

古代鉄器の分析

井垣謙三・一色 実

1. はじめに

銅器は数種類の金属元素を配合した合金として使用され、出土品においても健全な状態を保っている例が多く、化学分析結果も信頼度の高い値が得られ、それに基づいての考察が進め易く、鉛同位体比測定などによって、その推論を確かめることができるなど、自然科学的手法が極めて有利に適用される。それに比べて鉄器の場合はかなり不利な状況にあるというべきであろう。

鉄器は鉄と炭素の二種類のみが主要構成元素であり、しかも炭素の濃度分布も一様でないのが普通であり、表面から炭素が失われる場合もあるなど事態を複雑にする因子が多い。その上、最大の難点は鉄がさび易いことであり、少し古い時代の鉄器の場合には、さびの塊りになっていて金属部分が残されていないか、残されていても極く僅かであったりして、往時の状況を類推することを許さない例も多いことである。今一つは非金属介在物の問題であって、古代鉄器は比較的低い温度で酸化物から金属状態に還元され、鍛接によって目的の形状を得ている場合が多いから、酸素との結合力が鉄より強い不純物元素は酸化物などの化合物のままに残ることになり、鍛錬によってしぼり出されたもの以外は非金属介在物として存在する結果になる。したがって素地金属と非金属介在物とを分離しての別々の分析が望まれるが、それが必ずしも容易ではないことである。

貴重な考古学資料から極く僅かの分析用試片しか採取できない場合も多く、それからできるだけ多くの情報を得ることが求められ、したがって非破壊的な手段に頼る形になる。

当方の研究室では、鉄の高純度精製に従事してきたが、少量の試料からできるだけ多くの情報を得ることに配慮しながら、分析に取り組んでいたのも、その意味では共通の基盤の上に立って古代鉄器の分析に当たったことになる。高度に精製された鉄の外観はニッケルやクロムに極めて近く、何年間か放置した後観察したところ、未精製部はマッ赤な厚いさびの層に覆われているのに対して、同じ状況に置かれながら精製部はピカピカのままであるのに改めて驚かされ、その耐食性についても研究することになった。インドの古都デリーのイスラム寺院の庭に立つ有名なさびない鉄柱や、アリストテレス全集中の異聞集第48章のさびない鉄についての言及などを調べ直して行くうちに、古代上質鉄に深い関心をもつことになった。数百ミリグラム程度の試片しか分析用には提供できないといった状況を前提として、できるだけ多くの情報を集めようと努めた。

しかし、古代鉄器の分析については極めて浅い経験しか積み重ねていないし、現在なお測定進行中あるいは計画中といった試料も多く、十分整備された形にはなっていない点を、あらかじめお許し願って中間報告とし、いくつかの提案を加えさせて頂くことにしたい。

2. 分析用試片採集

どのような形で入手された試料であるかについての明瞭な記録が残されている場合のみとは限らず、何人かの手を経由しているために全く不明の場合もあり、試料の現状に基づいての判断資料を

