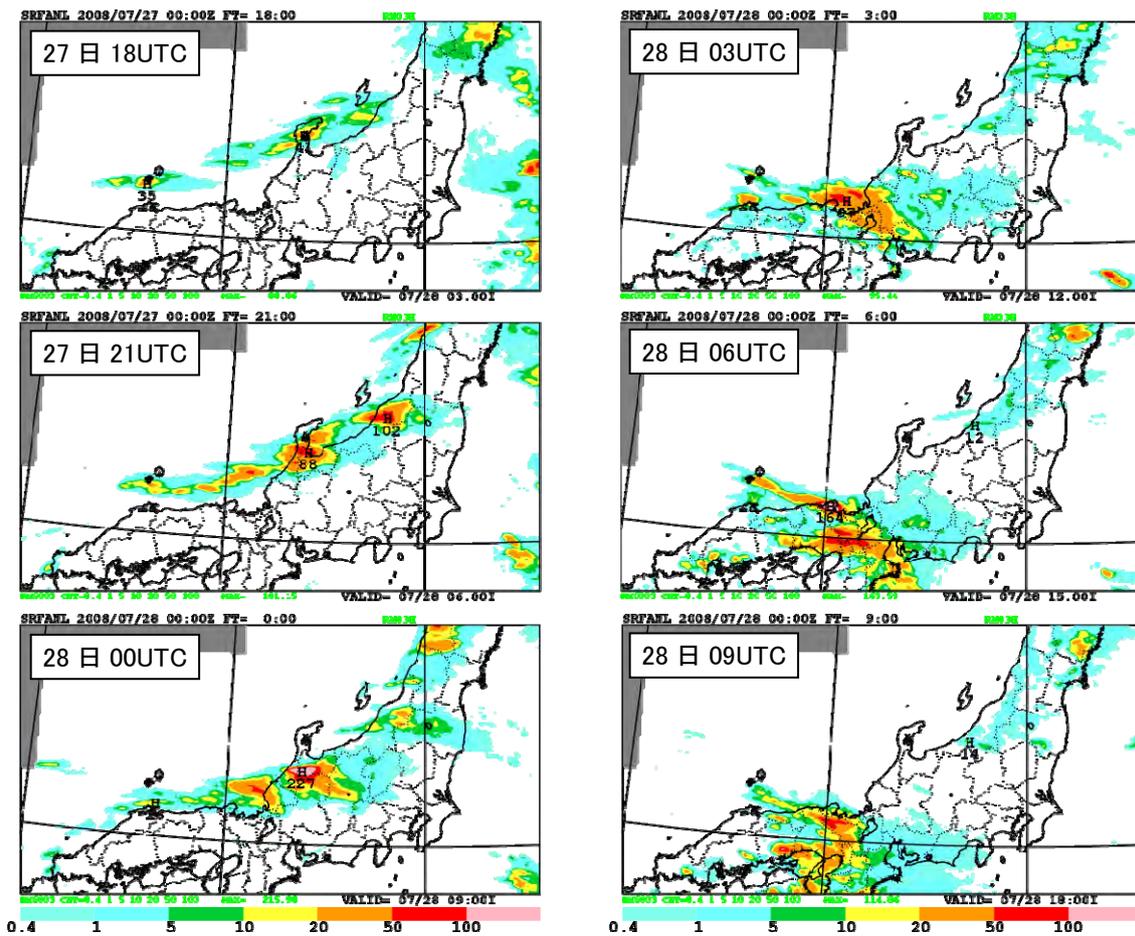


図 1.1.3 2008年7月27日18UTCから28日09UTCの解析雨量(mm/3h)。

に強く依存することを示唆している。

以上に2008年の予報精度の低下の要因を統計スコアと天候の特徴の観点から示した。ただし、成田(2008)によって述べられているようにMSMの不安定降水に対する予報精度が不十分であることは事実である。2008年の夏の閾値20mm/3hを超えた降水の観測回数とバイアススコアは、多くの検証格子で予報頻度が過少となっており、陸上では予報過多となった格子は非常に少なく、観測回数も非常に少なかった(図略)。2008年の夏は全国的に降水の予報頻度が非常に少なく、局所的な不安定降水をMSMが適切に表現できていた事例は非常にまれであったことが推察される。

1.1.2 検証と分析

2008年のMSMの降水予測では、不安定降水の再現性が非常に低かった。ここでは、MSMの降水予測を事例ごとに分析を行いその原因を調査する。社会的な影響の大きさなどを勘案して7月28日の北陸・近畿地方、8月5日の東京都、平成20年8月末豪雨の3事例を対象とする。

分析ではMSMが提供する高頻度予報の特性についても明らかにしたい。ただし、我々が得ることの

できる予報結果全てを分析して、その特性を示すことは議論を複雑化する。さらに異なる初期時刻からの複数の予報が利用できる場合、それらが、真値に対して偏りが無い良いばらつきを持つとは考えにくい。そこで、まず幾つかの集合への分類を試みる。その分類結果を用いて、それぞれの降水予報特性の分析を行うこととする。

本節では、異なる初期時刻の予報を分類するためにクラスタ分析手法を用いる。クラスタ分析は、複数の変数をもつ多変量データ(以下では個体と呼ぶ)の類似度を評価する手法の一つである。ここでは、評価対象である個体群を異なる初期時刻の複数の予報とみなし、その個体群がもつ多変量 X_{ik} を領域内の格子点における降水量と定義する。また、添え字 i は個体を、添え字 k は変量を一意的に示している。個体数 i のとり得る最大の数は、評価する予報の数とし、変量 X_{ik} の総数は格子数 $k=n$ とする。判定基準はユークリッド平方距離

$$d_{ij}^2 = \sum_{k=1}^n (X_{ik} - X_{jk})^2 \quad (1.1.1)$$

を用いる。この d_{ij}^2 は個体同士の非類似度を表している。そのため値が小さければ小さいほど類似度が高

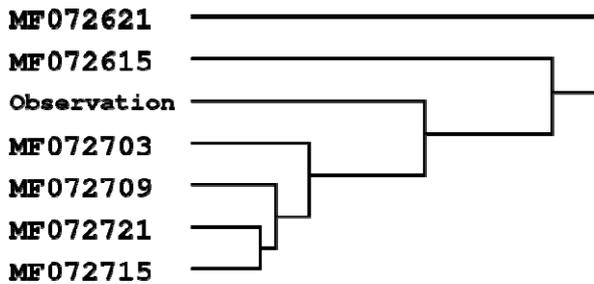


図 1.1.4 予報対象時間 7 月 28 日 00UTC の降水分布の樹状図。結線の長さは統合されたクラスタ間の距離に比例している。

い。また、クラスタ併合に用いた手法は、階層的な方法の一つであるウォード法を採用した。ウォード法は、一般的に良く用いられており分類感度が高いとされる。

なお以下では、簡単のためMSMの初期時刻2008年7月27日15UTCの予報をMF072715と呼び、FT3-9といった表記は、該当する予報及び観測が属するクラスタを示すものとする。例えば、予報対象時刻2007年7月28日00UTCの予報及び観測を分析する場合を考えると、FT3-9は、MF072721のFT=3とMF072715のFT=9が属するクラスタを意味する。また以後の分析には、初期時刻03, 09, 15, 21UTCの33時間予報のみを用いることとする。

1.1.3 7月28日の北陸・近畿地方の例

2008年7月28日00UTCにおいて、日本海北部に上空に寒気を伴った低気圧があり、停滞前線が山陰沖から東北地方南部にかけてのびていた。この停滞前線は次第に南下し活動が活発化した。北陸地方から近畿地方にかけて、停滞前線の南下に伴い局地的大雨や集中豪雨が発生した。この集中豪雨によって石川県では、浅野川が氾濫し多くの被害をもたらした。また、山陰沖で急激に発達した積乱雲はメソ対流系を形成し、近畿北部に局地的大雨をもたらす要因となった。神戸の都賀川では、この局地的大雨によって急激な増水が引き起こされ水害による被害が発生した。北陸地方と近畿地方に局地的大雨と豪雨をもたらした降水系の推移を図1.1.3に示す。

(1) 異なる初期時刻からの予報結果の分析

複数の予報結果を分類するためにクラスタ分析を行う。分析対象時刻は、2008年7月28日00UTCとする。この対象時刻には、石川県で解析雨量が200mm/3h以上を記録しているなど停滞前線の活動が活発化し大雨が発生している。分析対象領域は、中部地方及び近畿地方に限定した。MSMの予報領域全てを分析対象領域とすると、対象とする降水系の特徴が変量の増加に伴い平滑化される。分析対象領域の限定は、この平滑化による分類感度の低下を

避けるためである。また海上であっても解析雨量の解析範囲であれば降水を変量として考慮することとした。

クラスタ分析を用いて、異なる初期値をその類似度に応じて分類した結果が図1.1.4の樹状図である。MF072721、MF072715、MF072709が属するクラスタ「FT3-9-15」、観測(解析雨量)の「OBS」²、MF072703の「FT21」、MF072621の「FT27」とMF072615の「FT33」に分類できる³。表1.1.1にクラスタ名に対応する初期時刻及び観測を示す。

表 1.1.1 2008年7月28日00UTCを対象とするクラスタ名とそれに属する予報または観測

クラスタ名	予報・観測
FT3-9-15	MF072721, MF072715, MF072709
FT21	MF072703
FT27	MF072621
FT33	MF072615
OBS	観測

それぞれのクラスタが、どのような降水予報特性によって分類されたのかを確認するため、降水予報精度の検証を行った。図1.1.5は、バイアスコア(図1.1.5(a))とETS(図1.1.5(b))の時系列グラフである。検証領域は、クラスタ分析を行った限定分析領域と等しい。閾値は10mm/3hとし、横軸は分析対象時刻である28日00UTCを基準とした。バイアスコア(図1.1.5(a))から、28日00UTCにおいてクラスタFT27とFT33は予報過多であったこと、FT3-9-15とFT21は予報過少であったことが分かる。予報対象時刻から初期時刻が近い、つまり新しい予報で予報頻度が少なく、初期時刻が遠い予報で領域内の降水頻度が多かったことになる。特に、予報後半(FT27やFT33)では、降水量の閾値によらず予報過多であった(図略)。

またETS(図1.1.5(b))は、FT21とFT33が比較的大きい値であり、それ以外は非常に小さい。FT27のスコアが低くなっている原因は、前線帯の位置ずれが大きいためと考えられる。これらのスコアは、FT21、FT27とFT33が同一クラスタに属さない理由を端的に示している。ここに、簡単のため予報過多の集合と降水の位置ずれが大きいう2つの集合を仮定する。FT21は、それら2つの和集合に対する補集合に属することとする。FT27とFT33が予報過多に属し、FT27は降水の位置ずれが大きいう集合にも属する場合、FT21、FT27、FT33はそれぞれ異なる

