

# 東シベリアブロッキングの JPCZ への影響

\*山崎哲 (JAMSTEC)・福井真 (気象研究所, 東北大・理)・杉本志織 (JAMSTEC)

## 1 はじめに

JPCZ (日本海寒帯気団収束帯) とは, 日本海上に 1000 km 程度にわたって伸びる対流圏下層の北西風の収束帯で, 長白山脈 (白頭山) の東あるいは南東から日本の山陰地方~北陸地方に向かって伸長する. 大まかな発生のメカニズムは, 日本に向かってシベリアから流れてくる大規模な冬季アジアモンスーンによる寒気が, 長白山脈で迂回し, 日本海を南下する「北回りの寒気」と, 朝鮮半島を通過して日本海に入る「西回りの寒気」が山脈の下流で合流し, そこに収束帯が形成される. JPCZ に向かって収束する寒気は日本海で水蒸気や熱を獲得するため (例えば Tachibana et al., 2022), JPCZ がぶつかる日本列島の地域において冬季に大きな降雪や降水が発生する.

JPCZ のメカニズムについてこれまでいくつかの観点から研究がなされている. 長白山脈の存在 (Nagata et al., 1986; Shinoda et al., 2021), 日本海の海面水温分布 (Nagata, 1991), 朝鮮半島北部の海岸線の形状 (Watanabe et al., 2022) の重要性が指摘された. JPCZ 内部での対流や雲物理過程に注目した研究もなされている (例えば, Eito et al., 2010; West and Steenburgh, 2022). さらに, 日本海を通過する総観規模低気圧との関係について指摘したものがある (Nagata, 1992; Suzuki et al., 2022). しかし, これまでのメカニズム研究は主にメソスケールプロセスに主眼を置いたものが多い. テレコネクションやブロッキングなどの大循環場変動との関係についての調査研究は著者らの知る限り存在しない.

今回の研究では, 大気大循環変動による冬季アジアモンスーンの変調と JPCZ の発生の関係について調査を行った. 特に, 冬季アジアモンスーンでの大規模な寒気の流れを変調する東シベリアブロッキング<sup>1</sup>に注目する. このブロッキ

ングは日本を含む中緯度東アジア域に寒気を導くことが知られている (Park et al., 2014; Hwang et al., 2022). また, シベリア高気圧を強化することが示されている (Takaya and Nakamura, 2005). さらに, 最近 Yamazaki et al. (2019) によって, 東シベリアブロッキングによって変調された寒気の流れが, 日本の新潟地域での里雪形・山雪型降雪を増加させることが示された.

ブロッキングのような大気大循環現象を予測・再現できる気候モデルや全球大気再解析では JPCZ の再現や予測に十分な解像度を有していない. そこで, 今回の研究では, 領域気象モデルを用いて, 東シベリアブロッキングが JPCZ の再現性に与える影響を調査する.

今回は 2018 年 2 月初旬の JPCZ 事例を対象とする. この JPCZ は 2018 年 2 月 4 日~2 月 7 日にかけて発生し, 福井市に豪雪を引き起こし, 「59 豪雪」や「38 豪雪」に匹敵する大きな被害が生じさせた (福井県, 2018). この JPCZ が発生する直前の 1 月末から 2 月初頭にかけて, 東シベリアブロッキングが発生していた (図 1a).

ここでは, アンサンブルダウンスケーリング実験を行い, 東シベリアブロッキングの強さに対する JPCZ の感度を調べた. アンサンブルダウンスケーリングの利点で, 事例解析でも統計的に有意な分析が可能である (例えば Honda, 2023).

ここでの報告は Yamazaki et al. (2024) に基づくものである.

## 2 アンサンブルダウンスケーリング実験

力学的ダウンスケーリングには, Fukui et al. (2018) 以降開発が進められている NHM-LETKF 領域再解析システムの予報部分を利用する. アンサンブル数は 30 である. 25 km の外部ドメインに 5 km の内部ドメインが 1 方向ネストされている (Fukui et al., 2018, の Fig. 1). 外部ドメインでは, JRA-55 (Kobayashi et al., 2015) を

<sup>1</sup>先行研究ではオホーツク海ブロッキング (Okhotsk blocking) と呼ばれることもある.

