

「広域高解像度シミュレーションによるアジアモンスーン降水システムの解明」

神戸大学 都市安全研究センター 梶川 義幸

## 1 研究の背景と目的

日本を含むアジア域の気候を特徴づけるアジアモンスーンの季節進行や年々変動には、降水を伴う活発な対流活動が関係していることが知られている。しかしながら、精緻化・高解像度化の進む大気大循環モデルにおいても、アラビア海やベンガル湾、南シナ海における降水の再現性は依然として課題の1つである。これまでの研究を踏まえると、アジアモンスーン域に降水をもたらす対流活動システム解明の糸口として、熱帯域における急峻な山岳地形の影響評価と、その山岳地形が解像可能な数値シミュレーションにおける空間解像度の更なる増加があげられる。また、大気モデルの高解像度化により雲や擾乱の表現が変わり、降水システムへのフィードバック効果も考慮可能となる。本研究課題では、海面水温を境界条件として与える大気海洋相互作用を考慮しない基礎的な研究として、領域気候モデルを用いて高解像度・広領域で気候感度実験を行うことにより、アジアモンスーン域の降水をもたらす物理メカニズムに迫る。特に (1)モデルの水平解像度・(2)地形の表現に着目し、アジアモンスーン域における降水システムの解明を行い、気候モデルにおけるアジアモンスーンの再現性向上に資することを目的とする。

## 2 研究方法・研究内容

本研究課題では気候学的な夏季アジアモンスーンの降水をもたらす物理プロセスに迫るため、理化学研究所計算科学研究センター複合系気候科学研究チームを中心に開発された気象基盤ライブラリを基に構築されている領域気候モデル SCALE-RM [1,2,3] を用いて気候感度実験を行った。SCALE-RM は大気の流れ力学計算を扱う力学過程と、雲微物理、放射過程、地表面過程、乱流過程などを扱う物理過程で構成される。乱流過程は乱流を直接的に解く Smagorinsky スキームに加え、レイノルズ平均を基にした鉛直輸送量をパラメタ化して計算する MYNN level-2.5 境界層スキームを、放射過程は鉛直1次元方向に長波・短波を取り扱う放射スキームを、陸地・海洋との相互作用を表現する地表面過程は、Beljaars の地表面運動量・顕熱・潜熱フラックス計算スキームを採用した。また、Kain-Fritsch の積雲対流パラメタリゼーションを採用した。

気候感度実験では、アジアモンスーン域(東経 30 度-160 度, 南緯 20 度-北緯 45 度)を対象に、境界値データには NCEP FNL (Final) operational global analysis を用い、降水及び大気循環場の応答を解析した。計算対象領域および鉛直解像度(最下層は 80m) は全ての実験で同様であるが、モデルの水平格子間隔は(1)15km と(2)45km、モデルにおける地形の最大許容傾斜(dz/dx)は(a)1倍と(b)5倍の異なる設定を用いた。計算領域ならびに実験中の地形データを図1に示す。45km 解像度で最大許容傾斜度が1倍の場合が最も粗い地形であり、15km 解像度で最大許容傾斜度が5倍の実験がもっとも地形を精緻に表現できている。積分期間は5月31日から7月31日までの62日間であり、感度実験における年々変動の影響を除去するため各実験ともに2001年から2010年の10年間積分を行いその平均を気候値として議論する。全ての気候感度実験計算は「京」を用いて行った(課題番号: hp180268)。

## 3 研究成果

まず初めに、SCALE-RM を用いたアジアモンスーン域の45km 解像度実験で得られた結果を、境界値として与えた NCEP FNL 大気データおよび熱帯降雨観測衛星 TRMM

