

益田市上久々茂土居跡遺跡出土
鉄滓・鉄釘の金属学的調査

平成5年3月

調査委員会

上久々茂土居跡は益田市久々茂町に位置し、古くから広島県などへの交通の要衝の地であった。同地では一般国道191号建設の予定敷地内において、事前発掘調査が島根県教育委員会によって行われた。

遺跡の年代は不明なるも奈良時代の須恵器や中世（14～16世紀）の土師質土器などが出土している。土坑内から出土した鉄滓および鉄器について分析の依頼があったので、その結果と若干の考察を加えたので併せて報告する。

1. 資 料

資料の明細および外観を表1、写真1～4に示す。

表1 資料の明細

番号	名 称	明 細	重 量 (g)
No. 1	Ⅱ区SK39鉄滓	厚み約80mm、幅約80mm、長さ約110mmの大きさと、やや黒色小さな気泡があって軽い感じのもの	850
No. 2	Ⅱ区SK46鉄滓	厚み約20mm、幅約55mm、長さ約80mmの大きさと、底面側は碗形、上面は小さな凹凸状で、表面はやや赤味。	180
No. 3	Ⅱ区SK46焼土 (930922)	表面の骨材が固く焼き締まっている。骨材はSiO ₂ 系のようである。厚み約30mm、幅約60mm、長さ約60mm	130
No. 4	Ⅱ区SK49鉄釘	約10mmφで長さ約55mm、色は鉄錆び状のもの	17

2. 化学組成

各資料から試料を採取したが、特に資料No.4鉄釘は図1に示す位置より採取し、化学分析を行った。各資料の化学組成を表2に示す。このうち炭素および硫酸は刺場製作所EMIA-1200型C・S同時定量装置による赤外線吸収法により、その他の元素は島津製作所高周波誘導プラズマ発光分光分析装置（ICPV-1012型）により定量した。



図1 分析試料及びマイクロ組織試料採取位置

3. 顕微鏡組織

資料の顕微鏡組織を写真5～9に示す。

資料No.1, No.2鉄滓はファイヤライト, ヴスタイトの結晶が主体である。

資料No.4の鉄釘は写真7に示すC量の低い部分と写真8に示すC量の高い部分が認められる。

また同資料の介在物を写真9に示すが延びは少ないようである。

写真10に鉄釘のX線写真を示すが角形釘であった。

表2 各種資料の化学組成 (重量 %)

	C	SiO ₂	MnO	P	S	Ni	Cr ₂ O ₃	Na	K	CaO
No. 1 Ⅱ区SK39鉄滓	0.13	20.86	0.20	0.12	0.034	0.01	0.03	0.19	0.57	1.30
No. 2 Ⅱ区SK46筒形鉄滓	0.17	16.80	0.05	0.19	0.027	0.01	0.02	0.14	0.11	0.51
No. 3 Ⅱ区SK46焼土	0.17	58.30	0.10	0.089	0.007	0.01	0.02	0.32	3.56	0.10
No. 5 SK49付近の上(白)	1.16	54.25		0.85	0.007			0.66	1.07	0.40
No. 6 SK49付近の土(黒)	1.18	57.83		0.078	0.009			0.63	1.08	0.36

	MgO	V ₂ O ₅	TiO ₂	Cu	Al ₂ O ₃	T.Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	M.Fe
No. 1 Ⅱ区SK39鉄滓	0.87	0.093	0.66	0.01	6.50	43.11	40.70	16.53	0.35
No. 2 Ⅱ区SK46筒形鉄滓	0.30	0.021	0.06	0.01	3.81	51.86	58.82	28.96	0.64
No. 3 Ⅱ区SK46焼土	0.41	0.026	0.20	0.01	19.31	2.80	1.20	2.67	0.05
No. 5 SK49付近の土(白)	0.91	0.025	0.33		17.81	2.98			
No. 6 SK49付近の土(黒)	0.91	0.025	0.33		17.98	2.96			

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Zr	Ce	Ca
No. 4 鉄釘	0.20	0.03	<0.01	0.050	0.011	0.007	<0.01	<0.01	<0.01	0.006

	Mg	V	Co	Cu	Al	Ti	Sn	As	T.Fe
No. 4 鉄釘	0.002	0.005	0.005	<0.01	0.010	0.005	0.002	0.002	77.94

