

研究報告

ダークマターは軽いグラヴィティーノか？

川崎 雅裕

1 Tevatronの実験

物語はフェルミ国立加速器研究所の陽子・反陽子衝突型加速器 (Tevatron) を使った実験で、CDFと呼ばれる検出器で見つかった1つの奇妙なイベントから始まる。このイベントは陽子と反陽子が衝突した結果2つのフォトンと電子・陽電子が作られたものであった：

$$p + \bar{p} \rightarrow e^- + e^+ + \gamma + \gamma$$

それぞれの粒子は約30GeVから60GeVのエネルギーを持っていたが、重要なことは、この反応に大きな損失エネルギー (Missing Energy) があつた、つまり、検出器では捕らえることのできない粒子がエネルギーを持ち去っていたということである。したがって、上で書いた反応式は正確には

$$p + \bar{p} \rightarrow e^- + e^+ + \gamma + \gamma + X + \bar{X}$$

となる。ここでXが検出器で見えない粒子である。そこで、問題はこの見えない粒子が何であるかということになる。標準理論の枠組みで考えられる唯一の可能性はニュートリノである。この場合、陽子・反陽子からまず2つのWボゾンと2つのフォトンが作られ($p\bar{p} \rightarrow W^+ W^- \gamma \gamma$)、さらに作られたWボゾンが電子ニュートリノと電子に検出器の中で崩壊した($W^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$)と考えればよい。しかし、物事はそう簡単ではない。というのは、この反応の断面積は非常

に小さくCDFでは 10^{-3} イベント程度しか期待できなく、これが実際に見つかったイベントを説明しているとは考えられないのである。つまり、標準理論では説明できない奇妙なイベントなのである。したがって、逆に言えば、もしこのイベントが本当なら標準理論を超えた新しい物理を示唆していることになる。

実際、超対称性理論ではCDFで検出されたイベントを説明できる。超対称性はボゾンとフェルミオンの間の対称性で、超対称性があれば我々が知っている素粒子に対してそのパートナーである超対称性粒子が存在することになる。超対称性は元々は電弱相互作用のスケールO (100GeV) が輻射補正を考えると安定ではないという問題を自然に解決することができる理論として素粒子物理で盛んに研究されている理論的枠組みである。もちろん、現実の世界では超対称性は成り立っていない(例えば、電子と同じ質量・電荷を持つスカラー粒子は見つかっていない)、超対称性は他の多くの素粒子の対称性同様、あるスケールで壊れていて、そのおかげで、超対称性粒子は100GeV-1TeV程度の質量を持ちそのためまだ実験的には見つかっていないと考えられている。

さて、超対称性理論ではCDFのイベントは次のように説明できる。まず、陽子・反陽子の衝突でスカラー電子(\tilde{e} 電子の超対称性パートナー)対が作られる($p\bar{p} \rightarrow \tilde{e}\tilde{e}$)。そして、スカラー電子は電子とニュー

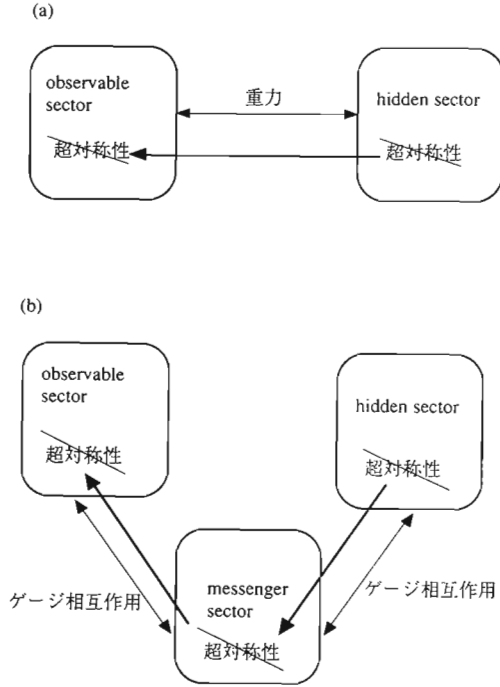


図1 超対称性の破れの模式図。(a)超重力モデル、(b)ゲージ相互作用が媒介する超対称性の破れのモデル。

トラリーノ (\tilde{N}) と呼ばれる中性のゲージ・ボゾンの超対称性パートナーの1つに崩壊する ($\tilde{e} \rightarrow e\tilde{N}$)。ニュートラリーノは、さらに光子とともっと軽い超対称性粒子 (\tilde{Y}) に崩壊する ($\tilde{N} \rightarrow \gamma\tilde{Y}$)。ここで、イベントを説明するためにはスカラー電子の質量は (80–130) GeV、ニュートラリーノの質量は (40–100) GeV程度が要求される。軽い超対称 \tilde{Y} については、2、3候補があるが、グラヴィティーノと呼ばれる重力子の超対称性パートナーが有力である。ニュートラリーノの一つであるビーノ (\tilde{B}) がグラヴィティーノと光子に崩壊する崩壊距離は

$$c\tau \simeq 5\text{m} \left(\frac{M_B}{100\text{GeV}} \right)^{-5} \left(\frac{m_{3/2}}{500\text{eV}} \right)^2$$

