

気象庁の現業非静力学モデルの予報時間延長に向けた開発

*荒波恒平、原旅人、長澤亮二、成田正巳、瀬川知則、三浦大輔、
 本田有機、中山寛、竹之内健介 (気象庁予報部数値予報課)、
 石田純一 (英国気象局メソ気象共同研究センター / 気象庁予報部数値予報課)、
 山田芳則 (気象大学校)、林修吾 (気象研究所)

表 1: 現 MSM と新 MSM の仕様

1 はじめに

気象庁では、防災気象情報の高度化を目的として、2004 年 9 月から気象庁非静力学モデル (JMANHM, Saito *et al.*, 2006) をメソ数値予報モデル (MSM) として現業運用している。2006 年 3 月に行われた気象庁の計算機システム更新時には、水平解像度を 10km から 5km に、予報回数を 1 日 4 回から 1 日 8 回にそれぞれ強化した (石田, 2005)。2007 年度中には、1 日 8 回¹の予報のうち 4 回²について、予報時間を 15 時間から 33 時間に延長することを計画している。これにより例えば、任意の時刻で非静力学モデルによる 24 時間先までの降水量を利用することができる³。あわせて力学・物理過程の改良を行い、より一層の精度向上を目指す。ここでは、これまでに行った開発の概要と、予報実験の結果を紹介する。以下、本稿では現在の現業非静力学モデルを現 MSM、予報時間を延長する際に現業化する予定のモデルを新 MSM と呼ぶことにする。なお、これまでの現業非静力学モデルの開発経緯については、斉藤 (2003)、藤田 (2004)、石田 (2005) をご覧いただきたい。

2 予報時間延長に向けた開発の概要

表 1 に現 MSM と新 MSM の仕様を示す。表中の (*) で示したものは、スキーム自体の変更はないが、パラメータの調整を行ったものである。以下に変更の概要を述べる。なお今後の開発によって、現業化時点ではさらに仕様が変わりうることをご承知おきいただきたい。

現 MSM では、メソ 4 次元変分法の反復計算の後に、水平解像度 10km の静力学 MSM による 6 時間予報を実行して作成した解析値を初期値としている。新 MSM では、静力学 MSM による 6 時間予報のうち、後半 3 時間を水平解像度 5km の非静力学モデルを実行して作成したものを初期値とする。これにより、初期値の段階で水平解像度 5km の非静力学モデルにとって、パランスのとれた場になる。

力学過程においては、地形に沿うハイブリッド鉛直座標を導入する。現 MSM では、鉛直座標系として地形に沿う Z*系が用いられており、対流圏中層まで地形の凹凸による水平面の変形が存在する。現実の大気の大規模な運動は、中上層では地形の影響をあまり受け

	現 MSM	新 MSM
格子数	721 × 577 × 50	同左
積分時間間隔	24 秒	同左
短い積分間隔	6.86 秒	同左
初期時刻	00,03,06,09,12,15,18,21 UTC	同左
予報時間	15 時間	15 時間 (00,06,12,18UTC) 33 時間 (03,09,15,21UTC)
初期値	メソ 4 次元変分法	同左+アウトタープの後半 3 時間 NHM で積分
境界値	RSM 予報値 (1 日 2 回)	高解像度 GSM の予報値 (1 日 4 回)
地形の元データ	GTOPO30	同左
地形平滑化	約 7.5km に平滑化	同左
基礎方程式	完全圧縮方程式系	同左
水平離散化	有限差分法	同左
鉛直座標	Z*座標系	地形に沿うハイブリッド鉛直座標
移流項	4 次フラックス形式、移流補正	同左
音波、重力波の扱い	スプリット・イクスプリシット法	同左+時間積分の前半でも重力波をスプリット
雲物理過程	3-ice のバルク法	同左
雲氷の落下	考慮しない	考慮する
積雲対流	Kain-Fritsch 法	同左 (*)
放射過程	長澤, 北川 (2004),	同左+藪ら (2005)
放射の雲	Hack(1998) の雲水診断 大野・伊佐 (1984) の雲量診断	Sommeria and Deardorff(1976) の部分凝結スキーム
乱流過程境界層	渦拡散モデル TKE は診断 ノンローカル	改良 Mellor-Yamada Level 3 スキーム
地面温度	地中に 4 層	同左
地表面過程	海:Kondo(1975) 陸:Louis(1982)	海、陸ともに Beljaars(1991)
地上要素診断	Beljaars(1991)	同左 (*)

