

加速器質量分析技術の発展と応用研究の拡大
**Recent development of techniques of accelerator mass spectrometry and
its expanding applications**

中村 俊夫^{1*}
Toshio NAKAMURA^{1*}

¹名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究部, 〒464-8601 名古屋市千種区不老町
¹ Division of Chronological Research, Institute for Space-Earth Environmental Research,
Nagoya University, Chikusa, Nagoya 464-8601, Japan

* Corresponding author: *e-mail:nakamura@nendai.nagoya-u.ac.jp*

Abstract

A model 4130-AMS ¹⁴C analyzer, produced by General Ionex Corporation, USA, was successfully introduced to the Radioisotope Center, Nagoya University, in 1981/82. The first ¹⁴C signal was detected with the machine in February 1983 and routine ¹⁴C measurements were started in the autumn of 1983. The AMS system has processed totally 8,652 unknown samples by July in 2000, after that time, he transferred his role of ¹⁴C measurements to another new successor. A second AMS system, dedicated to high-precision and high-accuracy ¹⁴C measurement, with a recombinator system to measure three carbon isotopes ¹²C, ¹³C and ¹⁴C simultaneously, produced by High Voltage Engineering Europe BV, The Netherlands, was installed in 1996/97. ¹⁴C measurements with the machine were started in 1999 and the machine has measured totally 23,921 graphite targets by the end of December 2015.

Following the results of applications of the two AMS system for ¹⁴C measurements at Nagoya University, a brief history of the developments of AMS techniques and applications mainly in Japan is described. In addition, future perspectives of AMS are discussed.

Key words: AMS ¹⁴C dating; status report on AMS applications in Japan, radionuclide as a tracer, interdisciplinary application of age measurement

キーワード: 加速器質量分析による ¹⁴C 年代測定, 日本における AMS 利用の現況報告, 放射性核種のトレーサー利用, 年代測定の学際利用

1. はじめに

日本では, 民間企業を除くと, 公的機関における加速器質量分析(AMS)装置の導入は 1997 以降には停滞していた. しかし, 2010 年の山形大学高感度加速器質量分析センターをかわきりに, 東京大学海洋研究所, 国立環境研究所, 筑波大学研究基盤総合センター, 東京大学総合研究博物館と, 5 施設で次々と導入が進められた. いずれも National Electrostatic Corporation (NEC)社製であり, 加速電圧 0.25MV が 1 台, 0.5MV が 3 台, 6MV が 1 台である. 4 台は放射性炭素 (¹⁴C) 測定の専用機であり, 日本でも ¹⁴C 測定のニーズが高いことがわかる. ¹⁴C 測定は, ほぼ完成した技術であり, これからは, 応用の分野で, ガスイオン源を用いた超微量炭素の定量, 誤差が±0.1%以下の超高精度測定などの技術開発がさらに進んでいくものと思う.

本稿では, AMS の特徴である, 微量の炭素を用いて高精度の ^{14}C 測定が可能なこと, ^{14}C 測定バックグラウンドが低く 5 万年前までの年代測定が可能なることを改めて強調しておきたい. 次に, 特に名古屋大学において, タンデトロン加速器質量分析計 1 号機が日本の ^{14}C 年代測定に果たした役割, 2 号機の導入の意義について論ずる. 最後に, AMS 研究における今後の展望を述べる.

2. AMS 研究における日本と世界の現状

AMS 発展の歴史を図 1 に示す. 発展としては, 多種類の天然微量放射性同位体測定の利用, 小型化へ向けての性能向上が目立っていることがわかる. 現在では, 既に全世界で約 110 台におよぶ AMS 装置が導入されている(中村 2013). 当初 1977 年に, 質量分解能の高いサイクロトロン加速器を用いて, ^{10}Be や ^{14}C の測定が計画された(Muller et al. 1977). また同年に, カナダのマクマスター大学および米国のロチェスター大学のタンデム加速器を用いた AMS により初めて ^{14}C 測定が行われた(Nelson et al. 1977; Bennett et al. 1977). その後約 40 年間にわたって, 元々は原子核物理学実験などに用いられていた既存のタンデム加速器 (加速電圧 5~12 MV) が AMS 用に改造され, 利用されてきた.

