

第1章 新しい数値予報モデル構成とプロダクト

1.1 モデル構成¹

数値予報課では2006年3月のスーパーコンピュータシステムの更新時に、メソ数値予報モデルの解像度を水平格子間隔10kmから5kmに、また、鉛直層数を40から50に向上させ、また、週間アンサンブル予報モデルのメンバー数を25から51に増やした。

これに引き続き、2007年中には表1.1.1のモデル構成とすることを予定している。ここでの主要な変更点は次の4つである。

(1) 全球モデルの高解像度化と領域モデル・台風モデルの廃止

全球モデルの解像度を現在のTL319L40(水平格子間隔0.5625°[約60km]、鉛直層数40)から、TL959L60(水平格子間隔0.1875°[約20km]、鉛直層数60)に向上させ、これまで運用してきた領域モデル・台風モデルを廃止する。合わせて全球解析で用いている4次元変分法のインナーモデル²の解像度をT106L40(水平格子間隔1.125°[約120km]、鉛直層数40)からT159L60(水平格子間隔0.75°[約80km]、鉛直層数60)に変更し、領域解析は廃止する。

これまで目的別に3つのモデルを使い分けていたものを単一のモデルで対応できるようになることで、天気予報の基礎資料として一貫したシナリオを提供することができるようになるとともに、モデルの維持・改良のための人的資源・計算機資源を効率的に投入できるようになる。また、台風の予報については、従来の台風モデルが運用上の制約により2つまでの台風についてしか実行できなかったのに対し、3個以上の台風についても解像度の高いモデルによる84時間予報を提供できるようになる。

しかしその一方で、高解像度全球モデルは従来の全球モデル、領域モデル、台風モデルのいずれに対しても同等またはそれ以上の性能であることが求められるので、注意深く性能を比較する必要がある。

高解像度全球モデルについては第2章で詳しく述べる。

(2) 週間アンサンブル予報モデルの高解像度化

週間アンサンブル予報に用いる全球モデルの解像度をTL159L40(水平格子間隔1.125°[約120km]、鉛直層数40)からTL319L60(水平格子間隔0.5625°[約60km]、鉛直層数60)に変更する。メンバー数は従来通り51である。解像度の変更とともに、摂動の作成手法を誤差成長の大きな摂動を効率的に生成できる特異ベクトル法(SV法)に変更する。

解像度を上げることで、特に地形から受ける影響が重要な意味を持つような事例についての精度向上が期待できる。詳細については第3.1節に記載する。

(3) 台風アンサンブル予報システムの導入

台風アンサンブル予報は今回新しく開始するもので、台風が存在しているときに、TL319L60の全球モデルによる11メンバーのアンサンブル予報を1日4回行うというものである。目的は台風進路予報の不確定性を見積もり、確率的な情報を与えることにある。

台風アンサンブル予報の初期摂動作成については、

- ・ 台風進路予報が適切にばらつくような摂動であることが望ましい
- ・ 週間アンサンブル予報でこれまで使われてきた成長モード育成法は、モデルを継続的に動かす必要があるが、台風が存在するときのみ実行される台風アンサンブル予報には適用しにくい

という2つの理由からSV法を採用することとした。詳細は第3.2節に述べる。

(4) メソ数値予報モデルの予報時間延長

1日8回のメソ予報のうち、全球モデルによる境界値更新(1日4回)の直後にあたる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。これにより、常時24時間先までの防災情報の作成を支援することができるようになるとともに、飛行場予報についてTAF-S、TAF-Lともに単一のモデルに基づく予報を作成することができるようになる。

従来の2倍以上の予報時間での運用となることから、導入にあたっては、安定して動作することや予報時間後半での急激な精度低下がないことなどを確認する必要がある。あわせて、物理過程を中心にモデルの改良を行うこととした。

メソ数値予報モデルの変更については第4章に詳述する。

なお、以上の変更点を含めた今後の開発課題については、平成17年度数値予報研修テキスト(竹内 2005)にも記述されているので適宜参照いただきたい。

参考文献

竹内義明 2005: 将来の開発課題. 平成17年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 4-9.

