

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 「原子核時計」実現に向けた原子核量子計測技術の開発

2. 個人研究者名

山口 敦史（理化学研究所開拓研究本部 専任研究員）

3. 事後評価結果

精度世界一の時計の開発にトリウムの同位体 Th-229 を用いて取り組む野心的な課題である。Th-229 原子核の遷移エネルギーは 8.3eV と他の原子と比べて格段に小さく、紫外領域レーザーで励起できる唯一の原子核であり、寿命も約 5000 秒と長い（線幅が約 1mHz と狭い）ために理論的には世界一の精度が得られると期待される。山口博士は、この遷移エネルギー 8.3eV [149nm] を、カロリメータを使った精密ガンマ線分光で確定し、現在の世界最高の $1e-18$ の時計精度と比較して一桁優れた $1e-19$ 程度の時計精度が得られる可能性を示した。そこで山口博士は、原子核時計の実現にむけて、Th-229 イオンを捕獲（イオントラップ）し、捕獲されたイオンをレーザー冷却し、原子核遷移をレーザーで正確に誘起して時計として開発することに取り組んだ。

まずは、ウラン (U-233) を板状に加工し、その板の中の U-233 のアルファ崩壊から十分な量の Th-229 が高速に出射する状況を確認した。この高速 Th-229 イオンを He バッファーガスチャンバー内で減速して電価 3+ に整え、RF カーペットによるイオンのフィルター、輸送、そして最終目標のトラップまで行う機構を作り上げ、Cs+ イオンを用いたテストを経たうえで、実際に Th-229 の 3+ に相当する質量分析結果を得た。またトリウムイオン捕獲に関する実験に関してはより安全な Th-232 同位体を使い、実際の捕獲にも成功し、Th-232 の電子励起レーザー分光を実施し、トリウム 1+ イオンだけを選択的に発光させて寿命を測ることに成功した。限られたさきかけ研究期間でここまでの発展を得たことは驚異的で、今後は Th-232 (3+) のレーザー冷却、Th-229 (3+) のレーザー冷却、Th-232 (3+) と Th-229 (3+) の同位体シフト測定、Th-229 (3+) のアイソマーシフト測定を行い、アイソマー状態の Th-229 イオンのレーザー冷却を実現したうえで原子核の超精密レーザー分光を行う。そのためには遷移エネルギーに相当するレーザーを開発することも必要となる。

本研究の出口は世界最高精度の時計であるが、その過程において原子核物理学の本質に迫る分光結果が次々と得られることに疑いがない。文字通り世界をリードする素晴らしい研究である。