

氏 名	赤 堀 浩 司
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2039 号
学位授与の日付	平 成 11 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 地 球 惑 星 科 学 専 攻
学位論文題目	対流圏長周期変動にともなう傾圧擾乱と基本力学場との相互作用に関する理論的・数値的研究 (主査)
論文調査委員	助教授 余田成男 教授 廣田 勇 教授 木田秀次

論 文 内 容 の 要 旨

数十日を特徴的な時間スケールとする対流圏大気循環の長期変動は、平均帯状流、強制惑星波、および傾圧擾乱の相互作用によって引き起こされている。地表面の東西非一様性が小さな南半球では、強制惑星波の役割が相対的に小さく、平均帯状流（基本力学場）と傾圧擾乱の相互作用が重要であると考えられている。このような状況下での長期変動の基本的な過程を理解するために、近年になって、地表面の東西一様性を仮定した仮想的な境界条件の下で全球大気モデルを長時間積分するという種類の数値実験が行なわれるようになってきた。本研究は、この種の実験を発展させて、おもにポテンシャル渦度(PV)と温位(θ)の空間分布の変動に着目した解析を行なうことにより、対流圏大気循環の長期変動の基本的特性を明らかにしたものである。

まず、PV- θ の力学的枠組みに基づいて、解析方法の検討と新方法の提案とを行なった。PVと θ は、準ラグランジュ的な保存特性をもつ物理量であり、粘性や加熱がなければ空気塊の運動とともに保存される。また、適切な仮定の下でPVの分布から速度場や温度場を推定することができるので、PVは最も基本的な力学量である。空気塊の運動に注目した解析方法として、等 θ 面上でのPV分布パターンを調べることが定着してきたが、本研究でもその方法を用いて傾圧擾乱の時間的な変動を調べている。さらに、帯状平均した子午面運動を考察するために、等PV面と等 θ 面に沿って平均操作をする改良ラグランジュ平均(MLM)の一方を提案した。これまでに提案されていたものを対流圏の解析にも使えるように拡張したものである。

数値実験では、シグマ座標プリミティブ方程式モデルを用いて長時間積分を行なった。熱強制は赤道対称な春・秋分条件で固定し、地表面は平坦で東西一様であると仮定している。仮想的な初期状態から3180日間時間発展を行ない、最後の1281日間のデータを解析した。このモデルでは、平均帯状流と傾圧擾乱の相互作用によって自励的に長期変動が作り出される。現実大気を想定した標準実験では、平均帯状流が80~150日の時間スケールで変動する。シングルジェット型の流れ、あるいは、ダブルジェット型の流れのいずれかがある期間持続し、それらが不規則に交互に出現している。

このような平均帯状流の変動にともなう傾圧擾乱がどのような影響を受けているかを調べるために、中緯度域では対流圏上部に位置する310Kの等 θ 面上でPV分布パターンの解析をした。まず、典型的な2つの期間に対する事例解析を行なって次のような対応関係を見出した:平均帯状流がシングルジェット型の期間には傾圧擾乱が活動的であり、中・高緯度域ではロスビー波がジェット気流の極側で低気圧回転の砕波をしている。一方、ダブルジェット型の期間には傾圧擾乱は弱く、ジェット気流の赤道側で高気圧回転の砕波をする。つぎに、砕波パターンの指数を定義し、帯状流変動の第一主成分との相関をとることにより、この対応関係が全解析期間にわたって成り立つことを示した。さらに、地表摩擦の強さを変えた2つのパラメータ実験により、平均帯状流がシングルジェット型またはダブルジェット型で永続する状況を作り出し、ロスビー波の砕波パターンが平均帯状流の水平シアアの符合に依存して決まることを明らかにした。

しかし、傾圧擾乱の変動は、ある等 θ 面上での解析のみで把握しきれものではない。とくに低緯度域では、 $\theta = 310\text{K}$

面が対流圏下部に位置するので、亜熱帯ジェットを含む変動をみるには、広い高度域についての解析が必要となる。そこで、同じ標準実験のデータに対して、提案したMLM解析を実際に行なっている。すなわち、等PV面の平均緯度（等価緯度）と等 θ 面の平均気圧（等価気圧）からなる子午面座標を定義し、等PV面および等 θ 面で囲まれた微小な要素内のMLM質量に対する連続の式を導出して、質量フラックス、その収束・発散、および質量変化の診断を行なった。得られた知見は次のとおりである。

