

## 第4章 事例検討

### 4.1 渦位の追跡によって見る MSM における境界値の影響<sup>1</sup>

#### 4.1.1 はじめに

第1.3節でも解説したように、領域モデルであるメソモデル (MSM) では上部・側面境界値として他のモデルからの入力が必要とし、MSM では全球モデル (GSM) の予測値を利用している。越智・石井 (2013) などで、領域モデルにおける側面境界値の影響について論じており、予測後半になるほど大きな場の予測が境界値の影響を受けやすいことが指摘されている。

本節では、渦位の側面境界からの流入に着目し、側面境界値の MSM への影響をより具体的に把握することを試みる。

渦位は絶対渦度と温位の鉛直傾度 (すなわち成層安定度) の積であり、等温面上では非断熱効果や摩擦がない限りは流体粒子の軌跡に沿って保存する量である。したがって、渦位は等温面上でトレーサーとして追跡することが可能である。また、地衡風近似が成り立つような規模の大きい流れにおいては渦位の分布からジオポテンシャル高度の分布を求めることが出来て、渦位の分布を指定することは高度の分布 (気圧分布) を指定することに対応する。

渦位については、渦位を用いた事例解析の例とあわせて原 (2015) で紹介しているので、詳細はそちらやその参考文献を参照していただきたい。

#### 4.1.2 事例1: 2016年4月7日に日本海を進んだ低気圧の事例

ここで取り上げるのは、2016年4月7日に低気圧が日本海を進んだ事例である (図4.1.1)。大陸の前線に発生した低気圧が発達しながら東進し、黄海、対馬近海を経て、日本海を東北東進した。

以下の議論では 330 K 等温面の渦位 (以下、IPV330 と記す) に着目する。この事例における 330 K 等温面の高度をおおよそ把握するために図4.1.2に図4.1.1と同じ時刻を予測対象時刻とする GSM 予測の 330 K 等温面の気圧を示している<sup>2</sup>。図4.1.3に4月5日21UTCを初期時刻とする MSM (以下、「古い初期値のMSM」という) と4月6日03UTCを初期時刻とする MSM (以下、「新しい初期値のMSM」という) の4月7日06UTCにおける海面更正気圧、IPV330、および 330 K 等温面における水平風の予測を示す。

<sup>1</sup> 原 旅人

<sup>2</sup> どの等温面の渦位に着目するかは事例に依存する。事例解析にあたっては、いくつかの等温面渦位を観察したのちに、地上低気圧との位置関係の対応が議論しやすい等温面を選択している。上層の高渦位域に着目する場合は、地上低気圧との対応がよい等温面は 250 hPa~500 hPa の気圧に相当することが多い。

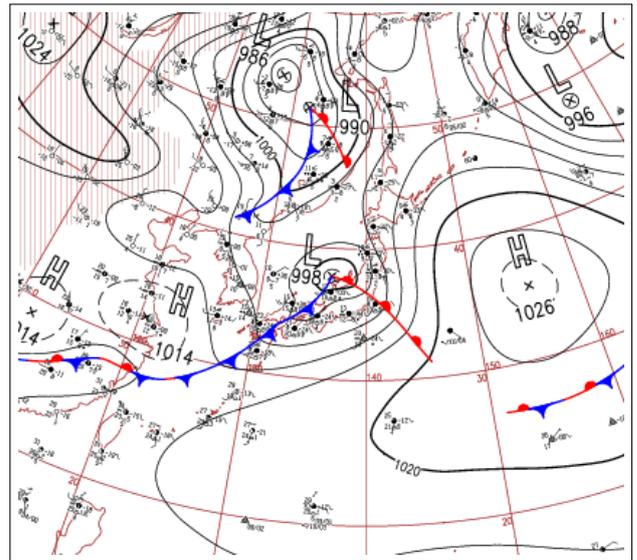


図 4.1.1 2016年4月7日06UTC (15JST) のアジア太平洋地上天気図。日本周辺を拡大して表示。

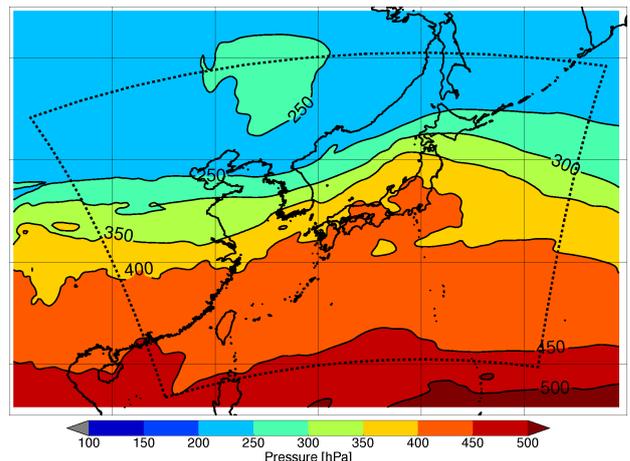


図 4.1.2 2016年4月6日00UTCを初期時刻とする GSM 予測の4月7日06UTC (FT=30) における 330 K 等温面の気圧 (単位: hPa)。図中の扇状の点線は MSM の予測領域を示す。

これらの予測は境界値として用いている GSM の予測が異なっていて、前者は4月5日18UTC、後者は4月6日00UTCを初期時刻とする GSM の予測を境界値としている<sup>3</sup>。

古い初期値の MSM の予測 (図4.1.3左図) に比べて新しい初期値の MSM の予測 (同右図) では日本海の低気圧が南に移動して本州寄りになり、低気圧中心 (極値を示す L の表示) はより東側に移動している。これは、実況の低気圧の位置 (図4.1.1) に近づく予測の

<sup>3</sup> 原 (2008) でも解説されているように、ある初期時刻の GSM の予測をその3時間後、および6時間後を初期時刻とする MSM の予測 (および解析) で境界値として用いている (例: GSM00UTC 初期時刻の予測は MSM03UTC、06UTC 初期時刻の予測で境界値として用いられる)。

MSM 2016 年 4 月 5 日 21UTC 初期値 FT=33  
(予測対象時刻: 4 月 7 日 06UTC)

MSM 2016 年 4 月 6 日 03UTC 初期値 FT=27  
(予測対象時刻: 4 月 7 日 06UTC)

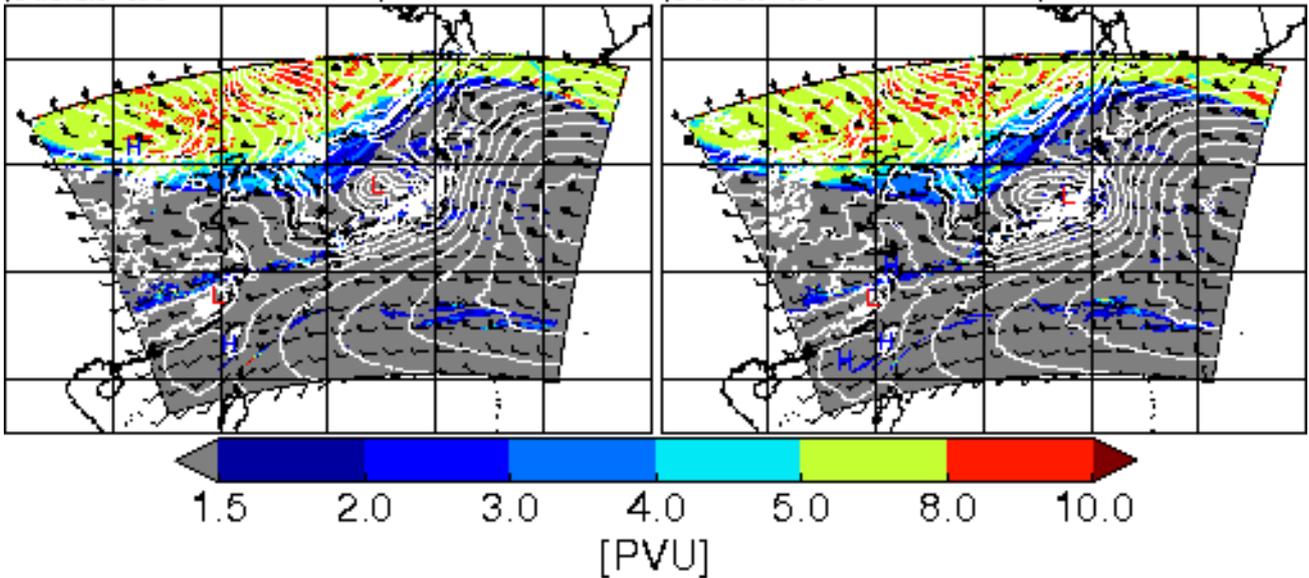


図 4.1.3 2016 年 4 月 7 日 06UTC を予測対象時刻とする MSM の 330 K 等温面上の渦位 (塗り分け、単位:  $\text{PVU}=10^{-6}\text{km}^2\text{kg}^{-1}\text{s}^{-1}$ ) 水平風 (黒矢羽、短い矢羽は 5 m/s) 海面更正気圧 (白等値線、単位: hPa) の予測。(左): 4 月 5 日 21UTC 初期値 (FT=33)、(右): 4 月 6 日 03UTC 初期値 (FT=27)。予測値は等緯度経度座標上に描画している。

GSM 2016 年 4 年 5 日 18UTC 初期値 FT=36  
(予測対象時刻: 4 月 7 日 06UTC)

GSM 2016 年 4 年 6 日 00UTC 初期値 FT=30  
(予測対象時刻: 4 月 7 日 06UTC)

