

名古屋大学タンデトロン加速器質量分析計による ^{14}C 測定の現況

中村俊夫*, 中井信之**

*)名古屋大学アイソトープ総合センター, ***)名古屋大学理学部地球科学科 〒464
名古屋市千種区不老町

1. はじめに

1976年から1977年にかけて、California大学Lawrence Berkeley Laboratoryのグループ[1]、Rochester大学-Toronto大学-General Ionex社のグループ[2,3]、そして、Simon Fraser大学-McMaster大学のグループ[4]は、独立に、加速器を用いた天然レベルの極微量核種の新しい定量方法を開発した。彼らは、サイクロトロン加速器の分解能の高い質量弁別効果、イオン源での負イオン形成における元素選別性、タンデム型加速器の分子イオン除去能力、あるいは重イオン検出器の核種識別能力などを組合せて、天然レベルの極微量核種を定量するための加速器質量分析計を組み立て、早くも1977年には天然物中の ^{14}C の定量[5,6]、1978年には ^{10}Be の定量[7,8]に成功した。

1978年には、第一回加速器質量分析(AMS)国際会議[9]が米国Rochester大学で開催された。その後、このAMS国際会議は3年毎に定期的で開催され[10,11]、1987年4月には、加速器質量分析法の開発10周年を祝う第4回AMS国際会議(ANNO DECIMO AMS)[12]が、カナダのナイアガラ-オン-ザ-レイクで開かれた。

名古屋大学では、次章に述べる様な過程を経て、General Ionex社製のタンデトロン加速器質量分析計が1981-1982年に渡って、アイソトープ総合センターに設置された[13]。タンデトロン分析計は ^{14}C 測定の専用機として整備と調整が進められ、1983年秋に初めて ^{14}C 年代測定が実施された。その後、 ^{14}C 測定のテスト実験に平行して加速器やイオン源等の改造が行われてきたが、1987年1月から学内共同利用が開始された。ここでは、名古屋大学タンデトロン加速器質量分析計の設置経過、分析計の原理と性能、試料調製方法などについて述べる。

2. 名古屋大学タンデトロン加速器質量分析計の設置経過

名古屋大学では、1977年の暮れからアイソトープ総合センターと理学部の協力で、加速器質量分析計を導入するための準備が開始された。その後、同分析計を名古屋大学内共同利用とする計画となり、アイソトープ総合センター、理学部、工学部、農学部、文学部、教養部、プラズマ研究所、水圏科学研究所の代表者からなる設置準備委員会および技術専門小委員会が発足された。1978年春に、1979年度の概算要求として、General Ionex社製のタンデトロン加速器質量分析計の設置が要求された。この予算要求は次年度に、1980-1981年度の2年度に渡ってタンデトロン分析計が設置されることで認められた。1981年2月に測定室(127.5 m^2)が新築され、同年3月にはタンデトロン分析計の一部が設置された。1982年2月にタンデトロン分析計の全システムが組み立てられ、加速器の高電圧の絶縁に用いられる六弗化硫黄ガスを取り扱うための SF_6 回収装置、および加速器を冷却するために用いられる蒸留水の循環装置が接続された。1982年末にはターミナル電圧1.6MVで加速器が安定して作動し、炭素イオンの加速ができ

るようになり、1983年2月には初めて $^{14}\text{C}^{3+}$ イオンの検出に成功し、タンデトロン分析計による ^{14}C 測定の可能性が実証された。また、1983年3月には ^{14}C 測定に用いられる種々の天然試料のための調製装置の組立が完了した。1983年9月からは、まだ精度は不十分であったが、年代既知の試料を用いたテスト測定と並行して、考古学試料の ^{14}C 年代測定や環境試料の ^{14}C 濃度測定が開始された。1984年1月から2月にかけて加速器の大改造が行われ、加速器がターミナル電圧約2.0MVまで安定して運転できる様になった。このため、分析計の操作の熟達と相まって、 ^{14}C 測定の精度が大幅に改善された。1985年3月には測定室の隣に、試料調製室および測定準備室(101.5 m²)が新築され、それまでの試料調製の経験を生かして、新たに、使い易い、コンパクトな試料調製装置が組み立てられた。以上簡単に述べた名古屋大学タンデトロン分析計の設置経過については文献13に詳述されている。

1986年4月に設置準備委員会と技術専門小委員会が解散され、1986年12月に、新たに測定利用委員会が発足され、1987年1月より学内共同利用が開始された。共同利用の開始にあたっては、アイソトープ総合センターの人的資源が不十分であることから、できるだけ利用者自身が積極的に試料調製や分析計の操作を行うことが合意され、実行されている。共同利用の申請件数と試料数を表1に示す。

