

ICRR

No. 36

1998. 9. 1

東京大学宇宙線研究所

ニュース

記載の記事は宇宙線研ホームページ (<http://icrsun.icrr.u-tokyo.ac.jp/index-j.html>) からでも御覧になれます。

国際会議報告

NEUTRINO98報告

中 畑 雅 行



写真 1 : NEUTRINO98国際会議参加者

第18回ニュートリノ物理学・宇宙物理学国際会議 (NEUTRINO98) が、6月4日から9日の会期で岐阜県高山市の市民文化会館にて開催された。会議はIUPAP (C4) の後援を得て、文部省、東大シンポジウム、岐阜県、井上財団、民間企業のご協力をいただき、無事開催することができた。この場を借りて感謝の意を表したい。また、飛騨地域広域行政事務組合の方々には会議の同伴者プログラム、伝統芸能等の企画、運営に対して多大なる御尽力をいただいた。会議の裏方を勤めていただいた高山市のボランティアの方々、宇宙線研究所の事務の方々にもお礼を述べたい。

NEUTRINO国際会議は1972年に始まり2年に一度開催されており、日本での開催は1986年の仙台以来12年ぶり2回目である。当初の予定では1998年がカナダのサドバリー、2000年が高山という順序で

あったが、SNO実験とスーパーカミオカンデ実験の進行状況により、急遽順番が入れ替わった。会議の準備期間がスーパーカミオカンデの最初のデータ解析の時期と重なり、果たして会議の準備ができるかと危ぶまれたが、結局、会議には海外からの参加者が225名、日本から133名、計358名という大盛況の会議を開くことができた。

会議の最大のトピックは、後に詳しく述べるが、スーパーカミオカンデによる「ニュートリノ振動の発見」であった。ニュートリノ振動はニュートリノに質量があることを示す。この結果は、ニュートリノを「質量なし」として扱っている素粒子の「標準理論」の拡張を意味する。まさに素粒子物理学における新発見である。また、得られたニュートリノの質量差 (正確には質量の二乗の差) が他の素粒子に比べて桁違いに小さいことは、非常に大きな質量ス

ケールに「何かがある」ことを示し、大統一理論検証に向けて大きな一歩を踏み出したと言える。このような画期的な発表がスーパーカミオカンデのお膝元、高山でできたことはすばらしいことである。

NEUTRINO98では、このシリーズの慣例に従い、招待講演者による全体会議が行われた。講演者は全員で71人にのぼり、各分野での活発な発表が行われた。NEUTRINO98では、今までこのシリーズの会議ではなかったこととして、ポスター発表も行った。35件の発表があり、大盛況であった。6月6日にポスターセッションを設け、参加者との議論が弾んだ。(日本版wine and cheeseも手伝って。)また、会議への投稿論文として、36件の最新論文が寄せられた。

NEUTRINO98の全体会議は、戸塚組織委員長の挨拶の後、岩崎文部省国際プロジェクト官、小林副学長のご挨拶をいただき始まった。最初に、P Raymondによる開会講演として「Neutrinos The Key to the Standard Model and Beyond」と題する講演があり、ニュートリノ物理学の歴史、ニュートリノの標準理論での位置づけについて詳しい発表があった。

以下、NEUTRINO98の全体会議での講演について主だった内容を報告する。会議のトラペは、NEUTRINO98ホームページ (<http://www.sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/nu98/>) にて見ることができる。詳細は、そちらをご覧ください。

(1) 太陽ニュートリノ実験

K Landeにより、塩素37実験の発表があった。最新の太陽ニュートリノ強度は、 2.56 ± 0.16 (stat) ± 0.16 (sys) SNUであり(ちなみに標準太陽モデルの予想値は7.7NU)、統計と系統誤差を合わせると9%になる。今後は、各種改良を施し誤差を5%程度まで下げる予定である。また、ヨウ素127を用いた同様の実験の準備が進んでいるとのことであった。

ガリウム実験では、V.N.GavrinによりSAGEの結果が、T.KirstenによりGALLEXの結果の発表があった。SAGEは1990年から1997年12月までの結果で 67 ± 8 SNU、GALLEXは全結果を合わせて 78 ± 8 SNUであった(標準太陽モデルの予想値は129SNU)。将来に関しては、SAGEは2006年まで観測を続ける予定であり、終了したGALLEX実験はGNO(Gallium Neutrino Observatory)として生まれ変わり、段階的にガリウムの量を増やし最終的には100トンの装置を目指すとのことであった。GNOでは、ニュートリノ強度を5%以下の精度で測定するのが目標である。

鈴木洋一郎氏により、スーパーカミオカンデでの

太陽ニュートリノ観測の最新結果が発表された。スーパーカミオカンデで取得された504日分のデータを解析し、得られた強度は最新の標準太陽モデルの予想値の47%である。スーパーカミオカンデでは、単なる強度のみではなくニュートリノ強度の昼夜の違い、エネルギースペクトルの歪みといったことからモデルによらないニュートリノ振動の解析ができる。スーパーカミオカンデの結果では昼夜の違いは統計の範囲内でみられないが、スペクトルに歪みが1-5%の統計信頼度で見られる。99%信頼度でみたニュートリノ振動の可能性としては、いわゆる「真空振動解」(質量の二乗差が $\sim 10^{10} \text{eV}^2$)と「小角度解」(質量の二乗差が $\sim 10^5 \text{eV}^2$ 、混合角(\sin^2)が0.01)が許される。今後、エネルギーしきい値を下げるということが予定されており、近い将来に高統計での結果が期待されそうである。

1000トンの重水実験(SNO)の現状についてA.McDonaldにより発表があった。SNOは、実験装置が完成し、現在注水の最中である。最初は、重水で荷電カレント現象を主にデータをとる予定で、実験開始は今年の夏頃とのことである。その後に塩素を加えるかヘリウム3カウンターを入れて中性カレントのデータを取るとのことである。Borexino(電子散乱によりベリリウム7ニュートリノの強度を測る



写真2：戸塚組織委員長による挨拶

実験)は、現在建設が進んでおり2000年には装置のアセンブリを行う予定であるとL. Oberauerにより発表があった。その他、太陽ニュートリノの将来計画としてR. E. Lanouにより、HELLAZ、HERON、LENS、Lithium等の実験が紹介された。

(2) 太陽モデル、陽震学

J. N. Bahcallにより最新の標準太陽モデルについて発表があった。最新モデルでは ${}^7\text{Be}(\nu_e, \nu_\mu)$ の断面積が改訂されたことが主に利いて、 ${}^8\text{B}$ の強度が、前のモデルに比べて14%小さくなった。近年、陽震学の観測が飛躍的に向上し(D. Goughによる詳しい発表があった)、太陽モデルとの比較が精密にできるようになった。Bahcallの最新モデルは、太陽中の音速が陽震学の観測結果と0.1%の精度でよく合っている。太陽ニュートリノ強度の不確定性について、原子核断面積の詳細にわたるサーベイがW. Hantonにより発表された。

(3) 大気ニュートリノ実験

NEUTRINO98の最大のトピックは、梶田隆章氏により発表されたスーパーカミオカンデの大気ニュートリノの結果である。梶田氏の発表の第一ページに書かれたサブタイトルは「Evidence for muon neutrino oscillations」であった。スーパーカミオカンデでは、大気ニュートリノのミュオンニュートリノと電子ニュートリノの比が予想値の0.63倍(1.33 GeV以下の現象)および0.65倍(1.33 GeV以上の現象)しかないという結果を得た。また、ミュオンニュートリノの天頂角分布が期待される分布から大きくずれており、下からのミュオンニュートリノの数が半分位しかない。これらの結果は、ニュートリノ振動を仮定し例えば質量の二乗差(Δm^2)を $2.2 \times 10^3 \text{eV}^2$ 、混合角($\sin^2 2\theta$)を1とすると良く結果を再現できる。ニュートリノ振動の許されるパラメータ領域としては、90%信頼度で Δm^2 が $5 \times 10^4 \text{eV}^2$ から $6 \times 10^3 \text{eV}^2$ の間、 $\sin^2 2\theta$ が0.8以上となる。また、振動が $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_\tau$ 振動なのか、 $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_s$ 振動なのかを解析を電子タイプのイベントとミュオンタイプの両方の天頂角分布を使って解析し、 $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_\tau$ 振動の方が Δm^2 の値が23小さく、より確からしいという結果であった。 $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_s$ 振動のリミットは、後述のCHOOZ実験でかなりの領域が既に排除されており、その結果と矛盾しない。 $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_s$ 振動か、 $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_\tau$ (物質と反応しないステライルニュートリノ)振動かという問いに対して、中性カレントの相互作用から期待される ${}^{\nu_e}$ 事象と電子タイプのイベントとの比を解析し、結果は $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_\tau$ 振動と良く合うということであった。た

だし、この値はニュートリノの相互作用の不確定性からくる系統誤差が今のところ大きく、決定的なことはまだいえない。しかし、来年から走る長基線実験の副産物として観測される多量のニュートリノ事象を使えば、この系統誤差を小さくできる。以上の結果は、いわゆるfully contained event(タンク内で反応し、タンク内で全エネルギーを放出した事象)とpartially contained event(タンク内で反応はしたが、エネルギーが一部タンク内へ逃げている事象)の結果であるが、スーパーカミオカンデの結果は、それだけでなかった。タンクの外で ν_μ が反応し、できたミュオンがタンクを上向きに通過した事象(上向きミュオン)通過せずにタンク内で止まった事象(上向きストップミュオン)に対しても発表があった。スーパーカミオカンデでは、534日間で617の上向きミュオン事象を観測し、その天頂角分布を見ると予想される分布とあっていない(χ^2 の値が18.3(9自由度))。しかし、ニュートリノ振動を仮定すると χ^2 の値が7.3(9自由度)となり良く合う。また、上向きストップミュオンと上向きミュオンの比をみると、データが $0.22 \pm 0.023 \pm 0.014$ に対して、ニュートリノ振動を仮定しない予想値は 0.39 ± 0.05 であり、大きく異なる。これも、ニュートリノ振動を仮定すると良く合う。以上のそれぞれのデータで独立に求めたニュートリノ振動の許される領域は(図1参照)すべて重なり合っておりカミオカンデの結果も加味すると Δm^2 が

