

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26400461

研究課題名(和文) 温位座標解析による日本海で発生するバリアー jets の発生機構の解明

研究課題名(英文) Isentropic analysis of the formation mechanism of a barrier jet in the Japan Sea

研究代表者

島田 照久 (Shimada, Teruhisa)

弘前大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：30374896

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：温位座標解析を用いて、夏季にオホーツク海を含めた北太平洋亜寒帯域で形成される下層冷気の広域分布と日本海のバリアー jets の発生機構を解明した。まず、夏季の下層冷気の気候学的特徴を総観スケールで解析した結果、夏季の下層冷気は亜寒帯の海上に分布することがわかった。そして、日本海のバリアー jets の事例解析を行った。その結果、オホーツク海・北太平洋亜寒帯域の西部から下層冷気が南下してサハリンと北日本周辺に押し寄せる時に、サハリンと北日本に存在する地峡・海峡から、日本海に下層冷気が流出してユーラシア大陸沿岸に捕捉されることによって、バリアー jets が形成されることがわかった。

研究成果の概要(英文)：This study investigates the climatology of low-level cool air over the North Pacific in summer and the formation mechanism of a barrier jet in the Japan Sea by the isentropic analysis. Climatological analyses show that the cool air covers most of the subarctic ocean, with the amount decreasing equatorward from the polar region. The case study shows that the origin of the cool air contributive to the formation of the barrier jet in the Japan Sea is the low-level cool air in the Okhotsk Sea and the subarctic North Pacific. The cool air in the Japan Sea is supplied by a number of gap outflows through the terrestrial gaps in northern Japan and Sakhalin from the Okhotsk Sea and the subarctic North Pacific toward the Japan Sea and is trapped along the coastal region of the Eurasian continent, forming a barrier jet.

研究分野：気象学

キーワード：海上風 衛星観測 気象シミュレーション ヤマセ 北太平洋亜寒帯 日本海 合成開口レーダ

1. 研究開始当初の背景

夏季のオホーツク海高気圧の間欠的な発達に伴って、東風とともに下層（およそ 1000m 以下）の冷気が、北日本のオホーツク海側と太平洋側に押し寄せて低温をもたらす。このような気象状況は、ヤマセと呼ばれる。卓越したヤマセは、夏季の異常気象（冷夏）の要因となるため、ヤマセの理解は、20 世紀始め以来、社会的に重要な課題であり続けてきた。木村（1995）は、「ヤマセの本質は、オホーツク海起源の下層冷気が、地形に沿って南下する過程」として、地球流体力学に基づく概念モデルを提唱した。この概念モデルに基づいて、北日本のオホーツク海側と太平洋側における多くの地域気候研究が理解されてきた。

その一方、夏季に北日本とサハリンの地峡・海峡で発生する地形性強風についての研究から、「地峡風・海峡風の本質は、オホーツク海/太平洋からの下層の（つまり、ヤマセの）冷気が地峡・海峡を通過して日本海に流出する過程である」ということがわかった（例えば、Shimada et al. 2010; Shimada and Kawamura 2011）。さらに、このような地峡風・海峡風が発生した時は、ユーラシア大陸の日本海沿岸に約 1500km もの距離（幅は数十 km）にわたって大規模な地形性強風（バリアージェット）が発生していることが、衛星観測によってわかった。バリアージェットとは、下層冷気が山脈に吹き付けられた後、コリオリ力によって山脈に捕捉されたまま気圧傾度力による加速によって発生する地形性強風のことで、風速は最大 30m/s にも達する。

ここで、新たな課題が出てくる。このバリアージェットが、ユーラシア大陸の日本海沿岸の地形に沿った下層冷気の南下の実態なのかを確認する必要がある。さらに、日本海で発生するバリアージェットの源となる下層冷気はどこからどの程度供給されているのかを明らかにする必要がある。これまでの研究から、北日本とサハリンの地峡・海峡からの冷気流出がバリアージェットの形成に寄与していると考えられるが、各海峡・地峡からの冷気流出を特定する必要がある。また、このような下層冷気が、どこで形成されてどのように分布しているのかを調べた研究はほとんどなく、下層冷気の広域分布の実態は詳しくわかっていない。

