

能登瀬遺跡採取鉄滓の金属学的調査

大澤正己

1 概 要

能登瀬遺跡から採取された碗形状鉄滓の鉱物組成と化学組成を調査して次のことが明らかになった。

〈1〉 鉄滓は、まだ不純物を多く含有した鉄塊の成分調整のための再加熱時に排出された精錬鍛冶滓（大鍛冶滓）に分類される。一次製錬の夾雑鉱物を含む鉄塊は、そのままでは靱性^{じん}の優れた鉄器製作は出来にくいので、成分調整の中間工程を必要とする。この時点で生成された鉄滓で鍛冶炉の凹部に堆積したので碗形状を呈している。

〈2〉 鉱物組成はヴスタイト（Wüstite； FeO ）＋フェアライト（Fayalite； $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ）で構成され、鍛冶滓特有の晶癖を示す。

〈3〉 化学組成は全鉄分（Total Fe）が47%含有され、このうち酸化第1鉄（ FeO ）が45%に対して酸化第2鉄（ Fe_2O_3 ）が17.25%を占める。これに対して造滓成分（ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$ ）が33.26%と高目である。

また二酸化チタン（ TiO_2 ）0.72%、バナジウム（V）0.011%をはじめとして、他の随伴微量元素も酸化マンガン（ MnO ）0.32%、五酸化リン（ P_2O_5 ）0.49%、硫黄（S）0.088%と高目で精錬鍛冶滓としての成分構成である。鉄素材の原料は、鉱石系と考えられるが砂鉄系を全面否定するまでの量でもない。今後の研究課題となろう。

2 いきさつ

今回の調査鉄滓は、滋賀県坂田郡近江町能登瀬に所在する山津照神社古墳の丘陵尾根先端^{註1}の西斜面から、近江町教育委員会により採取された。当古墳からは、明治時代の発掘で鉄刀や内行花文鏡・馬具・埴輪・王冠・土器等が検出されている。また、昭和18～19年にかけて樋口清之氏の踏査により弥生式土器片や土師器片に伴う鉄滓出土地である能登瀬遺跡の可能性をもつ場所でもある^{註2}。以上の様に、調査鉄滓は由緒ある土地からの採取品であり、推定年代は今一步決め手を欠くものの、かなり遡ると考えられる。この鉄滓の調査依頼を近江町教育委員会より要請されたので、金属学的調査結果と共に、滋賀県下出土の鉱石製錬滓や福井県下出土の砂鉄製錬滓らとの組成比較を試みておく。

3 調査方法

3-1 供試材

調査鉄滓は既述した様に表面採取品である。大きさは、 $80 \times 65 \times 40\text{mm}$ の碗形状鉄滓であり、重量は155gあった。

3-2 調査方法

(1) 顕微鏡組織

鉄滓は水道水で十分に洗滌して乾燥後、2分割して片方の中核部を検鏡試料とした。（残余分は分析試料とする）検鏡試料はペークライト樹脂に埋込んだ後、エメリー研磨紙（コランダム： Al_2O_3 に磁鉄鉱を含んだ黒灰色の粉末砥粒^{にかわ}を膠質の接着剤で塗布している）の#150、#320、#600、#1,000を使って荒研磨し、次にアルミナ（ Al_2O_3 ）粉末水溶液（アルミニウム塩の沈澱物を焼成して作られた六方晶形細粒粉末の水溶懸濁液）をバフ布に注ぎながら被検面を鏡面に仕

上げて構成鉱物の同定を行なった。

(2) 化学組成

鉄滓の分析は、検鏡試料の片割れの中核部を粉末化して次の方法で行なっている。

重クロム酸使用の重量法……酸化第1鉄 (FeO)、二酸化珪素 (SiO₂)

赤外吸収法……炭素 (C)、硫黄 (S)

