

第 86 回応用物理学会秋季学術講演会 シンポジウム T6 開催報告

「ミューイオンが拓く科学と技術」

Muons Pioneering Science and Technology

企画：応用物理学会放射線分科会

日時：2025 年 9 月 7 日（日）13:30 ~ 16:45

会場：名城大学 天白キャンパス（共通講義棟北 N103 会場 & オンライン）

司会者：武田彩希（宮崎大学）、白井太郎（島津製作所）

ミューイオンは宇宙から降り注ぐ粒子として知られ、ピラミッドなどの大規模構造物や文化財の調査に活用されている。さらに昨年、世界で初めてミューイオンの加速に成功し、新たな応用展開が期待されている。本シンポジウムでは、近年急速に発展するミューイオン技術とその応用に関する最新の研究成果を幅広く紹介するため、「ミューイオンが拓く科学と技術」というテーマで 6 名の講師の方を招待し、講演・議論を行った。シンポジウムの参加者は会場、オンラインの両方で 80 名以上あり、終始活発な議論が行われた。招待講演の概要は以下に示す。

冒頭講演では、大谷将士先生（高エネ研）から「科学と応用を切り拓くミューイオン加速技術の最前線」という題目でご講演頂いた。ミューイオンは物質透過力が極めて高く、天然のミューイオンを用いて大型構造物のイメージングが行われているが、これを人工的に生成したミューイオンに置き換えることにより短時間で高精度のイメージングが可能になる。しかし従来技術では、効率よく加速することは不可能とされてきた。本発表では、ミューイオンを静止に近い状態にし、効率的に加速する技術が開発されたことが報告された。今後、ほぼ光速まで加速することで、暗黒物質解明の糸口や革新的なインフラ検査技術に応用できる可能性や、加速器の小型化の計画について示された。

続く発表では、上岡修星先生（高エネ研）から「J-PARC におけるミューイオン冷却技術の開発とその将来展望」という題目で、加速に不可欠な冷却技術についてご講演頂いた。ミューイオンは寿命が短いため既存の冷却法は適用できず、新たなアプローチが求められてきた。J-PARC では、高効率のミューイオニウム生成標的と高出力の短波長パルス光源を実現するため、特殊加工を施したシリカエアロゲルと長期安定性に優れた全固体線源が開発されている。従来ビームより 8 衍減速された超低速ミューイオンを生成でき、高品質なミューイオンビームが得られる手法であり、その現状と将来展望について概説された。

渡辺幸信先生（九大院総理工）から「半導体デバイスの宇宙線ミューイオン起因ソフトエラー研究の現状と展望」という題目でご講演頂いた。現代社会を支える半導体デバイスにとって、宇宙線によるソフトエラーは深刻な課題である。これまで主に宇宙線中性子が注目されてきたが、近年はミューイオンの寄与も無視できないことが明らかになりつつある。本講演で

は、J-PARC や阪大 RCNP の施設を活用した照射試験により、負ミューイオンが引き起こすビット反転の発生機構が詳細に検討された。世代ごとに進む微細化や低消費電力化が進む中、今後の半導体信頼性確保においてミューイオン起因のソフトエラー現象の解明の重要性が強調された。

永谷幸則先生（高エネ研）から「ミューイオン顕微鏡の開発計画：基礎と展望」という題目で透過型ミューイオン顕微鏡と走査型ミューイオン顕微鏡についてご紹介頂いた。透過型ミューイオン顕微鏡では、透過型電子顕微鏡より厚い試料内部の電磁場分布を観察でき、40MeV 加速のミューイオンを用いてサブミリメートル厚さの試料をナノ分解能観察する計画について紹介された。また、走査型正ミューイオン顕微鏡では、試料表面の磁場強度・向き・時空間ゆらぎ等が3次元マッピングできる。走査型負ミューイオン顕微鏡では、物質表面の元素・同位体・化学状態を3次元イメージングでき、軽元素や同位体にも感度が高く、非破壊イメージング技術として期待されている。

二宮和彦先生（広大N-BARD）から「ミューイオン特性X線測定による非破壊元素分析法」という題目で、ミューイオン原子から放出されるミューイオン特性X線を測定する非破壊元素分析法が報告された。ミューイオンの入射エネルギーに応じた深さに停止させることができあり、またミューイオン特性X線は透過力が高いという特性がある。これにより、物質内部の位置選択的な分析が可能であることが示され、文化財や小惑星試料の解析など実例が紹介された。特に銅鐸の分析では、鋳層を透過して内部組成を明らかにする成果が得られたことが報告された。

最後の講演では、森島邦博先生（名大理）から「原子核乾板による宇宙線ミューイオンイメージング」という題目でご講演頂いた。宇宙線ミューイオンイメージングは他の放射線では可視化が困難な厚さの構造物の内部構造を一度に把握できる革新的な技術であり、国際共同研究「ScanPyramids」を含む実績が紹介された。電力不要で軽量かつコンパクトな原子核乾板は柔軟な設置が可能となり、多地点同時計測による三次元イメージングが実現できる。ピラミッド内部の未知空間の発見や、福島第一原子力発電所の炉心調査など社会的に重要な応用事例が示され、さらにインフラ診断や資源探査など幅広い社会実装への展望が語られた。

本シンポジウムでは、基礎物理学から社会実装に至るまで、ミューイオンが持つ多様な可能性が示された。特に、冷却・加速技術の進展が新しい応用領域を切り拓くこと、半導体信頼性やインフラ検査といった身近な課題にも直結することが印象的であった。ミューイオン科学は今まさに転換点にあり、本シンポジウムはその最前線を共有する貴重な場となった。今後、加速器科学・物質科学・産業応用を横断する研究が進展することが期待される。