

学 位 論 文 題 名

Impact of the winter North Atlantic Oscillation
on the summer atmospheric circulation and
characteristics of the summer annular mode

(冬季北大西洋振動が夏季の大気循環に与える影響と
夏季の環状モードの特徴)

学位論文内容の要旨

冬季北半球に卓越する変動である北大西洋振動（NAO）や北極振動（AO）には、数十年の長周期変動があり、冬季 NAO/AO の現象と冬季の大気－海洋循環の関係は多くの研究結果が存在する。しかし、冬季 NAO/AO の変動と夏季の大気－海洋循環の関連性を明らかにした研究はほとんどない。NAO/AO が長周期変動をしているならば、冬季ばかりではなく夏季の大気－海洋変動と関係があってもおかしくはない。そこで、本研究の目的は、冬季 NAO/AO が夏季の大気－海洋変動と関係があるのかを調べることで、さらには、どのような過程を通じて関連するのかを検証することである。

その結果、冬季の NAO/AO が正であれば、北極域で高度が下がり、中緯度で高度が上がる傾向にあることがわかった。特に中緯度の正偏差は顕著であり、オホーツク海北部については、夏季のみに現れるオホーツク海高気圧が冬季の NAO/AO と関係があることを示唆している。つまり、冬季の NAO/AO が正の時、夏季のオホーツク海高気圧が発達することを意味している。さらに、この現象は他の高度及び気温の変動も同様に、順圧的なパターンを示す。したがって、冬季の NAO/AO は夏季の大気循環にも影響を及ぼすことがわかった。NAO/AO には冬季と夏季の自己相関がないので、大気以外の長期記憶をもつ過程によって冬季から夏季へ影響を及ぼしていると考えられる。そこで、冬季 NAO と春季から夏季にかけての海氷、海面水温（SST）、雪の関係を調べてみた。その結果、冬季 NAO が正であると、春季から夏季にかけて北極域の海氷や中緯度の雪が少なくなることがわかった。この関係から、冬季 NAO の変動は、冬季の海氷や雪に影響し、その変動が春季から夏季にかけて海氷や雪に持続され、夏季の大気循環に影響を及ぼす可能性があることがわかった。

Kodera[2002]は、冬季北半球に卓越する変動である北大西洋振動（NAO）を、太陽活動の 11 年周期の極大期（Smax）と極小期（Smin）にわけて地上気圧との年々変動の相関をとると、明らかにパターンが違ふことを示した。この結果から、冬季 NAO と夏季大気循環の連関性の強弱も太陽活動の強弱と関係がある可能性が示唆される。そこで本研究で

は、さらに、冬季 NAO を太陽活動の活発な時と不活発な時にわけて夏季大気大循環との連関性の解析を行った。

冬季の NAO と帯状平均 500hPa 高度場のラグ相関を行った結果、Smax の時は冬季の中緯度と高緯度の相関が顕著であり、さらに中緯度の正相関が夏季まで持続していることがわかる。しかし、Smin の時は冬季の高緯度と春季の中緯度の負相関だけで持続性がない。つまり、冬季の NAO は Smax の時、シーソーパターンが顕著であり、さらに冬季 NAO のシグナルが夏季まで影響を及ぼすことがわかった。

さらに、Smax と Smin に分けて冬季の NAO と春季の海氷、SST、雪の関係を調べた。その結果、Smax の時は Smin と比べて、ユーラシア大陸の雪や北極域の海氷がより少なくなることがわかった。この関係から、冬季の NAO の変動は、Smax の時の方が広範囲の冬季の大気循環に影響を及ぼし、その影響が雪や海氷に影響することで、その変動が持続され、春季から夏季の大気循環に影響を及ぼす可能性があることが示唆される。

