

古代近江製鉄関連遺物の自然科学的研究

高塚秀治¹⁾・片桐麻希子²⁾・斉藤 努³⁾

1. はじめに

1985年、滋賀県伊香郡木之本町古橋地区において遺跡の発掘調査が行なわれた。発掘の主体者は滋賀県教育委員会、木之本町教育委員会であり、筆者らもこの発掘調査に立ち会うことができた。調査された遺跡は製鉄遺跡であり、判出した土器が6世紀末～7世紀初頭のものであることから、古橋遺跡がわが国最古に属する製鉄遺跡であることが判明した¹⁾。こうした経緯により、古橋遺跡はわが国初期製鉄の形態を知る上でも貴重な製鉄遺跡であり、全国的にも注目される遺跡の1つとなっている。

古橋遺跡に代表されるように、古代の近江では盛んに製鉄が行われていたようであり、史書などの文献には製鉄に関する記述が散見できる。たとえば、『日本書紀』には、「是歳、水碓を造りて鉄治す」とあり、また、『続日本記』に「鉄穴を志紀王に賜う」、「鉄穴を有勢者が独占するを禁ず」、「浅井高嶋二郡の鉄穴を恵美押勝に賜う」など鉄鉱山に関連した記述も見うけられる。

一方、製鉄遺跡、鉄滓分布地は湖北の伊吹山系、金龔岳山麓を始め、湖西から湖南にかけて広く分布しており、現在までに総計80ヶ所近くが確認されている。中でも代表的な製鉄遺跡として古橋（6世紀末～7世紀初頭）（丸山龍平：1986）、南郷桜峠（7世紀前半）（高塚秀治：1988）、源内峠（7世紀後半）（桂ほか：1988）、野路小野山（8世紀）（桂ほか：1988）、北マキノ（8世紀）製鉄遺跡（森浩一：1971）などがよく知られている。滋賀県下でこれまで発掘されている製鉄遺跡においては、原料として砂鉄が使用された例はなく、製鉄のすべては鉄鉱石を用いて行われていた。これは、古代近江における製鉄の大きな特色である。

古代近江の製鉄に関する原初的な研究は、文献史学からは原島礼二、考古学は森浩一によって行なわれた。森は1971年に北マキノ遺跡の概要について発表し、北マキノの製鉄に鉄鉱石が使用されていたことを明らかにした（森浩一：1971）。また、原は律令体制下における近江国、播磨国からは鉄が調・庸として納入されていた形跡がないことに注目し、畿内の主要な鉄産出国では、製鉄品を租税としてでなく、もっぱら交易品として流通させていた可能性があると指摘している（原島礼二：1974）。

その後、丸山龍平は考古学の立場から滋賀県下全域について調査を行い、滋賀県下製鉄遺跡の所在を明らかにし、製鉄関連の遺物の分析を行った。また、古代近江における製鉄の主体者として、渡来

¹⁾ 東京工業大学大学院社会理工学研究科 〒152-0033 東京都目黒区大岡山2-12-1

²⁾ ㈱いすゞセラミックス研究所 〒252-8501 神奈川県藤沢市土棚8番地

³⁾ 国立歴史民俗博物館情報資料研究部 〒285-0017 千葉県佐倉市城内町117番地

人（和邇氏）が深く関わっていたことを示唆している（丸山龍平：1984）。

われわれは、これまでに古代近江製鉄遺跡について自然科学的な調査を行ない、解析を加えてきた。その結果、湖南と湖北に出土した鉄滓の分析結果から、両地域で使用された鉱石原料には、基本的な相違が認められることを指摘した。

本論文は、従来より行なってきた滋賀県下の製鉄遺跡に関する研究上の成果を基礎とし、滋賀県下の全域調査で得られた製鉄関連資料の分析結果をまとめ、考察をおこなったものである。

2. 試料について

調査を行なった製鉄遺跡、および鉄滓分布地は湖北地域の古橋、北マキノ、湖東地域の鶴川、オクピ山、谷ノ口、山田地蔵谷、後山畦倉、賊山北川、念仏山弁天神社、二口、湖南地域の南郷桜峠、源内峠、野路小野山、木瓜原の計15遺跡である。また、これら各遺跡から分析用資料として鉄滓65点、鉄鉱石4点および炉壁10点を採取し、以下の分析を行った。Table 1 に試料採取を行った遺跡についてまとめ、Fig. 1 に分布図を示した。

表1 遺跡一覧
Table 1 Ruins list

地域	遺跡名	所在地	時代
湖北	古橋	伊香郡木之元町	6世紀末～7世紀初頭
	北マキノ	高島郡北マキノ町	8世紀代
湖西	鶴川	高島郡高島町	
	オクピ山	志賀郡志賀町	
	谷ノ口	志賀郡志賀町	
	山田地蔵谷	志賀郡志賀町	
	後山畦倉	志賀郡志賀町	
	賊山北川	志賀郡志賀町	
	念仏山弁天神社	志賀郡志賀町	
	二口	志賀郡志賀町	
湖南	木瓜原	草津市	8世紀後半
	野路小野山	草津市	8世紀後半
	南郷桜峠	大津市	8世紀中葉
	源内峠	大津市	8世紀前半

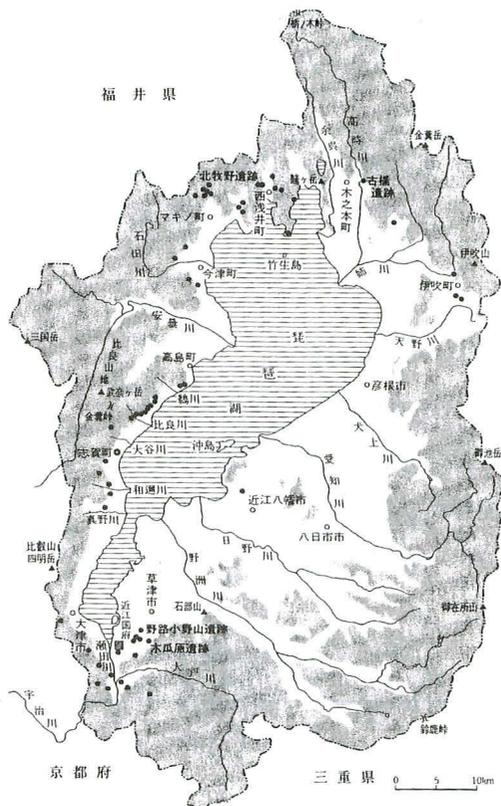


図1 滋賀県下の製鉄関連遺跡分布図
Fig.1 Distribution of iron-manufacturing ruins in Shiga prefecture.

3. 分析法

3-1. X線マイクロアナライザ付走査型電子顕微鏡分析法

電子顕微鏡の像観察を行うため、鉄滓資料をダイヤモンドカッターで分析箇所を切出し樹脂に埋包した後、ダイヤモンドペーストで試料面の鏡面研磨を施した。試料面については、走査型電子顕微鏡で反射電子像による観察を行った。さらに、低倍率(×10程度)に設定し資料面をX線マイクロアナライザの機能により、主成分組成の迅速測定を行った。分析を行なった元素はSi, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, K, Pの9元素である。使用した機器は日本電子社製走査型電子顕微鏡(JSM-820)および、Philips社製X線分析装置(PV-9550)である。

ただし、古橋、南郷桜峠、源内峠、野路小野山遺跡の資料については、蛍光X線分析法を用い、上記9元素の分析を行った。

3-2. X線回折分析法

全試料から代表的と判断される3点の試料を選び(4-2参照)、水、アルコールでよく超音波洗浄した後メノウ乳鉢で微粉末とした。3点の試料については、X線回折分析法によって結晶鉱物の回

定を行った。使用した機器は Philips 社製 X 線回折分析装置 (PW-1700) である。

3-3. 熱分析法

X 線回折分析をおこなった 3 点の資料について、熱分析法により、示差熱分析 (DTA : Differential Thermal Analysis) を行った。使用した機器は島津製作所製熱分析装置 (DTG-50 H) である。