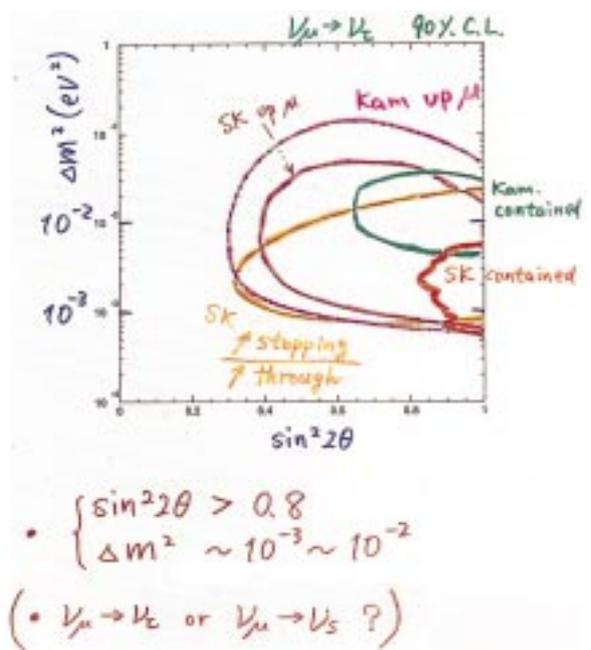


図1：ミュオンニュートリノ振動に対するスーパーカミオカンデの結果



写真3：小柴昌俊先生の講演

$10^3 eV^2$ から $10^2 eV^2$ 、 $\sin^2 2\theta$ が0.8以上にあることは、ゆるぎない事実である。以上の梶田氏に対する発表に対して会場から満場の拍手が送られ、その拍手がなかなか鳴り止まなかった。

スーパーカミオカンデの発表に先立ち、E. A. PetersonによりSoudan 2の結果が、F. RongaによりMACROの結果が報告された。Soudan 2では、 $(\nu_\mu/\nu_e)_{Data}/(\nu_\mu/\nu_e)_{MC}$ として $0.580 \pm 0.108 \pm 0.050$ という値を出した。MACROは上向きミューオンの結果を発表した。観測された数は、予想値の74%しかない。天頂角分布の合い具合は、ニュートリノ振動なしの χ^2 が26.1(8自由度)で、 m^2 を $2 \times 10^3 eV^2$ 、 $\sin^2 2\theta$ を1.0とすると15.8となる。Soudan 2の結果もMACROの結果もスーパーカミオカンデの結果をサポートするものである。

大気ニュートリノの強度計算について、T. K. Gaisserが発表した。スーパーカミオカンデでは地球磁場効果によるニュートリノ強度の東西の違いが見えており、それは計算結果と良く一致している。ニュートリノ強度の精度良い計算のためには、宇宙線の相互作用を精度良く計るためのビーム実験が必要であることと、一次宇宙線のエネルギースペクトルの精度良い測定が必要であるとのことであった。ニュートリノ強度の不確定性については、本田氏に

より詳しい解析が発表された。詳細は、ホームページを見られたい。

(4) ニュートリノ振動(理論)

太陽ニュートリノのニュートリノ振動について、初日にA. Smirnovによる発表があった。特にparametric resonanceについては非常にわかりやすい説明がされた。二日目の最後の発表として、P. Langackerにより太陽ニュートリノ、大気ニュートリノの結果を踏まえてニュートリノ振動の解釈に対して詳細な発表が行われた。さながら会議前半のsummary talkといった迫力ある発表であった。

(5) 長基線ニュートリノ振動実験

C. BemporadによりCHOOZ原子炉ニュートリノ実験の結果が発表された。原子炉から1 kmの場所に置かれた4.7トンの有効体積を持つ実験装置で、反電子ニュートリノの消滅をみる実験である。有意な欠損は観測されず、ニュートリノ振動に対して m^2 が $10^3 eV^2$ 以上に対して $\sin^2 2\theta$ が0.2以上の領域を排除した。この結果は、カミオカンデの結果を $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_\tau$ 振動として解釈した結果の領域をカバーしている。先に書いたとおりCHOOZの結果はスーパーカミオカンデの結果と矛盾しない。同様の原子炉実験は、Palo Verde原子炉でも準備されており、今年の9月から実験開始となる。カミオカンデの跡地に建設されるKamLandについて鈴木厚人氏により発表された。建設は、今年開始され、2001年1月のデータ所得開始を目指す。近傍の原子炉まで150km以上の距離があり、 m^2 が $10^5 eV^2$ の領域まで議論でき、太陽ニュートリノ問題の大角度解の検証ができる。Kam Landは、また地球の内部からの反電子ニュートリノの観測も目指す。

加速器を用いた長基線実験では、フェルミ研究所からSoudanに飛ばすMINOS実験についてS. Wojcickiが、CERNからGran SassoへのプログラムについてF. Pietropaoloが発表し、西川公一郎氏によりKEK Super Kamiokande(K2K実験)の進捗状況が話された。このうち、K2K実験は、来年1月より実験を開始する。MINOSは、2002年開始を目指して、ビームエネルギーの最適化、実験装置設計を行っている。実験装置は、エマルジョンを用いた装置と磁化した鉄カロリメータとの併用を考えているとのことであった。CERN Gran Sassoは、Gran Sassoでの装置についていくつかプロポーザルがでており、その検討を行っているとのことであった。実験開始は、2003年を目指している。

(6) 加速器ニュートリノ実験

D. H. Whiteにより、LSNDの結果が発表された。

1995年から1997年まで取られたデータでも反ミューオンニュートリノから反電子ニュートリノへの振動の事象が見られ、1993年からの全データをまとめると 82.8 ± 23.7 事象のexcessがあると発表した。これに対して、同様の手法の実験KARMENは、1997年より宇宙線バックグラウンドを減らしたデータを取ったが有意なexcessはみられないとB. Zeitnitzが発表した。ニュートリノ振動のパラメータについてだが、最近発表された統計処理の方法で解析するとLSNDが許す領域をほぼ全域排除してしまう(通常のBayesian approachでは、残る領域があるが)。

CHORUS、NOMADによる大 m^2 領域での $\mu \leftrightarrow \nu$ 振動についてO. SatoおよびJ. Gomez Cadenasにより発表された。得られた排除領域は、現時点でそれぞれ $\sin^2 2\theta$ が 1.3×10^3 以上、 2.2×10^3 以上であった。

タウニュートリノが存在することは周知の事実であるが、タウニュートリノの反応を実際に捕らえた実験は未だかつてない。エマルションを用いてフェルミ研究所のビーム中のタウニュートリノを捕らえる実験(DONUT(FNAL E872))についてM. Nakamura氏が発表した。解析はまだ進行中ではあるが、トラックの折れ曲がり(kink)を持ったタウニュートリノの候補が2例あるとのことであり、今後の進展が期待される。

D. Haidtにより、HERAのZEUS、H1実験で高い横運動量のレプトンを持ち損失横運動量を持った事象が10例あり、バックグラウンドでは説明がつかないという興味ある結果が発表された。

ミューオン衝突型加速器からは、膨大な量のニュートリノが作られるとP. Spentzourisが発表した。ミューオンの貯蔵型加速器で一年間に 7.5×10^{20} 個のミューオンを蓄えたとすると、地球の反対側で一年あたり1平方メートルで 10^{10} 個のミューオンニュートリノ、電子ニュートリノが期待されるとのことである。

(7) ニュートリノ素粒子物理学

柳田勉氏により、大気ニュートリノ、太陽ニュートリノの結果を踏まえてニュートリノの質量を説明する理論について発表があった。 $E_7/SU(5) \times U(1)$ というゲージモデルを考えシーソー機構を使うと大気ニュートリノを大混合角の $\nu \leftrightarrow \nu$ 振動として説明でき、太陽ニュートリノは $\nu \leftrightarrow \nu$ 振動の小混合角解として説明ができるとのことであった。非常に

興味ある結果であるが私の理解の範囲を超えているので興味がある方は、ホームページトラペを見ていただきたい。

その他、大統一理論については、J. Patiによる陽子崩壊の可能性に対するレビュー、SQ(10)モデルのHiggs structureについてC. H. Albrightの発表があった。

S. L. Glashowは、「Departure from perfect Lorentz Symmetry」と題するたいへん魅力的な話をした。トラペをみていただきたい。

(8) ニュートリノ質量実験

トリチウムのベータスペクトルを用いたMAINZ実験の結果をC. Weinheimerが発表した。MAINZ実験は、装置の改良を行い m^2 の分解能が $5 - 8 \text{ eV}^2$ というデータが1997年、1998年に取られた。 m^2 の値は負になっており -10 eV^2 程度である。ニュートリノ質量の上限値に関しては、エンドポイントから70eVの範囲を使い仮想的なエネルギーピークを仮定した場合3.4eV(95% C.L.)であり、最後の15eVの範囲で仮想的なピークを入れない場合には、5 eV(2

)となる。同タイプ実験Troitskの結果がV. M. Lobashevにより発表された。1996、97、98年と取られたデータどれもエンドポイント近くに現象の超過がみられ、そのため負の m^2 が与えられてしまう。この超過がでるエネルギーの値とデータを取った時期との間に周期的な関係がある、というあまり信じがたい結果であった。将来的にはスペクトロメータを増強し、5年の内には1eVの分解能を持つ装置を作りたいとのことであった。

2重ベータ崩壊についていくつかの発表があった。ニュートリノのマヨラナ質量に対して、現在の最高

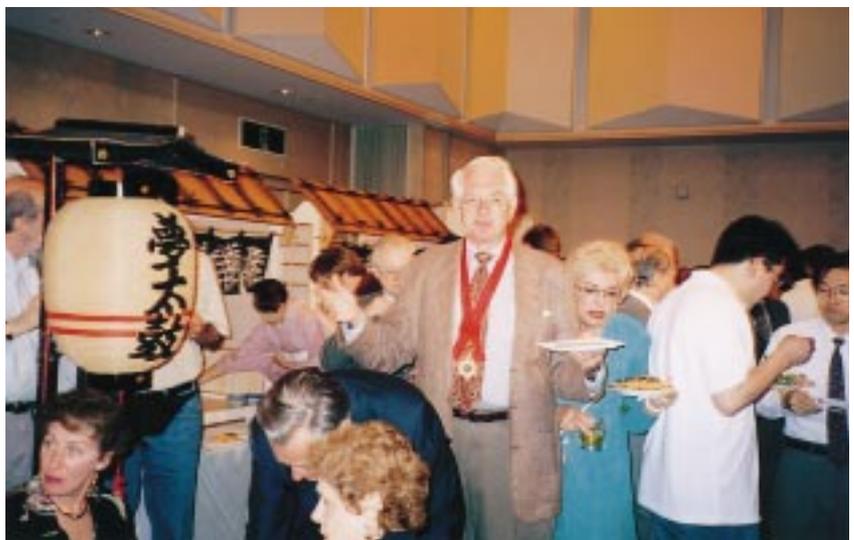


写真4 : S. L. Glashow氏(会議のバンケットにて、岐阜県からの記念メダルを胸に)

