

熱帯上部対流圏の鉛直流変動にスマトラ島の地形が及ぼす影響

庭野 将徳（海洋研究開発機構 地球環境フロンティア研究センター）

山本真之（京都大学生存圏研究所）

1. 研究の背景と目的

東経 100 度付近のインド洋東端に位置するスマトラ島は、西海岸部に急峻な山岳部を持つ。そのため、地形の影響に伴う局地循環が深い積雲対流活動を生成するほか、熱帯域の対流活動を決定する重要な要素である、インド洋で発達し、その後東進する総観規模の対流システムの伝播にも大きく影響を与える。

鉛直流は積雲対流の深さや持続時間を決定する重要な物理量である。しかし、鉛直流の直接観測手段は限られている。インドネシア・スマトラ島に 2001 年に設置された赤道大気レーダー（Equatorial Atmosphere Radar; EAR）は、鉛直流が直接観測な特長を持つ。EAR の鉛直流観測により、スマトラ島上を東進する総観規模の対流システムに伴う、対流圏中層・上層における鉛直流変動が示されている [Yamamoto et al., 2007]。本研究では、メソスケールモデルを用いて、スマトラ島の地形が上部対流圏の鉛直流変動に与える影響を評価する。

2. 計算機実験の概要

米国ペンシルバニア大学と国立大気科学研究庁が開発した 3 次元非静水圧モデル MM5 の version 3.7.4 を使用した。領域は東経 80–120 度、南緯 12 度–北緯 12 度に第 1 領域（水平分解能 9 km）を、スマトラ島周辺の東経 95–105 度、南緯 5 度–北緯 5 度に第 2 領域（水平分解能 3 km）を設定した。鉛直方向には地表から 10 hPa まで 47 層とした（上部対流圏で約 500 m の分解能）。積雲対流過程には Grell scheme [Grell et al., 1995] を用いた。雲物理過程には、過飽和を考慮し氷、雪、霰の数密度を予報する Reisner 2 [Reisner et al., 1998] を使用した。境界層スキームには、混合層内の不安定状態の混合に非局所的な混合効果（counter-gradient 項）を加味し、K プロファイルには Troen-Mahrt 法を用いた Medium Range Forecast (MRF) PBL スキーム [Hong and Pan, 1996] を用いた。地表面モデルには、土壌温度・水分の予報を行う Noah モデルを用いた。初期値・境界条件には National Center for Environmental Prediction (NCEP) 最終解析値を用い、2004 年 5 月 5 日 00Z を初期値として 5 日間の数値積分を行った。スマトラ島の地形が上部対流圏における鉛直流変動に及ぼす影響を調べるため、山岳の高さを変えた実験を行った。実際の山岳の高さ（標準実験）に加えて、山岳なしとした実験（0 倍実験）を行った。また、標準実験と同じ山の高さだが、積雲対流に関わる放射過程の影響を除去した実験（放射なし実験）、雲物理過程の影響を除去した実験（乾燥実験）も行った。

3. 計算結果

標準実験で得られた結果は、観測で見られた総観規模の対流システムの東進をよく再現していた。背の高い雲の出現を意味する放射輝度温度 (TBB) 260K 以下の領域が 2004 年 5 月 5 日は東経 80 度から 100 度にかけて存在し、その後スマトラ島を通過して東進する (図 1 左)。この様相は、図 1 右に示す気象衛星による観測結果とよく一致している。また、標準実験では、積雲対流が発達する指標である $2.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ より大きい収束域の東進も見られる。