ここで、 $m_{3/2}$ はグラヴィティーノの質量、 M_B はビーノの質量である。したがって、グラヴィティーノの質量が軽ければ (500eV以下)、CDF検出器内で光子が作られCDFのイベントを説明できるのである。

2 軽いグラヴィティーノ

ここまで、CDFの $ee\gamma\gamma$ イベントが、超対称性理論の枠組みで説明できること、その場合に軽いグラヴィティーノの存在が必要であることを述べた。も

し、グラヴィティーノが500eV程度の軽い質量を持つなら、超対称性粒子の中でもっとも軽い粒子 (Lightest Supersymmetric Particle, 略してLSP) ということになり、超対称性粒子の崩壊は必ず超対称性粒子を伴うという規則から、逆に、LSPは安定になる。したがって、軽いグラヴィティーノは安定で、我々の宇宙にたくさん存在していることになる。実際、グラヴィティーノの質量が500eV程度だとちょうどその宇宙における密度が臨界密度程度になり、宇宙物理の大問題であるダークマターを説明できるのである。

ダークマターとしてのグラヴィティーノを議論する前に、少し、理論的に軽いグラヴィティーノが何を意味するか考えてみよう。前にも述べたようにグラヴィティーノは超対称性の自発的破れによって質量を獲得する。現在、超対称性の壊れのメカニズムは完全には理解されていないが、主流となっているアイデアは、我々が知っている粒子とその超対称性パートナーたちが属するセクター (observable sector) とは別に (hidden sectorと呼ばれるセクターがあり、そこで超対称性が破れ、それが何らかの相互作用でobservable sectorに伝わり、そこでの超対称性の破れを引き起こすというものである。このアイデアに基づいた最も簡単なモデルが超重力モデルである。超重力モデルではhidden sectorでの超対称性の破れは重力によって伝えられる (図1(a))。したがって、超重力理論ではグラヴィティーノを含めてすべての超対称性粒子に同じ程度の質量が与えられてしまう。一方、実験その他からレプトンやクォークの超対称性パートナーの質量は数百GeV程度であると期待されているので、グラヴィティーノの質量も数百GeV程度になることが予想される。したがって、超重力モデルでは軽いグラヴィティーノを説明することはできない。

しかし、超対称性の破れを説明するモデルはもう1種類ある。これはhidden sectorでの超対称性の破れをゲージ相互作用でobservable sectorに伝えようとするもので、実際のモデルは超重力モデルよりも複雑で、典型的な例は図1(b)のようなものである。新たにmessenger sectorと呼ばれるセクターが導入され、hidden sectorの超対称性の破れは我々の知らないゲージ相互作用でmessenger sectorに伝えられる。messenger sectorの粒子は我々が知っているゲージ相互作用も行い、それによってobservable sectorの粒子に超対称性の破れを伝える。このモデ

ルだとレプトンやクォークの超対称性パートナーはゲージ相互作用で質量を得るが、グラヴィティーノはゲージ相互作用よりずっと弱い重力を通してしか質量を得られないので、その質量はスカラー・レプトンやスカラークォークに比べてずっと軽くなり、軽いグラヴィティーノを実現できる。つまり、CDFで見つかったイベントはゲージ相互作用で超対称性の破れが媒介されるモデルを支持するのである。

3 ダークマターとしてのグラヴィティーノ

グラヴィティーノが素粒子モデルとしてCDFイベントの要求通り軽くなり得ることがわかったので、前節のはじめで述べたようにCDFイベントが正しければ、グラヴィティーノは強力なダークマター候補となるのである。そこで、実際に、500eV程度の質量を持つグラヴィティーノがダークマターであった場合に宇宙論的にどのような効果があるかを考えよう。

ダークマター粒子は宇宙論的視点から大きく分けると冷たいダークマター (cold dark matter) と熱いダークマター (hot dark matter) の2種類に分類される。冷たいダークマターは質量が大きく運動速度が小さいため宇宙論的スケールでみると止まっているように見える粒子で、代表的な候補は超対称性粒子の一つで、質量が数十GeVあるニュートラリーノである。一方、質量が軽くて比較的大きな速度で飛び回っているダークマター粒子が熱いダークマターで、質量が数十eVのニュートリノがその代表である。この2種類の分類は宇宙の構造形成において非常に重要になる。我々の宇宙にある銀河や銀河団といった構造は宇宙初期にあった密度の揺らぎが重力不安定性によって成長することによって作られたと考えられている。いろいろな観測が支持しているように宇宙の密度の大部分をダークマターが担っているとすると、銀河の種になった密度揺らぎもダークマターが担うことになる。したがって、ダークマター粒子の特性が宇宙の構造形成にとって重要になるのである。もし、ダークマター粒子が熱いものであればそれは宇宙論的スケールで飛び回っている。このため、飛び回っているスケールよりも短い波長の揺らぎの成分はダークマター粒子自身の運動によって消されてしまう。つまり、熱いダークマター粒子が担っている揺らぎのスペクトルは短波長側にカットオフを持つ。カットオフが宇宙のどのスケールに対応するかは粒子の質量で決まり、例えばニュートリノの場合にはそれが銀河団スケール程度になり、そ

