

ICRR

ニュース

No. 35

1998. 特集号

東京大学宇宙線研究所

将来計画特集

宇宙線研究のさらなる飛躍をめざして

所長 戸塚 洋二

東京大学宇宙線研究所は、宇宙線研究のさらなる飛躍を目指して、今後推進すべき研究計画を策定しました。この将来計画案は、平成10年3月の共同利用運営委員会および教授会で承認されたものです。

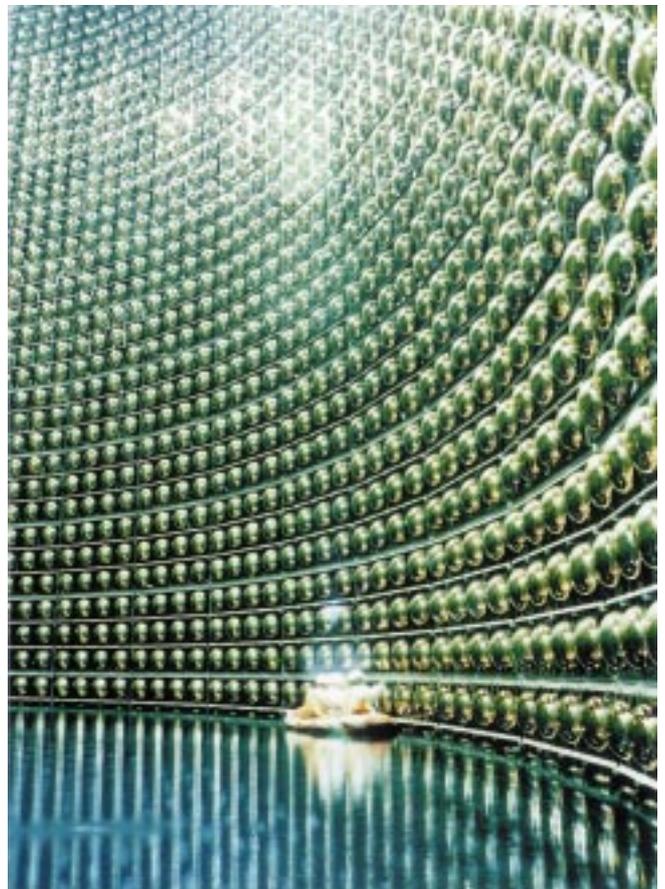
本将来計画は、宇宙線研究に携わっている我が国の研究者が、宇宙線研究所をホスト機関として共同して遂行する研究ですから、関連研究者の強力な参加があつて初めて可能になるものです。宇宙線研究者のグループ「CRC」も、平成10年1月の拡大実行委員会および同年4月のCRC総会において本将来計画案の推進に賛同されました。

ご存じのように、現在宇宙線研究所の柱となる研究は、世界最大の50000トン水チェレンコフ装置「スーパーカミオカンデ」(写真)による、宇宙ニュートリノ観測と陽子崩壊探索です。スーパーカミオカンデ実験は、構想されたのが昭和60年、予算措置されたのが平成3年、そして装置の完成および観測開始が平成8年4月でした。国外からの参加者50人を含む合わせて120人の研究者が共同して研究を行っています。2年後の現在、スーパーカミオカンデ実験は、大気ニュートリノの観測によりニュートリノが有限質量を持つという確実な証拠を発見しました。これは大変重要な研究成果です。太陽ニュートリノの精密観測においても非常に興味ある結果が出つつあり、スーパーカミオカンデは今後さらなる活躍が期待されています。

ニュートリノ研究が軌道に乗り世界の最高峰にたった今、宇宙線研究所はニュートリノ研究と手を携えて、それ以外の世界にも新たに旅立つことを決めました。将来計画のキーワードは、「ニュートリノ」、「高エネルギーガンマ線」、「最高エネルギー宇宙線」、「重力波」です。これら「宇宙線」の精密観測により宇宙および素粒子の秘密を解き明かそうとい

うものです。

各界各位におかれましては、すでに将来計画の実現に向けて走り始めた研究者に今後ともご指導ご鞭撻を賜りますとともに、ご理解とご支援をお願いする次第です。



宇宙線研究所において今後推進すべき研究計画について

平成10年1月31日
東京大学宇宙線研究所

1. はじめに

東京大学宇宙線研究所は、宇宙線の観測及び研究を設置目的とし、昭和28年乗鞍岳に宇宙線観測所を設立し共同利用に供した時をその嚆矢とする。その後昭和51年東京大学附属宇宙線研究所に改組転換された。

それにともない、乗鞍観測所は研究所の附属施設となり、種々の宇宙線観測が行われた。昭和52年新たに明野観測所が設置され、高エネルギーガンマ線及び最高エネルギー宇宙線の研究が開始された。平成7年、大型水チェレンコフ宇宙素粒子観測装置による研究のため神岡宇宙素粒子研究施設が設置された。現在、宇宙線研究所は、以上の3附属施設を有し、教官33人、事務職員等25人、大学院生44人（修士20、博士24、平成10年1月現在）で構成されている。教官、事務職員等は共同利用研究者の対応に当たり研究遂行の効率化を図っている。

現在までに行われた共同利用研究は多岐にわたるが、その主要なものを列挙すると、

- 宇宙線による超高エネルギー粒子相互作用の研究（乗鞍、ポリビア、気球実験）
- 高エネルギーミューオンの研究（田無、インドコラー金鉱）
- 大気ニュートリノの研究（神岡、インドコラー金鉱）
- 超高エネルギー宇宙線元素組成の研究（富士山、チベット）
- 最高エネルギー宇宙線の研究（明野、田無）
- 高エネルギーガンマ線の研究（オーストラリアウーメラ、チベット、ニュージーランド、明野、ポリビア）
- 太陽ニュートリノの研究（神岡）
- 超新星ニュートリノの研究（神岡）
- 陽子崩壊等大統一理論検証の研究（神岡、インドコラー金鉱）
- 重力波の研究（田無）
- 太陽中性子線の研究（乗鞍）
- 宇宙塵の研究（田無）

である。

宇宙線研究も近年、研究目的の精密化・多様化や新技術導入に伴い研究規模が拡大してきた。明野観測所におけるAGASA装置や神岡宇宙素粒子研究施設におけるSuper Kamiokandeはその典型的な例である。特にSuper Kamiokandeは宇宙線研究としては画期的な規模を誇り、今後の研究計画の標準となるものである。

Super Kamiokandeは平成8年4月より宇宙ニュートリノ等の本格観測に入り、ようやくその研究成果が世界の注目を集め始めてきた。

しかしながら、上にみたように宇宙線研究は多様であり、Super Kamiokandeが研究成果をあげつつある今、並行して推進すべき研究計画を早急に立案し、実現する時期にきている。

宇宙線研究所は、ポストSuper Kamiokandeをにらんだ研究計画を検討すべく、すでに平成3年、将来計画検討小委員会を設置し、約3年をかけて検討を行った。その結果はすでに将来計画検討小委員会中間報告として発表されている。（ICRRニュース№18、1993.9.15）それを要約すると、今後の宇宙線研究の主要な研究テーマとして、長基線光干渉計による重力波観測とそれによる一般相対性理論と宇宙物理学の研究、宇宙線望遠鏡による最高エネルギー宇宙線及び高エネルギー宇宙ガンマ線の観測とそれによる宇宙物理学の研究である。

その後、両研究グループは科研費等の経費により着実に試験開発研究を行ってきた。また、宇宙ガンマ線観測においては、オーストラリアにおける共同研究Cangarooおよびチベットにおける共同研究が近年大きな研究成果をあげてきた。また、将来計画検討小委員会中間報告提出後、すでに5年近く経過しているため、中間報告結果が現在でも先端的研究であるかどうかをもう一度検討する必要があると判断し、平成9年10月に将来計画シンポジウムを開催し、重力波アンテナと宇宙線望遠鏡を主に、ガンマ線等他分野との比較を含めた活発な議論を行った。本報告は、その結果を基に今後宇宙線研究所が行うべき重点研究計画を記したものであり、宇宙線研究所は、今後それらの研究計画を早急かつ着実に実行していく予定である。

