

「水の循環系モデリングと利用システム」

平成13年度採択研究代表者

木本 昌秀

(東京大学気候システム研究センター 教授)

「階層的モデリングによる広域水循環予測」

1. 研究実施の概要

本研究は、大気－海洋－陸面過程を総合して表現する気候の数値モデルを用いて、東アジア域を中心とした広域水循環変動の長期予測可能性を探求することを目的としている。

季節ないし年々の時間スケールでの広域水循環の変動を予測するには全球をカバーする大気大循環モデルが必要であるが、現在広く用いられているモデルは水平格子間隔が300km程度以上であり、梅雨前線やその上で生じる激しい降雨をもたらす気象擾乱の表現はできていない。高分解能のモデルを開発してモンスーンや梅雨前線活動の年毎や季節内の変動の表現を目指す。また、エルニーニョ等に伴う大規模大気海洋相互作用の再現を可能にする大気海洋結合モデルを開発する。解像度だけでなく、格子点以下のスケールの物理過程の高度化を行う。このため、領域・雲解像モデル等も併用する。

モデルの高度化と平行して、過去の事例の予測実験や主要な変動モードの同定とそのメカニズム解析を通じて広域水循環変動について予測可能性の評価を行う。

2. 研究実施内容

(1) モデル開発

目的：モンスーンや梅雨前線に伴う降雨の年々、季節スケールでの再現性向上と予測可能性の評価を行う。

方法と結果：水平解像度T106（～120km）、鉛直56層（L56）の全球大気大循環モデルの開発・調整を行ってきた。大気水物質の移流スキームの改良、境界層、対流雲に係る過程の高度化等の作業をほぼ終了し、梅雨前線、モンスーンの変動の再現性を探っている。

現在気候モデルで広く用いられている水平300km程度の解像度では、梅雨前線がうまく表現できないことがよく知られている。今回の高解像度化により、物理過程の調整次第では梅雨前線とその上の数百kmスケールの降雨を伴う気象擾乱の表現が可能になることがわかった。図1は、夏季（6－8月）日本付近の水平250km格子での日別降水量の強度別頻度分布をこれまでの「低解像度」モデル（T42～280km格子、鉛直20層）と高解像度版、そして衛星データによる見積もりを比較したものである。低解像度モデルでは、弱い降雨の頻度を過大評価し、逆に強い降雨頻度を過小評価する傾向があるが、高解像度モデルでは

改善されている。これにより降雨の平均量、たとえば月平均値だけでなく、強い降雨の頻度の変動の予測可能性を議論することが可能になる。ただし、このような精度向上は、

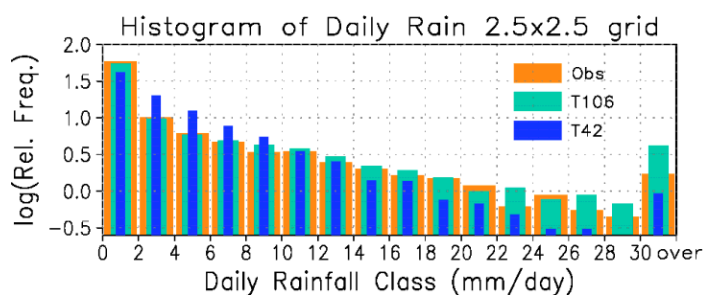


図1 日本付近の夏（6-8月）における日降水量の強度別頻度分布。

高解像度化のみによるのではなく、格子点以下の雲

や境界層過程の調整、例えば不安定成層に伴う積雲対流の生起条件の設定等に強く依存することがわかった。格子点以下の山岳地形による重力波抵抗がジェット気流の南北位置を微妙に変化させ、梅雨前線に伴う降雨バンドの表現に大きな影響を与えることも数値実験から示された。今後、どのような過程がよりよいシミュレーションに必要であるかを科学的知見としてまとめ、具体的事例の検証を通して予測可能性の評価を行ってゆく。