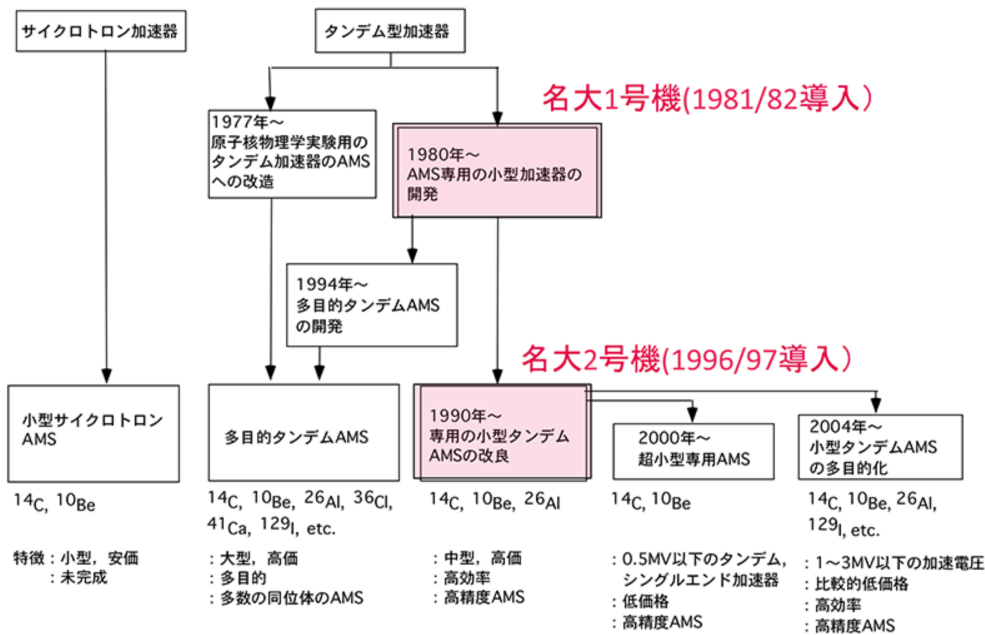


図 1 加速器質量分析の発展の流れ

こうした既存のタンデム加速器の改造とは別に, 小型タンデム加速器 (加速電圧 2~3MV) を用いた AMS 専用のシステム (タンデトロン AMS 装置) が米国 General Ionex 社によっていち早く開発され, 1981~1983 年にかけて米国, 日本, カナダ, イギリス, フランスに導入された. 名古屋大学のタンデトロン AMS はその 1 台である(Nakai et al. 1984). この AMS 専用機はきわめて安定した性能を持ち, AMS 開発初期の 1980 年台において, これら数台で全世界の ^{14}C 測定データの過半数を生み出したと言って過言ではない. さらに, 1991 年以降は, US-AMS 社, その後オランダの High Voltage Engineering Europe (HVEE)社により, 従来のタンデトロン AMS が, 最新のコンピューター, 電気・機械制御の技術を取り入れて改良され, 炭素の 3 種類の同位体を同時に加速器に入射できるリコンビネーターが考案され ^{14}C 測定専用の高性能改良型タンデトロン AMS として販売されている. この改良型 AMS 装置は, 米国ウッズホール海洋研究所(Reden et al. 1994), オランダのグロー

ニンゲン大学(Mous et al. 1994), ドイツのクリスティン・アルブレヒト大学(Nadeau et al. 1997)に設置され, 1996/97年3月には名古屋大学の AMS-2 号機として設置された(Nakamura et al. 2000a). 1997年3月末には, ^{14}C のほかオプションとして ^{129}I も別途に測定できる機種が日本原子力研究開発機構青森研究開発センターに設置されている(Aramaki et al. 2000). また, 名古屋大学と同型の装置が1998年に韓国のソウル大学(Kim et al. 2000), 2002年にイギリスのオックスフォード大学(Bronk Ramsey et al. 2004), また多目的利用を兼ねた 3MV AMS system が2001年にイタリアの Lecce 大学(Calcagnile et al. 2004), 2003年にフィレンツェの National Institute of Nuclear Physics (INFN), 2005年に中国西安の地球環境研究所(Zhou et al. 2006)に設置された. 最近では, 最新型機がカナダの Ottawa 大学に設置された.

