

北半球の自然変動が十年スケールの地上気温変動に及ぼす影響についての研究

田村 美奈¹、田中 博²

¹ 筑波大学 生命環境科学研究科

² 筑波大学 計算科学研究センター

背景・目的

北半球冬季における大気のもっとも卓越した変動として北極振動(Arctic Oscillation: AO)がある。AOは北緯60度を挟んで南北に海面更正気圧(SLP)が逆相関を示す現象で(Thompson and Wallace 1998), AOに伴うSLP偏差パターンは北極域に大きな負偏差, それを取り囲むように北太平洋と大西洋に極大を持つような正偏差となっており, またAOに伴う地上気温偏差パターンはグリーンランド付近で負偏差, シベリアからヨーロッパにかけてと北米で正偏差となる。このときを北極振動指数(AOI)が正であるといい, 負の場合は偏差の符号が全て逆になる。一方, 近年温室効果ガスの増加など人為的起源による地球規模での温暖化が問題となっている(IPCC 2013)。それは特に秋季から冬季にかけての北極域で最も顕著に現れており, 北極域における気温上昇率は全球平均と比べて約2倍大きいこの現象は北極温暖化増幅(Arctic Amplification: AA)と呼ばれている(Serreze and Francis 2006)。Nagato and Tanaka (2012)では北緯20度以北の冬季(DJF)の地上気温についてEOF解析を行うと, EOF-1にはAOパターン, EOF-2には北極域を中心とする温暖化パターンであるAAパターンが抽出され, AOパターンは自然変動成分, AAパターンは人為起源変動成分と示唆されたが, これを明らかにするには至らなかった。一方, Alexeev and Jackson (2012)では, 2-Box Energy Balance Model (Langen and Alexeev 2007)を使用してAAに対する大気の大気熱輸送と高緯度における地表面アルベドの影響評価を行い, 現在の気候下においてAAには地表面のアルベドフィードバックが大きく影響していることを示した。この地球温暖化のバランス方程式を用いたモデルにより北半球地上気温の長周期変動を再現すると, 図1のようになる(Tanaka and Tamura 2015)。CO₂の影響がない場合(図1, 点線)でも地上気温は数十年スケールで変動可能なことから, 北半球平均地上気温は自然変動成分によって変動していることが示唆されている。地球温暖化の理論式にはAAの影響が含まれていること, またAAの理論式においては大気上端の短波放射収支を考慮した高緯度のアルベドが変動成分となっていることから, 大気上端におけるアルベド(プラネタリーアルベド)が重要な役割を果たしている。本研究では, Nagato and Tanaka (2012)で述べられたAOとAAの分離の結果を再検証すること, また実際の気候におけるプラネタリーアルベドと地上気温変動の関係を調べることを目的とする。

解析手法

本研究ではCO₂の線形トレンドを人為起源変動成分と仮定し, 回帰により地上気温の人為起源変動成分を抽出した。また, 地上気温の変動から人為起源変動成分を差し引いた残差を自然変動成分と定義し, 自然変動成分についてEOF解析を行った。さらに北半球平均およびシベリア平均プラネタリーアルベド変動を求めて各気象要素との相関を調べた。ここで使用したデータはNOAAのMauna Loa月平均CO₂, JRA-55再解析データの月平均2m地上気温, 2次元物理量平均値の大気上端上向き短波放射フラックス及び大気上端下向き短波放射フラックスで, 期間は全て1958/59年~2011/12年(DJF)である。本研究では大気上端上向き短波放射と大気上端下向き短波放射の比をプラネタリーアルベドとして扱った。

結果・まとめ

CO₂の線形トレンドを地上気温に回帰した結果, 北極域を中心とした北半球全域の温暖化パターンが抽出された。この成分を地上気温変動から引いた自然変動成分についてEOF解析を行うと, EOF-1にはAOパターン(図2, 左), EOF-2にはバレンツ海の温暖化, 大陸の寒冷化パターンであるバレンツ海モード(図2, 右)が現れ, AAパターンは現れなかった。これよりAAパターンはCO₂トレンドに伴う人為起源変動成分であること, AOパターンとバレンツ海モードは自然変動成分として重要なパターンであることが確かめられた。また, AOパターンの地上気温変動を領域平均するとほぼ0となり北半球の地上気温変動への影響は小さいということが考えられる。バレンツ海モードの領域平均は-0.16Kとなり, またバレンツ海モードのトレンドは2-Box Energy Balance Modelを用いて再現された北半球平均地上気温変動とよく類似したものとなっていることから, バレンツ海モードが北半球の地上気温の自然変動成分として重要なパターンであることが考えられる。

さらに北半球平均したプラネタリーアルベド変動(図3)はバレンツ海モードの変動と時系列がよく似ていること, またシベリア平均したプラネタリーアルベド変動はAOIと時系列がよく似ていることがわかった。これより北半球の地上気温変動にはバレンツ海モードが大きく影響しており, それはプラネタリーアルベドが密接に関係していると考えられる。またAOパターンはシベリアなどの地上気温変動やプラネタリーアルベドと関係していること

