

加速器質量分析法による日本刀や古い鉄器類の放射性炭素年代測定
Radiocarbon dating of Japanese swords and ancient iron artifacts
with accelerator mass spectrometry

中村俊夫^{1*}・江藤孝一²・藤本隆雄³・山田哲也⁴・塚本敏夫⁴・齋藤 努⁵
清水康二⁶・伊藤 茂⁷・南 雅代⁸

Toshio Nakamura^{1*}, Koichi Eto², Takao Fujimoto³, Tetsuya Yamada⁴, Toshio Tsukamoto⁴, Tsutomu Saito⁵,
Yasuji Shimizu⁶, Shigeru Itoh⁷, Masayo Minami⁸

¹名古屋大学名誉教授・²江藤刀研ぎ商店・³STG日本刀研究所・⁴元興寺文化財研究所・
⁵国立歴史民俗博物館・⁶橿原考古学研究所・⁷パレオ・ラボ・⁸名古屋大学宇宙地球環境研究所

¹ Emiritus Prof., Nagoya University, Chikusa, Nagoya 464-8601, Japan.

² Eto Sword Refreshing, Chuo, Fukuoka 810-0054, Japan.

³ Stichting Institute for Japanese Sword Craft, 17A 1073KH, Amsterdam, The Netherlands.

⁴ Gangoji Institute for Research of Japanese Property, Ikoma 630-0257, Japan.

⁵ National Institute of Japanese Studies, Sakura, Chiba 285-0802, Japan.

⁶ Archeological Institute of Kashiwara, Nara Prefecture, Kashiwara, Nara 634-0065, Japan.

⁷ Paleo-Lab Co Ltd., Kiryu, Gunma 376-0144, Japan.

⁸ ISEE, Nagoya University, Chikusa, Nagoya 464-8601, Japan.

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

Abstract

The age of ancient iron artifacts can be measured by using carbon component contained in metal iron that was included during the iron producing or iron reprocessing stages. To extract carbon from iron artifacts in a form of CO₂, a quartz tube has been used for metal iron combustion at the temperature of 1000°C for about 15 hours. We tested the quartz tube combustion method successfully of metal iron in a fine flake condition of almost 1mm in size. Almost 87 % recovery in average for 24 samples from a standard iron material was attained when metal iron weight is about 25% of CuO used as an oxidizer. The CO₂ of about 1mg carbon was changed to graphite and ¹⁴C dated with the HVE ¹⁴C-AMS system at Nagoya University as well as NEC 0.5MV compact AMS at Paleo-Lab Co. Ltd.

One of the common iron artifacts in Japan is Japanese sword, owned traditionally by samurai, a Japanese warrior, and used during battles. At the present time, Japanese swords are one of excellent art collections, and many fake swords exist in the market. Traditionally, Japanese sword has been authenticated by experts based on visual outlook of them and judged real ones out of fakes. A more scientific method was required for judging the original sword. We have analyzed several iron flakes of about 1mm in size collected from Japanese swords in the course of grinding and re-sharpening them. The analyzed swords were believed to have produced in the 5th century and after, by the name of the manufacturer inscribed on the surface of the sword, and/or by the traditional judgment by experts. The obtained ¹⁴C dates for the sword samples were calibrated with IntCal20 and compared with the authorized production dates by visual analysis. The ¹⁴C ages were almost consistent with the traditional judgments. We consider that ¹⁴C dating is a useful tool to certificate the visual judgment of the swords by experts and to accept existing historical documents about them.

In addition, iron rust samples are commonly excavated from archeological sites in Japan and in foreign

countries. We have tested four rust nail samples from archeological sites in India, to collect carbon component successfully by the quartz tube in the same way as pure metal iron. The nail samples were covered by rust on the surface, but the samples should contain metal portion, because they reacted on the magnetic field. The carbon content of the rust nails was from 0.2 to 0.5 % in weight ratio, similar to that of pure metal iron samples. The obtained ^{14}C ages were consistent with their archeological chronology.

