

CONTENTS

P 1.
初代星連星ブラックホール
からの重力波
・・・衣川 智弥

P 4.
平成 28 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
・・・森山 茂栄

P10.
イベント報告

P 12.
人事異動

P 12.
ICRR Seminar

TOMOYA KINUGAWA, ICRR - High Energy Astrophysics Group

研究紹介



東京大学宇宙線研究所
衣川 智弥

初代星連星ブラックホールからの 重力波

我々は宇宙最初の星である初代星が約 30Msun の連星ブラックホール (BBH) になり、現在まで合体せずに残っているものがあることを示した。これは従来 X 線連星で観測された BH 候補天体に比べ 3 倍重く、そのような BH は存在しないだろうと思われていた。一方、世界初の重力波の観測結果は約 30Msun の BBH 合体であった。これにより、重い BBH の存在が観測的に示されており、それらは初代星起源かもしれない。

2015 年 9 月 14 日、advanced LIGO は世界で初めて重力波 (GW150914) の直接観測に成功した^[1]。GW150914 のシグナルから合体前のコンパクト連星の質量は 36 太陽質量と 29 太陽質量であることがわかった。中性子星には約 3.2 太陽質量の上限質量があるのでこのコンパクト連星は連星ブラックホールであったと結論付けられている。今まで X 線連星で確認されてきたブラックホール候補天体は典型的に 10 太陽質量程度の質量であり^[2]、今回のようなその 2、3 倍も重いブラックホールは確認さ

れたことがなかった。したがって、この GW150914 は重力波の初検出というだけでなく、連星ブラックホールの存在、しかも、宇宙には従来考えられていなかった約 30 太陽質量の重いブラックホールが多く存在することが示唆されている。前節では GW150914 のような重いブラックホールが従来考えられてこなかったといったが、一部ではその存在が提言されていた。それが初代星起源の連星ブラックホールである。初代星の連星が進化していくと典型的に 30 太陽質量の連星ブラックホールなり、重

力波で観測されることが2014年に我々によって示されている^[3]。初代星がこのような連星ブラックホールになり重力波で観測されることが予言されていたのでLIGOグループの論文では詳細に「驚くべき事にGW150914は衣川らの予言の質量とびつたりと一致している。」と数度にわたり引用されている^[4]。以降では初代星とはどのような星かをまず説明し、なぜ30太陽質量の連星ブラックホールになるのかについて述べる。

まず、初代星とはビッグバン後にできた最初の星々のことであり、種族III星と呼ばれることもある。ここで、種族II星を太陽に比べ比較的low金属な環境でできた星のことを呼び、太陽程度の金属量の場合、種族Iと呼ぶ。初代星を構成する元素はビッグバン元素合成を反映しているため、主に水素とヘリウムといった軽い元素である。そのため、炭素より重い元素の量（業界ではこれを金属量と呼ぶ）がゼロである。これにより、初代星は基本的に大質量星として生まれると考えられている。それはなぜかという、物質が重力によって集まり収縮して星を作る際に、物質の温度は上がり圧力が上がることで重力に拮抗してくる。この際に、金属やダストがあると放射で冷える効率がよく、温度が下げることができ、圧力が下がる。一方で、初代星の形成時には金属やダストがないため、冷えるには水素分子による冷却やHDによる冷却が効くのだが、これは金属やダストに比べて効率が悪く冷えづらい。そのため温度が高く、圧力も大きい。その状況でも収縮して星を作るためには強い重力、つまり質量が大きい必要があるということである。そのため、初代星は種族Iや種族IIの星に比べて重い星として生まれてくると考えられている。近年の研究より、初代星の典型的な質量は10-100太陽質量程度と考えられている^[5]。これは、典型的な質量が太陽質量程度である現在の星に比べ、非常に重い。中性子星及びブラックホールの母天体は8太陽質量以上なので、初代星は現在の星よりもこれらのコンパクト星になりやすい。さらに、初代星は恒星風による質量損失が効かない。つまり、質量を失わず重いまま進化していくため、より重いコンパクト星になりやすいと考えられる。

では、これらの星が連星として進化して

いく際はどのようなのであろうか。ここで重要なのは単独星の進化経路とそれに対しての連星相互作用による影響である。連星相互作用において、特に重要なのが主星と伴星の間の質量交換と共通外層状態である。たとえば、主星が進化していき、外層が膨らんだとき、外層の一部が伴星の重力圏にとられる。そのとき、伴星と主星の間でガスの供給が起こり、星の質量が変化する。星の一生は質量に依存するので、質量交換の有無は星の進化にとって重要である。主星の半径が大きくなり、伴星が主星の外層に突入している状態を共通外層状態という。この状態は質量交換が激しい場合、もしくは楕円軌道により巨星の外層に突入した場合に起こると考えられている。共通外層状態は半径が大きく、外層が対流優勢になっている赤色巨星の時に起きやすい。共通外層状態において、伴星は主星の外層により摩擦を受けて角運動量を失うため、急激に軌道長半径が小さくなる。この際、軌道長半径が縮まることで重力エネルギーが解放された分、外層は吹き飛ぶ。重力波による合体時間は軌道長半径の4乗に比例するため、共通外層によって近接連星となるか、合体してしまうかを正しく見積もることはコンパクト連星合体を考えるうえで重要である。種族I、種族II起源の連星進化では恒星風による質量損失で軌道が広がってしまう。そのため、コンパクト連星

