

氏 名	小 池 千 代 枝 こ いけ ち よ え
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理 博 第 261 号
学位授与の日付	昭 和 47 年 9 月 25 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	Production of Light Elements in the Solar System (太陽系での軽元素の生成)
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

化学元素の起源についてはいままで多くの研究があり、大多数の元素は星の進化の過程で核融合反応によって生成されたものと考えられている。すなわち、もっとも軽い水素 (H) 原子核から出発して、ヘリウム (He)、炭素 (C)、窒素 (N)、酸素 (O)、ネオン (Ne) と、順次重い元素がつくられていく。その合成過程はくわしく調べられ、その結果は、星のエネルギー源、星の進化、宇宙元素の存在比等の観測事実にてらして満足すべき結論に達している。しかしながら、ヘリウムよりも重く炭素より軽い3種類の軽元素、リチウム (Li)、ベリリウム (Be)、硼素 (B) については、星の中の核融合反応によって作られたものでなく、宇宙線が物質を照射し、その中の主として C, N, O, Ne 等の原子核の破壊によって生じたものと考えられている。この生成過程についてはいくつかの研究があるが、いまだ定説がなく、観測事実との一致は十分でない。

申請者の研究は、太陽の進化の初期の段階で、林フェイズといわれる極めて活動的な期間において、太陽から放出される太陽宇宙線が惑星となる前の始原物質を照射して、原子核破壊によりこれらの軽元素を生成する過程を系統的に調べたものである。林フェイズにおける太陽宇宙線のエネルギースペクトルは、現在の太陽宇宙線のそれと大いに異なる可能性があるとしている。太陽宇宙線のエネルギースペクトルは、剛さという量で表示されるが、剛さのスペクトルは指数関数形とし、平均の剛さ R_0 の値として 50MV から 700MV にわたる広い範囲を採っている。また、太陽宇宙線の陽子成分のほかにヘリウム成分の役割を重視し、ヘリウム成分と陽子成分との比として1ないし1/20の範囲をとっている。これらの太陽宇宙線は、惑星始原物質を照射し、(1)陽子による C, N, O, Ne の破壊、(2)ヘリウムによる C, N, O, Ne の破壊、(3)ヘリウム-ヘリウム反応によるリチウム同位体 ${}^7\text{Li}$, ${}^6\text{Li}$ の生成によって軽元素を生じる。この割合を決める核反応の断面積については必ずしもデータがそろっていないので、未知の断面積は測定された値から推定し、特にヘリウム-ヘリウム反応の断面積については類似の反応からの推定法を論じている。

生成された軽元素の量は、地殻、隕石等の観測結果と比較される。特にリチウムおよび硼素の同位体比

${}^7\text{Li}/{}^6\text{Li}$, ${}^{11}\text{B}/{}^{10}\text{B}$ の観測値はそれぞれ10ないし12, および約4であり, これとの比較がまづなされている。さきの太陽宇宙線の平均剛さ R_0 , ヘリウム・水素比 X をパラメータとして, 計算した結果得られる一般的結論は次に要約される。

(1) ヘリウム-ヘリウム反応は, 平均剛さ R_0 が大きくなると ${}^7\text{Li}/{}^6\text{Li}$ ${}^{11}\text{B}/{}^{10}\text{B}$ を増加させ, 観測値と矛盾しない結果が得られるが, これ以外の反応ではそうならない。

(2) 硼素の同位体比 ${}^{11}\text{B}/{}^{10}\text{B}$ は, 平均剛さ R_0 が 50MV 以下の場合を除いて, あまり R_0 の値によらない。陽子による核破壊では観測値とほぼ一致する。ヘリウムによる核破壊はこの比を低下させる。

(3) リチウムとベリリウムの存在比 Li/Be は, 陽子およびヘリウムの核破壊では観測値より小さすぎ, ヘリウム-ヘリウム反応では大きすぎる値を与える。

申請者は, 上記(1)(2)(3)の一般的結論から, 観測値を矛盾なく説明するためのひとつのモデルとして, 照射される惑星始原物質の存在様態が, 様な組成をもたない可能性を指摘している。すなわち, ヘリウム-ヘリウム反応がおこり, ヘリウムの核破壊がおこらないためには, 陽子と比して吸収されやすい太陽宇宙線中のヘリウムは, H および He ガス中で一部ヘリウム-ヘリウム反応を起し他は吸収されるが, 陽子はこのガスを透過して, その中に含まれる C, N, O, 等に衝突してこれを破壊するというものである。

