

「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300 km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を目的として高分解能モデルの開発、格子点以下のスケールの現象のパラメタリゼーションの精度向上を図る。

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、調整が進み、高解像度化による梅雨前線の表現力向上、モンスーンの変動の再現性向上が明らかになってきた。

これまで300km程度の分解能では表現の難しかった梅雨前線やその上の中間規模低気圧がT106モデルにすることによって表現できるようになった。図1はさらに分解能を上げたT213（～60km）モデルによる上空の水蒸気分布のスナップショットを低分解能モデルと比較したものである。気象擾乱に伴うフィラメント状の水蒸気分布が高分解能モデルではよく表現されている。一方、低分解能モデルでは明らかに拡散過多でぼやけてしまっている。

現在T106モデルにより過去事例の再現実験等を行うとともに、T213モデルにより1998年夏などの事例実験を行っている。

高分解能化のインパクトを示す一例として、夏季インド洋における40-50日周期での大規模雲塊の北進モードの表現を紹介する。図2は観測、T106、T42（～300 km）モデルによる外向き長波放射（OLR；数値が低いほど背の高い雲の存在を示す）の北進のようすを示す。OLRの20-120日周期成分を用い、赤道域5° S-5° N, 70°

E-90° Eで平均したOLR時系列をキーインデックスとしてそれと他の場所の20-120日周期成分OLRとの時差回帰係数を計算したものである。85° Eにおける緯度-時差断面を示している。観測およびT106モデルでは赤道域OLRが北進する傾向が現れているが、T42モデルでは赤道域とその北の亜熱帯域で定在波のようになってしまっている。T106とT42モデルの違いの理由は、高分解能化によって気候学平均的な下層風場の表現がよくなったことに求められる。図3は、観測、T106、T42モデルによる夏季（6～8月）平均の850hPa風ベクトルとロスビー波の復元力として働

く実効 β と呼ばれる量 $\beta^* = \frac{df}{dy} - \frac{d^2\bar{u}}{dy^2}$; f はCoriolisパラメータ、 \bar{u} は気候学平均の

帯状風成分) を陰影で示したものである。インド半島を南へ迂回する成分が観測、T106モデルでは表現されており、このため、実効 β の大きい領域がより低緯度まで広がっている。このような基本場の違いは赤道で大規模な雲塊が存在したときその北側に生じる低気圧性

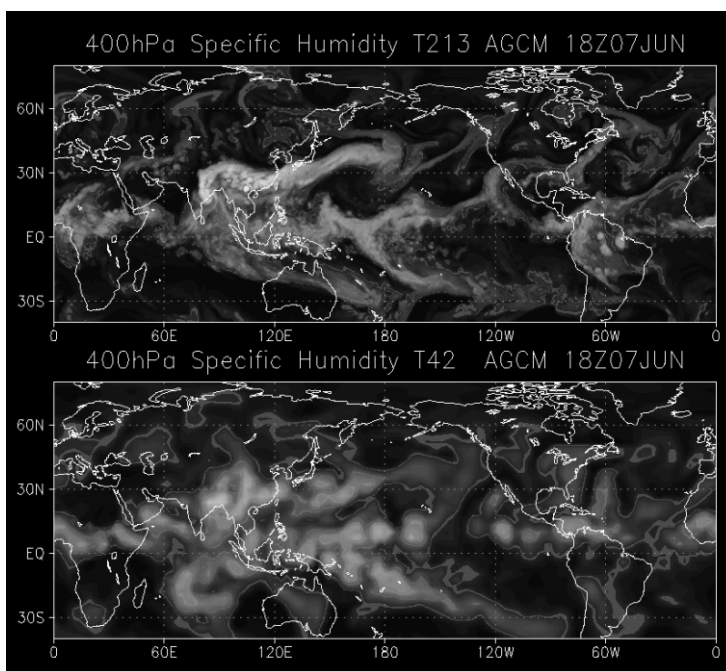


図1 上空約6kmの水蒸気分布。(上) 水平解像度約60km, (下) 300kmのモデル。6月上旬のシミュレーション。高解像度モデルでは梅雨前線に伴う東西の雲バンドが表現されている。

