

CONTENTS

P 1.
スーパーカミオカンデ
ーガドリニウムプロジェク
トの現状報告
・・・関谷 洋之

P 10.
神岡における
レーザーひずみ計による
地殻観測
・・・高森 昭光

P 14.
平成 27 年度
東京大学宇宙線研究所
共同利用研究成果発表会報告
・・・三代木伸二

P 20.
イベント報告

P 22.
人事異動

P 23.
ICRR Seminar

HIROYUKI SEKIYA, ICRR - Super-Kamiokande Group

研究紹介



神岡宇宙素粒子研究施設
関谷 洋之

スーパーカミオカンデ ーガドリニウムプロジェクトの現状報告

2015年ノーベル物理学賞の受賞テーマであるニュートリノ振動の発見に貢献した実験装置「スーパーカミオカンデ」は、次の計画に向けて動き出している。その名も、スーパーカミオカンデーガドリニウム (SK-Gd) プロジェクト。タンク内の超純水にガドリニウムを混ぜて反電子ニュートリノの検出効率を高め、宇宙空間を漂う過去の超新星爆発により放たれたニュートリノの世界初検出などを目指す。本計画は2015年6月の共同研究者会議で承認されて、正式にスーパーカミオカンデの次期計画となった。本計画の現状について紹介する。

1 SK-Gd 計画の概要

SK-Gd 計画は、スーパーカミオカンデ (SK) の 50,000 トンの水に 0.2% の硫酸ガドリニウム $Gd_2(SO_4)_3$ を 100 トン溶かし (0.1% の Gd 濃度)、反電子ニュートリノと陽子が反応した際に生成される陽電子と中性子とをいわゆる遅延同時計測法によって検出する計画である。

ニュートリノを発見したライネスとコワンが使用した手法^[1]で、彼らは中性子捕獲原子核としてカドミウム (Cd) を用いたが、我々は最近の液体シンチレータによる原子炉ニュートリノ実験^[2]と同様に、ガドリニウム (Gd) を用いる。Gd は中性子の吸収断面積が非常に大きい物質であり、かつ吸収後に総計 8MeV のガンマ線を放出する。そのため Gd を添加することに

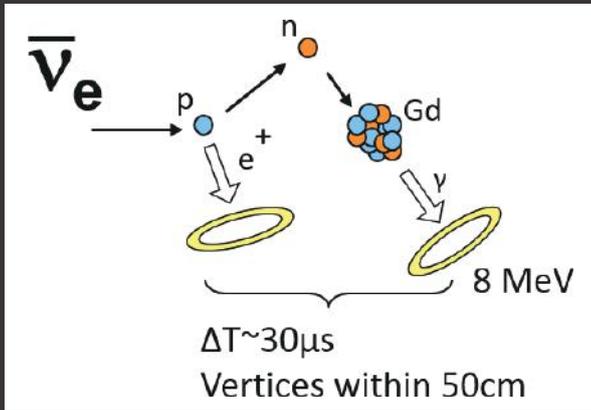


図 1：水チェレンコフ検出器における Gd による反ニュートリノ遅延同時計数法の原理

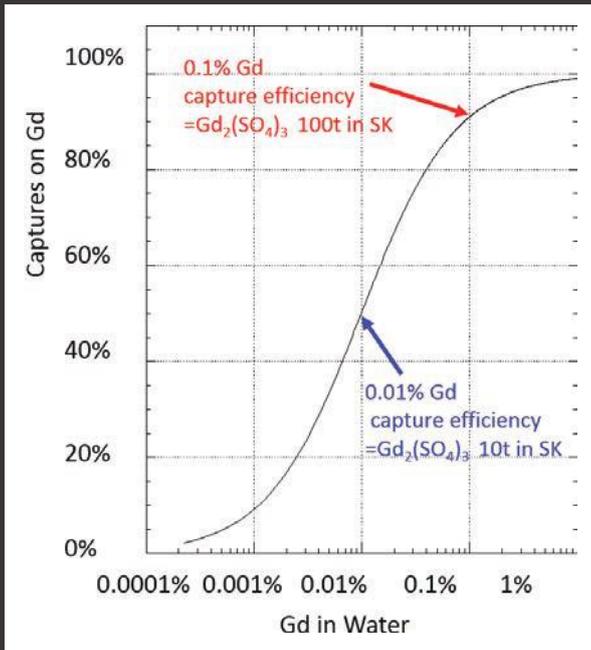


図 2：Gd 濃度と中性子捕獲効率との関係。

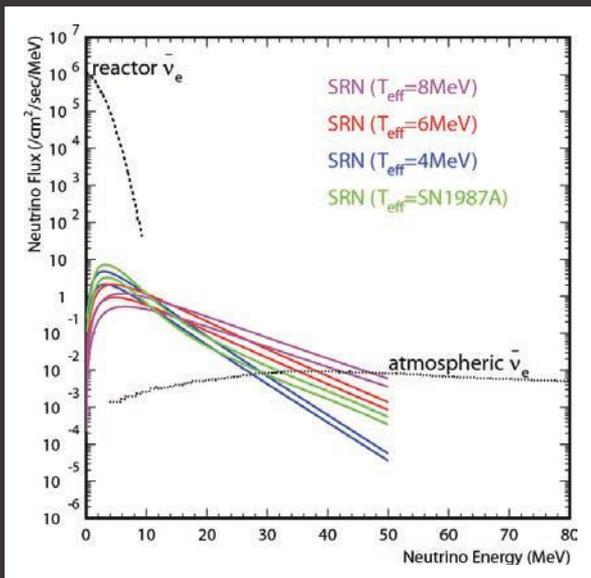


図 3：DSNB の予想されるエネルギースペクトルと他のニュートリノ（原子炉 / 大気ニュートリノ）との比較。^[5]に基づく。

“過去の超新星爆発で放たれたニュートリノを観測 爆発のエネルギーの本質や、 質量の大きな星の歴史に迫る”

よって、水チェレンコフ検出器においても中性子を検出できるようになる（図 1）。

図 2 にガドリニウムの濃度と中性子捕獲効率との関係を示す。ガドリニウムの主成分である ^{157}Gd (存在比 15.7%) は 254000barn、 ^{155}Gd (存在比 14.8%) は 60900barn、の中性子吸収断面積をもち、それらは水素原子の 0.332barn に比べて圧倒的に大きいため、0.1% の Gd 濃度でも 80% 以上の捕獲効率を有する。また、吸収後の反応はほとんどが $\text{Gd}(n,\gamma)\text{Gd}$ であり、 ^{157}Gd の場合 7.9MeV、 ^{155}Gd の場合 8.4MeV の総エネルギーをもつ数個のガンマ線によって放出される (^{157}Gd 、 ^{155}Gd の相対的な寄与は 80.5% と 19.3% である)。

水チェレンコフ検出器ではガンマ線がコンプトン散乱や電子陽電子対生成などの反応でエネルギーの高い電子や陽電子を生成し、これらの出すチェレンコフ光を検出することになるため、実際にどのように見えるかは検証する必要があった。そこで我々は 0.1% 濃度の Gd 水溶液をいれたアクリル容器を実際に SK タンクに導入して検証実験を行った^[3]。具体的には、アクリル容器の中央に BGO 結晶で囲んだ Am/Be 中性子線源を置いて、BGO 結晶でのシンチレーション光を先発信号として使用し、後発の $\text{Gd}(n,\gamma)\text{Gd}$ による信号を捉えた。その結果 $\text{Gd}(n,\gamma)\text{Gd}$ の電子換算エネルギーは平均 4.3MeV であり、発生位置は 92% の効率で 2m 以内に求められることが分かった。また、 $\text{Gd}(n,\gamma)\text{Gd}$ 事象は複数のガンマ線からチェレンコフ光が発せられるために 1 粒子のリングパターンとは異なることが分かり、このパターンによる情報も信号選出に使えることもわかった。

SK-Gd は元々 2004 年に GADZOOKS! (Gadolinium Antineutrino Detector Zealously Outperforming Old Kamiokande, Super!)^[4] という名前で提案されていた計画で、2015 年 6 月 27 日に SK コラボレーションミーティングで正式承認され本名称となった。

2 SK-Gd で目指す物理

SK-Gd の最大の目的は、過去の超新星爆発からのニュートリノ（超新星背景ニュートリノ supernova relic neutrino, SRN もしくは Diffuse Supernova Neutrino Background, DSNB と呼ばれている）をとらえることである。宇宙には約 10^{10} 個の銀河があり、それぞれの銀河には約 10^{10} 個の恒星があるので、宇宙には 10^{20} 個の恒星がある。これらのうち 0.3% は質量が太陽質量の 8 倍以上の星であり超新星爆発を起こすと考えられている。したがって、今までに 10^{17} 回の超新星爆発が起きてきたことになり。こうした数多くの超新星爆発

からのニュートリノは我々の身の回りに蓄積されていると考えられる。超新星爆発によって生まれるエネルギーの99%はニュートリノによって星から放出される。したがって、DSNBを観測することができれば、超新星爆発によるエネルギーの本質を探ることができる。また、DSNBは宇宙の始めから今までに起きた超新星爆発から発せられたニュートリノの蓄積なので、宇宙における元素の源である大質量星の歴史についても探ることができる。図3は理論から予想されるDSNBのエネルギー分布を示す。モデルによって強度の大小はあるが、数個/cm²/sec程度の強度であり、⁸B太陽ニュートリノの5桁以上も低い強度である。しかし、太陽ニュートリノは『ニュートリノ』なので『反』電子ニュートリノが同定できればバックグラウンドとはならない。バックグラウンドとなる反電子ニュートリノの源としては、10MeV以下では原子炉からのニュートリノ、30MeV以上では大気ニュートリノがあるが、その間の10-30MeVには図3が示すようにDSNBを観測できる窓が開かれている。しかし、極めて小さい強度から予想されるように期待されるイベントの頻度は、22.5キロトンのSKの有効体積をもってしても年間0.8-5イベント程度である。今までにもSKでDSNBを探索する解析が行われてきたが、宇宙線起源のバックグラウンドに阻まれて発見はできなかった。SK-IVにおいては、電子回路を更新したことによって、陽電子と陽子による中性子捕獲による2.2MeVガンマ線の遅延同時計数が可能になった。しかし2.2MeVのガンマ線を利用する方法では中性子検出効率が20%程度しかないため、反応の際の陽電子のみを探索する方法のほうが、図4に示すようによい制限を与える結果になっている^[6,7]。

図5に、SK-Gdでの観測を行った場合に予想されるエネルギースペクトルを示す。SK-Gdで10-30MeVで予想される主なバックグラウンド源は大気ニュートリノ反応に伴って中性子が出てくるイベントである。大気反電子ニュートリノによる陽電子や、大気ミューニュートリノ起源で発生するチェレンコフ光閾値以下のエネルギーのミュー粒子 (invisible muon) が崩壊して出る電子、さらには大気ニュートリノと原子核の中性カレント反応によって出てくる

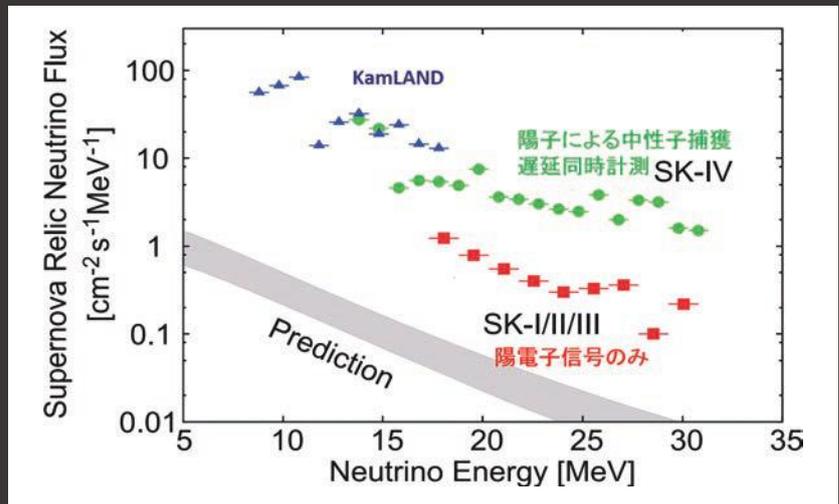


図4：現状のDSNBに対する制限

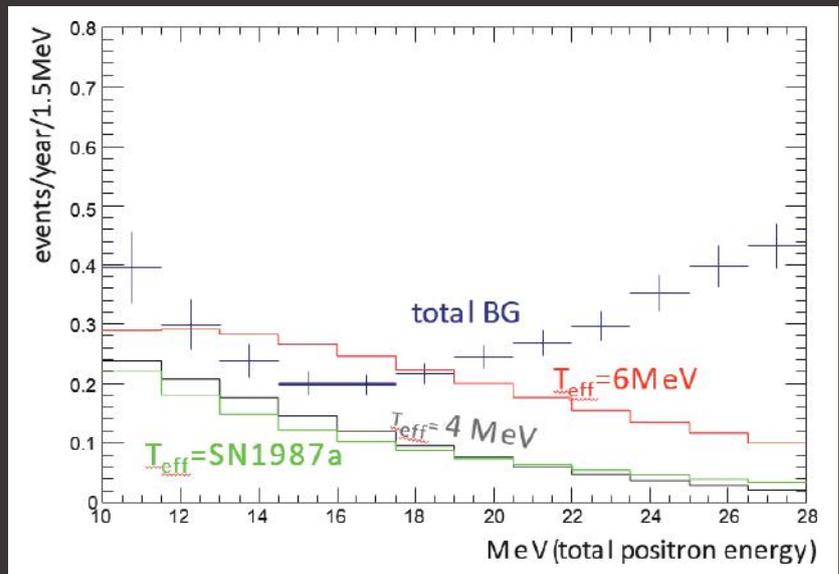


図5：SK-Gdでの観測で予想されるDSNBのスペクトル^[5]とバックグラウンドスペクトル。バックグラウンドについては、中性子の同時計測をすることによって、 ν_e CC反応によるものは現状のSKの1/4に、 ν_e NC反応によるものは2/3に、NC elastic反応によるものは1/3に低減できると仮定している。

