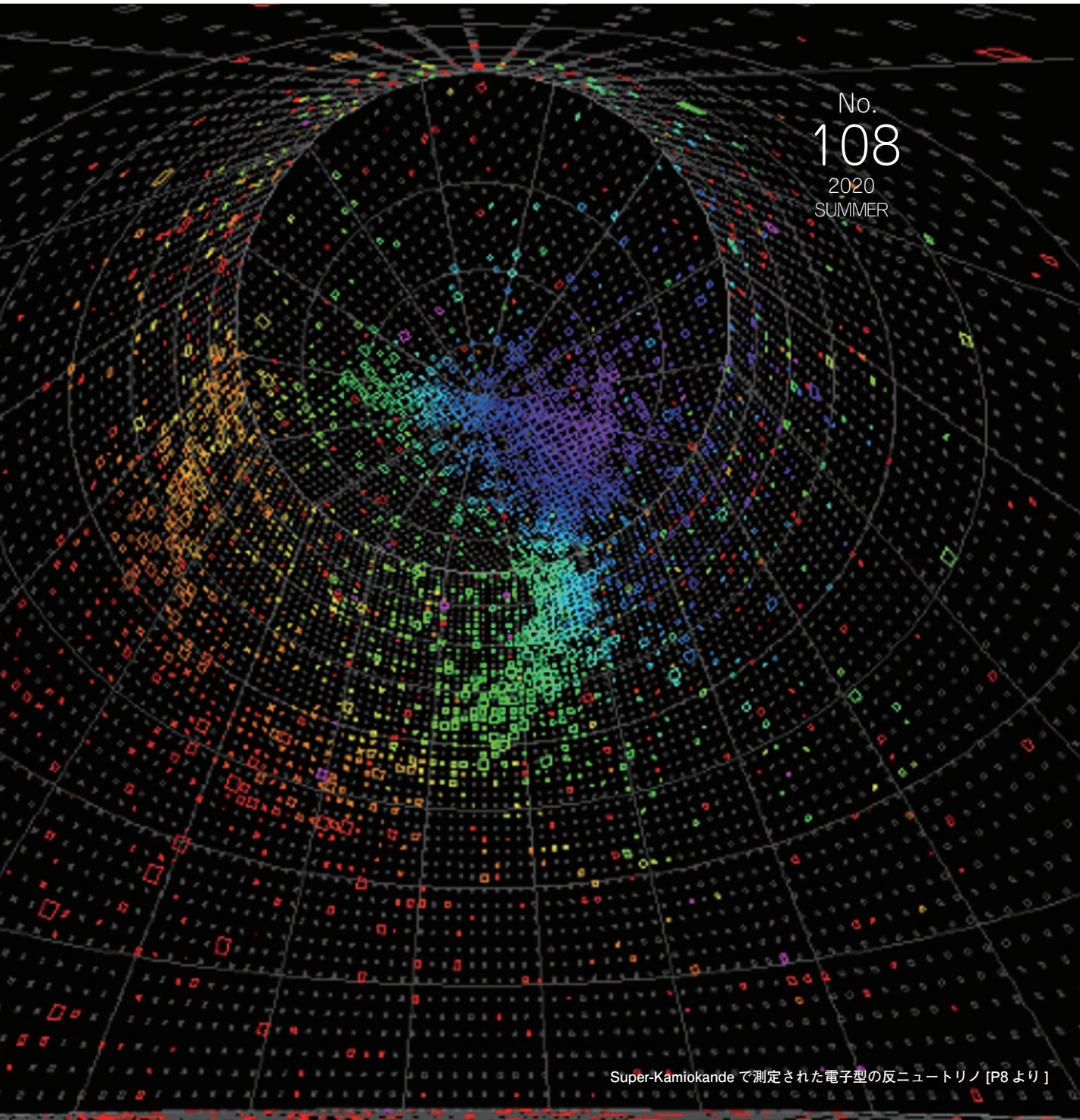
宇宙線研究所の今を伝える

ICRR NEWS

Explore Universe and Elementary Particles with Multi-Messengers.

No.
108
2020
SUMMER



Super-Kamiokande で測定された電子型の反ニュートリノ [P8 より]

ICRR NEWS
No.108 2020 SUMMER

Contents

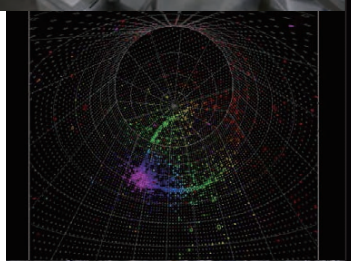
Features

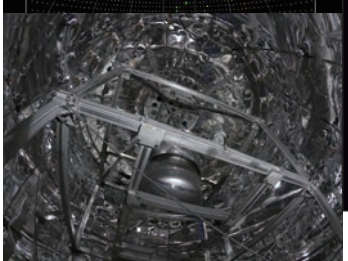
01 重力波グループ 学生＋α　オンライン座談会
「研究に没頭できる今が楽しい」
～大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の現場～

08 *Press Release 2020.4.16*
ニュートリノの「CP 位相角」を大きく制限
～粒子と反粒子の振る舞いの違いの検証に大きく前進する成果をネイチャー誌で発表～

10 *Press Release 2020.6.17*
暗黒物質直接探索実験 XENON1T
電子散乱事象の超過を観測

11 *Press Release 2020.6.23*
陽子衝突からの左右非対称な π 中間子生成
～粒子生成の起源に迫る新たな発見～





Reports

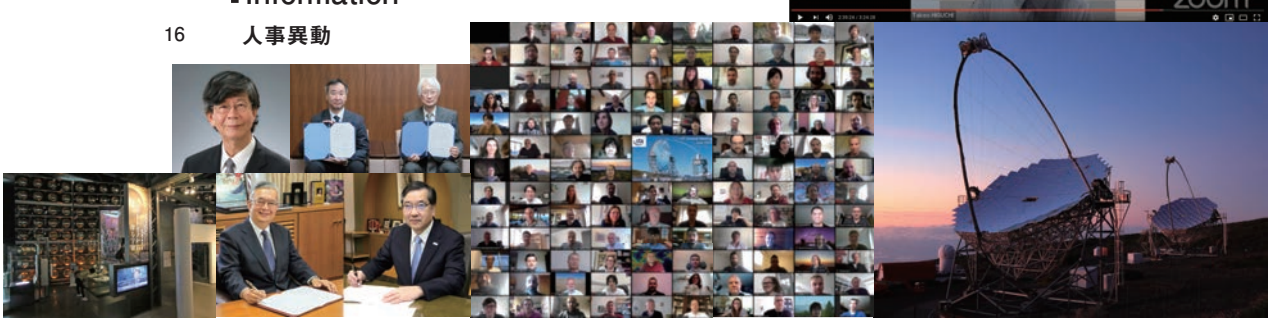
12 夏の合同一般講演会をオンライン開催
「未知への挑戦～極限宇宙と新しい物理」

Topics

14 GRB 観測データで一般相対論を精密検証 MAGIC コラボレーション
CTA 1 号機 かに星雲パルサーからのガンマ線を観測
宇宙線研・大学院進学のための交流会を開催
日本科学未来館が SK 展示をリニューアル公開
東京大学と KEK、HK 計画の推進に関する覚書を締結
鈴木洋一郎元所長が岐阜県各界功労者表彰を受賞
富山大学と宇宙線研、重力波研究推進の覚書を締結
宇宙線研究所要覧 2020 を刊行

Information

16 人事異動



テレビ会議で行われた座談会

Features

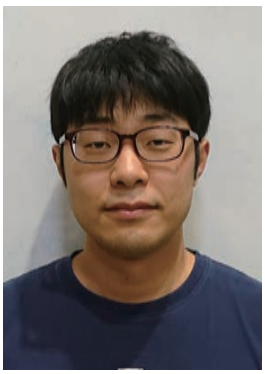
重力波グループ 学生＋α　オンライン座談会

「研究に没頭できる今が楽しい」
～大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の現場～

2010 年の建設開始から 10 年近い歳月を経て、いよいよ本格的な重力波の観測運転を開始した大型低温重力波望遠鏡「KAGRA」。観測拠点の宇宙線研究所附属・重力波観測研究施設と KAGRA がある岐阜県飛騨市神岡町には、50 人を超える研究者・技術者が集まり、LIGO、Virgo との共同観測に向けた調整、感度向上のための改良が続けられています。その中で、研究者の卵である修士・博士の大学院生たちが、すでに大きな役割を担っているのをご存知でしょうか。新型コロナウイルス感染症拡大の影響を受け、活動に制限を受ける中でも日々、努力を続ける 5 人の学生たちに呼びかけ、オンラインによる座談会を開催しました。学生たちの活躍の様子から、神岡での研究や KAGRA プロジェクトの魅力に迫ります。

（聞き手：宇宙線研究所広報室 中村 牧生）

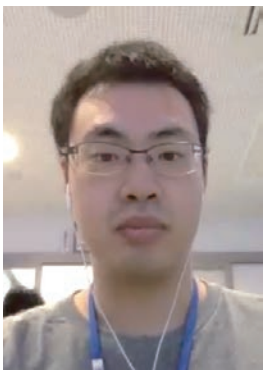
Discussion Members



YAMADA Tomohiro
山田　智宏
博士課程 3 年

NISHIMOTO Takumi
西本　巧
修士課程 2 年

MIYO Koseki
三代　浩世希
特任研究員



TANAKA Kenta
田中　健太
博士課程 1 年

LEE Eunsub
李　殷燮
修士課程 2 年

特任研究員・三代浩世希さん
重力波との出会いはスプリングスクール

――最初に 3 月末に博士の学位を取得したばかりの三代さんにうかがいます。重力波を志した理由について聞かせてください。

◆三代さん　私は学部時代、立命館大学にいたのですが、指導教官はかつて宇宙線研にいた森正樹先生で、明野観測所のチェレンコフ望遠鏡などを見せてもらい、宇宙線研のことを知りました。3 年の時には、宇宙線研が主催する宇宙・素粒子スプリングスクールに参加し、川村静児先生（現・名古屋大）の重力波グループに所属したことがきっかけで、重力波に魅力を感じました。そんな経緯もあり、大学院では宇宙線研重力波グループの大橋研に所属しましたが、もともと都会ではなく、田舎でのんびり、世界最先端の研究をしたいと考えていたので、神岡で研究できる今がとても楽しいです。