1983年秋から1987年12月までに、タンデトロン加速器質量分析計を用いて測定された試料数は約1250個に及んでおり、考古学、地質学、地理学、環境地球化学などの分野で貴重なデータを提供している。加速器質量分析法による ^{14}C 測定では、従来の放射能測定法による場合と比較して、炭素試料の量は1/1000以下で充分であり、かつ測定可能な年代の限界は約6万年とかなり古くなっている[14,15]。それ故に、加速器質量分析法を用いると、放射能測定法では測定が不可能であった試料について、古い年代まで測定できるようになった。加速器質量分析法による ^{14}C 測定は、今や、これらの分野にとって必要不可欠なものとなっている。

3. タンデトロン加速器質量分析計

3-1. タンデトロン分析計による $^{14}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比測定の原理

タンデトロン加速器質量分析計の構成図を図1に、全体図を図2に示す。タンデトロン分析計では、炭素試料中の ^{14}C の存在量と ^{13}C の存在量との比($^{14}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比)が次の様にして測定される[14,15]。セシウムスパッタ負イオン源(図2のsample)には、炭素含有物質から調製された個体状の炭素ターゲットが同時に6個まで取り付けられ、これらの試料について連続して $^{14}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比の測定を行う事が可能となっている。炭素の負イオンは、ターゲットの表面を37 KeVの運動エネルギー(以後、簡単にエネルギーと略称する)を持つセシウム陽イオン(Cs gun)で照射することにより形成され、入射部電磁石(M_{in})により90度曲げられ加速器に導入される。この分析電磁石の磁場強度は質量数14 AMU.にセットされ、 $^{14}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比の測定中は一定に保たれる。すなわち、 ^{13}C の測定は、磁場強度を変える代わりに、電磁石部の絶縁された真空容器に約2KVの電圧を一時的に付加する事により行われる。この電圧により、質量数13 AMU.の負イオンは、電磁石に入射する直前に加速される。こうして、 ^{13}C のエネルギーは ^{14}C のエネルギーよりも若干大きくなり、 ^{13}C は ^{14}C と同じ中央軌道をたどって電磁石を通過し(

表 1. 名古屋大学内共同利用申請状況

利用期間	申請件数	試料総数
1987年1～3月	23件	187個
1987年4～7月	10	58
1987年8～12月	14	73
1988年1～3月	8	59

