



記載の記事は宇宙線研究所ホームページ (http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/ICRR_news) からでも御覧になれます。

CONTENTS

空気シャワー実験40年の歩み	林田 直明	1
第27回国際天文学連合総会報告・太陽と恒星の変動 およびその惑星への影響について	宮原ひろ子	5
CTA 計画	榎本 良治	7
High Energy Phenomena 空気シャワー観測装置による 10 ¹⁸ eV 以下の高エネルギー宇宙線現象	瀧田 正人	10
小型電子加速器による 空気シャワーエネルギーの絶対較正の研究	芝田 達伸	12
人事異動		15
ICRR-Seminar.....		15
ICRR-Report.....		16

退職にあたって

空気シャワー実験40年の歩み

林 田 直 明

日本の宇宙線空気シャワー実験は、この40年の間に急速な発展を遂げてきたので、その歴史を全てではないが、私なりに振り返って見る。

●1968年～71年：大学紛争の最中、小グループで観測。

日米安保闘争の後期であり、大学紛争は一部で更に過激化していた。授業や研究に支障が出る大学もあった。大阪市立大学の大学院生であった私も、貴重な大量の観測データを私の下宿へ避難させたこともあった。

そんな中でも、原子核研究所・宇宙線部、理化学研究所、埼玉大学、山梨大学、信州大学、名古屋大学、大阪市立大学、神戸大学などでは、数人単位の小グループが、原子核研究所、乗鞍岳、チャカルタヤに配置されていた空気シャワー観測施設で、細々と研究を進めていた。図1は、この頃の原子核研究所（INS）と乗鞍観測所の10¹⁵～10¹⁷eVの空気シャワー観測用アレーであり、図2はチャカルタヤとINSの10¹⁸eV以上の超大空気シャワー観測用アレーである。

この頃世界では、従来からの中サイズの空気シャ

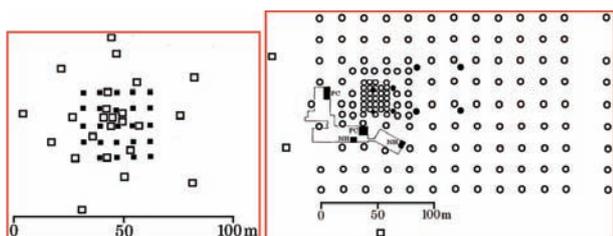


図1：INS-Array (左) と乗鞍-Array (右)

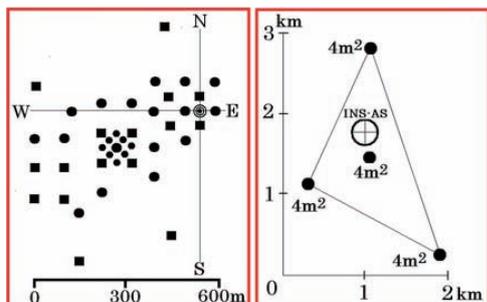


図2：チャカルタヤ (左) とINS-LAS(右)

ワー観測に加えて、米国のリンズレー・アレー、英国のハベラパーク・アレー、豪州のシュガー・アレー、ソ連のヤクーツク・アレーで、超大空気シャワー観測が始まりつつあった。

●1972年～74年：将来計画大激論。

大学紛争がほぼ終わった頃、「日本の宇宙線将来計画」について、CRC 実行委員会・総会などで議論が活発に始まった。空気シャワー研究者の間でも、若手中心の「CAOS グループ」と、ベテランを含む「KK グループ」との間で、連日深夜まで激しい論争が続いた。大激論の結果、鎌田甲一氏を責任者として一本化したグループが将来計画を進めることになった。この時点で、初めて各大学の小グループが一同に会した大規模な空気シャワー観測組織ができた。正月2日～4日の「元旦合宿勉強会」を行ったこともあった。

●1974年～76年：土地探しと明野観測所の建設。

鎌田甲一氏は、新任の永野元彦氏と共に、土地探しに全国を歩き回った。ある時山梨大学の津島逸郎氏からニュースが入った。山梨県明野村が、若者の離村傾向を食い止めるために学術機関の誘致を希望している、というものであった。明野の候補地は、日本一の日照率を誇り、シャワー・アレー配置に適した地形をしていた。また、東京から近いので全国の共同利用者にも便利な場所であった。明野村長の積極的なご尽力もあって、現地との交渉は順調に進んだ。それらが呼び水となり三宅所長の文部省陳情

にも説得力があった。その結果、半年後には準備研究費が、翌年には本予算が付き、明野観測所が建設された。

この頃、「宇宙線研究所 (三宅三郎所長)」が誕生した。原子核研究所の宇宙線部は、全てが「宇宙線研究所」に移行して独立し、新たな人事 (木舟、大岡、林田) も加わって、東大の7番目の「研究所」が誕生した。空気シャワー部、エマルジョン部、ミューニュー部、1次線部の4部署からなる日本の宇宙線研究の中央拠点が出来た。

この頃の「明野グループ」は、「宇宙線研・空気シャワー部」のスタッフの鎌田、棚橋、川口、永野、木舟、原、葉田野、林田、石川、鳥居、大野、大岡。

所外は、山梨大学、埼玉大学、大阪市立大学、愛媛大学、東京工業大学であった。

●1978年：「明野観測所」が完成。

1953年に「乗鞍観測所」ができて以来、25年振りの全国共同利用研究施設であった。

それは、中央実験棟、宿舎、ミュー観測室など18棟の建物からなる大規模な施設である。

大学附属施設で事務官人事が付いたことも初めてであった。空気シャワーの「電子成分」「ミュー成分」「コア部」「シンチ光」を同時に観測できる点でも、世界初の総合観測施設であり、外国から多くの宇宙線研究者が見学に来た。図3は、鎌田氏イラストの明野施設位置図であり、図4は当初の検出器配置図である。

●1980年～：勉強会と拡張試験実験

明野での観測が軌道に乗ってきた頃、菅浩一氏が呼びかけ人となって、宇宙線研空気シャワー部と関東地区関係者で、毎月1回、主に超大空気シャワーを意識した「空気シャワー談話会 (勉強会)」が2年間行われた。これはやがて関西でも開かれ、全国的なシンポジウムにもなった。その結果、1982年、先ず明野で4 km² Array を作って技術試験を行い、1984年、明野村全域に広がる10km² Array へと発展した。

●1985年～86年：再び日本の宇宙線研究の先が見えなくなった。

宇宙線研究の将来が定まらなかったため、宇宙線研究所の人事が約2年間凍結した。

この問題は国会でもチラリと話題に挙げられたため、宇宙線研の鎌田所長は、想定答弁集を作って待機したほどであった。もちろん、宇宙線研とCRC

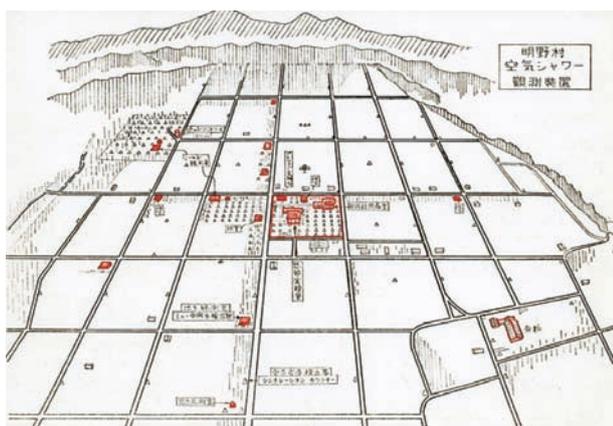
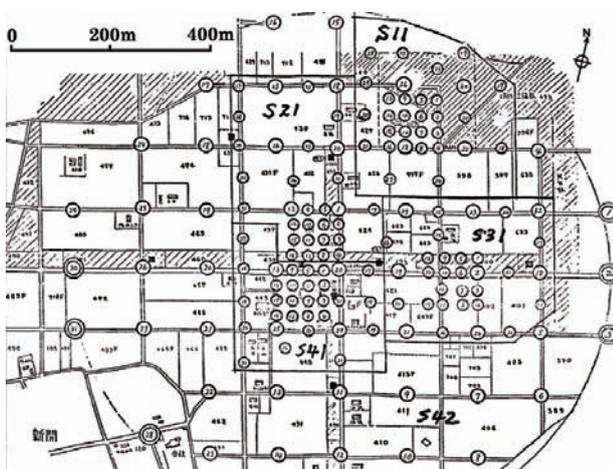


