

質量の起源を説明する“質量獲得機構”の証明に挑むハドロン物理学研究の最前線。
ハドロン原子核物理研究グループのマネージャー・佐甲氏と、
同グループのリーダーであり東北大学大学院理学研究科教授・田村氏に話を伺った。

[研究テーマ]

原子核内 Φ 中間子の K 中間子対崩壊における
偏極と分散関係による質量獲得機構の解明

佐甲 博之
Sako Hiroyuki

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 原子力科学研究部門 先端基礎研究センター マネージャー
原子力科学研究部門 J-PARC センター
筑波大学 数理物質科学研究科 客員教授

京都大学理学部物理学科卒業、東京大学大学院理学系研究科物理学専攻博士課程修了。
筑波大学助手を経て、ドイツ重イオン研究所 (GSI) で博士研究員として研究に従事。
その後欧州での研究を終え、2004年より「J-PARC」加速器の研究に従事。
2010年、ハドロン原子核物理研究グループの発足初期からメンバーに加入。現在は同グループのマネージャーを務める。

物質が生まれ重くなる仕組みを解き明かし、
宇宙の物質の謎にせまる理論を
はじめて実証する。



物理への興味は宇宙から。 宇宙の物質の謎に迫る理論の実証に挑む。

宇宙はビッグバンによって生まれた、という話を皆さん一度は耳にしたことがあるかと思います。また、宇宙の始まりについて考えて眠れなくなった、なんて人も少なくないでしょう。私も子どもの頃から、宇宙がどこまで広がっているのか、電磁力や重力はどのようなものなのかなど、自然の中の物質について興味を抱いていました。そしてそれが物理学という学問によって探究されていることを知ったのは高校生の頃。物理の授業を受けてますますその面白さを実感し、将来物理学の研究者になることを目指して京都大学理学部に進学しました。ちなみに京大は憧れていたノーベル物理学賞受賞・湯川秀樹氏の母校でもあり、物理学の研究者になるなら京大、というのは自分の中で揺るぎのないものでした。

大学で物理を学び始めると、一言で物理と言っても電磁気学、量子力学、熱力学などさまざまな分野があることを知

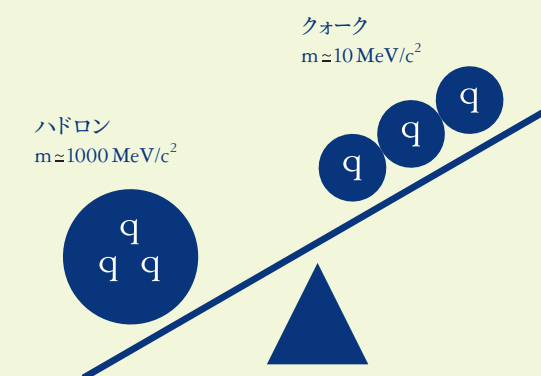
ります。細分化されつつも自然界で起きる数多の現象の法則を解き明かしたいという同じ目的のもとで研究が進んでいる奥深い学問。それが物理学なのだと思ひ、さらに興味が増したことを今も覚えています。

ここで一度話を宇宙に戻します。約138億年前ビッグバンによって誕生した宇宙は徐々に大きくなり、温度が下がり、さまざまな粒子を生み出したとされます。誕生の瞬間、ビッグバンから約1万分の1秒後までは、「クォーク」と呼ばれる素粒子が宇宙を自由に飛び回っていましたが、すぐに陽子や中性子といった粒子の中に閉じ込められました。これらのクォークの集合体である粒子を「ハドロン」と呼びます。ハドロンの中にいるクォークを直接取り出して観測することはできません。しかし、クォークが3つ集まり陽子や中性子を構成すると、質量が約100倍に増えることが理論的に示されています。この現象を「質量獲得機構」といい、その仕組みを説明すると考えられているのが、2008年にノーベル物理学賞を受賞した研究者・南部陽一郎氏の

理論「自発的対称性の破れ」です。南部理論によると、真空中にクォークと反クォークの凝縮が発生し、それとハドロンが反応することによって質量が生成されるといいます。しかしこの理論のハドロンの質量とクォークの凝縮の関係を精密に測定した人はいないのです。私たちはその変化を観察したい、南部理論が正しいということを証明したい。そして宇宙の始まりの謎を解き明かしたい。これからお話しする研究は、こうした背景から生まれました。