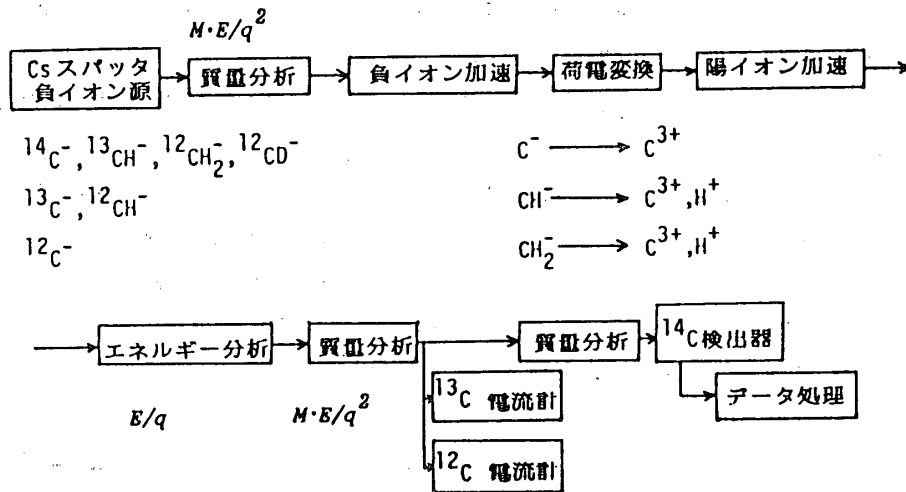


図 1. ^{14}C 測定用タンデロン加速器質量分析計の構成。

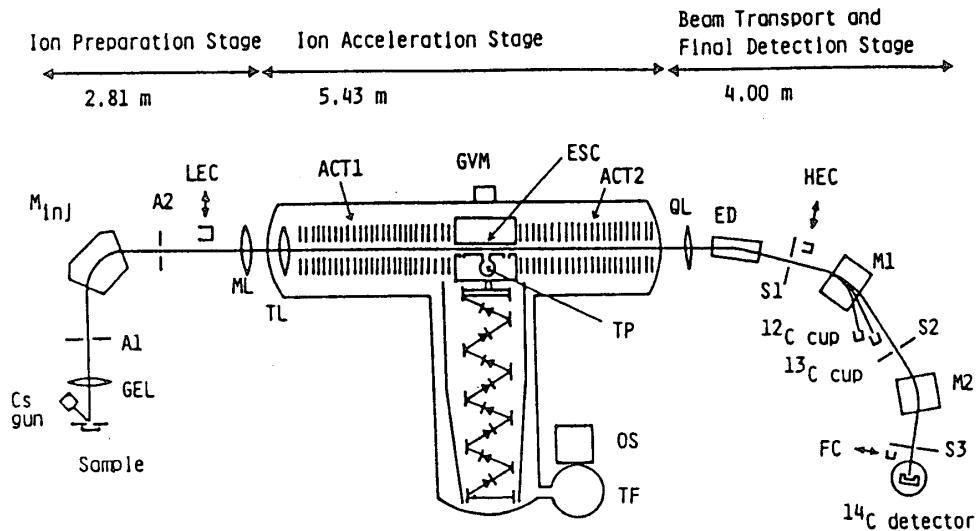


図 2. ^{14}C 測定用タンデロン加速器質量分析計の全体図。A1, A2, S1, S2, S3:ビームスリット, GEL, ML, TL, QL:静電レンズ系, LEC, HEC, ^{12}C cup, ^{13}C cup, FC:電流計測用ファラディカップ, Cs gun:セシウムスputタ負イオン源, M_{inj} , M1, M2:質量分析用電磁石, ACT1, ACT2:加速管, GVM:発電型高電圧計, ESC:荷電変換カナル, TP:荷電変換ガス(アルゴンガス)のトラップ用ターボ分子真空ポンプ, OS:高電圧発生用の発振器, TF:高電圧発生用のステップアップトランス, ED:静電型 15° デフレクター。

磁場強度は一定であっても), 加速器に導入される。 ^{14}C と ^{13}C の測定の切り替えは, 電圧の制御によって1秒以内に行われる。負イオンの電流は, 必要に応じて, 出し入れ可能なファラデイカップ(LEC)で測定される。

加速器に導入された負イオンは, 加速器初段部(ACT1)で加速されたあと, 荷電変換チャンネル(ESC)を通過する際にアルゴンガスとの衝突により陽イオンに変換され, 加速器後段部(ACT2)でさらに加速される。

加速された陽イオンは, 静電型偏向電極(ED)でエネルギーおよび電荷(E/q)の分析を受け, $+3$ 価のイオンのみが選別される。さらに, 電磁石(M1)で質量(ME/q^2)の分析を受け, $^{13}\text{C}^{3+}$ イオンは, 電磁石の中央軌道より内側に片寄って設置された(同じエネルギーを持つとき, $^{13}\text{C}^{3+}$ は $^{14}\text{C}^{3+}$ より軽いのでよく曲げられる)ファラデイカップ(^{13}C cup)を用いて電流として計測される。一方, $^{14}\text{C}^{3+}$ は分析電磁石の中央軌道を通って検出器に導入される。この際, $^{14}\text{C}^{3+}$ イオンは, 再度質量分析され(M2), マイラーの薄膜($2.54\ \mu\text{m}$ 厚)を通過することにより原子番号の2乗に比例してエネルギーを吸収される。このあと, これらのイオンは, 重イオン検出器(^{14}C detector, シリコン表面障壁型検出器)を用いてエネルギーが測定され, イオンの原子番号が識別されることにより, $^{14}\text{C}^{3+}$ とバックグラウンドイオン(isobarである $^{14}\text{N}^{3+}$ や, $^{13}\text{C}^{3+}$, $^{12}\text{C}^{3+}$ など)とに区別され, $^{14}\text{C}^{3+}$ のみが計数される。

以上の説明でタンデトロン加速器質量分析計の構成を概観した。この分析計が設計された際には次の点が特別に配慮された。

- (a) ^{14}C の isobar (同重元素)である ^{14}N を除去する。
- (b) ^{14}C と同重の分子イオンである $^{12}\text{CH}_2$, ^{12}CD , ^{13}CH を除去する。
- (c) 重イオン検出器を用いて $^{14}\text{C}^{3+}$ をバックグラウンドイオンから識別する。

これらの工夫が加速器質量分析計の設計に取り入れられたことによって始めて, 環境中の極微量の ^{14}C (現代の炭素の $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比は約 1.2×10^{-12} である)が測定可能になったのである。これらの工夫の詳細については文献14,15を参照されたい。

3-2. タンデトロン分析計による $^{14}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比の測定