図3：明野施設位置（赤印）



図5：JANZOS Array

図4：明野1 km²検出器配置

では「次期将来計画」の議論が、連日のように激しく巻き起こった。

この頃、空気シャワーグループは、「超大空気シャワー観測」への道を歩み始めてはいたが、この道しかないだろう、と言う消極的なものであった。またこの頃、東大の小柴昌俊先生が行っていた「神岡地下実験」を、戸塚洋二氏と須田氏たちが「陽子崩壊実験のカミオカンデ計画」に発展させ、この実験を宇宙線研究所が引き継ぐことになった。しかし、いずれも、魅力ある目標が見えないまま、激しい議論だけが空転する毎日であった。

●1978年2月：南の天空から「救いの神が降臨」した。

突然、383年振りに肉眼で見える「超新星1987A」が現われ、宇宙ニュートリノがカミオカンデで初めて捕らえられた。これに触発された佐藤文隆氏は、ガンマ線が見えるかも知れないと発言した。それを聞いた村本綏氏は、宇宙線研だけでなく、高工研、天文台など全国の大学の研究者に呼びかけ、ニュー

ジーランド、オーストラリアの研究者も含めて、超新星からのガンマ線観測グループ「JANZOS」を結成した。7ヶ月後にはニュージーランドの山の上に、50個のシンチレーターと3台のミラーから成る空気シャワー・アレーが観測を開始した（図5）。それは驚異的な速さで建設されたことで関係者を驚かせたばかりでなく、従来の研究分野の垣根を初めて越えて結成された大規模な研究グループであった。この7年間の観測で顕著な成果はなかったが、この後、JANZOSのミラーの研究者たちは、CAN-GALOO計画を立ち上げた。

また、シンチレーターの研究者たちはTIBETアレーを建設した。

●1990年：100km²のAGASAが完成。⇒ E0 > 10²⁰ eVの発見

1987年から永野元彦氏が中心になって、AGASA建設が始まり1990年に完成した。この建設に先立って永野氏は、関係の6市町村、小中学校、80ヶ所ほどの地主さんとの土地借用交渉などに歩き回って合計111ヶ所の観測点を確保したご苦労は大変なものであった。それは地表アレーとしては世界最大の大きさであった。AGASAが本格的にスタートした2年目の12月、思いもかけないクリスマス・プレゼントが天から贈られてきた。それは「まさか！」の2 × 10²⁰ eVであったので「当面は公表禁止」としたが、半年後に、その1例だけを控え目に公表した（図6）。

●TA準備研究

1998年には、10²⁰ eVを超える観測例が6個になったので、初めてエネルギー・スペクトルを発表した。この発表は、たちまち数年の間、各地の国際会議の中心話題になり、この論文は、500以上の論文で引用されるベストセラーとなった。

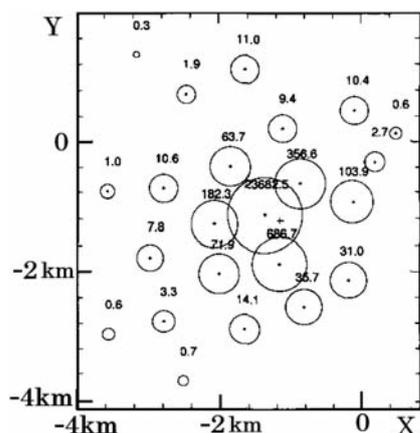


図6：クリスマス・イベント



図7：7素子ミラー観測

世界中から AGASA の結果の説明を求められた手嶋政廣氏は、連日世界中を飛び回る忙しい日々が続いた。更に彼は、TA 計画を提案し、宣伝して回ると共に、1995年から米国ユタ州で TA 準備研究（7素子ミラー観測）を始めた（図7）。

● TA 計画の予算が付かず、再検討議論が続いた。

ユタで実験していた TA 準備研究は、米軍巡航ミサイルが観測小屋を誤爆するという、いかにもアメリカらしい事故に遭遇してストップしてしまった。この余波を受けて、20年間続けられてきたユタ大学

の Fly's-Eye 実験、HiRes 実験も、ダグウェイ地区から撤退させられることになった。

TA 計画は規模が大きいこともあって、提案されてから約10年になっても予算は出なかった。このため再検討も含めた議論が連日続き、TA 関係者は疲れてきた。更に、提案者であった手嶋氏は、ドイツ・MPI の Director として引き抜かれてしまった。そんな間に、欧米グループは、TA 計画を先取りして、アルゼンチンに AUGER 計画を建設し始めた。

一時期は、TA 計画に代わる実験として「スクール・アレー計画」も提案された。新たに TA 責任者として赴任した福島正己氏は疲労困憊し、一時は周囲の人が心配したほどであった。

- 2004年：TA の予算が付き、建設がスタート。
- 2008年：TA が完成し、観測が開始した。
- 2009年の現在、再び、日本の宇宙線研究将来計画が議論され始めている。

■まとめ（明野⇒AGASA⇒TA⇒?）

- 1972年、将来計画の大激論。
- 1775年、明野観測所建設。
- 1978年、1 km² Array の明野観測所完成。
- 1980年、勉強会と10km² Array 建設、将来計画論争。
- 1987年、AGASA 建設。
- 1990年、100km² Array の AGASA 完成
- 1995年、TA 準備研究と再検討議論。
- 2004年、TA 建設。
- 2008年、700km² Array の TA 完成。
- 2009年、再び、将来計画の議論が始まる。

こうして歴史を並べてみると、議論・建設・完成の「大きな波」が見えてくる。

さて、これから日本の宇宙線研究は、どこまで発展するのか楽しみである。

国際会議報告

第27回国際天文学連合総会報告・ 太陽と恒星の変動およびその惑星への影響について

宮原 ひろ子

【宇宙線研究所】

ガリレオによる天体観測の開始から400年目という節目の年の国際天文年 IAY2009にブラジル・リオデジャネイロで開催された第27回国際天文学連合総会では、5日間におよぶ太陽・太陽型恒星の変動とその惑星への影響に関する総括的なシンポジウム、また特に研究の進歩が目覚ましい日震学と星震学のジョイントディスカッションが開かれ、太陽・太陽型恒星の研究に関連する幅広い分野からの研究者が多数参加した。ちょうど今世紀最長となる皆既日食や100年ぶりとも言われる太陽活動の低下が重なったこともセッションの盛り上がりに影響していた。

一連の太陽関連のセッションにおけるサイエンスの柱は、太陽物理学最大の難問とされるダイナモ機構とその変動の起源である。太陽の11年周期が発見されてから既に160年、マウンダー極小期（17世紀に起こった数十年規模の黒点消失期）が再発見されてから30年以上が経つが、太陽ダイナモ機構の解明への道りはまだ遠いように思われる。A. Eddington が「At first sight it would seem that the deep interior of the sun and stars is less accessible...than any other region of the universe (W. J. Chaplin 氏のレビューより)」と、本質的な困難さを指摘していた太陽内部の探査は、1995年に打ち上げられた Solar and Heliospheric Observatory (SOHO) 衛星による日震学によって本格的に始動し、SOHO 衛星の Global Oscillations at Low Frequencies (GOLF) 計画 や Birmingham Solar Oscillations Network (BiSON) 計画によって太陽深部の探査の試みも進められ、今や観測可能な領域は0.1太陽半径にまで達している。最近では、地上の望遠鏡ネットワークによる Global Oscillation Network Group (GONG) 計画によって、高感度かつ長時間の観測（87% time coverage）が達成されている。これらの日震学ミッションによる最新の成果は、セッション内においても数多く報告されていたが、データが増えれば増えるほど現時点での理論モデルの欠陥がより明らかになる、というのが報告者の総意のようであった。また、インバージョンやフィル

