

名古屋大学タンデトロンAMS¹⁴Cシステムの現状と利用 (2019)
Status and Applications of a Tandetron AMS System at Nagoya University in 2019

中村俊夫^{1*}・南 雅代¹・小田寛貴¹・池田晃子¹・山根雅子¹・
西田真砂美¹・若杉勇輝¹・佐藤里名²・澤田 陸³・酢屋徳啓⁴・北川浩之¹
Toshio Nakamura^{1*}, Masayo Minami¹, Hirotaka Oda¹, Akiko Ikeda¹, Masako Yamane¹, Masami Nishida¹,
Yuki Wakasugi¹, Rina Sato², Hitoshi Sawada³, Noriyoshi Suya⁴ and Hiroyuki Kitagawa¹

¹名古屋大学宇宙地球環境研究所・²名古屋大学大学院環境学研究科

³名古屋大学理学部・⁴放射線医学総合研究所

¹ Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University

² Graduate School for Environmental Studies, Nagoya University

³ School of Science, Nagoya University

⁴ National Institute for Radiological Sciences

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

Abstract

A Model 4130-AMS by High Voltage Engineering Europe B.V., dedicated to ¹⁴C measurements was delivered to Nagoya University in 1996/97. Acceptance tests of its performance were completed in 1999, and a routine operation started in mid-2000. The number of targets measured was 330, 1430, 2077, 1003, 1,979, 1679, 1772, 1115, 1339, 866, 1300, 1701, 1449, 1634, 1351, 1741, 1156, 466, 900, 1345 and 653 in each year from 1999 to 2019, respectively, 706 from January to May in 2020, and total number of targets measured by the end of May in 2020 is 27,991.

The problems of the AMS system in 2019/20 are; (1) Control in the rotation of the wheel loaded with the targets to be measured was out of order. A harmonic drive motor to rotate the wheel looked wrong and it was replaced with a new one; (2) A differential pumping unit (a dry pump, MUP-015-2) in the ion source looked wrong, because attaining the high vacuum in the ion source after target exchange took more time than normal condition. We replaced the dry pump with the new one. It took a shorter time but the attainable high vacuum level in the ion source was no big difference than before; (3) A telemeter card that controls the rotation of the wheel loaded with the targets to be measured was out of order. A capacitor to stabilize a DC+5V supply from the power circuit on the telemeter card was broken and replaced; (4) A light guide pass in the ion source to monitor the control of target movement was completely filled up with aluminum dust fragments. Owing to this disturbance, correct exchange of the targets was not possible. We have removed the dusts and cleaned the ion source, and normal operation was recovered; (5) Adjustment of target position in X-Y direction was needed for a target to be spattered properly by Cs⁺ ions to produce C⁻ ions efficiently in the ion source. 9 panto-positions are set on the surface of the graphite target, to keep C⁻ ion productivity high enough for five-day measurements.

Keywords: *accelerator mass spectrometry; radiocarbon; high-voltage spark; differential pumping in the ion source; target wheel control; ion source cleaning; iron artifact; excavated wooden poles*

1. はじめに

名古屋大学のタンデム加速器質量分析装置は、1996/97年に設置されたHigh Voltage Engineering Europe (HVEE)社製Tandetron (Model 4130-AMS)で、イオン入射部にrecombinator systemを有し、放射性炭素測定専用のシステムである。1999年1月に $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 、 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比測定の性能検収を終了し、2000年度から学内共同利用を開始したもので、使用開始後20年を経過し、老朽化が目立つ。しかし、 ^{14}C 測定の精度はそのまま維持されている。AMS装置の状況は、2015年に入って加速器高電圧が不安定になって、 ^{14}C 測定実験が滞りがちになり、その後も故障が発生する頻度が高くなっていった。その後、昨年度の報告書(中村ほか、2019)に示したように、いくつかの修理を終え、2018年の後半からは順調に稼働し、2018年の一年間で1345個のターゲットの測定を行ったが、2019年には、些細な故障が断続的に続き、653個に減少した。2020年に入ってから順調に稼働している。ここでは、2019年1月から2020年5月にかけての装置の運転概況を報告する。

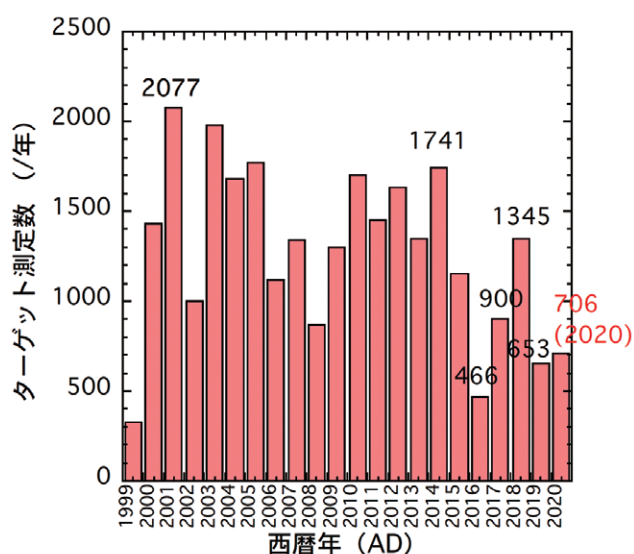


図1 年ごとのターゲット測定数 (1999-2020)