――いつから、そしてどんな研究を神岡でしてきたのですか。

◆三代さん　修士課程 1 年の夏から通い始め、2 年の春からはずっと神岡町の一軒家を借りて住んでいます。研究は、宇宙線研究所と地震研究所が共同で開発し、KAGRA の X アームに設置した地物干渉計（GIF: レーザーひずみ計、写真右）に関するものです。KAGRA は地下にあるので、地表面の振動が低減されますが、地殻変動からは逃げられないので、それを正確に測定し、KAGRA が観測した信号から差し引くための装置です。私が神岡に関わった 2015 年にはトンネルが完成し、真空ダクトも完成したばかりで、KAGRA の全長 3km の X アームの中央付近に、全長 1500m の地物干渉計をインストールし、これを使って KAGRA の地面振動をキャンセルする仕組みを研究テーマにして博士の学位を得ました。ここまで高感度の地物干渉計は LIGO や Virgo にもなく、地球物理でも何か面白い発見につながるのではと期待しています。

地物干渉計と地面振動をテーマに博士号

――神岡での生活はいかがでしょうか。

◆三代さん　ほぼ研究しかすることがないので、思った通りですね。現場では学生のうちからいろいろな仕事を任せてもらえ、とても充実しています。田舎は退屈で嫌だという方もいますが、夏は登山や渓流釣り、冬はスノーボードができますし、私のようなアウトドア好きには最高ですね。

学生がプロジェクトに大きく貢献

博士課程３年・山田智宏さん
学生の意見でも、よければすぐに反映

――次は博士課程３年の山田さんです。どんなきっかけで重力波の世界に入ったのですか。

◆山田さん　私は漠然と宇宙の研究をしたいと考えていたのですが、千葉大学３年のときに参加した宇宙・素粒子スプリングスクールでも重力波グループに所属し、当時はまだ誰も観測できていなかった重力波を観測してみようと考え、宇宙線研の大学院に進学すること決めました。

――KAGRA での研究内容について教えてください。

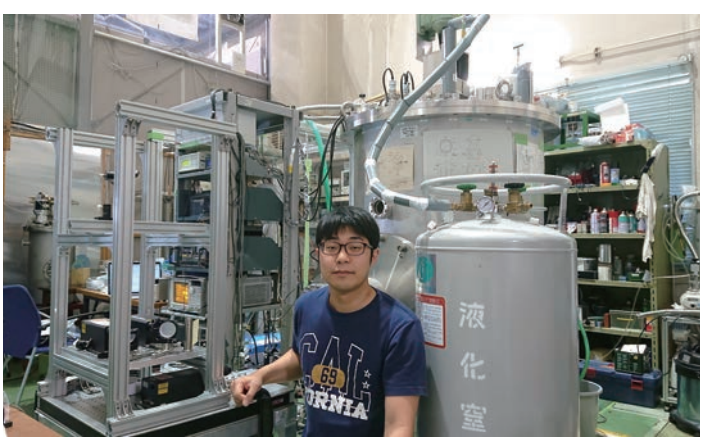
◆山田さん　私の研究は、KAGRA の鏡を極低温まで冷やすヒートリンクに防振装置を導入する提案と、これを実装することによる振動減少の評価についてです。KAGRA では、宇宙から到来する重力波の小さな信号を捉えるため、地面の揺れや、鏡内部の熱雑音を極限まで抑える設計です。地面の揺れは多段の振り子を利用して鏡自体を吊ることで防振し、振り子の共振はダンピング制御で抑えているのですが、鏡を冷やすためのヒートリンクが、せっかくキャンセルしたはずの揺れを伝えてしまうという課題がありました。

　そこで、このままでは装置の感度が上がらない、ヒートリンク経由の振動を抑えるための防振システムを取り付けるべきだ、と提案する修士論文を書きました。博士課程では装置を製作して、KAGRA のメインのサファイア鏡の冷却システムに組み込み、KAGRA の感度への影響を評価しています。若い学生の意見でも、よければすぐに認められ、プロジェクトに反映してくれるところが、KAGRA の研究の醍醐味ですね。

ヒートリンクからの振動抑える防振装置

――山田さんは神岡に常駐しているのですか。

◆山田さん　これまでは長期出張ベースで、滞在する時は自動車で 15 分ほどの YUKI ハウスという研究者の寮を利用していました。博士課程３年から現地に滞在しようと考えていましたが、新型コロナウイルス感染症の問題でなかなか首都圏からの出張が難しくなっており、現在は、つくば市の高エネルギー加速器研究機構（KEK）を拠点に、ヒートリンク防振装置の極低温での性能評価試験をしています。



博士課程１年・田中健太さん
修士課程の学生にもできることは多い

――博士課程に進学したばかりの田中さんにうかがいます。田中さんはどんなきっかけで KAGRA に関わるようになったのでしょうか。

◆田中さん　私は大阪市立大学にいたのですが、やはり漠然と宇宙の研究がしたいと考えていました。３回生のとき、LIGO が人類史上初めて重力波を観測したというニュースを聞き、しかも「これからがスタートだ」というコメントを聞き、これは面白いかも知れないと思ったのが、宇宙線研に進学することになったきっかけです。

――田中さんは修士課程１年の初夏から富山に長期出張しているそうですね。

◆田中さん　はい。富山市側に自動車で 40 分ほどの場所にあるロコモーションという借り上げのマンションに滞在し、坑内で大きな作業のある日は午前８時に起きて９時前に出勤し、夕方５時前に出てきて、解析棟で仕事をするという毎日です。現在は坑内の作業がないので朝は少し自由ですが、夜はとても静かということもあり、遅くまで研究に没頭することもあります。

干渉計全体の高感度制御に取り組む

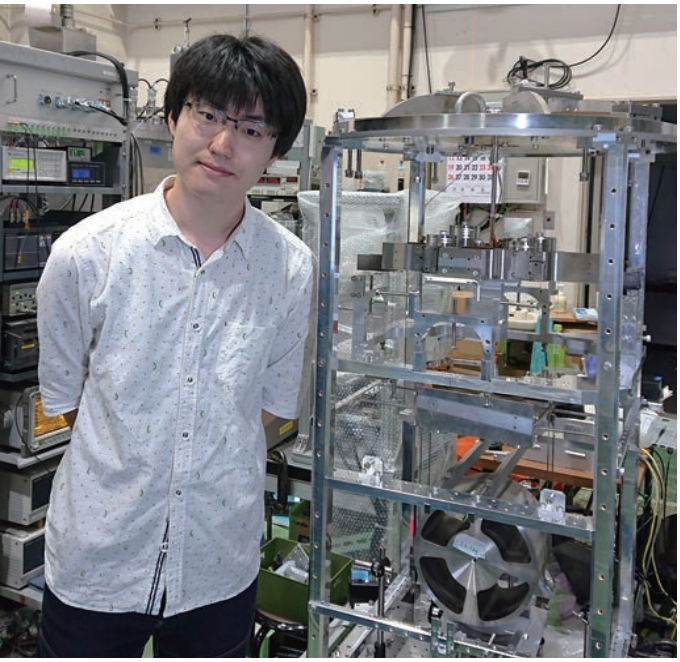
――研究内容についても教えてください。

◆田中さん　修士論文は、3km の共振器から透過してくるレーザー光から共振器を構成する二つの鏡の角度を検出し、それらを制御する研究でしたが、博士課程では、

KAGRA の干渉計全体を、重力波に対する感度を現状よりも数十倍大きくする構成で制御するための研究をしています。同級生の二人は修士課程を終え、就職しましたが、私は最初から研究の道に進むと決めていましたので、迷いはありませんでした。KAGRA は修士課程の学生にもできることがたくさんあり、修士課程だけでも神岡で研究できれば、またとない経験ができると思います。

修士課程２年・西本巧さん
先輩からの助言で研究を進める

――修士課程２年の西本さんはいかがでしょうか。現在の状況について説明してください。



◆西本さん　私はもともと大阪大学理学部に籍を置いていましたが、知り合いの勧めと、重力波への興味から宇宙線研究所の梶田先生の元へと進学しました。今年に入ってから１カ月間、神岡での生活を経験しました。２年目は神岡滞在の予定だったのですが、コロナの問題もあり、現在は KEK で研究を進めています。私の研究テーマは、鏡の傾きを調整する装置でムービングマスというのがあるのですが、その試作機の評価を行うことです。

鏡の傾き決めるムービングマス試作機を評価

◆山田さん　ムービングマスについて私から少し補足します。巨大なレーザー干渉計が設置されている KAGRA のトンネルは、湧き出てくる大量の地下水を排水するため少し傾きがあります。1/300 位です。３キロで 10 メートル高低差があるので結構な傾きなのですが、レーザー光は真っ直ぐ進んでしまうので、少し傾けなければなりません。鏡を吊す機構の上部の支点から重り（マス）の位置を動かすことで鏡に傾きをつけるのがムービングマスの役割なので、これがないとレーザー光を３キロ先から戻せなくなり KAGRA がレーザー干渉計として動作しなくなる、かなり重要な装置なんです。

