

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：82101

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23310014

研究課題名(和文) 気候感度の物理パラメータ不確実性のメカニズム解明と制約

研究課題名(英文) Understanding and constraining the parametric uncertainty of climate sensitivity

研究代表者

塩竈 秀夫 (Shiogama, Hideo)

独立行政法人国立環境研究所・地球環境研究センター・主任研究員

研究者番号：30391113

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,100,000円、(間接経費) 4,530,000円

研究成果の概要(和文)：気候感度(CO₂濃度2倍時の全球平均気温変化量)には気候モデル間で大きな不確実性がある。本研究課題では、最先端の気候モデルMIROC5とMIROC3を用いて、気候感度がモデルの物理パラメータにどのように敏感か、また物理スキームの構造にどのように依存するかをシステムティックに調べるアンサンブル実験手法である「物理パラメータ・アンサンブル」および「マルチパラメータ・マルチ物理アンサンブル」を開発した。本研究により、気候感度が雲の日射反射量の変化に敏感であること、高度の異なる雲変化の相関関係に影響を受けることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Climate sensitivity (CS), which is defined as the global mean surface air temperature response to a doubling of the atmospheric CO₂ concentration, has large uncertainties. In this study, we constructed a perturbed physics ensemble (PPE) for the MIROC5 climate model to investigate the parametric uncertainty of CS. The shortwave cloud feedback (SWcld) dominated the variations in CS. To explore both the parametric and structural uncertainties of CS, we also proposed the multi-parameter multi-physics ensemble (MPMPE). We used eight multi-physics ensemble (MPE) models in which the MIROC5 physics schemes were replaced by those of MIROC3. MPMPE consisted of PPE for each MPE model. Coupling between low- and mid-level clouds controlled the differences in the parametric spread of SWcld among the MPE models.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：気候変動

1. 研究開始当初の背景

人間活動による温室効果ガス濃度の増加によって、気候変動が進行し、社会経済や生態系への影響が顕在化してきている。将来の気温上昇が 2 以上になると、さまざまな分野に深刻な影響が生じると考えられており、2 以下に抑えるために、どのように温室効果ガスの排出量を削減するかという緩和策が、国際社会の中で重要な問題となっている。また、気候変動による影響に対処するための適応策も喫緊の課題である。適応策、緩和策のベースとなる気候変動予測情報は、大気海洋結合モデル (AOGCM) を用いた数値実験によって提供される。AOGCM による様々な気候変動予測情報のうち、CO₂ 濃度が産業革命前の 2 倍になった場合の全球平均地上気温上昇量を示す気候感度は、もっとも基本的かつ重要な情報である。しかしながら、気候感度の予測値は AOGCM によって 2 から 4.5 と 2 倍以上も異なり、緩和策などに大きな不確実性をもたらしている。そのため、気候感度の不確実性の原因を解明し、低減するための研究が、世界的に求められている。

AOGCM 間で予測に差が生じる主な要因は、モデルの格子 (100 から 300km) よりもスケールがはるかに小さい (1km 以下) 雲、境界層乱流、海水等の動きを近似する物理スキームが不完全なためである。この物理スキームの不完全性に起因する不確実性は、さらに 2 種類に分類され、それぞれ異なるアプローチで研究されてきた。

1 つは、AOGCM 間で物理スキームの作り方が異なることによる不確実性 (構造不確実性) である。構造不確実性に関する研究は歴史が長く、それによって多くの知見が得られてきたが、一方で、予測の不確実性に対する各物理スキームやスキーム間相互作用の寄与を定量化することは難しいことがわかってきた。

もう一つの不確実性は、物理スキーム内のパラメータの値を観測の不確実性範囲内で変化させても、モデルの性質が大きく変わりえるというパラメータ不確実性である。このパラメータ不確実性は、単独 AOGCM でパラメータ値を変えた実験 (物理パラメータ・アンサンブルと呼ばれる) を多数行うことで研究される。物理パラメータ・アンサンブルの最大の利点は、注意深く実験をデザインすることで、予測の不確実性に対する各物理スキームやスキーム間相互作用の寄与を定量化できることである。一方で、弱点は、アンサンブル全体の平均的性質がベースとなる AOGCM に依存することである。そのため、複数の AOGCM で物理パラメータ・アンサンブルを行い、相互比較することが非常に重要である。しかしながら、物理パラメータ・アンサンブルの研究は最近始まったばかりで、世界的にも数例しかなく、活発化させるべき分野であると国際的に認識されている。

