



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/ICRRnews>) からでも御覧になれます。

第29回宇宙線国際会議報告

超高エネルギー宇宙線……………	吉田 滋	1
超高エネルギーガンマ線……………	吉越貴紀	3
ニュートリノ……………	中山祥英、樋口 格	4
空気シャワー観測装置による 10^{17} eV 以下の 高エネルギー宇宙線……………	瀧田正人	5
宇宙線生成核種とエアロゾル……………	櫻井敬久	7

「重力波によるアインシュタイン宇宙の探査」

シンポジウム開催報告……………	黒田和明	10
お知らせ……………		11
ICRR-Seminar / Report ……………		11
自己紹介……………		12
人事異動……………		12

国際会議報告

第29回宇宙線国際会議報告・超高エネルギー宇宙線

千葉大学 吉 田 滋

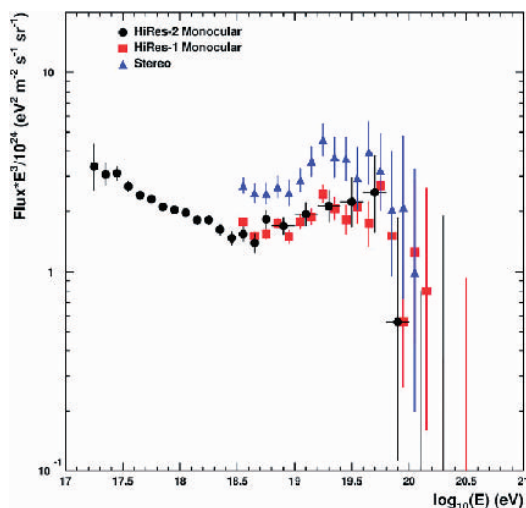
HE 高エネルギーセッションでは、Auger の最初の結果発表、そして HiRes のステレオ観測データの発表が期待を集めていた。6 年前の Salt Lake City での ICRC で AGASA グループが GZK cutoff のないスペクトル測定結果を発表し、当時ラポーターを引き受けた私が再び ICRC で Auger/HiRes 両グループの AGASA に対する応答結果をサマリーすることになったのは、めぐり合わせの妙としか言い様がない。

ご存知の方も多いと思うが、HiRes/Auger 両プロジェクトの概観は次のようにまとめられよう。HiRes はユタ大学を中心に、ユタ州 Dugway 陸軍基地内の砂漠に 2 台の大気蛍光検出器ステーションを建造し、空気シャワー縦方向発達を観測することで、energy、geometry、そして化学組成を決める実験である。2 台のステーションは距離が互いに 12.6km 離れており、一つのイベントを同時観測（いわゆる「ステレオ」観測）することで redundancy を持たせ、特にエネルギー・角度分解能の向上を図ったプ

ロジェクトであった。1 台めのステーション (HiRes 1) は elevation coverage が小さく、結果として threshold energy が高い (3×10^{18} eV)。しかしデータ取得開始が 1997 年と、HiRes2 に比べ 3 年早かったため統計数は高い。AGASA の約 3 倍の exposure を現在までに稼いでいる。2 台めの HiRes2 は 2ring からなる完全なステーションで FADC を搭載したエレキを積んだため、より低い energy (2×10^{17} eV) から観測可能で、いわばエース的存在であった。しかし私自身も深く関わった最初の検出器建設（鏡、PMT カメラ、較正、DAQ）からデータ取得開始まで 5 年近くを費やすことになる。主たる原因はコロンビア大が担当していたエレキ開発の遅れであるが、その間にも基地保安基準の変更、空軍によるミサイル誤射、September 11、と悪夢のような出来事が続き、個人的に複雑な思いを抱かざるを得ない検出器である。データ取得の遅れから exposure は AGASA をやや上回る程度 ($2500 \text{ km}^2 \text{ sr yr}$) であり、Auger の追隨を許した大きな要因となった。

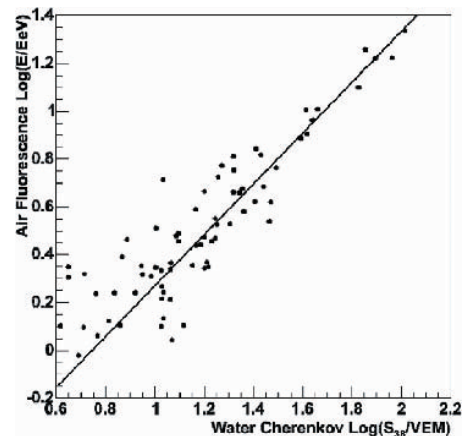
Auger は、AGASA 方式の Ground Array と HiRes 方式の大気蛍光望遠鏡を両方兼ね備え、測定方式の違いによる系統的な改善と大統計データによって GZK 問題の解決を目指している国際共同実験である。様々な経緯を経て現在アルゼンチンで建設が進められている。3000km²という AGASA の30 倍の面積アレイの約50%が完成しており、順次データ取得を開始している。ICRC 時点で1750km²sr yr とほぼ AGASA と同程度の exposure をすでに稼いでいる。地表検出器は AGASA や Telescope Array と異なり水タンクによるチェレンコフ光検出方式を採用している。この違いによる特性の相違については大変興味深い議論があるのだが、ここでは省略する。

