



東京大学総合研究博物館タンデム加速器分析室 (Micro Analysis Laboratory, Tandem accelerator: MALT) 訪問記

高橋 美和子
Takahashi Miwako

東京大学総合研究博物館タンデム加速器分析室は Micro Analysis Laboratory, Tandem accelerator: MALT として知られ、東京大学浅野地区の一角にある。木々が生き茂る中に立地し、アカデミアらしい落ち着いた空気が漂い（写真1）、松崎浩之先生の雰囲気そのものである（写真2）。ここは対照的に病院地区には高層建物の建物が相次ぐが、私が長らく勤務していた附属病院の核医学部門内にもサイクロトロン加速器が2基設置されており、これにより製造された短寿命核種を用いた放射性医薬品を患者さんに投与し、PET 撮像することで核医学診断を行っていた。実習の学生さん等にサイクロトロン室やホットラボ室を見学してもらうと、院内にこのような大型装置があるのかと、いつも驚かれた。同じように、今回、MALT を訪問し、実際にその設備を見ると、外の雰囲気や外観からでは想像つかない大型で精密機器が擁されていることに驚く。



写真1 この樹木の先に東京大学 MALT がある

1. タンデム加速器とは？

タンデム加速器は、タンデム自転車と同様に、加速される部分が2段階あるのが特徴である（写真3）（図1）。タンデム加速器の入口と出口は接地電位（ゼロ電位）で、中央部が正の高電圧となっており、負イオンが入射すると、入口と中央部の間の大きな電位差によって加速される。中央部にはストリッパという荷電変換装置、つまり、電子をはぎ取る装置があり、ここで正イオンになり、タンデム加速器出口（接地電位）に向けて更に加速される。負イオン



写真2 右が松崎浩之先生、左は筆者



写真3 タンデム加速器を下から見上げたところ

での加速と正イオンでの加速の2段階の加速ゆえタンデムである。中央部に高電圧を形成するにはペレットチェーンシステムという方式を利用している。これは、ステンレスのペレットがアクリルリンクによって繋がられてチェーンの形状をしたもので、このペレットに、下部にある電極で電荷が付与され、チェーンと共に中央部へ上り、そこで電荷が解放され中央電極（ターミナル）に電荷が蓄積することによって、高電位が形成される。これにより最大5 MVの安定した電位差を実現している。このチェーンは井戸から水をくみ上げるような感じだと思ったら、チェーンがそのような感じで展示用いぶら下がっていた（写真4）。

そして、そもそも、この電位差により加速するためには試料を負イオンにする必要がある。スパッターという方法で、試料を負イオンにするが、スパッターされるための試料をターゲット枠に詰めるのは、各研究者が作業室で行う（写真5）。これ自体も大変な作業だそうで、各研究者の工夫のしどころ、とのこと。また、負イオンになりにくい原子の例として ^{10}Be があるが、 BeO^- として引き出すそうで化学知識も大いに活用が必要だ。そして、荷電変換部は分子イオンの分解という重要な役割も担う。これにより同じ質量であっても分子が異なるイオン、例

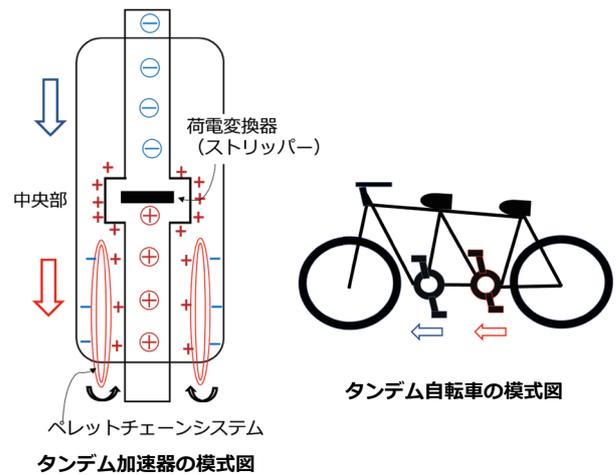


図1 タンデム加速器とタンデム自転車の模式図



写真4 ペレットチェーンが展示されている (写真右側の矢印)

えば、 $^{14}\text{C}^-$ と同重の $^{13}\text{CH}^-$ 、 $^{12}\text{CH}_2^-$ は荷電変換部で分解されるため除去が可能で、タンデム加速器が持つ有利な点である。そして、後段の加速を経て様々な質量数及びエネルギーのイオンが生成され、分析電磁石による磁場と静電偏向器による静電場により分析がなされる（写真6~8）。更に東大MALTでは放射線計測と同様にイオンエネルギーやイオンの物質中でのエネルギー損失を計測することで、同重体の分離・計測を可能にしている。

