



気象庁の新しい高解像度全球数値予報モデルについて

北 川 裕 人*

1. はじめに

気象庁が日々発表する天気予報や気象情報の作成には、現業的に運用されている数値予報の結果が使われている。気象庁では、複数の数値予報をそれぞれの用途に応じて現業利用しているが、短期の天気予報や週間天気予報の基礎資料を作成する高解像度全球数値予報モデル GSM (以下「全球モデル」と呼ぶ) を、2007年11月に大幅に改訂した。この改訂により、全球モデルの解像度は、従来の水平約60 km、鉛直40層 ($T_L319 L40$) から、水平約20 km、鉛直60層 ($T_L959 L60$) へ大幅に強化された (T_L の後の数字は切断波数、 L の後の数字は層の数をそれぞれ示す。スペクトル法では、一般に水平解像度は切断波数で表現される)。この新全球モデルは、従来の領域数値予報モデル RSM (以下「領域モデル」) と台風数値予報モデル TYM (以下「台風モデル」) の役割も担うので、これらのモデルの現業運用は全球モデルの改訂と同時に終了した。今回は、新しく運用の始まった高解像度全球モデルについて紹介する。

新しい全球モデルは、

- ・明後日予報、週間予報の基礎資料
 - ・台風進路予報の基礎資料
 - ・航空、海上交通支援の予報の基礎資料
 - ・波浪モデル、移流拡散モデルの入力データ
- といった従来の用途に加えて、新たに
- ・短期 (今日、明日) 予報の基礎資料
 - ・量的予報、ガイダンス作成の基礎資料
 - ・メソ数値予報モデル (MSM) の側面境界条件

・台風強度予報の基礎資料

などの役割もあわせもつ。このため、短期から週間予報まで、そして台風の進路、強度の予報を、ひとつの全球モデルを使って支援することになり、高精度かつ予報特性の均質な、一貫性のある数値予報プロダクトが利用可能になった。また、新しい全球モデルは、従来の全球モデルや領域モデルと比較して優れた予報性能を示しており、気象庁が発表する気象注意報・警報や天気予報の精度などの改善が期待できる。さらに、数値予報モデルを維持、管理し、改良するという観点からも、新しい全球モデルの導入は資源の効率的かつ集中的な利用を可能にしている。このような数値予報モデルの集約、統合は、2006年3月に行われた気象庁数値解析予報システム (計算機システム) の大幅な能力増強により可能となっている。

2. 高解像度全球モデル

2.1 モデルの概要

気象庁の全球モデルは、その支配方程式において、静力学の近似および浅い大気の近似を使用している。水平方向の表現には、球面調和関数を基底とするスペクトル法を採用しており、鉛直座標には気圧に基づく座標系 (σ -P ハイブリッド座標) が用いられている。一方、非線形項や物理過程の計算は、変換法により物理空間上で行われる。時間積分には、2 タイム・レベルのセミ・ラグランジュ法、及びセミ・インプリシット法を使用し、モデル解像度の最小スケールの運動を抑制するために、4 次の水平拡散が適用されている。

第1表に新全球モデルと従来の全球モデル、領域モデルの比較を示した。予報の頻度は、領域モデルが51時間予報を1日2回 (初期時刻は00 UTC と12 UTC)