² 予報を分類するという趣旨には沿わないが、参考のため観測も分析対象個体として扱っている。

³ 後述の検証スコアを考慮して、FT21をFT3-9-15と同一クラスタに分類していない。

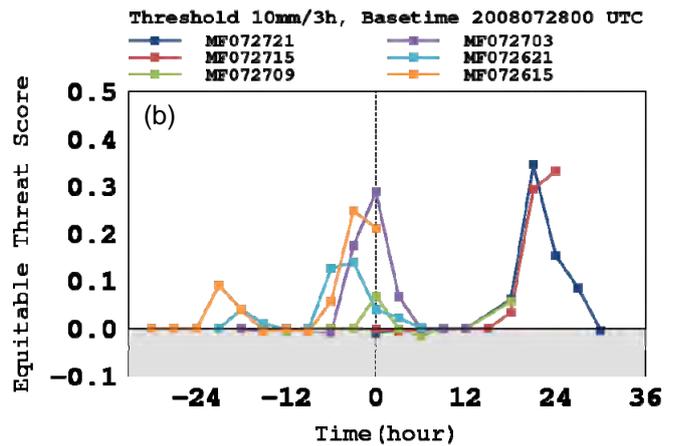
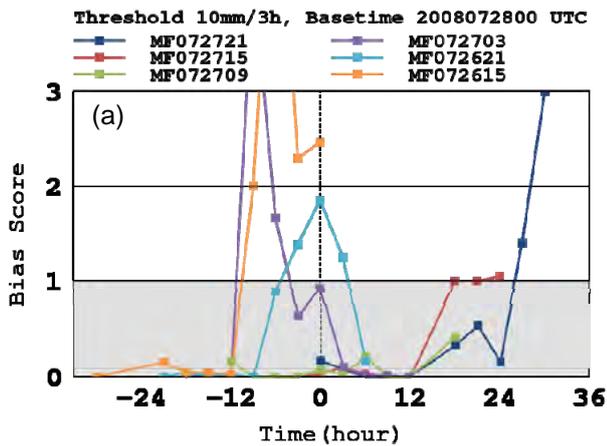


図 1. 1. 5 MF072615からMF072721までの(a)バイアスコアと(b)ETSの時系列。横軸は2008年7月28日00UTCを基準とした時間差を表す。

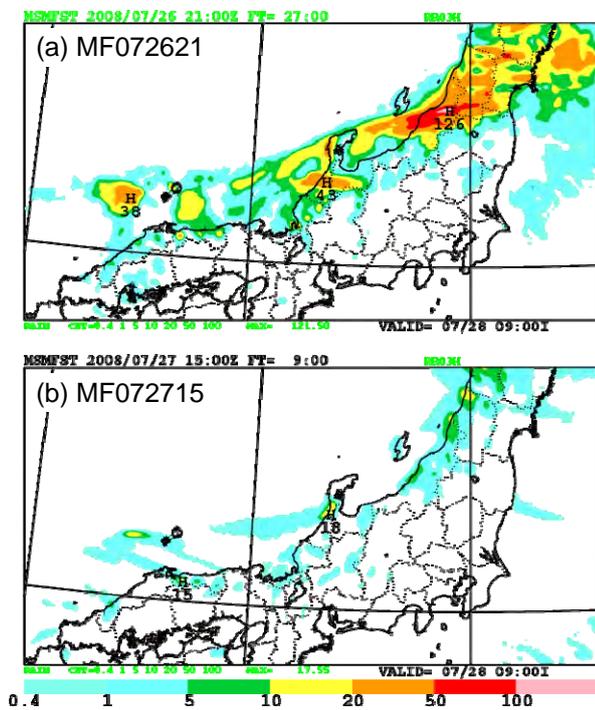


図 1. 1. 6 予報対象時刻 2008 年 7 月 28 日 00UTC の予想降水量(mm/3h)。(a)MF072621、(b)MF072715。

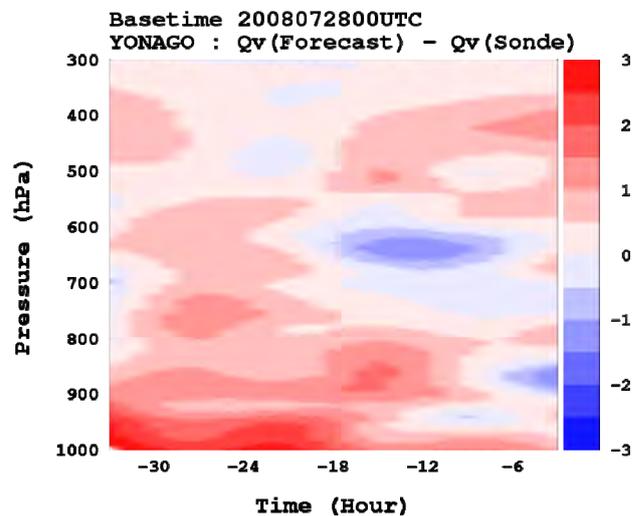


図 1. 1. 7 異なる初期値の米子における混合比(g/kg)の予測精度。予報対象時刻は、2008年7月28日00UTC。各初期値の予報(表 1. 1. 1 を参照)とゾンデ観測の差の鉛直プロファイル。横軸は各初期時刻と予報対象時刻との差。

部分集合に属することになる。なお、本章におけるクラスタ分析では、分析領域を限定することで、これらの部分集合の特徴に関する感度を高くしている。スコアの推移に着目すると、予報対象時刻26日03UTCから26日12UTC(図1.1.5の横軸では-21~-12時間)の内陸部における不安定降水を全く予報できていないことと、近畿地方の降水予報が不十分であったことはいずれの予報でも共通であった(図1.1.5の横軸では+6時間)。前者は、MSMが不安定降水の表現を苦手とすること(成田 2008)、後者は、初期値もしくは予報初期において山陰沖の降水がうまく再現できていないことが問題となっていると考えられる。

クラスタ分析による分類の妥当性を確認するため28日00UTCの解析雨量と予報の降水表現を比較する。比較対象とする予報は、予報過多であったクラスタFT27のMF072621(図1.1.6(a))と、予報過少であったクラスタFT3-9-15から選んだMF072715(図1.1.6(b))である。この2つの初期時刻の予報を観測(図1.1.3)と比較すると、明らかに領域内の降水がMF072715では不足していることがわかる。

降水予報は、大気水蒸気量の予測精度と密接に関係する(津口・成田 2009)。そこで、各予報の大気の水蒸気量を比較しクラスタ毎の特徴を確認する。図1.1.7は、水蒸気混合比の鉛直プロファイルの予報と高層観測の差分を示している。対象時刻は、28日

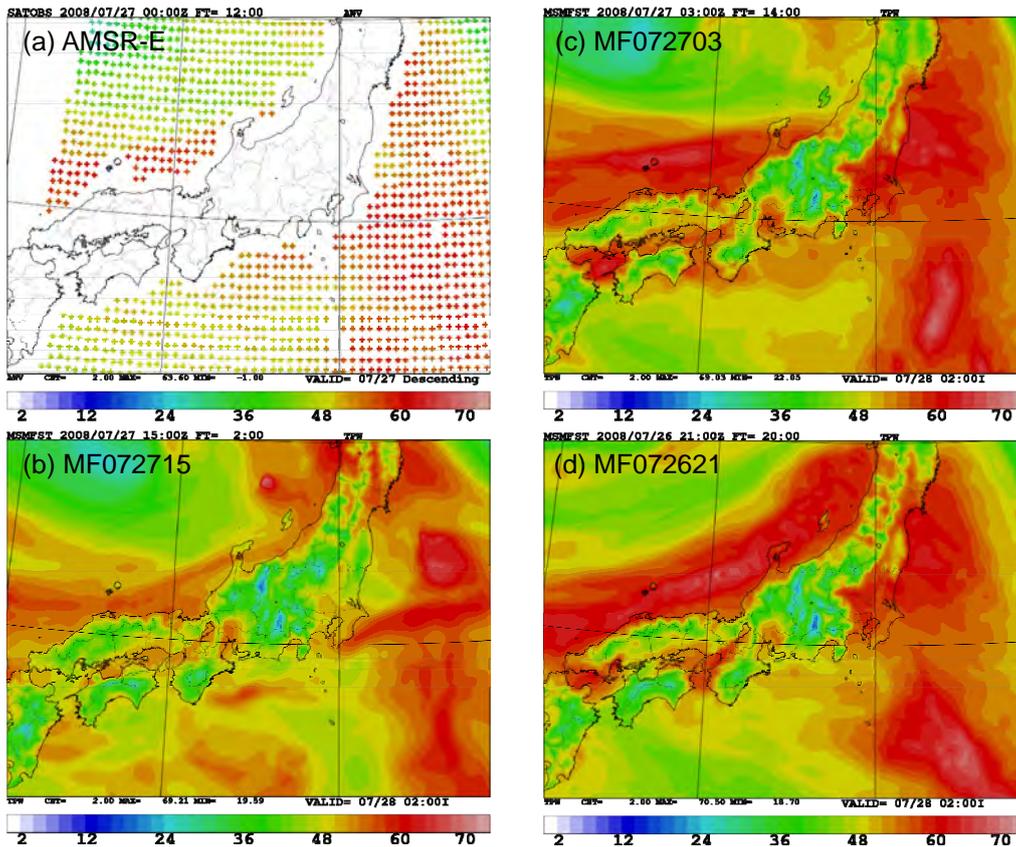


図 1.1.8 2008 年 7 月 27 日 17UTC の可降水量(mm)。(a)AMSR-E、(b)MF072715、(c)MF072703、(d)MF072621。
 図中の AMSR-E の観測は、およそ 16 時 36 分(UTC)から 16 時 42 分(UTC)。

00UTCである。対象地点は、28日00UTCにおいて、停滞前線のすぐ南側に位置していた米子である。図 1.1.7の横軸は、予報対象時刻と初期時刻との時間差を表している。例えば、時間差-33における差分は、MF072615のFT=33の予報値から2008年7月28日00UTCの観測値を引いた値のプロファイルを表す。つまり、図1.1.7の時系列図は、予報対象時刻の水蒸気プロファイルの予報更新に伴う変化を示したものである。前述のとおり予報過多であった古い初期値では下層から中層にかけて観測よりも湿潤である。それに対して予報が新しくなるにしたがって中層から下層にかけて徐々に混合比が減少し、予報対象時刻28日00UTCの3時間前を初期時刻とするMF072721では850hPa付近で観測よりも乾燥している。大雨発生前の前線南側で下層の水蒸気量が、新しい予報では少なく、古い予報ほど多くなっていたことがわかる。

次に、日本海上の停滞前線周辺の大気水蒸気量を比較する。比較対象は、Aqua衛星のAMSR-Eによる観測とMF072621、MF072703、MF072715である(図1.1.8)。対象時刻は、停滞前線が活発化し始める28日00UTCの7時間前の27日17UTCに観測された大気水蒸気量と17UTCの予想可降水量である。こ

こで17UTCを比較対象時刻として選択した理由は、日本海上でAqua衛星の下降軌道のデータが利用できるためである。降水表現が予報過多であったMF072621では、停滞前線周辺に観測よりも過大な可降水量が予測されていた。予報過少であったMF072715は、可降水量が観測よりも過小だった。これらに対して、バイアスコアとETSで最も良い評価のMF072703の可降水量の予測は、非常に観測に近かった。特に日本海上の停滞前線周辺の表現が良いことがわかる。

近畿地方の局地的大雨の原因となったメソ対流系は、いずれの予報においても再現できていなかった。アメダス観測点における気温をモデルと比較した結果、実況ではガストフロントの南下による急激な気温の低下や急激な風向風速の変化などが観測されていたが、モデルではまったく再現されていない(図略)。近畿地方における大雨の予測が不十分であった理由は、まず山陰沖において予想された擾乱が弱かったことが挙げられる。そのため、擾乱に起因する冷氣プールの形成が不十分となり、広範囲にメソ対流系を駆動する要因の一つとなるガストフロントが再現できなかった。さらに、そもそも現象のスケールがモデルの解像限界に近くメソ対流系