本格的な多目的利用のタンデム加速器として, 1991~1993年にかけて東京大学に設置されたタンデム加速器では, AMS を主たる目的として設計・製作され, ^{10}Be , ^{14}C , ^{26}Al 以外にも, ^{36}Cl , ^{41}Ca , ^{129}I などいくつかの放射性同位体の測定が計画された. これは, 図1に示した多目的タンデム AMS 開発への流れである. 東京大学は, 1982年ごろタンデム・バンデグラフ加速器を改良した AMS が開発され, ^{10}Be , ^{14}C , ^{26}Al の測定が1991年までルーティンに行われていた(Imamura et al. 1984; Kobayashi et al. 1994). その後, 1991年から1993年にかけて米国の National Electrostatic Corporation (NEC)社製の加速電圧 5MV の新型タンデム加速器に更新されたのである. 現在, この装置を用いて ^{10}Be , ^{14}C , ^{26}Al , ^{36}Cl , ^{129}I の測定がルーティンに実施されている(Matsuzaki et al. 2007). 日本国内のその他の研究機関による AMS 研究の進展状況としては, 東京大学と同型の AMS 装置が国立環境研究所に1995年の秋に設置されている. 国立環境研究所では, ^{14}C 濃度の測定において $\pm 0.3\sim\pm 0.7\%$ の再現度が達成されている(Kume et al. 1997). また同型の AMS 装置が1997年3月に日本原子力研究開発機構東濃地科学センター(Xu et al. 2000)に設置されている. さらに2000年台の始めには, NEC社は, 加速電圧 3 MV, 1.7 MV, 500 KV のタンデム加速器を用いた AMS システムを開発している. 加速電圧 3 MV のタンデム加速器による AMS システムは, オーストリアのウィーン大学, 米国のアリゾナ大学, そして日本の加速器分析研究所(株)などに設置され順調に稼働している. 2000年台の始めには, 日本国内では, このほか, 筑波大学(Nagashima et al. 2000), 京都大学(Nakamura et al. 2000b), 九州大学(Mitarai, 2004)でも既存のタンデム加速器を用いた AMS の研究が推進されており, 筑波大学では ^{36}Cl の測定が, 京都大学では ^{14}C の測定が可能となっていた.

また2000年台の始めには, 加速電圧 0.5MV のタンデム加速器を用いる小型の AMS システムの利用が急速に発展している. 米国 NEC 社製の compact-AMS システム(CAMS)(Knezovich et al. 2007)が, ポーランドの Poznan 研究所, アメリカ合衆国の Georgia 大学, California 大学, 日本のパレオ・ラボ(株)および加速器分析研究所(株), 中国の北京大学を始めとして世界で20施設以上(日本においては5施設)に導入されている. また, 加速器 0.25MV のシングルエンド静電加速器(SSAMS)を用いる AMS システムが ^{14}C 測定専用として開発され, スウェーデンの Lund 大学, オーストラリアの ANU 大学など, 既に15施設以上で導入されている(Knezovich et al. 2007). 日本では, 東京大学大気海洋研究所に2013年に導入された. さらに, 加速電圧 1MV 程度の小型タンデム加速器を用いて複数の同位体を測定できる装置の開発が進められた. オランダ HVEE 社が, 大韓民国地質鉱物資源調査研究所(KIGAM)を始めとして世界で9台導入した Tandetron AMS 装置は加速電圧 1MV であるが, ^{10}Be , ^{14}C , ^{26}Al の高精度の測定が保証されている. このようにこれまで, 世界で利用されている AMS 装置は, オランダの HVEE 社と米国の NEC 社の2社による製品でほぼ独占されて, 両社が AMS 関連の新技术の開発にしのごを削ってきた. 大型装置が HVEE 社, 小型装置が NEC 社とほぼ分業される傾向があり, また米国では NEC 社の装置, ヨーロッパでは HVEE 社の装置が優先して導入される構図となっている. 他方最近になって, スイスの PSI/ETH 実験室(Synal et al. 2015)や英国の Oxford 大学に所属する AMS 研究者が, AMS 関連の新技术(装置のさらなる小型化とし

