

学 位 論 文 題 名

Variations of Stratosphere-Troposphere Circulation Estimated by the Transformed Eulerian-Mean Formalism

(変形オイラー平均方程式系によって見積もら
れた成層圏-対流圏循環の変動に関する研究)

学位論文内容の要旨

成層圏-対流圏循環に関する研究は、人類起原の化学成分と物質の対流圏から成層圏への輸送とそれらの成層圏内での循環、それから全球規模の気候変動に対する人間活動の影響などを理解するうえで重要である。成層圏-対流圏循環を表わす平均子午面循環は熱帯域で対流圏界面を横切る上昇流、成層圏における極向き流れ、それから中・高緯度域対流圏への下降流として構成される。本研究では成層圏でラグランジアン平均運動のよい近似である変形オイラー平均 (transformed Eulerian-mean: TEM) 方程式系の残差平均子午面循環を用いて、まだ十分に解明されていなかった成層圏突然昇温に伴う大気角運動量及び1日の長さの変動、成層圏-対流圏循環の平均的な季節変化とそれに対する波数ごとの寄与及び長期変動について調べた。残差平均子午面循環と質量フラックスは10年間 (1985.12.1-1995.11.30、1日1回) のNMCデータを用いてTEM方程式系の東西運動方程式と連続方程式から求め、長期変動を調べる解析方法としては重回帰統計モデルを用いる。

短期の変動として1989年2月の突然昇温に伴う成層圏循環の変動を調べた結果、昇温の起こる約3週間前から成層圏大気角運動量が減少し、1日の長さが短くなることが分った。昇温後、成層圏大気角運動量は回復した。他の例でも同様の傾向があることが分った。

平均的な季節変化について調べた結果、100 hPa面を横切る南半球中・高緯度域の下向き質量フラックスは5月最大、1月最小、北半球中・高緯度域の下向き質量フラックスは12月最大、6月最小、それから熱帯域の上向き質量フラックスは11月最大、6月最小の年変化を示す。100 hPa面における年平均上向き質量フラックスは 101.8×10^8 kg/sであり、その面を通した大気の交換時間は1.6年である。南半球と北半球の中・高緯度域の下降流に対して南半球の夏を除いたすべての季節でプラネタリースケールの波が最も大きな寄与をする。特に南半球の春と北半球の冬は波数1の波の寄与が卓越し、北半球の夏は波数2の波が最も大きな寄与をする。南半球の夏、秋、冬にはシノプティックスケールの波の寄与も無視できない。熱帯域の上昇流に対しては、すべての季節でプラネタリースケールの波が最も支配的である。成層圏質量フラックスの収支からは特に冬の中部成層圏で極向き流れが弱いsubtropical transport

barrier の存在が確認された。

100 hPa 面を横切る熱帯域の上向き質量フラックスは赤道域の準 2 年周期振動 (QBO) の東風位相 (基準面: 50 hPa) のときに増加し、西風位相のときに減少する準 2 年周期変動を示す。この QBO に伴う変動の大きさは 19×10^8 kg/s である。QBO の位相差による循環アノマリでも QBO 東風位相のときに熱帯域で上昇し、亜熱帯域で下降する循環が見られた。100 hPa 面を横切る熱帯域の上向き質量フラックスは 1.4×10^8 kg/s/year の比率で時間と共に増加するトレンドを示す。重回帰分析の残差として熱帯域の上向き質量フラックスにピナトゥボ火山噴火のシグナルが見られた。熱帯域の上向き質量フラックスは 1991 年後半に急激に増加し、その増加は噴火後二つの季節にわたって最大である (1991 年 9-11 月: 35×10^8 kg/s)。噴火後最初の冬には約 25% の上向き質量フラックスの増加が見られた。ピナトゥボ火山噴火のシグナルは噴火後約 2 年半まで持続する。火山噴火前後の循環アノマリからもピナトゥボ火山噴火による両半球の中・高緯度域における下降流の増加が見られた。

北半球下部成層圏における高緯度域下降流の平均 (60° - 90° の重みつき平均) 速度は北半球の冬に最大 (約 2.0-2.1 km/month)、夏に最小 (約 0.0-0.5 km/month) である。南半球下部成層圏における平均下降速度は南半球の秋から春にかけて最大 (約 1.2-1.4 km/month) であり、夏に最小 (約 0.3-0.6 km/month) である。中・上部成層圏における平均下降速度は半球それぞれの冬に最大であり、高度と共に増加する。年平均した高緯度域成層圏の下降速度は南半球 (約 1.1-3.2 km/month) より北半球 (約 1.1-5.2 km/month) の方が大きく、それらの差は高度と共に大きくなる。高緯度域下降流の季節変化は両半球共に年周期成分が卓越するが、南半球の場合は半年周期成分も大きく、南半球冬の下降流はなべ底型の季節変化をする。両半球の高緯度域成層圏の平均下降流は QBO 西風位相 (50 hPa の東西風 5 m/s 以上を基準) のときに強くなり、東風位相のときに弱くなる傾向がある。その差は約 0.1-0.5 km/month であり、北半球と南半球ではほぼ同じである。このような高緯度域下降流の準 2 年周期変動は特に南半球の下部成層圏で統計的に有意である。ピナトゥボ火山噴火後、高緯度域成層圏の平均下降流は両半球で強くなる。その大きさは特に南半球で大きく (約 0.8-1.0 km/month)、下部成層圏から上部成層圏にわたってほぼ一様である。両半球の下・中部成層圏で平均下降流は時間と共に強くなる。このトレンドは 100-30 hPa で統計的に有意である。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 山 崎 孝 治

