

温位座標における冬季北半球の寒気流出の解析 ～変動特性～

庄司 貴成（東北大院理）、岩崎 俊樹、沢田 雅洋

1. はじめに

これまで冬季の寒気流出の事例について多くの研究がなされてきた。そのほとんどは等圧面による描像である。しかし、等圧面上の温度は保存量ではないので、寒気の流れを完全に追跡できるわけではない。そこで、断熱保存量である温位を気圧の代わりに鉛直座標に用いて、寒気の流れの解析を行った。断熱過程において温位は保存し、大気塊は等温位面上を動くという性質があるので、寒気の流れを追うのに適していると考えられる。特に本研究では、質量や熱力学の保存式に基づいて、寒気を定量的に扱う。

原田（1962）は日本付近の寒気はんらんの事例を等温位面解析により解析した。また、質量加重付の等温位面上の帯状平均（MIM）に基づく1月の質量流線関数分布から、中高緯度直接循環の変曲点が45N、850hPa付近にあること、さらにその点における温位がおよそ280[K]であることを示唆した（岩崎ら,2010）。そこで本研究では、 $\theta_T = 280[\text{K}]$ の特定温位面に着目して、その面以下の大気塊を寒気として取り扱うことにする。

本研究の目的は大きく2つあり、1つ目は280Kの特定温位面に着目し、その面以下にある寒気質量及びそのフラックスについて日々の変動と月平均値の年々変動について明らかにすることである。2つ目は、寒冬/暖冬をもたらす要因の1つとして考えられる北極振動（AO（:Arctic Oscillation））との関係を調べるため、回帰分析を行ない明らかにしていくことである。

2. データ・解析方法

解析に使用したデータはJRA-25/JCDAS再解析データ(Onogi *et al.* 2007)である。解析期間は1981～2012年1月（6時間ごと）であり、水平解像度が2.5度×2.5度のものを使用した。またNOAA提供の月平均AOI（AO Index）データを使用した。

温位座標系における寒気質量及びそのフラックスについて以下のように定義する。

$$DP = p_S - p(\theta_T) : \text{寒気質量} \quad (1)$$

$$\int_{p(\theta_T)}^{p_S} v \, dp : \text{寒気質量フラックス} \quad (2)$$

また、寒気質量保存式は以下の式で表せる。

$$\frac{\partial(DP)}{\partial t} + \nabla \cdot \int_{p(\theta_T)}^{p_S} v \, dp - M(\theta_T) = 0 \quad (3)$$

ここに $M(\theta_T)$ は寒気質量生成消滅量である。

3. 結果

寒気質量及びそのフラックスについて日々の変動と年々変動について示す。ここでいう変動とは平均に対する標準偏差のことである。日々の変動とは、各年1月の6時間ごとのデータについてその月平均値に対する標準偏差を求め、1981～2010年まで30年間平均したものである。また、年々変動とは、各年1月の月平均値の気候値に対する標準偏差を求めたものである。

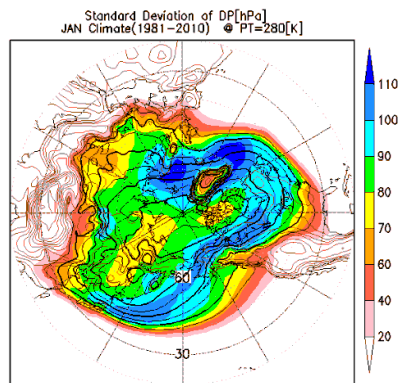


図1 寒気質量の日々の変動
(shade:標準偏差、contour:寒気質量の気候値(50hPa 間隔))

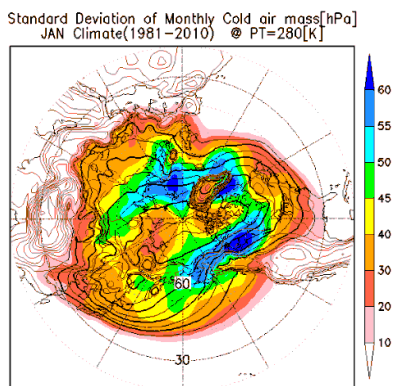


図2 寒気質量の年々変動
(shade:標準偏差、contour:寒気質量の気候値(50hPa 間隔))