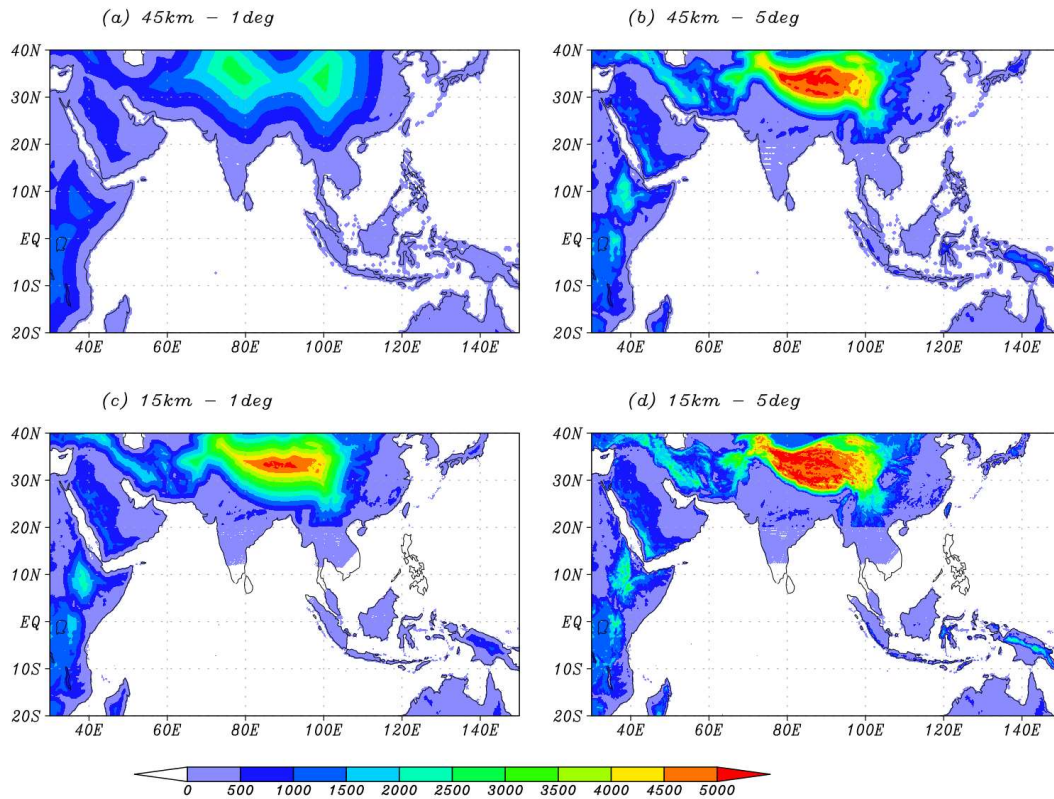


図 1: 実験対象領域と解像度斜度に準ずる地形 (m)

の降水データと比較した(図省略)。再現された気候学的降水分布は海洋上で過大評価傾向が見られるものの、山岳域の風上側に極値を持つ地理的分布は観測値と同様であり、それに伴う大気循環場も観測値に整合的であった。

次に 45km 解像度実験と 15km 解像度実験の比較を図 2 に示す。同じ 45km 解像度でも最大径許容傾斜が 5 倍の実験結果では、インドシナ半島からバングラデシュにかけて降水が増加傾向にある。一方、同じ最大許容斜度で異なる水平解像度の実験結果を比較すると以下の特徴が見られる。水平解像度の増加によりインド半島の西ガーツ山脈域の狭い領域でのみ降水の増加傾向が見られ、アラビア海やインド半島の内陸部では降水の減少傾向が見られる。下層の大気循環場もこれに応答する形でインドモンスーンの弱化が見られる。一方でインドシナ半島や南シナ海・フィリピン海周辺では降水の増加傾向が確認され、南半球側における降水の減少傾向に整合する形で海洋性大陸上と西部太平洋域における局所的な南北ハドレー循環が強化されている。特に、最大許容斜度が 5 倍の実験では、解像度が 15km になるとヒマラヤ山脈南東部における降水帯が形成され、それに伴い北緯 20 度付近での下層西風の強化が見られる。解像度の増加によってインドモンスーンと西部太平洋モンスーン域における降水の応答が異なることが示された。

上記の結果に対し(1)大気モデルの水平解像度 (2)モデルにおける地形の水平解像度のどちらの寄与が支配的であるのかを明らかにするために、水平解像度を 15km の大気モデルに 45km 解像度の地形を適応した実験を行った。図 3 は解像度 45km の地形を与えた大気モデル水平解像度 45km と 15km 実験結果の比較である。大気モデルの水平解像度増加にともない、インド半島、インドシナ半島における急峻な山脈沿いで降水の増加傾向が見られ、アジアモンスーン循環は広域で強化されていることがわかる。これは空間解像度の増加によりメソ擾乱や熱帯擾乱などの発生発達が進み、地形