境界値に採用しており、高度 2 km 以高にスペクトラルナッジングが適用されている。内部ドメインには外部ドメインからの情報が境界を通じて入る。初期値には NHM-LETKF 領域再解析システムで作られた解析値を用いた。積分は 8 日間行った。

2 月初旬にシベリア域に発生していたブロッキングの影響を調査するため、JRA-55 を標準的に境界値として用いた力学的ダウンスケール実験を DS 実験とし、DS 実験の JRA-55 から東シベリアブロッキングだけを除去する実験を行った (DS<sub>no-block</sub> 実験)。DS<sub>no-block</sub> 実験では、

1. Woollings et al. (2018) の “absolute” 法でのブロッキング指数 (Yamazaki et al., 2024, の Fig. S1) を 130°–180°E, 60°–70°N の領域平均の時系列 ( $I_{ESB}$ ) を作成。
2.  $I_{ESB}$  に回帰した JRA-55 の風・気温・高度場の偏差を DS 実験の 25-km ドメイン境界から引き去る。その際に、振幅を調整するために偏差を 8 倍している (図 1b,d)。これを DS<sub>no-block</sub> 実験とする。
3. 追加で、偏差を 4 倍にした DS<sub>1/2no-block</sub> 実験実験を行う。

DS 実験と DS<sub>no-block</sub> 実験, DS<sub>1/2no-block</sub> 実験を比較し、ブロッキングに対する JPCZ の感度を調査する。なお、ここでの気候値の定義は 1979/80 年～2017/18 年冬季の平均値として定義する。図 1 には、実際の 2018 年 2 月 1～5 日平均の気候値からの偏差 (図 1a,b) と、DS<sub>no-block</sub> 実験で DS 実験の境界値から引き算される回帰場 (図 1c,d) を示している。回帰場は、実際の気候学的な偏差場のパターンと振幅をある程度捉えていることがわかる。また、JPCZ の再現性を確認する 5-km 内部ドメインでは境界の外枠のみから 25-km 外部ドメインの影響が入ってくるため、回帰場で改変した日本海での大循環場の影響が直接 JPCZ の再現性に影響を与えることはない。

## 3 結果

### 3.1 2018 年 2 月の JPCZ 事例

福井市周辺での降雪の再現性を確認すると、DS 実験は降雪量や分布を適切に再現できていた

(詳細は Yamazaki et al., 2024)。一方で DS<sub>no-block</sub> 実験と DS<sub>1/2no-block</sub> 実験では福井市での降雪量が減少していることがわかり、ブロッキングが福井での豪雪発生に直接影響を与えていることがわかった。なお、この副節の結果は全て 5-km (内部) ドメインについての結果である。

続いて、DS 実験での JPCZ の再現性を比較する (図 2a–d)。DS 実験はひまわり 8 号の放射輝度温度画像と比較して JPCZ の位置や時間発展をよく捉えていた (Yamazaki et al., 2024, の Fig. S2)。DS 実験は、JPCZ のライフサイクルをよく再現できている。

DS 実験に対して、DS<sub>no-block</sub> 実験では (図 2i–l)、JPCZ の強度がかなり衰退している。2 月 4 日の JPCZ はかろうじて再現できているが、収束がかなり弱い。2 月 5 日や 2 月 6 日では JPCZ の収束が相当に弱まり、かつ収束帯が南に移動して福井の沖合に届かなくなっている。2 月 7 日 00UTC では JPCZ が完全に消滅している。DS<sub>1/2no-block</sub> 実験では (図 2e–h)、DS<sub>no-block</sub> 実験よりは収束帯が維持しているものの、DS 実験に比べて弱く、かつ南側にシフトしている。このことから、JPCZ の発生や停滞は東シベリアブロッキングに強い感度を持っている。

東シベリアのブロッキングが、JPCZ 発生域に到達する大規模な寒気の流れ (冬季アジアモンスーン) をどのように変調したのか調べるため、Iwasaki et al. (2014) や Kanno et al. (2015) の寒気質量フラックスを用いて分析する。寒気質量は力学的な保存量で、そのフラックスは数日～1 週間程度の寒気の移動をよく可視化できる。特定温位面は 280 K に指定する (Iwasaki et al., 2014)。まず、JRA-55 での気候学的な寒気質量の偏差を見ると (図 3a–d)、朝鮮半島の北西部にある正の寒気質量偏差が 2 月 1 日から 2 月 3 日にかけてユーラシア大陸上を南下し、黄海から朝鮮半島を通して東進し、JPCZ の南側に到達している。なお、朝鮮半島北西部での寒気の南下は、Park et al. (2014) で示された東シベリアブロッキングに伴う寒気の移動と整合的である。一方で、東シベリア付近ではブロッキングの影響で寒気質量が減少していて、それに関連してカムチャッカ半島・オホーツク海付近付近での寒

