

# 北極海の海氷減少にともなうユーラシア大陸上の寒気蓄積

\* 堀正岳<sup>1</sup>・猪上淳<sup>1</sup>

1: 海洋研究開発機構・地球環境変動領域

## 1. はじめに

北極の温暖化とそれにともなう夏季の海氷の減少が注目されているが、その一方で海氷の減少が冬季に及ぼす間接的な影響としての中緯度の寒冷化が重要な研究トピックとしてもちあがっている。

日本に視点を転ずると、厳冬をもたらす主要原因としてこれまで北極振動や、エルニーニョの遠隔伝搬が論じられてきたが、近年は北極海、特にバレンツ海における海氷の減少が大陸上の寒気蓄積に与える影響も無視できなくなっている。

2011-2012年の日本における厳冬はこうした状況を浮き彫りにする特徴的な冬となった。本稿では2011-2012年の冬の寒波について概括したうえで、そのメカニズムとして考えられるバレンツ海の海氷とユーラシア大陸上の寒気蓄積過程について最新の知見をまとめる。

## 2. はじめに

2011-2012年の厳冬は北半球全域ではなく、ユーラシア大陸側に偏った形をもった特徴的なものだった。北米は記録的な暖冬となり、ユーラシア大陸側の寒気を説明するためにはより地域性に着目したメカニズムが必要である。

図1は2011-2012年冬季における日本の気象官署58箇所の日平均気温の年平均偏差時系列である。見やすさのために、時系列には5日の移動平均をかけてある。2011-2012年冬季は12月中旬から2月下旬まで負偏差が持続し厳しい冬となったが、その一方で約8-10日の周期を持つ強い寒波の到来がこの寒さの大きな要因であることが見て取れる。

この寒気は北極振動 (Northern Hemisphere Annular Mode: NAM) のようなテレコネクションパターンによってもたらされたものなのだろうか？ このことを知るために、図2において冬季平均した海面更正気圧 (Sea Level Pressure: SLP) と850hPa面における気温の年平均偏差を示す。データはNCEP/NCAR再解析データを用いた。

これによると、SLPは北極において低圧偏差、中緯度において高圧偏差であり、北極振動指数における正の指数、つまりは暖冬傾向のときにみられるパターンに酷似していた。しかし実際の北極振動に比べ中緯度と高緯度

の気圧のシーソーは北に移動しており、ユーラシア大陸沿岸上に強い正偏差がみられた。一方、対流圏下層の気温偏差はユーラシア沿岸域の正偏差に対応した正の気温偏差が北極海、特にバレンツ海上にみられ、その南側のユーラシア大陸上に東西に長く伸びた負の気温偏差が日本まで達している。