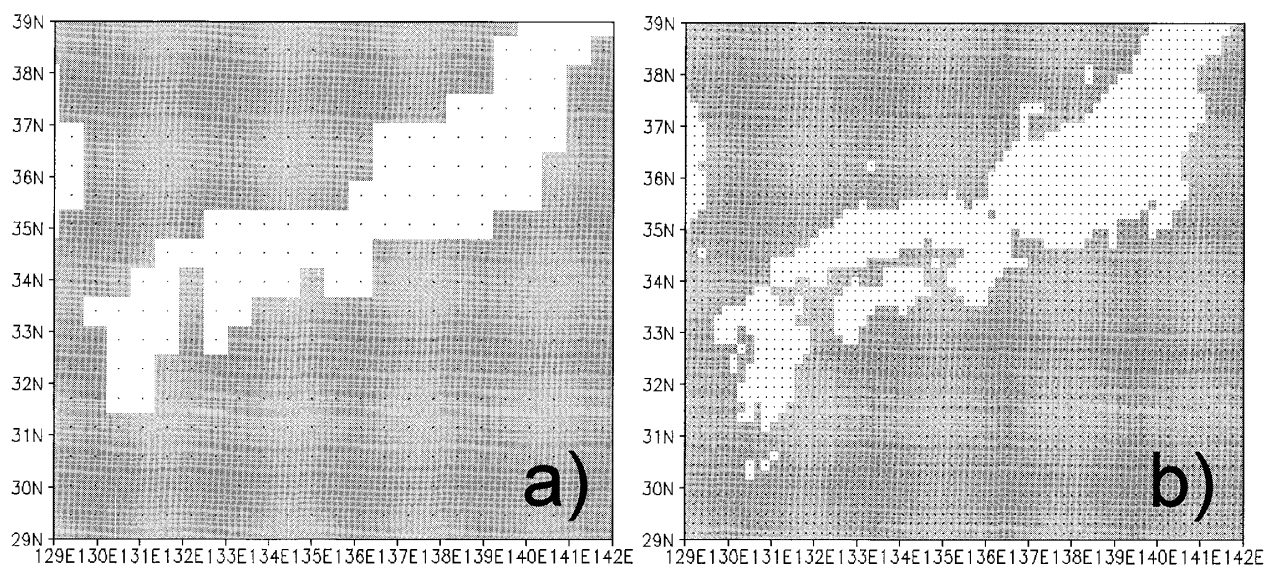
* Hiroto KITAGAWA, 気象庁予報部数値予報課。

© 2008 日本気象学会

第1表 新旧全球モデルと領域モデルの比較.

モデル	領域モデル (RSM)	旧全球モデル (60 kmGSM)	新全球モデル (20 kmGSM)
予報時間 (初期時刻)	51時間予報 (00,12 UTC)	90時間予報 (00 UTC) 36時間予報 (06,18 UTC) 216時間予報 (12 UTC)	84時間予報 (00,06,18 UTC) 216時間予報 (12 UTC)
地形 海陸分布	GTOPO30から作成 GLCC から作成		
水平の表現	スペクトル (2重フーリエ展開) 地図投影はランベルト座標系	スペクトル (球面調和関数) ガウス格子 (1次格子) 変換	
水平解像度	約20 km	約60 km (0.5625度)	約20 km (0.1875度)
領域 (鉛直)	地表から10 hPa (最上層)	地表から0.4 hPa (最上層)	地表から0.1 hPa (最上層)
鉛直の表現	有限差分 (σ -P ハイブリッド座標)		
鉛直解像度*	40層 最下層は997.5 hPa	40層 最下層は995.0 hPa	60層 最下層は998.5 hPa
時間積分	3 タイム・レベル セミ・インプリシットスキーム $\Delta t=100$ 秒程度 (可変)	3 タイム・レベル セミ・インプリシットスキーム $\Delta t=900$ 秒 (固定)	2 タイム・レベル セミ・インプリシットスキーム $\Delta t=600$ 秒 (固定)
支配方程式	プリミティブ方程式 オイラー法 予報変数は仮温度, 比湿, 地表気圧の対数, 東西・南北風 (正確には $x \cdot y$ 方向の風成分)	プリミティブ方程式 セミ・ラグランジュ法 予報変数は気温, 比湿, 雲水量, 地表気圧の対数, 東西・南北風	

* 鉛直解像度の欄の「最下層」は, 地表気圧が1000 hPa のときの最下層気圧 (フルレベル気圧) をあらわしている.

