

論文審査の結果の要旨

氏名 小川史明

中緯度における暖流と寒流の合流域である中緯度海洋前線帯は、南北幅の狭い強い水温勾配を伴う。この海域の海面水温は、他の中緯度海域と異なり、中高緯度対流圏大循環の形成に対して能動的に影響し得ることが近年の研究から明らかになりつつある。気候平均場においては、移動性擾乱活動の活発域であるストームトラックとそれらが駆動する西風の極前線ジェット (Polar Front Jet; PJF) は、中緯度海洋前線帯の近傍に形成されることが知られており、そこでは前線帯に伴う強い地表気温勾配が擾乱活動を活発化させている。一方、偏西風の長周期変動として中高緯度域の天候に深く関わる環状モードは、PJF の南北変動として認識されてきたものの、その生成メカニズムに関して海洋前線帯の役割に注目した研究はこれまでほとんどない。

申請者は、大気大循環モデル (Atmospheric General Circulation Model; AGCM) を、全球が海洋に覆われた「水惑星」という理想的な条件のもとで用いて様々な数値実験を実施し、仮想的な海洋前線帯に対する大気の応答を調べた。特に、水温勾配の極大緯度や強度を系統的に変えた一連の数値実験により、環状モードの力学特性やその成層圏循環変動との結合に対して中緯度海洋前線帯が及ぼす影響を解明することを試みている。

第 1 章において、環状モードに関するこれまでの観測的・数値的研究のレビューが行われた。環状モードの空間構造、半球ごとの特徴、気候平均のジェットや波動強制との関連性、成層圏-対流圏結合などを広範にレビューした後に、本研究の土台となる海洋前線帯の気候平均場への影響を、申請者自身の出版済み論文を含めていくつかの文献を参照しつつ説明している。強い海面水温勾配が顕熱フラックスを通じて大気下層の傾圧性を維持することで、擾乱の駆動する PJF の位置を決めているというプロセスが解説され、これが以降の章で論じる海洋前線帯の環状モードへの影響という研究課題に結び付けられている。

第 2 章では、海洋前線帯の緯度が冬季対流圏環状モードの特徴をどれほど規定し得るかを、海洋研究開発機構で開発された AGCM の水惑星実験で調べた。主に南半球の環状モードを想定して、中緯度南西インド洋で観測される海面水温の南北分布を東西一様に与えた。基準となる実験に加えて、海洋前線帯を 5 度ずつ南北にずらす、あるいは前線帯に伴う水温勾配を消去するなどして、数種類の感度実験を行った。その結果、海洋前線帯が中高緯度に位置する場合、AGCM に現れた PJF の東西一様な長周期変動は海洋前線帯の緯度に強い依存性をもつことが示された。この依存性は、環状モードの正位相と負位相の間の強い非対称性を含む。すなわち、PJF の極大緯度は、正位相時には与えられた海洋前線帯の緯度に追随する一方、負位相時には海洋前線帯の緯度によらず、海洋前線帯がない場合の気候平均状態に対応する南緯 38 度付近に現れた。この結果は、モデルにおける環状モードが「ダブルジェット

ト」型と、「シングルジェット」型の循環レジームの間の遷移として理解できることを示しており、それぞれが海洋前線帯の対流圏大気への影響が強い場合と弱い場合に対応していることが明らかになった。

第3章では、別の水感星実験を用いて、成層圏—対流圏結合に対する海洋前線帯の潜在的な重要性を評価した。特に、近年の成層圏オゾン減少に伴って、南半球の対流圏循環が変化しているという観測的研究を受けて、成層圏オゾン減少に対する平衡大気応答が海洋前線帯の有無でどう異なるかを調査した。その結果、強い海面水温南北勾配が中緯度に存在すれば、成層圏オゾン減少がモデルに与えられたときに、対流圏の波活動が応答して東西風偏差を形成し、観測されたような夏季対流圏の西風強化が再現されることが分かった。こうした対流圏の西風応答は、海面水温勾配を緩和すると現れなくなることから、成層圏オゾンの減少に強制された東西風偏差の対流圏への下方伸展に対して、海洋前線帯に伴う海面水温勾配が必要条件として働いていることが示された。この成層圏—対流圏結合過程は、モデル内の年々変動でも同様に見られ、やはり強い海面水温勾配がないと環状モードの南北構造は歪められて成層圏の対流圏の循環変動が連動しなくなることも解析から明らかにされた。

以上のように、本研究では、中緯度の強い海面水温勾配が環状モードの生成および成層圏—対流圏結合において能動的な役割を果たすことが数値的に明らかにされており、中緯度海洋前線帯の大気大循環に対する重要性を、平均状態の議論から変動を含むものへ拡張した点で、気候力学に重要な貢献をなし得るものである。現実との対応、より深い力学過程の考察など、今後明らかにすべき点もあるが、中高緯度対流圏大気循環における中緯度海洋前線帯の役割をこのように調べた意義は大きいと考えられる。なお、本論文に関連する結果として中村 尚氏をはじめとする数名の共同研究者との共著論文が1編あるが、論文提出者が主体となって計算及び解析をおこなったものであり、提出者の寄与が十分であると判断される。また、博士論文の成果についても、申請者を筆頭著者とした3編の論文として年度内に投稿される見込みである。

上記の理由から、博士（理学）の学位を授与できると認める。