

宇宙線研究所の今を伝える

ICRR NEWS

Explore Universe and Elementary Particles with Multi-Messengers.

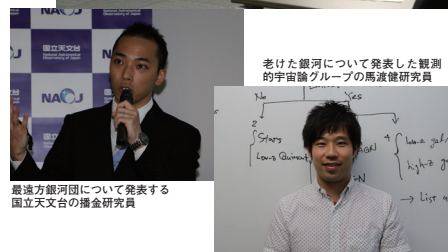
No.
106
2019
AUTUMN



Contents

Features

- 01 **Press Release 2019.11.21**
チェレンコフ望遠鏡 MAGIC
ガンマ線バーストの信号を初観測
多国籍の解析チームを指揮した
チェレンコフ宇宙ガンマ線グループ
野田 浩司 准教授に聞く
- 06 **Press Release 2019.9.27**
130 億光年かなたの宇宙に
銀河団を発見。最遠方の記録を更新
東京大学、国立天文台などの研究チーム
- 07 **Press Release 2019.9.10**
135 億年前の星形成の痕跡を発見！
～最遠の“老けた銀河”探査～
東京大学・馬渡研究員の研究チーム



- ### Reports
- 08 宇宙線研イベントに 1887 人
東京大学・柏キャンパス一般公開
- 12 KAGRA 実験施設 完成記念式典を開催
LIGO、Virgo との研究協定 (MOA) にも調印



- ### Memorial 追悼
- 14 近藤一郎先生を偲んで
特別寄稿 荒船次郎 元宇宙線研究所長

- ### Topics
- 16 岐阜県飛騨市が東京大学褒門賞を受賞
16 乗鞍観測所が「乗鞍 WEEK」に参加、一般見学会を開催
16 TAUP2019 で山田智宏さん (D2) がポスター最優秀賞を受賞
17 菅原悠馬さん (D3) が多摩六都科学館でサイエンスカフェ
17 2019 年度 ICRR 外部評価委員会が最終報告書を公表



- ### Information
- 17 人事異動
17 ICRR Seminar





野田浩司准教授 = 宇宙線研 6 階の CTA 展示コーナーで

Features

Press Release 2019.11.21

チェレンコフ望遠鏡 MAGIC ガンマ線バーストの信号を初観測

多国籍の解析チームを指揮した

チェレンコフ宇宙ガンマ線グループ 野田 浩司 准教授に聞く

東京大学宇宙線研究所などの国際共同研究チームは、スペイン・カナリア諸島ラバルマに展開するチェレンコフ望遠鏡 MAGIC により、45 億光年の彼方にある天体からのガンマ線バーストの信号を捉えることに成功しました。地上の望遠鏡が、ガンマ線バーストの信号を高い信頼度で捉えたのは初めてで、最高エネルギーが 1TeV^{※1}まで伸びていることから、新しいガンマ線放射のメカニズムの存在も示唆されています。

野田 浩司 (のだ こうじ) 准教授

1981 年、横浜生まれ。2010 年、東京大学大学院理学系研究科物理学専攻博士課程・宇宙線研究所にて博士 (理学) の学位を取得。イタリア・国立核物理研究所、ドイツ・マックスプランク物理学研究所、スペイン・高エネルギー物理学研究所での研究員を経て、2018 年 2 月に准教授に就任

信号の解析は数カ国の 10 人以上の研究者からなるチームが行いましたが、そのチームを主導した野田浩司准教授に、今回の発見の経緯や意義について伺いました。

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。1 GeV = 109 eV、1 TeV = 10¹² eV

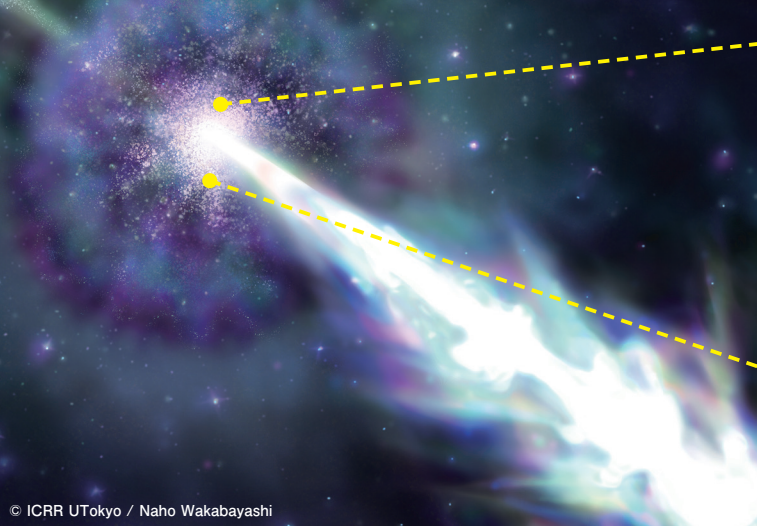
【論文情報】雑誌名: Nature (*印は Corresponding author / 責任著者)

論文タイトル: Teraelectronvolt emission from the γ -ray burst GRB 190114C

著者: V. A. Acciari, S. Fukami, D. Hadasch, T. Inada, S. Inoue*, Y. Iwamura, H. Kubo, J. Kushida, D. Mazin, K. Nishijima, K. Noda*, S. Nozaki, D. Paneque, T. Saito, S. Sakurai, M. Takahashi, M. Teshima, S. Tsumimoto, I. Vovk et al. (MAGIC Collaboration)

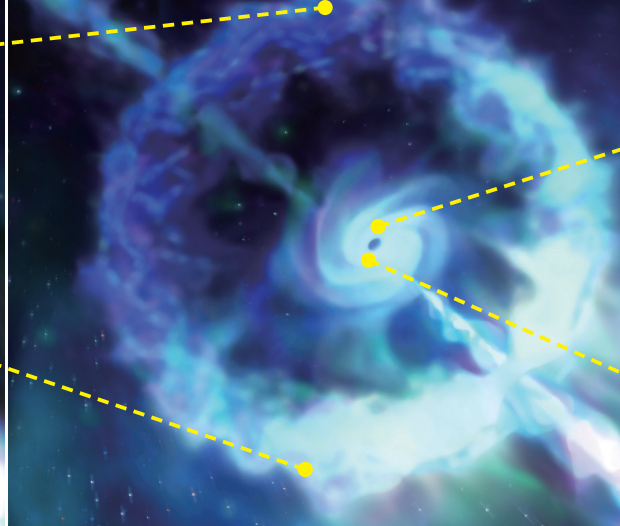
DOI : <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1750-x>





© ICRR UTokyo / Naho Wakabayashi

45 億光年彼方にある恒星 (太陽質量の数十倍以上の大質量星) が重力崩壊し、ブラックホールになる際、星の回転軸の二つの方向に放出されたガンマ線の想像図



© ICRR UTokyo / Naho Wakabayashi

恒星の内部が重力崩壊する際の想像図。星の内部が空洞化し、中心のブラックホールに吸い込まれる様子

ガンマ線の最大エネルギー 1 TeV 領域へ

—ガンマ線バーストがどのように観測されたのか教えてください。

◆野田准教授 ガンマ線バースト^{注2}は宇宙で最も激しい爆発現象のことで、大きな星の死 (超新星爆発) や、中性子星・ブラックホールの合体に関係していると考えられます。しかし、このガンマ線バーストは、いつどこで起きるのかわからず、また一瞬で暗くなってしまうので、人工衛星がアラート (警報) を出し、地上の望遠鏡が一齐にその方向に望遠鏡を向けるという仕組みが不可欠です。

—MAGIC が観測した信号はどのようなものでしたか。

◆野田准教授 今回のアラートは、NASA の人工衛星 Fermi、Swift から現地時間の 2019 年 1 月 14 日 20 時 57 分に出力されました。現地の MAGIC^{注3} では観測担当のシフトに ICRR の高橋光成研究員が入っていて、私が明け方の日本でヘルプ電話シフトを担当していました。アラートを受信した 28 秒後に望遠

鏡を向けて観測を開始すると、とてつもなく明るいガンマ線の信号が観測されていました。高橋研究員から「とんでもないものが見えているんですが、これ本当ですかね？」という日本時間の早朝 6 時過ぎのチャット連絡に、「なんてこった。こりゃ寝れないなあ」と、目が一気に覚めたのを思い出します。

あとでわかったことですが、最初の明るさが、ガンマ線で最も明るいと言われる、かに星雲の 100 倍近くに達し、エネルギーも、これまでに観測されたガンマ線バーストの中では最大の 1TeV にも及んでいました。

「とんでもないものが見えているんですが」

—世界中の研究者へニュースを配信したそうですね。

◆野田准教授 観測から 4 時間後に MAGIC コラボレーションから、「MAGIC が GRB からの信号、しかも数百 GeV のガンマ線を高い信頼で初めて観測」というニュースを、世界中の科学者にメール配信したところ、私の個人のメールにもたくさんの「おめでとう」というメッセージが入ってきました。

—観測データの解析はどのように行われたのですか。

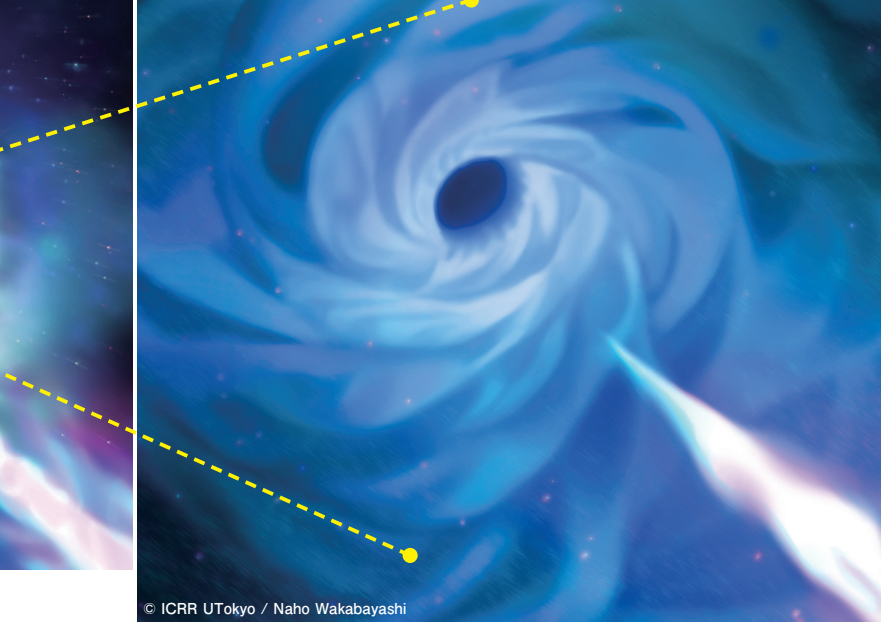
◆野田准教授 MAGIC のコラボレータは 12 カ国・280 人で、通常は多くても 3 人くらいの研究者が解析に当たります。しかし、今回の解析に名乗りをあげたのは、日本チームの他にイタリア、スペイン、ドイツなどから約 10 人もいて、私が解析チームを主導しました。

