



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。

LCGT 計画	2008年度柏キャンパス一般公開……………金行健治	10
—重力波の観測を目指して—……………黒田和明	人事異動……………	11
平成20年度共同利用研究成果発表会報告	ICRR-Seminar／Report ……………	11
……………早戸良成		6

研究報告

LCGT 計画—重力波の観測を目指して—

東京大学宇宙線研究所 黒田和明

はじめに

高感度レーザー干渉計による重力波プロジェクトが1992年の宇宙線研究所将来計画シンポジウムで初めて紹介されてからすでに16年余が経過した。そもそも J. Weber が1960年代末に共鳴型アンテナで重力波を見つけたと後で間違いと判定される報告をして以来、各国で検出実験が開始され、紆余曲折を経て、長基線のレーザー干渉計による検出器が開発されてきたわけであるが、J. Weber からすると半世紀近くにもなるのにまだ重力波は検出されていない。これまで各界のサポートを取り付ける活動の中で、江崎玲於奈先生のもとを訪れた際に、江崎先生が「重力波はのどにささった棘のようなもので重力波が現実に出検できる計画ならうれしい」と述べられたことは今の状況をよく表している。本稿では、これらを意識しつつ、重力波研究の現状と LCGT 計画を紹介する。

LCGT 計画概要

LCGT 計画は、本格的な重力波検出のために、日

本の重力波実験グループが総力を挙げて取り組む大型計画であり、3 km 基線長の高感度低温レーザー干渉計を神岡の地下に建設し200Mpc 遠方の連星中性子星合体による重力波イベントを確実に検出することを目指している。連星中性子星の合体に際しては、二つの中性子星が触れ合う寸前までの公転に伴うチャープ波形の重力波が観測され、その周波数変化の情報のみから二つの中性子星の質量比が決定できる。中性子星質量は太陽質量の1倍以上で1.4倍以下にあることから、合体における重力波の発生エネルギーをおおむね推測できる。公転軌道の向き不定性を除けば、検出された信号強度から計算できる重力波エネルギーと推測した発生エネルギーとからイベントまでの距離を計算できる。一旦、中性子星が触れ合って合体するようになると単純な信号波形は予測できないが、完全に一体化した後はブラックホールが誕生することとなり、合体の際の時空の振動が発生する。ここでは物質が介在しない時空の振動を重力波信号の波形を通してみることになるが、これはまだ人類が見聞したことのない現象である。この連星中性子星合体は短時間のガンマ線バー

ストの実態とも考えられており、一旦重力波が捉えられるようになれば、従来の天文学に新しい観測手段を付け加えることとなり、LCGT は世界の観測プロジェクトと共同で重力波天文学の一翼を担う観測を行うこととなる。

TAMA と CLIO による R&D

前書きで述べた将来計画シンポジウムで提案され実施されることとなった計画が基線長300m の中規模計画としての TAMA (FY1995-2001) である。TAMA は、それまで個別の研究計画に沿って重力波研究を行ってきた複数の実験グループが初めて一丸となって取り組んだ計画であり、R&D のための利便性を考慮して、国立天文台、三鷹キャンパスに設置されることになった。TAMA の特徴は、現在世界のレーザー干渉計で使用されている $1\ \mu\text{m}$ 波長の固体共振器による赤外線レーザーをいち早く採用したことであり、世界で最も早く高感度を達成し、長時間観測モードを実施した。TAMA 干渉計の構造は、米国 LIGO 計画や仏伊合同の Virgo 計画の干渉計と同じく、パワーリサイクリングを施したファブリーペロー共振器型マイケルソン干渉計である。

重力波の検出原理をみてみよう。アインシュタインの予言による重力波は電磁波のように横波で光速で真空中を伝播し、正負の質量が存在しないことに対応して最低次の多重極放射が双極子放射でなく四重極子放射である。電磁波の電場が電子の電荷に加速度運動を引き起こすのと同じように重力波の力の方が質量をもつ粒子に加速度運動を引き起こす(光子も有効質量を持つので影響を受ける)。従って、

図1のように水平に設置された直交する腕をもつマイケルソン干渉計の真上から単色の重力波がやってくると、例えば、 x 軸方向の腕を往復する光の時間と y 軸方向を往復する光の時間とに差が生じ、重力波の振動に応じて干渉光の強度に変化が現れる。もし、干渉計が z 軸周りに45度回転した配置にあると、上の単色の重力波に対して感度がなくなる。以上のように原理は単純であるが、問題はその変化の大きさが極端に小さいことである。近傍銀河団 ($1\ \text{Mpc}$) の連星中性子星合体から予測される重力波が引き起こす変化は、上記マイケルソン干渉計の腕の長さ(基線長)が300m だったとして、 10^{-18}m 程度にしかない。レーザー干渉計の雑音がこのレベルより小さくしなければ重力波の検出は不可能である。まず、鏡の変位雑音がこの大きさより小さくしなければならない。ミクロな原子を想像するとこの大きさに収めることは無謀な議論であるが、マクロな物体である鏡の雑音振動をこの大きさ以下にすることは可能である。それには熱雑音による影響を下げることで鏡保持機構からくる雑音振動を下げることで達成される。次にレーザー干渉計の光源であるレーザー周波数の揺らぎによる雑音変位と強度揺らぎによる等価的な変位雑音がこの大きさより小さい必要がある。鏡の変位雑音とレーザー周波数・強度揺らぎによる雑音が問題にならなくなったとすると、次の問題は光の散乱雑音である。干渉光の強度は光の位相で決定されるが、弱い光では位相が精密に決められないため、光子の量子数を大きくすることが必要になる。つまり光のパワーを上げることになるが、どこまでもパワーを上げれば良いわけではない。光のパワーが上がると光の圧力揺らぎによる雑音が無視できなくなる。

