

一般財団法人 日本気象協会 中西 幹郎

はじめに (内容)

5km格子で、線状降水帯の精度良い予報を目指す 2020年7月4日 熊本豪雨の事例

- 降水帯の出現場所が風下側にずれる
- 1km格子の計算を実施したところ、乱流スキームによらず降水帯の 出現場所はほぼ同じで、観測値に近くなった
- 1km格子の結果の分析から、浅い対流から深い対流への遷移の予測が5km格子では不十分だったと考えた

2 Mass-fluxスキームの導入、乱流浮力生成項の修正

- 部分凝結スキームによる評価の修正
- 3 5km格子で検証
 - •2023年7月12日 北陸の線状降水帯の事例
 - Mass-fluxスキームを導入しても、降水帯はうまく再現できず
 - 乱流運動エネルギー方程式において、凝結に伴う浮力生成の項を 修正したところ、出現場所や強度が、かなりうまく再現できた
 - 粗格子モデルでの乱流浮力生成項の重要性を示唆すると考える

(1)熊本豪雨



●使用モデル • WRF version 4.3.3 ●乱流スキーム • **YSU**(比較のため) ● MYNNレベル2.5 • 解像度 ● 1 領域:水平5km、45層 2領域(ネスティング) 赤枠内:水平1km、45層 ●初期値 • 2020年7月3日9時 •解析 •7月4日4時(19時間後)













Resolved-scale flux

1kmの結果を使った 5km
 四方の格子内の鉛直流と
 雲水量の共分散

$$\overline{w'q'_c} = \frac{1}{25} \sum_{i=-2}^{2} \sum_{j=-2}^{2} (w_{i,j} - \overline{w}) (q_{c\,i,j} - \overline{q}_c)$$

- 5km格子では解像できな
 い凝結に伴う鉛直輸送
 - 下層は浅い対流輸送を表す
 →より風上での対流の遷移

5km格子における乱流の 浮力生成項の一部

• 乱流增加 > 鉛直輸送増加



● Mass-fluxスキームの導入

• WRFモデルには、すでに導入されている

 地表の浮力フラックスが正のとき、サイズの異なる最大10個のプ ルームを発生させ、浅い対流をシミュレートする

$$\overline{w'\phi'} = -K\frac{\partial\overline{\phi}}{\partial z} + M_u\left(\overline{\phi}^u - \overline{\phi}\right)$$

- M_u Mass flux (上昇域の面積率×上昇流速)
 - *φ^u* 上昇域内の平均値
- 右辺第1項:渦拡散項を表す
- 右辺第2項:Non-local輸送項に対応する
- ●乱流浮力生成項への浅い対流の効果の導入
 - 乱流増加を通して、右辺第1項のKに成果が現れる
 - 元のモデルも考慮していたが、少し修正を試みる
 - 部分凝結スキームの微修正



物理量は空間に一様分布しているわけではない

●平均値のまわりに、ある確率密度で分散している

- 確率密度関数はGauss関数とすることが多い
- 凝結量は、全水分量 q_w(=水蒸気量 q_v+凝結水量 q_l)と 液水温位 θ_lを使って評価する



②部分凝結スキームの定式化(雲量 N を例に)



②乱流浮力生成項の修正の動機と方法

●元の浮力生成項では、降水帯はうまく再現できず



乱流浮力生成項(浮力フラックス)
$\overline{w'\theta_{v}'} = A \ \overline{w'\theta_{l}'} + B \ \overline{w'q_{w}'} + C \ \overline{w'q_{l}'}$
▶ <u>w'q'</u> の部分凝結でのパラメタリゼーション
$ \frac{\overline{w'q'_{l,u}}}{w'q'_{l,e}} = N_u f_{N,u} \left(a \overline{w'q'_w} - b \overline{w'\theta'_l} \right) \\ \frac{W'q'_{l,e}}{w'q'_{l,e}} = N_e f_{N,e} \left(a \overline{w'q'_w} - b \overline{w'\theta'_l} \right) $
$\overline{w'q_l'} = (1 - N_u) \overline{w'q_{l,e}'} + \overline{w'q_{l,u}'}$
$= \left[(1 - N_u) N_e f_{N,e} + N_u f_{N,u} \right]$
$\times \left(a \overline{w' q'_w} - b \overline{w' \theta'_l} \right)$
• u は上昇域、 e は周囲、 f_N は Q_1 の関数 • $0 \le N_u \le 0.1$ 、 $0 \le N_e \le 1$ • $Nf_N = [周囲 (Gaussian) + 上昇域]$













③北陸降水帯 $(N_u f_{N,u}$ 分布の時間変化)



③北陸降水帯(雲、降水、N_u f_{N,u} の分布)

7月12日21時から20分ごと $N_u f_{N,u} > 0$ をオレンジで示す

緯度36.61°の東西分布



 $N_u f_{N,u} > 0$ が深い対流への遷移のきっかけの1つになることを示唆する

まとめ

- ある現象には様々な過程が関与し、1つのスキームの変更だけで、予報が大きく変わるとは限らない
- ただし、浅い対流から深い対流への遷移は、それが 起こるか起こらないかで、結果は大きく変わる
- 乱流の浮力生成項は、その遷移のきっかけになり、
 予報が大幅に「改善」する可能性が示唆された
- 1kmなどの細密格子モデルでは、浮力生成項の修正のインパクトは小さいかもしれないが、予報改善の過程で着目すべき事柄の1つと考える

参考





②おそらく素直な方法

• Mass fluxを用いた乱流フラックス(スライド7) $\overline{w'\phi'} = \overline{w'\phi'}^e + M_u \left(\overline{\phi}^u - \overline{\phi}\right)$

●乱流浮力生成項 [略号MPBP_BFX]