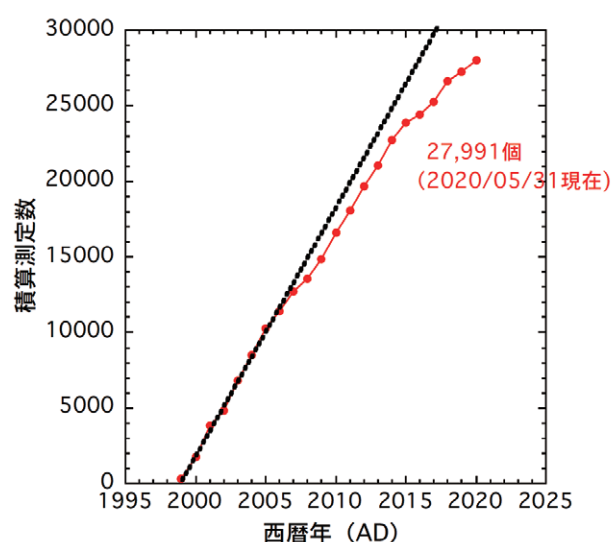


図2 測定したターゲットの積算数
(2020年5月末までで27991個)

2. 2019/20年の装置の運転状況

1999年から始まった ^{14}C 測定につき、測定数などの経年変化を図1および図2に示す。これまでに報告してきたように(報告書、2016, 2017, 2018, 2019)、2015年から2018年前半にかけては、大きなトラブルが発生し、測定数が限られてきた。しかし、2018年後半から2019年にかけては、もちろん装置のトラブルはあったものの、比較的順調に稼働したといえる。しかし、表1に示すように、2019年3~8月、11~12月には、些細な故障が断続的に続き、測定が進まなかった。

2019年1月から2020年5月までの間に発生したタンデトロン分析計の主要な不具合を以下に列挙する。

- (1) パッケージ・エアコンの冷媒ガス漏れ、膨張弁および電磁弁の不具合が発生し、修理に手間取った(2019年1-2月)。
- (2) 自動測定でターゲット交換を行うときに不可避免的に発生する真空悪化を抑えるために、ドライポンプ(MUP-015-2)が、イオン源に設置してある。使用期間が長く、劣化が予想されたため、新品に交換した(2019年3月)。
- (3) ^{14}C 測定の際にターゲット交換を行うために重要なパーツであるtarget wheelが空回りするようになった。target wheelと回転軸の固定を強化する検討を行ったが、完璧な対処法に到達することができないまま、結局はネジの固定を強化するに止まった。しかし、その後、空回りは見られなくなっ

た(2019年6月)。

(4) target wheelの空回りはなくなったが、target wheelを高精度で回転させるharmonic drive linear-actuator motorの回転角制御の安定不良が疑われたため、新品と交換した。その後、target wheelの回転基準位置の制御を行うtelemeter cardの不具合が見つかり、これを交換した(2019年8月)。

(5) イオン源のダストが、光センサーシステムから放射される光を遮り、ターゲットの位置決めが出来なくなった。イオン源のtarget wheel収納容器内の光が通るパスを掃除した。ターゲットからはがれ落ちたアルミニウムのダストでパスが塞がれていた(2019年10月)。

(6) イオン源のセシウム温度制御が故障し、ヒーター温度が暴走して、セシウム溜の温度が極端に上昇した。ヒーター温度を制御するテレメータカードを点検し、予備品と交換したら、きちんと温度制御ができるようになった(2019年11月)。

(7) セシウム溜のセシウムが枯渇して、炭素負イオンの出力が極端に低くなった。そこで、イオン源を分解掃除して、新しいアイオナイザーに取り替えて組立て、セシウム2gを充填した。炭素負イオンの出力は回復した(2020年1月)。

(8) このイオン源の定期清掃に合わせて、イオン源の炭素負イオンビーム出力の制御するためのターゲット電圧電源、引出電圧電源を交換した。この交換により、グラファイトターゲットの表面をスパッターするセシウム負イオンの収束制御がよくなった。このおかげで、グラファイトターゲット表面のスパッター位置を容易に確認できるようになった。この位置決めを正しく行くと、直径2 mmのターゲット表面に9点のスパッター位置を設定することが出来る。この位置のことをpanto-positionと呼んでいるが、その位置決めを行いながら試料の測定を進めた(2020年3月～現在)。

(9) 炭素イオン出力の経時変動が顕著になり、測定の始めは、十分な出力があるものの、数時間を経ると、炭素イオン出力が低下する。セシウム溜の温度を上昇させても、あまり効果がなく、炭素イオン出力は回復しない。目下、検討中であるが、アイオナイザーの不良によるものではないかと考え、アイオナイザーの交換を計画しているところである(2020年5月)。