タンデトロン分析計では, ターゲット中の炭素に含まれる ^{14}C の量は1秒あたりの計数率(cps), また ^{13}C の量は平均電流(nA)として測定される。 ^{14}C と ^{13}C の測定が, 分析計の状態が全く同じという条件で行われるように, ^{14}C は50秒間, ^{13}C は5秒間の測定時間で, 互いに切り替えられ, この交互測定が約15分間繰り返される。試料の $^{14}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比は, この比が既知の ^{14}C 年代測定用標準体を用いて相対的に測定される。すなわち, 標準体と未知試料とについて, $^{14}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比が約15分間毎に交互に測定され, それらの比

$$R = (^{14}\text{C}/^{13}\text{C})_{\text{sample}} / (^{14}\text{C}/^{13}\text{C})_{\text{standard}} \quad (1)$$

が計算される。この場合についても, 分析計の状態が同じという条件で試料と標準体の $^{14}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比が測定されるように, 両者の測定は短時間で互いに切り替えられた方がよい。1つの試料が, ルーテインの測定条件で測定された例を図3に示す。約5時間かけてRが8回繰り返して測定され, 平均値 $\langle R \rangle$ が決定される。 $\langle R \rangle$ の誤差としては, 各R値の平均値からのずれの程度(1標準偏差)と ^{14}C の総計数から算出される統計誤差のうち大きい方が用いられる。タンデトロン分析計では, ^{14}C 測定用の標準体として, NBS-SRM

-4990 蔴酸, NBS-RM-49 蔴酸, あるいは木曾ひのきの1840-1860年の年輪部から切り出された木片が用いられている。

環境試料の ^{14}C 濃度は, "modern standardの ^{14}C 濃度" (NBS-SRM-4990 蔴酸の ^{14}C 濃度の0.95倍) に対する比で表わされる。そこで, 試料の ^{14}C 濃度は, (1)式右辺の分母が "modern standard"の $^{14}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比になる様に校正係数 α を $\langle R \rangle$ に積して, r で与えられる。

$$r = \alpha \cdot \langle R \rangle \quad (2)$$

標準体としてSRM-4990 蔴酸が用いられた場合, α の値は1.0526となる。また木片の場合, α の値として0.98798を用いている。 ^{14}C 濃度は, また, 次式で定義される $\delta^{14}\text{C}$ 値, あるいは炭素の同位体分別効果の補正がほどこされた $\Delta^{14}\text{C}$ 値で表示されることも多い。

$$\delta^{14}\text{C} = (r - 1) \times 1000 \text{ (‰)} \quad (3)$$

$$\Delta^{14}\text{C} = \delta^{14}\text{C} - (25 + \delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}})(1 + \delta^{14}\text{C}/1000) \text{ (‰)} \quad (4)$$

ここで, $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 値は, 試料およびPDB標準体の安定炭素同位体比($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比)を用いて次式で与えられる。

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = [(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{試料}} / (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{PDB}} - 1] \times 1000 \text{ (‰)} \quad (5)$$

名古屋大学タンデム分析計では, 現在のところ ^{12}C は定量されていない。そこで, $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 値は, 通常の複式コレクター型質量分析計(Varian Mat CH-7)により CO_2 ガスを用いて測定されている。 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比測定の標準体としてはBelemnite化石(PDB標準体)が用いられている。(4)式の右辺第2項の数値25は, 平均的木材の $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 値(-25‰)に基づいている。これは, NBS 蔴酸標準体が導入される以前は, ^{14}C 年代測定の標準体として木材の年輪が用いられていた事による。試料の $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 値が-25‰からずれている場合には, (4)式を用いて同位体分別効果の補正が行われる。

一方, ^{14}C 年代測定の場合には, 試料の年代値 T およびその誤差 ΔT は, (2)式から得られた ^{14}C 濃度 r とその誤差 Δr および ^{14}C の半減期 $T_{1/2}$ を用いて次式で与えられる。

$$T = T_{1/2} \times [\ln(r) / \ln 0.5] \quad (6)$$

$$\Delta T = [T_{1/2} / 0.693] \times [\Delta r / r] \quad (7)$$

試料の年代値は, また, 年代値の正確度を上げるために, 炭素の同位体分別の効果の補正がほどこされた ^{14}C 濃度である $\Delta^{14}\text{C}$ 値を用いて, 次式で算出される事もある。

$$T = - [T_{1/2} / 0.693] \times \ln(1 + \Delta^{14}\text{C} / 1000) \quad (8)$$

年代値の誤差 ΔT は, 通常1標準偏差(one standard deviation)で与えられる。これは, 同一の試料について, 全く同一の条件で年代測定を多数回繰り返したとき, 測定値が $T - \Delta T \sim T + \Delta T$ の範囲に入るものが全測定の68%にあたり, 残りの32%はこの範囲外の年代値となることを意味する。測定された ^{14}C 濃度の相対誤差, すなわち $\Delta r / r$ が $\pm 1\%$ のとき, (7)式から ΔT は ± 80 年と算出される。