4. 構成相の解析

前項で観察した試料を用い、走査型電子顕微鏡 (SEM) による微細組織の観察ならびにEDX (エネルギー分散型X線分析) による局所的な定性分析をまた粉砕試料を用いてX線回折を行い構成結晶の同定を行った。

結果を写真11～15に示す。またこれらの結果を総括し、各資料の構成相を示すと表3のようになる。



写真1 資料No. 1 Ⅱ区SK39鉄滓の外観



写真2 資料No. 2 Ⅱ区SK46鉄滓の外観

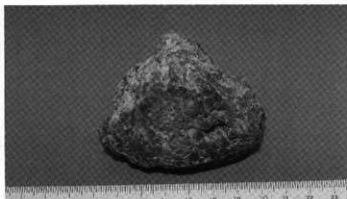


写真3 資料No. 3 Ⅱ区SK46焼土の外観

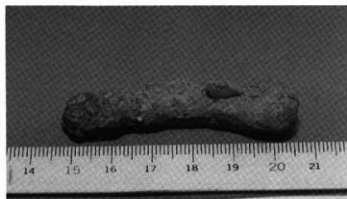


写真4 資料No. 4 Ⅱ区SK49鉄釘の外観

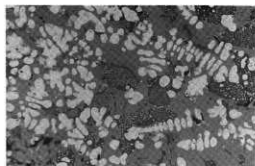


写真5 資料No. 1 II区SK39鉄粉(×100)
白色の小豆状結晶はヴスタイト
淡灰色の板状結晶はファイヤライト

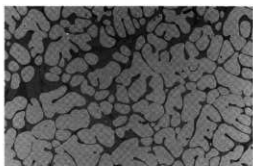


写真6 資料No. 2 II区SK46鉄粉(×100)
白色結晶はヴスタイト
淡灰色の板状結晶はファイヤライト

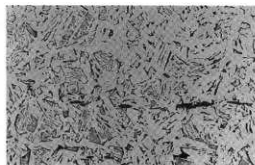


写真7 資料No. 4 II区SK49鉄釘(×100)
白色結晶はファイヤライト 5%ピクリン酸アルコール腐食
小さな黒色部はパーライト
延びた黒色の綿状物は介在物

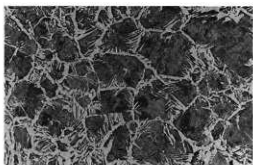


写真8 資料No. 4 II区SK49鉄釘(×100)
白色の網状結晶はフェライト 5%ピクリン酸アルコール腐食
黒色部はパーライト



写真9 資料No. 4 鉄釘 無腐食(×100)
延びた黒色物は介在物



写真10 資料No. 4 II区SK49鉄釘
X線写真角形釘であった

表3 資料のX線回折による相解析

番号	資料名	ファイヤライト Fe ₂ SiO ₄	ヴスタイト FeO	マグネタイト Fe ₃ O ₄	ゲーサイト FeO(OH)	基地 (ガラス質)
No. 1	Ⅱ区SK39鉄滓	◎	◎	◎	○	Si-K-Al-Fe
No. 2	Ⅱ区SK46鉄滓	◎	◎			Si-Fe-K-Al-Ca-P-Na

注: ◎: 多い, ○: あり, △: 少ない

5. 考 察

大沢正巳氏が調査された古墳出土鉄滓の化学組成, 構成相に本鉄滓との比較を表4に示す。

表4により, 資料が製錬滓か鍛冶滓か, あるいは使用原料が砂鉄か鉱石(岩鉄)かについて考察してみる。

(1) 資料No.1について

鉄分が43.11%とやや高く, 造滓成分29.53と多いが, 構成組織をみると, ヴスタイト+ファイヤライトが主であることとTiO₂が0.66%と低いことから, 製錬滓ではなく, 鍛冶滓と判断される。また鍛錬鍛冶滓にしては鉄分低く, 造滓成分多いことから鍛錬鍛冶滓ではなく精錬鍛冶滓と判断される。