これらの不具合により、2019年には、タンデトロンAMSシステムを十分に稼働させることができなかった。表1に、名古屋大学タンデトロン加速器質量分析装置について、2019年1月から2020年5月までの間のターゲット測定数と運転中に発生したさまざまな不具合の状況を示す。

表1 2019-2020年における月別のターゲット測定数と不具合の状況(2019/01/01～2020/05/12)

月	測定番号 (NUTA2- 26540～	測定数	batch数	発生した不具合、及びコメント
2019 1	～26683	144	18	1/13 (日) 久しぶりに、高電圧 HV がダウン。通常のリセットを行うことで、高電圧を付加することができた。問題点は発生なし。 1/24 (木) エアコン「パッケージ故障」ランプが点灯、後日、冷媒ガス漏れと判明。 1/28 (月) 21:00 ころ、冷却水チラーユニットが「C034」(冷水圧高圧注意)のエラーが発生。
2	～26799	116	14	2/05 (火) パッケージ・エアコン修理で、冷媒のキャピラリーを交換。キャピラリーの交換により、冷媒ガス(R22)の漏れはなくなったが、「膨張弁および電磁弁」の誤動作が見つかり、弁の交換を行った。
3	～26799	0	0	3/28 (木) タンデトロンタンクへSF ₆ ガスの補充を行った。内圧は、6.00 [bar]⇒6.45 [bar]へ。また、イオン源の絶縁台に乗っているライボルト社製のドライポンプ(MUP-015-2)を新品に交換した。(Note 2018- Oct 版, p.40-41)。このようにドライポンプを交換したが劇的な真空度の向上の変化はなし。すなわち、ターゲット交換作業(ターゲットの出し入れの移動、及びターゲットのグリップの on/off)を行っても、残念ながらイオン源の真空度が目立って良くなることはなかった。
4	～26824	25	5	4/13 (月) 冷却水のチラーユニットから漏水の警報あり、冷却水の補充を行った。 4/19 (金) 重イオン検出器のイソブタンガスの交換を行った。
5	～26624	0	0	特になし。

6	～26872	48	5	6/28 (金) 回転制御モーターと Wheel の接続は問題ないと思えるため、Wheel の回転がおかしいのは、 ϕ -motor (harmonic drive-linear actuator motor)がおかしくなったと思われる。そこで、予備の新品に、取り換えた。この後、initialization を行ったとき、モーター周辺を見ていて、モーターは回転しているが、Wheel が全く回転していないことに気がついた。 こうして、モーターと Wheel の接続が甘くなり、不完全なことから、モーターが空回りしていることが判明した。接続のネジをきつく、増す締めした。このような事で、これまで使用してきた harmonic drive motor が不具合があるのかについては、不明であるが、約9年近く使用してきたこともあり、元には戻さず、新品をそのまま使うことにした。
7	～26921	49	5	7/6 (土) イオン源の Wheel の回転の制御に問題あり。問題点の調査を継続。
8	～26921	0	0	8/13-14 (火、水) Wheel の homing switch を制御するテレメータカードに問題があることを発見。カードを予備品と交換したら、Wheel の制御が安定してできるようになった。不良のカードは、修理に送付した。
9	～27017	96	9	9/7 (土) イオン源出力の C-ビームが安定しない。取りあえず、Batch 190907 をスタートした。
10	～27161	144	14	10/04 (金) イオン源のダストが光センサーの光を遮り、ターゲットの位置決めが出来なくなった。イオン源の光が通るパスを掃除した。ターゲットからのアルミニウムのダストでパスが塞がれていた。
11	～27192	31	5	11/6 (水) 圧縮空気製造のベピコンが作動しなくなった。予備品に切り替えた。 11/8 (水) イオン源のセシウム溜の温度が暴走して上昇し、温度制御が出来なくなった。この温度を制御するテレメータカードを点検し、予備品と交換したら、改善された。 11/17 (日) 予定された全学の停電 11/20 (水) 冷却水循環用のチラーユニットを業者による保守を行った。
12	～27192	0	0	特になし。
1	～27299	107	15	1/11-12 (土、日) イオン源の分解掃除。新品アイオナイザーで組立。Cs 2g を充填。 1/21 (火) ^{14}C 測定開始
2	～27497	198	19	特になし。 ^{14}C 測定は順調に進んだ。
3	～27710	213	26	3/1 (日) Cs ビームがターゲットの表面をスパッタする位置を制御する panto-position の位置の調整を開始。 3/11 (水) 「target chamber」部が台座の正常な位置にない。設置位置が狂ってきている。点検を要することを確認した。 3/21 (土) 高電圧がスパーク無しに、ダウンし、炭素ビームの加速無しに、測定プロセスが進む現象が複数回見られる。原因は不明。
4	～27866	156	19	4/17 (金) 測定調整の際には炭素ビーム強度は充分強いが、数時間経つとビーム強度が次第に減衰する。初めての現象で、原因不明。Cs タンクの加熱温度を上げて、同じような現象が続いている。 4/27 (月) マニュアルでターゲット交換中に、交換の失敗があった。 ^{14}C Batch 測定の際にも発生し、この誤動作が計5回起きている。 Batch がスムーズに進まない。検討する必要がある。
5	～27898	32	3	5/5 (火) 前月から見られるように、ビーム強度が次第に減衰することから、この対策の一つとして Cs タンクの加熱温度を上げて測定したら、イオン源の汚れが目立ち、ターゲット電圧電源が汚れて短絡する事象が発生した。

