

# 論文審査の結果の要旨

氏 名 岡本 功太

地球の中層大気（成層圏・中間圏）には、対流圏大気とは異なる大気大循環が存在する。中層大気の大循環は、大気波動の砕波や散逸による強制によって駆動されている。その大気波動の中で、惑星波は水平スケールが大きく多くの事が理解されている。一方重力波は水平スケールが小さい為、全球的観測は極端に少なく、その大循環に果たす役割は十分に理解されていない。論文提出者は、4次元同化再解析データや気候モデルの出力結果を用い、中層大気大循環やその気候変化に対する重力波の役割を研究している。

論文は5章からなる。第1章では、これまでの研究と問題の背景が述べられている。第2章では、赤道から極へ向かう子午面循環（Brewer Dobson 循環）への重力波の役割を研究している。この循環は、惑星波や重力波の砕波や散逸によって駆動されるが、ERA-Interim 再解析データから、ダウンワードコントロールと呼ばれる原理を用い、モデルで解像される波と重力波の寄与を分離して評価し、以下のような結果を得た。夏半球低緯度の深い循環と下部成層圏中緯度の浅い循環は重力波によって駆動されている。熱帯域の上向き質量フラックスを評価すると重力波の寄与が30% 程度ある。ターンアラウンド緯度(赤道域上昇流から中緯度下降流に変わる緯度)は、解像される波のみでは決まらず、重力波の寄与が大きいことを示唆している。質量フラックスは下部成層圏では1年周期の変動をするのに対し、中部成層圏では半年周期の変動をする。高度による違いは惑星波の半球間の違いや重力波の寄与の高さによる違いで説明できる可能性がある。これらの結果は、下部から中部成層圏においても重力波が成層圏循環に対して重要な役割を持つことを示唆している。

第3章では、Whole Atmosphere Community Climate Model を用いて、21世紀の成層圏オゾン回復と温室効果ガス増加に対する中間圏と下部

熱圏の応答と重力波の役割を研究している。初夏の南極域下部成層圏は、オゾン回復トレンドの影響を受けた高温偏差のため東風トレンドとなり、そのため中間圏へ達した重力波はそこで西風加速トレンドをもたらす。それとバランスするような中間圏の赤道向き循環が、夏極域での上昇流の強まりと低温傾向をもたらす。一方、下部熱圏の温度トレンドには非断熱的な応答が寄与している可能性を示唆している。温室効果ガスとオゾンの寄与を温室効果ガスが増加するシナリオと増加しないシナリオを比較することにより、中間圏気温の下降トレンドには下部成層圏のオゾン増加の影響が大きいことがわかった。下部熱圏の応答にはシナリオ間での差が顕著に現れ、温室効果ガスの影響が大きいことを示唆している。この結果は、極域下部成層圏オゾンの変動と二酸化炭素の変動を変数にとった温度変動についての多重回帰解析でも確認されている。

第4章では、熱帯上部成層圏半年周期振動(Semi-Annual Oscillation)と中高緯度大気の関係、及び大気波動の役割について、気候モデルと長期再解析データを用いた解析を行った。南半球の冬に着目し、極夜ジェットのコアとSAO東風の間にある上部成層圏中緯度域では惑星波が、極夜ジェット上部では重力波が駆動する極向きの強い流れ、亜熱帯での赤道向きの循環により極夜ジェットコア上部赤道側に強い上昇流ができ、SAO東風と極夜ジェットは季節進行とともに高度を下げている。7月に着目した統計解析では、SAO東風の強さと高度、極夜ジェットの位置の年々変動にも相関が見られた。SAO東風の強さが弱い年と強い年を抽出した合成図解析では、SAO東風が強い年に中緯度上部成層圏の惑星波強制が大きく、亜熱帯中間圏の循環には赤道向き偏差、極夜ジェット上部赤道側の上昇流が強化される傾向にあり、極夜ジェットコアはより極側下側に存在する。一方、極夜ジェットの高度について高い年と低い年を比較すると、低い年の方が惑星波は上部成層圏赤道向きにより伝播する傾向にあり、低緯度域の東風は強く、東風領域もより高緯度側へ広がる様子が見られた。これらの結果は極夜ジェットとSAO東風が大気波動を介して位置や強さに相互に影響を与えうる可能性を示唆している。

第5章は全体のまとめとなっている。

論文提出者は、再解析データや気候モデルの出力結果を解析することで、

中層大気大循環への波動の役割を詳細に研究した。BD 循環への重力波の寄与が 30%程度であること、成層圏オゾンの回復と温室効果ガスの増加に伴う中間圏大循環の変化メカニズム、南半球冬季の極夜ジェットと赤道域上部成層圏 SAO との相互作用の可能性の指摘は、本研究で初めて行われた。これらは、独創性が高く優れた研究と評価できる。

なお、本論文第3章はR. R. Garcia、D. R. Marsh、A. K. Smith、佐藤薫氏との、4章は佐藤薫、渡辺真吾氏との共著論文の予定であるが、論文提出者が主体となって問題の設定、種々の解析をおこなったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、論文提出者に博士（理学）の学位を授与できると認める。