

季刊誌



J-PARC

Japan Proton Accelerator Research Complex

No. **0**

2015 夏

SUMMER

創刊準備号

素粒子物理から「はやぶさ2」のサンプル分析まで

特集

ミュオンで世界を
透視する！

<http://j-parc.jp>

特集

ミュオンで世界を 透視する！

素粒子物理から「はやぶさ2」のサンプル分析まで



近年、ミュオンを用いた研究が脚光を浴び始めている。

ミュオンとは、素粒子の一種である。J-PARCの物質・生命科学実験施設のミュオン実験施設では、世界最強のパルス状陽子ビームで、高速から超低速まで幅広いエネルギーのミュオンを生成し、研究に利用している。

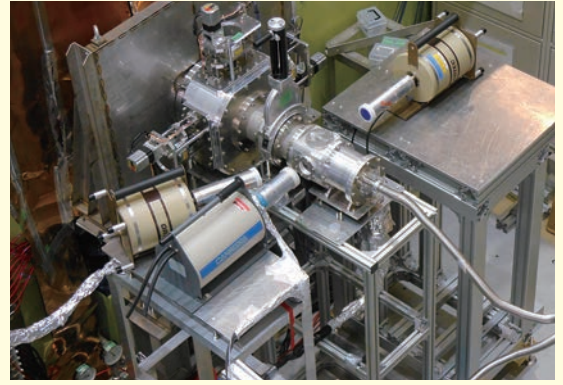
素粒子物理の研究では、ミュオンの挙動を精密に測定することで、世界を構成する物質の起源や時空の対称性に迫ろうとしている。物性研究では、ミュオンの透過力の高さを利用して、物質内部の情報を詳細に分析する手法として利用されている。ミュオンを用いた研究は、まさに世界を「透視」しているのだ。

写真：J-PARCの物質・生命科学実験施設にあるミュオンビームライン
他のいくつかのビームラインとともにミュオン実験装置群MUSEを構成する

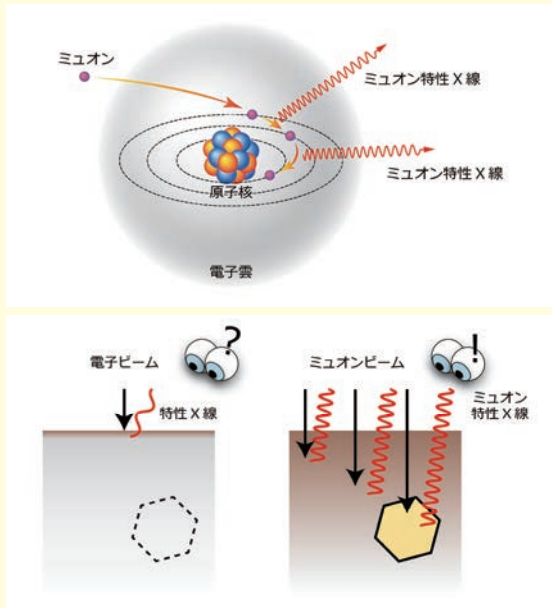
物質を透視する新しい眼—ミュオン非破壊分析

ミュオンは物質の透過性が良く、エネルギーの高いミュオンは速度も速く物質の奥まで到達し、低エネルギーで速度の遅いミュオンは物質の表面で止まる。この性質は非破壊分析の優れた手法として活用でき、エネルギー強度を変えることで小判や青銅鏡などの考古資料や隕石資料などの貴重なサンプルを、表層から内部まで傷つけずに連続的に分析できる。

