

LHCf実験の最新結果と宇宙線観測への寄与

磯 利弘

名古屋大学理学研究科 修士課程1年

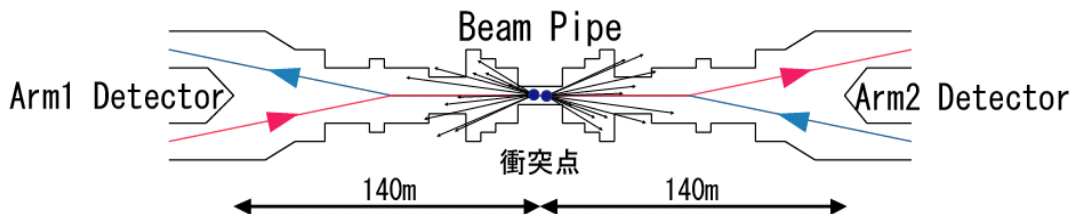
1、LHCf実験の背景

宇宙線とは宇宙から地球に飛来してくる高エネルギー放射線のことであり、現在、宇宙線の到来方向、宇宙線の到来方向、加速起源、エネルギースペクトル、化学組成などが研究されている。また 10^{20}eV を超えるような最高エネルギー宇宙線が存在していることも分かっている。高エネルギー宇宙線は大気の粒子と相互作用をして、空気シャワーを発生させる。

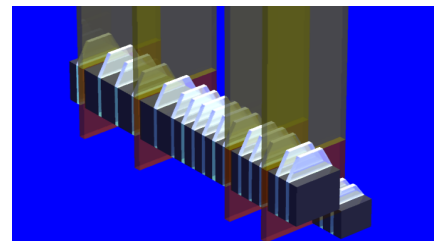
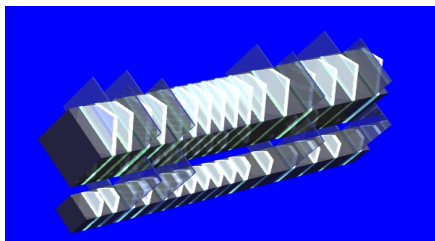
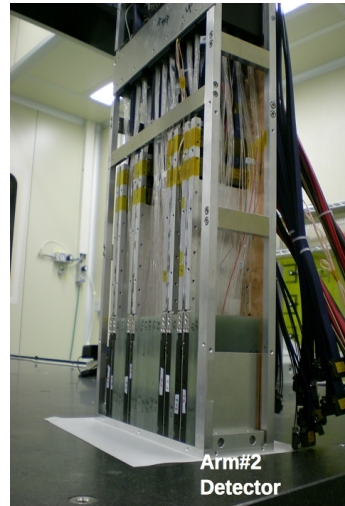
このような最高エネルギー宇宙線は非常に頻度が少ない為に大気上空で直接観測することは難しい。最高エネルギー宇宙線をどのように観測しているかという、観測器を地上に置いて、地上に降ってくる空気シャワーを測定している。測定した空気シャワーをモンテカルロシミュレーションによって再構成し、エネルギーや化学組成を求めている。ここで行うモンテカルロシミュレーションにはハドロン相互作用モデルを使用しているが、このハドロン相互作用モデルは実験的に検証されているのは 10^{14}eV までで、最高エネルギー宇宙線のようなエネルギー領域 (10^{20}eV) においては、このモデルが正しいかどうかまだ確かめられていない。そこで、LHCf実験ではスイスのCERN研究所にある世界最高加速器(LHC)を用いて、今まで確かめられてきた 10^{14}eV を超えた高エネルギー領域でハドロン相互作用モデルの検証を行う。

