平成 17 年度数値予報 研修テキスト

「第8世代数値解析予報システム」

(数値予報課)

平成 17 年 12 月

December 2005



第8世代数値解析予報システム

はじめに

第1章	概要
1.1	はじめに1
1.2	数値解析予報システム更新の概要1
1.3	アプリケーション
1.4	将来の開発課題4
1.5	まとめ
第2章	計算機システム
2.1	新数値解析予報システムについて 10
2.2	Pandoraプロジェクト12
第3章	新しいメソ数値予報モデル
3.1	新モデルの特徴14
3.2	統計検証18
3.3	事例検証
3.4	海面水温解析値変更の影響 31
第4章	データ同化システム
4.1	はじめに
4.2	観測データと解析前処理33
4.3	大気解析の手法35
4.4	積雪解析・海面水温解析37
第5章	全球・領域・台風モデル
5.1	次期モデルの概要38
5.2	全球モデル
5.3	領域・台風モデル40
5.4	アンサンブル予報41
第6章	アプリケーション
6.1	MSM最大量降水ガイダンス44
6.2	MSM最大風速ガイダンス47
6.3	航空気象予報49
6.4	每時大気解析63

第7章	プロダクトとその利用の仕方
7.1	メソ数値予報66
7.2	短期予報68
7.3	週間予報70
7.4	プロダクトと配信スケジュール 71
付録A	略語表
付録B	統計的検証で利用される代表的な指標 77

はじめに

気象庁の現在の数値解析予報システム(NAPS)は平成 13(2001)年3月から運用され、防災気 象情報の拡充と季節予報の精度向上などを目的として、メソ数値予報モデルの運用開始、台風 モデルの解像度強化、週間アンサンブル予報の運用開始、季節予報への数値予報の導入などを 実施してきた。また、数値予報モデルと初期値の精度向上に継続的に取り組み、非静力学メソ 数値予報モデルの導入、セミラグランジュ全球モデルの導入、初期値解析への4次元変分法の 採用、衛星輝度温度データの直接同化など数多くの改善を図り、その結果、気象庁の数値予報 プロダクトの精度はこの5年間で大きく向上した。

気象庁の業務改善の中心的課題である、より適切なタイミングでわかりやすく正確な防災情 報を発表する体制の確立のためには、基盤的な予測情報を提供する NAPS の改善を引き続き推 進していく必要がある。この間の計算機の処理能力の飛躍的な向上を背景として、平成 16~17 年度に NAPS 及び気象衛星センター計算機が、両システムの高度な連携の必要性等から一体的 に更新され、平成 18(2006)年3月から新しい NAPS が運用されることになった。昭和 34(1959) 年6月に気象庁で数値予報業務が開始されてから、今回で8代目の NAPS となる。

新 NAPS における主な改善事項は、 局地的な豪雨などを精緻に表現できる 5km 解像度の メソ数値予報モデルの1日8回運用、 台風などの顕著現象の数日先までの予測精度向上を目 的とする 20km 解像度の全球モデルの1日4回運用、 台風進路予報の精度向上と信頼度情報 高度化のための台風アンサンブル予報の導入などである。この他にも、MTSAT 毎時衛星風デ ータなどを利用した実況監視支援のための毎時大気解析の運用、週間天気予報や季節予報の精 度向上のためのアンサンブル予報の高度化、季節予報や気候系監視のための長期再解析の実施 など、数値予報業務の多くの拡充・強化を計画している。平成 18 年 3 月の新 NAPS の運用開 始時には、これらのうち、高解像度メソ数値予報モデルの高頻度運用、毎時大気解析の運用、 アンサンブル予報のメンバー数増強などを実施し、他の改善事項については順次業務化する予 定である。

今回の数値予報研修テキストでは、平成18年3月における改善事項を中心に、新NAPSと そのプロダクトの概要や、プロダクトの利用上の留意点を解説した。従来のNAPS更新を扱っ た研修テキストと異なり、新NAPSで運用予定の数値予報モデルやアプリケーションの検証結 果をできる限り紹介することに努め、プロダクトの利用者の便を図った。本研修テキストによ って新NAPSとそのプロダクトについて理解を深め、今後の予報業務に役立てて戴きたい。

平成17年度数値予報研修テキスト「第8世代数値解析予報システム」

正誤表

該当箇所	誤	正
1頁表1.1.1	Hitachi SR11000/ <u>J1K</u>	Hitachi SR11000/ <u>K1</u>
2頁表1.2.1	解析時刻の3時間前を初期値とする予報値	解析時刻の6時間前を初期値とする予報値
全球解析におけ		
る第一推定値(3		
箇所)		
9 頁 左段 4 行目	(余田 <u>2006</u>)	(余田 <u>2005</u>)
9頁 左段 28 行目	余田成男, <u>2006</u>	余田成男, <u>2005</u>
9頁 左段 29 行目	天気,53,(投稿予定)	日本気象学会 2005 年秋季大会シンポジウム要旨
		<u>集, 27-32.</u>
14 頁 左段 19 行 目	Saito et al.(<u>2005</u>)	Saito et al.(<u>2006</u>)
17頁 右段48行目	Saito, K., T. Fujita, Y. Yamada, J. Ishida, Y.	Saito, K., T. Fujita, Y. Yamada, J. Ishida, Y.
	Kumagai, K. Aranami, S. Ohmori, R.	Kumagai, K. Aranami, S. Ohmori, R.
	Nagasawa, S. Tanaka, C. Muroi, T. Kato	Nagasawa, S. Tanaka, C. Muroi, T. Kato and
	and H. Eito, <u>2005</u> : The operational JMA	H. Eito, 2006: The operational JMA
	Nonhydrostatic Mesoscale Model. Mon.	Nonhydrostatic Mesoscale Model. Mon. Wea.
	Wea. Rev., <u>in press</u> .	Rev., <u>134. 1257-1289</u> .
18頁 右段 6 行目	(第3.1節(<u>8</u>))	(第 3.1 節(<u>7</u>))
	風向適中率(2005年2月) 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2 0.0 □ 10G 2 5G	風向遼中率(2005年2月) 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2 0.0
	6m/s 10m/s 関値 図6.3.18 最大風速ガイダンスの風向適中率。図の凡	6m/s 10m/s 関値 図 6.3.18 最大風速ガイダンスの風向適中率。図の凡例
	例は図6.3.14と同じ。	は図 6.3.14 と同じ。
74頁 33行目	<u>Global</u> Meteorological Satellite	<u>Geostationary</u> Meteorological Satellite
74頁 47 行目	International Civil Aviation <u>Center</u>	International Civil Aviation Organization
77頁 1行目	付録B 統計検証で利用される代表的な指標	付録B 統計検証で利用される代表的な指標
		本書で利用されている統計的検証の手法につい
		て、説明する。
77頁 右段33行目	空振り率は0から1の値をとり、0に近いほど空	空振り率は0から1の値をとり、0に近いほど空
(B.5.2 空振り率)	振りが少ないことを示す。	振りが少ないことを示す。また、分母を FO+FX の
		代わりにNとして定義する場合もある。
78頁 左段3行目	見逃し率は0から1の値をとり、0に近いほど見	見逃し率は0から1の値をとり、0に近いほど見
(B.5.3 見逃し率)	逃しが少ないことを示す。	逃しが少ないことを示す。また、分母を FO+XO の
		代わりに N として定義する場合もある。

最終更新日: 2012 年 6 月 22 日

1.1 はじめに

本章では2006年(平成18年)3月に予定されている 計算機更新に伴い稼働を開始する第8世代数値解析 予報システム(NAPS-8)の概要について述べる。

気象庁では2003年度と2004年度の2ヵ年で実施され たプログラム評価「台風・豪雨等に関する気象情報の充 実」の方向性に沿って、防災気象情報全体の改善を進 めている。その内容として、2006年度台風期に開始す る予定の台風情報の高度化(24時間先までの3時間間 隔の予報の発表、台風の勢力を表す指標としての最大 瞬間風速の提供、台風衰弱段階での熱帯低気圧化・温 帯低気圧化に関する情報の充実)、豪雨情報の高度化、 高潮情報の高度化(2005年度台風期から)、予報作業 支援システムの開発、レーダーアメダス解析雨量・降水 短時間予報の高度化が、計画および実行されている。

これらを背景に、予測精度の向上と防災気象情報の 高度化を目的として、2005年3月に更新された気象衛 星センター計算機システムに引き続き、NAPSが2006 年3月に更新される予定である。また、2005年10月には 情報の交換・提供体制の強化を目的として、札幌・仙 台・東京地方中枢気象資料自動編集中継装置(Lアデ ス)及び全国中枢気象資料自動編集中継装置(Cアデ ス)に替わって、気象資料伝送網(アデス)東日本システ ムが運用を開始した。

今回のNAPS更新では、数値解析予報システムを運 用するスーパーコンピュータの演算速度は更新前の28 倍となり、主記憶容量も16倍に増強される(数値予報業 務用資源の比較)。表1.1.1に新旧計算機の比較を示 す。新計算機システムおよび新通信システムの詳細に ついては第2章を参照されたい。

第1.2節で解析システム・予報モデル、第1.3節でア プリケーションの更新の内容をそれぞれ概説し、第1.4 節で更新後の改善計画を紹介する。なお、海洋データ 同化システムや季節予報モデルについては「平成17年 度季節予報研修テキスト」などを参照していただきたい。

1.2 数値解析予報システム更新の概要

今回のNAPS更新の主たる目的は、1)防災気象情 報支援用メン数値予報モデルの高度化、2)台風予報・ 短期予報支援用全球数値予報モデルの導入、3)週間 天気予報支援用全球アンサンブルモデルの高度化、に ある。1)および3)の要請を満たすため、解析システム、 予報モデルおよびその運用はNAPS更新に伴って表 1.2.1,表1.2.2に示されるように変更される。太字で示し ている箇所が変更点である。主要な変更は以下の通り である。

- ① メソ数値予報モデルの高解像度化と運用回数の 増加
- ② 週間アンサンブル予報のメンバー数増強とモデル 更新

NAPS更新約1年後に導入される台風予報・短期予報支援用全球数値予報モデルについては第1.4節で別途紹介する。また、毎時大気解析(第6.4節)については解析結果が数値予報に使われないので、アプリケーションの一つとして扱い、第1.3節で説明する。

1.2.1 メソ数値予報モデルおよびメソ解析システムの 高度化

局地的な降水の予測精度向上などを目指して、防災 気象情報の支援、降水6時間予報の入力データ、航空 予報の支援に使われているメソ数値予報モデルの水平 解像度を10kmから5kmに上げ、鉛直層数も40から50 に増やす。また、運用回数を現行の1日4回から1日8回 に増やすことで、これまでより新しい観測データを取り込 んだ予報を高頻度に提供する。これに伴い、予報時間 を18時間から15時間に短縮する。新モデルの特徴や 精度については第3章、解析システムの変更について

項目	現スーパーコンピュータ	新スーパーコンピュータ
機種	Hitachi SR8000/E1 (80 ノード)	Hitachi SR11000/J1K (80 / – ド) $ imes$ 2
		(数值予報業務用、2006年3月~)
		Hitachi SR11000/J1(50 ノード)× 1
		(衛星データ処理業務用、2005年3月~)
最大浮動小数点演算速度	768 Gflops	27.5 Tflops (10.75 Tflops $\times 2 + 6.08$ Tflops $\times 1$)
主記憶容量	640 Gbyte	13.1 Tbyte (5.0 Tbyte \times 2 + 3.1 Tbyte \times 1)
磁気ディスク装置	2.7 Tbyte	36.2 Tbyte
大容量記憶装置	80 Tbyte(磁気テープ)	2.0 Pbyte (磁気テープ)

表 1.1.1 新旧スーパーコンピュータの比較. G: ギガ (10億)、T: テラ (1兆)、P: ペタ (1000兆)

1 竹内 義明(第1.1、1.2、1.4節)、林 久美(第1.3節)

		現解析	新解析	更新約1年後	新解析の利用目的
全球解析	解析手法	4 次元変分法	4 次元変分法	4 次元変分法	全球モデル・週間アンサンブル予報モ
	第一推定值	解析時刻の3時間前を初期値と	解析時刻の3時間前を初期値とする予報	解析時刻の3時間前を初期値とする予報値	デル・台風モデルの初期値
		する予報値	値		海洋データ同化システムの入力データ
	水平解像度	0.5625° $(1.875^{\circ}$)	0.5625° (1.125°)	0.1875° (0.750°)	
	水平格子点数	$640 \times 320 \ (192 \times 96)$	640 × 320 (320 × 160)	1920 × 960 (480 × 240)	
	鉛直層数	40層(地上 ~ 0.4 hPa)	40層(地上 ~ 0.4hPa)	60 層(地上 ~ 0.1hPa)	
	解析時刻	00, 06, 12, 18UTC	00, 06, 12, 18UTC	00, 06, 12, 18UTC	
領域解析	解析手法	4 次元変分法	4次元変分法		領域モデルの初期値
	第一推定值	解析時刻の3時間前を初期値と	解析時刻の3時間前を初期値とする予報		
		する予報値	值	廃止予定	
	水半解像度	20km (40km)	20km (40km)		
	水半格子点数	$325 \times 257 \ (163 \times 129)$	$325 \times 257 \ (163 \times 129)$		
	鉛直層数	40層(地上~10hPa)	40 層(地上 ~ 10hPa)		
to the state	解析時刻	00, 06, 12, 18UTC	00, 06, 12, 18UTC		
メソ解析	解析手法	4次元変分法	4 次元変分法	非静力学 4 次元変分法	メソ数値予報モデルの初期値
	第一推定値	解析時刻の6時間前を初期値と	解析時刻の6時間前を初期値とする予報	解析時刻の6時間前を初期値とする予報値	
		する予報値と解析時刻の3時間	值	(未定)	
	水亚舰佈库	前を初期値とする予報値			
	小平畔像度	10 km (20 km)	10 km (20 km) $261 \times 280 (181 \times 145)$	5km (10km) 791 \times 577 (261 \times 280)	
小平俗丁泉剱		$361 \times 289(181 \times 145)$	$301 \times 209(101 \times 140)$	$(21 \land 3)((301 \land 209))$	
如回之管效		40 僧 (地上 ~ 10hPa)		50 唐 (地上 ~ 21800m, 約40nPa)	
 合成海五水	₩11时刻 細北二千3十	00,06,12,1801℃	00, 03 , 06, 09 , 12, 13 , 18, 21 010	00,03,06,09,12,13,18,21010 库止圣中 (海洋气角棒和完化式会球口刷海	人はエニュー 海胆マンルンブルス却エ
主球海面水	脾 忉于伝 笠 卅字店	取週內押伝 <i>乍伝伝</i>	取週門押 法 <i>信伝信</i>	廃止了足(海洋式家情報主作成主球口別海 支水泪級だに移生)	主球モナル・週间ノンリンノルア報モニルの下が培用条件
(血,用牛化)	<u>弗</u> 一推定他 水亚敏侮度	 ズ()矢但 1 [°]	 ズ() 医恒 1 ⁰	山小心园時初下~1991丁)	フルの下部現外来件
	小平胜家及	1 260×181	$1 260 \times 181$		
	<u>秋</u> 千倍1 示数	1 屏	1 屏		
	如旦/音数 解析时表				
全球 積重涩	解析毛注	县 滴内插注	10010 基·海内插注	县海内插注	今球エデル・週間アンサンブル予想エ
<u>王</u> 承積 当 1本	第一推完值	気候値と前日の解析値亚年美	気候値と前日の解析値亚在美	気候値と前日の解析値亚在美	三水 ビノル 過間ノンリンノル 1 報じ
אדעו	水亚解像度	1°	1°	1°	
	水平格子占数	360×181	360×181	360×181	
	鉛直層数	1層	1層	1 🖻	
	解析時刻	18UTC	18UTC	18UTC	
	141111424				

表1.2.1 NAPS 更新前後および更新約1年後の解析システムの比較(括弧内の数字は、解析値と第一推定値の差を計算するために用いる低解像度モデルの仕様)

		現モデル	新モデル	更新約1年後	新モデルの利用目的および補足
全球モデル (GSM)	水平解像度 水平格子点数 鉛直層数 初期時刻 予報時間	0.5625°(TL319) 640 × 320 40 層(地上 ~ 0.4hPa) 00, 12UTC 90 時間(00UTC) 216 時間(12UTC)	0.5625°(TL319) 640 × 320 40 層(地上 ~ 0.4hPa) 00, 06, 12, 18UTC 90 時間(00UTC) 216 時間(12UTC) 36 時間(06, 18UTC)	0.1875°(TL959) 1920 × 960 60 層(地上 ~ 0.1hPa) 00, 06, 12, 18UTC 84 時間(00, 06, 18UTC) 216 時間(12UTC)	週間予報・短期予報・航空予報の支援 台風モデル・領域モデル(TL959全球モデ ル導入まで)の側面境界条件 波浪モデル・海氷モデル・有害物質拡散予 測モデル・火山灰拡散予測モデル・漂流予 測モデルの入力データ TL959全球モデルは台風モデル、領域モデ ルの利用目的を引き継ぐ
週間アンサン ブル予報モデ ル	水平解像度 水平格子点数 鉛直層数 初期時刻 予報時間	1.125°(T106) 320 × 160 40 層(地上 ~ 0.4hPa) 12UTC 216 時間	1.125° (TL159) 320 × 160 40 層(地上 ~ 0.4hPa) 12UTC 216 時間	0.5625° (TL319) 640 × 320 60 層(地上 ~ 0.1hPa) 12UTC 216 時間	週間天気予報の支援 現モデルは1ヶ月アンサンブル予報モデル と共用であるが新モデルは独立
	摂動作成手法 メンバー数	BGM 法 25 メンバー	BGM 法 51 メンバー	SV 法 51 メンバー	
台風アンサン ブル予報モデ ル	初期時刻 予報時間 摂動作成手法 メンバー数			00, 06, 12, 18UTC 84 時間 SV 法 11 メンバー	台風進路予報の支援、確率情報の提供 水平解像度、水平格子点数、鉛直層数は週 間アンサンブル予報モデルと同じ
台風モデル (TYM)	水平解像度 水平格子点数 鉛直層数 初期時刻 予報時間	24km 271 × 271 25 層 (地上 ~ 17.5hPa) 00, 06, 12, 18UTC 84 時間	24km 271 × 271 25 層 (地上 ~ 17.5hPa) 00, 06, 12, 18UTC 84 時間	廃止予定	台風進路・強度予報の支援
領域モデル (RSM)	天行回数 水平解像度 水平格子点数 鉛直層数 初期時刻 予報時間	最大4回/日×2個 20km 325 × 257 40層(地上 ~ 10hPa) 00, 12UTC 51時間	最天4回/日×2個 20km 325 × 257 40層(地上 ~ 10hPa) 00, 12UTC 51時間	廃止予定	短期予報・量的予報・航空予報の支援 メソ数値予報モデルの側面境界条件 波浪モデル・高潮モデルの入力データ
メソ数値予報 モデル (MSM)	水平解像度 水平格子点数 鉛直層数 初期時刻 予報時間	10km 361 × 289 40 層(地上 ~ 22060m, 約 40hPa) 00, 06, 12, 18UTC 18 時間	5km 721 × 577 50 層 (地上 ~ 21800m, 約 40hPa) 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21UTC 15 時間	5km 721 × 577 50 層(地上 ~ 21800m,約40hPa) 00,03,06,09,12,15,18,21UTC 15 時間(00,06,12,18UTC) 33 時間(03,09,15,21UTC)	防災気象情報の支援 降水6時間予報・高潮モデルの入力データ 航空予報の支援

表 1.2.2 NAPS 更新前後および更新約1年後の予報モデルの比較(高解像度局地モデルは試験運用で仕様が決まっていないので示していない)

は第4章を参照されたい。

予報資料についても配信回数を増やす計画である。 また、5km解像度のメソ数値予報モデルで計算される 気圧や風等は地球環境・海洋部海洋気象情報室が運 用している高潮モデルにも利用され、より詳細な地形の 効果が高潮予測に反映される。

1.2.2 全球数値予報モデルおよび全球解析システムの改善

NAPS更新に合わせて、全球数値予報モデルの1日4 回運用を開始する。予報時間は初期時刻によって異な り、更新当初は90時間(00UTC)、216時間(12UTC)、 36時間(06, 18UTC)となる(括弧内は初期時刻)。06 UTCと18UTCに36時間予報を実施するのは、国際航 空悪天GPVとそれを用いたアプリケーションプロダクト の作成頻度を1日2回から1日4回にするためである。

また、全球モデルの初期値の品質を向上させるため、 全球解析システムで用いられる低解像度モデルの水平 解像度をT63(200km)からT106(120km)に上げる。こ れにより、台風など数百km程度の現象についての初期 値表現の改善を図る。

1.2.3 週間アンサンブル予報システムの高度化

NAPS更新に合わせて、計算効率のよいセミラグラン ジュ法による全球モデル(吉村ほか 2004; 松村ほか 2005)の導入、晴天放射スキームの改良(藪ほか 2005)および初期値化の改良(村上ほか 2004)を行う。 さらに、アンサンブルメンバー数を25から51に増加させ る。これまでの調査により、メンバー数増加等の高度化 によるアンサンブル平均の予報誤差の減少や確率予報 精度の向上が確かめられている(第5.4節参照)。

なお、今回のNAPS更新以降、1か月アンサンブル予報と週間アンサンブル予報に使われるモデルは独立に 運用されることとなる。1か月アンサンブル予報は10年 分のデータを使った検証が必要であり、頻繁なモデル 変更はできない。モデルが独立することによって、全球 数値予報モデルに導入される新しい物理過程などを、 遅滞なく週間アンサンブル予報モデルに反映できるよう になる。

1.2.4 高解像度全球日別海面水温解析の利用(第 3.4節、4.4節、5.3節参照)

地球環境・海洋部海洋気象情報室が作成した0.25度 解像度の全球日別海面水温解析(MGDSSTと略記。 栗原ほか 2006)を、台風モデル、領域モデル、メソ数 値予報モデルの境界値として使用し、下部境界条件の 高精度化による予報精度の向上を図る。数値予報課で 作成している1度解像度の全球日別海面水温解析は、 更新後は全球モデルの境界値用だけに使用される。

1.3 アプリケーション

NAPS-8でのメソ数値予報モデルの5km化および1日 8回運用に伴い、ガイダンス等のアプリケーションも変更 される。変更を伴うプロダクトの概要を表1.3.1に示す。 現在のガイダンスは、NAPS-7の更新時までにモデル の改善にできるだけすばやく追従できるように、カルマ ンフィルター、ニューラルネットなど逐次学習型の方式 に変更されている。今回の更新では、大きな変更はな いが、いくつかのガイダンスにおいて手法の変更を行っ た。メソ数値予報モデルの1日8回運用によって、予報 時間前半のより精度の高い情報が利用可能となる。第6 章に、変更に伴い検証が必要なガイダンスについての 検証結果を示した。

航空気象については、2005年10月、福岡に航空交 通気象センター(ATMetセンター)がおかれ、空域予報 については本庁の航空予報室で予報を行うように組織 変更された。これに伴い、空域予報は、特に国際便へ の支援強化のため、GSMを用いるFAX図などの出力 回数を1日4回にするなど、プロダクトに変更がある。飛 行場予報は、メソ数値予報モデルを利用した短距離飛 行場予報(TAF-S)ガイダンスについては手法を含めて 変更がある。RSMを用いた長距離飛行場予報(TAF-L) ガイダンスについては変更がない。

RSM,GSMを用いた一般天気予報のためのガイダン スについては、2006年3月のNAPS更新時においては、 気温ガイダンスを若干変更する以外は変更点はない。 2007年度以降のGSM,RSMの一本化に合わせて変更 を予定しているが詳細は未定である。

週間予報については、アンサンブルメンバー数が25 から51に増強される。また、2007年にモデルも高分解 能化されることから、カテゴリー予報の精度の向上だけ でなく確率的な予報資料を充実させる計画である。

毎時風解析については、より効果の高い利用のため に、気温の追加等を行い「毎時大気解析」とする。また、 これに伴い航空関係利用者に資するために、フライトレ ベルに変換した「毎時風解析」も仕様が変更される。

1.4 将来の開発課題

NAPS更新後も数値解析予報システムの開発は継続 される。現時点で着手が計画されている開発課題、及 び今後検討の対象となる開発課題のうち、主要なものを 解析システムと予報モデルに分けて紹介する。なお、図 1.4.1にNAPS更新後の解析システムと予報モデルの主 な改善計画を示す。

表1.3.1 新アプリケーションの変更	(変更があるもののみ掲載)
---------------------	---------------

項目	現アプリケーション	新アプリケーション	新アプリケーション の利用目的
MSM最大風速ガイダンス	メソモデル(10km-MSM)を基にカル マンフィルターで作成。 1日4回3-18時間先まで。	メソモデル (5km-MSM) を基にカル マンフィルターで作成 1日8回3-15時間先まで	防災情報の作成に利用 (RSM, GSMに基づくガ イダンスは変更なし)
MSM最大降水量ガイダ ンス	メソモデル(10km·MSM)を基にカル マンフィルターおよびニューラルネッ トで作成。 1日4回3-18時間先まで。	メソモデル(5km-MSM)を基に作成 20Km格子の平均降水量を求める 時 (1)カルマンフィルターの係数を6時 間毎3組から3時間毎の5組に変更 (2)モデルGPVの利用時に周辺8格 子と平滑化を行う。 1日8回3-15時間先まで	防災情報の作成に利用 (RSMに基づくガイダンス は変更なし)
GSM気温ガイダンス	GSMを基にカルマンフィルターで明 後日の最高・最低、時系列気温 (FT=54-72、6時間毎)を作成 1日 2回	RSM気温ガイダンスの仕様に統一 (説明変数の変更など)	天気予報、週間天気予報
WFM週間予報ガイダン ス	週間アンサンブルモデルから、日最 高、最低気温(カルマンフィルター)、 気温の誤差幅、天気ガイダンス、予 報の信頼度(モデルの出現頻度、ば らつき)を作成。メンバー数25	メンバー数を51に増強	週間天気予報、気象情報
每時大気解析 	メソモデル(10km・MSM)および実況 値を直接解析。地上および上空の風 を10km格子で解析	メソモデル(5km-MSM)および観測 値を利用し、地上および上空の風、 気温を5km格子で解析	実況監視
航空毎時風解析	上記解析をもとに航空用にフライトレベルに内挿、80km格子で解析	上記解析をもとに航空用にフライトレ ベルに内挿、40km格子で解析	空域の実況監視
国内航空悪天GPV	メソモデル(10km-MSM)のモデル 面から航空悪天要素(乱気流指数、 積乱雲量、圏界面気圧)を作成。1日 4回3-18時間先まで予報	メソモデル(5km-MSM)のモデル面 から航空悪天要素(乱気流指数、積 乱雲量、圏界面気圧)を作成。積乱 雲量についてはモデル要素を直接 利用。1日8回1-15時間先まで予報	空域悪天情報の作成 ATMetセンター等での解 説資料としての利用
全球航空悪天GPV	GSMのモデル面を基に作成。積乱 雲頂高度、最大風高度・気温・風、 圏界面高度・気温・風、水平風鉛直 シアー。1日2回、30時間先まで予報	1日4回、36時間先まで予報	空域悪天情報の作成 ATMetセンター等での解 説資料としての利用
国内航空路予想断面図 国内航空用悪天予想図	メソモデル(10km-MSM)のモデル 面を基に作成した国内航空悪天 GPVから図を作成。 1日4回12時間予報。	メソモデル(5km-MSM)のモデル面 を基に作成した国内航空悪天GPV から図を作成。 1日8回12時間予報	空域予報
アジア・北太平洋悪天予 想図	国際航空悪天GPVから図を作成。 1日2回、24時間予報	1日4回、36時間先まで予報	空域予報
WAFS風·気温予想図	なし(直接FAX資料として配信)	WAFC Washington からのGRIB 報から1日2回、18時間先(1領域)、 24時間先(5領域)	空域予報
同バックアップ図	GSMを基に作成。 1日2回、24時間先(4領域)	18時間先(1領域)、24時間先(5領 域)	空域予報
WAFS悪天予想図	なし(直接FAX資料として配信)	WAFC Washington からのBUFR 報から1日4回、24時間予報(13領 域)	空域予報
同バックアップ図	GSM、全球航空悪天GPVを基に作 成。1日2回、24時間予報(4領域)	GSM、全球航空悪天を基に作成。1 日4回、24時間予報(13領域)	空域予報

	2(1:0:	1 (1967	
TAF-S航空ガイダンス	メソモデル(10km-MSM)を基にカル	メソモデル(5km-MSM)を基にカル	短距離飛行用飛行場予
	マンフィルター(KLM)またはお天気	マンフィルター(KLM)またはニュー	報、飛行場気象情報の作
	マップで作成	ラルネット(NRN)、お天気マップで作	成、口頭解説への利用
	KLM:最大風、視程、雲(雲量・雲	成	TAF-L(長距離飛行用飛
	高)	KLM:最大風、視程	行場予報)は変更なし)
	お天気マップ:天気	NRN:雲(雲量·雲高)	
	1日4回	お天気マップ:天気	
		1日8回	
航空気温ガイダンス	今日・明日の最高・最低気温予想	一般予報向けのRSM気温ガイダン	飛行場予報
	1日2回	スの仕様に統一(説明変数の変更な	
		ど)	

表 1.3.1 (続)

1.4.1 解析システム

(1) 全球解析

全球解析については、次項で述べる更新約1年後の 20km全球モデル導入に合わせて、全球解析で用いら れる低解像度モデルの水平解像度を120kmから80km に上げ、鉛直層数を40から60に増やす。これにより、台 風や前線の位置や鉛直構造の解析の改善が期待でき る。20km全球モデルの導入時に領域モデル、台風モ デルは廃止されるため、領域解析も廃止される。このた め、大きな課題となるのが、領域解析で行なっているレ ーダーアメダス解析雨量の同化を全球解析に取り入れ ることである。更新当初は降水量予測の改善のために 予報の直前に行なう速報解析のみにレーダーアメダス 解析雨量を取り入れることを計画している。また、高解 像度化に伴い、台風ボーガスの仕様についても検討す る計画である。

20km全球モデル導入の約1年後を目途に予報モデルに導入されている高速化(セミラグランジュ)を全球解析の低解像度モデルにも導入することにより、低解像度モデルの水平解像度をさらに60kmに上げる。さらに、大気擾乱などに応じて時間的にも場所的にも変化する予報誤差を導入して、観測データに含まれる情報をより適切に初期値に反映させるため、アンサンブル予報技術を応用した同化手法(アンサンブル・カルマンフィルタ)を2010年度までに導入する計画である。

(2) メソ解析

メソ解析については、2007年度に非静力学モデルに 基づく4次元変分法を導入する計画である。現在は予 報モデルに非静力学モデル、解析システムに静力学モ デルを使っており、場の特性が異なっている。解析シス テムにも非静力学モデルを用いることにより、予報モデ ルに最適な初期値を提供できるようになると期待される。 非静力学4次元変分法用モデルの水平解像度は10km (低解像度モデル)および5km(高解像度モデル)で、 鉛直層数は双方とも50である。非静力学4次元変分法 による水物質の解析も重要な課題である。

(3) 高解像度局地モデル用解析

後述する高解像度局地モデル用の初期値を作成する

ために、観測データを準リアルタイムで同化することが 求められている。そこで、4次元変分法より計算コストが 少なくて済む非静力学3次元変分法解析システムを開 発し、高速にデータを同化できるシステムを構築する計 画である。

(4) 観測データ利用

衛星データ利用については、静止気象衛星の大気追 跡風データ利用の拡充、衛星観測による海上風データ のより効果的な利用と新規衛星への対応、マイクロ波放 射計輝度温度データの新規利用、サウンダデータの高 度な利用などが計画されている。

さらに、MTSAT-1Rの毎時衛星風および水蒸気チャ ネル輝度温度利用、曇天・降雨域も含めたマイクロ波セ ンサー輝度温度直接同化、サウンダデータの早期入手 によるデータ量増加、分光計型サウンダデータやGPS (掩蔽・地上)準リアルタイムデータの利用、陸域での衛 星データ利用拡大、などが大きな課題である。

衛星以外のデータ利用については、降水粒子の鉛直 分布の情報を含むドップラーレーダーの反射強度デー タの利用が大きな課題である。また、既存のデータにつ いてもさらなる利用の高度化を図る。例えば、極めて密 度の高い航空機データやウィンドプロファイラなどの間 引き方法を見直すことによって、冗長なデータを取り除 き、有効な情報を抽出できる可能性がある。また、地上 観測のデータは代表性などの取り扱いが難しいので、 現在のところ地上気圧観測以外は使われていないが、 気温、露点、風のデータを厳密な品質管理の下に利用 することにも取り組む必要がある。

全ての観測データに共通な事項として、解析本体で 使用されている変分法の技術をデータの品質管理にも 取り入れて、データの取捨選択をより適切に行なったり、 バイアス補正のためのデータ蓄積期間を短縮して新規 データをすみやかに利用できるようにすることも初期値 の精度向上にとって重要である。

1.4.2 予報モデル

(1) 全球モデル

全球モデルについては、NAPS更新約1年後に水平

解像度20kmの高解像度全球モデルを導入する計画 である。鉛直層数は40から60に増やす。また、予報時 間は84時間予報(00,06,18UTC)および216時間予報 (12UTC)となる。これによって、現在、領域モデル、全 球モデルおよび台風モデルが担っている明日、明後日 予報、台風進路・強度予報を高解像度全球モデルで統 一的に行なうこととなり、一貫した天気予報および量的 予報の基盤を構築できる。これに伴い、領域モデルと台 風モデルは廃止する。現在は個々の台風についてその 台風の周辺に領域を限定した台風モデルを実行してお り、計算機資源の制約により最大2個の台風にしか対応 できないのに対し、高解像度全球モデルが導入される と、3個以上の台風に対しても台風進路、強度予報を支 援できる。また、現在1日2回の予報プロダクトが1日4回 作成されるので、6時間毎に提供される新しい数値予報 結果を利用することにより降水予報精度が向上する。さ らに、国際航空悪天GPVプロダクトの高解像度化も検 討されている。

