理科学的分析法による舞崎遺跡出土の古代鉄材の材質調査

加藤 将彦*・平井 昭司*・鈴木 章悟*・岡田 往子*

Scientific Analysis for Ancient Iron Plate Materials Excavated from the Maisaki Site

Masahiko KATO, Shoji HIRAI, Shogo SUZUKI and Yukiko OKADA

Synopsis : Parts of iron plate materials excavated from the Maisaki site at Tsuruga city of Fukui prefecture were analyzed by scientific methods of the element analysis and the metallographic observation. In the element analysis, a combustion infrared absorption method for determination of carbon and sulfur in iron plates, and a neutron activation analysis (NAA) for determination of 37 trace elements were used. In the metallographic observation, the metal structures were investigated by an optical microscope and an electron probe micro analyzer (EPMA). Carbon concentration in iron samples were low carbon steel or medium carbon steel of about 0.1–0.5%. The existence of ferrite and pearlite structures and non-metallic inclusions were observed in the samples by the optical microscope. An existence of titanium being an index of the origin of Japanese iron sand was not confirmed in these non-metallic inclusions by the EPMA mapping images. As a ratio of arsenic (As) concentration to antimony (Sb) concentration, As/Sb value were less than 1.0, the origin of the samples were estimated, namely, it is concluded that the iron plate materials were brought in Japan from ancient Korea made from iron ore as a raw material.

Key words: natureal scientific analysis; Maisaki site; combustion infrared absorption method; neutron activation analysis (NAA); electron probe micro analyzer (EPMA); As/Sb value.

1. はじめに

1.1 背景

人類の鉄の使用は、紀元前30世紀頃にも遡るとされ、紀元前15世紀頃にヒッタイトで鉄の製錬が普及し始めたと言われている。鉄はそれ以前まで普及していた青銅器と比べて硬く、研磨や圧延、鋳造などの加工も行い易いために、徐々に一般的な金属材料として普及していった。日本への伝来は稲作や青銅などと共に弥生時代早期（紀元前4世紀頃）と言われており、当初は大陸より輸入したものを使用していたが、その後、古墳時代（紀元後5世紀頃）に入り国内での鉄生産が行われるようになったとされている。当時の鉄製品は極めて貴重で、古代の権力者や貴族などの墳墓に被葬者と共に副葬品として埋葬されており、それらが現代になって発見される例がある。しかしながら、鉄の伝来したルートや製造技術、鉄原料の種類や供給地については、まだ多くの謎が残されている。

これらの未知な部分を解明するための方法に理科学的分析手法があり、鉄遺物中に含有している微量元素や金属学的組織を自然科学的な観点から追及する研究がある。このような研究を通じて「人類の歴史」と密接な関係がある「鉄の歴史」を解明することは、「人類の歴史」の一部を解

明することへもつながる。

1.2 舞崎遺跡

舞崎遺跡は福井県敦賀市の天筒山尾根上に位置し、弥生時代から古墳時代前期にかけての県内で最も古い高地性集落の住居跡や4基の古墳などからなる遺跡である¹⁾。4基の古墳の盛土内からは弥生土器の細片の出土が確認されており、さらに1号墳からは鉄剣4点、不明棒状鉄製品1点、不明板状鉄製品1点が、3号墳からは鉄剣、鉈、不明板状鉄製品がそれぞれ1点ずつ副葬品として出土している。

1.3 研究目的

舞崎遺跡の1号墳より出土した不明板状鉄製品(TTM-2)及び3号墳より出土した不明板状鉄製品(TM-1)について、理科学的分析のために試料の一部分を分析用試料として提供を受けた。本報では、これらの鉄遺物を理科学的分析し、その結果を基に古代の鉄製品の特性を知ると共に、鉄原料の産地推定をも行うことを目的とした。

2. 分析試料

2.1 不明板状鉄製品

Fig. 1に2点の不明板状製品の概観を示す。(a)は3号墳から出土したもので、形状は18.0 cm×5.4~6.9 cm×1.0~

Fig. 1. Iron product like uncertain board excavated from Maisaki site. (a) Excavated from No. 3 Tumb, (b) excavated from No. 1 Tumb.

