

# 2016年1月の日本の大寒波に伴う 北極振動の急激な極性反転と北極海氷の減少

地球システム学講座 気象・気候ダイナミクス研究室 坂 泰志 (516M203):立花 義裕 教授  
Taishi Saka

Keywords : Arctic Oscillation, Barents and Kara Sea, Big cold surge, Blocking High, Linear Baroclinic Model

## 1. 序論

近年の地球温暖化に伴い、北極域では他地域よりも大きな昇温傾向を示しており、それに伴い特に北極海の海氷減少は、大気の変動活動などによる遠隔影響をもたらし、中高緯度の気候へ影響することが示唆される。特に2000年以降の急速な海氷減少に伴う冬季北半球の気候変化は、ユーラシア大陸上での寒気の到来と関連する(Mori et al., 2014)

これらの冬季気候状態の変化は北極振動(Arctic Oscillation, AO)で説明されることがある。2015年12月から2016年1月にかけてAOが統計史上初の極性反転を示した(図1)。これは、1カ月間で $+3\sigma$ から $-3\sigma$ へと変調したものであった。AOの変動に伴い、1月の東アジアは大寒波に見舞われ、日本の沖縄本島では観測史上初の降雪が記録された。また、1月の北極近辺のバレンツ・カラ海(Barents and Kara Sea, BKS)の海氷減少が近年で1番目に低い値を示した。観測データ解析・数値モデル実験に基づく研究により、北極海の海氷域後退に伴って北極振動の負位相が現れやすくなることが示される(Liu et al., 2012; Nakamura et al., 2015)。これらは晩秋の海氷減少が冬平均場(12・1・2月)のAOの負位相に寄与することが指摘されており、成層圏を介した下層伝播応答によるものである。しかしながら、成層圏を介さず対流圏内部のみの変動で、かつ短期間のAO反転メカニズムを議論した研究はない。

したがって、本研究は、初冬2015年12月下旬のBKS海氷減少が半月後の2016年1月に負AOへと極性反転したメカニズムを対流圏内のみの変動に着目し、明らかにする。

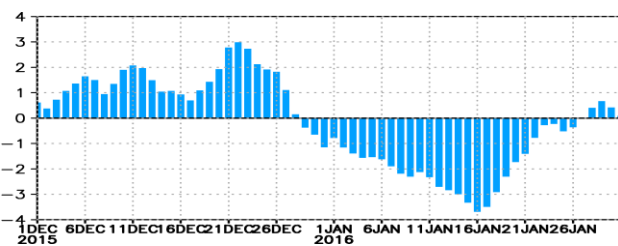


図1 2015年12月1日から2016年1月31日までにおける日々の北極振動指数。縦軸は標準偏差を示す。

## 2. 使用データ・モデル設定・解析手法

使用データは、大気場データとして日平均のJRA-55再解析データ(Kobayashi et al., 2015)、海面水温(Sea Surface Temperature, SST)および海氷密度(Sea Ice Concentration, SIC) NOAA 1/4°OISST V2データ(Reynolds et al., 2002)を使用した。本解析における気候平均値(気候値)は、1980年から2014年までの計35年間において算出した。また、大気場およびSSTには地球温暖化による上昇トレンドが存在する。このトレンドによる

影響を除くため、線形トレンドとして除去した。

Watanabe and Kimoto (2000)によって開発された線形傾圧モデル(Linear Baroclinic Model, LBM)を用い、実験を行った。境界条件として、図2aに示すBKS域に熱源を与えた(図2b)。また、熱源を与える場合はJRA-55より算出した気候値場であり、水平解像度約 $2.8^\circ$ 、鉛直20層で実験を行った。(T42L20)。BKS海氷減少域に非断熱加熱偏差を与えた定常大気熱源応答を検討した。

解析方法は、2015年12月1日から2016年1月31日の計62日間における日々の気候値からのずれ(偏差)を算出し、5日平均偏差場より評価した。

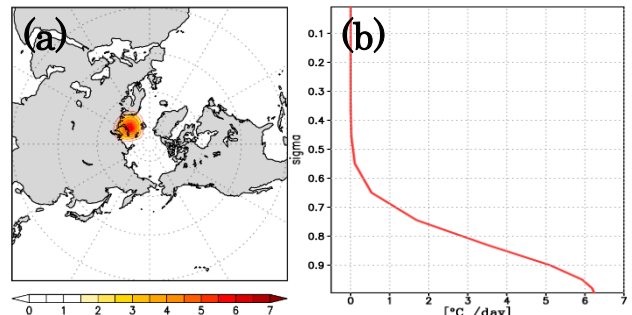


図2 (a)LBM実験において熱源を与えた箇所( $^\circ\text{C}\cdot\text{day}^{-1}$ ) (b)BKSに与えた非断熱加熱偏差の鉛直分布( $^\circ\text{C}\cdot\text{day}^{-1}$ )