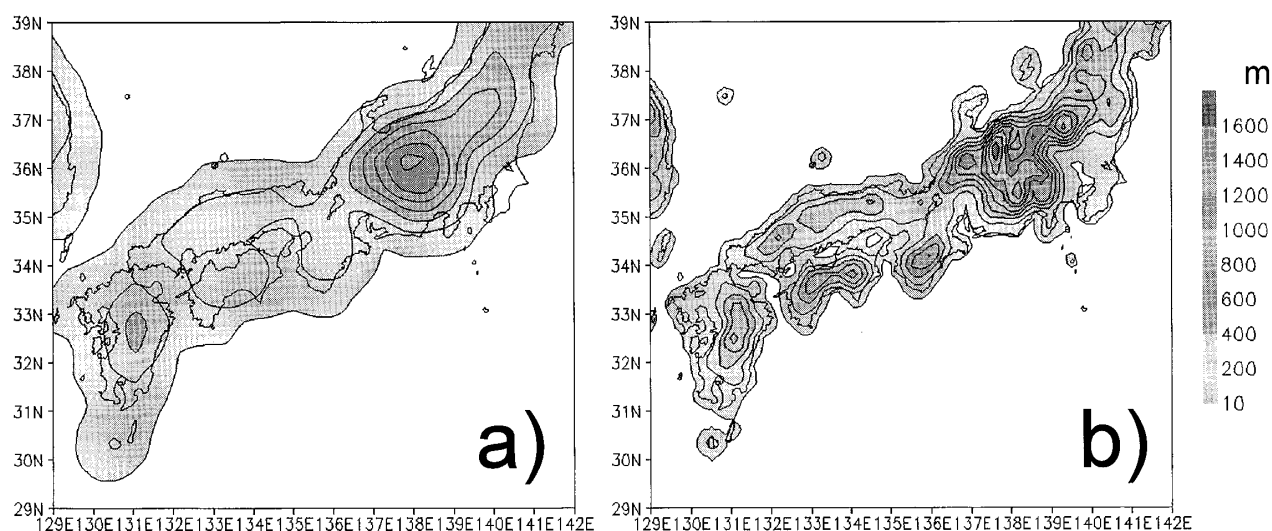


第1図 全球モデルの海陸分布. a) 旧モデル, b) 新モデル.

行っていたのに対して, 新全球モデルは84時間予報を1日4回 (初期時刻は00, 06, 12, 18 UTC) 実施する (12 UTC 初期時刻については216時間予報).

水平解像度は, 従来の全球モデルが約60 km (0.5625°格子相当) であったのに対して, 新全球モデルでは約

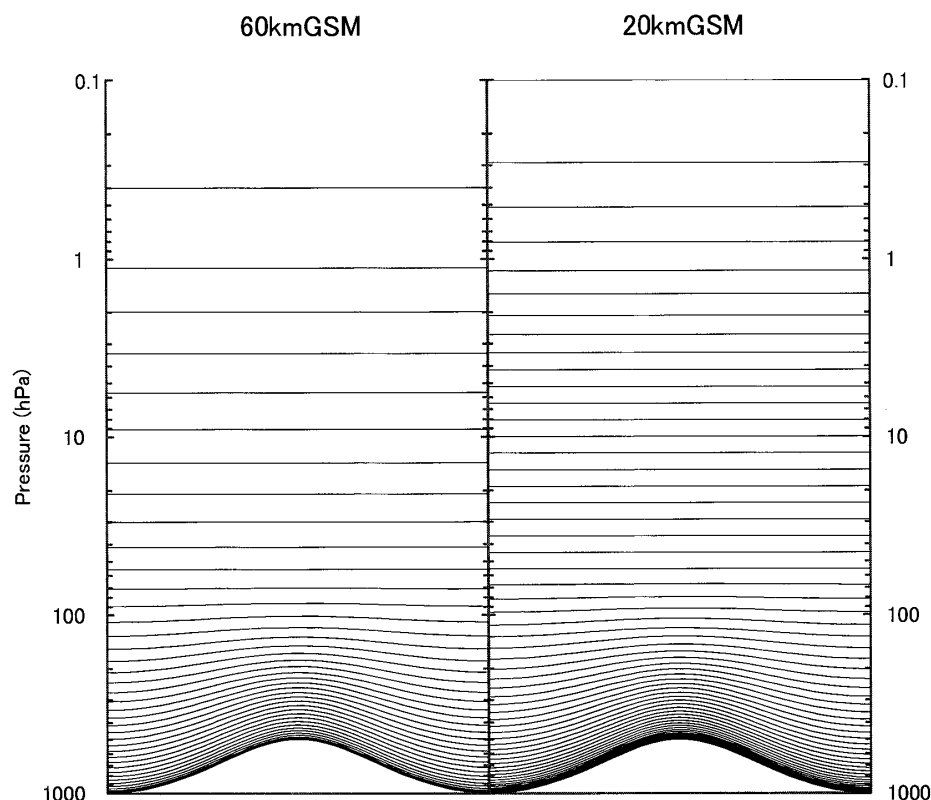
20 km (0.1875°格子相当) と大幅に高解像度化されている. 第1図に新旧全球モデルで使われる海陸分布の比較を示す. 海陸分布は, 米国地質調査所が公開している30秒 (約1 km) メッシュの全球土地利用データ (GLCC データ) から, モデルの水平解像度にあ



第2図 全球モデルの地形標高分布. a) 旧モデル, b) 新モデル.