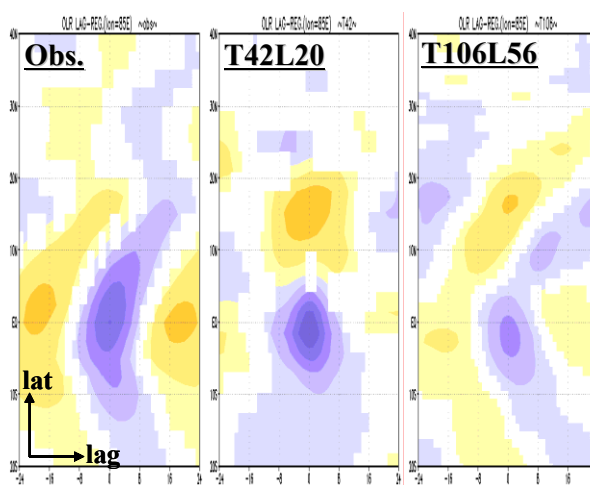


図2 20-120日周期成分OLRの時差-緯度断面図。赤道域5° S-5° N, 70° E-90° Eで平均したOLR時系列をキーインデックスとしてそれと他の場所のOLRの回帰係数を計算した。(左) 観測値、(中) T42モデル、(右) T106モデル。

循環の応答の強さの違いをもたらす。図4は、観測、T106、T42モデルの気候値を基本場にして、インド洋赤道域の雲による加熱を与えたときの循環応答を線型大気モデルによって計算したものである。観測、T106基本場では加熱域北方に低気圧性循環が生じているが、T42基本場では応答が著しく弱い。低気圧性循環域では境界層収束等により水蒸気が蓄積され鉛直安定度が悪くなる。そのため、元赤道にあった雲塊が北方へ移動するものと考えられる。