HiRes グループが発表したスペクトルを図に示した。HiRes1 only によるモノ観測、2ステーションによるステレオ観測とも GZK cutoff の存在を強く示唆する結果となっている。モノ観測は高統計であるものの系統誤差が大きいため注意を要するが、Cutoff 構造が始まるエネルギー領域を、積分スペクトルの形状をフィットすることにより推定し、GZK 仮説と全くコンシステントである10^{19.75} eV という結果を得ている。高信頼度のステレオデータでも結論は同様に、4.8σ の有意性で cutoff を観測している。最終結論は、MC との詳細な比較、ステレオ観測の長所である、様々な redundancy を生かした systematic study を経た後になるというのが HiRes グループの見解であるが、GZK に関する結論に大きな変更はないものと思われる。



Auger の場合、エネルギースペクトル解析に使われるイベントは Ground Array 方式で検出されたものである。AGASA はここからモンテカルロ計算で

導かれたエネルギー推定測を使ったが、Auger では大気蛍光検出器 (FD) を持っているため、Array/蛍光検出器両方で測定された事象 ("Hybrid Event") を使いエネルギースケールを決定する。右図に FD で決めたエネルギーと Ground Array で記録された粒子数密度 (シャワー軸から 1 km 離れた場所での μ 粒子換算の数密度) の相関を示した。トリガリングバイアスを被っていると考えられる低エネルギー領域を除くときれいな相関があることが分かる。つまりモンテカルロに完全に頼らず実験的にエネルギーを決定する能力を始めて実際のデータで示した画期的な結果といえよう。Hybrid Event の統計が悪いことに起因するエネルギースケールの系統誤差が40%とまだ大きいため GZK 仮説の検定には至っていないが、今後加速度的にデータ数が増えるため数年で決定的な答えを出す予想される。エネルギー決定については Auger 実験も AGASA と同様、モンテカルロ法でエネルギーを決める試みも行っており、FD を使い実験的に決定した値にくらべ約30%高めの推定値を出している。HiRes と AGASA データの矛盾の理由を示唆するものとして興味深い。



GZK cutoff の有無をめぐる論争は、HiRes の結果を受け GZK 標準モデルに回帰する雰囲気が出てきたことは否めない。この混乱の要因の一つは超高エネルギー領域のハドロン相互作用がきちんと押さえられていない点にある。この問題に直接測定で切り込もうという LHCf 実験の発表が高い評価を受けていた。LHC 衝突点で超前方散乱される γ などの中性粒子のエネルギー分布を測定するこの実験は CERN でのプロトタイプ実験が進行中であり、最終検出器を2007年にインストールすることを目指している。LHC からの「最初の物理成果」というキャッチフレーズは観衆の大きな拍手を浴びていた。超高エネルギー粒子を使った天文学については残念ながら否定的な結果が多かった。AGASA 実験で

報告された 10^{19} eV 領域のイベントクラスター、銀河中心からの 10^{18} eV 領域事象の enhancement は、HiRes、Auger とともに確認できていない。ただ HiRes グループは BL Lac との相関を主張しており、chance probability は 10^{-4} のレベルである。この値そのものはトライアルの自由度を考えると真面目に受け取することはできないが、未解析の2年分のデータで同様の結果が得られるか否かが試金石になる。本当ならば標準物理では説明のつかない結果である。

次の ICRC では、AGASA が引き起こした論争に

自らの手で決着をつけようという AGASA の“後継”実験 Telescope Array が最初のデータを提示するはずである。Auger の高統計データが GZK 問題に決着をつけるのかも興味が尽きない。また γ 線やニュートリノといった異なる粒子を探索することで超高エネルギー宇宙に多面的に迫る時代もいよいよ本格的に幕を開ける。世界最大のニュートリノ望遠鏡 IceCube の初解析データ、Auger/HiRes による γ 線、ニュートリノ探索結果が出揃う2年後もこの分野の熱気は冷めることはないだろう。

国際会議報告

第29回宇宙線国際会議報告・超高エネルギーガンマ線

宇宙線研究所 吉 越 貴 紀

会議の冒頭にマックス・プランク研究所の Werner Hofmann による highlight talk があり、最近の H.E.S.S. の成果が報告された。既に Science 誌で発表された Galactic plane survey の結果 (6σ 以上の TeV ガンマ線源を8個発見) や microquasar LS 5039 からの TeV ガンマ線放射の発見を初め、超新星残骸 RXJ1713.7-3946、RXJ0852.0-4622 の詳細な morphology 等、highlight と呼ぶにふさわしい多種多様な結果がまとめられ、この分野の今後の急速な発展を予感させる内容であった。これらの他、H.E.S.S. は本会議で新たに Vela X からのガンマ線、銀河円盤からの拡散ガンマ線、新しい3つの活動銀河核 (PKS2005-489、H2356-309、1ES1101-232) からのガンマ線の検出を報告した。Vela X は Vela パルサーの約 1° 南に位置する広がった電波源であり、H.E.S.S. が検出したガンマ線放射はパルサーと Vela X の中間点で最も強く、両者を結ぶ領域に広がっている。フラックスは 1 TeV 以上で $75\%\text{Crab}$ と強く¹、スペクトルはこれまでに観測された TeV ガンマ線源の中で最も硬い。銀河円盤からの拡散ガンマ線は、銀河中心領域のガンマ線強度分布から点源の寄与を取り除いても残る成分で、銀経方向に約 3° 、銀緯方向に約 1° の広がりを持ち、分子雲 (CS) の分布とおおむね一致する。新たに TeV ガンマ線放射が見つかった活動銀河核のうち2つは、 $z = 0.16 \sim 0.19$ とこれまでで最も遠方に位置し、これらの源のスペクトルが硬くなりすぎない範囲で彼らは EBL (Extragalactic Background Light) の上限

