

論文審査の結果の要旨

氏名 武石隆治

本論文は極高エネルギー宇宙線が引き起こす空気シャワーの解析を、その μ 粒子成分の評価を中心に行ったものである。10 の 19 乗電子ボルトに至る極高エネルギー宇宙線による空気シャワーの発生と発展のメカニズムは、加速器を使った実験では到達できないため、モデル依存の部分が多い。本論文は米国ユタ州の砂漠に展開された Telescope Array (TA) による観測結果からその手がかりを得ようとする研究である。

本論文は 6 章から構成されている。第 1 章はイントロダクションであり、極高エネルギー宇宙線による空気シャワー生成について解説している。特に極高エネルギーでのハドロン相互作用の不定性が問題になっており、その解決の手がかりになるのが、空気シャワー中の μ 粒子の解析であることが示されている。空気シャワーはハドロン相互作用で生成されるが、シャワー発展の過程で相互作用を繰り返し、最終的には電磁成分であるガンマ線と電子、及び μ 粒子成分が主として地上の検出器に到達する。その輸送メカニズムの違いから μ 粒子が相対的にシャワー発展初期の情報を多く伝えられると考えられる。先行研究として南半球の Auger の観測があるが、 μ 粒子成分の超過が言われている。本論文ではそれをより詳細に調べるため、地上で観測される粒子分布からシャワーの空間構造を求める。これは Auger では行われていない解析である。

第 2 章は TA の検出器とそのデータ解析の方法について詳細が述べられている。多数の地表検出器(SD)のデータ取得がどのように行われているか、それらが観測量としての垂直通過 μ 粒子数(VEM)に返還されるか、さらにまた、それらの情報から空気シャワー事象がどのように再構成されるかが示されている。空気シャワーのエネルギースケールが燐光検出器(FD)のデータとの突き合わせで較正されていることも示されている。

第 3 章ではモンテカルロシミュレーション(MC)の詳細が述べられる。本研究において MC は重要な役割を果たしている。極高エネルギー宇宙線が作る空気シャワーでは生成される粒子数が 10 億個にも及ぶため単純にすべてをシミュレートするのは効率的でない。現象的に精度良く近似する手法が導入されている。続いて、地上に到達した粒子が検出器に捕捉され信号が発生する。このプロセスの正確なシミュレーションも必要である。最終的に得られた信号パターンは実観測と同様に再構成プログラムで解析される。その結果を過去の観測結果と比較することにより MC の有用性が確認されている。

第 4 章は μ 粒子に関する解析について述べている。検出器自身は粒子識別の能力を持たないため、観測データは全粒子を含んだ結果となる。MC データを粒子の種類毎に解析し、 μ 粒子成分を予測する。本論文ではシャワーの空間構造に関する情報を観測データとして

得ているため、空間分布を再現するような各粒子の分布を、MC データを用いて予測することが出来る。シャワー軸からの距離をパラメータとした粒子分布を実観測データと MC で比較した。シャワー軸から離れると信号を持つ検出器の数が確率的に減ってくる。それらの統計的揺らぎを正しく評価するためにポアソン分布を仮定した誤差評価を行っている。得られた結果から、特に入射天頂角が大きい(30 度~45 度)シャワーでシャワー軸から離れた領域(3,000m 程度)で観測データは MC データより 3 倍から 5 倍の超過を示している。その領域では MC では μ 粒子の割合が大きいことから、 μ 粒子の超過と考えることが出来る。

第 5 章は解析結果に対する議論にあてられている。観測データの超過が見られる領域についていくつかのハドロン相互作用モデルでの MC と比較が行われているがいずれも超過を説明できない。入射粒子として鉄原子核を想定しても結果の傾向は変わらない。これらから、極高エネルギーでのハドロン相互作用モデルへの要請が得られた。シャワー発生 of 初期の段階での粒子密度が高いと考えられることから、より大きな反応断面積が必要となる。Auger の観測データは本論文とは異なる天頂角(60 度付近)のものであり直接比較は出来ないが同じ傾向を示している。今後の方向として TA で μ 粒子の識別を行うなど検出器の補強が計画されている。それにより、本論文の結果がより明確に示されると考えられる。

第 6 章はまとめて費やされている。観測結果は MC と比較して超過を示しており μ 粒子が期待より多いことが推測される。同様の結果は Auger でも得られており、独立の結果として極高エネルギー宇宙線空気シャワーに新しい知見を与えたことが評価できる。

なお、本論文にかかる研究は TA コラボレーションによる共同研究として行われているが、観測データ解析や MC シミュレーションツールの構築、MC データ生成、 μ 粒子に着目した解析など論文提出者が主体となって行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。