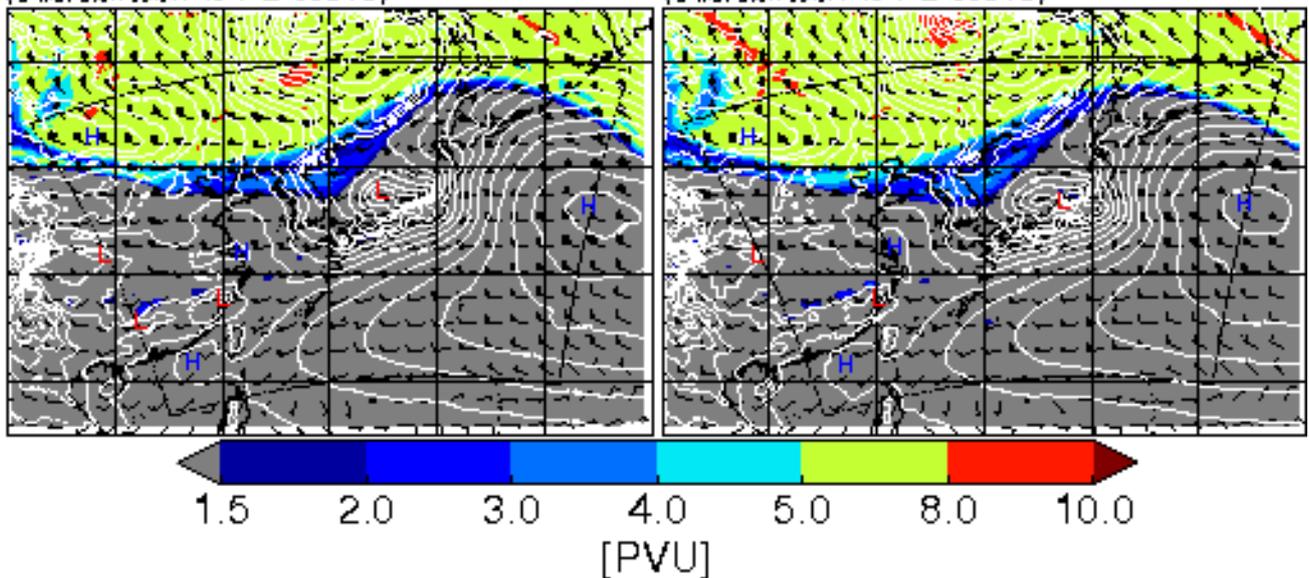


図 4.1.4 図 4.1.3 に同じ。ただし、GSM による予測で、(左): 4 月 5 日 18UTC 初期値 (FT=36)、(右): 4 月 6 日 00UTC 初期値 (FT=30)。図中の扇状の点線は MSM の予測領域を示す。

変化になっている。そして、着色されている高渦位域<sup>4</sup>も新しい初期値の MSM の方がより南下しているのがわかる (朝鮮半島付近における位置関係を見るとわかりやすい)。つまり、地上低気圧の位置が IPV330 で示される高渦位域の南下と関係する可能性を示している。

図 4.1.4 には図 4.1.3 に示した MSM 予測に境界値を

与えた GSM の予測値 (それぞれ 4 月 5 日 18UTC、4 月 6 日 00UTC 初期値) の同じ要素の図を示している。境界値を提供した GSM でも同様の予測をしている。

新しい初期値の MSM で地上低気圧の位置が変わった原因を調べるために、その地上低気圧の位置と相関が見られた高渦位域の時系列に着目する。図 4.1.5 に古い初期値の MSM の 6 日 12UTC から 6 時間ごとの海面更正気圧と IPV330 の予測を、境界値に用いた GSM の同じ時刻の予測とともに示した。まず、どの時刻に

<sup>4</sup> 本節で用いる等温面渦位の図では、1.5 PVU 以上の領域に灰色以外で着色している。以後でも、これらの図においてこの着色されている領域を「高渦位域」と呼ぶことにする。

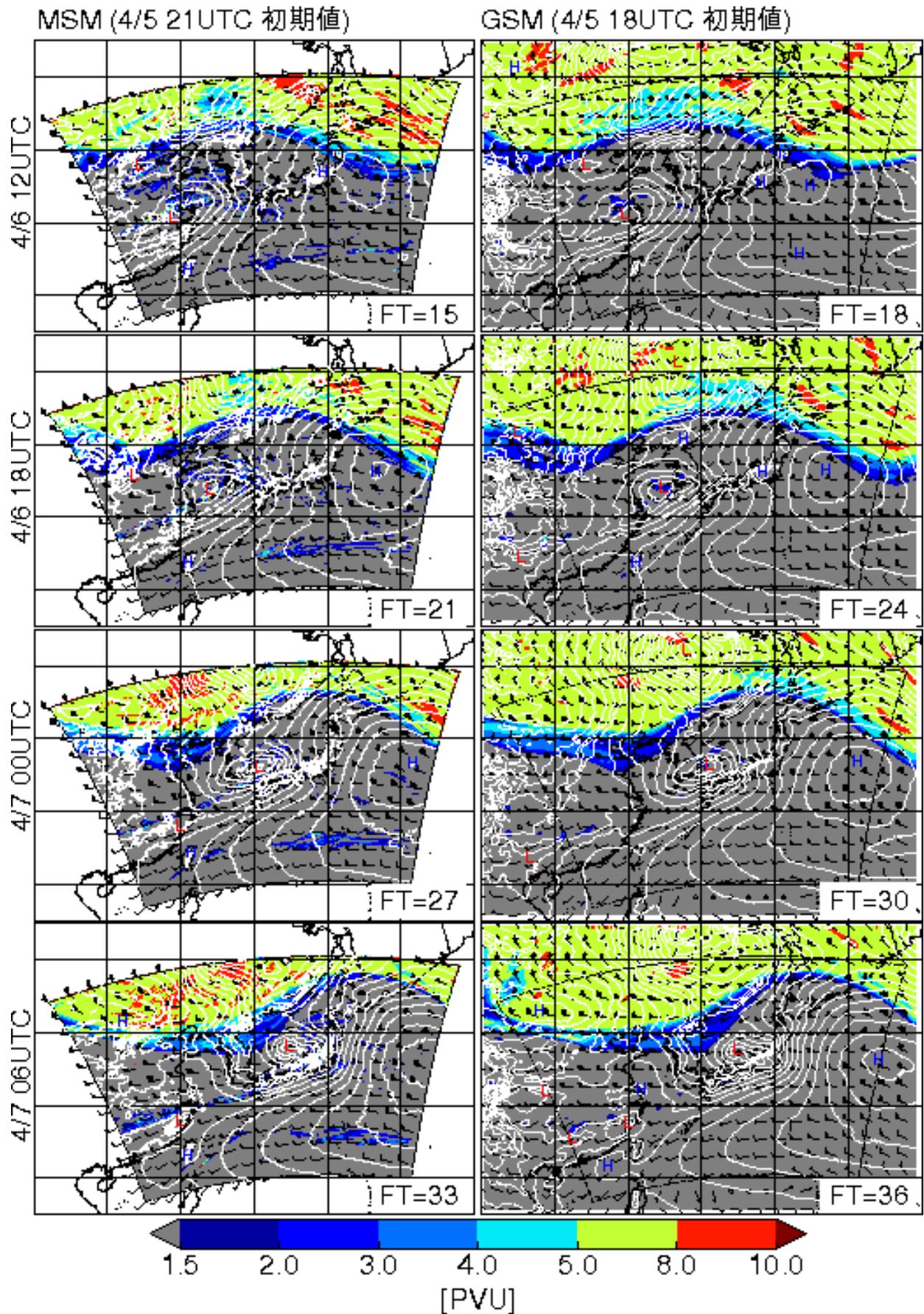


図 4.1.5 2016 年 4 月 5 日 21UTC を初期時刻とする MSM (左) と、その MSM が境界値として利用する 2016 年 4 月 5 日 18UTC を初期時刻とする GSM (右) の 330 K 等温位面上の渦位 (塗り分け、単位: PVU)、水平風 (黒矢羽、短い矢羽は 5 m/s)、海面更正気圧 (白等値線、単位: hPa) の予測。予測値は等緯度経度座標上に描画している。

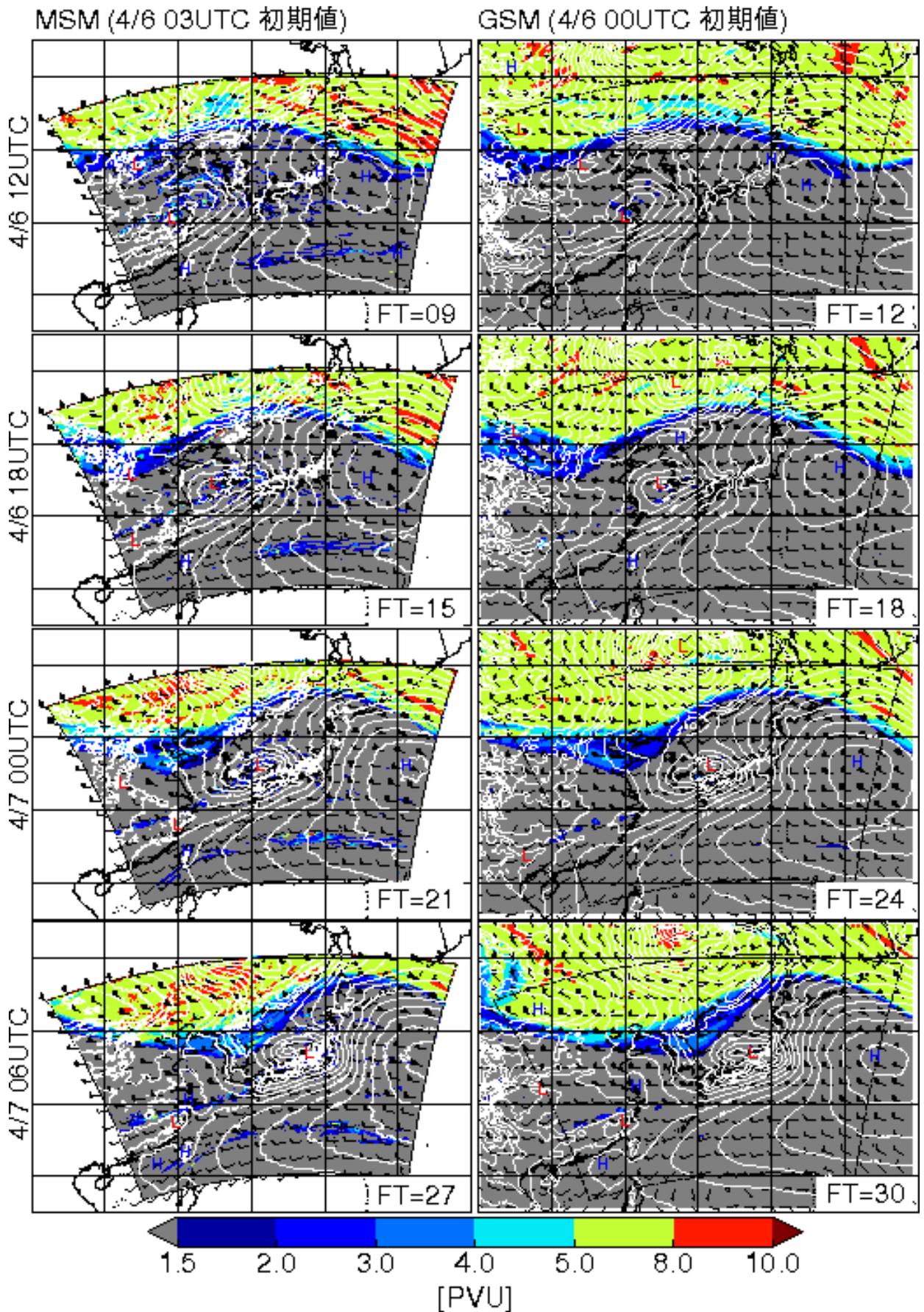
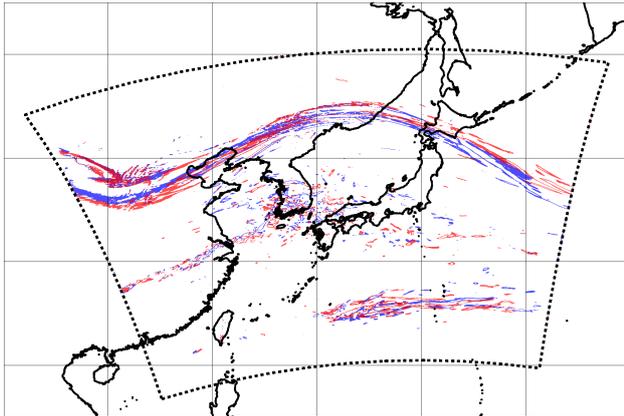