エルニーニョ等に伴う大規模大気海洋相互作用は、熱帯のみならず中緯度の水循環変動に大きな影響を及ぼす。大気と海洋を結合したモデルの再現性向上が望まれる。図2は、T42鉛直20層の大気モデルと緯度方向 1° ×経度方向 1.4° 、鉛直43層の海洋を結合したモデルで再現された夏季アジアモンスーン循環を観測値と比較したものである。海面水温もモデル中で計算する結合モデルにおいてモンスーンの下層西風ジェットや梅雨前線に伴う降雨バンド等が良好に再現された。図3は、アジアモンスーン域の水蒸气流束の年々変動偏差（=気候学的平均からのずれ）の代表的なパターンを経験的直交関数展開という多変量解析によって抽出したものである。観測データと結合モデルによるものを比較した。フィリピン東沖と南東インド洋上の降雨の双極子様の変動や南海上から日本付近にかけての高気圧性～低気圧性の循環偏差がよく再現されている。

結論：高解像大気モデルによりこれまで困難であった梅雨前線降雨帯の表現が可能になり、降雨頻度の変動の議論が可能になる。また、大気と海洋を結合したモデルにおいてもモンスーン域の広域水循環変動の主要パターンは再現できることが示された。

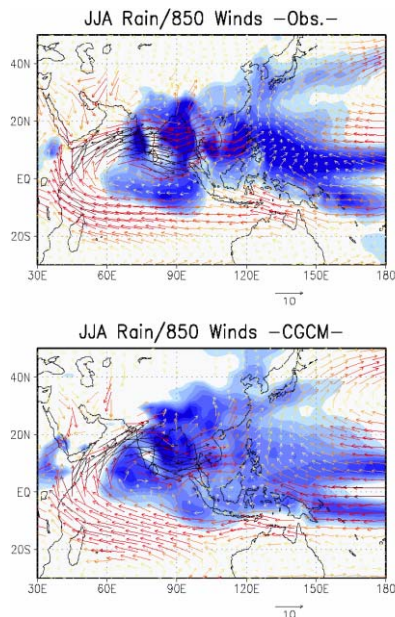


図2 夏季（6-8月）アジアモンスーンの降水量（陰影）と大気下層（850hPa）風の観測された気候値（上）と大気海洋結合モデルによるシミュレーション（下）。

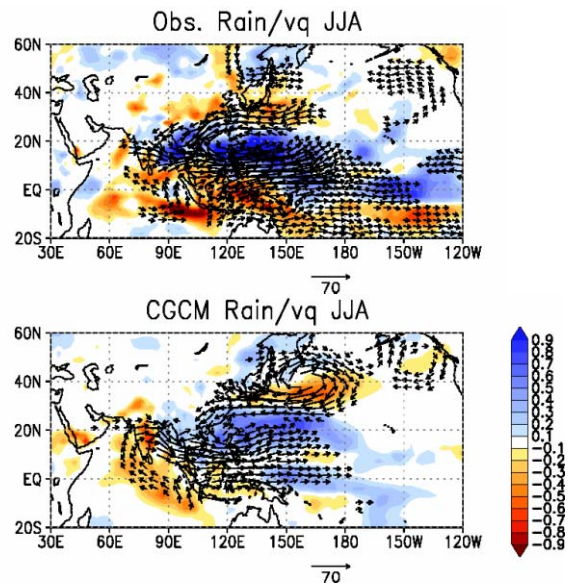


図3 夏季（6-8月）アジアモンスーンの水蒸気流束の主要変動モード。観測（上）と大気海洋結合モデルによるシミュレーション（下）。矢印はこのモードに伴う鉛直積算水蒸気流束偏差、陰影は降水量（陰影）を表す。

（2）予測可能性評価

目的：季節～年々スケールの広域水循環変動の予測可能性を明らかにする。どのような現象がいかなるメカニズムを経て予測されるのかに重点をおく。

方法と結果：ある年、ある月の降雨偏差はいくつかの要因の重ねあわせから生じることが多い。多様なフィードバックプロセスが共存する気候系の変動を理解するため、変動の主要モードを同定しその変動を他の要因との関係で整理しながら見てゆくことが有効と考えている。