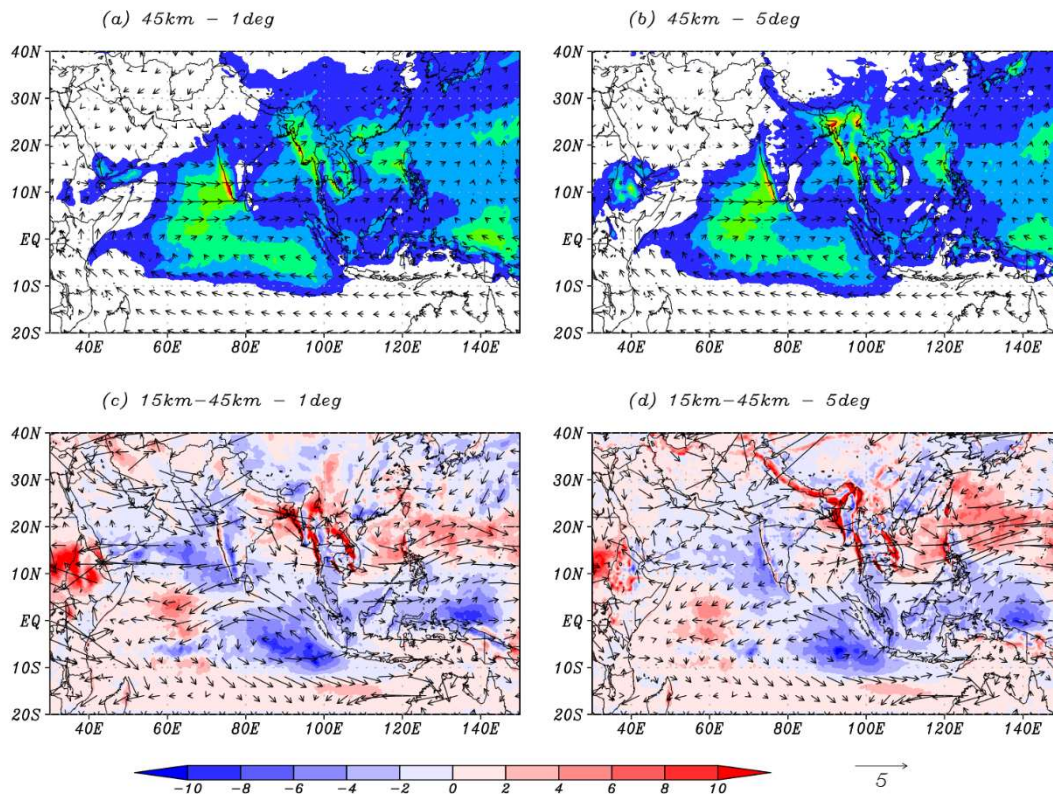


図 2: 上: 45km 解像度実験(最大許容傾斜 1 倍と 5 倍)における 6-7 月の降水量(陰影: mm/day)と 850hPa における大気循環場(矢羽: m/s)。下: 15km 解像度実験との差。

による強制上昇の生じる山岳域を中心に降水が増加したものと推測される。西部太平洋から東シナ海にかけては 2 種類の最大許容斜度実験結果間において反対の傾向を示しており、擾乱成分の発達過程などの詳細な解析が待たれる。

一方、水平解像度 15km の大気モデルに 45km 解像度と 15km 解像度のモデル地形を与えた感度実験の比較を図 4 に示す。この結果は図 2 に示した 45km 解像度実験と 15km 解像度実験の結果に類似しており、45km と 15km においては大気モデルの水平解像度より地形の水平解像度に感度が大きいことが示された。特に最大許容斜度が 5 倍の感度実験比較では図 2 と同様にヒマラヤ山麓沿いと南シナ海東部における降水量の増加傾向顕著であった。しかしながら、地形の高解像度化はアラビア海における降水の減少傾向、南シナ海における降水の増加傾向と対照的な応答を示しており、インドシナ半島から南シナ海にかけての降水量増加には地形の高解像度化が、インド半島における降水量の増加傾向には大気モデルの高解像度化が寄与している興味深い結果が得られた。

