

平成 14 年度援助金使用報告

第 9 回加速器質量分析国際会議報告

中 村 俊 夫*

The 9th International Conference on Accelerator Mass Spectrometry

Toshio NAKAMURA *

I. 加速器質量分析国際会議と日本開催の経緯

加速器質量分析 (Accelerator Mass Spectrometry; AMS) は、放射性炭素 (^{14}C) 年代測定の分野に大革命をもたらした。これまで試料の量が不十分のため不可能とされていた様々な試料の ^{14}C 年代測定が、AMS により可能となっている。AMS は、地質学、考古学、文化財科学など、 ^{14}C 年代を利用するすべての関係分野の研究発展に多大な貢献をしている (中村, 1999)。

AMS に関する国際会議は 3 年ごとに開催されており、世界各国の AMS 実験施設の研究者および応用研究に従事する研究者が集い、研究発表、意見交換を行う場を提供している。この度の日本開催は、わが国で蓄積された研究成果を公表し、日本における AMS 研究の発展状況を世界に発信するだけでなく、日本の研究者と世界の研究者との情報交換や意見交換の場でもある。国際会議は国内の研究者を刺激し、年代測定利用など AMS を利用する国内のあらゆる研究分野の発展に大きく寄与するものと期待される。

さて、今回で 9 回目となった加速器質量分析国際会議の歴史をたどると、1977 年にアメリカおよびカナダの研究者グループにより AMS による ^{14}C 測定法が開発され (Nelson *et al.*, 1977; Bennett *et al.*, 1977)、その翌年の 1978 年に第 1 回加速器質量分析国際会議が米国ロチェスター大学で開催

された (Gove, 1978)。以後、この会議は 3 年ごとに順調に回を重ねている (表 1)。日本人の参加は 1981 年に Argonne 国立研究所で開催された第 2 回大会 (Henning *et al.*, 1981) からであり、この時は 3 名であった。そのうちの 1 名は、名古屋大学に設置されるタンデトロン加速器質量分析計について報告した (Furukawa *et al.*, 1981)。その後、1984 年にチューリッヒ (Wölfli *et al.*, 1984)、1987 年にナイアガラ瀑布の湖畔 (Gove *et al.*, 1987)、1990 年にパリ (Yiou and Raisbeck, 1990)、1993 年にキャンベラ・シドニー (Fifield *et al.*, 1994)、1996 年にアリゾナ (Jull *et al.*, 1997)、1999 年にウィーン (Kutschera *et al.*, 2000)、そして 2002 年に名古屋にて開催された。

1996 年のアリゾナ大会において、日本の AMS 研究者グループは、国内における AMS 研究の進展状況をかんがみ、日本開催の機は熟したと見て第 8 回会議の日本開催に立候補した。しかし、全世界の AMS 研究者による投票の結果、残念ながらウィーン開催が決定した。そこで、ウィーン大会で日本開催を再度立候補し、ついに第 9 回 AMS 会議の日本開催が 2000 年 11 月に決定した (表 1)。これを受けて、日本の AMS 研究者グループで実行委員会を組織し会議の内容を議論した。その結果、国際会議の本会議は 2002 年 9 月 9 ~ 13 日に名古屋大学にて、またこれに先立って、9 月 6 日に「環境中の ^{10}Be の動態」に関するシンポジウム

* 名古屋大学年代測定総合研究センター

* Center for Chronological Research, Nagoya University

表 1 加速器質量分析国際会議開催の歴史。

回数	年, 月, 日	開催場所	参加人数	日本人 参加人数	日本人 発表件数
1	1978, 4/20-4/21	Rochester, USA	84	0	0
2	1981, 5/11-5/13	Argonne, USA	96	3	2
3	1984, 4/10-4/13	Zurich, Switzerland	160	5	3
4	1987, 4/27-5/1	Niagara, Canada	146	8	6
5	1990, 4/23-4/27	Paris, France	150	3	3
6	1993, 9/27-10/1	Canberra & Sydney, Australia	140	8	8
7	1996, 5/20-5/24	Arizona, USA	249	20	14
8	1999, 9/6-9/10	Vienna, Austria	300	39	40
9	2002, 9/9-9/13	名古屋, 日本	237	88	66