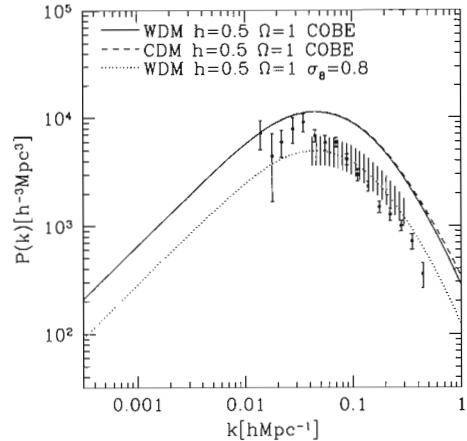


図2 揺らぎのスペクトル。実線と点線がグラヴィティーノの場合で波線は冷たいダークマターの場合。揺らぎの規格化は実線と波線はCOBEの観測によるもので、点線は観測に合うように規格化を変えたもの。観測データはPeacock and Dodds (1994) からとった。また、縦線の領域はZaroubiらによる銀河の速度分布のデータに基づく解析。

れより小さいスケールに対応する揺らぎがないために、銀河程度の大きさの構造がうまく説明できない。一方、冷たいダークマターはほとんど止まっているためそのようなカットオフがなく宇宙にある小さな構造も説明できる。このような理由からダークマターとしては冷たいものが宇宙論的には好まれるのである。

そこで、質量が500eV程度のグラヴィティーノは熱いのか冷たいのかということになるのだが、500eVというのはそのどちらとも言い切れない中途半端な質量なので、暖かいダークマター (warm dark matter) と呼ばれる。暖かいダークマターのカットオフ・スケールは銀河スケール程度(100kpc)になり、銀河より大きなスケールでの構造を考える場合には、ほぼ冷たいダークマターと同じであると考えるとよい。実際に、密度揺らぎのスペクトルを表したものが図2で、実践がグラヴィティーノの場合で、波線が冷たいダークマターの場合を表している。図の小さなスケールのところ(波数 k の大きなところ)でわずかに違いがみられるが、大きなスケール(1 Mpc以上)では両者の違いはほとんどないといってよい。ちなみに、揺らぎの規格化はCOBEという衛星が観測した宇宙背景放射の非等方性を再現するように決めた(密度揺らぎがあれば、それが宇宙背景放射の非等方性を引き起こすのである)。図には最近の観測データも一緒に載せてあるが、COBEの

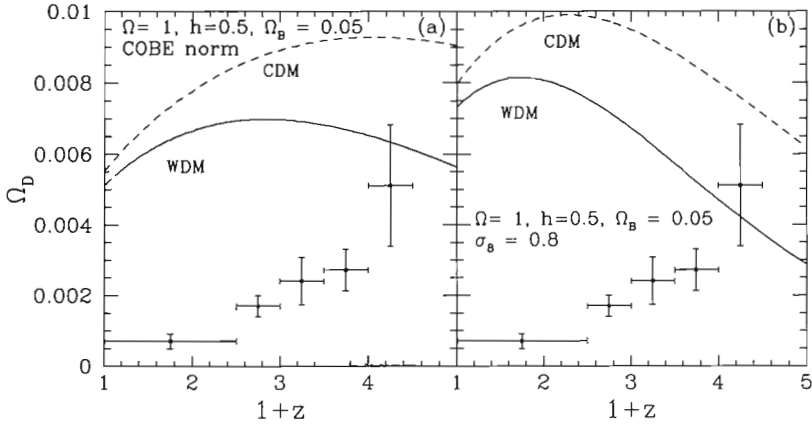


図3 銀河に含まれる水素の量を密度パラメーターで表したものの。WDM、CDMのラベルの付いた曲線はそれぞれグラヴィティーノ、冷たいダークマターの理論的予言値。(a)はCOBEで規格化した揺らぎを使ったもので、(b)は規格化を大規模構造の観測に合うように変えたもの。観測データはWolfe *et al.* (1995) からとった。

観測に基づいて規格化したスペクトルはデータとあっていないようにみえる。したがって、図には規格化を変えてデータをうまくフィットするように選んだものも(点線)載せてある。(この規格化の問題はいろいろ議論があるところで、ここでは紹介できないが、規格化をCOBEの観測と矛盾せずに変えることは可能である。)

4 Damped Ly α 雲とダークマター

前の節で500eV程度のグラヴィティーノは暖かいダークマターと呼ばれ、揺らぎのスペクトルにカットオフがあるが、宇宙の大きなスケールの構造形成にはカットオフの影響はほとんどないことをみた。つまり、暖かいダークマターと冷たいダークマターの違いをみるためにはもっと小さなスケール(銀河スケールまたはそれ以下)の構造に関係した減少を調べなければならない。暖かいダークマターの場合、銀河スケール程度の揺らぎが冷たいダークマターに比べて小さくなるので、宇宙において銀河ができる時期が遅くなると期待される。したがって、昔の宇宙での銀河の数に関係したような観測があれば、どちらのダークマターが好ましいか判断する重要な手がかりになる。実際、そのような手がかりはクエーサーのスペクトルにみられる吸収線にあるのである。