原子吸光法……全鉄分 (Total Fe)、酸化アルミニウム (Al₂O₃)、酸化カルシウム (CaO)、酸化マグネシウム (MgO)、二酸化チタン (TiO₂)、酸化クロム (Cr₂O₃)、バナジウム (V)、銅 (Cu)

中和滴定法……五酸化燐 (P₂O₅)

4 調査結果

肉眼観察： 表皮は端部の一部に黒色なめらかな部分もあるが、その大部分は赤褐色を呈してわずかな凹凸に気泡を露出し、木炭痕を残す。裏面は黒褐色で滴下状凹凸と木炭痕を残し、粗^{ほう}鬆さを有している。破面は赤黒色でコークス状の気泡を発するが、全体的には緻密質である。鍛冶炉の炉底に堆積した椀形滓に分類できる。

顕微鏡組織： Photo 2 の最上段に示す。鉱物組成は、白色粒状に成長したヴスタイト (Wüstite : FeO) と、灰色長柱状のフェアライト (Fayalite : 2FeO·SiO₂)、それに基地の暗黒色のガラス質スラグから構成されている。

鉄 (Fe)－珪素 (Si) 系酸化物主体の鉱物組成であり、鍛冶滓特有の晶癖となっている。

化学組成：全鉄分 (Total Fe) が高目で47%を示し、このうち酸化第1鉄 (FeO) が45%で、残りは酸化第2鉄 (Fe₂O₃) が17.21%である。次に造滓成分 (SiO₂ + Al₂O₃ + CaO + MgO) が33.26%と鍛冶滓としては高目である。ただし造滓成分のうち CaO / Al₂O₃ ≒ 0.39、CaO / SiO₂ ≒ 0.15らの比で分る様に、特別溶剤 (鉄と

滓の分離をよくするための添加物) の添加はなされていない

随伴微量元素のうち、二酸化チタン (TiO₂) やバナジウム (V) らは高目である。前者で0.72%、後者で0.011%となっている。二酸化チタン (TiO₂) は砂鉄系原料から検出される元素であって、鉱石系は比較的に微量値である。該材の0.73%は、やや高目傾向にあり、砂鉄系の可能性も考慮に入れる必要がありそうである。他は、酸化マンガン (MnO) 0.32%、硫黄 (S) 0.088%、五酸化燐 (P₂O₅) 0.49%らは高目であり、低含有元素としては酸化クロム (Cr₂O₃)、銅 (Cu) らがNilである。これら構成元素からみても精錬鍛冶滓 (大鍛冶滓) に分類できる。

5 考 察

一能登瀬遺跡出土鉄滓の位置づけ、鍛冶滓と製錬滓の相違点一

鉄生産の工程は次の順序で行なわれている。

(i) 製錬、(ii) 精錬鍛冶 (大鍛冶)、(iii) 鍛錬鍛冶 (小鍛冶)、(iv) 鉄製品。能登瀬遺跡から採取された鉄滓は、(ii) の精錬鍛冶滓 (大鍛冶滓) である。そうすると、その前後の (i) 製錬滓と、(iii) 鍛錬鍛冶滓 (小鍛冶滓) らの鉱物組成と化学組成には、どんな特徴があるのだろうか。滋賀県下及び福井県で検出された鉄滓を参考比較試料として概略を述べてみる。

滋賀県下では、現在のところ、(i) 製錬は、鉱石 (磁鉄鉱) を木炭でもって還元した時に排出される滓である鉱石製錬滓のみが検出されて、砂鉄製錬滓は未検出である。鉱石製錬滓の鉱物組成は、Photo 2 の伊香郡の古橋製鉄遺跡^{註3}と、大津市の源内峠遺跡出土鉄滓で示すように、フェアライト (Fayalite : 2FeO·SiO₂) 主体で、これに微小結晶のマグネタイト (Magnetite :

