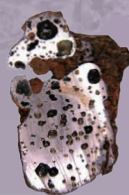


企画展「ふくしま鉄ものがたり」関連行事

シンポジウム「鉄の道をたどる」 予稿集



令和2年（2020年）7月23日・24日

福島県文化財センター白河館

シンポジウム「鉄の道をたどる」
予稿集

目 次

第1編 製鉄遺跡研究の到達点

福島県の製鉄関連遺跡	1
能登谷宣康（公益財団法人福島県文化振興財団）	
鉄滓の山から読みとく歴史	13
門脇 秀典（福島県文化財センター白河館）	
製錬技術の視点からみた横大道・館越遺跡の操業技術	29
板谷 宏（日本鉄鋼協会「鉄の技術と歴史」研究フォーラム顧問）	

第2編 古代鉄生産技術の展開

群馬県の製鉄遺跡	43
笹澤 泰史（群馬県地域創生部文化財保護課）	
埼玉県の製鉄遺跡	51
高崎 直成（埼玉県ふじみ野市立上福岡歴史民俗資料館）	
滋賀県の製鉄遺跡	59
大道 和人（滋賀県文化スポーツ部文化財保護課）	

【資料編】

福島県製鉄関連遺跡地図	71
都道府県別・福島県市町村別製鉄遺跡数	72
福島県浜通り地方の古代・中世製鉄遺跡の調査年表と製鉄炉数・遺物量	73
福島県浜通り地方の製鉄炉別鉄滓・炉壁重量一覧表	74
福島県古代製鉄炉廃滓番付表	77
金沢地区製鉄遺跡群製鉄炉配置図	78
長瀬遺跡遺構配置図	80
大船迫A遺跡遺構配置図	81
横大道製鉄遺跡〔国指定史跡〕・館越遺跡遺構配置図	82
横大道製鉄遺跡4・5号製鉄炉跡（竪形炉）の復元図	83
イラスト「竪形炉・箱形炉の製鉄操業の様子」	84
写真 企画展「ふくしま鉄ものがたり」展示風景	85

第1編 製鉄遺跡研究の到達点

福島県の製鉄関連遺跡

公益財団法人福島県文化振興財団

能登谷 宣康

1. はじめに

まほろん令和元年度企画展「ふくしま鉄ものがたり～鉄滓の山から読みとく歴史～」が令和2年2月1日から3月29日まで開催され、引き続き、「ふくしま鉄ものがたりⅡ～鉄滓の山から読みとく歴史～」が4月11日から5月10日まで開催された。この企画展ポスター、一般受けしない鉄滓が山積みされた様を中心に据えているポスターをみて思い出したことがある。

昭和50年代後半、広域農業開発事業阿武隈中部地区に伴い中・近世の多くの製鉄関連遺跡が発見・調査された。これらの遺跡を精力的に調査された寺島文隆氏は、この時のことを平成8年12月1日の『河北新報』「計数管」で「阿武隈高地はたたらの山」と振り返っている。これは福島県の民謡「会津磐梯山」の「会津磐梯山は宝の山よ」にあやかっただけのものである。その後、同氏は平成17年2月20日に新潟県柏崎市市民プラザにおいて開催された『眠りからさめた古代の



図1 まほろん企画展ポスター

製鉄一軽井川南遺跡群報告会』の講演「古代の製鉄遺跡について―福島県武井地区・金沢地区製鉄遺跡群を中心として―」で、昭和59年からの相馬地域開発に伴う新地町武井地区製鉄遺跡群の調査を振り返り、鉄滓の山は多くの情報を持ち、古代の製鉄技術や歴史を読み解くができることから、「鉄滓の山は情報の山、宝の山」と話され、ついに、鉄滓の山を会津の名峰磐梯山に並べてしまった。

さて、福島県内における製鉄関連遺跡の本格的な調査は、昭和50年代後半に中通り地方中部～南部で開始されるが、その後は、浜通り地方で総合地域開発や火力発電所建設、道路建設に伴い大規模かつ盛んに行われるようになり、遺跡全体のみならず、遺跡間の関係まで把握できるようになった。