J-PARCやその前身である高エネルギー加速器研究機構の陽子加速器では、古くからこの手法の開発に取り組んでいる。



J-PARCのミュオンD-2ラインに設置したミュオン非破壊分析装置



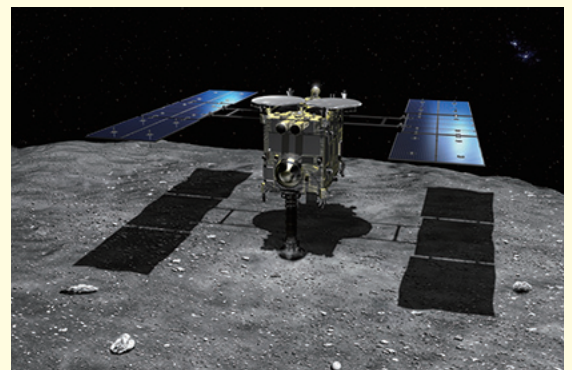
ミュオンにはプラスの電荷を持つ正のミュオンとマイナスの電荷を持つ負のミュオンがある。負のミュオンは、質量が電子の約200倍で、電子と同じ電荷を持った素粒子であり、多くの点で電子と似た性質を持っている。なので、電子の代わりに負のミュオンが原子核の周りを回るミュオン原子を作成することができる。ミュオン原子からは、元素ごとに特有の特性X線が発生する。このミュオン特性X線はエネルギーが高く、物質の透過性も高い。

電子線を当てて発生する特性X線を検出する方法では、試料の表層のみしか分析できない。一方、ミュオンを用いた分析では、ミュオン自身の高い透過力により試料の深部までミュオンを特定の深さをねらって打ち込むことができ、打ち込んだ箇所から発生するミュオン特性X線の透過力の高さから、物質内部の元素組成とその空間分布を、非破壊で詳細に調べることができる。

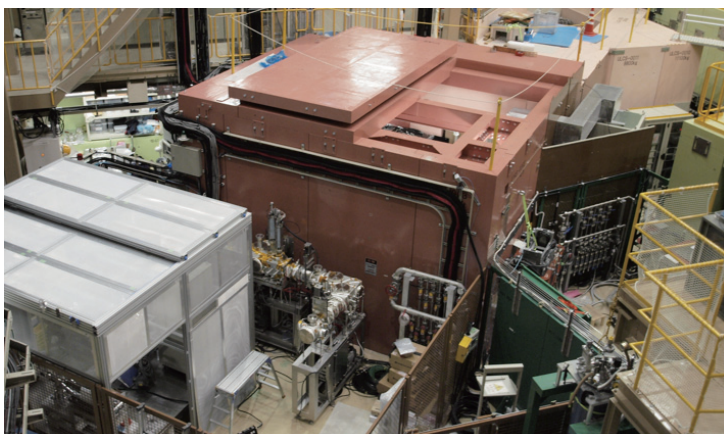
ミュオンを用いた非破壊分析は、人類が手にする「物質を透視する新しい眼」なのだ。

「はやぶさ2」の分析へ

2014年に大阪大学を中心とする研究グループが開発に成功した新手法では、J-PARCの強力なパルスミュオンを使用することで、隕石模擬試料からの軽元素の深さ方向の分析が可能になった。また実際の隕石試料からも、試料の深部から炭素原子のシグナルを検出した。これらの結果は、隕石試料内部の元素組成を非破壊で分析できることを示唆している。2020年に「はやぶさ2」が持ち帰る試料の分析で、太陽系や生命の起源探査に迫ることも可能になる。



小惑星1999 JU3でサンプルを採取する「はやぶさ2」
(イラスト：池下章裕)



超低速ミュオンの実験などを行うJ-PARCのミュオンUライン

ミュオン研究の新しい世界

J-PARCでは、高速から超低速まで幅広いエネルギーのミュオンを生成することができる。素粒子物理の最先端研究や、試料の非破壊分析だけでなく、半導体・超伝導体・燃料電池など新物質の特性を調べる材料科学・物質科学の分野や、電子伝達などの生命現象の解明、化学反応のダイナミクスの測定など、基礎研究から産業利用まで、ミュオンだからこそできる研究分野が、どんどん広がっている。