Table 1. 鉄滓及び鉍石の化学組成

符号	遺跡名	所在地(出土位置)	試料分類	推定年代	全鉄分 (Total Fe)	酸化第1鉄 (FeO)	酸化第2鉄 (Fe ₂ O ₃)	二酸化硅素 (SiO ₂)	酸化アルミニウム (Al ₂ O ₃)	酸化カルシウム (CaO)
A-851	能登瀬	坂田郡近江町能登瀬	精錬鍛冶滓	?	47.0	45.0	17.21	20.66	7.94	3.08
S-71	七りん館	東浅井郡浅井町鍛冶屋	鍛錬鍛冶滓	近世?	55.97	46.42	28.43	17.1	4.03	Trace
W-91	野路小野山	草津市野路町1号炉下	鉍石製錬滓	7C末~8C初	38.33	44.57	5.05	33.25	7.60	3.85
W-92	〃	〃 〃	〃	〃	45.80	51.11	7.49	28.75	5.83	2.19
X-91	〃	〃 2号炉(上層)	〃	〃	45.24	44.35	13.76	27.00	6.12	1.82
X-92	〃	〃 〃	〃	〃	46.36	53.68	5.19	27.55	5.99	2.03
Y-91	〃	〃 S X-2	〃	〃	12.99	12.42	4.49	58.50	9.52	1.70
Y-92	〃	〃 〃	〃	〃	42.86	48.24	7.49	30.45	6.05	2.64
Z-91	〃	〃 S D-2	鉍石	〃	69.93	26.15	70.60	0.25	1.06	Trace
T-71	北牧野	高島郡牧野町表採	鉍石製錬滓	8C	35.04	41.93	15.91	24.06	6.97	3.76
T-76	〃	〃 〃	〃	〃	42.42	48.57	6.55	25.4	5.13	2.2
8M-811	平津	大津市平津町 SOHT 2	鉍石製錬滓	平安・鎌倉	40.3	43.3	9.50	33.3	5.48	4.69
8M-812	〃	〃 SOH 排土	鉍石	〃	67.7	25.43	68.5	2.70	0.71	1.54
R-7	源内峠	大津市瀬田南大萱	鉍石製錬滓	7C末~8C	13.97	6.28	12.68	54.50	2.45	Trace
J-841	笹岡第1跡	福井県金津町	砂鉄製錬滓	不明	26.6	19.25	16.68	24.76	6.50	0.16
M-841A	笹岡大久保山	〃	〃	〃	27.4	14.51	23.02	23.42	7.09	3.15
N-841	滝上西谷 (細呂木駅前)	〃	〃	〃	30.1	36.5	2.53	31.1	7.51	1.82
O-841	滝鴻巣山	〃	水酸化鉄	〃	17.63	0.43	24.73	56.0	8.46	0.89
P-841	沢松木谷	〃	砂鉄製錬滓	〃	33.6	41.2	2.25	25.6	7.37	1.82
Q-841	熊坂椎堂	〃	〃	〃	17.50	9.77	14.16	36.0	9.26	5.04

