

# 負の北極振動と中緯度寒波の新因

## 「北極海アラスカ沖に空いた海水の巨大な穴 (warm hole)」

○立花義裕・小松謙介・安藤雄太・太田圭祐(三重大学大学院 生物資源学研究所)

V. A. Alexeev, L. Cai (University of Alaska)

キーワード：日本の寒波・チュクチ海氷激減・北極寒気分裂・暖水と atmospheric river 流入

### 1. はじめに

日本では近年厳冬や豪雪が頻発している。例えば 2017-18 冬(平成 30 年度冬)は、32 年ぶりの記録的寒波年となり、北陸は記録的豪雪年となった。韓国のピョンチャンで開催された冬期オリンピックもこの寒波に悩まされ、屋外競技種目ではこの寒気の影響で番狂わせが続出したと報道されている。この年の北極振動指数は長期に亘り「負」の状態が続き(図 1)、北極域の対流圏上層気温も史上最高となった(図 2)。図 2 に示すように偏西風は大きく蛇行し、東アジアと北米に寒気が居座り、この蛇行が日本に 32 年ぶりの記録的寒波をもたらした。

### 2. 既存の説だけでは 2017-18 年の 32 年ぶり寒波は説明できない

2017-18 年はラニーニャ年であった。ラニーニャ年は日本に寒波が襲来しやすい傾向にあることが知られているが、ラニーニャは約 4 年に一度程度発生することと、この年のラニーニャは弱めに推移したことから、ラニーニャだけでは 32 年ぶりの大寒波は説明できない。

一方、近年の厳冬頻発の一因として、ノルエー沖大西洋セクターの北極海(バレンツ海)の海氷減少の影響が知られている(例 Honda et al.(2009) [2])。バレンツ海の家氷減少は約 15 年前頃から始まっているが、2017-18 年のバレンツ海の家氷は最近 5 年の中では多い方であった(図 3 右)。従って、この海域の家氷現象でも、32 年ぶりの大寒波を説明できない。

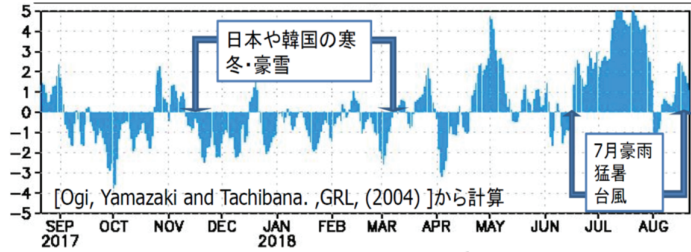


図 1 2017 年 9 月～2018 年 8 月までの北極振動指数. 指数の定義は Ogi et al.,(2004) [1] の定義(SV NAM)を用いた. 2017-18 冬は負の指数が持続していた。

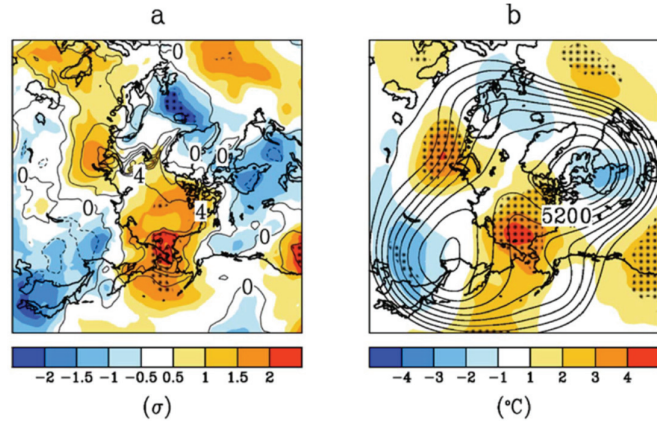


図 2 2017 年 11 月中旬～2018 年 2 月中旬までの 3 ヶ月平均の大気場. (a) 2m 気温偏差 (過去 30 年平均からの偏差. 但し気温には温暖化トレンドがあるため、各グリッドのトレンドを線形的に除去している). (b) 2017 年 11 月中旬～2018 年 2 月中旬までの 3 ヶ月平均の 500hPa 気温偏差図 (色). 等値線は 2017 年 11 月中旬～2018 年 2 月中旬までの 3 ヶ月平均の 500hPa 高度場. ハッチは 1981 年以降で最高気温、または最低気温を記録した地域を示す. アラスカ北方の北極海上空と地上付近の気温は過去 32 年で最高を記録した. 図は省略するがこの記録的高温偏差は対流圏上層まで及んでいた. 東アジアと北米には気温の負偏差が見られる. Tachibana et al., (2019) [3] から引用。