タリングなどの手法がまだ完全には確立されておらず、データの解釈が確定できないという重大な問題点も報告されていた。しかし、ダイナモ機構とその変動のカギを握る差動回転と子午面循環の情報がやっと1太陽周期分蓄積した意味は非常に大きい。今後は SOHO 衛星の後継機である Solar Dynamics Observatory (SDO) によって観測が継続される予定であり、その成果が期待される。一方、視野は狭いものの、日本の Hinode 衛星による局所日震学のデータは、解像度の高さが数々のミッションの中でも際立って優れており、太陽表面下、特に黒点付近のプラズマの流れが初めて詳細に明らかになりつつある。

太陽活動の研究が数年以上にわたる時定数の変動をターゲットにしている以上、必然的に必要なデータの蓄積には時間がかかる。一方、太陽型恒星の観測データは、歴史時代の太陽の情報を含め多くの情報を与えてくれるはずである。すなわち、初期太陽、あるいは今現在マウンダー極小期を経験している恒星の直接観測データを取ることも可能である。1990年代に Mount Wilson Observatory の30年分近く蓄積された Ca 輝線強度データをもとに盛んに議論されるようになった太陽型恒星の周期変動の研究は、2006年に打ち上げられた COncvection ROTation and planetary Transits (COROT) 計画による精密光学観測によって引き継がれており、セッションのハイライトであった。10万個近くの星の観測により、周期的に活動を変化させる星がこれまでに400個以上見つかったとのことであった。星震学によって観測された恒星表面の活動領域が、transit 法によって検出された惑星の公転に共鳴するかのよう移動する様を捕らえたという報告もあり、大変興味深かった。伴星のダイナモの例と類似している。太陽ダイナモ理論にそのまま当てはめることができる例ばかりではないにしても、恒星ダイナモの普遍的な物理的理解が太陽ダイナモの一層の理解につながる事が期待される。2009年3月に打ち上げられた Kepler 探査機により、周期的な変動を持つ星の差動回転やフ

レア、またその星が持つ惑星などのデータが、より高解像度で得られてくる予定である。

今回の総会を通じて印象的だったのは、太陽・恒星に関連する研究の多くが、太陽-地球の理解を目指す目的からの派生というだけでなく、Habitable zone の理解、さらには地球外生命体の探査を見据えていた点である。初期太陽は差動回転の速さと磁場活動の活発さで特徴付けられ、ダイナモ機構を議論するうえで一つのカギとなる問題であるが、今回の総会では、恒星の年齢と Habitable zone の関係、さらには、初期太陽の強い紫外線や X 線が生命の DNA/RNA に及ぼす影響にも議論が及んでいた。地球外生命体の探査の議論において、恒星のタイプや恒星と惑星の距離だけでなく時間の概念を入れることで Habitable zone が大幅に変化するというのは興味深い。総会では、紫外線に耐性のある生命体の研究や、氷惑星の中に残された液体の泡の証拠にも話が及んでおり、総じて Habitable zone は広がりつつあるようだ。

日震学、星震学のみならず、シミュレーション技術の進歩も目を引いた。太陽全球の3次元計算がようやく実現し、現実的な太陽風を含めた複雑な太陽圏磁場の形状のシミュレーションも可能になった。太陽圏磁場の構造の変化は宇宙線の変調に重要な役割を果たすため、太陽ダイナモ機構はもちろんのこと、太陽表面の磁場がどのように太陽圏磁場の構造

に反映されるかを解明することが宇宙線研究の観点からも期待される。

今後実現すべき太陽ダイナモ機構の解明に必要な太陽観測ミッションは大きく3つあり、L1ポイントでの継続的な観測、日震学によるコアの観測、極域の観測である。特に極域の観測は、ダイナモの素過程の一端を明らかにする上で非常に重要である。また、ダイナモ作用が発動しているとされる放射層と対流層の境界（タコクライン）も継続的に観測していく必要がある。いずれも実現のためにはいくつか高いハードルがあるが、太陽活動が特異な状態に遷移しつつある現在の貴重なタイミングをダイナモ研究に有効に活用したいところである。



図1：ブラジル・リオデジャネイロにて開催された第27回国際天文学連合総会には2000人を超える研究者が参加した。

研究紹介

CTA 計画

榎本良治

【宇宙線研究所 Japan-CTA グループ*】

以下の文章は日本の今後の TeV ガンマ線観測として CTA 計画をプロモートするために書かれたものである。CTA とはチェレンコフ・テレスコープ・アレイの頭文字をとったもので超高エネルギーガンマ線観測のための大規模なチェレンコフ望遠鏡アレイ計画である。ガンマ線は電荷がないために宇宙空間を直進する。したがって地上においてその方向を測定することにより宇宙線の発生場所の特定が可能である。またエネルギー測定も容易であるため宇宙線の加速源、伝搬の解明には最適のプローブである。

超高エネルギーガンマ線は地球大気に突入すると図1のようにシャワーと呼ばれる針状の2次電子群を形成する。さらにこれらの2次電子は約1度の角度でチェレンコフ放射と呼ばれる紫外線を発する。地上に大口径の反射望遠鏡を置くことによりこの微弱な光をとらえることができる。さらに望遠鏡の台数を増やしシャワーを同時に異なる方向から観測することによりガンマ線の到来方向を0.1度以下の精度で決定することができる。これがチェレンコフ望遠鏡であり CANGAROO-III(図2) はその一つである。他に3つ観測施設 (HESS、MAGIC、VERITAS) が現在も運用中である。

これらの4つの観測施設により超新星残骸(最初の2つが CANGAROO による発見)において宇宙線がかなり効率よく加速されていることがわかった(宇宙線の超新星起源説)。それ以外にも全体で100近くのガンマ線天体が発見されており、天文学としての新しい分野を確立した(超高エネルギーガンマ線天文学)。その中でも特にパルサー星雲やブラックホール近辺においても宇宙線が効率よく加速されていることを示唆するデータが多く示されている。また高エネルギー天体候補が存在しない位置からのガンマ線も多く観測されている(未同定天体)。宇宙線の起源がはたして何なのか再び複雑な様相を示しつつある。

一般的な感度は典型的ガンマ線天体である“かに星雲”のガンマ線強度の100分の1程度であり、距離に換算すると約10kpc 程度までの天体の観測が可能である。銀河中心までが8 kpc と見積もられているのでまずまずの感度ではあるが、我々の銀河をすべて網羅して宇宙線のエネルギー収支を100% 知るためにはさらに感度を10倍改善しなくてはならない。また感度を20倍にまで上げれば衛星銀河(大マゼラン星雲など)もカバーすることができる。さらに近傍銀河(アンドロメダ星雲など)にも

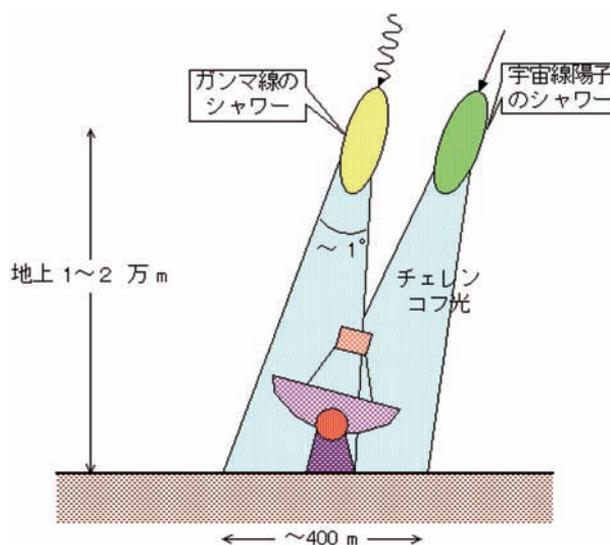


図1：チェレンコフ望遠鏡の原理



図2：CANGAROO-III 観測施設

*2009年9月時点

井上進、榎本良治、大石理子、片桐秀明、株木重人、河内明子、木舟正、櫛田順子、窪秀利、郡司修一、高橋弘充、谷森達、門叶冬樹、戸谷友則、内藤統也、中森健之、西嶋恭司、原敏、深沢泰司、水野恒司、村石浩、柳田昭平、山崎了、吉越貴紀、吉田龍生(あいうえお順)

