

宇宙素粒子分科会

観測、理論から宇宙線研究の最前線に迫る

日時	7月28日 14:45 - 15:45(招待講演:間瀬 圭一 氏), 16:00 - 17:00 7月29日 10:15 - 11:15, 16:00 - 16:30, 17:15 - 18:15(招待講演:戸谷 友則 氏)
招待講師	間瀬 圭一 氏 (千葉大学)「ニュートリノ天文学の幕開け」 戸谷 友則 氏 (東京大学)「ガンマ線天体の宇宙論的進化・ガンマ線バーストとブレーザー」
座長	深見哲志 (東京大学 M2)、上山俊佑 (千葉大学 M2)、掃部寛隆 (甲南大学 M2)、堤陵 (甲南大学 M2)
概要	<p>地球に降り注ぐ宇宙線は、広大な宇宙空間を横切り、遠くかなたの様々な情報を我々にもたらしてくれます。「宇宙素粒子」とはニュートリノやガンマ線、ダークマターの正体となる新たな素粒子など、あらゆる観測粒子を扱う意味から名づけられています。宇宙線の研究は、宇宙線を発生させる天体についての情報を得られるだけでなく、伝播してきた空間の状態を知る上でも重要な役割を果たします。</p> <p>高エネルギー宇宙線の起源としては、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。</p> <p>現在、実験の面では、高エネルギー光子、ニュートリノ、ダークマターを観測する多数のプロジェクトが次々と始動されている上、ASTRO-H(X線)、CTA(ガンマ線)、IceCube、Hyper-K(ニュートリノ)等の大型プロジェクトが数年以内の観測開始を予定しています。一方理論の面では、観測事実に基づき未知の宇宙線の発生機構などに対して頻り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。実験と理論の両面での発展により、多くの謎が解明され、宇宙線分野は今後飛躍的な進歩を成し遂げると期待されています。</p> <p>本分科会では、宇宙線に対する理解や興味を深め、観測・理論の分け隔てなく活発な議論や交流を行います。宇宙線に関する知識を今後の研究活動に役立てて頂くことを期待しています。</p> <p>注) 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。コンパクトオブジェクトからの高エネルギー粒子の放射・伝播・加速機構に関しては宇宙素粒子分科会で扱います。</p>

間瀬 圭一 氏 (千葉大学)

7月28日 14:45 - 15:45 B 会場

「ニュートリノ天文学の幕開け」

IceCube 望遠鏡は主として 100 GeV 以上の宇宙からの高エネルギーニュートリノを観測するために南極に建設された。天体から放射される殆ど相互作用しないニュートリノを検出するのに必要な 1 km^3 という大きな検出器を実現するために南極の透明な氷を用いるユニークな検出器である。ニュートリノは活動銀河核やガンマ線バーストのような高エネルギー天体中で加速されたハドロン粒子が衝突する事により生じると考えられている。殆ど相互作用しないニュートリノの性質のために検出するのは困難であるが、星間物質に吸収されることもなく、また磁場により曲げられることもないので、深宇宙の天体を探索することができる。また、ニュートリノはハドロン粒子の衝突により生成されるので、IceCube は発見から 100 年経った現在でも完全には理解されていない宇宙線の起源を明らかにする可能性がある。IceCube は検出器内に観測されたエネルギーが約 30 TeV 以上の事象を今までに 54 事象観測した。大気ニュートリノバックグラウンド仮説は 7σ 水準で棄却され、天体から放射されるニュートリノである事が判明した。IceCube はまた天体内に捕らえられたニュートラリーノ等の SUSY 粒子の対消滅からのニュートリノを捕らえたり、大気ニュートリノ振動の観測により素粒子物理にも寄与できる。これらの最新の IceCube の結果とその意味について講演する。

戸谷 友則 氏 (東京大学)

7月29日 17:15 - 18:15 B 会場

「ガンマ線天体の宇宙論的進化・ガンマ線バーストとブレーザー」

宇宙論的な距離から観測されているガンマ線天体として代表的に挙げられるのがガンマ線バーストとブレーザーである。これらは、ガンマ線を出す放射機構もよく似ていると考えられる。また、これらを宇宙論的な情報を得るための「道具」として用いることができる点も同様である。本講演では、これらの天体の基礎的な理解と最近の話題を解説する。