上で紹介した夏季アジアモンスーン域の水蒸気流束の変動パターンの変動パターンの成因について、データ解析、大気モデルおよび線形化モデルによる数値実験により考察を行った。長江洪水の1998年夏はこのパターンが現れた典型的な年である。気候学的平均の海面水温を与えた大気モデルでも生起することなどから、このパターンは基本的には海面水温変動等「外的条件」の強制なしに生じうる大気の「内部変動」モードであることが明らかとなった。しかし同時に、色々な場所の熱帯海面水温偏差の組み合わせがこのパターンを励起することもわかる。大気モデルを用いた数値実験によれば、このパターンの過去50年の夏の年々変動の分散の39%は観測された海面水温を与えた大気モデルアンサンブルにより再現できる。

北半球冬季の中高緯度に卓越する変動として「北極振動」がよく知られている。本研究では、このモードの励起に関して、冬に先立つ秋のユーラシア大陸の陸面条件の役割について1988/89年や2000/01年の事例の予測に成功した数値実験結果の解析中である。また、

晩冬の北極振動に伴うユーラシアの陸面温度、積雪の偏差が引き続く初夏の東アジアにおける気候偏差、すなわちオホーツク高気圧の強弱と梅雨域の降雨の多寡に影響を与えていることがデータ解析からわかった。残念ながら低解像度モデルはこのような長いメモリを持つ一連の気候偏差をうまく再現できていない。陸面過程の役割、解像度の効果等についてなお考察を進める。

結論：一見混沌とした広域水循環の長期予測可能性も、主要変動モードにもとづく考察によりメカニズムに立ち入った議論が可能になる。具体的事例の検証を通じてより確かな科学的知見に高めてゆく。

3. 研究実施体制

基幹グループ

- ① 研究分担グループ長 木本 昌秀（東大気候システム研究センター、教授）
- ② 研究項目 大気および大気海洋結合大循環モデルの高解像度化に向けた調整
大気大循環モデルによる数値実験の実施

大気モデル開発サブグループ（1）

- ① 研究分担グループ長 野沢 徹（国立環境研究所、主任研究員）
- ② 研究項目 20世紀気候再現実験に向けた境界条件データの整備、モデルの気候感度解析

大気モデル開発サブグループ（2）

- ① 研究分担グループ長 熊倉 俊郎（長岡技術科学大学、助手）
- ② 研究項目 大気-陸面結合過程の高度化に関する検討

大気モデル開発サブグループ（3）

- ① 研究分担グループ長 江守 正多（地球フロンティア、研究員）
- ② 研究項目 大気大循環モデル、大気海洋結合モデルの高解像度化に向けたプログラム開発、気候感度実験の実施

大気モデル開発サブグループ（4）

- ① 研究分担グループ長 沈 学順（高度情報化学技術研究機構、招聘研究員）
- ② 研究項目 大気大循環モデルと領域モデルの結合に関する数値実験

大気モデル開発サブグループ（5）

- ① 研究分担グループ長 斉藤 和雄（気象庁予報部、予報官）
- ② 研究項目 大気大循環モデルの高解像度化、領域大気モデル並列化

予測グループ

- ① 研究分担グループ長 萬納寺 信嵩（気象庁気候・海洋気象部、気候モデル開発推進官）
- ② 研究項目 長期予報事例の検討。データ同化手法、モデル物理過程の改良。

4. 主な研究成果の発表（論文発表および特許出願）

（1）論文（原著論文）発表

- Watanabe, M., F.-F. Jin, and M. Kimoto, Tropical axisymmetric mode of variability. Part I: Dynamics as a neutral mode. J. Climate, 15 1537-1554, 2002.
- Ishii, M., M. Kimoto, M. Kachi, Historical ocean subsurface temperature analysis with error estimate. Monthly Weather Review, 131, 51-73, 2003.

（2）特許出願

なし