バレンツ海氷は 15 年程前から減少が始まったが、太平洋セクターのチュクチ海の海氷には数年前までは激減シグナルは無かった(図3)。ところが数年前にチュクチ海の海氷の激減が始まり、2017-18 冬にチュクチ海氷は観測史上最少を記録した(図3 左)。

### 3. 新説

我々はこれを暖穴(warm hole)と命名し、これを起因として日本と北米に寒波をもたらしたことをデータ解析と海水 on/off の大気数値実験により示した(Tachibana et al., 2019 [3]). 大西洋セクターの北極海(バレンツ海)の海水減少が中緯度の寒冷化に影響を及ぼす研究は Honda et al. (2009)[2]の先駆的研究に端を発し数多くの追従研究があるが、アラスカ沖北極海の海水激減の中緯度の異常へ及ぼすことを示した研究は本研究が初めてである。

以下、Tachibana et al., 2019 [3]が提起した説を記述する。チュクチ海の海水の激減に伴う海水の穴(warm hole)は、ベーリング海峡付近で低気圧を強化することで太平洋からの atmospheric rivers の極域への流入を促進し(図4の北向き矢印)、この暖湿な atmospheric rivers は北極域での upglide に伴い、北極上空をさらに暖めることが期待される[4](図4 黄色の矢印と図5の黄色い矢印)。よって、アラスカの北の上空大気は異常に暖かくなった(図4の円柱部分)。北の寒気と中緯度の暖気の境界で吹く偏西風は、暖かい円柱部を避けるように迂回させられ、北極点近くまで侵入した。偏西風の北極への侵入の反動で、北極寒気を東西に引き裂き東アジアと北米方向に寒気が分裂し押し出され、両地域に寒波をもたらした。

### 4. Self-sustainable な warm hole

Warm hole は大気・海洋・海氷の正のフィードバックにより self-sustainable である。ベーリング海・チュクチ海共に海水が消えたことから、atmospheric rivers に伴う極向きの風応力が海洋に直接

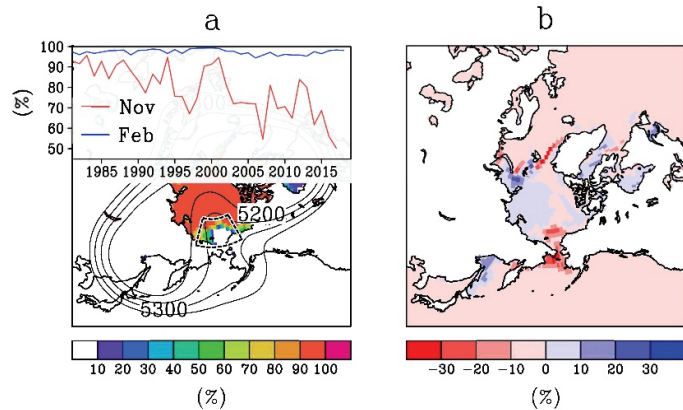


図3 (a) チュクチ海(図の扇形海域)の海水氷接度の時系列(赤:11月, 緑(2月))と、2017-18年冬の3ヶ月平均の500hPa高度。(b)2017-18年の冬季平均の海水氷接度の過去5年平均値(2012年から2016-17年冬季までの5年間の平均)からの偏差。チュクチ海域の赤色が目立つが、バレンツ海域は、直近5年の値と比較すると「平年並み」の海水であった。Tachibana et al., (2019) [3] から引用。