宇素 a1 前兆ニュートリノによる超新星爆発の親星の判別可能性

加藤 ちなみ (早稲田大学 前田研究室・山田研究室 M2)

初期質量が太陽の約 8 倍以上の大質量星は、一生の最期に超新星爆発を起こす。しかし、その進化については、爆発機構を含め未だに多くの未解明な点が残されている。爆発前の親星の構造もその一つで恒星進化理論によると、親星の種類は大きくわけて“鉄核型”と“ONe 核型”の 2 種類があると考えられている。爆発した超新星の親星の構造を特定するためには親星の内部を直接観測する必要があるが、電磁波では散乱や吸収を受けてしまうので、直接観測することができない。そこで中心部の情報を担いかつ、観測可能なものとして期待されるのが、物質との反応断面積はるかに小さいニュートリノである。超新星ニュートリノといえば、小柴らがカミオカンデ検出器を用いて、1987 年に大マゼラン星雲で起こった超新星 SN1987A からのニュートリノを検出し、ノーベル賞を受賞したことが想起されるが、このときのニュートリノは超新星爆発に続く原始中性子星冷却時に放出されたもので、ここで述べているものとは異なる。実際、ニュートリノ放出自体は超新星が起こるずっと前の段階から始まっている。この段階のニュートリノを“前兆ニュートリノ”と呼ぶ。前兆ニュートリノは、親星の深部の情報を直接我々に届け、上述の 2 種類の親星の判別を可能にするだけでなく、続いて起こる超新星爆発へのアラートにもなりうる。1987 年の時点では、主として低エネルギー (数 MeV) で放出される前兆ニュートリノの観測はバックグラウンドと区別するのが難しかったが、格段に観測技術が発展した現在のスーパーカミオカンデや KamLAND などの観測装置なら、近傍 (~kpc) からの前兆ニュートリノを検出できる可能性がある。現在も新学術領域研究「宇宙の歴史をひもとく地下素粒子原子核研究」等の支援のもとで低バックグラウンド技術の開発が進んでおり、近い将来に起こるであろう近傍超新星爆発の観測に向けた準備は整いつつある。以上の研究背景を踏まえ、爆発前の親星タイプ“鉄核型”と“ONe 核型”が“前兆ニュートリノ”の観測から判別可能であるかを検証する。

1. Odrzywolek, A., Misiaszek, M., & Kutschera, M. 2004, APh, 21, 303
2. Itoh, N., Hayashi, H., Nishikawa, A., & Kohyama, Y. 1996, ApJS, 102, 411
3. Takahashi, K., Yoshida, T., & Umeda, H., 2013, ApJ, 771, 28

宇素 a2 重力崩壊型超新星中の $\nu\nu$ -interaction による Neutrino flavor transition

佐々木 宏和 (国立天文台三鷹 M1)

宇宙、銀河、星の構造形成及び物質の進化過程は超新星やガンマ線バーストなど的高エネルギー天体現象による物質・熱循環に起源をもつ。超新星爆発を引き起こすメカニズムとして一般相対論による効果や流体的不安定性といったマクロな効果、元素合成やニュートリノと物質との相互作用といったミクロな物理過程による効果が考えられる。重力崩壊型超新星の中心付近ではニュートリノがつくられ、衝撃波発生後、中心から表面に向かって $\nu\nu$ -interaction (ニュートリノどうしの散乱)、MSW 効果、vacuum oscillation の順で flavor transition を起こすと考えられる。先行研究では主に MSW 効果、vacuum oscillation に関する研究がなされたが $\nu\nu$ -interaction の研究はほとんど進んでいないのが現状である。超新星爆発や宇宙、銀河の進化、さらには元素の起源を解明する上

