

宇宙素粒子分科会

宇宙線観測・理論の最前線

日時	7月29日 9:57 - 10:00, 14:45 - 15:45(招待講演:大平 豊 氏), 16:00 - 16:15 7月30日 17:15 - 18:15(招待講演:吉田 滋 氏)
招待講師	大平 豊 氏 (青山学院大学)「宇宙線の起源と加速と伝搬」 吉田 滋 氏 (千葉大学)「高エネルギーニュートリノ天文学の幕開け」
座長	土屋優悟 (京大 M2)、高橋光成 (東大 M2)、佐々木健斗 (東大 M2)、猪目祐介 (甲南大 M2)
概要	<p>地球に降り注ぐ宇宙線は、遠い宇宙のかなたの様々な情報を我々にもたらしてくれます。その起源としては超新星残骸 (SNR) や活動銀河核 (AGN) などが候補に挙げられていますが、非常に高エネルギーの粒子を実現する物理過程については、未だ明確な解が得られていません。また、ガンマ線バースト (GRB) のようにその正体が謎に包まれたままの現象も存在しています。さらに、宇宙線の研究は、それが伝播してきた空間の様子やダークマターの正体となる新たな素粒子の探索においても重要な役割を果たします。</p> <p>「宇宙素粒子」とはニュートリノやガンマ線、ダークマター候補の粒子など、あらゆる観測粒子を扱う意味から名づけられています。理論面からはこれらの謎に関して日に日に新たなモデルが提唱されており、非常に活発な状況にあります。</p> <p>一方実験的には、近年高エネルギー宇宙線やガンマ線、ニュートリノ、そして未知のダークマター粒子を狙ったプロジェクトが次々と始動、または数年以内の観測開始を予定しており、これから大きく謎の解明が進むと期待されています。過去も将来も宇宙を見る基盤となるであろう宇宙素粒子について、観測・理論の分け隔てなく活発な議論や交流が交わされることを期待しています。</p> <p>たくさんの方々の参加をお待ちしております。</p> <p>注) 地球に飛来するニュートリノの観測実験など、宇宙線としてのニュートリノは宇宙素粒子分科会で扱います。</p>

大平 豊 氏 (青山学院大学)

7月29日 14:45 - 15:45 B(大コンベンションホール)

「宇宙線の起源と加速と伝搬」

宇宙線が発見されて100年が経つが未だその起源と加速機構、銀河内の伝搬については未解明である。本講演ではまず、宇宙線の加速・起源・伝搬についての標準シナリオを紹介する。その後、その標準シナリオと最近の観測との矛盾や最新の理論的研究について紹介する。地球で観測される宇宙線のエネルギースペクトルはベキ型であるが、 $10^{15.5}$ eV と $10^{18.5}$ eV と 10^{20} eV 付近に折れ曲がりのような構造がある。 $10^{15.5}$ eV 以下のエネルギーの宇宙線は銀河宇宙線と呼ばれ、銀河系内の超新星残骸が起源と考えられている。 $10^{18.5}$ eV 以上の宇宙線は、銀河系外に起源を持つと考えられている。あいだの $10^{15.5}$ eV から $10^{18.5}$ eV の宇宙線は、系内か系外の議論が盛んに行われている。またどのエネルギーで宇宙線の起源が系内と系外に切り替わるかもよくわかっていない。最近では、観測された宇宙線陽電子のスペクトルがこれまでの標準シナリオで説明できず、ダークマターによって説明しようという試みも盛んに行われている。これらの内容についても紹介したい。

吉田 滋 氏 (千葉大学)

7月30日 17:15 - 18:15 B(大コンベンションホール)

