

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 6 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K17758

研究課題名(和文)北極海海水の減少が偏西風の蛇行をもたらすメカニズムの解明

研究課題名(英文) Investigation of the mechanism that the decline of Arctic sea-ice causes meandering of westerly wind

研究代表者

森 正人 (Mori, Masato)

東京大学・先端科学技術研究センター・助教

研究者番号：00749179

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円

研究成果の概要(和文)：地球温暖化の進行と共に急激に進行している北極域の海水の減少が、偏西風の蛇行を通して中緯度域の異常気象に与える影響と、そのメカニズムについて調査した。複数の大気大循環モデルによる大規模アンサンブルシミュレーションと、線形傾圧モデルによる力学過程の診断から、以下のことが明らかになった；過去気候の再現実験において、大気循環の蛇行を表すWACEパターンの発現を通して、海水の減少が冬季に東アジアに寒冬をもたらす確率を増加させているが、全ての大気モデルにおいて、WACEパターンの変動とその影響が観測に比べて過小評価されており、このことは、大気海洋結合過程の重要性を示唆している。

研究成果の概要(英文)：Rapid reduction of Arctic sea ice is prominent with the progress of global warming. We investigated influence of the sea-ice loss on the extreme cold winter in mid-latitude through meandering of westerly wind and its mechanism. Analysis of large ensemble simulations performed by several atmospheric global circulation models (AGCMs) and diagnosis by linear baroclinic model showed following things; (1) The Arctic sea ice loss increases the occurrence frequency of extremely cold winter in the east Asia through excitation of WACE pattern that represents the meandering of westerly wind at the upper troposphere, (2) but these features are not well reproduced in the AGCMs. (3) This suggests the importance of atmosphere-ocean interaction to accurately estimate the impact of Arctic sea-ice loss on the mid-latitude.

研究分野：気象学

キーワード：北極 海水 異常気象 アンサンブルシミュレーション

### 1. 研究開始当初の背景

地球温暖化に伴い、北極海における海水面積の縮小が急激に進行している。海水が減少することによって、特に冬季に海洋から大気への熱・水蒸気放出が促進され、その影響は既に北極温暖化増幅現象と呼ばれる温暖化シグナルとして顕在化している。この海水の減少による大気への影響が、北極域だけに留まらず中緯度域にも及ぶ可能性が世界的に議論になっており、その典型例が、バレンツ・カラ海における海水変動とユーラシア大陸中央部から東アジアにかけての地表気温変動との関係である。観測データを使った統計解析によると、両者の間には正の相関関係があり、秋から冬にかけて海水が減ると、冬季に東アジアで地表気温が下がる傾向にある。また、ユーラシア大陸の中央部(東経 60~120 度、北緯 40~60 度)における 2004 年以降の 10 年間の冬季(12~2 月)の平均地表気温は、その前の 10 年間の平均に比べ約 1.5 度低下しており、北極域とは逆に寒冷化している。これは、この地域で異常寒波が近年頻発していることを反映しており、海水減少の影響が指摘されている。

以上のことは、近年の急速な海水の減少が中緯度域の低温偏差を強制していることを示唆しているが、サンプル数が十分とは言えない観測データの統計解析から物理的な因果関係を語るのは限界があるため、大気大循環モデル(AGCM)を用いた数値実験による検証が多く行われてきている。例えば著者らは、バレンツ・カラ海で観測された海水密接度偏差を AGCM に与えた感度実験から、海水減少が冬季に東アジアに低温偏差を強制し得ることを明らかにした(Mori et al. 2014)。また、主成分分析の手法を用いることで、地表気温の低下に対する大気の内変動の寄与と、海水の変動に対する大気応答(以降、“Warm Arctic and Cold Eurasia”: WACE パターンと呼ぶ、図 1 陰影)の寄与とを分離し、定量的に評価することに成功した。WACE パターンは、東経 60°、北緯 60°付近に中心をもつ高気圧性の地表気圧偏差を伴っており(図 1 黒等値線)、これによる極から中緯度域へ寒気移流が、ユーラシア大陸の中央部や日本を含む東アジアの気温の低下を招いている(極の空気は平年よりも暖まっているが、それでも中緯度の空気に比べれば十分冷たい)。この高気圧性の流れは、上空で偏西風が蛇行していることを反映しており、WACE が強いほど(つまり海水が減少するほど)、蛇行しやすくなっていることも明らかになった。海水の減少が偏西風の蛇行をもたらすメカニズムについては、海水の減少に伴う海面から大気への熱強制が偏西風の蛇行を直接強制することや、熱強制が大気の総観規模擾乱の活動度(ストームトラック)の変化を介して、間接的に蛇行をもたらすことが仮説として考えられるが、まだ詳しいメカニズムは明らかになっていない。