¹ 小泉 耕

² 解析値を作成する際に第一推定値に対する修正量を求めるためのモデル。

表 1.1.1 2007 年度に導入される予定のモデル構成

| | 諸元 | 変更前の諸元(参考) | 用途 |
|--------------------|--|--|--|
| 全 球 モ デ ル (GSM) | 水平解像度: 0.1875° (TL959 ³) 鉛直層数: 60 層(地上~0.1hPa) 初期時刻: 00, 06, 12, 18 UTC 予報時間: 84 時間(00, 06, 18 UTC) 216 時間(12 UTC) 初期値解析:4次元変分法 (インナーモデル諸元) 水平解像度: 0.750° (T159) 鉛直層数: 60 層(地上~0.1hPa) | 0.5625° (TL319) 40 層(地上~0.4hPa) (同左) 90 時間(00 UTC) 36 時間(06, 18 UTC) 216 時間(12 UTC) 1.125° (T106) 40 層(地上~0.4hPa) | 短期予報・量的予報・航空予報・ 週間予報の支援 台風進路・強度予報の支援 メソ数値予報モデルの側面境界 条件 波浪モデル・海水モデル・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 |
| 週間アンサンブル 予報モデル | 水平解像度: 0.5625° (TL319) 鉛直層数: 60 層(地上~0.1hPa) 初期時刻: 12 UTC 予報時間: 216 時間 摂動作成手法: 特異ベクトル法 メンバー数: 51 | 1.125° (TL159) 40 層(地上~0.4hPa) (同左) (同左) BGM 法 (同左) | 週間天気予報の支援 |
| 台風アンサンブル 予報モデル | 水平解像度: 0.5625° (TL319) 鉛直層数: 60 層(地上~0.1hPa) 初期時刻: 00, 06, 12, 18 UTC 予報時間: 84 時間 摂動作成手法: 特異ベクトル法 メンバー数: 11 | (新規) | 台風進路予報の支援、確率情報 の提供 |
| メソ数値予報モデ ル(MSM) | 水平解像度: 5km 鉛直層数: 50 層(地上~21800m) 初期時刻:00,03,06,09,12,15,18,21UTC 予報時間:15 時間(00, 06, 12, 18 UTC) 33 時間(03, 09, 15, 21 UTC) 初期値解析:4次元変分法(静力 MSM) | (同左) (同左) (同左) 15 時間(全初期時刻) | 防災気象情報の支援 航空予報の支援 降水短時間予報・高潮モデルの 入力データ |

³ Tは三角形波数切断の意味で数字は切断波数を表す。Lは線形格子を使用すること示す。数値予報課では慣用的に線形格子の場合にLをつける(Lが無い場合は二次格子)という表記法を採っているが、国際的には必ずしも統一はとれていないようである(たとえばECMWFでは線形格子を採用していてもLは付けていない)。

1.2 プロダクト¹

数値予報モデルの予報結果およびモデルの予想を統計処理して作成するガイダンスは、ファックス図、格子点値(GPV)、地点あるいは予報区毎の予想値としてアデスに送られる。

数値予報モデルの構成が変わっても、ファックス図の表示内容に変更は無い予定である。数値予報モデルの格子点値については第 1.2.1 項で、ガイダンスについては第 1.2.2 項で解説する。

1.2.1 数値予報GPV

2007年に計画している数値予報モデルの構成変更に伴い、アデスに配信するGPVも変更する。全球モデル、週間アンサンブル予報システムが高解像度化し、メソ数値予報モデルは予報時間を延長するので、対応するGPVも相応に拡充する。同時に、現在配信している要素のうち使用頻度の低いものを削除するなどの見直しも行う。

これらのGPVは東日本の各気象官署では統合ビューワで画像として端末上に表示できる。

なお、西日本アデス向けのGPVの内容はこれまでと同じである。ただし、RSMの予報値を使って作成していた資料は、高解像度全球モデル(20kmGSM)の予報値から同等のものを作成する。

表1.2.1にモデルの構成を変更した後の、東日本アデス用数値予報GPVの仕様を示す。ただし、細部については今後見直しがありうる。図1.2.1に、全球、北半球を除く配信領域の範囲を示す。