◆西本さん　山田さん、補足して頂いて、ありがとうございます。ムービングマスは極低温まで冷やすサファイア鏡を収納するクライオスタット（低温真空容器）の中にあり、冷やしても精度高く機能する必要があります。私は都丸隆行教授（国立天文台）らとともに新機構のムービングマスの開発に取り組み、現在 KEK でその試作機の評価と改善点の洗い出しを行なっています。神岡には行かれないのですが、いつも一緒にいる先輩の山田さんのお世話になりながら、修士論文のための研究を進めています。

修士課程２年・李 殷燮さん
早く KAGRA の信号解析で貢献したい

――修士課程２年の李さんは、同じ重力波グループでも、研究の拠点は神岡ではなく、柏キャンパスですね。

◆李さん　私はもともと東大理学部で素粒子理論をやっていたのですが、何か応用的なこと、ビックサイエンスのプロジェクトに関わりたくなり、宇宙線研究所などがホスト役をしている KAGRA を選びました。修士２年生の現在は、柏キャンパスの田越秀行先生の研究室で、重力波の信号の新しい解析方法について研究しています。

柏キャンパスで信号の解析に取り組む

――KAGRA で観測された信号の解析チームは、柏キャンパスが拠点なのですね。

◆李さん　神岡の KAGRA で観測された信号データは、柏キャンパスにあるメインストレージサーバーに送り込まれ、アーカイブされます。我々はそこにアクセスしてデータを得て解析し、重力波を探します。２月末に KAGRA の連続観測運転が始まり、その観測データも解析していますが、こちらではまだ重力波が観測されていないこともあり、LIGO、Virgo で検出された重力波の信号を解析し、重力波のパラメータなどを評価する研究を進めています。

世界をリードするKAGRA 最先端はすぐそこに

――KAGRA の現場に行かれたことはありますか。

◆李さん　昨年 12 月に、実験コラボレータとして試験運転中のシフトを取り、一週間ほど滞在しました。今後も年に 2、3 回は行く機会があると思います。私は実験も好きですが、データ解析の方に魅力をより感じています。データ解析は場所を問わずにできるので、まもなく世界中の研究者が ICRR のサーバーに接続し、同じデータを使って解析するようになるでしょう。早く KAGRA のデータで重力波の信号解析でプロジェクトに貢献したいですね。

KAGRA 研究に参加してわかったこと、よかったこと、面白かったこと

――KAGRA の研究に参加してみて、わかったこと、よかったことは何でしょうか。

◆山田さん　学部の授業が超大切ということですね。私は学部の授業を疎かにしてきたと自覚しているのですが、物理数学で出てくる方程式など、「どうせ使わないだろう」とその時は思ってやり過ごしていました。ところが、実際に実験の現場に出てみると、関数式や積分などが嘘のように出てくるんです。学部 1、2 年の頃やった授業をしっかり受けておけばよかったと後悔しました。

KAGRA は国際プロジェクトという側面ももっており、海外での研究経験を積むことができたのも良い経験となりました。私はローマ大学に 2 ヶ月ほど滞在し、サファイア部品の高性能化に関する研究をしてきました。この部品は、KAGRA でもっとも重要なサファイア鏡を懸架するシステムの一部であり、この性能が KAGRA の感度すなわちどのくらい遠くの宇宙を見られるかを決めると言っても過言ではありません。極低温は次世代の大型重力波干渉計では必須となる技術であり、その点において KAGRA は世界をリードしています。重力波グループで世界最先端の研究に関われていることをとても幸運に思っています。

◆三代さん　私の場合は地物干渉計でしたが、KAGRA には LIGO、Virgo にはない装置がたくさんあり、必ずコアな部分で研究テーマを選ばせてくれます。だから、独自性のある研究ができるのは間違いないですね。もちろん、その分、大変なこともあります。多くのグループの研究者たちとコミュニケーションを取る必要がありますし、KAGRA プロジェクト全体のスケジュールにも合わせ、自分の研究を進めていく必要もあります。しかし、これほど大きなプロジェクトの初期を経験できる機会は少ないし、後悔はしないと思います。

学部生、高校生に向けた先輩たちのアドバイスは？

――学部生や高校生におすすめの本やアドバイスがあったらお願いします。

◆三代さん　私は学部の学生時代、全国の物理を専攻する大学生向けの夏合宿、KEK のサマーチャレンジに参加し、多くの友人と知り合い、進路についてもたくさんの情報を得ることができました。そのおかげで、宇宙線研究所が大学 3 年生向けに開催している、宇宙・素粒子スプリングスクールの存在を知り、参加することができ、重力波の面白さを知ることができたのだと思います。本などを読むのも良いですが、先輩や同世代の仲間と知り合い、視野を広げる努力をしてみるというのが、学部の時には大切なのかも、と今にして思います。

興味ある学生はメールなどでコンタクトを

◆山田さん　そうですね。私たち学生や、現場の研究者の人たちも、自分たちの研究について、もっと知ってもらいたいという気持ちが常にあります。高校生や大学生の方でも、KAGRA でどんな研究をしているのか興味があり、知りたいと思ったら、アポイントを取った上で訪ねて来てくれれば、みんな親切に説明してくれると思いますよ。直接話を聞いてくれれば、視野を大きく広げることに貢献できると思います。

――そうですね。新型コロナウイルス感染症の拡大防止の問題もあって、今すぐに直接訪ねるというのは難しいかも知れませんが、リモートであれば可能ですね。喜んで広報室が窓口になりましょう。

窓口は以下の通りです。
宇宙線研究所広報室
mail: icrr-pr@icrr.u-tokyo.ac.jp

重力波をとらえる

重力波とは、宇宙空間を伝わる「時空のさざなみ」のことで、アインシュタインが 1916 年に予測しました。質量のある物が運動すると必ず発生しますが、人類が検出可能なのは、星ほどの重いものが動いたり、合体したり、爆発したりする時で、予測からおよそ 100 年後の 2015 年、米国 LIGO がブラックホールが合体したときの重力波を初めて検出しました。

KAGRA がとらえようとしている重力波のゆがみの大きさは 10^{-21} 程度、地球と太陽の距離 (約 1.5 億 km) が水素原子 1 個分 (約 1 千万分の 1mm) 伸び縮みする程度の大きさです。KAGRA は、一辺 3km の L 字型の腕の両端に置いた鏡の間でレーザー光を往復させ、腕の長さのほんの小さな変化をレーザー干渉という技術でとらえます。

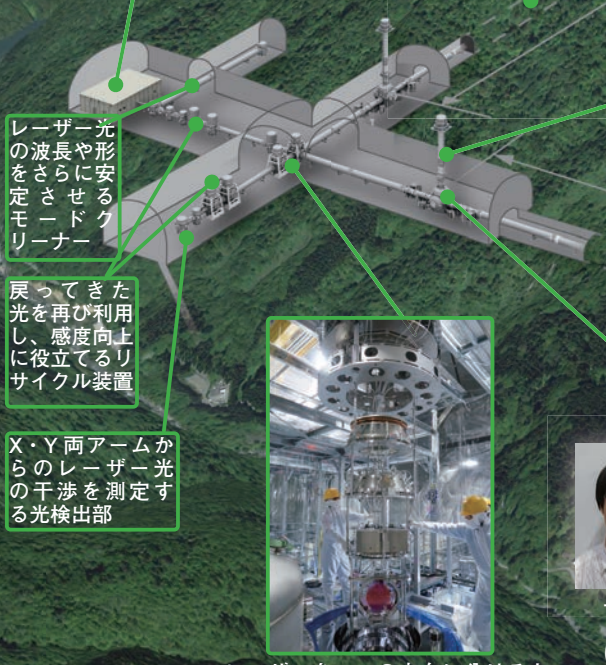
KAGRA は地面振動を小さくするため、地下トンネルに設置され、レーザー光を反射する鏡は、振り子のような防震装置に取り付けられています。さらに、鏡の熱振動による雑音を抑えるため、クライオスタット (低温真空容器) の中で、マイナス 253° C まで冷やされます。レーザー光が空気で散乱するのを防ぐため、装置全体は真空槽の中に入れられています。その他にも、感度を高める様々な工夫が取り入れられています。

KAGRA の仕組み

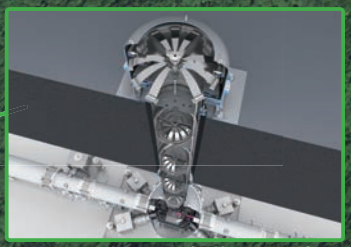
KAGRA の入り口から 5km 離れた研究解析棟にあるコントロールルーム。田中さんはこの部屋から、KAGRA の感度向上に向けた制御を行っています。

赤外線レーザーを発振、安定させてビームパイプに入射する装置

二つの方向に分けられたレーザーは、長さ 3km、直径 80cm の真空パイプ内を何度も往復します。



KAGRA の X アームに設置した地物干渉計。KAGRA の地面振動による雑音をキャンセルするため、三代さんらが活躍しています。



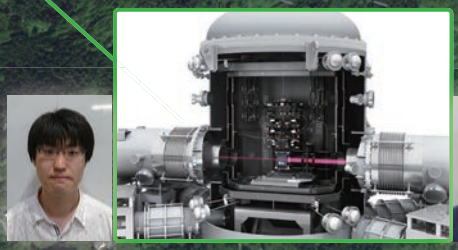
長さ 12m もある防振装置で、鏡に地面振動が伝わらないようにしています。

レーザー光の波長や形をさらに安定させるモードクリーナー

戻ってきた光を再び利用し、感度向上に役立てるリサイクル装置

X・Y 両アームからのレーザー光の干渉を測定する光検出部

レーザーを二つの方向に分けるためのビームスプリッター。振り子状の防振装置に吊り下げられ、真空容器に収納されます。



サファイア鏡は低温懸架装置に吊り下げられ、クライオスタット (低温真空容器) に収められ、マイナス 253° C まで冷やされます。山田さんは鏡を冷やすためのヒートリンクの防振装置、西本さんは鏡をわずかに傾けるムービングマスの研究に携わっています。