クエーサーのスペクトルには中性水素の雲が原因と考えられる吸収線が多数みられる。つまり、クエーサーの光が我々に届くまでに水素の雲を通過し、その際中性水素を励起することによって光の一部が吸収されて、Ly α に相当するエネルギーで吸収線ができる。そのような吸収線を作る雲をLy α 雲とよぶが、そのうち水素の量が強く強い吸収線を作る

ものをDamped Ly α 雲とよぶ。Damped Ly α 雲は重元素も含んでいて、その正体は原始銀河であると考えられる。したがって、Damped Ly α 雲が大昔の銀河だとすると、吸収線を見ることによって宇宙初期にどの程度の銀河ができていたかがわかり、ダークマターが冷たいかどうかを探る上で貴重な情報が得られるのである。

吸収線から引き出せる重要な物理量として、宇宙のある時期(ふつう赤方変位 z で表す)にDamped Ly α 雲に含まれる中性水素を宇宙全体で平均したものがある。これを宇宙の臨界密度との比で書いたもの(Ω_D)が図3に示してある。図2には各ダークマター(暖かい:WDM、冷たい:CDM)で予言される銀河に含まれる水素の量が示されており、図3(a)はCOBEで揺らぎを規格化したもので、図3(b)は前節で述べた大きなスケールでの観測と合うように規格化を変えたものである。観測と予言を比べるには一つ注意が必要である。それは、吸収線の観測で測れるのは中性の水素だけで、電離していたり、星となってしまう水素は観測にかからないということである。したがって、観測は大昔の銀河に含まれる水素の下限を与えると思えばよく、理論的予言が観測点の上をとっていればよいことになる。図3をみると暖かいダークマターの予言値は冷たいダークマターよりも少ないが今のところ観測と矛盾はしていない。将来もっと遠方のクエーサーが見つかりもっと宇宙初期での銀河に対する情報が得られれば両者の違いが観測にかかるかもしれない。

5 まとめ

CDFで検出された $e\bar{e}\gamma\gamma$ イベントは標準理論の枠

組みでは説明できない奇妙なものであった。このイベントは超対称性理論の枠組みで説明することができ、その場合、500eV程度以下の軽いグラビティーノが必要とされる。軽いグラビティーノは安定で宇宙に多く存在しダークマターになり得る。500eVぐらいの質量を持つグラビティーノは暖かいダークマターと呼ばれ、宇宙の大規模構造形成において冷たいダークマターと同じ役割を果たす。銀河ス

ケールまたはそれ以下ではグラビティーノの密揺らぎは冷たいダークマターの揺らぎと異なり、宇宙初期の銀河形成を遅らせる。この効果はDamped Ly α 雲の観測によって調べられる可能性があるが、現在までの観測ではグラビティーノも冷たいダークマターもともに観測とは矛盾していない。今後の観測の発展が期待されるところである。

(エマルション部)

研究報告

電子LINACによるキャリブレーション

中 畑 雅 行

Super-Kamiokandeでは、電子LINACを用いて装置のキャリブレーションを行う。そのための準備もほぼ完了し、実際に電子をタンクに導くことができた。電子LINACを使うに至った動機、そして現在の状況についてレポートする。

KAMIOKANDEは、1987年から1995年までの間に2079日の太陽ニュートリノデータを取得し、 ^8B 太陽ニュートリノの強度として 2.80 ± 0.19 (statistical error) ± 0.33 (systematic error) [$\times 10^6/\text{cm}^2/\text{sec}$] という結果を与えた。この値は、標準太陽モデルと比べると $(0.492 + 0.034 / - 0.033 \text{ (stat.)}) \pm 0.058 \text{ (syst.)}$ 倍ということになる。世界の他の太陽ニュートリノ実験 (Davisの実験、GALLEX, SAGE) も標準太陽モデルと比較して有意に少ない強度を観測しており、Davisの実験が最初に示したいわゆる「太陽ニュートリノ問題」は、現在確実なものとなっている。また、異なる実験で観測された強度を詳しく解析すると太陽ニュートリノ問題は、ニュートリノ振動が原因であることを強く示唆している。しかし、上記の「第一世代」の太陽ニュートリノ実験は、ニュートリノ振動が原因であるという確実な証拠を与えるだけの精度はなかった。

太陽ニュートリノ実験は、Super-Kamiokande、SNO、BOREXINOといった「第二世代」の時代に入った。幸先よくSuper-Kamiokandeは、公約通り今年の4月にスタートした。SNOは、来年中にはスタートするであろう。これらの実験の使命は、太陽モデルによって影響を受けない物理量を測定することにより、太陽ニュートリノ問題の原因がニュート

リノ振動であるかどうか確実な答えを与えることにある。このような物理量としては、 ^8B 太陽ニュートリノのエネルギースペクトル、ニュートリノの強度の時間変化 (夜昼の差、季節変化)、全ニュートリノの強度と電子ニュートリノの強度との比較といったものである。