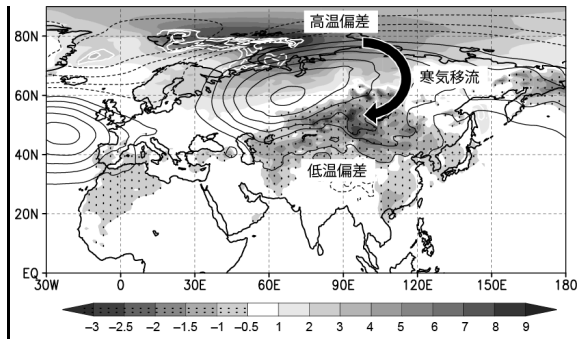


図 1. WACE パターンに伴う冬季の地表気温(陰影)、地表気圧(黒等値線)、ならびに海水偏差(負値のみ、白等値線)。

一方で、「観測データに見られる海水偏差と東アジアの気温偏差の関係はたまたま生じたもので、近年の東アジアの寒冷化は海水の影響ではなく内部変動によるものである」という主張もされるようになってきた。その原因は、海水減少の影響の程度が使用する AGCM や実験設定に依存し、観測に見られるほど大きな寒冷化を多くのモデルが再現できないためである。従って、海水の減少が中緯度域に与える影響については世界的に議論が続いており、影響の有無を明らかにすると同時に、影響があるのであれば、そのメカニズムを明らかにすることが重要である。

### 2. 研究の目的

異常気象の頻度の増加に対する地球温暖化の影響を明らかにすることは、学術的にも社会的にも重要である。本研究課題では、地球温暖化の進行と共に急激に進行している北極域の海水の減少が、偏西風の蛇行を通して冬季の中緯度域の異常寒波に与える影響と、そのメカニズムについて調査する。特に明らかにしようとしているのは、北極海の海水の変動と密接に関係している大気循環偏差パターン(WACE パターン)の形成メカニズムである。

### 3. 研究の方法

(1) 冬季の北半球中緯度域では大気の内変動が非常に活発なため、その中から海水偏差によって外的に駆動される大気応答成分を検出するのは一般的に困難である。そこで、S/N 比を上げるために、大量のメンバー数による大規模アンサンブルシミュレーションを行う。大気大循環モデル MIROC-AGCM に観測された海面水温と海水密接度を与えて、40 メンバーのアンサンブル過去気候再現実験(ALL 実験)を行った。積分期間は 1979 年か

	海面水温	海水密接度
ALL 実験	観測	観測
SCL 実験	気候値	観測
ICL 実験	観測	気候値
CLM 実験	気候値	気候値

表 1. 実験名と与えた海面水温ならびに海水密接度の設定。気候値は 1979-2000 年の平均。

ら 2015 年で、海面水温ならびに海水密度の大気への影響を分離するために、境界条件の異なる 3 種類の感度実験も行った(表 1)。

(2) 別の大気大循環モデルである MRI-AGCM による高解像度大規模アンサンブルシミュレーションも実施する。さらに、海外の研究機関が開発した 7 つの異なる大気モデルによる大規模アンサンブルシミュレーション結果を取得し、解析に利用することで、現象のモデル間相互比較も行い、結果の妥当性・信頼性の向上に努める。

(3) 海水の減少に伴う海面から大気への熱強制の時空間変動を AGCM のアンサンブルシミュレーション結果から抽出し、それが、偏西風の蛇行をもたらすような高気圧性の循環偏差を強制し得るかどうかを、線型傾圧モデルを用いて診断する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 大気大循環モデルを用いた感度実験

