宇宙線研究所の今を伝える

ICRR NEWS

Explore Universe and Elementary Particles with Multi-Messengers.

No.
110
2021
SPRING

ペバトロンの候補となった超新星残骸 G106.3+2.7 の想像図 (P6 参照)
Credit : ICRR UTokyo / Naho Wakabayashi

ICRR NEWS No.110
2021 SPRING

Contents

Features

Press Release 2021.4.2
01 **宇宙線の起源「ペバトロン」の決定的証拠**
－天の川から史上最高エネルギーのガンマ線放射を観測－

Press Release 2021.3.2
06 **銀河系内で最強の宇宙線源の候補を発見**
－超新星爆発の残骸から 100TeV 超のガンマ線を観測－

Press Release 2021.1.25
07 **ダークマターは密になりたがる**
－宇宙一小さな銀河たちから導かれるダークマター理論への制限－

Press Release 2021.4.9
08 **宇宙の灯台「かにパルサー」に隠れていたＸ線のきらめき－巨大電波パルスに同期したＸ線増光の検出に成功－**

Press Release 2021.4.14
10 **多波長同時観測で探る M87 巨大ブラックホールの活動性と周辺構造－地上・宇宙の望遠鏡が一致団結－**

Press Release 2021.4.22
12 **129 億年前から銀河は回転していた－アルマ望遠鏡と天然のレンズが捉えた宇宙初期の小さな銀河とその内側－**

Reports

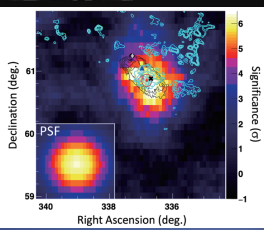
13 **多摩六都科学館と共催のサイエンスカフェ**
14 **宇宙・素粒子スプリングスクールを開催**
16 **春の合同一般講演会「物質があふれる宇宙の不思議」**

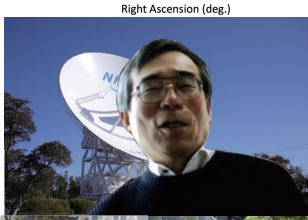
Topics

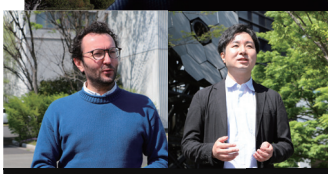
18 **大谷さん、加藤さんに物理学会 2020 秋季大会の学生優秀発表賞**
飛騨市神岡振興事務所に神岡研究施設のサテライトオフィス設置
2020 年度の修士・博士課程の学生による研究発表会を開催
2020 年度の宇宙線研究所共同利用研究・成果発表会を開催
井上科学技術担当大臣　岐阜県飛騨市の実験施設などを訪問
梶田所長が 2021 年度当初の挨拶を Web ページに掲載
柏キャンパスに宇宙・素粒子の国際研究拠点　CNRS と東大 4 部局

Information

20 **人事異動**
ICRR Seminar







チベット空気シャワー観測装置と天の川（合成イメージ）
Credit：ICRR UTokyo / Naho Wakabayashi

Features *Press Release* 2021.4.2

60 年来の謎解明へ
宇宙線の起源「ペバトロン」の決定的証拠つかむ！

天の川から史上最高エネルギーのガンマ線放射を観測

東京大学宇宙線研究所、中国科学院高能物理研究所など日本と中国の研究機関から成る国際共同研究グループは、中国のチベット自治区の羊八井高原（ヤンパーチン、標高 4,300 m）に建設された空気シャワー観測装置による観測で、最高で 1 ペタ電子ボルトを含む多数のガンマ線が、天の川方向に沿って分布していることを発見しました。これは史上最高エネルギーを持つ光子（または電磁波）の検出であり、そのエネルギーは可視光線の 1000 兆倍に相当します。また、驚くべきことに、これらのガンマ線は既知のガンマ線放射天体の方向からではなく、銀河系のディスク方向（天の川）全体に広がって分布していました。これらの事実から、宇宙線をペタ電子ボルト以上に加速している銀河系最強の天体「ペバトロン」が、過去または現在に存在するという初めての決定的な証拠を得ました。

60 年間も謎だった「ペバトロン」

【成果の概要】

宇宙から降り注ぐ陽子を主成分とする高エネルギー放射線「宇宙線」は、1912 年の発見以来、10 桁以上のエネルギー範囲で観測されてきました。そして約 60 年前の 1958 年、エネルギーが数ペタ電子ボルト (注 1) を超える宇宙線量が急激に減少している様子が発見されました。この事実と理論的考察から、数ペタ電子ボルト以下の宇宙線は、我々の住む銀河系内で生成されていると考えられてきました。しかし、その後の精力的な探索にも関わらず、1 ペタ電子ボルトを超える宇宙線を生成できるような強力な天体「ペバトロン」(注 2) の決定的な証拠は見つかりませんでした。

チベット AS γ（エー・エス・ガンマ）実験は、中国のチベット自治区の羊八井高原 (ヤンパーチン、標高 4,300 m) に建設された空気シャワー観測装置により、高エネルギー宇宙線を観測する実験で、東京大学宇宙線研究所、中国科学院高能物理研究所など日本と中国の研究機関から成る国際共同研究グループ (注 3) により運営されています。

チベット AS γ 実験グループは、2014 年から 2017 年の間に収集された約 2 年間分の観測データを解析したところ、最高で 1 ペタ電子ボルトを含む多数のガンマ線が、天の川方向に沿って分布していることを発見しました。これは史上最高エネルギーを持つ光子（または電磁波）の検出であり、そのエネルギーは可視光線の 1000 兆倍に相当します。また、驚くべきことに、これらのガンマ線は既知のガンマ線放射天体の方向からではなく、銀河系のディスク方向 (天の川) 全体に広がって分布していました。これらの事実から、宇宙線をペタ電子ボルト以上に加速している銀河系最強の天体「ペバトロン」が、過去または現在に存在するという初めての決定的な証拠を得ました。さらに、「ペバトロン」で生成された高エネルギー宇宙線が、長年銀河系内の磁場に閉じ込められ宇宙線のプールを形成し、地球まで伝搬しているという宇宙線の起源についての理論モデルを初めて実験的に検証しました。

本成果を記した論文は、日本時間の 4 月 5 日深夜に米国科学誌 Physical Review Letters 電子版に掲載されました。また、日本・中国での記者会見の直後、欧米ジャーナリスト向けにアメリカ物理学会主催による記者会見も行われ、日本・中国以外の国のメディアにも取り上げられています。

ついに天の川銀河で足跡を発見 !!

① 研究の背景・先行研究における問題点

宇宙線は宇宙からほぼ等方的にやって来る高エネルギーの放射線で、陽子（水素原子核）を主成分とする原子核です。1912 年の宇宙線発見以来、そのエネルギー分布は 10 桁以上にわたり観測されてきましたが、その起源、加速機構（エネルギー獲得方法）や伝搬方法など多くの謎が残されています。そして約 60 年前の 1958 年に、エネルギーが数ペタ電子ボルトを超える宇宙線量が急激に減少している様子が観測されました。

この事実と理論的考察から、数ペタ電子ボルト以下の宇宙線は銀河系内の天体、例えば超新星爆発の後に残る天体（超新星残骸）などで生成されていると考えられてきました。その後、低エネルギー（0.001 ペタ電子ボルト）の宇宙線については超新星残骸で生成されている証拠も得られましたが、最近 20 年の精力的な探索にも関わらず、1 ペタ電子ボルトを超える宇宙線を生成できるような強力な天体「ペバトロン」の決定的な証拠は得られませんでした。高エネルギー宇宙線は銀河系内に分布する星間物質と衝突し、宇宙線の約 10％のエネルギーを持つガンマ線を放射することが知られており、したがって「ペバトロン」の証拠を得るには少なくとも 0.1 ペタ電子ボルト以上のガンマ線観測が必要不可欠となります。しかし、ガンマ線信号は宇宙線量に比べて極端に少なく、ガンマ線信号の 10 万倍以上ある宇宙線の雑音を極限まで少なくする必要がありました。

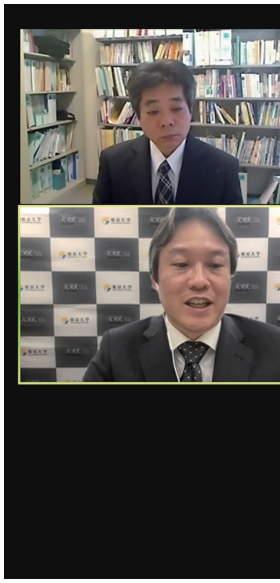
② 研究内容

チベット AS γ 実験は、中国チベット自治区の標高 4,300m の高原に 597 台の粒子検出器を 65,000m^2 の領域に配置し、宇宙空間から降り注ぐ高エネルギー宇宙線の観測を 1990 年から行っています（図 1）。高エネルギーのガンマ線（または宇宙線）は、大気上層の窒素原子核などと衝突して多数の粒子を生み、それがさらに衝突を繰り返してシャワー状に粒子が降り注ぐ「空気シャワー」と呼ばれる現象を引き起こします（図 3）。この空気シャワー中の粒子を、多数の粒子検出器を碁盤の目状に配置したチベット空気シャワーアレイと呼ばれる装置で観測し、元のガンマ線の持つエネルギーと到来方向を決定することができます。

次に、ガンマ線信号に対する雑音を極限まで減らすために、空気シャワーに含まれるミュー粒子という素粒子を利用します。ガンマ線起源の空気シャワー中のミュー粒子の数は、宇宙線起源の空気シャワーと比べて５０分の１程度なので、ミュー粒子の数を計測することでガンマ線と雑音である宇宙線を高精度で選別することが可能となりました。純度の高いミュー粒子数を測定するために、空気シャ

1990 年から続くチベット AS γ 実験に新たな成果

図 1 チベット高原・標高 4300m に設置されている空気シャワー観測装置
［クレジット：チベット AS γ 実験グループ］



ワー中のミュー粒子以外のほとんどの粒子が遮断される地下に水チェレンコフ型ミューオン検出器を設置しました（図 2）。本研究の鍵となるこの検出器は世界最大の面積 3400m^2 を誇り、水深 1.5m のプール中に直径 50cm の光電子増倍管（注 4）を取り付けた構造になっています。これは、ニュートリノ観測で有名なスーパーカミオカンデ（注 5）の技術を応用したもので、安価で低雑音なミュー粒子観測装置を実現しました。

水チェレンコフ型ミューオン検出器の設置→宇宙線「雑音」を 100 万分の 1 に減らす

本研究では、ミュー粒子検出器を用いて、宇宙線雑音を 100 万分の 1 に減らすことに世界で初めて成功しました。これにより、宇宙線雑音の少ない状態で、天の川方向に沿ってガンマ線が集中する様子を観測しました（図 4）。ガンマ線のエネルギーは最大で約 1 ペタ電子ボルトに達し、人類史上最も高いエネルギーのガンマ線の観測に成功しました。また驚くべきことに、観測されたガンマ線は既知のガンマ線放射天体の方向からは到来しておらず、天の川の方向に空間的に広がって分布していました。このような空間的に広がったガンマ線は、宇宙線「陽子」が天の川の星間物質と衝突して生成されると考えられます。高エネルギーの「電子」も、銀河系内に充満する低エネルギーの電磁波と衝突して高エネルギーガンマ線を生成しますが、電子はすぐにエネルギーを失ってしまうため、放射天体付近に留まるとされているからです。したがって、図 4 の結果は「電子」ではなく宇宙線「陽子」が銀河系内で高エネルギー領域まで加速されている証拠で、その存在が数十年にわたる論争の的となってきた宇宙線「陽子」の起源「ペバトロン」が過去または現在に存在することを示す決定的な証拠と言えます。さらに、宇宙線が十分に長い時間銀河系内に閉じ込められ平均化されていると、地球で観測される宇宙線量を元に観測されるガンマ線量を理論的に計算することができます。今回、実際に観測されたガンマ線量はその理論予測と一致しました。これは、高エネルギー宇宙線が長年銀河系内の磁場によって閉じ込められ宇宙線のプールを形成し、地球に伝搬しているという 60 年前から考えられてきた理論モデルを初めて実験的に検証したことを意味します。