わせて作成している. 従来のモデルでは, 九州や四国, 房総半島などの海陸の解像が困難であったが, 新モデルの解像度では可能になっている. 同様に, 第2図に新旧全球モデルで表現される地形の標高分布を示した. 地形標高も海陸分布と同様, 国土地理院や米国地質調査所などにより作成された30秒 (約 1 km) メッシュの全球標高データ (GTOPO30データ) を用いて, モデルの解像度で切断して作成している. 中部山岳や四国山地, 九州山地などの主要な山岳地帯や, 関東平野の表現などが格段に向上していることがわかるだろう. これらモデル下部境界の高解像度化は, 局地性の高い気象現象の予報精度向上にとって, きわめて重要である.

新全球モデルは, 水平解像度だけでなく鉛直方向の解像度についても, 大幅な増強が図られている. 第3図に新旧全球モデルの鉛直の気圧層配置の比較を示す. 全球モデルでは, 鉛直層が大気下端では地形に



第3図 全球モデルの鉛直気圧層配置の比較.

沿って配置し, 上層へ行くに従って等気圧面に漸近する σ -P ハイブリッド座標を採用している. モデル大気の最上層気圧は0.4 hPa から0.1 hPa へと引きあげられており, 新モデルでは対流圏から成層圏全体が概ね包含されるように鉛直層が配置されている. 増強された鉛直層は, 対流圏の下層と成層圏を中心に配分さ

れており、大気境界層における鉛直解像度は従来モデルの倍程度となっている。

新全球モデルに関するその他の詳細については、北川ほか（2006）、および北川ほか（2007）を参照されたい。

2.2 解像度向上の効果

このように、全球モデルの解像度は水平、鉛直ともに、従来のモデルに比べて格段に改善されている。水平解像度の強化は、モデルの下部境界である地形や海陸コントラストをより実際に近い表現へと改善する。また、水平、鉛直の高解像度化により、総観スケールやそれより小さいスケールでの、現象のより精密な力学的表現が可能となる。さらに、モデル解像度の向上は、地上、上層の観測を問わず、観測データ同化の精度向上を通じて、予報の初期値解析をより正確なものにする。これらのことは、数値予報モデルによる気象予報や種々のパラメータの表現の精度を改善し、とりわけ激しい気象現象に対する予報可能性を向上させるものと期待できる。

次に、新全球モデルによる実際の予報事例について、従来の全球モデルや領域モデルとの比較を通じて紹介する。

3. 新全球モデルの予報事例

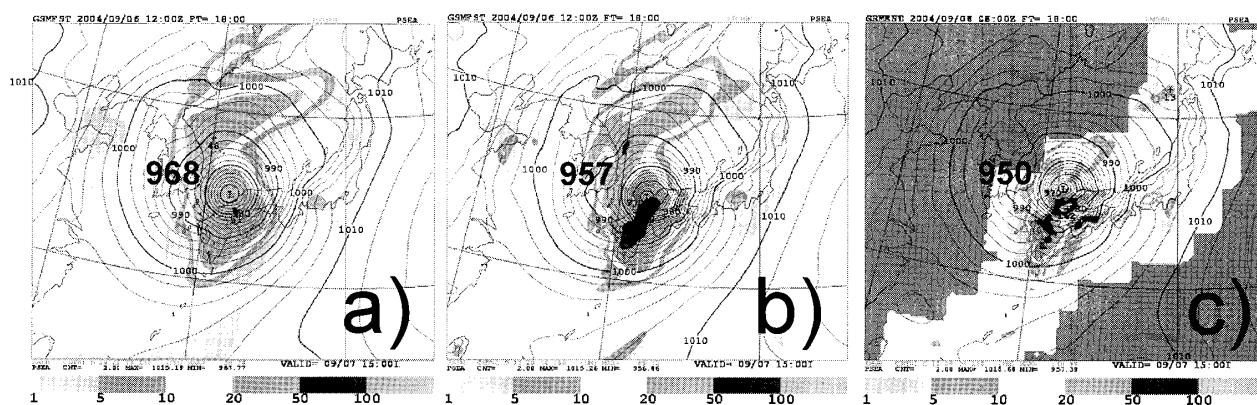
3.1 台風の予報

数値予報モデルは、解像度が細かければ細かいほど、より詳細な大気の状態や現象を予報することが可能になる。特に、災害をもたらすような激しい大気現象では、詳細な大気状態を正しく予報することがきわめて重要である。第4図は、2004年に日本列島を襲い