「高エネルギーニュートリノ天文学の幕開け」

電荷を持たず弱相互作用にのみ感応する素粒子ニュートリノは宇宙論的な距離を粒子・輻射場との相互作用をせずに伝搬します。このためニュートリノは高エネルギー宇宙線が支配する超高エネルギー帯の宇宙のダイナミクスを解き明かす強力なスモーキングガンとして期待されてきました。天体起源の高エネルギーニュートリノ検出をめざし、現在までに多くの実験が行われてきたなかで、南極点で完全観測を2011年5月より開始した国際共同実験 IceCube は、日本グループの主導で大気ニュートリノから予想されるエネルギーを大きく越える PeV エネルギーの事象を2例検出することに成功しました。バックグラウンドから期待される事象数に対して 2.8σ のエクセスに相当し、カミオカンデによる超新星ニュートリノ以来、太陽ニュートリノを除けば、最初の宇宙ニュートリノ事象である。エネルギー閾値を下げた追加解析では、 4.1σ のエクセスを確認し、宇宙ニュートリノの存在は確実なものとなりました。実験の概観、データ解析手法について詳細に報告し、現時点の観測結果がもたらす高エネルギー宇宙線起源に関する知見について議論します。これからのニュートリノ天文学の行く末についても私見を披露します。

1. <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.111.021103>
2. <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.88.112008>

宇宙 a1 Fermi Bubble の放射スペクトルの空間変化

佐々木 健斗 (東京大学宇宙線研究所 M2)
Fermi-LAT 衛星による高エネルギーの γ 線領域 ($\geq 1\text{GeV}$) での観測データを分析した結果、我々の天の川銀河の中心において、銀河面から南北約 50° (10kpc) に渡って広がる巨大な双極構造が存在することが明らかになった [1]。"Fermi Bubble" (以下 FB) と呼ばれるこの巨大構造は、WMAP・Planck 衛星によるマイクロ波領域での観測や、ROSAT 衛星による X 線観測で確認されていた銀河中心での巨大構造との相関があり、天の川銀河中心での高エネルギー現象の存在を示唆していると考えられている。FB の γ 線放射を説明する機構としては、加速された陽子が生成する π^0 の崩壊時に γ 線を放つ"ハドロンモデル"や、加速された電子が周囲の光子を逆コンプトン散乱によって叩き上げて γ 線を放つ"レプトンモデル"などが提唱されている。また FB の特徴としては、境界での急激な明るさの変化に加えて、 E^{-2} のように銀河面からの γ 線に比べて hard なスペクトルを持つことと、全体的に一様な表面輝度であることが指摘されていた [1]。

しかし、詳細な分析の結果、特に FB の南側の領域において、低緯度側に比べて高緯度側で低エネルギーの放射が減少するという特徴があることが Yang らによって指摘された [2]。Yang らは GALPROP を用いて様々な銀河のパラメータの下で解析を行い、この特徴が有意なものであることを明らかにした。さらに、ハドロンレプトンモデルの両方について、陽子や電子がどのようなエネルギー分布を持てばこの特徴を説明できるかを示した。

本講演では、まずこの Yang らの論文 [2] のレビューを行い、その上で彼らが示した荷電粒子のエネルギー分布を再現するような粒子加速モデルについて議論を行うことを目指す。

1. Su et al. ApJ,724,1044(2010)
2. Yang, Aharonian, Crocker arXiv:1402.0403(2014)

宇宙 b1 次世代ガンマ線観測計画 CTA の大口径望遠鏡に搭載するカメラの設計

掃部 寛隆 (甲南大学 M1)
活動銀河中心核や超新星残骸をはじめ、宇宙における高エネルギー現象はガンマ線の放射を伴う。このガンマ線を高精度で測定することは、宇宙の高エネルギー現象の解明だけでなく、ガンマ線が伝搬する宇宙空間の測定につながる。

宇宙から飛来するガンマ線は地球大気と相互作用を起し空気シャワーを生成する。空気シャワー中の荷電粒子はチェレンコフ光と呼ばれる紫外線を前方に放射する。このチェレンコフ光を集光しガンマ線を観測する装置が大気チェレンコフ望遠鏡である。