2. 今後行うべき研究計画

宇宙線研究所研究計画の主要キーワードは、ニュートリノ、ガンマ線、最高エネルギー宇宙線、重力波である。宇宙線研究の多様さに鑑み、宇宙線研究所は、今後以上の研究をバランスよく遂行すべきである。ただし、学術的意義が極めて高く緊急度のある研究計画を早急に実現する必要がある場合は、本研究計画の一部見直し等の再検討を行う。

以下に研究計画の要約を記す。

(1) ニュートリノ研究

すでにSuper Kamiokande実験が進行中である。次期計画の検討が行われているが、現在のところ具体案は存在しない。

(2) 高エネルギーガンマ線研究

10m径チェレンコフ望遠鏡4素子からなる高エネルギーガンマ線観測計画を早急に実現する。すでにCangarooなるガンマ線研究グループが大きな実績を積んでいる。当該グループが研究主体となって推進すべきである。

設置場所；オーストラリアウーメラ周辺

建設期間；4年

性能諸元；10m口径解像型空気チェレンコフ望遠鏡4台
最低検出可能エネルギー50GeV

検出限界感度 $1 \times 10^{-12} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ (@100GeV、
100時間観測)

角度決定精度 0.16度

(3) 最高エネルギー宇宙線研究

3m径蛍光望遠鏡42素子のステーション8台のアレイからなる宇宙線望遠鏡を建設し、宇宙線エネルギーの限界を極める。AGASAグループが最高エネルギー宇宙線の世界的主導グループである。当該グループは新技術である蛍光望遠鏡試験開発を外国グループとの共同研究により速やかに完了した後、本計画を早急に実現すべきである。

設置場所；米国ユタ州またはオーストラリアウーメラ周辺

建設期間；4年

性能諸元； 10^{20}eV 陽子に対して有効検出面積80,000 $\text{km}^2 \text{sr}$
以上

稼働率10%（深夜のみ）

エネルギー決定精度20%、角度決定精度0.2度

(4) 重力波研究

長基線光干渉重力波アンテナを建設し、本格的重力波検出を目指す。

国立天文台にて行われているTAMA計画グループは、今までに蓄積された研究実績及び今後得られる研究実績をもとにユニークな長基線アンテナを他研究機関と協力して建設すべきである。

設置場所；神岡

建設期間；5年

性能諸元；kmスケール低温ファブリ・ペロー型マイケルソン干渉計

60Mpc（2億光年）遠方の二重中性子星合体イベントを $S/N=10$ （信号強度が雑音の10倍）で捕らえられる感度。

（検出頻度年約1回）

3. 各研究計画の概要

(1) 高エネルギー天体の100GeVガンマ線による研究 (CANGAROO III)

研究目的と意義

多くのガンマ線源のエネルギー放出量はガンマ線領域で最大となっており、天体現象での非熱的高エネルギー過程の基本的な重要性を示している。天体の非熱的高エネルギー放射過程の全貌はいまなお隠されたままである。現在約10個の超高エネルギー1TeV領域のガンマ線源の数を一桁増大させる。

現存する加速器の最大到達値を越える加速エネルギーを持つ天体の研究は、電波やX線観測など高エネルギー電子の放射に限られてきた。しかし、天体のエネルギーは主に陽子が担い陽子から電子に供給されている。エネルギー総供給量を高エネルギーガンマ線によって直接的に推定する。宇宙線の起源の検証はわれわれの銀河を越えて銀河系外へと拡大しつつある。また、ブラックホールや中性子星近傍へ、さらには長波長の電磁波では到達が困難であった高物質密度の星の誕生領域などへ迫りつつある。地上の実験室では得られない極限状態での物理現象を超高エネルギーガンマ線によって探求する。

高エネルギーガンマ線は電波や可視光と衝突して電子陽電子対生成を行ない、二次電子が2.7Kのマイクロ波などと衝突して二次的なガンマ線を放出する。このような素粒子相互作用のため、高エネルギーガンマ線は電波から 10^{20}eV の最高エネルギー宇宙線まで、宇宙のあらゆるエネルギー領域に結

合した、高エネルギー宇宙の全貌をその観測データの中に含んでいる。

研究方法

口径10mの地上設置の超高エネルギーガンマ線用大型望遠鏡を4台建設する。このうち、1台は科研費重点領域により平成10年度に集光面積7m口径相当で稼働開始予定である。小型球面鏡（直径0.8m）の増設によりこれを10m口径に拡大し、残り3台を新設する。

超高エネルギーガンマ線が大気中で電子陽電子を増殖する粒子シャワーを発生させ、電子陽電子群が放出する可視光・チェレンコフ光を各10m口径放物面鏡で集光し、光電子増倍管約600本からなるカメラで検出する。

ガンマ線衛星との間の空白領域を埋め、50 - 100GeV程度以上の超高エネルギーガンマ線観測を実現する。大天頂角での観測を併用し50GeV - 100TeVにわたる広いエネルギー領域の観測を行なう。

期待される研究成果

少なくとも約100個のガンマ線源の検出が予想される。

1. 超高エネルギーガンマ線を放出する現在まで3個のバルサー星雲の発見を10個以上に増大できることが、X線衛星の観測結果から確実である。バルサーにおける加速現象、バルサー風と星周空間との相互作用、バルサーの

- 進化との関係などについての一般的な法則性を推測できる。
2. 100GeV領域で活動銀河やパルサーなどのエネルギースペクトルに切断または急激な変化が存在している。
 - (a) パルサー磁気圏からの放射の切断エネルギーを各パルサーについて決定。強磁場中での電子陽電子生成のガンマ線のエネルギー依存性から、磁場の構造、分布に強い制限を与える。粒子加速の諸モデルに決定的な制限を与える。
 - (b) 多数の活動銀河のエネルギースペクトルから、銀河系外赤外線強度を推定。銀河の過去の活動度について制限を与える。ブレーザーのジェット生成や粒子加速機構の解明。
 3. 超新星残骸からの超高エネルギーガンマ線を検出し、銀河系内宇宙線の起源に決着をつける。
 4. 太陽系近傍に限られている超高エネルギーガンマ線の探索を銀河系全体に拡大させる。
 - (a) 未同定EGRETガンマ線源の解明。
 - (b) 銀河中心などブラックホール候補天体など、新しいタイプのガンマ線源の検出。
 - (c) 分子雲からの宇宙線による⁰生成からの超高エネルギーガンマ線検出、若い星の生成領域 - 高物質密度領域での高エネルギー現象の観測を開拓。
 5. 銀河系外天体についての新しい現象の開拓。
 - (a) 近傍の標準的な銀河 (normal galaxies) とわれわれの銀河の宇宙線との比較。
 - (b) さまざまなタイプの銀河の観測から銀河の進化と高エネルギー活動についての制限。
 - (c) 銀河団からのガンマ線は粒子加速の標準的なモデルである衝撃波加速について、広い空間領域での様相を明らかにする。
 6. 激しく時間変動する超高エネルギーガンマ線。
 - (a) ガンマ線バーストの検出限界距離が赤方変移 ~ 0.5 まで拡大する。
 - (b) TeV領域でのみ際立った高エネルギー活動を示すガンマ線源を確立。
 - (c) その他激しい時間変動を示すミニブラックホールなどの特異な現象。
 7. 4台の望遠鏡の同時観測の信号/雑音比を上げた観測により、
 - (a) エネルギー分解能15%、角度分解能1分角の精度の観測が可能になる。
 - i. 銀河円盤での宇宙線の伝播過程の解明。
 - ii. 銀河系外からの一様ガンマ線; 宇宙初期の高エネルギー活動の反映ラインガンマ線や位相欠陥などの特異現象の効果の検出が可能。

現在までの研究実績

地上観測の超高エネルギーガンマ線による天体観測の窓を開いた。

- (i) 1992年から世界で2番めに南半球では初めての解像型チェレンコフ望遠鏡による観測。
- (ii) 高角度分解能光電子増倍管カメラの有用性を示す(建設当時世界最高性能)。
- (iii) 10 - 100TeVガンマ線の最大天頂角法による高精度観測などの技術的開発に基づいて、銀河中心近傍等の銀河系内ガンマ線源について約1 TeVのガンマ線観測を継続している。
 - (1) ガンマ線パルサーPSR B1706-44、帆座パルサーなどに附随するパルサー星雲及び殻型超新星残骸SN1006等少なくとも3個の超高エネルギーガンマ線源を発見した。
 - (2) 非熱の高エネルギーガンマ線放出源がエネルギー増大とともに、GeV領域でのパルサー磁気圏からTeV領域では星雲へと移行する事を確立した。
 - (3) かに星雲から50TeVを超えるこれまで観測された最大エネルギーのガンマ線の発見をした。
 - (4) 超新星残骸SN1006からTeVガンマ線を検出し、衝撃波加速によって ~ 100 TeVの電子が加速されている直接的な証拠を与えた。