高解像度全球モデルの導入によって、世界の主要な 現業数値予報センターが運用する全球モデルを水平 解像度で上回ることができるが、導入するには計算時間 を節約するためのさまざまな高速化技術を取り入れる必 要がある。また、予報精度で他を凌ぐには、境界層、積 雲対流スキームなど物理過程の改良を行なわなければ ならない。用途が汎用化することにより検証すべき項目 も増え、実現までには多くの困難が予想されるが、着実 に開発を進めたい。

2007年度中には高解像度全球モデルに海洋混合層 モデルを結合し、台風周辺の強風による海面水温低下 やそれに伴う海面からの蒸発量抑制などの効果を考慮 できるようにする計画である。その他にも、境界層過程 の高度化、安定成層時の過剰な乱流混合の改善、晴 天放射スキームの改良による対流圏予測精度の改善、 エーロゾル気候値の改良による地表面短波放射フラッ クスの改善、エーロゾルの散乱効果の導入、メタン酸化 過程の導入による成層圏水蒸気場・力学場の改善、積 雲対流の改良による冬半球熱帯の過剰降水の改善や 熱帯の降水分布の改善、浅い対流の導入による降水分 布の改善、陸面過程の改良による予報初期の融雪過 剰の改善など多くの改良が計画されている。

(2) 台風アンサンブル予報

台風アンサンブル予報については、NAPS更新約1年 後の導入を計画している。同時期の週間アンサンブル 予報モデルと同じ、水平解像度60km鉛直60層の全球 モデルを11メンバ使用するアンサンブル予報である。現 在の台風モデルと同じく、1日最大4回84時間予報を行 う。台風アンサンブルモデルの摂動は台風アンサンブ ルモデルを実行する時刻にのみ求めればよく、現在の 週間アンサンブルで使われているBGM法のようにモデ ルを定常的に動かしながら摂動を育成する必要はない。 そのため、初期値摂動作成には湿潤過程を含んだ特 異ベクトル法(SV法)を使用する。SV法に用いる接線形 モデルは、全球4次元変分法で使用しているものを用い る。台風を対象とするアンサンブル予報を行うことにより、 台風進路予報の精度向上が得られるとともに、確率情 報を利用したプロダクト(台風進路確率情報プロダクト、 強風分布の確率情報プロダクト等)も計画されている。

(3) 週間アンサンブル予報

週間天気予報の信頼度情報の精度を向上させ、確率 的な情報を充実させるためには、モデルバイアスの低 減と、より小さなスケールの現象の表現改善が必要であ る。そこで、週間アンサンブル予報システムは、NAPS

	2006年度	2007年度	2008年度	2009年度	2010年度
调問アンサンブル					
	週間アンサンブル	高解像度週間ア	ンサンブル	台風5日予報用週	間アンサンブル
台風		台画アンサン	」 ブル		
	4次元変分法	高解像度化	高速化	4次元変分法+7	マンサンフ゛ルカルマンフィルタ
全球	全球モデル	新全球モデル	海洋混合層結合	全球モデル	
領域	4次一亦八法		北势力学4次元7	东八注	
メソ	4次九変方法		非前力子4次九3	交方法	
	メソ数値予報モデ 毎時大気解析	ル			

図 1.4.1 NAPS-8 更新後の解析システム(灰線)と予報モデル(黒線)の主な改善計画

更新約1年後にモデルの水平解像度を120kmから 60kmに、鉛直層数を40から60に増やす計画である。こ れに合わせて初期摂動の作成手法もBGM法からSV法 に変更する計画である。SV法を採用する理由は、誤差 成長の大きな摂動を効果的に生成できることであり、上 記の台風アンサンブルモデルと同じ方式を採用すること により、システム維持を容易にし、改良のための開発効 率を上げることができる。2007年度中には台風予報に 影響を及ぼす初期値の摂動を考慮するための改良を 行い、台風5日予報に利用できる週間アンサンブル予 報を実現する計画である。

近年、主要な現業数値予報センター間でのアンサン ブルモデルの結果や精度情報の交換、利用が進めら れ、センターによるモデルや初期値の違いによる効果 が研究されており、2006年には米国およびカナダのア ンサンブルモデルの結果を組み合わせたマルチモデル アンサンブル予報が実用化される見込みである。このよ うに、アンサンブル予報技術は急速に発展している分 野であり、常に新しい技術を取り入れていく必要があ る。

(4) メソ数値予報モデル

防災気象情報支援を主目的とするメソ数値予報モデルについては、NAPS更新約1年後に、03,09,15,21UTC初期値の予報時間を15時間から33時間に延長する計画である。これによって大雨注警報や風と雪の注警報の発表を支援する24時間先までの防災時系列情報を担う。また、予報時間の延長によって短距離飛行用と長距離飛行用の飛行場予報(TAF-S,TAF-L)ガイダンスを単一のモデルで提供することが可能になり、予報の一貫性を向上させる。予報時間を延長するためには、長時間の予報を行なっても系統的な誤差が拡大しないよう物理過程を精緻化する必要がある。具体的には、都市熱効果、積雪の考慮による地上要素の予測精度改善、積雲対流パラメタリゼーションの改良や雲物理過程の高度化による降水予測精度の改善、放射スキームの改良による予報バイアスの改善などが計画されている。

将来的には、初期値の精度を向上させるために、高 頻度で稠密な観測網を整備することや、それでもカバ ーできない初期値の誤差について、アンサンブル予報 技術を導入して考慮することにより、災害に関わる気象 現象の発生確率などを予測する手法を開発することも 必要である。

現在台風予報においては暴風警戒域を円で表現して いるが、地域毎の暴風の状況を必ずしも的確に表現で きない場合がある。降雨についても中心付近以外で警 戒が必要である場合が多い。当面は降水短時間予報 や最大風速ガイダンスを活用して台風による風・雨に関 する情報の提供が検討されているが、中期的には、台 風の観測や同化手法の高度化と並行して、台風構造を 適切に表現できるようメソ数値予報モデルの改良を行な い、モデル結果を降水や風の分布情報に活用すること が望まれる。また、台風に伴う降水や風の分布を確率的 に予測することに特化したメソアンサンブル予報の開発 に取り組むことも検討の価値がある。

(5) 高解像度局地モデル

高解像度局地モデルについては、NAPS・8期間中に 試験運用を行う計画で、現在、プロトタイプとなる水平解 像度2kmの非静力学メソ数値予報モデルを開発中であ る。高解像度局地モデルは航空機の運航に影響する 飛行場周辺の気象状況や、ヒートアイランド現象・大気 汚染などの都市気象について、必要なリードタイムを持 って局地予報を実現するために使うことを目指している。 また、このモデルは大雨警報を2次細分区~市町村程 度で、3~6時間のリードタイムを持って発表するための 支援情報を提供(力学的短時間予報)するためにも使 える。前項でも紹介したとおりモデルの開発と並行して、 初期値を与える高速かつ高精度の解析手法を開発す る。

1.5 まとめ

NAPS-8では、メソ数値予報モデルとして2004年9月 に導入した非静力学モデルの水平解像度が5kmになり、 その真価が発揮されると期待される。また、予報モデル を1日8回運用することにより更新頻度の高い情報提供 が可能になる。全球モデルについてもNAPS更新約1 年後に水平解像度を20kmにすることによって、これま で全球モデル、領域モデル、台風モデルに分散されて いた開発資源を1つのモデルに集約できるので、開発 の効率化およびモデル運用管理の負担軽減が期待さ れるだけでなく、一貫した予報プロダクトの提供が可能 になる。

庁内横断的なモデル技術開発計画の策定と、開発の 推進を行っている気象庁モデル技術開発推進本部で の検討では、将来の第9世代NAPS(NAPS-9)で実現 すべきものとして、1)12時間以上前に大雨の可能性を 予測するためのメソアンサンブル予報の導入、2)力学的 短時間予報のための高解像度局地モデルの毎時運用 などが挙げられており、これらに向けた開発を進める必 要がある。

全球モデルについては、NAPS-8では従来の全球モ デル、領域モデル、台風モデルの役割を高解像度全球 モデルで担うため、水平解像度20km鉛直層数60という 水平解像度の充実に重点を置いた仕様になっているが、 境界層、圏界面、モデルトップなど対流圏から成層圏全 般に不足している鉛直層数を、水平解像度の強化とバ ランスをとりながら大幅に強化する必要がある。これは NAPS-8の計算機資源では不十分であり、NAPS-9時 代への課題として引き継がれることとなろう。

さらにその先を展望するものとして、現在、社会経済 的に影響の大きい天気現象の1日~2週間先までの数 値予報の精度向上を加速させることを目的に、WMOの 下で国際共同研究(THORPEX)が10年間の計画とし て推進されており、我が国でも気象庁と大学・研究機関 が連携して取り組んでいる(余田 2006)。THORPEX では、観測システム、解析システム、予報モデル、応用 アプリケーションを一体化した次世代の天気予報システ ムの実現を目指している。この中では、予報の精度向上 に有効なゾンデや無人飛行機などの機動観測の計画 を支援する数値予報プロダクトを開発することが課題と なっている。また、THORPEX研究の一つとして、アン サンブル予報値だけでなく、アンサンブル初期値を現 業数値予報センター間で交換し、解析システムとモデ ルの多様性を考慮できる、マルチモデルマルチ解析ア ンサンブル予報も試みられようとしている。今後の数値 予報の発展に寄与するものとして期待したい。

参考文献

- 栗原幸雄,桜井敏之,倉賀野連,2006:複数衛星デー タと現場データによる新しい全球日別海面水温解析. 測候時報,73、特別号(提出中).
- 松村崇行,片山桂一,中川雅之,2005: セミラグランジ ュ統一モデル.数値予報課報告・別冊第51号,気 象庁予報部,32-35.
- 村上裕之,松村崇行,2004:初期值化.数值予報課報告·別冊第50号,気象庁予報部,61-71.
- 藪将吉,村井臣哉,北川裕人,2005:晴天放射スキー ム.数値予報課報告・別冊第51号,気象庁予報部, 53-64.
- 余田成男, 2006: THORPEX(観測システム研究・予測 可能性実験計画). 天気, 53, (投稿予定)
- 吉村裕正, 松村崇行, 2004: セミラグランジュ統一モデル. 数値予報課報告・別冊第50号, 気象庁予報部, 51-60.

第2章 計算機システム

2.1 新数値解析予報システムについて1

2.1.1 スーパーコンピュータ

新数値解析予報システム(以下「NAPS-8」という。)は、 図2.2.1のような構成となっている。数値予報ルーチンは このNAPS-8で実行される。主な数値予報ルーチンは 構成図一番上にあるスーパーコンピュータにて実行さ れる。以下に個々の計算機の役割について概要を説明 する。

スーパーコンピュータはノードという単位で構成され、 1ノードには16個のCPUと64GBのメモリが搭載されて いる。サブシステム2及び3は、80ノードで構成され、 CPUはPOWER5+の2.1GHzである。ノードはクラスタ 結合²され、ノード間はMPIで通信を行う。ノード内の処 理分散はSMPで処理され、計算効率を高めている。各 サブシステムには4個のI/Oノードがあり、ネットワークと の通信、フロントディスクへの入出力を行っている。一方、 隣接している高速磁気ディスク装置へは全てのノードか ら入出力が可能となっている。また、拡張機能としてメモ リの一部をディスクとして利用している。

サブシステム3では、全球、メソを初めとする数値予報 ルーチンが実行される。サブシステム2では、サブシステ ム3で実行される数値予報ルーチンの確認のための準 ルーチン及び数値予報課が担当するモデルの開発・検 証が実施される。なお、サブシステム3の保守時及び重 障害時にはサブシステム2が代替えとなり数値予報ルー チンを実行する。これにより1日8回のメソ数値予報の実 行が安定的に可能となる。サブシステム3の高速磁気デ ィスク装置は、切り替えによりサブシステム2からも直接 アクセス可能となる。

2.1.2 サーバ類

(1) 降水短時間予報用サーバ

降水短時間予報ルーチンとして解析雨量作成及び 降水短時間予報等が30分毎に実行される。本サーバ は、UNIXサーバ3台で冗長構成3され、スーパーコンピ ュータと同様に稼働系サーバの保守時及び障害時には 待機系サーバが降水短時間予報ルーチンを実行する。



図 2.1.1 新数値解析予報システムの構成

¹ 中山 博義

² 複数のコンピュータを相互に接続し、ユーザやほかのコンピ ュータに対して全体で1台のコンピュータであるかのように振 舞わせること

³ 一台が故障しても、残りのサーバが補填することでシステム 全体の停止を防ぐ構成のこと

(2) 保存データ管理サーバ

UNIXサーバで冗長構成され、図2.2.1で同サーバ に隣接した高速磁気ディスク装置、フロントディスク及び 大容量保存装置のデータ管理を行っている。SANに接 続された計算機間ではデータの共有が可能となってい る。また、大容量保存装置もSANで共有され、ユーザか らはフロントディスクにより大きな磁気ディスクのような感 覚で利用可能である。

(3) データバンク管理サーバ

UNIXサーバで冗長構成され、NAPS-8で作成され た共用データの管理を行っている。基本的に利用者は Pandoraによりデータをアクセスする。

(4) 数値予報関連業務処理ルーチン制御サーバ

UNIXサーバで冗長構成され、数値予報ルーチン及 び降水短時間予報ルーチンの制御及び監視を実施し ている。数値予報ルーチン及び降水短時間予報ルー チンは基本的に予め設定された時刻になると本サーバ により自動的に起動され、ジョブ間の複雑な依存関係を 保ちながら実行される。またジョブの異常終了時には、 そのことが本サーバにより検知され、統合管理サーバに 伝える。統合管理サーバはシステム運用室の現業者に 対して異常発生を鳴動等により知らせる。

(5) 各課業務処理用サーバ(清瀬)

Linuxサーバ18台で構成され、2台1組となっている。 数値予報課では本サーバにて課ルーチン4を実行する ほかに、清瀬に設置された計算機資源を使用した開発 のために利用している。

(6) ネットワーク共用ディスク装置

清瀬及び本庁に設置され、それぞれ清瀬及び本庁 に設置されたサブシステム及びサーバにNFSでマウン トされている。本装置は、一般ユーザのホームディレクト リがあり、主に開発利用のデータを保存するために整備 されている。書き込み及び読み込みはネットワークを通 じて行うため速度は高速ではないが、通常近傍の全て のサーバ等からアクセス可能なため利便性が高い。

2.1.3 ネットワーク

これらの機器を接続する目的で、清瀬には3種類のネットワークが整備される。3種類のネットワークの利用目 的は以下のとおりである。プロダクト提供ネットワークで は、通信システムと接続し、プロダクト、気象電文及び観 測データの転送及び取得を行う。業務管理ネットワーク では、数値予報ルーチン及び降水短時間予報ルーチ ン制御、並びに機器監視のためのデータを扱う。データ ネットワークでは、主にネットワーク共用ディスク装置上 の開発用データを扱う。

清瀬と本庁間は広域LANで冗長接続されている。本 庁側では本庁NAPS基幹及び予報現業業務支援ネット ワークと接続している。予報現業業務支援のため、支援 装置及び端末が設置されている。また本庁光ファイバ ーネットワークを通じて、本庁内各課から業務及び開発 のためNAPS-8の利用ができる。数値予報課からも当 課整備の課内LANを通じて各自の机上のパソコン端末 からNAPS-8の各機器へアクセスが可能である。

2.1.4 数値予報ルーチンとその制御方法

数値予報ルーチンでは、気象電文及び観測データの 主なものは通信システムから取得する。また、気象衛星 センター(MSC)で処理している衛星データは、本システ ムが衛星データ処理システムと結合しているため、当該 データをファイルとして取得する。その他には、インター ネットに公開されているデータがあるが、こういったデー タの取得は本庁の MDCDS を通じて課ルーチンとして 運用されているジョブにより取得され、数値予報ルーチ ン実行時にデータを参照する。

取得されたデータはデコード処理され、その後全球解 析され、全球予報が実行される。この結果を境界値とし てより領域が狭く格子間隔の小さい解析・予報が実行さ れる。これらの処理結果は定期的にサブシステムに接 続された高速磁気ディスク装置に保存される。前述の処 理が正常終了の後、プロダクト作成のための処理が適 時実施され、気象電文、FAX またはファイルに加工され る。

作成されたファイルは、データバンクとして公開され、 同時に通信システムを初めとする他システムへ転送され る。

このように NAPS・8 で実行される数値予報ルーチンは、 数千にも及ぶジョブが相互に関連し、また、一連のジョ ブが実行される計算機が複数に渡ることもあり、制御の ためのソフトウェアが不可欠である。このような運用形態 を行う目的で本システム受注メーカから数値予報ルー チン業務運用支援ソフトウェア(JNOS3)が納入・提供さ れている。本ソフトウェアを用いて数値予報ルーチンは、 数値予報課で維持・管理され、システム運用室で運用・ 実施されている。

⁴業務のために実行されているルーチンで、数値予報ルーチンよりも必須性が小さい。

2.2.1 はじめに

数値予報課では、第2.1節で述べた数値解析予報シ ステム (NAPS) など、近年の大規模な計算機システム を利用する上でのデータの取り扱いと、可視化等のデ ータの利用手段に要するコストについての問題意識か ら、平成 13 年度に Pandora プロジェクトと称してデー タの所在やファイル形式の違いを吸収する転送方式の 実用化に向けた開発を始めた(豊田 2001)2。プロジェ クト名の Pandora とは「すべてのデータ」という言葉に 相当するギリシャ語であり、ここでは多様なデータにその 所在やファイル形式を意識することなくアクセスできるよ うにしようという目標を表している。この仕組みを利用す ることにより、NAPS ではファイル形式の違いを意識す ることなく、リモートホストにあるさまざまなデータをローカ ルディスクにあるかのように読み出すことが可能になる。 また、平成17年度に更新した気象情報伝送処理システ ム(アデス)では、従来の電報配信とは違った新しいデ ータの交換方式と、データの所在や形式によらずにアク セスできるデータベース機能の導入が検討され、数値 予報データの交換には Pandora による転送方式が採 用されている。

本節では分散システムにおける多様なデータの取り 扱いに関する問題を Pandora がどのような仕組みで 解決するのか、簡単に紹介する。略語は巻末の付録に まとめてある。

2.2.2 分散システムにおけるデータの扱いに関する 問題

近年の大規模な計算機システムは、スーパーコンピュ ータを中核として、多数の支援コンピュータ群をネットワ ークで接続した分散システムの形態をとるようになってき た。たとえば、NAPS においては、数値予報モデルな どの大規模計算をスーパーコンピュータで実行し、デー タの可視化や検証、プログラムの開発などをおもに各種 のサーバで実行するため、各マシンはネットワークで接 続されている。また、アデスは、データサーバおよび東 西の中枢システムを中核に、府県等の端末を結ぶ TCP/IP 基盤通信網として構成されている。

最近の高性能計算に関する話題に目を向けると、並 列計算機による大規模計算だけでなく、ネットワークを 利用して分散した計算機資源を有効活用するグリッドコ ンピューティングに関する技術の発展が注目されるよう になってきた3。グリッドコンピューティングは、計算機の CPU 資源を遠隔利用する計算グリッド、遠隔システム にあるデータへのアクセスを容易にするデータグリッドの ほかに、WWW と計算グリッド、データグリッドなどの技 術を背景にしたサービスグリッドに分類することができる。 データグリッドにおいては、さまざまなシステムに分散し た多用な形態のデータへの効率的なアクセスをはじめ、 データハンドリングが重要な課題となる。分散システムに おいてデータを共有するためには、ファイルがディスク にあるのか、テープに格納されているのかといった格納 場所の多様性や、ファイル形式の多様性を考慮する必 要がある。たとえば、NAPS やアデスで扱う格子点値 (GPV)を格納するファイル形式には数値予報標準デ ータセットシステム (NuSDaS) や国内二進形式をはじ め、GRIB などのさまざまな種類がある。したがって、数 値予報の結果である GPV を配信先に応じたプロダク トとして加工したり、GrADS などのさまざまな可視化ツ ールに入力したりするためには、ファイル形式の変換が 必要である。さらに、データを作成した計算機における CPU のバイトオーダーの違い、つまりビッグエンディア ンであるかリトルエンディアンであるかの違いを考慮する 必要がある4。現 NAPS や次期 NAPS のスーパーコ ンピュータはビッグエンディアンマシンであるのに対して、 次期 NAPS の各課業務処理用サーバはリトルエンデ ィアンマシンであるため、互いのマシンで作成した多バ イトのバイナリデータをそのまま処理することはできず、 処理プログラムにおいてバイトオーダーを変換しなけれ ばならない。

システムが分散して多様になるにしたがって、各種の データ形式に対応してプログラムを書き換える作業量は 膨大になる。したがって、多様なデータ形式の変換処理 に何らかの枠組を設けて整理し、統合を図る必要があ る。

2.2.3 Pandora による解決策

データハンドリングにまつわるさまざまな問題を、 Pandora ではつぎの方法により解決する。

(1) ネットワークを通じたデータの通信に HTTP1.1

¹ 成田正巳

²²⁰⁰¹年気象学会秋季大会の講演資料:

http://www.gfd-dennou.org/arch/zz2001/msj-aut-toyoda/poster/ 第3回気象庁モデルフォーラム(2002年)の講演資料: http://pfi.kishou.go.jp/open/mdlfrm/forum_03/hasegawa/

³ たとえば、2004 年 10 月に ECMWF で開催された「気象 学における高性能計算技術の利用に関するワークショップ」で は、DKRZ, NERC, NOAA が取り組んでいるグリッドコンピ ューティングや分散データ環境に関する講演があった。 http://www.ecmwf.int/newsevents/meetings/workshops/ 2004/high_performance_computing-11th/

⁴ 多バイトのデータをメモリに配置するときのバイトの並び順は CPU のアーキテクチャによって異なる。最上位のバイトから順 に配置するビッグエンディアンと、最下位のバイトから順に配 置するリトルエンディアンがあって、バイトオーダーが異なるマ シンで多バイトのデータをやり取りするためには変換が必要で ある。

を利用⁵。

インターネットにおける中心的なデータ転送仕様であ る HTTP1.1 を採用することにより、分散ホスト間のデ ータ通信における信頼性の確保や低水準処理を隠蔽 するためのツールやライブラリの利用、通信経路におい て複数の拠点を経由する際の問題への対応、応答速度 を確保するための手法など、これまでに十分な実績のあ る技術をそのまま利用できるようになる。また、HTTP は FTP と比べてキャッシュや負荷分散の処理が優れてい るため、大規模なサーバを構築することに適している。

(2) データ形式の記述に MIME メディアタイプの書 式を利用⁶。

電子メールや WWW におけるマルチメディアデー タの交換において基盤的な役割を果たしている MIME メディアタイプを採用することにより、文字デー タ以外の各種のデータの取り扱いが容易になる。

(3) データの変換に CGI の機構を利用。

データの変換に用いるプログラムには一般的な CGI の機構を用いており、バイトオーダーの変換など、必要 な処理を柔軟に追加できる。

2.2.4 Pandora のシステム構成

図 2.2.1 に Pandora の概念的なシステム構成を示 す⁷。

(1) Pandora ライブラリ

可視化ツール等のアプリケーションプログラムがデー タを入出力する低水準な階層として Pandora ライブラ リを利用する。アプリケーションは、入出力においてデー タの実際の所在を抽象化した指定でデータを要求する⁸。 Pandora ライブラリはこれを HTTP に置き換えて Pandora サーバに要求を発行し、サーバの応答を解 釈してアプリケーションに渡す。

(2) Pandora サーバ

クライアントである Pandora ライブラリからの要求を 受け取り、応答を返す。この通信は HTTP で行う。要 求を自身で処理できる場合は自身で管理するドライバ を起動し、自身で処理できない場合はデータ所在デー タベースに登録された情報に基づいてほかの適切な Pandora サーバへ要求を転送し、クライアントからの応 答を中継する。

(3) ファイル形式ドライバ群

⁵ RFC 2616 - Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.1: http://www.faqs.org/rfcs/rfc2616.html

⁶ RFC 2046 - Multipurpose Internet Mail Extensions (MIME) Part Two: Media Types: http://www.faqs.org/rfcs/rfc2046.html



図 2.2.1 Pandora の概念的なシステム構成

クライアントに供給されるデータは、いずれかのサー バにおいて何らかの媒体に格納されたファイルとして管 理されるものである。このファイルにアクセスするための プログラムを、データを読み書きするドライバとして管理 する。

以上の構成により、アプリケーションプログラムの利用 者は、データがローカルディスクのファイルに存在する 場合と同じように、ネットワークを通じて他ホストのデータ にアクセスすることが可能になる。

2.2.5 おわりに

平成 15 および 16 年度に実施された予報課程特別 研修では、Pandora の仕組みにより、本庁に設置され たデータサーバに保存されている数値予報 GPV をネ ットワーク経由で利用した。また、本庁に設置された防 災情報モデル開発システムで実行したモデルの結果で ある GPV を、Pandora の仕組みにより各官署から利 用することができるようになっている。

次期 NAPS においては、Pandora の仕組みを使って NAPS の内部からだけではなく、NAPS の外部 にあるマシンから過去の数値予報の結果を保存してい るデータバンクにネットワーク経由でアクセスできる仕組 みを構築する。この仕組みの利用対象については、現在、検討を進めているところである。

参考文献

豊田英司, 2001: 数値データの入出力インターフェー スの内部実装による Web 分散コンピューティング の構想. 気象学会秋季大会講演予稿集, 80, P333.

⁷ ここに示した構成は、Pandora プロジェクトの初期に想定さ れていたものである。

⁸ Web ページを指定する「http://ホスト名.ドメイン名/パス名/ ファイル名」の形式と同じで、Pandora ではパス名の部分に データの実際の所在ではなく要素名などの種別を指定する。

3.1 新モデルの特徴

3.1.1 はじめに

防災気象情報の発表支援を目的としたメソ数値予報は、 2004年9月に数値予報モデルを静力学モデルから非静力 学モデルへと変更し(藤田 2004)、降水予測等について 着実に精度向上が達成されている(田中 2004)。2006年3 月のNAPS更新による演算性能の強化を受けて、より一層 の精度向上を図るため、数値予報モデルの水平分解能を 現在の10kmから5kmに、予報回数を1日4回から8回に高 頻度化することにした。分解能の強化に伴い、より小さい スケールの現象を扱えるようになることによる精度向上 が期待される。また、予報回数が増えることにより、これま でより間近の実況を取り込んだ予報を参照できるようにな る。一般に予報時間が長くなるにつれて予測精度が低下 することを考慮すると、予報の高頻度化は精度向上の蓋 然性が高まることにつながる。

本節では新しいメソ数値予報モデル(以下、5km-MSMという)の仕様について説明する。なお、現行のメソ数値予 報モデル(以下、10km-MSMという)の仕様については藤 田(2004)やSaito et al. (2005)に詳しく述べられているので、 適宜参照頂きたい。また、5km-MSMと10km-MSMの統計 検証による比較については第3.2節を、いくつかの事例に 対しての検証結果については第3.3節をそれぞれご覧頂 きたい。

3.1.2 5km-MSMの仕様

5km-MSMは10km-MSMとして用いられている気象庁非 静力学モデル(気象庁予報部 2003)と基本的には同じで あるが、5kmの水平分解能に適するように様々な改良を行 なっている。以下では10km-MSMの仕様と比較して解説 を行なう。10km-MSMで用いている各過程(多くは 5km-MSMでも用いる)の概略は藤田(2004)に解説されて いるので、適宜併せて参照してほしい。

(1) 格子間隔、格子数、投影法、座標系

前項で述べたとおり、新しいメソ数値予報モデルの水平 分解能を10kmから5kmに強化する。5km-MSMの予報領 域の広さ(図3.1.1)を10km-MSMと同じとするため、 5km-MSMの格子数は10km-MSMの361×289から721× 577とする。ただし、側面緩和領域を境界から240kmまでと していたのを180kmまでとした。モデルの鉛直層数を40層 から50層に増加する(モデル上端の高度は約22kmでほぼ 同等)。図3.1.2に5km-MSMと10km-MSMの鉛直層の配置 を示す。全ての高度で分解能が向上していることが分かる

(2) 初期值、側面境界值

5km-MSMの初期値にはNAPS更新当初には10km-MSM と同じく、水平分解能10kmの静力学モデルに基づくメソ4 次元変分法(第4.2節)による解析値を用いる。雲水、雲氷、 雨水、雪、あられの混合比の初期値に前回予報値を用い る点も変更は無い。ただし、予報頻度が1日8回になること を踏まえて、6時間前初期時刻の6時間予報値ではなく、3 時間前初期時刻の3時間予報値を用いる予定である。側 面境界値には現在と同様にRSMの予報値を用いる。



図 3.1.1 5km-MSM の予報領域。 緯経度線は 5 度おき。 塗りわけの閾値は 0, 100, 200, 500, 1000, 2000m。



図 3.1.2 5km-MSM と 10km-MSM の鉛直層の配置。 実線はフルレベル、破線はハーフレベルを表す。太 実線は 5 本間隔。左半分が 5km-MSM、右半分が 10km-MSM。全ての高度で分解能が向上している。

⁽最下層の厚さは共に40m)。10km-MSMと同様に、投影法としてランベルト正角投影法(基準緯度は北緯30度と北緯60度、基準経度は東経140度)を用い、鉛直座標系として地形に沿うZ*座標と呼ばれる座標系を用いる。

(3) モデル地形、海陸分布、地表面パラメータ

モデル地形と海陸分布は国外のデータも必要であるため、10km-MSMと同様に米国地質調査所がまとめた全球 30秒メッシュのGTOPO30(全球標高データ)及びGLCC (全球土地被覆特性データ)から作成する。地形の分解能 を数値予報モデルの分解能と同じにすると、細かい地形 に起因するノイズが計算不安定をもたらす可能性がある ので、10km-MSMでは分解能15km相当に、5km-MSMで は分解能7.5km相当に平滑化している(藤田(2004)も参照 のこと)。

従来は地表面パラメータのうち、運動量粗度と湿り度に ついては都市や森林といった土地利用状況に応じた値を 与えていたが、地面の熱容量と熱拡散係数及びアルベド については土地利用状況を考慮せず地表面種別(陸、雪 面、海・湖、海氷)のみ考慮していた。しかし、熱容量やア ルベドも土地利用状況によって異なり、その違いは地表 要素の予想に違いを与えうる2ので、これらのパラメータに ついても土地利用状況を利用した値を設定することにした (田中・熊谷 2005)。この変更及び粗度の計算方法の一 部修正により、夜間の地上気温の高温バイアス改善など の効果が得られた。また、従来は湿り度を定数として扱っ てきたため、降水時や晴天時に地面が湿ったり乾いたり する効果を考慮できなかった。そこで、湿り度を予報変数 として扱うように変更した結果(初期値は土地利用状況に 応じた気候値)、日中の気温、露点温度のバイアスの軽減 につながった(原 2005、第3.2節)。

海面水温データは海洋気象情報室で作成する高解像 度全球日別海面水温解析(栗原ほか 2006)を用いるよう に変更する(第3.4節)。

(4) 力学過程

カ学過程に大きな変更は無いが、水平分解能の変更に 伴い、設定のいくつかを変更している。水平方向のCFL条 件を考慮すると時間積分間隔を0.5倍にしなくてはならな いが、5km-MSMや10km-MSMでは、時間積分間隔は水 平方向よりも鉛直方向の速度によるCFL条件に制限され ることが多く、一方で鉛直分解能は2倍までは高めていな いことから、時間積分間隔を10km-MSMで用いる値の0.6 倍とした³。

適応水蒸気拡散(TMD)で用いるパラメータについても変 更を行なった(10km-MSMで用いているTMDについては 藤田(2004)を参照のこと)。TMDとは不自然な格子スケー ルの対流が生じたときに、水蒸気を拡散させることによっ て対流を抑制するものである。分解能が雲の空間スケー ルよりも十分粗いとき、モデル内で生じる格子スケールの 対流は自然界では出現しない現象である。しかし、分解能 が高い場合は必ずしも不自然とは言えないので、 5km-MSMでは10km-MSMよりも限定的にTMDを適用す ればよいと考えられる。以上の考えから、TMDを適用する 上昇流の閾値を2m/sから3m/sに変更した。

格子スケールの対流に関連して数値拡散の強さも変更 した。数値拡散は数値予報モデルで表現される最小スケ ールの波を減衰させるための人工的な拡散であり、乱流 による拡散とは区別される。5km-MSMの開発中に台風の 中心付近で格子スケールの対流による強い上昇流が生じ て上記のTMDでも対流を抑制できない事例があったので、 数値拡散を強くして安定化を図ることとした。

これらは主として計算安定性に関わってくるものであり、 適切な値を設定することにより、十分な計算安定性を確保 できている。

(5) 放射過程

放射過程にはGSMで使われていた放射スキーム(北川 2000)を導入することにした(長澤・北川 2004、長澤・北川 2005)。田中(2004)は10km-MSMに暖候期の200hPaの気 温に負バイアスがあることを示し、放射スキームに問題が ある可能性を示唆した。また、地上気温の検証から日中に 気温が上がりにくく、夜間に気温が下がりにくい特性があ ることが分かっている(第3.2節)。10km-MSMの放射スキ ームにおける長波放射の計算では、全ての雲を黒体とし て扱い、短波放射における雲の光学特性の計算では、水 雲と氷雲の違いを考慮していなかった。このような手法は 特に氷雲に対して誤差が大きくなりうる。例えば、巻雲のよ うな上層雲は黒体とはみなせない場合があるので、黒体と して計算を行なうと、雲頂での放射冷却が過大に評価され てしまうことがありうる。また、氷雲が存在する場合では地 表に到達する短波放射が過小評価されることになる。

