

平成 30 年 5 月 29 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K17802

研究課題名(和文) 20世紀前半に起こった北極温暖化の要因解明

研究課題名(英文) Clarifying the cause of the early twentieth century Arctic warming

研究代表者

時長 宏樹 (Tokinaga, Hiroki)

京都大学・白眉センター・特定准教授

研究者番号：80421890

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、20世紀前半に起こった北極域温暖化の要因を解明することを目的とした。研究手法は、(1)大気海洋の歴史的観測データセットを用いた統計解析、(2)大気大循環モデルを用いた数値実験、および(3) CMIP5 の計37個の大気海洋結合モデルによる長期コントロール実験を用いた統計解析である。その結果、太平洋数十年規模振動と大西洋数十年規模振動が共に負から正へと位相変化したのに伴い、アリューシャン低気圧とユーラシア大陸北部における西風が強化されることが分かった。これらの大気循環の変化により北アメリカとユーラシア大陸の高緯度帯において暖気移流が強化され、北極圏全体が温暖化することを突き止めた。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to clarify a mechanism for the early 20th century Arctic warming. We have performed (1) a statistical analysis with historical ocean-atmosphere observations, (2) numerical experiments with an atmospheric general circulation model, and (3) statistical analysis with CMIP5 pre-industrial control simulations. We found that both the Aleutian low and surface westerly winds over the Northern Eurasia intensify due to simultaneous negative-to-positive shifts of the Pacific and Atlantic multidecadal oscillations. These changes in atmospheric circulation enhance the warm advection over the high latitude regions, leading to the entire warming over the Arctic.

研究分野：気候変動

キーワード：北極温暖化 太平洋数十年規模振動 大西洋数十年規模振動 大気海洋相互作用

1. 研究開始当初の背景

1910-40年代に持続した北極域温暖化は、20世紀全体を通して見た中でも最も不可解な気候変動の1つと言われており、現在も活発に議論されている。冬季から春季にかけて顕著な海氷融解が無かったにも関わらず、30年間で+1.5°C程度も気温が上昇し、それは人為起源の地球温暖化が進行した1970年から30年間の気温上昇にも匹敵する。この20世紀前半に起こった北極温暖化の要因を解明することは、将来的な北極の気候や生態系を予測・理解する上で重要な意義を持つ。

20世紀前半は現在よりも温室効果ガスによる外部放射強制力の変化が非常に小さく、何らかの内部変動がこの北極域温暖化に関わっていたと考えられている。これまでに、北大西洋の一時的な海洋温暖化が極向きの大気熱輸送を強化したという説や、北極域の一部における海氷融解が一因という説などが提案されてきた。しかし、これらの変動を反映しているはずの歴史的海面水温データや海氷データで駆動した大気大循環モデルは、いずれも20世紀前半の北極域温暖化を再現できず、これらの仮説を支持するまでには至っていない。

2. 研究の目的

本研究では、20世紀前半の北極域温暖化を引き起こした要因を明らかにすることを目的とする。具体的な研究項目は以下の通りである。

- (1) 物理的に整合する20世紀前半の熱帯海洋・北半球大気循環・北極域気温の変動パターンを最新の歴史的気候データセットから検出する。
- (2) 最新の海面水温データで強制された大気大循環モデルによって20世紀前半の北極域温暖化を再現し、データ解析によって得られた大気海洋変動パターンと比較・検証する。
- (3) 大気大循環モデルの海面水温感度実験を実施し、20世紀前半の北極域温暖化の強制源となった海域を特定すると同時に、遠隔強制の物理メカニズムを解明する。

3. 研究の方法

本研究で使用した海面水温データセットはHadISST1、およびその後継版であるHadISST2を使用した。それぞれの海面水温データセットで大気大循環モデルGFDL AM2.1を強制した。ここでHadISST1で強制した実験をHIST1、HadISST2で強制した実験をHIST2と呼ぶことにする。両実験共にHadISST2の海氷データとCMIP5 historical simulationで使用された放射強制データを用いて1900年から1950年までの51年間を積分期間とし、それぞれ18メンバーのアンサンブル実験を実施した。

海面気圧にはISPD version 3.2.9 および Release 3, 海上風にはICOADS, 陸上気温に

は地点観測データのGHCN-M, および格子化データセットのNOAAGlobalTemp v4.0.1, GISTEMP, CRUTEM4.4, CRU TS3.23, ERA-20Cを使用した。