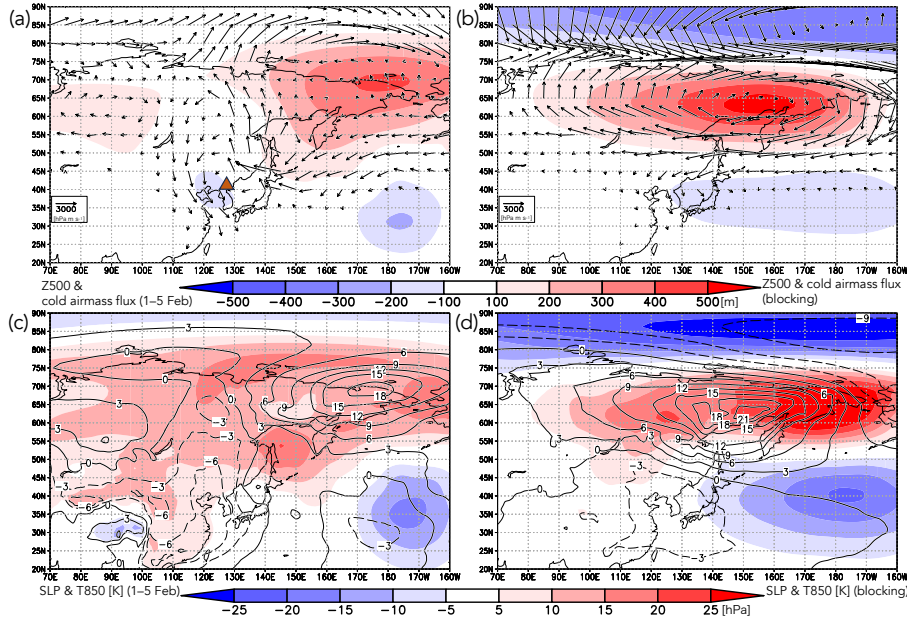


図 1: (a,b) 500 hPa ジオポテンシャル高度 (陰影, [m]) と Iwasaki et al. (2014) の寒気質量フラックス (矢印, [hPa m s<sup>-1</sup>]), (c,d) 海面気圧 (陰影, [hPa]) と 850 hPa 気温 (コンター, [K]) についての, (a,c)2018 年 2 月 1~5 日平均での気候値からの偏差と (b,d)  $I_{ESB}$  への回帰場を示す. パネル (a) の茶色い三角印は長白山脈の位置を示す. Yamazaki et al. (2024) の Fig. 1 を転載.

気質量フラックス偏差が西向きになっている.

図 3e-h に 25-km DS 実験での寒気質量フラックスを示す. この図は JPCZ の発生直前の領域モデル内での寒気の流れを示す. 2 月 2 日から 2 月 4 日にかけて, ユーラシア大陸上を黄海に向かって南下し, 朝鮮半島を西に日本海へと流れる「西回りの寒気」が顕著である. また, 2 月 3 日~2 月 4 日に日本列島の北西部から日本海を南下する「北回りの寒気」が現れている. この西回りの寒気と北回りの寒気の合流で JPCZ が形成されている.

これらの JPCZ 近傍での寒気の流れや, 海面付近での大気海洋相互作用に, 東シベリアブロッキングがどのように影響したのかを図 3i-p で示す. JPCZ が再現される 5-km ドメインでの DS 実験と DS<sub>no-block</sub> 実験の寒気質量及び寒気質量フラックスの差を見ると (図 3i-l), 2 月 1~4 日で, オホーツク海上から, その北側のブロッキングに伴う西向き寒気質量フラックス偏差が東西方向に広く西側に向かっている. これは, ブロッキングが, 日本列島の北側を東に向かう寒気の流れを変調・抑制し, 2 月 3~4 日での日本付近への寒気を南下につながっていることを示

唆する (図 3g,h).

一方で, 朝鮮半島の西側では, 2 月 2~4 日に西回りの寒気がブロッキングによって強化され, 黄海から朝鮮半島西側での寒気質量とそこから日本海へ向かう東向き寒気質量フラックスの両方が増加している (図 3k,l). これは, 東シベリアのブロッキングが, 25-km ドメインの北西領域 (モンゴル付近) での寒気の流れを変調して, 5-km ドメインでの JPCZ 発生に貢献した西回りの寒気を強化したことを意味する. ただし, このブロッキングによる寒気の流れの抑制は 2 月 3~4 日にかけての日本海を南下する北回りの寒気の強化にはあまり影響が見られない (図 3k,l).

JPCZ の周辺での大気海洋相互作用へのブロッキングの影響を, DS 実験と DS<sub>no-block</sub> 実験での乱流熱フラックスと地上風の差で示す (図 3m-p). 2 月 3~4 日の西回りの寒気の増加に伴って黄海と日本海南部で 200 W m<sup>-2</sup> に達する乱流熱フラックス差があった: この値は 2022 年 1 月の JPCZ 事例で観測された乱流熱フラックスの値の 1/3 程度に達する (Tachibana et al., 2022). つまり, ブロッキングによる西回りの寒気の強化は海面からの熱フラックスを介しても JPCZ の

