

# 論文審査の結果の要旨

氏名 日下部 元彦

本論文は6章からなる。第1章はイントロダクションであり、標準的なビッグバン元素合成理論では ${}^6\text{Li}$ と ${}^7\text{Li}$ の計算値と観測値が一致しないというリチウム問題があることを説明している。また、その問題の原因を探求するために、宇宙初期に起こりうる元素合成過程、特にそれへの未発見粒子の存在の影響を研究することが本論文の主目的であることが述べられている。

第2章は長寿命粒子の放射性崩壊による ${}^6\text{Li}$ 合成を計算している。そして、 ${}^6\text{Li}$ を観測値以上に合成し、かつ他の元素が観測値と矛盾しないような粒子の寿命と存在比の範囲を明らかにし、その範囲での ${}^6\text{Li}$ の合成量を初めて詳細に調べている。この研究では、先行研究で調べられていなかった、非熱的な1次核反応で合成されるD,T, ${}^3\text{He}$ , ${}^6\text{Li}$ の2次核反応での破壊の効果が最終組成に与える効果を調べた。結果として、この過程が全観測と矛盾せず ${}^6\text{Li}$ を観測値以上に合成できることと、観測値の約10倍以上は合成できないことを初めて示した。また、2次核反応でのD,T, ${}^3\text{He}$ , ${}^6\text{Li}$ の破壊が最終組成に与える効果は0.1%以下であることを示した。 ${}^6\text{Li}$ が合成されるパラメータ領域では、不安定な長寿命粒子の崩壊で出る放射線が宇宙背景放射のエネルギー分布にある程度以上の歪みを残すため、将来の気球実験で検証可能であることを示した。

第3章は不安定な負荷電粒子 $X^-$ が存在するときのビッグバン元素合成を調べている。 $X^-$ が存在すると $X^-$ は原子核と束縛状態を形成し、標準的には考えられていない核反応を起こしうる。この研究では、この束縛エネルギーの現実的な計算を行い、有効な共鳴反応の捜査を初めて一貫して行った。特に、 $X^-$ と ${}^7\text{Be}$ の束縛状態 ${}^7\text{Be}_x$ が陽子と反応し、 ${}^8\text{B}_x$ という原子様基底状態を経由する共鳴反応が ${}^7\text{Be}_x$ を破壊する反応として存在することを初めて提案した。この型の反応は未発見粒子が存在することにより初めて可能になる反応である。この研究では膨張宇宙の中で $X^-$ 粒子と普通の原子核との間の再結合、 $X^-$ に束縛した原子核の再電離、それらに関連し起こりうる多くの新しい核反応を標準的なビッグバン元素合成と同時に解くネットワーク計算コードを開発した。また、量子三体計算で得られている最新の反応率を用いて反応ネットワーク計算を行い、これまでで最も現実的な結果

を示した。その結果から、誤差の大きい反応率を用いて計算された先行研究とは異なる変数領域に、 ${}^6\text{Li}$  と  ${}^7\text{Li}$  の問題を同時に解決できる範囲が求まった。

第4章では不安定な強い相互作用をする粒子（強粒子）が存在するときのビッグバン元素合成が初めて研究されている。この粒子と原子核の束縛状態形成をビッグバン元素合成と同時に解くコードを開発し、このような計算を初めて行った。先行研究として安定な強粒子が存在する場合の元素合成の計算は成されていたが、不安定な強粒子が存在する場合の元素合成結果は全く異なり、重い原子核が合成される可能性が示された。このシナリオでは  ${}^6\text{Li}$ 、 ${}^7\text{Li}$  問題の解は得られなかったが、このような粒子の崩壊寿命や存在度に対して制限を与えることができた。

第5章では、銀河形成前の超新星宇宙線による  ${}^6\text{Li}$  の合成が研究されている。この研究では  ${}^6\text{Li}$  とともに  $\text{Be}$ 、 $\text{B}$  の合成量を初めて計算し、更に宇宙化学進化モデルを適用することにより、低金属星の組成観測と比較した。その結果、 ${}^6\text{Li}$  がこの過程を起源とするというシナリオは  $\text{Be}$  と  $\text{B}$  の観測値と矛盾がないことを示した。この結果は現在観測されている星よりも低金属の星は、ある一定レベルの  $\text{Be}$  と  $\text{B}$  を含むことを示し、今後の観測により、この過程の痕跡を明らかに出来ることを示した。

第6章はまとめである。以上、第3章において  ${}^7\text{Be}_x$  が陽子と反応し、 ${}^8\text{B}_x$  という原子様基底状態を経由する共鳴反応が  ${}^7\text{Be}_x$  を破壊する反応として存在することを初めて提案するなどし、これまでで最も現実的な結果を示したこと、第4章で不安定な強粒子が存在するときのビッグバン元素合成計算を初めて行ったことや第5章で低金属星における  $\text{Be}$  と  $\text{B}$  の組成から超新星宇宙線による  ${}^6\text{Li}$  の合成モデルの検証が行えることを示した点は特に高く評価できる。なお本論文2章は梶野敏貴、G. J. Mathews と、3章は梶野敏貴、R. N. Boyd、吉田敬、G. J. Mathews、との共同研究であるが、論文提出者が主体となって研究を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。従って、博士（理学）の学位を授与できると認める。