

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 14:30 - 15:30, 15:30 - 16:30 (招待講演:田島 宏康 氏) 7月30日 15:45 - 17:00 8月1日 9:00 - 10:00, 10:00 - 11:00 (招待講演:田村 忠久 氏)
招待講師	田島 宏康 氏 (名古屋大学)「解き明かされた銀河系宇宙線の起源」 田村 忠久 氏 (神奈川大学)「CALET による高エネルギー電子・ガンマ線観測」
座長	伊藤 司 (名古屋大学 M2)、後藤 昂司 (大阪市立大学 M2)、冨塚 慎司 (名古屋大学 M2)
概要	<p>ガンマ線バーストや超新星爆発、太陽フレアなどにより放出される宇宙線、ニュートリノやガンマ線からは、高エネルギー天体現象を理解する為の手がかりが得られます。また、ダークマターの探索は宇宙の起源の解明に繋がると言われています。近年の観測技術の向上により、これらの粒子について多くの事がわかってきており、現在も多くのプロジェクトが計画、進行されています。高エネルギー電子・ガンマ線観測装置 (CALET)、ニュートリノ検出器スーパーカミオカンデ、ダークマター検出器 XMASS、フェルミガンマ線宇宙望遠鏡、高エネルギーガンマ線天文台チェレンコフテレスコープアレイ (CTA)。さらに、LHCf のように加速器実験から高エネルギー粒子の相互作用を明らかにし、宇宙線物理に応用するという研究も進められつつある今、宇宙線研究は天文学、物理学の中でも注目されています。宇宙素粒子分科会では、これらの観測粒子をひとくくりに「宇宙素粒子」と名付けました。当分科会の特徴としては、扱う範囲が広いため、様々な分野の学生同士で話し合う事ができるという利点があります。多くの方々の参加をお待ちしています。</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>

田島 宏康 氏 (名古屋大学)

7月29日 15:30 - 16:30 B(エメラルド)

「解き明かされた銀河系宇宙線の起源」

宇宙線は宇宙から降り注ぐ高エネルギーの素粒子で、 10^9 から 10^{20} 電子ボルト以上まで幅広いエネルギー分布を持ち、その最高エネルギーは、人類が加速器で実現できるエネルギーをはるかに凌駕しているため、その加速物理過程は非常に興味深い謎である。宇宙線生成の物理過程を理解するためには、宇宙線の起源となる天体を同定することが重要であるが、荷電粒子である宇宙線は、乱流状態の星間磁場に影響を受け直進できないため、その到来方向を測定しても起源にたどり着くことはできない。一方で、宇宙線と星間ガスの相互作用で放出されるガンマ線は、星間磁場に影響を受けず直進できるため、宇宙線の起源とその伝播を研究する上で最も有力な手段と考えられている。

2008年に打ち上げられたフェルミ・ガンマ線衛星は、これまでに1800以上のガンマ線源を検出し、ガンマ線宇宙物理学に大きな進展をもたらした。宇宙線起源の研究においても、フェルミ衛星の観測によって決定的な証拠を掴むことができた。超新星残骸は、銀河系内宇宙線起源の最も有力な候補と考えられていることから、フェルミ衛星でW44、W51CやIC443と呼ばれる比較的古い(爆発から数万年以上の)超新星残骸からのガンマ線を観測した。これらの超新星残骸では、その衝撃波が周辺の星間ガスと相互作用をしている兆候が見られたため、宇宙線陽子起源のガンマ線を観測することが期待されていたが、我々が開発した画像解析手法によりW44ではガンマ線が超新星残骸の衝撃波領域から放射されていることを確認した。さらに、W44とIC443において 2×10^8 電子ボルト以下の領域のエネルギースペクトルを精密に測定したところ、宇宙線陽子起源のガンマ線に特徴的なスペクトルを捉えることに成功し、超新星残骸で宇宙線陽子が加速されていることを明らかにした。

田村 忠久 氏 (神奈川大学)

8月1日 10:00 - 11:00 B(エメラルド)