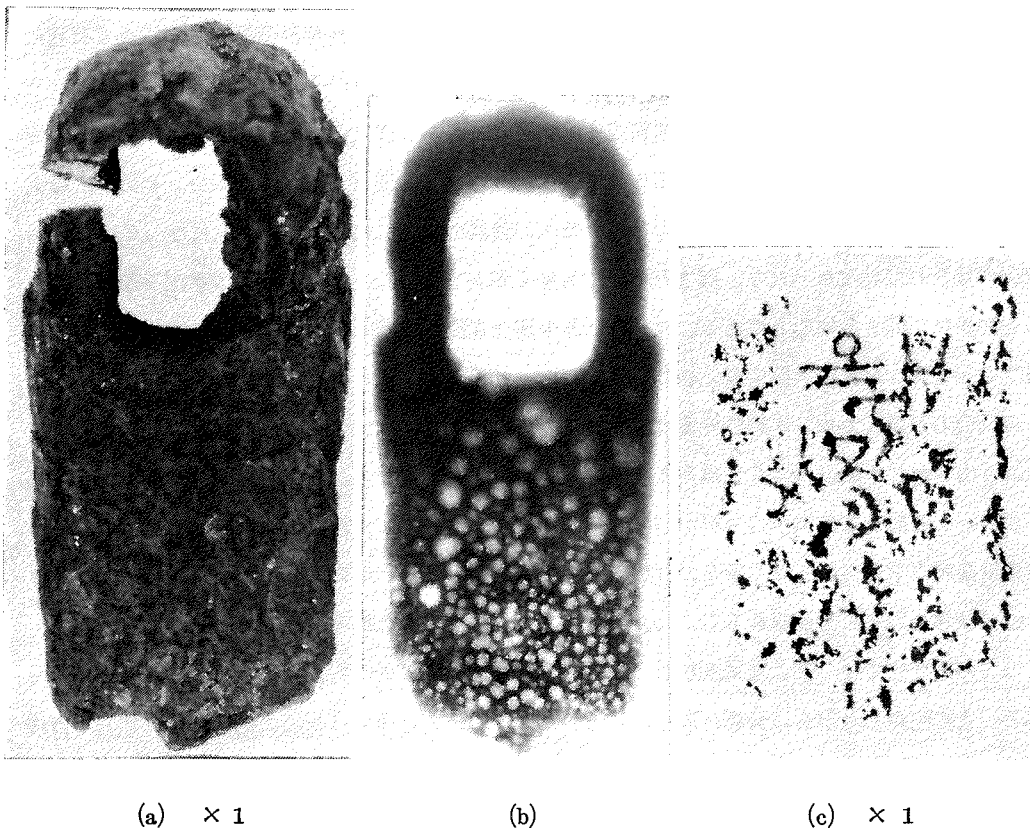


写真1. 中国春秋戦国時代末期と思われる鉄鏟

外観(a)とそのX線透過視像(b)および文字と思われる鑄出文様拓本(c)。ただし(c)には見やすくするため少し手を加えた。

Photo 1. Iron plane blade, presumably before 200 BC, China. (No. 18)

(a) Outside view, (b) X-ray transmission image,

(c) Copy of surface relief, letter-like pattern.

作成しておかなければならない例も多い。中国の春秋戦国時代末期のものと考えられる鉄鏝*（写真1）は1928年以前から我国にあったこと位しか明らかでないが、他の多くの例と同じように出土時のものと思われる土が多量に強固に附着しており、この土の一部について花粉分析を実施すると（東北大学・教養部 相馬教授に依頼した）、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）、アカザ科（5）、マツ属（5）、スギ科（6）、その他コナラ属、キク科、ハンノキ属、ニレ属、エノキ属、ハシバミ属、真正シダ類、ヒカゲノカズラ属等があり、これより出土地の周辺は拓かれた乾燥原野であり、近くには水の流れがあり、遠くには深く繁った森が望めたであろうことが偲ばれる。この鉄鏝の透過X線像は非常に多くの気孔の存在を示し、中には酸化鉄粉のつまった孔もあることが認められたが、鉄の鑄造に漸く成功した苦心の作であることが知られ、実用に供された後、土中に埋没したものであると見なされる。文字と思われる文様が表面に鑄出されており、製作時代を推定する拠り所を与えてくれそうであるが、残念ながらその文字の解読はかなり困難なようである。前漢時代の専売国営の鉄工所（鉄官）で鑄造した農器具にも文字が鑄出されているが、秦の始皇帝時代に統一された後の文字が使用されており、この鉄鏝はそれより古い時代のものと考えて差支えないように思われる。

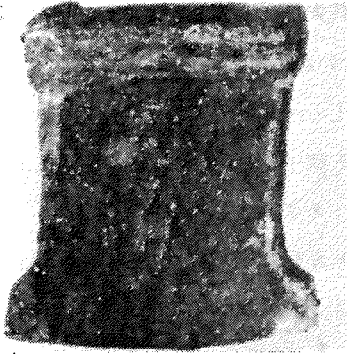
考古資料としての貴重さ、あるいは希少価値等によって左右されるが、分析結果を得るためには、表面からのさびの採取や、一部の表面についての蛍光X線分析、顕微鏡組織観察などだけでは満足な結果が得られず、分析試片を採取することが精しい解析をするためには必要になる場合も多い。この際少くとも考古資料の原形を類推する上には支障が残らないように配慮した上で適当な部位を選んで採取することになるが、最後の切り離しを引張り試験方式で行えば、脆性破断か延性破断かを破面観察から判定できるし、非金属介在物の分布状況についての情報を分析用試片採取と同時に得ることができる。破面や非金属介在物の観察、分析には走査型X線マイクロアナライザー-XMA（J C X A - 50 A）を用いた。

