

大気における極向きエネルギー輸送に関する南北風の再評価

春山哲範¹、浮田甚郎¹、本田明治¹、岩本勉之¹²³

¹新潟大学

²国立極地研究所

³紋別市役所

・背景

近年、北極域では急速な温暖化が進行している。その要因の一つとして大気による極へのエネルギー輸送の変化が示唆されている(Serreze et al. 2007)。ある緯度円により定義された大気柱の側面(緯度面)におけるエネルギー(顕熱、ジオポテンシャルエネルギー、潜熱、運動エネルギーの和)とそこでの南北風の積であるエネルギー・フラックスをエネルギー輸送として定義する。さらに、このエネルギー・フラックスを線形的に分解すると、擾乱渦成分、定常渦成分、子午面循環成分、質量変化成分の4つの成分に分かれる(Oort 1971)。これらのうち、最後の質量変化成分は、月スケールでの時間平均、東西平均、鉛直重み付き平均した南北風と、これと同様の操作を行ったエネルギーの積、つまりスカラー量同士の積として表すことが出来る。再解析データが登場する以前のラジオゾンデ観測による計算では、上記の3重平均した南北風は値も小さくまた解像度の制約により、質量保存則の観点からその値が0になると仮定されていた。しかしながら、再解析データ登場後も質量変化成分は陽に取り扱われてはいない。

北緯 70° におけるエネルギー・フラックスの年平均値に対して 43% 寄与する顕熱フラックス(Overland et al. 1994)の質量変化成分の時間変化を考えると

$$Cp(\{\bar{T}\}\{\bar{v}\})' = Cp\{\bar{T}\}'\{\bar{v}\} + Cp\{\bar{T}\}\{\bar{v}\}'$$

となる。ここで $\{\bar{A}\}$ はある物理量 A に対する上で述べた 3 重平均、T は気温、v は南北風を表す。北緯 70° 面において上式の右辺の第 2 項のほうが第 1 項より一桁大きいことがわかる。つまり、北緯 70° 面から北極域へと流入する顕熱フラックスの時間変化に対して、温度のトレンドよりも、南北風のトレンドの方が少なくとも重要であると考えられる。そこで本研究では再解析データから、北緯 70° 面の南北風についての季節変動、トレンド、鉛直平均の上端の取り方による数値依存性について調べた。また、この北緯 70° 面における 3 重平均した南北風は北緯 70° 以北の大気柱に流入、または流出する大気の種類、つまり質量フラックスそのものを表している。よって、再解析データを用いる際、北緯 70° 以北の大気柱の質量の保存を再解析がどこまで再現できているかが問題となる。そこで北緯 70° 以北の平均地表面気圧の季節変動、トレンドについても調べた。

・データ

本研究では ECMWF Interim reanalysis (ERA-Interim) の 1979 年 1 月から 2010 年 12 月までの 32 年間の月平均データを用いた。水平解像度は 0.75° × 0.75°、鉛直層数は 1000hPa から 1hPa までの 37 層と月平均地表面気圧である。北緯 70° にはグリーンランド等の標高の高い地形が含まれるので、地形を考慮してマスクをかける必要がある。そこで、月平均地表面気圧より低い気圧の鉛直層に含まれるデータは排除した。また図 2 の右図では北緯 70° 以北の地表面気圧の領域平均を出す際にも地形の影響を出来るだけ排除する為に 975hPa 以下の気圧はマスクをかけてデータから排除した。

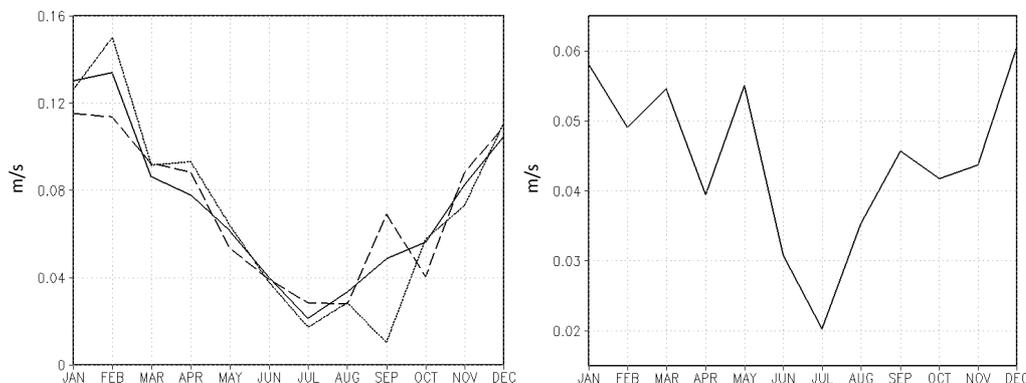


図 1 左：北緯 70° 面、地上～1hPa までの 32 年間 (1979 年 1 月～2010 年 12 月) に関して 3 重平均した南北風の気候値 (実線)、1979～1988 年間の平均 (点線)、2000～2010 年間の平均 (破線)、それぞれの季節変動 右：北緯 70° 面、地表～1hPa までの 32 年間における 3 重平均した南北風に関する月別の標準偏差

