

特定温位面以下の寒気質量の長期トレンド

菅野 湧貴（東北大院理）、岩崎 俊樹、M Rais Abdillah

1. はじめに

極域の気候は地球温暖化により大きく変化している。北半球の高緯度地域では顕著な気温の上昇が観測されている。一方南半球では、南極半島の西側で顕著な気温の上昇が見られ、また南極大陸周辺の海氷面積は拡大している。本研究では、南北両半球の冬季について特定温位面以下の寒気質量の長期変化傾向を調べる。

2. 解析手法、データ

寒気質量の定義は Iwasaki et al. (2014) に従う。先行研究と同様に特定温位 θ_T を 280K とし、 $\theta_T = 280\text{K}$ 面以下の大気を寒気と定義する。各グリッドにおいて寒気質量 DP 、寒気質量フラックス MF は以下のように定義される。

$$DP \equiv p_s - p(\theta_T) \quad (1)$$

$$MF \equiv \int_{p(\theta_T)}^{p_s} v dp \quad (2)$$

ここで p_s 、 $p(\theta_T)$ 、 v はそれぞれ地上気圧、特定温位面の気圧、水平風ベクトルである。寒気質量は内部の気温の鉛直分布を考慮していない。そこで寒気質量の冷たさを表す指標として次式で定義される寒気容量を使用する。

$$NHC \equiv \int_{p(\theta_T)}^{p_s} (\theta_T - \theta) dp \quad (3)$$

寒気質量、寒気容量は Kanno et al. (2014) と同様に半球積算値を、寒気質量フラックスは中緯度への寒気流出を特徴づける北緯 45 度、南緯 50 度を横切る量を計算する。

解析は南北両半球の冬季(北半球:DJF、南

半球:JJA)の線形トレンドを 1959 年から 2013 年、1979 年から 2013 年の 2 つの期間計算する。より確かなトレンドを得るため、解析には JRA-55、JRA-25、ERA-interim、CFSR、NCEP-NCAR の 5 つの再解析データを使用する。トレンドの優位性は t 検定を用いて判定する。t 検定には 95% の有意水準を使用した。

3 結果

図 1、2 は冬季北半球、冬季南半球における半球の総寒気質量、総寒気容量、北緯 45 度（南緯 50 度）を横切る寒気質量フラックスの経年変化である。寒気質量は冬季北半球におよそ $2.15 \times 10^{17} \text{ kg}$ 、冬季南半球におよそ $1.53 \times 10^{17} \text{ kg}$ 存在する。長期トレンドを見ると、冬季北半球では 5 つすべての再解析データで統計的に有意な減少トレンドが確認された（図 1 上段）。その傾きの気候値に対する大きさは 3~7%/50yrs 程度である。NCEP-NCAR が最も減少度合いが大きく、JRA-25 が最も減少の割合が小さい。1959 年からの 55 冬季分の線形トレンドよりも 1979 年からの 34 冬季分の線形トレンドの方が傾きは大きい。

冬季南半球の総寒気質量について見ると、再解析データによってトレンドの符号が異なる（図 2 上段）。JRA-55、NCEP-NCAR では統計的に有意な減少トレンドが見られ、ERA-interim、CFSR には統計的に有意なトレンドが見られず、JRA-25 には統計的に有意な増加トレンドが見られる。この結果は冬季南半球では再解析データの不確実性が

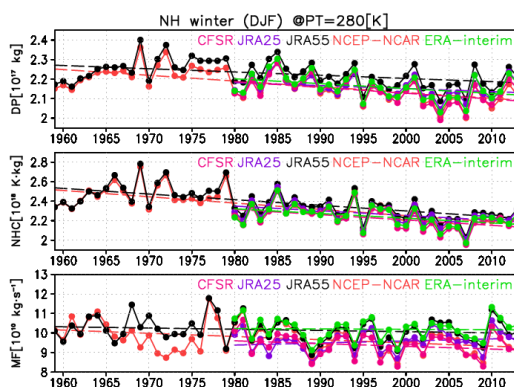


図 1 冬季北半球における半球の総寒気質量（上段）、総寒気容量（中段）、北緯 45 度を横切る寒気質量フラックス（下段）の経年変化。実線は経年変化、点線は線形トレンドを表す。きいことを示している。特に衛星観測が豊富ではなかった解析期間前半でデータのばらつきが大きく、それがトレンドの違いに寄与していると考えられる。