3. 組織観察

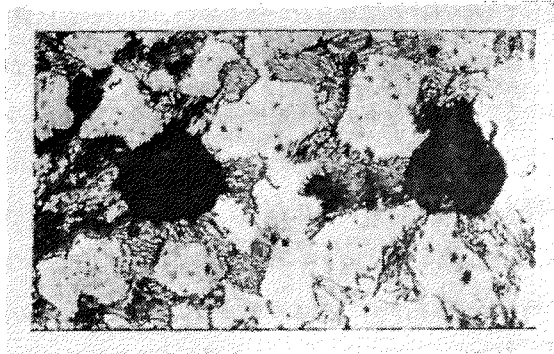
採取した試片についても非破壊的な手段による検査を可能な限り広範囲に実施すべきであり、光学顕微鏡による組織観察も多く有用な知見を与えてくれる。古代鉄器の場合、単純な鉄-炭素二元系と見なして差支えない例が多いから、顕微鏡組織観察を行なって各部位による組織の均一性、不均一性についての判断を得ることができる。

写真2は中国河南省滎池出土の鉄斧（3世紀、後漢・魏時代のものとされている）の組織¹⁾であるが、球状黒鉛とパーライトとフェライトの三相が共存しており、普通には考え難い組織である。

*貨幣史の研究者、郡司勇夫氏より提供された、表2中の№. 18試料



(a)



(b)

写真2. 中国河南省滎池出土の後漢・魏時代の鉄斧(a)とその顕微鏡組織(b).¹⁾ 黒：球状黒鉛，縞：パーライト，白：フェライト

Photo 2. Iron axe, excavated in Honan Province, Later Han and Wei Period, China.¹⁾ (a) Outside view, (b) Microscopic structure, composed of spheroidal graphite, pearlite and ferrite phases.

写真1に示した鉄鑿は類似の組織を示しているがその組織には球状黒鉛部が見られず、またパーライト組織の部分に比べてフェライト組織の部分が遥かに多く、従って炭素量の少ないのが特長である。明確な結論を下す段階に迄まだ達してはいないが、炭素量の多い鑄鉄のままでは脆くて使用に耐えないので、熔融状態の銑鉄に酸化鉄を加えて攪拌し、炭素量を低減するとともに、炭素の燃焼反応によって温度を上げ湯流れを良くして、手早く鑄込んだものではないかと想像される。写真1の例の場合には加えられた酸化鉄量が多すぎてCOガスが多量に発生し、炭素量が減りすぎて融点が高くなり、湯流れが悪くなったもののように思われる。

このような顕微鏡組織あるいは標準的な熱処理を改めて加えた後の組織を観察することによって炭素含有量の概略値を推察することができる。その他、マイクロピッカース硬度計による硬度分布の測定も有力な判定資料を与えてくれる。

4. 中性子放射化分析

非破壊分析の一環として中性子放射化分析を実施した。この方法は最近はかなり一般化してきているので、その原理的な事項は他書²⁾に譲り、鉄器の分析に当り特に留意した点についてのみ言及する。現代の工業鉄と異なって古代の日本刀などにおいてはMnとSの含有量の低いことが指摘されており、³⁾ Mnを高感度に検出定量することが必要であったが、鉄中のMnを定量する場合、速中

中性子による $^{56}\text{Fe} (n, p) ^{56}\text{Mn}$ 反応が妨害となる。ppm以下の含有量を精度高く定量するためには、速中性子の混入の割合の少ない、すなわち Cd 比の大きい熱中性子束を用いて照射して放射化することが必要となる。そのため京都大学原子炉実験所の重水照射設備を用いた。また Al や Ti のように比較的半減期の短い元素を定量するためには圧気輸送管による照射を行なった。これらの照射設備の中性子束、Cd 比を表 1 に示す。

表 1. 放射化分析に用いた照射設備の中性子線束とカドミウム比

Table 1. Neutron flux and cadmium ratio of the irradiation facilities used for the activation analysis.