図3においてこの冬で最も顕著な寒波事例となった2

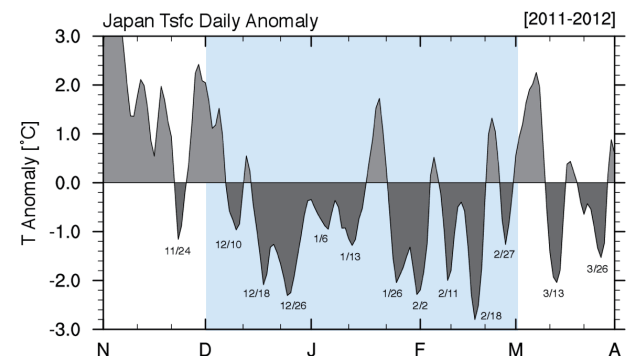


図1：2011-2012年冬季における日本の気象官署58箇所で平均した日平均気温の年平均偏差時系列。シェードは12月から2月を示している。

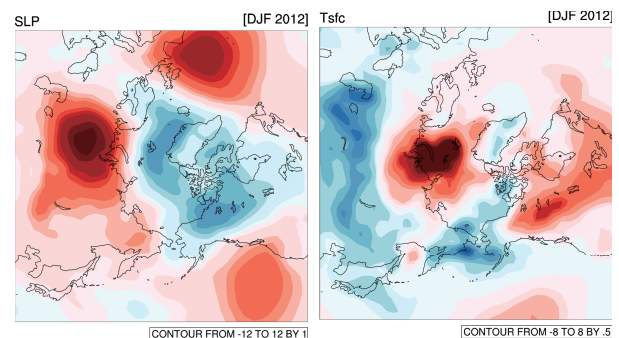


図2：2011-2012年で冬季平均した(左)海面更正気圧偏差、(右)850hPa気温偏差。NCEP/NCAR再解析データを使用。

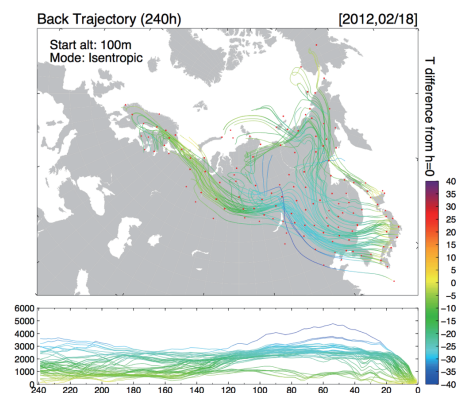


図3：2012年2月18日に日本に襲来した寒気の240時間の気圧面バックトラジェクトリー解析。開始点は図1で利用した日本58箇所の気象官署のち表から100m高度。下図はトラジェクトリーの時間高度断面。

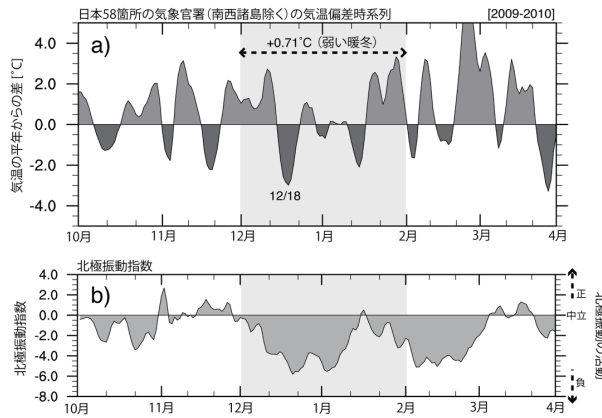


図4：図1と同様の2009-2010年における日本の気象官署58地点の日平均気温偏差時系列（上）。下は同時期の北極振動指数。

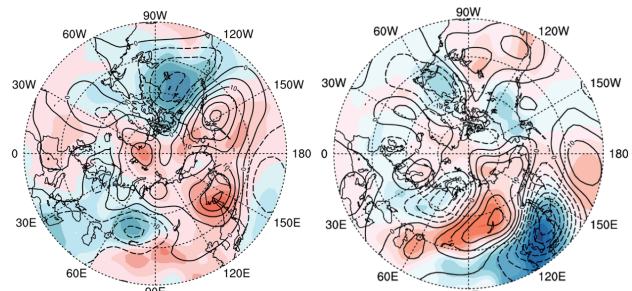


図5：2009-2010年の全寒波事例についての海面更正気圧（等値線）と850hPa気温（シェード）のラグ相関解析。左は日本への寒波到達時に対して10日前、右は1日前を示している。図はHori et al. (2011)より。

月18日について寒気の源をバクトラジェクトリー解析で求めた結果を示す。バクトラジェクトリーの開始点は図1の58箇所の気象官署の地上100mであり、240時間を気圧面データを用いて遡っている。この事例において、冷たい空気は気圧の谷にそって東シベリアから移流するものと、ユーラシア大陸沿岸からくるものの二つに大別できる。他の多くの事例についてもこの特徴は現れており、ユーラシア大陸沿岸、特にバレンツ海付近からの移流は無視できない。

## 2. バレンツ海の海水減少の影響と WACS

バレンツ海における海水減少と中緯度の寒冷化のメカニズムとして2009-2010年の冬の事例を解析したHori et al. (2011)とInoue, Hori and Takaya (2012)が存在する。ここではその概要について解説する。

図4に示す通り、2009-2010年は12月から2月の平均で+0.71度の弱い暖冬年であったが、強い寒波の襲来が特徴的であった。これに対して北極振動指数は負の状態を持続しており、本来ならば北半球中緯度の寒冷化と対応しているが、日本に限定すると気温の傾向とは対応していない。このことは半球スケールの北極振動を利用して地域的な寒波を説明する限界と解することもできる。

