

氏 名	鈴 木 博 子 すず き ひろ こ
学 位 の 種 類	理 学 博 士
学 位 記 番 号	理 博 第 604 号
学位授与の日付	昭 和 55 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	Molecular Evolution in Interstellar Clouds. I. Ion Chemistry in Dense Clouds (星雲間における分子成長 I. 高密度雲のイオン化学)
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 教授 山本常信

論 文 内 容 の 要 旨

星間空間に存在する分子については、電波観測によって1963年に OH, 1968年に NH₃ が発見されて、現在では45種にのぼる分子が同定されている。その中には、C₂H や HCO などのラジカル、HCO⁺ や N₂H⁺ などのイオン、さらには (CH₃)₂C や HC₃N などの巨大な分子が含まれている。これらの分子が存在する星雲間の温度は 20~50°K, H原子と H₂ 分子の数密度は 10²~10⁶cm⁻³ という低温低密度の状態にあり、また宇宙線の入射によって原子と分子の一部はイオンに電離していることが知られている。

このような地上の実験室とは大きく異なった状態における分子の存在を説明するために、これまで種々の分子形成過程が提案されてきた。これらは固体微粒子の表面における反応と気相での2体反応とに大別される。表面反応は、H₂ 生成を除くと、実験的にも理論的にもまだ明らかにされていない。他方、低密度の気相反応では、3体反応はほぼ無視できるので、中性の原子や分子が衝突に際してそのまま結合することは困難である。しかし、宇宙線によって分子が電離していると、低温でも可能なイオン—分子反応によって、原子を組みかえながら結合することによって大きな分子を形成することが可能である。これまで、上記の H₂ を生成する表面反応とイオン—分子の気相2体反応によって、比較的簡単な星間分子がある程度生成されることが理論的に示されていたが、4個以上の原子を含んだ分子を気相反応で形成することは容易でないと考えられていた。

主論文は、比較的高密度の星間雲において、H₂ 形成の表面反応とイオン—分子気相反応によって原子から複雑な分子が形成される反応系列を詳細に調べ上げて、230種の分子が関与する反応式を数値的に解くことによって、これらの分子の存在量の時間変化の様子を明らかにしたものである。申請者はまず、数多くの2体反応の反応率を調べて、有効な反応の進行系列の全体のネットワークをつくりあげている。その際、高エネルギー宇宙線によって電離したイオンが電子と再結合するまでの間に進行するイオン—分子反応の回数が分子成長を定める重要な因子であることを見出している。また、イオン—分子の反応率は温度や反応の種類にほとんど依存しないことから、反応の時間が十分にあれば複雑な分子の生成が可能であ

ることに注意している。

申請者は、星間雲の化学組成は太陽と同一であるものとし、HとHeについて大量に存在する6種の重元素、C、N、O、Mg、Si、Sを考えている。まず、これらの重原子を2個まで含む分子としては、生成量がごく微量なものを除いた、28種のイオンと44種の中性分子を考え、そのすべての組み合わせの2体衝突による発熱反応を調べている。これらの反応の中で反応率の実験値が知られているのは約1/10に過ぎないが、その実験値は例外なくLangevinの反応率の値に近い。このことから、申請者は実験値のない発熱反応についてはLangevinの反応率を採用し、また反応後のチャネルが多数ある場合には等しい確率をもっておこることを仮定した。さて、重原子を2個まで含む分子の反応の結果として、重原子を3個ないし4個含む分子が生成されるが、これらの分子の関与する反応については、重原子をさらに付加する反応は無視し、荷電交換反応などの重原子を付加しない反応だけを考慮することによって反応系を完結させている。以上のようにして申請者が作製した最終的な反応系は、 H_2 生成の表面反応、2491個のイオン-分子反応、383個の電子-イオン再結合反応、10個の宇宙線による電離・分解反応からなり、総計234種の原子、電子、イオン、中性分子が関与するものになっている。

