



鉄の歴史③

遺物が語る古代日本の鉄

佐々木 稔

元新日本製鐵(株)先端技術研究所

Minoru Sasaki

Relics Excavated from Ruins and Tomb in Ancient Japan "Teach" Us the History of Iron and Steel Production

1 はじめに

鉄鋼協会の会員の中でも、とくに中堅・若手の方々が「鉄の歴史を知りたい」といわれる場合、その動機はどこにあるのだろうか。ごく普通に「産業技術史として学ぶ」ということかも知れない。しかし筆者が思うに、少なくとも人達の中に社会の大きな変動期を迎えて歴史から何かを学びたいという気持ちが起こって、古代史あるいは中世史の書籍を買い求め、読み始めているのではあるまいか。

ところが手にする歴史書には、日本の鉄の歴史に関する事項は、まったくといっていいほど記述されていないであろう。古代・中世の鉄の歴史は、実は考古学・文献史学・金属学が複合する今日的な研究分野になっており、一般の解説的な歴史書で取り上げるには難しいのである。

本稿では古代日本の鉄を金属学的立場から扱うので、あくまでもデータをベースに解説することになる。筆者の見解を挿入できたとしても、全体のせいぜい3割程度に過ぎない。表題に“遺物が語る”の修飾句を入れたのはそのためである。当然のことながら、読者が筆者とは違った見解を遺

物に“語らせる”のは、まったく自由である。むしろ筆者としては、読者各位がそれを試みて下さることを期待したい。

2 使用初期の鉄器

最古の鉄器は縄文晩期(BC4世紀頃)で、福岡県下の遺跡から出土している(図1a))。板状鉄斧と呼ばれる小型の斧の頭部破片とみられる。次にやや大きな斧の一部が弥生前期初頭(BC3世紀頃)の熊本県の遺跡で見つっている(図1b))。これら2点が出土した九州西北部は、水田稲作がいち早く導入された地帯でもある。採取した錆片のミクロ組織を筆者らが観察したところ、ともに元の鋼の結晶組織の痕跡が認められた(化学組成は表1のNo.1)。しかし考古学者によっては形態上これらを鍛造鉄斧に分類しており、また錆片の採取範囲が狭く試料量も少ない(後者でも0.数グラム程度)という指摘があって、鍛造品ではなく鍛造鉄炭鋼製品(注1)と推測する研究者も多い。なお、鍛造製品として確認された鉄器の中では、山口県下出土の鋤先(弥生前期後半、BC2世紀頃、図1c))がもっとも古く、採

表1 弥生・古墳時代の鉄器の化学組成例

NO	出土地・遺跡名	遺跡年代	鉄器の形状・種類	採取試料		化学成分(%)						推定炭素量(%)	鍛造組織あるいは非金属介在物
				個所	状態	T.Fe	Cu	P	Ni	Co	Ti		
1	熊本県天水町、斉藤山遺跡	弥生前期初頭	鉄斧	胴部	錆片	60.5	<0.01	0.04	—	—	0.12	0.2~0.3	検出されず
2	山口県豊浦町、山の神遺跡	前期後半	鋤先	刃部	—	55.64	0.605	0.472	—	—	—	—	元はねずみ錆鉄
3	大分県中津市、森山遺跡	中期中頃	鉄斧	側部	—	56.49	0.077	0.609	0.015	0.009	0.087	—	黒芯可鍛錆鉄か
4	熊本県阿蘇町、池田遺跡	後期後半	小鉄片	端部	—	58.58	0.004	0.037	0.001	0.003	0.049	—	元は白錆鉄
5	福岡県春日市、赤井手遺跡	後期前半	棒状鉄*	断面	メタル	—	0.20	0.16	0.021	0.023	nil	(分) 3.52	ねずみ錆鉄
6	“ “ “ “	中期末	板状鉄*	断面	—	—	0.017	0.022	—	0.012	nil	(分) 0.82	共析鋼に近い
7	長崎県大村市、富の原遺跡	中期後半	無樋鉄戈	刃部	錆片	59.9	0.005	0.422	0.000	0.000	0.038	0.5~0.6	非晶質珪酸塩
8	福岡県春日市、門田遺跡	中期後半	有樋鉄戈	棟部	—	51.3	<0.005	0.078	—	—	0.071	0.1~0.2	“
9	奈良市大和6号墳	5 C中頃	鉄剣**	断面	メタル	—	0.019	0.023	0.14	0.041	0.004	(分) 0.22	ウスタイト、ファヤライト
10	埼玉県行田市、稲荷山古墳	5 C後半	鉄剣	棟部	錆片	—	0.35	Mn:0.18	—	—	<0.01	0.2~0.3	非晶質珪酸塩
11	福岡県刈田町、番塚古墳	5 C末	鉄斧	側面	—	60.17	0.114	0.050	0.049	0.014	0.010	0.2~0.3	“
12	奈良県明日香村飛鳥寺塔心礎下	飛鳥時代	挂甲小札	破片	—	58.8	0.07	0.119	—	—	0.013	0.1~0.2	ウスタイト、ファヤライト
13	茨城県協和町、小栗地内古墳	6 C末	鋤先	断面	—	59.69	0.185	0.142	—	—	0.014	0.1~0.2	ファヤライト
14	茨城県桂村、高根古墳	7 C中頃前半	蔵手刀	中央	—	61.02	0.104	0.033	—	—	0.010	0.1~0.2	非晶質珪酸塩