の上限値は ^{76}Ge の結果で 0.206eV である。現在進行中の実験は、 0.3eV 位の上限値を与えられるかもしれないが、 0.1eV 程度以下を目指すためには 100kg 以上のenrichした物質を使う必要があるとのことであった。

(9) 超高エネルギーニュートリノ

R Protheroeにより超高エネルギーニュートリノの源について大気ニュートリノに始まり、topological deficitからのニュートリノに至るまでの広範なレビューがなされた。

AMANDA実験についてF Halzenが発表した。300個の光モジュールからなる 10^4m^2 の有効面積を持つAMANDA Bが南極の氷 $1490\text{m} - 2000\text{m}$ 下に設置され、1年分のデータが取られた。その一部として先に設置された80個のモジュールで取られた6ヶ月分のデータを解析し大気ニュートリノ事象を2例ほど見つけている。今後の全モジュールでの結果が楽しみである。その他、超高エネルギーの実験の話としては、BAIKAL実験についてG.V Domogatsky、深海での実験についてL Moscosoの話があった。

Auger計画についてJ.Croninが話をし、超高エネ

ルギーニュートリノ観測の可能性について発表をした。

NEUTRINO98最後のセッションで、将来への展望として「Theoretical Interpretation of Neutrino Masses」と題する話がF.Wilczekによりされた。 $6 \times 10^{14}\text{GeV}$ あたりに新たなエネルギースケールがあること、SQ(10) GUT、陽子崩壊について実験屋にもよくわかる内容で話をした。

NEUTRINO98の最後は、小柴昌俊先生の講演であった。先生の提案により、昨年飛行機事故で亡くなったD.N.Schrammとカミオカンデの建設を指揮された故須田英博氏を悼み、1分間の黙祷が捧げられた。小柴先生は、ニュートリノ質量の値、大統一理論について予言をされた。先生が4年前にされた予言は、現在でもそのまま生きている。

一年以上の準備期間を要したNEUTRINO98が無事終わり、関係者一同ほっとしているところである。「ニュートリノ振動の発見」という超大型トピックまで飛びだし大成功の会議であった。関係方々にあらためて感謝の意を表し、この報告を終える。

研究報告

どこまで高いエネルギーの宇宙線が存在するのか

竹田 成宏

自然科学の研究はさまざまな方面に発展してきたが、宇宙にはまだまだ多くの謎が存在する。そのひとつに宇宙線の起源に関する謎がある。宇宙線とは宇宙空間からやってくる極めてエネルギーの高い放射線であり、その最高エネルギーは 10^{20} 電子ボルトにも達している。このエネルギーは地上の加速器で到達できた最高エネルギーより8桁（1億倍）も高く、自然界の四つの力のうち重力以外の三つの力を統一するエネルギースケール（GUTスケール）まで残り4桁である。

このような最高エネルギー宇宙線はどこでどのように生成されたのであろうか？最高エネルギー宇宙線が人工加速器と同じように低エネルギーから徐々に加速されているのであれば、そのような天然の加速器は人工加速器の1億倍も強力でなければならない。つまり、宇宙で最も活動的な天体として知られている活動銀河核や電波銀河での加速が候補として挙げられる。別の候補としては、宇宙開闢時に起こったとされる、より高エネルギーの現象 真空

相転位のときに生じる位相欠損（モノポールやコズミックストリング）の崩壊 からの二次生成物の可能性がある。さらに現代天文学の謎であるガンマ線バーストに伴う現象など、さまざまなモデルが提案されている。いずれのモデルにせよ最高エネルギー宇宙線が銀河系外に起源をもつならば、地球までの伝播中に宇宙背景放射の光子との相互作用を通してエネルギーを失ってしまう。そのため、地球上で観測される宇宙線のエネルギーには、この相互作用が効き始める $\sim 4 \times 10^{19}$ 電子ボルトあたりに上限が表れることが理論的に予測されてきた（この予測を示した研究者達の頭文字から、この上限はGZK cutoffと呼ばれている）。このGZK cutoffが存在するか否か、存在するならばどのような形状になるかという情報は、前述のさまざまな起源モデルを判別するのに利用される。過去の観測においては、この予測が示すようなGZK cutoffが存在すると思われていたが、最高エネルギー宇宙線の頻度は 1km^2 あたり1世紀に1ヶ程度と極めて少ないために、確定的な

結論は得られていなかった。

精度の良いデータを得るためには広大な検出面積をもつ観測装置が必要となり、地球大気そのものを検出器として宇宙線が大気に入射したときに生じる空気シャワー現象を観測する方法がとられている。この方法にはさらに大別して、空気シャワーに伴う蛍光を望遠鏡で検出する方法と、地表に配置した多数の検出器群で空気シャワー中の荷電粒子を検出する方法がある。前者はアメリカのFly's Eyeグループで採用され、後者はイギリスのHaverah Parkグループ、ロシアのYakutskグループ、そして我々AGASA（明野広域空気シャワーアレイ）グループなどで採用されている。

AGASAは図1に示すように、山梨県韮崎市郊外の茅ヶ岳山麓の8 km × 12 kmにもおよぶ広大な領域に111台のシンチレーション検出器を約1 km間隔で配置した空気シャワー観測装置である。各検出器は図2のようになっており、空気シャワー中の荷電粒子の密度と入射時刻を測定している。このようなシステムでのエネルギー推定としては、空気シャワー中心軸から500m～1000mでの荷電粒子密度を使用する。この方法は、相互作用モデルの違い、シャワー発達ゆらぎ、あるいは一次宇宙線の組成にあまり依存しないことが知られている。AGASAではエネルギー推定にシャワー軸から600mでの電子密度 $S(600)$ を使用している。この $S(600)$ は各検出器で測定された電子密度の分布をその分布の実験式にあてはめることにより求められ、一次宇宙線のエネルギーへと換算される。エネルギーの決定精度は±

30%以内で、50%以上過大評価する割合は2.4%である。一方、このエネルギー領域での核相互作用モデルやシミュレーションコードの違いによる系統誤差の定量的な評価は難しく、実験的にはAGASAのエネルギースペクトルを他の実験グループのエネルギースペクトルと比較することにより評価している。比較対象の一つは、AGASAの前身である明野グループの結果である。これは 3×10^{14} 電子ボルトから 10^{19} 電子ボルト以上まで系統的に調べられたものであり、人工衛星や気球での直接測定で得られた結果の外挿と良く一致し、低エネルギー側でよりエネルギー決定精度に優れた高山での実験結果とも一致している。他の比較対象としては、AGASAと同じ最高エネルギー領域で観測を行ってきたイギリスのHaverah Park、アメリカのFly's Eye、ロシアのYakutskの結果がある。これらの実験グループはそれぞれエネルギー決定方法が異なるが、相互のエネルギースペクトルの相違は 10^{19} 電子ボルトで30%以下である。従って系統誤差としても大きくても30%を越えないと推定される。

図3は、AGASAで観測した超高エネルギー宇宙線のエネルギースペクトルを示している。AGASAの露出は 10^{19} 電子ボルト以上で $2.6 \times 10^{16} \text{ m}^2 \text{ srs}$ （天頂角 $< 45^\circ$ ）であり、これはHaverah Parkグループの約4倍、Fly's Eyeグループ（ステレオ観測）の約5倍に相当する。図中の破線は、宇宙線源が宇宙空間に様に分布している場合に期待されるエネルギースペクトルを示し、GZK cutoffが認められる。ここに示したエネルギースペクトルで特徴的な点は、 10^{19} 電子ボルト以上でスペクトルの勾配が緩やかになっていること、 10^{20} 電子ボルト以上まで比較的滑らかに延びていることである。 10^{20} 電子ボルト以上で観測されたイベント数は6例であり、この数はAGASAのエネルギー決定精度によるもれだしの影響を考慮した破線のエネルギースペクトルでは説明できない。

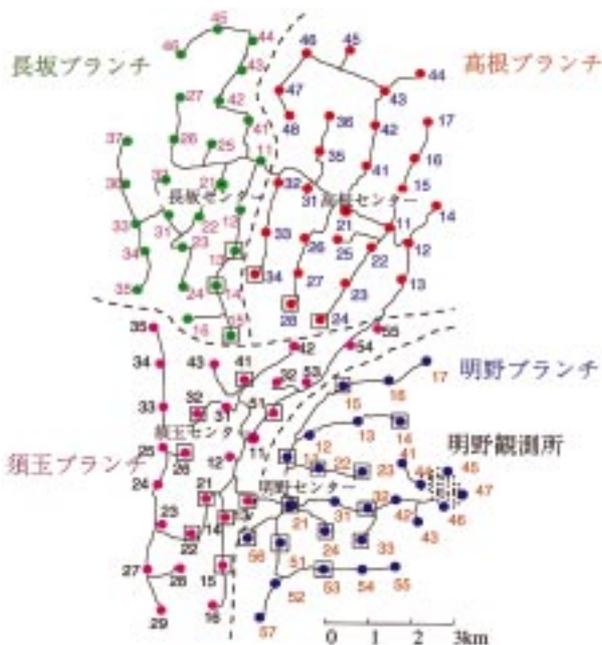


図1：AGASAの検出器の配置図

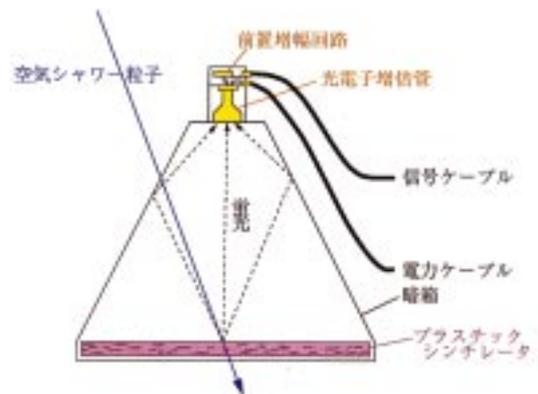


図2：AGASAの検出器

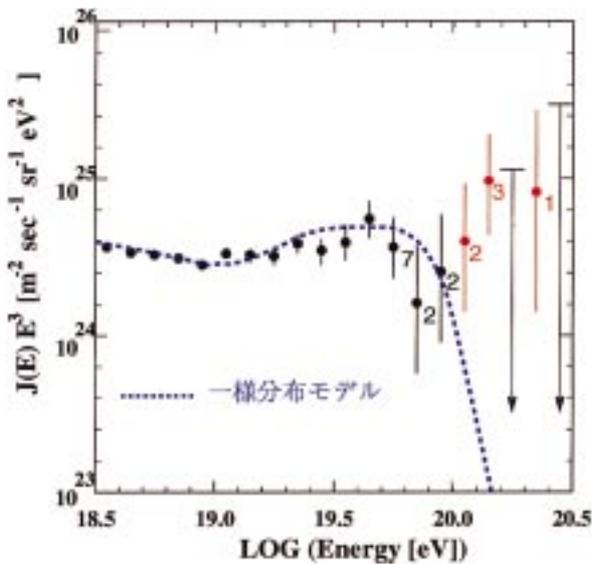


図3：AGASAで観測した超高エネルギー宇宙線のエネルギースペクトル。縦軸には E^3 を乗じている。誤差棒は68% C.L.で示し、矢印は90% C.L.の上限を表す。数字はそのエネルギーでのイベント数である。破線は宇宙線源が宇宙空間に一樣に分布している場合に期待されるエネルギースペクトルである。

