

氏 名	水 野 博 みずのひろし
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理 博 第 653 号
学位授与の日付	昭 和 56 年 1 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	Formation of the Giant Planets (巨大惑星の形成)

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

木星や土星などの巨大惑星の起源については、これまで二つの異なった説が提出されている。一つは、太陽系星雲の形成時において、この星雲は重力不安定性によって木星程度の質量をもったガス状の巨大原始惑星に分裂したという考えであり、他の一つは次に述べるような微小惑星の集積過程の結果として形成されたという考えである。すなわち、太陽系星雲では、まず固体微粒子の生長、沈殿によって赤道面にダスト層が形成される。このダスト層は重力不安定性によって多数の微惑星に分裂し、微惑星は相互の衝突によって次第に成長し、あるものは月より大きな原始惑星となる。原始惑星はその重力によって、周りに星雲ガスを引きつけ、コアとガス層という二重構造を持つ。微惑星の捕獲によってコアが成長するとガス層の質量も増大し、コアの質量がある臨界値を超えると、ガス層は重力的に不安定になってコアに向かって崩壊し、巨大惑星の原型が形成されるものと考えられている。

主論文は、上述のような原始惑星のコアの生長時における、ガス層の温度・密度の分布とその時間変化の様子を計算して、重力崩壊が始まる臨界コア質量を求めたものである。その際、臨界質量の値が太陽からの距離やガス中のグレイン量にどのように依存するかを明らかにしている。ガス層の構造を解くに際して、申請者はガス層が球対称で静水圧平衡にあることを仮定し、またガス層内のエネルギー源としては集積する微惑星の放出する重力エネルギーを考えている。輻射の吸収係数を定めるグレイン量は明確でないので、パラメータとして、その種々の値について計算を行っている。主論文の最も大きな特徴は、これまでは無視されていた輻射のエネルギー輸送を厳密に考慮した点にある。その結果、ガス層は外部の等温領域、中間の輻射領域、内部の対流領域の三つから成っていて、この輻射領域の存在が臨界コア質量の決定に重要な役割をすることを明らかにしている。

申請者は、まず木星領域にある原始惑星のガス層の構造を数値計算してコア質量とガス質量の関係を求め、コア質量には上限値があることを見いだしている。これは、コアが成長してこの臨界値を越えると、ガス層は静水圧平衡にはあり得なくなり、重力崩壊することを意味する。ところで、申請者が見いだした

臨界コア質量はこれまで得られている値よりかなり小さい。その理由は、ガス層内に輻射領域が存在するために、ガス層の質量の大部分を占める対流領域のガスのエントロピーが小さくなり、輻射領域の存在を無視した場合に比べてガス層の密度が増大するためであることを指摘している。

次に申請者は、他の巨大惑星の領域、すなわち土星、天王星、海王星の各領域におけるコア質量とガス質量との関係を求めている。その結果、グレイン量が同一の場合には、この関係は木星領域における関係とほぼ同一であること、つまりコア質量とガス質量の関係は星雲内の位置によらずに恒等性が成りたっているという興味のある結論を得ている。この恒等性の存在は次のように理解できることを申請者は示している。4つの領域におけるガス層の構造、すなわち温度と密度の分布を比べると、輻射領域の外部では最外端の境界条件の差を反映して構造はかなり異なっているが、輻射領域内に入るとある一つの構造に漸近的に収束する。しかもガス層の質量の大部分は構造が収束した領域に含まれるので、上記の恒等性が成立する。さらに申請者は、輻射領域に入ったときの構造の収束性の原因を解析的に調べることによって、この収束は、ガスの質量の大部分が輻射領域より内部に存在することと、輻射領域では吸収係数がほとんど一定であることに帰因することを明らかにしている。

申請者は、以上の計算から、原始惑星のガス層がコアに向かって重力崩壊を始めるときのコア質量は太陽系星雲内の位置によらないという結論を得ている。他方、現在の巨大惑星の観測と内部構造の理論から、4つの巨大惑星のコア質量はほぼ等しく、地球質量の約10倍の値を持つものと推定されている。従って、申請者の上記の結論はこのコア質量の推定とは矛盾しない。さらに申請者の求めた臨界コア質量は、ガス層のグレイン量に依存し、グレイン量を妥当な範囲内で変化させると、地球質量の約2倍から10倍の範囲に変化する。上記の巨大惑星のコア質量の推定値を臨界コア質量で説明するとすれば、グレイン量はわが銀河の星間雲と同程度であることが要求される。最後に申請者は、地球などの内惑星が巨大惑星にならなかったのは、臨界コア質量に達する以前に内惑星の成長が停止したためであるという興味ある結論を述べている。

参考論文1は、主論文の先駆となったもので、輻射によるエネルギー輸送を無視した粗い近似のもとに臨界コア質量の計算を行ったものである。参考論文2は、地球形成時に太陽系星雲のガスが存在していた場合には、地球をとりまく原始大気の毛布効果によって、地球は約4000Kの高温状態にあり、岩石・金属物質は溶融していたことを示したものである。参考論文3は、参考論文2の結果を基にして、溶融した地球物質に原始大気の希ガスがどの程度溶解したかを調べたものである。

論文審査の結果の要旨

太陽系起源に関する最近の研究によると、太陽をとりまいていた円盤状の太陽系星雲の赤道面にまず薄いダスト層が形成され、この層が重力不安定性によって多数の微小惑星に分裂し、これらの微小惑星は相互の衝突・付着によって惑星へ徐々に生長したものと考えられている。この原始惑星がある程度以上に生長すると、その重力によって星雲のガスを周りに引きつけて、固体のコアとガスの外層という2重構造をもつようになる。微小惑星の捕獲によってコアの質量がさらに増大してある臨界値を越えると、ガス層は重力的に不安定になってコアに向かって崩壊を始めるが、これが木星や土星などの巨大惑星の形成の最初の

段階であると考えられる。

主論文は、上記のように微少惑星の付着によって成長している原始惑星のコアをとりまくガス層の構造を数値的に計算し、重力崩壊が始まる時のコアとガスの質量を見いだすことによって、巨大惑星の起源を説明することに成功したものである。まず申請者は、球対称・静水圧平衡の仮定のもとに、コアの表面に付着した微惑星の放出するエネルギーが輻射と対流によって外方に輸送されているガス層の構造、すなわち温度と密度の分布を詳しく計算している。その内容の大きな特徴は、申請者が以前に求めた輻射吸収係数の値を用いて、これまでの研究では無視されていた輻射によるエネルギー輸送の効果を考慮に入れた点にある。その結果、ガス層の光球の内部には輻射領域と対流領域の両者が存在すること、また輻射領域の構造はガスに含まれるグレイン量、すなわちグレインの輻射吸収係数の値に依存すること、さらにこの構造が臨界コア質量の値の決定に重要な役割をもつことを明らかにしている。

以上の結果として、申請者は、臨界コア質量はグレイン量に依存して地球質量の約2倍から10倍の範囲内の値をもち、グレイン量が一定の場合には、太陽系における惑星の位置にはほとんど依存しないという極めて興味ある結論を得ている。他方、現在の4個の巨大惑星の観測から、これらの惑星はいずれも地球質量の約10倍のコアをもっていることが推定されているが、上記の申請者の結論はこの推定値と矛盾しない。さらに申請者は、地球が巨大惑星にならなかったのは、臨界質量に達する前にコアの生長が停止したためであると結論している。

以上の主論文は、巨大惑星の初期の形成機構を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の諸分野におい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があるものと認める。