



鉄の歴史④

朽ち果てぬ鉄に魅せられて、古代鉄を探る

井垣 謙三

東北大学 名誉教授

Kenzo Igaki

Looking for How to Reproduce High Quality Ancient Iron

1 はじめに

法隆寺の昭和の解体修理工事で取り出された古代の釘が、非常に健全でそのまま再使用できるものさえあることを知ったのは中学生の頃であったが、朽ち果てぬ上質古代鉄に魅せられて、その再現に努めている現在の自分の出発点はその辺にあったのかもしれない。

実用の鉄は多くの不純物を含む複雑な多元系であるため、避けていたのが実情であるが、昭和37年東北大学に移った時、鉄の精製を研究課題に取り上げた。鉄の最高到達純度が他の金属に比べてかなり低い水準にあり、どこかが盲点になっているように思われたからである。明瞭な向上が得られず、泥沼状態になるようであれば、直ぐ切り上げたいと考えていたが、数年の内に従来の記録を上回る好結果が得られ、向上が続いた。

湿水素中での熱処理を施して、非金属元素 (C、O、N) の影響を揃えたこと、残留抵抗比 RRR_H^* を物差しに用いて精製効果を評価したことが有効であったといえる。イオン交換分離とゾーン精製を重ねて、 RRR_H で 10,000 を越す値が得られ、化学分析でも高純度が確かめられて、どうやら他の金属と肩を並べる高い純度水準の鉄を造ることができたのだが¹⁾、研究室規模で、数kg程度の量を得たに過ぎない。精製された純鉄の外観はCr、Co、Niのそれに近く、なるほど同じ鉄族元素かと感心した。薄くて緻密な保護酸化被膜が形成され、錆の進行を抑えてピカピカの状態が長く保たれる。

水素還元から電解還元に変えられて、規模が少し大きくなり、年間1トン程度の生産になったが、精製純度の不揃いが避けられなかった。また、従来の電解鉄と同じく残留酸素量が数百mass ppmと高く、これを用いてそのまま溶製した合金の機械的性質などに大きい影響を与える点が問題であった。百トン単位の量が一時間足らずで製造される実用鋼純鉄との間の差を縮めることはできないものかと次

に模索した。量産には高カロリーの化石燃料・石炭による還元が必要であり、Sの結晶粒界への集積による脆化を防ぐため、Mnを加えてMnSの形にして割れない鉄を造った歴史的な経緯もあって、Mnは必要不可欠な元素のように思い込まれている。SiもMnとともに使いやすい脱酸剤として広く用いられ、実用鋼ではこれらの濃度を同時に100mass ppmレベル以下に下げようと試みられることはなかった。(以下で、%、ppmと記すのは、いずれもmass%、mass ppmである。)

製鉄段階で形成されたMnSを除くことは容易ではないだろうと思っていたが、工業用純鉄 (NK-J2) では、製鋼段階での酸化吹錬でMnを100ppmの桁の低い値まで下げていることを知り、伊予の鍛冶師白鷹幸伯氏から依頼の奈良薬師寺の回廊再建用の釘材として数トンの量の試作を打診した²⁾。上質古代鉄の化学分析から、Mn、SiおよびSの濃度がいずれも数10ppmの桁で、非常に低い値を示す例の多いことを知り、それに近い組成の試料を実用鋼素材で造り、比較することが重要と考えたからである。

数トンという量が研究室規模で造るには多すぎ、工場規模で造るには少なすぎるのが問題であったが、結局、純鉄を造ることとし、一回の転炉操業の250トンの内の50トンだけを電気炉に取り分けて、それに釘材の強度に必要な量のCを加え、Al脱酸を行い、残存Alもできるだけ低くすることとした。C以外のO、Nを含む11元素の総和が700ppmの純度水準のこの試作材料SLCMについて、鍛冶師は十分に満足できる性能と認め、また腐食試験は優れた耐食性を証明してくれた。

純良な鉄の優れた特性を、現在の量産鉄は生かしていないように思われ、これを見ごとに生かしているのが上質古代鉄なのではないかと考え始めた。出来るだけ来歴の明らかな古代鉄試料を入手したいと望んでいたが、早い時期に薬師寺月光菩薩像の鉄芯について調べることができ、また多くの方から貴重な試料を提供して頂いたのは幸であった。

*: RRR_H は室温での電気抵抗と60kA/m程度の縦磁界をかけて測定した4.2Kでの電気抵抗との比であって、後者は磁気的な影響を取除いた不純物散乱項に対応するので、この値は鉄の純度を評価する上での簡便な物差しとなる。