形成において宇宙年齢以内に合体するには共通外層状態を経なければいけない。なので、近接したコンパクト連星となる種族I、種族IIの連星は一回以上この共通外層状態を経て進化していると考えられる。種族I星および、種族II星の場合では、この共通外層状態による外層の剥ぎ取りや恒星風による質量損失があるため、これらをもとにして出来る連星ブラックホールは典型的には10太陽質量程度と考えられている。実際に、X線連星で観測されてきたブラックホール候補天体の質量も10太陽質量程度である。

種族I、種族II起源の星に比べて初代星では連星進化はどう変わるのか。まず、初代星は金属がないために恒星風による質量損失がない。これは星が重いまま進化していくというだけでなく、連星においては質量損失による軌道の広がりがなくなる。そのため、近接連星になりやすい効果がある。これに加え、星の進化が異なることによる共通外層状態へのなりやすさの違いがある。初代星では50太陽質量より重い星は林トラックまで行き赤色巨星となるが、50太陽質量より軽い星は赤色巨星にならず、半径の小さい青色巨星として寿命を終える（図1）。青色巨星は半径が小さいため連星相互作用が起きづらい。また、質量交換が激しくなりづらいため、共通外層状態になりづらい。したがって、初代星の連

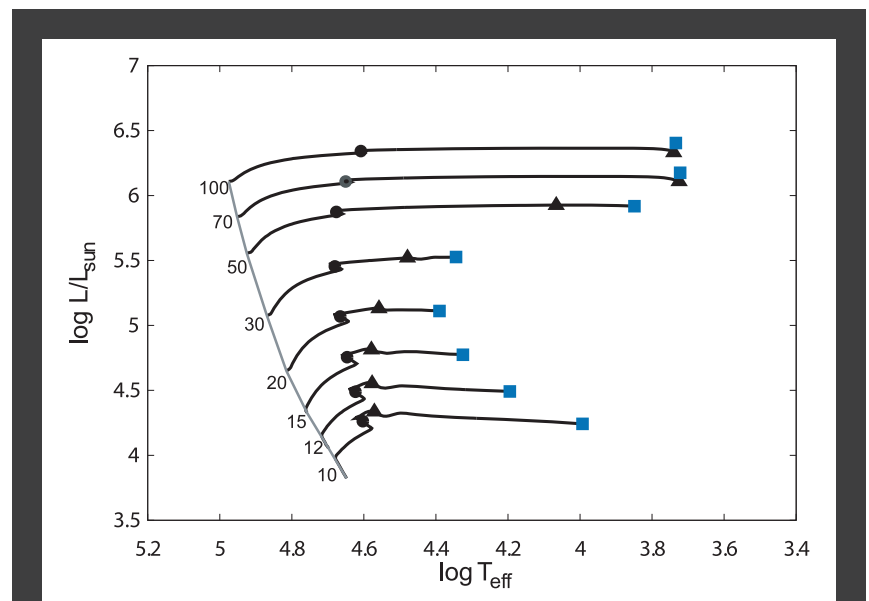


図1：初代星のHR図 [3,6]。下から順に10 M_⊙、12 M_⊙、15 M_⊙、20 M_⊙、30 M_⊙、50 M_⊙、70 M_⊙、100 M_⊙の進化について追ったもの。○は中心核での水素燃焼の終了時かつヘリウム燃焼開始時、△は中心核でのヘリウム燃焼終了時、□は炭素燃焼開始時に対応している。

星は50太陽質量より重い星は共通外層状態を経由して進化し、50太陽質量より軽い星は共通外層状態を経ずに進化していく。その結果、50太陽質量より重い初代星は共通外層状態や激しい質量交換によって外層を失うため、初期質量の約1/2～1/3程度になる。その結果30太陽質量程度のブラックホールとなる。一方、50太陽質量より軽い初代星は共通外層状態にならず安定した質量交換程度しか起こらないため、あまり質量損失せず、だいたい初期質量のままか少し軽くなった程度で進化し

ていく。このとき、中性子星や数太陽質量程度の軽いブラックホールは超新星爆発によって連星が解体してしまうか軌道が広がってしまう。そのため、近接連星として残りやすいのは重いブラックホールとなる。そのため、50太陽質量より軽い初代星も残るのは30太陽質量程度のブラックホールとなる。また、重力波によるエネルギー放出は弱いため、これらの連星ブラックホールが合体するまでのタイムスケールは数億年から宇宙年齢以上と非常に長い。したがって、宇宙初期にできたコンパクト

連星でも現在で合体することを示した。このようにして、我々は初代星起源の連星は典型的に約30太陽質量程度の連星ブラックホールになり重力波で検出されることを2014年に示した。そして、LIGOによる重力波の初検出はまさに約30太陽質量の重い連星ブラックホールの合体によるものであった。これにより、宇宙には従来考えられていなかった重い連星ブラックホールが多く存在することが示唆されており、それらは宇宙初期にできたものかもしれない。