注1) *は大沢正己氏、**は久野雄一郎氏による。これ以外は筆者が共著の報告・論文から引用。

注2) 始発原料鉱石を磁鉄鉱と判定可能な含有量レベルを越している数字には網かけをした(本文参照)。

注3) (分)は化学分析値。推定炭素量は黒錆層のミクロ組織の観察結果にもとづく。

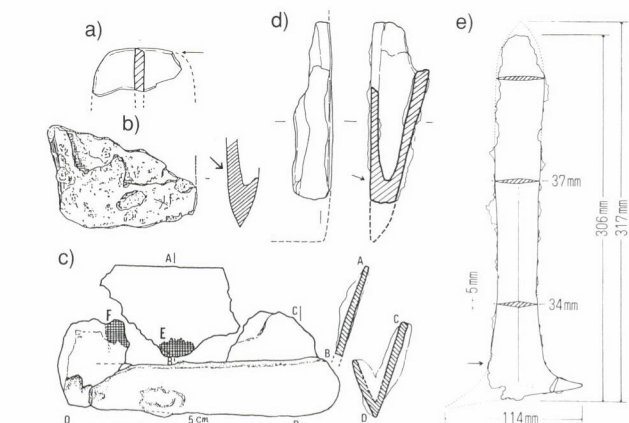


図1 弥生時代の出土鉄製品の計測図例
a)福岡県二丈町曲り田遺跡出土板状鉄斧（縄文晩期、斧の頭部）、
b)齊藤山鉄斧（刃部）、c)山の神鋤先（刃部）、d)森山袋式鉄斧
（側部）e)富の原鉄戈。b～e)の出土地と年代は表1を参照。矢
印ならびに網掛け部は試料採取箇所を示す。

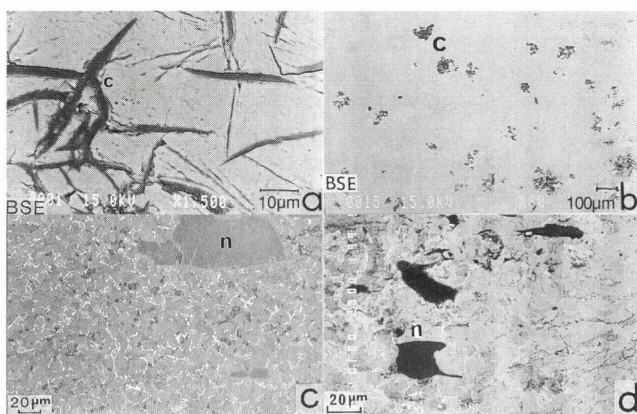


図2 鉄器鍍片試料のミクロ組織
a) 山の神鋤先、b) 森山袋式鉄斧、c) 富の原鉄戈、d) 稲荷
山鉄剣。出土地と年代は表1を参照。a、b、d)は反射電子線
像。符号cは炭素（EPMA分析で確認）、nは非金属介在物。
鉄戈と鉄剣の組織に見られる明色の網目状物質はセメントタイト。

取した鍍片試料のミクロ組織観察では片状黒鉛が確認された（図2a）。化学組成は表1のNo.2に示した。

注1）表面層の脱炭処理を行い、鑄鉄製品に靱性を付与したもの。
すでに古代の中国で開発されており、出土した農具につ
いて中国の金属学研究者による報告がある。同様に、加熱処理
によって黒鉛を球状化した例は、わが国では鉄斧について確
認されている（図2bならびに表1のNo.3参照）。

最古級の鉄器の形態学的分類法ならびに金属学的材質判定
法は、他の分野の問題とも関連して非常に重要である。これ
らの鉄器が、①華北で製作された鉄器が陸路朝鮮半島を縦断
して南に運ばれたあと九州西北部にもたらされたのか、それ
とも②華中から海路を経て朝鮮半島西南部に到りそこから伝
えられたのか、ということである。これは中国大陸からのイ
ネが辿った伝播のルートと無縁ではないと考えられている。

3 弥生時代の鉄素材と鉄器製作技術

各時期毎の出土鉄器の種別数量分布の調査結果によれば、

農工を主体にした鉄器は弥生前期後半に九州全体ならびに
瀬戸内沿岸部と近畿地方の一部に広まり、中期後半になると
東海・北陸から関東・東北地方にまでも拡大し、後期には農
具の鉄器化が西日本でほぼ完了したといわれる。鉄製品の増
加の原因は明らかに水田稲作の普及と密接に関係している。
しかしそれだけでなく、交易の拡大や移住してきた人達の増
大の要因も考慮することが必要と思われる。

鉄器の製作について、鉄鑄（やじり）のような小型品は
弥生前期後半に行われたとする見方がある。しかし鉄素材
と推定される鉄片が出土し、また列島内に独特な袋式（木
製の柄をはめ込むソケット状の部分）の鉄斧や大型の鉄戈
が現れるのは、中期になってからである。農具の鉄器化完
了の影響もあり、後期を製鉄開始の時期とする意見が考古
学者から依然として強く出されている。

3.1 鉄素材と鋼精錬の実施

鉄素材とは鉄器を製作するための材料の意味で、考古学
の方で広く使われている。当時すでに中国では間接製鋼法が行
われていたので、鉄素材が製造されたとすれば半製品の銑鉄
と鋼である。日本列島に搬入されたのは、両者かあるいはそ
の一方であろう。鉄器の鑄造が確認されるのは奈良時代に入
ってからであり、それよりも前の時代に銑鉄が利用されたと
すれば、精錬して鋼に変える以外にない。後者の鋼素材は鍛
造・成形して、鋼製鉄器の製作に用いられる。ところが鉄関
連遺物の調査で鉄素材と確認された例は決して多くない。製
品鉄器の形状をとらないため、発掘調査でしばしば“不明鉄
器”として分類されることがその原因である。

中期末（AD1世紀頃）以降の出土になるが、板状・棒状
の“不明鉄器”の代表例を挙げて検討してみよう。図3a)
は厚みが均一な薄板で、破断されて三角形になっているこ
とから、“三角形鉄片”の名称がある。元は帯板状であつ
たと推定される。錆が進んで全体が黒錆化している。図3b)
は断面が円形の丸棒で、メタルがよく残った遺物である。
これらの“不明鉄器”の金属学的解析結果から、前者の元の