2 上質古代鉄はどこが違うのか、

2.1 耐食性

薬師寺や法隆寺の解体修理に携わった西岡常一棟梁は、法隆寺などの木造の古い建造物やその建造技術を、後世に残したいという願いから、「法隆寺を支えた木」とか「木に学べ」とか多くの本を書き、その中で今の鉄が駄目だということを述べている。大工にとって刃物は生命で、何時間もかけて研ぎ上げるのに、今の鉄では錆がすぐに浮き、時には錆が表から裏に突き抜けさえすると、耐食性に大きい差があることを指摘している。

耐食性をどのような腐食条件で試験するのが適切であるかを判定するのは容易ではないが、製作年代や製法の違う試料について同一腐食条件で比較することは重要と考え、中性に近い液中での腐食特性に注目して、0.15M- H_3BO_3 +0.0375M- $Na_2B_4O_7$ (pH:8.45)の、ほう酸塩緩衝溶液を選び、アノード分極曲線を測定した³⁾。図1にそれを示すが、電位を高めていくと-0.5V付近の電位で鉄の活性溶解が始まり、大きい電流が流れるが山を越えた-0.2V付近ではピーク値より約一桁低い電流値に落ち着く。これは化学的に活性な状態にあった鉄が、その表面を酸化皮膜や吸着層に覆われて、化学的に不活性になったため、電気化学的不働態と呼ばれる状態である。さらに電位を高めると1.2V付近から、酸素発生を伴う急激な電流増大が見られる。中間の低い電流値は、鉄の表面に形成された不働態皮膜を漏れて流れる電流であり、不働態維持電流と呼ばれるが、この値が小さいほど皮膜が健全なことを意味する。

古代鉄はもともとかなり不均一な材料であり、同一試料

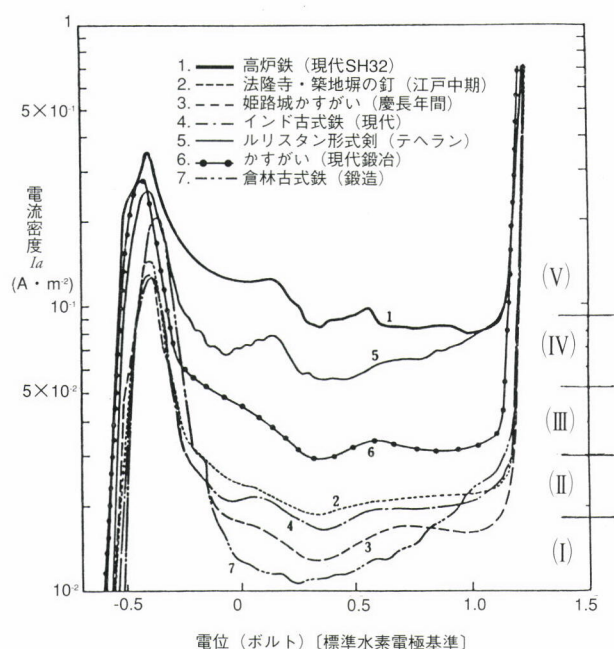


図1 ほう酸塩緩衝溶液中でのアノード分極曲線

でも分極曲線に差が見られることもあるので、かなり大きい変動誤差を想定する必要があるが、年代を異にする試料によって不働態維持電流の値に一桁に近い落差のあることにむしろ驚かされた。不働態維持電流自体がかなり変動する場合もあるが、一つの目安として、0.2Vから1.0Vまでの区間の不働態維持電流の平均値を採用して比較し、五つの領域に分類して表1に示した。丁寧な鍛錬を受けた試料が低い不働態維持電流を示す傾向が認められ、古い時代の試料の大部分が領域Ⅰ、Ⅱに入り、優れた耐食性をもつことが知られる。戦災などの火災に遭った刀についても測定したが、介在物や析出物の分布状況も変化しているためか、耐食性も低下しているのが一般的であった。領域Ⅳ、Ⅴに分類される試料の一部では、不働態維持電流の値が大きいばかりでなく、それが大きく変動して、安定な不働態皮膜が形成されているとはいえない状況にあるものも見られた。市販の炭素鋼SH32がこれに属したが、効率的な量産を目標とし、耐食性に対しては配慮されていないから止むを得ない。