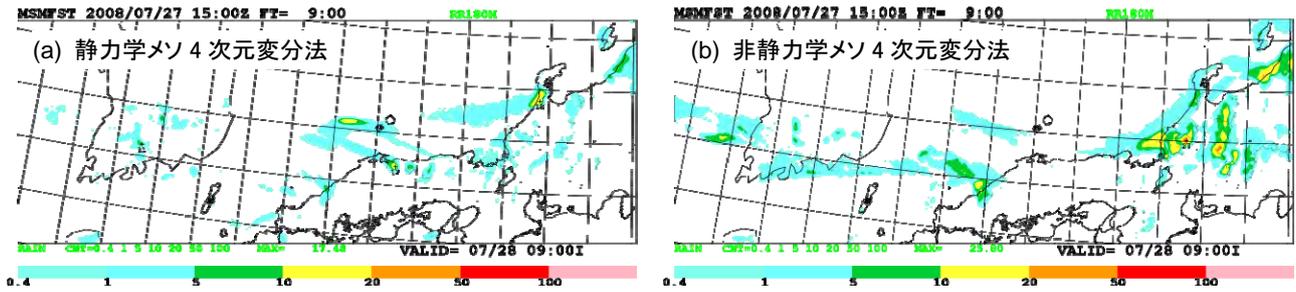


図 1.1.9 予報対象時刻 2008 年 7 月 28 日 00UTC の 3 時間積算降水量と地上風の予測。初期時刻は 2008 年 7 月 27 日 15UTC。初期値作成には(a) 静力学メソ 4 次元変分法と(b) 非静力学メソ 4 次元変分法を適用したメソ解析を用いた。

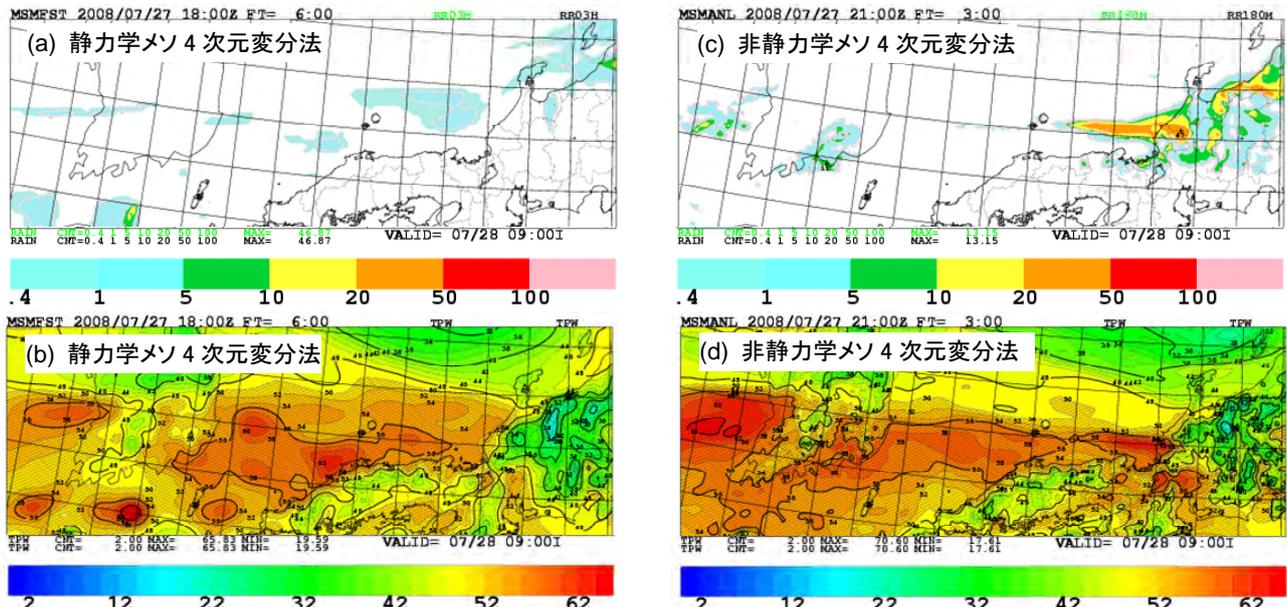


図 1.1.10 2008 年 7 月 28 日 00UTC の(a) (c) 3 時間積算降水量(mm/3h)、(b) (d) 可降水量(mm)。初期値作成には、(a)と(b)は静力学メソ 4 次元変分法を(c)と(d)は非静力学メソ 4 次元変分法を適用したメソ解析を用いた。

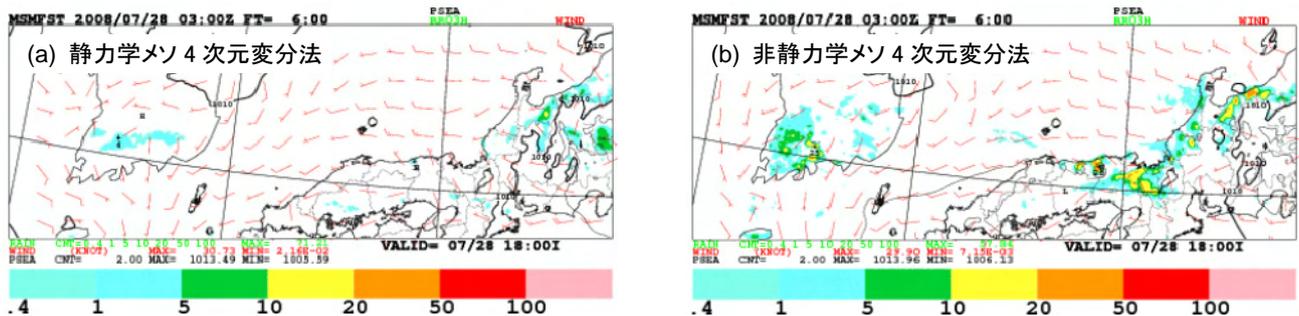


図 1.1.11 予報対象時刻 2008 年 7 月 28 日 09UTC の 3 時間積算降水量と地上風の予測。初期時刻は 2008 年 7 月 28 日 03UTC。初期値作成には(a) 静力学メソ 4 次元変分法と(b) 非静力学メソ 4 次元変分法を適用したメソ解析を用いた。

の再現が困難であった可能性が考えられる。

(2) 改善に向けての展望

MSM が予測した前線帯の位置は、実況で顕著現象が発生する予報対象時刻 2008 年 7 月 28 日 00UTC 以前は初期時刻によらず安定していた。しかし、この前線帯上での対流活動が活発化し始める 28 日 00UTC 以降は、MSM の降水予測が初期時刻ごとに

大きく揺らいだ。異なる初期時刻からの MSM の降水予測は、初期時刻が古いほど強い雨を予測し、新しい初期時刻ではほとんど降水を予測しないといった特徴を示した。つまり、この事例において MSM の降水予報は、直近の予報精度が最も良いという一般的な予報特性(第 1.2 節の検証結果を参照)と異なる結果となった。

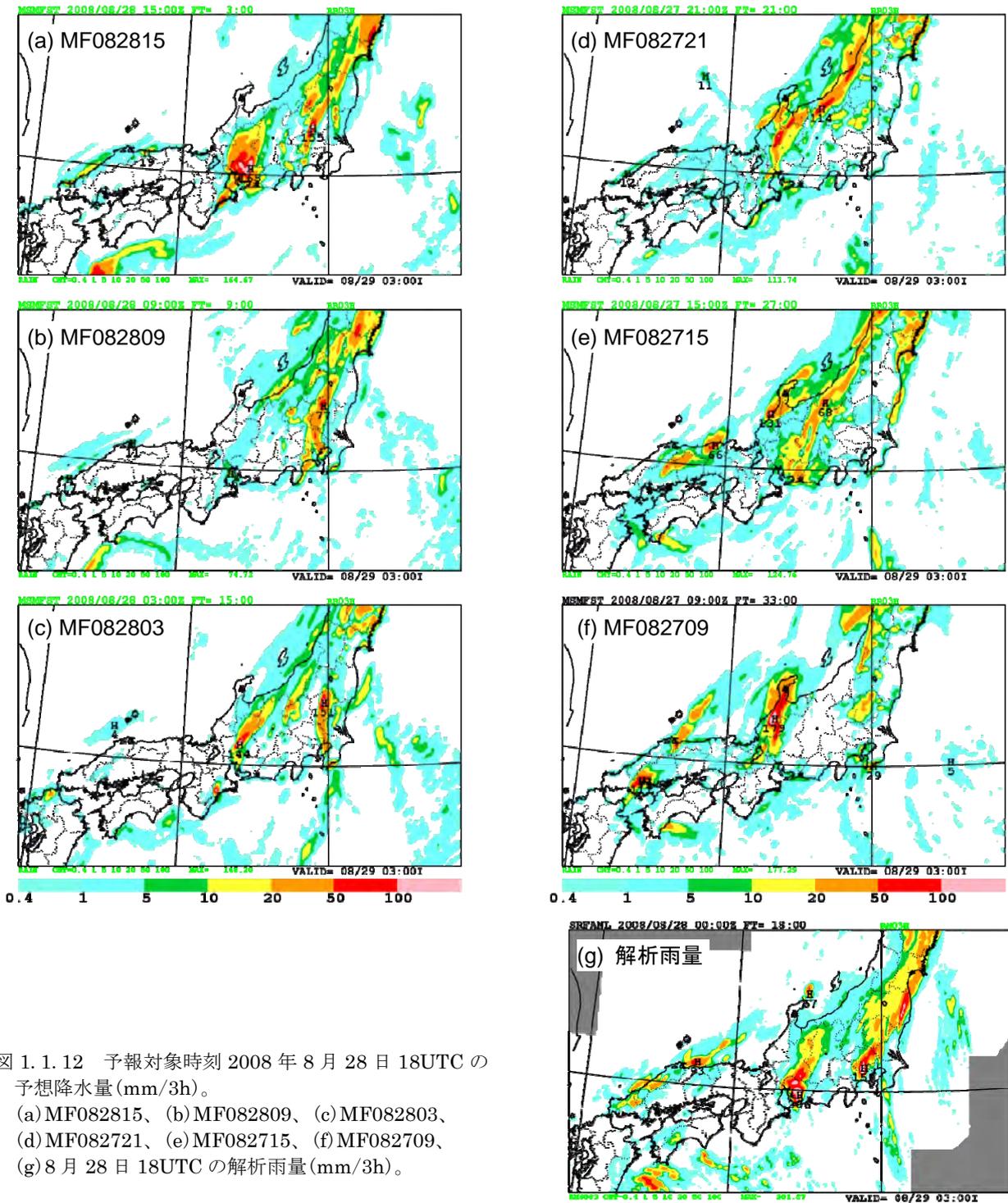


図 1.12 予報対象時刻 2008 年 8 月 28 日 18UTC の
 予想降水量 (mm/3h)。
 (a) MF082815、(b) MF082809、(c) MF082803、
 (d) MF082721、(e) MF082715、(f) MF082709、
 (g) 8 月 28 日 18UTC の解析雨量 (mm/3h)。

前述のとおり予測された降水分布は、予報時間が短い新しい予報では全般的に降水表現が弱かった。降水表現の弱化は、AMSR-E の観測と予測された可降水量の比較から大気水蒸気量の不足が原因であることが示唆された。このように、予報時間が短い場合において環境場が予報精度を左右するような事例では、初期値作成手法の高度化によって降水予報精度の改善が期待できる。

