

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

東京大学宇宙線研究所
共同利用実施専門委員会

はじめに

昭和 28 年に乗鞍岳の東京大学宇宙線観測所は我が国初の全国共同利用研究機関として発足しました。その後、昭和 31 年に東京大学原子核研究所宇宙線部ができ、昭和 51 年には東京大学宇宙線研究所ができました。そして、現在に至るまで、宇宙線研究所は全国の共同利用研究者とともに歩み続けてきました。1987 年には神岡地下実験が世界で初めて超新星からのニュートリノバーストを捕え、その成果により小柴先生がノーベル物理学賞を受賞されたことは記憶に新しいことです。

現在、東京大学宇宙線研究所は、全国共同利用研究所として、柏キャンパス、神岡宇宙素粒子研究施設、乗鞍観測所、明野観測所の附属施設で共同利用研究を行っています。また国内のみならず、ボリビア、オーストラリア、中国チベット米国ユタなど海外での国際協力研究事業も行っています。

これらの共同利用研究は毎年全国の研究者から公募し、共同利用運営委員会のもとで採択します。平成 19 年度には 91 件の共同利用研究が採択されました。研究成果は、毎年、共同利用研究成果発表研究会において公表され、活発な討議が行われてきました。

平成 16 年には国立大学が独立法人化されましたが、宇宙線研究所の共同利用研究の成果をより多くの方々に知っていただき、共同研究の重要性を理解して頂くために、毎年この共同研究の報告集を作成しています。今後の全国の共同利用研究者の皆様のご活躍を期待するとともに、関係者の皆様方の共同利用研究に対するご理解とご支援を宜しくお願いいたします。

平成 20 年 4 月

東京大学宇宙線研究所
共同利用実施専門委員会
委員長 梶野文義

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：太陽ニュートリノ流量の研究		
	英文：Study of the solar neutrino flux		
研究代表者	東京大学宇宙線研究所・神岡宇宙素粒子研究施設	教授	鈴木洋一郎
参加研究者	東京大学宇宙線研究所・神岡宇宙素粒子研究施設	助教	小汐由介
	東北大学大学院理学研究科	助教	長谷川琢哉

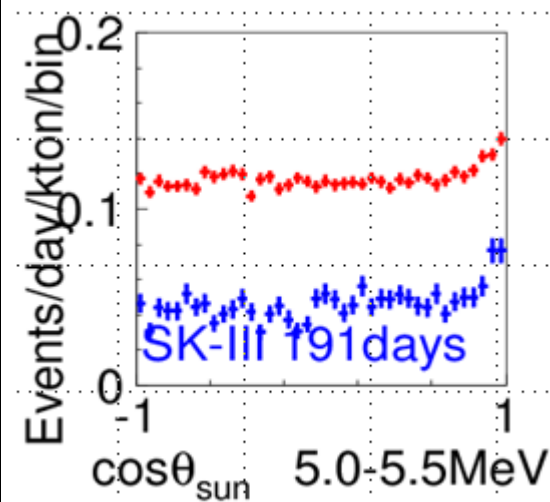
研究成果概要

SK-III 開始以降、ようやく水質も安定し、低数居値、低バックグラウンドへ向けてのスタディーが可能となってきた。これまでは、トリガー効率が 4.5 MeV で 90% であったが、トリガー効率が 99% のトリガーをテストした。トリガーレートは 1.4 kHz から 3.5 kHz にあがったが、DAQ やデータ転送に問題は発生しなかった。

また、測定器の中心部分の 9 kt の限られた領域であるが、低 BG が実現できた (図)。SK-I に比べて、5 MeV から 5.5 MeV のエネルギー範囲で、バックグラウンドがほぼ半分以下となった。目標値の 3 分の 1 に近いレベルである。

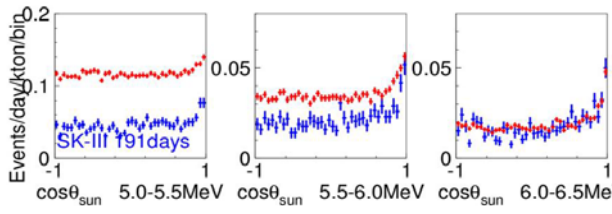
また、これまで、SK-III のデータには、N16 からの BG を減らすカットがかかっていたが、これをかけることにより 10% 近く BG が下がることも明らかになった。

今後は、低バックグラウンド、低数居値での安定な観測を目指し、低エネルギー領域で太陽ニュートリノ流量を用いた振動パラメータの確認を行うとともに、期待値からのずれがあるかどうかの判定をめざす。



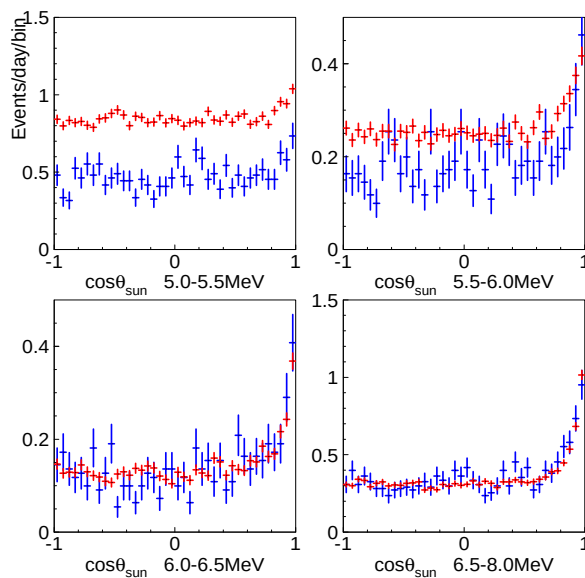
整理番号

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	太陽ニュートリノエネルギースペクトルの研究 (Energy spectrum measurement of solar neutrinos in Super-Kamiokande)
研究代表者	東京大学宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設・教授・中畑雅行
参加研究者	宇宙線研・助教・三浦 真、宮城教育大・准教授・福田 善之、KEK・教授・中村 健蔵、KEK・教授・小林 孝、KEK・准教授・塚本敏文、KEK・講師・石井 孝信、KEK・研究機関講師・大山 雄一、KEK・助教・石田 卓、KEK・助教・市川 温子、KEK・助教・中平武、KEK・助教・関口哲郎、東海大学・教授・西嶋恭司、東海大学・M2・古瀬雄一 University of California, Irvine: D.Casper, J.P.Cravens, J.Dunmore, J.Griskevich, W.R.Kropp, D.W.Liu, S.Mine, C.Regis, M.B.Smy, HW.Sobel, M.R.Vagins UC davis: R.Svoboda LLNL: S.Dazeley
研究成果概要	太陽の熱源は中心でおきている核融合反応であるが、スーパーカミオカンデはその反応の際に発生するニュートリノを捉えている。具体的には核融合反応チェインのうち、ホウ素8の崩壊に伴うエネルギーの高いニュートリノを捉えている。スーパーカミオカンデが捉えたニュートリノの強度は標準的な太陽モデルから予想される強度の約40%しかなく、その原因はニュートリノが太陽から地球に飛んでくる間に元々の電子ニュートリノから他のニュートリノ（ミューニュートリノやタウニュートリノ）に変わってしまうからだということがわかっている。この「ニュートリノ振動」とよばれる現象を詳しく調べるためには太陽ニュートリノのエネルギースペクトルを詳しく調べ、エネルギーと共に振動の確率が変わること（スペクトル歪み）を捉える必要がある。そのため本研究では精密なエネルギースペクトル観測を行っている。 スーパーカミオカンデは2006年7月より、第3期(SK-III)のデータを取得している。SK-III ではニュートリノ振動によるスペクトルの歪みを捉えるために、より低いエネルギーまで太陽ニュートリノを捉えることを目指している。左図は2007年1月以降191日分のデータ（青線）とSK-Iの頃のデータ（赤線）の太陽方向分布である。  このように SK-III では低エネルギー領域においてバックグラウンドをSK-Iの約1/3まで低減することができており、このまま統計をあげていけば5年程度の時間でスペクトル歪みを測定できる可能性が見えてきた。
整理番号	

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：太陽ニュートリノにおける昼夜効果の精密観測 英文：Precise measurement of Day/Night effect for B8 solar neutrinos
研究代表者	宮城教育大学・教育学部・准教授・福田 善之
参加研究者	東京大学 宇宙線研究所・教授・中畑 雅行 高エネルギー加速器研究機構 准教授・長谷川 琢哉 神奈川大学 工学部・教授・渡邊 靖志
研究成果概要	本年度では、2007 年 1 月 24 日から 10 月 4 日までの合計 179.9 日分の SK-III データを用いて、低エネルギー領域の太陽ニュートリノ流量の解析を行った。この期間では SLE トリガーでデータ収集を行っているため、5MeV で 100%の検出効率となっている。上記の 180 日間ではバックグラウンド等が混入している期間を含んでいるため解析のエネルギー閾値は 6.5MeV で行っており、バックグラウンドを含まない期間だけを選択した 110.3 日分に関しては解析のエネルギー閾値を 5MeV とした。解析手法は、SK-I の状況と比較するため、SK-I と基本的に同様の解析ツールを用いた。今回は、観測した太陽ニュートリノの流量を昼夜に分けることは行わず、基本的な比較を行うことに止めた。その結果、5MeV の解析を行った 110 日の解析では、低エネルギー領域では SK-I の状況を再現できず、大量のバックグラウンドが存在した。このバックグラウンドは、SK-II の再建時に導入した光電子増倍管を囲む FRP ケースから発生することがわかり、特殊な Ambient BG cut (SK-I での GRINGO cut に相当している) を施すことにより、除去できることがわかった。除去後の最終サンプルデータでは、SK-III と SK-I は同様な結果を得ることになった。 角度分布を見ても、SK-III のデータは SK-I を良く再現していることがわかり、測定器が正常に機能していると判断できる。また、検出器内のバックグラウンド量を詳細に解析した結果、検出器の内部領域では SK-I よりバックグラウンドが少ない状況を得ており、低エネルギー閾値化にむけて好材料となる結果である。これらのデータ解析を踏まえ、SK-III のデータ量を蓄積しながら、昼夜による低エネルギー太陽 ^8B ニュートリノの流量観測と系統誤差の評価を次年度に行う予定である。
整理番号	



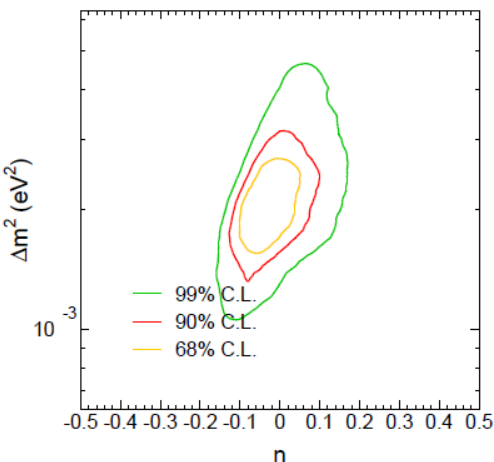
平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：超新星爆発モニターの研究 英文：Study for Supernova monitor		
研究代表者	東京大学宇宙線研究所	助教	大林 由尚
参加研究者	東京大学宇宙線研究所	准教授	竹内 康雄
	宮城教育大学教育学部	准教授	福田 善之
	神戸大学理学部	助教	鈴木 州
	静岡福祉情報短期大学ビジネス情報学科	講師	岡澤 裕子
研究成果概要			
スーパーカミオカンデにおいて超新星爆発モニターを定常的に稼動した。 また、低エネルギーの太陽ニュートリノ事象を捉えられるようスーパーカミオカンデのトリガー閾値を下げてもオンラインシステムが破綻しないこと、超新星爆発モニターの処理速度が十分であることを確認した。 さらに、LED を用いたニュートリノバースト事象の模擬試験を継続的に行い、オンラインデータ収集システムが問題なくニュートリノバースト事象を収集できること、超新星爆発モニターが動作する事を確認した。また、超新星爆発事象を実際このモニターで見つけた際に、研究者が世界中どこにいても即座に遠隔会議を開いてデータを確認し公表することのできるよう連絡方法を確立し、模擬試験のデータを用いて訓練を行った。 定常的に稼動した超新星爆発モニターにより、有意なニュートリノバーストは観測されなかった。 SK-1 および SK-2 でのニュートリノバーストの観測結果を用いて、我々の銀河内での超新星爆発の発生率の上限として、0.32 事象／年(90%C.L.)という値が得られた。			
整理番号			

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：超新星背景ニュートリノの研究 英文：Study of Supernova Relic Neutrinos	
研究代表者 大阪大学・教授・久野良孝 参加研究者 大阪大学・特任研究員・吉田誠 宮城教育大学・准教授・福田善之 宇宙線研・教授・中畑雅行 宇宙線研・学術研究支援員・渡邊秀樹 宇宙線研・大学院生・飯田崇史 Tsinghua Univ.・S. Chen, Tsinghua Univ.・H. Zhang Tsinghua Univ.・Z. Deng, Tsinghua Univ.・Y. Liu	
研究成果概要 791日分のSK-II観測データについてSK-IでのSRN探索と同様の解析を行った。SRN事象数は0と矛盾しない結果となり、18MeV以上のSRNフラックスの上限値は$3.8 \text{ /cm}^2 \text{ /s}$と計算された。SK-IとSK-IIのデータすべてでは、90% C.L. の上限値は$1.08 \text{ /cm}^2 \text{ /s}$と得られた。 モンテカルロシミュレーションを用いて解析の改善を試みた。SRNの検出効率を上げるため、有効体積を大きくした場合の位置分解能、エネルギー分解能、バックグラウンドの性質について詳細に調べた。これまでは、データから再構築したニュートリノ反応位置が光電子増倍管から2メートル以上離れている事象（有効体積22.5kton）のみを使っていた。有効体積を壁から1メートルまで広げると、SRN事象の検出数を17%改善できることが分かった。SK-Iの観測データに改良した解析を施した結果、バックグラウンドレートは従来の有効体積の結果とほぼ同じレベルであることを確認した。 また、反電子ニュートリノがSK内で起こす逆β崩壊過程によって生じる中性子が水中の原子核と反応して放出されるガンマ線（エネルギー2.2MeV）を捕らえることで、バックグラウンドの非常に少ないSRN事象候補を選別する可能性を検討した。100年分の大気ニュートリノ事象に相当するモンテカルロシミュレーションに対してSRN用解析カットをかけ、さらに中性子由来ガンマ線検出を要求した場合に残るバックグラウンド事象を調べた。その結果、大気ニュートリノ由来のSRN事象に対するバックグラウンドは20MeV以下に多く観測された。	
整理番号	

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：大気ニュートリノフラックスとニュートリノ振動の研究 英文：Study of atmospheric neutrinos and neutrino oscillations
研究代表者 梶田隆章（東京大学宇宙線研究所教授） 参加研究者 伊藤好孝（名古屋大学太陽地球環境研究所教授）、塩澤真人（東京大学宇宙線研究所准教授）、金行健治（東京大学宇宙線研究所准教授）、早戸良成（東京大学宇宙線研究所准教授）、奥村公宏（東京大学宇宙線研究所助教）、三浦真（東京大学宇宙線研究所助教）、森山茂栄（東京大学宇宙線研究所准教授）、大林由尚（東京大学宇宙線研究所助教）、中山祥英（東京大学宇宙線研究所特任助教）、樋口格（東京大学宇宙線研究所研究機関研究員）、武長祐美子（東京大学宇宙線研究所大学院学生）、三塚岳（東京大学宇宙線研究所大学院学生）、西野玄記（東京大学宇宙線研究所大学院学生）、石原千鶴枝（東京大学宇宙線研究所大学院学生）、狭間俊介（東京大学宇宙線研究所大学院学生）、小柴昌俊（東京大学特別名誉教授）、亀田純（東京大学宇宙線研究所助手）、渡辺靖志（神奈川大学工学部教授）、H. K. Seo（Sung Kyun Kwan University 大学院学生）、J. S. Jang（Chonnam Natl. University, 大学院学生）
研究成果概要 ニュートリノの質量が物質密度の関数である可能性があるのではないかと理論的な指摘にもとづき、観測されている大気ニュートリノデータがニュートリノの質量が物質密度の関数であるという仮説で説明出来るかを検定した。図1にニュートリノの質量パラメータ（Δm^2）が $\Delta m^2 (\rho/\rho_0)^n$（ここで$\rho$は物質密度）で置き換えられた場合についての許されるパラメータ領域を示した。明らかに $n=0$,つまりニュートリノの質量が物質密度に依存しない場合（標準的なニュートリノ振動）が最もデータをよく再現する。この結果を論文にまとめた。  図1. (Δm^2) を $\Delta m^2 (\rho/\rho_0)^n$ で置き換えられた場合の許されるパラメータ領域。

最近のニュートリノフラックスや相互作用の理解、更に解析プログラムの改良などをもとに約 1500 日分のスーパーカミオカンデ（SK）－1 のデータに加えて、約 800 日分の SK－2 のデータを再解析し、SK－1＋2 の最終データを得る作業を行い、平成 19 年度末までにほぼこの再解析が完了した。得られたデータは今までのデータと傾向は同様で、電子ニュートリノ事象に関してはデータの分布はモンテカルロ計算の分布と良く合っているが、いろいろなカテゴリーのミューニュートリノ事象は有意に上向きニュートリノに欠損が見られる。

また、SK－3 のデータ解析についても解析を進めている。図 2 に SK 3 の予備的なデータを示す。

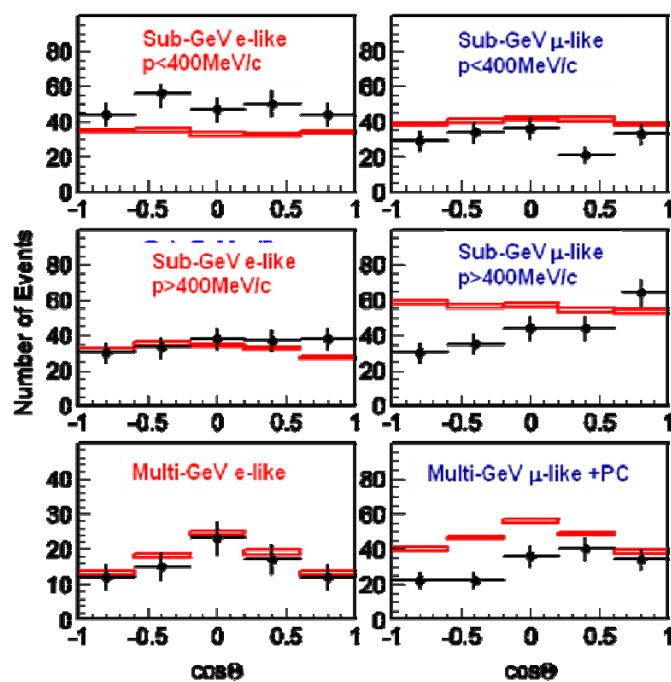


図 2。SK 3 の予備的な fully contained events, partially contained events の天頂角分布。166 日分のデータ。

整理番号

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：大気ニュートリノフラックス中の 2 成分（e 型、 μ 型）同定の研究 英文：study of flavor identification of atmospheric neutrinos
研究代表者	東京大学宇宙線研究所・助教・亀田純
参加研究者	東京工業大学（現 神奈川大学）・教授・渡邊靖志
研究成果概要 Super-Kamiokande III での粒子同定方法の研究を行った。粒子同定のアルゴリズムの検討、改良により mis-identification の確率が 1GeV/c においておよそ 0.5%と得られた。これは Super-Kamiokande I, II と同程度もしくはそれ以上の粒子同定能力であり、高い精度でのニュートリノのフレーバーを用いた研究が可能となった。 また、2008 年夏よりの導入が予定されている新しいデータ取得エレクトロニクスの、小光量から大光量に対する応答のテストが行われた。光に対する検出器の応答を理解することは粒子の同定において大変に重要である。テストの結果は詳細に検討され、エレクトロニクスの開発にフィードバックされているところである。 新たなエレクトロニクスによる広い光量ダイナミックレンジを用いた粒子同定のアルゴリズムの研究、開発も行われた。これは現在も引き続き行われている。	
整理番号	

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：大気ニュートリノにおける3世代振動事象の研究 英文：Study of three flavor oscillation in atmospheric neutrinos
研究代表者	奥村公宏（東大宇宙線研究所宇宙ニュートリノ観測情報融合センター）
参加研究者	Chang Kee Jung（Univ. of Stony Brook, USA 教授） Clark McGrew（Univ. of Stony Brook, USA 助教授） Chiaki Yanagisawa（Univ. of Stony Brook, USA 助教授）
研究成果概要	現在の標準的な素粒子モデルでは3種類のニュートリノ（電子ニュートリノ、ミューニュートリノ、タウニュートリノ）の存在、またこれらのニュートリノ間の混合を記述するパラメータとして3つの混合角（θ_{12}、θ_{23}、θ_{13}）とCP非保存項δが考えられている。これらのうち大気ニュートリノではミューニュートリノとタウニュートリノ間のΔm_{23}^2とθ_{23}の2つのパラメータを用いた2世代振動でよく記述できるが、3世代ニュートリノ振動モデルで期待されているθ_{13}における有限値の発見などの課題が残されている。 本研究では大気ニュートリノ事象を用いて2世代振動の枠組みを超えた現象を調べている。そのひとつが有限のθ_{13}の検出である。電子ニュートリノが地球内部の物質を通過する場合、その振動振幅が物質密度やニュートリノのエネルギーに応じて変化することが知られている（物質効果）。この効果によりエネルギーが約2~10GeV（1GeVは10の9乗電子ボルト）の電子ニュートリノが地球を通過する場合、θ_{13}によるニュートリノ振動の振幅が増大することが期待される。 我々は岐阜県神岡町にある水チェレンコフ検出器スーパーカミオカンデ（SK）のデータを用い、電子ニュートリノの物質効果に着目してθ_{13}の探索を行った。その結果、地球を通過した数GeVのエネルギー領域の電子ニュートリノの有意な増加効果は観測されなかった。またθ_{13}について90%信頼度において$\sin^2\theta_{13}<0.14$という制限を設けることが出来た（右図）。現在はSK-IIのデータ解析を行っており、さらにθ_{13}の感度を上げる予定である。
整理番号	

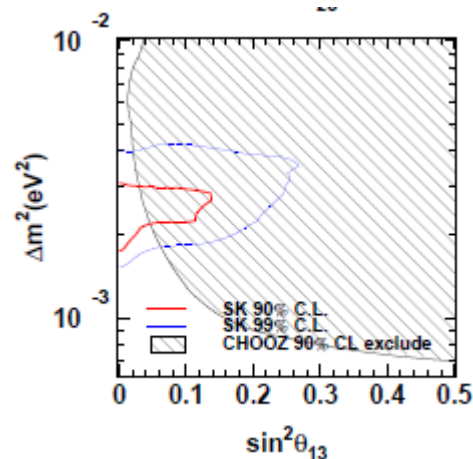


図1：解析により得られた（ $\Delta m^2, \sin^2 \theta_{13}$ ）の90%許容領域（赤線）。黄色の斜線領域は原子炉ニュートリノ測定で排除された領域を示す。（Phys. Rev. D **74**, 032002 (2006)）

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：大気ニュートリノのシミュレーション計算の研究

英文：Study of simulation for atmospheric neutrino

研究代表者 東京大学宇宙線研究所 助教 三浦 真

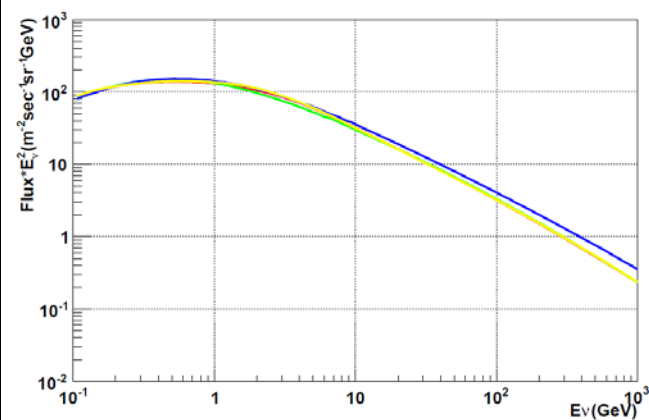
参加研究者 京都大学 準教授 中家 剛、京都大学 助教 横山 将志、岡山大学
教授 作田 誠、岡山大学 院生 池田 一得、岡山大学 院生 出原 由規、岐阜大
学 教授 田阪 茂樹

研究成果概要

昨年度、さまざまなキャリブレーションデータに基づいて検出器のシミュレーションがチューンされたが、一部分布の形が合わないものや、予想される性能が得られない場合があった。特にシミュレーションで求められた運動量の分解能は、低い領域ではSK-IIより改善されているが、1GeV/cを超えるとSK-IIIであまり改善が見られなかった。検出器のシミュレーションを詳しく調べてみると、ブラックシートの位置がSK-Iのままで、PMTのacceptanceが間違っていることが判明した。ブラックシートの位置を正しく修正すると、運動量の分解能はほぼSK-Iと一致することがわかった。今年度はこの変更に基づき、シミュレーションを再度チューンした。

大気ニュートリノフラックスの計算においては、HONDA06が導入された。この中でHadr on interactionを変更し、観測されるミューオンフラックスをよく再現するようになった。また、Solar ModulationについてはBESSの結果を取り入れた。HONDA06とSKで使われているHONDA03を比べると、5GeV以下ではよく一致するが、100GeV近辺でおよそ10%増加している。

CCQEの産卵断面積について、我々はSmith-Moniz modelを使って計算しているが、このモデルはすでに30年を経ていて、原子核内の効果については精密に計算されていない。現在、様々なモデルを模索し、検証しているところである。



ν_μ フラックス分布

黒：Honda06

赤：Honda03

黄：Honda01

緑：Fluka03

青：Bartol03

整理番号

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：上向きミューオンの研究

英文：Study of upward going muons

研究代表者 梶田隆章（東京大学宇宙線研究所教授）

参加研究者 伊藤好孝（名古屋大学太陽地球環境研究所教授）、塩澤真人（東京大学宇宙線研究所准教授）、金行健治（東京大学宇宙線研究所准教授）、早戸良成（東京大学宇宙線研究所准教授）、奥村公宏（東京大学宇宙線研究所助教）、三浦真（東京大学宇宙線研究所助教）、森山茂栄（東京大学宇宙線研究所准教授）、大林由尚（東京大学宇宙線研究所助教）、中山祥英（東京大学宇宙線研究所特任助教）、樋口格（東京大学宇宙線研究所研究機関研究員）、武長祐美子（東京大学宇宙線研究所大学院学生）、三塚岳（東京大学宇宙線研究所大学院学生）、西野玄記（東京大学宇宙線研究所大学院学生）、石原千鶴枝（東京大学宇宙線研究所大学院学生）、狭間俊介（東京大学宇宙線研究所大学院学生）、小柴昌俊（東京大学特別名誉教授）、亀田純（東京大学宇宙線研究所助手）、渡辺靖志（神奈川大学工学部教授）、H. K. Seo（Sung Kyun Kwan University 大学院学生）、J. S. Jang（Chonnam Natl. University, 大学院学生）

研究成果概要

最近のニュートリノフラックスや相互作用の理解をもとに約 1600 日分のスーパーカミオカンデ（SK）-1 のデータに加えて、約 800 日分の SK-2 のデータを再解析し、SK-1+2 の最終データを得る作業を行い、平成19年度末までにほぼこの再解析が完了した。得られたデータはこれまでのデータと傾向は同様に、ミューニュートリノ事象は有意にエネルギーや天頂角に依存した欠損が見られる。このデータサンプルと fully contained events, partially contained events のサンプルと合わせて現在振動解析などを再解析している。これをまとめて論文にする予定である。

また、SK3 のデータ解析も平行して進めた。図3が宇宙線国際会議で発表したSK3 の予備的な上向きミューオンのデータである。データの傾向は今までと変わらない。

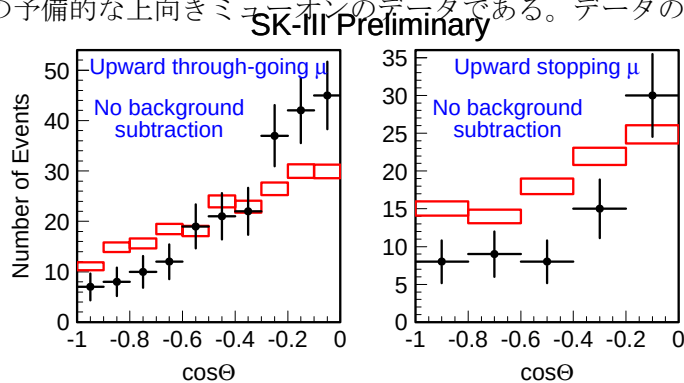


図1，SK3の上向きミューオンのデータ（166日分）。

また、上向きミューオンのうち特にエネルギーの高い電磁シャワーを伴うものに関する解析を終え論文として発表した。

2008年3月に観測された非常に明るいガンマ線バースト GRB 080319B からのニュートリノを探索したが、有意な信号は観測されなかった。

整理番号

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：大気ニュートリノフラックスの精密計算 英文：Precise calculation of the atmospheric neutrino flux
研究代表者	梶田隆章（東京大学宇宙線研究所教授）
参加研究者	笠原克昌（芝浦工業大学システム工学部教授）、 西村純（東京大学名誉教授）、 本田守弘（東海大学海洋工学部非常勤講師）、 緑川章一（青森大学ソフトウェア情報学部教授） 金行健治（東京大学宇宙線研究所准教授）、 奥村公宏（東京大学宇宙線研究所助教）、 佐貫智行（東北大学大学院理学研究科准教授）
研究成果概要	近年高精度の宇宙線ミュオンフラックスの測定がなされている。ミュオンとニュートリノは共にπ中間子やK中間子の崩壊に伴って同時に生成されるので、宇宙線ミュオンのデータを用いることで、ニュートリノのフラックス計算が正しいか否かが検証できる。このような考えにもとづきミュオンのフラックスのデータと計算結果を比較した結果、今までの計算では高エネルギーのニュートリノのフラックスを低く見積もりすぎていたことがわかった。原因としてはこのエネルギーでの核相互作用モデルの問題であった。そのため核相互作用モデルを高エネルギー宇宙線ミュオンのデータを再現するように改良した。これを用いて新しい大気ニュートリノフラックスの計算を行った結果を下記の図に示した。 図1：大気ニュートリノ計算の結果得られるミュオンフラックスの実験データとの比較。左は核相互作用を変更する前、右は変更以降の比較。30 GeV以上くらいからあった系統的なずれが新しい計算では小さくなっている。

上記の様に高エネルギーサイドではフラックス計算に改善がなされたものの、一方 1 GeV 以下の低エネルギーニュートリノのフラックスに関しては、以前の結果に比べて少しフラックスが小さくなっており、大気上空のミューオンのデータとシミュレーション結果の合いが少し悪くなっていることが判明した。これは主に約 100GeV 以上の宇宙線の大気中での相互作用で生成されるパイオンのスペクトルがより硬いものになり、低エネルギーのパイオンの生成が減ったためと考えられる。このこと自体は、パイオンのスペクトルが加速器実験データとシミュレーションでより合う方向に向かっているので、問題ないと考えられる。従って問題が低エネルギー（10GeV 以下）宇宙線と原子核との相互作用でのパイオン生成断面積にある可能性が高い。そこで、低エネルギーのパイオン生成に関して再検討を始めた。

整理番号	
------	--

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：核子崩壊の探索

英文：Search for nucleon decay

研究代表者

神奈川大学工学部 渡邊靖志

参加研究者

研究成果概要

自然界に存在する4つの力のうち重力を除く3つの力はゲージ原理で定式化され、標準理論と呼ばれる。標準理論の予言は、その後の数々の実験事実と矛盾せず、正しい理論として確立された。この標準理論が確立されようとしていた1974年に、3つの力を統一する魅力的な理論、大統一理論が提唱された。しかし、大統一が実現するエネルギー領域は、現存の加速器では到底到達できない十数桁上である。その検証には、加速器による実験では不可能であり、加速器によらない実験（非加速器実験）での検証が待たれている。その数少ない検証可能な現象の一つが核子崩壊である。スーパー神岡実験は、1998年のニュートリノ振動の発見で標準理論を超える理論の存在を示すとともに、他の追従を許さない世界一の感度を有する核子崩壊測定器としてこの研究テーマにも取り組んで来、これまで寿命の下限値を更新してきた。スーパー神岡実験は今後ともその努力を続け、核子崩壊現象発見を目指す使命がある。

私自身に関しては大学から一人になってしまって久しく、しかも昨年度は私立大学に移ってほとんど貢献できていなくて心苦しく思っているうちにまた一年が過ぎてしまった。幸い標記の課題に真正面から取り組む大学院学生がいるのでその進展を応援したい。

整理番号

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文： $e^+\pi^0$ 崩壊モードの研究

英文：Search for proton decay via $e^+\pi^0$ mode

研究代表者 宇宙線研究所・准教授・塩澤 真人

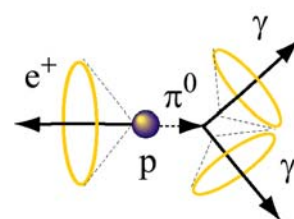
参加研究者 新潟大学・教授・田村詔生、宇宙線研究所・研究員・佐治超爾、静岡大学・助手・石塚丈晴、静岡福祉大学・講師・岡澤裕子、名古屋大学・教授・伊藤好孝、宇宙線研究所・助手・三浦真、California State Univ.・教授・K. S. Ganeev、California State Univ.・教授・J. E. Hill、California State Univ.・教授・W. E. Kreig、Univ. of Washington・教授・H. G. Berns、Univ. of Washington・研究員・R. Gran、Univ. of Washington・研究員・K. K. Shiraishi、Univ. of Washington・研究員・A. Stachyra、Univ. of Washington・研究員・K. Washburn、Univ. of Washington・教授・R. J. Wilkes

研究成果概要

「陽子の崩壊現象を探すことによる素粒子の大統一理論の検証」

本研究では、スーパーカミオカンデ装置を用いて、原子核中の陽子がより軽い粒子である陽電子（電子の反粒子、）と中性パイオン粒子に崩壊する現象を探索するものである。この現象は、素粒子の標準理論の枠内では見つからないとされるもので、発見されれば、標準理論を越えた、新しい素粒子理論（大統一理論と呼ばれる）の発見へとつながると期待されている。この新しい理論は、ニュートリノが非常に軽い質量を持つ理由を説明するはずのものであり、また、宇宙が粒子から構成され、反粒子が少ないという現象とも密接に関係している可能性もあり、陽子崩壊を探索する大きな動機となっている。

スーパーカミオカンデ装置の水槽内での陽子（ p ）の崩壊現象を右図に表す。崩壊によりできる陽電子（ e^+ ）とパイオン（ π^0 ）は反対方向へ進み、パイオンは2つの γ 粒子に崩壊する。結果として、円錐状の光が3つ放出され、この光を高感度光センサーで検出することにより陽子崩壊現象を観測することとなる。これまでの研究でわかったことを以下にまとめる。



- 1, SK-IIでの陽子崩壊 $p \rightarrow e^+\pi^0$ の検出効率は44%である。
- 2, バックグラウンドは799日あたり0.1事象と見積もられた。
- 3, 799日の観測データの中から陽子崩壊と矛盾ない事象を探したところ、一つもなかった。過去の全てのスーパーカミオカンデ2288日分のデータにより、陽子の寿命の下限値が 8.2×10^{33} 年という世界最高の制限が得られた。
- 4, 現在論文執筆中であり、近く投稿予定である。

整理番号

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：陽子崩壊 $p \rightarrow \nu K^+$ の研究 英文：Search for proton decay $p \rightarrow \nu K^+$
研究代表者	東京大学宇宙線研究所・助教・小汐由介
参加研究者	東京大学宇宙線研究所・准教授・早戸良成
研究成果概要 本年度はスーパーカミオカンデのフェーズ1データの再解析を行った。ここでは特に、本研究に重要なリング数計測の効率を向上させる解析ツールの改良を行い、全取得データに対して適用させた。また4月に新たに導入された計算機導入を用い、モンテカルロシミュレーションの統計を5倍以上向上させた。現在、これらの新データ解析ツールおよびシミュレーションを使用した解析をフェーズ1およびフェーズ2の全期間に対して鋭意行っており近々結果を公表予定である。 また、平成18年7月に開始したスーパーカミオカンデ・フェーズ3について、本研究のデータ解析に必要な検出器較正を行った。	
整理番号	

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：スーパーカミオカンデのエネルギーキャリブレーション 英文：Energy calibration for Super-Kamiokande	
研究代表者 東京大学宇宙線研究所 准教授・森山茂栄 参加研究者 Chonnam National University 博士課程学生 J.S.Jang, I.S.Jeong, 教授 I.T.Lim ,J.Y.Kim, Seoul National University 助教授 S.B.Kim, 修士課程学生 B. Yang	
研究成果概要 SK-I I Iは平成18年の7月に開始したが、その後基礎的なキャリブレーションを完了し順調な観測が行われてきた。また、H20年度にはスーパーカミオカンデに導入されるエレクトロニクス of 較正準備作業を進めてきた。これら平成19年度の研究成果を二つにわけて記述する。 (1) SK-I I Iの較正作業 平成18年度7月にスーパーカミオカンデの完全再建作業と純水の導入が完了し、その直後から様々な検出器の較正データを収集し、データ処理に必要な定数を決定してきたり、これらの定数の導出に関わるいくつかの解析において精度を上げる努力を行ってきた。例えばレーザーボールを用いた時間補正テーブルの作成においては、SK-I I I開始当時に取得したデータがレーザーボールの光の非対称性と水中の光の散乱の影響を受けたため誤差が生じる結果となっていた。本年度はハード、ソフト両面での改善を行い、検出器端部分での数 ns の歪みを修正することに成功した。他にはレーザービームを用いた水の散乱吸収パラメータを決定することができた。 (2) 新エレクトロニクス of 較正準備作業 H19年の7月に、100チャンネル以上の新エレクトロニクスをスーパーカミオカンデに繋ぎ込んで実際に測定や較正を行う準備試験が行われた。較正作業に先立ち、現在のエレクトロニクスとの差異を見るために現在のエレクトロニクスを用いた測定を行いそれとの比較を行った。これによりエレクトロニクス of 改善点を洗い出し、来年度の本格導入へ向けての準備を急ピッチで進めている。	
整理番号	

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：高感度ラドン濃度測定器の開発研究 英文：Development of high-sensitivity radon detectors
研究代表者	東京大学 宇宙線研究所 准教授 竹内 康雄
参加研究者	岐阜大学 総合情報メディアセンター 教授 田阪 茂樹 東京大学 宇宙線研究所 研究機関研究員 小川 洋
研究成果概要	本研究ではこれまで我々が開発してきたラドン測定に関する技術をさらに改善し、空气中、水中、及びキセノン中のより高精度なラドン濃度測定器を開発することを目的とする。 今年度は、稀薄なラドンを濃縮して測定する手法について検討を進め、ラドンのコールドトラップ手法に関して予備的な試験を行った。ラドンのコールドトラップの媒体として、銅ウールと活性炭に関して試験を行った。その結果、－90度程度では銅ウールは十分なラドントラップ能力がないことが分かった。冷却した活性炭を用いた場合に関してはこれまでに類似の研究報告がある（下道国 他、日本原子力学会誌 Vol.25 No.7 (1983) p.562）。今回の試験においても期待通りのラドントラップ能力があることが確認された。今後は、大量の水からのラドン抽出、水分除去の手法、ラドン娘核のカウントなどに関して具体的な検討と開発を進める予定である。 キセノンガス中のラドン濃度を精密に測定する手法については、ノイズレベルを低減することに成功し、常温での基本特性試験を行った。コールドトラップを用いたラドン濃度の濃縮に関しては、当初は銅ウールを使用する計画であったが、今回行ったコールドトラップに関する予備試験の結果を踏まえて、活性炭を用いたコールドトラップに変更する可能性を検討中である。
整理番号	

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：スーパーカミオカンデによる 10TeV 宇宙線強度の恒星時日周変動の観測 英文：Sidereal daily variation of ~10TeV galactic cosmic ray intensity observed by the Super-Kamiokande
-------	---

研究代表者	信州大学理学部教授・宗像一起
参加研究者	信州大学理学部准教授・安江新一、信州大学理学部准教授・加藤千尋 信州大学名誉教授・森 寛

研究成果概要	銀河宇宙線は、銀河系で生まれ地球で観測されるまでに、地球に最も近い恒星である太陽の活動により様々な影響を受けます。宇宙線のエネルギーが十分高いと、その強度はもはや太陽の影響を余り受けなくなり、太陽の勢力圏（太陽圏）に侵入する前の情報を保ったまま地球で観測されるようになります。例えば、高エネルギー宇宙線強度（入射数）の観測方向ごとの違い（異方性）は、太陽圏外の恒星間空間における宇宙線の流れを反映しており、その観測結果から太陽圏周辺の恒星間空間の物理状態を知ることが可能です。こうした観点から、我々は Super-Kamiokande（以下 SK）で観測された 10TeV 宇宙線強度の異方性を研究しています。 SK で観測された宇宙線強度を、宇宙線の入射緯度（赤緯）・経度（赤経）の関数としてプロットすると、宇宙線強度の異方性が 0.1%（0.001）程度のわずかなものであることが分かります。また、宇宙線強度が 12 時（赤経 180°）近辺で最小値となるとともに、恒星時 6 時（赤経 90°）近辺で最大となっています。異方性が小さいため、この 2 次元マップを導くためには様々な工夫が必要です。この 2 次元マップは、SK グループが世界に先駆けて導くことが出来た貴重な結果です。 これらの結果はチベット実験に代表される空気シャワー観測結果とも良く一致していますが、SK による結果の重要性は、それが地下ミューオン観測にもとづくものである点にあります。空気シャワー観測は高エネルギー・ガンマ線にも感度があるため、異方性の観測結果が宇宙線中の原子核成分によるものかガンマ線によるものか区別し難いという難点があります。高エネルギー・ガンマ線にほとんど感度がない SK によって同様の結果が確認されたことは、異方性の起源が宇宙線中の原子核成分によるものであることを強く示唆しています。 得られた 2 次元マップをみると、幾つかの細かな特徴とともに、異方性には大まかな様相が見られます。我々は、これらの特徴が太陽圏周辺の恒星間空間磁場の構造に由来するものと考え、現在その構造の特定に取り組んでいます。太陽圏は局所星間雲（LIC: Local Interstellar Cloud）と呼ばれる半径 3 パーセク程度の雲に取り囲まれており、太陽は LIC の境界近くに位置していると言われています。もし LIC が
--------	---

ごくゆっくりと膨張していて、LIC 内部の空間が恒星間空間磁場によって囲まれていると、LIC 外部の宇宙線は内部に浸透できず、宇宙線強度は LIC 内部で外部より低くなっていることが考えられます。我々はチベット実験による 2 次元マップの大まかな様子が、こうしたモデルで上手く再現できることを示しました。それによると、LIC 中心付近の宇宙線強度は外部に比べて数 10%程度低くなっていると考えられます。こうしたモデリングによって、高エネルギー宇宙線強度の 2 次元マップから磁場構造を導くことが出来れば、他の観測からは得ることのできなかった貴重な情報を導くことが出来ると期待されています。

研究業績論文：

Guillian et al., “Observation of the anisotropy of 10TeV primary cosmic ray nuclei flux with the Super-Kamiokande-I detector”, 75, 062003-1~17, 2007.