値を導いた。その結果、EBL は従来の予想よりも少なく、宇宙はガンマ線に対して割と透明であるらしい。

MAGIC グループは 17m 口径の世界最大の解像型大気チェレンコフ望遠鏡による観測を開始し、最初の結果を報告した。彼らは活動銀河核 1ES 1218+304 ($z = 0.182$) から 5.9σ の有意さでガンマ線信号を発見し、これは現在のところ H.E.S.S. が信号を検出した 1ES1101-232 ($z = 0.186$) と並んで最も遠方に位置する TeV ガンマ線源である。また、Mrk501 の短時間フレアの観測に成功し、これまでで最も短い2分スケールの強度変動を報告した。MAGIC はガンマ線バーストの prompt 観測にも力を入れており、GRB050713A をバーストのわずか40秒後から観測することに成功した。しかし、このバーストから TeV ガンマ線の信号は検出されていない。

CANGAROO-III チームも本会議でステレオ観測の結果を初めて報告した。CANGAROO-I 実験の 3.8m 望遠鏡でガンマ線信号を観測した SN1006、PSR1706-44 から CANGAROO-III では統計的に有意なガンマ線信号は検出されず、フラックスの上限値が示された。また、Crab Nebula の大天頂角観測、RXJ0852.0-4622 からのガンマ線の検出を報告し、これらのガンマ線源について得たスペクトルが過去の結果と一致することを示した。このように、H.E.S.S. と CANGAROO で結果が矛盾する天体の再検証が進みつつあるが、本会議で H.E.S.S. は新たにスターバースト銀河 NGC253 について、CANGAROO-II の結果と矛盾するフラックスの上限値を報告した。今後の CANGAROO-III での確認が待たれる。

¹ Proceeding paper では $\sim 50\%\text{Crab}$ と記載されている。

大気チェレンコフ望遠鏡以外のガンマ線観測実験では、水チェレンコフ検出器を用いた Milagro が最近 Cygnus 領域からの拡散ガンマ線の検出を報告しており、その詳細が示された。Milagro はその広い視野と高い duty cycle を生かし、大気チェレンコフ望遠鏡による上限値よりほぼ一桁低い拡散ガンマ線フラックスの検出に成功した。この拡散ガンマ線領域はかつて HEGRA が発見した TeV 領域の未同定天体 TeV2032+4130 を含むが、これらの間に強い位置相関は見られない。また、同様の領域について Tibet AS γ グループが新しいフラックスの上限値を報告したが、Milagro の結果とは矛盾しないようである。

OG2.7 の technical セッションでは、現在建設中の VERITAS を初め、H.E.S.S.-II、MAGIC-II といっ

た将来計画の進行状況の報告があった。VERITAS は Kitt Peak 天文台の麓を観測地に決め、ほぼ順調に建設を進めている。また、インドの BARC のグループが標高4,200m の Hanle に21m 口径大気チェレンコフ望遠鏡を2基建設する計画 (MACE) を発表した。これが計画通り実現すれば大変競争力のあ

る望遠鏡となるため、今後注目に値する。ガンマ線に関する口頭発表、ポスターは全部で201あり、その全てを書き尽くすことは出来ないが、総じて大変盛況であった。Rapporteur を努めた UCLA の Rene Ong のまとめによると、TeV ガンマ線源の数は時間と共に指数関数的に増え、2005年時点で32に達した。この右肩上がりの発展が今後も続くことを期待する。

第29回宇宙線国際会議報告・ニュートリノ

宇宙線研究所 中山 祥英、樋口 格

宇宙起源の高エネルギーニュートリノの探索は、現在最も活発な分野の1つであり、多くの実験グループからの発表があった。特に AMANDA-II からは以下にあげるような数多くの成果が報告された。UHE ニュートリノの探索では、2000年のデータの中に信号となる事象は1つもなく、フラックスの上限値としてこれまでの約半分の値を得た。 E^{-2} のエネルギー依存性を仮定した diffuse な宇宙起源ニュートリノの探索では、2000~2003年データを用いたフラックス測定結果は100GeV 以上の領域まで大気ニュートリノによる予測と一致しており、こちらよりも強いフラックス上限値を与えるにとどまった。GRB ニュートリノの探索では、1997~2003年に BATSE や IPN 衛星から位置と時間の情報を与えられた500個近くの GRB について、同期したニュートリノ事象がないかを調査したが結果は0事象であった。その他の実験としては Baikal が、diffuse フラックスや WIMP ニュートリノ (ここではニュートラリーノが地球中心部で対消滅する際にできるニュートリノ) の探索を行い、それぞれ上限値を得た。Baikal では、これまでの検出器 NT200の外側に新たに3本のストリングを追加した NT200+ が2005年の4月より観測を開始したばかりであり、今後の報告にも期待したい。超高エネルギーニュートリノと南極の氷との反応の際に生じるコヒーレン

トな電波の検出をめざしている RICE 実験は、2000~2004年のデータを用いて UHE ニュートリノの探索をおこないフラックスの上限値を得ていた。同様に電波によるニュートリノ観測をおこなう実験としては、ANITA 実験がプロトタイプによる測定結果から UHE ニュートリノについて強い制限を与えていた。ANITA は南極上空のバルーンを使ったシステムであり、2006年末から本格測定開始予定である。

今後の活躍が期待される実験として、IceCube の建設が2004年末に開始された。最初の建設期間には60個の光検出器モジュールからなるストリングが1本埋設され、4つの雪上ステーション (合わせて16個の光検出モジュールを設置) も完成した。この最初のストリングにより明らかなミューオン事象が順調に取得されていることが示された。また雪上ステーションアレイを用いたエアシャワー測定についても報告があり、次の建設期間には12個のステーションが追加で完成される予定であるため、2006年の運転では1次宇宙線エネルギーで300TeV~100PeV の領域の測定が可能になるとのことである。また GZK ニュートリノの検出能力を向上するための試みとして、光・電波・音波を用いたハイブリッドな IceCube 拡張について、シミュレーションによる研究が報告されていた。地中海での建設をめざしている ANTARES では、2005年春に最終段階に近い