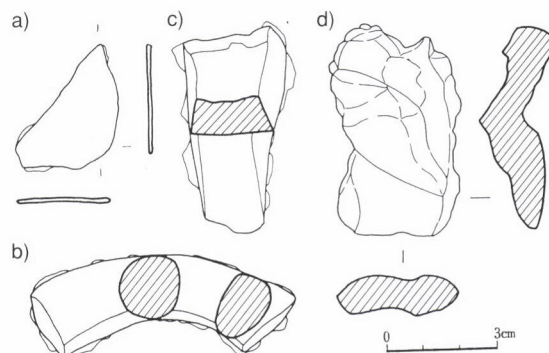


図3 鉄素材と推定される遺物の計測図
a) 池田遺跡出土小鉄片、b) 赤井手遺跡出土棒状鉄、c、d)
同左遺跡出土板状鉄。出土地と年代は表1を参照。

材質は白鑄鉄、後者はねずみ鑄鉄であることが判った（化学組成は表1のNo.4、5参照）。一方、図2c、dは形状が不整、厚さは不均一であり、規格品とはいえない。板状の素材cの炭素分析値は0.82%（表1のNo.6）で、利器の刃金に用いるような銅（炭素量0.4～0.86%）の部類に入る。

注2）中国では古くは春秋戦国時代の鑄型（板材范・棒材范）が発見されており、鑄造製品の寸法はいろいろあることが報告されている。韓国ではまだ出土が見られないようである。

これらの鑄鉄半製品は鑄物用ではなく、炭素分低減の処理を行って銅を製造するための材料と考えられる。銅精錬の遺構は未検出であるが、この工程で生成する独特の形状の鉄滓は他の遺跡で出土している。今後鉄滓を解析して、この時代に列島内で銅精錬が行われたことを間接に証明することは可能と思われる。その場合、「中国では紀元2世紀頃から脱炭材として鉄鉱石粉を添加する銅製造法が行われた（北京科技大韓汝玢教授）」事実を考慮して、大陸の新しい技術が速やかに伝えられたかどうか、検証することが重要であろう。

鉄に関する文献資料としてよく引用される『三国志』魏書東夷伝弁辰の条には「国、鉄を出す、韓、濊、倭みなしたがってこれをとる」とある。この史書が書かれた3世紀初頭に朝鮮半島南部では製鉄が行われていたが、“倭”では弥生後期になっても、依然として鉄素材を列島外から搬入していたことを物語っている。板状・棒状の鑄鉄半製品であれば精錬して銅に変え、また板状の銅素材ならばそのまま鍛造鉄器の製作に使用したであろう。ここで問題が残るのは交易品としての素材の規格性である。少なくとも図1c)、d)に示されるような銅素材には、それが見られない。次の古墳時代に現れる鉄鋌の形では、まだ流通していなかったのかも知れない。文献資料を裏付けるためにはさらに詳細な研究が必要である。

3.2 大型鉄戈にみる鍛造技術

列島内で製作したと考えられている大型の鉄器に、刃長が数10センチにも達する鉄戈がある。九州の西北部を中心に、中期後半の遺跡から約20振りが出土している。実用性はなく、儀器として使われたものと考えられている。鉄戈には無樋と有樋の2種類があって、ここでは前者の代表例を図1d)に示した。

鍔片を採取して金属学的調査が行われた鉄戈の資料数はすでに8点に及ぶが、代表例につき化学組成ならびにマイクロ組織の分析結果を表1のNo.7、8に、また鍔びる前の銅の結晶組織を推定することができる視野を、図2cに示した。このような組織からもとの銅の炭素含有量を見積もってみると、鉄戈の刃部では推定炭素量が0.5～0.6%、棟部では0.1～0.2%になった。硬、軟の銅片を鍛着して長く延ばし、軟銅が外側になるように折り返して造形したのと考えられる。この製作法は、板状鉄斧はもちろん剣でも基本的に同じである。

ここで、鉄戈の材質について若干説明しておきたい。古代の鉄関連遺跡から出土した砂鉄のP含有量（0.0数%以下）から、それを始発原料に銑鉄を経由して間接に、あるいは直接に銅を製造したと仮定した場合に、銅中のP分が0.1%を越すことはないかと筆者は考えている。二振りの鉄戈の鍔片試料の化学組成は表1のNo.8、9を示したが、Pの分析値はそれぞれ0.422、0.078%である。前者は明らかに磁鉄鉱が始発原料である。後者も砂鉄の可能性は少ない。前節では触れなかったが、棒状の鉄素材はPが0.16%で明らかに磁鉄鉱が原料といえる。しかもCuの含有量が多いので、磁鉄鉱には銅鉱物を伴っていたことが分かる。一方、“三角形鉄片”はPが少なく原料を磁鉄鉱と判定することはできないが、砂鉄とする根拠はまったくない。鉄戈に使用された銅もしくは元の鑄鉄素材は、すべて列島外から搬入されたものと考えて間違いのないであろう。

注3）筆者は、東アジアの鉄鉱床の品位を調査した報告書⁹⁾やその他の資料をもとに、鉄製品中のPだけでなく、Cuについても0.1%、NiとCoであれば0.0数%を目安とし、それ以上含有されている場合に始発原料を磁鉄鉱とみなしてよいと考えている（表2参照）。ただし鉄鉱床の組成が不均一であるため、鉱石採掘個所の違いによって、これ以下の含有量でも磁鉄鉱の場合があり得る。赤鉄鉱には標識成分がない。また砂鉄では製錬の工程においてTiO₂分がスラグ側に移ってしまい、TiO₂は標識成分として利用することができない。

鉄戈のマイクロ組織には非金属の微小な遺物が認められる（図2c参照）。製鉄史研究の分野では現用銅と同じ非金属介在物の名称で呼ぶことになっているので、読者には注意していただきたい。古代の銅精錬法では、分離しきれなかった少量の鉄滓がメタルの中に残ってしまったものである。介在物の組成から銅精錬法の基本に係わる事柄が分かるが、これについては次章で述べることにしたい。

3.3 製鉄炉跡判定の金属学的根拠

製鉄の遺構は弥生時代の全期間を通して発見されており、また銅製鉄器の金属学的調査から始発原料鉱石が磁鉄鉱と推定できる場合はあっても、砂鉄使用を裏付ける直接・間接の証拠は見つけることができない。

