



報道関係各位

2026年4月20日

大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構

KEK 参加のミュオン $g-2$ の精密測定にブレークスルー賞

～半世紀かけ 7 桁に迫る標準理論の検証を評価～



米ブルックヘブン国立研究所 (BNL) に設置されたミュオンの異常磁気能率測定用超伝導蓄積リング (BNL 提供)

米グーグルの創業者ら米国の IT 起業家らが出資するブレークスルー財団が主催する自然科学の国際的な学術賞「ブレークスルー賞」が 4 月 18 日 (日本時間 4 月 19 日) に発表されました。基礎物理学部門では、欧州合同原子核研究機関 (CERN)、米ブルックヘブン国立研究所 (BNL)、米フェルミ国立加速器研究所 (FNAL) で引き継がれてきた素粒子ミュオンの異常磁気能率 ($g-2$) の精密測定の結果が選ばれました。これらの国際共同実験には KEK の研究者も加わっており、山本明博士ら 4 人の名誉教授が受賞者に含まれています。

CERN、BNL、FNAL へと引き継がれた実験手法の確立、BNL での新たな超伝導磁石技術の導入、FNAL での世界最強の加速器ビーム強度での究極的観測 (統計) の実現という半世紀にわたる国際協力連携によるミュオン $g-2$ 測定の 7 桁に迫る絶対数値の成果が、高く評価されました。現在の素粒子物理学・標準理論の検証における究極的で重要な実験の達成に対しての国際的な評価となります。

KEK では茨城県東海村の大強度陽子加速器施設 (J-PARC) で、これまでとは異なる実験手法によるミュオン $g-2$ の測定実験を行うことにしています。2030 年代の開始を目指しており、今回受賞対象となった成果を引き継いで新しい物理の探索に挑戦します。

概要

素粒子物理学の標準理論は多くの現象を極めてよく説明しますが、重力やダークマター (暗黒物質) を説明できないなど「完全」とは考えられていません。標準理論を検証する実験として、電子に似た素粒子であるミュオンの磁氣的性質を示す「異常磁気能率」($g-2$) と呼ばれる量の測定があり、標準理論による値と実験値のずれを精密に調べることが、重要課題となっています。ずれが見つければ、未知の粒子や未知の力といった新しい物理学の突破口になる可能性があるためです。

非常に高い精度の検証が大切で、ミュオンを閉じ込める蓄積リングでのミュオンの運動方向 (円周方向) のリング磁場の一様性がカギになります。

1960~70 年代、CERN で行われた実験で初めて、意味のある精度の測定に成功し、1990 年代には BNL での実験で精度が大幅に向上しました。これは高性能の超伝導蓄積リングが大きな貢献をしており、2013 年には 50 トンもあるこの蓄積リングコイルを分解せずに水路と陸路の計 5100km 運ぶことで FNAL に移設しました。FNAL では BNL より強い陽子ビームが利用でき、実験精度が上がると期待されたためです。実際、FNAL での実験では CERN 実験との比較で精度が約 3 万倍向上しました。

これらの国際共同実験には、KEK から複数の研究者が極めて本質的な貢献を果たしています。特に BNL 実験では、日米科学技術協力事業として実験装置の基幹部分にあたるアルミ安定化超伝導コイル技術によって実現された超伝導蓄積リングおよびミュオン入射超伝導磁石 (インフレクター) の開発で、KEK の以下の研究者の業績が高く評価されました (いずれも KEK の前身である旧文部省高エネルギー物理学研究所時代の業績です)。

平林 洋美 名誉教授 (元低温センター長・共通研究系センター総主幹・教授) = 故人

山本 明 名誉教授 (元超伝導低温工学センター長・教授)

遠藤 有聲 名誉教授 (元加速器研究施設加速器第二研究系教授)

水町 芳彦 名誉教授 (元加速器研究部加速器第三研究系教授)

黒川 眞一 名誉教授 (元加速器研究施設加速器第一研究系教授)