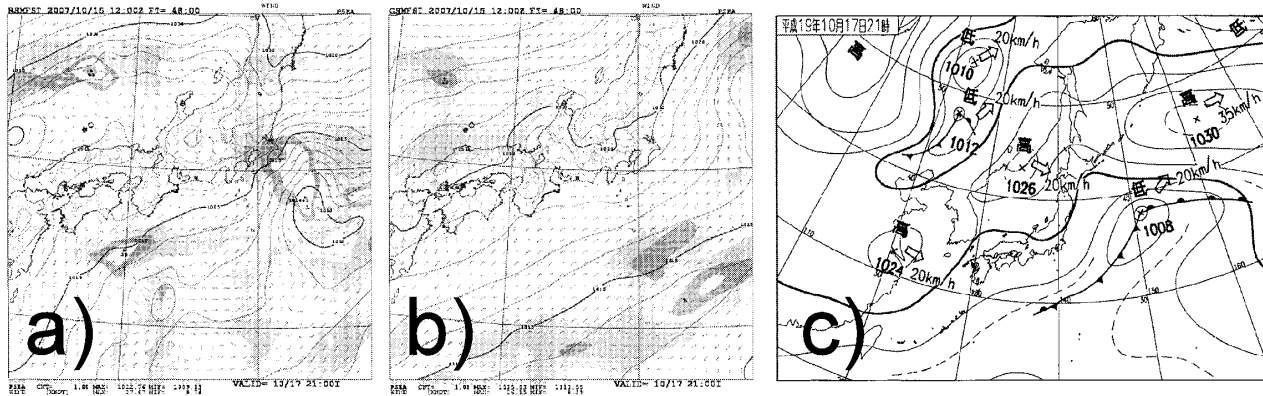
多大の被害をもたらした台風第18号を、再現して予報した結果である。従来の全球モデルによる台風中心の気圧予報値は968 hPaであったが、新全球モデルを使った場合の予報値は957 hPaと、観測された中心気圧値950 hPaに大きく近づいている。また、西日本の台風に伴った大雨も、新全球モデルを使うことによって、従来のモデルに比べてより正確に再現して予報することができている。このように、全球モデルの高解像度化により、台風や大雨といった防災上きわめて重要となる気象予報の精度が大きく改善することが確認できる。

3.2 低気圧の予報

新全球モデルは、領域モデルと比較しても、いくつかの点で優れた予報性能をもつことが確認されている。第5図に示す例は、領域モデルによって関東地方の南東海上に、低気圧とそれに伴う降水が誤って予報された事例である。領域モデルでは、低気圧を過剰に発生、発達させて予報する欠点があるが、これまでに複数の調査、研究によって指摘されている（たとえば、中村1997）。各調査に共通する指摘は、従来の領域モデルでは、擾乱を予測するときにパラメタリゼーションによる対流性降水の表現が著しく少ない場合があり、このとき格子スケールの凝結による大きな加熱が擾乱下部で生じることによって、低気圧が過度に発生、発達してしまうメカニズムである。これは、領域モデルのパラメタリゼーションによる対流不安定解消が十分でないことを意味しているが、同時に、実況に見られるような強い降水を再現するために、パラメタリゼーションの発動が過度に抑制されるよう、不作為にモデルが調整されていた可能性も示唆している。領域モデ



第4図 全球モデルによる2004年台風第18号の予報。a) 旧モデル予報、b) 新モデル予報、およびc) 実況。ハッチは6時間降水量 (mm)、等値線は海面気圧 (hPa)、図中の数値は台風中心の気圧値 (hPa)。

