

2-2 焼成ランク

焼成ランクの区分はX線回折試験による鉱物組成と、電子顕微鏡観察によるガラス量によって行った。

ムライト (Mu) は、磁器、陶器など高温で焼かれた状態で初めて生成する鉱物であり、クリストバライト (Cr) はムライトより低い温度、ガラスはクリストバライトより更に低い温度で生成する。

これらの事実に基づき、X線回折試験結果と電子顕微鏡観察結果から、土器胎土の焼成ランクをⅠ～Ⅴの5段階に区分した。

- ①焼成ランクⅠ…高温を示すムライトが多く生成し、ガラスの単位面積が広い。
- ②焼成ランクⅡ…ムライトとクリストバライトが共存し、単位ガラスの面積が狭くなる。
- ③焼成ランクⅢ…ガラスの中にクリストバライトが生成し、ガラスの単位面積が小さく、葉状断面を成し、ガラスのつながりに欠ける。
- ④焼成ランクⅣ…ガラスのみが生成し、原土の組織をかなり明瞭に残す。ガラスは微小な葉状を呈する。
- ⑤焼成ランクⅤ…原土に近い組織を有し、ガラスはほとんどできていない。

以上のⅠ～Ⅴの分類は原則であるが、胎土の材質、すなわち粘土の良悪によってガラスの生成量は異なるので、電子顕微鏡によるガラス量も分類に大きな比重を占める。このため、ムライト、クリストバライトなどの組み合わせとよく異なる焼成ランクが出現することになるが、この点については第1表の右端の備考に理由を記した。

2-3 タイプ分類

タイプ分類は各々の土器胎土の組成分類に基づくもので、三角ダイヤグラム、菱形ダイヤグラムの位置分類による組み合わせによって行った。同じ組成をもった土器胎土は、位置分類の数字組み合わせも同じはずである。

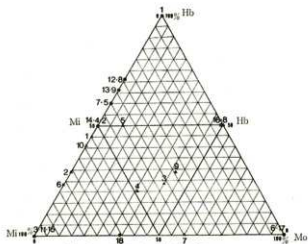
タイプ分類は、三角ダイヤグラムの位置分類における数字の小さいものの組み合わせから作られるもので、便宜上、アルファベットの英文字を使用し、同じ組み合わせのものは同じ文字を使用し、表現した。

例えば三角ダイヤグラムの①と菱形ダイヤグラムの①-1の組み合わせはA、三角ダイヤグラムの②と菱形ダイヤグラムの②はB、という具合にである。

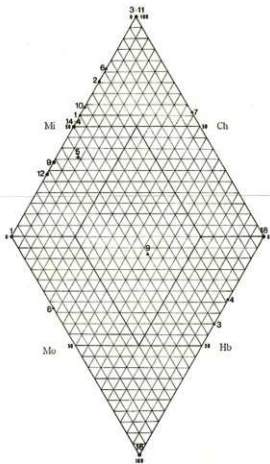
各文字の後の()内の数字に、三角、菱形ダイヤグラムの位置分類の数字を合計したものである。

近い組織を示しながら、位置分類上隣接するタイプ分類に入る場合には、試料数の多いものの類似としてA'などとダッシュをつけて分類した。

なお、タイプ分類のA、BC等は便宜上であり、今後試料数の増加に伴って統一した分類名称を与える考えである。



第3図 ダイアグラム位置分類図



第4図 変型ダイアグラム位置分類図

3 実験結果

3-1 タイプ分類

土器胎土は第一表胎土性状表に示すように、第3図三角ダイアグラム、第4図菱型ダイアグラムの位置分類、焼成ランクに基づいてA~Kの11タイプに分類される。18試料の土器胎土は11タイプに位置分類されたが、各胎土に共通していることはDa-6・16・17・18を除いてモンモリロナイト (Mont) が欠け、雲母類 (Mica)、角閃石 (Hb)、緑泥石 (Ch) で構成されている。発掘現場周辺で採取された原土は、秩父山系に源流をもつ荒川によって堆積された段丘堆積物中の粘土と段丘堆積物を被覆するローム層である。段丘堆積物の主体をなす礫層に挟在する粘土は、乳白色を呈し雲母を多量に含有しているのが特徴である。これら粘土は、秩父山系に分布する三波川結晶片岩を削り出して堆積したものであり、雲母類 (Mica)、角閃石 (Hb)、緑泥石 (Ch) を多く含んでいるのが特徴である。焼成ランクはⅡ~Ⅲのものが多く、比較的ガラスの出来は良い。

Aタイプ…Da-1

角閃石 (Hb)、緑泥石 (Ch) の2成分を含み、モンモリロナイト (Mont)、雲母類 (Mica) に欠ける。中~細粒のQt-Plを混入する粒径のそろったローム質粘土で構成される。原土の組織を残しており、ガラスも微量で、焼成ランクはⅣと低い。

Bタイプ…9・12・14

雲母類 (Mica)、角閃石 (Hb)、緑泥石 (Ch) の3成分を含み、モンモリロナイト (Mont) に欠ける。中~細粒の石英 (Qt)、斜長石 (Pl) を混入する粒径のそろった粘土。Da-12はクリストバライト (Cr) が生成し、発泡ガラスが広い面積にわたっており、焼成ランクはⅡ~Ⅲと高いがDa-9・14は微小、葉片状ガラスが生成している程度で、焼成ランクはDa-12よりも1ランク低いⅢ~Ⅳである。

Cタイプ…Da-5・7・8・13

雲母類 (Mica)、角閃石 (Hb) の2成分を含み、モンモリロナイト (Mont)、緑泥石 (Ch) に欠ける。中~細粒の石英 (Qt)、斜長石 (Pl) を混入する粒径のそろった淘汰の良い碎屑性の粘土で構成される。Da-5・7・13は発泡ガラスが生成し、クリストバライト (Cr) を生成、焼成ランクはⅡ~Ⅲと高い。Da-8は微小ガラスしか生成しておらず、焼成ランクはⅣと1ランク低い。

Dタイプ…Da-4・原土10

雲母類 (Mica)、角閃石 (Hb)、緑泥石 (Ch) の3成分よりなり、モンモリロナイト (Mont) に欠ける。Da-原土10は折原地区の現場で採取した原土であり、現場対岸の露頭で採取した№1・2・6の原土とも粘土鉱物組成は類似している。Da-4はこれら原土の組成と一致しており、折原地区周辺の土器と推察される。ガラスは全体に微小で、原土組織を良く残しており、焼成ランクはⅣと低い。

Eタイプ…Da-2

雲母類 (Mica)、角閃石 (Hb) の2成分を含み、モンモリロナイト (Mont)、緑泥石 (Ch) に欠ける。中~細粒の粒径のそろった粘土で構成され、水凝してあるように均質である。ガラスは発

泡しており、焼成ランクはⅡ～Ⅲと高い。

Fタイプ…Da—3・11

雲母類 (Mica)、緑泥石 (Ch) の2成分を含み、モンモリロナイト (Mont)、角閃石 (Hb) に欠ける。中～細粒の粒径のそろった粘土で構成される。Da—3は発泡ガラスが生成し焼成ランクはⅡ～Ⅲと高いが、Da—11は葉片状ガラスにまでしか発達しておらず、焼成ランクはⅢ～Ⅳといくぶん前者と比較して低い。

Gタイプ…Da—15

雲母類 (Mica) 1成分を含み、モンモリロナイト (Mont)、角閃石 (Hb)、緑泥石 (Ch) に欠ける。中粒の石英 (Qt)、斜長石 (Pl) を混入するローム質粘土で構成される。ガラスは微少で、原土の組織をよく残しており、焼成ランクはⅣと低い。

Hタイプ…Da—6・17

モンモリロナイト (Mont)、緑泥石 (Ch) の2成分を含み、雲母類 (Mica)、角閃石 (Hb) に欠ける。粗粒の石英 (Qt)、斜長石 (Pl) を混入する淘汰の悪いローム質粘土で構成される。ガラスは発泡ガラスが生成し、焼成ランクはⅡ～Ⅲと高い。

Iタイプ…Da—10

石英 (Qt)、斜長石 (Pl) と少量のクリスバライト (Cr) よりなる中～細粒の粒径のそろった粘土。この粘土は、 $n\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot m\text{SiO}_2 \cdot l\text{H}_2\text{O}$ を混入する比較的材質の均質な粘土で、ガラスも発泡しており、焼成ランクはⅡ～Ⅲと高い。

Jタイプ…Da—18

モンモリロナイト (Mont)、雲母類 (Mica) の2成分を含み、角閃石 (Hb)、緑泥石 (Ch) に欠ける。中粒の石英 (Qt)、斜長石 (Pl) を混入する砕屑性の粘土。ガラスは微少で、焼成ランクはⅣと低い。

Kタイプ…Da—16

モンモリロナイト (Mont)、角閃石 (Hb) の2成分を含み、雲母類 (Mica)・緑泥石 (Ch) に欠ける。粗粒の石英 (Qt)、斜長石 (Pl) を混入する砕屑性粘土。ガラスは発泡し焼成ランクはⅢといくぶん高い。

3—2 石英 (Qt) —斜長石 (Pl) の相関について

第5図Qt—Pl相関図は、X線回折試験によって得られた石英 (Qt) と斜長石 (Pl) の強度高を単純にグラフ化したものである。実験は Full scale 800 count に条件設定したものであり、この条件下におけるチャート上の強度高をミリメートル単位であらわしてある。石英・斜長石は砂の主成分であり、土器製作過程で粘土中に混入される。砂における石英、斜長石の量比は後背地の地質及び運搬過程における流速などの条件によって変化し、ある地域においては、大まかにある一定の比率を有するものと推察される。ある地域におけるある比率を有する砂を、どの程度粘土中に混入するかは各集団における技術上の問題である。例えば、同一集団において使用する粘土は若干異なっても砂の粘土に対する混合比は、ある一定の量比にあると考えられる。即ち、各集団における土

器焼成温度は燃料の相違、燃焼のさせ方など異なっていたであろうし、燃料の原材料となる木材の相違言いかえれば、植生によっても異なっていたであろう。粘土に対する砂の混合比は、各集団が維持し得た土器焼成温度と密接な相関を持ったであろうと推察される。即ち、維持し得た土器焼成温度において良質の土器を焼きあげるに、粘土の材質と砂の混合比を経験的に決定したものであり、砂の混合比は純然たる土器焼成上の問題であると推察される。

台耕地における Qt—PI の相関図は第 5 図に示す通りである。土器は、I グループと II グループに大別される。

I グループ…Da—1・4・5・6・8・9・10・12・14・16・17・18

石英 (Qt) は 80~145、斜長石 (Pl) は 20~40 の範囲にある。個体数は土器 18 個のうち 12 個にまで達し、集中度も高い。全体に石英 (Qt) の幅が広く、同一グループのものとしては範囲が広く、更にグループ内を細分化できるかもしれないが現時点では難しい。

II グループ…3・7・11・13・原土 10

石英 (Qt) は 90~150、斜長石 (Pl) は 50~70 の範囲にある。I グループと比較する個体数が少なく、バラツキが大きい。I グループとは斜長石 (Pl) の強度高において明瞭な差があり、異なるグループを形成すると推察される。

その他…Da—2・15

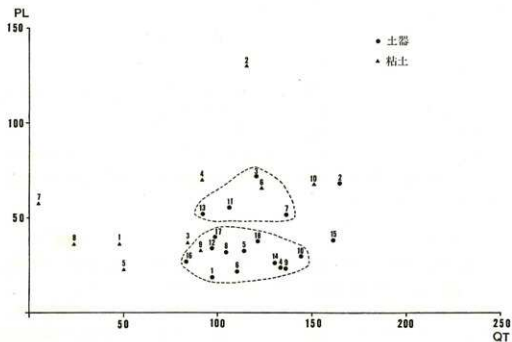
石英 (Qt) は 160、斜長石 (Pl) は 35、75 と I、II グループとは離れており、前述のように技術上の違いを意味するならば別の集団によって製作された可能性は強い。

砂の混合比により土器は I、II の 2 つのグループとその他に区分出来た。前記の前提条件に基づいて考察するならば、I グループの土器はある時代における同一集団によって製作されたものであり、II グループも同様であろう。I グループが同時代の別の集団を意味するか、同一集団の時間の相違を意味するかは、別に土器の形態、出土層準による時代の決定などとの対比によらなくてはならないであろう。

3—3 まとめ

台耕地遺跡の土器胎土は 18 資料で 11 タイプに分類された。分析した胎土で共通することは、比較的粒径のそろった時屑性の粘土を使用しているものが多く、器質も全体に薄い点である。成分的には雲母類 (Mica)、角閃石 (Hb)、緑泥石 (Ch) を含み、モンモリロナイト (Mont) に乏しいことが特徴である。このような鉱物組成は、遺跡の周辺を流下する荒川の源流にあたる秩父山系に分布する三波川結晶片岩に由来するものと推察される。即ち、黒雲母片岩・角閃石片岩・緑泥片岩などを削剥した荒川によって運搬され、平野部に近い溪床勾配の緩い地域で沈澱堆積した粘土であるため、このような鉱物組織を示すものであろう。流速の一定した緩い流れの中で沈澱したこれら粘土、シルト分は粒径もそろっており、比較的均質であった。また、角閃石 (Hb) は通常であれば、風化して緑泥岩 (Ch) などに変わっていくものであるが未風化状態で残存しており量的に多く混