2009-2010年の全寒波事例に対する合成ラグ相関解析（図5）によれば、寒波が日本に到達する10日前にバレンツ海で正の気圧偏差が発生し、その東側に発生する強い寒気移流に対応してユーラシア大陸上、カスピ海の北東付近に強い負の気温偏差が見られる。この気温偏差はその後東に移流して日本に到達するが、これは上流からの寒気の供給による大陸上での寒極の成長を促しているといえることができる。

このバレンツ海付近の高圧偏差と寒気形成は海水の減少と関連しているのかを調べるために、バレンツ海における海水の多い年、少ない年について低気圧経路の解析を行った。

図6において、大西洋で発生しバレンツ海上を通過する低気圧について、多氷年と少氷年の合成図解析を行った。これらの低気圧の影響を定量化するために、低気圧が最も成長した日についてのSLPの合成をシェードで表示している。

これによると、少氷年は多氷年にはみられなかった北

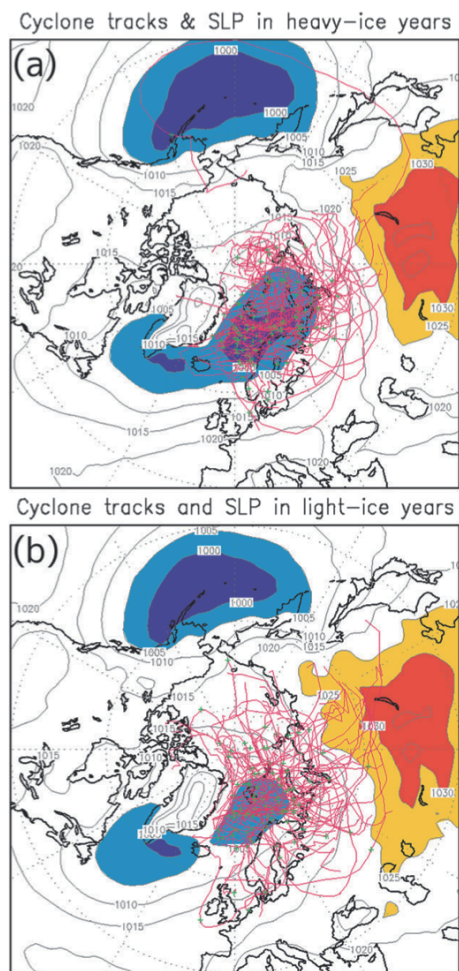


図6：バレンツ海で定義された多氷年（上）と少氷年（下）について大西洋で発生しバレンツ海を通過する低気圧の経路と、それぞれの低気圧が最も成長した日の合成SLP解析（シェード）を重ねた図。多氷年・少氷年はそれぞれ5年ずつ。



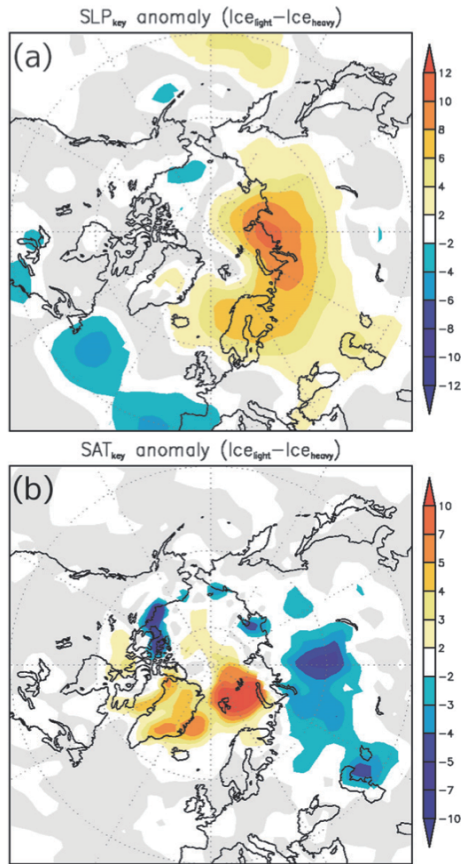


図7：図6のSLP合成解析について少氷年から多氷年を差し引いたもの(上)と、同事例について地表面気温の差をとったもの(下)

