

平成 21 年 6 月 15 日現在

研究種目：基盤研究(B)  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18310016  
 研究課題名（和文） 人為起源の温暖化シグナルの検出を目指した気候の長期内部変動に関する数値実験的研究  
 研究課題名（英文） Numerical modeling studies on the long-term climate variability aimed at detecting anthropogenic signals on the climate change  
 研究代表者  
 野沢 徹 (NOZAWA TORU)  
 独立行政法人国立環境研究所・大気圏環境研究領域・室長  
 研究者番号：10311325

研究成果の概要：人間活動に伴う気候変化シグナルの検出に資するために、長期内部変動である気候の揺らぎに対して外的な気候変動要因が及ぼす影響について調べた。温室効果ガスの増加など人為的な気候変動要因のみ考慮した場合や、太陽変動など自然的な気候変動要因のみ考慮した場合など、仮想的な数値シミュレーション結果を統計的に比較解析した結果、気候の揺らぎは外的な気候変動要因による著しい変動を受けないと考えられることが示唆された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	7,900,000	2,370,000	10,270,000
2007年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
2008年度	3,000,000	900,000	3,900,000
年度			
年度			
総計	15,700,000	4,710,000	20,410,000

研究分野：気象学・気候学・大気物理学

科研費の分科・細目：環境動態解析

キーワード：気候変動、統計数学、温暖化要因推定

## 1. 研究開始当初の背景

観測事実によれば、20世紀の100年間で地球の平均地上気温は約0.6度上昇しており、過去2000年間で最も昇温が大きかった世紀であると言われている。また、20世紀の昇温傾向は1910～1945年と1960年以降に見られるが、最新の研究成果によれば、少なくとも20世紀後半の昇温は、気候の揺らぎである長期内部変動や自然起源の気候変動要因（太陽活動や火山噴火）だけでは説明されず、温室効果ガス濃度の増加などの人為的な気候変動要因に起因することが強く示唆されている。このような、観測事実に見られる（温暖化な

どの）長期気候変化シグナルを、大気海洋結合気候モデルによる複数の数値実験結果を用いて統計的に検出し、その要因を推定する研究においては、気候要素の時空間的な変動分布に対して、最小自乗法による線形の重回帰分析が援用されている。気候変化シグナルの検定に用いる気候学的なノイズは、本来であれば観測事実を用いるべきであるが、検定に十分なサンプル数を得ることができないなどの理由から、モデルのコントロール実験（外的な気候変動要因を与えない実験）の長期内部変動が、真の内部変動を的確に再現していることを前提として、それを代用してい

る。しかし、気候モデルによりシミュレートされる長期内部変動の妥当性については必ずしもよく調べられていない。また、観測に含まれる真の内部変動は太陽変動や大規模火山噴火、温室効果ガス濃度の増加など、様々な気候変動要因により影響を受けている、すなわち、外的な気候変動要因に対する応答と長期内部変動とが線形には分離できない、と考えられるため、上記手法では、不確実性の幅を過小評価している可能性がある。

## 2. 研究の目的

人間活動に伴う気候変化シグナルを統計的に有意に検出するためには、気候システムが本質的に持っている気候の揺らぎ（長期内部変動）に関する知見が不可欠である。気候の揺らぎは、地球温暖化予測に不確実性をもたらす主要因の一つであるが、本研究では、大気海洋結合気候モデルによる様々な条件下での気候再現実験結果を用いて、シミュレートされた長期内部変動が、太陽変動や大規模火山噴火、温室効果ガス濃度の増加など、外的な気候変動要因によりどの程度変調し得るのか、統計的に評価する。また、気候の長期内部変動の変動幅を統計的に見積もることにより、より高い確度で観測された温暖化シグナルを検出するとともに、数値気候モデルを用いた地球温暖化予測に対して、意味のある不確実性の情報を提供することを目的とする。