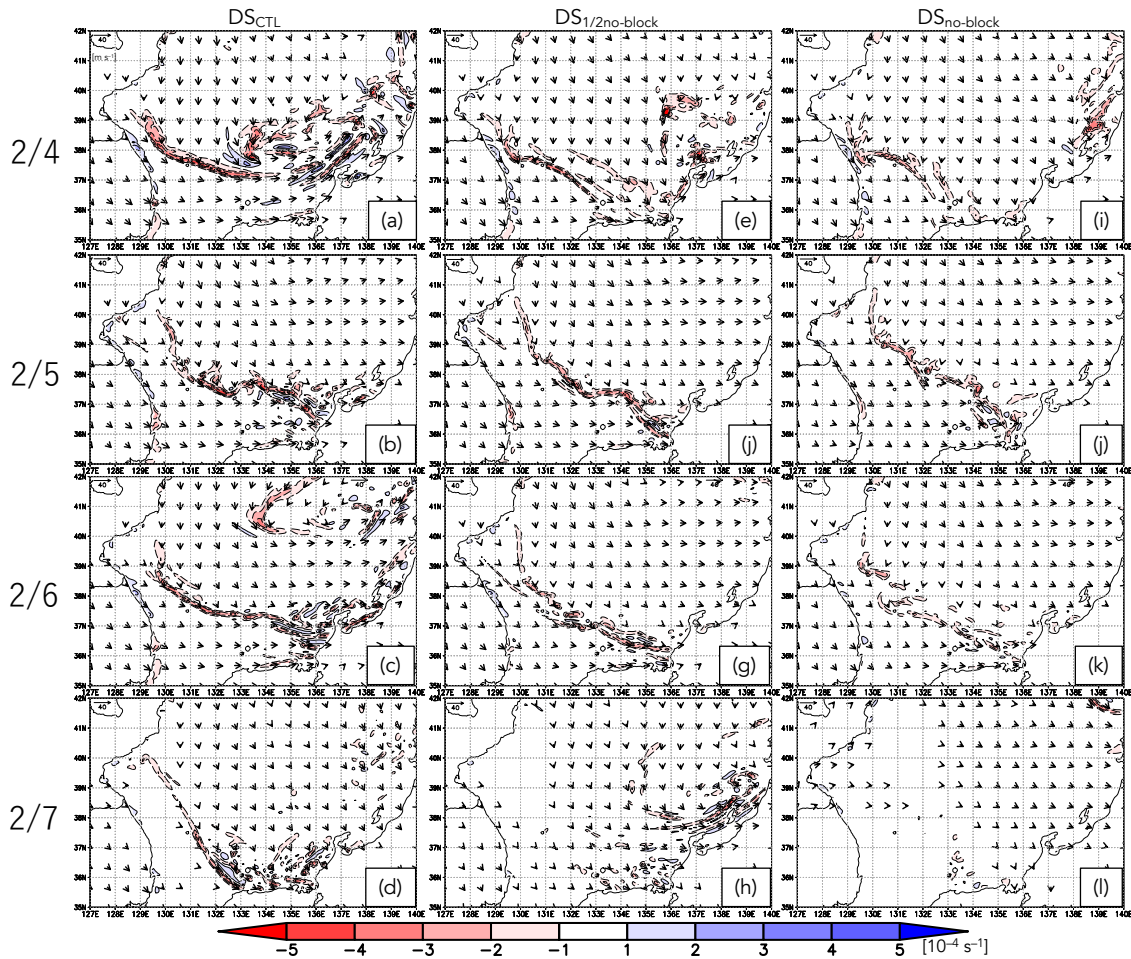


図 2: (a-d) DS 実験, (e-h) DS<sub>1/2no-block</sub> 実験, (i-l) DS<sub>no-block</sub> 実験での 925 hPa 発散 (陰影,  $[10^{-4} \text{ s}^{-1}]$ ) と風 (矢印,  $[\text{m s}^{-1}]$ ) の時系列. (a,e,i) 2018 年 2 月 4 日 00UTC, (b,f,j) 2 月 5 日 00UTC, (c,g,k) 2 月 6 日 00UTC, (d,h,l) 2 月 7 日 00UTC でのスナップショット. Yamazaki et al. (2024) の Fig. 3 を一部転載.