現在アデスに配信している内容からの変更点は次のとおり。

(1) メソ数値予報

- ・03, 09, 15, 21UTC初期値分は、33時間予報まで配信する。
- ・航空用GPVに、鉛直速度(W)、積乱雲雲頂高度(Z,P)を追加する。

(2) RSMに代わる20kmGSMによるアジア域GPV

- ・1日2回51時間予報までだったものを、00, 06, 18UTC初期値分は84時間予報まで、12UTC初期値分は192時間予報まで配信する。
- ・要素から可降水量(TPW)を削除する。70~10hPa面を削除し、975hPa面を追加する。
- ・RSMの予報値から作成していた航空用GPVは、領域を北太平洋域に広げ、要素や配信回数を大幅に拡充する。

(3) 20kmGSMによる全球GPV

- ・格子間隔を1.25度から1度に変更する。
- ・6時間間隔だったものを、初期値から84時間予報までは3時間間隔に変更する。
- ・50~1hPa面を削除し、975hPa面を追加する。

(4) 週間アンサンブル予報

- ・格子間隔が0.5625度、日本域のGPVを新たに配信する(地上要素のみ)。
- ・アジア域のGPVに100hPa面を追加する。
- ・北半球のGPVに925, 100hPa面を追加する。
- ・湿数(TTD)を削除し、相対湿度(RH)を追加する。