を東京大学で、9月7日に「地質考古学分野における宇宙線生成放射性同位体の応用」に関するシンポジウムを千葉県佐倉市の国立歴史民俗博物館にて開催することを決定した。

II. AMS と年代測定

AMS は、天然に存在する極微量の同位体を定量するのに大変有効である(中村, 1999)。主として、 ^{14}C , ^{10}Be , ^{26}Al , ^{36}Cl などの宇宙線生成放射性同位体について、それらの安定同位体との比($^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$, $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$, $^{36}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$ など)を 10^{-12} ~ 10^{-15} レベルで高感度に測定することができる(中村, 1998)。AMS の地質学研究における応用は年代測定である。例えば、地質学試料の ^{14}C 年代測定は、1950 年ころから、 ^{14}C が放射壊変する際に放射されるベータ線を放射線検出器で計数することにより行われてきた。これに対し AMS では、イオン源で試料から炭素イオンを作り、タンデム型加速装置、質量分析装置、重イオン検出装置、ファラディカップを用いて、炭素イオン($^{12}\text{C}^{3+}$, $^{13}\text{C}^{3+}$, $^{14}\text{C}^{3+}$)を直接計測・計数して、同位体組成比($^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$)を正確に測定する。半減期が 5730 年と長い ^{14}C では、放射壊変を待つのではなく、炭素試料をイオン化してその中の ^{14}C イオンを直接数える方法が格段に測定効率がよい。 ^{14}C の直接測定では、用いる試料の量が 1 mg 程度と少なく、短時間で、高精度にかつ古い年代まで測定できる(中村, 2001)。AMS による ^{14}C 測定は 1980 年代の初期に実用化されて以来、地質学・考古学

試料の年代測定に盛んに利用され、多くの成果を積み上げている。

また、最近では、 ^{10}Be , ^{26}Al を用いた岩石表面露出年代測定が利用できるようになった(青木, 2000)。地表に露出している岩石の表面では、宇宙線の一成分である中性子やミュオンと岩石中の石英などに含まれる酸素やケイ素との核反応により ^{14}C , ^{10}Be , ^{26}Al などが生成される。特に、 ^{10}Be は生成率が比較的高く、かつ半減期が 160 万年と長いため、数万年前に遡る年代測定では、 ^{10}Be の放射壊変による減少は無視できて、生成による蓄積のみを考慮すればよい。今回の会議において、 ^{10}Be 年代測定に関して 7 件の報告があった。

III. 国際会議の内容と参加者

本会議に先立って、9月6日に開催された「環境中の ^{10}Be の動態」シンポジウムでは 43 名が参加し 10 件の口頭発表が、また、9月7日に開催された「地質考古学分野における宇宙線生成放射性同位体の応用」シンポジウムでは 50 名が参加し 11 件の口頭発表と 1 件のポスター発表があった。両シンポジウムでは、外国からの参加者が過半数を占めた。

名古屋会場における本会議の前半では、AMS の最先端技術の研究開発に関する報告および宇宙線生成放射性同位体を用いる年代測定、環境科学・生物医学のトレーサー実験などの応用に関する研究の成果報告が幅広く行われた。会議の後半では、考古学・地質学的研究への AMS の応用を特に深く

掘り下げた研究発表と意見の交換が行われた。発表件数は、口頭発表が102件、ポスター発表が145件であった。この会議の主な議題を表2に示す。

9月9日と12日には、研究発表のあと名古屋大学のAMS実験施設の見学会を実施した。9月11日には、名古屋近郊の文化施設の見学と明治村博物館内の帝国ホテルにて晩餐会を催した。9月13日には、会議全日程を終了し、閉会のセレモニーを開催した。なお、会議が終了したあと9月14～16日に、中部日本を中心とした巡検を企画したが、参加希望者が少なく実施を断念した。

本会議の参加国はアメリカ、イギリス、フランス、ドイツ、中国、韓国、ニュージーランドなどの23ヶ国、参加人数は237名であった。諸外国からの参加者が149名、国内の参加者が88名であった。

