

Dynamics of the Pacific/North American Teleconnection Pattern

(PNA テレコネクションパターンの力学)

学位論文内容の要旨

北半球冬季の主要な低周波変動として知られている太平洋-北米 (Pacific/North American, PNA) テレコネクションパターンは、季節だけでなく季節内の時間スケールにも卓越する変動で、その持続時間スケールは約1週間から10日である。PNAは日々の天気に影響を与えるだけでなく、時に異常気象をもたらすことから、そのライフサイクルを明らかにすることは予報の観点からも重要である。しかし、この時間スケールにおけるPNAの発現・成長・持続・遷移の特徴、ならびにそれを支配している力学はよく分かっていない。そこで本研究では、季節内スケールのPNAを支配している力学を、日平均のERA-40再解析データ(期間は1957-2002年の11-3月)および力学モデルを用いて調べた。

データを用いた合成図解析から、PNAの成長・減衰の明瞭なライフサイクルが同定できた。対流圏上層における渦度収支解析から、アリューシャン低気圧の強化に相当する正位相のPNAは、東西非一様な気候学的平均場との順圧エネルギー変換などの線型過程により成長する一方、負位相のPNAの成長にはそれに加えて低周波偏差の非線型過程も重要であることが分かった。また、PNAが最大振幅を示す約9日前にアジアジェットに沿った顕著なロスビー波列が見られ、やがてそれはジェットの出口付近でPNAに成長した。この波列は主に熱帯のマッデン・ジュリアン振動(MJO)に伴う発散風が励起していた。PNAの極性で場合分けしたMJOの確率密度関数(PDF)は、PNAの極性とMJOの位相の間に明瞭な対応関係があることを示しており、MJOに付随する対流活発(不活発)域がベンガル湾から西太平洋にある時に負(正)のPNAの出現頻度が最も高くなる。MJOを基準にした合成図解析の結果、このMJOによる励起は全PNAイベントの約30%を説明することが分かった。MJOによる励起、中高緯度での順圧成長、ならびに遷移の特徴は、気候学的平均場のまわりで線型化された線型傾圧モデルでもある程度再現することができ、上記メカニズムが妥当であることが示された。これらの結果は、PNA自体は中緯度固有の変動であると考えられるものの、それが卓越するためには熱帯からの特定の強制も重要であることを示唆している。

渦度収支解析で示されたPNAに伴う非線型過程の役割をさらに詳しく調べるために、線型・非線型順圧モデルを用いた数値実験を行った。その結果、PNA自身に付随する流

れの非線型性は、正のPNAを弱める一方で負のPNAを強めるように働くことが分かった。この非線型性は絶対渦度保存則や基本場の変化として説明することができ、負のPNAが生じている時の場がより不安定であることを示している。また、非線型効果は観測されるPNAのPDFを定性的に説明する。具体的には、非線型性によってエルニーニョ時には強い正のPNAイベントは減少し、ラニーニャ時には強い負のPNAイベントは増加する。このことから、エルニーニョ・南方振動 (ENSO) のような時間スケールの長い現象は、流れの非線型性を通してPNAの出現確率を変調していると考えられる。順圧モデルを用いた診断により、この非線型効果はPNA以外の他のテレコネクションパターンでも無視できない寄与を果たしていることが示唆された。

外部強制を固定した非線型自律系の長期積分で生じる振動解の一部はPNAによく似ており、その力学は線型のモードで解釈できる。このモードがPNAの原型と考えられ、基本場やパラメータを変化させた多くの追加実験によって、そこから現実のPNAへ至る遍歴が同定できた。

学位論文審査の要旨

| | | | |
|----|-----|-----|---------------|
| 主査 | 准教授 | 渡部 | 雅浩 |
| 副査 | 教授 | 山崎 | 孝治 |
| 副査 | 教授 | 長谷部 | 文雄 |
| 副査 | 教授 | 久保川 | 厚 |
| 副査 | 准教授 | 向川 | 均 (京都大学防災研究所) |