^{14}C 年代測定のための標準濃度は, ^{14}C 濃度測定の場合と同様に, NBS-SRM-4990 蔴酸($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 値は-19.0‰)の ^{14}C 濃度の0.95倍を用いることになっている。そして, ^{14}C 年代値は, この標準濃度が対応すると定められた年代であるA.D.1950年から, 昔へ遡って数えた年数として "y BP" を付けて表される[16]。すなわち, 試料の ^{14}C 濃度が "modern standardの ^{14}C 濃度" に等しいとき, 試料の ^{14}C 年代は0 y BP (= A.D. 1950)となる。また, ^{14}C の半減期として現在最も信頼されている値は 5730 ± 40 年であるが, ^{14}C 年代値を算出するにあたっては, ^{14}C 年代測定法の創始者であるW.F. Libbyが用い

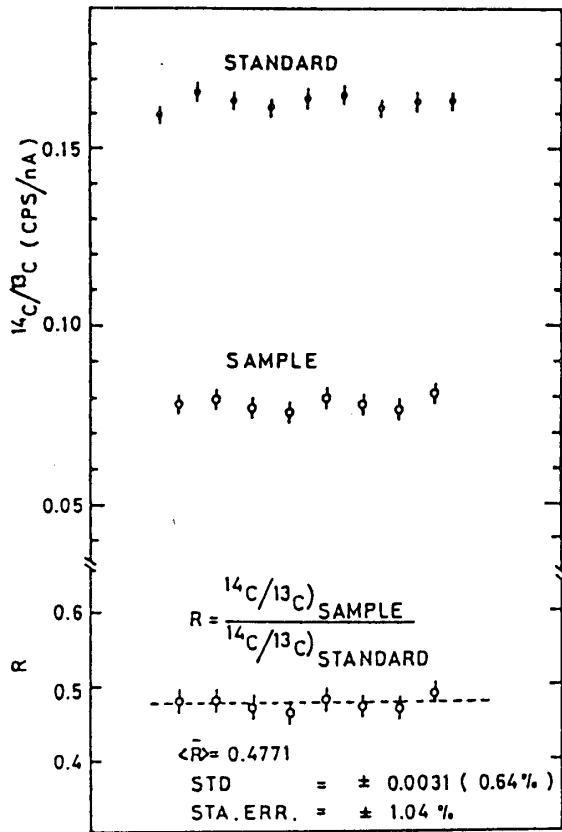


図 3. タンデトロン分析計による $^{14}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比の測定例.

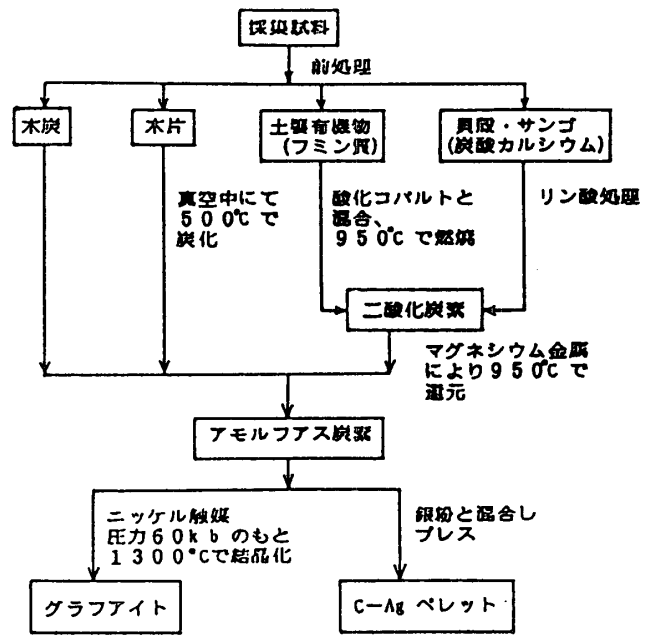


図 4. 加速器質量分析計による ^{14}C 測定のための試料調製法.