観測した夜は月が明るく、標準的なデータ解析手法では、低いエネルギーのガンマ線による暗いチェレンコフ光が捨てられしまうという問題がありました。そこで解析手法の最適化をやり直し、また低いエネルギーのガンマ線によるデータを拾えるようにシミュレーションをやり直しました。このような苦労もあり、当初の予定よりも長い時間がかかりました。



ガンマ線バーストの信号を確認したカナリア諸島・ラバルマにあるチェレンコフ望遠鏡 MAGIC

注2. ガンマ線バースト (GRB)・・・宇宙で最も激しい爆発のこと。重い恒星が最期に超新星爆発を起こし、重力崩壊する際、または中性子星やブラックホール同士の合体に伴って起こり、ほんの数秒間に、太陽が一生涯かけて放出するのに相当するエネルギーを放出する。最初の即時放射には放出される光子の大半が含まれ、続いて残光が放たれる。即時放射にはガンマ線とともに X 線が含まれ、残光にはさまざまな波長の光 (電波、赤外線、可視光、紫外線、X 線、ガンマ線) が含まれる。このうち可視光は、爆発の起きた天体までの距離を決めるために使われ、全てのガンマ線バーストが天の川銀河からはるかかなたの銀河で起きていることが分かっている。爆発は突然起きるため、いつどこで起きるか予測することは困難で、広い視野を持つシステムのみが観測可能となる。



© ICRR UTokyo / Naho Wakabayashi

ブラックホールの近くから、星の回転軸方向にプラズマのジェットが出て、そこからガンマ線が叩き出される

— 今回の観測の意義について教えてください。

◆野田准教授 ブラックホールは例えば、大きな星が重力崩壊を起こして生まれると考えられていますが、どのように生成されるのかについては多くの謎があります。ブラックホールは強い重力で周囲の物質を吸い込みますが、光速の99.99%もの極限的な速度で周囲の物質を噴出させる“ジェット”という現象も起きています。ガンマ線バーストの残光もこのジェットが星間物質を叩くことで引き起こされると考えられていますが、ジェットがブラックホールによってどのように起きるのか、その物理メカニズムはわかっておらず、宇宙物理学における最大の謎の一つです。

今回の観測では、このジェットにより、可視光の1兆倍まで高エネルギーの光子が叩き出されていることが初めてわかりました。ガンマ線のフラックスも、低エネルギーのガンマ線と同じくらいあり、とても従来の理論では説明できません。逆コンプトン散乱なのかという議論をしているところですが、研究チームとしてはもっとサンプルを集めたいと考えています。

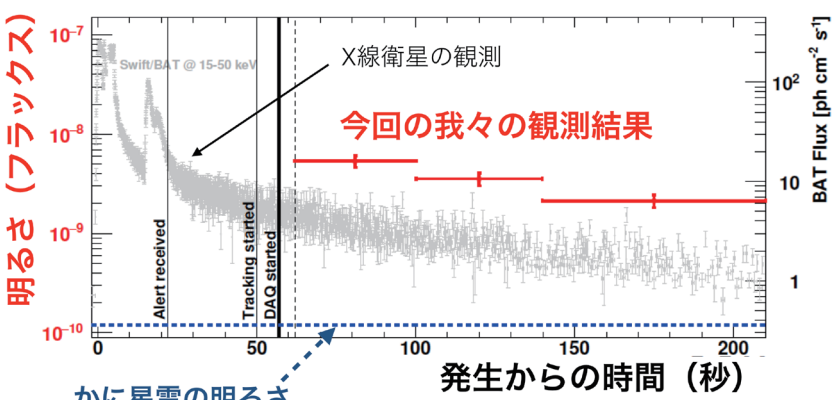
— 観測に成功した一番の理由は何ですか。

◆野田准教授 MAGICは過去15年間の運転でガンマ線バーストの方向を105も観測しています。しかし、観測できる時間帯が

限られ、しかもアップグレードを繰り返して現在に至るまでの間は感度が低かったなどの事情もあり、完全な発見には至っていませんでした。今回のガンマ線バーストは、トップ10%に入るくらいのエネルギーを放出しているものと思われますが、45億光年というガンマ線バーストとしては近傍の現象だったことに加え、さらにMAGICが素早く向きを変えて1分以内に観測を開始できたことが大きいと思われます。

— 地上チェレンコフ望遠鏡と人工衛星の違いはどこにあるのでしょうか。

◆野田准教授 人工衛星は宇宙を飛んでくるガンマ線を直接検出しますが、チェレンコフ望遠鏡はガンマ線が大気と衝突した時に生じる空気シャワーから出されるチェレンコフ光を観測します。このため、チェレンコフ望遠鏡の方が、検出面積が広く、観測できるエネルギー帯も大きくなります。このような望遠鏡を北半球、南半球に多く展開すれば、ガンマ線天文学の地図を書き換えることができ、宇宙物理学の世界が変わるといえるのが、MAGICに続くCTA計画の意義でもあります。



ガンマ線バーストで記録された明るさ(フラックス)の時間経過とかに星雲からのガンマ線との比較。MAGICはアラート受信後28秒で追尾を開始し、その12秒後から解析可能なデータを取得した。

今回の解析には、宇宙線研大学院生の深見哲志君(博士課程3年)も貢献しています。

45億光年と比較的近く、MAGICが1分以内に追尾できたことが成功の要因

— 今回の観測からわかったことについて教えてください。

◆野田准教授 ガンマ線バーストの残光は、これまでに観測された最も高いものでもGeV領域までのエネルギーしか持っていなかった^{注4}ことから、外部からの衝撃で高いエネルギーまで加速された電子から放出されたシンクロトロン放射によると考えられてきました。しかし、今回観測された残光のエネルギーはTeVの領域まで及んでおり、理論で予測されるシンクロトロン放射の予想上限をはるかに超え、別の仕組みがあることが明確になりました。私たちの分析では、このGRBは陽子などのハドロン由来ではなく、高エネルギーの電子が光子を弾き飛ばす、逆コンプトン散乱の可能性が高いと見られています。

注3. MAGIC・・・スペイン・カナリア諸島ラパルマ島の山頂のロケ・デ・ロス・ムチャチョス天文台にある2基の17m口径のチェレンコフ望遠鏡(標高2200m)で、2004年から運転を開始した。ガンマ線が大気中で作る空気シャワーから出るチェレンコフ光を撮像し、50 GeVから50 TeV以上のガンマ線を観測できる

注4. 95 GeVのガンマ線バースト・・・Fermiガンマ線宇宙望遠鏡による2013年4月27日の観測(GRB 130427A)。バースト発生約4分後に95 GeVのガンマ線を検出し、当時のガンマ線バースト放射の最高エネルギー記録を更新した。また約9時間後にも32 GeVのガンマ線が検出された。これらは、標準的なシンクロトロン放射(高エネルギーの電子が磁場の中で円運動または螺旋運動をする時に、軌道の中心方向への加速度を受け、電磁波を放射する現象のこと)で説明することも可能であった。



浅野勝晃准教授

解説

高エネルギー天体グループ 浅野勝晃准教授

あつという間にどんどん暗くなっていくガンマ線バーストを、大きなチェレンコフ望遠鏡の向きを素早く変えることで観測するというのは非常に難しいミッションだったと思いますが、実際に観測に成功したことに対し、敬意を表したいと思います。

MAGICの観測結果が掲載されたNatureには、NASAの人工衛星FermiやSwift、さらに地上の望遠鏡で観測された多波長観測の結果をまとめた論文も同時掲載され、私もその著者の一人ですが、ガンマ線放射のメカニズムについて考察しています。これまでガンマ線バーストは、ブラックホールから出た相対論的なジェットで加速された高エネルギーの電子の軌道が、強い磁場によって曲げられて光子を出すシンクロトロン放射と推測されてきました。しかし、それでは説明できないほどの高

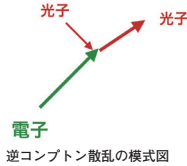
エネルギーガンマ線が地球に届いており、高エネルギー電子が光子を叩く逆コンプトン散乱が起きていたことがほぼ確定的となりました。逆コンプトン散乱の中でも、高エネルギー電子が自ら出したシンクロトロン光子にぶつかり、光子がさらにエネルギーを得るシンクロトロン自己コンプトン散乱だと考えられます。

偶然ですが、私が2019年1月に出版した「ガンマ線バースト」(河合誠之・浅野勝晃著、日本評論社)の中で、「主に100GeV以上に感度を持つ地上のチェレンコフ望遠鏡は、狭い視野と低い稼働率が問題ではあるが、仮にFermi/LATで検出されたようなバーストの観測に成功すれば、その格段に大きな有効面積から大量の光子の検出が期待できる。これは高エネルギーガン

ガンマ線発生機構「自己逆コンプトン散乱」を予測

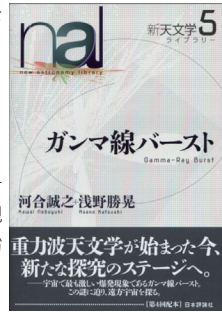
マ線の放射過程を探る重要な手がかりになる。現在稼働しているMAGICに加えて、より大規模な計画として建設が進んでいるCTAもガンマ線バースト検出を狙っている」と書きましたが、その予想が実現し、とても嬉しいです。

ガンマ線バーストは1960年代、核実験を監視する人工衛星によって最初に観測されました。1990年代の観測で、全地球から万遍なく等方に降り注いでいることから、銀河系の外から来ているのではないかと推測されました。1997-8年のBeppoSAX衛星などによる同時観測で、残光のスペクトルから距離が測定され、銀河系の外の遠い天体から来ていることが確定し、大きなブレークスルーとなりました。2000年代には超新星爆発との関係が確定し、2017年のLIGO、Virgoの重力波との同時観測で中性子星連星の合体と継続時間が1秒ほどの短