4. 分析結果

4-1. X 線マイクロアナライザー付走査型電子顕微鏡分析結果

鉄滓、鉄鉱石および炉壁の化学分析結果を Table. 2 ~ 4 に示す。鉄滓の分析値からリン (P)、およびカルシウム (Ca) 2 種の元素成分濃度に着目し、それらがどのように分布するのかを Fig. 1 に示した。Fig. 1 から湖南の南郷桜峠、源内峠、二口、および鶴川遺跡のものには正の相関が認められた。

表 2 鉄滓の化学組成 (wt%)
Table 2 Chemical compositions of the iron slag in Shiga pref (%)

Ruins 遺跡名	Sample No. 資料番号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅
(Furuhasi) 古 橋	HRH01	16.21	0.45	4.25	75.42	0.40	1.43	0.93	0.83	0.09
	HRH02	18.47	0.40	5.22	71.93	0.36	1.48	1.32	0.71	0.11
	HRH03	16.63	0.65	5.47	73.19	0.47	1.43	1.30	0.76	0.10
	HRH04	19.41	0.46	6.05	68.90	0.47	1.43	2.12	1.04	0.13
	HRH05	21.34	0.39	5.69	65.82	0.51	1.93	2.75	1.41	0.16
	HRH06	16.41	0.52	4.55	74.18	0.51	1.39	1.57	0.79	0.09
	HRH07	18.08	0.67	6.18	70.61	0.47	1.44	1.51	0.87	0.17
	HRH08	26.47	0.82	8.92	57.46	0.67	1.73	2.47	1.30	0.16
	HRH09	9.79	0.39	2.46	83.75	0.46	1.53	1.08	0.47	0.07
(Kitamakino) 北マキノ	KMK01	29.09	0.54	8.10	55.88	0.30	0.71	3.35	1.62	0.41
	KMK02	29.92	0.59	8.18	53.39	0.34	0.69	4.59	1.79	0.52
	KMK03	28.37	0.45	8.44	52.63	0.29	1.00	5.97	2.24	0.60
	KMK04	31.06	0.55	8.76	52.77	0.37	0.52	3.79	1.84	0.35
	KMK05	27.27	0.47	7.72	52.37	0.28	2.98	6.96	1.47	0.47
(Okubiyama) オクビ山 (ukawa) 鶴 川	OKB01	29.93	0.28	8.03	50.49	0.47	2.15	6.16	1.90	0.59
	OKB02	30.73	0.59	9.35	51.82	0.43	1.48	2.88	2.30	0.44
	UKW01	30.24	0.38	7.76	50.32	0.32	1.86	6.59	1.23	1.32
	UKW04	29.54	0.26	8.54	53.14	0.40	0.78	3.92	1.84	1.57
	UKW05	27.23	0.14	5.33	52.74	0.50	0.77	9.45	1.28	2.55
(Taninokuchi-A) 谷ノ口A	TKA01	29.12	0.12	7.71	51.25	0.41	0.66	6.30	1.82	2.59
	TKA02	30.42	0.22	7.78	48.71	0.46	0.89	6.88	1.61	2.96
	TKA03	30.16	0.16	7.61	49.54	0.45	0.54	6.95	1.93	2.66
(Taninokuchi-B) 谷ノ口B	TKA01	30.47	0.28	5.48	49.96	0.51	2.42	8.91	1.49	0.47
	TKA02	30.04	0.38	4.92	50.67	0.63	2.87	8.80	1.26	0.44
(Yamada Jizoudani) 山田地蔵谷	YMJ01	37.60	0.14	7.51	37.25	0.43	1.33	10.90	1.76	3.01
	YMJ02	31.75	0.36	5.64	51.10	1.66	1.59	6.27	1.36	0.29
	YMJ03	31.21	0.16	7.09	54.12	2.17	0.12	1.92	2.63	0.57
	YMJ04	32.11	0.54	11.24	46.79	0.56	0.34	5.22	2.80	0.39
(Usiroyama Azekura) 後山畦倉	USY01	27.19	0.45	9.86	55.78	0.41	1.36	2.84	1.71	0.41
	USY02	29.85	0.27	4.57	50.41	0.67	1.95	11.07	0.83	0.37

Ruins 遺跡名	Sample No. 資料番号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅
(Sizuyama Kitakawa)	KTG01	25.67	0.77	9.98	57.27	0.58	1.99	1.94	1.54	0.25
賤山北川	KTG02	26.52	0.22	6.47	57.21	3.67	1.47	2.52	1.61	0.32
(Nenbutuyama Bentenjinja)	NEB01	32.30	0.33	9.14	51.21	0.33	0.41	3.79	1.96	0.52
念仏山弁天神社										
(Futakuchi)	HTK02	35.03	0.47	11.63	39.46	0.30	0.64	7.63	1.46	3.98
二口	HTK03	30.96	0.39	9.32	45.03	0.29	0.80	7.63	1.46	3.86
(Bokebara)	BKW01	29.60	0.53	7.26	53.89	0.33	0.54	5.12	1.18	1.55
木瓜原	BKW02	35.34	0.45	6.05	50.86	2.79	0.24	2.67	1.41	0.20
	BKW03	33.98	0.64	6.92	51.18	0.85	0.52	4.37	1.33	0.22
	BKW04	35.02	0.26	5.13	50.96	2.13	0.19	4.25	1.27	0.80
	BKW05	29.52	0.59	7.39	55.01	0.33	0.52	4.18	1.03	1.35
(Nojionoyama)	NOJ01	16.21	0.45	4.25	75.42	0.40	1.43	0.93	0.83	0.09
野路小野山	NOJ02	18.47	0.40	5.22	71.93	0.36	1.48	1.32	0.71	0.11
	NOJ03	16.63	0.65	5.47	73.19	0.47	1.43	1.30	0.76	0.10
	NOJ04	19.41	0.46	6.05	68.90	0.47	1.43	2.12	1.04	0.13
	NOJ05	21.34	0.39	5.69	65.82	0.51	1.93	2.75	1.41	0.16
	NOJ06	16.41	0.52	4.55	74.18	0.51	1.39	1.57	0.79	0.09
	NOJ07	18.08	0.67	6.18	70.61	0.47	1.44	1.51	0.87	0.17
	NOJ08	26.47	0.82	8.92	57.46	0.67	1.73	2.47	1.30	0.16
	NOJ09	9.79	0.39	2.46	83.75	0.46	1.53	1.08	0.47	0.07
(Nango Sakuratoge)	NGS03	11.84	0.32	3.95	76.51	0.81	0.94	3.89	0.89	1.48
南郷桜峠	NGS04	4.38	0.15	0.94	91.70	0.08	0.36	1.64	0.00	0.75
	NGS05	26.92	0.55	7.52	49.15	0.22	1.94	10.22	1.34	2.14
	NGS06	26.25	0.24	4.83	55.29	0.19	1.25	7.81	1.96	2.18
	NGS07	8.68	0.21	2.02	84.52	0.10	0.58	2.64	0.21	1.04
	NGS08	5.55	0.00	1.57	91.87	0.02	0.01	0.52	0.19	0.27
	NGS09	5.40	0.10	1.57	90.27	0.02	0.73	1.15	0.08	0.68
	NGS10	26.35	0.31	6.61	55.97	0.09	1.09	6.51	1.33	1.74
	NGS11	24.24	0.21	4.92	60.21	0.12	0.97	5.41	1.70	2.22
	NGS12	28.54	0.23	6.09	53.13	0.14	1.14	6.55	1.91	2.27
	NGS13	25.47	0.21	4.99	59.43	0.17	0.97	5.48	1.61	1.67
	NGS14	24.40	0.21	4.43	60.45	0.19	0.98	5.43	1.71	2.20
	NGS15	17.02	0.28	5.18	66.19	0.22	1.62	6.41	0.79	2.29
	NGS16	26.37	0.24	5.96	56.57	0.23	1.03	6.39	1.38	1.83
	NGS17	25.37	0.21	4.95	58.91	0.20	1.10	5.54	1.51	2.21
(Gennaitoge)	GNT02	34.62	0.15	4.22	54.02	0.19	0.65	3.95	1.27	0.93
源内峠	GNT03	29.42	0.16	4.39	58.19	0.17	0.79	4.24	0.93	1.72
	GNT04	30.67	0.15	3.25	62.84	0.23	0.36	1.48	0.86	0.16
	GNT05	30.41	0.21	5.15	53.51	0.23	0.84	6.02	0.83	2.80