図 4.1.6 図 4.1.5 と同じ。ただし、2016 年 4 月 6 日 03UTC を初期時刻とする MSM (左) と、その MSM が境界値として利用する 2016 年 4 月 6 日 00UTC を初期時刻とする GSM (右) の予測。

MSM



GSM

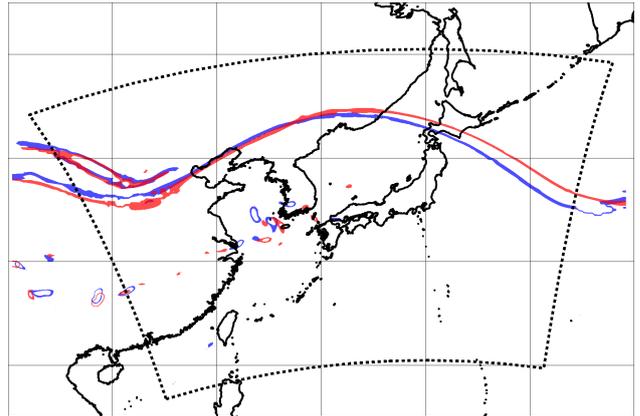


図 4.1.7 2016 年 4 月 6 日 18UTC を予測対象時刻とする MSM (左) と GSM (右) の IPV330 の予測で、1.5 ~ 2.0 PVU の部分だけを着色したもの。青が古い初期値 (MSM は 4 月 5 日 21UTC、GSM は 4 月 5 日 18UTC を初期時刻とするもの)、赤が新しい初期値 (MSM は 4 月 6 日 03UTC、GSM は 4 月 6 日 00UTC を初期時刻とするもの) を示す。図中の扇状の点線は MSM の予測領域を示す。

おいても MSM の西側境界付近での GSM の高渦位域の予測が MSM の予測とほぼ対応しており、高渦位を持つ大気の情報境界値として GSM から与えられて、その構造が MSM 内部に流入したと考えることができる。このことを踏まえて、7 日 06UTC から予測を過去にさかのぼると、7 日 06UTC に低気圧の西側 (朝鮮半島付近) にあった高渦位域は 6 日 12~18UTC ごろに MSM の西側境界から流入した高渦位域に対応している。つまり、西側境界から流入した高渦位域が時間とともに東進して 7 日 06UTC ごろに朝鮮半島付近に達したものであると言える。

図 4.1.6 には新しい初期値の MSM および GSM についての図 4.1.5 と同じ図を示す。6 日 18UTC の西側境界を見ると、新しい初期値の MSM のほうが古い初期値の MSM より南側まで高渦位域 (着色域) が流入しており、その後の時刻においても古い初期値の MSM と比較して、高渦位域の南端がより南側になっているのが分かる。このことは、同時刻で高渦位域の南端付近のみを着色した図 4.1.7 では明瞭である。同様の変化が境界値として用いられた GSM にも見られ、この GSM の予測の変化が境界値を通じて MSM の予測に影響したと考えられる。

#### 4.1.3 事例2：2016年6月24日から25日にかけて低気圧が発達しながら日本海を北東進した事例

次に取り上げる事例は、2016年6月24日から25日にかけて、低気圧が発達しながら日本海を北上した事例である。24日00UTCに黄海の前線上に低気圧が発生し、その低気圧が発達しながら日本海を北上し、25日00UTCには中心気圧が982 hPaまで発達して渡島半島の西の沖に達した(図4.1.8)。

##### (1) 地上低気圧と上層の高渦位域の予測

以下の議論では、上層の高渦位域として345 K等温位面における渦位(以下、IPV345と記す)に着目して議論する。事例1と同様に、この等温位面が対応する気圧を図4.1.9に示している<sup>5</sup>。

図4.1.10に、6月25日00UTC(09JST)を予測対象時刻とする6月23日09UTC、15UTC、21UTC、24日03UTCを初期時刻とするMSM、およびそれぞれのMSMが境界値に用いたGSM(6月23日06UTC、12UTC、18UTC、24日00UTC初期時刻)による海面更正気圧、IPV345、345 K等温位面における水平風の予測を示す。

MSMおよびGSMともに古い初期値から新しい初期値になるにつれて、日本海の低気圧の位置が北に移動していくのがわかる。そして、24日の03UTCを初期時刻とするMSMではほぼ実況に近い位置に低気圧を予測している。一方、そのMSMが境界値として利用した24日00UTCを初期時刻とするGSMでは、MSMの予測や実況に比べて低気圧の位置がやや南寄りになっている。

IPV345の予測に着目すると、高渦位域が低気圧の西側にあり、上層の高渦位域と地上低気圧に伴う下層の高渦位域が相互作用していると考えられる事例である。初期値が新しくなるほど、上層の高渦位域と地上低気圧は近づいており、相互作用がより強くなっていると考えられる。

23日09UTC初期値のMSMとそれに境界値を提供した23日06UTC初期値のGSM(図4.1.10の最上段)では、黄海付近で高渦位域が尖った形状で南下する様子が見られるが、その6時間後の23日15UTC初期値およびそれ以降のMSM、それらに境界値を提供したGSM(図4.1.10の2段目より下)ともにその尖った様子は見られなくなっている。その様子は、高渦位域の南端付近のみを着色した図4.1.11で見ると明瞭である。その結果、日本海付近では高渦位域がより南下して地上低気圧との相互作用を起こしやすく変化している。また、図4.1.10の2段目より下では高渦位域の予測に初期値間の大きな違いは見られない。

事例1と同様に、低気圧の西側の高渦位域の予測の

<sup>5</sup> 事例1では330 K等温位面に着目した。事例によって着目する等温位面は異なるが、高渦位域が対応する気圧は両者とも250~300 hPa付近であり共通している。

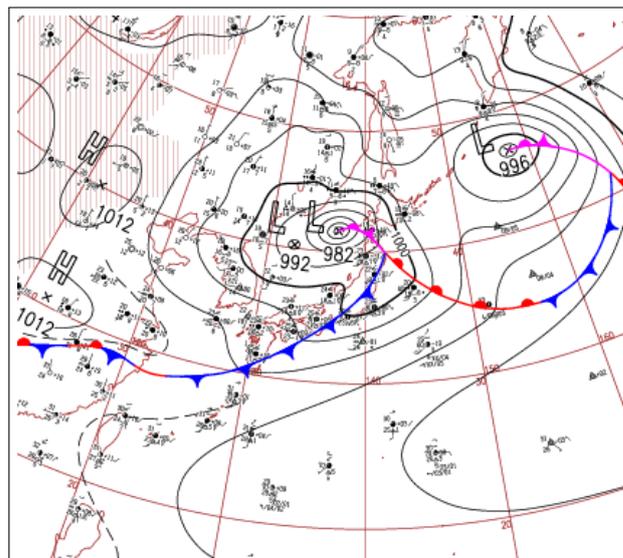


図4.1.8 2016年6月25日00UTC(09JST)のアジア太平洋地上天気図。日本周辺を拡大して表示。

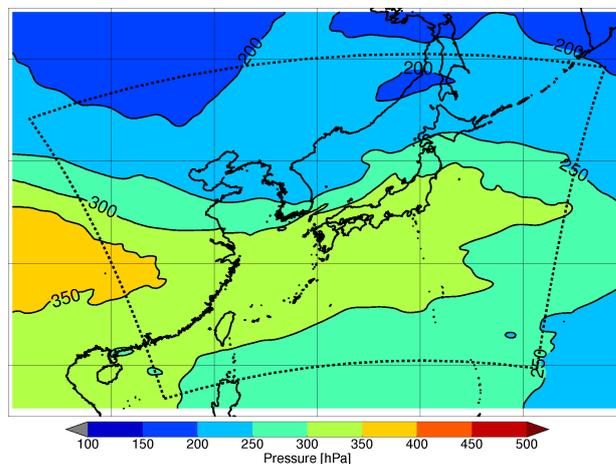


図4.1.9 2016年6月24日00UTCを初期時刻とするGSM予測の6月25日00UTC(FT=24)における345 K等温位面の気圧(単位:hPa)。図中の扇状の点線はMSMの予測領域を示す。

時系列に着目する。図4.1.12に6月23日09UTCを初期時刻とするMSMと、そのMSMが境界値として用いた6月23日06UTC初期値のGSM予測の海面更正気圧、IPV345、345 K等温位面における水平風の予測の時系列を示す。この事例においても、GSMの高渦位域が境界を通じてMSMの領域内部に流入しているのが確認できるが、この事例では高渦位域がMSMの西側境界に加え、北側境界からも流入していることが分かる。また、8 PVU以上の渦位を持つ領域に注目すると、東方からも高渦位域が回り込むなど<sup>6</sup>、事例1に比べて複雑な動きを見せており、北側境界からの高渦位域の流入がその回転に関与しているように見える。

