

氏名・(本籍)	わた なべ とも お 渡 邊 朝 生
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理博第1180号
学位授与年月日	平成2年4月25日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
研究科専攻	東北大学大学院理学研究科 (博士課程)地球物理学専攻
学位論文題目	西部北太平洋における海面水温アノマリの形成過程の研究 —— 東アジア冬季季節風の役割 ——
論文審査委員	(主査) 教 授 鳥 羽 良 明 教 授 田 中 正 之 教 授 近 藤 純 正 助 教 授 花 輪 公 雄 助 教 授 川 村 宏

論 文 目 次

第1章 序論

1. 1 本研究の背景
1. 2 本研究の構成

第2章 西部北太平洋における海面水温の経年変動の特徴

2. 1 はじめに
2. 2 資料
2. 3 西部北太平洋の海況
2. 4 海面水温アノマリの空間分布
2. 5 海面水温の経年変動の時間スケール
2. 6 海面水温の経年変動の季節依存性

2. 7 海面水温の経年変動と ENSO の関係

2. 8 まとめ

2. 9 付録 2 - 1

2. 10 付録 2 - 2

第3章 東アジア冬季季節風と気温の経年変動の関係

3. 1 はじめに

3. 2 冬季の大気大循環と東アジアの季節風

3. 3 資料

3. 4 時系列に見られる経年変動の特徴

3. 5 冬季の季節風指数と日本の気温の関係

3. 6 冬季の季節風指数と西部北太平洋沿岸の気温の関係

3. 7 西部熱帯太平洋の変動と東アジア冬季季節風の関係

3. 8 まとめ

第4章 西部北太平洋海面水温変動における東アジア冬季季節風の効果

4. 1 はじめに

4. 2 西部北太平洋の冬季の気候

4. 3 MOI, SOI と気温, 海面水温の相関

4. 4 海面水温と海面気圧の関係

4. 5 MSI によるコンポジット解析

4. 6 まとめ

第5章 日本南方海域での冬季の海面水温アノマリの形成と海面熱収支, 運動量流入の関係

5. 1 はじめに

5. 2 半旬平均値海上気象資料の作成

5. 3 季節変化の特徴

5. 4 等価混合層水深 (EMD)

5. 5 低水温アノマリ冬季と高水温アノマリ冬季の季節変化

5. 6 まとめ

第6章 日本南方海域における冬季の大気の短周期変動と海面水温変動の関係

6. 1 はじめに

6. 2 日本南方海域の冬季の大気変動の時間スケール

6. 3 総観時間スケールでのコンポジット解析

6. 4 10-30日時間スケールでのコンポジット解析

6. 5 まとめ

第7章 まとめ

謝辞

参考文献

表と図

論文内容要旨

本研究は、西部北太平洋における海面水温の経年変動の特徴と、その形成過程における東アジア冬季季節風の役割を明らかにすることを目的としたものである。

第1章では、序論として本研究の位置づけを行った。

第2章では、西部北太平洋の海面水温（以下 SST と略記）の季節平均値データセットを用いて、SST の経年変動の特徴について調べた。相関解析、スペクトル解析により SST アノマリの空間分布、時間スケールを明らかにし、EOF 解析によって SST アノマリの時間発展の季節依存性について調べた。元にしたデータセットは、気象庁提供の100°E から170°W、赤道から60°N までの西部北太平洋を対象とする北太平洋気候表に含まれる、 2° （緯度） $\times 5^{\circ}$ （経度）の小海区ごとに整備された月平均値データである。また、対象期間は1961年から1985年までの25年間である。

ある小海区と他のすべての小海区との相関係数の絶対値の平均によって定義された平均相関の分布から、西部北太平洋の SST の経年変動を代表する海域が、日本南方海域（20°N-30°N, 125°E-140°E）とその南東方の亜熱帯海域（15°N-20°N, 150°E-160°E）に存在することがわかった。両海域の SST アノマリを規格化し差をとって作成した SST インデックスとの相関解析から、冬季と春季に日本南方海域とその南東方海域とで逆相関を持つ相関パターンが抽出された。20°N 付近を境にした SST アノマリの南北振動パターンが、西部北太平洋の寒候期の SST の経年変動の空間分布の特徴である。これらの海域の経年変動には、数年および5～6年の時間スケールが卓越している。