でコアにもっとも近い flavor transition の詳細を研究することは不可欠であり、研究によってニュートリノの多体系に対する理解も深まるであろう。

ここでは重力崩壊型超新星内部における $\nu\nu$ -interaction による flavor transition に関する研究を紹介し、今後の展望を述べる。この研究では bulb model というモデルを用い原始中性子星から放出されるニュートリノを中心からの距離 200km までの範囲で考える。簡単のためフレーバーは 2 種類だけ考え、 2×2 の密度行列を計算することにより flavor transition を調べる。散乱するニュートリノのなす角度に対する依存性を無視する single-angle approximation という近似を用いて計算すると $\nu\nu$ -interaction による flavor transition には中心付近から順に synchronization、bipolar oscillation、energy split という 3 つの特徴的な現象があらわれる。角度依存性を考慮する multi-angle simulation では bipolar oscillation の振幅が single の場合よりも小さく、振動が不鮮明となるが synchronization と energy split は確認された。

今回 $\nu\nu$ -interaction として高次の項を無視し平均場近似した一粒子ハミルトニアンを用いたが、今後はこれらの近似を使わない多体系ハミルトニアンを出来るだけ近似なしに計算できるよう、また、3 フレーバーの場合でも計算できるよう現在準備を進めている。

1. G. L. Fogli, E. Lisi, A. Marrone and A. Mirizzi JCAP 0712, 010 (2007) [arXiv:0707.1998 [hep-ph]]
2. Duan H, Fuller G M, Carlson J and Qian Y Z 2006 Phys. Rev. D 74 105014 [SPIRES] [astro-ph/0606616]

宇素 a3 解像型大気チェレンコフ望遠鏡による高エネルギーガンマ線の観測原理

稲田 知大 (東京大学宇宙線研究所 M1)

今日宇宙の姿を明らかにするために様々な波長の電磁波を用いて観測が行われている。ガンマ線領域は電磁波の中でも波長が一番短く高エネルギー領域である。さまざまなガンマ線の観測を行う検出器の中でも最もエネルギーの高い TeV 領域の観測を可能としたのが解像型大気チェレンコフ望遠鏡 (Imaging Atmospheric Cherenkov Telescope, IACT) である。現在は H.E.S.S. や MAGIC、VERITAS といった望遠鏡が稼働しており、次世代計画として Cherenkov Telescope Array (CTA) が現在国際共同プロジェクトとして進められている。これは口径の異なった望遠鏡を合計約 100 台用いることで 20GeV から数百 TeV 領域の超高エネルギーガンマ線の観測を目指すものである。現行の望遠鏡と比べると感度 10 倍かつ 4 桁にも渡る広いエネルギー領域という CTA が持つ特徴により新たな物理が発見されることが期待され、いままさに高エネルギーガンマ線天文学は発展の時期を迎えている。本発表では地球大気を利用することで TeV 領域の高エネルギーガンマ線観測を可能にした解像型大気チェレンコフ望遠鏡の観測原理とそれに付随する観測技術についてレビューを行う。

1. A.M.Hillas, Astroparticle Physics 43(2013)19-43.

宇素 a4 超高エネルギーガンマ線観測の現状と CTA の見る宇宙

岩村 由樹 (東京大学宇宙線研究所 M1)

CTA (Cherenkov Telescope Array) 計画は、100 台近くの大気チェレンコフ望遠鏡からなるガンマ線天文台を建設し、20GeV から 100TeV という超高エネルギー (VHE) ガンマ線領域での宇宙観測を行う国際共同プロジェクトである。VHE ガンマ線の天体観測では、ガンマ線が地球大気と相互作用する過程で生じるチェレンコフ光を地上の望遠鏡で検出する手法が用いられる。いま世界では H.E.S.S.、MAGIC、VERITAS といった大気チェレンコフ望遠鏡が稼働しており、超新星残骸や活動銀河核など銀河系内外に 160 を超える VHE ガンマ線源が発見・観測されている。

CTA では大規模な望遠鏡群を建設することにより、感度を既存の望遠鏡の 10 倍以上に押し上げるとともに高い角度分解能を実現する。また口径 4m から 23m にわたる大中小 3 通りのサイズの望遠鏡を設置することで、観測可能なエネルギー領域も拡大する。これらの性能向上の結果として新たに 1000 以上の VHE ガンマ線天体の発見が期待されており、さらには天体観測にとどまらず宇宙線の起源やダークマターの対消滅、ローレンツ不変性の破れなどをも探ることができるため、CTA が完成した暁には様々な面から人類の物理学への理解が推し進められるに違いない。本レビューではこうした CTA 計画の概要と CTA で狙える天体について、既存の大気チェレンコフ望遠鏡と比較しつつ紹介する。