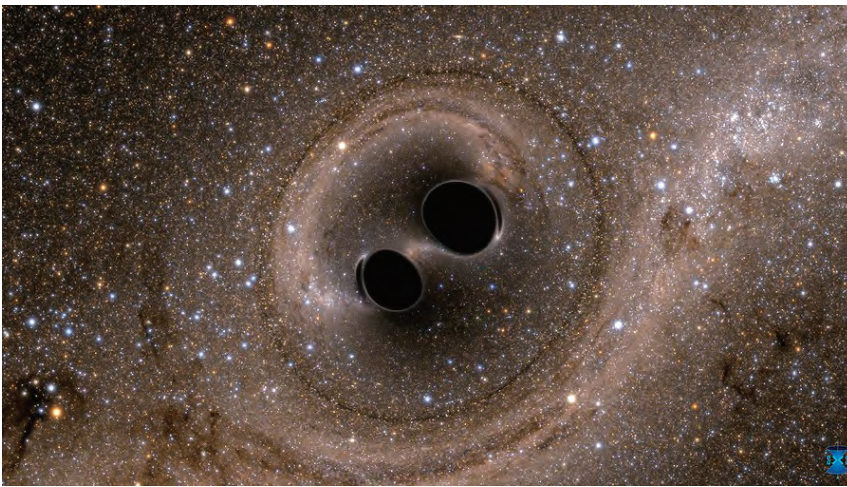


写真1：連星ブラックホール合体のイメージ図

クレジット：SXS, the Simulating eXtreme Spacetimes (SXS) project (<http://www.black-holes.org>)

参考文献

- [1] Abbott B. P., et al. 2016 Phys. Rev. Lett. 116, 061102
- [2] Remillard R. A. and McClintock J. E., 2006 ARA&A 44, 49
- [3] Kinugawa T., Inayoshi K., Hotokezaka K., Nakauchi D., Nakamura T., 2014, MNRAS, 442, 2963
- [4] Abbott B. P., et al. 2016 ApJL 818, L22
- [5] Hosokawa T., Omukai K., Yoshida N., Yorke H. W., 2011, Science, 334, 1250
- [6] Marigo P., Girardi L., Chiosi C., Wood P. R., 2001, A&A 371, 152

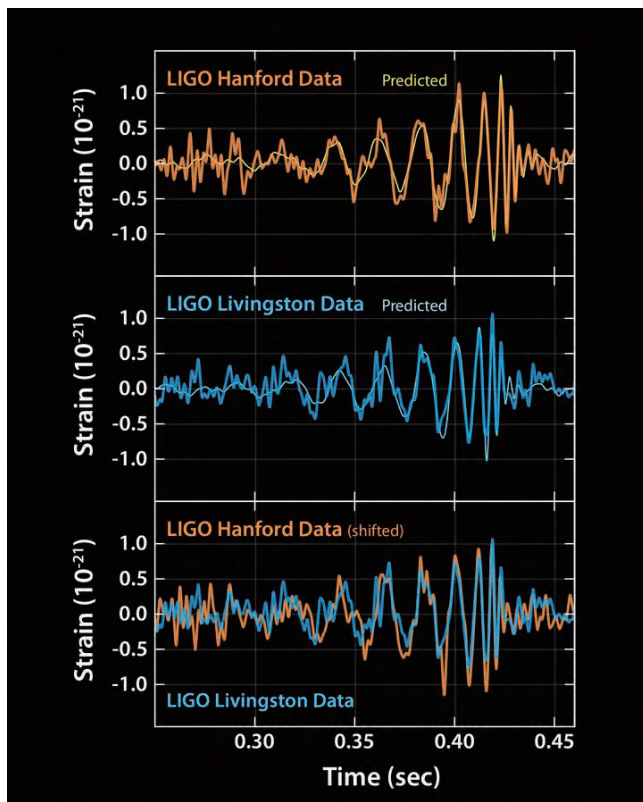


写真3：リビングストンにあるLIGO観測器

クレジット：Courtesy Caltech/MIT/LIGO Laboratory

写真2：世界で初めて観測された重力波信号GW150914

クレジット：Caltech/MIT/LIGO Lab



東京大学宇宙線研究所
森山 茂栄

平成28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28年度の共同利用研究成果発表会が、平成28年12月9日(金)と10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44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神田委員長から研究会開催の採択課題6件に関する報告もまとめて行われた。発表会は、およそ88名の参加を得て盛会となった。本稿では、発表会の講演概要を記す。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/event/77/other-view?view=standard>

1. 亀田 純 (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)」

2016年4月に観測20周年を迎えた本実験であるが本年度も安定した稼働と観測を行い、その最新結果について報告した。大気ニュートリノを用いたニュートリノ振動の研究ではニュートリノの順質量階層性が favor され ($\sin^2 \theta_{23}=0.4, 0.6$ それぞれについて $P\text{-value}=0.031, 0.007$)、また「物質効果がある」ことが 2σ 以上で favor されるという結果を得た。核子崩壊探索では最終状態に ρ, η, ω を含むモードの探索を更新し、有意な信号は観測されなかったものの最も厳しい寿命の制限を与えた。

2. 中野佑樹 (神戸大学) 「スーパーカミオカンデにおける最新結果 (太陽ニュートリノ、SK-Gd、等)」

Super-Kamiokande 検出器で取得された約5200日分の観測データを解析した。本年度は特に太陽ニュートリノ flux と太陽活動との相関を研究したが、20年間で有意な変動は見られなかった。また、太陽の物質効果によるエネルギースペクトラムの歪みはいまだに観測されていない。超新星背景ニュートリノ探索を目指す SK-Gd 実験に向けた準備と検証を進めている。企業と協力して添加用の Gd 粉末の純化を進めた。また、Gd 添加水の製造装置の建設が始まり、順調に進んでいる。

3. 関口哲郎 (KEK) 「東海 to 神岡長基線ニュートリノ実験 T2K」

T2K 実験は、2016年夏までに 1.51×10^{21} POT に相当するデータを収集し、それぞれ32事象(4事象)の電子ニュートリノ(反電子ニュートリノ)事象候補を観測し、CP対称性が保存すること ($\delta_{CP}=0, 180^\circ$) を90%CLで棄却する結果を得た。今後は、T2K-phase2計画として、ビームパワーを1.3MWまで増強するなどして 2×10^{22} POT のデータを収集し、 3σ 以上の感度でCP対称性の破れの観測を目指していく。