新しく導入した放射スキームでは、雲水量、雲氷量及び、 雲粒の有効半径(水雲の場合は定数、氷雲の場合は気温 の関数で与えられる)を用いることにより、水雲と氷雲の違 いを考慮することができるようになる。ただし、モデルで予 想している雲水量、雲氷量を用いると地上気温の予想特 性等が大きく異なってしまうため、これらの量は可降水量 より診断することとした。なお、雲量の診断方法は変更せ ず、10km-MSMやRSMと同様に相対湿度から診断してい る(萬納寺 1994)。

(6) 乱流過程

乱流過程には10km-MSMと5km-MSMは同じスキームを 用いるが、いくつかの設定を変更した。夜間の地上気温・ 風速の正バイアス(第3.2節)の原因の一つとして、夜間 (安定時)の鉛直拡散が強すぎることが考えられた。 5km-MSMで用いる乱流スキームでは、乱流の強さを決定 する拡散係数は、乱流エネルギーの平方根と混合長(混 合距離ともいう)の積に、ある係数(Cm)を乗じた値で表さ

² 例えば、熱容量が小さくなれば地表面温度の日変化が大きくなる。

³ スプリットイクスプリシット法(藤田(2004)を参照)で用いる長い時 間積分間隔を 40 秒から 24 秒に、短い時間積分間隔を約 11.4 (80/7)秒から約 6.85 (48/7)秒に変更した。

れる。乱流エネルギーを求める手法(藤田(2004)を参照の こと)と鉛直方向の混合長は変更しないが、境界層外では Cmの値を小さくして(すなわち、拡散係数を小さくして)、 鉛直拡散を小さくすることにした。また、混合長について は10km-MSMでは水平方向と鉛直方向とに対して異なる 値を用いていたが、水平方向の混合長が大きすぎること が考えられたので、鉛直方向の混合長と同じ値を用いるこ とにした(原 2005)。これらの変更により、夜間の地上気 温・風速の正バイアスを大幅に軽減している(第3.2節)。

(7) 積雲パラメタリゼーション、雲物理過程

5km-MSMで積雲パラメタリゼーションを用いずに実験を 行なったところ、格子スケールの対流が卓越し、レーダ ー・アメダス解析雨量と比較して、1時間に数mm程度の降 水の頻度が小さく、1時間に20mm程度以上の強い降水の 頻度が大きくなることがわかった。そこで、引き続き積雲パ ラメタリゼーションを併用することとし、10km-MSMと同様に Kain-Fritschスキーム(以下、KFスキームという)を用いる こととした。

KFスキームのパラメータを全く変更せずに格子間隔の みを5kmにした実験結果から、暖候期の3時間積算雨量の バイアススコアは10mm以下では1より大きく、15mmから 30mmでは1より小さくなるという特性があることが分かった。 また、1時間に10mmから30mm程度の降水の頻度は実況 よりも小さく、30mmを超えるような降水は、頻度がやや大き いことも分かった。寒候期には寒気の吹き出し時にライン 状の降水を実況よりも多めに表現してしまう特性も見られ た。以上の問題点を解決するために次の4点の変更を行 なった(大森ほか 2005a)。

・対流性凝結物から降水への変換を小さくする。

KFスキームの内部で凝結した水物質はある閾値を超え た分を降水とし、閾値より小さい場合には降水は生成され ないとしている。弱い対流が生じている際に、この閾値を 超える凝結物が生成されて3時間に数mm程度以下の降 水に変換されていることが分かったので、閾値を大きくし て降水への変換を少なくした。

・深い対流の時間スケールを短くする。

積雲パラメタリゼーションによる大気の安定化が不十分 であると格子スケールの対流が卓越する。その結果、1時 間に30mm以上の降水の頻度が大きくなる代わりに、1時 間に10mmから30mm程度の降水の頻度が小さくなったと 考えられる。KFスキームでは、対流はある一定の寿命を 持ち、パラメタリゼーションによる加熱率や混合比の時間 変化率は時間スケールの長さに反比例している。時間ス ケールを短くすることにより、加熱率や混合比の時間変化 率が大きくなるので、大気の安定化が早く行なわれるよう にした。

・浅い対流の時間スケールを短くする。

KFスキームでは対流を深い対流と浅い対流とに分けて 取り扱い、KFスキームの浅い対流は、降水はもたらさない ものの雲や雲水を生成し、大気を安定化するようにはたら く、としている。寒候期の寒気吹き出し時には浅い対流が 広範囲で生じるものの、その安定化が不十分であり、実況 では観測されない格子スケールのライン状の弱い降水(3 時間に数mm程度)⁴をもたらし、これによって降水予測精 度が低下していることがわかった。そこで、浅い対流につ いても時間スケールを短くすることとした。

・雲物理過程で雲水・雲氷から降水への変換の閾値を 大きくする。

雲物理過程では雲水や雲氷の量がある閾値を超えると 雨や雪へと変換されるとしている⁵。この閾値についても大 きくすることにより、弱い降水(3時間に数mm程度)が過度 に出現することを抑制している。

以上のような変更を行なった結果、3.2節に示されている ように、降水予測精度が向上した。

(8) 地上物理量診断手法

地上物理量は、地表面における運動量、顕熱、潜熱フラ ックスを求める際に用いるバルク係数⁶と、大気最下層(モ デル面最下層)における風や気温を用いて診断すること ができる(萬納寺 1994)。バルク係数の求め方にはいく つかの手法が提案されており、10km-MSMが用いていた 手法では、成層が安定な時には、地上物理量として本来 求めたい高度(気温は1.5m、風は10m)よりも高い高度で の気温や風の値を与えてしまうことが分かった。夜間に成 層が安定している時の接地層では、高度が高くなるにつ れて気温が高くなり、風速が強くなるので、これは夜間の 地上気温、風速の正バイアスにつながる。そこで、バルク 係数の計算手法を変更し、夜間の地上気温・風速の正バ イアスを軽減することに成功した(原 2005)。

地表面の凹凸度合いを表す粗度についても変更を行なっている。観測点は概ね平坦な土地(すなわち粗度が小 さい)にあることを考慮して、地上物理量を診断する際に 用いる粗度には上限値(0.05mとしている)を設けることとし た(原 2005)。

3.1.3 今後のメソ数値予報

これまで述べてきた通り、5km-MSMへの変更に際して 改良を行い、次節以降に示す通り良好な予報精度を有す ることが確認された。以下では2006年3月以降の計画と開 発課題について簡単に述べる。

2007年に1日8回のうち4回(03,09,15,21UTC)については 15時間予報から33時間予報に延長し、24時間先までの防 災気象情報の高度化を目指す。その後、初期値の精度向 上のため、データ同化手法を現在の静力学スペクトルモ デルに基づく4次元変分法から、非静力学モデルに基づ

⁴ この降水は雲物理過程によりもたらされる。

⁵ KFスキームでも同様の計算を行なっている。これは、雲物理過 程に含まれている過程をKFスキームに導入したからである。 ⁶ 萬納寺(1994)では抵抗係数と呼んでいるが同じものである。

く4次元変分法に変更する予定である。さらに、2007年に は、飛行場予報や都市気象予測等に利用可能な、水平 格子間隔2km程度の高分解能局地モデルの試験運用も 計画している。

力学過程においては、まず鉛直差分の高精度化がある。 現在は、鉛直方向には2次の精度の差分式を用いている が、これを4次の精度に拡張して差分誤差を軽減する。ま た、一般鉛直座標の採用に向けた開発を行っている。現 在の2*座標は下層で地形に沿う座標であるが、対流圏中 層でも地形の凹凸に応じてモデル面が変形してしまう(図 3.1.2)が、中層以上ではこのようなモデル面の変形がない 座標系を採用することが望ましい。現在、鉛直差分の高精 度化と一般鉛直座標について基礎的な実験を行なってい るところである。

物理過程についても開発すべき課題は多い。積雲対流 パラメタリゼーションとして、現在はKFスキームを用いてい る。しかし、水平分解能を5kmにした場合にどのようなスキ ームが優れているかは現時点では明らかでない。また、 水平分解能が2km程度の高分解能局地モデルでは、積 雲対流パラメタリゼーションが必要かどうかでさえ明らかで はない。KFスキーム以外のパラメタリゼーションとして、大 森ほか(2005b)ではGrellスキームを用いた予報実験につ いて報告を行っている。ここで用いられたGrellスキームは、 GSMで用いられている荒川-シューバートスキームを元に して、一対の上昇流・下降流を考えるように変更し、さらに 対流が発生するための条件を追加したものである。現在 使われているKFスキームと比較して、加熱・加湿の鉛直プ ロファイルは異なるものの、ほぼ同等の降水分布を予想し ている。今後、降水精度と鉛直プロファイルの検証をしつ つ、スキームの最適化を重ねて、一層の精度向上を図る。

放射スキームでは雲の取り扱いを精緻化したので、今後 はいかに雲量や雲水量を決定するかが重要になる。例え ば、長澤・北川(2005)は現在用いている相対湿度から診 断した雲量が過大であると指摘している。雲物理過程で 計算された雲水量や雲氷量の利用や部分凝結スキーム の導入などによる改善を行なっていきたい。また、GSMで 採用されている藪ほか(2005)による晴天放射スキームの 導入に向けた開発を行っている。

地表面における運動量、顕熱、潜熱フラックスは乱流に よって大気に輸送される。この影響を精度良く評価するた めには、フラックスそのものの精緻化と乱流による輸送過 程の精緻化が重要である。前者として植物圏モデル(以下、 SiBという)の導入、後者としてレベル3のMellor-Yamadaモ デル(以下、MYモデルという)の導入を計画している。SiB は植生などによるフラックスへの影響を扱うものであり、さ らに土壌水分の変化や積雪についても取り扱うことができ る。SiBやレベル3のMYモデルの導入は、地表面物理量 の予測精度の向上だけでなく、自由大気への影響を通じ た降水予測精度の向上につながるであろう。

これまでに述べてきた開発課題は既に着手しているもの

であり、期待通りの成果を得られれば、33時間予報に延長 する際に導入されるものである。上記以外にもメソアンサ ンブル予報に向けた開発など、計画中の開発事項はある が、紙幅の関係もあり割愛する。現業メソ数値予報におけ る非静力学モデルの利用は開始から1年余りと日も浅く、メ ソ数値予報の重要性が高まるとともに開発すべき課題も増 えていくと考えられる。今後も様々な観点から調査を行な い、精度向上に努めていく。

参考文献

- 大森志郎,新保明彦,山田芳則,2005a:気象庁非静力 学モデルの積雲対流パラメタリゼーションについて.第7 回非静力学モデルに関するワークショップ予稿集, 33-34.
- 大森志郎,新保明彦,山田芳則,2005b: Grell スキームを 用いた気象庁非静力学モデルの予報実験.気象学会 春季大会予稿集,87, B406.
- 気象庁予報部,2003: 気象庁非静力学モデル.数値予報 課報告・別冊第49号,気象庁予報部,194pp.
- 北川裕人, 2000: 放射過程. 数值予報課報告·別冊第42 号, 気象庁予報部, 16-31.
- 栗原幸雄, 桜井敏之, 倉賀野連, 2006: 複数衛星データ と現場データによる新しい全球日別海面水温解析. 測 候時報, 73, 特別号(提出中).
- 田中小緒里,2004:統計的検証. 平成16年度数値予報研 修テキスト,気象庁予報部,11-20.
- 田中小緒里, 熊谷幸浩 2005: 気象庁非静力学モデルの 地表面パラメータの改良. 気象学会春季大会予稿集, 87, B404.
- 長澤亮二,北川裕人,2004:気象庁非静力学モデルの放 射スキームの改良について.第6回非静力学モデルに 関するワークショップ予稿集,67-68.
- 長澤亮二,北川裕人,2005: 気象庁非静力学モデルの放射スキームの改良について.気象学会春季大会予稿集, 87, B403.
- 原旅人,2005: 気象庁非静力学モデルの5km化に向けた 地表面・境界層過程の開発. 第7回非静力学モデルに 関するワークショップ予稿集,35-36.
- 藤田司,2004: 非静力学メソ数値予報モデルの概要. 平 成16年度数値予報研修テキスト,気象庁予報部,1-9.
- 萬納寺信崇, 1994: 数値予報モデル. 平成6年度数値予 報研修テキスト 数値予報課報告・別冊第41号合併号, 気象庁予報部, 52-89.
- 藪将吉,村井臣哉,北川裕人,2005:晴天放射スキーム. 数値予報課報告・別冊第51号,53-64.
- Saito, K., T. Fujita, Y. Yamada, J. Ishida, Y. Kumagai, K. Aranami, S. Ohmori, R. Nagasawa, S. Tanaka, C. Muroi, T. Kato and H. Eito, 2005: The operational JMA Nonhydrostatic Mesoscale Model. *Mon. Wea. Rev.*, in press.

3.2.1 はじめに

本節では、新しいメソ数値予報モデル(5km-MSM)と 現行のメソ数値予報モデル(10km-MSM)の予想につ いて、降水、地上気象要素、高層気象要素の統計的検 証結果を示す。検証期間は暖候期(2004年5月31日~ 7月31日)と寒候期(2004年12月29日~2005年2月28 日)で、それぞれ248初期値である。5km-MSMの予報 には、10km-MSMと同じ初期値と境界値を用い、1日 あたり4回の初期値(00,06,12,18UTC)から15時間予 報を行った。

検証のために用いる各スコアのうち文中に説明がない ものは、巻末の付録Bを参照していただきたい。また、 以下の記述では予報時間3時間目をFT=03のように略 して示す。

3.2.2 降水量の統計的検証

(1) 検証方法

降水の検証では、実況値としてレーダー・アメダス解 析雨量(R/A、格子間隔約2.5km)を用い、検証範囲を 陸上及び沿岸40kmに限定してスコアを計算した(図 3.2.1の白い領域)。検証を行った降水量は3時間積算 降水量で、検証格子の大きさは20kmとした。以下では 特に説明がない限りこの検証格子を用いることにする。 スコアの計算には、R/Aとモデル降水量ともに検証格子 内の平均降水量を用いた。閾値の設定については、「3 時間積算降水量1mm以上」を「1mm以上」などと略し て示す。

(2) 閾値毎の降水予測特性

ここでは、全予報時間を対象に閾値別に計算したスコ アから、降水強度別の予測特性について述べる。

暖候期では、5km-MSMのスレットスコアがどの閾値 でも10km-MSMを上回っており、予報精度の向上が明 らかである(図3.2.2右上)。また、5km-MSMのバイアス スコアについては、どの閾値でもほぼ1に近づいており、 実況に近い予報頻度となっていることがわかる(図3.2.2 左上)。特に、5km-MSMでは、10km-MSMで見られ た5mm以下の予報頻度過剰と、20mm以上の予報頻 度過少の改善が明らかである。

これに対して寒候期では、5km-MSMのスレットスコア は10km-MSMとほぼ同じである(図3.2.2右下)。バイア ススコアでは、全体的に10km-MSMより予報頻度が過 剰になっている(図3.2.2左下)。

以上のように、5km-MSMの降水強度別の降水予測 精度は、暖候期では10km-MSMを上回っていると言え るが、寒候期では10km-MSMと概ね同等と言える。メソ 数値予報モデルでは、雲物理過程と積雲パラメタリゼー ションKain-Fritschスキーム(KFスキーム)から降水が 形成される。暖候期の降水は寒候期に比べて、KFスキ ームによる降水の寄与が大きい。暖候期の5km-MSM の降水予測精度の改善はKFスキームのパラメータの調 整が効いている(第3.1節(8))。一方、寒候期の降水は 雲物理過程による寄与が大きく、現実の対流の空間ス ケールはモデルの格子間隔よりも小さい場合が多い。 5kmという分解能でも冬季の対流のスケールに対して は十分大きいため、暖候期ほど分解能による違いが現 れなかったと推察できる。

(3) 予報時間毎の降水予測特性

ここでは、暖候期(閾値1mm,10mm)と寒候期(同 1mm)について、予報時間毎の降水予測特性を述べ る。

暖候期のスレットスコアでは、5km-MSMは、いずれ の閾値についても各予報時間で精度向上がみられる (図3.2.3右上、右下)。1mmのバイアススコアで見ると、 5km-MSMの予報頻度はどの予報時間に対しても実況 に近づいている(図3.2.3左上)。一方、10mmのバイア ススコアでは、5km-MSMは予報時間後半に予報頻度 が過少となる傾向がみられる(図3.2.3左下)。一般的に は、予報頻度が減少すると、スレットスコアは低下する傾 向があるが、この場合、バイアススコアの低下に対してス レットスコアは向上しているので、降水予測精度の改善 は明らかである。降水予報頻度については、引き続き開 発の課題とする。

寒候期のスレットスコアとバイアススコアから、 5km-MSMの予報時間に対する降水予測特性は 10km-MSMとほぼ同等であると言える(図3.2.4)。



¹ 瀬川 知則













(4) 検証格子内の最大降水量を用いた予測特性

ここまでは、検証格子内の平均降水量(格子平均)を 用いてモデルの一般的な降水特性を議論してきた。一 方、MSM は防災情報の発表支援を目的として運用さ れていることを考慮すると、短時間の強い雨の予測特性 も重要である。そこで、観測値と予報値について検証格 子内の最大降水量(格子最大)を用いた検証も行った。

まず、格子平均と格子最大を用いたときの検証格子が 表す降水量の違いを図 3.2.5 に模式的に示す。検証格 子の間隔を 20km とすると、この格子内に含まれる R/A の格子数は 64 個、5km-MSM は 16 個、10km-MSM は 4 個となる。いま、検証格子内において、長さ 10km 程度、幅 1 格子分の降水が表現されたと仮定する(図 3.2.5 の陰影部)。各格子の降水量は R/A が 80mm/h、 5km-MSM が 40mm/h、10km-MSM が 20mm/h とし、 単純化するためそれ以外の格子では降水がなかったも のとする。格子平均を用いる場合は R/A、5km-MSM、 10km-MSM のいずれでも 5mm/h となる。これに対し て、格子最大を用いる場合は R/A が 80mm/h、 5km-MSM が 40mm/h、10km-MSM が 20mm/h とな る。このように、格子最大では検証格子内で表現される 観測値と予報値のピーク値を比較するので、特に、強 い雨に対する予測特性を把握するのに適している(石 田・成田 2003)。

はじめに、暖候期の閾値別にスコアを求め、強い降水 の予測精度を検証する。5km-MSMのスレットスコアは、 閾値が大きくなるほど10km-MSMとの差が大きくなっ ており、強い雨の予測精度が向上していることがわかる (図3.2.6右)。バイアススコアについても、10km-MSM と比較して、全閾値において1に近く、特に強い雨の予 測頻度が改善していることが明瞭である(図3.2.6左)。

次に、強い雨の予報時間毎の特性を調べるために、 暖候期の閾値30mmの降水予測について予報時間毎 に検証する。5km-MSMのスレットスコアは、どの予報 時間に対しても改善がみられた(図3.2.7右)。バイアス スコアについても、すべての予報時間で1に近く、予測 精度が向上していることが分かる(図3.2.7左)。

以上のように、強い雨についての5km-MSMの降水 予測特性をまとめると、10km-MSMよりも強雨の予報 頻度が増加し、スレットスコアも向上しているので、全体



図 3.2.5 検証格子内で平均値と最大値を用いたときに表現される降水量の違い(20km 検証格子、網掛け部は降水がある格子、 長さ10km幅1格子、各格子に図中の数字の降水がある場合を考える。単純化のため網掛け部以外に降水はないものとする。)









として予測精度が向上していると言える。ただし、強い 雨の予測頻度はR/Aの観測頻度に比べて依然小さいこ とに注意願いたい。

3.2.3 地上気象要素の検証

(1) 検証方法

ここでは、地上気象要素(風速、気温、露点温度)に ついての予報精度の検証結果を示す。検証スコアには、 予報対象時刻ごとの平均誤差(ME)と平方根平均二乗 誤差(RMSE)を用いる。検証スコアを予報対象時刻ご とに示す理由は、前項で紹介した降水量の検証と違い、 地上気象要素の予報誤差は日変化が大きいためであ る。なお、検証にあたっては以下の条件の下でスコアを 計算した。

- (a)検証対象とするアメダス観測点は、モデルの海陸設定で全て陸地となっている4格子点に囲まれている観測点だけとする。予報値は、この4格子点のモデル予報値を観測点に単純線形内挿した値を用いる。このような条件を用いるのは、検証に用いるモデルの格子点のうち、海格子と陸格子では特性(例えば気温の日変化など)が違うためである2。図3.2.8は、地上気象要素の検証に用いた観測点と検証から外した観測点を示す3。沿岸や島、大きな湖付近の観測点の一部で検証の対象外となっている。
- (b) 各観測点の風速は、モデルの地上風(高度10m)と 比較するために、観測点における風向風速計の高 さの違いを対数則で補正し、観測点の高度10mの 値に換算して用いる。
- (c) モデルの気温は、モデル標高と観測点標高の差に ついて気温減率を0.6℃/100mとして補正し、観測 点の高度1.5mの気温に換算して用いる。

(2) 暖候期の特性

10km-MSMの風速は、実況に比べて日中に弱く、夜間に強いという日変化傾向があり、これは5km-MSMでも基本的に同じである。しかし、5km-MSMのMEは10km-MSMに比べて夜間の正バイアスを小さくし、平均で0.2m/s程度実況に近づいている(図3.2.9左上)。 一方、夕方の風速については、5km-MSMは10km-MSMよりも弱く表現されるようになった。RMSEは、すべての予報対象時刻で改善しており、特に夜間での改善幅が大きい(図3.2.9右上)。

10km-MSMの気温は、実況に比べて日中に低く、夜

間に高いという日変化傾向があり、この傾向は 5km-MSMでも依然として存在する。しかし、 5km-MSMのMEは、10km-MSMで最大2℃以上あっ た夜間の正バイアスを1.5℃未満におさえている(図 3.2.9左中)。RMSEは、すべての予報対象時刻で改善 しており、特に夜間で大きく改善している(図3.2.9右 中)。

10km-MSMの露点温度は、実況に比べて全般的に 高く(水蒸気量が多い)、特に日中に高くなる傾向があ った。5km-MSMのMEでは、日中の正バイアスが小さ くなり、MEの日変化が小さくなっている(図3.2.9左下)。 5km-MSMのRMSEは、すべての予報対象時刻で 10km-MSMよりも小さくなっており、1日を通してほぼ 一定の値となっている(図3.2.9右下)。なお、この検証 では水蒸気の絶対量の違いを見るために露点温度を 用いたが、相対湿度についても同様の改善が見られた (図略)。

(3) 寒候期の特性

10km-MSMの風速は、実況に比べて全般的に強く、 特に夜間に強いという日変化特性があり、これは 5km-MSMでも基本的に同じである。しかし、 5km-MSMの風速は10km-MSMに比べて夜間で平 均0.6m/s程度弱まり、より実況に近づいている(図 3.2.10左上)。RMSEでも、5km-MSMは夜間で改善 が大きい(図3.2.10右上)。

10km・MSMの気温は、実況に比べて全般的に高く、 特に夜間に高いという日変化傾向があったが、 5km・MSMでは日変化が小さくなり、夜間に最大で約 2.5℃ほど正バイアスが小さくなっている(図3.2.10左 中)。RMSEでも、ほぼすべての予報対象時刻で改善 しており、特に夜間の改善が顕著である(図3.2.10右 中)。



10km-MSMの露点温度は、実況に比べて全般的に

図 3.2.8 地上気象要素検証で用いたアメダス4要素観測 点(赤丸は5km、10km両方の検証対象点、青丸は両方 で検証対象外の点、緑丸は5km-MSM でのみ検証対 象点、茶三角は10km-MSM でのみ検証対象点)

²海格子点を1点以上含む観測点において、残りの陸格子点 で最も観測点に近い予報値を観測点の予報値として検証す ると、地上気温のMEは陸格子点4点で囲まれる観測点よりも バイアスが縮小される傾向が見られた。しかしながら、検証手 法が違うため本文中の検証とあわせた検証は見送った。 ³地上露点温度検証では、(a)の条件に加えてSYNOP報を 報じる観測点という条件が加わるため、対象観測点は70地点 である。

高く(水蒸気量が多い)、特に日中に高いという日変化 傾向があった。5km-MSMの露点温度は10km-MSM に比べて全体的に低くなり、日中の正バイアスが改善し ている(図3.2.10左下)。なお、夜間については、 10km-MSMでは正バイアスであったが、5km-MSMで は負バイアスとなっている。RMSEは、すべての予報対 象時刻で改善しており、特に日中の改善が大きい(図 3.2.10右下)。

(4) 予報初期に見られる特徴

ここでは、5km-MSMの予報初期に見られるMEと RMSEの特徴について述べる。地上風速と地上気温の MEとRMSEを予報対象時刻ごとに見ると、暖候期、寒 候期ともに各初期時刻(00,06,12,18UTC)の値が、他 の時刻に比べて大きくなっていることが分かる(図3.2.9、 図3.2.10)。この原因を調べるために、5km-MSMの地 上風速と地上気温のMEを4つの初期時刻ごとに分け て示す(図3.2.11)。なお、暖候期と寒候期のMEと RMSEは、いずれも同じような傾向なので、ここでは暖 候期のみを取り上げる。

地上風速のMEは、どの初期時刻においても、FT=00 の値が他の初期時刻の予報値(FT=6,12)よりも大きくな っている(図3.2.11左)。しかし、FT=01以後は他の初 期時刻からの予報誤差とほぼ同じである。 地上気温のMEについても、12,18UTCの初期時刻 のFT=00で、前述の地上風速のMEと同様の傾向があ ることが分かる(図3.2.11右)。しかし、00,06UTCの初 期時刻のFT=00では、バイアスが顕著ではない。

各初期時刻の初期値(FT=00)のバイアスが他の初期 時刻の予報値(FT=6,12)に比べて大きくなっている原 因は、次のように考えられる。5km-MSMの初期値は 10km-MSMと同じく、水平分解能10kmの静力学モデ ルに基づく4次元変分法が用いられている(第4.2節)。 これまでは、10km-MSMと静力学モデルの地上気象 要素の特性に大きな違いがなかったため、初期値と予 報値の間に、このようなバイアスの違いは発現していな かった。一方、5km-MSMでは様々な改良によって、地 上気象要素の予報特性が改善して予報値バイアスが小 さくなったため、初期値のバイアスが際立つようになった。 なお、00,06UTCの気温の初期値に顕著なバイアスの 違いが見られなかったのは、5km-MSMの日中の予報 特性が、以前と比べて大きく変わっていないためと考え られる。このようなことから、各観測点で予報対象時刻 別に異なった初期時刻の予報を比較する場合には、こ の特性に注意しFT=00の値を含めないようにする等の 対処が必要である。



図 3.2.9 暖候期の地上気象要素の ME と RMSE(左列:ME、右列:RMSE、上段:風速[m/s]、中段:気温[℃]、下 段:露点温度[℃]、実線:5km-MSM、点線:10km-MSM、横軸:予報対象時刻[UTC])



図 3.2.10 寒候期の地上気象要素の MEと RMSE(左列:ME、右列:RMSE、上段:風速[m/s]、中段:気温[℃]、 下段:露点温度[℃]、実線:5km-MSM、点線:10km-MSM、横軸:予報対象時刻[UTC])



図 3.2.11 初期時刻別に分けて表示した5km-MSMの地上風速と地上気温のME(暖候期、左:地上風速[m/s]、右:地上気 温[℃]、横軸:予報対象時刻[UTC]、各曲線は紺色:00UTC、紫色:06UTC、緑色:12UTC、橙色:18UTC を初期時刻と する予報時刻 00~15 時間目の予報値を予報対象時刻[UTC]にそろえてグラフ化してある)

3.2.4 高層気象要素の検証

5km-MSMの3次元的な大気の再現性能を調べるために、全予報領域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て、指定気圧面の高度、気 温、相対湿度、東西風、南北風について検証したので、 その結果について解説する。ただし、検証を行う気圧の 高度が、検証地点の地表面気圧よりも高い場所につい ては検証の対象外としている。これは、ゾンデデータは 地面よりも低い高度のデータも含めて通報することがあ るためである。また、FT=06とFT=12は同様の特性であ ったので、検証結果はFT=12に限定して示す。

(1) 暖候期の特性

暖候期における、各高層気象要素のMEとRMSEの 鉛直分布を図3.2.12に示す。まず、MEについて述べる。 5km-MSMの高度については、500hPaより上層の改 善が顕著である。気温はほとんどの層でバイアスが小さ くなっている。特に、10km-MSMで顕著であった 500hPaの高温バイアスと200hPaの低温バイアスを大 きく改善している。この改善には、放射スキームの改良 の効果、また下層については地表面パラメータの変更 による効果も反映されている(第3.1節)。相対湿度は、 10km-MSMと同様に5km-MSMでも500hPaより上層 で湿潤バイアスが見られる。一般的に、上層では気温 が低く水蒸気量が少ないため、水蒸気量のわずかな違 いが相対湿度で評価すると大きくなってしまう。なお、混 合比のMEは中層と上層でほぼ同じ値となっていた(図 略)。東西風と南北風では、5km-MSMは僅かなバイア ス特性の変化が見られるが、概ね中立であった。

RMSEについて、気温は700hPaより上層で小さくなっているが、高度、相対湿度、東西風、南北風は10km-MSMの特性と目立った違いはない。

(2) 寒候期の特性

寒候期における、各高層気象要素のMEとRMSEの 鉛直分布を図3.2.13に示す。まず、5km・MSMのME について述べる。高度は、400hPaより下層の正バイア スの改善が顕著である。気温は地上付近で1℃の高温 バイアスを依然持っているが、10km・MSMと比べると 小さくなっている。この改善は、地上気温検証(第3.2.3 項)ほどではないが、モデルの改良が効いていると考え られる。相対湿度は、10km・MSMと大きな差がなかっ た。東西風、南北風はともに上層の1m/s程度の負バイ アスが改善されなかったが、東西風では下層のバイアス を小さくしている。

RMSEは、気温の上層と下層に改善が見られた他は、 各要素とも概ね10km-MSMと同等であった。

3.2.5 まとめ

新しいメソ数値予報モデル(5km-MSM)の予測性能

を調べるために、暖候期と寒候期のそれぞれ248初期 値の予報結果に基づいて、降水や気温、風などの統計 的検証を行った。降水予測に関しては、暖候期の精度 が現行のメソ数値予報モデル(10km-MSM)に比べて 向上していることが分かった。特に、強い降水強度での 精度向上が顕著であった。一方、寒候期については、 5km-MSMの精度は10km-MSMとほぼ同等であった。

地上気象要素では、地上風速と地上気温の予測精度 が夜間で大きく向上し、特に地上気温は実況の日変化 をより適切に表現できるようになった。また、 10km-MSMに見られた、日中に地上付近が湿潤にな りすぎるという特性が緩和されている。しかし、各要素に おいて初期値のバイアスが、予報値に比べて大きくなっ ているという特徴がみられるため、異なった初期時刻の 予報を予報対象時刻で比較するときには注意が必要で ある。

高層気象要素は、10km-MSMで顕著であった暖候 期の500hPaの高温バイアスと200hPaの低温バイアス が改善された。

以上の検証の結果から、新しいメソ数値予報モデル (5km-MSM)は、総合的に現行のメソ数値予報モデル (10km-MSM)の予測精度を上回っており、より適切な 防災情報発表の支援ができると考えられる。

参考文献

石田純一,成田正巳,2003:検証.数値予報課報告別冊・第49号,気象庁予報部,93-106.