M. Amenomori et al., “Implication of the sidereal anisotropy of ~5 TeV cosmic ray intensity observed with the Tibet III air shower array”, *AIP Conf. Proc.*, 932, pp283-289, 2007.

H. Washimi, G. P. Zank, Q. Hu, T. Tanaka, K. Munakata, “A forecast of the heliospheric termination-shock position by three-dimensional MHD simulations”, *Astrophys. J. Lett.*, Vol.670, L139-L142, 2007.

整理番号

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：J-PARC 神岡長基線ニュートリノ実験(T2K)の開発研究 英文：R&D of J-PARC-Kamioka Long Baseline Experiment T2K
研究代表者	高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・教授・小林隆
参加研究者	別紙参照
研究成果概要	ニュートリノビームの高性能化 1. 陽子ビームモニターの開発。実機の製作に取り掛かった。 2. 第1、および第3電磁ホーンを直列につないだ状態で定格の320kAの長期通電試験に成功。昨年度の長期試験とあわせて、第1ホーンについては約128万回、第3ホーンについては約43万回のパルス通電を行った。前回の通電試験で生じたボルトの緩みなどは改善策を施した結果、今回は観測されなかった。 3. 高度に放射化したビームライン機器の遠隔操作による保守のシナリオを検討し、そのための機器の開発を進めた。 4. T2Kのニュートリノビームの性質をより正確に評価するため、標的における2次粒子生成分布の測定をCERN SPS NA61実験で行った。現在解析作業中である。2008年度にもう一度測定する予定である。 前置検出器のR & D 1. 前置検出器の各コンポーネント(軸上検出器、UA1磁石、TPC、fine grained検出器、π^0検出器)の最適化、R&D、設計を終え、実機の製作を開始した。また機器の一部(UA1磁石)は日本への搬送準備を終えた。 2. 光検出器の開発：素核研測定器開発室と共同で、前置検出器で用いるフォトセンサーMPPCの開発を進め、300個程度のサンプルを使ってその性能評価を行った。そして、2万個のMPPCを発注し、納品されるMPPCの性能評価システムを立ち上げた。 3. シンチレータ製作：軸上検出器で使用するシンチレータをフェルミ研で製作し、その一部をKEK富士テストビームラインで試験した。 4. ミューオンモニターの開発：基本設計を終え、プロトタイプを製作した。プロトタイプを京大の電子LINACのビームでキャリブレーションし、その後米国フェルミ研のNuMIニュートリノビームラインに設置し、長期試験を遂行中である。 ニュートリノ反応の研究： 1. K2K実験のデータを使って非弾性散乱反応の高精度測定を行った。 2. SciBooNE実験でニュートリノデータの収集を開始した。

スーパーカミオカンデの高精度化

1. 新しいデータ収集エレクトロニクスの開発:ADC/TDCプロトタイプをスーパーカミオカンデに導入し、試験データを収集、性能を確認するとともに、幾つかの修正点を明らかにした。得られた知見を反映し、ASIC、ボードの大量生産を開始した。2008年9月より、エレクトロニクスシステム全体の入れ替えを開始する予定。
2. GPSデータ転送:専用ネットワークや反射メモリー等の全体デザインを決定。今後、システム構築と平行して、データ転送の安定性試験を行う。
3. キャリブレーション:パイゼロシミュレーターの試作品を製作。スーパーカミオカンデで試験データを収集。

整理番号

様式2

所 属 ・ 職 名 ・ 氏 名				
日本人				
KEK				
教授・西川公一郎	教授・小林隆	准教授・長谷川琢哉		
准教授・田中真伸	准教授・藤井芳昭	准教授・山田善一	准教授・塚本敏文	助教・石井孝信
助教・石田卓	助教・大山雄一	助教・多田将	助教・中平武	助教・関口哲郎
研究員・坂下健	研究員・柴田政宏	名誉教授・中村健蔵		
東京大学宇宙線研				
教授・鈴木洋一郎	教授・梶田隆章	教授・中畑雅行	准教授・金行健治	准教授・塩澤真人
准教授・竹内康雄	准教授・森山茂栄	准教授・早戸良成	助教・安部航	助教・大林由尚
助教・奥村公宏	助教・亀田純	助教・小汐由介	助教・関谷洋之	助教・竹田敦
助教・三浦真	特任助教・中山祥英	特任助教・山田悟	研究員・樋口格	学生・西野玄記
学生・武長祐美子	学生・三塚岳	学生・石原千鶴枝	名誉教授・戸塚洋二	
広島大学				
准教授・高橋徹				
神戸大学				
准教授・青木茂樹	准教授・原俊雄	助教・鈴木州		
京都大学				
准教授・中家剛	准教授・市川温子	助教・横山将志	研究員・新田和範	学生・松岡 広大
学生・久保 一	学生・大谷将士	学生・永井直樹	研究生・Daniel, Orme	
宮城教育大学				
准教授・福田善之				
大阪市立大学				
教授・奥沢徹	准教授・清矢 良浩	講師・山本和弘		
東京大学				
教授・相原博昭	講師・岩崎昌子	助教・角野秀一	研究員・阿部利徳	研 究 員 ・
N.Hastings				

外国人

機関	職名	姓	名
TRIUMF	staff	Gumplinger	Peter
TRIUMF	staff	Helmer	Richard
TRIUMF	staff	Henderson	Robert
TRIUMF	RA	Kato	Issei
TRIUMF	staff	Konaka	Akira
TRIUMF	staff	Miller	Andrew
TRIUMF	staff	Poutissou	Jean-Michel
TRIUMF	staff	Poutissou	Renee
TRIUMF	staff	Retiere	Fabrice
TRIUMF	staff	Yen	Stanley
University of Alberta	staff	Kitching	Peter
University of British Columbia	Prof.	Hearty	Christopher
University of British Columbia	Grad. Student (PhD)	Kirby	Brian
University of British Columbia	RA	Lindner	Thomas
University of British Columbia	Prof.	Oser	Scott
University of British Columbia	Prof.	Tanaka	Hirohisa
University of Regina	Prof.	Barbi	Mauricio
University of Regina	Prof.	Mathie	Edward
University of Regina	Research Scientist	Tacik	Roman
University of Toronto	RA	Marino	Alysia
University of Toronto	Prof.	Martin	John
University of Victoria	RA	Hansen	Christian
University of Victoria	Prof.	Karlen	Dean
University of Victoria	Prof.	Roney	Michael
University of Victoria	RA	Tvaskis	Vladas
York University	Prof.	Bhadra	Sampa

CEA/DAPNIA Saclay	staff	Bouchez	Jacques
CEA/DAPNIA Saclay	staff	Cavata	Christian
CEA/DAPNIA Saclay	staff	Mazzucato	Edoardo
CEA/DAPNIA Saclay	staff	Pierre	Francois
CEA/DAPNIA Saclay	post-doc	SARRAT	Antony
CEA/DAPNIA Saclay	staff	Zito	Marco
IPN Lyon (IN2P3)	staff	Autiero	Dario
IPN Lyon (IN2P3)	staff	Chaussard	Lionel
IPN Lyon (IN2P3)	staff	Declais	Yves
IPN Lyon (IN2P3)	staff	Marteau	Jacques
LLR Ecole polytechnique (IN2P3)	staff	Drapier	Olivier
LLR Ecole polytechnique (IN2P3)	staff	Gonin	Michel
LLR Ecole polytechnique (IN2P3)	staff	Jacquet	François
LLR Ecole polytechnique (IN2P3)	staff	Moreau	François
LPNHE-Paris	staff	Andrieu	Bernard
LPNHE-Paris	staff	Dumarchez	Jacques
LPNHE-Paris	staff	Levy	Jean-Michel
RWTH Aachen University	senior physicist	Roth	Stefan
RWTH Aachen University	Professor	Stahl	Achim
RWTH Aachen University	postdoc	Laihem	Karim
INFN Sezione di Roma	Doctor	Ludovici	Lucio
INFN Sezione di Roma	Doctor	Gargiulo	Corrado
Napoli University and INFN	Student	De Rosa	Giovanna
Napoli University and INFN	staff	Palladino	VittoVVo
Padova University and INFN	staff	Laveder	Marco
Padova University and INFN	staff	Mezzetto	Mauro
Rome University and INFN	Professor	Dore	Ubaldo
Rome University and INFN	Professor	Loverre	Pier Ferruccio
Chonnam National University	staff	Kim	Jae Yool
Chonnam National University	staff	Lim	In Taek
Dongshin University	staff	Pac	Myoung Youl
Gyeongsang National University	staff	Park	In Gon

Kyungpook National University	staff	Kim	Wooyoung
Sejong University	staff	Kim	Yeongduk
Seoul National University	staff	Choi	Seonho
Seoul National University	staff	Jeon	Eun-Ju
Seoul National University	staff	Joo	Kyung Kwang
Seoul National University	staff	Kim	Soo-Bong
Seoul National University	staff	Park	Chawon
Sungkyunkwan University	staff	Choi	Young Il
Sungkyunkwan University	staff	Seo	Hyun Kwan
A.Soltan Institute for Nuclear Studies, Warsaw, Poland	staff	Rondio	Ewa
H.Niewodniczanski Institute of Nuclear Physics, Cracow, Poland	staff	Zalewska	Agnieszka
Technical University, Warsaw, Poland	staff	Zaremba	Krzysztof
University of Silesia, Katowice, Poland	staff	Kisiel	Jan
Warsaw University, Warsaw, Poland	staff	Kielczewska	Danuta
Wroclaw University, Wroclaw, Poland	staff	Sobczyk	Jan
INR	senior researcher	Butkevich	Anatoly
INR	senior researcher	Khabibullin	Marat
INR	reseracher	Khotjantsev	Alexei
INR	Head of Laboratory	Kudenko	Yury
INR	Director of INR	Matveev	Victor
INR	chief researcher	Mikheev	Stanislav
INR	senior researcher	Mineev	Oleg
INR	junior	Musienko	Yuri

	researcher		
INR	junior researcher	Yershov	Nikolai
IFIC, Valencia	staff	cervera	anselmo
IFIC, Valencia	staff	gomez-cadenas	juan jose
Universitat Autonoma de Barcelona / IFAE	postdoc	Lux	Thorsten
Universitat Autonoma de Barcelona / IFAE	staff	Sanchez	Federico
Bern	staff	Ereditato	Antonio
Bern	engineer	Hess	Max
Bern	staff	Kreslo	Igor
Bern	staff	Messina	Marcello
Bern	staff	Moser	Urs
Bern	staff	Pistillo	Ciro
Bern	engineer	Schuetz	Hans Ulrich
ETHZ	staff	Badertscher	Andreas
ETHZ	staff	Fetscher	Wulf
ETHZ	staff	Laffranchi	Marco
ETHZ	staff	Marchionni	Alberto
ETHZ	staff	Rubbia	Andre
University of Geneva	staff	Blondel	Alain
University of Geneva	staff	Bravar	Alessandro
University of Geneva	staff	Di Marco	Marie
University of Geneva	student	Schroeter	Raphael
University of Oxford	reader	Barr	Giles
University of Oxford	reader	Weber	Alfons
University of Oxford	staff	West	Nick
Imperial College London	staff	Raymond	Mark
Imperial College London	student	Taylor	Ian
Imperial College London	staff	Uchida	Yoshi
Imperial College London	staff	Vacheret	Antonin
Imperial College London	student	Van Schalkwyk	Francois
Imperial College London	staff	Wark	Dave

Imperial College London	staff	Wascko	Morgan
Lancaster University	Reader	Bertram	Iain
Lancaster University	Lecturer	Kormos	Laura
Lancaster University	Professor	Ratoff	Peter
Queen Mary, University of London	staff	Di Lodovico	Francesca
Sheffield University	Staff	Cartwright	Susan
Sheffield University	Student	Navin	Marieke
Sheffield University	Staff	Thompson	Lee
STFC/Rutherford Appleton Laboratory/Daresbury Laboratory	staff	Andreopoulos	Costas
STFC/Rutherford Appleton Laboratory/Daresbury Laboratory	staff	Densham	Chris
STFC/Rutherford Appleton Laboratory/Daresbury Laboratory	staff	Nicholls	Tim
STFC/Rutherford Appleton Laboratory/Daresbury Laboratory	staff	Pearce	Geoff
STFC/Rutherford Appleton Laboratory/Daresbury Laboratory	staff	Wark	Dave
STFC/Rutherford Appleton Laboratory/Daresbury Laboratory	staff	Weber	Alfons
STFC/Rutherford Appleton Laboratory/Daresbury Laboratory	staff	Raufer	Tobias
The University of Liverpool	staff	Chavez	Carlos
The University of Liverpool	Lecturer	McCauley	Neil
The University of Liverpool	staff	Payne	David
The University of Liverpool	Reader	Touramanis	Christos
University of Warwick	staff	Barker	Gary J.
University of Warwick	staff	Boyd	Steve
University of Warwick	staff	Harrison	Paul
Boston University	Grad. Student	Dufour	Fanny
Boston University	Professor	Kearns	Ed
Boston University	Grad. Student	Litos	Mike
Boston University	RA	Raaf	Jen
Boston University	Professor	Stone	Jim

Boston University	Professor	Sulak	Larry
Brookhaven National Lab	Staff emeritus, PhD	Goldhaber	M.
Brookhaven National Lab	Staff PhD	Wanderer	P.
Colorado State University	Staff PhD	Caffari	Y.
Colorado State University	Staff PhD	Toki	W.
Colorado State University	Staff Engineer	Warner	D.
Colorado State University	Staff PhD	Wilson	R.
Duke University	Postdoc	Fechner	Maximilien
Duke University	Professor	Scholberg	Kate
Duke University	Postdoc	Tanimoto	Naho
Duke University	Professor	Walter	Christopher
Louisiana State University	Staff PhD	Goon	J.
Louisiana State University	Staff PhD	Kutter	T.
Louisiana State University	Staff PhD	Hartfiel	B.
Louisiana State University	Staff PhD	Metcalf	B.
Louisiana State University	Staff PhD	Nowak	J.
Stony Brook University	Staff PhD	Jung	C. K.
Stony Brook University	Student	Le	P. T.
Stony Brook University	Student	Lopez	G.
Stony Brook University	Staff PhD	McGrew	C.
Stony Brook University	Staff PhD	Paul	P.
Stony Brook University	Staff PhD	Yanagisawa	C.
University of California, Irvine	Professor	Casper	David
University of California, Irvine	Research Physicist	Kropp	William
University of California, Irvine	Research Physicist	Mine	Shunichi
University of California, Irvine	Research Physicist	Smy	Michael
University of California, Irvine	Professor	Sobel	Henry
University of California, Irvine	Research	Vagins	Mark

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：ニュートリノ振動精密測定のためのニュートリノ原子核反応の研究
英文：Study of neutrino-nucleus interactions for the precise measurement of the neutrino oscillations

研究代表者 岡山大学自然科学研究科（理） 作田 誠
参加研究者 東京大学宇宙線研究所 教授 中畑雅行、助教 小汐由介
早稲田大学 非常勤講師 中村博樹

研究成果概要

この研究の目的は、ニュートリノ振動精密測定のためのニュートリノ原子核反応の開発である。それは低エネルギー事象（超新星ニュートリノ等）にはバックグラウンドとなる100–500MeVの大気ニュートリノ事象の計算精度を改良することになる。（1）まず、ニュートリノ振動実験に必要である MeV–GeV 領域のニュートリノ原子核反応（準弾性散乱、共鳴生成）を電子-原子核反応と合わせて定量的に開発し、その精密な計算を超新星ニュートリノ反応や大気ニュートリノ反応の解析に活用する。（2）また、SK 実験での超新星ニュートリノ等の低エネルギー事象（5–100MeV）の解析を改良するため、光電子増倍管（PMT）の時間や波高性能の改良のための開発を行う。

前者については、ニュートリノ原子核反応の計算では、原子核との V-A 型カレントの知識が必要である。Axial（軸）型相互作用はニュートリノビームでしか決定出来ないが、V（ベクトル）型相互作用と原子核効果については、電子ビームの方がより精密に決定できる。その結果をニュートリノ実験やニュートリノ反応計算をやっている人達に活用してもらう、というのがこの研究手法の特徴である。

2007 年 5 月に NuInt07 国際会議で、本代表者が準弾性反応と π 生成に関する改良を提案した。モデルとしては、Benhar

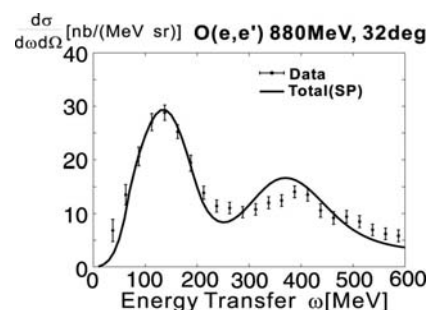


図 1. 電子酸素反応 $eO \rightarrow eX$ での $\omega = E - E'$ (GeV) 分布. $\omega = 120$ MeV (380 MeV) が準弾性反応、 π 生成反応の寄与である．論文 1.

モデルと MAID モデルを組み合わせ、 π 生成領域では非共鳴生成の効果が重要であることを定量的に示し、境界領域で準弾性反応の $S(p,E)$ の高い運動量成分が効くことを示した(図 1、論文 1,2)。

代表者と大学院生池田（当時岡大所属）は SK 実験低エネルギー解析グループ（中畑・小汐）の中で、SK-I,SK-II 時期での超新星ニュートリノ探索の解析をまとめ *AstroPhysical Journal* に出版し（論文 3）、また、SK-III 時期の低エネルギーニュートリノの放射線バックグラウンドの研究を行なった。

1. H.Nakamura, T.Nasu, M.Sakuda and O.Benhar, Inclusive electron spectrum in the region of pion production in electron-nucleus scattering and the effect of the quasi-elastic interaction, *Phys.Rev.C76* (2007) 065208-1-4.
2. Same Title as Above, Presented by M.Sakuda at NuInt07 (FNAL),
AIP Conf.Proc.967:187-191,2007.
3. M.Ikeda et al.(SK Collab.), Search for Supernova Neutrino Bursts at Super-Kamiokande. *Astrophysical J.*669 (2007) 519-529.

整理番号

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：研究会「ニュートリノ」 英文：Neutrino workshop
研究代表者	梶田隆章（東京大学宇宙線研究所 教授）
参加研究者	南方久和（首都大学東京 教授）、 谷本盛光（新潟大学理学部 教授）、 金行健治（東京大学宇宙線研究所 准教授）、 奥村公宏（東京大学宇宙線研究所 助教）
研究成果概要	平成 19 年度は「ニュートリノ」研究会を以下の通り開催した。 - 開催日：2007 年 11 月 2 日 - 場所：宇宙線研究所大セミナー室 - 趣旨：「新しいニュートリノデータとニュートリノ混合が意味するもの」をテーマとして研究会を開催した。 - 参加者数：（主催者側で把握した範囲で、35 名。） - 研究会内容の公表方法：ニュートリノセンターホームページ： http://www-rcn.icrr.u-tokyo.ac.jp/nu-meeting/nu-meet21.html プログラム 10:30-11:20 Recent results from KamLAND 清水格(東北大) 11:20-12:10 Neutrino Mass, Dark Matter and Baryon Asymmetry -- The nuMSM 浅賀岳彦（新潟大） 13:20-14:20 Recent results from MINOS David Petyt（Minnesota） 14:20-15:00 Borexino の結果と KamLAND solar project 吉田斉（東北大） 15:30-16:20 質量行列と世代間対称性 -- tri-bimaximal 混合の世代構造と理論の現状 吉岡興一(京都大) 16:20-16:50 Universal extra dimension models with right-handed neutrinos 山中真人（埼玉大） 16:50-17:30 宇宙定数から $\sin \theta_{13}$ の確率分布へ 渡利泰山（東大）
整理番号	

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：液体キセノンを用いた宇宙素粒子検出装置の開発研究 英文：Development of the liquid Xenon detector for astro-particles
研究代表者 東京大学宇宙線研究所・神岡宇宙素粒子研究施設 教授 鈴木洋一郎 参加研究者：東京大学宇宙線研究所 教授：中畑雅行、梶田隆章、准教授：金行健治、森山茂栄、竹内康雄、塩澤真人、早戸良成、助教：三浦真、小汐由介、竹田 敦、安部航、関谷洋之、研究員：小川 洋、D3：南野彰宏、東海大学理学部、教授：西島恭司、M2：丸山匠 M1： 本木大資、横浜国立大学、准教授、中村正吾、M2： 亀井拓也、荻原宙樹、M1： 佐藤友厚、宮本健司、名古屋大学、教授 伊藤好孝、宮城教育大学 准教授 福田善之、岐阜大学、教授：田阪茂樹、佐賀大学文化教育学部、教授：大隈秀晃、早稲田大学理工研、名誉教授、道家忠義、教授：菊池順、鈴木聡、M2：海老塚泰、M1： 高橋智昭、ソウル国立大学：准教授：Soo-Bong Kim、Sejong 大学：准教授：Yeongduk Kim、D3： Jungil Lee、M2： SeungHyun Moon
研究成果概要 30cm角のプロトタイプチェンバーによる研究は完了した。ほぼ予想通りの性能が得られたが、低エネルギーの信号領域に、若干のバックグラウンドが残った。これは測定器の構造によるものとトリチウムによるものである可能性が高いことが同時に示された。 800kg 実験の科学研究費が採択されたので、測定装置の建設に向け詳細なデザイン設計等が行われた。中性子等、外入りバックグラウンドを 10^{-4} counts/day/kg 以下にする為の水槽の設計はほぼ完了した。測定機の MC シミュレーションを積極的に進め、内部検出機の詳細設計を進めている。光電被覆面を大きくとるための 6 角 PMT の開発を進めると同時に、モックアップを作り実際の PMT の設置を考察した。PMT の低バックグラウンド化には大きな努力を費やした。ステム部のメタル化、低バックグラウンド部品の選定などを進めほぼ予定どおりのバックグラウンドレベル 1mBq/本以下にできる見通しができた。また、Xenon 中の不純物を除去するため、ラドンの 2 次発生のないモレキュラーシーブの開発も行った。しかし、Xenon の高騰により測定器のサイズを一回り小さくしなくてはならなかったのは残念である。  開発中の 6 角型、低バックグラウンド光電子増倍管
整理番号

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：液体キセノン検出器を用いたダークマター探索実験 英文：Direct dark matter search with liquid xenon detector
研究代表者 研究代表者 早稲田大学理工学研究所・教授・鈴木聡 参加研究者 早稲田大学理工学研究所・教授・菊池順、講師・寺沢和洋、助手・錦戸文彦、大学院生・海老塚泰、高橋智昭、名誉教授・道家忠義 福井大学工学部・準教授・玉川洋一、大学院生・新庄信明、竹中正治 東京大学宇宙線研究所・教授・鈴木洋一郎、中畑雅行、準教授・森山茂栄、竹内康雄、助教・小汐由介、竹田敦、安部航、関谷洋之、研究員・小川洋、大学院生・南野彰宏、上島考太 東海大学理学部・教授・西島恭司、大学院生・丸山匠 横浜国立大学工学研究院・準教授・中村正吾、大学院生・亀井拓也、萩原宙樹 宮城教育大学教育学部・準教授・福田善之 名古屋大学太陽地球環境研究所・教授・伊藤好孝
研究成果概要 本年度は 3 回実験を行った。その内の 2 回は、陽極ワイヤーの放電による断線、電離電子に対する液体キセノンの純度が十分でないといったトラブルが生じた。そこで、次のような改良を行った。 ・陽極とグリッドのワイヤーに直交する方向に 3 本の補強用のワイヤーを加え、従来のワイヤーを長さ方向に 4 分割する補強を行った。それにより、陽極 - グリッド間の電場が 5 kV/cm 付近で放電していたのが、7kV/cm まで維持できるようになった。 ・電離電子に対するキセノンの純度を向上させるために、純化用のゲッターを 1 台増やし 2 台を直列で使用し、さらに検出器の真空・焼き出しを注意深く行った。その結果、液体キセノン中で数 μ sec 程度しかなかった電離電子の寿命を 80 μ sec まで増加させることができるようになった。 本年度の実験で得られた結果は、以下の通りである。 ・コリメートした 57Co からの 122 keV γ 線を検出器に照射し、それにより発生する比例蛍光の信号を上部にある 7 本の光電子増倍管から読み出し、その光量重心から水平方向の位置精度を求めた。径方向、法線方向ともに数 mm 程度であることが分かった。 ・中性子 (241Am-Be 線源を使用) を照射して、キセノン原子核の弾性散乱に対する検出器の反応を調べる実験を行った。その結果、1 keV 近辺の低エネルギー (電子のエネルギー) に至るまで、γ 線、β 崩壊等の電子に起因する信号と弾性散乱による信号を識別することが十分に可能であることが分かった。さらに、比例蛍光によるトリガーを用いることにより、3 次元検出器として利用することができ有効領域を制限することが可能となった。例えば、壁から 3 cm 以上離れた部分を有効領域とした場合、80% 以上のバックグラウンドをカットできることが分かった。
整理番号

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：ガス飛跡検出器による方向に感度を持つ暗黒物質探索実験
英文：Direction-sensitive dark matter search experiment

研究代表者 京都大学・大学院理学研究科・助教・身内賢太郎
参加研究者 谷森達・窪秀利・株木重人・土屋兼一・高田淳史・西村広展・服部香里
・上野一樹・黒澤俊介（京都大学）

研究成果概要

本研究は宇宙の暗黒物質を方向に感度のある手法で直接検出することを目的としている。我々は独自の技術で製作した三次元ガス微細飛跡検出器マイクロ TPC を用いた暗黒物質探索実験「NEWAGE」を計画、平成 19 年 1 月より小型の検出器による神岡地価実験室でのバックグラウンド観測を行っている。

平成 19 年度の研究では (1)平成 18 年度に行った地上実験室での暗黒物質探索実験をまとめて論文として発表 (PLB654(2007)58)、(2)神岡宇宙素粒子研究施設でのバックグラウンド測定及び検出器の長期間安定動作確認を行った。

(1) 平成 18 年度までに製作、性能評価を行った 30cm 角マイクロ TPC に四フッ化炭素ガスを 0.2 気圧で封入、京都大学の実験室で約一カ月間安定した測定を行い、従来の暗黒物質探索実験で得られるエネルギースペクトルを得る

と同時に、本研究の特徴的な結果である原子核の三次元飛跡を用いて、世界ではじめて方向に感度を持つ手法で暗黒物質と通常の物質との反応率に対して制限をつけた。



図 1：30cm 角マイクロ TPC による神岡地下実験室での測定の様子。

(2) 30cm 角マイクロ TPC を平成 19 年 1 月に神岡宇宙粒子地下実験室に設置、宇宙からの放射線バックグラウンドが低い条件下での観測を開始した。図 2 に地下実験開始からの測定状況を示す。図 3 には BG run 1 で得られたエネルギースペクトルを示す。

この測定結果と、既知の環境中性子バックグラウンド、マイクロ TPC のガンマ線除去力を合わせた解析によって、検出器内部の放射性不純物によるバックグラウンドが残存バックグラウンドの主因であることが判明した。スペクトルの高エネルギー成分ではラドン由来の時間変動も見え始めており、平成 20 年度はバックグラウンド源の特定と対策を行い、感度を向上させる予定である。検出器内部のバックグラウンド環境中性子と比較して無視できるレベルまで落としたのちにポリエチレンによる中性子の遮蔽を行い、さらに感度を向上させる。地上実験では

開発フェーズであったこともあり、最大でも 1 ヶ月の長期測定だったが、地下実験室での測定では封じ込めガスによる 100 日程度の長期測定を行い、ガス増幅率が 10~20%/月で落ちることが判明した。これまでの研究で検出器構成物からのアウトガスがチェンバーガスの純度を悪くすることが原因であることがわかっており、平成 20 年度に純化フィルターの増強、ガス循環などによって長期安定動作を確立する。

神岡実験のための旅費と現地で使用するためのガス、ハードディスクに共同利用研究費を用いた。

整理番号

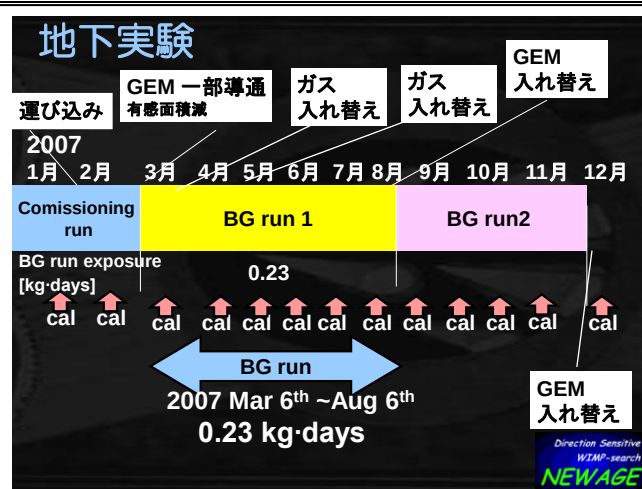


図 2：神岡地下実験室での測定で得られたエネルギースペクトル（赤）。遮蔽なし。地上実験でのスペクトルを青で示す。

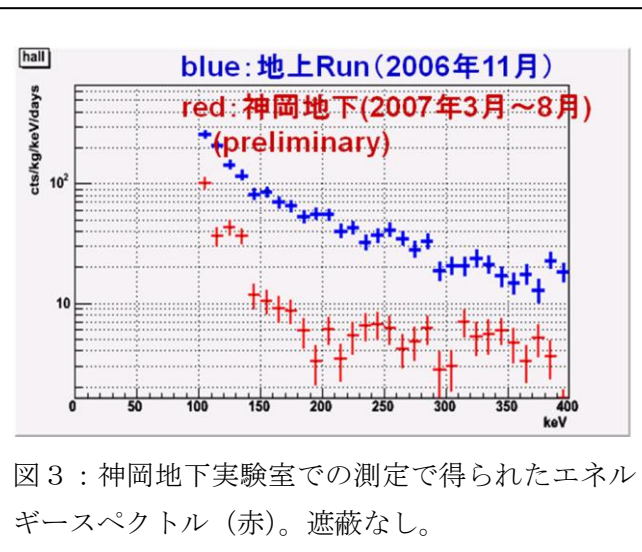


図 3：神岡地下実験室での測定で得られたエネルギースペクトル（赤）。遮蔽なし。

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：神岡地下実験室における環境ガンマ線・中性子束の研究 英文：Study of ambient gamma-rays and neutron flux at Kamioka observatory	
研究代表者	東京大学宇宙線研究所・助教・竹田敦
参加研究者	
研究成果概要 前年度に引き続き神岡地下実験室における環境ガンマ線及び中性子束(及び環境ガンマ線の源である岩盤中の U/Th から出てくるラドン)が、液体キセノンを用いた暗黒物質探索実験に及ぼす影響についての研究が行われた。 これまでに、環境ガンマ線と環境高速中性子が 2m の水遮蔽体によってどの程度低減されるかが見積られ、現時点での暗黒物質探索実験の主要なバックグラウンド源とはならないことが期待されていた。 さらに残っているバックグラウンド源の一つとして、岩盤中や水タンク中のラジウムから出てくるラドンが水遮蔽体に溶け込んで検出器に与える影響を調べた。 その結果、我々の目標バックグラウンドレベルである 10^{-5} を達成するためには、 ● Rn-222: ~ 0.05 decays/day/kg (ガス中ラドン濃度換算で、 $\sim 0.39 \mu\text{Bq/m}^3$) ● Rn-220: ~ 0.02 decays/day/kg (ガス中ラドン濃度換算で、 $\sim 0.15 \mu\text{Bq/m}^3$) のレベル以下に抑える必要があることがわかった。	
整理番号	

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：液体キセノンの発光スペクトルの研究 英文：A study on emission spectrum of liquid xenon
研究代表者	横浜国立大学大学院工学研究院・准教授・中村正吾
参加研究者	東京大学宇宙線研究所・教授・中畑雅行 高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所・教授・春山富義 高エネルギー加速器研究機構放射線科学センター・教授・佐々木慎一 高エネルギー加速器研究機構放射線科学センター・准教授・俵裕子 高エネルギー加速器研究機構放射線科学センター・助教・斉藤究 横浜国立大学大学院工学府・博士課程前期 2 年・亀井拓也 横浜国立大学大学院工学府・博士課程前期 2 年・萩原宙樹 横浜国立大学大学院工学府・博士課程前期 1 年・佐藤友厚 横浜国立大学大学院工学府・博士課程前期 1 年・宮本健司
研究成果概要	気体のキセノンを-110°C前後の低温に冷やし凝縮させて作られる液体キセノンは真空紫外光を発する優れたシンチレータで、γ線に対する吸収係数が大きく発光量が多くて応答も速いという特長がある。さらに、蒸留による純化で放射性不純物が極超低レベルまで減らせることから、神岡の XMASS 実験をはじめとする暗黒物質探索など国内外の先端的な宇宙素粒子物理学実験で利用が進んでいる。しかしながら、実用上把握が必要な性質のいくつかは、まだ満足な精度では求められていない。液体キセノンの発光スペクトルはこのような性質の 1 つで、文献によって引用値にばらつきが見られ、中心波長で 174nm から 178nm まで 2 % を超えている。このばらつきは液体キセノン中でのシンチレーション光のレイリー散乱長に 20% 近い誤差をもたらし、特に液体キセノンを大型の検出器に用いる場合に影響が大きい。 発光スペクトルについて最も頻繁に引用されるのは 1965 年の Jortner の報告 [1] である。同報告は中心波長として 178nm を報告しているが、同一装置を用いて報告された気体キセノンの中心発光波長が近年の測定値と比べて 2 ～ 3 nm 長めであることなどから、液体キセノンに関しても真の値より数 nm 長めの値を報告している可能性がある。そこで本研究では、最新の実験技術に基づいて、液体キセノンの発光スペクトルを波長の誤差 1 nm 以下という十分な精度で再測定することを目指している。 実験装置の当初案を図 1 に示す。真空紫外用分光器の入射ポートに真空チェンバーを接続し、その中に液体キセノンを貯める小型セルを設ける。セル内の液体キセノンは外部から線源の γ 線で励起してシンチレーション光

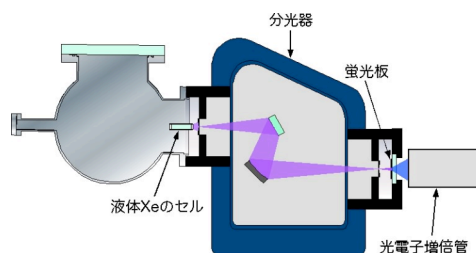


図 1 実験装置の概略

を発生させる。分光器の出射ポートには、量子効率の波長依存性が少ない蛍光体として知られるサリチル酸ナトリウムを内面に薄く塗布した光学窓を取り付け、分光器を通ったシンチレーション光を可視光に変換する。この可視光は窓の外側に置かれた光電子増倍管などの光検出器で測光し、分光器で光強度を波長スキャンして液体キセノンの発光スペクトルを求める。

以上の計画を進めるべく、今年度は、最近に開発された半導体光センサ MPPC を用いたシンチレーションの微弱光の測光系の検討実験を行なった。本研究では微弱なシンチレーション光をさらに分光器を通して分光し波長スキャンして測光することから、数光子レベルの極く微弱な光の強度を高い S/N 比で測定することが要求される。MPPC は少ない光電子の計数に高い分解能を示し、100V 以下の電圧で動作して単価も光電子増倍管に比べて安いという利点がある。一方、欠点として、受光部の面積が小さい ($\sim 1\text{mm}^2$) ことと、ダークノイズの多いことが挙げられる。これらの長短所を総合して MPPC の使用が適当であるかを判断した。

最初に、ノイズを低減する目的で、分光器の出射スリットを出た光子とシンチレータの近傍で捕えられる光子との

同時計測を利用する測光方法

[2] を採用した (右図)。

そして、実際に簡単な試験として MPPC を複数導入し駆動回路を製作して、MPPC のノイズ

特性など基礎特性を測定した

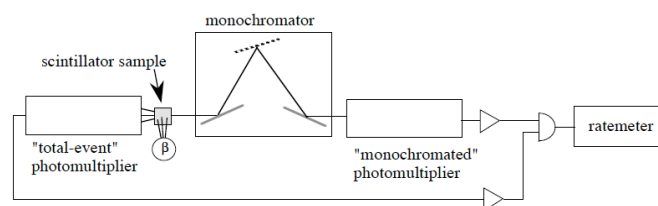


図2 同時計測を用いるシンチレーションスペクトル測定系 (Ref. [2] より引用)

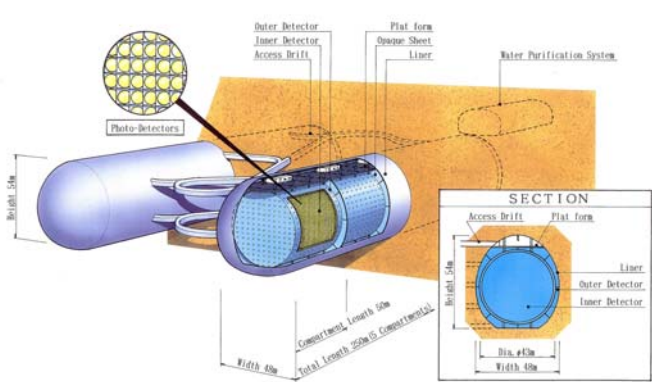
後、上記の同時計測による測光系に用いて、 ^{60}Co の γ 線で励起されたプラスチックシンチレータの発光スペクトルを測ることを様々な光学系と回路系において試みた。

結果として、MPPC は1光電子相当のノイズが $> 2 \times 10^5 \text{Hz}$ と非常に多く、2光電子以上のノイズについてもピクセル間のクロストークによるものと思われるノイズが多く存在するために、前述の同時計測を行なっても S/N をじゅうぶん高められないことが判明し、本研究の光検出器には不適當であると判断された。そこで今後は、当初に計画した通り、光検出器は光電子増倍管とすることにして研究を進めることとした。光電子増倍管を用いれば、1光電子のノイズを MPPC よりもじゅうぶん少なくできると共に、受光部が大きいため受光量が大きくなって S/N が高まると期待されるが、現在進めている試験においてこの予想に沿った実験結果を得つつある。

[1] J. Jortner et al., J. Chem. Phys. 42 (1965) 425.