諸外国における研究情勢と国際競争力

世界各国による新規大型計画の競争が激化し、アメリカ、ドイツの大型計画(それぞれ9台、16台の望遠鏡)の観測開始は21世紀初頭が予定されている。

平成7年度からの科学研究費重点領域「高エネルギー天体」によって、7m口径望遠鏡の建設が実現した。今後2ないし3年間21世紀初頭までは北半球に於けるアメリカの10m口径望遠鏡1台と南半球のわれわれの7m口径望遠鏡1台が100GeV領域ガンマ線観測を依然としてリードできる状態が予想されている。しかし、複数の望遠鏡による精度改善が世界の趨勢である。本計画の4台の望遠鏡の早期実現が不可欠である。

一方、飛翔体による観測計画では、次期大型ガンマ線衛星GLAST計画が2005年ごろ打ち上げを目指して進行している。我が国の参加を意義あるものとするためには、活発な地上観測グループの存在が必要である。ガンマ線観測、X線などの他波長観測、理論研究等にまたがる「高エネルギー天体」の研究の組織形成も重点領域「高エネルギー天体」によって開拓しつつある。

その他特記すべき事項

宇宙線の起源の検証はわれわれの銀河を越えて銀河系外へと拡大し、さらに初期宇宙に向けて研究対象が膨らみつつある。また、ブラックホールや中性子星近傍へ、さらには長波長の電磁波では到達が困難であった高物質密度の星の誕生領域などへ迫りつつある。地上の実験室では得られない極限状態での物理現象がわれわれの眼前に現れつつある。あらゆる波長帯を駆使した研究が必要であり、X線観測結果を直ちにガンマ線観測に適用するなど、密接な連携作業、情報ネットワークを確立、整備しつつある。

陽子反応によるガンマ線放射は高エネルギー領域になるほど卓越的になる。その素粒子相互作用による高エネルギーガ

ンマ線には長波長の電磁波にない特徴がある。(1)イオン、中性原子、分子などの状態によらない物質質量を与える。(2)これまで知られてきたX線や電波の放射を行なう電子のエネルギーも陽子を通じて供給される。高エネルギーガンマ線放射の観測は活動的天体の持つエネルギー総量への陽子成分の寄与を明らかにできる。(3)高エネルギーガンマ線は宇宙空間の電波や可視光と衝突して電子陽電子対生成を行ない吸収され、二次電子が二次的なガンマ線を放出する。このため、高エネルギーガンマ線は電波から 10^{20} eVの最高エネルギー宇宙線まで、宇宙のあらゆるエネルギー領域に結合した、高エネルギー宇宙の全貌をその観測データの中に含んでいる。

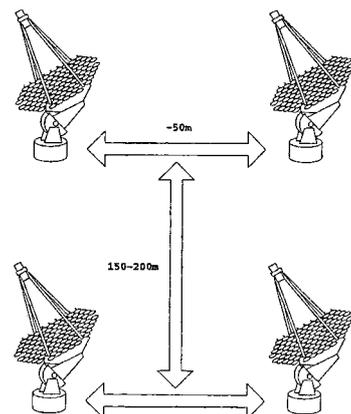


図1：CANGAROOIII反射鏡配置図

(2) 最高エネルギー宇宙線研究 (望遠鏡アレイ計画)

研究目的と意義

本研究計画の目的は、 10^{20} 電子ボルト以上のエネルギーを持つ最高エネルギー宇宙線を高精度で観測し、その宇宙起源に潜む素粒子や天体の最高エネルギー現象を研究することである。

宇宙線の加速方法は、人工加速器であるサイクロトロンによる加速と類似している。サイクロトロンでは、電場ギャップをつくりそこで粒子を加速する。1回の加速では大したエネルギーが稼げないから、そのギャップを粒子が何回も通ることができるように、磁場によって粒子を円運動させる。その際、加速能力は、本質的に磁場の強さと磁場のある領域の大きさの積で決っている。通常、宇宙線は高速に運動している磁気プラズマの中を運動している。この磁気プラズマを出たり入ったりするとき粒子は磁気プラズマの運動エネルギーを獲得すると考えられる。このエネルギー獲得がサイクロトロンの電場ギャップによる加速に相当する。このように、宇宙線の加速能力はサイクロトロンと同じように、宇宙線加速領域の磁場の強さとその領域の大きさによっている。

そこで 10^{20} 電子ボルトの陽子に対する磁場さらに磁気プラズマの速度の積とその領域の大きさの関係を表したのが図2であるが、我々の銀河内に存する宇宙線の加速領域として、ほぼ確立している超新星残骸での磁場と領域の大きさでは 10^{20} 電子ボルトの宇宙線を加速するにはとても足りないことが分かる。また、磁気プラズマの速度や効率を考慮するとどの天体も 10^{20} eV以上に加速することは困難である。従って、 10^{20} 電子ボルト以上の宇宙線が観測されれば、宇宙にかなり特異な磁場を持つ領域が存在するか、あるいは全く新しい加速機構が存在することになり、物理的にきわめて興味ある発見となる。

10^{20} 電子ボルト以上の宇宙線は、2.7Kの宇宙背景放射の光子と衝突してパイ中間子を作り、エネルギーを失う(GZK機構)。その減衰長は50メガパーセク(1.5億光年)以下で

わめて短い。従って、 10^{20} 電子ボルト以上の宇宙線が観測されれば、それは1.5億光年内というかなり近傍で作られたことになる(最も近い銀河団である乙女座銀河団までの距離は0.6億光年、髪の毛座銀河団までは3億光年)。さらに、その加速源では 10^{21} eV以上のエネルギーまで加速されていた可能性が高い。 10^{20} 電子ボルトのエネルギーを持つ宇宙線がこのように近傍で作られると銀河間磁場でほとんど曲げられず、観測されたそれら宇宙線の方向をたどれば、宇宙線の加速領域が点源として見つけることができるはずである。

明野観測所のAGASA装置はすでに 10^{20} 電子ボルトを越えるエネルギーを持った宇宙線を6例観測している。また、独立な方法で観測しているユタ大学のグループも 10^{20} 電子ボルト

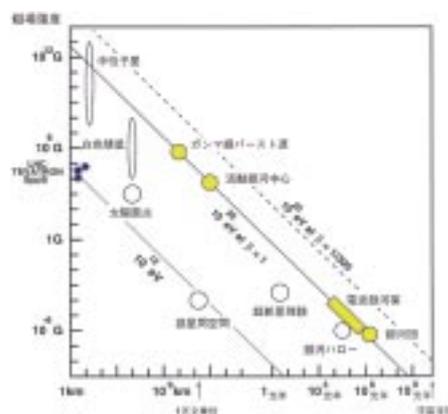


図2：宇宙線加速源となりえる天体の磁場強度と天体の大きさとの関係。宇宙線の加速限界はプラズマの速度(c)にも依存する。実線はプラズマの速度が光速に等しい($\beta = 1$)非現実的な場合、破線は多くの天体で起こるプラズマの速度($\beta = 1/300$)の場合。中性子星などの強い磁場と小さなサイズを持つ天体ではシンクロトロン放射によるエネルギー損失により、結局は加速効率悪い。最大規模である人工の陽子(反陽子)加速器も3例プロットした。

以上の宇宙線を1例観測している。しかし、それらの天空方向には候補となる活動天体が存在しない。上に記したように、それらの源はかなり近傍であることを忘れてはならない。それでは、その源はいったい何者であるか。またその加速機構はどのようなものであるか。これを解明するのが本計画の研究目的である。

あるいは、これらの宇宙線は、普通考えられているような陽子や原子核でなく、ニュートリノや光子のような透過力の強い粒子だろうか。もしそうなら、パイ中間子発生によるエネルギー損失は無視でき、源までの距離はずっと遠方でも良いことになる。しかし、どのような天体が最高エネルギーのニュートリノや光子のような粒子を作ることができるのか。本研究計画はこのような可能性を確実に識別することができるように設計されている。