すでに述べたように23日15UTC初期値のMSMやそれに境界値を与えたGSMの渦位の予測(図4.1.10

<sup>6</sup> 寒冷渦の周りを流れる大気に対応している。

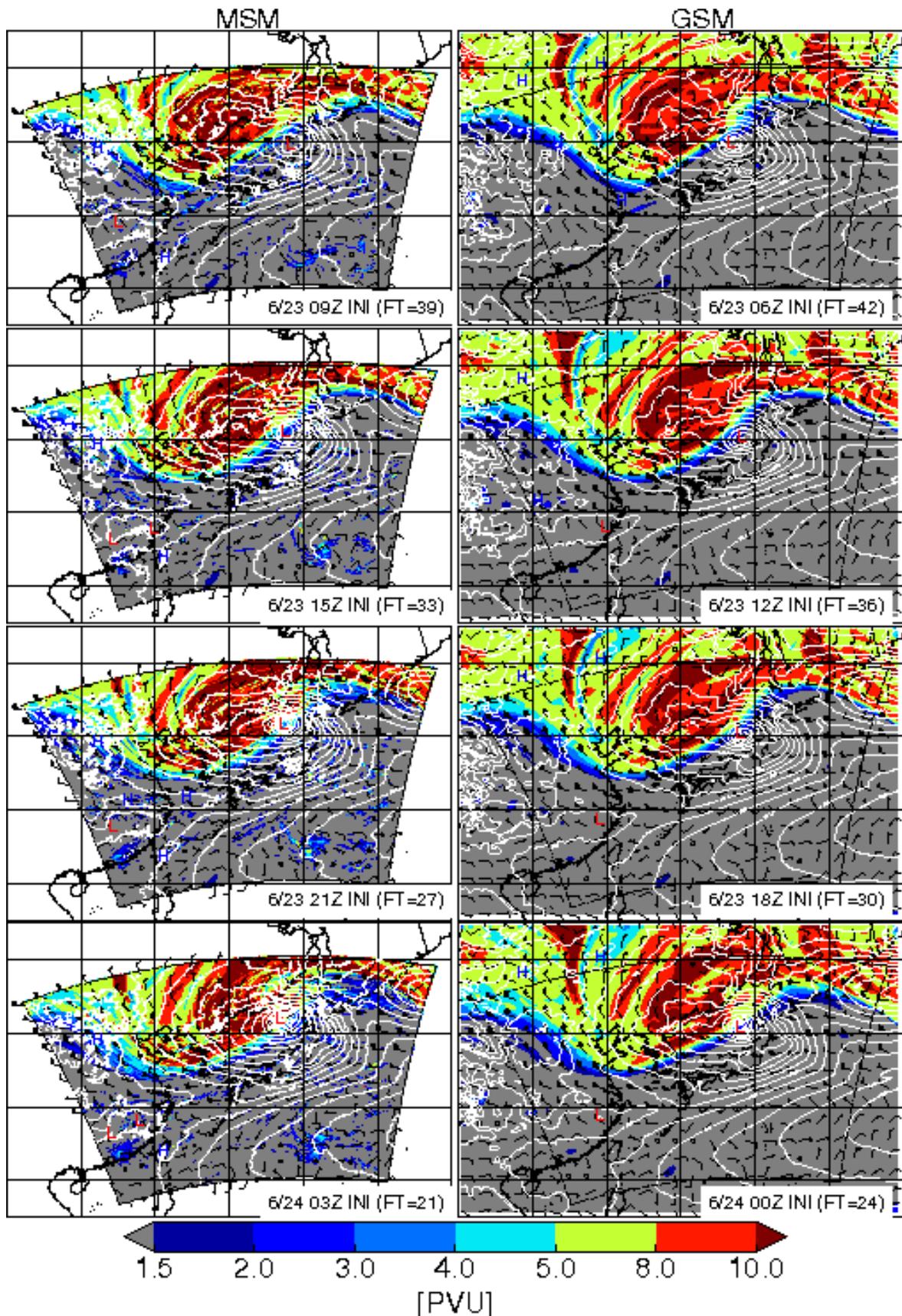
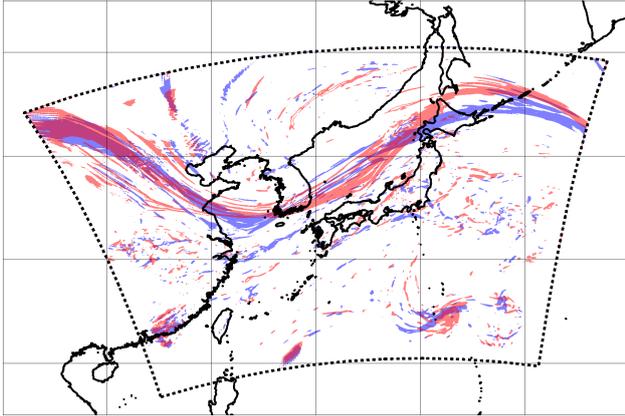


図 4.1.10 2016 年 6 月 25 日 00UTC を予測対象時刻とした 23 日 09UTC、15UTC、21UTC、24 日 03UTC を初期時刻とする MSM (左列) とそれぞれの MSM が境界値として用いた GSM (23 日 06UTC、12UTC、18UTC、24 日 00UTC 初期値) (右列) の 345 K 等温位面渦位 (塗り分け、単位: PVU) とその等温位面上の水平風 (黒矢羽、短い矢羽が 5 m/s に対応)、海面更正気圧 (白等値線、単位: hPa) の予測。等緯度経度座標上に表示し、図中の扇状の点線は MSM の予測領域を示す。

MSM



GSM

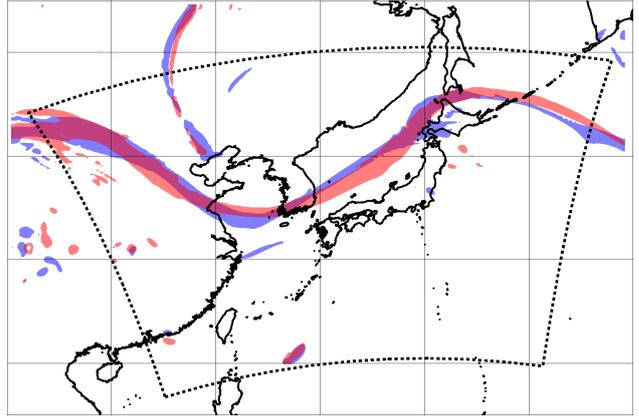


図 4.1.11 2016 年 6 月 25 日 00UTC を予測対象時刻とする MSM (左) と GSM (右) の IPV345 の予測で、1.5 ~ 4.0 PVU の部分だけを着色したもの。青が古い初期値 (MSM は 6 月 23 日 09UTC、GSM は 6 月 23 日 06UTC を初期時刻とするもの)、赤が新しい初期値 (MSM は 6 月 23 日 15UTC、GSM は 6 月 23 日 12UTC を初期時刻とするもの) を示す。図中の扇状の点線は MSM の予測領域を示す。

の 2 段目) はそれぞれ 6 時間前を初期時刻とする予測 (図 4.1.10 の最上段) から変化が見られた。その変化の起源を探るために、図 4.1.12 で示した同時刻についての新しい初期値 (MSM は 23 日 15UTC、GSM は 23 日 12UTC) の予測を図 4.1.13 に示す。図 4.1.12 および図 4.1.13 の 24 日 12UTC の高渦位域の西側境界からの流入を比較すると、MSM、GSM とともに新しい初期値の方がより南側まで高渦位域が流入して、古い初期値では高渦位域の南端が南北に立っているのに対し、新しい初期値ではその傾きがやや緩やかになっている。そのことが高渦位域の東進とともに古い初期値では尖った形になっていたのに対し、新しい初期値ではなだらかになったことと関係している可能性がある。

この事例では、初期時刻の段階で MSM の予測領域に存在していた高渦位域が、既述の高渦位域の回転などにも関与していることなどから、MSM と GSM が同じような初期値変わりをたどった原因を境界から流入する高渦位域だけに求めるのは必ずしも適切ではないと考えられるものの、それが大きな要因の一つであったことを示唆している。

## (2) 下層の高渦位域—地上低気圧の MSM と GSM の予測の差の原因

すでに述べたように、24 日の 03UTC を初期時刻とする MSM とその MSM が境界値として利用した 24 日 00UTC を初期時刻とする GSM の間で低気圧の位置が異なり、GSM 予測では MSM 予測や実況に比べてやや南寄りであった。また、上層の高渦位域の予測に MSM と GSM で大きな違いがないことも示した。そのような状況の中で、モデル間で予測が異なる原因の一つに、下層の高渦位域の表現の違いがある。

図 4.1.14 に、300 K 等温面上の渦位 (IPV300)、海面更正気圧および前 3 時間降水量の MSM および GSM の予測の時系列を示す。図 4.1.14 に示した領域では、

300 K 等温面は概ね 850 hPa の高度に対応する。2 つのモデルの予測を時系列で追っていくと、24 日 06UTC では低気圧の位置 (朝鮮半島の南東部) は両者で大きく変わらないが、3 時間後の 09UTC には GSM の予測に比べて、MSM では低気圧の位置を北寄りに予測している。そして、GSM は 10 mm/3h 以上の強めの降水域を低気圧中心の南側から東側に予測しているのに対し、MSM では低気圧中心付近、およびその北側から東側に強めの降水域を予測している。図 4.1.13 から推測できるように、この時刻には上層の高渦位域が地上低気圧にかなり近づいていることから、低気圧の北側の下層の渦位がやや強い MSM の方が上層の高渦位域と強く相互作用を起こし、低気圧をより北上させた可能性が考えられる。その後も MSM の方が GSM よりも低気圧を北寄りに予測しているが、低気圧周辺の降水分布、それに対応する高渦位分布にも違いが見られる。GSM の予測では、強い降水域は低気圧の中心付近と中心の南側および東側に広がっているが、MSM の予測では北側にも比較的強い降水域が広がっている。それに対応して、GSM には予測がされていない低気圧中心の北側にも MSM は下層の高渦位域を予測している。これは降水をもたらした凝結に伴う加熱によって渦位が生成したためと考えられる。一方、GSM は MSM と比べて低気圧中心に下層の高渦位域を予測している<sup>7</sup>。そのため、MSM の方が上層の高渦位域と相互作用しやすくなっていて、上層の高渦位域に引っ張られて GSM 予測よりも MSM 予測のほうが北上の速度が速くなるとともに、より低気圧が発達して中心示度が低くなっているという可能性を考えることができる。