表1 不働態維持電流による耐食性の分類

領域	不働態維持電流C ($10^{-2}A \cdot m^{-2}$)	試料
(Ⅰ)	$C < 1.7$	刀(南北朝時代・備前・長船政光)、姫路城かすがい(慶長年間)、刀(江戸中期・薩摩・奥忠重)、倉林古式鉄(現代)、NK-J2、SLCM(現代)
(Ⅱ)	$1.7 < C < 3.0$	釘(飛鳥時代・法隆寺)、海住山寺鉄柱(鎌倉時代)、刀(室町時代・伊勢・二代村正)、刀(室町時代・山城・了戒)、刀(江戸中期・肥前・忠廣)、鑄鉄板(鎌倉時代)、インド古式鉄2種(現代)、釘(江戸中期・法隆寺築地堀)
(Ⅲ)	$3.0 < C < 5.0$	刀・茎部(室町時代・山城・来国俊)、焼けた刀(室町時代・筑前・左文字)、刀(現代・大和伝・法華三郎)、かすがい(現代鍛冶)
(Ⅳ)	$5.0 < C < 9.0$	焼けた刀(江戸時代)、高炉鉄(現代・S45C)、ルリスタン形式剣(現代?・テヘラン購入品)
(Ⅴ)	$9.0 < C$	高炉鉄(現代・SH32)

薬師寺の回廊再建用の釘材SLCMは、これまでに測定したどの試料よりも低い不働態維持電流を示した。どの程度バラツキが見られるかと、鍛造仕上げ温度を変えた5本以上の釘について同様の測定を行ったが、測定誤差範囲内の差しか認められず、この促進腐食試験で知られる限り、それ以上を望めないほどの優れた耐食性を示した。電気化学的に造られる不働態皮膜の厚さは、むしろ薄い、健全な緻密な皮膜が形成されている。

領域Ⅰに分類される鉄程度になると、大気中放置によっては容易には錆は浮かず、浮いたとしてもその錆が広がるようなことはなく、18-8ステンレス鋼のそれに近い輝きを持つ。インドでFerrum Candidum(光り輝く鉄)として高く評価された鉄もこれと同様の物と考えられる。鉄が錆びやすく、朽ち果てて土に帰るといえるのは、鉄自身の性質ではなく、現在の量産工業鉄の平均的な性質にすぎないことが知られる。

2.2 鍛接性

日本刀の場合、和紙に包み、灰汁をかけ、加熱して鍛造することによって接合（鍛接）している。人によっては灰汁は使わず、木炭粉あるいは銑鉄粉を用いて鍛接する。このような接合が可能なことを、刃物工は泥沸かしが効く、沸かしが効くと言っているが、現在の工業鉄では、この沸かしが効かない。日本刀鍛練の技術を保存するために、奥出雲で年に数回のたたら操業を実施しているのも、沸かしの効く鉄を造るためであって、採算がとれる訳はなく、各方面からの補助金を得て、1kgあたり8000円という価格で刀匠に頒布されている。実用鋼より二桁高い価格が通用するのも、日本刀が美術工芸品として広く愛好されているからであって、実用品にこのような鉄が使われることは、まずあり得ない。

ところが、人類は2000年以上も前から鉄を使い続けている。古くから銑鉄を使っているのは中国およびその影響圏だけであって、ほとんどは鍛鉄を用いたものであり、沸かしの効く鉄を用いたのであった。どの小さな集落にも鍛冶屋がいて、農具・工具のほか各種の日用品の修理・製作に忙しく立ち働いていた。沸かしの効かない鉄が普通になって、修理は出来なくなり、鍛冶屋の槌音は消え、農具・工具の取次販売店に変わってしまう。

沸かしが効かない、鍛接出来ないというのは、どういふことなのか。厚い酸化皮膜が出来て、それが金属同士士の接触を妨げているのではないか。電気化学的に形成した不働態皮膜の場合と同様に、高温でも薄くて緻密な酸化皮膜が出来て、その後の酸化の進行を抑えていれば、この皮膜は容易に破れ、あるいは還元除去されて、金属同士士の接触が起り、鍛接出来るのではないか。そこで刀匠に頼み調べて貰うと、極低炭素鋼なら大抵は鍛接出来るということで、高炭素の刃物用鋼で調べなければならないことになった。

薬師寺回廊再建用の鉄と同程度の純度の刃物用鋼を造って欲しいとの依頼が、白鷹氏を通じて越後与板の打刃物師碓氷健吾氏から寄せられた。今度は研究室規模の50kg溶解を依頼し、電解鉄より一桁廉価なNK-J2に炭素を添加して、2種類の鋼を調製した。沸かしが効くか効かないかにまず関心があったが、全く問題なしとのことであった。刃物については私も良く分らないので、成果の程は以下の来信の内容から判定して頂きたい。