そこで、2009年4月7日00UTCから現業運用されている非静力学メソ4次元変分法を適用したメソ解

析を用いて解析予報サイクル実験を行い、降水予報精度へのインパクトを調査した。以下では、本事例に関するインパクト実験の結果を紹介する。まず、北陸地方の降水表現へのインパクトを示す。7月27日15UTCにおいて日本海上の可降水量は、静力学メソ4次元変分法では56mm程度であるが、非静力学メソ4次元変分法では60mmを超えており改善が見られた。また、非静力学メソ4次元変分法では日本海上の降水域を捉えることもできた(図略)。この27日15UTCを初期時刻とするFT=9では非静力学メソ4

次元変分法からの降水予測はわずかに改善したことが分かる(図1.1.9)。更に解析サイクルを続けて、第1.1.3節(1)項で分析対象とした7月28日00UTCの解析値を比較する。図1.1.10は解析時刻の可降水量と3時間積算降水量である。解析においても、静力学メソ4次元変分法では可降水量が十分ではなく降水が再現されていない。一方、非静力学メソ4次元変分法では若狭湾の可降水量が増加し、線状降水帯も一部再現された。この結果から、現業メソ解析の静力学メソ4次元変分法では、暖湿な気塊の北陸地方への流入を十分解析することが出来ていなかったことが分かった。次に近畿地方における降水表現へのインパクトを調べた。7月28日03UTCの解析でも、静力学メソ4次元変分法は引き続き暖湿な気塊の解析が十分出来ず、降水域も再現されなかったが、非静力学メソ4次元変分法では降水表現に改善が見られた(図略)。それぞれの解析値を初期値とした6時間予測に着目すると、静力学メソ4次元変分法からの予測では全く降水が表現出来ていないが、非静力学メソ4次元変分法からの予測では10mm/3h程度の降水が表現されており、改善が認められる(図1.1.11)。

1.1.4 8月5日の東京都の例

8月5日における関東甲信地方は、暖かく湿った空気の流入に伴って大気の状態が不安定になり短時間強雨が発生した。東京都23区西部や多摩地区で非常に激しい雨となり、この局地的大雨によって都内では多くの被害が発生した。

解析雨量は50mm/3h以上を記録していたが、MSMは最大でも20mm/3h程度の降水しか予測していなかった。また、その降水表現も、実況の局地的な大雨と異なり、広範囲に広がったものとなった。東京都に災害をもたらした積乱雲は、その水平スケールは大きくても20km程度であり、MSMの予測可能性からみても決定論的な量的予報が困難であったと考えられる。つまり、メソ対流系の発生を促す環境を分析する以前に、現象を解像するだけの分解能がモデルに不足していた可能性が高い。それを裏付けるかのように、いずれの初期時刻からの予報であっても、それらしいメソ擾乱の再現は認められない。そのため、第1.1.2項で述べた複数の予報を分類し分析する手法は意味を成さない。よって、8月5日の東京の事例に対しては、他の事例とは異なりクラスタ分析を行わないこととする。

このとき限定領域で実験的に運用していた水平解像度2kmの高分解能局地モデルを用いた解析予報システムは、予報対象時刻に同程度の水平スケールの積乱雲を予測していた(第4.2節を参照)。これは、力学的ダウンスケーリングが、今回のようなスケ-

ルの擾乱に対する量的予報の改善に非常に有効であることを示唆している。

1.1.5 平成20年8月末豪雨の例

8月26日に低気圧は東シナ海を東に進み、西日本の太平洋側を中心に南からの湿った気流が流入し四国地方太平洋側や近畿地方で大雨となった。27日に低気圧は九州南岸へゆっくりと東進した。四国地方太平洋側や九州地方は、この低気圧の接近に伴って流入した南からの湿った気流の影響で局地的な大雨が発生した。8月28日に、低気圧は九州南岸から四国沖へゆっくりと東進した。四国沖にある低気圧の影響により、日本海沿岸にのびる前線に向かって湿った空気が流入し、西日本から関東にかけて、各地で不安定降水による大雨が発生した。北陸や関東の6地点で最大1時間降水量の観測史上1位の記録を更新した。8月29日に低気圧は日本の東海上にありゆっくりと南東に進んだ。日本海沿岸の前線は、中国地方から北海道の南岸にかけて停滞し、北日本から西日本にかけての広い範囲で、局地的な大雨が発生した。29日に最大1時間降水量の観測史上1位の記録を更新した地点数は12地点に上る。大気的不安定による大雨は、日本海沿岸にのびる停滞前線の活動が弱まる8月31日まで日本各地で発生し、多くの災害を引き起こす原因となった(気象庁 2008b)。

(1) 異なる初期時刻からの予報結果の分析

図1.1.12は8月28日18UTCを対象とする異なる初期時刻からの降水予報(図1.1.12(a)から(f))と解析雨量の3時間積算降水量(図1.1.12(g))である。図1.1.12(g)に見られる主な降水系は、関東甲信から東北地方にのびる降水系と、愛知県を中心に発達している降水系と中国地方の降水系がある。以下では、議論を簡単にするため、異なる初期時刻の予報で特にばらつきの大きい愛知県付近の降水系と関東甲信から東北地方の降水系に着目して分析を行う。

まず、第1.1.3項の7月28日の北陸・近畿地方の事例と同様にクラスタ分析を行う。対象時刻は2008年8月28日18UTCとし、分析領域は北陸・近畿地方の事例と同じく中部地方および近畿地方に限定した領域とする。図1.1.13はクラスタ分析の結果を樹状図にしたものである。観測とMF082815のクラスタ「FT3-OBS」、MF082809とMF082803のクラスタ「FT9-15」、MF082721とMF082715のクラスタ「FT21-27」とMF082709のクラスタ「FT33」に分類できる(表1.1.2)。

図1.1.14は各予報のバイアスコアとETSの時系列である。28日18UTCのバイアスコア(図1.1.14(a))は北陸・近畿地方の事例と比較して、ばらつきが小さく、全ての予報で予報過少であるが1

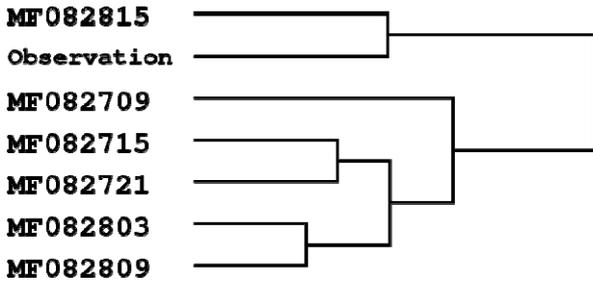


図 1.1.13 予報対象時刻 8 月 28 日 18UTC の降水分布の樹状図。結線の長さは統合されたクラスタ間の距離に比例している。

表 1.1.2 2008 年 8 月 28 日 18UTC を対象とするクラスタ名とそれに属する予報または観測

クラスタ名	予報・観測
FT3-OBS	MF082815, 観測
FT9-15	MF082809, MF082803
FT21-27	MF082721, MF082715
FT33	MF082709

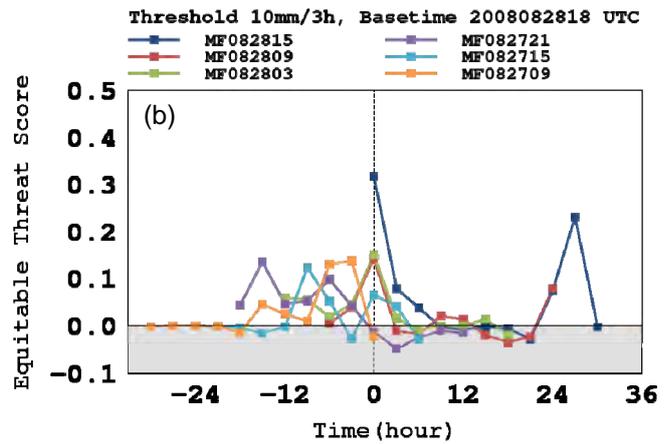
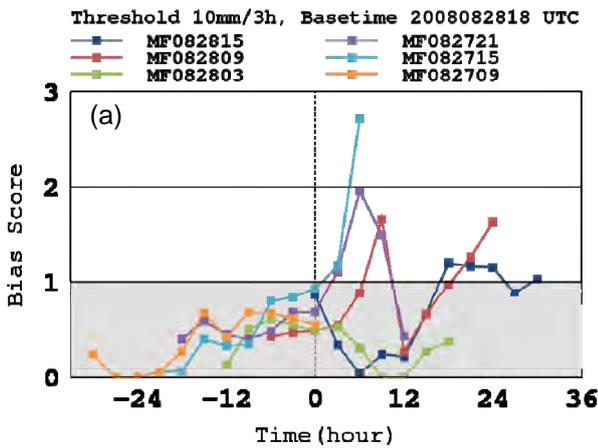


図 1.1.14 MF082709 から MF082815 までの (a) バイアスコアと (b) ETS の時系列。横軸は 2008 年 8 月 28 日 18UTC を基準とした時間差を表す。

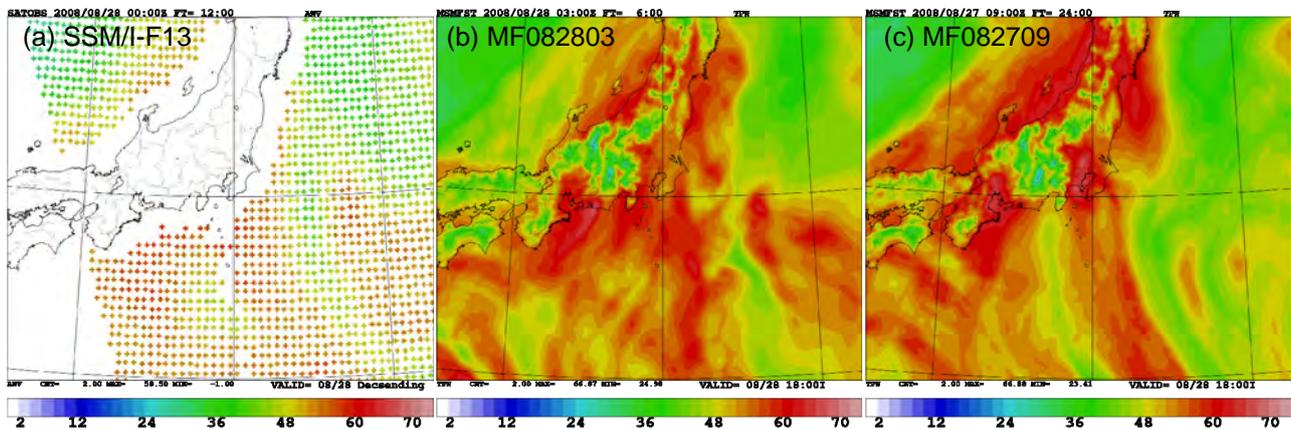


図 1.1.15 2008 年 8 月 28 日 09UTC の可降水量 (mm)。 (a) SSM/I-F13、 (b) MF082803、 (c) MF082709。 SSM/I の観測は、およそ 8 時 30 分 (UTC)。

に近い値である。ETSは、クラスタFT3-OBSに属する予報対象時刻の3時間前を初期時刻とするMF082815が最も良い⁴。次にクラスタFT9-15のETSが、良い値であった。MF082709とMF082721はランダム予報以下であるといった評価だが、これ

⁴ FT=3では、リードタイムが短いため予報現業において利用価値が低い、FT=3以降FT=9までは他の初期時刻からの予報よりもETSは高い。ただし、精度の劣化が激しくバイアスコアの低下が著しい。

は着目している2つの降水系の予報位置が解析雨量とずれていることによる。例えばMF082709とMF082721は、クラスタFT9-15よりもETSでは劣るがバイアスコアでは勝る。これも位置ずれによるETSの低下の可能性を示唆している。