Irradiation facility	Thermal ($n \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$)	Fast ($n \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$)	Cadmium ratio
D ₂ O thermal column	1.3×10^{11}	negligibly small	4878
Pneumatic tube (Pn-1)	1.9×10^{13}	3.2×10^{12}	6.85

重水照射設備で照射した試料の放射能はかなり弱いため、自然放射能レベルのγ線によるノイズを避け、厚さ約 20 cm の鉄壁で遮蔽された低バック・グランド環境下でγ線スペクトルの測定を行なった。試料の照射にあたっては、汚染を避けるためポリエチレン製の袋に二重封入し、照射後外側の袋を別の新しい袋に取り替えた後、γ線スペクトルの測定を行った。⁴⁾ γ線スペクトルは共存不純物の種類、量、測定時期などの影響を受けるため、同一元素でも分析精度は試料ごとにかなり大きく変化することは避けられない。

発光分光分析も有力な非破壊分析手段であるが、高い精度での定量が望めなかったので今回は実施しなかった。

5. 原子吸光分析

不純物分析法としては、分析感度が高く比較的精度の良い方法として原子吸光分析を用いた。試料を 6 N-HNO₃ 液中で加熱溶解した後、蒸発乾固し、さらに 6 N-HCl で溶解し、メチル・イソブチル・ケトン (MIBK) で Fe (III) を抽出分離した残液について、HCl の規定度を 2 N 程

No.	Sample	Na	Al	Si *	** S	Ca *	Ti	Ti *
1	Nail of ASUKA Period(7C)	8.8	46	39	24	120	< 10	ND
2	Nail of Pagoda HORYUJI Temple(8C)	23	293	48	21	14	365	160
3	Supporting Core Rod of GAKKO Bodhisattva at YAKUSHIJI Temple (8C)	8.4	140	63	19	41	256	106
4	Nail of KAMAKURA Period(13C)	18	450	230	31	120	160	240
5	Cast plate of KAMAKURA Period (13C)	<3	20	33	120	14	< 25	6
6	Nail of KAIJYUSANJI Temple (13C)	16	154				62	
7	Iron Rod of KAIJYUSANJI Temple (13C)	13	65				< 30	
8	Dog Iron of MUROMACHI Period (15C)	5.0	240	63	35	44	21	ND
9	Nail of HAKUSAN Shrine (16C)	21	115				79	
10	Dog Iron of HIMEJI Castle (17C)	7.8	45	31		25	< 10	7
11	Nail of HIMEJI Castle (17C)	2.2	41	42	21	16	39	70
12	Dog Iron of KEICHO Period(17C)	2.9	183				11.4	
13	Nail of Early EDO Period(17C)	31	54	380	330	35	< 80	84
14	Nail of Middle EDO Period(18C)	3	207	120	31	14	560	340
15	Dog Iron of Middle EDO period(18C)	5.2	180	83	17	51	250	147
16	TAMAHAGANE(19C,Japanese Foot-bellows steel making)	20						
17	INDIAN Iron by Primitive Method,sent from Prof. B.Prakash,BHU(20C)	<3	17	110	20	51	67	11
18	CHINESE Iron Plane Blade(BC3C)	<6	6.2				< 50	
19	Rust of Iron Sword Found in Dailaman, IRAN(BC10C)	52	58				< 20	
20	Luristan Iron Sword(BC10C ?)	25	305				< 70	

表 2 各種古代鉄の分析結果

Table 2 Analytical results of the ancient iron specimens

in wt. ppm

Cr*	Mn	Co*	Ni*	Cu	Cu*	Ga	As	In	W	Elements detected in non-metallic Inclusion
< 3	10	44	17	46	80	19	14	< 0.8	4	Fe
64	29	244	633	140	109	57	15	< 0.2	< 10	Fe, Ti ⁺ , V [±] , Cr [±]
60	22	146	240	60	78	19	13	< 0.5	< 7	Fe, Ti, Mn, Al
14	16	35	14	51	89	14	23	0.2	1.6	
48	56	40	55	137	210	11	24	< 0.4	5	
	22			67		10	10	< 0.4	< 4	
	11			27		11	11	< 0.5	< 0.4	Fe, Al, Si
120	5.8	75	23	32	68	7.7	7.0	< 0.6	2	Fe
	30			101		18	7.0	< 0.5	< 5	
< 3	2.5	72	102	209	140	79	56	< 0.4		Fe, Ti ⁺ , Mn [±] , V [±]
26	15	76	16	114	77	157	8.9	< 0.4		Fe, Ti ⁺ , Mn ⁺ , Si [±] , Al [±] , Ca ⁺
	5.4			49		9.8	8.2	< 0.3	6.2	
110	39	84	415	280	360	30	270	< 0.8	1.5	
10	25	86	152	45	79	29	2.0	< 0.7	< 6	Fe, Ti
< 3	43	77	25	46	67	13	4.0	< 0.6	2	Fe, Ti
	45			94		57	14	< 0.6	< 10	
< 3	41	183	353	110	340	1.3	6.8	< 2	< 5	Fe, Ca ⁺⁺ , Mn ⁺⁺⁺ , Ti ⁺⁺
	116			696		< 7	70	< 2	7.4	
	47			< 30		10	< 10	< 0.3	< 15	
	388			5		< 40	< 15	< 0.8	< 0.8	Fe, Al, Si, Mn, Mg, Ca, K