碓氷 健吾氏（平成3年11月1日付）： 造って頂いた鋼で鉋を造りました。純度の良い鋼は昔から焼入性が悪いと言われていましたが、今回の鋼は焼入性も良く、ロックウェルで65.5～66.位出ており、今迄の炭素鋼とくらべて非常に力があるように思われます。又、錯の件ですが、完全に外の鋼にくらべて良いようです。

碓氷 健吾氏（平成5年1月10日付）： 試作して頂い

た炭素鋼1.16%Cの方を、此の度鉋に使用して、自分で切味試験をいろいろやって見て驚きました。従来は炭素鋼は少し力が足りなくて硬木には無理と思っておりましたが、櫟等の硬木も楽に削る事が出来ました。その鉋屑をご参考迄に同封申し上げます。若い頃、県の試験場の技師と炭素鋼と特殊鋼の事で、いろいろと議論致しました際に純度の良い炭素鋼なら絶対に良い結果が出ると云われましたが、其の通りになりました。又、三条の岩崎さんからも玉鋼の鉋を破きるつぼで溶解した鋼を頂き、それで造った鉋と並べて試験を致して居りますが、今のところ同等の切味が出ています。1.16%C鋼は偏析もなく又炭化物の分布も非常に均一でしたが、特殊鋼の様に炭化物を微細にするには相当の鍛練技術が必要の様に感じています。黒檀やタガヤサンの硬木にも奇麗に鉋がかりました。刃こぼれしてはいないかと、後から顕微鏡で調べましたが大丈夫でした。

この碓氷健吾氏からの鉋の削屑の一部を下記の方々に送り感想を求めた。

西岡 常一氏（文化功労者、宮大工）（平成5年2月18日付）：（略）素晴らしい鉋削屑、鋼もさること乍ら、磨ぎの腕、砥石と三拍子揃わねばと存じます。（略）

八十六 老工 常一 謹言

村松 貞次郎氏（東大名誉教授、明治村理事長）（平成5年2月19日付）：（略）碓氷健吾さんのカンナ屑拝見、私も素人ですが、硬木がこれほど削れるとはたいしたものですね。地鉄、鋼、鍛冶、台、研ぎ、削り手と、すべてがシステムとして完成しないと、これだけのカンナ屑は出ないですね。それにしても、健吾氏 熱心な鍛冶です。

なお、この鉋の台金には英国製パドル鋼が使用されており、現在の鉄にはこれに対応する物がなく、刃物師は困っているよしである。この点について、以前に下記の来信あり。

池上 喬庸（左 久作）氏（平成2年1月12日付）： 刃物の地鉄は、昔の和鉄のように軟らかくて、黒い不純物が入っている鉄が一番良いようです。これは砥石に当ててサクサクと研げるので、研ぎ上がりに趣がある為です。最近の鉄で炭素量 0.005%の純鉄を使って鉋を造ったことがありましたが、軟らかいだけで、砥石の表面を駄目にして（砥石が糸を引くと申します）、かえって結果的には駄目でした。

なぜパドル鋼が良いのか、詳しいことは私には分らない。刃先の部分より、台金の使用量の方が数倍多いから、刃物師にとっては確かにかなりの大問題なのであろう。

2.3 化学組成

考古学的にも貴重な試料である場合も多く、出来るだけ非破壊的な手段を用いて組成分析を行なうことが望ましいが、青銅器の場合と違って、Fe-C系2元合金である鉄器の

場合には、蛍光X線分析はほとんど有効な知見を与えてくれない。信頼性の高い結果を得るためには、金属地の残留している試料を用い、金属地部分について分析を実施することが重要になる。数百ミリグラム程度の試料しか分析用には採取できないといった状況を前提として、それから出来るだけ多くの知見を得ることに努めた。

原子吸光分析と熱中性子放射化分析とを主として用いて得た分析結果を表2に示す。表中Cuについては原子吸光、中性子放射化およびICPの各分析法による結果を与えているが、かなり大きい差のあることが認められる。この差は各分析法の精度の問題ではなく、もともとかなり不均質な材料から微量の試料を採取しているサンプリングの問題であり、2倍近い差が認められるのは当然とすべきである。これらの経験から、3倍程度の許容誤差があるものとして分析結果を見ることにすれば、ほぼ誤りない推論が得られよう。