発達に寄与しうる。また、日本海の北側では大気への熱フラックスが弱化しているが (図 3o,p), 同時刻に白頭山脈のすぐ東側で狭く南向きの風とそれに伴う熱フラックスの増加が見られる: この風の流るの変調は寒気質量フラックスでは見られないことから (図 3l), メソスケール循環と関係する可能性がある。

2018 年 2 月の JPCZ では、ブロッキングが西回りの寒気に選択的に影響を大きく与える事例であった。ただし、北回りの寒気にブロッキングが影響を与える可能性もある。今後、こういった事例の時に西回り、あるいは北回りの寒気影響を与えるのか、2018 年 2 月の事例は特異な事例だったのかといった点について事例解析を増やした更なる調査が必要である。

## 4 議論

### 4.1 海面水温との関係

日本海・黄海や太平洋などの日本周辺の海洋が東シベリアブロッキングの発生に対してどのように応答するかを調査した。東シベリアブロッキング頻度の年々変動と冬季アジアモンスーン域での風向および海面水温との関係を図 4 に示す。冬季 (12~2 月) で平均した  $I_{\text{ESB}}$  と海面水温, 850-hPa 風場との相関係数を描いており、海面水温データは Daily OISST (1981/82 年~2017/18 年, Reynolds et al., 2007), 850-hPa 風場は JRA-55 (1979/80 年~2017/18 年) を用いた。

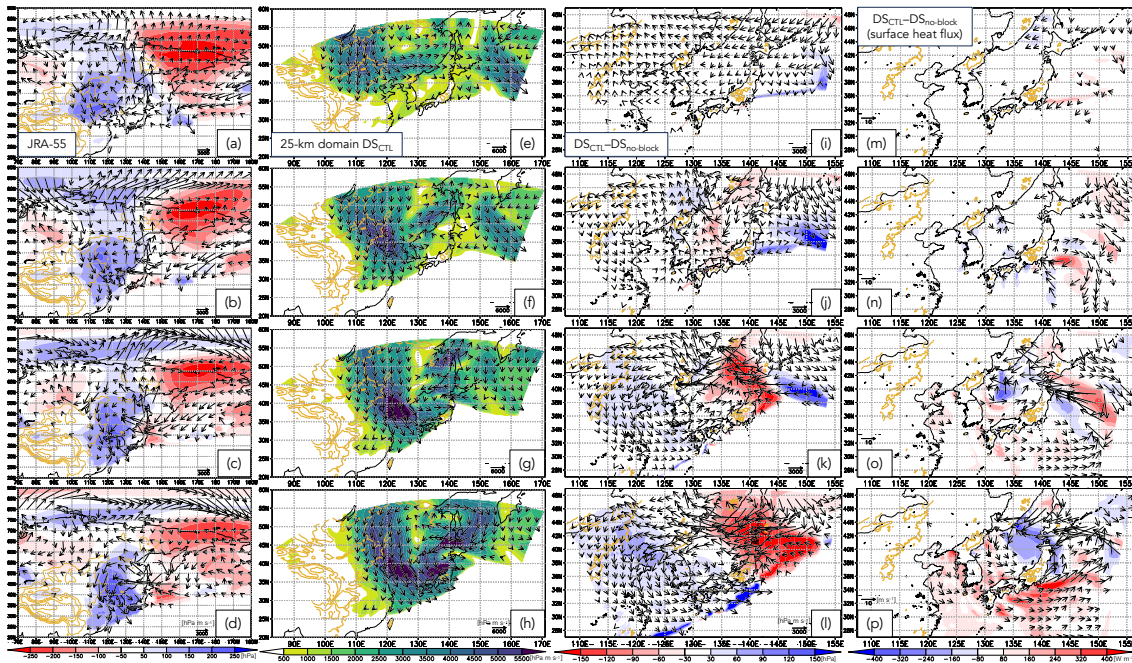


図 3: (a-d) JRA-55, (e-h) 25-km ドメイン DS 実験, (i-p) 5-km ドメインでの DS 実験と DS<sub>no-block</sub> 実験の差との時系列. (a-d) 寒気質量 (陰影, [hPa]) と寒気質量フラックス (矢印, [hPa m s<sup>-1</sup>]) の気候値からの偏差, (e-h) 寒気質量フラックス (陰影と矢印 [hPa m s<sup>-1</sup>]), (i-l) 寒気質量 (陰影, [hPa]) と寒気質量フラックス (矢印, [hPa m s<sup>-1</sup>]) の差, (m-p) 乱流熱フラックス (陰影, [W m<sup>-2</sup>]) と地上 10 m 風 (矢印, [m s<sup>-1</sup>]) の差. (a,e,i,m) 2018 年 2 月 1 日 12UTC, (b,f,j,n) 2 月 2 日 12UTC, (c,g,k,o) 2 月 3 日 12UTC, (d,h,l,p) 2 月 4 日 12UTC でのスナップショット. Yamazaki et al. (2024) の Fig. 5 を転載.