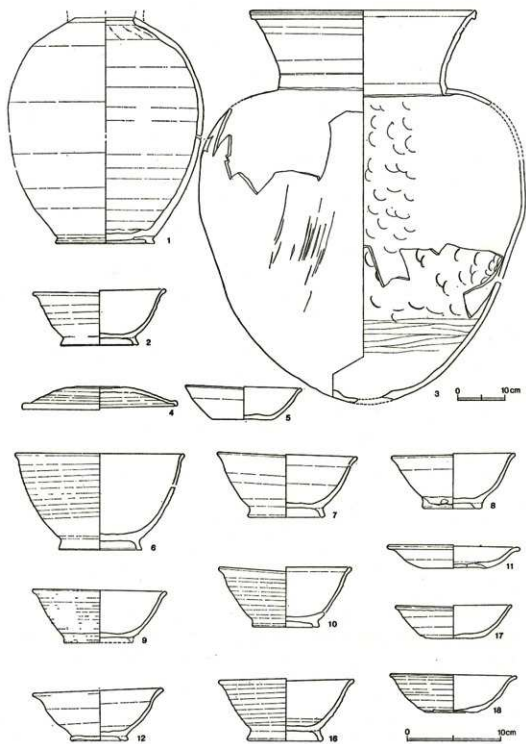
入した粘土であり、三波川結晶片岩を供給源とすることは想像に難くない。なぜ多くのタイプに分かれたかといえば、各タイプは荒川がもたらした砕屑性の粘土の堆積場所の違い、その多くは遠い距離を隔てない場所で、若干の時間的ずれをもって堆積した別個の粘土を使用したためではないかと推察される。Da-10のみは台耕地周辺のものとは判断し難く、外来性である可能性が鉱物組成から推察される。



第5図 QT-PL相関図

第1表 胎土性状表

試料 No	タイプ 分類	焼成 ラック	組成分類		粘土鉱物および造岩鉱物										(nm)		備考	
			Mo-Mi Hb	Mo-Ch Mi-Hb	Mo	Mi	Hb	Ch	Ka(Ha)	Au	Hy	QT	Pl	Cr (Mu)	ガラス量 (wt%)			
土器																		
Da-1	A	Ⅱ	④	⑩			5	2				2	97	19	2			中～細粒Qt・Pl混入、粒径のそろったローム質粘土、微小ガラス
2	E	Ⅰ～Ⅱ	⑦	⑨		2	2					3	164	68				中～細粒Qt・Pl混入、粒径のそろった粘土発泡ガラス
3	F	Ⅰ～Ⅱ	③	⑤		3		2					120	72				〃
4	D	Ⅱ	⑦	⑨		2	2	3					133	24				粗粒Qt混入淘汰の悪いローム質粘土、微小ガラス
5	C	Ⅰ～Ⅱ	⑥	⑨		4	6				3		114	33				中～細粒Qt混入、粒径のそろった粘土、発泡ガラス
6	H	Ⅰ～Ⅱ	⑩	⑨	4			3			2		110	22				粗粒Qt混入、淘汰の悪いローム質粘土、発泡ガラス
7	C	Ⅰ～Ⅱ	⑥	⑨		2	3						136	62				中～細粒Qt混入、粒径のそろった粘土、発泡ガラス
8	C	Ⅱ	⑥	⑨		2	5				3	2	104	32	2			〃 砕屑性粘土、細粒ガラス
9	B	Ⅱ～Ⅳ	⑥	⑩		2	4	3			2		136	24				粗粒Qt混入、粒径のそろったローム質粘土、葉状ガラス
10	I	Ⅰ～Ⅱ	⑤	⑩									144	30	2			中細粒Qt混入、粒径のそろった粘土、発泡ガラス
11	F	Ⅱ～Ⅳ	⑤	⑤		2		3			2		106	56	2			〃 葉片状ガラス
12	B	Ⅰ～Ⅱ	⑥	⑩		2	5	3					97	34	3			〃 発泡ガラス
13	C	Ⅰ～Ⅱ	⑥	⑩		2	4						92	52				〃 〃
14	B	Ⅱ	⑥	⑩		5	5	3					130	26	2			〃 微小ガラス
15	G	Ⅱ	⑥	⑩			5						161	38				中粒Qt混入、淘汰の悪いローム質粘土、微小ガラス
16	K	Ⅱ	⑩	⑩	2		2						83	27				粗粒のQt・Pl、砕屑性粘土 発泡ガラス
17	H	Ⅱ～Ⅳ	⑩	⑩	2								98	40				中粒Qt・Pl 〃 細粒ガラス
18	J	Ⅱ	⑩	⑩	2	4							121	38				〃 〃 微小ガラス
原土																		
折原-1			④	⑩		310 ^{scr}	25	27	6				48	36				
2			④	⑩		18(6)	7	10					115	130				
3			①	⑩	10	9(6)	6				3		84	37				
4			①	①-1	10	15(6)	6	14			3		92	70				
5			①	⑩	2	8(6)	10	24					50	23				
6			⑥	⑩		20(1)	6	34				4	123	66				
7			⑩	⑩	3	2		4			8		5	58				
8			⑩	⑩	4		4	8			2	10	24	36				
9			①	①-1	7	5(6)	5	5				2	91	33				
原土-10	D		⑦	⑩		16(7) ^{scr}	7	11					151	68				寄居町南大塚1遺跡2号窯床下粘土



第6圖 胎土分析資料

2 台耕地遺跡試料樹種同定報告

パリーノ・サーベエイ株式会社

1 方法

試料の木口、柾目・板目の三断面を走査型電子顕微鏡で観察、同定した。同時に顕微鏡写真も撮影した(図版84)。

2 同定結果表

同定結果を一覧表で表すと次のようになる。

樹種同定結果

試料番号	樹種
I区 49号住居跡 a	<i>Prunus</i> sp. (サクラ属の一種) コナラ属、コナラ亜
I区 49号住居跡 b	<i>Quercus</i> (subgen, <i>Lepidobalanus</i> , sect, <i>Cerris</i>) sp. 属クヌギ節の一種
II区 スラッグ捨場	同上
IV区 1号製錬炉	同上
IV区 3号製錬炉	同上
IV区 93号住居跡	同上

次に各試料の主な解剖学的特徴を種類毎に記載する。

○ *Prunus* sp. |区49号住 a

半環孔性を帯びた散孔材で、管径は晩材部へ向かって漸減、管壁厚は中庸、単独及び2~5ケが接線方向及び斜方向に複合、横断面では角張った楕円形~多角形、単旋孔を有し、壁孔は交互状に配列、放射組織との間では網目状となり、内壁に螺旋肥厚が認められる。柔組織は随伴数状で年輪界は明瞭。

○ *Quercus* (subgen *Lepidobalanus* sect *Cerris*) sp. |区49号住 b、II区スラッグ捨場 IV区1号製錬炉、IV区3号製錬炉、IV区93号住

環孔材で孔圏部は単孔、管壁厚は中庸、単独、横断面では楕円形、孔圏外で急激に管径を減じ、管壁は中庸~厚く、単独、横断面では円形~楕円形、単旋孔を有し、壁孔は交互状に配列、放射組織との間では構状となる。放射組織は同性単列1~10細胞高のもの、複合組織よりなる。柔組織は周囲状及び短接線状。年輪界はやや不明瞭。

3 台耕地遺跡出土の鑄銅・製鉄関係遺物の 金属学的調査

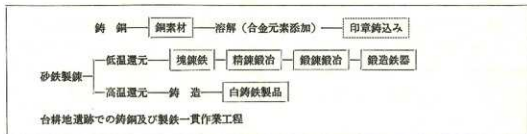
大 澤 正 己

1 概要

台耕地製鉄遺跡は、埼玉県大里郡花園町大字黒田字竹後に所在し、平安時代（国分期）に比定される。遺跡は河岸段丘に立地し、製鉄炉3基をはじめとして、製錬に関連した工房跡を思わせる遺構らと共に、鍛冶作業使用の炉及び羽口がセットされた浅い掘り込みをもつ住居跡や、鉄滓選別住居跡らが検出され、製鉄一貫作業が実施されたことが推定される。この製鉄作業に伴って排出された製錬滓や鍛冶滓、また鑄造や鍛造の鉄製品らが数多く出土している。なお、製鉄以外に印章鋳型や銅粒らの鑄銅作業を裏付ける遺物も共伴し、官営色の濃い生産遺跡として注目されている^①。

これらの製鉄及び鑄銅に関連した遺物の調査依頼を埼玉県埋蔵文化財調査事業団より受けたので冶金学的見地から金属組織・鉱物組成や化学組成の諸調査を行ない、若干の考察を試みたので報告する。

調査結果は次の通りで、18種の調査遺物から古代製鉄における一貫作業の実態を浮彫にすることができる。



<1> 銅粒：49号住居跡出土

印章鋳型と共伴する高純度の銅粒である。合金元素としての錫(Sn)はまだ含有しなくて鉛(Pb)とけい素(Si)を微量含むところをみると、合金元素添加前の純銅の溶解湯こぼれであったと考えられる。

<2> 砂鉄：49号住居跡出土裏付着、及びⅣ区1号炉第12層出土

二酸化チタン(TiO₂) 4.7~5.5%、バナジウム(V) 0.18~0.21%含有の第3紀層の中性ないし塩基性火岩に由来する砂鉄であり、製錬初期段階に添加したものであろう。鉄分が44%台と低目のものであった。

<3> 製錬滓：Ⅳ区3号炉及び前庭部出土

流出滓及び炉内残留滓である。鉱物組成はマグネタイト(Magnetite: Fe₃O₄) + フェアライト

(Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$)、化学組成は二酸化チタン (TiO_2) 4~5.7%、バナジウム (V) 0.16~0.22%で、これらの結果から砂鉄原料の製錬滓ということが出来る。なお、鉱物組成のなかには砂鉄粒子の還元過程の組織が表われており、 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO}$ の挙動が認められた。

<4> 打欠き製錬滓：44号住居跡・87号住居跡出土

鉄滓の表面上に人工の打欠き痕跡を有するもので、鉄塊との選別を行なった残滓である。該材は全体に鉄分が多く、やはり二酸化チタン (TiO_2) やバナジウム (V) を高目に含有するところから砂鉄製錬滓に分類される。製鉄炉の炉底に溜まった滓の中に鉄塊が混在する個所があり、これを住居跡(工房跡)に搬込んで破砕選別したのであろう。他遺跡でも認められる。(考察にて述べる)

<5> 小鉄塊：8号住居跡出土

台耕地遺跡の製鉄炉(竪炉3基のうち1基は、残存する上面プランをみると略隅丸長方形で70×90cm前後、掘り込みの底から約80cmが認められ、前面には湯道を想定させる浅い掘り込みがある。)では、低炭素系の塊錬鉄と、高炭素系の鈎鉄(鉄鉄：炭素量2%~4.5%)の二者が還元後製品化されている。小鉄塊は塊錬鉄に属し、炭化物組織からみて炭素含有量が0.4~2.0%の範囲に変動している。この小鉄塊は、精錬鍛冶炉で成分調整されて、鍛造可能な鉄素材になるのであろう。小鉄塊を出土した8号住居跡は、羽口をセットした鍛冶炉と共に後述する精錬鍛冶滓(大鍛冶滓)を共存している。

<6> 精錬鍛冶滓(大鍛冶滓)：8号住居跡出土

製錬炉で還元された塊錬鉄は、炭素(C)やその他の成分偏析があるので、鍛冶炉で加熱鍛打の成分調整が必要である。この工程で排出された滓が精錬鍛冶滓である。精錬鍛冶滓は鍛冶炉の火窪穴の底部に集積されて碗形を呈するケースが多い、該品もそうである。鉱物組成は白色粒状のヴスタイト(Wüstite: FeO)が主体で、これに少量の淡灰白色多角形結晶のマグネタイト(Magnetite: Fe_3O_4)が晶出し、これに化学組成は鉄分が増加して、砂鉄特有成分の二酸化チタン(TiO_2)やバナジウム(V)が製錬滓の約半分までに低減される。台耕地遺跡の場合は下表の様な成分変動となる。

台耕地遺跡出土鉄滓の製錬滓と精錬・鍛錬鍛冶滓の成分変動

	製 錬 滓	精 錬 鍛 冶 滓	鍛 錬 鍛 冶 滓
二酸化チタン (TiO_2)	4.0~5.7%	2.0%	0.24%
バナジウム (V)	0.16~0.22%	0.11%	0.011%

<7> 鍛錬鍛冶滓(加工鍛冶滓)：44区号住居跡出土

鉄器成形加工の再加熱時に排出された鉄滓で、小型の碗形滓である。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、化学組成の二酸化チタン(TiO_2)、バナジウム(V)は精錬鍛冶滓よりも更に減少した成分となる。分析値は上表参照。

<8> 鉄製品・鉄鐵：49号住居跡出土

鉄鐵の素材は、鉄中に含有される非金属介在物にチタン(Ti)分が検出されるところからみて、砂鉄を原料とする塊錬鉄である。炭素含有量は0.02~0.5%とバラツキをもち、反復鍛打でフェラ

イト (Ferrite) 結晶粒は微細化されているが、非金属介在物が多くて高品位の鉄ではなく、また二重の素材の異なるものが鍛打接着されていて鉄鎌という消耗鉄器の性格を表わした製造工程を示している。また鍛造後の歪とり焼なましは実施されているが、調査箇所は基部であり、刃部は欠損して焼入れ等の熱処理が施されていたか否かの確認はできなかった。

なお、鉄製品として刀子の調査も行なったが、こちらは錆化が進み金属鉄の残留がなく、詳しい金属的情報を得ることができなかった。

<9> 鑄造鉄器・獸脚と容器状鉄器破片：Ⅰ区7—モ区、Ⅳ区A・Bトレンチ、容器状鉄器鑄型と共に鑄造鉄器が出土した。獸脚と容器状鉄器である。両者はセットとなる製品であろう。これらの鑄造品は、いずれも白鑄鉄組織 (Cementite: Fe_3C + Pearlite: $\alpha\text{-Fe}$ と Cementite との層状相) をもち、炭素 (C) 含有量は2.4~4.0%であった。

台耕地遺跡の製鉄炉は、堅伊 (炉の平面に対して炉高の大きいもの) タイプであり、箱型伊に比べると、還元帯が長い。このために鑄鉄と塊煉鉄の二通りの鉄が還元され、製品化されたと推定される。鑄造鉄器と製鉄炉の結びつきが確認できる遺跡としては年代の古いものである。