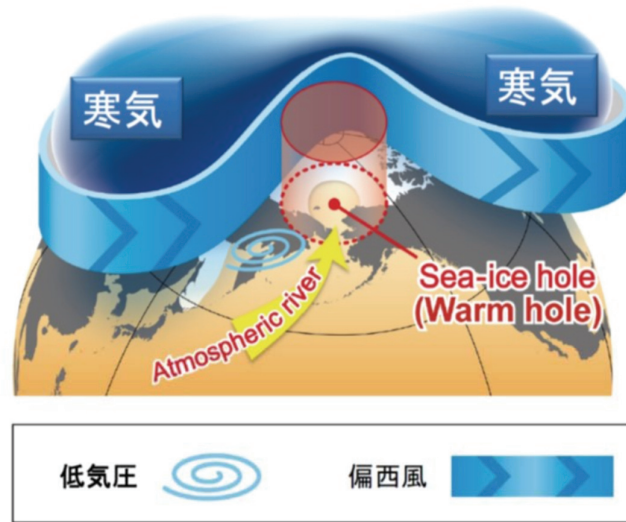


図4 海水の暖穴[warm hole]が寒波をもたらす模式図。Tachibana et al., (2019) [3] から引用。

作用する。従って太平洋の暖水の北極海への流入を促す(図5の下部の右向き矢印)。またベーリング海では、atmospheric rivers から海洋に熱を付加的に供給する(図5下部の下向き矢印)。従って風応力により促進させられた海流による極向き熱輸送量も増大する。さらに warm hole 上では海から大気へ向かって熱が供給される(図5下部の上向き矢印)。これら海洋・大気双方による極向き熱輸送の増大により対流圏大気の異常高温も持続される。対流圏上層の異常高温による下向き長波放射の増加と、atmospheric rivers に伴う極向きの風応力により、warm hole は維持される。従って、warm hole は大気・海洋・海氷の正のフィードバックにより self-sustainable(自己維持機構)である。これは warm hole を起因として北半球規模の気候が中緯度寒波頻発時代へレジームシフトした(する)可能性も示唆する。

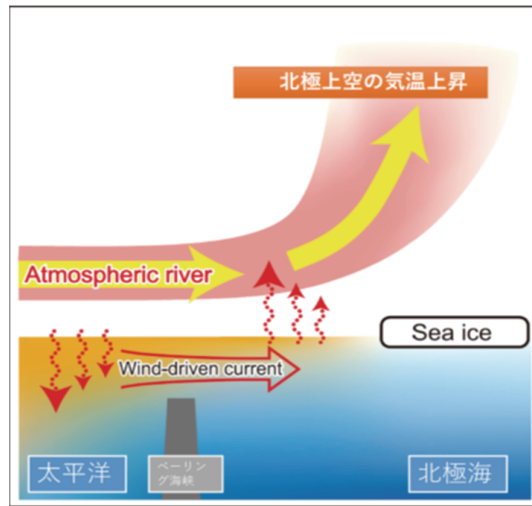


図5 大気・海洋・海氷の正のフィードバックにより self-sustainable な warm hole の模式図。アラスカから北極にかけての南北鉛直断。Tachibana et al., (2019) [3] から引用

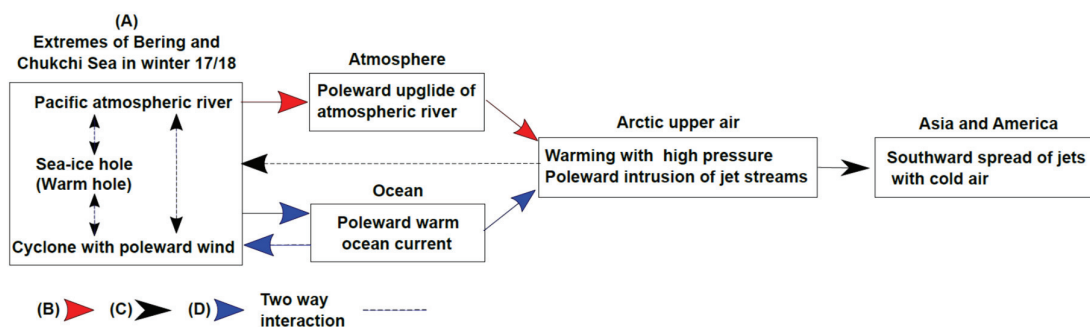


図6 大気・海洋・海氷の正のフィードバックによる self-sustainable な warm hole と東アジアと北米にもたらされる寒波についての「フローチャート」。Tachibana et al., (2019) [3] から引用。

#### 4. 数値実験

海氷 on/off の大気数値実験の結果を以下に示す。図7(a),(b),(c)は、各々ベーリング/チュクチ海,バレンツカラ海,ラブラドル海ハドソン湾の海水の境界条件のみを2017-18年冬期に設定し、他の海氷域の海水の境界条件を1983年冬期に設定した計算のコントロールランからの偏差を示す。なおコントロールランはすべての海水の境界条件を1983年冬期に設定した。これにより、各海域の海氷応答を診ることができる。また、図7(d)は、すべての海域の海水境界条件を2017-18年冬期に設定した偏差(大気応答)である。図7(a),(b),(c)と図1の観測値(再解析値)と比較すると、ベーリング/チュクチ海の水氷減少に対する大気応答には東アジアと北米に気温の負偏差、北極海に正偏差がみられ、(b),(c)に比して図1の観測値にもっとも似ている。但し、(b),(c)にも弱いながらも同様の偏差がみられる。観測値に最も近いのは図7(d)である。図には示さないが、図7(a),(b),(c)の足し算よりも図7(d)の方がその偏差は大きい。これらの結果から、ベーリング/