第一世代のニュートリノ実験結果からニュートリノ振動に対する制限がつけられる。実際、ニュートリノの質量の二乗の差および混合角の平面上で2つの独立した領域が許される。これらの領域内に解があるとするとSuper-Kamiokandeにおいてニュートリノのエネルギー分布あるいは強度の夜昼の違い

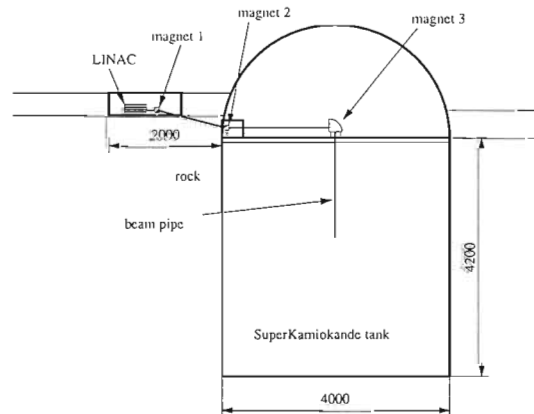


図1 電子LINACとビームライン

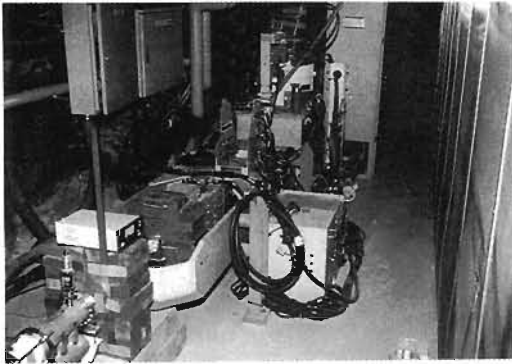


図2 電子LINAC本体

に異常が現れる筈である。しかし、この異常はそれほど大きいものではなくSuper-Kamiokandeで2年以上の統計をためてやっと見える程度のものである。ここで問題となるのは、測定器のsystematic errorをどのようにして小さくするかということである。上記のようにKAMIOKANDEの結果は、systematic errorがstatistical errorを上回っている。systematic errorの主要原因は、絶対エネルギーと角度分解能の不確かさである。例えば、現象の絶対エネルギー決定精度についてはその精度を1%程度まで下げなければ、ニュートリノ振動に対して決定的な結果は得られない。このようにSuper-Kamiokandeでは超精密なキャリブレーションが必須なのである。

Kamiokandeでは、エネルギーのキャリブレーションとしてニッケルの熱中性子捕獲ガンマ線を使用した。しかし、正確な絶対エネルギーキャリブレーションを行うためにはエネルギーがはっきりわかっている電子を使用する必要がある（Super-Kamiokandeでも装置の場所による相対的なエネルギーキャリブレーションのために、ニッケルのガンマ線を用いているが。）このためにSuper-Kamiokandeでは、電子LINACを使用することとした。

図1に示すようにSuper-Kamiokandeのななめ上にある坑道に電子LINACが設置されている。このLINACが発生する電子のエネルギー範囲は、5から15MeVである。幸い、このエネルギー領域の電子LINACは、医療用や非破壊検査用としていくつかの電機メーカーが生産している。日本国内でも医療機関等で総計500台以上もの電子LINACが使われている。実際、神岡で使用する電子LINACは、宮崎医科



図3 ビームパイプ挿入用やぐら
(手前は、設置前の90°偏向磁石)

大学で医療用に用いられていた三菱電機製のML-15MIIIという機械を移管してもらったものである。LINAC本体は2m程度で、クライストロン、電源、冷却装置を入れても非常にコンパクトな加速器である。(図2参照)

LINACを用いてキャリブレーションする際、まず一番に問題となったのは、ビームの強度である。Super-Kamiokandeは、一つ一つの現象を 4π の立体角にわたって測定する装置であるため、ある短い時間内(実際には $1\mu\text{sec}$)に発生する電子の数が高くてはパイルアップしてしまう。しかし、医療用として使われているLINACは通常、バンチ当たり(各バンチの時間幅は、 $1-2\mu\text{sec}$)約 10^{10} 個の電子が放出されている。強度を減らす方法として、(1)加速管内で熱的に放出される電子(フィールドエミッション)を電子の源として使う(つまり電子銃をまったく使わない)、(2)非常に細かいカソードを使った微弱強度の電子銃を作る、といった方法が考えられた。幸い15MeV近傍では、フィールドエミッションを使った方法で、ほぼ期待通りの強度が得られることがわかり、第一ステップとしては、(1)の方法で

