



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

スーパーカミオカンデ事故報告

東京大学宇宙線研究所長 吉村 太彦

東京大学宇宙線研究所神岡素粒子施設の所有するスーパーカミオカンデ実験装置内の光電子増倍管が大量破損する事故が起きました。11月22日に神岡の現地にて第1回の原因究明等委員会、11月28日に東大にて事故対策委員会（委員長 小間副学長）が開催され、原因究明が一定の軌道にのりつつあります。今、事故関連の報告をまとめて致します。

東京大学宇宙線研究所神岡素粒子宇宙研究施設では、スーパー神岡実験開始後、約5年を経過しましたが、本年7月中旬から、実験開始後に始めて、5万トンの水を抜き、故障増倍管の交換作業を行っていたところでありました。この改修工事も終わり、純水の注入が8月下旬から始まりました。事故当時、タンクは純水で全体の約8割満たされた状態になっておりました。因みに、水タンクは円筒形で、底面の直径約40メートル、高さ約40メートルでありまして、壁面、上面、底面に、光センサーとして、直径50センチメートル、合計11,146本の光電子増倍管がとりつけてあります。去る11月12日(月)の午前11時、スーパーカミオカンデ装置内部で光電子増倍管に破損事故が起こり、約60%が数秒間で破壊されました。事故当時3名が坑内で作業を行っていましたが、報告によると事故当時、轟音を伴う激しい揺れが感じられたとのことでした。その後、装置から8.8Km離れた京都大学防災研究所の地震計が事故を捕らえていたことが判明しています。事故直前まで順調にデータ取得が続いておりましたが、事故直後、点検のために増倍管の高電圧が切られました。事故の約

40分後に、タンク上面を開けて、ゴンドラで水面に降り状況を研究者が目視しました。また、後に水中カメラを降ろして調べた結果によりますと、内水槽の合計損壊数は6,661本です。信号確認による破壊本数は6,779本です。また、外水槽アンタイ増倍管の損壊数は1,017本（全1,895本）です。残る増倍管本数が正常に作動していることは、宇宙線ミュオンの観測により証明されています。

事故以降、装置内水面低下が観測されています。3.7トン/時に相当する流失量です。水漏れに関連して問題になるのは、事故後のタンク内の水質であります。3社による結果では、クロム、マンガ、6価クロムなどは計量限界値未満、環境基準値未満です。

現地対策班のその後の調査によりますと、最初の衝撃発生が増倍管が9個の範囲内ではほぼ同定されています。この増倍管はタンク底面の隅に近いところにあります。このうちの1個から爆縮が起こった可能性が最も高いと考えられます。スーパー神岡での通常の現象頻度は10Hz程度ですが、データ取得コンピュータからの情報によると、事故直後に信号頻度が100万Hz以上に上がり、計算機のメモリ限界を超え、詳しい衝撃伝播のデータは残っていません。

（頻度上昇後、30ミリ秒のみ断片的なデータが存在します。）一方、衝撃波伝播に関する、ある簡単なシミュレーションによりますと、隣りあう球への爆縮の伝播に約10ミリ秒かかるようです。また、隣の球へは10ミリ秒後に0.1ミリ秒オーダーの短い時間

間隔でピーク値130気圧がかかるとの計算結果が出ています。以上を総合すると、観測データから最初の爆縮の情報は得られましたが、衝撃波の伝播の情報は得られませんでした。シミュレーション計算は爆縮の連鎖を示唆しています。

最初の球が破壊した原因の推測として次のようなことが考えられます。

1. 底面の取り替え工事中に発砲スチロールを底面にのせて作業して加重をかけたため、ストレスがかかった。
 2. 水を完全に抜いた状態で、地下水からの圧力で底面ステンレス板が破損し水が噴出した。そのため、原因球付近のステンレス板が数 cm 跳ね上がった。しかしながら、事故原因の最終的特定は現在のところできておりません。
- 今後の原因究明の方針として、より現実的な衝撃

波シミュレーションと衝撃テストを行いたいと考えております。衝撃テストは排水する前、1月以内に実施するのが効率的です。この方針は両委員会です承されています。

以上が事故報告と11月末現在までの原因調査の概略です。

最後に、一言、述べさせていただきます。ニュートリノ物理に画期的な成果をあげたスーパー神岡実験が少なくとも当分の間、続行できなくなりました。当面の課題は、厳正で透明性のある客観的な事故原因の特定であり、早期の解明に向けて微力ながら全力を傾ける所存です。世界をリードするニュートリノ実験を絶やすことがないように、今後とも皆様方のご支援を賜りますようお願いいたします。また、学問的な原因究明に関わるご助言を頂ければ幸いです。

研究紹介 1

宇宙のバリオン数の起源、暗黒物質、Q ボール

東京大学ビッグバン宇宙国際研究センター 川 崎 雅 裕

宇宙にある星などはそのほとんどの質量を陽子と中性子で構成されている原子核が担っている。これら原子核を構成している陽子や中性子は核子（バリオン）とよばれる（核子はさらにクォークという素粒子3つから構成されていることはご存じの通りである）。ところで、素粒子の世界では電子、陽子、中性子といった粒子に対して陽電子、反陽子、反中性子とよばれる反粒子が存在することが知られている。しかし、私たちの知る限り反粒子でできた天体はない。バリオン（陽子・中性子）にはバリオン数1、反バリオン（反陽子・反中性子）にはバリオン数-1を割り当てると私たちの宇宙は正のバリオン数を持っていることになる。なぜ、宇宙にはバリオンがたくさんあって、反バリオンがないのかという疑問が生じる。ここ数十年の宇宙論・素粒子論の発展の過程で、元々宇宙はバリオン・反バリオンが同じだけあったが宇宙の進化に伴い粒子・反粒子の対称性を破るような反応によってバリオンの数が反バリオンの数より多くなり、現在の宇宙のように正のバリオン数をもった宇宙になったという考えが提案され盛んに議論されてきた。特に、近年、理論的にも観測的にも支持されるようになったインフレーション宇宙においては、たとえ宇宙のはじめにバリ