テストラインを設置して各試験を行っている。この検出器は北半球にあるために銀河中心の観測が比較的容易であるとのことで、2007年春に予定されている実験開始が期待される。

大気ニュートリノの観測結果についてスーパーカミオカンデ (SK)、MINOS から報告がなされた。 $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ の 2 世代ニュートリノ振動解析がそれぞれ行われ、SK からは天頂角分布や L/E の測定からニュートリノ振動が支持され、ニュートリノ崩壊などの他のモデルの可能性は支持されない事が報告された。また電子ニュートリノを含めた ν_e 、 ν_μ 、 ν_τ の 3 世代解析、タウニュートリノ探索の報告がされた。得られたタウニュートリノ事象は、ニュートリノ振動から予測される期待値と一致している。3 世代解析では有意な混合角 θ_{13} は観測されなかった。MINOS からは天頂角分布測定からニュートリノ振動以外の可能性は 98% で否定された。また上向きミューオン事象の解析も行われたが、まだニュートリノ振動を支持するような統計的に有意な結果は得られなかった。今後の統計量の増加が期待される。太陽ニュートリノの観測では、SK から前回の ICRC で報告された SK フェーズ 1 の解析の最終結果、および SK フェーズ 2 での現段階での結果、また SK

フェーズ 3 にむけての計画が報告された。解析結果はカムランドで観測された LMA 解を支持している。

高いエネルギー領域を考慮した大気ニュートリノのフラックス計算が FLUKA グループと HKKM グループ、それぞれ異なった手段の計算が報告された。FLUKA では $\gamma = -2.71$ で計算しなおされ、knee を考慮し、primary spectrum を 100PeV 領域まで延長した。それによりニュートリノフラックスを 10TeV まで計算された。HKKM では、100GeV 以上のミューオンの flux を考慮してニュートリノフラックスを計算し、100GeV で約 10%、1 TeV で 15% の増加が得られた。また 100GeV 以上のニュートリノフラックスの計算について、primary flux などについての問題提起がなされた。

最後に今回開催地となったインドでは新たなニュートリノ実験を検討しており、stage 1 では大気ニュートリノを、stage 2 では長基線ニュートリノ振動実験について研究を行う事が報告された。検出器も 30kton、50kton、100kton などの大体積、かつエネルギー分解能を向上させて、現在未検出の θ_{13} の決定や CP フェイズの測定等を目的としている。今後の進展に期待したい。

第29回宇宙線国際会議報告・

空気シャワー観測装置による 10^{17} eV 以下の高エネルギー宇宙線

宇宙線研究所 瀧田 正人

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^{17} eV 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、筆者個人の興味の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。また、ムンバイでの台風と洪水の影響により 2 日遅れで会場に到着したことや会議前にプログラムが決定していなかったことが原因で、実際に自分では聴いていない関連発表に関しては人づての情報を引用する部分も多々あることも重ねてご容赦願いたい。

まず、 10^{14} eV 以下のエネルギーで 2 つほど面白そうな実験が目についた。ひとつめはアメリカにある

水チェレンコフカロリメーターの Milagro 実験が CYGNUS 領域に広がった有意なガンマ線信号を検出したとのことである。先発の Tibet 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。相変わらずエネルギースペクトルが測定できていない点や他の実験による確認が必要である点などで懸念材料はあるが、今後の注目に値する。いまひとつは、中国のチベット高原に建設中の ARGO 実験である。RPC を用いた数話タイプの空気シャワー観測装置 (総面積 5,000 m^2) である ARGO 実験は 2005 年? にデータ取得開始予定で、現在その一部の 1,900 m^2 を用いたテスト観測を行っている。首尾よく仕様通りに稼動すると、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。テスト実験では4 TeV以上の空気シャワーが観測できているようで、10 TeVでの角度分解能は2度程度であり、今一步エネルギー閾値及び角度分解能の改善が必要であろう。隣同士にあるチベット実験と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コンファームできることになる。

さて、次に 10^{14}eV — 10^{17}eV の一次宇宙線スペクトルに関しては、KASCADE実験、KASCADE-GRANDE実験、チベット実験、Ooty実験、EAS-TOP実験、パミール実験、MAKET-ANI実験、GAMMA実験、Tunka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、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、言うは易く行は難いのかも知れない。ただし、様々な系統誤差や各実験間のエネルギースケールの校正誤差（例えば20—30%程度）を考えると、全粒子スペクトルの絶対値に関してはファクター2の範囲でどの実験もおさまっているものでこれ以上議論してもあまり実りはなさそうである。また、実験データは全粒子エネルギースペクトルの3—5 PeVに折れ曲がり(knee)が存在することを暗示唆している。

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発表した。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めたところ、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な印象を受けた。（これはミュー粒子数にモデル依存性が大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。Ooty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。一方、チベット実験は、中心に設置したコア検出器（エマルジョンチェンバーとプラスチックシンチレーター検出器からなる。）により陽子及びヘリウム成分にバイアスをかけた実験を行って陽子及びヘリウム成分のエネルギースペクトルを測定したが、核相互作用モデルとしてQGSJETとSIBYLLモデル、また、極端な2つの一次宇宙線化学組成（陽子成分の多いモデルと重粒子成分の多いモデル）を用いてモデル依存性を見積もったところ、高々30%程度であることが判明した。全粒子エネルギースペクトルとの比をとることにより、Tibet実験はknee領域を構成する化学組成は重粒子成分が優勢であることを示した。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、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1年分のデータを取得したようで、空気シャワーサイズ決定を含む観測装置校正を精力的に行っている。発表の途中でS(500)、S(100)と書いたグラフが見えたときは、昔どこかで聞いたパラメーターなので思わず微苦笑が出てしまった。いずれにせよ、knee及びその前後のエネルギー領域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の時間がかかると思われる。

