

氏名 なかじま のりこ
中島 典子
学位 博士(理学)
学位記番号 新大博(理)第56号
学位授与の日付 平成17年9月20日
学位授与の要件 学位規則第4条第2項該当
博士論文名 高エネルギーカスケードシャワーのゆらぎの研究
(Study of High Energy Cascade Shower Fluctuation)

論文審査委員
主査 教授 田村 詔生
副査 教授 谷本 盛光
副査 教授 大矢 進
副査 助教授 宮田 等
副査 助教授 中野 博章
副査 助教授 大坪 隆
副査 助手 川崎 健夫

博士論文の要旨

高エネルギー粒子が物質中に入射した時に起こるカスケードシャワーの現象には、電子や光子が起こす電磁カスケードシャワーと、荷電 π 中間子等のハドロンが引き起こすハドロン・カスケードシャワーがある。これらのカスケードシャワーの現象の平均的な振る舞いに関しては、現在までに多くの実験やシミュレーションによって研究されてきた。特に、より簡単な物理過程の電磁シャワーについては良く理解されている。しかし、個々のカスケードシャワーはゆらぎが大きく、物質との各種の相互作用に依存した振る舞いを持つ。本論文ではカスケードシャワーの現象について、その平均値からのゆらぎを相関行列と呼ばれる行列を用いて表現し、ゆらぎを定式化してその性質を解明し、また、その応用的利用について研究している。

本研究には、高エネルギー加速器研究機構(KEK)のPS- $\pi 2$ ビームラインにおける1~4 GeVの電子、 π^- 粒子のビームテスト(T411)のデータを使用している。カスケードシャワーを観測するカロリメータモジュールは、リニアコライダーのプロトタイプとして作成された奥行き方向に細かいサンプリングを持つ鉛・シンチレータのサンプリングカロリメータである。シャワーのゆらぎを理解するために、まず、事象毎に平均のシャワーカーブからの波高値偏差 δ_i (i はサンプリング層の番号)をゆらぎとして求め、異なる2層間でのゆらぎ(δ_i, δ_j)の相関の強さを表す相関行列 C_{ij} を定義した。過去の論文において、電磁シャワーの相関行列は求められているが、ハドロンシャワーの相関行列を系統的に求めたのは本論文が初めてである。

更に、ゆらぎをより詳細に理解するために、この相関行列 C_{ij} を対角化して、独立なゆらぎ δ_i と相関行列の固有値、固有ベクトルを求め、これらの特徴について調べた。また、電磁シャワーとハドロンシャワーの両方について、この相関行列とGeant4シミュレーションとを用いて、ゆらぎの現象の定式化を行った。特に、ハドロンシャワーにおいては、相関行列によりハドロンシャワーのゆらぎの π^0 成分を分離することができた。

カスケードシャワーのゆらぎの理解の応用として、シャワーのゆらぎとカロリメータのエネルギー分解能との関係を研究した。まず、電磁シャワーについては、 $S_i^2 \lambda_i$ 分布 (λ_i は相関行列 C_{ij} の固有値、 S_i はその固有値に対応する固有ベクトルの成分の和、 1 は固有値を大きい順に並べたときの 1 番から n 番までの番号) とエネルギーの分散 σ との関係から、カロリメータのサンプリング数の半分あたりの 1 でエネルギー

分解能が悪くなることが分かった。

また、ハドロンシャワーについては、個々の事象において、 π^0 中間子に注目し、シャワーのエネルギー分解能を良くすることを試みた。本実験のエネルギー領域で、 π^0 中間子発生によるゆらぎは、ハドロンシャワーにおいて最も主要なものである。 π^0 中間子は、ハドロンシャワー中に発生し電磁シャワー成分となって短距離間に大きなエネルギーを落とす。相関行列の解析から、 π^0 のゆらぎと考えられる第 1 モードのゆらぎがカロリメータの 6 番目 (0.7 I.L.) のサンプリング層の前後で振動していたことが分かった。そこで、カロリメータの前方と後方で落としたそれぞれのエネルギーとカスケードシャワー中の π^0 発生点の関係をみたところ、それらの間に相関を観測した。この相関を無くすように補正を加えることで、エネルギーを再構成したところ、エネルギー分解能が 4 GeV で 22% 向上した。相関行列を用いる手法によってカスケードシャワーのゆらぎを詳細に理解し、その結果の応用としてカロリメータのエネルギー分解能を向上させることが出来た。

審査結果の要旨

本論文では、高エネルギー ($1 \sim 4$ GeV) の電子、 π^- 粒子が物質中に入射したときに起こるカスケードシャワーの現象について、その平均的な振り舞いからのゆらぎを相関行列を用いて表現した。特にハドロンシャワーの相関行列については、これを系統的に求めて考察し、そのゆらぎの定式化を行ったのは本論文が初めてである。この定式化によって、ハドロンシャワーのゆらぎの性質の理解が深まり、相関行列の中に現れてハドロンシャワーのゆらぎの大きな部分を担う π^0 成分を分離することができた。

また、カスケードシャワーのゆらぎの理解の応用として、シャワーのゆらぎとカロリメータのエネルギー分解能との関係を研究した。特にハドロンシャワーについては、個々の事象において π^0 中間子の発生点に注目し補正を加えることで、カロリメータのエネルギー分解能を向上させることに成功した。

本論文で得られた成果は、高エネルギーカスケードシャワーやカロリメータに関する研究の今後の進展に大きく寄与するものと考えられる。

よって、本論文は博士 (理学) の博士論文として十分な内容を有するものであると認定した。