我々と同じ程度の宇宙線が存在するならそれも観測することが可能である。となりの銀河にも宇宙線があるのかどうか興味深い。それ以外にも広いエネルギーレンジにわたる観測を同時に行うことによりそれぞれの天体におけるガンマ線の生成メカニズムを精密に決定することができ、そこで生成されている宇宙線の全量を決定するためにはもっとも大事な観測である。これは反射鏡の大型化により実現でき、これまでの最重点課題とされていた。

一方、感度を一桁向上するためには望遠鏡の数を100台程度にするのが手っ取り早い。現在の技術ではこれは可能であり、またさらに近年の光電子増倍管の性能の向上を考慮すると感度はそれ以上に向上するはずである。むしろ問題は資金、マンパワーである。現在の観測施設は典型的に10m口径の望遠鏡を4台程度有しており、1台あたりは数億円为建设してきた。単純計算だとCTA建設にはその25倍のお金がかかることになり、とても一国では賄いきれない金額になってしまう。それに必要なマンパワー、維持、インフラを考えても国際協力により1つのアレイを一致協力して建設、運用しようという考えが出てくるのは最近のグローバル化の考えからしても当然である。CTAはそのような考え方のもとに結成され、HESS、MAGICのヨーロッパが核となり日本のCANGAROOも昨年より参加している。またVERITASのグループも参加を打診してきている。これまでのように1国1国が個別に観測をおこなうより効率の良い国際協力に今後は日本の宇宙線業界も専念すべきではないかとJAPAN-CTA、CANGAROOグループでは考えている。

CTAの全体像は図3に示されている。中心に大口径(24m)の望遠鏡、12mクラスの望遠鏡をその周りに配置してさらに外周部は6mの小口径望遠鏡を疎に配置する。こうすることにより数10GeVから100TeVまでの広いエネルギー領域を同時にカバーしようというものである。期待される感度は厳しく見積もって図4に示される通り“かに星雲”か

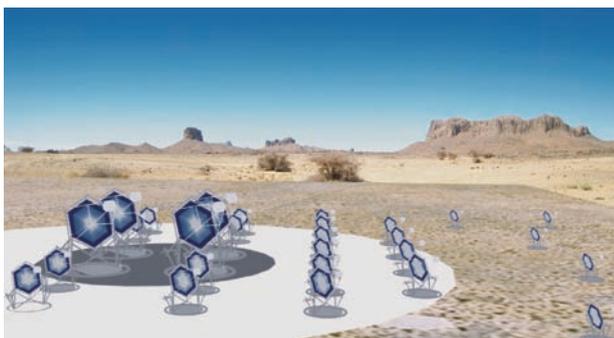


図3：CTA全体図

らのガンマ線強度の1,000分の1程度である。現在もこの感度をさらに向上させるべくモンテカルロ計算がなされている。もっとも感度の良いエネルギーは1TeV近辺に設定されており、このエネルギー領域において銀河内のすべての高エネルギー現象を網羅しようとしている。これが実現すれば銀河系内の宇宙線起源の問題を完全に、かつ、定量的に解明することができる。低いエネルギー領域では活動銀河核など遠い天体(系外銀河)の研究、高いエネルギー領域は宇宙線の加速限界の研究を考えている。またCTAでできる物理は宇宙線の起源、伝搬の研究以外にも広きにわたっており、天文学的研究、宇宙物理、素粒子物理(暗黒物質、量子重力など)なども十分にできると予想している。おそらくCTAでは1,000以上のガンマ線天体を発見することになり、これらによって生まれる新しい物理なども期待できよう。

CTA計画のタイムスケールはグループ(現在コンソーシアム)の掲げるものが図5に示している。現在は各コンポーネントの最終R&Dの段階であり、近日中にEU予算当局へのプロトタイプ建設予算を申請する予定である。EU予算当局の公式タイムテーブル上にCTA計画はすでに乗っている(Magnificent-7:偉大なる7計画のひとつ)。日本として予算要求すべきタイミングもそう遠くはないはずであるので皆さんのご協力を期待したい。

現在のR&Dフェイズの作業内容は図6に示される複数のワーキング・パッケージ(WP)により行われている。WP相互間のやりとりは全体会議などで行われる。主たる目標は「いかに安く」「Robust」「よりよい感度、角度分解能」である。「いかに安く」というのが最も難しいところで望遠鏡1台あたりのコストを1億円程度にするのが目標で、たとえば光

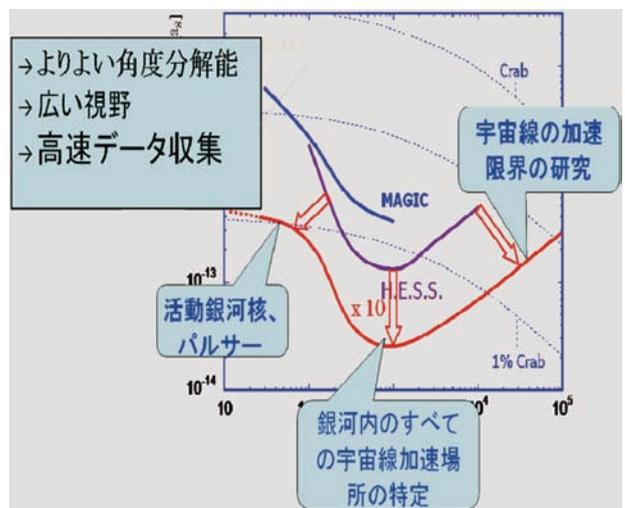


図4：CTAの予想感度。さらに向上すべく今も努力がなされている。

電子増倍管に電子回路を加えカメラのストラクチャーなども含めピクセルあたり400ユーロ以下にしようとしている。100台の望遠鏡のコンポーネントを可能なかぎり共通にし、これによりコストを下げる必要がある。これからもわかるように各国のグループに期待される貢献はある国が独自開発の望遠鏡を数台もってくるのかというのではなく、たとえば電子回路のある部分を受け持つとか最近の国際共同実験のような感じになることが予想される。

FPI の WP では浜松ホトニクス の UBA、SBA 光電子増倍管のテストなどを行っているが、日本グループの今後の貢献として考え得るものは10-20万本にもなる光電子増倍管のキャリブレーション、HV、Preamp などのアセンブリなどがある。これを3年で行うということは1日あたり100本に相当し、実際 CANGAROO-III 建設時の1日のキャリブレーションの最大本数が5本だったことを考えると簡単な仕事ではない。小型口径望遠鏡アレイによる10TeV 以上の高エネルギーガンマ線の感度向上のための R&D などにも興味を持っている。また、若手の理論家がすでに物理の WP でいろいろな提言をするなど実質的な寄与を始めており今後を期待したい。

CTA は順調にいけば2014年より部分観測ができるようになる。ガンマ線衛星である Fermi 衛星はそのころになってもまだ動作しているはずであり、そうすることにより数10MeV から100TeV までの7桁にわたるエネルギーレンジの同時観測が可能になる。そういう意味でも現在のタイムテーブルから大きく計画が遅れることは好ましくない。また日本の次期 X 線衛星 (ASTRO-H) とは時期的に完全にオーバーラップできそうで、多波長による同時観測も期待される。他の波長の観測にとっても CTA のカバーするエネルギーレンジは重要であり、今後の関係者のご協力に期待している。また CTA への参加は CANGAROO グループに限られているわけではなく、広く門戸は開かれている。宇宙線業界のみならず X 線、電波、高エネルギー実験であっても興味を持たれる方はぜひ声をかけてほしい。海外でも理論、実験、分野を問わずすでにいろいろな人たちが参加している。