図 2 空気シャワー観測装置の地下に設置されている注水前の水チェレンコフ型ミューオン検出器 [クレジット：チベット AS γ 実験グループ]

③ 社会的意義・今後の予定

本研究では、天の川方向から最高で約 1 ペタ電子ボルトに達するガンマ線の観測に成功しました。これは人類がこれまでに手にした最も高いエネルギーの「光」に相当します。そして、この観測結果は、地球に絶え間なく降り注ぐ高エネルギー宇宙線と、過去 / 現在の銀河系内に存在する最強天体「ペバトロン」をつなぐ決定的な証拠と言えます。現在、南半球のボリビアにおいても、ALPACA（アルパカ）と呼ばれるチベット AS γ 実験と類似の観測装置の建設が進行しており、さらに強力な宇宙線放射天体が存在するかもしれない銀河系中心付近の観測を目指しています。今後、現存する強力な宇宙線放射天体「ペバトロン」を探し出し、そこで起きている天体物理現象の解明に挑みます。

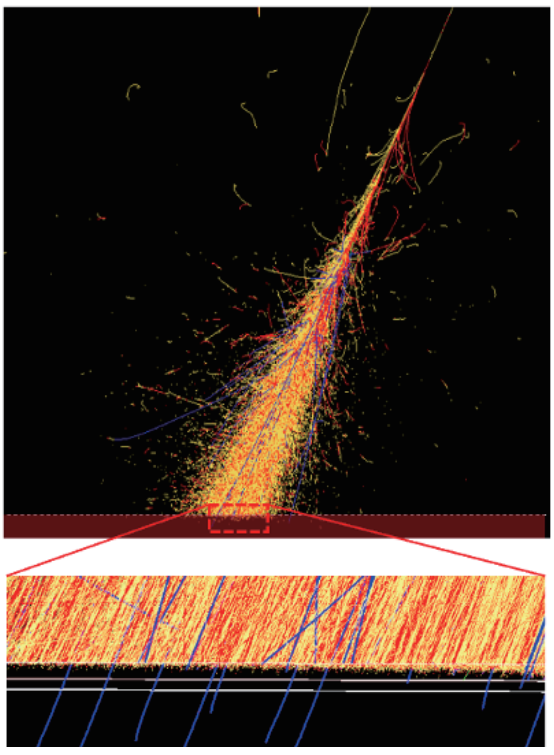


図 3 大気中で発生した空気シャワーの粒子の軌跡の計算機シミュレーション（上）、とその地上付近での拡大図（下）。青い軌跡がミュー粒子。[クレジット：チベット AS γ 実験グループ]

オンラインで開かれた記者会見

州大学理学部 15. 東京大学宇宙線研究所 16. 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 17. 国家衛星気象センター 18. 山東農業大学 19. 中国科学技術大学 20. 清華大学天体物理センター 21. 清華大学 - 国家天文台共同研究センター 22. 清華大学天文学部 23. 国立情報学研究所 24. 情報通信研究機構 25. 山東管理学院 26. 中国石油大学 27. 東京都立産業技術高等専門学校 28. 甲南大学理工学部 29. 日本大学生産工学部 30. 湘南工科大学 31. 早稲田大学理工学術院 32. 日本原子力研究開発機構 33. 紫金山天文台

(注 4) 光電子増倍管： 超高感度の光センサー。光電効果を利用して微弱な光を電子に変換し、増幅させ電気信号に変換する。光子 1 個から検出可能。

(注 5) スーパーカミオカンデ： ニュートリノ観測や陽子崩壊観測を主目的とした世界最大の水チェレンコフ素粒子観測装置。ニュートリノに質量があることを世界で初めて証明した。

【用語解説】

(注 1) 電子ボルト (eV)： エネルギーの単位。1 電子ボルトは 1 個の電子が 1 ボルトの電位差で加速されるときのエネルギー。電磁波のエネルギーでは、可視光～数 eV、X 線～ keV、ガンマ線～ 100 keV 以上に相当する。GeV = 10^9 eV、TeV = 10^{12} eV、PeV = 10^{15} eV

(注 2) ペバトロン (PeVatron)： ペタ電子ボルト (=1000 兆電子ボルト) 以上の宇宙線陽子を生成できる宇宙に存在するとされる宇宙粒子加速器。テラ電子ボルト (=1 兆電子ボルト) の陽子を生成できるアメリカの人工粒子加速器「テバトロン (Tevatron)」に因んで名付けられた。

(注 3) チベット AS γ 実験グループ： Tibet AS γ 実験に参加している共同研究者グループ。次の研究機関に所属している研究者からなる。1. 弘前大学理工学部 2. 南京大学 3. 中国科学院高能物理研究所 4. 中国科学院国家天文台 5. チベット大学 6. 河北師範大学 7. 中国科学院大学 8. 山東大学 9. 西南交通大学 10. 神奈川大学工学部 11. 宇都宮大学教育学部 12. 芝浦工業大学システム理工学部 13. 横浜国立大学大学院工学研究院 14. 信

【論文情報】

Journal：Physical Review Letters
Title：”First Detection of sub-PeV Diffuse Gamma Rays from the Galactic Disk: Evidence for Ubiquitous Galactic Cosmic Rays beyond PeV Energies”
Author：M. Amenomori, Y. W. Bao, X. J. Bi, D. Chen, T. L. Chen, W. Y. Chen, Xu Chen, Y. Chen, Cirennima, S. W. Cui, Danzengluobu, L. K. Ding, J. H. Fang, K. Fang, C. F. Feng, Zhaoyang Feng, Z. Y. Feng, Qi Gao, Q. B. Gou, Y. Q. Guo, Y. Y. Guo, H. H. He, Z. T. He, K. Hibino, N. Hotta, Haibing Hu, H. B. Hu, J. Huang, H. Y. Jia, L. Jiang, H. B. Jin, K. Kasahara, Y. Katayose, C. Kato, S. Kato, K. Kawata, W. Kihara, Y. Ko, M. Kozai, Labaciren, G. M. Le, A. F. Li, H. J. Li, W. J. Li, Y. H. Lin, B. Liu, C. Liu, J. S. Liu, M. Y. Liu, W. Liu, Y.- Q. Lou, H. Lu, X. R. Meng, K. Munakata, H. Nakada, Y. Nakamura, H. Nanjo, M. Nishizawa, M. Ohnishi, T. Ohura, S. Ozawa, X. L. Qian, X. B. Qu, T. Saito, M. Sakata, T. K. Sako, J. Shao, M. Shibata, A. Shiomi, H. Sugimoto, W. Takano, M. Takita, Y. H. Tan, N. Tateyama, S. Torii, H. Tsuchiya, S. Udo, H. Wang, H. R. Wu, L. Xue, Y. Yamamoto, Z. Yang, Y. Yokoe, A. F. Yuan, L. M. Zhai, H. M. Zhang, J. L. Zhang, X. Zhang, X. Y. Zhang, Y. Zhang, Yi Zhang, Ying Zhang, S. P. Zhao, Zhaxisangzhu, and X. X. Zhou
(Tibet AS γ Collaboration)

さらに詳しくは
web ページへ。

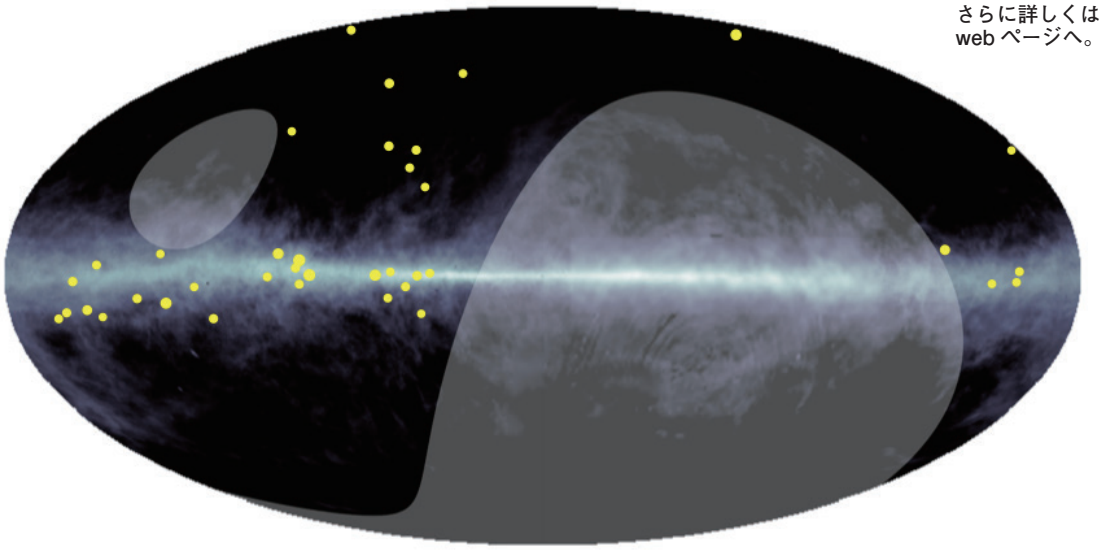


図 4 天の川銀河からの高エネルギーガンマ線 (黄丸) と電波による水素原子の分布 (バックグランドカラー)。
[クレジット：チベット AS γ 実験グループ /HEASARC/LAMBDA/NASA/GFSC〕

Press Release 2021.3.2

銀河系内で最強の宇宙線源の候補を発見！

ー超新星爆発の残骸 (G106.3+2.7) から 100TeV 超のガンマ線を観測ー

ペバトロンの候補となった超新星残骸 G106.3+2.7 の想像図
Credit : ICRR UTokyo / Naho Wakabayashi

宇宙から飛来している陽子、ヘリウムなどの原子核は宇宙線と呼ばれ、1912 年の発見以来様々な実験装置によって観測されてきましたが、宇宙線の起源は未だ明らかになっていません。チベット AS γ (エイ・エス・ガンマ) 実験グループが 2014 年から 2017 年まで約 2 年間分の観測データを解析したところ、10^{14} 電子ボルト (= 100 TeV) を上回る超高エネルギーガンマ線が、超新星残骸 G106.3+2.7 から到来しており、ガンマ線放射領域が近傍の分子雲の位置と良く合っていることが分かりました。この超新星残骸で PeV(= 1000 TeV) 領域まで加速された原子核宇宙線が分子雲のガスと衝突して生成される中性パイ中間子の崩壊によってガンマ線が放射されていると推測されます。今回の結果は、銀河系内の原子核宇宙線の起源の解明を目指す上で重要な一歩です。本成果を記した論文は、3 月 1 日発行の英国科学誌 Nature Astronomy Letters 電子版に掲載されました。