Thompson and Wallace (2000:以下 TW2000) は北半球帯状平均月平均高度場の一年を通じた経験的直交関数 (EOF) の第 1 モードは冬季の海面気圧分布の EOF に基づく AO (TW, 1998) と同じで AO は 1 年中みられるとして北半球環状モード (NAM) と呼んだ。しかし、分散は冬に大きいので、TW2000 では冬の変動が卓越している可能性がある。本研究では、各月ごとに帯状平均高度場の EOF 解析を行い、その第 1 モードである NAM/AO の季節変動を解析した。

月毎 EOF の第 1 モードはどの月でも北極域と中緯度域のシーソーパターンである。しかし、夏季に季節が移るにつれて、シーソーパターンが極側にシフトしていることがわかる。さらに、水平パターンを見ると、夏季のパターンは環状ではあるものの冬季よりも極側に小さくなっており、冬季と夏季の NAM/AO パターンは異なる。冬季はグリーンランドに主な負の中心があるが、夏季は北極付近が主な中心となる。また、帯状平均東西風や帯状平均温度場をみても、夏季のパターンは冬季よりも極側にシフトしていることがわかった。さらに、冬季も夏季も渦フラックスによって NAM/AO は作られているが、夏季の渦フラックスは冬季よりも極側で強くなっていることがわかった。

さらに、TW2000 の NAM パターンと本研究の EOF 解析での NAM パターンの違いを調べてみると、冬季のパターンは似ているが、夏季のパターンは本研究の EOF 解析では、ユーラシア大陸に卓越する大気パターンが現れるが、TW2000 の EOF 解析では、ユーラシア大陸に変動が現れなかった。この結果は、TW2000 の EOF 解析では夏季のユーラシア大陸における卓越する変動をきちんと表していないことがわかった。

さらに、冬季 NAM/AO と 500hPa 高度場とのラグ相関回帰図をみると、夏季のラグ相関パターンは冬季の変動の節にシグナルがある。さらに、冬季 NAM/AO と夏季の大気場とのラグ回帰パターンをみると、極に負、中緯度に正の変動があるのは冬季と変わらないが、負の中心は北極海にあり正は北極周辺域にある。以上の結果から、冬季 NAM が夏季の大気に影響を及ぼすパターンと夏季 NAM パターンは似ていることから、冬季 NAO/AO と夏季の大気循環の関連は中高緯度における冬季の卓越モードから夏季の卓越モードへの遷移と理解される。その遷移に寄与しているのは、ユーラシア大陸における

積雪や北極海の海水や SST である可能性がある。つまり、冬季の卓越モードが冬季の積雪や海水に影響し、その変動が春季から夏季にかけて持続され、夏季の卓越モードに影響を及ぼすと考えられる。

学位論文審査の要旨

主査 教授 山崎 孝治
副査 教授 池田 元美
副査 助教授 谷本 陽一
副査 助教授 渡部 雅浩
副査 教授 謝 尚平

(ハワイ大学国際太平洋研究センター)

学位論文題名

Impact of the winter North Atlantic Oscillation on the summer atmospheric circulation and characteristics of the summer annular mode

(冬季北大西洋振動が夏季の大気循環に与える影響と
夏季の環状モードの特徴)

冬季北半球に卓越する変動である北大西洋振動 (NAO) や北極振動 (AO) [別名: 北半球環状モード (NAM)]には、数十年の長周期変動があり、冬季 NAO/AO の現象と冬季の大気-海洋循環の関係は多くの研究結果が存在する。しかし、冬季 NAO/AO の変動と夏季の大気循環の関連性を明らかにした研究はほとんどない。そこで、本研究の目的は、冬季 NAO/AO が夏季の大気変動と関係があるのかを調べることで、さらには、どのような過程を通じて関連するのかを検証することである。