「CALETによる高エネルギー電子・ガンマ線観測」

今年4月にAMSの成果が公表されたのは記憶に新しいところであろう。宇宙線と物質の衝突による二次成分として予想される陽電子の全電子(電子と陽電子の合計)に対する比が、10 GeV以上では予想からはずれて増大することがPAMELA衛星によって発見され、その増大が100 GeVまでは続くことが確認されていた。AMSの結果ではそれがさらに250 GeVまで続いていた。このような陽電子の増大が、暗黒物質の対消滅や崩壊によるものであれば、その質量に応じて、エネルギースペクトルに頭打ちが現れるはずであるが、まだその尻尾をつかんでいない。PAMELAと同時期に、原子核の観測を主目的とした南極周回気球ATICによって600-800 GeV近傍での電子の過剰が報告され、暗黒物質の影響である可能性も示唆されている。これが暗黒物質の質量(崩壊ならこの2倍)なのか?このシナリオはたいへん魅力的だが、ガンマ線衛星Fermiや地上チェレンコフ望遠鏡HESSの結果は、ATICほどの顕著な過剰を示していない。また、パルサー天体が陽電子の過剰の原因である可能性もある。これを解明するには、TeV領域までの高精度なエネルギースペクトルを得る必要があり、日本では、宇宙線としては日本初の宇宙観測となるCALETを宇宙ステーションに搭載する準備が進んでいる。CALETは、超新星残骸での電子加速の直接検証を主目的としており、AMSやPAMELAのようなマグネットは搭載しないので陽電子を選別できないが、電子検出に最適化された観測装置によって高精度のスペクトルを10 TeVまで得ることができる。そのため、暗黒物質やパルサーによる電子過剰の検出も可能である。この講演では、CALETの観測目的や開発状況を他の実験との関連も含めて解説する。

宇素 01a Fermi Bubble における Multi-shock モデルによる加速と高エネルギー宇宙線スペクトルの関係

佐々木 健斗 (東京大学 M1)

地上で観測される宇宙線のスペクトルは power-law の分布をしているが、この指数は $\sim 10^{15}$ eV 付近のエネルギーを境に緩やかに変化することが観測から分かっており、このエネルギー領域は”knee 領域”と呼ばれている。knee よりも低いエネルギーの宇宙線については、超新星残骸 (supernova remnants, 以下 SNR) による加速が起源と考えられているが、knee を超えるエネルギーの宇宙線の起源については、明確な理論は得られておらず、銀河系外をその起源とする説などが提唱されていた。

K.S.Cheng らは、Fermi 望遠鏡によって銀河中心に観測された”Fermi Bubble”と呼ばれる巨大構造にその起源を求めることで、knee 付近における指数の変化と、knee を超えるエネルギーの宇宙線のスペクトルを説明できるとした [1]。 ”Fermi Bubble”は、銀河中心において、銀河面から南北にハロー付近まで広がるガンマ線放射の巨大な双極構造である。Cheng らはこの”Fermi Bubble”は銀河中心の巨大ブラックホール ”Sgr A*”での周期的な質量降着によるエネルギー解放として解釈できるモデル (CCDKI モデル、以下 C-11 モデルとする) を構築した [2]。その上で、”Fermi Bubble”において、複数の衝撃波が次々伝播する”Multi-shock 構造”が形成され得ることを指摘し、この衝撃波の平均間隔 l_{sh} が $l_{sh} \sim 30pc$ であれば、knee 付近で幕が緩やかになることが自然に説明できるとした。さらに、”Multi-shock 構造”がある場合には、超音速乱流での統計加速によって、knee を超える $10^{15} eV < E < 10^{19} eV$ の範囲のエネルギーの宇宙線も説明できるとした。

本稿では、以下の論文のレビューを行い、Cheng らの提唱する”C-11 モデル”及びそこから考えられる加速機構での高エネルギー宇宙線スペクトルの説明に関して、実際の観測事実と照らし合わせることで、このモデルへの議論を深めることにする。

特に、このモデルにおいて、銀河中心における質量降着の割合の仮定が非常に重要な役割をしていることを見出し、この質量降着率の仮定の妥当性検証が、Cheng らのモデルの妥当性の判断に大きな影響を与えられる可能性があることを議論していく。