て加速電圧 0.2MV の AMS 装置 (MICADAS), CO_2 ガスイオン源, さらにグラファイト調製装置など) の開発に参画し, 高性能の機器を生み出している. 2015 年 11 月 16~20 日に開催された第 22 回放射性炭素国際会議において, MICADAS の開発者である Synal et al. (2015)によると, MICADAS 装置は, ヨーロッパを中心にして既に 10 台以上が導入されている. Synal et al. (2015)は MICADAS 装置を用いて, ^{14}C を 0.1%の精度で測定する研究を進めている.

3. 名古屋大学タンデトロン 1 号機の果たした役割

加速器質量分析 (AMS) 法により始めて ^{14}C 測定が行われた結果が米国の科学雑誌 *Science* に投稿されたのは, Nelson et al. (1977)と Bennett et al. (1977)により共に 1977 年 6 月のことである. 使われた加速器はタンデム型の静電加速器であった. 従来, 物理学実験に使用されていたタンデム型加速器が, 加速器質量分析に基づきごく微量の放射性同位体が測定できるように改造を受けたものであった. 早くもその 2, 3 年後の 1980 年には, 米国の General Ionex 社により AMS 専用の分析装置が開発されていた. それが, 前述のタンデトロン AMS 装置であり, 1980~1983 年にかけて米国, 日本, カナダ, イギリス, フランスに導入された. 名古屋大学タンデトロン 1 号機は, その一台であり, 名古屋大学には, 1981 年の 3 月にイオン源などを主とする初年度分, 1982 年の 3 月に加速器本体を主とする次年度分が納入され, 全システムの調製が始まった. 1982 年 10 月に加速電圧 1.6MV で C^{3+} イオンの加速を確認, 1983 年 2 月に $^{14}\text{C}^{3+}$ を始めて検出し, 9 月には ^{14}C 年代測定を開始した. 1987 年 1 月から本来の装置使用の目的である学内共同利用を開始した. 名古屋大学における学内共同利用については, 名古屋大学タンデトロン加速器質量分析計業績報告書 (I~XXVII) を参照していただきたい (名古屋大学アイソトープ総合センター; 名古屋大学年代測定資料研究センター; 名古屋大学年代測定総合研究センター, 1988~2015). そのなかで, 特に 1 号機の立ち上げなどに関しては, 中村 (2011) に詳しい.

1990 年台からウィンドウズのパソコンが普及し, 大型装置を購入すると, パソコン制御が当たり前であった. しかし, 初期のパソコンの性能が不十分で機器の性能が十分に引き出せないこともあった. 1980 年の始めに導入された名古屋大学 1 号機には, パソコンの装備は無く, 導入された加速器は全手動型であった. 別途に導入したパソコン (DEC-LSI-11) は, 測定データをパソコンに取り込むだけで, 加速器の立ち上げから測定のための各パーツの調整はすべて手動で行った.

1980 年台は, 放射能測定による ^{14}C 年代測定が完成期を迎えており, 日本でも 17 施設で, ガス比例計数管や液体シンチレーション装置を用いて ^{14}C 年代測定が行われていた (中村 1999). 1 号機のタンデトロン AMS については, 現在世界で稼働しているイオン源に比べて, 炭素イオン出力が非常に弱く, ^{14}C の総計数は, すなわち統計誤差は, 放射能測定法と同程度であり, ^{14}C 年代測定の誤差は, AMS と放射能測定でほとんど同じであった ($\pm 80 \sim \pm 200$ 年程度). ただし, 放射能測定に必要な炭素は 1g オーダーであるのに対し, AMS ではその千分の一の 1mg 程度の微量の炭素で測定できることから, さまざまな試料に適用可能となった. 環境試料としては, 大気, 海水・湖水, 有孔虫の殻, 堆積物中の有機態炭素, 隕石, 考古学・古文化財試料としては, 土器附着炭化物, 絵画・古文書, 木製仏像, 鉄器などがあげられる. これらの試料では, 放射能測定法では十分な試料量が確保できないため, 測定がほとんど不可能であった. AMS で始めて ^{14}C 測定が可能になったのである. また, 1 号機の ^{14}C のバックグラウンド計数も低く, ^{14}C を含まない鉱物グラファイトを測定すると 6~7 万年前の年代が得られ, 5 万年前台の試料の年代測定値も信頼できるものであった.

