

氏 名	鳥 居 祥 二 とり い しょう じ
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理 博 第 505 号
学位授与の日付	昭 和 53 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 物 理 学 第 二 専 攻
学位論文題目	大面積エマルジョン・チェンバーによる超高エネルギー ( $>100\text{TeV}$ ) 核相互作用の研究

論文調査委員 (主査) 教授 長谷川博一 教授 林忠四郎 教授 町田 茂 教授 三宅弘三

### 論 文 内 容 の 要 旨

申請者の論文の内容は宇宙線による超高エネルギーの素粒子反応の実験及びその解析である。

この種の実験では、大面積のエマルジョン・チェンバーを高山や飛行機高度に可能な限り長期間露出する。超高エネルギーの1次宇宙線と大気中の原子核との相互作用により発生した多数の2次粒子中の中性パイ中間子は光子に崩壊し、光子は大気中でカスケード・シャワーをつくって多数のガンマ線（及び電子陽電子）に増殖する。これらの粒子はエマルジョン・チェンバーの10cm以内の狭い範囲に束となって入射する。それがチェンバー中でつくるカスケード・シャワーによって、各粒子のエネルギーが決定される。申請者の実験では、富士山頂に現在まで累計  $450 \text{ m}^2 \text{ year}$  のチェンバーを露出し、全エネルギー  $10^{14} \text{ eV}$  ( $100 \text{ TeV}$ ) 以上のガンマ線の束57例が観測された。チェンバー中の各カスケード・シャワーの測定からチェンバーに入射したガンマ線のエネルギーを決定するにあたって、申請者が考案した方法、すなわちチェンバー中の異なる深さに挿入された感度の異なる2種の X 線フィルムの黒化度を比較する方法が採用された。

観測された超高エネルギー現象は、モンテカルロ法を用いたシミュレーションの結果と比較された。申請者が着目したのは、素粒子の研究で提唱されたファインマンのスケール則と、宇宙線の研究で発見され、のち加速器による素粒子実験でも認められた2次粒子の横向き（1次粒子の運動方向を軸として）運動量一定則——これらはより低いエネルギーでは確認され、高エネルギー核相互作用の重要な性質とされているが——が相互作用のエネルギー  $10^{14} \text{ eV}$  以上で成立するかという点であった。申請者は核相互作用において、これら2つの法則がともに成立する場合と、そうでない場合とをそれぞれ想定し、合計40万以上のシミュレーションを行った。1次宇宙線のエネルギースペクトルは、べき指数  $-1.6$ 、 $-1.8$ 、 $-2.0$  の場合を仮定した。エマルジョン・チェンバーに入射する各ガンマ線の束について、ガンマ線の個数、ガンマ線のエネルギーの総和、各ガンマ線の横拡がりの平均値、同じくエネルギー荷重横拡がりの平均値を求め、観測と比較した。

まず、ガンマ線のエネルギーについてモンテカルロ計算の結果を比較すると、1次宇宙線のエネルギースペクトルのべき指数 $-1.8$ が妥当であった。ガンマ線の横拡がりの平均値の分布を比較して、スケール則及び横向き運動量一定則がともに成立すると仮定した場合には観測と一致せず、スケール則が破れると仮定した場合に観測と一致することを結論し、さらにスケール則が成立して横向き運動量一定則が破れる場合にも、観測と一致すると推論した。エネルギー荷重横拡がりの平均値の分布からも、同様の傾向を見出した。さらに、各ガンマ線の束について、ガンマ線の個数その他の諸量相互間の相関を求め、観測と比較した。そのうち、ガンマ線エネルギーの総和とガンマ線の横拡がりの平均値との相関からも、スケール則の破れを示唆する結果を得た。

申請者はさらに、観測されたガンマ線スペクトルからモンテカルロ計算の結果を用いて1次宇宙線のエネルギースペクトルの絶対値を推定した。その結果をすでに発表されている実験値と比較すると、スケール則及び横向き運動量一定則がともに成立する場合には、実験値よりはるかに低い値がえられ、スケール則が破れると仮定した場合には実験値と矛盾しない値がえられた。以上の議論は1次宇宙線を陽子と想定した場合であるが、申請者はさらに、1次宇宙線はここで問題となる $10^{15}$  eV ないし $10^{16}$  eV のエネルギー領域では大部分が鉄程度の重い原子核である場合について考察し、この場合にはスケール則と横向き運動量一定則がともに成立するとして1次宇宙線のエネルギースペクトルの絶対値は実験と矛盾しないことを示し、さらにこの場合にはすでに言及したガンマ線の横拡がりの平均値の分布もまた観測と一致することを明らかにした。