表1：SK-Gd10年間で期待されるDSNB信号の有意度

モデル	10-16MeV (evts/10yrs)	16-28MeV (evts/10yrs)	Total (10-28MeV)	有意度 (2 energy bin)
$T_{\text{eff}}=8\text{MeV}$	11.3	19.9	31.2	5.3σ
$T_{\text{eff}}=6\text{MeV}$	11.3	13.5	24.8	4.3σ
$T_{\text{eff}}=4\text{MeV}$	7.7	4.8	12.5	2.5σ
$T_{\text{eff}}\text{SN1987a}$	5.1	6.8	11.9	2.1σ
BG	10	24	34	—

ガンマ線などが遅延同時計数にかかってしまう。特に16MeV以下のエネルギー範囲では中性カレント反応によるバックグラウンドが効いてくるが、Gd捕獲の中性子の数が1つのみの事象を選び出す解析手法によって低減可能になっている。表1に

SK-Gdによる観測10年間で期待されるDSNBの事象数とバックグラウンド事象数をまとめた。各モデルによって有意度は異なるが、 3σ レベルの検証が可能である。

反電子ニュートリノの同定は、我々の銀河でおこる超新星爆発の検出にも役立つ。

“超新星爆発の方向を決める精度が向上 超新星爆発の「予知」ができるかも”

我々の銀河（10kpcの距離）で超新星爆発が起きたとすると約8000事象のニュートリノ反応が予想されるが、そのうちニュートリノの到来方向情報を保った事象（ニュートリノと電子との弾性散乱事象）は300事象程度であり、それ以外は反応に方向性をあまりもたない反電子ニュートリノと陽子との反応である。反電子ニュートリノ事象は、超新星の方向決定においては「バックグラウンド」となっている。したがって、反電子ニュートリノの事象を同定することができれば、それらを外して方向分布を作ることにより方向決定精度を向上させることができる。図6は超新星爆発が10kpcの距離で起きた場合のSKでのニュートリノの事象の方向再構成のシミュレーションである。中性子同定効率が0%から80%にあがるに従い、方向決定精度が5度から3度程度まで向上する。

また、反電子ニュートリノ反応による中性子を使って「超新星爆発の予知」ができる可能性が示唆されている^[8]。大質量星は、水素燃焼、ヘリウム燃焼、ネオン燃焼、酸素燃焼、ケイ素燃焼という過程を経て、コアの重力崩壊＝超新星爆発を迎える。最後のケイ素燃焼の期間は2日程度であるが、その間に 5×10^{50} ergのエネルギーがニュートリノによって放出されると考えられている。このニュートリノは3MeV程度以下の低エネルギーであるため、陽電子の方は捉えることができないが、中性子の方はGdに捕獲されてガンマ線事象として観測される。もし0.2kpcの距離にあるべ

テルギウスが超新星爆発を起こす場合には、ケイ素燃焼の2日間に中性子による事象が1日あたり1000事象ほど期待される。

この他にも、SK-GdはT2K反電子ニュートリノビーム事象選別や、陽子崩壊探索時のバックグラウンド低減等、SKで遂行中の実験の感度向上に寄与するが、ここでは触れない。

3 SK-Gd 実現に向けた開発研究

SKは超純水を使用することを前提に設計・建設された検出器であり、Gdを導入するためには、様々な改造と開発および検証のための研究を行わなければならない。もっとも重要な課題は、0.2%の $Gd_2(SO_4)_3$ を超純水に溶かしてもチェレンコフ光の透過率を保てるかどうか検証することであった。SKコラボレーションに計画承認され、重要なマイルストーンに到達したのは、SKを模擬した200m³検出器による実験によってそれを実現できる技術を確認したことによる。SKへのGd導入に向けこれまでに確認したこと、および今後開発しなければならないことを述べる。

3.1 Gd化合物の選択とSKタンクへの影響

Gdは単体では水に溶解しないため、化合物の形で溶解させる必要がある。した

がって、Gd化合物水溶液によってSKで使用されている部材が溶けだしたり、腐食したりすることがないかが最初に検証すべきことであった。特にSKの構造体であるステンレス（SUS304）については、詳細な腐食試験が行われた。塩化ガドリニウム（ $GdCl_3$ ）、硝酸ガドリニウム（ $Gd(NO_3)_3$ ）、および硫酸ガドリニウム（ $Gd_2(SO_4)_3$ ）の水溶液について試験を行い、いずれの水溶液もステンレス構造体の強度を弱めるような腐食性はなかったが、 $GdCl_3$ 水溶液では鉄イオンの溶出により水溶液が黄色に変色する可能性があることが分かった。一方、 $Gd(NO_3)_3$ 、 $Gd_2(SO_4)_3$ 水溶液ではそうした色の変化は見られなかった。しかし、 $Gd(NO_3)_3$ 水溶液には光の吸収において問題があり、350nm以下の波長の光を強く吸収し、チェレンコフ光を30%近く吸収してしまうことが判明した。そこでステンレスからの溶出や光の吸収において問題のなかった $Gd_2(SO_4)_3$ をSKの純水に溶かすガドリニウム化合物として選択した。SKのタンク内ではステンレス以外に全部で31種類の部材が使われている（例えば、光電子増倍管のガラス、衝撃波防止ケースの亚克力、FRP、その他PET製ブラックシート、ポリエチレン製タイバックシートなど）。それらすべての物質についても $Gd_2(SO_4)_3$ 水溶液への浸漬試験として、各部材を数カ月以上浸し水溶液の透過率の変化などを測定した。ほとんどの部材について問題はなかったが、PMTを固定しているゴムバンドだけは $Gd_2(SO_4)_3$ 水溶液のみならず、比較として浸漬試験を行った純水でも変色することがわかった。しかし、サンプル量と溶液の比をSKタンクの場合にスケールすると、観測に障害となるほどの影響を与えることはないと評価された。また、ゴムの弾性率を測定し、 $Gd_2(SO_4)_3$ 水溶液によって変質することはないことも確認した。

3.2 EGADS 実験による検証

EGADS (Evaluating Gadolinium's Action on Detector Systems) は、SKへの $Gd_2(SO_4)_3$ 導入を小規模ながらシミュレーションすることを目的に建設された設備群である。SKを模擬した「200m³水チェレンコフ検出器」、 $Gd_2(SO_4)_3$ を溶解させるための

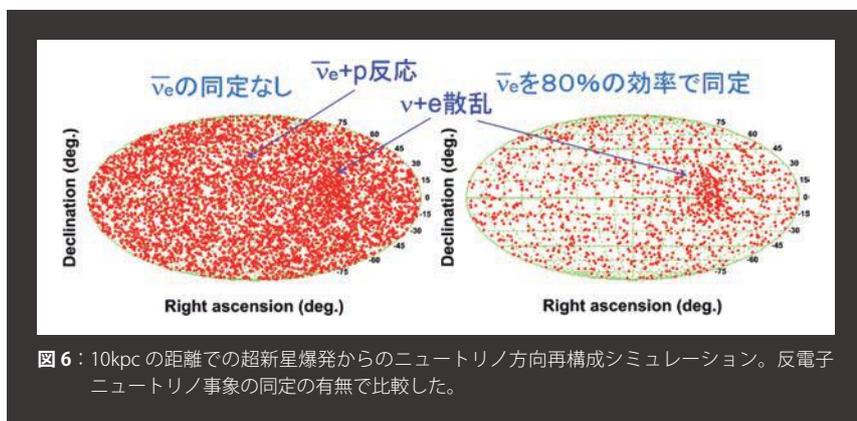


図6：10kpcの距離での超新星爆発からのニュートリノ方向再構成シミュレーション。反電子ニュートリノ事象の同定の有無で比較した。

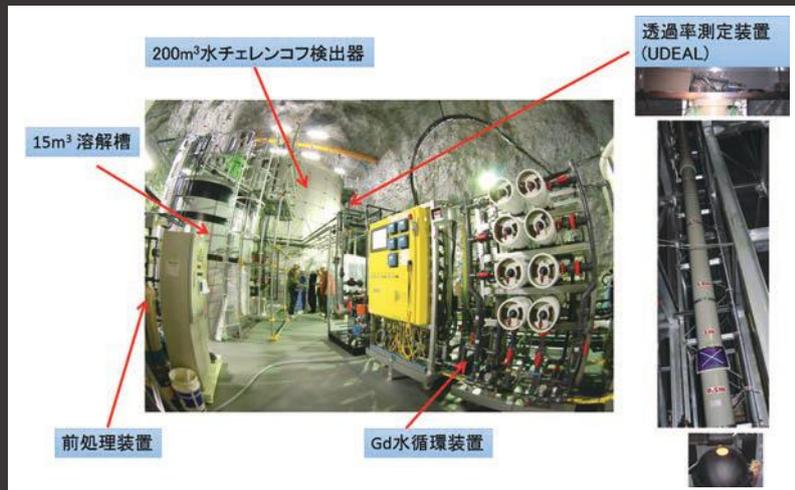


図7：EGADS 実験設備の様子

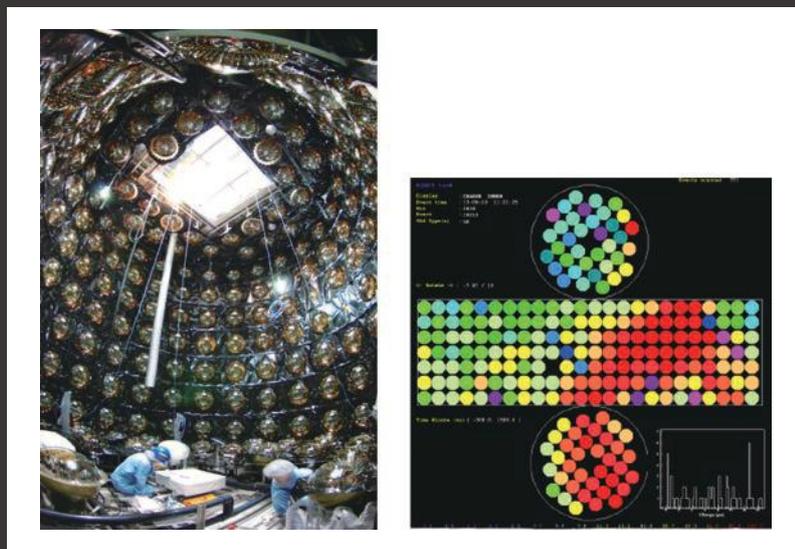


図8：200m³ 検出器の内部写真と測定された宇宙線事象のイベントディスプレイ

“特定のイオン以外を除去する、 無機化学の知識と技術が必須”

「15m³溶解槽」、作成したGd₂(SO₄)₃水溶液を予備純化する「前処理装置」、Gdを含んだ水を循環させる「循環装置」、そして「透過率測定装置」からなる。図7に実験施設全体の写真を示す。以下、各部の詳細を紹介する。

200m³水チェレンコフ検出器

タンクは直径6.5m、高さ6.2mのサイズで、中には240本の20インチ光電子増倍管を取り付けられている。ハイパーカミオカンデ（HK）用の光検出器の試験を行う

ことも兼ねており、HPDやB&L型のHK用光検出器が一部導入され、長期安定性等の確認をおこなっている。材質は構造体SUS304をはじめ、すべてSKと同じものを使用している。タンクは気密構造であり、微圧（50mmAq）ラドンフリーエアが供給されている。図8に検出器内部の写真と、得られた典型的な宇宙線事象を示す。

15m³溶解槽

溶解槽は粉の状態であるGd₂(SO₄)₃を一様に溶かすための水槽であり、15m³の

容積を持ち、槽内には攪拌機がついている。タンクの材質はポリエチレンである。200m³検出器から引き込んだ溶媒に、Gd₂(SO₄)₃を溶かし、後段の前処理装置、循環装置を通して、200m³タンクに戻すことを繰り返し、200m³タンク内のGd₂(SO₄)₃濃度を0.2%まで上昇させる。

前処理装置

一般的に水純化には、イオン交換樹脂を用いてイオンを取り除くことが必須であり、SKの超純水装置もイオン交換樹脂を純化の基本としている。Gd₂(SO₄)₃水溶液を通水すれば、Gd³⁺がカチオン交換樹脂に、SO₄²⁻がアニオン交換樹脂に、それぞれ吸着され超純水になってしまうだけである。したがって、Gd³⁺とSO₄²⁻だけを保ったまま、そのほかのイオンを除去するという技術の開発がSK-Gd実現のための本質であり、無機化学の知識と技術が必須である。

まず、SO₄²⁻を保つことができるアニオン交換樹脂の開発を行い、15m³タンクで製造したGd₂(SO₄)₃水溶液を処理する装置を用意した。市販で入手できる溶質のGd₂(SO₄)₃の純度は5Nであるが、様々な不純物が含まれており（詳細は後述）、それら不純物がどのようなイオンとして溶液中に存在するかは溶液のpHにも依存し、非常に複雑である。その中で、特にウラン（U）は自発核分裂によって、ベータ・ガンマ線を出すとともに中性子も発生するため、DSNB信号のバックグラウンドになり、除去が必須の不純物である。一般に、ウランは水中でウラニルイオン（UO₂²⁺）として存在するが、硫酸イオン共存下では硫酸ウラニルイオンUO₂(SO₄)₃⁴⁻（pH 3.0以下）もしくはUO₂(SO₄)₂²⁻（pH 3.0以上）の形であると考えられるため^[9]、開発したアニオン交換樹脂で除去できる。実際にウラン標準溶液を添加したGd₂(SO₄)₃水溶液を樹脂に通水し、ICP-MSによる分析によって一桁以上のウラン除去を確認した。

