

論文審査の結果の要旨

氏名 福家 英之

この論文は、一次宇宙線中における反重陽子の存在を、大型気球に搭載した超伝導荷電粒子スペクトロメータ BESS(Balloon-borne Experiment with a Superconducting Spectrometer) により探索した結果についてまとめられたものである。

論文は7章からなり、第1章は一次宇宙線中の反物質に関する導入説明、第2章は BESS 実験装置の説明、第3章では気球の飛行履歴について、第4章ではデータ解析の方法について、第5章では観測データから反重陽子 flux を計算する方法、第6章では理論モデルとの比較検討について詳しく記されている。そして、第7章で結論が述べられている。

一次宇宙線中にはもっとも基本的な反物質である反陽子が存在することがわかっている。そのエネルギースペクトルを見ると、運動エネルギー 2GeV 付近に山のある形をしており、それは通常物質である銀河宇宙線と星間物質の衝突により発生したものであると考えられている。一方、反物質はこれ以外にも、宇宙の暗黒物質の候補であると考えられているニュートラリーノの対消滅や原始ブラックホールの蒸発など未解明の現象によるものが考えられ、宇宙論・素粒子物理学の興味深い主題となっている。この場合は、エネルギースペクトルのやや低い方にあらわれると考えられるが、衝突により発生したものと違いは微妙で、上記のような未解明現象の有無を検証するのは容易ではない。

反重陽子の場合、事情がかなり簡単になる。すなわち、星間物質との衝突による発生のために必要なエネルギーが反陽子の場合より高くなることにより、発生した反重陽子のエネルギースペクトルが高いほうに変移すると考えられている。そのため、ニュートラリーノの対消滅や原始ブラックホールの蒸発などにより発生する低エネルギーの反重陽子との区別が簡単になるからである。これまで宇宙線の中で反重陽子は一例も観測されてはいない。

BESS 測定器はこれまでカナダの極地方にあるリンレークより毎年定期的に打ち上げられて、主として一次宇宙線中の反陽子の測定を行ってきた。福家氏は、この BESS 測定器の 1997 年度から 2000 年度の 4 回の高度約 36km における約 89 時間の気球観測データを用いて新たに反重陽子の探索を行った。BESS 測定器は気球搭載の宇宙線測定器としてはかつてない大面積・大立体角を持っているので高感度の探索が可能となった。また、スペクトロメータは、均一な超伝導ソレノイド磁場領域にドリフトチェンバーが置かれ、粒子の飛跡から磁気硬度(運動量/電荷)が高精度で測定できる。さらに、飛行時間(TOF、Time of Flight)測定器で電荷の絶対値と速度がわかるので、粒子の質量を確実に同定できる。バックグラウンド源となり得る電子やミュオン粒子の分離のためのエアロジェルチェレンコフカウンタも備えている。

以上のような原理に基づき反重陽子を探した結果、4年分のデータ中に反重陽子候補事例は存在しなかったことより、大気頂上における宇宙線反重陽子の微分エネルギースペクトルに対する信頼度95%の上限値 $1.9 \times 10^{-4} (\text{m}^2 \text{s str}^2 \text{GeV/n})^{-1}$ (ただし運動エネルギー範囲 0.17 から 1.15 GeV/n において) を得ている。これは、宇宙線反重陽子 flux に対してつけられた世界で初めての上限值である。

この結果を使って、いくつかの理論パラメータに対する特定の仮定のもとに、原始ブラックホールやニュートラリーノ暗黒物質の宇宙の質量密度パラメータに対する上限値、 $\Omega_{\text{PBH}} < 1.2 \times 10^{-6}$ 、 $\Omega_{\chi} < 3.9 \times 10^0$ などが初めて得られている。

以上に述べたように、この論文は一次宇宙線中の反重陽子を高感度で確実な方法で探索し、その flux に世界で初めて制限をつけ、またその起源の候補である原始ブラックホールとニュートラリーノ暗黒物質の宇宙における量に制限をつけたものである。この論文は、学問的に大変有用なものであり、また論文提出者の独創性も十分であると認められる。

また、この論文は BESS 実験グループの他の共同研究者との共同研究に基づくものであるので、論文提出者がどのような主導的な寄与があったのか審査委員会において念入りに審査した。その結果、データ解析は論文提出者が単独で行なったものであり、そのための手法もみずから考案していること、また実験装置の保守・改善に対する寄与も十分であることから論文提出者の主導性が十分であると判断した。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。