

平成 30 年 6 月 12 日現在

機関番号：82101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26281013

研究課題名(和文) 気候変動要因推定の物理パラメータ不確実性に関する研究

研究課題名(英文) Study on physics parameter uncertainty of climate change attribution

研究代表者

塩竈 秀夫 (Shiogama, Hideo)

国立研究開発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) 12,400,000円

研究成果の概要(和文)：我々は、気候モデルMIR0C5を用いて、過去の気候変動の要因推定と将来予測にどの程度の物理パラメータ不確実性があるのかを調べた。まず大気モデルを用いてパラメータ摂動実験(PPE)を実施することで、大気海洋結合モデル(AOGCM)用のパラメータセットを決めた。AOGCMでもPPEを実施することで、過去の気温変化に関しては、エアロゾルのパラメータ不確実性が最も大きいことがわかった。また、将来予測に関しては、エアロゾル不確実性は減少する一方で、温室効果ガス不確実性が増加することがわかった。

研究成果の概要(英文)：Using the MIR0C5 climate model, we investigated the physics parameter uncertainties in the attribution of the past climate change and the future projection. At first we performed the perturbed physics ensemble (PPE) of atmospheric model to select the parameter sets for the coupled atmosphere-ocean model (AOGCM) experiments. We also performed the PPE of AOGCM. The largest parametric uncertainty source of the past temperature changes was found in the temperature responses to aerosols. In the future projection, the greenhouse gas uncertainty increased, while the aerosol uncertainty decreased.

研究分野：気象学

キーワード：気候変動

### 1. 研究開始当初の背景

過去の気候変動における人間活動や太陽活動、火山噴火などの外部要因の寄与を分析する研究分野は「気候変動の検出と要因推定」と呼ばれ、気候変動科学において重要な位置を占めている。気候変動の要因推定の結果が、使用する気候モデル(GCM)の違いにどの程度依存するかに関する研究は、数多く行われてきた。一方、GCMの物理パラメータ値を変えた場合の要因推定の依存性に関しては、調べられてこなかった。また将来予測のパラメータ不確実性に関して、十分な知見は得られていなかった。

### 2. 研究の目的

本課題では、日本で開発された最先端のMIROC5 GCMを用いて、物理パラメータを走査した上で、産業革命以降の全球地上気温変動を再現する実験と、各外部要因だけ与える感度実験を行う。これらの実験データを解析することで、異なる外部要因に対する気候応答の違いを理解するとともに、気候変動要因推定のパラメータ不確実性を議論する。

また将来予測のパラメータ不確実性に関しても議論する。

### 3. 研究の方法

日本発の最先端の大気気候モデル(AGCM)と大気海洋結合モデル(AOGCM)を用いて、物理パラメータを走査した物理アンサンブル実験(PPE)を行った。

まずAGCMを用いてPPEを実行した。その実験データを分析することで、「気候感度と2000年条件のエアロゾル放射強制力が大きくばらつきながら、産業革命前条件コントロール実験の大気上端放射収支が0に近いパラメータ値の組み合わせ」を14セット見つけ出した。

その14セットのパラメータ値の組み合わせをAOGCMに与えて、気候ドリフトのない産業革命前条件コントロール実験を行った。次に、同じパラメータセットを与えて、3メンバの歴史実験、温室効果ガス歴史実験、自然起源外部因子歴史実験を行った。

さらに同じ14セットのパラメータ値の組み合わせで、将来予測実験を行った。

### 4. 研究成果

AGCMで対流過程、雲過程、硫酸性エアロゾル、炭素性エアロゾルなどの物理スキームのパラメータに摂動を与えるPPEを実行し、気候感度のばらつきと、エアロゾル放射強制力のばらつきの間には、明確な相関関係が見られないことを示した。この実験データを分析することで、「気候感度と2000年条件のエアロゾル放射強制力が大きくばらつきながら、産業革命前条件コントロール実験の大気上端放射収支が0に近いパラメータ値の組み合わせ」を14セット見つけ出した(図1)。

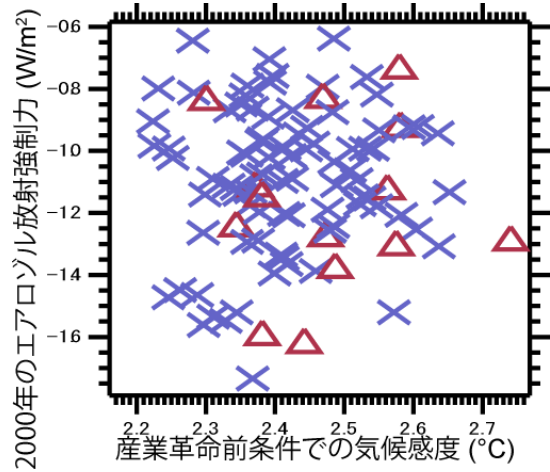


図1: MIROC5-AGCM-PPEにおける「産業革命前条件での気候感度(°C)」と「2000年エアロゾルの放射強制力(W/m<sup>2</sup>)」の散布図。赤三角は、産業革命前コントロール実験の大気上端放射収支が0に近いパラメータの組み合わせ