SST インデックスを基準とした冬季の SST と、137°E 線に沿った日本南岸から赤道までの水温断面のコンポジット解析から、日本南方海域の SST アノマリは低温の時に深い海洋混合層、高温の時に浅い海洋混合層を伴うことがわかった。また、亜熱帯域の SST アノマリは西部熱帯太平洋に維持されている暖水域の面的な広がりの変動を強く反映している。

各海域の SST アノマリの時間発展の季節依存性とその ENSO イベントとの関連を明らかにするため、日本南方海域（A 海域）、西部北太平洋熱帯域（B 海域）、中部北太平洋（C 海域）の海域平均水温時系列を作成し、EOF 解析を行った。データを12季節（3年） \times 22年のデータセットに整理し、連続する3年間のアノマリの時間発展の主成分を抽出した。A 海域では、冬季に SST アノマリが現れ、秋季まで維持するモードが得られた。このモードはアノマリの符号が秋季から冬季にかけて逆転する傾向を示し、2年周期的性格を持つ。B、C 海域の第1主成分は、共に春季から夏季にかけてアノマリが出現し、翌年の春まで持続するモードである。

南方振動指数（SOI）との相互相関解析から、3海域の主モードは ENSO イベント発生時に出現しやすいことがわかった。ENSO イベントは強い季節依存性を持ち、春季から夏季にかけて出現し、翌年の春季まで持続する。B・C 海域の時間発展は ENSO イベントと同期し、東部熱帯太平洋に正の SST アノマリが出現する時、同時に負の SST アノマリが現れる。これに対

し、A 海域には ENSO イベントとの間に 90° の位相のずれがあり、ENSO イベントの前半の冬季、秋季には負の SST アノマリが現れるが、ENSO 冬季以降には正のアノマリに交代する。この結果は、日本南方海域の SST アノマリの時間発展に対する冬季の重要性を示している。

日本南方海域での SST アノマリの持続性の詳細な空間構造を調べるため日本南方海域の冬季の SST アノマリと各季節の西部北太平洋 SST、夏季の 137°E 水温断面とのラグ相関解析を行った。秋季とのラグ相関から、130°E-140°E、20°N-30°N の海域での持続性が高いことがわかった。夏季の 137°E 断面とのラグ相関から、20°N-30°N の領域で、表層に広がる混合層の下に正相関を持つ層が現れ、冬季の SST アノマリののが亜表層に記憶されていることが示された。冬季の SST アノマリの以後の季節への持続は、冬季に形成される 100~300 m の厚さを持った混合層に熱アノマリとして記憶されること、また冬季に黒潮流域で形成されこの海域の亜表層に流入してくる亜熱帯モード水の存在が関与している。

第 3 章では、日本南方海域での SST アノマリの形成にとって重要な冬季の東アジアの気候の経年変動と季節風の吹き出しとの関係について調べた。用いた資料は、季節風の強さをあらわす、バイカル湖岸のイルクーツクと北海道の根室の気圧差で定義された季節風指数（以下 MOI と略す）、日本の 15カ所の気温データ、および西部北太平洋沿岸域の気温データである。北半球地表気圧場、500 hPa 高度場との相関解析から、MOI はシベリアから西部北太平洋にかけての大気循環場の変動をよく反映し、この領域の変動場を統一的に表現する一つの有効な指標であることがわかった。また西部熱帯太平洋域の対流活動とも相関を持つことが、外向き長波放射量（OLR）との相関から示された。

日本の冬季平均気温の EOF 第 1 主成分の空間パターンは 35°N から 30°N の緯度帯に中心を持ち、本州以南が相関を持って変動していることが示された。そして EOF 第 1 主成分の時系数と MOI とは 0.79 の相関係数を持ち、MOI が高（低）指数の冬季には吹き出しが強（弱）く日本の気温は低（高）いという関係が成立していることがわかった。各月ごとに見ると、日本の気温が MOI と相関をもつのは 11 月から 3 月までの期間である。この期間での日本の気温の経年変動は、季節風の吹き出しに伴う寒気の移流の強弱に対応して現れる。

西部北太平洋の沿岸部、シベリアに位置する気象官署の冬季の気温と MOI との相関解析から、オホーツク海沿岸に MOI と 0.6 程度の正相関が出現すること、45°N 付近に節が存在し、それより南では日本を中心とした MOI との負相関域が赤道直下のシンガポールまで広がっている。MOI はユーラシア大陸東岸の冬季の気候の変動をよく表現し、中高緯度の現象である季節風の吹き出しが熱帯域にまで影響を与えていることがわかった。

