

年代測定用放射線測定装置の性能評価

日大生産工 ○塩見 昌司
日大生産工 (非常勤) 小元久仁夫

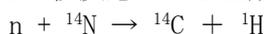
1 まえがき

文理学部の日本大学年代測定室の閉室を受け、平成23年7月に生産工学部に装置の一部を移転する運びとなった。主装置は、環境放射線によるバックグラウンドを約6.5トンの鉄板で遮蔽した比例計数管及び約700kgの鉛で遮蔽した液体シンチレーションカウンターであり、加速器質量分析法 (AMS) 以外では、低線量のβ線線源を検出可能な装置として一般的に使用されているものである。これら装置は、放射性炭素 (^{14}C) による年代測定のみならず、バイオ燃料のバイオ・エタノール含有量の測定や、遮蔽材の活用により、低バックグラウンド下での食品中の放射能測定にも転用可能である。本報告では、本計測器の移転前、移転後の装置性能をバックグラウンド量から概算した結果について報告する。

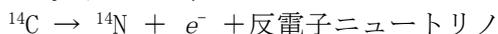
2 ^{14}C 年代測定法

^{14}C 年代測定法は、Libby (1947) によって考案された年代測定方法であり、試料が生存時に取り込んだ ^{14}C が壊変により正確に半減することを利用したもので、試料中の ^{14}C 存在比率と生存時の ^{14}C 獲得時の ^{14}C 存在比率が分かれば死後から現在までの時間が求められる。

^{14}C は大気上層部で宇宙線と大気中の窒素原子との核反応により生成する。



生成した ^{14}C は酸素原子と結合し、二酸化炭素となる。 ^{14}C は半減期が経過すると壊変して ^{14}N になる。すなわち、



半減期 ($T_{1/2}$) は $5,730 \pm 40$ 年と考えられており、地球に降り注ぐ宇宙線頻度が一定であれば ^{14}C の生成とその壊変は平衡状態となる。 ^{14}C は大気循環により地球上では等濃度で分布すると考えられ、生物圏内において成長過程で炭素を取り込む生物体内の ^{14}C の存在比率は皆同じ (C_0) になると予想される。生物体は死後 ^{14}C を取り込めないため、 ^{14}C の存在比率は

減少していく。これより t 年後の試料中の ^{14}C 存在比率を C_t とすると、 $C_t/C_0 = e^{-\lambda t}$ (1) となる。

C_0 は現在生きている生物体の ^{14}C 濃度、 C_t は T 年前に死んだ生物体の ^{14}C 濃度である。 λ は ^{14}C の改変乗数で半減期 $5,730$ 年を用いれば $\lambda = 0.693/T_{1/2} = \{0.693/5,730\} (y^{-1})$ となる。よって、(1)式の C_t/C_0 を測定すれば t の値 (生物体の死んだ年代) を求めることができる。

^{14}C の半減期としては慣例で $5,568$ 年を用いている。またその後、宇宙線強度の変化が明らかになり、樹林年代との比較から ^{14}C 年代の較正曲線 (IntCal04) による補正が行われている。

3 測定装置

^{14}C の半減期を用いた年代測定方法には大きく2種類ある。1つは、壊変時に放出する最大エネルギーでも 155keV のβ線量を観測する方法である。β線量の測定方法としては、ガイガー・ミュラー計数管法、気体計数管法、液体シンチレーション法等がある。今回生産工学部に移転したのは、後者2方法を用いた装置である。もう1つの方法は ^{14}C 起源の放射線量を通して ^{14}C を計量するのではなく、直接放射性核種を測定する加速器質量分析法

(AMS) である。この方法は、β線を測定する方法に比べ、 $1/1,000$ 程度の炭素量で ^{14}C 存在

表1 各装置の性能

種類	有効炭素量	測定精度 (相対誤差)
比例計数管	1g以上	約4万年前まで 精度2%/25h
液体シンチレーション検出器	1g以上	約6万年前まで 精度3%/50h
加速器質量分析計 (AMS)	0.2-1mg	約6万年前まで精度0.5%/1h (試料の前汚染に注意が必要)