Google Earth

Interferometer Graphic / Rey Hori

寄稿　重力波観測研究施設・施設長　大橋（おおはし）　正健（まさたけ）教授

「最先端の研究　思う存分できる時代に」

これは自分でも話すことがあり、また本にも書かれてしまったことでもあるが、私は実は最初から重力波研究を目指していたわけではなく、大学院の発表を見に行ったところ、重力波研究をやることになっていた、というのがきっかけであった。今になって幸運だったと思うのは、その当時、重力波研究の巷での受け取られ方を知らなかったことである。たぶん、この研究分野は「できたらいいですねぇ」（意訳すれば「できるわけないじゃないか」）と思われていたはずだ。そんなきっかけから研究を始めて４０年、この研究分野を取り巻く環境は一変した。この１年のKAGRAに関わる新聞記事を調べてみると、その量の多さに驚いた。私が大学院にいた頃はきっと趣味程度に思われていたであろう重力波研究が、最先端のサイエンスになってしまったのである。

かつては「できるわけない・・・」

さて、そのような変遷の間に、学生の関わり方や貢献度、また、受ける恩恵はどうなったのであろうか？ いつの時代も博士課程の学生が、研究の最も苦しくて最も面白い場にいたと思うし、貢献度も大きいはずである。そういう意味ではあまり変化が無いようにも思えるが、しかし、

現在は大学院における研究活動は社会的に認められるようになり、かつ、経済的な支援が受けられるようになった。これは学生の精神衛生上とても大事なことで、研究を進める上では大きな推進力になっている。

重力波研究の話にもどると、それが「趣味」であった時代は、時間的な余裕があった。その余裕は大事で、この間に、様々な勉強もできたと思う。それは一般相対性理論の教科書を読むことから、まともなハンダ付けの習得に至るまで、多くの知識を吸収する時間となっていた。最先端の研究になってしまうと、時間的な余裕は無くなり、常に何かに追われているような感じになっているのではないかと心配している。もしかすると、これから先、いつも大事と感じるであろう基礎力を身につける時間が削られているかもしれない。最先端の研究を思う存分できる時代になったことは素晴らしいことで醍醐味を味わってほしいが、その中でもできるだけ時間をひねり出し、いま取り組んでいることとは違うことにも関心を向けてほしいと思う。

存在感のある若手研究者への道を

最後に、期待を書いておく。重力波プロジェクトに関われたことは私にとって幸運だった。関係者の人数が少なかったので、自分の思う方向に研究を進めることができたような気がする。すでに大きな研究分野になりつつあるが、まだまだ開拓期であり、やることはいくらでもある。若手研究者にはできるだけ存在感を出してほしい。目立ちなさいと言っているわけではなく、おとなしくても地道でも良いので、存在を認められるようになってほしいという意味である。重力波を最初に検出するという競争はLIGOの圧勝で幕が下りたが、ここから重力波天文学という第２幕が始まっている。活躍の舞台は整っているし、献身的な努力は必ず誰かが見ている。

李さんは、柏キャンパスの宇宙線研究所で、KAGRAでとらえた重力波信号を解析する役割を担います。

Press Release 2020.4.16

ニュートリノの「CP 位相角」を大きく制限 ～粒子と反粒子の振る舞いの違いの検証に大きく前進する成果をネイチャー誌で発表～

T2K 実験国際共同研究グループは、ニュートリノが空間を伝わるうちに別の種類のニュートリノに変化するニュートリノ振動という現象において「粒子と反粒子の振る舞いの違い」の大きさを決める量に、世界で初めて制限を与えることに成功しました。CP 位相角と呼ばれるこの量は、ニュートリノの基本的性質を示す量の一つであり、理論的には -180 度から 180 度の値を取り得ますが、これまで全く値がわかっていませんでした。今回の結果では、CP 位相角の取り得る値の範囲の半分近くを 99.7%（3 σ）の信頼度で排除することに成功しました（図 1）。ニュートリノについての未解明の問題の一つである、粒子と反粒子が異なる振る舞いをするかどうかという問題に大きく迫る成果です。

この研究成果は、総合学術雑誌 Nature 電子版に 4 月 16 日、掲載されました。

物質優勢の宇宙が生まれた謎に迫る

【背景】

物質を構成する素粒子には、電荷の正負が反対であるほかは全く同じ性質を持つ反粒子が存在します。宇宙の始まりであるビッグバンでは、粒子と反粒子が同じ数だけ生成されたはずですが、我々の身の回りには粒子で構成された物質しか見当たりません。このように、現在の宇宙において物質と反物質の対称性は大きく破れています。宇宙に反物質が存在しないようになるためには、CP 対称性と呼ばれる電荷と空間に関わる基本的な対称性が破れている必要があります。CP 対称性が成り立っていると、鏡の向こう側とこちら側の世界のように粒子と反粒子は同じように振る舞います。これまで、CP 対称性の破れは陽子や中性子の構成要素であるクォークと呼ばれる素粒子で見つかっていましたが、その破れの大きさは現在の宇宙の物質の量を説明するには不十分です。そこで、電子の仲間であるニュートリノの CP 対称性が大きく破れていることで宇宙の成り立ちの起源を説明できるという有力な仮説が提案され、ニュートリノの CP 対称性の破れの測定が注目されています。T2K 実験は、ニュートリノと反ニュートリノのニュートリノ振動現象を測定して、それらを比較することで、クォークで見つかったものとは別の CP 対称性の破れを探索しています。

【研究内容と成果】

T2K 実験は 2009 年度に実験を開始し、2013 年にミュー型ニュートリノがニュートリノ振動によって電子型ニュートリノに変化する「電子型ニュートリノ出現現象」の存在を世界で初めて発見しました。2014 年からは反ミュー型ニュートリノの測定を開始し、CP 対称性の破れの検証を開始しました。2016 年夏には、90% の信頼度で CP 対称性が破れている可能性を示しました。2018 年夏には、その可能性を 95%（2 σ）の信頼度に高めた結果を KEK で行ったセミナーで公表しました。T2K 実験では、CP 対称性の破れの探索とともに、CP 位相角と呼ばれる量の測定を行っています。CP 位相角は、ニュートリノの基本的な性質の一つで、ニュートリノが粒子と反粒子とで異なる振る舞いをするかどうかもこの値に拠りますが、これまでその値は全くわかっていませんでした。今回、T2K 実験では 2018 年までに取得した実験データを用いて解析を進め、CP 位相角を大きく制限する結果を総合学術雑誌「ネイチャー」で公表しました。

T2K 実験では、茨城県東海村にある大強度陽子加速器施設 J-PARC で大量のミュー型ニュートリノまたは反ミュー型ニュートリノを生成し、295 km 離れた岐阜県飛騨市神岡にあるスーパーカミオカンデ検出器で測定しています。ニュートリノの一部は、295 km を飛行する間にニュートリノ振動現象によりミュー型から電子型に変化します。

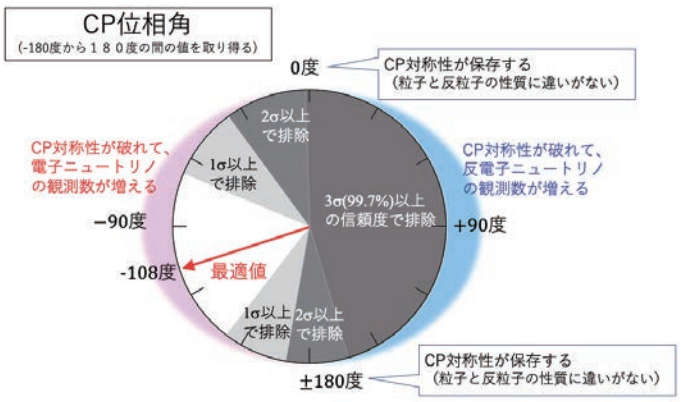


図 1：今回の観測結果と最も良く合う CP 位相角の値（矢印）と 99.7% 信頼度で値をとることが許された範囲（白抜き部分）。理論的に取り得る値の範囲の半分近くを排除しました。©T2K 国際共同実験グループ

ニュートリノ振動現象において CP 対称性が破れていると、ミュー型から電子型への変化確率に、ニュートリノと反ニュートリノで違いが生じます。破れの大きさを決める量は CP 位相角と呼ばれ、-180 度から 180 度の値を取り得ます。0 度と 180 度であった場合は CP 対称性が保存していることに、それ以外の角度であった場合には CP 対称性が破れていることになります。CP 位相角が -90 度の場合には、電子型ニュートリノへの変化確率が最大に、反電子型ニュートリノへの変化確率が最小になります。90 度ではその逆です。

