

チャカルタヤ山観測所における高エネルギー宇宙線粒子相互作用と 宇宙線化学組成の研究

Studies on High Energy Interaction and Chemical Composition of Cosmic Ray
Observed at Chacaltaya Observatory

プロジェクト代表者: 井上直也 (埼玉大学大学院理工学研究科・教授)
Naoya INOUE (Graduate School of Science and Technology, Prof.)

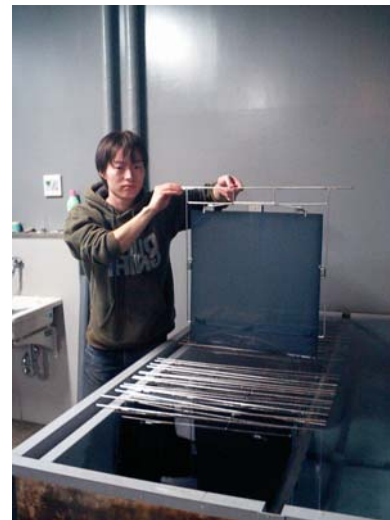
1. チャカルタヤ山宇宙線観測所における共同研究

本研究課題の「高エネルギー宇宙線粒子相互作用研究」に用いる、エマルジョンチェンバー (EC) は多層X線フィルム (総数 500 枚) を1年間現地観測所で露出した後、その期間に記録された高エネルギー宇宙線相互作用事例データを現像・解析するものである。2005 年 9 月にボリビア国チャカルタヤ山宇宙線観測所にて、面積 8m²、感光層 13 層 (6, 8, … 30 c.u.) を鉛板 (総厚 10cm) 間に交互に挟んだECを新たに建設した。



EC 建設後の様子。50cmX50cm の film を鉛板と交互に積み重ね、ハドロン検出器上に32ユニット設置した。

また、あわせて2003年9月に実験を開始したECの解体作業を行い、そのX線フィルムを現像・解析のため埼玉大学への輸出を行った。現地での作業は、研究分担者マルティニック教授の指揮の元、高知大学・大盛助手、埼玉大学理学部物理学科学生・長岡 (学部間協定に元づく交換留学生)、同観測所所員5名、サン・アンドレス大学理学部学生2名により3日間かけて行った。新規ECの購入と現地への輸送 (2005年7月発送) は東京大学宇宙線研究所予算にて充当し、露出済みEC (500 枚) の日本への輸送は本研究プロジェクト予算、並びに平成 17 年度平和中島財団奨学寄付金により充当した。露出済みECの現像・定着作業は2005年11月2-4日にかけて、本学・山梨大学学生8名その他、井上、大盛、本田、大澤、玉田、マルティニックにて行い、フォトメーターによる宇宙線事例の解析作業を現在進行中である。一方、EC実験と連動して行っている宇宙線空気シャワー観測装置 (検出器 48 台、半径 50 m をカバーする) 及びハドロン検出器 (8 m²、EC の下に設置) によるデータは現地より埼玉大学に送付済みであり、その解析を高知大学と共同して行っている。EC による高エネルギー粒子現象の測定、及び空気シャワー観測装置の連動実験では、EC中に記録された空気シャワー中の高エネルギー粒子群 (family と呼ばれる; 観測エネルギー $E \geq 100 \text{ TeV}$) と $E > 10^{15} \text{ eV}$ のシャワー特性 (特に低エネルギーハドロン成分) を合わせて解析し、現在までの研究で指摘してきた、 $10^{15} \sim 10^{17} \text{ eV}$ 領域での粒子相互作用が加速器のデータに基づくモデルでは説明できず、空気シャワー中での粒子エネルギーの急速な細分化の可能性について焦点をあてた解析を実施し