4. Roger WENDELL

(京都大学理学研究科)

「ニュートリノ質量階層性の決定を目指す、T2K 実験とスーパーカミオカンデ実験の共同解析」

ニュートリノ質量階層性の早期決定等を目的として、今までに別々で研究を進めて来たスーパーカミオカンデ実験と T2K 実験の共同振動解析を実現するため、それぞれの系統誤差の取扱いや解析方法を統一している。最初の一步として共同解析方法でハイパーカミオカンデ実験の感度評価を行った。

5. 竹内康雄

(神戸大学大学院理学研究科)

「地下実験のための放射能分析装置の開発」

神岡地下実験室 A (LAB-A) に於いて、最先端の放射能分析装置を開発する共同利用研究を、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行っている。現在、結晶中の不純物分析装置、表面アルファ分析装置、ラドン分析装置(吸着、膜透過)の各装置の研究開発が進行中である。

6. 中村 琢(岐阜大学教育学部)

「極低濃度ラドン測定システムの開発」

SK 実験の背景事象となる環境中の放射性ラドンを低減するために、神岡坑内の環境

中のラドン濃度を測定している。大気中ラドン測定用に容量 1L の小型ラドン計と RaspberryPi によるデータロガーを開発し、坑内 33 台、SK エリアに 13 台設置した。ラドン濃度の多地点同時測定により坑内の大気の挙動を観測している。

7. 新谷昌人(東京大学地震研)

「神岡坑内における精密地球物理観測と地殻活動のモデリング」

2003 年より神岡地下施設において地殻活動や地球内部構造の解明などを目的とした地球物理観測を行っている。静穏な地下環境において 100m レーザー伸縮計では地球潮汐や地震に伴う地殻変動などが高精度に観測できることが示された。超伝導重力計では重力の経年変化が高い精度で観測された。地下水圧や積雪の影響が認められたが、観測結果をモデル化し補正することができた。今後は KAGRA の 1500m 伸縮計との並行観測および定期的な重力測定を行い、観測を継続する。

8. 加納靖之

(京都大学防災研究所)

「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高感度地震計、広帯域地震計、地殻変動・地下水観測装置等のデータを、神岡宇宙粒子研究施設のネットワーク回線の一部を利用して、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に活用した。

9. 林田将明(東大宇宙線研)

「CTA 計画」

CTA 大口径望遠鏡 (LST) 初号機は、2017 年 11 月の first light を目指し、スペイン領カナリア諸島ラパルマ島にて基礎工事がほぼ完了した。日本グループは、主に光学系と焦点面カメラ要素開発の責任を担い、初号機用の全数品質検査・統合試験を終え、サイトへの輸送の準備を整えている。その他、名古屋グループによる小口径望遠鏡 (GCT) の焦点面検出器開発への貢献や、また CTA が狙うキーサイエンスをまとめた冊子が出版予定となっている。

10. 榊 直人(東大宇宙線研)

「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」

超高エネルギー宇宙線空気シャワー中のミューオン数密度比について Akeno/AGASA で明確に分離観測した結果と最新の CORSIKA 空気シャワーシミュレーション (EPOS-LHC 相互作用モデルを使用) による計算結果を比較した。Preliminary な結果では Auger グループが報告した観測ミューオン数が期待値より多い傾向は見られていない。

11. 野中敏幸(東大宇宙線研)

「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) 実験のこれまでのスペクトル、化学組成、異方性についての観測結果を報告し、それを受けて現在進行中の拡張計画 (TAx4, TALE) の進捗状況について報告した。また、進行中の新型検出器、校正装置の R&D、雷雲からの放射観測などについての進捗報告も行った。TAx4 TALE 拡張計画は、この 2 月に本格的な設置作業に入る予定である。

12. 塔 隆志

(名古屋大学宇宙地球環境研究所)

「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」

CERN LHC 加速器における超前方粒子測定実験 LHCf と、米国 BNL RHIC 加速器における実験 RHICf を推進している。モデル予想のモンテカルロ計算に宇宙線研大型計算機を利用した。28 年度は異なる衝突エネルギーでの中性子中間子生成断面積のファインマンスケールリングを実証する論文を発表した。また、TA グループとの勉強会を実施し、加速器実験と空気シャワー観測グループの情報共有を進めている。

13. 田中秀和 (東大宇宙線研)

「ハイパーカミオカンデとそれに向けた新型光検出器開発」

ハイパーカミオカンデは、ニュートリノ CP 対称性の破れの発見、陽子崩壊の発見、超新星ニュートリノの観測など重要な物理研究課題を複数持つ実験であり、本実験の早期実現が急務である。ハイパーカミオカンデ国際共同研究グループは、従来の 2 倍の感度を持つ新型光検出器の開発に成功し、それを用いた本実験の基本設計や物理感度をまとめたデザインレポートを公開した。本実験実現に向けて、検出器建設候補地での更に詳細な地質調査の実施など、着々と準備を進めている。

14. 荒川久幸 (東京海洋大学)

「地下実験室の環境連続計測および環境中に放出された放射能に関する研究」

地下実験室において環境 (気圧、気温、湿度、ラドン濃度) の計測を 10 年以上継続している。停電や漏水、PC の故障などのトラブルにより、機器の不具合が生じている。配線のかさ上げ・整線、実験室入口扉のテンキー化、防犯カメラシステムの設置により解決を図った。海域に放出された ^{110m}Ag の海産植物への分布および濃度の経年変化を調査し、地下実験室でその濃度を計測した。海草類では海藻類より濃度が高