## 3. 結果

### 3.1 AO正位相とBKS海氷変動

図3は2015年12月1日から2016年1月31日のSICおよびSST、乱流熱フラックスの偏差の時系列である。本解析では乱流熱フラックスは潜熱と顕熱フラックスの合成値を用いた。12月24日を境にBKSでは海氷が極端減少し、相対的にSSTの上昇がみられる(上段)。その後、乱流熱フラックスは海から大気側を正とする偏差を示した(下段)。平年値の乱流熱フラックスは季節進行と共に減少傾向であるが、本事例では平年に比べ顕著な熱輸送であった。次に、BKSの極端海氷減少のメカニズムを調べるため12月16日-20日、21日-25日の両期間における下層の海氷密度および水平風偏差、氷縁0.3値を評価した(図略)。AOが最大値を迎える両期間ではBKS周辺は南風偏差を示した。南風偏差が海氷を大きく極域側に後退させ(風応力)、海から大気に熱輸送が行われたことを示唆する。

### 3.2 BKSの熱源応答に伴う大気場応答

12月21日-25日における北緯70-80度の緯度平均ジオポテンシャル高度偏差と定常ロスビー波応答を考える(Takaya and Nakamura 2001)。東経20-80度では顕著な海氷減少に伴う熱源応答により低気圧偏差を表し、また定常ロスビー波は対流圏下層から上層への伝播パターンを示した(図略)。これは下層大気加熱を波源とする定常ロスビー波応答を表す。その後の12月31日-1月4日対流圏上層場

は、BKS に卓越したブロッキング高気圧、低緯度側に低気圧とダイポールパターンを示した(図 4a). 時間発展を見ると、1 月 5 日-9 日もこのブロッキング高気圧は BKS 上で持続し(図 4b), 1 月 10 日-14 日はカラ海上にブロッキング高気圧が位置した(図 4c). 図 4c の期間は AO が負位相の最小値を示す期間である(図 1). 負 AO は、北極を中心に高気圧、中緯度域に低気圧偏差パターンを表し(Thompson and Wallace 1998), 本事例でも BKS 上で形成されたブロッキング高気圧によって前述が確認できる(図 4c). これらから、BKS 上で形成されたブロッキング高気圧が時間発展により極側へとシフトしていき、北極を中心に高気圧を表す場を作ったことが示唆される。つまり、負 AO 指数をあらわす場である。

その後、北極を中心に高気圧を表す場が崩れ、ユーラシア中部へと南下し、1 月 21 日-25 日はユーラシア大陸上を大規模な高低気圧の波列場が覆い、東アジアに大寒波を引き起こす場となった。

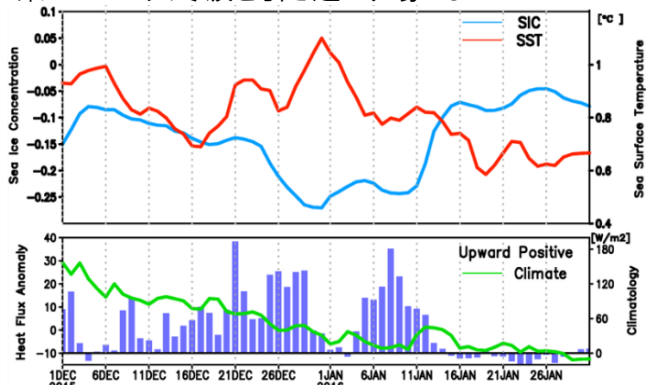


図 3 (上段)2015 年 12 月 1 日から 2016 年 1 月 31 日の期間の SST(°C, 赤線)および SIC(青線)の平年値からのずれを示す。(下段)上述と同期間における乱流熱フラックス(W・m<sup>-2</sup>)の偏差(紫棒)と平年値(緑線)を示した。

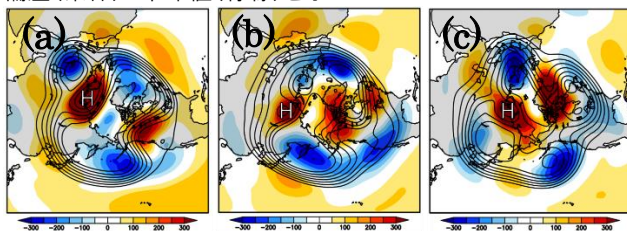


図 4 (a)12 月 31 日から 1 月 4 日, (b)1 月 5 日から 9 日, (c)1 月 10 日から 14 日における 300hPa 面ジオポテンシャル高度(m)偏差(色)と実況値(線)をそれぞれで示した。