* were obtained by Atomic Absorption Analysis,

** : Analysis of S was cordially performed by KAWASAKI STEELS,
others were obtained by Neutron Activation Analysis.

度に減少させた上で、各種ホロー・カソードを用いて分析した。装置は日立 170 - 50 A である。

十分な量の試料が採取できる場合には S の定量* を実施したが、グラム単位を必要とするため限られた試料についてしか行なえなかった。

6. 分析結果

現在までに分析を行なった約 20 種類の古代鉄についての分析結果を表 2 に示す。

極く少量の分析用試片しか採取できない貴重な試料の場合には、まず非破壊法である中性子放射化学分析を行ない、その放射能が充分減衰した後に原子吸光分析を実施しなければならないので、ここに示した試料には一通りの分析がまだ終了していないものも含まれており、あくまで中間報告であることをご了承頂きたい。

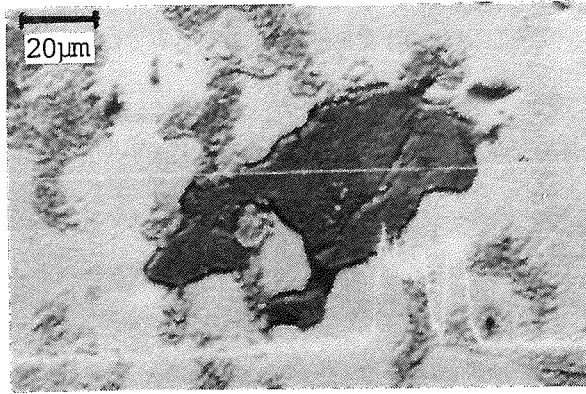
表 2 の最右端の欄は、研磨面あるいは破面について XMA を用いて観察し、見出された非金属介在物中に存在することが検出された元素を示している。記入がないのはまだ観察が行なわれていないものである。

薬師寺金堂の月光菩薩像の首のひび割れが大きくなり、アラルライトによる接着が行なわれた時、内部から採取された鉄心試料**は表面こそ薄い黒皮に覆われているが、いわゆる朽ち込みとよばれるさびの進行は全く認められず黒皮の下は健全な鉄そのものである。その試料 (№ . 3) の研磨面についての XMA 観察を写真 3 に示す。構成元素の原子番号の違いを反映する組成像 (a), Al K α 像 (b), Ti K α 像 (c) であり、(a) 中には Ti K α についての線分析曲線も示されている。この介在物は Fe をふくむ酸化物であるが、Al と Ti の両方をふくむ領域と Al のみで Ti をふくまない領域の 2 種類のあることがわかる。介在物には Si も S も検出されず、褐鉄鉱あるいは砂鉄を原料としフラックスをほとんど用いない製鉄法によったもので、素材中の Al や Ti は還元されず酸化物のままに残存したものと考えられる。

写真 4 は江戸時代中期の釘 (№ . 14) の研磨面についての組成像で、Ti K α についての線分析の結果も示されている。Ti をふくむこの鉄の酸化物相は、釘などの長手方向に層状に分布しており、鍛接作業中に生じたもので、接合の不十分な鍛錬不足の部分と考えられる。同じく砂鉄を原料としたものであろう。

* 川崎製鉄技術研究所に依頼して実施した。

** 京都大学西村秀雄教授が法隆寺の釘とともに調査⁵⁾され同大学に保管されていたものを村上陽太郎教授を通じて頂いた。



(a)



(b)



(c)

写真3. 薬師寺月光菩薩像鉄心の非金属介在物

(a) 組成像と Ti $K\alpha$ 線分析曲線, (b) Ti $K\alpha$ 像, (c) Al $K\alpha$ 像

Photo 3. Non-metallic inclusion in supporting iron core rod of GAKKO Bodhisattva at YAKUSHIJI Temple. (No. 3)

(a) Composition image and curve of Ti $K\alpha$ linear analysis,,
(b) Ti $K\alpha$ image. (c) Al $K\alpha$ image.