Keywords: ancient iron artifact; rust iron; carbon extraction; heating iron in quartz tube; ^{14}C dating; AMS

1. はじめに

真贋判定を含めて、日本刀が製作された時代の鑑定は、作成者が日本刀に刻んだとされる文字(銘)の判読や刀の形状・刃紋などの外形を観察して専門家と呼ばれる鑑定士が判断する。日本刀を鑑定する権威としては、公益財団法人 日本美術刀剣保存協会が有名である。このような日本刀の外見からではなく、理化学的な方法として、日本刀の金属鉄に含まれる不純物元素の含有量などから製鉄の原材料が推定できることもある。例えば、小野ほか(1988)では、金属鉄中のMn含有率が高いことから鉄鉱石が原料となり、またTi含有率が高いことから砂鉄を原料としたたたら製鉄によるものとしている。一方、古代の鉄製品の製作年代は、鉄中に残存する、製鉄や精錬に用いられた木炭起源の炭素についての放射性炭素(^{14}C)年代測定の結果から推定される(中村1999, 2001)。古代の製鉄は、砂鉄や鉄鉱石などの酸化鉄を、木炭の燃焼により高温に加熱して、炭素原子Cや一酸化炭素分子COにより、鉄に結合している酸素を分離させて還元して金属鉄を造る方法で行われた。製鉄では、酸化鉄の約3倍の重量の木炭が必要とされるため、たくさん木炭が消費される。まだ若木の原木の伐採後、炭焼きにより作られた木炭は作成後に直ぐに使用されると考えられる。古代の鉄製品中に残っている炭素は、こうして製鉄や鉄製品を製作する際に加熱燃料や還元剤として用いられた木炭の残留物と考えられ、残留炭素を抽出し、 ^{14}C 年代測定を行うことで炭焼きの時期、そして製鉄や鉄製品の製作が行われた時期を推定することが出来る(Igaki et al.1994, Nakamura et al. 1995)。

これまで、金属鉄中の炭素の抽出方法について検討を進めてきた。当初の実験では、高周波(RF)加熱炉を用いて酸素気流中で金属鉄を加熱燃焼して、金属鉄中の炭素を二酸化炭素として回収する方法(Nakamura et al. 1995, Enami et al. 2004, 近藤・中村2012)を採用してきたが、最近では、 CO_2 抽出作業に手間のかかるRF加熱炉を用いる代わりに、石英管封管燃焼法による金属鉄中の炭素の抽出法(Cook et al. 2001, Huls et al. 2004, 中村ほか2013)を採用して実験を進めている。さらに、古代遺跡で遺物として発掘されることが多いサビた鉄製品に注目して、サビ鉄から抽出される炭素を用いて鉄製品の作成年代を推定する可能性を確かめるために、これまでに開発してきた方法を適用する実験を進めている(中村ほか2014; 2015)。



写真1：鉄試料と助燃剤を詰めて排気した石英反応管



写真2：標準鉄030-7
(炭素含有率0.2%)

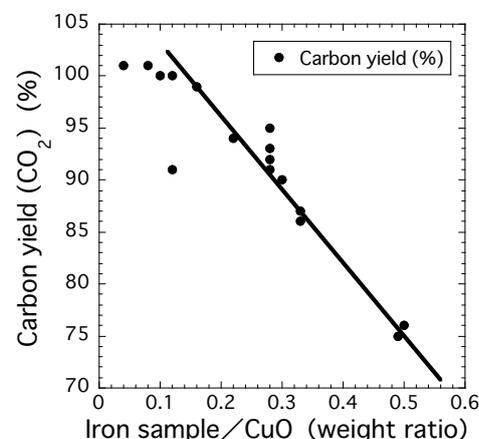


図1：鉄試料とCuOの混合割合(横軸)と鉄中炭素の回収率(縦軸)の変化

2. 金属鉄からの炭素抽出の実験

石英管封管燃焼法による金属鉄中の炭素の抽出(写真1)において、炭素含有量が既知の金属鉄標準体(写真2)を用いて、様々な条件で、金属鉄中の炭素の回収率を調べてきた。その一例として、試料鉄を完全燃焼して、試料鉄中に含まれる炭素をほぼ完全に取り出すための条件を実験的に求めた。