図 3.2.12 暖候期の各高層気象要素の ME と RMSE の鉛直分布(予報時間 12 時間後、実線:5km-MSM、点線: 10km-MSM、左列:ME、右列:RMSE、上段から順に高度[m]、気温[℃]、相対湿度[%]、東西風[m/s]、南北風[m/s])



図 3.2.13 寒侯期の各高層気象要素の ME と RMSE の鉛直分布(予報時間 12 時間後、実線:5km-MSM、点線: 10km-MSM、左列:ME、右列:RMSE、上段から順に高度[m]、気温[℃]、相対湿度[%]、東西風[m/s]、南北風[m/s])

3.3.1 はじめに

非静力学MSMの水平解像度を10kmから5kmにする ことで降水や地上気象要素などの予測精度が向上す ることは前節の統計的な検証で示されている。本節で は5km-MSMによる予測が10km-MSMに比べて優れて いた事例について紹介する。

第3.2.2項で述べたように、10km-MSMでは弱い降水 (1~5mm/3時間)の頻度が観測に比べて多く、強い降 水(15~30mm/3時間)の頻度は観測に比べて少ない 特性がある。一方、5km-MSMでは10km-MSMに比べて 弱い降水の頻度を抑え、強い降水の頻度を増やしてお り、この結果、全体的に観測に近い降水頻度が再現さ れている。この節では、モデルの解像度が高くなること で、強い降水強度を、より実況に近く表現できるように なった事例を第3.3.2項で紹介し、第3.3.3項では、 10km-MSMよりも詳細な降水分布をモデルが表現した 事例を取り上げる。

3.3.2 2004年6月26日の広島·愛媛県の強雨

最初の例として、2004年6月26日に広島・愛媛県で 観測された強雨の予測について解説する。

6月26日午前9時の地上天気図(図3.3.1)では、前線 が東シナ海から西日本・東日本を通って日本の東海上 に伸び、三陸沖では前線上に低気圧が解析されてい た。強雨はこの前線上の降水雲によってもたらされたも のである。図3.3.2に解析雨量による26日午前9時 (00UTC)までの1時間降水量と26日午前3時(25日 18UTC)初期値の5km-MSMと10km-MSMによる6時間



図3.3.1 2004年6月26日午前9時(00UTC)の地上天 気図。

予報の前1時間積算降水量を示す。5km-MSMと10km-MSMで予測された近畿から中国地方にかけての降水 域は、実況と比較して降水強度は弱いものの、どちらの モデルでもおおむね再現できている。ただし、広島県 から愛媛県にかけて長さ約100km、幅約30kmの1時間 30mm程度の強い降水域(図3.3.2の実線で囲まれた領 域)の予測については5km-MSMの方が10km-MSMに 比べて再現性がよいことがわかる。

次に、このときのモデル大気の状態を詳しく調べた。 図3.3.2中の線分ABに沿った6月26日午前9時(00UTC) の相当温位の鉛直断面図(図3.3.3)では、北側(A側) の低相当温位の大気の上を南側(B側)の高相当温位 の大気が上昇していることはどちらのモデルでも明らか である。このことは地上天気図で見られた前線をどちら のモデルでも表現出来ていることを示している。しかし、 5km-MSMと10km-MSMによる同時刻の700hPa鉛直流 の場(図3.3.4)では、5km-MSMでは強い降水が発生し た地域の上空で上昇流の大きな領域が明瞭に見られ る(図中の実線で囲まれた領域)のに対し、10km-MSM ではこの上昇流域は不明瞭である。また水平風の収束 の鉛直断面図(図3.3.5)では、5km-MSMと10km-MSM 共に前線面での水平風の収束とその上方での発散が 見られるが、前線面の南側(B側)では、5km-MSMでは 800hPaよりも上層で明瞭な収束域および上昇流域が存 在している(図3.3.5の実線で囲まれた領域)。この上昇 流は強雨域および図3.3.4で実線で囲まれた上昇流域 に対応している。一方、10km-MSMではこの前線面南 側での収束域は存在せず、むしろ発散域になっている。 5km-MSMで予測された収束域及び上昇流域の幅は約 30km程度なので、10km-MSMでは適切に表現すること が難しく、降水強度も弱くなったと考えられる。

3.3.3 2004年8月1日の高知県の強雨

もう一つの事例として高知県での強雨について解説 する。8月1日午前9時の地上天気図(図3.3.6)では、台 風第10号が山陰沖にあり北北東に進んでいた。この台 風の南東側にあたる高知県付近では強い南風が吹い ており、幅10~30km程度の数本のバンド状の強い降水 域が見られた(図3.3.7左)。バンド状降水域の間隔は、 およそ5~30km程度であった。

5km-MSMによる8月1日午前3時(7月31日18UTC) 初期値の6時間予報の前1時間降水量(図3.3.7中)で は、位置は観測からずれているが高知県付近に2本の 強雨バンドを予想しており、10km-MSMの降水予想(図 3.3.7右)よりも小さなスケールの現象をより詳しく再現し ている。

8月1日午前9時(00UTC)の5km-MSMと10km-MSMの 700hPaの鉛直流の場(図3.3.8)を調べると、5km-MSM では降水域に対応した上昇流域が見られる(図中の実 線で囲まれた領域)のに対し、10km-MSMでは、上昇

¹ 大森 志郎



図3.3.2 2004年6月26日午前9時(00UTC)の前1時間積算降水量(mm)。左:解析雨量、中:5km-MSM(6時間予報)、右: 10km-MSM(6時間予報)。モデルの初期時刻は2004年6月26日午前3時(25日18UTC)。



図3.3.3 図3.3.2の線分ABに沿った鉛直面内の相当温位(図中の塗りつぶし、単位K)及び循環(図中の 矢印、約10km間隔で描かれている)。縦軸は気圧(hPa)。矢印は5km-MSMでは水平2格子ごとに間引 き、10km-MSMは間引かずに描いている。破線は前線面のおおよその位置を示す。左:5km-MSM、 右:10km-MSM。



図3.3.4 2004年6月26日午前9時(00UTC)の700hPa鉛直速度(m/s)。赤い領域は上昇流域、青い領域は下 降流域を表す。左:5km-MSM、右:10km-MSM。初期時刻は6月26日午前3時(25日18UTC)。



図3.3.5 図3.3.2の線分ABに沿った鉛直面内の水平風の収束(図中の塗りつぶし、単位1/s)及び循環(図中の矢印、約10km間隔で描かれている)。赤色の領域が収束域、青色の領域が発散域を表す。縦軸は気圧(hPa)。矢印は5km-MSMでは水平2格子ごとに間引き、10km-MSMは間引かずに描いている。破線は前線面のおおよその位置を示す。左:5km-MSM、右:10km-MSM。



図3.3.6 2004年8月1日午前9時(00UTC)の地上天気 図。

流の強さが弱く降水域との対応もはっきりとしない。また、 図3.3.7の線分ABにおける相当温位の鉛直断面図(図 3.3.9)を見ると5km-MSMでは強雨域に対応する上昇 流域があり、高相当温位域が地表から中層まで広がっ ているが、10km-MSMでは5km-MSMに比べて上昇流 域がはっきりせず、地表面付近の高相当温位域の大気 中層への広がりもあまり見られない。

また、5km-MSMで見られる2本の降水域に対応した 上昇流(図3.3.8左)は、水平5格子程度の幅(約25km) で発生しており、上昇流同士の間隔は4格子程度(約 20km)である。この間隔は10km-MSMでは2~3格子程 度の幅に相当しており、この程度の水平格子間隔で図 3.3.7のような強雨バンドを伴った上昇流域を詳細に表現することは難しい。そのため1つの強雨域にまとまった表現になったと考えられる。

3.3.4 まとめ

5km-MSMによる降水予測結果を、2004年6月26日の 梅雨前線に伴う広島・愛媛県の強雨の事例と、2004年8 月1日の台風第10号に伴う高知県の強雨の事例の2つ について10km-MSMによる結果と比較した。

広島・愛媛県の強雨の事例では、前線に伴う降水域 については5km-MSM・10km-MSM共によく表現してい たが、前線の南側にある強雨域については5km-MSM の方がより観測に近い降水強度を予想していた。これ は、5km-MSMの方が700hPa付近の局所的な上昇流を 強く表現していたことによると考えられる。

また、高知県の強雨の事例については、四国の南岸 で強雨が発生することは、5km-MSM・10km-MSM共に 予想していた。しかし、観測で見られたような、複数の バンド状降水域の予想については、5km-MSMの方が 実況に近い。これについても、広島・愛媛県の強雨の 事例と同様に、5km-MSMの方が局所的な上昇流を強 く予想していたことと関係している。

一般的に、水平解像度を強化することによってこれま でよりも小さなスケールの現象をモデルで表現できるよ うになるが、高知県の強雨の事例で見られたように、強 雨域が実際と比べてずれて表現される場合も少なくな い。また、現象の発現する時刻がモデルと実況でずれ る場合もある。実際に利用する際にはこの「時間的・空 間的ずれの可能性」を常に考慮して利用していただき たい。



図3.3.7 2004年8月1日午前9時(00UTC)の前1時間積算降水量(mm)。左:解析雨量、中:5km-MSM(6時間予報)、右: 10km-MSM(6時間予報)。モデルの初期時刻は2004年8月1日午前3時(7月31日18UTC)。



図3.3.8 2004年8月1日午前9時(00UTC)の700hPa鉛直速度(m/s)。赤い領域は上昇流域、青い領域は下降流 域を表す。左:5km-MSM、右:10km-MSM。初期時刻は8月1日午前3時(7月31日18UTC)。



図3.3.9 図3.3.7中の線分ABに沿った鉛直面内の相当温位(図中の塗りつぶし、単位K)及び循環(図中の 矢印、約10km間隔で描かれている)。縦軸は気圧(hPa)。矢印は5km-MSMは水平2格子ごとに間引き、 10km-MSMは間引かずに描いている。左:5km-MSM、右:10km-MSM。

3.4 海面水温解析値変更の影響

3.4.1 はじめに

現行のメソ数値予報モデル(10km・MSM)の海上の下 部境界条件となる海面水温には、数値予報課が作成し ている水平解像度が緯度経度格子で1度の全球日別 海面水温解析(NPDSST、野村 1995)が用いられて いる。新しいメソ数値予報モデル(5km・MSM)では、地 球環境・海洋部海洋気象情報室作成の水平解像度 0.25度の全球日別海面水温解析(MGDSST、栗原ほ か 2006)を用いることで下部境界条件の高精度化を図 る。NPDSSTとMGDSSTのおもな違いは、水平解像 度のほかに、MGDSSTでは曇天域でも海面水温を観 測することが出来るマイクロ波放射計の衛星データが解 析に用いられている点である。本節では、MGDSSTの 導入実験の統計的検証と事例検証の結果を述べる。

3.4.2 実験の概要

3.4.3 統計的検証

統計的検証には現業ルーチンと同じ 10km-MSM を 用い、現業システムで解析された地表面解析値のうち 海面水温のみを MGDSST に差し替えて比較を行った。 期間は、MGDSST 導入によるインパクトを調べるため、 暖候期・寒候期それぞれについて、日本付近において MGDSST と NPDSST の差が大きかった連続した 10 日間を抽出した。また、事例検証では、第 3.1 節で述べ ている 5km-MSM を用いた。

統計検証に用いた期間は以下の暖候期・寒候期それ

ぞれ 10 日間ずつ、1 日 4 回で合計 80 初期値からの予 報を行った。

暖候期:2004年6月22日00UTC~7月1日18UTC 寒候期:2005年1月3日00UTC~1月12日18UTC 図 3.4.1 はそれぞれの期間の海面水温差(MGDSST - NPDSST)の平均である。暖候期では、東日本の太 平洋沿岸で MGDSST の方が約3℃低く、逆に三陸沖 やオホーツク海沿岸では約3℃高くなっていた。また、 寒候期の MGDSST には NPDSST と比較して北日本 で 2~3℃低い海域が点在していたが、日本海西部や 関東の東海上には約3℃高い海域が広がっていた。

検証は、2.5km 格子のレーダー・アメダス解析雨量 (R/A)を用いた 3 時間積算降水量、地上気象要素、お よび高層気象要素について行った。

R/A による降水検証の結果を図 3.4.2 に示す。暖候 期・寒候期ともに MGDSST を用いた場合(テスト)は NPDSST を用いた場合(コントロール)に比べてバイア ススコアがやや大きくなっており、特に強い雨でその傾 向が強い。これは、MGDSST が高くなっていた地域で 特にバイアススコアが大きくなっていたことを考慮すると、 海面からの潜熱・顕熱フラックスの増加によって降水が 形成されやすくなっていたと考えられる(図略)。スレット スコアでは暖候期・寒候期ともに概ね中立かわずかな 改善がみられた。予報時間ごとでは、予報後半を中心 にスレットスコアの改善率が高かった(図略)。

なお、地上気象要素・高層気象要素は、すべての要素で概ね中立だった(図略)。





図 3.4.1 統計検証の実験期間の海面水 温差(MGDSST-NPDSST)の平均 (1℃毎に塗り分け)。

図 3.4.2 R/A による降水検証の閾値ごとのスコア(10km 検証格子を内の平均 降水量を使用、左列:バイアススコア、右列:スレットスコア、上段:暖候期、下 段:寒候期、緑線:コントロール、赤線:テスト、横軸:閾値)

1 中山 寛、瀬川 知則
3.4.4 事例検証

MGDSSTとNPDSSTの差が大きく、この海面水温の 差が陸上の気象に大きく影響しそうな事例を抽出し調 査した。図3.4.3は2005年5月26日00UTCの地上天気 図である。北海道の東に位置する高気圧のために、北 日本と東日本は東または北東の風となっており、海上からの冷気の影響を受けて、東北南部から関東の太平洋 沿岸で霧やもやを観測した。図3.4.4は2005年5月25日 の海面水温差(MGDSST-NPDSST)である。東北南 部から関東の太平洋沿岸では、MGDSSTはNPDSST より低くなっており、福島県沖ではその差が4℃以上とな っている。そこで、2005年5月26日00UTCを初期値とし て、5km-MSMのNPDSSTを用いたもの(コントロール) とMGDSSTを用いたもの(テスト)の予報を比較した。

図 3.4.5 は予報時間 12 時間後のコントロールに対す るテストの地上気温の差である。図 3.4.4 で示した MGDSST の低くなっていた領域周辺で、テストの地上 気温が最大で約 4℃低くなっている。なお、この地上気 温の差は予報開始直後から現れていた(図略)。また、 地上付近では弱い東風であったものの、気温変化は内 陸へあまり進行せず東北南部から関東の太平洋沿岸に 限定されていた。

図 3.4.6 はテストとコントロールの地上気温の差が大き かった石巻・仙台・水戸で観測された地上の気温・露点 温度とその予想の時系列である。どの官署でも予報時 間後半でテストの気温と露点温度が1~2℃低くなり、観 測値に近い予想となっている。なお、図 3.4.5 に示した 官署では気温・露点温度ともに同程度に低くなったため、 相対湿度には大きな違いは見られず、実況より平均で 約 10%低いままだった。

3.4.5 まとめ

新しいメソ数値予報モデルでは、現行より高解像度の 海面水温解析を用いることで下部境界条件の高精度化 を図る。導入実験を行った結果、降水についてわずか に改善が見られたほかは、地上気象要素・高層気象要 素ともに概ね中立であった。一方、海上からの移流によ る霧やもやの事例で、海岸にごく近い地域では、地上 の気温・露点温度の予想が改善する場合があった。

今回の実験結果には、同化サイクルにおける海面水 温変更の効果は反映されていないので、同化サイクル にも MGDSST を用いることによって、予報前半にもより 大きな効果が期待される。

参考文献

- 野村厚, 1995: 海面水温解析. 平成 7 年度数値予報 研修テキスト, 気象庁予報部, 37-38.
- 栗原幸雄,桜井敏之,倉賀野連,2006: 複数衛星デー タと現場データによる新しい全球日別海面水温解析. 測候時報,73,特別号(提出中).



図 3.4.6 2005 年 5 月 26 日の石巻, 仙台および水戸の地上気温(上段)と露点温度(下段)の時系列(縦軸:温度℃、横軸:予報対象時刻 JST、黒:観測、緑線:コントロール、赤線:テスト)

第4章 データ同化システム1

4.1 はじめに

本章では、全球、領域、メソ、台風の各数値予報 モデルの初期値を作成するためのデータ同化処理を

「解析」と呼び、その概要を記す。合わせて、モデ ルの下部境界の状態を決めるために必要な積雪解析 と海面水温解析についても触れる。なお、毎時大気 解析はモデルの初期値を与えるものではないため、 本章ではなく第6章で解説している。

本章で用いられている略号は付録にまとめて説 明する。

4.2 観測データと解析前処理

4.2.1 前回更新以降のデータの扱いの変更

新システムの解析で使用する観測データを表 4.2.1にまとめた。前回のNAPS更新時(大野木・多 田 2000) 以降、下記に掲げる観測データの扱いが 追加・変更されている。処理の詳細および予報への 影響については引用している文献を参照していただ きたい。

- (1) マイクロ波散乱計: 1998年7月から使われて いたERS衛星の散乱計データは、2001年1月に 観測が途絶して使えなくなった。それ以後、 QuikSCAT衛星のマイクロ波散乱計SeaWinds から算出される海上風データ利用の開発を進め、 2003年5月に全球解析で、2004年7月にメソ解析 での利用を開始した(大橋 2004; 大橋・今泉 $2004)_{\circ}$
- (2) サウンダ: 全球解析でNOAA衛星のATOVS 輝度温度の直接同化を2003年5月から開始した (計盛・岡本 2004)。その後、2004年12月に使 用するデータをレベル1Dからレベル1Cに変更 し(計盛ほか 2005)、2005年3月にはAqua衛星 搭載のマイクロ波サウンダAMSU-Aの輝度温 度の利用を開始した。さらに2005年8月には観 測時刻の違いを考慮したデータ間引き処理を導 入して4次元変分法に適したデータの使い方が できるようになった。なお、領域解析・メソ解 析については、輝度温度ではなくNESDISおよ び気象衛星センターで気温と水蒸気量の鉛直分 布に変換されたデータを利用している(水蒸気 量の利用は領域解析のみ)。
- (3) 湿度ボーガス: GMS-5の輝度温度から統計的 手法で作成した湿度の鉛直分布データ(TBBボ ーガスと呼ばれていた)は、GMS-5からGOES-9 への運用切替時(2003年5月)に利用を止めた。

衛星の変更に合わせて統計の再計算が必要にな るためだが、今後は輝度温度の直接同化を目指 す方針であるため、MTSAT-1Rについて湿度ボ ーガスを作成する予定はない。

- (4) **マイクロ波放射計**: メソ解析でDMSP衛星に 搭載されているSSM/IとTRMM衛星に搭載さ れているTMIのデータから算出した可降水量と 降雨強度の利用を2003年10月から開始した(佐 藤 2003)。また、これに加えて2004年11月に Aqua衛星に搭載されているAMSR-Eのデータ から算出した可降水量と降雨強度の利用を開始 した。
- (5) **大気追跡風**: 全球解析でTerra衛星、Aqua衛 星のMODIS画像から算出された極域の衛星風 の利用を開始した(北極域: 2004年5月から、 南極域: 2004年9月から) (計盛・中村 2005)。
- (6) ドップラーレーダー: メソ解析で空港気象ド ップラーレーダーの動径風データの利用を 2005年3月から開始した(小泉 2004)。当初は 新千歳、成田、東京、大阪、関西、那覇の6空港 のレーダーを使用していたが、2005年6月に中 部と福岡の2空港を追加した。

4.2.2 台風ボーガスの扱い

モデル初期値で台風を適切に表現するための台 風ボーガスについて、前回の更新以降、各解析に4 次元変分法が導入された時に手法の変更があったの でここでまとめておく(表4.2.2参照)。

台風の中心位置と強風半径から典型的な台風の 構造(海面気圧と指定面のジオポテンシャル高度) を求める方法は大野木(1997)から変更されていない。 4次元変分法導入より前には、こうして求めた気圧、 高度およびそこから計算される風を第一推定値に埋 め込むという方法を採ってきた2。これに対して4次 元変分法の導入以降、メソ解析、領域解析、全球速 報解析では、計算された典型的な台風構造から人工 的な観測データを作成し、それを他の観測データと 同時に同化する、という擬似観測型ボーガスを採用 している (小泉 2003; 新堀 2005)。この擬似観測 型ボーガスを用いると、モデルの中での物理的なバ ランスを崩さずに台風の構造を表現することができ、 4次元変分法との相性が良い。ただし、インナーモ デル3の解像度が低いと台風の細かい構造が十分に 表現できないという弱点があるため、全球4次元変 分法ではどちらがより適切かは不明であった。そこ でいくつかの組み合わせで実験を行った結果、サイ

¹ 小泉 耕

^{2 2002} 年1月に、全球解析から全球モデルに引き渡される要素が高度から気温に変更された。これに伴いボーガス として埋め込む要素も気温(高度から算出)に変更された。

³ 変分法の解を計算するときに使用するモデル。変分法は膨大な計算量を必要とするため、解の計算には解像度を下 げたモデルを使用する。 33

クル解析で埋め込み型、速報解析で擬似観測型を用いた場合が最も良い成績であった(新堀 2005)ため、現状ではこのような組み合わせで運用している。

擬似観測型台風ボーガスを投入する時刻は、全球 速報解析と領域解析については解析時刻だが、メソ 解析については解析時刻の3時間前となっている。 これは、メソ解析のデータ打ち切り時刻に台風位置 情報の作成が間に合わない場合があることを考慮し、 データが確実に入る3時間前についてボーガスを投入するようにしたためである4。このため、メソ解析 での台風位置は解析時刻の台風実況とずれる場合が ある。解析時刻の台風位置情報がメソ解析のデータ 打ち切り時刻に間に合わない割合や、解析時刻に台 風ボーガスを投入した場合の予報への影響について は調査中である。

	表4 2 1	全球解析	領城解析	メソ解	析に使用	すろ観	』測データ
--	--------	------	------	-----	------	-----	-------

	観測の種類	解析に使用する観測要素
	固定観測点の地上観測	気圧(全球解析、領域解析、メソ解析)
直	船舶・ブイ	気圧(全球解析、領域解析、メソ解析)
拔組	ラジオゾンデ・レーウィン	気温、風、湿度(全球解析、領域解析、メソ解析)
測	航空機	風(全球解析、領域解析、メソ解析)、気温(領域解析、メソ解析)
	アメダス	降水量(解析雨量として領域解析、メソ解析)
レ	ウィンドプロファイラ	風(全球解析、領域解析、メソ解析)
 ダ	一般気象レーダー	反射強度(解析雨量として領域解析、メソ解析)
1	空港気象レーダー	ドップラーレーダー動径風(メソ解析)
衙	イメージャ	画像上の雲や水蒸気パターンの移動から算出した風(全球解析、領域解析、メソ 解析)
星観	サウンダ	輝度温度(全球解析)、NESDISまたは衛星センターで輝度温度から算出した気 温(領域解析、メソ解析)および湿度(領域解析)
測	マイクロ波放射計	輝度温度から算出した可降水量と降水強度(メソ解析)
	マイクロ波散乱計	散乱断面積から算出した海上風(全球解析、メソ解析)
人工ジ	豪州気象局作成ボーガス	海面気圧(全球解析)
, タ	擬似観測型台風ボーガス	海面気圧、風(全球速報解析、領域解析、メソ解析 ; 表4.2.2参照)

表4.2.2 台風ボーガスの仕様

	全球サイクル解析	全球速報解析	領域解析	メソ解析
ボーガスの解析へ	第一推定値へ埋込む	擬似観測データ	擬似観測データ	擬似観測データ
の反映方法				
擬似観測データの		地表から300hPaまでの指定面上で、台風中心		同左。
配置方法		および中心から200km	n間隔の同心円周上に配	ただし、中心から
		置(各同心円周に6~8個	固)	100kmの円周上に4個
				のデータを追加
ボーガスの要素	海面気圧、気温、風	海面気圧、風	海面気圧、風	海面気圧、風
ボーガスを投入す	解析時刻の3時間前か	解析時刻	解析時刻	解析時刻の3時間前
る時刻	ら2時間後まで1時間			
	ごと			

⁴ 更新前は解析時刻の台風位置情報がデータ打ち切り時刻に間に合わなかった場合、そのデータは次の解析に使われることになり、結果として解析時刻の6時間前にもボーガスが投入される場合があった。更新後は解析時刻の3時間前のみの投入とする。

	全球解析	領域解析	メソ解析
	(サイクル、速報)		
解析時刻	00,06,12,18 UTC	00,12UTC	00,03,06,09,12,15,18,21
[予報モデル実行用]	(2時間20分)	(2時間45分)	UTC (50分)
(カッコ内はデータ打			
ち切り時間)			
解析時刻	00,12UTC	06,18UTC	(なし)
[同化サイクル専用]	(11時間35分)	(8時間45分)	
(カッコ内はデータ打	06,18UTC		
ち切り時間)	(5時間35分)		
水平格子	ガウス格子	ランベルト	ランベルト
	640×320	325×257	361×289
	(約0.5625度間隔)	(基準緯度[30N,60N]で20km	(基準緯度[30N,60N]で10km
		間隔)	間隔)
インナーモデル水平格	ガウス格子	ランベルト	ランベルト
子	320×160	163×129	181×145
	(約1.125度間隔)	(基準緯度[30N,60N]で40km	(基準緯度[30N,60N]で20km
		間隔)	間隔)
鉛直層	1	也上気圧+σ-Pハイブリッド40原	
上端気圧	0.4hPa	10hPa	10hPa
解析手法		4次元変分法	
同化ウィンドウ5	解析時刻の3時間前~3時間	解析時刻の3時間前~3時間	解析時刻の6時間前~解析時
	後	後	刻
繰り返し計算回数	70回(内、前半35回では簡略	実行時間による制限(実質20	実行時間による制限(実質40
	化した物理過程を使用)	回程度)	回程度)

表4.3.1 NAPS更新後の大気解析の仕様

4.3 大気解析の手法

新システムでの解析は表4.3.1にあるとおり、更新 前と同じくすべて4次元変分法によって行われる。 なお、メソモデルは格子間隔が5kmの非静力学モデ ルであるが、メソ解析は静力学モデルを基にした4 次元変分法であり、解析値の水平格子間隔は10km である。

仕様についてはNAPS更新時にいくつかの変更が ある。まず、全球解析のインナーモデルの水平分解 能をT63(ガウス格子で約1.875度間隔)からT106 (約1.125度間隔)に上げる。これによって初期値の 精度が向上し、予報が改善することが期待できる(図 4.3.1参照)。また、06UTCと18UTCに全球予報を行 うため、これらの時刻に全球速報解析を行う(更新 前は台風モデルの初期値作成のために、台風モデル 実行時にのみ行われていた)。メソ解析については、 メソモデルの運用が1日8回になることに対応して 解析の頻度が1日4回から8回になる。

更新前のメソ解析では、解析時刻の6時間前から 解析時刻までを2つの同化ウィンドウ⁵に分け「解析 時刻の6時間前から3時間前まで(前半ウィンドウ)」 と「3時間前から解析時刻まで(後半ウィンドウ)」 を設定し、前半ウィンドウの第一推定値は前回解析 値からの予報、後半ウィンドウの第一推定値は前半 ウィンドウの解析値からの予報によって作られてい た(石川・小泉 2002。図4.3.2も参照)⁶。

更新後のメソ解析は1日8回の運用となるが、メソ 解析のデータ打ち切り時刻は短い(解析時刻+50分) ため、解析時刻の前3時間のデータだけを使うこと にすると、観測から入電までに時間がかかってデー タ打ち切り時刻に間に合わないデータがメソ解析に 全く使われないことになる。そこで、少なくとも静 力学モデルに基づく4次元変分法を利用している期 間については計算時間に余裕があることから、観測 データのとりこぼしをできるだけ減らすために、引 き続き同化ウィンドウを解析時刻の前6時間とする。 あわせて、3時間ごとに2つに分けていたウィンドウ を1つにすることを検討している(図4.3.3参照)。ウ ィンドウを一つにまとめるのは、複雑化しているシ ステムをできるだけ簡略化してメンテナンスを容易 にするためである。事前の調査ではこの変更によっ て予報が若干改善した例があった。

3時間毎に過去6時間の観測を使うことになると、 ある解析と次の解析とで使用する観測データの時刻

⁵4次元変分法でモデルの時間積分を行う時間範囲。観測データは同化ウィンドウ内の毎正時前後30分のデータを 毎正時に観測したものとして評価する。

⁶ 更新前の計算機環境では、メモリ不足のため6時間ウィンドウの計算は不可能であった。



図4.3.1 全球解析のインナーモデルの解像度を上げた場合(TEST)と上げない場合(CNTL)の500hPa高度のアノマ リー相関スコアを100倍した値。左は北半球、右は南半球のもの。横軸は予報時間(h)。スコアは値が大きいほど 精度が良いことを表す。実験期間は2004年8月。





図4.3.3 更新後のメソ解析の処理手順(予定)。00UTCの解析の例。

に重複が生じることになる(たとえば12UTCの解析 と15UTCの解析では、いずれも0830UTCから 1230UTCまでの間の観測を同化することになる)。 しかし、同じ観測を複数回使用すると、観測データ 相互には誤差相関が無いとする仮定に反するので、 一度解析に使われた観測データは次の解析には使わ ないようにする(つまり、12UTCの解析に間に合っ たデータは15UTCの解析には使わない)。

4.4 積雪解析·海面水温解析

モデルの下部境界の状態を決めるために必要な 積雪解析および海面水温解析は、これまでのもの(大 野木・多田 2000)からの変更はない。ただし海面 水温解析については、数値予報課で作成しているも のの他に、2005年3月からルーチンとして運用され ている海洋気象情報室作成の高解像度全球日別海面 水温解析(MGDSSTと略記。桜井ほか 2004;栗原 ほか 2006)があり、台風・領域・メソの各モデル ではNAPS更新当初からMGDSSTを使用する。事前 の調査により、解像度の高い海面水温解析を使うこ とによって領域モデルやメソモデルの地上気温予報 値の誤差が小さくなることが示されている。全球モ デルについては、予報精度の若干の悪化が見られた ために更新時点でのMGDSSTの使用は見送った。

参考文献

- 石川宜広,小泉耕,2002:メソ4次元変分法.数値予 報課報告・別冊第48号,37-59.
- 大野木和敏, 1997: 台風ボーガス. 数値予報課報 告・別冊第43号, 52-61.
- 大野木和敏,多田英夫,2000: データ同化システム. 平成12年度数値予報研修テキスト・数値予報課報 告・別冊第47号合併号,8-16.
- 大橋康昭, 2004: マイクロ波散乱計海上風の同化. 数値予報課報告・別冊第50号, 105-109.
- 大橋康昭, 今泉孝男, 2004: メソ解析へのマイクロ 波散乱計海上風の利用. 平成16年度数値予報研修 テキスト, 66-70.
- 計盛正博, 岡本幸三, 2004: ATOVS輝度温度の直接 同化. 数値予報課報告・別冊第50号, 93-104.
- 計盛正博,中村佳之,2005: MODIS極域風の同化. 数値予報課報告・別冊第51号,76-81.
- 計盛正博,大和田浩美,福田和代,2005: ATOVSレベル1C輝度温度の直接同化.数値予報課報告・別冊第51号,82-89.
- 栗原幸雄,桜井敏之,倉賀野連,2006:複数衛星デー タと現場データによる新しい全球日別海面水温 解析.測候時報,73 (提出中).
- 小泉耕,2003:メソ・領域解析の台風ボーガス.平成 15年度数値予報研修テキスト,13-16.

- 小泉耕,2004:メソ解析へのドップラーレーダー動 径風の利用.平成16年度数値予報研修テキスト, 71-74.
- 桜井敏之, 栗原幸雄, 倉賀野連, 2004: 気象庁・全球 日別海面水温解析の運用開始. 日本気象学会秋季 大会講演予稿集, **86**, D314.
- 佐藤芳昭, 2003: メソ解析へのマイクロ波放射計デ ータ同化. 平成15年度数値予報研修テキスト, 7-12.
- 新堀敏基, 2005: 全球4次元変分法の台風ボーガス. 数値予報課報告・別冊第51号, 106-110.