3. 主要な保守作業

3.1 target wheelの正確な回転

^{14}C 測定の際にターゲット交換を行うために重要なパーツであるtarget wheelが空回りするようになった。target wheelと回転制御モーターの回転軸の固定を強化する検討を行ったが、完璧な方法に到達せず、結局はネジの固定を強化するに止まった。しかし、その後、空回りは見られなくなった(2019年6月)。

target wheelの空回りはなくなったが、target wheelを高精度で回転させるharmonic drive linear-actuator motor (RH-14D-6002-E100DO: 図3)の回転角制御の安定不良が疑われたため、このモーターを新品と交換した。その後、target wheelの回転基準位置の制御を行うtelemeter card (図4)の不具合が見つかり、これを交換した(2019年8月)。

Harmonic Drive Systems: DC Servo Actuator, RH-14D-6002-E100DO

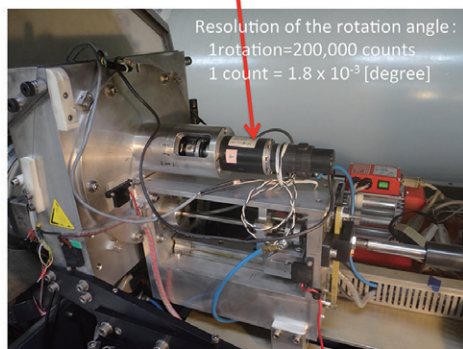


図3 target wheelを高精度で回転制御するモーター

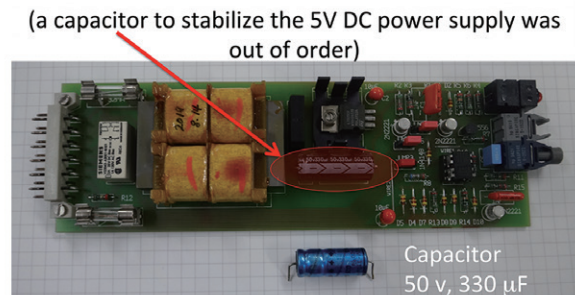


図4 target wheelの回転基準位置の制御を行う telemeter card

3.2 ターゲット位置決め用の光センサーの保守

名古屋大学のタンデトロンで使われているイオン源 (HVVEE社製の846Bイオン源) では、連続して測定するターゲットの交換において、ターゲットの位置を光センサーで感知している (図5)。この光センサーシステムの光をイオン源のダストが遮り、ターゲットの位置決めが出来なくなった。イオン源の target wheel 収納容器内の光が通る通路を掃除したら、ターゲット交換の誤動作は無くなった。ターゲットからはがれ落ちたアルミニウムのダストで光のパスが塞がれていた (2019年10月)。

Light source to certificate the gripping of a target

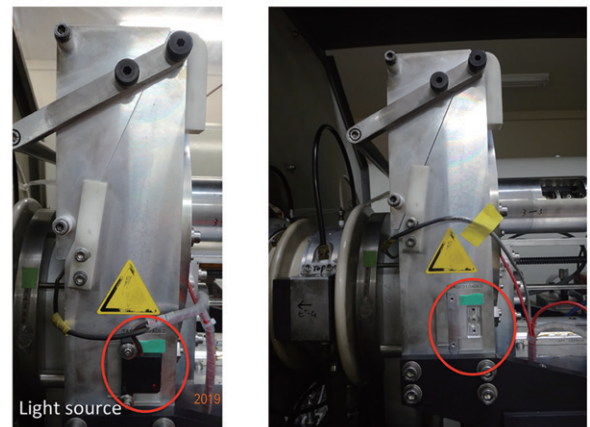


図5 イオン源における光センサーの設置位置

3.3 Panto-positionの設定

グラファイトターゲットから負の炭素イオンを生成するために用いられるセシウムスパッターイオン源の定期清掃の機会に合わせて、イオン源の炭素負イオンビームの制御に使われるターゲット電圧電源 (-7 [kV] を付加)、引出電圧電源 (+28 [kV] を付加) を取り換えた。この交換により、グラファイトターゲットの表面をスパッターするセシウム負イオンの収束制御がよかった。このおかげで、グラファイトターゲット表面のセシウムイオンによるスパッター位置を容易に決めることができるようになった。この位置決めを正しく行くと、図6に示すように直径2 [mm] のターゲット表面に9点の正しいセシウムスパッター位置を設定することが出来る。このスパッター位置のことを panto-position と呼んでいるが、その位置決めを確かめながら、試料の測定を進めている (2020年3月～現在)。

