

氏 名	山 本 哲 生
学 位 の 種 類	理 学 博 士
学 位 記 番 号	理 博 第 489 号
学位授与の日付	昭 和 53 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	宇 宙 物 理 学 的 環 境 に お け る グ レ イ ン の 生 成

論文調査委員 (主査) 教授 長谷川博一 教授 林 忠四郎 教授 武藤 二郎

論 文 内 容 の 要 旨

この論文の目的は、ガスから固体が凝結する過程を nucleation theory の基礎の上に研究し、その結果を宇宙におけるグレイン（固体微粒子）の生成に適用することにある。

はじめに、グレイン生成の一般論を展開する。凝結可能な物質の原子を含んだガスが冷えてある温度に達すると、平衡論的に定まるある温度でガス圧と飽和蒸気圧とが等しくなる。さらに、冷却が進んで過飽和の程度がある値に達すると ガス中での nucleation がさかんになり、ここで実際に固体の生成が起る。すなわち nucleation process で生じた 固体のたねがまわりの蒸気を付着させてグレインへと成長する。それに伴って原料となる物質の蒸気は消費される。すなわち、過程を支配する基礎方程式は、グレイン半径の成長の方程式と、原料の蒸気の消費の方程式とである。

これらの2つの方程式は2個のパラメータのみを含むことが見出される。1個は体系の（ガス圧）／（冷却速度）に比例し、体系の物理的状況を反映する。他の1個はグレイン物質の表面張力に関係する。このことは、グレイン生成過程に一種の相似側が成立することを意味する。

これらの方程式は、数値的にも、近似的な解析的表現を用いても、解くことができる。グレイン生成は、平衡温度に達してからある待ち時間の後におこる。グレインのたねができる 時間は待ち時間の 10^{-2} 程度、グレインが生成する時間は待ち時間の 10^{-1} 程度である。

生成されるグレインの半径を求めることができる。それは、上記の第1のパラメータにほぼ比例し、第2のパラメータにあまりよらない。またグレインの半径の分散は一般的に小さいことが示される。このことから、グレインの総数が求められる。また、実際にグレインができる温度と平衡温度との差を求めることができる。それはグレイン物質の表面張力の1.5乗に比例する。

いままでに発表された種々のグレイン生成の理論において仮定されている体系の物理的状況では、上記の第1のパラメータは、新星から放出されるガスでは、1ないし 10^2 であり、対応するグレイン半径は $100\text{\AA}$ 以下である。低温度星大気では、 10^4 ないし 10^6 であり、対応するグレイン半径はミクロンの程

度、原始太陽系星雲では、 10^7 ないし 10^{10} であり、対応するグレイン半径は数百ミクロンからミリメートルの程度になる。

つぎに、これらの結果を原始太陽系星雲へ応用すると、いくつかの新しい知見が得られる。第1は、この理論では太陽系星雲の冷却速度がグレインの半径と関係して求められることである。もし始原的な隕石の中などに、グレイン生成後なんの変成もうけていない固体が確認されたならば、その大きさから、今までの理論を使っては推定することができなかった太陽系の冷却速度を知ることができる。第2は、太陽系星雲の中で凝結する種々の物質の固化の順序に関することである。今までの理論では、平衡温度をもって固化の温度としていた。その結果によれば、鉄がマグネシウムシリケートに先だって固化する。このことから、先に固化した鉄がまず集まって惑星の内核を作るというモデルができています。ところがここで展開した理論を用いると、実際の固化温度は平衡温度と異なっており、計算の結果はマグネシウムシリケートが鉄よりも先に固化することを示す。

宇宙で実際にグレインが形成される過程が観測できるのは、新星から放出されたガスについてである。新星のなかには、爆発後数10日を経て急激に赤外放射が強くなるものが観測されている。これは放出されたガスが膨張して冷え、その中で生じたグレインが中心星の光を吸収し、赤外線として再放出することによるとして説明されてきた。