TAMA では、図1に示すように、マイケルソン干渉計の腕に相当する部分が光の多重回往復を実現できるファブリーペロー共振器である。それぞれの共振器からもれて戻ってくる光はビームスプリッターで干渉を起こす。雑音の観点から光検出器に向かう光は弱め合う干渉となるように各腕の距離が調整され、その場合には、レーザー光源に向かう反射光は強め合う干渉を起こす。この光を入射レーザー光と同じ位相となるように打ち返すと、光を無駄に捨てずにリサイクリングできる(パワーリサイクリング付きのファブリーペロー共振器型マイケルソン干渉計)。TAMA にはこのリサイクリング鏡が比較的早い時期に実用的な干渉計として装着され、予定通りの光の再利用が可能であることを示した。つまり、TAMA 干渉計では、熱雑音と保持機構による

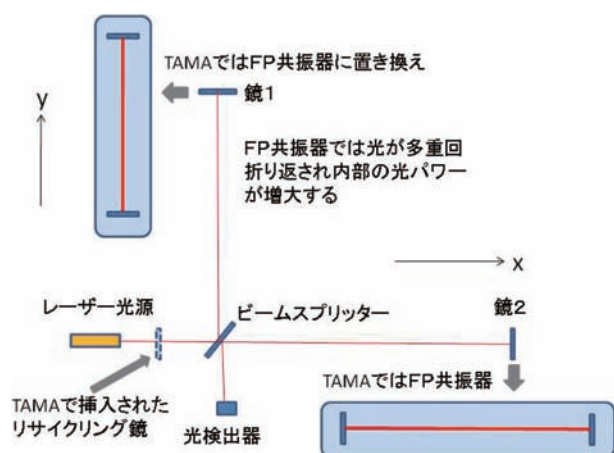


図1：水平に設置されたマイケルソン干渉計。TAMA ではそれぞれの腕の鏡がファブリーペロー (FP) 共振器に置き換えられ、パワーリサイクリング鏡が挿入され、現在世界で稼働している多くのレーザー干渉計と同じ形式に進化している。

雑音を下げる研究、高性能鏡の研磨・成膜技術の開発、高出力レーザー光源の開発とそれに自然に備わっている周波数揺らぎを6桁、強度揺らぎを4桁抑圧するフィードバック制御回路を構築する研究を行って、目的の雑音レベルを実現した。

しかしながら、三鷹キャンパスの軟弱な地盤と都市近郊の雑音による地面振動により、低周波領域の感度が思うように達成できず、以後、引き続き特定領域研究（FY2002-2005）では、低周波感度改善のために四苦八苦せざるを得ない状況に見舞われた。この低周波雑音に区切りをつける目的で行われた研究がLISM計画でTAMAの開発のプロトタイプ干渉計である20m干渉計を三鷹から神岡地下施設に移設して地面振動の低減を直接干渉計で調べたものである。結果は、図2に示すように移設前と移設後における雑音の劇的な減少をもたらし、世界の重力波業界に地下設置の重要性を印象づけるものとなった。その後、LCGTの計画策定の必要上、地下トンネルの地面振動が深さによりどのように変化するかを茂住坑に沿って測定し、この測定結果に基づいてLCGT配置では地表から200m以上侵入する設計となっている。

TAMAにはこの特定領域研究で地面振動を飛躍的に低減できるSeismic Attenuation System (SAS)を導入し、これまでに不明だった低周波領域での雑音要因も含めて、感度を制限する個々の雑音要因を特定することができた。この低周波領域の感度は当初見込んでいたように鏡保持機構の振り子熱振動に起因するものではなく、低周波の振動が非線形効果によってより高い周波数へ変換されるup conversion雑音と呼ばれる雑音で制限されていることが確認された（図3）。up conversionのメカニズムとしては、鏡制御アクチュエータに使用している永久磁石内で

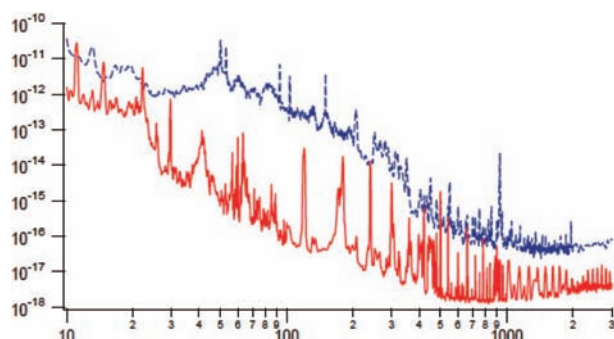


図2：国立天文台三鷹キャンパスに設置された20mプロトタイプ干渉計の感度（青曲線）とこの干渉計を神岡地下に移設した後の感度（赤曲線）の比較。横軸は周波数 [Hz]、縦軸は変位雑音 $[m/\sqrt{Hz}]$ を表す。地面振動の減少に応じて感度が大きく改善している。