この処理装置には他に、3ミクロンフィルター、紫外線殺菌灯、0.2ミクロンフィルターが備わっており、フィルター類は未溶解の不純物を取り除くためのものであり、紫外線殺菌灯は水中のバクテリアを除去するためのものである。

循環装置

Gd³⁺とSO₄²⁻を保持したまま水を純化させるために最初に考案されていた手法はイオン交換とともに純水処理で一般的な、膜を使用する方法である。EGADSのメインの循環装置は膜を用いて2.5m³/hで処理するシステムであるが、先に述べたアニオン交換樹脂の開発が成功したため、ほぼ前処理設備と同じ構成で2.5m³/hで処理するものを追加で設置し、計5m³/hで循環している。ここではメイン循環装置の設計概念について説明をする。膜を用いて水を純化させるエレメントには、ウルトラフ

ルター (UF)、ナノフィルター (NF)、逆浸透膜 (RO) がある。UFは、膜に微細な穴を開けたフィルターであり、分子量が数千から一万ぐらいの分子の分離が可能である。それより小さいものの分離を可能にするNFとROは浸透速度の違いによって水と不純物を分離する膜であり、ROは1価のイオンも含めてすべてのイオンを分離できるのに対して、NFは価数の大きいイオンのみを分離することができる。Gd³⁺とSO₄²⁻はともに、NFでは排除ラインへと進む。そこで、図9に示すようなUF, NF, ROの組み合わせを考える。まず、UFで大

きいサイズの不純物は取り除かれる。次にNFにおいて排除ラインへ行くGd³⁺とSO₄²⁻はそのまま素通しするが、NFの透過ラインに行った水（そこには1価の不純物イオンが含まれている）は通常の純水処理手法に従ってRO、アニオン・カチオン両イオン交換樹脂を使って純化することができる。この膜を使ったシステムと前処理用に開発したカチオン交換樹脂によるシステムの組み合わせが現在のEGADSでのGd₂(SO₄)₃水溶液純化手法である。明らかになように、2価以上陽イオンは一切除去することができないが、それを含め評価することがEGADSの目的である。

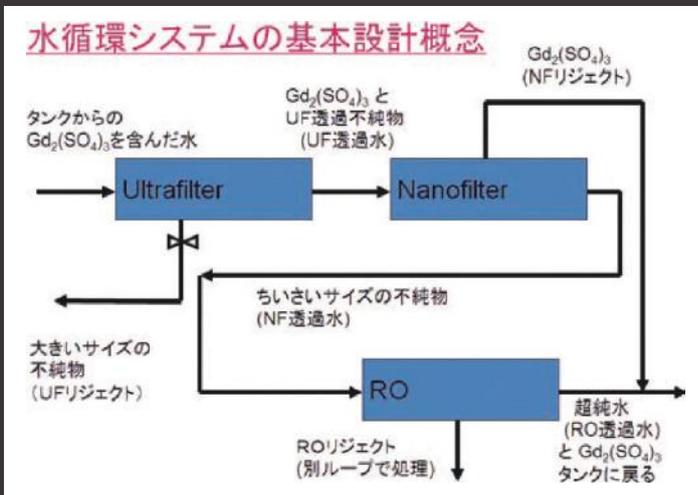


図9：Gdを保持しながら水を純化する方法の基本設計概念。

透過率測定器

200m³ 検出器は6mほどしかないので、SKのように100m近い透過率を直接測定することができない。そのため、別途10m弱の基線長で測定する装置を開発した。装置の原理を図10に示す。長さ8.6m、直径225mmのポリプロピレン (PP) 製のパイプを垂直に立て、そのパイプ中に満たす水の高さを変えながら、パイプ上から入射した光がパイプ下のアクリル窓を透過してきた光量を測るとというのが測定器の原理である。入射する光の波長は、337, 375, 405, 445, 473, 532, 595nmの7種類であり、窒素レーザー光源、レーザーダイオード光源、パルス化レーザーポインター光源を使用している。入射光はハーフミラーによりPPパイプに送られる光とモニター用光に分かれ、光の強度は4インチ積分球とフォトダイオードによりモニターされている。8.6mのPPパイプの下部UV透過アクリル窓の下では、12インチの大口径積分球が透過光を受け、フォトダイオードにより光強度を測定している。図11に測定結果の一例を示す。横軸はPPパイプ中のサンプル水の高さ、縦軸はモニター光量で規格化した透過光の強度であり、測定値を高さの関数として指数関数でフィットすることにより透過率が求められる。測定において変化するものはPPパイプ中の水の高さのみであり、水面での反射や他の光の伝播に係る条件は共通であるため、非常に系統誤差の小さい測定を行うことができ、100m近い透過率においても測定の誤差は1m程度以下に抑えられている。各波長での結果を、チェレンコフ光の波長分布に規

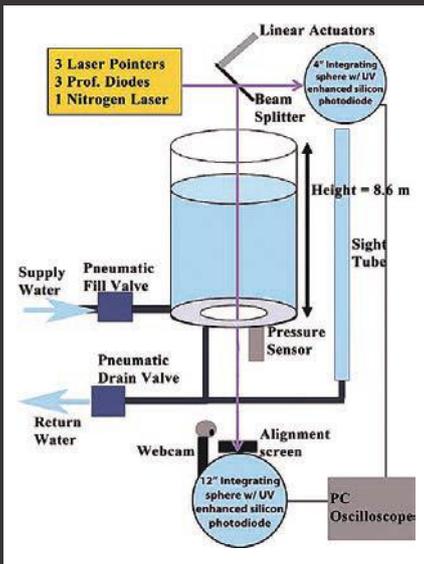


図10：透過率測定装置の概念図。

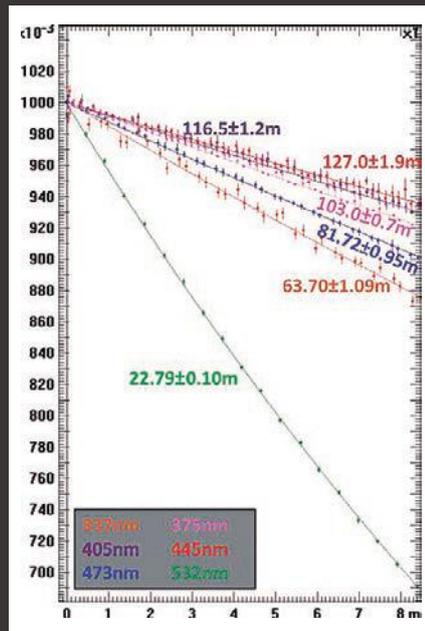


図11：透過率測定器による測定の例。横軸はPPパイプ中の水の高さ、縦軸は相対的な透過光の強さ。

格化することで、SK内の純水のチェレンコフ光透過率と比較できる。

Gd 回収システム

実験終了時や緊急時に備え、安価なイオン交換樹脂で200m³検出器中のGdを回収するシステムが設置されている。

これらの装置を使い2014年10月から段階的にGd₂(SO₄)₃を導入し、純水が満たされていた200m³検出器内のGd₂(SO₄)₃濃度を徐々に上昇させ、2015年4月に0.2%に到達させた。この間の200m³検出器内のGd₂(SO₄)₃濃度を原子吸光光度計(AAS)で測定した結果を図12に、Gd₂(SO₄)₃濃度とチェレンコフ光の透過率を図13に示す。図12からタンク内の上部/中央部/底部で濃度のムラがなくGd₂(SO₄)₃が一様に溶解できていることが分かる。また図13中の水色の帯はSK-III/IV

での純水中のチェレンコフ光の透過率に相当し、0.2%時の透過率はSKの純水での透過率の92%程度となることが測定できた。次に、透過率の低下が光の散乱によるものなのか、吸収によるものなのかを調べた。0.1%濃度のときと、0.2%濃度のときに、それぞれ337nm, 375nm, 405nmの3波長のレーザーを200m³検出器へ打ち込み、レイリー散乱された光を検出器の20インチPMTで測定した。図14に2つの濃度での散乱強度の比の測定値を、散乱と吸収の割合を仮定したモンテカルロシミュレーションでの予想と比較したものを示す。これから光の散乱は10%程度でほとんどが光の吸収によるものであることが判明した。以上で得られた0.2%Gd₂(SO₄)₃水溶液中での光の特性から、SKで行われている大気/太陽ニュートリノの精密観測、T2K実験にどの程度マイナスの影響を受けるかを見積り、物理解析を行うために必要

な条件を十分達成できることが確認できた。

次の段階としてGd導入のプラスの影響を見積るため、200m³検出器で、Am/Be中性子線源による中性子捕獲の検証を行った。はじめにSKでの検証方法を述べたが、今度は200m³検出器へBGO結晶にAm/Be中性子線源を取り付けただけのものを導入した。BGOでの先発信号とGdによる中性子捕獲信号との時間差および、中性子捕獲信号のスペクトルを測定した結果を図15に示す。測定された平均中性子捕獲時間29.89 ± 0.33msに対し、実際にAASで測定されたGd₂(SO₄)₃濃度2178 ± 76ppmでのシミュレーションによる予想は30.05 ± 1.14msである。また測定された中性子捕獲効率84.4%に達し、予想値84.5%とよく一致しており、Gdによる中性子検出が実現できていることを確認した。

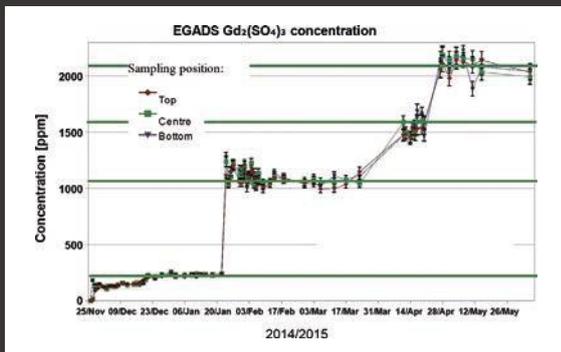


図12：200m³検出器内から採取した水溶液を原子吸光光度計(AAS)で分析したGd₂(SO₄)₃の濃度の変遷。茶、緑、青は採取場所で、それぞれ検出器上部、中部、底部に対応する。

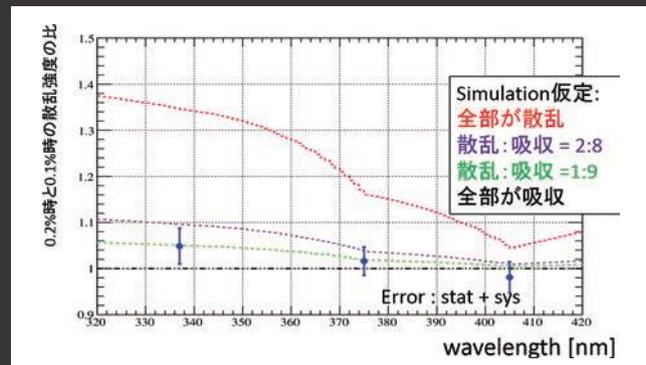


図14：200m³検出器内のGd₂(SO₄)₃水溶液濃度0.1%時と0.2%時のレイリー散乱強度比とシミュレーションの比較。レイリー散乱が10%で吸収が90%とした時とよく一致した。

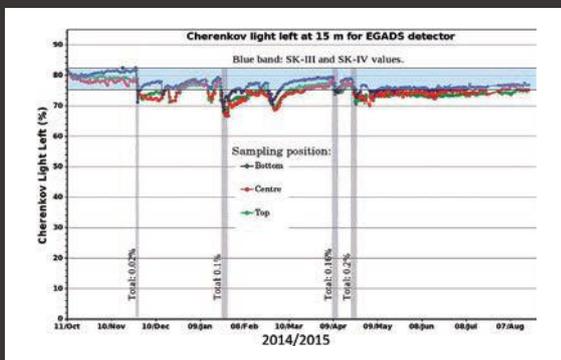


図13：200m³検出器内のチェレンコフ光透過度の時間変化。青、赤、緑は水の採取場所で、それぞれ検出器底部、中央、上部に対応する。縦軸チェレンコフ光が15m伝播して20インチPMTで光を受けた場合の強度に相当する値。SK純水での透過率を水色の帯で示す。

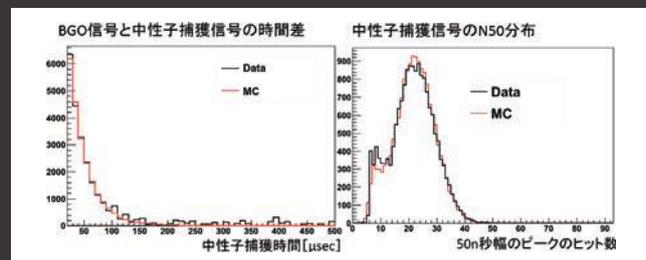


図15：200m³検出器でのAm/Be中性子捕獲信号

3.3 硫酸ガドリニウムの純化手法の開発

Gd₂(SO₄)₃を0.2%濃度でSKへ導入するという事は、100トンを準備し溶解するという事である。しかし、これまで入手した5Nの『高純度』Gd₂(SO₄)₃にはGd以外のレアアースと共に、表2に示すような天然放射性不純物が多く含まれており、特に低エネルギー領域で物理解析を行うには、100トンの量から不純物を除去する手法を確立しなければならない。暗黒物質探索や、二重ベータ崩壊探索等、低放射線技術が要求される分野では、綺麗なものを選ぶことが重要であるが、SKクラスの大規模の実験では、純化のための設備を自前で用意するか、業者に新たに専用のプラントを作ってもらふようなことが必要となる。自前で用意する場合でも、坑内で化学薬品等を大量に消費するような手法は現実的でなく、前処理装置や、循環装置に組み込めるような技術でなければ難しい。²³⁸Uについては、50mBq/kg含まれていると、自発核分裂による中性子でDSNBのバックグラウンドとなるイベントがシグナルと同程度の5.5events/year/22.5kton (SK有効体積)と予想されたため、最初に取り組み、すでに述べたように、アニオン交換樹脂によるウラン除去の手法を確立した。一方ラジウム(Ra)とトリウム(Th)に関しては、その崩壊ででてくるベータ線・ガンマ線が直接に太陽ニュートリノのバックグラウンドとなり、市販のGd₂(SO₄)₃のままだと、~3×10⁵events/day/22.5kton (SK有効体積)と見込まれ、4桁以上の低減が必要となる。ラジウムはGd₂(SO₄)₃水溶液中でそのままRa³⁺の形で存在すると考えられ、原理的にカチオン交換樹脂で除去できると考えられる。そこで、ウラン除去のアニオン交換樹脂の場合と同様に、