以上の結果より、台耕地製鉄遺跡は、印章等の鑄銅作業と共に、製錬・精錬鍛冶・鍛錬鍛冶らの製鉄一貫作業を行ない、鉄製品は塊煉鉄の鍛造加工から鑄鉄 (鉄鉄) の溶融状態の湯を鑄型に鑄込んだであろうという生産形態の裏付けがとれた。鑄銅・製鉄の関連遺物は、量・質ともに大きなもので官営的な色彩が強く、小集団のもつ生産体制からは、かけ離れている。

ちなみに住居跡から出土した鉄滓を採り上げてみると、Ⅰ区8軒からは35.23kg、Ⅱ区7軒で13.69kg、Ⅳ区11軒で10.5kg、Ⅴ区5軒で4.34kgである。これらは羽口や、伊壁、鉄滓付着土器ら多量と共に、鉄素材から農工具 (鎌、鋤、鉄鉄、釘) まで共伴している。それにⅠ区からは2個以上の印章鑄型が検出された事実は、台耕地遺跡が古代生産遺跡として、いかに重要な遺跡であったかを物語る。

印章が官印や公印の類か、もしくは私印や寺院印かの追求によって、台耕地製鉄遺跡の性格がより鮮明なものになってくるであろう。

2 試料と調査方法

2-1 供試材

調査試料の種類と出土位置を Table 1 に示す。試料は銅粒と製鉄に関するもので、砂鉄をはじめとして製錬滓から精錬・鍛錬鍛冶滓、鑄造・鍛造鉄製品らである。出土位置はⅠ・Ⅳ区出土品に絞ってある。

2-2 調査項目

- (1) 肉眼観察
- (2) 光学顕微鏡組織
- (3) 化学組成
- (4) SEM (Scanning Electron Microscope) による走査X線像とエネルギー分散型半導体検出器を駆使しての局所分析

Table 1 供試材の履歴及び調査項目

符 号	供 試 材 の 履 歴					調 査 項 目			
	試 料	出 土 位 置	備 考	大きさ(mm)	重量 (g)	顕微鏡組織	化学組成	SEM	ビッカース断面硬度
DA11	小 銅 粒	49号住居跡	印章鋳型と共伴	8×3×3		○		○	
2	瓦 付 着 砂 鉄	"	砂鉄を入れた瓦と 考えられる	少量		○	○		
3	鉄 鐵	"		長さ40×径3		○	○	○	○
4	獸 脚	I区 7-モ区	鋳造品	13×7×5		○	○		○
5	刀 子	93 住居跡		12×6×5		○	○		
6	容 器 状 鋳 造 品	93 住居跡B区		25×10×7	10	○	○	○	
7	獸 脚	IV区A・Bトレンチ	鋳造品	10×5×7		○	○		
8	鉄 滓	4号住居跡覆土		80×50×40	135	○	○		
9	小 鉄 塊	8号住居跡床		65×40×25	135	○	○*	○	
10	鉄 滓	8号住居跡	碗形	140×90×30	590	○	○		
11	鉄滓付着須恵器	"		20×15×5	10 須恵器 破片	○			
12	鉄 滓	44号住居跡	超小型碗形滓半分	45×30×15	35	○	○		
13	"	44号住居跡覆土		100×65×55	905	○	○		
14	"	87住居跡床		80×80×65	755	○	○		
15	砂 鉄	IV区1号炉第12層		—	25	○	○		
16	鉄 滓	IV区3号炉		60×65×35	185	○	○		
17	"	IV区製鉄炉前庭部		70×65×15	195	○	○		
18	"	"		130×100×40	600	○	○*		

*外側、鉄滓、内側金屬鉄 両方分析

Table 2 供診材の化学組成

符号	遺跡名	出土位置	試料種類	推定年代	全鉄分 (total Fe)	酸化第1鉄 (FeO)	酸化第2鉄 (Fe ₂ O ₃)	二酸化けい素 (SiO ₂)	酸化アルミニウム (Al ₂ O ₃)	酸化カルシウム (CaO)	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)	五酸化リン (P ₂ O ₅)	炭素 (C)	バナジウム (V)	銅 (Cu)	造洋成分	TotalFe	TiO	註
DAI-1	台耕地	49号住居跡	小鋼塊	平安時代																			
2	"	"	裏付着砂鉄	"	—	21.84	—	—	—	—	—	—	5.55	—	—	—	0.21	—	—	—	—	—	
3	"	"	鉄	"									0.21	0.160	0.95	0.009	—	—	—	—	—	—	
4	"	I区 7-ε区	鉄 脚	"										0.067	2.32	—	—	—	—	—	—	—	
5	"	93号住居跡	刀子	"										0.064	0.53	—	—	—	—	—	—	—	
6	"	93号住居跡B区	容器状銅造品	"									0.023	0.025	4.62	0.030	—	—	—	—	—	—	
7	"	IV区A・Bトレンテ	鉄 脚	"									0.072	0.045	2.35	0.060	—	—	—	—	—	—	
8	"	4号住居跡覆土	製錬滓	"	39.1	50.0	0.32	25.7	5.93	0.12	0.94	0.26	4.23	0.044	0.016	0.36	0.08	0.22	0.005	32.69	0.836	0.108	
9	"	8号住居跡床	小鉄塊(外周部) 砂鉄(中核部)	"	42.6	15.81	4.33	27.7	5.54	0.028	0.93	0.046	0.36	Nil	0.159	0.22	0.70	0.016	0.006	34.20	0.803	0.008	
9	"	"	"	"	—	—	—	Si 0.005	Al 0.005	Ca Nil	Mg 0.602	Mn Nil	Cr 0.017	Nil	0.014	0.014	0.99	Nil	0.023	—	—	—	
10	"	8号住居跡	精錬銀治滓	"	44.5	43.4	15.39	17.60	4.80	0.050	0.72	0.13	2.04	Nil	0.045	0.31	0.23	0.11	0.005	23.17	0.521	0.046	
12	"	44号住居跡	鍛錬銀治滓	"	44.1	54.1	2.88	21.96	4.46	0.084	1.92	0.061	0.24	0.016	0.054	0.21	0.11	0.011	0.005	28.424	0.845	0.005	
13	"	44号住居跡覆土	製錬滓	"	44.5	51.4	6.46	12.90	6.88	0.036	2.49	0.47	12.01	0.050	0.022	0.33	0.08	0.50	0.004	22.906	0.501	0.270	
14	"	87号住居跡床	"	"	50.1	51.9	13.95	20.22	4.74	0.22	2.32	0.27	4.73	0.035	0.040	0.36	0.18	0.28	0.005	27.50	0.549	0.094	
15	"	IV区1号炉第12層	砂 鉄	"	44.3	16.60	44.9	7.80	7.47	Nil	1.76	0.34	4.73	0.036	0.033	0.25	1.16	0.18	0.007	—	—	—	
16	"	IV区3号炉	製錬滓	"	48.2	50.0	13.28	21.28	5.27	0.34	2.76	0.39	5.63	0.036	0.028	0.40	0.05	0.19	0.005	29.65	0.615	0.117	
17	"	IV区製鉄炉前庭部	"	"	48.5	49.9	13.89	23.42	6.00	0.32	1.96	0.23	3.50	0.038	0.021	0.39	0.04	0.16	0.007	31.70	0.654	0.072	
18	"	"	製錬滓(外周部)	"	49.0	35.0	31.1	21.70	5.54	0.087	1.06	0.22	2.25	0.035	0.128	0.030	0.39	0.12	0.008	28.387	0.579	0.046	
19	"	"	"(中核部)	"	53.4	41.6	30.1	16.06	5.07	0.095	1.13	0.27	3.97	0.064	0.089	0.26	0.17	0.22	0.005	22.355	0.419	0.074	
備考	台耕地	高橋一夫氏表採	製錬滓	"	47.39	51.77	7.82	18.90	5.70	3.21	2.88	0.46	5.66	0.15	0.031	0.268	0.06	0.224	0.004	30.69	0.65	0.119	③
	"	"	"	"	42.32	49.33	5.28	25.30	6.22	3.39	2.34	0.32	3.59	0.10	0.022	0.399	0.05	0.142	0.005	37.25	0.88	0.085	"
	大山	D区a-2号製鉄炉	"	平安中期	43.2	37.9	19.6	19.9	6.5	4.3	2.4	0.28	4.3	0.042	0.024	0.53	0.056	0.20	0.005	33.1	0.77	0.100	"
	"	D区b-1号製鉄炉	"	"	20.3	17.0	8.7	25.1	11.2	9.8	5.8	0.65	10.4	0.053	0.017	0.39	0.26	0.36	0.005	51.9	2.56	0.512	"
	"	D区b-2号鍛冶炉	精錬銀治滓	"	57.6	29.6	49.3	5.1	2.0	0.96	1.2	0.12	3.2	0.051	0.027	0.13	0.338	0.20	0.019	9.26	0.16	0.056	"
"	"	40号住居跡	鍛冶滓	"	53.5	6.0	69.0	5.1	2.6	0.61	0.75	0.08	2.1	0.023	0.065	0.23	0.610	0.10	0.014	9.0	0.17	0.039	"
P822	猿貝北	SK-2区	製錬滓	10C後半	32.0	32.1	8.52	28.3	10.35	0.47	3.42	0.35	6.91	0.041	0.041	0.27	0.03	0.17	0.005	42.54	1.329	0.216	④
P828	"	SK-3区	"	"	15.20	11.93	8.47	19.62	10.92	8.37	6.73	1.08	20.95	0.11	0.040	0.032	0.51	0.40	0.005	45.64	3.002	1.378	"

(5) マイクロ・ビッカース断面硬度

3 調査結果

Photo. 1～7に光学顕微鏡組織を、Photo. 8～11にSEMによる走査X線像とエネルギー分散分析の結果を示す。

Table. 2には台耕地遺跡出土の鉄器・小鉄塊及び各鉄滓（製錬滓と鍛冶滓）や砂鉄らと、比較参考資料として、台耕地遺跡の表面採取鉄滓や伊奈町の大山遺跡出土鉄滓並びに川口市の猿貝北遺跡出土の製錬滓の化学組成を示している。また、マイクロ・ビッカース断面硬度値を Table. 3に示す。

3-1 鋼粒：49号住居跡出土

(1) 肉眼観察

緑青をふく長径8mm、短径8mmの楕円形鋼粒である。半切断面は、中核部が空洞で外殻の内厚が1mm程度で金属鋼を残留する。

(2) 顕微鏡組織

Photo. 1の最上段に示す。組織は白色部が純鋼に近い初相の α 相で、歪整形灰色部が $\alpha+\delta$ の共析品であり、合金添加物の錫(Sn)や鉛(Pb)の少ない組織である。

(3) SEMによる分析

この装置の原理は、試料面に電子線束(electron Probe)を照射し、ここより発生する反射電子、二次電子、X線等によって諸情報を得ることができる。その結果から試料の組成元素の種類や分布密度、組織及び微細構造などが解析可能となる。

鋼粒断面についてエネルギー分散型半導体検出器を使って半定量的分析を行なった。Photo. 8で示すように、鋼粒は銅(Cu)の純度が高いもので、まだ合金元素の含有量はきわめて低い。鉛(Pb)が3.06%、けい素(Si)が2.05%で残部が銅(Cu)である。

鋼粒の用途は何であったろうか。共伴遺物に印章鋳型がある。印章成分であれば、鋳造時の湯まわりから考えて、もう少し合金元素の添加がある筈であり、この成分系から考えて、合金元素添加前の印章素材純鋼の溶解湯こぼれの可能性が高いであろう。

3-2 甕付着砂鉄：49号住居跡出土

(1) 肉眼観察

砂鉄は黒褐色を呈する小粒子である。Photo. 1の上から2段目の外観写真は選別前の状態を示す。

(2) 顕微鏡組織

Photo. 1の2段目に示す。砂鉄は200 μ 程度の粒子であり、磁鉄鉱(Magnetite: $Fe_3O_4 \cdot FeO$)の外には格子状組織のチタン鉄鉱(Ilmenite: $FeO \cdot TiO_2$)を呈するものも存在する。チタン鉄鉱で代表的なウィドマンステッテン(Widmannstätten)構成をなしている。

(3) 化学組成

Photo. 1の外観を示すものから磁選して混入物を除いて分析を行なった。結果をTable. 2に示

す。砂鉄の特性値である二酸化チタン (TiO_2) が5.55%、バナジウム (V) が0.21%である。また酸化第1鉄 (FeO) は21.84%である。薬付着の砂鉄であり、量不足で他の元素は分析できなかった。第3紀の中性ないし塩基性の火山岩に由来するものであろう。

3-3 鉄鉄：49号住居跡出土

(1) 肉眼観察

鉄鉄の基部で刃部を欠失する。現存長さ11.3mmの方形断面で最大部8mm角を示す。赤褐色に錆びていて、局部的に亀裂がはしり黒褐色を呈する個所がある。金属鉄の残留が予測されて磁性が強い。

(2) 顕微鏡組織

Photo. 2に示す。検鏡試料は鍛伸方向に対して直角方向に研磨している。組織aは研磨ままの腐食 (etching) なしで非金属介在物を示している。非金属介在物とは、製錬や精錬過程で除去しきれなかった非金属粒子や脱酸生成物であり、鉄 (Fe)、マンガン (Mn)、珪素 (Si) および燐 (P) などの酸化物、硫化物、珪酸塩などを総称している。該品の非金属介在物は量が多く、フェライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) 系を含有する。JIS (日本工業規格) の清浄度指数で0.4%前後となる。低温還元による直接製鋼法の素材である。

b、c、dはピタル (ピクリン酸5g+エチルアルコール100cc) を用いて約30秒間浸漬腐食 (etching) した炭化物組織である。組織の白い部分はフェライト (Ferrite)、黒または層状部分はパーライト (Pearlite) である。鉄には炭素 (C) が0.1%以上含有されるとフェライトの他にパーライトが現われる。このパーライトの占める面積は炭素含有量の増加にともなって増し、焼ならし状態では0.4%前後で約半分、0.77%で全部パーライトとなる。該品は炭素含有量のバラツキが大きく、bの組織で0.5%、cで0.1%、dで0.02%程度である。