起こるバルクハウゼン効果、保持機構可動部の非線形系結合などが疑われているが、まだ実証されていない。しかし、次に述べるCLIO干渉計ではこのレベルでの雑音は存在しないので地面振動の大きいTAMA干渉計に特有の雑音と考えられる。

さて、上の特定領域研究で同時に進められたのが、低温鏡の実証器としてのCLIO干渉計の建設である。CLIO干渉計の目的は、鏡及び鏡保持機構を20Kまで冷却して熱雑音で制限されている感度を上げることである。低温鏡のレーザー干渉計は日本独自のものであり、それが実現可能かどうかを確かめることから着手する必要がある。それは1997年から開始したKEKの低温工学センターとの共同で行われ、その結果、実現への確信をもって、1999年、柏キャンパスの地下実験室に基線長8mの低温鏡ファブリーペロー共振器を製作して問題点を洗い出す研究を行い、実践的な低温干渉計設計のための基礎データを取得した。これらの基礎研究とTAMAやLISM干渉計で培われた干渉計技術をもとにCLIO干渉計の設計がなされた。CLIOは、2002年、神岡地下において100m基線長の掘削・建設を開始し、真空装置や干渉計本体は2005年度中に完成した。2007年度終わりまでに低温装置の動作状況の確認を行い、2008年中にレーザー干渉計の室温感度を出した。図4では、数10Hzから200Hzくらいまでの周波数帯における雑音が室温の熱雑音で制限されている状況を示している。さらに、より高い周波数での感度は使用しているレーザーパワーで決まる光の散

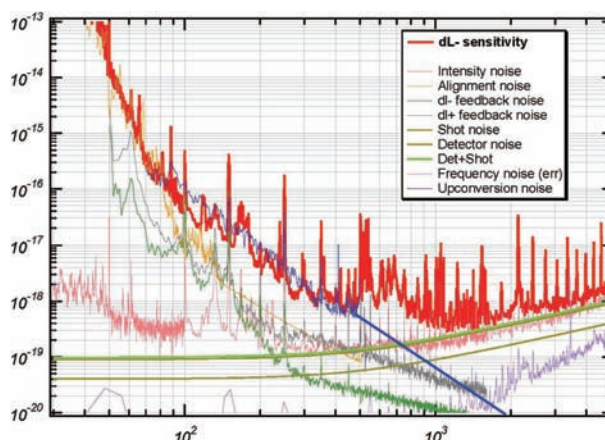


図3：TAMA感度（赤曲線）の低周波部分を制限するupconversion noise（青線）。横軸は周波数 [Hz]、縦軸は変位雑音 $[m/\sqrt{Hz}]$ 。低周波の大きい振動が高い周波数での雑音に変換される効果で鏡のアクチュエータに低周波の振動を加えて定量的に確認した。CLIOでは観察されていない。図の他の曲線は個々の雑音要因による雑音レベルを示している。

射雑音で制限されており、より低い周波数の感度は、地面振動の大きさと鏡保持機構の特性で予想される限界を達成している。この図には明示していないが、20Hz以下の周波数では、重力波に対する感度で、基線長が40倍のLIGOと並ぶ感度を出しているのは地下の優位性を改めて示すものである。現在は、最終的な低温感度達成に向けての準備作業を行っているところである。低温におけるレーザー干渉計と室温干渉計の大きな違いは、低温のための冷凍機が動作することにより機械振動が、鏡を収めたクライスタットの近くで発生するということであるが、冷凍機の開発においてその振動が地面振動レベルを超えないことを確認しており、各部の機械共振やチェンバーの振動による迷光の影響が感度を制限するレベルになるとは考えていない。なお、2007年までの低温化の動作確認の際に、当初の設計で見込まれていなかった熱輻射のシールドの問題が見つかった。これは、低温のクライオスタットと室温の真空パイプ部分との間に挿入される5m長の輻射シールド部分の効果に関し、低温に保たれた冷たいシールド面で熱い輻射が吸収されると期待していたが、実はその冷たいシールド面で反射されるという、当然の物理で支配される問題であった。これまでに改善策が検討・テストされ、現実の問題は解決されている。

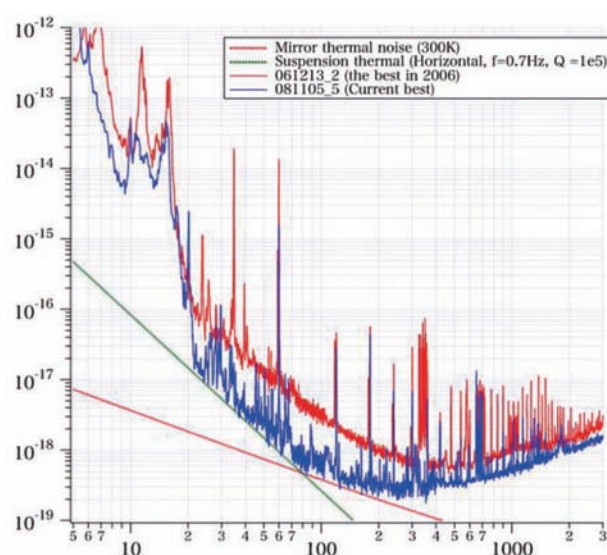


図4：CLIOの室温感度の改善状況。横軸は周波数 [Hz]、縦軸は変位雑音 $[m/\sqrt{Hz}]$ 。赤の曲線で示す感度は、鏡のアクチュエータコイルを支える金属枠に熱的に発生する渦電流により制限されていたが、青の曲線のように改善し、振り子（緑直線）及び鏡（赤直線）の熱雑音が見えてきた。この図の300Kから低温の20Kに冷却した際の熱雑音の低下を観察することが次のステップである。

