



# A New Limit of the Flux Ratio He/He in Cosmic Rays

Sasaki, Makoto

---

(Degree)

博士 (理学)

(Date of Degree)

2000-03-31

(Date of Publication)

2015-10-20

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲2080

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.11501/3173019>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1002080>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏名・(本籍)	ささき 佐々木	まこと 誠	(広島県)
博士の専攻分野の名称	博士(理学)		
学位記番号	博い第127号		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
学位授与の日付	平成12年3月31日		
学位論文題目	A New Limit on the Flux Ratio $\overline{\text{He}}/\text{He}$ in Cosmic Rays (宇宙線反ヘリウム/ヘリウムのフラックス比に対する上限の決定)		
審査委員	主査 教授 野崎 光昭	教授 武田 廣	教授 林 青司

### 論文内容の要旨

物理法則は物質と反物質とをほとんど対照的に取り扱う。しかし、地球上には物質のみしか存在しておらず、また、 $\gamma$ 線の観測結果から、我々の銀河中での反物質の存在および10Mpc 以内の範囲での反物質クラスターの存在は強く制限されており、局所的には物質と反物質との対称性は破れている。

この物質と反物質との対称性の破れが、局所的なものであるのか、それとも全宇宙的なものであるのかという問題は、宇宙物理学の根本的な問題である。多くの宇宙物理学は、この対称性の破れを全宇宙的なもののみならず、この対称性の破れを基本原理から説明しようとしている。

しかし、もし物質と反物質との対称性の破れが、局所的なものであるとすれば、宇宙が物質と反物質領域に分かれたドメイン構造をしている可能性も指摘されている。Stecker らの計算によれば、数100Mpc 程度の宇宙 scale のなかに反物質クラスターが存在したとすれば宇宙線観測を通じて、ヘリウム流束に対し $10^{-6}$ 程度の反ヘリウムが観測されるとの算定も示されている。反ヘリウムは宇宙線の衝突により二次的に生成される確率が極めて小さく、もし観測することができれば反物質クラスターの存在を示す直接的な証拠となる。

我々は宇宙線中の反ヘリウムを探索するため、超伝導ソレノイドを搭載したスペクトロメータを大気の影響をほとんど受けない高空まで打ち上げて行なう気球実験、“Balloon-borne Experiments with Superconducting solenoidal magnet Spectrometer (BESS)”を行なっている。この論文では、1997~1999年のデータを用いて解析を行った。

BESS 測定器は、薄肉超伝導ソレノイドの内外に磁気硬度測定用ドリフトチェンバー、トリガー用ドリフトチェンバー、粒子速度・エネルギー損失測定用シンチレーションカウンター等を円筒状に配置した、大立体角・高精度のスペクトロメータである。超伝導ソレノイドはその内部にほぼ均一な1 tesla の磁場を生成し、ドリフトチェンバーによる位置測定はMDR 200 GV である。

トリガーは、宇宙線中の大部分を占める陽子、ヘリウムを取り除き、観測対象である反陽子、反ヘリウムなどの負電荷粒子の事象をより効率的に記録するように設計された。シンチレーションカウンターの信号によって第一段のトリガー (T0 トリガー) が作られ後、トリガー用ドリフトチェンバー

が粒子の電荷の正負の判別して、負電荷の粒子を多くとるようバイアスをかけてデータ収集システムを起動し、各測定器のデータを磁気テープに記録する。このトリガーの効率の測定や陽子、ヘリウム等の流束測定も行なうため、TO トリガーのうち一定の割合を無条件にデータ収集した。

観測した粒子の識別は、粒子の磁気硬度のほか、速度およびシンチレーションカウンタとドリフトチェンバーでのエネルギー損失に基づいて質量および電荷を決定することにより行われる。データ解析ではまず、入射粒子が物質との相互作用した場合などに起こり得る粒子の誤認を防ぐため、いくつかの条件を課して事象を選別した。条件を通過した事象について、粒子のエネルギー損失、速度と磁気硬度の分布より、ヘリウム（反ヘリウム）に対応するイベントを選び出した。