国際共同実験においてはその R&D から建設、観測、発表に至るまで諸外国の優秀な若手と競争をしていかなければならない。近年のグローバル化の流れのなかでこのようなことができる優秀な若手研究者がこれからは必要になっていく。このような機会を東京大学をはじめ各大学に与えることは非常に重要であり、必須である。修士の学生にとっては世界

の最新技術をまなびつつ国際競争のもと自分たちのアイデンティティを主張していくよい機会であり、CostDown、維持性、使いやすさ、Robust 性など実質的なことを追求していく良い機会であるはずである。また本計画の主たる目的は「宇宙線の起源」および「伝搬」の解明ではあるが、新しいガンマ線天体が1,000以上見つかることも期待されている。多くの日本人若手すべてにテーマを与えられることは明白であり、多くの基礎科学の博士号を産することができる。これらを諸外国の若手と Communication をとりつつ、彼らの手助けも行いながら自分たちの物理学を追求していくすべを学んでほしい。これらの研究は基礎物理学であり、これらの若手が実社会にこの経験、技術を応用していくことが可能である。また、CTA は技術的に、多くの高性能、高信頼度のデバイスを要求する。このため、社会的には、日本の企業の最先端技術 (特に光素子、電子機器等) をさらに高いレベルまでおしあげることが期待される。最後に CTA ではデータ収集後数年後にはデータはすべてに公開されるという observatory 形式を目指している。また観測時間の半分も公募により割り当てられる。すべての天文学者、物理学者にここでの観測のチャンスが与えられることは大変素晴らしいことであり、そのためにもぜひとも実現したいと考えている。

	06	07	08	09	10	11	12	13
Site exploration								
Array layout								
Telescope design								
Component prototypes								
Array prototype								
Array construction								
Partial operation								

図5：タイムテーブル

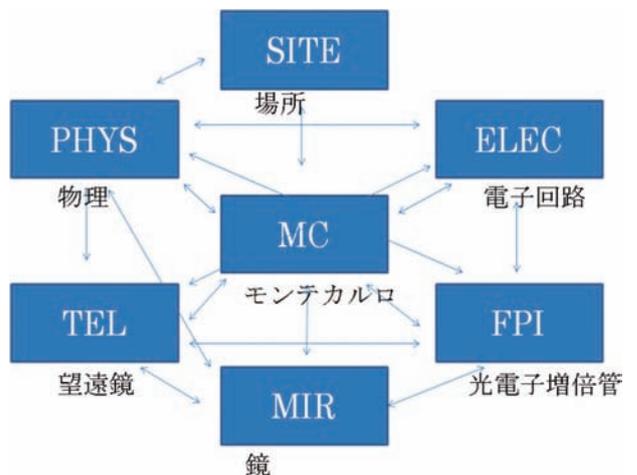


図6：ワーキング・パッケージ

国際会議報告

High Energy Phenomena 空気シャワー観測装置による 10¹⁸eV 以下の高エネルギー宇宙線現象

瀧 田 正 人

【宇宙線研究所】

今回の宇宙線国際会議で、筆者がレポートするのは主として 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10¹⁸eV 以下の空気シャワー観測に関する部分である。たくさんの優れた発表から選択して執筆しなければならないため、筆者の個人的関心や全ての発表に同席したわけではないので欠席バイアスがかかるのは不可避であることをまずご容赦願いたい。

アメリカにある水チェレンコフカロリメーターの MILAGRO 実験が Fermi 衛星の LAT で観測された bright source list と MILAGRO 実験データとの相関を取ったところ、統計的に有意な相関が (MILAGRO 実験で3 σ 以上のソース候補数がポストトリアルで統計的に有意という意味である。) 見られるという報告があった。MILAGRO 実験の観測エネルギーは代表エネルギー値として35TeV となっていた。先発の TibetAS γ 実験との差別化を狙って、宇宙線中の陽子とガンマ線を弁別するソフトウェアに積極的に取り組むことによりガンマ線の S/N 比を上げた結果である。Fermi bright source list と相関のある MILAGRO ソース候補の多くは銀河系内の Pulsar がカウンター天体としてあるようで、Pulsar Wind Nebula に関係がありそうだとの示唆があった。また、銀河面の CYGNUS 領域にある MILAGRO のソースに関してはかなり広がったソースである可能性が高く、点源探索に威力を発揮する大気チェレンコフ望遠鏡を用いた実験によって未だに有意な観測結果は報告されていないようである。さらに、MILAGRO 実験は宇宙線の large-scale な恒星時異方性 (0.1% の桁) に有意な年変化が見られるとの報告を行ったが、TibetAS γ 実験ではそのような変化は観測されていない。この相違に今後どのような決着がつくのが注目される。

中国のチベット高原で稼動を始めた ARGO 実験は、RPC を用いた敷詰タイプの空気シャワー観測装置 (総面積6,700m²) を用いて数 TeV 以上の宇宙

線データを解析し、月の影、太陽の影、カニ星雲からのガンマ線観測等を報告していたが、特に目新しい結果とは感じられなかった。ARGO 実験はプロポーザル通りに稼動すると、数100GeV 程度のエネルギー閾値で広視野ガンマ線観測ができるはずであるがその感度にはまだ達していないようである。隣同士にある TibetAS γ 実験と ARGO 実験は TeV 領域の GRB 等遷移的な現象を検出したときに、お互いにその結果を確認しあえることになる。

MILAGRO 実験の次期計画である HAWC 実験は、メキシコのサイトにアクセスする道路が完成し、2009年に3台のプロトタイプ水タンクを設置した。また、Tibet AS γ 実験のガンマ線や宇宙線化学組成観測に関する次期計画として地下大型水チェレンコフ型ミューオン観測装置 (Tibet MD) や新空気シャワーコア観測装置 (YAC) の追加などが紹介されていた。TibetAS γ 実験は本番を模した100m²のプロトタイプ地下ミューオン検出器を建設し、シミュレーション通りの性能が出ていることが確認された。

さて、次に10¹⁴eV—10¹⁸eV の一次宇宙線スペクトルに関しては、TibetAS γ 実験 KASCADE 実験、KASCADE-GRANDE 実験、GRAPES-III 実験等からの報告があった。

全粒子スペクトルに関しては、Knee の形状が通常の指数型カットオフの重ね合わせで記述されるモデルよりも尖っているとの報告がチベット実験よりあった。また、TibetAS γ 実験のみならず、エネルギースケールを合わせるとその他の実験で報告されている全粒子エネルギースペクトルの多数が TibetAS γ 実験と同様な尖りを提示していることが指摘された。尖った部分の解釈として、近傍の超新星爆発に由来するエクストラな成分で説明するモデルが提唱されていた。これは、最近の PAMELA や ATIC 等の飛翔体を用いた電子 (あるいは陽電子) の観測結果から示唆される近傍での宇宙線加速源とも関連する可能性もある面白い結果であった。