表3 鉄鉱石の化学組成 (wt%)
Table 3 Chemical compositions of the iron ore in Shiga pref (%)

Ruins 遺跡名	Sample No. 資料番号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅
(Ukawa)	UKW02	18.53	1.04	2.17	70.18	0.83	2.69	3.92	0.15	0.49
鶺川										
(Keisokuji)	KYK01	2.51	0.20	1.83	94.45	0.36	0.41	0.00	0.01	0.24
鶺足寺										
(Nango Sakuratoge)	NAG01	31.18	0.24	10.50	34.83	0.13	6.07	13.44	0.69	2.92
南郷桜峠	NAG02	1.60	0.01	0.40	94.29	0.05	0.25	2.20	0.01	1.18
(Gennaitoge)	GNT01	3.10	0.15	0.10	95.35	0.12	0.29	0.58	0.03	0.27
源内峠										

表4 炉壁の化学組成 (wt%)
Table 4 Chemical compositions of the iron manufacturing furnace in Shiga pref (%)

Ruins 遺跡名	Sample No. 資料番号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅
(Huruhasi) 古橋	HRH10	50.59	0.77	13.91	27.90	0.23	1.78	1.53	3.06	0.23
(Okubiyama) オクビ山	OKB01	59.80	0.32	18.92	13.93	0.10	0.10	1.28	5.70	0.36
	OKB02	61.12	0.33	17.06	15.17	0.13	0.41	1.10	4.63	0.05
	OKB03	56.54	0.36	5.70	20.27	0.13	0.08	1.34	5.01	0.59
	UKW03	60.65	0.22	21.50	11.68	0.15	0.23	1.07	4.36	0.14
(Yamada Jizoudani) 山田地蔵谷	YMJ05	80.32	0.12	12.60	2.67	0.12	0.00	0.14	3.96	0.07
(Nenbutuyama Bentenjinja) 念仏山弁天神社 (Futakuti) 二口	NEB02	62.62	1.11	16.99	14.61	0.25	0.52	1.14	2.32	0.43
	HTK01	67.99	1.04	16.93	8.29	0.25	0.79	1.46	2.92	0.34
(Nango Sakuratoge) 南郷桜峠	NAG18	70.18	0.51	21.53	3.79	0.02	0.52	0.21	3.21	0.03
	NAG19	73.13	0.51	19.14	3.44	0.02	0.51	0.21	3.04	0.03

Fig. 2 は湖北の古橋、北マキノ、オクビ山、後山畦倉、賊山、北川、念仏山弁天神社、野路小野山遺跡のもので、横軸に対して平行であった。

以下、上記の P - Ca 図中において湖南の特徴を持つグループを A 群、湖北の特徴を持つグループを B 群と呼称する。Fig. 4 は A 群、B 群双方の特徴を有する鉄滓で谷ノ口、山田地蔵谷、木瓜原遺跡のものである。

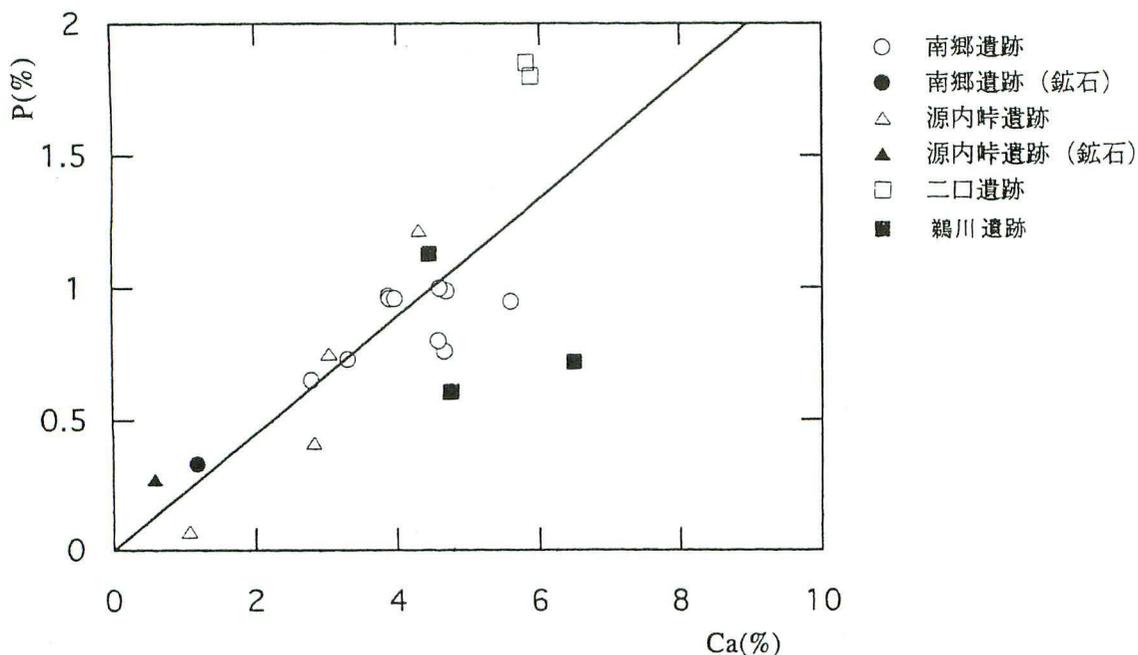


図2 Ca-p の分布図 (A群)
Fig.2 Relationship between Ca and P contents of slag and ore belonging to "A" grope.

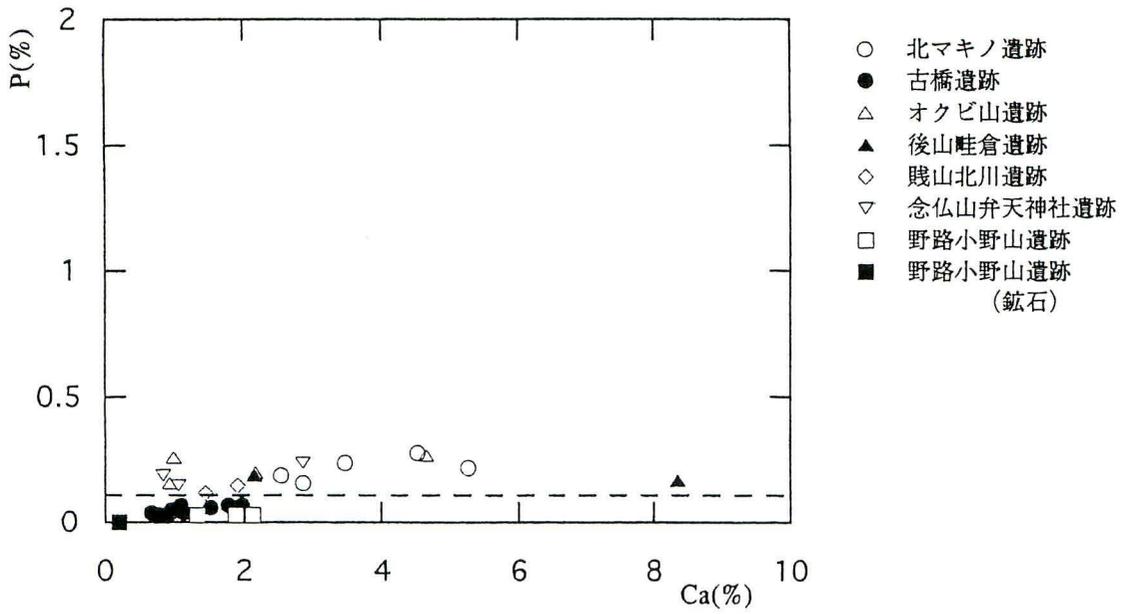


図3 Ca-p の分布図 (B群)
 Fig.3 Relationship between Ca and P contents of slag and ore belonging to "B" grope.