EC 現像作業 (東京大学宇宙線研究所・暗室)。

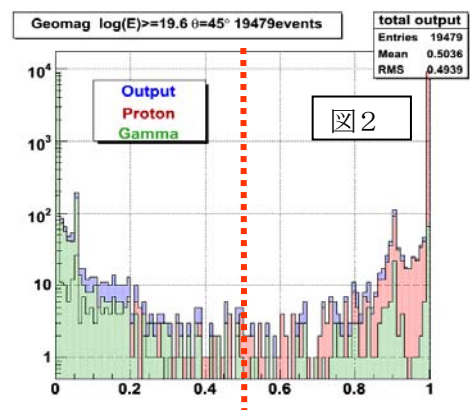
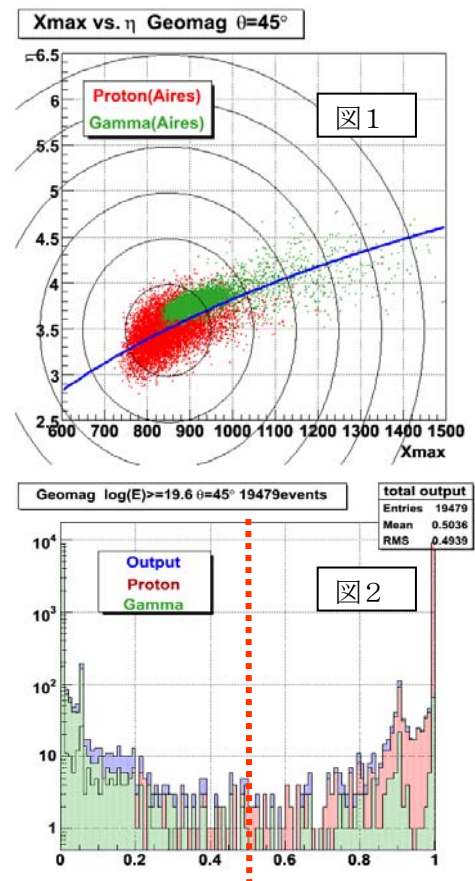
てきている。また、「センタウロ」(ハドロンのみ粒子多重発生と考えられている)などの特異事例が、本実験によっても観測されることを期待し、その特徴の詳細および頻度を確認する(山梨大学、高知大学研究者との共同研究として実施中)ことを目的としている。

空気シャワー観測装置については、安定したデータ収集を実現するため、パソコンとのインターフェース部分の改良を検討した。そのために専用高速I/Oボード、データ記録用PCの購入を行い、日本側での調整を行ってきており、これを含めた記録器系一式は2006年10月に現地観測所へ輸送し稼働予定である。また、改良にあわせてより低エネルギー(10^{14} eV 領域)宇宙線事例の測定を目指し、高速PCによるシミュレーション計算による空気シャワー事例トリガーレベル最適化・調整を本学内で行ってきている。2006年2月に日本側研究者による研究集会を近畿大学・理工学部にて開催し、主にECの解析状況と空気シャワーデータ解析について報告を行うとともに、今後の解析計画、また2006年度の現地実験遂行についての計画策定を行った。2006年度は10月に稼働中のEC解体・輸送を予定するとともに、それにあわせて、空気シャワー装置の改良を行う。研究成果は10月に中国で開催される超高エネルギー粒子相互作用シンポで研究報告をすることを予定している。