1. K.S.Cheng et al. 2012. The Astrophysical Journal Letters 746:L16
2. K.S.Cheng et al. 2011. The Astrophysical Journal Letters 731:L17

宇素 02a TALE 実験用地表検出器の DAQ エレクトロニクスの開発

後藤 昂司 (大阪市立大学 M2)

テレスコープアレイ (TA) 実験は、米国ユタ州で稼働中の北半球最大の宇宙線観測実験であり、 $10^{18.2} eV$ から $10^{19.8} eV$ 付近で宇宙線の組成が陽子であるという結果を報告している。さらに $10^{18.7} eV$ と $10^{19.7} eV$ のところで宇宙線のエネルギースペクトルに折れ曲がりの構造がみられ、これらの折れ曲がり構造はそれぞれ、陽子と宇宙背景放射が起す電子対生成によるエネルギー損失と π^0 生成によるエネルギー損失によって作られると考えられている。また、他のいくつかの実験から $10^{18} eV$ より低いエネルギーで宇宙線の組成が鉄から陽子に変化しているという

結果も出ており [1]、これは宇宙線起源が銀河系内から銀河系外への遷移していることを示していると期待される。なぜならば、銀河系内起源の加速として最も確からしいと思われているショック加速モデルによれば、磁場による閉じ込め効果は原子核の電荷に比例して強くなり、あるエネルギー領域では鉄の存在比が大きいと考えられているためである。さらに銀河系外起源の鉄は長い伝搬距離のため地球に到達するまでに銀河間の光子と相互作用して核破砕すると考えられているため、銀河外起源の宇宙線は陽子が支配的である。そのため、 $10^{16} eV$ から $10^{18} eV$ にかけての宇宙線の組成の移り変わりは、銀河系内の鉄から銀河系外の陽子への遷移によるものだと考えられている。この宇宙線の組成の移り変わりを実験によって明かにするために、地表検出器アレイと大気蛍光望遠鏡によるハイブリッド観測を行っている TA 実験をさらに低エネルギーに拡張する TALE (TA Low Energy Extension) 実験が進行中である。この TALE 実験で使われる地表検出器の DAQ エレクトロニクスとその開発の要点、現状について報告する。

1. J.Blumer et al., Progress in Particle and Nuclear Physics, 63 (2009) 293

宇素 03a ガンマ線望遠鏡による Axion-like Particles の探索とパラメータへの制限

高橋 光成 (東京大学 M1)

超高エネルギーガンマ線観測の結果に基づいた、Axion-like Particles (ALPs) の存在およびパラメータの制限に関する議論をレビューする。Axion は強い相互作用の CP 対称性の不自然さから提唱され、その一般化である ALPs とともに理論的に存在が期待されている粒子である。これらはダークマターや超弦理論などとの関連からも関心を集めている。ALPs は標準模型の粒子との間に極めて弱い相互作用があり、特に電磁場との相互作用により光子と Axion が互いへと変化する光子-Axion 振動が起こる。この現象が AGNs などの遠方天体からのガンマ線のスペクトルの歪みとして捉えられる可能性が指摘されてきた。そして近年、実際に ALPs 無しには説明できないスペクトルが観測されており、このデータを用いて ALPs の光子との結合定数の下限が求められた。ただし観測やガンマ線の生成および伝搬に関する現在のモデルが誤っている可能性もあり、ALPs の存在が証明されたわけではない。本講演の最後に種々の制限や予測についてまとめ、今後の観測の戦略について考察する。

宇素 04a 次世代ガンマ線望遠鏡 CTA の概要と今後の展望

小島 拓実 (東京大学 M1)

CTA (Cherenkov Telescope Array) 計画は約 100 台の大気チェレンコフ望遠鏡を用いて、20GeV から 100TeV 以上の領域の超高エネルギー (VHE) ガンマ線の観測を行う国際共同プロジェクトである。今日、大気チェレンコフ望遠鏡は H.E.S.S. や MAGIC、VERITAS などがあるが、CTA 計画では感度を既存のもの 1 桁向上させ、現状では観測されていない、あるいは理解されていない物理現象の発見、解明を目指す。期待される主な物理現象として、宇宙線の起源、粒子加速、ブラックホールから放出されるジェットの性質、宇宙の星形成史の探求や、ダークマ