オン・反バリオンの非対称性があっても急激な宇宙膨張（インフレーション）によって非対称性は薄められ実質的にゼロになると考えられる。したがって、宇宙におけるバリオン数生成は宇宙論にとって重要な問題となっている。

このように私たちの宇宙には反バリオンはほとんどなくバリオンがたくさんある。しかし、バリオンが現在の宇宙の密度において支配的であるかというとはそうではなく、実際には、私たちの宇宙の密度は正体が不明の暗黒物質と呼ばれる物質が支配していることが銀河や星の運動の観測から知られている。これが、暗黒物質の問題とよばれるものである。つまり、残念ながら私たちは自分たちが住んでいる宇宙がどのような物質でできているか知らないのである。この宇宙のバリオン数の起源と暗黒物質という2つの問題を同時に解決するモデルが提案されている。これは素粒子の超対称性理論に基づいたもので、超対称性はボゾン（スピンが整数の粒子）とフェルミオン（スピンが半整数の粒子）の間の対称性で、それに従えば、スピン1/2のクォークにはスピン0のスカラー・クォークが存在することになる。超対称性理論に基づいたモデルではインフレーション中にある種のスカラー・クォークの期待値が大きく

なり、これと粒子・反粒子の対称性を破るような反応が合わさって宇宙にバリオン数が作られる。これがアフleck・ダイン機構と呼ばれるバリオン生成のモデルでインフレーション宇宙において非常に効率よくバリオン数を作ることができる。最近になって新たに分かったことは、アフleck・ダイン機構において一般的にQボールとよばれるスカラー・クォークの球状の固まりができるということある[1、2](1)。Qボールは1つが 10^{20} 以上のバリオン数をもつがサイズは原子核程度のもので、ある種の超対称性理論のモデルにおいて安定で現在も宇宙に多数存在し暗黒物質となり得るのである。さらに、宇宙初期では周りの熱プラズマとの相互作用でその1部が蒸発しバリオン数を放出する。この放出されたバリオン数が最終的に核子(バリオン)となって現在星などを作っているバリオンの量を説明するのである。このように宇宙の暗黒物質とバリオン数がQボールという同一の起源を持つために他の暗黒物質やバリオン数生成メカニズムと違って宇宙の暗黒物質密度がバリオン密度の約100倍という事実も説明できるのである。

もちろん、宇宙に本来あるはずのバリオン数がQボールの形でいわば閉じこめられた形となっていて、元素合成や天体になるバリオンはアフleck・ダイン機構で作られたバリオン数のうちQボールから蒸発した一部のものなので、バリオン数生成の立場からいえばQボールはやっかいなものになる可能性もある。実際、詳しい解析によるとアフleck・ダイン機構がうまく機能する理論パラメータ空間はQボールの存在によってかなり狭められることが分かっている。

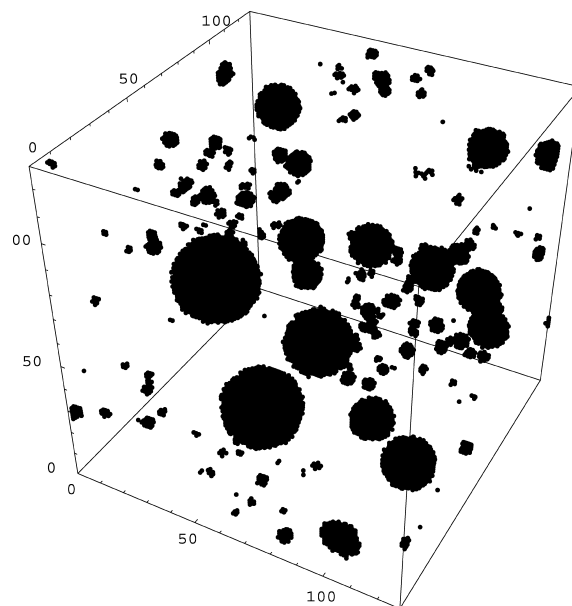


図1：Qボールの宇宙における生成のシュミレーション[2]

しかし、Qボールはもしそれが暗黒物質になっていけば望遠鏡・アレイのような実験で将来検出される可能性もあり、今後の理論的・実験的研究によって暗黒物質の正体とバリオン数の起源について有用な証拠が得られる期待がある。

参考文献

- [1] A. Kusenko and M. Shaposhnikov, Supersymmetric Q-ball as Dark Matter, Physics Letters,B 418 (1998) 46.
- [2] S. Kasuya and M. Kawasaki, Q-ball Formation through A eck-Dine Mechanism, PhysicalReview, D61 (2000) 041301.

国際会議報告

第27回宇宙線国際会議報告

全体およびニュートリノ

東京大学宇宙線研究所 梶田 隆 章

標記会議が8月7日から8月15日の間ドイツのハンブルグのCongress Centrum Hamburgで開催された。会議は通例通り、主にプレナリー、ハイライト、パラレル(SH、OG、HE)、ポスター、ラポーターの各セッションからなり、3会議室と(広大な)ポスター会場を主に使って行われた。会議場は割と

広々としていて快適に感じた。

今回の会議には800人を越える参加者があったとのことである。この人数は1995年のローマをしのいで近年では最も多いとのことであった。では、なぜそんなに多くの参加者があったかというと、主催者によれば、ドイツ開催なので、ロシアを含めた東欧