CTA (Cherenkov Telescope Array) 計画は大、中、小口径 3 種類の大気チェレンコフ望遠鏡を南北両半球に合計約 100 台設置し、ガンマ線の高精度観測を行う国際共同実験である。

この計画で合計 8 台建設する大口径望遠鏡は直径 23m のパラボラ鏡を搭載し、観測可能なガンマ線のエネルギーを 20GeV まで下げることを目指している。このエネルギー領域はこれまで人工衛星でしか測定できなかったが、これを地上に展開した望遠鏡アレイで観測することにより、巨大な検出面積を実現する。

この大口径望遠鏡の焦点面に搭載するカメラにはガンマ線を低エネルギーまで観測するために高い性能が要求される。そのため検出器

は浜松ホトニクスと共同で開発した 40mm 口径光電子増倍管 (PMT) R11920-100 を採用している。この PMT はチェレンコフ光に対して高感度になるように設計され、紫外線に対する量子効率が 40 % をこえている。この PMT を 1855 本並べて全体で 2.3m 口径の焦点面検出器にしている。ピクセルサイズは 0.1 度で、全体で 4.5 度の視野になる。

各 PMT からの信号は後段の高速回路により処理される。信号処理の時間分解能は 3ns である。空間的かつ時間的に固まった信号が検出されると、その情報が周辺の望遠鏡に送られる。同時に複数の望遠鏡で信号が検出されたとき、ガンマ線が検出されたと判断しデータを収集する。このとき信号は 1GHz の高速サンプリングでデジタル変換される。

本講演では CTA 大口径望遠鏡カメラ設計について報告する。

1. 「Design concepts for the Cherenkov telescope array CTA: an advanced facility for ground-based high-energy gamma-ray astronomy」Experimental Astronomy, 32 "193-316" 2011
2. 今野裕介著、修士論文「次世代ガンマ線天文台 CTA のためのアナログメモリ DRS4 を用いた高速波形サンプリング回路の改良」 2012年
3. 「ASTROPARTICIE PHYSICS」"43, March 2013"

宇宙 c1 チベット実験での knee 領域鉄スペクトル測定のためのデータ収集システム

山内 紘一 (横浜国立大学大学院 工学府 M2)
我々はチベット高原の羊八井 (標高 4300m、606g/cm²) でエネルギー 10^{15}eV 付近 (knee 領域) の宇宙線化学組成の研究を行っている。knee 領域の組成は未だ解明されていない宇宙線原子核の加速機構や起源を強く反映しており、詳細な観測によりこれらの解明が期待されている。超高エネルギー宇宙測定のため、チベットに設置した空気シャワー観測装置と空気シャワー中心の粒子密度分布を測定するコア検出器を連動し一次宇宙線のエネルギーと核種選別を行っている。これまでの研究で、宇宙線の全粒子スペクトルと陽子成分、ヘリウム成分のスペクトルが測定された。これら測定は、knee 領域における宇宙線の主な成分が重い核子であることを示している。

現在、宇宙線を構成する核子の中で最も重い鉄成分のスペクトルを測定するため、新しい空気シャワーコア検出器 YAC (Yangbajing Air-shower Core detector) の準備を進めている。空気シャワー中心部は一次粒子によって粒子数密度分布に特徴を持つため、YAC により中心部の粒子数密度と広がりを測定することで鉄成分の選別が可能となる。さらに Air-shower Array と連動し一次粒子のエネルギーを測定することで、鉄成分のスペクトルを明らかにする。

YAC 1 台は、50cm \times 40cm プラスチックシンチレーター、シンチレーター上部に厚さ 3.5cm の鉛板、PMT 2 つ (高ゲイン、低ゲイン) で構成されている。これを 3.75m 間隔で 400 台 (計 0.2m²) を用いることで鉄成分の選別を行う。1 台の YAC で測定するシャワー粒子数は 1 粒子から 10^6 粒子であり、読み出し回路にも広い測定レンジが必要である。このため 1fc から 20000fc まで測定可能な電荷時間変換 ASIC (WDAMP) をこれまでに開発した。YAC データ収集システムは WDAMP からの時間パルスを、FPGA を使った TDC でデジタル化し VME バスにより取得する予定である。本発表では、YAC のデータ収集システムの開発状況について報告する。