ター粒子の対消滅ガンマ線、ローレンツ不変性の破れの探索などを行う。4桁に及ぶ広いエネルギーレンジで観測するために、大中小の3種類の口径の望遠鏡が用いられ、感度向上のために、様々な技術が開発されている。本レビューでは、CTA計画の現状及び今後の展望について紹介する。

1. the CTA consortium, Astroparticle Physics, "Introduction the CTA concept", Volume 43, p.3. 2013

宇素 05a ガンマ線観測によるダークマター間接探索の現状と CTA 計画における今後の展望

荻野 桃子 (東京大学 M1)

CTA (Cherenkov Telescope Array) 計画は、大気チェレンコフ望遠鏡アレイを用いて、20 GeV-100 TeV 以上の領域に及ぶ超高エネルギーガンマ線の観測を行う国際共同プロジェクトである。このプロジェクトにより、高エネルギー天体での物理現象や宇宙の形成史の研究など様々な発展が予想されるが、その一つに、ダークマター対消滅からのガンマ線探索がある。昨年、ガンマ線観測衛星 Fermi-LAT のデータを用いた解析により、銀河中心に質量約 130 GeV のダークマターが存在するという可能性が示唆された。Fermi-LAT の観測は現在も続いているが、このエネルギー領域でのガンマ線探索に対してより大きい有効面積を持つ大気チェレンコフ望遠鏡での検証も有効である。これまでのチェレンコフ望遠鏡による観測では、H.E.S.S. (High Energy Stereoscopic System) による銀河中心のガンマ線の観測・解析が、WIMP 質量 1 TeV 付近における対消滅断面積の上限値に対する最も強い制限を与えている。さらに、観測エネルギー領域を広げ、感度を一桁以上向上させた CTA の実現により、ダークマターの検出がより現実的なものとなることが期待される。本レビューでは、イメージング大気チェレンコフ望遠鏡 (IACTs) を用いたガンマ線観測によるダークマター間接探索の現状と、今後の展望について考察する。

1. M. Doro et al.(CTA Consortium) 2013. Astroparticle Physics 43(2013)189-214
2. L. Bergström. 2013. Astroparticle Physics 43(2013)44-49
3. J.Conrad. 2012. [arXiv:1210.4392 [astro-ph.CO]]

宇素 06a CTA 大口径望遠鏡に向けた波形サンプリング回路の開発

土屋 優悟 (京都大学 M1)

CTA (Cherenkov Telescope Array) 計画は次世代の大規模地上望遠鏡群の国際共同建設計画である。大、中、小口径の合計 100 台近くの望遠鏡を配置することによって 20GeV から 100TeV 以上の超高エネルギーガンマ線の観測を、これまでの 10 倍の感度で観測することを目指す。高エネルギーガンマ線が大気を通過することで放出されるチェレンコフ光を鏡で集光し、大口径望遠鏡では集光面の PMT によって検出を行う。この信号と夜光ノイズを効率的に分離して観測するためには GHz での波形読み出しが求められている。また、大口径望遠鏡のカ

メラは光電子増倍管 (PMT:Photomultiplier Tube)2000 本近いチャンネルから構成されるためカメラの全体での発熱量を抑えるために低消費電力であることも求められる。そこで日本グループは、イタリアのグループと協力しアナログメモリの ASIC である DRS4(Domino Ring Sampler version4) を用いて 1-2GHz(可変) の高速サンプリングを行い、約 2W/channel である低消費電力の大口径望遠鏡搭載用波形読み出し回路を開発した。これまでに、トリガ生成回路などと組み合わせての波形サンプリング等の基本的な動作が確認されている。現在さらなる改良が重ねられており、今回開発中の新たな回路ではより大口径望遠鏡への搭載を意識した形で改良が行われている。本講演ではこれらの回路の構成と開発状況について発表する。

宇素 07a CTA 計画に向けた大口径望遠鏡のトリガー開発・試験および望遠鏡シミュレーション

増田 周 (京都大学 M1)