炭素含有率が既知の標準鉄を用いて、鉄試料に対する助燃剤の割合を2倍から25倍まで変化させて、炭素抽出の割合を調査した。結果を図1に示す。この実験から、鉄試料に対する助燃剤の割合を大きくすると鉄試料中炭素の回収率は大きくなる。この割合の値を10倍以上に増やすと収率はほぼ100%になる。加熱温度や加熱する時間も検討して、これまでの実験からの結論として、石英管を用いる鉄中炭素抽出の最良の条件は、助燃剤CuOの量を鉄試料の10倍程度用いて、1000℃で15時間加熱することであった。しかし、実際の鉄試料では、現有する電気炉の加熱空間の形状から石英管の長さ、すなわち石英管の内容積が制限され、一般的な鉄試料の量に対して助燃剤CuOの量を10倍にすることは、石英管を用いた燃焼法では困難であった。

前項で述べたように、炭素含有量が既知の金属鉄標準体を用いた炭素の回収率の実験的研究からの結論として、石英管を用いる鉄中炭素抽出の最良の条件は、助燃剤CuOの量を鉄試料の10倍程度用いて、1000℃で15時間加熱することであった。しかし実際の金属鉄試料では炭素含有率が低いために、1gの試料を燃焼する必要がある場合には、CuOが10gも必要になるが、現在用いている石英管の内容積では、1gの鉄試料に加えて10gのCuOを詰め込む余裕はない。そこで、CuOを標準鉄Fe-030-7(炭素含有率:0.196)の4倍、すなわち、それぞれを4gと1g用いて(試料鉄とCuOの重量比を0.25に固定)、炭素抽出を24回繰り返し行った。その結果を、別条件の場合の結果と合わせて、図2に示す。図2の結果から、CuOの量が最大で4gの時には、(1)鉄試料の量が増え、炭素回収率が悪くなること、(2)同じ条件で24回の繰り返しでは、炭素回収率がかなりばらつくこと(図2、80%~95%; 平均値:87%)が明らかとなった。¹⁴C年代測定例が十分とはいえないが、炭素回収率が良くない場合でも、¹⁴C年代に大きな影響はない。そこで、年代が未知の古代鉄の試料についても、CuOの量4gを標準量として用いることとした。

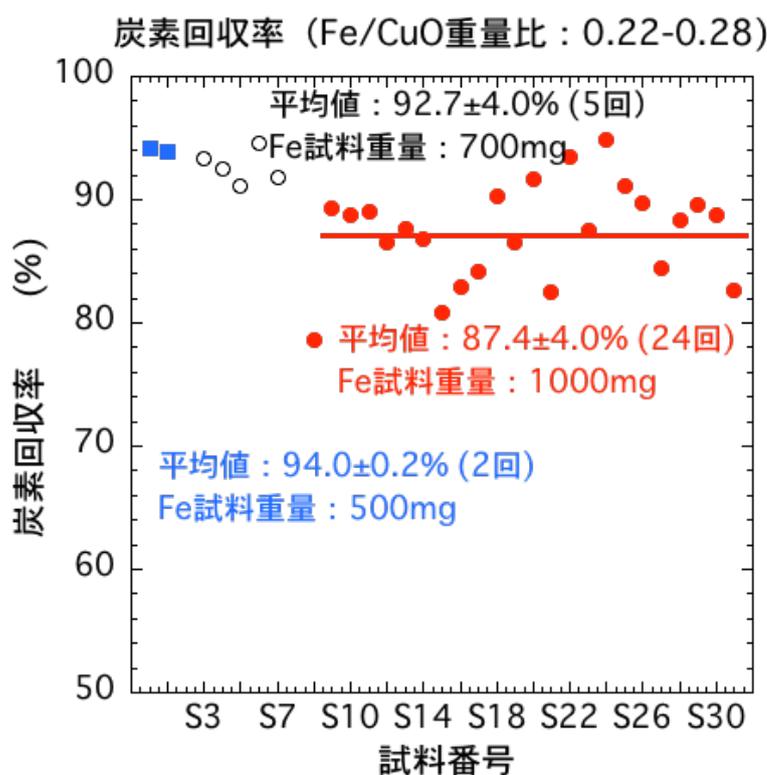


図2: Fe/CuOの重量比が0.25のときの炭素回収率
(24回のテストラン)