酸化マグネシウム (MgO)	酸化マンガン (MnO)	二酸化チタン (TiO ₂)	酸化クロム (Cr ₂ O ₃)	硫黄 (S)	五酸化燐 (P ₂ O ₅)	炭素 (C)	バナジウム (V)	銅 (Cu)	造滓成分	造滓成分 Total Fe	TiO ₂ Total Fe	注
1.58	0.32	0.72	Nil	0.088	0.49	0.39	0.011	Nil	33.26	0.708	0.015	1
0.79	0.1	0.11	0.020	0.059	0.98	—	0.019	0.005	21.92	0.372	0.002	2
1.06	0.58	0.81	0.02	0.026	0.14	—	<0.01	<0.01	45.76	1.194	0.021	3
0.91	0.47	0.59	0.015	0.028	0.13	—	<0.01	<0.01	37.68	0.823	0.031	〃
0.79	0.39	0.65	0.008	0.038	0.10	—	<0.01	<0.01	35.73	0.790	0.014	〃
0.79	0.45	0.65	0.009	0.024	0.10	—	<0.01	<0.01	36.36	0.784	0.014	〃
0.64	0.23	0.76	0.019	0.026	0.10	—	<0.01	<0.01	70.36	5.416	0.059	〃
0.73	0.47	0.69	0.006	0.026	0.10	—	<0.01	<0.01	39.87	0.930	0.016	〃
0.32	0.18	0.68	0.31	0.010	0.048	0.28	0.02	0.03	—	—	—	〃
2.74	0.39	0.61	Trace	0.019	(P) 0.91	0.19	0.01	0.01	37.53	1.071	0.017	4
1.28	2.8	0.22	0.022	0.029	0.39	—	0.036	0.005	34.01	0.802	0.005	〃
1.72	0.34	0.29	Nil	0.036	0.20	0.11	0.006	0.005	45.19	1.121	0.007	5
0.31	0.17	0.046	Nil	0.019	0.12	0.07	Nil	0.007	5.20	0.077	0.001	〃
0.38	0.1	0.46	0.05	0.010	0.41	0.32	0.02	0.001	57.33	4.104	0.033	6
3.07	0.81	14.41	0.17	0.024	0.084	0.21	0.26	0.004	34.49	1.297	0.542	7
2.87	0.83	19.81	0.24	0.046	0.14	0.67	0.028	0.004	36.53	1.333	0.723	〃
3.28	0.67	11.18	0.10	0.036	0.17	0.27	0.20	0.004	43.71	1.452	0.371	〃
0.33	0.058	0.18	0.015	0.041	0.016	0.40	Nil	0.004	65.68	3.726	0.010	〃
2.49	0.67	16.97	0.12	0.035	0.14	0.11	0.25	0.004	37.28	1.110	0.505	〃
2.49	0.67	15.68	0.17	0.036	0.14	1.63	0.15	0.004	52.79	3.017	0.896	〃

(註)

1. 大澤正己「能登瀬遺跡採取鉄滓の金属学的調査」 本報告

2～6. 大澤正己「野路小野山遺跡出土の製鉄関係遺物調査」『野路小野山遺跡発掘調査概報』滋賀県教育委員会、草津市教育委員会 1984

7. 大澤正己「福井県金津町所在古代製鉄関連遺物の金属学的調査」 金津町教育委員会 1986, 10, 2

Table. 2 滋賀県下（福井県含む）出土鉄滓の分類

組 成		製 錬 滓		精錬鍛冶滓 (能登瀬)	鍛錬鍛冶滓 (七りん館)
		鉬石系 (滋賀県下)	砂鉄系 (福井県)		
鉬物組成		F + (M) (W)	M + F I + U I	W + F	W + F
化 学 組 成	全 鉄 分 (Total Fe)	38 ~ 46 %	17 ~ 34 %	47 %	56 %
	造 滓 成 分	36 ~ 40 %	35 ~ 52 %	33 %	22 %
	二酸化チタン (TiO ₂)	0.65 ~ 0.81 %	11 ~ 20 %	0.72 %	0.11 %
	バナジウム (V)	< 0.01 %	0.15 ~ 0.26 %	0.011 %	0.019 %

F : Fayalite ($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$), M : Magnetite (Fe_3O_4), W : Wüstite (FeO),
 I : Ilmenite ($\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$), U : Ulvospinel ($2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$),