### 3.3 LBM 実験

これまで、再解析データの結果より AO が正位相時に BKS 極端海氷減少に伴い熱源応答を表し、定常ロスビー波応答がもたらす上層への影響によるブロッキング高気圧の形成過程を示した。前述のメカニズムを支持するため、気候値場の BKS 上に熱源(非断熱加熱偏差)を与えた実験を行い、再解析データで得られた結果と比較した。図 5a は LBM 実験結果, 図 5b は BKS 上で乱流熱フラックスの顕著な正偏差の期間 12 月 24 日-1 月 11 日(図 3 下段)の偏差平均場を示した。両者を比較すると BKS 上の高気圧や北極から極東に伸びる低気圧、日本を覆う高気圧に類似性がある。つまり、バレンツ海付近の熱源がブロッキング高気圧の形成に寄与した。

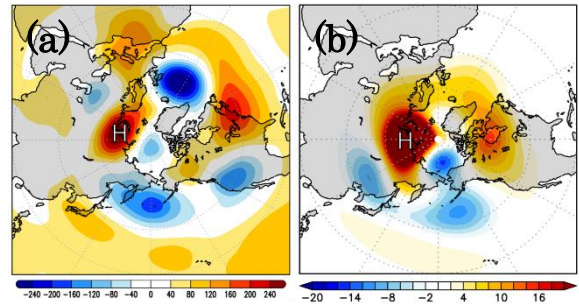


図 5 (a)12 月 24 日から 1 月 11 日における 300hPa 面ジオポテンシャル高度偏差(m)を示した。(b) 気候値場に対し、BKS に非断熱加熱偏差(°C・day<sup>-1</sup>)を与えた 300hPa 面におけるジオポテンシャル高度偏差(m)を示した。

### 4. まとめ

本研究では、2015 年 12 月下旬の正 AO が駆動する風応力が BKS 海氷の極域側への後退に伴い、海の露出による下層大気加熱応答がもたらすブロッキング高気圧が時間発展から北極側にシフトし、1 月中旬の負 AO をつくる大気海氷遅延メカニズムを発見した。

12 月下旬の正 AO の期間に BKS 上南風偏差が極側への海氷後退に寄与したことが示唆される。この時期の極域の大気と海洋には大きな熱コントラストがあるため、海氷後退に伴う海の露出より海から大気への熱輸送が顕著となった。この下層大気加熱により定常ロスビー波応答が下層から上層へと伝播し、上層ではブロッキング高気圧が形成された(図 4a-c). 卓越した高気圧は時間発展とともに BKS 上から場所を極側へと位置を変え、これが AO 負位相を示す場になったと考えられる(図 4c).

前述の再解析データ結果を支持するため LBM 実験を行い、BKS の熱源応答に伴うブロッキング高気圧形成について評価したところ再現性の高い結果を得ることができた(図 5a, b).

### 5. 参考文献

- Kobayashi, S., Y. Ota, Y. Harada, A. Ebata, M. Mori, H. Onoda, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, K. Miyaoka, and K. Takahashi, 2015: The JRA-55 Reanalysis: General Specifications and Basic Characteristics, *J. Meteor. Soc. Japan.*, **93**, 5-48.
- Mori, M., M. Watanabe, H. Shiogama, J. Inoue, and M. Kimoto (2014), Robust Arctic sea-ice influence on the frequent Eurasian cold winters in past decades, *Nat. Geosci.*, **7**, 869-873.
- Nakamura, T., K. Yamazaki, K. Iwamoto, M. Honda, Y. Miyoshi, Y. Ogawa, and J. Ukita (2015), A negative phase shift of the winter AO/NAO due to the recent Arctic sea-ice reduction in late autumn, *J. Geophys. Res. Atmos.*, **120**, 3209-3227, doi:10.1002/2014JD022848.
- Reynolds, R. W., N. A. Rayner, T. M. Smith, D. C. Stokes, and W. Wang, 2002: An improved in situ and satellite SST analysis for climate, *J. Climate*, **15**, 1609-1625.
- Takaya, K and Nakamura, H 2001: A formulation of a phase-independent wave-activity flux for stationary and migratory quasigeostrophic eddies on a zonally varying basic flow, *J. Atmos. Sci.*, **58**, 608-627.
- Thompson, D. W. J., and J. M. Wallace, 1998: The Arctic oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields, *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 1297-1300.
- Watanabe, M. and F.-F. Jin, 2003: A moist linear baroclinic model: Coupled dynamical-convective response to El Niño, *J. Climate.*, **16**, 1121-1139.