表4 資料の化学組成および構成相の比較

名 称		化 学 組 成 (重 量 %)				構 成 相
		造成分	TiO ₂	V	T.Fe	
製 錬 滓 (砂 鉄)	福岡地方	16.8 ~39.8	1.1 ~ 8.2	0.006 ~ 0.576	37.5 ~57.6	W+F, W+M+F, M+F
"	岡山地方	17.1 ~25.9	5.03 ~19.8	0.02 ~ 0.18	32.1 ~41.8	M+F, U+I+F
鉱 石 系 製 錬 滓		44.5 ~54.9	0.35 ~ 0.57	0.007 ~ 0.010	27.5 ~38.0	F+(^W _M)微量
精 錬 鍛 冶 滓 (砂 鉄 系)	福岡地方	21.0 ~33.5	0.22 ~ 0.9	0.009 ~ 0.010	49.1 ~55.6	W+F
"	岡山地方	21.4	5.6	0.12	51.7	W+M+F
鍛 錬 鍛 冶 滓 (砂 鉄 系)	福岡地方	10.1 ~12.6	0.1 ~ 0.7	0.013 ~ 0.288	62.2 ~64.0	W+F
"	岡山地方	7.52	0.06 ~ 0.19	0.06	50.1 ~64.0	W+F
No. 1 Ⅱ区 SK39 鉄 滓	益 山 市	29.53	0.66	0.052	43.11	W+F+M+G
No. 2 Ⅱ区 SK46 梔 形 滓	"	21.42	0.06	0.0118	51.86	W+F

注: 造滓成分 (SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO)

W: Wustite, F: Fayalite, M: Magnetite, U: Ulvospinel,

I: Ilmenite, G: Goethite

(2) 資料№2について

鉄分51.86%と高く、造滓成分21.42はやや多いが、構成組織はヴスタイト+ファイヤライトが主であり、写真6および写真13のSEM像にヴスタイト量が極めて多いこと。また表5鳥上作刀鍛錬場の鍛錬鍛冶滓の造滓成分量を見ると鍛錬方法によっては鍛錬鍛冶滓でも高いことが認められることから資料№2は精錬鍛冶滓ではなく鍛錬鍛冶滓の可能性が大きいと推定される。

表5 鳥上作刀鍛錬場鉄滓の化学組成と鉱物組織のまとめ

組成	種別	玉へし滓	4回 鍛錬滓	8回 鍛錬滓	12回 鍛錬滓	造り鍛え 鍛錬滓
化学 組成	全鉄分(T, Fe)	60.14	62.08	59.65	57.41	60.34
	造滓成分	18.57	18.80	21.07	22.21	24.10
	二酸化チタン(TiO ₂)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.28
	バナジウム(V)	0.034	0.022	0.016	0.0080	0.008
主な鉱物組成		W+F +αFe	W+F+M +αFe	W+F+M +αFe	W+F +αFe	W+F +αFe

注：造滓成分 (SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO)

(3) 使用原料は砂鉄か鉱石か

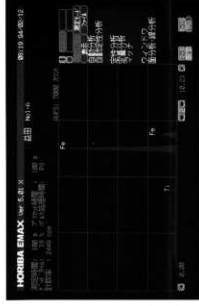
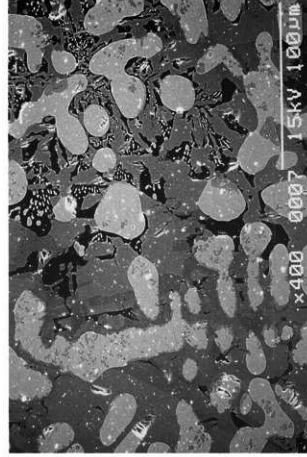
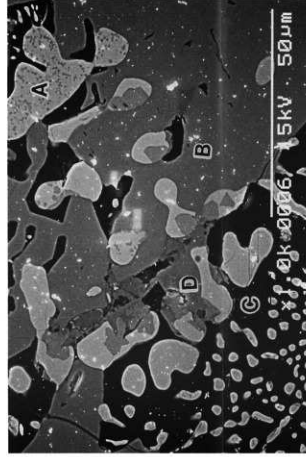
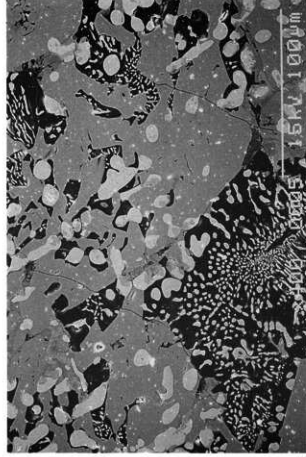
使用原料を区別する指標となるものはTi、V量である。表4より砂鉄を原料とした精錬鍛冶滓 [TiO₂]/[Fe] の比を求めると、0.01~0.11であるのに対し、本資料を№1は0.0153と高く、また、砂鉄系精錬鍛冶における [V]/[Fe] の値を求めると、福岡で0.0012、岡山で0.0023となる。一方本資料№1は0.00121と高い。また、資料№1のEDX分析ではTiO₂量3.12%が検出されていることから資料№1の原料は砂鉄系と判断される。