IV．主要な研究発表

同種の国際会議が1999年9月にウィーンにて開催されたあと3年間が経過していることから、始めにこの間のAMS技術および応用の発展に関して、2名の著名な研究者を招待して講演していただいた。技術的には、特に、AMS装置の小型化、測定精度の向上が挙げられる。応用に関しては、高精度の測定データに基づく緻密な研究の推進と共に、新たに測定可能となった天然放射性同位体による応用研究の発展が挙げられる。会議の方向性を示す貴重な講演であった。次に、新たにAMS装置を導入して分析を開始した研究施設の紹介があった。それぞれ、最新型の装置を導入して、学際的な研究を推進している。既存のAMS施設の研究概要や技術開発に関する紹介があり、続いて、各国の研究機関で進められている応用研究が紹介され、議論された。応用研究は表2に示すように、海洋科学、陸水、大気、堆積物、氷床、考古学、文化財科学、生物医学、重原子核物理学、材料科学、法医学など多岐にわたる。これらの研究成果は、3年前に比較すると、明らかに、応用分野が広がっており、また研究の掘り下げが深く、議論が緻密になっている。例えば、放射性炭素年代測定では、 ^{14}C の生成率の経年変化により ^{14}C 年代の

表 2 国際会議の主要議題の一覧．

個別会議番号	個別会議の内容
1.	新規の AMS 施設の状況
2.	既存の AMS 施設の現況
3.	技術的な発展
3-1	イオン源
3-2	検出法
3-3	試料調製法
3-4	データ収集とその解析法
3-5	バックグラウンドの低減法
3-6	その他
4.	AMS 測定の標準体、比較検定試料
5.	^{14}C 年代の暦年代較正
6.	AMS の応用
6-1	海洋科学
6-2	地下水学
6-3	大気科学
6-4	堆積学
6-5	氷床学
6-6	考古学
6-7	文化財科学
6-8	生物学、医療科学
6-9	核物質安全科学
6-10	重原子核物理学
6-11	物質科学
6-12	法医学
6-13	その他
7.	将来展望

年代軸にひずみを生じること、このために ^{14}C 年代は暦年代に較正する必要があることが以前から指摘されていた。今回の会議では、 ^{14}C 年代-暦年代較正のためのデータ集積が一段と進み、較正可能な年代範囲が拡大しつつあることが示された(van der Plicht, 2002)。さらに、樹木年輪試料については、 ^{14}C ウイグルマッチングにより、樹木の伐採年や枯死年が ± 10 年程度の誤差で正確に決定できることが示されている(Nakamura *et al.*, 2002)。

また、宇宙線生成放射性同位体のうち、 ^{10}Be 、 ^{26}Al 、 ^{36}Cl 、 ^{41}Ca については、高精度の測定を可能にするために世界共通の標準物質を作成して用いる計画が進行していることが紹介された(Nishiizumi, 2002)。この標準物質を用いて、各国の測定機関

で測定結果の比較検定を行い各機関の分析技術や方法の問題点を洗い出すことにより、世界的規模で、分析技術水準の向上を図ることができる。国際会議で、このような、情報開示、問題点の整理、議論が総合して行われることは非常に重要なことである。こうした世界共通の標準物質作成に関する研究計画の推進により、AMS による放射性同位体測定の精度や正確度の更なる向上を期待したい。

地質学関連の重要な応用研究としては、地表に達する宇宙線成分により岩盤表面などで生成される ^{10}Be , ^{14}C , ^{26}Al , ^{36}Cl および ^{53}Mn の蓄積量を用いた宇宙線照射年代の測定があげられる。氷河の後退期、岩盤破壊の時期、花崗岩体の露出期、氷河の後退により迷子石が取り残された時期、海水準変動の時期、砂の堆積や地形形成過程などの解析のために、これらの放射性同位体を用いる研究が、Wakasa *et al.* (2002) を始めとして 10 件報告されている。宇宙線照射年代測定が、今後さまざまな地質イベントの年代解析に利用されるものと期待される。

なお、この国際会議の会議録は、2003 年中に Nuclear Instruments and Methods in Physics Research (NIM) 誌の特別号として出版される予定である。

謝 辞

東京地学協会からの援助金は、名古屋大学での主催開催のために用いられた。主として、途上国からの参加者の参加登録料、滞在費、会場運営に係わる諸雑費に支出された。9 月 6 日に開催された「環境中の ^{10}Be の動態」シンポジウムの運営は、日本大学文理学部からの補助金で行われた。第 9 回加速器質量分析国際会議は、日本国内の AMS 施設の代表者からなる実行委員会および AMS 関係者の協力により滞りなく円滑に運営された。会議開催を援助していただいた東京地学協会を始めとする諸機関、および献身的に支援して頂いた多くの関係者に深く感謝の意を表します。

文 献

青木賢人 (2000): ^{10}Be 露出年代法を用いた氷成堆積物の形成年代の測定—木曽山脈北部、千畳敷カール・濃

ヶ池カールの事例・第四紀研究, **39**, 189–198.