ミュオン分析の歴史を紐解く

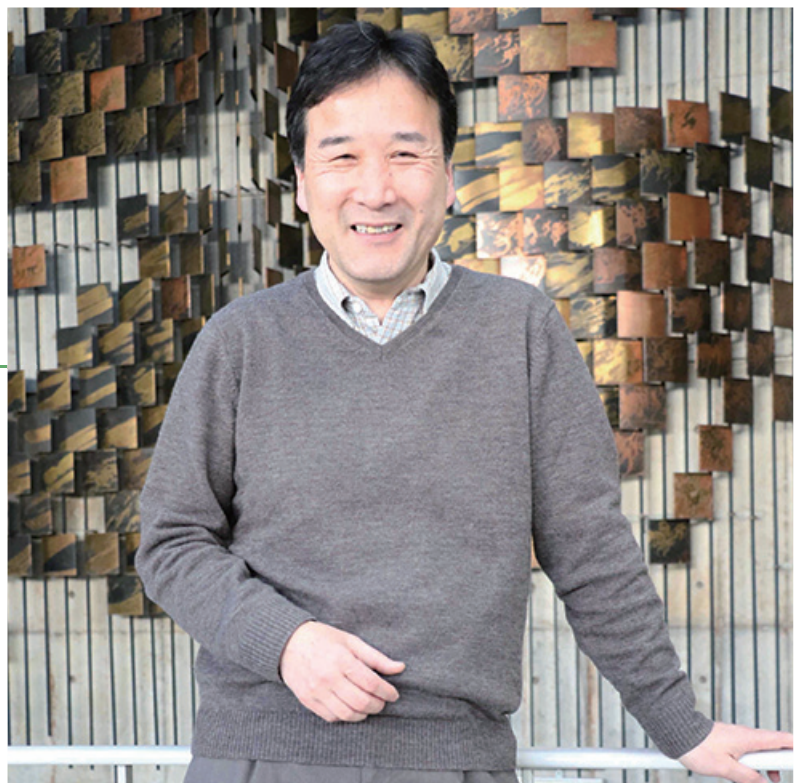
—人とのつながりが新しい世界を拓いていく

国際基督教大学教養学部
アーツ・サイエンス学科
化学メジャー教授

久保 謙哉 さん

透過力の高い素粒子「ミュオン」。この素粒子を使えば、試料に傷を付けずに非破壊で内部組成を分析することができます。昨年J-PARCを含む研究グループがミュオンを使った隕石の非破壊元素分析の手法を確立しました。この手法を用いれば、例えば、探査機「はやぶさ2」の持ち帰る小惑星サンプルを無傷で分析できる可能性があります。そこで、ミュオン非破壊分析の手法の立ち上げに初期から関わってきた国際基督教大学の久保教授に話を伺いました。

聞き手：J-PARC広報 坂元真一・宇津巻竜也



ミュオン非破壊分析の黎明期

—ミュオン非破壊分析に携わった経緯は？

久保 私は1986年から、大学院生として高エネルギー物理学研究所（現在の高エネルギー加速器研究機構。以下、KEK）のMSL^{※1}でミュオンを使って実験していて、正ミュオンが物質に入ったときにどんな化学的な反応をするのかを μ SR法^{※2}で見えていました。ミュオン自体は50万分の1秒で崩壊するのですが、それを使って化学的性質を調べるって普通の人がありません。やっていないようなことを研究していました。負ミュオンでは、対象となる物質によってミュオンの見かけ上の寿命が変化して見えるっていう現象を利用して、その物質の化学的性質と

ミュオンの挙動の関連を追ってたんですね。坂元さん達がKEKで当時やっていた別の実験で、ミュオンを液体や固体の水素に入れて、水素につかまったミュオン特性X線^{※3}を測定していました。それなら、ミュオンX線がいろいろな物質の元素分析に使えるのではないかと思います。とはいっても、その当時からその手法は他の人も提唱していましたけどね。

坂元 歴史的には1970年代、1980年代にミュオンを使った元素分析をやった人達はいるんだけど、それはそこで止まってしまっていましたね。

久保 僕らがやっていた80年代後半もほとんど誰もやっていなかったです。例えばSIN^{※4}っていうスイスの研究所ではケルト人のガラスのプ

レスレットを測定していましたが、分析手法全体の論文としては10報も出ていなかったと思います。坂元さんも骨を測ってましたよね？

坂元 骨粗しょう症の診断用に、骨のカルシウム密度を測るのにミュオンを使おうってトライしたことはありますね。骨の模擬体を使って、深さごとのカルシウムの特性X線を測ろうって。

久保 その実験は結局論文にはならなかったんですけど？

坂元 ならなかったですね。僕らは単発的にやってただけで。システムティックに研究が進むためには何が足りなかったんだろう？ 誰か中心になって意欲的にやろうって人がいなかったから続かなかったのかも知れませんが。