ペバトロンの候補天体を同定するためには、
1) その天体が 100 TeV を超えるガンマ線を放射している
2) ガンマ線放射領域が分子雲の位置と合っており、超新星爆発後に残されたパルサーの位置から離れている
(パルサーは高エネルギーの電子の放出により、電子起源のガンマ線を放射し、原子核宇宙線起源のガンマ線と区別がつかなくなるため)
という二つの事を示す必要があります。

G106.3+2.7 について、VERITAS チェレンコフ望遠鏡が TeV 領域で、フェルミ衛星が GeV 領域で **2)** を観測しましたが、どちらの装置も 100 TeV ガンマ線に対する感度が十分ではありませんでした。HAWC 実験は 40 TeV — 100 TeV のエネルギー領域でこの天体からのガンマ線を観測しましたが 100 TeV を超えておらず、ガンマ線放射領域もパルサーの位置から離れていませんでした。

本研究では、チベット実験の約 2 年間のデータを解析し、地下ミューオン検出器を用いて、宇宙線雑音を千分の 1 以下にすることに成功。G106.3+2.7 から放射されるガンマ線のスペクトルが 100 TeV 以上にまで伸びていることを示しました。これは、これまでに超新星残骸から観測された中で最高エネルギーのガンマ線です。

また、ガンマ線の放射領域が分子雲の位置と良く合っており、分子雲の北東に位置するパルサーからは離れていることを示しました (図)。これらのことから、超新星爆発後に形成される衝撃波で陽子が PeV 領域まで加速され、近傍の分子雲のガスと衝突して中性パイ中間子を生成し、中性パイ中間子が崩壊して 100 TeV 領域のガンマ線を放射する、という過程が起こっていると考えられます。したがって、G106.3+2.7 はペバトロンの候補天体といえます。

銀河系中心方向が観測できる南半球のボリビアにも、ALPACA と呼ばれるチベット AS γ 実験と類似の観測装置の建設を計画しており、この新エネルギー領域の観測が進めば、銀河系内の宇宙線のエネルギー限界や発生原理、および発生源を明らかにすることが可能となり、1912 年の宇宙線発見以来、100 年以上謎であった宇宙線起源の解明の研究が飛躍的に進むことが期待されます。

【掲載論文】

Journal : Nature Astronomy Letters
Title : “Potential PeVatron supernova remnant G106.3+2.7 seen in the highest-energy gamma rays”
Author : The Tibet AS γ Collaboration

さらに詳しくは
web ページへ。

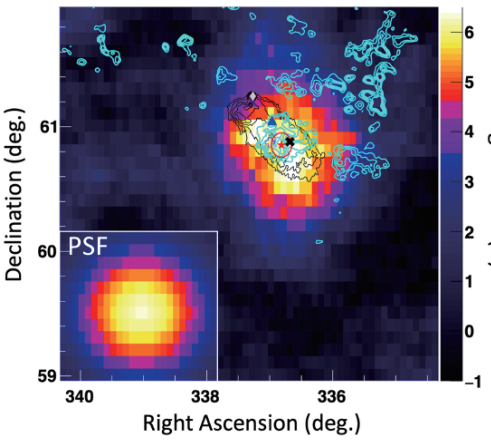


図. チベット空気シャワー観測装置で見た超新星残骸 G106.3+2.7 方向の 10TeV 以上のガンマ線イメージ。PSF は装置の角度分解能によるひろがりを示す。黒の等高線は超新星残骸の外殻、水色の等高線は分子雲の分布、灰色のダイアモンドはパルサーの位置を示す。赤の星印 (統計誤差を示す円付き)、黒の×印、マゼンタの十字および青の三角は、チベット空気シャワー観測装置、Fermi 衛星、VERITAS チェレンコフ望遠鏡および HAWC 実験で観測されたガンマ線放射領域の中心をそれぞれ示す。

Press Release *2021.1.25*

ダークマターは「密」になりたがる!?

ー宇宙ー小さな銀河たちから導かれるダークマター理論への制限ー

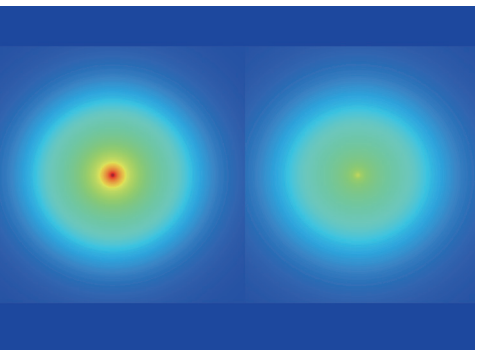


図 1: ダークマターの（密度）分布。赤いほどダークマターが高密度になっている。左図はダークマターが中心部で高密度になる場合で、右図が矮小銀河から期待されているダークマター分布。ダークマターの相互作用が強いと右図のような中心部で密にならない分布になる。超低輝度矮小銀河の Segue1 は左図のような分布を示した。Credit: Kohei HAYASHI

ダークマターとはいったい何者なのか？ 様々な観測から私たちの宇宙はダークマターという物質に支配されていることがわかっていますが、その正体は未だ謎のままです。この未知の物質に対して数多くの理論が立てられています。東北大学大学院理学研究科の林航平特任助教らの研究グループは、宇宙で最も小さく暗い銀河の星の運動から、ダークマターの有力候補である「自己相互作用するダークマター」に対してダークマターが散乱する強さを調べました。その結果、ダークマターの散乱は非常に弱く、密になりやすいことがわかりました。本研究の成果はアメリカ物理学会の発行する学会誌、Physical Review D に 1 月 20 日（米国東部時間）にオンライン掲載されました。

様々な宇宙の観測から、私たちの住む宇宙はダークマターと呼ばれる物質に支配されていることがわかっています。しかし、ダークマターがどのような物質でどのような性質を持つのか、その正体は未だ謎のままです。ダークマターの正体を解明するため、素粒子物理学から天文学まで学問の垣根を超えて、理論と実験の両側面から精力的に研究が進められています。

理論研究ではダークマターに対して多種多様なモデルが提唱されています。「自己相互作用するダークマター」理論は、ダークマターの有力候補の一つとして注目されています。ダークマターは一般的に銀河の中心に多く分布していますが、この理論はダークマターどうしが散乱しあうことで、銀河の中心部でダークマターがあまり「密」にならない性質があります。この密にならない分布が、矮小銀河から期待されるダークマター分布（図１）を上手く説明できるとされています。しかしこのような銀河では、星がその一生を終える時に起きる大爆発（超新星爆発）のエネルギーによって、密にならないダークマター分布を作ることができるというシミュレーションの結果があります。つまり密にならないダークマター分布の原因が、ダークマター自身の性質に依るものなのか、それとも超新星爆発のエネルギーに依るものなのかを区別するのが非常に困難です。そこで注目したのが、宇宙で一番小さく暗い銀河である超低輝度矮小銀河です。この銀河は星が非常に少ないため、この銀河のダークマター分布は超新星爆発のエネルギーの影響を受けておらず、本来のダークマター分布を調べるのに最適な天体です。

東北大学理学研究科の林航平特任助教、東京大学宇宙線研究所の伊部昌宏准教授、小林伸氏、中山悠平氏、東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構（Kavli IPMU）の白井智特任助教から成る研究グループは、この宇宙一小さい銀河の星の運動情報から、自己相互作用するダークマターに対してダークマターどうしの散乱の強さを調べました。その結果、散乱の強さは非常に低く、ダークマターは散乱しにくいことを示しました。つまりダークマターは銀河中心で「密」になりやすい性質を持つことがわかりました。図２（Web ページを参照）は、ダークマターどうしの散乱の強さに対してダークマター間の平均相対速度をプロットしています。超低輝度矮小銀河の Segue1 は散乱の強さがとても小さく、密なダークマター分布を好むことが示唆されます。さらにこの散乱の強さは、現在の自己相互作用するダークマター理論では説明できない程小さく、この理論の問題点を示しました。本研究によって、超低輝度矮小銀河の星の運動を詳細に調べることは、ダークマター理論に対して有効な制限を与えられることを示しました。今後、この銀河のさらなる天文観測によって様々なダークマター理論に対して厳しい制限をかけることが可能になるかもしれません。現在計画が進められている、すばる望遠鏡に搭載予定の超広視野多天体分光器 PFS（Prime Focus Spectrograph）は、一度の観測で数多くの星の運動を分光観測することができ、ダークマターがどのように分布しているのか、その詳細を調べることが可能になります。PFS によって、ダークマターへの理解が一段と進むことを期待しています。

【掲載論文】

Journal : Physical Review D
Title : “Probing Dark Matter Self-interaction with Ultra-faint Dwarf Galaxies”
Author : Kohei Hayashi, Masahiro Ibe, Shin Kobayashi, Yuhei Nakayama, Satoshi Shirai

さらに詳しくは web ページへ。

Press Release 2021.4.9

宇宙の灯台「かにパルサー」に隠れていたX線のきらめき ―巨大電波パルスに同期したX線増光の検出に成功―

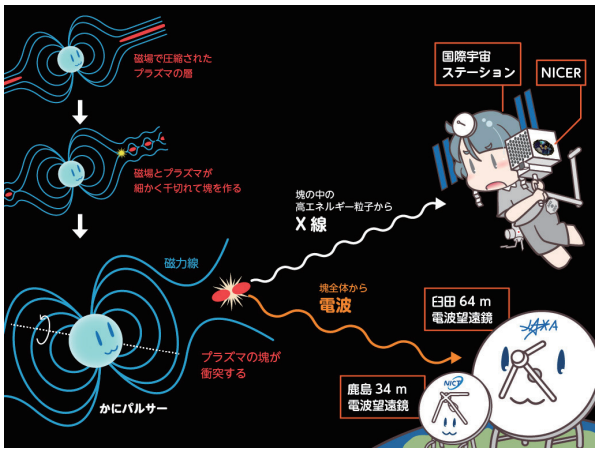


図1：「かにパルサー」の巨大電波パルスに同期したX線増光の発見（credit：ひっぐすたん）

理化学研究所（理研）、東京大学宇宙線研究所 (ICRR)、広島大学、宇宙航空研究開発機構 (JAXA)、情報通信研究機構 (NICT)、アメリカ航空宇宙局 (NASA) の国際共同研究グループは、高速で自転する中性子星「かにパルサー」で発生する「巨大電波パルス（GRP）」に同期して増光するX線を検出しました。本研究成果は、過去20年にわたり複数のグループが挑戦してもなしえなかったものであり、宇宙遠方で発生する高速電波バースト（FRB）の起源や発生メカニズムの解明にも貢献すると期待できます。

かにパルサーは、時折劇的に明るくなるGRPを発生します。このようなパルスの増光は電波でしか起こらないと考えられてきました。しかし近年、GRPに同期して可視光パルスがわずかに増光する現象が発見されたことから、よりエネルギーの高いX線やガンマ線でも同様の現象が起こるのかどうかに大きな関心が寄せられていました。今回、国際共同研究グループは、国際宇宙ステーションに搭載されたNASAのX線望遠鏡NICERと日本の二つの電波望遠鏡を連携させ、2017年からX線と電波の同時観測を続けた結果、GRPが発生する瞬間にX線パルスも4%ほど増光することを突き止めました。これにより、GRPがこれまで考えられていたよりもはるかに大きなエネルギーを解放することが分かりました。