い値を示した。

15. 大嶋晃敏 (中部大学工学部)
「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」

明野観測所とインド・GRAPES-3 のミュオンテレスコープによる、銀河宇宙線観測である。明野観測所・M5 ミュオンステーションの比例計数管約 100 本の再配置と改修を行い、整備した可搬式真空システムで真空引き試験を行った。M1、M8 のネットワークを独立した WiFi ネットワークに切り替え、各ステーションに温湿度監視を整備した。GRAPES-3 のミュオン検出器の拡張作業では、予定本数の約半分 (2,000 本) の比例計数管とプラットフォームが完成した。

16. 伊藤亮介 (東工大)

「MITSuME (爆発変動天体の多色撮像観測) プロジェクト」

ガンマ線バースト (GRB) などの突発天体に対する、明野 MITSuME 50cm 可視望遠鏡による即時観測は順調に行われており、今年度は約 30 回の GRB 追観測を実施した。空き時間を利用し、X 線連星や活動銀河核のモニター観測も継続している。また重力波天体の可視フォローアップ観測に備え、世界中の望遠鏡と連携した観測体制や解析の準備が整いつつある。

17. 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」

平成 28 年度は、すばる HSC 探査の初期観測で得られた広帯域および狭帯域撮像データに基づいて $z=4-7$ における 44 万個のライマンブレイク銀河および $z=6-7$ における 2 千個のライマン α 輝線天体を検出した。これから UV 光度関数および Ly α 光度関数を求め、宇宙再電離源と再電離史に関する研究を進めている。本年度は 12 月の時点で 14 編の論文を査読誌に出版もしくは投稿した。

18. 松原 豊

(名古屋大学宇宙地球環境研究所)

「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、第 24 太陽活動期で太陽中性子観測が行われている。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。第 24 太陽活動期は、平成 26 年 2 月に極大を迎え、それ以降下降線をたどっているが、太陽中性子は極大期以降に検出されることもあるので、今後とも観測を継続していきたい。平成 28 年 7 月 23 日に乗鞍で観測条件のよい時間帯に中規模の太陽フレアが発生したが、太陽中性子は検出されなかった。

19. 松澤孝男

(量子科学技術研究開発機構
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資する基礎データ収集を目的に、乗鞍観測所 (標高 2770m) おいてレムカウンタベースのコンパクト中性子観測装置を用いた二次宇宙線中性子モニタリングを実施した。レムカウンタ計数率の年変化では、11 月～翌年 4 月にかけて計数率の減少が見られた。今後、減少要因等の考察を行う。

20. 久米 恭

(若狭湾エネルギー研究センター)

「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放射線 (ガンマ線) の計測で一次放射線強度を同定する技術を開発するため、乗鞍観測所、原子力機構ふげん構内、および WERC での高エネルギー光子線測定試験を実施した。乗鞍では夏期約 2 ヶ月の期間、NaI 検出器を設置して 100 MeV 程度まで

の光子線バックグラウンドを測定するとともに、電場計も設置することで雷由来放射線計測にも対応した。今夏の測定データは今のところ解析途上である。今後は一次放射線強度の定量に向けて取り組んでいく。

21. 加藤 陽 (東大宇宙線研) 「雷雲内における電子加速現象の観測研究」

ターゲットのプラスチックシンチレータを640kgから1トンに大型化させた検出器をトラックに積載し、2014年以来二度目となる夏季山岳地帯での雷雲バースト観測を乗鞍観測所でおこなった。今夏の観測期間は1ヶ月強と短かったが、それでも3回の長持続性雷雲バーストを観測した。今後はこれらの雷雲バーストイベントの解析を進め、バースト発生モデルの検証や夏季山岳地帯と冬季沿岸地域での電子加速の規模の違いなどを解明していく。

22. 伊部昌宏 (東大宇宙線研) 「宇宙の進化と素粒子模型」

本年度の成果の一つとして熱的に生成される暗黒物質の質量に対するいわゆるユニタリティ上限 (~300TeV) を超える熱的暗黒物質が可能となる模型を考案した。そこでは暗黒物質が対消滅する際に空間的に大きな半径を持つことが特徴と成っている。この模型では ICECUBE 実験による PeV 領域の neutrino excess を熱的暗黒物質の崩壊によるものとして説明可能となっている。

23. 飯田崇史 (大阪大学理学研究科)

「 ^{48}Ca の二重ベータ崩壊の研究」

CANDLES は ^{48}Ca の二重ベータ崩壊探索実験である。現在、岐阜県の神岡地下実験・施設内に、300kg のフッ化カルシウム (CaF_2) シンチレータを用いた CANDLES III (U.G.) 検出器を建設し測定を行っている。2015年から2016年にかけて主要バックグラウンドである中性子捕獲起源の外部ガンマ線を遮蔽するシールド構築を行った。その結果、4MeV以上の領域において、中性子捕獲ガンマ線を約二桁低減することに成功した。

24. 大橋正健 (東大宇宙線研) 「神岡での重力波観測」

本研究は、低温レーザー干渉計プロトタイプ CLIO に関係した開発研究である。現在は KAGRA の建設が進んでいるが、実験研究ができる高性能なレーザー干渉計であることと、地球物理観測機器を併設しているため、現在も研究及び維持管理を続けている。