Fig. 2. Collection part of sample for analysis. (a) Excavated, from No. 3 Tumb (TM-1), (b) excavated from No. 1 Tumb (TM-2m and TM-2s).

1.3 cm, 重量：649 gである。(b)は1号墳から出土したもので、形状は16.0 cm×3.8～5.4 cm×1.2 cm, 重量：422 gである。共に図の左側から右側にかけて幅広で、右端は丸みを帯びた刃部のない短冊形鉄斧のような形状である。いずれも形態的には板状・短冊形鉄斧と同様な朝鮮半島製と想定されている¹⁾が、両資料ともに端部に刃が付けられていないことから、鉄斧の形態をしたものが、埋葬された当時に鉄素材として流通していたことが考えられている。

2.2 分析用試料

Fig. 2に分析用に提供された試料の採取箇所を示し、Fig. 3にFig. 2の点線で囲んだ部分より切断・採取された分析用試料を示す。Fig. 2(a)より採取されたものをTM-1、(b)より採取され、試料内部に残存していた健全な鉄金属部分から採取されたものをTM-2m、試料表面の錆部分から採取されたものをTM-2sと表す。Fig. 3中の直線部分をダイヤモンド刃の自動切断機（BUEHLER社製：Isomet LOW SPEED SAW）を用いて切断した。切断時の潤滑・冷却液には、エタノールを使用した。切断した内部の○印部分よりハンディー用のカッター（（株）ミニター製：M25H）を使用し、燃烧赤外線吸収法に用いる試料として約100 mgを各1点ずつ、機器中性子放射化分析法に用いる試料として約50 mgを各1点ずつ切片採取した。また、□印部分からは金属学的組織調査のための埋め込み用試料として、自動切断機を用いて径1インチ以内の大きさに少量採取した。

3. 分析法

3.1 燃烧赤外線吸収法

試料中の炭素及び硫黄を定量するため、炭素・硫黄分析装置（（株）堀場製作所製：EMIA-510）を使用して、燃烧

Fig. 3. Sample for analysis. (a) TM-1, (b) TM-2m, (c) TM-2s.

赤外線吸収法による分析を行った。測定は燃烧官温度：1450℃、測定時間が炭素：60秒、硫黄：70秒の条件で行った。助燃剤には、スズ（（株）堀場製作所製：EMIA/EMGA用粒状スズ）及びC, S定量用助燃剤タングステン粉（（株）堀場製作所製：WJ1-12）の混合助燃剤を使用し、試料重量に対してスズを等量、タングステンを2倍量用いた。

本法では、一般に予め分析対象の試料中の炭素又は硫黄

濃度とほぼ類似した濃度の認証鉄鋼標準物質を用いて校正を行った上で分析を行うが、本試料のように炭素及び硫黄濃度が全く予測できず、また、極めて貴重な古代の鉄製品であるがために多くの試料が採取できない場合には、1度の分析であらゆる濃度範囲が測定できる方法を適用する必要がある。そのため、予め認証鉄鋼標準物質を用いて、どのような分析結果が出力されるかを調査し、測定値と認証値とを比較する濃度補正曲線²⁾を作成し、炭素及び硫黄濃度を算出した。

3・2 機器中性子放射化分析法(INAA)

機器中性子放射化分析法により、主成分元素から微量元素までの計37元素を対象とした多元素定量を行った。試料は秤量した後、洗浄したポリエチレン製袋に二重封入して、照射・分析用試料とした。また、各試料の含有元素定量のための比較標準試料には、日本鉄鋼連盟が製造・販売している高純度鉄認証標準物質：JSS001-3、JSS001-4³⁾及びJSS003-4と国立環境研究所が製造・販売している粉塵認証標準物質：NIES 8を使用し、同様にして試料作成を行った。

分析試料の中性子照射は日本原子力研究開発機構の研究用原子炉：JRR-4（熱出力100kW運転）で行った。中性

子照射後、外側のポリエチレン製袋を新しいものと交換し、高純度Ge検出器と4096チャンネル波高分析器よりなる γ 線スペクトロメトリーを用いて、放射化した試料の γ 線測定を行った。