本研究は、科学雑誌『Science』（4月9日号）の掲載に先立ち、オンライン版（4月8日付：日本時間4月9日）に掲載されました。

国際共同研究グループは、2017年から2年ほどの間、X線望遠鏡ナイサーと日本の二つの電波望遠鏡を連携させ、合計15回に上るX線と電波の国際的な同時観測を実施し、これまでで最大となる量のX線と電波の同時・多波長データを蓄積しました。解析の結果、GRPに同期してX線パルスが4%ほど増光していることが明らかになりました（図参照）。今回のX線増幅率は可視光と同じくわずかだったものの、過去に行われたX線やガンマ線での観測よりも高い感度を持つナイサーを用いることで、初めて検出に成功しました。

X線での増光は4%と小さくても、X線は電波よりもはるかに大きなエネルギーを解放していることから、GRPの発生時に放出されるエネルギー量はこれまで考えられていたよりも数百倍以上大きいことが分かりました。現在、GRPの放射メカニズムとして、パルサー磁気圏における高速プラズマの激しい噴出などを起源とする理論モデルがありますが、今後はX線の増光を説明できるようにする必要があります。今回の発見は、プラズマ噴出・電波放射に伴う、パルサーでの高エネルギー粒子生成などについても新たな知見を与えます。

なお、本研究で使用した電波望遠鏡は、JAXAが運用する臼田宇宙空間観測所（長野県佐久市）の64m電波望遠鏡（64mパラボラアンテナ）と、NICTが運用する鹿島宇宙技術センター（茨城県鹿嶋市）の鹿島34m電波望遠鏡（34mパラボラアンテナ）の二つです。二つの電波望遠鏡でのデータ取得には、JAXAとNICTが共同で開発した「広帯域デジタル信号記録装置」を活用し、高精度なデータ受信を実現しました。

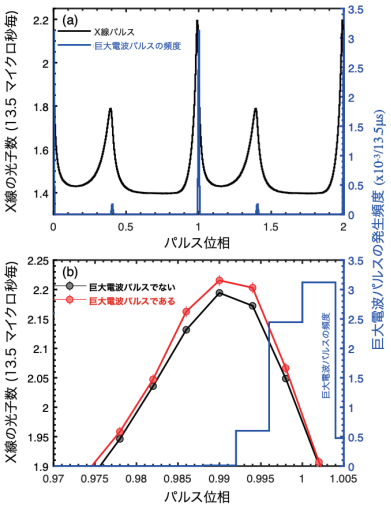


図　かにパルサーのパルス波形と検出されたX線増光

上図▶ X線望遠鏡ナイサーが観測したかにパルサーのX線パルス波形（黒線）を2周期にわたって示した。同時観測で検出した巨大電波パルス（GRP）発生のタイミングを青線で示している。1周期の中で、パルスにはメインパルス（パルス位相が0付近）と、インターパルス（パルス位相が0.4付近）の二つがある。

下図▶ 上図のメインパルス付近の拡大図。黒線は通常時のX線波形で、赤線はGRPが起きたときのパルス。GRPが起きたときに、わずかだが明るくなっていることが分かる。

さらに詳しくは
webページへ。

国内パラボラアンテナの同時観測土台に巨大電波パルスに挑む
高エネルギー天体グループ　寺澤 敏夫 名誉教授に聞く

かにパルサー（かに星雲の中心にある中性子星）の巨大電波パルスの発生時に、X線パルスが増強されていることを発見――。国際共同研究チームが、米科学誌 Science に発表したのは、20年以上にわたる複数の研究グループによる探索の結果、ようやく確認された成果で、謎につつまれたパルサーのパルス発生機構を解明する上で重要なヒントになると見られています。電波観測の面から研究成果に大きく貢献した高エネルギー天体グループの寺澤敏夫名誉教授に、巨大電波パルスの意味や今後の展開について伺いました。【聞き手　広報室・中村牧生】

寺澤　敏夫（てらさわ・としお）

東京生まれ。東京大学名誉教授。専門は宇宙プラズマ物理学・宇宙線物理学・パルサー電波天文学。熱的分布から少し外れた超熱的粒子起源の研究から出発し、より高いエネルギーを持った宇宙線粒子起源の研究に進んできた。宇宙線による空気シャワーの電波観測手段に興味を持ったことをきっかけに、パルサーの電波観測を手掛け、今回の仕事につながった。

◆巨大電波パルスとはどんな現象なのでしょうか。

――かに星雲の中心にあり、高速で自転するパルサーを「かにパルサー」と呼びますが、かにパルサーは1秒間に33回という高速で自転し、電波、可視光、X線、ガンマ線とほぼすべての波長域にわたるパルス信号を放出しています。巨大電波パルスは、その電波パルスが時折、強度を数桁以上も明るくする現象のことで、かにパルサーなど数個の天体で観測されています。かにパルサーの通常の電波パルスは様々な雑音に紛れて、一つ一つのパルスは検出できないのですが、巨大電波パルスは雑音から飛び出て観測されるという事情もあります。

◆どんな理由で発生すると考えられていたのですか。

――電子、陽電子などの荷電粒子が磁場の中で曲げられる際、電磁波を出すことをシンクロトロン放射と呼びますが、可視光やX線の放出の場合には一波長に電子・陽電子は平均1個以下しかなく、それらの寄与は単純な重ね合わせとして扱うことができます。一方、巨大電波パルスを含め電波の放出の際には、一波長に沢山の電子・陽電子が存在するため、それらの相乗効果が働いています。巨大電波パルスは、電子・陽電子数の増加に加え、相乗効果が極端に発達したものであると考えられてきました。

◆通常の電波パルスとの違いは何なのでしょうか。

――電子・陽電子数の増加と相乗効果を発達させる原因が何なのか、諸説あります。最近、パルサーの高速回転に伴い内部から吹き出したパルサー風が光円柱付近で磁力線を引き延ばして磁場エネルギーを溜め、それが一挙に解放される際に電子・陽電子にエネルギーを渡して外部へ巨大電波パルスを放出するというアイデアが提唱されました。

◆X線が増強されていると判明した意味は何ですか。

――巨大電波パルスとX線を同時に出す仕組みを考える必要があります。X線の増強は4%程度ですが、X線の方が元々のエネルギー放出率が大きいことから、4%増強というだけでも巨大電波パルス全体のエネルギーが、従来の見積りよりも数百倍は高くなったことを意味し、新しい理論モデルを考える必要があります。巨大電波パルスに伴う増強は、最初に可視光で見つかり、今回X線で見つかりました。こうした増強はガンマ線の波長領域でも見つかる可能性があります。ただし、ガンマ線ではエネルギー放出率が高い一方、光子の量が少ないため、増強を確認するには難しい面もありますが、探索に期待したいと思います。

◆かにパルサーの電波観測に取り組んだ理由は何ですか。

――かにパルサーは宇宙線の起源の一つと考えられ、宇宙線研究所でも様々なグループが観測の対象として来ました。また、最高エネルギー宇宙線の探索を目指すテレスコープアレイグループでも、宇宙線空気シャワーの観測に電波的手段を使いたい、という希望があり、私も加わって検討を始めていました。そうした状況で、電波に関する基礎技術の習得と、謎の多いかにパルサーの物理の解明の一挙両得を目指し、2009年ごろから大学院生の指導をきっかけに、口径30m超のパラボラアンテナを有するいくつかの国内観測所の方々の協力を得て、パルサーの同時観測を試みたのが最初です。地球の公転の影響を加えた時刻合わせや、膨大な観測データを集めて解析するソフトウェアの開発など、指導していた大学院生らとともに電波天文学を基礎から勉強することになりました。

インタビューの続きは web ページへ。

【掲載論文】
Journal : Science
Title : “Enhanced X-ray Emission Coinciding with Giant Radio Pulses from the Crab Pulsar”
Author : Teruaki Enoto, Toshio Terasawa, Shota Kisaka, Chin-Ping Hu et al.

Press Release 2021.4.14

多波長同時観測でさぐる M87 巨大ブラックホールの活動性と周辺構造ー地上・宇宙の望遠鏡が一致団結ー

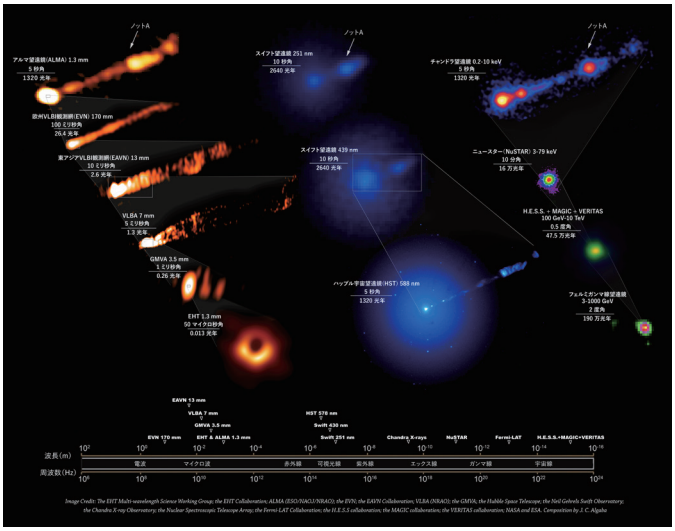


図 M87 の中心にある巨大ブラックホールのさまざまな波長の電磁波での観測画像。使用した望遠鏡により観測波長が異なり、また解像度（視力）も様々なため見えているスケールも異なる。
Credit: The EHT Multi-wavelength Science Working Group; the EHT Collaboration; ALMA (ESO/NAOJ/NRAO); the EVN; the EAVN Collaboration; VLBA (NRAO); the GMVA; the Hubble Space Telescope; the Neil Gehrels Swift Observatory; the Chandra X-ray Observatory; the Nuclear Spectroscopic Telescope Array; the Fermi-LAT Collaboration; the H.E.S.S collaboration; the MAGIC collaboration; the VERITAS collaboration; NASA and ESA. Composition by J. C. Algaba

2017 年 4 月、イベント・ホライズン・テレスコープ（EHT）と地球上の各地、さらに宇宙にある多くの電波望遠鏡、可視光線・紫外線望遠鏡、エックス線望遠鏡、ガンマ線望遠鏡が、楕円銀河 M87 の中心にある巨大ブラックホールを一斉に観測しました。そのデータを組み合わせることで、この巨大ブラックホールがこのとき非常に「おとなしい」状態にあったことが明らかになりました。また、観測結果と理論・シミュレーション研究の結果を比較したところ、EHT で観測されたリング状の電波放射領域とは異なる場所でガンマ線が放射されていると考えると、観測結果をうまく説明できることがわかりました。これは、巨大ブラックホールが噴き出すジェットが複雑な構造を持っていることを示す結果であり、ジェットの形成メカニズムやブラックホールとのつながり、多彩な電磁波放射メカニズムの解明に迫るための新たな知見を与える成果といえます。

今回の観測には、国立天文台水沢 VLBI 観測所が韓国・中国と共同で運用している東アジア VLBI ネットワーク（EAVN）も参加し、ブラックホールから噴出して間もないジェットを詳しく観測し、その形状や明るさなどを測定しました。EAVN データの分析をリードした総合研究大学院大学博士課程 国立天文台水沢 VLBI 観測所の崔玉竹 氏は「天文学最大の謎のひとつであるブラックホールジェットの謎を解明するためには、ブラックホール本体付近の撮影が得意な EHT と、ジェットの撮影が得意な波長の長い電波を用いた VLBI 観測を同時に行う必要がありました。今回はそのような共同観測が史上初めて実現したマイルストーンとなりました」と述べています。