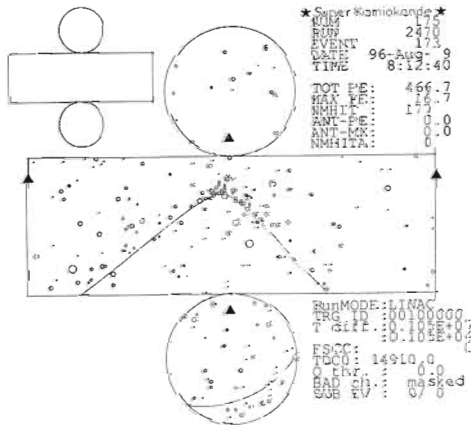


図4 Super-KamiokandeがとらえたLINACからの電子の一例

データを取ることとした。微弱強度の電子銃も現在準備している。

図1に示すようにLINACから発生された電子は15度の偏向磁石によりSuper-Kamiokandeのタンク方向に曲げられ、岩盤中にボーリングされた10cm径の穴を通してタンク上面まで導かれる。この磁石は、電子の運動量を選択する役割ももっており、タンク上面まで到達した電子は、既に約0.1%の運動量拡がりに抑えられている。電子はタンクの縁で角度を15度戻してタンク上を水平に走った後、90度下向きに曲げられてSuper-Kamiokande内部に導かれる。電子のエネルギーが5-15MeVと非常に小さいため、LINACから30mから50m近くまでビームラインを引き伸ばした場合、地球磁場等の微小な磁場でも問題となる。そのため、使用するビームパイプは、ミューメタルの磁気シールドを内部にもっており、地磁気の影響を約1%程度にまで減らしている。また、このような低エネルギーのビームラインでは、ライン中に数十ミクロンの物質があってもmultiple scatteringによりビームが広がってしまい先端まで到達することができない。そこで、LINACの加速管から始まりビームパイプの先端に至るまで1本の真空系でつながっている。ビームパイプの先端は、エネルギー損失を極力避けるため薄い(70ミクロン厚)チタン窓を使用している。5MeVに対してもエネルギー損失は1%以下である。真空系が一本化してあるため、まかり間違って先端の窓が破れたりすると加速管内部まで水浸になってしまう。それを避けるためビームラインの真空が急激に悪くなった場合には、自動的にゲートバルブがしまり、加速管や真

空ポンプ系に水が行かないようにする安全装置が付いている。ビームライン系の真空度は、 10^{-4} torr程度であり、加速管内部は $(1-5) \times 10^{-7}$ torrである。ビームのサイズは、先端で約1cmとなるようにコリメータ及び収束用Q磁石をデザインした。また、Super-Kamiokandeタンク上部には、水中にいれるビームパイプをアSEMBルし、装置のキャリブレーション用ホールに挿入するための高さ約10mの槽が建設された(図3)。

先頃、第一回目の試験データが取られた。しかし、ビームライン系のチューニングが十分にはできていなかったため、ビームのサイズが考えていた以上に広がってしまい、極わずかの電子しか先端まで届かなかった。観測された電子の一例を図4にします。今後はビームラインのチューニングを慎重に行い、また非常に薄いトリガー用カウンターを先端につけて本格的なデータをとる予定である。

(神岡実験推進部)

国際会議報告

第17回ニュートリノ物理学・宇宙物理学国際会議 (NEUTRINO 96)

鈴木 洋一郎

上記国際会議が6月12日からフィンランドの首都ヘルシンキで開催された。夏のヘルシンキは夜中過ぎまで明るく、しかも日の出は2時ぐらい、ホテルの厚いカーテンをしめて寝てもなんとなく奇妙な感じがする。参加者は300人弱であった。

手前みそであるが、会議のトピックはなんといっても、スーパーカミオカンデであった。多くの方から御祝の言葉をいただいた。良い物理を出さねば笑いのものになってしまうであろう。

太陽ニュートリノ関係の話題は、スーパーカミオカンデでの太陽ニュートリノ信号の同定(図1)の話の他に、カミオカンデの最終結果の報告と、GALLEXが二回目の、そしてSAGEが一回目の ^{51}Cr を用いたソース実験を行ったことである。GALLEXは期待値に対して、 0.83 ± 0.09 で少し低め、前回の

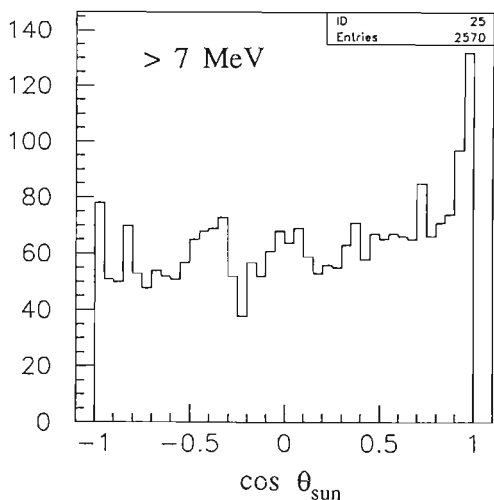


図1 スーパーカミオカンデにより観測された太陽ニュートリノ信号。ピークが太陽からの信号である。28.1日の観測で、カミオカンデIIIと同じしきい値7MeV以上のデータは 360 ± 35 事象である。カミオカンデIIIは1036日で390事象得ている。

結果 1.00 ± 0.10 と一緒にして 0.92 ± 0.07 である。SAGEは 0.95 ± 0.11 を得た。SAGEから物理と関係ない面白い話があった。93年11月から94年6月の間2トンのガリウムが実は盗まれていたそうである。その間平均13SNU程、観測値が減ったということである。犯人は捕まってガリウムも今は戻ったそうであるが、盗まれたことにしばらく気がつかなかったというのが、なんともロシアらしい。