以上で示したように、非断熱加熱を伴う現象の予測は境界値を与えるモデルと似たような予測になるとは限らない。すでに述べたように、渦位の分布は気圧場

<sup>7</sup> この傾向は他の事例でも見られることがある。

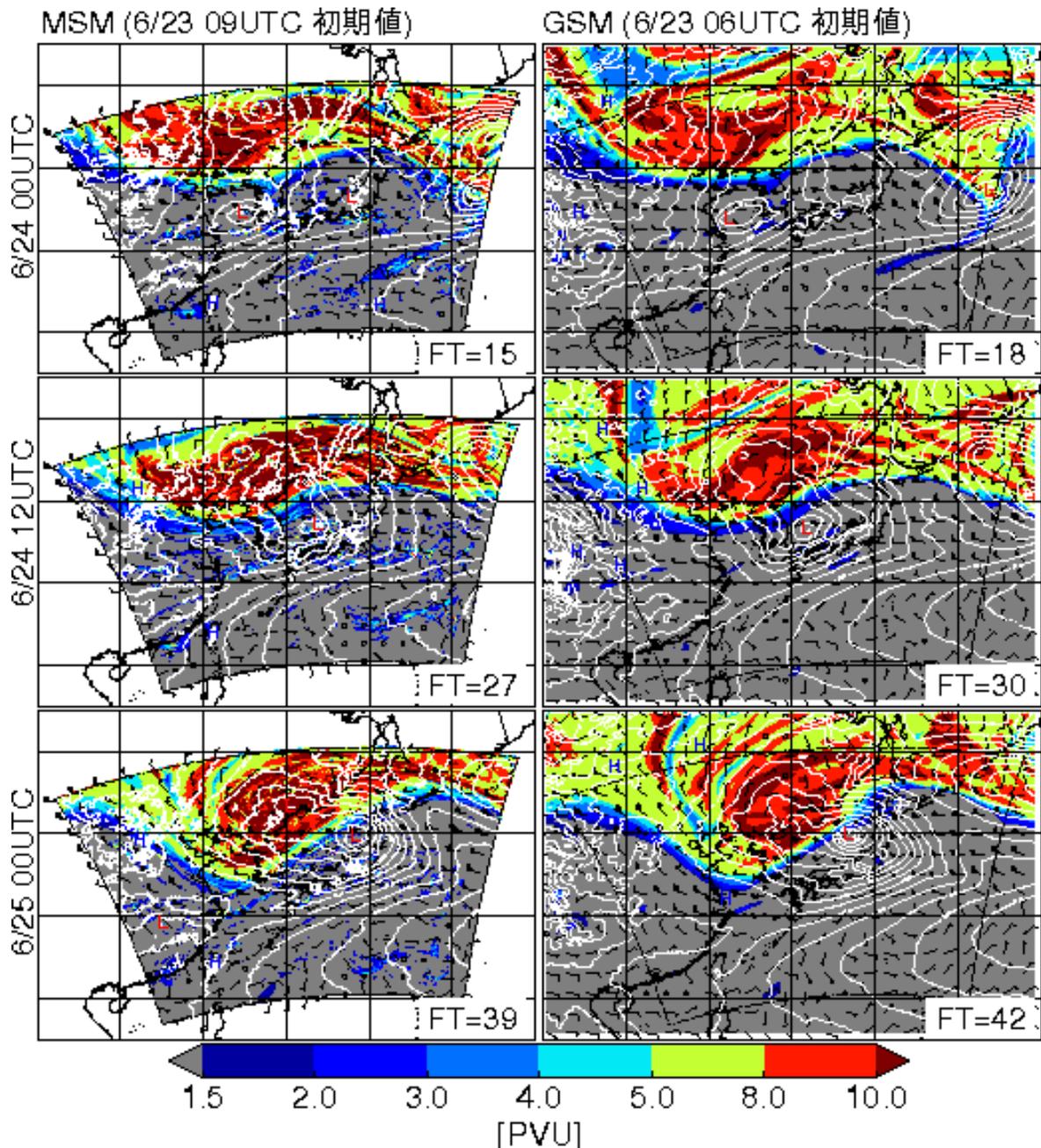


図 4.1.12 2016 年 6 月 23 日 09UTC を初期時刻とする MSM (左列) とその MSM が境界値として用いた同日 06UTC を初期時刻とする GSM (右列) の 345 K 等温位面渦位 (塗り分け、単位: PVU) とその等温位面上の水平風 (黒矢羽、短い矢羽が 5 m/s に対応)、海面更正気圧 (白等値線、単位: hPa) の予測。上から 24 日 00UTC、12UTC、25 日 00UTC を予測対象時刻とした予測。等緯度経度座標上に表示し、図中の扇状の点線は MSM の予測領域を示す。

を決めることから、非断熱加熱が小さく渦位の変化が小さいと考えられる上層では、境界値から流入する渦位によって大きなスケールの気圧場がある程度決められる。しかし、気圧場 (風系) がほぼ同じであっても、凝結が生じて雲や降水が形成される下層や中層では、モデルによる非断熱効果の表現の違いによって渦位の増減がモデル間で異なる場合がある。そのことが、低気圧の進行、発達などについてモデル間で予測が異なる原因の一つになり得るのである。

#### 4.1.4 まとめと留意点

以上のように、トレーサーとして用いることができる等温位面上の渦位を追跡することによって、MSM の予測が境界値を与える GSM の予測に影響を受けることが理解しやすくなる。典型的な低気圧の発生および発達では、下層での凝結によって低気圧に伴う下層の高渦位域が強化され、そこに上層の高渦位域 (トラフに対応) が西から近づいてきて下層の高渦位域と相互作用する様子が見られる。事例 1 のように上層の高渦位域が近づく前の下層の高渦位域 (低気圧) の表現に

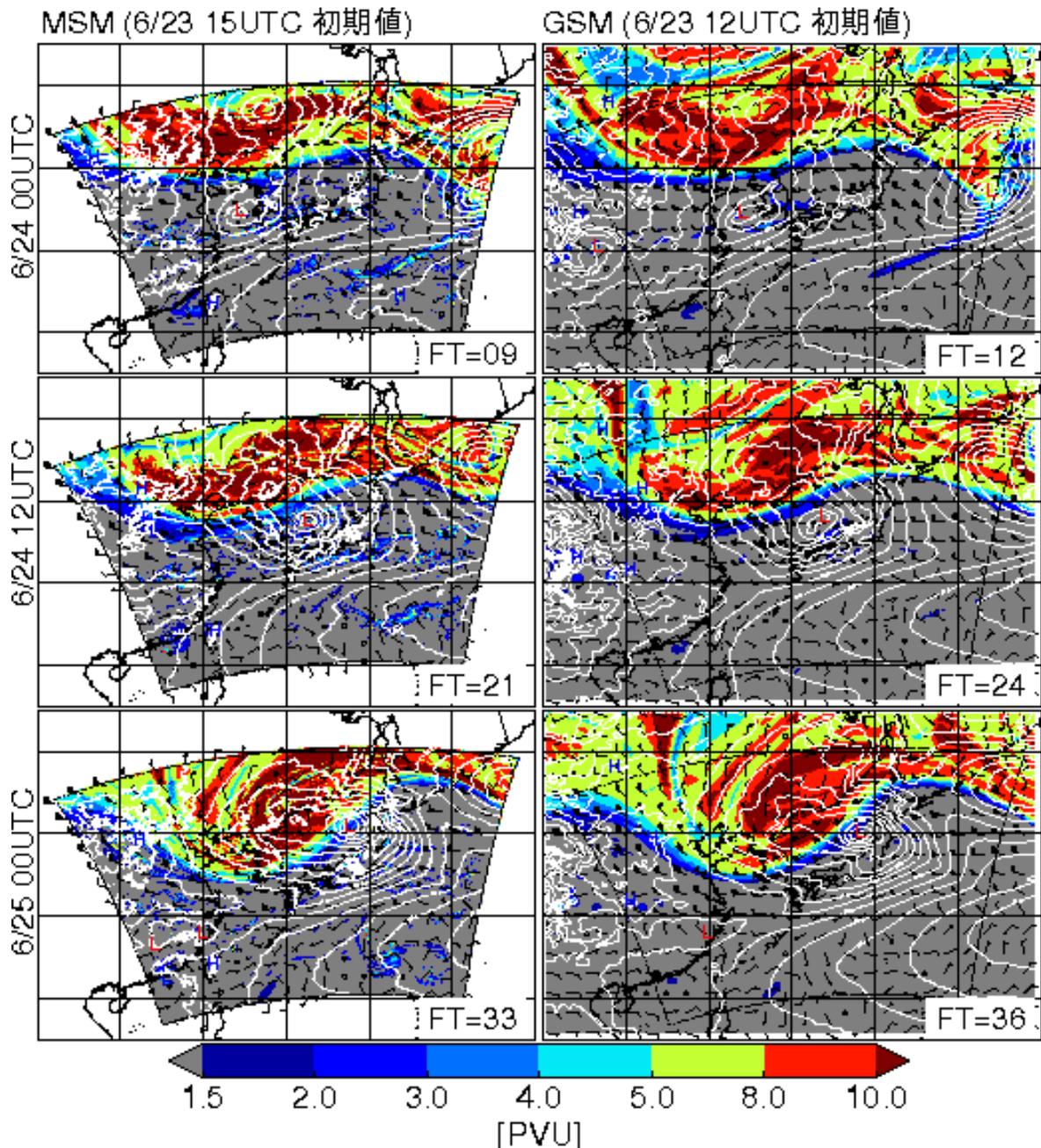


図 4.1.13 図 4.1.12 と同じ。ただし、2016 年 6 月 23 日 15UTC を初期時刻とする MSM (左列) とその MSM が境界値として用いた同日 12UTC を初期時刻とする GSM (右列) の予測。

モデル間で大きな違いが見られず、また、上層の高渦位域が MSM の予測領域外から流入する場合には、MSM は境界値を与える GSM の予測とよく似た予測をしやすくなる。このような場合には、GSM と MSM で予測がそろっていたとしても、それは GSM の影響が大きいため、そろっていることが予測の信頼度が高いことを示しているとは必ずしも言えないこと、初期値が新しくなると GSM の予測が変化すると MSM の予測も変化する場合があることに注意する必要がある。

事例 2 では、事例 1 と同じように、MSM の予測が境界からの高渦位域の流入に影響を受けることを示したが、同時に下層の渦位の予測のモデル間の違いによ

ては低気圧の進行や発達予測に差を生じることでも示した。

これまでも周知されてきたことではあるが、MSM の予測を利用する際には境界値を与える GSM の予測に留意する必要がある。本稿では渦位をトレーサーとして用いて事例解析を行うことで、境界値の影響を考察するためのより具体的な着目点を示した。この解析においては、領域モデルにおける領域内への流入等を明確に追跡するために保存量である等温位面上の渦位を用いたが、保存量ではないものの、300 hPa や 500 hPa 面の高度場でもほぼ同様の理解が可能である。また、衛星水蒸気画像の暗域は上空の高渦位域と対応がよいこ