以上の準備のもとに申請者は、星間雲の密度として $10^3 H$ 原子 cm^{-3} 、温度として $30^\circ K$ 、宇宙線強度としてH原子の電離率 $10^{-18} sec^{-1}$ を採用し、原子から始まる反応の時間変化を計算して、次の結果を見出している。まず、比較的初期の段階では、 H_2 分子の生成に伴って比較的簡単な分子の存在量が増大する。ついで、約 3×10^3 年以後においては、宇宙線による1回の電離からその再結合がおこるまでの間に、数回のイオン-分子反応がおこるようになり、種々の分子形成が活発になって複雑な分子が生成される。この生成過程は、C原子がCO形成のために消費される時期($t \sim 3 \times 10^7$ 年)まで続き、この時期にはCを含む分子は、COを除いて、すべて最大の存在量をもつ。その後、これらの分子の存在量は少し減少して定常値を保つようになる。

以上の結果から、申請者は有機分子の成長にはC原子の存在が重要であること、また星間雲が 10^7 年以上の寿命をもつ場合には、観測されている諸種の分子の存在量、またはこれを上まわる量の分子形成も可能であることを結論している。

参考論文1と2は、主論文の先駆となったもので、主論文に比べてはるかに小数の分子種をとり上げて、最初は紫外線が入射可能な程度に希薄な星間雲が重力的に収縮して高密度雲になるまでの期間における分子生成過程を調べたものである。その結果、密度の増大によって紫外線が入射しなくなった時点で分子の存在量が急激に増大し、その後も原子から分子への変換が続くこと、しかしすべてのC原子が分子になるには星間雲の自由落下時間よりもはるかに長い時間を必要とすることを見出している。参考論文3は、主論文の内容をその後の進展も含めて、1979年8月開催の国際天文連合のシンポジウムにおいて、発表した際の集録である。

論文審査の結果の要旨

約15年前から、分子が放出、吸収するスペクトル線の電波観測によって、星間雲に多種の分子が存在することが発見されていた。これらの分子の生成過程としては、これまで、固体微粒子の表面における反応

と気相におけるイオン—中性分子の反応が考えられてきたが、研究は比較的簡単な分子の生成に限られていて、C, N, O などの原子を3個以上も含むような複雑な分子の形成が可能かどうかは明らかでなかった。

主論文は、極めて低温低密度の状態でおこりうる多種多様な原子・分子反応の反応率を詳細に調べることによって、234種にのぼるイオンと中性分子の間におこる重要な反応の系をつくり上げること的成功し、さらにこれらの分子の存在量の時間変化を数値的に計算することによって、比較的に高密度の星間雲ではC, N, O などの原子を4個含むような分子の形成が可能であることをはじめて明らかにしたものである。申請者が重要であることを見出した反応は、(1)微粒子表面における H_2 の生成、(2)宇宙線による H, H_2 , He, などの電離、(3) H, H^+ などの移行を通じて構成原子数を変化させる、イオン—中性分子の2体反応、(4)イオンが電子と再結合したときの分解、(5)中性分子が He^+ と衝突したときの分解などである。

申請者はまず、一般的な考察によって、分子の生長をきめる重要な因子は種々の分子の間をめぐる電荷の移動であって、宇宙線によって1個の電子が電離したとき、この電子がどれかのイオンと再結合するまでの間に多数回のイオン—分子反応がおこることが分子生長の条件であることを明らかにしている。さらに、申請者は星間雲のガスの温度と密度は一定値、 $30^\circ K$ と $10^5 H$ 原子 cm^{-3} 、をもつものとし、太陽と同一の化学組成の原子から出発した場合に、各種の原子・分子の存在量が時間的にどのように変化するかを明らかにすることに成功している。すなわち、まず H_2 が生成されると、 $H_2^+ + H_2$ の反応で生じた H_3^+ が重原子と反応してH化合物を生じ、以後逐次的なイオン—分子の反応を通じて、原子を多数含んだ分子が形成されることを明らかにしている。とくに、 10^7 年の程度の時間が経過すると、C, N, O を3個ないし4個含んだ分子が観測値と同じ程度、またはそれ以上に生成されるという興味ある結果を得ている。

以上の主論文は、星間雲における複雑な分子生成の反応過程を明らかにしたものとして、星間雲の構造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、申請者が原子・分子の物理学や星間物質に関する天体物理学の広い分野にわたって豊富な知識と優れた研究能力をも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。