寒気容量は冬季北半球に $2.4 \times 10^{18} \text{ kg K}$ 、冬季南半球に $1.3 \times 10^{18} \text{ kg K}$ 存在している。長期トレンドの符号は寒気質量と同符号である。冬季北半球では統計的に有意な減少トレンドが見られ、その気候値に対する大きさはおおよそ 10~14%/50yrs である（図 1 中段）。冬季南半球では JRA-55（-6.8%/50yrs）、NCEP-NCAR（-31%/50yrs）で有意な減少トレンド、ERA-interim（7.4%/50yrs）、JRA-25（12.2%/50yrs）、CFSR（7.2%/50yrs）で有意な増加トレンドが見られる（図 2 中段）。

北緯 45 度、南緯 50 度を横切る寒気質量フラックスは約 $1.1 \times 10^{11} \text{ kg s}^{-1}$ の値を持つ。これは中緯度への寒気流出を特徴づける量で、中緯度への寒気の流量の多い年には中緯度で低温となる。寒気質量フラックスは年々変動が大きく、NCEP-NCAR を除く 4 つのデータでは冬季北半球での有意なトレンドは見られなかった（図 1 下段）。冬季南半球

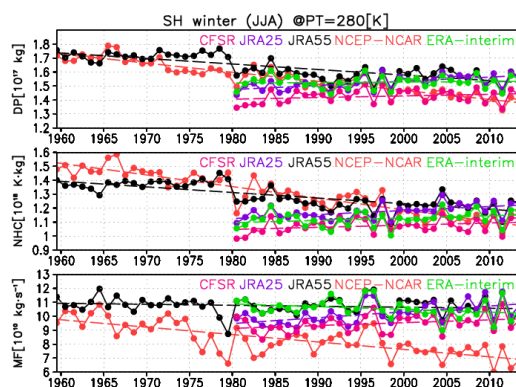


図 2 冬季南半球における半球の総寒気質量（上段）、総寒気容量（中段）、南緯 50 度を横切る寒気質量フラックス（下段）の経年変化。実線、点線は図 1 と同様。

では、JRA-55、ERA-interim、NCEP-NCAR に統計的に有意な減少トレンドが見られ、JRA-25 と CFSR には統計的に有意な増加トレンドが見られた（図 2 下段）。

次にトレンドの地理的な分布について見ていく。図 3 は 5 つの再解析データで再現された寒気質量の長期トレンドの地理的な分布である。冬季北半球では、半球の総寒気質量だけでなく、地理的に見ても 5 つの再解析データでよく似たトレンドの分布を示す。バレンツ海、カラ海から大西洋北部にかけての領域と東ヨーロッパ、東アジア、北米大陸で寒気質量の減少トレンドが見られ、中央シベリアの内陸部、ベーリング海で寒気質量の増加トレンドが見られる。この分布は地上気温のトレンドともよく一致している。大きな寒気質量の減少が見られるバレンツ海やカラ海は近年の温暖化によって海氷が大きく減少している地域であり、秋の少ない海氷による海洋から大気への潜熱、顕熱の放出が大気を温めていると考えられる。また、中央シベリア内陸部の低温偏差は北極海、海氷減少が作る気温の偏差パターンとも一致しており、北極海、海氷減少の影響と考えられる（e.