5.1 次期モデルの概要

第5章では2006年3月に運用開始予定の第8世代 数値解析予報システム(NAPS-8)で運用される全球・領 域・台風モデルおよびアンサンブル予報について解説 する。NAPS-8運用開始当初は全球・領域・台風モデル とも、第7世代数値解析予報システム(NAPS-7)とほぼ 同じ運用である。表 5.1.1にNAPS-8における各モデル の運用計画を示す。

全球モデル(GSM)の仕様は、NAPS-8 運用開始当初 はNAPS-7と同一の予定である。ただし運用に関しては、 航空予報プロダクトであるGSM航空悪天GPV作成を支 援するために、06,18UTC 初期値の36時間予報を追 加する。GSMはNAPS-8運用開始から約1年後を目標 に、モデルの水平・鉛直解像度を領域モデルと同等程 度に強化する計画である。NAPS-8 におけるGSMの概 要は第5.2節で解説する。

領域モデル(RSM)と台風モデル(TYM)の仕様・運用 は、NAPS-8においてもNAPS-7と同一である。NAPS-8 運用開始から約1年後に計画されているGSMの高解 像度化により、RSMとTYMはGSMに統合される予定で ある。この統合により、領域モデル特有の側面境界が予 報場へ及ぼす悪影響を排除し、短期から週間にわたっ て一貫した高品質な予報値の提供をめざす。NAPS-8 におけるRSMとTYMの概要を第5.3節に記述する。

週間アンサンブル予報は、NAPS-7 の 25 メンバーを

NAPS-8運用開始から51メンバーに増強する。また、使用する全球モデルの水平・鉛直の解像度は NAPS-7 と ほぼ同等となるが、力学・物理過程に対しては改良が行われる予定である。さらに、NAPS-8 運用開始から約1 年後を目標に、アンサンブル予報に使用する全球モデルの水平・鉛直解像度を強化し、初期摂動作成法を変 更する計画である。また、台風予報の高度化および確率的予測情報の提供を支援するために台風アンサンブ ル予報の業務化を新たに計画している。NAPS-8 にお けるアンサンブル予報の概要は第5.4 節に記述する。

5.2 全球モデル

ここではNAPS-8における全球モデル(GSM)の仕様と 運用について説明する。NAPS-8 でアンサンブル予報 に用いる低解像度のモデルは、ここで説明するものとは 水平解像度だけが異なる予定である。

GSM は 2001 年 3 月の NAPS-7 の運用開始時に、鉛 直層数が 30 層から 40 層へと強化され、モデル最上層も 10hPaから 0.4hPaへと引き上げられた。これにより、モデ ルの上部境界の対流圏への影響が軽減され、衛星デ ータ等の同化を効果的に行うことが可能になった(松村 2000b)。また同時期には、モデルの地形データも改訂 された。

2005年2月には移流計算スキームとして、従来のオイ ラー法に代わりセミラグランジュ法(吉村・松村 2004)が

表 5.1.1 全球・領域・台風各モデルおよびアンサンブル予報の NAPS-8 における運用計画。T、TL は水平解像度(切断波数) を、L は鉛直層数を表す。アンサンブルの M はメンバー数を、BGM、SV は初期摂動作成の手法を表す(第5.4節参照)。台 風モデルと台風アンサンブル(予定)は RSMC 東京の責任領域に台風が存在する場合または 24 時間以内に予想される場 合にのみ運用される。

	NAPS-7	NAPS-8(200	6年3月~)
	(~2006年2月)	更新当初	約1年後(予定)
全球モデル	TL319L40	TL319L40	TL959L60
	90 時間予報(00UTC)	36時間予報(06,18UTC)	84 時間予報
	216 時間予報(12UTC)	90時間予報(00UTC)	(00,06,18UTC)
		216 時間予報(12UTC)	216 時間予報(12UTC)
領域モデル	20kmL40	同左	全球モデルに統合
	51 時間予報(00,12UTC)		
台風モデル	24kmL25	同左	全球モデルに統合
	84 時間予報		
	(00,06,12,18UTC)		
週間アンサンブル	T106L40M25-BGM	TL159L40M51-BGM	TL319L60M51-SV
	216 時間予報(12UTC)	216 時間予報(12UTC)	216 時間予報(12UTC)
台風アンサンブル			TL319L60M11-SV
			84 時間予報
			(00,06,12,18UTC)

1 北川 裕人

導入された。セミラグランジュ法では、移流に関する CFL 条件の制約がないため、オイラー法よりも積分時間 ステップを長くすることができる。時間ステップを長くする と積分に必要な総ステップ数が減らせるので、計算時 間の大幅な短縮が可能になる。このことは、オイラー法 ではより短い積分時間ステップが必要となる高解像度モ デル(片山 2004)や、計算量の多い4次元変分法をデ ータ同化手法に採用する際には特に重要である。セミラ グランジュ法の導入により、GSM の積分時間ステップは 従来の約300秒から900秒へ伸長することができた(山 口ほか 2004)。しかしながらセミラグランジュ法にも弱点 がある。たとえば、移流の上流点を求めるときに空間内 挿が必要となるため、モデルの空間解像度が実質的に 低化してしまう恐れがある。一方、オイラー法では移流 項を計算すると格子から波への変換により波のエイリア シングが生じるが、セミラグランジュ法ではこれが起こら ないため、波から格子への変換の際にはより少ない格 子点数で済むという利点がある(松村 2000a)。この変 換格子はリニア格子と呼ばれ、リニア格子を適用した場 合の水平解像度(切断波数)の表記は TL319 などとす ることにしている。このように、セミラグランジュ法ではリニ ア格子を採用することにより、同じ格子点の数に対して オイラー法よりも高い水平解像度(波)を適用し、空間内 挿に伴う実質的な解像度の低下を回避している。セミラ グランジュ法の導入時には、(i)水平解像度(波)を従 来の T213 から TL319 へ強化(鉛直解像度は変更なし)、 (ii)予報の初期値化手法を従来の非線形ノーマルモ ード法から鉛直モード法とインクリメンタル法の併用(村 上・松村 2004) へ変更、(iii) 全球データ同化手法を従 来の3次元変分法から4次元変分法へ変更した(デー タ同化については第4章を参照)。

物理過程についてもNAPS-7の運用開始以降、さまざ まな改良が行われてきた。2001年3月には積雲対流ス キームが改良され、予報が進むにつれ熱帯域の大気大 循環が正しく維持されなくなる問題を解消した(隈 2000;中川 2001)。同時期には、モデル最上層の上方 拡張に伴う放射過程の調整、および重力波抵抗の計算 に用いる地形パラメータなども改訂された。

2003 年 5 月には再び積雲対流スキームが改良された。 ここでは、積雲対流に伴う降水の再蒸発過程の見直し と積雲対流の補償下降流の改善により、熱帯域を中心 とする下層気温の冷却バイアスが緩和され、夏季日本 付近における太平洋高気圧の表現などが改善された (中川 2004)。

2004 年 7 月には雲氷落下スキームの改良、降水のタ イムステップ依存性緩和、海洋層積雲パラメタリゼーショ ンの導入が行われ、海上下層雲や上層氷雲の表現が 改善された(川合 2004)。同時期には氷床における地 表面アルベド(日射反射率)も修正された(平井・坂下 2005)。 表 5.2.1 NAPS-8 運用開始当初の全球モデルの仕様。

予報変数	東西·南北風、気温、比湿、雲水、
	地表気圧
支配方程式	プリミティブ方程式系
	セミラグランジュ法
水平方向の表現	スペクトル法/ガウス格子(リニア)
水平解像度	TL319(約 0.5625°間隔)
鉛直の予報領域	地表~0.4hPa(モデル最上層)
鉛直方向の表現	ハイブリッド(σ-P)鉛直座標
鉛直解像度	40層(地表~800hPaに約8層)
時間積分	リープフロッグ・スキーム
	セミ・インプリシット法(重力波)
	タイム・フィルター
水平拡散	4次の線形拡散
鉛直拡散	局所的なKアプローチ
初期値化	鉛直モード法
	インクリメンタル法
重力波抵抗	地形起源(短波·長波)
放射	2 方向近似法(短波)
	k 分布法・テーブル参照法(長波)
積雲対流	マスフラックス・スキーム
雲	雲量(格子内部分凝結)を考慮
降水	積雲頂からの生成
	雲水からの変換
海氷	表層温度を予報
積雪被覆	積雪等価水量を予報
地表特性	開水・海氷・陸(12種の植生)
地表フラックス	放射フラックス(短波・長波)
	乱流フラックス(バルク形式)
陸面過程	生物圏(SiB)モデル

2004年12月には放射スキームの改良を行った。長波 放射の計算方法が全面的に改訂され、従来の統計的 バンドモデルに基づく計算法からラインバイライン法(厳 密計算法)に基づく k-分布法・テーブル参照法へ変更 となった。これにより、対流圏から成層圏にわたって放 射計算の精度が大きく向上し、モデルの気温予測の精 度が大幅に改善された(籔ほか 2005)。

2005年7月には放射計算における雲の効果の取り扱いを改良し、対流圏上層における気温バイアスの緩和を図った(北川ほか 2005)。また、放射計算に用いるオ ゾン気候値も東西一様の2次元気候値から3次元の気候値に改訂された。

2006年3月に運用開始を予定しているNAPS-8では、 GSMの仕様は最初の約1年はNAPS-7と同一になる予 定である。すなわち、解像度はTL319L40、力学・物理 過程はNAPS-7と同一である。表5.2.1にNAPS-8運用 開始時におけるGSMの仕様を示す。00,12UTC初期 時刻における予報時間はそれぞれNAPS-7と同じ90, 216時間であり、予報プロダクトも基本的に変更はない。 これに加えて、GSM航空悪天GPV作成を支援するため に、新たに06,18UTCを初期時刻とする36時間予報の 運用が予定されている。

GSMはNAPS-8運用開始の約1年後を目標に大幅な 解像度の強化を計画している。水平解像度を NAPS-7 での約60kmから領域モデル(RSM)並の解像度へ強化 し、鉛直層数もNAPS-7の40層から60層へ強化(モデ ル最上層は0.4hPaから0.1hPaへ引き上げ)する計画で ある。この新しい高解像度GSMは現在のRSM、TYMを 吸収・統合し、単一のモデル(高解像度GSM)により短 期~週間にわたって高精度かつ均質な予測特性をも つプロダクトの提供をめざす。予報時間については、 TYM に代わって台風予報を支援するために、00,06, 18UTCの各初期時刻には84時間予報を、12UTC初期 時刻には216時間予報を実施する予定である。

新しい高解像度 GSM の業務化を実現するために、現 在さまざまな開発を行っている。力学フレームはモデル の効率化・高速化を目的に、適合ガウス格子(宮本 2005)、2 次元分割並列化(宮本 2005)や 2 タイムレベ ル時間積分法(吉村・松村 2005)の開発が進められて いる。また、物理過程に関してもさまざまな改良を進め ており、たとえば重力波抵抗(山田 2005)、境界層過程 (北川 2005)、陸面過程(大泉・保坂 2000; 平井・坂下 2005)などの改良を計画している。

5.3 領域・台風モデル

ここでは NAPS-8 における領域モデル(RSM)・台風モ デル(TYM)の仕様・運用について説明する。すでに第 5.2 節で述べたように、RSM および TYM は、NAPS-8 で 実現する GSM の水平・鉛直解像度の強化により、新し い高解像度 GSM に統合・廃止される計画である。

2001 年 3 月の NAPS-7 運用開始以降、RSM の物理 過程についても改良を行い、モデルの精度向上を図っ てきた。2004 年 4 月に適応水蒸気拡散が導入され、従 来から問題になっていた低気圧の過剰発達や格子スケ ールでの偽低気圧の発生などの問題が緩和された。

2006年3月運用開始予定のNAPS-8では、RSMの仕様(水平解像度 20km・鉛直 40 層や物理過程など)は NAPS-7と同一である(萬納寺 2000を参照)。運用についても、00,12UTC 初期時刻に NAPS-7と同じ51時間 予報を実施し、予報プロダクトにも変更はない。

予報モデルの変更ではないが、2006年3月に予定される海面水温解析の変更が RSM の予報に与える影響



図 5.3.1 RSM の地上気温予測の検証(2004 年 5 月前半、全国平均)。数値予報課作成の海面水温解析(破線)と MGDSST (実線)を使用した場合。予測値とアメダス観測値(●)を比較したもの(左)と予測値の対アメダス RMSE(右)。横軸は予測対 象となる時刻(valid time)を表している。(作成:坂下卓也、細見卓也)



図 5.3.2 RSM の対アメダス降水スレットスコア(80km 検証格子、全国平均、閾値 1mm/6 時間)。数値予報課作成の海面水温 解析(点線)とMGDSST を使用した場合(実線)。2004 年 5 月前半(左)と 2005 年 2 月前半(右)の結果。横軸は予報時間。 (作成:細見卓也)



図 5.3.3 TYM による台風進路予測誤差(左)と台風中心気圧の RMSE(右)。数値予報課作成の海面水温解析(太破線)と MGDSST(細実線)を使用した場合。横軸は予報時間。左図中の黒丸(●)は事例数を、右図中の縦棒(■)は RMSE の(破 線から実線を引いた)差を表す。検証は 2004 年の台風第 6, 15, 17, 23, 27 号を対象とした。(作成: 酒井亮太)

を紹介しておく。NAPS-8ではRSMに使用される海面水 温解析は数値予報課作成の1°格子のものから、海洋 気象情報室作成の 0.25° 格子の高解像度全球日別海 面水温解析(MGDSST)へ変更される(第4.4節参照)。 海面水温解析は RSM では海域における下部境界条件 として扱われるため、解析値の変更は RSM の予報特性 にも影響を与える。たとえば、海面水温は下部境界条 件として海岸部を中心とする陸域の地上気温予測の特 性に影響することが考えられる。図 5.3.1 は RSM 地上気 温予測をアメダス気温観測と比較したものである。暖候 期には、RSMの地上気温の高温バイアスがMGDSSTの 利用により緩和されていることが確認できる。寒候期に おけるインパクトは暖候期に比べると小さかった(図略)。 さらに、図5.3.2はそれぞれの海面水温解析を用いた場 合の RSM 降水スコアの比較である。暖・寒候期ともに海 面水温解析の変更が降水予測精度に与える効果はほ ぼ中立である。また、上層気温場や高度場の予報精度 に対する効果もほぼ中立であった(図略)。

RSMはNAPS-8運用開始から約1年後に、GSMの水 平・鉛直解像度の大幅な強化に伴って、統合・廃止され る計画である。これにより、従来の領域予報の弱点であ った側面境界に関係した予測精度の劣化などが解消さ れると期待できる。

TYM についても 2001 年 3 月の NAPS-7 運用開始以降、幾つかの改良が行われてきた。2002 年には 2 回にわたって台風ボーガスの改良が行われた(酒井・美濃2002)。また 2003 年 7 月には雲水予報スキームの導入をはじめとする物理過程の改良を行い、台風の進路および強度の予測精度が向上した(酒井・細見 2003)。

2006 年 3 月運用開始予定の NAPS-8 では、TYM の 仕様(水平解像度 24km・鉛直 25 層や物理過程など)は NAPS-7と同一である(萬納寺 2000を参照)。運用につ いても NAPS-7と同様、00,06,12,18UTC 各初期時刻 に 84 時間予報が、最大 2 個の台風に対して実施され る。

TYM もモデル自体に変更はないが、下部境界条件となる海面水温の解析が RSM と同様に MGDSST へ変更 になる。海面水温は TYM の下部境界条件として、台風 の予測特性に影響を与える可能性が考えられる。図 5.3.3 はそれぞれの海面水温解析を用いた場合の台風 の進路と強度の予測誤差である。海面水温解析の変更 が TYM の台風予測の精度に与える効果はほぼ中立で あった。

TYMもNAPS-8運用開始から約1年後に、高解像度 GSMに統廃合される予定である。これにより、台風が3 個以上ある場合にも高解像度GSMにより台風予報の支援が可能になる。

5.4 アンサンブル予報

週間アンサンブル予報は2001年3月のNAPS-7運用 開始とともに正式運用が始まり(松村 2000c;経田 2000)、これ以降、初期摂動作成法や予報モデルにつ いて改良が行われてきた。2002年2月からは熱帯域 (北緯20°~南緯20°)にも初期摂動を与えるように変 更し、夏季日本付近における予報スプレッドの過小を改 善した(経田 2002)。予報モデルは2003年6月に積雲 対流スキームの改良が行われ、熱帯域等における下層 気温の冷却バイアスの軽減や太平洋高気圧の表現な どが改善された。2005年3月には雲スキームおよび氷 床域の地表面アルベド(日射反射率)の改訂が行われ た。

2006年3月のNAPS-8運用開始時点では、初期摂動 作成の手法には NAPS-7 と同じ成長モード育成法 (BGM 法)が採用される。ただし、メンバー数は NAPS-7 の 25 から 51 へと倍増する予定である。図 5.4.1 はメン バー数 25 と 51 の週間アンサンブル予報について、スプ レッドと予報誤差の大きさを比較したものである(北半球 500hPa 高度場、2003年8月平均)。25 メンバーのアン サンブルはスプレッドの大きさが予報誤差に比べて夏 季にはやや小さい傾向が見られ、実際の場をメンバー で捕捉しきれていない可能性がある。51 メンバーのアン サンブルは 25 メンバーと比較してスプレッドの大きさが 平均的に予報誤差の大きさと同程度になっており、スプ レッドの大きさがより適切であることが確認できる。アン サンブルメンバー数の増強については、2006 年発行予 定の数値予報課報告・別冊第 52 号に詳しく掲載される 予定なのでそちらも参照してほしい。

NAPS-8 ではアンサンブル予報に使用するモデルも 改訂され、第5.2 節で説明した GSM と水平解像度だけ が異なるモデルを採用する予定である。つまり、移流計 算にセミラグランジュ法を採用し、物理過程には放射過 程の改良(2004年12月と2005年7月の改良)を反映さ せる(第5.2 節参照)。水平解像度(波)はセミラグランジ ュ法の導入に伴い、T106からTL159へ強化される(格 子の解像度はどちらも約1.125°間隔に相当)。鉛直層 数は40でNAPS-7と同じである。運用はNAPS-7と同 様に、毎日12UTC初期時刻に216時間の予報を実施 する。図5.4.2はNAPS-7におけるアンサンブル予報モ デルとNAPS-8 で導入を予定するアンサンブル予報モ デルのコントロールラン予報のスコアを比較したもので ある(北半球 500hPa 高度場の RMSE)。2003 年 8 月、 2004 年 1 月ともに、北半球 500hPa 高度で見た両方の モデルの予報スコアはほぼ同等である。

週間アンサンブル予報は NAPS-8 運用開始の約1年 後に、予報モデルの水平・鉛直解像度の大幅な強化が 計画されている。水平解像度は NAPS-7 での GSM と同 じ TL319、鉛直層数は60 である。モデル解像度の強化 により、地形の効果や地表付近の予測、表現などにも 改善が期待できる。また初期摂動作成の手法は後述の 台風アンサンブル予報の手法と共通化し開発の効率化 を図れるよう、NAPS-7 の BGM 法から特異ベクトルを利 用した方法(SV 法)へ変更する計画である。

さらに NAPS-8 運用開始の約1年後には、台風予報 の高度化を目的とする台風アンサンブル予報の実用化 も計画している。ここでは予測対象を台風とするために、 主に台風周辺などに初期摂動を与える。初期摂動の作 成には、特定の領域での初期摂動作成に優れている SV 法を採用する計画である。SV 法は台風アンサンブル 予報を実施するときだけ摂動計算を行えばよいので、 常に成長モードの育成が必要な BGM 法に比べて計算



EnsembleMean RMSE - Spread (M25)

EnsembleMean RMSE - Spread (M51)



図 5.4.1 週間アンサンブル予報の予報誤差(実線)とスプレッド(破線)の比較(北半球 500hPa 高度場、2003 年 8 月平均)。メ ンバー数がそれぞれ 25(左)と51(右)の場合。横軸は予報時間。(作成:酒井亮太)



図 5.4.2 NAPS-7で使用している週間アンサンブル予報モデル(黒丸●)とNAPS-8で導入予定のモデル(実線)の予報スコア (コントロールラン)。2003 年 8 月(左)および 2004 年 1 月(右)における北半球 500hPa 高度場の RMSE(月平均)。 (作成:山口宗彦) コスト面でも有利である。運用は台風予測を行う場合に、 1日4回(00,06,12,18UTC)11メンバーの84時間予 報を実施する計画である。予報モデルは週間アンサン ブル予報と同じモデルを利用する予定である。

参考文献

- 大泉三津夫,保坂征宏,2000:陸面過程.数值予報課 報告·別冊第46号,気象庁予報部,48-66.
- 片山桂一, 2004: 高解像度モデル. 数値予報課報告・ 別冊第 50 号, 気象庁予報部, 85-91.
- 川合秀明, 2004: 雲水過程. 数值予報課報告·別冊第 50 号, 気象庁予報部, 72-80.
- 北川裕人,2005: 大気境界層過程.数值予報課報告· 別冊第51号,気象庁予報部,67-69.
- 北川裕人, 籔将吉, 村井臣哉, 2005: 雲一放射過程. 数値予報課報告·別冊第 51 号, 気象庁予報部, 65-66.
- 経田正幸,2000:週間アンサンブル予報システムの性 能.平成12年度数値予報研修テキスト/数値予報 課報告別冊第47号,気象庁予報部,86-93.
- 経田正幸,2002: 週間アンサンブル予報. 平成14年度 数値予報研修テキスト,気象庁予報部,30-34.
- 隈健一,2000: GSM9912の性能と改良. 平成12年度数 値予報研修テキスト/数値予報課報告・別冊第47号, 気象庁予報部,82-85.
- 酒井亮太,細見卓也,2003: 台風モデルの物理過程の 改良. 平成 15 年度数値予報研修テキスト,気象庁 予報部,17-21.
- 酒井亮太,美濃寛士,2002: TYM の台風ボーガスの改
 良.平成 14 年度数値予報研修テキスト,気象庁予
 報部,15-18.
- 中川雅之, 2001: 全球モデル (GSM) の変更とその影響. 平成 13 年度数値予報研修テキスト,気象庁予報部, 34-37.
- 中川雅之, 2004: 積雲対流パラメタリゼーション. 数値 予報課報告・別冊第50号, 気象庁予報部, 43-50.
- 平井雅之, 坂下卓也, 2005: 陸面過程. 数値予報課報 告・別冊第51号, 気象庁予報部, 70-75.
- 松村崇行, 2000a: セミラグランジュ法. 数値予報課報 告・別冊第46号, 気象庁予報部, 67-84.
- 松村崇行,2000b: 高解像度全球モデル. 平成12年度 数値予報研修テキスト/数値予報課報告・別冊第47 号,気象庁予報部,17-20.
- 松村崇行,2000c: 週間アンサンブル予報システム. 平 成12年度数値予報研修テキスト/数値予報課報告・ 別冊第47号,気象庁予報部,21-22.
- 萬納寺信崇, 2000: 領域モデル (RSM, MSM, TYM). 平成 12 年度数値予報研修テキスト/数値予報課報 告・別冊第 47 号, 気象庁予報部, 23-27.
- 宮本健吾, 2005: 適合ガウス格子. 数値予報課報告・

別冊第51号, 気象庁予報部, 39-42.

- 宮本健吾,2005:2 次元分割並列化.数値予報課報 告・別冊第51号,気象庁予報部,43-47.
- 村上裕之,松村崇行,2004:初期值化.数值予報課報 告·別冊第50号,気象庁予報部,61-71.
- 籔将吉,村井臣哉,北川裕人,2005:晴天放射スキー ム. 数値予報課報告・別冊第51号,気象庁予報部, 53-64.
- 山口宗彦, 片山桂一, 松村崇行, 2004: 統一全球モデ ルの予報特性. 数値予報課報告・別冊第 50 号, 気 象庁予報部, 81-84.
- 山田和孝, 2005: 重力波抵抗スキーム. 数値予報課報 告・別冊第51号, 気象庁予報部, 48-52.
- 吉村裕正, 松村崇行, 2004: セミラグランジュ統一モデ ル. 数値予報課報告・別冊第 50 号, 気象庁予報部, 51-60.
- 吉村裕正,松村崇行,2005:2タイムレベル時間積分法. 数値予報課報告・別冊第 51 号,気象庁予報部, 35-38.

6.1 MSM最大降水量ガイダンス¹

6.1.1 はじめに

新しいメソ数値予報モデル(5km-MSM)を利用した最大降水量ガイダンス(5km-MSMガイダンス)は、注警報発表時の区分である二次細分区を対象として、3時間毎の最大3時間降水量および最大1時間降水量を予測している。

6.1.2 作成手法

5km-MSMガイダンスは、現行のメソ数値予報モ デルを利用した最大降水量ガイダンス(木村 2004)

(10km-MSMガイダンス)および領域モデルを利用 した最大降水量ガイダンス(海老原 2002)(RSM ガイダンス)とほぼ同じ手法で計算される。

5km-MSMガイダンスは次の手順で計算される。

- ガイダンス格子(20km)における3時間平均降水 量をカルマンフィルター方式で導出
- 2)1)で求めたガイダンス格子における3時間平均 降水量の各二次細分予報区への割当
- 3) ニューラルネットワーク(NRN)による各二次細 分予報区における「最大降水量/平均降水量」比 の計算
- 4) 2)の平均降水量×3)の比で最大降水量を導出

5km-MSM ガイダンスが 10km-MSM ガイダンス と異なる点は、1)の平均降水量の導出における以下 の2点である。

1 点目はカルマンフィルターの係数が 6 時間毎 (FT=3 と 6,9 と 12,15 と 18)に3 組であったもの を3時間毎(FT=3,6,9,12,15)に5 組としたことであ る。カルマンフィルターの係数を3時間毎にしたの は、予想時間が 15 時間までになることに対応した 事と 10km-MSM ガイダンスと同じ学習頻度とし係 数の変化傾向が変わらないようにするためである。 10km-MSM ガイダンスでは、1 つの係数に対して 1 初期値 6 時間分の学習×1 日 4 初期値 (=1 日当たり 24 時間分の学習)であった。5km-MSM ガイダンス では 1 初期値 3 時間分の学習×1 日 8 初期値 (=1 日 当たり 24 時間分の学習)となる。

2 点目はモデル格子点上でそのモデル格子を取り 囲む8格子を用いて平滑化を行うことである。従来 は平滑化処理を行わずガイダンス格子の中心を取り 囲むモデル格子点(4 点)によりガイダンス格子点 への線形内挿を行っていた。5km-MSM で従来と同 じ方式とするとガイダンス格子内の一部のモデル格 子点値だけを利用することになる。モデル格子点か らガイダンス格子点へ線形内挿する前にあらかじめ モデル格子点上で平滑化処理を行うようにした。 3)の最大降水量/平均降水量比を求める手法については変更ないが、あらかじめ行うNRN係数作成時に利用する学習期間を延長する。従来は、二次細分の変更(新規細分の設定や市町村合併に伴う細分変更)に際し、1996年から2001年までの実況値を利用して一括して学習を行い係数を作成していた。計算機資源の制約等により、学習期間の延長をしていなかったが、2006年3月の細分変更時には2002年以降の期間を追加する予定である。この新しい係数は、5km-MSMガイダンスだけではなく、RSMガイダンスでも利用される。より多くの事例を学習した係数を用いることにより、大雨事例の少ない地域では精度向上が期待される。

6.1.3 予測特性と精度

2003年 12 月までの期間を追加して作成した NRN係数を利用して、1日4回の5km-MSMで2004



図 6.1.1 閾値別のバイアススコア(上)とスレットスコ ア(下)。横軸は閾値で単位は mm/3h。5km は 5km-MSM ガイダンス、10km は 10km-MSM ガイダ ンス(試験運用期間中の非静力学 MSM によるガイダ ンス)を示す。検証対象は7月1日~31日の124初 期値分、予報時間は06~15時間。予報作業支援シス テムでは、03時間までの予想は降水短時間予報により 置き換えられるため検証から省いた。

¹ 安藤 昭芳

年5月末から2004年7月、2004年12月末から2005 年2月までの期間を順に計算した。カルマンフィル ターの係数最適化に期間を要することから、夏冬 各々の期間の後半1ヶ月で検証を行った。検証には、 2.5km格子解析雨量の各二次細分内の最大値を用い た。図 6.1.1 に夏期間の5km-MSM ガイダンスと 10km-MSM ガイダンスのバイアススコア、スレッ トスコアを閾値別に示す。バイアススコアで見ると 全ての閾値で5km-MSMガイダンスの方が1に近い。 スレットスコアでは、15mm/3h以上では5km-MSM ガイダンスが高くなっている。冬期間(図省略)の スレットスコアでも、5km-MSM ガイダンスは 15mm/3h 以上で 10km-MSM ガイダンスと同等か 上回っている事を確かめた。

6.1.4 予想例

図6.1.2に2004年7月31日21時(JST)初期値による 5km-MSMガイダンスおよび10-kmMSMガイダン スの9から12時間後までの最大1時間降水量の予想 と解析雨量による実況を示す。この期間は台風第10 号が高知県、続いて広島県に上陸し、8月1日9時 (JST)には山口県の北の日本海にあって北上した(図 3.3.6参照)。南海上から四国に向けて帯状の強い降 水域が延びており、8月1日6時から9時(JST)の3時間 内に高知県および徳島県の一部で80mm/h以上の猛



烈な雨が降った。

10km-MSMガイダンスでは、50mm/h以上の降水 を予想していない。これに対して5km-MSMガイダ ンスでは、高知県の高知中央で93mm/h、安芸で 79mm/hなど実況に近い猛烈な雨を予想している。 予報時間9から12時間と比較的長いリードタイムを 持って猛烈な雨を適切に予想できた例である。

一方、隣接する高幡では、5km-MSMガイダンス でも21mm/hと実況の半分以下である。5km-MSM ガイダンスでも細分の予想値だけを利用していると 現象の見逃しや空振りをすることがあるので、隣接 細分や前後の時刻の予想値を参照するなど、面的お よび時間的な幅を持った利用が重要である。また、 その他の利用上の注意点は海老原(2002)および木村 (2004)に示されているので、これらの資料を参照し て欲しい。

6.1.5 まとめ

メソ数値予報を利用した最大降水量ガイダンス を 5km-MSM を 利用 す る よ う に 変 更 し た 。 5km-MSMガイダンスの予測精度は、注意報警報に かかわる閾値で10km-MSMガイダンスと同等以上 であることが確認された。また、5km-MSMガイダ ンスは1日8回、3時間ごとに作成されるため、より 新しい初期値のMSMに基づいた予想値を利用でき るようになり、精度の向上が期待される。

参考文献

海老原智,2002:最大降水量ガイダンス.平成14年 度数値予報研修テキスト,気象庁予報部,35-39. 木村陽一,2004:最大降水量ガイダンス.平成16年 度数値予報研修テキスト,気象庁予報部,48-50.

6.2 MSM最大風速ガイダンス¹

6.2.1 はじめに

メソ数値予報モデル(MSM)を利用した風ガイダ ンスには、アメダス地点を対象としたMSM最大風速 ガイダンスと空港を対象とした短距離飛行用飛行場 予報(TAF-S)用のTAF-S最大風速ガイダンスがある。 本節では前者について述べ、後者については第6.3.6 項で述べる。

MSM最大風速ガイダンスは、3時間毎の予測時間 について前3時間内の最大風速及びその風向を予測 するガイダンスである。2006年3月に予定される MSMの変更に伴い、MSM最大風速ガイダンスにつ いても新しいMSM(5km-MSM)を用いて作成する ように変更する。

6.2.2 作成手法

2006年3月のMSMの変更後もMSM最大風速ガイ ダンスの作成手法に変更はない。

目的変数は予測対象時間内の観測値のうちで風 速が最大の風であり、予測式の説明変数には対象時 間内の30分間隔のMSM地上風のうち風速が最大の 風を用いている。予測式の係数は、カルマンフィル ター方式によって逐次更新される。また、観測頻度 と予測頻度が同じになるような風速補正も行われて いる(木村 1998)。最大風速ガイダンスの詳細につ いては松本(2003)や国次(1997)も参照していただき たい。

6.2.3 予測特性と精度

2004年6-7月、2005年1-2月について実行された1 日4回の5km-MSMの予測値からMSM最大風速ガイ ダンスを作成し、現行のMSM最大風速ガイダンスと 予測特性や精度を比較した。係数の最適化に時間を 要することを考慮して2004年7月及び2005年2月の 結果を検証した。ここでは2005年2月の結果を示す。 2004年7月についても結果は2005年2月と同様であ った。

図6.2.1に全観測点平均の前3時間内最大風速の時 刻別月平均値を示す。アメダス観測値は12~15時に 最大値が出現し、日中強く、夜間弱いという日変化 を示しているが、現行のMSM(10km-MSM)の地上 風の日変化は小さい。5km-MSMでは10km-MSMよ り日変化が大きくなっているものの、観測値に比べ るとまだ日変化が小さい傾向がある。ガイダンスで は、これらのMSMの誤差を補正しており、予測最大 風速の平均値は観測値とほぼ同じ日変化を示してい る。図6.2.2は5km-MSM、10km-MSMの地上風及



図 6.2.1 時刻別の前 3 時間内最大風速の月平均値。図の 凡例で 10G は 10km-MSM を用いたガイダンス、5G は 5km-MSM を用いたガイダンス、10M は 10km-MSM、5M は 5km-MSM、Obs はアメダス観測 値を示す。



図 6.2.2 時刻別の前 3 時間内最大風速の RMSE。図の 凡例は図 6.2.1 と同じ。





図 6.2.3 最大風速ガイダンスの閾値別のバイアスス コア。図の凡例は図 6.2.1 と同じ。

び5km-MSMを用いたガイダンス(5kmガイダンス)、 10km-MSMを用いた現行のガイダンス (10kmガイ ダンス)の平方根平均二乗誤差(RMSE)である。 5km-MSMは10km-MSMに比べてRMSEが小さく、 精度が向上しているが、ガイダンスは5kmガイダン スと10kmガイダンスがほとんど同じ精度となって いる。

バイアススコア(図6.2.3)は5kmガイダンスと 10kmガイダンスで大きな差はなく、5kmガイダン

¹ 新美和造

ス、10kmガイダンスとも1に近い値となっている。 スレットスコア(図6.2.4)についても5kmガイダン スと10kmガイダンスでほとんど差はない。

図6.2.5は閾値別の風向適中率である。例えば閾値 6m/sの場合、予測風速が6m/s以上の事例を抽出して 適中率を求めている。ここでは予測した風向が観測 値に対して±22.5°以内の場合を適中とした。風向の 適中率は5kmガイダンスと10kmガイダンスでほと んど同じとなっている。

6.2.4 まとめ

2006年3月のMSMの変更に伴い、MSM最大風速 ガイダンスも5km-MSMを用いて1日8回作成される ようになる。5km-MSMを利用したガイダンスの予 測精度、予測特性は10km-MSMを利用したガイダン スとほぼ同じであることが確かめられた。ガイダン スが1日8回、3時間毎に作成されるため、より新し い初期値のMSMに基づいた予測値を利用できるよ うになり、精度の向上が期待できる。

5km-MSMを利用したMSM最大風速ガイダンス は、作成手法に変更はなく、予測精度や予測特性に ついてもこれまでとほぼ同じである。このため、利 用上の留意点も従来と変わらない。最大風速ガイダ ンスは、数値予報モデルの系統的な誤差を補正する が、モデルのランダムな誤差は補正できない。各予 測地点の風の特性を把握した上で、実況とモデルの 予想にずれが生じていないかを十分検討し、最大風 速ガイダンスの修正の要否を検討していただきたい。

参考文献

- 木村陽一, 1998: 風ガイダンスの統計的特徴と風速 補正. 平成10年度量的予報研修テキスト, 気象庁 予報部, 79-84.
- 国次雅司, 1997: 風ガイダンスの開発. 平成9年度量 的予報研修テキスト, 気象庁予報部, 39-44.
- 松本逸平, 2003: RSM及びMSM最大風速ガイダン ス. 平成15年度数値予報研修テキスト, 気象庁予 報部, 43-46.