国立天文台水沢 VLBI 観測所 秦和弘 助教とともに EHT 国際多波長サイエンス作業班の世話人を務めるマギル大学のダリル・ハガード准教授は「世界には、自分たちの理論や仮説が今回得られた豊富なデータと合致するかどうか確認したくてうずうずしている研究チームがいくつもあります。データが広く公開されることで、研究者コミュニティの誰もがこのデータを使うことができ、ブラックホールとジェットの関係がよりよく理解できるようになるだろうと期待しています」とコメントしています。

同じく同作業班の世話人でアムステルダム大学のセラ・マルコフ教授は、「もっとも大きな謎のひとつは、私たちがキャッチした電磁波がどのようにして生み出されているか、という点です。EHT の画像に加えてとても豊富なデータが得られたことは、ブラックホールの『影』とジェットの両方をうまく説明できる理論体系を作る手助けになるでしょう」と語っています。

今回観測された波長帯のうち、エックス線、ガンマ線といった高エネルギー電磁波放射のデータを分析した結果、2017 年 4 月ごろのタイミングでは、巨大ブラックホールの活動性が非常に静穏だったことがわかりました。ブラックホールの活動が活発な時は電波も含めた様々な波長の電磁波放射が強くなるのですが、今回の観測キャンペーン中ではそれがあまり強くなかったのです。

研究チームは、国立天文台が運用する天文学専用スーパーコンピュータ「アテルイ II」などを用いたシミュレーション研究や理論研究も行い、その結果と電波からガンマ線までの幅広い波長域の同時観測データとを総合的に比較することで、静穏期にあるブラックホール周辺のようすを理解することを目指しました。シンプルな理論モデルをもとに計算したところ、少なくとも今回の観測時期では、EHT で観測されるブラックホール近傍の電波放射領域とは異なる場所でガンマ線が放射されていると解釈することが最も自然であることがわかりました。

【掲載論文】
Journal : Astrophysical Journal Letters
Title : “Broadband Multi-wavelength Properties of M87 During the 2017 Event Horizon Telescope Campaign”
Author : Event Horizon Telescope Science Multi-Wavelength Science Working Group et al.

宇宙線研究所の 2 グループ 成果に大きく貢献

イベント・ホライズン・テレスコープ（EHT）と多くの電波望遠鏡、可視光線・紫外線望遠鏡、エックス線望遠鏡、ガンマ線望遠鏡による、楕円銀河 M87 の中心にある巨大ブラックホールの多波長観測は、ブラックホールの中心領域とは異なる場所でガンマ線が放射されている可能性を浮かび上がらせました。巨大ブラックホールが噴き出すジェットが複雑な構造を持っていることを示す結果で、宇宙線研究所のチェレンコフ宇宙ガンマ線グループ、高エネルギー天体グループの研究者が大きく貢献しました。

MAGIC 望遠鏡 / Daniel Mazin 特任准教授
ブラックホール近傍からの放射でないと実証

MAGIC の観測結果を説明する Daniel Mazin さん

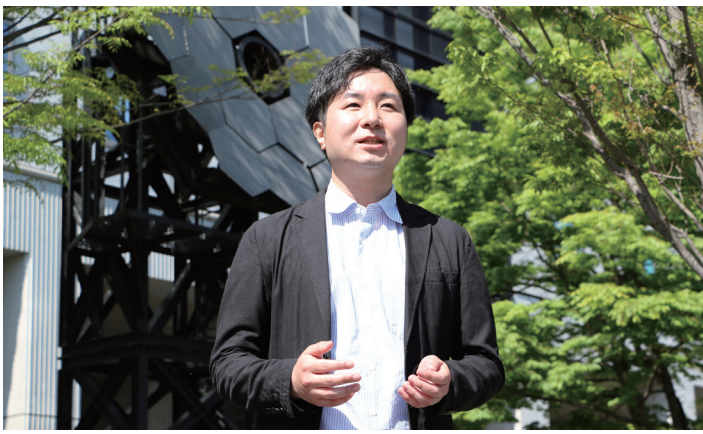
チェレンコフ宇宙ガンマ線グループに所属する Daniel Mazin 特任准教授は、スペイン・カナリア諸島ラパルマにある MAGIC 望遠鏡で、15 年にわたる M87 の長期モニター観測を主導してきました。

Mazin さんは「M87 はブラックホールからのジェットが地球の方向と 20 度ほど角度が開いているにもかかわらず、地上のチェレンコフ望遠鏡でガンマ線が観測できる珍しい天体で、これまで三度ほどフレア（爆発的なガンマ線の放射）が観測されている興味深い天体です。2017 年 4 月の共同観測は、M87 が静かな時期にあたりましたが、高いエネルギーのガンマ線が観測できました。他のチェレンコフ望遠鏡の観測データと合わせて解析した結果、ガンマ線が中心部のブラックホール近傍から放射されたものではないことが判明したということが、一番大きな成果だと思います」と語り、今後について「2018 年も観測し、その論文をまとめているところですが、2021 年の共同観測も予定されています。さらに詳しく観測を続け、放射されるガンマ線が、どこから、どのように出ているのかなどを明らかにしていきたいですね」と意欲を見せました。

高エネルギー天体グループ / 川島朋尚 特任研究員
ジェットの仕組み解明の足掛かりに

高エネルギー天体グループに所属する川島朋尚・特任研究員（ICRR フェロー）は、多波長の観測を説明するため、自ら開発した数値計算コード RAIKOU を用いて理論モデルを構築し、結論を導き出す点で成果に貢献しました。

川島さんは「M87 の中心にあるブラックホール近傍の高エネルギー電子のプラズマを再現し、電波からガンマ線までの幅広い観測結果を説明しようとしましたが、電波に合わせようとするとガンマ線が低い、ガンマ線に合わせようとすると電波が低いと、うまく一致するモデルを作ることが困難でした。その結果、ガンマ線は、ブラックホール近傍の電波放射領域とは異なる場所から出ているのではないか、という結論が導き出されました。ブラックホール近傍から吹き出ていったジェットか、あるいは降着円盤から出ているのかもしれません」とコメント。ブラックホールから吹き出す光速に近いジェットは M87 で初めて見つかりましたが、高エネルギー電子が注入される仕組みなど、その生成は 100 年来の謎とされているといい、「次回は中心のブラックホールから、その半径の 10-100 倍くらい離れたところからガンマ線が放射される理論モデルを試みる予定で、ジェットの仕組みを少しずつ解明してきたいと思います」と今後の抱負を語りました。



理論で貢献した高エネ天体グループの川島さん

さらに詳しくは web ページへ。

Press Release 2021.4.22

129 億年前から銀河は回転していた－アルマ望遠鏡と天然のレンズが捉えた宇宙初期の小さな銀河とその内側－

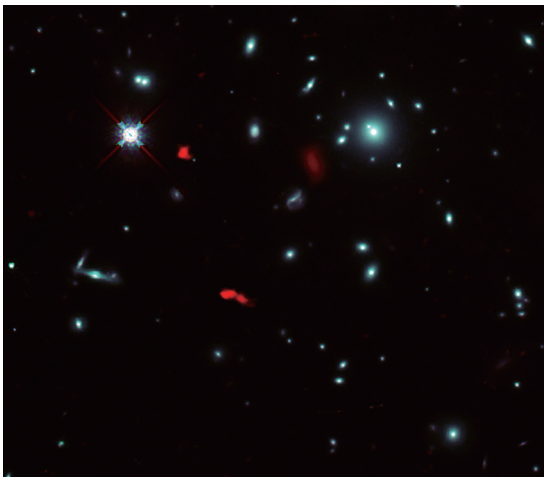


図 1 ハッブル宇宙望遠鏡が撮影した銀河団 RXCJ0600-2007 の画像に、アルマ望遠鏡で観測した 129 億光年彼方の銀河 RXCJ0600-z6 の重力レンズ像を赤色で合成した画像。銀河団による重力レンズ効果で RXCJ0600-z6 の像は増光・拡大され、3 つ以上に分かれて見えていました。Credit: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), Fujimoto et al., NASA/ESA Hubble Space Telescope

アルマ望遠鏡を使った観測で、ビッグバン後 9 億年の宇宙に、天の川銀河の 1/100 の質量しかない小さな銀河が発見され、さらにこの銀河が回転によって支えられていることがわかりました。これほど若い時代の宇宙で、これほど小さな銀河が回転に支えられていることが分かったのは、今回が初めてのことです。これは、この小さな銀河より手前にある銀河の大集団（銀河団）の重力によって光が増幅される「重力レンズ効果」のおかげです。宇宙初期にはこれまでの観測ではとらえられないような暗くて小さな銀河が多かったと考えられますが、今回の研究はそうした「普遍的な銀河」の姿に初めて切り込み、これまでにない解像度で描き出しています。

研究チームは、アルマ望遠鏡の観測として非常に長い 95 時間を観測に投じる大規模観測プログラムを実行し、重力レンズを引き起こす銀河団 33 個の中心領域をくまなく観測しました。このうち、うさぎ座の方向にある RXCJ0600-2007 と呼ばれる銀河団は、太陽の 1000 兆個倍の質量を持っています。研究チームは、この巨大銀河団が作る重力レンズ効果を受けた、ひとつの遠方銀河を発見しました。アルマ望遠鏡はこの遠方銀河が放つ塵（ちり）および炭素イオンの光を検出し、この光が 129 億年前にこの銀河から発せられたものであることが判明しました。

アルマ望遠鏡による観測データからは、RXCJ0600-z6 と名付けられたこの銀河の像は、重力レンズ効果によって 3 つ以上に分かれていることが明らかになりました。さらにデータを詳しく分析すると、この銀河が、重力レンズの増光率が最大となる場所（臨界線）をまたいでいることがわかりました。このため、RXCJ0600-z6 のある場所は重力レンズによって約 160 倍も拡大されていました。

重力レンズ効果を生み出している手前の銀河団の質量分布を精密に計測することで、重力レンズ効果をもとに戻し、拡大された天体のもとの姿を復元することができます。研究チームは、銀河団を撮影したハッブル宇宙望遠鏡の画像と欧州南天天文台の巨大望遠鏡 VLT の分光データ、さらに重力レンズ効果を精緻に計算できる理論モデルを組み合わせることで、遠方銀河 RXCJ0600-z6 の実際の姿を復元することに成功しました。これにより、この銀河の総質量が太陽の約 20 億～ 30 億倍程度であることがわかりました。これは、私たちが住む天の川銀河の約 1/100 という小ささです。さらに、この銀河の内部構造を約 1000 光年の分解能で描き出すことができました。これは、銀河の中で星形成の母体となる星間物質の集合体「巨大分子雲複合体」に対応するスケールであり、宇宙誕生から 10 億年に満たない時期の銀河の構造をこれほど高い分解能で描き出したのは、今回が初めてのことです。

誕生直後の銀河がどのような構造をしていたのかは、理論的にも観測的にも大きな議論となっています。これまでは、初期の銀河に含まれるガスはランダムな動きをしていて、整然と回転している成熟した現在の渦巻銀河とは異なると考えられてきました。これに対し、アルマ望遠鏡は回転している若い銀河をいくつか発見し、従来の理論的な枠組みに疑問を突きつけてきましたが、これらは今回の RXCJ0600-z6 に比べると数桁明るい（大きい）銀河でした。宇宙誕生後 9 億年という早い時代に RXCJ0600-z6 ほどの小さな銀河が回転によって支えられていることが明らかになったのは、今回が初めてのことでした。RXCJ-0600-z6 はまだ一例にすぎませんが、初期宇宙に普遍的に存在していた小さな銀河が回転していたことを示しており、銀河形成理論にさらに再考を迫る重要な結果といえます。

【掲載論文】

Journal : Astrophysical Journal
Title : “ALMA Lensing Cluster Survey: Bright [CII] 158 μ m Lines from a Multiply Imaged Sub-L* Galaxy at z = 6.0719"
Author : Seiji Fujimoto et al.