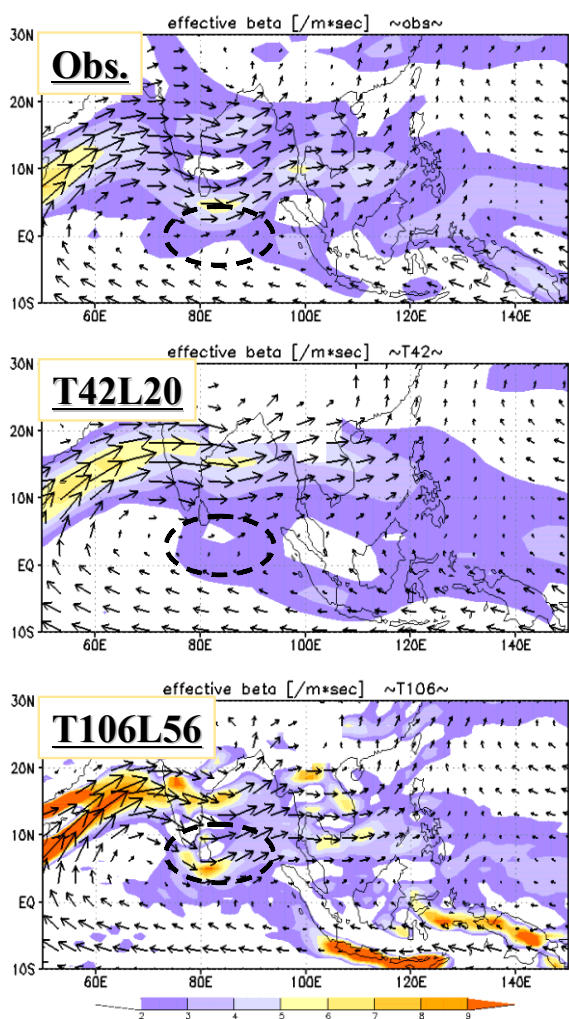


図3 夏季インド洋における気候学的な850hPa風ベクトルと実効 β （陰影）の分布。（上）観測、（中）T42モデル、（下）T106モデル。

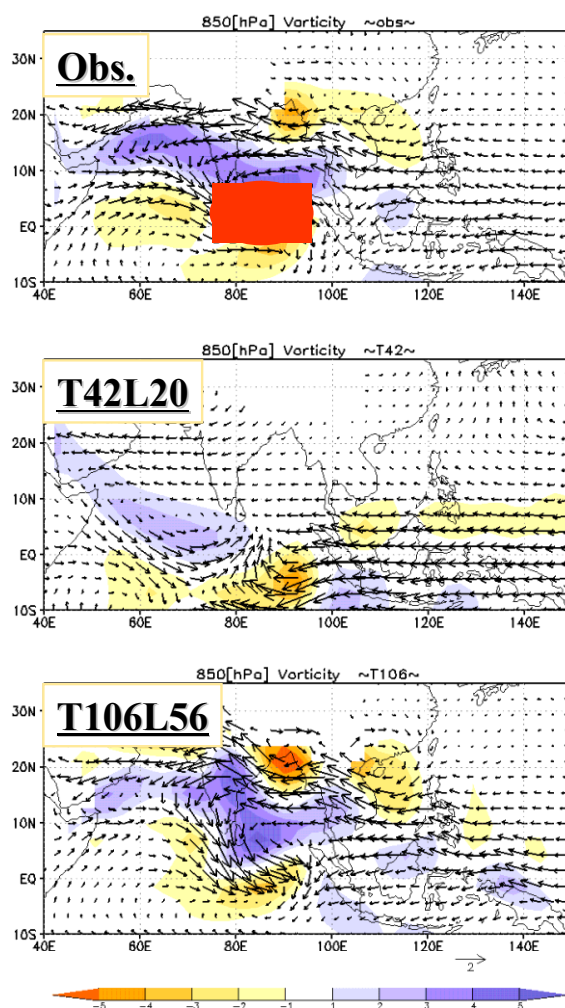


図4 （上）観測、（中）T42モデル、（下）T106モデルの気候値を基本場として上図楕円域に加熱を与えたときの線型応答。ベクトル、陰影は850hPa風と渦度を表す。

大気海洋結合モデルについても、T42鉛直20層大気+緯度方向 $1^\circ \times$ 経度方向 1.4° 、鉛直43層の海洋を結合したモデルに加えて、T106鉛直56層大気+ $1/4^\circ \times 1/6^\circ$ 鉛直48層海洋を結合したモデルにより解像度のインパクトを調べている。高分解能では結合モデルにおいても梅雨前線が表現できるようになった。

また、格子点以下のスケールの物理過程のパラメタリゼーション向上を図る新しい研究

手段として大循環モデルの物理過程パッケージの代わりに雲解像モデルを用いる、いわゆる「スーパーパラメタリゼーション」という手法の検討を始めた。計算量は飛躍的に増大するが、行き詰まりつつある現存パラメタリゼーションを打開する有望な方法ではないかと考えている。

結論：高解像モデルによりこれまで困難であった梅雨前線降雨帯やモンスーン域の季節内変動の表現を向上させることができた。

(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。

T106鉛直56層大気モデルに1979-98年の観測された海面水温を与えた長期積分を初期値を変えて3本行った。T42鉛直20層モデルの結果と比較しつつ、大規模水循環の年々変動再現性におけるモデル解像度の効果を検討している。一例として、われわれが少し前に発見した、熱帯環状モードの年々変動の再現性を示す北半球冬季(12-2月)時系列を図5に示す。このモードはエルニーニョ等によって効果的に励起され、熱帯のみならず全球的なテレコネクションを生じる。図6は観測された熱帯環状モードに伴う地表気温と500hPa高度の偏差図を示す。500hPa高度偏差を見ると南北半球の中高緯度の偏差パターンの表現は高解像度モデルの方が格段に観測に近いことがわかる。