このように放射能測定の利用範囲を超えてさまざまな応用研究が進展したが, 1 号機の利用は, 考古学・古文化財関連試料では期待したほどには進展しなかった. AMS では, グラファイト合成技術が導入され, 測定精度が良くなってきたが, それでも ± 50 年程度であったため, 考古学・古文化財の分野での ^{14}C 年代の利用は期待したほどには活発化しなかったのである. 測定精度が ± 20 年

程度まで小さく出来る第二世代の AMS が利用できるまで待つことになった。

名古屋大学タンデトロンAMSによる¹⁴C測定の学際利用



図2 名古屋大学タンデトロン加速器質量分析装置1, 2号機を用いて行われてきた研究

4. 名古屋大学タンデトロン2号機の導入の果たした意義

名古屋大学タンデトロン2号機の原型は、米国の企業 US-AMS の Purser が考案したりコンビネーターを用いて、3種類の炭素同位体を加速器へ同時に入射して計測する装置で、米国 Woods-Hole 海洋研究所に 1999 年に第一号機が導入された。名古屋大学タンデトロン加速器質量分析計は、1996/97 年に導入された。パソコン技術の大幅な進歩により分析計の制御から、測定データの取込・保存はすべてウインドウズのパソコンによる。イオン源の改良により、炭素イオン電流は 10~30μA 程度が得られる。これは現代炭素試料では、炭素陰イオンが 1 秒間に 6~18 x10¹³ 個生成されることになる。重イオン検出器における ¹⁴C の検出率は、50~100 個程度となり、統計誤差を低く抑えた高精度 ¹⁴C 測定が可能となった。

タンデトロン加速器質量分析装置2号機による¹⁴C年代測定は次の様な特徴を持つ。

- (1) ごく少量の炭素試料で測定が可能である。最終段階で分析に必要な炭素量は 0.2~1.5mg である。
- (2) 測定誤差は、数千年前までの比較的新しい試料については、定常的な年代測定では±20~±30 年程度である。試料の年代が古くなると統計誤差によりこれより大きくなる。
- (3) ごく低い ¹⁴C 濃度の測定が、すなわち古い年代の測定が可能である。約 5 万年前まで遡って年

代測定ができる。

(4) 測定に要する時間が短く、1 試料あたり 1~2 時間程度である。

2 号機を用いて測定されたグラフィットの個数は試料及び標準体を含めて、1999 年の測定開始から 2015 年末までの 17 年間で 23,921 にのぼる。1 号機による試料測定の全数は 8,652 個（この数字は、試料のみの数字であり、標準体は含まない）である。この間、図 2 に示すようなさまざまな応用研究が行われてきた。特に力を入れてきたのは、(1)国内の考古遺跡、例えば真脇遺跡、東名遺跡等の高密度年代測定 (Nakamura et al. 2013a; 2015)、(2)樹木年輪試料を用いた日本産樹木年輪の暦年校正の検討 (中村 2010; Nakamura et al. 2013b)、(3) 樹木年輪試料を用いた過去の宇宙線強度の経年変動 (Miyake et al. 2012; 2013)、(4)海洋の炭素リザーバー効果の検討 (Nakamura et al. 2015)、(5)鉄製文化財の年代推定、(6)土器付着炭化物による土器使用時期の推定 (Nakamura et al. 2001; 中村 2010)、などである。