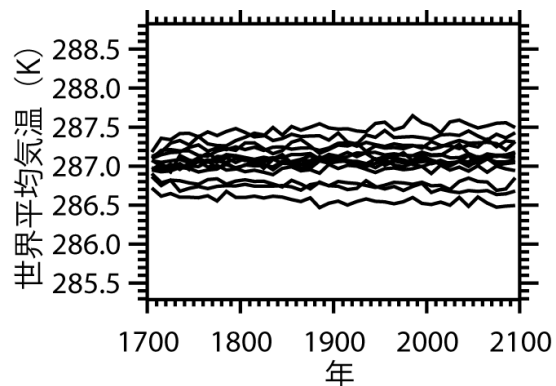


図2: MIROC5-AOGCM-PPEにおける産業革命前条件コントロール実験の世界平均地上気温(K)。これらのコントロール実験の1850年の値を歴史実験の初期値に用いている。

その14セットのパラメータ値の組み合わせをAOGCMに与えて、産業革命前条件コントロール実験を行ったところ、狙い通り気候ドリフトを生じなかった。

次に、同じパラメータセットをAOGCMに与えて、それぞれ3メンバの全外部因子歴史実験、温室効果ガス歴史実験、自然起源外部因子歴史実験(1850-2005年)を行った。エアロゾルの寄与は

- エアロゾル = 全外部因子歴史実験
- 温室効果ガス歴史実験
- 自然起源外部因子歴史実験

で推定した。

2001-2005年における各外部因子実験の世界平均気温偏差のPPEメンバ間標準偏差は、それぞれ

- 全外部因子歴史実験 = 0.12
- 温室効果ガス歴史実験 = 0.06

自然起源外部因子歴史実験 = 0.05

エアロゾル = 0.09

で、エアロゾルのパラメータ不確実性の寄与が一番大きいことがわかった。

次に同じ 14 組のパラメータセットを用いて、全外部因子将来予測実験(2006-2100年)をそれぞれ 3 メンバずつ積分した。2006年以降、エアロゾルの排出量が減少するために、世界平均気温のエアロゾル排出に対する応答のパラメータ不確実性も低減していく。そのため、全外部因子将来予測実験の世界平均気温の標準偏差は低下していき、2040年頃には2001-2005年の半分になった。しかし、そのあとは、温室効果ガスに対する気温応答が大きくなるに従って、そのパラメータ不確実性も大きくなり、2100年の全外部因子将来予測実験の世界平均気温の標準偏差は、21世紀初めと同程度になった。

過去の気候変動要因を分析する切り分け実験と、将来予測実験の物理パラメータ不確実性を分析する実験は、世界的にも非常に珍しく、気温の変化に関するパラメータ不確実性に関する新しい知見が得られた。今後は、降水量や極端気象現象などの気候変化に関するパラメータ不確実性を明らかにしていくことが期待される。

## 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 8 件)

Ogura, T., Shiogama, H., Watanabe, M., Yoshimori, M., Yokohata, T., Annan, J. D., Hargreaves, J. C., Ushigami, N., Hirota, K., Someya, Y., Kamae, Y., Tatebe, H., and Kimoto, M. (2017) Effectiveness and limitations of parameter tuning in reducing biases of top-of-atmosphere radiation and clouds in MIROC version 5, *Geosci. Model Dev.*, 査読有, 10, 4647-4664. doi: 10.5194/gmd-10-4647-2017

Imada Y, Shiogama H., Takahashi C, Watanabe M., Mori M, Kamae Y, Maeda S (2017) Climate change increased the likelihood of the 2016 heat extremes in Asia. in "Explaining Extreme Events of 2016 from a Climate Perspective", *Bulletin of the American Meteorological Society*, 査読有, 98(12) S97-S101. DOI: 10.1175/BAMS-D-17-0109.1

Imada Y., S. Maeda, M. Watanabe, H. Shiogama, R. Mizuta, M. Ishii, M. Kimoto (2017) Recent enhanced seasonal temperature contrast in Japan from large ensemble

high-resolution climate simulations. *Atmosphere*, 査読有, 2017, 8(3), 57; doi:10.3390/atmos8030057

Shiogama H., Stone D, Emori S, Takahashi K, Mori S, Maeda A, Ishizaki Y, Allen MR (2016) Predicting future uncertainty constraints on global warming projections. *Scientific Reports*, 査読有, 6, Article number: 18903, doi:10.1038/srep18903

Kamae Y, Shiogama H., Watanabe M., Ishii M, Ueda H, Kimoto M (2015) Recent slowdown of tropical upper tropospheric warming associated with Pacific climate variability. *Geophys. Res. Lett.*, 査読有, 42, 2995-3003, doi: 10.1002/2015GL063608