以上の課題を明らかにできれば、夏季の下層冷気の広域分布が初めて明らかになり、そこから下層冷気が北日本周辺に押し寄せて北日本の地峡・海峡を通過して日本海に流出し、ユーラシア大陸に捕捉されるまでの一連の過程がわかる。その過程で、バリアージェットが発生することも初めて明らかになる。つまり、木村（1995）の概念モデルは、北日本のオホーツク海側と太平洋側だけでなく、ユー

ラシア大陸の日本海沿岸にも適用できることを実際に示せる。これは、ヤマセの体系は日本海に拡張できることを意味する。

2. 研究の目的

本研究の目的は、「衛星観測と気象モデルを用い、下層冷気の変動解析に効果的な温位座標解析を採用して、(1) 夏季の下層冷気の広域分布について、気候学的特徴を解明することと、(2) オホーツク海/太平洋から日本海に冷気が流出する過程を明らかにすることによって、日本海のバリアージェットの発生機構を解明すること」である。

3. 研究の方法

本研究では、下層寒冷気候の解析に有効な温位座標解析を用いる (Iwasaki et al. 2014)。温位座標解析の利点は、気圧（あるいは高度）座標での熱力学過程の記述の煩雑さを回避し、下層冷気の変動を連続の式に従って簡潔に記述できることである。Iwasaki et al. (2014) の定義に従って、特定の温位面下の冷気質量と Negative Heat Content (NHC) とそれらのフラックスを求めた。どちらも断熱保存量であり、特定の温位面と地表間について積分した連続の式により、フラックスと冷気の生成消滅率を評価できる。

4. 研究成果

(1) 夏季の下層冷気候の気候学的特徴

夏季に北日本周辺に押し寄せる下層冷気の起源はどこにあるのかを明らかにするために、下層冷気の広域分布を調べた。海盆スケールの特徴を比較検討するため、北太平洋だけでなく、全球に拡張して解析した。夏季の代表的な月として、北半球の 7 月、南半球の 1 月の結果を示す。この時期は、中緯度に分布する下層冷気が、最も極側に後退する月に対応する。

用いたデータは、大気再解析データ (ERA-Interim) のモデル格子版 (水平 75km、鉛直 60 層) で、2003-2013 年の期間の気候学的月平均を議論する。また、解析には、冷気層の温度構造をよく反映する NHC を用いた。

夏季の海面気圧分布と表層風、海面水温 (SST) の分布を図 1 に示す。各大洋の東側に亜熱帯高気圧の中心があり、表層風は高気圧循環を示す。海盆の東岸では、赤道向きの風が強化され、沿岸湧昇を引き起こしている。そのため、海盆の東岸では、海面水温は海盆内の同緯度よりも低い。また、亜寒帯循環と亜熱帯循環域の境界は、SST フロントで特徴付けられる。

本研究では、特定の温位面として、296K の温位面を選択して解析した。図 2 に、海洋上で経度平均した、特定温位面下に空気塊が存

在する割合を示す。296Kの温位面には、下記の特徴がある。まず、296Kの温位面は、亜寒帯海域と亜寒帯フロント域を高い割合（北半球では北緯40度以北を90%）で含む。そのため、中緯度の下層冷気の特徴を把握するのに適しており、中緯度で多くのデータを用いた気候値が作成可能となる。次に、低緯度で等温位面が海面に到達するため、南北半球の海盆ごとの冷気分布が分離できる。この特徴は、海盆ごとの下層冷気の特徴を明らかにするのに適している。こうして、本研究では、296Kの温位面以下の大気を下層冷気として扱い、中緯度帯での下層冷気の分布に焦点を当てる。