解析の結果、冬季の NAO/AO が正であれば、北極域で高度が下がり、中緯度で高度が上がる傾向にあることがわかった。特に中緯度の正偏差は顕著であり、オホーツク海北部については、夏季のみに現れるオホーツク海高気圧が冬季の NAO/AO と関係があることを示唆している。つまり、冬季の NAO/AO が正の時、夏季のオホーツク海高気圧が発達することを意味している。冬季の NAO/AO は夏季の大気循環にも影響を及ぼすことがわかったが、NAO/AO には冬季と夏季の自己相関がないので、大気以外の長期記憶をもつ過程によって冬季から夏季へ影響を及ぼしていると考えられる。そこで、冬季 NAO と春季から夏季にかけての海氷、海面水温 (SST)、雪の関係を調べた。その結果、冬季 NAO が正であると、春季から夏季にかけて北極域の海氷や中緯度の雪が少なくなることがわかった。この関係から、冬季 NAO の変動は、冬季の海氷や雪に影響し、その変動が春季から夏季にかけて海氷や雪に持続され、

夏季の大気循環に影響を及ぼす可能性があることがわかった。

冬季 NAO は太陽活動の 11 年周期によって変調されていることが知られている。従って、冬季 NAO と夏季大気大循環の連関性の強弱も太陽活動の強弱と関係がある可能性が示唆されるので、冬季 NAO を太陽活動の活発な時と不活発な時にわけて夏季大気大循環との連関性の解析を行った。太陽活動活発期では、冬季の中緯度と高緯度の相関が顕著であり、NAO シグナルはユーラシアの広い範囲で見られ、さらに中緯度の正相関が夏季まで持続している。しかし、不活発期には NAO は冬季の大西洋での地域的な変動にとどまり、夏にはシグナルが見られない。つまり、冬季の NAO は太陽活動活発期のみ夏季まで影響を及ぼすことがわかった。

さらに、冬季の NAO と春季の海氷、SST、雪の関係を調べた結果、太陽活動活発期には、ユーラシア大陸の雪や北極域の海氷がより少なくなることがわかった。冬季の NAO の変動は活発期に広範囲の冬季の大気循環に影響を及ぼし、その影響が雪や海氷に影響することで、春季から夏季の大気循環に影響を及ぼす可能性がある。

各月ごとに帯状平均高度場の経験的直交関数 (EOF) 解析を行い、その第 1 モードである NAM/AO の季節変動を解析した。月毎 EOF の第 1 モードはどの月でも北極域と中緯度域のシーソーパターンである。しかし、夏季に季節が移るにつれて、シーソーパターンが極側にシフトしている。さらに、水平パターンを見ると、夏季のパターンは環状ではあるものの冬季よりも極側に小さくなっており、冬季と夏季の NAM/AO パターンは異なる。冬季はグリーンランドに主な負の中心があるが、夏季は北極付近が主な中心となる。また、帯状平均東西風や帯状平均温度場をみても、夏季のパターンは冬季よりも極側にシフトしている。さらに、冬季も夏季も渦フラックスによって NAM/AO は維持されているが、夏季の渦フラックスは冬季よりも極側で強くなっていることがわかった。

冬季 NAM が夏季の大気に影響を及ぼすパターンと夏季 NAM パターンは似ており、冬季 NAM と夏季 NAM には有意な正相関があることから、冬季 NAO/AO と夏季の大気循環の関連は中高緯度における冬季の卓越モードから夏季の卓越モードへの遷移と理解される。その遷移に寄与しているのは、ユーラシア大陸における積雪や北極海の海氷や SST である可能性がある。つまり、冬季の卓越モードが冬季の積雪や海氷に影響し、その変動が春季から夏季にかけて持続され、夏季の卓越モードに影響を及ぼすと考えられる。

これらの申請者の研究成果は、冬から夏への長期予報の精度向上に貢献するものであり、さらに、夏の環状モードの解析は、夏の気候変動研究を一步進めるものであり、今後の発展が期待される。

審査員一同は、これらの成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院課程における研鑽や取得単位などもあわせ、申請者が博士（地球環境科学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと判定した。