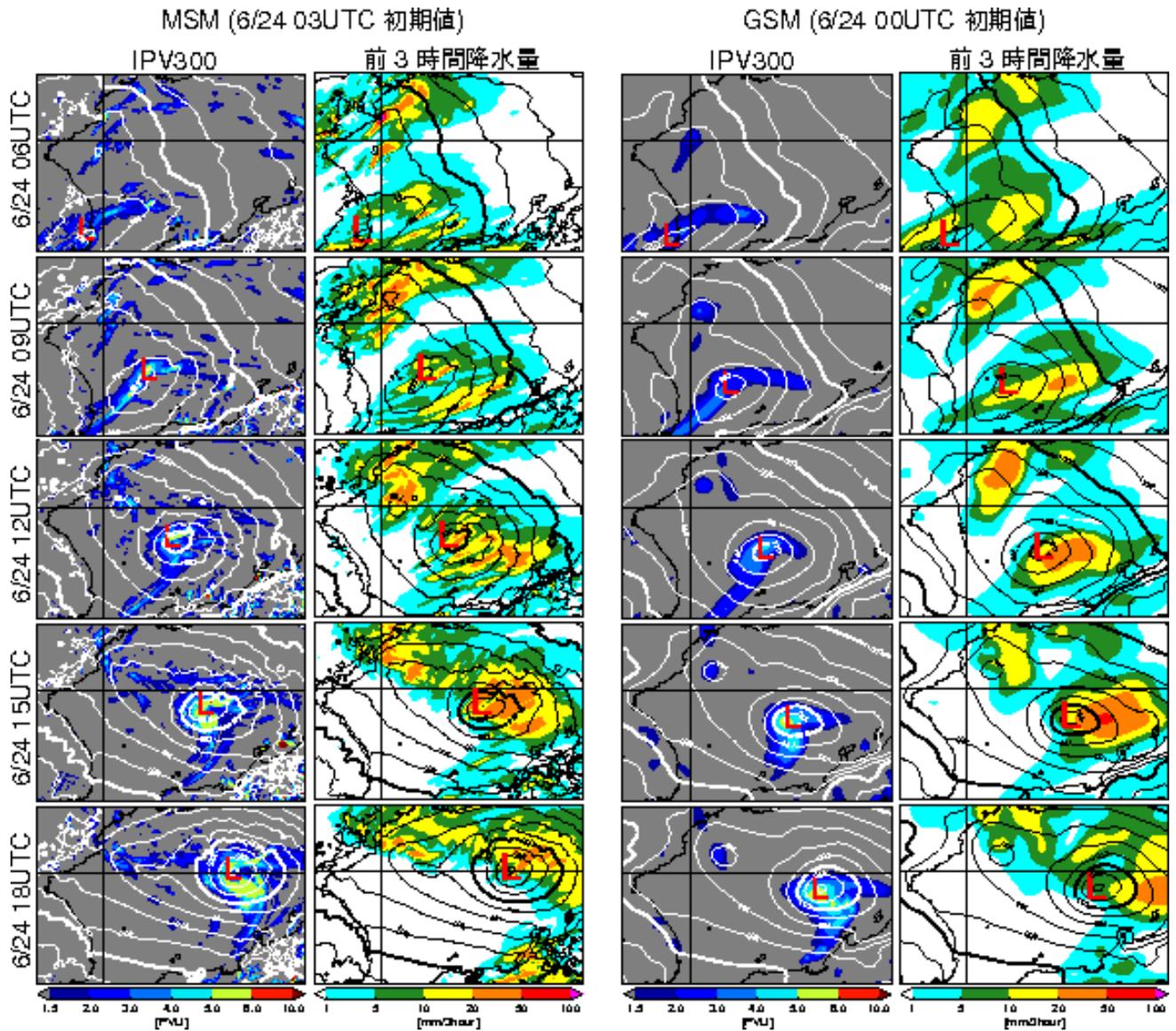


図 4.1.14 2016年6月24日03UTCを初期時刻とするMSM(左ブロック)と同日00UTCを初期時刻とするGSM(右ブロック)の(各ブロック左列)300K等温位面の渦位(単位:PVU)と海面更正気圧(白等値線、単位:hPa)(各ブロック右列)前3時間降水量(塗り分け、単位:mm/3h)と海面更正気圧(黒等値線、単位:hPa)の24日06UTCから18UTCまでを対象時刻とした予測。日本海を拡大して表示(図の西に朝鮮半島、南東に北陸、山陰地方が見える)。

とから、実況監視に活用できるであろう。

参考文献

越智健太, 石井憲介, 2013: 予報時間を39時間に延長したMSMの初期時刻別統計検証. 平成25年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 14-17.  
 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.  
 原旅人, 2015: 事例検討. 平成27年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 82-99.

## 4.2 寒気移流に伴う下層の気温低下のMSMによる予測について<sup>1</sup>

### 4.2.1 はじめに

原ほか(2013)、原(2015)では、南岸低気圧の接近、通過に伴う関東の降雪事例を取り上げ、降雪に至る下層の低温をもたらす物理的なプロセスについて紹介した。本項では、2016年1月の降雪予測事例を取り上げ、MSMの下層の気温予測について冬型の気圧配置に伴う下層の寒気移流の観点から考察してみる。

### 4.2.2 2016年1月23日の事例

ここでとりあげる事例は、2016年1月23日の事例である。関東の南岸に低気圧が発生し(図4.2.1)、その北側の関東で降水が予想されていた。

#### (1) 下層の気温の予測と実況

以下では、低気圧が関東に接近するほぼ1日前の1月22日03UTCを初期時刻とするMSMの予測に着目する。このMSMの予測では、東京付近で925 hPaの気温が $-2 \sim -3^{\circ}\text{C}$ 程度まで低下することが予測され(図4.2.2)、関東での降雪の可能性を含めた予報が発表された。しかし、実況の925 hPaの気温はMSMの予測よりも $1 \sim 2\text{ K}$ 程度高めに推移し、降雪は観測されなかった。

図4.2.3に館野における925 hPaの気温の実況(ゾンデ観測)とMSM予測の時系列を示す。1月22日12UTCまでにMSMは気温の低下を予測して、12UTCでは実況に比べて $1.5\text{ K}$ ほど低くなっている。23日00UTCでは前日12UTCと比べて観測でも気温の低下が見られるが、依然としてMSMは実況よりも $1\text{ K}$ 程度低い気温を予測している。

関東の南岸に低気圧が発生する前には関東付近では弱い冬型の気圧配置となっており、下層では北西風が卓越していた。実際に、原ほか(2013)、原(2014)と同様にモデルの各過程の時間変化率を見てみると、MSM予測における925 hPaでの急激な気温低下は北西風による寒気移流に伴うものであった(図略)。また、初期時刻から22日12UTCまでの海面更正気圧をメソ解析による解析値と比較してみると(図4.2.4)、予測初期のFT=3から大陸から張り出す高気圧の予測が日本付近で解析にくらべて徐々に強くなっていることがわかる。これは、過大な寒気移流と関係していると考えられる。

原ほか(2013)、原(2015)で取り上げた南岸低気圧の事例では低気圧の接近とともにもたらされる降水の蒸発や融解による冷却、低気圧に向かう寒気移流による冷却が下層の気温変化をもたらす原因の一つであったが、本事例では低気圧による降水がもたらされる前の冬型の気圧配置に伴う下層の寒気移流が下層の気温

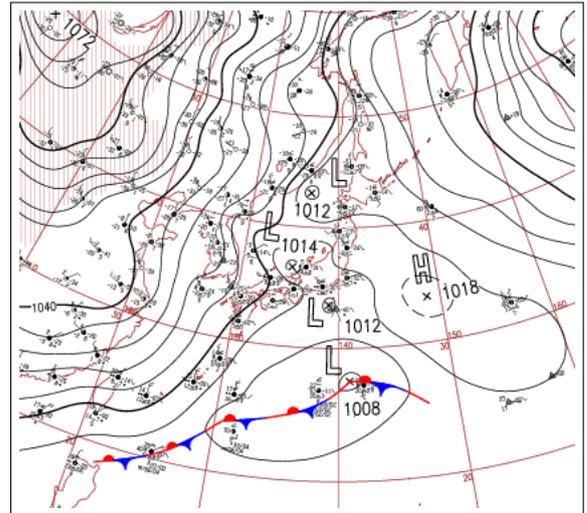


図 4.2.1 2016年1月23日06UTC(15JST)のアジア太平洋地上天気図。日本周辺を拡大して表示。

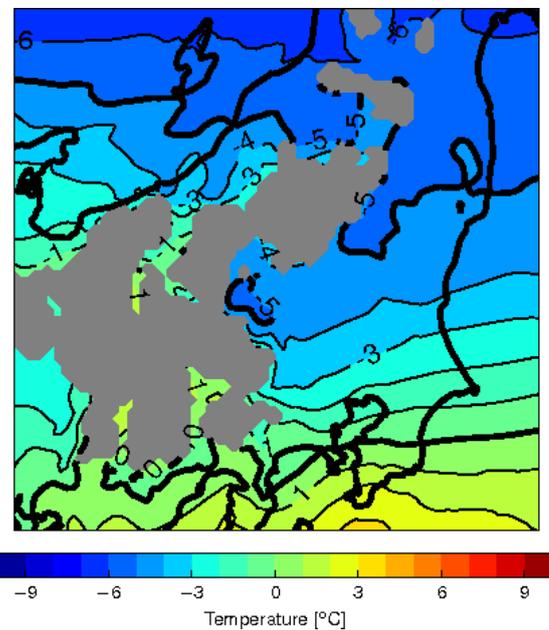


図 4.2.2 2016年1月22日03UTCを初期時刻とするMSMの1月23日06UTC(FT=27)の925 hPaにおける気温の予測(単位: $^{\circ}\text{C}$ )。グレーのマスクは地上気圧が925 hPaよりも低い領域を示す。