## 3. 研究の方法

大気海洋結合気候モデルによりシミュレートされる長期内部変動の妥当性を検討するため、数千年規模の超長期間にわたるコントロール実験を実施し、内部変動特性の再現性を検証する。また、過去 150 年間に対象として、自然起源のみ、人為起源のみ、両方の気候変動要因を与えた場合の多メンバーアンサンブル実験を実施し、得られた結果を用いて、気候モデルによりシミュレートされた長期内部変動が、外的な気候変動要因によりどの程度変調し得るのか調査する。各実験設定に対する長期内部変動成分は、それぞれの実験設定のアンサンブル平均を各メンバーから差し引くことにより抽出する。長期内部変動の変調が認められた場合、このような長期内部変動の変調を考慮しても、20 世紀後半に観測された気温上昇が人間活動に起因する気候変化であると結論されるのか否かを明らかにする。さらに、人間活動に起因する気候変化がほとんどなかった過去 1000 年程度までの気候再現実験を行い、自然要因のみに起因する長期内部変動の変動幅を推定し、基本的には人為要因しか考慮していない地球温暖化予測に、自然要因による不確実性の幅

を加味することにより、より確度の高い情報を提供する。

## 4. 研究成果

東京大学気候システム研究センターと国立環境研究所、海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センターが共同で開発した大気海洋結合気候モデル MIROC（中解像度版、大気側の水平解像度約 280km、海洋側水平解像度約 150km）を用いて、外的な気候変動要因を一切与えない、いわゆるコントロール実験を 3500 年程度まで実施した。図 1 は、観測データおよびコントロール実験データの全球平均地上気温のパワースペクトルを示す。なお、外的な気候変動要因の影響を取り除くため、観測データからは線形トレンドを除去している。また、コントロール実験からは任意の 100 年間のセグメントを複数個切り出し、その平均値とばらつきの範囲を示している。コントロール実験における平均的なパワースペクトル（赤線）は、観測された全球平均地上気温のパワースペクトルと非常によく一致している。また、コントロール実験におけるパワースペクトルのばらつきの範囲も、観測された全球地上気温のパワースペクトルの変動幅とほぼ合致しており、断片的な検証ではあるものの、大気海洋結合モデルのコントロール実験においてシミュレートされた気候の揺らぎ（内部変動）が、観測された内部変動をよく再現していることが分かった。

気候モデルによりシミュレートされた長期内部変動が、太陽変動や大規模火山噴火、温室効果ガス濃度の増加など、外的な気候変動

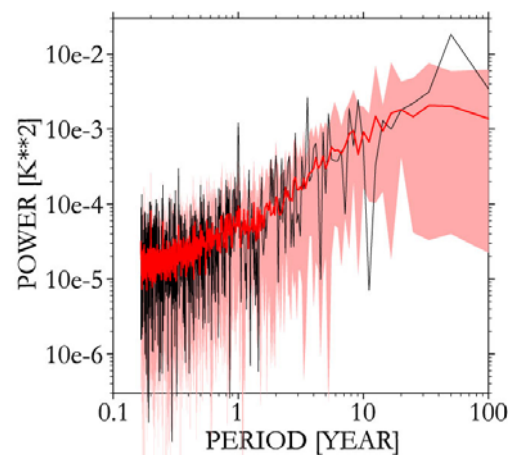


図1 全球平均地上気温のパワースペクトル。黒線は線形トレンドを除去した後の観測データ、赤線は気候モデルのコントロール実験から切り出した複数データの平均。薄赤色の領域は複数データのばらつきの範囲を示す。

要因によりどの程度変調し得るのか、を調べるために、コントロール実験から任意の10個の初期を選定し、自然起源のみ、人為起源のみ、両方の気候変動要因を与えた場合の多メンバーアンサンブル実験を実施した。コントロール実験に加えて、人為起源のみ、自然起源のみ、すべての気候変動要因を考慮した各実験に対して、アンサンブル平均からの偏差を求め、そのばらつき具合である標準偏差を比較した結果、年ごとにばらつきはあるものの、全球年平均気温に関しては、各実験間に有意な差は認められなかった(図2上段)。年平均値の場合、季節的な差異が相殺されることにより、見かけ上は内部変動に関する有意な差異が検出されなくなっている可能性があるため、同様の解析を季節ごとに行った。