今回はGd³⁺を保つことができるカチオン交換樹脂の開発を行っており、現在評価を行っている。トリウムについては、Gd₂(SO₄)₃水溶液中での形態が様々で、イオン交換樹脂だけで取り除けないことが分かっている。しかし溶液のpHをコントロールすることで沈殿させる手法が可能であることから、酸化ガドリニウムGd₂O₃からGd₂(SO₄)₃を製造する際に、1ステップ追加でトリウム除去の工程を導入できないか複数の業者と検討を進めている。

Gd以外のレアアースについては、LuやLa等放射性同位元素を含むものもあるが、多くは1MeV以下のガンマ線を出すだけで水チェレンコフ検出器では大きな問題にならない。しかしCe等、チェレンコフ光の波長の光を吸収し再発光するものがあり、解析に与える影響を精査している。これらは多く多価の陽イオンで存在するので、EGADSの循環装置では取り除くことができないが、トリウム除去のプロセスで落とせるものと考えられる。

3.4 SKタンクの水密性

Gd化合物は危険化学物質にはなっており、Gd排出に対する環境基準も定められていないが、危険性があまりよく研究されていないこともあり、不用意に環境へ出ることがないように管理しなければならない。SKタンクの水密性を完璧にして、タンク水が環境へ漏れ出ることがないようにする必要がある。具体的にはSKのステンレスタンクの溶接部に、新たにコーティングすることで実現する。コーティング材に要求される事項は

- ・ SUS304 に密着できること
- ・ 適度な粘度をもち、タンクに塗布して施工できること
- ・ 放射線不純物が少なく、特にラドン(Rn)

の溶出がPMTに比べ少ないこと

- ・ 純水中およびGd₂(SO₄)₃水溶液中に溶出するものが少なく、透過率に影響を与えないこと
- ・ 施工中およびSKタンクに水を入れた際の変位に耐え、長期にわたり劣化しないこと

等が挙げられる。数多くの材料のスクリーニングを行ったが、以上の条件すべてを満たした使用できる製品が存在しなかったため、コーティング材の開発を行うことにした。現在までにほぼすべての要求を満たすものとしてポリウレア系の樹脂に増粘剤を少量添加したものを開発し、長期安定性の試験を行っている。これをベースに、実際のSKタンクへの施工計画も立案中である。

3.5 SK-Gd純化設備の実機建設

EGDASはあくまで200m³の純水に400kgのGd₂(SO₄)₃を導入するシステムであり、50000m³の純水に100トンのGd₂(SO₄)₃を導入するためには別途システム開発する必要がある。まず、100トンの粉体を移送、連続的に濃度をコントロールして自動的に溶解するシステムを設計し、各要素の試験を実施し、実機の仕様を確定させた。具体的には、硫酸ガドリニウムは水和物を含んだ状態(Gd₂(SO₄)₃・nH₂O)で納品され固化していることがあり、これをほぐすための装置の動作確認や、粉体化した際や移送時に粉体爆発しないことの確認、具体的に濃度を徐々に上昇させていく装置運転計画の策定を行った。また、EGADSで達成した透過率をSKでも実現するために、純化システムの処理流量をどの程度スケールすべきかの検討をすすめ、前処理装置、循環装置の基本設計を行った。そして、これら設備を設置するためのあらたな空洞(第3純水装置室/実験室G、図16)をSK近くに用意した。さらにSKタンク内でのGd₂(SO₄)₃水溶液の流れをコントロールすべく、タンク内の送水口、返水口等の最適化、ならびに配管の改良を計画している。

表2：市販されている高純度Gd₂(SO₄)₃に含まれる放射線不純物の典型的な量。CanfracのGe検出器で測定

Chain		mBq/kg
²³⁸ U	²³⁸ U	50
	²²⁶ Ra	5
²³² Th	²²⁸ Ra	10
	²²⁸ Th	100
²³⁵ U	²³⁵ U	32
	²²⁷ Ac/ ²²⁷ Th	300

“2018年にタンクを改修し、段階的にGdを導入 超新星背景ニュートリノの世界初観測を目指す”

4 まとめとSK-Gdのスケジュール

前節までに述べたように、Gd導入についての基本的な検証が完了したことからSK-Gdは2015年6月にSKコラボレーションの正式な次期計画となった。現在は、SKへの導入の手順を具体的に進めている状況である。SKへのGd導入には、SKの観測を数か月にわたって停止してタンクの水密性増強や外水槽のPMTの交換等の改修が必要であるため、特に現在SKを使用

しているT2K実験とのスケジュール調整が必須である。T2K実験はレプトンセクタでのCP非保存の測定に向けて、統計を増やすことが至上命題であり、J-PARCのニュートリノビームを最大限受けることが求められている。2016年1月のT2Kコラボレーションミーティングにおいて、J-PARCの加速器メインリング(MR)の電源増強が2018年に計画されていることから、SKのタンク改修を2018年に予定することが確認された。その後の予定を図17に示す。タンク改修後は、まず純水を給水しタンクの改修の効果を評価する。そ

して2019年度後半に、初めの $Gd_2(SO_4)_3$ 10トンを導入する。検出器応答をみながら観測し、順調にいけば、2021年に90tonの $Gd_2(SO_4)_3$ を追加で導入し、既定の0.2%濃度での観測を開始できる計画である。競争相手である中国の20kton液体シンチレータ実験JUNOも同時期に開始されるので、遅れることなく計画実行し、超新星背景ニュートリノの世界初観測を実現したい。

参考文献

- [1] C.L. Cowan, F. Reines et al., Science 124 (1956) 103.
- [2] F. P. An et al., Phys. Rev. Lett. 108 (2012) 171803.
- [3] H. Watanabe et al., Astropart. Phys. 31, (2009) 320.
- [4] J.F. Beacom and M.R. Vagins, Phys. Rev. Lett. 93 (2004) 171101.
- [5] S. Horiuchi et al., Phys. Rev. D 79 (2009) 083013.
- [6] K. Bays et al., Phys. Rev. D 85 (2012) 052007.
- [7] H. Zhang et al., Astropart. Phys. 60 (2015) 41.
- [8] A. Odrzywolek, M. Misiaszek and M. Kutschera, Astropart. Phys. 21 (2004) 303.
- [9] 矢野武夫、片岡 健、化学工学 Vol. 24 (1960) No. 10 749.



図 16：完成した第3純水装置室/実験室G 2015年12月16日撮影

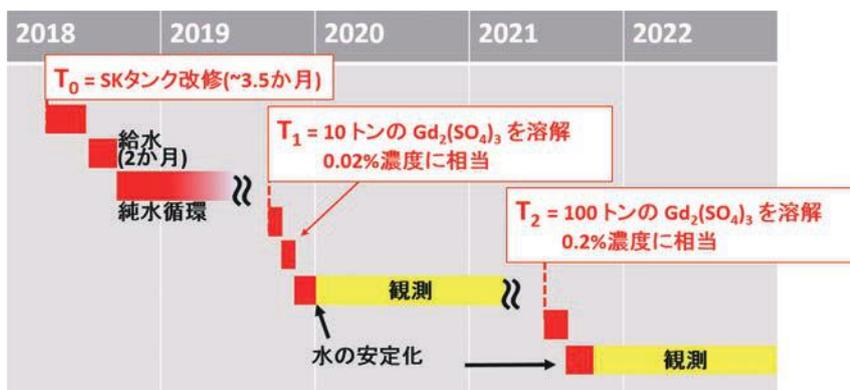
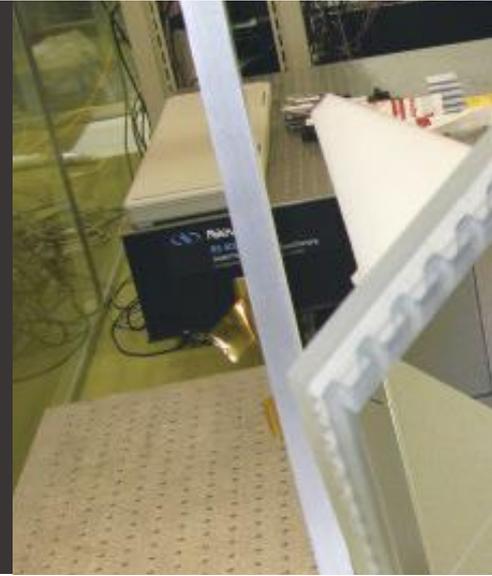


図 17：SK-Gdの予定



東京大学地震研究所
高森 昭光

神岡における レーザーひずみ計による 地殻観測



岐阜県飛騨市の神岡鉱山の地下では、宇宙に開かれる新しい窓である重力波望遠鏡 KAGRA だけでなく、「地球内部に向けたより良い目」も開かれようとしている。世界最大規模である基線長 1.5km の大型レーザーひずみ計の建設計画だ。高精度での地殻ひずみ観測を通して、KAGRA との連携や地殻ひずみを通じた地球物理学現象の観測を目的としている。これまでのひずみ観測への取り組みや新しいひずみ計の概要を紹介する。

今年の2月、米国の重力波観測装置 LIGO による史上初の重力波検出が報じられた^[1]。これは、アインシュタインの一般相対性理論に新たな裏付けを与えるだけでなく、重力波を用いた新しい天体現象の観測を実証したという点で画期的な出来事である。日本でも宇宙線研究所を中心として、岐阜県の神岡鉱山内において LIGO に匹敵する重力波望遠鏡 KAGRA の建設が急ピッチで進められており、近い将来この新しい天文学へ大きな貢献をすることが期待される^[2]。KAGRA には低温鏡技術など他の重力波プロジェクトにはないいくつかの特長があり、安定な環境である地下トンネル内に建設されることもその一つである。これによって可能となる長基線レーザーひずみ計の併設も他には見られない。本稿では神岡における地球物理観測のためのレーザーひずみ計である地球物理干渉計 (Geophysics Interferometer: GIF) について紹介する。

筆者ら東京大学地震研究所や京都大学防災研究所の研究者を中心としたグループは KAGRA 計画の一環として GIF の建設を行っている。GIF は KAGRA のために掘削された 3 km の地下トンネル内部に、KAGRA の腕と平行して伸びる 1.5 km の基線をもったマイケルソン型のレーザー干渉計である (図 1)。地表からの深さは最大で 500 m を超えるため、温度変化や人為的な振動等がきわめて小さな低ノイズ環境が実現されている。GIF によって得られる地殻ひずみデータは

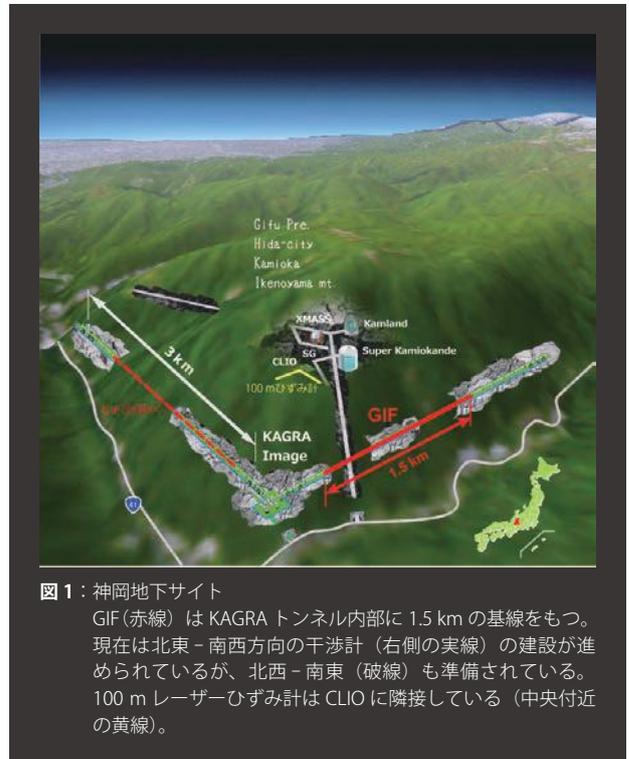


図 1：神岡地下サイト
GIF (赤線) は KAGRA トンネル内部に 1.5 km の基線をもつ。現在は北東-南西方向の干渉計 (右側の実線) の建設が進められているが、北西-南東 (破線) も準備されている。100 m レーザーひずみ計は CLIO に隣接している (中央付近の黄線)。

“KAGRA の精度向上だけでなく、近くの断層でのひずみの蓄積や、地球内部コアの運動の観測も期待できる”



“3枚の平面鏡を 直角に組み合わせた鏡を使用 最高レベルの鏡面精度を実現”