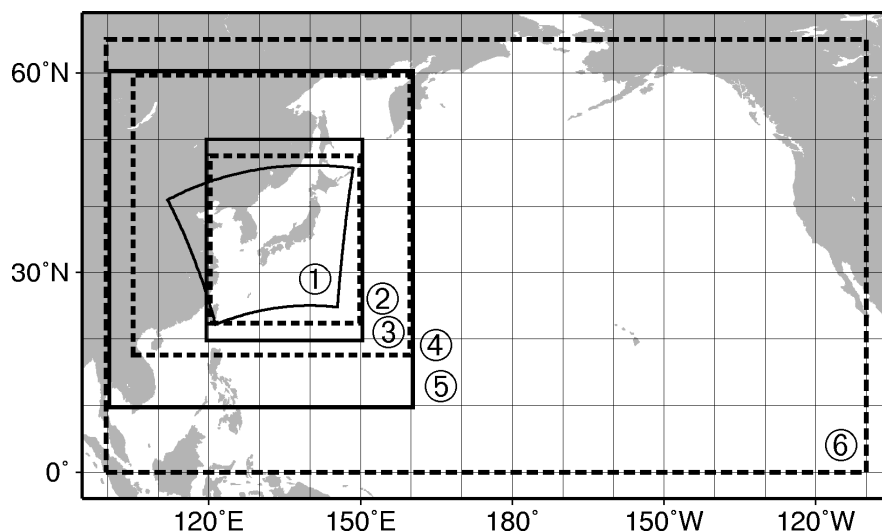


図1.2.1 数値予報GPVの配信領域

①~⑥は、表1.2.1の“領域”に対応する。全球、北半球の範囲は示していない。

¹ 1.2.1 保谷 信親、1.2.2 林 久美

表1.2.1 数値予報モデルの構成変更後、東日本アデス用に送信する数値予報GPV

| GPV | 格子間隔 東西×南北 (領域)※ | 予報時間 ／時間間隔 (単位：時間) | 回 ／ 日 | 要素 [面] |
|-------------------------|---|--------------------------|-------------|--|
| MSM 一般用 (地上) | 0.0625°×0.05° (120-150E, 22.4-47.6N) ② | 0～15 / 0.5 | 8 | U,V,T,RH,TPW,CLA,CLL,CLM,CLH,Psea,Ps, RAIN,RR1H,SMQR,SMQS,SMQH[地上] |
| MSM 一般用 (P面) | | 16～33 / 0.5 | 4 | U,V,OMG,T,RH,Z,CVR[*PL16] VOR [850, 700, 500hPa] |
| MSM 航空用 | Polar Stereo 40km ① | 0～15 / 1 | 8 | Ps, U,V, T,RH,RAIN,Csig[地上] U,V, W,T,RH,TURB,CWMR[*FL28] Z,P[積乱雲雲頂], P[圏界面] |
| | | 16～33 / 1 | 4 | |
| GSM アジア域 (地上) | 0.25°×0.2° (105-160E, 17.6-60N) ④ | 0～84 / 1 | 4 | U,V,T,RH,Ps,Psea,RAIN,RR1H,CLA,CLL,CL M,CLH[地上] |
| GSM アジア域 (P面) | | 87～192 / 3 | 1 | Z,U,V,T,RH,OMG,CWC,CVR [*PL16] VOR [850, 700, 500hPa] |
| GSM 全球 (地上) | 1.0°×1.0° (全球) | 0～84 / 3 | 4 | Ps,Psea,U,V,T,RH,CLA,CLL,CLM,CLH,RAIN [地上] |
| GSM 全球 (P面) | | 90～192 / 6 | 1 | Z,U,V,T,RH,OMG,CWC,CVR[*PL16, 70hPa] VOR[850,700,500hPa],CHI,PSI[850,200hPa] |
| GSM 北太平洋域 航空用 | 0.5°×0.5° (100E-110W, 0-65N) ⑥ | 0～24 / 3 | 4 | Psea,RAIN,U,V,T,RH,CLA,CLL,CLM,CLH[地 上], Z[積乱雲雲頂], Z,U,V,T[圏界面], P,Z,U,V,T[最大風速面] U,V,T,RH,OMG,VWS[*FL28] |
| GSM 全球 航空用 | 1.25°×1.25° (全球) | 0～36 / 6 | 4 | VWS [700,600,500,400,300,250,200,150,100 hPa] Z[積乱雲雲頂], Z,U,V,T[最大風速面,圏界面] |
| 週間アンサンブル 日本域 | 0.5625°×0.5625° (119.8125-150.1875E, 19.6875-50.0625N) ③ | 0～216 / 6 (51メンバー) | 1 | Psea,U,V,T,RH,RAIN,CLA,CLL,CLM,CLH [地上] |
| 週間アンサンブル アジア域 | 1.25°×1.25° (100-160E, 10-60N) ⑤ | | 1 | Ps,Psea,U,V,T,RH,CLA,RAIN[地上] Z,U,V,T,RH,OMG,CWC,CVR[1000,925,850,70 0,500,300,200,100hPa] |
| 週間アンサンブル 北半球 (地上) | 2.5°×2.5° (北半球 0-357.5E, 0-90N) | 0～216 / 12 (51メンバー) | 1 | Psea,U,V,T,RH,RAIN,CLA,CLL,CLM,CLH [地上] |
| 週間アンサンブル 北半球 (P面) | | | 1 | Z,U,V,T,RH,OMG,CWC,CVR[925,850,700,500 ,300,200,100hPa], Ps[地上] VOR[850,700,500hPa],CHI,PSI[850,200hPa] |

※ 領域 ①～⑥は、図1.2.1に示す範囲に対応する。

面の略記 *PL16 : [1000, 975, 950, 925, 900, 850, 800, 700, 600, 500, 400, 300,250,200,150,100 hPa]
*FL28 : [FL010 ~ FL550 / 20 毎] (FL:飛行高度)
[977, 908, 843, 782, 724, 670, 619, 572, 527, 485, 446, 410, 376, 344,
315, 287, 262, 238, 217, 197, 179, 162, 147, 134, 122, 111, 100, 91 hPa] に相当する。

要素の略記 CHI:速度ポテンシャル, CLA:全雲量, CLH:上層雲量, CLL:下層雲量, CLM:中層雲量
Csig:雲量(積乱雲,中層,下層), CVR:雲量, CWC:雲水量, CWMR:雲水混合比, OMG:鉛直P速度
Ps:地上気圧, Psea:海面更正気圧, PSI:流線関数, RAIN:予報初期時刻からの積算降水量, RH:相対湿度
RR1H:前1時間降水量, SMQH:降霰量, SMQR:降雨量, SMQS:降雪量, T:気温, TPW:可降水量
TURB:乱気流指数, U:風速のX軸成分, V:風速のY軸成分, VOR:渦度, VWS:鉛直シヤー
W:鉛直速度, Z:ジオポテンシャル高度