次に組織e、fはナイトル (硝酸5cc+エチルアルコール100cc) で10秒間腐食したフェライト結晶粒を断面全体に撮影している (本来は一枚の連続写真となるのであるが紙面の関係から二段に分けて載せた)。白い地はフェライト、黒い細い線はフェライト粒界を示す。組織のe部分は結晶粒が小さくて粒度番号で9番、f側はやや大きくて5番を示す。両者はほぼ再結晶を完了して700°C以上の温度で焼なましを受けている。なお、eの約8割の地金とfの地金は別もので、二種の加工度の異なるものが鍛打接着されている。eのフェライト地中の灰色の点の非金属介在物の量は多く、fは少ない。

この二種の異種素材の鍛打接着の基は、鉄鉄の機能には何ら不都合は起らないと考えられる。鉄鉄は消耗品であり、半端素材の活用がはかられたのであろう。

(3) 化学組成

Table. 2に示す。鉄鉄中には二酸化チタン (TiO_2) が0.21%、バナジウム (V) 0.009%が含有されていて、原料が砂鉄であることを表わしている。該品は分析試料が少なく、他成分は炭素 (C) 0.95%、硫黄 (S) 0.16%という結果にとどまる。検鏡結果によれば炭素 (C) 量は0.02~0.5%の範囲であったが、化学組成では高目の0.95%である。この差異は試料の場所のちがいが、偏析と

共に金属鉄と錆化部分の境界部での有機物汚染にもとずく影響が出たものと考えられる。

(4) SEMによる非金属介在物の調査

Photo. 9 (その1) に非金属介在物の走査X線像を示す。非金属介在物から白色輝点として検出される元素は、チタン (Ti) が最も強く、他にけい素 (Si)、アルミニウム (Al)、マグネシウム (Mg) らが随伴する。また、Photo. 9 (その2) には、非金属介在物のエネルギー分散型X線分析により局所分析を行なっているが、ここでも鉄 (Fe) 以外でチタン (Ti)、アルミニウム (Al) マグネシウム (Mg)、けい素 (Si)、クロム (Cr)、マンガン (Mn) らが検出されている。

非金属介在物からチタン (Ti) が検出されるのは、素材原料に砂鉄が使用されている為であり、該材は砂鉄製錬による低温還元の直接製鋼法にもとずく鉄製品となる。

(5) マイクロ・ピッカース断面硬度

金属組織の同定を目的として、マイクロ・ピッカース断面硬度計 (Micro Vickers Hardness Tester) による硬さの測定を行なった。鏡面研磨した試料に136°の頂角をもったダイヤモンドを押し込み、その荷重を除いた商を硬度値としている。

測定結果はTable. 3に示す。硬度値は126~132であり平均値が129である。炭素 (C) 含有量とフェライト結晶粒度を考慮すると妥当な数値である。

Table. 3 マイクロピッカース断面硬度測定結果

符号	鉄器種	鉄分類	炭素含有量 (%)		硬度値					
			検鏡結果	化学分析値	1	2	3	4	平均値	
DAI-3	鉄	鍛造鉄	0.02~0.5	0.95	129	126	132			129
4	獣脚	鋳鉄		2.32	624	636				630
6	容器状鉄器	?		4.03	616	613	581	648		615

3-5 獣脚：|区7—モ区出土

(1) 肉眼観察

鋳込み痕跡を残す鋳造鉄の獣脚である。現残長さは6cm、踝部の最大幅3.0cmで不整形の断面を呈している。

(2) 顕微鏡組織

Photo. 1の3段目と最下段の3枚の組織写真に示す。試料は剥片の一部を採取したのであるが、金属鉄の一部が残留しており組織から白鋳鉄 (鉄鉄) の確認がとれた。3段目の組織写真は、研磨ままの腐食なしの状態を示す。灰色線状部分は酸化部分であるが白色部が金属鉄である。清浄な鉄で非金属介在物を検出することができなかった。最下段の2枚の組織は、ナイトル腐食により白鋳鉄の組織が表われている。組織の白い部分はセメントタイト (Cementite: Fe₃C)、黒い部分はオーステナイト (Austenite) より変化したパーライト (Pearlite)、蜂の巣状の部分はセメントタイトとオーステナイトの共晶のレデブライト (Ledebulite) である。該品は熔融状態の鉄鉄を鋳型に注入し、やや早目の凝固冷却速度がとられて白鋳化したものと推定される。

(3) 化学組成

Table. 2に示す。炭素(C)含有量は2.32%で亜共晶白鑄鉄に分類される。この炭素含有量であれば、組織的には白鑄鉄しやすく、左程冷却速度には影響されなかったと考えられる。硫黄(S)は0.067%と左程多くはない。不純物の少ない鉄鉄である。この試料についても量不足で他元素は分析できなかった。

(4) マイクロ・ピッカース断面硬度

Table. 3に示す。獸脚は鑄造品であり金属組織はセメントタイトとパーライトであり、炭素量も多目であるので硬度値も高くなり、624~636で平均値が630である。先に測定した鍛造鉄器の鉄鉄の4.5倍近い数値である。

3-5 刀子:93号住居跡出土

(1) 肉眼観察

刀子の身部断片である。現存長さ9.5cm、幅1.5cm、棟厚0.3cmを測る鍛造品。全面が赤褐色に錆化しているが、内側に黒色部分があるのでこれより検鏡試料を採取した。

(2) 顕微鏡組織

Photo. 3の最上段に示す。組織は金属鉄が酸化されてゲーサイト(Goethite: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)化している。刃物としての炭素含有量や熱処理の有無など金属学的情報を得ることができなかった。

(3) 化学組成

Table. 2に示す。炭素(C)含有量は0.53%で、熱処理を施せば刃物としての性能を十分に発揮できる鋼の数値である。しかし、鉄鉄(DAI-3)の化学組成でみた様に、検鏡組織とズレがあり、この場合も有機物混入の影響も考慮すべきで、実際は若干低目となるであろう。硫黄(S)は、0.064%でやや高目である。硫化物としての非金属介在物も含有されていたのであろうが、やはりこれも二次汚染を考慮すべきであろう。

3-6 容器状鑄造品:93号住居跡B区出土

(1) 肉眼観察

不整三角形破片で、一辺が約6cm、厚みが0.7cmを計測する。獸脚と組合せられる容器状鑄造品の破片であろう。表裏ともに赤褐色に酸化しているが、部分的に黒褐色のヒビ割れを有して金属鉄の残留が予測されて磁性が強い。

(2) 顕微鏡組織

Photo. 2、3、4段目に示す。2段目aは腐食なしで研磨ままの金属組織である。この鑄造品の金属鉄部分も非金属介在物はみあたらない。組織中の黒点はクラック(割れ目)もしくは錆発生源である。組織b、cは酸化により自然腐食を受けて、あたかもピクラルかナイトルで人工腐食を行った様な白鑄組織を示している。他遺跡の鑄造鉄器においても時々見受けられる現象である。酸化を受けた鑄造品の識別に採用しても、ほぼ間違いないものと考えられる。

d、eの組織は、残留金属鉄部分をナイトルとピクラルで腐食(etching)している。白色部は

セメントait、黒色層状部はパーライトである。DAI-4の鞆脚で観察した白鑄鉄組織と同一のものである。この組織の結果からみても容器状鉄器と鞆脚は同一個体系とみてよいと考える。

(3) 化学組成

Table. 2に示す。炭素(C)含有量は4.02%で過共晶鋼レベルの白鑄鉄である。次に二酸化チタン(TiO_2)が0.023%、バナジウム(V)0.030%が含有されている。鉱石系の素材であれば随伴微量元素としてチタン(Ti)分が0.01%以下なので、非金属介在物の組織による確認はとれなかったが、やはり砂鉄を原料とする鉄鉄とみなされよう。なお、硫黄(S)は0.025%と低目の含有量であり、鍛造品とは大きくはなれた量である。

(4) SEMによる金属組織の調査

該材は非常に清浄な鉄鉄であり、非金属介在物が検出されなかったため、金属鉄部分をエネルギー分散型X線分析装置を使って局部分析を行なった。Photo. 10に示すごとく、検出元素は鉄(Fe)以外は、珪素(Si)のみで不純物のない清浄な鉄鉄であることが判る。

(6) マイクロ・ビッカース断面硬度

Table. 3に示す。金属鉄部分で硬度は581~648で平均値が615であった。若干のバラツキをもつが白鑄鉄の硬度値として妥当なところである。

3-7 鞆脚：Ⅳ区A・Bトレンチ出土

(1) 肉眼観察

鞆脚の可能性をもつ鑄造品である。現存長さ6.7cm、直径3.1cmの円筒状鑄造品より剥片を採取して供試材とした。

(2) 顕微鏡組織

Photo. 4の1・2段目に示す。3枚の組織は、いずれも研磨までであるが自然腐食により、白色部のセメントait、黒色部のパーライトの存在を示して白鑄鉄であることを表わしている。セメントait部分は酸化の進行が遅く、パーライト部分が先に侵されている。この鉄鉄も非金属介在物の存在を認めることが出来なくて清浄度の低いものである。

(3) 化学組成

Table. 2に示す。炭素(C)含有量は2.35%で鑄鉄(鉄鉄)レベルである。二酸化チタン(TiO_2)は0.073%で砂鉄を原料とするのみなされる。バナジウム(V)は0.060%であった。また硫黄(S)は、0.045%と金属鉄(DAI-6)の0.025%よりも高目を示している。

3-8 鉄滓→製鍊滓：4号住居跡覆土出土

(1) 肉眼観察

表皮は茶褐色のなめらかな肌と海绵状肌を併せもち、数カ所に木炭痕を残す凹凸の激しい粘稠質の炉内残留滓である。裏面は高熱のため青灰色に変色した砂粒含みの炉材粘土で被われている。破面は淡褐色で気泡が多く発生しているが緻密質である。

(2) 顕微鏡組織

Photo. 5の最上段に示す。鉱物組成は、灰白色多角形のマグネタイト (Magnetite: Fe_3O_4) に少量の白色粒状結晶のヴスタイト (Wüstite: FeO) と灰色盤状結晶のフェアライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) が加わり、これらの間に暗黒色のガラス質スラグが存在する。これらは製錬滓の晶癖を示すものである。

(3) 化学組成

Table. 2に示す。全鉄分 (Total Fe) が39.1%で、このうち酸化第1鉄 (FeO) が大部分を占めて50.0%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) は0.32%である。造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) は32.69%であり、酸化チタン (TiO_2) が4.23%、バナジウム (V) 0.22%で、砂鉄製錬滓の組成を示す。随伴微量元素はおなべて低目で酸化マンガン (MnO) 0.26%、酸化クロム (Cr_2O_3) 0.044%、硫黄 (S) 0.016%、五酸化燐 (P_2O_5) 0.36%、銅 (Cu) 0.005%であった。

試材は製錬滓が覆土に混入したもので、住居跡への搬入とは異なると考えられる。

3-9 小鉄塊：8号住居跡床出土

(1) 肉眼観察

表裏ともに黒褐色を呈し、ややなめらかな肌に凹凸を有し、この表面の局部には亀裂が走り、そこより黒錆がにじみ出て、金属鉄が残留するのが外観から予測される。磁性は強い、なお外周部は鉄滓が残り、中核部に金属鉄が存在するので、化学組成の試料は両者を区別して分析できるようにサンプリングした。

(2) 顕微鏡組織

Photo. 5の2、3、4段目のa~eに示す。金属鉄の組成を示す。aは研磨ままで腐食 (etching) なしの非金属介在物である。けい酸塩 (SiO_2) 系の組成である。b、cはビクリル腐食の炭化物組織を示す。この小鉄塊の炭素 (C) 量は偏析が大きく、bの個所では過熱組織 (Over Heated Structure) が現われている。白色部はフェアライト、黒色層状部はパーライトである。またcの個所は、白鑄鉄のセメントタイトの一部が黒鉛化してしまつた鑄鉄 (Mottled Cast iron) になっている。組織の左側部に、はん (斑) 点状に黒鉛が晶出し、右側部に地のパーライトが存在する。炭素 (C) 量は2%を越えるであろう。

d、eはナイタル腐食 (etching) の組織である。dの個所は針状のフェアライトと、地の黒色パーライトの過熱組織である。eの個所は、黒色のパーライト部分で、その粒界に白い網状の初析セメントタイトが析出する。この組織の炭素含有量は1.4%前後であろう。

この様に小鉄塊であるが視野を替えることにより炭素量が0.4~2.0前後まで変動している。製鉄炉内で長時間加熱吸炭後、放冷を受けたので過熱組織やまだら鑄鉄組織まで表わす様な炭素量になったのであろう。

(3) 化学組成

Table. 2に示す。まず中核部の金属鉄部分の分析結果について述べる。炭素 (C) 量は0.99%が含有されていて、組織による鋼の分類で過共析鋼にあたる。鉄中の不純物は極めて少なく高純度の鉄塊である。けい素 (Si) 0.005%、マンガン (Mn) Nil、燐 (P) 0.014%、硫黄 (S) 0.014

%、銅 (Cu) 0.023%、クロム (Cr) Nilである。また、二酸化チタン (TiO_2) は0.017%、バナジウム (V) Nilであり、他の製造過程で入った元素としての造滓成分系のアルミニウム (Al) 0.005%、カルシウム (Ca) Nil、マグネシウム (Mg) 0.002%らも少量であった。

次に外周部の鉄滓部分である。全鉄分 (Total Fe) が42.6%であり、酸化第1鉄 (FeO) が%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) が4.33%であった。造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) は34.2%あるが、二酸化チタン (TiO_2) は少なく0.36%、またバナジウム (V) も0.016%と低目である。他の微量元素も全般的に少なく酸化マンガン (MnO) が0.021%、酸化クロム (Cr_2O_3) Nil、硫黄 (S) 0.159%、五酸化磷 (P_2O_5) 0.22%であった。この鉄滓成分は、造滓成分がかなり存在するが、二酸化チタンやバナジウムが低目であることが特徴的である。