西部熱帯太平洋の変動と季節風の吹き出しとの関係を、ダーウィン（オーストラリア北部）の気圧資料を用いて調べた。MOI との相関解析は両者の間に弱い負の同時相関関係が存在し、MOI が高（低）指数の時、西部熱帯太平洋の気圧が低（高）く、対流活動が強（弱）いという関係がある。さらに詳しい解析によると、MOI が弱い場合の関係が出現しやすいことがわかった。熱帯域の情報は ENSO イベントの発生している冬季のように西部熱帯太平洋の対流活動が

弱いときに日本付近の季節風の吹き出しを弱くする形で伝わりやすいことを意味する。

第4章では、季節風の吹き出しと SST 変動の関連を MOI, SOI との相関解析から調べ、さらに、西部北太平洋の SST, 海面気圧, 雲量の相互の関係についての考察を行った。SST データセットは2章で用いたものと同じである。他の気象データも SST と同様にして北太平洋気候表から作成した。

MOI と SST との相関係数の分布には、30°N に沿った日本南方海域に負の相関、20°N, 160°E 付近を中心とした海域に正の相関が存在する。日本南方海域では、季節風の吹き出しが強(弱い)冬季には低温(高温)の SST アノマリが出現する。西部北太平洋の SST アノマリの特徴である冬季の南北振動パターンの、北側の部分の日本南方海域の SST 変動は季節風の吹き出しによって形成されていることを意味する。SOI と SST 場の相関も MOI の場合と同様のパターンを示すが、詳しく見ると、相関の中心が MOI の場合よりも日本南方海域の沖合いに移るといふ違いがある。SST 場が SOI と相関を持つことは、SOI が MOI とは別の形で日本南方海域の季節風の吹き出しに影響をあたえている可能性を示唆している。MOI と SOI の合成指数、MSI (MOI+SOI) とによって相関場がより明瞭に抽出されることがわかった。

MSI を基準としたコンポジット解析から、季節風の吹き出しの変動に伴い、西部北太平洋の SST, 気圧場, 雲量が一体となって変動していることがわかった。日本南方海域での季節風の吹き出しが強い冬季に、熱帯域の暖水の占める領域が北に広がり、日本南方海域には負の SST アノマリが出現する。気圧場では、アリューシャン低気圧、熱帯の低気圧部の位置が大陸がわに拡大し、シベリア高気圧を取り囲む領域で気圧傾度の強さが増す。フィリピン諸島南部で雲量が増え、積雲対流の活発化を示唆する。吹き出しが弱い冬季にはこの逆の変動が現れる。

第5章では、季節風の吹き出しの影響を大きく受ける日本南方海域の秋季から冬季にかけての SST アノマリ形成過程を熱収支、海面風応力の時系列データを用いて定量的に調べた。対象とした海域は、旧南方定点付近にあたる27°N~30°N, 133°E~136°E の3°(緯度)×3°(経度)の領域である。気象庁より提供を受けた船舶海上気象観測資料から、1961年から1986年までの SST, 海上気象要素、海面熱収支、海面風応力等の半月平均値データセットを作成した。また、海面熱収支データと SST の微分から等価混合層水深 (EMD) をもとめた。

日本近海に負の SST アノマリが出現する冬季と正のアノマリが出現する冬季のコンポジット解析を行い、SST, 海面熱収支, U_{surf} , EMD の時間発展を調べた。冬季の SST アノマリは、11月下旬に現れ、翌年の5月まで持続する。その出現には、海面熱収支の寄与が大きい。EMD のアノマリは、SST アノマリが確立された1月に現れ、それぞれのカテゴリーでの海洋混合層深さの特徴が1月の海面熱収支、海面風応力に対応して形成されていることがわかった。

第6章では、季節風の吹き出しの実際の時間スケールである、数日から数十日の時間スケールでの大気変動の特徴、SST の応答について調べた。用いたデータは、南西諸島の気象データ、沿岸水温データ、1950年~1953年まで29°N, 135°E を中心とする海域に通年で設置された旧南方定点 (OWS-T) の海上気象データ、1970年後半から運用されている海上気象ブイデータなど短

周期変動を検出できるものである。

南西諸島の気圧、気温のスペクトル解析から日本南方海域の海上気象は2日～10日（総観時間スケール）、および10日～30日の時間スケールを持つことがわかった。まず、2～10日周期帯での気圧のゼロクロス時を基準時刻とする、総観時刻スケールのコンポジット解析を行った。季節風の吹き出しは、気圧の谷通過後の1～2日間に起こり、この期間に沿岸水温が急激に下降することがわかった。OWS-T、プイの水温、熱収支データに対するコンポジットから、季節風の吹き出し時の増大した海面での熱放出によって SST、混合層水温が降下することがわかった。海面での熱放出の増大には、特に潜熱の放出が大きく寄与している。