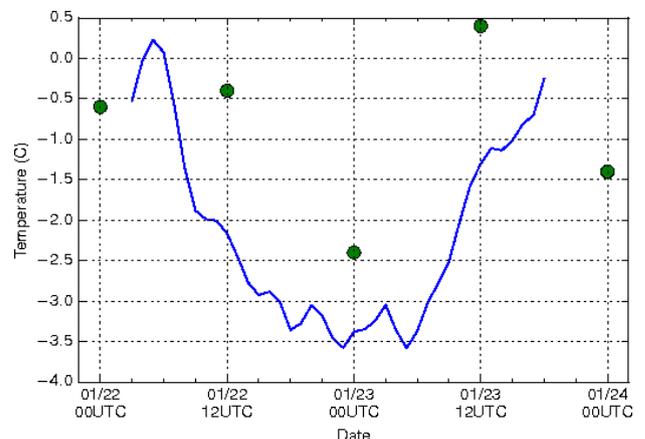


図 4.2.3 2016年1月22日03UTCを初期時刻とするMSMの館野における925 hPa気温の予測(青実線)とゾンデによる観測値(緑点)の時系列。

<sup>1</sup> 原 旅人

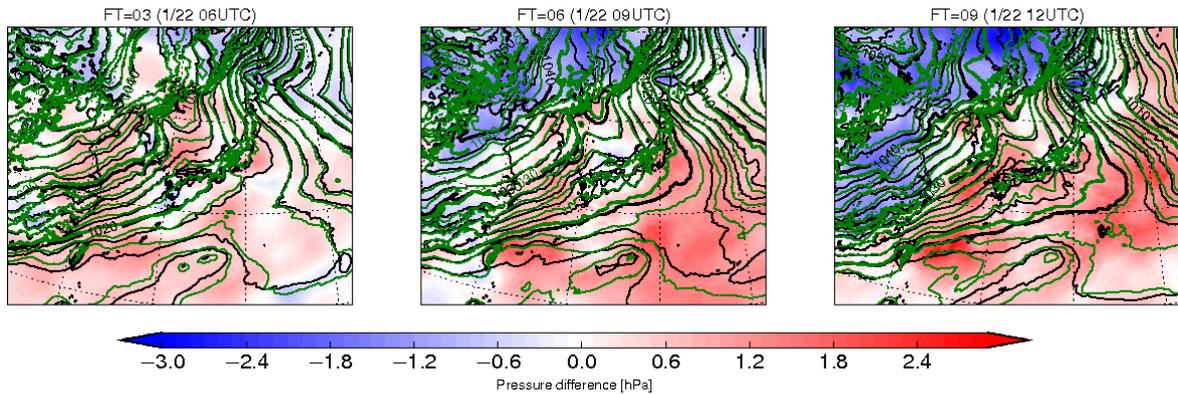
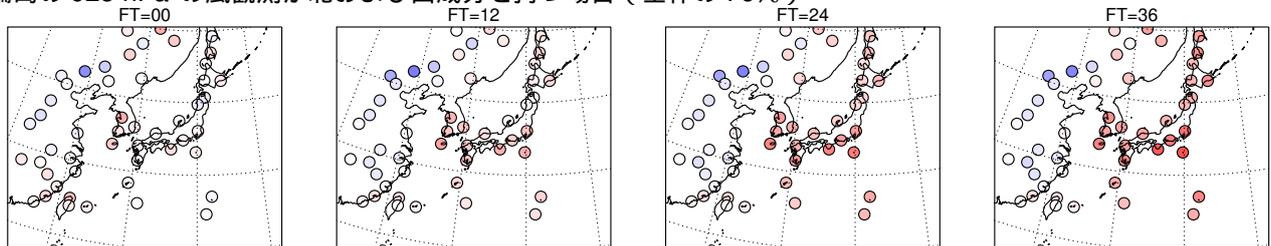


図 4.2.4 2016 年 1 月 22 日 03UTC を初期時刻とする MSM の海面更正気圧 (単位: hPa) の予測 (黒等値線)、メソ解析による解析値 (緑等値線)、および解析値からの予測値の偏差 (塗り分け)。左から FT=3, 6, 9 の予測。

### MSM 925 hPa ジオポテンシャル高度 平均誤差

輪島の 925 hPa の風観測が北および西成分を持つ場合 (全体の 76%)



それ以外 (全体の 24%)

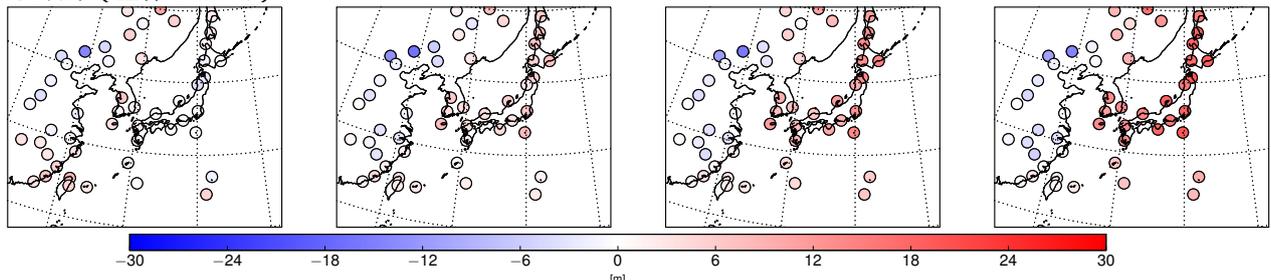
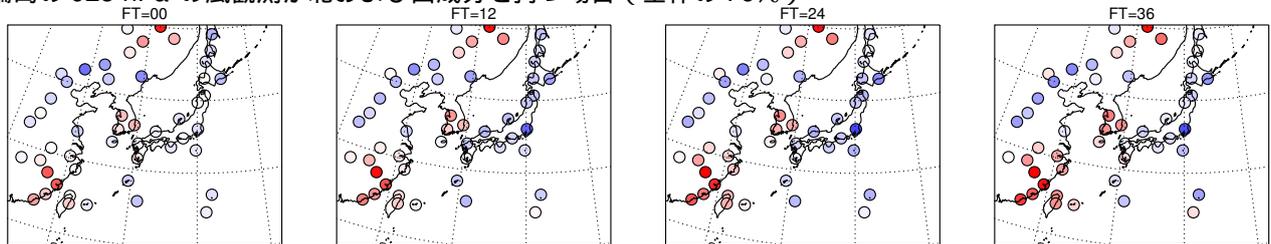


図 4.2.5 輪島の 925 hPa の風観測が北および西成分を持つ場合 (上段) とそれ以外 (下段) の場合におけるゾンデ観測地点ごとの 925 hPa ジオポテンシャル高度の MSM 予測の平均誤差 (単位: m)。左から FT=0, 12, 24, 36。統計期間は 2014 年 12 月 10 日 ~ 2015 年 1 月 14 日。

### MSM 925 hPa 気温 平均誤差

輪島の 925 hPa の風観測が北および西成分を持つ場合 (全体の 76%)



それ以外 (全体の 24%)

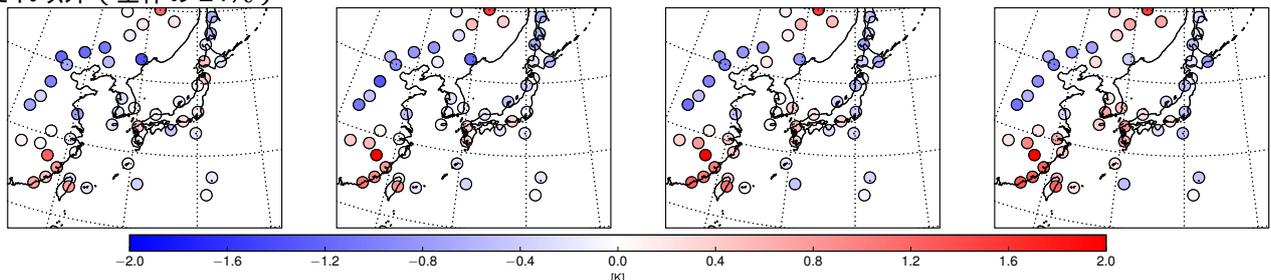
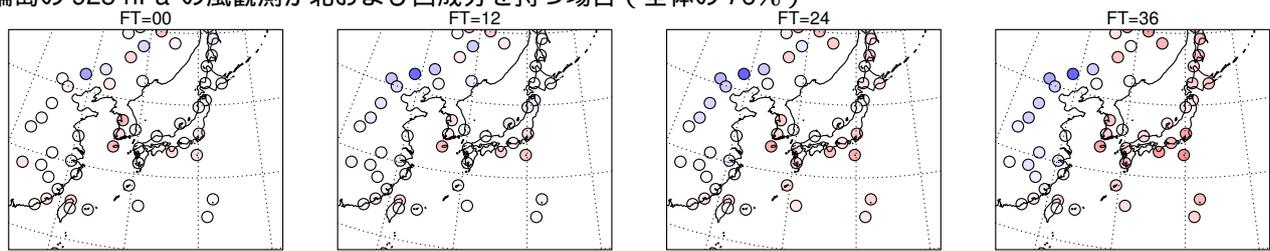


図 4.2.6 図 4.2.5 と同じ。ただし、925 hPa 気温の MSM 予測の平均誤差 (単位: K)。

## GSM 925 hPa ジオポテンシャル高度 平均誤差

輪島の925 hPaの風観測が北および西成分を持つ場合（全体の76%）



それ以外（全体の24%）

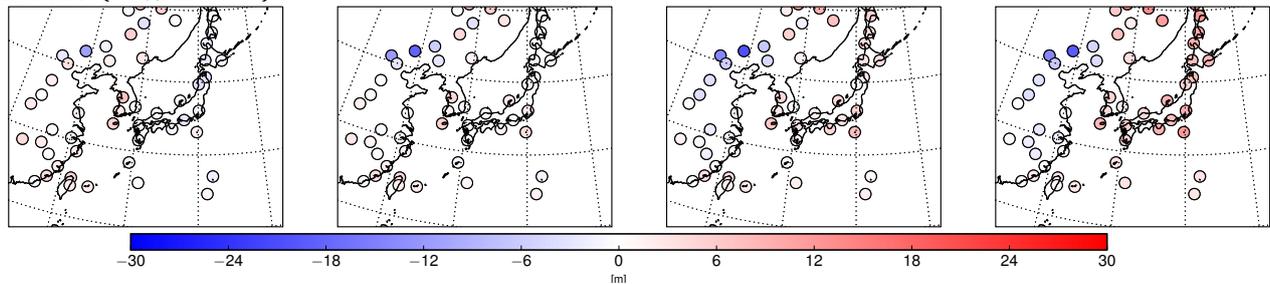
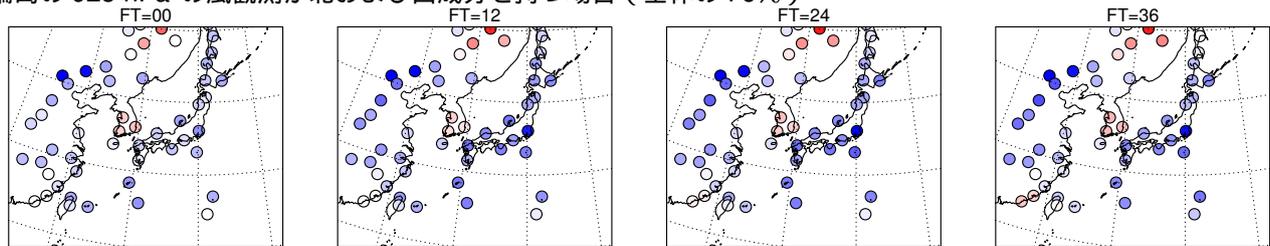