本研究課題では、45km と 15km の異なる解像度の領域気候モデルを用いた感度実験により、アジアモンスーン域の気候学的な降水帯の形成および再現性について明らかにした。大気モデルの水平解像度増加は、北緯 10 度から 25 度付近におけるアジアモンスーン域における降水帯およびそれに伴うモンスーン循環を強化するが、大気モデルに与える地形の高解像度化は、主にインドシナ半島から西部太平洋における降水帯の強化に寄与し、ヒマラヤ山麓沿いの降水帯強化によってインド半島やアラビア海の降水の減少に寄与することが示唆された。

#### 4 生活や産業への貢献および波及効果

本研究課題の実施により、これまでの計算機資源では実現不可能であった広領域・高空間解像度のダウンスケール実験が可能であることが示された。また、大気モデルにおけるアジアモンスーンの降水帯を形成する物理プロセスを明らかにし、数値シミュレーションにおける再現性の向上に寄与する。研究の波及効果として、本研究で使用した SCALE-RM や他の気候モデル開発への直接的な貢献や、気象気候予報精度向上への貢献があげられる。特に後者は、アジアモンスーン域における降水の再現性向上により台風の様な熱帯擾乱の発生予測の向上にも貢献が期待され、人間活動域の更なる防災減災への大きな波及効果となる。

#### 参考文献

- [1] Nishizawa, S., H. Yashiro, Y. Sato, Y. Miyamoto, and H. Tomita, 2015, Influence of grid aspect ratio on planetary boundary layer turbulence in large-eddy simulations, *Geosci. Model Dev.*, **8**, 3393-3419, doi:10.5194/gmd-8-3393-2015.
- [2] Sato, Y., S. Nishizawa, H. Yashiro, Y. Miyamoto, Y. Kajikawa, and H. Tomita, 2015, Impacts of cloud microphysics on trade wind cumulus: which cloud microphysics processes contribute to the diversity in a large eddy simulation? *Prog. Earth Planet. Sci.*, **2**, 23, doi:10.1186/s40645-015-0053-6.
- [3] Yoshida, R., S. Nishizawa, H. Yashiro, S. A. Adachi, Y. Sato, T. Yamaura, and H. Tomita, 2017, CONeP: A Cost-Effective Online Nesting Procedure for Regional Atmospheric Models, *Parallel Comput.*, **65**, 21-31, doi: 10.1016/j.parco.2017.04.004.