2. 研究の目的

日本で開発してきた最先端の AOGCM である MIROC5 を用いて、複数の物理スキームのパラメータ値を観測の範囲内で走査する大規模な物理パラメータ・アンサンブル実験を行い、気候感度の物理パラメータ不確実性の定量化と、そのメカニズムの解明を目指した。さらに観測データとの比較により、現実的な気候場を再現しえるパラメータ値の範囲を拘束条件として、気候感度の不確実性の制約を行った。

さらに、複数の AOGCM を用いた物理パラメータ・アンサンブルを実施することで、構造不確実性とパラメータ不確実性を同時に調査した。

3. 研究の方法

これまでの物理パラメータ・アンサンブル研究では、計算資源の制約などから、モデルの海洋部分に混合層モデルと呼ばれる簡易版を用いることがほとんどであった。しかしながら、海洋部分にフルモデルを用いる場合と混合層モデルを用いる場合では、同じ AOGCM であっても気候感度が異なることが最近明らかになった。そのため本研究では、世界的にも例の少ないフル海洋モデルと結合した AOGCM を用いる実験手法を開発し、大規模な物理パラメータ・アンサンブル実験を実施した。

次に、構造不確実性とパラメータ不確実性を同時に調査するために、「マルチパラメータ・マルチ物理アンサンブル (MPMPE)」と呼ぶ新しい数値実験手法を開発した。MPMPE では、MIROC5 と旧バージョン MIROC3 の間で、雲、積雲対流、境界層乱流スキームを取り替えて 8 バージョンのハイブリッドモデルを用意し、各ハイブリッドモデルでパラメータを走査して、気候感度を調べる実験を行った。

4. 研究成果

初年度に、MIROC5 を用いて、フラックス調節なしでも気候ドリフトを起こさずに大気海洋結合モデルで物理パラメータ・アンサンブル実験を行うための手法の開発に成功した。

2 年目には、この手法を適応して、気候感度の不確実性を調べる大規模な物理パラメータ・アンサンブル実験を行った。その結果、MIROC5 の物理パラメータ・アンサンブルは 2-3 の気候感度の幅をもった。この幅は、中層雲による雲短波フィードバック (雲が日射を反射する効果) の違いによってもたらされていた。雲短波フィードバックのばらつきは、コントロール実験における中層雲のバイアスと関係していた。この関係を用いて、観測との比較による制約を行った。

最終年度には、MPMPE を実施した。MPMPE では、気候感度は約 2 ~ 10 と非常に広

い幅の分布をもち、そのばらつきは雲短波フィードバックの違いに起因することがわかった。また各ハイブリッドモデル内での気候感度のパラメータ不確実性の大きさは、中層雲短波フィードバックと下層雲短波フィードバックの相関関係によって決まっていることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 10 件) 査読有り

Tomoo Ogura, Mark J. Webb, Masahiro Watanabe, Hugo Lambert, Yoko Tsushima,

Miho Sekiguchi (2014) Importance of instantaneous radiative forcing for rapid tropospheric adjustment. *Climate Dynamics*, in press

Hideo Shiogama, Masahiro Watanabe, Tomoo Ogura, Tokuta Yokohata and Masahide Kimoto (2014) Multi-Parameter Multi-Physics Ensemble (MPME): A New Approach Exploring the Uncertainties of Climate Sensitivity. *Atmospheric Science Letters*, 15: 97-102

Hideo Shiogama, Daiithi A. Stone, Tatsuya Nagashima, Toru Nozawa and Seita Emori (2013) On the linear additivity of climate forcing-response relationships at global and continental scales. *International Journal of Climatology*, 33: 2542-2550

Youichi Kamae and Masahiro Watanabe (2013) Tropospheric adjustment to increasing CO₂: its timescale and the role of land-sea contrast. *Climate Dynamics*, 41:3007-3024

Satoru Demoto, Masahiro Watanabe and Youichi Kamae (2013) Mechanism of tropical low-cloud response to surface warming using weather and climate simulations, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 1-6