坂元 ミュオンの施設は世界に4ヶ所しかない

用語解説

- ※1 Meson Science Laboratory：中間子科学実験施設。
- ※2 ミュオンスピン回転/緩和/共鳴法：ミュオンを物質に注入し、その物質の様々な性質を解析する方法。
- ※3 ミュオンが物質中で止まると原子に捕まる。すると、ミュオンは原子核の周りをまわり、原子のような状態（ミュオン原子）になる。その時に放出するX線のことをいう。そのX線は、それぞれの原子ごとに特有のエネルギーをもっている、原子の種類を見分けることができる。
- ※4 Swiss Institute for Nuclear Physics、現在のPaul Scherrer Institute (PSI)。この施設でもミュオンを発生できる。
- ※5 当時はKEKとSIN（現PSI）の他に、カナダのTRIUMFとイギリスのISISの4ヶ所。現在もKEKの施設がJ-PARCに変わった以外は、大型の施設は4ヶ所のままである。

- ※6 齋藤努氏。国立歴史民俗博物館研究部情報資料研究系教授。
- ※7 小判は金と銀の合金である。金と銀はイオン化傾向が違って銀の方がイオンになりやすい。そこで製造過程で、例えば硝酸のような銀だけを溶かす薬品で処理すれば表面付近の銀は溶けて金だけが残る。この状態で温めると綺麗な金色になる。江戸時代においては硝酸の代わりに硝磺（硝酸カリウム）などを使用していたらしい。
- ※8 教員が異なる研究機関等において教育研究を行うなどのために、一定期間、研究に専念することができる制度。
- ※9 黄金の小判を壊さず検査（KEKホームページ内の記事参照）
<http://legacy.kek.jp/newskek/2009/janfeb/J-PARCMuon2.html>
- ※10 二宮和彦氏。現在は大阪大学大学院理学研究科化学専攻助教。
- ※11 寺田健太郎氏。大阪大学大学院理学研究科宇宙地球化学専攻教授。

⁵ので、ミュオンがそんなにいるなとところで利用できるソースじゃないってのもありますね。

久保 ミュオンを使った非破壊分析は、実験できる場所もなければ中心になる人もいない、あとはミュオンの実験装置のマシナタイムの取り合いになるので、他の人達を説得できなければ使えませんでしたしね。

同級生との出会いと訪れる転機

— 何がきっかけで状況の変化に？

坂元 1999年ごろにミュオンのシンポジウムを開催したときに、国立歴史民俗博物館（以下、歴博）の齋藤さん⁶から、小判をミュオンで測れないかって話があった。

久保 そうでしたっけ？ 全然覚えてない…多分、ミュオンを使って深さ方向に分析して面白いものはないかって話を彼にしたんだと思います。

坂元 それがかきかけとなって、齋藤さんにも加わってもらい、KEKで実験を始めたのが、2000年でしたね。

久保 僕は化学の出身ですが、学生の時の研究室の先輩たちが考古学に随分興味を持って、青銅鏡の産地分類をしている人がいたり、先生も「考古学と化学」って本を編集していたりして、考古学には馴染みはあったんです。実は、齋藤くんは大学の同級生で、彼は分析化学の研究室にいて、博士号を取ったあとに歴博に行って、日本刀の分析とかやっていたんですよ。刀鍛冶がどうやって刀を作っていくとか、その間に金属組織がどう変化していくとか。他にもいろんなことをやりましたね。それで、当時の彼とそういう話をしているときに、こういう分析法があるよってミュオンを紹介したのかも。ちょうど彼が小判を測り始めた頃かな？ 10何種類かの小判を測って、金の濃度の変化を表面から中に測っていくって。先日その最新の論文をもらいましたけど、彼は10数年、小判の分析をやっていたんですね。それで、ここが一番面白くて、なんで小判の表面だけ金色なのかってきちんとデータが出たそうですよ。色揚げ⁷っていうやつ。

KEKでの実験開始

— KEKでの実験初期は苦労されました？

久保 KEKで実験していた頃は負ミュオンのビームが弱くて、データが溜まるのにも待っている時間が長かったですね。1つのデータを取るのに12時間とか20時間とかかかっていた。

坂元 3日4日泊まりこみで実験したりね。

久保 坂元さんと小判の分析をやる前に、深さ方向に違うものが測れるって実験もしましたよね。

坂元 ミュオンを使うメリットとして、非破壊であるとともに深さ方向にミュオンが止まる場所を変えて、元素の分布を見られる可能性があるってことでやってみたんですよ。アルミと銅の板を合わせたものを用意して、アルミの側からミュオンを入れたんです。それで、アルミの厚さを変えていったときの変化を見ようって。本当は試料を変えずに、照射するミュオンのエネルギーを変えればエレガントな実験なんだけど、当時のKEKの装置ではエネルギーを下げるとミュオンの数が極端に減って実験にならなくて。なので、エネルギーを変える代わりにアルミを厚くするとミュオンが銅まで届かないから、同じ効果が得られるって。今となっては原始的な手法ですけどね。