3. 日本刀から分取された鉄試料の¹⁴C年代測定

専用の工具であるセン鋤や樋センを用いた日本刀の研ぎの過程で削り取られた金属鉄屑、すなわち削り状の金属鉄の数百ミリグラムが提供された(表1)。

表1:日本刀の¹⁴C年代測定結果

試料番号	鉄試料の量(mg)	回収炭素量(mg)	炭素含有率(%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	¹⁴ C age (yr BP)	較正年代 (cal AD/BC)	形式編年
ETO-101	356.76	0.88	0.16	-30.6	1714±73	calAD 205-540	不明
ETO-102	557.38	2.53	0.45	-24.8	431±31	calAD 1420-1500	江戸時代・寛永年間
ETO-103	412.93	2.29	0.56	-28.6	612±38	calAD 1300-1410	江戸時代・寛永年間
ETO-104	628.72	1.11	0.18	-32.1	922±32	calAD 1030-1210	鎌倉初期～南北朝
SUKEM-1	678.04	4.61	0.68	-20.8	900±18	calAD 1050-1220	鎌倉中期
CYOKT-1	1183.22	1.69	0.14	-25.5	1564±20	calAD 430-560	古墳
Magusa-1	387.56	1.66	0.43	-21.3	2247±21	390-210 calBC	鎌倉後期
Bronbeek-1	825.12	1.62	0.20	-24.1	1890±21	calAD 110-220	不明
Nagamitsu-2	380.08	1.74	0.46	-21.4	636±20	calAD 1300-1400	不明

ETO-101, 102, 103, 104, Nagamitsu-2は、著者の一人である江藤により提供された日本刀試料からの金属鉄試料であり、刀に刻まれた銘などから作成年が推定されている。Bronbeek-1試料は、オランダのArnhemに所在するオランダ軍事歴史博物館に所蔵されている日本刀であり、2019年3月に当館を訪れた江藤氏が自ら、刀身からセン鋤を用いて削り取った試料である。この日本刀が当館にもたらされた来歴は不明とされる。また、SUKEM-1とCYOKT-1は、元興寺文化財研究所の塚本・山田両氏の仲介で所有者からもたらされたものである。SUKEM-1は樋センを用いて削り取った金属鉄試料である。一方、Cyokto-1は直刀であり、刀身の棟(刀の切れ刃の反対側の「みね」の部分)からドリルを用いて削り取られた鉄試料である。Magusa-1については、東北地方の刀剣研究者から提供されたものであり、日本刀の茎(なかご、刀身の握る部分で、柄の内部に納まっている部分)の部分から、ドリルを用いて削り取られた鉄試料である。これらの日本刀試料の¹⁴C年代を測定し、日本刀に刻まれた文字の内容や形状などから鑑定・推定された日本刀の製作年代と比較した。

提供された試料の数は9個である。表1に、これらの試料番号、採取した鉄の量、炭素抽出量、炭素含有率を示す。試料調製の概要は以下のとおりである。日本刀から削り取った金属鉄試料につき、アセトンを用いて超音波洗浄器で3時間断続的に洗浄した。次に0.6規程水酸化ナトリウムに浸して80°Cで一晩処理した。その後、室温で、0.24規定塩酸を用いて3分間処理した。塩酸に浸すと鉄試料表面から泡が発生した。蒸留水でよくすすいで塩酸分を完全に除去し、80°Cで一晩乾燥した。化学洗浄を終えた鉄試料と線状酸化銅を石英管に入れ、ターボ分子ポンプを用いて排気し、封管して、1000°Cで15時間加熱することにより鉄試料中の炭素を二酸化炭素に変換した。生成した二酸化炭素を、真空ライン中で、液体窒素(沸点:-196°C)、エタノールと液体窒素の混合物(約-100°C)、および液体窒素を用いて冷却したペンタン(融点:-128°C)を寒剤として用いて水分やイオウ酸化物を除去して精製した。精製した二酸化炭素を、外径9mmの石英管内で、約3mgの鉄粉末を触媒として、620°Cにて水素で還元してグラファイトを得た。次に、グラファイトと鉄粉の混合物をアルミニウム製の試料ホルダーに加圧封入し、炭素同位体比測定に用いるターゲットを作成した。