各クラスタに属する個体の降水表現には、図1.1.12から以下のような特徴があることが分かる。FT33では愛知県付近の降水系は位置が観測よりも北にあり、また関東甲信地方の降水系の表現も同様

に北側にシフトしている。FT21-27は、関東甲信地方の降水系の表現が弱い。FT9-15は降水の強度は不十分であるが降水系の位置は観測に近い。この降水予報のばらつきの原因について大気水蒸気量を用いて検証する。北陸・近畿地方の事例ではAMSR-Eを用いたが、ここではDMSP衛星13号のSSM/I(第3.2節参照)による観測を利用する。分析を行う対象時刻の前後において、AMSR-Eは、分析対象領域周辺で観測が無くMSMとの比較ができないが、SSM/Iは、対象時刻において分析対象領域周辺における観測が有りMSMとの比較が可能のためである。図1.1.15は、SSM/IとクラスタFT33のMF082709とクラスタFT9-15に属するMF082803の可降水量を示したものである。FT33では、日本海側の可降水量が観測よりも過剰に広がっており、関東の東海上では過小となっていた(図1.1.15(c))。このFT33では、本来は東海地方付近に予想されるべき降水系が、可降水量の多い北側の北陸地方付近に予想された。また、FT21-27の可降水量の分布は伊豆諸島周辺の可降水量が不十分であった(図略)。そのため、実況と比較して関東甲信地方への湿潤な気流の流入が維持されにくくなり、関東甲信地方での降水量の表現が弱くなったことが推察される。また、FT9-15に属する予報は、降水量としては過少であるがFT3-OBSクラスタを除けば他の初期時刻よりも観測に近い降水分布であったことが分かる(図1.1.15(b))。

(2) 改善に向けての展望

この事例は領域内の降水頻度としては、近畿・北陸地方の事例と比較して初期時刻の違いによるばらつきは少ない。ただし、降水系の形状及び分布は、初期時刻ごとに異なり、それら複数の初期時刻からの予報は、4つのクラスタに分類される。対象時刻の3時間前を初期時刻とする予報では、非常に観測に近い降水表現であった。これは、解析雨量の同化の効果が高いと考えられる。その他の3つの降水予報は、東海地方と関東甲信地方の降水系の表現の違いによって分類される。関東甲信地方の降水表現は、湿潤空気塊の流入が維持されることで観測に近くなると考えられる。例えば、降水表現が過少であった予報は、関東甲信地方に流入する気流の上流側にあたる伊豆諸島付近の大気水蒸気量が不足していた。また、愛知県付近で急激に発達し、豪雨をもたらした降水系の分類についても、上流側の環境の違いから理解される。豪雨をもたらした降水系の発生位置が、観測された降水系よりも北側に位置した予報では、日本海上の可降水量が観測よりも過大であった。その予報では、日本海沿岸の前線の位置が実況よりもやや北にあり山陰沖においても観測とは異なる湿潤な南の風が予想されている(図略)。この

事例においても初期値作成の高度化が予測の改善につながるものと期待できる。

1.1.6 まとめ

以上に、2008年の局地的大雨や豪雨に対するMSMの降水予報特性を検証し、その予報精度が不十分であった原因を調査した。そして、気象現象の特徴を把握し、その盛衰に寄与する要素に着目することで高頻度予報を有効利用できる可能性を示した。また、MSMの予報精度の改善には初期値、解像度、湿潤過程など、解決しなければならない課題が多くあることを確認した。これらの課題について、初期値の改善に関しては、非静力学メソ4次元変分法の現業化の詳細とその性能が第3.5節で、解像度に関しては、高分解能局地モデルによる力学的ダウンスケーリングの量的予報の改善に対する有効性が第4.2節で述べられている。そして湿潤過程の改善に関しては、サブグリッドスケールの降水を対象とした対流パラメタリゼーションの改善の取り組みが第3.6節に述べられている。数値予報課では、以上に挙げた諸課題を解決し、局地的大雨や豪雨等の予報精度を向上させるために鋭意様々な開発に取り組んでいる。

参考文献

- 気象庁, 2005: 夏(6~8月)の天候.報道発表資料 平成17年9月1日.
- 気象庁, 2006: 夏(6~8月)の天候.報道発表資料 平成18年9月1日.
- 気象庁, 2007: 夏(6~8月)の天候.報道発表資料 平成19年9月3日.
- 気象庁, 2008a: 夏(6~8月)の天候.報道発表資料 平成20年9月1日.
- 気象庁, 2008b: 災害時気象速報平成20年8月末豪雨. 気象庁, 災害時自然現象報告書2008年第3号.
- 津口裕茂, 2007: LAFによるメソアンサンブル予報数値予報課報告・別冊54号 気象庁非静力学モデルII-現業利用の開始とその後の発展-, 気象庁予報部, 241-245.
- 津口裕茂, 成田正巳, 2009: 2008年7月28日の兵庫県の大雨 ~ MSMの予測失敗の原因 ~. 2009年日本気象学会春季大会予稿集, B160.
- 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, 31-36.
- 成田正巳, 2008: 降水予報特性の問題点と改善. 平成20年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 43-47.

1.2 統計的検証¹

1.2.1 はじめに

現在、短期予報のための数値予報ルーチンでは、1日に4回の全球モデル（GSM）と8回のメソ数値予報モデル（MSM）が運用されており、予警報を組み立てる上で複数のモデル並びに初期時刻の予測結果を参照することができる。予報現業においては、高頻度に更新される数値予報から得られる情報を扱う中で、モデル間や初期時刻間の予測の違いに対して、どれに信頼を置くのかを選択する場面がある。また平成22年度には市町村を対象とする注警報発表の実施が予定され、合わせて導入される新しい予報作業支援システムでは、これまでの二次細分区域に替わって格子で構成される面的な降水量予測がGSM,MSM共に提供されるようになり、ますます数値予報モデルの予報結果の確からしさに注意が払われることになる。

本節では、1年間を通して降水量の予測精度を検証し、現行数値予報モデルの降水予測の統計的特徴を示す。特にスコアの時系列に注目することで、さまざまな時間帯の予報発表の際の参考となることを期待する。

検証期間は2008年4月1日から2009年3月31日の1年間を対象とし、2008年4月から5月と2009年3月を春季、2008年6月から8月を夏季、2008年9月から11月を秋季、2008年12月から2009年2月を冬季とする。検証で用いる各種スコアについては巻末付録を参照のこと。なおこの検証期間中、GSMへの適合ガウス格子の適用（2008年8月）、GSMにおける静止気象衛星の水蒸気チャンネルの晴天輝度温度同化（2008年8月）、MSMの雲氷数濃度の予報変数化と放射過程の高度化（2008年12月）などの改善があったので留意願いたい。それぞれについて詳細は第3章並びに平成20年度数値予報研修テキストを参考に願う。

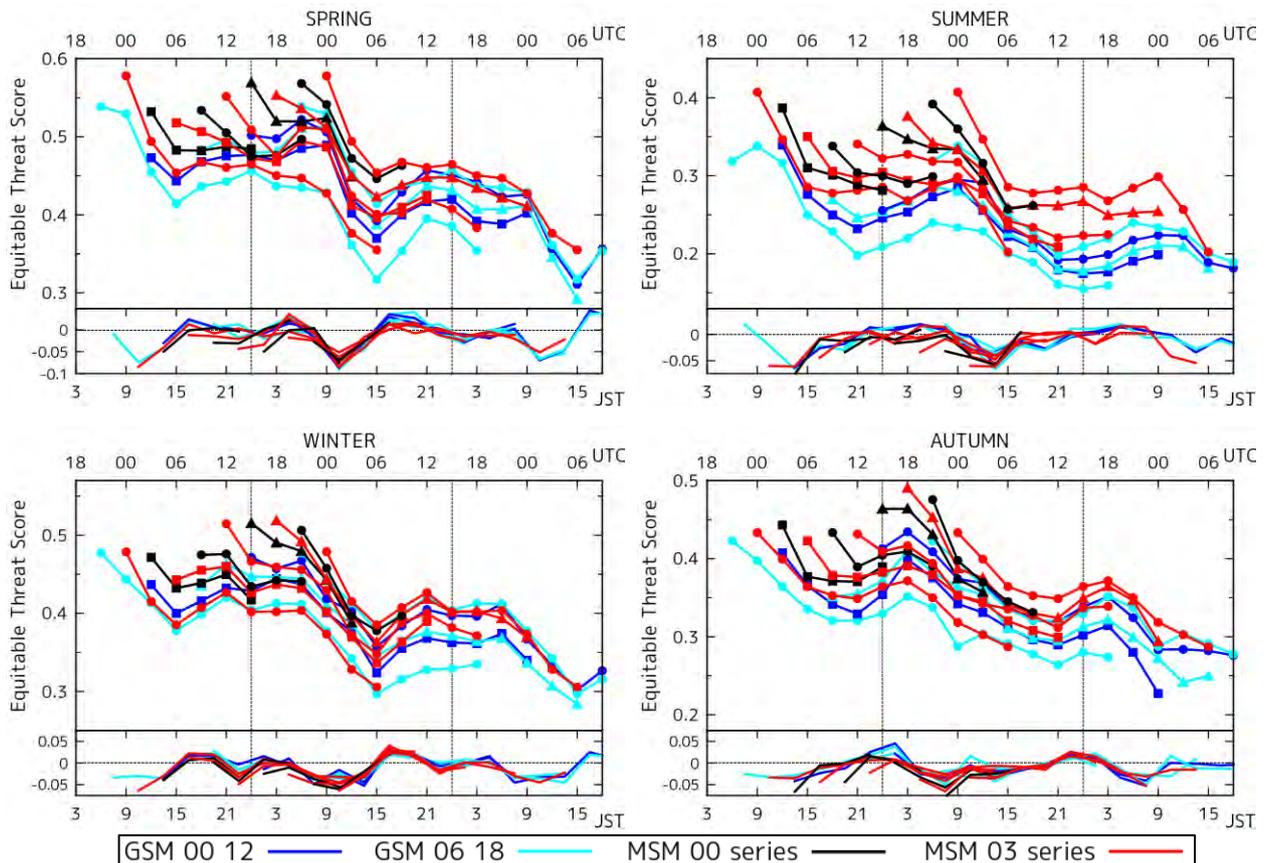


図1.2.1 1mm/3h以上の降水を対象にして、季節別に算出した各モデル、各初期時刻のエクイタブルスレットスコア（ETS）の時系列。左上から時計回りに春夏秋冬の順。濃い青はGSMの00,12UTC初期値予報、水色はGSMの06,18UTC初期値予報、黒はMSMの00シリーズ（00,06,12,18UTC初期値予報）、赤はMSMの03シリーズ（03,09,15,21UTC初期値予報）を表す。時系列の区別のため数種の記号を用いている。下軸はJST、上軸はUTCでの予報対象時刻を表し、日界を黒点線で示す。GSMは18UTC初期値予報から再び18UTC初期値予報まで、MSMは21UTC初期値予報から再び21UTC初期値予報まで、それぞれ5本と9本の時系列が初期時刻順に並ぶ。初めと終わりの時系列は同じものを24時間ずらして描いている。各図下段にはそれぞれの初期時刻について、ETSの3時間前からの変化量（前後のETSの差）を示してある。