学位論文題名

Dynamics of the Pacific/North American Teleconnection Pattern

(PNA テレコネクションパターンの力学)

北半球冬季の主要な低周波大気変動として知られている太平洋-北米 (Pacific/North American, PNA) テレコネクションパターンは、気候の年々変動であるエルニーニョ・ラニーニャのサイクルに伴って出現しやすいことが知られており、その生態系などへのインパクトは広く研究されている。一方で、PNAパターンは季節内の時間スケールにも卓越しており、その典型的な持続時間は1週間から10日程度と短い。したがって、PNAパターンの力学を理解するためには、日々のデータを詳細に解析してライフサイクルを明らかにすることから始める必要があるが、そうした研究は以外にもほとんど行われていない。そこで申請者は、この時間スケールにおけるPNAの発現・成長・持続・遷移の特徴、ならびにそれを支配している力学を、長期間の日平均ERA-40再解析データおよび力学大気モデルを用いて調べた。

データを用いた合成図解析から、PNAの成長・減衰の明瞭なライフサイクルが同定できた。対流圏上層における渦度収支解析から、アリューシャン低気圧の強化に相当する正位相のPNAは、東西非一様な気候学的平均場との順圧エネルギー変換などの線型過程により成長する一方、負位相のPNAの成長にはそれに加えて低周波偏差の非線型過程も重要であることが分かった。また、PNAが最大振幅を示す約9日前にアジアジェットに沿った顕著なロスビー波列が見られ、やがてそれはジェットの出口付近でPNAに成長した。この波列は主に熱帯のマッデン・ジュリアン振動 (MJO) に伴う発散風が励起していた。PNAの極性で場合分けしたMJOの確率密度関数 (PDF) は、PNAの極性とMJOの位相の間に明瞭な対応関係があることを示しており、MJOに付随する対流活発 (不活発) 域がベンガル湾から西太平洋にある時に負 (正) のPNAの出現頻度が最も高くなる。MJOを基準にした合成図解析の結果、このMJOによる励起は全PNAイベントの約30%を説

明することが分かった。MJ0による励起、中高緯度での順圧成長、ならびに遷移の特徴は、気候学的平均場のまわりで線型化された線型傾圧モデルでもある程度再現することができ、上記メカニズムが妥当であることが示された。これらの結果は、PNA自体は中緯度固有の変動であると考えられるものの、それが卓越するためには熱帯からの特定の強制も重要であることを示唆している。

渦度収支解析で示されたPNAに伴う非線型過程の役割をさらに調べるために、申請者は続いて非線型傾圧モデルを用いた一連の数値実験を行った。その結果、PNA自身に付随する流れの非線型性は、正のPNAを弱める一方で負のPNAを強めることが分かった。この非線型性は絶対渦度保存則や基本場の変化として説明することができ、負のPNAが生じている時の場がより不安定であることを示している。また、非線型効果は観測されるPNAのPDFを定性的に説明する。具体的には、非線型性によってエルニーニョ時には強い正のPNAイベントは減少し、ラニーニャ時には強い負のPNAイベントは増加する。このことから、エルニーニョ・南方振動(ENSO)のような時間スケールの長い現象は、流れの非線型性を通してPNAの出現確率を変調していると考えられる。傾圧モデルを用いた診断により、この非線型効果はPNA以外の他のテレコネクションパターンでも無視できない寄与を果たしていることが示唆された。

申請者は非常に丁寧にデータを解析しており、かつ、論文および発表における論旨展開も明快であった。このことは、申請者の研究者としての資質を示すものである。本研究の成果は、PNAパターンをどう理解するかという問題に有益な示唆を与えるにとどまらず、PNAパターンを予測するために重要な過程を明らかにしたという点で大気循環変動の研究に大きく貢献するものである。

審査委員一同は、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、大学院博士課程における研鑽や修得単位などもあわせ、申請者が博士(地球環境科学)の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。