試料の¹⁴C測定の際には、¹⁴C濃度が既知の標準体として、米国国立標準技術研究所(NIST)から提供されている国際的な標準体であるシュウ酸(NIST-SRM-4990C(HOxII))を用いた。さらに、一連の¹⁴C測定操作のプロセスにおいて、外来炭素による汚染の効果を補正(¹⁴Cブランク補正)するため

に、 ^{14}C を全く含まないはずの炭素含有物質としてキシダ化学(株)製の特級シュウ酸(2水和物)試薬(57952)を用いた。両シュウ酸については、試料とほぼ同様な工程により二酸化炭素の調製、グラファイト合成を行い、測定に用いるターゲットを準備した。

こうして調製したグラファイトの炭素同位体組成($^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 、 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比)を名古屋大学に設置してあるタンデム加速器質量分析装置(中村2001)、およびパレオ・ラボ社のCompact-AMS(Itoh et al. 2020)を用いて測定した。測定された、 ^{14}C と ^{12}C の存在比($^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比(=R))について、 ^{14}C ブランクの補正をおこない、さらに測定された $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比を用いて炭素同位体分別の補正を行ったのち、未知試料(R_{sample})と ^{14}C 濃度が既知の標準体(R_{AD1950})とを比較して、試料の $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比、そして、 ^{14}C 年代値を算出した(表1、中村2001;2003a)。 ^{14}C の半減期としては、国際的な慣例に従って、Libbyの半減期5568年を用いた。 ^{14}C 年代値は、西暦1950年から遡った年数としてBP(before present)を付けて与えられ、誤差は1標準偏差を示す(表1、中村2001;2003a)。得られた同位体分別補正 ^{14}C 年代を、 ^{14}C 年代-暦年代較正曲線(IntCal20、Reimer et al. 2020)および較正プログラムOxCal4.4.4(Bronk Ramsey2001;2009)を用いて暦年代に較正した(表1、中村2003b)。較正年代は、暦年代に相当する年代としてcal ADまたはcal BCで示してある。較正年代は、2標準偏差で、可能性の範囲とその相対的確率で示される(表1)。

表1および図3に、これらの日本刀試料について得られた ^{14}C 年代、較正暦年代(^{14}C 年代)と日本刀の記銘文や刀の外見・様式から判断される形式編年と比較して示す。表1の3振りの日本刀は形式編年が不明とされる。

^{14}C 年代測定結果と形式編年は、ほぼ一致するところもあるが、大きくずれてしまうところもある。ETO-101, Magusa-1, Bronbeek-2の3点は、日本刀の歴史を考えても古すぎる。特に、Magusa-1では、紀元前の較正暦年代を示し、形式編年に対して1500年近く古い ^{14}C 年代測定結果が得られた。この日本刀では、分析試料は、茎(なかご)からハンドドリルを用いて採取された。この茎は、刃の部分とは起源が異なり、後世に別のところから持ち込まれ接合されたものかも知れない。今後の検討を要する。また、ここで得た日本刀の ^{14}C 年代測定結果は、資料提供者との相談のうえ公表する予定である。