[2] J.E. McMillan and C.J. Martoff, physics/0606198 (2006).

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：100 万トン水チェレンコフ検出器（ハイパー Kamiokande）の開発研究 英文：R&D of a Mton water Cherenkov Hyper-Kamiokande
研究代表者 高工研・名誉教授・中村健蔵 参加研究者 宇宙線研・教授・梶田隆章、東京大学・教授・相原博昭、宇宙線研・准教授・塩澤真人、宇宙線研・准教授・金行健治、宇宙線研・准教授・早戸良成、宇宙線研・助教・奥村公宏
研究成果概要 宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設では、1996 年以来、岐阜県の神岡鉱山の地下 1000 メートルに 5 万トンの純水を用いる水チェレンコフ検出器「スーパーカミオカンデ」を稼働させ、大気ニュートリノニュートリノ振動、太陽ニュートリノ振動の発見、陽子崩壊の探索、つくばの高エネルギー加速器研究機構から発射した人工ニュートリノを検出する長基線ニュートリノ振動実験などに成果を上げてきました。この成果を受け継ぎ、更に発展させるため、100 万トンの純水を用いる「ハイパーカミオカンデ」と名付けられた次世代の水チェレンコフ検出器を建設する計画が作られ、そのために必要な開発研究、具体的には、このような巨大な検出器のための空洞の掘削方法を考慮した設計、検出器本体の設計、検出器に用いる光センサーの開発などを行っています。今までに、種々の調査や解析の結果、候補地の選定を終え、下図のような双子のトンネル型検出器を考えて、更に解析を続けています。 
整理番号

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：T2K 実験における ν_e 出現事象探索のための準備研究
英文：Study for the electron neutrino appearance search in the T2K experiment

研究代表者 東京大学 宇宙線研究所 神岡宇宙素粒子研究施設
准教授 早戸 良成
参加研究者 東京大学 宇宙線研究所 神岡宇宙素粒子研究施設
准教授 塩澤 真人
助教 三浦 真
助教 亀田 純
助教 山田 悟
東京大学 宇宙線研究所 宇宙ニュートリノ観測情報融合センター
准教授 金行 健治

研究成果概要

本年度は、まずニュートリノ反応シミュレーションプログラムに新たな改良を加えた。特に今回は電子ニュートリノ探索の背景事象となりうる、 γ 生成反応 ($\nu N \rightarrow \nu N' \gamma$) を導入した。他に深弾性散乱反応パラメータの修正なども行った。このシミュレーションプログラムをニュートリノ・核子散乱実験である SciBooNE 実験に適用、事象の再現性の確認を開始した。このシミュレーションプログラムと、設計が完了した T2K 実験用ニュートリノビームラインのパラメータを用いたニュートリノフラックスシミュレーションデータを用い、スーパーカミオカンデ (SK) におけるシミュレーションデータ生成を行った。このデータを用いて、現在大気ニュートリノ解析に用いているプログラムを利用し、電子ニュートリノ出現事象の探索感度を確認した。その結果、以前に行われたスタディ結果と比較して若干背景事象が多くなっていることがわかった。これは、ニュートリノフラックスの変化、ニュートリノ反応シミュレーションプログラムへの新たな反応の導入の影響と、解析プログラム中の電子・ π^0 判別部の調整が現在の検出器構成に最適化されていないためであった。また、電子・ π^0 判別部については事象反応位置による依存性もみられたので、判定手法ならびにパラメータの改善作業を開始している。

整理番号

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：大型検出器構成物の放射性不純物によるバックグラウンドイベント低減のための研究
英文：Study for lowering backgrounds of radioisotopes in large volume detectors

研究代表者 東京大学宇宙線研究所 助教 関谷洋之
参加研究者

研究成果概要

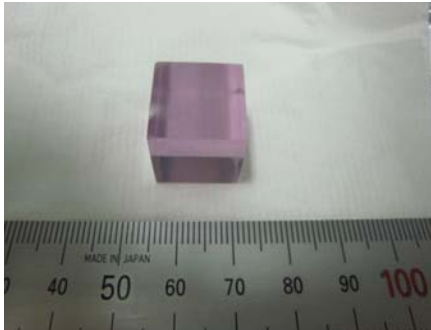
放射性不純物を含まない材料を用いた大型光検出器として、ガス増幅を用いた光電子増倍管の開発を進めている。昨年度に引き続きフッ化マグネシウム窓に CsI 光電面を蒸着した透過型光電面を用いた光検出器の性能評価を行った。

ガス増幅部に関しては、昨年度の経験からガスの劣化を招かず、フレームに取り付けやすくするため、あらかじめ穴の開いた GEM を開発し導入した。増幅率は 200000 倍を達成し、昨年度よりさらに 10 倍にすることができた。これにより原理的に一光電子を検出可能な光検出器が実現した。

長期安定性に関しては、エキシマランプを用い、真空紫外光を光電面に照射し、プラズマ放電の周波数と一致した出力を記録することで、一年間光電面が劣化することなく、光検出器として動作することを確認した。

そして、光検出器としての評価を行うための真空紫外光光源として Nd をドープしたフッ化ランタン (Nd:LaF₃) 結晶シンチレーターに着目し、まず光源としての性能を評価した。この結晶は光量は少ないものの、中心発光波長 173nm のシンチレーション光を出すことが分かっていた。既存の真空紫外光に感度がある光電子増倍管 R8778 を用い、Nd:LaF₃ にアメリカ 241 からの 5.5MeV の α 線を照射した際の光量を求めたところ、1 MeV (ガンマ線相当) あたり 100 光子の発光をであり、光検出器評価用としては最適な微弱真空紫外光源となることを確認した。そして、実際にこの光源を開発した光検出器にとりつけ、シンチレーション光を測定した。3 光電子程度のピークを検出することに成功し、実際に一光電子をとらえる能力のあることを示した。透過型 CsI 光電面の量子効率が 2 % であることも確認し、当初の設計通りの光検出器として完成した。今後の研究は反射型光電面導入による量子効率の向上を中心にすすめていく方針である。また、より

発光量の多い結晶と組み合わせた X 線イメージング検出器としての応用の可能性があり、東北大、京都大のグループと共同研究を行っていくこととなった。

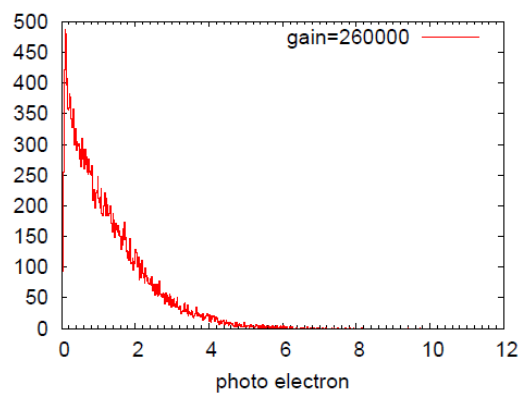


Nd:LaF₃ 結晶

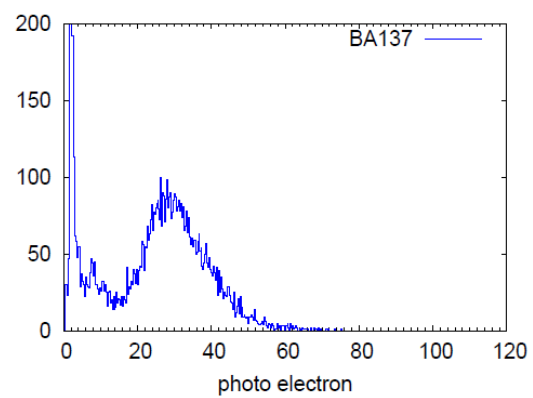


検出器に結晶を取り付けた様子。

本検出器でのスペクトル



R8778 でのスペクトル



平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：シミュレーションを用いた暗黒物質検出装置の詳細設計
英文：Design of detector for dark matter search by using simulation.

研究代表者 安部 航

参加研究者

研究成果概要

●光電子増倍管起源のガンマ線バックグラウンドの見積もり

測定器の主要なバックグラウンドとなるのが、光電子増倍管に含まれる放射性同位元素であるため、Ge検出器を用いたこの放射性同位元素の正確な量の測定と、その量をもとにした測定器内部でのバックグラウンドの見積もりを行った。

今回まとめられたPMTの主要放射性同位元素の量は

^{238}U < 1.00 mBq (上限値)

^{232}Th < 0.94 mBq (上限値)

^{60}Co 4.47 ± 0.34 mBq

^{40}K < 9.68 mBq (上限値)

となった。800 kg 検出器で使用するPMTは、プロトタイプで使ったPMTをもとに、放射性同位元素の量を10分の1以下にすることを目標に開発を進めてきたもので、今回の測定でこの目標が達成できていることが確認された。

PMT起源の測定器内部のバックグラウンドについて、 ^{238}U 、 ^{60}Co の2つはこれまでに見積もりがされていたが、今回より高い統計での見積もりを行った。また ^{232}Th 、 ^{40}K についてもシミュレーションによる見積もりを行い、これによりPMTに含まれる放射性同位元素の全ての主要な要素について見積もりが終了した。

見積もりの結果、全ての個々の要素について、暗黒物質探索を行う100 keV以下のエネルギー領域において、測定器内部の有効感度領域まで入り込む事象が、 10^{-5} 事象/keV/日/kg以下であるという結果が得られた。また各要素全てを足し合わせたPMT全体としてのバックグラウンドについても 10^{-5} 事象/keV/日/kg以下であった。XMASS実験で目的とする、暗黒物質の断面積 10^{-45}cm^2 を実現するために許されるバックグラウンドは 10^{-4} 事象/keV/日/kgであり、PMT全体の寄与が観測上問題ないレベルであることが確認された。

●モックアップ製作

60面体構造をした測定器の細部の確認を行うため、2面だけの実寸のモックアップを製作した。モックアップを用いて基本的な構造の確認を行い、境界部での構造、PMT同士の干渉や、光電面被服率をあげるために最近接部で行っているPMT縁部分の重ね合わせなどに問題、間違い等がないことを確認した。

整理番号

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文： ^{48}Ca の二重ベータ崩壊の研究 英文：Study for double beta decay of ^{48}Ca
研究代表者	大阪大学大学院理学研究科・教授・岸本 忠史
参加研究者	大阪大学大学院理学研究科・助教・小川 泉 大阪大学大学院理学研究科・技術専門員・松岡 健次 大阪大学大学院理学研究科・特任研究員・梅原 さおり 大阪大学大学院理学研究科・大学院生・平野 祥之 大阪大学大学院理学研究科・大学院生・伊藤 豪 大阪大学大学院理学研究科・大学院生・坪田 悠史 広島大学大学院工学研究科・講師・裕 隆太
研究成果概要	二重ベータ崩壊の半減期測定を行うことで、ニュートリノ質量の絶対値を与えるとともに、その観測によってニュートリノのマヨラナ粒子性を証明することができる。我々は、二重ベータ崩壊核 ^{48}Ca の半減期測定のための測定装置として、液体シンチレータに CaF_2 シンチレータを沈めた複合型検出器 CANDLES システムの開発を進めている。 19年度は、システムの神岡実験室移設にむけて準備を進めた。本システムは、検出器として、消防法における危険物である液体シンチレータを含むため、実験室は危険物取扱所として消防署の許可が必要である。これは、今年度に設置許可を申請し許可を得た。また、設置予定の検出器タンク、液体シンチレータタンク、光電子増倍管、CaF_2 シンチレータを購入した。CaF_2 シンチレータに関しては、すべてのシンチレータ個別に、バックグラウンド事象の起因となる不純物の量を測定した。これによって、予想されるバックグラウンド量の評価を行った。また、液体シンチレータ用の純化装置、リザーバタンクの配置設計も終了した。来年度以降、システムの神岡実験室移設を進める。このシステムは3年の測定でニュートリノ質量 0.5eV の感度を持つ。 また、地上実験室においてプロトタイプシステムの開発、性能調査を進めた。システムの構築をほぼ終了し（図1）、バックグラウンド調査のための定常測定に入った。バックグラウンド事象の候補となる宇宙線の量の多い地上で測定を行うことで、バックグラウンド事象の除去率を評価し、地下移設時のバックグラウンド事象量の見積

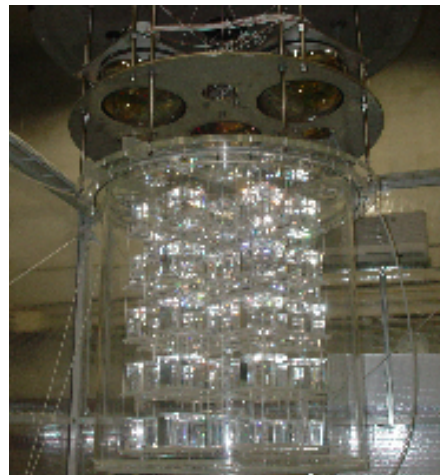


図1 地上において構築されたプロトタイプシステム。写真はシステムの中心部分に当たる60個の CaF_2 シンチレータ。

りを進めた。また、最小 χ^2 法による事象位置再構成解析法を確立し、位置分解能を改善した。CANDLES システムにおいて、 CaF_2 シンチレータは、大きさ 10cm 角、10cm 間隔で液体シンチレータ内に配置されている。60 個の CaF_2 シンチレータからの信号に対して、事象が起こったシンチレータを同定することは、 CaF_2 シンチレータ内の不純物によるバックグラウンド事象の除去に有効である。解析によって再構成された事象位置の X-Y 平面分布を図 2 として示す。一段に配置されている 12 個の CaF_2 シンチレータの位置が明確に分かれている。

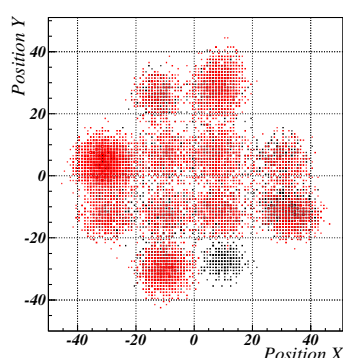


図 2 事象位置の X-Y 平面分布。1 段に 12 個の CaF_2 シンチレータが配置されているのが明確に分かれている。左端の上位置に事象分布量が多いのは、不純物が多いシンチレータが配置されているためである。

さらに、今後のニュートリノ質量に対する感度改善のため、 ^{48}Ca の濃縮のための調査を進めた。 ^{48}Ca の自然存在比が 0.187%と小さいため、濃縮が可能となれば、システムの大規模化なくして最大 500 倍の感度向上が見込める。しかし、Ca は常温において気体の化合物がないため、一般的な濃縮法であるガス拡散法や遠心分離法を適用することが困難である。そのため、現時点で kg オーダーでの濃縮を実現したものはいない。これを、大量生産に向けた濃縮法である化学法を用いることで、実現をめざした。最初のテストとして、まず ^{48}Ca 濃縮を確認するため、Ca を吸着するクラウンエーテル樹脂を 30g 用い吸着クロマトグラフィを行った。同位体測定の結果、明確な ^{48}Ca 濃縮が確認され（図 3）、同位体分離係数 3.4×10^{-3} を得た。これは、今後、ニュートリノ質量にして 0.03eV 領域の感度を持つ検出器を設計していく上で重要な成果である。

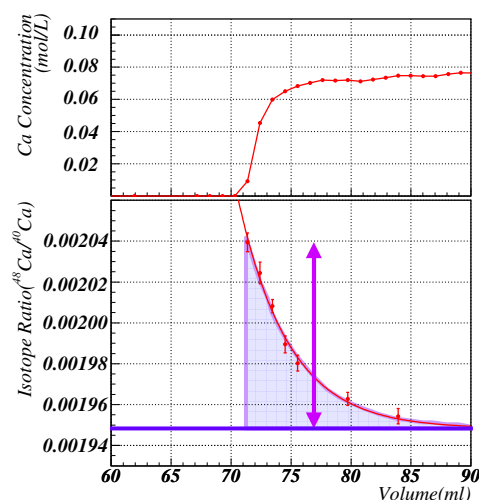


図 3 ^{48}Ca 濃縮テストの結果。上図が Ca 濃度を、下図が同位体比を示している。下図の矢印が示している同位体比の差がクロマトグラフィによる濃縮効果である。

整理番号

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：低エネルギー太陽ニュートリノ観測を目的としたインジウム・リン半導体検出器の開発研究

英文：development of InP detector for pp/Be7 solar neutrino measurement

研究代表者 宮城教育大学・教育学部・准教授・福田 善之

参加研究者 東京大学 宇宙線研究所・准教授・森山 茂栄

東京大学 宇宙線研究所・准教授・塩澤 真人

東京大学 宇宙線研究所・助教・小汐 由介

東京大学 素粒子物理国際研究センター・助教・難波俊雄

研究成果概要

住友電気工業製の VCZ 法で結晶成長させた半絶縁性 InP 基板を用いて、 $10\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 200\text{ }\mu\text{ m}$ のドライアイス冷却型検出器を開発した。バイアス電圧 500V において ^{57}Co からの 122keV、 ^{133}Ba からの 81keV、 ^{241}Am からの 60keV のガンマ線を高検出効率で観測した。その結果、観測電荷量とシミュレーションの比較から、

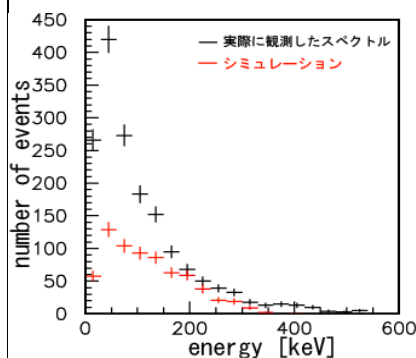


図 2 InP 検出器の β 事象観測スペクトル

電荷収集効率が 100% の光電ピークとともに空乏層外からキャリアがドリフトして電荷収集されたとと思われるピークが観測され、後者が圧倒的な観測量となった。エネルギー分解能は、空乏層による 100%電荷収集では 5%@122keV の性能を得たが、ドリフトして収集したピークでは 20%程度であった。(図 1) また、電子・ホール生成エネルギーは 3.5eV という結果になり、従来の 4.2eV より小さい値であることがわかった。また、本検出器を用いて ^{115}In の自然 β 崩壊スペクトルと、その制動輻射バックグラウンド測定実験を行なった。InP 検出器と CsI 検出器を対面で配置し、鉛と無酸素銅の遮蔽体内に設置した。InP 検出器では 10 時間の測定より想定量の 680 以上の事象が観測され、 β 事象以外に低エネルギー側に振動によるノイズが含まれる事がわかった。(図 2) また、CsI 検出器では 100keV 以下に 50 事象程度が観測された。この事象は CsI 中に含まれる U/Th 系列のバックグラウンドが β 線と γ 線を同時放出し、その β 線と解釈すると実験結果を再現できた。(図 3) その結果、InP からの制動輻射事象は 2 事象程度と予測する計算結果と合致する結果を得た。

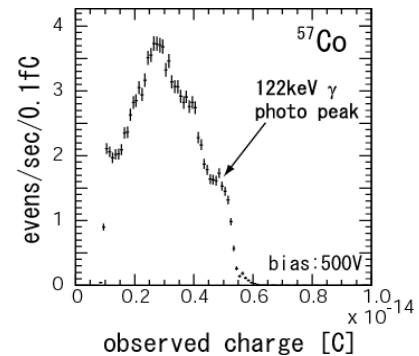


図 1 InP 検出器による ^{57}Co の γ 線事象

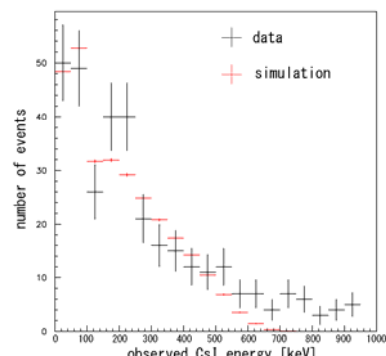


図 3 CsI 検出器による同時計測事象スペクトル

整理番号

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：高エネルギー宇宙ニュートリノの研究 英文：Study of High Energy Cosmic Neutrinos
研究代表者	名古屋大学太陽地球環境研究所・教授・伊藤 好孝
参加研究者	名古屋大学理学研究科・M2・田中 隆之
研究成果概要 高エネルギー宇宙ニュートリノ研究として、上向きミューオン事象の研究と、それを用いた暗黒物質対消滅ニュートリノの探索を中心に行った。以下詳細を述べる。 1) SK3での上向きミューオン事象解析の立ち上げ SK 前面復旧後の SK3 における上向きミューオン事象のリダクションの整備を行い、SK3 での上向きミューオンを始めて観測し、イベントレートや天頂角分布等の基本量が SK1、SK2 とコンシステントであることを確認した。また SK3 用に新たにモンテカルロイベントを生成した。今回は、Fully-Contained/Partially-Contained 事象の MC について、外水槽でのニュートリノ MC の共通化を行った。 2) 太陽からの暗黒物質対消滅ニュートリノの探索 暗黒物質の候補である超対象性粒子ニュートラリーノは、太陽中の水素原子核と衝突することでその重力場にトラップされ、中心部で他のニュートラリーノと対消滅を起こして高エネルギーニュートリノを発生すると考えられる。従来 SK1 上向きミューオン事象を用いて行われた太陽方向からの高エネルギーニュートリノ探索を、SK2、SK3 データに拡張することで、ニュートラリーノ存在量の上限値を従来の1.3倍改善した。今解析では、上向きシャワリングミューオン事象が1 TeV 程度、シャワーのない上向き突き抜けミューオン事象が100 GeV 程度、上向きストップミューオン事象が10 GeV 程度のニュートリノによって起こることを利用して、ニュートリノエネルギーを考慮に入れた解析を行い、重い TeV 程度と軽い数10 GeV 以下のニュートラリーノの存在量について、従来より厳しい上限値を得た。この結果は田中の修士論文としてまとめられた。	
整理番号	

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文： 宇宙線望遠鏡の調整と観測
	英文： Commissioning and First Observation of TA
研究代表者	東京大学宇宙線研究所：福島正己
参加研究者	大阪市立大学：川上三郎、林嘉夫、荻尾彰一 神奈川大学：日比野欣也
	近畿大学：千川道幸 高エネルギー加速器研究機構：藤井啓文、田中真伸、松田武、
	山岡広 高知大学：中村亨 埼玉大学：井上直也 早稲田大学：笠原克昌
	千葉大学：河合秀幸、吉田滋 東京工業大学：垣本史雄、常定芳基
	東京大学宇宙線研究所：佐川宏行、瀧田正人、大西宗博、竹田成宏、林田直明、桜井信之、
	大岡秀行、下平英行、鳥居禮子、有働滋治、小澤俊介、得能久生、芝田達伸、F.Cohen
	広島市立大学：田中公一 放射線医学総合研究所：内堀幸夫
	武蔵工業大学：門多頭司 山梨大学：本田建、石井孝明
研究成果概要	10²⁰ 電子ボルトを超える巨大なエネルギーを持った素粒子が宇宙から飛来し、AGASA や HiRes などの空気シャワー観測装置で検出されている。これらの宇宙線は銀河系外の天体で発生し、長距離の宇宙空間を伝播して地球に到達したと考えられるが、その到来方向には活動銀河核・ガンマ線バーストなど加速源候補となる高エネルギー天体は見当たらない。さらに AGASA による観測は、宇宙背景放射との衝突から期待される宇宙線のエネルギー限界を超えてスペクトラムが続いていることを示している。これを標準的な素粒子理論・宇宙物理から説明するのは難しく、大統一スケール（～10²⁵eV）の超重粒子が銀河系近傍で崩壊している、あるいは極限的高エネルギーでローレンツ不変性が破れているなどの仮説が提案されている。「極高エネルギーの宇宙素粒子はどのように生まれるのか、エネルギーに限界はあるのか？」この疑問に決定的な答えを与えるべく、米国ユタ州の西部砂漠地帯に宇宙線望遠鏡（TA）を建設した。TA は地表アレイと大気蛍光望遠鏡のハイブリッド観測装置である。地表アレイとして、700 平方キロの領域に 503 台のシンチレーション検出器を設置し、大気蛍光望遠鏡として、アレイの周囲 3 ヶ所に広角望遠鏡 38 基を設置した。アレイは単独で AGASA の 7 倍の広さを持ち、望遠鏡は AGASA の 3 倍の感度（～10% duty）を持つ。アレイと望遠鏡の同時観測によって、観測方法に固有な系統的誤差を洗い出し、極高エネルギー宇宙線のエネルギーと到来方向を高い信頼度で判定する。望遠鏡は平成 19 年 6 月から一部の運用を始め、11 月からは 3 ヶ所全てで観測を行っている。アレイは、平成 18 年度に設置を終了し、平成 19 年 11 月までに無線データ通信の調整を終了した。平成 20 年 3 月から、TA 全装置を使って観測を開始した。
 	写真の説明 【上左】地表検出器は 1.2km の間隔で格子状に設置した。 【上右】アレイの周辺に通信塔を建て、トリガーとデータ採取は無線 LANで行っている。 【下左】望遠鏡カメラの PMT256 本には個別の高圧を印加する。信号波形は 40MHz 12bit で記録する。 【下右】大気蛍光望遠鏡は、仰角で 3-34 度、方位角で 109 度の領域を常時観測する。
整理番号	

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：小型電子加速器による空気シャワーエネルギーの絶対較正の研究
英文：The Study of the Absolute Air Shower Energy Calibration
by a Compact Electron Linear Accelerator

研究代表者 東京大学宇宙線研究所・准教授・佐川宏行
参加研究者 東京大学宇宙線研究所・教授・福島正己
東京大学宇宙線研究所・研究員・芝田達伸
東京大学宇宙線研究所・D1・池田大輔
高エネルギー加速器研究機構・教授・榎本収志
高エネルギー加速器研究機構・教授・福田茂樹
高エネルギー加速器研究機構・准教授・設楽哲夫

研究成果概要

テレスコープアレイ実験では、米国ユタ州の砂漠において超高エネルギー宇宙線が大気中で生成する巨大空気シャワーを大気蛍光望遠鏡で観測する。観測したエネルギーを絶対較正するために、ユタ州の現地において、小型電子線形加速器($E_{MAX}=40\text{MeV}$, 出力 6.4mW で TA-LINAC と呼ぶ)から、エネルギーと強度が分かった電子ビームを大気中に射出して、それによって発生する空気シャワーを大気蛍光望遠鏡で観測して較正するという方法を考案した。

平成 17 年度には、加速電子ビームのシミュレーション (PARMELA) を用いて加速器の性能を評価して基本設計を決定し、試験用の電子銃 (-30kVDC) を製作した。平成 18 年度には基礎設計を元に最終設計を行い、最終設計に基づいたビームシミュレーションを行い、ビーム特性の評価をした。また電子ビームによる空気シャワーと大気蛍光望遠鏡の応答を調べた。2007 年 1 月には加速器ユニットの構築が始まった。平成 19 年度においては、2007 年 6 月に完成した加速高周波装置の試験運転を行い、要求する最大 40MW の出力高周波 ($2.5\mu\text{s}$ 幅パルス)を確認した(図 1:右上)。2007 年 10 月には最終仕様である -100kV 電子銃単体の動作試験を行った。加速ユニットは 2008 年 1 月に完成し(図 2:左)、翌月から加速ビームの試運転を開始した。加速ビーム試験ではビームパルス幅を 10ns の短パルスで設定した。ビーム電流は 4 箇所に設置したビーム電流モニターと最下流に設置したファラデーカップで測定し、要求する約半分の出力を確認した(図 2:右下)。ビームエネルギーは偏向電磁石の磁場によって決定され 39.4MeV の出力エネルギーを確認した。

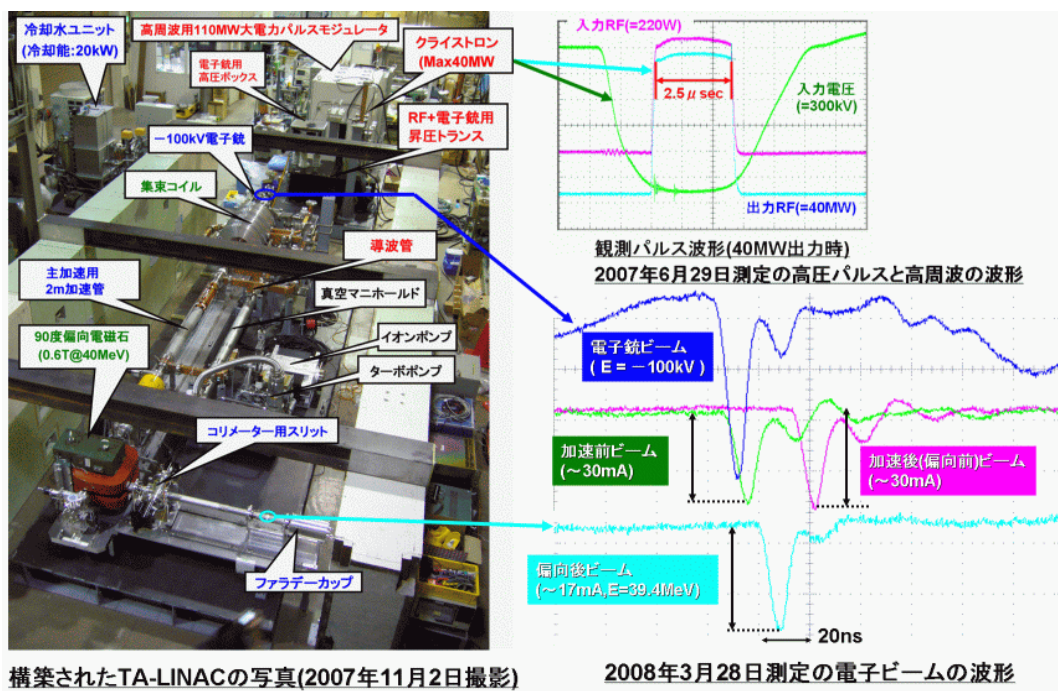


図 1: TA-LINAC の全体写真(左)と試験結果(右上: 高周波、右下: 加速ビーム)

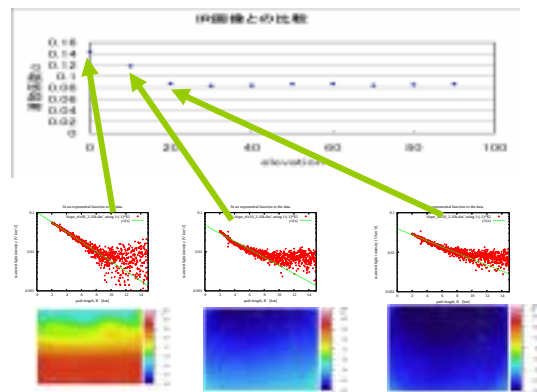
整理番号

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：絶対光量測定による新型大気モニタ装置の開発 英文：A R&D for a new atmospheric monitoring system
研究代表者	近畿大学理工学部・教授・千川道幸
参加研究者	東大宇宙線研究所・教授・福島正己, 宇宙線研究所・助手・林田直明 東大宇宙線研究所・研究員・有働慈治, 近畿大学・大学院博士前期課程・堂浦晃嗣
研究成果概要	1. 本年度の研究実施計画は次のような骨子からなる：T Aの建設地の一つであるB R M(Black Rock Mesa)に於いて大気透明度測定のために LIDAR 装置を設置し、夏季と冬季の実験を中心に長期に亘る観測データを積算する。累積した数は12万事象になり、様々な気象条件の下での測定データとして解析を行い、大気透明度測定法に関して効率の良い方法の確立に向けた手法を開発してきた。B R Mでは単独の LIDAR 装置を用いて後方散乱光を検出することにより、射出レーザの視線方向の大気透明度を空間分解能15m以下で測定稼働できる装置に仕上げる。 2. これまでに上記計画に基づき、観測実験と開発を以下のように行った。 (1) B R Mに於けるプロトタイプ LIDAR システムを Linux PC から統合的にプログラムにより制御する事を目標として、R&Dを精力的に継続してきた。その結果、平成19年度末にはほぼ全体が完成し、遠隔制御も含めて試験運転を行っているところである。 本 LIDAR 装置を用いた観測を積み重ねた結果、平成19年度末までの実験観測事象数は累計310k 事象を超えたデータ量となり、逐次、データ解析を行い、現在も精力的に解析が行われているところである。夏・冬の大気の状態の良い日、悪い日を含めて大気蛍光望遠鏡観測に反映できる統計データのより多くの蒐集を行ってきた。大気透明度の観測実験は3km 以下の近傍と15km 程度までの長距離測定を設定し、LIDAR 方程式から導出される slope 法と Klett 法を適用する解析を行うことにより、数%程度の統計精度を持つ実験を行っている。 (2) 現在も L Rに設置予定の LIDAR の開発は、ハードウェアを Linux PC から統合的にプログラムにより制御する R&Dが行われており、平成20年度に一部システムが設置される予定である。 (3) また、LIDAR は Laser の飛跡上の一次元的な大気消散係数の奥行き情報を精度良く与えるが、二次元的な拡がりを持つデータを蒐集するのは大変な工夫が必要である。そこで、相補的な装置として赤外線 IR カメラ（平成18年度に科研費により購入）を用いて大気透明度及び雲を主成分とする水蒸気量

等を二次元的な温度分布より求める方法も開発し、BRM に Linux PC からプログラムにより制御する雲モニタシステムを平成 20 年 3 月に設置し始めた。この装置により、大気蛍光望遠鏡の観測データに対する観測領域決定及び観測環境の確認が飛躍的に精度を上げるものと期待される。しかしながら、この雲モニタシステムは事前に近畿大学で試験運用実験に於いて設定した性能を未だ発揮しておらず、その正常なる運用が待たれる状態である。原因は現時点では不明であり、速やかな改善を行う必要がある。

右図は大気透明度測定を行革を変えて行い、消散係数の値を slope 法で計算し、プロットした図と赤外線(IR)カメラの像を示したものである。仰角が低いときは大気が濁っており、消散係数が大きな値である。仰角が大きくなるにつれて消散係数の値は小さくなり、且つ安定した値を取るようになっていく様子が見て取れる。



この様に、LIDAR と IR カメラによるデータを相補的に使用することによって、消散係数の変化の原因の特定や関連を考察できると考えられる。この様な同期したデータの蒐集の必要性を考えて、BRMに次の装置を導入する。

右上図はBRMにて組み立てた雲モニタシステムで、経緯台に固定したフレームに IR カメラとガイドスコープを取り付けた状態である。この経緯台を雨風を避ける容器内に固定し、観測時に視野方向を開けて撮像を行う。容器の開閉以外は PC による制御でデータ蒐集ができる。