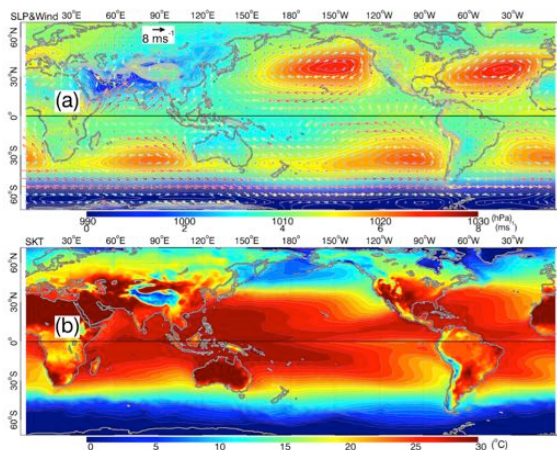


図1 (a)海面気圧（カラー）と表層風（ベクトル）、(b)地表面温度と海面水温の月別気候値。（北半球：7月、南半球：1月）

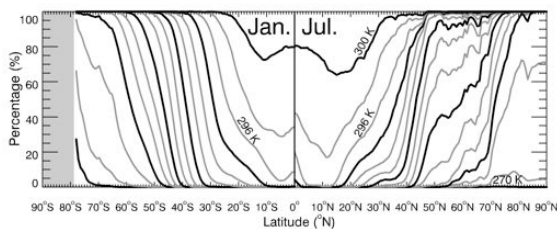


図2 海洋上で経度平均した特定温位面下に空気塊が存在する割合（北半球：7月、南半球：1月）

図3に、全球の下層冷気分布を示す。図3(a)は、296Kの温位面の高度を示す。極付近で温位面の高度が最大となり、中緯度に向かって温位面の高度が下がっている。主に中緯度の海洋上で温位面高度が高い。この特徴は、図3(b)のNHCの分布でより明瞭である。高緯度域の一部を除き、夏季の下層冷気は、亜寒帯の海上に分布している。下層冷気の分布には、各海盆に共通の特徴が見られる。それは、下層冷気は、亜寒帯海域に分布しているが、海盆の東部で赤道向きに冷気が伸びていることである。海盆東岸の湧昇による低水

温や低水温域で卓越する下層雲との関連が示唆される。

南北半球で下層冷気量を比較すると、夏季の北半球のNHCの総量は南半球の42%で、南北半球差が冬季より大きい。この割合は、季節最小である。夏季の下層冷気の分布には、海陸分布が大きく寄与しているためである。

次に、気候学的月平均場について、冷気の生成消滅率を診断した(図3(c))。各海盆に共通する特徴は2つある。まず、亜寒帯域の海上で生成、陸上および亜熱帯海域で下層冷気が消滅していることである。次に、海盆東岸の赤道向きの冷気質量フラックスが大きいことである。亜寒帯の冷気は、海盆東岸の湧昇域の沖で、貿易風帯に入って消滅することである。この湧昇域の沖における消滅率は、亜熱帯の他の海域より大きい。一方、海盆間の相違点は、南半球のインド洋と太平洋では、下層冷気の生成消滅域が二重構造になっていることである。つまり、亜寒帯海域の生成域と亜熱帯海域の消滅域の間に、さらに東西に伸びる生成域と消滅域がある。この消滅域では、生成率は亜寒帯海域の消滅率に比べると小さいが、明瞭な構造がみられる。南半球のインド洋と太平洋以外では、下層冷気の生成域と消滅域の境界は、およそ亜寒帯フロントに沿って見られる。

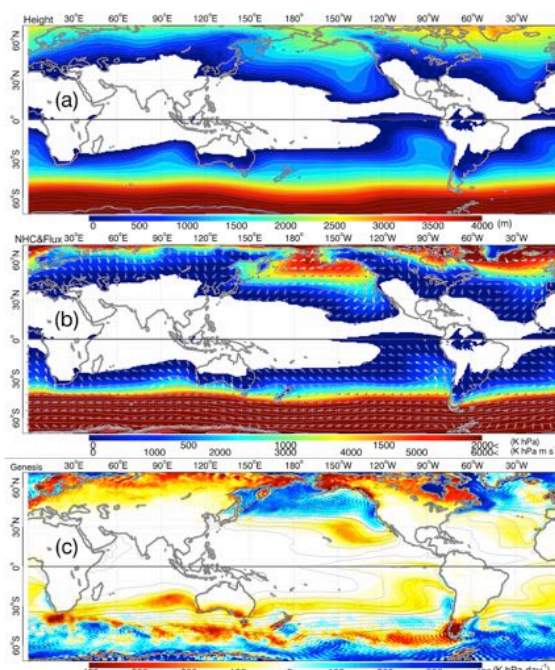


図3 (a) 296K温位面の高度、(b) 冷気質量（カラーコンター）と冷気質量フラックス（ベクトルとそのカラー）、(c) 生成消滅率の月別気候値。北半球：7月、南半球：1月）