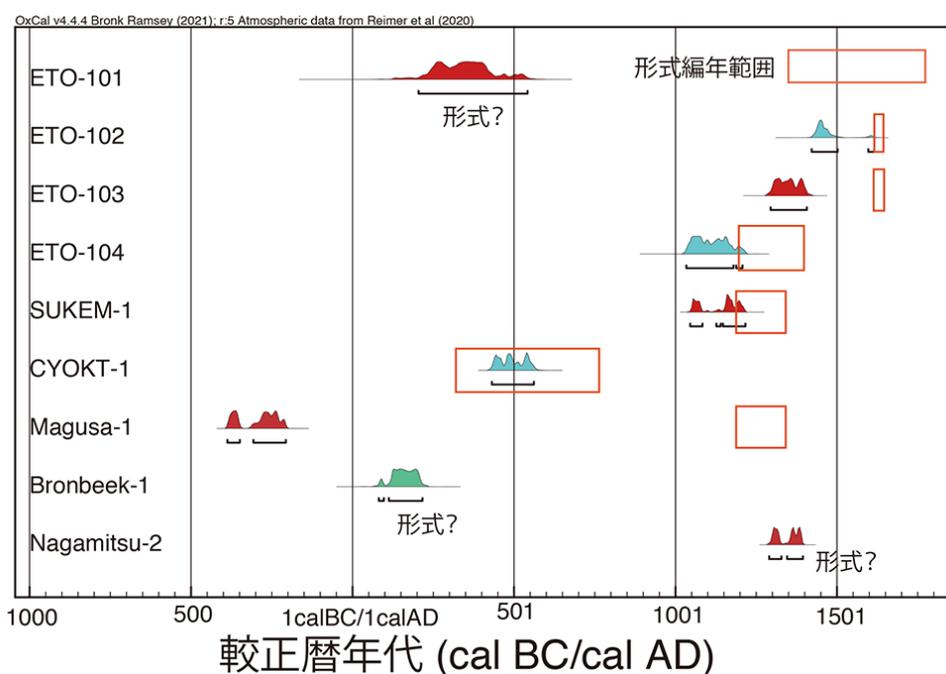


図3：日本刀の較正年代(^{14}C 年代)と形式編年の比較

表2：南インド産出の鉄器の¹⁴C年代測定結果

試料番号	鉄試料の量(mg)	回収炭素量(mg)	炭素含有率(%)	測定に用いた炭素量	δ ¹³ C (‰)	¹⁴ C age (yr BP)	較正年代 (cal BC)	考古編年
Ind-Fe-1-1	1214.45	2.71	0.22	1.60	-16.9	2102±20	170-50	BC1千年紀
Ind-Fe-1-2		同上分割		1.08	-15.3	2156±21	350-100	BC1千年紀
Ind-Fe-5-1	1226.74	5.72	0.47	1.97	-20.4	2389±22	520-400	BC1千年紀
Ind-Fe-5-2		同上分割		1.80	-20.1	2430±22	745-410	BC1千年紀
Ind-Fe-6-2-1	1858.81	5.24	0.28	1.53	-13.7	2585±22	800-770	BC1千年紀
Ind-Fe-6-2-2		同上分割		2.18	-13.9	2553±22	800-600	BC1千年紀
Ind-Fe-9-1	1181.21	4.36	0.37	1.87	-18.3	2310±21	410-360	BC1千年紀
Ind-Fe-9-2		同上分割		1.71	-19.5	2303±21	400-360	BC1千年紀
Ind-Fe-9-3		同上分割		0.78	-32.14	2447±25	750-400	BC1千年紀

4. 錆びた鉄試料からの炭素抽出および¹⁴C年代測定

錆びた鉄試料は、インドのデカン大学所蔵の巨石文化期の鉄金属器の分割試料につき、橿原考古学研究所を介して提供されたものである。今回は、4個の錆びた釘試料につき、炭素抽出実験を行った。いずれの試料も、磁石に反応した。実際、試料を小片に分割した際に、金属鉄が試料内部に残存することが確認できた。錆びた部分を含む全体の鉄試料につき、アセトンを用いて超音波洗浄器で3時間断続的に洗浄した。その後、日本刀試料と同様に、水酸化ナトリウム水溶液、塩酸溶液を用いて洗浄処理を行った。酸化銅は、ほぼ4gを用いたが、鉄の燃焼に用いた石英管がほぼ満杯になった。

表2および図4にCO₂調製、および¹⁴C年代測定の結果を示す。錆びた鉄試料の炭素含有率は、金属鉄試料と同程度であることがわかった。錆びた鉄器の¹⁴C年代測定結果は、紀元前1千年紀の幅を持つ較正暦年代を示し、インドの巨石文化期の考古編年(図5)(Uesugi 2017)と調和する。このように、錆びた鉄試料であったが¹⁴C年代測定の結果は、考古編年と調和的な年代を示した。