世界最先端の施設と世界初の手法で 数百倍の“崩壊”現象を捉える。

私が現在マネージャーを務めるハドロン原子核物理研究グループは、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構(JAEA)・原子力科学研究所の先端基礎研究センターを拠点とし、強い相互作用で結合した複合粒子であるハドロンと、ハドロンから構成されている原子核などを研究しています。具体的には、ハドロンや原子核を高温に温めたり、高密度に圧縮したりして、その変化を観測します。それにより、ハドロンがクォークからどのように構成されているのか、原子核がハドロンからどのように構成されているのか、構造を解明しようとしています。この研究を同機構で行う意義は、原子力発電のエネルギーの源となる核力の理解にも通じるからです。原子核を構成する陽子や中性子はハドロンの一種であり、それらを結びつける力の起源を



ハドロンの質量はそれを構成するクォークの100倍程度となる

知る私たちの基礎的研究は原子力の安全と発展に欠かせません。

私が現在取り組んでいる研究は、クォークと反クォークからなるΦ(ファイ)中間子の質量が、原子核中で本当に変化しているのか、どれほど変化しているのか、精密な数値を調べる実験を行っています。Φ中間子はとても壊れやすく、その壊れ方には大きく2つあります。1つは電気の性質を持つ軽い粒子のペアに分かれるパターン(電子対崩壊)、もう一つはK(ケイ)中間子という別の粒子のペアに分かれるパターン(K中間子対崩壊)です。Φ中間子の質量変化の研究は、この崩壊パターンのいずれかに着目し、Φ中間子崩壊前後の質量の変化を測定、評価するという流れで行います。

電子対は崩壊後に他の粒子との反応の影響を受けにくいので、Φの質量がより正確に得られると考えて、従来は電子対崩壊を測定していました。ところが、最新の理論研究でその影響はK中間子崩壊でも小さいということがわかってきました。



先端基礎研究センター マネージャー 佐甲博之氏



ハドロン原子核物理研究グループリーダー 田村裕和氏
(東北大学大学院理学研究科教授)

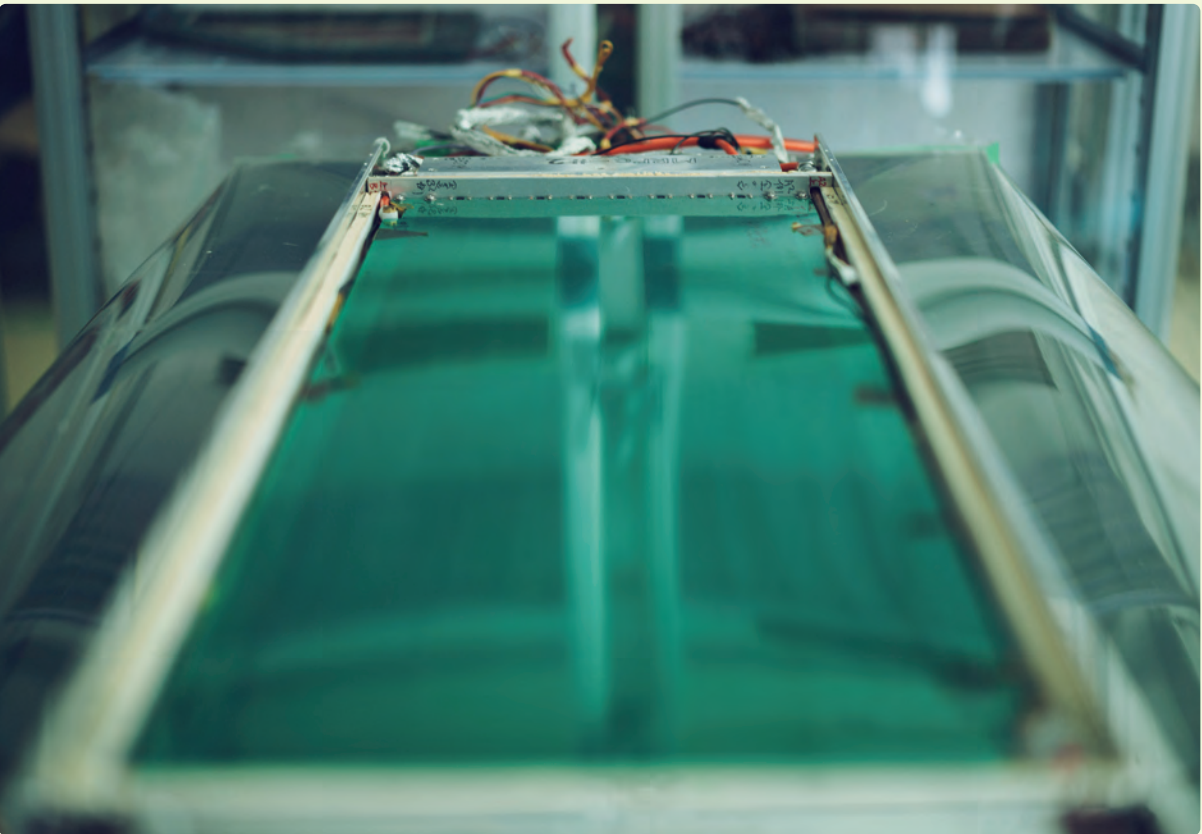
理論を確実に実証するためには、やはり崩壊の確率が圧倒的に高いK中間子崩壊を数多く測定したい。そこで私たちはK中間子対崩壊を精度よく測定する技術確立し、電子対崩壊の測定に比べ数百倍という規模の崩壊事象を測定しようとしています。研究ではまず、大強度陽子ビームを原子核標的に照射し、原子核内にK中間子を生成。その後起こるK中間子対崩壊を測定します。この質量の測定のとときに、世界初の試みとしてK中間子のスピン（小さな磁石）を同時に測ろうとしています。スピンの向きによって質量が異なるというとても不思議な現象が予想されていて、それも世界で初めて測定したいと思っています。