又、右下図は Utah 大学にて開発した GPSY モジュールで GPS の正確な時刻を取得して、任意の設定時刻にトリガパルスを出力できる仕様になっている。2008 年 3 月に Utah 大学に於いて、購入した 3 台の設定が行われ、近い将来にレーザをトリガーする目的で LIDAR システムに導入予定である。この GPSY モジュールを複数台の LIDAR システムに導入することで将来は同期したレーザ射出や任意の設定時刻による射出など、LIDAR の観測法に非常に多彩な方法を提供できる可能性がある。

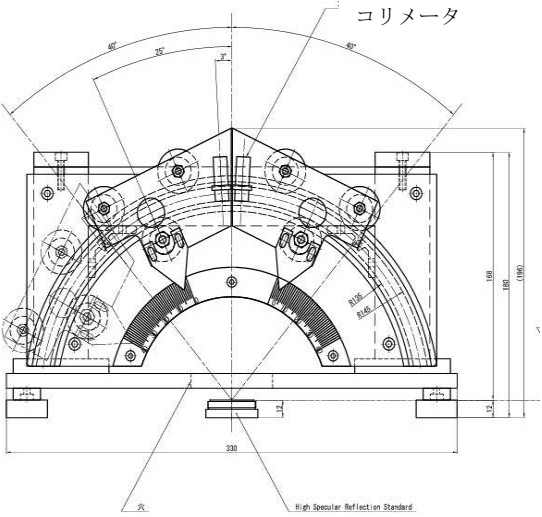


平成 19 年 7 月に開催された第 29 回 ICRC での発表論文

Atmospheric Monitoring with LIDAR and Infra-red Camera at Black Rock Mesa in the Utah desert : Proceedings 29th International Cosmic Ray Conference(ICRC), Merida, Mexico, 2007, HE1.5P, 803

整理番号

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：宇宙線望遠鏡実験用セグメント鏡の較正 英文：Calibrations of the mirrors for the TA experiment
研究代表者	大阪市立大学大学院理学研究科・准教授・荻尾 彰一
参加研究者	武蔵工業大学知識工学部・講師・門多 顕司 大阪市立大学大学院理学研究科・教授・林 嘉夫 大阪市立大学大学院理学研究科・D1・奥田 剛司 大阪市立大学大学院理学研究科・M1・宮内 仁 東京大学宇宙線研究所・教授・福島 正己 東京大学宇宙線研究所・研究員・得能 久生
研究成果概要	テレスコープアレイ (TA) の大気蛍光望遠鏡 (FD) による宇宙線のエネルギー決定において、望遠鏡を構成する鏡の分光反射率は重要な要素のひとつである。空気シャワーからの大気蛍光は FD に様々な角度で入射するため、鏡の分光反射率の角度依存性を測定することは必要不可欠である。そこで、我々は角度可変型分光反射率測定装置を製作した。 図1に装置の入射・反射光角度調整部分を示す。光源からの光は光ファイバを通してコリメータに入射する。鏡からの反射光はもう一方のコリメータで集められ、光ファイバを通して分光反射率計 (オーシャン光学社製 USB2000) に入り、ここで反射率が測られる。(図2)。実際には、分光反射率のわかっている標準鏡に対する相対反射強度から反射率が求められる。 図3に測定結果の一例を示す。図3の赤のプロットは入射角が 5° の場合であり、緑のプロットは入射角が 30° の場合である。入射角度によって反射率が異なっている様子がわかる。今後、すべての FD 望遠鏡のセグメント鏡に対して測定を行っていく予定である。  図1：反射率測定装置

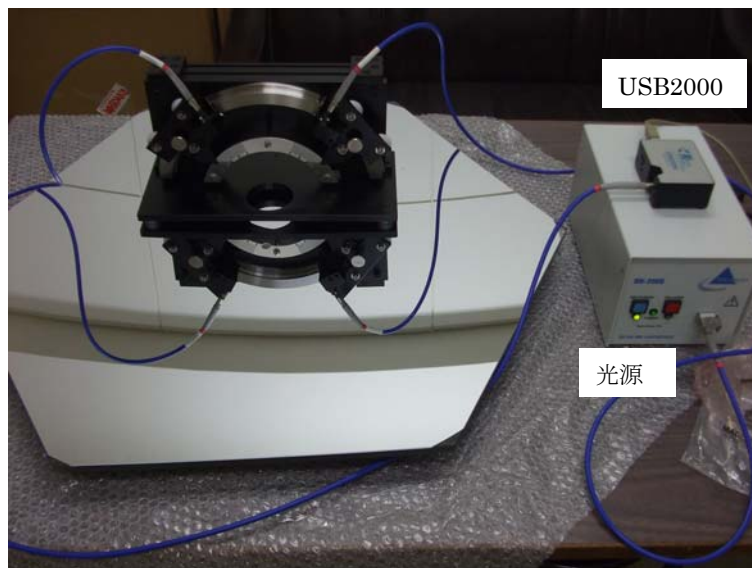


図 2 : 測定例

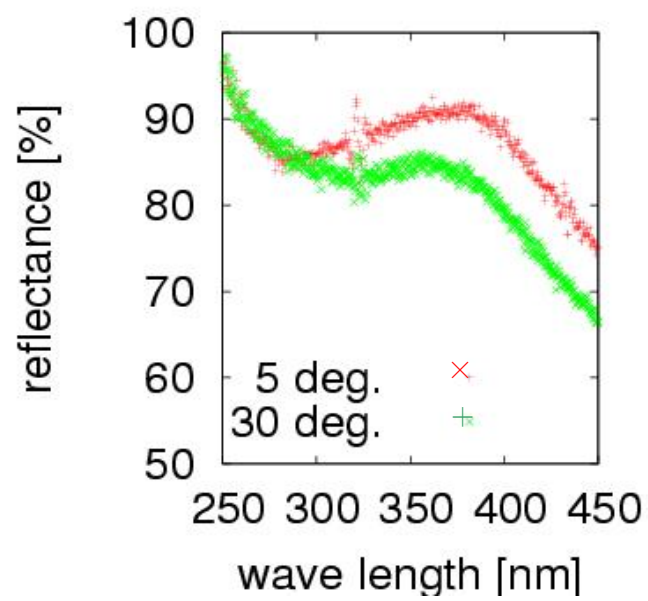


図 3 : 反射率測定結果の一例

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：チベット高原での高エネルギー宇宙線の研究

英文：Experimental Study of High-energy Cosmic Rays in the Tibet AS γ Experiment

研究代表者 東京大学宇宙線研究所・助教授・瀧田正人

参加研究者

弘前大・教授・南条宏肇、・教授・雨森道紘、宇都宮大・教授・堀田直己、・助教授・永井明、放送大学・教授・太田周、埼玉大・教授・水谷興平、芝浦工大・教授・笠原克昌、神奈川大学・教授・湯田利典、・教授・白井達也、助教授・立山暢人、・助教授・日比野欣也、・研究員・大内達美、横浜国大・教授・柴田慎雄、・助手・片寄祐作、・院生・陳鼎、・院生・木村圭太、・院生・沼陽平、・院生・伊藤陽介、・院生・大川原幹雄、・院生・中村俊彦、・院生・平野真也、湘南工大・教授・杉本久彦、国立情報学研・助教授・西澤正己、都立産業技術高専・教授・齋藤敏治、甲南大学・教授・山本嘉昭、・教授・坂田通徳、・教授・梶野文義、東大宇宙線研・助手・大西宗博、・研究員・塩見昌司、・技術職員・小林孝英、・研究員・川田和正、・院生・佐古崇志、・院生・長井雄一郎、・研究員・黄晶、・研究員・Yan Zhitao、・研究員・Wang Xiao 立教新座高校・教諭・綾部俊二、信州大学・教授・宗像一起、・助教授・安江新一、・助教授・加藤千尋、・院生・伏下哲、・院生・松本矩尚、理化学研究所・研究員・土屋晴文、早稲田大学・教授・鳥居祥二

研究成果概要

1. Moon Shadow by Cosmic Rays under the Influence of Geomagnetic Field and Search for Antiprotons at Multi-TeV Energies [M. Amenomori et al., Astroparticle Physics, 28, (2007), 137-142]

通常の宇宙線は正電荷を持っているため、月の影は地球磁場によって西に曲げられる。他方、宇宙線中に負電荷を持つ反粒子（例えば反陽子）が混じっている場合、月の影は東方向に曲げられるので、通常の月の影に東偏成分が重なることになる。このこと現象を利用して宇宙線中の反陽子成分の探索を行った。3TeV以上のエネルギーを持つ宇宙線空気シャワーを約 1.5×10^{10} 事例を用いて約40・の月の影を観測した。月の影の見かけの位置は西に0.23度ずれており、反陽子による有意な成分は観測されなかった。その結果、図1に示すように通常の宇宙線に対する反陽子の割合に関する90%信頼度の上限值7%を得た。

図1 宇宙線反陽子と陽子比

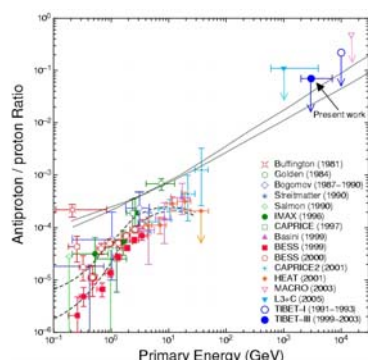
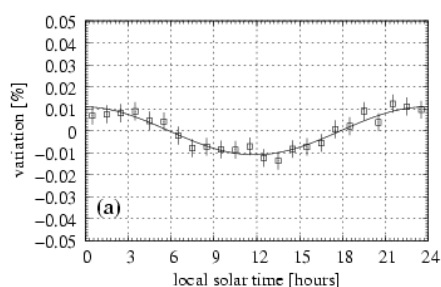


図2 太陽時宇宙線異方性(Compton-Gettings効果)の微分値 6-40TeVの一次宇宙線データ



2. NEW ESTIMATION OF THE SPECTRAL INDEX OF HIGH-ENERGY COSMIC RAYS AS DETERMINED BY THE COMPTON-GETTING ANISOTROPY [M. Amenomori et al., ApJ, 672, (2008), L53-56]

地球の公転運動によるコンプトン・ゲッティング(CG)効果により生ずる見掛けの太陽時宇宙線異方性は宇宙線エネルギースペクトルの冪に関する情報を含んでいる。その関係式を用いて、チベット空気シャワー観測装置で取得された1320日分のデータを解析して得られた太陽時宇宙線異方性(図2)から6-40TeVの宇宙線エネルギースペクトルの冪を求めたところ、 $-3.03 \pm 0.55 \text{ stat.} \pm 0.62 \text{ syst.}$ となり、通常の宇宙線観測から得られる冪と矛盾しない結果となった。統計量などの問題はあがるが、CG効果により宇宙線エネルギースペクトルを求める方法は、宇宙線と大気の相互作用モデルに依存しないので、Kneeエネルギー領域の曲がり非標準的なハドロン相互作用モデル起源ではなく、天体物理学起源であることを再確認するユニークな手段となりうる。

3. Underground water Cherenkov muon detector array with the Tibet air shower array for gamma-ray astronomy in the 100 TeV region,
[Astrophysics and Space Science, 309, 435-439 (2007)]

科研費特定領域が2005年3月で終了し、将来計画(Knee領域重粒子成分のエネルギースペクトル観測を目指すTibet-YAC: Tibet air shower core detector array 及び 100TeV領域(10-1000TeV)ガンマ線天文学の開拓を目指すTibet-AS+Tibet-MD: Tibet muon detector array)に関する議論及び外部資金申請が活発に行われている。2007年秋には、水チェレンコフ型地下ミューオン検出器のプロトタイプ(100m²)をTibet-III地下に建設し、Tibet-IIIとの連動実験を開始した。

図3 Tibet AS+MD ガンマ点源予想感度

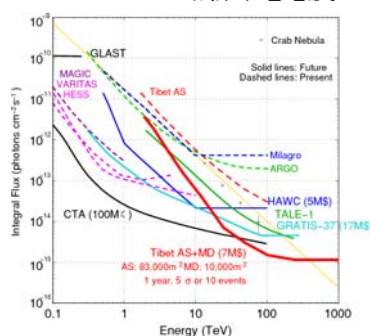
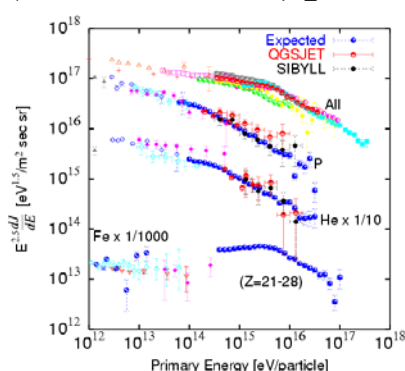


図4 Tibet AS + YAC の予想スペクトル (青)



3. 国際会議発表

- ・30th International Cosmic Ray Conference (Merida, Mexico 2007)
16 talks/posters and proceedings papers
OG: 10 papers(Oral 3, Poster 7), HE: 3 papers (Oral 2, Poster 1),
SH: 3 papers (Oral 1, Poster 2)
- ・“Implication of the sidereal anisotropy of ~5 TeV cosmic ray intensity observed with the Tibet III air shower array”
6th IGPP Annual International Astrophysics Conference, Hawaii, USA,
K. Munakata on behalf of the Tibet ASgamma collaboration, March 16 - March 22, 2007, ORAL(invited talk)
- ・“Recent status of the Tibet experiment”,
21th International Symposium on Cosmic Ray Experiment,
M. Takita for the Tibet ASgamma collaboration, Berlin, Germany,
August 13 - August 17, 2007, POSTER
- ・“Gamma-ray Observation with the Tibet ASgamma Experiment”,
Particle Astrophysics 2007,
M. Ohnishi for the Tibet ASgamma collaboration, Venice, Italy,
August 27 - August 31, 2007, ORAL
- ・“Tibet Air Shower Array: Results and Future Plan”,
International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics (TAUP) 2007, K. Kawata for the Tibet ASgamma collaboration,
Sendai, Japan, September 11 - September 15, 2007, ORAL

整理番号

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：Knee 領域一次宇宙線組成の研究 英文：Study of the composition of cosmic-rays at the knee
研究代表者	横浜国立大学 教授 柴田 槇雄
参加研究者	横浜国立大学 特別研究教員 片寄 祐作 横浜国立大学・D3・陳 鼎 横浜国立大学 M2 平野 真也 横浜国立大学 M2 中村 俊彦 横浜国立大学・M2・大川原 幹雄 都立航空高専 教授 齋藤 敏治 湘南工科大学 助教授 杉本 久彦
研究成果概要	(1) $10^{15} - 10^{16}$ eV 領域に存在する宇宙線エネルギースペクトルのべき変化 (Knee と呼ばれる) は宇宙線起源を解明するための重要な手がかりを与えていると考えられている。宇宙線加速モデルとして有力視されている DSA(Diffusive Shock Acceleration)モデルでは加速限界が電荷に比例し、加速限界に対応するエネルギー領域で化学組成の変化をもたらすため Knee 形成の一つのシナリオと考えられている。Tibet 実験は Knee 領域の化学組成測定のために、エマルジョンチェンバー (EC) とバースト検出器を用いた空気シャワーコアの観測により、陽子およびヘリウム成分スペクトルを求めた。EC は空気シャワー中心部の数 TeV 以上の高エネルギーガンマ線を捕えることにより大気深くまで侵入した陽子やヘリウムなどの軽い核成分を選別することができる。1996-1999 年に行った運動実験では約 200 例のガンマ線ファミリーevent を捕え、Knee 領域の P、He 成分はそれぞれ全粒子の 10%程度であることを示した(Phys. Lett. B, 632 (2006) 58-64)。この結果を更に高い統計精度で確認するために、バースト検出器の閾値を下げた観測を続け、P+He のエネルギースペクトル観測を行った。2007 年度にはバーストシミュレーションを進展させてその観測結果をまとめた。図 1 のように P+He スペクトルを EC の結果より約 1 桁高い統計精度で確認し、第 30 回宇宙線国際会議 (メキシコ、メリダ) に報告した。全粒子スペクトルとの比較から、ヘリウムより重い成分の割合が 1 PeV 以上の領域では全体の 70%以上を占め、エネルギーと共に増加していることを示した (図 2)。 (2) 400 台の新空気シャワーコア検出器 (YAC) の光電子増倍管からの信号計 800 チャンネルを処理するための回路モジュール開発を行った。各モジュールはディスクリミネータ、ロジック部、ADC 等から構成されており、ADC には電荷時間コンバータ MQT300A を使用し、ロジック部には FPGA を用いている。今年度は CAD を用いて回路基板の製作を行った。これらの結果を踏まえて最終的な回路モジュールの製作、性能評価をする予定である。

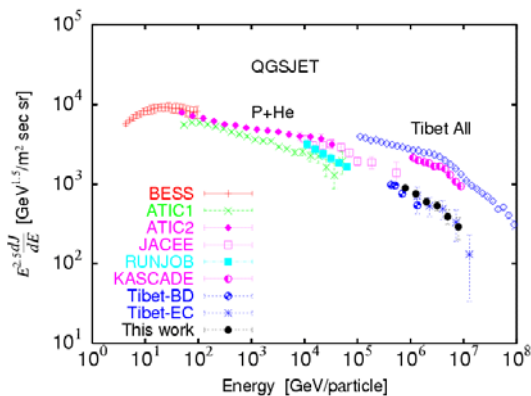


図 1：空気シャワー観測装置とバースト検出器との連動実験により測定された陽子+ヘリウム成分のエネルギースペクトル（●印）。従来の結果（Tibet-EC）を約 1 桁高い統計精度で確認した。（相互作用モデルは QGSJET を使用）

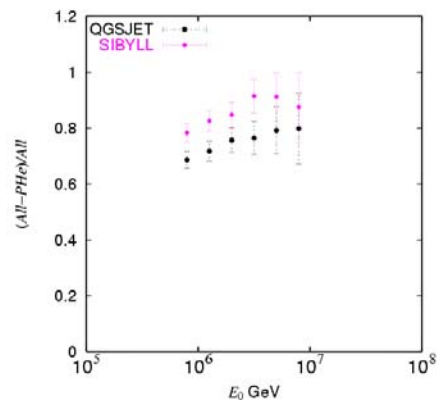


図 2：ヘリウムより重い原子核成分が全粒子中に占める割合。QGSJET と SIBYLL による相互作用モデル依存があるが、Knee 領域では重い原子核成分が主要であることを示している。

● 19 年度発表論文

(1) Analysis of primary cosmic ray proton and helium components at the knee energy region with the Tibet hybrid experiment.

30th International Cosmic Ray Conference Merida (2007) OG.1.2

(2) Chemical composition of cosmic rays at the knee measured by the Tibet air-shower-core detector.

30th International Cosmic Ray Conference Merida (2007) OG.1.2

(3) The all-particle spectrum of primary cosmic rays in the wide energy range from 10^{14} to 10^{17} eV observed with the Tibet-III air-shower array.

Astrophysical Journal, 2008 (in press)

● 19 年度学会発表

(1) 日本物理学会 第 62 回年次大会（北大） 2007 年秋

Tibet 空気シャワーアレイによる TeV 領域の γ 線起源空気シャワーのエネルギー決定

(2) 日本物理学会 第 63 回年次大会（近畿大） 2008 年春

TibetIII array により観測された Knee 領域空気シャワーサイズスペクトルの天頂角依存

整理番号

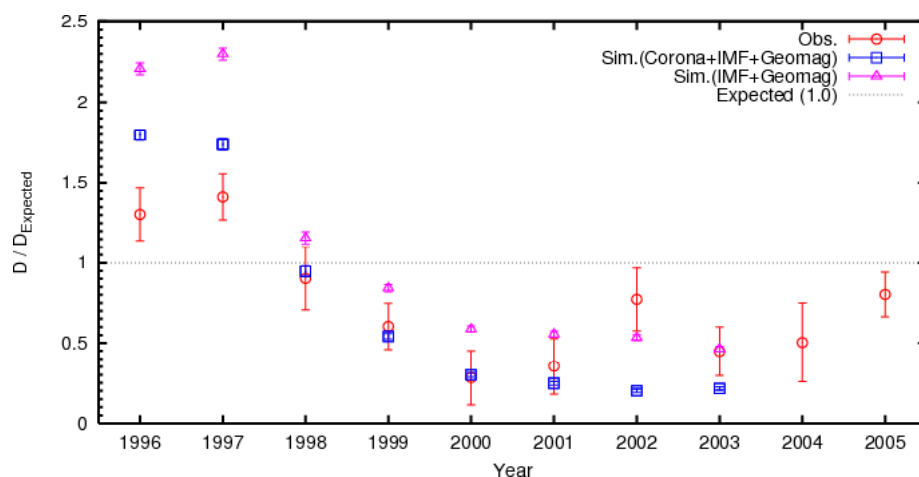
平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：宇宙線による太陽の影を用いた太陽周辺磁場の時間変動の研究
英文：A study on variation of interplanetary magnetic field with the cosmic-ray shadow by the sun.

研究代表者	国立情報学研究所	准教授	西澤 正己
参加研究者	甲南大学 理工学部	教授	山本 嘉昭
	甲南大学 理工学部	教授	梶野 文義
	信州大学 理学部	教授	宗像 一起
	信州大学 理学部	M2	松本 矩尚
	東京大学 宇宙線研究所	助教授	瀧田 正人
	東京大学 宇宙線研究所	研究員	塩見 昌司
	東京大学 宇宙線研究所	研究員	川田 和正

研究成果概要

昨年度は太陽活動サイクル23の静穏期から活動期および静穏期への移行期の1996年から2005年にかけてチベット空気シャワー観測装置で取得されたデータと観測に基づく太陽光球磁場をRFモデルとして考慮したシミュレーションによる太陽の影の比較をおこなった。図中の(Obs)は1996年から2005年にかけての、観測による視半径3度以内の欠損量をその太陽の視半径とバックグラウンドのデータ密度から計算された期待値との比で示したものである。この図より10TeV 領域の宇宙線中に生ずる太陽の影は静穏期では期待値よりやや大きい欠損値となることがわかる。また、活動期では活動状況により期待値よりかなり少ない欠損値となっている。これに対して、シミュレーションにおいては、コロナ磁場(RF-モデル)の影響を見るために、コロナ磁場を考慮した結果(Coronal+IMF+Geomag)とこれからコロナ磁場を無視し、惑星空間磁場と地磁気の影響のみを考慮した結果(IMF+Geomag)の2種類をおこなった。ただし、RF-モデルのための太陽光球磁場の入手の問題よりシミュレーションの計算は1996年から2003年までとなっている。この結果より、惑星空間磁場は欠損量を大きくする(太陽の見かけを大きくする)方向に働き、コロナ磁場は欠損量を少なくする(影を散乱して薄くする)方向に働くことがわかった。コロナ磁場を考慮したモデルによるシミュレーション結果はほぼよい一致を示しており、影の中心の位置の問題とともに今後の静穏期における結果に期待が持たれる。



整理番号

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：チベット空気シャワーアレイによる 10TeV 宇宙線強度の恒星時日周変動の観測
英文：Sidereal daily variation of ~10TeV galactic cosmic-ray intensity observed by the Tibet air shower array

研究代表者 信州大学理学部教授・宗像一起
参加研究者 信州大学理学部准教授・安江新一、信州大学理学部准教授・加藤千尋
信州大学名誉教授・森 寛、信州大学大学院生・伏下 哲、松本矩尚

研究成果概要

銀河宇宙線は、銀河系で生まれ地球で観測されるまでに、地球に最も近い恒星である太陽の活動により様々な影響を受けます。宇宙線のエネルギーが十分高いと、その強度はもはや太陽の影響を余り受けなくなり、太陽の勢力圏（太陽圏）に侵入する前の情報を保ったまま地球で観測されるようになります。例えば、高エネルギー宇宙線強度（入射数）の観測方向ごとの違い（異方性）は、太陽圏外の恒星間空間における宇宙線の流れを反映しており、その観測結果から太陽圏周辺の恒星間空間の物理状態を知ることが可能です。こうした観点から、我々はチベット空気シャワー観測装置で観測された、10TeV 宇宙線強度の異方性を研究しています。

チベット実験グループは、10TeV 宇宙線強度を赤経・赤緯の2次元マップにプロットすることに成功しました。異方性が小さいため、この2次元マップを導くためには様々な工夫が必要です。この結果はチベット実験グループが世界に先駆けて導くことが出来た貴重な結果です。

得られた2次元マップをみると、幾つかの細かな特徴とともに、異方性には大まかな様相が見られます。我々は、これらの特徴が太陽圏周辺の恒星間空間磁場の構造に由来するものと考え、現在その構造の特定に取り組んでいます。太陽圏は局所星間雲（LIC: Local Interstellar Cloud）と呼ばれる半径3パーセク程度の雲に取り囲まれており、太陽はLICの境界近くに位置していると言われています。もしLICがごくゆっくりと膨張していて、LIC内部の空間が恒星間空間磁場によって囲まれていると、LIC外部の宇宙線は内部に浸透できず、宇宙線強度はLIC内部で外部より低くなっていることが考えられます。我々はチベット実験による2次元マップの大まかな様子が、こうしたモデルで上手く再現できることを示しました。それによると、LIC中心付近の宇宙線強度は外部に比べて数10%程度低くなっていると考えられます。こうしたモデリングによって、高エネルギー宇宙線強度の2次元マップから磁場構造を導くことが出来れば、他の観測からは得ることのできなかった貴重な情報を導くことが出来ると期待されています。

研究業績論文：

- M. Amenomori et al., “Large-scale sidereal anisotropy of galactic cosmic-ray intensity observed by the Tibet air shower array”, *Astrophys. J. Lett.*, Vol.626, L29-L32 (2005).
- M. Amenomori et al., “Anisotropy and corotation of galactic cosmic rays”, *Science*, Vol.314, 439-443, 2006.
- K. Munakata, S. Yasue, C. Kato, S. Mori et al., “On the upper limiting energy of the solar diurnal anisotropy of galactic cosmic ray intensity”, *Advances in Geosciences*, eds. W. H. Ip and M. Duldig (World Scientific Publishing Co., USA), Vol.2, pp.125-134, 2006.
- Guillian et al., “Observation of the anisotropy of 10TeV primary cosmic ray nuclei flux with the Super-Kamiokande-I detector”, 75, 062003-1~17, 2007.
- M. Amenomori et al., “Implication of the sidereal anisotropy of ~5 TeV cosmic ray intensity observed with the Tibet III air shower array”, *AIP Conf. Proc.*, 932, pp283-289, 2007.
- H. Washimi, G. P. Zank, Q. Hu, T. Tanaka, K. Munakata, “A forecast of the heliospheric termination-shock position by three-dimensional MHD simulations”, *Astrophys. J. Lett.*, Vol.670, L139-L142, 2007.

整理番号

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：エマルジョンチェンバーによる高エネルギー宇宙線電子の観測 英文：Observation of high-energy cosmic-ray electrons with emulsion chambers
研究代表者 青山学院大学理工・助教・小林 正 参加研究者 芝浦工業大学システム工・准教授・吉田健二、神奈川大学工・教授・立山暢人、神奈川県立保健福祉大学・講師・古森良志子、ISAS/JAXA・大気球センター招聘研究員・野中直樹、ISAS/JAXA・大気球センター招聘研究員・河田二郎、宇都宮大学教育・教授・佐藤禎宏、宇都宮大学工・博士後期3年・大森理恵、東京大学宇宙線研・助教・大西宗博、東京大学宇宙線研・技官・小林孝英、東京大学・名誉教授・湯田利典、東京大学・名誉教授・西村 純
研究成果概要 宇宙線の源(超新星残骸)や銀河内伝播を調べるためにエマルジョンチェンバー(ECC)を用いて高エネルギー宇宙線電子の気球観測を行っている。ECCによる1TeV領域までの宇宙線電子の観測値は拡散モデルを用いた太陽系近傍の宇宙線の源(Vela等)から期待されるスペクトルと似た傾向を示している(小林 他, 2004, ApJ. 601, 340)。1TeV領域の電子は陽子の0.1%以下と非常に少ないため、電子と陽子の弁別が良く、有効幾何学的因子の大きいECC($S\Omega \sim 0.4\text{m}^2 \cdot \text{sr}$)を用いた長時間気球観測が必要である。1TeV領域までの電子を高精度で測定し宇宙線の源の同定を行うため、ISAS/JAXA大気球観測センターが次世代用に開発している長時間飛翔スーパープレッシャー気球 PBJ300-1 号機(満膨張体積は30万立方メートル)にECCを搭載し、2007年11月20日7時33分にブラジル国立宇宙研究所の気球基地(サンパウロ州カシエラパウリスト)からPBJ300-1号機が放球された。しかし、残念ながら高度15kmで気球に不具合が生じ、気球基地から約50kmの山中にパラシュートで降下させた。ただちにヘリコプタ等で回収作業を行ったが、山中が深いことと悪天候のためECCは回収できなかった。 原子核乾板用アクリルベースの下塗、原子核の塗布とECCの組立ては東大宇宙線研のエマルジョン実験用設備を使い行った。今後は更に性能を高めたスーパープレッシャー気球を用い、地球を半周する長時間気球観測を行いたいと計画している。  スーパープレッシャー気球 PBJ300-1号機のカス充填中
整理番号

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：超高エネルギーガンマ線のオーストラリアにおける観測 英文：Observation of very-high-energy gamma-rays in Australia
研究代表者	森 正樹（東京大学宇宙線研究所）
参加研究者	木舟正、榎本良治、吉越貴紀、大石理子、木内隆太、湯川洋平（宇宙線研）、谷森達、窪秀利、片桐秀明、土屋兼一、株木重人、中森健之、東悠介、水上拓（京大理）、郡司修一、門叶冬樹（山形大理）、柳田昭平、吉田龍生、鈴木俊孝（茨城大理）、村木綏、松原豊（名大 STE 研）、水本好彦（天文台）、原忠生、内藤統也（山梨学院大）、西嶋恭司、河内明子、櫛田淳子、坂本由起子、斎藤浩二（東海大理）、梶野文義、林清一（甲南大）、村石浩（北里大医療衛生）、片桐秀明（広島大理）原敏（茨城県立医療大）
研究成果概要	平成 15 年度末にオーストラリア・ウーメラに完成した 10m チェレンコフ望遠鏡 4 台により、南天ガンマ線天体の観測をステレオ法で継続的に行っている。 本年度は、超新星残骸 1987A、超新星残骸 Vela・RX J1713.7-3946、HESS 未同定天体 J1616-508、パルサー 1706-44、パルサー連星 PSR 1259-63/SS2883、パルサー星雲 MSH15-52、Milagro 天体 J1908+06、いて座矮小銀河、銀河団 A3376、などの観測を行った。8 月の観測は軍の演習のため観測は休止した。 ステレオ観測の解析は順調に進展し、2006 年 7-8 月に HESS からの通報を受けて観測した活動銀河核 PKS 2155-304 から時間変動するガンマ線信号を得て、論文を発表した[1]。パルサー星雲 MSH15-52 からは HESS と同様に広がったガンマ線放射を観測し、論文で発表した[2]。HESS 未同定天体 J1804-216 [8]および J1303-631 [6]、超新星残骸 RX J1713.7-3946 についても広がったガンマ線信号を得て、最初の天体に対しては論文を投稿中である。 ガンマ線信号が得られず上限値を与える結果も報告している。電波銀河 Cen A と球状星団 Cen ω について[3]、および超新星 SN1987A とその周辺天体について[4]は論文で発表した。ケプラーの超新星残骸については上限値とモデル計算との比較を議論する論文を投稿中である。銀河団 Abell 3667 と Abell 4038 について[11, 14]の論文は準備中である。 [発表論文（レフェリー付き雑誌）] 1. "CANGAROO-III Observations of the 2006 Outburst of PKS2155-304", Sakamoto, Y. et al., Astrophys. J. 676, 113-121 (2008)

2. "Observation of an extended VHE gamma-ray emission from MSH 15-52 with CANGAROO-III", Nakamori, T. et al., *Astrophys. J.* 677, 297-305 (2008)
3. "CANGAROO-III Search for Gamma Rays from Centaurus A and the ω Centauri Region", Kabuki, S. et al., *Astrophys. J.*, 668, 968-973 (2007)
4. "CANGAROO-III Search for Gamma Rays from SN 1987A and the Surrounding Field", Enomoto, R. et al., *Astrophys. J.* 671, 1939-1943 (2007)

[国際会議報告]

5. "Recent results from CANGAROO", M.Mori, International Workshop on "Cosmic-rays and High Energy Universe", Aoyama Gakuin Univ., Shibuya, Tokyo, Japan, March 5-6 (2007), to be published
6. "Observation of HESS J1303-631 with the CANGAROO-III telescopes", J.Kushida et al. (OG2.2, id 320), 30th International Cosmic Ray Conference, Merida, Mexico (July 2-11, 2007), to be published
7. "Observations of extended VHE gamma-ray emission from MSH 15-52 with CANGAROO-III", T.Nakamori et al. (OG2.2, id 457), *ibid.*
8. "Observation of VHE gamma-ray from HESS J1804-215 with CANGAROO-III Telescopes", Y.Higashi et al. (OG2.2, id 477), *ibid.*
9. "Time variation of the flux of TeV gamma-rays from PKS 2155-304", K.Nishijima et al. (OG2.3, id 205), *ibid.*
10. "Detection of 2006 TeV-outburst of PKS 2155-304", Y.Sakamoto et al. (OG2.3, id 243), *ibid.*
11. "Observations of clusters of galaxies with the CANGAROO-III telescope system", R.Kiuchi et al. (OG2.3, id 829), *ibid.*
12. "Status of CANGAROO-III", M.Mori et al. (OG2.7, id 166), *ibid.*
13. "Recent Results from CANGAROO-III"-- Y.Yukawa, International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics (TAUP) 2007, Sendai, Japan (September 11-15, 2007), to be published

[博士論文]

14. "Search for TeV Gamma-ray Emission from Clusters of Galaxies with CANGAROO-III Imaging Atmospheric Cherenkov Telescopes", Ryuta Kiuchi, Doctor Thesis, University of Tokyo (2008)
15. "Study of Very High Energy Gamma-ray Emission from the Pulsar Wind Nebula in MSH 15-52 with CANGAROO-III", Takeshi Nakamori, Doctor Thesis, Kyoto University (2008)

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：カンガルーIII 望遠鏡システムによる南天ガンマ線観測 英文：CANGAROO-III observation of gamma-rays in the southern sky
研究代表者	榎本良治
参加研究者	森正樹、吉越貴紀、大石理子、木内隆太、湯川洋平、領木慎一、国澤利貴、木舟正、柳田昭平、吉田龍生、鈴木俊孝、平井庸文、村石浩、寅松千枝、原敏
研究成果概要 本年度は解析手順も確立し、ほぼ2ヶ月に1篇のペースで査読つきジャーナルに論文を投稿することができ（文献参照されたし）、非常に実りあり年度であった。次年度にはぜひ発見的な結果を示したいと考えている。	
文献 1) CANGAROO-III Search for Gamma Rays from Centaurus A and the Omega Centauri Region, S.Kabuki, R.Enomoto et al., ApJ, 668 (2007) 968-973 2) CANGAROO-III Search for Gamma Rays from SN 1987A and the Surrounding Field, R.Enomoto et al., ApJ, 671:1939, 2007 3) CANGAROO-III Observations of the 2006 Outburst of PKS2155-304, Y.Sakamoto et al., ApJ, 676:113-120, 2008 4) Observation of an extended VHE gamma-ray emission from MSH 15-52 with CANGAROO-III, T.Nakamori et al., ApJ, 677:297, 2008 5) CANGAROO-III Search for Gamma Rays from Kepler's Supernova Remnant, R.Enomoto et al., submitted to ApJ 6) Very high energy gamma-ray observations of the Galactic Plane with the CANGAROO-III telescopes, M.Ohishi et al., submitted to App 7) Observation of Very High Energy gamma rays from HESS J1804-216 with CANGAROO-III Telescopes, Y.Higashi et al., submitted for publication	
整理番号	

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：次世代 TeV 望遠鏡用鏡、及び光センサーの基礎技術開発
英文：R&D study for the next generation TeV telescopes

研究代表者 東海大・准教授 河内 明子
参加研究者 東海大・教授 西嶋 恭司
東海大・講師 櫛田 淳子
東大宇宙線研・教授 森 正樹
東大宇宙線研・大学院生 湯川 洋平
東海大・大学院生 関 篤史
東海大・大学院生 山崎 詠一

研究成果概要

TeV 程度の高エネルギーガンマ線の観測では、入射ガンマ線が大気中で起こす粒子シャワーからのチェレンコフ光を望遠鏡で集光し、望遠鏡焦点に置いたピクセルカメラによるシャワー像を用いて天体からのガンマ線を検出する。宇宙線研究所がオーストラリアに設置した CANGAROOIII プロジェクトのガンマ線望遠鏡は、1999 年に建設され、南半球観測のフロンティアとしてほぼ 10 年の安定稼働を続けてきた。しかし近年、国外の大型望遠鏡装置がガンマ線観測感度を大幅に向上させ、多くの新しいガンマ線源が発見されている。活況を示すガンマ線天文学に於いて我々は、より高感度な次世代望遠鏡の基礎開発に着手しなければならない。

より大面積となることが予想される主鏡の素材の候補としては、軽量かつ安価であることが第一条件となる。主鏡は小型鏡複数枚の複合タイプを想定し、金属を小型化が見の素材候補に業者を選定して試作を行った。チェレンコフ望遠鏡では集光量が感度と同義であり、大気散乱を考慮したチェレンコフ光スペクトルに対応する、短い波長域までの高い反射率が必要である。コストは反射率を高める磨き加工の度合いでほぼ決まる。形状加工と表面の磨き加工のバランスで反射率がどれだけ変わるか、反射率を調べるための試作品を条件を変えて作った。チェレンコフ望遠鏡は広視野なため、口径・焦点距離比が大きく、10 メートル口径の望遠鏡を小型球面鏡で構成するとすれば曲率半径は 20 メートル、球面と言うよりはほぼ平面になるため、形状加工は極めて難しい。形状加工については、安価な工程でどれだけ制御が出来るか何通りか調べた。また、耐候性のあるコーティング付き鏡の試作品を用い、条件を変えた環境試験、実際の CANGAROO 望遠鏡施設に設置した経年変化のモニターを行った。

感度向上には、光検出器の効率の上昇も鍵となる。特に主鏡サイズが 10 メートルを

越えると、主鏡面積の拡大は支持装置の急激なコスト高にも繋がる。一方で集光した光を電気信号に変換する光検出器の方の検出効率は、他分野での研究開発も進んでおり、近年進歩が見られる。検出器側の効率向上がうまく生かせれば、より安価に望遠鏡装置の感度を向上させられるかもしれない。浜松フォトニクスが開発した、MPPC (Multi-Pixel Photon Counter) の応用可能性を探るため、東海大学でテスト環境の整備を行った。MPPC はガイガーモードのアバランシェ・フォトダイオードをピクセルとしたアレイ状の素子で、常温で使用できる高検出効率の光検出器として注目されている。現在、テストベンチを作成中であり、チェレンコフ望遠鏡の応用に必須な波長依存性、ユニフォーミティ、線形性などの実測・確認を行う予定である。