つまり、今回の結果はGZK cutoffが存在しない可能性を初めて示唆したものである。

一方、宇宙背景放射の光子との相互作用によるエネルギー損失のために、 10^{20} 電子ボルトの宇宙線の源までの距離は50Mpc（約15億光年）を越えないと推定されていて、宇宙論的なスケールでは比較的近傍にその源があることが期待される。しかしながら 10^{20} 電子ボルト以上の宇宙線の到来方向（図4参

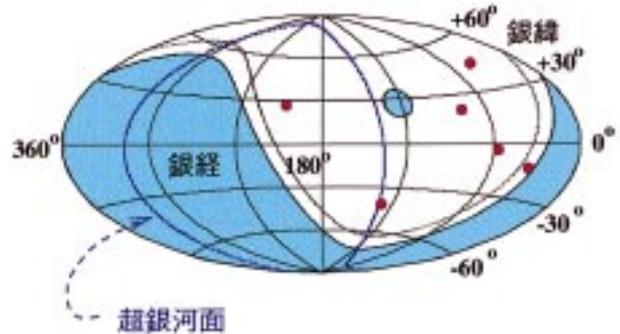


図4： 10^{20} 電子ボルト以上の超高エネルギー宇宙線の到来方向（銀河座標）。AGASAで観測できない領域（天頂角 $>45^\circ$ ）は塗りつぶされている。

照)で50Mpc以内には、宇宙線をこのエネルギー領域まで加速できそうな活動的な天体は知られていない。また、その分布は特定の方向に集中することではなく、天球上で比較的一様である。このことは、最高エネルギー宇宙線の起源として、未知の天体現象または宇宙での未知の物理過程の存在を示唆するものかもしれない。

最高エネルギー宇宙線の起源を解明するためには、第一にさらなるイベント数の蓄積が必要となるが、AGASAでの今後の観測では2倍程度の統計しか得られない。また、最高エネルギー宇宙線の起源に関するさまざまなモデルを判別するためには、エネルギースペクトルの他に到来方向分布、到着時間分布や化学組成といった側面からの研究も重要となる。従って、これらの研究の飛躍的進歩を期待されている宇宙線望遠鏡計画の早期実現が望まれる。

関連研究紹介

KamLANDプロジェクト

東北大学大学院理学研究科附属
ニュートリノ科学研究センター
鈴木厚人

1. はじめに

ちょうど5年前、東北大学に移り同大学理学部附属泡箱写真解析施設の将来計画となる新しい実験の検討を始めた。何人かの諸先生方および外国の同業者と議論し、大容量液体シンチレータを用いた低エネルギー・ニュートリノ物理学、及び天体物理学研究を推進する多目的実験を計画した。当初は、仙台に近い釜石鉱山（岩手県）の地下を実験候補地に選

び、そこに実験室空洞を掘って3,000トン液体シンチレータ検出器を建設する計画であった。しかしながら、所要経費が膨らみ“一研究施設ではとてもまかなえきれものではない”、“実現の見通しが少ない”、“なぜ、日本に大規模な地下実験施設が2箇所も必要なのか”などのご批判を受け、縮小案を考えることにした。ちょうどその頃、文部省の中核的研究拠点形成（COE拠点形成）推進プログラムがスタートした。この時、諸先生方から概算要求一本に

絞らず、このプログラムにも応募して多角的に予算を取るべしとのご指示を受け、COEに似合った規模の研究計画を立案した。これがKamLANDプロジェクトである。

KamLAND (Kamioka Liquid scintillator Anti Neutrino Detectorの略)は、既存のカミオカンデ検出器を改造して1,000トン液体シンチレータ検出器を中央部に配置した、多目的低エネルギー・ニュートリノ、反ニュートリノ検出器である。この計画を進めるにあたり、宇宙線研究所カミオカンデ実験施設の東北大学への移管や泡箱写真解析施設改組の概算要求等で、宇宙線研究所と現高エネルギー加速器研究機構の諸先生および事務局の方々から、多大のご支援、ご協力をいただいた。この力が結集して、3度目の正直でKamLANDが1997年度COEプログラムに選考され、さらに1998年度に、泡箱写真解析施設からニュートリノ科学研究センターへの改組が認められた。これによって、柄物と中味が共に整備され、KamLANDプロジェクトが門出を迎えることになった。KamLANDは当初、東北大学、KEK、東北学院大学、宮城学院女子大学の共同研究として出発したが、今年4月から、スタンフォード大、カリフォルニア工科大を中心とする米国グループが加わり、日米共同研究として進められている。

2. KamLAND検出器

KamLAND検出器はカミオカンデ検出器が設置してあった実験室空洞を、さらに4m掘下げ、そこに外側から順に水、油（流動パラフィン）、液体シンチレータの3槽からなる検出器群で構成されている（図1）。

最外槽の5,400m³水チェレンコフ・アンタイ槽は、岩盤にポリウレタン樹脂を塗布することによって、超純水を維持する。カミオカンデの時に、同じような方法で防水に失敗した苦い経験を2度と繰り返さないように注意している。また、アンタイ槽には宇宙線ミュー粒子の大まかな入口、出口の位置が検知できるように、上面と下面は2m平方、側面は18度間隔にタイベック・シートの仕切り壁が取付けられる（図1）。アンタイ槽の光電子増倍管は、カミオカンデで使用した増倍管を再利用する。

3,000m³ステンレス球形タンクが、水チェレンコフ・アンタイ槽の中央に据付けられる。タンク内は、そのさらに内部に配置される液体シンチレータとの浮力差をできるだけ少なくするため、液体シンチレータの主成分である流動パラフィンが注入される。タンクの内壁には、新しく開発した17インチ光電子

増倍管が1280本、図2のように蜂の巣状に取付けられる。タンク内壁面に対する光電面の面積率は22%であるが、米国グループが予算獲得に成功すれば、さらに642本追加して33%の面積率になる。

17インチ光電子増倍管の姿、形は20インチ増倍管と全く同じで、見分けがつかない。ただし、有感光電面は20インチのヘリの部分を使用せず、中央部の17インチに限定する（純米酒と吟醸酒に使用する米の違いと同じ）。これによってダイノードをベネチアン・ブラインドから、ボックス・グリッド構造に置き換えることが可能になった。図3に17インチ光電子の1光電子相当光に対する時間特性（TTS）と波高分布を示す。それぞれの特性の設計値は、TTS：1 < 1.5nsec、波高値：山/谷比 > 2.5であり、試作品の測定結果からモンテカルロ・シミュレーションの予想通りの大口径高性能増倍管が実現できた。

光電子増倍管は液体シンチレータ槽に近接するため、検出器を構成する物質の中では、最大のラドン源である。このため、ラドンの透過を10⁻³に減衰させるエパール・フィルム（商品名）で全体を覆って（密着させる）、タンク内壁に取付ける。また、タンク内の光電子増倍管と光電子増倍管の間隙も、ステンレス・タンクや光電子増倍管支持金具から、さらに、それらの構造物に付着した塵から発生するラドンが液体シンチレータ槽へ進入するのを防ぐために、エパール・フィルムが張られる（エパール・カーテン）。

球形タンクの中心には、1,200m³プラスチック製

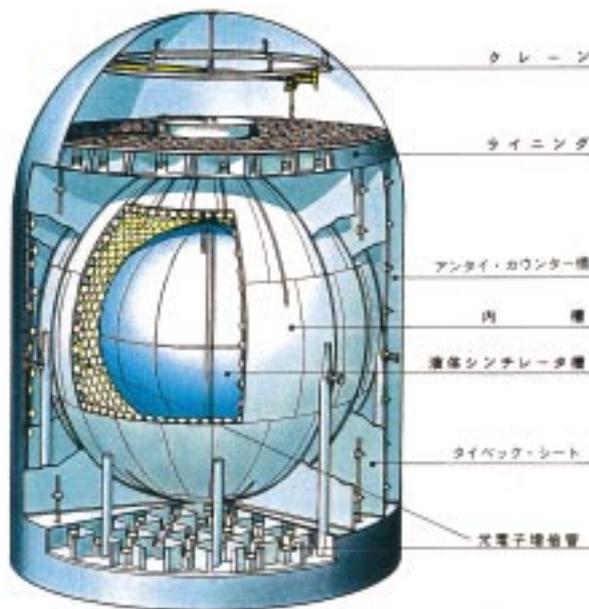
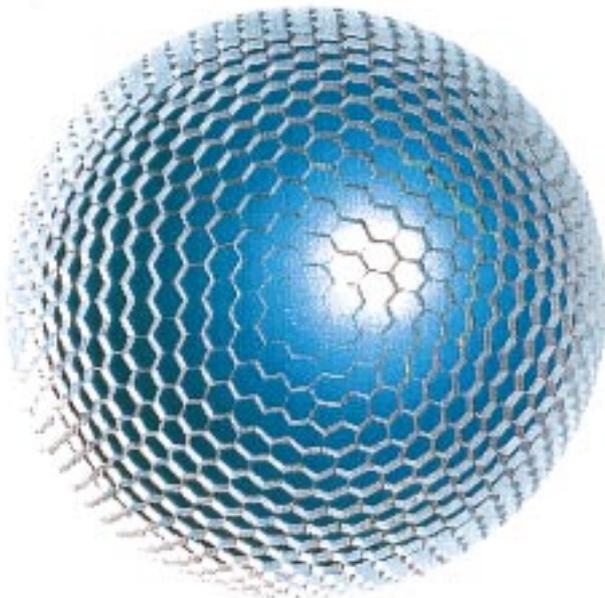