いガンマ線バーストの関係も明らかにされつつあります。今回のMAGICの観測も、単位時間あたりに観測できたガンマ線の光子の数では世界記録ではないかと見られ、大きなマイルストーンの一つになるはずですが。

ガンマ線バーストの方向決定とその速報を担ってきたFermiやSwift衛星の老朽化が懸念されますが、日本のガンマ線バースト観測衛星のHiZ-GUNDAM計画も進んでおり、MAGICより大規模なCTA計画が実現すれば、遠い天体からのガンマ線バーストの信号も観測できるようになり、遠方宇宙の探索に役立つことが期待できます。



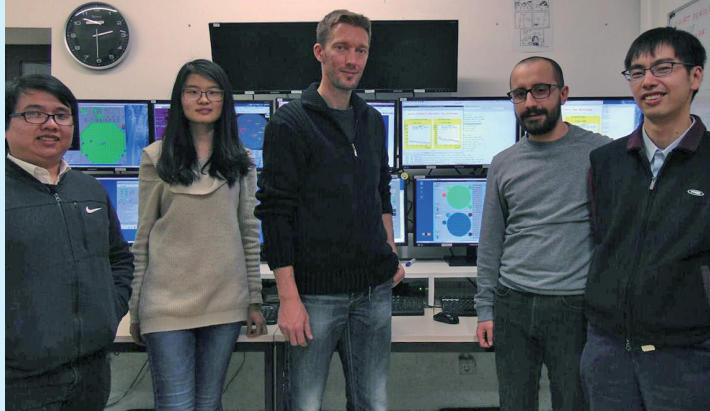
ガンマ線バーストについての近著

ともかく野田准教授にチャットで連絡が確認されました。次に専門家へルシフトの当番に当たっていた日本の野田准教授に電話しましたが、その時は望遠鏡に問題がなく、SwiftBATの高い位置決定性能もあって特に必要な行動は無い事を確認した程度でした。ガンマ線バーストの緊急観測は二ヶ月に1回程度はありますが、この時はまだ大きな期待や興奮はありませんでした。ところがほどなく、オンライン解析の結果を示すモニターが、いまだかつて見た事のない挙動を示しました。観測する方向から非常に多数のガンマ線が来ていると告げていたのです。信号が有意なレベルに達するとモニターの背景が白から黄色に変わるようになっていたのですが、気付いた時には黄色になっており、気がついた時には黄色信号が伸びてきました。あまりにも明るい信号だったため、私もCosimoさんも「何かの間違いだろう」ととても信じられない気持ちでしたが、

高橋さん「非常に幸運なこと」シフト2回目でGRBの“豪雨”

「12月のクリスマスの日からシフトに入って3週目の1月14日。私はオペレーターとして、シフトリーダーのドイツ電子シンクロトロン(DESY)大学院生(当時)のCosimoさんと2人で観測小屋のシフトルームに詰めていました。SwiftBATからのアラートが鳴ったのは観測を開始してからおよそ1時間後の20時57分でした。このような場合MAGIC望遠鏡は自動的に目標を捉えるために回転しアラートの示す座標を向いていることをモニターで確認しました。次に専門家へ

連絡しました。さらに、近くの宿泊施設で休んでいたシフト仲間にも知らせると全員が集まり、別の仕事で来ていたスベイン・バルセロナIAEのGRB研究者、Enri Moresiさんも駆けつけ、明るい星の光と見間違えていないか確認を行うなど、狭いオペレーションルームが緊迫した状態となったのを思い出します。MAGICでは人工衛星からのアラートを受けての観測を15年間で105回行ってきましたが、これまでガンマ線がはびきり検出されたことはありませんでした。私はMAGICのシフトは3年ぶり2回目で、アラートさえ経験したのは初めてでした。この夜を過ぎてからは気象条件が悪化していったことなども含め、このような経験ができたのは非常に幸運なことでした。」



MAGIC望遠鏡近くのシフトルームで、ガンマ線バーストの観測に立ち会った研究者。右から高橋特任研究員、Cosimo Nigro (DESY 大学院生 / 当時)、Sasa Nicanovic (Rijeka 大学教員)、Yating Chai (マックスプランク研究所の大学院生)、John Hoang (マドリッド大の大学院生)。

チェレンコフ・テレスコープ・アレイ (CTA) 計画への期待

10 倍感度で宇宙の高エネルギー現象解明

CTA 大口径望遠鏡プロジェクト代表の手嶋政廣教授

— 今回の MAGIC によるガンマ線バースト観測の重要性や意義について改めて解説をお願いします。

◆手嶋教授 今回の MAGIC による TeV ガンマ線バーストの地上からの初観測は、ガンマ線天文学の歴史に残る大きな成果であり、新たなガンマ線バースト研究の時代を切り開く極めて重要な成果であったと考えます（新しい発見に伴って、それを端的に示す新たな言葉が必要かと思ひ、今回観測されたような TeV 領域まで放射が延びるガンマ線バーストを TeV ガンマ線バーストと呼ばせていただきたいと思います）。

15年にわたる継続的観測の実施、また2機目の望遠鏡 MAGIC-II 増設によるステレオ観測の開始、MAGIC-I カメラ電子回路のアップグレードによる高感度化、絶え間ないメンテナンスによる望遠鏡システムの維持、解析ソフトウェアの日常的なアップグレード・最適化などの努力をいとわず進めてきた多くの MAGIC Collaboration メンバーの努力の賜物かと思ひます。また、50GeV のエネルギー閾値を達成した 17m 口径 MAGIC 望遠鏡のデザイン、CFRP による軽量化デザインによる望遠鏡高速回転がこの大発見を達成できた重要な要素であつ



CTA が目指す研究について語る手嶋教授（東京大学本郷キャンパスの記者会見で）
たと考えます。10年前の技術としては、多くの場所に先進的で、先端的な技術が使われています。MAGIC は 15年にわたり研究成果、150を超える論文を生んできましたが、今回の成果が従来の MAGIC の研究成果の中で最も重要なものです。また、フェルミガンマ線衛星、スイフト X 線衛星との連携も今回の発見にとって必要不可欠なものであったといえます。今回のこの大発見について、この場を借りて、多くの方に深く感謝したいと思います。

また、今回の成果は次世代の CTA、特に日本が主導して建設を進めている 23m 口径大口径望遠鏡の重要性をきわめて明らかに実証する成果です。また、我々が予測したとおり、ガンマ線バースト研究の発展に大きく貢献する装置となります。

—MAGIC に続く CTA 計画について教えてください。

◆手嶋教授 現在、これまでにない高い精度と感度により、観測可能な天体数を 10 倍にし、より広いエネルギー帯で観測するため、北半球と南半球に 100 基以上の望遠鏡を展開する一大プロジェクトが進んでいます。チェレンコフ・テレスコープ・アレイ (CTA) 計画^{注5}と呼び、2018年10月、カナリア諸島ラパルマに CTA 大口径望遠鏡 1号基が完成し、2019年11月現在、試運転を行なっています。

ガンマ線といえば、これまでは人工衛星が中心で、小雨のようにポツリポツリとしか観測できませんでしたが、今回の MAGIC の観測では、ガンマ線が豪雨のように降ってくるのを捉えることができました。CTA 計画が本格稼働すれば、例えば今回のような TeV ガンマ線バーストは、10 倍の頻度で観測できます。1例ではなく、より多数の TeV ガンマ線バーストの観測により、ガンマ線バーストの正体にどんどん迫ることができます。さらに、宇宙物理学における最も複雑で重要な謎のいくつかを解決できる日が来ると信じています。

—CTA によってどんな発見がもたらされるのでしょうか。

◆手嶋教授 一つは宇宙線の起源の謎です。宇宙線の中には、最高エネルギー宇宙線など、とてつもなく高いエネルギーのものがあつ、宇宙のどこかに巨大加速器が存在すると考えられています。ガンマ線は宇宙空間の磁場で曲げられる宇宙線とは異なり、天体からまっすぐやってくるので、方向を特定しやすく、宇宙線の起源を探るのに好都合というわけです。二つ目はブラックホールに伴う宇宙の高エネルギー現象の研究で、例えば、今回のようなガンマ線バーストをたくさん、出来るだけ瞬時に捉えることで、ブラックホールがどのように生まれ、どのような仕組みでジェットが出るのか、中性子星近くの物理現象はどうなっているのか、といった謎を解明します。三つ目は、質量が TeV 領域にあると予測される暗黒物質を探索するもので、暗黒物質が豊富にある矮小銀河、銀河中心に CTA を向けることで、暗黒物質が対消滅を起こした時に生じるガンマ線を捉えようというものです。

ガンマ線の天体は現在、200 以上が見つかっていますが、CTA 計画によって 1000 以上は見つかると考えられており、まさに宇宙の高エネルギーフロンティアを切り開くものとなります。



注5. CTA 計画・・・超高エネルギーのガンマ線天体を観測する次世代望遠鏡「チェレンコフ・テレスコープ・アレイ」プロジェクト。スペイン・カナリア諸島ラパルマ島の北半球サイト、チリ・パラナルの南半球サイトに、大口径望遠鏡（口径 23m）8 基、中口径望遠鏡（同 12m）40 基、小口径望遠鏡（同 4m）70 基の計 118 基を建設し、31 国・1400 人の国際共同研究により運営する。望遠鏡の感度を 10 倍に向上させることで、観測可能なエネルギー領域を 20GeV-300TeV に拡大し、宇宙誕生後 16 億年の若い宇宙の姿を探索。1000 個を超える超高エネルギーガンマ線天体を発見することで、宇宙線の起源と生成機構の解明、ブラックホール、中性子星近くの物理現象の解明などに役立つほか、質量が TeV の領域にあると予測されるダークマターの発見にも大きな役割を果たすと期待される。

130 億年前の銀河団を発見 “最遠方”の世界記録を更新 東京大、国立天文台などの研究チーム

国立天文台の播金優一特別研究員（2019年3月まで東京大学宇宙線研究所に在学）を中心とする国際研究チームは、すばる望遠鏡、ケック望遠鏡、およびジェミニ望遠鏡による国際共同観測により、地球から130億光年先の宇宙に12個の銀河からなる「原始銀河団」（図1）を発見しました。これは現在知られている中で最も遠い原始銀河団です。その中には過去にすばる望遠鏡が発見した巨大ガス雲天体ヒミコがありました。これは、宇宙年齢が8億年（現在の宇宙年齢の6%以下の時代）の初期宇宙に原始銀河団のような大きな構造が存在したことを示す貴重な発見といえます。