極東域の夏季の天候を支配するオホーツク海高気圧の年々変動を調べた結果、春先に来たシベリアで地表気温が高いと引き続く初夏にオホーツク海近辺でブロッキング高気圧が頻繁に形成されるという事実が明らかになった(図7、図8)。春にシベリアの気温が高いとまだ冷たい北極海との温度差で上空のジェット気流が形成されやすくなるのではないかと推察されるが、詳細は今後の課題である。ユーラシア大陸が冷夏、長梅雨など極東の初夏の天候に与える影響は、これまで明らかにされてこなかった。観測データの解析、モデル実験を通して今後も検討を続ける。2その折りも折り、2003年は10年ぶりの冷夏となった。この例はシベリアの陸面温度はあまり関与していなかったように見えるが、北大西洋からの波動伝搬(テレコネクション)が盛んであったことがわかった。モデルによるhindcast実験を行い、現在解析中である。

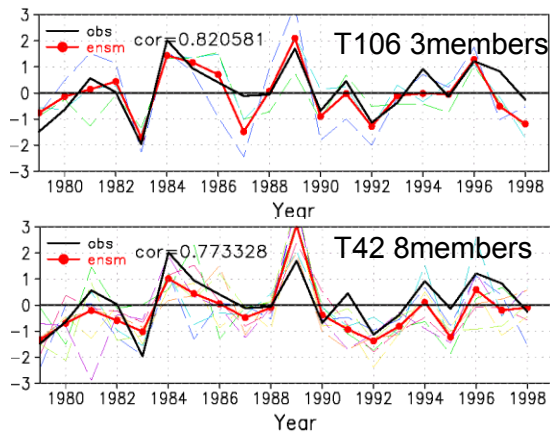


図5 冬季（12-2月）熱帯環状モードの年々変動再現性。太い黒線は観測値、太い赤線はモデルのアンサンブル平均値。細い線はアンサンブル各メンバーの値。（上）T106モデル（アンサンブル数：3）、（下）T42モデル（アンサンブル数：8）。Corはアンサンブル平均と観測時系列の相関係数。

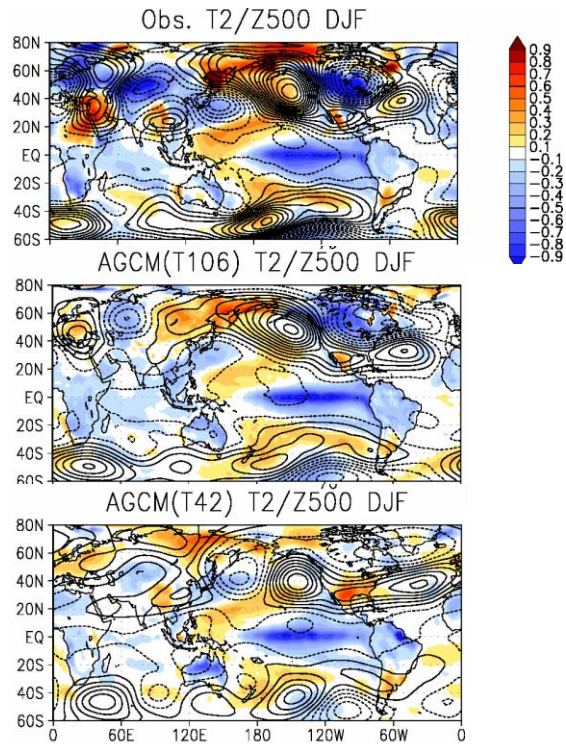


図6 冬季（12-2月）熱帯環状モードの年々変動に伴う全球テレコネクション構造。環状モードの時系列と地表2m気温（陰影）、500hPa高度偏差（等値線）の回帰係数。（上）観測、（中）T106モデル（3メンバーアンサンブル平均）、（下）T42モデル（8メンバーアンサンブル平均）。