¹ 森安 聡嗣

1.2.2 GSMとMSMの初期時刻別の検証

GSMとMSMの降水予測の対アメダス検証の結果を示す。検証は前3時間積算降水量に対して行い、モデルの降水量はアメダス観測点を囲むモデル格子4点の線形内挿により求めた。全国のアメダスを対象に1mm/3h以上の降水について、初期時刻別に3時間ごとのスコアを算出した。エクイタブルスレットスコア (ETS) とバイアススコア (BI) の時系列を季節別に、それぞれ図1.2.1と図1.2.2に示す。なおGSMはFT=48までを対象とした。

それぞれの時系列は初期時刻を明示していないが、GSMは18UTC初期値予報から始まり再び18UTC初期値予報まで、MSMは21UTC初期値予報から再び21UTC初期値予報までの各モデルのスコアが予報対象時刻に沿って順に並んでいる。前3時間積算降水量が対象となっているため、例えば00UTC初期値予報なら03UTC (12JST) から時系列が始まっている。

図1.2.1のETSの時系列からは、予報初期におけるMSMの優位性が顕著に見られ、解析雨量の同化の強みが発揮されているのがわかる。また、各初期時刻のETSは時間経過とともに一様に減少するのではなく、特定の時間帯に大きく低下していることが注目される。図1.2.1の各グラフの下段に、ETSの3

時間前からの変化量を全ての初期時刻について示した。GSM,MSMのどちらも大きな精度劣化が起こる時間帯があり、そのタイミングは初期時刻によらないことがわかる。季節別にみると春、夏、冬は12~15JSTにピークを持って精度が落ちている。特に春は12JSTに極端な精度劣化がある。秋は他の季節と異なり、夜遅く~未明を除いて精度は緩やかに落ちていっている。

次にBI (図1.2.2) をみると、MSMは季節や予報対象時刻にもよるが概ね1の周囲に分布しており、冬季を除けばやや1を下回る時間帯が多い様子が見られる。予報初期での前初期時刻からの改善は見られるが、そのまま持続せず、むしろ予報対象時刻に依存した振る舞いをみせる。GSMのBIはMSM同様、予報対象時刻に依存した振る舞いを特徴として、全体に1より大きな値で推移しており、特に夏季のBIが21JSTをピークに大きな値となっている。この結果捕捉率は良いが(図略)、夏季は他の季節に比べ、ETSはMSMより明らかに下回っている(図1.2.1)。GSMの強い降水の予測は過少である(後述)ので、これは弱い降水を過剰に予測していることを示している。このGSMの降水予測に関する性質はこれまでも度々指摘されており、弱い降水の予測過剰は不安定降水を広く、弱めに予測している結果と考え

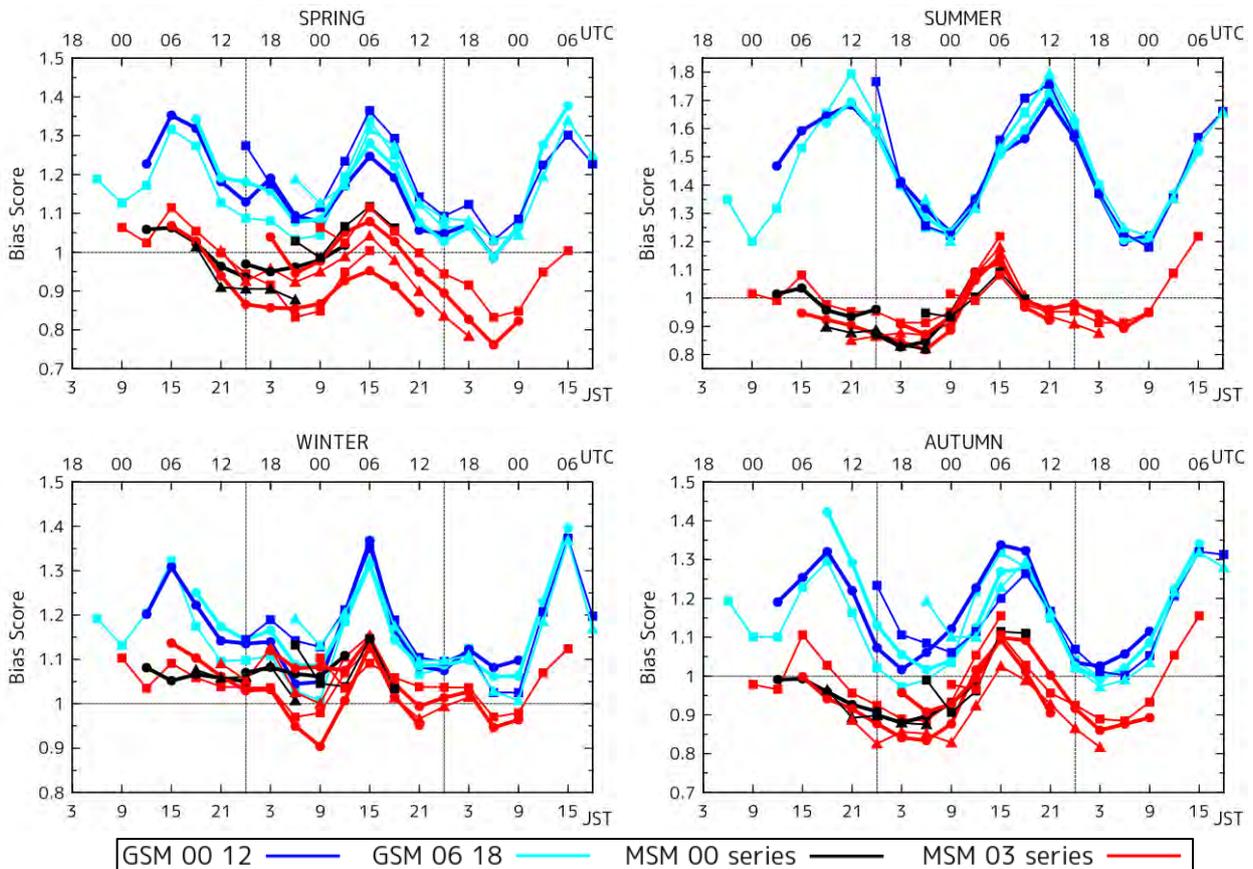


図1.2.2 1mm/3h以上の降水を対象にして、季節別に算出した各モデル、各初期時刻のバイアススコア (BI) の時系列。左上から時計回りに春夏秋冬の順。線種などは図1.2.1と同じ。時系列の区別のため数種の記号、線の太さを用的している。

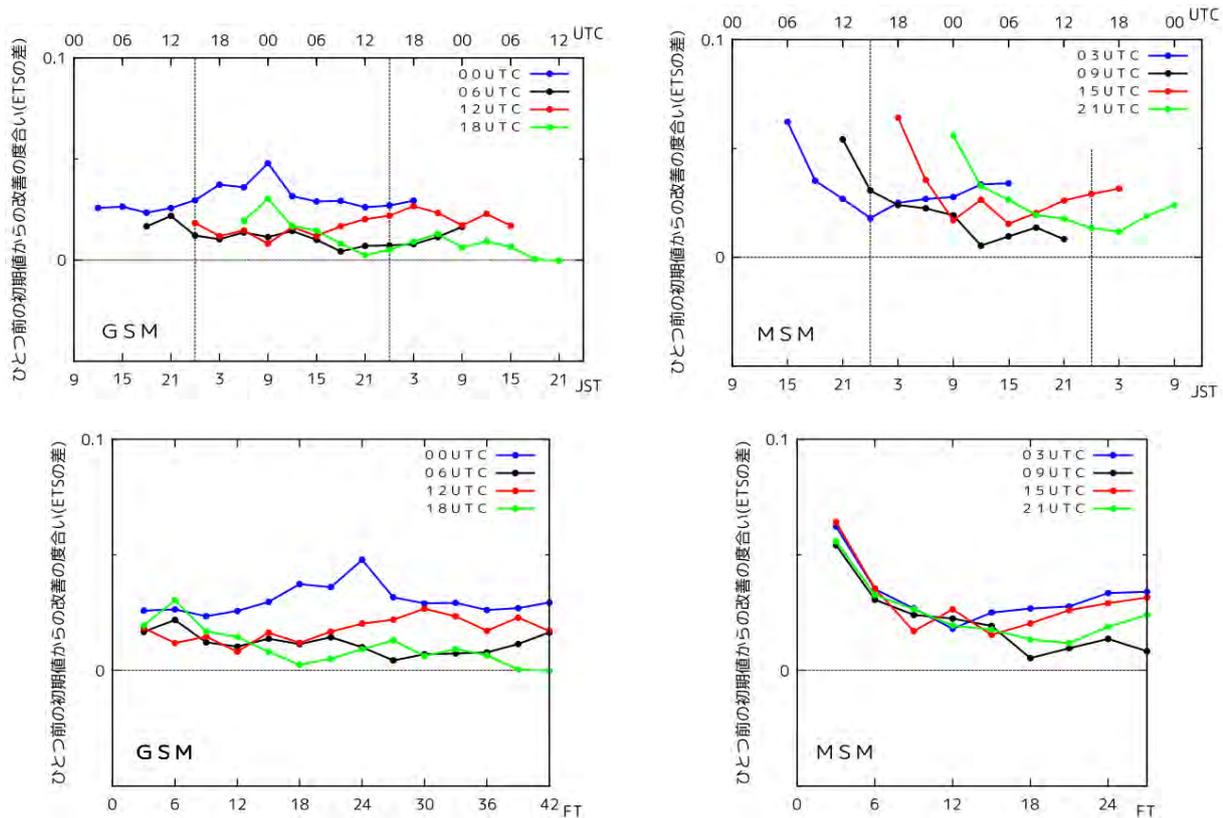


図1.2.3 GSM,MSMの03シリーズそれぞれについて、同一の予報対象時刻に対する6時間前の初期時刻の予報とのETSの差を示す(スコア算出の期間は通年)。左列がGSM、右列がMSMの結果で、上段は予報対象時刻に沿って、下段はFTに対しての時系列になっている。GSMの00UTC初期値予報の、18UTC初期値予報からのETSの変化量、すなわち予報改善の度合いを青で表している。同様に06,12,18UTC初期値予報のETSのそれぞれの6時間前の初期時刻の予報に対する改善の度合いを、黒、赤、緑で表している。MSMの03シリーズも同様に03,09,15,21UTC初期値予報の、それぞれの6時間前の初期時刻の予報に対する改善の度合いを順に、青、黒、赤、緑で表す。

られている(中川 2006; 大河原 2008)。

これらの予報対象時刻に依存したスコアの変化については第1.2.4項で詳しく述べる。また、ここで示したスコアは2008年度の天候の特徴に影響を受けている。例えば昨年7月は、全体の降水量が極端に少ないなかで、災害をもたらす局地的な強雨が幾度かあった。それらの強雨をうまく予測できなかったことで夏季のMSMのスコアは特に悪くなっている。この昨夏のMSMの降水予測に関しては第1.1節で詳しく述べられている。一方で度々低気圧の通過に見舞われた冬季の成績は、特にBIでの良さが際立っている。

1.2.3 初期時刻更新に伴う精度の改善

図1.2.1からはGSM,MSMともに、新しい初期時刻のETSが予報後半で、その一つ前の初期時刻のETSと同程度になることはあっても明瞭な逆転は起きていないことがわかる。従って原則的にはこれまで通り、最新の初期時刻の予報を使うことが望まれる。初期時刻更新による改善の程度を量るため、GSMとMSMの03シリーズ(初期時刻が03,09,15,21UTCで、