KAGRAの精度向上などに活用することが可能である一方、地球内部で起こる様々な現象の情報を含んでいるため、それ自体が貴重な地球科学の研究対象でもある。ひずみ計で観測できる地球物理学現象の空間スケールや帯域は多岐にわたる。年から月単位のスケールの長期間ではテクトニックな起源をもつスロースリップ現象や近隣の断層でのひずみの蓄積の様子の観測が期待される。中間的な帯域（日～数時間程度）に生じる地球の弾性自由振動による地殻の伸び縮みを観測することによって地球内部コアの運動や物理特性を研究することもできる。より短周期では地震動やそれに伴う過渡的な地殻変動、たとえば地震の前後に生じるひずみステップを観測することができ、そこから震源モーメントや震源域の地盤の剛性の推定に役立てることができる。これらの研

究はこれまで KAGRA のプロトタイプとなる CLIO (基線長 100 m) のサイトに 2003 年に設置された 100 m レーザーひずみ計を用いて取り組まれ、既に一部で成果を上げている^[3-6]。図 2 は 100 m ひずみ計による観測の実例である。図 2(a) は 2011 年の東北地方太平洋沖地震 (M(マグニチュード) 9.0, 3 月 11 日) の際観測されたひずみ変動である。図 2(b) は 2007 年 7 月 16 日の日本海地震 (M6.7) の前後に生じたひずみのステップ変化 (およそ 8×10^{-10}) を示している。地殻に蓄えられたひずみが地震によって解放されるためにこのようなステップが生じる。レーザーひずみ計は GPS など他の観測手段に比べて格段に分解能が高いため、遠方の地震によって生じるわずかな歪み変化を捉えることが可能である。100m ひずみ計でのひずみステップの測定誤差は 1×10^{-10} 以下で

あった。レーザーひずみ計の分解能は原理的には長さの基準となっているレーザーの波長安定度によって決定される。神岡のひずみ計では Nd:YAG レーザーの 2 倍波 (波長 532 nm) の波長をヨウ素分子の吸収線に同期させる制御を行い波長安定化を行っている。分子の吸収線はきわめて安定な量子的基準であり、 10^{-13} 位の安定度が確認されている。実際のひずみ計の分解能はこれには到達しないが、それは様々な局所的な環境変化の影響を受けるためと考えられる。たとえば 100 m ひずみ計では地下水圧の変化によって生じるひずみ変動が季節的な誤差要因と推定されている^[7]。

前節で紹介したような観測を発展させるために、同じ神岡地下に計画されたのが GIF である。GIF では前述のヨウ素安定化レーザーなど、基本的には 100 m ひずみ計

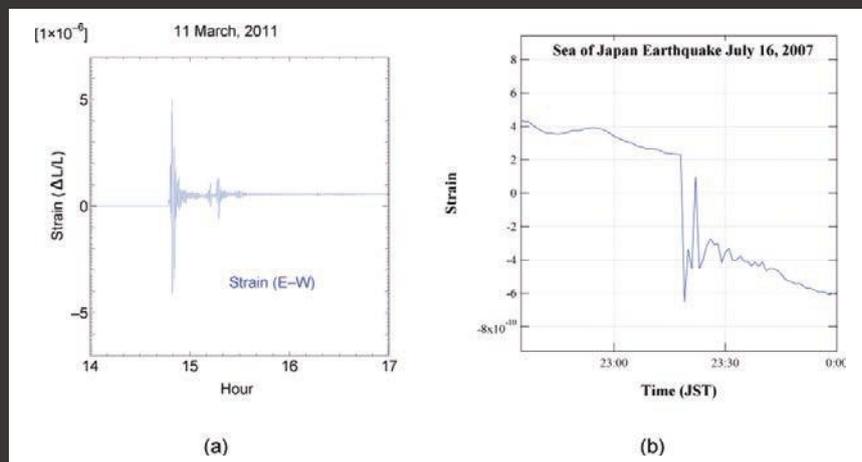


図 2 : 100 m ひずみ計による観測例
(a) 2011 年東北地方太平洋沖地震のひずみ波形 (東西方向)。瞬間的に 10^{-6} に迫る非常に大きなひずみが観測された。
(b) 地震前後に生じた永続的なひずみステップ (2007 年日本海地震)。地殻に蓄えられたひずみが地震によって解放された様子が捉えられた。縦軸のスケールは (a) のグラフより 4 桁小さく 10^{-10} である。非常に小さなステップが精度良く観測されたことが読み取れる。

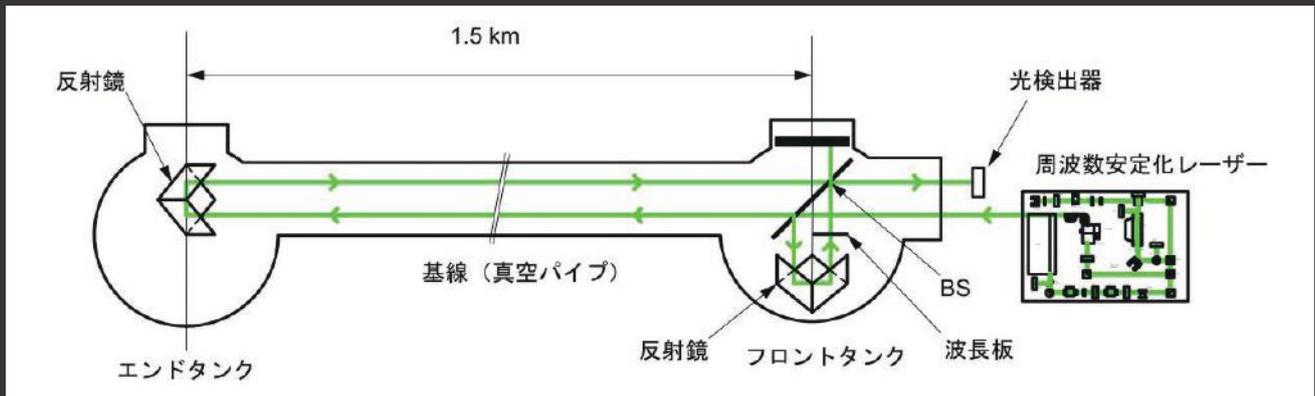


図3：GIFの構成（見やすくするため一部省略してある）
右側の周波数安定化レーザーを左の真空系内にある干渉計に入射し、干渉光強度を光検出器で測定する。

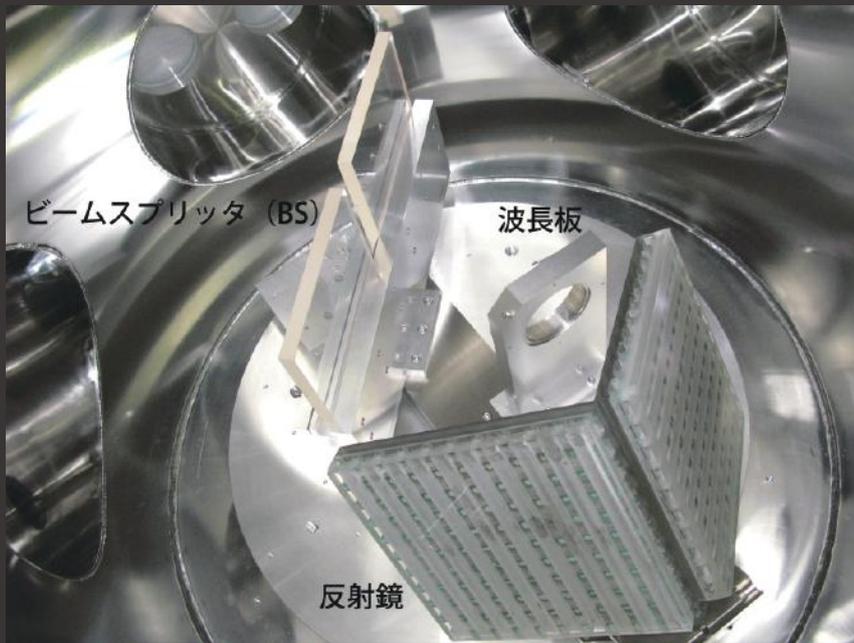


図4：フロントタンク内の様子
右上の円状の窓からレーザー光が入射し、中央のBSで左側の1.5 km基線と手前の参照基線（約50 cm）に分けられる。それぞれの基線からの反射光は再びBSで結合、干渉した後、真空槽外にある光検出器で強度が測定される。

のために開発した技術を踏襲しているが、最も大きな改良点は基線長を15倍に伸ばしたことである。基線が伸びる分ひずみ分解能も向上するが、より大きな空間をカバーすることによって局所的な変動の影響を除去する効果が期待される。GIFの構成を図3に示した。周波数安定化レーザーの光は、KAGRAのトンネル中央部に配置された1.5 km基線の干渉計に入射される。基線上の屈折率変化による光路長の揺らぎを排除するために、レーザー光は直径400 mmの真空パイプ内（気圧0.1 Pa以下）を往復する。その両端に接続された真空タンク内に、レーザー光を2方向に分けるビームスプリッター（BS）と、反射鏡を配置している。真空タンクは岩盤に据えられた花崗

岩のブロックに固定された上で大気圧を相殺するためのペローズ機構を介して真空パイプと接続されている。これらの工夫によって真空タンクが地面（地殻）の伸び縮みに正確に追従する。BSの納められたフロントタンク内（図4）の反射鏡は1.5 kmの基線の長さ変化を測定するための基準となる参照基線（長さ約50 cm）の末端にあたる。BSと参照ミラーの間の距離が変化しないよう、これらは熱膨張率の小さな合金（スーパーインバー）で作られたブラットフォームに固定されている。同じブラットフォームに設置された波長板によって生

じる偏光を利用して、1.5 km基線の伸びと縮みを判別するのに利用する。2つの反射鏡から戻った光はBS上で干渉し、その干渉光強度を光検出器で測定することによって基線の伸縮を読み取ることができる。

GIFの反射鏡は3枚の平面鏡を直角に組み合わせたレトロリフレクタを用いているため、入射した光線に平行な反射光が得られる。これによって反射鏡の角度を制御することなく安定した反射光を得ることができる。また、光をロスすることなく反射するためには光束半径よりも十分大きい反射鏡を用いる必要がある。レーザー光は非

“地球内部に向けたより良い目を開く”

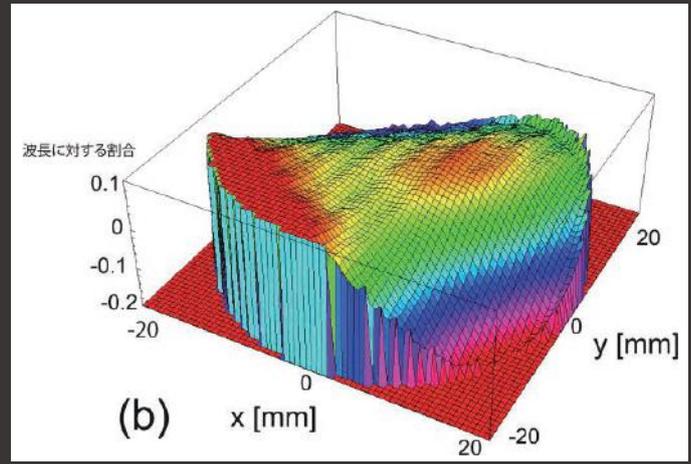


図5：大型レトロリフレクタ（反射鏡）

(a) 3枚の鏡を直角に組み合わせた構成により、入射光と平行な反射光が得られる（そのため撮影者が映り込む）。

(b) 反射鏡による波面の乱れの分布。実際に干渉計のレーザー光があたる箇所でも測定した結果（PLX社による）。横軸に対して縦軸は誇張しており、波長に対する割合を示す。端の一部を除く場所で波面の乱れが波長の1/3以下であることが確認された。

常に良い収束性をもっているが、1.5 km 離れた GIF のエンドタンクに到達したときには回折のため拡がっている。そのため有効口径 15 インチ（約 38 cm）の大型リフレクタを特別に製作した（米国 PLX 社製。図 5(a)）。反射鏡の面精度が悪く表面に凹凸があると、光が当たった箇所によって位相の進み方にばらつきが生じ、波面が乱れてしまう。両腕からの反射光の波面の食い違いが大きくなると光の干渉効率が低下してひずみ分解能が悪化するため、干渉計に用いる反射鏡の鏡面精度は非常に重要な要素である。一般に鏡が大きくなるほどたわみや研磨のばらつきが生じやすく鏡面精度を高くすることは困難であるが、GIF ではガラス基材の軽量化や補強を行うことによって、この大きさのリフレクタとしては最高レベルの鏡面精度（レーザー光の中央付近では波長の 1/10 程度）が実現されていることが確認された（図 5(b)）。これまで述べた様々な技術的工夫によって、100 m ひずみ計を超える精度の地殻ひずみ観測が実現される。

最後に本稿執筆時点（2016年2月）の

GIF の準備状況を紹介しますと、真空装置とその内部の光学系、ヨウ素安定化レーザーの導入が完了し、干渉信号を得るための調整作業を行っているところである。近く実際に干渉計を動作させ観測を開始する予定であり、これまでにない精度での地殻ひずみの観測を通じた新しい知見への期待が高まっている。宇宙に開かれる新しい窓である KAGRA と同じ場所に、GIF という地球内部に向けたより良い目も開こうとしているのである。

参考文献

- [1] B.P. Abbott et al., Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger, PRL, 116, 061102, 2016.
- [2] Y. Aso et al., Interferometer design of the KAGRA gravitational wave detector, Phys. Rev. D 88, 043007, 2013. KAGRA 計画については <http://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/> にも情報がある。
- [3] S. Takemoto et al., A 100 m laser strainmeter system installed in a 1 km deep tunnel at Kamioka, Gifu, Japan, Journal of Geodynamics, 38, 3-5, 477-488, 2004.
- [4] S. Takemoto et al., A 100m laser strainmeter system in the Kamioka Mine, Japan, for precise observations of tidal strains, Journal of Geodynamics, 41, 23-29, 2006.
- [5] A. Araya et al, Analyses of far-field coseismic crustal deformation observed by a new laser distance measurement system, Geophys. J. Int., 181, 127-140, 2010.
- [6] A. Takamori et al., A 100-m Fabry-Perot Cavity with Automatic Alignment Controls for Long-Term Observations of Earth's Strain, Technologies, 2, 129-142, 2014.
- [7] A. Araya et al., Broadband observation with laser strainmeters and a strategy for high resolution long-term strain observation based on quantum standard, J. Geod. Soc. Japan, 53, 2, 81-97, 2007.