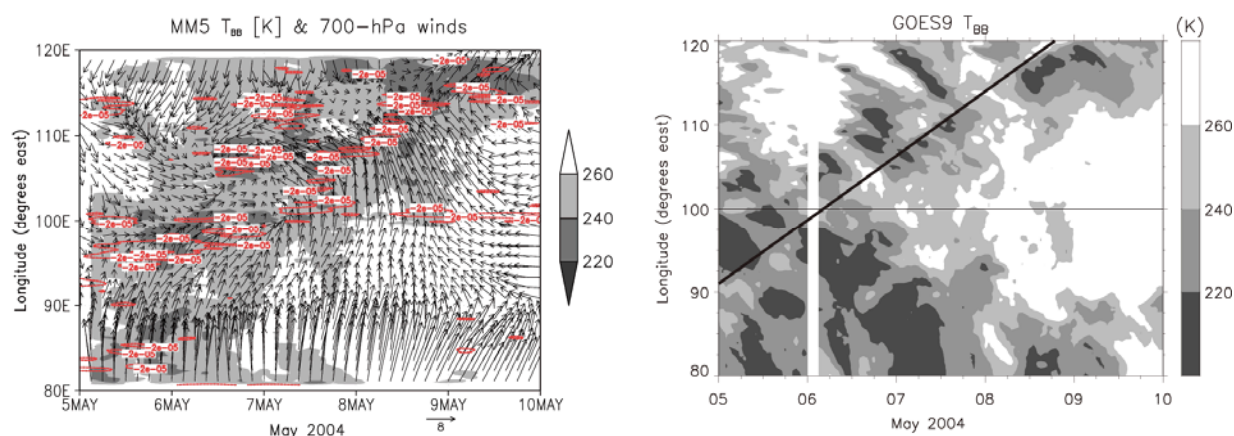


図 1: (左図) 標準実験における計算結果。TBB (グレイスケール、単位 K)・高度 700hPa における水平風 (矢印)、収束場 (数字付き等高値線図) を南緯 1 度から北緯 1 度まで平均した時間経度断面図で示す。水平風ベクトルは、左向ベクトルが南風を、上向きベクトルが西風を示している。(右図) 気象衛星 GOES-9 で観測された TBB の時間高度断面図。期間は 2004 年 5 月 5 日から 9 日の 5 日間である。

EAR が設置された Kototabang の緯度 (南緯 0.20 度) における経度高度断面図を図 2 に示す。今回注目する、スマトラ島山岳部 (東経 100 度–101 度) での上部対流圏 (100–300 hPa) における鉛直流擾乱は、標準実験においては大きいところで 0.16–0.24 m/s の振幅を持つ (図 2 左上)。一方、標準実験で見られる、山岳部において上部対流圏で卓越する鉛直流変動は、0 倍実験では見られない (図 2 右上)。この事実は、標準実験で見られる鉛直流変動が地形 (山岳) の効果により発生することを示している。

雲物理過程のない乾燥実験においては、山岳部において上部対流圏で卓越する鉛直流擾乱は、ほぼ全域で 0.16 m/s 以下である (図 2 右下)。この事実は、注目している鉛直流擾乱は積雲対流がなくとも発生するが、積雲対流の効果によりおよそ 50% の程度まで強化されることを示している。なお、乾燥実験では、山岳部以外において卓越した鉛直流擾乱は見られない。これは、山岳部以外の鉛直流擾乱は積雲対流に起因して発生することを示している。

さらに、積雲対流に伴う鉛直流変動において、積雲対流に伴う放射過程がどの程度

鉛直流擾乱に影響を与えるかを評価した。放射なし実験における山岳部での鉛直流擾乱は、標準実験と比較した場合、対流圏下層から成層圏に至る全層でやや小さいが、乾燥実験と比較して大きい（図 2 左下）。この事実は、放射過程が対流圏の鉛直流変動に及ぼす影響は存在するが、山岳部での鉛直流変動を決定するほど大きくはないことを示している。

放射なし実験では、山岳部の鉛直流変動以外にも興味深い結果が得られた。標準実験で見られた東経 98–99 度（海洋上）と東経 102–103 度（陸地）の鉛直流擾乱は、放射なし実験では消失する。過去の観測結果からは、スマトラ島での積雲対流は午後に山岳部で発生し、その後夜間に西進して洋上に至るものと、東進して内陸に進む 2 つのパターンが報告されている。このパターンが積雲対流内の放射過程なしでは消失する事実は、積雲対流内の放射過程が対流システムの移動を決定する要素であることを示唆している。

4. まとめ

山岳の高さを変えた実験・積雲対流の有無を考慮した実験により、スマトラ島山岳部の上部対流圏における鉛直流変動は、積雲対流のみでなく地形の影響が重要であることを示した。今後さらに EAR で得られた鉛直流の観測値との比較、検証を行う。