Performance of the Radiocarbon Dating System at Mimomi Campus

Atsushi SHIOMI and Kunio OMOTO

比率の測定が可能で、かつ測定時間も短くてすむ。ただし、少量であるが故に、測定前に試料が汚染されていないよう十分な注意が必要である。表1に各装置の性能を示す。

次に本学の装置について述べる。

3.1 Houtermans-Oeschger型カウンター (1.2L) (写真1, 図1参照)

気体計数管法を用いた装置で、CO₂を比例計数管に封じ込め、高電圧をかけることによりβ線起源の信号を約1万倍に増幅して測定する。文理学部に設置時には、この装置を用いて、バックグラウンドが0.66~0.82 c.p.m., 標準試料から11.30~11.69 c.p.m.の値が得られ、1,500分間の測定により約43,000年前までの測定が可能であった。



写真1 .Houtermans-Oeschger型カウンターを使用した¹⁴C年代測定装置

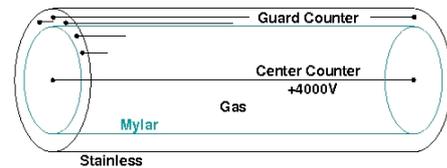


図1. 比例計数管の構造、Guard Counterでバックグラウンドを除去。

3.2 超低バックグラウンド液体シンチレーションカウンター Quantulus Model 1220 (写真2, 図2参照)

液体シンチレーション法を用いた装置であり、試料からベンゼンを合成し、シンチレータと混合し光電子増倍管によりβ壊変を捉えている。文理学部に設置時には、この装置を用いて、バックグラウンドが1.33 d.p.m., 標準試料から58.97 d.p.m.の値が得られ、3,000分間の測定により約63,000年前までの測定が可能であった。



写真2. 液体シンチレーションカウンター Quantulus Model 1220

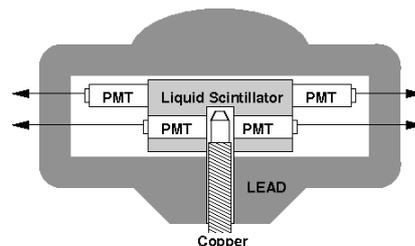


図2. Quantulus 1220の内部構造、Liquid Scintillator でバックグラウンドを除去。

4 実験結果および検討

2012年8月に実務校舎で行った測定結果は次の通りである。

ガスカウンターのバックグラウンドは、0.95 c.p.m.~1.00 c.p.m. であり、期待される T_{max} は1,500分間の測定で約32,200年前までである。

一方LSCの方のバックグラウンドは2.01 d.p.m. であり、Modern carbonの計数率は41.86 d.p.m. であった。この結果、LSCを使用して3,000分間測定した場合、 T_{max} は約50,600 前まで測定可能なことが明らかになった。

なおバックグラウンドが文理学部より実務校舎の方が高い理由は、測定装置が前者は5階建ての地下に設置されていたのに対し、後者の場合4階建ての1階に設置されたためと解釈される。

5 まとめ

今回、本学部初導入の年代測定装置のバックグラウンド測定から本装置の年代測定精度を見積もった。移転後のバックグラウンドの約1.5倍の増加は設置場所の影響と思われる。

今後、標準試料を用いての系統誤差の確認や、新たな装置利用方法を探る予定である。

「参考文献」

- 1) 小元久仁夫, ¹⁴C年代測定における誤差の起源とその補正, 地理誌叢 Vol.49 No.1 pp.44~57 (2008).
- 2) 小元久仁夫, 日本大学年代測定室の閉室にあたって, 日本大学文理学部自然化学研究所研究紀要 No.46 pp.387~395 (2011).
- 3) 小元久仁夫, 高感度LSCによるバイオ燃料のバイオ・エタノール含有量の測定法, 日本大学文理学部自然化学研究所研究紀要 No.46 pp.397~404 (2011)