一次宇宙線の化学組成に関して、KASCADE 実験



は観測された電子シャワーサイズとミューオン数を rigidity dependent なエネルギースペクトルの形を仮定してフィッティングすることにより陽子、ヘリウム等のエネルギースペクトルを既に公表しているが、今回は新たな結果はなさそうであった。核相互作用のモデルとして良く引用される QGSJET モデルと SIBYLL モデルを用いて陽子、ヘリウム等のエネルギースペクトルのモデル依存性を確かると悪いところでは数倍程度モデル依存性があるために一次宇宙線の化学組成を決定することはかなり困難である状況は変わらない。(これはミュー粒子数にモデル依存性が大きいことが一因であろう。) ただし、全粒子エネルギースペクトルの Knee はどちらのモデルを用いても軽い原子核成分の折れ曲がりによるもので説明できるという主張である。GRAPE-III 実験も KASCADE 実験と同様に電子数とミュー粒子数を測定して KASCADE 実験と良く似た方法で化学組成を出しているが、やはり、核相互作用依存性がかなり大きな結果となっており、化学組成を決定することは難しそうである。GRAPES-III 実験は今後空気シャワー観測装置及びミューオン検出器 (560m^2 をほぼ倍に) を拡張して 10^{18}eV 程度までの一次宇宙線観測及びガンマ線観測に重点を移して行くようである。全粒子エネルギースペクトルの折れ曲がり (Knee) が軽元素により生じているのか、重元素により生じているのかがこれからの議論の焦点となると思われる。

KASCADE 実験をスケールアップした KASCADE-GRANDE 実験は、second Knee や鉄成分の Knee が 10^{17}eV 領域にあるかどうかを確認しようと

している。稼動を始めて約5年になるが、ようやくエネルギースペクトルに関する報告があった。基本的に KASCADE 実験の延長であり、空気シャワーサイズ(電子数)、ミュー粒子数、S (500) をパラメーターにした解析を行っている。簡潔にまとめると、 $10^{16}\text{-}10^{18}\text{eV}$ のエネルギー領域で、現行のどのハドロン相互作用モデルもデータを再現しないこと、Mixed Composition (陽子のみや鉄のみでは駄目) であること、全粒子エネルギースペクトルに特に構造のないこと (second Knee や鉄の Knee はないと言う意味だと思えます。) という結論でした。いずれにせよ、Knee 及びその前後のエネルギー領域における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の時間がかかると思われる。

最後に、空気シャワーに付随する電波放射の計測 (LOPES、CODALEMA、ANITA 実験等) が最近精力的に行われているようである。空気シャワー発生シミュレーションコード (CORSIKA) とリンクできるラジオ波発生シミュレーションコード (REAS2) が開発されて、データとの比較が始まった。ただし、ラジオ波の情報のみを用いたセルフトリガーの確立及び検出された事例が空気シャワー起源であることの裏付けには今一步という印象を受けた。また、空気シャワーに起因するラジオ波のシミュレーションによる親宇宙線の到来角度決定精度やエネルギー決定精度等についての発表はなかったようである。今後、ラジオ波の検出により、空気シャワーの検出有効面積の飛躍的増大やエネルギー決定精度向上等につながっていくことを期待している。

研究紹介

小型電子加速器による空気シャワーエネルギーの絶対較正の研究

芝田 達伸

【宇宙線研究所】

1. はじめに

宇宙から地球に飛来する一次宇宙線は電子、陽子、ヘリウムや鉄などの原子核、X線、ガンマ線等があり、 10^8eV 程度の低いエネルギーから 10^{20}eV まで幅広いエネルギー領域で観測されている。中でも最高エネルギー、または極高エネルギー宇宙線と呼ばれる宇宙線観測は最も注目されている分野の一つである。この最高エネルギー宇宙線の大きな魅力はこれが謎だらけの宇宙線だからである。まず一次宇宙線の化学組成がはっきりとは分かっていない。陽子という認識が高いが、最近の観測では陽子でない可能性を示唆する結果も出ている。他にも一次宇宙線の発生起源が不明である。発生起源の候補として銀河系外の活動銀河核やガンマ線バーストが考えられているが、決定的な証拠は得られていない。そして $10^{19.6}\text{eV}$ 付近で現れるGZKカットオフの検証は最も重要な課題である。現在行われている最高エネルギー宇宙線観測実験は北米のユタ州にて行われている東大宇宙線研を含む日本とアメリカ、ロシア、韓国の共同実験であるテレスコープ・アレイ (Telescope Array, TA) 実験と南米のアルゼンチンで行われている Auger 実験があり、2004年から観測が開始された Auger 実験からは観測結果が発表されている。

2. 最高エネルギー宇宙線のエネルギー測定

最高エネルギー宇宙線観測実験の最重要課題は一次宇宙線のエネルギーを精度良く測定する事である。しかし最高エネルギー宇宙線のエネルギーは非常に困難な測定量である。宇宙線のエネルギーが既知でないために宇宙線をエネルギー較正の光源にする事は難しく、また最高エネルギー宇宙線のエネルギー領域は現在人工的には達成不可能なエネルギー領域であるため宇宙線が起こす空気シャワー中のハドロン相互作用モデルが確立していない事が主な理由である。

Auger 実験では大気蛍光望遠鏡 (Fluorescence Detector, FD) で測定されたエネルギーを絶対エネルギーの較正值としている。しかしエネルギー測定精度は系統誤差が22%と非常に大きい。TA 実験でも同じ方法でのエネルギー決定が可能であるが、我々は新しいエネルギー較正方法として、小型電子加速器を用いたFDの絶対エネルギー較正を行う予定である。FDから近距離に設置された小型電子加速器から空気中を鉛直上向きに放出される電子ビームは空気中で空気シャワーを発生する。この空気シャワーをFDで直接観測する。加速器ビームを用いる事の利点は出力電子ビームのエネルギーが精度良く測定できるので、電子ビームの空気中でのエネルギー損失が正確に計算でき、

FDでの観測量 (FADC値) との直接比較が可能である事である。絶対エネルギー較正方法の詳細は検討中であるが、FD観測に使われる全ての較正定数を一括して較正するために、データとシミュレーションのADC値を比較する方法を考えている。但し、大気透明度の測定だけは難しい。そのため、現在幾つかのレーザーシステム (大気モニター) を用いて大気透明度測定を行っている。

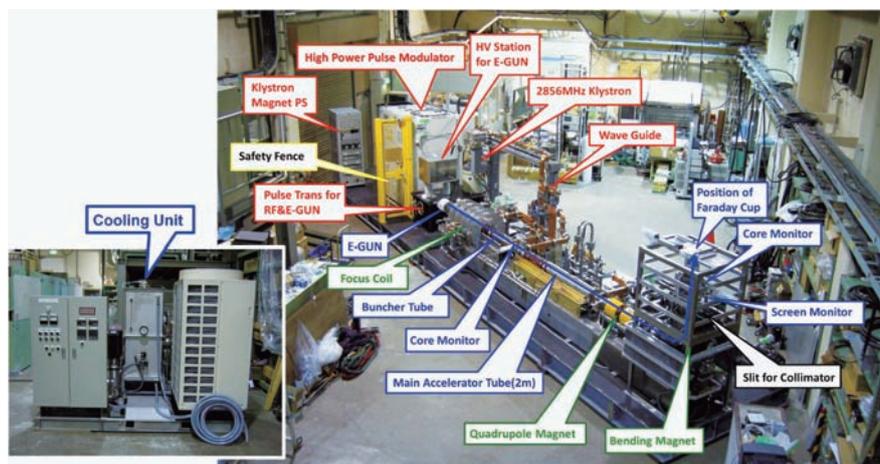


図1：完成した ELS (2009年2月21日撮影)、写真左が冷却水ユニット、右が加速ユニットとRFシステム

3. 小型電子線形加速器 (ELS) の開発

小型電子加速器の開発は2005年より宇宙線研究所と KEK の共同研究として始まった。2005年度は主に小型電子加速器の基本デザインと部分的構築と試験を行った（試験用電子銃の製作と試験）。また加速器の知識と技術を得るために数週間に渡り KEK の電子陽電子入射器棟で毎年夏に行われている長期メンテナンス作業に参加し、加速器の基礎知識を学んだ。