チュクチ海の海氷減少の応答と、他の海域の海氷減少の影響が何らかのレゾナンスをおこし、図7(d)で示される偏差パターンが形成されたことが示唆される。

## 5. まとめと示唆

1) 北極海アラスカ沖の海氷激減が、中緯度の異常気象をもたらす可能性を示した初の論文

2) 北極海氷は、大西洋セクターを中心に激減していたため、遠い日本への影響ははっきりしていなかった。しかし、ついに海氷減少は太平洋セクターにも及び始め、2017-18年冬はベーリング・チュクチの海氷が史上最少となり、そこに海氷の穴 (warm hole)が開いた。地球温暖化に伴い、今後は warm hole が拡大するであろう。

3) Warm hole は self-sustainable 機構(自己維持機構)を持つことから、高緯度大気・海洋・海水結合系にレジームシフトが起こったかもしれない。日本や北米への寒波襲来頻発時代に気候系が遷移した可能性を示唆する。

4) self-sustainable 機構を起こすきっかけは、初冬の太平洋からの atmospheric rivers の北極海への流入であろう。atmospheric rivers は中緯度や低緯度の大気場の影響を大きく受けることから、太平洋上の atmospheric rivers の変動の研究を進めることが重要となろう。

最後に、本稿は Tachibana et al., (2019) [3]に沿って解説した。詳細は、原著論文をご覧いただければ幸いである。

## 参考文献

- [1] Ogi, M., K. Yamazaki and Y. Tachibana (2004), The Summertime annular mode in the northern hemisphere and its linkage to the winter mode, *Journal of Geophysical Research*, **109**, D20114, [doi:10.1029/2004JD004514](https://doi.org/10.1029/2004JD004514)
- [2] Honda, M., Inoue, J. & Yamane (2009), S. Influence of low Arctic sea-ice minima on anomalously cold Eurasian winters. *Geophys. Res. Lett.* **36**, L08707, <https://doi.org/10.1029/2008GL037079>
- [3] Tachibana, Y., K. K. Komatsu, V. A. Alexeev, L. Cai, and Y. Ando (2019), Warm hole in Pacific Arctic sea ice cover forced mid-latitude Northern Hemisphere cooling during winter 2017-18, *Scientific Reports*, **9**, 5567, [DOI: 10.1038/s41598-019-41682-4](https://doi.org/10.1038/s41598-019-41682-4)
- [4] Komatsu K. K., V. A. Alexeev, I. A. Repina, and Y. Tachibana (2018), Poleward upgliding Siberian atmospheric rivers over sea ice heat up Arctic upper air, *Scientific Reports*, **8**, 2872, [doi:10.1038/s41598-018-21159-6](https://doi.org/10.1038/s41598-018-21159-6)

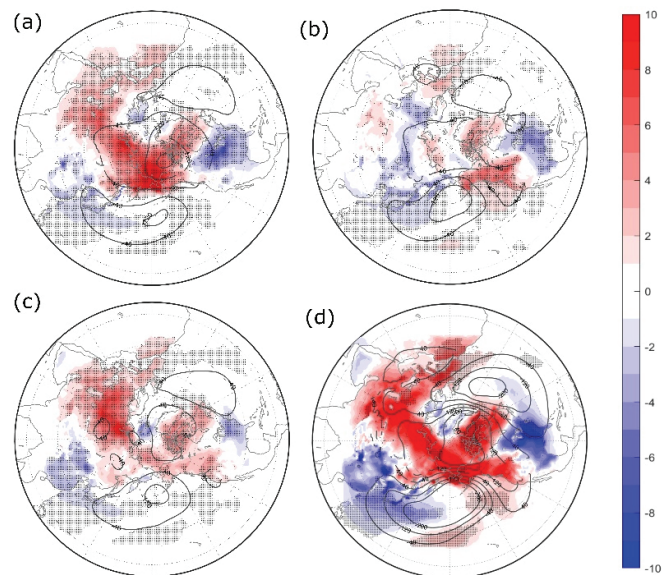


図7 (a),(b),(c)は、各々ベーリング/チュクチ海、バレンツカラ海、ラブラドル海・ハドソン湾の海氷の境界条件のみを2017-18年冬期に設定し、他の海氷域の海氷の境界条件を1983年冬期に設定した大気数値実験のコントロールランからの偏差。なおコントロールランはすべての海氷の境界条件を1983年冬期に設定。(d)は、すべての海域の海氷境界条件を2017-18年冬期に設定した偏差(大気応答)