図1、図2ともに60Nに沿うように変動の大きな領域が存在していることがわかる。北極～東シベリアにかけては大きな寒気質量が存在しているにも関わらず、変動は小さい。これは極東域では冬季の間、定常的に寒気が流れ続けていることを示唆している。また、極東～北西太平洋、北米東部では、日々の変動は大きいが年々変動は小さくなっている。これはストームトラックを表しており、短い周期の変動が卓越していることがわかる。

中高緯度の寒気質量の変動のピークがおおよそ60N付近にあることから、冒頭に述べたように、AOと関係があるのではないかと考え、AOに回帰させた。本研究では、寒気質量・寒気質量フラックス・寒気質量生成消滅

減量の1月平均値について、1月平均AOIに回帰させた。AOIについては標準偏差により規格化を施した。つまり、ここで示す回帰図はAOIが+1の時の大気偏差場を表している。

AOとはThompson and Wallace(1998)により提唱された、高緯度と中緯度の気圧偏差パターンが相反して変動する現象のことである。AOが正の時は、高緯度域で低圧偏差、中緯度域で高圧偏差となるため、極渦が強まり高緯度域からの寒気の南下が抑制される。したがって日本やアメリカ、ヨーロッパなど中緯度域では暖冬になりやすいとされる。AOが負の時は逆に寒冬傾向になりやすいとされる。

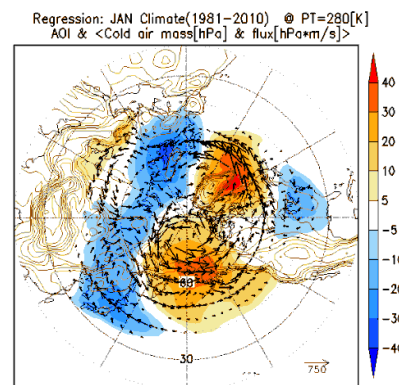


図3 AOIと寒気質量・フラックスの回帰図
(shade:寒気質量、vector:寒気質量フラックス)

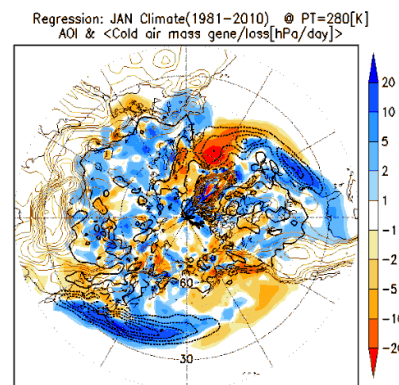


図4 AOIと寒気質量生成消滅量の回帰図
(shade:寒気質量生成消滅量、contour:生成域、dash:消滅域)