10^{20} 電子ボルトは大統一理論のエネルギースケール (10^{24} - 10^{25} eV) にかかなり近いことに注意する。これらの宇宙線は宇宙初期から生き残った、大統一理論のエネルギーを持つ何らかの粒子的なもの(コズミックストリング、その他)から崩壊してできたものだろうか。このような可能性を追求するのも本研究計画の目的である。

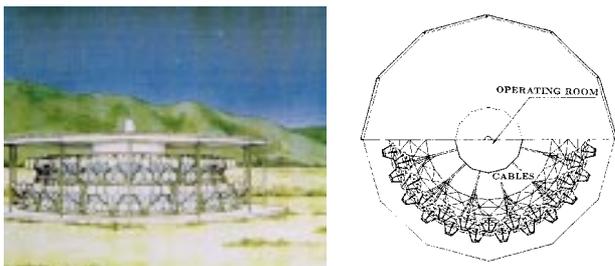


図3：42望遠鏡素子のステーション鳥瞰図(左)と内部上部図(右)。

研究方法

1. テレスコープアレイ検出器仕様

検出原理	空気シャワー電子成分による大気窒素励起蛍光の集光・撮像
検出器構成	3m径蛍光望遠鏡42素子のステーション・アレイ8台(～30km間隔)
カメラ構成	1望遠鏡素子あたり256本の正六角形光電子増倍管
ステーションの視野	方位360°×仰角34°(立体角2.8ステラジアン)
シャワー軸再構成	複数ステーションでの飛跡の同時検出による幾何学的ステレオ再構成
1次エネルギー再構成	シャワー縦発達分布をカロリメトリックに積分。
1次粒子種類同定	シャワー縦発達分布から平均自由行程を求め、分類。
大気透明度校正	YAGレーザー(波長355nm)によるオンライン大気モニター。
検出効率(10^{20} eV)	> 80,000km ² str × ~10% (稼働効率)、AGASAの50-100倍。
分解能	エネルギー20%、到来方向0.2°、最大縦発達の深さ30g/cm ²

2. 年次計画案

年度	研究内容
1998 - 1999	TAプロトタイプ7素子とHiResとの連動による空気シャワーのステレオ観測。 明野観測所に於ける検出器ユニットの製作とテスト。
1999	最終候補地の選定。調査費概算要求。
1999 - 2000	最終候補地での調査研究。 ・大気透明度、夜光バックグラウンドの測定。 ・気象、環境、利便性、安全性の確認。土地交渉等。
2000	計画概算要求。建設準備。
2000 - 2003	建設。出来たアレイ要素から順次パイロット観測開始。
2004 - 2013	全検出器を用いた観測。

3. 検出方法

以下に大気蛍光による空気シャワーの検出方法について述べる。

最高エネルギー宇宙線が大気の原子核と相互作用し、空気カスケードシャワーを生成する。

そのシャワーの電離により励起された窒素は蛍光を放出する。1電子が大気中を1m走ることによって300-400nmの紫外波長領域の光子が4-5個放出される。

蛍光は等方的に放出されるため、その蛍光を集光・撮像できる望遠鏡が空気シャワーを見込む視野を持っていれば、その望遠鏡で視野内での空気シャワーの縦発達軌跡を再構築できる。

同じ空気シャワーを2箇所の離れた望遠鏡群により検出し、縦発達軌跡を再構築すれば、シャワー軸と望遠鏡群を通るシャワー面を2枚独立に決めることができる。その交線により幾何学的にそのシャワー軸の方向と落下位置を求めることができる。

図4は上述の検出原理を概念図に表したものである。

期待される研究成果

現在山梨県明野村で遂行されている現行明野観測所広域空気シャワー観測装置の実績をもとにして、それが提起した最高エネルギー宇宙線起源の謎を解明すべく、現在の技術で考えうる最高の感度で観測するのが、本計画の目的であり、通称、宇宙線望遠鏡計画もしくはテレスコープアレイ計画と呼ぶ。宇宙線望遠鏡計画の最高エネルギー宇宙線の検出感度は明野観測所広域空気シャワー観測装置に対して50倍以上になるよう設計されている。明野観測所広域空気シャワー観測装置により数例発見された10の20乗電子ボルト以上の最高エネルギー宇宙線事例の発生源として天体物理学または素粒子物理学から予測される候補がいくつか挙げられる。それに基づき、宇宙線望遠鏡計画で期待される成果について述べる。

(1) 最高エネルギー宇宙線天体の探索

既知天体が最高エネルギー宇宙線発生源の候補として問題となるのは、1次のフェルミ加速の理論から、まず、その天体における磁場の強度と粒子がエネルギーを受け取ることの出来る領域の大きさである。そこで既知天体のなかでこの条

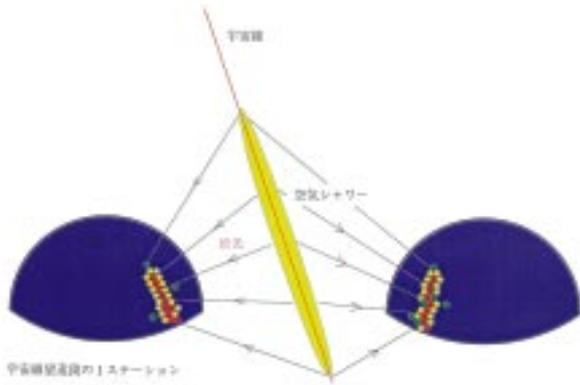


図4：検出方法概念図。

件を満たすものとして、中性子星、活動銀河核、電波銀河ローブ、銀河団がある。しかし、別の条件として磁場中のシンクロトロン放射によるエネルギー損失と3 K宇宙背景輻射との相互作用によるエネルギー損失の2つの過程も考慮しないとけない。中性子星などのように強い磁場ではシンクロトロン放射によるエネルギー損失のため、最高エネルギーまでの加速は難しい。さらに、銀河団のようにエネルギーを受け取る領域が大きい場合、3 K宇宙背景輻射との相互作用によるエネルギー損失が大きく、候補から脱落する。結局、既知天体で候補として残るものは少なく、電波銀河ローブで活動銀河核中心からジェットが吹き出、それが星間ガスと衝突して起こすホットスポットという現象が最も可能性が高いことになる。だが、明野観測所広域空気シャワー観測装置が発見した数事例のうち、既知の電波、X線により既に同定されている活動的天体に方向が合致するものはないのである。つい最近、ガンマ線バーストが精度よく方向が同定され、それが宇宙論的距離から強烈なエネルギー放出をしている事が分かってきた。最高エネルギー宇宙線の候補としても、このガンマ線バースト源は有力である。点源から到来する場合、最高エネルギー宇宙線の直進性から、その位置が同定できるであろう。また、近傍の天体から飛来する最高エネルギー宇宙線はその距離に応じた特徴的なスペクトラムをもつことも知られており、宇宙線望遠鏡計画の場合、統計量は十分なので、同定は明確に行える。いずれの場合でも、点源が最高エネルギー宇宙線の源であるならば、荷電粒子を用いた初めての天体同定が可能となる。

(2) 宇宙初期の位相欠損痕跡の探索

一方、最高エネルギー宇宙線を既知天体での加速によるのではなく、宇宙開闢時にあったであろう、さらに高いエネルギースケールでの現象から発生するという説もある。例えば、最高エネルギー宇宙線が磁気単極子、宇宙紐などの宇宙での真空相転移の際生ずる位相欠損の崩壊や対消滅から放出される二次生成粒子だとするモデルが存在する。この場合、二次生成粒子のエネルギー分布は通常の宇宙線のスペクトラムに比べ、非常にハードであり、また、核子に行くエネルギーは数パーセントで多くは γ の生成に使われ、ニュートリノ、ガンマ線として観測されることになる。伝播効果も考慮した

予測スペクトラムが提示されており、このモデルに従えば現在、明野観測所広域空気シャワー観測装置で観測されている最高エネルギー宇宙線はほとんどガンマ線ということになる。また、ニュートリノのフラックスも圧倒的に多くなる。宇宙線望遠鏡計画のように巨大な蛍光検出器ならば、最高エネルギー宇宙線がガンマ線かどうかを統計的に有意に識別できる。さらに、1兆トン規模の大気を能動的標的とするのでニュートリノからの空気シャワーにも十分感度があり、かつ確実な選別が可能である。このようにガンマ線とニュートリノを他の宇宙線から有意に識別でき、高い信頼度で位相欠損モデルを検定できるのは我々の宇宙線望遠鏡計画のみとなる。