諸国からバスで安価に来ることができたからとのことである。従って次回日本開催の際は、このように多くの参加者は期待できないのかもしれない。

参加者数に比例して、contribute paper の数も多く、1200部以上とのことであった。とても全部を口頭発表の回すことは不可能で、実に3/4はポスターセッションに回されたとのことである。多くの論文がポスター発表になるのはある程度しかたがないことと思われる。ただ、ポスターにするのか、口頭発表にするのかについて会議を主催する側に大きな責任がかかり、変な選び方をすれば多くの苦情が当然出てくる。実際いくつか苦情も耳にした。この点をいかにきちんと選べるかが次回日本で開催する際のキーポイントになるであろう。

それにしても、1件の発表時間が質問時間を含めて12分は短いという印象をあらためて受けた。私が出席したセッションは進行が必ずプログラムより遅れていた。最低限15分はほしいという印象である。口頭発表のセッションとセッションの間がコーヒープレイクとポスターセッションの時間となっていたが、各セッションが時間超過するのがあまりに当たり前になっていてはポスターセッションでの発表の方に失礼という気がする。なお、今回の会議は、会議の始まる前、参加者からの問い合わせに対する返答が無い場合が多いことや、会議中の Information Desk の不足(?)など、参加者に対する対応で不満が多かったというような話も耳にした。もちろん全員が満足するなどあり得ないであろうが、会議主催の難しさを感じさせられる。2003年につくばで開かれる次回の宇宙線国際会議は、今回の会議の良い点悪い点を参考ににして是非成功させたいものと組織委員、プログラム委員一同感じている。

今回の会議の上記物理のハイライトは、会議でハイライトセッションがあったことでも明らかなように、太陽ニュートリノ問題の解決に向けての大きな前進である。重水1,000トンを用いたカナダのSNO実験が最初の結果を(6月に)発表した。彼らは、電子ニュートリノと重水との相互作用事象を観測して電子ニュートリノのフラックスを測定した。その結果は、標準太陽モデルの予言値の 0.347 ± 0.029 であり、スーパーカミオカンデの測定値(0.451 ± 0.016)より、有意に小さい値であった。スーパーカミオカンデはニュートリノと電子の散乱事象を観測しており、もし、太陽から飛来するニュートリノにミューニュートリノやタウニュートリノが混ざっていれば、それらも、相互作用断面積は電子ニュートリノの1/7程度ではあるが、観測値に寄与して

いるはずである。従って、SNOとスーパーカミオカンデの観測値の違いは、電子ニュートリノ以外のニュートリノが飛来している、つまりニュートリノ振動の証拠となる。また、スーパーカミオカンデは電子のエネルギー分布を精密に測定し、電子のエネルギー分布に関しては予言通りであることを発表した。一方、以前最も有望と思われていたいわゆる太陽ニュートリノ問題の小混合角解ではこのエネルギー分布にゆがみがあることを予言していた。この予言と観測値の不一致から、スーパーカミオカンデは小混合角解を95%の信頼度で否定した。更に、SNOのデータを加えると、信頼度が99.7%まで上がり、小混合角解でないことはほぼ間違えないところまで来たと言えよう。残る大きな課題はニュートリノ質量の2乗の差(Δm^2)の決定である。

大気ニュートリノに関しては、実験データには大きな驚きは無く、地道にデータを増やし、また、ニュートリノ振動のより精密な解析をしているという感じであった。この2年間で新しいことと言えば、大気ニュートリノをミューニュートリノとタウニュートリノ間のニュートリノ振動以外で説明しようとして提案されていた、ミューニュートリノと今までに知られていない相互作用をしないニュートリノ(sterile neutrino)間のニュートリノ振動や、特殊なニュートリノ崩壊モデルなどが、非常に増えたデータ量と新しい解析で否定されたことであろう。ところで、この分野で忘れてならない大きな研究の流れとして、ニュートリノ振動の振動パラメータをより精密に決定するための、ニュートリノのフラックスのより精密な計算と、その計算のもとになる1次宇宙線と大気ミューオンとガンマ線の精密測定がある。実際、1次宇宙線陽子のフラックスに関しては、日本のBESSとスペースシャトルを利用したAMSの測定が非常に良い精度で一致し、我々に大気ニュートリノのおお目の宇宙線のフラックスがよく理解されているという安心感を与えてくれる。また、大気中のミューオンのフラックスもBESSをはじめいくつかの実験が精密なデータを出し始め、ニュートリノフラックス計算の詳細なチェックが可能になってきた。このように関連する宇宙線のデータが精密になってくると共に計算もより精密化している。以前の計算は、宇宙線が大気に入ってから全ての2次粒子がその宇宙線の方向に走るとした1次元近似をしていたが、今回の会議では実に7つの独立なグループがだいたい矛盾なく、大気ニュートリノデータの増加とより精密なフラックス計算をもとに、ニュートリノ振動のパラメータの決定精度は

まだまだ改善されるものと期待される。

超高エネルギーガンマ線

東京大学宇宙線研究所 奥村 公宏

今回の宇宙線国際会議は HESS、MAGIC、VERITAS などの次期大型計画の開始が控えていることもあり、特に新しい実験開始報告はなかったが新たな TeV ガンマ線天体探索や活動銀河核 Markarian 421 のフレア観測などが多数報告された。その中でも目立ったものを選出して報告する。

まず銀河系天体では、ドイツの HEGRA チェレンコフ望遠鏡アレイグループが超新星残骸 Cassiopeia A (CasA) の最終結果と新しく Monoceros の観測結果について報告した。超新星残骸におけるガンマ線観測は宇宙線加速を探る上で重要な分野であり、またこのセッションでも SN1006 や CasA における粒子加速の計算などが発表され関心の高さを伺わせる。HEGRA は 230 時間も観測につき込んで CasA からのガンマ線検出に成功した。今回はスペクトルなどより詳細な解析報告があり、電子起源よりは π^0 起源の理論モデルが合うと超新星残骸での陽子加速を示唆したあるが、統計的にも不足で決定的な結論には至っていない。また超新星残骸 Monoceros は Rosette nebula と衝突を起こしている天体で、その衝突領域では EGRET で GeV ガンマ線が検出されている。彼らはガンマ線事象の到来方向を 2 次元で $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ の領域で区切り、有意な 4 ピクセルを抽出するとガンマ線の徴候が 5.7σ で見られたと報告した。このような解析ができるのはステレオ観測の強みである。

