

氏 名	すぎもと のり ひこ 杉 本 憲 彦
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2884 号
学位授与の日付	平 成 17 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	f 平面浅水系におけるジェット的不安定性と重力波放射に関する数値実験

論文調査委員	(主 査) 教 授 余 田 成 男	教 授 木 田 秀 次	助教授 石 岡 圭 一
--------	----------------------	-------------	-------------

論 文 内 容 の 要 旨

回転成層流体におけるバランス力学の概念は、現実の大気や海洋の流体现象を理解する上で本質的な概念である。それゆえ、この概念の適用限界やバランスした流れからの重力波放射の研究は、地球流体力学的な興味にとどまらず、気象学や海洋物理学において重要な研究課題となっている。本研究は、回転成分流（バランス成分）と重力波（非バランス成分）を含む最も簡単な系である f 平面浅水系を用いて、不安定なジェット流に関する数値実験を行い、バランス力学の適用限界およびバランスした流れからの重力波放射を調べたものである。

まず、バランスした流れを仮定したモデルの一つである準地衡系について、その適用限界を検討するため、ジェット流の安定性を線形解析および非線形数値実験によって、無次元パラメータ Ro （ロスビー数）、 Fr （フルード数）の広範な領域で調べた。線形安定性解析で得られた不安定擾乱の最大発達率については、 Ro が大きい領域でも浅水系と準地衡系は良い精度で一致した。一方、最大発達する不安定擾乱の空間構造については、 Ro が大きい場合と Ro が小さい場合とで異なる構造をしていた。 Ro が小さい場合は、地衡流バランスが支配的で、発散成分の振幅と回転成分の振幅との比は Fr^2/Ro に比例し、発散成分の構造はジェット中心に関して対称であった。これに対して、 Ro が大きい場合には、基本場のシアに関わるバランスが支配的で、発散成分の振幅と回転成分の振幅の比は Fr^2 に比例し、発散成分の構造はジェット中心に関して反対称であった。また、非線形実験では、 Ro が大きい場合でも、 Fr が小さければ浅水系の結果と準地衡系の結果とは非常に良い精度で一致し、浅水系における発散成分や表面変位は回転成分に従属するという結果を得た。これらの結果について支配的な項に着目して解釈を行い、不安定擾乱の発散成分の振幅と回転成分の振幅の比のパラメータ依存性を説明した。

つぎに、帯状流強制と散逸のある浅水系においてジェット流からの重力波放射を非線形数値実験により調べた。初期に非バランス状態を仮定する地衡流調節問題と異なり、 Fr が小さくバランス力学が近似的に妥当と考えられるパラメータにあっても、ほとんどバランスした回転成分流の非定常運動に伴って、重力波は継続的に放射された。渦からの音波放射理論を応用して、この系での重力波ソースの表式を導出し、重力波ソースが回転成分流の変化の大きい領域に局在することを示した。さらに、重力波ソースを一つの項のみで近似することを試み、ジェット近傍と遠方場の重力波に寄与するそれぞれの近似的ソースを導出した。遠方場の重力波は、ライトヒル方程式を解くことで、この近似的ソースから良い精度で計算できることを示した。

さらに上記の実験の発展として、 Ro 、 Fr の広範なパラメータ領域でのジェットの非定常運動に伴う重力波放射を調べた。渦からの音波放射理論では、小さなマッハ数での音波放射にマッハ数のべき則が成り立つことが知られている。本研究では特に、地球回転の効果が重力波放射にもたらす影響に着目して調べた。重力波の擬エネルギーフラックスの Fr 、 Ro 依存性については主に以下の二つの結果が得られた。まず、 Fr 依存性については、地球回転の効果が無視できる Ro が大きい場合には、渦からの音波放射理論に対応する Fr のべき則が成立した。その一方で、 Ro が小さい場合には、 Fr の増加に伴う変形半径の減少が渦の非定常運動を抑制するため、このべき則が破れた。 Ro 依存性については、 Ro が小さい領域になる

と、重力波フラックスは急激に減少したが、中間の値の Ro では Ro が大きい場合よりもフラックスが大きな値を持つことが見い出された。重力波ソースの解析およびソースの時系列のスペクトル解析によって、 Ro が小さい場合での重力波フラックスの減少は、慣性振動数の増加に伴った重力波放射のカットオフに起因し、 Ro が中間的な値で重力波フラックスが極大となることは、ソースの主要な項の Ro による変化によることがわかった。このフラックスが極大となるパラメータ領域では、地球回転の効果がむしろ重力波放射を促進する傾向に働いていた。

論文審査の結果の要旨

大気や海洋の大規模運動は近似的にバランスした流れで表現できる。このため、回転成層流体における大規模運動の理論的説明は、バランスした流れのみで記述されるバランスモデルによって構築されてきた。しかしながら、なぜこのようなバランスがよい近似で維持されるのかについての理論的根拠は十分でなく、バランス力学の概念の適用限界の理解は重要な研究課題である。また、近年の観測技術や大気大循環モデルの精度の向上によって、慣性重力波の働きが注目されてきているが、回転成分流からの重力波の励起過程は明らかになっていない。

本研究は、バランス成分と非バランス成分を含む最も簡単な系である f 平面浅水系を用いて、不安定なジェット流の時間発展に関する数値実験を行ったものである。特に、広範なパラメータ領域での数値実験によって、バランス力学の適用限界と回転成分流からの重力波放射を網羅的に調べており、特定の地球物理学的な現象に着目したこれまでの研究とは一線を画したものである。

まず、ジェット流の安定性を浅水系と準地衡系を対比して調べている。バランス力学の適用限界について、ジェットの安定性を線形および非線形の両面から広範なパラメータ領域で調べたこのような研究は過去になく、一般のスケール解析による議論では予測できない結果を得ている。特に、不安定モードの発散成分と回転成分との振幅比のパラメータ依存性の相違を理論的に説明できた点は興味深い。

次に、帯状流強制と散逸のある浅水系で非線形数値実験を行い、ジェット流の非定常運動からの継続的な重力波放射を調べている。本研究では、重力波ソースの導出およびこのソースを用いた遠方の重力波の計算を行い、ジェット領域での回転成分流の変化の大きい領域にソースが局在することを示した。この結果は現実大気における回転成分流からの重力波放射の可能性を強く示唆する点で興味深い。また、重力波ソースの近似法の提案は、浅水系以外のより一般的な系に拡張できるかは今後の課題であるが、複雑な諸項から近似式を導出したものとして高く評価できる。

さらに、広範なパラメータ走査実験を行い、重力波放射のパラメータ依存性に関して、流体音響学からの類推では説明できないいくつかの特徴があることを見出した。重力波ソースの詳細な解析を行い、得られた重力波放射の特徴について定性的な説明に成功している。特に地球回転の効果が重力波放射を強める傾向に働くという結果は、本研究において最も注目すべき点である。バランスした流れからの重力波放射の定量的な見積もりは、バランス力学の適用限界に直接結びつく問題であり、このような重力波放射の特徴を明らかにした本研究の功績は大きい。

これら一連の研究は、申請者の力量の高さを立証するものである。また、気象力学および地球流体力学、特に渦と波の非線形な力学の発展に寄与するものであり、高く評価できる。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める。また、論文内容とそれに関連した事項について口頭試問を行った結果、合格と認めた。