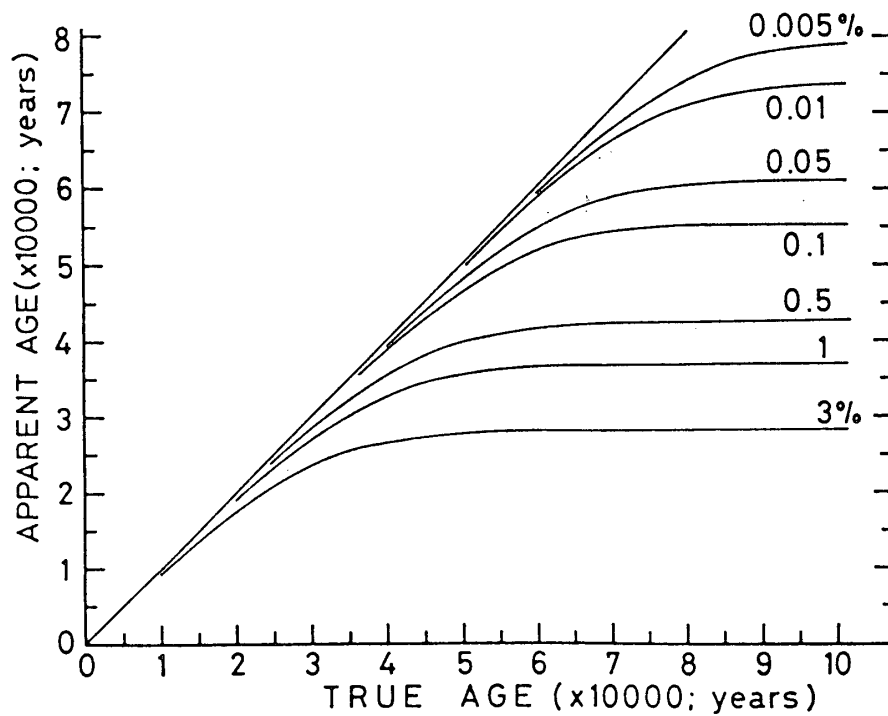


図 5. 現代の炭素による汚染がある場合の真の年代値とみかけの年代値との関係.

た半減期の値 5568 ± 30 年（あるいは 5570 年）を用いることが慣例となっている [16]。タンデロン分析計による ^{14}C 年代測定では半減期 5570 年を用いている。

4. 試料調製

測定者にとって、 ^{14}C 測定の対象とされる試料は、できるだけ採集されたままの状態で使用できる事が望ましい。しかし、試料中の組織に炭素が固定されたのち長年月に渡って自然環境下におかれていた場合には、試料が本来持っていた炭素に新たに別の炭素が後から付加されたり、炭素の置換が行われたりしている可能性がある。従って、採集された試料のどの炭素成分が測定されるべきかは非常に重要な問題となる。また、実用上の見地からも、測定精度の向上や分析計の効率良い利用のためには、採集された試料から純粋な炭素が抽出される試料調製操作が不可欠である。加速器質量分析計を用いると極少量の炭素で年代測定が出来るため、通常は、5~20 μg の純粋な固体状炭素の調製が行われている。さらに、分析計で用いられているイオン源の構造から、炭素試料は固体状ターゲットに調製される事が要求される。

試料調製の方法に対しては、次の事が要請されよう。

- (a) 操作中に、雰囲気中のチリやホコリ、あるいは試薬中に含まれている炭素による汚染がないこと。
- (b) 調製されたターゲットは、イオン源で使用されたとき負イオン生成の特性が良いこと。
- (c) 操作過程での炭素の同位体分別効果は無視できること。
- (d) 操作が簡単であること。

現在用いられている試料調製の方法を図4に示す [17]。木炭、炭化物、木片、泥炭、土壌有機物、貝殻、サンゴなどの試料の処理が可能である。図4に示した試料調製の操作の中で、二酸化炭素から元素炭素への還元過程のみが、収率が70~80%と良くない（他の操作はすべて収率が100%近い）。この操作によって、安定炭素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 値) が約1.4%軽くなる事が明かとなった [14]。しかし、この値は、 ^{14}C 濃度測定の誤差 $\pm 1\%$ に比べると充分小さく無視できる。調製された固体状炭素（アモルファス炭素）は、銀粉末（150 mesh）と1:1のモル比で混合され、手動の圧縮装置を用いてペレット状（3 mm ϕ x 約2 mm 厚）のC-Agターゲットに整形される。

名古屋大学では、C-Agターゲットの作製以外に、高温度（1300°C）と高圧力（60 kb）をごく少量の試料に付加する事ができる特殊な装置を用いて、アモルファス炭素からグラファイトを作製する技術も開発されている [14, 17]。しかし、別の、もっと簡便なグラファイト作製法として、試料から調製されたアセチレンガス (C_2H_2) を60 Hz, 2kVの交流電圧で分解して、グラファイトをアルミニウム電極上に形成する装置（Toronto大学方式）が目下試作されているところである。

5. タンデロン加速器質量分析計の性能

5-1. ^{14}C 測定の精度

タンデロン分析計を用いた ^{14}C 測定の経験によれば、現代の環境試料や年代が比較的新しい試料（数千年前まで）については、2~5 μg の炭素を含むC-Agターゲット