久保 発生するミュオンの量が少ないので、バックグラウンドノイズが高くて解析が大変でした。

坂元 KEKでは実験装置のスペースの制約もありましたしね。何重苦って環境でした。

久保 その当時、アイデアとしては、実は「はやぶさ」っていうか、まだその名前が付く前の「MUSES-C」の持ち帰るサンプルの分析ができないかって考えてたんですよ。でも、J-PARCができるまでは、ビームが弱くてとても普通に分析できる状態ではなかったですね。

J-PARCの立ち上げ

— J-PARCができたときはどうでした？

久保 2008年に僕はサブパティカル⁸だったので、J-PARCミュオン施設の立ち上げに参加させてもらっていました。9月ころかな？ 一番最初のビームが出たときに、その最初のビームをとら

えた検出器も僕が組み立てました。それで、その年の12月25日のクリスマスに、最初に分析したのが小判なんですよ。ホンの30分ぐらいですね⁹。その次の4月に二宮くん¹⁰が参加してくれて、彼も昔からの知り合いなんですけど、彼をミュオン分析に誘ったことで、ようやく人と装置が揃って、実験が進み始めたって感じです。

坂元 実験を中心的に進める人がやっと現れましたね。

「はやぶさ2」との接点

— 「はやぶさ2」との接点はどこで？

久保 首都大の海老原さんって人が、隕石の研究してる寺田さん¹¹や「はやぶさ」の解析に携わっている人たちを紹介してくれたんです。海老原さん自身、「はやぶさ」のサンプル解析をされているんですけどね。それで、ミュオンを「はやぶさ2」のサンプル分析に使うのがいいんじゃないかってことで、僕と寺田さんを結びつけてくれたんですよ。それで、実は、この海老原さんも古くからの知り合いで、僕の最初の論文の共著者なんですけどね。

— 人とのつながりがミュオン分析の新しい世界を拓いていった感じですね。最後に「はやぶさ2」について一言お願いします。

久保 サンプルの分析はなかなか難しいかも知れませんが、ミュオンの実験装置の人たちもビーム強度の向上や小さなサンプルにも対応できるように一生懸命努力されています。サンプルを非破壊で、なおかつ軽元素を分析できる手法はミュオン分析しかないの、例えば炭素や窒素が小惑星サンプルの中にどういふふうに分布しているのか知ることができるので、その面で分析に貢献できると思います。

PROFILE

久保 謙哉 (くぼ けんや)

1959年 福岡県生まれ
1989年 東京大学大学院理学系研究科修士理学博士
1989年 東京大学理学部化学科助手
2002年 国際基督教大学助教授を経て
2009年より現職

ミュオンの研究を始めたきっかけ

化学の実験室で試験管やフラスコを振っているだけでなく、他所の施設の大型機械で実験をするのが楽しかった。いろいろな大型機械を使っていく中で、教授のすすめもあってミュオンの実験を始めました。



ミュオンが拓く新しい未来

— 世界を変える新しい技術

J-PARC物質・生命科学実験施設

ミュオンセクション

高エネルギー加速器研究機構

物質構造科学研究所研究主幹

三宅 康博 さん

J-PARCでは、数eV（電子ボルト）の超低速から100MeV（メガ電子ボルト：メガは10の6乗=100万）の高速に至るまで幅広いエネルギーをカバーする、世界でも最先端のミュオン実験装置群を備えています。世界最高強度のパルスミュオンを用いることで、素粒子物理学や物性材料研究など基礎科学研究から応用研究まで多岐にわたる分野の研究活動を行うことができます。これらの実験装置群を担当している三宅教授に、J-PARCのミュオン装置について伺ってみました。