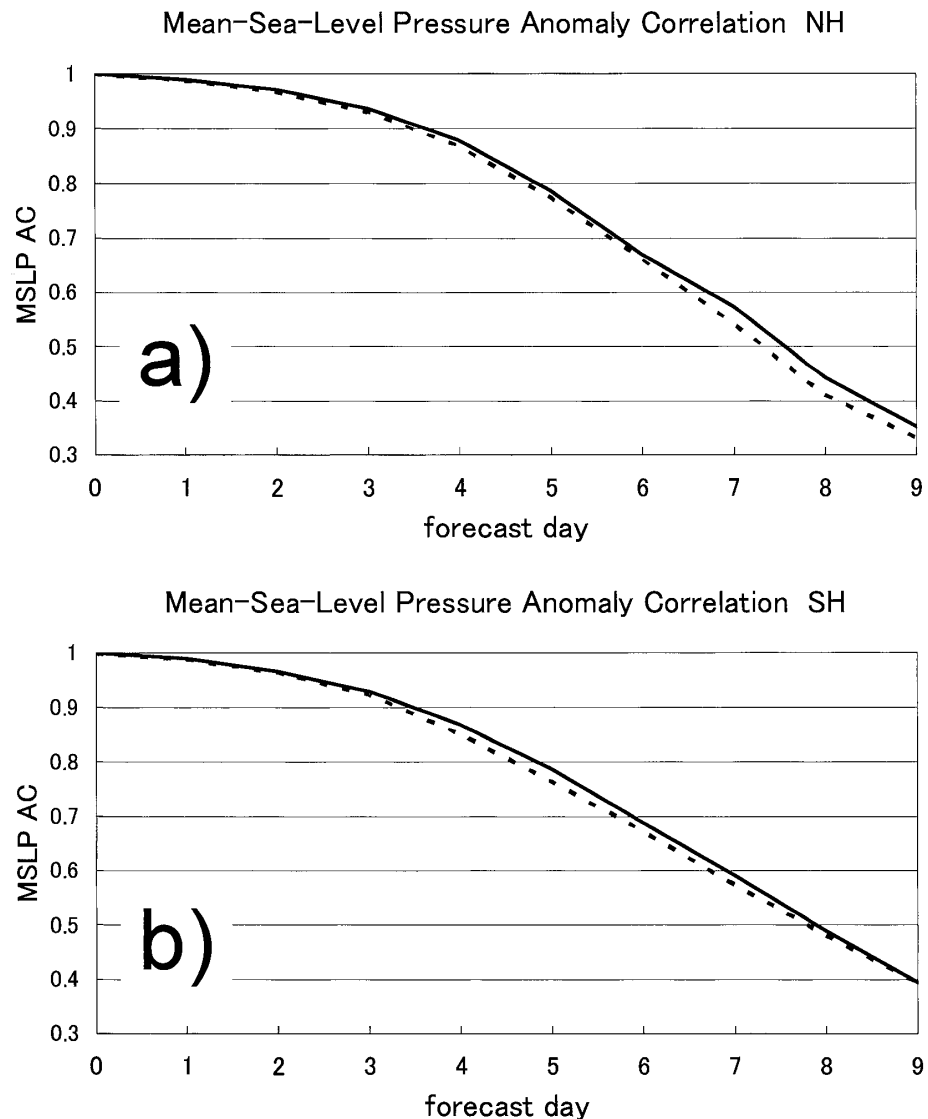


第5図 領域モデルによる“にせ”の低気圧の予報例。a) 領域モデル予報，b) 新全球モデル予報，c) 実況天気図。ハッチは6時間降水量 (mm)，等値線は海面気圧 (hPa)。実際には，関東地方の南東海上に低気圧は発生しなかった。(aとbは関東付近を拡大して見やすくしてあり，cとは描画領域が異なっていることに注意。)