を用いて、約5時間の測定で、 ^{14}C 濃度を相対誤差にして約 $\pm 1\%$ (^{14}C 年代の誤差 ± 80 年)の精度で求めることができる[14]。一方、もっと古い試料では、 ^{14}C の総計数の減少に伴って統計精度が悪くなる。

また、 ^{14}C 測定の再現性を調べるために、同一の試料(現代の炭素試料)を用いて、 ^{14}C 濃度の測定が独立に14回繰り返して行われた。その結果、 ^{14}C 濃度の平均値は予想値に良く一致した[14]。また、 ^{14}C 濃度の測定値の再現性から、独立な1回の測定で得られる ^{14}C 濃度値の正確度(Accuracy)は $\pm 1.34\%$ と推定された[14]。

5-2. ^{14}C 年代測定の限界

加速器質量分析法による ^{14}C 測定では、取り扱われる炭素試料の量はせいぜい5~20 μg である。従って、極少量の炭素含有物質(例えば、チリやホコリなど)が試料に混入しても、それが ^{14}C 濃度の測定結果に大きな誤差を生ずる危険性がある。現代の炭素による試料の汚染の程度と、その場合のみかけの年代値との関連を調べるために、現代炭素の混入率が3~0.005%の場合について、真の年代値とみかけの年代値との関係を数値計算で求めた。その結果を図5に示す。試料の真の年代値が7~8万年前を越えて古い場合には、わずか50 ppmの現代炭素の混入でも、みかけの年代値は真の年代値に比べて5千年~1万年近くも若くなってしまう事がわかる。

試料の由来から ^{14}C を全く含まないと考えられる炭素をターゲットとして用いた場合でも、加速器質量分析計によるルーテインの測定では“ ^{14}C ”が必ず計数されている。これらの“ ^{14}C ”バックグラウンドの起源は、

- (a) 分析計自身によるもの(例えば、イオン源やターゲット支持台に付着した炭素不純物中の ^{14}C 、あるいは真空ライン中の残留ガスの ^{14}C など、ターゲット以外から発生する ^{14}C)、
 - (b) 試料調製の過程において、外から試料へ混入した炭素に含まれる ^{14}C に基づくもの、
 - (c) 重イオン検出器で $^{14}\text{C}^{3+}$ 以外のイオンが、 ^{14}C と誤認される事によるもの、
- が考えられる。

(a)に起源を持つ“ ^{14}C ”バックグラウンドの大きさは、天然の鉱物から切り出された、本来 ^{14}C を全く含まないはずのグラファイト(推定年代2億年)を用いて推定された。グラファイトの小塊は、化学処理および真空加熱処理により炭素の不純物が除去されたあと、塊のまま ^{14}C 測定が行われ、約85000 y BPの年代値に相当することが示された(表2: 図5より現代炭素の混入率は約0.03%と推察される)[15]。この“ ^{14}C ”バックグラウンドは分析計の使用や保守の履歴に依存することが見いだされている。

(b)による“ ^{14}C ”バックグラウンドの大きさは、年代の古い(数十万年以上)試料から調製されたターゲットの ^{14}C 年代測定を行う事によって推定される。上で用いられたグラファイトは細粉化され、銀粉末と混合されてC-Agターゲットが作製された。このC-Agターゲットの測定結果を表2に示す。C-Agターゲット作製の操作によりバックグラウンドレベルが少し高くなっている(現代炭素の混入率は約0.05%)。また、土壌有機物や貝化石等は、図4に示されるように、試料調製の過程でいったん CO_2 ガスの状態を経由する必要がある。現有の調製システムを用いて、試薬の大理石試料からガス状態の CO_2 を経由して調製されたターゲットの ^{14}C 年代は、32000~35000 y BP(現代炭素の混入率は1~2%)と得られている[18]。現代炭素の混入率がこの様に大きい事の原因

として、CO₂ガスの還元過程に用いられるステンレス容器に¹⁴C汚染のソースがある事が明かとなった。このCO₂の還元操作の過程における¹⁴C汚染のレベルをできるだけ下げるため、現在検討が進められている。

(c)の“¹⁴C”バックグラウンドについて、詳細な検討はまだ行われていない。新しい重イオン検出システムを導入する事により、検出器から得られる情報量を増やして、入射イオンが¹⁴C³⁺であることの確認をもっと厳密に行う必要がある。

7. 結語

名古屋大学タンデトロン加速器質量分析計を使用すれば、現代の環境試料や年代が比較的新しい試料（数千年前まで）については、2~5 mgの炭素を含むC-Agターゲットを用いて、約5時間の測定で、¹⁴Cの濃度を約±1%の誤差で求めることができる。これらの性能で、第一段階の研究開発は完了したとする立場から、1987年1月よりタンデトロン分析計の名古屋大学内共同利用が開始された。しかし、約1年あまり共同利用が進められるに及んで、同分析計の性能のレベルアップがさらに要請されている。例えば、