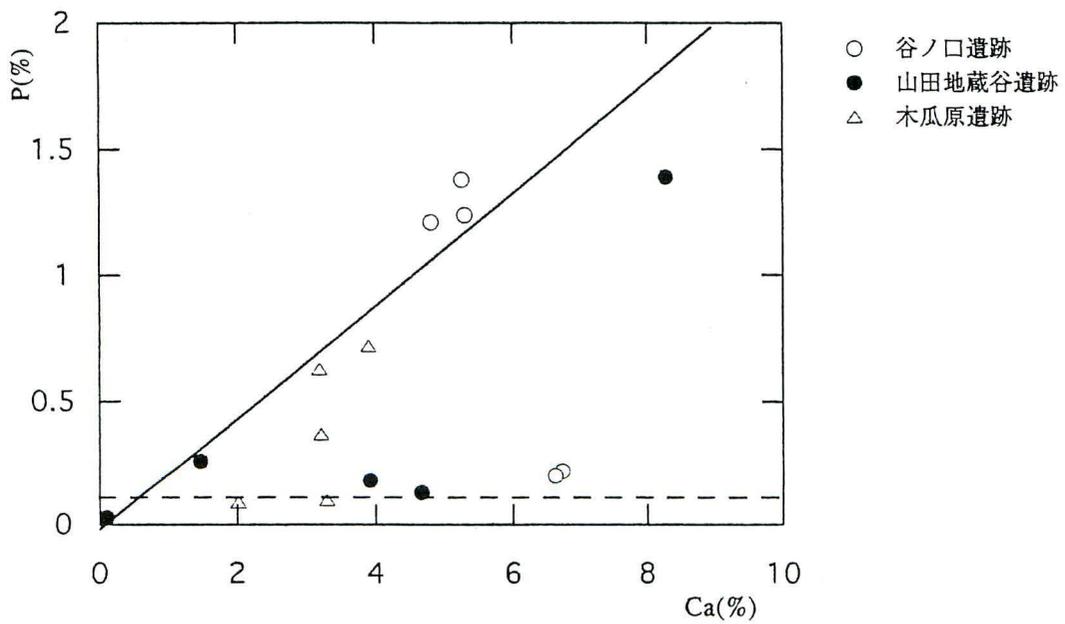


図4 Ca-p の分布図 (A+B群)
 Fig.4 Relationship between Ca and P contents of slag belonging to "A+B" grope.

4-2. X線回折分析法の結果

すべての鉄滓資料は走査型電子顕微鏡電子顕微鏡でマイクロ組織を観察し、資料面にあらわれた結晶鉱物をX線マイクロアナライザで化学分析をおこなった。また、3点の資料についてX線回折分析を行なった。走査型電子顕微鏡によるマイクロ組織観察および主成分組成分析の結果から、本研究で対象とした資料は、以下の3種に分類することができた。

1. 結晶鉱物はファヤライト、鉄酸化物（ウスタイトまたはマグネタイト）で、残部は非晶質部分である鉄滓資料。
2. 結晶鉱物はファヤライトと僅かに鉄酸化物（ウスタイトまたはマグネタイト）含むもので、残部はわずかな非晶質部分である鉄滓資料。
3. 非晶質中に燐あるいはカルシウム分を比較的多く含み、少量のファヤライト、鉄酸化物（ウスタイトまたはマグネタイト）からなる鉄滓資料。

その中の代表的な資料としてUKW01, JZT03, JZT01を選び、それぞれをPhoto.1～3とFig.5～7に示した。また、南郷桜峠遺跡の試料の走査型電子顕微鏡による反射電子像をPhoto.4, 矢印の部分をFig.8と9に示す。この試料は金属鉄と非晶質部分からなるものであるが、リンやカルシウムは非晶質部分に濃集し、金属鉄中からは検出されなかった。

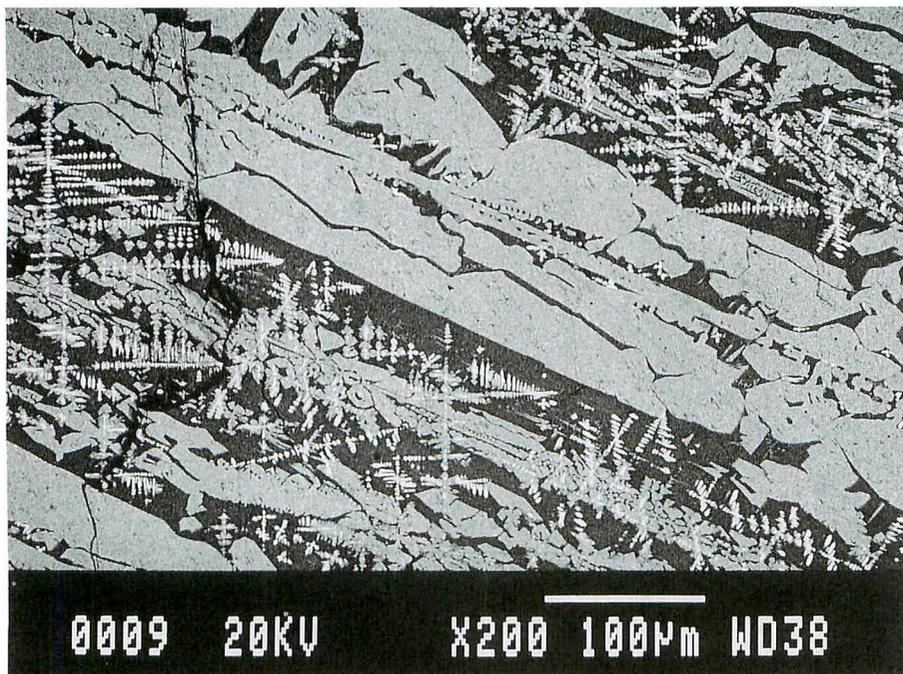


写真1 鶴川遺跡 (UKW-01) 出土鉄滓 (ファヤライト+酸化鉄)

Photo.1 Back scattered electron image of slag at Ukawa ruins, UKW01, (showing fayalite and iron oxide).



写真2 山田地蔵谷 (YMJ-03) 出土鉄滓 (ファヤライト+酸化鉄)
Photo.2 Back scattered electron image of slag at Yamada-Jizodani ruins, YMJ03,
(showing fayalite and iron oxide).

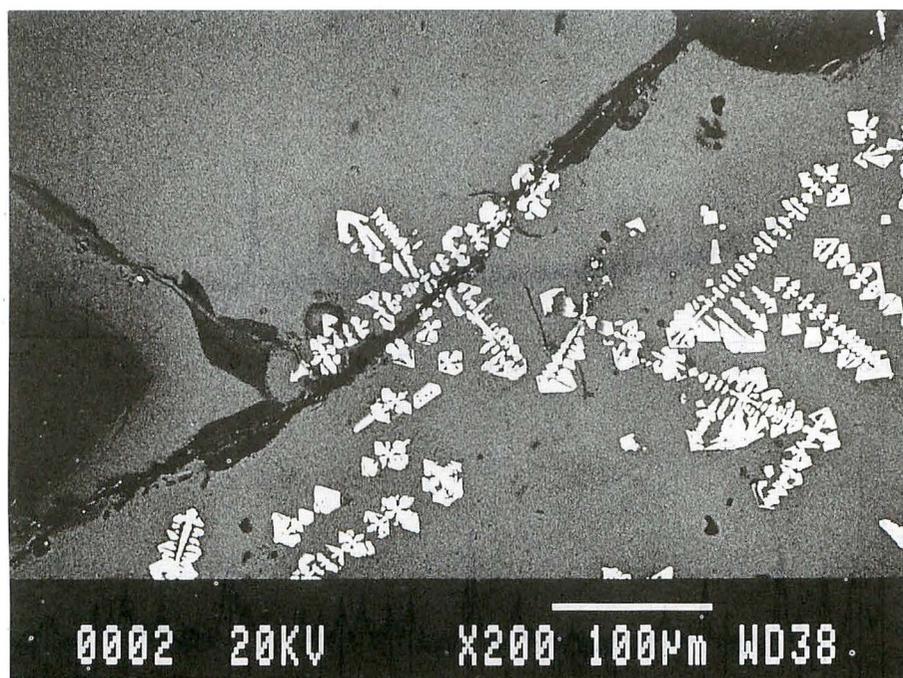


写真3 山田地蔵谷遺跡 (YMJ-07) 出土鉄滓
Photo.2 Back scattered electron image of slag at Yamada-Jizodani ruins, YMJ01,
(showing fayalite and iron oxide).