小型電子加速器に要求するスペックとして、加速器を FD から100m の距離に設置した場合を考えた。出力ビームエネルギーは最大40MeV の可変式、定格出力ビーム電荷量は 10^9 pps (6.4mJ/pulse)、ビーム幅の典型値は1 μ sec を選んだ。これらのスペックを満たし、更に FD サイトのある北米・ユタ州の砂漠の中で運用し、理想的には可搬式の加速器にするという要求を満たすコンパクトな加速器として線形加速器が選ばれた。小型線形加速器のデザインは主にビームシミュレーション“Parmela”と Geant4 を用いて検討された。最終的にまとめられた小型電子線形加速器の概要図を図1に示す。この小型電子線形加速器は Electron Light Source (ELS) と呼ばれている¹。ELS の特徴は RF システムと加速ユニットを40ft コンテナに、冷却ユニットを20ft コンテナに収納できるように設計された点と、RF システム、加速ユニットの主な機器の殆どを KEK—電子陽電子入射器棟の撤去品を再利用している点である。ELS の加速ユニットは-100keV パルス型熱電子銃、1本の S バンド (2.856MHz) 用プレバンチャー+バンチャー管、1本の S バンド用 $2/3\pi$ モード進行波型加速管、90度偏向電磁石 (Bending Magnet, BM)、可変式コリメータスリットから構成されている。またビーム収束のためのマグネットレンズ、ソレノイドコイル、ステアリングコイル、ダブルレット型四重極電磁石、そしてビームモニターとして4台のカレントモニター (コアモニター)、2台のビームポジションモニター、1台のファラデーカップが設置されている。RF システムは主に最大出力110MW のパルスモジュレーター、最大出力40MW の S バンド用クライストロンから構成されている。冷却系としては冷却能力20kW、流量110L/min の冷却水ユニットを新規製作した。冷却水ユニットはクライストロン、加速管、電磁石の冷却を行う。

ELS の構築は KEK の電子陽電子入射器棟にて

2006年10月から開始された。ELS の試験運転を行うために加速ユニットは50cm 厚のコンクリートブロックによって囲まれた放射線シールド室内に構築された。また BM 後のビームラインは試験によってビームラインの改造等を容易にするために垂直方向ではなく水平方向に構築された。2007年5月に RF システム、10月には電子銃が完成し、それぞれの単体動作試験が行われた。ELS のフルシステムは2008年1月上旬に完成し、1月末に RF エージングが開始され、ようやく2月22日にビーム試験運転が開始された。ビーム運転開始後約1ヶ月余りの間はビーム調整が行われた。3月31日に(財)原子力安全技術センターによる施設検査が行われ、翌日4月1日よりビーム本運転が開始された。

4. ELS の運転と出力ビームの性能評価

ビーム運転開始当初は1 μ sec のパルス幅ではなく、10nsec 程度の短い幅での運転を行った。これは ELS の出力ビーム電荷量が 10^9 pps (ピーク電流値=0.16mA) と非常に低い電流値であるため、ビーム幅を小さくする事でピーク電流値を上げてビーム調整をし易くしたからである。短パルスビームでのビーム調整を行った後、1 μ sec 幅ビーム運転に切り替えた。ビーム運転の課題は出力ビームエネルギーとパルス毎の出力ビーム電流測定の評価であった。以下それぞれの評価結果について記述する。

出力ビームエネルギーの評価として、出力エネルギーの決定精度、取り出しエネルギー領域とその安定性の評価を行った。出力ビームのエネルギーは BM 磁場によって決定されるため、2007年10月に BM の磁場測定を行った。絶対磁場の測定には核磁気共鳴を使用し、BM のコイルに流れる供給電流値との相関を取り供給電流値から磁場への変換式を校正した。この校正により1%以下の磁場測定精度を得る事ができた。取り出しエネルギー領域は BM 直後のスリット幅で決定され、最終的に1mm 幅で固定された。1mm 幅での出力ビームエネルギー領域はビームの軌道計算から中心値に対して $\pm 1\%$ 以下である。最後に出力ビームエネルギーの安定性は BM 磁場の揺らぎで決定されるため、ビーム運転中の供給電流の揺らぎを測定した。その結果、出力ビームエネルギーの揺らぎは $\pm 0.01\%$ 程度であり、非常に安定である事が分かった。

パルス毎の出力ビーム電流値はコアモニターとファラデーカップの2つを同時に用いて測定した。

¹ 2008年度までは主に TA-LINAC と呼ばれていたが、北米への移設に伴い ELS に変更された。「電子による標準光源」という意味である。

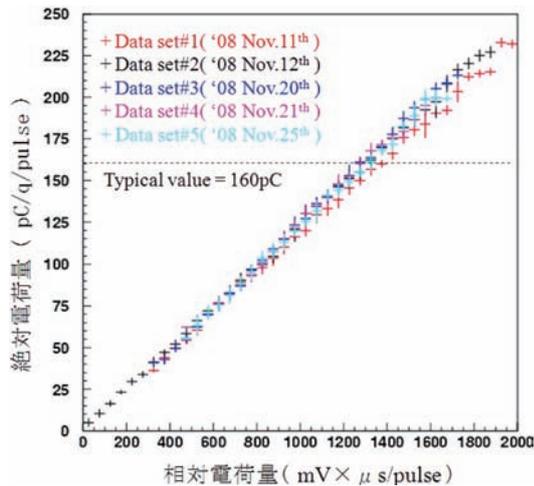


図2：コアモニターで得られた出力ビームの相対電荷量とファラデーカップで得られた絶対電荷量の相関図

コアモニターはトロイダルコイルを用いた電流変換器であるため、出力は50Ω抵抗によって変換された電圧パルスであり、電圧パルス波形の時間積分値がビームの相対電荷量に相当する。ファラデーカップは絶対電荷量を測定できるが、ビームダンプも兼ねているためにFDのエネルギー較正時はビーム電流値の常時測定はコアモニターのみになる。そこでコアモニターによる相対電荷量とファラデーカップによる絶対電荷量の相関を取る事で、コアモニターの較正を行った。図2に得られた相関図を示す。絶対電荷量と相対電荷量は良い線形性を示した。電流測定精度の統計誤差は±4%、系統誤差は±5%であると評価された。FDの各較正定数の系統誤差は10%以上あるため、この電流測定の系統誤差はFDのエネルギー較正において比較的小さく、FDエネルギー較正には十分な精度と言える。但し、今後もビーム電流値の測定精度の向上は重要な課題である。

5. ELSの米国への移設と今後

KEKでのビーム運転は2008年12月上旬に終了し、その直後から米国への移設のための準備が進められた。コンクリートブロックの解体、BM後の水平ビームラインの解体と最終的な垂直ビームラインへの再構築、導波管の一部撤去と再構築が行われた。また、ELSがコンテナに収納されるため、予め全ての電源や信号用の再配線も行われた。こうして米国への移設準備は2009年2月20日に完了した。そして翌週の2月23日、ELSはKEKより搬出され、海上輸送のため横浜港に搬送された。40ft、20ftコンテナへの収納作業は翌日横浜港で滞りなく行われた。両コンテナを載せた輸送船は2月27日に横浜港を出港、ロサンゼルスロングビーチ港に3月15日に入港し

た。そこからは陸上輸送に変わり、3月19日に移設先であるユタ州のFDサイトに到着し、設置作業が行われた。また同日、ELS用の大型発電機と制御室用のコンテナハウスの設置も行われた。図3に設置直後の様子を示す。当初可搬式の加速器を想定していたが、冷却水ユニット、発電機、制御室の分離や加速器の重量と水平度の安定性等の問題から固定設置になった。

2009年8月の時点で、設置されたコンテナに対する電源配線、配水管の整備、コンテナの断熱処理等が行われている。この作業が終了次第、本格的なELSの立ち上げ作業が行われる予定である。立ち上げ作業は導波管とビームラインの真空引き、冷却水ユニットからELSへの冷却水の通水を行い、RFシステム、電子銃の単体動作試験を行い、更には放射線対策のためのシールドブロックの設置、放射線安全対策に関するルールの確認、ビーム運転に関わる作業員への教育等、ビーム運転を行うまでには幾つか課題が残されているが、現在アメリカ・ユタ大学を中心に進められている。ビーム運転開始は年内中を目標としている。