従来の多くの分析結果をも考慮に入れて、古代鉄器と現代の工業鉄との間の差異に注目すると、Si、SおよびMnの含有量に本質的な差のあることが知られる⁹⁾。

- i) Siについては、酸可溶分中の濃度に注目すると、60ppm以下が大半で、現代の工業鉄中のSi濃度が少ないものでも数千ppmであることを考えると、顕著な差といえる。
- ii) Sについては、35ppm以下というのがほとんどであり、鑄鉄板その他のやや特殊な例を除くと、100ppmを越えるものは見当らない。これは石炭を用いず、木炭による還元であるためであって、硫化物による低温脆性の問題はなく、容易に加工・延伸される。
- iii) Mnについては、高速中性子の混在度の少ない熱中性子線束（京都大学熊取原子炉実験所）を用いての放射化分析によって、高い精度でMn濃度を決定できるようになったが、古代鉄器のMn含有量は

50ppm以下と低く、現代の工業鉄のMn濃度が2000ppm程度以上ときわめて高いのと比べ、際立った差を呈した。

3 ¹⁴C年代測定

古代上質鉄の示す優れた耐蝕性・鍛接性に注目して、現代の量産鉄と古代鉄との間の差を明らかにしてきた。千年を経てきわめて健全な状態にある伝世品も数多く調査することができたが、伝世品には来歴の明らかでない物も多く、それが鉄として造られた年代を知ることは非常に重要な課題である。幸い金属相は健全に保持されているので、名古屋大学年代測定センターの協力を得て、金属相中の炭素について加速器質量分析法による¹⁴C年代測定を試み検討を加えようとした。

燃焼法により古代鉄器中のCをCO₂として放出させ、分離・捕集した後、還元してグラファイトとし、これを圧縮成型したペレットをターゲットとして加速器質量分析を行なう。炭素は負イオンとして、また正イオンとして静電的に加速され質量分析される。木曾檜の1840～1860年の年輪部分を標準試料とし、それと測定試料とについて¹⁴C/¹³C比を交互に繰り返し測定する。Libbyに従い、¹⁴Cの半減期には5570年を用いて、年代を算出した。古代鉄は酸化鉄を木炭で還元して製造されるのが普通であり、¹⁴C年代測定は厳密に言えば還元に使われた木材の年輪形成期を与えるが、あまり古い木材から木炭を作ることも考えられず、木炭もすぐ製鉄に使用されるのが普通であるから、現在の¹⁴C年代測定法には誤差が80年程度はあることを考慮すると、鉄器の製作年代を求めたものとして良いと考えられる⁹⁾。

鉄鏝・鉄鋌・直刀X・丸鍛え日本刀M1の4種類の試料について測定した。鉄鏝は“かな”あるいは“ちょうな”の類の木工具とされ、使用されて先端の一部が欠けた後、埋められたもので、土と錆とが一体になって強固に付着していた。

表2 各種鉄器の化学組成 (mass ppm)

	Na	Al	Si*	Si [#]	P [#]	S**	Ca*	Ti	V [#]	Cr*	Mn	Co*	Ni*	Cu*	Cu	Cu [§]	Ga	As
飛鳥時代・釘	8.8	46	39	—	—	24	120	<10	—	<3	10	44	17	80	46	—	19	14
法隆寺五重塔・釘 (創建当初)	23	293	48	—	—	21	14	160	—	64	29	244	633	109	140	—	86	15
薬師寺月光菩薩像鉄心 (奈良時代)	8.4	140	63	—	240	19	41	110	70	60	22	146	240	78	60	180	19	13
鎌倉時代・鑄鉄板	<3	20	33	120	1,400	120	14	<25	—	48	56	40	55	210	137	—	11	24
海住山寺塔・鉄柱 (鎌倉時代)	13	65	120	100	110	—	<20	<30	—	30	11	89	39	23	27	—	11	11
鎌倉時代・日本刀 (山城)	17	100	(450)	—	—	50	110	<90	—	26	13	310	212	174	85	—	10	20
南北朝時代・日本刀 (備前)	<5	150	—	—	810	—	<10	220	—	<5	56	192	—	53	110	—	28	20
姫路城・かすがい (慶長年間)	2.2	41	42	120	250	21	<16	39	30	26	15	76	16	77	114	200	157	8.9
東大寺大仏殿・釘 (江戸中期)	<7	130	(410)	140	90	70	440	<44	—	122	6.9	129	78	179	—	—	18	19
インド・古式鉄 (現代)	<3	17	112	310	180	20	51	67	—	<3	41	183	353	336	110	—	1.3	6.8