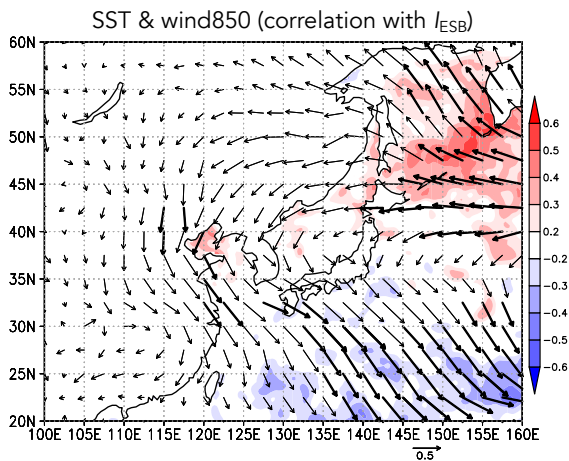


図 4: 冬季 (12~2 月) 平均の  $I_{ESB}$  と海面水温 (陰影), 850 hPa 風 (矢印) との相関係数. 太い矢印は東西あるいは南北成分どちらかの相関係数が 0.4 以上であることを示す. Yamazaki et al. (2024) の Fig. S6 を一部修正.

まず, 図から, 北 (中) 部太平洋域でブロッキング発生頻度増加に伴う東 (西) 風偏差が促進され, その結果平年よりも西風が弱 (強) くなることで海面水温が平年よりも高 (低) くなりやすい様子が示されている. これは, ブロッキングに伴う冬季アジアモンスーンの変調が中緯度海面水温に与える影響であると推測され, 北部太平洋域では到来する寒気の量が減少することで海面水温が高くなるセンス, 中部太平洋では逆のセンスが見られている. これは, 海洋が冬季アジアモンスーンの変調に対して受動的に応答していることを示唆する.

日本付近に注目すると, 強い有意性はないが, 中部・南部日本海周辺と黄海での冬季アジアモンスーン (風向) は強化される相関を示している. しかし, 海面水温について, 日本海や黄海では, 有意ではないが海面水温が高温化するセンスを示している. したがって, ブロッキングと同期する冬季アジアモンスーンの強まりに対

しても、これらの中緯度海洋は大気へ水蒸気や熱を供給できるポテンシャルを持つことが示唆される(図 3o,p)。このことは、日本海や黄海が JPCZ 発生時に大気へ能動的な応答をする可能性を示唆している。

## 4.2 2018 年 2 月の成層圏循環の様子

東シベリアブロッキングや JPCZ が発生した直後の 2018 年 2 月 10 日前後に、成層圏において成層圏突然昇温が発生した。この突然昇温は極渦が 2 つに切離する分裂型のもので、その後、北米やヨーロッパ域の対流圏での寒波や嵐などの極端現象に影響を与えたと報告されている (Butler et al., 2020)。成層圏突然昇温は対流圏のブロッキングを起源として発生することがあり (Matsuno, 1971; Harada et al., 2010, など), また対流圏の気象へ影響を与える (Baldwin and Dunkerton, 2001; Kodera et al., 2008, など), ということがこれまでの研究で明らかになっている。この突然昇温に関して、1 月下旬から 2 月最初にかけての東シベリアのブロッキングが起点となっているとすると、東アジア域の寒波や JPCZ の発生と、北米やヨーロッパでの極端現象の両方にブロッキングが関与していることになる。こういった視点は、東アジアと北米・ヨーロッパでほぼ同時に起こる異常気象の連鎖を説明する鍵となり得るため、この点に関しても別途更なる調査が必要である。

## 5 まとめ

東シベリアで発生するブロッキングが JPCZ に与える影響を明らかにするため、2018 年 2 月の福井豪雪時の JPCZ 事例について調査した。日本域領域再解析システム (Fukui et al., 2018) の予報部分を用いたアンサンブルダウンスケール実験では、この JPCZ をよく再現できた。JPCZ 発生直前から同時期に発生していた東シベリアブロッキングの影響を調査するため、ダウンスケール実験の境界値からブロッキングを除去する実験を行った。ブロッキング除去実験とダウンスケール実験との比較から、JPCZ の再現にブロッキングが、冬季アジアモンスーンの強化

を介して強く影響していることがわかった。ダウンスケール実験から、JPCZ に対して西から流れ込む「西回りの寒気」と北からの「北回りの寒気」が存在し、ブロッキング除去実験との比較から、この事例ではブロッキングが西回りの寒気の強化に大きな影響を与えていることがわかった。

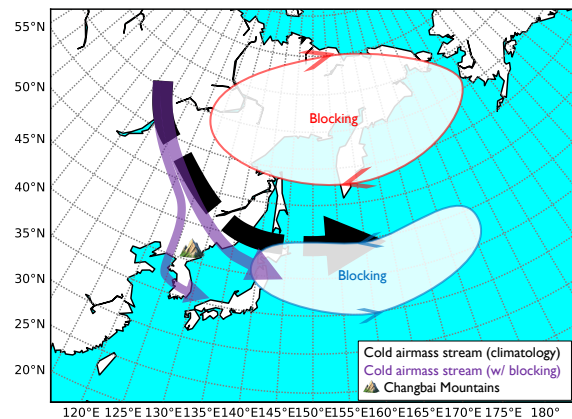


図 5: 東シベリアブロッキングによる冬季アジアモンスーン変調についての概念図。黒点線矢印は気候学的な寒気の流れで、紫実線矢印はブロッキング発生時の寒気の流れを示す。東シベリアブロッキングによるオホーツク海周辺での東風により西からの寒気の流れが「ブロック」されるため、寒気が南東に向かって流れざるを得なくなり、長白山脈(図中の山印)南側の「西回りの寒気」と東側の「北回りの寒気」が強化され、JPCZ が発生しやすい場が作られる。Yamazaki et al. (2024) の Fig. 7 を転載。