0.6 0.5 0.4 0.3 0.2 0.1 0.0 6m/s 10m/s 閾値

図 6.2.4 最大風速ガイダンスの閾値別スレット スコア。図の凡例は図 6.2.1 と同じ。

風向適中率(2005年2月)



図 6.2.5 最大風速ガイダンスの風向適中率。図 の凡例は図 6.2.1 と同じ。

スレットスコア(2005年2月)

6.3.1 はじめに

メソモデルの格子間隔が5km(5km-MSM)となり、 実行回数が現行の1日4回から8回へと倍増する。こ れに伴い、メソモデルを用いている国内航空悪天GPV とTAF-Sガイダンスの作成頻度も1日8回となり、予 測精度の変化がある。特に国内航空悪天GPVの積乱 雲量、TAF-S視程、雲、天気ガイダンスは作成手法 の変更も行い精度向上を図る。

全球モデル(GSM)の仕様には変更がないが、現行 の00,12UTC初期値に06,18UTCが追加され、1日4 回の実行となる。国際的な航空用データ交換の仕様 変更も含め、GSMを用いているFAX資料や全球航空 悪天GPVを一部増強する。詳細は表1.3.1を参照して いただきたい。

領域モデル(RSM)には変更がなく、航空気温ガ イダンス以外のTAF-Lガイダンスには変更がない。 航空気温ガイダンスは、アメダスを対象としたRSM 気温ガイダンスの手法を取り入れて精度向上を図る。 なお、NAPS更新の約1年後にRSMが廃止され 5km-MSMの予報時間が33時間に延長されるのに伴 い、TAF-LガイダンスはTAF-Sと同じ5km-MSMを 利用し、作成手法もTAF-Sガイダンスと統一させる 予定である。

この節では、5km-MSMを利用する国内航空悪天 GPVとTAF-Sガイダンス、および変更となる航空気 温ガイダンスについて、変更点と精度検証結果を解 説する。

6.3.2 国内航空悪天GPV

(1) はじめに

国内航空悪天GPV(MSM航空)は、国内空域の 航空悪天情報作成を支援するための格子点資料であ る。MSM航空はMSMモデル面予報値から作成され、 FAX図(FXJP106/112, FBJP112-412)の元データと しても使用されている。

MSM航空では、風や気温などの主要な気象要素の 他、航空用の要素として、積乱雲量、乱気流指数、

圏界面気圧を作成している。現在運用中のMSM航空 (現MSM航空)では、積乱雲量はMSMで計算され た降水量と安定度から診断的に作成しているが(高 田 1997;工藤 2004)、NAPS更新以後に運用を開 始するMSM航空(新MSM航空)では、Kain-Fritsch 積雲対流パラメタリゼーション(KFパラメタリゼー ション、山田 2003)で求められた積雲の雲頂高度 を利用した方式に切り替える。乱気流指数はこれま でと同様に、風の鉛直シヤーをMSMモデル面から内 挿することで求める。圏界面気圧もこれまでと同様 に、高層観測指針に記載されている圏界面の定義に 従って作成する。

本項ではまず、新しい積乱雲量の作成手法と検証 結果を述べる。続いて乱気流指数の検証結果につい て記述する。

(2) 積乱雲量の作成手法と検証結果

(i)新しい積乱雲量の作成手法

現MSM航空では、MSMの1時間降水量(R1)と安 定度(SSI)に対し、月別・GPVの座標別に閾値を設け、 R1とSSIが共に閾値を超えた場合に、設定した雲量 の積乱雲があるとしている。その際R1には、2初期 値前および3初期値前のR1と解析雨量とを比較して 学習させた比率を掛けている(高田 1997)。この手 法では成因による積乱雲の違いを考慮していないた め、冬季に日本海で発生する積乱雲の表現が少ない という問題があった。また各閾値の設定が複雑であ り、比率の学習もさせていることから、モデル更新 時等の閾値設定の最適化が困難であった。そこで、 KFパラメタリゼーションで計算された対流雲の雲頂 高度と深い対流の判別条件を用いた積乱雲量の作成 手法を開発した。この手法ではモデルで計算された 対流雲の情報を直接的に使用するため、より合理的 な方法で積乱雲量が求められると期待される。

KFパラメタリゼーションでは、対流雲があると判 断された場合、持ち上げ凝結高度における気塊の温 度(*Tıcı*)と雲の厚さ(*ΔZ* = 雲頂高度と持ち上げ凝結 高度の差)から、その対流が深いか浅いかを判別し、 それぞれについて異なった対流の特性を与えている。 **KF**パラメタリゼーションにおける深い対流の判別条 件は次の通りである。

- 1. T_{LCL} (℃) < 0 \mathcal{O} とき ΔZ (m) \geq 2000
- 2. 0 ≤ T_{LCL} (°C) < 20 \mathcal{O} ≥ \forall ΔZ (m) ≥ 2000 + 100× T_{LCL} (°C)
- 3. T_{LCL} (°C) ≥ 20 O $\geq \delta$ ΔZ (m) ≥ 4000

持ち上げ凝結高度における気塊の温度で判別条件が 変えられている理由は、雲頂高度が低いにも関わら ず対流活動が活発な、冬の日本海降雪雲をモデル内 で表現しようとしているためである。

新MSM航空では、MSM航空の格子点内(水平80 km間隔)に含まれるMSMの格子点(水平5km間隔) の内、深い対流と判別された格子点の割合を求め、 それを積乱雲量とする。現手法では雲量自体を診断 的に決めているが、新手法では雲量もモデルの計算

¹ 6.3.1,6.3.3,6.3.4,6.3.5 高田 伸一、6.3.2 工藤 淳(航空 予報室)、6.3.6,6.3.7 新美 和造



図 6.3.1 2004 年夏季(左図)と 2005 年冬季(右図)の予報時刻別の積乱雲域検証結果。遭遇率比は、積乱雲が予報 された領域で積乱雲に遭遇する確率が平均の何倍であるかを示す。

結果から直接的に決めることができる。現MSM航空 では、積乱雲量を0/8, 2/8, 5/8, 7/8 の4段階でしか作 成していなかったが、新MSM航空では0/8~8/8の9 段階で作成する。

ただし、上記判別条件をそのまま適用すると、衛 星画像等の実況資料と比べて冬季の積乱雲量が過剰 に表現されることが分かった。そこで、雲頂温度(*Ttop*) に対しても条件を付加することにした。2004年12 月30日~2005年1月12日の2週間分のデータを用い て調査を行い、次のように判別条件を決定した。

- 1. T_{LCL} (°C) < 0 のとき ΔZ (m) ≥ 2000 かつ T_{top} (°C) < -20 かつ T_{top} (°C) $< T_{LCL}$ (°C) -25
- 2. $0 \leq TLCL (^{\circ}C) < 20 \quad \mathcal{O} \succeq \stackrel{*}{\approx} \Delta Z (m) \geq 2000 + 100 \times TLCL (^{\circ}C) \quad \stackrel{*}{\rightarrow} \mathcal{O}$ $T_{top} (^{\circ}C) < -20 \quad \stackrel{*}{\rightarrow} \mathcal{O}$ $T_{top} (^{\circ}C) < TLCL (^{\circ}C) -25$
- 3. T_{LCL} (°C) ≥ 20 のとき ΔZ (m) ≥ 4000

元の判別条件と比べ、持ち上げ凝結高度の気塊の温 度が低い冬季に、深い対流と判別されにくくなるよ うに設定してある。

(ii) 積乱雲量の検証結果

積乱雲量と比較する実況には、雷監視システム (LIDEN)の対地雷実況を用いる²。検証領域はLIDEN の探知範囲と概ね一致するように設定する。発雷実 況で検証するため、「雲量」としての検証は困難であ る。そこで「雲域」として検証を行う。積乱雲量が 2/8以上³の領域を積乱雲域(予報あり)とし、MSM 航空の格子内に含まれる対地雷数が1以上ある場合 を発雷域(実況あり)とする。発雷域を実況とする ため、空振りにペナルティーを科すスレットスコア や、出現頻度を評価するバイアススコア等では正し い検証を行うことはできない。発雷実況を実況とし ているため、発雷していない積乱雲を評価すること ができないからである。そこで、検証では以下で定 義する遭遇率比を用いる。

遭遇率比 =
$$\frac{FO}{FO + FX}$$
 ÷ $\frac{FO + XO}{FO + FX + XO + XX}$
(6.3.1)

FO, FX, XO, XX は表6.3.1の分割表で定義する。遭遇率比は平均状態と比べ、予報した領域内で何倍その現象に遭遇しやすいかを示したスコアであり、大きいほど予報の精度がよい。工藤(2004)で述べたとおり、積乱雲域の中に一様に発雷域が分布すると仮定すれば、発雷域から求めた遭遇率比と真の積乱雲域から求めた遭遇率比は一致する。

予報時刻の前後30分の発雷実況をその時刻の実況 として検証を行った。図6.3.1左図に2004年6月~7 月の積乱雲域の検証結果を示す。横軸は予報時刻、 縦軸は遭遇率比である。全ての予報時刻において、 新MSM航空の積乱雲域(新積乱雲域)は、現MSM 航空の積乱雲域(現積乱雲域)を大きく改善してい る。予想した積乱雲域の面積(FO+FX)を比較する と、新積乱雲域の面積は現積乱雲域の約0.9倍とやや 狭くなった(図は省略)。図6.3.1右図に2005年1月 13日~2月28日の積乱雲域の検証結果を示す。夏季 と同様に全ての予報時刻において、新MSM航空の積 乱雲域は、現MSM航空の積乱雲域を大きく改善して いる。予想した積乱雲域の面積を比較すると、新積

表6.3.1 積乱雲量検証に用いる予報と実況の分割表

		実況	
		あり	なし
予	あり	FO	FX
報	なし	XO	XX

 $\mathbf{2}$

50

²本来は雲量格子点情報の対流雲量等で検証を行うのが望ましいが、検証期間中(2004年6月~7月及び2005年1月~2月)は雲量格子点情報は作成されていない。
³国内悪天12時間予想図(FBJP112)では、積乱雲量が2/8以上に相当する領域を積乱雲域として表示している。



図 6.3.2 2005 年 2 月 1 日 00UTC の赤外画像(左図)、1 月 31 日 18UTC 初期値の 6 時間予報の現積乱雲量(中図) と新手法による積乱雲量(右図)。積乱雲量が 2/8 以上の領域を表示してある。

乱雲域の面積は現積乱雲域の約1.2倍とやや大きくな った(図は省略)。面積の違いは冬型降雪時に特に顕 著である。現手法では降水量が少ない冬型降雪雲は 積乱雲と判別されにくいが、新手法では持ち上げ凝 結高度における気塊の温度によって判別条件を変え ているため、積乱雲と判別されやすくなったからで ある。図6.3.2に2005年2月1日の事例を示す。この 日は西日本を中心に強い冬型の気圧配置となってお り、00UTCの輪島では、500hPaで-42.1℃を観測し ている。図6.3.2左図に、2月1日00UTCの赤外画像 を示す。朝鮮半島北部から北陸にかけての日本海寒 帯気団収束帯が明瞭であり、太平洋側でも寒気の吹 き出しに伴う筋状雲が見られる。このような状況下 にあっても、現手法では積乱雲の表現は少ない(図 6.3.2中図)。これに対して新手法では、現手法より も積乱雲を多く表現している(図6.3.2右図)。

(3) 乱気流指数の検証結果

MSM航空では、乱気流を予測するための指数として、MSMモデル面予想値から内挿した風の鉛直シヤーを作成している。以下では、乱気流指数の検証結果を述べる。

乱気流の実況には、パイロットからの乱気流通報 (C-PIREP, ARS, PIREP)を用いる。検証を行う前に は以下の①~④の品質管理を行い、結果の信頼性を 高めた。

雲中で発生した乱気流の除外

乱気流指数として作成している風の鉛直シヤーは、 晴天乱気流を予測する指数の1つである。このため、 対流雲中で発生した乱気流は検証の対象に含めるべ きではない。これまでは解析雨量を用いて対流雲中 か否かを判別していたが、閾値の設定の根拠や判別 精度などは示されていなかった。そこで工藤(2005) で示した手法により、C-PIREPのSK項4と、ARSや PIREPの飛行状態の通報を用いて空域の天候状態を 判別し、「雲中」と判別された通報を検証の対象から 除外する。

② 同一通報の除外

C-PIREP, ARS, PIREPはそれぞれ発信元が異なる ため、例えばC-PIREPとARSで、同一内容の通報が されることがある。同一と思われる通報が複数報じ られた場合には、その内の1通のみ採用する。

③代表性のない通報の除外

通報の中には、「A地点からB地点まで時々揺れた」 とか、「高度19000ftから23000ftの間で揺れた」など、 幅を持たせて報じられるものがある。このような場 合は、基本的にはその中心位置を実況のあった地点 として扱うが、2地点間の距離が離れすぎていたり、 高度の差が大きすぎたりする場合には、中心地点が 必ずしもその現象を代表しているとは言えないため、 検証の対象から除外する。具体的には、距離の差が 240kmより大きい通報と、高度差が6000ftより大き い通報を除く。

④ 低高度で発生した乱気流の除外

C-PIREPでは、乱気流に遭遇したという通報だけ でなく、乱気流に遭遇しなかったという通報もされ る。ただし、上昇中や下降中はパイロットの作業が 繁忙になるため、乱気流に遭遇しなければ何も報じ られないことが多い。このため、10000ft以下の通報 は検証の対象から除外する。

検証では予報時刻の前後30分以内の乱気流通報を 用いる。Moderate(並)以上の強度の乱気流が報じ られた場合を「実況あり」とし、それより弱い乱気 流を「実況なし」とする。ある値以上の乱気流指数 で囲まれた領域を「予報あり」とする。表6.3.2に予 報と実況の分割表を示す。検証は以下で定義する捕 捉率、体積率および遭遇率比を用いて、乱気流指数

⁴ 飛行状態と雲の関係を示す項目で、CLR(clear), OTP(on top), INC(in cloud)などが報じられる。



図 6.3.3 乱気流予測の検証結果。左列は 2004 年 6 月~7 月、右列は 2005 年 1 月~2 月の結果である。予報時 刻は全て足し合わせている。上段は横軸が体積率で縦軸が捕捉率。体積率が小さく、捕捉率が大きいほど予測 精度がよい。右上端の点が乱気流指数 1kt/1000ft 以上に対する検証結果で、左下に向かうに従って 1kt/1000ft ずつ指数の値が増える。下段は横軸が体積率で縦軸が遭遇率比。同じ体積率で比べると、遭遇率比が大きいほ ど予測精度がよい。右下端の点が乱気流指数 1kt/1000ft 以上に対する検証結果で、左上に向かうに従って 1kt/1000ft ずつ指数の値が増える。

の値別に行う。

捕捉率 =
$$\frac{T_{in}}{T_{in} + T_{out}}$$
 (6.3.2)

体積率 =
$$\frac{T_{in} + N_{in}}{T_{in} + N_{in} + T_{out} + N_{out}}$$
(6.3.3)

捕捉率は「実況あり」の通報の内、「予報あり」の 領域から報じられた通報の割合である。体積率が等 しい予報を比べる場合、捕捉率が大きいほど精度が 良い。体積率は全ての通報の内、「予報あり」の領域 から報じられた通報の割合である。捕捉率が等しい 予報を比べた場合、体積率が小さいほど精度が良い。

遭遇率比 =
$$\frac{T_{in}}{T_{in} + N_{in}} \div \frac{T_{in} + T_{out}}{T_{in} + N_{in} + T_{out} + N_{out}}$$
$$= \frac{$$
予報された領域内で乱気流に遭遇する確率}
全領域で乱気流に遭遇する確率

(6.3.4)

遭遇率比は、乱気流に遭遇する平均的な確率に対 する、「予報あり」の領域内で乱気流に遭遇する確率 の比である。平均状態と比べて何倍乱気流に遭遇し やすいかを示す。同じ体積率で比較した場合、大き いほど予報の精度が良い。

図6.3.3に乱気流検証の結果を示す。図は全ての予 報時刻⁵について足し合わせた結果である。図6.3.3 左列は2004年6月~7月の、図6.3.3右列は2005年1 月~2月の検証結果である。図6.3.3上段の横軸は体 積率、縦軸は捕捉率である。図の右上端の点が乱気 流指数1kt/1000ft以上に対する値で、左下に向かう に従って1kt/1000ftずつ値が増えていく。体積率が 小さく、捕捉率が大きいほど予報の精度が良いため、 左上にあるほど良い予報と言える。現MSM航空と新 MSM航空を比べると、夏季において新MSM航空の 方がやや良いが、サンプル数が十分ではないため有 意に差があるとは言えない。冬季ではほぼ同等の結 果となった。図6.3.3下図の横軸は体積率、縦軸は遭 遇率比である。図の右下端の点が乱気流指数 1kt/1000ftに対する値で、左上に向かうに従って

表6.3.2 乱気流検証に用いる予報と実況の分割表

		実況	
		あり	なし
予	あり	T_{in}	N _{in}
報	なし	T_{out}	Nout

⁵ 予報時刻 3~15 までの 3 時間間隔 52



図 6.3.4 11000ft 以上の高度における、ある値以 上の乱気流指数で囲まれる体積の比(現 MSM 航空に対する新 MSM 航空の比)。図は全ての予 報時刻で足し合わせた結果。

1kt/1000ftずつ値が増えていく。同じ体積率で遭遇 率比を比べると、夏季では新MSM航空の方がやや良 いが、これもサンプル数が十分ではないため有意に 差があるとは言えない。冬季ではほぼ同等の結果と なった。

今回のNAPS更新では乱気流指数の作成方法は変 更しないが、MSMモデル面の鉛直層数が40層から 50層に増えたことと、水平格子間隔が10kmから5km に変更されたとから、強い鉛直シヤーがシャープに 表現されるようになる。これにより、大きな乱気流 指数で囲まれる領域の体積は、従来よりも大きくな る。図6.3.4に、11000ft以上の高度における、夏季 と冬季の新・現MSM航空の乱気流指数で囲まれる体 積の比を示す。例えば16kt/1000ftでは、新MSM航 空の乱気流指数で囲まれる体積は、現MSM航空の 1.4~1.8倍となる。FBJP112では、乱気流指数が 16kt/1000ft以上の領域を乱気流予想域として表示し ているが、NAPS更新後はその面積はやや広くなる。

(4) まとめ

本項では、MSM航空の変更点と検証結果を述べた。 新MSM航空では、積乱雲量の作成手法を、KFパラ メタリゼーションで計算された対流雲の雲頂高度を 用いた方式に変更する。積乱雲域の検証の結果、夏・ 冬とも新MSM航空は現MSM航空を大きく改善して いることが分かった。個々の事例で見ると、冬型降 雪時の積乱雲が従来よりも多く表現されるようにな った。乱気流指数は、現在と同様にMSMモデル面か ら内挿した風の鉛直シヤーとする。乱気流指数の検 証の結果、新・現MSM航空はほぼ同等の精度を持つ ことが分かった。ただし、ある大きさの乱気流指数 で囲まれる領域の体積は、指数の値が大きいほど従 来と比べて増加することも分かった。新MSM航空の 乱気流指数を利用するに当たってはこの点に注意し てもらいたい。

6.3.3 TAF-S視程ガイダンス

TAF-S視程ガイダンスは短距離飛行用飛行場予報 (TAF-S)の視程予報を支援する予測資料であり、 MSMを利用して作成されている。このTAF-S視程ガ イダンスの作成手法は、2004年9月の非静力学MSM 導入時に診断方式からTAF-Lガイダンスと同じカル マンフィルター方式に変更した(高田 2004)。今回 MSMの格子間隔が10kmから5kmに変更されるにあ たり、このカルマンフィルター方式の視程ガイダン スの作成手法を一部変更して精度向上を目指した。 ここではその作成手法、予測精度と利用上の留意点 を解説する。

(1) 仕様と作成手法

表6.3.3に新TAF-S視程ガイダンスの仕様を示す。 これまでと比べ、作成手法を一部変更し、作成頻度 を5km-MSMの運用に合わせて現行の1日4回から8 回に倍増させる。以下では作成手法の変更点につい て述べる。

新ガイダンスは、現行と同じくカルマンフィルタ ー方式であるが、天気による層別化を導入する。ま た時刻別の層別化の廃止、説明変数の一部変更も行 う。まず、天気による層別化の導入について説明す る。視程悪化の特性は天気(霧、雨、雪など)によ って異なるにもかかわらず、現視程ガイダンスは同 じ予測式を用いていた。これは簡便ではあるが以下 の弊害を生んでいた。

- 雪の頻度が少ない空港では、雪による悪視程を 予測しにくい。
- 雪の頻度が多い空港では、無降水時でも悪視程 を予測することがある。
- 霧の多い空港では、雨で過剰な悪視程を予測することがある。

・ 視程と天気との整合が取れていないことがある。 これらの問題点を解消するために、無降水(霧・も やを対象)、雨(みぞれ含む)、雪の3種類の天気ご とに別々の予測式を作成することにした。この場合、 天気の予測が外れると誤差を大きくするという欠点 があるため、天気ガイダンスの精度向上も併せて行 う。これについては、第6.3.5項TAF-S天気ガイダン スで解説する。

次に時刻別層別化の廃止について説明する。これ には二つの目的がある。一つは、天気による層別化 に伴って減少する、係数の最適化を増やすことであ る。もう一つは、現ガイダンスが時間に過剰に適応 し、朝方に頻繁に悪視程を予測して空振りが多くな る傾向を抑制するためである。この時刻別層別化の 廃止に伴い、各空港での予測式は無降水、雨、雪の 3つのみになり、TAF-S天気ガイダンスによってど の予測式が適用されるかが決まる。

53

表6.3.3 新TAF-S視程ガイダンスの仕様。現ガイダン スからの変更箇所を陰影で示す。

予報要素	卓越視程の前1時間の最小値
予報時間	2,3,…,15時間
作成頻度	1日8回(00,03,…,21UTC初期值)
方式	カルマンフィルター
	天気層別化。頻度バイアス補正を行う。
目的変数	予報要素に同じ
説明変数	5km-MSMのGPVから天気別に作成
(定数除く)	無降水:(1-RH) ^{1/2}
	雨 : $(1-RH)^{1/2}$ 、 $(r1)^{1/2}$
	雪 : (1-RH) ^{1/2} 、(r1) ^{1/2} 、T×VV
	RH(地上相対湿度)、r1(1時間降水量)、
	T(地上気温℃)、VV(地上風速m/s)。T
	×VVは上限を10とする。

さらに説明変数の一部変更も行う。現在は地上相 対湿度や1時間降水量の他に、風速と高湿度時の気 温低下といった説明変数を使用している。しかし、 後者2つはあまり有効でないため、今回廃止する。 一方で、雪の予測式の説明変数として吹雪の効果(風 速×気温)を導入する。各天気での説明変数を表6.3.3 に示す。説明変数は少なくなっており、特に無降水 では地上湿度のみが説明変数になっていることに留 意願いたい。これは、なるべく単純にすることによ って、ガイダンスの予測値の根拠が明確になると考 えたためである。

(2) 予測特性と精度

5km-MSMの評価期間として設定された2004年 6-7月および2005年1-2月で新ガイダンスの検証を行った。ただし、両期間とも係数が馴染む最初の一週 間は検証から除いてある。実験では2005年6月終わ りに10km-MSMの現カルマンフィルターの係数を引 き継いだ後、5km-MSMで1ヶ月係数更新を行い、そ の係数を2004年6月から適用した。なお、本運用で は8回/日の5km-MSMを用いるが、今回の検証では4 回/日の5km-MSMを用いている。

図6.3.5、図6.3.6に評価期間における新ガイダンス のスレットスコアとバイアススコアを示す。新ガイ ダンスはどの閾値どの期間でも現行より改善され、 特に冬は大きく改善している。天気判別ミスによる 誤差増大の可能性があるにもかかわらず、精度の向 上がみられた。これは、天気で層別化した効果が大 きいこと、天気ガイダンスの予測精度が十分高いこ とによると考えられる。

冬の大きな精度向上は雨と雪の予測式を分けたこ とが影響しており、特に雪の多い本州日本海側、北 海道での改善率が大きい。バイアススコアが小さす ぎたのが1に近くなり、見逃されていた雪による悪



図6.3.5 新・現視程ガイダンスのスレットスコア(上) とバイアススコア(下)。全予報時間での検証。横 軸は視程の閾値(m)、縦軸はスコア。検証期間は2004 年6-7月だが、最初の1週間は検証から除いてある。 検証地点は全国73空港。



図6.3.6 新・現視程ガイダンスのスレットスコア(上) とバイアススコア(下)。検証期間は2005年1-2月。 その他は図6.3.5に同じ。

54

視程を予測できるようになったことがわかる。図6.3.7 は同期間の小松空港で雪が降った時の予測と実況の 散布図である。現ガイダンス(□印)は2000m以下 の予測はほとんどない。一方、新ガイダンス(×印) は2000m以下の予測値も多く、左下に×印が多いこ とから、雪による悪視程を予測できる例が増えてい る。このような予測傾向の変化は寒候期に雨と雪が 混在する北陸の空港で顕著である。

図6.3.8に予報時間とスレットスコアの関係を示す。 新ガイダンスは全予報時間において現ガイダンスを 上回っている。ただ、新ガイダンスは予報時間が進 むにつれてやや精度の低下がみられる。これは、天 気の判別精度が時間と共に低下するためと思われる。 新ガイダンスは3時間ごとに更新される。よって、 基本的には新しい初期値のガイダンスを利用するほ うが良い。

		TAFS-VIS RJNK Rtn 🛛
	7000	New X
	6000	
LO	5000	
ati	4000	
bserv	3000	
0	2000	
	1000	
	0	0 1000 2000 3000 4000 5000 6000 7000
		forcosct

図6.3.7 小松空港での視程ガイダンス予測値と観測 値との散布図(2005年1-2月)。観測で雪が降った場 合に限っている。全予報時間での検証。横軸が予測、 縦軸が観測(単位はm)。Rtn(□)が現ガイダンス、 New(×)が新ガイダンス。



図6.3.8 新・現視程ガイダンスの予報時間によるスレットスコアの変化。横軸は予報時間(時間)、縦軸はスコア。閾値を1600mとした場合。期間は2005年1-2月で、検証地点は国内73空港。

前述したように、時刻別層別化の廃止により、霧 の多い空港で朝方の空振りを減らし精度向上を目指 した。この効果を検証するために、霧の多い新千歳、 仙台、成田空港において2004年6-7月の朝方(日本 時間で5-8時)の予測精度を調べた。この期間、霧に 近い1600m以下の視程が出現した頻度は5.4%であっ た。この悪視程に対し、現ガイダンスでは空振り率 (悪視程を予測して外れた割合)が83%であったが、 新ガイダンスでは63%と大きく減少した。スレット スコアも0.05から0.16と上昇し、精度の向上がみら れた。

(3) 利用上の留意点

前述したように、新ガイダンスは天気ガイダンス の予測精度に大きく影響を受ける。これを踏まえて 利用上の留意点を述べる。

- ①降水時の予測値は、MSMの降水の予測精度に 大きく依存する。実況と見比べながら、MSM の降水予測の正誤を考えて修正願いたい。例え ば、MSMに降水の時間的ずれがあれば、ガイ ダンスも同じように時間的にずらして利用する 必要がある。空間的なずれによって降水がない と考えた場合は、無降水の時間帯の予測値に置 換するなどの修正が必要になる。
- ②寒侯期では、MSMの降水予測を実況と比較する以外に、天気ガイダンスの雨雪判別についても実況資料と比較する必要がある。
- ③無降水時の説明変数は地上湿度のみである。よって、MSMの地上湿度予測が外れるような場合、例えば予想されてない移流霧や放射霧が発生する兆候がみられた場合には修正が必要となる。
- ④時刻による層別化を廃止したため、新ガイダン スはやや緩慢な時間的変化となりやすい。例え ば、無降水時で朝方発生した霧・もやが日中に 急激に解消するような場合には、実況や現象の 寿命を考え、ガイダンス値にめりはりをつける 修正をして頂きたい。

6.3.4 TAF-S雲ガイダンス

TAF-S雲ガイダンスは短距離飛行用飛行場予報 (TAF-S)の雲量・雲底高度予報を支援する予測資料 であり、MSMを利用して作成されている。今回の MSMの格子間隔が10kmから5kmに変更されるにあ たり、TAF-S雲ガイダンスも作成方法の変更を行い、 精度向上を目指した。ここではその作成方法、予測 精度と利用上の留意点を解説する。

(1) 仕様と作成手法

表6.3.4に新TAF-S雲ガイダンスの仕様を示す。こ

れまでと比べ、作成手法を変更し、作成頻度を 5km-MSMの運用に合わせて現行の1日4回から8回 に倍増させる。以下では作成手法の変更点について 述べる。

作成手法はカルマンフィルター方式からニューラ ルネット方式に変更する。現ガイダンスはまずMSM モデル面の湿度を細見(1999)の手法に従って雲量に 非線形変換し、かつ下層で雲量が多くなりすぎるの を調節する。その後、変換したこのモデル雲量を説 明変数、各高度の観測雲量を目的変数(表6.3.4参照) としたカルマンフィルターを用いて予測している。 このように湿度を直接説明変数にせず、いったん雲 量に変換しているのは、線形関係を仮定するカルマ ンフィルターに適用しやすくするためである。今回、 この途中の変換誤差を省くために非線形関係に対応 できるニューラルネットを採用した。つまり、モデ ル面湿度を説明変数、各高度の観測雲量を目的変数 とするニューラルネットを用いて予測するように変 更する。

この作成方式の変更の他に次の3つの変更を行う。 1つめは、現ガイダンスで使われていた、学習時に 予測値を観測に埋め込む手法の廃止である。観測さ れる雲量は最大3層なので(積乱雲がない場合)、現 ガイダンスは、観測がない高度面に前回の初期値の 予測値を推定値として埋め込んでいた。これは、各 層の学習回数をなるべく均等にし、学習機会のない 層を減らす目的で行われていた。しかし、予測値を 目的変数にすることはガイダンスとしては好ましく ない学習であり、今回廃止することにした。その代 わりに、観測された雲底高度から見積もる雲の厚み を増やし(現在は雲底高度の0.25倍だったのを一律 2000ftとする)、かつ時刻別の層別化を廃止すること

表6.3.4 新TAF-S雲ガイダンスの仕様。現ガイダンス からの変更箇所に陰影をかけてある。

予報要素	前1時間の最低シーリング*時における
	最大3層の雲量と雲底高度
	目的変数である各高度の雲量から抽出さ
	れる。抽出方法は大林(2002)を参照。
予報時間	2,3,…,15時間
作成頻度	1日8回(00,03,…,21UTC初期值)
方式	ニューラルネット
	逐次学習方式。頻度バイアス補正を行
	う。
目的変数	$0,100,\cdots,1000,1500,\cdots,5000,6000,\cdots,$
	10000,12000,…,30000ftの雲量 (38層)
説明変数	上記の各高度に近い3つのモデル面湿
(定数除く)	度、850hPaと地上気温の差
	(5km-MSMのGPVを使用)

^{*}シーリング : 雲量5/8以上の最低雲底高度







図6.3.10 新・現雲ガイダンスのスレットスコア(上) とバイアススコア(下)。検証期間は2005年1-2月で、 その他は図6.3.9に同じだが、冬は低シーリングが少 ないため、閾値は600ftから示してある。

56

によって各層の学習機会を確保する。なお、時刻別 層別化の廃止により、夜に下層の気温が下がって下 層雲が発生したり、雲底が下がったりする現象を表 現しにくくなる可能性がある。このため、新たに下 層の安定度(850hPaと地上の気温差)を説明変数に 導入する。

2つめは、現ガイダンスではMSM初期時刻の6時 間前~初期時刻の1時間後6における最新の観測を利 用していなかったが、新ガイダンスではこの最新の 観測値も学習に利用する。

3つめは、予測のバイアススコアが1に近づくよ うに行われている頻度バイアス補正において、過度 な補正を止め予測値の2倍を限度とすることである。 気象庁のガイダンスでは、カルマンフィルター方式 は頻度バイアス補正が併用されているが、ニューラ ルネット方式では頻度バイアス補正が行われていな い。今回、カルマンフィルター方式からニューラル ネット方式に変更したが、頻度バイアス補正は引き 続き併用する。ただし、過度の補正は空振り率(悪 視程を予測して外れた割合)を大きくする原因にな るため、頻度バイアス補正の補正倍率に上限を設け た。この効果については次項で述べる。

(2) 予測特性と精度

5km-MSMの評価期間として設定された2004年 6・7月および2005年1・2月で検証を行った。検証方法 は第6.3.3項視程ガイダンスとほぼ同じであり、省略 する。図6.3.9、図6.3.10に評価期間における新ガイ ダンスのスレットスコア、バイアススコアを示す。 新ガイダンスはどの閾値どの期間でも現ガイダンス よりスレットスコアが改善され、特に低シーリング の発生しやすい6・7月に大きな改善となっている。

予測特性における新・現ガイダンスの違いは、新 ガイダンスが低シーリングにおいてバイアススコア が小さくなっていることである。2004年6-7月の600ft 以下、2005年1-2月の2000ft以下において、新ガイ ダンスのバイアススコアは現ガイダンスに比べて小 さく、1以下となっている。これは、空振りを減ら すように、過度な頻度バイアス補正を行わないよう にしたためである。図6.3.11に2004年6-7月の空振り 率を示す。空振り率は全閾値で大きく減少しており、 頻度バイアス補正を抑えた効果が出ている。

一般に、空振りを減らすことは捕捉率(低シーリングの発生数の内予測できた割合)の減少に繋がる。 しかし、図6.3.11の捕捉率からわかるように、新ガ イダンスは空振り率の減少にも関わらず捕捉率も増 加しており、精度の向上が確認できる。ただし、出 現率が低く精度が低い200ft以下の低シーリングでは



図6.3.11 新・現雲ガイダンスの捕捉率と空振り率。 検証期間は2004年6-7月。その他は図6.3.9に同じ。



図6.3.12 新・現雲ガイダンスの予報時間とスレットス コアの関係。シーリングが600ftの場合。期間は2004 年6-7月。検証地点は全73空港。

捕捉率がやや低下し、改善はない。2005年1-2月で も空振り率は全閾値で大きく減少し改善されるが、 捕捉率は出現率の低い800ft以下でやや低下する(図 略)。

図6.3.12に予報時間とスレットスコアの関係を示 す。新ガイダンスは全予報時間において現ガイダン スを上回っている。ただ、新ガイダンスは予報時間 が進むにつれて精度の低下がみられる。図には600ft 閾値の場合を示したが、この傾向は他の閾値でも同 様である。新ガイダンスは3時間ごとに更新される。 よって、基本的には新しい初期値の予測を利用する 方がよい。

(3) 利用上の留意点

新ガイダンスの利用上の留意点を述べる。

新ガイダンスは精度が向上するものの、空振りを減らすように調整したため、出現率が低く予測が難しい低シーリングの捕捉率はほとんど改善されない。よって、低シーリングの兆候がみられた場合には、引き続き積極的な修正をお願いしたい。

 ⁵ ガイダンスはMSM 初期時刻の約2時間後に作成される ため、初期時刻の1時間後までの観測が学習に利用できる。
 57

② 時刻による層別化を廃止したため、新ガイダンスは時間的変化がやや緩慢になる。よって、例えば朝方に発生した低シーリングと日中における急激な解消といった現象の際に、実況や現象の寿命を考え、ガイダンス値にめりはりをつけて頂きたい。