平均帯状流の長期変動は、等PV面の等価緯度の変動と対応し、さらにMLM質量の変動と対応しており、対流圏上部では低緯度から極へのMLM質量アノマリの伝播の繰り返しによって特徴づけられる。このアノマリ伝播は、傾圧擾乱にともなうPVの散逸過程と熱強制による基本温位場の回復過程に起因している。すなわち、シングルジェット型の期間には、亜熱帯域でロスビー波砕波が頻繁に起こり、PVの均一化によりMLM質量が増加する。砕波帯は徐々に中緯度域に移動し、やがてダブルジェットの期間に移行する。この期間には砕波があまり起こらず、温位場が熱強制によって回復するので、中緯度域のMLM質量が増加する。こうして平均帯状流は再びシングルジェット型に戻ることになる。結局、平均帯状流の長期変動は、傾圧擾乱が活発でおもにその砕波により基本力学場が変化する期間と、傾圧擾乱が不活発で熱強制により基本場の傾圧性が回復する期間の繰り返しであり、MLM質量の変動として直截的に理解することができる。

論文審査の結果の要旨

対流圏大気循環の長期変動の理解は、今日における気象力学の主要な課題の一つであり、長期予報への応用にもつながるテーマである。申請者は、理想化した3次元全球大気モデルで得られた長期変動を新たな視点から解析することにより、その力学的理解を深めることに貢献した。東西一様な境界条下での長時間積分により、平均帯状流と傾圧擾乱の相互作用によって自励的な長期変動が起こり得ることを示し、そのデータ解析を行なった。ポテンシャル渦度(PV)と温位(θ)という基本的な力学量に着目した解析方法を用い、さらに自ら新たな解析方法を提案して、その有効性を示している。

標準実験での自励的な長期変動は、シングルジェット型平均帯状流の期間とダブルジェット型の期間とが交互に不規則に出現することで特徴づけられる。基本力学場である平均帯状流の違いが傾圧擾乱に与える影響は、等 θ 面上でのロスビー波の砕波パターンに顕著に現れる。シングルジェット型の流れに対してはジェット気流の極側での低気圧回転の砕波、ダブルジェット型の流れに対しては赤道側での高気圧回転の砕波、という対応関係は、熱強制を与えない短期間の“一発実験”によって初めて指摘され、南半球の観測データの事例解析からも支持されたものである。本研究は、長時間積分の結果としてこれを支持するものであり、統計的に対応関係を示した初めての研究である。また、地表摩擦の強さを変えたパラメータ実験は、これらのどちらか一方だけが永続する状況を示すものであり、対応関係の支持をさらに補強している。

帯状平均した子午面運動を物質循環の視点から調べるために、近年、改良ラグランジュ平均(MLM)の一方法が提案されたが、それは等 θ 面があまり高度変化しない成層圏での解析を前提としたものであった。これをもとに、申請者は、等 θ 面が緯度とともに大きく高度変化する対流圏領域でも使えて、質量フラックスが陽に表示できる新方法を提案した。実際に標準実験データの解析に用いた結果は、この自励的な長期変動が平均帯状流と傾圧擾乱の相互作用により生じる一種の緩和振動であることをより直截的に示すものである。長期変動の本質をMLM質量の変動という視点から新たに捉え直そうとするものであり、意欲的な試みといえる。また、この解析方法自体は、成層圏周極渦の変動などにも応用できるものであり、今後の活用が期待できる。

これら一連の理論的および数値的研究は、申請者の力量を立証するものである。また、気象力学とくに対流圏大規模力学の分野の発展に寄与するものであり、高く評価することができる。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認定できる。

調査委員会は、平成11年2月1日、論文内容とそれに関連した口頭試問を行なった結果、合格と認めた。