写真 5.(上)にルリスタン文化の特徴を有する鉄剣(№ 20)を示す。東京大学イラン・イラク調査隊がテヘランにて購入したもので東京大学東洋文化研究所に保管されているものであるが、有柄式

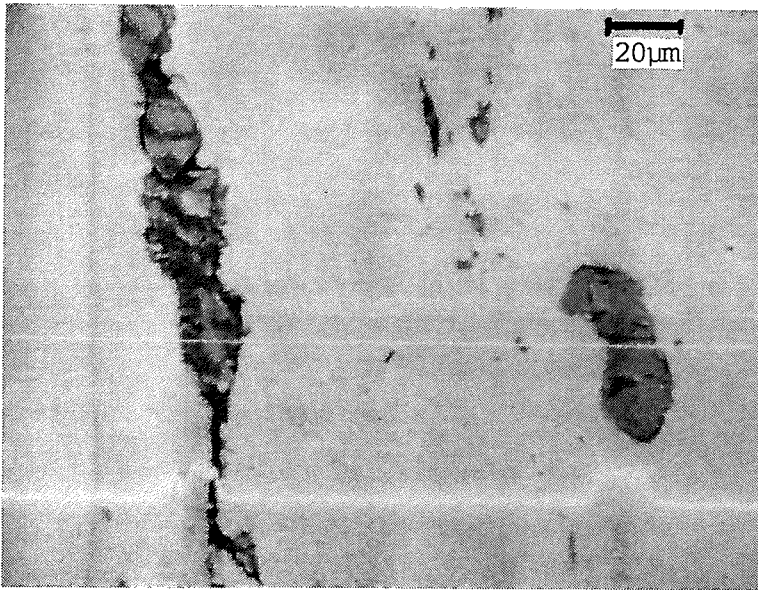


写真 4. 江戸中期の釘(№ 14)中の非金属介在物の組成像および Ti $K\alpha$ 線分析曲線

Photo 4. Non-metallic inclusion in nail of Middle EDO Period (№ 14),
Composition image and curve of Ti $K\alpha$ linear analysis.

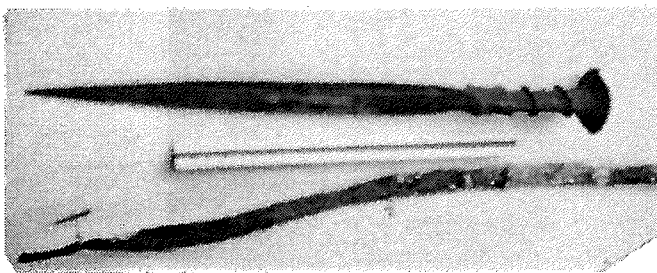


写真 5. 上) ルリスタン鉄剣(B. C. 10 C ?)
下) イラン・デイラマン墳墓出土鉄剣(B. C. 10 C)
物差しは 30 cm

Photo 5. Upper : Luristan style iron sword, presumably 10 C. BC. (№ 20).
Lower : Heavily rusted iron sword, excavated at Dailaman Tomb,
Iran, (№ 19). Radio-Carbon Dating : ca. 1000 BC.

鉄剣で柄頭の特徴がルリスタン文化（紀元前10世紀前後）に属することを示しているとのことである。ルリスタン文化は青銅器文化と考えられ、この剣の表面の色が赤と青味のかかった濃い色で、鉄剣であるとは容易には識別し難いものであったが、鉄剣であることが分り、柄頭の部分から試片を採取することを許された。「……長さ二尺七・八寸ばかり、刃先は菖蒲の葉なりにして、中程はむくりと厚みあり。本の方六寸ばかりは節立ちて魚などの背骨の如し。色は全体白しという。……」という我国に現存する古い剣（銅剣だとする説も多い）についての記述⁶⁾を思い浮かべずにはおられないが、長さが少し短く、表面の色については大いに異なっている。この剣の柄頭部分が黒いさびに覆われていたために鉄ではないかと疑い始めたのであったが、黒皮のすぐ下は極めて靱性に富んだ微細組織の鍛鉄であった。試片採取時の破面の走査二次電子像を写真6に示す。破断に到るまでに大きな塑性変形を行なう延性破断であることが破面観察から知られる。破断開始部に見られる非金属介在物は表2に示すようにAl, Si, Fe, Mn, Mg, Ca, Kを含んでいることが知られ、けい酸アルミニウムあるいはけい酸アルミン酸塩を主成分とするものと考えられるが、フラックス的な役割を期待して意識的に添加されたものかどうかは判定できない。刃の部分の鉄の状況が不明であるが、鍛錬を繰り返したものと考えられ、もしそうであれば、しぼり出された非金属介在物が柄頭部に濃縮された可能性も考えられる。