また同じように鍛錬鍛冶滓の [TiO₂]/[Fe] 比を求めると、0.00233~0.00475であり、資料№2は0.00116と低く、[V]/[Fe] 比では0.00116~0.00207に対し資料№2は0.00023と低い、またEDX分析では全くTiO₂化合物が検出されていないことから資料№2の原料は鉱石系と判断される。

(4) 資料№3 焼土について

炉壁と思われる資料の化学組成と従来調査した釜土の組成比較を表6に示す。

組成的にみると、本資料焼土は近代たたら釜土よりSiO₂は低く、Al₂O₃量がやや多めであることから、製錬用の炉壁ではなく鍛冶炉用炉壁と推定される。また付近の土と同一程度の組成であることから、手近な土を用いて火床が造られたものと推定される。



A部 グスタイト
EDS分析結果 (標準 No.)
Ti : 51.12% (Ox : 0.12%)
O : 48.88%



B部 ファイバーグラス



C部 炭素



D部

写真11 資料No. 1のSEM像とEDX分析

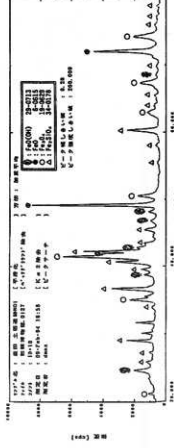
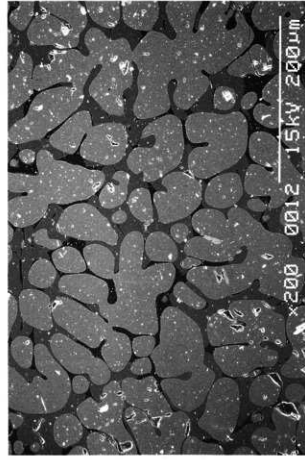
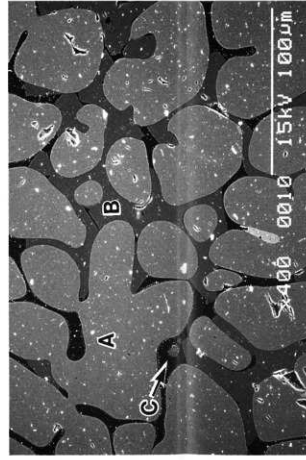


写真12 資料No. 1のX線回折像



A部 ヴァスライト



B部 ファイヤライト



C部 基底

写真13 資料No. 2のSEM像とEDX分析

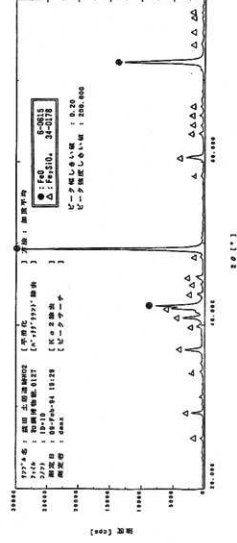
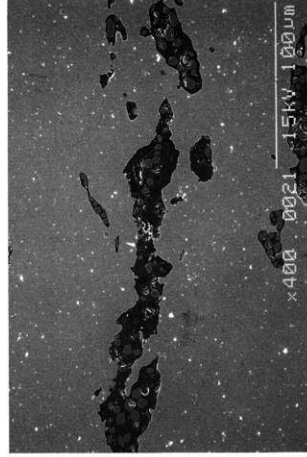
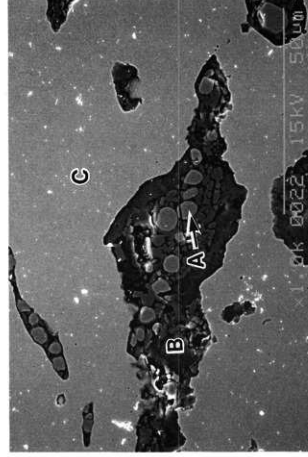