以上、申請者は、(1)1次宇宙線が問題のエネルギー領域で陽子から成るならば、スケール則と横向き運動量一定則の少くとも一方は成立しない。(2)1次宇宙線が鉄程度の重い原子核から成るならば、スケール則と横向き運動量一定則とが成立する。との結論を得た。

### 論文審査の結果の要旨

申請者の論文は、宇宙線によるエネルギー $10^{14}$  eV 以上の超高エネルギー素粒子反応を、大面積エマルジョン・チェンバーにより観測し、解析した結果をその内容としている。

問題とするエネルギー領域ではエマルジョン・チェンバーにおけるガンマ線のエネルギー決定法の精度が大きな問題となるが、申請者はエマルジョン・チェンバー中の種々の深さに挿入された感度の異なる2種のフィルムの黒化度を比較するという、精密で信頼性の高いエネルギー決定法を考案した。この方法はこの実験で観測したすべての事例について用いられた。この実験は相当の人数の共同の研究であるが、その中で申請者の寄与はこの点で特に大きいものと認められる。

つぎに、観測された結果を解析するに当たって、申請者はこのエネルギー領域における中心的な課題を次のように設定した。すなわち、宇宙線の研究によって発見され、その後加速器による素粒子実験で確認された2次粒子の横向き運動量一定の法則と、素粒子の研究において提案されたファインマンのスケール則とは $10^{13}$  eV 以下の相互作用エネルギーに対して成り立っている。一方、宇宙線の観測では、発生する2次粒子の個数がエネルギーとともに漸次増大することと、異常に大きい横向き運動量の存在とが示唆されているが、なお確実性に欠ける。観測された相互作用のエネルギー $10^{14}$  eV 以上の現象は

スケール則あるいは横向き運動量一定則の成立の限界を明らかにするであろう。このような申請者の課題の設定は適切であり、展開された議論は十分な説得力をもつものである。

解析はモンテカルロ法で行なわれた。申請者は1次宇宙線が大気中の原子核と核相互作用をする際に、スケール則と横向き運動量一定則とがともになりたつ場合と、そうでない場合とについて、総計40万以上のシミュレーションを行なった。結果を観測と比較して、1次宇宙線のエネルギーのべき指数が $-1.8$ であることを先ず見出し、ついで核相互作用の仮定を検証するものとしてエマルジョン・チェンバーに入射したガンマ線の横拡がりの平均値の分布が、スケール則と横向き運動量一定則とがともになりたつ場合とは一致しないことを発見し、さらに観測されたガンマ線スペクトルからモンテカルロ計算の結果を用いて1次宇宙線スペクトルの絶対値を推定し、従来の観測と比較した。その結果は再び同様の結論に達した。さらに、1次宇宙線の組成が鉄程度の重い原子核から成るとすれば、観測結果は、スケール則及び横向き運動量一定則がともになりたつ場合と一致することを示した。要するに申請者の結論は(1) $10^{15}$  eV ないし $10^{16}$  eV のエネルギー領域における1次宇宙線が陽子であるならば、相互作用のエネルギー $10^{14}$  eV 以上において、スケール則と横向き運動量一定則の少くとも一方は破れる。(2)もし1次宇宙線が鉄程度の重い原子核から成るならば、スケール則及び横向き運動量一定則がともになりたつというものである。このことは、超高エネルギーの核相互作用の研究だけでなく、超高エネルギー1次宇宙線の組成の研究においても重要な意義をもつ。

申請者はさらに、モンテカルロ計算の結果を整理して、観測される現象の大気中の発達状況を推定しており、その結果から異なる高度における実験によって期待される現象の性格について言及している。これらは、さきの結論とあわせて、宇宙線による超高エネルギー素粒子反応の今後の研究計画を立案するに際し、有効な指針を与えると考えられる。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値あるものと認める。