6. 最後に

最高エネルギー宇宙線観測実験において、加速器ビームを用いたエネルギー較正は非常に斬新で興味深い較正方法と言える。また、加速器が宇宙線実験に直接関わるという点においても新しい試みであり、加速器業界からも注目されている。ELSを用いたエネルギー較正はこれまでの最高エネルギー宇宙線観測実験で得られていたエネルギー決定精度を飛躍的に向上させ、今後の宇宙線観測にとって重要な較正源として確立していくと期待している。

最後にこの研究報告をまとめるにあたり、佐川宏行先生から貴重なアドバイスを幾つも頂きました。大変ありがとうございました。

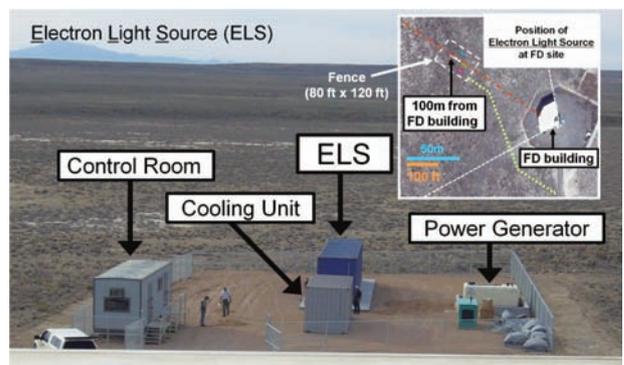


図3：米国ユタ州のFD観測サイトに移設されたELS（2009年3月19日撮影）

人 事 異 動

発令日	氏名	異動内容	職
H21. 4. 1	中谷一郎	再委嘱	客員教授
H21. 4. 1	大橋英雄	委嘱	客員教授
H21. 4. 1	芝田達伸	採用 (職名変更)	特任研究員
H21. 4. 1	野中敏幸	採用 (職名変更)	特任研究員
H21. 4. 1	竹内道久	新規採用	特任研究員
H21. 4. 1	増田正孝	新規採用	特任研究員
H21. 4. 1	石井好和	転入 (昇任)	宇宙線研担当課長 (兼務) 渉外・ 広報グループ長
H21. 6. 22	KONAKA Akira	新規採用	特任教授
H21. 8. 1	潮見幸江	新規採用	特任研究員
H21. 8. 31	竹内道久	辞職	特任研究員
H21. 9. 4	KONAKA Akira	退職 (任期満了)	特任教授
H21. 9. 30	得能久生	辞職	特任研究員

ICRR-Seminar 2008年度

3月24日(火) Marco Casolino 氏 (INFN and Physics
Department of University of Rome)
“Pamela Experiment”

ICRR-Seminar 2009年度

4月15日(水) S. T. Petcov 氏 (SISSA / INFN)
“Neutrino Mixing, Oscillations, Leptonic CP-Viola-
tion and Leptogenesis”

4月24日(金) 山中真人氏 (宇宙線研究所)
“A Solution to the Li-7 Problem by the Long Lived
Stau”

5月8日(金) 石渡弘治氏 (東北大学大学院 理学
研究科)
“PAMELA and ATIC Anomalies in Decaying Gravi-
tino Dark Matter Scenario”

5月15日(金) 竹内道久氏 (宇宙線研究所)
“LHCにおけるジェットイベントを用いたトップ
パートナー再構成”

5月22日(金) 日下部元彦氏 (宇宙線研究所)
“長寿命の強い相互作用をする粒子が宇宙初期元
素合成に与える効果”

6月5日(金) Riccardo DeSalvo 氏 (LIGO Lab.,
Caltech)

“Noisy metal blocking the sensitivity of Gravitational
wave detectors”

6月19日(金) 進藤哲央氏 (工学院大学)

“レプトジェネシスにおけるグラビティーノ問題
とR-パリティ破れ”

7月3日(金) 井岡邦仁氏 (KEK)

“陽電子宇宙線の天体起源説：ガンマ線バースト、
パルサー、超新星残骸”

7月24日(金) 大橋正健氏 (宇宙線研究所)

“神岡低温レーザー干渉計 CLIO の現状”

7月31日(金) 榎本良治氏 (宇宙線研究所)

“CANGAROO 望遠鏡による Tev ガンマ線観測 (現
在、過去、そして将来?)”

8月7日(金) 福島正己氏 (宇宙線研究所)

“極高宇宙線測定の現状：ICRC よりの報告”

8月27日(木) 大内正己氏 (The Carnegie Institution
of Washington)

“Exploring the First Two Billion Years of the Universe
with Subaru Telescope”

8月28日(金) 小中 哲氏 (TRIUMF, ICRR)

“Status of the T2K project”

8月28日(金) 浅岡陽一氏 (宇宙線研究所)

“Ashra 観測報告”

ICRR-Report 2008年度

ICRR-Report-537-2008-12 (February, 2009)

“Search for Nucleon Decay into Charged Antilepton plus Meson in Super-Kamiokande”

Haruki Nishino

ICRR-Report-538-2008-13 (February 9, 2009)

“Study of Non-Standard Neutrino Interactions with Atmospheric Neutrino Data in Super-Kamiokande”

Gaku Mitsuka

ICRR-Report 2009年度

ICRR-Report-539-2009-1 (April 14, 2009)

“The Universal Extra Dimensional Model with S^2/Z_2 extra-space”

Nobuhito Maru, Takaaki Nomura, Joe Sato, and Masato Yamanaka

ICRR-Report-540-2009-2 (May 14, 2009)

“Constraining Light Gravitino Mass from Cosmic Microwave Background”

Kazuhide Ichikawa, Masahiro Kawasaki, Kazunori Nakayama, Toyokazu Sekiguchi and Tomo Takahashi

ICRR-Report-541-2009-3 (December 2008)

“Search for TeV Gamma-ray Emission from the Supernova Remnant W44 with the CANGAROO-III telescopes”

Yohei Yukawa

ICRR-Report-542-2009-4 (April 30, 2009)

“Diffuse gamma-ray background and cosmic-ray positrons from annihilating dark matter”

Masahiro Kawasaki, Kazunori Kohri and Kazunori Nakayama

ICRR-Report-543-2009-5 (May 12, 2009)

“Cosmological constraints on rapid roll inflation”

Takeshi Kobayashi, Shinji Mukohyama and Brian A. Powell

ICRR-Report-544-2009-6 (May 11, 2009)

“Non-Gaussianity from Isocurvature Perturbations: Analysis of Trispectrum”

Etsuko Kawakami, Masahiro Kawasaki, Kazunori Nakayama and Fuminobu Takahashi

ICRR-Report-545-2009-7 (May 13, 2009)

“Upward muon signals at neutrino detectors as a probe of dark matter properties”

Junji Hisano, Kazunori Nakayama, and Masaki J.S. Yang

ICRR-Report-546-2009-8 (May 18, 2009)

“Curvatons in Warped Throats”

Takeshi Kobayashi and Shinji Mukohyama

ICRR-Report-547-2009-9 (May 29, 2009)

“Higgs Production via Gluon Fusion in a Six Dimensional Universal Extra Dimension Model on S^2/Z_2 ”

Nobuhito Maru, Takaaki Nomura and Joe Sato, Masato Yamanaka

ICRR-Report-548-2009-10 (July 3, 2009)

“Phenomenological Aspects of Hořava-Lifshitz Cosmology”

Shinji Mukohyama, Kazunori Nakayama, Fuminobu Takahashi, Shuichiro Yokoyama

ICRR-Report-549-2009-11 (July 5, 2009)

“The R-axion and non-Gaussianity”

Kazunori Nakayama and Fuminobu Takahashi

ICRR-Report-550-2009-12 (July 23, 2009)

“Effects of dark Matter annihilation on the Cosmic Microwave Background”

Toru Kanzaki, Masahiro Kawasaki and Kazunori Nakayama

No.69

2009年10月1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 (04)7136-3143又は0578-85-9609(神岡)
編集委員 佐々木真人 安部 航