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. (1977): Radiocarbon dating using electrostatic accelerators: Negative ions provide the key. *Science*, **B**, 508–510.

Fifield, L.K., Fink, D., Sie, S.H. and Tuniz, C. eds. (1994): Proc. of 6th Int. Conf. on Accelerator Mass Spectrometry, Canberra-Sydney, September 27–October 1, 1993. *Nucl. Instr. and Methods*, **B92**, 1–524.

Furukawa, M., Nakai, N. and Nakano, E. (1981): Research project at Nagoya University. *Proc. of 2nd Int. Symp. on Accelerator Mass Spectrometry*, Argonne, May 11–13, 488–489.

Gove, H.E. ed (1978): *Proc. of 1st Conf. on Radiocarbon Dating with Accelerators*. Univ. of Rochester, April 20–21.

Gove, H. E., Litherland, A.E. and Elmore, D. eds. (1987): Proc. of 4th Int. Symp. on Accelerator Mass Spectrometry, Niagara-on-the-Lake, April 27–30. *Nucl. Instr. and Methods*, **B29**, 1–455.

Henning, W., Kutschera, W., Smitter, R.K. and Yntema, J.L. eds. (1981): *Proc. of 2nd Int. Symp. on Accelerator Mass Spectrometry*, Argonne, May 11–13.

Jull, A.J.T., Beck, J.W. and Burr, G.S. eds. (1997): Proc. of 7th Int. Conf. on Accelerator Mass Spectrometry, Tucson, Arizona, May 20–24. *Nucl. Instr. and Methods*, **B123**, 1–612.

Kutschera, W., Golser, R., Priller, A. and Strohmaier, B. eds. (2000): Proc. of 8th Int. Conf. on Accelerator Mass Spectrometry, Vienna, September 6–10. *Nucl. Instr. and Methods*, **B172**, 1–977.

中村俊夫 (1998): 加速器質量分析 (AMS) による宇宙線生成放射性同位体の測定と若い地質年代測定への応用・地質学論集, **49**, 121–136.

中村俊夫 (1999): 放射性炭素法・長友恒人編: 考古学のための年代測定学入門・古今書院, 1–36.

中村俊夫 (2001): 放射性炭素年代とその高精度化・第四紀研究, **40**, 445–495.

Nakamura, T., Ishizuka, Y., Okuno, M., Moriwaki, H., Kim K.H., Jin, B.L., Kimura, K., Oda, H. and Mitsutani T. (2002): ^{14}C wiggle-matching analysis of charred wood samples related with the recent major eruption of Changbai Volcano, China/North Korea. *Abstracts of 9th International Conf. on Accelerator Mass Spectrometry*, Nagoya, September 9–13, 82–83.

Nelson, D.E., Korteling, R.G. and Stott, W.R. (1977): Carbon-14: Direct detection at natural concentrations. *Science*, **198**, 507–508.

Nishiizumi, K. (2002): ^{10}Be , ^{26}Al , ^{36}Cl and ^{41}Ca AMS standards. *Abstracts of 9th International Conf. on Accelerator Mass Spectrometry*, Nagoya, September 9–13, 130.

Van der Plicht, J. (2002): Calibration past, present

- and future. *Abstracts of 9th International Conf. on Accelerator Mass Spectrometry, Nagoya, September 9–13*, 61–62.
- Wakasa, S., Matsuzaki, H., Horiuchi, K, Tanaka, Y. and Matsukura, Y. eds.: Exposure ages deduced from *in situ* produced cosmogenic ^{10}Be : application to the granite dome and tor, Korea. *Abstracts of 9th International Conf. on Accelerator Mass Spectrometry, Nagoya, September 9–13*, 217.
- Wölfli, W., Polach, H.A. and Andersen, H.H. eds. (1984): Proc. of 3rd Int. Symp. on Accelerator Mass Spectrometry. Zurich, April 10–13. *Nucl. Instr. and Methods*, **B5**, 91–448.
- Yiou, F. and Raisbeck, G.M. eds.(1990): Proc. of 5th International Conference on Accelerator Mass Spectrometry, Paris, April 23–27. *Nucl. Instr. and Methods*, **B52**, 211–637.