さらに詳しくは web ページへ。

多摩六都科学館と共催の Science Cafe

重力波グループ 横澤孝章特任助教が講演

重力波望遠鏡 KAGRA「悪条件下でも観測ができるように努力したい」

重力波の観測と研究に従事する横澤孝章特任助教が２月７日、多摩六都科学館と宇宙線研究所が共催するオンライン・サイエンスカフェで、「重力波天文学の開幕」をテーマに講演し、事前に応募した29人（うち４人は科学学習室で参加）が視聴しました。

今回はCOVID-19の感染拡大を受けた緊急事態宣言（11都府県）の最中に行われることとなり、ZOOMによるオンラインで実施されました。

横澤特任助教はまず、私たちにも身近な重力が、実は磁石にも負けてしまうほど弱い力で、アインシュタインが一般相対性理論で、”時空”の歪みで説明したこと（アインシュタイン方程式）を紹介。質量を持った物体の周りの空間が歪み、レンズのように光を曲げる「重力レンズ効果」や、カーナビのGPS補正などで、理論が実証されていると説明しました。その上で、重力波は「この時空の歪みの時間変化が波動として空間を光速で伝搬する現象」とし、トランポリンの上で子供が跳ねると、トランポリンの布表面に波が生じて周囲に広がっていく様子を参考に示しました。

重力波は、手を振っただけでも発生するものですが、大きさがとても小さいので観測が難しく、現在、地球上で観測できるレベルの重力波は宇宙現象しかないことがわかっています。横澤特任助教は、最初に直接観測された重力波が2015年、アメリカのLIGOが観測した連星ブラックホールの合体であり、その発見に貢献した物理学者３人に2017年のノーベル物理学賞が贈られたこと。さらに、イタリアのVirgoも観測に参加したことで重力波の到来方向を決定する精度が向上し、2017年に連星中性子星の合体を地球上の様々な望遠鏡で同時観測が実現したことに触れ、「星の内部の情報がわかる様々な光の観測に成功し、金などの重金属ができた可能性など、これまでとは比べものにならないほど多くの情報を私たちに与えてくれました」と語りました。

これまでに観測された重力波の候補は70個近くありますが、ブラックホール連星の合体と見られるものが圧倒的に多く、太陽質量の160倍もあるブラックホールへの合体や、20倍もの質量差があるブラックホール連星の合体も見つかり、「なぜこんなことが起きるのか、という活発な議論が起きています」。また、今後の重力波観測の候補として、超新星爆発、高速回転する中性子星（パルサー）、宇宙初期のインフレーション起源の原始重力波などの背景重力波を挙げました。

質疑応答を挟んだ後半は、重力波の検出の仕組みと、世界の重力波検出器、日本のKAGRAの役割、そして、初めての共同観測についてレポート。

横澤特任助教は、重力波が到来すると時空が歪み、二つの地点の距離がわずかに変わることから、光路をビームスプリッターで二つに分け、鏡で反射させて再び集光するレーザー干渉計を使い、集まってきた二つの光の干渉の具合を確認することで、重力波の検出を試みる仕組みについて紹介。その上で、同じ仕組みのレーザー干渉計が、アメリカ、イタリア、ドイツにあり、日本のKAGRAは地下サイトという静寂な環境に設置し、鏡をマイナス250度まで冷やして熱雑音を減らす工夫をしていることを説明しました。

KAGRAは2010年にプロジェクトが開始されてから９年かけ、トンネル掘削や真空ダクトやレーザー、鏡など機器の設置を行ない、2020年３月に本格運用を開始しました。

COVID-19の影響を受けてLIGO、Virgoが相次いで運転を停止する中、KAGRAは翌４月に、ドイツのGEOとの国際共同観測（O3GK）を行い、２週間の期間に６日間のデータを得ましたが、横澤特任助教は「地球のどこかで起きた大地震の後や、海岸の波浪の強い日は、干渉計をロックできず、観測できない日がありました。こうしたことを次の課題とし、悪い条件でも観測できるように努力していきたいです」と語りました。

さらに詳しくは web ページへ。

宇宙・素粒子スプリングスクール2021

Reports 2021 年 3 月 1-5 日

宇宙・素粒子スプリングスクール 2021 大学 3 年生 28 人の参加でリモート開催

宇宙・素粒子の分野で大学院への進学を希望する大学3年生のための「宇宙・素粒子スプリングスクール 2021」が 3 月 1 日から、東京大学宇宙線研究所を拠点にオンラインで開催され、全国から 28 人が参加しました。

今回は COVID-19 の感染拡大を防ぐため、首都圏に緊急事態宣言が出される中での開催となり、集中講義及び成果発表会などは、ZOOM 会議によるオンラインで実施しました。プロジェクト研究については、「観測的宇宙論」「高エネルギーガンマ線天文学」「最高エネルギー宇宙線」「超高エネルギー宇宙線」の各グループが全面オンラインで実施する一方、岐阜県飛騨市での実習が必須だった「ニュートリノ物理」「重力波天文学」の両グループはプロジェクト研究自体を中止し、実験施設のオンライン見学会のみを行いました。

「観測的宇宙論」グループは、すばる望遠鏡 HSC とスローン・デジタル・スカイサーベイ (SDSS) の観測データから機械学習を用いた分類により、近傍の極金属欠乏銀河 (EMPG) の候補天体を 25 個選び出し、その性質を分析しました。このうち 3 個の天体は、He Ⅱ 輝線と X 線の測定結果から、中間質量ブラックホールを持つと考えるのが合理的と推論しました。そのうえで、ブラックホールの質量を見積もり、比較・考察した結果、中間質量ブラックホールが、直接崩壊よりも、恒星質量ブラックホールから進化したとする説が支持できることを示しました。さらに、中間質量ブラックホールを探すために EMPG を用いる手法を提案しており、指導にあたった大内正己教授は「ブラックホール形成の謎の解明に新しい道を切り拓く素晴らしい研究でした」と話しました。

観測的宇宙論

「最高エネルギー宇宙線」グループは、TA 実験などで実際に使用しているプラスチックシンチレータ、光電子増倍管などを柏キャンパスの宇宙線研究所の実験に置し空気シャを観測するという実験を行いました。その結果、観測できた 10^{13} 電子ボルトの宇宙線が、赤経方向に一様に分布して到来していることを確認し、天球図にプロットした結果を披露。観測された宇宙線のエネルギーが、宇宙の磁場で曲げられないほど大きくはないため、宇宙線の到来方向が一様であるという仮説を裏付ける結果となりました。指導した塚隆志准教授は「完全リモートでの実験機器の調整とデータ取得から、生データの較正、解析、宇宙物理的考察まで短期間で一連の研究体験をすることができました。3チーム分業を進めましたが、チーム内、チーム間の連携もよく最終結果にたどり着きました。初めはプログラミングで苦労していましたが、最後は技術も向上し、解析の新しいアイディアを自分達で実現していました。一緒に楽しむことができました。」とコメントしています。

「高エネルギーガンマ線天文学」グループは、ペルセウス座銀河団内の二つの活動銀河核（AGN）を観測した NASA の人工衛星 Fermi のデータから、激しく変動する IC310 に着目。チェレコンフ望遠鏡 MAGIC の観測データから、IC310 の 300GeV 以上のガンマ線放射が 10 倍も大きくなるフレア（放射）が発生していた様子を捉えました。検出されたエネルギーフラックスから中心にあるブラックホールの質量の下限値を計算し、先行研究の結果と矛盾しないことを確かめました。また、フレアの時間変動の速さからフレアの領域がシュバルトシルト半径より小さいことを突き止め、ブラックホール近傍の複雑な構造を示唆する結果と考察しています。指導した齋藤隆之助教は「ZOOM を使ったリモートでのスクールとなり、例年より指導が大変でしたが、学生たちも積極的に取り組んでくれて楽しくやれました。データから物理情報を正確に抜き出して、ブラックホール近傍の物理現象に迫れたのはよかったと思います」と語りました。

「超高エネルギー宇宙線」グループは、地表に降り注ぐμ粒子の寿命を、PMT と三枚のプラスチックシンチレータとアルミニウム、鉛の板を挟んで推定する実験を行い、その結果を分析しました。アルミニウムや鉛を挟んだのは、原子核に引きつけられて吸収され、寿命を計測する妨げとなるμ－の影響をあらかじめ除く意図があり、その結果、μ粒子の寿命については 2019 年より文献値に近い好結果が得られました。これを用いて計算したフェルミ結合定数の値も文献値に近い値が求められました。解析の過程で、光電子増倍管の経年劣化に伴うアフターパルスの影響にも言及しており、指導にあたった川田和正助教は「実験装置に触れてもらうことはできませんでしたが、データの解釈や理論的な考察に多くの時間を割くことができたのは非常に良かったと思います。最初はアルミニウムを挟んだ実験が上手く行かず、鉛を挟む案が学生さんから提案され、寿命測定による基礎物理学定数の決定などの動機づけも議論の中から生まれるなど、私自身も非常に勉強になりました」と話しています。

最終日の 5 日午後、各グループによる 35 分間のプレゼンテーションが行われ、審査の結果、**「超高エネルギー宇宙論」グループ**が最優秀賞を受賞しました。

一方、**「ニュートリノ物理」グループ**の竹田敦准教授は 2 月 10 日、**「重力波天文学」グループ**の内山隆准教授は 3 月 4 日、岐阜県飛騨市神岡町の実験室内から生中継で研究内容について説明、質問を受けました。

スプリングスクールは毎年春、大学 3 年生を対象に開かれます。詳しくはこちらの Web ページをご覧ください。

クロストークの様子
村山教授（右上）と浅岡特任准教授（下）

Reports 2021年4月10日

春の合同一般講演会 オンライン開催 約1600人が視聴

挨拶する梶田所長

宇宙線研究所とカブリ数物連携宇宙研究機構（Kavli IPMU）が主催する春の合同一般講演会（柏市教育委員会共催、柏市後援）が4月10日、オンラインで開催され、アーカイブ配信を含めて、のべ約1900人がYouTube（限定公開）を視聴し、二人のトークに耳を傾けました。

春のテーマは「物質があふれる宇宙の不思議」で、宇宙線研究所の浅岡陽一特任准教授が「ついに本格稼働したハイパーカミオカンデ計画～物質宇宙の起源を求めて～」、Kavli IPMUの村山斉教授が「ニュートリノはヒーロー？」と題し、それぞれ講演。二人の対談（クロストーク）も行われました。

