

論文審査の結果の要旨

氏名 木下 武也

本論文は6章から成る。第1章は導入部で、対流圏起源の多様な時空間規模の波動に駆動される中層大気(成層圏・中間圏)大循環の力学的研究が、「変形オイラー平均 (Transformed Eulerian-Mean:TEM) 系」の導入により 1970 年代後半以降急速に発展した経緯が概観されている。同時に、従来の TEM 系の2次元性に起因する限界、即ち、波動が重畳する背景場の東西一様性を仮定し、波動が駆動する残差流を子午面内で表現したために、波動振幅や残差流による物質輸送の経度依存性が扱えないという問題点が近年の観測研究を参照しつつ論じられている。さらに、現在まで試みられてきた3次元 TEM 系の定式化が、準地衡流系においてはロスビー波、プリミティブ方程式系では大気重力波と、個別の種類に限定されていたことが指摘されるとともに、プリミティブ方程式系に基づきロスビー波や重力波を含む全ての大気波動擾乱に適用可能な3次元 TEM 系を定式化するという本研究の目的が掲げられている。

第2章では、「緩やかに変化する背景場に重畳する小振幅擾乱については、TEM 系の残差流がオイラー平均流とストークスドリフトの和となり、空気塊の平均的輸送を表わすラグランジュ平均流に近似的に等しい」という基本に立ち返り、3次元ストークスドリフトのプリミティブ方程式系における表式 (PRSD) と準地衡流系における表式 (QGSD) が各定義に基づき導出された。PRSD がロスビー数の小さい場合には QGSD に、コリオリ因子の緯度依存を無視した f 平面仮定の下で大気重力波の分散関係を適用するとそれに伴うストークスドリフトにそれぞれ一致することから、PRSD が大気重力波・ロスビー波双方に適用可能なことが確認された。さらに、時間平均の背景場を記述する水平方向の運動方程式に PRSD を代入し、背景場への3次元の波強制に対応する波活動度フラックス (3D-flux-M) を定式化した。そして、大気重力波を陽に表現できる高分解能大気大循環モデルの出力データへの応用から、アンデス山脈により強制され上方伝播する大気重力波がもたらす残差流が、中間圏では極向き、その下方の成層圏では山脈の西側で極向き、東側で赤道向きであることを見出した。また、全球大気再解析データへの適用から、総観規模擾乱が活発なストームトラック領域の上流側と下流側での擾乱構造の差異を反映し、上部対流圏で3次元残差流が特徴的な東西分布を示すことを見出した。

第3章では、擾乱の波束伝播を記述する波活動度フラックスが導出された。適切な仮定の下、プリミティブ方程式系でロスビー波・大気重力波双方を含む波動擾乱の分散関係式をまず導出した。そこから得られる3次元群速度ベクトルに、求めるべき波活動度フラックスが平行となるよう 3D-flux-M を修正し、それに矛盾の無いよう波活動度密度を定義した。こうして得られた波活動度密度とそのフラックス(3D-flux-W)にて、ロスビー波や大気重力波の3次元伝播をも統一的に記述し得ることが確認された。なお、2つのフラックスは表式がわずかに異なり、3D-flux-M の東西成分は群速度のそれに比例しない。波動擾乱に伴う3次元物質輸送の解析には 3D-flux-M、擾乱の伝播の記述には 3D-flux-W と、利用目的に応じて2つの表式を適切に使い分ける必要性が強調されている。

上記の発展として、第4章では赤道捕捉波(赤道波)に適した3次元波活動度フラックスとストークスドリフトが初めて定式化され、南北方向に積分するとフラックスが波活動度密度と赤道波の群速度の積に一致することが示された。さらに第5章では、前章までとは異なり、時間平均操作では位相構造を消去できない停滞性ロスビー波について、付随する3次元ストークスドリフトを初めて定式化し、既出の残差流の表式に物理的な裏付けを与えた。

上記の研究成果の気象力学的意義に関する包括的な議論が、今後の研究発展の方向性も含め、第6章にてなされている。本研究は、波動に伴うストークスドリフトと残差流との基本的関係に基づき、背景場への3次元波強制に対応する波活動度フラックスの定式化を経て、3次元波動伝播を表す波活動度フラックスの定式化に至るという独創的な着想から、ロスビー波や大気重力波を含む全ての大気波動擾乱に適用可能な3次元 TEM 系の定式化に初めて成功した。この特筆すべき成果は、応用範囲が極めて広く、今後の大気力学研究の発展に大きく寄与し得る画期的なものと認められる。

なお、本論文の第2章から5章にかけては 指導教員である 佐藤 薫 教授との共同研究に基づくが、いずれも論文提出者が主体となって定式化やデータ解析を行ったもので、論文提出者の寄与は十分と判断される。

従って、博士(理学)の学位を授与できると認める。