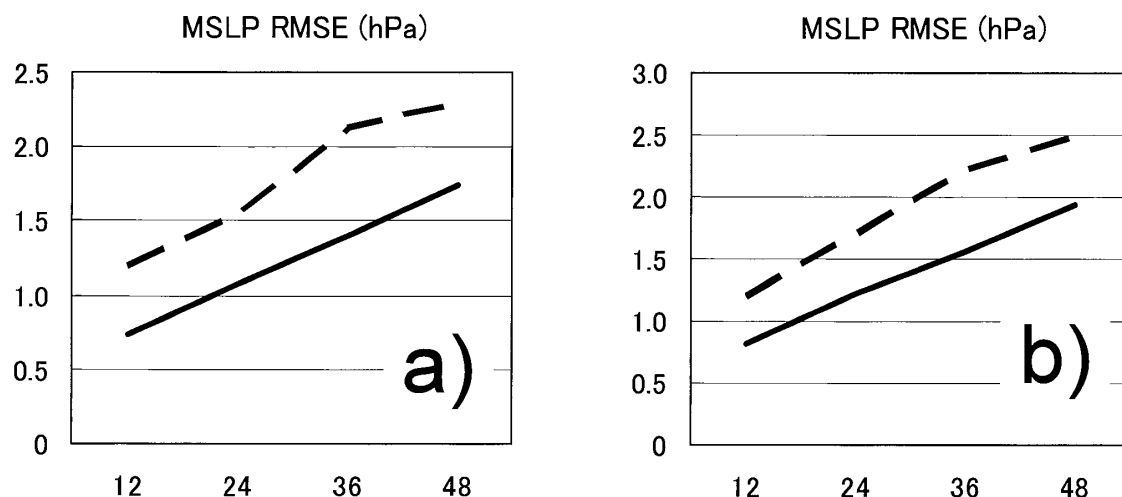
ルの利用では，このような“にせ”の低気圧の発生や発達，予報シナリオの作成においてしばしば大きな障害となることがあった。一方，新全球モデルでは，低気圧の過剰な発生，発達の問題はほぼ解消しており，領域モデルと比較してより適切な予報ができるようになっている。

4. おわりに

新しい全球モデルは，従来の全球モデルとの比較においても，高い予報性能を持つことが確かめられており（第6図），新全球モデルのプロダクトを利用した天気予報業務の改善が期待できる。気象庁の数値予報モデルは，気象庁が発表する様々な天気予報や気象情報のための，基礎支援資料作成の中核を担っており，その予報精度の向上は今後重要な責務である。全球モデルの解像度は，2007年11月に水平約60 km，鉛直40層から水平約20 km，鉛



第6図 海面気圧のアノマリー相関（2007年10月の月平均）。a) 北半球とb) 南半球。実線は新全球モデル，点線は旧全球モデルの成績。値が大きいほど解析場と予報場のパターンが類似している（予報が正しい）ことを意味する。



第7図 日本付近における海面気圧の平均二乗誤差の平方根 (Root-Mean-Square Error). a) 2004年8～9月, およびb) 2005年12月～2006年1月の平均. 実線は新全球モデル, 破線は領域モデルの成績. 横軸は予報時間.

直60層へと大幅に強化された。これにより、高解像度全球モデルは、従来の領域モデル、台風モデルの役割も担う、気象庁の天気予報業務を支える基幹数値予報モデルとなった。

これまで現業運用されてきた領域モデル、台風モデルについては、新全球モデルの運用開始によってその役目を終えることとなったが、新全球モデルの開発は、領域モデル、台風モデルの様々な問題点に関して、新しい視点で考察する機会となった。今回、事例に取り上げた領域モデルによる“にせ”の低気圧も、領域モデルの降水表現が解像度による限界を超えて実現されていた可能性を示している。領域モデルの予報精度が、全球モデルに対して総合的に劣っていたことも、関連があったと考えられる (第7図)。

一方、廃止された領域モデルからも、今後の全球モデルの改良につながるヒントが得られている。たとえば台風予報の事例において、領域モデルの予報結果が全球モデルに比べて優れていたケースがある。領域モデルには、パラメタリゼーションによる対流不安定の解消が不十分であるという問題があったが、それは常に予報を悪くしていたわけではなく、現象によって

は、実況により近い予報をもたらすように機能したかもしれない。モデルのパラメタリゼーションは、予報精度向上の鍵となる最も重要な要素であり、かつ最も不確実の大きい問題でもある。気象庁の全球モデルは、世界の現業全球モデルの中では、現在、最も水平解像度の高いモデルとなっているが、パラメタリゼーションの問題を考えるとときには、さらなる高解像度化へ向けたモデルの進化についても検討の必要があるだろう。

参考文献

- 北川裕人, 西嶋 信, 室井ちあし, 坂下卓也, 酒井亮太, 平井雅之, 山田和孝, 小森拓也, 中川雅之, 2006: 第2章「高解像度全球モデル」. 平成18年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 7-40.
- 北川裕人, 大河原斉揚, 美濃寛士, 平井雅之, 中川雅之, 田宮久一郎, 2007: 第1章「高解像度全球モデル」. 平成19年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 1-28.
- 中村誠臣, 1997: 第3章第1節「低気圧の発達しすぎの問題」. 平成9年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 37-42.