図1：KamLAND検出器模式図

液体シンチレータ槽（バルーン）が設置される。プラスチック槽は、ナイロン・エパール・ナイロンからなる多層膜構造のフィルムの使用を検討している。小型サンプルでの接着強度試験を行った結果、実寸大への拡張の目途が立った。しかし、残りの開発期間でより高接着、高光透過、低放射能、低ラドン透過のフィルムの実現を目指すつもりである。

液体シンチレータは、流動パラフィン80% + スドクメン20% + PPO（ジフェニール・オキサゾール：2 g/l）の割合の混合液を用いる。簡単な器具による混合と窒素バージによって、アントラセンの50%以上の発光量が得られた。これは、市販の液体シンチレータを流動パラフィンで希釈（20%：80%）したものより優れている（図4）。また、この発光量はKamLAND検出器において、160光電子/MeV、 $E/E = 8\%$ を与える。液体シンチレー

PMT支持フレーム構造と液体シンチレータ槽



液体シンチレータ槽内部からPMT群を見た図。黒丸が光電子増倍管

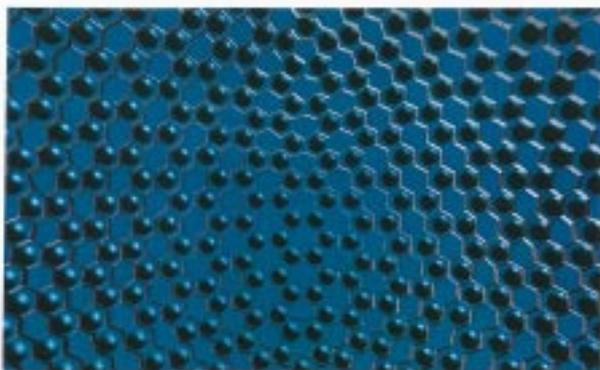
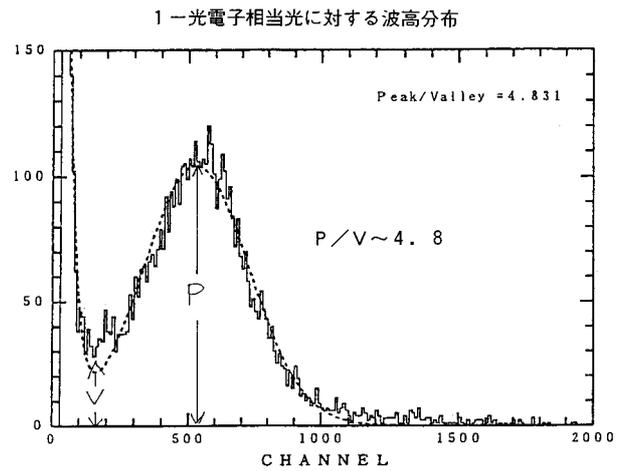


図2：PMT配置図



1-光電子相当光に対する時間分解能（TTS）

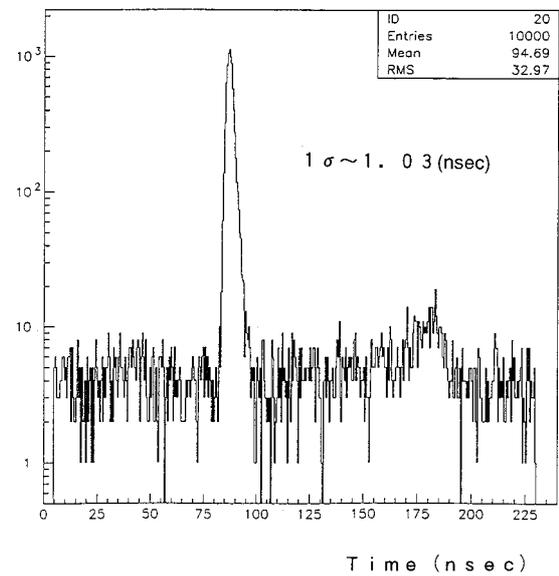


図3：PMTの特性

(%：アントラセン)

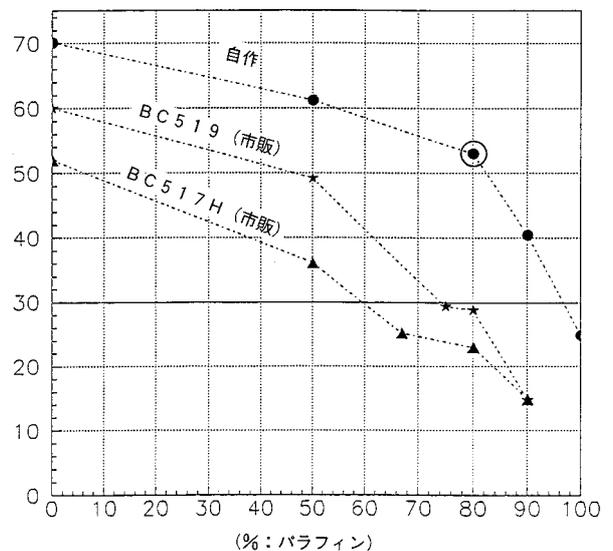


図4：液体シンチレータ発光量 パラフィン濃度

タは、重粒子（中性子、 α 粒子、陽子）と（電子、ガンマー線）とで発光時間分布が異なることから、時間分解能の良い光電子増倍管を使用することによって、粒子識別が可能になる。識別能力はスドクメンの量が多いほど増大する。しかし、スドクメンは液体シンチレータの引火点を下げるため、多量のスドクメンを含む液体シンチレータは消防法危険物取扱い規則により、地下貯蔵所での使用が制限される（実験室は危険物地下貯蔵所に認定される予定である）。幸いなことに、神岡消防署の実験への理解と寛大な取計らいによって、本来70%が限度のところ、64%まで下げても良いとの許可をもらった。粒子識別に関しては、陽電子と電子の区別の可能性も検討している。

自作した液体シンチレータ中のウラン（U）、トリウム（Th）の含有量は、質量分析器による測定からそれぞれ $(2.3) \times 10^{13} \text{ g/g}$ 、 $5 \times 10^{13} \text{ g/g}$ であった。 ^7Be 太陽ニュートリノを検出するには、 10^{16} g/g レベルまでU/Thを除去しなければならない。現在、U/Th等のイオンに対して、 10^3 以上の除去能力を持つ液液抽出法の開発と、 10^{16} g/g レベルのU/Thを計測する濃縮法+質量分析法や、大強度熱中性子照射による放射化分析法の技術開発を行っている。

3. KamLANDの物理

(1) 原子炉反ニュートリノを用いたニュートリノ振動の検出

神岡を中心とした半径200kmの円内には、柏崎、敦賀、高浜、大飯、美浜等の原子力発電所が建ち並んでいる。これらの原子力発電所からやってくる電子型反ニュートリノが、KamLAND検出器内で起こす反応数は約700事象/年/キロトンである。図5は各発電所毎の事象数の寄与を、発電所までの距離の関数として示したものである。電子型反ニュートリノは、 $\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$ 反応 ($E_{th} = 1.8 \text{ MeV}$)で生成される陽電子による先発シンチレーション光と、引き続き起る $n + p \rightarrow d + \gamma$ 反応で生成される γ 線 ($E_\gamma = 2.2 \text{ MeV}$)による遅発シンチレーション光との、遅延同時計数によって検出される。遅延同時計数法は $\bar{\nu}_e$ の同定とともに、バックグラウンド事象を除去する方法としても有効である。モンテカルロ・シミュレーションからエネルギー1 MeV以上のバックグラウンド事象の内、遅延同時計数をすり抜けてくる主な残存バックグラウンド源は、液体シンチレータ槽内に進入するラドン（Rn）と、岩盤中のU/Thである。図6中の実線は神岡実験室

で測定した環境放射能データを用い、Rnの液体シンチレータ槽への混入量を 0.5 mBq/m^3 と仮定した時に予想されるバックグラウンド事象のエネルギー分布である。一方、KamLAND、650トン有効検出領域内で検出される陽電子のエネルギー分布も図6に示してある。

ニュートリノ振動解析では、後で述べる地球反ニュートリノ事象の混入を避けるために、3 MeV以上の事象を対象にする。このため、バックグラウンド事象数は無視できる。KamLANDで探索可能なニュートリノ振動パラメータ領域と、これまでの ν_e 、 ν_μ 振動実験の結果、および太陽ニュートリノ欠損に対する振動解、大気ニュートリノ異常に対する振動解を図7にまとめた。KamLANDは $m^2 \sim 10^{-5} \text{ eV}^2$ まで探索可能で、 ν_e 振動においては最高感度の実験となる。興味深い点は、太陽ニュートリノ欠損問題の解の一つであるMSWの大混合角解が検

出されている。興味深い点は、太陽ニュートリノ欠損問題の解の一つであるMSWの大混合角解が検

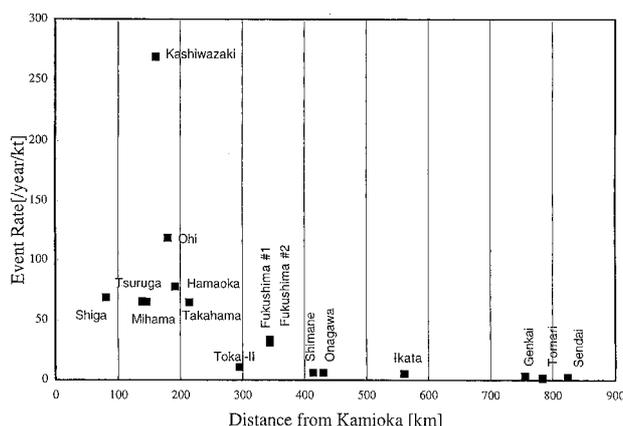


図5：原子力発電所・反ニュートリノ事象数

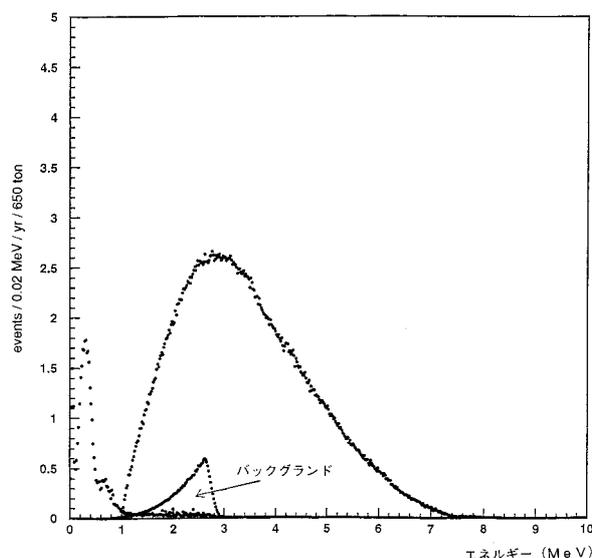


図6：原子力発電所・反ニュートリノによる陽電子エネルギー分布とバックグラウンド事象

証できることである。特に、Bahcall等の標準太陽模型を用いた場合(図7の領域)や、Turck Chieze等の標準太陽模型を用いた場合(m^2 の大きい方にシフト)のいずれも可能である。