1.2.2 ガイダンス

モデル更新後に出力されるガイダンスの種類はほとんど変更がない。ただし、メソ数値予報モデル（以下 MSM）を中心とした降水系のガイダンス、航空ガイダンスに若干の変更が生じる。以下、各ガイダンスの仕様を述べる。

現在のガイダンスは、使用する数値予報モデルの仕様変更にすみやかに対応できるように学習型となっているため、数値予報モデルの精度が保障されていればガイダンスの精度のみが落ちることはない。また、カルマンフィルタのみを用いて地点ごとに算出している気温、風ガイダンスについては、モデルの精度は向上しているため GSM の慣熟運用期間中に十分な学習が行われれば、精度の向上が期待される。降水系、天気ガイダンス等は第 2 章で詳しく述べられているように GSM は RSM と比較して弱い雨が出やすく、強い雨の頻度が押さえられるなど特性が異なるため、ガイダンスの特性も変わる可能性がある。

(1) RSM、GSM ガイダンス

領域モデル（以下 RSM）が廃止され 20km 高解像度全球モデル（20kmGSM）に統一される。その

際のガイダンスは、RSM ガイダンス、GSM ガイダンス共に、20kmGSM を利用することになる。現在も RSM、GSM ガイダンスの算出手法は予報要素ごとに統一されており、モデルが統一化されることによる手法の変更はない。

GSM は RSM と異なり 1 日 4 回計算されているが、ガイダンスの運用は予報作業に密接にかかわっており、予報作業支援システムを用いた予報作業の形態に大きな変更がないようにする。このため、電文として配信する際には、電文の形式と回数は現在と同じになるようにする予定である。具体的には、20kmGSM で統一して計算を行い、ガイダンスとして出力される段階で現行どおり GSM、RSM ガイダンスとして 1 日 2 回配信する。

表 1.2.2 に RSM、GSM ガイダンスの一覧を示す。表には目的のガイダンスを作成するために現時点で直接アデスには配信されていない中間の製品も掲載している。尚、分布予報用気温ガイダンスは、地点ガイダンスとして配信された予報値が、予報作業支援システム上で格子点に内挿されている。

GSM ガイダンスの 1 日 4 回化については検証を行いながら、順次開発する予定である。

表 1.2.2 RSM、GSM を利用して計算されるガイダンス一覧

（アデスに配信していない中間製品を含む：GSM 更新時はすべて 20kmGSM を使用）

| ガイダンス名 | 予報要素 | 対象領域 | 予報時間(予報間隔) |
|------------|--------------|----------|-----------------------------|
| 風ガイダンス | 定時風 | アメダス地点 | FT=3~84(3h) |
| | 最大風 | | |
| 気温ガイダンス | 時系列 | アメダス地点 | FT =3~72(1h) |
| | 最高、最低気温 | アメダス地点 | 明日~明後日 12UCT 初期値は 3 日先まで |
| 天気ガイダンス | 天気カテゴリー | 20km 格子点 | FT =6~51(3h) |
| | | | FT =57~75(6h) |
| 最小湿度ガイダンス | 日最小湿度 | アメダス地点 | 当日~明後日 |
| 発雷確率ガイダンス | 3 時間に発雷のある確率 | 二次細分区域 | FT=6~51(3h) |
| 大雨確率ガイダンス | 基準以上の雨が降る確率 | 二次細分区域 | FT=6~75(3h) |
| 最大降水量ガイダンス | 3 時間平均降水量 | 二次細分区域 | FT=6~75(3h) |
| | 1 時間最大降水量 | | |
| | 3 時間最大降水量 | | |
| | 24 時間平均降水量 | | FT=27~75(3h) |
| | 24 時間最大降水量 | | |
| 平均降水量ガイダンス | 3 時間平均降水量 | 20km 格子点 | FT=6~75(3h) |
| | 6 時間平均降水量 | | FT=57~75(6h) |
| 降水確率ガイダンス | 6 時間降水確率 | 20km 格子点 | FT=9~75(6h) |
| 雪水比ガイダンス | 3 時間雪水比 | 20km 格子点 | FT=6~51(3h) |
| 降雪量ガイダンス | 12 時間降雪量 | アメダス地点 | FT=12~72(12h) |