論文審査の結果の要旨

太陽系の進化の研究には, その力学的性質を調べるものと, 太陽系を構成する物質形態を調べるものがあるが, 申請者の研究は後者に属するものである。大多数の化学元素と異なり, リチウム, ベリリウム, 硼素等の軽元素は, 宇宙線粒子の照射によって生成されと考えられるので, これらの軽元素の生成の研究が, 太陽宇宙線の過去の状態や生成される物質の分布等を明らかにするであろうとの期待のもとで, この研究は行なわれている。従来のこの方面の研究で, 特に困難を生じているのはリチウムの同位比 ${}^7\text{Li}/{}^6\text{Li}$ が観測においては10ないし12となるに対し, 計算値はかなり低い値を示す点にあり, この難点を救うために, 熱中性子の ${}^6\text{Li}$ による吸収, あるいは太陽の対流により ${}^6\text{Li}$ が内部に運ばれ熱核反応によって破壊される過程等が提唱されている。申請者はこのような提案以前に, 問題が十分よく系統的に論じられていないことに注目し, 太陽宇宙線による核反応過程の一般的な傾向をくわしく調べる必要があると考えている。

申請者が, このような観点からこの研究において特に考慮したのはつぎの諸点である。

(1) 従来の研究では, 太陽宇宙線のエネルギースペクトルは現在観測されるものとほぼ同じ形が採られているが, 太陽系初期の活動的な段階ではそのエネルギーは現在のものよりはるかに高い可能性がある。エネルギースペクトルを剛さによって表示したとき, 平均剛さとして従来 200MV 程度まで考えられてきたが, この研究では 50MV から 700MV という広い可能性を考慮している。

(2) ${}^7\text{Li}/{}^6\text{Li}$ の問題に関し, 太陽宇宙線の陽子, およびヘリウムによる惑星始原物質中の C, N, C, Ne の核破壊による生成機構に加えて, ヘリウム-ヘリウム反応が重要である。前2者の核反応生成断面積の値については, かなりの実験データもあり, またその結果は断面積の値にそれほど依存しないが, 後者の生成断面積は特に高いエネルギーにおいて実験データがなく, また結果は断面積の値に大きく依存する。

この断面積の一般的傾向を、類似の核反応を論じて推定している。

(3) 観測結果との比較については、従来の研究では軽元素に関するデータのすべてと一様に比較しているが、軽元素生成後に起りうる物理的・化学的諸過程を考察して、同位体比に関するもの、 Li/Be の存在比に関するもの、硼素の存在量に関するもの、の順に重みが減少するとして取扱っている。

申請者が得た一般的結論の主なものは3点ある。第1のヘリウム-ヘリウム反応に関する結論すなわち、剛さ R_0 の増大とともに ${}^7\text{Li}/{}^6\text{Li}$ が増加するというのは、ヘリウム-ヘリウム反応の断面積が推定値であるという不確定さはあるが、従来太陽宇宙線の照射のみでは説明しえなかった ${}^7\text{Li}/{}^6\text{Li}$ 比の問題について興味ある指摘である。第2の硼素の同位体が、陽子照射では観測と矛盾せず、ヘリウム照射がこれを低下させるという結論は、初期の太陽宇宙線の組成、あるいは照射される物質が様な化学組成をもたない可能性を示しているものである。申請者は後者の場合を論じているが、照射物質の存在形態について新しいモデルということができる。第3のリチウムとベリリウム比が、陽子およびヘリウムの核破壊では過小で、ヘリウム-ヘリウム反応では過大という結論は、初期の太陽宇宙の組成について新しい知見を与える。

以上を要するに、申請者が、太陽宇宙線による軽元素生成過程を系統的に追求した結果、観測値と矛盾しない説明を与える場合があることを示すとともに、初期の太陽宇宙線の組成やエネルギー、惑星始原物質の存在形態についても興味ある指摘を行なったと言うことができる。

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。