反ニュートリノのフラックスの絶対量に依存しない解析は、振動パラメータによって変化するニュートリノのエネルギー分布の相違(図8)や、原子炉出力量の季節変動(春、又は秋の3ヶ月間保守点検のため)を利用して行われる。

(2) 太陽ニュートリノ観測

現在、太陽ニュートリノ検出実験の関心事は、 ${}^7\text{Be}$ ニュートリノ・フラックスが0か?、MSW振動の大小混合角解の検証、中性カレント反応の検出にあると言えよう。KamLANDにおける太陽ニュートリノ観測の目標は、 ${}^8\text{B}$ ニュートリノのエネルギー分布をできる限り低エネルギー領域まで測定して、MSWの小混合角解が示唆するフラックスの減少を確認すること、 ${}^7\text{Be}$ ニュートリノ・フラックスを単独に(Homestake実験のように、他の太陽ニュートリノ・フラックスとの足し合わせではなく)決定することである。しかしながら、KamLANDの太陽ニュートリノ観測は、太陽ニュートリノと電子との弾性散乱($\nu_e + e^- \rightarrow \nu_e + e^-$)で生じた反跳電子によるシン

チレーション光のみの単一事象を測定するため、バックグラウンド事象との区別に困難が伴う。シンチレーション光の中から、チェレンコフ光を拾い出す方法を検討しているが、なかなか難しい。このため、高いエネルギー分解能の利点を利用することと、いかにしてバックグラウンド事象を減少させるかが決め手になる。予想される ${}^8\text{B}$ ニュートリノ検出率は、4 MeV以上の反跳電子に対して560トン有効検出領域につき、470事象/年である(1/2標準太陽模型フラックスの場合)。図9は、標準太陽模型から予想される反跳電子のエネルギー分布と、主なバックグラウンド源である液体シンチレータ中のU/ThとRnを、それぞれ 10^{-16} g/g、 $10 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ まで除去できた場合のバックグラウンド事象のエネルギー分布である。3.5 MeVまで下げるのが精一杯である。

単色($E_\nu = 861\text{keV}$)の ${}^7\text{Be}$ 太陽ニュートリノを検出するには、液体シンチレータ中のU/Thの量を 10^{18} g/g以下、Kを 10^{-14} g/g以下に落とし、液体シンチレータ槽内のRn濃度を $10 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ 以下にする必要がある。より厳しいバックグラウンド環境下での観測になるため、純化装置の開発と超低放射能測定技術の開発を急いでいる。図10は、標準太陽模型から予想される反跳電子と、上記の超低放射能環境が実現された場合のバックグラウンド事象のエネルギー分布である。また、予想される検出率は0.3 MeV以上、300トン有効検出領域に対して110事象/日である。

(3) 超新星ニュートリノ・バースト検出

我々の銀河中心($L = 10\text{kps}$)で、標準的なニュートリノ放出を伴う超新星爆発($E = 3 \times 10^{53}\text{erg}$ 、 $E_\nu = 25\text{MeV}$ 、 $\Gamma(\nu_e) = 3.5\text{MeV}$ 、 $\Gamma(\bar{\nu}_e) = 5.0\text{MeV}$ 、 $\Gamma(\nu_\mu, \bar{\nu}_\mu, \nu_\tau, \bar{\nu}_\tau) = 8.0\text{MeV}$)が起った場合に、KamLANDで検出されるニュートリノ反応事象数を、

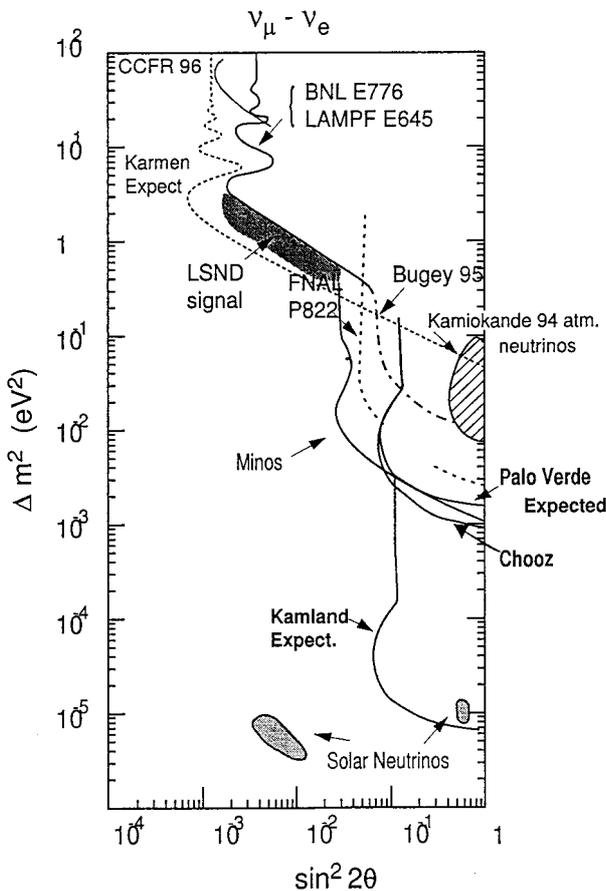


図7: Summary: ν_e 振動実験

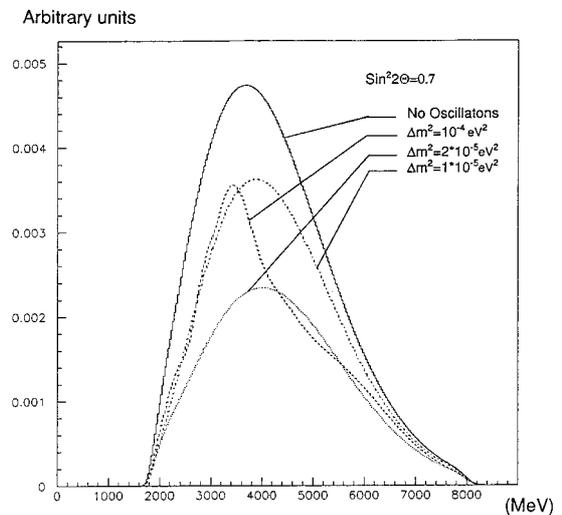


図8: 反ニュートリノ・エネルギー分布と振動パラメータ

各反応別に表1に示した。反応(1)と(2)は約340事象期待されるが、スーパーカミオカンデとは事象数で比較にならず、これらの反応からKamLANDの特徴を出すことは難しい。一方、反応(3)(4)(5)は液体シンチレータ特有の反応であるため、ニュートリノ物理や宇宙物理に関する新しい結果がKamLANDから期待される。

例えば(3)(4)は電子と陽電子の遅延同時計数法を使

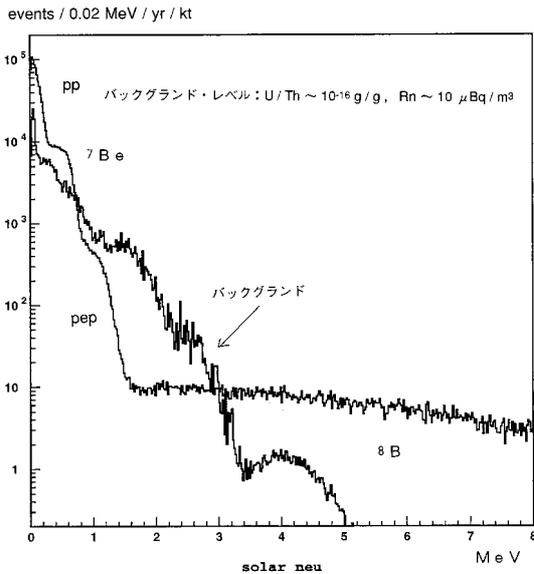


図9：太陽ニュートリノによる反跳陽電子エネルギー分布とバックグラウンド (^8B 領域)
バックグラウンド・レベル：U/Th $\sim 10^{-16}$ g/g, Rn $\sim 10 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$

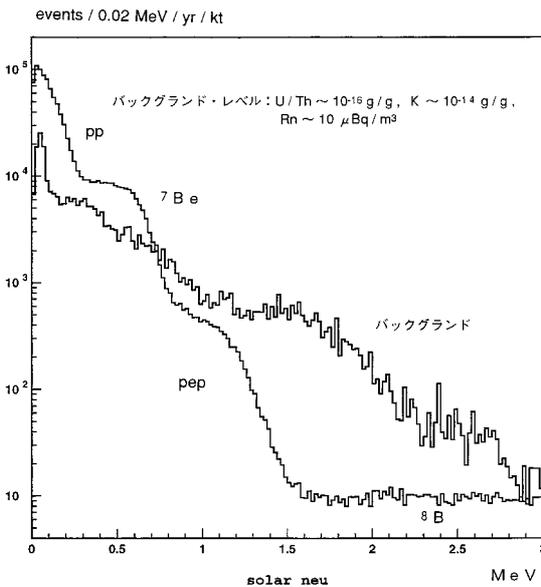


図10：太陽ニュートリノによる反跳陽電子エネルギー分布とバックグラウンド (^7Be 領域)
バックグラウンド・レベル：U/Th $\sim 10^{-16}$ g/g, K $\sim 10^{-14}$ g/g, Rn $\sim 10 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$

用することによって、バックグラウンド freeで検出される。そして、もし太陽ニュートリノ欠損の“Just So”振動解が真なら、反応(3)は15事象、反応(4)は14事象に増加し、5の有為さで検定できる。また、MSWの小混合角解が真であるなら、反応(3)のみ27事象に増え検証可能になる。反応(5)を中性カレントによって励起されるため、ニュートリノの総量モニターとなる。このため、ニュートリノ振動解析に重要な役割を果たすのみならず、超新星内のニュートリノ温度： $T(\times)$ が予想される事象数から ± 1 MeVの精度で決定でき、星の進化理論に新しい知見を与える。