更新当初は初期値は00,12UTCのみ

(2) 航空用ガイダンス

航空用の TAF（飛行場予報）ガイダンスについては、MSM33 時間化後は TAF・S（短距離飛行場予報）、TAF・L（長距離飛行場予報）ともに MSM を利用して作成されるようになり、モデルの違いによる予報の流れの不連続が解消される。表 1.2.3 に TAF ガイ

ダンスの一覧を示す。TAF・L に関しては、現在 1 日 2 回のガイダンスから 1 日 4 回、33 時間先までの TAF ガイダンスとなる。また、TAF ガイダンスはこれまで通りの電文形式の国内 2 進形式とファイル形式の XML 形式とを並行して作成するが、将来は XML 形式に一本化する予定である。

表 1.2.3 MSM33 時間化後の TAF ガイダンス（使用モデルはすべて MSM）

| ガイダンス名 | 予報要素 | 対象領域 | 予報時間 (予報間隔) | 初期値数 |
|-----------------------|--------------------------------|-------|----------------|---------|
| TAF 00,06,12,18UTC | 視程（視程確率を含む） 気温（時系列、最高・最低気温） | 76 空港 | FT=2~15(1h) | 1 日 4 回 |
| TAF 03,09,15,21UTC | 風（定時風・最大風） 雲（雲底高度・雲量） 天気 | | FT=3~33(1h) | 1 日 4 回 |

(3) 防災情報用 MSM ガイダンス

MSM を用いたガイダンスについては、1 日 8 回のうち 4 回(03,09,15,21UTC)は 33 時間予報となる。これにより予報作業支援システムへの MSM を利用した置き換えガイダンス（最大降水量ガイダンス、最大風ガイダンス）の予報時間が長くなる。また、33 時間化により、MSM のみを利用した 24 時間最

大降水量ガイダンスの作成が可能となるため、新たに作成する。

表 1.2.4 に MSM を用いたガイダンスの一覧を現在開発中のものを含めて示す。その他の要素のガイダンスについても順次開発する予定である。

表 1.2.4 MSM を利用して計算するガイダンス一覧

| ガイダンス名 | 予報要素 | 対象領域 | 予報時間 ※ (予報間隔) | 初期値数 | 利用モデル等 |
|--------------------|------------|---------|------------------|-------------------|------------------------------|
| MSM 降水量 | 3 時間平均降水量 | 20km 格子 | FT=3~33(3h) | 1 日 8 回 3 時間毎 | MSM |
| MSM 降水確率 | 6 時間降水確率 | 20km 格子 | FT=6~30(6h) | | |
| MSM 最大降水量 | 3 時間平均降水量 | 2 次細分区域 | FT=3~33(3h) | | |
| | 1 時間最大降水量 | | | | |
| | 3 時間最大降水量 | | | | |
| | 24 時間平均降水量 | | FT=24~33(3h) | | |
| 24 時間最大降水量 | | | | | |
| MSM/降水短時間予報（降水量） | 3 時間平均降水量 | 20km 格子 | FT=3~33(3h) | 1 日 48 回 30 分毎 | MSM ガイダンス 解析雨量 降水短時間予報 |
| MSM/降水短時間予報(最大降水量) | 3 時間最大降水量 | 3 次細分区域 | | | |
| | 1 時間最大降水量 | | | | |
| | 24 時間最大降水量 | | | | |
| MSM 最大風 | 3 時間最大風 | アメダス地点 | FT=3~33(3h) | 1 日 8 回 3 時間毎 | MSM |

ゴシックが新規要素(開発中のものを含む)

※ 1日4回は15時間までだが最長の時間を示す。03,09,15,21UTC初期値は33時間、00,06,12,18UTC初期値はすべて15時間先までとなる。