整理番号

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：ステレオ観測法による銀河内 TeV ガンマ線のスペクトル観測 英文：Observation of TeV gamma-ray spectra from galactic objects
研究代表者	谷森達
参加研究者	森正樹、窪秀利、中森健之、東悠介、水上拓、中野晋太郎
研究成果概要	(1) PSR1509 およびパルサー星雲 MSH15-52 の解析、D3 の中森を中心にこの天体を解析し、約 8σ で信号を検出、Morphology、フラックスとともに HESS の結果と一致し、この天体の TEV ガンマ線放射を確定した。さらに最近の電波から MeV ガンマ線観測データまでを集積し、TEV ガンマ線派生機構を検討し、陽子加速によるガンマ線放射を否定したが、パルサー星雲の単純な電子加速理論では説明がつかないことも示した。APJ に掲載が決定。 (2) 銀河面 Un-Id の TEV ガンマ線天体に HESSJ1804-216 があり、我々はこの TEV ガンマ線天体の再確認のための観測を行い、D2 の東を中心に解析を行い、約 10σ という高統計の信号が得られた。HESS と一致した Morphology、フラックスが得られ、このガンマ線天体を確定することが出来た (図 1)。HESS より 2 年後に観測したが時間変動はなかった。現在、投稿中。 (3) 2005 年の観測では駆動中で最も古い T2 のほこりによる鏡面汚れと ADC ゲートの調整不良などが重なり、効率補正に必要な宇宙線 μ リングの取得に失敗、解析に使用できない状態になり (2005 年 10 月に鏡面水洗浄と回路修理により回復)、その間に観測した天体の解析が出来なかったが 2005 年 11 月に観測したかに星雲のデータを用いて、T2,T3,T4 台および T3,T42 台での解析を比較、どちらも 10σ 以上で正しいフラックスで解析出来ることを確認、T3,T4 を用いた 2 台での解析法をこの期間に観測された RXJ1713 に適応し、16σ という非常に高統計のデータを得た。図に示すように Morphology、フラックスも求めることが出来た。

(4) KEK と共同で昨年から開発を行っている Capacitor Array Chip を 2 回の作を行い、精度の向上を図った。現在 64 capacitor が入り 1 GHz でサンプリング出来、分解能 11bit 以上を達成した。今後は実用に向けたチップ制作に入る。

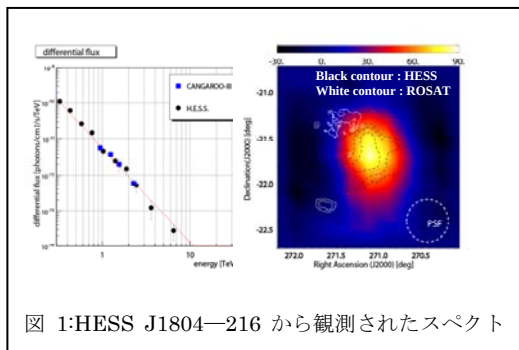


図 1: HESS J1804—216 から観測されたスペクト

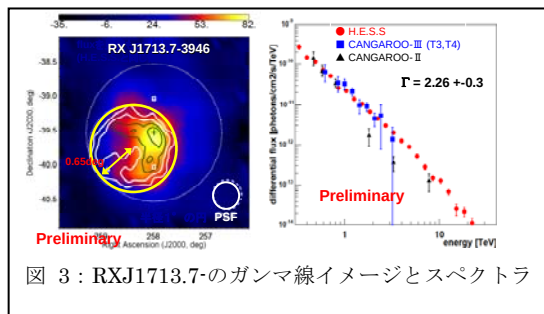


図 3: RXJ1713.7-のガンマ線イメージとスペクトラ

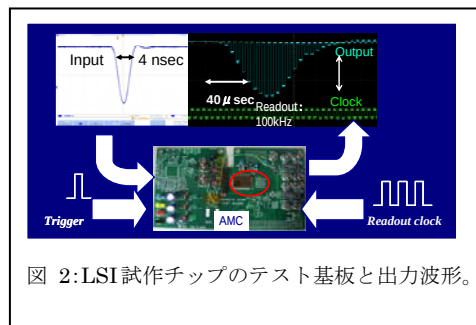


図 2: LSI 試作チップのテスト基板と出力波形。

最近の発表論文

“CANGAROO-III Search for Gamma Rays from SN 1987A and the Surrounding Field”

Enomoto, R. *et al.*, *Astrophys. J.* 671, 1939 (2007)

“CANGAROO-III Search for Gamma Rays from Centaurus A and the ω Centauri Region;”

Kabuki, S. *et al.*, *Astrophys. J.*, 668, 968-973 (2007)

“Erratum: Detection of diffuse TeV gamma-ray emission from the nearby starburst galaxy NGC 253”

Itoh, C. *et al.*, *Astron. Astrophys.*, 462, 67-71 (2007)

“CANGAROO-III Observations of the Supernova Remnant RX J0852.0-4622”

Enomoto, R. *et al.*, *Astrophys. J.*, 652, 1268-1276 (2006)

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：星生成領域からの高エネルギーガンマ線の探索と理論的研究
英文：Search and theoretical study for high energy gamma-ray emission
from star formation region

研究代表者 山梨学院大学経営情報学部 准教授 内藤統也
参加研究者 東京大学宇宙線研究所 教授 森 正樹
東海大学 理学部 准教授 河内 明子
東京大学宇宙線研究所 博士課程 湯川 洋平

研究成果概要

「未知の高エネルギーガンマ線天体の発見が期待される星生成領域」

宇宙線は陽子を主成分とする高エネルギー粒子で、1 平方メートルに毎秒 1 個の割合で地球に降り注いでいるが、地球近傍や太陽で生成されるものを除くと、宇宙線の源は分かっていない。地球から宇宙線の源を特定できないのは、宇宙線が銀河の中で複雑な経路を取り、地球まで真直ぐに飛来しないためである。一方、高エネルギーガンマ線は、直進し、地球と放射天体の間の環境により減衰はあるものの、宇宙線を生成している天体を浮かび上がらせる。とりわけ、星生成領域のような物質密度が高い領域は、宇宙線粒子だけでなく、電波、可視光、X線なども透過量が少なく、高エネルギーガンマ線が他の波長に比べて有効な観測手段であると考えられる。星生成領域内の高密度ガスに隠された中性子星、超新星残骸、大質量星などの高エネルギー天体は、高エネルギーガンマ線の観測が重要となる。

我々は、星形成領域もしくはそれに伴う高密度領域近傍からの高エネルギーガンマ線の観測可能性の研究を行った。まずは、これまでに HESS 望遠鏡で高エネルギーガンマ線が検出されながらその対応天体が明らかにされていない未同定天体について調査・検討を行い、HESS J1303-631、HESS J1804-216 の CANGAROO III による観測提案、観測データの解析、観測結果のまとめについて研究を行なった。現在、HESS J1303-631 については論文の準備中、HESS J1804-216 については論文投稿中である。今後は、この研究成果を生かし、新ガンマ線天体の発見と、星形成領域からのガンマ線放射の解明を行いたい。

参照

Observation of Very High Energy gamma rays from HESS J1804 - 216 with
CANGAROO-III Telescopes, Y.Higashi et al., submitted for publication

整理番号

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：HESS 未同定天体における TeV ガンマ線放射機構の研究
英文：Emission mechanism of TeV Gamma-rays from HESS UnID sources

研究代表者 東海大学・教授・西嶋恭司
参加研究者 東海大学・准教授・河内明子
東海大学・講師・櫛田淳子
東海大学・D3・坂本由起子
東海大学・D1・齋藤浩二
東海大学・M2・関篤史
東海大学・M1・水村好貴

研究成果概要

本研究の目的は、南半球の TeV unID 天体である HESS J1303- 631 を CANGAROO-III 大気チェレンコフ望遠鏡を用いて観測し、そのエネルギースペクトルや空間分布を調べ、他波長による観測結果と合わせて、放射天体の正体を明らかにすることであった。2006 年の 2 月から 5 月にかけて約 70 時間、平均天頂角約 37° で観測したデータを、CANGAROO-III の標準解析方法（Fisher-discriminant 法）で解析した。データリダクション後の有効観測時間は約 34 時間で、H.E.S.S.の報告している $\Gamma = 2.44$ 、拡がり $\sigma = 0.16^\circ$ を仮定した MC を用いることにより、 7.5σ の超過事象を検出することに成功した（図 1）。図 2 は F 分布を示し、緑のプロットがガンマ線事象を表している。図 3 はスカイマップで PSF に比べ明らかに広がっているようすが見える。現在、エネルギースペクトルと系統誤差の影響の見積もりを継続中である。一方、X 線では、ROSAT, Chandra により観測が行われたが、この天体からの X 線放射は認められなかった。現在、2005 年に 32 ks の観測が行われた XMM-Newton のアーカイブデータの解析を進めている。

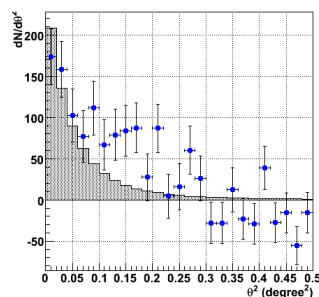


図 1

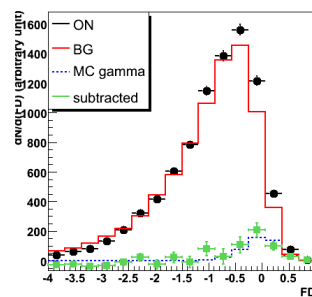


図 2

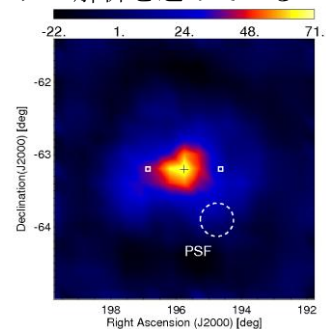


図 3

整理番号

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：ガンマ線バーストの迅速な発見、観測による宇宙形成・進化の研究 英文：Study of the formation and the evolution of the Universe with prompt observations of gamma-ray bursts
研究代表者	河合 誠之（東京工業大学・大学院理工学研究科・教授）
参加研究者	小谷太郎（東工大・COE 特任助教）、片岡淳（東工大・助教）、 谷津陽一（東工大・博士課程3年）、有元誠（東工大・博士課程1年）、 下川辺隆史（東工大・博士課程1年）、石村拓人（東工大・修士課程2年）、 Nicolas Vasquez（東工大・修士課程2年）、工藤佑允（東工大・修士課程1年）、 森正樹（東京大学宇宙線研究所・教授）、渡部潤一（国立天文台・准教授）、 福島英雄（国立天文台・研究技師）、柳澤顕史（国立天文台・助教）、 太田耕司（京大・教授）、吉田道利（国立天文台・准教授）、吉田篤正（青山学院大・教授）、黒田大介（国立天文台・研究員）
研究成果概要	本研究の目的は、平成15年度に明野観測所に設置した口径50cmの専用可視望遠鏡を用いて、衛星からのリアルタイム通報に基づくγ線バーストの可視残光を観測し、光度曲線と色の時間的変化を測ることによってガンマ線バーストの物理的機構を明らかにすること、また、GRBの正確な座標を決定して他の観測所に知らせ、発生源の赤方偏移を分光あるいは測光的に決定し、γ線バースト発生率の赤方偏移分布、さらにはそれを用いて宇宙の星形成の歴史を探ることである。本年度は、観測を継続しつつ、以下の改良を行った。 1. 自動観測の高速化。プログラムを見直し、通報受信から観測開始までの時間を短縮化した。 2. 焦点合わせの自動化。温度変化と高度角による望遠鏡鏡筒の伸縮を計測してモデル化し、自動的に補償するようにした。 3. 自動解析ソフトウェアの高度化。観測画像中から、カタログにない新天体を自動的に高い信頼度で検出するためのアルゴリズムを開発した。 4. 自動パトロール観測の導入。γ線バースト待機中に、用意した天体のリストから観測条件に適合した天体を選び出して次々に観測する機能を開発し、組み込んだ。 以上の改良を行なって観測を継続し、平成19年度中に、5つの GRB 残光の検出に成功し、GCN Circular を通じて全世界の GRB 観測者に通報した。観測開始までの時間の最短記録は、GRB 071112C に対する1分後である。また、GRB の他には、活動銀河核 3C345.3 の「すざく」(X線)および AGILE 衛星(高エネルギーγ線)との多波長同時観測を行なった。
整理番号	

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文： 第24太陽活動期における太陽中性子の観測 英文： Observation of solar neutrons in solar cycle 24
研究代表者	松原豊
参加研究者	<u>名古屋大学</u> 伊藤好孝、増田公明、塚隆志、住貴宏、山田良美、神谷浩紀、毛受弘 彰、永治健太郎、北澤恭平、田中隆之、間瀬剛、奥村卓大、渡邊泰典、福 井暁彦、古澤圭、永治舞衣子、三宅範幸、滝和也、福井謙一 <u>甲南大学</u> 村木綏 <u>信州大学</u> 宗像一起 <u>中部大学</u> 柴田祥一 <u>日本大学</u> 境孝祐 <u>山梨学院大学</u> 三井清美
研究成果概要	太陽の表面では、時々太陽フレアと呼ばれる大きなエネルギー開放現象が起ります。この太陽フレアに伴って、非常に高いエネルギーまで粒子が加速されます。本研究は、太陽フレアによって粒子が加速される機構を調べることを目的としています。また、最終的には宇宙空間で起っている粒子加速現象全体の理解につなげようとしています。 太陽表面で起っている粒子の加速機構を知るために、私たちは中性子と呼ばれる粒子を観測対象としています。中性子は電気を有していないため、太陽と地球の間にある磁場の影響を受けずに太陽から地球にまっすぐに飛んできます。そのため、中性子が発生した時間を知ることができ、電気を有した粒子（荷電粒子）を観測するよりも、より詳細に加速情報を知ることができます。しかし、中性子は地球の大気によって減衰を受けるため、太陽中性子をできるだけ効率的に検出するためには、検出器を高山に設置しないといけません。乗鞍観測所には世界最大の64m平方メートルの太陽中性子望遠鏡が設置され、太陽中性子の検出に備えています。これまでのところ、乗鞍や世界各地に設置された太陽中性子検出器によりいくつかのことがわかってきました。たとえば、2005年9月7日に起こった太陽フレアでは、正の電気を有した陽子と負の電気を有した電子とでは加速に要する時間が異なることがわかりました。また、場合によっては非常に高いエネルギーまで粒子が加速されている可能性があることもわかりました。しかしながら太陽中性子が観測されたイベント数はまだ十数例と少なく、太陽表面での粒子加速機構を解明するためにはさらにたくさんのイベントを観測する必要があります。 平成19年度、本研究では乗鞍観測所における太陽中性子観測を継続するために、1. 装置を稼動する電源の検討、2. 観測装置の点検、の二つの研究課題を行いました。

1. 装置を稼動する電源の検討について

乗鞍観測所は平成 16 年度から冬期閉鎖となったので、それに伴い太陽中性子望遠鏡の稼動電力を太陽電池と風力発電による自然エネルギーに変更しました。天候のよい日には太陽電池で、天候の悪い日には乗鞍の強風を利用して風力発電で、と相補的な効果を考えたものです。しかし、乗鞍の降雪と強風は予想していた以上に過酷で、風力発電機は一冬越すたびに故障してしまうので、平成 19 年度も宇宙線研究所の共同利用経費で風力発電機を 1 台購入しました。当初この風力発電機は平成 19 年 10 月に設置し、来る冬に備える予定でした。ところが、過去 3 年間のバッテリー電圧の時間変動を調べてみると、バッテリー電圧が低下している時期は必ずしも冬だけではなくて、梅雨時の 7 月にも低下していることがわかりました。中性子の大気中での減少を考慮すると、冬場に検出器が順調に稼動するよりも太陽高度の高い夏場に稼動することの方が重要です。従って、今回購入した風力発電機は 2008 年の梅雨時前に設置することとしました。



また現在用いているプロペラ型と比べて発電能力は低いけどこわれにくい、図に示すような「垂直軸型」と呼ばれる風力発電機の導入を現在検討中です。

2. 観測装置の点検について

乗鞍の太陽中性子望遠鏡は(1)粒子弁別機能、(2)エネルギー測定機能、(3)到来方向測定機能の 3 つの機能を有します。(1)では入射してくる粒子が中性子かそうでないかの弁別を行います。(2)は、(2-1)中性子検出+低エネルギー中性子測定部、と(2-2)高エネルギー中性子測定部とに別れます。現在、(1)、(2-1)、(3)の各部分に自然エネルギーによる電力を供給しています。平成 18 年度では(3)の方向測定部がうまく働かなかったため、平成 19 年度は Field Programmable Gate Array と呼ばれる方向論理を調べる回路の確認を行い、再度方向測定を行えるようにしました。また、(1)は 80 本の 10cm×10cm×8m の比例計数管と呼ばれる検出器、(2-1)は 64 台の各 1m² のシンチレーション検出器と呼ばれる検出器、(3)は(1)と同じ比例計数管 320 本とからなります。観測所が閉鎖されている冬場は各検出器の特性を個別に調べることはできないので、平成 19 年の夏に、現在稼動中の全検出器の特性を個別に調べました。これらは来年度も行う必要があります。今後の課題としては、(2-2)の高エネルギー中性子測定部が稼動できるように、低消費電力回路系を導入することです。このことにより、太陽表面でどこまで高いエネルギーまで粒子加速が行われているのかがわかり、粒子加速機構の解明に大きく前進します。

整理番号	
------	--

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：乗鞍岳におけるミュオン強度の精密観測 英文：Muon intensity measurement at Mt. Norikura for the space weather study
研究代表者	信州大学理学部教授・宗像一起
参加研究者	信州大学全学教育機構准教授・安江新一、信州大学理学部准教授・加藤千尋、信州大学名誉教授・森 覚、信州大学大学院生・伏下 哲、山本洋和、鳴海拓也、名古屋女子大学教授・小島浩司、東京大学宇宙線研究所技官・青木利文矩尚
研究成果概要	われわれはエネルギーの高い銀河宇宙線（銀河のかなたから飛来する放射線）を観測して、宇宙天気予報を行うことを試みています。太陽から放出された磁気雲は、やがて地球に到達すると大規模な地磁気嵐を引き起こすことが知られています。磁気雲はまわりの宇宙線を押しのけながら進むため、その後ろに宇宙線の少ない空間を作り出します。前方にあるわれわれの地球が、この宇宙線の少ない領域と磁力線でつながると、この領域から磁力線にまきつきながら地球にやってくる宇宙線は他の方向からやってくる宇宙線よりも数が少ないはずです。したがって、地球で様々な方向から飛来する宇宙線を測っていて、もし磁力線に沿った方向から来る宇宙線が少ないことが分かれば、それは磁気雲が地球に近づいている証拠となります。エネルギーの高い宇宙線はほぼ光の速度（磁気雲より300倍速い！）で運動するため、磁気雲の背後から来る宇宙線は磁気雲を追い越し、磁気雲が地球に到達するより早く地球で観測されるという点です。つまり、宇宙線を観測することで磁気雲の地球到来を予報することができるのです。我々は2003年10月に実際にこうした現象を観測することに成功しました。 こうした観測にもとづき、何時起こるとも知れない地磁気嵐の「予報」を行うには、観測機を毎日24時間連続的に運転することが必要です。しかしながら、現在乗鞍観測所は冬季閉鎖され、連続観測を行うためには独自に電力を賄い無人で運転できるシステムが必要となっていました。このため、今年度我々は太陽発電による「冬季自立運転システム」を建設しました。 発電量が限られているため、「冬季自立運転」を実現するには観測機の徹底した省電力化が必要になります。我々は、全消費電力が36Wのシステムの建設に成功しています。観測データは、自動的にマイクロ波回線を利用して無線LANで信州大学に送られ、常時リアルタイムで解析が出来るようになっております。今年度は、蓄電池の増設、電源回復後に観測が自動的に再開するシステムの開発、雪解け時期の湿度対策、等の改良を加えました。宇宙天気予報の実現を目指して、今後もシステムの改良を行って行く予定です。

【主な成果発表】

- K. Munakata, S. Yasue, C. Kato, T. Aoki, H. Kojima et al., "A "loss-cone" precursor of an approaching shock observed by a cosmic-ray muon hodoscope on October 28, 2003", *Geophys. Res. Lett.*, Vol.32, L03S04-1~4, 2005.
- K. Munakata, S. Yasue, C. Kato, Z. Fujii et al., "CME-geometry and cosmic-ray anisotropy observed by a prototype muon detector network", *Adv. Space Res.*, Vol.36, pp2357-2362, 2005.
- K. Munakata, S. Yasue, C. Kato et al., "On the cross-field diffusion of galactic comic rays into an ICME", *Advances in Geosciences*, eds. W. H. Ip and M. Duldig (World Scientific Publishing Co., USA), Vol.2, pp.115-124, 2006.
- T. Kuwabara, K. Munakata, S. Yasue, C. Kato et al., "Real-time cosmic ray monitoring system for space weather", *Space Weather*, Vol.4, pp.S08001-1~10, 2006.

整理番号

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：ポリイミドフィルムの宇宙線に対する耐性の研究

英文：A Study of the Radiation Damage to Polyimide film

研究代表者 神奈川大学工学部教授 立山暢人

参加研究者 神奈川大学理学部教授 大石富士夫

東大宇宙線研准教授 瀧田正人

研究成果概要： ポリイミド(PI)は分子内主鎖骨格にイミド結合を有する高分子化合物で、耐熱性、耐摩擦性、機械特性に優れ、広い温度範囲で物性変化が少ないことから、宇宙開発用部品や電子・電気部品に使用されている。本実験は、乗鞍宇宙線観測所の屋内、屋外にPIフィルム[PMDA系PI(Kapton type [K], APICAL type[A]), BPDA系PI(PI(BPDA/ODA, s-BPDA/PDA))、及び発泡体をおき、宇宙線・紫外線等山の自然環境によるフィルムの変化を調べることを目的とする。資料は①引張強度試験②顕微鏡 IR(赤外吸収スペクトル、ATR法)③色差測定(L*a*b*)④光沢度測定(鏡面反射)⑤VMS(ビデオマイクロスコープ・表面観察)⑥UV-VISなどの方法で解析する。以下に解析結果の一部を示す。

1) 引張強度変化の結果

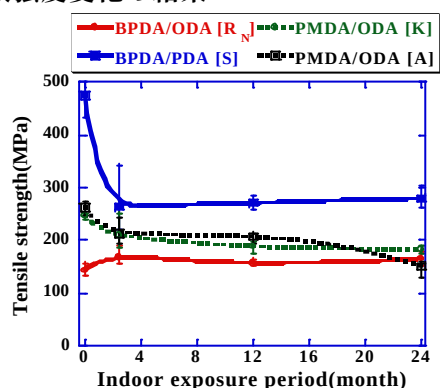


Fig. 1 Changes in tensile strength with indoor exposure period.

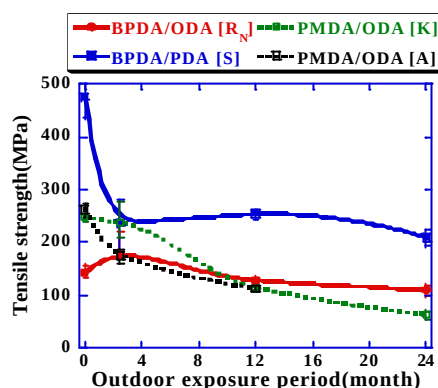


Fig. 2 Changes in tensile strength with outdoor exposure period.

2) 伸び率変化試験の結果

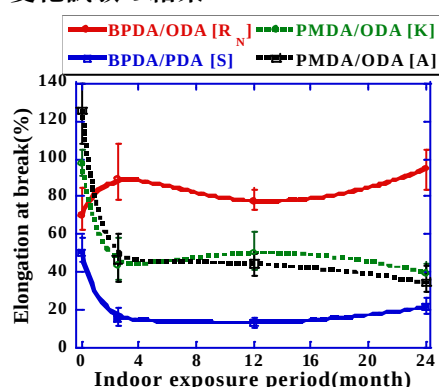


Fig. 3 Changes in elongation with indoor exposure period.

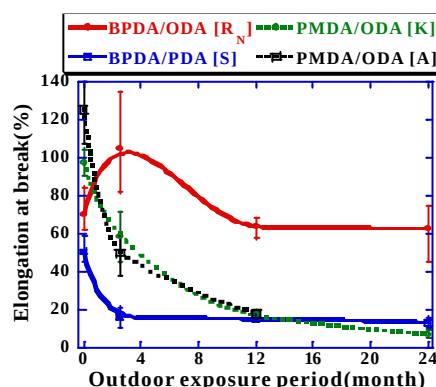


Fig. 4 Changes in elongation with outdoor exposure period.

BPDA系PI[R_N], [S]はPMDA系PI[K], [A]と比較して強度・伸びの増減が暴露初期のみで、それ以降比較的安定して強度の減少傾向は緩やか。BPDA系PI[UPILEX®-R_N]が安定していることが判った。現在、発泡材について解析している。

整理番号

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：雷活動時における放射線強度変動に関する研究
英文：Observation of Energetic Radiation Associated with Lightning Activity at Norikura Observatory

研究代表者 原子力機構・研究主席 鳥居建男
参加研究者 高工研・教授 佐々木慎一、同・助教 萩原雅之
放医研・チームリーダー 保田浩志、同・研究員 矢島千秋

研究成果概要

日本海沿岸で発生する冬季雷活動時に放射線量率の変動を観測している。また、雷雲中での放射線挙動についてモンテカルロ計算を行った結果、冬季雷では雷雲高度が低いことから、雷雲電界により多数の逃走電子が生成され、電磁シャワーが発生することが分かった。通常の夏季雷の場合、雷雲高度が高いため地上まで達せず、観測結果と符合することが分かった。山岳地域では、夏季雷においても雷雲高度と観測地の距離が短いことから、これまでも雷活動に伴う放射線変動が国内外で報告されている。

本研究では、冬季雷で得られた成果をもとに測定器の改良整備を行い、山岳雷活動中における放射線挙動について調査した。



1. 測定方法

比例計数管（長さ 2.5m、直径 10cm、PR ガス充填）3 基とコントロール用計数管 1 基を観測所屋内に設置して観測を行った。3 基の比例計数管には異なる遮蔽を施し、エネルギー特性を調査した。また、NaI 検出器、NE-213 検出器、BF₃ 検出器を用いてガンマ線、中性子挙動の観測も行った。また、屋外に電場計（Field Mill）を設置し、雷活動を監視した。

観測は、7 月 28 日～9 月 21 日の 2 ヶ月間実施した。

2. 測定結果

これまでの調査の結果、降雨によるラドン崩壊生成物によると考えられる放射線変動のみであり、いずれの検出器とも雷活動に起因すると考えられる有意な変動は認められなかった。冬季雷では数 MeV 以上のエネルギー領域でのガンマ線レベルの変動が観測されているが、これまでのところ山岳雷ではこのエネルギー領域での変動は得られなかったことから、冬季雷とは異なる挙動を示している可能性が考えられる。今後、低エネルギー領域での観測を含めて調査、解析する必要がある。

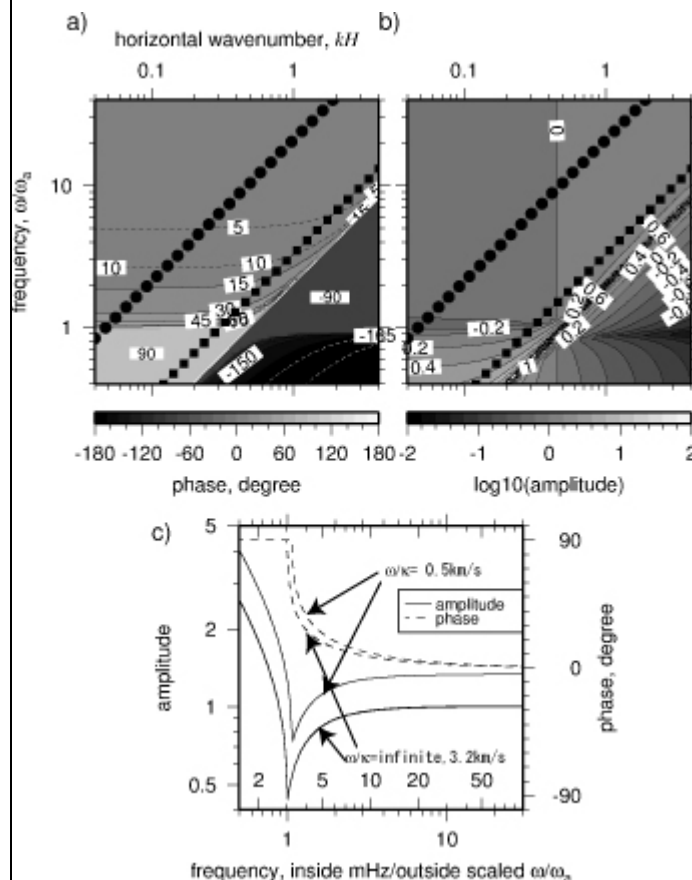
整理番号

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：高地における連続微気圧観測
英文：Continuous observation of microbarographs at high mountain

研究代表者 綿田辰吾
参加研究者 西田 究

研究成果概要



大気は固体地球を下端として存在している。そのため、下端が地動や海面変動により時間変化すると大気下端から大気側に波や境界波が発生する。2003年十勝沖地震時に、大気下端が地表を伝播する地震波の表面波により揺すられ下端大気中に圧力波が発生していることが、地震観測点に設置した微気計記録から明らかとなった (Watada et al. 2006)。地表変位速度と発生した大気圧変動の間には比例関係が成り立ち、その比例定数は大気波動線形運動方程式から導かれる。地震波は大気音波より一桁速い速度だが、津波は大気音波よりも遅く伝播する。下端の変形の水平位相速度が音速より速い場合と遅い場合、大気はどのように応答するだろうか。下端の変形の周期がacoustic cut-off 周期よりも長い場合と短い場合、またbuoyancy周期よりも長い場合と短い場合でそれぞれ大気の応答が異なると予想される。等温大気について、下端で発生する圧力変動の位相と振幅を、下端境界の周波数と波数を独立変数として表現に成功した。

音波を含んだ密度成層する等温大気の線形運動方程式から、任意の方向を向いた平面波を仮定し、下端での圧力変動と下端の上下変位速度の比を、密度成層する大気中の波動の分散関係を利用して下端境界の波数と周波数の関数として表現する。鉛直方向に伝播可能な波動は、下端から上方へ伝わる群速をもつ波動のみを許すような鉛直方向波数を選んでいる。

の分散関係を利用して下端境界の波数と周波数の関数として表現する。鉛直方向に伝播可能な波動は、下端から上方へ伝わる群速をもつ波動のみを許すような鉛直方向波数を選んでいる。

[結果]

大気下端での圧力変動 p' と上下変動速度 w の比 z を、下端の水平方向端数 k と角周波数 ω の関数で表現する。等温大気の音速 c と下端での大気密度 ρ_o で規格化している。密度成層スケールを H 、 ω_a を acoustic cut-off 角周波数、 g を重力加速度、 m を鉛直方向端数とすると、下端速度と圧力の応答関数は以下のように表現される

$$z = \frac{p'}{\rho_o c w} = \frac{2\omega / \omega_a}{\left(\frac{\omega^2}{\omega_a^2} - 4k^2 H^2 \right)} H \left(D(m) + i \left(\frac{1}{2\rho_o} \frac{d\rho_o}{dz} + \frac{g}{c^2} \right) \right), \quad \text{ここに}$$

$$D(m) = \begin{cases} \sqrt{m^2} & \text{for } m^2 \geq 0 \text{ and } \omega > ck \\ -\sqrt{m^2} & \text{for } m^2 \geq 0 \text{ and } \omega < ck \\ i\sqrt{m^2} & \text{for } m^2 \leq 0 \end{cases}$$

$$m^2 = k^2 \left(\frac{N^2}{\omega^2} - 1 \right) + \frac{\omega^2 - \omega_a^2}{c^2}$$

整理番号

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：高山植物の生理生態的機能と環境形成作用
英文：Ecophysiological studies of alpine plants

研究代表者 東邦大学・理・教授 丸田恵美子
参加研究者 京都府立大・農・教授 池田武文

研究成果概要

乗鞍岳高山域のハイマツ帯に分布するハイマツ (*Pinus pumila*) と亜高山帯からハイマツ帯への移行帯に分布するオオシラビソ (*Abies mariesii*) の針葉は、特に春先の4～5月に褐変化が見られる。褐変化は冬期に積雪面上に突き出て強風にさらされた部分で著しい。そのため、樹型が偏形したり樹木そのものの衰退が生じている。このような状況が温暖化の進行によって、一段と促進され、高山域の植生が大きく変化する可能性がある。本研究ではこれら2種の針葉の褐変化の原因を解明する研究一環として、針葉の解剖学的観察をおこなった。針葉のクチクラ層の厚さと損傷の状況を光学顕微鏡で観察・測定した。ハイマツは積雪量が多く樹高が高い場所、少ない場所、中間の場所に生育する個体から当年葉を用いた。オオシラビソは冬期に積雪面上に突き出た部分と積雪面下の当年葉、2年葉、4年葉、6年葉を用いた。

①ハイマツのクチクラ層は1～3 μm と薄く、損傷しているが、オオシラビソのクチクラ層は3～7 μm と厚く、ハイマツのような損傷はなかった、②ハイマツは E 地点のクチクラ層が他地点より薄く、全生育場所では越冬後厚くなる傾向があった。オオシラビソは当年葉が他年葉より薄く、クチクラ層の形成には2年を要する。上部と下部では厚さに違いはなかった、③損傷は、全生育場所、全月、全部位で同程度であった、④損傷の有無で、クチクラ層の厚さに違いはなかった、⑤針葉の色の違いで、クチクラ層の厚さに違いはなかった、⑥針葉はどの色でも同程度の割合で損傷していることがわかった。以上から、ハイマツとオオシラビソのクチクラ層の厚さと損傷状態は明らかに異なっていることがわかった。ハイマツは、損傷に加え、各生育場所の針葉のクチクラ層の厚さの違いが褐変化の原因にかかわると考えられる。従って、ハイマツはクチクラ層が薄いことと損傷が褐変化の原因のひとつであるが、オオシラビソは損傷以外の他のストレスが褐変化を引き起こすのではないかと考えられる。他の要因としては、我々のこれまでの研究で示した強光障害が重要である。

整理番号

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：乗鞍岳における雲とエアロゾルの相互作用の研究 英文：Studies on the interactions between clouds and aerosols at the observatory of Mt. Norikura
研究代表者	名古屋大学大学院環境学研究科・教授・柴田 隆
参加研究者	名古屋大学大学院環境学研究科・修士 1 年・圓若和樹 名古屋大学大学院環境学研究科・修士 1 年・楊 芸
研究成果概要	本研究の目的は、雲の直接観測に好適な乗鞍岳観測所において、雲とエアロゾルの相互作用を測定・観測することである。このため、LD パルスレーザを用いた小型ライダーである VAISALA 社の Ceilometer (CT25K) を乗鞍岳の東京大学宇線観測所（標高 2870 m）に設置し霧（雲）とエアロゾルの高度分布を連続的に観測した。観測は 2 分間隔で行い、地面から海拔 10.4 km（地表面から 7.5 km）の高度までを 30 m の距離分解能で観測した。CT25K は夏季、2007 年 8 月 7 日に設置し、9 月 21 日に撤収した。途中装置不調のため実際の観測期間は 2007 年 8 月 7 日から 9 月 9 日までである。 約一ヶ月間の観測の内、後半の 2 週間は天候が不順で、地表付近に霧がかかる期間が長く続き、意味のあるデータを得ることができなかった。これは霧が存在する場合は、霧粒子からの後方散乱光が卓越しエアロゾルの存在を捕らえることができないためである。残り半分のデータからは、地表付近の霧が消えた直後にエアロゾル粒子が残る、もしくはエアロゾル粒子があったところに霧が現れる、というような霧とエアロゾルの関連を示唆するようなデータが得られており。この間の関係のより詳しい解析を進めている。 計画ではライダー観測と同時にエアロゾル、霧の光学粒子計数機による粒径測定やサンプリングによる化学成分分析を行う予定であったが、残念ながら諸般の事情により実施することができなかった。
整理番号	

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：ポリビア空気シャワー共同実験

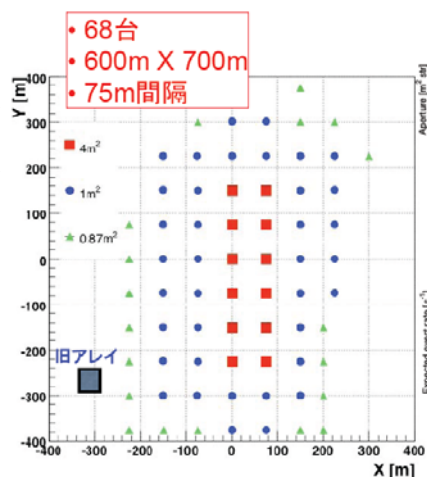
英文：BASJE (Bolivian Air Shower Joint Experiment)

研究代表者 東工大理・教授・垣本史雄,

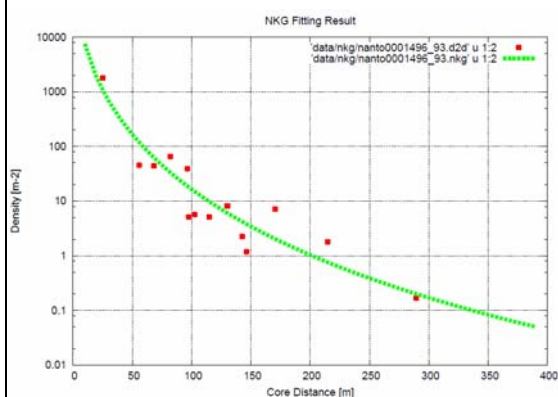
参加研究者 愛媛大・名誉教授・吉井尚, 東工大理・助教・常定芳基, 大阪市大・准教授・荻尾彰一, 名大S T E研・准教授・松原 豊, 国立天文台・教授・水本好彦, MPI・教授・手嶋政廣, 岡山大・名誉教授・金子達之助, 神戸大・名誉教授・豊田好男, 理研技術部・技師・田島典夫, 理研技術部・技師・山田 豊, 理研技術部・技師・霜田 進, 国立天文台・助教・白崎裕治, 武蔵工大・講師・門多顕司, 宇宙線研・研究員・得能久生, 東工大理・M2・松本英高, 東工大理・M1・菅原利弘