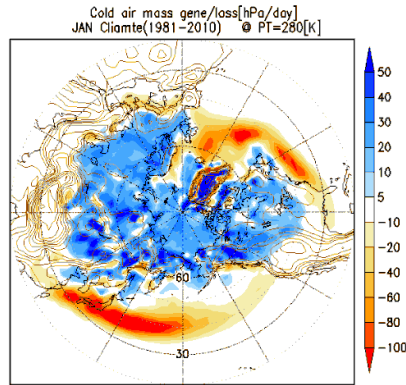


図5 寒気質量生成消滅量の気候値分布

図3より、気候値分布で明瞭になっていた東アジアの寒気流(EA-stream)、北米の寒気流(NA-stream)がともに、45Nの出口付近で弱化していることがわかる。それに対して、60N付近においては東向きフラックスが強化されている。すなわち、寒気の南下が抑制されているのである。その結果として、日本付近の極東域と北米南東部では寒気質量の減少が見られる。また、アリューシャンの北に低気圧性の循環が見られる。循環の西側ではEA-streamとして日本などに流れていた寒気や北極からの寒気、ヨーロッパ方面からの寒気が合流してフラックスが大きくなっている。一方で循環の東側では北米西岸沿いの地形の効果により、寒気がトラップされている。一部北側を流れる寒気はそのまま東のハドソン湾付近まで流れていく。結果として、アリューシャン付近では寒気質量が増大している。さらに東へ進むと、先ほどのEA-stream付近で見たのと同様に、NA-stream付近においても東向きの流れが北へシフトし、寒気がグリーンランドでトラップされる。結果として、グリーンランド付近で寒気質量が増大している。さらにこの先の北大西洋上は暖かいために、寒気は北米か

らヨーロッパへ横断する間に消滅してしまう。ヨーロッパに目を向けると北極域からの寒気の南下が抑えられていて、さらに南東の黒海周辺から流出していく寒気が増えているため正味として、ヨーロッパ付近の寒気質量は減少している。

続いて図4、図5の寒気質量生成消滅量について見ていく。図5において、寒色系は生成を、暖色系は消滅を表している。また、図4の回帰図においては、気候値に対する偏差を表しており、例えば図4、図5どちらも暖色系の領域はAOIが正の時に消滅が強化されることを意味している。

するとEA-stream、NA-streamの弱化に伴い、日本付近～北西太平洋と北米東海上の北大西洋においては消滅量が減少することが示されている。多いところで20[hPa/day]以上の消滅量減少が見られる。一方で、北大西洋のさらに下流のグリーンランドやヨーロッパ西岸沖の海上においては逆に消滅量の増加を確認できる。これは先述のNA-streamの進路変更による影響と、さらに北大西洋のノルウェー海周辺の比較的暖かい海洋上を寒気が通過することにより寒気が消滅することに合致している。また、北米大陸西岸付近ではEA-streamの進路変更による寒気が流れ込み、消滅量が増加している。

4. まとめ

本研究では、断熱保存量である温位を鉛直座標に用いて寒気流出についての解析を行った。本研究では、 $\theta_T = 280[K]$ の特定温位面に着目して、その面以下の大気塊を寒気として取り扱うことにした。

寒気質量の日々の変動・年々変動は60N

付近の寒気質量の気候値分布の等値線に沿うように変動が大きい。また、北極～東シベリアにかけては厚い寒気が存在しているが変動は小さい。

寒気質量、寒気質量フラックス、寒気質量生成消滅量を AO に回帰させた結果、EA-stream と NA-stream の弱化が見られ、どちらも北へシフトした。これは極渦の強化を示しており、その結果寒気の南下が抑制され、EA-stream と NA-stream の下流の地域では寒気質量の減少が見られる。さらに下流では寒気質量消滅量の減少が見られる。逆に、2つの寒気の流れが北へシフトしたことにより、アリューシャン付近とグリーンランド付近では寒気質量が増加している。そしてこれらの下流にあたる領域では寒気質量消滅量の増加が見られ、特に冬季の海面水温の高いヨーロッパ～グリーンランドにかけての北大西洋上での消滅量増加が顕著である。さらに下流にあたるヨーロッパでは流入してくる寒気よりも流出していく寒気が多いため、寒気質量が減少している。

本研究では AO に特化して解析を行ったが、エルニーニョ・ラニーニャなどの他の大気・海洋変動との関係についても調べていきたい。

また、長期的な変動も勿論だが、surge のような個々の寒気放出イベントについての解析もしていきたいと考えている。

・ Onogi *et al.*, The JRA-25 reanalysis., 2007, *JMSJ*, 85, 369-432.

・ Thompson and Wallace, The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields., 1998, *Geophysical Research Letters*, 25, 1298-1300.

5. 参考文献

・原田,1962, 寒気はんらん時の等温位面解析, 天気, 12, 393-396

・ Iwasaki and Mochizuki, Mass-weighted isentropic zonal mean equatorward flow in the northern hemisphere winter., 2012, *SOLA*, 8, 115-118.