また大気海洋結合モデルの出力結果として、CMIP5から計36のpre-industrial control (piControl) シミュレーションの結果を解析した。

4. 研究成果

20世紀前半の北極域温暖化は北半球冬季から春季にかけて最大だったため、本研究では11-3月平均の結果を示す。大気大循環モデル実験の結果を見ると、HadISST2で強制したHIST2実験が観測と良く一致した北極圏の温暖化を再現できているのに対し、HadISST1で強制したHIST1実験では北極圏の温暖化を約50%しか再現できていない(図1)。これらの再現実験では両実験ともに同一の海氷データセット、放射強制データを使用しており、海面水温変化の違いが大気応答の違いを生み出したと考えられる。そこで温暖化が顕著だった1908年から1942年までの海面水温変化傾向を比較すると、HadISST2が熱帯太平洋で顕著な昇温傾向、北西太平洋で降温傾向を示す太平洋数十年規模振動の特徴を捉えているのに対し、HadISST1はHadISST2に比べて熱帯太平洋の昇温傾向が小さいことが分かる(図2)。さらにHadISST2の方が北大西洋において昇温傾向が著しく、大西洋数十年規模振動の負から正への位相変化を明瞭に捉えている。

図3は観測、HIST2およびHIST1実験から

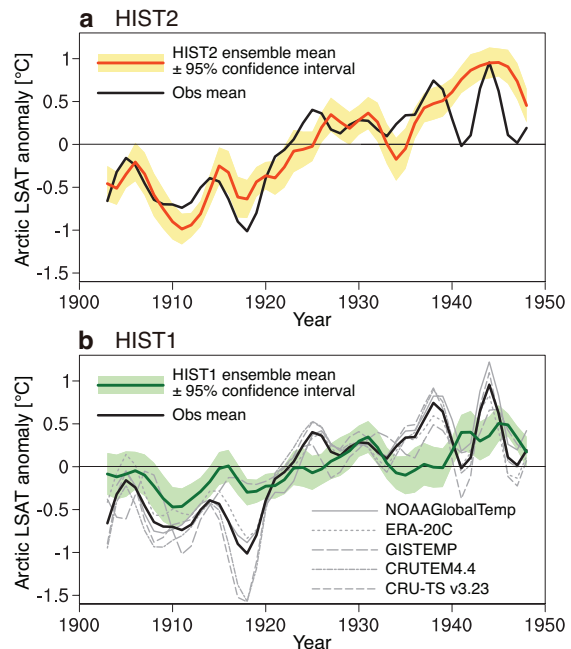


図1. 60-90°Nで領域平均した11-3月平均の陸上気温偏差時系列: a) HIST2実験(赤実線)およびb) HIST1実験(緑実線)。灰実線は各観測データセットから得られた陸上気温偏差時系列を示す(凡例参照)。黒実線は5つの観測データセットの平均を示す。

得られた海面気圧，海上風，陸上気温の変化傾向を示す。観測では太平洋数十年規模振動が負から正へ位相変化するのに伴い，アリューシャン低気圧が深まり，北アメリカでは海面気圧が増加傾向となっている。この

Pacific/North America テレコネクションパターンに整合するように海上風も変化していることが分かる。また北大西洋では海面気圧変化が北東-南西方向の双極子構造を示し，バレンツ-カラ海からユーラシア北部にかけて西風が強化されている。これらの北太平洋および北大西洋における大気下層循環変化はいずれも地表付近の暖気移流を強化し，北アメリカおよびユーラシア北極圏の温暖化を引き起こしたと考えられる。HIST2 実験では観測された北極圏の温暖化や海面気圧変化の空間分布を概ね良く再現している。一方，HIST1 実験では北極圏の温暖化傾向が弱く，アリューシャン低気圧の強化やバレンツ-カラ海における西風強化も弱い。

図4はCMIP5 piControl シミュレーション結果から得られた北極圏温暖化時における海面水温，陸上気温および海面気圧変化の合成図を示す。興味深いのは，太平洋数十年規模振動と大西洋数十年規模振動が共に負から正へと位相変化する際の海面水温変化と特徴が一致しており，HadISST2 の海面水温変化パターンと特徴が共通している共通している点である。さらにバレンツ-カラ海からユーラシア北部での西風強化やアリューシャン低気圧の強化など，20世紀前半の北極圏温暖化時に観測された大気循環変化と共通する特徴を示している。