研究成果概要

現在の研究目的は、 10^{16}eV 以上のエネルギー領域における一次宇宙線の核組成を決定し、核組成の急激な変化から銀河系内宇宙線の加速限界を確定し、銀河系内における高エネルギー宇宙線の起源を解明することにある。このため、本共同利用費と科学研究費の援助を受け、右図に示す新空気シャワーアレイの建設に取りかかった。平成19年度半ばにほぼ完成し、予備実験を開始した。使用する検出器、信号ケーブルなどの大部分は旧来から使用していたものを用いているため、予想以上のノイズが信号に乗っ



ているため、観測を続行しつつ改良を行う必要がある。特に信号ケーブルの更新が不可



欠であり、平成20年度中を目処に、準備を進めている。そのほかのデータ収集系のハードウェアとソフトウェアは、順調に稼働していることを確認している。左図は、観測で得られたイベントの横方向分布の一例を示す。素解析で $E=10^{16.4}\text{eV}$ となった。以後約5年間、イベントを蓄積し、等頻度法により核組成に関する結論を得、宇宙線起源の解明を行う。

整理番号

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：全天高精度素粒子望遠鏡計画 Ashra 英文：All-sky Survey High Resolution Air-shower detector Ashra
研究代表者	佐々木真人
参加研究者	東大宇宙線研・助教・浅岡陽一、技術専門職員・青木利文、D3・会田勇一、D3・奥村暁、 D2・野田浩司、D2・長南勉、M2・江口誠、M1・東悠平 神奈川大工・教授・渡邊靖志、ポストドクター・増田正孝 東工大理工・D3・安田雅弘 東邦大理・准教授・小川了、教授・渋谷寛、D2・森元祐介、M1・渡辺由以 千葉大環境・教授・久世宏明、M2・山口陽平、M1・篠宮浩平 茨城大工・准教授・木村孝之 名大理・教授・杉山直
研究成果概要	建設進行中のマウナロア観測地では、部分鏡の設置調整後、平行光線に対して 0.4 分角の RMS スポット精度が確認された。アクリル補正レンズ他、集光器全体を調整後、土星など明るい星を用いた撮像 RMS スポットは 1.2 分角である。空調によって集光器格納庫は温度を±1 度程度に保ち、光学性能を安定に保持できることも確認した。Ashra の広角高精度光学系の概念は現地で十分示されたといえる。さらに、マウナロア観測地における背景夜光の強度スペクトルも Ashra 集光器光学系を用いて測定し、HESS グループによるナミビアとラパルマにおける結果とよく一致している。この夜光測定から見積もられる Ashra 集光器 1 台の感度限界等級は、4 秒露光で 14 等、30 秒露光で 15～16 等となる。集光器 1 台あたり年 1 個の GRB 以上の頻度で衛星とのクロス観測が GRB 残光観測から期待できる。 Ashra では、新規に開発された光電撮像パイプラインと呼ばれる装置によって、継続時間がかけ離れている大気チェレンコフ光、大気蛍光、光学閃光の 3 種類の事象を独立に高感度・高精細撮像することが可能となる。光電撮像パイプラインは、解像度を落とさず、光電レンズ撮像管の出力像を高精細半導体センサーまで伝送すると共に、内蔵された近接型光電撮像管によって、輝度増倍と出力蛍光の残光による光遅延を行い、トリガー判定に足る輝度と時間の確保を実現している。光電レンズ撮像管の出力粗像をリレーレンズと光学ファイバー束(FOP)を経由してトリガー装置まで伝送する。トリガー装置はチェレンコフ光と蛍光の 2 種のトリガー系が装備され、集光器に装着された PIP から FOP にて伝送されてきた複数の粗画像を光結合分岐器によって 1 粗画像に重ね合わせ、さらに 2 系統のトリガーセンサーに分岐され伝送される。これ

によって、コスト効率の良い人間サイズの集光器を複数用いながら実効的な光収集効率を上げる。ハレアカラで、光電撮像パイプラインを試験器が 3m 径撮像型大気チェレンコフ経緯台望遠鏡に搭載し、かに星雲や Mkn501 などの天体からの TeV ガンマ線の追尾観測を行った。PMT アレイではなく、撮像管と半導体センサーの組み合わせと自律的トリガーによって、空気シャワーからの大気チェレンコフ像を撮像することに初めて成功している。観測サイトであるマウナロアで、最終的な光学系セットアップに最終的な光電撮像パイプラインのチェレンコフ光トリガを実装して、撮像試験やトリガー試験を遂行して、良好な結果を得ている。

マウナロアにおいて検出器システムの一部を用いて試験観測を行い、基礎的なデータの収集及び継続的安定稼働の実績を得た。全時間に対する稼働率は 14% と、ハレアカラの 11% より高いことも分かった。

また、マウナロアにおける本格的な建設を開始した。天頂周囲の全天 30% の領域をステレオ監視し、水平方向を含む全天 80% に対して単眼監視できるシステムの光学系及び格納庫が完成した。

現在、光電撮像系データ収集系、スローコントロール、解析計算機の設置・調整中である。

整理番号	
------	--

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：広視野高分解能望遠鏡による超高エネルギー宇宙線、TeV ガンマ線の観測
英文：Observation of UHE cosmic-rays and TeV gammas with the Ashra detector

研究代表者

神奈川大学工学部 渡邊靖志

参加研究者

宇宙線研究所・准教授 佐々木真人

宇宙線研究所・助教 浅岡陽一

東京工業大学・D3 安田雅弘

研究成果概要

宇宙線研の佐々木氏、浅岡氏を中心に $42^{\circ} \times 42^{\circ}$ の広視野と 1 分角の高分解能を誇る望遠鏡が開発・建設された。完成した望遠鏡は順次ハワイ島マウナロア山に設置された。全天を高い分解能で常時（夜間のみではあるが）観測できる装置は他には例がないため大きな成果が期待される。この望遠鏡を用いて、超高エネルギー宇宙線の観測および新たな TeV ガンマ線天体発見等を目指している。

平成 19 年度には建設・据付・調整がほぼ終わり、較正のためのデータや予備的なデータを取得し、その性能を確認した。

一方、東工大 D3 の安田君はファインセンサープロトタイプの虫出し、不具合の原因究明などを行った。

本年度はいよいよ本格観測が開始される。成果が大いに期待される。

整理番号

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：全天監視高精度宇宙線望遠鏡のための光ファイバーを用いたイメージ伝送系の開発
英文：Development of optical fiber image transfer system for Ashra detector.

研究代表者 東邦大学理学部・准教授・小川 了
参加研究者 東邦大学理学部・教授・渋谷 寛
東邦大学理学部・院生・森元 祐介
東邦大学理学部・院生・渡辺 由以
東邦大学理学部・学生・石川 巨樹
東京大学宇宙線研究所・助教授・佐々木 真人
東京大学宇宙線研究所・助手・浅岡 陽一
東京大学宇宙線研究所・助手・青木 敏文

研究成果概要

本研究では、全天監視高精度宇宙線望遠鏡（Ashra）のためのトリガー用イメージ伝送系に用いる光ファイバーバンドルの製作方法の開発を行った。Ashra では、高視野高精細のセンサーイメージに対し、高速の部分トリガー信号を生成することで、宇宙線による空気シャワーイメージの高速撮像を可能にしている。東邦大学では専用のプロジェクト室（図1）を用意し、ファイバーバンドルの量産体制を整えた。専用巻取装置により、フューバーシートの製作を行った。シートの積層方法の開発を行い、厚みの制御を行うことにより要求どおりのバンドルが製作可能な見通しがついた（図2）。改良を加え量産を始めたい。また、複数の集光器からのトリガー用イメージを合成するための光結合分岐器の開発にも着手した。



図1．プロジェクト室

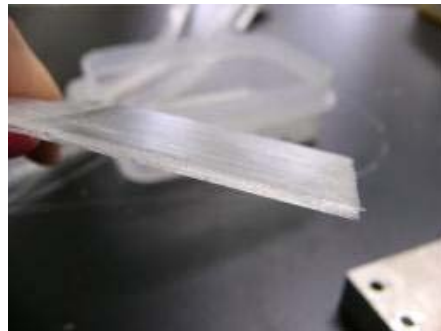


図2．積層バンドル

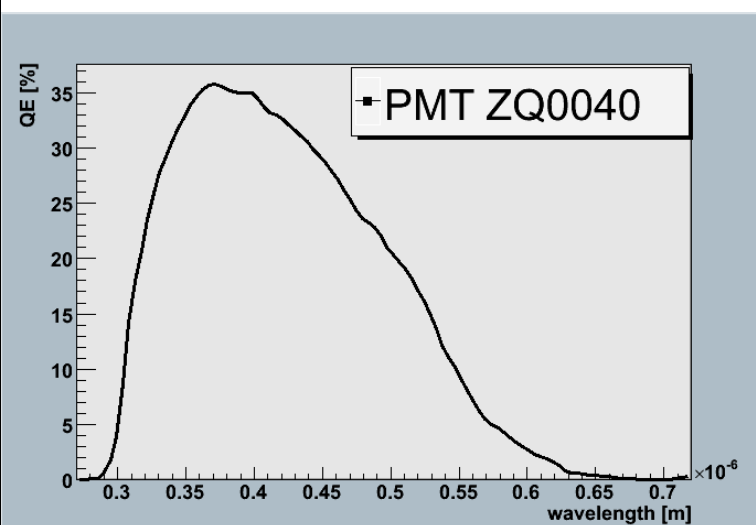
整理番号

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：IceCube 観測実験用チェレンコフ光モジュール (DOM) 絶対較正
英文：Absolute calibration of the optical detector module for the IceCube experiment

研究代表者 千葉大学理学部物理学科助教授 吉田 滋
参加研究者 千葉大学理学部物理学科助教授 河合 秀幸
千葉大学理学部物理学科助手 間瀬 圭一
千葉大学自然科学研究科修士課程2年 稲場未南

研究成果概要



新しいスーパーバイアルカリ光電面をもつ PMT の光電効率を測定した。左に測定データの例を示す。2008 年は、この新型 PMT を装填した検出器モジュールを 8 台試験的に南極氷河に埋設する予定となっている。

整理番号

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：気球観測による高エネルギー宇宙線加速天体の研究 英文：Study on High Energy Cosmic Ray Sources by Balloon Observation	
研究代表者 鳥居祥二（早稲田大学理工学術院・教授） 参加研究者 笠原克昌（早稲田大学理工学術院・客員教授）、清水雄輝（同・客員講師）、山上隆正（同・客員研究員）、田村忠久（神奈川大学工学部・助教授）、日比野欣也（同・助教授）、湯田利典（同・特任教授）吉田健二（芝浦工業大学システム工学部・助教授）、斉藤芳隆（JAXA/ISAS・助教授）、福家英之（同・助手）、倉又秀一（弘前大学理工学部・教授）、市村雅一（同・助教授）、柴田慎雄（横浜国立大学工学部・教授）、片寄祐作（同・助手）、村上浩之（立教大学理学部・実験職員）、瀧田正人（東京大学宇宙線研究所・助教授）、塩見昌司（同・機関研究員）	
研究成果概要 気球搭載型 CALET プロトタイプ (bCALET-1)による電子観測を目的として、レベルフライトで約 4 時間の観測を実施し、1 ～ 数 10GeV 領域において約 5,600 例のデータ取得を行った。電子観測の目的は、超新星爆発における電子加速モデルの定量化のために電子フラックスの測定と、10 GeV 以下における地磁気の効果を検証することである。 現在までにデータ解析は終了しており、これまで 10GeV 以上のエネルギー領域に限られていた観測を、1 GeV 領域までにエネルギー閾値を下げた観測に成功している(図 1)。この観測は、CALET における太陽モジュレーションの観測に不可欠なものであるとともに、地球磁場における一次電子フラックスの減少効果 (rigidity cut) を正確に評価する点で重要である。さらに、ガンマ線観測の性能を評価するために、東北大核理研電子ライナックの tagged photon(700 ～ 1100MeV)によるビームテストを実施して、今後の観測に必要な検出効率の評価と角度分解能についての結果を終えている。 以上の成果を踏まえて、今年度は bCALET-1 を約 4 倍の大きさに増強した b CALET-2 の製作を並行して実施した。この装置は、将来の ISS 実験での CALET の約 1/16 スケールに相当する。平成 20 年度内に装置を完成し、平成 21 年度来以降に長時間気球観測を実施して、TeV 領域での先駆的観測を目指している。 発表論文，会議 1. Y.Shimizu et al., Balloon Observation of Electrons and Gamma-Rays with CALET Prototype. Proc. of 30th ICRC (2007) 2. T.Tamura et al., Electron Spectrum in 10-100 GeV from BETS & PPB-BETS and Future Balloon Observation, Advances in Cosmic Ray Science (2008)	
整理番号	

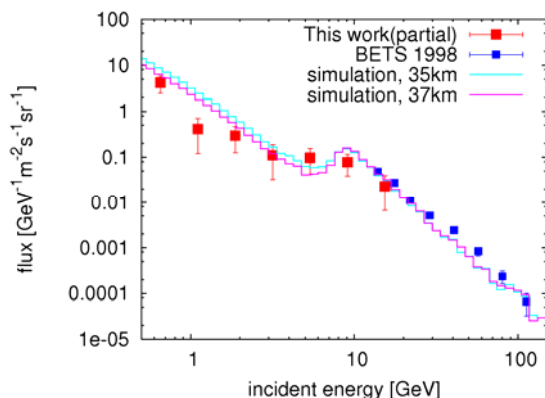
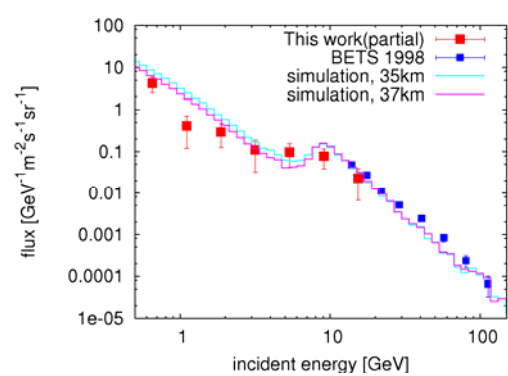


図 1: 電子エネルギースペクトルの観測結果とシミュレーション計算の比較。



平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：宇宙線将来計画のための研究会 英文：Future plan symposium for cosmic ray research
研究代表者	川上三郎（梶野文義）宇宙線研究者会議(CRC) 実行委員長
参加研究者	CRC 会員
研究成果概要	宇宙線研究所(ICRR)と宇宙線研究者会議(CRC)が共同で将来計画シンポジウムを2日間にわたって行った。内容は宇宙線分野の現状と将来を広く俯瞰するものであった。 ● 研究会名:ICRR/CRC FUTURE PLAN SYMPOSIUM ● 日程: August 28-29, 2007 ● 場所: Seminar room (601) Institute for Cosmic Ray Research, University of Tokyo (Kashiwa campus) ● 主旨: 宇宙線分野の将来計画を展望し議論する。 ● 発表件数: 14 ● 参加者数: 110 名 ● 研究会内容の公表方法: http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/information/conference/2007/symp2007Aug/index.html ● シンポジウムプログラム [August 28, 2007] 10:00-10:10 Forward Yoichiro Suzuki (Director, ICRR) 10:10-11:10 Highest energy cosmic rays Yoshiyuki Takahashi (University of Alabama in Huntsville) 11:10-12:10 High energy cosmic rays and their acceleration Tom Gaisser (Bartol Research Institute, University of Delaware)

12:10-13:30 LUNCH BREAK

13:30-14:15 **Origin and Propagation of High Energy Cosmic Rays**
(by Direct Measurements)

Shoji Torii (Waseda University)

14:15-15:15 **Very High energy gamma-rays**

Trevor Weekes (Smithsonian Astrophysical Observatory)

15:15-15:45 COFFEE BREAK

15:45-16:45 **Proton decay and related topics**

Kaladi S. Babu (Oklahoma State University)

16:45-17:45 **Neutrino physics**

Boris Kayser (Physics Division, National Science Foundation)

18:00-20:00 'Get-together' party (Kashiwa campus cafeteria)

[August 29, 2007]

09:00-10:00 **Astrophysical neutrinos**

Shigeru Yoshida (Chiba University)

10:00-10:30 **Supernova burst and relic neutrino**

Shin'ichiro Ando (California Institute for Technology)

10:30-11:00 COFFEE BREAK

11:00-12:00 **Dark matter**

Rick Gaitskill (Brown University)

12:00-12:30 **Theoretical impact of double beta decay experiments**

Morimitsu Tanimoto (Niigata University)

12:30-13:30 LUNCH BREAK

13:30-14:00 **Dark energy projects**

Hiroaki Aihara (University of Tokyo)

14:00-14:45 **Cosmogenic nuclide**

Kunihiko Nishiizumi (University of California, Berkeley)

14:45-15:15 **Cosmic rays and earth science**

Toshio Terasawa (Tokyo Institute of Technology)

Kanya Kusano (The Earth Simulator Center)

15:15-15:45 COFFEE BREAK

15:45-16:45 **Gravitational wave**

Masaru Shibata (University of Tokyo)

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：超高エネルギーガンマ線天体研究会 英文：Workshop on High Energy Gamma-Ray Astronomy	
研究代表者 茨城大学・理学部・教授 吉田 龍生	
参加研究者 東京大学・宇宙線研究所・教授・森 正樹 東海大学・理学部・講師・櫛田 淳子 東京大学・宇宙線研究所・准教授・榎本 良治 山形大学・理学部・准教授・郡司 修一 東京大学・宇宙線研究所・准教授・吉越 貴紀 山形大学・理学部・助教・門叶 冬樹 東京大学・宇宙線研究所・助教・大石 理子 甲南大学・理工学部・教授・梶野 文義 京都大学・理学部・教授・谷森 達 北里大学・医療衛生・助教・村石 浩 京都大学・理学部・助教・窪 秀利 茨城県立医療大学・嘱託助手・原 敏 山梨学院大学・経営情報学部・准教授・内藤 統也 茨城大学・理学部・教授・柳田 昭平 東海大学・理学部・教授・西嶋 恭司 東海大学・理学部・准教授・河内 明子	
研究成果概要 宇宙線研究所共同利用研究会「高エネルギーガンマ線天体研究会：将来への展望」報告 2008 年 3 月 18 日（火）10:00 から 18:10 まで、東京大学宇宙線研究所・6 階大セミナー室において、研究会「高エネルギーガンマ線天体研究会：将来への展望」を開催した。この研究会は、現時点で数十個に達した TeV ガンマ線天体の物理を睨みながら、今後の TeV ガンマ線天体物理学の展開について議論するということを目的に開催された。TeV ガンマ線天体と関係の深い、最高エネルギー宇宙線の最近の観測結果や、今年打ち上げが予定されている GeV 領域のガンマ線天文衛星 GLAST によって期待される成果なども踏まえたいという背景があった。さらに、次世代の TeV ガンマ線観測の国際共同実験 CTA や AGIS などが提案されている中で、どのような技術開発が可能か、どのような戦略で進めて行くべきかを、できるだけ広い分野の研究者を交えて議論を行い、将来計画についての継続的な議論に結びつけたいという意図をもって開かれた。 講演者（敬称略）と講演題目は、以下の通りであった。講演者は 15 人で、参加者は講演者も含めて約 50 人程度であった。なお、講演者のスライドは、以下の URL にて公開している。 http://vesper.icrr.u-tokyo.ac.jp/japanese/080318/ [User: icrr, Pass: kashiwa08] <u>CANGAROO現状</u> 中森 健之(京都大学) 「CANAROO-III の現状報告」 榎本 良治 (東京大学宇宙線研究所) 「Kepler's SNR」 他波長・関連分野との連携	

森 浩二（宮崎大学）	「すざくで見る Vela X」
深沢 泰司（広島大学）	「GLAST の現状と銀河団非熱的放射」
山本 常夏（甲南大学）	「Pierre Auger 計画による最高エネルギー宇宙線観測の展望」
佐古 崇志（東京大学宇宙線研究所）	「チベット実験の最近の結果と将来計画」
<u>理論及び将来計画への示唆</u>	
高見 一（東京大学）	「最高エネルギー宇宙線の起源の解明に向けて」
戸谷 友則（京都大学）	「MeV dark matter は必要か？」 銀河系中心 511 keV 輝線と宇宙 MeV ガンマ線背景放射」
井上 進（国立天文台）	「銀河系構造衝撃波と未同定ガンマ線源」
<u>将来計画の国際的な状況</u>	
手嶋 政廣（マックスプランク物理学研究所）	「Physics and Technologies in MAGIC and CTA」
谷森 達（京都大学）	「将来計画（CTA&AGIS）研究会報告」
<u>将来計画へ向けた技術開発</u>	
舞原 俊憲（ナノオプトニクス研究所）	「精密研削加工機による鏡面の製作」
中平 武（KEK）	「高エネルギー実験に向けた MPPC の性能評価」
水上 拓（京都大学）	「大気チェレンコフ望遠鏡の信号読み出しへの アナログメモリーセルの適用」
<u>将来計画のサイエンス</u>	
吉田 龍生（茨城大学）	「TeV ガンマ線天体物理学の展望」
研究会では、まず、CANGAROO の現状を知ってもらうため、完成から 4 年経過した解像型チェレンコフ望遠鏡 CANGAROO-III によるステレオ観測の最近の結果が報告された。超新星残骸、パルサー星雲、TeV 未同定天体、銀河中心などの銀河系内天体、銀河円盤の拡散成分、球状星団、近傍銀河における超新星残骸（SN1987A）、AGN、銀河団など、さまざまな天体からのガンマ線の信号、または、上限値が得られて来ている。次に、他波長・関連分野との連携を考えていくために、X 線、GeV ガンマ線、チベット実験、最高エネルギー宇宙線の最近結果と将来計画についての講演があった。理論家からは、ガンマ線源について新しいモデルの提案と TeV ガンマ線分野の将来計画への示唆があった。MAGIC の最近の結果の報告のあとは、CTA 計画の状況や目指すサイエンス、将来計画へ向けた技術開発について、活発に議論が交わされた。 TeV ガンマ線天体のサイエンスを追究していくために、将来計画では感度を現在の 10 倍以上に改良していくための努力が重要であることが認識できた研究会であった。銀河系内の宇宙線の起源を追求できる天文物理学の窓のさらなる確立を目指し、さらに、近傍銀河や銀河団からのガンマ線を捉え、ダークマターや量子重力という問題にも新たな窓を開くべく、今後議論を継続して行きたいと考える。	
整理番号	

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：研究会「 $E_0 > 10^{17}$ eV 領域の宇宙線相互作用研究の新実験計画の検討」
英文：Workshop on “New experiments for a study of ultra-high energy cosmic-ray interactions in $E_0 > 10^{17}$ eV”

研究代表者 近畿大学・理工学部・教授 玉田雅宣
参加研究者 青山学院大学・理工学部・教授 柴田 徹
創価大学・工学部・准教授 青木 宏
埼玉大学・理学部・教授 井上直也
山梨大学・工学部・教授 本田 建
高知大学・理学部・教授 大盛信晴
米子高専・一般・講師 越智信彰
岡山理科大学・総合情報学部・准教授 伊代野 淳
信州大学・全学教育機構・教授 美谷島 實
松本大学・総合経営学部・教授 鈴木尚通
松本大学・総合経営学部・教授 室谷 心

研究成果概要

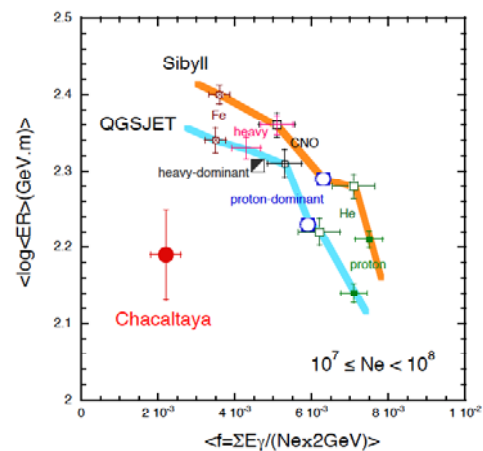
$E_0 > 10^{17}$ eV 領域の宇宙線相互作用の特徴を調べるための新しい実験計画を立案するにあたり、これまでに私達がチャカルタヤ山で続けてきた空気シャワーアレイとエマルジョン・チェンバーとの連動実験データを整理し、その問題点を明らかにした。

空気シャワー実験あるいは同様の連動実験が多くの実験グループにより行われているが、そのほとんどは宇宙線相互作用にある種のモデルを仮定したシミュレーション計算と測定データを比較することにより、スペクトル、化学組成等の結論を導いている。

様々な結論を出す前に、モデルによる計算結果が基本的な実験データ全体を説明できるかどうかをチェックする必要があるというのが私達の従来からの主張であり、私達がこれまで行ってきた連動実験データは現在用いられているモデル計算ではうまく説明できない。図はこれまでの連動実験で得られた高エネルギーガンマ線ファミリー ($\Sigma E > 10^{15}$ eV の一次宇宙線と空気原子核との核衝突に起因する高エネルギーのハドロンとガンマ線からなる粒子群) を伴う空気シャワー事例におけるファミリーエネルギーの割合とファミリーの横拡がりとの相関を示したものであるが、現在広く用いられているモデルを用いる限り、一次宇宙線の化学組成をどのように変更しても実験データを説明することができないことがわかる。

(H. Aoki et al., Proceedings-Pre-Conference Edition, 30th ICRC, Merida(2007) 0414)

このようなモデルを用いた計算との比較により導かれた一次宇宙線の化学組成などの



結論が信頼できないことは明らかであろう。また、図に示されたような結果を得るには個々の高エネルギー粒子のエネルギー、座標を精度よく測定する必要があるが、エマルション・チェンバーはこのような目的にかなった測定器だと考えられる。

このように、 $E_0=10^{15\sim 16}\text{eV}$ を超えるエネルギー領域の宇宙線相互作用は現在用いられているモデルのように、加速器データからのスムーズな延長線上にあるようなものではなく、何らかの変化が生じているものと考えざるを得ないが、はっきりとした結論を導くには実験データの数が十分ではなく、さらにその統計量を増す必要がある。

整理番号	
------	--

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：宇宙線望遠鏡実験における実時間データ解析システムの開発

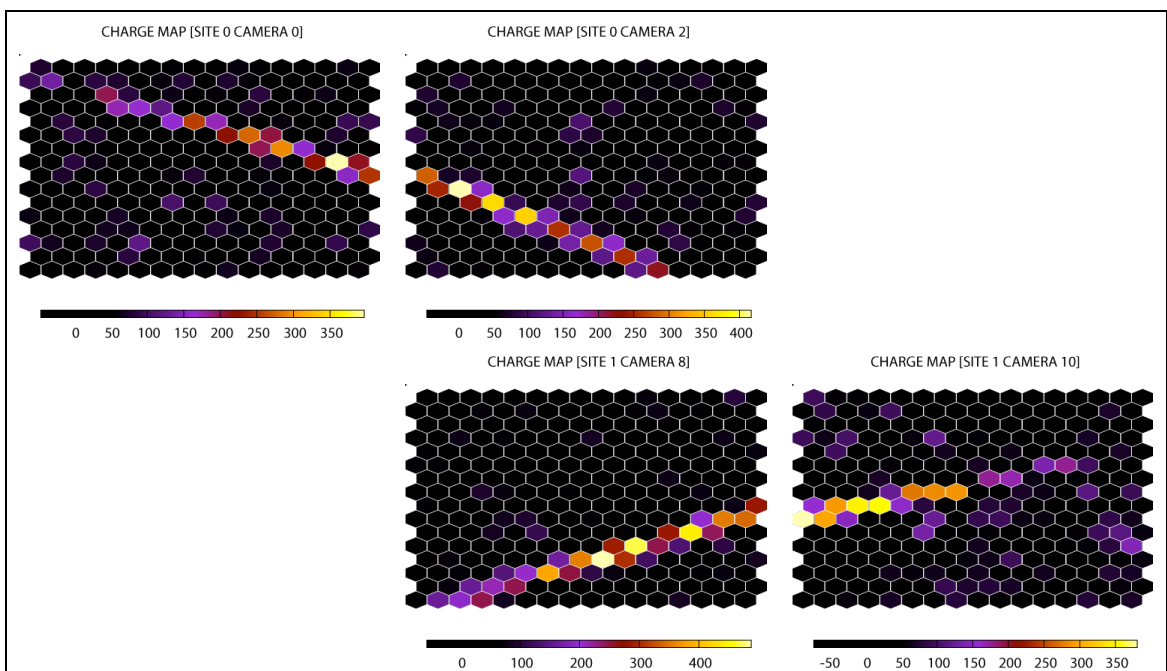
英文：Real-time data analysis in the Telescope Array experiment

研究代表者 常定芳基（東京工業大学 大学院理工学研究科）

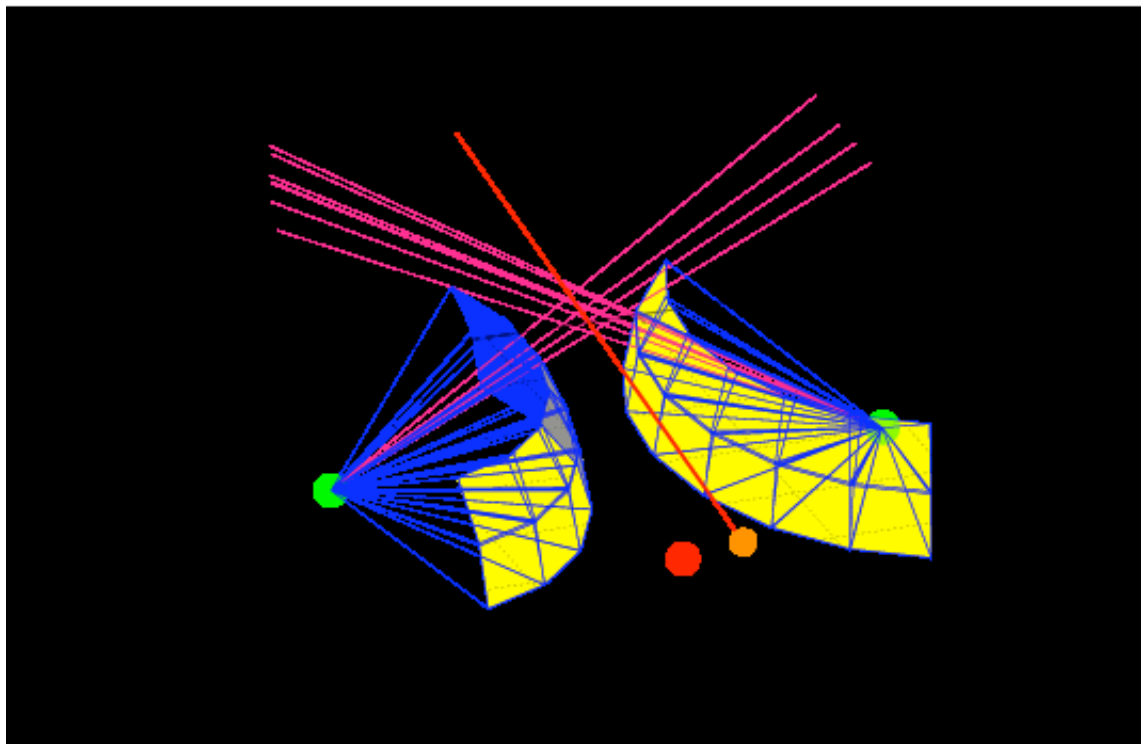
参加研究者 垣本史雄（東京工業大学 大学院理工学研究科）、荻尾彰一（大阪市立大学 理学研究科）、門多顕司（武蔵工業大学 工学部）、得能久生（東京大学 宇宙線研究所）、多米田裕一郎（東京工業大学 大学院理工学研究科）、東龍二（東京工業大学 大学院理工学研究科）、福田崇徳（東京工業大学 大学院理工学研究科）、

研究成果概要

空気シャワー観測による最高エネルギー宇宙線の研究を目的とする宇宙線望遠鏡実験 (The Telescope Array Experiment, TA) では、平成 19 年 9 月に 2 カ所の大気蛍光観測施設 (Black Rock Mesa ステーション、Long Ridge ステーション) の各 12 台の望遠鏡設置が完了し、11 月より全 24 台での定常観測が開始された。また共同研究を行っているユタ大学の観測施設 (Middle Drum ステーション) の 14 台の望遠鏡も同時に観測が開始されており、現在は 3 ステーションでの定常観測が続いている。本研究では、まず Black Rock Mesa, Long Ridge ステーションでトリガーされたイベントの「選別」を行うプログラムを開発した。本実験では、観測中にトリガーされるもののうち、90% 程度が大気蛍光以外の要因によるもの、すなわち夜間飛行中の航空機、および望遠鏡に直接入射するチェレンコフ光またはミューオンによるものである。したがってシャワー解析を行う前にこれらのイベントを取り除いておく必要がある。これらの偽イベントは、空気シャワーに付随する大気蛍光による場合と比較すると、光電子増倍管によって観測される波形に違いが現れることが見いだされた。これを利用して効率的なイベント選別が行えるようになった。なお、2008 年 3 月の観測前には望遠鏡のトリガーエレクトロニクスが改良され、全トリガーのうちの約半分を占める飛行機からの光によるトリガーを抑制・除去するアルゴリズムが組み込まれ、観測のデッドタイム減少も実現されたことは特記すべきである。またステレオ空気シャワーイベント (2 ステーションで同時に観測されたシャワーイベント) を再構成するプログラムも開発され、データ解析が進行中である。TA 実験の目的である最高エネルギー領域での宇宙線エネルギースペクトラム、原子核組成解明のため、今後のデータ蓄積が待たれる。



観測されたイベント例：Black Rock Mesa ステーション（左上）、Long Ridge ステーション（右下）での望遠鏡イメージ。下図では赤点が座標原点、緑点が Black Rock Mesa, Long Ridge ステーションを表し赤線は再構成されたシャワー軸を、オレンジの地点はシャワーコア位置を表す。宇宙線のエネルギーは $10^{18.6}\text{eV}$ と見積もられた。



平成 1 9 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：銀河拡散ガンマ線の研究			
	英文：Study of Galactic Diffuse Gamma Rays			
研究代表者	神奈川大学	工学部	准教授	日比野 欣也
参加研究者	神奈川大学	工学部	特任教授	湯田 利典
	神奈川大学	工学部	教授	白井 達也
	神奈川大学	工学部	教授	立山 暢人
	神奈川大学	工学部	派遣職員	大内 達美
	神奈川大学	工学部		

研究成果概要

我々は1999年11月から2005年11月までのチベット空気シャワー観測装置から得られたデータの解析を行った。観測可能な北天のガンマ線点源解析の信頼度分布は Crab nebula と Mrk421 の領域を除くとほぼガウス分布に一致しており、この2天体以外に有意なガンマ線天体は見つかっていない。しかしながら、シグナス領域には点源とは言いにくい僅かに広がった領域から 5.8σ のイベント増加を観測している。これは Milagro の報告している MGRO J2019+37 と同じものを観測している可能性が高いが、今のところを断定するには至っていない。我々は引き続き、このシグナス領域の詳細な解析を進めて行く予定である。

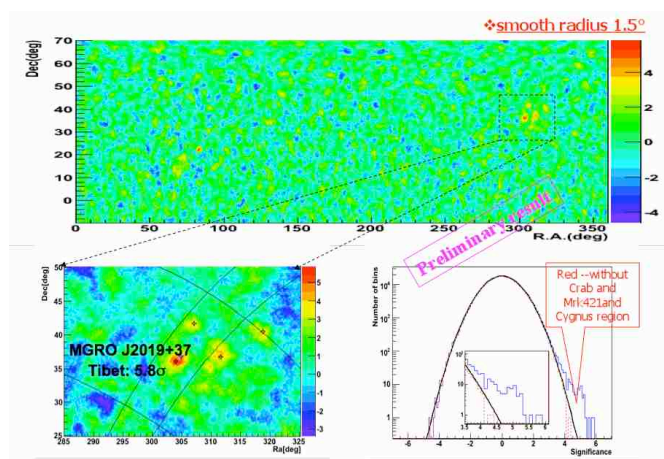


図 1：北天信頼度マップとシグナス領域の拡大図

整理番号

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：銀河系外超高エネルギーガンマ線の時間変動の研究 英文：Time Variability of Extra galactic gamma-ray objects
研究代表者	東海大学 理学部物理学科・講師・櫛田 淳子
参加研究者	東海大学 理学部物理学科・教授・西嶋 恭司 東海大学 理学部物理学科・助教授・河内 明子 東海大学連合大学院理工学研究科・D3・坂本 由起子 東海大学連合大学院理工学研究科・D1・齋藤 浩二 東海大学 理学部物理学科・M2・山崎 詠一 東海大学 理学部物理学科・M1・松澤 郁真
研究成果概要	活動銀河核は電波からガンマ線までの広い波長域で膨大なエネルギーを放出している系外銀河であり、中心には膠着円盤に囲まれた巨大ブラックホールが存在すると考えられている。活動銀河核の中でも特に激しい活動性を示すブレーザーという天体は他波長領域を凌駕し、激しく時間変動するガンマ線放射が検出されている。ブレーザーには電子加速機構と陽子の関与、高エネルギー電子によってガンマ線に逆コンプトン散乱される紫外線の発生源等まだ多くの謎がある。本研究ではオーストラリアで 3 台の 10m チェレンコフ望遠鏡を用いて活動銀河核をステレオ観測し、他波長領域の結果を合わせて粒子加速機構を系統的に解明していくことを目的とする。2006 年 7 月に活動銀河核 PKS2155-304 において、ガンマ線で最も明るい天体である「かに星雲」の 4 倍ほどガンマ線放射量が増大するフレア現象が起こり、CANGAROO グループでも計 15 時間の観測を行った。本研究では主に、この観測データの解析および他波長観測データとの比較を行い、ガンマ線の放射モデルの考察を行った。ノイズ除去は Fisher 判別法 (Enomoto et al, 2006) を用いて統計的にを行い、有意なガンマ線を検出した。また、ガンマ線放射量は日毎に大きく変化しており、少なくとも 2 時間以下のタイムスケールで激しく時間変動が生じていたことがわかった。同時期他波長観測データとあわせ、可視光でも光量が増大したが X 線では変化が見られなかったことから、これまで活動銀河核からの放射モデルとして考えられてきた単純なシンクロトロン自己コンプトンモデルでは説明できないこともわかった。このように、放射機構を解明する上でこのガンマ線観測が大変重要な役割を果たすことになる。また、これらの結果は第 30 回宇宙線国際会議および論文 (Sakamoto et al, 2008) にて公表している。
整理番号	

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：CANGAROO-III の即日解析システムの開発 英文：Development of an immediate data analysis system for the CANGAROO-III telescopes
-------	---

研究代表者	大石 理子(東京大学宇宙線研究所)
参加研究者	湯川 洋平(東京大学宇宙線研究所、大学院生)