CP 位相角の一部を 99.7% の信頼度で排除

2018 年までに T2K 実験が取得したデータから、電子型のニュートリノが 90 個、反ニュートリノが 15 個観測されました。図 2 はスーパーカミオカンデで検出された電子型のニュートリノと反ニュートリノの例です。実際の測定では、測定器が物質でできていることなどから、ニュートリノの方が反ニュートリノよりも観測されやすいため、観測数から振動の確率を注意深く決める必要があります。観測された結果は、CP 位相角が -90 度である場合に予想される観測数（ニュートリノで 82 個、反ニュートリノで 17 個）に近く、CP 位相角が 90 度の場合の予想観測数（ニュートリノで 56 個、反ニュートリノで 22 個）とは大きく異なりました（図 3）。今回、CP 位相角の値を推定するために必要な統計的手法を更新し、CP 位相角の値として、-2 度から 165 度の領域が 99.7% の信頼度で排除されることがわかりました。

【本研究の意義、今後への期待】

CP 位相角は、小林 - 益川によってクォークにおける CP 対称性の破れを説明するために導入されたものです。素粒子の基本的な性質ですが、電子やニュートリノの仲間であるレプトンについては、その値は、全く未知でした。本研究により、世界で初めてニュートリノの CP 位相角に強い制限がつけられました。また、得られた結果は CP 対称性の破れを 95% の信頼度で示唆しています。さらに測定を続けることで CP 位相角の取り得る範囲から 0 度と 180 度を 99.7% の信頼度で排除できると、CP 対称性の破れを 99.7% の信頼度で示すことができます。今回の成果は、その目標にたどり着くための重要なステップとなりました。ニュートリノの未解明の性質のうちの一つである CP 位相角、そして CP 対称性が破れているか否かが明らかになりつつあると言えます。

T2K 実験グループは、前置検出器を改良して測定精度を高めるとともに、さらにデータを蓄積することで、CP 対称性の破れの検証を進めていきます。J-PARC では、より大強度のニュートリノを生成するために、加速器およびニュートリノ実験施設の性能向上に着手しています。さらに次世代の実験として、スーパーカミオカンデの約 10 倍の有効体積を持つハイパーカミオカンデ実験が計画されています。ハイパーカミオカンデ実験では、増強された J-PARC ニュートリノビームを測定することにより、CP 対称性の破れの決定的証拠を捉えるとともに CP 位相角の精密な測定が可能となります。これらの研究によって、素粒子の性質や、宇宙から反物質が消えた謎の理解が進むことが期待されます。

ハイパーカミオカンデとビーム増強により CP 対称性の破れの決定的な証拠を確保へ

T2K 実験国際共同研究グループ
高エネルギー加速器研究機構
東京大学宇宙線研究所
J-PARC センター

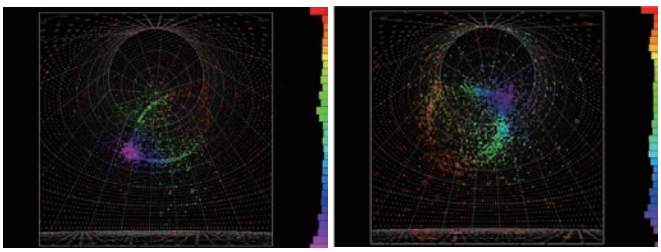
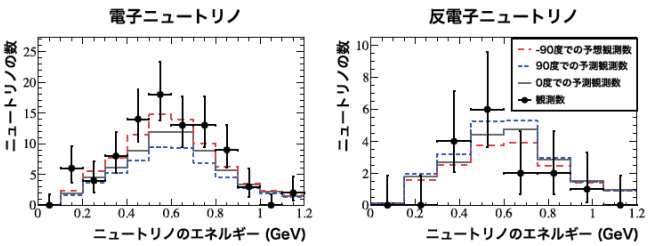


図 2：スーパーカミオカンデで検出された電子型のニュートリノ（左）と反ニュートリノ（右）の例。ニュートリノが水と反応してできた電子、または陽電子によるリング状の微弱光を、タンク内壁に設置された約 11000 本の光電子増倍管で観測しています。色のついた点は、その光電子増倍管で光を検出した時間を表しています。©T2K 国際共同実験グループ



	観測数	予測される観測数	
		-90度の場合	90度の場合
電子ニュートリノ	90	82	56
反電子ニュートリノ	15	17	22

図 3：今回得られたニュートリノのエネルギー分布。ニュートリノビームを用いて電子ニュートリノを測定した場合（左）の予想観測数は、CP 位相角が -90 度（赤破線）の方が 90 度（青破線）に比べて多くなります。反ニュートリノビームを用いて反電子ニュートリノを測定した場合（右）は、その逆です。CP 対称性が保存する 0 度の場合の予想観測数は灰実線の分布になります。観測数の分布（黒点）は -90 度での予想観測数の分布により近いことが分かります。下の表は、観測数と CP 位相角が -90 度または 90 度で予想される観測数をまとめたものです。©T2K 国際共同実験グループ

さらに詳しくは
web ページへ。

【論文情報】
雑誌名：Nature Vol.580, pp.339-344, on April 16, 2020
タイトル：Constraint on the Matter-Antimatter Symmetry-Violating Phase in Neutrino Oscillations
著者：K.Abe et al. (T2K Collaboration)
DOI 番号：10.1038/s41586-020-2177-0

Press Release 2020.6.17

暗黒物質直接探索実験 XENON1T が電子散乱事象の超過を観測

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) はじめ、東京大学宇宙線研究所、名古屋大学、神戸大学が参加する、米国・ヨーロッパ・日本を中心とした国際共同実験グループ XENON コラボレーションは、暗黒物質直接探索実験において世界最高感度を持つ XENON1T 実験で得られた観測データに、これまで予想していなかった過剰な事象が見つかったと発表しました。過剰な事象の原因についてはまだ完全には解明されていませんが、自然に存在する水素の放射性同位体であるトリチウムが極僅かに検出器中に含まれていた可能性、未知の素粒子である太陽アクシオンの可能性、または、これまで知られていなかったニュートリノの性質による可能性があります。XENON1T 実験は、次期計画の XENONnT 実験へのアップグレードを行っており、今回発表された事象超過の原因を XENONnT 実験で明らかにできると期待されます。

本研究成果は、XENON コラボレーションが 6 月 17 日、研究者向けに行ったオンラインセミナーで公表されました。

私たち宇宙の物質の約 85% は、暗黒物質（ダークマター）という未知の物質で構成されることが、様々な宇宙観測から得られた間接的な証拠によって判明しています。そして暗黒物質がなくては、星、銀河、我々も誕生しなかったことがわかっています。しかし、未だ決定的で直接的な検出はされておらず、暗黒物質がどのような性質を持ちどういった物質なのかいう具体的なことは分かっていません。そのため現在、実験と理論の両面から活発に研究が行われています。

XENON1T 実験は、イタリアのグランサッソ国立研究所 (INFN, Laboratori Nazionali del Gran Sasso) の地下研究所において 2016 年より稼働を始め、2018 年まで実施されました。検出器は、暗黒物質の証拠を直接捉えるために設計され、約 -100℃ の低温に冷却した超高純度な液体キセノンを 3.2 トン使用し、そのうち 2.0 トンが暗黒物質の標的として用いられました。

観測された過剰な事象の原因についてはまだ完全には解明されていませんが、三つの可能性があります。

①**これまで考えられていなかった背景事象**：水素の放射性同位体であるトリチウムは自然界に極微量だけ存在し、観測された事象と似たエネルギーの電子を放出して崩壊します。10^{25} 個のキセノン原子に対して数個のトリチウムがあれば、観測された過剰分を説明できます。

②**新しい素粒子**：観測された超過分のエネルギースペクトルは、太陽で生成されたアクシオンから予想されるエネルギースペクトルに非常に良く似ています。アクシオンとは、強い相互作用の CP 対称性を保存するために提案された未知の素粒子で、太陽中で絶えず生成されている可能性があります。太陽アクシオン自体は暗黒物質の候補ではありませんが（初期宇宙に生成されたアクシオンが暗黒物質になる可能性もあります）、もし、アクシオンを検出できれば、素粒子物理学のみならず、天体物理学にも大きな影響を与える可能性があります。

③**ニュートリノの新たな性質に起因するもの**：ニュートリノの磁気モーメントが素粒子物理学における標準理論から予想される値よりも大きいと、この超過事象を説明することができ、標準理論を超える理論の大きなヒントになりえます。

太陽アクシオンからの信号と最もよく一致

今回観測された超過事象は、上記三つの可能性のうち、太陽アクシオンからの信号と最も良く一致しています。統計的には、太陽アクシオン仮説の有意性は 3.5 σ で、観測された超過が統計的なゆらぎによるものである可能性が約 2/10,000 の確率であることを意味しています。この有意性は高いものの、太陽アクシオンが存在すると結論づけるには十分ではありません。トリチウムとニュートリノの磁気モーメント仮説の有意性はいずれも 3.2 σ に相当し、どちらかに起因する可能性もあります。

ICRR の貢献など、さらに詳しくは web ページへ。

図 1: XENON1T Time Projection Chamber の実験装置 底部の白い PTFE の保持構造の間に見えているのは光電子増倍管の後部である。光電子増倍管はチェンバー内部で生じる事象によって発生するシンチレーション光を捉える。円筒部には電場を発生する銅のリングが配置されており、事象によって生じる電離電子をチェンバーの上部までドリフトさせる。 ©XENON collaboration

Press Release 2020.6.23

陽子衝突からの左右非対称なπ中間子生成 ー粒子生成の起源に迫る新たな発見ー

理化学研究所（理研）仁科加速器科学研究センター放射線研究室の後藤雄二先任研究員、キム・ミンホ国際プログラム・アソシエイト（研究当時）、東京大学宇宙線研究所のさこ隆志准教授、名古屋大学宇宙地球環境研究所・素粒子宇宙起源研究所の伊藤好孝教授、日本原子力研究開発機構先端基礎研究センターの谷田聖研究主幹らが参画する国際共同研究グループは、米国ブルックヘブン国立研究所（BNL）の偏極陽子衝突型加速器「RHIC（リック）」を使って、反対方向に運動する陽子同士の衝突により、衝突位置の超前方に生成される「中性π中間子」が大きな左右非対称度を持つことを発見しました。