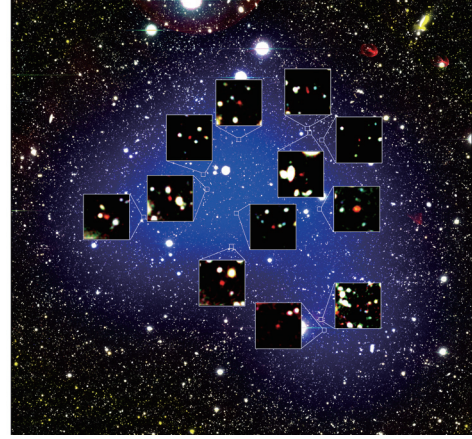
現在の宇宙には、10個程度の巨大な銀河を含む1000個程度の銀河の集まった、銀河団が存在しています。この銀河団は宇宙で最も質量の大きな天体であり、銀河団同士はお互いに結びつき合って大きな構造（宇宙の大規模構造）を作っています。銀河団は宇宙の構造の要で、138億年の長い宇宙の歴史の中でどのように銀河団ができていったのかは天文学における重要な問題でした。銀河団の形成起源に迫るために、天文学者たちは銀河団の祖先だと考えられている「原始銀河団」を探してきました。原始銀河団は昔の宇宙にある形成途中の銀河団で、10個程度の銀河が密集している天体のことです。これまでの観測によりたくさん原始銀河団が見つかってきましたが、その中で最も昔のものは、以前すばる望遠鏡がかみのけ座の方向のすばる深宇宙探査領域（Subaru deep field; SDF）で発見したSDF原始銀河団でした。

「このような原始銀河団はいつの時代からあったのだろうか、という疑問を持って、私たちは研究を始めました」

そう語るの、この発見をした国際研究チームをリードした播金優一特別研究員です。「いつの時代からあったのかを調べるには、なるべく昔、つまり遠くの宇宙を調べる必要があります。しかし、原始銀河団は周辺に比べて格段に密度が高い特別な領域ですので、稀な天体であり簡単には見つかりません。そこで私たちは広い視野を持つすばる望遠鏡の最新撮像装置、Hyper Suprime-Camを使い広範囲を探索することで、稀な天体である原始銀河団を含む広大な領域の宇宙の地図を作りました」

研究グループはすばる望遠鏡を用いた探査の結果、宇宙地図の中のくじら座の方向に、銀河が周辺に比べて15倍密集している原始銀河団の候補、z660Dを発見しました。さらにケック望遠鏡およびジェミニ望遠鏡による追加分光観測により、12個の銀河が地球から129.7億光年先の位置に存在していることを突き止めました。分光観測を行なった小野宜昭助教は次のよう

図1：今回発見された観測史上最も遠方にある原始銀河団（z660D原始銀河団）の擬似カラー画像。すばる望遠鏡による3色の観測データを合成することで、画像に色をつけています。青色の部分がz660D原始銀河団で、12個の拡大図の中心にある赤い天体が、原始銀河団に存在する12個の銀河です。



に話します。「図2のように12個の銀河は3次元図の中でも密集しており、この観測結果からz660Dは、129.7億光年かなたの宇宙に存在する原始銀河団であることがわかりました。これはSDF原始銀河団の記録を約1億光年も塗りかえる、現在知られている中で最も遠い原始銀河団の発見です」

興味深いことに、z660Dの12個の銀河の中には、2009年にすばる望遠鏡によって発見された、巨大ガス雲天体ヒミコがありました。「ヒミコのような巨大天体は質量が大きいため、同じく質量が大きいと考えられる原始銀河団の中にいること自体は不思議ではありません。しかしヒミコが原始銀河団の中心ではなく、中心から5000万光年も離れた位置にいたことに私たちは驚きました」 こう話すのはヒミコが発見者であり、研究グループのメンバーでもある、大内正己教授（国立天文台／東京大学宇宙線研究所）です。大内正己教授は続けます。「どうしてヒミコが中心にいないのかはまだわかりませんが、これは銀河団と巨大銀河の関係を理解する上で重要な手がかりになると考えています」

さらに研究チームはすばる望遠鏡、イギリス赤外望遠鏡、スピッツァー宇宙望遠鏡の観測結果をもとに、z660Dの中では驚くほど激しく星が生まれていたことを見つけました。「z660Dの中の銀河では、同じ時代、同じ重さの他の銀河に比べて5倍もの星が生まれていることがわかりました。z660Dは質量が大きいために、周りから星の材料であるガスが大量に供給され、星の生まれる効率が高いのかもしれませんが」 こう語るの、研究グループのメンバーである、ダルコ・ドネフスキー研究員（先端研究国際大学院大学・イタリア）です。

今回の発見により、活発に星を作りながら銀河団へと成長する原始銀河団が、宇宙年齢が8億年の時代（現在の宇宙年齢の6%以下の時代）の初期宇宙に既に存在していたことがわかりました。研究グループメンバーの藤本征史特任研究員（国立天文台、早稲田大学研究院講師）は次のように話します。「近年の観測により原始銀河団には、塵に覆われた巨大な銀河も存在していることがわかってきています。今回見つかったz660Dにはまだそのような銀河は見つかっていませんが、今後アルマ望遠鏡などの観測が進むと、そのような巨大銀河も見つかり、z660Dの全貌が明らかになるかもしれません」

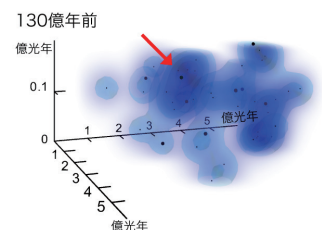


図2：今回の研究によって得られた銀河の分布の3次元図。黒い点が銀河の位置を示していて、青色が濃いほど密度が高いことを示しています。赤色の矢印の先が今回発見された観測史上最も遠方にある原始銀河団です。図の上方向に伸びる軸が奥行きを、手前と右方向に伸びる軸がそれぞれ赤経・赤緯を表しています。

【論文情報】

雑誌名：Astrophysical Journal

論文タイトル：SILVERRUSH. VIII. Spectroscopic Identifications of Early Large Scale Structures with Protoclusters Over 200 Mpc at z=6-7: Strong Associations of Dusty Star-Forming Galaxies

著者：Yuichi Harikane, Masami Ouchi, Yoshiaki Ono, Seiji Fujimoto, Darko Donevski, Takatoshi Shibuya, et al.

DOI番号：10.3847/1538-4357/ab2cd5



135 億年前の星形成の痕跡 最遠の“老けた銀河”探査 東京大、早稲田大などの研究チーム

東京大学宇宙線研究所の馬渡健特任研究員 (ICRR フェロー)、早稲田大学の井上昭雄教授らの研究グループは、ろくぶんぎ座近くの COSMOS 天域^{注1}で、宇宙年齢わずか3億年の時代に生まれたと見られる「老けた銀河」を三つ発見したことを明らかにしました。この天体は、スピッツァー宇宙望遠鏡による近赤外線の観測だけで見えて、すばる望遠鏡 (可視光) やアルマ望遠鏡 (電波) では見えない銀河で、ビッグバン後 10 億年の比較的初期の宇宙に存在したにもかかわらず、すでに「老けた」銀河の特徴を持っていることがわかりました。銀河の星たちは宇宙年齢わずか3億年の時代に生まれたと推測でき、間接的な方法ながらも宇宙最初期の星形成のようすを初めて捉えた成果となります。

「老けた」銀河は、過去の星形成の痕跡を残す化石のような天体で、発見された時代よりも過去の様子を探る重要な手がかりを与えてくれます。COSMOS 天域では、日本のすばる望遠鏡を含む世界中の望遠鏡が協力した観測がこれまでに行なわれ、全天で最も良質な画像データが揃っています。研究チームは既存の観測データに加え、アルマ望遠鏡による超高感度電波観測も独自に行い、同天域にある近赤外線で見える3万7千の天体から「老けた」銀河の候補を3つ選び出しました。

詳細な解析から、これらの天体はいずれも、宇宙年齢 10 億年程度の時代にある約7億歳の星からなる「老けた」銀河である可能性が高いことがわかりました。つまり、宇宙年齢わずか3億年 (135 億光年の距離) の時代に銀河が誕生していたことが推測できます。

< 研究の背景・先行研究における問題点 >

宇宙で最初の星や銀河の誕生について、世界中の天文学者の大きな関心が今まさに集まっています。近年の観測技術の目覚ましい発展により、これまでに人類は 133 億年前の銀河まで観測できるようになりました。しかし、初代銀河の誕生はさらに宇宙史をさかのぼる宇宙年齢 1 億年から 5 億年の間 (赤方偏移^{注2} 30 から 10) であると推定されています。この時代の銀河を直接観測するには、将来の観測装置を待つ必要があるかもしれません。しかし、ほかに何かアイデアは無いのでしょうか。

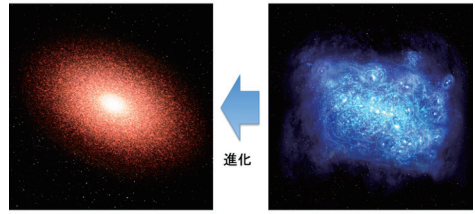
< 研究内容 >

「老けた」銀河は、遠方宇宙ほど数が少なく、スペクトルの特徴も少ないことから見つけるのは難しいと思われてきました。研究グループは、COSMOS 天域でこれまでに撮られた高感度・広視野・多波長の観測データをフル活用。「老けた」銀河の数少ない特徴として、バルマーブレイクというスペクトル中の段差

があります (図1)。バルマーブレイクの強さは銀河をつくる星の年齢に比例し、赤方偏移6でだいたい3μmの近赤外線波長域に現れます。研究チームはまず、スピッツァー宇宙望遠鏡の近赤外線画像に写る3万7千の天体の中から、3.6μmバンドで明るく、それより短波長側で見えない6天体を候補として選びました。ここでは特に、日本のすばる望遠鏡で撮った高感度の可視光データが、数多くある若い星形成銀河を取り除くのに役立っています。また、「老けた」銀河は星間塵の熱放射が少なく、遠赤外線では暗いはずで、そこで6天体に対してアルマ望遠鏡の超高感度観測を行い、星間塵の熱放射が見えない3天体を残しました。アルマ観測データを解析した早稲田大学の橋本拓也研究員によると、最高感度を誇るアルマでも未検出ということが「老けた」銀河である可能性を劇的に高め、他の研究と一線を画す本研究のオリジナリティになっているということです。

