

機関番号：12601  
 研究種目：若手研究(A)  
 研究期間：2008～2010  
 課題番号：20684020  
 研究課題名(和文)卓越大気変動のメカニズムと予測可能性：階層的モデリングによるアプローチ  
 研究課題名(英文) Mechanisms and predictability of the dominant atmospheric variability: An approach using a hierarchical modeling  
 研究代表者  
 渡部 雅浩 (WATANABE MASAHIRO)  
 東京大学・大気海洋研究所・准教授  
 研究者番号：70344497

研究成果の概要(和文)：卓越的な大規模大気循環変動の理解に向けて、複雑さの異なるモデル群を開発した。この階層的モデリングによるアプローチを用いて数値実験を行った結果、夏季卓越変動の強制過程などを明らかにすることができた。また、アンサンブルカルマンフィルタに基づく疑似的な予報システムを構築し、予報モデルの誤差を低減する同化手法を提案した。これにより、1カ月予報の予報スキルを向上する可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：We developed a group of atmospheric models having different levels of complexity. They are used cooperatively to examine the mechanisms of dominant circulation variability and clarified, for example, forcing processes for the summertime teleconnection patterns. We also developed an experimental forecast system based on the ensemble Kalman filter. By extending the system such that the model's parameters are assimilated and perturbed, we showed an improvement in the 1-mo forecast skill, which is due to the reduction of the model error.

#### 交付決定額

(金額単位：円)

|        | 直接経費       | 間接経費      | 合計         |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2008年度 | 7,200,000  | 2,160,000 | 9,360,000  |
| 2009年度 | 5,900,000  | 1,770,000 | 7,670,000  |
| 2010年度 | 5,600,000  | 1,680,000 | 7,280,000  |
| 年度     |            |           |            |
| 年度     |            |           |            |
| 総計     | 18,700,000 | 5,610,000 | 24,310,000 |

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学、気象・海洋物理・陸水学(4402)

キーワード：気象

#### 1. 研究開始当初の背景

(1) ここ数年、地球温暖化との関連で異常気象に対する社会の関心が高い。集中豪雨や猛暑の背後には、より緩やかに時間変化する大規模な中高緯度大気循環の変動があるが、特

に卓越する大気変動の形成・持続メカニズムおよび力学的予測可能は未だに断片的にしか解明されていない。

(2) 研究代表者はこれまで、卓越大気変動の力学的起源を解明するための数値的研究を

継続的に行ってきた。特に、卓越変動の空間構造が中緯度大気の気候学的な平均場に内在する力学的な中立モードであるという結果は、国内外で認知されている。一方で、大気変動を研究する手段は、簡易な力学モデルから複雑な大循環モデルまで幅広く、それらは必ずしも相互に連携して用いられていない。そこで、卓越循環変動の理解をターゲットとして、階層的な数値モデルを統合した発展的研究が望まれている。

## 2. 研究の目的

本研究では、代表者のこれまでの研究成果である力学モデル群を統合し、複雑さの異なる階層的モデリングによる大気変動研究へのアプローチを確立する。それにより、1週間～1ヶ月程度の時間スケールで中高緯度の天候を支配する卓越大気変動の力学的メカニズム解明に資する成果をあげることを目的とする。

## 3. 研究の方法

### (1) 階層的モデル群の開発

本研究では、力学フレームを共有する階層的モデル群を用いてさまざまな数値実験を行う。ベースとなるのは、研究代表者が開発してきた線型傾圧モデル(LBM)および大気大循環モデル(AGCM)である。前者はメカニズム研究に用い、後者はより現実的な変動の再現・予測可能性研究に用いる。さらに、これらを繋ぐ非線型力学コア(NLBM)を開発する。予測可能性研究にはデータ同化/初期摂動作成スキームの開発が不可欠であり、AGCMにアンサンブル・カルマンフィルタ(EnKF)を組み込んで擬似予報システムを構築する。

### (2) 階層的モデリングによる研究

卓越変動の強制過程を理解することは本研究の主な課題の一つであるが、AGCMでは大気変動に対する直接的な強制源である非断熱加熱に誤差を含む。そこで、非断熱加熱を与えて年々変動を再現するNLBMのアンサンブル実験を行い、メカニズムをLBMで詳しく調べる。

一方、卓越変動の予測可能性を疑似予報システムで調べる際、モデル(AGCM)が不完全であることが問題となる。そこで、まずはパーフェクトモデルの仮定に従い、AGCMの長期積分を「真の」場と見なして予報を行い、モデルの誤差の影響を最小限にできるような同化・予報システムの改善を行う。

