



## 1-5 京大 AMS システムの現状

中村正信、田澤雄二、松本 博、高橋清二\*、広瀬昌憲、（京大理）、  
荻野晃也（京大工）

最高ターミナル電圧が8 MVの京都大学理学部のタンデム加速器において加速器質量分析法（AMS）により、重い元素の長半減期放射性同位体の超高感度測定を開発している。まず標準技術として $^{14}\text{C}$ 測定を開発した [1, 2]。

## 1. AMSシステム

京大タンデムAMSシステムの構成を図1に示す。

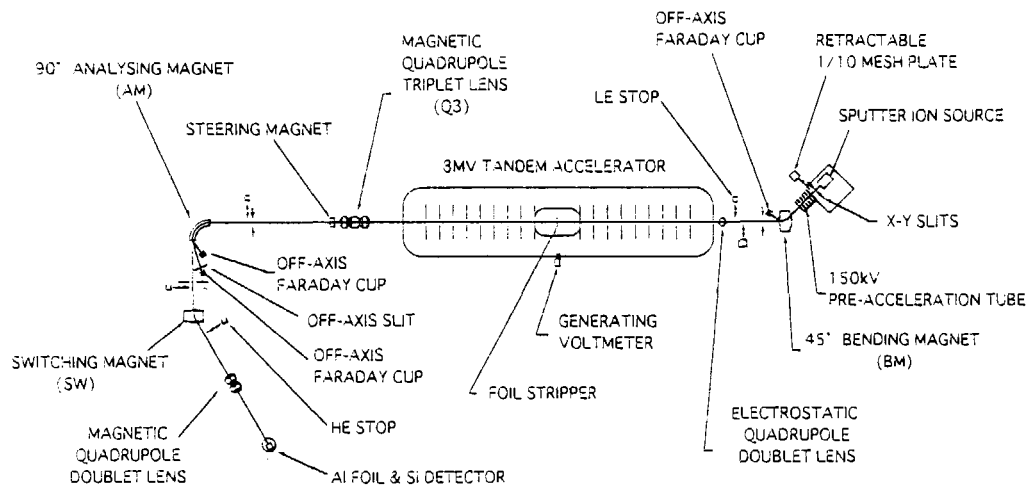


図1. 京大タンデムAMSシステムの構成。

その概要は；多重標的型スパッターイオン源は59サンプル装着可能で、このサンプル交換の機構を改造することにより安定な運転が可能となる；負イオン源にはスリットを取り付けて入射ビームのエミッタンスを小さくすることにより安定で高いビーム透過率を得る；加速器は $^{14}\text{C}^-$ と同時に入射される $^{13}\text{C} \text{H}^-$ ビームがターミナル部で分解してできた $^{13}\text{C}^{++}$ を分析することによりその高電圧を制御する；検出器系は $^{14}\text{C}^{++}$ の同重体である $^{14}\text{N}^{++}$ や $(^7\text{Li}_2)^{4+}$ は $3\mu\text{m}$ のAlフォイルでエネルギーロスさせることによりSi半導体検出器で分離している。系統的な測定のために入射部電磁石の磁場を変えることにより同位体を逐次入射している。システムの時系列変化を図2に示す。

サンプル試料は炭酸ガス化し、精製した後、鉄を触媒として水素により還元してグラファイト化する [3]。

## 2. 同位体比の決定

$^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ の比は次の式で計算される：

$$\frac{^{14}\text{C}^-}{^{12}\text{C}^-} = \frac{\#^{14}\text{C}^{++} \cdot e}{I^{12}\text{C}^-} \frac{1}{[^{14}\text{C}^{++} \text{透過率}]} \quad (1)$$

ここで  $\#^{14}\text{C}^{++}$ 、 $I^{12}\text{C}^-$ は、それぞれ、 $^{14}\text{C}^{++}$ の計数の積分値、 $^{12}\text{C}^-$ 電流の積分値であり、 $e$ は素電荷である。 $^{14}\text{C}^{++}$ 透過率に関しては、先ず $^{12}\text{C}^{++}$ と $^{13}\text{C}^{++}$ の透過率を測定し、  
 [イオン透過率] = [はぎ取り効率] × [イオン光学的透過率]  
 と定義し、剥ぎ取り効率として文献 [4] の値を用いるとイオン光学的透過率が求まる。この2つのイオン光学的透過率から、 $^{14}\text{C}^{++}$ の透過率を推定することが可能である。そこで同位体比の絶対測定ができる。