CANGAROO からはパルサー PSR1706-44、超新星残骸 SN1006、RXJ1713-39 の観測結果を報告した。PSR1706-44、SN1006 とも 1 TeV 付近においてガンマ線放射が強く、加速電子と 2.7K 背景光子との逆コンプトン散乱による放射を支持している。また SN1006 はシェルの NW リムから放射されていることが再確認された。今後の観測データ追加と詳細な解析結果が待たれる。超新星残骸 RXJ1713-39 は旧 CANGAROO 3.8m 望遠鏡においてガンマ線が検出された天体であるが、新しい 10m 望遠鏡による結果では sub-TeV 領域においてもガンマ線放射が強く、SN1006 とは異なる特徴を示すことが報告された。この天体は銀河面近くにあり、衝撃波が銀河の

分子雲に入り込むように重なり合っており、その衝突領域からのガンマ線が多いようである。上述の Monoceros と併せて考えると、超新星残骸の衝撃波が星間物質中の粒子を加速して発生するガンマ線は宇宙線加速の証拠を探る上で重要な役割を果たすかも知れない。

今回の会議における一つの見玉は 2000 年から 2001 年にかけてフレアをおこした活動銀河核 Markarian 421 (Mrk421) であろう。一時は Crab の 7~8 倍のフラックスに達したとの報告もあり、このような強烈なフレアは 1997 年の Mrk501 以来で多くの実験グループからの観測結果が報告された。

また RossiX 線衛星 (RXTE) との同時観測の結果も報告された。ちょうど運良くフレアを捉えることができたようで、X 線と TeV のフラックス変動が完全に相関している様子を見ることが出来た。これは SSC (シンクロトロンセルフコンプトン) モデルを強く支持するものである。

活動銀河核からの TeV ガンマ線測定で一つの焦点は、銀河間の赤外線背景放射による吸収である。TeV ガンマ線と赤外線の重心エネルギーが電子陽電子対の生成エネルギーに相当し、銀河系外のガンマ線は星間ダストの放出する赤外線と相互作用して消滅する。そのため測定スペクトルには exponential 型のカットオフが生じると考えられる。

このカットオフスペクトルは 1997 年の Mrk501 ($z=0.034$) のフレア時に観測されたが、同じくらいの距離にある Mrk421 ($z=0.031$) については統計量の問題もあり確認されていなかった。今回は Whipple、HEGRA、CAT の実験グループがそろって数 100 GeV~10 TeV でのスペクトルにカットオフが見られることを報告し、赤外線による吸収の可能性を強く示唆した。しかしカットオフスペクトルが Mrk501 に比較して急であることや、ガンマ線放射過程におけるクライナー効果により同様な現象が生じる可能性も否定できないので、これらの結果が直ちに赤外線による吸収であると結論出来ないようである。

今回のフレアでは我々 CANGAROO も観測に参

加した。CANGAROO 望遠鏡のあるウーメラから北半球の天体である Mrk421 は天頂角 70° での観測であり、このような大天頂角観測は初の試みではあったが、強度のフレア中であることも幸いして、 10TeV 以上のエネルギー領域においてガンマ線信号を約 6σ で検出に成功した。さらに 20TeV 以上においてもガンマ線事象があるらしいことが分かった。これは 10TeV 以下で見られたカットオフスペクトルとは相容れない。この結果が赤外線吸収で説明可能か、または新しい物理が隠されているのかはさらなる議論が必要であり、今後の展開に注目である。

その他チェレンコフ実験以外でも、日中共同の Tibet シンチレーション検出器アレイは 2000/2001 年にわたる観測で約 7σ の信号を得、また人工プールを用いた水チェレンコフ検出器 Milagro も 4.5σ で信号が検出された。

Markarian 以外の活動銀河核では $1\text{ES}1426+428$ の報告もあった。この天体は Mrk421 や Mrk501 よりも遠方 ($z=0.129$) にあり、赤外線による吸収をより強く受けると考えられる。この天体はすでに Whipple がガンマ線検出を報告しているが、今回 HEGRA は 10TeV までのスペクトルを報告した。Markarian の結果と合わせて背景赤外線量のモデルにどう制限を付けるかが期待される。

最後に HESS、VERITAS、MAGIC などの進行状況および計画が報告された。これらは口径 10m 以上の望遠鏡を複数台用いたチェレンコフガンマ線実験の次期計画である。HESS は南アフリカ、ナミビアに口径 12m 望遠鏡一台目を今年末に建設予定で、また残り 3 台を 2003 年までに建設してステレオ観測を始める予定である。今回は望遠鏡の骨組みが組みあがった所が披露された。MAGIC は口径 17メートル の望遠鏡をカナリー諸島 La Palma に建設予定で、エネルギーしきい値が 30GeV 、赤外線背景放射の吸収を考慮しても赤方偏移 z が 2.8 までの遠い活動銀河核が観測可能であることを売りにしている。観測開始は当初の予定より半年遅れる見込みで 2002 年であり、現在建設が始まったばかりである。また、アメリカ Whipple グループの次期計画 VERITAS はこの中では少し出遅れていて、プロトタイプが 2002 年末、2004 年初頭に 3 台による観測が開始される予定である。

CANGAROO-III も含め、いよいよ次期大型計画が動き出す。これらの実験によって数 100GeV 以下の未観測エネルギー領域の宇宙像が明らかになることは間違いない。2 年後、つくばでの宇宙線国際会議の結果に期待したい。