特に 2 号機導入以降の動きとしては、 ^{14}C 年代測定の誤差が ± 20 年程度に小さくなり、考古学研究者の ^{14}C 年代測定に対する抵抗感が薄まってきたように思われる。国立歴史民俗博物館主導の弥生時代の編年研究も弥生式土器に付着する炭化物の ^{14}C 年代測定を基に進められてきた (西本 2009)。遺跡発掘遺物の編年において、AMS による ^{14}C 年代測定は今や不可欠な項目となっている。

5. 今後の展望

AMS の世界的な需要としては、 ^{14}C 測定を中心とした小型化、高性能化が進んでいる。従来のようにタンデム加速器を用いずにシングルエンド加速器を用いた、しかも加速電圧がわずかに 0.25 kV のシングルエンド AMS (SSAMS) が 2004 年に開発されて以来、既に 15 台以上が設置されている。また、一足先に市場に出回ったコンパクト AMS (CAMS) は、既に 20 台以上が設置されている。 ^{14}C 測定の性能は、危惧された ^{14}C ブランク値も低く（ほぼ 50,000 BP 相当）、比較的若い試料の測定誤差は、定常的に ± 20 ^{14}C years ($\pm 1\sigma$) が得られている。また、加速電圧 0.2MV の MICADAS 装置を用いて、 ^{14}C を 0.1%の精度で測定する研究が精力的に進められている。特に、名古屋大学で検出した樹木年輪に記録される ^{14}C 濃度急変動 (Miyake et al. 2012; 2013, AD774~775 及び AD993~994 の ^{14}C の急増) が、MICADAS 装置を用いて 0.1%の精度で測定が進められている (Synal et al. 2015)。太陽活動による大気中の ^{14}C 生成の詳細な季節変動のメカニズムが明らかになると期待される。

一方で、加速電圧 5MV 以上のタンデム加速器を用いた AMS 装置も、数は少ないが順調に導入されており、天然にごく微量に存在するさまざまな天然・人工放射性同位体 (マルチエレメント) の測定が進められ、様々な試料の年代測定や、それらの濃度分布から環境動態の研究に利用されている。日本国内では筑波大学において、米国 NEC 社製の加速電圧 6MV のタンデム加速器が 2014 年 3 月に設置された。 ^{10}Be , ^{14}C , ^{26}Al , ^{36}Cl , ^{41}Ca , ^{129}I 等の長寿命核種の測定が計画されている。加速器施設の使用承認申請に手間取って運転開始が遅れていたが、まもなく、測定が簡単な核種から測定利用が開始されることであろう。

^{14}C 以外の同位体のなかでは、 ^{10}Be が比較的良好に測定されているが、試料調製法の基本は大きくは進展していない。 ^{14}C 測定では、医学・薬学利用の進展が相まって試料調製方法の改良が進んでいる。多数の試料をいかに効率よく処理するかを目的として開発が進められている。一時期は、ガス (CO_2) イオン源の開発は、直前に測定した試料による汚染の問題から停滞していたが、正確度を多少犠牲にしても、測定数をこなすこと、ごく微量の炭素でも定量が可能であることから、既に実用化されている。実際、大気エアロゾルの研究では、炭素質エアロゾルの起源を検討するうえで ^{14}C が利用されているが、エアロゾル試料ではごく微量の炭素しか回収できないことから、 CO_2 ガスイオン源がきわめて有効に利用されている (Wacker et al. 2013)。今後益々、小型化、試料の少量化、測定精度の向上が進み、応用範囲がさらに拡大するものと期待される。