*原子吸光分析、**燃焼ガスクロマトグラフ法、§ ICP法、# モリデンブルー吸光度法、他は熱中性子放射化分析（京都大学熊取原子炉実験所）

2mm厚程度の鉄錆の下は健全な金属相として残され、透過X線像から多くの気泡を含む鋳造品であることが知られる。鉄鋌はウワナベ古墳陪塚出土のもので、部位により腐食の程度を異にするが、3mm厚程度の健全な金属相の部分から試料を採取した。直刀Xは出土地不詳の伝世品で二尺六寸の記載がある。腐食状況は同様であるが、5mm厚以上の健全な金属相が保持されている。日本刀M1で丸鍛えとしているのは、心金・皮金といった炭素濃度の違う材料を合せるのではなく、全体を込みにして鍛接して薄く延べ、重ね鍛えして造ったもので、鎌倉～室町時代と推定されるとのことであった。得られた年代測定結果を下記に示す。

試料名	[%C]	yrs.BP	西暦年代	備考
鉄鐘	3.6	1720±160	AD70～390	後漢～三国時代・晋
鉄鋌	0.44	2372±80	BC502～342	
直刀X	0.044	1952±82	BC91～AD73	
日本刀M1	0.5	880±150	AD920～1220	平安末期～鎌倉初期

日本刀M1については、予想していたより少し古い年代が出た。軟らかい心金を皮金で包む手法が確立するのは鎌倉時代中期とされるから、妥当な結果と言えよう。鉄鐘の値は、反対に予想より少し新しい時代を示した。とはいっても、日本の歴史には記録のない古い時代である。このような古い時代から鋳鉄を使用しているのは、中国およびその影響下の文化圏だけで、西欧諸国が鋳鉄を使い始めるのは千年以上も後のことなのである。鉄鋌についてはウワナベ古墳築造年代よりはかなり古い製造年代になった。炭素濃度の低い直刀Xとも同じく、国外から持ち込まれた物とも考えられるが、今後の検討を待ちたい。

これらの試料の化学組成を、表3に示す。

古代鉄器についての ^{14}C 年代測定の報告が、これまで、ごく一部を除いてなされなかった理由の最たるものは、測定に多量の試料を必要としたことであろう。タンデトロン加速器質量分析法で必要とする炭素量は3ミリグラム程度であり、鉄試料としては数グラムを要する。試料の炭素濃度によって必要な試料量は違って来るから、予め、火花試験などで炭素濃度を推定しておくことが望ましい。日本刀の場合など0.5%程度の炭素は含まれているから、1グラムあればよいことになり、茎（なかご）部から目釘穴程度の試料を採取できれば

よい。非破壊的な手段で各種の測定を実施し、最後に年代測定を行うことにすれば、試料も十分に生かされたといっているのではないだろうか。

4 産地推定の試み

生産地を自然科学的な手段で識別できれば大きい貢献になるが、古代鉄器について報告された例はなく、発掘地を明示して参考としているのが普通である。青銅器については、鉛同位体比測定によって、原料産地の識別が可能になり、最近、興味ある知見が数多く得られている⁹⁾。鉛は青銅器においては主成分の一つであり、少量の試片から容易に鉛を抽出し、同位体比測定を実施できるが、鉄器の場合は簡単には進まない。鉄器中の鉛の含有量は数ppbの桁であり、細心の注意を払わないと、汚染の影響を測定していることになってしまうからである。この困難な課題に挑戦して漸く成果が得られた東京国立文化財研究所の平尾良光氏らの測定の中に私の提供試料も入れてもらった⁷⁾。

鉛同位体比測定の詳細については文献(6)を参照して頂きたいが、安定同位体 ^{204}Pb の外に、放射性元素の壊変 $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$ 、 $^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb}$ 、 $^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb}$ による3種の同位体があり、これらの壊変の半減期はほぼ十億年の桁の値で、地球が誕生した後、鉄器原料の鉱物・岩石が析出してUやThから別れるまでの期間に応じて、これらの同位体間の存在比が変化するので、こ