Photo 1 能登瀬遺跡全景（南西から）

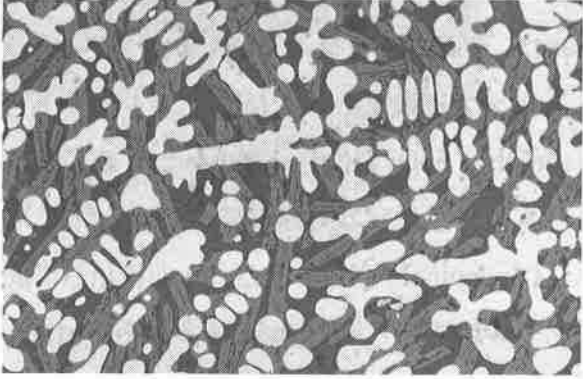
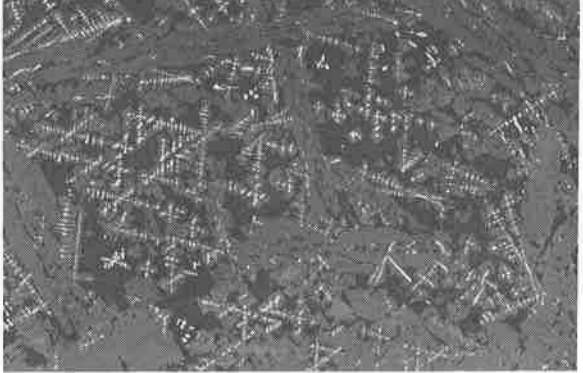
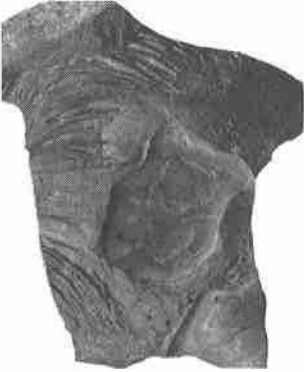
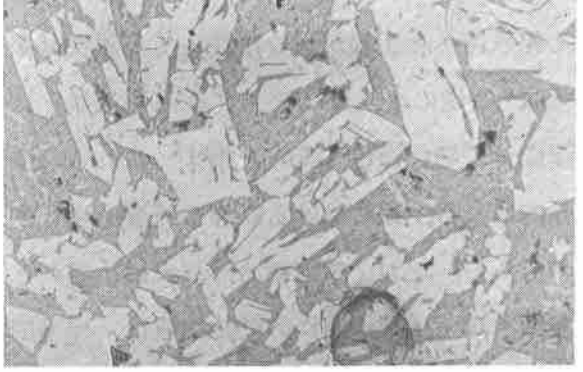
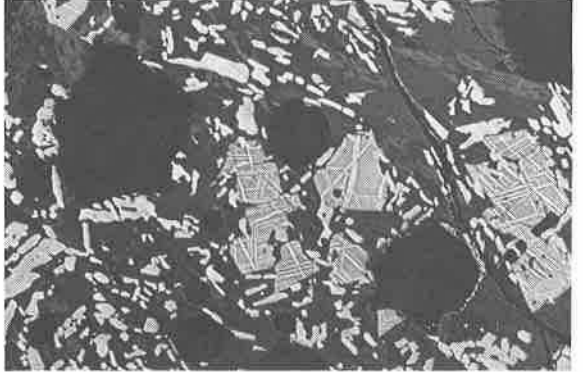
(1) A-851 能登瀬遺跡 (表面採取) 精鍊鍛冶滓×100 外觀写真 1/5		
(2) K-851 古橋遺跡 (製鉄炉周辺) 鉬石製鍊滓×100 外觀写真 1/5		
(3) L-852 源内峠遺跡 (昭和60年度調査) 鉬石製鍊滓×100 外觀写真 1/5		
(4) J-841 笹岡遺跡 (福井県金津町) 砂鉄製鍊滓×100 外觀写真 1/5		

Photo 2 鉄滓の顕微鏡組織

Fe₃O₄) もしくはヴスタイト (Wüstite : FeO) が晶出する。これに対して砂鉄系製錬滓であれば、二酸化チタン (TiO₂) が含有される為、高チタン砂鉄原料であればイルミナイト (Ilmenite : FeO・TiO₂) →Photo 2 の最下段組織写真の白色短片状結晶参照やウルボスピネル (Ulvöspinel : 2FeO・TiO₂) らが析出し、低チタン砂鉄原料であればマグネタイト (Magnetite : Fe₃O₄) が認められる。砂鉄製錬滓の鉱物組成の一例としてPhoto 2 に福井県金津町所在の笹岡遺跡製錬滓を示している。イルミナイトと、末還元砂鉄粒子の格子状組織 (チタン鉄鉱で代表的なウィドマンステッテン : Widmannstätten構成) が主なる鉱物である。