結論：降水量の多い日本の夏の天候は、昨年来研究している日本南方での水蒸気変動モードに加えて、シベリアなど北方の影響も受ける。これらを分離しながら過去事例の検討、再現実験を行ってゆく。

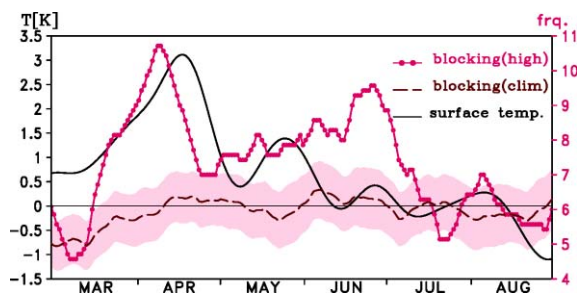


図7 4月シベリア北部の地表気温偏差（黒実線）が大きかった年の極東におけるブロッキング頻度の指数（赤線）。破線と陰影域は、ブロッキング指数の過去50年間の平均値と1標準偏差範囲。4月のシベリア高温の影響が7月初めまでより下流のブロッキング頻度に影響を与えている。また図は省略するが、ブロッキングの強さ、持続性も平年に比べて増大することがわかった。（Arai and Kimoto 2004）

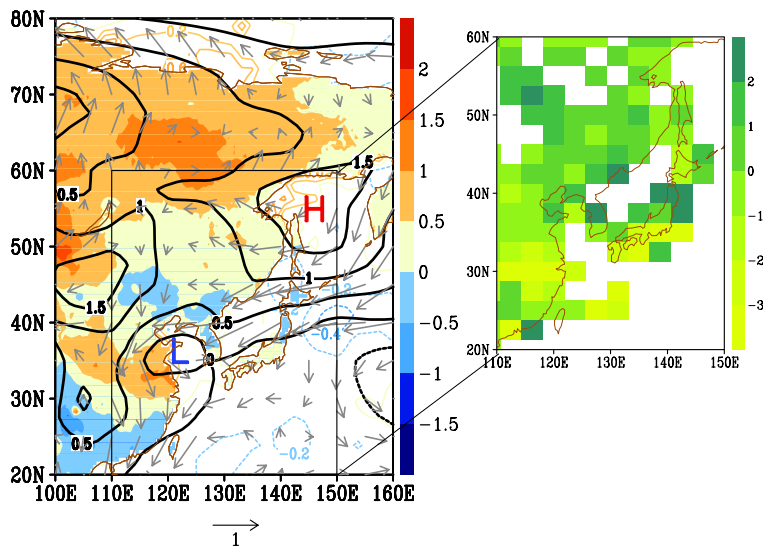


図8 4月シベリア北部の地表気温偏差（黒実線）が大きかった年の5-6月の偏差合成図。（左）陰影は地表気温、等値線は海面気圧、矢印は850hPa風ベクトル、海上の色付き等値線は海面上の気温。（右）降水量偏差。典型的な冷夏型天気図になっている。（Arai and Kimoto 2004）

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 井上 孝洋（高度情報化学技術研究機構、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 尾瀬 智昭
(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) 論文発表

- Kikuchi, K. and Y. N. Takayabu, 2003: Equatorial circumnavigation of moisture signal associated with the Madden-Julian Oscillation (MJO) during boreal winter. J. Meteor. Soc. Japan vol.81, 851-869.
- 熊倉俊郎, 山野井克己, 早川典生, 2004: 積雪の多層圧密モデルを用いた北陸地方の降積雪現象の解析. 日本雪氷学会誌「雪氷」, 66, 35-50.
- 熊倉俊郎, 早川典生, 2004: 降雪数値実験による北陸地方の降雪予測に関する研究. 水工学論文集, 48, 277-282.

(2) 特許出願

H14年度特許出願件数：0件（研究期間累積件数：0件）