東京大学宇宙線研究所
三代木伸二

平成27年度 東京大学宇宙線研究所 共同利用研究成果発表会報告



平成 27 年度の共同利用研究成果発表会が、平成 27 年 12 月 18 日（金）と 19 日（土）の 2 日間にわたって柏図書館メディアホールにおいて開催された。本発表会は宇宙線研究所の共同利用研究として採択された研究課題の成果報告会であり、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。今年度は 49 件の成果発表講演があり、また、共同利用研究運営委員会の西嶋委員長から研究会開催に関する報告もまとめて行われた。発表会は、およそ 112 名の参加を得て盛会となった。特に今回は、通常プログラム初日に行われる懇親会を、梶田隆章宇宙線研所長のノーベル物理学賞ご受賞の祝賀会を兼ねたものとして開催した。本稿では、発表会のプログラムと講演概要を記す。なお、発表資料は以下のウェブサイトに掲載されており、詳細はそちらを参照されたい。

<https://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/indico/conferenceOtherViews.py?view=standard&confId=44>

1. Yang Byeongsu (東大宇宙線研) XMASS Experiment

832kg の液体キセノンをを用いた暗黒物質探索実験である。2013 年 11 月の改修完了から 1 年 4 ヶ月間のデータを用いて暗黒物質信号の季節変動の探索を行い、モデルに依存しない探索では有意な変動は観測されず、標準の WIMP を仮定した探索では DAMA/LIBRA グループにより許容されるほぼすべての質量領域を排除した。124Xe の二重電子捕獲の探索では半減期に対し世界最高の制限を得た。次世代実験で使われるドーム型 PMT の開発なども進んでいる。

2. 中村正吾 (横浜国立大学) 液体キセノンシンチレータ の近紫外発光の研究

液体キセノンシンチレータの発光波長の測定を真空紫外領域から長波長側へ拡張し、近紫外領域の発光スペクトルの暫定的な結果を得た。さらに、可視領域と近赤外領域の発光スペクトルの暫定的な結果も報告した。

3. 寄田浩平 (早稲田大学) 気液 2 相型アルゴン光検出器 による暗黒物質探索

運用上の初期開発を一通り終え、現在は地上にて実験設備を増強し、本実験検出器設計を開始した。とくに低エネルギー領域の理解、シミュレーション構築と検出器部材中の放射線量や環境中性子の測定を行った。

4. 高橋耕一 (信州大学・理学部) 乗鞍岳における高山植生の 調査

乗鞍岳において、高山植物群落の群集構造がどのように形成されるのかを、habitat filtering と limiting similarity の観点から調べた。植物の 6 形質について調べた結果、4 形質で habitat filtering が検出され、limiting similarity はまったく検出されなかった。

5. 梅原さおり (大阪大) 48Ca の二重ベータ崩壊の 研究

我々は、48Ca の二重ベータ崩壊の研究のために、CaF₂ シンチレータを用いた CANDLES システムの開発を、神岡施設で進めている。この CANDLES 検出器の高感度化



のためには、低バックグラウンド化が重要である。2015年は、低バックグラウンド化開発のために、遮蔽システムの設計及び導入を進めた。2016年前半には遮蔽システムの導入を終了し、測定を再開する予定である。

6. 仲澤和馬 (岐阜大学)

ダブルハイパー核実験用原子核乾板の神岡地下施設の鉛ブロック箱内での保管

環境 γ 線のコンプトン電子と宇宙線の被ばくを避けるべく、ゲルで2.1tの原子核乾板を神岡地下施設 (Lab-B) に保管している。被ばく量は15年前と同様で、2016年6月時点で前のE373実験における最大蓄積に達することが判明した。

7. 大内正己 (東大宇宙線研)

大型光赤外線望遠鏡で探る宇宙再電離

すばるHSC探査の初期観測で得られた広帯域撮像データと既存のハッブル宇宙望遠鏡のデータを組み合わせて宇宙再電離源と考えられている銀河の形成に関する研究を行った。本年度は12月時点で17編の論文を査読誌に出版もしくは投稿した。

8. 櫻井敬久 (山形大)

Be-7などによる宇宙線強度時間変化の検出

2000年から16年間の大気中宇宙線生成核種Be-7の日変動観測結果を示し、太陽黒点数、中性子強度、地磁気擾乱指数と比較した。太陽活動サイクル23から24への変化に対応したBe-7濃度変動が明らかになってきた。

平成27年度共同利用研究成果発表会プログラム

日時：12月18日 (金) 10:00-16:50
19日 (土) 09:00-15:20

場所：東京大学柏キャンパス 柏図書館メディアホール

プログラム

12月18日 (金)

		座長 森山茂栄 (東大宇宙線研)
10:00	西嶋恭司 (東海大)	開会の挨拶
10:05	Yang Byeongsu (東大宇宙線研)	XMMAS Experiment
10:25	中村正吾 (横浜国大)	液体キセノンシンチレータの近紫外発光の研究
10:35	奇田浩平 (早稲田理工)	気液2相型アルゴン光検出器による暗黒物質探索
10:45	高橋耕一 (信州大)	乗鞍岳における高山植生の調査
10:55	梅原さおり (大阪大)	48Caの二重ベータ崩壊の研究
11:05	仲澤和馬 (岐阜大)	ダブルハイパー核実験用原子核乾板の神岡地下施設の鉛ブロック箱内での保管
11:15	大内正己 (東大宇宙線研)	大型光赤外線望遠鏡で探る宇宙再電離
11:25	櫻井敬久 (山形大)	Be-7などによる宇宙線強度時間変化の検出
11:35	大橋英雄 (東京海洋大)	環境中に放出された放射能に関する研究・地下実験室の環境連続測定
		座長 瀧田正人 (東大宇宙線研)
13:00	吉越貴紀 (東大宇宙線研)	明野観測所における小型大気チェレンコフ望遠鏡R&D
13:10	榊 直人 (大阪市立)	AGASAで観測した超高エネルギー宇宙線空気シャワーの特性の研究
13:20	宗像一起 (信州大)	乗鞍岳におけるミューオン強度の精密観測
13:30	松原 豊 (名古屋大)	第24太陽活動期における太陽中性子の観測
13:40	矢島千秋 (放医研)	乗鞍観測所における二次宇宙線中性子モニタリング
13:50	伊藤真人 (気象庁高層台)	乗鞍岳におけるプリューワー分光光度計を使用したオゾン・紫外線の観測
14:00	丸田恵美子 (東京農業大)	乗鞍岳・森林限界におけるオゾンラピソリンの動態
14:10	小泉敬彦 (東大新領域)	森林の分断化が地下微生物群集に与える影響の解明
14:20	加納靖之 (京大防災研)	跡津川断層周辺での地殻活動定常観測点の高性能化
		座長 都丸隆行 (KEK)
14:50	町田祐弥 (海洋研究開発機構)	神岡鉱山における歪・傾斜・地震計測
15:00	川村静児 (東大宇宙線研)	KAGRA オーバービュー、入射光学系
15:10	高橋竜太郎 (国立天文台)	KAGRAの防振系
15:20	山元一広 (東大宇宙線研)	KAGRAの低温感架系
15:30	大橋正健 (東大宇宙線研)	神岡での重力波観測 (XIV)
15:40	伊部昌宏 (東大宇宙線研)	宇宙の進化と素粒子模型
15:50	佐々木真人 (東大宇宙線研)	Ashra
16:00	佐古崇志 (東大宇宙線研)	チベット高原での高エネルギー宇宙線の研究
16:20	宗像一起 (信州大)	チベット空気シャワーアレイ・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
16:30	石原安野 (千葉大)	IceCube実験による超高エネルギーニュートリノ探索
16:40	身内賢太郎 (神戸大)	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
16:50	終了	
18:30	祝賀会・懇親会	

12月19日 (土)

		座長 田島宏康 (名古屋大)
9:00	三浦 真 (東大宇宙線研)	スーパーカミオカンデにおける最新結果 (大気ニュートリノ、核子崩壊探索等)
9:15	Lluís Martí (Kavli IPMU, Univ. of Tokyo)	Recent results from Super-Kamiokande on solar and supernova neutrinos and the SK-Gd project
9:35	市川温子 (京都大学)	T2K実験の現状と第二フェーズに向けた展望
9:50	関口哲郎 (KEK素核研)	大気ニュートリノフラックスの精密計算
10:10	本田守弘 (東大宇宙線研)	地下実験のための放射能分析装置の開発
10:20	竹内康雄 (神戸大)	座長 山本常夏 (甲南大)
10:50	中村 琢 (岐阜大)	極低濃度ラドン測定システムの開発
11:00	岩田圭弘 (原子力研)	レーザー共鳴イオン化を用いた希ガス不純物評価に関する研究
11:10	鳥居祥二 (早稲田大)	飛翔体観測による高エネルギー宇宙線加速天体の研究
11:20	手嶋政廣 (東大宇宙線研)	CTA計画
11:40	窪 秀利 (京大)	MAGIC望遠鏡を用いた高エネルギーガンマ線天体の研究
11:50	河合誠之 (東京工業大)	MITSuME (爆発変動天体の多色撮像観測) プロジェクト
		座長 竹内康雄 (神戸大)
13:00	片桐秀明 (茨城大)	シンチレータを用いた宇宙ラインガンマ線用コンプトンカメラの基礎開発
13:10	多米田裕一郎 (神奈川大)	TA実験
13:40	川崎智也 (理化学研)	EUSO@TA
13:50	大嶋晃敏 (中部大)	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
14:00	谷 隆志 (名古屋大)	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
14:10	久米 恭 (若狭湾エネ研)、鳥居建男 (JAEA)、瀧田 (東大宇宙線)	宇宙機搭載用機器に対する高エネルギー陽子線照射技術の開発
14:20	垣見昌司 (日本大)	乗鞍岳における雷雲に伴う二次宇宙線の研究
14:30	垣本史雄 (東京工業大)	ホリビア空気シャワー共同実験
14:55	西嶋恭司 (東海大)	研究会報告、閉会の挨拶
15:10	梶田隆章 (東大宇宙線)	まとめ
15:20	終了	

9. 大橋英雄 (東京海洋大)

環境中に放出された放射能に関する研究・地下実験室の環境連続測定

環境中に放出された放射能の研究：東大大気海洋研究所の杉原奈央子氏の研究テーマであり、大槌湾におけるオカメブングを研究対象として、堆積物の構造観察とセシウム濃度測定という2つのアプローチから、生物攪拌深度およびその影響の強さを測定した。地下実験室の環境連続計測：普段は無人である地下実験室の大気圧・ラドン濃度、温度湿度・4台の検出器デューアの重量を、様々なトラブルに耐えて10年以上に渡り測定を継続している。2年連続の除湿器からの水漏れ事故は排水工事と、検出器回りのケーブル類のかさ上げ工事を行って対応した。2014年12月25日の一部停電事故は人為的に引き起こされた事は間違いないが、同様の事故を防ぐための最善の方法を検討中である。

10. 吉越貴紀 (東大宇宙線研)

明野観測所における小型大気チェレンコフ望遠鏡R&D

国内唯一の大気チェレンコフ望遠鏡を明野観測所に整備し、維持している。別途開発したデータ収集システムを導入し、大気チェレンコフ光の試験観測に向けて準備している。同望遠鏡でかにパルサーの可視光観測も計画している。

11. 榊 直人 (大阪市大理)

AGASAで観測した超高エネルギー宇宙線空気シャワーの特性の研究

Auger観測所の観測結果によると超高エネルギー宇宙線空気シャワー中のミュオン割合はシミュレーションで期待される値より少ないと近年報告された。本研究ではAkeno/AGASAで分離観測したミュオン数についてシミュレーション結果との比較を行っている。

12. 宗像一起 (信州大理)

乗鞍岳におけるミュオン強度の精密観測

乗鞍ミュオン計は、太陽光発電パネルへの着雪により12月6日に観測を休止、12月14日から観測を再開中。GMDNで観測されたdensity gradientを用いて、FD中の宇宙線の平均的空間分布をremote sensingが可能であることを示した。

13. 松原 豊 (名古屋大)

第24太陽活動期における太陽中性子の観測

世界7箇所に設置された太陽中性子観測網で、太陽中性子探索が行われているが、第24太陽活動期ではまだ太陽中性子が検出されていない。現在太陽フレアの際に軟X線(加速粒子は電子)が得るエネルギーと中性子(陽子)の得るエネルギーの比を調べている。共同研究経費は観測網の中心拠点である乗鞍観測所の太陽中性子望遠鏡の維持に使われた。夏場に一時データ取得ができないトラブルが起こったが、観測所の開所中に解決でき、現在は正常な観測が継続できている。

14. 矢島千秋

(国立研究開発法人放射線医学総合研究所)

乗鞍観測所における二次宇宙線中性子モニタリング

航空機宇宙線被ばく研究における基礎データ収集のため乗鞍観測所において二次宇宙線中性子モニタリングを継続中。取得データに対して気圧補正を試みた所、補正の妥当性を欠く期間があったため、さらに解析を続ける。

15. 伊藤真人 (気象庁高層台)