現在のところ正式な報告書に製鉄炉跡と記述され、また新聞紙上でも大きく取り上げられているのは、ただ一つ広

表2 古代の鉄生産に関係のある磁鉄鉱の鉱山と鉱石の化学組成

NO	鉄鉱山もしくは鉄関連遺跡	化学成分 (%)					微量元素	
		T.Fe	Cu	Mn	P	TiO ₂	Ni	Co
1	韓国忠州鉱山	55.90	0.006	—	0.042	0.13	(ppm)	
2	達山鉱山採集品	50.96	0.005	0.51	0.033	0.06	<48	0.61
3	中国山東省金峯鉱山	58.88	0.276	0.17	0.111	1.16		
4	江蘇省利国鉱山	60.90	0.065	0.26	0.026	0.03		
5	滋賀県牧野鉱山	40.03	—	—	0.033	—		
6	野路小野山遺跡出土	69.04	0.012	0.20	0.007	0.44	<640	39

注）No.2,6は『国立歴史民俗博物館研究報告第58、59集』より抜粋。「採集品」は鉱山で採掘した鉱石ではなく、地表面で採取されたものと思われる。微量元素は中性子放射化分析法による。

島県三原市の小丸遺跡だけである。時期は3世紀とされているが、これに対して疑問を述べる考古学者もいる。しかし年代比定は純粋に考古学の分野の問題であり、金属学系の研究者は立ち入るべきではないと筆者は考える。

報告書によれば遺構としては地面を掘り窪めて作った火窪炉跡（内径40～45cm）だけで、上部の炉壁構造は残っていない。炉の近傍（B地点）からは塊状鉱石が出土し、それは「平均」と「硬い部分」に分けて分析された。それぞれT.Fe；20.76, 40.08, MnO；16.30, 8.78, SiO₂；29.68, 18.86（%）という結果が示されている。一方、同じ地点の出土鉄滓の化学組成範囲は、T.Fe；26～36, FeO；13～40, MnO；7.5～11, SiO₂；27～33（%）になる。報告者は、この種の塊状鉱石を破碎、「硬い部分」を選別し、製鉄原料として使用した可能性が大きいと述べている。結果としてこの金属学的解析は、遺構を製鉄炉跡とみる考古学的見解を補強することになった。

上記の組成は、鉄鉱石というよりはむしろ鉄マンガン鉱に近く、近現代の製鉄法で主原料として使用した例は見当たらない。この種の鉱石は鉄分が少なく、またCOガスによる被還元性が低いことがその理由であろう。一方、手捏ね粘土を積んで構築するシャフト炉の復元を、火窪炉の内径をもとにして行なうならば、炉高は1mにも達しないであろう。そうした高さの低いシャフト炉に装入し、製錬することを目的に鉄マンガン鉱が採掘・処理されたのかどうか、検討の余地があるように思われる。

なお、福岡県添田町庄原遺跡の遺構は製鉄炉跡として期待が持たれるもののようには新聞で報道されたが、発掘調査報告書は未刊の段階であり、現地を見学した筆者の見解を述べるのは控えることにしたい。

4 古墳時代にみる鉄鋼技術の革新

古墳時代は歴史学の時代区分で、前期、中期、後期に分けられている。西暦年代を当てると、大まかにはそれぞれ3世紀末～4世紀末、5世紀初頭～5世紀末、6世紀代になる。鉄関連の遺構・遺物からみると、とくに中期において鍛冶工房の急増、古墳に埋納される鉄器の数量の増大、武器類が占める割合の増加、新たな鉄素材である鉄鋌の出現などが顕著である。そのため中期に古代の鉄の画期をおく研究者も多い。

4.1 鍛冶工房跡の分布と鉄鋌の出土

古墳時代には鍛冶工房の活動の跡は東日本に到るまで残されているが、実際に検出される工房跡の数は畿内において圧倒的に多い。ある考古学研究者の報文によれば、4世紀～5世紀初頭に鉄滓を出土する工房跡はまだ1例にすぎないが、須恵器出現以降の5世紀前葉～6世紀初頭の間は畿内の中枢部全

域にわたって多数の遺跡が発掘されるので、この時期が鉄器生産の一大画期であるとしている。それ以前の時期には、主として九州や山陽地方の数個所でしか鍛冶工房跡が検出されていない状況に比べると、まさに画期ということができ、同時に鉄器生産の中心が畿内に移ったことを示唆している。

上述の報告では、鍛冶工房跡を含む遺跡からは各種の鉄器の未製品のほかに、鍛冶具、金床、砥石や鉄滓などが出土し、さらに刀剣の製作に関連する刀装具の未製品などが検出された遺跡群も幾つかあって、そのような專業集落（特定工房）は5世紀代に比率としては多くはないものの、次の6世紀代に入っても存続し、非專業集落が終息するのとは異なる傾向を示すことを指摘している。このように畿内では、刀剣製作の工房は最初から專業化された集団として成立し、長期間操業が続いたことが分かる。しかしこれ以外の地域では刀剣製作活動を伴った專業集落の存在はまだ実証されないため、古墳時代に国内で刀剣を製作した地は、現在のところ畿内にあったと考えざるを得ない。

5世紀の中頃になって、銅素材は形状と重量に規格性をもった、いわゆる鉄鋌として流通するようになる。鍛冶工房跡から検出されることもあるが、古墳に大量に埋納されている場合があり、中でも奈良県の大和6号墳からは大小合わせて872枚、140kgの出土を見た。中型・大型の鉄鋌は両端が撥形に開く形式である（図4の付図）。同じ形状のものは朝鮮半島西南部の古墳からも出土しているが、中国大陸ではこれまでのところ検出例がないといわれる。

鉄鋌は板状で重量に規格性があるため、軟銅であれば甲冑の甲片を製作するには便利な素材である。しかし甲片だけに止まるものでないことは、鉄鋌の炭素量を調べてみるとよく分かる。図4a)、b)は大和6号墳の8枚の鉄鋌の重量と炭素分析値で、炭素量の少ないものからアルファベット順に並べてある。利器の刃部に用いられるような炭素量がほぼ0.4%以上の鉄鋌は、8枚の中に2枚入っている。しかし重量との関係は見られない。鉄鋌は明らかに刀剣製作にも