以上の結果より，太平洋および大西洋の両海盆における数十年規模振動が同時に負から正へと位相変化する際に北極圏で顕著な温暖化が起こり得ることが分かった。本研究で得ら

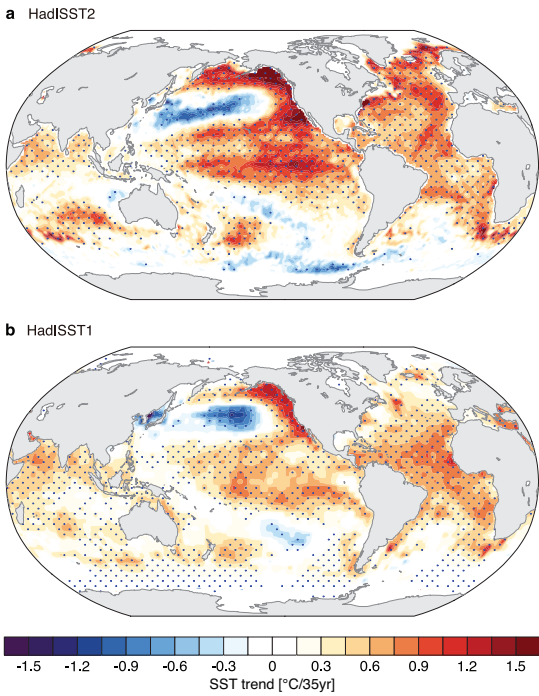


図 2. 11-3 月の季節平均偏差から計算した 1908-1942 年の海面水温変化傾向 (°C/35 年): a) HadISST2, b) HadISST1. ハッチ部分は 90%信頼限界で有意な領域を示す。

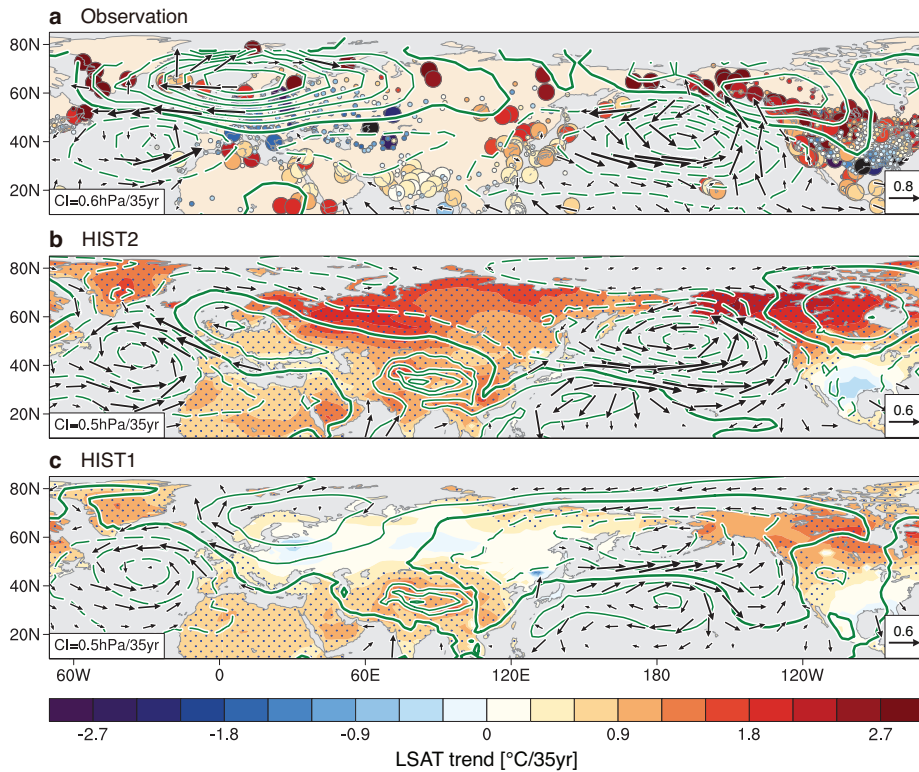


図 3. 11-3 月の季節平均偏差を用いて計算した 1908-1942 年の陸上気温 (°C/35 年)，海面気圧，および海上風トレンド: a) 観測，b) HIST2 実験，c) HIST1 実験。ハッチ部分は 90%信頼限界で有意な領域を示す。