CTA(Cherenkov Telescope Array) 計画は、従来よりも一桁良い感度で 20GeV から 100TeV を超える超高エネルギーガンマ線を全天観測するために大中小合わせておよそ 100 台の望遠鏡群を建設する計画である。CTA 計画は世界 27 カ国の研究者が参加しているプロジェクトで、その中で日本は主に大口径望遠鏡の開発に大きく貢献しており、我々は望遠鏡の焦点面光検出器である PMT(光電子増倍管)からの電気信号読み出しを決定するトリガー回路部分と信号読み出し回路部分を開発している。大口径望遠鏡(口径 23m)では数十 GeV から 1TeV 程度の低いエネルギーのガンマ線を感度良く観測し、GRB 等の突発的な現象や AGN、パルサー等の天体を低エネルギー領域で観測する。ガンマ線は大気で生成される空気シャワーからのチェレンコフ光を捉えることで間接的に観測される。その際にバックグラウンドである夜光と区別して、チェレンコフ光によるイベントを有効に取得するためのトリガー回路が必要とされる。我々は読み出し回路とトリガー回路を接続するためのバックプレーン回路を開発し、トリガー回路と組み合わせて動作するか検証した。この検証で、PMT 7 本一組のクラスター 3 つをまたいだ通信が正常に行われることを確認した。さらにトリガー回路のパラメータを望遠鏡シミュレーションに組み込み、ガンマ線とバックグラウンドのトリガーレートとエネルギー閾値を確認することにより、回路の性能を検証した。このシミュレーションにより、単一望遠鏡でトリガー条件を 3 p.e. 以上の信号が 7 ピクセル以上隣り合う時とした場合、ガンマ線のエネルギー閾値が 50GeV 程度になることなどを確かめた。このことにより、望遠鏡の目標感度とエネルギー閾値を達成するための回路仕様を決めることが目標である。本講演ではトリガー回路の試験結果及びシミュレーション結果について発表する。

宇素 08a 宇宙ガンマ線精密観測計画 GRAINE~現状報告~

尾崎 圭太 (神戸大学 D2)

GRAINE(Gamma-Ray Astro-Imager with Nuclear Emulsion) は 10MeV~100GeV 領域において宇宙ガンマ線の精密観測を目指す気球実験である。主検出器に用いる原子核乾板 (Nuclear Emulsion) は荷電粒子の通過位置をサブミクロンの精度で捉えることが出来る 3 次元

飛跡検出器である。ガンマ線が対生成反応をして生じた電子陽電子対 (e^+e^-) を電磁散乱の影響を抑えて測定することで、Fermi-LAT に比べて一桁程度良い角度分解能が実現出来る。

ここでは、GRAINE の検出器性能に関するシミュレーション結果及び実証試験結果について紹介する。また、2011 年に大樹航空宇宙実験場で行ったテストフライトの概要を紹介する。

宇素 09a GRAINE～次期フライトへ向けた多段シフター動作試験～

水谷 深志 (神戸大学 M1)

NASA の衛星 Fermi-LAT は 2000 近くのガンマ線天体を発見し、ガンマ線天文学を切り拓いた。しかしながら、多くの成果とともに未同定天体など多くの課題が浮かんできている。そこで我々は Fermi-LAT の角度分解能を 1 桁近く上回るエマルジョン望遠鏡を開発し、ガンマ線天体の高分解能観測を目指す GRAINE (Gamma-ray Astro-Imager with Nuclear Emulsion) 計画を推進している。現在は 2014 年に予定されている次期フライトへ向け、エマルジョン望遠鏡の構成要素の一つである多段シフターの動作試験を行っている。本講演では常温常圧環境試験の結果及び低温低圧環境試験の解析経過についての報告を行う。

宇素 10a ガンマ線やニューオンなど放射線の到来方向を精度良く安価に測れる装置の開発

猪目 祐介 (甲南大学 M1)