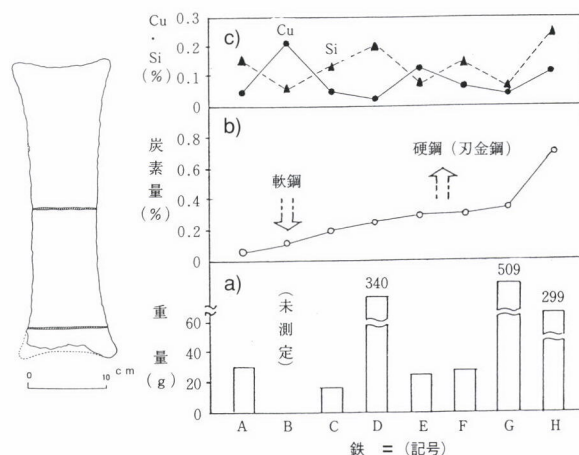


図4 大和6号墳出土鉄鋌の重量と化学組成

利用可能な鋼素材である。中国の文献史料にある「鋌は兵なり」の字句が示すように、やはり武器・武具などの兵器一般の素材と考えてよいであろう。

これらの鉄鋌は一体どこでこのような形に加工されたのであろうか。列島内という考え方も一部にあるが、製鉄が開始される以前であり、また朝鮮半島南部の古墳からも出土しているので、やはりその地で作られたとする見方が一般的である。

しかし鉄鋌の地金自体を、すべて半島の生産とするわけには行かない。大和6号墳出土の鉄鋌8枚のCu分析値を図4c)で検討してみると、0.1%以上の高値のものが3枚あって、高い割合を占めていることに気がつく。またこれまでに報告されている健全なメタル質の古墳出土鉄器については、Cu含有量の多い鋼製鉄器はおおよそ3割の高い頻度で現れている。さらに錆びた鉄器は多数分析されており、その結果もまた同じような傾向を示すことが知られている。

鋼中のCu分は、原料鉱石の磁鉄鉱に随伴する銅鉱物（黄銅鉱、 CuFeS_2 ）に由来する。この種の鉱石は、朝鮮半島では小規模な鉱山が一箇所知られているにすぎず、しかも今世紀に入ってからのものである（日本の岩手県釜石鉱山で磁鉄鉱が採掘されたのは近世末以降）。古代の日本へ長期にわたって多量に供給されたCu含有量の高い鉄の製品・半製品は、朝鮮半島内で産出する鉱石を始発の原料にしたものとはいえない。当時の東アジアの交易と鉄生産の状況からみて、山東半島から揚子江下流域にかけての一带にある、含銅磁鉄鉱を産する鉱山で採掘された鉱石が原料として用いられたと考えざるを得ない（表2参照）。そこで製造された銑鉄や鋼が半島南部に輸送・精錬されて、その地で製造された鋼と一緒に鉄鋌に成形されたのではあるまいか。

4.2 刀剣の製作技法と「百練」の意味

古墳出土の直刀を金属学的に調査し、直刀の製作法の解明を目的とした研究は、大正年間に俵国一氏が着手し、以来、長谷川熊彦氏や末永雅雄氏らによって引き継がれてきた。しかし現在では、文化財保護の立場から出土した直刀を切断することは許されず、断面の鍛造組織をもとにした製作法の検討は不可能な状況にある。

10振りの直刀を調べた俵国一氏は、製刀法を（イ）丸鍛え、（ロ）併せ鍛え（縦に鍛接）、（ハ）併せ鍛え（横に鍛接）の3種に分類した³⁾。筆者なりの見方で、俵国一氏の報告から直刀断面の鍛造組織を引用したのが、図5である。仮に文字A～Fを付し、括弧内には資料番号を記入した。俵氏の分類にもとづけば、Aは丸鍛え、B、C、Eは併せ鍛え（縦に鍛接）、D、Fは併せ鍛え（横に鍛接）になる。製作法の推定は、読者各自で試みていただきたい。

なお、直刀の各部でCu、Pなどの含有量が異なる例が見受けられる。これは上述の鉄鋌の1枚1枚に組成の差があ

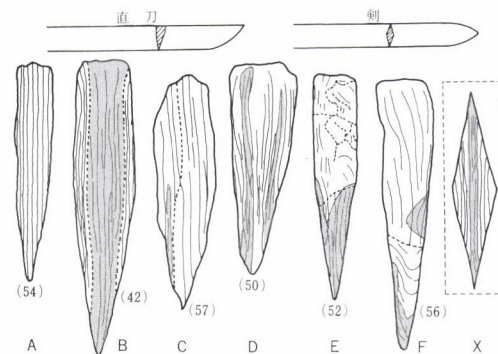


図5 古墳出土刀剣断面の鍛造組織
網掛け部は炭素量が0.5%以上、括弧内は試料番号（俵国一氏による）。

ったことから容易に理解できるであろう。もちろん近くの工房で銑鉄を精錬して作られた銅塊や銅片を使用した場合でも同じはずである。しかも炭素含有量の違う何枚あるいは何個かが組み合わされて直刀に造形されるので、心金と皮金では組成に違いが生ずる。直刀の各部や甲冑の甲片1枚毎の少量成分組成のパラッキは、使用した鋼素材の組成の多様性を反映したものといえる。

つぎに稲荷山鉄劔の鉄錆の解析を通して、「百練」の数の意味を考えてみたい。刀剣製作における「練」は、古くから地金を鍛錬する際の折り返し操作を指し、「練」の数は折り返しの回数を表すものと考えられてきた。実際に他の鉄劔の銘文には「八十練」、「五十練」、「三十練」もある。かつて筆者も「七支刀と百練鉄」の題目で『鉄と鋼』誌に解説記事を書いたことがあるが⁴⁾、そこで述べた見解は今回改めなければならない。