R&Dにより分かったことがら

これまでのR&DはLCGTの概念設計の正当性を支持し、方針の正しさを裏付けるものである。TAMAの立案段階では考えもしなかった新たな知見を海外の研究も含めて以下列挙する。それらは

- 1) 熱雑音の評価の仕方
- 2) パラメトリック不安定性の存在
- 3) 光スクイーミングの利用価値

である。1)の熱雑音に関しては、当時は鏡の基材のバルクとしての熱振動を振動モードによる展開で均等に熱エネルギーを割り振るという見積もりであったが、これでは雑音のもととなる損失の起こる場所の情報が無視され正しい見積もりとならないことが実験的にも示された。正しい方法を用いるとそれまで無視されていた鏡にあたるビーム径の大きさが大きいほど熱雑音の効果が小さくできるということやビームの反射点から遠い位置にあるアクチュエータ磁石の損失などは影響が小さくなるということが判明した。また、同時にクローズアップされてきた問題は、光学薄膜の機械損失が無視できなくなることであり、現状の感度レベルでは問題ないが、次期のAdvancedな室温干渉計では確実に感度を制限するものとなっている。ちなみに低温干渉計のLCGTでは低温化によりこの効果は重要でない。次の2)パラメトリック不安定性は、現在の干渉計ではまだ数kWのレベルで問題ないが次期のAdvancedな干渉計では、ファブリーペロー共振器に閉じ込められる光パワーがMWに達しようとするレベルであり、光の圧力が鏡の弾性振動を励起するのに十分な大きさとなる。そうすると、共振器内の光のモードパターンと弾性振動のモードパターンが一致するという適切な条件が成立すると、振動モードが増幅され、光の状態に不安定が生じることとなる。レーザー干渉計の現実の共振器ではまだこの現象は観察されていないが、この現象の出現に特化した実験では観測されており、予定されている高出力が達成されると発生する問題である。低温干渉計のLCGTでは、室温干渉計よりも音速の高いサファイヤ結晶を使うことや熱雑音のために光ビームを無理に広げる必要がないことのために室温干渉計よりはるかにこのパラメトリック不安定性に高い耐性を有する。3)光スクイーミングの利用価値に関しては、レーザー光検出ポートにスクイーミング光を導入することにより散射雑音を低下させる実験に成功しており、将来的に、advancedな干渉計に適用できると

考えられる。また、干渉計内の光のスクイーミング状態を適切に制御することにより、干渉計の感度を周波数に応じて変化できることも示されており、観測帯域を狭めることで高感度を得ることも可能となる。これらは現在世界的に精力的な研究が進められている。

LCGT の予算化について

以上述べてきたように、他にない低温技術や地下設置の優位性をもつ LCGT 計画の技術は完成度が高く、国際的に高い競争力を有しており、すでに建設が始まった米国の advanced な干渉計を凌駕するポテンシャルをもつ。ここで、本格的な重力波検出に向けたプロジェクトとして LCGT を立ち上げることが喫緊の課題である。そうすれば世界に先駆け、重力波の発見も可能となりノーベル賞も夢ではない。これまで、宇宙線研究所、国立天文台、高エネルギー加速器研究機構の3機関・研究所の計画推進に関す

る覚書のもとで、R&D 研究、計画立案、概算要求の準備が進められてきたが、まだ認められるには至っていない。学術的には、平成12年に学術審議会宇宙科学部会で「当面の技術開発を強化し、早期の着手を目指す計画」として位置づけられ、平成17年には宇宙線研究所の外部技術諮問委員会で計画の健全性がチェックされ推進が了解されている。また、平成20年には日本学術会議宇宙物理学・天文分科会でのヒアリングを受け、計画推進を強化するためにプロジェクトマネージャー（PM）導入が勧告され、これに従った推進体制の強化が行なわれた。平成22年度概算要求はすでに宇宙線研究所から東京大学本部へ提出されている。LCGT 計画のようにノーベル賞に手の届く研究プロジェクトに予算が認められ、一刻も早く世界との発見競争に参画させて頂きたい。発見の後は世界の重力波観測をリードして重力波天文学の礎を築く研究に邁進したい。

研究会報告

平成20年度共同利用研究成果発表会報告

東京大学宇宙線研究所 早 戸 良 成

今年度の共同利用研究成果発表会が、平成20年12月19日(金)と20日(土)の二日間にわたって開催された。本研究会は、宇宙線研究所の共同利用研究の成果を報告する場であり、今年度は35件の発表がおこなわれた。これは昨年度よりも6件多くなっており、この点からも共同研究の活発さを知ることができる。また、発表内容の多様性は研究所の共同研究の幅広さを示している。また、成果報告以外にも昨年同様、共同利用実施専門委員会委員長から研究会開催に関する採択課題についての報告も行われた。以下に当日のプログラムならびに各発表者より提出いただいた講演要旨を付記する。なお、発表資料については、宇宙線研究所ホームページに掲載されているので、そちらを参照されたい。(http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/infomation/workshop/2007/kyodoriyo/Program_H20.html)

大型低温重力波望遠鏡の開発・設計 (X)

神田 展行 (大阪市立大学)