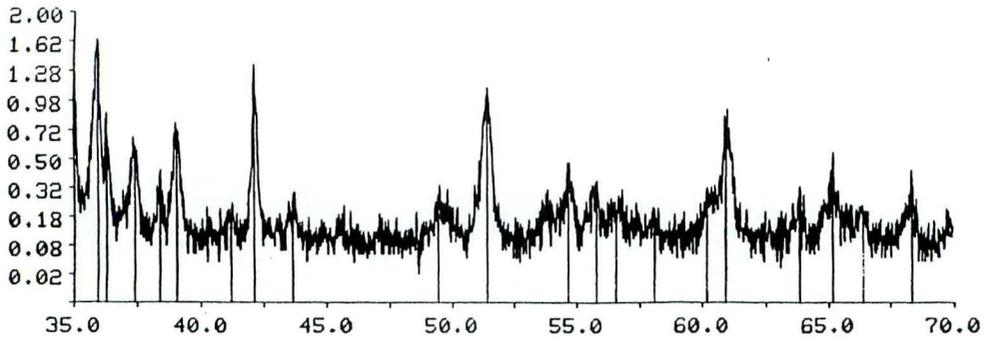
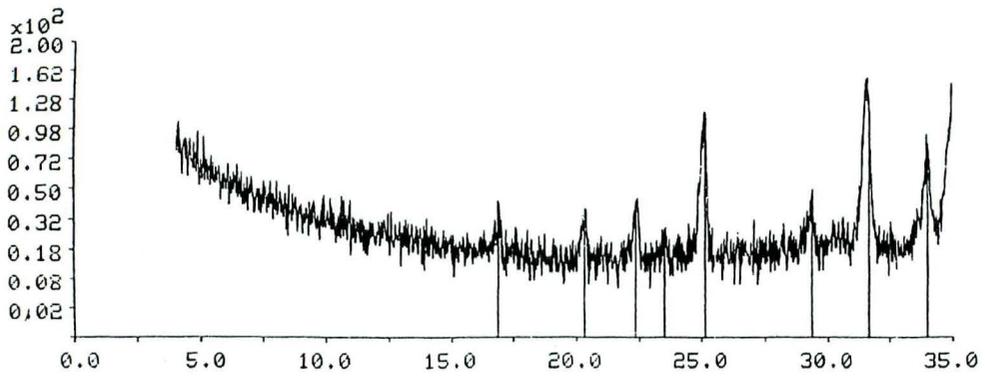


図5 鶴川遺跡 (UKW-01) のX線回折分析結果
 Fig. 5 Result of X-ray diffraction analysis of slag at Ukawa ruins, UKW01.

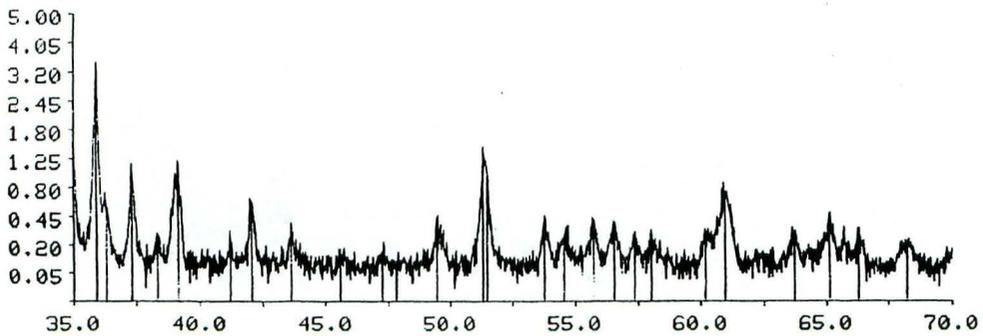
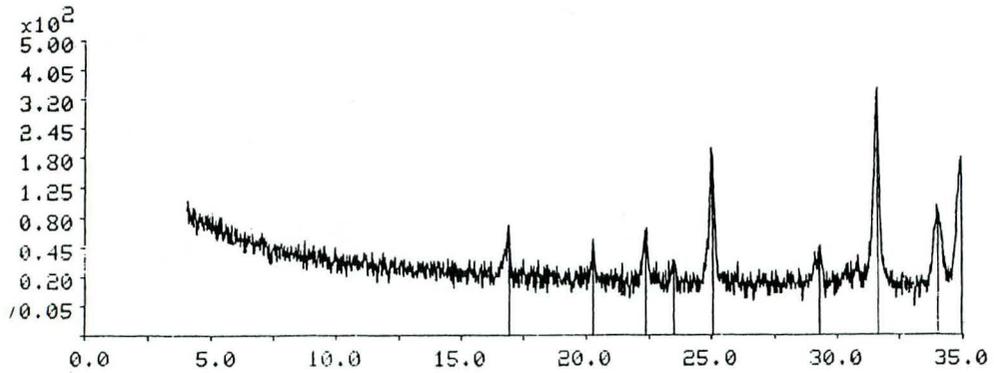


図6 山田地蔵谷 (YMJ-03) のX線回折分析結果
 Fig. 6 Result of X-ray diffraction analysis of slag at Yamada-J Izodani ruins, YMJ03.

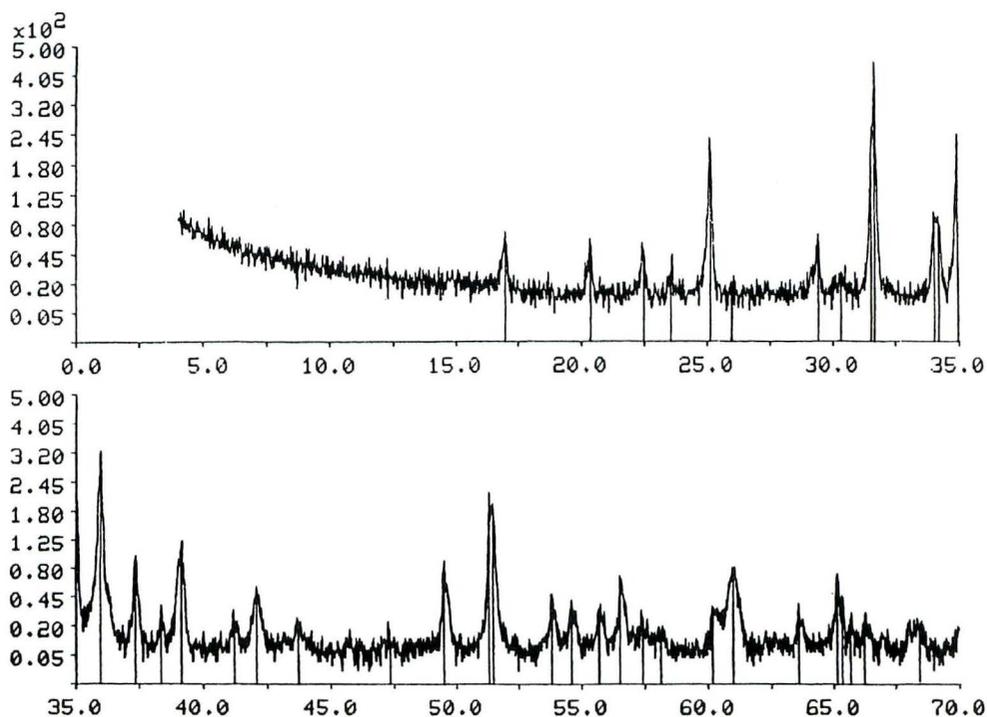


図7 山田地蔵谷 (YMJ-01) のX線回折分析結果
 Fig.7 Result of X-ray diffraction analysis of slag at Yamada-J Izodani ruins, YMJ01.

