

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

成田正巳（気象庁数値予報課）

1 はじめに

気象庁では 2006 年から、気象庁非静力学モデルを格子間隔 5 km のメソ数値予報モデル (MSM) として現業運用している。降水予測の精度を高めるため、MSM の湿潤過程は雲物理過程だけでなく、対流パラメタリゼーションとして Kain-Fritsch (KF) スキームを併用することにした。ここでは MSM による降水予測の精度の向上に向けた開発のうち、大森ほか (2005) 以降の KF スキームの改良について報告する。

2 上昇流に基づくトリガー関数の摂動

現在の MSM に組み込まれた KF スキームでは、持ち上げ凝結高度 (LCL) まで断熱的に持ち上げた気層の仮温度に摂動を加えた値 (トリガー関数) が格子スケールにおける周囲の大気の仮温度より高ければ、その気層は浮力を持つとして格子スケール以下の対流を発生させる。トリガー関数に加える摂動 ΔT_{vLCL} は LCL における格子スケールの上昇流に基づいて決める。

$$\Delta T_{vLCL} = \left(100 \bar{w}_{LCL} \frac{\Delta x}{25000} - w_{zLCL} \right)^{\frac{1}{3}}$$
$$w_{zLCL} = \begin{cases} w_0 \frac{z_{LCL}}{2000}, & \text{if } z_{LCL} \leq 2000 \text{ m} \\ w_0, & \text{if } z_{LCL} > 2000 \text{ m} \end{cases}$$

ここで、 \bar{w}_{LCL} は周囲 (格子スケール) の上昇流 [m/s]、 Δx はモデルの水平格子間隔 [m]、 $w_0 = 0.02$ m/s、 z_{LCL} は LCL の高さ [m] である。

3 少数の格子への過剰な降水の集中の問題

上昇流に基づく摂動によって対流の発生を判定する方法では、下層が湿っているため LCL が低く、さらに格子スケールの強い上昇流が LCL よりも上層で発生している場合に、トリガー関数に加える摂動が小さくなる。このような気層では KF スキームによりパラメタライズした対流が発生する条件を満たさず、不安定な成層状態を対流パラメタリゼーションによって効率的に解消することができないため、少数の格子に降水が過剰に集中することがある。降水の過剰な集中は、総観スケールでは弱い沈降場にあるが下層が湿っていて成層状態が不安定なときや、格子スケールの強い対流が起こっているときに発生することが多い (図 1)。

4 相対湿度に基づくトリガー関数の摂動とその効果

降水が過剰に集中する問題の解決を狙って、KF スキームで対流の発生を判定する際に従来の格子スケールの上昇流に基づく摂動に加えて、相対湿度に基づく

摂動 ΔT_{vRH} を与えるスキーム¹を実装した。

$$\Delta T_{vRH} = \begin{cases} 0, & \text{if } R_{hLCL} < 0.75 \\ \frac{0.25(R_{hLCL} - 0.75)Q_{mix}}{\partial Q_{SLCL}/\partial T}, & \text{if } 0.75 \leq R_{hLCL} \leq 0.95 \\ \frac{(1/R_{hLCL} - 1)Q_{mix}}{\partial Q_{SLCL}/\partial T}, & \text{if } R_{hLCL} > 0.95 \end{cases}$$

ここで、 R_{hLCL} は LCL における相対湿度 [%]、 Q_{SLCL} は LCL における飽和混合比 [kg/kg]、 Q_{mix} は持ち上げた気層の混合比 [kg/kg]、 T は気温 [K] である。トリガー関数の計算には、上昇流と相対湿度に基づく摂動にそれぞれ適当な重み係数を掛けた値を用いる。重み係数の値は物理的な考察によって決定することはできないため、統計的な検証に基づいて調整する。

図 1 と同じ事例を対象に、相対湿度に基づく摂動を実装した KF スキームを用いた MSM による降水予測を行った。結果を図 2 に示す。いずれの事例においても、格子スケールの不自然な降水の集中が軽減されていることがわかる。

トリガー関数の修正が気温の鉛直プロファイルに与える影響を調べるため、モデルの予測値とゾンデによる観測値との平均誤差を計算した (図 3)。この結果、トリガー関数を修正した KF スキームでは 925 hPa の気温の正バイアスが大きくなり、逆に 700 hPa より上層では負のバイアスが大きくなった。これは、相対湿度に基づく摂動を加えたことによりパラメタライズした対流雲の雲頂が低くなって補償下降流による格子スケールの昇温が顕著になる高度が低くなったこと、過度な凝結を抑制したことにより格子スケールの加熱が小さくなったことを反映していると考えられる。バイアスを減らすためには、重み係数の調整によってトリガー関数に与える摂動を小さく抑えなければならない。

5 おわりに

摂動を大きくすると対流パラメタリゼーションによって格子スケールの不自然な対流を抑制する効果は大きくなるが、同時に気温のバイアスが大きくなってしまふ。引き続き、検証に基づくパラメータの調整が必要である。

参考文献

大森志郎, 新保明彦, 山田芳則, 2005: 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講演予稿集, 33-34。

¹ HIRLAM-5 Scientific Documentation (December 2002)