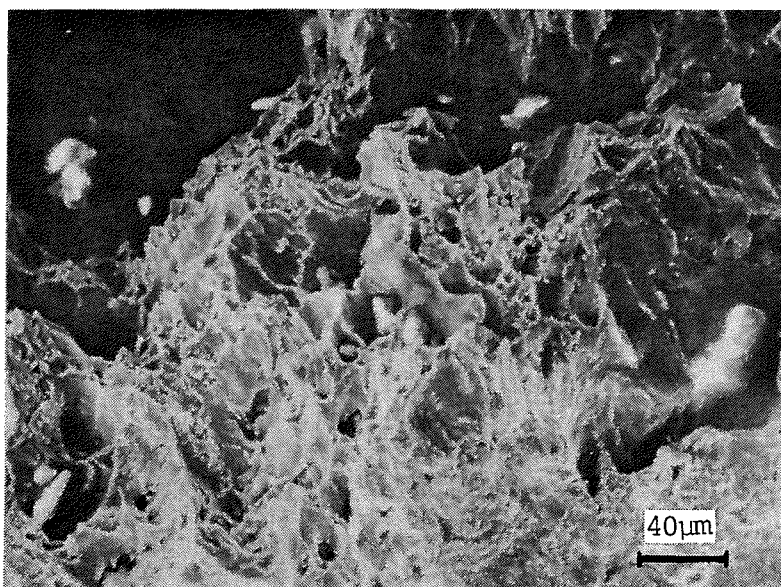


写真6. ルリスタン鉄剣破断面の走査二次電子像

Photo 6. Scanning secondary electron image of the fracture surface of Luristan Style Iron Sword, (No. 20).

同調査隊による発掘噴墓出土品⁷⁾ (C¹⁴年代測定ではBC 1000年とされる)の鉄剣の1つ(写真5下)は大部分がさびの塊りになっていたので、さびを採取して分析に供した(図19)が、金属鉄に換算してその中の含有不純物量として示している。

これらの例に見られた介在物は酸素との結合力が強く、低温還元で金属鉄が得られる場合にも酸化物のままで残ったAl, Ti, Cr, Mnを主力としている。介在物の存在形態も組成も決して単純ではなく、数種類の異なる介在物が混在している例も多く、分類してそれぞれを分析することが必要なのであろうが、それは今後に残された重要な課題である。

鍛錬によって薄く延びる介在物は認められず、現在の工業鉄との違いはこの点においては明瞭なようである。表2に示した量のAl, Ti, Cr, Mnについては、その大部分が介在物中にあるのに対して、Ni, Co, Cu等は比較的容易に還元され鉄中に入った固溶状態にあるものと推論される。しかしそれらの不純物の量については、製作地、製作法、製作年代等との間に何等の相関をも認めることはできなかった。

まだ極めて不十分な結果しか得られていないが、これら全体を通じて特徴的なことは

i) Mnの含有量が古代鉄においては40 ppm程度であり、現在の工業鉄に比べると2桁少ない。ルリスタン鉄(図20)は約400 ppmと高く、製鉄原料に他とは差があることを思わせる。

ii) 介在物中にTiが検出される古代鉄器が多く、砂鉄を原料として用いていることが推定される。

iii) S含有量も極めて低く、一部の試料を除くと20～30 ppmであり、これは製鉄原料においても、また還元剤としての木炭においてもS含有量が低いことを意味するものと考えられる、点などである。