稲荷山鉄劔の表裏に象嵌された115字の銘文の中には「百練」の文字があり、採取した錆片の金属学的調査は同時に百練の技術的根拠を明らかにする機会ともなった（化学組成は表1のNo.10）⁵⁾。錆試料中に見いだされた非晶質珪酸塩系の非金属介在物のうち、断面が不定形で厚みのあるものを示したのが、図2dである。加工変形の度合いが低く、折り返し鍛錬の回数はせいぜい5、6回程度ではないかと思われる。百回の折り返しであれば、介在物はおそらく2、3 μm 以下の厚さになってしまうからである。百練の鋼でないことは明らかで、この時代に「練」の数は技術的な意味を失ってしまい、百練は非常に良質の鋼を意味する用語に変わり、さらには鉄劔の位^{くらい}に対して使われるようになったのかも知れない。

4.3 鋼精錬法と主要な鋼生産地域

最後に介在物の成分組成から、鋼精錬法の特徴を検討してみたい。

図2dに示すような、稲荷山鉄劔錆片中の非晶質珪酸塩系介在物の数個をEPMAで定量分析した結果、Fe、Mn、Ca、Mg、K、Na、Al、Siなどが含まれていた。FeとMnは鋼の精錬過程で鋼側から鉄滓に移った成分と仮定してこれらを

除き、残る6成分が鉄滓本来の成分（以下造滓材成分と呼ぶことにする）とみなして比率を計算し棒グラフで表すと、図6(a)のようになる。粘土の一般的な組成に比べるとCaO、MgOは非常に多く、Al₂O₃ははるかに少ない。銅精錬炉の炉壁は粘土で内張りされるが、造滓材成分は炉壁粘土由来しないことが明瞭である。筆者は、何らかの石灰質材料が、流動性のよい溶融鉄滓を生成させるために添加されたのではないかと考えている。

ここで、いくつかの銅製鉄器中の介在物（非晶質珪酸塩系）の造滓材成分を比較してみると、きわめて重要な事実が浮かび上がってくる。弥生時代の鉄戈も、大和6号墳の鉄鋌も、また安中市二子塚古墳の直刀も、稲荷山鉄剣と同じような成分比なのである（図6(b)～(d)参照）。造滓材成分比がほぼ同じという結果は、銅精錬法の共通性を反映したものと考えざるを得ない。当時の東アジアで行われていた有力な銅精錬法はいわゆる炒鋼法であり、この方法の原理は朝鮮半島や日本列島にも伝わっていたのではあるまいか⁹⁾。

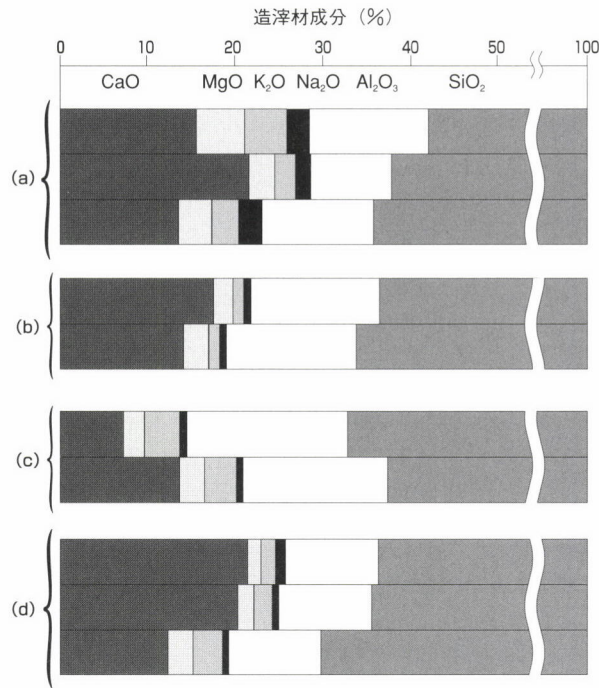


図6 非晶質珪酸塩系非金属介在物中の造滓材成分組成の比較
a) 稲荷山鉄剣、b) 富の原鉄戈、c) 大和6号墳鉄鋌、d) 群馬県安中市二子塚出土直刀。

注4) 上記の論文に筆者等は中国の文献をもとに考察した炒鋼法の操業原理図を報告したが、その後の日本国内の発掘調査結果からみて、この図は修正する必要があると考えている。

前章で述べたように、古代の中国では2世紀頃に鉄鉱石粉を脱炭材として使用する銅精錬が始まった。日本国内でそれが実施された間接的な証拠として、筆者は岡山市堂山2号墳（5世紀後半）出土鉄滓の表面に磁鉄鉱破碎粉が付着し、鉄滓内部ではそれが溶解しかかっているのを観察している（図7参照）。ミクロ組織から判るように、磁鉄鉱は人工的に破碎された粉末粒子である。3個の鉄滓の化学組成が表3で、スラグ成分の含有量がかかり多い。CaOとMgOの対Al₂O₃比を求めると、前者は0.30、0.28、1.22、後者は0.11、0.10、1.98になる。遺構で出土した鉄滓が比較的数量多く分析された岡山県総社市窪木薬師遺跡（6世紀代）のデータを整理し、併せてプロットしたのが図8a)である。古代の鉄滓は溶融酸化鉄と炉壁材が反応して生成したものと考えられているが、その反応に磁鉄鉱が加わったとしても、CaOとMgOの増加は説明できない（住居跡で検出された塊状磁石は脈石の多い廃石ではないかと思われる）。やはり何らかの石灰質もしくはドロマイト質材料が添加されたものとみななければならない。なお、同じ総社市の板井砂奥遺跡（8世紀代）においては、作業場の中で周りよりも一

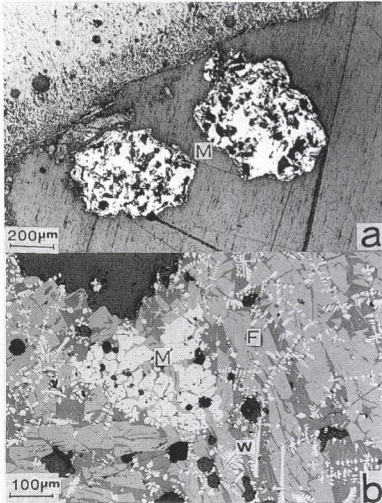


図7 鉄滓の表面に付着した磁鉄鉱粉とスラグ化途中の粒子
堂山2号墳出土鉄滓（表3No.1）。M) 付着磁鉄鉱粉（人工的に破碎された形状を示す）、M') スラグ融液中で細粒化した磁鉄鉱粒子、W) ウスタイト、F) ファヤライト。