Kamae, Y., M. Watanabe, T. Ogura, M. Yoshimori, H. Shiogama, (2015) Rapid adjustments of cloud and hydrological cycle to increasing CO2: A review. *Current Climate Change Reports*, 査読有, 1, 103-113. doi:10.1007/s40641-015-0007-5

Kamae Y, Shiogama H., Watanabe M., Kimoto M (2014) Attributing the increase in Northern Hemisphere hot summers since the late 20th century. *Geophys. Res. Lett.*, 査読有, 41, 5192-5199, doi:10.1002/2014GL061062. Shiogama H., Watanabe M., Imada Y, Mori M, Kamae Y, Ishii M, Kimoto M (2014) Attribution of the June-July 2013 heat wave in the southwestern United States. *SOLA*, 査読有, 10, 122-126, doi: 10.2151/sola.2014-025

[学会発表](計 12 件)

塩竈秀夫, 今田由紀子, 森正人, 高橋千陽, 渡部雅浩, 木本昌秀 (2017) 極端現象の過去の人間活動による変化と避けられない将来変化. 日本気象学会 2017 年度秋季大会, 札幌, 2017 年 10 月 30 日 ~ 11 月 2 日

塩竈秀夫 (2017) 産業革命以降と将来の気候変動-古気候研究との関連も含めて-. 平成 29 年度 ISEE 研究集会「気候科学と古気候プロキシ研究の接点創出」, 名古屋, 9 月 22 日

塩竈秀夫, 藤森真一郎, 長谷川知子, 高橋潔, 久保田泉, 田中克政, 江守正多, 今田由紀子, 渡部雅浩, 木本昌秀, 阿部学, Daniel Mitchell, Daithi Stone, Myles R. Allen (2017) 2.0 安定化から 1.5 安定化への追加緩和努力によって、極端現象の将来変化をどの程度低減できるのか? 日本気象学会 2017 年度春季大会, 東京, 2017 年 5 月 25 日 ~ 28 日 塩竈秀夫, 今田由紀子, 水田亮, 吉田康

平, 森正人, 荒川理, 池田美紀子, 高橋千陽, 荒井美紀, 石井正好, 森信人, 高藪出, 中北英一, 渡部雅浩, 木本昌秀 (2016) 気温と降水量の極端現象の記録更新に関する要因分析, 日本気象学会春季大会, 2016年5月18~21日, 東京国立オリンピック記念青少年総合センター

Hideo Shiogama (2016): The possibility of revising the climate sensitivity range in the next IPCC report. 7th EU-Japan Workshop on Climate Change Research, 2nd Auditorium, The former Ministry of Education, Science, Sports and Culture Building, Tokyo, Japan, 26-27 April 2016

Hideo Shiogama (2016): How much does the energy budget approach underestimate the climate sensitivity? Joint US-Japan Workshop on Climate Change and Variability, Scripps Institution of Oceanography, San Diego, USA, 21-22 March 2016

Hideo Shiogama (2016): Database for Policy Decision making for Future climate change (d4PDF). Annual meeting of International Detection and Attribution. Group. Boulder, Colorado, USA, February 1-3 2016

Shiogama H, Gillett N, Hegerl G, Stone D, Tebaldi C, Knutti R (2015) Detection and Attribution Model Intercomparison Project (DAMIP). WCRP/FP7 EMBRACE workshop on CMIP5 Model Analysis and scientific plans for CMIP6, Dubrovnik (Croatia), 20-23 October 2015

Shiogama H, M Watanabe, Y. Imada, M. Mori, Y. Kamae, M. Ishii, M. Kimoto (2015) Attribution of the June-July 2013 heat wave in the southwestern United States. Our common future under climate change. Paris, 7-10 July 2015.

Hideo Shiogama, Masahiro Watanabe, Tomoo Ogura, Tokuta Yokohata, Masahide Kimoto (2014) Multi-Parameter Multi-Physics Ensemble (MPMPE): A New Approach Exploring the Uncertainties of Climate Sensitivity. Asia Oceania Geosciences Society 11th Annual Meeting (AOGS2014), 28 July to 1 August, 2014, Royton Sapporo Hotel in Sapporo, Japan

塩竈秀夫(2014) パターンスケーリングの排出シナリオ依存性と線形加法性. 日本地球惑星科学連合 連合大会 2014年大会, 横浜, 2014年4月28-5月2日. Hideo Shiogama (2014) Emission

scenario dependency of scaling patterns and linear additivity of climate forcing-response relationship. Pattern Scaling, Climate Model Emulators and their Application to the New Scenario Process. NCAR, Boulder, Colorado, USA, April 23-25, 2014 (Invited)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

塩竈 秀夫 (SHIOGAMA, Hideo)  
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

横畠 徳太 (YOKOHATA, Tokuta)  
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

#### 研究分担者

渡部 雅浩 (WATANABE, Masahiro)  
東京大学・大気海洋研究所・教授  
研究者番号: 70344497

#### 研究分担者

田中 克政 (TANAKA, Katsumasa)  
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：90747065

(3)連携研究者  
( )

研究者番号：

(4)研究協力者  
( )