陽子には、地球の自転に似た「スピン」と呼ばれる向きを表す性質があります。スピンの向きは人為的にそろえることができ、これを「偏極」と呼びます。偏極した陽子を何かの粒子に衝突させると、生成されるπ中間子の生成量が偏極陽子の衝突の軸方向に対して、元の陽子のスピンの向きの左側と右側で非対称になることが知られており、その起源として、クォークやグルーオンの直接散乱に基づく理論「摂動 QCD」で説明されてきました。陽子衝突での粒子生成に対する理論・計算の構築は積年の研究課題であり、高エネルギーの宇宙線が大気中で起こす「空気シャワー」の理解のためにも、その発展が望まれています。

今回、国際共同研究グループは、偏極陽子と陽子の衝突で生成される中性π中間子の左右非対称度が、超前方付近の小さい角度でも存在することを発見し、さらにその非対称度がゼロ度付近で急激に増加し、より大きな角度の値とほぼ同じ大きさに達することを明らかにしました。この結果により、これまでの理論的解釈は大きな見直しを迫られることになりました。

本研究は、米国の科学雑誌 Physical Review Letters のオンライン版（6 月 22 日付）に掲載されました。

国際共同研究グループは、反対方向に運動する偏極陽子と陽子の衝突により生成される「中性π中間子」の測定に優れた性能を持つ電磁カロリメータ検出器を、RHIC で行われている別の実験である STAR 実験の超前方のゼロ度付近に設置しました（左図）。生成された中性π中間子は、二つのガンマ線に崩壊します。そのガンマ線を測定し、中性π中間子の放出方向とエネルギーを精密に測定します。

回折、共鳴などの寄与が謎解くカギか

この電磁カロリメータ検出器は、高エネルギーの宇宙線が大気中で起こす空気シャワーを理解するために製作され、欧州原子核研究機構（CERN）の大型ハドロン衝突型加速器 LHC と、BNL の RHIC による 2 種類の陽子衝突型加速器での実験に用いられました。LHC では LHCf 実験、RHIC では RHICf（f は forward の意）実験と名づけられています。LHCf 実験では、偏極陽子を使用できないため左右非対称度を測定できませんが、偏極陽子を加速できる RHICf 実験で、左右非対称度の測定に初めて成功しました。

RHICf 実験の結果、中性π中間子の左右非対称度が、ゼロ度付近の小さい角度でも存在し、さらにその大きさがゼロ度付近で急激に増加し、大きな角度での値とほぼ同じ大きさに達することが分かりました。

今回の 0.1 GeV/c 程度の小さい横運動量から 5 ～ 10% の左右非対称度を持つという実験結果は、過去のデータ解釈に用いられてきた摂動 QCD では説明することはできません。近年、ジェットの左右非対称度が小さいことも報告されており、高エネルギー陽子衝突での粒子生成の解釈は、大きな見直しを迫られることになります。今回の左右非対称性が得られた超前方の小さな角度は、陽子が励起状態を引き起こすエネルギー領域に対応しており、回折や共鳴などの寄与が、今回の謎を解くヒントになっている可能性があります。

さらに詳しくは web ページへ。

【論文情報】

雑誌名：Physical Review Letters（6 月 22 日付け電子版掲載）
論文タイトル："Transverse single-spin asymmetry for very forward neutral pion production in polarized p + p collisions at $\sqrt{s}$ = 510 GeV"
著者：M. H. Kim et al. [RHICf Collaboration]
DOI 番号：10.1103/PhysRevLett.124.252501

Reports 2020 年 8 月 8 日

夏の合同一般講演会をオンライン開催 約 700 人が視聴

宇宙線研究所とカブリ数物連携宇宙研究機構 (Kavli IPMU) の合同一般講演会が 8 月 8 日、各研究室と視聴者をオンラインでつないで開催され、関係者を含む約 700 人が限定公開された YouTube 中継を通し、二人の講師のトークに耳を傾けました。今回のテーマは「未知への挑戦～極限宇宙と新しい物理」で、宇宙線研究所の野田准教授が「ついに地上からガンマ線で見えたガンマ線バースト」、Kavli IPMU の樋口准教授が「Belle II 実験～電子 - 陽電子加速器が教える新しい素粒子の世界」と題し、それぞれ講演し、二人の対談 (クロストーク) も行われました。

梶田所長「しばしコロナのことを忘れ、壮大な宇宙に思いを」

最初に登場した梶田隆章所長は、「このような多数の参加者に集まって頂き、本当に嬉しい限りです。新型コロナウイルスの感染拡大により、インターネットでの会議、ミーティングや講演会が急速に普及したことを受け、このようなインターネットでの講演会を企画しました。本日の講演者たちはともに若くて現役バリバリの研究者です。本日はお二人の研究の話を聞きながら、しばしコロナのことを忘れ、壮大な宇宙のことに思いを馳せてみてください」とあいさつしました。

Talk 1 宇宙線研究所・野田浩司准教授

野田准教授は、宇宙をガンマ線で観測することで見えてくる極限現象の例として、大質量ブラックホールを中心に持つ銀河である「活動銀河核」や、電磁波で直接観測できない未知の物質である「暗黒物質 (ダークマター)」、さらに宇宙で最も激しい爆発現象である「ガンマ線バースト (GRB)」の三つを挙げました。

天の川銀河の外からやってくるもので、大きな星の死 (超新星爆発) や中性子・ブラックホールの合体に関係していると考えられています。しかし、いつどこで起きるかわからないうえ、数分間という短い時間だけ輝き、すぐに暗くなって見えなくなってしまうため、観測が極めて難しいとされています」と解説しました。

MAGIC 望遠鏡　超新星爆発からのガンマ線バーストを観測！

その上で、この日のテーマであるガンマ線バーストについて「1960 年代に核実験監視用の人工衛星により発見され、現在では

また、ガンマ線と一口に言っても、MeV (百万電子ボルト) から GeV (10 億電子ボルト)、TeV (1 兆電子ボルト) とエネルギーの幅が大きく、「エネルギーが十分に高くなれば、コンプトン散乱だけでなく、電子・陽電子の対生成を引き起こします」と指摘。さらに、「ガンマ線は地球の大気と反応して姿を変えてしまうため、Fermi などの人工衛星による観測が不可欠ですが、対生成のレベルまでエネルギーが高ければ、大気との反応を逆に利用することで、地上からも観測が可能となります」とし、ガンマ線が大気の中で空気の分子と連鎖反応し、引き起こされる大気チェレンコフ光を捉える望遠鏡の仕組みを解説しました。

野田准教授は続いて、スペイン・カナリア諸島にあるチェレンコフ望遠鏡 MAGIC

野田浩司准教授

樋口岳雄准教授

「とんでもないものが見えているんですが・・・」「なんてこった」

が2019年1月19日、Fermi衛星からのアラートを受け、初めてGRBの信号を捉えた時の様子を詳しく紹介しました。野田准教授は同日午前6時前、ヘルプ電話シフトとして日本に待機していたといいますが、高橋光成研究員（ICRR）など現地の観測担当シフトから電話連絡を受け、スマホのチャットでアドバイスした時の画面を示しながら、「高橋くんから『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？』と問いかけられ、『なんてこった、こりゃ寝れないなあ』と返しました。読むたびにその時の情景が浮かんで来て面白いです。かに星雲は高エネルギーのガンマ線で輝き続ける天体では最も明るいものです。その100倍の明るさで光っていたというのが、『とんでもないもの』の意味です」と解説しました。

観測されたガンマ線は、GRBからのガンマ線エネルギーの最高記録を一桁以上更新する1兆電子ボルト（TeV）以上で、「従来の標準的な理論、つまりシンクロトロン放射で説明できないことは明らかで、電子による逆コンプトン散乱の可能性が高いこともわかり、英科学誌Natureに計2本の論文を出すことができました。しかし、これで終わりではありません」。

最後に、MAGICより大きい30カ国、1500人以上の研究者・技術者が参加する国際共同研究プロジェクト「チェレンコフテレスコープアレイ（CTA）」がすでにスタートしていることをビデオで紹介し、「今は多波長だけではなく、重力波やニュートリノも含めた多粒子による観測もあります。今後はグローバルな総力戦により、GRBや活動銀河核のブラックホールの本質に迫っていきたいと考えています」と抱負を語りました。

SuperKEKB加速器とBelle II実験 標準理論を超えて新理論に迫る！

Talk 2　Kavli IPMU・樋口岳雄准教授

樋口准教授は、東京大学大学院の学生時代の1997年ごろ、茨城県つくば市の高エネルギー加速器研究機構（KEK）にある加速器を使った素粒子物理実験Belleに参加し、自らの博士論文のテーマとしたことを紹介。Belle実験の目的のひとつが、CP対称性の破れ（粒子と反粒子の性質の違い）を予測した小林・益川理論（1973年）の検証で、その後の小林誠・益川敏英両博士のノーベル物理学賞受賞に結びついたことについても、「小林・益川理論の検証のため、5番目のクォーク（ボトムクォーク）とその反粒子の性質の違いを、それらを量産する加速器で実証しようとしたのが、Belle実験でした」と解説しました。　また、Belle実験に参加し、苦労を重ねた結果、2001年7月、ボトムクォークと反ボトムクォークの性質の違いを表すSの値が、

$$S = +0.99 \pm 0.14 \pm 0.06$$

と、誤差を考慮に入れてもゼロにはならないことを確認したとし、「こういう時はみんなでパーティをして喜びを分かち合います。当時は実験のデータ量が積み重なり、大きな節目を迎えるごとにパーティを繰り返していました」と語り、順調にデータを蓄積していったBelle実験の成功と、当時の研究者たちの喜びの様子を当時の記念写真を示しつつ振り返りました。