極点を通過する低気圧の個数が増えており、統計解析においても平均した低気圧の経路は約2度北上している。この北上によって合成で見られるシベリア高気圧の張り出しは少氷年において強くなっていることがわかる。

少氷年から多氷年を差し引いた結果が図7であり、SLPについてはユーラシア大陸沿岸付近において正の偏差がみられ、それを挟むように北極の温暖化と大陸の寒冷化が発生していた。この正の気圧偏差は低気圧経路の北偏によって生まれたもので、北極の温暖化は低気圧のもたらす暖気によって、中緯度の寒冷化は極側からの寒気移流によってもたらされている。

重要なのは、このパターンが低気圧のタイムスケールで発生するものであり、寒気の成因について季節平均の北極振動などよりも具体的で現象に根ざした説明を行っている点である。

北極が暖かく、シベリア側が寒冷になることから、このパターンは Warm-Arctic Cold-Siberian (WACS) アノマリーと呼称する。WACS アノマリーは海水の減少という夏季の現象が冬まで持続した結果生じる北極温暖化と中緯度寒冷化のメカニズムとして注目に値する。

### 3. 2012-2013年の冬季と季節予報

2012年9月末に発表された寒候期予報によれば、日本の冬の天候は関東以西、九州に至るまで平年よりも高い確率が40%に達する暖冬予報だった。

この予報は熱帯におけるエルニーニョ現象に強く影響を受けたものであったが、その後エルニーニョの収束とともに11月末に予報は一転して40%程度の確率で平年よりも寒い寒冬予報となった。

季節予報の信頼性の低さは海水の取り扱いが不十分であることが原因である可能性が高い。図8は2009年9月21日、海洋研究開発機構の所有する海洋地球研究船「みらい」が北極において観測を行っていた時における海水面積、地表面気温、熱フラックスを主要な客観解析データについて作図したものである。

これによると、「みらい」が航行していた北緯79度西経151度付近の氷縁域において日本のJCDASデータの熱フラックスが特に大きな値を示していることがわかる。同様の結果は大気のプロファイルにもみられ(図は割愛)、現地における観測と照合した結果、JCDASモデルにおいては氷縁域における氷の取り扱いが急であるために海洋から大気への熱の供給が過大に評価されていたことがわかった(Inoue et al. 2011)。

こうした熱フラックスの違いは結合して駆動される大気モデルにも影響して大きな予報誤差を発生させることが懸念される。これに加え、日本の季節予報モデルにおける海水の取扱いは平年値を入力しているため、海水の年々変動への応答が存在しないことも知られている。

2012年、夏季の北極海水面積は過去最少の340万平方キロメートルを記録した。本稿執筆時点(12月18日)においてもバレンツ海における海面の結氷状況は平年に比べて大きく遅れており、少氷年となっている。

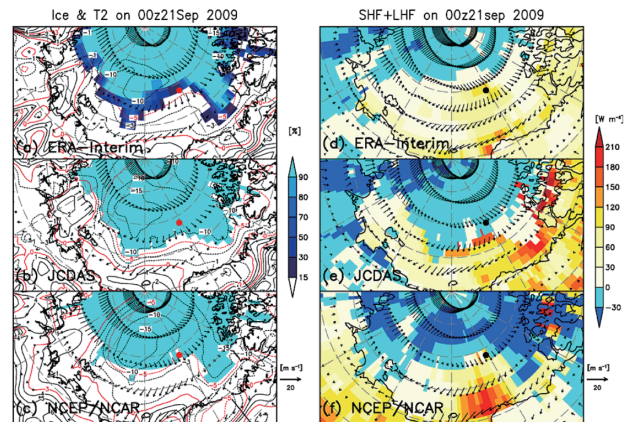


図8：2009年9月21日00ZにおいてERA-Interim(上)、JCDAS(中)、NCEP/NCAR(下)データについて海水密度と2m気温(左段)と顕熱・潜熱フラックス(右段)を示した。図中の丸点は海洋地球研究船「みらい」が航行していた海域を示す。図はInoue et al. (2011) SOLAより。