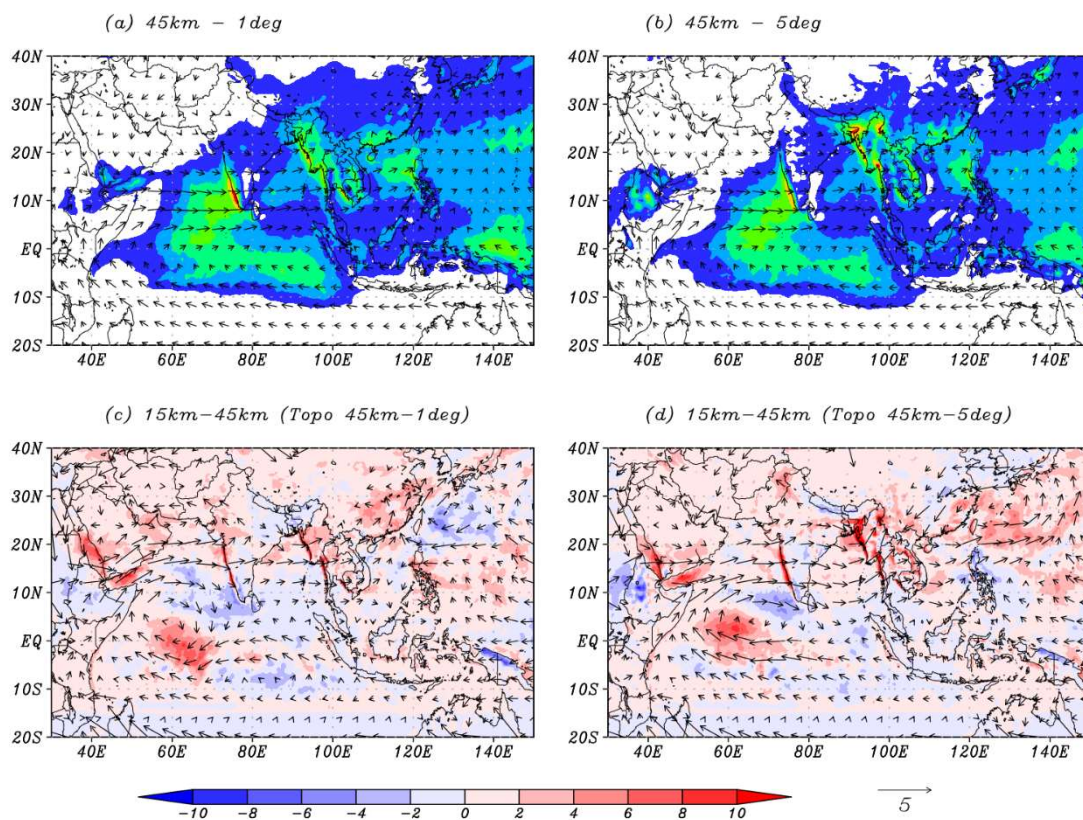


図3: 図2と同様。ただし地形は共に45km解像度。水平解像度のみ変更。

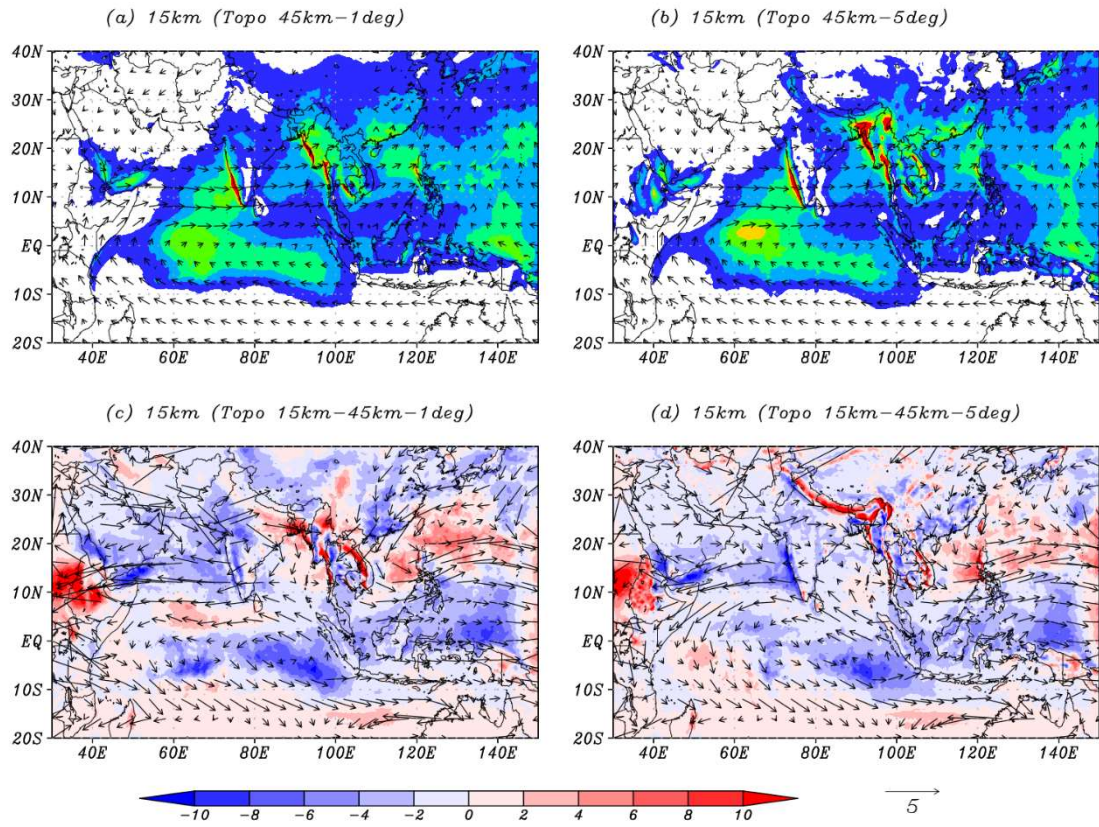


図 4: 図 2 と同様。ただしモデルの水平解像度は共に 15km。地形のみ変更。