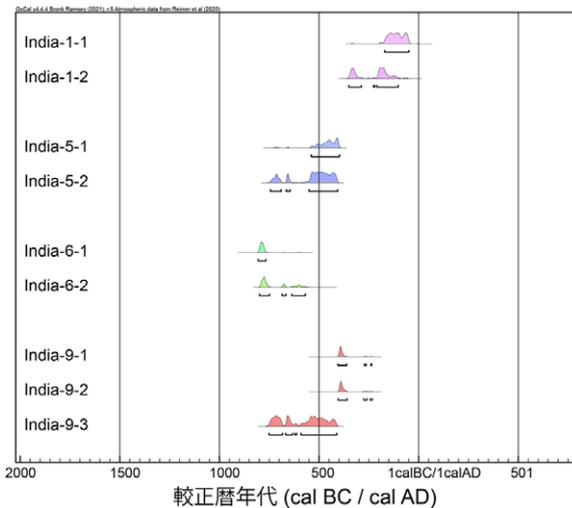


図4：南インド産出の錆びた鉄釘の較正年代(¹⁴C年代)

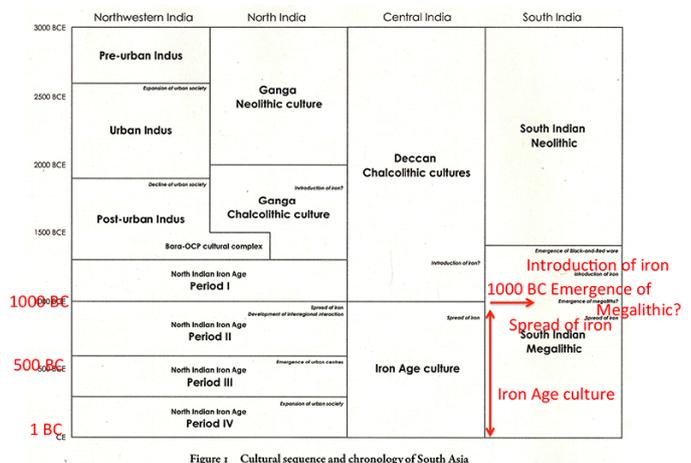


図5：南インド地方の文化と編年(紀元前1千年紀～3千年紀)

5. まとめ

今回の鉄資料の¹⁴C年代測定の結果を箇条書きにして、以下にまとめる。

(1) 日本刀から採取される1g程度の金属鉄から、AMSによる¹⁴C年代測定に必要な量の二酸化炭素を回収することが出来る。回収した二酸化炭素の¹⁴C年代を暦年代に較正して、日本刀に刻まれた銘や刀の形状から鑑定・推定される日本刀の作成年代と比較すると、通常ほぼ一致している。すなわち、鉄試料の¹⁴C年代は鑑定や推定の結果を補強する情報として有益である。

(2) 金属鉄の炭素から数万年前の¹⁴C年代が得られることから、金属鉄が石炭を燃料とする近代の溶鉱炉で生産されたものと結論される場合には論外であるが、今回分析したMagusa-1試料のように、較正暦年代が390~210 cal BCのように、紀元前1千年紀のような年代が得られる事がある。また、オランダ軍事歴史博物館に所蔵されている日本刀Bronbeek-1もMagusa-1と同様に、いわゆる「反り」のある日本刀の形状をしている。得られた較正暦年代cal AD 110~220は、「反り」のある日本刀の出現の歴史とは相容れない。Magusa-1試料では、分析した金属鉄試料は茎から採取されており、この茎の部分が何らかの理由で刀の本体とは別の鉄塊を用いて造られ、後世に接続された可能性が示唆される。¹⁴C年代測定の結果が日本刀の鑑定結果と相容れない場合には、単に¹⁴C年代測定の結果が間違いとして無視するのではなく、それらの不一致の原因を探求することが重要である。

(3) 本研究では、錆びた鉄釘の¹⁴C年代測定も合わせて試みた。釘は、完全に錆びているわけではなく、永久磁石に反応することから金属鉄も含んでいた。錆を落とすのではなく、錆を含めて全体から炭素抽出を行った。今回の錆鉄試料では、炭素含有率は金属鉄と同程度であり、得られた¹⁴C年代は、これらの試料が発掘されたインドの巨石文化期の遺跡の推定年代とよく一致した。

謝辞

鉄資料をご提供頂いた皆様に深く感謝致します。この研究は、科学研究費補助金 基盤研究B(代表者：名古屋大学 中村俊夫、課題番号：17H02017、課題名：古代鉄の放射性炭素年代測定：金属鉄から錆びた鉄への適用拡張と測定の高精度化)の補助により行われた。