表3 古墳の竪穴式石室を充填していた鉄滓の化学組成

NO	化学成分（％）								CaO Al ₂ O ₃	MgO Al ₂ O ₃	ミクロ組織 （鉱物組成）	造滓材*
	T.Fe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	TiO ₂				
1	49.71	48.61	27.10	6.54	1.98	0.70	0.20	0.17	0.30	0.11	ウスタイト、ファヤライト、磁鉄鉱粒子	石灰石か
2	48.72	46.09	27.35	6.46	1.79	0.67	0.23	0.17	0.28	0.10	ウスタイト、ファヤライト	〃
3	51.97	50.32	24.01	2.70	3.29	5.35	0.21	0.21	1.22	1.98	ウスタイト、ファヤライト、未滓化ドロマイト	ドロマイトか

注) 古墳は岡山市堂山2号墳、5世紀中葉～後半。
* 銅精錬工程で添加か。

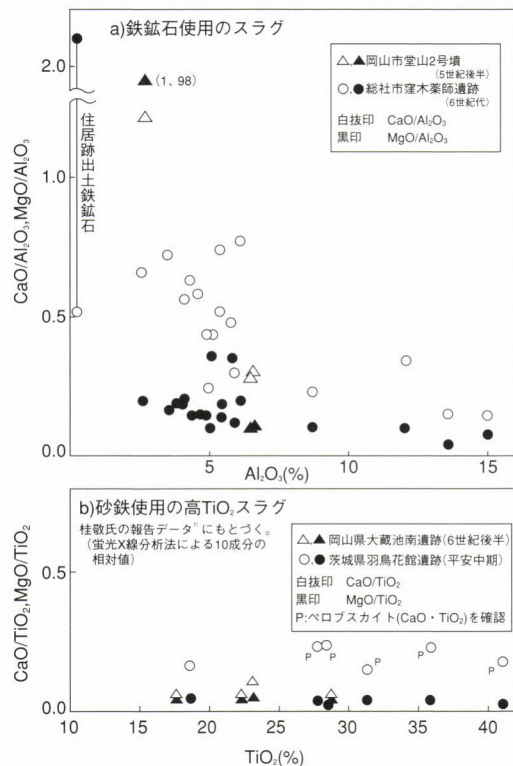


図8 出土鉄滓中の化学成分間の関係

段高く積まれた磁鉄鉱粉の堆積物が検出されており、鉄鉱石を粉状で使用したことは間違いないであろう。

鉄鉱石粉に代わって砂鉄が使用された場合、生成したチタン化合物が鋼中に介在物として残る。ただしこれはあくまでも鋼精錬の段階でのことで、製錬工程で銑鉄が製造されるときには、チタン分は溶融状態の銑鉄から完全に分離して鉄滓の方に移り、さらに銑鉄が精錬されたあとでは鋼中にその痕跡を留めることができない。

従来の金属学的な調査結果から砂鉄使用と確実にいえる最古級の鉄刀は、6世紀後半の直刀（長野県穂高町上原古墳）と7世紀初頭の短刀（神奈川県座間市石名坂横穴墓）の2振りである。鉄刀以外の鋼製鉄器では、後期の古墳から出土した鉄鎌の1例だけである。チタン化合物はいずれもウルボスピネル（理論化学組成は $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ ）と同定された。

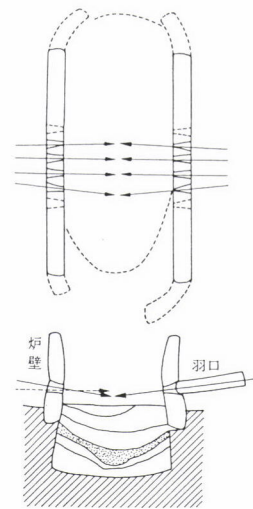
砂鉄使用の鋼製鉄器を検出する意味は何処にあるのだろうか。筆者は“検出の頻度”にあって、それは国産の鋼の生産の増大と流通の程度を知ることにつながるものと考えている。この時代に鉄鉱石が確実に利用されたのは、出土遺物の金属学的調査結果から近江と山陽の2地方だけである。砂鉄使用の鉄器の増加は、銑鉄を国内で精錬して鋼を製造する地域が拡大したことを間接的に示すはずである。古墳時代の鋼製鉄器の金属学的な調査はすでに数百点になると思われるが、ミクロ組織まで調べられているのはおそらく百点を越しているであろう。その中でチタン化合物が後期の資料に初めて検出され、しかも3例に過ぎないという事実は、砂鉄を添加・製造した国産の鋼の流通の割合がまだ低い水準にあったことを表して

いる。この時期に国内の大規模な鋼生産の基地は、まだ地域的に限定されていたのではあるまいか。

5 読者への設問—復元された古代の製鉄炉は技術的に妥当と考えるか

列島内における鉄生産の開始時期については、今日なお活発な議論がなされている。①農具の鉄器化が完了する弥生後期、②畿内において鍛冶工房の急激な増加がみられる5世紀前半、③古墳に大量の鉄器が埋納される5世紀中頃から後半にかけて開始されたとする説などが考古学関係者から出されている。これらは鉄器の生産と使用の増大にもとづいているが、やはり一種の状況証拠説といえる。国内の小規模な鉱床で採掘した磁鉄鉱が製錬されたとしても到底需要を満たすことはできないし、また出土鉄器の金属学的解析結果も輸入鉄素材の利用が続いていることを表している（表1のNo.11～14参照）。

これまでのところ、製鉄炉と考古学的に判定された最も古い遺構は6世紀後半で、西日本の数カ所で発見されている。岡山県久米町大蔵池南遺跡を始めとして、同県総社市千引かなくろ谷、広島県世羅町かなくろ谷、滋賀県木之本町古橋遺跡などである。

