

論文審査の結果の要旨

氏名 安井良輔

北極域成層圏では冬季、数日間のうちに気温が数十度上昇する成層圏突然昇温 (SSW) がたびたび発生する。近年、北極域での SSW に引き続いて南半球で中間圏から下部熱圏に気温上昇が現れることが衛星観測や数値シミュレーションから明らかになった。本論文は、この南北半球間結合について、先行研究において提案されたメカニズムを見直し、数値シミュレーションデータの解析に基づき新たなメカニズムを提示したものである。

本論文は5章からなる。第1章はイントロダクションであり、まず中層大気 (成層圏・中間圏・下部熱圏) の基本的な温度構造・大気循環と SSW の駆動メカニズムについて総括したのち、本論文の主題である南北半球間結合について、観測あるいはモデルで再現された特徴と、提案されているメカニズムを先行研究に基づきまとめている。さらに、この提示されているメカニズムに欠けていた、中層大気中での波動生成に関する近年の研究を概観し、南北半球間結合の形成メカニズムを再検討する必要性を論じ、本論文の目的と構成を示している。

第2章ではまず、本論文で解析する、中性大気-電離大気結合モデル GAIA によるシミュレーションデータ及び衛星観測・大気再解析データの概要が示される。本論文は GAIA シミュレーションデータを主に用い、観測・再解析データはモデルの検証のために利用可能なところで併用する。続いて、本論文で評価する力学的診断量が先行研究に基づいて導入される。中層大気の子午面循環や気温構造を駆動するのは波動による東西平均東西風加速であり、これを診断する Eliassen-Palm フラックスの発散 (EPFD) が導入される。また、第3章及び第4章で用いる合成図解析の手法も提示される。第2章の最後に、GAIA シミュレーションにおける東西平均気温・東西風・EPFD の気候学的特徴を観測と比較することでモデル評価を行い、以降の解析に同シミュレーションが利用できることを確かめている。

第3章は本論文の核心であり、南北半球間結合に伴う東西平均量及び EPFD の偏差に基づき、この結合変動のメカニズムを提示している。合成図解析では、SSW と付随する赤道成層圏低温偏差の極大から数日後に南極域下部熱圏に高温偏差が形成され、これが5日程度かけて上部中間圏まで下降しながら中緯度まで張り出す特徴が見出された。波成分ごとに分解した EPFD から、下部熱圏と上部中間圏の昇温がそれぞれ、解像された重力波、ロスビー波と混合ロスビー重力波によって形成されていることが示され、特に後者には準2日波 (主に東西波数3の混合ロスビー重力波) が寄与していることがわかった。さらに、この準2日波及び重力波の一部はそれぞれ、中間圏における順圧・傾圧不安定とシア不安定によって生成されていることも明らかになった。これらの不安定は、対流圏から上方伝播する高波数の重力波が、赤道成層圏低温偏差に伴う南半球成層圏の東西平均東西風偏差によって変調され、中間圏の風速場を変えることで作り出されていることが

示唆された。以上のメカニズムは、下方からの影響で形成された中間圏大気循環の不安定によって2次的に励起される準2日波や重力波の重要性を明らかにした点で、対流圏からの重力波の変調による直接影響だけで半球間結合を説明しようとした先行研究のメカニズムを書き換えるものである。

第4章では、南北半球間結合に伴う一連の偏差の東西構造を議論している。南半球中間圏において、シア不安定は対流圏からの重力波強制偏差が見られる $60^{\circ}\text{W}\sim 60^{\circ}\text{E}$ で頻度が増加しており、そこから上方に放射される西向き伝播重力波によって下部熱圏の高温偏差が赤道成層圏低温偏差よりも西方に形成されていた。一方、順圧・傾圧不安定は $80^{\circ}\text{E}\sim 160^{\circ}\text{W}$ で強化され、そこで準2日波の活動も強くなっていた。これらの結果は、第3章で論じた中間圏内部での不安定による波動生成を支持する。

第5章では、本論文の結果を総括するとともに、今後のさらなる発展への方向性が述べられている。特に、本論文で用いたGAIAシミュレーションは水平解像度が不高くないため、より高解像なモデルを用いた検証が必要であること、また、中性大気南北半球間結合に伴う電離大気変動の可能性についても論じられている。

以上のように、本論文は、観測データとモデルシミュレーションデータを組み合わせた解析により、南北半球間結合について先行研究で提示されていた形成メカニズムを刷新し、中層大気に対する理解の向上に大きく貢献するものである。なお、本論文第3章と第4章は佐藤薫教授及び九州大学の三好勉信准教授との共同研究であるが、論文提出者が主体となって解析及び検討を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。