(3) 極高エネルギーニュートリノ点源の探索

電波やX線を用いた観測から、ブレーザーやクエーサーと呼ばれる活動銀河核はその中心に超重ブラックホールがあり、光速に近い電子・陽電子のジェットが吹き出し、衝撃波が起こり、そこで陽子や核子が加速されている可能性が高い。その際、極めて高いエネルギーのニュートリノの放出も予想される。宇宙線望遠鏡の空気シャワー検出感度の閾値は 10^{17} 乗電子ボルトであり、活動銀河核からのニュートリノ流量のモデル計算によると1つの活動銀河核からのニュートリノが年間数事例程度検出できると予想される。将来にわたり、 10^{17} 乗電子ボルト以上の極高エネルギーニュートリノの有意な検出は、巨大な蛍光検出器である我々の宇宙線望遠鏡計画のみ可能であろう。この極高エネルギーニュートリノの検出も、(1)に記述した最高エネルギー宇宙線の加速源としての活動銀河核の加速機構を解明する鍵を与えるであろう。

(4) 銀河間磁場の決定

磁気半径の議論から 10^{19} 乗電子ボルト以上の宇宙線は銀河系外の起源と考えられる。宇宙線望遠鏡計画では年間数千事例の 10^{19} 乗電子ボルト以上の宇宙線が観測される。また、宇宙線望遠鏡の到来方向決定精度は 0.2 度程度と精密である。もし、銀河系外の宇宙線点源が発見され、位置が同定されれば、その宇宙線の到来方向分布の広がりから銀河間磁場を決定できる。

(5) 銀河内起源宇宙線の精密測定

明野観測所広域空気シャワー装置でも観測してきた 10^{17} 乗電子ボルトから 10^{19} 乗電子ボルトの領域を更に50倍以上の統計を用い、また蛍光望遠鏡の特徴であるシャワーの縦発達観測を利用することで、新たな知見を得る。例えば、陽子や核子では銀河磁場で方向性が失われるが中性子や極高エネルギーガンマ線を放出する銀河系内点源を探索することが出来る。

(6) 超重暗黒物質候補の探索

1兆トン規模の能動的標的を有効利用し、検出器のトリガー条件を工夫することで非常に重いクォーク物質などの暗黒物質候補を探索することもできる。隕石は上空の大気層に侵入して早く燃え尽きてしまうが、クォーク物質は大気中を長く黒体放射を発生しながら落下するため区別が容易であるという説もある。

現在までの研究実績

明野観測所では1990年より、広域空気シャワー観測装置 (AGASA)を稼働している。現在、世界で唯一のGZK cutoffを越えるエネルギーの宇宙線を観測できる装置である。以下に1997年10月までのデータに基づく予備的な結果の主要なものを示す。

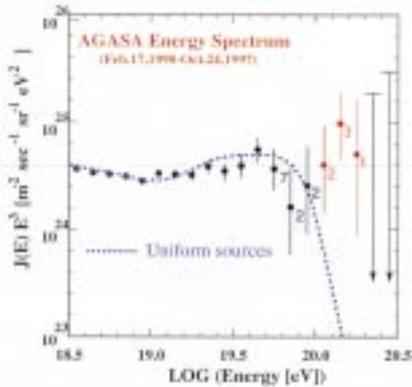


図5：最高エネルギー領域でのエネルギースペクトル。点線が低いエネルギーからのスペクトルの延長。世界中で最も統計の多い実験結果。GZK cutoffが無く、スペクトルは延びているか、GZK cutoffが有り、それに続く別の成分が見え始めてきたのか。極めて面白くなってきた。

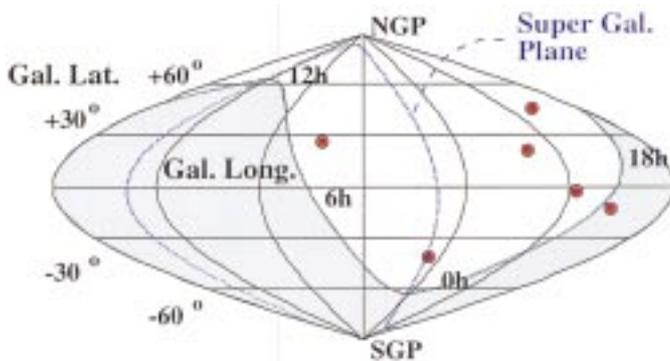


図6：AGASA： 10^{20} eV以上の宇宙線の到来方向分布。銀経、銀緯の他、我々の銀河から見て、近傍の明るい天体を集めて形成された超銀河面 (Super Galactic Plane) も、併記している。現在のところ、分布に集中化は見られない。

諸外国における研究情勢と国際競争力

現在、最も現実的で魅力的な計画はテレスコープアレイ計画とオージェ計画である。テレスコープアレイは、大気中のシャワーにより放出される蛍光を大口径の反射鏡で測定するものであり、大気中のシャワーの発達が直接測定可能である。基本的にカロリーメトリックなエネルギー測定法でありエネルギー推定に信頼性がある。また、ニュートリノ、ガンマ線のように、特徴的なシャワー発達するものの特定が容易におこなえる。これらの粒子は、起源のモデルを特定するのに決定的な役割を果たすであろう。また、オージェと比較して平均的な有効面積はほぼ同じであるが、瞬間的な有効面積はオージェの10倍を持つことになる (AGASAの500 - 1000倍)。宇宙線のバースト現象の検出に対して非常に高感度であるといえる。

一方、オージェ検出器は地上に展開された水タンク検出器であり、24時間一様に稼働しており、宇宙線の到来方向の大局的な異方性に関してより系統誤差の少ないデータを提供できると考えられる。

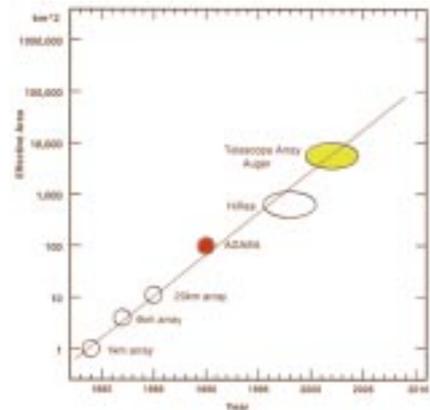


図7：頻度の少ない ($1 \text{ event/km}^2/\text{century at } > 10^{20}\text{eV}$) 宇宙線を測定するにはその観測装置の規模が、本質的である。現在、稼働している世界最大の装置は明野観測所にあるAGASA (検出面積約 100km^2)である。およそ、その5倍程度の規模を持つユタ大学のHiResは現在建設中であり、1999年にフル稼働の予定である。世界的にみて、このAGASA、HiResの後継の実験として提案されているのが、テレスコープアレイ計画、オージェ計画であり、その有効面積はともに、AGASAの50 - 100倍の規模である。

(3) 重力波研究 (LCGT計画)

研究目的と意義

重力波の直接検出には、強い重力場でのアインシュタインの一般相対性理論の検証が初めてなされる物理的意義、並びに、物質に被われた銀河中心のブラックホールに吸い込まれる星の消滅、2重中性子星の衝突現象、超新星爆発の後に見えるブラックホールの誕生など重力波でしか観測できない天

文現象を捉える新しいツールの確立という意義がある。また、光を観測する場合、10倍遠くにある光の強さは100分の1に低下するが、重力波の強さは10分の1にしかならない。これは重力波が遠くのイベントを見るのに有利であることを意味する。さらに、検出器1台でも、検出される周波数とエネルギーとから重力波源までの距離の大まかな推定ができることは他の観測手段では得られない利点であり、雑音のない理想

的な検出器が3台あれば、一般相対性理論の枠内では重力波源の位置が完全に決まる。

これまで、20年来続けられている共鳴型重力波アンテナによる観測では、観測周波数帯域が狭いことによりパースト波しか検出できず、このため、外来雑音との識別のため複数のアンテナとの相関や他の観測手段による観測との比較が必須であるが、レーザー干渉計型検出器では、広い観測帯域をもつことから、2重中性子星合体の際に放出される重力波特有の波形やブラックホール誕生時の準固有振動などの観測が可能であり、諸外国の検出器や他の観測手段との相関を待たなくても、高い信頼性で検出の同定ができる。また、諸外国との検出器との連携がとれば、これらの重力波のみならず、超新星爆発などからくるパースト波イベントも信頼性高く検出出来る。