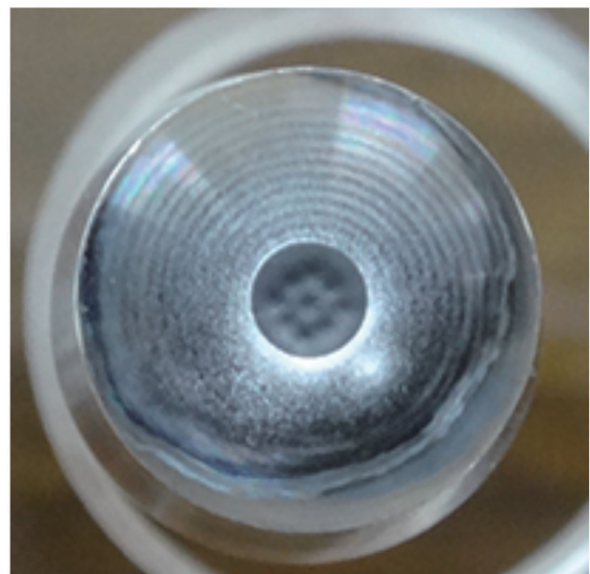


図6 セシウムビームによるグラファイトターゲット上の9点のスパッター位置

3.4 炭素イオン出力の経時変動

炭素イオン出力の経時変動が顕著になり、測定のはじめは、十分な出力があるものの、数時間を経ると、炭素イオン出力が低下する。セシウム溜の温度を上昇させても、あまり効果がなく、炭素イオン出力は回復しない。その一例を図7に示す。図7には、Wheel200417の測定中の炭素ビーム ($^{12}\text{C}^{3+}$) の強度を示した。通常の測定では、約45個のターゲットをWheelに充填し、1個を30分、Wheel全体をほぼ1日かけて測定し、これを5回、5日間かける。図7に示されるように、初日の測定において $^{12}\text{C}^{3+}$ ビームの強度は200 [nA]から50 [nA]へと約1/4にまで減少する。この後は、セシウムスパッターイオン源のセシウム溜の加熱温度を上昇させても、 $^{12}\text{C}^{3+}$ ビームの強度は回復しない。表2に、測定の初日に装置を調整したときと、5日間の測定を終了したときの、炭素イオンビーム強度を比較して示す。ビーム強度が弱いと、 ^{14}C 計数を増やすことが出来ず、最終的には ^{14}C 測定の誤差が大きくなる。Wheel200417の測定結果では、NBS-new標準体の測定誤差は年代値の誤差にすると ± 40 年程度であり、残念ながら最新技術からすると高精度測定とはいえない。目下、この現象の原因を検討中であるが、セシウム・アイオナイザーの不良によるものではないかと考え、アイオナイザーの交換を計画しているところである (2020年4月～現在)。

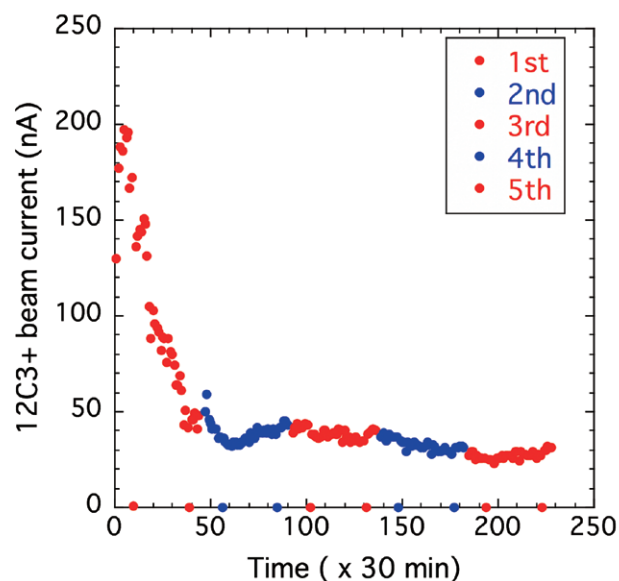


図7 5日間繰り返す測定の初日において認められた $^{12}\text{C}^{3+}$ ビーム強度の大きな減衰

表2 炭素イオン強度の、 ^{14}C 測定開始時と測定終了時の比較 (セシウム溜の加熱温度を77℃に設定のとき)

Name of Faraday cup	ビーム強度の測定位置	^{14}C 測定を始めたときの炭素ビーム強度	^{14}C 測定を終了したときの炭素ビーム強度
FC1	イオン源の出口	33.4 [μA]	6.64 [μA]
FC2	リコンビネーター一部	21.5 [μA]	4.22 [μA]
FC4	タンデム加速器の出口	1228 [nA]	253 [nA]
$^{13}\text{C}^{3+}$ cup	分析電磁石の直後	0.25250 [μA]	0.04322 [μA]
$^{12}\text{C}^{3+}$ cup	分析電磁石の直後	0.23790 [μA]	0.04106 [μA]

4. ^{14}C 測定の応用

名古屋大学タンデトロン加速器質量分析装置を用いて、文化財科学や考古学関連のさまざまな資料の ^{14}C 年代測定や環境試料の ^{14}C 測定を行っている。これらの利用の一例を以下に示す。