Hideo Shiogama, Masahiro Watanabe, Yukiko Imada, Masato Mori, Masayoshi Ishii and Masahide Kimoto (2013) An Event Attribution of the 2010 Drought in the South Amazon Region using the MIROC5 Model. *Atmospheric Science Letters*, 14, 170-175, DOI:10.1002/asl2.435

Masahiro Watanabe, Hideo Shiogama, Yukiko Imada, Masato Mori, Masayoshi Ishii and Masahide Kimoto (2013) Event attribution of the August 2010 Russian heat wave. *SOLA*, 9, 65-68, doi:10.2151/sola.2013-015

Hideo Shiogama, Masahiro Watanabe, Masakazu Yoshimori, Tokuta Yokohata, Tomoo Ogura, James D Annan, Julia C Hargreaves, Manabu Abe, Youichi Kamae, Ryouta O'ishi, Rei Nobui, Seita Emori, Toru Nozawa, Ayako Abe-Ouchi, Masahide

Kimoto (2012) Perturbed Physics Ensemble using the MIROC5 Coupled Atmosphere-Ocean GCM without Flux Corrections: Experimental Design and Results. *Climate Dynamics*, 39 (12), 3041-3056.

Masahiro Watanabe, Hideo Shiogama, Tokuta Yokohata, Youichi Kamae, Masakazu Yoshimori, Tomoo Ogura, Annan JD, Hargreaves JC, Seita Emori, Masahide Kimoto (2012) Using a Multi-Physics Ensemble for Exploring Diversity in Cloud Shortwave Feedback in GCMs. *J Climate*, 25, 5416-5431.

Youichi Kamae, Masahiro Watanabe (2012) On the robustness of tropospheric adjustment in CMIP5 models, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L23808.

[学会発表](計 15 件)

Hideo Shiogama, Masahiro Watanabe, Yukiko Imada, Masato Mori, R. Kartika Lestari, Masahide Kimoto, Youichi Kamae, Masayoshi Ishii (2014) Event attribution studies from Asia. 1st General Assembly of EU FP7 · EUCLEIA (EUropean, CLimate and weather Events: Interpretation and Attribution), ETH Zurich, 20-22 January 2014 (Keynote perspectives)

Tomoo Ogura, Hideo Shiogama, Masahiro Watanabe, Masakazu Yoshimori, Tokuta Yokohata, James D. Annan, and Julia C. Hargreaves (2013) On the parametric uncertainty of the MIROC5 radiation bias. 4th WGNE workshop on systematic errors in weather and climate models. Exeter, UK, 15-19 April 2013.

塩竈秀夫, 渡部雅浩, 吉森正和, 小倉知夫, 横畠徳太, James D Annan³, Julia C Hargreaves, 釜江陽一, 木本昌秀 (2012): フラックス調節無しでドリフトしない大気海洋結合モデル物理アンサンブル実験のデザイン. 日本気象学会 2012 年度秋季大会, 札幌, 2012 年 10 月 4 日.

Hideo Shiogama, Masahiro Watanabe, Tokuta Yokohata, Masakazu Yoshimori, Tomoo Ogura, Youichi Kamae, James Annan, Julia Hargreaves, Masahide Kimoto (2012) On the structural and parametric uncertainties of feedback, adjustment and climate sensitivity. EUCLIPSE-CFMIP Meeting, May 30 2012, Universite Pierre et Marie Curie (UPMC), Paris, France Tokuta Yokohata, Annan J.D., Collins M., Jackson C.S., Tobis M., Webb M.J., Hideo Shiogama, Manabu Abe, Seita Emori, Masahiro Watanabe, Masakazu Yoshimori, Hargreaves J.C. (2012) Importance of structural diversity of climate model

ensembles. Planet Under Pressure 2012. London, UK. March 26-29, 2012.

Hideo Shiogama, Masahiro Watanabe, Tokuta Yokohata, Masakazu Yoshimori, Tomoo Ogura, Youichi Kamae, Rei Nobui, James Annan, Julia Hargreaves, Manabu Abe, Seita Emori, Masahide Kimoto (2012): On the structural and parametric uncertainties of climate sensitivity based on CMIP3/5 and MIROC ensembles. WCRP Workshop on Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) Model Analysis. 5-9 March 2012. Honolulu, Hawaii, USA.