合計15波長の画像を用いた詳細なスペクトル解析から、これら3天体は宇宙年齢10億年程度の時代 (z=6) にあり、その星の大部分は年齢7億歳という「老けた」銀河であると結論付けられました。つまり、宇宙年齢わずか3億年 (z=14、135 億光年の距離) の時代に誕生した銀河ということになります (図2)。z=14における星形成率密度を求めたところ、直接的な観測が到達している赤方偏移10までの測定値に比べて小さいものの、減少率はゆるやかであることがわかりました (図3)。銀河の合体・集積だけを考えると、赤方偏移8以上で星形成率密度がもっと急激に減少するので、今回の結果は宇宙最初期の銀河の星形成活動は予想外に効率的だったことを示唆しています。

Features



「老けた」銀河 @赤方偏移~6 星形成銀河 @赤方偏移~14
図2: 観測された赤方偏移6の老けた銀河 (左) とその銀河が星形成をしていた赤方偏移14の時代における先祖 (右) の想像図。写真はいずれも国立天文台提供。

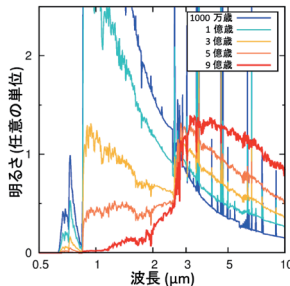


図1: 年齢毎の赤方偏移6のモデル銀河スペクトル。年若い銀河ほどスペクトルが赤く、3μm付近のバルマーブレイクが発達することがわかる。

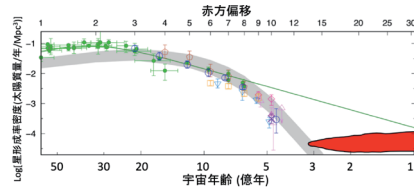


図3: 赤方偏移6の老けた銀河から推定される、それらの先祖による星形成率密度 (赤色塗りつぶし)。赤方偏移1から10の星形成銀河の直接観測に基づく測定値もプロットしてある。緑線は赤方偏移1から8までの測定値に対するフィット線で、赤方偏移8以上では緩やかな減少を予想する。灰色塗りつぶしは銀河の合体・集積だけを考えた理論予想であり、こちらだと赤方偏移8以降で急激な減少を示す。

【関連情報】

発表学会: 日本天文学会秋の大会 (熊本大学) 講演番号 X54a (9月13日)
論文タイトル: 再電離期のバルマーブレイク銀河候補と赤方偏移14以上の星形成率密度への制限

注1. COSMOS 天域: 宇宙進化サーベイ COSMOS プロジェクトという戦略的観測プロジェクトが2000年代前半から始まり、約2平方度 (満月9個分) のCOSMOS 天域に対してこれまでに様々な望遠鏡による多様な観測が実施されてきている。ニック・スコビル カリフォルニア工科大学教授が代表を務め、日本からは谷口義明 放送大学 教授などが参加している。

注2. 赤方偏移 (z): 宇宙論的距離を表す際に使われる指標である。宇宙の膨張に伴って遠方天体からの光は引き伸ばされ、赤方偏移 z の場合に観測される光の波長は元の (1+z) 倍となる。赤方偏移は時間指標としても有用であり、例えば赤方偏移6は現在から130億年前、赤方偏移14だと135億年前に相当する。

宇宙線研究所

Reports

東京大柏キャンパス一般公開 宇宙線研イベントに 1887 人

東京大学柏キャンパスの一般公開が 10 月 25・26 日開かれ、宇宙線研究所にも多くの方々が訪れました。25 日は台風 21 号の影響で大雨だったものの、26 日は秋晴れに恵まれ、来場者は計 1683 人でした。梶田所長の講演会場（柏の葉 CC）の 204 人を含め、1887 人が宇宙線研のイベントを楽しみました。

梶田所長の講演会は 26 日午後、「Kashiwa-no-ha Innovation Fes. (柏の葉イノベーションフェス)」のオープンングイベントとして柏の葉カンファレンスセンター（柏の葉 CC）で行われ、本会場には 204 人が出席。インターネット回線を通じ、宇宙線研究所 6 階の大セミナー室と、岐阜県飛騨市神岡町のひだ宇宙科学館「カミオカラボ」の 2 か所に生中継され、大セミナー室では 100 人ほどが集まり、スクリーンに映し出された講演の様子に注目しました＝写真。

梶田所長は「ニュートリノで探る宇宙の謎」と題して講演。まず、ニュートリノについて、「電子から電荷と質量を除いたような素粒子」「3 種類ある」「長い間、質量がないと思われてきた」と説明したうえで、「（ごく稀に）原子核と衝突し、電荷を持った別な素粒子が出てくる。それが水の中を走ると、光を放出するため、この光を観測してニュートリノのことを調べることができます」と述べました。

さらに、新しい素粒子の理論で予言された陽子崩壊を探る目的で 1983 年に始まったカミオカンデ実験で、大気の中で作られたニュートリノが「ノイズ」として観測されたこと、解析プログラムのミスを疑い、このノイズに埋もれているはずの陽子崩壊の信号を探したが見つからなかったこと、「ミューニュートリノが予測より少ない」という観測から得られた結果を論文にしたところ、世界的に評判が悪かったことなど、当時のことを再現するように克明に語りました。

そして、この問題を重要に感じ、謎の解明に専念した当時について、「研究者としては、このころが一番楽しかったと思います。何が起きているか分からないのですが、私たちが知らない謎に直面し、解き明かすようなワクワク感がありました」と、実感を込めて語りました。

カミオカンデでは 1987 年、超新星ニュートリノを世界で初めて観測し、小柴昌俊名誉教授のノーベル物理学賞につながりましたが、「重要だったのが直径 50 センチの光検出器です。これはカミオカンデの実験のために企業と協力し

測されていたニュートリノ振動が起こっていて、ニュートリノに小さいながらも質量があることが決定的となりました」と、自身の 2015 年ノーベル物理学賞の受賞につながる研究の過程を振り返りました。

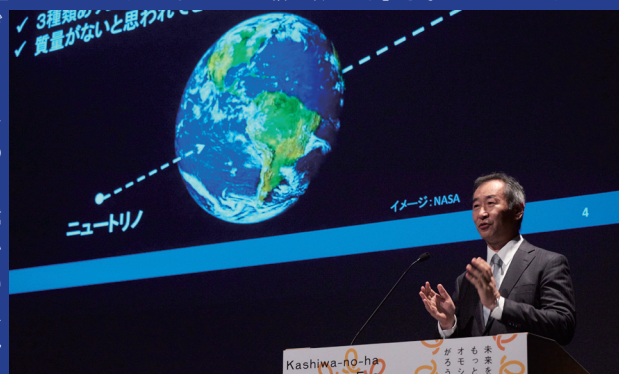
宇宙にはかつて、物質と反物質が同じ量だけあったはずなのに、なぜ現在は物質が残っていないという大きな謎があります。この謎を解くためには、茨城県東海村の J-PARK にある加速器で発生させたニュートリノビームを、次世代のハイパーカミオカンデに打ち込む実験が

不可欠であることに触れ、「基礎科学研究は、短期的には我々の生活の改善には結びつきませんが、その一部は長い目で見れば、人類の大きなイノベーションの源泉ですし、そうでなくとも我々の知的好奇心を刺激し続けてくれます。今後ともぜひ応援をよろしくお願い致します」と呼びかけました。

梶田所長の講演 柏の葉イノベーションフェスと共催 2 会場で合計 300 人以上が参加 「謎を解き明かすようなワクワク感」

開発されたものですが、こういう新しい特徴を持ったときに、今までにない新しい成果が出るのだと思います」とも述べる場面もありました。

現在のスーパーカミオカンデの実験が 1996 年から始まり、2 年間のデータを解析。すると、神岡上空から来るミューニュートリノの信号が予測と同じなのに対し、地球の裏側からやってきたミューニュートリノの信号が予測より少ないことがわかり、「ニュートリノが飛んでいるうちにタイプ（種類）を変えたことが裏付けられ、理論で予



続いて若手研究者によるイベントも行われ、特任研究員(ICRRフェロー)の平松尚志さん、学振特別研究員の林航平さん、学術支援専門職員の猪目祐介さんが、自らの興味や研究について語りました。

ICRR フェロー

平松さん 宇宙初期をシミュレーションで再現



平松さんは、当時のパソコンで円周率の計算に明け暮れたという小学生時代から、発表の題目に掲げた「宇宙論的背景重力波と初期宇宙論」という現在の研究テーマまでを、淡々とした口調で振り返りました。

東京大学の学生時代、観測的宇宙論の第一人者である須藤靖教授に師事した際、「観測的宇宙論はもう良い。究極の宇宙論は太陽系外惑星。君もやらないかい？」と言われ、思わず拒否したものの、2019年のノーベル物理学賞が太陽系外惑星を研究していた二人の外国人に贈られたことを見て、「先生のアドバイスは素直に受け取った方が良かったのかも」と当時を思い返したこと、同じ研究室の樽屋篤史・助教(現・京都大学准教授)の助言で「重力波」をテーマにすることにしました。

そして、インフレーションなどによって生じた背景重力波をコンピュータ・シミュレーションで再現し、宇宙が生まれた時に何が起きたかを探る研究について解説し、「超弦理論で予測される高次元空間に重力波が逃げた様子や、粒子の“ごった煮”であるビックバンの時、粒子同士がぶつかり生じた重力波がどんなものかわかれば、“ごった煮”の中身がわかります」と語りました。

また、2027年に計画されるLiteBIRD衛星の打ち上げ、2030年代に計画されるLISA、DECIGO、天琴による背景重力波の観測が実現すれば、「背景重力波による観測的宇宙論が構築され、宇宙がどのように生まれたかがわかり、量子重力理論、大統一理論も完成するかも知れず、私はこうした夢のような研究をしています」と締め括りました。

学振特別研究員

林さん 高校球児からダークマター探索へ

続いて登壇した林さんは、高校時代は野球に打ち込み、春のセンバツ甲子園大会に出場したこと、大学の選択に迷いながらも生まれ育った岩手県一関市の「満天の星空」に魅了されて宇宙の研究を志



若手研究者の
うちゅうカフェ

し、弘前大、東北大学院と進学したこと、東日本大震災のボランティアを行いながら研究を続けたことなど、ユニークな生い立ちについて語りました。

博士号取得後は、東京大学 Kavli IPMU、北京大学カブリ天文・天体物理研究所などを経て、ICRRの研究員となり、ミクロなダークマター(暗黒物質)の正体を、マクロな銀河の観測から解き明かす研究テーマを追い続ける生活に。