4-1. 古代鉄関連試料の年代測定

現在、古代近江の製鉄の操業年代の研究のために、琵琶湖西部周辺地域の古代の製鉄窯に残留する、製鉄に使われた可能性の高い木炭を採取して ^{14}C 年代測定を進めている。丸山・中村 (2019) に報告されているように、京都市山科区に位置する大岩たたら遺跡において採取された木炭片は、図8のように、6世紀中葉から7世紀中葉にかけて製鉄の操業が行われていたことを示している。大岩たたら遺跡は、日本の最も古い製鉄

窯の一つであると考えられる。現在、琵琶湖西部周辺地域の古代の製鉄窯跡について製鉄操業年代の調査を行っている。なお、得られた ^{14}C 年代は、暦年較正データセットIntCal13 (Reimer et al. 2013)と較正プログラム OxCal ver. 4.2.4 (Bronk Ramsey 2009)を用いて、暦年代に較正したものである。

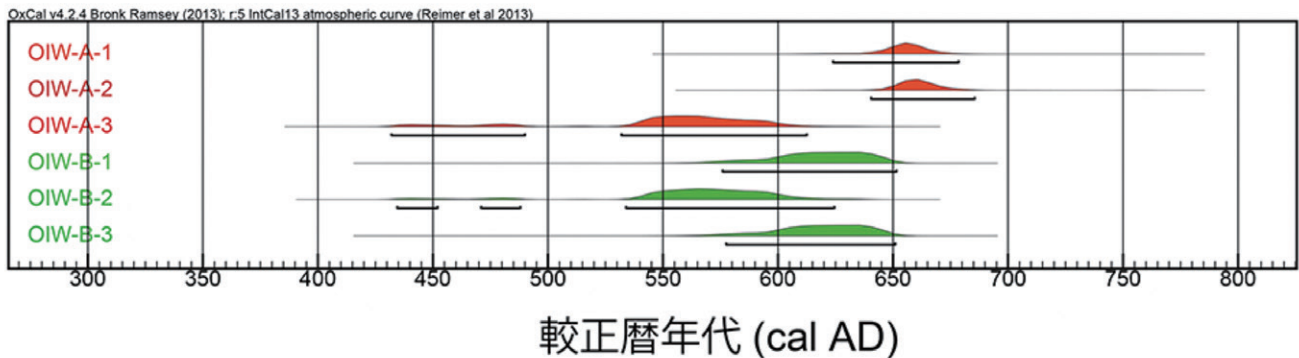


図8 京都市山科区の大岩たたら遺跡から採取した木炭片の ^{14}C 年代測定結果。遺跡内の2地点A, Bにて採取された6個の木炭について得られた ^{14}C 年代の暦年代較正結果

また、日本刀についても、刀に彫ってある銘や刀の形状、様式、刃紋などから推定される製作年代を ^{14}C 年代から求められる推定年代と比較検討する研究を進めている。前者の鑑定は個々人の経験に基づくものであり、理化学的な鑑定である ^{14}C 年代測定の実施による確認が求められている。日本刀について、 ^{14}C 年代測定を実施した例を図9に示す。日本刀ETO-101は、伯耆国住大原真守と称される日本刀であるが、得られた年代値は古すぎる値であると考えられる。この試料から回収された炭素は0.882mgとやや少ないこともあり、年代測定装置に用いるグラファイトの調製がきちんと出来ていなかった。このため測定誤差も大きいですが、それ以上に、古い年代にずれたものと考えられる。その他の試料は、概ね問題なく測定できており、形式・文様による鑑定とほぼ一致している。