図11は反応(2)と(5)で検出されるガンマー線と陽電子のエネルギー分布である。

(4) 地球内部反ニュートリノの検出

地球の進化や内部の力学的構造を決定する主要因は放射化熱である。この放射化熱の90%は、地球内部の地殻、上部、下部マントルに含まれているU/Thの崩壊によって生成されると言われている。現在の地球の放射化熱は約16TW(テラ・ワット)で、全生成熱量の40%と推定されているが、信頼のかけ

表1：KamLANDにおける超新星ニュートリノ反応事象数

Reactions	Number of Events
$\bar{\nu}_e(\bar{\nu}_x) + e^- \rightarrow \bar{\nu}_e(\bar{\nu}_x) + e^-$	8
$\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$	330
$\bar{\nu}_e + ^{12}\text{C} \rightarrow e^+ + ^{12}\text{N}(e^+ + e^- + ^{12}\text{C})$ [$E_m: 17.3\text{MeV}, \tau = 11.0\text{ms}$]	2
$\bar{\nu}_e + ^{12}\text{C} \rightarrow e^+ + ^{12}\text{B}(e^- + \bar{\nu}_e + ^{12}\text{C})$ [$E_m: 14.4\text{MeV}, \tau = 20.4\text{ms}$]	7
$\bar{\nu}_e(\bar{\nu}_x) + ^{12}\text{C} \rightarrow \bar{\nu}_e(\bar{\nu}_x) + ^{12}\text{C}^*$ [$E_\gamma: 15.11\text{MeV}$]	58

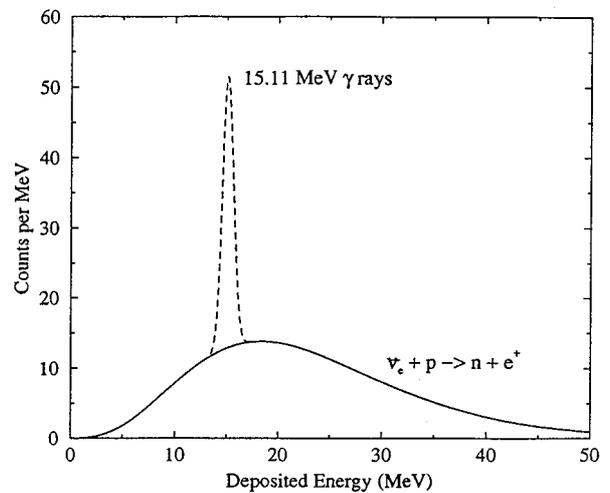


図11：超新星ニュートリノ反応による陽電子、ガンマー線エネルギー分布

る理論は存在しない。このため、直接U/Thの存在量を測定することが必要である。地球内部のU/Thの崩壊に伴って放出される電子型反ニュートリノ検出実験の提案は、1966年にすでにG MarxやG Edersらによって行われた。その後1984年に、L Krauss、S Glashow、& D Schrammらによる、反ニュートリノ・フラックスのモデル計算が行われた(Nature 310 (1984) 191)。図12は彼らの反ニュートリノ・エネルギー分布の計算結果である。KamLANDでは、 $\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$ 反応を用いて $\bar{\nu}_e$ を検出するために、エネルギー閾値の1.8MeV以上の $\bar{\nu}_e$ が測定対象になる。よって、図から明らかなように、UとThの存在量をそれぞれ別々に決定することが可能になる。最近の地球内部構造の理論モデルから予測される反ニュートリノ・フラックスを用いて、生成される陽電子エネルギー分布の計算結果を図13に示した。連続的な原子炉ニュートリノ事象の上に、シャープなピークが2本検出できればしめたものである。

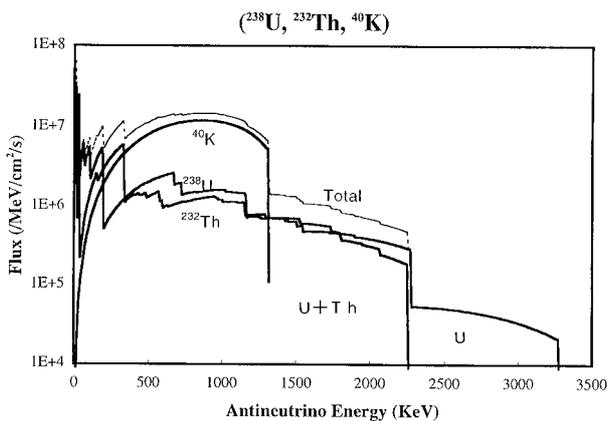


図12: Terrestrial Antineutrino Flux(^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K)

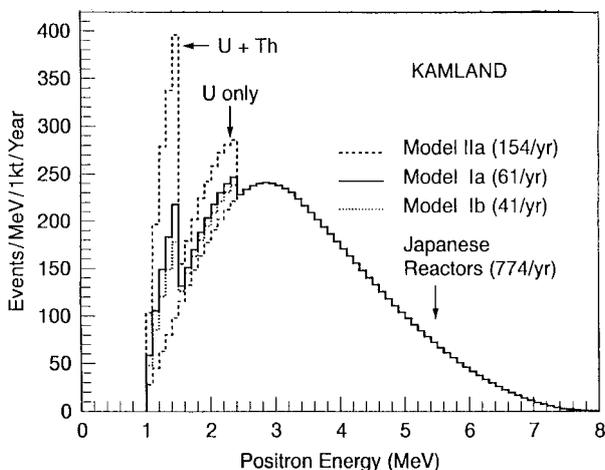


図13: KamLAND地球反ニュートリノ原子炉反ニュートリノによる陽電子エネルギー分布

4. KamLANDの日程

平成10年度

坑道拡幅工事、高圧受電電源施設工事、実験室内配電盤工事、照明器具取付け工事、5,400m³外水槽設置。

平成11年度

防災監視装置設置工事、防火壁取付け工事、計測室、データ解析室設置工事、3,000m³ステンレス・タンク設置、アンタイカウンター取付け、光電子増倍管取付け、地磁気補償コイル取付け、純化装置設置、1,200m³液体シンチレータ槽設置。

平成12年度

データ収集電子回路装置据付け・調整、データ収集電子計算機据付け・調整、直結電話回線(神岡 仙台)設置・調整、液体シンチレータ製造、注入、データ収集開始(2001.1.1)

5. おわりに

KamLANDプロジェクトはまだ開発要素が多く前途多難ではあるが、2年目に入りようやく軌道に乗ってきた感じがする。ここまでの道のりは紆余曲折があったものの、研究者間のプロジェクト支援に始まり、施設改組概算要求の戦略、カミオカンデ移管手続き、COE申請・立ち上げ・推進等で、前にも述べた他にも多くの方々のお世話になった。この紙面をお借りしてお礼申し上げます。また、差し障りないよう名前を控えさせていただいたことをお許し下さい。

KamLANDプロジェクトの研究者数は、プロジェクトの規模のわりには少人数である。KamLANDプロジェクトに興味をお持ちの方の参加は大歓迎。乞うご一報(suzukia@awa.tohoku.ac.jp)

ICRR Seminar

*12月5日(金) Emmanuel Tsemelis (CERN)

“The CERN Neutrino Programme: Present and Future”

12月9日(火) V Dogiel (P.N Lebedev Institute)

“The Origin of the Orion Gamma Ray Excess”

12月10日(水) V Rubakov (Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences・東京大学宇宙線研究所招聘外国人研究員)

- “Energy Nonconservation in 1 + 1 Dimensions”
- 12月15日(月) Yojiro Hama (Institute of Physics , Sao Paulo University, Brazil)
“Fluctuation Effects in Initial Conditions for Hydrodynamics of Multiple Particle Production”
- 12月26日(金)(第一部) 大下範幸(東京大学宇宙線研究所)
“Electroweak Baryogenesis and Neutron Electric Dipole Moment from Supersymmetry”
- 12月26日(金)(第二部) V Rubakov (東京大学宇宙線研究所招聘外国人研究員)
“Baryogenesis from Neutrino Oscillations”
- 1998年1月16日(金) 鳥居祥二(神奈川大学)
“BETSで観測された電子のエネルギースペクトルと超新星における電子加速”
- * 1月19日(月) Jordan A Goodman (University of Maryland)
“What’s Hot in the High Energy Sky?”
- * 1月22日(木) 久富信之(大阪大学核物理研究センター)
“二重ペータ崩壊の現状と将来”
- * 1月29日(木) 丹羽公雄(名古屋大学)
“エマルションによるニュートリノ実験...現状と将来”
- * 1月30日(金) 谷森達(東京工業大学)
“線観測で明らかになる宇宙線加速起源”
- * 1月30日(金) 榎本良治(高エネルギー加速器研究機構)
“Prospect for Direct CP Violation Measurement at KEK B factory”
- 2月4日(水) 橘基(神戸大学理学部)
“Duality and Superconvergence Relation in Supersymmetric Gauge Theories”
- 2月12日(木) 城市泉(東北大学大学院理学研究科)
“Prolonged Decoupling in the Expanding Universe”
- * 2月20日(金) V Rubakov (東京大学宇宙線研究所招聘外国人研究員)
“Baryogenesis via Neutrino Oscillations”
- 3月11日(水) 松田智裕(高エネルギー加速器研究機構)
“Shifman Kovner Domain Wall in $N_f = N_c$ SQCD”
- 3月13日(金) 米田元(早稲田大学理工学部)
“Ashtekar形成とその古典的応用”
- * 3月19日(木) Mark Chen (Princeton University)
“The Borexino Experiment: Detecting Neutrinos from the Sun and Earth”
- 3月24日(火) 永野元彦(東京大学宇宙線研究所)
“「まだのびる宇宙線の上限エネルギー！」 - これまでの研究を回顧して - ”
- 平成10年度
4月10日(金) 御領潤(北海道大学理学部)
“The Abelian Chern Simons term in Superfluid $^3\text{He A}$ ”
- 4月24日(金) 上杉智子(東京大学宇宙線研究所)
“Q ballのExcited State”
- 5月12日(火) 木舟正(東京大学宇宙線研究所)
“超高エネルギー線観測について”
- 5月12日(火) 野村大輔(東京大学大学院理学系研究科)
“大気ニュートリノ異常の示唆するレプトンフレーバー数の破れ”
- 5月22日(金) Matts Roos (Helsinki University)
“What kind of universe are we living in?”
- 5月25日(月) Matts Roos (Helsinki University・東京大学宇宙線研究所招聘外国人研究員)
“A new average for the Hubble constant”
- 5月29日(金) 郡和範(東京大学宇宙線研究所)
“Long Lived SUSY Particle and Big Bang”

Nucleosynthesis ”

6月2日(火)永野孝明(東北大学理学研究科)

“Late time Entropy Production and Relic Abundances of Neutralinos ”