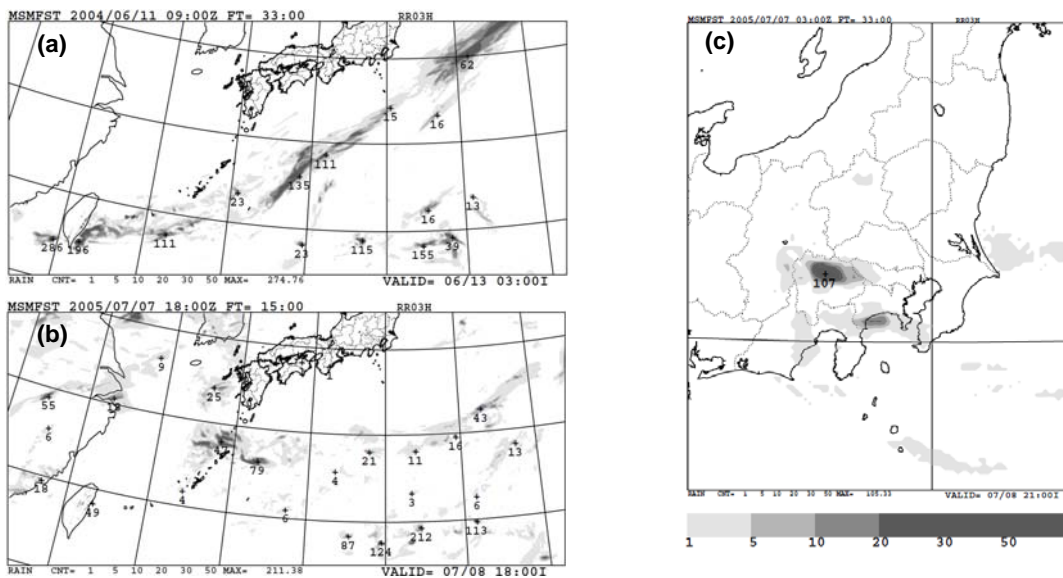


図1 現在のMSMによる予想降水量 [mm/3h]。

- (a) 初期時刻 2004年6月11日09 UTC、予報時間 33時間までの3時間降水量。
- (b) 初期時刻 2005年7月7日18 UTC、予報時間 15時間までの3時間降水量。
- (c) 初期時刻 2005年7月7日03 UTC、予報時間 33時間までの3時間降水量。

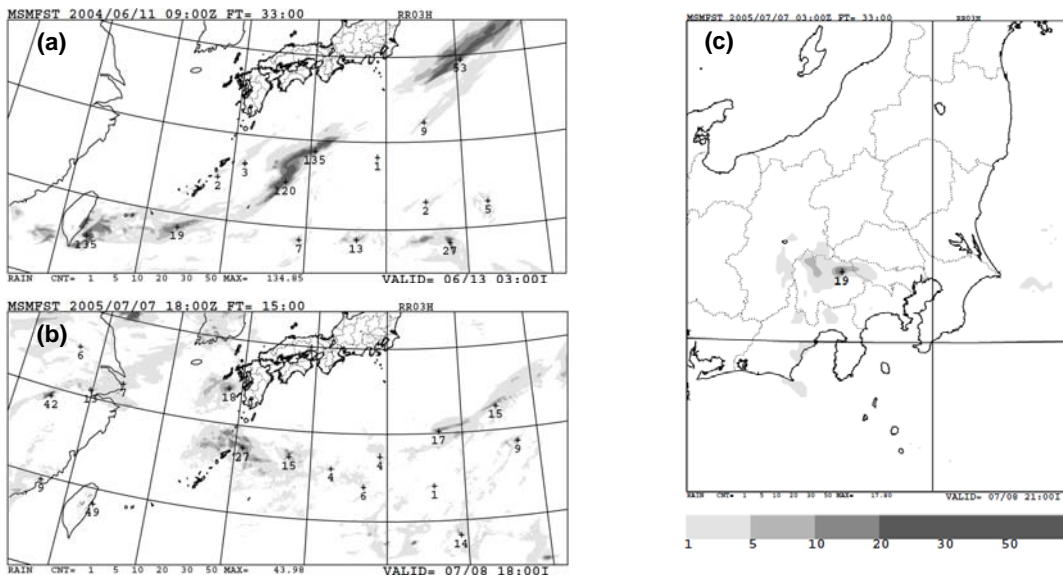


図2 修正したKFスキームを組み込んだMSMによる予想降水量 [mm/3h]。

- (a) 初期時刻 2004年6月11日09 UTC、予報時間 33時間までの3時間降水量。
- (b) 初期時刻 2005年7月7日18 UTC、予報時間 15時間までの3時間降水量。
- (c) 初期時刻 2005年7月7日03 UTC、予報時間 33時間までの3時間降水量。

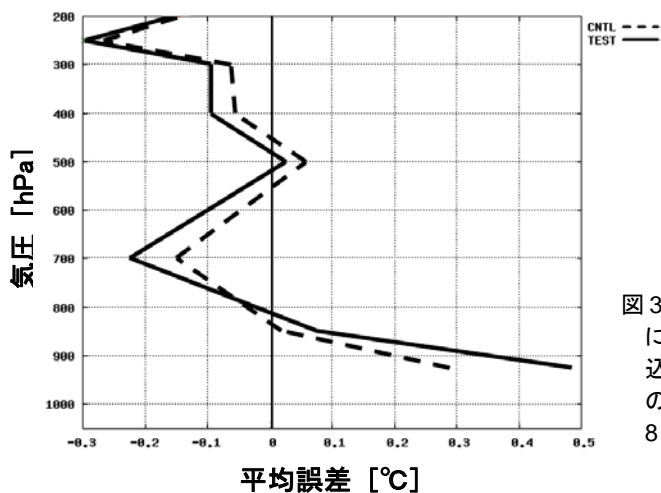


図3 気温の鉛直プロファイルの平均誤差[°C]。現在のMSMによる気温(破線: CNTL)、修正したKFスキームを組み込んだMSMによる気温(実線: TEST)のゾンデ観測との比較。モデルの気温は2005年7月6日00 UTCから8日21 UTCまでの24回の予測。