一次線、チベット、knee について

東京大学宇宙線研究所 瀧田 正人

1. 一次宇宙線

今回の宇宙線国際会議で、筆者がレポートするのは HE (High energy Phenomena) セッションのトピックスのひとつである一次宇宙線の中で、そのエネルギー領域が 10^{14}eV 以下と 10^{14}eV — 10^{17}eV の物理に関してである。

10^{14}eV 以下の一次宇宙線に関しては、EAS-TOP 実験、Milagro 実験、BASJE 実験、パミール実験、チャカルタヤ実験等からの報告があった。

EAS-TOP 実験は、まず、 30GeV — 10TeV までの全粒子スペクトルを求めた。更に、それから気球による原子核乾板実験の JACEE と RUNJOB で測定されたヘリウムの寄与を差し引いて 500GeV — 50TeV の陽子成分のスペクトルを求めた。観測された陽子スペクトルは他の実験と consistent であり、特に新たな知見が得られてはいなそうである。

また、 2000平方メートル の水チェレンコフカロリメーターの Milagro 実験がようやくデータを出し始めたようである。まだまだ、測定器を TUNE-UP している段階であるがこれから出てくるデータが楽しみである。

さて、次に 10^{14}eV — 10^{17}eV の一次宇宙線に関しては、SPHERE 実験、KASCADE 実験、Baksan 実験、チベット実験、HEGRA 実験、Ooty 実験、EAS-TOP 実験、BASJE 実験、チャカルタヤ実験、RUNJOB 実験、ANI 実験等からの報告があった。

会議主催国であるためか、ドイツが主体となっている KASCADE 実験からの報告が目立った。特にシミュレーションに基づいて一次宇宙線の化学組成を詳細に出してきた発表が印象的ではあったが、系統誤差に関する説明が不足しているように感じられた。

全粒子スペクトルに関しては、KASCADE 実験が

ICRC1999の結果から約1.5—2 倍程度フラックスを上げて、今まで高い高いと言われていたチベット実験や HEGRA 実験と良く合う結果となった。また、ANI 実験はチベット実験より更に50%程度高いフラックスを報告した。従って、CASA-MIA 実験、BLANCA 実験、AKENO 実験に基づくフラックスの方が TIBET 実験、KASCADE 実験、HEGRA 実験に基づくフラックスより、 10^{14}eV から 10^{15}eV で約半分、エネルギーが高くなるに連れてその差が小さくなり、 10^{17}eV ではおよそ一致している。どの実験結果が正しいのかを議論する前に、各グループで共通のシミュレーションコードで解析を行い、相対的な比較をすることがまず必要なのではないかという

印象を受けた。これは、古いデータに基づく結果もあると思われるので、言うは易く行うは難しなのかもしれない。

Knee 領域を越えた 10^{16}eV 以上の一次宇宙線の化学組成に関して KASCADE 実験とチベット実験から報告があった。両方とも陽子は全粒子の約10%であるという結果となり、また、重粒子のスペクトルも統計誤差の範囲で両者が良くあっていた。最近では HEAVY DOMINANT MODEL が PROTON DOMINANT MODEL に対して優勢であるという印象を受けた。いずれにせよ、Knee 領域及びその前後の宇宙線の化学組成と折れ曲がりの問題の決定的解決にはまだかなり時間がかかると思われる。

超高エネルギー空気シャワー

東京大学宇宙線研究所 福島 正己

高エネルギー空気シャワーのセッションでは、AGASA と HiRes の報告に十分な時間がとられ、活発な議論がなされた。最も問題となったのは HiRes の最新エネルギースペクトラムで、HiRes-1 と HiRes-2 の単眼スペクトラムを重ねて、足首構造が $3 \times 10^{18}\text{eV}$ にあると報告された。2つのスペクトラムは、HiRes-1 が高エネルギー側、HiRes-2 が低エネルギー側をカバーし、 $10^{18.5}—10^{19}\text{eV}$ で2つが重なり合う。これらは古い Fly's Eye の複眼スペクトラムと全く consistent であるという主張であるから、この点で新しいことはない。ただし 10^{20}eV 以上の領域で、HiRes-1 の exposure は AGASA の約1.2倍に達したにもかかわらず、事象数は AGASA の8事象に対して2事象のみで、両者のスペクトラムは「異なる」と結論した。会議では「足首」の位置が AGASA の 10^{19}eV と異なる点が強調されたが、これは小さな冪の差によって定義されるものであるから、acceptance のエネルギー依存性など実験の systematics によって大きく変化することが以前から知られている。この問題は大気蛍光法でも地表検出器でも同様で、足首位置をエネルギースケールの基準として採用することには大きな問題がある。そこで、従来行なわれて来たように E^3 依存性を仮定して flux の差をエネルギースケールの差に換算すると $10^{19.5}\text{eV}$ 付近における AGASA の flux は HiRes の約1.6倍で、エネルギースケールにして約24%のシフトに相当する。実際 AGASA のエネルギースケールを10%引き下げ、HiRes を10%引き上げて比較してみると、AGASA

