

# 学 位 審 査 報 告 書

|                                                                                                                                                                                   |                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| ( ふ り が な )<br>氏 名                                                                                                                                                                | おぶせ きおり<br>小布施 祈織                          |
| 学位 (専攻分野)                                                                                                                                                                         | 博 士 ( 理 学 )                                |
| 学 位 記 番 号                                                                                                                                                                         | 理 博 第 号                                    |
| 学位授与の日付                                                                                                                                                                           | 平成 年 月 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 数学・数理解析専攻                            |
| (学位論文題目)<br><br>Asymptotic analysis of long-time behaviour of<br>zonal flows in two-dimensional turbulence on a $\beta$<br>plane<br>( $\beta$ 平面上 2 次元乱流における東西流の長期的振る<br>舞いの漸近解析) |                                            |
| 論 文 調 査 委 員                                                                                                                                                                       | (主査) 岡 本 久 教 授<br>向 井 茂 教 授<br>國 府 寛 司 教 授 |

理 学 研 究 科

( 続紙 1 )

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                         |    |        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|--------|
| 京都大学                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 博士（ 理学 ）                                                                                                                                                | 氏名 | 小布施 祈織 |
| 論文題目                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Asymptotic analysis of long-time behaviour of zonal flows in two-dimensional turbulence on a $\beta$ plane<br>( $\beta$ 平面上 2 次元乱流における東西流の長期的振る舞いの漸近解析) |    |        |
| (論文内容の要旨)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                         |    |        |
| <p>地球や惑星の大気運動のモデル方程式として、回転球面上の 2 次元強制非圧縮流体系はもっとも基本的かつ単純な系であるが、解の性質には明らかでない点が多い．本論文はこの系について、特に長時間後の解の漸近挙動に着目し、東西方向ジェットの形成過程を理論的、数值的に扱ったものである．</p> <p>この系においては申請者らによる数値実験によって、初期段階では小規模な構造を持つ初期の流れ場から多数本の東西ジェットによって形成される縞状構造が速やかに出現すること、またその後、この縞状構造は非常にゆっくりとしたジェットの融合・消滅を経験し、最終的には少数本(2 本もしくは 3 本)の東西ジェットから成る漸近状態に至ることが知られている．このジェットの融合・消滅は回転球面上での 2 次元乱流の長時間の振る舞いを語る上で不可欠であるが、そのメカニズムは既存の理論ではうまく説明することができない．本論文はこの東西ジェットの融合・消滅過程を、漸近解析の手法を用いて調べ、明快なビジョンを与えた．</p> <p>申請者は、回転球面の接平面である <math>\beta</math> 平面上において、正弦型の南北流によってモデル化された乱流を背景とする東西ジェットの性質を、弱非線形解析及び数値解析を用いて調べた．先行研究である Manfroi and Young (1999) はこの東西ジェットの時間発展方程式として Cahn-Hilliard 型の方程式を導き、多数本のジェットが 1 本ずつゆっくりと消滅し最終的には 1 つのジェットとなることを数値実験によって見出している．本論文ではこの Cahn-Hilliard 型の時間発展方程式において定常孤立ジェットを表す解析解を導き、これを用いて定常孤立ジェットがパラメータ値によらず線形不安定であることを数值的に示した．さらにこの線形不安定性の発達によりこのジェットは時間発展に伴って消滅することを数值的に確認している．この結果は 2 次元乱流中のジェットの消滅の要因が、乱流に起因するジェットの不安定性にあることを示唆している．本論文ではさらに、この定常解を用いて、隣接する 2 つのジェット間の弱い相互作用を多重尺度展開法を用いて調べた．その結果、隣接する 2 つのジェットは互いに引き合うこと、またジェット間距離はジェットが互いに近づくに従って速く減少することを見出し、さらに数値実験によって 2 つのジェットは近接・融合した後、1 つの新しい定常ジェットを形成することを見出した．これらの結果は、隣接する 2 つのジェットの融合・消滅過程には乱れを介した相互作用に起因することを示している．</p> |                                                                                                                                                         |    |        |

( 続 紙 2 )

(論文審査の結果の要旨)

この論文は地球や惑星の大気に遍在する東西方向のジェット流に着目し、最も基本的なモデル方程式系である回転球面上の非圧縮 2 次元流体系によって、ジェットの形成過程を論じたものである。このモデル方程式系は単純なものであるが、解の振舞いや現象の力学的機構について未知な点が多く、ここでは特に長時間後の漸近的性質を扱っている。

本論文ではまず、回転球面の接平面近似である  $\beta$  面上で 2 次元非圧縮流体系を考え、Manfroi and Young (1999) が弱非線形解析によって導いた Cahn-Hilliard 型の非線形方程式に対し、従来の数値結果を参照しながら、定常孤立東西ジェットを表す解析解を導いている。この方程式は正弦型の南北流に重畳した東西流を対象として、簡約化された乱流効果を含む東西流の力学を記述するものである。本論文では、この乱流効果がジェットの時間発展に与える影響に着目し、定常孤立東西ジェットが常に線形不安定であることを数値的に見出し、さらにそれを支持する解析的な結果を得ている。またこの線形不安定性が発達した結果、非線形段階を経てジェットの消滅に至ることを数値的に確認している。この結果は、 $\beta$  面上で層流ジェットが安定となるパラメータ範囲においても背景乱流の効果によってジェットが不安定化し消滅することを示す重要なものである。この結果については、申請者自身の数値実験によって、回転球面上の東西ジェットの時間発展においても定性的に一致する現象が観察されており、ここで見出されたジェットの不安定化が回転球面上のジェット形成過程において重要な役割を担っていると考えられる。さらに、回転球面上では隣り合う 2 本のジェットが近づき 1 本に融合する現象が見られるが、これについても、2 本のジェットの弱非線形相互作用を力学系における漸近解析的な手法で扱ってジェット間には引力的な相互作用が働くことを示し、さらに、近接した後に 2 本のジェットは 1 本のジェットに融合することを数値的に見出している。(ここで使われた手法は反応拡散系で開発されたものであるが、流体系で有効に使われた例はこれまであまりなかった。同手法の応用範囲が小布施氏の研究によって広げられたと言うこともできる) これらの結果は、東西ジェット流が背景乱流の存在によって層流ジェットには無い力学的特徴を伴うこと、特に、引力的相互作用・不安定化・消滅などの過程によってジェットの本数など流れ場の大局的構造を変化させることを示しており、乱流ジェットの力学の理解に重要な知見を与えるものである。

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。また平成 24 年 1 月 10 日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った。その結果合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降