25. 平出克樹 (東大宇宙線研) 「液体キセノンを用いた暗黒物質探索」

832 kg の液体キセノンを用いた XMASS-1 検出器でデータ収集を継続している。2013年11月からの1年4ヶ月間のデータを用いて季節変動による暗黒物質探索を行い、DAMA/LIBRA が主張する季節変動をほぼ排除する強い制限を与えた。Xe-124 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つける等、XMASS の特徴を活かした多様な物理解析を展開している。また、次期検出器のために表面 BG を削減する研究も進めている。

26. 中村正吾 (横浜国立大学大学院工学研究院)

「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は近紫外領域で目立った発光が無いことが確認され、散乱長の実測値が従来の理論に基づく計算値と一致しないことが確定的になった。なお、以前に速報した近赤外領域での発光は、キセノン原子の励起状態間の遷移に伴う発光である可能性を示した。今後、散乱長を高精度で測定する新たな実験を計画中である。

27. 岩田圭弘 (東京大学大学院工学系研究科/ 原子力機構大洗研究開発センター)

「レーザー分光分析手法を用いたバックグラウンド評価に関する研究」

Xe を用いた暗黒物質探索実験における希ガス不純物の影響を評価するため、レーザー共鳴イオン化を用いた Kr 測定及び Rn

除去の検討を行っている。XMASS 液相から採取した Xe ガス中 Kr 濃度は 60-70 ppt 以下と評価された。コンタミ要因の一つであるパルスバルブの電極シール用 O リングを交換し、測定系のさらなるバックグラウンド低減に努めている。また、共鳴イオン化に代わるキャビティーリングダウン吸収分光法の利用を検討している。

28. 寄田浩平 (早稲田大学理工学術院総合研究所)

「気液 2 相型アルゴン光検出器による暗黒物質探索」

年度前半は、プロトタイプ検出器を用いた複数 PMT の読み出し、VUV-MPPC の実装、発光位置分解能の評価等を行った。後半は十分な鉛シールドを設定可能な新実験室に移設し、TPC を鉛直方向 30cm に変更、 ^{39}Ar 事象の初観測を達成することができた。低エネルギー閾値での S2 発光の詳細理解やシミュレーションの構築にくわえ、来年度以降の本実験のための検出器の構築も同時に推進している。

29. 町田祐弥 (海洋研究開発機構 地震津波海域観測研究開発センター)

「神岡鉱山および南海トラフ掘削孔に設置した体積歪計の応答特性比較」

神岡鉱山観測点で評価した広帯域地震計、傾斜計について 2016 年 4 月、南海トラフ C0010 長期孔内観測点へ設置を行い、2016 年 6 月から地震、地殻変動、海底下流体変動のリアルタイム観測を行っている。また、神岡鉱山孔内には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設置し、長期評価試験を実施している。今年度は南海トラフに設置したセンサーと神岡試験孔内のセンサーについて比較評価を実施した。

30. 宗像一起 (信州大学理学部) 「乗鞍岳におけるミューオン強度の精密観測」

乗鞍ミューオン計による今年度の観測状況を報告した。また、名古屋ミューオン計に

よる約40年間の観測データに大気気温効果の補正を加えた結果、従来主に中性子計で観測されていた太陽活動/双極子磁場周期(11年/22年)変動がミュオン計でも明瞭に観測されていることが判った。変動の振幅は中性子計の約1/5である。この結果は、太陽モジュレーションのエネルギー依存性を調べるための貴重な情報を提供する。

31. 川田和正(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」

水チェレンコフミュオン観測装置は2014年より観測を継続中。MCによる解析の最適化によりガンマ線のエネルギー分解能が向上。TeV領域の「太陽の影」におけるCMEの影響を観測。YAC-II実験ではKnee領域1次宇宙線組成を測定するために2014年から観測を継続中。雷雲からの高エネルギー放射線観測では電場・空気シャワーに加えガンマ線のトリプルコインシデンスを目指し観測を継続中。

32. 常定芳基

(大阪市立大学理学研究科)

「ボリビア・チャカルタヤ山宇宙線観測所における高エネルギー γ 線・宇宙線観測のための空気シャワー実験」

南天でのSub-PeV領域宇宙ガンマ線の広視野連続観測を目的とし、ボリビア・チャカルタヤ山麓の約4800mの平地地帯に面積10万平方メートル級の空気シャワーアレイを建設するALPACAプロジェクトが始動した。2016年度はサイトの決定と検出器の試験が完了した。プロトタイプアレイのための物資輸送は年度内に行われ、2017年度内には建設とキャリブレーションが完了し、運転が開始される予定である。

33. 鳥居祥二

(早稲田大学理工学術院総合研究所)

「飛翔体観測による高エネルギー宇宙線加速天体の研究~CALETの現状報告と初期観測結果~」

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月にISS「きぼう」に設置された。これまで約14ヶ月の間、軌道上運用がCALET Waseda Operations Center(WCOC)において順調に実施されており、高エネルギー(>10GeV)トリガーによる宇宙線イベントを約2.7億例取得している。現在、国際チームによるデータ解析が進行中であり、5年間の観測を予定している。

34. 小川 了(東邦大学) 「Ashra 観測」

VHEPA2016研究会を開き、宇宙素粒子複合的撮像観測計画Ashra NTAの国際推進部会(IPWG)を設置し、NTAの最適化を進めた。世界最大体積の山Mauna Loa周囲の大気を発光体とし俯角30度内の $\nu\tau$ を、3PeVでIceCubeと同程度、30PeV以上で10-100倍の有効面積を有することが示された。さらに10-100TeVの大天頂角 γ 線をチェレンコフ光、1-100PeVの全半天 γ 線を蛍光にて解像度0.1度以下で複合的撮像監視し、銀河中心他、加速起源の発見同定を強力に推進できることが確認された。2022年NTA全機能観測に向け、世界最大の量産用20インチ光電撮像管や蛍光トリガー等も開発準備された。