つぎに、X線回折分析の結果であるが、Fig.5, 6, 7に現れた回折ピークから、いずれの試料もファヤライトを主体としていることがわかるが、UKW01にはわずかにウスタイトを示すピークが認められた。他の資料からは鉄酸化物を示すピークは確認できなかった。

鉄鉱石の分析では、マグネタイト以外は検出されなかったが、先に報告を行なっている南郷桜峠、源内峠遺跡で採取した鉄鉱石から、磁鉄鉱と共生する角閃石 (ASTM カード 21-149 Ca (Mg, Fe)₅ (Si, Al)₈ O₂₂ (OH)₂ 近似のもの) および含水リン酸カルシウム (ASTM カード 18-303 Ca₃ (PO₄)₂ · nH₂O 近似のもの) を確認している³⁾。

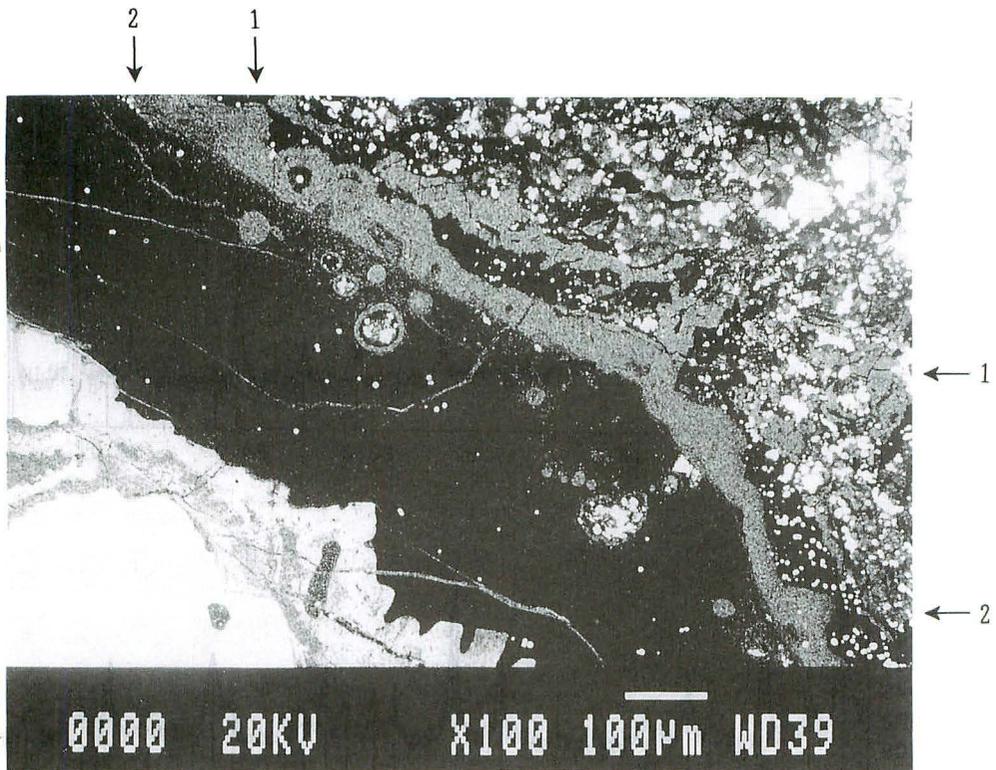


写真4 南郷桜峠遺跡出土鉄塊（金属鉄+非晶質）
 Photo.4 Back scattered electron image of metal iron at Nango-Sakuratoge ruins,
 (showing metal and silicate glass).

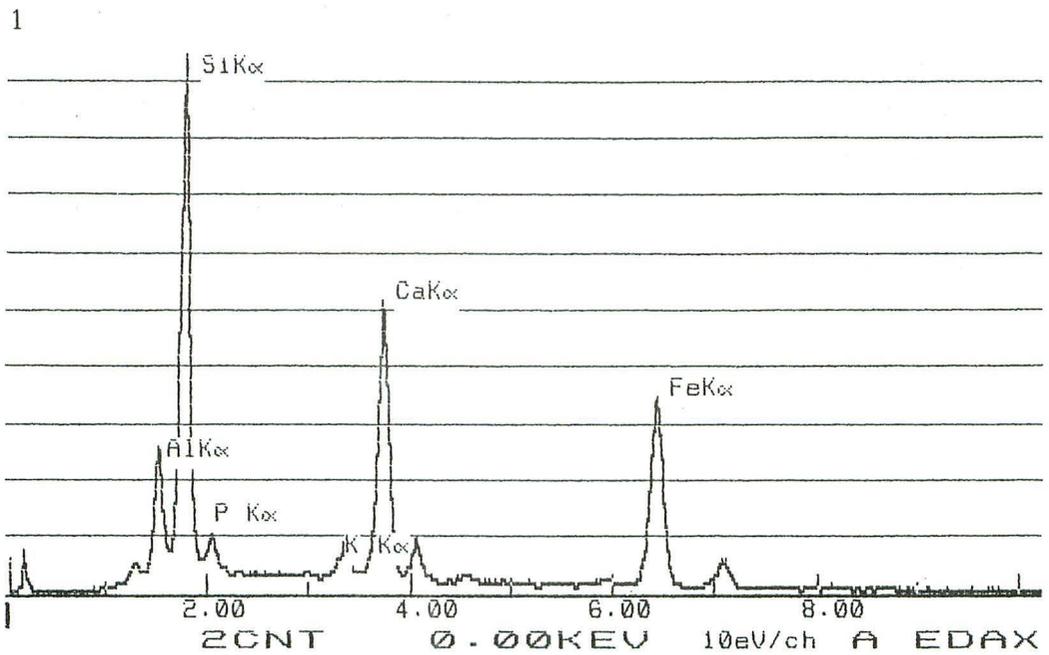


図8 写真4（南郷桜峠資料）の非晶質部分
 Fig.8 Chemical composition of silicate glass part in Photo.4.

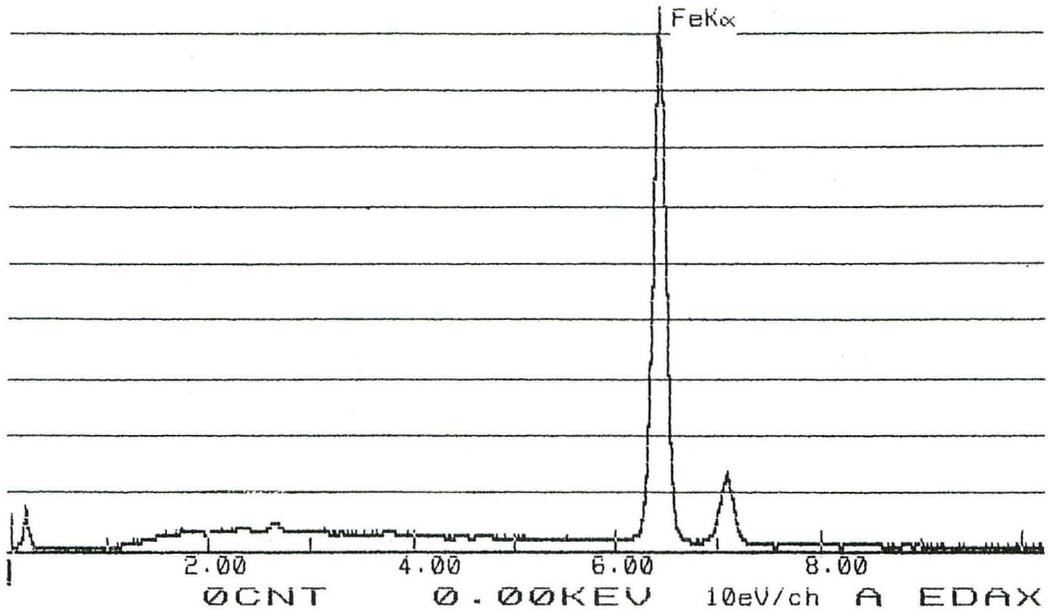


図9 写真4の金属鉄部分
Fig.9 Chemical composition of metal part in Photo.4.