2. 何を計測している？

タンデム加速器による主な分析対象は ^{14}C 、 ^{10}Be 、 ^{26}Al 、 ^{36}Cl 、 ^{41}Ca であるが、特に東大 MALT では ^{129}I 等重い核種も分析可能としている。重い核種では、同じような M/q (質量/電荷) をもつ分子が多く存在するため、一般に、分析がより難しくなるが、最先端の研究成果により、こうした重いものも分析が可能だ。

「分析」というと、ごく簡単に言えば、「どこに、何が、どれくらいあるのか？」であり、私も「今日は、うちの冷蔵庫に何がどれくらいあるのかしら？」と日常的に行っているし、専門とする臨床核医学では、 β アミロイドに親和性の高い化合物とサイクロトロンで製造した ^{14}C (半減期 20 分)を利用して、「脳にアミロイドはどれくらい蓄積しているのか？」といった医学的分析をしているが、いずれも日常生活で想像がつく範囲だと思う。しかし、タンデム加速器では、例えば、 $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比を $10^{-15} \sim 10^{-11}$ 程度で計測するという。つまり、 ^{12}C (安定同位体) に対して極めて少量しか存在しない ^{14}C (半減期 5,730 年) を分離して計測できるというのである。 ^{14}C は大気中で $^{14}\text{CO}_2$ (二酸化炭素) としてわずかに存在するため、生存中の生物は呼吸や光合成によって $^{12}\text{CO}_2$ と共に体内に取り入れられ、生命活動が停止するとこれらの体内への取込みも停止する。 ^{12}C は安定同位体だが、 ^{14}C は放射性同位体のため、後者は徐々に減っていく。よって、この存在比を知れば、試料中の生命体がいつ頃まで生存していたのか推定ができる。

3. 東大 MALT ならではの幅広い応用

最近の共同研究例が *Isotope News* 誌に掲載されている。 ^{14}C 、 ^{10}Be といった宇宙線生成核種は、宇宙線と言われる高エネルギー粒子と大気中の酸素や窒素との衝突によって生成されるため、例えば太陽表面での大爆発があると、これらの生成量にも変動が起きる。この変動は、宇宙や太陽で何が起きてきたかを知る手がかりになるそう。特に ^{10}Be (半減期 139 万年) は半減期が長く、 ^{14}C では 5~6 万年前までの推定が限界とされているが、更に古い時代までの年代測定に期待されている。中国雲南省にあるトラバーチンという石灰質堆積物から ^{10}Be を抽出し分析している報告が、宮原ひろ子先生「トラバーチ