6月12日(金) Hector Rubinstein(Stockholm University)

“Magnetic Fields in the Early Universe ”

6月15日(月) 洪江美(お茶の水女子大学)

“Nonleptonic B R Xs h'prime decays ”

6月30日(火) 佐藤健(東京大学宇宙線研究所)

“The spacetime superalgebras in various brane backgrounds via brane probes ”

7月10日(金) A A Slavnov(ロシア科学アカデミー、Steklov Mathematical Institute・筑波大学計算物理学研究センター招聘外国人研究員)

“Progress in the Study of Chiral Fermions ”

7月27日(月) 箕輪真(東京大学大学院理学系研究所)

“Cryogenic Dark Matter Search Experiment and Experiment with Axion Helioscope ”

* 神岡研究施設におけるセミナー

ICRR Repot

ICRR Report 404 97 27 (December 1997)

“Hopf Term, Fractional Spin and Soliton Operators in the $\mathcal{Q}(3)$ Nonlinear Sigma Model ”

Masaomi Kimura , Hiroyuki Kobayashi and Izumi Tsutsui

ICRR Report 405 98 1 (January 1998)

“CP violation in the top quark system through light squarks ”

M Aoki and N Oshimo

ICRR Report 406 98 2 (January 1998)

“Baryogenesis from top Squark transport ”

M Aoki and N Oshimo

ICRR Report 407 98 3 (February 1998)

“Smith 's algorithm as a fast trigger for TAMA ”

N Kanda , N Kamikubota , S Matsumura , D Tatsumi ,T Yamazaki and TAMA members

ICRR Report 408 98 4 (February 1998)

“A Measurement of the frequency dependence of the spring constant ”

S Matsumura , N Kanda , T Tomaru , H Ishizuka and K Kuroda

ICRR Report 409 98 5 (February 1998)

“Discovery of TeV Gamma Rays from SN1006 : Further Evidence for the SNR Origin of Cosmic Rays ”

T Tanimori et al .

ICRR Report 410 98 6 (February 1998)

“Cryogenic Cooling of a Sapphire Mirror Suspension for Interferometric Gravitational Wave Detectors ”

T Uchiyama , D Tatsumi , T Tomaru , M E Tobar , K Kuroda , T Suzuki , N Sato , A Yamamoto , T Haruyama , and T Shintomi

ICRR Report 411 98 7 (February 1998)

“Measurement of a small atmospheric ν_μ/ν_e ratio ”

The Super Kamiokande Collaboration

ICRR Report 412 98 8 (March 1998)

“Effects of Matter Density Fluctuation in Long Baseline Neutrino Oscillation Experiments ”

Masafumi Koike and Joe Sata

ICRR Report 413 98 9 (March 1998)

“Primordial Black Hole Formation in a Double Inflation Model in Supergravity ”

M Kawasaki , Naoshi Sugiyama and T Yanagida

平成10年度

ICRR Report 414 98 10 (April 1998)

“Massive Decaying τ Neutrino and Big Bang Nucleosynthesis ”

M Kawasaki , K Kohri and Katsuhiko Sato

ICRR Report 415 98 11 (April 1998)

“ The Sliding Singlet Mechanism with Gauge Mediated Supersymmetry Breaking ”

Y .Chikira , N .Haba and Y Mimura

ICRR Report 416 98 12 (April 1998)

“The Spacetime Superalgebras from M branes in M brance Backgrounds ”

Takeshi Sato

ICRR Report 417 98 13 (April 1998)

“Measurements of the Solar Neutrino Flux from Super Kamiokande’s First 300 Days ”

The Super Kamiokande Collaboration

ICRR Report 418 98 14 (May 1998)

“Study of the atmospheric neutrino flux in the multi GeV energy range ”

The Super+Kamiokande Collaboration

ICRR Report 419 98 15 (June 1998)

“Search for Proton Decay $p \rightarrow e^+ \pi^0$ in a Large Water Cherenkov Detector ”

The Super Kamiokande Collaboration

ICRR Report 420 98 16 (May 1998)

“The Spacetime Superalgebras in a Massive

Background via Brane probes ”

Takeshi Sato

ICRR Report 421 98 17 (June 1998)

“Measurement of the flux and zenith angle distribution of upward through going muons in Kamiokande II + III ”

The Kamiokande Collaboration

ICRR Report 422 98 18 (July 1998)

“ Evidence for oscillation of atmospheric neutrinos ”

The Super Kamiokande Collaboration

ICRR Report 423 88 19 (July 1998)

“Calibration of Super Kamiokande Using an Electron Linac ”

The Super Kamiokande Collaboration

ICRR Report 424 98 20 (February 1998)

“Spectrum of Background X rays from Moduli Dark Matter ”

T .Asaka , J .Hashiba , M .Kawasaki and T .Yanagida

平成10年度宇宙線研究所共同利用、共同研究一覧

	研究代表者	所属機関	課題名
μ部	大橋陽三 神田展利 黒藤井保	宇宙線研 宮城教育大 宇宙線研 日本福祉大	乗鞍岳に於ける宇宙線ミュオン の精密観測 共鳴型重力波アンテナの連続運 転() km scale重力波レーザー干渉計 の設計、開発 重力的スカラー場
空気シャワー部	手嶋政廣 川上三郎 J. W. Cronin 手嶋政廣 垣本忠雄 佐久山博史	宇宙線研 大阪市立大理 Univ of Chicago 宇宙線研 東工大理 明星大理工	最高エネルギー領域宇宙線の 研究 (AGASA Project) レッドバナー検出器による超 大空気シャワーの観測 ピエールオージェ計画準備 研究 宇宙線望遠鏡計画 R & D 一次宇宙線核組成の測定 10 ¹⁶ eV以上の空気シャワー 観測
エマルション部	湯田利典 柴田徹 普喜満生 鳥居祥二 仲沢和馬 伊予野淳 宗像一 村木 綏 安野志津子 折戸周治 岩坂泰信 鈴木木款 丸田恵美子 大澤昭則 笠原克昌	宇宙線研 青山学院大理工 高知大教育 神奈川大工 岐阜大教育 岡山理科大工 信州大理 名大STE研 名大STE研 東大理 名大STE研 静岡大理 東邦大理 宇宙線研 芝浦工大	TIBET AS EXPERIMENT - チベ ット高原での高エネルギー宇 宙線の研究 - 日露共同気球実験による一次 宇宙線の観測 南極周回バルーンによる超 高エネルギー宇宙線の研究 気球による高エネルギー電 子、ガンマ線観測 ハイブリッドエマルション法 によるダブルハイパー核研 究のための現象実験 Super JACEEによるGeV領域 の原子核宇宙線のエネルギー スペクトル決定 Siderial daily variation of 10 ~ TeV galactic cosmic ray intensity observed by the Tibet air shower array 新方式による太陽中性子の 観測 乗鞍岳における空気シャワー の連続観測およびミュオン強 度の高精度測定 乗鞍観測所における超伝導ス ペクトロメーターを用いた宇 宙線観測実験 高山を利用した成層圏大気の 対流圏への流入過程の解明 宇宙線起源の放射性短寿命核 種をトレーサーとした大気中 エアロゾル動態の研究 高山植生の生理生態機能の 環境形成作用 研究会「10 ¹⁵ ~10 ¹⁷ eV領域の ハドロン相互作用」 大気ニュートリノフラックス の更正のための中高度での 大気ガンマ線観測計画
一次線部	小林 紘一 櫻井敬久 福岡孝昭 福岡孝昭 櫻井敬久 小村和久 齋藤威威 齋藤威威 野上謙一	東大原子力セ 山形大理 学習院大理 学習院大理 山形大理 金沢大理 宇宙線研 宇宙線研 宇宙線研 獨協医大	深海底堆積物中の宇宙起源 物質の研究 ⁷ Be、 ²² Naなどによる宇宙線 強度時間変化の検出 微小宇宙物質の高感度元素 定量法の確立 少量南極隕石の ²⁶ Al放射能 測定 ⁷ Be、 ²² Naなどによる2500 年前の古木年輪の放射性炭素 測定による古代宇宙線強度 変動の研究 地下空間を利用した極低バ ックグラウンド放射能測定 の基礎研究 宇宙クォーク物質塊の探索 宇宙放射線と光学異性体片 手構造の起源 宇宙放射線と化学進化・生 命の起源(第4回) 宇宙物質のキュレーション と分析のための研究会
神岡実験推進部	鈴木洋一郎 中畑雅行 井上邦雄 福田善之 竹内康雄 梶田隆章 伊藤好孝 三浦島真 長岡順清 岡田淳 小汐由介 塩澤真人 渡辺靖志 宗像一	宇宙線研 宇宙線研 宇宙線研 宇宙線研 宇宙線研 宇宙線研 宇宙線研 宇宙線研 宇宙線研 宇宙線研 東工大理 信州大理	太陽ニュートリノ流量の研 究 太陽ニュートリノエネルギー スペクトルの研究 太陽ニュートリノ流量の日 夜変化の研究 過去の超新星由来ニュート リノの研究 超新星爆発モニターの研究 大気ニュートリノフラックス の研究 大気ニュートリノ中の2成分 (e型、μ型)同定の研究 大気ニュートリノのシミュ レーション計算の研究 スーパー神岡実験におけ る上向きstop μ事例の研 究 非常に高いエネルギーの ニュートリノの観測 陽子崩壊 p → νK ⁺ の研 究 e ⁺ → ν崩壊モードの研 究 核子崩壊 N → νKの探 索 Sidereal daily variation of ~ 10TeV galactic cosmic ray intensity observed by Super Kamiokande 深い地下におけるラドン族 の観測 長基線ニュートリノの振 動実験 神岡鉱山廃鉱を利用した 精密重力実験 大深度地下実験室にお ける極低レベル環境放射 線検出技術の開発 神岡研究施設での新 たな素粒子物理研究の 可能性探索
海外特別事業	木吉本大 井田建昭	宇宙線研 愛媛大理 山梨大教育 宇宙線研	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 ポリヴィア空気シャワー 共同実験 (BASJE) チャカルタヤ山にお ける国際共同空気シャ ワー実験 チャカルタヤ山宇宙線 共同実験

人事異動

(平成9年8月1日現在)

発令日	氏名	異動内容	現(旧)官職
平10.6.30	竹田成宏	辞職	教務補佐員(研究所研究員)空気シャワー部
平10.7.1	竹田成宏	COE研究員(採用)	空気シャワー部

No.36

1998年9月1日

東京大学宇宙線研究所

〒188 東京都田無市緑町3-2-1
TEL (0424) 69-9593又は0578-5-9602
編集委員 佐々木 梶田