2、LHCf実験

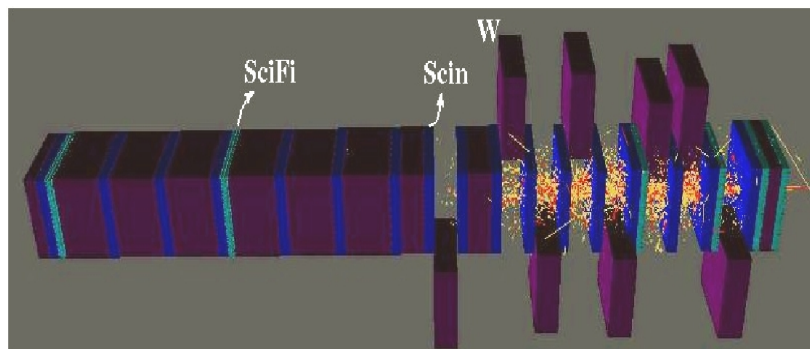
Large Hadron Collider(LHC)は CERN研究所にある周長27km 世界最大の衝突型粒子加速器である。このLHC加速器を利用すれば、粒子を7TeVまで加速することができる。7TeVまで加速させた陽子同士を衝突させることにより(これは実験室系で 10^{17}eV に相当)、 10^{17}eV までの領域でハドロン相互作用モデルの検証を行うことができる。



LHCでいくつかある衝突点のうち、IP1という衝突点から左右にそれぞれ140m離れたところに Arm1、Arm2という検出器を置く(上図)。衝突点で陽子が衝突し、生成された粒子が140m飛んできた地点で検出する。

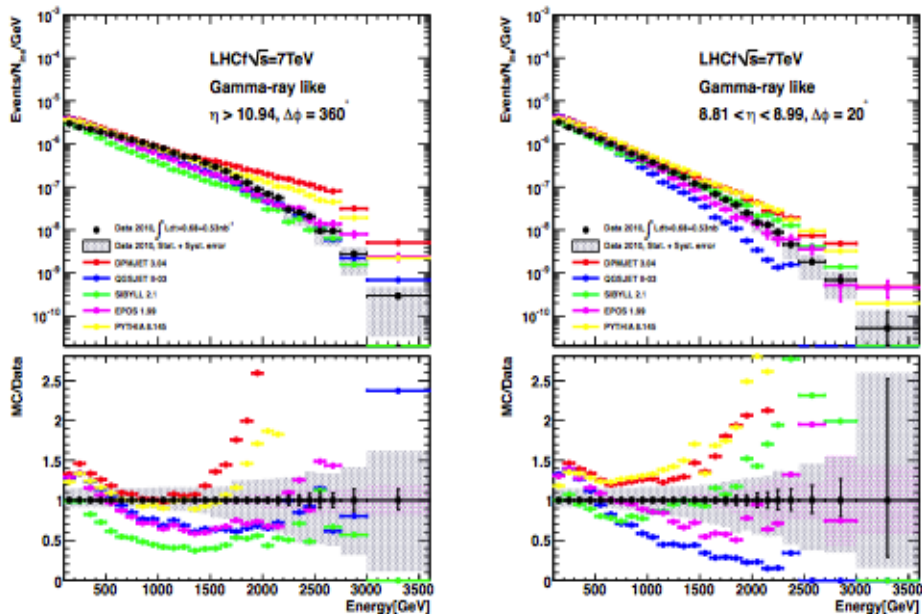


上図はLHC測定器の写真である。Arm1検出器もArm2検出器も、大小二つのサンプリングカロリメーターで構成されている。



上図は検出器の一つのサンプリングカロリメーターの構造を示した図である。タングステン(W)とシンチレーター(Scin)とシンチレーションファイバー(SciFi)が交互に重なった16層構造になっている。粒子が入射してくるとW(タングステン)でシャワーが発達し、粒子がシンチレーターを通過した際に出す光の光量を測定することで入射粒子のエネルギーを測定する。シンチレーションファイバーは位置検出器である。こうして入射粒子のエネルギースペクトルを測定する。

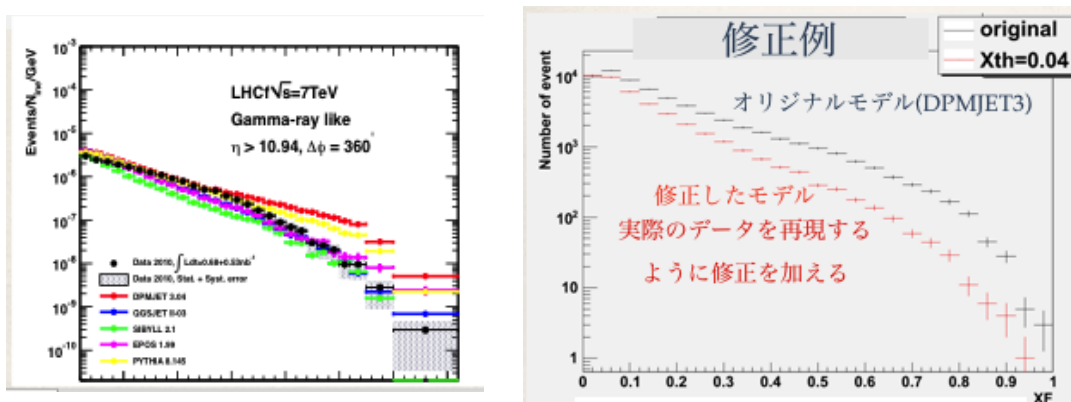
2010年に3.5TeVの陽子同士を衝突させた実験を行った。その結果が下図である。