から、その影響はローカルなものであると考えられる。積雪深を用いた解析よりそれらの相互作用について必ずしもアイスアルベドフィードバックが関係しているわけではないことから、雲のフィードバックなど他の要素によるフィードバックの重要性があげられる。また ERA-Interim, NCEP/NCAR 再解析データを用いて同様の解析を行い相互に比較すると、JRA-55 と ERA-Interim のプラネタリーアルベド変動のトレンドはよく似ていた。このことから、本研究で得られたプラネタリーアルベドに関する結果が JRA-55 特有のものでないことが確かめられた。

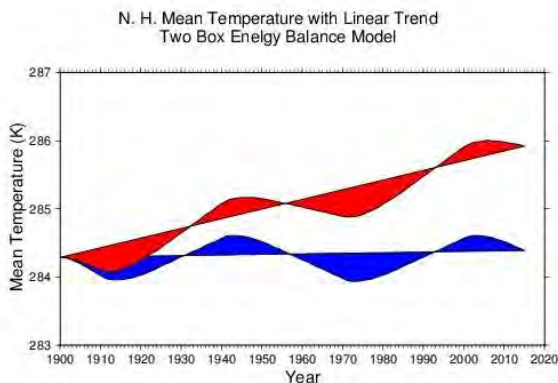


図1 北半球平均地上気温の長周期変動

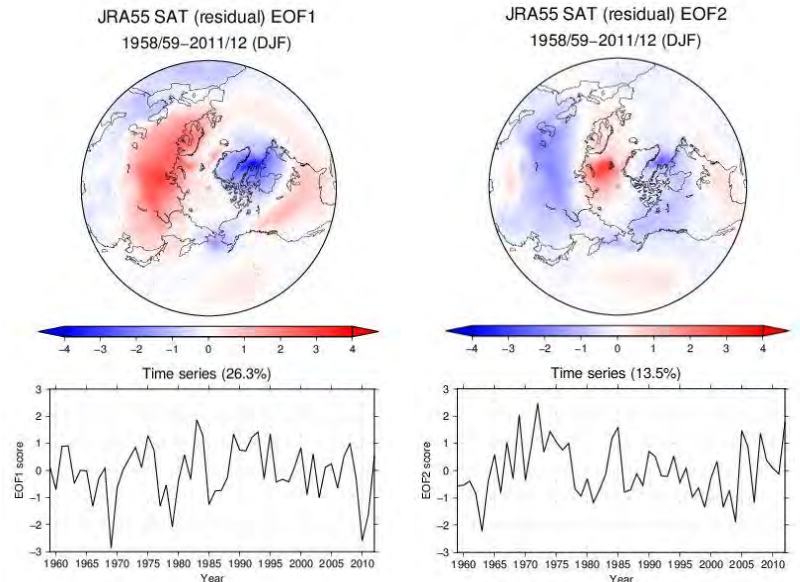


図2 地上気温の自然変動成分の EOF-1(左)と EOF-2(右)

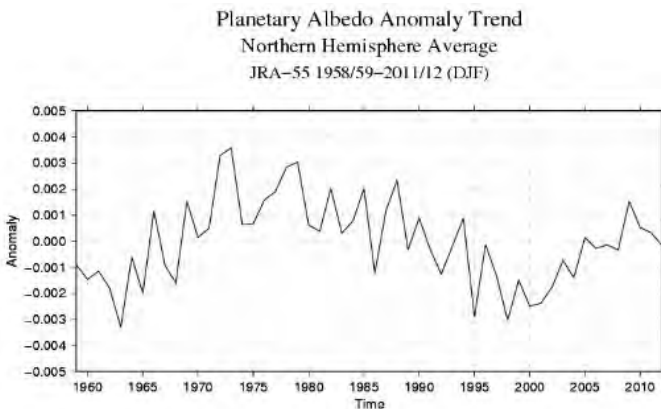


図3 北半球平均プラネタリーアルベド変動の時系列

参考文献

- Alexeev, V. A., and C. H. Jackson, Polar amplification: is atmospheric heat transport important?, *Clim. Dyn.*, doi:10.1007/s00382-012-1601-z., 2012.
- Langen, P. L., and V. A. Alexeev, Polar amplification as a preferred response in an idealized aquaplanet GCM., *Clim. Dyn.*, 29, 305-317., 2007.
- Nagato, Y., and H. L. Tanaka, Global warming trend without the contributions from decadal variability of the Arctic Oscillation. *Polar Sci.*, 6, 15-22., 2012.
- Serreze, M. C., and J. A. Francis, The Arctic amplification debate., *Clim. Change*, 76,241-264., 2006.
- Tanaka, H. L., and M. Tamura, Relationship between the Arctic Oscillation and surface air temperature in multi-decadal time-scale., (Submitted to *Polar Sci.*, 2015)
- Thompson, D. W. J., and J. M. Wallace, The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields., *Geophys. Res. Lett.*, 25,1297-1300., 1998.