聞き手：J-PARC広報 宇津巻竜也



ミュオンとは何か？

— J-PARCのミュオン装置について教えてください

三宅 ミュオンは素粒子ですが、宇宙から降り注いで地上にたどり着く宇宙線の7割がミュオンなんです。そういう意味では人類に最も身近な存在の素粒子と云えます。宇宙空間には高エネルギーの陽子が飛び回っていて、たまたま地球の大気圏に飛び込んでくる陽子もあります。このように飛び込んできた陽子は、大気圏の酸素や窒素などの原子核の中の陽子、あるいは中性子と原子核反応して、その結果、 π （パイ）中間子や、K中間子など、いわゆる中間子と言われるものが大量にできます。 π 中間子は寿命が26ナノ秒（約4000万分の1秒）なの

で、あっという間にミュオンとニュートリノになります。降り注ぐミュオンは結構な頻度でやってきていて、掌を広げてみると、1秒に1個ぐらいの割合になります。

宇宙線ミュオンを用いて人類に役に立つ事も行われています。永嶺先生^{※1}が始められたことなのですが、宇宙線由来のミュオンを使って、山のレントゲン写真を撮って噴火予知をしましょう^{※2}とか、高崎先生^{※3}は、福島原子炉の中の溶けたもの（デブリ）がどういふふうになっているかを見ようとか、皆さんの身近なところでも使われはじめています。

宇宙線ミュオンによるレントゲンはパワフルな手法ですが、残念ながら1秒に1個ぐらいしか降ってこないの、火山のレントゲン写真も1枚撮るのに1ヶ月から1ヶ月半かかってしまいます。

物性を調べたりするには、もう少し短い時間でわからないと、現実的には使えないということになります。1970年度代から、陽子加速器を使ってミュオンを作る研究所が、カナダとスイスとイギリスにできてきました。 π 中間子を作るには、陽子のエネルギーが400MeVぐらいないと核反応が起こりにくく、 π 中間子がなかなか生まれません。そこで、400MeVを越える、3GeV（ギガ電子ボルト、ギガは10の9乗=10億）もの高いエネルギーの陽子を使って、人工的に π 中間子を作って、その π 中間子からミュオンを作りましょう、というのがJ-PARCのミュオン施設MUSEで我々が行っていることになります。

用語解説

- ※1 永嶺謙忠（ながみねかねただ）氏。元KEK教授。理化学研究所名誉研究員
- ※2 宇宙線ミュオンラジオグラフィ。X線によるレントゲン写真のように、ミュオンが物体を通過するときの透過率を検出器で可視化する。ミュオンは透過力が非常に高く、また宇宙からたくさん降り注いでいるので、X線では測定できないような屋外の巨大な構造物も測定できる。
- ※3 高崎史彦氏。元KEK教授。元素粒子原子核研究所所長。
- ※4 China Spallation Neutron Source。中国核破砕中性子源。
- ※5 素粒子の有り方と振る舞いを記述する理論。自然界の4つの基本的な力の

- うち、強い力・弱い力・電磁力の相互作用について記述している。
- ※6 J-PARCの陽子標的の中にできるミュオン原子を活用して、ミュオンが電子に転換される過程を超高感度に測定する実験。
- ※7 素粒子が磁場の影響の受けやすさを表す定数が磁気能率。ミュオンではおよそ2であるが、異常磁気能率とはこの数値からのズレを指す。この値を精密に測定することで標準模型を超える新しい理論が見つかる可能性がある。
- ※8 大きさが等しい正と負の電荷が空間的に離れて存在することで生じる電荷分布の偏り。現在の宇宙で物質が反物質よりもはるかに多いことを説明する「CP対称性の破れ」の新たな起源を探索する方法として期待されている。

世界最高出力のパルスミュオン

— J-PARCのミュオンの特徴はどのようなものでしょうか？

三宅 ミュオンの発生の方は直流状(DC)にずっとミュオンを出し続ける施設と、交流状(AC)に一定の間隔ごとにパルスミュオンを出す施設と2種類あります。J-PARCでは、周期が25ヘルツ、40ミリ秒毎にパルスミュオンが作られます。パルスミュオンの研究所は、他にはイギリスのラザフォード・アップルトン研究所のISISという施設がありますが、J-PARCでは2009年にISISのビーム強度出力を抜いて、パルスミュオンとして世界最高強度を達成しています。それ以降も加速器の人たちのご尽力でどんどんビーム強度出力が上がってきていますので、世界記録を我々自身で更新し続けています。

最近では、大阪大学の核物理研究センターにDCミュオンの実験施設が完成しました。韓国にもDCミュオン源が計画されていますし、中国のCSNS^{*4}でもパルスミュオン施設が計画されています。アメリカのフェルミ研究所でもミュオン実験を始めようという話もありますので、世界中にミュオン施設がどんどん増えてきています。

