

「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究することを目的としている。

大気大循環モデルおよび大気海洋結合大循環モデルの高解像度化およびそれに伴う物理過程などの調整が一段落し、梅雨前線やそれに伴う循環偏差の表現が向上することを確認した。とくに大気海洋結合モデルについて本年度は、大気海洋それぞれの解像度を変えた色々な組み合わせでの実験を行い、調整したモデルがどのような組み合わせでも安定な長期積分に耐えることを確認した。

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っている。日本を始めとする東アジアの夏季天候の変動について、シベリアを通して極東に伝搬する大気波動や、海水温変動に対する東アジアの循環変動の再現性が、高解像度化によって著しく向上することがわかった。

これまでに開発してきた線型モデルを用いて、2005 年 12 月に日本を襲った大雪の要因として、東南アジアで活発であった大規模対流活動の影響も大きかったことをいち早く確認できた。また、領域モデルと大循環モデルの結合プログラムを開発し、狭領域からより広域の循環へのインパクト評価、広域モデル改良の指針を得ることを目指している。

2. 研究実施内容

これまで、100km 格子の大気大循環モデルおよびそれと 20×30km 格子の海洋を結合した高解像モデルの調整を行ってきたが、物理過程などの調整も一段落し、梅雨前線や、降雨の日変化や強度の頻度分布などが向上することを確認した。本年度は、さらなる高解像度化を目指し、また、大気海洋双方における解像度のインパクトを明らかにするために、大気、海洋の高解像度、中解像度版を互いに差し替えたモデルを構築し、数十年以上の長期積分を行った。用いた大気モデルの解像度は、300、100、60km、海洋は、上記のものと約 100km のものである。大気海洋のあらゆる組み合わせにおいて、フラックス調整と呼ばれ

る人為的な調節なしで、ドリフトのない良好な気候状態を再現することができた。これまで、大気海洋結合気候モデルにおいてはドリフトを避けるための調整が課題とされてきたが、大気海洋双方で慎重なチューニングを行うことにより、安定な気候を再現できることが示された。

高解像大循環モデルといえども数 10km スケールの降水現象の再現はまだできない。北陸地方を対象とした領域モデルによるシミュレーション、また、積雪の物理モデルを開発して、豪雪地域における局地降積雪の再現と予測可能性を探る試みを進めている。圧密過程を含む多層モデルに、熱収支式及び底面融雪の導入と湿雪の考慮することによりパフォーマンスを改善することができた。

大気大循環モデルのパラメタリゼーションの代わりに 2 次元（水平一方向一鉛直）の雲解像モデルを用いるスーパーパラメタリゼーション手法の有効性とパラメタリゼーション改良へのインパクトを評価するため、プロトタイプモデルの構築を行ってきたが、計算資源の問題もあり、本年度はややアプローチを修正して、領域モデルと大循環モデルの結合プログラムを開発した。狭領域からより広域の循環へのインパクト評価、広域モデル改良の指針を得ることを目指している。パラメタリゼーション向上への重要な基礎研究と位置付け、堅実に進捗させる。

高解像度大気モデルの長期積分結果を用いて、夏季東アジア域の年々変動の再現性と温暖化による変化を調べた。まず、現在気候の再現実験結果に対し、夏季の東アジア域の 500hPa 面高度の年々変動に対し主成分解析を行い、変動パターンを観測データから求めたものと比較した。第一主成分の空間パターンは、東シベリア上、日本上空に異なる符号を持ち、さらにその南側にも日本上空と異符号の作用中心を持つ、北冷西暑型のよく知られたものである。この主成分は、正のときに東南アジアから北西太平洋にかけて帯状の降雨の増加、すなわち梅雨前線の強化を伴う。これらの空間パターンの特徴及び主成分の時系列は、観測の第一主成分のものとよく似ていることから、このモデルでの夏季東アジア域の気候の再現性が良いことが分かった。300km 格子の低解像度モデルでは再現性は芳しくなかった。高解像度モデルの使用が東アジアの広域水循環変動の研究に必須であることを示すことができた。現在気候の年々変動をこの変動成分上に投影したところ、投影した値が正の場合と負の場合との、出現頻度のほぼ同じ 2 つのレジームにきれいに分かれていることを見出した。観測データでは期間が短く、はっきりしない。このような二極分化のメカニズム解明は、科学的に大変興味深い。次に、温暖化実験の結果の年々変動を、同様に現在気候の第一主成分に投影すると、この 2 つのレジームのうち正のレジームに偏る傾向が見られた。これは、温暖化時の気候値と現在気候の気候値の差において、東シベリア上に高気圧偏差、その南側で低気圧偏差を持ち、梅雨前線上の降水が増加するという、現在

気候における第一主成分に伴う空間パターンによく似た構造が現れることを、年々変動の変化から裏付けている。また、現在気候の第一主成分で回帰した地表面気温からは、太平洋上、大西洋上に有意性の高いシグナルが見られる他、東シベリア上の高温偏差も有意であった。このことは、ユーラシア大陸上の高温偏差が東シベリア上空の高気圧偏差と関係する、というこれまでの研究とも一致している。本研究で明らかになった海面上の境界条件がどのように夏季東アジアの気候に影響を及ぼすのか、そのメカニズムを明らかにすることが今後の課題である。