研究成果概要

CANGAROO-III 望遠鏡ステレオ観測システムのデータ解析について、データを日本に持ち帰って行う現在のオフサイト解析を補うものとして、現地ウーメラ観測所における即日データ解析システムの開発、現地観測所への設置を行った。

即日解析ソフトウェアの開発については、日本でのオフサイト解析で用いられる解析ソフトウェアを元に、計算量・入力情報量を軽減するための簡略化を行った。観測情報データベースとの連動などによりデータ解析の自動化を進め、データ解析に習熟しない者であっても、1 コマンドで標的天体からのgamma-like イベント の θ^2 分布までが求められるようになった。これは主として時間変動の激しい強い点源(AGNなど)のクイック解析に対して有用である。

2008 年 2 月にウーメラ観測所にデータ解析用の計算機 1 台を新たに設置し、同年 3 月に上記ソフトウェアのインストール・動作試験を行った。来年度から上記システムの恒常的運用を行い、必要に応じて改良を加える予定である。

整理番号

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：Ashra 計画におけるイメージセンサー経年劣化に関する研究
英文：Research for degradation of image sensor used in Ashra

研究代表者 茨城大学・准教授・木村孝之
参加研究者 東京大学・准教授・佐々木真人

研究成果概要

Ashra 計画において400万画素のイメージセンサーが使用されている。このイメージセンサーは集積回路技術によりシリコン上に製作されているが、エネルギーの高い紫外線が当たると暗電流が増え観測に問題が起きる可能性がある。本研究では通常観測の約400倍の紫外線強度で、幅2 μ s e c のパルス光を100Hzで72万回イメージセンサーに照射した前後の暗電流の測定から、イメージセンサーの劣化について検討を行った。照射した紫外線量は実際の観測の100倍以上であったが、照射前後で暗電流の増加は認められなかった。

以上の結果から、実際に数ヶ月の観測を行ってもイメージセンサーに大きなダメージを与えないことが予測される。よって、紫外線フィルタなどのデバイスの付加は必要がないと考えられる。

今後は恒温槽などを用い温度変化などによる経年劣化について調べる必要があると考えられる。

整理番号

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：Knee 領域および最高エネルギー領域での宇宙線反応の実験的研究 (LHCf 実験) 英文：Experimental study of cosmic ray interaction at Knee and maximum energy regions (LHCf experiment)
研究代表者	増田公明 (名古屋大学太陽地球環境研究所)
参加研究者	伊藤好孝, 村木綏, 松原豊, 埜隆志, 毛受弘彰, 間瀬剛, 渡邊泰典, 滝和也, 福井謙一 (名古屋大学太陽地球環境研究所) 田村忠久 (神奈川大学工学部) 福島正己 (東京大学宇宙線研究所) 鳥居祥二, 笠原克昌, 清水雄輝 (早稲田大学理工学総合研究センター) 吉田健二 (芝浦工業大学システム工学部)
研究成果概要	CERN/LHC 加速器の 7TeV 陽子衝突によって生成される前方中性粒子の測定によってハドロン相互作用モデルの検証を行う LHCf 実験の準備が進んでいる。2008 年 2 月に、衝突点 IP1 を挟む 2 ヶ所の所定の位置に検出器をインストールした。これにより、ほぼ実験の準備が完了し、平成 20 年夏に予定されている LHC のビームを待つばかりとなった。今後は DAQ システムの改良をすすめながら、データ解析の準備を行う。 一方、インストール作業が終了した後の 2008 年 3 月 15 日に宇宙線研究所において TA グループのメンバーや KEK 理論の熊野氏等と会合を持ち、knee 領域から超高エネルギー領域 ($10^{17} \sim 10^{20}$ eV) におけるハドロン相互作用モデルの違いによる宇宙線観測データの解釈に関して検討及び議論を行った。まず埜と毛受が LHCf 実験について説明し、どのようにしてハドロン相互作用モデルの弁別を行うかを説明した。これに対して、モデルの違いの物理的理由や全衝突断面積の絶対値測定、測定におけるバックグラウンド等に関する議論を行った。また検出器のビームに対する横位置を変えることによるモデル弁別能力の改善、中性子測定によるモデル弁別等を議論した。 山本氏 (甲南大) から Auger グループの最新結果が報告され、エネルギースケール、μ 粒子生成の割合、原子核の成分比に関するデータの解釈等について議論した。 平成 20 年度も同様の会合を持つことを確認するとともに、まずは (本共同利用ではないが) 平成 20 年 4 月に KEK で「宇宙線とハドロン構造」に関する研究会を催し、さらに広く議論を行うことにした。その成果も含めて、本研究の議論へ繋げていく予定である。
整理番号	

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：宇宙の進化と素粒子模型 英文：Evolution of the universe and particle physics
研究代表者	東京大学宇宙線研究所・教授・川崎雅裕
参加研究者	東京大学宇宙線研究所・准教授・久野純治 京都大学工学部・助教・瀬波大土 佐賀大学理学部・准教授・高橋智 神奈川大学理学部・助手・粕谷伸太 青山大学理工学部・助教授・山口昌英 東北大学理学部・助教・松本重貴 東京大学宇宙線研究所・研究員・須山輝明、青木 真由美 東京大学宇宙線研究所・D3・紺谷健一郎、長井稔 東京大学宇宙線研究所・D2・神崎徹、高橋博之、高山務 東京大学宇宙線研究所・D1・関口豊和、中山和則 東京大学宇宙線研究所・M2・今井勇太、杉山昇平
研究成果概要	19 年度は宇宙論、素粒子論に関する 20 本以上の論文を作成し、うち 10 本以上がすでに査読付き雑誌に掲載をされている。以下はそれらの一部である。 1) Relic abundance of dark matter in universal extra dimension models with right-handed neutrinos. S.Matsumoto et al, Phys.Rev.D76:043528, 2007. Universal Extra Dimension (UED) 模型に右巻きニュートリノを導入し、通常のニュートリノがディラック型の質量を持つ模型を考えた。この模型の右巻きニュートリノの相互作用は非常に弱く、その KK 粒子は暗黒物質の残存量に寄与する。右巻きニュートリノの KK 粒子の暗黒物質の残存量への寄与を詳細に評価し、UED 模型が暗黒物質の観測量と一致する残存量を预言するパラメータ領域を明らかにした。 2) Primordial Non-Gaussianity in Multi-Scalar Slow-Roll Inflation, S.Yokoyama, T.Suyama and T.Tanaka, JCAP 07(2007) 013 多スカラー場インフレーションで作られる揺らぎが、ガウス性からどの程度ずれるかを調べた。全ての場がスローロール条件を満たす場合、ガウス性からのずれは観測的に興味深いレベルほど、大きくは生成されないことを示した。 3) Cosmological implications of supersymmetric axion models, M. Kawasaki, K. Nakayama and M. Senami, JCAP 0803, 009 (2008) 素粒子標準理論における強い CP 問題に対する解として、Peccei-Quinn 機構がある。ここで新たに現れるアクシオンと呼ばれる軽い粒子が、宇宙論的あるいは天体物理学的な考察から制限されることが知られている。今回、我々はこれを超対称性理論に拡張した超対称アクシオン模型における宇宙論を詳しく調べた。その結果、超対称模型において現れるスアクシオン

と呼ばれる粒子が重大な影響を及ぼし、宇宙の再加熱温度に対して従来考えられていたよりも厳しい制限がつくことが分かった。

4) Space laser interferometers can determine the thermal history of the early Universe, K. Nakayama, S. Saito, Y. Suwa and J. Yokoyama, arXiv:0802.2452 [hep-ph], to appear in Physical Review D.

ビッグバン元素合成後の宇宙の進化(温度にして 1MeV 以下)は理論、観測の両面から非常によく理解されている。一方、宇宙初期におけるインフレーション期の情報も近年の観測から徐々に明らかになりつつある。しかし、両者の間の宇宙の進化は観測的にはほとんど明らかになっていない。本論文では、インフレーション中に生成された背景重力波のスペクトルを観測することによってこの間の宇宙の熱史を解明することができることを示した。特に、宇宙の再加熱温度を将来の宇宙重力波干渉計、DECIGO によってある範囲で決定することが可能であることを示した。

5) ‘Flavored’ Electric Dipole Moments in Supersymmetric Theories. J. Hisano, M. Nagai, P. Paradisi e-Print: arXiv:0712.1285 [hep-ph]

素粒子標準模型の予言する原子の電気双極子能率 (EDM) の値は非常に小さく、EDM測定実験は新しい物理を探る非常に良い道具となる。特に超対称性模型において、フレーバーを破る項から大きなEDMが生じることが期待される。我々は高次のダイアグラムの寄与が1次の寄与と同程度まで大きくなり得る事を示し、これらの高次の寄与の考慮がEDMの計算において必須である事を明らかにした。

6) Lepton Flavour Violating τ Decays in the Left-Right Symmetric Model, A.G. Akeroyd, M. Aoki, Y. Okada, Phys. Rev. D76 (2007) 013004

アイソスピン三重項のヒッグスボソンを含むLeft-Right対称性模型は、電荷2のヒッグスボソンを予言する。このヒッグスボソンは、レプトンフレーバーを破る μ や τ の崩壊 $\mu \rightarrow eee$ や $\tau \rightarrow lll$ をtree-levelで生じさせる。我々は、これらの分岐比の大きさを、ニュートリノの大角度混合の起源と結びつけて議論した。

7) Cosmological Constraints on Isocurvature and Tensor Perturbations, M.Kawasaki and T.Sekiguchi, arXiv: 0705.2853[astro-ph]

宇宙論的観測から宇宙初期の等曲率揺らぎおよびテンソル揺らぎに対する制限とその素粒子論宇宙モデルへの適用について議論を行った。まず我々は宇宙背景放射および銀河分布の観測を用いることにより、様々な等曲率揺らぎとテンソル揺らぎの組み合わせについて制限を与え、これまで信じられていたような、等曲率揺らぎとテンソル揺らぎの間にあるパラメータ縮退が実際には小さく現在のデータから両方に制限を与えることが可能であることを示した。その上で観測から得られた制限を素粒子宇宙論モデル、具体的にはアクシオン等曲率モデルとカーバトンモデルの2つのモデルに適用し、それぞれのモデルに対する制限を与えた。

整理番号

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：大型低温重力波望遠鏡の開発・設計 (IX) 英文：R&D and Design of large-scale cryogenic gravitational wave telescope (IX)
研究代表者	宇宙線研・黒田和明
参加研究者	別紙に記載
研究成果概要	平成 12 年学術審議会特定研究領域推進分科会宇宙科学部会に提案した LCGT 計画の概算要求は平成 17 年度に初めて東京大学から文部科学省へ提出された。平成 17 年度における日本学術会議物理学研究連絡委員会主催の重力波に関するシンポジウム開催、外国の専門家を含む評価委員会による第三者技術評価による設計方針の確かさの確認などにより、重力波研究推進のために交わされてきた 3 所長間覚書（平成 6 年 8 月）の更新による支援を受けて、平成 19 年度においても引き続き宇宙線研究所から概算要求として提案され、東京大学から文科省へと要求が出されたが、財務省まで届かなかった。平成 21 年度の概算要求をより強力に進めるため、海外のプロジェクトとのより緊密な協力、すなわち、米国 LIGO とのサファイヤ鏡の品質計測に関する共同研究やオーストラリアグループの研究者の招へいなどに重点を置いた研究を進めた。また、引き続き VIRGO 計画評価委員会への参加を通して国際的な学術コミュニティにおいて足場を固めるとともに、2007 年 9 月に開始された国際重力波委員会 (GWIC) の Roadmap 委員会にも参加し、LCGT の実現に向け活動を行った。 以下、本研究に関連して発表・出版された報告を掲げる。 (2007 年における宇宙線研究所重力波グループが主要な貢献をしたものに限る) 1) Daisuke Tatsumi, et al., "Current status of Japanese detectors", Classical and Quantum Gravity 24(2007)S399-S403. 2) M Ohashi, "Status of LCGT and CLIO", International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics (TAUP) 2007, Sendai, Japan, September 11-15 (2007) 3) Kazuhiro Yamamoto, Takashi Uchiyama, Shinji Miyoki, Masatake Ohashi, Kazuaki Kuroda, Kenji Numata, "Parametric instability of the LCGT interferometer", The 7th Edoardo Amaldi Conference on Gravitational Waves, Sydney Convention and Exhibition Centre, Sydney, Australia, 11 July 2007. (poster session) 4) Kazuaki KURODA, et al., "Current Status of LCGT project "The 7th Edoardo Amaldi Conference on Gravitational Waves, Sydney Convention and Exhibition Centre, Sydney, Australia, 12 July 2007. 5) K. Kuroda and TAMA Collaboration, "Current Status of TAMA" Proceedings of the XLIInd RENCONTRES DE MORIOND, Gravitational Waves and Experimental Gravity, La Thuile, Val d'Aoste, Italie, March 11-18, 2007, p.15. 6) K. Kuroda and CLIO/LCGT Collaboration, "CLIO and LCGT" Proceedings of the XLIInd RENCONTRES DE MORIOND, Gravitational Waves and Experimental Gravity, La Thuile, Val d'Aoste, Italie, March 11-18, 2007, p.45. 7) K. Kuroda, "PI in cryogenic cavities" Parametric Instability Workshop, 16-18, July 2007, Gingin, Perth, Australia. 8) 黒田和明・河邊径太, 重力波観測の現状と将来の展望, 日本物理学会誌 Vol.62, No.9, 2007, 659-668
整理番号	

別紙 共同研究者

宇宙基礎物理研究部

助教授・大橋正健、助手・三代木伸二、助手・内山 隆、技術職員・石塚秀喜、
研究員・山元一広、協力研究員・岡田 淳、D3・徳成正雄、D2・阿久津朋美、
D1・中川憲保、M2・我妻一博、M2・桐原裕之

新領域 助教授・三尾典克、助手・森脇成典

理学系 教授・坪野公夫、助手・安東正樹、D3・高城毅、D2・桝村 宰、D1・石徹白晃治、
M1・高橋 走、M1・小野里光司

総合文化 助教授・柴田 大

地震研 助教授・新谷昌人、助手・高森昭光

国立天文台

教授・藤本眞克、助教授・川村静児、主任研究員・高橋竜太郎、主任研究員・新井宏二、
主任研究員・辰巳大輔、主任研究員・上田暁俊、主任技師・山崎利孝、技
術職員・福嶋美津広、研究員・佐藤修一、D2・阿久津智忠、M1・荒瀬勇太

お茶大理 D2・川添史子、D2・阪田紫帆里、D1・苔山圭以子

京大人間環境 D1・西澤篤志

日大総合科学 教授・新富孝和

産総研 研究員・寺田聡一、研究員・尾藤洋一

高エネ研

教授・山本 明、教授・春山富義、教授・斉藤芳男、講師・鈴木敏一、
講師・木村誠宏、助手・佐藤伸明、助手・都丸隆行

大阪市立大 教授・神田展行

電通大 助教授・米田仁紀、助教授・中川賢一、助手・武者 満

通総研 研究員・長野重夫

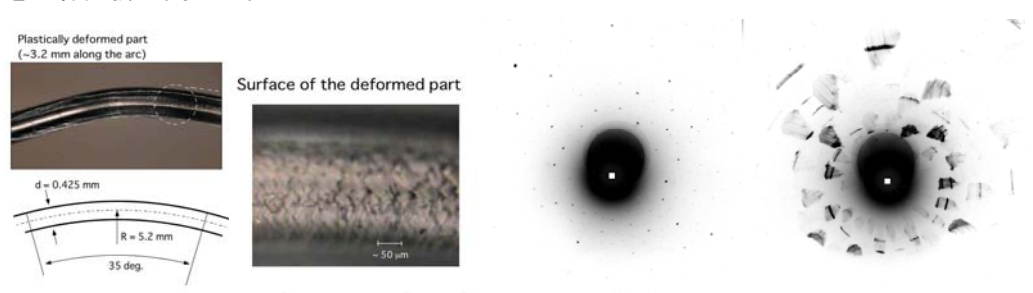
京大理 教授・中村卓史、助教授・田中貴浩

京大基研 教授・佐々木節

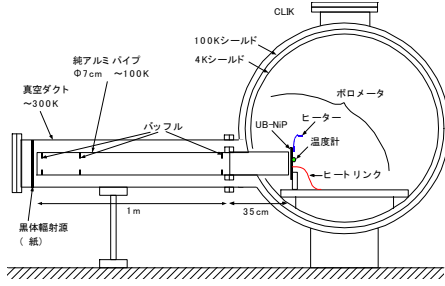
阪大理 助手・田越秀行、研究員・藤田龍一

群馬天文台 台長・古在由秀

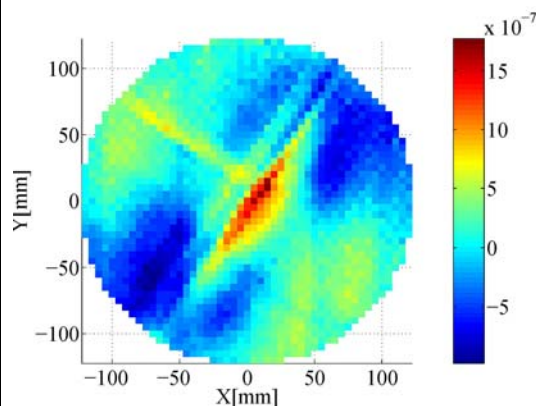
平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：大型低温重力波望遠鏡のための単結晶サファイア鏡懸架の開発(III) 英文：Development of Sapphire Mirror Suspension for LCGT (III)
研究代表者	高エネルギー加速器研究機構・講師・鈴木敏一
参加研究者	高エネルギー加速器研究機構・助教・都丸隆行、助教・佐藤伸明、 教授・春山富義、教授・山本 明 日本大学大学院総合科学研究科・教授・新富孝和 宇宙線研究所 助教・内山 隆、助教・三代木伸二、 准教授・大橋正健、教授・黒田和明 研究員・山元一広（現Max Planck Institute for Gravitational Physics, Albert Einstein Institute）
研究成果概要	サファイアロッドによる鏡懸架構造試作の目的で、サファイアロッドの塑性変形を行った。直径 0.425mm の単結晶サファイアロッドを炭酸ガスレーザーで過熱し、約 3mm の長さに渡って塑性変形を行った。変形部表面には細かい模様が認められるため、結晶構造の乱れの有無を X 線回折で調べた。  図は左から、塑性変形部の形状、表面の模様の拡大写真、単結晶部分の Laue 回折像、塑性変形部の回折像、を各々表している。変形部と非変形部の回折像を比較すると、変形により回折スポットは広がっているものの、環状の回折像は部分的にしか現れておらず、部分的な多結晶化に留まっていることがわかる。また、低温域の熱伝導率測定で比較すると、変形部は非変形部（単結晶）に比べて約 1/4 の熱伝導率を示す。熱伝導率の低下が変形で生じた結晶格子の乱れによるサイズ効果とすると、散乱長は光学顕微鏡像に見られる表面の模様の大さきの数倍程度と推定される。 成果の一部は下記の国際会議で発表した。 T.Suzuki, et al., APPLICATION OF SAPPHIRE PLASTIC BENDING FOR CRYOGENIC MIRROR SUSPENSION, 7th Edoardo Amaldi Conference on Gravitational Waves and 18th General Relativity and Gravitation, 8 July 2007~14 July 2007, Sydney, Australia.
整理番号	

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：LCGT クライオスタットのための効率的熱シールドの研究 英文：Study of effective thermal shielding method for the LCGT cryostat	
研究代表者 高エネルギー加速器研究機構 都丸隆行 参加研究者 高エネルギー加速器研究機構・講師・鈴木敏一 高エネルギー加速器研究機構・助手・木村誠宏 高エネルギー加速器研究機構・教授・春山富義 高エネルギー加速器研究機構・教授・山本明 日本大学大学院・教授・新富孝和 東京大学宇宙線研究所・D3・徳成正雄 東京大学宇宙線研究所・研究員・山元一広 東京大学宇宙線研究所・助手・内山隆 東京大学宇宙線研究所・助手・三代木伸二 東京大学宇宙線研究所・助教授・大橋正健 東京大学宇宙線研究所・教授・黒田和明	
研究成果概要 昨年度までの研究で、低温干渉計型重力波検出器プロトタイプ（CLIO）用クライオスタットの過剰な熱負荷が、ビームダクトに設けられた輻射シールドパイプ内を伝搬侵入する熱輻射に起因している、ということが明らかになった。 本年度は、このような輻射熱負荷を吸収するための材料の調査を行った。実験では、東大宇宙線研地下実験室の低温干渉計プロトタイプ CLIK を用いた。具体的には、輻射シールドパイプ（純アルミパイプ）の片側に輻射源を、反対側にボロメータを配置し、カロリメトリックに測定した。ボロメータの吸収体部には、赤外領域で高い吸収率を持つことが知られている UB-NiP 黒体を基準として用い、吸収体部を他のサンプルに交換することで、相対的なサンプルの吸収率を計測していった。 まず、emissivity の大きな石英ガラスの吸収率を計測し、300K 輻射の吸収率が約 60%と大きいことを確認した。このことから、ガラス系材料が吸収体として適していることが分かった。次に、干渉計の鏡材料として用いられているサファイアの吸収率を計測し、サファイアも吸収率が約 30%と大きいことが分かった。このことは、CLIO で生じた輻射伝搬熱負荷が、ほとんど鏡部分で吸収されてしまう可能性を意味し、輻射伝搬熱負荷の効率的低減が次の大きな課題となることが明らかとなった。	
	
整理番号	

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：LCGT 用鏡基材サファイヤの品質測定に関する研究(II) 英文：Quality measurement of sapphire test mass for LCGT(II)
研究代表者 宇宙線研・黒田和明 参加研究者 宇宙基礎物理研究部・助教授・大橋正健、宇宙基礎物理研究部・助手・三代木伸二、東大大学院理学系研究科・D3・徳成正雄、KEK・低温工学センター・講師・鈴木敏一、KEK・低温工学センター・助手・都丸隆行
研究成果概要 LCGT 計画では低温鏡を使用し、鏡基材には人造のアルミナ結晶を用いる。結晶素材は機械的強度や熱的性質などは従来のガラス素材よりも優れており、TAMA や CLIO サイズの鏡基材としては、光学的にも人工石英に代わる性能を出す品質のものが得られることを明らかにしてきた。しかし、LCGT に必要な直径 25 cm の大きさの結晶素材で光学的仕様を満たすものがあるかどうか不明であった。このため、この大きさの試作素材を所有する LIGO から 1 個サンプルを借り入れ、仕様の精度レベルで品質検査を行う複屈折計測装置を開発し、基材の測定を行った。結果は、これまで小さいサンプルで得られている感度と同じようなレベルで計測を行うことに成功し、借り入れたサンプルの品質を決定することができた（下の図）。この測定により、LCGT 用基材に必要な要件を整理し、得られる感度の評価を行うことが可能となった。この成果は徳成正雄の博士論文としてまとめられ、学位が授与された。  発表報告・論文 1) “Development of an automatic birefringence measuring device of mirror substrates for gravitational wave detectors”, M Tokunari, et al., J Phys. Conf. series 32 (2006) 432. 2) “Rayleigh scattering, absorption, and birefringence of large-size bulk single-crystal sapphire”, Z Yan, et al. Appl. Optics 45 (2006) 2631. 3) 徳成正雄、博士論文[重力波望遠鏡用 Al₂O₃ 結晶の光学的性質の研究]、東京大学 2007 年度
整理番号

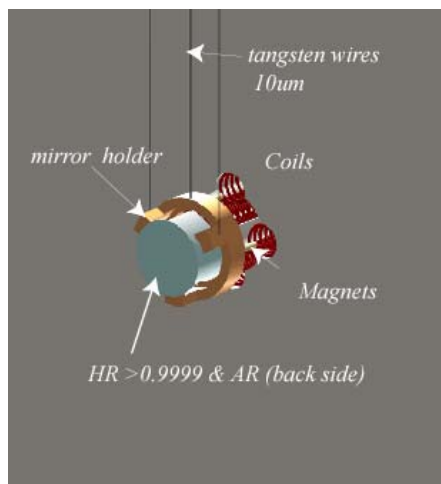
平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：光スクイーミングによる重力波干渉計感度向上の研究(III)
 英文：Sensitivity enhancement of interferometric gravitational wave detector
 by light squeezing (III)

研究代表者 宇宙線研・黒田和明
 宇宙基礎物理研究部・助手・三代木伸二，宇宙基礎物理研究部・研究員・山元一広，
 新領域・助教授・三尾典克

研究成果概要

本研究では、超軽質量鏡（0.5g, 下図参照）で構成した Fabry-Perot-Michelson レーザー干渉計を用いて、鏡に作用する光の輻射圧力の揺らぎを測定する。この目的は、一つには軽い鏡を用いて輻射圧を計測し現実の干渉計では影響を受けない光輻射圧の干渉計への影響を調べることである。この測定により、LCGT で予定されている高出力レーザーパワーによる影響を実験的にシミュレートすることが可能となる。また、この実験のもう一つの目的は、まだ実測されていない輻射圧雑音を測定することであり、このことはレーザー干渉計の出力光が強いスクイズド状態であることを実証するものとなる。これまで広く行われてきた非線形結晶を用いるスクイズド状態の生成法では強いスクイズド状態を得ることができず、スクイズド状態の応用を制限してきたが、本研究によるスクイズド状態の生成は、重力波研究に限らず広く精密測定の精度を向上させる可能性をもつ。実験では、2つのFP干渉計を同時に動作させ、共通に作用する地面振動やレーザー雑音による影響を取り除く段階まで進んだ。また、熱雑音や制御のための電氣的雑音など、輻射圧力の揺らぎを覆い隠す雑音について定量的に評価した。

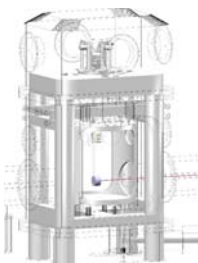
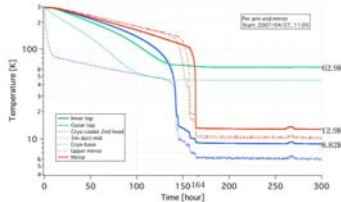
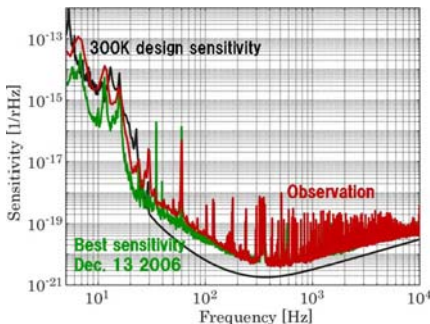


最近の発表論文

- 1) Development of a radiation pressure noise interferometer, A Okutomi, et al.,
 J Phys. Conf. series 32 (2006) 327.

整理番号

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名		和文： 神岡での重力波観測（VI） 英文： Gravitational Wave Detector in Kamioka (VI)																																	
研究代表者	宇宙線研	大橋正健																																	
参加研究者	宇宙線研	黒田和明・三代木伸二・内山隆・石塚秀喜・山元一広 徳成正雄・阿久津朋美・中川憲保・我妻一博 東大理 安東正樹 ； 地震研 新谷昌人・高森昭光 高エネ機構 春山富義・鈴木敏一・佐藤伸明・都丸隆行 京大理 早河秀章 ； 阪大理 田越秀行 ； 大阪市大 神田展行 国立天文台 辰巳大輔； 日大総合科学 新富孝和 産総研 寺田聡一 ； マックスプランク研究所 AEI 高橋弘毅																																	
研究成果概要																																			
神岡低温レーザー干渉計CLIOは、平成19年度においては、主に、ミラー冷却した状態での干渉計運転を行った。レーザー干渉計を運転しながら（レーザー光軸を調整しながら）4つのミラーを冷却するには約6か月を要したが、ノウハウも蓄積されたので、今後は短期間でミラー冷却できると思われる。下に、ミラーとその冷却系の概念図、ミラーの冷却特性（約1週間）および各ミラーの到達温度を示す。																																			
																																			
		<table><tr><th></th><th>Cooling time</th><th>Mirror temp</th><th>Heat in the suspension</th><th>Heat at the 1st cooling 2006/02</th></tr><tr><td>Inline end</td><td>176hour start 0109022.10.00</td><td>13.5K</td><td>40mW</td><td>N/A</td></tr><tr><td>Inline near</td><td>174hour start 0109022.10.00</td><td>13.4K</td><td>36mW</td><td>N/A</td></tr><tr><td>Per arm end</td><td>164hour start 0109027.11.00</td><td>12.5K</td><td>62mW¹⁾</td><td>116mW</td></tr><tr><td>Per arm near</td><td>193hour start 0109016.12.30</td><td>13.8K</td><td>29mW</td><td>109mW</td></tr></table>			Cooling time	Mirror temp	Heat in the suspension	Heat at the 1st cooling 2006/02	Inline end	176hour start 0109022.10.00	13.5K	40mW	N/A	Inline near	174hour start 0109022.10.00	13.4K	36mW	N/A	Per arm end	164hour start 0109027.11.00	12.5K	62mW ¹⁾	116mW	Per arm near	193hour start 0109016.12.30	13.8K	29mW	109mW							
	Cooling time	Mirror temp	Heat in the suspension	Heat at the 1st cooling 2006/02																															
Inline end	176hour start 0109022.10.00	13.5K	40mW	N/A																															
Inline near	174hour start 0109022.10.00	13.4K	36mW	N/A																															
Per arm end	164hour start 0109027.11.00	12.5K	62mW ¹⁾	116mW																															
Per arm near	193hour start 0109016.12.30	13.8K	29mW	109mW																															
この冷却試験の前に、データ取得試験（テスト観測）を行った。下記のように																																			
2007 Feb.12 – Feb.18 Observation 8:00 - 22:00 Operator on Site 22:00 - 8:00 No-Operator Total 86 hour without alignment control and auto lock system <table><tr><th>Date</th><th>2007/Feb./12-18</th><th>(by S. Telada)</th><th>Duty Cycle</th></tr><tr><td>12 Mon.</td><td></td><td></td><td>65%</td></tr><tr><td>13 Tue.</td><td></td><td>longest lock (9 hours)</td><td>55%</td></tr><tr><td>14 Wed.</td><td></td><td></td><td>51%</td></tr><tr><td>15 Thu.</td><td></td><td></td><td>20%</td></tr><tr><td>16 Fri.</td><td></td><td></td><td>54%</td></tr><tr><td>17 Sat.</td><td></td><td></td><td>58%</td></tr><tr><td>18 Sun.</td><td></td><td></td><td>55%</td></tr></table> 				Date	2007/Feb./12-18	(by S. Telada)	Duty Cycle	12 Mon.			65%	13 Tue.		longest lock (9 hours)	55%	14 Wed.			51%	15 Thu.			20%	16 Fri.			54%	17 Sat.			58%	18 Sun.			55%
Date	2007/Feb./12-18	(by S. Telada)	Duty Cycle																																
12 Mon.			65%																																
13 Tue.		longest lock (9 hours)	55%																																
14 Wed.			51%																																
15 Thu.			20%																																
16 Fri.			54%																																
17 Sat.			58%																																
18 Sun.			55%																																
約86時間のデータを取得し、それをデータ解析した。今後はミラーを常温にもどし、過剰な雑音をなくし、さらなる感度向上を目指す予定である。																																			
整理番号																																			

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：レーザー干渉計重力波アンテナのデジタル制御技術およびそれに
伴うデータ解析技術の開発（II）

英文：Digital Control of CLIO and Its Analysis

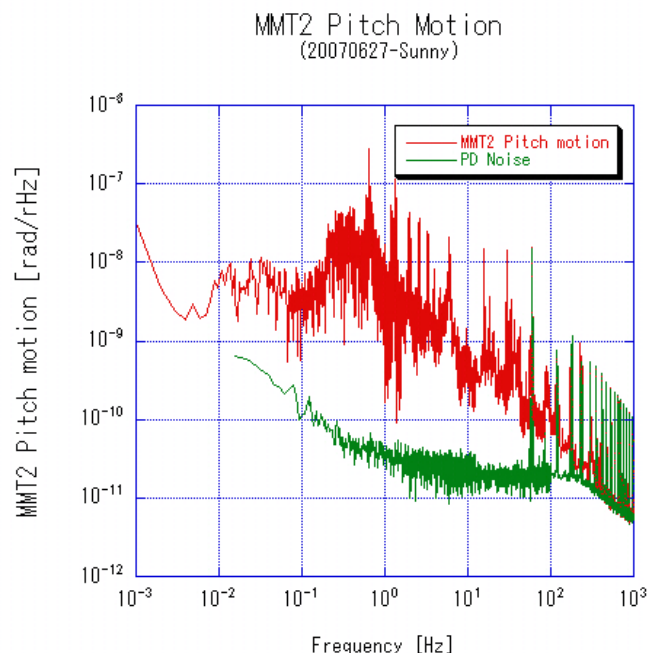
研究代表者：宇宙線研究所・助教・三代木伸二

参加研究者：

宇宙線研究所・教授・黒田和明、宇宙線研究所・助教授・大橋正健、宇宙線研究所・助手・内山隆、宇宙線研究所・PD・山元一広、東京大学大学院・博士課程2年・阿久津朋美、東京大学大学院・博士課程1年・我妻一博、東京大学大学院・博士課程1年・中川憲保、産総研・研究官・寺田聡一、国立天文台・助教・新井宏二、カリフォルニア工科大学・研究員・宮川治、大阪市立大学・修士1年・山岸彰伍

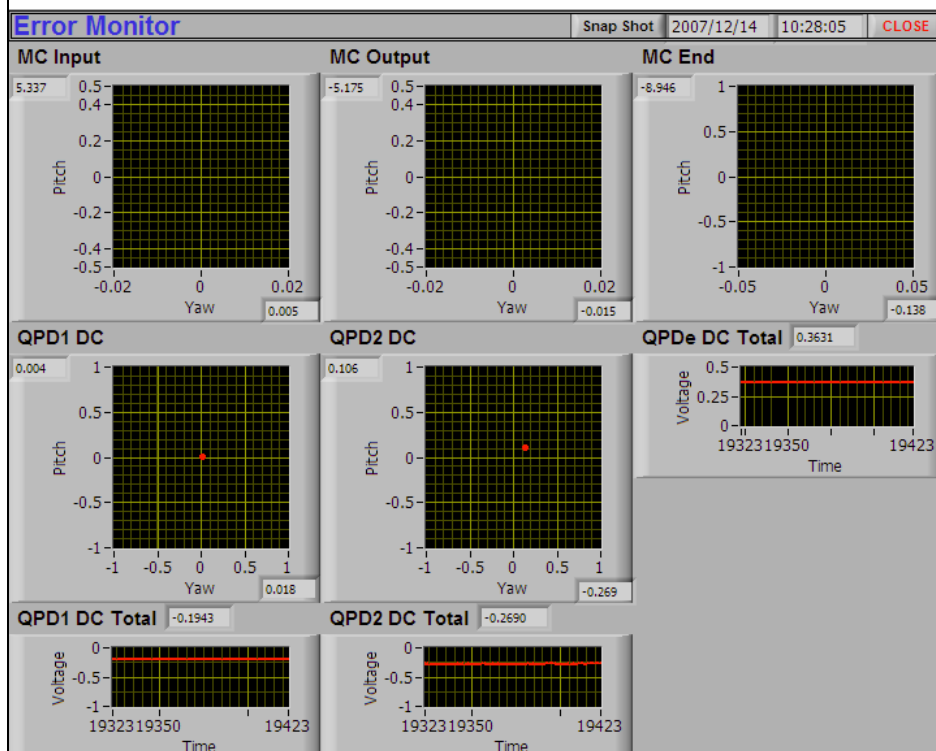
研究成果概要

2007年度は、まず、3枚のモードマッチング鏡の姿勢をモニターするための、光学系の構築と、そのアナログ制御を行った。本研究は、大阪市立大学の修士1年の山岸君の協力のもと行った。最初の2枚のモードマッチングテレスコープ鏡の姿勢は、その鏡で反射し、次の鏡に当たったときにそれをわずかに透過する光を4分割光検出器で位置検出する方法で行っている。3枚目の鏡の姿勢は、現在は、Inline ArmのOptical Circulatorとして働くPBSのもれ反射光をピックアップし、それを同様に4分割光検出器で見ているが、将来的には、アライメント制御された腕共振器の透過光をモニターするべきものである。各鏡のピッチ、およびヨーの動きに関し、制御帯域10Hzでアナログ制御によりにより姿勢制御が可能であることがしめされ、より帯域の低いデジタル制御への基礎知識として蓄積されると同時に、



神岡における鏡のアライメントのゆれに関する始めての数値化された情報を得ることができた。その鏡の姿勢のゆれのレベルは、将来のAdvancedな重力波望遠鏡の要求レベル (10^{-8} [rad/rHz]以下)のたかだか10倍強しかないことが判明し、ここでも、地下環境の圧倒的な優位性が確認された（左図）。

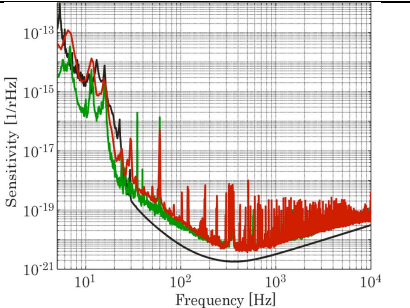
次に、10メートルモードクリーナーを構成する3枚の鏡のデジタル姿勢制御を行った。この研究は、国立天文台の、新井宏二氏、Caltechの宮川氏、東大博士1年の我妻君が中心となっていて行われた。TAMA300でも、ほぼ同じ長さスケールのモードクリーナーのWave Front Sensingによる鏡姿勢情報の取得が行われているので、それを可能にする光学系の構築、および、姿勢情報の演算理論に関しては、TAMA300での技術基盤をそのまま移転した。一方デジタル制御に関しては、まず、制御帯域が1Hz以下で十分であるという神岡の特性により、NI社のCompact DAQというデジタル制御機器としては安価なハードとLabViewという制御系構築ソフトにより行うことが可能となっている。また、その制御も、地表にある干渉計では、ある程度帯域をとって帰還を常にかけ続けなければならないのに対し、CLIOでは、3秒に一度、各鏡の姿勢目標位置と、現在の鏡の姿勢情報との比較をおこない、その差がある程度大きくなった時点で、その目標位置に、一定量だけ姿勢を戻す制御を行っている。このアライメントドリフト抑制制御は、制御自体は但し機能したが、そのデータから、現在のCLIOでは、懸架されたMCの振り子のドリフトよりも、入射光学系（主にレーザーそのものと思われる）の光軸ドリフトのほうが大きいということが判明し、今後のアライメント設計指針をえることができた。



（上図：アライメントコントロール制御モニター画面の一つ。これは、各QPDから得た混合信号を演算した後の各鏡の独立の揺れが表示されている。）

整理番号

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：神岡低温重力波検出器 CLIO によるパルサー重力波観測 英文：Observation of gravitational wave from pulsars by CLIO	研究代表者 宇宙線研・助手・内山 隆 参加研究者 宇宙線研・教授・黒田和明 宇宙線研・助教授・大橋正健 宇宙線研・助手・三代木伸二 宇宙線研・PD・山元一広 大阪市大・教授・神田展行 産総研・研究官・寺田聡一 高エネ機構・助手・鈴木敏一 高エネ機構・助手・佐藤伸明 高エネ機構・助手・都丸隆行
研究成果概要 神岡鉱山内に設置されたレーザー干渉計型重力波検出器 Cryogenic Laser Interferometer Observatory (CLIO)を用いて 2007/02/12-18 の期間、観測を行った。期間中に約 86 時間のデータ取得し、その内の 57 時間分の観測データから Vela pulsar (PSR J0835-4510)起源の重力波の振幅上限値、5.3×10^{-20} を与えることに初めて成功した。Vela pulsar は 11Hz の回転周波数を持つため、そこから放出される重力波の周波数は 22Hz になる。Vela pulsar を対象とした重力波解析は本研究が初である。重力波検出器は地面振動により感度が制限されてしまうため、Vela pulsar のような低周波重力波源を観測対象とするのは難しい。しかしながら地面振動の極めて小さい神岡鉱山内に設置された CLIO は、右上図の感度曲線に示すように 20Hz 以上で良好な感度を達成し、本研究を可能にした。 本研究の成果は以下の国際会議にて発表された。 T. Akutsu and CLIO collaboration, “Search for continuous gravitational wave from PSR J 0835-4510 (Vela) using the first observational data from the CLIO (Cryogenic Laser Interferometer Observatory)”, The 12th Gravitational Wave Data Analysis Workshop (GWDAA), Royal Sonesta Hotel, Cambridge, MA, USA, December 13-16, 2007.	
整理番号	

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：レーザー伸縮計と超伝導重力計の同時観測による地球の固有振動の研究 英文：A research of the Earth's free oscillations based on simultaneous observations with a laser strainmeter and a superconducting gravimeter
研究代表者	森井 互 （京都大学防災研究所附属地震予知研究センター）
参加研究者	京都大学防災研究所 教授・川崎一朗 京都大学大学院理学研究科 教授・福田洋一 助教・東敏博 COE研究員・早河秀章 東京大学地震研究所 准教授・新谷昌人 助教・高森昭光 学術研究支援員・堀輝人 東京大学宇宙線研究所 准教授・大橋正健 助教・内山隆 助教・三代木伸二 国立天文台地球回転研究系 准教授・花田英夫 国立天文台水沢 助教・田村良明 東京大学海洋研究所 助教・今西祐一 筑波大学研究基盤総合センター 講師・池田 博 産業総合研究所 名和一成
研究成果概要	現在固体地球科学の分野で使用されている観測計器の中で最高の感度と帯域幅を持つレーザー伸縮計（水平方向の歪を測定）と超伝導重力計（鉛直方向の加速度を測定）を同時に使用した観測を行っている。既に両観測装置で地球自由振動の同時観測を行い、その結果が理論的に予想される特性を良く反映していることが確認されている（前年度報告）。更に観測の精度を向上させるために、バックグラウンド・ノイズの特性を解明する努力を続けている。その結果の一つとして、地下水の状態が両観測装置に共通して影響を及ぼすことが明らかとなった。地下水の影響の一例を示すものが左図である。地下水の増減は、岩盤内の圧力を変化させ、その結果として岩盤の歪変化を生じさせる。また同時に、地下水の増減は観測点周辺の質量を変化させるためにニュートン重力の変化を招き、重力観測にも影響を及ぼす。この事実は、被りの浅い観測坑道においては既に知られていることであるが、地下1000メートルを超える観測環境においても同様の問題が生じることが明らかとなり、対策が必要となった。現在、地下水の挙動を明らかにすることによって観測精度の向上を図る計画が進行中である。方法としては、神岡鉱山内で行われている地下水圧変化の連続観測（京都大学防災研究所）のデータと坑道内各所での臨時重力観測（予定）データに基づいて地下水の挙動を明らかにし、それと歪・重力観測値との関連を明らかにする。また、相対重力計である超伝導重力計の記録を絶対値として解析するために、絶対重力計FG5による絶対重力値の測定も続行している。以上の試みは、極めて微弱な信号である「常時地球自由振動」や「コア・モード」について、信頼できるデータを取得するために必要不可欠な事案である。
本研究に関する主な論文	レーザひずみ計による広帯域観測および量子標準に基づいた高分解能長期ひずみ観測へ向けての戦略 新谷昌人・森井 互・早河秀章・高森昭光・内山 隆・大橋正健・山田功夫・寺田聡一・竹本修三, 測地学会誌 53巻2号, 81-97

Rosat, S., Watada, S. and Sato, T., 2007, Geographical variations of the 0S0 normal mode amplitude: predictions and observations after the Sumatra-Andaman earthquake. *Earth Planet Space*, 59, 307-311

Rosat, S., Fukushima, T., Sato, T and Tamura, T., 2008, Application of a Non-Linear Damped Harmonic Analysis method to the normal modes of the Earth, *J. Geodynamics*, 45, 63-71.