6.3.5 TAF-S天気ガイダンス

TAF-S天気ガイダンスは短距離飛行用飛行場予報 (TAF-S)を支援する資料であり、MSMを利用して 2・15時間後までの飛行場の天気(晴れ、曇り、雨、 みぞれ、雪)および降水強度(弱、並、強)を予測 する。新TAF-S天気ガイダンスは、5km-MSMの運 用に合わせて1日8回の作成頻度となる。また作成手 法の一部変更も行い、精度向上を目指した。第6.3.3 項TAF-S視程ガイダンスで述べたように、視程ガイ ダンスはこの天気ガイダンスの判別結果を使って予 測式を選択する。よって、天気ガイダンスは視程ガ イダンスと整合が取れると共に、天気ガイダンスの 精度が視程ガイダンスの精度に大きく影響すること にもなる。ここでは、TAF-S天気ガイダンスの作成 手法の変更点を説明し、その精度を示す。

(1) 作成手法

現TAF-S天気ガイダンスはお天気マップ(萬納寺 1994)のアルゴリズムによって作成されていた。新 ガイダンスも同様にお天気マップ方式であるが、2 つの変更を行う。一つは雨雪判別に使用する地上気 温の変更で、もう一つは降水の有無を決める閾値の 変更である。

まず、地上気温の変更について説明する。お天気 マップでは雨雪判別に利用する地上気温として、 MSMの格子点値を直接使用している。しかし、MSM の地上気温はモデル地形の標高が実際と異なるなど の理由によりバイアスを含む。このバイアスの軽減 および精度向上を目指し、カルマンフィルター方式 で地上気温を求め(航空毎時気温ガイダンス7と呼ぶ)、 これを雨雪判別に利用する。この航空毎時気温ガイ ダンスは、5km-MSMの地上予報値を説明変数とし て航空官署の1時間ごとの気温を予測し、予報時間 は2-15時間である。作成手法は第6.3.7項で解説され ている航空気温ガイダンス、および松本・海老原 (2003)と同じである。精度に関しては、2005年1-2 月の平方根平均二乗誤差が全空港平均で約1.6℃で あるが、北日本と内陸の空港で誤差が大きく、海に 近い空港で小さい傾向がある。

次に降水の有無を決める閾値の変更について説明 する。お天気マップは、雨の場合にMSM1時間降水

表6.3.5 弱、並、強の降水を決めるMSM1時間降水量予 測の閾値(単位:mm)。()内は現ガイダンスの閾値。

	閾値(mm)	弱	並	強	
	雨	0.15(0.20)	1.5(1.67)	8.0(3.33)	
		0.04(0.05)	0.4(0.67)	3.0(1.33)	





図6.3.13 新・現天気ガイダンスの精度評価

本州日本海側の16空港における2005年1-2月での検証結 果。バイアス(雪雨)は雪と雨の2×2の分割表から求めた バイアススコア(雪の予測が過多の場合に1以上)、スキル スコア(降水種)は、雨・みぞれ・雪の3×3の分割表から 求めたスキルスコアである。どちらとも降水ありの予測が 当たった場合に限って計算している。スレット(降水)は 降水の有無のスレットスコア。

量予測が0.2ミリ以上、雪の場合に0.05ミリ以上で降 水ありとしている。今回、飛行場気象観測の現在天 気とMSM1時間降水量予測との比較を行い、降水強 度を含んだ降水の閾値を表6.3.5のように変更した。 弱~並の降水の閾値はやや小さく、強い降水の閾値 は大きくなる。なお、今回は5km-MSMの予報結果 の蓄積が少ないため10km-MSMを使って閾値を決定 している。今後5km-MSMの予報結果に基づいた、 閾値の再調整を行う予定である。

(2) 予測精度

新・現ガイダンスを飛行場気象観測の天気と比較 し、雨雪判別の精度を検証した結果を図6.3.13に示 す。ここでは、冬(2005年1-2月)に降水が多く、 かつ雨雪判別が重要な本州日本海側の16空港におい て精度評価を行った。バイアススコア(雪雨)は降 水ありの予想が当たった場合において、雪と雨の2 ×2の分割表から求めたバイアススコアであり、1以 上が雪の予測が過多であることを示す(みぞれは検 証に含めない)。航空毎時気温ガイダンスを使用した 効果により、雨雪判別のバイアススコアがほぼ1と なっている。現ガイダンスは雨となることがやや多 いが、新ガイダンスは偏りがなくなる。スキルスコ ア(降水種)は、降水ありの予測が当たった場合に おいて、雨・みぞれ・雪の3×3の分割表で計算した

58

⁷ NAPS 更新直後は天気ガイダンスにのみ用いるが、 将来は離陸用飛行場予報などに利用する予定である。

値である(巻末付録B参照)。判別精度の向上がみら れる。また、降水の有無のスレットスコアも上昇し ている。これは、降水の有無の閾値を調整したこと と、雨雪判別の精度向上が影響している(雨と雪で 閾値が異なるため雨雪判別の精度も降水の有無の精 度に係わる)。

なお、今回の閾値変更にもかかわらず、暖候期で は降水の有無のスレットスコアは向上せず同程度で ある(図略)。暖候期では10km-MSMと5km-MSM の降水特性がやや変化したことによる(第3.2節)と 考えられる。今後、5km-MSMの予報結果の蓄積を 待った閾値の再調整により、精度向上を図りたい。

6.3.6 TAF-S最大風速ガイダンス

(1) はじめに

短距離飛行用飛行場予報(TAF-S)の作成を支援す るため、予報時間2~15時間の毎時、前1時間内の最 大風速及びその風向を予測し、TAF-S最大風速ガイ ダンスとして1日4回配信している。2006年3月に予 定されるメソ数値予報モデル(MSM)の変更に伴い、 TAF-S 最 大 風 速 ガ イ ダ ン ス も 新 し い MSM(5km-MSM)を用いて作成するように変更する。 また、MSMが1日8回実行されるのに合わせて、ガ イダンスも1日8回配信される。

(2) 作成手法

TAF-S最大風速ガイダンスの作成手法は、アメダ ス地点を対象としたMSM最大風速ガイダンスと同一 である。作成手法の詳細は第6.2節を参照いただきた い。

(3) 予測特性と精度

2004年6-7月、2005年1-2月について実行された1 日4回の5km-MSMの予測値からTAF-S最大風速ガ イダンスを作成し、現行のTAF-S最大風速ガイダン スと予測特性や精度を比較した。係数の最適化に時 間を要することを考慮して2004年7月及び2005年2 月の結果を検証した。ここでは2005年2月の結果を 示す。2004年7月についても結果は2005年2月と同 様であった。

ガイダンスを作成している国内74空港平均の前1 時間内の最大風速の時刻別月平均値を図6.3.14に示 す。この図から空港の観測値は15時頃に最大値が出 現し、日中強く、夜間弱いという日変化がわかる。 5km-MSMでは現行のMSM(10km-MSM)に比べて 日変化はやや大きくなっているものの、観測値と比 べると小さい傾向がある。ガイダンスは、これらの MSMの誤差を補正しており、予測最大風速の平均値 は観測値とほぼ同じ日変化を示している。図6.3.15 は、5km-MSM、10km-MSMの地上風、及び



図 6.3.14 時刻別の前 1 時間内最大風速の月平均値。図 の凡例で 10G は 10km-MSM を用いたガイダンス、5G は 5km-MSM を用いたガイダンス、10M は 10km-MSM、5M は 5km-MSM、Obs は空港観測値を 示す



図 6.3.15 時刻別の前1時間内最大風速の RMSE。図の 凡例は図 6.3.14 と同じ。

バイアススコア(2005年2月)



図 6.3.16 最大風速ガイダンスの閾値別のバイアスス コア。図の凡例は図 6.3.14 と同じ。

5km-MSMを用いたガイダンス(5kmガイダンス)、 10km-MSMを用いた現行のガイダンス(10kmガイ ダンス)の平方根平均二乗誤差(RMSE)である。 5km-MSMは10km-MSMに比べて昼前から昼過ぎは RMSEが小さい。5kmガイダンスと10kmガイダン スのRMSEはほぼ同じである。

バイアススコア(図6.3.16)は、5kmガイダンス と10kmガイダンスで大きな差はなく、ほぼ1に近 い値となっている。スレットスコア(図6.3.17)に

-	X 0.0.0 加生X证X 1 / 文 X * 2 任你就女				
		現ガイダンス	新ガイダンス		
利用モデル		RSM	RSM		
統計手法		カルマンフィルター	カルマンフィルター		
予測要素		最高、最低	最高、最低、時系列		
	最高最低	今日と明日	今日と明日		
	時系列	なし	FT=06-51 (3時間毎)		
予測地点		国内空港	国内空港		
		バイアス項	バイアス項		
		RSM 地上気温	RSM 地上気温		
		RSM 地上東西風成分	RSM 地上西風成分		
	治田亦粉		RSM 地上東風成分		
祝明爱数		RSM 地上南北風成分	RSM 地上南風成分		
			RSM 地上北風成分		
			RSM 地上風速		
		RSM 中下層雲量	RSM 中下層雲量		

表 6.3.6 航空気温ガイダンスの仕様概要





図 6.3.17 最大風速ガイダンスの閾値別スレット スコア。図の凡例は図 6.3.14 と同じ。





の凡例は図 6.3.14 と同じ。

ついても5kmガイダンスと10kmガイダンスはほと んど同じ値となっている。

図6.3.18は閾値別の風向適中率である。閾値6m/s の場合、予測風速が6m/s以上の事例から適中率を求 めている。ここでは予測した風向が観測値に対して ±22.5°以内の場合を適中とした。5kmガイダンスの 風向適中率は10kmガイダンスとほとんど同じであ った。

(4) まとめ

2006年3月のMSMの変更に伴い、TAF-S最大風速 ガイダンスについても5km-MSMを用いて1日8回作 成されるようになる。5km-MSMを利用したガイダ ンスの予測精度、予測特性は10km-MSMを利用した ガイダンスとほぼ同じであることが確かめられた。 ガイダンスが1日8回、3時間毎に作成されるため、 より新しい初期値のMSMに基づいた予測値を利用で きるようになり、精度の向上が期待できる。

6.3.7 航空気温ガイダンス

(1) 変更点

2006年3月のNAPS更新に合わせて、飛行場予報 を支援するための航空気温ガイダンスを、アメダス 地点を対象としたRSM気温ガイダンスと同じ仕様に 変更し、精度向上を図る。

航空気温ガイダンスは、表6.3.6に「現ガイダンス」 として示した仕様で運用されており、運用開始以来 大きな変更はなかった。一方、RSM気温ガイダンス は、2003年1月にそれまでに報告されていた様々な 問題点を踏まえて大幅な改善が実施された(松本・ 海老原 2003)。航空気温ガイダンスでも、2003年1 月以前のRSM気温ガイダンスと同様に以下のような 問題を抱えていたため、今回これらの改善を図る。

- ・風の正負が原因で異常値が計算されることがある。
- ・係数変化の小さい地点があり、気温ベースの変化 に追随できないことがある。

2006年3月以降の航空気温ガイダンスの仕様を表 6.3.6の「新ガイダンス」に示す。新ガイダンスでは 地上風の説明変数を西風成分、東風成分、南風成分、 北風成分、及び風速の5つの項に分けたこと、地点 毎に係数の変化速度を決めるパラメータを再調整し て全地点で一定の係数変化速度を確保するようにし たこと、さらに3時間毎の時系列気温についても予 測できるようになったことが主な変更点である。新



図 6.3.19 航空気温ガイダンスの RMSE。図の凡例で NEW が新ガイダンス、OLD が現ガイダンス、RSM は RSM 地上気温を示す。max01、max02、min01、 min02 はそれぞれ 00UTC 初期値の当日最高気温、 翌日最高気温、翌朝最低気温、翌々朝最低気温を示 し、max11、max12、min11、min12 はそれぞれ 12UTC 初期値の翌日最高気温、翌々日最高気温、 翌朝最低気温、翌々朝最低気温を示している。

ガイダンスの仕様の詳細については松本・海老原 (2003)を参照していただきたい。

(2) 予測精度

2003年4月から2004年3月までの空港の気温観測 値及びRSMによる予測値を用いてカルマンフィルタ ーの各種パラメーターを最適化し、2004年4月から 2005年3月までのデータを用いて予測精度を検証し た。最高・最低気温ガイダンスの平方根平均二乗誤 差(RMSE)を図6.3.19に示す。RMSEは00UTC初期 値の当日最高気温(max01)、12UTC初期値の翌日最 高気温(max11)ではほぼ同等であるが、それ以外は 全て新ガイダンスの方が改善している。特に最低気 温のRMSEは新ガイダンスの方が0.1℃以上改善して いる。平均誤差は新・現ガイダンスともにほぼ0と なり、RSMのバイアスをほぼ完全に補正している(図 略)。図6.3.20には全予測の中で誤差が3℃以上であ った予測回数の割合(3℃はずし率)を示した。3℃ はずし率は12UTC初期値の翌日最高気温(max11)で ほぼ同じであるほかは、新ガイダンスの方が現ガイ ダンスより小さくなっており、精度が向上している。

図6.3.21は3時間毎の時系列気温の予測精度である。



図 6.3.20 全予測の内 3℃以上はずした割合。図の凡 例は図 6.3.19 と同じ。



図 6.3.21 00UTC 初期値のガイダンスと RSM 地上気 温の平均誤差と RMSE。図の凡例で Bias RSM は RSM 地上気温の平均誤差、Bias Guid はガイダン スの平均誤差、RMSE RSM は RSM 地上気温の RMSE、RMSE Guid はガイダンスの RMSE を示す。

RSM地上気温には夜間に高温バイアス、日中に低温 バイアスが見られるが、ガイダンスではこれらのバ イアスは取り除かれている。また、ガイダンスのRMSE は、全ての予報時刻についてRSM地上気温のRMSE より小さく、予報前半で1.5℃程度、予報後半でも2℃ 以下となっている。

参考文献

大林正典,2002:雲に関するガイダンス.平成14年度数

値予報研修テキスト,気象庁予報部,50-51.

- 工藤淳, 2004: 国内航空悪天GPV. 平成16年度数値 予報研修テキスト, 気象庁予報部, 58-62.
- 工藤淳,2005: SK通報のないC-PIREPに対する晴 れ・曇り判別法. 航空気象ノート第64号,気象庁 航空気象管理官,6-9.
- 高田伸一,1997:国内悪天予想資料のCB予測につい て.平成8年度航空気象予報技術検討会及び航空 気象予報研修,気象庁予報部,123-126.
- 高田伸一, 2004: TAF-S視程ガイダンス. 平成16年度 数値予報研修テキスト,気象庁予報部, 53-55.
- 細見卓也, 1999:雲水の予報変数化.平成11年度数値 予報研修テキスト,気象庁予報部, 52-57.
- 松本逸平, 海老原智, 2003: 気温ガイダンスの改善. 平成15年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 47-52.

6.4 毎時大気解析¹

6.4.1 はじめに

毎時大気解析は従来の毎時風解析を拡張して風と気 温の実況監視資料としたもので、2006年3月から運用を 開始する²。その仕様を表6.4.1に示す。作成手法は毎 時風解析と同様に、最適内挿法によりMSM予報値を 観測値で修正するというもので、詳細については酒井 (2001)及び西嶋(2004)を参照されたい。本節では毎時 風解析からの変更事項を中心に解説する。

6.4.2 気温解析の開始

(1) 気温解析に使用する観測値

毎時大気解析の気温解析で使用する観測値は、地上 解析ではアメダス気温、高層解析ではアメダス気温及 び航空機自動観測(ACARS)の気温である³。ただしアメ ダス気温観測値が高層の気温解析に与える影響は小さ く、高層気温解析値はACARS気温観測値と第一推定 値であるMSM気温予報値によってほぼ決まる。

ACARS観測値の分布例を図6.4.1に示す。ACARS データは航空路上あるいは空港周辺に多く分布し、高 度は航空機の巡航高度である300hPa付近に多い。空 港周辺では500hPaより下層の観測値も得られる。ただ し高度1,000ft以下の観測値は解析に使用しない。そ の理由は、高度1,000ft以下では観測高度として電波 高度計による対地高度が通報されるが、通報地点の標 高が不明なため、解析処理が必要とする観測点の気圧 が算出できないためである。

(2) 地上気温解析の事例

毎時大気解析における地上気温解析の例を図6.4.2 に示す。これは2005年2月23日00UTCに、日本海にあ る発達中の低気圧に向かって暖かい南西風が吹き込 み、関東地方でこの南西風と内陸の冷気塊との間に顕 著な収束帯が形成された事例である。第一推定値とし て用いたMSM予報値4(22日18UTC初期値の6時間 予報値)では関東平野に収束帯が存在しないのに対し、 解析値は収束帯を挟んで存在する大きな温度傾度を 適切に表現している。

(3) 高層気温解析の特性

高層の気温解析では観測値が少ないため、MSM予 報値が修正されない領域が広い。例として、前述した地 上気温解析の事例と同じ日時の舘野における気温鉛 直プロファイルを図6.4.3に示す。舘野は収束帯の冷気

1 西嶋 信

側にあり、ゾンデ観測値によると950hPa付近より下層が 冷気層になっている。解析値は地上を除いて第一推定 値として用いたMSM気温予報値に近い値となり、冷気 層の厚みを表現できていない。

次に高層気温解析値の統計的な特性を調べる。図 6.4.4は2005年8月一ヶ月間の00、12UTCの毎時大気 解析気温解析値及びMSM予報値(06,18UTC初期値 の6時間予報値)の、ゾンデ観測値に対する平方根平 均二乗誤差(RMSE)である(南鳥島を除く日本国内高 層観測地点の平均値)。ACARS観測値が上層に多い ため、解析値がMSM予報値を改善する度合いも上層 ほど大きいという傾向がある。一方、925hPaでは解析 値の方がMSM予報値よりもRMSEが大きい。これは図 6.4.5の模式図が示すように、逆転層が存在すると解析 値の誤差が大きくなる場合があるためである。逆転層付 近での気温解析値の利用には注意が必要である。

6.4.3 毎時衛星風の利用

気象衛星の画像から雲や水蒸気のパターンを追跡し て大気の移動を推定したものを衛星風と呼ぶ。衛星風 の観測値は250~300hPaの高度に最も多く存在する。 MTSAT-1Rでは毎時衛星風として一時間ごとの衛星風 を算出している(今井・橋本 2005)。毎時大気解析で は2006年3月の運用開始時からこのデータを使用する 予定である。

毎時衛星風を利用した解析の例を図6.4.6に示す。毎時衛星風を使うことで300hPaにおける風速30m/sの等風速線が三陸沖まで延び、強風軸がより明瞭に表現されている。このように、毎時衛星風の利用により特に300hPa付近で風解析値の精度向上が期待される。

6.4.4 強風時における地上風解析の精度向上

従来の毎時風解析の問題点として、アメダスでは強風 を観測しているにもかかわらずその周辺の地上風解析 値の風速が弱いことがあげられていた(佐々木 2005)。 これは、風解析値は解析格子で表現可能な数+kmス ケールを代表する風の流れを表すものであり、スケール



図6.4.1 2005年2月23日00UTC の毎時大気解析で使用され たACARS観測値の分布。左:水平分布(日本周辺)、右:鉛 直分布(全解析領域内)。

² 気象業務支援センターに対しては2005年7月1日から風解 析値を毎時大気解析の名称で配信している。2006年3月には 気温解析値も追加する予定である。

³ ゾンデは入電が解析開始時刻(正時20分)に間に合わない ため使用しない。

^{4 10}km・MSM予報値を5km格子に内挿したもの。以下の事例も同様。

表6.4.1 毎時大気解析の仕様

解析方法	地上:2次元最適内挿法 高層:3次元最適内挿法		
観測値	アメダス(風、気温) ウィンドプロファイラ、ドップラーレーダー(VVP風)		
_	ACARS、毎時衛星風、アメダス(気温のみ)		
	ACARSは解析時刻の前後15分、その他は正時の観測値のみを使用。		
第一推定值	解析時点における最新のMSM予報値(通常は02~04時間予報)		
解析要素	風(U, V成分)、気温。風と気温はそれぞれ独立に解析される。		
解析範囲	水平:MSMと同じ領域、5km格子 鉛直:約150hPaまで		
解析時刻	毎正時(計算開始は毎正時後20分)		
配信資料	表7.4.2参照。毎正時後30分を目処に配信		



図6.4.2 2005年2月23日00UTC 関東南部の地上風と地上気温。左:解析値、中:MSM予報値、右:観測値。等温線は 3℃間隔、矢羽は長い棒が2m/s。MSM予報値は22日18UTC初期値の6時間予報値。右図内の二重線は収束帯の位 置を示す。



図6.4.3 2005年2月23日00UTC 舘野の気温プロファイル。 太線:解析値、細線:MSM予報値、点:ゾンデ観測値。 MSM予報値は22日18UTC初期値の6時間予報値。

の小さい局地的な強風は表現できないためである。

毎時大気解析では解析格子が5kmに高解像度化され(後述)、モデル地形も細かくなるため、より小さなスケールの風を表現できるようになる。これに伴い、観測値の影響が及ぶ範囲の目安となる「観測値の重みが観測点付近の概ね半分になる距離(相関距離)」を、地上解析では従来の50km程度から25km程度に縮小する⁵。この変更により、格子点から遠い観測値の影響は従来より小さくなり、近い観測値の影響が相対的に大きくなる。そのため強風を観測した地点の近くでは従来より強く、弱風観測点の近くでは従来より弱い地上風解析値が得られる。

☑:MSM予報値

図6.4.4 毎時大気解析とMSM予報値の気温RMSE。 2005年8月、日本高層観測地点(南鳥島を除く)での平 均。MSM予報値は06,18UTC初期値の6時間予報値。



図6.4.5 逆転層付近で解析値に誤差が生じる場合 の模式図。黒太線:解析値、灰細線:MSM予報値、 黒丸:観測値、破線:真の気温プロファイル。

⁵ 地上風・地上気温とも同じ値を使用する。



図6.4.6 2005年8月9日12UTC 300hPa風解析値の等風速線(10m/s間隔)。左:毎時衛星風を使用した解析値、中:毎時衛星風を使用しない解析値、右:観測値(長い棒が10m/s)。観測値で矢羽の根元に×印があるのはウィンドプロファ イラまたはACARS、それ以外は毎時衛星風。

相関距離を縮小する効果を図6.4.7に示す。この図は 2005年9月6日00~12UTCのアメダスと地上風解析の 風速散布図である。この日は台風第14号が九州西岸を 北上し、広い範囲で強風が吹いていた。図6.4.7左図は 地上風解析値として5km格子・相関距離約25kmで解 析した値を、右図は10km格子・相関距離約50kmで解 析した値をそれぞれ使用している。5km格子の第一推 定値は10km格子の値を内挿したものなので、両図の 違いは主に相関距離の違いによるものである⁶。相関距 離を縮小することで、観測された風に近い地上風解析 値が得られることがわかる。

6.4.5 その他の変更

(1) 解析範囲の拡大

従来の毎時風解析では計算時間短縮のために解析 範囲を日本周辺に限定していた。新NAPSでは計算機 の能力が向上することに加え、毎時衛星風により広範 囲の観測値が得られることから、毎時大気解析では解 析領域をMSMと同じ領域まで拡大する。これにより、航 空分野など広範囲の解析値を必要とする利用者に対し て、より精度の高い解析値を提供できるようになる。

(2) MSMの水平分解能5km化・1日8回予報への対応

第一推定値となるMSMの水平分解能が5kmになるこ とにあわせて、毎時大気解析も5km格子で解析を行う。 またMSMの予報回数が従来の1日4回から8回に増え ることで、第一推定値として従来よりも予報時間が短く精 度のよいMSM予報値を使えるようになる。

(3) 航空用毎時解析

航空利用者向けの気象情報提供環境において、毎時 風解析の画像をwebにより提供している(工藤 2004)。 この画像は、解析値を鉛直2,000ft間隔、水平80km間 隔に内挿したGPVから作成している。2006年3月以降 は画像作成のためのGPVの水平格子間隔を40kmに 高解像度化する。気温解析値のwebでの提供は、気温



図6.4.7 地上風解析の風速と観測の風速との比較(2005年9月 6日00~12UTC)。左:5km格子・相関距離約25km、右:10km 格子・相関距離約50km。

解析値の有効性を調査した上で行う予定である。

6.4.6 まとめと今後の計画

従来の毎時風解析に対して解析要素への気温の追加、毎時衛星風の利用、水平分解能5km化などの拡張を行い、毎時大気解析という名称で2006年3月から運用する。シヤーラインや暖気・寒気移流の把握、数値予報と実況との比較等に有効利用していただきたい。

今後は2007年3月を目処に解析手法を3次元変分法 に変更し、ドップラーレーダー動径風の直接同化、地形 に応じた相関距離の調節などの改善を行う予定である。

参考文献

- 今井崇人,橋本徹,2005:衛星風.気象衛星センター 技術報告特別号(刊行予定).
- 工藤淳, 2004: 毎時風解析について. 航空気象ノート 第63号, 気象庁航空気象管理官,33-36.
- 酒井喜敏, 2001: 毎時下層風解析. 平成13年度数値 予報研修テキスト, 気象庁予報部,59-61.
- 佐々木洋,2005:毎時大気解析(地上風)の利用方法 と注意点.平成17年度量的予報研修テキスト,気象 庁予報部(刊行予定).
- 西嶋信, 2004: 毎時風解析. 平成16年度数値予報研 修テキスト, 気象庁予報部,63-65.

⁶ 解析格子が小さい方が格子位置が観測点に近いため解析 値が観測値に近づく効果も考えられる。

7.1 メソ数値予報1

メソ数値予報は防災気象情報の発表支援を目的とし、 大雨や強風を主たる予測対象とする。予報結果は格子 点値(GPV)で、新アデス(気象情報伝送処理システム) 端末が整備された官署向けにはアデスサーバに、それ 以外の官署には官署の端末に提供される(第2章)。新 アデス設置官署では、各官署からの要求に応じてアデ スサーバで作成された画像が統合ビューワにより端末 に表示される。他の官署においては、これまでと同様端 末ソフトウェアによる描画などを行う。

本節では、メソ数値予報の変更に伴い、予報結果の 利用にあたって改めて注意すべき点をメソ数値予報 GPVの概略と合わせて述べる。数値予報全般の利用の 仕方については永田(1994)や永田・萬納寺(1994)に詳 しく述べられており、メソ数値予報については藤田 (2004)にも述べられているので、適宜これらを参照して 理解を深めてほしい。なお、メソ数値予報に基づくプロ ダクトの一覧はその仕様と合わせ第7.4節に示される。

7.1.1 新しいメソ数値予報の活用

大雨をもたらすメソスケール現象には、発達した積乱 雲(空間スケールは十数km)、雲クラスター(数十km) やメソスケールの降水帯(数十~数百km)などがある。 これらの時間空間スケールは様々であるが、その本質 は背の高い湿潤対流であり、高精度な予報を行うため には雲物理過程を採用した高分解能非静力学モデル が必要である。数値予報モデルで表現可能な現象の空 間スケールは格子間隔によるが、今回水平分解能が 5kmに向上したことにより40km規模2の現象が視野に 入ってきた。時空間のずれを考慮する必要はあるが、現 象の表現や降水量ピーク値が改善されており(第3.3 節)、メソ現象の予測可能性が高まっていると考えてよ い。また、モデル地形や海陸分布はこれまでよりも現実 に近づき、これらに関連する海陸風や局地不連続線な どの発生や発達の予想、表現の改善が期待される。た だし、分解能5kmでは個々の積雲を解像しないので、 積乱雲の消長や降水系の生成、発達、衰弱を直接的に 予想できるわけではない。例えば加藤・小司(2006)は、 平成16年7月新潟・福島豪雨に見られた降水帯は、対 流セルが風上で次々と発生して形成された系であること を分解能1.5kmのシミュレーションで示した。分解能 5kmのモデルではまだこのような現象を直接的に表現 できないので、予測結果を解釈する際には留意する必 要がある。一方、鉛直分解能についても表7.1.1に見ら れる通り、各高度で少しずつ向上している。これにより現 象の表現力は高まるが、更新前と比べて、メソ降水系の

再現性に大きな違いを与えるほどではないだろう。

高分解能化に伴い、物理過程にも様々な変更が加え られている(第3.1節)。降水過程に関しては、水平分解 能に応じた調整を行っている。利用にあたって前述の 分解能向上による違いに気をつける必要がある。また、 地上気温と地上風の予測は放射過程や地表面過程の 変更によって大きく変わった。日変化をこれまでよりも明 瞭に表すことなど、特徴を十分理解した上で利用してほ しい。海面水温データには、これまでの数値予報課によ る水平分解能1度のデータを、海洋気象情報室による 水平分解能0.25度のデータ(MGDSST)に切り替えるた め、海水温分布が精密になって沿岸地域の地上要素 の予想が改善される(第3.4節)。

今回の更新により予報は高頻度化されて、6時間ごと から3時間ごとの提供となる。これにより最新の実況の変 化を初期値に取り込めるので、時間スケールが小さいメ ソスケール現象の予測には、これまで以上に効果的な 資料となるだろう。ただし、数値予報モデルだけでなく、 観測データや解析手法にも制約があり、予報初期でも 実況と適合しないことがある。このため、アメダス、ウィン ドプロファイラ、レーダー、衛星画像など高頻度の観測 データから擾乱の有無、降水の強さや広がりなど、予報 の妥当性を確認しつつ利用すべきである。一般に最新 の予報を使うことが原則であるが、実況との整合性に優 るのであれば前回予報(MSM,RSM)の利用も考慮して よい。また、前回および最新の予報の妥当性を評価で きない場合も、前回予報を考慮しつつ作業するとよいだ ろう。いずれの場合でも、予報モデルの妥当性の検討 結果をガイダンスなど応用プロダクトを補正する手がか りとして活用するとよい。

一方、予報時間、現象のスケールにもよるが、現在の 数値予報では警報クラスの現象の発生を適時適所に予 測できないことがある。従って防災情報の運用に際して は、予想されている現象だけでなく、より大きなスケール の環境場に基づくポテンシャルを評価する必要がある。 このために、数値予報と合わせて概念モデルやワーク シートを活用することが今後も有効であろう。

高度	5-km MSM	10-km MSM
成層圏 14000m(150hPa付近)	約700m	約900m
対流圈上部 9000m(300hPa付近)	約560m	約720m
上層 5500m(500hPa付近)	約440m	約560m
中層 3000m(700hPa付近)	約320m	約410m
下層 1500m(850hPa付近)	約220m	約280m
モデル大気最下層	40m	40m

¹ 藤田 司

²表現可能なスケールは格子間隔の5~8倍とされる。

要素	略号	対象高度	算 出 手 法 の 特 徴	
海面更正気圧	Psea	海面高度	気温減率0.5度/100mを仮定して、モデル大気下層の気圧を海面更正値に換算。	
地表気圧	Ps	モデル地表	気温減率0.5度/100mを仮定して、モデル大気下層の気圧をモデル地表の値に換算。	
風 (2成分)	U, V	地上10m	地表面フラックススキームを用い、地表の状態(温度、粗度、湿り度など)を考慮して、モデル 大気最下層(上空約20m)の値からモデル地表上空各高度の値を求める。	
気温	Т	地上1.5m		
相対湿度	RH	地上1.5m		
可降水量	TPW	適用なし	水蒸気量の鉛直積算値。	
降水量(相別)	SMQ[R,S,H]	地上	降雨量、降雪量、降霰量。	
降水量	Rain	地上	降水量(降雨量、降雪量、降霰量の総和)。	
上山下屋雪	CL[H,M,L]	適用なし	モデル面各層で相対湿度から雲量を診断、おおよそ、上層:100-500hPa、中層:500-850hPa、下	
エーー信云			層:850-940hPaと分けて、各層とも重なりを最大として見積もる(マキシマムオーバーラップ)。	
全雲量	CLA	適用なし	上中下層雲の重なりを最大として全雲量を見積もる(マキシマムオーバーラップ)。	

表 7.1.2 地表要素の対象高度と算出手法。

(備考) どの要素についても、座標変換のために水平内挿を施している。この際に、海陸の違いは考慮しない。

7.1.2 メソ数値予報GPV

本項では、新アデスが整備された気象官署で利用さ れるデータについて、更新前と異なる点を中心に述べる。 新アデスが未整備の官署などでも、以下で述べることは 概ね当てはまる。ただし、配信されるデータの仕様は、 配信回数、格子間隔、要素を含め、メソ数値予報更新 前(藤田 2004)と同様である。

メソ数値予報GPVは、地上GPV、上層GPVとも約 5kmの格子間隔(東西0.0625度、南北0.05度)で提供 される。これまで上層GPVは水平方向に間引いていた が、この処理は廃止する。また、鉛直層最上層を 500hPaから100hPaとしたので、地表データの他に16 層の気圧面データが利用可能になる。時間間隔は、地 上GPVは30分間、上層GPVは1時間である。

地上GPVには、海面更正気圧、地上風、地上気温な どが格納される。格納される要素とその算出手法を表 7.1.2に示した。格子点値の算出の際は、対象とする緯 度経度座標格子に対し、これを取り巻くモデル格子に おける値からの水平内挿を行う。従来は海上と陸上とで 特性が異なることを重視して海陸の別を考慮した内挿を 行っていたが、メソ数値予報では高分解能化により必要 性が低くなったので廃止した。地上GPVにおける風、気 温、相対湿度、雨雪の分類は、現実の地形や海陸分布、 地表面状態ではなく、モデル内の状態に即している。し かし、分解能の制約、標高や土地利用状況の基礎デー タの不確実さなどのために、現実の状態とモデルの状 態とは必ずしも一致しない。従って利用する際は系統誤 差の補正を考慮するべきである。降水量は、雨、雪、霰 (あられ)に分類して与えるとともに、その総和を地上降 水量としている。降水の分類は非静力学MSMの特徴 であり、雨雪判別や激しい対流の評価など利用法の発 展が期待される。雲量は引き続き相対湿度から見積もる。 この値は各格子の平均状態としての雲量であり、視程 内を見渡した目視地上観測による全雲量とは意味が違 う。なお、雲量の診断は940hPa以上の高度に限ってお り、それより低い雲や霧は対象としていない。

上層GPVはモデル大気の値の水平および鉛直内挿

によって作成される。鉛直p速度(ω)は、これまでと同 様に鉛直速度(w)からの診断で与える。標高が高い地 域や低気圧などの影響で気圧面高度が大きく下がって いる地域では、気圧面がモデル地表面の下になってし まうことがある。この場合有効なデータが存在しないが、 可視化の便宜のために適当な推定値を与えている3。こ れらの値を予報として利用することは適当でないので、 下層データを利用する場合は、必要により地表気圧と 比較して、参照している気圧面が地面の下でないことを 確かめるべきである。なお、鉛直p速度は地形の影響を 強く受けて、特に陸地上空で降水系とは必ずしも関係し ない分布となることに留意してほしい。また、更新前は 地表面下の水平風速には0を与えていたが、今回の更 新以降、適当な値を与えることにした(脚注参照)。地形 と流れの場の関係を調べる場合に誤って地面下データ を解析したり、これまでのモデルと比べ下層風の表現が 大きく変わったと誤解したりすることがないよう注意して ほしい。

参考文献

- 加藤輝之,小司禎教,2006:新潟・福島豪雨、福井豪 雨の高解像度非静力学モデルによる予測,気象庁 技術報告,気象庁,印刷中.
- 永田雅,萬納寺信崇,1994:利用上の留意点.平成6 年度数値予報研修テキスト数値予報課報告・別冊 第41号 合併号,気象庁予報部,97-111.
- 永田雅, 1994: メソスケール現象と数値予報. 平成6年 度数値予報研修テキスト 数値予報課報告・別冊第 41号 合併号, 気象庁予報部, 112-145.
- 藤田司, 2004: メソ数値予報と応用プロダクト. 平成16 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 38-43.