35. 埜 隆志

(名古屋大学宇宙地球環境研究所)

「新しい宇宙線空気シャワーシミュレーションコードの開発」

宇宙線空気シャワー解析のために、現在主流のCORSIKAと独立した空気シャワーシミュレーションコードの開発を目指す。28年度は昨年度に引き続き既存のCOSMOSコードの改良を進めた。これまでインテルコンパイラで使用していたCOSMOSをGFortranで利用可能にし、10月に公開した。この他、様々なアプローチによるCOSMOSの改良、将来の新コード開発に向けた議論と準備を進めている。

36. 宗像一起(信州大学理学部) 「スーパーカミオカンデとチベット空気シャワーアレイによる10TeV宇宙線強度の恒星時日周変動の観測」

10TeV領域の観測結果に対する最近の研究のレビューを行った。また、チベット空気シャワーアレイとIceCube/IceTopによる南北両半球観測で観測された恒星時日周変動のエネルギー依存性には、約100TeV前後で明瞭な違いが見られることを報告した。この結果を近く学術誌に投稿すべく、準備が進められている。

37. 川村静児(東大宇宙線研) 高橋竜太郎(国立天文台) 都丸隆行(KEK) 田越秀行

(大阪市立大学大学院理学研究科)

「大型低温重力波望遠鏡に関する研究(VI)他(F01-F17)」

initial KAGRAの試験運転(2016.3.25-3.31、4.11-4.25)を行った。典型的感度は100Hzで $6 \times 10^{-16} \text{ Hz}^{-1/2}$ (第2期)、転送速度はトンネル内から大阪市大までで3secであった。その後、データ解析や、baseline KAGRAに向けての、鏡のコーティングや補助光学系の性能試験、防振システムの組み立て、クライオスタットの設置、アセンブリ、冷却試験などが行われた。

38. 矢ヶ部遼太(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、 $30 \times 30 \times 41 \text{ cm}$ 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28年度までに、PTEP誌で公表した神岡地下実験室での観測を継続、約7倍の統計量を得、解析を進めている。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地下環境の中性子バックグラウンドの測定を開始した。

39. 櫻井敬久 (山形大学) 「宇宙線生成核種 Be-7 の 時間変動の観測」

2000年から17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て太陽黒点数、中性子強度の変動と比較した。23期から24期へかけての太陽活動変化と Be-7 濃度変動との関係を調べた。その他、乗鞍高度での Be-7 の粒径観測結果を示し、山形における Cs-137 濃度と風向との関係を調べた。

40. 日比野欣也

(神奈川大学工学部)

「乗鞍岳における雷雲に伴う二次宇宙線の研究」

雷雲および雷放電と二次宇宙線との関係を調べるため、100TeV 宇宙線からの空気シャワーを検出するミニアレイトと100keVから100MeVまでのガンマ線検出器など乗鞍観

測所に設置した。観測は7月19日から9月19日の期間に行うことができた。この間周辺で落雷事象は観測されていないが、雷雲通過は何度かあった様子である。現在、雷雲通過時のデータの解析を進めている。

41. 榎戸輝揚

(京都大学理学研究科)

「雷雲電場による電子加速の観測的研究 ~夏季高山観測の展開と冬季多地点観測へ向けた取り組み~」

日本海岸に冬季に到来する雷雲では強電場で電子が加速され制動放射ガンマ線が地上に届く。加速現象の存在はこれまでの放射線観測で確立してきたが、ほぼ単地点の測定であったため、放射域の真の大きさや継続時間、加速の始まりと終わりは捉えられていない。そこで我々は検出器の小型化、省電力化、低価格化を進め、石川県の高校や大学、博物館の屋上の多地点に設置することで、多地点マッピング観測を開始した。

今年度は合計7箇所への設置を行っている。

42. 神田展行

(大阪市立大学理学研究科)

「研究会サマリー」

平成28年度の研究会関連の採択課題は6件であり、委員長よりまとめた報告がなされた。それぞれの参加人数は規模は20~80名程度である。今年度も活発な研究会活動がなされた。特に、本年度から始まった「宇宙素粒子若手の会」の会合は、大学院生や若手研究者の活性化につながるを期待する。高エネルギーガンマ線、ニュートリノといった宇宙線分野の大型計画に関する研究会が行われた。また粒子加速、惑星物質といったトピックスを絞った研究会も開催された。宇宙線研究者会議 (CRC) の研究会では、継続的な将来計画への議論が企画された。

柏キャンパス一般公開

東京大学柏キャンパスの一般公開が、2016年10月21、22の両日に開かれました。近隣に住んでいる家族や中高生の団体、この日のために遠方から旅行に来た人などで賑わい、キャンパス全体で約9600人、宇宙線研究所には約2400人が訪れました。

宇宙線研究所では、「話す」「体験する」「見る」を切り口にした9種類の企画を実施しました。研究者と話すトークイベントや、重力波を観測するレーザー干渉計を組み立てるワークショップ、霧箱で宇宙線を観察するワークショップ、青空の下で熱戦が繰り広げられた〇×クイズ大会、暗黒物質を探る実験装置のペーパークラフトなどです。