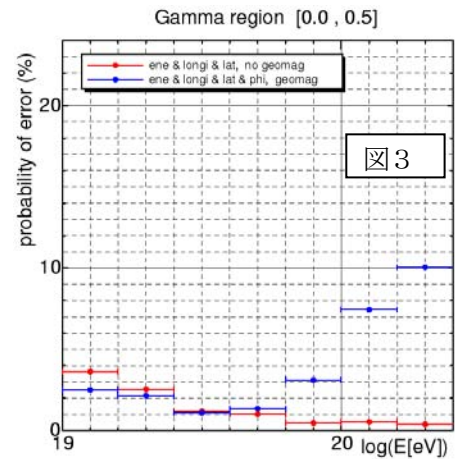
2. 超高エネルギー宇宙線シミュレーション研究

2005年10月から2006年2月にかけてマルチニク教授が埼玉大学理学部招聘外国人研究者として滞在し、その期間中の共同研究として、従来得られてきた空気シャワーデータ解析とシャワー中心部のハドロン成分シミュレーション計算を行った。これは 10^{15} - 10^{16} eV 領域宇宙線化学組成研究の一環であり、上述のEC実験データ解析と連携するものである。実験データを説明する粒子相互作用モデルはそのエネルギー領域が加速器実験エネルギーを遙かに超えることからその検証は重要であり、事前にシャワーシミュレーションにて各モデルによる特性把握を行うことを目的とした。シミュレーションについては特にその高エネルギー粒子相互作用モデル(QGSJ-I、QGSJ-II、SYBILL2.1)に依存する疑似空気シャワー事例特性の検討から始め、シャワー縦・横方向発達、及びハドロン成分総量と横広がり分布についてその差異を定量的に検討した。モデル間におよそ15%程度の差異が上記それぞれのシャワー特性に関わる観測量について現れることを確認するとともに、それぞれのモデルを仮定して宇宙線エネルギースペクトルの再構成を行ったところ、現時点で得られた結果では鉄原子過剰組成でQGSJ-Iモデルを仮定したものが他実験と近いことを明らかにした。今後さらにモデルの絞り込みと、よりモデル依存度の高いと考えられる測定量である低エネルギーハドロン成分について解析を行い、相互作用モデルの絞り込みを行う予定である。

関連して超高エネルギーガンマ線成分の実験的検出可能性に関わるシミュレーション研究を共同研究として継続して行った。ガンマ線起源空気シャワーについて $E > 10^{19.6}$ eV、天頂角:45°の条件下で10000事例の生成を行い、そのシャワー特性を同条件の陽子起源空気シャワー(10000事例)と比較し、特にシャワー最大発達(Xmax)、横方向粒子分布傾き(η)の差異を明らかにし(図1参照)。陽子シャワーの広い分布に対してガンマ線シャワーはより狭く限定的な範囲に分布している)、その特徴をキーとした個別事例についての陽子/ガンマ線起源の実験的判定をニューラルネ



ットワーク(NN)法を初めて導入して評価した。図2にはそれらの事例によりNN学習を行った上で別途それぞれ10000事例に対して判定を行い、そのNN出力値分布を示してある。ここで出力値0.5-1.0を陽子、0.0-0.5をガンマ線との判定基準の元で判定したところ、その正答率として97.21%を得ている。一方で陽子起源シャワーが主体的であると仮定したとき、陽子事例をガンマ事例と見誤る確率を検討した結果、このエネルギー領域では3.55%のfake事例が現れることが解った。また、その見誤り確率のエネルギー依存性を図3に示してある。このことから、 10^{19} - 10^{20} eV領域では到来ガンマ線強度が陽子強度の5%程度以上存在するとき、そのfake事例数を越えた過剰分について統計的評価が可能であり、本解析アルゴリズム手法の優れた識別能力として、今後、実験データへの適用を計っていく予定である。



3. 放射線測定用微弱光検出素子開発

チャカルタヤ宇宙線実験の将来計画に関わる新たな光検出器開発として、MRS型APD(アバランシュフォトダイオード)の試作・評価を行った。今回試作した光子検出素子については初段で光子から変換された電子に対して最大 2×10^4 程度の増幅度が得られるとともに、一定負荷電圧に対して5%以内の安定な増幅度特性を持つ素子であることがわかった。このことは事前の素子特性シミュレーション予測結果とほぼ一致する。ただ、一ヶ月程度の特性変化については抵抗膜とシリコン基板間の界面での不整合と思われるプッシング現象(増幅度の上昇電圧が時間と共に変化する現象)が見られ、素子の製造過程に問題として現在検討している。また増幅度が 10^3 を越えると光量依存性が無くなる傾向があり、その素子の構造との関連について、さらにシミュレーションを含めた検討を続けている。