低温鏡を採用したkm scaleの本計画(Large scale Cryogenic Gravitational wave Telescope LCGT計画)の目標は、LIGOの第1期計画やVIRGOを凌ぐ感度を達成し、観測を行うことである。2重中性子星合体のレートは、我々のような銀河あたりで、10の6乗年に1回と見積もられている。銀河の分布は、330万光年あたり1個であるから、半径2億光年までをカバーすれば、1年に1個の割合で検出が可能となる。この距離は、乙女座銀河団までの700万光年の3倍の距離であり、LIGOの第1期計画で目標とされる感度より3倍高いところに位置する。

研究方法

TAMAの基線長を一桁スケールアップし、かつ、レーザー鏡の低温化を盛り込んだkmスケールの低温鏡干渉計を神岡の廃坑に設置する。

ここでは、TAMAで開発される技術を向上させ、かつ、確実に感度を上げるための低温化技術を導入する。これを可能とするレーザー干渉計の仕様を決める主要なパラメーターは以下の通りである。

レーザー 100W
リサイクリング 50 (実効パワー2500W)
ミラーロス 1 ppm
サファイア 30cm (54kg, Q = 10の7乗) 密度3.98
振り子Q 10の7乗
L = 3 km

この仕様には、現在TAMAで開発中の技術が達成可能として組み込まれており、この計画では、以下のように i) レーザー光源のコヒーレント加算技術及び ii) 鏡懸架系の低温化技術が新たに取り込まれる。

i) 光のcoherent addition

TAMAで開発した半導体励起のNd:YAGレーザーは、injection locking法を用いた10W出力のものであるが、結晶ロッドの熱レンズ効果のためにこれ以上の高出力は望めない。安定なレーザー光源で単独の連続発振レーザーで10Wを超えるものは世界的にもまだ存在しない。重点領域研究で開発された300Wに迫るものがあるが、安定度やモードの安定性の

点で比較にならない。そこで、ここでは、安定なレーザー光源の出力をコヒーレントに重ね合わせることで高出力光源を得る技術を開発する。この技術の問題は、重畳された光の波面の乱れがあることと周波数安定化のための制御にばらつきが生じる恐れがあることである。小さいパワーでの実験は進んでいる。

ii) 低温鏡技術

サファイアなどの結晶は、熔融石英などと違って、極低温で機械的Qが増大する性質があり、温度の低下と相まって、熱雑音による振動の大幅な低下が期待される。100Hz前後の周波数で感度を制限しているのは熱雑音であるから、この付近の感度向上に寄与する。また、将来レーザー光出力の向上がはかられたとき、主要な周波数領域での感度を向上させるにはこの低温化は必須技術である。これまでに発熱を有するサファイア鏡を用いて、サファイアファイバーによる熱伝達の測定が行われ、首尾良く鏡冷却が可能であることが確認されている。

期待される研究成果

本計画が実現すれば、その感度は、67万光年のアンドロメダで起きるイベントを捉えられるTAMAの感度を2桁程度、また、700万光年の乙女座銀河団でのイベントを捉えようとするLIGO計画、VIRGO計画などで期待される感度を一桁程度上回ることになる。乙女座銀河団までの範囲に含まれるすべての銀河で期待される中性子星合体の重力波発生イベントは、30年に1回の割合と予想されるので、これらの計画ではなかなか重力波の検出は実現しない。これに対して、本計画では、1年で少なくとも1回のイベントを検出できることとなり、短期間の観測で統計的に意味のある観測データを得ることが可能となる。これらの中性子星合体の観測から、重力理論そのものの正しさが検証され、中性子星の運動から高密度な物質状態の知見が得られる。また、本計画に引き続く検出器との国際共同観測により、これら中性子星合体の位置が特定出来るため、1億光年というスケールでの距離が決定され、これは議論の種となっているハッブル定数を精密に決めるのに貢献する。

本計画の完成をLIGO観測開始時期の2002年より5年以上遅れないようにできれば、重力波検出一番乗りも可能である。

現在までの研究実績

日本国内では、70年代から共鳴型重力波アンテナの開発とこれによる観測が東大理学部で進められてきたが、90年代に入って、国立天文台のグループ、電通大レーザーグループ、レーザー干渉計による重力波検出を目指す宇宙科学研究所のグループ、低温アンテナを開発してきた高エネルギー物理学研究所(現在高エネルギー加速器研究機構)のグループなどととも重点領域「重力波天文学」(代表中村卓史)に結集して、100m Delay Line型レーザー干渉計、20m Fabry Perot干渉計などのプロトタイプを開発して、大型干渉計に必要な基礎技術の習得、開発に努めてきた。この成果は、現在進行中の300mレーザー干渉計TAMAの開発(代表古在由秀)で

活用されている。日本独自の技術開発としては、1) non bakingの真空ダクト、2) 低周波防振装置、3) 高出力、高安定固体レーザー、4) 新方式リサイクリング、などがある。また、平成9年度からKEKとの共同開発研究で行なっている低温鏡の開発では、所要の目標を達成するためのファイバーによる冷却に成功している。

諸外国における研究情勢と国際競争力

諸外国の計画は順調に建設が進んでおり、米国LIGO計画は2002年から観測に入る。仏伊合同VIRGO計画もこれにさほど遅れずに観測態勢に入るものと思われる。英独合同GEO計画はTAMAと同様2000年頃から観測に入る。このような中で観測に必須のリサイクリング技術は未完成であるし、長曲率半径の高精度・高反射率鏡もまだ開発途上である。しかしながら、TAMAで行ってきた技術開発の進展度から判断すると土木建設の期間中に、これらの技術は十分開発可能である。諸外国はこの見通しのもとで大型建設に着手している。現在、世界で同時進行的に開発が進んでいるが、開発が終了した時、LIGOは3 km、TAMAは300mの干渉計が動作する。TAMAの感度は1桁劣っている。しかしながら、LIGOの感度でも直接検出にはまだ不足でさらなる感度向上策が練られている。このような状況下であっても、現在KEKと共同で進めている低温鏡技術は、有望な感度向上策であり、これを活用する日本の計画は有望かつ価値あるものとして認められる。