乗鞍岳におけるブリューワー分光光度計を使用したオゾン・紫外線の観測

ブリューワー分光光度計の測器常数の校正と、高山のオゾン・紫外線を解明するため、標記観測を継続中。2015年、乗鞍では平地のつくばに比べ、オゾン全量は約4%少なく、快晴日の紫外線量(CIE)は

約54%多かった。紫外線は短波長ほど多く、高度による紫外線(CIE)増加率は快晴日で+20%/1,000mとなった。

16. 丸田恵美子

(東京農業大学・国際食料情報学部)

乗鞍岳・森林限界におけるオオシラビソ林の動態
—冬季の木部のエンボリズム—

乗鞍岳の森林限界に自生するマツ科のオオシラビソでは、冬季にエンボリズムが発生し木部の通水がなくなる。これは壁孔膜の閉鎖によるものであり、12月~1月初旬の乾燥によって引き起こされるが、年変動があることがわかった。

17. 小泉敬彦 (東大院新領域)

森林の分断化が地下微生物群集に与える影響の解明

国内8カ所のハイマツ集団において菌根サンプリングを実施した。採取した菌根のDNA解析の結果、176種の菌根菌が検出された。乗鞍岳では52種が検出された。また、乗鞍岳で発見したショウロ属の菌根菌2種を新種として記載した。

18. 加納靖之 (京都大学防災研)

跡津川断層周辺での地殻活動定常観測点の高性能化

神岡鉱山内に設置した地震計等のデータをリアルタイム伝送し、跡津川断層を中心とする中部日本の地震活動や地殻活動のモニターを行った。地震観測および地下水圧観測の結果について紹介する。

19. 町田祐弥 (海洋研究開発機構)

神岡鉱山における歪・傾斜・地震計測

海洋研究開発機構では、南海トラフに設置するための「長期孔内観測システム」の開発・設置を目的として、神岡鉱山抗内に深さ約21mの陸上試験孔を掘削し、2010年に南海トラフに設置した観測システムと同様のシステムを試験孔に設置し、注水実験や長期評価試験を行っている。今年度は前年度に引き続き陸上試験孔での評価試験を

行った。またセンサー設置前の動作確認試験サイトとしても神岡鉱山抗内施設を運用しており、2016年3-4月に南海トラフへ設置予定の傾斜計、地震計などの孔内センサーの評価試験を行った。

20. 川村 静児 (東大宇宙線研) KAGRA オーバービュー、入射光学系

大型低温重力波望遠鏡 KAGRA は、現在、初期検出器 iKAGRA の建設が進められており、入射光学系のモードクリーナーの短時間ロックが確認され、防振系のテストインストレーションが行われているところである。

21. 高橋 竜太郎 (国立天文台) KAGRA の防振系

平成 27 年度は Inverted Pendulum と 2 段の GAS Filter、および鏡を懸架する payload を組み合わせたフルのシステムを構築し、真空槽内で試験を行った。KAGRA サイトでは iKAGRA で使用される構成 (GAS Filter+payload) のインストールが開始された。明野観測所においては引き続き製作済部品の保管、調整が行われている。

22. 山元 一広 (東大宇宙線研) KAGRA の低温懸架系

KAGRA の低温懸架系は重力波を検出する肝となる低温サファイア鏡を含む最も重要な部分の一つである。これらを冷却するクライオスタットや冷凍機は KAGRA site にインストールされた。低温懸架系のプロトタイプのコールド試験が始まろうとしている。

23. 大橋 正健 (東大宇宙線研) 神岡での重力波観測 (XIV)

CLIO は真空ポンプ冷却水配管のトラブルによって冠水した。その影響でエレクトロニクスに故障も生じたため、現在は復旧作業中であるが、早期に実験を再開したいと考えている。

24. 伊部 昌宏 (東大宇宙線研) 宇宙の進化と素粒子模型

本共同研究題目では素粒子標準模型を越える新物理の模型の構築とその新物理の初期宇宙への影響を考察することを目的としている。今回の発表では特にその一例として LHC 実験によって示唆されている 2TeV の共鳴状態を説明する素粒子模型およびその模型から帰結される暗黒物質の候補についての解説を行った。

25. 佐々木 真人 (東大宇宙線研) Ashra

Ashra NTA は Ashra-1 の実績を基盤とする次世代 PeV-EeV ν & γ 線空気シャワー検出器計画である。IceCube が示唆する PeV ν 対応天体を 10-100 倍の感度と 0.2 度以下の方向精度にて明快確実な発見同定を成すことが出来るポスト IceCube 検出器といえる。更にチェレンコフ光と蛍光の準水平飛跡から TeV-EeV γ 線も同時に探査できる。PeV-EeV ν & γ 線天体の広域探査と共に PeV-EeV 宇宙を“実験室”とする物理法則の検証も行える。

26. 佐古 崇志 (東大宇宙線研) チベット高原での高エネルギー宇宙線の研究

2014 年 3 月から観測を開始した MD 及び YAC の現状について報告した。さらに最近の結果として、かに星雲からの 100TeV ガンマ線探索と恒星時宇宙線異方性のエネルギー依存性 (10-1000TeV) について報告した。

27. 宗像 一起 (信州大理) チベット空気シャワーアレイ・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

1 次と 2 次の異方性の combination により、10TeV 領域では 1 次元プロットの 1 次ハーモニクス位相が南半球で後退している様子が再現できた。この解析を 100TeV 領域で行うためには、統計誤差と系統誤差の見直しが必要である。

28. 石原 安野 (千葉大) IceCube 実験による超高エネルギーニュートリノ探索

IceCube 実験による 7 年分のデータを用いた超高エネルギーニュートリノ探索の結果を報告した。10PeV を超えるようなエネルギー損失を持つ事象が観測されなかったことから、今回の解析結果は、ディップモデルを含め最高エネルギー宇宙線が陽子とした場合、より強い進化を持つ天体を起源天体とすることが難しいことを示唆する。また、宇宙線が重い原子核の場合を含む AGN 起源モデルなどに対する制限もつけ、最高エネルギー領域におけるマルチメッセンジャーによる天体クラス同定へ進んでいる。

29. 身内 賢太郎 (神戸大) 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

我々は方向に感度を持った暗黒物質直接探索実験をガス飛跡検出器を用いて行っている。現在、30×30×41cm の検出器「NEW-AGE-0.3b」を用いて神岡地下実験室 B にて暗黒物質の観測及び感度向上のための開発を進めている。平成 27 年度には、神岡地下実験室での観測によって更新した制限を PTEP 誌で公表した。また、さらなる感度向上のために、検出器の低バックグラウンド化及び低バックグラウンド化を可能とする陰イオンガスを用いた基礎試験を行った。

30. 三浦 真 (東大宇宙線研) スーパーカミオカンデにおける最新結果 (大気ニュートリノ、陽子崩壊等)

2015 年までにスーパーカミオカンデで収集されたデータを用いた大気ニュートリノ解析と核子崩壊探索の最新結果について発表した。陽子崩壊探索においては、 $p \rightarrow e^+ \pi^0$ で 1.7×10^{34} 年、 $\mu^+ \pi^0$ で 7.8×10^{33} 年、 νK^+ で 6.6×10^{33} 年の陽子寿命の下限値が得られた。大気ニュートリノ振動解析の結果、質量階層性は Normal hierarchy の仮定がデータとより合うが、Inverted hierarchy と比べて有意な差はまだ見られない。

31. Lluís Marti

(Kavli IPMU, Univ. of Tokyo)

Recent results from Super-Kamiokande on solar and supernova neutrinos and the SK-Gd project

In this talk I presented a summary of the recent results from Super-Kamiokande on solar, search for supernova neutrino bursts and the forthcoming upgrade SuperK-Gd. Solar neutrinos continue to be an interesting topic, in this talk, specially the expected up-turn in the survival probability that should happen around the 3 MeV and the day-night asymmetry that should happen from earth matter effects where the flux is expected to be larger at night. One of the main features of Super-Kamiokande is the possibility to detect neutrinos from galactic core collapse supernovae. Given the rarity and importance of such events to understand them, Super-Kamiokande has been preparing for such an occasion. Finally, I also reported about the efforts towards the new upgrade that will add neutron tagging capabilities to Super-Kamiokande, the SuperK-Gd project.

32. 市川温子 (京都大学)

T2K 実験の現状と第二フェーズに向けた展望

2015 年は、T2K 実験で初となる反電子ニュートリノ出現の探索と反ミューオンニュートリノ消失について結果を公表した。2026 年までに CP 対称性の破れを 3σ 以上で測定する可能性を持つ実験の第二フェーズについて議論が始まっている。

33. 関口哲郎 (KEK 素核研)

ハイパーカミオカンデ計画報告

ハイパーカミオカンデ (HK) 計画では、コスト削減、施工性および力学的安定性の向上を目指し、空洞形状の最適化を行ってきた。2015 年 1 月末に HK 国際共同研究グループを結成し国際的な組織体制の構築した。設計報告書をまとめ国際諮問委員

会によるレビューを予定するなど、実現に向けた動きを加速させている。

34. 本田守弘 (東大宇宙線研)
大気ニュートリノフラックスの精密計算

大気ニュートリノ実験は、地球の他の地域でも開始され始めた。特に、新しく大気ニュートリノ実験 (DEEPCORE, PINGU) が開始された南極について、大気構造をより正確に再現する大気モデル、NRLM-SISE00 を用い、神岡、インド、フィンランドと同時に大気ニュートリノフラックスを計算した。神岡、インドでは従来の計算とほぼ同じ結果が得られたが、南極、フィンランドでは季節変動など、従来の計算とは大きく異なることが示された。

35. 竹内康雄 (神戸大)

地下実験のための放射能分析装置の開発

神岡地下 (LAB-A) で、最先端の放射能分析装置 (結晶中の不純物分析、表面アルファ分析、ラドン分析) を開発する共同研究が今年度から始まった。新学術領域「地下素核研究」に参画する地下実験グループ間で連携して開発を行っている。

36. 中村 琢 (岐阜大学)

極低濃度ラドン測定システムの開発

SK 実験のバックグラウンドとなる放射性ラドンの濃度測定を継続している。SK タンク中心部の純水ラドン濃度 $0.31 \pm 0.05 \text{ mBq/m}^3$ を得た。神岡坑内の環境測定のために、24 台の小型ラドン計を設置し、最大 4 年間にわたり連続測定をしている。

37. 岩田圭弘 (原子力機構)

レーザー共鳴イオン化を用いた希ガス不純物評価に関する研究

Xe を用いた暗黒物質探索実験における希ガス不純物に着目し、レーザー共鳴イオン化を用いた Rn 除去の検討及び Kr 測定を行っている。XMASS 気相の Xe ガス中 Kr

濃度は約 100 ppt と測定され、API-MS 測定値と矛盾の無い結果を得た。

38. 鳥居祥二

(早稲田大学理工学研究所)

飛翔体観測 (CALET) による高エネルギー宇宙線加速天体の研究

高エネルギー電子の観測により近傍加速源及び暗黒物質の探索を主要な目的とした CALET は、2015 年 8 月 25 日に ISS「きぼう」に設置され、90 日間の初期運用を終了している。今後 2-5 年間の軌道上運用とデータ解析を CALET Waseda Operations Center (WCOC) において実施する。

39. 手嶋政廣 (東大宇宙線研)
CTA 計画

CTA は、現行のチェレンコフ望遠鏡 HESS、MAGIC、VERITAS とくらべ、感度を 10 倍、エネルギー帯域を 10 倍、角度分解能を 3 倍にするものであり、CTA がフル稼動すれば、大きく高エネルギー宇宙物理学を推進するものである。CTA-Japan では、主に CTA 大口径望遠鏡の建設を主導的に進めており、過去 4 年間大口径望遠鏡の焦点面検出器、読み出し回路、主鏡の開発をすすめ、いよいよ 1 号機を 2016 年度に CTA 北スペイン・カナリー諸島ラパルマに設置する予定である。

40. 窪 秀利 (京都大)

MAGIC 望遠鏡を用いた高エネルギーガンマ線天体の研究

大気チェレンコフ望遠鏡 2 台による観測で、赤方偏移 0.940 の活動銀河核を初検出し、最遠方 VHE γ 線天体の発見となった。銀河間可視赤外背景放射 (EBL) の上限値が得られ、最新の銀河形成理論による EBL モデルと無矛盾であった。また、フレア時のガンマ線は、広輝線領域の外側から放射されていることが分かった。この他にも、かにパルサーからの TeV γ 線パルスの発見や、ガンマ線連星からの超軌道周期による VHE γ 線変動の発見があった。

41. 河合誠之 (東工大) MITSuME (爆発変動天体の 多色撮像観測) プロジェクト

明野観測所に設置した3色同時撮像ロボット望遠鏡による観測で、トリガー後30分たってから増光したGRB150327Cなどこの1年に3つのGRBの残光を検出した。また、活動銀河核のモニターを継続し、ブラックホール連星V404 Cygのアウトバーストの集中観測などを行った。

42. 片桐秀明 (茨城大学) シンチレーターを用いた宇宙 ラインガンマ線用コンプトン カメラの基礎開発

福島原発事故によって飛散した放射性物質をイメージング可能なコンプトンカメラ γ の技術を宇宙 γ 線観測に応用できないか検討している。今年度はGEANT4を用いた簡易シミュレーションを行った。

43. 多米田裕一郎 (神奈川大) TA 実験

宇宙線望遠鏡による極高エネルギー宇宙線の研究

テレスコープアレイ (TA) 実験による、超高エネルギー宇宙線のエネルギースペクトル、質量組成、到来方向解析の結果を報告した。拡張実験であるTALE実験とTAx4実験が科研費に採択され、それぞれ2016、2017年から観測を開始する予定である。

