

論文審査の結果の要旨

氏名 山下 陽介

太陽活動の11年周期変動は、成層圏のオゾンや気温変動に影響を与えることが知られている。これまでの研究では、1980~2000年における衛星観測データや全球客観解析データを用いた重回帰解析により、下部成層圏および上部成層圏におけるオゾン・気温の太陽活動の11年周期に伴うシグナルが検出され、議論されてきた。しかし、解析されたデータ長が11年周期を検出するに十分でないと考えられること、太陽活動と同程度の数年の周期をもつ内部変動が赤道成層圏の風や海面水温に見られること、また、期間中大規模な火山噴火が約10年間隔で起こっていることから、有意な推定がなされていない可能性が高かった。本論文では最新の3次元化学気候モデル(Chemistry Climate Model; CCM)を用いて、成層圏変動に影響する太陽活動とそれ以外の要因との切り分けを行い、また、太陽活動が成層圏変動をもたらすメカニズムについて力学的、化学的視点から考察を行った。本論文は5章からなる。

第1章は、本論文のイントロダクションであり、目的と背景を述べている。

第2章は、本論文で使用した3次元CCMの概要、実験設定、および解析手法について述べている。

第3章では、3次元CCM感度実験を行い、太陽活動とそれ以外の様々な要因による赤道成層圏11年変動への寄与を切り分けて解析している。本研究で用いた3次元CCMは、成層圏過程とその気候への影響に関する化学気候モデル検証国際プロジェクトによりほぼ現実大気を再現することが確認されている。本論文では、同国際プロジェクトで行われた近過去再現実験の出力データを、基準実験データとして用いると共に、太陽活動以外の要因として、赤道成層圏準2年周期振動(QBO)、火山噴火に伴うエアロゾル変動、海面水温(SST)の時間変化に注目し、これをON/OFFして基準実験と同様の期間のシミュレーションを行い、計7種類の疑似データを作って、先行研究と同様の解析を行い比較した。解析期間は、先行研究と同様に1980~2000年とした。太陽11年変動を含まない感度実験では、上部成層圏におけるオゾン、気温変動のピークが不明瞭となることから、上部成層圏の変動は太陽放射の変動に伴うものである可能性が高いと結論された。一方、下部成層圏に見られるシグナルは、火山噴火を除去した実験では、顕著に小さくなった。太陽活動のみによる変動は無視できない大きさではあるが、むしろ、火山噴火に伴う化学プロセスが大きく影響しており、見掛け上太陽11年周期に同期する変動として検出されている可能性があるとわかった。

さらに、統計的有意性を担保するため、火山噴火イベント、QBOを除き、SSTを固定とし、太陽定数を太陽活動極大期および極小期の値で一定として、季節変化のみを含む42年計算をおこなった。太陽定数極大期実験と極小期実験の成層圏オゾンおよび気温における差は、火山噴火を除去し太陽変動を含む感度実験で検出された変動成分と一致していた。したがって、太陽変動は上部成層圏だけでなく下部成層圏においても弱い有意な変動をもたらすことがわかった。

第4章では、オゾンによる放射過程では説明しにくい、太陽活動極大期の下部成層圏の高温シグナルのメカニズムについて、全球にわたる波活動度とラグランジュ的子午面循環の視点から解析した。太陽活動の活発化に伴うシグナルは、冬半球側に強く、特に北半球では、突然昇温などの大気の内部分動が弱い初冬に現れやすいことが知られている。そこで、太陽定数を極大期および極小期に固定した実験データを基に、両半球初冬の12月と7月における赤道下部成層圏の太陽活動に伴う変動成分の形成過程を解析した。極大期には、上部成層圏・下部中間圏での紫外線放射加熱が強く、中高緯度域で気温の南北勾配が強くなり、それに伴って冬季中緯度域の西風構造が大きく変形を受けることがわかった。これにより下層大気からの惑星規模ロスビー波の伝播特性が変わり、波の駆動する極向き子午面循環が弱くなり、赤道域での上昇流およびそれに伴う断熱冷却が弱くなって、下部成層圏での高温シグナルが形成されることがわかった。ロスビー波の伝播特性は、先行研究により示唆されてきた西風の強さでなく構造（曲率）により変化していたこともわかった。最後に、太陽活動極大期および極小期の季節変化の違いを解析し、第3章で議論した年平均場における太陽活動のシグナルは、主に初冬季の循環場が大きく寄与していることも確認できた。

第5章では、本論文全体の結論を述べている。

以上、本論文提出者は、3次元化学気候モデルを用いた系統的な実験を行い、得られたデータの高度な力学解析を行って、太陽活動11年周期変動をもたらす地球の成層圏大気の変動の大きさおよびその変動のメカニズムを定量的に明らかにした。これらの成果は、大気科学に大きく貢献するものである。本論文の研究内容は、本論文提出者が主体となって考え実験をおこない解析したもので、本論文提出者の寄与が極めて大きいと判断する。

従って、博士（理学）の学位を授与できると認める。