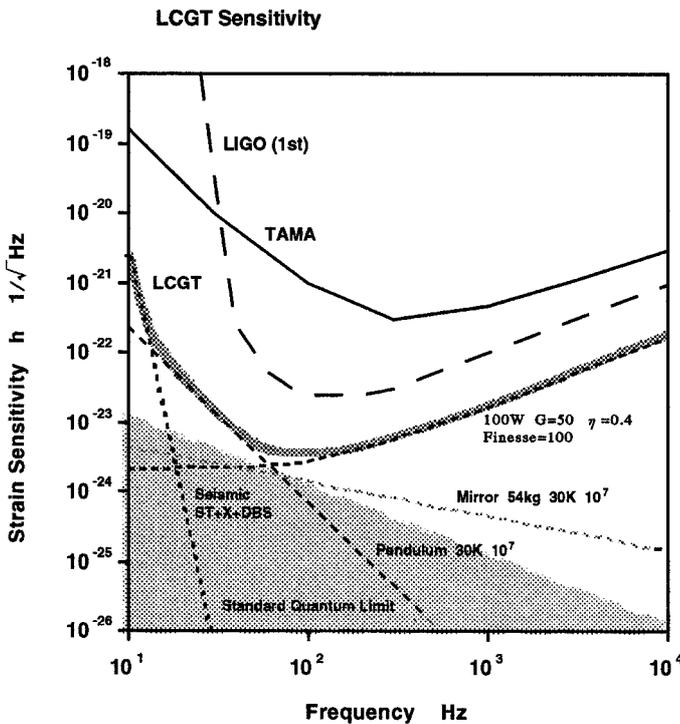
その他特筆すべき事項

一昨年将来計画発起人会なるものを設置して、総合的な検討を行い、計画案を丁度1年前に提案した。これと同時に建



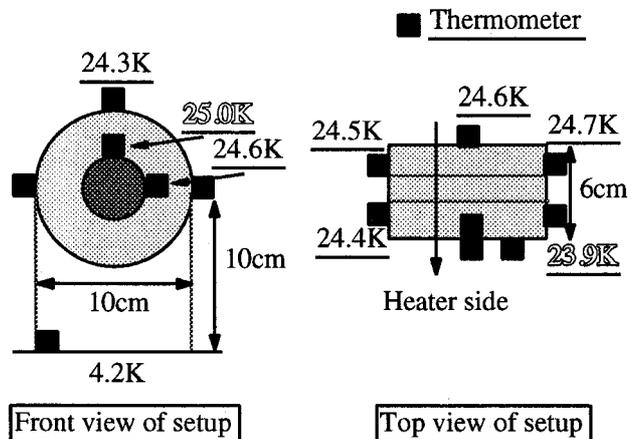
図8：長基線レーザー低温重力波望遠鏡

設場所の選定・調査も行った。それによれば、最短の工事期間が6年かかることが判明した。これは、広大な平坦地がとれないわが国では山地トンネルという形態をとらざるを得ないためにやむを得ないことであるが、6年という建設期間は長すぎる。これを容認すると、日本の計画は甚だしく時代遅れになることが予想される。この見積もりは工事のし易い堅い岩盤の山について行っているため、もしも現実のトンネル工事のように出水や落盤事故が頻発するような場合、工事期間はさらに延びる不安がある。このため山地トンネルを新たに掘削する計画は実際的ではない。従って、ここでは、すでに宇宙線研究所の研究施設のある、神岡の廃坑の一部を利用して工事期間を短縮することとした。これが本計画の第一の柱である。



感度はTAMAより2桁近く改善する。

サファイヤファイバーにより鏡を冷却する。



大西 宗博

1989年Tibet AS グループは中国西藏(チベット)自治区羊八井(ヤンパーチン)に空気シャワー観測装置を建設し(Tibet) 空気シャワーアレイ装置としては初めて10TeV(10兆電子ボルト)エネルギー領域宇宙線の観測に成功した。その後1994年に有効面積を約8倍に拡張し(Tibet) 10TeV宇宙線の観測を現在も続けている。さらに1996年には装置の一部、有効面積にして約1/10の領域の検出器密度を今までの4倍にした(Tibet HD)。これにより3 TeV宇宙線の観測も可能になった。

このエネルギー領域では宇宙線は等方的に地球にやってくるが、月の方向からは宇宙線は月に遮蔽されて地球には届かない。これを月による宇宙線の遮蔽と呼ぶ。装置の角度分解能が無限に良い場合、月の方向の宇宙線の頻度を観測すると、月の部分だけポツカリと穴が開いたように見える。ところが実際の装置は有限の角度分解能を持つため、頻度の低い部分

が月のまわりに広がって観測される。図1はTibet を使った307日間の観測で得られた月による10TeV宇宙線の遮蔽である。色が濃いところほど月に遮蔽されて宇宙線の頻度が低いことを表している。一番頻度の低いところはほぼ月の中心位置であるが、約0.1度西にずれている。これは宇宙線が電荷を持っているため地球磁場によって曲げられるからである。図2はTibet HDを使った215日間の観測で得られた月による3 TeV宇宙線の遮蔽である。エネルギーが図1より低いために、約0.3度とさらに大きく西にずれていることがわかる。

1999年にはさらに装置の拡張を行う予定である。約230台の検出器を新たに設置し、装置の全領域を高密度にする(Tibet)。この拡張により、3 TeV領域宇宙線の観測頻度はTibet HDの約5倍になり、また、10TeV領域宇宙線に対する角度分解能はTibet に比べて約2倍良くなる予定である。

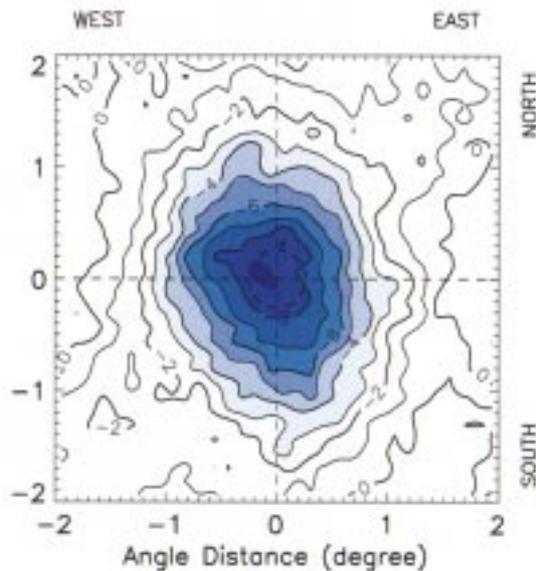


図1：Tibet で観測された月による10TeV領域宇宙線の遮蔽

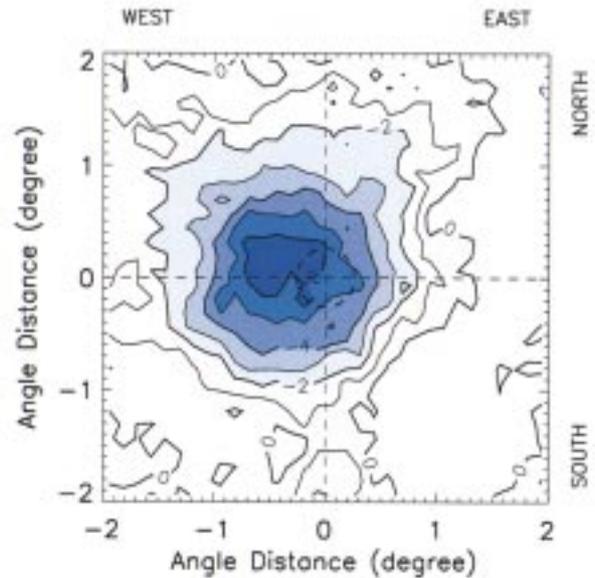


図2：Tibet HDで観測された月による3 TeV領域宇宙線の遮蔽



写真1

伊藤好孝

スーパーカミオカンデの結果から決定的となった大気 μ ニュートリノの欠損を実験的に検証するKEK 神岡間の長基線ニュートリノ振動実験、その開始まであと1年とせまった。この実験の原理はいたって単純で、250キロ離れた二つの検出器でニュートリノ反応を測って比べるというものである。ただニュートリノ実験であるので装置は巨大なものとなり、すべてのものは大がかりとなる。

実験に必要な三つのもの、ニュートリノビームライン、前置検出器とスーパーカミオカンデのうちスーパーカミオカンデは既に順調に運転されているわけであるが、KEK側の残りの二つはいよいよこれから本格的なインストール作業がはじまる。

ニュートリノビームラインはこの実験のための新設で、トンネル土木工事がほぼ終了し、パイ粒子を崩壊させニュートリノビームを生成するディケイパイプのインストールがされた段階である。全長600m深さ10mにわたる巨大なトンネルの脇には、掘られた土が3段につまれ、さながら古代のピラミッド工事を思わせる景観を見せている。今後ここには、KEK陽子シンクロトロンから引き出された12GeV陽子ビームを神岡方向へ曲げターゲットセクションまで導く多数の電磁石がインストールされることになる。トンネルの端から100m離れた場所には直径24m深さ16mの円形のピットが完成し、前置検出器のインストールが6月より始まる。前置検出器としては、シンチレーティングファイバーと水のサンドイッチターゲットとミュオンチェンバー、鉛ガラスからなるファイングレインデテクター、そして宇宙線研が担当している1

キロトン水チェレンコフ検出器が置かれる予定である。ファイングレインデテクターは、ニュートリノビームの絶対フラックス、エネルギー分布をCC準弾性散乱を使って精度よく測定する。1キロトン水チェレンコフ検出器は、スーパーカミオカンデのミニチュアで、同じタイプの50インチ光電子増倍管を約700本取り付けられる。この検出器の狙いは、ニュートリノビームによる水チェレンコフ型検出器のキャリブレーションを行うというもので、ファイングレインデテクターで得られたニュートリノビームの情報を元に、モンテカルロのニュートリノ反応および水チェレンコフ検出器のレスポンスのチェックを行う。これによりスーパーカミオカンデでのニュートリノ検出の不定性を押えることができる。ここで得られるニュートリノ反応のデータは、大気ニュートリノの結果にもフィードバックされ、中性カレントの測定から大気ニュートリノの絶対フラックスを求めることができるようになるだろうと期待している。