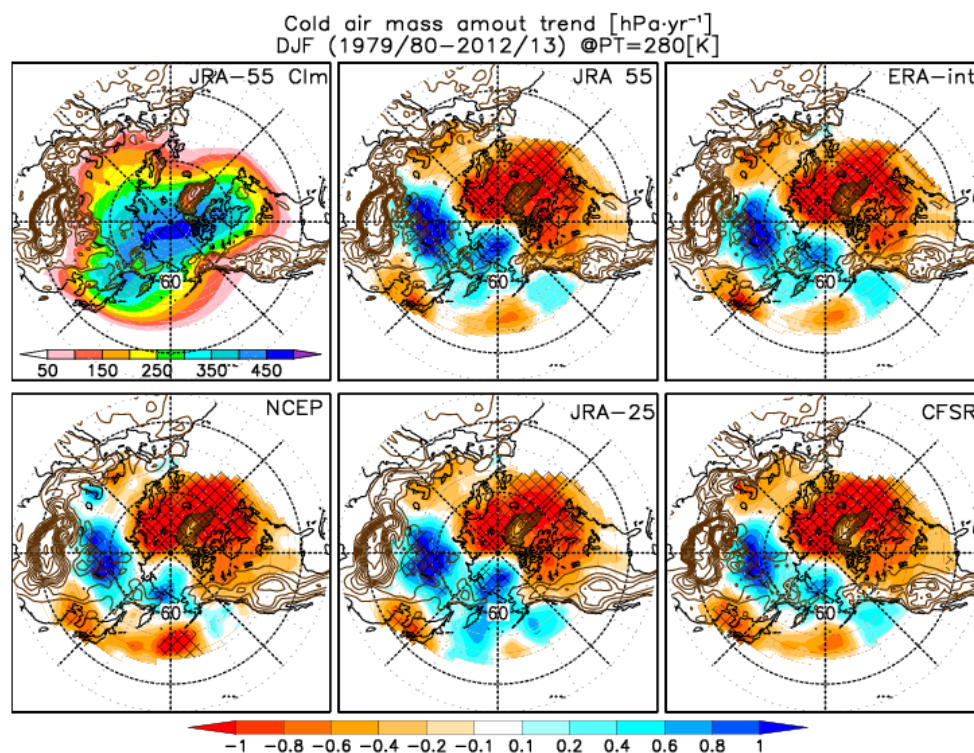


図 3 冬季北半球の寒気質量の線形トレンドの地理的な分布。左上は JRA-55 を用いて描いた気候値(hPa)。その他は 5 つの再解析データで再現された寒気質量の線形トレンド (hPa yr⁻¹)。線形トレンドは 1979/80 から 2012/13 の 34 冬季分のデータから計算。斜線部は統計的に有意なトレンドを示す。

g., Mori et al., 2014)。寒気質量の流出先である東アジアや北米でも寒気質量の減少トレンドが見られ、これはこの 2 つの地域における寒気流出が減少していることを示している。

図 4 に冬季南半球における寒気質量の長期トレンドを示す。冬季南半球の寒気質量は地理的に見ても再解析データによってトレンドは全く異なる。特に NCEP-NCAR と JRA-25 は領域全体で極端な減少、増加トレンドとなっている。CFSR、JRA-55、ERA-interim では、南緯 60 度以北の海洋上でのトレンドはおおよそ似ている。しかしこの 3 者の間でも南極大陸付近の寒気質量トレンドは異なる。Johanson and Fu (2007)

は衛星観測に基づいて南半球高緯度の対流圏全体の気温トレンドをほぼ同期間にわたって推定しており、その結果と比較すると、南極大陸での気温上昇などの特徴が最も似ているのは JRA-55 である。

4. まとめ

特定温位 280K 面以下の大気で定義される南北両半球冬季の寒気質量について長期変化傾向を調べた。冬季北半球では半球の総寒気質量、総寒気容量が 5 つの再解析データで統計的に有意な減少トレンドが確認された。その地理的な分布をみるとバレンツ海、カラ海、北米大陸、東ヨーロッパ、東アジアで寒気質量の減少トレンドが見られ、反対に