参考文献

- Grell, G. A., J. Dudhia, and D. R. Stauffer, A description of the fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model. (MM5), NCAR Tech. Note, NCAR/TN-398+STR, 117pp., 1995.
- Hong, S.-Y. and H.-L. Pan, Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model, Mon. Wea. Rev., 124, 2322–2339, 1996.
- Reisner, J., R. M. Rasmussen, and R. Brintjes, Explicit forecasting of supercooled liquid water in winter storms using the MM5 model, Quart. J. Roy. Meteorol. Soc., 124, 1071–1107, 1998.
- Yamamoto, M. K., N. Nishi, T. Horinouchi, M. Niwano, and S. Fukao, Vertical wind observation in the tropical upper troposphere by VHF wind profiler : A case study, Radio Sci., 42, RS3005, doi:10.1029/2006RS003538, 2007.

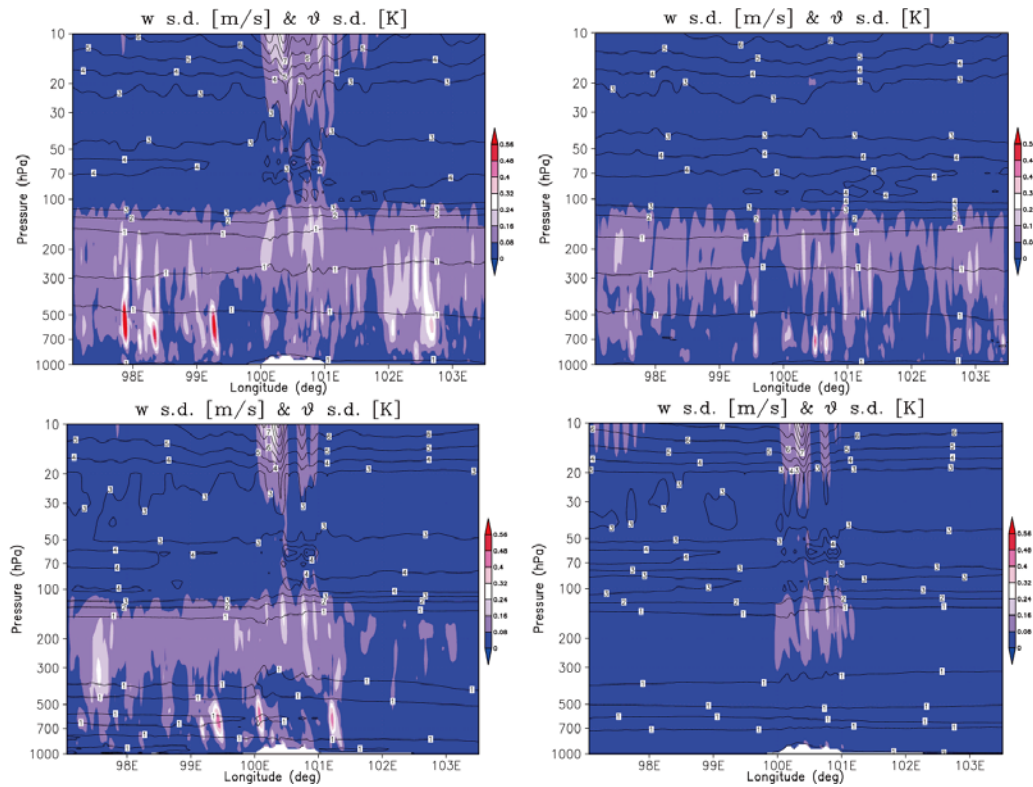


図 2： 南緯 0.25 度–0.15 度の範囲で平均した経度高度断面図。2004 年 5 月 5 日 0 Z から 9 日 21 Z までの期間における鉛直流の標準偏差を色つきで、温位の表示偏差を実線で示す。左上の図は標準実験の結果を、右上の図は 0 倍実験の結果を、左下の図は放射なし実験の結果を、右下の図は乾燥実験の結果をそれぞれ示す。