素粒子標準理論の重要な一角を占める小林・益川理論が証明された後、2013年には17番目のヒッグス粒子が確認されたことに触れ、「こうして素粒子表にあるすべての粒子を発見し、それを支える理論が明らかになるところまで、たどり着きました。しかし、暗黒物質は素粒子表にはなく、粒子と反粒子の差の真の由来も実はまだよくわかっていません。つまり、宇宙の出来事の全てを説明するには、現在の素粒子標準理論だけでは不十分で、次の理論を目指す、というのが私たちが今やろうとしていることです」と語りました。

新理論のヒントを探すため、Belle実験で起きる素粒子反応のうち、新理論の影響が出やすいものを探し、検証が行われていますが、データが足りないためにまだ新理論の存在がはっきりしないといい、「もっとデータを集められるように改良されたのが、Belle II実験です。改良されたSuperKEK加速器は、従来と比較すると40倍も早く素粒子反応を提供できる性能があり、10年間の運転でBelle実験の50倍のデータを集められます。それを目指し、現在も日々努力が続けられています」と語りました。

「新理論発見に向け、エキサイティングな結果はもうすぐ」

樋口准教授は続いて、新しく生まれ変わったSuperKEKB加速器とBelle II測定器の概要を写真やCGで紹介。自らがリーダーを務めるIPMUの研究チームが製作したシリコンバーテックス検出器が組み上げられ、Belle II測定器の中心部にインストールされる様子や、2019年3月に初衝突が実現し、素粒子反応が検出されて喜ぶ研究者たちの様子が見られました。

樋口准教授は「Belle実験が示したS値について、Belle II実験の最新の値が2020年の国際会議で報告されましたが、現在の世界平均に近く、Belle II実験が目指す性能が出ていることは確認できました。一方で、世界中の加速器実験が今も新粒子を探索していますが、なかなか見つかりません。Belle II実験も、新粒子のZ’粒子の探索結果を報告しましたが、結論づけるにはデータが足りませんでした」とコメント。それでも、「SuperKEKB加速器は最近、『初期宇宙生成能力』の世界記録をすでに更新しており、日本の得意分野である超精密測定とSuperKEKB加速器が作る大量の宇宙初期データを組み合わせれば、新理論が発見できのではないかと考え、IPMUでも準備を進めています。エキサイティングな結果はもうすぐですので、皆さんこれからもよろしくお願いします」と期待を込めて語りかけました。

後半のクロストークなどは宇宙線研のホームページからご覧ください。

Topics

2020 年 6 月 6 日

大学院進学のための交流会を開催

宇宙線研究所は 6 月 6 日、2021 年 4 月に東京大学宇宙線研究所への進学を希望する学生を対象とした「大学院進学のための交流会」を開催しました。

今回は新型コロナウイルス感染症の拡大を防止するため、オンライン開催となりましたが、全国から 63 人の学生たちが登録し、各研究グループの説明やグループ別の ZOOM によるテレビ会議などで質問を行いました。

2020 年 6 月 3 日

日本科学未来館 スーパーカミオカンデの展示をリニューアル公開

東京大学宇宙線研究所の実験施設スーパーカミオカンデに関連した新展示が、6 月 3 日からリニューアルされ、日本科学未来館 (東京・江東区) で公開されています。

リニューアルされた展示は、これまでと同じく 3 階の常設展示ゾーン「世界を探る」の宇宙コーナーの奥にありますが、新たに展示タイトル「ニュートリノから探る宇宙」を掲げた縦看板と、その直下に大型ディスプレイが設置されました。この大型ディスプレイでは、宇宙線研究所が提供したスーパーカミオカンデの紹介ビデオが、日本語、英語、中国語の字幕付きで連続再生されています。さらに、実物大の光電子増倍管を敷き詰めた壁面には、新たに LED のライトアップが加えられ、宇宙からやってくる宇宙線を観察できる大型霧箱、スーパーカミオカンデの 10 分の 1 模型もあわせ、宇宙線やニュートリノについての研究をわかりやすく説明しています。

2020 年 5 月 25 日

東京大学、高エネ研 ハイパーカミオカンデ計画の推進に関する覚書を締結

東京大学と高エネルギー加速器研究機構 (KEK) は、これまでハイパーカミオカンデ計画構想を具体化するための機関間の協力に関する覚書により、関係を強固なものにしてきました 。このたび、本計画の本格着手に併せて、当該覚書を発展させ、両機関の協力体制を確実なものにするための組織を明確化するなど連携をより一層強化し、本計画の着実な推進を図ることを目的として、5 月、ハイパーカミオカンデ計画の推進に関する覚書を締結しました。

東京大学の五神真総長、KEK の山内正則機構長がこのほど締結した覚書では、両機関が連携・協力して本計画を推進するため、合同でハイパーカミオカンデ計画推進室などを置くことに加え、東京大学が岐阜県飛騨市にハイパーカミオカンデ検出器を建設、KEK が J-PARC 大強度陽子加速器とニュートリノビームラインの増強および前置検出器の整備を行い、両機関がそれぞれの運用に責任を持つことなどを挙げています。

覚書の締結は、新型コロナウイルス感染拡大を受けた緊急事態宣言の最中のため、両機関が一堂に会する形での締結式は行わず、両機関の代表がそれぞれ覚書に署名し、郵送で交換する方法が取られました。

2020 年 7 月 9 日

ガンマ線バーストの観測データで一般相対論を精密検証 MAGIC コラボレーション

宇宙線研究所などが参加する国際共同研究チームは 2019 年 1 月、スペイン・ラパルマ島のチェレンコフ望遠鏡 MAGIC(写真、©MAGIC Collaboration) により、最初の超高エネルギーガンマ線放射を伴うガンマ線バーストの検出に成功しました。この事象は、このような高エネルギー天体から今まで得られた高エネルギーガンマ線放射の中で最も明るいものでしたが、さらに多くの成果を私たちにもたらしてくれています。MAGIC に関わる研究者はこのほど、さらなる解析を進め、光の速度が真空中で一定であり、エネルギーに依存しないことを確認しました。これは、今回の観測データが、他の多くの検証と同じく、アインシュタインの一般相対性理論の正しさを裏付けていることを意味しています。この成果は、米国の物理学専門誌 Physical Review Letters に発表されました。

アインシュタインの一般相対性理論は、質量とエネルギーが時間空間とどのように相互作用するかを説明する美しい理論であり、一般に知られている重力と呼ばれる現象を引き起こします。 一般相対性理論はさまざまな物理的状況、およびさまざまなスケールで検証されており、光速が一定であると仮定すると、実験結果は常に矛盾なく説明できることがわかります。しかし、物理学者たちは、一般相対論が最も基本的な理論ではなく、量子重力理論と呼ばれる重力の基礎となる量子力学的な記述で説明できる可能性があると考えています。一部の量子重力理論では、光の速度はエネルギーに依存すると考えており、この仮想的な現象を「ローレンツ不変性の破れ」と呼んでいます。

量子重力理論による光の速度の変化はきわめて小さく、実験で検証するためには、非常に長い距離を伝搬する光を利用する必要があります。これは、天文学的な距離にあるガンマ線の信号を解析することで初めて可能となります。

2019 年 1 月 14 日、MAGIC はテラ電子ボルトに達する最も高いエネルギーの放射を、ガンマ線バーストから記録しましたが、この時の観測データを使用して量子重力理論が仮定する影響について調べました。研究者たちは、ガンマ線バースト源からのガンマ線放射の理論モデルを使用することにより、ローレンツ不変性の破れを推定。注意深い分析により、ガンマ線の到着時間にエネルギー依存の時間遅延がないことが明らかになりました。

さらに詳しくは
web ページへ。

ハイパーカミオカンデ計画の実験開始は令和９年を目指しており、国内外からの参加パートナーと協力し、宇宙の物質の起源や究極の物理法則といった根源的な謎に迫ります。

2020 年 5 月 22 日

鈴木洋一郎元所長 岐阜県各界功労者表彰を受賞

宇宙線研究所の前所長である鈴木洋一郎・東京大学名誉教授が５月 22 日、岐阜県の令和２年度岐阜県各界功労者表彰の受賞者に選ばれました。鈴木名誉教授は、前神岡宇宙素粒子研究施設長、さらには前スーパーカミオカンデ実験代表者でもあります。

岐阜県は受賞理由について「同氏が、この岐阜の地でスーパーカミオカンデ実験代表者として研究に邁進された日々は、ニュートリノ研究の偉大な業績に加え、世界の宇宙物理学を牽引するまでに至らしめた、その功績は県民の大きな誇りにもつながるものである」と評価しています。

2020 年 4 月 6 日

富山大学と宇宙線研究所 重力波研究推進のための覚書を締結

富山大学と東京大学宇宙線研究所は４月６日、大型低温重力波望遠鏡（KAGRA）の本格運転及び観測が始まるにあたり、共同研究でもたらされるサイエンスと教育的効果の重要性を認識し、緊密な連携を行うため、新たな覚書を締結しました。富山大学ではこれまでも、大学院理工学教育部、理学部、工学部および大学院理工学研究部が、宇宙線研究所と「重力波研究推進のための教育・研究協力に関する覚書（平成 27 年２月９日締結）」を結んで活動してきましたが、新たな覚書はこれを富山大学の全学的な連携へと発展的に拡大させるものです。