最後に、KASCADE-GRANDE実験の敷地内に設置されているLOPES実験は、KASCADE実験と同時計測することにより、空気シャワーに付随する電波放射の計測に成功したようである。これにより空気シャワーのエネルギー決定精度向上等に発展的につながっていくと面白いと思う。

宇宙線生成核種とエアロゾル

山形大学理学部 櫻井敬久

1. はじめに

地球上の宇宙線生成核種は、宇宙線が地球大気と衝突してできるものがほとんどである。宇宙線は、 10^{20} eV といったとてつもないエネルギーまでスペクトルをもって地球に降り注ぐ粒子群であるが、これら 1 次宇宙線は高層大気と衝突して種々の 2 次宇宙線を大気中に生成する。これらの 2 次宇宙線のうち主に陽子、中性子が大気の成分である窒素、酸素、アルゴン、ゼノンなどと核破砕反応や中性子捕獲反応を起こして C-14、Be-7、Be-10、Na-22、I-129 等々の同位元素を生成する。これらの宇宙線によってつくられた同位元素は、宇宙線生成核種と呼ばれ気体やエアロゾルに付着して大気中にばらまかれる。

宇宙線生成核種の生成プロセスとその放射性核種という性質から、宇宙線生成核種は地球環境や大気運動を調べるためのトレーサーとして重要な役割を担っており、特に最近では、気候変動や気象現象の問題解析に必要なツールとなっている。一方、環境放射能モニターとして、核実験防止の監視のための地球規模でのモニターリングネットワーク CTBT 放射性核種監視システムが世界的規模で構築され観測が行われているが、当然宇宙線生成核種も測定していることになり今後サイエンスへのデータ利用が可能になると思われる。

このような状況にあって、最近の宇宙線研究の成果と資産を使って宇宙線生成核種の基礎研究の側面から太陽地球環境の問題解明に貢献することは宇宙線研究分野の役割の一端であると思われる。宇宙線生成核種についての基礎研究は Lal and Peters によって 1960 年代に精力的にまとめられ、全体の描像としては良い結果を与えている。しかし、宇宙線生成核種の強度の時間変動、特に短時間変動などを調べるときには最近の進歩した大気中の粒子シミュレーションの利用が不可欠になる。また、BESS 観測に代表される精密な宇宙線スペクトルの観測データは、宇宙線生成核種強度の精度の高い評価につながり、宇宙線生成核種の大気中での生成プロセスとエアロゾルの挙動を推定する上で重要な資産である。さらに、TA、Auger、Euso など大気蛍光を利用した宇宙線観測には大気中エアロゾルの挙動はエネ

ギー評価をする上で大事となる。

2. 研究の現状

我々は、宇宙線生成核種の時間変動と太陽活動の関係を調べることを目的として Be-7 の大気中濃度の日変動の連続観測を山形大学で 2000 年より継続している。また、2003 年からは緯度効果の影響を調べるためにアイスランドに同様な試料収集システムを置いて測定を継続し、2005 年秋から山形と緯度はほぼ同じである北アメリカ大陸のユタ州デルタで試料収集を開始した。デルタには TA 望遠鏡ステーションがあるので、そこでの大気中エアロゾルの平均的な挙動の観測も兼ねている。Be-7 は半減期が 53 日で生成率も高く、エアロゾル降下物と考えられるので大気運動の時間変動やエアロゾルの挙動を調べる上で都合の良い核種である。またガンマ線放出核種であるため非破壊の測定ができ、低バックグラウンド仕様のガンマ線測定装置で計測できる。

2.1 Be-7 濃度の季節変動と大気トレース

図 1 は山形大学屋上でガラス繊維フィルター上に収集した大気中の浮遊塵の Be-7 濃度、太陽黒点数、Climax (39N、106W) での中性子数の 2000 年から約 6 年間の日変化を示している。太陽活動は 2000 年に 11 年変動のピークがあり現在は静穏期の谷間にある。Be-7 および宇宙線中性子強度変動と太陽活動の関係については Advances in Space Science (H.

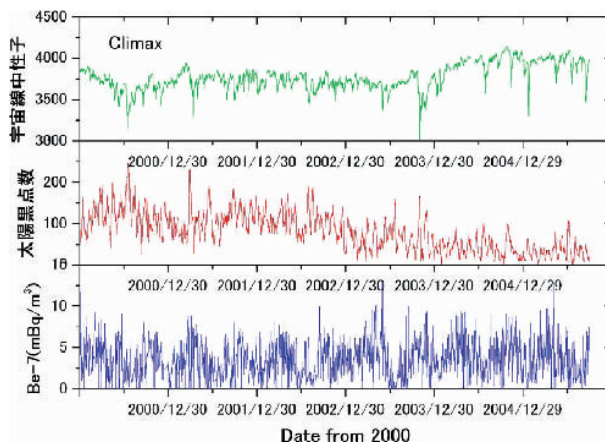


図 1：大気中の宇宙線生成核種 Be-7 濃度、太陽黒点数、Climax での中性子数の 2000 年から約 6 年間の日変化

Sakurai et al., vol. 36, pp2492-2496, 2005) に示されている。Be-7 の濃度変動における特徴は春、秋に濃度が高く夏に極めて低いという現象である。一般に春の高濃度は春先の大気擾乱により成層圏大気と対流圏大気の交換が活発になると説明しているが、これでは具体的な動きが見えてこない。図2は2004年3月15日と7月15日に山形の地表に到達した大気のトレースを示している。明らかに春は中国大陸から且つ高度の高いところから降下している。これに対して夏は地上付近の色々な方向からきていることを示している。この大気の流れに沿ってエアロゾルが降下しているとすれば、地上で収集している Be-7 濃度変動は、Be-7 の高度および緯度それぞれの分布を大気の移動を介していることになる。