図 4.2.7 図 4.2.5 と同じ。ただし、925 hPa ジオポテンシャル高度の GSM 予測の平均誤差（単位：m）。

## GSM 925 hPa 気温 平均誤差

輪島の925 hPaの風観測が北および西成分を持つ場合（全体の76%）



それ以外（全体の24%）

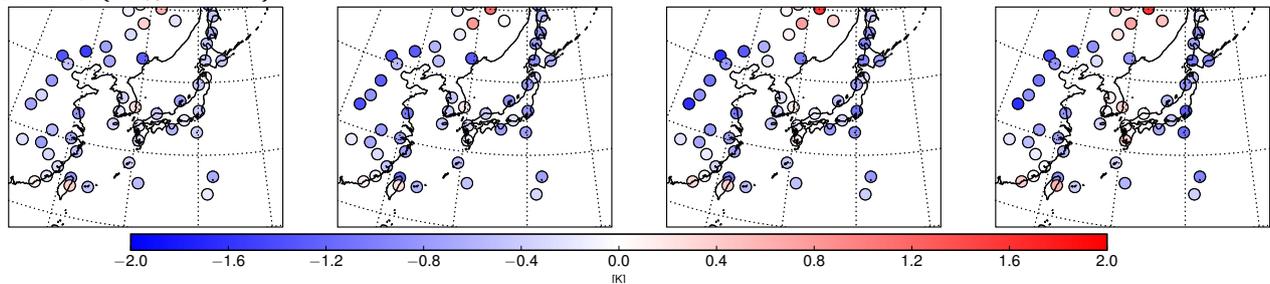


図 4.2.8 図 4.2.7 と同じ。ただし、925 hPa 気温の GSM 予測の平均誤差（単位：K）。

の予測を左右している。

### (2) 統計検証で見る冬型の気圧配置の場合の下層気温の誤差

このような予測特性が本事例に限るものなのか、それとも統計的にも表れているかを調べてみる。日本への寒気移流が強い冬型の場合に現れる特性であるかを調べるために、輪島の925 hPaにおける風の観測値が北および西成分を持つ場合（以下、「冬型条件」と呼ぶ）とそれ以外で統計サンプルを区別する（条件付きサンプリング、原 (2013) などを参照）。

図 4.2.5、図 4.2.6 はそれぞれ冬型条件とそれ以外の

場合で925 hPaのジオポテンシャル高度と気温の平均誤差を2014年12月から2015年1月について示したものである。ジオポテンシャル高度の平均誤差を見ると、冬型条件の場合とそれ以外の場合の両方で、予測時間の経過とともに日本付近の正の誤差が増大しているのが分かる。これは、2016年1月23日の事例でも見られた日本付近の気圧の正バイアスの増大（図 4.2.4）と対応しており、このような予測特性が統計的にも表れること、また、冬型であるかどうかに関係なくその特性が見られることが分かる。現在のMSMにおいて、予測時間とともに気圧が高くなり、正バイアスが増大

する傾向があることは河野・原 (2014) でも指摘されている。

気温の平均誤差は、冬型条件の場合には日本付近はほぼ負になっており、特に館野で顕著である。一方、冬型条件以外の場合は、冬型条件の場合に比べて負バイアスは小さく、正の誤差になっている地点もある。これらのことから、北西風が卓越する場合に寒気移流による冷却が過大であると考えられる。また、初期時刻に比べると予測のほう気温が低くなる傾向は見られるが、ジオポテンシャル高度のような予測時間の経過によるバイアスの拡大は明瞭ではない。

これらのことから、予測時間経過とともに増大する日本付近の気圧の正バイアスは気圧配置を問わない特性であること、下層の気温のバイアスは冬型の場合に顕著に表れる特性であると言える。

以上では MSM の予測特性を取り上げたが、同じ観点で GSM の予測特性も見てみる。図 4.2.7、図 4.2.8 は図 4.2.5、図 4.2.6 と同じように輪島のゾンデ観測によって条件付きサンプリングをして、ゾンデ観測地点ごとに 925 hPa のジオポテンシャル高度と気温の GSM 予測の平均誤差を示したものである。MSM ほど顕著ではないが、予測時間の経過とともにジオポテンシャル高度の正バイアスが日本付近で増大しているのが分かる。MSM と同様に、その傾向は冬型条件にはよらない。気温については初期時刻 (FT=00) から負バイアスの地点が多い点が MSM とは異なるが、冬型条件の場合にはその負バイアスが予測時間経過とともに増大していくことがそれ以外の場合より顕著であること、冬型条件の場合に、館野での負バイアスが特に大きいことなどの共通点が見られる。

このように、予測時間の経過とともに日本付近で気圧の正バイアス、寒気移流に伴う気温の負バイアスが拡大することは、MSM、GSM 両モデルに共通した課題であると言える。

### (3) メソ解析における解析値と第一推定値の挙動

この事例においてモデルが表現している下層の気温の低下傾向について、別の観点から見てみる。図 4.2.9 は 1 月 21 日 00UTC から 24 日 03UTC までの館野の 925 hPa 気温について、解析値 (赤点) とその解析値からの MSM による 3 時間予測値 (青点) を線分でつなぎ、あわせてゾンデ観測値 (緑点) を示したものである。一つ前の初期時刻からの 3 時間予測値はその時刻における解析の第一推定値に相当するものであり、その 3 時間予測値と解析値の差が解析による修正量 (インクリメント) に相当する。この図を見ると、21 日 12UTC から 23 日 00UTC まで、解析値からの MSM による 3 時間予測は気温を下げているが、解析では気温を上げるインクリメントを加え、モデルによる 3 時間予測で

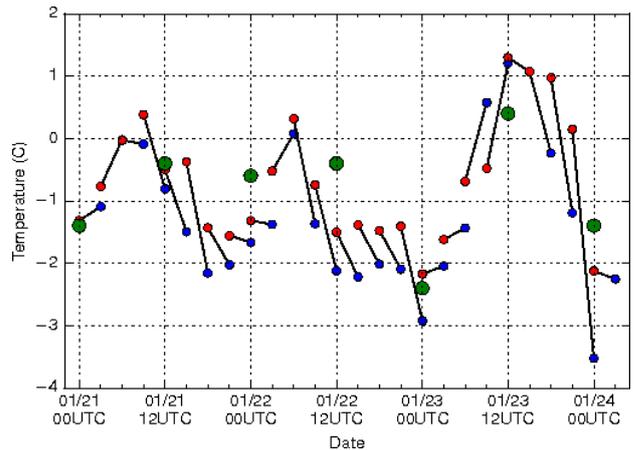


図 4.2.9 1 月 21 日 00UTC から 24 日 00UTC までの館野の 925 hPa における気温のメソ解析による解析値 (赤点) それを初期値とした 3 時間予測値 (青点) およびゾンデによる観測値 (緑点)。解析値から次の解析時刻の第一推定値を求めるモデル予測を線分でつないでいる。同じ時刻で見たときの青点から赤点への変化がその解析時刻における解析インクリメントに対応する。

の気温低下を引き戻そうとしていることがわかる<sup>2</sup>。これは初期の 3 時間予測でさえも実況の変化と反する方向にモデルが予測をしていることを示唆しており、図 4.2.4 で示した予測初期からの気圧の誤差傾向、すなわちモデルでは予測初期から関東付近の気圧を解析値よりも過大に上げようとしていることと対応する。このような場合には、モデルが実況を捉えることができいない上に、3 時間予測値を第一推定値として利用している解析でも観測によってその第一推定値を十分に修正できないことがある。実際に、22 日 00UTC および 12UTC ではゾンデ観測が同化されているが、そのゾンデ観測値に比べて解析値が第一推定値寄りの低めに計算されており、それらを初期値とするモデル予測でも初期時刻から気温を低めに予測してしまうことになる。

このように、初期値と解析で第一推定値として用いられる 3 時間予測値の時系列を見ることで、予測初期におけるモデル予測と実況の変化の間の整合性や初期値の妥当性をある程度推定することができる。

<sup>2</sup> 館野のゾンデ観測がない時間でも、周辺の航空機観測、衛星観測などによって第一推定値の修正が行われている。

#### 4.2.3 まとめと留意点

冬期の MSM の下層の気温の予測について、北西風による寒気移流が卓越する事例を取り上げて分析した。とりあげた事例では、関東付近への過大な寒気移流によって、実況よりも下層の気温を低下させる予測になっていることがわかった。また、このことは取り上げた事例に限ったことではなく、統計的にも見いだせることを示した。そのため、モデルが予測する気温の低下が冬型の気圧配置に伴う寒気移流による冷却が原因であると推測される場合には、寒気移流およびその結果として生じる気温低下を MSM の予測では過大に評価しやすい傾向があること、同様の傾向が GSM の予測にもあることに留意していただきたい。

予測初期の予測の妥当性については、解析値と第一推定値の挙動を調べることで推定できる場合もある。これは、着目する初期時刻の初期値、一つ前の初期時刻の初期値とその初期値からの3時間予測を比較することで可能となる。もし、一つ前の初期時刻の初期値からの3時間予測の変化傾向と、その3時間予測値からの解析による修正量の変化傾向が逆であることを繰り返すようであれば、ここで取り上げた事例のように予測初期からモデルが実況を捉えていないとともに、解析値も観測によって十分に修正されていないことが示唆され、モデル予測の妥当性について慎重に検討する必要がある。

#### 参考文献

- 河野耕平, 原旅人, 2014: LFM としての asuca の特性. 平成 26 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 108-117.
- 原旅人, 2013: Conditional Sampling. 数値予報課報告・別冊第 59 号, 気象庁予報部, 81-83.
- 原旅人, 2014: 最近発生した顕著事例に関する検討. 平成 26 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 118-144.
- 原旅人, 2015: 事例検討. 平成 27 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 82-99.
- 原旅人, 白山洋平, 檜垣将和, 氏家将志, 2013: 2013 年 1 月 14 日の関東大雪. 平成 25 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 71-89.