(4) SEMによる非金属介在物の調査

Photo. 11に示す。走査X線像に示す非金属介在物は未加工なので球状を呈している。白色輝点が集中して検出される元素は、けい素 (Si)、アルミニウム (Al)、カルシウム (Ca)、カリウム (K) らであり、この小鉄塊のチタン (Ti) は極く微量で弱い。エネルギー分散型X線分析の局所分析で検出される元素も、走査X線像とはほぼ同様の傾向を示しているが、鉄 (Fe) とけい素 (Si) の比率の高いところからみてフェアライト系 (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) の非金属介在物といえる。I区8号住居跡は鍛冶炉と精錬鍛冶滓を伴うもので、この小鉄塊は再加熱・鍛打されて炭素量など均一化されて鉄器地金 (素材) に調整されたものと考えられる。

3-10 鉄滓→精錬鍛冶滓形滓: 8号住居跡出土

(1) 肉眼観察

表裏ともに黄褐色を呈し、局部的に茶褐色の鉄錆を発する楕円形の塊形滓である。表側は小波状の凹凸と木炭痕を残している。破面は黒褐色を呈し、縁部に3mm前後の気泡を連続的に発した緻密な鉄滓である。大きさは、 $140 \times 90 \times 30$ mmで重量が590gあり、大鍛冶の鍛冶炉でよく見受けられるタイプの塊形滓である。

(2) 顕微鏡組織

Photo. 6の最上段に示す。鉱物組成は白色粒状のグスタイト (Wüstite: FeO) が樹枝状気味に晶出し、これに淡灰色多角形状のマグネタイト (Magnetite: Fe_3O_4) が少量混在し、他に灰色盤状結晶のフェアライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) が加わり、これらの間隙を地の暗黒色ガラス質のスラグが埋めている。前述した小鉄塊不純物除去の大鍛冶的な鉄滓にみられる鉱物組成である。

(3) 化学組成

Table. 2に示す。全鉄分 (Total Fe) が44.5%で酸化第1鉄 (FeO) 43.4%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) 15.39%の割合で存在し、造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) が23.13%である。全鉄分と造滓成分は量的にみて中間レベルである。また二酸化チタン (TiO_2) は2.04%、バナジウム (V) 0.11%と両者の成分値は製錬滓と、製品加工時の鍛冶滓との中間的位置に納まる。他の随伴微量元素も酸化マンガン (MnO) が0.13%、酸化クロム (Cr_2O_3) Nil、硫黄 (S) 0.045%、五酸化磷 (P_2O_5) 0.31%、銅 (Cu) 0.005%で製錬滓程高くない。

これらの化学組成の分析結果は、製錬滓と鍛錬鍛冶滓（加工鍛冶滓）の中間的なレベルであり、製錬炉で還元された直後の不純物を多く含有した鉄塊や、炭素含有量のバラツキの大きな鉄塊などを再加熱して排出された滓にあたる。これは成分調整の段階で生成された滓であり、精錬鍛冶滓（大鍛冶滓）に分類できる。

3-11 須恵器付着鉄滓：8号住居跡出土

(1) 肉眼観察

表面が淡茶褐色で微小気泡を有した鉄滓が須恵器破片に付着している。鉄滓破面は鉄分錆の黒褐色を呈し、気泡は認められない。

(2) 顕微鏡組織

Photo. 4の3、4段目に示す。組織のaとa'は写真中央に少量の酸化した金属鉄を残し、その周辺を淡灰色のマグネタイト (Magnetite: Fe_3O_4) と灰色盤状結晶のフェアライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) が晶出し、その間隙に地の暗黒色ガラス質のスラグが埋めている。bとb'の組織は、マグネタイトとフェアライトの結晶が晶出しているが、フェアライト結晶の一部は急冷のため未発達な針状結晶となっている。製錬滓の鉱物組成を示している。この須恵器の方は砂鉄貯蔵用の甕あたりであったろうか。製錬炉の近くに置かれていて鉄滓飛まつが付着したのであろう。

3-12 鉄滓→鍛錬鍛冶小型碗形滓（加工鍛冶滓）：44号住居跡出土

(1) 肉眼観察

表裏ともに茶褐色を呈し、比較的なめらかな肌の小気泡を発生した偏平状の小型碗形滓で半分を欠く。破面は黒色で小気泡を発生している。

(2) 顕微鏡組織

Photo. 6の2段目に示す。鉱物組成は白色粒状のヴスタイト (Wüstite: FeO) が樹枝状に晶出し、これに灰色長柱状のフェアライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) が存在し、その間隙を地の暗黒色ガラス質のスラグが埋めている。典型的な鍛錬鍛冶滓（小鍛冶滓→加工鍛冶滓）の晶癖を示している。

(3) 化学組成

Table. 2に示す。鍛冶滓にしては全鉄分 (Total Fe) は低目傾向で44.1%であり、酸化第1鉄 (FeO) が大部分で54.1%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) が2.88%である。造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) は28.43%で逆にこちらは鍛冶滓としては多い目であるが、二酸化チタン (TiO_2) 0.24%、バナジウム (V) 0.011%と両者とも低目である。また、他の随伴微量元素も少なく、酸化マンガン (MnO) 0.061%、酸化クロム (Cr_2O_3) 0.016%、五酸化リン (P_2O_5) 0.21%、銅 (Cu) 0.005%である。ただし硫黄 (S) のみは若干高目で0.054%であった。

二酸化チタン (TiO_2) が1%未満、バナジウム (V) が小数二桁目の数字と濃度的にうすまわっているところから、この鉄滓は鉄製品鍛造加工時に排出された鍛錬鍛冶滓（小鍛冶滓→加工鍛冶滓）に分類できる。なお造滓成分が多い目であったところからみて、鉄素材はまだ鉄滓分をかなり混在

したものを加熱鍛打したと推定される。また鍛冶に使用された木炭は硫黄分がやや高目であったと考えられる。

この鉄滓を出土した44号住居跡は、鉄滓を14.305g、炉壁、羽口、鉄鉢、印章鋳型を出土しており、小鍛冶の工房跡とみられていた。今回の調査結果もこれを裏付けている。

3-13 鉄滓→打欠き製錬滓：44号住居跡出土

(1) 肉眼観察

大きさが100×65×55mmの鉄滓であるが、各面ともに人工の破碎打欠き痕跡を残している。大部分は淡黒褐色を呈するが、一部に濃黒茶色の鉄分の残留する箇所を残している。全体に重量感があって905gを測る。

(2) 顕微鏡組織

Photo. 6の3段目に示す。鉱物組成は淡灰白色多角形のマグネタイト (Magnetite: Fe_3O_4) と白色粒状のヴスタイト (Wüstite: FeO) が少量と、これに灰色盤状結晶のフェアライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) それに基地の暗黒色ガラス質スラグから構成されている。砂鉄製錬滓の組織である。

(3) 化学組成

Table. 2に示す。製錬滓としては全鉄分 (Total Fe) が高目の44.5%で、酸化第1鉄 (FeO) 51.4%、酸化第2鉄 (Fe_2O_3) が6.46%である。造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) は22.31%と低目である。二酸化チタン (TiO_2) は多く12.01%あり、バナジウム (V) が0.50%で砂鉄製錬滓の成分系を示す。他の随伴微量元素は、やや高目で酸化マンガン (MnO) 0.47%、酸化クロム (Cr_2O_3) 0.050%、硫黄 (S) 0.022%、五酸化リン (P_2O_5) 0.33%、銅 (Cu) 0.004%であった。この鉄滓は製錬還元した塊の中で、まだ鉄滓と分離しきれなかった鉄部分を採取するために破碎打欠きを行なった残滓であろう。打欠き鉄滓の一部には残留鉄分が外観観察で認められていた。こうして採取された破碎鉄は鍛冶炉で再加熱して鉄器もしくは鉄地金に鍛造された筈であり、今回の試料の様に鍛錬鍛冶炉系の遺構から出土するところをみると、成分バラツキの少ない鉄塊の可能性が大きかったとみるべきであろう。

3-14 鉄滓→打欠き製錬滓：87号住居跡出土

(1) 肉眼観察

当鉄滓も裏側底面を残して他は打欠き痕跡を残す鉄滓である。打欠き面は淡茶褐色を呈して気泡が少なく緻密質である。表面は木炭痕を残して炉内に残留した跡を留めている。破面は黒褐色で部分的に鉄錆を発するが磁性はほとんど感じさせない。大きさは80×80×65mmで750gを測った。全体に緻密質で重量感のある鉄滓である。

(2) 顕微鏡組織

Photo. 6の最下段に示す。鉱物組成は淡灰白色多角形のマグネタイト (Magnetite: Fe_3O_4) と白色粒状のヴスタイト (Wüstite: FeO) 灰色盤状結晶のフェアライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$)

これに地のガラス質スラグから構成されている。これも砂鉄製錬滓の組織である。

(3) 化学組成

Table. 2に示す。全鉄分 (Total Fe) が高目で50.1%、このうち酸化第1鉄 (FeO) が51.9%、酸化第2鉄 (Fe₂O₃) が13.95%を占める。造滓成分 (SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO) が27.5%で二酸化チタン (TiO₂) 4.73%、バナジウム(V) 0.28%である。他の微量元素は酸化マンガン(MnO) 0.27%、酸化クロム (Cr₂O₃) 0.035%、硫黄 (S) 0.040%、五酸化リン (P₂O₅) 0.36%、銅 (Cu) 0.005%である。二酸化チタン (TiO₂) が低目の砂鉄製錬滓である。当鉄滓も含鉄鉄滓から鍛冶用鉄分を採取した残滓であろう。

3-15 砂鉄：Ⅳ区1号炉第12層出土

(1) 肉眼観察

前述したDAI-2の堯付着砂鉄と同系と考えられる黒褐色を呈する砂鉄粒子である。Photo. 7の外観写真は選別前の状態を示す。

(2) 顕微鏡組織

Photo. 7の最上段に示す。砂鉄粒子の大きさは、200~250μあり格子状組織のチタン鉄鉱 (Ilmenite: FeO · TiO₂) を有するものと、脈石らの不純物をほとんど含有しない磁鉄鉱 (Magnetite: Fe₂O₃ · FeO) 粒子が混在する。

(3) 化学組成

Table. 2に示す。鉄分は全般に低目で全鉄分 (Total Fe) が44.3%あり、このうち酸化第1鉄 (FeO) が16.60%、酸化第2鉄 (Fe₂O₃) が44.9%である。また、不純物として二酸化けい素 (SiO₂) 7.80%、酸化アルミニウム (Al₂O₃) 7.47%と高目であるが、二酸化チタン (TiO₂) 4.73%、バナジウム (V) 0.18%は比較的low目である。また、他の随伴微量元素も少なく、酸化マンガン (MnO) 0.34%、酸化クロム (Cr₂O₃) 0.036%、硫黄 (S) 0.033%、五酸化リン (P₂O₅) 0.25%、銅 (Cu) 0.007%であった。

この様に該品は鉄分が50%に満たぬ貧鉄で二酸化けい素や酸化アルミニウムの量が多いところをみると、製錬初期段階に反応性を高める為に装入する赤目系砂鉄であろうか。原料砂鉄は該品のみでなく、他にも高鉄分系のもが準備されていたものと考えられる。

3-16 鉄滓→製錬滓：Ⅳ区3号製鉄炉出土

(1) 肉眼観察

表皮は小豆色を呈し、一部に流出状肌と海綿状肌の両者を併せもち、これに木炭灰を残す炉内残留滓である。裏面は淡茶褐色で凹凸肌に気泡を発生し、これに高温で青灰色に変色した炉材粘土を局部に付着している。破面は黒色緻密質であるが、3~5mmの気泡が散在する。

(2) 顕微鏡組織

Photo. 7の上から2段目に示す。鉱物組成は淡灰色多角形と樹枝状小結晶のマグネタイト (Magnetite: Fe₂O₃) に灰色短柱状のフェアライト (Fayalite: 2FeO · SiO₂)、これに地の暗黒

色ガラス質スラグから構成されている。急冷組織の砂鉄製錬滓である。

(3) 化学組成

Table. 2に示す。残留鉄分が多く全鉄分(Total Fe)が48.2%あり、このうち酸化第1鉄(FeO)が50.0%、酸化第2鉄(Fe₂O₃)は13.28%である。一方造滓成分(SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO)は29.65%あり、二酸化チタン(TiO₂)5.63%、バナジウム(V)0.19%である。他の随伴微量元素は酸化マンガン(MnO)0.39%、酸化クロム(Cr₂O₃)0.036%、硫黄(S)0.028%、五酸化燐(P₂O₅)0.40%、銅(Cu)0.005%であった。砂鉄製錬滓である。

3-17 鉄滓→砂鉄製錬滓：Ⅳ区製鉄炉前庭部出土

(1) 肉眼観察

小豆色を呈する流出滓である。裏面は黄褐色でなめらかな肌を有する。破面は黒色緻密質で気泡はほとんど認められて、3回に亘って排出された重なりをもち、炉外で急冷されている。

(2) 顕微鏡組織

Photo. 7の3段目に示す。鉱物組成は白色微小結晶のマグネタイト(Magnetite: Fe₃O₄)が樹枝状に晶出し、これに灰色長柱状のフェアライト(Fayalite: 2FeO·SiO₂)が加わる。これも砂鉄製錬滓の組織である。急冷されている為微小結晶を示している。

(2) 化学組成

Table. 2に示す。製錬滓としては鉄分が高目傾向にあり、全鉄分(Total Fe)48.5%、酸化第1鉄(FeO)49.9%、酸化第2鉄(Fe₂O₃)13.89%である。造滓成分(SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO)が31.70%、二酸化チタン(TiO₂)3.5%、バナジウム(V)0.16%であった。他の微量元素は酸化マンガン(MnO)0.23%、酸化クロム(Cr₂O₃)0.038%、硫黄(S)0.021%、五酸化燐(P₂O₅)0.39%、銅(Cu)0.007%であった。この成分系からも砂鉄製錬滓であることが証拠づけられる。