締結式は同日、富山大学において宇宙線研究所・梶田隆章所長、富山大学・齋藤滋学長が出席して行われました。覚書に基づき、東京大学宇宙線研究所は今後、KAGRA ホスト機関及び KAGRA 共同利用研究者の代表として、富山大学に対し、重力波に関連した教育上及び研究・開発上の支援を行い、富山大学は KAGRA の地域の研究拠点として、東京大学宇宙線研究所及び KAGRA 共同利用研究者に対し、共同研究・開発を行うため重力波研究実験室の利用等研究・開発環境の支援を行うことになります。

＊ ＊ ＊ ＊ ＊ ＊ ＊ ＊ ＊ ＊ ＊ ＊ ＊ ＊ ＊ ＊ ＊

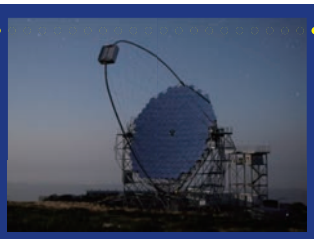
2020 年 7 月 15 日

宇宙線研究所要覧 2020 を刊行

宇宙線研究所は７月 15 日、2020 年度版の ICRR 要覧を発刊しました。Web 版も公開しておりますので、こちらからどうぞ。

2020 年 6 月 22 日

CTA 大口径望遠鏡１号基 かにパルサーのガンマ線を観測



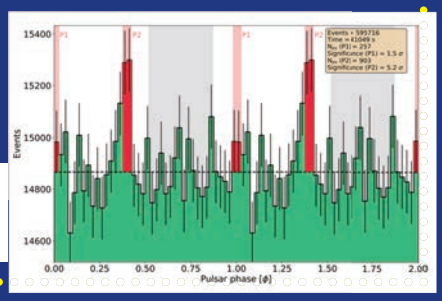
チェレンコフ・テレスコープ・アレイ（CTA）の大口径望遠鏡１号基（LST- 1、写真右）が、2020 年１月から２月にかけての８日間の夜間にわたる観測で、かに星雲の中心部にあるパルサー（中性子星）から出されるガンマ線の信号を捉えていたことが分かりました。LST- 1 は 2018 年 10 月、スペイン・カナリア諸島のラパルマ島にある CTA 北半球サイトに完成して以来、望遠鏡の性能の確認や本格運転に必要なパラメータの調整などを行って来ました。

パルサーは強い磁気を帯びて高速に自転する中性子星で、ビーム状の電磁波を上下２方向に放射しており、そのビームが地球の方向に向けられた時にのみ、観測されます。強い定常ガンマ線放射線天体や、爆発的放射の検出は、地上の解像型チェレンコフ望遠鏡（IACT）にとっては日常的となってきている一方で、パルサーからの信号は微弱であるのに加え、まわりのパルサー星雲からの放射が邪魔し、検出を困難にしています。世界中の最高感度の IACT が何百時間も観測をしているにもかかわらず、超高エネルギーガンマ線の放射が確認されたパルサーは、これまでにわずか四つしかありません。そして、LST- 1 はこのほど、パルサーからの信号を検出できる高感度の望遠鏡に仲間入りしました。

CTA-LST の研究代表者である手嶋政廣教授は「この期間に非常に難しい天体が観測できたことは、LST- 1 がすでに期待されたずば抜けた性能を発揮し始めていることを意味しています。パルサーは LST が目標とする観測対象の一つであり、LST が調整を完全に終えて本格運転に入れば、多くの成果が生み出されるだろうと想像すると、今からとてもワクワクします」とコメントしています。

今回のデータ解析は、cta-lstchain とよばれる LST のデータを解析するパイプラインツールによって行われました。天候条件が良好で、技術的問題のない観測だけに採用されるもので、2020 年１月と２月の 10 日間に取得された合計 11.4 時間分のデータが解析に用られました。信号位相（ON）とバックグラウンド位相（OFF）は、Aleksic et al., A&A, 540 (2012) A69 で定義されたものが用いられました。ガンマ線事象の解析には、日本チームの開発したガンマ線点源の天球上の位置を利用した解析手法が用いられました。エネルギー閾値近傍のガンマ線も取りこぼさないようにするため、バックグラウンドの排除はゆるめになされました。

右図は位相ダイアグラムとよばれ、ガンマ線の到来時刻をかにパルサーの回転位相に変換してその分布をみたものです。赤く塗られ P1、P2 と書かれた位相が、高エネルギーガンマ線を放射しているとされる位相です。パルサーの回転パラメーターは Jodrell Bank 観測所が毎月公表しているものが用いられました。すべての位相にわたり観測された信号（右図の緑色部分）は、かに星雲から常に出される電磁波を含む様々なバックグラウンドを合わせたものです。このパルス放射の検出は、検出事象の時刻付が正確にできていることと、低いエネルギーのガンマ線に対する望遠鏡の性能を証明するものです。



Information

人事異動

発令日	氏名	異動内容	職
2020.3.6	YUMA, Suraphong	受入終了	協力研究員
2020.3.31	齊藤　芳男	任期満了	特任教授
2020.3.31	山下　雅樹	退職	特任准教授
2020.3.31	MORALEJO, Abelardo	任期満了	特任准教授（外国人客員）
2020.3.31	小林　兼好	任期満了	特任助教
2020.3.31	平松　尚志	退職	特任研究員（ICRR フェロー）
2020.3.31	小幡　一平	任期満了	特任研究員（研究所研究員）
2020.3.31	STRZYS, Marcel Constantin	任期満了	特任研究員
2020.3.31	織井　安里	受入終了	協力研究員
2020.3.31	廣瀬　榮一	受入終了	協力研究員
2020.3.31	田阪　茂樹	受入終了	協力研究員
2020.3.31	今西　秀典	任期満了	技能補佐員
2020.3.31	中林　正則	退職	用務補佐員
2020.4.1	伊藤　好孝	委嘱	客員教授
2020.4.1	中家　剛	委嘱	客員教授
2020.4.1	西村　康宏	委嘱	客員准教授
2020.4.1	齊藤　芳男	採用	特任研究員（シニアフェロー）
2020.4.1	千川　道幸	採用	特任研究員（シニアフェロー）
2020.4.1	川島　朋尚	採用	特任研究員（ICRR フェロー）
2020.4.1	STRZYS, Marcel Constantin	採用	特任研究員（ICRR フェロー）
2020.4.1	藤田　智弘	採用	特任研究員（ICRR フェロー）
2020.4.1	青山　尚平	採用	特任研究員（研究所研究員）
2020.4.1	中村　輝石	採用	特任研究員（研究所研究員）
2020.4.1	成川　達也	採用	特任研究員（研究所研究員）
2020.4.1	内潟　那美	採用	特任研究員（ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄ研究員）
2020.4.1	永島　伸多郎	採用	特任研究員（ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄ研究員）
2020.4.1	三代　浩世希	採用	特任研究員（ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄ研究員）
2020.4.1	稲田　知大	受入開始	学振特別研究員 PD
2020.4.1	森崎　宗一郎	受入開始	学振特別研究員 PD
2020.4.1	深見　哲志	受入開始	協力研究員
2020.4.1	阿久津　良介	受入開始	協力研究員
2020.4.1	中野　雅之	受入開始	協力研究員
2020.4.1	山崎　翔太郎	受入開始	協力研究員
2020.4.1	石塚　泰史	転入	神岡地区担当課長
2020.4.1 (2020.3.31)	高山　恭一	勤務免（転出）	係長
2020.4.1	舟田　真也	勤務命（転入）	係長
2020.4.1	高道　諒	昇任	主任
2020.4.1	工藤　直美	採用	事務補佐員
2020.4.1	坂本　絵里	採用	事務補佐員
2020.4.1	川上　みゆき	採用	用務補佐員
2020.4.15	奥富　弘基	退職	特任研究員（ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄ研究員）
2020.4.23	ZHANG, Haibin	受入開始	協力研究員
2020.4.30	平出　克樹	退職	特任助教
2020.4.30	阿久津　良介	受入終了	協力研究員
2020.4.30	中野　雅之	受入終了	協力研究員
2020.4.30	深見　哲志	受入終了	協力研究員
2020.5.1	浅岡　陽一	採用	特任准教授
2020.5.1	平出　克樹	採用	特任准教授
2020.5.1	武石　隆治	採用	特任研究員（ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄ研究員）
2020.5.1	深見　哲志	採用	特任研究員（ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄ研究員）
2020.5.1	中村　佳昭	受入開始	協力研究員
2020.5.1	中野　雅之	採用	学術支援専門職員
2020.5.1	野尻　みどり	採用	事務補佐員
2020.5.31	片岡　洋介	退職	特任助教
2020.6.1	片岡　洋介	採用	助教
2020.6.1	播金　優一	採用	助教
2020.6.30	押野　翔一	退職	特任研究員（ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄ研究員）
2020.6.30	ZHANG, Haibin	受入終了	協力研究員
2020.6.30	山崎　翔太郎	受入終了	協力研究員
2020.7.1	押野　翔一	採用	特任助教
2020.7.1 (2020.6.30)	清水　昭彦	勤務免（転出）	係長
2020.7.1	吉田　拓人	勤務命（転入）	係長
2020.7.31	TROZZO, Lucia	退職	特任研究員（ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄ研究員）
2020.8.1	今西　秀典	採用	技能補佐員

（R2.2.20 ～ R2.8.1）

ICRR NEWS No.108 2020 SUMMER

編集・発行：2020 年 8 月 31 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.108 2020 SUMMER

編集・発行：2020 年 8 月 31 日　東京大学宇宙線研究所広報室