

氏名	伊藤 誠
学位の種類	理学博士
学位記番号	理博第1249号
学位授与の日付	平成2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	理学研究科宇宙物理学専攻
学位論文題目	Gravitational Clustering of Galaxies : Comparison between Thermodynamic Theory and N-Body Simulations (銀河の重力的集団化:熱力学的理論とN体数値計算との比較)
論文調査委員	(主査) 教授 加藤正二 教授 小暮智一 教授 牧田 貢

論文内容の要旨

宇宙空間には無数の銀河が存在する。しかし、これらの銀河は一様に分布しているのではなく、グループをつくって存在している。すなわち集団化している。このような銀河の分布の仕方を記述し、その原因をさぐることは宇宙の構造を知る上に重要な課題の一つである。

ところで通常、銀河の分布は二体相関関数を使って記述されることが多い。さらに必要なら高次の相関関数が使われる。これに対して、申請論文では別の記述方法を採用している。すなわち、いま、ある体積 V の中に N 個の銀河が存在する確率を $f(N)$ と書き、 $f(N)$ の関数形で銀河の分布を記述する方法である。ところで、重力系が熱平衡状態にある場合には、 $f(N)$ は、一つのパラメータ族のある与えられた関数形になることが Saslaw and Hamilton によって理論的に示されている。この場合のパラメータ b は粒子のもつ運動エネルギーに対する重力相関のエネルギーの大きさである。申請論文では膨張宇宙における N 体のシミュレーションを行い、得られた結果を熱平衡状態に対する理論的な $f(N)$ と詳しく系統的に比較して、結果の物理的解釈や、熱平衡状態にない系に対して、熱力学的仮定の基に導かれた理論的 $f(N)$ がどのように適用できるか、およびその意味について検討している。

具体的には、Aarseth の COMOVEV と呼ばれるコードを使い、粒子数4000、初期の粒子の分布はポアソン分布である場合の数値シミュレーションを行った。宇宙の密度の示標である Ω_0 は 1.0, 0.1, 0.01 の3つの場合について計算を行い、さらに初期の速度分布としては $\langle v^2 \rangle^{1/2} = 0, rH, 3rH$ の3つの場合について調べている。ここで r は初期の粒子間の平均距離で、 H はハッブルパラメータである。星の質量がすべて同一である場合について考察を行ったのが発表論文1で、発表論文2では質量の異なる二種類の星から成っている場合について調べている。後者の場合には全体で4000ケの星のうち、重い星は500、あまりの3500ケは軽い星としている。

調べられた主な事柄は、 $f(N)$ の時間発展、結果の Ω_0 依存性、初期速度分散の結果への影響等である。その結果、i)シミュレーションによって得られた結果は理論的な $f(N)$ でよく記述でき、銀河の分布は

一連の熱平衡状態を経ながら進化してゆくこと。ii) Ω_0 が大きい程、または初期の速度分散が小さいほど銀河の分布の緩和は早いこと。iii) これらの結果をふまえ、現在観測される銀河の分布を説明するために必要な初期条件などが分かった。

二成分系の場合には、質量比が1:2から1:100までの種々の場合について調べている。その結果、二成分系の場合でも質量比が1:10以下であれば熱力学的考察による $f(N)$ はシミュレーション結果をよく記述できることを見出し、さらに質量の大きい星は進化の初期の段階では集団の中心部に集中し集団化のタネとなっているが、進化が進んだ段階では星間の相互作用は集団的相互作用となるので個々の星の質量にはよらなくなってくることを見出ししている。なお、質量比が1:15以上になると熱力学的理論とのいずれが大きくなることも示している。

論文審査の結果の要旨

われわれの膨張宇宙の内にはたくさんの銀河が存在しているが、これらは決して一様に分布しているのではなく集団をつくって存在している。この集団化 (clustering) をどのように記述するか。また集団化はどのように進化してゆくものであるかを知ることは宇宙の構造を知る上に重要な問題の1つである。

通常集団化を記述するのに二体相関関数が使われる。しかし二体相関関数には限られた情報しか含まれていないので、集団化の様子をさらに詳しく記述するには3体、4体の相関関数を使わなければならない。しかし高次の相関を計算するのは一般に煩雑である。このような記述の方法に対して Saslaw and Hamilton は全く別の立場からの記述を考えた。すなわち、ある体積 V の中に N 個の銀河が存在する確率を $f(N)$ とし、この関数形で集団化を記述することを考えた。しかも彼等は重力質点系が熱平衡状態であれば $f(N)$ の満たすべき関数形はどのようなものであるかを見出ししている。この関数形はパラメータを一つもち、これが系の緩和の程度を表すことになっている。

申請論文は膨張宇宙における N 体のシミュレーションを行い、その結果として得られた集団化の時間発展を Saslaw and Hamilton の理論的な $f(N)$ と比較検討して、集団化の成長に関する物理的イメージをはっきりさせると同時に、集団化の記述の仕方として従来の相関関数による方法に換る新しい方法の有効性をはっきりさせた。

具体的な成果としては、 N 体シミュレーションによる銀河の集団化は熱力学的理論によって記述される一連の準平衡状態にそって進化することを示した。また、この準平衡状態への進化は非常に急速に起こり、観測から得られる結果との比較より宇宙の密度パラメータ Ω_0 は0.1より大きくなければならぬことを示している。さらに集団化の初期の銀河の速度分散は比較的小さくなければならぬことも示している。

申請論文の後半では銀河が質量の異なる二種類の成分からなっている場合の銀河の重力集団化について調べている。重い方の銀河と軽い方の銀河の個々の質量比 m_2/m_1 をパラメータとしてこれが1から100までの場合について調べた。 $m_2/m_1 < 5$ の場合には、全体の分布は熱力学的理論より求められる $f(N)$ でよく記述できるが、 $m_2/m_1 > 10$ ではそれからのずれが顕著になり、グループの特徴的な個数(数十個)のところでピークをもつ分布となる。これは重い方の銀河の自己重力が優勢となると全体を一成分と見な

せなくなるためと思われる。その他重要な結果は、進化が進むと重い星の成分と軽い星の成分の速度分数が等しくなってくることである。これは進化が進むと二体遭遇による緩和よりも集団相互作用による緩和の方が重要となってくることを示している。

以上のように、申請論文は銀河の集団化の時間発展を、一般に行われている二体相関関数の時間発展を見る方法ではなく、系の熱力学的考察に基づく関数 $f(N)$ を使って記述するという立場での系の進化を理解することを試み、成功している。これは重力多体系における系の進化を理解する上に、一つのステップとなるものであり、この分野の発展に寄与することが大きい。参考論文も申請論文と関連の深い論文であり、恒星系力学における申請者の学識と研究能力を示すものである。

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。なお、主論文及び参考論文に報告された研究業績を中心に試問した結果、合格と認めた。