プロトタイプ干渉計 CLIO が常温において熱雑音レベルの感度を達成した。TAMA は能動防振装置導入後、感度を更新した。これらにより LCGT の基礎技術がいっそう実証された。また SPI や RSI の導入について検討が進んだ。

神岡での重力波観測 (VII)

三代木伸二 (東京大学 宇宙線研究所)

低温レーザー干渉計重力波アンテナ (CLIO) は、20Hz 以下で地面振動、20Hz から80Hz の間は、振りの熱雑音、80Hz から250Hz の間はサファイア鏡の熱雑音、250Hz 以上は光の Shot 雑音で制限される、常温運転での目標感度を達成した。

天然放射性核種 Be-7、Pb-210降下量の季節変動に関する研究

地下実験室の環境連続計測

大橋 英雄 (東京海洋大学)

柏地下実験室では2002年7月よりラドン濃度、温度・湿度、液体窒素重量、大気圧の連続計測を行っている。今年度当初に除湿機の導入を行い、梅雨期にも結露が発生しなかった。しかしラドンモニター

のトラブルによる欠測頻度が高いため、モニターの更新を検討する必要がある。降雨中に含まれる天然放射性核種を有効面積0.2m²の水盤で捕集、イオン交換樹脂に吸着・乾燥させた試料を柏地下室のγ線検出器で測定している。Be-7、Pb-210とも雨量依存性が高いが、Be-7では春季ピークが、Pb-210では黄砂の影響が見えている可能性があり、継続測定が必須である。

南極宇宙塵の化学的研究

南極隕石の Al-26放射能の測定

福岡 孝昭 (立正大学)

南極ドーム Fuji 基地での氷床コア試料の掘削時に生じる切削クズ中から、宇宙塵と思われる粒子を数粒回収した。ドーム Fuji の氷床コアの年代は約72万年と言われているので、年間の降下率とその時間変化を知り得る可能性が出た。南極やまと隕石中に26Al 含有量の極めて低い物が存在することが明らかになった。これは10万年を超える落下年代を示唆するが、このような古い落下年代の隕石は南極やまと地域では極めて稀である。

Be-7、Na-22などによる宇宙線強度時間変化の検出

年輪中の放射性炭素測定と微量放射性同位元素分析による過去の宇宙線強度変動の研究

櫻井 敬久 (山形大学)

2000年から9年間の大気中宇宙線生成核種 Be-7、Na-22濃度の日変動、季節変動、年変動測定結果と太陽活動および大気運動の関連について報告した。また、古木年輪中の安定同位体の利用について報告した。

宇宙の進化と素粒子模型

川崎 雅裕 (東京大学 宇宙線研究所)

今年度行った研究の中からダークマター粒子の対消滅や崩壊によって生成される陽電子・電子やニュートリノの観測的シグナルについて最近の PAMELA と ATIC の実験データとの関連で紹介し、実験を説明するダークマターのモデルが銀河中心で観測可能なニュートリノフラックスを生成すること

と対消滅のモデルが宇宙初期の元素合成から制限を受けることを示した。

最高エネルギー太陽宇宙線の観測的研究

村木 綏 (甲南大学)

太陽フレアで加速される陽子の加速限界を実験で明らかにするために、乗鞍観測所の1号太陽中性子望遠鏡を改造して、入射粒子の種類が識別できるようにした。 γ 線が中性子と区別できるようになった。太陽で陽子が1 TeVまで加速されれば、その陽子が地球大気で作り出す γ 線が本装置で受信できるはずである。

第24太陽活動期における太陽中性子の観測

松原 豊 (名古屋大学 太陽地球環境研究所)

乗鞍での太陽中性子観測では、太陽電池と風力発電によりデータ収集を行っている。太陽電池で必要な電力をほぼまかなえているが、風力発電についてはまだ安定な稼働は実現されていない。2009年5月からは宇宙ステーション「きぼう」で稼働する中性子検出器と合わせ広いエネルギー範囲で太陽中性子のスペクトルを測定できる。風力発電の安定な稼働を早期に実現し、第24太陽活動期でのイベント取得に臨みたい。

エマルションチェンバーによる高エネルギー宇宙線電子の観測

吉田 健二 (芝浦工業大学)

2008年7月にCERN-SPSにおいて、エマルションチェンバーのビーム照射実験を行った。ECCの製作および現像には東大宇宙線研のエマルション実験用設備を利用しており、本実験の遂行には必要不可欠な設備である。

雷や雷雲からのX線・ γ 線を利用した電場による粒子加速の検証

土屋 晴文 (理化学研究所)

乗鞍観測所で2008年9月4日から10月2日まで、雷活動に伴う高エネルギー放射線の観測を行った。その結果、雷放電に同期し継続時間が1秒以下のバーストを3例、また雷放電には全く同期せず90秒ほど続くバーストを1例、検出することに成功した。

スーパーカミオカンデ実験

中山 祥英 (東京大学 宇宙線研究所)

長期にわたる安定した高速・高精度観測を実現すべく開発をおこなってきた新エレクトロニクスシステムが、9月に導入された(SK-IV)。データ収集は順調。太陽・大気ニュートリノ解析では、SK-I

とIIのデータから振動パラメータをより精度良く測定した。SK-IIIのデータは解析中。核子崩壊の解析では、幅広い崩壊モードでこれまでの寿命下限値を更新した。

極低濃度ラドン測定システムの開発

田阪 茂樹 (岐阜大学)