短時間照射は気送管（熱中性子束密度： $9.1 \times 10^{11} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ）で60秒間行い、3～6分間の冷却後、半減期が数分から数時間の核種（短寿命核種：S）に注目して400秒間の γ 線測定を行った。長時間照射はTパイプ（水力）（熱中性子束密度： $1.5 \times 10^{12} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ）で6時間行い、2日間の冷却後、半減期が数十時間から数日の核種（中寿命核種：L1）に注目して3600秒間の γ 線測定を行った。更に同一試料を7日間の冷却後、半減期が数十日以上核種（長寿命核種：L2）に注目して7200秒間の γ 線測定を行った。

得られた γ 線スペクトルは、本研究室で開発したGAMA03プログラム⁴⁾を使用して解析を行った。放射化のための中性子照射及び γ 線測定の条件をTable 1に示し、元素定量のために着目する放射性核種及び γ 線エネルギー等の核データをTable 2に示す。

3・3 光学顕微鏡法

金属学的組織の調査のため、光学顕微鏡法による金属組

Table 1. Neutron irradiating and measuring conditions.

Irradiation facility		Irradiation time	Cooling time	Measuring time	Measurment position from Ge detector	Analyzed elements	
Thermal neutron flux density (n·cm ⁻² ·s ⁻¹)							
Pneumatic transfer	S						
9.1×10 ¹¹	(Short-lived nuclide)	60 sec	3~6 min	400 sec	100 mm	Na Mg Al Cl Ca Ti V Mn	
T-pipe	L1						
	(Middle-lived nuclide)	6 hr	2 days	3600 sec	150 mm	K Ga As Br Mo Sb La Sm W U	
1.5×10 ¹²	L2						
	(Long-lived nuclide)	6 hr	7 days	7200 sec	2 mm	Sc Cr Fe Co Ni Zr Sb Cs Ba Ce Yb Lu Hf Au Th	

Table 2. Nuclides data for NAA.

element	Nuclear reaction	Produced nuclide	Half-life	γ -ray energy (keV)
Na	(n, γ)	Na-24	15.02 h	1369, 1732
Mg	(n, γ)	Mg-27	9.46 m	1014
Al	(n, γ)	Al-28	2.24 m	1779
Si	(n, p)	Al-29	6.6 m	1273
S	(n, γ)	S-37	5.1 m	3102
Cl	(n, γ)	Cl-38	37.3 m	1642, 2168
K	(n, γ)	K-42	12.36 h	1525
Ca	(n, γ)	Ca-49	8.72 m	3084
Sc	(n, γ)	Sc-46	83.8 d	889, 1121
Ti	(n, γ)	Ti-51	5.8 m	320
V	(n, γ)	V-52	3.76 m	1434
Cr	(n, γ)	Cr-51	27.7 d	320
Mn	(n, γ)	Mn-56	2.58 h	847, 1811
Fe	(n, γ)	Fe-59	44.6 d	1099, 1292
Co	(n, γ)	Co-60	5.27 y	1173, 1333
Ni	(n, p)	Co-58	70.8 d	811
Cu	(n, γ)	Cu-66	5.1 m	1039
Zn	(n, γ)	Zn-65	244 d	1116
Ga	(n, γ)	Ga-72	14.1 h	630
As	(n, γ)	As-76	26.3 h	559
Se	(n, γ)	Se-75	121 d	136, 265
Br	(n, γ)	Br-82	35.34 h	777
Rb	(n, γ)	Rb-86	18.8 d	1077
Sr	(n, γ)	Sr-85	64.0 d	514
Zr	(n, γ)	Zr-95	64.0 h	724, 757
Mo	(n, γ)	Mo-99	2.75 d	141
Ag	(n, γ)	Ag-110	252 d	658
Cd	(n, γ)	Cd-115	2.23 d	336
In	(n, γ)	In-116	54 m	417, 1097
Sn	(n, γ)	Sn-113	115 d	392
Sb	(n, γ)	Sb-122	2.8 d	564
Sb	(n, γ)	Sb-124	60.2 d	603, 1691
Te	(n, γ , β^-)	Te-131	8.04 d	365
I	(n, γ)	I-128	25 m	443
Cs	(n, γ)	Cs-134	2.063 y	605, 796
Ba	(n, γ)	Ba-131	12.0 d	496
La	(n, γ)	La-140	40.3 h	329, 478, 1596
Ce	(n, γ)	Ce-141	32.5 d	145
Pr	(n, γ)	Pr-142	19.2 h	1576
Nd	(n, γ)	Nd-147	11.0 d	91.1
Sm	(n, γ)	Sm-153	46.8 d	103
Eu	(n, γ)	Eu-152	13.1 y	1408
Tb	(n, γ)	Tb-160	72 d	879, 966, 1178
Dy	(n, γ)	Dy-165	2.33 h	95
Yb	(n, γ)	Yb-175	101 h	396
Lu	(n, γ)	Lu-177	6.71 d	113, 208
Hf	(n, γ)	Hf-181	42.4 d	482
Ta	(n, γ)	Ta-182	115 d	1221
W	(n, γ)	W-187	23.9 h	686
Ir	(n, γ)	Ir-192	74.2 d	317
Au	(n, γ)	Au-198	2.696 d	412
Hg	(n, γ)	Hg-203	46.8 d	279
Th	(n, γ , β^-)	Pa-233	27.0 d	312
U	(n, γ , β^-)	Np-239	2.35 d	106, 227, 278