2005年12月の北日本は、予報に反して著しい低温、大雪となった。この原因の一つは、北極振動と呼ばれる北半球規模の寒気吹き出しを支配する気圧偏差パターンの符号が11月半ばに急転したことでとされるが、同時に、熱帯域、東南アジアの大規模対流活動の活発化も顕著であった。これまでに開発してきた線型モデルを用いて、この対流活動が大規模波動の励起を通じて、日本付近での冬型気圧配置の強化を誘起し、数十年ぶりの大雪の一因となっていたことをいち早く確認できた。今後、大気大循環モデルを用いて、海面水温偏差のインパクトも評価してゆく必要がある。

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（東京大学 気候システム 研究センター、教授）
- ②研究項目：高解像度化に向けた大気、海洋、結合モデルの総合調整。
広域水循環の長期予測可能性実験の実施。

「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（国立環境研究所大気物理研究室、主任研究員）
- ②研究項目：中解像度大気海洋結合モデル調整。モデルの気候感度解析。20世紀再現実験実施。

「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 環境・建設系、助教授）
- ②研究項目：高解像度化に向けた陸面過程調整。

「大気モデル開発サブグループ（3）」

- ①研究分担グループ長：西村 照幸（地球環境フロンティア研究センター、研究員）
- ②研究項目：プログラム高速化。高解像度モデルの開発、および実験の実施。

「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（高度情報科学技術研究機構 計算科学技術第 2 部、研究員）

②研究項目：モデルの計算効率向上。プログラム管理。

「大気モデル開発サブグループ（５）」

①研究分担グループ長：竹内 義明（気象庁予報部、数値予報班長）

②研究項目：高分解能大気モデル力学過程の検討。領域・雲解像モデルの開発。

「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：予測事例検討，海洋・陸面データ同化開発。

4. 主な研究成果の発表

（１） 論文（原著論文）発表

- Yokohata, T., S. Emori, T. Nozawa, Y. Tsushima, T. Ogura and M. Kimoto, 2005: Climate response to volcanic forcing: Validation of climate sensitivity of a coupled atmosphere-ocean general circulation model. *Geophys. Res. Lett.*, in press
- Arai, M., and M. Kimoto, 2005: Relationship between Springtime Surface Temperature and Early Summer Blocking Activity over Siberia. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol.83, No.2, pp261-267.
- Kimoto, M., N. Yasutomi, C. Yokoyama and S. Emori, 2005: Projected changes in precipitation characteristics near Japan under the global warming, *SOLA*, 1, 85-88, doi: 10.2151/sola. 2005-023.
- Chen, X., M. Kimoto, and M. Takahashi, 2005: Changes in ENSO in response to greenhouse warming as simulated by the CCSR/NIES/FRCGC coupled GCM. *SOLA*, 1, 149-152, doi: 10.2151/aola. 2005-039.
- 木本昌秀, 2005: 欧州熱波と日本の冷夏 2003. *日本気象学会誌「天気」*, vol. 52, no. 8, 608-612.
- Hasegawa, A. and S. Emori, 2005: Tropical cyclones and associated precipitation over the western North Pacific: T106 atmospheric GCM simulation for present and doubled CO2 climates., *SOLA*, 1, 145-148, doi:10.2151/sola.2005-038.
- Yokohata, T., S. Emori, T. Nozawa, Y. Tsushima, T. Ogura, and M. Kimoto, 2005: A simple scheme for climate feedback analysis. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L19703, doi:10.1029/2005GL023673.
- Miura, H., H.Tomita, T.Nasuno, S.Iga, M.Satoh, and T.Matsuno, 2005: A climate

- sensitivity test using a global cloud resolving model under an aqua planet condition. *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 32, No. 19, L19717 10.1029/2005GL023672.
- Ishii, M., M. Kimoto, K. Sakamoto, S.-I. Iwasaki, 2006: Steric sea level changes estimated from historical ocean subsurface temperature and salinity analyses., *J. Oceanogr*, Vol. 62, No. 2, 155–170.
 - Miura, H., and M. Kimoto, 2005: A comparison of grid quality of optimized spherical hexagonal-pentagonal geodesic grids., *Mon. Wea. Rev.*, 133, No.10, 2817–2833.
 - Tsushima, Y., S. Emori, T. Ogura, M. Kimoto, M. J. Webb, K. D. Williams, M. A. Ringer, B. J. Soden, B. Li, and N. Andronova, 2006: A multi-model analysis of the distribution of mixed-phase clouds in AGCMs, for control and doubled carbon dioxide simulations., *Clim. Dyn.*, doi:10.1007/s00382-006-0127-7.
 - Shiogama, H., M. Watanabe, M. Kimoto, and T. Nozawa, 2005: Anthropogenic and natural forcing impacts on ENSO-like decadal variability during the second half of the 20th century., *Geophys. Res. Lett.*, 32, L21714, doi:10.1029/2005GL023871.
 - Yasunari, T., K. Saito, and K. Takata, 2005: Relative roles of large-scale orography and land-surface processes in the global hydro-climate. Part I. Impacts on monsoon systems and the tropics. *J. Hydrometeor.*, in press.
 - Saito, K., T. Yasunari, T., and K. Takata, 2006: Relative roles of large-scale orography and land-surface processes in the global hydro-climate. Part II. Impacts on hydro-climate over Eurasia. *J. Hydrometeor.*, in press.