純水中ラドン濃度0.1mBq/m³以下の検出を目指して、極低濃度ラドン測定システムを開発している。測定のプロセスとしては、1)脱気、2)除湿、3)吸着、4)脱離、5)計測、と分けられ、平成20年度は、3)~5)の各プロセスの試験を行い、ラドンの活性炭吸着率、脱離率を測定した。

大気ニュートリノフラックスの精密計算

本田 守広 (東海大学)

これまでの低エネルギー相互作用モデルNUCRINに代わり、PHITSを導入した。その結果、上空でのミューオンフラックスの再現性が向上し、大気ニュートリノフラックスは1 GeV以下で増加が見られた。

100万トン水チェレンコフ検出器(ハイパーカミオカンデ)の開発研究

金行 健治 (東京大学 宇宙線研究所)

100万トン水チェレンコフ検出器に対する検出器の性能の要請として、陽子崩壊の探索に対する光センサーの数の要請について、最近SKで行われた核子崩壊($N \rightarrow l^+ + \text{light meson}$, $p \rightarrow \nu K^+$)の解析結果を使って評価した。結論として、100万トン水チェレンコフ検出器を用いた $N \rightarrow l^+ + \text{light meson}$, $p \rightarrow \nu K^+$ 等の核子崩壊探索についてはphoto coverageが20%の検出器でも、photo coverageが40%の検出器の8割のefficiencyが達成できることがわかった。

スーパーカミオカンデによる10TeV宇宙線強度の恒星時日周変動の観測

宗像 一起 (信州大学)

チベット空気シャワーアレイで観測された異方性が、太陽圏尾部の非対称構造に起因すると思われる特徴的な成分を内包することを発見した。この構造をモデル化することによって、尾部構造や局所銀河磁場の方向に関する貴重な情報が得られるものと期待している。

ニュートリノ振動精密測定のためのニュートリノ原子核反応の研究

作田 誠 (岡山大学)

現在解析中の電子原子核反応実験E04-001の超前

方データを使えば、原子核効果が大きく且つニュートリノ反応への寄与が大きい超前方でも準弾性領域から共鳴領域まで定量的にもある程度良く合うニュートリノ原子核反応モデルが得られると期待される。

Ref. H.Nakamura, M.Sakuda et al, Phys. Rev. C76, 065208, 2007

IceCube 実験 吉田 滋 (千葉大学)

IceCube 実験の共同利用として、宇宙線研究所の計算機システムを使ったモンテカルロシミュレーションデータ生成を実施した。日本グループが主導的に推進している EeV 領域の極高エネルギー宇宙ニュートリノ探索における主要なバックグラウンドである大気ミュー束事象を研究するために、Corsikaコードによる空気シャワーシミュレーションを IceCube 実験専用シミュレーションフレームワークに組み入れて実行した。生成されたおよそ 2 TB のデータは解析に供され、2007年の観測データとの詳細な比較が進行中である。

液体キセノン検出器を利用した暗黒物質探索実験

鈴木 聡 (早稲田大学)

神岡地下実験室で15kg 2相型キセノン検出器による約2日間の暗黒物質直接探索実験を行なった。その結果、2ヵ月以上の探索実験を行うと、現在の探索領域の下限値を下回る結果が得られることが分かった。

高山における大気発光現象と雲による反射、散乱の測定 榊 直人 (青山学院大学)

超高エネルギー宇宙線を観測する JEM-EUSO ミッションにおける雲上での夜光量を見積もるために乗鞍観測所において夜光観測を開始した。本年度は天候に恵まれなかったが、晴天時、上空からの夜光を300-400nmの間の8波長帯について観測することができた。

ガンマ線バーストの迅速な発見、観測による宇宙形成・進化の研究 河合 誠之 (東京工業大学)

明野観測所に設置した3色同時撮像ロボット望遠鏡を用いてガンマ線バースト (GRB) 残光の追跡と活動銀河核のパトロール観測を行っている。自動観測システムに改善を加え、2008年4月から12月までの間に15件のGRB観測を試み、2件について残光検出に成功した。特にGRB080506ではバースト継続中に観測を開始し、 γ 線・可視光同時観測に成

功した。

乗鞍岳におけるミューオン強度の精密観測

宗像 一起 (信州大学)

電源復旧時に観測を自動的に再開させるため、「IPスイッチ」を用いたシステムを導入した。このシステムは2008年12月に実際に稼働し、所期の動作が行われていることが確認できた。これにより、冬季観測の可動率が大幅に改善されることが期待される。

大型ミューオンテレスコープによる銀河宇宙線強度の観測

小島 浩司 (名古屋女子大学)

明野観測所及びGRAPES3でのミューオン強度変動の同時観測は「CMEなどによる惑星間空間衝撃波の到来予想」等を主たる目的として観測を続けている。2008年度については、落雷等による観測機器の破損によりほとんどの期間まともに観測が実施できなかったのが大がかりな電子回路のオーバーホール及び記録用PCの交換とソフトのメンテナンス等の対策を講じている。

Knee 領域および最高エネルギー領域での宇宙線反応の実験的研究

増田 公明 (名古屋大学 太陽地球環境研究所)

LHC 加速器を用いて超高エネルギーのハドロン相互作用モデルを検証する LHCf 実験は前置検出器を加えて全体の設置が完了し、LHCの稼働再開を待っている。一方、ハドロン相互作用モデルを検討する研究会に参加して相互作用モデルの理解を深めている。