4-3. 熱分析法の結果

X線回折分析を行った試料 UKW01, FZT03, JZT01 について示差熱分析を行なった。あらかじめ微粉末とした試料から30mgを分取し、試料室内において真空中で130℃に保ち20分間脱気を行った。実験はアルゴン気流中で室内から開始し、毎分20℃ずつ加熱しながら、試料 JZT03, UKW01 は1500℃, JZT01 は1300℃までの温度で測定を行った。実験結果を Fig.10~12に示す。

実験結果を試料ごとに見ると、

- 1) UKW01 は1137.78℃で最大の熱吸収ピークが認められた。
- 2) JZT03 は1123.75℃で最大の熱吸収ピークが認められた。
- 3) JZT01 は1043.22℃で最大の熱吸収が認められ、つづいて1111.92℃にも吸収ピークが現れていた。

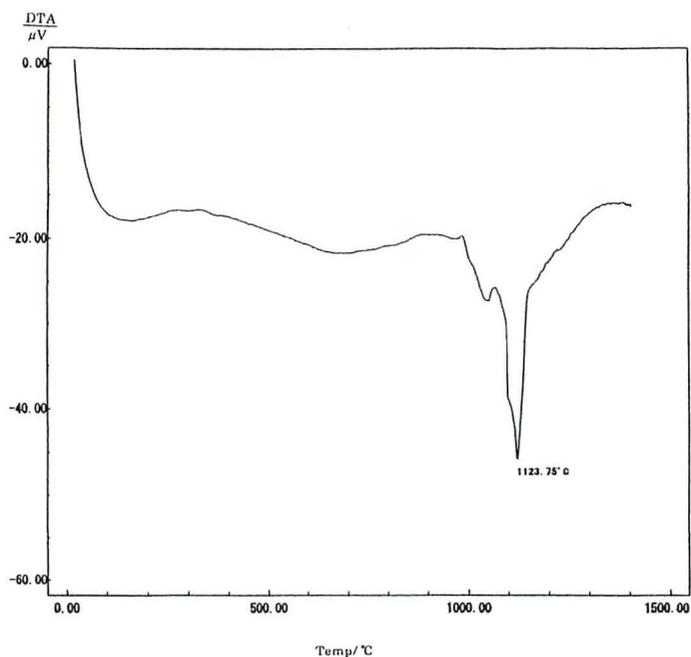


図10 鶺川 (UKW-01) の熱分析結果 (0 ~1500 $^{\circ}C$)
 Fig. 10 Result of differential thermal analysis of, slaf at Ukawa ruins, UKW01.

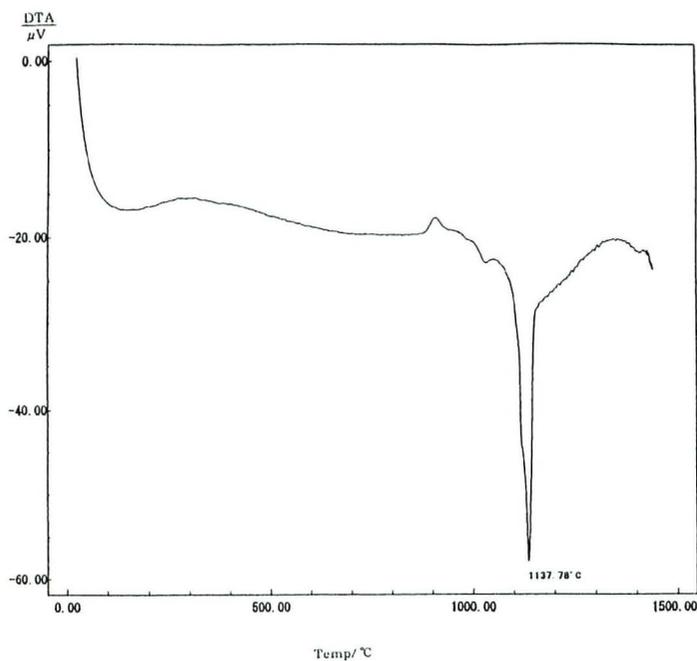


図11 山田地蔵谷 (YMJ-03) の熱分析結果 (0 ~1500 $^{\circ}C$)
 Fig. 11 Result of differential thermal analysis of, slaf at Yamada-J Izodani ruins, YMJ03.

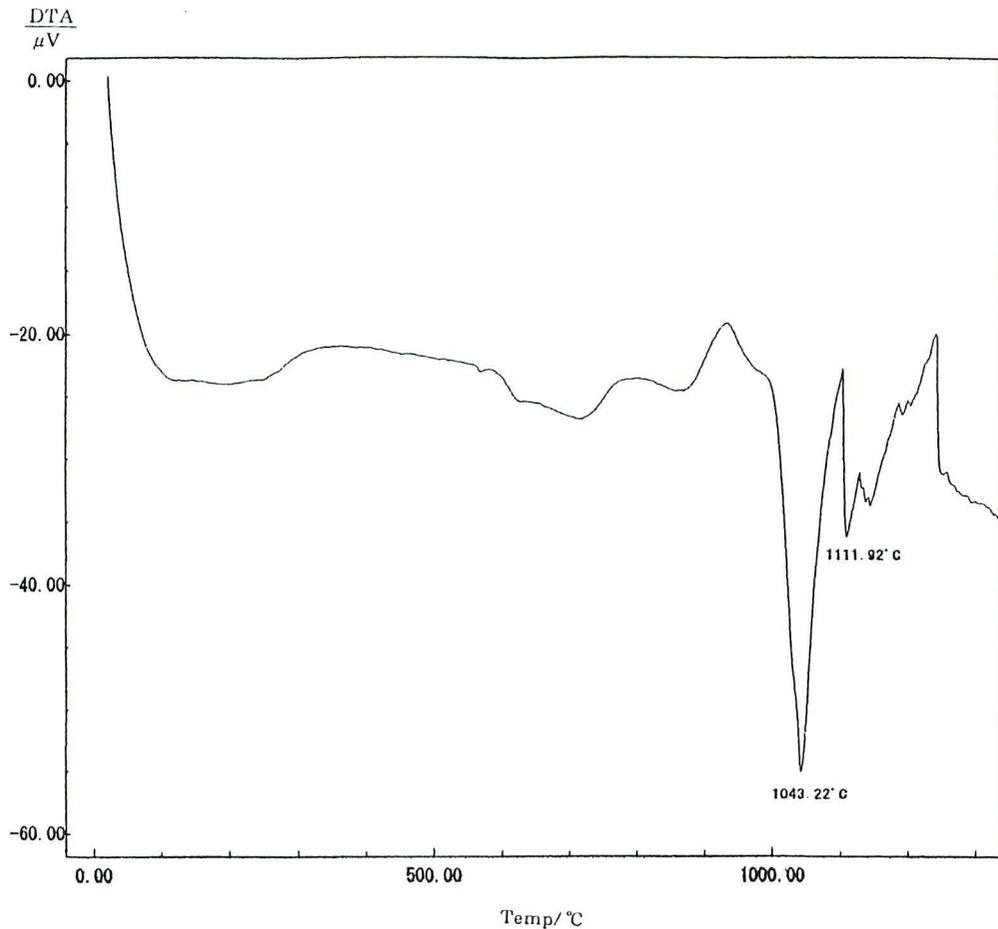


図12 山田地蔵谷 (YMJ-01) の熱分析結果 (0 ~ 1300°C)
 Fig.12 Result of differential thermal analysis of, slag at Yamada-J Izodani ruins, YMJ01.