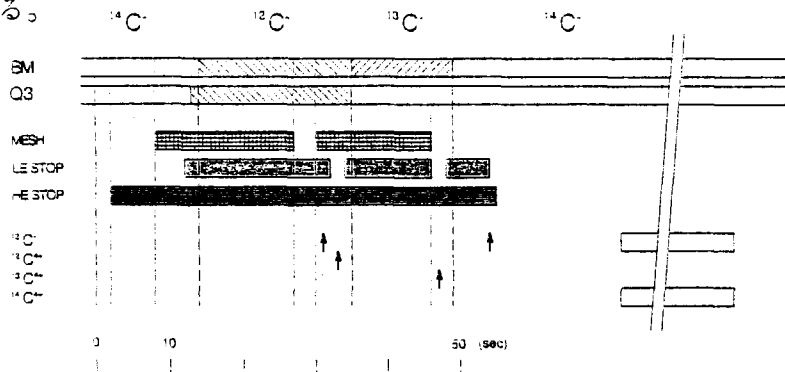


図2. 逐次入射システム時系列変化。

総合テストとしてIAEA C-6他をグラファイト化したサンプルを用いて $^{12}\text{C}$ 、 $^{13}\text{C}$ 、 $^{14}\text{C}$ を逐次入射し、 $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ の比を決定した。

イオンの透過率の仮定を確かめるためにC-6試料の測定値を吟味した。 $^{14}\text{C}^-/^{12}\text{C}^-$ の比が $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ の比の公称値と等しいと仮定して、1式を用いて $^{14}\text{C}^{++}$ のイオン光学的透過率を計算し、 $^{12}\text{C}^{++}$ と $^{13}\text{C}^{++}$ のものと比較し、図3に示す。 $^{14}\text{C}^{++}$ と $^{13}\text{C}^{++}$ のイオン光学的透過率は確かに等しい。しかし $^{12}\text{C}^{++}$ は系統的に大きくなっている。この理由として次の様に考えられる。 $^{12}\text{C}^{++}$ の透過率測定時には、ビームローディングによる不安定化を避けるために、1/10メッシュを用いて入射するビーム電流を減衰させている。このメッシュが損傷し、通過した $^{12}\text{C}$ のエミッタンスが元より良くなり、従って $^{13}\text{C}$ や $^{14}\text{C}$ より良くなったためである。

これらのデータの再現性を見ると1%程度の揺らぎがあるが、これは電流測定揺らぎが原因と考えられる。

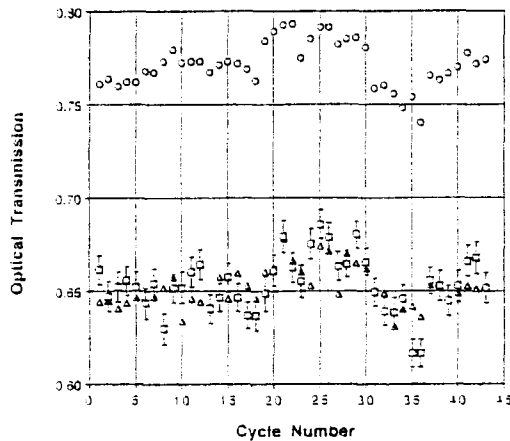


図3. イオン別の光学的透過率の変化。  
 ○:  $^{12}\text{C}$ 、△:  $^{13}\text{C}$ 、□:  $^{14}\text{C}$ 。

#### 4. バックグラウンド

京大タンデムAMSコースのビームラインに静電分析装置は入っていない。従って多種多量のバックグラウンドイオンが検出器で測定される。測定されたエネルギースペクトルの一部を図4に示す。京大タンデムはAMS専用機では無いので ${}^7\text{Li}$ イオンを用いる実験が度々ある。その後ではa)にあるように多量のバックグラウンドの $({}^7\text{Li}_2)^{4+}$ が見られる。これはイオン源の分解掃除によりb)の様に除くことが出来る。

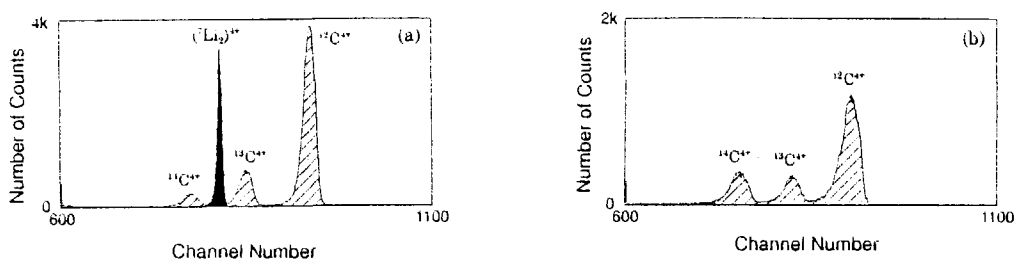


図4. Si検出器のエネルギースペクトル。a) イオン源掃除前、b) イオン源掃除後。

またエネルギースペクトル全体を図5に示す。図5-aに示すように、 $3^+$ のバックグラウンドが桁違いに多く、これらがSi検出器を劣化させるので、同重体の分離が困難となる。そこで90度分析電磁石と振り分け電磁石の間に第2番目のストリッパーを取り付けた。その結果は図5-bに示すように、 $3^+$ の強いピークは無くなる。しかし図6-aで示すように、Liのバックグラウンドを除くことが出来ないため、これが多い場合は損傷による分解能の劣化も依然残る。そこで図6-aで示すように $5^+$ を用いると、剥ぎ取り効率では不利だが圧倒的にきれいなスペクトルが得られる。