図9 箱型製鉄炉の復原図
福岡県志摩町八熊遺跡、8世紀代。

7世紀に入ると製鉄炉跡とみられる遺構が増加し、次の奈良時代には東北地方でも検出されている。律令体制下で、調・庸としての鉄生産が拡大した結果と考えられている。

この時期の製鉄炉には「箱形炉」ならびに「竪形炉」と呼ばれる2種類がある。前者の復原図を図9に示す。8世紀のものであるが、炉床は長方形をなし、その四辺に粘土と砂を混ぜて固めた炉壁が築かれ、長辺の炉壁下部には対に装着された合計6本の羽口がある。残存する炉壁片を繋ぎ合わせて推定された炉高は約50cmである（他の遺跡では約65cmという報告例もある）。炉床の下に焼土と木炭粉を

表 4 鉄塊系遺物の化学組成

No	遺 跡	年 代	化 学 成 分 (%)									ミクロ組織
			T.Fe	C	Cu	P	V	Ni	Co	Ti	Si	
1	茨城県成東町真行寺廃寺跡*	8C末～9C初	(メタル)	4.23	0.048	0.28	0.042	0.037	0.040	Nil	Nil	レーデブライト
2	静岡県天王中野遺跡	8C代	58.41	——	0.082	0.035	0.003	0.012	0.010	0.001	0.009	

*大沢正己氏による。

表 5 8世紀代の鉄刀中の介在物に見出されたチタン化合物のEPMA定量分析結果

No	種 別	出 土 地	化 学 成 分 (%)										チタン化合物の 種類
			FeO	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	SiO ₂	
1	刀	宮城県名取市高館熊野堂横穴墓	57.5	0.6	0.0	3.1	0.0	0.0	2.5	32.0	0.0	0.0	ウルボスピネル 新種の化合物か*
2	薙手刀	岩手県一関市金ヶ崎西根古墳	10.79	0.72	0.59	7.79	0.05	0.03	1.82	79.16	0.02	1.06	

*xMgO・y (Ti,Al)₂O₃とも表わせるようなチタン化合物で、最近では鉄器・鉄滓中に見いだされた例がかなり多く報告されるようになった。

敷き詰めて地下からの湿気を防ぐようにしているが、後世に見るような防湿構造はまだ造られていない。原料の砂鉄と木炭は、炉の上方から層状に交互に装入され、同時に羽口から空気が吹き込まれて木炭が燃焼し、砂鉄の還元が急速に進むような高温帯が得られると推測している。ただし上述の炉高で十分な長さの還元帯が得られるのかどうか、当初から疑問が出されている。なお、この遺跡内では炉跡の近くに砂鉄貯蔵穴が見つかった。

このような炉を利用して製造された鉄が、^{すく}銑を主体とするものであったのか、それとも鋼あるいは^{けら}鋸だったのか、議論の分かれるところである。

そこで、本章の表記の問題に接近するためのデータを読者に提供しておきたい。表4は鍛冶工房跡から出土した鉄塊系遺物と呼ばれるもの2例の化学分析値で、No.1は完全な銑鉄塊、No.2は表面にスラグが生成した“反応途中の鉄塊”である。また、前述の大蔵池南遺跡（推定炉形は箱形炉）から出土した高チタン含有量の鉄滓についての報告値⁷⁾をもとに、CaOとMgOの対TiO₂比を産出して図8b)にプロットした。ただし分析試料数の少なさを補うため、この図には平安期の同様組成の鉄滓の分析例を併記してある。さらに表5には、8世紀代の鉄刀二振りの中で見いだされたチタン化合物の、EPMA定量分析値を示した。読者各位には、鉄塊→鉄滓→非金属介在物を結ぶ合理的な関係を見つけた上で設問を検討していただきたい。

6 おわりに

鉄関連の出土遺物は、慎重に選び出された試料について金属学的に適正な解析が行われるようになってから、隠された鉄の歴史を語り始めた。今日こうした研究は、文化財科学の分野で取り組まれている。古代日本の鉄の歴史の解明は、文献史学においては国家形成の問題だけでなく、東北アジアの交易と流通という経済史の重要な課題をも構成

している。読者の皆さんには、引き続き鉄の歴史に関心を持っていただくことを期待する。

参考文献

遺跡発掘調査報告書は発行部数も少なく、一般の人達が入手するのは難しい。文中に取り上げた遺跡に関する報告書をどうしても利用したいと思う方には、該当する県の教育委員会もしくは埋蔵文化財調査センターに問い合わせいただくことになる。

ここでは大学の考古学研究室ならば閲覧させて貰える学術誌、ならびに一般の書店で購入が可能な著書から引用した文献を挙げることにしたい。

- 1) 例えば海外製鉄原料委員会『アジア東部の鉄鉱資源』1969年
- 2) 花田勝宏：考古学研究「倭政権と鍛冶工房―畿内の鍛冶專業集落を中心に」, 第36巻, 第3号, 1989.12, p.67
- 3) 俵国一：日本刀の科学的研究（復刻版）, (1982), 日立印刷出版センター
- 4) 佐々木稔：鉄と鋼「七支刀と百練鉄」68 (1982), p.178
- 5) 日吉製鉄史同好会：鉄の文化史「稲荷山鉄剣の六片の錆」, 新日本製鉄（株）広報室編, 東洋経済新報社, 1984, p.148
- 6) 佐々木稔, 村田朋美, 伊藤叡：日本製鉄史論集「古代における炒鋼法とその製品」, たたら研究会編, p.615, 1983
- 7) 桂敬：古代日本の鉄と社会「砂鉄製鉄の原理について」, 東京工業大学製鉄史研究会, 1982, 平凡社

全般に係わる上記以外の著書としては、以下のものを挙げておく。

- i) たたら研究会編『日本古代の鉄生産』1991, 六興出版
- ii) 潮見浩『東アジアの初期鉄器文化』1982, 吉川弘文館
- iii) 川越哲志『弥生時代の鉄器文化』1993, 雄山閣出版
- vi) 石井昌国・佐々木稔『古代刀と鉄の科学』1995, 雄山閣出版

(1996年1月30日受付)