Imanishi, Y., High-frequency parasitic modes of superconducting gravimeters, submitted to *Journal of Geodesy*

整理番号

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：地下実験室の環境連続測定 英文：Continuous Environment Measurement of the Kashiwa Underground Laboratory
研究代表者	大橋 英雄（東京海洋大学）
参加研究者	櫻井 敬久（山形大学）、福岡 孝昭（立正大学）、小村 和久（金沢大学）、 鈴木 芙美恵（東京海洋大学）
研究成果概要	低バックグラウンド放射能測定施設の多くは、宇宙線などの自然放射能をなるべく減らす目的から、廃トンネルの内部や、鉱山跡などを利用しているため、共同利用者や保守管理を行う者にとっても、あまり使い易いものではない。我々が管理している施設は、宇宙線研究所の地下にあり、液体窒素もキャンパス内で調達できるため、非常に使いやすいものとなっている。この測定施設は地下25mにあり、広さ40平米、天井までの高さは4mである。昨年度末所長留め置きで検出器の増設を行ったため、現在では4台の検出器が設置されており、PC制御された計測システムを構築している。 この実験室は普段無人のため、温度・湿度、ラドン濃度、検出器冷却用液体窒素容器の重量、大気圧などをハードウェアで構成されたデータロガーシステムを構築し、2005年6月24日以来順調に稼動している。取得した生データはネット上で閲覧可能であり、ユーザーが各自で重量計データをチェックすることにより、液体窒素の補充に関する不安が少なくなった。この液体窒素重量は最優先項目であるため、重量計の値が設定値を下回った時にユーザーにメールでアラームを送信することにより、万が一にも液体窒素を枯らすことのないような設定を行っている。一昨年度末には重量計を増設し、4台ある検出器すべての重量がチェック出来るようになり負担が軽減された。更に2006年3月13日にラドンモニターの光電子増倍管を更新し、新しい較正值での測定を開始した。これらのデータは定期的にグラフ化しYahooグループでユーザーに配信している。2007年2月28日には空調を所の経費で導入していただきました。梅雨の季節に入ってエアコンを稼動させ、設定温度を25℃にしたあたりから相対湿度が上昇し始め、最悪の時には90%を超えることもあり、かなり顕著な結露が見られた。来年度は梅雨を迎える前に除湿機を増設する予定でいる。

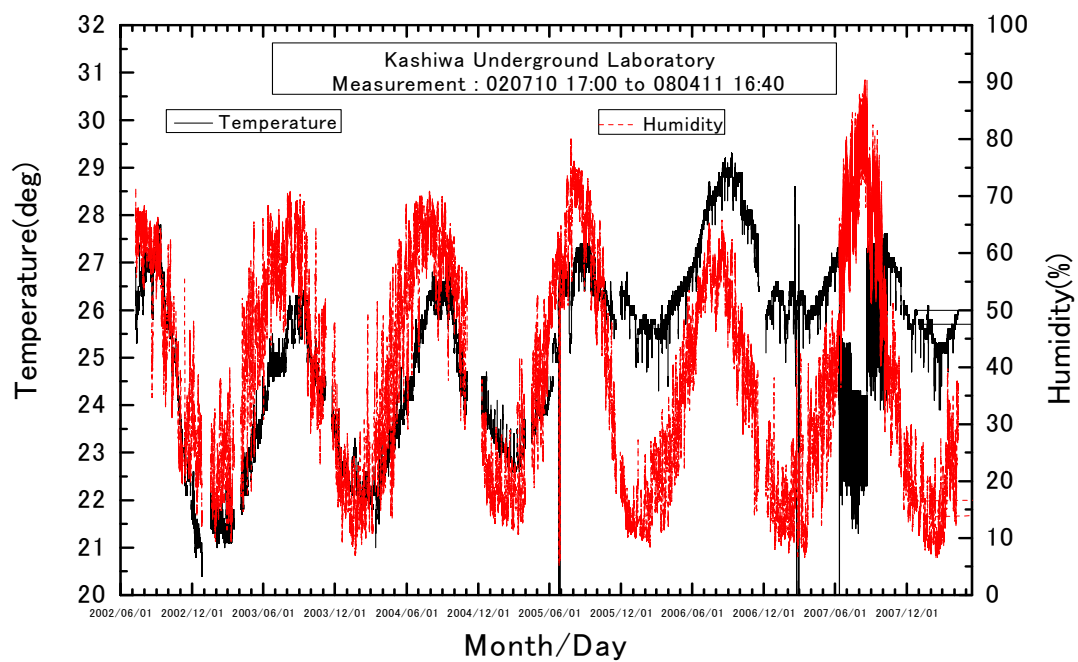


図1 温度・湿度の経年変化

エアコンの導入により温度上昇は抑えられたが、相対湿度が急上昇してしまった。

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：天然放射性核種 ^7Be 、 ^{210}Pb 降下量の季節変動に関する研究 英文：Deposition rate variation of natural activities of ^7Be and ^{210}Pb
研究代表者	大橋 英雄（東京海洋大学）
参加研究者	鈴木 芙美恵（東京海洋大学博士課程前期1年）
研究成果概要	1. はじめに ^{210}Pb はウラン系列に属する放射性核種で、地表近くの岩石や土壌中の ^{238}U が放射壊変し、希ガスの ^{222}Rn を経由して生成される。一方、^7Be は成層圏や対流圏上部において宇宙線と大気中の酸素との反応により生成される。そこで、エアロゾル研究において ^{210}Pb は大陸起源（土壌起源）物質の指標として、^7Be は上層大気の輸送や大気中物質の鉛直輸送のトレーサーとしてしばしば用いられてきた。このように ^{210}Pb と ^7Be はエアロゾル輸送研究において重要な核種にもかかわらず、両核種を同時に観測した例は少ない。さらに、黄砂などの風吹ダストが、日本における人工及び天然放射性核種の降下量に影響を及ぼしている可能性も示唆されており、エアロゾル輸送研究の重要性が高くなっている。そこで本研究では、東京都港区、青森県上北郡六ヶ所村の2地点で月間 ^{210}Pb 及び ^7Be 降下量の観測を行い、これらの季節変動とその要因について考察した。 2. 方法 大気降下物は、東京都港区（東京海洋大学）及び青森県六ヶ所村（環境科学技術研究所）において水盤(有効面積 0.2m^2)を設置し、2002年5月から2003年4月までは1ヶ月間隔で、それ以降は2週間隔で採取した。採取した雨水中の ^7Be、^{210}Pb を2段カラム装置を用いてイオン交換樹脂（Grave社製）に吸着させた。この樹脂を定型にしたものを試料として柏地下実験室内に設置されているGe半導体検出器（Canberra製）を用いて一月程度測定を行い、そのデータを解析して ^7Be、^{210}Pb の濃度、降下量などを求めた。なお、降雨量の測定は行っていないため、最寄の地点として羽田のアメダスデータを用いている。 今年度より過去の資料を灰化した試料を用いて人工放射線核種である ^{41}Ca と ^{137}Cs に付いてのデータも取得することとし、通常の降雨試料と灰化試料を約2週間ごとに測定を行うこととした。 3. 結果 ・ Be-7 には季節変動があまり見られず、降水量に依存している可能性が高い。 ・ Pb-210 にも季節変動はあまり見られなかった。また、黄砂の影響を受けている可能性が低い。 ということが分かった。

・図3に示したように、今年度の降水量と Be/Pb のグラフを比較すると、ほぼ降水量に従った値となるが、5月のみ特異的な値となっている。この原因は未だ良く分からないが、これまでのデータでも同様の傾向を示しているかなと、今後の課題である。

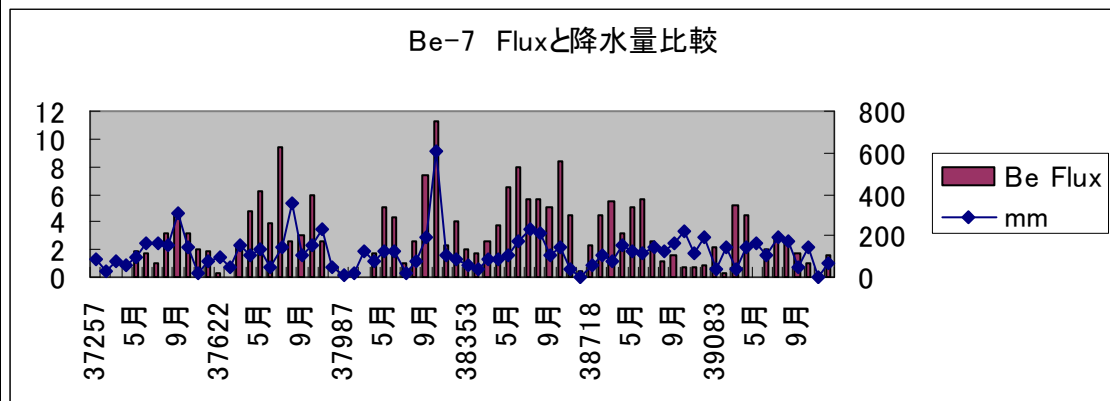


図1 Be-7 降下量と降水量との比較

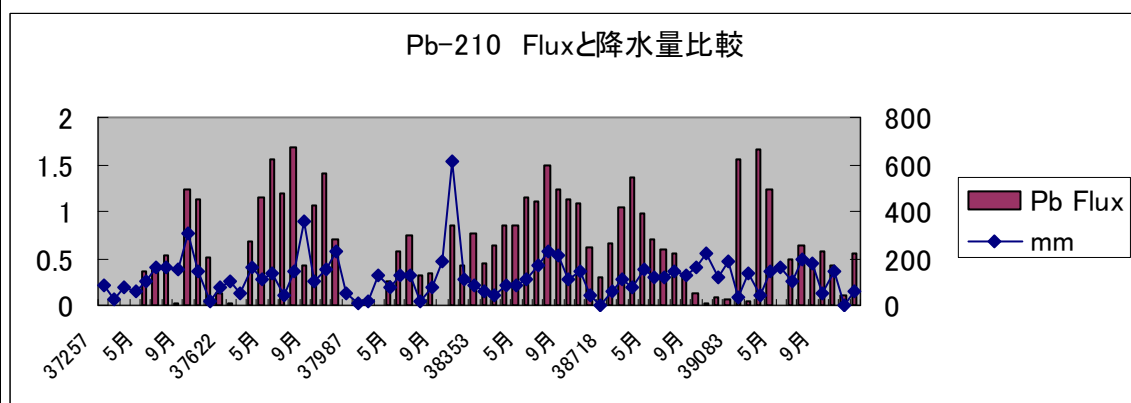


図2 Pb-210 の降下量と降水量の比較

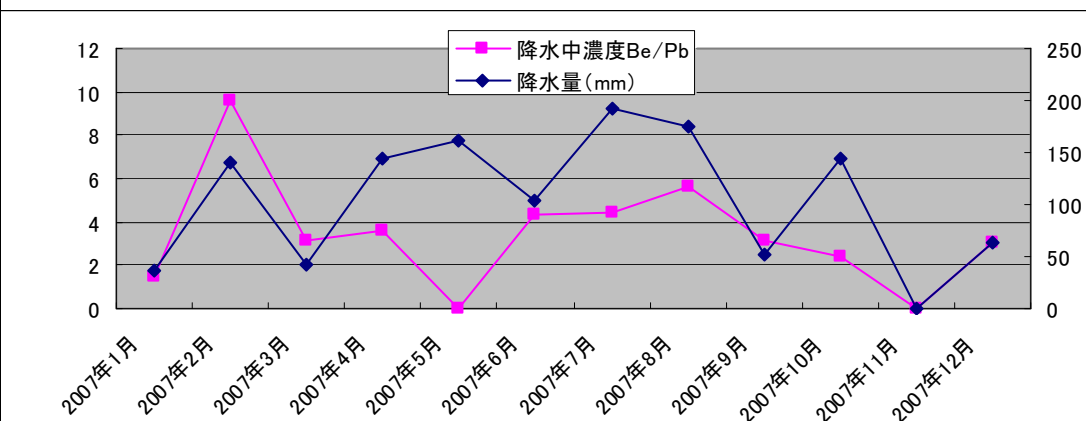


図3 降水中の Be/Pb 比と降水量の関連

整理番号

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：Be-7、Na-22 などによる宇宙線強度時間変化の検出

英文：Detection of time variations for cosmogenic Be-7, Na-22

研究代表者 山形大学・理学部 櫻井敬久

参加研究者 菊地聡、鈴木佳代、高橋唯、佐藤太一、郡司修一、門叶冬樹、乾恵美子、古沢重和、門倉昭（極地研）

研究成果概要

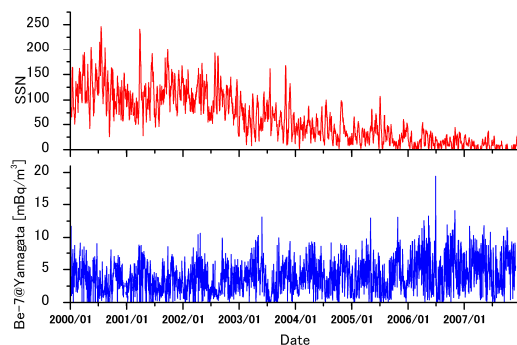


図 1：日変動プロファイル

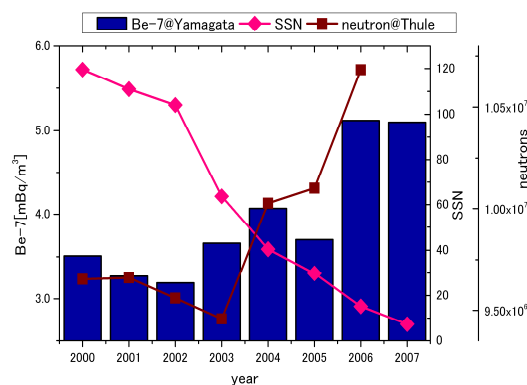


図 2：年変動プロファイル

宇宙線生成核種の強度変動と太陽活動の関連についての研究を進めています。宇宙線生成核種の強度変動は、地球全体へ降り注ぐ宇宙線の強度変動を表しており、全強度測定として重要です。しかし、宇宙線生成核種の地表への降下は、成層圏、対流圏での大気循環等の気候変動や地表付近での気象に影響されるため、宇宙線強度変動を調べるためには長期連続観測により、これら変動の因子を明らかにすることが必要です。これらの測定は、古代の宇宙線変動を調べる ^{14}C 濃度変動の解析にも重要です。2000 年 1 月より積算流量がデジタル記録できる新しいハイボリュームエアサンプラーにより、宇宙線生成核種の日変動精密観測を継続して行っています。第 23 太陽活動周期の活動ピークから静穏期底部への約 8 年間 の日変動データが得られています。また、緯度および大気循環による効果を調べるため、2003 年 9 月後半よりアイスランド（北緯 64 度）に、2005 年 10 月よりアメリカ・ユタ州（北緯 39 度）に同じサンプラーを設置

し観測を継続しています。

図1、2は2000年から2007年までの ^7Be 濃度、および太陽黒点数の日変動と年変動のプロファイルです。年変動プロファイルには地磁気 cutoff が0 GV の Thule（グリーンランド、北緯76.5度）の地上中性子強度変動も示しています。太陽活動の静穏期（黒点数：少）への下降にともない ^7Be 濃度が増加しています。2000-2006年かけて2000年を基準とすると、太陽黒点数は約87%減少、 ^7Be 濃度は約46%増加していました。これに対して、中性子強度は約11%しか増加しておらず、極域での地上中性子強度変動だけでは山形で観測された ^7Be 濃度の変動を説明できません。しかし、活動期と静穏期における一次宇宙線陽子のエネルギースペクトルの変動は、太陽活動周期によって異なるが、例えば2.5 GeV以上の成分で約38%変動します。約10 GVの地磁気 cutoff がある山形では、2.5 GeVの陽子は入射できませんが、より高緯度の大気高層であれば入射可能であり、そこで生成された ^7Be がエアロゾルに付着して大気大循環により山形に流入している可能性があります。このように、 ^7Be 濃度の太陽活動との逆相関は単純ではなく、宇宙線と大気運動を統合して考える必要があることが分かってきました。

そこで我々は、 ^7Be 濃度の変動として顕著である季節変動に着目しています。図3は2005年の ^7Be 、 ^{22}Na 、 ^{137}Cs 、 ^{210}Pb 濃度の月変動を表しています。 ^7Be 濃度は春（4月）と秋（10月）にピークがあるのが分かります。この季節変動は、成層圏と対流圏での大気交換によると考えられ、 ^7Be 以外の放射性核種も

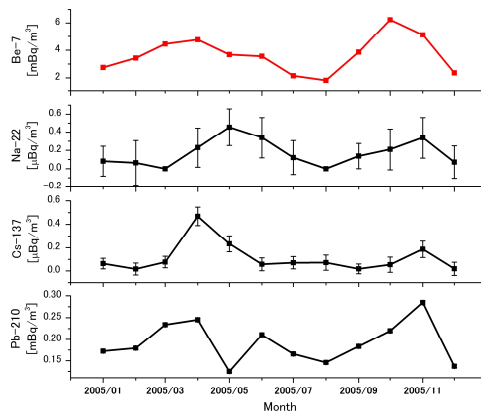


図3：2005年の ^7Be 、 ^{22}Na 、 ^{137}Cs 、 ^{210}Pb 濃度の月変動

測定することで鉛直方向の大気運動の解明につながります。日変動観測で回収されたフィルターを圧縮・粉碎し、1ヶ月分をまとめて柏微弱放射能測定設備で測定することで、 ^{22}Na 、 ^{137}Cs 濃度の月変動を初めて検出することができました。 ^{22}Na の平均濃度は ^7Be の約2000分の1程度であり、柏地下設備の高い測定能力の検証にもなりました。 ^{22}Na は大気中のArをターゲットとする宇宙線生成核種で、生成に必要な閾エネルギーが ^7Be と異なる宇宙線生成核種であり、宇宙線のエネルギー

スペクトルの変化を調べる上で大変重要です。また、これらの放射性核種同士で比を求めれば、それぞれの寿命や起源の違いを利用して核種の高度分布やそのときの大気運動を知る手掛かりとなることが期待され、 ^7Be 濃度年変動の変動率原因を追究する上で重要なデータとなります。

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：古木年輪中の放射性炭素測定と微量放射性同位元素による過去の宇宙線強度変動の研究

英文：Detection of low level radioisotopes in tree rings

研究代表者 山形大学・理学部 櫻井敬久

参加研究者 鈴木佳代、高橋唯、郡司修一、門叶冬樹、乾恵美子、古沢重和

研究成果概要

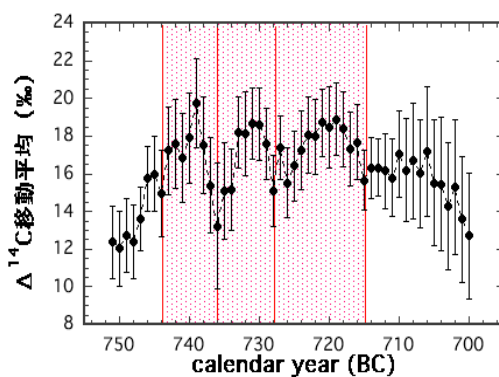


図 1 2600 年前の年輪中 C14 濃度の 11 年周期変動



金峰杉の写真

2500 年、2 万年、4 万年前の古木試料の放射性炭素 (C-14) 濃度を調べることで、古代の宇宙線強度変動を 1 年の時間分解能で調べることを目的としています。図 1 は古木年輪中の C-14 濃度変動を示しており、太陽 11 年周期変動に対応する変動が見えています。大気中 C-14 濃度は宇宙線強度、地磁気強度により変動を受けるが、気候変動などの環境因子によっても変動を受けます。また、樹木試料に含まれる自然放射性核種の取り込みは樹木生育環境によって変動する可能性があり、ウラン、トリウム系列、カリウムなど微量自然放射性核種を年輪毎に微弱放射能測定設備で測定することで、環境因子との関連を調べています。その結果、樹木中 K-40, Cs-137, Pb-212 の測定が可能であることがわかったため、年輪毎の微量元素成分を調べることで、樹木成長と生育環境の関連を調べられる可能性があるため、現代の樹木年輪により継続的に測定している。本年度は、昨年度に引き続き西暦 1800 年から約 200 年輪をも

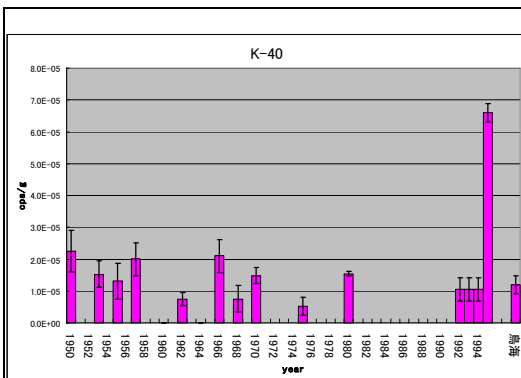


図 2：単年輪中の K-40 濃度

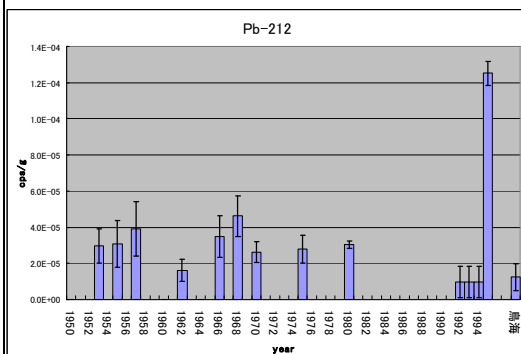


図 3：単年輪中の Pb-212 濃度

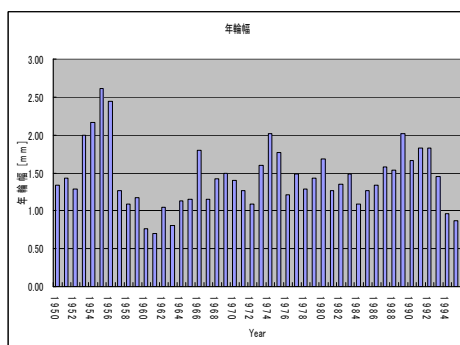


図 4：年輪幅のプロファイル

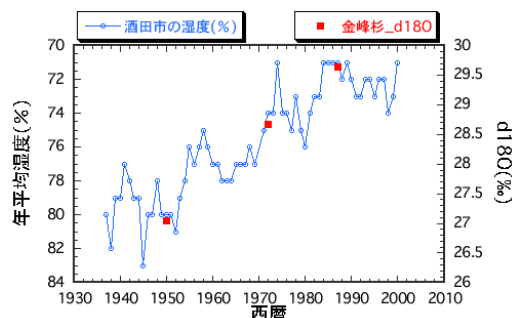


図 5：年輪中の酸素 δ O-18 と湿度変動

つ金峰杉（写真）の年輪中自然放射性核種の測定を行い、濃度プロファイルの作成を進めました。

気象データなどが観測されている 1950 年～1995 年の樹木年輪と 2500 年前の鳥海神代杉を柏地下施設で測定を行い比較しました。各年輪試料とも約 15 g 程度を用意しました。図 2、図 3 に示されるように K-40 とトリウム系列の Pb-212 の濃度変化が年輪ごとにみられます。樹木は生育するときに地中より水を吸い上げ、そのとき水に含まれる微量放射性同位元素を取り込むと考えられますが、基本的に地質構造は短期間に変化するとは考えられないので、これらの放射能濃度の変化は樹木生育の環境変化、即ち降水量や気温などの条件と関係している可能性があります。樹木の生育度の指標の 1 つとして年輪幅があげられ、図 4 に示されるような変動をしています。

図 5 は、同一樹木試料をセルロース処理して安定同位体酸素 δ O-18 の試験測定結果であり、湿度データとの比較を示しています。未だ 3 年輪だけの結果であるが、湿度データと良い相関を示していることが分かりました。これは樹木の蒸散作用が環境因子を記録していることを意味しており、古木年輪への利用により過去の湿度環境を調べることができます。図 2、図 3 にある鳥海試料結果は、未だ 1 点であるが現代の樹木に比べて少し低い値を示した。さらに微量放射性同位元素の測定値と安定同位体酸素 δ O-18 の比較測定を継続して過去の環境因子測定法を開発します。

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：地球外固体微粒子に関する総合研究 英文：Comprehensive Researches on Cosmic Dusts	
研究代表者	広島大学・准教授・寺田健太郎
参加研究者	山形大学・教授・櫻井敬久、同講師・岩田尚能
国立極地研究所・助手・今栄直也	学習院大学・助手・村上登志男
立正大学・教授・福岡孝昭	原子力研究開発機構・研究員・大澤崇人
国立天文台・教授・佐々木晶、研究員・吉田敬	東京海洋大学・教授・大橋英雄
神戸大学・助教授・伊藤真之	獨協医大・教授・野上謙一
九州大学・助教授・中村智樹	茨城大学・助教授・野口高明
大阪大学・教授・土山明、助手・橋爪光、招聘研究員・茅原弘毅	
宇宙航空研究開発機構・助手・矢野創、開発員・矢田達	筑波大学・講師・丸岡照幸
宇宙航空研究開発機構・招聘研究員・中村良介	首都東京大学：教授・海老原充
研究成果概要	
本活動は、「地球外起源固体微粒子」に関する分野横断的な議論を行うことを目的として、平成14年度から始めた「地球外固体微粒子に関する総合研究」の研究会開催である。今年度は2007年12月14日（金）、2008年3月28日（金）の2回、宇宙線研究所6階会議室において研究小集会を開催した。参加者はのべ52名（30名+22名）で、19件の最新の研究報告が行われた。今回は、従来の南極氷床から採取された宇宙塵の地球化学的・鉱物学的研究に加え、彗星サンプルリターンミッション（Star dust計画）で回収された彗星塵の分析速報、彗星塵のモデル、原始惑星系円盤ダストの赤外観測、小惑星イトカワにおける岩石粒子の流動、水星探査器搭載ダスト検出器の開発状況、等々の「分析」「探査」「観測」「理論」の多岐にわたる報告が行われ、自由闊達に議論した。これらの講演内容は、地球化学会、天文学会、惑星科学会、鉱物学会などに広く跨がるもので、通常の単体の学会では実現困難な異なる分野の研究者間の議論の場を、本研究集会によって得ることができた。2006年、2007年は、Nature 1本、Science 4本等の公表論文の当たり年になっている。これらは、分析法確立の段階やpreliminaryな結果が出た段階で本研究会に於いて議論・洗練された内容も含まれており、本研究会を定期開催してきた成果と位置づけられる。今後も活動を継続する事で、本研究分野の更なる発展が期待される。 尚、研究集会の内容を広く公開するべく、本研究会専用のホームページを作成し、過去6年間の研究集会のプログラムを掲載するとともに、今年度開催分については各講演内容をダウンロードできるように整備した。 http://whyme.geol.sci.hiroshima-u.ac.jp/~geochem/ICRR_meeting.html	

以下に、平成19年度の講演タイトルを列挙する。

<2007 年 12 月 14 日開催>

太陽系の消滅核種の供給源：超新星爆発の可能性
Eu 同位体比に基づく s-process の考察
衝撃波加熱モデルにおける前駆体ダストの熔融について
宇宙塵の 3 次元形状について - 地球大気中で熔融したダスト粒子の変形
これまでに特定された層状ケイ酸塩を含む南極産宇宙塵の鉱物学的特徴
地球外物質中を同位体イメージング法で探索する星間有機微粒子
炭素質物質のアルゴン保持力～phase Q は本当にケロジェンなのか
SHRIMP による月の「海」起源隕石の U-Pb 年代分析
水星探査衛星ベピコロomboでの宇宙塵計測
軽量・大面積宇宙ダスト／デブリ検出器の開発他

<2008 年 3 月 28 日開催>

南極ドーム Fuji コア切削氷からの宇宙塵回収法
南極沿岸とつつき裸氷帯の微隕石の岩石鉱物学的研究
イトカワにおける岩石粒子の流動
ドームふじ氷床コア中の微隕石層
電子顕微鏡および放射光単結晶 X 線回折を用いた Wild2 彗星塵の鉱物結晶学的研究
スターダストサンプルにおける彗星塵衝突トラックの 3 次元構造
超新星におけるニュートリノ軽元素合成
彗星塵のモデル
原始惑星系円盤ダストの赤外観測

整理番号	
------	--

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：南極宇宙塵の化学的研究 英文：Chemical study for Antarctic micrometeorites
研究代表者	立正大学地球環境科学部・教授・福岡孝昭
参加研究者	立正大学地球環境科学部・研究員・田澤雄二 青山学院大学理工学部・放射線主任・斉藤裕子 立正大学地球環境科学部・学部生・宇野友則
研究成果概要	「南極ドーム Fuji コア切削氷からの宇宙塵回収」 宇宙塵が宇宙から定常的に地球に降り注いでいるのか、波があるかは、宇宙に関する研究の大きな課題の 1 つです。南極ドーム Fuji 基地では、深さ 3000m を超える氷床コアの掘削に成功しました。深さ 3000m の氷の年代は約 80 万年といわれています。このコア氷から宇宙塵を回収できれば、過去 80 万年間の宇宙塵の降下率が定常であったかを知ることができます。しかし、氷床コアは過去の多種にわたる環境情報を持っているので、宇宙塵の研究に全てを使うことができません。さいわいなことに、3000m の氷床コアを掘削する際に生じた削りくずの氷（掘削氷）が保存されています。 平成 19 年度の研究では、この南極ドーム Fuji コアの切削氷から宇宙塵を回収する方法を確立することをテーマにしました。国立極地研究所に・20℃で保管されていた切削氷の一部（深さ 700m の切削氷、約 40kg）を用いて、立正大学への移管後の保存法、融解法、ろ過法、等の検討を行いました。ろ過作業は立正大学のクリーンルーム内で行いました。 ろ過したフィルターには多種のゴミが存在しました。その多くは掘削作業時の軍手等の繊維、作業現場等からの埃、金属片でした。このうち金属片は、掘削時に掘削パイプをつるすワイヤーの亜鉛メッキが剥がれたものであることが判明しました。これらのゴミを水中でのデカンテーション、重液分離で分離した後、実体顕微鏡下で宇宙塵をハンドピックするという手順が考え出されました。 ハンドピックした塵について電子顕微鏡による形態観察と EDS スペクトルの観察を行った結果、宇宙塵の存在が確認されました。しかし残念なことに、その後の操作中に紛失し、詳細な化学組成を知ることはできませんでした。
整理番号	

平成 19 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：少量南極隕石の ^{26}Al 放射能の測定 英文：Measurements of ^{26}Al radioactivity for minor amount of Antarctic meteorites
研究代表者	立正大学地球環境科学部・教授・福岡孝昭
参加研究者	国立極地研究所・教授・小島秀康 東京海洋大学・教授・大橋英雄 東京大学工学部・准教授・松崎浩之 立正大学地球環境科学部・院生・楠野葉瑠香
研究成果概要	「南極隕石はいつ落下したか？」 南極の氷河の上で多数の隕石が発見され、今までに日本隊によって約 1.6 万個もの隕石が収集されています。南極の氷は約 80 万年の年代にわたっているため、これら氷河上で採集された隕石もこの間に落下したものと思われます。隕石が地球に落下する際、それは定常的に落ちてくるのか、ある時期に集中しているのかという落下頻度の問題は、隕石研究の大きな課題の 1 つです。隕石の種類によっても落下頻度が違うことも考えられます。このようなテーマを研究するにあたって 1.6 万個という隕石の数は統計を考える上で大変貴重な試料数です。 ところで、隕石が宇宙空間にあるとき、隕石に宇宙の放射線が当たり、原子核反応が起こり、極微量の放射性元素 (^{14}C, ^{26}Al, ^{36}Cl, 等) が生じます。隕石が地上に落下すると宇宙の放射線が当たらなくなるので、宇宙空間にあった時に生じた放射性元素は時間と共に減少します。放射性元素の減少の仕方は核種によって特有ですので、残っている放射能 (放射線強度) を測定することにより落下年代を求めることが出来ます。 本研究では、宇宙線研究所の地下 25m にある微弱放射能測定設備を利用して、南極隕石に生じた ^{26}Al から放出される微弱な γ 線強度を測定しています。 ^{26}Al から放出される γ 線は大変微弱なため、1 試料の測定に数ヶ月を必要とします。小指の先程しかない少量の南極隕石については、隕石を非破壊で測定できる本設備で測定する方法がベストであると考えられますが、1 万を超える数の隕石を取り扱うには時間がかかり過ぎます。大きな隕石については隕石を溶かしてしまつて ^{26}Al 量を測る方法 (加速器質量分析法 ; AMS 法) があります。 平成 19 年度は AMS 法による測定を含め、53 個の日本隊により採集された隕石の ^{26}Al 含有量を求めました。その結果、小惑星 Vesta を起源とする HED 隕石と、コンドライト隕石で ^{26}Al 含有量が異なる、すなわち HED 隕石の ^{26}Al 含有量の方が高い値を示すことが明らかになりました。これはコンドライト隕石の落下年代が古く、HED 隕石は最近落下したことを示すようにも考えられます。しかし、両隕石種の化学組成が異なるので、宇宙空間での ^{26}Al 生成率が異なることによっても説明ができます。今後、後者の面での考察を行う予定です。
整理番号	

平成19年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：IceCube 実験におけるシミュレーションデータの生成
英文：Monte Carlo simulation data generation for the IceCube experiment

研究代表者 千葉大学理学部物理学科助教授 吉田 滋
参加研究者 千葉大学理学部物理学科助手 間瀬 圭一
千葉大学自然科学研究科修士2年 稲場未南
千葉大学理学研究科修士1年 小野美緒

研究成果概要

現行の計算機 OS では、IceCube 用シミュレーションデータの大規模生成はできないことが判明した。来年度に更新される新計算機システムの運用開始後に、データ生成の予定。

整理番号