ここでは、浜通り地方で調査した古代の製鉄遺跡及び製鉄炉跡を中心に紹介する。

なお、本稿で「製鉄遺跡」とは原料から鉄を作る製錬過程の遺跡のことを指し、「製鉄関連遺跡」には鍛冶遺跡及び製炭遺跡も含めた。

2. 福島県内における鉄の歴史

福島県内における鉄の歴史は大きく3段階に分かれる。

第Ⅰ段階は鉄・鉄器生産とも行われず鉄器を他地域から搬入している段階で、弥生時代から古墳時代前期である。弥生時代前期中葉の須賀川市松ヶ作A遺跡からは長さ6.4cm、幅1.5cmの刀子が出土し、弥生時代中期後葉のいわき市白岩堀ノ内遺跡からは長さ11.4cm、幅4.3cmの鋸が出土している。また、

古墳時代前期の会津若松市会津大塚山古墳には環頭大刀・直刀・小刀・鉄剣・鉄鏃・鉄斧など多量の鉄器が副葬されていた。

第Ⅱ段階は鉄素材を他地域から搬入して鉄器を生産する段階で、古墳時代中期から後期である。郡山市永作遺跡・南山田遺跡・清水内遺跡、白河市三森遺跡、会津坂下町中平遺跡などから鍛冶炉や鍛冶関連遺物が発見されている。

第Ⅲ段階は鉄・鉄器生産を行う段階で、古墳時代終末期から近代である。県内でこの時期の製鉄関連遺跡は600箇所を超えている。古墳時代終末期には装飾壁画が描かれた南相馬市羽山横穴やいわき市中田横穴を代表とする横穴墓が盛行する。岩盤を割り貫いて構築されたその壁面に残る工具痕は、当時鉄器が普及していたことを物語っている。古墳時代終末期～平安時代前半(7世紀後半～10世紀)には、浜通り地方の丘陵地で海岸から採取した浜砂鉄を原料にした鉄生産が行われ、新地町武井地区製鉄遺跡群や南相馬市金沢地区製鉄遺跡群等の大規模な製鉄遺跡が見つかっている。また、この時期の鉄器生産は郡衙の連房式竪穴において集約的に行われている。中・近世になると、阿武隈高地において砂鉄を原料に鉄生産が盛んに行われ、阿武隈高地における鉄生産は「野だたら」が主流を成すが、その中で、山陰・山陽地方に発達した永代たたら玉川村小半弓遺跡は特筆される。幕末から近代には、南相馬市馬場鉄山や富岡町上手岡鉄山で鉄生産が行われている。上手岡鉄山は幕末期の滝川製鉄遺跡と明治期の上手岡高炉跡があり、いずれも近隣の鉄山で採取される鉄鉱石を原料とし、水車輪による送風による操業を行っている。

3. 発掘調査された製鉄遺跡・製鉄炉跡の数の全国との比較

近年、島根県古代文化センターではたたら製鉄の成立過程の基礎研究として、全国の古代から近代にいたる発掘調査された製鉄遺跡及び製鉄炉跡を精力的に集成している。その集成が掲載された『たたら製鉄の成立過程』(島根県古代文化センター編2020)によると、全国で製鉄遺跡724遺跡、製鉄炉跡1,715基が発掘調査されている。福島県内で発掘調査された製鉄遺跡及び製鉄炉跡の数について概観してみると、以下のとおりである。

古墳時代～平安時代前半では、全国で454遺跡、1,265基に対して、福島県では62遺跡、250基である。因みに、東北地方全体では123遺跡、454基(陸奥100遺跡、379基、出羽23遺跡、75基)であり、当時のもう一つの製鉄の中心地である吉備(備前・備中・備後・美作；今の岡山県から広島県東部)では57遺跡、91基であり、福島県の製鉄遺跡・製鉄炉跡の数が全国一であることがわかる。