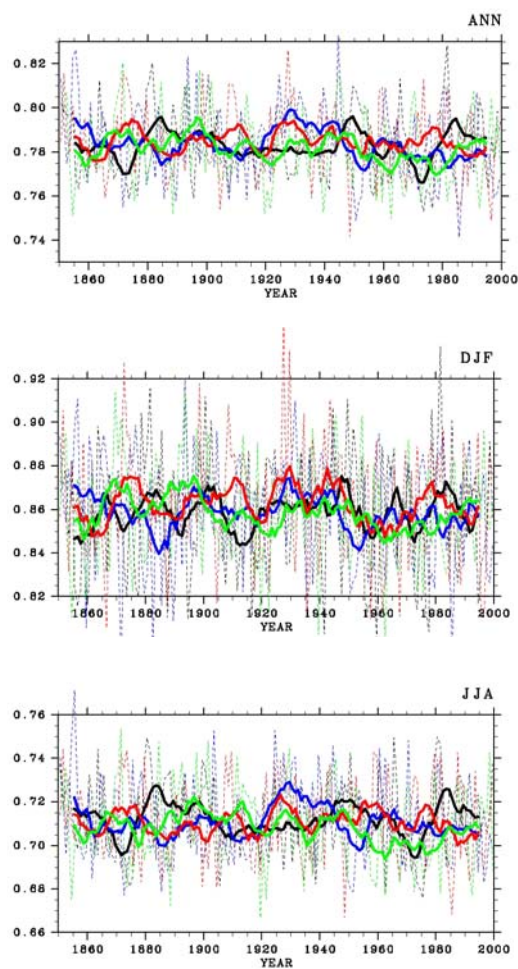


図2 多メンバーアンサンブル実験におけるアンサンブルメンバー間の全球平均地上気温の標準偏差。上段から年平均、冬季平均、夏季平均を示す。破線は各年の時系列、実線は10年の移動平均。黒線：コントロール実験、青線：自然要因のみ、赤線：人為要因のみ、緑線：すべての気候変動要因を考慮した場合。

図2中段および下段は北半球冬季平均(12~2月)および北半球夏季平均(6~8月)した全球平均地上気温の、各実験におけるアンサンブル平均に対する標準偏差の経年変化を示す。北半球中・高緯度域における顕著な内部変動と考えられる北極振動の存在により、北半球夏季に比べて、北半球冬季の方が変動の幅が大きくなっているものの、冬季、夏季などの季節平均に対しても、コントロール実験を含む人為起源のみ、自然起源のみ、すべての気候変動要因を考慮した各実験に対して、全球平均した地上気温のばらつき(内部変動)には有意な差異が認められないことが示唆された。

全球平均値の場合、地域的な差異が相殺されることにより、見かけ上は内部変動に関する有意な差異が検出されなくなっている可能性があるため、帯状平均した地上気温のばらつき具合についても同様の解析を実施した。図3は、外的な気候変動要因を考慮しない場合(コントロール)、自然起源の気候変動要因のみ考慮した場合、人為起源の気候変動要因のみ考慮した場合、の各ケースに対して、多メンバーアンサンブル実験におけるアンサンブルメンバー間の帯状平均地上気温の標準偏差の経年変化を示す。内部変動の差異を検出しやすくするため、変動の振幅が大きい北半球冬季について示している。図3を見ると、実験によっては若干の差異が認められる時期も見られるものの、全体的には、あまり有意な差異は認められないことが示唆された。同様に、経度依存性についても調べるため、振幅の大きい北緯60~65度付近での内部変動の経年変化についても比較したが、顕著な実験間の差異は認められないことが示唆された(図は省略)。

ここまで述べてきた長期内部変動の差異を統計的に検定するため、時空間変動を考慮した統計解析手法を、外的な気候変動要因を考慮しない場合(コントロール)、自然起源の気候変動要因のみ考慮した場合、人為起源の気候変動要因のみ考慮した場合、すべての気候変動要因を考慮した場合、の4ケースの長期内部変動成分に適用した。実験によっては若干の差異が認められるものの、各実験間に統計的に有意な差異を認めることはできなかった。このことから、気候の揺らぎである長期内部変動は、外的な気候変動要因による著しい変調を受けないと考えられる。

自然起源の気候変動要因のみに起因する長期変動に関しては、過去1000年程度の気候再現実験を実施した。残念ながら、本報告執筆段階までには予定していた数値シミュレーションが終了していなかったため、暫定的な結果ではあるが、30年程度の移動平均からの偏差を求めることにより、長期変動の変動幅を推定した。