参考文献

- Aramaki, T., Mizushima, T., Mizutani, Y., Yamamoto, T., Togawa, O., Kabuto, S., Kuji, T., Gottdang, Klein, M. and Mous, D.J.W. : The AMS facility at the Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI). Nucl. Instr. Methods, B172, 18-23 (2000).
- Bennett, C.L., Beukens, R.P., Clover, M.R., Gove, H.E., Libbert, R.B., Litherland, A.E., Purser, K.H. and Sondheim, W.E.: Radiocarbon dating using electrostatic accelerators: negative ions provide the key. Science, 198, 508-510, (1977).
- Bronk Ramsey, C.B., et al.: Radiocarbon, 46, 1, 17 (2004).
- Calcagnile, L., Quarta, G., D'Elia, M., Rizzo, A., Gottdang, A., Klein, M. and Mous, D.J.W. : A new accelerator mass spectrometry facility in Lecce, Italy. Nucl. Instr. And Methods, B223-224, 16-20 (2004).
- Imamura, M., Hashimoto, Y., Yoshida, K., Yamane, I., Inoue, T., Nagai, H., Honda, M., Kobayashi, K., Takaoka, N. and OHba, Y.: Tandem accelerator mass spectrometry of $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$ with internal beam monitor method. Nucl. Instr. and Methods, B5, 211 (1984).
- Kim, J.C., Lee, C.H., Kim, I.C., Park, J.H., Kang, J., Cheoun, M.K., Kim, Y.D. and Moon, C.B.: A New AMS facility in Korea. Nucl. Instr. Methods, B172, 13-17 (2000).
- Kobayashi, K., Hatori, S. and Nakano, C.: AMS system at the University of Tokyo. Nucl. Instr. and Methods, B92, 31-34 (1994).
- Kume, H., Shibata, Y., Tanaka, A., Yoneda, M., Kumamoto, Y., Uehiro, T. and Morita, M. : The AMS facility at the National Institute for Environmental Studies (NIES), Japan. Nucl. Instr. Methods, B123, 31-33 (1997).
- Knezovich, J., Brown, T., Buchholz, B., Finkel, R., Guilderson, T., Kashgarian, M., Nimz, G., Ognibene, T., Tumey, S. and Vogel, J. (eds.) : The tenth International Conference on accelerator mass spectrometry. Nucl. Instr. and Methods, B259, pp.816 (2007).
- Matsuzaki, H., Nakano, C., Tsuchiya (Sunohara), Y., Kato, K., Maejima, Y., Miyairi, Y., Wakasa, S. and Aze, T. : Multi-nuclide AMS performances at MALT. Nucl. Instr. and Methods, B259, 36-40 (2007).
- Miyake, F., Nagoya, K., Masuda, K. and Nakamura, T. : A signature of cosmic-ray increase in AD 774-775 from tree rings in Japan. doi:10.1038/Nature 11123.3d, (2012).
- Miyake, F., Masuda, K. and Nakamura, T. : Another rapid event in the carbon-14 content of tree rings. Nature Communications 4:1748, doi:10.1038/ncomms2783, (2013).
- Mitarai, S., Kanegae, Y., Tanaka, K., Morikawa, H., Maeda, T., Noro, T. and Morinobu, S. : Improvement of AMS system at Kyushu University. Nucl. Instr. and Methods, B223-224, 135-138 (2004).
- Mous, D.J.W., Gottdang, A, and van der Plicht, J Status of the first HVEE ^{14}C AMS in Groningen. Nucl. Instrum and Methods in Physics Research, B92, 12-15, (1994).
- Muller, R.A. : Radioisotope dating with a cyclotron. Science, 196, 489-494 (1977).
- Nadeau, M.-J., Schleicher, M., Grootes, P.M., Erlenkeuser, H., Gottdang, A., Mous, D.J.W., Sarnthein, J.M. and Willkomm, H. : The Leibniz-Labor AMS facility at the Christian-Albrechts University, Kiel, Germany. Nucl. Instr. and Methods, B123, 22-30 (1997).
- Nagashima, Y., Seki, R., Takahashi, T. and Arai, D. : Status of the ^{36}Cl AMS system at the University of Tsukuba. Nucl. Instr. and Meth.ods, B172, 129-133 (2000).
- Nakai, N., Nakamura, T., Kimura, M., Sakase, T., Sato, S., Sakai, A. : Accelerator mass spectrometry of ^{14}C at Nagoya University. Nucl. Instrum and Methods in Physics Research, B5, 171-174, (1984).
- 中村俊夫:放射性炭素法. 長友恒人(編著), 考古学のための年代測定学入門, 古今書院, 1-36 (1999).

