

北極温暖化増幅と北極振動の関係

田中博・海野友美

筑波大学計算科学研究センター

Relationship between the Arctic Amplification and Arctic Oscillation

Hiroshi L. Tanaka and Tomomi Umino, *CCS University of Tsukuba, Japan*

The objective of this study is to understand the dynamics of the variability of the Arctic Oscillation (AO) and to understand the relation to the Arctic Amplification (AA). The dynamical interpretation of the AA and its connection to the AO are investigated using an energy balance model for the low- and high-latitude boxes, developed originally by Alexeev and Jackson (2012). We found that the global warming is a function of the AA Index, defined by the warming ratio for the low- and high-latitude boxes in response to the anthropogenic heating. Total cooling by the OLR is also a function of the AA. It may be important to realize that the AA is the most efficient cooling pattern of the earth system in response to the anthropogenic global warming. The AA results in the AO negative, causing warm Arctic and cold mid-latitudes, and the AA-AO system results in the rapid melt of the Arctic seaice, but maintaining the same global mean temperature when AO dominates the AA.

はじめに

地球温暖化は北極圏でもっとも顕著に現れることが、気候モデル予測の結果から知られている。全球平均気温が 4°C 上がる場合、北極圏ではその 3 倍の 12°C も上昇する (図 1 と図 2 右)。この特徴的な地球温暖化の空間分布は、北極温暖化増幅 (Arctic Amplification) と呼ばれている。北極温暖化増幅は、観測的には 2000 年以降のデータにその傾向が明瞭に表れているが、それ以前の 1970 年から 1990 年代には、北極振動 (図 2 左) に対応した気温偏差の分布が卓越して見られた。北極圏で温暖化が顕著に現れる原因としては、アイスアルベド・フィードバックに伴う短波放射収支の変化が最も重要とされているが、他にも大気と海洋の大循環に伴う中緯度からの熱輸送の変化などが貢献している。これらは互いに密接に関係しており、たとえば、アイスアルベド・フィードバックを落とした気候モデルでも、温室効果気体による放射強制に対し中緯度からの熱輸送が増加して、北極温暖化増幅が生じることが知られている。つまり、アイスアルベド・フィードバックは、大循環により生じる北極温暖化増幅をさらに増幅させる働きをしている。

北極温暖化増幅と北極振動の関係

二酸化炭素倍増の放射強制に対し、北極温暖化増幅が起こることで、全球の温暖化が強化され、全体的な放射冷却も増加することが解かった。北極温暖化増幅 (図 1) は、地球を最も効率よく冷却するために、気候システムが選択した応答と考えることも可能である。これに、大気の力学的固有解

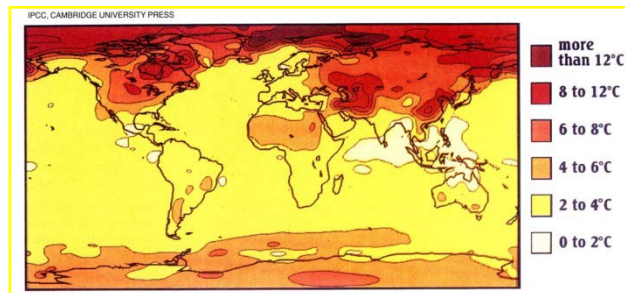


図 1 北極温暖化増幅 (IPCC 報告より)

である北極振動(AO)の影響を導入すると、AO 指数が負の時に、北極圏の気温が上がり、中緯度の気温が下がるため、海氷が融けて北極温暖化増幅はさらに強化され、全球平均温度を押し上げるという状況を作り出す。これは、北極振動がアイスアルベド・フィードバックを介して北極温暖化増幅ならびに地球温暖化に貢献しうることを示している。

地球温暖化が 2000 年以降に止まっている

近年の北極圏の温暖化は、海氷の融解を仲介した北極温暖化増幅により生じている一方で、それをしのぐ寄与率の自然変動としての北極振動がローカルに重なって生じていることが解る。図 2 は地上気温の変動の主成分分析の結果であり、寄与率 21%の北極振動モード(左図)が寄与率 15%の北極温暖化増幅モード(右図)に重なっていることを示す。2000 年以降、北極海の海氷が激減し、北極圏が温暖化する一方で、全球平均気温の上昇が止まっている。この理由は良くわかっていないが、hiatus 問題と呼ばれている。近年、北極振動の負がピークになり、北極振動が海氷の融解をもたらしているため、北極圏が温暖化する一方で中緯度の気温が低下し、半球平均気温の停滞をもたらしていると考えられることもできる。

おわりに

IPCC-AR4 で報告されている気候モデル群は、温暖化による北極海の海氷面積の減少を過小評価している。これは、観測される 2000 年以降の急激な海氷の減少が、カオス的に振る舞う負の北極振動によるものと考えれば説明がつく。地球温暖化が人為的放射強制力の増大により生じていることは間違いないが、地球温暖化に占める自然変動(内部変動)の影響は、現在認識されているものより大きく、予測される温暖化と同程度大きさの自然変動が重なっていると思われる。したがって、2000 年以降の hiatus 問題の原因を自然変動とするならば、1970 年から 2000 年頃までの急激な温暖化にも、カオス的な自然変動が含まれることになるので、観測される温暖化のほとんどが、人為的な温室効果の増加で説明できるとする今日の認識は再度検証される必要がある。そして、そのようなモデルによる 100 年後の温暖化予測は、温暖化を過大評価していることになり、自然変動を再評価した場合には、温暖化は約半分になると考えられる。

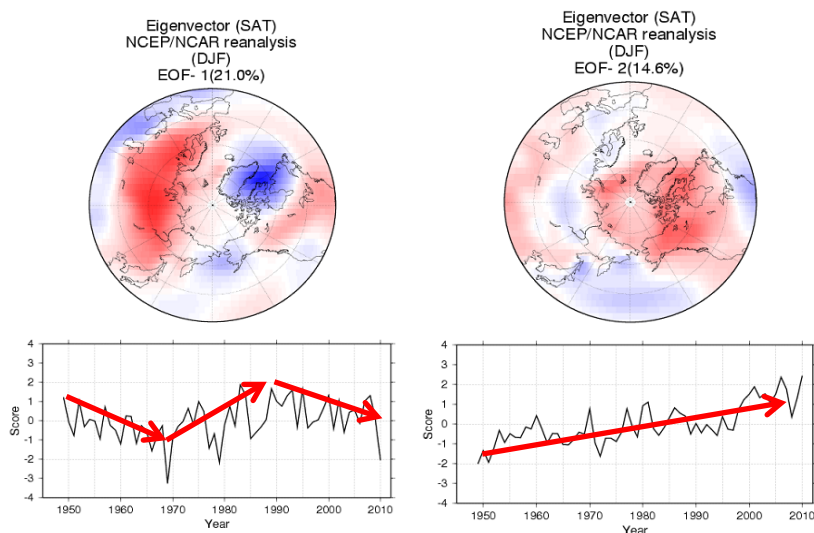


図 2 地上気温の EOF-1 と EOF-2 の空間分布と時系列