3-18 鉄滓→製錬滓：Ⅳ区製鉄炉前庭部出土

(1) 肉眼観察

表裏ともに茶褐色を呈し、大部分が海綿状で一部になめらかな肌を有する。炉内残留滓である。裏面は小滴下状凹凸面で微小気泡が認められる。破面は概して外周部が黒色を示し、中核部は黒赤色を呈して鉄分が多い様に見受けられる。両者とも緻密質であるが化学組成では、この外周部と中核部を区別して分析している。

(2) 顕微鏡組織

Photo. 7の最下段に示す。組織は砂鉄の磁鉄鉱粒子(Fe₃O₄·FeO)からマグネタイト(Magnetite: Fe₃O₄)、それからヴスタイト(Wüstite: FeO)へと還元する過程の状態を示している。白色不整形結晶の端部に淡灰色のチタン濃縮部分が認められる。これに灰色盤状結晶のフェアライト(Fayalite: FeO·SiO₂)とガラス質スラグが加わっている。

この鉱物組成ではFe₂O₃→Fe₃O₄→FeOの挙動が認められて炉内残留滓としても貴重なものであ

る。

(3) 化学組成

Table. 2に示す。肉眼観察で外周部と中核部に鉄分の差がありそうだったので、二者の試料を区別して採取し、分析を行なったが両者の差異は左程認められなかった。すなわち全鉄分(Total Fe)は高目で49.0~53.4%、酸化第1鉄(FeO)35.0~41.6%、酸化第2鉄が高くて30.1~31.1%である。また造滓成分(SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO)は22.4~28.4%である。次に二酸化チタン(TiO₂)は2.25~3.97%、バナジウム(V)0.12~0.22%、他の随伴微量元素は酸化マンガン(MnO)0.22~0.27%、酸化クロム(Cr₂O₃)0.035~0.064%、硫黄(S)0.089~0.128%、五酸化磷(P₂O₅)0.03~0.26%、銅(Cu)0.005~0.008%であった。

これも砂鉄製錬滓であるが、鉱物組成でみた如く、砂鉄粒子の還元過程のものなので、酸化第2鉄(Fe₂O₃)が高目の30%台で、Table. 2の他の製錬滓成分でみられぬ数値であり、砂鉄成分に近い状態である。

4 考察

4-1 銅粒について

49号住居跡より銅粒と印章鋳型が共存して出土した。今回、この銅粒をEDAX(エネルギー分散型X線分析)により局部分析を行なうと、ほとんど純銅に近い成分系で不純物として鉛(Pb)、けい素(Si)が微量検出された。銅粒は製錬を終えたままの成分系で熟銅である。

銅製品は通常銅の単独使用は少なく、錫(Sn)や鉛(Pb)亜鉛(Zn)らを添加して合金化させることにより、溶融点を下げ、湯まわり性や強度を改善させている。銅-錫合金の溶融点はFig. 1に示す状態図を参照されたし。例えば銅は溶融点は1083°Cであるが、錫が10%添加されると1003°Cまで低下する。

この銅粒が印章鋳型に注入される湯こぼれであれば銅-錫合金であった筈である。

なんとなれば、鋳印の製作法をはじめとして官印の合金の配合率が延長5年(927)に編纂された『延喜式』巻17内匠寮式に記載されており、当時の鋳工らは印章合金に対する知見はもっていたと考えられる。

官印は4種ある。一番目は御印であり『天皇御璽』の印文がある内印がある。

- 内印一面料。熟銅大一斤八匁。白鑄大三匁。闕大三匁。調布二尺。炭三斗。和炭二斗。長功七人。取直鑄工二人。鑄二人。磨三人。中功八人小半。短功九人大半。

二番目に外印がある。太政官印である。

- 外印一面料。熟銅大一斤。白鑄大二匁。闕大二匁。調布二尺。炭二斗。和炭二斗。長功七人。鑄工二人。鑄二人。磨三人。中功八人小半。短功九人大半。

三番目は諸司印である。政府各省、諸部局の印である。

- 諸司印一面料。熟銅大十四匁。白鑄大一匁二分。闕大一匁二分。調布二尺。炭二斗。和炭二斗。長功六人。鑄工鑄二人。鑄二人。磨二人。中功七人小半。短功八人大半。

4番目が諸国印である。地方諸国から京に上る解（被管の宮司から所管の宮司に奉る文書）、およびその保管すべき文案、調物などに押印するものとされた。

●諸国印一面料。熟銅大十二両。白鑄大一両一分。闕大一両一分。調布二尺。炭二斗。和炭二斗。長功五人。鑄工鑄二人。中功六人半。短功七人小半。

上記の文面から合金配合率を調べてみると次の様になる。内印は熟銅大1斤八両、白鑄大二両の配合比である。熟銅は製錬後のほぼ純銅であり、白鑄は錫である。大1斤は671gであり、1斤は16両、1両は4分に換算できる。銅は1005.6g、錫は125.7となる。これを重量比で計算すると下記の様になる。

$$\text{銅} \frac{1005.6}{1005.6+125.7} \times 100 = 88.9\% \quad \text{錫} \frac{125.7}{1005.6+125.7} \times 100 = 11.1\%$$

内 印……88.9%銅、11.1%錫

外 印……88.9%銅、11.1%錫

諸司印……90.3%銅、9.7%錫

諸国印……90.6%銅、9.4%錫

この配合比計算は、内割と外割によって数値は変動するが上記値は外割である。

台耕地遺跡出土の印章が官印もしくは公印（国倉印、郡印、郷印、軍団印、僧綱印、国節印）か、それとも私印であったのか等の検討も必要であるが、それは別の機会にゆずるとして本稿では合金配合率を考えた場合、熟銅に対して錫10%前後の添加が印章材質の成分になるといえるであろう。印章合金に近い成分系の銅粒が印章鑄型と共に出土した遺跡に千葉県の谷津遺跡がある。これは諸国印に近似した銅（92.2%）—錫（2.18%）合金であった。

以上の観点をまとめれば、台耕地遺跡出土の銅粒は、合金元素添加前の純銅成分であるといえる。

台耕地遺跡では鑄銅と製鉄の両方が行なわれていた。他遺跡においてもこのような生産形態がとられたケースとしてTable 4に示す事例を挙げる事ができる。

Table 4 鉄滓と銅滓・銅粒の共存出土例

出 土 地	遺 跡 名	製鉄と銅作業の組合せ	推 定 年 代	註
福岡	糸島郡二丈町大字石崎	曲り田 鍛冶滓と鑄造溶解滓（銅）	奈良時代後半 （8C後半）	1
〃	太宰府市	太宰府 〃	平安時代	2
〃	北九州市小倉南区徳力	徳力 鍛冶滓と銅製鑄滓	平安時代	3
埼玉	大里郡花園町大字黒田	台耕地 製鉄鍛冶と共に印章鑄型銅粒出土	平安時代 （国分寺）	4
千葉	千葉市花輪町346	谷津 鍛冶滓と印章鑄型、銅粒出土	平安時代	5
石川	鳳至郡穴水町	金屋ノ浜 鍛冶滓と青銅溶解ルツボ	17C	6
鹿児島	鹿児島市吉野町	尚古集成館 高炉滓と反射炉滓（鉄と銅あり）	（近世幕末）	7

Table 4 の注

- 1) 大澤正己「石崎曲り田遺跡出土の鉄塊・鉄滓・銅滓の金属学的調査」『石崎曲り田遺跡』
福岡県教育委員会 1984
- 2) 未発表試料 S54.12.13 森田勉氏より提供を受けた試料 6 AYT-A GM50.79.12.04
- 3) 報告書準備中 北九州市教育文化事業団埋蔵文化財調査室
- 4) 大澤正己「台耕地遺跡出土の鉤銅・製鉄関係遺物の金属学的調査」『台耕地遺跡』
(埼玉県埋蔵文化財調査事業団報告書第33集) 1984
- 5) 大澤正己「谷津遺跡出土の製鉄・鉤銅関連遺物の分析調査」千葉市教育委員会へ原稿提出中
1981.9.8
- 6) 報告書準備中 穴水町教育委員会
- 7) 大澤正己「吾辛城跡出土滓の調査」『吾辛城跡』(鹿児島県埋蔵文化財発掘調査報告書(27)) 1983

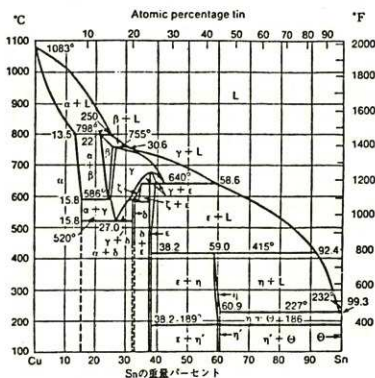


Fig. 1 Cu-Su 合金状態図 (C. S. SMITH による)

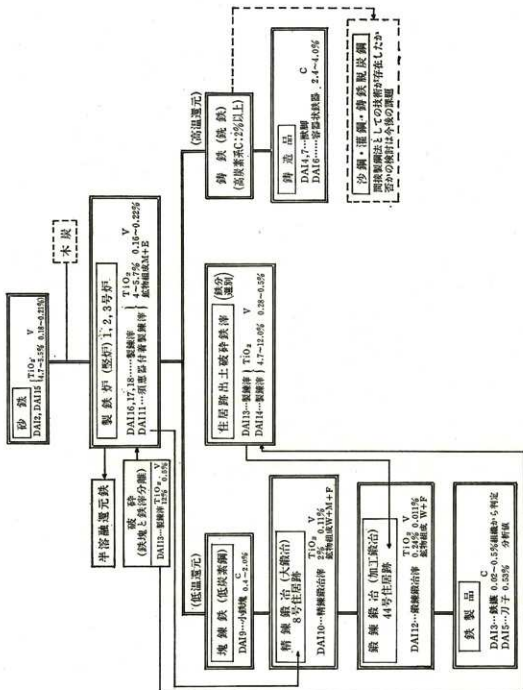


Fig. 2 台耕地運出上上の鉄鋼製造法概念図

4-2 台耕地遺跡の製鉄

(1) 製鉄反応の概要

Fig 2に台耕地遺跡より出土した製鉄関係遺物より、鉄鋼製造工程の概念図を組立てた。まず製鉄原料は砂鉄である。出土砂鉄や製鉄滓成分が、それらを証明する。49号住居跡出土の覆付着砂鉄(DA I-2)や、Ⅳ区1号炉第12層出土砂鉄(DA I-15)らは、二酸化チタン(TiO_2)が4.7~5.5%、バナジウム(V) 0.18~0.21%含有の第3紀層の中性ないし塩基性火山岩に由来する。この成分系砂鉄は製鉄初期段階での装入物として使われたのであろう。全鉄分(Total Fe)は44%と低目である。他に鉄分が50~60%レベルの砂鉄を装入したであろう。砂鉄の採鉱方法はさだかでないが、水洗による比重選鉱法であったろう。

製鉄炉は3基が検出されている。そのうち1基は残存する上面プランをみると略隅丸長方形で70×90cm前後、掘り込みの底から約80cmが認められる。操業時の炉体は堅炉で、炉の平面積に対して断面積の大きい還元帯の長いタイプである。炉高は150cmを越えたであろう。

この堅炉に還元剤の木炭と砂鉄を交互に積み重ね、点火して羽口より冷風を送り込み(自然送風、皮フイゴの人工送風の二本立ての可能性あり)還元反応を起させる。純鉄の融融点は1570°Cであるが、鉄中に炭素含有量が増加すると次第に融点は下って炭素含有量が4.3%前後で1150°Cとなる。台耕地遺跡において銹鉄(鉄鉄)が存在するところから1200°C以上の火力が得られたと推定される。

台耕地遺跡からは、今回の調査において木炭窯の検出はなかったが、周辺の何処かに存在したことは疑いない。埼玉県伊奈町の大山遺跡^⑧をはじめとして千葉県の花前、取香、御幸畑の各遺跡^⑨でみられるごとく平安時代の製鉄炉には炭窯がセットで設置されている。

製鉄の還元剤となる木炭は、反応性のよい黒炭系であったろう。伊奈町の大山遺跡でみられるb-6号製鉄炉出土木炭は、揮発分31.5%、固定炭素50.9%、灰分17.68%、付着水分16.74%、硫黄(S) 0.039%、燐(P) 0.007%、発熱量5,268Calを示す性状である^⑩。台耕地遺跡においてもこれに近い性状の木炭が装入されたと考えられる。

還元剤の木炭は、製鉄に欠くべからざる原料であるが、脱硫、脱炭を目的とする石灰石らの塩基性造滓剤の添加は如何であったろうか。製鉄滓の酸化カルシウム(CaO)が2.0%台であるところから特別の添加はなかったと断定される。製鉄原料は砂鉄であり、不純物が少ないことと、溶剤なしの鉄滓は FeO-SiO_2 系となり、融点も1,100~1,200°Cであるが、溶剤を添加すると CaO-SiO_2 系や $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ 系となり、融点が1,400°C以上に上昇し、当時の技術として鉄と滓の分離がむづかしくなる。

炉材粘土の主成分は、カオリン系鉱物である。これが溶剤の役目を果している。炉材粘土の分析としては例えば群馬県の金井製鉄炉の炉壁粘土で示せば、56% SiO_2 、23% Al_2O_3 、15% Fe_2O_3 、3.2% CaO 、2.3% MgO であり、耐火度SK11である^⑪。耐火度SK11は、1,320°Cで粘土が軟化現象を越すので、銹鉄を還元するには少々不足気味であるが、台耕地遺跡の炉壁がどの程度の耐火度であったのか興味もたれる。