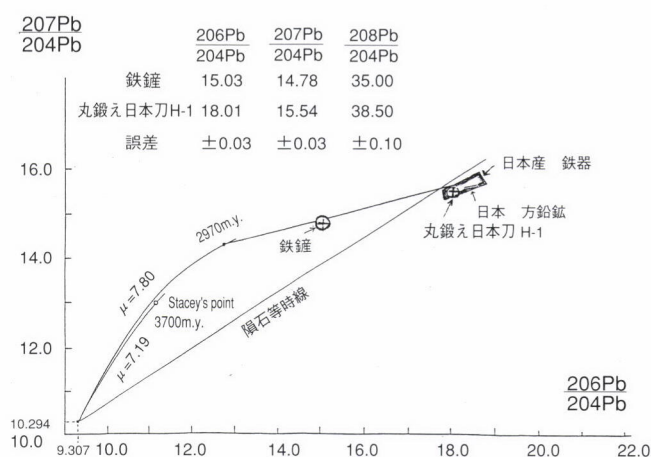


図2 鉄器の鉛同位体比

表3 古代鉄試料の化学組成

	C%	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Ti	Co	Al	Ca	As
鉄鐘 (AA)	3.63%	220	116	50	—	917	208	44	<50	170	6.2	140	70
	—	—	54	—	—	<36	430	38	78	150	120	<640	140
鉄鋌	0.44%	110	—	220	36	—	—	—	—	—	—	—	—
別試料	0.054%	1500	110	190	—	480	—	—	40	—	—	<50	—
別試料	0.71%	2500	20	270	30	1100	—	—	20	—	—	—	—
直刀X	0.044%	270	—	330	20	—	—	—	—	—	—	—	—
日本刀M1 (AA)	0.49%	60	—	690	—	—	—	—	350	—	140	—	—
	—	—	22	—	55	<32	<120	22	190	130	10	<880	6.1

(AA) は武蔵工業大学原子力研究所、中性子放射化分析

れによって原料の産地を識別するのである。

$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ を縦軸に、 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ を横軸にとると、時代の経過とともに、これらの値が増大してゆく形になるので、これに従って図2に測定結果を示した。

鉄器についてのデータはまだきわめて少ないので、控え目な表現を取らなければならないが、日本産の鉄器14種は図2中に示した限定された領域内に入っている。日本産の方鉛鉱の領域を含むが、測定精度に差があり一致するとは言えない。一方鉄鏝についての測定結果は上記の領域とは大きくかけ離れ、現在より約十億年前の古い時代に分離したものと推定され、先カンブリア紀の盾状地となり、中国大陆の北部が一つの候補として考えられる。将来多くのデータが蓄積されれば、詳細に限定することも可能になると期待される。

鉄鏝は古貨幣研究家の郡司勇夫氏からの提供で、表面に金石文の文字のように思われる文様が浮き出ている特異な試料である。もし青銅製であれば、どこかの貨幣博物館に収蔵されて、試片採取など到底望めなかった品物である。その外観、透過X線像、表面文様拓本を図3に示す。かなり重要な試料と考えられたので、付着していた土についての花粉分析を、東北大学・教養部 相馬寛吉教授に依頼して実施した。

53個の花粉と胞子が見出され、ヨモギ属(10)、イネ科〔栽培種とは思われない〕(9)、スギ科(7)、アカザ科(5)、マツ属(5)その他、コナラ属、キク科、ハンノキ属、ニレ属、ハシバミ属、ヒカゲノカズラ属等があり、出土地は拓かれた乾燥原野で、近くには水の流れがあり、遠くには深く茂った森が望まれたであろうことが推定される。スギ科の中のスギ属の花粉は特徴のあるものであり、出土地を中国大陆と日本列島だけにほぼ限定し、朝鮮半島の可能性はきわめて低いことを教えてくれる。

これらを総合的に考慮すると、この鉄鏝の産地を中国大陆と躊躇なく判定できよう。

5 古代鉄と酸化精錬

この鉄鏝は多くの気泡を含んでおり、鑄造品としては失敗作に違いないが、中には酸化鉄の詰まった孔もあることが分かり、当時の鑄造技術を推定させる意味でも重要な試料といえそうである。銑鉄の湯に空気を吹き込んで強くかき回し、酸化鉄鉱石をも加えて、銑鉄中の炭素量を減らし、脆くなく鍛錬できる強い鉄、すなわち鋼をつくる「炒鋼法」という酸化精錬法が、中国では古くから知られている。空気をとり入れての炭素の燃焼反応による発熱と、酸化鉄の還元反応による吸熱とのつりあいが重要で、この試料の場合、酸化鉄が一時にやや多量に加えられたために温度が下がり、大急ぎで鑄込まれたものであろう。

炭素の燃焼反応は湯の温度を上げるが、必要温度に到達すればそれ以上はエネルギーの浪費である。酸化鉄の添加は鉄の収量の増加に結び付くから、温度さえ適正に管理されておれば、きわめて有効な手段といえる。この試料の場合、温度管理に失敗し、炭素量があまり減らないうちに温度が下がり、湯の流動性が悪くなって、一酸化炭素などが気泡として閉じ込められたまま凝固したものと考えられる。これはかなり初歩的な失敗と見なすことができ、修練を積めば、可鍛銑鉄程度ばかりではなく、炭素濃度を1%以下にまで低減することに成功しているのではないかと想像される。中国の古書「呉越春秋」⁸⁾に、鉄に関連して「劍を鑄す」という記述が見られるのは、これに対応するのではないかと提言したい。