(2) 日本海への下層冷気の流出とバリアージェット

西部北太平洋とオホーツク海周辺の下層冷気が北日本付近に押し寄せた時の、下層冷気の日本海への流出過程とユーラシア大陸沿岸でのバリアージェットの形成過程を調べた。Shimada and Kawamura(2011)の結果をもとに、2005年7月2-8日にかけて発生したバリアージェットの事例を対象とした。下層冷気は北日本とユーラシア大陸に沿って南下し、気圧のリッジを形成している(図4)。海上風の衛星観測をみると、北日本とサハリンの複数の地峡・海峡から強風が吹き出し、ユーラシア大陸に向かって発達していたことが確認できた。そして、7月4-5日にかけてユーラシア大陸沿いでバリアージェットが最も発達していた。この事例を気象モデルWRFで再現して解析した。

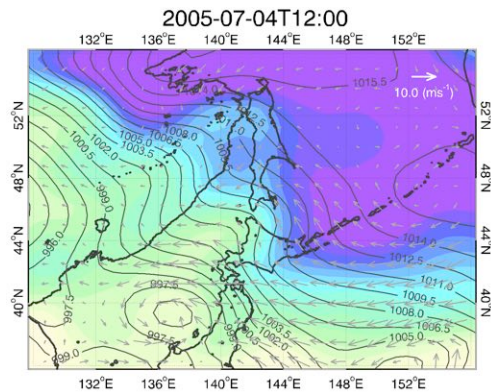


図4 海面気圧、気温、10m風の分布 (JRA-25の再解析データ)

気象モデルによる計算の概要を、表1と図5にまとめた。解析対象の最も内側のドメインについては、タタール海峡付近の日本海北部までを含めた。また、北日本とサハリンの地峡・海峡を再現するために、水平格子間隔を3kmとした。また、下層冷気の解像ができるよう鉛直47層を設定した。

表1 計算の概要

格子間隔 ドメイン	水平: 27km (92x99) 9km (229x259) 3km (517x646) 鉛直: 47層 (3000m以下に30層)
期間	2005-07-02T00:00 2005-07-08T00:00 (144h)
初期条件 境界条件	NCEP FNL (Final) Operational Global Analyses (1° 6h) NOAA OI SST V2 (0.25° daily データの期間平均)
境界層スキーム	Yonsei University planetary boundary scheme

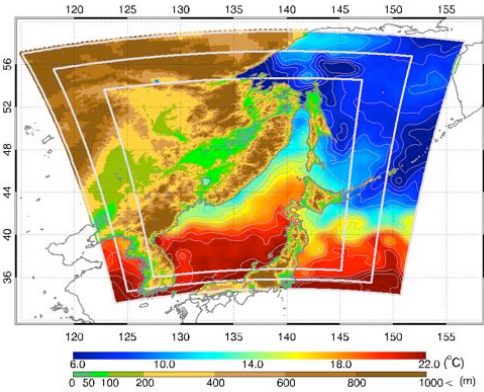


図5 計算の3つのドメイン。標高とSSTもプロットしている。

表層風の分布については、気象モデルの結果を、合成開口レーダによる海上風やマイクロ波散乱計の海上風観測と比較した。その結果、複数の地形性強風とバリアージェットの発達・減衰の過程が再現されており、多少の差異はあるものの、今回の再現実験は、バリアージェットのイベント全体の考察ができることを確認した。

図6にバリアージェット発達時(2005-07-05T21:00)の表層の特徴を示す。図6(a)では、宗谷海峡とサハリンの地峡部から吹き出す強風が見られ、ユーラシア大陸沿いのバリアージェットにつながっていることがわかる。一方、道南から津軽海峡付近の地峡海峡部からも強風が日本海に吹き出している。これらの強風域は、低温・低比湿の気流によって特徴付けられている。つまり、太平洋・オホーツク海の下層冷気が、地峡・海峡を通過して日本海に流出していることがわかる(図6(b,c))。