MIROC-AGCM の各実験から得られた地表気温偏差に対して EOF 解析を適用することで WACE パターンを同定し、その時間発展を比較した。ALL 実験では時係数のアンサンブル平均とバレンツ・カラ海における海水密度偏差がほぼ同期して変動していた(相関係数  $-0.92$ )。この様子は SCL 実験でも再現されるが ICL 実験では再現されないため、WACE が海水偏差に対する応答であることが明らかになった(図 2)。

また、バレンツ・カラ海における海水密度偏差の多寡に応じて、大気循環の蛇行を表す WACE パターンの出現確率が変化することが明らかになり、WACE パターンの発現を通して、海水の減少が冬季に東アジアに寒冬をもたらす確率を増加させていることが確認された(図 3)。

これらの結果は、近年観測された東アジアの寒冬のある部分が、確かに海水の減少によるものであることを示唆している。

##### (2) モデル相互比較

過去気候の再現実験における WACE パターンの再現性をモデル間で比較したところ、多くのモデルで、バレンツ・カラ海の海水変動に同期した WACE パターンの変動が見られた。ところが、MIROC を含めた全てのモデルで、海水減少に付随する大気変動が観測に比べて過小評価されていることが明らかになった。このことは、大気モデルでは海水減少の影響が検出されにくいことを意味しており、これまで国内外で指摘されてきた観測データとモデルシミュレーションの間の違いや、モデルシミュレーション間の違いを生む大きな原因の一つになっていると考えられる。これが大気海洋結合プロセスの欠如によるものなのかどうか、今後明らかにしていく必要がある。

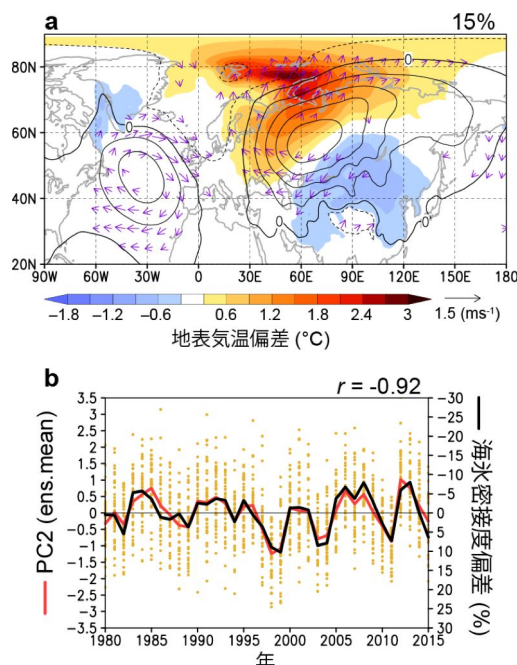


図 2 . (a) ALL 実験における冬季地表気温の EOF 第 2 モードの空間パターンと (b) 時係数 (PC2)。橙の点は各メンバーで赤線はそのアンサンブル平均。黒線はバレンツ・カラ海における海水密度偏差。

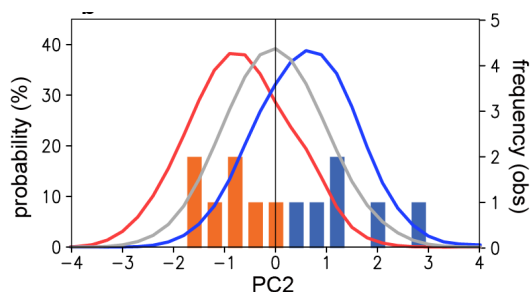


図 3 . PC2 の確率密度関数。CLM 実験 (灰色線)、ALL 実験による多氷年 (赤線) と少氷年 (青線)。観測データの PC2 のヒストグラムを、多氷年 (赤) と少氷年 (青)。

##### (3) 線型傾圧モデルを用いた診断解析

海水減少に伴う対流圏下層の熱強制に対する大気応答を線型傾圧モデルを用いて診断したところ、当初の予想に反して WACE パターンが再現されないことが分かった。この結果は、WACE パターンを単純な線型定常ロスビー波として解釈することが難しいことを示唆しているが、熱強制が大気境界層内で最大振幅を持つという性質上、結果が線型傾圧モデルの性能に依存することも考えられるため、今後も慎重に調査を続ける必要がある。一方で、短周期の気象擾乱群の振る舞いが WACE の形成・維持に与える影響を調べたところ、ストームトラックからフィードバックが WACE の中心をなす高気圧性循環を強めるように働いていることが明らかになった。

#### < 引用文献 >

Mori, M., M. Watanabe, H. Shiogama, J.