東シベリアブロッキングは西回りと北回りの寒気の両方を強化し得る。つまり、ブロッキングは通常、オホーツク海付近を通過して太平洋に流れ込む寒気を堰き止め、寒気の流れを日本列島に向かう南向きの流れに変調することで JPCZ に向かう西回りの寒気と北回りの寒気の両方を強化し得る(図 5)。

さらに、ブロッキングと冬季アジアモンスーンの風向、海面水温との相関関係について調べると、日本海や黄海の海面は大気に対して受動的に変動していなかった。将来的には、JPCZ そのものと、ブロッキングを含む大循環場変動、JPCZ を取り巻く海域での海面水温の年々変動や長期変動・変化との関係について、より長期のデータ、より多くの事例について更なる調査が必要

である。現在、長期の日本域再解析が進められていることや、50年を超える長期の日本域ダウンスケールデータ (Kawase et al., 2023) も登場してきており、今後のJPCZのメカニズム・予測可能性研究への利用が期待される。

## 謝辞

JMA-NHMを用いた力学的ダウンスケーリング実験は、JAMSTECの地球シミュレータを用いて行いました。地球シミュレータの運用や、システムの移植や数値実験のサポートをしていただいたJAMSTEC地球情報科学技術センターの皆様にご感謝いたします。本研究会で助言をいただいた皆様、特に中村尚教授・本田明治教授・原田やよい博士・小寺邦彦博士との議論が大変な参考になりました。感謝いたします。

## 参考文献

- Baldwin, M. P. and T. J. Dunkerton, 2001: Stratospheric harbingers of anomalous weather regimes. *Science*, **294**, 581–584, doi:10.1126/science.1063315.
- Butler, A. H., Z. D. Lawrence, S. H. Lee, S. P. Lillo, and C. S. Long, 2020: Differences between the 2018 and 2019 stratospheric polar vortex split events. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **146**, 3503–3521, doi:10.1002/qj.3858.
- Eito, H., M. Murakami, C. Muroi, T. Kato, S. Hayashi, H. Kuroiwa, and M. Yoshizaki, 2010: The structure and formation mechanism of transversal cloud bands associated with the Japan-sea Polar-airmass Convergence Zone. *J. Meteor. Soc. Japan*, **88**, 625–648, doi:10.2151/jmsj.2010-402.
- Fukui, S., T. Iwasaki, K. Saito, H. Seko, and M. Kunii, 2018: A feasibility study on the high-resolution regional reanalysis over Japan assimilating only conventional observations as an alternative to the dynamical downscaling. *J. Meteor. Soc. Japan*, **96**, 565–585, doi:10.2151/jmsj.2018-056.
- Harada, Y., A. Goto, H. Hasegawa, N. Fujikawa, H. Naoe, and T. Hirooka, 2010: A major stratospheric sudden warming event in January 2009. *J. Atmos. Sci.*, **67**, 2052–2069, doi:10.1175/2009JAS3320.1.
- Honda, T., 2023: Development of a polar mesocyclone and associated environmental characteristics during the heavy snowfall event in Sapporo, Japan, in early February 2022. *J. Geophys. Res. Atmos.*, **128**, e2022JD037774, doi:10.1029/2022JD037774.
- Hwang, J., S.-W. Son, P. Martineau, and D. Barriopedro, 2022: Impact of winter blocking on surface air temperature in East Asia: Ural versus Okhotsk blocking. *Clim. Dyn.*, **59**, 2197–2212, doi:10.1007/s00382-022-06204-5.
- Iwasaki, T., T. Shoji, Y. Kanno, M. Sawada, M. Ujiie, and K. Takaya, 2014: Isentropic analysis of polar cold air mass streams in the Northern Hemispheric winter. *J. Atmos. Sci.*, **71**, 2230–2243, doi:10.1175/JAS-D-13-058.1.
- Kanno, Y., M. R. Abdillah, and T. Iwasaki, 2015: Charge and discharge of polar cold air mass in northern hemispheric winter. *Geophys. Res. Lett.*, **42**, 7187–7193, doi:10.1002/2015GL065626.
- Kawase, H., S. Fukui, M. Nosaka, S. I. Watanabe, K. Otomo, A. Murata, K. Murazaki, and T. Nakaegawa, 2023: Historical regional climate changes in Japan in winter as assessed by a 5-km regional climate model with a land surface process. *Prog. Earth Planetary Sci.*, **10**, 7, doi:10.1186/s40645-023-00536-4.
- Kobayashi, S., et al., 2015: The JRA-55 reanalysis: General specifications and basic characteristics. *J. Meteor. Soc. Japan*, **93**, 5–48, doi:10.2151/jmsj.2015-001.