製鉄反応は次の順序で進行したと考えられる。炉内で点火後、加風すれば砂鉄は低温から木炭に

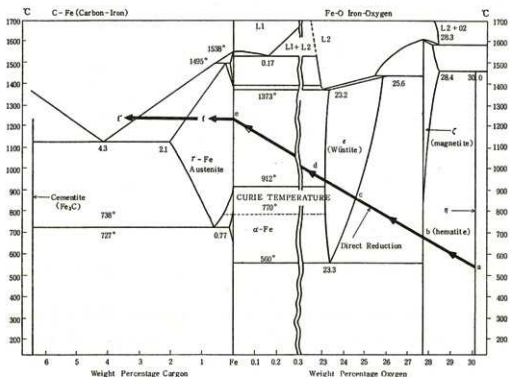


Fig. 3 製鉄原料の還元反応を示す相ダイアグラム (伊東錫, 註①より)

加熱されて還元反応がはじまる。伊内反応は、伊東錫教授らの提示されるFig. 3の相ダイアグラムにもとずけば次の様になる。

Fig. 3の還元反応はa-b-c-d-e方向に直線的に進行すると仮定すれば、砂鉄のヘマタイト (Hematite: Fe_2O_3) は点aからbまでは(1)(2)式となる。



(1)(2)によってマグネタイト (Magnetite: Fe_3O_4) を形成し、点bから点cまでの間で、式(3)(4)がおこる。



ここでヴスタイト (Wüstite: FeOx) が形成され点dまでは FeOx 状態に維持され、点eにおいて Wüstite (FeOx) は式(5)(6)によって砂鉄はFeに還元される。



Photo. 7に示すDA I-18の顕微鏡組織は、式(1)~(4)の過程を表わしている。またDA I-9の塊鉄は、 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Metallic Fe}$ の固相反応によって生じている。この時、Fig 3のe-f方向に浸炭反応が起って塊鉄中の炭素量にバラツキができる。これを説明するには

Fig. 4 のFe—C—O系平衡相図が必要となる。

Boudouard 反応によって COガス分圧がその温度の平衡値以上であれば



によって炭素 (C) が析出する。Fig. 4 のBoudouard Curve に依れば CO/CO₂ の平衡値温度範囲において平衡組成より CO 量が多くなればなるほど温度が上昇するにつれ炭素 (C) を析出して行く。

このような分解反応は固体に接触しなければその速度が、おそいが金属鉄が存在すれば触媒的にその速度が大きくなる。Fig. 4 BOCのWüstite の安定区域を越えるとAHB以上の区域は金属鉄が安定する区域だが、このときの金属鉄は浸炭の程度によって0.1%以下、0.1~0.2% C、0.2~0.4% C、0.4~0.6% Cまで含炭量 (C) を維持することができるのみならず酸素 (Oxygen) を含んでおり、これを Oxyferrite または Oxyaustenite といい、これは金属鉄の含炭量を不規則に変化させており、塊鉄の含炭量が広範囲に現われていると考えられる。DA I—9 の8号住居跡出土の小鉄塊は、炭素含有量が0.4~2.0%と変動しているのは、上記反応の活発な個所での産物とみなされる。

製鉄炉から排出された鉄滓は、DA I 16, 17, 18である。二酸化チタン (TiO₂) が4~5.7%、バナジウム (V) 0.16~0.22%である。鉱物組成はマグネタイト (Magnetite: Fe₃O₄) + フェアライト (Fayalite: 2FeO·SiO₂) である。また、須恵器付着の製鉄滓DA I 11もマグネタイト+フェアライトであった。

44号住居跡覆土から出土した製鉄滓のDA I 13がある。外観は人工による破砕打欠き面をもって、二酸化チタン (TiO₂) が12%、バナジウム (V) 0.5%と高い。同じ製鉄滓でも前述したDA I 16, 17, 18と成分に差異がある。これは再製鉄打欠き滓とも名づけるべきではなからうか。最初の製鉄で炉況が悪く延性のない粗悪な還元鉄が形成され、これを活用するために破砕し、木炭粒

と混ぜ合わせて再製鉄した為に二酸化チタン (TiO₂)、バナジウム (V) が二倍以上に濃縮されている。

なお、近世たたら鉄押し法では、High Ti系、銅押し法ではLow Ti系の鉄滓が排出されるのではないかとこの意見もあり、これが古代製鉄の炉内反応にどう影響しているのか追求するのも今後の課題であろう。

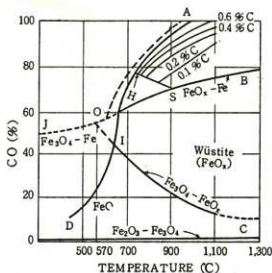


Fig. 4 Fe—C—O系に対する浸炭と還元平衡相図

(2) 低温還元による塊鉄の製造

製鉄炉で還元された鉄は、その炭素含有量によって低温還元の塊鉄と高温還元の鉤鉄（銃鉄）に二分される。

塊鉄は炭素量が2.0未満であり、製鉄炉から取り出した後、鍛冶炉で再加熱し鍛造して成分調整を行ない、鉄器に加工する。また鉤鉄は炭素量が2.0以上あり、高温還元で溶融銃鉄をそのまま鋳型に注入して製品とする。台耕地遺跡では獸脚に注入している。

台耕地の製鉄炉では塊鉄と鉤鉄の両方が製造されているが、これは意識的に作り分けたのか結果的に二者ができたのか興味をよぶところである。ともあれ、製鉄原料の砂鉄を木炭と交互に積重ねて装入した後、点火して数時間以上送風を継続させれば、570°C付近から還元がはじまる。温度の上昇によって還元速度が次第に早まり、1,000°Cを超えるようになると未還元の砂鉄中のFeOと炉壁に含有される二酸化けい素（SiO₂）、酸化カルシウム（CaO）、酸化アルミニウム（Al₂O₃）、酸化マグネシウム（MgO）らが溶滓を形成し、還元鉄を残して炉底に流れ落ちる。この還元鉄は、前述したように炭素含有量が不均一でかつ、鉄滓や不純物を多く含有するので、このままでは鉄素材として使えない。これらを鍛冶炉において加熱した後、鍛打を加えながら内部の鉄滓や不純物が圧出され、炭素含有量の偏折も調整される。DA I-9の小鉄塊が精錬鍛冶炉のある8号住居跡から出土したのもうなずける。この成分調整で排出された鉄滓がDA I-10の精錬鍛冶滓である。二酸化チタン（TiO₂）は2%、バナジウム（V）0.11%と製鉄滓のDA I-16、17、18らに比べると半分以下に減じ、鉱物組成もヴスタイト（Wüstite : FeO）が主でマグネタイト（Magnetite Fe₃O₄）がわずかに加わる。

精錬鍛冶で成分調整された鉄素材は、いよいよ製品化される。鍛錬鍛冶である。台耕地遺跡では鉄鎌が鍛造鉄器として取り上げられた。DA I-3の顕微鏡組織が示すように反復鍛打によって金属鉄中の非金属介在物は微細分散され、鍛造後の焼なましによって再結晶し、結晶粒度が微細化されているのが認められる。特にこの製品は、鉄鎌の茎で消耗品という観点から二種の素材の鍛接という手法が検出された。また炭素含有量もバラツキが大きく、パーライト析出に濃淡があり、炭素量で0.02%から0.5%の範囲である。

この様な鉄製品を鍛造するために鉄素材を加熱して排出されたのがDA I-12で示す鍛錬鍛冶滓である。44号住居跡出土である。鉱物組成はヴスタイト（Wüstite : FeO）+フェアライト（Fayalite : 2FeO・SiO₂）で、化学組成の二酸化チタン（TiO₂）が0.24%、バナジウム（V）0.011%と、製鉄滓→精錬鍛冶滓→鍛錬鍛冶滓というように順を追うごとに濃度はうすまってきている。

以上の如く台耕地遺跡の製鉄は低温還元の過程をたどる事ができ、鍛冶工程が押えられ積層鍛造技術などの存在も明らかになった。なお鉄鎌や刀子（DA I-5）など刃部の調査ができなかったので熱処理による滲炭や焼入れ技術等の材質強化に関する技術の検討までは言及することができなかったのが心残りである。

(3) 高温還元による鑄鉄(鉄鉄)の製造

鉄鉄(鉄鉄)を還元する炉は堅炉が適している。還元帯が長いために炭素と接する時間が長く、かつ一酸化炭素雰囲気は吸炭作用に効くものと考えられる。また、砂鉄は細粒であり、木炭と接触する表面積が広く鑄鉄製造の原料としても有利である。鑄鉄の製造に当っては台耕地遺跡の場合前述した塊鍊鉄と同じ炉を使ったと考えられるが、操業に際しては若干の配慮がなされたであろう。それは炉底に充分な量の木炭を敷き、その上に砂鉄と木炭を混合して装入し、その後点火送風して溶鍊を始めている。

低温から砂鉄の還元が始まることは塊鍊鉄の場合と同じである。還元された金属鉄は900°C以上でCOガスの分圧を充分に高めることが出来るように(Fig. 4のCO%が60%以上)高温と炉内雰囲気維持できれば金属鉄が滲染され、融点が下がりながら(Fig. 3でa-b-c-d-e-fに進行)炉底に滴下してゆき、溶鉄は木炭粉と反応して更に含炭量が高められ、鉄鉄湯を形成するようになる。

この熔融状態の鉄鉄湯は、炉底部に設置された湯道を通して鑄型に導入されたと考えられる。獸蹄はこの様にして鑄造されたのであろう。獸蹄は白鑄鉄組織であり、肉厚の薄さが冷却速度に影響して早くなり、黒鉛の生成がなかったと考えられる。白鑄鉄は硬くて脆弱であるため、用途が限られてくる。

このため、鉄鉄の材質軟化を目的とした熱処理で白鑄鉄の基地組織のセメントサイトを分解して黒鉛化させる技術があり、可鍛鑄鉄であり、ねずみ鑄鉄である。台耕地遺跡では、これまでの技術的展開があったか否かさだかでない。また鉄鉄から間接製鋼法の沙鋼法の鋼の製造がなされていたかという問題も今後の課題として残る。

沙鋼とは鉄鉄を加熱溶解し、空気中で攪拌脱炭(酸化)して鋼を造る方法である。中国の前漢代に発明された製鋼法である。また、灌鋼という塊鍊鉄と鉄鉄を組合せた製鋼法がある。低炭素含有量の塊鍊鉄を鍛打して指先の幅ほどの薄片を作り、長さ一寸半ばかりにする。この鉄片を束ねて強くしめ、鉄鉄をその上におく。これを堅炉に入れて送風する。火力がまわると鉄鉄がまず溶けて塊鍊鉄の中にしみ込み、両者はすっぱりまざり合う。取り出して打ち鍛え、さらに精鍊してさらに打つ。こうして鍛造可能な鋼を製造するのである⁹。この様な鉄鉄から鋼を作る技術が台耕地遺跡に存在したかどうかとも追求課題である。

5 まとめ

台耕地遺跡出土の鑄鋼及び製鉄関係遺物の金属学的調査を行なって古代の生産工程の一端に触れることができた。

- <1> 印章鑄型共伴の小鋼粒は、合金化添加物の錫(Sn)が検出されず、熟銅成分であった。
- <2> 製鉄は、一貫作業の各工程における製鉄関係遺物の調査ができた。
- <3> 製鉄原料は砂鉄である。鉄滓は製鉄炉から出土した製鉄滓をはじめとして、鍛冶工房と考えられる8号住居跡出土の成分調整(大鍛冶)の精鍊鍛冶滓、また44号住居跡出土で鉄器製作時に排出された鍛鍊鍛冶滓(加工鍛冶滓→鍛鍊鍛冶滓)らが存在し、これらは鉱物組成と

化学組成において、それぞれ特性値を示すことを明らかにした。

- <4> 住居跡からも製錬滓が出土する。人工的打欠き痕を残す炉内残留滓で、鉄塊採取後の残渣と考えられる。成分的に二種類あり、(i)高チタン (TiO_2 : 12%) 高バナジウム (V: 0.5%) 含有滓と、(ii)普通滓 (TiO_2 : 5%前後, V: 0.2%前後) である。

(i)は濃縮された二酸化チタンとバナジウムを含有しているところから、最初の製錬は還元条件が悪かった為、延性のない粗悪な鉄粒を生成したので、再製錬を行なった含鉄鉄滓と解釈できる。なお近世たたら用語の鋸押し滓という考え方もあり、この高チタン高バナジウム含有滓の位置づけは、まだ流動的である。

- <5> 鉄素材及び製品は低温還元法と高温還元法にもとづく産物が存在する。前者は塊錬鉄であり、後者は鋸鉄(鉄鉄)である。

塊錬鉄は鍛冶工房と考えられる8号住居跡から出土した。炭素含有量は顕微鏡観察で0.4~2.0%のバラツキをもっており、鍛冶炉で再加熱後反復鍛打して成分調整を行なって鉄素材とする材料である。

- <6> 低温還元法にもとづく鉄製品に鉄鐵がある。反復鍛打で異材を鍛接し、齊粒化した微細な結晶粒を呈している。炭素含有量は0.02~0.5%と変動をもつが高度な熱処理技術を擁していたと考えられる。なお非金属介在物にチタン(Ti)分を含有するところから砂鉄系の素材と判定される。

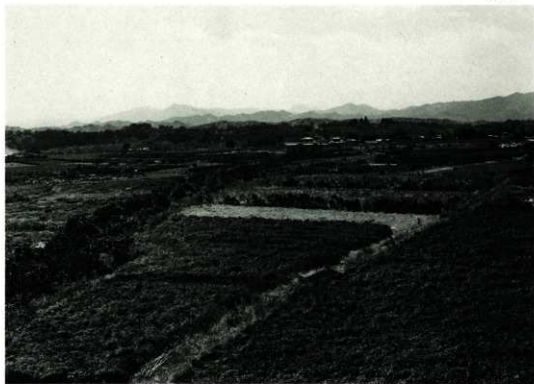
- <7> 高温還元による鋸鉄(鉄鉄)は獸脚や容器状鉄器に製品化された白鋸鉄である。炭素含有量は2.4~4.0%であった。堅炉における鋸鉄の製造が裏付けられた。ただし鋸鉄の量産化がなされたか否かははっきりしない。