## 4. 研究成果

### (1) LBMを用いた循環変動の診断

LBMに客観解析データから得られる全ての強制項を与えて定常応答を求めることで、1979年以降の月々の大気循環偏差場の再現実験を実施した。この診断は準リアルタイムでウェブサイトにはアップされるようにし、気象庁の異常気象要因分析にも参考情報として用いることになった。また、従来通りの手法でLBMを用いたいくつかの「メカニズム研究を行い、結果をまとめた(文献①、④)。

### (2) NLBMの開発および応用

AGCMとLBMを繋ぐ要素として、水蒸気を考慮しない乾燥大気AGCMであるNLBMを構築した。まずはモデルの検証としてジェット変動を想定した傾圧波動のライフサイクル実験を行い、非定常擾乱からのフィードバックに符号非対称性があることを明らかにした(文献③⑩)。より現実的な変動を対象とした結果、NLBMは客観解析データから推定される非断熱加熱を与えることで、観測される平均場と変動をよく再現することが分かったので、応用として加熱の年々変動がある場合とない場合で各々アンサンブル長期積分を行い、潜在的予測可能性の変化やテレコネクション・パターンの時間変動の違いについて解析した。その結果、今までよくわかっていなかった夏季のテレコネクションの励起について興味深い結果が得られた。すなわち、東アジアの天候に影響するユーラシア大陸上の波状の循環場変動が、特定の領域における加熱偏差によってある程度コントロールされるということが分かった。この過程をさらにLBMを用いた診断で調べ、夏季天候変動の予測向上のためには全球のどの地域の非断熱加熱(=降水変動)を正確に表現しなければならないかについて有益な知見を得た(文献⑥)。

### (3) 疑似予報システムとその改善

疑似予報システムの核となるデータ同化・初期摂動作成スキーム(pEnKF)の開発を終了した。このシステムは、同化サイクルにモデルのパラメータを含み、初期値だけでなくモデルアンサンブルを行うことでモデル誤差の影響を低減することができる。まずはシステムの検証を低自由度のモデルで行い、結果を投稿論文としてまとめた(文献⑧)。次に、pEnKFを低解像度のAGCMに適用し、1997-2000年の3年間について観測された海面水温の初期値も合わせて用いた1カ月予報実験を行った。その結果、pEnKFを用いた場合には従来のEnKFを用いた予報よりも特に低緯度の気温・水蒸気の初期値推定精度がよくなることにより、予測スキルが向上することが分かった(文献⑧)。

### (4) その他の成果

現業予報プロダクトを用いて卓越大気変動の予測可能性を探ることも本研究の課題の一部と考え、気象庁が現業化前の検証として行った 1982~2002 年のアンサンブル 1 か月予報のデータを詳細に解析し、夏季の帯状平均場の予測スキルが高いこと、それに伴う領域的な気温変化が無視できないこと、帯状平均場の予測は地域的な海面水温偏差が駆動していることを明らかにした。

さらに、従来注目されてこなかった大気による南北エネルギー輸送における定常波-非定常波間の補償関係を見出した(文献⑤)。これはただちに本研究課題にむすびつくものではないが、基本的な大気大循環の理解に資する成果として、さらにメカニズムの解明をすすめている。

盛んに報道されたように、2010 年の夏は日本では猛暑であった。本課題当初の目的にはなかったが、この猛暑をもたらした要因について、本課題で用いてきた AGCM と LBM で臨時の診断解析を実施した。その結果、大きな要因は確かにエルニーニョからラニーニャへ遷移した熱帯海面水温の変動であるが、温暖化に伴う長期的な海水温上昇が暑夏の 2~4 割程度に貢献していたこと、夏季後半の猛暑にはユーラシア大陸上の循環場変動が関わっており、それは海面水温変動とは独立な大気自身のカオス的性質による変動の上限近い極端なものであったこと、などが分かった。これらの結果を一般向けにまとめて記者発表を実施し、いくつかの新聞に記事が掲載された。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 12 件)

- ①Ha, K.-J., J.-E. Chu, J.-Y. Lee, B. Wang, N. H. Saji, and M. Watanabe, 2011: What causes cool summer over northern central and east Asia and central North America during 2009. *J. Geophys. Res.*, submitted. (査読あり)
- ②Lee, Y.-Y., J.-S. Kug, G.-H. Lim, and M. Watanabe, 2011: Eastward shift of the Pacific/North American pattern on an interdecadal time scale and an associated synoptic eddy feedback. *Int. J. Climatol.*, in press. (査読あり)
- ③Jin, F.-F., M. Zhang, X.-F. Xu, and M. Watanabe, 2011: Simulations of synoptic eddy induced instability. *J. Atmos. Sci.*, under revision. (査読あり)
- ④Lestari, R. K., M. Watanabe, and M. Kimoto, 2011: Role of air-sea coupling in the South China Sea summer monsoon. *J. Meteor. Soc. Japan*, 89A, 283-290. (査読あり)