と HiRes のスペクトラムの差は（足首の位置に関係する） 10^{19}eV 以下の低いエネルギー領域を除けば、ほぼ完全に消えてしまう。AGASA のエネルギー決定の系統誤差は各種要因の quadratic sum で17%（沖縄学会における永野元彦の報告。Linear sumでは36%になる。）HiRes では26%（ハンプルクでの P. Sokolsky の報告。Linear sum では50%になる。）であるから、HiRes のみを20%上げる、あるいは AGASA のみを同じだけ下げる操作でもほぼ許容できる。20%は両グループの発表したプロットで1 bin ($\Delta \log E = 0.1$) 相当で、HiRes のみを引き上げた場合は HiRes の super-GZK 事象が2から4事象に増加し、AGASA のみを引き下げた場合は、AGASA の super-GZK 事象が8から4事象に減少する。両グループの和は、前者の場合で12事象、後者で6事象、GZK-cut-off が存在した場合の理論的期待値は2事象と3事象の間である。HiRes の最終結果については現在投稿論文を準備中と伝えられるが、cutoff の有無についてどのような結論が述べられるのかは判明していない。同日の会議では Haverah Park (HP) グループが CORSIKA 空気シャワープログラム（QGSJET ハドロン相互作用モデル）と GEANT 検出器シミュレーションを使って旧来のデータを再解析した結果、エネルギースケールを約30%引き下げる必要があり、従来の解析で 10^{20}eV のすぐ上にあった4事象はすべて 10^{20}eV 以下になったと報告した。しかし、HP はもと exposure が AGASA の $1/5$ 程度しかないの、この変更によってむしろ AGASA・HiRes との

一致が良くなったと言える。以上、ハンブルク会議からの帰結をまとめると現時点では次のようになる。① HiRes と AGASA のスペクトラムは両者のエネルギースケールの系統誤差の範囲内で consistent である。② super-GZK 事象は存在する。ただし flux はこれまでの AGASA の値より小さくなる。③ この flux から、GZK cutoff の存在は 2σ 程度で許容される。④ 足首構造のエネルギーについてはファクター3の不定性がある。いずれにせよ、将来の Telescope Array や Auger では、 10^{18}eV から 10^{21}eV の広いエネルギー領域で、エネルギースケールと測定量のエネルギー依存性を正しく理解することが必須であることを示した論争であった。この他に、AGASA からは 10^{19}eV 以上における宇宙線点源の存在について竹田成宏と手嶋政廣が報告した。特に $10^{19.4}\text{eV}$ 以上のエネルギーでは、 2.5° 以内の近接する到来方向を持つ doublet が5つ triplet が1つ存在する。このことは以前から指摘されていたが、ハンブルクでは任意の2事象間の開き角をプロットしてモンテカルロと比較する新たな解析が示され、開き角 0° に明らかなピークが見え、ピークの広がりも AGASA の角

度分解能の1.80と consistent であることが示された。この解析では doublet と triplet を含めた統一的な統計処理ができ（1つの triplet は3つの doublet と同等）、全く一樣な到来方向分布が偶然にピークを作る確率は 5σ 以下であると結論された。続いて、これら点源に属する宇宙線には、銀河磁場方向に密接に関連した偏向が見られ、エネルギースペクトラムには異なった化学成分に対応する山・谷構造が見られるとの興味深い議論がなされたが、現状では事象数が不足で明確な結論には到達できない、というのが発表者を含めた会議での評価であったと思われる。将来計画については、Telescope Array は大気モニターの進展を中心とした発表を行なったが、アルゼンチンの Pierre Auger の進行が印象的であった。本年中に40台の水タンクで試験を行い、その結果が評価委員会で認められれば、2004年末までに1700台の水タンクを設置する予定であると発表された。Auger と伍して超高エネルギー宇宙線の起源解明を進める為に、一刻も早く Telescope Array の建設に取りかかる必要があることを痛感させられた会議であった。

遠山敦子文部科学大臣、スーパーカミオカンデを見学

東京大学宇宙線研究所 鈴木 洋一郎

9月5日(火)、遠山敦子文部科学大臣が神岡宇宙素粒子研究施設のスーパーカミオカンデを見学した。スーパーカミオカンデは岐阜県神岡町の神岡鉱山の地下1,000メートルに設置された、5万トンの水チェレンコフ装置で、宇宙から飛来するニュートリノの研究や、陽子崩壊の探索をおこなっている。1998年に大気中で生成されるニュートリノ、大気ニュートリノを研究して、ニュートリノ振動を発見した。

これは、ニュートリノに微小な質量があることを示し、質量がゼロとして成り立っている現在の素粒子標準理論に大きな変更を迫るものである。また、2001年6月には、太陽から飛来するニュートリノ、太陽ニュートリノも振動していることを示した。

大臣一行は予定どおり15時過ぎに鉱山入り口に到着し、入り口で、佐々木毅東京大学総長、吉村太彦東京大学宇宙線研究所長、川上神岡町長らの出迎えを受けた。その後、坑内で、カミオカンデの創始者である小柴昌俊東京大学名誉教授、案内役の鈴木洋一郎宇宙線研究所教授の出迎えを受けた。吉村所長の挨拶のあと、スーパーカミオカンデの建設記録ビ

デオが上映された。その後、スーパーカミオカンデの説明、得られた成果の解説があった。

見学のハイライトは、水槽内部の見学であった。1996年4月に実験を開始したスーパーカミオカンデは、2001年7月半ばまで連続観測をおこない5年余りその内部を見ることは不可能であった。