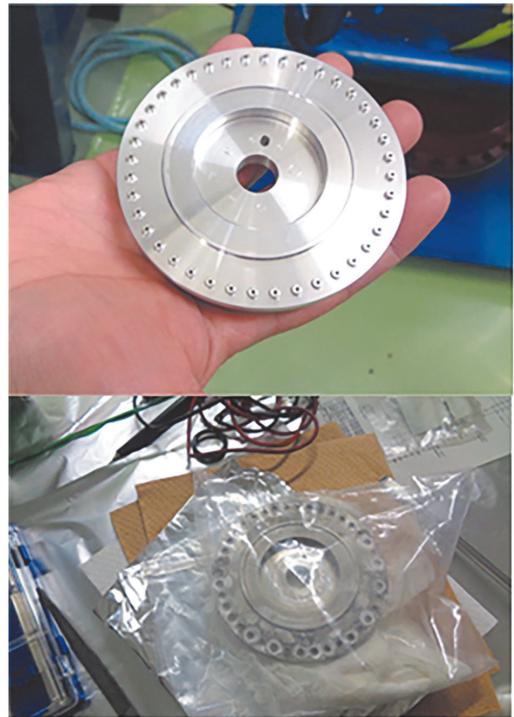


写真5 試料を詰めるターゲット枠
上は新品の状態、下は使いこまれた後の状態

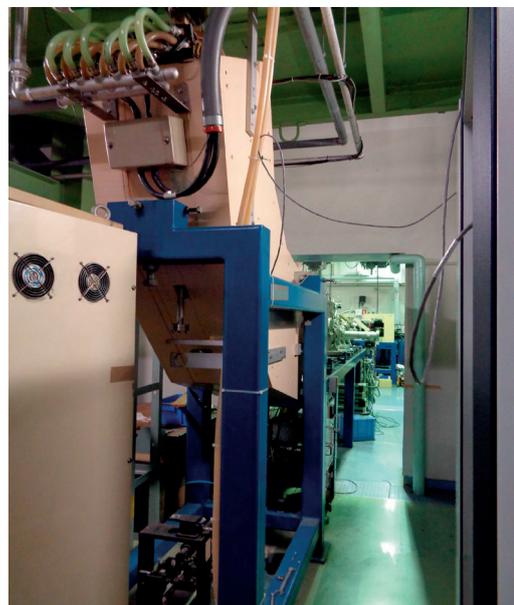


写真6 手前が分析電磁石で、奥の最終検出器へ向かう

ン堆積物を用いて太陽活動と宇宙線の歴史を探る」として、*Isotope News* 2021 年 8 月号に掲載されているので、是非、ご一読いただきたい¹⁾。

そして、地球大気圏で生成された宇宙線生成核種

だけでなく、宇宙空間で生成した核種を封じ込めて地上に存在する場合もある。それが隕石である。 ^{10}Be と ^{26}Al の含有量により、地球上にある石が本当に隕石かどうか分かる。通常、宇宙空間にある物体は、太陽系であれば太陽を中心とした軌道にあるはずが、なぜ地球に突入してきたのか、その軌道の変化について解明の糸口となっている。その他、 $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 、 ^{36}Cl 、U や Pu 等も計測対象として地球規模の環境変化の研究手法として開発を進めている。

4. 感想

タンデム加速器を利用した質量分析は、気が遠くなるような存在比を計測している。しかし、存在比はわずかではあるが、数万年以上前の生命や生存環境、更には宇宙で何が起きてきたのか等壮大なスケールの謎を解くための重要な手法となっている。



写真7 磁場分析の付近で松崎先生から説明を受ける筆者

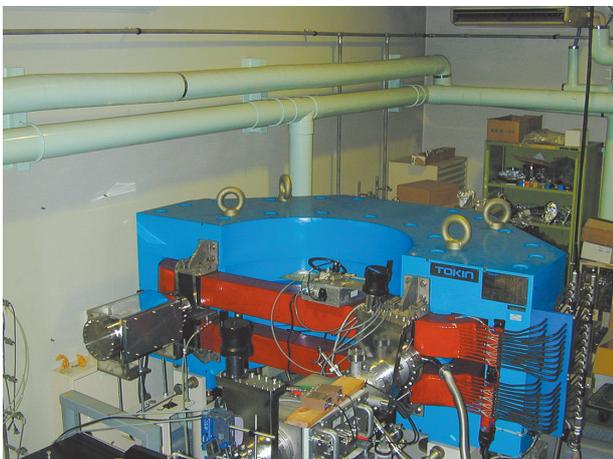


写真8 写真7の奥側にある最終検出器付近の様子

分析手法においては、試料を負イオンにするための化学知識、磁場・電場における荷電粒子の運動量や運動エネルギー分析が必要とされ、また、応用としては宇宙科学や考古学、最近では原子炉で発生する核種分析等の多岐にわたる。松崎先生が非常に多くの基礎科学から古代のこと、放射線のこと詳しいのはこのような学際的な活動によるものだと改めて理解できた。このような施設が浅野地区の一隅にあることを本誌読者の皆様に少しでもお伝えできれば幸いである。

お忙しいなか、長時間にわたりご説明・ご案内いただきありがとうございます。訪問を終えて施設の外にでると大雪でした。大変難しい話と、スケールの大きな話をうかがい、自然を感じ、とても優雅な訪問となりました。

執筆にあたり以下の文献や Web サイトを参考にしました。

- 1) 宮原ひろ子, 「トラバーチン堆積物を用いて太陽活動と宇宙の歴史を探る」 *Isotope News*, **776**, 24-25 (2021)
- 2) 東京大学宇宙線研究所, *ICRP ニュース*, **41** (2000)
- 3) 松崎浩之, 「加速器質量分析法—イオン工学最前線 3」 加速器質量分析の原理, *Journal of the Vacuum Society of Japan*, **50**, 467-74 (2007)
- 4) 松崎先生の研究室 (ホームページ)
<https://malt.um.u-tokyo.ac.jp/~hmatsumu/>

((国研)量子科学技術研究開発機構

量子医科学研究所 先進核医学基盤研究部)