2.2 Be-7 濃度とエアロゾルサイズ分布

エアロゾルは微小浮遊塵すべてである。化学形、形状、元素組成、水可溶性とさまざまな様相があり極めて複雑なものである。地表で約1万個/cm³、高度5kmで約千個/cm³程度であり、サイズは0.02μmから10μmのレンジで直径の-3乗のべき関数と考えられている。しかし、高度毎のサイズ分布は分かってなくその測定も難しい。そこで、我々は地表で収集している Be-7 とエアロゾルサイズとの関係を調べるためにアンダーセン捕集器を TA 望遠鏡ステーションの建屋屋上(13m)に設置した。アンダーセン捕集器は1.1μm以下から7μm以上まで5段階に弁別して、ろ紙上に浮遊塵を捕集する装置である。写真1、2はアンダーセン捕集ろ紙およびアンダーセン捕集器の TA 宇宙線望遠鏡建家屋上への設置風景である。

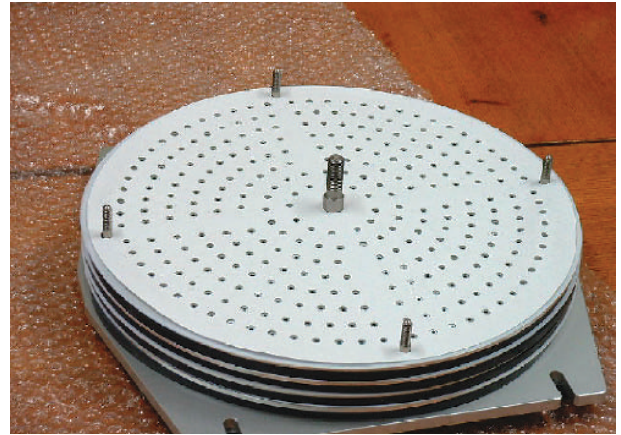


写真1：アンダーセン捕集器とろ紙



写真2：TA 宇宙線望遠鏡建家屋上のアンダーセン捕集器の設置風景

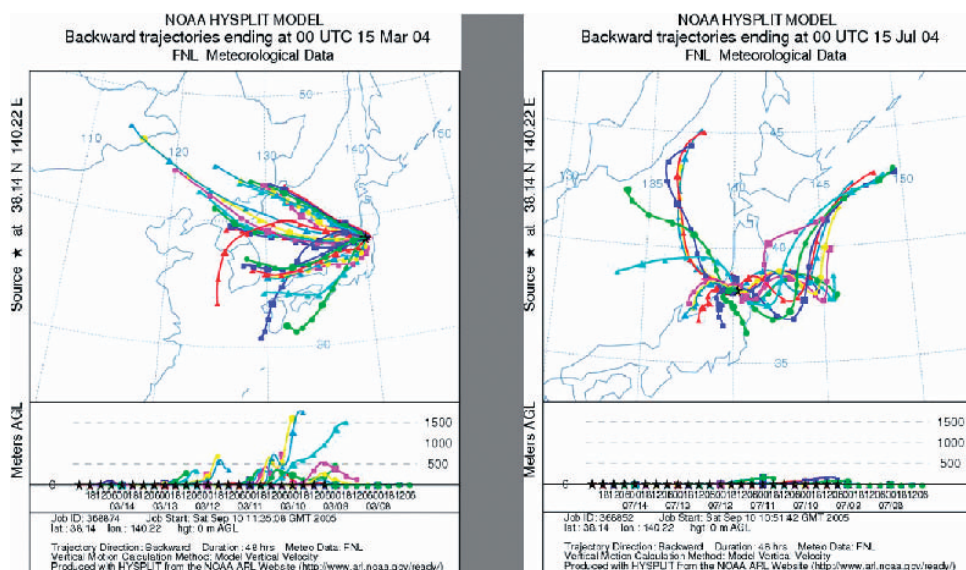


図2：2004年春と夏の大气移動のトレース

図3は各5段階のろ紙中のBe-7を各々柏地下微弱放射能設備で測定したクイックルックの結果である。1.1 μm 以下が圧倒的に多いことが分かる。2 μm 以上では1時間に1カウント程度なので柏地下設備のような極低バックグラウンド測定環境の威力であることが改めて分かった。しかし、この結果からBe-7はサイズの小さなエアロゾルに沢山付着しているとは簡単にはいえない。すなわちBe-7のエアロゾルへの付着率はエアロゾルのサイズ分布が必要となる。図4はクイックルックの水に不溶性のエアロゾルのサイズ分布およびエアロゾルの形状写真を