ガイサーが大気ニュートリノの話をまとめた。周知の事であるが、Frati et al. と Lipari et al. の論文によりニュートリノの断面積等が再評価され、上向きミュオンのデータで排除されていた領域が小さくなり、カミオカンデ大気ニュートリノデータによる許容範囲のかなりの部分が生き返った。SOU-DAN IIは、 ~ 1.1 ktyのデータを1.6ktyに増やすのに解析だけで2年近くもかかってようやく結果を出した。値は $0.75 \pm 0.16 \pm 0.10$ でありどっちつかず、この間スーパーカミオカンデはすでに一カ月あまりで2.24ktyのデータを得ている。タイミング良くデータを出さないと誰も見向きもしなくなる。スキャンとIndependent Analysisをまとめるのに時間がかかったとのことであるが、他山の石としたい。

LSNDは95年までのデータをまとめた。14772クローンという高エネルギーの世界からは想像もつけない陽子ビームの量である。これだけのビームか

ら 17.4 ± 4.7 事象、反ミュオンニュートリノから反電子ニュートリノへの振動が見つかったと言っている。バックグラウンドの少ない上半分の有効体積(45%)だけを使うと 4.3 ± 2.5 事象となる。LSNDと同程度の感度を持つISISのKARMEN実験は現在データを継続してとっており、新しい結果が待たれる。

トリチウムベーター崩壊による電子ニュートリノ質量の測定は、エネルギー分解能がそれぞれ6eVと3.5eVであるMainzとTroiskの実験により大幅に感度があがっている。2つのAnomalyが話題になっている。一つは終端直前にスパイク状のピークがTroiskのデータに見えていることである。しかし、94年のデータでは終端から -6.0 eVであったピークの位置が96年のデータでは、 -10.6 eVに移っている。もう一つは終端から100~200eV位のところにスペクトラムの曲がりかMainzとTroiskの両方に見える。質量が250eV程度で混合比が $\sim 1.5\%$ の重いニュートリノを予想する人もいる。しかし、MainzとTroiskでは曲がりか位置が違っており、新しい物理を語る前にシステムティクスの評価がまず必要であろう。

会議のまとめを行ったJ. Ellisがニュートリノ振動実験の評価を行った。太陽ニュートリノは3つ星、太陽ニュートリノ問題は確立。太陽の問題かニュートリノの問題か理解をせよ。大気ニュートリノ問題は半星。大気ニュートリノ問題はまだ確立せず。要確認。

NEUTRINO 98 日本での開催が決まった。

(神岡実験推進部)

委員会報告

○平成8年度協議会

平成8年7月11日(木)

議題

1. 諸報告
2. 平成9年度概算要求事項について
3. 研究所の運営について
4. 研究所の将来計画について
5. その他

三浦功先生を偲ぶ

岩手県立宮古短大学長 棚橋 五郎

三浦功先生は本年7月24日夜急逝された。若い頃からご指導をいただき、その後も折りにふれてお会いできることを楽しみにしていた者の一人として残念でならない。先生の思い出やご業績をたどりながら、今は安らかなご冥福をお祈りするばかりである。

1953年頃だったかと思うが、卒業を間近にひかえ、今後の道をまだ決めかねてその日ぐらしを送っていた私に、宇宙線の研究を強くすすめて下さったのが三浦先生であった。当時の名古屋大学物理の関戸研は、一次線と称したモジュレーション部門と、二次線と称したハードシャワー(?)部門があり、二次線には俣野さんはじめ豊田、村山、田ノ岡さんなど異色の人材を揃え、学生実験で入り浸っていた私にとっても居心地のよいところであった。そんななかで三浦先生との関係ははじまった。

先生は1941年北海道帝国大学理学部物理学科を卒業後、理化学研究所に入所、仁科研究室において高エネルギー宇宙線によるシャワー現象の研究をはじめられた。亀田薫先生との共同研究によって明らかにされた鉛中シャワー頻度曲線の第2次極大は、電磁シャワーのほか核作用が関与する透過シャワーの存在を示すものとして高く評価された。先生はその後名古屋大学に移られ、当時の課題であった核子核子衝突による中間子多重発生について、パラフィンとカーボンで発生するシャワーの差引法による実験をはじめられた。私が名大の研究室に加わったのは、この最初の実験が終り、新しく建設中の乗鞍宇宙線観測所で行う第2次実験をはじめるときであった。一年先輩の田ノ岡さんと私が先生の初めての大学院学生としてこの実験に加わり、2～3年のあいだ乗鞍で働いた。

1956年春、東京大学原子核研究所発足とともに、先生は同研究所宇宙線部に移られ、同所空気シャワー観測装置の建設と運営に専心された。このグループには大阪市大から小田、大阪大から菅、田中、名古屋大から三浦、俣野の諸氏が集まり、一年遅れて私も加わるようになった。この装置は空気シャワー研究のための初の本格的装置で、その後の世界