組織観察を行った。金属組織観察用に採取した試料を直径1インチの型に入れ、和光純薬工業(株)が製造・販売しているウッドメタル(Bi-Pb-Sn-Cd合金)で埋め込み、硬化させた後に研磨を行った。研磨後、試料表面に付着している研磨剤を取り除くため、試料表面をエタノールに浸して超音波洗浄器で約10分間の洗浄を行った。洗浄後、試料表面を3%ナイトル液(硝酸:エタノール=3:100)により約5秒間のエッチング処理を行い、金属組織の現出を確認して観察を行った。観察には倒立型金属顕微鏡(Nikon社製:EPIPHOT 300)を使用し、拡大倍率100倍で行った。観察は主に鉄中に非金属介在物が存在している箇所や錆の箇所を中心に行った。

3・4 電子プローブマイクロアナライザ分析法(EPMA)

金属組織中の微小領域における元素分布を調査するため、電子プローブマイクロアナライザー(日本電子(株)製:JXA-8200)を使用してEPMA分析を行った。光学顕微鏡観察に使用した試料をEPMA分析のために、再度試料表面の研磨を行い、非導電体による帯電の影響を防ぐため、分析面にAuの蒸着を行った。装置の条件は照射電流: 1.9×10^{-7} A, 加速電圧: 15 kV, ビーム径: $1 \mu\text{m}$ であり、マッピングの条件は、測定視野: $400 \mu\text{m} \times 400 \mu\text{m}$, ピクセルサイズ: $1 \mu\text{m}$, ピクセル数: 160000 pixel, 計数時間: 10 ms/1 pixel で15元素(C, O, Na, Al, Si, P, S, Cl, Ca, Ti, Fe, Co, As, Cd, Sb)のマッピングを行った。マッピング像は、測定視野内で最も高いカウント数の最高値を赤色とし、カウント数0を最低値の黒色として示し、その間を等分割した色分けをして、各元素の分布と存在量を調査した。

4. 結果及び考察

4・1 燃焼赤外線吸収法による炭素及び硫黄の定量結果

Table 3に炭素及び硫黄の定量結果を示す。炭素濃度についてはTM-1では約0.1%, TM-2m及びTM-2sでは約0.5%であった。これらの結果から、TM-1は現代でいう低炭素鋼, TM-2m及びTM-2sは中炭素鋼といった鉄となっていることが分かる。TM-2sは鉄金属と隣り合った錆部分であるが、金属部分と類似した炭素濃度であった。硫黄濃度についてはTM-1及びTM-2mでは共に0.01%以下であったが、TM-2sは約0.05%と金属部分より明らかに高い硫黄濃度となっていた。このことから錆中では金属鉄中にはない硫化物などの影響が考えられる。

以上の結果より、これらの鉄製品は鋳造品ではなく鍛造により作成されたことが推察される。

4・2 機器中性子放射化分析による多元素定量結果

Table 4に機器中性子放射化分析の多元素定量結果を示す。TM-1, TM-2mの2試料に対して、微量元素を含めた37元素の定量を行った。

Mnの定量においては、 ^{56}Mn の核種に注目し、その強度

Table 3. Concentration of carbon and sulfur in iron products.