ずに運動していると考えられるため、中上層でも水平面の変形がある座標系では計算誤差が大きくなる。そこで、下層では地形に沿うが中上層では水平面になるハイブリッド鉛直座標系を用いることで、計算誤差の軽減を図る。

乱流過程においては、改良 Mellor-Yamada Level 3 スキーム (以下 MY3:Nakanishi 2001, Nakanishi and Niino 2004, 2006) と部分凝結スキーム (Sommeria and Deardorff, 1977) を導入する (原、本予稿集)。MY3 の導入により、乱流による運動量や熱、水蒸気等の輸送が精緻化され、地上降水や境界層の気温、風の表現が改善される。部分凝結スキームは、格子平均値が飽和

¹00,03,06,12,15,18,21 UTC を初期値とする

²03,09,15,21 UTC 初期値

³予報作業上 GPV が利用できる時間は、初期時刻からおよそ 2 時間 10 分後である。たとえば 05UTC の時点で 06UTC-06UTC の 24 時間降水量を求めるとき、この時点では 03UTC 初期値の予報値が使えないので、21UTC 初期値の予報時間 9-33 時間の GPV を用いれば、24 時間降水量が求まることになる。

していない状態でのサブグリッドスケールの飽和を考慮するもので、MY3 の計算で用いられる (原、本予稿集) ほか、ここから計算される雲量や雲水量を放射過程の中で利用する。

現 MSM では、放射過程における雲量は相対湿度から (大野・伊佐 1984)、雲水量を可降水量からの診断 (Hack, 1998) により求めている。この方法では、実況と比較して雲量を過大に見積もる性質があり、日中の地上気温の上昇が小さすぎるという問題がある。そこで新 MSM では、前述の部分凝結スキームによる雲量や雲水量を放射計算に用いるように変更する。これにより、地上に到達する短波放射がより実況に近くなり、地上気温の日変化が実況に近づく。このほかに、藪ら (2005) の晴天放射スキームを導入する。これにより、長波放射加熱率について、対流圏中層での正バイアスと対流圏下層での負バイアスが軽減される。

湿潤過程においては、現 MSM の雲物理過程では考慮されていない雲氷の落下を考慮するように変更する。予報時間をのばすと、特に夏期において上層に雲氷が滞留する事例が多くみられたが、これを顕著に改善する。また、Kain-Fritsch スキームのトリガー関数に相対湿度に依存する摂動を考慮する改良を行う (成田、本予稿集)。これにより、格子スケールの対流による過剰な降水や、地形や地表面粗度に過度に応答した降水が軽減される。

3 予報事例

図 1 に 2006 年 6 月 29 日 03UTC を初期値とする 33 時間予報の海面更正気圧と 3 時間積算降水量を示す。能登半島から新潟県にかけてのライン状の降水が、新 MSM ではよく表現されていることがわかる。また、現 MSM では実況にない雨域が関東地方から中部地方に大きく広がっているのに対し、新 MSM ではこの偽の雨域がなくなっている。

