

# 下層雲のパラメタリゼーションの開発 1. ～雲解像モデルを基にしたパラメータ設定と1次元モデルによる検証実験～

\* 野田 暁・岩崎 俊樹・氏家将志 (東北大院・理)

## 1. はじめに

大気境界層で発生する下層雲は、地球の放射収支はもとより、冷害をもたらすやませ雲の例の様に局地気候予報の観点からも重要である。長澤, 他 (2001) は1993年に発生したヤマセ雲について、40km から100m 格子へ順次ネスティング格子を用いた再現実験を行い、解像度の違いによって生じる下層雲の維持機構の矛盾を指摘している。下層雲の発生、発達、消滅は空間スケールの小さい大気境界層内部の熱的、力学的不安定による影響を受けるため、精度の良い予報を行うためには適切にパラメタライズされる必要がある。全球もしくはメソ数値モデルで使われる下層雲のパラメタリゼーションスキームはこれまでにいくつか提案されてきたが (e.g., Albrecht, 1981; Deng et al., 2003), その多くは貿易風帯における層積雲を対象としており、層状性の様に雲量の大きな下層雲を考慮した研究例は少ない。

本研究では、雲解像モデル (CRM) による大気境界層雲実験を行い、この3次元データを基に低解像度モデルで用いられる下層雲のパラメタリゼーションスキームを開発する。そして、1次元モデル (SCM) によりその予備的な試験を行う。現実場を用いた更なる試験は氏家, 他 (2004) で示す。

## 2. 数値モデルと環境場

用いた数値モデルはMRI-NPD/NHM である。参照データは4種類で、簡略化した熱的不安定境界層 (case1; SST と海面付近温位はそれぞれ285K, 280K, 温位の鉛直傾度, 相対湿度, 風の場合は一定でそれぞれ4K/km, 50%, 10m/s), 貿易風帯の層積雲の発生環境場としてBOMEX(case2; Siebesma et al., 2003) とAS-TEX(case3; Albrecht et al., 1995) 集中観測で得られた成層, 2003年6月22日三陸沖に発生したヤマセ雲の成層 (case4) である。格子間隔は均一で水平100m, 鉛直40m (但し, case4については境界層の鉛直スケールが小さいのでそれぞれ50m, 20mを用いる), 格子数は66 × 66 × 77個である。境界条件は側面が周期, 領域上端20%の層に時定数60秒のレイリー層を与える。雲物理は暖かい雨のみ考慮する。SCMの鉛直方向の計算条件はCRMと同一である。環境場は鉛直1次元デー

タを水平一様に与え、時間積分は15時間行い、1時間毎の3次元データを解析に用いる。CRMの計算開始時には最下層に最大振幅0.1Kのランダム温度擾乱を置く。

## 3. 下層雲のパラメタリゼーション

サブグリッドスケール (SGS) の下層雲を再現するためには、1) 境界層の乱流混合過程と2) SGSの湿度の非一様性によって生じる凝結/蒸発と雲量をパラメタライズする必要がある。前者には熊谷, 他 (2003) によるアンサンブル平均境界層乱流スキーム (BTS), 後者には確率密度関数 (PDF;  $P(r, \bar{r}, \sigma)$ ) による部分凝結スキームを用いる。ここで、 $r \equiv (q_c + q_v)/q_{vs}$  は湿度,  $\sigma$  はその標準偏差, オーバーバーは水平面平均値を表す。 $q_c, q_v, q_{vs}$  はそれぞれ雲水, 水蒸気, 飽和混合比である。SGSの $q_{vs}$ の非一様性を無視すると、SGSの $q_c$ と雲量 $C$ はそれぞれ次の様に表すことができる:

$$q_c = \overline{q_{vs}} \int_1^\infty (r-1) P(r, \bar{r}, \sigma) dr,$$

$$C = \int_1^\infty P(r, \bar{r}) dr.$$

$\sigma$  は雲水量や雲量をきめる重要なパラメータである。図1はCRMで得られた $d\bar{q}_t/dz/q_{vs}$ と $\sigma$ の関係を示している。事例により差があるものの両者の間には0.5~0.8程度の良い相関があることから、本研究ではこの関係を用いて $\sigma$ を与えることにする。また、PDFの関数型は三角形で近似する。

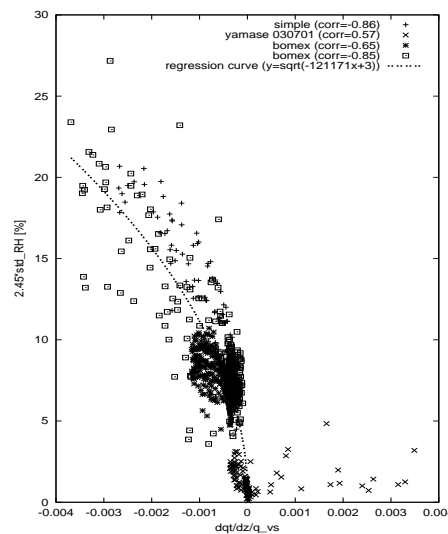


図1: 各時間、高度における水平面内の $\sigma$  (縦軸; %) と $d\bar{q}_t/dz/q_{vs}$  (横軸;  $m^{-1}$ )。