写真14 資料No. 2のX線回折像



A部 ガスサイト
EDS分析結果 (重量%)
Ti: 0.74% (TiO₂: 1.25%)
O: 76.78%
C: 22.48%



B部 ファイヤライト



C部 金属部

写真15 資料No. 4 のSEM像とEDX分析

表6 各種土の化学組成の比較 (重量%)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	T.Fe
No. 3 Ⅱ区SK46粘土	58.30	19.31	0.20	0.10	0.41	2.80
No. 6 SK49付近の土(黒)	57.83	17.98	0.33	0.36	0.91	2.96
朝波炉元釜土(4)	65.59	18.63	—	0.23	Tr	3.37
石見国備谷炉元 釜土(4)	67.16	14.91	—	0.03	Tr	1.91
靖国たたら釜土(5)	68.54	13.12	—	0.25	0.26	3.10
日本鉄鋼協会 復元たたら釜土(6)	64.44	13.60	--	0.20	0.38	2.83
島上作刀鍛錬場 火床羽口取付粘土(7)	54.28	19.10	0.89	1.17	1.33	4.62
庄原市期清遺跡 鍛冶炉壁(8)	55.30	19.13	0.14	1.00	0.95	7.07

- 注 (4) 徳 国 : 古来の砂鉄精錬法, 丸善 1933
 (5) 小塚 寿吉 : 日本古来の砂鉄精錬法 "たたら" について 鉄と鋼第52年12号
 (6) 日本鉄鋼協会 : たたら製鉄の復元とその鑛について 昭和46年2月27日
 (7) 和鋼記念館 : 島上作刀鍛錬場鍛冶炉の調査 昭和63年6月30日
 (8) 和鋼記念館 : 庄原市期清遺跡出土鉄滓の調査 平成5年1月13日

(5) 資料No4 鉄釘について

本資料鉄釘はC量0.20%と低い、顕微鏡組織写真7, 8をみるとC量の異なる組織が認められ均一ではない。またフェライト・パーライト組織であることとピッカース硬度が表7に示す如く142~192と低く焼入処理は行われていなかったものと判断する。写真9の介在物の伸びが少ないことから鍛造比は少なかったものと推定される。

本資料の原料は砂鉄か鉱石かを判断する指標となる元素はTiおよびVである。Ti, Vを多く含む砂鉄を原料とする鉄には平均でTi:0.02%, V:0.01%を含んでいるが、Ti量は製錬条件により異なり0.001~0.08%の間にはばらつく⁽³⁾。本資料の場合、写真15に示す介在物のEDX分析の結果TiO₂量1.23%が検出された。砂鉄製錬の証となるウルボスピネルは検出されなかったが、TiO₂がかなり多く検出されたことによって、砂鉄系原料による可能性が高いものと推定される。

表7 硬度測定 (Hv 300gf)

1	2	3
142	156	192

6. 結 言

益田市上久々茂土居跡遺跡出土鉄滓および鉄釘について化学組成ならびに組織の調査を行った。結果を要約すると次の通りである。

- (1) 資料No 1 鉄滓は砂鉄系原料を用いた鍛錬鍛冶滓と推定される。
- (2) 資料No 2 鉄滓は鉱石系原料を用いた鍛錬鍛冶滓と推定される。
- (3) 資料No 3 焼土は鍛冶炉用炉壁と推定される。
- (4) 資料No 4 鉄釘は砂鉄を原料とした鉄素材が用いられたものと推定される。

以上の調査は鳥根県教育委員会の依頼により、調査は日立金属株式会社冶金研究所で実施し、日立金属テクノクス清永取締役にご指導を賜った。

参 考 文 献

- (1) 大沢正己：古代出土鉄滓からみた古代製鉄，日本製鉄史論集119P（たたら研究会1984）
- (2) 和鋼記念館：大成遺跡出土鉄滓及び鉄器の調査 昭和63年6月15日
- (3) 和鋼記念館：庄原市則清遺跡出土鉄滓の調査 平成5年1月13日

（和鋼博物館 佐藤 豊）

小冊子は、鳥根県教育委員会が上久々土居跡出土の鉄滓や鉄釘などを、平成5年11月に和鋼博物館へ分析依頼した結果報告である。

この分析については和鋼博物館副館長・佐藤 豊氏にお願いした。

なお、同遺跡の調査報告書は、別途刊行されている。