10日～30日の時間スケールでのコンポジット解析を、名瀬の10日～50日の周期帯でバンドパスされた気圧のゼロクロス時を基準時刻として行った。気圧の谷に入ってから気圧の尾根が抜けるまでの時間は16～17日である。気圧の谷通過後の5日間に季節風が吹き出し、海面から熱放出が活発となる。潜熱の増加からの寄与が大きい。北半球の気圧、500 hPa 高度の半旬平均値データのコンポジットから、この時間スケールの変動が極寒気の蓄積とその放出にともなう現象であること示唆された。OLR のコンポジットからは、吹き出しが西部熱帯太平洋の対流活動の活発化に寄与していることがわかった。

最終章の第7章では、本研究から得られた西部北太平洋の SST の経年変動に関する知見をまとめるとともに、今後の研究課題について記した。

本研究の結果から、西部北太平洋の SST アノマリの時間発展にとって冬季が重要な季節であること、日本南方海域での冬季の SST アノマリは冬季の東アジアの気候を支配する季節風の吹き出しによって直接的に形成されることが明らかになった。また、日本南方海域での季節風の強さは、西部熱帯太平洋の SST、対流活動と相関を持ち、熱帯域の大気・海洋変動の影響を受けていることがわかった。

日本南方海域の冬季の SST アノマリの形成過程については1次元過程が重要であると考えられるが、その維持過程についての理解を進めるには、海洋の循環場の詳細な解析が望まれる。また、今後、西部北太平洋の SST の中高緯度の対流活動場に対する影響を明らかにし、西部北太平洋の SST 変動のグローバルな気候変動系のなかでの位置づけの解明を進める必要がある。

論文審査の結果の要旨

渡邊朝生提出の論文は、気象要素と海洋要素にわたる多くの種類の膨大なデータを、総合的に、新しいさまざまな統計解析手法を用いて解析し、北太平洋西部の全海域にわたって、海面水温場の形成の仕組みを、事実としての現象面から明らかにすることを試みたものである。

新しく得た知見として、まず海面水温分布に客観的相関解析の手法を適用して、日本南東方海域とその南側の西部北太平洋熱帯海域とが互いに逆相関の変動をしている事実を得ている。この変動と大気の大循環場を反映する指数との関連を調べたが、熱帯の対流活動の強さと位置の変動を示す南方振動指数(以下 SOI と呼ぶ)、および、冬季のシベリア高気圧からの寒気の吹き出し、すなわち季節風の強さを示す季節風指数(以下 MOI と呼ぶ)と西部北太平洋の海面水温の変動とが、有意に高い相関を持つことを見いだしている。すなわち、西太平洋赤道海域の海大陸上での対流活動が活発なとき、ならびに季節風の強いときに、日本南東方海域の海面水温は負のアノマリとなる。また SOI と MOI の線形結合形としての新しい指数を提案し、これが日本南東方海域の海面水温変動とより高い相関をもつことを示している。

次に、海洋亜表層の水温場の解析から、上記の負のアノマリが、冬の強い季節風による大気への大きな熱フラックスによって生ずる、厚い海洋混合層の低温化として海に記憶されるために、その冬の状態がその年間を通じて持続することを見いだしている。これは海面水温に2年の周期性があることの発見となっている。

この2年周期における水温アノマリの逆転は秋から冬にかけて起こるが、全球的偏西風の蛇行と関係するシベリア高気圧とアリューシャン低気圧の消長が、季節風の消長となって作用していることを見いだしている。

西部北太平洋の水温アノマリと、中部・東部北太平洋に PNA テレコネクションパターンと連動して現れる水温アノマリとが、90°すなわち半年の位相のずれをもっていることを見いだしているが、これは、上記のように中緯度西部での水温アノマリの出現が冬季季節風の消長による季節依存性を持つことによる。

最後に冬季の季節内変動としての、季節風の吹き出しのタイムスケールで、気象現象と水温変化の過程を関係づけている。

以上のように、本論文は、西部北太平洋の海面水温アノマリの形成過程について資料解析の手法で精細な研究を展開し、多くの重要な知見を見いだしたものである。これは申請者が自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。

よって渡邊朝生提出の論文は、理学博士の学位論文として合格と認める。