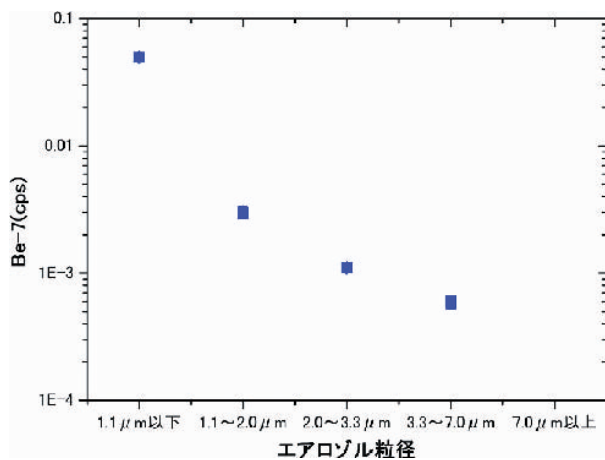


図3：5段階の各ろ紙中の各々のBe-7計数

示している。サイズは2 μm 付近に分布のピークがあることを示している。これらのことから概観すればBe-7は小さなエアロゾルに付着していると推測される。

3. まとめ

宇宙線生成核種Be-7濃度の時間変動データとエアロゾルサイズ別のBe-7濃度分布データから宇宙線生成核種の高度分布やエアロゾルのサイズ分布を推定する手がかりが得られる可能性がある。この推定をさらに確定していくためには大気中の宇宙線シミュレーションおよび大気運動のトレースをリンクさせBe-7の観測データと比較することが必要となる。この研究手法の確立は今後降下物としての宇宙線生成核種を利用する研究やエアロゾルの大気挙動に多に貢献できることが期待される。

おわりにあたり、TA望遠鏡施設へのエアーサンプラー設置を快く引き受けて下さったこと、また設置作業や試料収集のご協力を頂いたことに対しまして、福島先生はじめTAグループの皆様に深く感謝申し上げます。

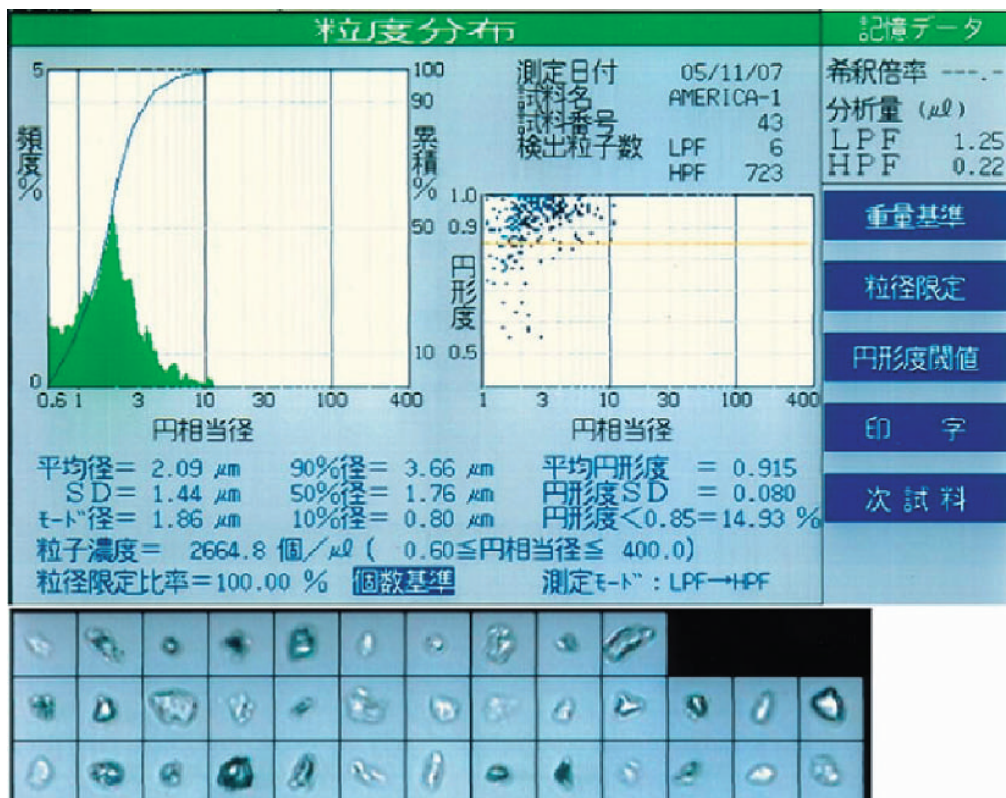


図4：ユタ州デルタ市の大気から採取した水に不溶性のエアロゾルのサイズ分布とエアロゾルの形状

シンポジウム

「重力波によるアインシュタイン宇宙の探査」シンポジウム開催報告

重力波グループ 黒田 和 明

東京大学学内広報No.1319（2005年9月14日発行）でも紹介された通り、日本学術会議講堂において7月14日（木）「重力波によるアインシュタイン宇宙の探査」シンポジウムが開催された（物研連主催、天文研連、特定領域研究「重力波の新展開」総括班共催）。アインシュタインの一般相対性理論で予言される時空のひずみ波である重力波の検出を目指す研究は世界的に進められているが、TAMAを含む第一世代の検出器が概ね完成しこの時点での感度で観測が進められている。シンポジウムの目的は、主として物理学や天文学など関係分野の研究者、学生に LCGT 計画とその重要性を紹介するものであり、当日は、それらの研究者に加えて地方自治体、民間企業等の関係者ならびに一般市民からなる参加者を迎え300名の座席がほぼ一杯になるほどの260余名の参加を得た。