本研究では、人間活動に伴う気候変化シグナルの検出に資するために、長期内部変動である気候の揺らぎに対して外的な気候変動要因が及ぼす影響について調べた。結果的には、気候の揺らぎである長期内部変動は、外的な気候変動要因による著しい変動を受けないと考えられることが示唆された。ただし、解析対象とした気候モデルの水平解像度が約280kmとあまり細かくないこと、また、過去150年間における外的な気候変動要因の変化があまり大きくないこと、などにより、気候システムの非線形性があまり顕著ではなかったために、長期内部変動の変調が確認され

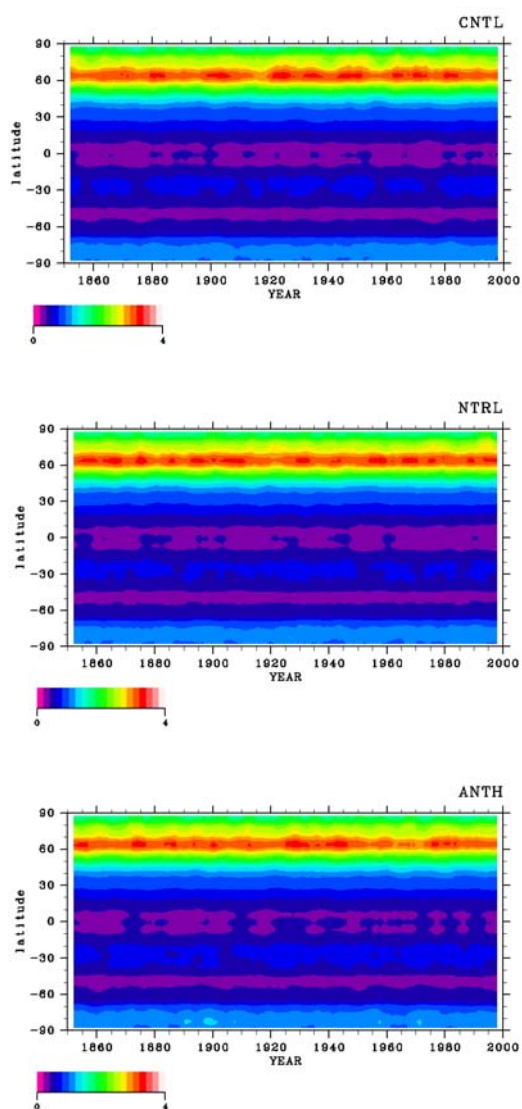


図3 北半球冬季における、多メンバーアンサンブル実験におけるアンサンブルメンバー間の帯状平均地上気温の標準偏差。上段からコントロール実験、自然要因のみを考慮した実験、人為要因のみ考慮した実験を示す。

なかった可能性も否定できず、より詳細な解析を進めるなど、今後も引き続き検討する必要がある。また、本研究では地上気温に特化して解析を行ったが、同様の検討は降水量などに対しても実施すべきであり、今後も調査を継続していく必要がある。

## 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1件)

Shiogama, H., T. Nagashima, T. Yokohata, S.A. Crooks, and T. Nozawa, The influence of volcanic activity and changes in solar irradiance on surface air temperatures in the early twentieth century, CGER'S SUPERCOMPUTER ACTIVITY REPORT, 14, 25-31, 2006, 査読無.

[学会発表] (計2件)

① Nozawa et al., Primary results of aerosols impact on precipitation change, Spring Meeting of the International ad hoc Detection and Attribution Group 2009, 21 January 2009, Boulder, USA.

② Shiogama, et al., Additivity of temperature responses in the global and continental scales, Spring Meeting of the International ad hoc Detection and Attribution Group 2008, 29 January 2008, Boulder, USA.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

野沢 徹 (NOZAWA TORU)

独立行政法人国立環境研究所・大気圏環境研究領域・室長

研究者番号：10311325

### (2) 研究分担者

永島 達也 (NAGASHIMA TATSUYA)

独立行政法人国立環境研究所・アジア自然共生研究グループ・研究員

研究者番号：50391131

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・NIES ポスドクフェロー

研究者番号：30391113

### (3) 連携研究者

該当なし