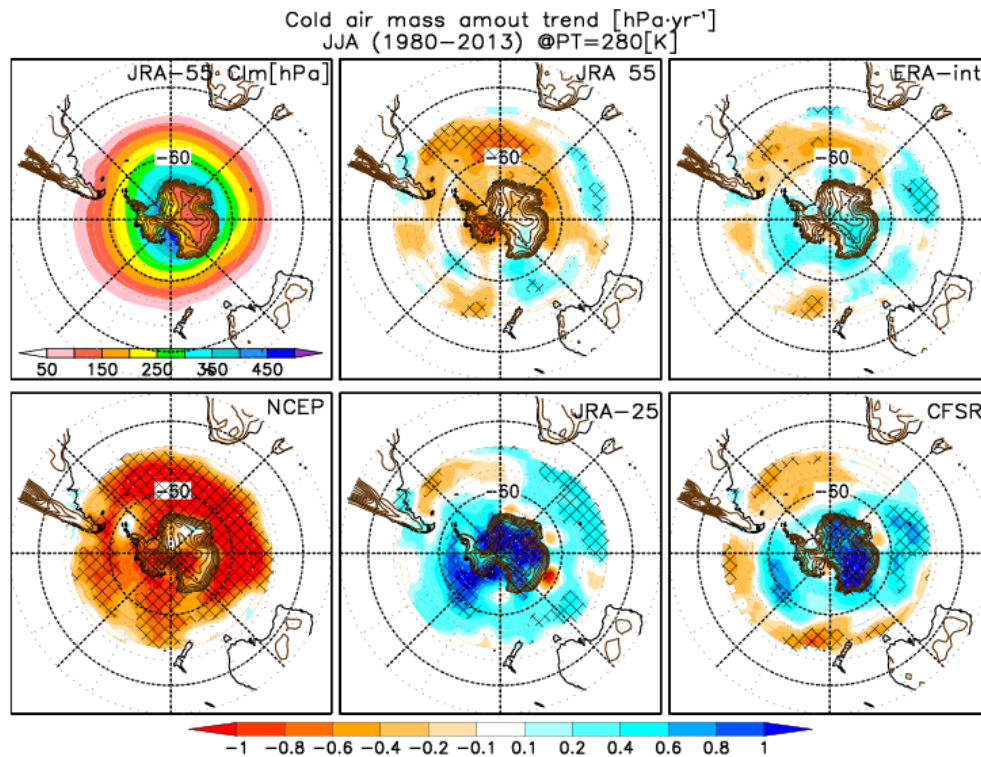


図 4 冬季南半球における寒気質量の線形トレンドの地理的な分布。線形トレンドは 1980 年から 2013 年までのデータを用いて描画した。斜線部は統計的に有意なトレンドを示す。中央シベリアの内陸部で寒気質量の増加トレンドが見られる。このパターンには北極海での海氷減少が重要な役割を果たしていると考えられる。

冬季南半球では、半球の総寒気質量、総寒気容量のトレンドは 5 つの再解析データで異なる結果を示す。トレンドの地理的な分布を見ても各データで大きく異なる。これには衛星観測が豊富ではなかった解析期間前半の各データのばらつきが原因であると考えられる。現時点で新しく信頼性の高いと言われている JRA-55 と ERA-interim の結果でも符号が異なっており、冬季南半球の寒気質量のトレンドには不確実性が大きいことがわかる。

今後は JRA-55C や JRA-55AMIP を用いた解析を行い、観測データの変化による寄与

参考文献

- Iwasaki et al., 2014, *J. Atmos. Sci.*, 71, 2230-2243.
 Johanson and Fu, 2007, *Geophys Res Lett.*, 34, L12703.
 Kanno et al., 2014, *Atmos. Sci. Lett.*, in press.
 Mori et al., 2014, *Nature Geosci.*, 7, 869-873.