宇素 c2 IceCube に用いる PMT の"Double pulse" に対する応答検証

上山 俊佑 (千葉大学 宇宙物理学研究室 M1)

現在行われているアイスキューブ実験は、南極点直下の氷中 1500m から 2500m の深さに 5160 個の光検出器を埋め込んで宇宙から飛来する高エネルギーニュートリノを観測する、日本・アメリカ・ドイツ等 8 ヶ国からなる国際共同プロジェクトです。この実験で、世界初となる 1PeV 以上の高エネルギー宇宙ニュートリノを観測しました。さらに、このアイスキューブ実験の 100 倍の面積を持つ拡張実験「ARA」の建設を予定しており、超新星爆発やガンマ線バースト等の天体現象の解明や長年の謎である超高エネルギー宇宙線の起源に迫ります。

このような非常に高いエネルギー領域を考える際に重要となるイベントとして、2つの事象がほぼ同時 ($< 150ns$) に検出器に到達する 'Coincidence' や 'Double bangs' 等があげられます。'Double bangs' は、1PeV 以上のエネルギーを持つ ν_τ に見られる現象で、氷中で cc 反応をした直後に、 τ 粒子が崩壊することで検出器内で 2 度光ります。

今回私は、この 2つの現象を想定して、IceCube で用いている光電子増倍管 (PMT) に連続的な光を 2 発入れたときのレスポンスに関する研究をしました。具体的には、バルサーと LED を光らせ、それらをディレイニウムモジュールを使い、0~124ns まで間隔を変えていき、1~2ns ごとにフォトエレクトロン数を計算し、1 発目と 2 発目の光の間隔とフォトエレクトロン数の関係について調べました。また、2つの光量を大きくしていくと、ある点を境にして PMT にサチュレーションが起きるので、そのサチュレーションカーブを描くと共に、シミュレーションと値を比較し、サチュレーションカーブのアルゴリズムについて考察しました。

1. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment
2. IC22 UHE Tau Neutrino Search IceCubeWiki
3. Diffuse neutrino fluxes and GZK neutrinos with IceCube

宇素 c3 次世代ガンマ線望遠鏡 CTA の大口径望遠鏡開発における較正用パルサー開発

猪目 祐介 (甲南大学 M2)

高エネルギー宇宙物理学の更なる発展を目指して、現在 Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画が国際共同実験として行われている。この計画には世界約 30 カ国、1200 人以上が参加しており、3 種類の大きさのチェレンコフ望遠鏡を複数設置して高エネルギーガンマ線源を観測する計画である。

日本グループは中でも大口径望遠鏡 (LST) の開発に関わっており、焦点面光検出器の開発を行っている。この焦点面光検出器には LST1 台につき 1855 本の光電子増倍管 (PMT) が検出素子として搭載される予定であり PMT を要求される増幅率に揃えて動作させる必要があるため、全ての PMT に対して性能評価を行い、較正を行う必要がある。大気チェレンコフ光は約 1 ns の超短光であるため、PMT の性能評価にはこれ以上の超短光が必要になる。しかしこのような超短光を出力可能な装置は大変高価であるため、我々は安価で高速な電子部品を用いて、チェレンコフ望遠鏡の性能評価に特化したピコ秒の超短光を出力可能な高速パルサーを開発した。本講演では上記の高速パルサーの開発について報告する。

1. Wilfield Uhring, Chantal-Virginie Zintta & Jeremy Bartringer, A low cost high repetition rate picosecond laser diode pulse generator., SPIE 2004.
2. B.S.Acharya et al. Astroparticle Physics 43(2011).