

シミュレーションによる空気シャワー形状とその発達の研究

大嶋晃敏(国立天文台天文シミュレーションプロジェクト)

利用カテゴリ 汎用PC

本研究では空気シャワー発達コードCORSIKAを用い、数TeV以上の一次宇宙線から生ずる空気シャワーの発達を非常に詳細に調べるものである。そもそも空気シャワーとは高エネルギー宇宙線が地球大気と反応することによって生ずる二次粒子生成のカスケード現象[1]である。knee領域と呼ばれる 10^{15} eV以上の宇宙線観測では地上に於ける大面積の検出装置を用い空気シャワーによる間接的な観測以外に現在のところは手段がない。ところが空気シャワーの観測はその現象自体の揺らぎから、発達段階で親粒子である一次宇宙線の情報を多く失ってしまう。本研究では、そのような揺らぎの塊である空気シャワーの発達の様子と、形状の進化をつぶさに追うことによって、地上観測に於ける空気シャワー観測の新たな手法の模索し、観測データの最適な解析手法を開発するために行っている。

本研究に用いているシミュレーションコードは地上宇宙線実験で広く使用されているCORSIKA[2]コードである。大気中での空気シャワー粒子はほぼ光速で進んでおり、シャワー生成から地上到達まではわずか数マイクロ秒程度である。この間のシャワー粒子の運動を100ナノ秒の時間ステップで追い、詳細な空気シャワーの発達を再現した。シミュレーションを有限時間内に終わらせるため、荷電パイの崩壊で生じるミューオンニュートリノの追跡は行わなかった。これはニュートリノの反応断面積が非常に小さく大気中での反応が期待できないためである。また、これによる空気シャワーの形状や構造への影響は全くないといってよい。今期は汎用PCシステムを用いて、一次核種として陽子、 γ 線、ヘリウム、鉄についてそれぞれエネルギーを 10^{12} eVから 10^{16} eVについてシミュレーションを行った。

解析の初段階としてシミュレーションデータの可視化を行い、空気シャワーの発達の様子を確認した。シミュレーションの結果、一次核種の違いによるシャワーの形状の違いが明確に見ることが出来、今後の観測手段に役立つことがおおきに期待できる結果が出た。これに関してはインドで開催されたCORSIKA勉強会[3]で発表し開発グループから高く評価された。また可視化で得られた空気シャワーの発達の動画は、コード開発元のウェブページに掲載された[1]。

下図は本研究で得られた空気シャワーの形状の一例であるが、 γ 線(図1)と鉄(図2)で粒子の分布と生成される粒子の種類が異なることが分かる。このこと自体は先行研究でも知られていたが、シャワー生成から地上までの時間発展で詳細にとらえたのは本研究が初めてである。

今後は、地磁気効果を取り入れたシミュレーションを行い、より現実に近いシャワー形状を抽出する必要がある。さらに低エネルギー宇宙線を通じた太陽活動の観測のために、シャワー中

で生成される中性子成分の解析をすすめるひつようがある。これにより現在世界中で稼働している中性子モニタ網とミュオン望遠鏡網のデータの関連性についても研究を広げていく予定である。

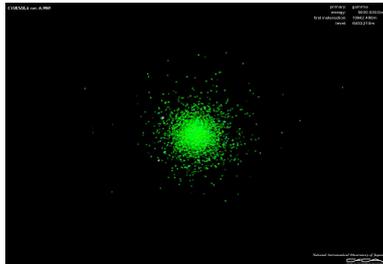


図 1 γ 線によるシャワー

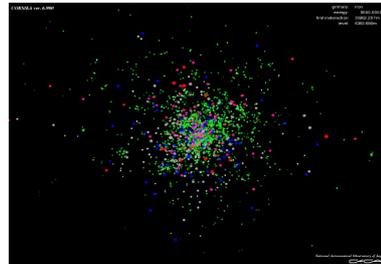


図 2: 鉄によるシャワー

参考文献

[1] <http://www-ik.fzk.de/corsika>

[2] K.Gaisser Cosmic Rays and particle Physics

[3] <https://ikp-cola1.fzk.de/indico/conferenceDisplay.py?confId=14>