シンチレーターと光センサーを組み合わせるにより高エネルギー粒子の存在を観測する事ができる。この方式を応用してガンマ線やニューオンなどの放射線を安価に観測できる装置を開発できないかと考え、開発を行った。安価でありながら高精度の観測を可能とするために、シンチレーターは感度や大きさの異なる 2 種類を組み合わせ、光センサーに関しては、マルチチャンネルプレートによって高解像度での光増幅を可能としたイメージンシファイアを使用した。また、シンチレーターとイメージンシファイアによって映像化された飛跡を CCD カメラを用いて撮像した後、その飛跡の映像から放射線の到来方向や数を解析して出力するソフトウェアも同時に開発し効率の向上を図った。その結果、実際に宇宙線の観測に成功した。本講演では観測装置の開発と観測結果について発表する。

1. 小田 稔. 1972. 裳華房

宇素 11c CTA 大口径望遠鏡用ライトガイドの開発

田中 駿也 (茨城大学 M2)

Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画は、大・中・小の口径が異なるチェレンコフ望遠鏡を約 60 台配置して、現在稼働している MAGIC, H.E.S.S., VERITAS 望遠鏡よりも広帯域・高感度のガンマ線観測を目的とする国際共同プロジェクトである。日本グループは大口径望遠鏡

(Large Size Telescope, LST) の開発を中心に進めている。

望遠鏡の焦点面には、チェレンコフ光を捕えて電気信号に変換する光電子増倍管 (Photomultiplier Tube, PMT) が一面に配置され、その数は LST 一台あたり 1855 本にも及ぶ。しかし、PMT を一面に配置する際、LST に使用する PMT の入射窓が円形であるため、PMT 同士を隣接させて配置すると、互いの間に隙間 (デッドスペース) ができてしまう問題点が生じる。このデッドスペースに入射したチェレンコフ光は検出することができない。今回発表するライトガイドは、デッドスペースを埋めて効率よくチェレンコフ光を PMT に導き、かつ夜光などのバックグラウンドを低減するために、全ての PMT に取り付けられる光学部品である。ライトガイドの曲面形状としては、ある角度以内で入射した光は 100 % 集光し、それより大きい角度で入射した光は全てカットするという特徴を持つ Winston Cone が代表的である。これまでに、Winston Cone 型ライトガイドを切削加工と 3D プリンタでいくつか試作し、現在その性能評価を行っている。

本講演では、LST 用に試作したライトガイドの性能評価及び大量生産に向けた開発の現状を報告する。

宇素 12c Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画における分割鏡の形状評システムの開発

馬場 浩則 (茨城大学 M2)

CTA 計画は、大中小の 3 種類の異なる口径の解像型大気チェレンコフ望遠鏡による大規模望遠鏡群により、現在稼働している同タイプの望遠鏡よりも一桁高い感度で数 10GeV から 100TeV までの広いエネルギー範囲の高エネルギーガンマ線を観測する国際共同実験である。その中で日本グループは、特に口径 23 m を持つ大口径望遠鏡、Large Size Telescope (LST) に重点を置いて開発を行っている。

LST の反射面は六角形で対辺間が 1.51 m、焦点距離 28~28.5 m の大型分割球面鏡 200 枚で構成され、その全ての開発は日本グループが担当する。LST は 8 台建設予定であることから、この大量の分割鏡の形状を高精度かつ効率の良く評価する方法が必要となる。CTA 計画ではこの評価方法として PMD 法という形状測定方法を採用した。PMD 法とは鏡面に位相模様を映し込み、4 台の CCD カメラで鏡全体をカバーするようにステレオ撮影し、形状による位相のずれから、鏡面形状、法線ベクトルを測定する方法である。その後、得られたデータから光線追跡を行い、スポットサイズや焦点距離を評価する。この方法では撮影された画像を合成することにより大型の分割鏡でも全体を測定、評価することが可能で、また最大 28.5 m という焦点距離に対して全長 7m 程度の装置で測定を行うことができる。2012 年の秋に宇宙線研究所内に設計した PMD 法装置が完成し、装置較正を行い、実際に使用する大型分割球面鏡の試測定とその情報をもとに更なる較正を繰り返した。現在では、10 μm 近くまでの鏡面構造を確認できるまでになっているが、スポットサイズの形状を評価するためにはまだ不十分であり、今後も更なるデータの解析と装置の較正が必要である。