こうして識別されたイベント中に反ヘリウムは一例も見つからなかった。

その結果、われわれは磁気硬度 1 GV~16GV の領域で、宇宙線中のヘリウムに対する反ヘリウム流束の上限値として、 $8.8 \times 10^{-7}$  (95% C.L.) を得た。これは既存の他の実験結果に比べて 1/100 以下の値である。

これにより、我々の銀河およびその周辺の宇宙が物質のみからできていることの最も直接的な証拠を与えた。

## 論文審査の結果の要旨

物理法則は物質と反物質とをほとんど対称的に取り扱う。しかし、地球上には物質のみしか存在しておらず、また、 $\gamma$ 線の観測結果から、我々の銀河中での反物質の存在および 10Mpc 以内の範囲での反物質クラスターの存在は強く制限されており、局所的には物質と反物質との対称性は破れている。この物質と反物質との対称性の破れが、局所的なものであるのか、それとも全宇宙的なものであるのかという問題は、宇宙物理学の根本的な問題である。多くの宇宙物理学者は、この対称性の破れを全宇宙的なものともみなしており、この対称性の破れを基本原理から説明しようとしている。しかし一方で、もし物質と反物質との対称性の破れが局所的なものであるとすれば、宇宙が物質と反物質領域に分かれたドメイン構造をしている可能性も指摘されている。

反ヘリウムは宇宙線と星間物質との衝突により二次的に生成される確率が極めて小さく、もし観察することができれば反物質クラスターの存在を示す直接的な証拠となるであろう。本論文提出者は、宇宙線中に極微量含まれているかも知れない反ヘリウム原子核の探索を気球搭載型超伝導スペクトロメータを用いて行っている。本論文は1997年及び1998年にカナダで行われた2回の気球実験の結果をまとめたものである。

第1章（序論）では、上述の反ヘリウム探索の素粒子物理学・宇宙物理学上の意義がまとめられている。第2章では実験に用いた BESS 測定器について、その構成ならびに性能について詳細に述べられている。BESS 測定器は、薄肉超伝導ソレノイドの内外に磁気硬度測定用ドリフトチェンバー、トリガー用ドリフトチェンバー、粒子速度・エネルギー損失測定用シンチレーションカウンター等を円筒状に配置した、大立体角・高精度のスペクトロメータである。本論文提出者は測定器の中で主にトリガーシステム、データ収集システムの開発・製作を担当してきた。BESS 測定器のトリガーは、宇宙線中の大部分を占める陽子やヘリウムを取り除き、観測対象である反陽子、反ヘリウムなどの負電荷粒子の事象をより効率的に記録するように設計された。シンチレーションカウンター及びトリガー用ドリフトチェンバーのヒット情報から電荷の正負を判別して、負電荷の粒子を多くとるようなバイアスをかけてデータ収集システムを起動する。

第3章では気球実験の概要がまとめられ、第4章ではデータ解析方法について述べられている。データ解析ではまず、入射粒子が物質との相互作用した場合などに起こり得る粒子の誤認を防ぐため、いくつかの条件を課して事象を選別した。条件を満たした事象について粒子のエネルギー損失と速度を硬度（運動量／電荷）の関数として求め、ヘリウム（反ヘリウム）に対応するイベントを選び出した。こうして識別されたイベント中に反ヘリウムは一例も見つからなかった。第5章では、測定器の検出効率や反ヘリウム事象の抽出のために用いた様々な条件に対する選択効率の補正を行っている。その結果、硬度1GV~16GVの領域において、宇宙線中のヘリウムに対する反ヘリウムフラックスの上限値として、 $8.8 \times 10^{-7}$  (95% C.L.)を得た。これは既存の他の観測結果に比べて1/100以下の値であり、本研究により宇宙線反ヘリウムの存在に対して世界で最も厳しい観測的制限を与えた。

本研究は気球搭載超伝導スペクトロメータを用いた反ヘリウム原子核をこれまでにない優れた感度で探索したものであり、宇宙における物質と反物質の非対称性に関する重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。

よって、学位申請者佐々木誠は、博士（理学）の学位を得る資格があると認める。