ブレークスルー賞の受賞者は存命者に限られるため、今回は山本名誉教授、遠藤名誉教授、水町名誉教授、黒川名誉教授が BNL 実験への貢献で受賞しました。

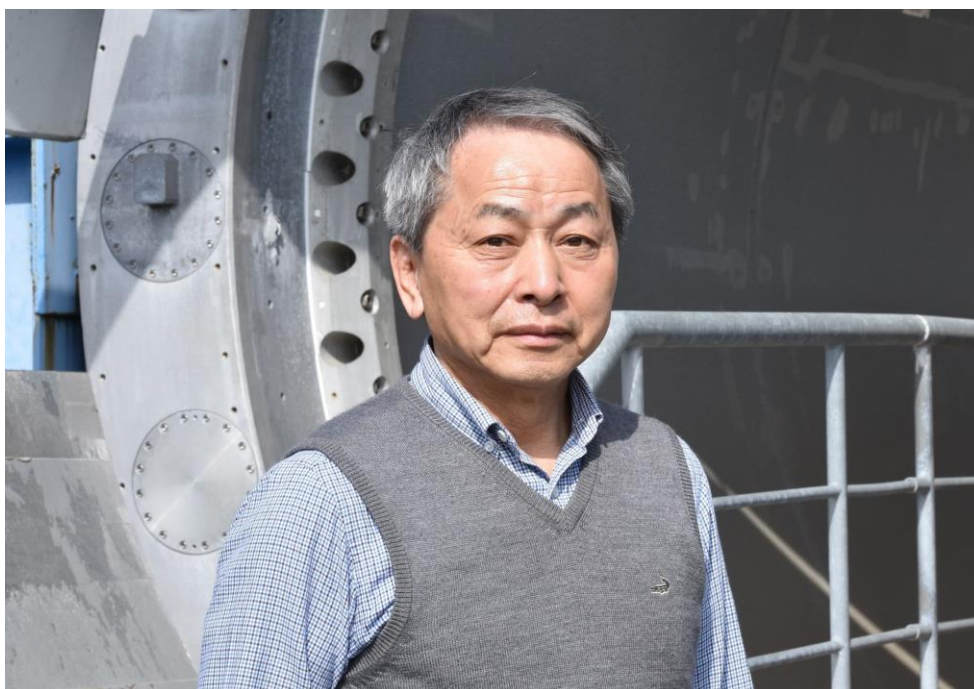
BNL でのミュオン $g-2$ 実験に KEK が参加したきっかけは、山本名誉教授が平林名誉教授を介して BNL ミュオン $g-2$ 実験に関わる米国研究代表者 (エール大学のバーノン・ヒューズ博士) から「超伝導磁石技術を用いた切れ目のないリング磁場」の開発協力を求められたことでした。

当時、KEK では世界でもまだよく知られていなかったアルミ安定化超伝導磁石をすでに完成させていたことから、山本名誉教授はこのアルミ安定化ニオブチタン (NbTi) 超伝導線を応用する大型リングの設計を提案しました。

BNL との 1 年以上にわたる協議を経て本格的な日米共同開発が始まり、鉄ヨーク磁極部分に配置する高純度の鉄磁極 (ポールピース) の設計・開発に尽力した遠藤名誉教授、ビーム測定技術開発における水町名誉教授、ミュオン蓄積リング設計における黒川名誉教授ら KEK の加速器研究をけん引する研究者が加わり、平林名誉教授とともに米国研究者・技術者と協力して、開発が推進されました。特に KEK トリスタン計画における TOPAZ 実験用アルミ安定化超伝導磁石技術の活用が、開発の礎となりました。

この一体リング型ミュオン蓄積リングの実現によって、ミュオン g-2 の測定感度が飛躍的に向上し、その成果を踏まえ、超大型の超伝導ミュオン蓄積リングは BNL での実験終了後、FNAL に運ばれたのでした。

山本明 名誉教授のコメント



山本明名誉教授。背後に写っているのはトリスタン・TOPAZ 実験用超伝導磁石の実機。この開発の経験が BNL での貢献につながりました

私がミュオン g-2 実験の国際共同研究にたずさわることになったのは、所属していた KEK 物理研究系 (現在の素粒子原子核研究所) で当時ビームライングループリーダーを務めていた平林洋美先生から相談を受けたのがきっかけでした。日米科学技術協力の枠組みの中で、世界に類を見ない精度でのミュオン g-2 の測定のため、直径が 10m を超える超伝導磁石技術を用いた切れ目のないリング磁場を実現できないかという相談でした。1986 年ごろのことです。