長期間気球観測による高エネルギー宇宙線加速天体の研究 鳥居 祥二 (早稲田大学)

高エネルギー宇宙電子線の長期間気球観測により、暗黒物質・近傍ソースの探索を行うことを目的として、将来のISS搭載用観測装置 (CALET) の気球搭載用プロトタイプの研究・開発を実施した。

CANGAROO 実験

榎本 良治 (東京大学 宇宙線研究所)

平成20年度にフェルミ衛星と覚書を交わし今後は共同観測などを行っていくことになる。また将来計画 R&D に関しても米、ヨーロッパなどと覚書を交わすことになっている。望遠鏡は劣化が認められ改修、改良が必要とされる (予算申請中)。そのための R&D の一部を今年度行った。物理結果としては6篇の論文が査読付雑誌に掲載され、さらにいくつ

かが投稿の準備中である。

テレスコープアレイ実験

櫻井 信之（東京大学 宇宙線研究所）

TA 検出器は2種の検出器による空気シャワー同時観測をおよそ一年にわたって順調に継続している。地表検出器のシステムが改良されアレイ全領域で統合的にデータ収集できるようになった。電波による観測の可能性についても調べた。

Auger 計画の最高エネルギー宇宙線観測データの解析

山本 常夏（甲南大学）

本研究により、宇宙線研究所のコンピュータシステムを利用し Pierre Auger 観測所で収集された宇宙線観測データの解析を行った。この解析結果は共同研究者に定期的に配信されより詳細な解析のために役立てられている。

チベット高原での高エネルギー宇宙線の研究

大西 宗博（東京大学 宇宙線研究所）

中国チベット自治区羊八井（標高 4,300m）に約 37,000 m²の空気シャワー観測装置を展開し、3 ~ 100 TeV の高エネルギーガンマ線放射天体の探索、10¹⁴ ~ 10¹⁷ eV の宇宙線の観測から宇宙線の起源、加速機構の研究等を行っている。本講演では2008年に公表した研究成果と将来計画（Tibet MD 計画）を中心に発表した。

ボリヴィア空気シャワー共同実験

常定 芳基（東京工業大学）

BASJE グループでは10¹⁶ eV 以上の宇宙線原子核組成を解明するために、従来の100倍の観測面積を持つ新しい空気シャワーアレイを建設した。08年度は信号ケーブルの交換を行い、ノイズ減少によってデータの質を向上させた。また空気シャワーからの同時チェレンコフ光観測実験も準備を進めている。

全天高精度素粒子望遠鏡計画 Ashra 観測

小川 了（東邦大学）

光学閃光の高効率広視野監視とタウニュートリノによるチェレンコフ観測を目標に6月より観測を開始した。4シーズンに渡り99%の稼働効率で観測し全時間の20%以上の Duty を実現した。光ファイバー伝送系を含むチェレンコフトリガー系の実装を行い、12月3日に発生した GRB 天体に対し、光学閃光とタウニュートリノのクロス観測による探査も行った。このように本年度の目標を達成しつつある。

XMASS 実験

山下 雅樹（東京大学 宇宙線研究所）

第一期の目標として、液体キセノン1トンを用いた暗黒物質探索装置の開発研究を行う。2007年から準備が進められ、2008年秋から探索開始をめざす。感度は現在最高感度のほぼ2桁以上良い観測をするデザインになっている。

液体キセノンの発光スペクトルの研究

中村 正吾（横浜国立大学）

液体キセノンの発光スペクトルの精度良い測定法を研究した。プラスチックシンチレータを用いた試験で同時計数法によりピーク波長を1 nm 以下の精度で決めることに成功したので、次に液体キセノンで測定する予定である。

ガス飛跡検出器による方向に感度を持つ暗黒物質探索実験

身内賢太朗（京都大学）

我々は独自に開発した三次元ガス飛跡検出器「マイクロ TPC」を用いた方向に感度を持つ暗黒物質探索実験「NEWAGE」を提唱、平成17年度より ICRR 共同利用研究を行っている。平成20年度には、地下実験室での検出器の詳細な性能評価（astroparticle physics, in press）および検出器内部の放射性不純物によるバックグラウンドの研究を行い、検出器の感度の向上を行った。

レーザー伸縮計と超伝導重力計の同時観測による地球の固有振動の研究

神岡における繰返し 絶対重力測定と重力季節変化

田村 良明（国立天文台）

東 敏博（京都大学）

超伝導重力計による相対的な重力変化の観測と絶対重力計による測定の比較から、陸水（積雪、地下水）分布の変化が要因と考えられる重力の季節変化が捉えられた。また両装置の組み合わせにより、数日内の短期から数年の長期の重力変動を捉えられることを示した。

48Ca の二重ベータ崩壊の研究

小川 泉（大阪大学）

二重ベータ崩壊研究を目的として、Q 値が最大の 48Ca を含む CaF₂ シンチレータを主検出器とする CANDLES 装置の建設を神岡地下実験室にて行っている。また並行して大阪大学（地上）に建設したプロトタイプ装置を用いて、装置の開発・性能評価を行った。

一般公開

2008年度柏キャンパス一般公開

東京大学宇宙線研究所一般公開委員長 金 行 健 治

2008年10月24、25日に今年度柏キャンパス一般公開が行われた。24日は残念ながら天候が悪く雨天となったが、25日は天候も良く、大勢の来場者が柏キャンパスの各研究所、部局を訪れ、盛況であった。特に今年度のノーベル物理学賞と関連して、数物連携宇宙研究機構長の村山氏の講演（消えた反物質の謎）は立ち見が出たほど人気が高かった。