予報時間が33時間)それぞれについて、同一の予報対象時刻に対する6時間前の初期時刻の予報からのETSの変化量を図1.2.3に示す。これは通年のETSから求めている。値が正であると改善を表し、図1.2.3からは初期時刻が更新されれば改善された予報が提供されていることがわかる。MSMではここでも解析雨量同化による精度向上が窺われ、全ての初期時刻で予報初期3時間の改善の度合いが明らかに大きい。

さらに、GSMは00,12UTC初期値予報の前初期時刻からの改善が予報中盤以降で目立ち、特に00UTC初期値予報の改善が著しい。それに伴いMSMでも、GSMの00,12UTC初期値予報を境界値とする03,15UTC初期値予報の改善が予報後半まで持続していることがわかる。このことは、MSMの21UTC初期値予報の降水予測精度の劣化が15UTC初期値予報よりも速いとした古市(2007)や、03,15UTC初期値予報が09,21UTC初期値予報より精度が高い(ただし高層気象要素の統計検証による)とした長澤(2008)と整合している。

GSMの00,12UTC初期値の解析で用いる第一推

定値はサイクル解析を初期値としている。サイクル解析では観測の待ち受け時間を長く取り、より多くの観測データを集めることでより精度の高い解析を実施している。ここで示したGSMの00,12UTC初期値予報の改善には、衛星観測やラジオゾンデによる高層気象観測など、多くの観測データを同化した成果がはっきりと現れている。反対にGSMの06UTC初期値予報のFT=27以降、18UTC初期値予報のFT=18以降、MSMの09UTC初期値予報のFT=18以降などは、6時間前の初期時刻の予報に比べてあまり大きな改善は見込めないことになる。

1.2.4 予報対象時刻に依存したスコアの振る舞い

第1.2.2項でも触れたがスコアには予報対象時刻に依存した振る舞い、すなわち統計上の日変化がある。

降水予測精度の時間変化について、時間経過に伴う精度劣化に、特定の時間帯に大きく精度を落とす性質が重なっていることがわかった。

各季節と通年について、各初期時刻の予報開始からFT=24までを予報経過時間と予報対象時刻でまとめて算出したスコアを図1.2.4に示す。ここでも1mm/3h以上の降水を対象とし、ETS,BIに加えて見逃し率、空振り率を算出した。各図左列は予報経過に伴うスコアの変化（主として劣化）を表す。右列については、スコアが予報対象時刻に対する依存性を持たなければグラフは一定になるはずであるが、日変化が現れればそれに応じて予報モデルの得意とする時刻、苦手な時刻がわかる。

図1.2.4によると、全体として春季の精度が良く、夏季が悪い。また、GSM,MSMともに予報対象時刻

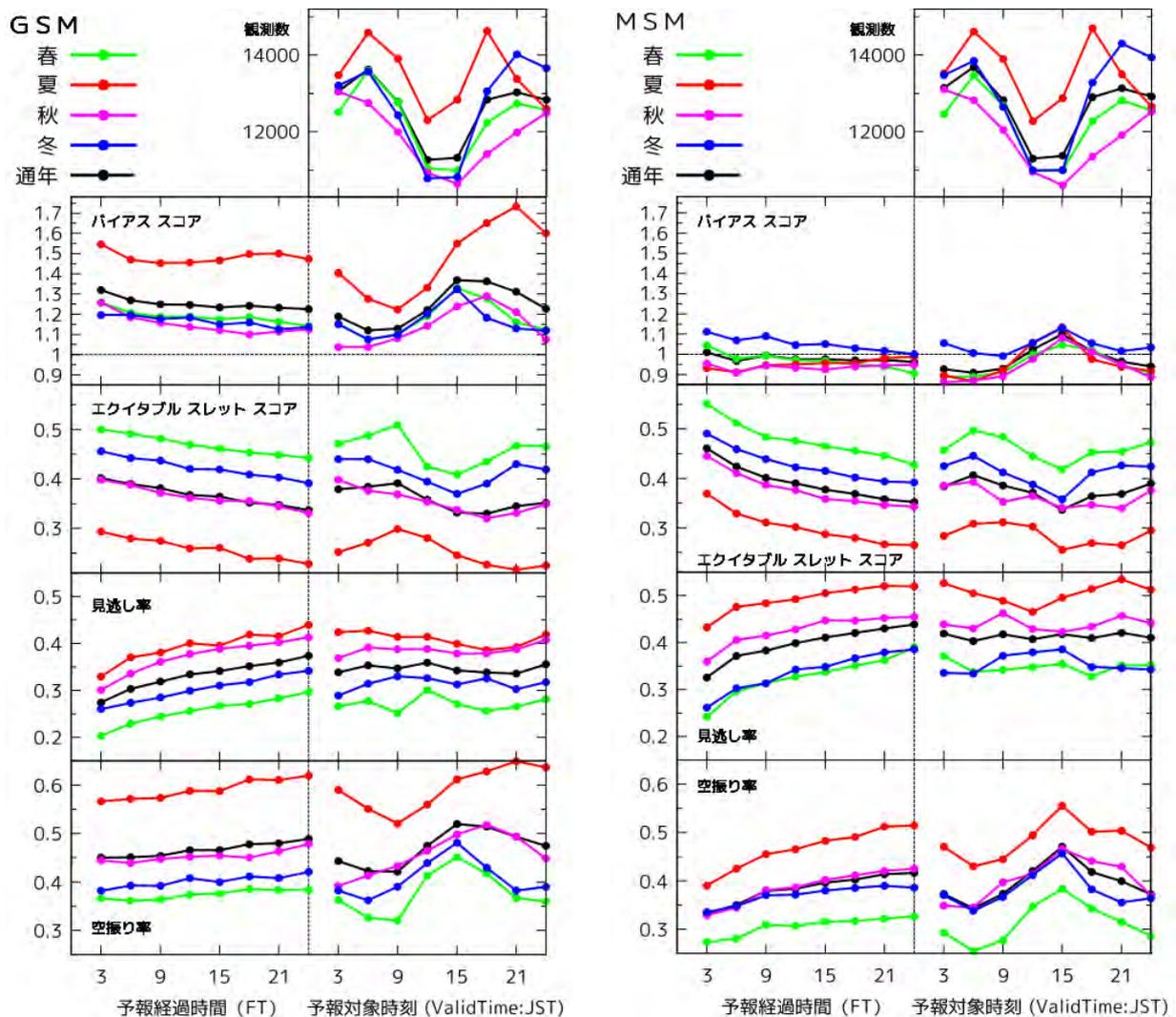


図1.2.4 各季節と通年について、各初期時刻のFT=24までを用いてFTごとにまとめたスコア（左列）と予報対象時刻ごとにまとめたスコア（右列）。上から順に、バイアススコア（BI）、エクイタブルスレットスコア（ETS）、見逃し率、空振り率。左図はGSM、右図はMSM。閾値は1mm/3h。春季：緑、夏季：赤、秋季：桃、冬季：青、通年：黒で表している。予報対象時刻に対応したアメダスの1mm/3h以上の観測数を両図の最上段に示す（通年の値は4分の1にしてある）。

に依存した変化が目立つ。最上段に示したアメダスの1mm/3h以上の観測数は季節によらず昼前後に極小となる日変化を示すが、どちらのモデルもこれをうまく捉えていない。GSMの降水予測は昼前の降水頻度減少に追随するものの過剰であり（図略）、昼過ぎの降水に関してはより過剰に予測し、このあと夕方にかけて（夏季は夜間一貫して）予測過剰の状態が持続している。その結果として昼前後に空振り率は上昇し、ETSを下げている。MSMはBIの上では比較的良好に降水を捉えているが、夜間の1以下のBIとGSM同様の昼過ぎをピークとした1以上のBIが認められる。この昼過ぎのタイミングで空振り率の増加、ETSの減少がある。

以上のように、どちらのモデルも季節を問わず昼過ぎに精度を下げ、夜間は劣化の程度が小さい。これは降水の多いときは比較的精度良く予報できるのに対して、降水の少ないとき（降水量としては多くとも面積が小さいときも含む）はうまく予報できていないことを表す。昼過ぎの空振り率の急増から

は、広めに予測した降水域の位置ずれが推測される。これは、GSMに関しては前述の不安定降水の予測過剰の反映と考えられ、GSM夏季の夜間はそれが極端に現れている。

強い降水については、強さが増すほど観測数が少なくなり、サンプル数を十分に確保できないため、ここでは10mm/3h以上の降水について述べる。図1.2.5は、閾値を10mm/3hとして求めた各スコアを図1.2.4と同様に描いたものである。ここでも予報対象時刻に依存したスコアの変動が見られるが、閾値1mm/3hの場合とは対照的に、季節ごとに異なった振る舞いになっている。これは10mm/3h以上の降水の頻度が季節によって異なることを反映しているためと考えられる。

まずGSM,MSMともにBIがどの時間帯も1を下回り、強い降水の予報が十分でないことがわかる（なお、アメダス地点に対応するモデルの降水量を内挿で求めていることで大きな降水量が出にくく、統計の性質上BIが小さくなってしまう傾向があるので