講演では、京都大学の中村卓史氏が理論の立場から重力波天文学の今後の興隆を印象づける講演を行い、東大新領域の三尾典克氏がこれまでの重力波検出器の開発技術の紹介をし、著者（黒田和明）が LCGT 計画について講演した。さらに、現時点における最高感度をもつ米国の重力波観測所 LIGO のメンバーである山本博章氏が LIGO の現状を紹介した。各講演者すべてが一般の参加者にも分かりやすい言葉で重力波研究の最前線を紹介することに努め、これらの講演の後にそれぞれの講演内容を短くまとめた講演を国立天文台の藤本眞克氏が行った。締めくくりの挨拶で小宮山東大総長から「将来重力波でみる宇宙の姿を楽しみにしている」という言葉を頂いた。このシンポジウム開催にあたっては、物研連委員である江沢洋氏に委員会に提案して頂き、シンポジウム冒頭でも挨拶を頂いたことに感謝します。



お知らせ

平成18年度東京大学宇宙線研究所共同利用研究公募のお知らせ

以下の研究課題について平成18年度共同利用研究の公募を行います。

(A) 当研究所の共同利用施設、設備・装置の利用を必要とする広い意味での宇宙線の研究。

当研究所には乗鞍観測所、明野観測所、神岡宇宙素粒子研究施設、宇宙ニュートリノ観測情報融合センター等の共同利用施設と柏微弱放射能測定設備及びエマルジョン実験用設備等各研究部に所属した共同利用設備・装置があります。また、本研究所大型計算機システムは、各研究部を通して共同利用されます。

(B) 下記の研究項目（a～f）のいずれかに該当し当研究所と協力して行う素粒子または宇宙物理に関する研究。

「研究項目」

- a 地下または深海で行う宇宙線研究
- b 飛翔体、高山または地上等で行う広い意味での高エネルギー宇宙線の研究
- c 高エネルギー宇宙ガンマ線源の探索・観測を主な目的とした研究

d 化学組成、同位体測定等による宇宙線あるいは宇宙物質の起源に関する研究

e 広い意味での宇宙線の研究に有効な観測手段、装置等の開発的研究

f 広い意味での宇宙線の研究で将来発展が期待されるテーマの理論的または萌芽的研究

(C) 研究会

広い意味での宇宙線の研究で興味深い特定のテーマについて、全国の研究者が1～3日間程度本研究所で集中的に行う研究会。

応募の詳細については宇宙線研究所ホームページ <http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/info/koubo/h18>を御覧ください。

応募期限

平成18年1月16日（月）

応募書類提出及び問い合わせ先

東京大学柏地区事務部庶務課共同利用係
〒277-8582 千葉県柏市柏の葉5-1-5
電話（04）7136-3209

ICRR-Seminar 2005年度

7月29日（金）榎本三四郎氏（東北大学・助手）

“ニュートリノ地球物理学と KamLAND における地球ニュートリノの観測”

9月30日（金）Kenji Kadota 氏（FNAL）

“CMB and inflation model building—particle theorist’s view—”

11月8日（火）猪木慶治氏（理化学研究所）

“Predictions of pp, pbarp total cross section and p ratio at LHC and cosmic-ray energies based on duality”

11月18日（金）清水康弘氏（東北大）

“Reconstructing Dark Matter density at ILC”

11月22日（火）Dr. Antonio Ereditato 氏（INFN Napoli）

“Liquid Argon TPC technology for future particle physics experiments”

11月22日（火）井上開輝氏（近畿大理工）

“重力レンズで探るダークマターの微細構造”

ICRR-Report 2005年度

ICRR-Report-521-2005-4（September 6, 2005）

“Relic Abundance of LKP Dark Matter in UED model including Effects of Second KK Resonances”

Mitsuru Kakizaki, Shigeki Matsumoto, Yoshio Sato and Masato Senami

ICRR-Report-522-2005-5（November 9, 2005）

“Heavy Wino-like Neutralino Dark Matter Annihilation into Antiparticles”

Junji Hisano, Shigeki Matsumoto, Osamu Saito and Masato Senami

自己紹介



早戸良成
(神岡宇宙素粒子研究施設 助教授)

2005年11月に神岡宇宙素粒子研究施設に着任致しました早戸良成です。学生時代はSK実験に携わり陽子崩壊探索を行い、その後はKEKに所属しK2K実験に参加、

ニュートリノ振動ならびにニュートリノ核子散乱の研究を行って参りました。

今後も大気ニュートリノならびに加速器を用いたニュートリノ振動・反応の研究を行ってゆく予定です。来年度にはSKも完全復旧し、また、2009年には加速器を用いる新たなニュートリノ振動実験(T2K実験)の開始が予定されております。こういったとても面白い時期に神岡で研究に携わることができ、本当に嬉しく思っております。

これまで学生時代から神岡施設の皆様には本当にお世話になって参りました。今後は研究を積極的に行うのみならず、神岡施設の一員としてSK/施設の維持、発展につとめ、ひいてはICRR全体の発展にも貢献できればと考えております。どうぞよろしくお願い致します。



関谷洋之
(神岡宇宙素粒子研究施設 助手)

2005年11月1日付で神岡宇宙素粒子研究施設に来ました。

京都大学に1年半居りまして、主に核医学検診やガンマ線天文学のためのガンマ線方向感度検出器と暗黒物質による

原子核反跳方向をとらえるための検出器の開発を行っていましたが、その前は約5年ほど神岡地下実験施設で暗黒物質探索のための実験に勤んでいました。再び、神岡に来て、現在は、スーパーカミオカンデの再建に精一杯取り組んでいます。

本来の性能を取り戻しつつあるスーパーカミオカンデと共に精進していこうという所存です。どうぞよろしくお願い致します。

人事異動

発令日	氏名	異動内容	現(旧)官職
H17. 11. 1 ク	早戸良成 関谷洋之	新規採用 ク	助教授 助手

No.58

2005年11月30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) 7136-5121又は5137
編集委員 佐川宏行 奥村公宏