宇素 a5 宇宙線加速における最高エネルギー問題

野上 雅弘 (青山学院大学大学院 M1)

1912 年に V. F. Hess によって宇宙線が発見された。その発見から約 100 年にわたり宇宙線について多くの研究がなされてきたが未だに宇宙線の起源や加速機構は謎のままである。一般に宇宙線のスペクトルは 10^8 eV から 10^{20} eV とエネルギーの範囲が広く、3 つの折れ曲がりを持つべき乗分布であることが知られている。この折れ曲がりには宇宙線の起源によるものと考えられている。1 つ目の折れ曲がりには $E \approx 10^{15.5}$ eV にあり、これまでの宇宙線は銀河系内が起源であると考えられている。また、2 つ目の折れ曲がりには $E \approx 10^{18}$ eV のところにある。 $E \approx 10^{18}$ eV のエネルギーの宇宙線は銀河系外の天体である AGN や GRB などの高エネルギー天体現象が起源であろうと考えられている。

本発表では最高エネルギー宇宙線 (10^{20} eV) における加速機構として相対論的な衝撃波における粒子加速を考え、Simulation を行った Lemonine & Pelletier (2006)[1]、Lemonine & Pelletier (2010)[2] について review を行う。[1] では相対論的な衝撃波を調べる際に下流の磁場構造は上流の磁場を衝撃波面で圧縮したものと仮定した。そのとき上流の磁場の揺らぎの波長が粒子のジャイロ半径よりも大きい場合、粒子は加速されず、小さい場合は加速することができる。[1] また、加速されたとしても加速率が低く AGN や GRB では最高エネルギー (10^{20} eV) まで加速できないという理論的報告がなされた。[2]

したがって現在の理論的な理解では相対論的な衝撃波では宇宙線を最高エネルギーまで加速できない。しかし、この結論に至るまでにいくつもの仮定がある。この仮定が外れたとき相対論的な衝撃波で宇宙線を最高エネルギーまで加速できるのか議論していく。

1. Lemoine, M., Pelletier, G., Revenu, B. 2006, ApJ, 645, L129
2. Lemoine, M., Pelletier, G., 2010, MNRAS, 402, 321

宇素 a6 ブレーザーからの γ 線放射と電子加速

小林 瑛史 (青山学院大学大学院 M1)

本講演では Inoue & Takahara (1996) のレビューを行う。Fermi 衛星やチェレンコフ望遠鏡でブレーザーから検出される高エネルギーガンマ線はジェット中での逆コンプトン散乱によって放出されると考えられている。

この論文では逆コンプトン散乱の種光子として、シンクロトロン放射の光子と外部光子を考えた。高エネルギー電子のエネルギー分布は、衝撃波加速と放射冷却の釣り合いで決定した。これらを基に、広帯域でのブレーザーからの放射スペクトルを計算している。

計算されたスペクトルとブレーザー (3C279 と Mrk421) の観測データを比較し、観測されたスペクトルが、二つの特徴的なピークに分かれていることが分かった。電波から UV または X 線までの低エネルギー成分はシンクロトロン放射であり、X 線からガンマ線の高エネルギー成分は電子による逆コンプトン散乱である。それぞれのピーク振動数は加速された電子の最高エネルギーを反映しており、観測データとの比較によって、電子が予想以上に非効率的に加速されている事がわかった。この電子の加速効率をイオンに適用すると、ブレーザー放射領域ではイオンを宇宙線の最高エネルギーである 10^{20} eV まで加速できない事になる。

宇素 a7 パルサー星雲における粒子加速と輸送

石崎 渉 (東京大学宇宙線研究所 M2)

パルサー星雲とは、半径 10km 程度の小さな天体であるパルサーひとつによって作り出された、数光年もの大きさに広がる天体である。パルサー星雲は電波から γ 線の広い波長帯で観測される天体であり、その放射スペクトルは非熱的な分布を持った電子・陽電子からのシンクロトロン放射・逆コンプトン散乱によって説明される。

