

論文審査の結果の要旨

氏名 藤川 元治

本論文は、宇宙線研究所附属乗鞍観測所（海拔 2770m）に、超伝導電磁石を用いた磁気スペクトロメーター（BESS: Balloon-borne Experiment with a Superconducting magnet Spectrometer）を設置し、山頂高度における陽子及び反陽子のエネルギースペクトルを測定した結果をまとめたものである。

BESS 測定器は薄肉超伝導マグネットと軌跡検出器（ジェットチェンバー）を用いた精密な運動量測定と、飛行時間差による高い粒子識別能力を有している。これを気球によって大気上空に打ち上げ、これまでに、宇宙線スペクトル、特に宇宙線に極微量に含まれる反陽子スペクトルの測定が行われてきた。

宇宙から地球に飛来する宇宙線（一次宇宙線）に含まれる反陽子は、主として高エネルギー陽子と星間物質の衝突で生成されるが、この過程からは 1 GeV 以下の低エネルギー反陽子は生じにくいことが知られている。したがって、低エネルギー反陽子の収量が星間物質による生成からの予想よりも多いことが示されれば、暗黒物質や初期宇宙など、他の反陽子生成過程の存在を示唆し、興味深い。

ところで、地球大気に入射した一次宇宙線は大気との相互作用によって「二次宇宙線」を生成するため、一次宇宙線反陽子のエネルギースペクトルを決定するには、その寄与を補正する必要がある。この補正は各種理論計算に基づいて行われているが、気球実験では大気の厚さが少ない ($5\text{g}/\text{cm}^2$) ためにモデルによる違いを検証するほどの統計精度を得ることが困難である。

そこで論文申請者らは、乗鞍山頂（大気厚さ $743\text{g}/\text{cm}^2$ ）に BESS 測定器を設置して反陽子スペクトルを高統計で観測し、これと理論計算結果との比較を行った。山頂高度で観測される反陽子は事実上すべて二次宇宙線反陽子であり、このスペクトルの理解は、一次反陽子のエネルギースペクトルの精密決定に寄与する。

測定は論文申請者を中心とするグループによって約 2 週間にわたって実施された。収集されたデータに、飛跡再構成・運動量決定・飛行時間差測定・粒子識別をほどこし、陽子および反陽子のエネルギースペクトルを得た。

陽子のエネルギースペクトルは、過去の実験と良く一致した。反陽子につ

いては、過去に同様の山頂高度で3事象観測された例があるだけだが（Sembroski ら）、論文申請者らは110事象を観測し、統計量を大幅に増やすことに成功した。得られた流束を Sembroski らの結果と比較してみると、過去の方が1～2桁大きい。これは、過去の測定では粒子識別能力が不十分で、陽子を反陽子と誤認したためと考えられる。

測定された陽子スペクトルと理論計算（Barber, Bowen）を比較すると、どの計算も測定結果と良い一致を示す。一方、反陽子スペクトルについては、エネルギー1 GeV 以上の領域で測定結果と計算はほぼ一致するものの、それ以下の領域では、計算値の方が大きく、食い違っている。

論文申請者は、この原因が、理論計算が大気中の宇宙線の伝搬を一次元に近似して行なっている為であると考えた。つまり、低エネルギーの粒子ほど現実には散乱によってより厚い大気を通過している（したがって反陽子は吸収・消滅している）にもかかわらず、一次元計算ではこの結果が無視され、低エネルギーでの反陽子流束を押し上げてしまっているのである。

このことを確認するため、論文申請者は三次元的な伝搬を解析的に取り入れたモデル計算、及び高エネルギー物理実験で標準的に使われている粒子反応・輸送のモンテカルロ・シミュレーション(GEANT)を行った。その結果、三次元効果を取り入れた計算は陽子の天頂角分布を正しく表し、また、反陽子のエネルギースペクトルについても、一次元計算よりも測定値に近い結果を出せることを示した。

以上のように、論文申請者はこれまで使われてきた二次宇宙線生成・伝搬のモデルが、特に低エネルギー反陽子の流束に関しては不十分であることを見出し、その原因とモデル改良の方向を示した。

この研究は高エネルギー物理学研究機構の山本明教授をはじめとする BESS グループのメンバーとの共同研究であるが、乗鞍観測所における測定装置の設置、データ収集、データ解析及び解釈に関して、論文申請者本人の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。