Tokuta Yokohata, Annan J.D., Collins M., Jackson C.S., Tobis, Webb M.J., Hideo Shiogama, Manabu Abe, Seita Emori, Masahiro Watanabe, Masakazu Yoshimori, Hargreaves J.C. (2012) Importance of structural diversity of climate model ensembles, WCRP Workshop on Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) Model Analysis. 5-9 March 2012. Honolulu, Hawaii, USA.

Tokuta Yokohata, Masahiro Watanabe, Hideo Shiogama, Masakazu Yoshimori, Tomoo Ogura, James D Annan, Julia C Hargreaves, Seita Emori, and Masahide Kimoto (2011): Understanding and validation of cloud response to CO2 increase using state-of-the-art climate model ensembles. AGU Fall meeting, San Francisco, Dec. 5-9, 2011. (Invited)

塩竈秀夫, 渡部雅浩, 吉森正和, 小倉知夫, 横畠徳太, 阿部学, James D Annan, Julia C Hargreaves, 釜江陽一, 江守正多, 野沢徹, 阿部彩子, 木本昌秀 (2011): 気候感度の物理パラメータ不確実性のメカニズムと制約. 日本気象学会 2011 年度秋季大会, 名古屋, 2011 年 11 月 16-18 日.

塩竈秀夫, 渡部雅浩, 吉森正和, 小倉知夫, 横畠徳太, 阿部学, James D Annan, Julia C Hargreaves, 釜江陽一, 江守正多, 野沢徹, 阿部彩子, 木本昌秀 (2011): 気候感度の物理パラメータ不確実性のメカニズムと制約. 「異常気象と長期変動」研究集会, 宇治, 2011 年 11 月 8-9 日.

Hideo Shiogama, Masahiro Watanabe, Tomoo Ogura, Masakazu Yoshimori, Tokuta Yokohata, James D Annan, Julia C Hargreaves, Manabu Abe, Seita Emori, Toru Nozawa, Ayako Abe-Ouchi, Masahide Kimoto (2011) Physics Parameter Ensemble of MIROC5 AOGCM. World Climate Research Programme Open Science Conference Climate Research in Service to Society, Denver, 24-28 October 2011

Masahiro Watanabe, Hideo Shiogama, Tokuta Yokohata, Tomoo Ogura, Masakazu Yoshimori, James D Annan, Julia C

Hargreaves, Seita Emori, and Masahide Kimoto (2011) Modeling activity of the MIROC group for climate feedback and sensitivity studies. World Climate Research Programme Open Science Conference Climate Research in Service to Society, Denver, 24-28 October 2011

Hideo Shiogama (2011): Can detuning ensembles provide insights into the projection uncertainty and performance of RCM? Third international workshop on down-scaling. Tsukuba, October 17-19, 2011 (Invited)

Hideo Shiogama, Masahiro Watanabe, Tomoo Ogura, Masakazu Yoshimori, Tokuta Yokohata, James D Annan, Julia C Hargreaves, Manabu Abe, Seita Emori, Toru Nozawa, Ayako Abe-Ouchi, Masahide Kimoto (2011) Physics Parameter Ensemble of MIROC5 AOGCM. 11th European Meteorological Society /10th European Conference on Applications of Meteorology, Berlin, Germany, 12-16 September 2011

塩竈秀夫, 渡部雅浩, 吉森正和, 小倉知夫, 横畠徳太, 阿部学, James D Annan, Julia C Hargreaves, 江守正多, 野沢徹, 阿部彩子, 木本昌秀 (2011): 気候感度の物理パラメータ不確実性. 日本気象学会 2011 年度春季大会, 東京, 2011 年 5 月 18-21 日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

塩竈 秀夫 (SHIOGAMA HIDEO)
独立行政法人国立環境研究所
地球環境研究センター・主任研究員
研究者番号: 30391113

(2) 研究分担者

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

小倉 知夫 (OGURA TOMOO)
独立行政法人国立環境研究所
地球環境研究センター・主任研究員
研究者番号: 10370264

横畠 徳太 (YOKOHATA TOKUTA)
独立行政法人国立環境研究所
地球環境研究センター・主任研究員
研究者番号: 20391170