

氏名	いで た まこと 出 田 誠
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2446 号
学位授与の日付	平成 14 年 3 月 25 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 ・ 物 理 学 ・ 宇 宙 物 理 学 専 攻
学位論文題目	NUMERICAL SIMULATIONS OF DISK GALAXIES DAMPING TIME OF A LOPSIDED PATTERN DUE TO DYNAMICAL FRICTION (円盤銀河の数値計算力学的摩擦による偏心パターンの減衰時間)
論文調査委員	(主 査) 教 授 稲 垣 省 五 教 授 大 谷 浩 助 教 授 太 田 耕 治

論 文 内 容 の 要 旨

重力多体系は、その緩和時間から衝突系・無衝突系に分類される。重力多体系の一つである銀河は、その宇宙年齢よりはるかに長い緩和時間から、無衝突系に属する。そのような、無衝突重力多体系の位相空間における密度分布（以下、分布関数）は、無衝突ボルツマン方程式・ポアソン方程式に支配されており、その時間発展はこれらの方程式系を解けば得られる。しかしながら、無衝突ボルツマン・ポアソン方程式は非線形微分積分方程式の形をしており、しかも6つの位相空間変数と1つの時間変数からなっている。そのため一般的には解を求めることは困難であり、多くの場合、モンテカルロ法による無衝突ボルツマン・ポアソン方程式の解法に対応する重力多体計算によって重力多体系の進化は扱われる。しかしながら、幾つかの特別な場合においては、多体計算によらず、無衝突ボルツマン・ポアソン方程式の解を求めることが可能である。

例えば、分布関数が既知の平衡な系に対し摂動を加えた際、元の系がどのように応答するかは、マトリックス法と呼ばれる手法により解くことができる。本博士論文ではそのマトリックス法を紹介し、実際の宇宙物理学的問題に適用した。その実際の問題として、本博士論文では、円盤銀河中の偏心パターンとダークマターハロー間に働く力学的摩擦を評価し、どの程度の時間尺度で偏心パターンが減衰するか、調査した。ここで偏心パターンとは、銀河円盤内に見られる、 $m=1$ の非対称性のことであり、三割程度の銀河円盤はその質量分布が偏心していることが観測的に知られている。さて力学的摩擦は、ダークマターハロー中を回転する偏心パターンとそれによって生じた航跡との間の重力相互作用としてとらえられる。よって、力学的摩擦を評価するには航跡の密度分布を求めれば良い。その密度分布を計算するため、偏心パターンは弱い摂動であると仮定し、無衝突ボルツマン方程式を線型化した。そして完全系をなす基底関数系に密度・ポテンシャルを展開し、線型化した無衝突ボルツマン方程式とポアソン方程式にフーリエ・ラプラス変換を施すことで、展開係数についての線型方程式に帰着させ、航跡の密度分布を求めた。この手法が、マトリックス法と呼ばれているものである。その結果、ハローがキングモデルでは、力学的摩擦は常に偏心パターンを減衰されることが示された。その減衰率を偏心パターンの角運動量損失率で定義すると、偏心パターンの回転速度が著しく遅くない限り、減衰率は宇宙年齢（～百億年）より速く、およそ十億年で減衰することが示された。このような偏心パターンの短い寿命と観測されている偏心パターンの高い頻度を考えると、中には最近になって何らかの作用で励起したものがあるかもしれないが、それが全てとは考えにくく、多くの偏心パターンは非常に遅い回転速度を持っていることが示唆される。そのような遅いパターンとして、減衰率のゆるやかな減衰モードが銀河中に存在する。実際、そのようなモードは本論文で用いているキングモデルでも確認された。したがって、そのような減衰率のゆるやかな減衰モードが銀河円盤中の偏心パターンにおいて重要な役割を担っていることが示唆される。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は、多くの渦状銀河で見られる大局的一本腕構造が宇宙年齢にわたって維持されるための条件を、銀河円盤とハロ

一の間にはたらく力学的摩擦に着目して求めたものである。この目的のためにはこれまでの研究で無視されていたハローが円盤の変化につれ、変形するハローの重力場が変化する効果を入れる必要がある。しかし、N体数値計算で力学摩擦のような効果を正確に取り入れるためには1千万個以上の粒子数が必要となり、実際の数値計算は非常に困難である。そこで、無衝突ボルツマン方程式を用い、その線型摂動を計算し、銀河円盤に加えた一本腕摂動がハローに引き起こす密度分布を計算し、そのために引き起こされる力学摩擦から、一本腕摂動の角運動量減少率を求めた。これを無衝突ボルツマン方程式の線型摂動法で解いた。その際 Kalnajs (1977) により開発され、Weinberg (1989) により発展させられたマトリックス法を用いた。これは、無衝突ボルツマン方程式を作用変数・角変数で表し、ポアソン方程式は通常の変数で解くため、その間の変換が必要である。このため、密度、ポテンシャルの摂動を双正規直交系で展開し、また、摂動の分布関数、ポテンシャルを角変数のフーリエ級数に展開し、さらに時間についてラプラス変換する。すると、作用と応答の関係が行列の積形式に書ける。これは、非常に複雑な計算である。

本博士論文では、円盤銀河中の偏心パターンとダークマターハロー間に働く力学的摩擦を評価し、どの程度の時間尺度で偏心パターンが減衰するが、調査した。ここで偏心パターンとは、銀河円盤内に見られる、 $m=1$ の非対称性のことであり、三割程度の銀河円盤はその質量分布が偏心していることが観測的に知られている。

さて力学的摩擦は、ダークマターハロー中を回転する偏心パターンとそれによって生じた航跡との間の重力相互作用としてとらえられる。よって、力学的摩擦を評価するには航跡の密度分布を求めれば良い。その密度分布を計算するため、偏心パターンは弱い摂動であると仮定し、無衝突ボルツマン方程式を線型化した。マトリックス法を用いた結果、キングモデルのハローでは、力学的摩擦は常に偏心パターンを減衰されることが示された。その減衰率を偏心パターンの角運動量損失率で定義すると、偏心パターンの回転速度が著しく遅くない限り、減衰率は宇宙年齢(～百億年)より、短く、およそ十億年で減衰することが示された。このような偏心パターンの短い寿命と観測されている偏心パターンの高い頻度を考えると、中には最近になって何らかの作用で励起したものがあるがもしれないが、それが全てとは考えにくく、多くの偏心パターンは非常に遅い回転速度を持っていることが示唆される。そのような遅いパターンとして、減衰率のゆるやかな減衰モードが銀河中に存在する。実際、そのようなモードは本論文で用いているキングモデルでも確認された。したがって、そのような減衰率のゆるやかな減衰モードが銀河円盤中の偏心パターンにおいて重要な役割を担っていることが示唆される。

本論文は、一本腕摂動が偏心円盤を表すものとして取り入れたことによって、角運動量の減少率を一本腕摂動の密度減衰率に結び付けたところが独創的である。

よって、本申請論文は博士(理学)の学位論文として十分に価値のあるものと認める。なお、主論文および参考論文に報告されている研究業績を中心とし、これに関連した研究分野について口頭諮問を行った結果、合格と認めた。