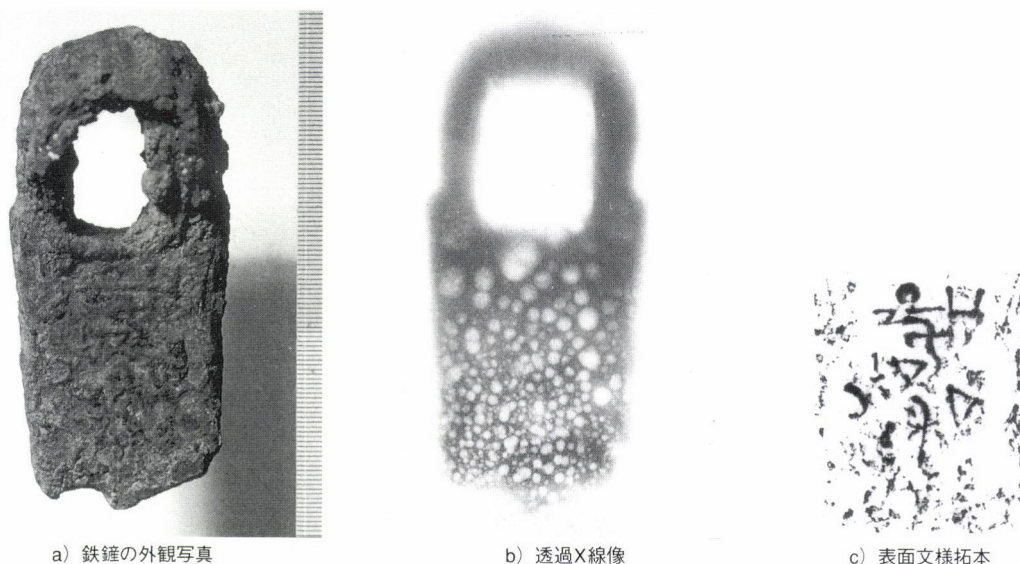


図3 鉄鏝の外観写真 (a)、透過X線像 (b)、および表面文様拓本 (c)

パドル鋼の場合も、最終段階に近いところで、酸化鉄粉に包んでこね回す操作があり、その後で酸化物系介在物を絞り出すが、酸素との親和力が鉄より大きい不純物を酸化物として系外に除去するものであり、脱マンガン・脱けい素に有効であったと思われる。

現在の工業鉄において広く採用されているマンガンやけい素による脱酸は、金属相中にそれらの不純物を残すものであり、これによって昔の人の常識とは非常にかけ離れた鉄、すなわち沸かしの効かない鉄が量産される結果になったと言えそうである。

6 おわりに

古代鉄の優れた性質に魅せられて、現在の量産鉄との差を明確にしたいと考えたのが最初であった。多くの方々の厚意によって、貴重な試料を数多く提供して頂き、思いのままに試験片を切り出せる幸運に恵まれたことを感謝したい。

来歴の不明な伝世品も数多く、年代測定から産地推定までと、関心は広がるばかりなのに、自分自身の能率は低下するばかりで、まとめられる日が来るのは何時になるのかなどと、思い迷ったこともあったが、不十分ながらも一つ

の区切りをつけることができた。

快く協力して頂き、貴重な測定結果を出して下さった方々に、厚くお礼申し上げる。

引用文献

- 1) M.Isshiki and K.Igaki : Techn. Reps. Tohoku Univ., 44 (1979) No.2, 331
井垣謙三：鉄と鋼, 68巻, 3号, 1982年, 393頁
- 2) 井垣謙三：文芸春秋, 1991年, 11月号, 85頁
- 3) 杉本克久, 松田史朗, 一色 実, 江島辰彦, 井垣謙三：日本金属学会誌, 46巻, 1982年, 703頁
- 4) 井垣謙三：古文化財の科学, 29巻, 1984年, 18頁
- 5) K.Igaki, T.Nakamura, M.Hirasawa, M.Kato and M.Sano : Proc. Japan Acad., 70B (1994), No.1, 4
- 6) 馬淵久夫：『考古学のための化学10章』8章, 東京大学出版会, 1981年, 157頁
- 7) 平尾良光、榎本淳子：考古学と自然科学, 第29号, 1995年, 41頁
- 8) 『呉越春秋』卷二：(後漢) 趙曄撰, (元) 徐 天祐 音註
(1996年3月11日受付)