5. 考察

5-1. X線マイクロアナライザー付走査型電子顕微鏡分析結果について

まず、リン (P) とカルシウム (Ca) の相関について見ると、A群にリンやカルシウムが多いのは、前記のように南郷桜峠、源内峠遺跡で検出された鉄鉱石に角閃石やリン酸カルシウムが含まれていることから、これに由来すると考えられる。これに対しB群の試料にはほとんどリンを含まない。この違いは異なる鉱床から鉱石を求めたことが考えられ、古代近江の鉄鉱山は複数存在していたと判断できる。また、同じB群に属していても、カルシウム分は古橋遺跡 (6世紀末~7世紀初頭) よりも北マキノ遺跡 (8世紀) 資料により多く含まれている。北マキノ遺跡とほぼ同時期の野路小野山遺跡 (8世紀後半) のカルシウム濃度は古橋遺跡に近いことからこの北マキノ遺跡でカルシウム濃度が高い理由も鉱床の違いによる可能性が高い。したがって、B群のグループはさらに、高カルシウム地域と低カルシウム地域とに区分できる。また、1つの遺跡から、A・B両群に属するものもあるが、

上記の考察にしたがうと、複数の鉱山から鉄鉱石を供給していたと考えられる。

つぎに使用されていた鉄鉱石についてみると、源内峠、南郷桜峠遺跡で採取した鉱石には多くのリンとカルシウムが含まれていた。これは鉱石中に脈石として角閃石や酸カルシウムが含まれるためである。一般に、金属鉄中でリンの濃度が高くなることは、鉄の脆性が増すことになり製鉄においては有害とされている。しかし、Photo.4 および Fig.8 によると、リンは金属鉄ではなく鉄滓の非晶質部分に濃集していることがわかる。このことは、この地域で行なわれた製鉄においては、鉄鉱石中のリンが金属鉄に入らない温度範囲で操業されていたと考えられる。

5-2. X線回折法の分析結果について

電子顕微鏡の観察結果およびX線回折分析結果より、Photo.1のような長く伸びる樹状の結晶鉱物は、ファヤライト (Fe_2SiO_4) であり、その他白色の鉱物はウスタイト (FeO) やマグネタイト (Fe_3O_4) などの鉄酸化物鉱物、暗部は非晶質部分である。分析を行なった試料のほとんどが、このタイプに属するが、JZT03のように結晶鉱物はファヤライトと、わずかにファヤライトや鉄酸化物が含まれているものもある。

製鉄においては、炉内で金属鉄と鉄滓がよりよく分離しなくてはならず、そのためには金属鉄、鉄滓のいずれかが（あるいは双方とも）液状でなくてはならない、いずれの鉄滓資料も、主要な結晶鉱物はファヤライトであり、その融点は、純粋なもので、 1205°C であるが、不純物質を含むことにより融点はさらに低下すると思われる。そして、多くの鉄滓はファヤライトのほかに非晶質成分も含む場合が多いので、これらの鉄滓はさらに低温度で熔融が始まることが予想される。この点については、次項の熱分析の結果で述べる。

5-3. 熱分析法の結果について

熱分析を行った試料は、鉱物組成からみて典型的な UKN01, JZT03 さらに、化学組成からみて燐、カルシウム分の濃度がもっとも高い JZT01 を選んだ。それは、古代近江における製鉄で実現していた操業温度を推定することと、さらに、リンやカルシウムなどの成分が鉄滓の熔融温度にどのような影響を与えるのかを把握するためである。

試料の示差熱分析結果をみると、UKW01 は 1138°C にピークがあり、これはファヤライトが熔融する温度と考えられる。JZT03 は 1124°C に最大の熱吸収ピークが認められ、これもファヤライトの熔融温度と思われる。JZT01 は 1043°C と 1112°C に大きな吸収ピークが現れており、他の2試料より低温で液化化していることがわかる。JZT01 はリン・カルシウム濃度が他の試料よりも高い値を示しており、この影響によって鉄滓の熔融温度が低下したものと判断される。

この結果から、これらの3資料はいずれも $1112^\circ\text{C} \sim 1138^\circ\text{C}$ の温度範囲でほぼ液体になったと判断できる。また、本研究で対象とした他の鉄滓資料はすべてこの3つの資料と同様の鉱物組成および化

学組成をしていることから、古代近江の製鉄によって生成した鉄滓の熔融温度は上記の温度範囲から大幅にずれることはないと考えてよい。したがって、鉄滓が液体となり金属鉄と分離するための温度は、この熔融温度範囲を越えたところに存在すると考えられる。

6. おわりに

本研究の結果、以下のことがわかった。

- 1) 古代近江で使用されていた鉄鉱石は、磁鉄鉱を主体としたものである。
- 2) 鉄滓の分析結果によるリンとカルシウムの相関から、古代近江の製鉄はリン濃度の高い湖南地域、リンをほとんど含まない湖北地域と大きく分けられること。
- 3) リンをほとんど含まない湖北でも古橋、北マキノ遺跡はカルシウム濃度に違いがあり、両遺跡では異なった鉱床からなる鉄鉱石を使用していた可能性があること。
- 4) 谷ノ口、山田地蔵谷、木瓜原遺跡など、湖南・湖北双方の特徴を有する遺跡が志賀町、草津市などに存在すること。
- 5) 鉄滓の熱分析結果から、古代近江で行なった製鉄は、 $1112^{\circ}\text{C} \sim 1138^{\circ}\text{C}$ の温度範囲を越える温度で操業されたと考えられること。

1996年7月、湖東の彦根地区において製鉄遺跡の存在が確認され発掘調査が始まった。従来の研究では湖東での製鉄は否定的であったが、この製鉄遺跡の調査と研究により、古代近江の製鉄がさらに解明されるものと期待される。

引用文献

- 桂 敬，高塚秀治，福田豊彦（1985）広島県と滋賀県における岩鉄製鉄「日本歴史」。
- 高塚秀治（1988）南郷遺跡出土鉄滓の分析結果について「南郷遺跡発掘調査報告書」。
- 原島礼二（1974）文献にあらわれた鉄「鉄」社会思想社。
- 丸山龍平（1986）滋賀県伊香郡木之元町古橋製鉄所跡概要 日本前近代製鉄の東西比較研究研究発表要旨。
- 丸山龍平（1984）近江の鉄「古代近江の朝鮮」新人物往来社。
- 森 浩一（1971）滋賀県北牧野製鉄遺跡調査報告「若狭・近江・讃岐・阿波における古代生産遺跡の調査」同志社大学文学部考古学調査報告第4冊。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、専修大学田口 勇教授、名古屋女子大学丸山龍平教授に、ご指導とご協力をいただきました。感謝いたします。

A chemical study on relic related to iron-manufacturing in ancient Omi

Hideharu TAKATSUKA¹⁾, Makiko KATAGIRI²⁾, Tsutomu SAITO³⁾

1) Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 Ookayama, Meguro, Tokyo 152-0033, Japan

2) Isuzu ceramics research institute corporation limited, 8, Tsuchidana, Hujisawa,
Kanagawa 252-8501 Japan

3) National museum of Japanese history, 117-0017, Jonaicho, Sakura, chiba 285 Japan

We have studied iron-manufacturing techniques in ancient Omi with relic collected by field investigations at 15 iron-manufacturing sites distributed in Shiga prefecture.

In this paper results of scanning electron microprobe analysis with energy dispersive X-ray spectroscopy, X-ray diffraction analysis and differential thermal analysis are shown on iron ore, slag and crucible clay collected from northern, eastern and southern area of Biwa lake.

The results of this study are as follows;

1. In ancient Omi magnetite was used as raw material, although iron sand (titanomagnetite) was used at almost all the other areas in ancient Japan.

2. At southern area of Biwa lake the concentration of phosphorus in the slag are high, on the other hands that is low at northern area.

3. At northern area of Biwa lake, the concentration of calcium in iron slag from Kitamakino ruins is obviously higher than that from Furuhashi ruins. It suggests that iron ore collected from different mines were used at these two ruins individually.

4. From some ruins both high-phosphorus slag and low-phosphorus slag were collected. Two kinds of iron ore with different chemical compositions were assumed to be used there.

5. It is supposed that the iron manufacturing in ancient Omi was carried out above the temperature range 1112 to 1138°C.