## 4. 結果

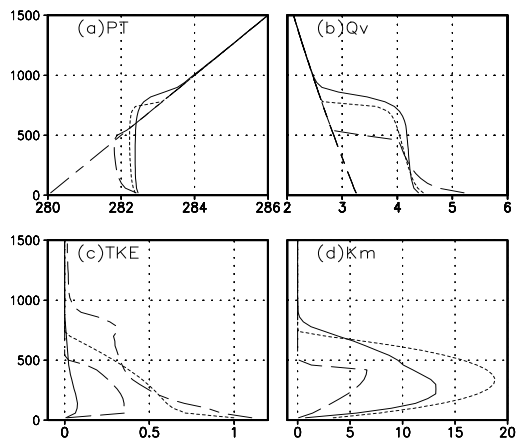


図 2: case1 について, CRM(実線), SCM のパラメタリゼーションを用いない場合 (波線) と用いた場合 (点線) を, 5 時間後における水平面平均した (a) 温位 (K), (b) 水蒸気混合比 (g/kg), (c) SGS の TKE( $m^2/s^2$ ), (d) 渦拡散係数 ( $m^2/s$ , 但し, CRM については  $10^{-1}m^2/s$ ) で示す。(a) と (b) の 1 点波線は初期値を, (c) の 1 点波線は CRM における resolvable な TKE を示す。

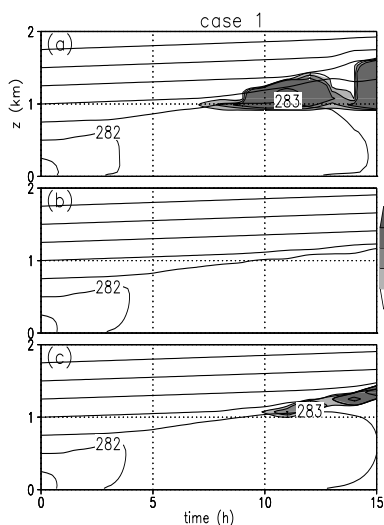


図 3: 水平面平均した温位 (等値線; 1K 毎) と雲水 (影;  $g/m^2$ ) の時間-高度断面。(a)CRM と, SCM に (b)BTS, (c)BTS と部分凝結を用いた結果。case1 について示す。

紙面の都合上, case1 の結果のみ示す。まず, 乱流混合過程に着目するために下層雲の発生前である 5 時間後の大気場を図 2 に示す。CRM の結果と比較すると, BTS を用いることで温位, 水蒸気の鉛直拡散が改善されている (図 2ab)。混合層の上端を見ると, 鉛直拡散が小さいことがわかる。CRM の乱流運動エネルギー (TKE) を見ると (図 2c の実線と破線), resolvable な TKE は SGS の TKE に比べて十分大きく, 乱流混合過程を解像していると考えられる。SCM の TKE を resolvable な TKE と比較すると, 高度 500m 以上で CRM との差が大きくなり, 高度 700m 以上ではほぼ 0 になっている。この結果, 混合層上端の渦拡散係数も小さくなっている (図 2d)。

次に, 発生した下層雲に着目する。CRM の結果を見ると (図 3a), およそ 8 時間後の高度 1km 付近より雲の発達が起こっている。この結果と BTS のみを用いた結果を比較すると, 混合層の発達はよく再現されているものの, 雲水が発達していないことがわかる (図 3b)。これは, SGS の非均一性による凝結が考慮されていないためである。この BTS に加えて部分凝結スキームを導入することで, CRM で発達した下層雲を再現している (図 3c)。

## 5. 考察とまとめ

下層雲のパラメタリゼーションとして熊谷, 他 (2003) による BTS と部分凝結スキームを用い, その性能を調べた。その結果, まだ定量的な検討が必要であるものの, パラメタリゼーションを用いた SCM の結果は CRM による結果をある程度再現することができた。下層雲を再現するためにはまず境界層で発達する乱流混合過程を正しく再現する必要がある。本実験では, 混合層上端でのエントレインメント率の過小評価が見られた。混合長の診断には大気安定度を考慮するなどの改善が必要であると思われる。今後は, 乱流統計量間の関係を考慮した Mellor and Yamada による BTS (Mellor and Yamada, 1982; Nakanishi and Niino, 2004) の導入なども考慮に入れ更に検証実験を重ねていきたい。

## 謝辞

case4 で用いたヤマセ発生時の GPS ソンデデータは東北大学大気海洋変動観測研究センター浅野正二教授と小島正也さんより提供を受けました。

## 参考文献

- Albrecht, B., 1981: Parameterization of trade-cumulus cloud amounts. *J. Atmos. Sci.*, **38**, 97-105.
- Albrecht, B., M. Jensen, and W. Syrett, 1995: Marine boundary layer structure and fractional cloudiness. *J. Geophys. Res.*, **100**, 14209-14222.
- Deng, A., N. Seaman, and J. Kain, 2003: A shallow-convection parameterization for mesoscale models. Part I: Submodel description and preliminary applications. *J. Atmos. Sci.*, **60**, 34-56.
- 熊谷幸浩, 齋藤和雄, 2003: non-local 風境界層過程の JMANHM への実装と実験結果. 第 5 回非静力学モデルに関するワークショップ講演予稿集, 38-39.
- Mellor, G., and T. Yamada, 1982: Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. *Rev. Geophys. Space Phys.*, **20**, 851-875.
- 長澤亮二, 岩崎俊樹, 浅野正二, 2001: 局地気候モデルを用いたヤマセ時の雲形成-放射相互作用に関する研究. 第 3 回非静力学モデルに関するワークショップ講演予稿集, 13-14.
- Nakanishi, M., and H. Niino, 2004: An improved Mellor-Yamada level-3 model. *Boundary-Layer Meteorol.*, **112**, 1-31.
- Siebesma A., and coauthors, 2003: A large-eddy simulation intercomparison study of shallow cumulus convection. *J. Atmos. Sci.*, **60**, 1201-1219.
- 氏家将志, 岩崎俊樹, 野田暁, 2004: 下層雲のパラメタリゼーションの開発 2~メソスケールモデルへの導入~(本予稿集).