今年度の宇宙線研究所の一般公開では、各研究グループの展示説明、ビデオ上映、先号のICRR ニュースにもあった、サイエンスカフェ、霧箱の体験コーナー等をおこなった。各研究グループの展示説明では、今年度各研究グループのポスターをできるだけ最新のものにしてもらい、また、実際に研究に使っている、または使っていた機器、検出器等を来所者が実際に手にとって見れるようにした。さらに、各研究グループから学生、所員を出してもらい、来所者に自分たちの研究のおもしろさ、苦勞している点等を直接説明してもらった。来所者のアンケートに対する返答をみても、これらの説明は少し難しかったかもしれないが、おおむね好評で、宇宙線研究所で行っている研究に対して興味を持ってもらえたようである。

他研究所、新領域等でも一般公開が行われ、多く

の来場者でにぎわっていた。特に子供連れの来所者が多かったこともあり、ふうせん、メダカすくい、七宝焼き等の親しみやすいコーナーの人气が高かった。また、サイエンスカフェの試みが宇宙線研以外でもおこなわれ、来場者に好評であったように思われる。

一般講演では数物連携宇宙機構の村山機構長の「消えた反物質の謎」、新領域創世科学研究科の早稲田准教授の「海の安全—巨大波の予測・監視の可能性—」、人工物工学研究センターの稲葉教授による「カーボンフットプリント—商品へのCO₂排出量の添付—」と多分野にわたる講演が柏図書館メディアホールでおこなわれた。特に村山機構長の講演は今年のノーベル賞効果もあり立ち見が出て、質問も大量にあり非常に盛況であった。

宇宙線研究所の来所者数は、雨天であった24日は253名、25日は512名であり、2007年度と比べると約6割増となった。来所者のうち、柏市、流山市在住の方が過半数で、複数回来ている人もいて、地元の人達にも柏キャンパスの一般公開が恒例行事となってきたおり、柏キャンパスが地元に関わり込んできたという印象をいただいた。



人事異動

発令日	氏名	異動内容	職
H21. 2. 1	矢吹正教	新規採用	特任研究員
H21. 3. 1	安田直樹	数物連携宇宙研究機構へ昇任	准教授→教授
H21. 3. 31	森正樹	辞職	教授
H21. 3. 31	林田直明	退職（定年退職）	助教
H21. 3. 31	小林孝英	退職（再雇用満了）	技術職員
H21. 3. 31	長根尾信義	退職（早期退職）	宇宙線研担当課長

ICRR-Seminar 2008年度

12月1日(月) 鳥居 祥二氏（早稲田大学）
 “南極周回気球により観測された電子・陽電子スペクトルとその解釈”

12月2日(火) Gerasimos Rigopoulos 氏（University of Helsinki）
 “On the Infrared divergences of Inflationary Perturbations”

12月12日(金) 宮川 治氏（宇宙線研究所）
 “次世代型重力波検出器の開発”

12月16日(火) 田島 宏康氏（SLAC National Accelerator Laboratory）
 “Gamma-ray Universe revealed by Fermi Gamma-ray Space Telescope”

12月24日(水) 寺澤 敏夫氏（東京工業大学）
 “粒子加速と伝播：プラズマ物理と宇宙線”

1月9日(金) Carsten Rott 氏（Ohio State University）
 “Neutrino Oscillation Measurements at the South Pole”

2月27日(金) Federico Urban 氏（University of British Columbia）
 “The cosmological constant as a manifestation of the conformal anomaly”

3月17日(火) German Hermann 氏（Max-Planck-Institut fuer Kernphysik）
 “Ground-based gamma-ray astrophysics: today and tomorrow”

ICRR-Report 2008年度

ICRR-Report-532-2008-7 (February 6, 2009)
 “A Realistic Extension of Gauge-Mediated SUSY-Breaking Model with Superconformal Hidden Sector”
 Masaki Asano, Junji Hisano, Takashi Okada, and Shohei Sugiyama

ICRR-Report-533-2008-8 (November 4, 2008)
 “Cosmological Moduli Problem from Thermal Effects”
 Kazunori Nakayama and Fuminobu Takahashi

ICRR-Report-534-2008-9 (January 21, 2009)
 “Precision Measurements of Little Higgs Parameters at the International Linear Collider”
 Eri Asakawa, Masaki Asano, Keisuke Fujii, Tomonori Kusano, Shigeki Matsumoto, Rei Sasaki, Yosuke Takubo, and Hitoshi Yamamoto

ICRR-Report-535-2008-10 (December 17, 2008)
 “Neutrino Signals from Annihilating/Decaying Dark Matter in the Light of Recent Measurements of Cosmic Ray Electron/Positron Fluxes”
 Junji Hisano, Masahiro Kawasaki, Kazunori Kohri, and Kazunori Nakayama

ICRR-Report-536-2008-11 (January 23, 2009)
 “Cosmic Rays from Dark Matter Annihilation and Big-Bang Nucleosynthesis”
 Junji Hisano, Masahiro Kawasaki, Kazunori Kohri, Takeo Moroi and Kazunori Nakayama

No.68 2009年3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 (04) 7136-5121 又は 0578-85-9609 (神岡)
編集委員 佐川宏行 安部 航