パルサー星雲のエネルギー源は、中心に存在するパルサーの回転エネルギーである。星雲の中心に存在するパルサーは、パルサー風と呼ばれる相対論的速度を持った電子・陽電子プラズマの風を噴き出していることが知られている。このパルサー風が、周囲の星間物質を押しつけてきた天体がパルサー星雲であるとされている。

Kennel & Coroniti (1984)[1] はパルサー星雲の標準的モデル (以下 KC モデル) を与えた研究である。彼らは、球対称・定常を仮定したパルサー星雲について、プラズマ流の空間構造と放射スペクトルを計算した。KC モデルでは、パルサー風が星間物質に流れ込む際、終端衝撃波を形成し、その衝撃波における粒子加速によってエネルギーを得た粒子が、プラズマ流に乗り、移流していくとしてモデル化している。しかし、Reynolds (2003)[2] は、可視光領域のスペクトル指数の空間依存性を、KC モデルを使って計算すると、観測事実と矛盾することを指摘した。さらに、KC モデルで考慮していなかった、高エネルギー粒子の拡散過程の考慮の必要性に言及した。これを受けて、Tang & Chevalier (2012)[3] は、拡散過程を用いて、高エネルギー粒子の輸送過程をモデル化し、可視光領域のスペクトル指数の空間依存性を再現したが、全波長帯の放射スペクトルについて言及していない点等、モデルは不完全である。

本講演では、パルサー星雲のスペクトルモデルに関する理論的研究についてレビューを行い、その上で、より観測事実再現するような、パルサー星雲における粒子加速過程・輸送過程について議論することを指す。

1. Kennel, C. F., & Coroniti, F. V. 1984, ApJ, 283, 694
2. Reynolds, S. P. 2003, in Proc. IAU Colloquium 192, 10 Years of SN1993J (arXiv:astro-ph/0308483)
3. Tang, X. & Chevalier, R. A. 2012, ApJ, 752, 83

宇素 a8 大型レーザーを用いた磁化プラズマ中の無衝突衝撃波の生成実験

正治 圭崇 (青山学院大学大学院 M1)

銀河系内宇宙線 ($\sim 10^{15.5}$ eV) の加速源の最有力候補として、超新星残骸における無衝突衝撃波が挙げられる。その加速メカニズムとして、粒子が電磁波で散乱されて衝撃波面を往復することでエネルギーを得る、フェルミ加速などの理論的モデルが考えられている。しかし、フェルミ加速には注入問題や粒子を散乱させるための電磁波の励起方法等の問題が指摘されている。注入問題の解決方法としては、波乗り加速といった加速機構がシミュレーションによって示唆されている。[1]

宇宙線の加速メカニズムの研究として、理論的研究および観測的研究が主な方法として行われてきたが、我々は第三の方法として、大型レーザーを用いた地上実験によって宇宙線加速のメカニズムを解明する。我々の第一目標は磁場中の無衝突衝撃波を生成することである。

実験の準備として、イオンのジャイロ半径・Alfven マッハ数・クーロン散乱の平均自由行程より無衝突衝撃波生成の条件を考えた。その条件を満たすためのターゲットを決めるために輻射流体シミュレーションである ILESTA1D を用いて計算を行ったところ、Al の $5\sim 10\ \mu\text{m}$ の厚さが最適であるとわかった。そして考えたパラメータ条件を用いて、実験を行った。昨年度の実験では、無衝突衝撃波の生成には至らなかったが、結果より求めた ejecta の速度が生成条件を満たすことを確認した。また、生成条件を満たすためのターゲットおよびレーザー条件を輻射流体シミュレーション ILESTA1D を用いて調べた。

1. Hoshino & Shimada (2002)

宇素 a9 高エネルギーガンマ線で観測する宇宙

加藤 翔 (東京大学宇宙線研究所 M1)

我々は電磁波や宇宙からの高エネルギー粒子(宇宙線)を通じ、宇宙で起こっているさまざまな現象を知ることができる。電磁波・宇宙線を観測する観測機器の発展にともない、我々はさらに詳しく宇宙を見ることができるようになる。しかし、観測される宇宙、そして現象の中には既存の理論の枠組みでは、理解できないような現象も存在する。宇宙の新たな観測は、往々にして、新しい謎を生んできたといえる。現在、技術の発展に伴い、我々が見ることができるよう宇宙の姿や現象は以前とは比べ物にならないほど広がったが、より多くの、またより深遠な謎が生まれてきている。