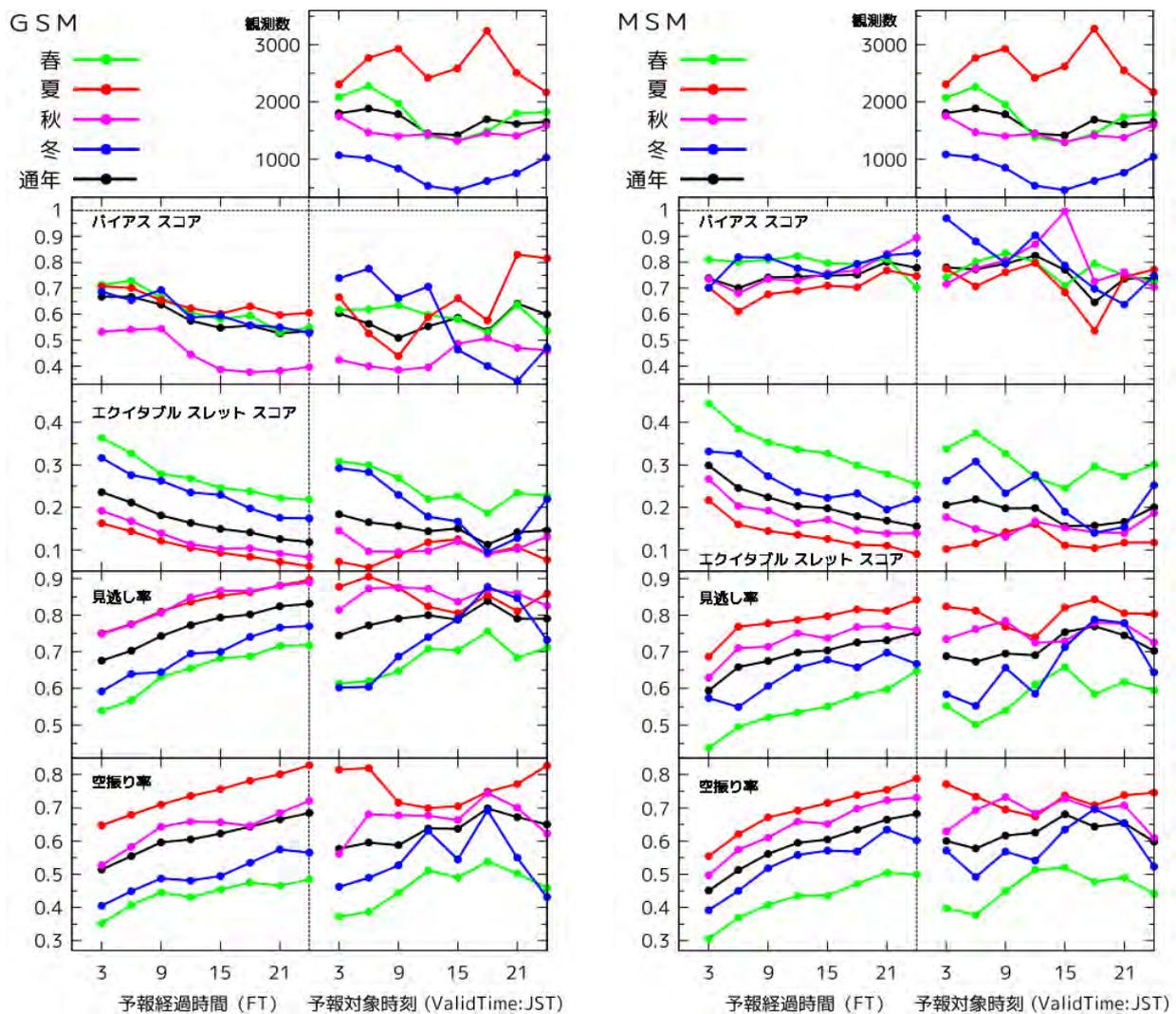


図1.2.5 10mm/3h以上の降水について求めたスコア。詳細は図1.2.4と同じ。

注意が必要である)。そのため各スコアは閾値1mm/3hよりも悪化しているが、春季の予報精度が比較的高く夏季が悪くなっていること、午後の精度が悪いのは同様である。また冬季の午後の低スコアは、現象自体の少なさから見かけ上強調されている。強い降水の出現頻度が高い夏季の夕方に注目すると、MSMのこの時間帯のBIは特に低くなっている。そのため見逃し率が高く、ETSも低い値を示している。不安定降水の予報が不十分なことが窺われる。

また対FTの図から、MSMでは冬季を除いて予報初期にBIが下がり、見逃し率の増加とETSの急な減少が認められる(閾値10mm/3hの冬季については観測事例の少ないことが特異な振る舞いに影響していると考えられる)。これは閾値1mm/3hの場合(図1.2.4)にもはっきり現れている。第1.2.3項で示したのと同様に、これらのスコアの振る舞いからも、解析雨量同化の効果が予報初期3時間程度において顕著である様子が見て取れる。

なおここで述べたGSMのBIの日変化に関しては以前から同様のことが、平井・坂下(2004)などに海外モデルにも(ピークの時間帯は異なるものの)共通の問題として報告されている。

1.2.5 まとめ

2008年度1年間を対象として降水予測の検証を行った。今回の検証はGSMとMSMで条件をできるだけ揃えるために、アメダスを対象にして、モデルの降水量をアメダス観測点を囲む4格子の内挿により求めた。そのため、強い降水の観測の寡少や平均することに伴う強い降水の予報の減少、降水域の位置ずれがほとんど許容されないという性質となっている。ただしモデルの降水量を、アメダス観測点を囲む4格子のうちの最大値にするなど別の方法を用いても定性的な結果は同様であった。検証により得られた特徴をまとめ、以下に記す。

- 基本的に初期時刻が更新されるたびに予報は改善される。従ってこれまでと同様であるが、最新の初期時刻のモデルを使うことが原則である。
- GSMの00,12UTC初期値の予報は初期時刻更新による精度改善の程度が高い。
- MSMの03,15UTC初期値の予報は初期時刻更新による精度改善が予報後半まで持続する。
- MSMの予報初期は解析雨量同化により精度が高く、特にFT=3程度までは効果が顕著である。
- GSMは弱い降水を過剰に予測する。夏季の午後は特に著しい。
- GSM,MSMともに強い降水の予報頻度が十分でない。
- 各初期時刻のスコアには日変化がある。

GSM,MSMともに日中にスコアの低下があり、一方夜間はスコアの低下が小さい。

- 日中の精度低下については、弱い降水の予報過剰、強い降水の予報過少による。

以上の統計的性質を念頭に、予報作業には直近の数値予報を重視していただきたい。また新しい初期時刻の予報でも、降水予測に関してモデルが苦手としている昼過ぎを中心とした時間帯には精度が劣化することに注意が必要である。

参考文献

- 大河原齊揚, 2008: 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, 7-18.
- 中川雅之, 2006: 降水事例検証. 平成18年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 36-39.
- 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, 31-36.
- 平井雅之, 坂下卓也, 2004: 日本域の降水量予測の国際比較. 数値予報課報告・別冊第50号, 気象庁予報部, 34-38.
- 古市豊, 2007: 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. 平成19年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 38-45.

付録1.2 地域別の検証

地域別の検証を参考に付す。全国を図1.2.6の天候の統計で用いられる地域区分に分割し、さらに東日本・太平洋側を内陸部(栃木・群馬・山梨・長野・岐阜)と海側に分けた8地域についてスコアを求めた。ただし、各地域はアメダスの観測点数が異なること、冬季は北日本を中心として観測休止をする観測点があることにより同等の統計ではないことに注意する必要がある。各地域のアメダス観測点数を表1.2.1に記す。

図1.2.7に閾値1mm/3hでの各地域の通年の結果を、図1.2.4と同様に示す。東日本・太平洋側の海側の地域の精度が良いことがわかる。また、降水の日変化に沿ったスコアの変動が認められ、東日本・太平洋側の内陸部は午後に極端にETSを落とす様子が目立つ。これはGSM,MSMともにBI、空振り率の急な増加があることから、午後の不安定降水を過剰に予想した結果と推察される。沖縄・奄美は観測点の少なさから十分な検証とは言いがたいが参考として同図に示しておく。

表1.2.1 地域区分とアメダス観測点数

地域	アメダス観測点数
北日本・日本海側	214
北日本・太平洋側	239
東日本・日本海側	92
東日本・太平洋側の内陸部	137
東日本・太平洋側の海側	158
西日本・日本海側	189
西日本・太平洋側	280
沖縄・奄美	37

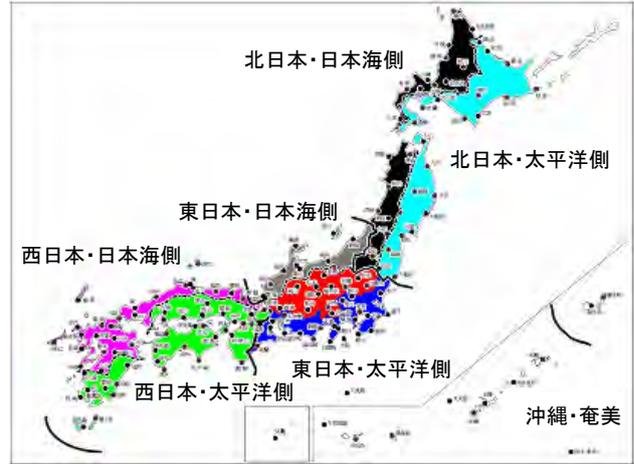


図1.2.6 地域別検証に用いた地域区分。天候の統計で用いられている。配色は図1.2.7の線種に対応。ここでは東日本・太平洋側をさらに内陸部（栃木・群馬・山梨・長野・岐阜）と海側に分割した。

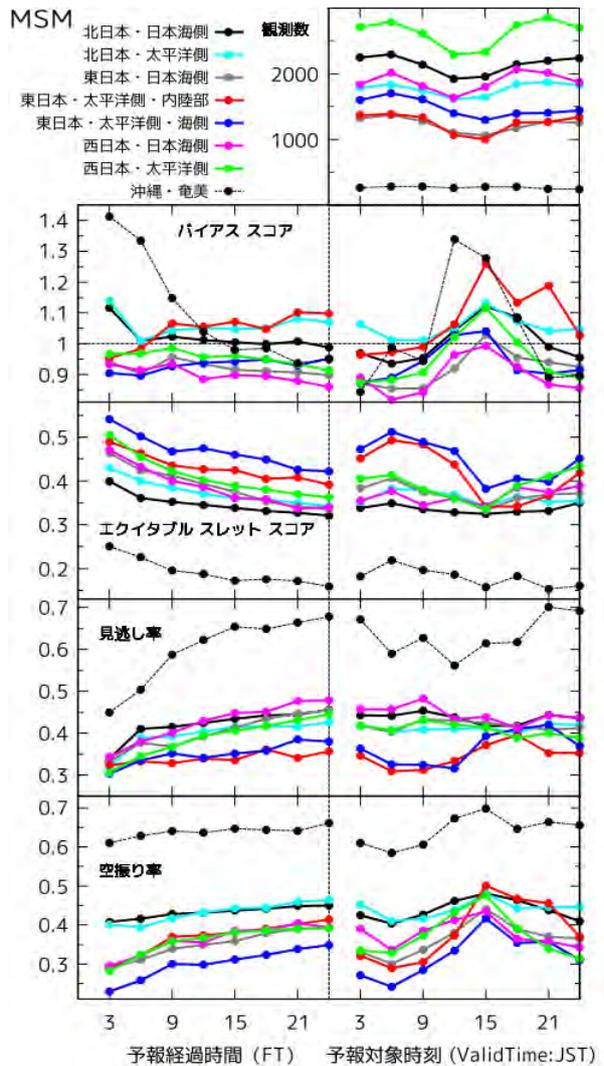
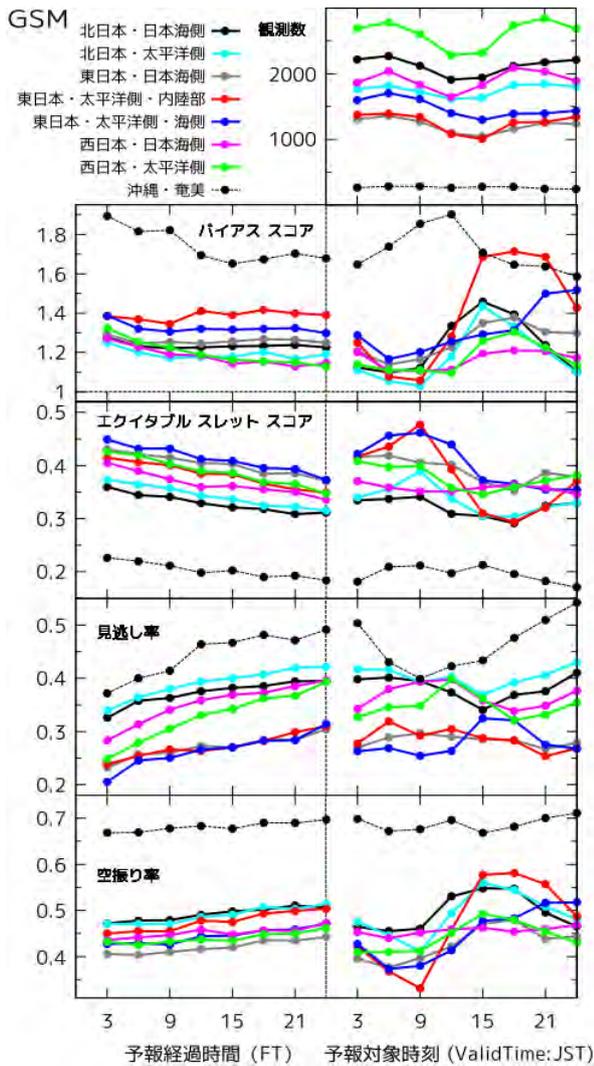


図1.2.7 地域別に求めた通年のスコア。閾値は1mm/3h。詳細は図1.2.4と同じ。線種は図中凡例のとおり。