現在、夏・冬それぞれ 1ヶ月ずつの期間で実験を行っているところである。このうち夏・冬 10 日間ずつの結果からは、地上気温の日変化がよく表現されるように

なるなどの改善がみられている。講演では、1ヶ月を通じた実験結果について、統計的検証結果を含めて紹介したいと考えている。

参考文献

- [1] Saito, K., T. Fujita, Y. Yamada, J. Ishida, Y. Kumagai, K. Aranami, S. Ohmori, R. Nagasawa, S. Kumagai, C. Muroi, T. Kato, H. Eito and Y. Yamazaki, 2005: The Operational JMA Nonhydrostatic Mesoscale Model. *Mon. Wea. Rev.* **134**, 1266-1298.
- [2] 石田純一, 2005: 新しいメソ数値予報モデル. 平成 17 年度数値予報研修テキスト. 気象庁予報部, 14-17.
- [3] 斉藤和雄, 2003: NHM の開発経緯. 数値予報課報告・別冊第 49 号, 気象庁予報部, 6-8.
- [4] 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.
- [5] M. Nakanishi, 2001: Improvement of the Mellor-Yamada Turbulence closure model based on large-eddy simulation data. *Bound. -Layer Meteor.*, **99**, 349-378.
- [6] Nakanishi, M. and H. Niino, 2004: An improved Mellor-Yamada level 3 model with condensation physics. Its design and verification. *Bound. -Layer Meteor.*, **112**, 1-31.
- [7] Nakanishi, M. and H. Niino, 2006: An improved Mellor-Yamada level 3 model: Its numerical stability and application to a regional prediction of advection fog. *Bound. -Layer Meteor.*, **119**, 397-407.
- [8] G. Sommeria and J. W. Deardorff, 1976: Subgrid-Scale Condensation in Models of Nonprecipitating Clouds", *J. Atmos. Sci.*, **34**, 345-355.
- [9] 原旅人, 2006: 気象庁非静力学モデルへの改良 Mellor Yamada Level 3 スキームと部分凝結スキームの導入について, 本予稿集.
- [10] Beljaars, A. C. M. and A. A. M. Holtsslag, 1991: Flux parameterization over land surfaces for atmospheric models, *J. Appl. Meteor.*, **30**, 327-341.
- [11] 大野久雄, 伊佐正好, 1984: GMS 観測に基づく総観スケール雲量と相対湿度の統計的關係. *天気*, **31**, 493-495.
- [12] Hack, J. J., 1998: Sensitivity of the simulated climate to a diagnostic formulation for cloud liquid water, *J. Climate*, **11**, 1497-1515.
- [13] 長澤亮二, 北川裕人, 2004: 気象庁非静力学モデルの放射過程の改良について. 第 6 回非静力学モデルに関するワークショップ講演予稿集, 67-68.
- [14] 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.
- [15] 成田正巳, 2006: 気象庁非静力学モデルに組み込んだ Kain-Fritsch 対流スキームの改良について, 本予稿集.

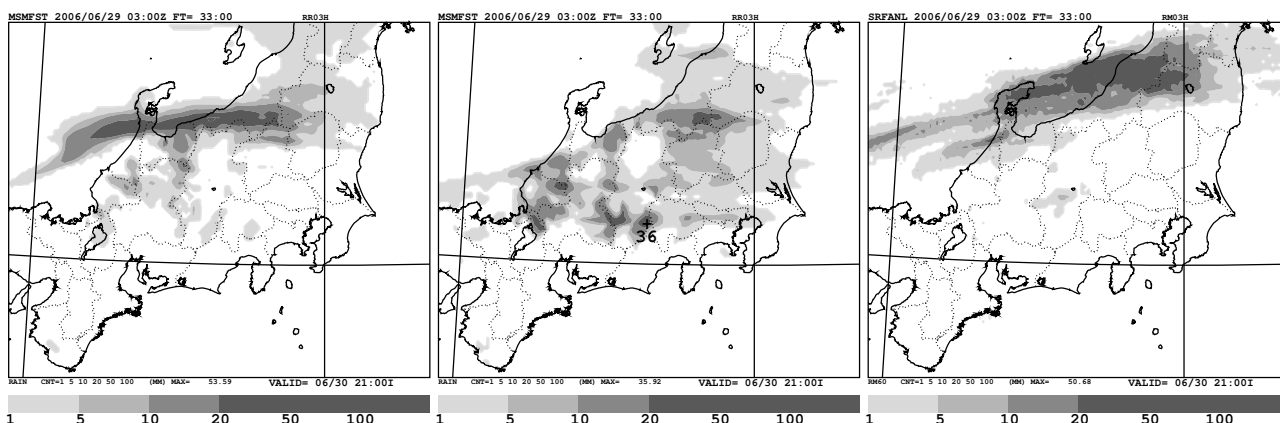


図 1: 2006 年 6 月 29 日 03UTC を初期値とする 33 時間予報の 3 時間積算降水量。左: 新 MSM の結果, 中: 現 MSM の結果, 右: レーダー・アメダス解析雨量。能登半島から新潟県にかけてのライン状の降水が、新 MSM ではよく表現されている。