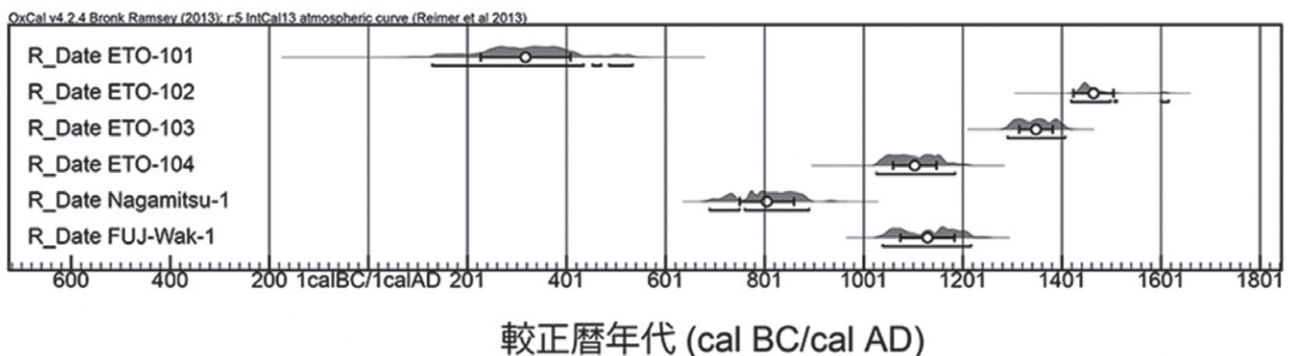


図9 日本刀の ^{14}C 年代測定の例。得られた ^{14}C 年代を暦年代に較正して示す。

4-2. 真脇遺跡の木柱や遺物の年代測定

能登半島の北部地域の富山湾に面した平野部に位置する真脇遺跡は、約6000年前から2400年前までの縄文時代の人々の居住域であり、遺跡からはさまざまな遺物が発掘されている。この遺跡は、主として3つの特徴的な時期に区分される。古い順に、(1) イルカの骨と多量の土器破片からなる厚さ1mにも及ぶ地層(6000-5000年前)、(2) 板敷き土壇墓と称される縄文人の墓の集合体(5200-4500年前)、(3) 環状に配列されたクリの木柱列(3500-2400年前)で構成される。これらの遺物層から発掘された多くの考古資料の ^{14}C 年代測定を行ってきたが、ここでは、(3)のステージに注目して、その概要を紹介する。遺跡発掘の調査により、住居跡と判断される場所から、既に68本の木柱根が発掘されている。これらの木柱根のすべてについて、名古屋大学にて ^{14}C 年代測定を行った。その結果を図10に示す。また、居住域からは、クルミの殻などの植物遺体やおびただしい板

材が発掘され、その中には、ほぞ付きの四角柱(3030 ± 45 cal BP)や、日本で2例目の出土となる火鑽臼を伴うスギ製の板材(3290 ± 45 cal BP)が確認されている。

5. おわりに

タンデトロン加速器質量分析装置は、導入後20年以上を経過して、本報告にもあるように、さまざまな故障、トラブルが目立ってきている。しかし、名古屋大学タンデトロンAMSシステムによる ^{14}C 年代測定では、約5千年前よりも若い試料について、ほぼ定常的に $\pm 20 \sim \pm 30$ 年の誤差(1標準偏差)で年代測定が可能である(Nakamura et al. 2004; 2007)ことから、一方では、ますますもって文化財科学や考古学関連のさまざまな資料の高精度年代測定への利用が期待されている。また、試料調製を含めたAMS ^{14}C 年代測定のバックグラウンドは、45,000～50,000BPに相当しており、一般の試料では、4万年前の前半程度までは測定が可能である。また、本システムは、年代測定に限らず、環境研究において、炭素循環の解明などにも幅広く利用されている。

これらの応用研究の一部は、名古屋大学年代研究(2017; 2019)、名古屋大学加速器質量分析計業績報告書(1988～2016)に纏められ、ウェブによる論文の閲覧やダウンロードができるようになっている。是非、参照して頂きたい。

謝辞

タンデトロン加速器質量分析計の改造や保守、さらに運転のための消耗品類の開発などにおいて、松下幸司氏を始めとする名古屋大学全学技術支援センターの教育・研究技術支援室(旧理学部 装置開発室)の皆様には大変お世話になっています。また、日本原子力研究開発機構むつAMS事務所の木下尚喜・甲 昭二の両氏には、名古屋大学と同型のAMSシステムを使用していることから、さまざまな情報を互いに交換するなどして便宜を図って頂いています。さらに、近年に発生したさまざまな電気回路の故障の際には、東京都K企画の菊池幸彦氏、(株)極東貿易の小倉一郎氏に多大なご支援を頂いています。ここに、記して関係者の皆様に深く感謝致します。

引用文献

- 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書(1988～2016)名古屋大学年代測定総合センター, (I～XXVII).
- 名古屋大学年代測定研究(2017～2019)名古屋大学宇宙地球環境研究所, vols. 1(196p), 2(117p), 3(116p).

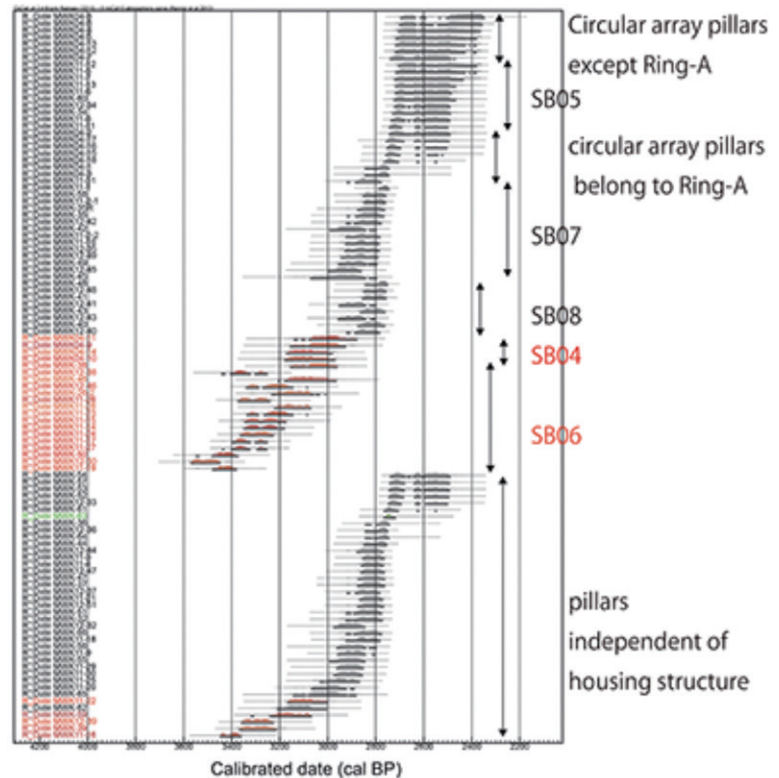


図10 真脇遺跡の居住跡から採取された木柱根の ^{14}C 校正年代。図中のSBは居住建物跡の番号で、5箇所が確認されている。赤がアスナロ材、黒がクリ材であり、アスナロ材が先行して利用されていたらしい。横軸の目盛りは、最左が4200 cal BP、最右が2200 cal BP。