における同種の装置の原型になるとともに、共同利用装置としてその制度の端を開いたものである。先生は小田稔先生と共にその建設と運営を統括し、その成功に大きな貢献をされた。 μ 粒子の測定に関心を持たれ、多パ



ラメータ測定、空気シャワーの総合的な解明をいつも心がけておられたのを思い出す。各種測定装置やデータ処理計算機の開発に努力され、またこの間、原子核研究所計算機第1号の製作を担当されて、その後の同研究所中央計算機室の基礎を築かれた。先生のその後の高エネルギー物理への関心は、この時期に固められたのであろうと思う。また核研空気シャワー実験を補完するポリビアでの実験—BASJE—の立ち上げにも大へん尽力された。

核研での空気シャワー研究が発展して、グループの人達も1961年ごろから海外での研究を始めるようになった。先生も1962年から約1年間CERNに滞在して高エネルギー物理測定器の現況を研究され、ご帰国後の1965年、新設の原子核素研準備室に移られて、新しい研究所の基盤づくりに尽力された。その後はお会いできる機会も少なくなったが、1971年、発足した高エネルギー物理学研究所共通研究系主幹、1977年筑波大学、1980年同大学副学長を歴任され、日本における高エネルギー物理学の発展に大きな足跡を残された。1982年筑波大学を退官されたあとは、身体障害者高等教育のための筑波技術短大の設立に情熱を燃やされ、1987年から5年半の間学長として同学の基礎を確立された。

名古屋以来先生とはゆっくりお話する機会もあまりなかったが、最後にその機会を持つことができたのは、昨年3月、竹橋埠頭の船上で行われた田ノ岡さんの国立ガンセンター退官パーティであった。暗い夜の海を眺めながら、いろいろな話題に楽しい時間を過ごすことができたのは有難いことであった。先生はよく「僕はこれまで6～7年ごとに仕事の対象を変えてきた」とおっしゃっていたが、その通りの人生を生きぬかれた。ご親交をいただいた日々を偲び、心からご冥福をお祈りしたい。

研究所発行出版物状況

ICRR-Report

- (16) ICRR-Report-365-96-16
 “Detection of Very High Energy Gamma Rays from the Direction of the Vela Pulsar”
 T. Yoshikoshi
- (17) ICRR-Report-366-96-17
 “Measuring the Anelasticity of Cu-Be Film Under Tensile Stress using the X-Pendulum”
 K. Yuki, M.A. Barton, N. Kanda and K. Kuroda
- (18) ICRR-Report-367-96-18
 “Solution to the Cosmological Axion Problem in Chaotic Inflationary Universe”
 M. Kawasaki and T. Yanagida
- (19) ICRR-Report-368-96-19
 “Gravition Warm Dark Matter Motivated by the CDF $e\bar{e}\gamma\gamma$ Event”
 M. Kawasaki, N. Sugiyama and T. Yanagida
- (20) ICRR-Report-369-96-20
 “CP and T Violation Test in Neutrino Oscillation”
 J. Arafune and J. Sato
- (21) ICR-Report-370-96-21
 “Balloon-Borne Electron Telescope with Scintillating Fibers”
 S. Torii et al.
- (22) ICRR-Report-371-96-22
 “A Low-Frequency Vibration Isolation Table Using Multiple Crossed-Wire Suspensions”
 M.A. Barton, N. Kanda and K. Kuroda
- (23) ICRR-Report-372-96-23
 “Solar Neutrino Data Covering Solar Cycle 22”
 Y. Fukuda et al.
- (24) ICRR-Report-373-96-24
 “Study of Neutron Background in the Atmospheric Neutrino Sample in Kamiokande”
 Y. Fukuda et al.
- (25) ICRR-Report-374-96-25
 “Cosmological Axion Problem in Chaotic

Inflationary Universe”

S. Kasuya, M. Kawasaki and T. Yanagida

宇宙線研セミナー

- 13) 6月14日(金) P.V. Sokolsky (Univ. of Utah)
 “Study of Ultra High Energy Cosmic Rays Using the Fly’s Eye (Atmospheric Fluorescence) Technique”
- 14) 6月25日(火) 白水 徹也(東大理学部)
 “亜臨界泡と弱い一次相転移”
- 15) 7月9日(火) 久野 純治(東大理学部)
 “Lepton Flavor Violation in Supersymmetric Models”
- 16) 8月30日(金) S.V. Dhurandhar (Inter- Univ. Centre for Astronomy and Astrophysics)
 “Choice of Filters for the Detection of Gravitational Waves from Coalescing Binaries”
- 17) 9月3日(火) G.E. Kocharov (名古屋大学太陽地球環境研究所)
 “Astrophysical Solution of the Solar Neutrino Problem”

人事異動

発令年月日	氏名	異動内容	現(旧)官職
8. 7. 31	森本幸司	辞職	事務補佐員
8. 8. 16	稲垣知宏	教務補佐員	新規採用

No.30

1996年10月11日

東京大学宇宙線研究所

〒188 東京都田無市緑町3-2-1

編集委員 永野 (0424) 69-9592

梶田 (0578) 5-2602