広がるミュオン研究の領域と新たな素粒子理論への挑戦

— ミュオンの優位性が世界に認知されつつある？

三宅 認知されつつあるんじゃないですかね。ミュオンには正の電荷を持ったミュオンと負の電荷を持ったミュオンとあります。正負のミュオンの物質研究や、それらを使った物性研究、物質材料科学研究、最近では生物学や、リチウム電池のような産業利用にとどまらず、「はやぶさ2」の人たちが計画されている研究では、惑星から持ち帰った元素の微量分析に使われることも検討されています。

また、基礎物理のような物事の本質を見極める研究も計画されています。ミュオンは第2世代のレプトンです。電子が第1世代で、タウオンが第3世代です。素粒子物理の標準理論^{*5}では考えられないような、第2世代のレプトンか

ら第1世代のレプトンへの転換が実は起きてるのではないか、ということを実験的(DeeMe実験^{*6})に確かめようという実験が計画されています。あるいは、ミュオンのg-2(異常磁気能率)^{*7}やEDM(Electric dipole moment:電気双極子能率)^{*8}など、素粒子物理の新しい研究も計画されています。

J-PARCはとにかくミュオンの強度が大きいという強みがあります。昔のKEKでは1秒間に 10^4 個ぐらいのミュオンが得られていたのが、J-PARCでは1秒間に $10^7 \sim 10^8$ 個のミュオンが得られます。昔だと半日ぐらいかかっていた実験が、今では分の単位で済みます。そうすると、物の瞬間的な状態を調べるだけじゃなく、過渡的な現象(ダイナミクス)もとらえられるようになります。他人の受けりですが、演劇に例えると、中性子やX線を使えば、舞台全体や舞台装置がどういふふうになっているか(物質の構造)が分かる。一方で、ミュオンでは、舞台上で俳優さんがどういふふうに動きまわってるかがわかる。つまり、マイクロなダイナミクスの情報を得ることができるわけです。物性研究や物質研究の観点では、両方のプローブを用いて調べることによって、ものの性質がよりよく分かるわけです。J-PARCには中性子もあるしミュオンもあります。相補的で相乗効果なプローブが同一場所に存在しているわけです。

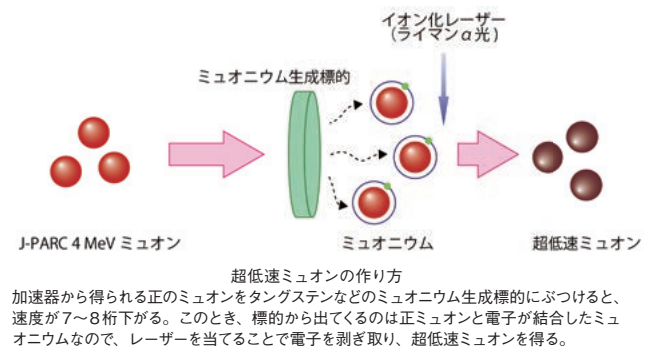
負ミュオンについて

これまで、負ミュオンを使った研究はあまり行われてきませんでした。どうしてかという、負のミュオンは正のミュオンと比べてなかなか作りにくいということがあります。他所のミュオン工場では、正のミュオンのだいたい1/10ぐらいです。一方J-PARCでは陽子のエネルギーが3GeVなので、他所に比べて負ミュオンの強度がはるかに大きいという特徴があります。陽子のエネルギーが高いと、正のミュオンの生成断面積は飽和しますが、負のミュオンの生成断面積はどんどん増えて

いき、高いエネルギーから低いエネルギーの負ミュオンまで取り出せるようになります。そうすると試料の好きな所でミュオンを止めることができるので、試料の浅いところでも深いところでも分析できます。これは他のミュオン施設では難しいといえます。J-PARCの独擅場のフィールドと言ってもよいかもしれません。負のミュオンを使った研究は、どんどん増えてますし、成果も出てきています。

