

|             |                                                                              |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名         | 高 原 文 郎                                                                      |
|             | <small>たか ほら ふみ お</small>                                                    |
| 学 位 の 種 類   | 理 学 博 士                                                                      |
| 学 位 記 番 号   | 理 博 第 504 号                                                                  |
| 学位授与の日付     | 昭 和 53 年 3 月 23 日                                                            |
| 学位授与の要件     | 学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当                                                      |
| 研 究 科 ・ 専 攻 | 理 学 研 究 科 物 理 学 第 二 専 攻                                                      |
| 学 位 論 文 題 目 | <b>Global gravitational Instability of Gaseous Disks</b><br>(ガス円盤の大局的重力不安定性) |

論文調査委員 (主査) 教 授 林 忠四郎 教 授 長谷川博一 教 授 玉垣良三

### 論 文 内 容 の 要 旨

多数の星から成る自己重力系としての銀河は、著しく多様な形状や構造を持っている。とくに、扁平な銀河は渦状腕および棒状構造など顕著な内部構造を持ち、その成因はこれまで多くの人々によって論じられてきた。とくに約15年前に、渦状腕は回転円盤中を伝わる重力的な波動であるという密度波理論が提起されて以来、密度波の励起の原因としての重力的不安定性が多くの人によって調べられてきた。しかし、これらの不安定性理論の多くは局所近似の仮定に立脚していて、重力が銀河全体に及ぶ遠距離力であること、従ってまた一般に、銀河の密度や回転が一樣でないことを考慮に入れていないという難点がある。

主論文は、回転円盤の系全体としての重力的不安定性を、局所近似を仮定することなく極めて一般的かつ詳細に調べ、数値計算の結果として、円盤は非軸対称モードの密度波成長に対して著しく不安定であることを見出し、このような重力不安定性が銀河の渦状腕の成因であることを指摘したものである。

申請者はまず、扁平銀河を無限に薄いガス円盤とみなして、質量の中心集中度、すなわち、回転曲線の異なった一連の平衡モデルを構成する。次に、これらのモデルの各々に対して、一定の境界条件を満たすような密度波の摂動を与えた場合の固有値方程式を数値的に解き、種々のモードの成長率と固有関数を求めている。その際、扁球座標を採用するとポアソン方程式の解がルジャンドルの多項式と陪多項式で表わされることを利用して、すべての物理量をジャンドル多項式で展開し、その展開係数を求めるという手法を用いている。申請者は、ガス円盤が圧力を持たない場合、圧力を持つ場合、さらに円盤を囲むハローが存在する場合の三つについて、次に述べるような興味ある結果を得ている。

まず、自己重力と回転の遠心力だけでつり合った圧力零の円盤の場合には、一般に無数の不安定モードが存在し、細かく分裂するモードほど成長率が大い。また、円盤質量の中心集中度を増していくと軸対称モードの成長率は大きく減少するのに対して、非軸対称モードの成長率はほとんど減少しない。さらに、これらの不安定モードのパターンは **leading** 型の渦巻であることを見出している。

次に、わが銀河内の星の速度分散にはほぼ対応する程度の圧力が存在する場合には、軸対称モードは安定であるが、非軸対称モードは不安定であって成長率はかなり高く、円盤は数回転のうちに分裂する。この際、質量の中心集中度の低い円盤では多数の腕に分裂するモード、中心集中度の高い円盤では少数の腕に分裂するモードの成長率が大きいこと、またそのパターンは **trailing** 型の渦巻が主であることを見出している。また、圧力を増大していくと、これらのモードの成長率は減少して、ついに円盤は安定化することを明らかにしている。

最後に、円盤を取り囲む大質量のハローが存在する場合には、その質量が円盤質量の数倍以上であれば、非軸対称モードのほとんどすべてが安定化されることを見出している。また、ハローの質量が一定のとき、その分布が中心に集中している場合よりも一様である場合の方が安定化の効果は大きいという興味ある結論を得ている。

参考論文 1 と 5 は、銀河集団中に存在する高温ガスの起源について、銀河形成の際にとり残された銀河ガスが銀河集団に降り積って高温に加熱され、X線を輻射する過程を調べたものである。参考論文 6 と 8 は、上記参考論文の結果をもとにして、高温ガスの力学的状態や銀河との相互作用の過程を調べたものである。参考論文 2, 3 と 4 は、自己重力系としての銀河の密度波について、局所近似のもとに、ジーンズモードやランダウモードなどが励起される可能性を調べたものである。参考論文 7 は、主論文の先駆として、一様回転のガス円盤における重力的不安定性の問題を解析的に解いたものである。参考論文 9 は、強い磁場を持った中性子星に降り積って加熱されたガスが放出する  $\gamma$  線輻射の強度を計算して、宇宙  $\gamma$  線バーストの説明を試みたものである。

### 論文審査の結果の要旨

ここ15年の間に展開されてきた密度波理論によると、扁平銀河に見られる過状腕は円盤内で一様回転をしている密度波のパターンであって、このパターンは星とガスからなる自己重力系に特有な集団運動の自己保持的なモードにはかならないものと考えられている。この密度波の励起や保持の機構を明らかにするために、これまで多くの人によって円盤の局所的な重力不安定性が調べられてきたが、その立脚する局所近似の妥当性については種々の疑問が残されている。

主論文は、上記のような局所近似を全く用いることなしに、ガス円盤全体としての重力不安定性をすべての可能な軸対称、非軸対称のモードについて調べたものである。種々の不安定モードの成長率が、ガス重力や円盤質量の中心集中度、さらには円盤を取り囲むハロー物質の存在にどのように依存するかを明らかにし、成長が最も早い不安定モードが渦巻状であるという興味ある結論を得ている。

申請者はまず、扁平銀河を無限に薄いガス円盤とみなして、質量の中心集中度の異なった一連の平衡モデルを構成している。次に、これらのモデル円盤に種々のモードの線型摂動を与えた場合の固有値問題を巧みに定式化し、数値計算によって固有値としての成長率を求めている。上記の平衡モデルの構成ならびに固有値方程式の定式化において、申請者は扁球座標を用いてすべての物理量をルジャンドル多項式と陪多項式で展開するという数学的手法を巧みに用いている。

以上の結果として、申請者は次のような重要な結論を得ることに成功している。ガス圧がない場合の

円盤は、無限個の不安定モードを持ち、不安定な非軸対称モードのパターンは **leading** 型の渦巻である。局所近似では中立の安定性を与えるような大きさの圧力が存在する場合、円盤は大局的な非軸対称モードに対して不安定であり、このうち成長が最も早いモードは **trailing** 型の渦巻である。また、これらの不安定モードを安定化するためには、より大きい圧力か、または円盤の数倍の質量を持ったハローの存在が必要である。

以上の主論文は、微分回転をしている一般的なガス円盤の大局的な重力不安定性について厳密かつざん新な理論をつくり上げ、扁平銀河に見られる渦状構造の基本的な成因を明らかにしたものとして、銀河の構造や進化の理論の発展に寄与するところが少なくない。なお、参考論文はいずれも、申請者が宇宙物理学、原子核物理学などの広い分野にわたって豊富な知識と優れた研究能力を持っていることを示している。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値あるものと認める。