先ほど話に出てきた大強度陽子ビームの照射実験は、JAEAと大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構(KEK)が共同で運営している大強度陽子加速器施設「J-PARC」内、ハドロン実験施設で行います。世界最高レベルの強さの陽子ビームを直接使ったり、さまざまな二次粒子へ変換したビームを使って研究を行うことができる世

界有数の施設です。こうした世界最先端の実験ができるのも、原子力施設を保有し管理するJAEAだからこそ可能なのです。

最先端だからこそ装置は独自で開発。
研究のすべてが“未来の当たり前”に貢献。

現在取り組んでいる研究で最終的に解き明かしたいことは、物質の重さがどうやってできているのか、物質はどのようにつくられているのかという、物理学の奥底にある疑問です。繰り返しになりますが、ハドロンは私たちの体や食べ物から、地球、宇宙までをも構成している物質です。そのハドロンの質量はクォークレベルでつくられています。質量獲得機構の証明ができれば、宇宙学はもちろん、医学や工学など、さまざまな研究分野に波及していくでしょう。物理学とはそういう学問なのです。



崩壊したK中間子を識別するための検出器の1つ



独自開発の装置を多数設置している実験室にて



佐甲、田村両氏

私たちの研究とつながる話として、最近話題になっている「中性子星」をご紹介します。中性子星とは、重い恒星が超新星爆発、つまり進化の最終段階で起こす爆発の後、中心に残る半径10km程度の超高密度天体です。名前の通り、中性子（陽子とともに原子核を構成する電氣的に中性の粒子）を主成分としていて、原子から構成される通常の恒星とは大きく異なる性質を持っています。特に、太陽質量の約1.4倍もの物質が閉じ込められていて、その重力の強さは圧倒的といえます。この中性子星が1967年に発見されて以来、地球からの観測で大きさなどはわかってきましたが、中身を見ることができません。しかし強い重力によって密度が高まってくと、やがて原子核よりも高密度状態になり、本来は不安定なクォークの1種、ストレンジクォークという素粒子が自然に安定して発生するはず。さらにハドロンという塊がなくなり、本来閉じ込められているクォークが出てきて自由に飛び回るかもしれない。その姿を観測したい、ならば中性子星と同じ状態を地上につくり出せばいいんだ。というのが、私たちが次に取り組みたいと思っている研究テーマの一つで、「J-PARC-HI（ジェイパークハイ）」と名づ



多様な知識を持つ研究者同士の情報交換が新たなアイデアに繋がる

けた計画です。高エネルギー原子核衝突によって、宇宙における最高密度の物質を創り出すことができれば、その物性と相構造の解明を目指すことができるのです。

ハドロン物理学実験の研究は既存の装置を購入して進められるようなものではありません。新しい実験のために新しい装置、新しいシステムを開発するところからスタートします。今回も既存の検出器に新たな3種類の検出器を導入して進めています。長い時間と手間がかかりますが、確立した新技術や手法は、実験によって解き明かされる自然界の基本法則とともに、別の研究分野にまで波及し、“世の中の安全”、“未来の当たり前”に貢献していくと確信しています。

先端基礎研究センターでは研究者による一般の方向け講義や学生向け実習、J-PARCでは施設見学を行っているので、少しでも興味を持たれた方はぜひ足を運んでください。特に物理学や工学、宇宙科学に興味のある高校生や大学生の皆さん、一緒に宇宙の謎、質量の起源の実態を解き明かしてみませんか。