最新技術 - 超低速ミュオン

J-PARCミュオン施設の一番の売りは、超低速ミュオンです。私自身もう30年ぐらい携わっています。正のミュオンは、演劇でいうところの舞台俳優さんがどのように動きまわるかを見るのには、ものすごく素晴らしい粒子と申しました。一方、最近は薄膜とかナノ構造とか、これまでなかったような新しい性質を持った材料が出てきています。これらの材料を分析するときに、加速器から直接得られる正のミュオンだとエネルギーが高いので、必要以上に物質内部に入ってしまう、材料の奥の方しかわからないということになります。そこで、ミュオンのエネルギーを極端まで低くしたのが超低速ミュオンです。加速器から出てきた正のミュオンを、高温のタンゲステンに打ち込んで、レーザーと組み合わせることによって、7桁から8桁ほど低速で質の良いミュオンが得られます(下図)。そうすると、例えば薄膜の多層膜でも各層の内部や各層の界面で何が起きているかわかります。これは他の手法では全く不可能ですし、この手法でいろんなものが見えるようになれば、世の中が全く変わるわけですね。



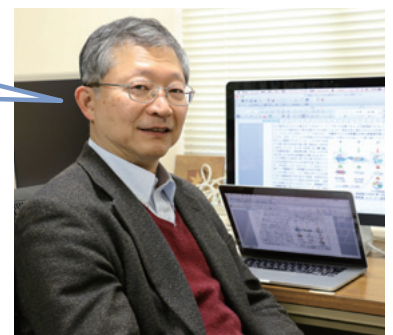
PROFILE

三宅 康博 (みやけ やすひろ)

1956年 大阪府生まれ
1984年 東京大学大学院原子力工学系修了
工学博士
1986年 日本原子力研究所入所
1986年 東京大学理学部中間子科学実験施設
助手・助教授を経て、KEKと東大中間子科学実験施設が合併される。2004年より現職

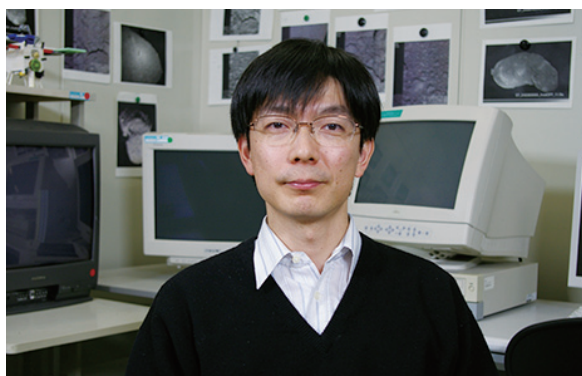
ミュオンの研究を始めたきっかけ

学部、修士過程では、陽電子の研究に携わっていました。ちょうどその頃、陽電子と陽子の間の質量を持つミュオン実験がカナダのTRIUMF研究所で活発に行われ始めていました。さらに、つくばのKEK内に東京大学理学部中間子科学実験施設でパルスミュオン施設が誕生しようとしていたこともあり、ミュオン研究に引きつけられました。



「はやぶさ」では岩石質な天体（S型小惑星）からのサンプルを持ち帰ることに成功し、地上の最新で高性能な分析機器で分析を行うことができ、小惑星の形成史に関わること、小惑星の表層で起きている現象について様々なことが明らかになりました。「はやぶさ2」やその後のサンプルリターンミッションでは、「はやぶさ」で探査しなかった別のタイプの小惑星（C型小惑星など）からのサンプルを持ち帰る予定ですが、そのサンプルの特徴は、有機物や水などの揮発性物質や軽元素を含んでいる可能性があることです。地球の海の水や私たちの生命の源である有機物がどのように地球にもたらされたのかはまだよくわかっていません。「はやぶさ2」などが持ち帰るサンプルの分析を通して、その答えが得られることを期待しています。また、持ち帰るサンプルには、太陽系のより古い時代の記憶が残っていると考えられており、太陽系形成以前からの物質が見つかるかもしれません。こういった物質の特徴や成因、形成年代、形成環境や現在までに辿ってきた記録が分析によって明らかになれば、太陽系の歴史や太陽系形成以前の歴史が紐解かれる可能性もあり大きな期待をしています。

JAXA「はやぶさ2」関係者から



PROFILE

安部 正真 (あべ まさなお)

JAXA宇宙科学研究所准教授
博士（理学）、専門は惑星科学
月・惑星探査プログラムグループはやぶさ2プロジェクトチーム
「はやぶさ2」では近赤外分光計（NIRS3）とサンプルキュレーションを担当。