

## 20 世紀前半の北極圏温暖化に対する太平洋・大西洋数十年規模振動の影響

時長 宏樹<sup>1,2</sup>, 謝 尚平<sup>3</sup>, 向川 均<sup>1</sup>

(1: 京都大学防災研究所, 2: 京都大学白眉センター, 3: スクリプス海洋研究所)

### 1. はじめに

1970 年代以降, 北極圏は全球平均よりも 2 倍以上の速さで温暖化が進み, 北極の温暖化増幅と呼ばれている. この温暖化増幅には海水や雪氷の融解に伴うアイス-アルベドフィードバックなど, 幾つかの正のフィードバックが働いている (Screen and Simmonds 2010; Serreze and Francis 2006; Taylor et al. 2013). 一方, 温室効果ガスによる放射強制力が現在と比べて非常に弱かった 20 世紀前半にも 1970 年代以降に匹敵する北極圏温暖化が起こっていた (Bengtsson et al. 2004; Grant et al. 2009; Wood and Overland 2010). しかし, この 20 世紀前半の北極圏温暖化はモデルによる再現性が低く (Semenov and Latif 2012), そのメカニズムについては依然として統一的な結論に至っていない. そこで, 本研究では近年新たに利用可能になった海面水温データセットと大気大循環モデルを用いて, 20 世紀前半に起こった北極圏温暖化の再現性を検証し, その要因について調べた.

### 2. 観測データとモデル実験

本研究で使用した海面水温データセットは従来型として HadISST1 (Rayner et al. 2003), 最新型として HadISST2 (Kennedy et al. 2013) を使用し, 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 (Anderson et al. 2004) 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 の海水データと 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 International Surface Pressure Databank version 3.2.9 (Cram et al. 2015) および International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (ICOADS) Release 3.0 (Freeman et al. 2016), 海上風には ICOADS, 陸上気温には地点観測データの Global Historical Climatology Network-Monthly version 3 (GHCN-M) (Lawrimore et al. 2011), 格子化データセットには NOAA Merged Land Ocean Global Surface Temperature (NOAA GlobalTemp) v4.0.1 (Vose et al. 2012), GISTEMP (Hansen et al. 2010), CRUTEM4.4 (Jones et al. 2012), CRU TS3.23 (Harris et al. 2014), ERA-20C (Poli et al. 2016) 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.

### 3. 結果

20 世紀前半の北極圏温暖化は北半球冬季から春季にかけて最大だったため, 本報告では 11-3 月平均の結果のみを示す. 大気大循環モデル実験の結果を見ると, 最新型の 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るのに対し, 従来型の 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双方とも同一の海水データセット, 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 では熱帯太平洋で昇温傾向, 北西太平洋では降温傾向を示す太平洋数十年規模振動の特徴と良く一致しているのに対し, HadISST1 では熱帯太平洋

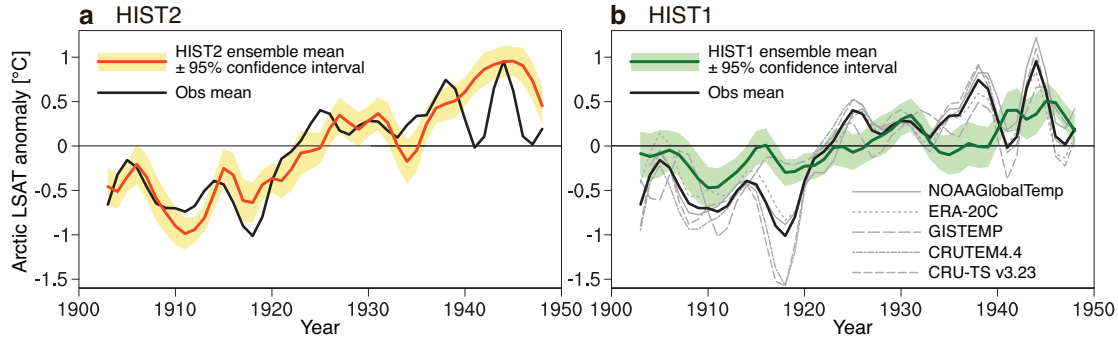


図 1. 60-90°N で領域平均した 11-3 月平均の陸上気温偏差時系列: a) HIST2 実験 (赤実線) および b) HIST1 実験 (緑実線). 灰実線は各観測データセットから得られた陸上気温偏差時系列を示す (凡例参照). 黒実線は 5 つの観測データセットの平均を示す.