1キロトン水チェレンコフ検出器は、かつてKEKで行われたビームテストE261Aの際に使われたタンクを再利用する。現在改修工事が進んでおり、10月から光電子増倍管の取り付け作業が開始される。国内初のニュートリノビームは来年の1月からでる予定である。スーパーカミオカンデではおよそ1日1イベントが観測されるだろう。 μ -振動を検証するには、その後3年間にわたるビームが必要で、長基線ならぬ長期戦となるが、毎日1個ずつニュートリノのエネルギーをプロットしながら過ごす日々も悪くないであろう。

技術官研修に参加して

青木 利文

平成9年度第二回技術官研修会が、2月19日、20日と国立天文台野辺山宇宙電波観測所に於いて実施されました。講演者と講演テーマ、内容は、以下の様で私なりに受け止めてみました。

1. 宮沢ナオキ (SONYテクトロニクス)

データ取得の標準ソフト:LabView

このソフトはNational Instruments (社)の開発した計測制御のソフトウェアでGPIB、シリアル、VXIのインターフェースに対応した、グラフィカルなプログラミングが出来るのが特徴である。Windows/Mac/Sun/HP UXすべてでプログラミングが可能で、500種類以上の計測機器のドライバーを組み込めば、ブロック図を描くように線で結んでいくだけで、測定器からのデータ収集や制御が出来る。また取り込んだデータの解析、グラフ表示、他のアプリケーションへの転用が容易に出来る。今回の講演もOHPを使わずに実際にLabViewでプログラミングされた資料を、パソコンから直接ビデオプロジェクターに出力して進め、さらにオシロスコープの波形を読み込み、解析してワープロソフトに張り付けるなどのデモンストレーションをしていただいた。プレゼンテーションの仕方がとてもうまく、感心した。

2. 立松健一 (国立天文台)

電波天文学

電波天文学とは天体から発せられる様々な波長領域の電波を観測して天体の姿や宇宙を研究する。宇宙ではいろいろな現象が起きているが、特に電波では星間ガスがどのように動いているかが容易かつ精密に観測でき、星の誕生の様子、一生を終えチリになる様子などがよくわかる。次期の大型計画LMSAでは、チリの5000mの高山に直径10mの電波望遠鏡を50台設置する計画とのことで、これからの発展も楽しみである。

3. 小林孝英 (東京大学宇宙線研究所)

Yang bajing AS ECC連動実験

羊八井で連動実験を行うチェンバーを加速器のビームを使用した特性実験の様子や性能などの紹介。

4. 青木利文 (東京大学宇宙線研究所)

スパークチェンバー

東京大学120周年記念『知の開放』に出展した、スパークチェンバーの紹介。

5. 篠原昌延 (東京大学宇宙線研究所)

事務配布資料電子化

事務の電算化への先掛けとしてはじめた、事務配布資料の電子化の紹介。

6. 佐々木真人 (東京大学宇宙線研究所)

最高エネルギー宇宙素粒子実験

現在、米国ユタ州で予備実験が行われているテレスコープアレイ計画は、方位360度仰角34度で起こる、空気シャワーからの光を観測し、最高エネルギー現象を研究するものである。10²⁰電子ボルト以上の宇宙線の観測は例が少なく、GZKcutoffを越えるエネルギースペクトルの伸び方がはっきりしない。これを詳しく観測することにより、さまざまな新しい事がわかってくる。とくに、宇宙線が何処でどのように加速されるかというのは、宇宙線研究の原点に思える。講義の中でおもしろいと思ったのは、ニュートリノが逆さまのシャワーをつくるというもので、ニュートリノも観測できるというのを初めて耳にした。10²⁰電子ボルト以上の宇宙線の観測はその有効面積が勝負のポイントになるが、現在世界最大のAGASAの50~100倍ということで、この観測が始まり、未知のデータから新しい物理を得られることを期待したい。

7. 岩下浩幸 (国立天文台)

国立天文台野辺山宇宙電波観測所見学



写真1:



写真2:

観測所は先月の大雪や寒さのため、通路も雪が解けていなかった。あいにく小雨が降っていて、みんな気をつけながら歩いて見てまわった。最初に直径10mのアンテナを6台もつミリ波干渉計の説明をしてくれた。このアンテナを移動することによって、600mのアンテナと同じ分解能を得られるそうだが、台数が少ないので何回も移動を重ねてやっと1枚の画像が完成するということで、かなり大変で時間のかかる作業である。このアンテナに使われている鏡面精度が19ミクロンの反射板や電波を検出する受信機を見せてもらった。扱うのが数ギガヘルツということで、受信機といっても見慣れている電子部品でなく、導波管を使用しているため機械部品の様で、さらに熱雑音を防ぐために、これを絶対温度4度に冷却して使うそうで、かなり見た目はごついものだった。つづいて観測棟の中を見学した。とらえられた電波は光ファイバーでここに集められ、受信機バックエンドといわれる関連器を通して観測値になり、計算機でデータ処理され画像データになるとのことだった。

最後に45m電波望遠鏡を見せていただいた。近くに近づくとつれて、その圧倒する大きさが実感できた。この大きさで

も鏡面精度は100ミクロン以下で、これをモータードライブで調整するのに4時間程度かかるらしい。実験中でアンテナの中には入れなかったが、そばの観測棟の中では現在5年がかりで開発してきた、25チャンネルの45mアンテナ用の受信機が完成しようとしているところだった。現在は1チャンネルだがこれができれば25倍のデータが取れるそうで、画期的なものである。もうすぐこの受信機に置き換わるそうで、驚く様なデータが出ることを期待したい。見学中にアンテナや受信機の値段を聞いて、ため息のでも思いました。

最後に、今回の研修会も泊まりがけのためか参加者が少なく、寂しい感じがしましたが、よかったのは、普段他部の技術官がそれぞれどんな仕事をしているのか、あまり知る機会がないが、今回、技術官による発表があり、これからもお互いに理解をしあえる場として続けていけたらと思う。これから技術官の制度が変わるなか、いっそう研修会を有意義なものになるようにと思います。

技術官研修をサポートしていただいた、関係者の皆様にお礼を申し上げます。

人 事 異 動

発 令 日	氏 名	異 動 内 容	現(旧)官職
平10.3.31	永 野 元 彦	停年退職	附属明野観測所長
平10.3.31	佐 藤 恭 子	定年退職	技官・エマルション
平10.3.31	笠 原 龍 生	辞 職	事務官・総務掛
平10.4.1	手 嶋 政 廣	宇宙線研究所附属明野観測所長(併任)	
平10.4.1	三代木 伸 二	文部教官 東京大学助手(宇宙線研究所)採用(ミュー・ニュー部)	学振特別研究員(国立天文台)
平10.4.1	三 田 一 郎	客員部門 附属神岡宇宙素粒子研究施設教授(併任)	名古屋大学教授
平10.4.1	田 阪 茂 樹	客員部門 附属神岡宇宙素粒子研究施設助教授(併任)	岐阜大学助教授
平10.4.1	竹 田 成 宏	教務補佐員(採用)(エアシャワー)	
平10.4.1	大 林 由 尚	教務補佐員(採用)(神岡)	
平10.4.1	大 内 達 美	教務補佐員(採用)(エマルション)	
平10.4.1	安 岡 邦 彦	社会科学研究所総務主任(配置換)	総務主任
平10.4.1	細 淵 静 夫	理学部・大学院理学系研究科用度掛長(配)	共同利用掛長
平10.4.1	清 水 要	大規模集積システム設計教育研究センター会計掛長(配置換)	神岡事務主任
平10.4.1	石 井 肇 雄	国文学研究資料館会計課(転任)	
平10.4.1	荻 原 隆 治	宇宙線研究所総務主任(配置換)	物性研究所庶務主任
平10.4.1	柳 澤 知治郎	宇宙線研究所共同利用掛掛長(配置換)	理学部司計掛長
平10.4.1	阿 部 雅 晴	宇宙線研究所附属神岡宇宙素粒子研究施設事務主任(昇任)	学生部体育第一掛主任
平10.4.1	阿 部 義比古	宇宙線研究所総務掛主任	社会科学研究所庶務掛主任
平10.4.1	上 松 義 昭	文部技官(東京大学宇宙線研究所附属乗鞍観測所)転任)	国立天文台技術部

No.35

1998年特集号

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