「ダークマターはシグナルが見つければ、世紀の大発見と言えます。これを日本がリードする最先端の天文観測装置、CTA(チェレンコフ望遠鏡アレイ)を使って観測するというもので、私はダークマターの対消滅しやすい場所、つまりダークマターがたくさんある銀河を、すばる望遠鏡を使って探し出すことを研究テーマとしています」

また、林さんは研究を目指す若い学生に対して、「研究に限らず興味を持ったこと、楽しいと思ったことを仕事にできれば最高で、大変なことや辛いこともあります。それ以上に楽しい、面白いと思えるからこそ、今の研究ができています。周りのみんなを大切にしつつ、自分がやりたいと思ったことをまずやってみたらいかがでしょうか」と呼びかけました。

学術支援専門職員

猪目さん 大好きなPMTを使ったプロジェクト

最後に登壇した猪目さんは、3歳でビデオデッキの使い方を覚え、中学でラジオ作りで熱中。高校時代に教材で、スーパーカミオカンデがPMT(光電子増倍管)を使って目に見えない粒子を検出していると知り、甲南大学でPMTを使った研究ができる宇宙粒子研究室に所属したこと。さらに、自動車部とバイク部を兼務し、自動車、バイクの部品に囲まれて生活していたことなどを紹介。



現在所属するCTAについて、「高く、幅広いエネルギー領域のガンマ線を観測することで、宇宙を知るための徹底的な計画で、宇宙の深いところまで観測できるプロジェクトです」と説明。CTAの望遠鏡では、ガンマ線が大気中と衝突したときに出るチェレンコフ光を、鏡に反射させてPMTで捉え、シャワーの画像として記録するため、通常のデジタルカメラよりも100万倍も高速の電子回路を搭載しています。

「これらのシステムが思った通りの速さで動き、情報が取れているかについて、試験的に光を当てて検査しています。この装置を評価するための機械(パルスレーザーで1兆分の1秒)は買うと100万円するのですが、私が考案した方法だと同じ性能が2~3万円です。出してしまうという意味で、プロジェクトに大きく貢献していると思います」と語りました。

霧箱

うちゅうラボ①「霧箱で見る宇宙線からのメッセージ!」は、今年から大セミナー室に場所を移し、

一度に30組を受け入れ、1日2回開催。幼稚園児から大人まで計100組以上が参加しました。TAの大学院生が最初に、「宇宙線とは何か」、「霧箱で宇宙線を見るための手順」を説明し、内部にアル

コールを浸したプラスチックケースをドライアイスで冷やし、懐中電灯で照らして観察。宇宙線が通った後に生じる霧を見つけ、「見えた!」「これは何が見えているの?」などの歓声があがり、大学院生が「宇宙線の飛跡に霧が集まり、線のように見えます」などと一つ一つ丁寧に説明していました。

うちゅうラボ

重力波望遠

うちゅうラボ②「重力波望遠鏡を作ろう!」は昨年同様、初日の25日だけ、

じめ8割の組み立てが終わったキットを使う初級コースと、一から組み立てるキットを使う上級コースを選んでもらい、一斉に組み立て作業に着手。短い時間での組み立て作業は難しいため、TAの大学院生、教員の助けを借りながら、20~30分ほどかけて完成しました。レーザー光が干渉を起こしている状態で、スマートフォンからの音楽の振動が光の干渉で伝わる様子を確認すると、「おー!」「かすかに聞こえた!」などの声が沸き起こりました。

初VRを体験



「VRで神岡鉱山を体験しよう!」は、1日につき55人分の整理券がすぐになくなるほどの人気ぶり。神岡鉱山探検に加え、CTA望遠鏡、ALPACA実験、TA実験の映像・写真などを加えたコンテンツに対し、参加者たちは10分間の持ち時間で体験に臨みました。SK内部の写真を360度画像で見た参加者からは「わー、すごい」と言った感嘆の声も聞かれました。

6階の回廊には、宇宙ニュートリノ研究部門、高エネルギー宇宙線研究部門、基礎物理学研究部門に所属する11プロジェクトが個別ブースを設置。研究者が交代で立ち、説明パネルや写真、実験に使われる模型を示しながらプロジェクトについて説明し、家族連れや学生からの質問に答えていました。

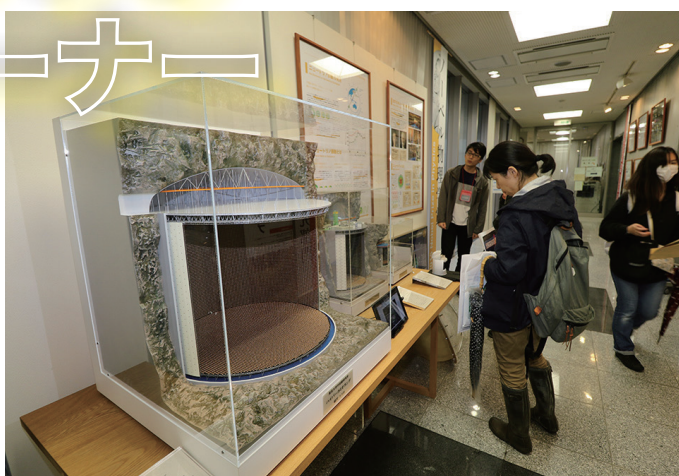
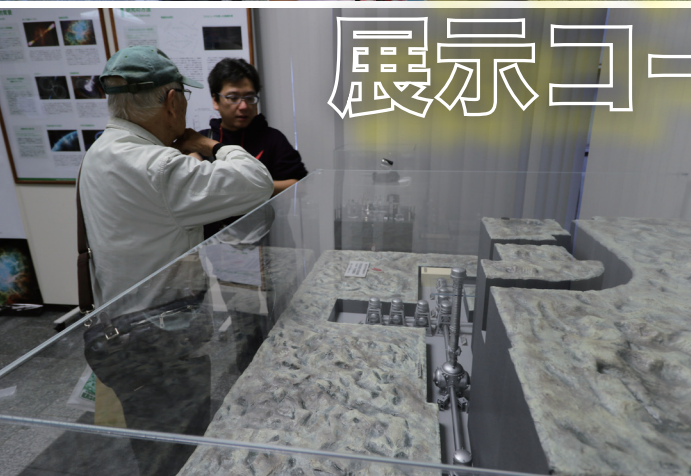


大セミナー室に8グループを受け入れ、2回開催。大雨の中、学校見学などで参加した中学生・高校生ら約60人が、卓上でレーザー干渉計を組み立て、音楽を聴く実験に参加しました。まず、TAの大学院生が、「重力波とは何か」、「どのように観測するのか」、「レーザー干渉計の仕組み」などについて説明し、あらか





うちの 展示コーナー



パズル・ペーパークラフト

人気のカミオカンデのパズルやペーパークラフトも場所を6階中セミナー室に移し、行われました。





Reports

2019年10月4日
大型低温重力波望遠鏡

KAGRA 完成記念式典を開催

東京大学宇宙線研究所が国立天文台、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) と協力して建設を進めてきた大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の完成記念式典が 10 月 4 日、関係者や地元自治体、協力企業の代表者ら 50 人ほどが出席して開催されました。

プロジェクト代表の梶田所長 「9年かけて完成し、大変喜んでます」

プロジェクト代表の梶田隆章所長は、式典での主催者挨拶の中で、「9年かけて建設してきた KAGRA がついに完成し、大変喜んでます。まだ完成したばかりで、これから最終的な調整を経て、国際共同観測に参加し、アジア圏の観測拠点としての役割を担うことになります。そのためにはまだ様々な努力をしなければならず、KAGRA のコラボレータが一丸となってやっていく予定です。どうぞよろしくお願い致します」とコメントしました。

KAGRA は LIGO、Virgo に続くキロメートル規模の重力波望遠鏡としては、世界で 3 カ所目、アジアで初めての実験施設として計画され、2010 年から建設が始まりました。KAGRA は、LIGO などと同様に L 字型の長い 2 本の腕 (アーム) を持ち、二つに分けたレーザーの光をそれぞれのアームで何度も往復させ、最終的に光の干渉を利用することで、重力波によるわずかな空間の伸び縮みを検出します。地面振動が比較

的の小さい地下にあり、四つのサファイヤ鏡をマイナス 253 度の極低温まで冷やして熱振動による影響を減らすのが、他の重力波望遠鏡にはない KAGRA の大きな特徴です。

記念式典は、飛騨市神岡町にある KAGRA 中央実験室に隣接



LIGO、Virgo との研究協定 (MOA) に調印

する前室で開かれ、式典前に飛騨市の延喜式内社大津神社神楽社中が神楽(かぐら)を披露。続いて、梶田所長、宮園浩平・東京大学理事、文部科学省の村田善則・研究振興局長が挨拶を行い、齋藤芳男・特任教授がKAGRAの概要説明を行った後、梶田所長、宮園理事の手で実験開始ボタンが押されました。押してすぐに四つのサファイヤ鏡が固定され、干渉計として機能する様子がモニターに映し出されると、集まった出席者から大きな拍手が湧き起こりました。

大橋施設長・教授

「これで終わりではなく、実はこれが始まり」

重力波観測研究施設長の大橋正健教授は、「ようやく装置としては完成しましたが、これで終わりではなく、実はこれが始まりで、これから感度を上げてLIGO、Virgoと一緒に国際共同観測に参加し、サイエンスに貢献していくことになりまします」と決意を述べました。



最後に挨拶する重力波観測研究施設の大橋教授

富山市内のホテルに会

場を移して行われたMOA調印式では、梶田所長に加え、LIGOプロジェクトのDavid H. Reitze代表、VirgoプロジェクトのJo van den Brand代表が、共同観測でデータを互いに交換することなどを定めたMOAに調印。Reitze代表は「KAGRAの参加で観測の空白を少なくすることが可能となり、ネットワーク全体で重力波を検出・解析する能力が向上することが期待できます」。

Van den Brand代表は「とても重要なスタートで、KAGRAの参加は今後の感度向上につながります。使われている技術も将来のイノベーションを先取りしたもので、非常に重要です」などとコメントしました。

また、これに先立ち行われた記者会見で、ホスト機関である山内正則・KEK機構長は「低温

調印後に握手を交わす3実験施設の代表たち

というキーワードにKEKとしても協力の余地があると期待していましたが、ここまで来るには大変な苦労があり、やっとスタートラインに着けました。大きな科学成果を見通し、今後も協力関係を深めていきます」。国立天文台の常田佐久・台長は「国立天文台は防振装置の開発を担当し、若い人たちの大変な努力の