本講演では電磁波の中でも、高エネルギーであるガンマ線の観測についてレビューを行う。ガンマ線は主に相対論的なエネルギーを持つ荷電粒子による放射によって生じる。高エネルギーガンマ線の存在はこのような高エネルギーの荷電粒子が存在することを示している。したがってガンマ線の観測は、例えば超新星残骸における宇宙線加速のような、高エネルギー現象を解明する手がかりとなる。近年、宇宙線を加速している超新星の幾つかが特定された。より多くの年齢の異なる超新星残骸を

測定することにより、超新星残骸の加速器としての進化を研究することができる。高エネルギーガンマ線により、今まで他の波長では見ることができなかった様々な現象が見えてきている。当講演では高エネルギーガンマ線を通して見ることで見られる宇宙について概観し、次世代の大規模高エネルギーガンマ線天文台である CTA への期待について述べる。

宇素 b1 次世代高エネルギーガンマ線望遠鏡による銀河面サーベイ

DANG VIET TAN (茨城大学理工学研究科理学専攻物理系 M1)

Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画とは口径の異なる大中小3種類の解像型大気チェレンコフ望遠鏡群を配置した超高エネルギーガンマ線天文台で、現在の望遠鏡の十倍深い感度を達成し、観測できるエネルギー帯を 20 GeV から 100 TeV 以上へ拡大することを目指す国際共同実験計画である。現在世界で 31 カ国、1200 人を超える学者達が参加している。CTA 計画で狙う主要なサイエンスは、Key Science Project (KSP) として策定されており、銀河系内・系外サーベイ、銀河中心、大マゼラン星雲などの観測戦略が立案され、議論が進んでいる。その中でも Galactic Plane Survey (GPS) は、重要な観測戦略の1つとして検討されている。GPS では、モンテカルロ・シミュレーションで得られた CTA の Instrument Response Functions (IRFs) を用いて銀河面のガンマ線ソースの観測可能性の評価を行い、銀画面を 3 mCrab の感度で銀経 -60 度から 60 度まで、銀緯 -3 度から 3 度までの領域を 250 時間でサーベイする計画を立案している。GPS では主に視野の広い CTA 中小型望遠鏡アレイが重要な寄与をすると期待されている。しかしながら、視野が相対的に小さい CTA 大型望遠鏡でも、Fermi ガンマ線宇宙望遠鏡のエネルギー帯とオーバーラップのある低いエネルギー帯でどのような寄与ができるかを調査し、観測戦略を練る必要がある。私はこの問題をシミュレーションにより調べている。本講演では、GPS 計画についての紹介を行い、日本チームが主に開発を行っている CTA 大型望遠鏡が果たす役割について検討状況を報告する。

1. Surveys with the Cherenkov Telescope Array. arXiv:1208.5686v1 [astro-ph.HE] 28 Aug 2012

宇素 b2 宇宙線断層撮像のための基礎研究

岸田 柊 (甲南大学 M1)

地球に降り注ぐ宇宙線を計測して、建物や地中の構造を撮像することを宇宙線断層撮像と呼ぶ。本講演ではその基本的な原理と、装置に用いる光検出器として MPPC (Multi-Pixel Photon Counter) と PMT (PhotoMulti Tube) について比較した結果について発表する。

宇素 b3 LED 光での PMT と MPPC の性能比較

高見 将太 (甲南大学 M1)

高エネルギー宇宙線から生成されるミューオンと電子を用いて建物内部の構造などを撮像する装置を開発するための基礎研究。PMT と MPPC の原理の説明。1p.e.(光電子)の分布を見るために LED を微弱に発光させ、検出器 (PMT, MPPC) で検出し、PMT と MPPC の性能を比較する。

宇素 c1 neutrino oscillations in core-collapse supernova

Delfan Azari Milad (早稲田大学 前田研究室・山田研究室 M2)