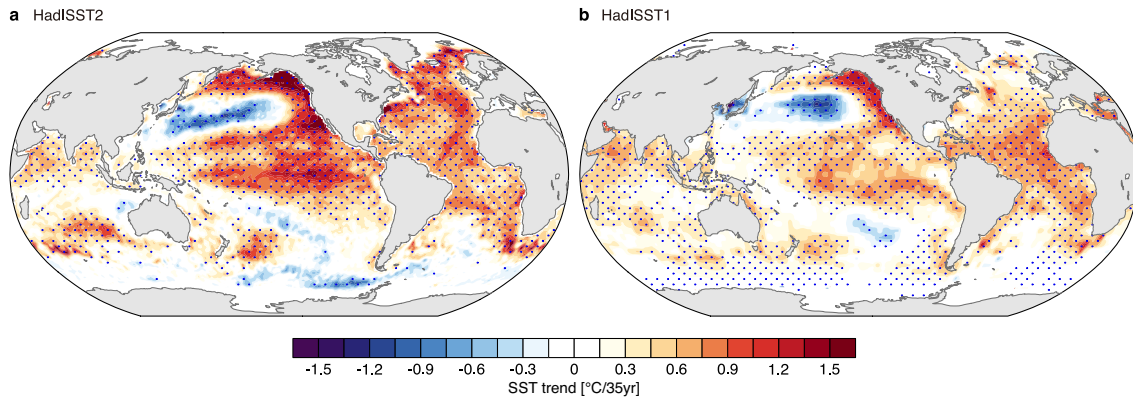


図 2. 11-3 月の季節平均偏差から計算した 1908-1942 年の海面水温変化傾向 (°C/35 年): a) HadISST2, b) HadISST1. ハッチ部分は 90%信頼限界で有意な領域を示す.

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大きい.

図 3 は観測, HIST2 および HIST1 実験から得られた海面気圧, 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 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.

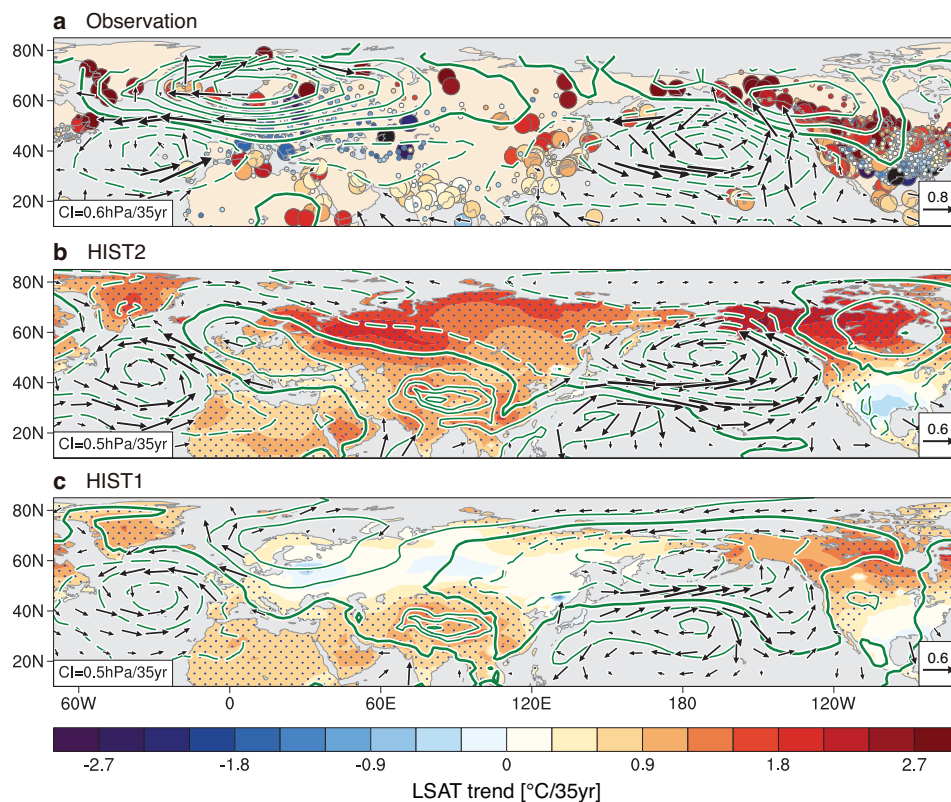


図3. 11-3月の季節平均偏差を用いて計算した1908-1942年の陸上気温(°C/35年)、海面気圧、および海上風トレンド: a) 観測, b) HIST2 実験, c) HIST1 実験. ハッチ部分は90%信頼限界で有意な領域を示す.