Sample No.	Sample weight (g)	Concentration (%)	
		Carbon	Sulfur
TM-1	0.085	0.089	0.002
TM-2m	0.095	0.552	0.006
TM-2s	0.106	0.517	0.045

Table 4. Concentration of elements in iron products by INAA.

elements	(ppm)	
	TM-1	TM-2m
Na	750	< 100
Mg	< 900	< 580
Al	1200	78
Cl	8500	100
K	180	< 34
Ca	< 1200	< 980
Sc	0.70	< 0.084
Ti	< 140	< 56
V	1.5	< 0.4
Cr	26	24
Mn	4	ND
Fe	690000	1000000
Co	6.4	9.3
Ni	< 91	< 120
Cu	< 67	< 25
Zn	< 27	< 34
Ga	6.6	8.8
As	2.7	11
Br	1.7	< 0.67
Zr	450	1600
Mo	22	28
In	< 0.23	< 0.072
Sb	81	290
I	< 6.9	< 3.3
Cs	< 0.49	< 0.80
Ba	< 100	< 150
La	1.3	< 0.063
Yb	< 0.29	< 0.46
Lu	< 0.082	< 0.18
Ce	< 5.4	< 7.6
Sm	0.14	< 0.10
Hf	< 0.71	< 1.0
W	< 0.85	0.40
Dy	< 0.56	< 0.19
Au	< 0.006	< 0.0093
Th	0.75	< 0.19
U	< 1.3	< 1.1
As/Sb*	0.033	0.037

*: Ratio of As concentration to Sb concentration.

<: Lower limit of determination

ND: No detected

より含有量を算出している。しかしながら、マトリックスのFeからの ^{56}Fe (n, p) ^{56}Mn 反応により、Mnの定量には妨害反応となっている。そのため高純度鉄(JSS001-4: Mn極微量(0.03 ppm))を用いてFeからの寄与を算出したところ、その寄与率はMn濃度に換算してプラス28 ($\mu\text{g}/\text{Fe}$ 1 g)であった。Mnの定量ではこの値を補正に用いた。また、Crの定量においては、 ^{51}Cr の核種に注目し、その強度より含有量を算出している。しかしながら、マトリックスのFeからの ^{54}Fe (n, α) ^{51}Cr 反応により、Crの定量には妨害反応となっている。そのため高純度鉄(JSS001-3, JSS001-4及びJSS003-4)を用いてFeからの寄与を算出したところ、その寄与率はCr濃度に換算してプラス21 ($\mu\text{g}/\text{Fe}$ 1 g)であった。Crの定量ではこの値を補正に用いた。

試料には健全な金属鉄が残っており、Table 4よりそれ

ぞれFe濃度がTM-1: 69%, TM-2: 100%となっている。TM-1では試料内部に金属鉄は残っていたが、鋳部より採取した試料を分析しており、TM-2mでは鉄金属部より試料採取し、ほぼ健全な鉄として残存していることが分かる。また、埋蔵中の環境からの影響による錆化の指標となるCl濃度を見ると、TM-1: 8500 ppm, TM-2m: 100 ppmであり、TM-1では明らかな錆化が見られ、ほぼ健全な鉄と思われるTM-2mでも僅かに錆化の兆候が見られる結果であった。