各地峡・海峡から流出する下層冷気がバリアージェットの形成に寄与していることを確認するために、サハリンから津軽海峡までの地峡・海峡を仮想的に閉じた実験を行った(海峡・地峡部を周辺の山岳部の標高と同じ程度に変更した)。まず、タタール海峡とサハリン北部の低地を閉じた場合、バリアージェットの発達は、北緯48度以南に限られた。次に、宗谷海峡とサハリン南部の地峡だけを閉じた場合、バリアージェットは日本海北部から伸びる一本の強風域となった。一方、北海道南西部から津軽海峡にかけての複数の地峡・海峡を閉じた場合、宗谷海峡以北の下層冷気の流出が増えてバリアージェットの風速が増大した。以上より、下層冷気が、どこから日本海に供給されるかによって、バリアージェットの形態が変わり、各地峡・海峡からの冷気流出がバリアージェット形成に寄与していることが明確になった。

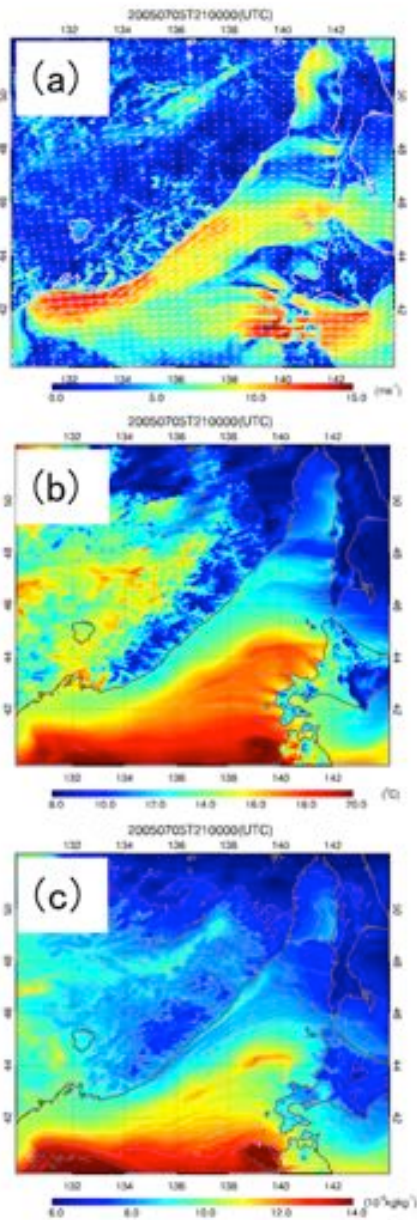


図6 (a) 地表風、(b) 海面気圧、(c) 地表気温の分布 (2005-07-04T12:00)

バリアーケットが発達中の時刻について (2005-07-04T12:00)、特定温位面以下の冷気質量とそのフラックスから、下層冷気のオホーツク海/太平洋から日本海に流入する過程を調べた (図7)。オホーツク海と太平洋側には、厚い冷気 (冷気質量が 120hPa 以上) が広く分布している (図7(a))。冷気質量フラックスが大きいのは、サハリンの北部、サハリン南部の地峡と宗谷海峡、道南から津軽海峡にかけての地域である (図7(b))。日本海の最北部からの下層冷気の流入は、サハリンの低地を横切って日本海に流入しており、タートル海峡を通過するのではないことがわかる。また、宗谷海峡と道南から津軽海峡にかけては、大きい冷気質量フラックスは、地峡風に

対応していることが確認できる。ただし、強風域の冷気層は薄い。

日本海に流出した冷気は、ユーラシア大陸沿岸に到達し、大陸沿岸で冷気質量が極大となっている。これにより、下層冷気が大陸沿岸の地形に捕捉されていることが確認できる。そして、ユーラシア大陸沿いに冷気が南下していることがわかる。以上の結果から、オホーツク海/太平洋から、北日本とサハリンの地峡・海峡を通過して、日本海に下層冷気が流出する過程が明らかになり、日本海のバリアーケットの形成に寄与していることがわかった。