化学組成は、Table 1 のデータをまとめてその特徴をTable 2 に示す。製錬滓は脈石からくる夾雑物が多いが、精錬鍛冶滓 (大鍛冶滓) →能登瀬鉄滓から鍛錬鍛冶滓 (小鍛冶滓) →セリン館鉄滓へと工程が進むに従って夾雑物は漸次低減し、逆に全鉄分は増加する。(夾雑物とは造滓成分や随伴微量元素らを指す)。これらの成分動向は、各工程における鉄滓の特質を現わすものである。なお、精錬鍛冶滓 (大鍛冶滓) と鍛錬鍛冶滓 (小鍛冶滓) の鉱物組成は、標準的にはヴスタイト+フェアライトで大差ないが、稀には精錬鍛冶滓にヴスタイト+マグネタイト+フェアライトの混在組織も認められる。

以上の観点にたてば、能登瀬遺跡出土鉄滓は、精錬鍛冶滓 (大鍛冶滓) に位置づけられる。ただし、この時の精錬鍛冶に供した鉄塊は、鉱石系か砂鉄系かのその判定は微妙である。現在のところ滋賀県下では、砂鉄製錬滓は未検出で、鉱石製錬滓が主体である。しかし、能登瀬遺跡採取鉄滓は精錬鍛冶滓に分類されるが、二酸化チタン (TiO₂) が0.72%とやや高目含有で、砂

鉄系にとってもおかしくない数値である。炉材粘土らに起因するチタン分が、砂鉄系鉄塊が今後の研究課題になってくる。

最後に樋口清之氏の問題とした製鉄原料中のマンガン (Mn) 含有量にふれておく。Table 1 に鉱石系と砂鉄系の製錬滓の成分値を記載している様に、両者ともに小数1桁目の含有量であり、鍛冶滓になるとその値は小さくなる。製錬滓と鍛冶滓の相違、また地域差が大きく影響するので、^{註4} マンガン含有量のみで鉱石か砂鉄かの分類判定は危険である。福岡県の糸島半島^{ふぞん}賦存の砂鉄は、列島内でも特有の低チタン系成分であり、この種の製錬鉄塊を鍛冶した場合は、二酸化チタンはほとんど残留せず鉱石系と間違えやすい。福岡県^{さくわら}早良郡壱岐村及び糸島郡芥屋村^{けや}新町裏畑出土鉄滓は、^{註5} 砂鉄系鍛冶滓とみるべきであろう。

註

1 Photo 1

2 樋口清之「古代湖北の鉄文化」『歴史』第9号 滋賀県立長浜北高等学校歴史部 1961

3 伊香郡木之本町古橋所在の製鉄遺跡、6世紀後半～7世紀初頭に比定される。これまでの発掘例としては古い事例に属する。古橋遺跡の発見により、列島内では鉱石製錬と砂鉄製錬がほぼ同時期に並ぶ様相を呈している。

古橋遺跡出土の調査鉄滓は、S. 60. 4. 19に発掘担当者の丸山竜平氏に現地において提供して頂いたものである。

4 大澤正巳「古墳出土鉄滓からみた古代製鉄」『日本製鉄史論』たたら研究会編 1983 第6表の古墳出土鉄滓の化学分析結果参照。岡山県津山市の鉄滓は、砂鉄・鉱石両系においてもMnOとして2.5～4.07%を含有する。

5 樋口清之氏前掲書2。倭国一氏文献引用鉄滓。