#### 4. その他

この1年間のタンデム加速器の運転において、特に大きなトラブルは無かった。高電圧発生時間(チェーン運転時間)は約2500時間とあまり変わっていない。しかし昨年度途中から放射線発生装置の運転時間の定義としては、これまでのチェーン運転時間からビーム加速時間に変更したために、運転時間は減少している。

この間のトラブルとしては、AMSイオン源の冷却に使用している純水(イオン交換水)の問題があった。この水は高電圧部を通過するので水質の劣化がリークや放電を引き起こす。1998年度よりイオン交換樹脂を交換しても抵抗値があまり良くならない状態が起きていた。この原因は有機物であることが判明した。これが一旦発生すると水を交換しても回復せず、パイプ等の交換や薬品洗浄が必要である。処置後ようやく当初の状態に戻った。

#### 5. まとめ

${}^{14}\text{C}$ に関しては逐次入射法により、系統的な測定が可能となった。再現性は1~2%程度良くないが、主な原因は電流測定揺らぎによる。課題であったバックグラウンドに対しては、第2ストリッパーを取り付けることにより十分に低くすることが出来た。従ってビーム強度の制限が

無くなり、実際の炭素試料の測定の見通しが出来た。

次のステップとして、本来の目的である重い元素の同位体比の超高感度測定に向けて、重イオン検出器系を最適化する必要がある。

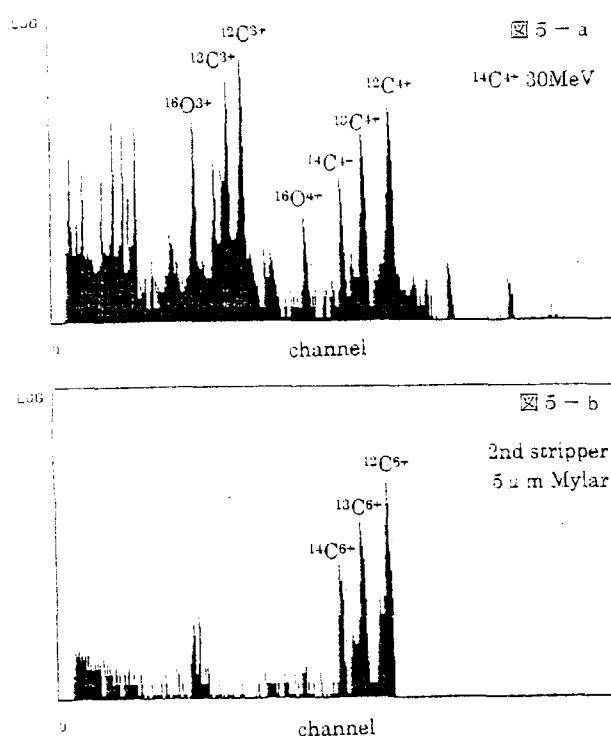


図5. エネルギースペクトル。  
第2ストリッパーの効果。

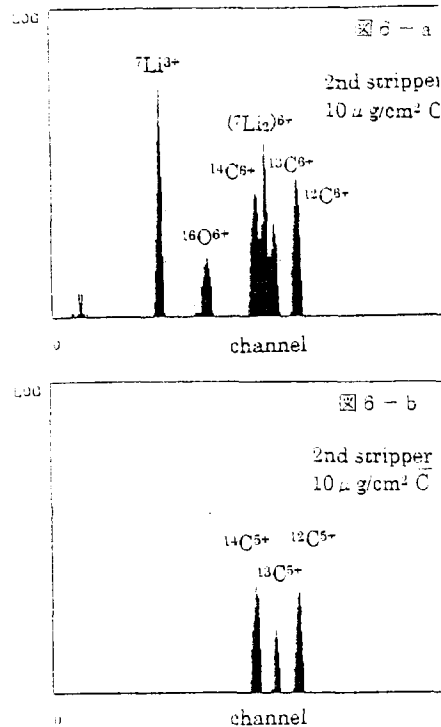


図6. エネルギースペクトル。  
 $^{14}\text{C}^{5+}$ 測定と $^{12}\text{C}^{5+}$ 測定との違い。

参考文献

[1] M. Nakamura, Y. Tazawa, H. Matsumoto, M. Hirose, K. Ogino, M. Kohno, J. Funaba, Nucl. Instr. and Meth. B 123 (1997) 43.  
 [2] 田澤雄二、広瀬昌憲、松本博、中村正信、荻野晃也、  
 第12回「タンデム加速器及びその周辺技術研究会」報告書、(1999) 81.  
 [3] H. Kitagawa, T. Masuzawa, T. Nakamura, E. Matsumoto, Radiocarbon 35 (1993) 295.  
 [4] C. Stoller, M. Suter, R. Himmel, G. Bonani, M. Nessi, W. Wolfli, IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-30 (1983) 1074.

\* タンデム加速器グループ