

氏 名	中 川 義 次 なか がわ よし つぐ
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理 博 第 539 号
学位授与の日付	昭 和 53 年 11 月 24 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	Statistical Behavior of Planetesimals in the Primitive Solar System (原始太陽系における微小惑星集団の統計的振舞い)
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

太陽系起源に関する最近の理論的研究によると、円盤状の原始太陽系星雲において、まず固体微粒子が生長、沈澱して赤道面に薄いダスト層が形成され、この層が重力不安定のために分裂して $10^{18} g$ 程度の質量をもつ微小惑星が誕生したものと考えられている。これらの微小惑星は、太陽系全体で 10^{12} 個という膨大な数をもち、太陽重力という外場の中で近似的にはケプラー運動をしていて、原始星雲のガス抵抗を受けながら相互に重力散乱や衝突を頻繁に繰返している。微小惑星は相互の衝突によって合体して、現在の惑星へと徐々に生長したものと考えられている。従って、最初に形成された微小惑星集団の統計力学的振舞いを明らかにすることは、惑星の形成過程を知るための基礎として重要な意義をもっている。

主論文は、上記のような微小惑星集団の振舞いを統計力学に基づいて詳細に調べ、ついで直接衝突による合体生長の過程を数値的に追跡したものである。申請者はまず、微小惑星に働く相互の重力の変動周期がケプラー周期に比べて十分短いことから、この変動を確率的なものとし、微小惑星の運動を確率微分方程式として定式化している。次に、この方程式から微小惑星の一体分布関数の従うべき方程式、すなわち Fokker-Planck 方程式を導出して、その解の解析的表現を見出している。このようにして得られた速度分布関数は通常のマックスウェル型ではなく、一般に時間に依存するガウス型の分布関数である。

以上のように分布が定常でないのは、微小惑星相互の散乱を通じて角運動量や運動エネルギーの交換があるためである。すなわち、角運動量や運動エネルギーを得た粒子の軌道半径は増大し、逆にこれらを失った粒子の軌道半径は減少する。このような相互作用の結果として、太陽を中心とした動径方向には微小惑星の拡散が絶えず起っていることになる。

申請者は、以上のように定常な分布関数が存在しないこと、すなわち微小惑星集団の統計的振舞いの一つの特徴は非可逆性にあることを明らかにしている。次に、他の特徴として、速度分布は非等方的であることを見出し、この非等方性は銀河における恒星の運動の非等方性に類似していることを指摘している。

さらに申請者は、その導出した分布関数で記述されるランダム運動の大きさがどのような物理過程によ

って決定されているかを明らかにしている。すなわち、微小惑星のランダム運動は一般に相互の重力散乱によって励起され、他方では星雲のガス抵抗によって抑制される。この励起と抑制の釣合いによって、ランダム運動の大きさが決定されている。さらに、このようなランダム運動に対応するケプラー軌道の軌道傾斜角と離心率の大きさの平均値は 10^{-3} から 10^{-4} の程度の小さい値をもつことを見出している。また、任意の初期分布をもって出発した微小惑星集団が上述の分布関数に従うようになるまでの時間、すなわち緩和時間は 10^4 年から 10^5 年の程度であること、またこれに比べて、微小惑星が動径方向の拡散によって軌道半径を 2 倍または $\frac{1}{2}$ に変えるのに要する時間は 10^{10} 年程度であることを見出している。

次に申請者は、上述の速度分布関数をもった微小惑星の衝突合体による生長過程を調べている。すでに明らかにしたように、ランダム速度の大きさはケプラー速度の 10^{-3} の程度であって、これは岩石の内部の音速に比べて十分小さい。そこで申請者は、衝突に際して破碎は起こらないで合体だけが起るものと仮定し、この場合の生長の方程式を数値積分することによって集団の質量分布関数は質量のほぼ 1.5 乗に逆比例すること、さらに 10^4 年から 10^5 年の間には、総質量の約 $\frac{1}{2}$ が微小惑星の初期質量の 10^3 倍以上の質量をもった物体に生長することを見出している。さらに申請者は、微小惑星が任意の逆べき法則に従う質量分布をもつ場合に、ランダム速度の大きさが主としてどのような質量をもつ微小惑星に支配されるかという問題をも調べている。その結果、質量の -2 乗よりもなだらかな質量分布の場合には、すべての微小惑星のランダム速度は主として大質量の微小惑星に支配され、 -2.5 乗よりも急な分布の場合には、主として小質量の微小惑星の存在に支配されることを明らかにしている。

参考論文 1 は、星雲間や恒星大気の中でブラウン運動をしている固体微粒子の衝突、生長の過程を詳しく調べたものである。また参考論文 2 と 3 は、収縮している星間ガス雲の中での各種の分子の形成過程を理論的に計算して、観測との比較を試みたものである。

論文審査の結果の要旨

1970年代に入って、太陽系の起源については次のような理論が有力なものと考えられるようになった。最初は原始太陽のまわりに、太陽の $\frac{1}{100}$ の程度の質量をもった円盤状の星雲が回転していたが、このガス雲内でまず固体微粒子が生長し、赤道面に向かって沈澱して薄い粒子層をつくる。この層は重力不安定のために細かく分裂して、平均質量が $10^{18} g$ の程度の微小惑星が形成される。これらの微小惑星は長時間の間に付着合体して惑星に向かって生長する。

主論文は、ブラウン運動の理論の一般化として、上記の微小惑星集団の運動の統計力学的な振舞いを解析的に明らかにしたものである。ついで、求めた速度分布関数を用いて、微小惑星の相互の衝突による合体生長の過程を数値的に追跡して、微小惑星の質量スペクトルの時間変化の様子を明らかにしている。

申請者はまず、微小惑星個々の運動を定めるものは太陽重力、星雲ガスの抵抗、及び相互の遭遇による重力散乱であることから出発する。この相互重力の変動周期がケプラー周期に比べて十分短いことから、重力変動を確率過程と見なして、微小惑星集団の運動を確率微分方程式として定式化している。これから一体分布関数の従うべき Fokker-Planck の方程式を導き、その解を解析的に求めることに成功している。求めた速度分布は一般に時間に依存するガウス型の分布であって、分布は定常ではなくて、動径方向には

絶えず微小惑星の拡散があることを示している。このほかに、速度分布は非等方的であって、ガスの赤道面に垂直な方向と平行な方向で差があること、微小惑星のランダム運動の大きさは重力散乱による励起とガス抵抗による減衰との釣合いによって定まること、さらに釣合達成の時間は $10^4 \sim 10^5$ 年であって、拡散の特性時間 10^{10} 年に比べてずっと短かいことを明らかにしている。

次に申請者は、以上で求めた速度分布関数を用いて、微小惑星が直接衝突して付着合体することによる質量スペクトルの時間変化を計算している。その結果、 $10^4 \sim 10^5$ 年の時間が経つと、最大質量のものは初期質量の 10^3 倍以上に生長していて、質量スペクトルは質量の -1.5 乗に比例しているという興味ある結論を得ている。

以上の主論文は、天体力学に非可逆的な統計力学の手法を導入することによって、太陽の重力場にある微小惑星集団の統計的振舞いの特性をはじめて明らかにしたものとして、太陽系の起源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、申請者が天体物理学や原子・分子の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。