³ MSM の場合、気温は 0.5 度/100m の減率を仮定した外挿 値を与え、相対湿度はモデル大気最下層(上空約 20m)の混 合比と外挿した気温から求めた値とする。水平風速と鉛直流 にはモデル大気最下層の値を与える。なお RSM においては、 気温と湿数は同様だが、水平風速と鉛直流はこれまで通り0と する。
7.2 短期予報1

本節では数値予報プロダクトを利用する際の考え方に ついて、RSM プロダクトを例に説明する。利用に関する 全般的な留意事項については、永田・萬納寺(1994)に まとめられているので参照してほしい。ここでは特に重 要とおもわれる事項のみを取り上げた。

短期予報では RSM など解像度の高い数値予報モデ ルのプロダクトが支援資料として利用されることが多い。 この場合に重要であるのはモデルの解像度そのもので はなく、その解像度で表現可能な現象の空間スケール の方である。モデルは単一の格子点で低気圧や前線の ような大気現象を表現することはできないため、これらを 表現するには複数の格子点が必要になる。一般にモデ ルでは水平格子間隔の 5~8 倍程度の水平スケールを もつ大気現象からが表現可能であるとされている。つま り RSM だと約 100~160km の水平スケールをもつ、いわ ゆるメソ $\alpha ~ \beta$ スケール以上の現象が予測の対象とな る。ただし、ここで言う"表現可能"な現象というのは必ず しも"予測可能"であるということを意味しない。水平スケ ールが 160km 以上の大気現象であるからといって、常 に正しく予測できることが保証されているわけではない。

また一般に、地形や海面水温の効果など外力として 働くものに強く影響されている大気現象は、予測が比較 的しやすい。例を挙げると、谷筋に沿って吹く風や冷た い水面を吹き抜ける冷涼な空気塊の温度などである。こ のような事例では、総観スケールの大気現象の予測が 適切であれば、地形等の外力を受ける現象は比較的う まく予測できる場合が多く、逆に外力の支配があまり効 果をもたない事例(梅雨前線上の低気圧や積雲対流な ど時空間スケールの小さい現象が多い)では、たとえ総 観スケールの予測が正しくても現象の正確な予測は難 しい場合が多い。もちろん、外力を作る地形がモデルの 中でどのくらい適切に再現されているかにも注意する必 要がある。モデル地形が実際の地形と異なっていれば、 地形により影響を受ける現象は当然モデルの中では実 際とは異なる外力強制を受けているはずである。参考の ために、RSM と GSM (TL319) で表現されている日本付 近の地形を図 7.2.1、図 7.2.2 にそれぞれ示す。

さらに、数値予報天気図を見る際には現象の時間・空間スケールにも注意を払うことが重要である。これは、時間・空間スケールが小さい現象の正確な予測は不確かな場合が多いからである。空間スケールが小さい大気現象には時間スケールも小さいものが多い。つまり、小さい擾乱ほどその寿命は短い傾向があるということである。数値解析予報システムではデータ同化と呼ばれる観測データの取り込みを行っているが、大気現象の時間・空間スケールが小さいほど限られた観測システムで 捕捉することは困難である。観測で捕らえられなかった 現象は、数値予報モデル自らが生成するかもしれない。 また前述のように、外力に強制されない大気現象(時空間スケールの小さい現象に多い)の正確な予測は相対 的に難しい。観測システムで十分に捕捉されていない 可能性がある空間スケールの小さい現象の予測は不確 かであり、現象の位置や時刻を含めてその予測に対し ては誤差を考慮して利用する必要がある。

数値解析予報システムは常に最新の観測データを同 化しながら予測を行うため、一般的には最新の予測プロ ダクトの方が信頼性は高いと言える。しかし、数値予報 による予測は、すべての初期値に対して常に同じ精度 が保証されているわけではない。予測がやさしい場合も あれば難しい場合もある。予測が難しい例として、予測 結果が初期条件(初期値)に強く依存して決まる場合、 つまり初期時刻が変わって新しい資料となるたびに予 測が大きく変わる事例がある。このような予測には大き な誤差が含まれている可能性があり、予測の信頼性が 低い場合がある。このようなときには、最新の予測資料 だけに頼るのではなく、複数の初期時刻の資料を参考 にするなどして"予測の誤差"を考慮し、プロダクトを利 用することが重要である。特に外部強制の小さい現象 や時空間スケールの小さい現象には注意が必要であ る。

以上をまとめると次のようになる。

- RSM の予測対象となる低気圧や前線は、約 100~
 160km 以上の水平スケールをもつメソα~β以上の
 現象である。小さい現象に注目するときにはその空間スケールに注意しなければならない。
- 一般に総観スケールの大気現象予測が正しく行われている場合には、地形等の外力を受ける現象はそのスケールが比較的小さくてもうまく予測できる場合がある。一方、外力にあまり支配されない現象の予測は相対的に難しい。
- ・時空間スケールの小さい現象の予測は不確かであり、
 初期場にその現象が現れていない場合の正確な予測はさらに難しい場合が多い。
- ・原則として最新の予測プロダクトが最も信頼できると 考えられる。ただし、初期時刻ごとに予測結果の変動 が大きいときには、複数の初期時刻の資料を参考に するなどして"予測の誤差"を考慮するとよい。

参考文献

永田雅,萬納寺信崇,1994:利用上の留意点.平成6 年度数値予報研修テキスト/数値予報課報告・別冊 第41号,気象庁予報部,97-111.

¹ 北川 裕人



図 7.2.1 RSM の日本付近の地形標高(単位 m)。図中の海岸線はモデルの中の海陸分布とは異なっている。



図 7.2.2 図 7.2.1 と同じ。ただし、GSM (TL319)の地形標高。

7.3 週間予報1

第7.2節の短期予報で述べたように、数値予報による 予測はすべての初期値で常に同じ精度というわけでは ない。週間予報の主な対象である総観スケール現象は、 その力学的な決定論的予測限界が2週間程度であると 言われており、初期値に摂動を与えるアンサンブル予 報の利用が有効である。アンサンブル予報では、初期 値に含まれる誤差に起因する不確定をメンバーのばら つき度合いから推定することにより、予測の信頼性を評 価することができる。また、アンサンブルメンバー各々の 予測結果を見ることにより、複数の予測シナリオを得るこ とも可能である。この場合、複数のシナリオ予測に関す る適切な確率分布を求めるためには、アンサンブルメン バー数の拡充が重要である。2006年3月に予定してい る週間アンサンブル予報メンバーの拡充では、メンバー 数を従来の 25 から 51 に倍増する計画である(第 5.4 節 参照)。週間アンサンブル予報の利用に関しては、経田 (2002)などを参照してほしい。

ー般に、アンサンブルに用いられる予報モデル(現行 では T106 または TL159、格子間隔は約 1.125°に相

当)は計算機資源の制約上、決定論的予測モデル(現 行の GSM では、水平解像度が TL319、格子間隔約 0.5625°のモデルに該当)と比較して水平解像度を十 分に高くできない場合が多い。地形や海面水温など外 力として働くものに強く影響される現象は数値予報では 比較的表現しやすいが、この場合にはモデルの中で外 力が正しく再現されているかどうかが重要になる。参考 のため、図 7.3.1 に NAPS-8 運用開始時に導入を予定 する新しい週間アンサンブル予報モデル(TL159)の地 形(日本付近)を示した。現行の週間アンサンブル予報 に用いられるモデルの水平解像度は決定論的予測モ デルと比較しても十分とは言えず、下部境界条件となる 海面水温についてもモデルの水平解像度でしか考慮 できない。今後モデルの解像度が増強された場合でも、 実際の地形等がモデルの中でどの程度再現できている かについて常に意識する必要がある。

参考文献

経田正幸,2002: 週間アンサンブル予報. 平成14年度 数値予報研修テキスト,気象庁予報部,30-34.



図 7.3.1 NAPS-8 で導入を予定している週間アンサンブル予報モデル(TL159)の日本付近の地形標高(単位 m)。図中の海 岸線は、モデルで実際に表現される海陸分布とは異なっている。地形標高は NAPS-7 のモデル(T106)とは異なるので注 意。

1 北川 裕人

7.4 プロダクトと配信スケジュール1

7.4.1 東日本 ADESS 更新後のプロダクト

2005年10月の東日本 ADESS 更新に伴い東日本 各気象官署でのプロダクト利用方法は、配信された データを L-ADESS 端末に処理して表示する形態か ら、新 ADESS サーバにリクエストして統合ビュー ワで処理・作成した画像を各気象官署端末で表示す る形態に変更される。

各気象官署まで GPV データ等を配信しない方法 としたことにより、新 ADESS サーバ上で利用でき る各予報モデルのデータはこれまでと比べて大幅に 拡充され、数値予報ルーチンで出力するオリジナル データとほぼ同等の空間分解能、予報時間間隔、レ ベル、要素のデータが気象官署から利用可能となる。 例えば、日本全域のデータが参照可能になるととも に、メソ予報では地上データが 30 分間隔の時間分 解能で参照することができる。また、週間アンサン ブル予報では各メンバー予報値が参照可能となる。

ガイダンスデータはこれまでと同じ内容の電文デ ータが統合ビューワでの図作成に使用される。FAX 図は PNG 画像として送信されて統合ビューワで閲 覧できる。なお、レーダーエコー合成 FAX 図、極東 地上解析用 FAX 図、北半球 500hPa 高度半旬平均・ 偏差図が廃止される。西日本 L-ADESS 向けプロダ クトは、上記 FAX 図が廃止される他はこれまでと同 じである。

7.4.2 NAPS 更新後のプロダクト

2006 年 3 月の NAPS 更新に伴って、防災気象情 報支援強化を目的にメソ予報の1日8回運用(15 時間予報)、航空プロダクト拡充のため 06、18UTC 初期値での全球予報(36時間予報)を開始する予定 である。また週間予報の精度向上を目的に、週間ア ンサンブル予報モデルのメンバー数を 25 メンバー から 51 メンバーに拡充する予定である。2007 年度 にはメソ予報の予報時間延長(03、09、15、21UTC の1日4回は33時間予報)及び新全球モデルの運 用開始を予定している。東日本 ADESS への配信プ ロダクトもこれらの数値予報モデルの拡充を随時反 映する予定である。なお、西日本 L-ADESS 向けプ ロダクトは 2007 年度末の ADESS 更新時まで現在 と変わらず、メソ予報プロダクトの配信回数も4回 のままである。新全球モデルの運用開始以降に利用 可能となる主要なモデルの解析・予報 GPV データ の仕様をまとめて表 7.4.2 に示す。但し、データの 細部については今後見直しがありうる。

7.4.3 プロダクト配信スケジュール

東日本 ADESS 更新後及び NAPS 更新後の主要プ ロダクトの ADESS への送信完了時刻を表 7.4.1 に 示す。但し、これは現時点でのモデル計算時間等に もとづく見積もりで運用開始後に変更がありうる。

東日本 ADESS 更新後の送信完了時刻は更新前と とほぼ同じである。NAPS 更新後の送信完了時刻は、 メソ予報では現状とほぼ同じ、領域・全球予報及び 波浪予報は現在より 30~40 分早まる予定である。 2007 年度に新全球モデルの運用を開始しても送信 完了時刻はそのままの予定である。メソ予報(33時 間予報)については、初期時刻+2時間 30 分での配 信完了を予定している。

7.4.4 ルーチン運用スケジュール

2007 年度に予定されている新全球モデル運用開 始後の数値予報ルーチンの運用スケジュールを図 7.4.1 に示す。図中のルーチンAではメソおよび全 球解析・予報、波浪予報、高潮予報の数値予報モデ ルが実行される。図中の解析予報で示す枠は、破線 の左が解析、右が予報計算の割当てである。プロダ クトで示す枠は、全球速報解析・予報のプロダクト 作成・発信である。メソ予報、波浪予報および高潮 予報のプロダクト作成・発信は、各予報計算の枠内 に含まれる。ルーチンBでは、週間/台風/1ヶ月 /8ヶ月アンサンブル予報、海洋同化/エルニーニ ョ予測、エーロゾル/オゾン/CO2解析予測及び毎 時大気解析等の各種ルーチンが実行される。

表 7.4.1 NAPS から ADESS への主要データの送信完 了時刻(初期時刻からの相対時間)

	東日本 ADESS	NAPS
	更新後	更新後
メソ予報 (15 時間予報)	+2 時間 10 分	+2 時間 10 分
メソガイダンス (15 時間予報)	+2 時間 10 分	+2 時間 10 分
領域予報 (51時間予報)	+4 時間 40 分	+4 時間
天気予報 ガイダンス	+4 時間 40 分	+4 時間 10 分
全球予報 (84 時間予報)	+5 時間 10 分	+4 時間 30 分
波浪予報 (84 時間予報)	+5 時間	+4 時間 30 分



図7.4.1 新全球モデル運用開始後のNAPSの運用スケジュール 横軸は時間(UTC)、縦軸は使用ノード数

データセット名	格子間隔 東西×南	北	要素:[層]	予報時間 (h:hour)	時間間隔 (h:hour)
毎時大気解析	0.0625°	0.05°	U, V, T:[地上, 975, 950, 925, 850, 700, 500, 300]	-	-
毎時風解析 航空用	40km	40km	U, V, T, TURB:[FL010-FL450/20]	-	-
MSM 地上予報値	0.0625°	0.05°	U, V, T, RH, TPW, CLA, CLL, CLM, CLH, Psea ,Ps, Rain, SMQR, SMQS, SMQH	15h/33h	0.5h
MSM P面予報値	0.0625°	0.05°	U, V, OMG, T, RH, Z, CVR, CWC:[P16]	15h/33h	1h
MSM 予報值 航空用	40km	40km	P:[圈界面], Psea, U, V, T, RH, Rain, Csig(積乱 雲量,中,下層雲量):[地上] U, V, T, RH, CWC, Turb:[FL010-FL550/20]	15h	1h
GSM アジア域 地上予報値	0.25°	0.2°	U, V, T, RH, Ps, Psea, Rain, CLA, CLH, CLM, CLL	84h/192h	1h/3h
GSM アジア域 P面予報値	0.25°	0.2°	U, V, OMG, T, Z, RH, CWC, CVR:[P16], VOR:[850, 700, 500]	84h/192h	3h/6h
GSM 全球 地上予報値	1.0°	1.0°	U, V, T, RH, Ps, Psea, Rain, CLA, CLH, CLM, CLL	84h/192h	3h/6h
GSM 全球P面 P面予報値	1.0°	1.0°	U, V, OMG, T, Z, RH, CWC, CVR:[P16+70], VOR:[850, 700, 500]	84h/192h	3h/6h
GSM太平洋域 予報值 航空用	0.5°	0.5°	Ps, Psea, RAIN, CLA, CLH, CLM, CLL:[地上] U, V, T, Z:[地上+P12] RH:[地上, 1000, 925, 850, 700, 500, 400, 300] OMG:[850, 700, 600, 500, 400, 300] CBtop, Z, U, V, T: [最大風, 圈界面] VSW:[700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100]	24h	3h
GSM 全球 予報值 航空用	1.0°	1.0°	CBtop, Z, U, V, T:[最大風,圈界面] VSW:[700, 600, 500, 400, 300 ,250, 200, 150, 100]	36h	6h
週間アンサンブル 地上予報値 (日本域)	0.5625°	0.5625°	U, V, T, RH, Psea, Ps, Rain, CL A, CLH, CLM, CLL	216h	6h
週間アンサンブル P面予報値 (日本域)	0.5625°	0.5625°	U, V, OMG, T, Z, RH, CWC, CVR:[P12] VOR:[850, 700, 500]	216h	6h
週間アンサンブル 地上予報値 (北半球)	2.5°	2.5°	U, V, T, RH, Psea, Ps, Rain, CLA, CLH , CLM, CLL	216h	6h
週間アンサンブル P面予報値 (北半球)	2.5°	2.5°	U, V, OMG, T, Z, RH, CWC, CVR:[P12] VOR:[850, 700, 500]	216h	6h

表7.4.2 新全球モデル運用開始後のアデスサーバに送信するGPVデータの仕様

※層の略記 P12:[1000, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100]hPa,

P15:P12+[950, 900, 800]hPa, P16:P15+975hPa, P:気圧面, FL:飛行高度

要素の略記 U:風速東西成分, V:風速南北成分, OMG:鉛直速度, T:気温, RH:相対湿度, Psea:海面更正気圧, Ps:地上気圧, Z:高度, VOR:渦度, CLA:全雲量, CLH:上層雲量, CLM:中層雲量, CLL下層雲量, CVR:各層雲量, CWC:雲水量, Turb:乱気流指数, VSW:鉛直シアー, CBtop:積乱雲頂高度, Rain:降水量, SMQR:降雨量, SMQS:降雪量, SMQH:降霰量,TPW:可降水量

	略語	完全形	訳または説明	
	ACARS	Aircraft Communications Addressing and	空地デジタルデータリンクシステム	
		Reporting System		
	ADESS	Automated Data Editing and Switching	気象情報伝送処理システム	
		System		
	AMSR-E	Advanced Microwave Scanning Radiometer	Aqua(EOS-PM)衛星に搭載の改良型マイクロ波放射	
		for EOS	計	
	AMSU-A	Advanced Microwave Sounding Unit-A	気温鉛直分布を主な対象とした改良型マイクロ波探	
			查計	
	Aqua	Aqua	米国の午後軌道地球観測衛星(EOS-PM)	
	ATMet センター	Air Traffic Meteorological センター	気象庁航空交通気象センター	
	ATOVS	Advanced TIROS Operational Vertical	改良型 TIROS 実用型鉛直探查計	
		Sounder		
	BGM 法	Breeding of Growing Mode 法	成長モード育成法	
	BUFR	Binary Universal Format for the	二進形式汎用気象通報式	
		Representation of Meteorological Data		
	CFL 条件	Courant-Friedrichs-Lewy 条件	数値予報モデルを安定に積分するための時間間隔を	
			決定するときに考慮すべき一つの条件	
	CGI	Common Gateway Interface	Web サーバが、クライアントからの要求に応じて、プロ	
			グラムを起動するための仕組み	
	COLA	Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies	コロンビア大学海洋地表大気研究所	
	DKRZ	Deutsches Klimarechenzentrum	ドイツ気候計算センター	
	DMSP	Defense Meteorological Satellite Program	米空軍の軍事気象衛星	
	ECMWF	European Centre for Medium-Range	欧州中期予報センター	
		Weather Forecasts		
	EOS	Earth Observing System	米国航空宇宙局の地球観測システム	
	ERS	European Remote-sensing Satellite	欧州リモートセンシング衛星	
	FTP	File Transfer Protocol	ファイル転送プロトコル	
	GLCC	Global Land Cover Characterization	全球土地被覆特性データ	
			米国地質調査所が公開している、緯度経度30秒メッ	
	G3 C3		シュの土地利用状況のデータセット	
	GMS	Global Meteorological Satellite	日本の静止気象衛星	
	GOES	Geostationary Operational Environmental	米国の静止現業東現衛星	
	CDC	Satellite	へ地球測点システル	
	GPS	Global Positioning System	主地球側位シスノム	
	GADG			
	GraDS	Grid Analysis and Display System	コロンビノ人子御伴地衣人気研先別(COLA)で開発 された故ス報転事売システム	
	CDIR	Criddod Binowy	これに相手伸行なホンスノム	
	CSM	Clobal Spectral Medal	二座形式宿丁示員村	
	GEODON	Child Divid Flore Male		
	GIOPO30	Global Digital Elevation Model	王球院向ノーク 国土地理院の半国地質調本託ねどがましめた靖南奴	
		with a norizontal grid spacing of 30 arc	国土地理所下不国地員調査別などかまとのに構度推 南 30 動メッシュの地形データセット	
	НТТР	Hymor Toxt Transfor Protocol	ス ou カイフィーシンセルワノ ク ビンド Wob サーバレクライアントの問における信却の送承信	
	11111	119per 1ext 11ansier 11000001	に用いられるプロトコル	
	ICAO	International Civil Aviation Center	国際民間航空機関	
-	-0110			

略語	完全形	訳または説明
KF スキーム	Kain-Fritsch scheme	積雲対流パラメタリゼーションの一つ
JMA	Japan Meteorological Agency	気象庁
LAN	Local Area Network	構内通信網
LIDEN	Lightning Detection Network System	雷監視システム
MDCDS	Meteorological Data Collect and Distribute	気象情報収集·提供装置
	System	
ME	Mean Error	平均誤差
MGDSST	Merged satellite and in-situ data Global	全球日別海面水温解析
	Daily Sea Surface Temperature	気象庁地球環境・海洋部海洋気象情報室が作成した
		水平解像度 0.25 度の高解像度海面水温解析値
MIME	Multipurpose Internet Mail Extension	電子メールの拡張書式を定める規格
MODIS	Moderate Resolution Imaging	甲分解能撮像分光放射計
MCC	Spectroradiometer	信 由 宁 三 年 年 日 七 1 / 月 一
MSC	Meteorological Satemite Center	X1家川 X1家 南生 ビンク 写 免 庁 - い 粉 値 予 起 エ デ ル
	Melti for stime 1 Transment Catellite 1D	
MISALIK	Numerical Analysis and Prediction System	
NAFS	Numerical Analysis and Frediction System	X(家) 数 件竹 「報ンヘノム 白 秋 二 培 四 定 合 業
NEGDIG	Natural Environment Research Council	日
NESDIS	National Environmental Satellite, Data, and	木国泉現開生·貝科旧報向
NFS	Network File System	ネットワークファイルシステム、UNIX 系システムにお
		けるファイル共有システム
NOAA	National Oceanic and Atmospheric	米国海洋大気庁
	Administration	
NuSDaS	Numerical Prediction Standard Data-set	数値予報標準データセットシステム
	System	
QuikSCAT	Quick Scatterometer	散乱計 SeaWinds を搭載した衛星
RMSE	Root Mean Square Error	平方根平均二乗誤差
RSM	Regional Spectral Model	気象庁領域スペクトルモデル
RSMC	Regional Specialized Meteorological Center	地域特別気象センター
SAN	Storage Area Network	ストレージエリアネットワーク。記憶装置とコンピュータ
		間を結ぶ高速なデータのためのネットワークのこと
SeaWinds	SeaWinds	マイクロ波散乱計(QuikSCAT 衛星に搭載)
SiB	Simple Biosphere	植物圏モデル
SMP	Symmetric Multiple Processor	対称型マルチブロセッサ。複数のブロセッサが対等に
COMU		処理を行うこと
SSM/1	Special Sensor Microwave / Imager	マイクロ波成射計
SSI SV)+:	Simular Victor 1	体団小価
		行来:>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>
		文坦離飛11/1/元11/汤」/報 信明離恐行用恐行視子却
1AF-0 TDD	IAF 5 Disch Body Tomporature	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~
I DD	Diack Douy Temperature	マーネート
THOPPEN	The Observing Createry Development	▲四ジナ削乳退地球観側衛星(LUS-AM) 知測システル研究・予測可能研究除計画 世界をある
THURPEX	Ine Observing System Kesearch and	戦例シクノム4町九・ア側り能性夫厥計画。世界気家 継期が由心しなって行なわれている国際プロジュタト
	r redictability Experiment	1阪房がすいになって11は474という国际ノロンエクト。

略語	完全形	訳または説明	
TIROS	Television and Infrared Observation Satellite	可視赤外観測衛星	
TMD	Targeted Moisture Diffusion	適応水蒸気拡散	
TMI	TRMM Microwave Imager	TRMM マイクロ波観測装置	
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission	熱帯降雨観測衛星	
TYM	Typhoon Model	気象庁台風モデル	
UNIX	UNIX	計算機の代表的なオペレーティングシステムの一つ	
WAFC	World Area Forecast Center	世界空域予報中枢。国際民間航空機関(ICAO)により	
		設立された。	
WAFS	World Area Forecast System	世界空域予報組織	
WEB サーバ	Web Server	WWW システムで、クライアントからの要求に応えて情	
		報を送信するコンピュータ	
WWW	World Wide Web	インターネットやイントラネットで標準的に用いられるド	
		キュメントシステム	

B.1 平均誤差(Mean Error)

予報の平均的な偏りを示す指標で、系統誤差または バイアスを示すために使われる。一般的に ME と記され ることが多く、次の式で定義される。

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (x_i - a_i)$$

但し、Nは標本の数、xは予報値、aは真値である。数 値予報では、真値として客観解析値や観測値が用いら れることが多い。

ME が 0 に近いほど、予報の平均的な偏りが小さいことを示す。

B.2 平方根平均二乗誤差(Root Mean Square Error)

予報誤差の大きさを示す指標であり、一般的に RMSEと記される。前項で示された表記を用いて、次の 式で定義される。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (x_i - a_i)^2}$$

RMSE が小さいほど、予報の精度が良いを示す。

B.3 アノマリー相関

気候値(または平年値)からのずれを平年偏差(アノマ リー)と定義する。アノマリー相関は、予報と解析の平年 偏差の相似の程度を示す指標であり、それぞれの平年 偏差の相関係数で定義される。cを気候値とし、その他 の表記は第 B.1 項に従う。

アノマリー相関 =
$$\frac{\sum_{i=1}^{N} (X_i - \overline{X}) (A_i - \overline{A})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} (X_i - \overline{X})^2 \sum_{i=1}^{N} (A_i - \overline{A})^2}}$$

但し、

$$X_i = x_i - c_i, X = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} X_i, A_i = a_i - c_i, A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} A_i.$$

である。

アノマリー相関の最小値は-1、最大値は 1 であり、予報と解析の空間パターンが一致している場合には1となり、逆に全くパターンが反転している場合には-1となる。

B.4 スプレッド

アンサンブル予報のメンバーの広がりを示す指標であり、一回のアンサンブル予報の分散の統計期間中の平均の平方根で定義される。

スプレッド=
$$\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}\left(\frac{1}{M}\sum_{m=1}^{M}(x_m-\overline{x}_n)^2\right)}$$

但し、*M*は一回のアンサンブル予報でのメンバー数、 *N*は統計期間中に行われたアンサンブル予報の数を 表し、*x*は予報値、*x*はアンサンブル平均値である。

アンサンブル予報のスプレッドは、アンサンブル平均のRMSEと同程度であることが好ましいとされている。

アンサンブル予報の検証についての詳細は、高野 (2002)を参照されたい。

B.5 カテゴリー検証 B.5.1 分割表

ここでは、最も単純な2 つの基準を用いた2×2の分 割表を用いたカテゴリー検証について説明する。基準 は、予報と実況のそれぞれに一つずつ設定することが できるが、数値予報の検証の場合には同じ基準を用い ることがほとんどである。分割表は、予報と実況がそれぞ れ基準を満たす(「あり」)頻度と満たさない(「なし」)頻 度から作成される(表 B.5.1)。各スコアは、表 B.5.1の表 記を用いて定義される。

表 B.5.1 2×2 の分割表。FO,FX,XO,XX はそ れぞれの頻度数を表す

		実	況
		あり	なし
之.却	あり	FO	FX
1、共区	なし	XO	XX

但し、N=FO+FX+XO+XX とする。

B.5.1 適中率

予報が適中した確率を示す指標であり、次のように定 義される。

適中率 =
$$\frac{(FO + XX)}{N}$$

適中率は0から1の値をとり、1であるほど予報の精度 が良いことを示す。

B.5.2 空振り率

予報では「あり」であったが、実況では「なし」であった空振りの程度を示す指標であり、次のように定義される。

空振り率 =
$$\frac{FX}{(FO + FX)}$$

空振り率は0から1の値をとり、0に近いほど空振りが 少ないことを示す。

B.5.3 見逃し率

実況では「あり」であったが、予報では「なし」であった 見逃しの程度を示す指標であり、次のように定義され る。

¹本田有機

見逃し率 =
$$\frac{XO}{(FO + XO)}$$

見逃し率は0から1の値をとり、0に近いほど見逃しが 少ないことを示す。

B.5.4 捕捉率

実況で「あり」だったときに、正しく「あり」と予報されて いた確率を示す指標であり、次のように定義される。

捕捉率 = $\frac{FO}{(FO + XO)}$

捕捉率は0から1の値をとり、1に近いほど予報の精 度が良いことを示す。また、捕捉率が1に近いことは見 逃しが少ないことも意味するが、空振りの頻度を推定す ることは出来ない。

B.5.5 バイアススコア

実況の「あり」の頻度に対する予報の「あり」の頻度の 比を示す指標であり、次のように定義される。

バイアススコア =
$$\frac{(FO + FX)}{(FO + XO)}$$

最小値は 0、最大値は無限大である。予報と実況でそ れぞれの基準を満たす頻度が一致する場合1となる。

B.5.6 スレットスコア

基準を満たす適中(FO)にのみ着目して予報精度を評価する指標で、次のように定義される。

スレットスコア =
$$\frac{FO}{(FO + FX + XO)}$$

実況の「あり」の頻度に対して「なし」の頻度が非常に 大きい基準について検証する場合、適中率では予報 「なし」で実況「なし」の適中の頻度(XX)にスコアが大き く左右されてしまうことがある。スレットスコアを用いること で、(XX)の影響を排除し、上のような基準を用いた検証 においても予報の精度を評価することができる。

スレットスコアは0から1の値をとり、1に近いほど予報 の精度が良いことを示す。

B.5.7 スキルスコア

スキルスコアとは、ランダム予測による適中を除いて評価する指標を示す一般的な呼称である。ここでは、 Heidke のスキルスコアと呼ばれるものを紹介する。

Heidkeのスキルスコアは最も代表的なスキルスコアで あり、ランダム予測による適中数を除いた適中率として 定義される。

$$X \neq \mathcal{N} X \exists \mathcal{T} = \frac{(FO + XX) - Sc}{N - Sc}$$

但し、S_cはランダム予測による適中数を示し、

$$Sc = \frac{(FO + XO)}{N} \times (FO + FX) + \frac{(FX + XX)}{N} \times (XO + XX)$$

である。

スキルスコアが0よりも小さい場合には、予報精度がランダム予測よりも悪いことを示す。

本研修テキストでは 3×3 の分割表を用いたスキルス コアを用いており、この場合は次のようになる。分割表は 3 つのカテゴリーから作成される(表 B.5.2)。

$$x \neq N \\ x \exists r = \frac{(F_1 O_1 + F_2 O_2 + F_3 O_3) - S_0}{N - S_0}$$

但し、

$$N = \sum_{j=1}^{3} \sum_{i=1}^{3} F_i O_j$$

$$Sc = \frac{(F_1 O_1 + F_2 O_1 + F_3 O_1)}{N} \times (F_1 O_1 + F_1 X_2 + F_1 O_3)$$

$$+ \frac{(F_1 O_2 + F_2 O_2 + F_3 O_2)}{N} \times (F_2 O_1 + F_2 O_2 + F_2 O_3)$$

$$+ \frac{(F_1 O_3 + F_2 O_3 + F_3 O_3)}{N} \times (F_3 O_1 + F_3 O_2 + F_3 O_3)$$

である。

また、本研修テキストでは使われていないが、スキルス コアにはエクイタブルスレットスコア(Equitable Threat Score)と呼ばれるものもあり、ランダム予測の適中数を 除いたスレットスコアとして定義される。両スキルスコアの 比較等については、本田(1998)を参照されたい。

表B.5.2 3×3の分割表。FiOiはそれぞれの頻度数を表す。

		実況		
		O_1	O_2	O_3
	\mathbf{F}_1	$F_1 O_1$	$F_1 O_2$	$F_1 O_3$
予報	F_2	${ m F}_2 { m O}_1$	${ m F}_2 { m O}_2$	$F_2 O_3$
	\mathbf{F}_3	$F_3 O_1$	$F_3 O_2$	$F_3 O_3$

参考文献

高野清治, 2002: アンサンブル予報の利用技術. 気象 研究ノート第 201 号, 73-103.

本田有機, 1998: 雨の統計的検証. 平成 10 年度数値 予報研修テキスト, 気象庁予報部, 30-40.