7. む す び

耐食性の極めて優れた上質の鉄が太古ともいうべき時代に既に作られており、現代に伝えられた鉄器があり、その原因を追究解明するために組成分析に努めた。耐食性の良否は、鉄素地表面に形成される酸化皮膜の性質に強く依存しており、酸化皮膜の性質はまた素地金属中の微量不純物の存在によって大きく左右される⁸⁾と考えられるからである。今一つの重要な因子は非金属介在物の存在である。土中であって鉄バクテリアのエネルギー源にされ、ボロボロに朽ち果てる場合は止むを得ないとして、同じ大気中にありながら、薄い黒皮程度のさびしか生じない場合と、朽ち込みという形で内部へのさびの進行によって、形を失なうに到る迄のはげしい崩壊との間の大差の原因の一つとして、ある種の非金属介在物の存在が考えられる。非金属介在物も種類によっては耐食性にほとんど影響をもたないものも多いから、それらの耐食性に対する影響を分離して識別することが必要になる。これまでに得られた知見から、少なくとも非金属介在物としてのMnSの存在は耐

食性に対して極めて有害なことは明らかであり、一方現代の工業鉄は加工性の改善のためにMnSが形成されるような道筋を採用しており、耐食性にかなりの差があっても当然と考えられる。

素地鉄中の不純物にも耐食性を改善するもの、害するものがあり、悪影響をもつ不純物をどの程度の濃度に制御することが要求されるのかを明らかにするのは今後の課題である。非金属介在物も含めての全体についての組成分析だけでは不十分で、介在物と素地鉄とを分離して分析することが重要であり、その方向への努力が要請されよう。

C, N, O等の軽元素の分析も重要なことは当然であるが、破壊分析で一つの元素の定量のために、1グラムに近い量の試料がなくなってしまうのには耐えられなかったので実施せず、顕微鏡組織観察によりC濃度の平均値、不均一性等について大略を推定するに留めた。放射化分析等の高感度の手段によって、微量の試料から軽元素に関して更に多くの情報が得られるようになる日の近いことを望みたい。

8. 謝 辞

古代鉄試料を提供して頂いた多くの方々に、また各種分析に際してお世話になった各方面の多くの方々に感謝する。

追記：分析試料の中に日本刀が入っていないのを残念に思っている。製作年代の明らかなもので1グラム程度の試片を提供して頂ける方があると有難いのだが、無理な望みであろうか。

参 考 文 献

- 1) 北京鋼鉄学院(1978) 中国古代冶金：55頁および図版14
- 2) 日下 讓(1973) 放射化分析(共立全書199)
- 3) 俵 国一(1953) 日本刀の科学的研究：64—72
- 4) Isshiki, M., H. Nitta, Y. Noda, S. Itoh, K. Igaki, A. Mizohata, T. Mamuro, T. Tsujimoto and S. Iwata(1979) Study on Trace Impurity Elements in Highly purified Iron and Aluminum by Neutron Activation Analysis, Radioisotopes **28**: 349—354
- 5) 西村秀雄, 青木信美(1956) 法隆寺五重塔並びに金堂の古代釘の冶金学的研究, 古文化財の科学 **12**: 1—24
- 6) 玉木正英(1730前後) 玉籤集, 吉田家蔵本の裏書
- 7) Egami, N., S. Fukai and S. Masuda (1966) Dailaman II, The Excavations at Noruzmahale, and Khoramrud, p.26 and Plate 40 (19)

- 8) 杉本克久, 松田史朗, 一色 実, 江島辰彦, 井垣謙三 (1981) 高純度鉄の腐食特性, 日本金属学会誌: 投稿中

Analysis of the Ancient Iron Specimens

Kenzo IGAKI and Minoru ISSHIKI

School of Engineering, Tohoku University, Sendai, 980 Japan

Ancient iron specimens were carefully examined and analysed by using recently developed sensitive techniques. Efforts were made to obtain many informations, as many as possible, from a limited amounts of specimen, for example several hundreds milligram, mainly depending on non-destructive analytical methods. It is detected the necessity to perform analysis separately, on metal matrix and non-metallic inclusions. Neutron activation analysis and atomic absorption analysis were used to determine the trace impurity elements in the specimens. Al, Ti, Cr and Mn are considered to be mainly included in non-metallic inclusions, meanwhile Co, Ni and Cu are in metal matrix. Concentration of Mn and S in the ancient iron specimens are very low, only several tens of wt. ppm. Considerations are given for the big difference in the corrosion resistant properties between the ancient iron and the modern technology iron.