- (a) 極微量の炭素試料（ミリグラム以下の炭素）による¹⁴C測定、
- (b) ¹⁴C測定の精度の向上（±0.2~±0.5%の誤差：年代値で±16~±40年の誤差）、
- (c) 測定可能な年代の上限の拡大（7~8万年前まで）、
- (d) 1日あたりの測定試料数の増加（5~10個/day）、
- (e) 分析計の自動化（オペレーターや利用者の負担を軽減するとともに、測定結果の operator dependenceを排除する）、

などが列挙されよう。しかし、現在行なわれている共同利用を効率良く進めようとするれば、分析計の稼働時間や人的資源（専任スタッフは1名のみ）などによる制約から、分析計の改良や新しい試料調製方法の開発を進める余裕はほとんどない。従って、上に述べた様な装置の研究開発にも利用者自身が積極的に参加する事が望まれるし、専任スタッフの増員も強く切望される。

謝辞

タンデトロン加速器質量分析計の設置準備から学内共同利用開始に至るまで、設置準備委員会や技術専門小委員会の委員各位を始めとして、アイソトープ総合センターの教職員や学内諸機関の関係者の皆様に御尽力頂いた。また、タンデトロン分析計の組立や改造等で、理学部金属工作室の高松軍三技官を始めとするスタッフの方々、硝子細工室の吉岡茂雄技官には大変お世話になった。さらに、学習院大学の木越邦彦教授、日本アイソトープ協会の浜田達二博士、峯村明彦氏、金沢大学低レベル放射能実験施設の阪上正信名誉教授、および横浜国立大学の島誠教授には年代既知試料の提供や貴重な助言を頂いた。また、同分析計の設置から今日の保守に至るまで、セイコー電子工業株式会社の関係者には大変協力して頂いている。ここに深く感謝致します。

今後とも、学内共同利用が円滑に進められ、さらに、タンデトロン分析計の性能のレベルアップが着実に推進されていく様に、測定利用委員会の各委員、アイソトープ総合センターの教職員や利用者各位のなご一層の御協力をお願い致します。

表2. タンデトロン加速器質量分析計による¹⁴C測定における¹⁴Cバックグラウンド.

Target	$\frac{{}^{14}\text{C}/{}^{13}\text{C}}{\text{sample}}}{\frac{{}^{14}\text{C}/{}^{13}\text{C}}{\text{standard}}}$	Apparent age (y BP)*	Total counts of ¹⁴ C
Natural graphite	0.000301±0.000066	65200±1800	21
C-Ag target (natural graphite)	0.00052 ±0.00012	60700±1900	19
	0.00056 ±0.00013	60200±1800	19

*) Based on ¹⁴C half life of 5570 years; 0 y BP= A.D. 1950.

参考文献

- [1] R.A. Muller, Science, 196 (1977) 489.
- [2] K.H. Purser, et al., Rev. de Phys. Appl., 12 (1977) 1487.
- [3] C.L. Bennett, et al., Science, 198 (1977) 508.
- [4] D.E. Nelson, et al., Science, 198 (1977) 507.
- [5] C.L. Bennett, et al., Science, 201 (1978) 354.
- [6] R.A. Muller, et al., Science, 201 (1978) 347.
- [7] R.A. Muller, Proc. 1st Conf. on Radiocarbon Dating with Accelerators, Univ. of Rochester, 1978.
- [8] G.M. Raisbeck, et al., Science, 202 (1978) 215.
- [9] H.E. Gove(ed.), Proc. 1st Conf. on Radiocarbon Dating with Accelerators, Univ. of Rochester, 1978, April 20-21.
- [10] W. Henning, et al. (ed.), Proc. Symp. on Accelerator Mass Spectrometry, Argonne, 1981, May, 11-13.
- [11] W. Wolfli, et al. (ed.), Proc. 3rd Int. Symp. on Accelerator Mass Spectrometry, Nucl. Instr. and Methods, B5 (1984) 91.
- [12] H.E. Gove (ed.), Proc. 4th Int. Symp. on Accelerator Mass Spectrometry, Nucl. Instr. and Methods, B29 (1987) 1.
- [13] 中井信之ほか, Tracer, 9 (1984) 28.
- [14] T. Nakamura, et al., Jpn. J. App. Phys., 24 (1985) 1716.
- [15] 中村俊夫ほか, 放射線, 13 (1986) 65.
- [16] H. Godwin, Nature, 195 (1962) 984.
- [17] 中井信之ほか, Radioisotopes, 32 (1983) 53.
- [18] 小島貞男 (名古屋大学アイソトープ総合センター) (発表準備中).