富山市内での記者会見の様子。左から齋藤滋・富山大学長、山内正則・KEK機構長、梶田所長、福田裕徳・東京大学理事、常田佐久・国立天文台長、大橋教授

おかげでKAGRAが完成しました。今後は重力波天文学、マルチメッセンジャー天文学の推進で貢献していきます」などとコメント。共同研究機関である地元富山大学の齋藤滋学長も「最もKAGRAに近い大学として、学生の参加や全体会議の会場などで今後も協力していきます」と述べました。



VirgoプロジェクトのBrand代表



LIGOプロジェクトのReitze代表





近藤 一 郎 先生 を 偲 ん で

特別寄稿

荒船次郎 元宇宙線研究所長

所長として関連する研究分野を広げる改革
現在の ICRR の研究基盤作りに大きく貢献

本研究所の元所長・近藤一郎先生は去る 2019 年 8 月 6 日に逝去されました。享年 92 歳でした。先生が所長に就任された 33 年前の当時は、全国の大学付置研究所の見直しが行われていた時で、今では考え難いかもしれませんが、宇宙線研究所の運営は極めて難しい時期でした。その時期に先生は研究所の運営方針として、関連する研究分野を広げるべく改革をされ、そのことが本研究所の研究の基礎となって、今に繋がっています。

今の研究所の活動に深い影響のあった先生ですが、先生は本研究所に着任後は院生をとらなかつたため名大時代より後の弟子がおられないことや、先生が共同研究をされたのは主に所外の研究者で所内は少なかったことから、先生の研究について所内で議論されることは比較的少なかったように思います。また先生の所長在任期間は 1 年と短かつたため、先生の研究所運営について知る先生方も今は所内に少ないでしょう。そこで私の知った狭い範囲ですが、先生の通られた道を振り返り [註 1] 先生を偲びたいと思います。

先生は昭和 2 年の早生まれで、先生の足跡を追うと、日本の昭和史を見るような気持ちになります。父上（忠雄）は医学統計の専門家て岩波書店からの著書もあります。母（きよ）方の祖父は高名な細菌学者・医学者の秦佐八郎で、梅毒の特効薬サルバルサンの発見（エールリッヒとの共同）で多くの患者を救い、医学における化学療法のパイオニアとして 1911 年のノーベル化学賞、1912・13 年のノーベル生理学・医学賞の候補に挙がった人であり、黎明期にあった日本で数少ない世界的な科学者の一人でした。その意味で近藤先生には理科系に進まれる環境があったと言えるでしょう。

戦争の真っ只中の 1944 年、先生は自由学園男子部高校 2 年

のときに学徒動員で理化学研究所（理研）へ配属されて宇宙線研究の補助を始めます [註 2]。しかしこの年に先生は父上を失います。一人っ子で勉学途中の近藤先生は母上を支えてご苦労があったのではと拝察します。近藤先生の他に理研の宇宙線実験室に学徒動員された方々として、東京の 1 高から、鎌田甲一先生（近藤先生の前の宇宙線研究所長）、後の宇宙線物理学者の丹生潔先生、金沢の 4 高からは、後の理論物理学者の亀淵迪先生、プラズマ物理学者の大河千弘先生、など後に大活躍される人々がいます。彼らは日々、宇宙線の日変化の比較や新しい計数管の特性検査などを行い報告しています。そのころの理研の宇宙線実験グループの主任は関戸弥太郎先生で、空襲が迫る中、宇宙線の実験器具とデータと人員を金沢に疎開することを決め、学徒動員の学生達も手伝いながらほぼ移転しました。東京の理研は空襲で崩壊します。近藤先生は疎開先で関戸先生らとともに敗戦の玉音放送を聞き、また原爆投下を知ったそうです。研究所の自由な研究環境が合っていたのでしょう。1949 年には理研の仁科研究室宇宙線実験室の無給の副手となり、翌 1950 年に仁科研究室の正式の助手 [註 2] になります。

理研・仁科研究室から名古屋大へ

仁科研究室では理研および、1953 年に設立された東大乗鞍宇宙線観測所（本研究所の前身）を利用して、宇宙線強度の連続観測とその解析に従事します。それによって、宇宙線強度の半日変化の 27 日周期の発見、太陽フレアに伴う高エネルギー太陽宇宙線の検出等の貢献をしました。

1958 年には関戸弥太郎先生（理研から名大へ転出されていた）から名大に助教授として招かれます。名大では関戸先生が始めた同大学の宇宙線望遠鏡研究施設の建設に加わり、電気制御、データ処理などを担当したそうです。

1961年には「地磁気嵐に伴う宇宙線強度増加に関する研究」により名大から博士号を授与されます。地球磁場の変化によって地表に届く宇宙線エネルギーの下限(cut off)が減少することが宇宙線強度の増加の原因であることを、世界各地の観測結果を統一的に説明しながら明らかにしたものです。

1962年にはシカゴ大学(J. A. Simpsonの所)に2年間留学し、宇宙線の長期変動に関する研究に従事しました。そして地球磁場中での宇宙線運動のシミュレーション・プログラム開発を行うとともに、計算機駆使の高い技術を身に着けられました。

シカゴから帰国後は、名大の宇宙線望遠鏡施設の検出器の開発やそれらを用いた宇宙線の異方性の研究を行い、また宇宙科学研の気球を用いて、太陽宇宙線や太陽 γ 線の観測をされました。なかでも宇宙線到来方向の半日変動についての機構の解明があります。近藤先生の開発した3次元解析の手法を用いて長島一男先生らとともに解析しました。この半日周期変動の原因には当時2つの機構が提案されていて未解決でしたが、それに決着をつけたものです。これらの「惑星間空間内宇宙線方向分布の研究」の功績により、1975年に日本地球電磁気学会から田中館賞を共同授賞されました[註3]。

宇宙線研究所へ

先生は1976年に改組直後の東大宇宙線研究所[註4]の教授に就任され、着任後乗鞍観測所長になりました。また乗鞍での観測や宇宙物質研究グループ等をまとめた宇宙線一次線部の主任を約10年間務められました。

着任3年後の1979年に宇宙科学研究所から、小田稔先生を代表として、近藤先生を含む観測チームが日本初のX線天文衛星「はくちょう」を打ち上げました。宇宙科学研究所の発行した「日本の宇宙開発の歴史」[註5]には、この衛星に搭載されたデータ処理装置が近藤先生を中心に開発され、データの編集、X線の強度変化やエネルギー分布の処理、観測器の動作の詳細な制御のため、独特の工夫をされた装置として活躍した様子が描かれています。「はくちょう」は多くの新たなX線バースト源の発見や膠着円盤の発光機構の解明などに大きな成果をあげ、先生は「はくちょう」衛星観測チームの一員として1980年朝日賞を受賞しました。

1986年 宇宙線研究所の所長に就任 将来計画検討小委員会を設置

1986年には宇宙線研の所長に就任されました。当時全国に71あった大学付置研究所は厳しい見直しが行われており、その1/3が大幅な改革を迫られていました。この大変難しい時期にあって、1年という短期間でしたが、先生は宇宙線研の共同利用運営委員会の構成を改組し、運営委員だった小柴先生の助言もあったと思いますが、その委員会の下に将来計画検討小委員

会を設置し、当時IAPと呼ばれた研究所改組構想に沿って将来計画の策定を諮問しました。この小委員会は長島順清先生(KEK)を委員長として近藤先生の退官後も検討を継続しました。学術会議の物理研究連絡委員会下の原子核専門委員会にも同様な趣旨の委員会があって重複し、混乱が心配されましたが、西川哲治・原子核専門委員会委員長の英断で、IAPを廃棄し後者は解散し、長島委員会が現研究所のための最終報告書をまとめました[註6]。最優先課題としてスーパーカミオカンデの建設を提言し、合わせて高エネルギーガンマ線天文学の推進を提言しています。さらに将来的な展望の中には、最高エネルギー宇宙線、超高エネルギーニュートリノ、重力波、などの観測が言及され、現在の研究所の活動にも深く関わっています。

先生は1987年3月31日に宇宙線研を定年退職されました。その後1991年に打ち上げられた γ 線観測衛星「ようこう」でも先生は開発に貢献されており、衛星は10年余りの観測により太陽物理学の発展に貢献しました。近藤先生の計算機に関する卓越した見識はここでも生かされています。1991年から6年間、芝浦工業大学システム工学部の教授をされました。2005年には、これまでの先生のご業績に対して瑞宝中綬章が授与されました。

最近は葉山に住まれ、ここ数年はお目にかからなかったの、ご健康を心配していましたが、このたびご逝去の報に接しました。この稿を書くに当たり先生の後輩の諸先生に近藤先生のことを尋ねるとどなたからも「近藤先生のためなら」という熱いお気持ちが伝わってきたことや、もっと年配の諸先生からは近藤先生は親しみを込めて「コンチャン」と呼ばれていたことなど、近藤先生の慕われたお人柄が偲ばれます。謹んで先生のご冥福をお祈り申し上げます。

[註1] 執筆に当たり西村純先生、長瀬文昭先生、宗像一起先生、藤井善次郎先生から貴重な情報を頂いたことを深く感謝申し上げます。但し文中に間違いがあれば全て私の聞き間違い、読み間違い、早とちりに起因するもので、私の責任です。

[註2] 「理研90年に寄せて 思い出の記」近藤一郎、理研OB会報2007特別号。先生の着任時の理研は戦後の処置で(株)「科学研究所」と称していた。

[註3] 近藤一郎、上野裕幸、森寛、藤本和彦、藤井善次郎の諸氏の共同受賞。

[註4] 東大乗鞍宇宙線観測所は初の全国共同利用研究機関でしたが、それまでは施設・予算・技官・事務官のみを持ち教官を持たない独特な機関でした。教授会は無いので共同利用者からなる共同利用運営委員会が運営しました。しかし、これでは大掛かりな実験は困難でした。また当時「素粒子研究所」設立が望まれ、当初は加速器物理と宇宙線物理の統合案でしたが、やがて両者の分離案に修正され、加速器は国立高エネルギー物理学研究所(KEK)の設立で実現し、大型宇宙線実験は東大乗鞍観測所が実現を受け持つことになりました。そのため原子核研究所の宇宙線関係の2.5部門を吸収し合計6部門1施設(乗鞍観測所)の研究所に改組されました。ちょうどその年に近藤先生が着任しました。

[註5] http://www.isas.jaxa.jp/j/japan_s_history/

[註6] 宇宙線研究所将来計画検討小委員会報告(1987年)