話す——今年、2015年の梶田隆章所長のノーベル物理学賞受賞を受けて、研究所6階にある展示コーナーをリニューアル

しました。各研究グループの研究者が展示パネルの前で、来場者と一緒にとことん話していました。宇宙はどのように始まったのかについての自分の考えについて熱を込めて話すご年配の方や、スーパーカミオカンデの一般公開に参加した思い出を語る小学生の親子、宇宙の研究を志す高校生。参加者の人たちは、専門の研究の話だけにとどまらず自然現象の不思議について語り合ったり、普段の生活のようすなどを尋ねたりしていました。

体験する——子どもたちが3つの司令が書かれたミッションカードを握りしめて、研究所内を探検する「ミッションラリーうちゅうはかせになろう!」。高感度の光センサーの探索や霧箱での宇宙線の観察をクリアした子どもたちに課せられた最後のミッションは、「はかせに質問すること」

でした。「宇宙にはどうして空気がないの?」。柏市内に住む6歳の男の子が大きく瞳を開いて研究者の「はかせ」を見つめました。「じゃあどうして地球には空気があると思う?」。研究者の男性はその男の子に優しく話しかけていました。

見る——スーパーカミオカンデとXMASS、KAGRA。岐阜県飛騨市の神岡鉱山の地下にある実験装置の周辺を、全天球の360度パノラマ画像で探検できるWebコンテンツをお披露目しました。来場者たちは自分のスマホを使って坑道の中を探検。暗闇の坑道の壁を這うたくさんの配管やケーブルに見とれ、地中深くでの実験に思いをはせていました。その後、スーパーカミオカンデの検出器の内部の大型写真の前で、ヘルメットをかぶって記念写真を撮る人たちもいました。



6階展示コーナーのようす



展示を見ながら語り合う来場者と研究者たち



サイエンスカフェで講師に質問を投げかける参加者の男性



サイエンスカフェで講師の話を聞く参加者たち



〇×クイズに参加する子どもたち



レーザー干渉計を組み立てる学生に熱い視線を注ぐ男の子



暗い部屋で霧箱を使って宇宙線の軌跡を観察する学生と来場者



ミッションをクリアしながら研究所内を探検するミッションカード

360度パノラマ画像で実験装置を探検！ 宇宙線研究所 VR を公開

宇宙線研究所は2016年12月9日、岐阜県飛騨市の神岡鉱山の地下にある実験施設を360度パノラマ画像で探検できるVR（バーチャル・リアリティ）コンテンツを配信しました。神岡鉱山の地下1000mにある、世界最大の地下ニュートリノ観測装置「スーパーカミオカンデ」、暗黒物質の直接検出を目指す「XMASS」、大型低温重力波望遠鏡「KAGRA」。3つの実験施設の周辺を探検することができます。

梶田隆章所長の昨年のノーベル物理学賞の受賞後、年に1、2回開催しているスーパーカミオカンデの一般公開の応募が増え、また、見学の希望件数も増えました。しかし、鉱山の中にある実験施設で安全管理の徹底が必要であるために、見学いただける人数には限りがあり、すべての希望にお応えすることが難しい状況でした。そこで、スマホやタブレット端末、パソコンなどを使って鉱山の中の実験施設を探検しているかのような体験ができるVRコンテンツを開発しました。

それぞれの実験施設の主要なポイントで、360度の全方向で囲まれているかのような全地球の画像を楽しめ、鉱山の坑道の



スーパーカミオカンデの実験エリア前のVRコンテンツ

中を探検しているような気分が味わえます。また、スーパーカミオカンデの実験エリアにあるサインが書かれた扉などの気になるポイントでは、文章や写真、動画で解説を見することもできます。おすすめは、スマホやタブレット端末でジャイロ機能をオン！上下左右に首を振るとその場にいるかのような感覚を味わえます。現在、ゴーグルのように顔に装着するヘッドマウントディスプレイ用のアプリも開発中です。お楽しみに。



坑道の中のように全地球画像が見られるヘッドマウントディスプレイ

宇宙線研究所 VR の特設サイトのQRコード



人事異動

発令日	氏名	異動内容	職
H28.9.30	CHIANG, Yi-Kuan	受入終了	学振外国人特別研究員
H28.9.30	三上 諒	受入終了	学振特別研究員
H28.9.30	高知尾 理	受入終了	協力研究員
H28.10.7	ONG, Rene	任期満了	特任教授
H28.11.1	CREUS, William	受入	協力研究員
H28.11.1	尾上 達也	採用	技能補佐員（研究支援推進員）
H28.11.16	佐川 宏行	昇任	教授
H28.11.16	瀧田 正人	昇任	教授
H28.11.30	田守 幸雄	任期満了	技能補佐員（研究支援推進員）
H29.1.1	大林 由尚	受入	協力研究員

(H28.9.2～H29.1.1)

ICRR Seminar

2016年度

2016.9.28

Dr. Rene A. Ong (University of California, Los Angeles)
“The Future of Very High Energy Astrophysics”

2016.12.16

白井 智 (IPMU)
“Search for Wino” (ICRR & IPMU joint seminar)

ICRR Seminar

2016年度

2017.1.10

Dr. William Creus (Institute of Physics, Academia Sinica)
“The First Five Years of the Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station”

2017.1.12

木村成生 (ペンシルバニア州立大)
“電波銀河でのシアア加速による最高エネルギー宇宙線生成”



宇宙線研究所 VR の配信を開始

岐阜県飛騨市の神岡鉱山の地下にある実験施設を 360 度パノラマ画像で探検できる VR（バーチャル・リアリティ）コンテンツを配信しました。スマホを持って上下左右に首を振ると、まるで坑道の中を探検しているような気分。詳しくは 11 ページの記事をご覧ください。

No. 98

東京大学宇宙線研究所

2017 winter

〒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