I am studying theoretical astrophysics with main focus on core-collapse supernovae. Neutrinos are supposed to be the key player in CCSNe. They carry most of the energy relieved by the gravitational collapse of massive star cores. If only one percent of their energy is transferred to stellar matter, CCSNe will be produced. The problem with the supernova theory is: This has not been achieved in the most sophisticated numerical simulations so far. , it is well known that mu- and tau neutrinos have higher energies than electron neutrinos. If the former is converted to the latter and then absorbed by matter, more energy is transferred and may induce successful explosions. The interesting thing is that the neutrino oscillations are modified by the presence of neutrino themselves; then the problem becomes nonlinear and far more difficult than the ordinary oscillation. Our idea is to apply the linear stability analysis to the results of the detailed numerical simulations without neutrino oscillations and see if the so-called collective neutrino oscillations occur at some point in the core collapse.

1. Kei Kotake, Katsuhiko Sato, Keitaro Takahashi, Rep. Prog. Phys. 69 (2006) 9711143
2. Dasgupta, B. et al., 2008, Phys.Rev.D77:113002

宇素 c2 ARA 実験における信号転送システムの製作と較正

磯部 晃 (千葉大学院 粒子線物理学研究室 M1)

Askaryan Radio Array (ARA) 実験は、南極における超高エネルギーニュートリノ観測実験であり、氷河中でのニュートリノ相互作用による粒子カスケードから放射される電波の検出による超高エネルギーニュートリノの観測を目的としている。氷河中 200 m に埋設された検出器からの高周波信号を、精度良く氷河表面に転送することが必要となる。私たちは、RFoF 法を用いた信号転送システムを開発し、ARA 検出器 1 ユニット分の装置を建造した。製作したシステムの性能、信号増幅、応答を理解するため、詳細なキャリブレーションを行った。本講演では、製作過程とキャリブレーション測定について説明し、得られた結果について考察する。

1. HOFFMAN, KD, M. RICHMAN, and MA DUVERNOIS. "The Askaryan Radio Array (ARA) neutrino detector: Current status."

宇素 c3 太陽中性子観測による粒子加速機構の解明

土屋 暁 (名古屋大学 太陽地球環境研究所 M1)

1912 年に Hess によって宇宙線の存在が確かめられて以来、宇宙線の加速機構の解明は宇宙線研究において重大なテーマの 1 つとなっている。この中で電子の加速機構については、X 線やγ線の観測によって少しずつ解明されてきている。しかし、イオン加速については未だその機

構は理解されていない。本研究は粒子加速の中でもこのイオン加速の加速機構を解明することが目的である。

粒子の加速機構を解明するための情報は地球に到達する宇宙線から得られる。しかし、宇宙線の大半は荷電粒子である。荷電粒子は星間空間における磁場の様々な影響を受けて地球に到達しているため、加速源の情報を正確に取り出すことは難しい。そこで、我々が欲しい情報を持っている粒子として考えられるのが宇宙線に含まれている、ニュートリノ・γ線・中性子といった中性の粒子である。これらの粒子の中で我々のグループは中性子に着目し、観測・データ解析を行っている。我々が地球で観測する中性子はその寿命の問題から、地球に近い太陽で生成・加速された中性子がターゲットとなる。

本研究で太陽中性子の観測に用いている検出器は、元々 K2K (KEK-to-Kamiokande) 長基線ニュートリノ振動実験の KEK 側の前置検出器として使用されていた SciBar を転用したものである。そのため、中性子に対する感度は十分で、粒子の弁別能力も高い。この SciBar を太陽からの中性子観測に適した低緯度・高い標高のメキシコのシエラネグラー山 (標高 4600m) の山頂に設置し観測を行う。本研究は 2010 年に現在の方針に向け動き始め、2013 年にシエラネグラー山頂に SciBar が設置された。現在はデータ取得を行うのと並行して、中性子検出への最適化の作業を行っている。

現在、私は上記の最適化の作業のソフトとハード両方の改良の手伝いをしながら、システムの理解を深めている。今後は、太陽中性子イベントが起きた時に備えて最適な解析方針を確立したい。

1. Observation of cosmic rays by the new solar neutron telescope, SciCRT