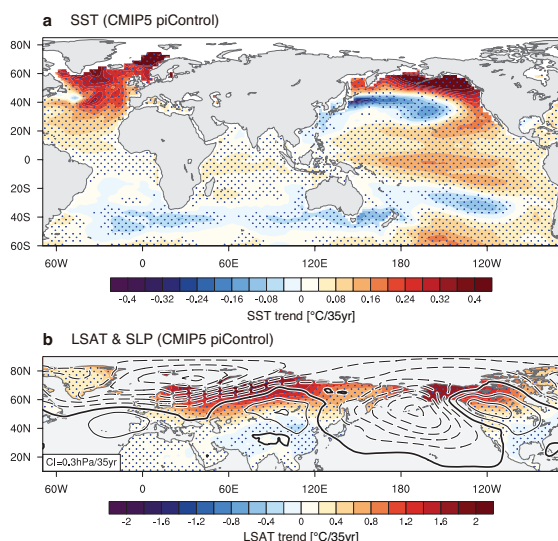


図 4. CMIP5 piControl シミュレーションから得られた北極温暖化時における変化傾向の合成図。a) 海面水温, b) 陸上気温および海面気圧。

れた成果は、北極圏の温暖化には地球温暖化時の外部強制応答だけでなく、太平洋および大西洋における海面水温の数十年規模変動とそれらに関連する大気下層循環の変動が重要な役割を果たしていることを示唆している。

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 4 件)

① 時長 宏樹, 謝 尚平, 向川 均, 2017: 20 世紀前半の北極圏温暖化に対する太平洋・大西洋数十年規模変動の影響, 平成 28 年度「異常気象と長期変動」研究集会報告, 査読無, 73-76.

② 西 憲敬, 高谷 祐平, 原田 やよい, 時長 宏樹, 竹村 和人, 宮坂 貴文, 榎本 剛, 2017: 研究集会「東アジア域における大気循環の季節内変動に関する研究集会」の報告, 天気, 査読無, 64, 450-455.

③ Hiroki Tokinaga, Shang-Ping Xie, and Hitoshi Mukougawa, 2017: Early 20th-century Arctic warming intensified by Pacific and Atlantic multidecadal variability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 査読有, 114, 6227-6232.

④ Shang-Ping Xie, Qihua Peng, Youichi Kamae, Xiao-Tong Zheng, Hiroki Tokinaga, and Dongxiao Wang, 2018: Eastern Pacific ITCZ dipole and ENSO diversity, *Journal of Climate*, 査読有, 31, 4449-4462.

[学会発表] (計 5 件)

① 時長 宏樹, 謝 尚平, 向川 均, 20 世紀前半の北極圏温暖化に対する熱帯からの遠隔強

制, JpGU Meeting 2016, 2016 年 5 月 26 日, 幕張メッセ国際会議場, 千葉.

② Hiroki Tokinaga, Shang-Ping Xie, Clara Deser, Yu Kosaka, Yuko M. Okumura, Hai Wang, Qinyu Liu, Patterns and influence of tropical ocean warming: Observations and simulations, 2nd JSPS Core-to-core SEASTAS and IWS 2016, 2016 年 8 月 25 日, Hanoi, Vietnam.

③ 時長 宏樹, 謝 尚平, 向川 均, 20 世紀前半の北極圏温暖化に対する太平洋・大西洋数十年規模変動の影響, 平成 28 年度「異常気象と長期変動」研究集会, 2016 年 11 月 9 日, 京都大学防災研究所, 宇治.

④ Hiroki Tokinaga, Shang-Ping Xie, Hitoshi Mukougawa, Influence of Atlantic and Pacific multidecadal variability on the early 20th century Arctic warming, JpGU Meeting 2017, 2017 年 5 月 24 日, 幕張メッセ国際会議場, 千葉.

⑤ Hiroki Tokinaga, Shang-Ping Xie, and Hitoshi Mukougawa, Early 20th-century Arctic warming intensified by Pacific and Atlantic multidecadal variability. 9th International Workshop on Tropical-subtropical Weather, Climate and Oceans, 2017 年 11 月 19 日, Guangzhou, China.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

時長 宏樹 (TOKINAGA, Hiroki)
京都大学・白眉センター・特定准教授
研究者番号: 80421890

(2) 研究協力者

謝 尚平 (XIE, Shang-Ping)
カルフォルニア大学サンディエゴ校・スクリップス海洋研究所・教授