今回、直径約40メートル高さ約40メートルの円筒型水槽の内壁に設置された約1万2千本の光センサー（光電子増倍管）の一部の交換と、測定器の改



良のため実験を中断し5万トンの水が実験開始後始めて抜かれた。

遠山大臣、佐々木総長は、水の完全に抜かれた水槽の上面から、鈴木教授の運転するゴンドラで、底

部までの往復、上下40メートルの空中視察を行った。その後、一行はコントロール室を見学した後、16時過ぎ予定どおりスーパーカミオカンデを後にした。

平成13年度東京大学宇宙線研究所一般公開報告

東京大学宇宙線研究所一般公開委員長 瀧 田 正 人

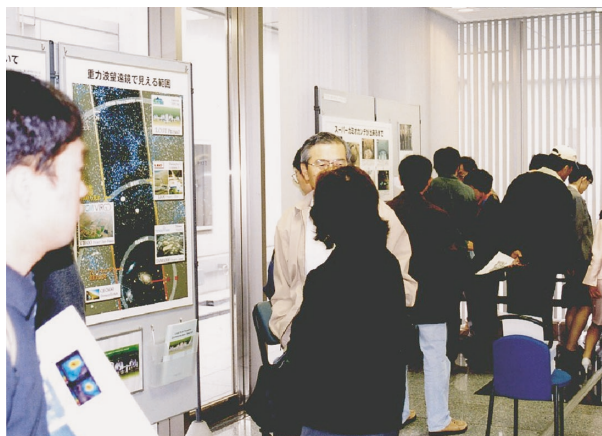
昨年度より柏キャンパスに移転した宇宙線研究所は、11月2日(金)及び11月3日(土)の両日に、物性研究所並びに大学院新領域創成科学研究科と共に柏キャンパスとして初めての合同一般公開を行いました。11月3日の午後はいにくの雨となりましたが、それ以外の開催期間は天気恵まれ、2日間で総計約1100人もの方に宇宙線研究所を訪れて頂きました。

事前の打ち合わせで当日の役割分担は、受付が事務部、各研究部の研究や展示物紹介等は各部の有志で行うことに決まっております、11月2日の朝、スムーズに1人目のお客様をお迎えることができました。平日の朝からお客様が来ることはないだろうと内心思っていたのですが、開催時間の朝10時に待ちか

ねたように1人目のお客様がいらっしゃり、宇宙線に関する市民の皆様の関心の高さに驚きました。

今年的一般公開の内容は、6階ホールでの常設展示パネルによる各研究グループの研究紹介、神岡グループとカンガルグループによるビデオ上映、宇宙線望遠鏡グループによる望遠鏡プロトタイプの展示、重力波グループによる実験室公開でした。今年の展示物で筆者の目を引いたのは、宇宙線望遠鏡グループの望遠鏡プロトタイプでした。キラキラと鏡面の光る望遠鏡はオブジェとして美しく、加えてデジタルカメラによる望遠鏡を背景にした記念撮影は見学者の皆さんに大受けでした。一世を風靡したプリクラ感覚で、撮影したその場で写真をプリンターに打ち出して、写真撮影した見学者にプレゼントしていました。

一般公開2日目の11月3日、文化の日にはますます多くの見学者の方が宇宙線研究所を訪れました。エレベーターの運搬能力等が少し心配だったのですが、トラブルなく見学者の方を運んでくれました。一般公開の目玉のひとつは午後に行われた一般講演会ですが、今年は重力波グループの黒田先生と宇宙線望遠鏡グループの佐々木先生にお願いしました。黒田先生がまず「重力波による宇宙の観測計画」というタイトルの1時間講演を行い、それに引きつい





て佐々木先生が「宇宙の起源の謎に挑む」というタイトルの1時間講演を行いました。

実は、この日の宇宙線研究所一般講演会が始まる直前まで、物性研究所ではノーベル化学賞受賞者の白川先生の一般講演が行われていたため、ひょっとしたら宇宙線研究所の講演会は閑古鳥が鳴くのではないかと懸念していました。ところが蓋を開けてみると、6階の大セミナー室は満員御礼で、立ち見の方がでるくらいに盛況でした。宇宙線研究所一般公開委員長の筆者としてはホッと胸を撫で下ろした次第でした。質疑応答の時間に入ると聴衆の方からかなり高度な質問が寄せられ、正直言ってビックリしました。いくつか例を挙げると「ヒッグス粒子に言及されたが、エーテルの二の舞になって結局発見さ

れないのではないか?」、「ハッブルの法則が成立するだけで、ビッグバン宇宙論の決定的な証拠といえるのか?」、「アインシュタイン方程式の宇宙項がなぜ斥力なのか?」といったように極めて専門的な質問が多く、聴衆の宇宙に対する関心の高さに驚いた次第です。

一般公開終了後、各自の受け持ちに従って後片付けを行い、午後6時前には打ち上げの準備が整いました。事務部で用意して頂いた超大鍋入りの手作りおでんをメインの肴にして、ビール、日本酒、ワインで盛り上がりました。ケータリングサービスのおつまみとは断然おいしさが違い、秋も深まる夜に楽しいひと時を過ごせました。うわさによると事務部の皆さんが前日からおでんを仕込んでくれていたそうです。どうもありがとうございます、来年もよろしく願いいたします。

最後になりましたが、五十嵐さんをはじめとする柏キャンパス事務部の皆さん並びに宇宙線研究所一般公開委員の黒田先生、福田先生、河内先生をはじめとする宇宙線研究所有志の皆様がこの場を借りてお礼を申し上げたいと思います。皆様のご協力のおかげで、新米委員長にも一般公開をなんとか無事に終わらせることができました。一般公開を通じて、一般市民の皆様と東京大学柏キャンパスの理解がますます深まることを切に祈りたいと思います。

ICRR-Report 2001年度

(5) ICRR-Report-480-2001-10

“Contributions to 27th International Cosmic Ray Conference (07-15 Aug. 2001, Hamburg) from Cosmic Ray Collaboration at Mt. Chacaltaya” edited by A. Ohsawa

(6) ICRR-Report-481-2001-11 (August 2001)

“The Telescope Array Project: To appear in the Proceedings of the EHECR2001, International Workshop on Extremely High Energy Cosmic Rays (ICRR Kashiwa, Japan, 22-23 March 2001)” Makoto Sasaki

(7) ICRR-Report-482-2001-12 (December 20, 2000)

“Dissertation: Constraints of the neutrino oscillation parameters from 1117 day observation of solar neutrino day and night spectra in Super-Kamiokande” Nobuyuki Sakurai

ICRR-Seminar 2001年度

9月17日(月) Dr. Qinghuan Luo 氏 (RCTA, Univ. Sydney, Australia)

“Gamma ray emission from AGN and pulsars”