最初に登場した梶田隆章所長、「新型コロナウイルスが蔓延しているため、今回の講演会はオンラインで行うこととなりました。直接皆さんに講演を聞いていただけないのは残念ですが、オンラインとしたことで今回の講演会の事前の申し込み者数が1500人を超えたと聞いております。どこかの会場をお借りしたとしても、これだけ多くの方々に聞いていただくことは不可能と思い、その意味では、オンラインで開催できることをたいへんありがたく思っています。本日はお二人の講演を聞きながら、宇宙の不思議を考え、楽しんでもらえればと思います」とあいさつしました。

浅岡特任准教授は、物理学が目指すのは「森羅万象を数学的に記述すること」とし、「シンプルな法則で、小さな素粒子の世界から、より遠くの宇宙までの広い範囲を記述しようとする試みは成功しているようにみえます」と指摘しました。また、素粒子・標準理論が示す描像については「複雑過ぎる」とする一方、「この複雑さが人類生存のためには最低限必要なものではないか」と

ICRR 浅岡特任准教授「未知なる未知を見つけたい」

し、人間がいるからこそ宇宙を観測し得るという「人間原理」にも触れ、人間の存在を許す最もシンプルな物理法則が目標となる可能性を示唆しました。

さらに、超高温・高密度のエネルギーの塊であるビッグバンの後、対生成したはずの物質・反物質は、やがて対消滅するため、本来は何も残らないはずだが、現在は物質優勢の宇宙が残っているのは不思議であるとし、「このためには、粒子と反粒子の間で物理法則が異なっている（CP対称性の破れ）必要がありますが、クォークで観測されたCP対称性の破れだけでは不十分です。ニュートリノと反ニュートリノの違いをできるだけ直接的に測定し、ニュートリノにおけるCP対称性の破れを調べるのが、ハイパーカミオカンデ計画の主目的の一つです」と説明しました。続いて浅岡特任准教授は、物理実験における「測定」について解説しました。この中で、自身が東京大学・素粒子物理国際研究センターの折戸研究室の出身で、大学院生の当時、気球実験BESSで、加速器実験の技術を応用した薄肉ソレノイドマグネットにより、飛行時間と磁場中での曲がり具合から入射粒子の質量を測定し、直接反陽子を識別したことを紹介。一方、スーパーカミオカンデでは実験データ同士で比を取り、更にシミュレーションデータとの比を取る"double ratio"と呼ばれる手法で、誤差の影響を低減しつつ目的の物理を直接的に測る解析方法を実践していたことに触れ、梶田所長に教えられたという言葉「検出器の性能を最大限発揮させる。とことん追求・検証する。後は検出器の声に耳を澄まして虚心坦懐にデータを見る」という姿勢を目標としていく意思を示しました。

「検出器の声に耳を澄まして虚心坦懐にデータを見る」（梶田所長の言葉）

Kavli IPMU 村山教授「私たちは星のかけらだった」

ハイパーカミオカンデについては、「超巨大水タンクの新規建設と、J-PARC 加速器増強の組み合わせにより、宇宙・素粒子研究における新たなブレークスルーを狙うものです」と紹介し、スーパーカミオカンデの 8.4 倍にあたる有効体積 19 万トン、光センサー感度が 2 倍、J-PARC ニュートリノビーム 2.6 倍に増強などで、加速器ニュートリノの検出率をこれまでの 20 倍に、増やす目標であることを明らかにしました。また、「観測の対象は、加速器ニュートリノだけでなく、太陽ニュートリノ、超新星ニュートリノ、陽子崩壊など多岐にわたる、19 か国·93 機関·439 人の研究者が参加する国際コラボレーションです」と語り、2027 年の実験開始を目指して建設中の現在の様子を写真で紹介しました。

最後に、冒頭で触れた「宇宙の始まりの前には何があったのか？」「宇宙の果てのさらに外はどうなっているのか？」「世界はなぜ存在しているのか？」という素朴な疑問に対し、「回答できる道筋さえ想定できません」と認めつつも、「成果が積み重なっていく『科学』は人類にとって最も強力な方法論で、物質宇宙の起源解明を目指すハイパーカミオカンデを完成させ、装置が生み出すデータを虚心坦懐に解析し、”unknown unknowns（未知なる未知）”を見つけたいです」と研究者としての抱負を語りました。

村山教授は、素朴な疑問「私たちはなぜ生まれたのか」を出発点に、望遠鏡で遠くを観察し、過去に遡っていくというストーリーを、視聴者に語りかけるように展開。アンドロメダ銀河（230 万年前）、銀河団（23 億年前）、初期銀河（133 億年前）、ビックバンの痕跡である宇宙マイクロ波背景放射（CMB、138 億年前の宇宙誕生から 3 分後）の写真をスライドで示しながら、最初の星が誕生した時は水素とヘリウムしか存在しかなかったことが観測で裏付けられたとしました。その上で、「太陽はなぜ光るのでしょうか。それは、水素の原子核（陽子）が 4 つ結合してヘリウムの原子核が生まれる時、わずかな質量の欠損があり、それが大きなエネルギーに変換されているためで、その証拠にスーパーカミオカンデでは太陽内の核融合でできたニュートリノが観測されています」と語り、岐阜県飛騨市神岡町のスーパーカミオカンデを訪れた時の様子を写真とビデオで紹介しました。

スーパーカミオカンデの前身カミオカンデは 1987 年、超新星爆発からやってくるニュートリノの観測に世界で初めて成功し、小柴昌俊博士に 2002 年ノーベル物理学賞が贈られたことを紹介し、「このような超新星爆発は、太陽のような恒星が燃え尽きた時に起き、その中心部では炭素、窒素、酸素、さらに鉄までもが生まれたと考えられています。それが爆発で宇宙に撒き散らされ、地球などの惑星ができた。つまり、私たちは星のかけらだったのです」。さらに、鉄よりも重い金などの物質が生まれたのは、中性子連星の合体だったことが最近、重力波と可視光などの同時観測で実証されたとし、「日本でも重力波望遠鏡 KAGRA をスーパーカミオカンデと同じ山に建設し、観測を始めました。観測された重力波の方向を調べ、他の望遠鏡を向けるためには、アメリカの LIGO、ヨーロッパの Virgo などに続き、日本の KAGRA が不可欠です。KAGRA の今後の観測にワクワクし、期待しているところです」と語りました。

ここで、人類の起源をさらに追究するため、もっとも小さな世界の話、「なぜ原子が生まれたのか」にフォーカスし、「実は 100 年かけて作られた素粒子物理の標準理論では、これを説明できない、つまり答えが出ていない謎である、ということがわかっています」と説明。性質が同じで電荷だけが反対の「反物質」の発見についても触れ、「とてつもないエネルギーのビックバンで、大量の物質と反物質が 1 対 1 で生まれたと考えられ、宇宙が大きくなって冷えていくに従って、これらは 1 対 1 で対消滅して消えていくはずでした。つまり、完全消滅の危機に面していた宇宙を救ってくれたものがあるはずです」と断言しました。

ビックバンで生まれた物質と反物質対消滅せず物質優勢になった理由は？

また、物質・反物質の違いを調べた 2 大実験（つくば市・高エネルギー加速器研究機構の Belle 実験、スタンフォード大学の BarBar 実験）の成果について、村山教授は「B 中間子と反 B 中間子の違いを調べることで、小林・益川理論の予言を確認し、二人には 2008 年ノーベル物理学賞が贈られましたが、これだけでは物質優勢の宇宙を説明するのに必要な違いのうち、1 億分の 1 の 1 億分の 1 しか出せないことがわかりました」と語りました。

さらに、村山教授は、問題を解決するヒントとして、宇宙の始めにニュートリノが反物質から物質に変わり、物質と反物質を入れ替えたとする柳田・福来理論を挙げ、「もしこの理論が本当だとすると、ニュートリノが我々を完全消滅の危機から救ってくれたスーパーマンということになり、それを詳しく検証するのがハイパーカミオカンデの実験、そして宇宙が生まれてから百兆分の 1 秒後のことを調べることができる重力波の観測です。ぜひ期待したいと思います」と結びました。

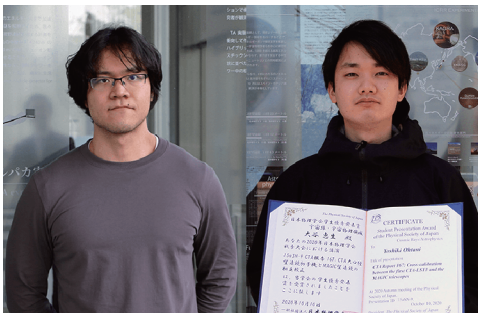
後半のクロストークなどの詳細は Web ページをご覧ください。

Topics

2021 年 3 月 14 日

博士課程の大谷さん、加藤さん 日本物理学会 2020 秋季大会の学生優秀発表賞を受賞

チェレンコフ宇宙ガンマ線グループの大谷恵生さん (現在 D2)= 写真右と、チベットグループの加藤勢さん (現在 D2)= 写真左の二人が、2020 年 10 月に行われた日本物理学会 2020 年秋季大会で、学生優秀発表賞を受賞し、3 月 14 日、オンラインで表彰されました。



大谷さんは「CTA 報告 167: CTA 大口径望遠鏡初号機と MAGIC 望遠鏡の相互較正」と題し、秋季大会で発表しました。大谷さんは、スペイン・カナリア諸島のラパルマ島に完成した CTA の大口径望遠鏡 1 号機 (LST-1) と隣接の MAGIC 望遠鏡で、かに星雲をそれぞれ独立に観測し、両者の時間情報のズレを調整して同一イベントの観測データを同定し、LST-1 が本来の性能を発揮できているかを見極める研究を進めており、「時間のズレを調整し、イベントを同定するプログラムを作るのに、かれこれ 1 年近くかかりましたが、うまく結果が出せてよかったです」と語りました。

一方、加藤さんは「ALPACA 実験 18: ALPAQUITA 実験の性能評価シミュレーション 5」と題し、秋季大会で発表。南米ボリビアのチャカルタヤ山頂近くの標高 4800 メートルに、ALPACA 実験に先立って設置された小規模空気シャワー観測装置 ALPAQUITA について、コンピュータシミュレーションによる性能評価を行うもので、加藤さんは「ALPAQUITA 実験、ALPACA 実験のガンマ線天文学への貢献に対する、皆様の大きな期待を感じました。同時に、信頼のおける観測結果を得る上で欠かせない、シミュレーションを用いた研究を行うことの責任の大きさを、改めて実感しました。今回の受賞に慢心せず、今後とも真摯に研究に努めていこうと思っております」と語りました。

2021 年 4 月 1 日

飛騨市神岡振興事務所に神岡宇宙素粒子研究施設サテライトオフィス

宇宙線研究所は 2021 年 4 月 1 日、岐阜県飛騨市神岡振興事務所の建物内に、神岡宇宙素粒子研究施設サテライトオフィスを開設しました。(写真左が森田雄一郎 神岡振興事務所長・宇宙物理学支援室長、右は塩澤眞人教授)

地方自治体の庁舎内に国立大学法人の研究所のオフィスが入ることは全国的にも珍しい取り組みとなります。このサテライトオフィスは 2027 年完成予定であるハイパーカミオカンデの研究拠点などとして機能する予定です。