この場合のグレインの生成に、ここで展開した理論を適用するには注意を要する。新星の場合、上記のパラメータは小さいが、そのときにはこの理論で用いられている nucleation の起る割合—これは定常 nucleation theory にもとづく—が疑問になる。にもかかわらず得られるグレイン半径は観測を説明するに適当な値である。そこで非定常 nucleation theory による計算を行う。いくつかの方程式を連立させて数値計算をすることによって nucleation の起る割合を求め、グレインの半径を計算すると同じく数 $10\text{\AA}$ の大きさとなる。これらの結果を用いて新星からの赤外放射の量を求めると、新星が数10日後に赤外放射の急激な増大を起すかどうかは、新星から放出されるガスの質量に依存し、太陽質量の 3×10^{-4} 倍以上の場合に赤外放射の増大が起ることが示される。

論文審査の結果の要旨

宇宙の空間にはほとんどいたるところに固体の微粒子が存在する。また原始太陽系星雲のなかに存在した固体の微粒子が集積して惑星を形成したと考えられる。これらの固体微粒子—グレイン—がどのようにして生成されたかは極めて重要な問題であるが、従来の研究は必ずしも十分な物理的考察の上に行われていたとはいえない。すなわち、原始太陽系については鉱物の生成は化学平衡論にもとづいて研究され、また星から放出されたガスの中でのグレイン生成については個々の対象ごとにその物理的な状況を想定して研究されている。

申請者の論文は、宇宙元素比に等しい元素組成をもつ高温のガスが冷却するとき、ガス中で固体が凝結する過程を物理的に考察し、nucleation theory を基礎として、グレイン生成の一般論を展開したもので、問題の着眼点は極めて適切といえる。

申請者は、まず、過程を支配する基礎方程式として、従来から用いられていたグレイン半径の増大の

方程式に加えて、固体の原料物質の蒸気の消費の方程式が重要であるとして、これら2つを採用した。後者の方程式は以下の展開において極めて重要なもので、この方程式を加えることによって始めて、生成されるグレインの半径やその分散、グレインの総数などの観測と比較可能な量を求めることができた。またこれら2つの方程式が、結局は（ガス圧）／（冷却速度）に比例するパラメータと、グレイン物質の表面張力に依存するパラメータのみを含むという、一種の相似則を見出した。これは宇宙現象のシミュレーション実験の基礎を与えるものでもある。このように、ここで展開された一般論は豊富な内容をもっているといえることができる。

申請者はつぎに、従来発表された種々のグレイン生成の理論において仮定されている体系の物理的状況において、上記の第1のパラメータの値を求め、生成されるグレインの半径を推定している。その結果は、新星から放出されるガスでは $100\text{\AA}$ 以下、低温度星の大気ではミクロン程度、原始太陽系星雲では数百ミクロンないしミリメートル程度となる。

これらの結果を原始太陽系星雲へ応用すると、従来の考え方では知りえなかった結果がえられる。第1に太陽系星雲の冷却速度がグレインの半径から導き出される。第2に、太陽系星雲中で凝結する種々の鉱物の固化の順序が従来の理論の結果と逆転する。特に重要なことは、従来の理論では鉄がマグネシウムシリケートに先立って固化するのに対して、申請者の理論ではこの逆となる点である。このことは太陽系星雲中のグレインが集積して惑星となる過程に大きな影響をもつと考えられる。

申請者は、最後に新星から放出されるガス中のグレイン生成を取り扱っている。その際、ここで仮定している定常 nucleation theory のほかに、非定常 nucleation theory の取扱いも試みた。いずれの場合にもグレイン半径は数 $10\text{\AA}$ となり、観測と比較しうる結果を得ている。

以上のように、申請者の論文は新しい着想のもとに、従来の理論と全く異なる側面から宇宙におけるグレイン生成の問題を解明したものである。

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。