44. 川崎賀也 (理化学研) EUSO @ TA

JEM-EUSOチームが開発しているEUSO-TA望遠鏡をTA望遠鏡サイトに設置しEUSO望遠鏡の基本性能評価を行っている。望遠鏡は順調に稼働しており、TA-CLF、可動紫外線レーザー光、恒星、飛行機、流星、背景夜光、雲の影、宇宙線空気シャ

ワー等のイメージの観測に成功している。現在解析中であるが、宇宙線空気シャワーイベントに関しては、少なくとも3例の観測に成功している。

45. 大嶋晃敏 (中部大) 大型ミュオンテレスコープに よる銀河宇宙線強度の観測

明野とGRAPES-3のミュオン検出器を用いた銀河宇宙線観測。GRAPES-3検出器の拡張が進行中。総面積が2倍の1,120m²になる予定。明野検出器の補修に向けて比例計数管の特性試験を行い、真空システムの準備を行なっている。ステーション(M1、M5、M8)間のデータ通信方式の切り替えを検討、通信方式を選定中。

46. さこ隆志 (名古屋大学) 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

LHC加速器をもちいた相互作用検証実験LHCfを推進。実験データと比較するモデル計算に宇宙線研計算機を使用し、二編の論文を出版した。TAとの勉強会では学生交流を含めた活発な議論をおこなった。

47. 久米 恭 (公財)若狭湾エネルギー研究センター)、 鳥居建男 (国研)日本原子力研究開発機構)、 瀧田正人 (東京大学宇宙線研究所)、 長谷川崇 ((ド) ハセテック)

宇宙機搭載用機器に対する 高エネルギー陽子線照射技術 の開発

若狭湾エネルギー研究センター (WERC) ではシンクロトロンから出射する陽子線(最大エネルギー200 MeV) を利用し、宇宙機搭載用機器に対する宇宙線模擬照射試験を

実施している。照射時に発生する二次粒子(ガンマ線)の計測により一次粒子線強度を同定するため、乗鞍観測所およびWERCでの高エネルギー光子線測定試験を実施した。乗鞍では計測システムの連続安定性に関するバックグラウンドデータを取得した。WERCではビームのスピル構造をガンマ線データにより取得した。今後は一次粒子線強度の定量に向けて取り組んでいく。

48. 塩見昌司 (日本大学生産工学部) 乗鞍岳における雷雲に伴う 二次宇宙線の研究

雷雲と二次宇宙線の関係を調べるために、夏季に乗鞍観測所に γ 線検出器・電界計・シンチレーション検出器等を設置し、約3週間観測を行ったが、周辺で落雷現象は起こらなかった。次年度に期待したい。

49. 垣本史雄 (東京工業大) ボリビア空気シャワー共同 実験

チャカルタヤ山宇宙物理学研究所における4共同利用のうち、「日本ボリビア空気シャワー共同実験」は本年度末にて終了する。そこで、同共同研究について、1959年発足以来の研究経過と成果の概要を説明した。

50. 西嶋恭司 (東海大) 研究会報告

10月には宇宙素粒子物理学の最新の動向に関する国際ワークショップTeVPA2015が国内外から170名の参加者を得て開催され、活発な議論がなされた。また、6月に粒子加速に関する小研究会が開かれた他、今後、CRC宇宙線将来計画研究会、高エネルギーガンマ線に関する研究会、大気ニュートリノに関する研究会、相対論的ジェットに関する研究会、惑星物質に関する研究会が、それぞれ開催される予定である。

宇宙・素粒子スプリングスクール

宇宙・素粒子分野への進学を目指す学生を対象にした「宇宙・素粒子スプリングスクール」が、2016年3月8日から12日までの5日間、東京大学宇宙線研究所で開かれました。講義や模擬実験などを通じて最先端の研究の雰囲気を感じてもらおうと毎年企画し、今年で5回目を迎えました。これまでは先着順での申し込みでしたが、今年からは志望動機などを基に事前審査を実施。定員30人のところ60人近くの応募があり、北は東北大学から南は九州大学まで、日本全国から情熱あふれる学生たちが集まりました。

午前中は、最前線の宇宙物理学や素粒子物理学に携わる研究者たちが登壇。歴史的な背景や最先端の研究、将来の展望などを伝えました。講義の後には鋭い質問が飛び交い、中には昼食も忘れて1時間近く議論が続く講義もありました。午後は研究者や先輩の学生のアドバイスを受けながら模擬実験に取り組む「プロジェクト研究」。本スクールの目玉企画です。ニュートリノや重力波、高エネルギーガンマ線、最高エネルギー宇宙線、観測的宇宙論の各チームに分かれて実践。日付が変わる深夜まで実



験を続けるグループもあり、時間を忘れて熱中していました。

2日目の朝、参加者の一人に声を掛けると「2時に寝ました」とのこと。宿舎のロビーで夜遅くまで、志をともにする仲間たちと語り合っていたそうです。日を重ねるごとに緊張がほぐれ、同じチームの仲間や先輩と議論を交わす眼差しは、徐々に優しくなっていました。いよいよ最終日、5日間の研究成果を発表するプレゼンテー

ションです。梶田隆章所長も審査員として見守る中、どのグループもやりきった表情で堂々と発表。ミニ望遠鏡を作って研究所の屋上で宇宙線からのチェレンコフ光を観測した高エネルギーガンマ線天文学Bチームが優勝しました。締めくくりはパーティです。梶田所長の挨拶を皮切りに盃を交わしました。「若い人の情熱を感じました。ぜひ一緒に研究をしましょう」。お待ちしております。



ICRR × IPMU 合同一般講演会

東京大学宇宙線研究所とカブリ数物連携宇宙研究機構（カブリ IPMU）の合同一般講演会「宇宙を読み解く」が、2016年4月16日（土）、千葉県柏市のアミュゼ柏で開かれました。春と秋の年に2回開催しており、今回で14回目を迎えました。昨年の梶田隆章所長のノーベル物理学賞受賞の影響を受けて、インターネットでの募集を初めて1週間で定員の400人に到達。最終的に800人以上の参加申し込みがあ

り、抽選で参加者を選びました。

宇宙線研究所の早戸良成准教授と、カブリ IPMU の西道啓博特任助教の2人が登壇しました。それぞれのタイトルは「ニュートリノ～明らかになってきた性質と残された謎」、「すばる望遠鏡～ビッグデータから迫る宇宙のダーク成分」。講演後の質疑応答では、「クォークはさらに細かい粒に壊れると思いますか?」「宇宙の膨張の速度が光速を超えることはありますか?」など

の質問がありました。

イベント終了後には、早戸先生と西道先生が会場のホールの入口で、参加者から直接質問を受け付けました。「時間の許す限り」というアナウンスでしたが、約1時間半にわたって熱い議論が交わされました。また、梶田所長と記念写真を撮ろうと多くの人が列を作っていました。



受賞

日本天文学会研究奨励賞 — 小野 宜昭



東京大学宇宙線研究所の小野宜昭助教が、すばる望遠鏡やハッブル宇宙望遠鏡などを用いた深宇宙探査観測によって高赤方偏移宇宙のフロンティアを拡大し、宇宙再電離や銀河の形成と進化の研究に大きく貢献した功績により、2015年度日本天文学会研究奨励賞を受賞しました。日本天文学会研究奨励賞は、最近5年間における天文学への寄与が顕著なる35歳以下の若手研究者を対象に、各年度3名以内に授与されます。

人事異動

発令日	氏名	移動内容	職
H27.11.13	DOMINIS PRESTER, Dijana	任期満了	特任准教授（外国人客員）
H27.11.15	林田 美里	任期満了	特任専門職員
H27.11.16	林田 美里	採用	学術支援専門職員
H27.11.16	山下 陽子	採用	臨時用務員
H27.11.20	石塚 秀喜	逝去	技術専門職員
H27.11.30	浅香 貞子	退職	事務補佐員
H27.11.30	川上亜希子	退職	学術支援職員
H27.11.30	水脇 智子	退職	臨時用務員
H27.12.1	中畑 雅行	兼務命	副所長
H27.12.1	福原 奈々	採用	事務補佐員
H27.12.15	WENDELL, Roger Alexandre	退職	助教
H27.12.31	林田 美里	任期満了	学術支援専門職員
H28.1.1	梶田 隆章	称号授与	特別荣誉教授
H28.1.1	DELGADO MENDEZ, Carlos Jose	採用	特任教授（外国人客員）
H28.1.1	福田 大展	採用	特任専門職員
H28.1.4	樋口 諒	受入開始	短期共同研究協力員
H28.3.1	端山 和大	採用	特任助教
H28.3.15	戸村 友宣	任期満了	特任助教
H28.3.16	PRONOST, Guillaume Jean Francois	採用	特任研究員（プロジェクト研究員）
H28.3.16	戸村 友宣	受入開始	協力研究員
H28.3.24	DELGADO MENDEZ, Carlos Jose	任期満了	特任教授（外国人客員）
H28.3.26	DUVAL, Florent Marcel Didier	受入終了	学振外国人特別研究員
H28.3.31	寺澤 敏夫	定年退職	教授
H28.3.31	久保真理子	任期満了	特任研究員（研究所研究員）
H28.3.31	澁谷 隆俊	任期満了	特任研究員（研究所研究員）
H28.3.31	田中 周太	受入終了	学振特別研究員
H28.3.31	藤井 俊博	受入終了	協力研究員
H28.3.31	樋口 諒	受入終了	短期共同研究協力員
H28.3.31	原 弥生	任期満了	事務補佐員
H28.3.31	清水 光文	任期満了	技能補佐員
H28.3.31	池羽希理子	任期満了	技術補佐員
H28.3.31	田村 明子	任期満了	技術補佐員
H28.3.31	豊島 義明	任期満了	技術補佐員
H28.3.31	丹羽 宏樹	任期満了	技術補佐員
H28.3.31	和仁 照子	任期満了	臨時用務員
H28.4.1	川崎 雅裕	兼務命	副所長
H28.4.1	大橋 正健	兼務命	附属重力波観測研究施設長
H28.4.1	川村 静児	配置換	附属重力波観測研究施設
H28.4.1	三代木伸二	配置換	附属重力波観測研究施設
H28.4.1	内山 隆	配置換	附属重力波観測研究施設
H28.4.1	宮川 治	配置換	附属重力波観測研究施設
H28.4.1	山元 一広	配置換	附属重力波観測研究施設
H28.4.1	齊藤 芳男	配置換	附属重力波観測研究施設
H28.4.1	苔山圭以子	配置換	附属重力波観測研究施設
H28.4.1	端山 和大	配置換	附属重力波観測研究施設
H28.4.1	廣瀬 榮一	配置換	附属重力波観測研究施設
H28.4.1	Craig Kieran	配置換	附属重力波観測研究施設
H28.4.1	加藤 陽	採用	特任研究員（研究所研究員）
H28.4.1	衣川 智弥	採用	特任研究員（研究所研究員）
H28.4.1	庄司裕太郎	採用	特任研究員（研究所研究員）
H28.4.1	榊 直人	採用	特任研究員（プロジェクト研究員）
H28.4.1	澁谷 隆俊	受入開始	学振特別研究員

発令日	氏名	移動内容	職
H28.4.1	樋口 諒	受入開始	学振特別研究員
H28.4.1	藤井 俊博	受入開始	学振特別研究員
H28.4.1	山本 常夏	新規委嘱	客員教授
H28.4.1	窪 秀利	新規委嘱	客員准教授
H28.4.1	青田 晶子	採用	事務補佐員
H28.4.1	伊藤 依子	採用	事務補佐員
H28.4.1	岩松 美穂	採用	事務補佐員
H28.4.1	前田由香利	採用	事務補佐員
H28.4.1	佐藤 直子	採用	臨時用務員
H28.4.1	南 美保子	採用	臨時用務員
H28.4.1	寺澤 敏夫	受入開始	協力研究員
H28.4.1	大浦 輝一	転入	専門員 (予算決算係長兼務)
H28.4.1	大塚 浩一	転入	一般職員
H28.4.1	渡邊 亘	転出	予算・決算係長

(H27.11.2～H28.4.1)

ICRR Seminar



2015 年度

2015.12.9

赤池陽水 (早稲田大学)
"CALET: direct cosmic ray measurements on the International Space Station."

2016.1.13

松井俊憲 (富山大学)
"Gravitational waves as a probe of extended scalar sectors with the first order electroweak phase transition"

2016.2.8

Pravata Mohanty (Tata Institute)
"Cosmic Ray Studies with GRAPES-3 Experiment"

2016.2.22

山本博章 (LIGO)
"Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger"

2016.2.24

広谷幸一 (台湾中央研究院)
"Energetic Gamma Radiation from Rapidly Rotating Black Holes"

2016.3.16

Carlos Delgado (CIEMAT, Madrid and ICRR)
"A review of AMS-02 and its results after nearly 5 years of operation."

2016.3.23

寺澤敏夫
"宇宙の非熱的・非正常現象の研究"

ICRR Seminar



2016 年度

2016.4.6

Florian Rodler
"Inspecting the atmospheres of giant exoplanets"

2016.4.27

佐藤文隆
"いまさら量子力学～ν振動、重力波検出、・・そして科学と社会～"

2016.5.16

Basudeb Dasgupta (Tata institute)
"Temporal Instability of Supernova Neutrinos"



重力波観測研究施設

重力波観測研究施設が発足しました。場所は、神岡宇宙素粒子研究施設と同じ岐阜県飛騨市神岡町の山のふもとです。大型低温重力波望遠鏡「KAGRA」は、2016年3月に試験運転を実施しました。今後さらに感度を高める改良を重ね、2017年度末の本格稼働を目指します。

No. 96

東京大学宇宙線研究所

2016 spring

〒277-8582 千葉県柏市柏の葉 5-1-5 TEL (04) 7136-5148

バックナンバー：<http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/cat-icrr/>

編集 広報室