- Kodera, K., H. Mukougawa, and S. Itoh, 2008: Tropospheric impact of reflected planetary waves from the stratosphere. *Geophys. Res. Lett.*, **35**, L16 806, doi:10.1029/2008GL034575.
- Matsuno, T., 1971: A dynamical model of the stratospheric sudden warming. *J. Atmos. Sci.*, **28**, 1479–1494, doi:10.1175/1520-0469(1971)028<1479:ADMOTS>2.0.CO;2.
- Nagata, M., 1991: Further numerical study on the formation of the convergent cloud band over the Japan Sea in winter. *J. Meteor. Soc. Japan*, **69**, 419–428, doi:10.2151/jmsj1965.69.3\_419.
- Nagata, M., 1992: Modeling case study of the Japan-Sea convergent cloud band in a varying large-scale environment: Evolution and upscale effect. *J. Meteor. Soc. Japan*, **70**, 649–671, doi:10.2151/jmsj1965.70.1B\_649.
- Nagata, M., M. Ikawa, S. Yoshizumi, and T. Yoshida, 1986: On the formation of a convergent cloud band over the Japan Sea in winter; numerical experiments. *J. Meteor. Soc. Japan*, **64**, 841–855, doi:10.2151/jmsj1965.64.6\_841.
- Park, T.-W., H. C.-H., and Y. Deng, 2014: A synoptic and dynamical characterization of wave-train and blocking cold surge over East Asia. *Clim. Dyn.*, **43**, 753–770, doi:10.1007/s00382-013-1817-6.
- Reynolds, R. W., T. M. Smith, C. Liu, D. B. Chelton, K. S. Casey, and M. G. Schlax, 2007: Daily high-resolution-blended analyses for sea surface temperature. *J. Climate*, **20**, 5473–5496, doi:10.1175/2007JCLI1824.1.
- Shinoda, Y., R. Kawamura, T. Kawano, and H. Shimizu, 2021: Dynamical role of the Changbai Mountains and the Korean Peninsula in the wintertime quasi-stationary convergence zone over the Sea of Japan. *Int. J. Clim.*, **41**, E602–E615, doi:10.1002/joc.6713.
- Suzuki, Y., R. Kawamura, T. Kawano, and T. Mochizuki, 2022: Cascading effects of the Changbai Mountains on an extreme weather disaster in northern Japan in January 2021. *Wea. Clim. Extremes*, **36**, 100 439, doi:10.1016/j.wace.2022.100439.
- Tachibana, Y., M. Honda, H. Nishikawa, H. Kawase, H. Yamanaka, D. Hata, and Y. Kashino, 2022: High moisture confluence in Japan Sea polar air mass convergence zone captured by hourly radiosonde launches from a ship. *Sci. Rep.*, **12**, 21 674, doi:10.1038/s41598-022-23371-x.
- Takaya, K. and H. Nakamura, 2005: Mechanisms of intraseasonal amplification of the cold Siberian high. *J. Atmos. Sci.*, **62**, 4423–4440.
- Watanabe, S. I., H. Niino, and T. Spengler, 2022: Formation of maritime convergence zones within cold air outbreaks due to the shape of the coastline or sea ice edge. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **148**, 2546–2562, doi:10.1002/qj.4324.
- West, T. K. and W. J. Steenburgh, 2022: Formation, thermodynamic structure, and air-flow of a japan sea polar airmass convergence zone. *Mon. Wea. Rev.*, **150**, 157–174, doi:10.1175/MWR-D-21-0095.1.
- Woollings, T., et al., 2018: Blocking and its response to climate change. *Curr. Clim. Change Rep.*, **4**, 287–300, doi:10.1007/s40641-018-0108-z.
- Yamazaki, A., S. Fukui, and S. Sugimoto, 2024: The impacts of East Siberian blocking on the development of the JPCZ. *SOLA*, **20**, 28–32, doi:10.2151/sola.2024-005.
- Yamazaki, A., H. Honda, and H. Kawase, 2019: Regional snowfall distributions in a



Japan-Sea side area of Japan associated with jet variability and blocking. *J. Meteor. Soc. Japan*, **97**, 205–226, doi:10.2151/jmsj.2019-012.

福井県, 2018: 今後の大雪に関する対策【平成30年2月豪雪】. 69 pp.