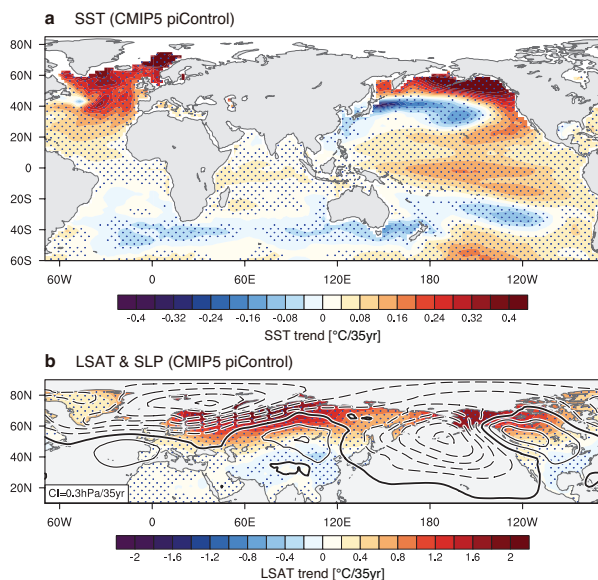


図4. CMIP5 piControl シミュレーションから得られた北極温暖化時における変化傾向の合成図. a) 海面水温, b) 陸上気温および海面気圧.

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, 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と考えられる. 本研究では, 両海盆における数十年規模振動

が同時に負から正へ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を示唆しており、これらのメカニズム解明や予測可能性を向上させるには更なる今後の研究が不可欠である。

#### 参考文献

- Anderson, J. L., and Coauthors, 2004: The new GFDL global atmosphere and land model AM2-LM2: Evaluation with prescribed SST simulations. *J. Clim.*, **17**, 4641-4673.
- Bengtsson, L., V. A. Semenov, and O. M. Johannessen, 2004: The early twentieth-century warming in the Arctic - A possible mechanism. *J. Clim.*, **17**, 4045-4057.
- Cram, T. A., and Coauthors, 2015: The International Surface Pressure Databank version 2. *Geosci. Data J.*, **2**, 31-46.
- Freeman, E., and Coauthors, 2016: ICOADS Release 3.0: A major update to the historical marine climate record. *Int. J. Climatol.*, in press, doi: 10.1002/joc.4775.
- Grant, A. N., S. Bronnimann, T. Ewen, T. Griesser, and A. Stickler, 2009: The early twentieth century warm period in the European Arctic. *Meteorol Z.*, **18**, 425-432.
- Hansen, J., R. Ruedy, M. Sato, and K. Lo, 2010: Global surface temperature change. *Rev. Geophys.*, **48**.
- Harris, I., P. D. Jones, T. J. Osborn, and D. H. Lister, 2014: Updated high-resolution grids of monthly climatic observations - the CRU TS3.10 Dataset. *Int. J. Climatol.*, **34**, 623-642.
- Jones, P. D., D. H. Lister, T. J. Osborn, C. Harpham, M. Salmon, and C. P. Morice, 2012: Hemispheric and large-scale land-surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2010. *J. Geophys. Res.*, **117**, D05127.
- Kennedy, J., N. A. Rayner, M. Saunby, and S. C. Millington, 2013: Bringing together measurements of sea surface temperature made in situ with retrievals from satellite instruments to create a globally complete analysis for 1850 onwards, HadISST2. *EGU General Assembly 2013*, EGU.
- Lawrimore, J. H., M. J. Menne, B. E. Gleason, C. N. Williams, D. B. Wuertz, R. S. Vose, and J. Rennie, 2011: An overview of the Global Historical Climatology Network monthly mean temperature data set, version 3. *J. Geophys. Res.*, **116**, D19121.
- Poli, P., and Coauthors, 2016: ERA-20C: An atmospheric reanalysis of the twentieth century. *J. Clim.*, **29**, 4083-4097.
- Rayner, N. A., and Coauthors, 2003: Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. *J. Geophys. Res.*, **108**, 4407.
- Screen, J. A., and I. Simmonds, 2010: The central role of diminishing sea ice in recent Arctic temperature amplification. *Nature*, **464**, 1334-1337.
- Semenov, V. A., and M. Latif, 2012: The early twentieth century warming and winter Arctic sea ice. *Cryosphere*, **6**, 1231-1237.
- Serreze, M. C., and J. A. Francis, 2006: The arctic amplification debate. *Climatic Change*, **76**, 241-264.
- Taylor, P. C., M. Cai, A. X. Hu, J. Meehl, W. Washington, and G. J. Zhang, 2013: A decomposition of feedback contributions to polar warming amplification. *J. Clim.*, **26**, 7023-7043.
- Vose, R. S., and Coauthors, 2012: NOAA's merged land-ocean surface temperature analysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **93**, 1677-1685.
- Wood, K. R., and J. E. Overland, 2010: Early 20th century Arctic warming in retrospect. *Int. J. Climatol.*, **30**, 1269-1279.