鉄鉱石または砂鉄を製鉄時の始発原料とすると、金属鉄中あるいは鉄滓中に始発原料中の種々の含有元素は分配してゆく。地球科学という親鉄元素及び親銅元素は鉄金属中に、親石元素は鉄滓中に濃集する。親鉄元素及び親銅元素は、Table 4中のCo, Ni, Cu, Ga, As, Mo, In, Sb, W, Auなどであり、親石元素はNa, Mg, Al, K, Ca, Sc, Ti, V, Mn, Zr, Cs, La, Sm, Yb, Hf, Th, Uなどである。このうち、AsとSbの濃度比は、始発原料中と金属鉄中で変化がないことから、始発原料の産地推定の指標⁵⁾となる元素である。また、親石元素のうちTiは砂鉄中に鉄チタン酸化物として存在するため、砂鉄起源であることの指標⁵⁾となる特徴的な元素であるが、TM-1: 140 ppm以下、TM-2m: 56 ppm以下と、いずれも定量下限値以下であった。

AsとSbの元素濃度比(As/Sb)による始発原料の産地推定について検討を行ってみると、本試料中での濃度比はTM-1: 0.033, TM-2m: 0.037という1以下の特徴的な値を示した。両試料の値が類似していることから、これらは同一の始発原料を使用していることが推察される。日本国内の砂鉄あるいは鉄鉱石を始発原料として使用したものの場合、As/Sb値は1.0以上を示すが、朝鮮半島産の鉄鉱石にはAsとSb濃度が逆転してAs/Sb値が1.0以下の値を示す特徴的なもの⁵⁾があることが判明している。本試料ではAs/Sb値が1.0以下の逆転している結果が見られたことから、舞崎遺跡出土の鉄製資料は日本国内産の砂鉄を原料とした鉄ではなく、朝鮮半島産の鉄鉱石を原料とした鉄より作成されたものであることが示唆される。加えて、Zr濃度がTM-1: 450 ppm, TM-2m: 1600 ppmと特徴的に高い傾向も見られた。

4・3 光学顕微鏡法及びEPMA法による金属学的組織の解析結果

4・3・1 鉄金属及び非金属介在物部分

Fig. 4に鉄中の非金属介在物を観察した光学顕微鏡での観察像を示す。Fig. 4(a)のTM-1では析出している金属組織のほとんどがフェライトとなっており、炭素濃度が低い様子が分かる。また、フェライトの素地に滓成分と思われる細かい非金属介在物が存在していた。これらの非金属介在物はフェライトの結晶粒の境界部分に存在しており、同一方向に細長く伸びていることから、鍛造過程で同一方向から叩かれた結果、伸ばされて細長い形状となったことが推測される。このような非金属介在物部分についての

EPMA解析像をFig. 5(a)に示す。金属部分にはFeのみが分布しており、非金属介在物部分では、Al, SiとO及びFeが僅かに分布している様子が確認できる。これらの元素は滓成分であり、製錬後に鉄中に残存した不純物であると見られる。これらの元素の存在より観察された非金属介在物は、ファイヤライト(Fe_2SiO_4)や Al_2O_3 , SiO_2 といった化合物によって構成されていると推察できる。さらに砂鉄由来の鉄中に不純物として存在するTiの酸化化合物^{6,7)}の分布は見られなかった。

Fig. 4(b)のTM-2mでは、析出している金属組織はフェライトが少なく大部分でパーライトとなっており、この点からも炭素濃度がTM-1よりも高いものとなっていることが分かる。TM-1と同様に、細かい滓成分と思われる非金属介在物が存在している。Fig. 5(b)のEPMA解析像からも分布が見られる元素が類似していることからFig. 5(a)のTM-1に見られた非金属介在物と同様な滓成分の組成であることが推察される。また、非金属介在物の周囲に、Feの強度が下がり、逆にOと僅かにSの分布が見られた。以上の結果より、外部環境と接する試料表面部分から広がってきた錆であることが推測される。

4・3・2 鋳部分

Fig. 6に鋳部分であるTM-2sについて観察した光学顕微鏡像を示す。TM-2mと同一資料の鋳部分であるTM-2sは、錆と隣り合った金属部に析出している金属組織もTM-2mと類似したパーライトとフェライトになっている。また、試料表面から内部にかけて錆が侵入している様子が見られた。