Topics

2019年10月8日

岐阜県飛騨市に東京大学稷門賞



宇宙線研究所の実験施設が多く立地する岐阜県飛騨市が10月8日、東京大学稷門賞を受賞しました。稷門賞は、寄付やボランティア活動などを通じて東京大学の活動の発展に大きく貢献した個人、法人又は団体に感謝の意を表すもので、2002年度から計72組が受賞しています。

今年度の受賞者となった飛騨市は、2017年1月、宇宙線研究所と学術研究の発展、人材の育成及び地域社会の活性化に寄与することが目的の「連携協力に関する協定」を締結。ふるさと納税のメニューとして「宇宙線研究所との連携推進事業」を追加したところ、2018年ま

で1億1000万円の寄付があったことを受け、3割にあたる3210万円を東大基金「宇宙線研究所若手支援基金」に寄付しています。また、スーパーカミオカンデ、KAGRAなど世界最先端の研究を紹介する展示施設「ひだ宇宙科学館カミオカラボ」を建設したほか、実験施設の一般公開、講演会などを共催するなど、地域連携の新たな形を生み出した功績が高く評価されました。

本郷キャンパスの伊藤国際学術研究センターで行われた授賞式には、飛騨市の都竹淳也市長ら関係者10人ほどが出席。五神真総長から表彰状を授与された都竹市長は「産業都市としてかつては栄えた飛騨市神岡町ですが、鉱業需要が冷え込み、人口も減少し、街の規模も縮小していくなか、人々は後ろ向き、弱気になっていました。カミオカンデなど世界最先端の研究が神岡鉱山の坑内で行われ、二人のノーベル賞受賞者を輩出するという成果があるということが、旧神岡町民、そして飛騨市民の心の支えとなっていることは間違いありません。市民とともに受賞の喜びを分かち合いながら、今後も共存共栄を図っていきたく」と考えています」と語りました。



2019年9月10日

TAUP2019で山田智宏さん(D2)がポスター最優秀賞を受賞

KAGRA実験グループに所属する博士課程2年の山田智宏さんがこのほど、富山市で開催された第16回宇宙素粒子・地下物理国際会議(TAUP2019)の最優秀ポスター賞に選ばれました。

山田さんのポスターは「国際共同観測(O3)に向けたKAGRA極低温鏡懸架システムの制御」("KAGRA Cryogenic Suspension Control toward the Observation Run 3")という表題で、KAGRAのサファイア鏡を吊るす懸架システムで実施したDamping制御の結果と、鏡を極低温まで冷やすためのヒートリンクの接続で揺れが伝わるのを防ぐシステムを、二つ合わせて図解で解説したものです。山田さんは「KAGRAは今年度中のO3参加を目指していますが、自分の関わった装置で重力波を観測できるよう、今後も精力的に研究に取り組んでいきたいと思っています」と抱負を語りました。



2019年8月27日

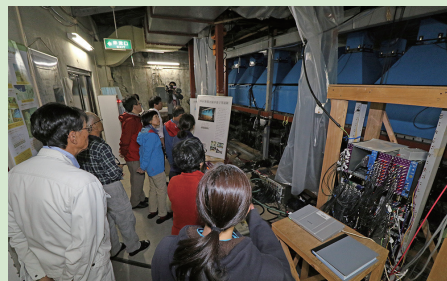
乗鞍観測所 岐阜県主催の「乗鞍WEEK」に参加 瀧田所長が講演、16年ぶり観測所一般見学会も実施

を建設したことがきっかけとなり、全国の宇宙線研究者の強い要望で、施設の共同利用を目的とした東京大学宇宙線観測所(現在の乗鞍観測所)が同じ場所に建設された経緯を説明。その上で、初期の研究が超高エネルギー領域での素粒子・原子核反応で、高圧水素霧箱や空気シャワー観測装置、大型エマルジョンチェンバーなどが設置されて様々な実験が行われ、成果を上げてきたことを、当時の写真を示しながら紹介しました。さらに、山頂での観測態勢を維持するため、電気、ガス、水道、通信、道路などのインフラを独自に整備してきたこと、2004年11月に冬季自動運転が実現するまで、スタッフが雪深い冬にも泊まり込み、施設を管理してきたことなどにも触れました。瀧田教授/観測所長はまた、今年度採択され、乗鞍観測所を拠点に実施中の九つの共同研究課題を紹介。その中から、①名古屋大による太陽中性子観測による太陽活動についての研究、②日本大学などによる雷雲中での二次宇宙線の加速についての研究、③信州大学が行うミュオン強度の精密測定を用いた宇宙天気予報について——の三つの状況について、詳しく説明しました。

瀧田教授/観測所長は「乗鞍観測所でやっ

ていることは、このように基礎科学の分野であり、すぐにお金になるとか、役に立つというわけではありませんが、梶田隆章所長の言葉を借りれば、『私たちの知りたいという欲求を満たし、人類の知の地平線を拓く』という意味があります。今後とも観測所をよろしくお願い致します」と結びました。

集まった登山客らは同日午後、乗鞍バスターミナルから徒歩30-40分の距離にある乗鞍観測所まで歩き、16年ぶりに開かれた一般見学会に参加。瀧田教授/観測所長や研究者たちの案内で、赤いトタン屋根の建物内にある太陽中性子望遠鏡、宇宙天気予報に使われる多方向ミュオン計の検出器、さらに雷雲による二次宇宙線加速について調べるために屋外に設置された大気電界計、ガンマ線検出器、シンチレーション検出器などを見学しました。



宇宙線研究所乗鞍観測所の所長でもある瀧田正人教授が2019年8月27日、岐阜県高山市壘平の乗鞍バスターミナルで「乗鞍観測所のご紹介」と題して講演。続く午後には乗鞍観測所の一般見学会も行われました。一般見学会は、同観測所が50周年を迎えた2003年に行われて以来、16年ぶりとなります。

本イベントは、岐阜県が乗鞍岳の魅力を知ってもらう目的で、8月22日から31日まで開催した観光イベント「乗鞍WEEK」の一環で、1953年から乗鞍に観測所を置く宇宙線研究所も、山小屋や宿泊施設とともに、イベントに協力しました。

乗鞍バスターミナル2階の食堂で開かれた講演会には、事前に応募して訪れた登山客や関係者など約20人が参加。瀧田教授/観測所長は「宇宙線とは、宇宙から地球に絶えず高速で降り注いでいる原子核や素粒子のことです」と説明した後、その観測をしてきた66年の歴史を概観しました。大阪市立大学など四つの機関が朝日新聞の学術奨励金を受け、標高2770メートルの室堂ヶ原に「朝日の小屋」

Information

2019年11月16日

菅原悠馬さん(D3)が西東京市・多摩六都科学館でサイエンスカフェ「宇宙の研究で銀河の研究を始めました」



観測的宇宙論グループの菅原悠馬さん(博士課程3年)が登壇するサイエンスカフェ「宇宙の研究で銀河の研究を始めました」が11月16日、西東京市の多摩六都科学館の学習室で開かれ、26人の一般市民が参加しました。



菅原さんは、修士課程1年からおよそ5年間に、梶田隆章所長のノーベル賞受賞、LIGOによる重力波の直接観測、中性子連星の合体を重力波、ガンマ線、可視光などで直接捉えた成果、超巨大ブラックホールの撮影成功など、大ニュースが続いたことを振り返り、「この5年間に、天文学がマルチメッセンジャー観測、そして世界中の研究機関が力を合わせて取り組む大型化の方向に転換しました。宇宙線研は宇宙からやってくるガンマ線、ニュートリノ、宇宙線など様々な観測を通して宇宙の謎に迫りつつあります」と宇宙線研を紹介。自らが専門分野として選んだ遠方銀河のアウトフロー(銀河風)の研究について、線香の煙を満たした集気ビンを通過するレーザー光線や、蛍光灯、LED電球、白熱灯などの光を分光板(グレーチングシート)で観察する実験を交えながら、丁寧に解説しました。

2019年9月26日

2019年度ICRR外部評価委員会が最終報告書を公表

2019年5月に柏キャンパスの宇宙線研究所で実施された「宇宙線研究所外部評価委員会」の最終報告書が9月26日、公開されました。同委員会は、宇宙線研究所における研究活動を外部有識者にレビューしてもらい、今後の研究活動に役立てる目的で、1994年から約6年ごとに開催されており、今回で5回目となります。

報告書の原本(英語版)はこちらからどうぞ。



人事異動

発令日	氏名	異動内容	職
2019.8.16	大内 正己	昇任	教授
2019.8.30	PLAYFER, Stephen Michael	採用	特任教授(外国人客員)
2019.8.31	齋藤 隆之	退職	特任助教
2019.8.31	鈴木 資生	受入終了	学振特別研究員
2019.9.1	齋藤 隆之	採用	助教
2019.9.1	ZHEZHHER, Yana Valeryevna	採用	特任研究員(研究所研究員)
2019.9.1	FEDYNITCH, Anatoli	受入開始	学振外国人特別研究員
2019.10.1	田代 拓也	採用	特任助教
2019.10.1	STRZYS, Marcel Constantin	採用	特任研究員
2019.10.31	木戸 英治	退職	特任助教
2019.11.1	VOVK, Ievgen	採用	助教
2019.11.1	SUN, Dongsheng	受入開始	短期共同研究協力員

(R1.8.3 ~ R1.11.1)

ICRR Seminar

2019.9.4

Dr. Alberto Domínguez (Universidad Complutense de Madrid)
"The Extragalactic Background Light In The Fermi-LAT Era"

2019.10.9

Dr. Yanina Biondi (University of Zurich)
"DARWIN - a next-generation liquid xenon observatory for dark matter and neutrino physics"

2019.10.9

Dr. Laura Baudis (University of Zurich)
"Searches for the neutrinoless double beta decay with GERDA and LEGEND"

2019.11.8

Dr. David Paneque (MPP Munich)
"The MAGIC of Time & Multi-Messenger studies on the most Extreme Cosmic Sources"

2019.11.25

Dr. Yana Zhezher (ICRR)
"Cosmic-ray mass composition study and ultra-high-energy neutrino search with the Telescope Array experiment data"

2019.11.27

Dr. Anatael Cabrera (CNRS-IN2P3)
"The Knowledge on Theta13: Implication from CP-Violation to Unitarity" (ICRR-IPMU joint seminar)

ICRR NEWS No.106 2019 AUTUMN

編集・発行：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.106 2019 AUTUMN

編集・発行：2019年11月30日 東京大学宇宙線研究所広報室