本講演では LST 用分割鏡の形状測定システムの現状を報告する。

宇素 13c KamLAND を用いた GRB からの熱的ニュートリノの研究

大木 悠平 (東北大学 M2)

「KamLAND」は低エネルギー領域 (数 MeV~数十 MeV) に感度を持つニュートリノ検出装置である。GRB からのニュートリノに関する研究はこれまでも他の実験で行われてきたが、それは GRB ジェットの中で粒子加速によって作られる高エネルギーニュートリノについてのものである。GRB ジェットを生成する過程で数十 MeV の熱的ニュートリノが放出されるという予想があるのだが、それについては実験からのアプローチは未だ行われていない。この熱的ニュートリノは KamLAND で検出できる可能性があるため、その解析に向けて現在研究を行っている。

ポスターでは KamLAND 検出器の紹介とそれを用いた熱的ニュートリノの探索の方法、そして解析への前段階として、KamLAND で予想される GRB からのニュートリノフリューエンスの上限値をシュミレーションし、その結果について報告する。

1. Gando, A., et al. 2011, The Astrophysical Journal, 745, 193
2. 著者 C. 2013. 発行元 2

宇素 14c 最高エネルギー宇宙線源加速候補天体 2FGL J0939-1734 の電波観測

田中 洋輔 (茨城大学 M2)

陽子や原子核が主である宇宙線の起源問題は、その発見から 100 年過ぎた今でも明らかにされておらず、宇宙物理学における大きな問題の 1 つである。通常、宇宙線は銀河間磁場による影響で到来方向を断定することは困難である。しかし 10^{18} eV 以上のエネルギーをもつ、いわゆる最高エネルギー宇宙線であれば銀河間磁場による影響をほとんど受けることなく、到来方向を大きく曲げられたりすることなく地球上に飛来することができると考えられている。このような非常に高いエネルギーをもつ宇宙線は、銀河系外であれば超新星残骸や活動銀河などの天体における粒子加速によるものであると考えられている。

近年になって、Auger 宇宙線観測所から宇宙線の到来方向と近傍の活動銀河核に空間的な相関が認められるという結果が出された。ただしこの結果は空間的な相関があることを示すだけで、実際に対応天体が宇宙線の加速源であるかは判断できない。最高エネルギー宇宙線のような非常に高いエネルギーまで加速しうる天体では大規模な加速が行われているはずである。そのような領域では、周囲の物質や場との相互作用によって粒子は非熱的な放射をする。特にガンマ線は高エネルギー粒子加速が起こっている直接的な証拠となる。そこで 2008 年に打ち上げられたフェルミ宇宙望遠鏡の 2 年目カタログに注目した。フェルミ望遠鏡は GeV 領域のガンマ線を最高の感度で観測している望遠鏡である。

フェルミ望遠鏡のガンマ線源天体から、平均的な曲り角の範囲内に最高エネルギー宇宙線が複数個あるような天体を選出され、その中の天体に活動銀河核があった。活動銀河核はコンパクトな放射領域で非常に高い放射輝度をもち、電波からガンマ線までの非常に広いスペクトルを特徴としている。 10^{18} eV 以上のエネルギーまで加速しうる天体として、活動銀河核は十分に考えられる天体である。活動銀河核のエネルギースペクトル分布はシンクロトロン・自己コンプトンモデル (SSC モデル) を

考えることができ、これを得るには広い波長における観測が必要である。選出されたガンマ線源天体 2FGL J0939-1734 に対して野辺山 45m 電波望遠鏡を用いた連続波観測と JVN ネットワークによる VLBI 観測を実施。SSC モデルでの不定性を小さくすることと時間変動を押しさえることを目的に、野辺山の観測では複数波長でモニタリング観測を行った。VLBI 観測では高分解能を利用してジェット構造の検出を目指し、現在データを解析中である。

1. Pierre Auger Collaboration, Abreu, P., Aglietta, M., et al. 2010, Astroparticle Physics, 34, 314
2. NASA Fermi HomePage <http://fermi.gsfc.nasa.gov/>
3. 福田さん修論