9月27日(木) Dr. Renato Biral 氏 (Campinas Uni-

versity, Sao Paulo, Brazil)

“Present Status of Auger Project in Argentine”

9月28日(金) Dr. Fraser Duncan 氏 (Queen's Univ., Canada)

“Measurement of the Charged Current ^8B Solar Neutrino Flux with the Sudbury Neutrino Observatory”

10月22日(月) Prof. Gustavo Medina Tanco 氏 (Inst. Astron. Geophys., Univ. Sao Paulo, Brazil)

“How much can intervening magnetic fields affect our understanding of the nature of Ultra High Energy Cosmic Ray ? ”

10月26日(金) Dr. Jim Hill 氏 (ICRR/State University of New York at Stony Brook)

“The K2K Participation in the Harp Experiment”

10月31日(水) 三輪 哲二氏 (京都大学理／数理解析専攻)

“物理的組み合わせ論”

11月27日(火) Prof. Richard Ellis 氏 (California Institute of Technology, USA)

“The Origin of the Hubble Sequence of Galaxy Types”

11月29日(木) 手嶋 政廣氏 (東京大学宇宙線研究所)

“最近の最高エネルギー空気シャワーをめぐる話題について”

コラム・反射鏡

11月12日

その日は朝10時ごろ研究棟に行き、メールに返事を書いていると電話が鳴った。Nさんからだった。

「伊藤君……」

なにか口調がおかしい。すごく遠くから電話をかけているみたいだった。雑音がひどい。

「つらくて言いたくないんだけど……。ちょっと時間をかけて話させて……」

最初は例のNHKの取材を断れ、とかそういう話かと思った。ちょうど少し前にNHKから、タンクを閉める直前に撮影したい旨のメールが来ていて、彼にフォワードしたところだったからだ。

「一時間くらい前に、発破みたいな音と突き上げるような衝撃が来て、急にトリガーレートが跳ね上がりました。それでタンクを開けて入ってみると球が全部割れていました」

「えっ？」

「水面から下の球は全滅。水が濁ってしまっているのでもよくわからないけど、たぶんだめでしょう。とにかくスタッフを全部集めて入坑してくれませんか」

僕は階下を下りていく気力も出ず、とにかくS君に電話して、全員自分の部屋に集合してもらえよう頼んだ。何の用？といった感じの緊張感のない顔の面々が恨めしい。最初の声がなかなか出ず、しばらく黙っていた。

「球が割れたらしい」

「割れた？」

「全部」

「全部??」

「とにかく全員なかに入って欲しいということらしい」

坑内へ向かう車の中、誰も何もしゃべらなかった。まんじりともせず、というのはこういうことだ。

とにかくゴンドラに乗って水槽へ入らねばならない。こんな時なのに、頭の中では、ビデオを回さなければ、バッテリーあったかな？とそんなことばかり考えていた。僕はジャーナリストの方が向いているのかもしれない。タンクの中に入ると、ひとめで異常は見取れた。水の色がおかしい。いろんなものが浮かんでいる。これがほんとうにあのSKの水だろうか？ほんの数日前、水面に浮かんでいたバクテリアのコロニーをどうやってす

くいるとか、という話をしていたのに。水面より上は見慣れた球が並んだ光景だ。しかし水面下数メートルから明らかに景色がおかしい。見えるべきものが見えず、どす黒い塊が突き出て並んでいた。なにか巨大な生物が死んでいるみたいだった。濁って下のほうがよく見えないが、底面の球はきれいに並んでいるように見える。しかしすぐにそれは、上面の球が水面に映りこんでいただけだ、ということに気づいた。

こういう時に限って施設長も主任もいない。施設長は機上の人。主任には拍で連絡がついてこっちに向かっている。水中カメラで内部をチェックする準備をしていると、電話がかかってきた。NHKからで、撮影の打ち合わせの件だった。なんという皮肉だろう、と思いながら、「今ちょっと立てこんでいて忙しいんで後から電話します」といってガチャ切りする。まさか、SKが壊れてもう取材はできませんよ、なんて今言うわけにいかない。

水中カメラの映像はさらに壮絶を極めたものだった。20インチPMTの巨大なダイノード電極がまるで押しつぶされたようにひしゃげ、架構から飛び出し、垂れ下がっている。下の方へ行くとどんどん水が濁り、何も見えなくなる。なにか白いものが漂い降り積もっていく。まるでマリンスノーのようだ。以前に行ったハワイでのダイビングを思い出す。でもハワイの海のほうがもっときれいだった。底面付近では粉々になったガラスが降り積もり、ダイノードや8インチPMTの残骸が散乱していた。まさにニューヨーク貿易センターのあの残骸と同じだった。だが幸運なことに誰も死んではない。

坑内を出るとあたりはとてもよい天気でちょうど紅葉の真っ盛りだった。今年は特に紅葉のきれいな年だ。「国敗れて山河あり」とふと頭をよぎった。

SKは壊れてしまったが、なにもかもなくなったわけではない。まだ我々には5千本以上のPMTと5万トン水槽と人材がある。残ったPMTだけでも純水を張りさえすればまた世界最大のニュートリノ検出器に戻せる。意地とプライドにかけて、電光石火で復旧するのだ。それが今の我々の糧だ。

僕は部屋に戻ると、新しいフラットファイルを取り出し、「SK 再建11月12日～」と書いた。ふと隣の部屋を見るとNさんも同じファイルを作っていた。

(伊藤好孝 宇宙線研・神岡グループ)

コラム・反射鏡は所内の職員の方々をお願いして、個人の立場で自由に書いていただく欄です。

No.47

2001年12月31日

東京大学宇宙線研究所

〒277-8582 千葉県柏市柏の葉5-1-5

TEL (0471) 36-3143又は5137

編集委員 佐々木 大西