2021 年 2 月 19 日

2020 年度 修士・博士課程の学生による研究発表会を開催！

宇宙線研究所で研究生活を送る大学院生が、お互の研究内容を知り、交流を深めるための修士・博士研究発表会が 2 月 19 日、開催されました。修士・博士論文が完成を迎えるこの時期に毎年開かれており、今回で 10 回目となります。今年の発表会は、COVID-19 の感染拡大に伴う政府の緊急事態宣言が 10 都府県に出される中での開催となり、ZOOM によるオンラインのみで行われました。

発表会の冒頭、梶田隆章所長が「今年 1 年の研究の成果を皆さんに知ってもらうよい機会ですので、ぜひ有意義に利用して交流ください」とあいさつ。続いて、指導教員らがオンラインで見守る中、修士・博士課程の学生 19 人が、日本語と英語のどちらかを選んで口頭発表 (12 人が英語を選択) を行い、5 人がポスターセッションに挑みました。それぞれの発表ごとに質問が出され、学生、教員も含めて議論が行われました。

各部門の所長賞は以下の通りです。

【修士部門】西脇公祐さん
"Particle acceleration in galaxy clusters and associated non-thermal radiations (銀河団における粒子加速と非熱的放射)"
【博士部門】山田智宏さん
"Low-Vibration Conductive Cooling of KAGRA Cryogenic Mirror Suspension (KAGRA 極低温鏡懸架システムの低振動伝導冷却)"
【ポスター部門】加藤勢さん
"Optimization of the ALPAQUITA surface array performance"

プログラムなどはこちらからどうぞ。

2021 年 2 月 8-9 日

2020 年度の宇宙線研究所共同利用研究・成果発表会を開催！

東京大学宇宙線研究所は 2 月 8 日から 2 日間にかけて、共同利用研究の成果発表会をリモートで開催しました。

宇宙線研究所は国際共同利用・共同研究拠点として、柏キャンパス、神岡宇宙素粒子研究施設、重力波観測研究施設、宇宙ニュートリノ観測情報融合センター、乗鞍観測所、明野観測所の各国内附属施設のみならず、カナリア高エネルギー宇宙物理観測研究施設、中国・チベット、アメリカ・ユタ州、ボリビア・チャカルタヤの各海外観測拠点を利用し、広い意味での宇宙線の観測・研究ならびにそれに関連した研究を当研究所と共同して行うことを目的としており、年度ごとに公募が行われています。

発表会では 2020 年度の国際・国内の共同利用研究を実施中の 55 グループが 10-20 分にわたり、それぞれ今年度の成果を発表し、質疑などが行われました。最終日にはリモートでの交流会も行われました。

プログラムなど詳しくはこちらをご覧ください。

2021 年 1 月 4 日

井上科学技術担当大臣　岐阜県飛騨市の実験施設などを訪問

内閣府の井上信治・特命担当大臣 (科学技術政策) が 1 月 4 日、岐阜県飛騨市を訪問し、当研究所の実験施設などを視察しました。(写真右が井上大臣、中央・梶田所長、左・中畑施設長)

井上大臣は同日、スーパーカミオカンデ及び大型低温重力波望遠鏡 KAGRA、さらに道の駅スカイドーム神岡にある「ひだ宇宙科学館カミオカラボ」を初めて訪問し、梶田隆章所長をはじめ、中畑雅行・神岡宇宙素粒子研究施設長、大橋正健・重力波観測研究施設長、都竹淳也・飛騨市長らから説明を受けました。

＊ ＊ ＊ ＊ ＊ ＊ ＊ ＊ ＊ ＊ ＊ ＊ ＊ ＊ ＊ ＊ ＊ ＊ ＊ ＊

2021 年 4 月 1 日

梶田所長の年度初めの挨拶

宇宙線研究所の梶田隆章所長は 4 月 1 日、2021 年度の挨拶を宇宙線研究所ホームページの「所長挨拶」のページに掲載しました。

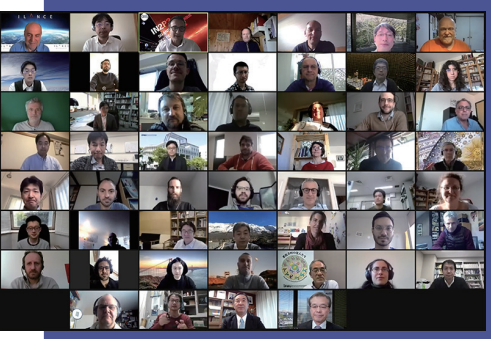
詳しくはこちらへ。

柏キャンパスの第一総合研究棟に宇宙・素粒子の国際研究拠点を設立

仏国立科学研究センター (CNRS) と東京大学 4 部局

東京大学宇宙線研究所など 4 部局とフランス国立科学研究センター (CNRS) は、新たな国際交流協定に基づき、宇宙・素粒子物理学及び天文学の分野で交流するための国際研究拠点「ILANCE ラボラトリー」を東京大学柏キャンパス (千葉県柏市) に設置。その記念となる初めてのワークショップを 4 月 7 日、リモート開催しました。

東京大学から研究拠点に参加するのは、宇宙線研究所のほか、カブリ数物連携宇宙研究機構 (Kavli IPMU)、素粒子物理国際研究センター (ICEPP)、理学系研究科の 4 部局です。共同研究の対象には、ニュートリノ物理、原始宇宙、暗黒宇宙、重力波、素粒子物理などの分野にあたる、ハイパーカミオカンデ、スーパーカミオカンデ、T2K、KAGRA、CTA、LiteBIRD、すばる望遠鏡 PFS、ATLAS、ILC などのプロジェクト名が挙げられています。



4 部局はこれまでも、それぞれ CNRS/IN2P3(原子核素粒子物理研究所) との間で国際共同研究を行ってきましたが、2019 年 3 月に理学系研究科の土居守教授がフランスを訪問した際、Reynald Pain・IN2P3 所長が、研究協力と人材育成を一層強化するため、国際研究拠点を設立することを提案。2019 年 11 月に IN2P3 の Reynald Pain 所長および Patrice Verdier 副所長が本学を訪問した際にも、梶田隆章・宇宙線研究所所長、武田洋幸・前理学系研究科長、白波瀬佐和子前理事 / 副学長らと会談し、拠点設立により研究協力の一層の強化ができることを確認していました。

国際研究拠点は、宇宙線研究所に隣接する柏キャンパスの総合研究棟内に設置され、フランスからの研究者および学生が中・長期で滞在するための拠点となり、共同研究や学生・研究者の交流を活発化させることが期待されています。

4 月 7 日には国際研究拠点の設立を記念した初めてのワークショップが Zoom 上で開催され、日本側代表の梶田隆章・宇宙線研究所所長が「この国際研究拠点の活動には日本とフランスから 50 人を超える研究者が参加する予定ですが、第一線の研究分野で東京大学と CRNS/IN2P3 が協働することは大変重要なことで、COVID-19 の状況が早く改善され、研究拠点の設立が良い機会となってくれることを期待しています」とあいさつ。フランス側代表の Michel Gonin・エコールポリテクニック大学教授も、拠点を設立した目的について、「CNRS が東京大学と国際協力していくための新しい仕組みの構築であり、日仏からの研究者が結集する組織を柏キャンパスに作り、既存のプロジェクトを強化するだけでなく、日仏政府・ERC への研究提案、異なる分野の研究者が交流することによるシナジー効果も期待しています」とコメントしました。

ワークショップの参加者は約 80 名と盛況で、終わりに相原博昭・理事 / 副学長からも新たな研究拠点の設立に歓迎と期待の言葉をいただきました。

Information

人事異動

発令日	氏名	異動内容	職
2021.1.4	苔山　圭以子	退職	助教
2021.1.16	今川　公啓	採用	技能補佐員
2021.2.1	伊藤　美智留	契約開始	派遣職員
2021.2.28	岡野　有香	退職	事務補佐員
2021.3.1	岡野　有香	採用	主事員
2021.3.21	中野　雅之	退職	学術支援専門職員
2021.3.31	中島　康博	転出	助教
2021.3.31	馬渡　健	任期満了	特任研究員(ICRRフェロー)
2021.3.31	藤田　智弘	退職	特任研究員(ICRRフェロー)
2021.3.31	原田　了	任期満了	特任研究員(研究所研究員)
2021.3.31	伊藤　博士	任期満了	特任研究員(研究所研究員)
2021.3.31	中村　輝石	退職	特任研究員(研究所研究員)
2021.3.31	利川　潤	受入終了	学振特別研究員
2021.3.31	大林　由尚	任期満了	学術支援専門職員
2021.3.31	古田　清司	任期満了	学術支援専門職員
2021.3.31	猪目　祐介	退職	学術支援専門職員
2021.3.31	青木　利文	退職	技術職員
2021.3.31	田守　幸雄	任期満了	技能補佐員
2021.3.31	中田　一雄	任期満了	技能補佐員
2021.3.31	今川　公啓	任期満了	技能補佐員
2021.3.31	大浦　輝一	転出	副事務長
2021.3.31	小林　豊輝	転出	副事務長
2021.3.31	福原　奈々	退職	事務補佐員
2021.4.1	高橋　弘毅	委嘱	客員教授
2021.4.1	家城　佳	採用	特任助教
2021.4.1	猪目　祐介	採用	技術職員
2021.4.1	大原　謙一	採用	特任研究員(シニアフェロー)
2021.4.1	Yuhang Zhao	採用	特任研究員(ICRRフェロー)
2021.4.1	大村　匠	採用	特任研究員(研究所研究員)
2021.4.1	谷岡　諭	採用	特任研究員(プロジェクト研究員)
2021.4.1	竹中　彰	受入開始	協力研究員
2021.4.1	井下　克巳	採用	学術専門職員
2021.4.1	青木　利文	採用	技術補佐員
2021.4.1	丸山　達也	採用	技術補佐員
2021.4.1	佐藤　弘樹	転入	専門員
2021.4.1	佐伯　祐哉	転入	係長
2021.4.1	赤井田　洋平	昇任	主任
2021.4.1	福原　奈々	採用	一般職員
2021.4.1	中谷　友紀子	採用	事務補佐員

(R3.1.2 ～ R3.4.30)

ICRR Seminar

2021.1.22

Dr. Arun Babu (Universidad Nacional Autonoma de Mexico)
"Cosmic rays: a proxy to study solar transient events"

2021.2.5

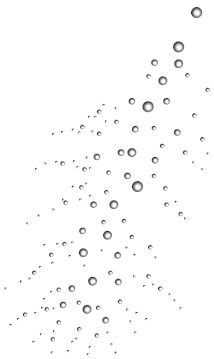
Dr. Marco Casolino (理研)
"The Mini-EUSO experiment on board the International Space Station: first results and perspectives"

2021.2.16

Dr. Bernard V. Jackson (UC San Diego)
"Heliospheric Remote Sensing Using IPS and Spacecraft Imagery"

ICRR NEWS No.110
2021 SPRING
編集・発行：2021 年 5 月 15 日　東京大学宇宙線研究所広報室

住所　〒277-8582　千葉県柏市柏の葉 5-1-5
TEL　04-7136-3102（代表）
E-mail　icrr-pr@icrr.u-tokyo.ac.jp
URL　www.icrr.u-tokyo.ac.jp



東京大学
宇宙線研究所
Institute for Cosmic Ray Research

ICRR NEWS No.110
2021 SPRING
編集・発行：2021 年 5 月 15 日　東京大学宇宙線研究所広報室