- <8> 鋸鉄製品が生産されているが、これを原料とした間接製鋼法の炒鋼法や灌鋼法が存在したか否かは不明である。今後の研究課題としたい。

註

- ① 鈴木敏昭・中島宏「台峯地遺跡の調査」『第12回遺跡発掘調査報告会発表要旨』埼玉県教育委員会 1979. 2. 18
- ② 埼玉県埋蔵文化財調査事業団、酒井清治氏ご教示
- ③ 大澤正己「大山遺跡を中心とした埼玉県下出土の製鉄関係遺物分析調査」『大山』(埼玉県遺跡発掘調査報告書 第23集) 埼玉県教育委員会 1979
- ④ 大澤正己「猿島北製鉄遺跡出土の鉄滓調査」 埼玉県埋蔵文化財調査事業団予定原稿
- ⑤ 松島順正「奈良時代の度、量、衡」『正倉院の窓』 1961
- ⑥ 大澤正己「谷津遺跡出土の製鉄・鋸鋼関連遺物の分析」『谷津遺跡』千葉市教育委員会 昭和56年原稿提出、現在印刷準備中
- ⑦ 谷井彪「炭焼窯址」『大山』(埼玉県遺跡発掘調査報告書 第23集) 埼玉県教育委員会 1979
- ⑧ 鈴木定明・西川博孝他『研究紀要』7 千葉県文化財センター 1982
- ⑨ 大澤正己前掲書③
- ⑩ 大澤正己「製鉄原料<砂鉄・木炭・粘土>と鉄滓の科学的分析および結果の考察」『金井製鉄遺跡発掘調査報告書』(洗川市文化財発掘調査報告1) 群馬県洗川市教育委員会 1975
- ⑪ 尹東錫・申環煥・李南廷「韓国初期鉄器遺物に対する金属学的研究」浦項綜合製鐵株式会社技術研究所 高麗大学校生産技術研究所 1982. 5

- ⑬ 清永欣吾・佐藤豊『頓原町泉原たたら遺跡出土の鉄片及び鉄滓の調査』日立金属株式会社安来工場和鋼記念館 1983.12
- ⑭ 佐々木稔、村田朋美、伊藤假「古代における伊鋼法とその製品」『日本製鉄史論集』たたら研究会 1983
- ⑮ 宋應星撰・藪内清訳注『天工開物』東洋文庫 130 平凡社 (271頁)



遺跡遠景

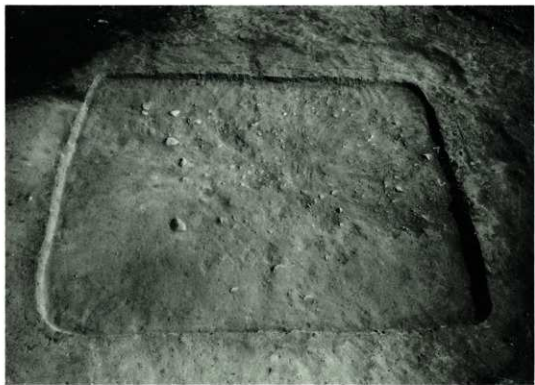


第1号住居跡

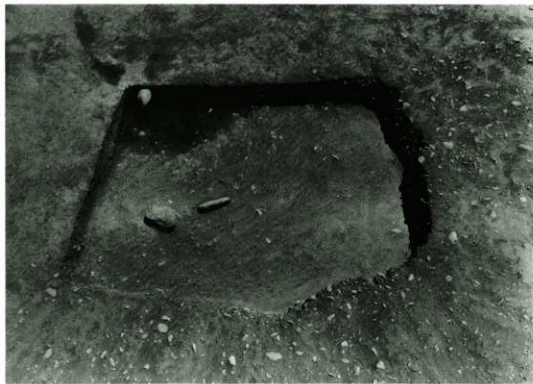
图版 2



第2号住居跡



第5号住居跡

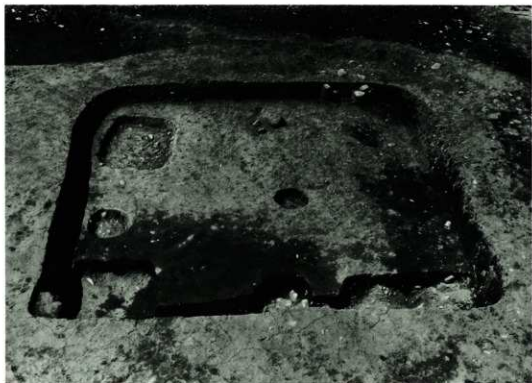


第7号住居跡

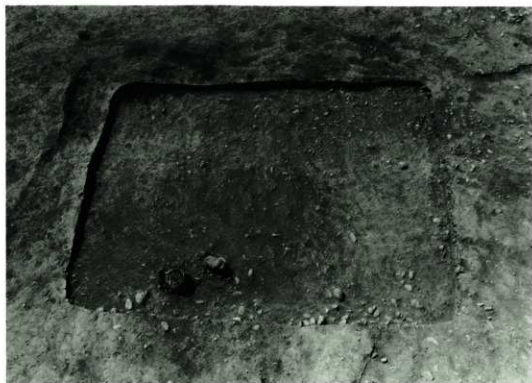


第10号住居跡

图版 4



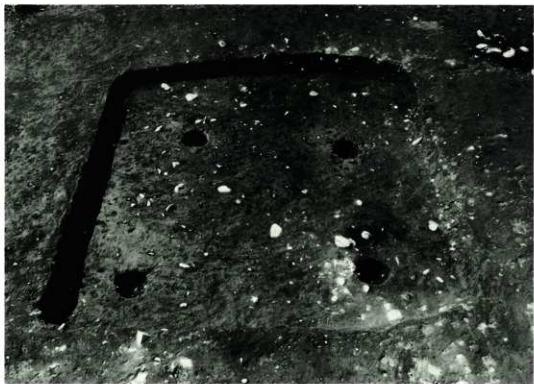
第11号住居跡



第17号住居跡



第19号住居跡

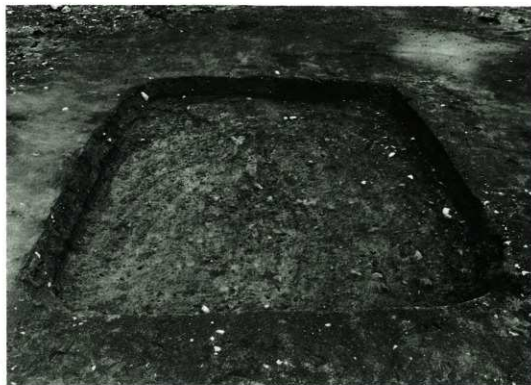


第20号住居跡

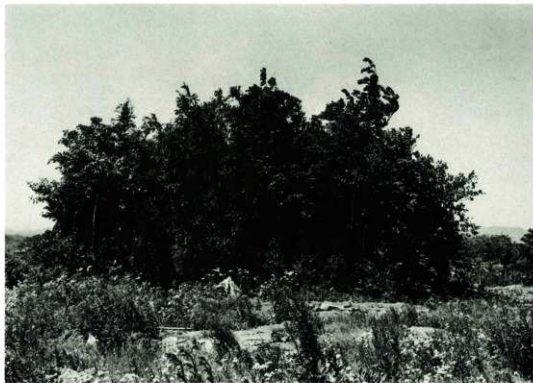
图版 6



第38号住居跡



第47号住居跡



黑田第17号墳近景



黑田第17号墳



黑田第17号填石室



黑田第17号填石室



黒田第17号墳填丘土層断面



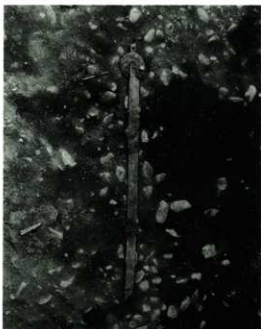
黒田第17号墳周溝



黒田第17号墳太刀形埴輪出土状況



黒田第17号墳奥壁



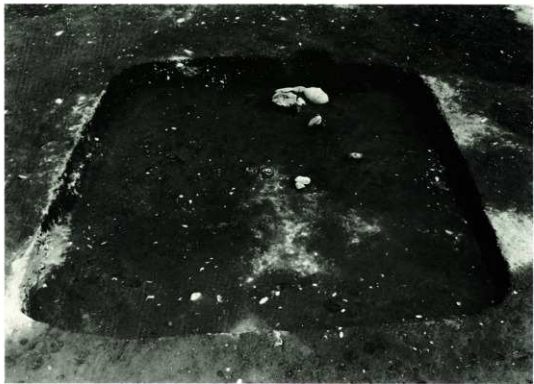
黒田第17号墳直刀出土状況



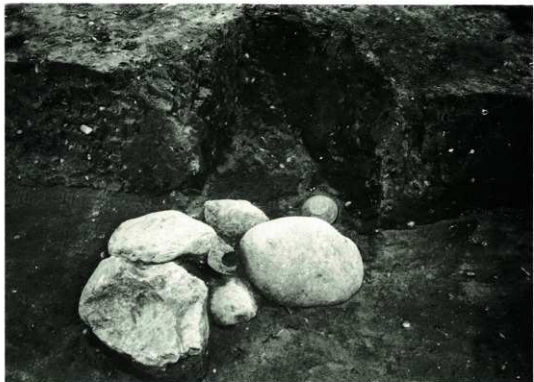
黑田第20号墳・第97号住居跡



黑田第20号墳石室



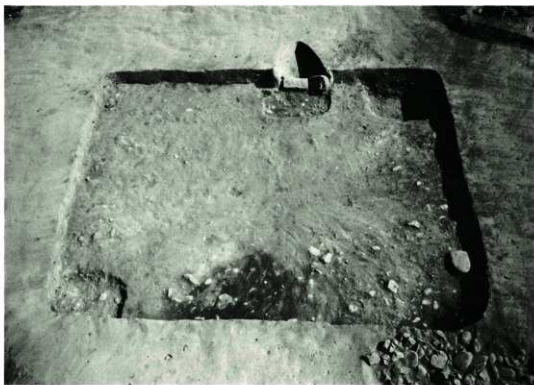
第3号住居跡



第3号住居跡竈



第4号住居跡



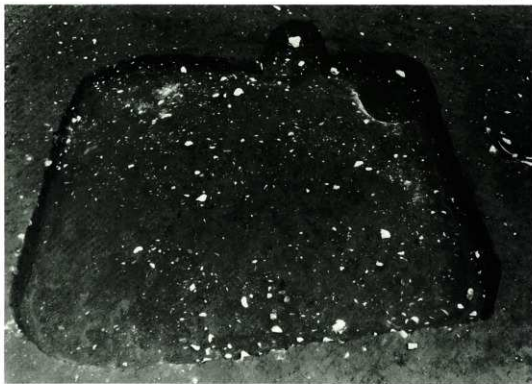
第6号住居跡



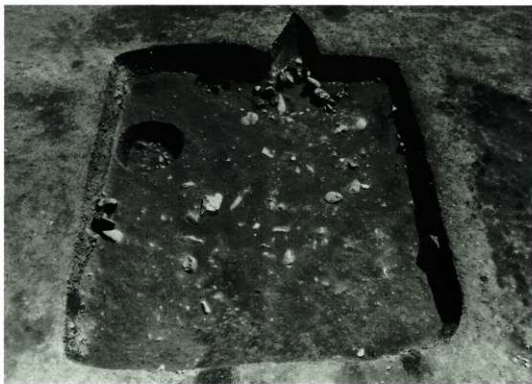
第 8 号住居跡



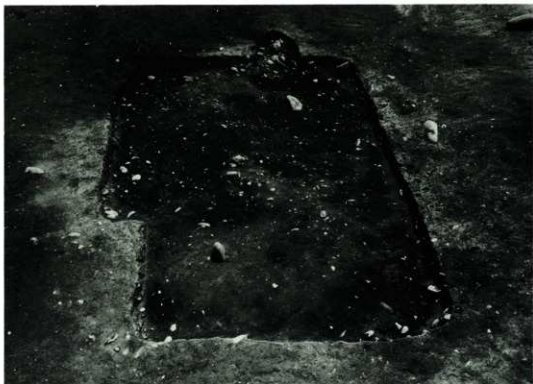
第 8 号住居跡精練炉



第9号住居跡



第13号住居跡



第21号住居跡



第23号住居跡



第24号住居跡



第25号住居跡



第42号住居跡



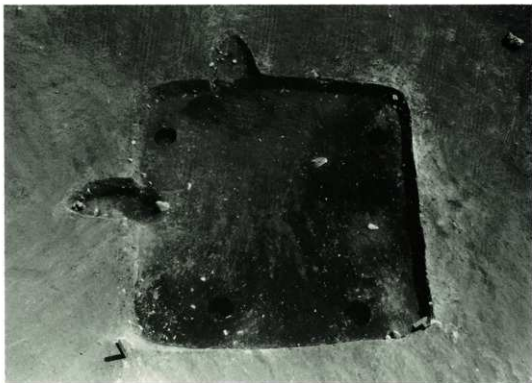
第43号住居跡



第44号住居跡



第44号住居跡遺物出土狀況



第48号住居跡



第49号住居跡



第50号住居跡



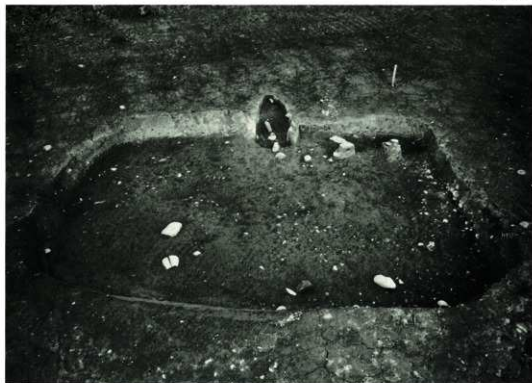
第52号住居跡



第53号住居跡



第57号住居跡



第58号住居跡



第59号住居跡