引用文献

- Bronk Ramsey, C. (2001) Development of the radiocarbon calibration program OxCal, *Radiocarbon*, **43** (2A) 355 – 363.
- Bronk Ramsey, C. (2009) Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, **51** (1) 337 – 360.
- Cook, A.C., Wadsworth, J. and Southon, J.R. (2001) AMS radiocarbon dating of ancient iron artifacts: a new carbon extraction method in use at LLNL. *Radiocarbon*, **43** (2A):221 – 227.
- Enami, H., Nakamura, T., Oda, H., Yamada, T. and Tsukamoto, T. (2004) AMS ¹⁴C dating of iron artifacts: development and application. *Radiocarbon*, **46**(1): 219 – 230.
- Huls, C.M., Grootes, P.M., Nadeau, M.J., Bruhn, F., Hasselberg, P. and Erlenkeuser, H. (2004) AMS radiocarbon dating of iron artifacts. *Nucl. Instru. and Meth. B* **223-224**, 709 – 715.
- Igaki, K., Nakamura, T., Hirasawa, M., Kato, M. and Sano, M. (1994) Radiocarbon dating study of ancient iron artifacts with accelerator mass spectrometry. *Proceedings of the Japan Academy*, **70** (B): 4 – 9.
- Itoh, S., Sato, M., Hirota, M., Lomtaidze, Z., Yamagata, H. and Nakamura, K. (2020) Current status of the compact-AMS system at Paleo Labo Co. Ltd. Proceedings of the 8th EA-AMS Symposium, December 3-6, 2019, Nagoya University, 51 – 52.
- Nakamura, T., Hirasawa, M. and Igaki, K. (1995) AMS Radiocarbon dating of ancient oriental iron artifacts at Nagoya University. *Radiocarbon*, **37**(2): 629 – 36.

- Reimer, P., Austin, W.E.N., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Butzin, M., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A., Kromer, B., Manning, S.W., Muscheler, R., Palmer, J.G., Pearson, C., van der Plicht, J., Reim Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Turney, C.S.M., Wacker, L., Adolphi, F., Büntgen, U., Fahrni, S., Fogtmann-Schulz, A., Friedrich, R., Köhler, P., Kudsk, S., Miyake, F., Olsen, J., Sakamoto, M., Sookdeo, A., Talamo, S. (2020) The IntCal20 northern hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*, **62**, 725–757.
- Uesugi, A. (2017) An overview on the iron age in South Asia. *Iron Age in South Asia*, (ed. By Akinori Uesugi), 1–49.
- 近藤宏樹・中村俊夫 (2012) 加速器質量分析計を用いた鉄製遺物の¹⁴C年代測定に関する基礎研究. 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, **XXIII**, 97–118.
- 中村俊夫 (1999) 放射性炭素法. 考古学のための年代測定学入門, 長友恒人 (編), 古今書院, 1–36.
- 中村俊夫 (2001) 放射性炭素年代測定とその高精度化. *第四紀研究*, **40** (6), 445–459.
- 中村俊夫 (2003a) 加速器質量分析 (AMS) による環境中およびトレーサ放射性同位体の高感度測定. *Radioisotopes*, **52** (3), 144–171.
- 中村俊夫 (2003b) 放射性炭素年代測定法と暦年代較正. 環境考古学マニュアル, 松井 章編著, 同成社, 301–322.
- 中村俊夫・太田友子・山田哲也 (2013) 鉄製品の放射性炭素年代測定と試料調製. 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, **XXIV**, 187–191.
- 中村俊夫・太田友子・山田哲也 (2014) 鉄サビの放射性炭素年代測定のための基礎実験. 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, **XXV**, 156–163.
- 中村俊夫・太田友子・山田哲也 (2015) 鉄サビの放射性炭素年代測定のための基礎実験 (II). 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, **XXVI**, 150–155.
- 小野直俊・桑原 守・佐野正道・平出正孝・中村俊夫・小田寛貴・平沢政広 (1988) 古代鉄の製法技術に関する冶金学および年代学的考察. 名古屋大学古川総合研究資料館報告, **14**, 27–35.