縦軸がカウント、横軸がエネルギー(GeV)で、実験結果とシミュレーションのガンマ線のエネルギースペクトルを重ねた図である。黒が実験データ、その他の色が各モデルのエネルギースペクトルである。下のグラフは各モデルのスペクトルを実験データで割って比を出したものである。このように、実際の実験データとシミュレーションによるハドロン相互作用モデルのエネルギースペクトルを比較することで、モデルの弁別が可能となる。この図を見て分かるように、前方方向においては、3.5TeVの段階でも各モデルと実験データとの違いがはっきり見えている。

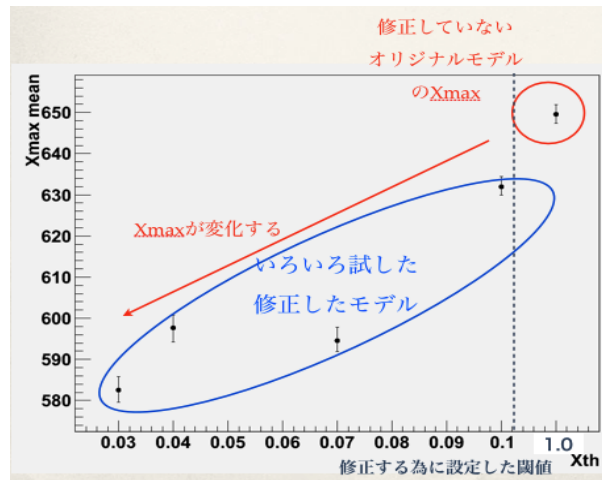
3、ハドロン相互作用モデルが空気シャワー発達に及ぼす影響の検証

上のLHCf実験の結果からハドロン相互作用モデルは実際のデータとはずれがあることが分かった。このハドロン相互作用モデルを用いてシミュレーションを行えば、空気シャワー発達にも影響が出るはずである。LHCf実験の結果を用いて既存のハドロン相互作用モデルを修正すると、空気シャワー発達がどれくらい変化するかを検証する。空気シャワーの発達を見るにはXmaxを調べる。Xmaxとは一つの空気シャワー中で粒子数が最大になる大気深度(位置)を示すものである。



どのように、検証するかというと、まず、既存のモデルを修正する。左図は先ほどのLHCf実験の結果の図である。左図において赤いラインはDPMJET3というハドロン相互作用モデルのうちの一つである。この赤いラインと黒いライン(実験データ)を比べる。黒は赤と比べてソフトな曲線を

描いている。よって、このDPMJET3というモデルをもっとソフトな曲線を描くように修正を加える。右の図が一つの修正例である。この右図においてはDPMJET3は黒い曲線であり、赤い曲線は実験データに似るようにDPMJET3に修正を加えたモデルである。このように、DPMJET3を修正し、ソフトな曲線を描くようにして、実験データを再現するような修正モデルを作る。しかし、最適な修正方法はまだ見つかっていない。



次にすることは、修正モデルを用いて空気シャワーシミュレーションを行い、 X_{max} の変化を調べることである。上図はいろいろ修正したモデルで X_{max} の変化を表したグラフである。横軸は修正の為に設定した閾値、縦軸は X_{max} の平均値である。右上のプロットが修正をしていないオリジナルのDPMJET3の X_{max} 平均値、青い丸で囲ったプロットがいろいろ試してみた修正モデルによる X_{max} 平均値である。このように、修正を加えると X_{max} が変化することが分かる。実験データを再現した修正モデルを用いて、空気シャワーシミュレーションを実行し、空気シャワー発達(X_{max})が現在のモデルからどれくらい変化するかみる予定である。