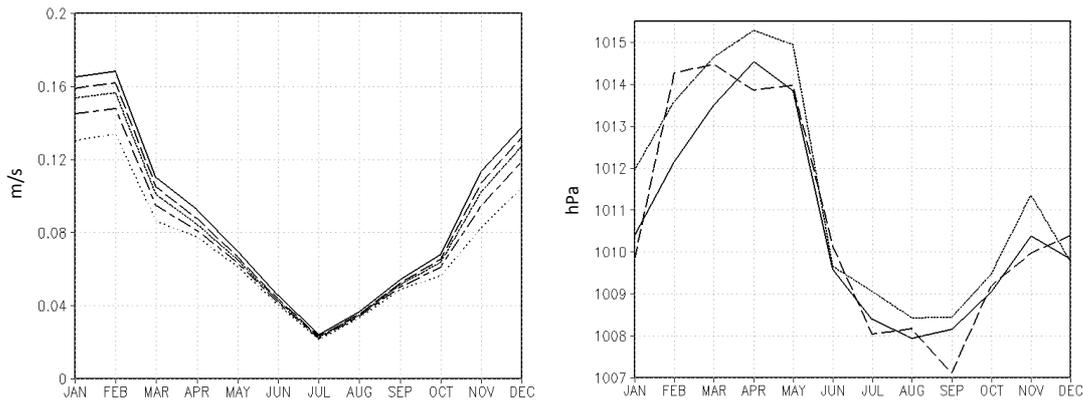


図2 左：北緯70°面、32年間に於いて鉛直重み付き平均の上端を変え、3重平均した南北風、上からそれぞれ地表～50hPa、地表～30hPa、地表～20hPa、地表～10hPa、地表～1hPaまで 右：北緯70°以北、32年間に於いて領域平均した地表面気圧の気候値（実線）、1979～1988年間の平均（点線）、2000～2010年間の平均（破線）、それぞれの季節変動（975hPa以下の地表面気圧はデータから排除）

・初期解析結果

計算結果としては、北緯70°面の3重平均した南北風は年間を通して北極向きを示し、32年間（1979年1月～2010年12月）の気候値は2月に極大値0.13m/s、7月に極小値0.02m/sを取り、年間平均は0.07m/sであった（図1左）。

3重平均した南北風について1979～1988年の期間と2001～2010年の期間を比較すると、2月に関しては0.11m/sから0.15m/sに減速し、また9月に関しては0.01m/sから0.07m/sに加速（図1左）、各月における32年間の標準偏差は12月に最大値0.06m/sを示し、7月には最小値0.02m/sを示した（図1右）。

また、鉛直重み付き平均の上端を変えて計算を行うと、1月では地上から50hPaまでで平均した場合は0.16m/s、一方1hPaまでで平均した場合は0.13m/sを示した（図2左）。これは同じ月の標準偏差（図1右）の半分程度であった。さらに、北緯70°以北の32年間（1979～2010年）、1979～1988年の10年間、2001～2010年の10年間に於ける地表面気圧の領域平均を示した。

・今後

他の再解析データ（JRA-55）を用いて鉛直重み付き平均の上端を変えて計算を行い、今回の結果との比較を行い、さらに北緯70°面における3重平均した南北風と北緯70°以北の平均地表面気圧との関係について調べる予定である。

References

- Oort, A.H.(1971), The Observed Annual Cycle in the Meridional Transport of Atmospheric Energy, *J. Atmos. Sci.*, **28**, 325-339.
- Overland, J.E., Turet, P., Oort, A.H.(1996), Regional Variations of Moist Static Energy Flux into the Arctic, *J. Climate*, **9**, 54-65.
- Serreze, M.C., A.P. Barrett, A.G. Slater, M. Steele, J. Zhang, and K.E. Trenberth(2007), The large-scale energy budget of the Arctic, *J. Geophys. Res.*, *112*, D11122, doi:10.1029/2006JD008230.