「それならば、TOPAZ 磁石で培ったアルミ安定化ニオブチタン (NbTi) 超伝導線を応用して、(ソレノイド型と共通する概念で) 超大型のリングコイルに応用することがベスト」と提案し、その概念設計を担当することになりました。

最初に乗り越えなければならなかった壁は、当時、世界の超伝導磁石技術・低温技術をけん引していた BNL の超伝導・低温の研究者・技術者から賛同を得ることでした。2 年におよぶ激しい議論の末に、しっかりと賛同を得て、私たちの TOPAZ での成功経験を活かした超伝導磁石の技術開発をスタートすることができました。直径 14m の超伝導コイルは、実験現場で巻く(製造する)ことがベストな方策でした。すべてを BNL の技術者の方々と連携した詳細技術設計、製造を行いました。ここでも苦労はありましたが、これはとても楽しいものでもあり、互いに協力し合いながら進めることができたことに深く感謝しています。

私たちのたずさわったこのビーム進行方向(リング磁場)方向に切れ目のない超伝導リング磁石技術によって、BNL のミュオン g-2 測定精度を、CERN での測定精度の桁を超えるまで高めることに貢献したことは確かだと自負しています。その実績から、BNL の実験完了後、BNL のビーム性能限界を超えるビーム強度・性能を有する FNAL での実験構想へ引き継がれました。5000 km を超えるルートを用いた直径 10m を超える超伝導コイル全体を分解することなく輸送するというとんでもない作業を実現したところに米国側の並々ならぬ熱意を感じたのを覚えています。

私は物理実験そのものに関わるというより、それを実験装置や加速器、測定器などを設計開発して技術的に支える立場です。素粒子物理学など自然科学は、さまざまな研究者、技術者が自然というものを相手に真正面から取り組むことで発展してきました。私の時代には冷戦の時代がありましたが、現場では北も南も東も西もありません。みんなが一緒に科学を追求することができました。国際協力があって発展する科学です。研究者、技術者一人一人が主役で、そこに戦争はありません。自然を探求しようという精神は世界の平和につながるものだというのは、私の変わらない信念です。

遠藤有聲 名誉教授のコメント

BNL で超伝導ミュオンリング建設の初期に微力ながら現地でお手伝いできたことを光栄に思っています。当時、日米協力の一環として推進されたミュオン g-2 の精密測定は、磁場の均一性が測定精度にとって重要でした。

BNL で建設された超伝導ミュオンリングは FNAL に移設され、2025 年 6 月 3 日時点での最高精度の実験結果を発表し、役目を終えました。発表されたミュオン g-2 の精度は 7~8 桁ということで、現在の理論値の精度と拮抗し、今後の課題は理論値の精度向上に移ります。J-PARC におけるミュオン g-2 実験に期待しています。

J-PARC での新たな実験

KEK 素粒子原子核研究所では現在、茨城県東海村にある大強度陽子加速器施設 J-PARC で FNAL とは異なる独自の方法でミュオン g-2 と電気双極子能率 (EDM) を測定する実験を進めています。この実験では、ミュオンを冷却・加速することで向きと速さのそろった指向性の高い

ビームを実現し、蓄積リングも従来の 20 分の 1 にすることで磁場の一様性を高めることで、多角的で、高感度な観測装置を実現し、超精密測定を行うものです。BNL、FNAL とは異なる実験を採用することで、装置の癖に当たる「系統誤差」を減らすことを目指しています。三部勉教授がプロジェクトの代表を務めています。

三部勉 教授のコメント

ミュオン g-2 の科学的重要性と前人未到の測定精度達成の取り組みが評価され、今回の受賞となったことはとても嬉しいです。

このような測定精度を達成することは容易ではありません。私たちは FNAL の実験を超える精度を目指して J-PARC で新しい実験の準備を進めています。新しい実験手法であるため実現は簡単ではありませんが、まずは世界初のミュオン加速器の実現にむけて一丸となって研究に取り組んでいます。



J-PARC で開発中のミュオン加速器

お問い合わせ先

<報道担当>

大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構 広報室

Tel: 029-879-6047

e-mail: press@kek.jp