副 査 教 授 藤 吉 康 志

副 査 助 教 授 向 川 均

副 査 助 教 授 塩 谷 雅 人

副 査 松 野 太 郎 (地球フロンティア研究システム・システム長)

学 位 論 文 題 名

Variations of Stratosphere-Troposphere Circulation Estimated by the Transformed Eulerian-Mean Formalism

(変形オイラー平均方程式系によって見積もら
れた成層圏－対流圏循環の変動に関する研究)

成層圏-対流圏循環に関する研究は、人類起原の化学成分と物質の対流圏から成層圏への輸送とそれらの成層圏内での循環、さらに全球規模の気候変動に対する人間活動の影響などを理解するうえで重要である。

成層圏-対流圏循環を表わす平均子午面循環は熱帯域で対流圏界面を横切る上昇流、成層圏における極向き流れ、及び中・高緯度域対流圏への下降流として構成される。本研究では成層圏でラグランジアン平均運動のよい近似である変形オイラー平均 (transformed Eulerian-mean: TEM) 方程式系の残差平均子午面循環を用いて、今まで十分に解明されていなかった成層圏循環の変動について調べた。残差平均子午面循環と質量フラックスは10年間 (1985. 12. 1-1995. 11. 30、1日1回) のNMCデータを用いてTEM方程式系の東西運動方程式と連続方程式から求め、長期変動を調べる解析方法としては重回帰統計モデルを用いる。

短期の変動として1989年2月の突然昇温に伴う成層圏循環の変動を調べた結果、昇温の起こる約3週間前から成層圏大気角運動量が減少し、1日の長さが短くなることが分った。昇温後、成層圏大気角運動量は回復した。他の例でも同様の傾向があることが分った。

平均的な季節変化について調べた結果、100 hPa面を横切る南半球中・高緯度域の下向き質量フラックスは5月最大、1月最小、北半球中・高緯度域の下向き質量フラックスは12月最大、6月最小であり、熱帯域の上向き質量フラックスは11月最大、6月最小の年変化を示す。100 hPa面における年平均上向き質量フラックスは 101.8×10^8 kg/sであり、その面を通した大気の交換時間は1.6年である。南半球と北半球の中・高緯度域の下降流に対して南半球の夏を除いたすべての季節でプラネタリースケールの波が最も大きな寄与をする。特に南半球の春と北半球の冬は波数1の波の寄与が卓越し、北半球の夏は波数2の波が最も大きな寄与をする。南半球の夏、秋、冬には総観規模の波の寄与も無視できない。

熱帯域の上昇流に対しては、すべての季節でプラネタリースケールの波の寄与が最も支配的である。

100 hPa面を横切る熱帯域の上向き質量フラックス（以下、簡単のためフラックスという）は赤道域の準2年周期振動(QB0)の東風位相（基準面：50 hPa）のときに増加し、西風位相のときに減少する準2年周期変動を示す。QB0の位相差による循環偏差でもQB0 東風位相のときに熱帯域で上昇し、亜熱帯域で下降する循環が見られた。またエルニーニョの時にはフラックスが増大する傾向もみられた。重回帰分析の残差としてフラックスにピナトゥボ火山噴火のシグナルが見られた。フラックスは1991年後半に急激に増加し、その増加は噴火後二つの季節にわたって最大である。噴火後最初の冬には約25%の増加が見られた。火山噴火前後の循環偏差からピナトゥボ火山噴火による循環の変化は全球的なものであることがわかった。また、フラックスは増加トレンドを持っており、ピナトゥボ火山噴火による影響を考慮しても 1.3×10^8 kg/s/年の比率で時間と共に増加するトレンドを示した。

北半球下部成層圏における高緯度域下降流の平均（60°-90°の重みつき平均）速度は北半球の冬に最大（約2.0-2.1 km/月）、夏に最小（約0.0-0.5 km/月）である。南半球下部成層圏における平均下降速度は南半球の秋から春にかけて最大（約1.2-1.4 km/月）であり、夏に最小（約0.3-0.6 km/月）である。中・上部成層圏における平均下降速度は半球それぞれの冬に最大であり、高度と共に増加する。高緯度域下降流の季節変化は両半球共に年周期成分が卓越するが、南半球の場合は半年周期成分も大きく、南半球冬の下降流はなべ底型の季節変化をする。両半球の高緯度域成層圏の平均下降流はQB0西風位相（50 hPaの東西風5 m/s以上を基準）のときに強くなり、東風位相のときに弱くなる傾向がある。このような高緯度域下降流の準2年周期変動は特に南半球の下部成層圏で統計的に有意である。ピナトゥボ火山噴火後、高緯度域成層圏の平均下降流は両半球で強くなり、その大きさは特に南半球で大きい（約0.8-1.0 km/月）。両半球の下・中部成層圏で平均下降流は時間と共に強くなる。このトレンドは100-30hPaで統計的に有意である。

これらの研究成果は温室効果気体の長期的挙動や気候変動に対して新しい知見を与えるものであり、今後のデータの蓄積、衛星データ・再解析データ等の利用によりいっそう解明が進むと期待される。

審査員一同は、これらの成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院課程における研鑽や取得単位なども併せ申請者が博士（地球環境科学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。