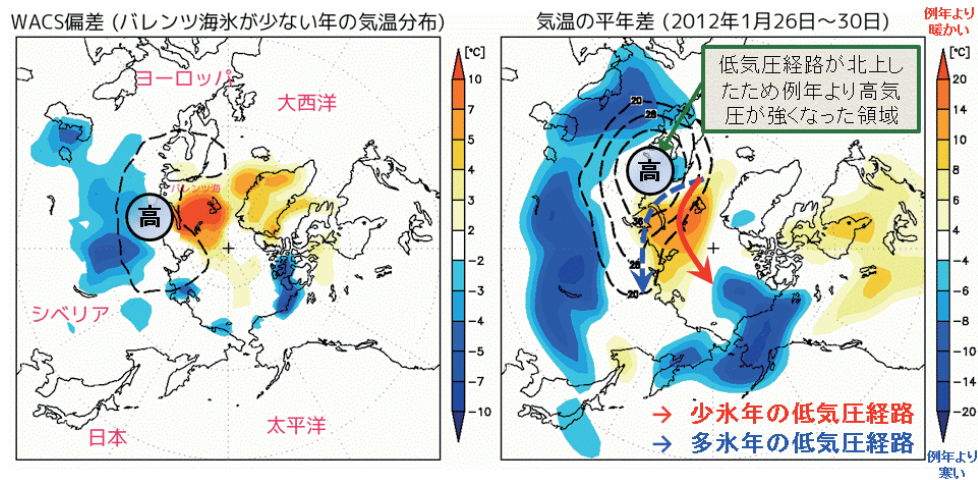


図9：WACS アノマリーの模式図（左）と、2011-2012年における代表的な寒波事例においての同様の図（右）。等値線は SLP 偏差。シェードは地表面気温偏差。

11月末から12月にかけて、北太平洋におけるブロッキングの持続、あるいはWACS的な高圧偏差による寒気がすでに4回日本に到達しており、秋田県などでは平年を大きく上回る積雪を記録するなど影響が懸念されている。

図9はWACSの模式図と2011-2012年における同様の図を比較したものである。日々の天候においてWACS的な高気圧が発生した場合、特徴的な高圧偏差をユーラシア大陸の沿岸に確認することができる。この高圧偏差を挟むようにして北極は高温偏差、中緯度、特にカスピ海の北東付近に強い負の気温偏差が発生する。

WACS的なアノマリーが発生してから日本に寒気が到達するまでには日本付近におけるブロッキングなどの有無によっても影響されるものの、およそ一週間がかかる。こうした知見は今後予報の現場、あるいは季節予報を向上させる上でも利用できることが期待される。

また、WACSアノマリーは冬に強調される北極の温暖化が中緯度に寒気をもたらすメカニズムとしても注目に値する。温暖化が中緯度の寒冷化をもたらすことは直感に反するため、今後一般に向けても情報提供を行うことが重要であると考えられる。

北極の急速な温暖化は熱帯と中緯度の関係よりも速く高緯度と中緯度の関係に変化をもたらしつつある。それは2011-2012年にみられたような厳しい冬などの異常現象に端的にみることができる。

モデルの予測を上回る海氷の現象と低気圧の変調は今後も続くことが予測されるため、現地の継続的な観測と中高緯度相互作用の観点からの研究が今後重要性を増すことが予測される。

### 参考文献

- Hori, M.E., et al., Recurrence of Intraseasonal Cold Air Outbreak during the 2009/2010 Winter in Japan and its Ties to the Atmospheric Condition over the Barents-Kara Sea, SOLA, 2011, Vol.7, 025-028, doi:10.2151/sola.2011-007
- Inoue, J., Hori, M. E., Enomoto, T., & Kikuchi, T. (2011). Intercomparison of Surface Heat Transfer Near the Arctic Marginal Ice Zone for Multiple Reanalyses: A Case Study of September 2009 T1. Sola, 7 IS -, 57-60.
- Inoue, J., Hori, M. E., & Takaya, K. (2012). The Role of Barents Sea Ice in the Wintertime Cyclone Track and Emergence of a Warm-Arctic Cold-Siberian Anomaly. J. Climate, 25(7), 2561-2568. doi:doi: 10.1175/JCLI-D-11-00449.1