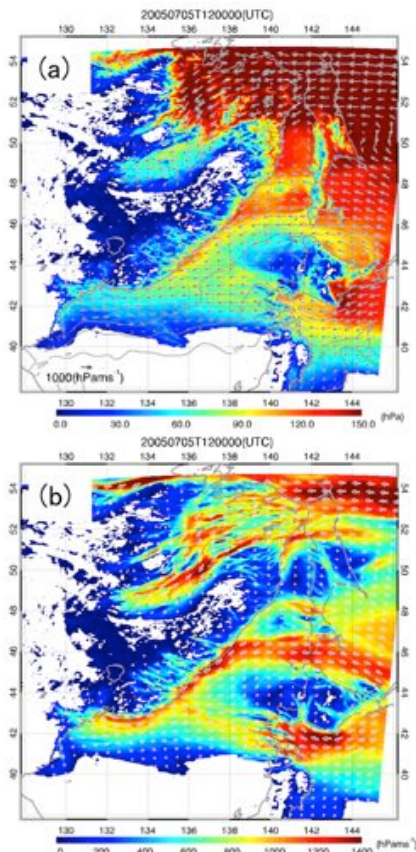


図7 (a) 冷気質量 (カラー) と冷気質量フラックス (ベクトル)、(b) 冷気質量フラックス (カラーとベクトル) (2005-07-05T12:00)

以上をまとめると、本研究では、まず、夏季の下層冷気の広域分布の気候学的特徴を明らかにした。そして、北日本付近においては、下層冷気が北日本とサハリンの地峡・海峡を通過して、北太平洋とオホーツク海から日本海に流出し、バリアーケットを形成することを示した。言い換えると、夏季のヤマセの系が、日本海にまで拡張された。以上の結果は、海洋フロントに関わる大気海洋相互作用や、日本周辺の気象・気候のさらなる理解につながる新たな視点を与える。

参考文献

1. 木村龍治、1995: ヤマセの地球流体力学

- 的側面, 気象研究ノート、183, 91-107, 1995.
2. Shimada, T., M. Sawada, W. Sha, and H. Kawamura, 2010: Low-level easterly winds blowing through the Tsugaru Strait, Japan. Part I: Case study and statistical characteristics based on observations, Monthly Weather Review, 138, 3806-3821.
 3. Shimada, T. and H. Kawamura, 2011: Summertime gap winds of the Soya Strait induced by the developed Okhotsk high, Atmospheric Science Letters, 12, 316-320.
 4. Iwasaki, T., T. Shoji, Y. Kanno, M. Sawada, M. Ujiie, and K. Takaya, 2014: Isentropic analysis of polar cold airmass streams in the Northern Hemispheric winter. J. Atmos. Sci., 71, 2230-2243.

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)

1. Teruhisa Shimada and Toshiki Iwasaki, Two regimes of cloud water over the Okhotsk Sea and the adjacent regions around Japan in summer, Journal of Geophysical Research-Atmosphere, 120, 2407-2418, 2015.
doi: 10.1002/2014JD022536 [査読有り]
2. Teruhisa Shimada, Summertime wave height variability along the Pacific and Okhotsk Sea coasts of northern Japan, Climate Research, 62, 71-78, 2014. doi:10.3354/cr01260[査読有り]

[学会発表] (計 2 件)

1. 島田照久、北日本沿岸海域の風力資源に対する地形性強風の寄与、日本気象学会2016年秋季大会、2016年10月26日、名古屋大学(愛知県・名古屋市)
2. 島田照久、岩崎俊樹、夏季の亜寒帯海域に形成される下層冷気、日本気象学会2015年度秋季大会、2015年10月30日、京都テルサ(京都府・京都市)

[図書] (計 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 件)

名称：
発明者：
権利者：

種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

島田 照久 (SHIMADA, Teruhisa)
弘前大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号：30374896

(2) 研究分担者

なし ()

(3) 連携研究者

岩崎 俊樹 (Iwasaki, Toshiki)
東北大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：80302074

(4) 研究協力者

なし ()