4. 本研究に関連した埼玉大学理学部ーサン・アンドレス大学理学部間学術協定について

本学術協定と留学生に関する覚え書きは、2002年9月に両機関で締結されたものであり、この背景には20年にわたる、両機関研究者による上記宇宙物理学分野での国際共同研究における交流が土台となっている。この学術協定はその研究協力を踏み台として、さらに広い研究分野での情報交換等をめざすとともに、両学部・大学院学生間の交換留学事業の推進を新たな目的に加えたものである。2005年9月までの3年間の締結期間中、研究面、また留学生交流(双方からそれぞれ3名の交換留学生、研究者派遣・招聘にのべ3名)において実績を積み、2005年9月にはその期間満了を迎えて、両者間でその更新に合意を得、5年間の協定と覚え書きの継続を行った。本学理学部長のサイン済み協定書・覚え書きを9月に日本人研究者がサン・アンドレス大学理学部長(Prof.F.Cuevas)に手渡し、9月12日に同学部長室にて調印式を行った。それらはサン・アンドレス大学理学部ニコラス マルティニク教授が携えて10月はじめに来日し、それを受けて、10月28日に、本学術協定書、覚え書きの受け渡し式を本学理学部学部長室で行った。

サン・アンドレス大学は南米ボリビア国ラパス市にあり、11学部を持つ最大の国立大学であり、3000m超の高地域からアマゾン川流域の熱帯地域を擁する特徴的な自然環境、またインカ文明の発祥地としての歴史的文化と人類学の面での多様な研究対象のもと、ボリビア国内で自然科学をはじめとして研究・教育に主導的な役割を果たしてきている。新たにスタートした協定の元、研究面で順調に活動が継続しているとともに、2006年度は両学部からそれぞれ1名の交換留学生の相互受け入れを行っているところである。

また、2005年10月3日から2006年2月22日までサン・アンドレス大学理学部ニコラス マルティニク教授が理学部招聘外国人研究者として滞在し(平和中島財団奨学寄付金による招聘)、

研究活動・教育活動の他、学部間協定延長に関わる作業、埼玉大学学長への表敬訪問、留学生センター・国際協力課への訪問、加えて、本学術協定延長に関わる経緯・実績報告と円滑な留学生受け入れ・派遣に関わる領事事務の依頼のため、在日ボリビア国大使館への訪問を行った。



2005年9月12日サン・アンドレス大学理学部における協定更新に関わる調印式と2005年10月28日埼玉大学理学部に於ける協定書受け渡し時スナップ。

[研究組織]

	氏名	所属・職名
本学 教員	井上直也	大学院理工学研究科・教授
	石渡光正	大学院理工学研究科・教授
	中村市郎	科学分析支援センター・助手
学外の共同 研究者	本田 建	山梨大学・医学工学総合研究部・教授
	玉田雅宣	近畿大学・理工学部・教授
	大盛信晴	高知大学・理学部・助手
	N.Martinic	サンアンドレス大学・理学部・教授
	大沢昭則	前東大宇宙線研究所助手

[成果発表]

- H.Aoki, K.Hashimoto, N.Inoue et.al.: A Halo Event Observed by the Hybrid Experiment at Mt.Chacaltaya: Nuclear Physics B,151(2006)223-226
- M.Tamada: Emulsion Chamber Experiments;Critical Comments and Future Prospects: Nuclear Physics B,151(2006)244-251
- Y.Wada, M.Kato, N.Inoue, A.Misaki: The LPM Showers Traversing the Atmosphere, TAUP Proceedings, (2005) accepted
- 日本物理学会第61回年次大会(2006.3.30) 口頭発表
「UHE宇宙ガンマ線／陽子成分の識別可能性のシミュレーション研究 III」
- 宇宙線国際会議(インド:2006.8.9) ポスター発表
「MAPMT Aging Tests for High-Intensity Incident Lights and High Voltage Switching」