- Nakamura, T., E. Niu, H. Oda, A. Ikeda, M. Minami, H. Takahashi, M. Adachi, L. Pals, A. Gott dang, and N. Suya :The HVEE Tandetron AMS system at Nagoya University. Nucl. Instrum and Methods in Physics Research, B172, 52-57, (2000a).
- Nakamura, M., Tazawa, Y., Matsumoto, H., Hirose, M. and Ogino, K. : Status of the Kyoto University AMS system.: Nucl. Instr. and Methods, B172, 124-128 (2000b).
- Nakamura, T., Taniguchi, Y., Tsuji, S., Oda, H. : Radiocarbon dating of charred residues on the earliest pottery in Japan. Radiocarbon, 43, 1129-1138, (2001).
- 中村俊夫：加速器質量分析法による放射性炭素年代と暦年代への較正-弥生後期から古墳中期を中心に-。考古学と自然科学, 61, 73-87, (2010)。
- 中村俊夫：名古屋大学における¹⁴C-AMS研究の黎明期（1980-1990）。名古屋大学タンデトロン加速器質量分析計業績報告書, XXII, 23-36, 2011, (2011)。
- 中村俊夫：宇宙線生成放射性同位体による年代測定：加速器質量分析（AMS）の利用。月刊地球 号外, 62, 178-184, (2013)。
- Nakamura, T., Matsui, A., Nishida, I., Nakano, M. and Omori, T. : Time range for accumulation of shell middens from Higashimyo (western Japan) and Kimhae (southern Korea) by AMS radiocarbon dating. Nucl. Instrum. Methods B294, 680-687, (2013a).
- Nakamura, T., Masuda, K., Miyake, F., Nagaya, K., Yoshimitsu, T. : Radiocarbon ages of annual rings from Japanese wood: evident age offset on IntCal09. Radiocarbon, 55 (2-3), 763-770, (2013b).
- Nakamura, T., Masuda, K., Miyake, F., Hakozaki, M., Kimura, K., Nishimoto, H. and Hitoki, E. : High-precision age determination of Holocene samples by radiocarbon dating with accelerator mass spectrometry at Nagoya University. Quaternary International, (2015) (in press).
- Nelson, D.E., Korteling, R.G. and Stott, W.R.: Carbon-14: direct detection at natural concentrations. Science, 198, 507-508, (1977).
- 名古屋大学アイソトープ総合センター：名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, I, (1988).
- 名古屋大学年代測定資料研究センター：名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, II~XI, (1991~2000).
- 名古屋大学年代測定総合研究センター：名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, XII~XXVI, (2001~2015).
- 西本豊弘（編著）：弥生農耕のはじまりとその年代。新弥生時代の始まりシリーズ第4巻，雄山閣，pp.163, (2009).
- Reden, K.F., Schneider, R. J., Cohen, G. J. and Jones, G. A.: Performance characteristics of the 3MV Tandetron AMS system at the National Ocean Sciences AMS facility. Nucl. Instr. and Meth. B 92, 7-11 (1994).
- Synal, H.-A., Fahrni, S., Sookdeo, A., Wacker, L., Galvan, D., Evershed, R. and Knowles, T. : How far can we get? - One permil radiocarbon measurements on a single cathode with a MICADAS instrument. Abstract book of 22nd radiocarbon Conference, Held in Dakar, Senegal, Nov. 16-22, (2015).
- Wacker, L., Fahrni, S. M., Hajdas, I., Molnar, M., Synal, H. A., Szidat, S., and Zhang, Y. L.: A versatile gas interface for routine radiocarbon analysis with a gas ion source, Nucl. Instrum. Meth. B, **294**, 315-319 (2013)
- Xu, S., Ito, S., Iwatsuki, T., Abe, M. and Watanabe, M. : A new AMS facility at the JNC Tono Geoscience Center, Japan. Nucl. Instr. Methods, B172, 8 (2000).
- Zhou, W., et al. : Radiocarbon, 48 (2), 285 (2006).