- 丸山竜平・中村俊夫 (2019) 古代近江の鉄生産 –操業年代について- (4). 名古屋大学年代測定研究、vol.3, p50-55.
- Bronk Ramsey C. 2009 Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon* 51 (1): 187-92.
- Nakamura, T., E. Niu, H. Oda, A. Ikeda, M. Minami, H. Takahashi, M. Adachi, L. Pals, A. Gott dang, and N. Su ya (2000) The HVEE Tandetron AMS system at Nagoya University. *Nucl. Instru. and Meth. in Phys. Res.*, B172, 52-57.
- Nakamura, T., et al (2004) High precision ^{14}C measurement with the HVEE Tandetron AMS system at Nagoya University. *Nucl. Instru. and Meth. in Phys. Res.* B223-224, 124-129.
- Nakamura, T., et al (2007) High precision ^{14}C measurements and wiggle-match dating of tree rings at Nagoya University, *Nucl. Instru. and Meth. in Phys. Res.*, B259, 408-413.
- Reimer PJ, Bard E, Bayliss A, Beck JW, Blackwell PG, Bronk Ramsey C, Buck CE, Cheng H, Edwards RL, Friedrich M, Grootes PM, Guilderson TP, Hafflidason H, Hajdas I, Hatté C, Heaton TJ, Hoffmann DL, Hogg AG, Hughen KA, Kaiser KF, Kromer B, Manning SW, Niu M, Reimer RW, Richards DA, Scott EM, Southon JR, Staff RA, Turney CSM, van der Plicht J. 2013. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 55(4):1869–1887.

日本語要旨

名古屋大学のタンデム加速器質量分析装置は、1996/97年に設置されたHigh Voltage Engineering Europe (HVEE)社製Tandetron (Model 4130-AMS)で、イオン入射部にrecombinator systemを有し、放射性炭素測定専用のシステムである。1999年1月に $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 、 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比測定の性能検収を終了し、2000年度から学内共同利用を開始したもので、使用開始後20年を経過し、老朽化が目立つ。

2019年1月から2020年5月までの間に発生したタンデトロン分析計の主要な不具合は、(1) ^{14}C 測定の際にターゲット交換を行うために重要なパーツであるtarget wheelが空回りするようになった。target wheelと回転軸の固定を強化する検討を行ったが、完璧な方法に到達せず、結局はネジの固定を強化するに止まった。しかし、その後、空回りは見られなくなった；(2) target wheelの空回りはなくなったが、target wheelを高精度で回転させるharmonic drive linear-actuator motorの回転角制御の安定不良が疑われたため、新品と交換した。その後、target wheelの回転基準位置の制御を行うtelemeter cardの不具合が見つかり、これを交換した；(3) イオン源のダストが光センサーシステムの光を遮り、ターゲットの位置決めが出来なくなった。イオン源のtarget wheel収納容器内の光が通るパスを掃除した。ターゲットからはがれ落ちたアルミニウムのダストでパスが塞がれていた；(4) イオン源のセシウム温度制御が故障し、ヒーター温度が暴走して、セシウム溜の温度が極端に上昇した。ヒーター温度を制御するテレメータカードを点検し、予備品と交換したら、きちんと温度制御ができるようになった；(5)イオン源の定期清掃に合わせて、イオン源の炭素負イオンビーム出力を制御するためのターゲット電圧電源、引出電圧電源を交換した。この交換により、グラファイトターゲットの表面をスパッターするセシウム負イオンの収束制御がよくなった。このおかげで、グラファイトターゲット表面のスパッター位置を容易に決めることができるようになった。この、位置決めを正しく行くと、直径2 mmのターゲット表面に9点のスパッター位置を設定することが出来る。この位置のことをpanto-positionと呼んでいるが、その位置決めを、行いながら、試料の測定を進めた；(6) 炭素イオン出力の経時変動が顕著になり、測定の始めは、十分な出力があるものの、数時間を経ると、炭素イオン出力が低下する。セシウム溜の温度を上昇させても、あまり効果がなく、炭素イオン出力は回復しない。目下、検討中であるが、アイオナイザーの不良によるものではないかと考え、アイオナイザーの交換を計画しているところである。

名古屋大学のAMS systemは、このような故障にもかかわらず、 ^{14}C 測定の精度は従来と同程度に維持されており、文化財資料、考古学資料の高精度年代測定に、また、さまざまな環境試料の ^{14}C 測定に利用されている。