Inoue, and M. Kimoto, 2014: Robust Arctic sea-ice influence on the frequent Eurasian cold winters in the past decades. *Nature Geoscience*, doi:10.1038/ngeo2277.

## 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 2件)

川村隆一、大塚成徳、吉田聡、柳瀬巨、森正人、小坂優、竹村和人、榎本剛、研究集会「急発達する低気圧の実態・予測・災害軽減に関する研究集会」の報告、天気、査読無、62、2015、533-538.

森正人、渡部雅浩、中村尚、木本昌秀、北極海の海氷変動に対する大気応答と内部変動、平成 28 年度「異常気象と長期変動」研究集会報告、査読無、2017、68-72.

[学会発表](計 8件)

Masato Mori, M. Watanabe, H. Shiogama, J. Inoue, and M. Kimoto. Robust Arctic sea-ice influence on the frequent Eurasian cold winters in past decades. Arctic Science Summit Week (ASSW) 2015, 23-30 April 2015, Toyama (Japan).

Masato Mori. Human influence on extreme events: new approach by Probabilistic Event Attribution (PEA). The seventh meeting of the research dialogue, the Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice (SBSTA) twenty-sixth session, United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), 4 June 2015, Bonn (Germany).

Masato Mori, M. Watanabe, H. Shiogama, J. Inoue, and M. Kimoto. Robust Arctic sea-ice influence on the frequent Eurasian cold winters in past decades. International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) 2015, 22 June-02 Jul 2015, Prague (Czech).

Masato Mori. Change in persistent extratropical regimes under a polar amplified climate. Joint US-Japan Workshop on Climate Change and Variability, 21-22 March 2016, San Diego (US).

Masato Mori. Attribution of recent extreme events: a probabilistic approach. 7th Japan-EU Workshop on

Climate Change Research, 26-27 April 2016, Tokyo (Japan).

森正人、渡部雅浩、木本昌秀. 北極温暖化増幅下での天候レジームの変化. 日本地球惑星科学連合 2016 年大会、2016 年 5 月 26 日、幕張メッセ(千葉・幕張).

森正人. 北極海の海氷変動に対する大気応答と自然変動について. 平成 28 年度「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」、2016 年 11 月 9 日、京都大学防災研究所(宇治・京都).

森正人、渡部雅浩、中村尚、木本昌秀. 北極海の海氷減少が冬季中緯度大気循環へ与える影響. 研究会「長期予報と大気大循環」、2016 年 12 月 9 日、気象庁(東京).

[その他]

森正人. 地球温暖化は異常気象のリスクを変えているのか? ~温暖化の寄与を推定する~. 平成 27 年度気候変動リスク情報創生プログラム公開シンポジウム、2015 年 10 月、一橋大学.

森正人. 温暖化でも「ドカ雪」、毎日新聞朝刊. 2015 年 12 月 11 日.

森正人. 異常気象とイベントアトリビューション. 第 8 回温暖化リスクメディアフォーラム - 温暖化適応研究の新潮流 -, 2015 年 12 月、東京.

森正人. 教えて!お天気キャスター 地球温暖化でどうなる異常気象、NHK 総合(取材)、2015 年 12 月 29 日.

森正人. 温暖化で大型台風 3 倍に. 朝日小学生新聞. 2016 年 2 月 10 日.

江守正多、木本昌秀、塩竈秀夫、坪木和久、森正人、渡部雅浩. 異常気象と地球温暖化の脅威、Newton 9月号 24-53.

森正人. テレビ出演「北極海の海氷減少と日本の寒冬」、気象情報(NHK 総合)、首都圏ニュース 845(NHK 総合)、2016 年 12 月 1 日.

森正人. 減る北極氷 日本に寒風. 日本経済新聞朝刊. 2017 年 1 月 22 日.

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

森正人 (MORI, Masato)

東京大学・先端科学技術研究センター・助教  
研究者番号: 00749179