Fig. 7にTM-2sのEPMA解析像を示す。TM-1及びTM-2mと同様に、非金属介在物の部分ではO, Si, Al, といった滓成分に由来する元素の分布が確認できた。錆の部分ではFeとO、さらにClと僅かにSの分布が見られ、酸化鉄や塩化鉄、あるいは硫化鉄となっていることが推察される。これらの結果より、鋳部分では埋蔵中の周囲の環境から硫黄分の影響を受けた可能性が考えられる。

5. まとめ

福井県敦賀市の弥生時代の遺跡である舞崎遺跡より出土した板状鉄製品について理科学的分析を行った。含有元素分析及び金属学的組織の解析結果から以下のような試料の特長が明らかとなった。

燃焼赤外線吸収法による炭素の定量結果より、これらの鉄製品は炭素濃度が約0.1~0.5%の低炭素鋼から中炭素鋼といった材質の鉄であることが分かった。機器中性子放射化分析法による多元素定量の結果より、Ti濃度が低く、Zr濃度が特徴的に高いといった結果に加え、始発原料物質の産地推定の指標となるAs/Sb濃度比が共に1以下の特徴的な値を示した。これらの結果から、日本産の砂鉄由来の鉄

Fig. 4. Metal structure of iron products. Metal part: (a) TM-1, (b) TM-2m. (F: ferrite, P: pearlite, N: non-metal inclusion) (×100).

Fig. 5. EPMA mapping images. (a) TM-1, (b) TM-2m.

Fig. 6. Metal structure of iron products (TM-2s). Rust part. (F: ferrite, P: pearlite, R: rust) (×100).

Fig. 7. EPMA mapping images of TM-2s.

ではなく、朝鮮半島産の鉄鉱石を始発原料物質とした鉄が日本国内に持ち込まれ、作成された板状鉄製品であることが推察される。

光学顕微鏡法による金属組織観察より、鉄金属部ではフェライト及びパーライトとなっていた。また、フェライトの結晶粒の境界部分で同一方向に細長く伸びた形状の非金属介在物の存在が確認できた。これらの結果から、鍛造過程で同一方向から叩き伸ばされて細長い形状となったことが推測される。EPMA法によるマッピング分析結果からは、非金属介在物中にはO, Si, Alが分布しており、滓成分であることが分かった。これらの元素の存在より、 SiO_2 や Al_2O_3 といった化合物が存在していることが考えられる。また、錆中にはFeとO、さらにClの分布が見られ、酸化鉄あるいは塩化鉄といった錆となっていることが窺える。いずれの試料でも日本の砂鉄由来の指標となるTiの分布は見られなかった。また、Sの分布も僅かに見られることから、外部の埋蔵環境より入ってきたものと推察できる。

以上の結果から、福井県敦賀市の舞崎遺跡より出土した

不明板状鉄製品は、朝鮮半島産の鉄鉱石を原料としていることが考えられ、そのような鉄が日本国内へ持ち込まれ、板状の鉄製品として鍛造されたものか、あるいは製品にされたものが持ち込まれたものと思われる。

本調査・研究を行うにあたり、貴重な古代鉄製品の一部を分析用に切斷採取し、提供して頂いた敦賀市教育委員会の中野拓郎氏に、深く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 敦賀市教育委員会「舞崎前山古墳・舞崎遺跡」『敦賀市埋蔵文化財調査報告』2001年
- 2) M.Kato and S.Hirai: *Tetsu-to-Hagané*, **93** (2007), 182.
- 3) S.Suzuki and S.Hirai: *Bunseki Kagaku*, **44** (1995), 209.
- 4) S.Suzuki: *RADIOISOTOPES*, **48** (1999), 341.
- 5) S.Hirai and Y.Okada: *Bull. Iron Steel Inst. Jpn.*, **12** (2007), 282.
- 6) S.Hirai: *Bull. Natl. Mus. Jpn. Hist.*, **59** (1994), 314.
- 7) 平井昭司・加藤将彦・村岡弘一・岡田往子：福島県文化財センター白河館研究紀要2004，福島県文化振興事業団編，(2005)，35.
- 8) 平井昭司・加藤将彦・小椋幸司・鈴木章悟・岡田往子：福島県文化財センター白河館研究紀要2006，福島県文化振興事業団編，(2007)，63.