- ⑤ Koyama, H., and M. Watanabe, 2010: Reducing forecast errors due to model imperfectness using ensemble Kalman filtering. *Mon. Wea. Rev.*, 138, 3316-3332. (査読あり)
- ⑥ Koseki, S., and M. Watanabe, 2010: Atmospheric boundary layer response to the meso-scale SST anomalies in the Kuroshio extension. *J. Climate*, 23, 2492-2507. (査読あり)
- ⑦ Yasui, S., and M. Watanabe, 2010: Forcing mechanisms of the summertime circumglobal teleconnection in a dry AGCM. *J. Climate*, 23, 2093-2114. (査読あり)
- ⑧Kodama, C., Y. Mochizuki, S. Hasegawa, T. Iwasaki, and M. Watanabe, 2010: Negative correlation between the interannual variability of the stationary and transient wave energy in the Northern Hemisphere. *SOLA*, 6, 37-40. doi:10.2151/sola.2010-010 (査読あり)
- ⑨Kosaka, Y., H. Nakamura, M. Watanabe, and M. Kimoto, 2009: Analysis on the dynamics of a wave-like teleconnection pattern along the summertime Asian jet based on a reanalysis dataset and climate model simulations. *J. Meteor. Soc. Japan*, 87, 561-580. (査読あり)
- ⑩Watanabe, M., 2009: Self-limiting feedback between baroclinic waves and a NAO-like sheared zonal flow. *Geophys. Res. Lett.*, 36, doi:10.1029/2009GL037176. (査読あり)
- ⑪Koseki, S., M. Watanabe, and M. Kimoto, 2008: Role of the midlatitude air-sea interaction in orographically forced climate. *J. Meteor. Soc. Japan*, 86, 335-351. (査読あり)
- ⑫Mori, M., and M. Watanabe, 2008: The growth and triggering mechanisms of the PNA: A MJO-PNA coherence. *J. Meteor. Soc. Japan*, 86, 213-236. (査読あり)

[学会発表] (計 8 件)

- ①森正人、木本昌秀、渡部雅浩、石井正好, 2010: 大気海洋結合モデルによる夏季ブロッキング高気圧の再現性とその要因. 日本気象学会 2010 年度秋季大会.
- ②Koyama, H. and M. Watanabe, 2009: Reducing forecast errors due to model imperfectness using ensemble Kalman filtering. AOGS 2009, Singapore, August, 2009
- ③渡部雅浩、安井壮一郎, 2009: アジアジェット上に見られる卓越変動の強制過程: NLBM を用いた数値実験. 日本気象学会 2009 年度春季大会.
- ④渡部雅浩、岩崎俊樹、小玉知央、廣田渚郎, 2009: 定在波と非定常擾乱による南北熱輸送に見られる補償関係. 日本気象学会 2009 年度秋季大会.
- ⑤Watanabe, M., 2009: Compensating energy transports associated with stationary and transient

eddies. IAMAS2009, Montreal, July, 2009.

⑥ Watanabe, M., 2008: Relevance of neutral singular vectors for representing seasonal-mean teleconnections. Conference on Teleconnections in the Atmosphere and Oceans, Trieste, November, 2008

⑦ Watanabe, M., 2008: A possible modal view for understanding extratropical climate variability. UAW 2008, Chiba, July, 2008.

⑧ 小山博司、渡部雅浩, 2008: モデル誤差を伴う予報誤差に対する EnKF に基づいた改善法. 日本気象学会 2008 年度春季大会.

〔その他の招待講演〕 (計 4 件)

① 渡部雅浩, 2011: 気候変化と異常気象. 伊藤忠シンポジウム, 伊藤忠東京/大阪本社, 2011 年 2 月.

② 渡部雅浩, 2010: 気候変動と異常気象. 一般講演会「異常気象の謎に挑む」, 東京大学安田講堂, 2010 年 11 月.

③ 渡部雅浩, 2010: 気候変化シミュレーションにおけるアジアモンスーン: 現状と方向性. モンスーンサイエンス WS, JAMSTEC 東京事務所, 2010 年 8 月.

④ 渡部雅浩, 2009: 変わりゆく気候, 変わりゆく気候研究. 東京大学気候システム研究センター公開講座, 東京大学安田講堂, 2009 年 11 月.

〔新聞記事〕 (計 2 件)

① 2010 年 12 月 26 日 日本経済新聞朝刊「猛暑・大雪・・・異常気象の 1 年『海水温』『北極振動』引き金、来年も警戒必要に」

② 2010 年 12 月 21 日 朝日新聞朝刊「今夏の猛暑 温暖化の影響 2~4 割」

〔その他〕

異常気象分析診断ウェブサイト

<http://www.ccsr.u-tokyo.ac.jp/~hiro/ex/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

渡部 雅浩 (WATANABE MASAHIRO)

東京大学・大気海洋研究所・准教授

研究者番号: 70344497

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号:

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号: