

第1章 概要¹

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か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ソ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

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)

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 ノード) × 2 (数値予報業務用、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 × 2 + 6.08 Tflops × 1)
主記憶容量	640 Gbyte	13.1 Tbyte (5.0 Tbyte × 2 + 3.1 Tbyte × 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)

¹ 竹内 義明(第 1.1、1.2、1.4 節)、林 久美(第 1.3 節)

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 第一推定値 水平解像度 水平格子点数 鉛直層数 解析時刻	4次元変分法 解析時刻の3時間前を初期値とする予報値 0.5625° (1.875°) 640 × 320 (192 × 96) 40層 (地上 ~ 0.4hPa) 00, 06, 12, 18UTC	4次元変分法 解析時刻の3時間前を初期値とする予報値 0.5625° (1.125°) 640 × 320 (320 × 160) 40層 (地上 ~ 0.4hPa) 00, 06, 12, 18UTC	4次元変分法 解析時刻の3時間前を初期値とする予報値 0.1875° (0.750°) 1920 × 960 (480 × 240) 60層 (地上 ~ 0.1hPa) 00, 06, 12, 18UTC	全球モデル・週間アンサンブル予報モデル・台風モデルの初期値 海洋データ同化システムの入力データ
領域解析	解析手法 第一推定値 水平解像度 水平格子点数 鉛直層数 解析時刻	4次元変分法 解析時刻の3時間前を初期値とする予報値 20km (40km) 325 × 257 (163 × 129) 40層 (地上 ~ 10hPa) 00, 06, 12, 18UTC	4次元変分法 解析時刻の3時間前を初期値とする予報値 20km (40km) 325 × 257 (163 × 129) 40層 (地上 ~ 10hPa) 00, 06, 12, 18UTC	廃止予定	領域モデルの初期値
メソ解析	解析手法 第一推定値 水平解像度 水平格子点数 鉛直層数 解析時刻	4次元変分法 解析時刻の6時間前を初期値とする予報値と解析時刻の3時間前を初期値とする予報値 10km (20km) 361 × 289 (181 × 145) 40層 (地上 ~ 10hPa) 00, 06, 12, 18UTC	4次元変分法 解析時刻の6時間前を初期値とする予報値 10km (20km) 361 × 289 (181 × 145) 40層 (地上 ~ 10hPa) 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 UTC	非静力学4次元変分法 解析時刻の6時間前を初期値とする予報値 (未定) 5km (10km) 721 × 577 (361 × 289) 50層 (地上 ~ 21800m, 約40hPa) 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 UTC	メソ数値予報モデルの初期値
全球海面水温解析	解析手法 第一推定値 水平解像度 水平格子点数 鉛直層数 解析時刻	最適内挿法 気候値 1° 360 × 181 1層 18UTC	最適内挿法 気候値 1° 360 × 181 1層 18UTC	廃止予定 (海洋気象情報室作成全球日別海面水温解析に移行)	全球モデル・週間アンサンブル予報モデルの下部境界条件 海洋データ同化システムの入力データ
全球積雪深解析	解析手法 第一推定値 水平解像度 水平格子点数 鉛直層数 解析時刻	最適内挿法 気候値と前日の解析値平年差 1° 360 × 181 1層 18UTC	最適内挿法 気候値と前日の解析値平年差 1° 360 × 181 1層 18UTC	最適内挿法 気候値と前日の解析値平年差 1° 360 × 181 1層 18UTC	全球モデル・週間アンサンブル予報モデルの初期値

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らないので示していない)

		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 実行回数	24km 271 × 271 25 層 (地上 ~ 17.5hPa) 00, 06, 12, 18UTC 84 時間 最大 4 回/日×2 個	24km 271 × 271 25 層 (地上 ~ 17.5hPa) 00, 06, 12, 18UTC 84 時間 最大 4 回/日×2 個	廃止予定	台風進路・強度予報の支援
領域モデル (RSM)	水平解像度 水平格子点数 鉛直層数 初期時刻 予報時間	20km 325 × 257 40 層 (地上 ~ 10hPa) 00, 12UTC 51 時間	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

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ワークで作成。 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
毎時大気解析	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。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

表 1.3.1 (続)

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

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・カルマンフィルター)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

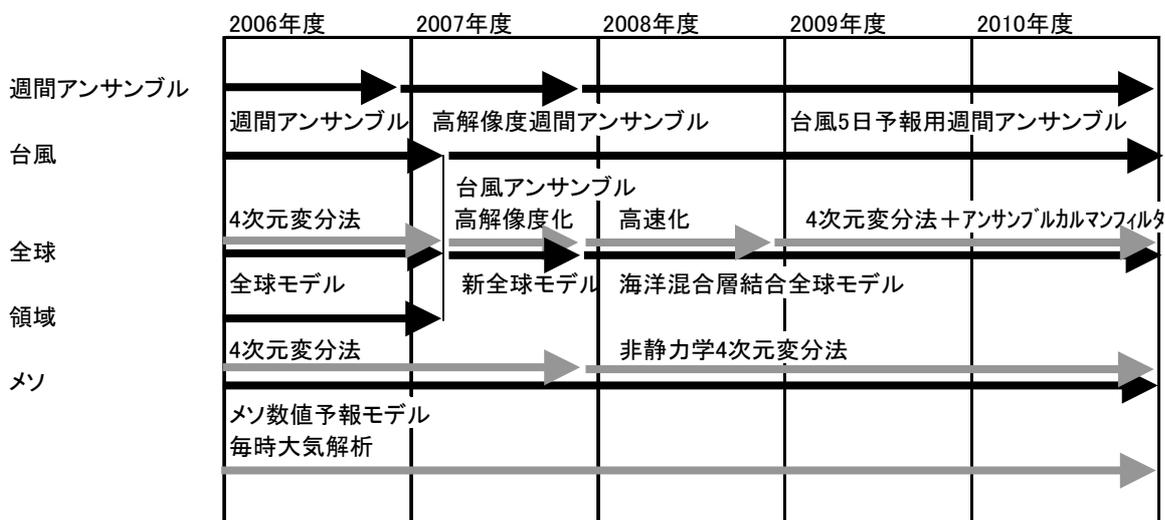


図 1. 4. 1 NAPS-8 更新後の解析システム (灰線) と予報モデル (黒線) の主な改善計画

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る。

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: 初期値化。数値予報課報告・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。