平安時代後半～江戸時代初めでは、全国で187遺跡、356基に対して、福島県では18遺跡、24基である。因みに、東北地方全体では48遺跡、123基(陸奥39遺跡、109基、出羽9遺跡、14基)で、岩手県が一番目となっている。また、出雲(今の島根県)では35遺跡、42基である。

江戸時代～大正時代では、全国で83遺跡、99基、東北地方全体で16遺跡、20基、福島県で6遺跡、8基であり、当時の製鉄の一大生産地である出雲では26遺跡、29基、中国地方全体では55遺跡、61基である。

4. 浜通り地方の主な古代の製鉄関連遺跡

福島県の浜通り地方には古代の製鉄関連遺跡が多く存在するが、その中でも北部に当たる相馬地方には210を超える製鉄関連遺跡が存在し、国内でも有数の製鉄関連遺跡集中地区の一つに挙げられる。新

地町武井地区製鉄遺跡群、相馬市大坪地区製鉄遺跡群、南相馬市金沢地区製鉄遺跡群・川子地区製鉄遺跡群・割田地区製鉄遺跡群・蛭沢製鉄遺跡群・川内迫遺跡群・横大道製鉄遺跡群などが調査され、横大道製鉄遺跡は平成23年2月に国史跡に指定された。

一方、双葉地方やいわき地方でも、浪江町北中谷地遺跡・太刀洗遺跡、富岡町後作B遺跡、檜葉町南代遺跡、いわき市磐出館跡・清水遺跡などが調査されている。

これらの遺跡は、7世紀後半以降、中央政権による東北開発・支配が活発化することにより、その一環としての鉄器・鉄の現地生産が行われる過程で営まれたものと推測される。特に、8世紀後葉に中央政権が本格的な蝦夷征伐に乗り出し、8世紀後葉以降、鉄生産量が増大化するのはこの蝦夷征伐やその後のさらなる東北開発・支配と連動していると推測される。

浜通り地方の主な古代の製鉄関連遺跡を概観する。なお、新地町南狼沢A遺跡は中世の遺跡であるが、後掲することから併せて記載する。（各遺跡の丸数字は図2中の番号と一致する。）



図2 浜通り地方の主な製鉄遺跡

①相馬郡新地町武井地区製鉄遺跡群

向田A遺跡など14遺跡から7世紀後半～10世紀の製鉄炉跡23基、木炭窯跡135基、鍛冶炉跡5基、鑄造遺構9基、竪穴住居跡34軒、須恵器窯跡1基、木炭焼成土坑をはじめとする土坑139基などが検出されている。製錬・精錬・鑄造・製炭・製陶が行われていた。

②相馬郡新地町南狼沢A遺跡

遺跡南部の沢に面した段丘先端部に造成された平坦地から鎌倉時代(13世紀前半)の製鉄遺構4基が近接して検出されている。また、砂鉄貯蔵坑と推測される土坑から約68kgの砂鉄が出土した。

③相馬市大坪地区製鉄遺跡群

山田A遺跡など4遺跡から9世紀の製鉄炉跡12基、木炭窯跡25基、鑄造遺構8基、竪穴住居跡22軒、須恵器窯跡7基、木炭焼成土坑をはじめとする土坑125基などが検出されている。製錬・精錬・鑄造・製炭・製陶が行われていた。

④南相馬市金沢地区製鉄遺跡群

鳥井沢B遺跡など11遺跡から7世紀後半～10世紀前葉の製鉄炉跡123基、木炭窯跡152基、鍛冶炉跡20基、竪穴住居跡133軒、掘立柱建物跡29棟、木炭焼成土坑をはじめとする土坑約600基などが検出され、約626トンの鉄滓が出土している。製鉄炉跡は113基が箱形炉で、残る10基は竪形炉であり、木炭窯跡は1基のみが横口付木炭窯で、他は地下式登窯の木炭窯で



図3 武井地区製鉄遺跡群

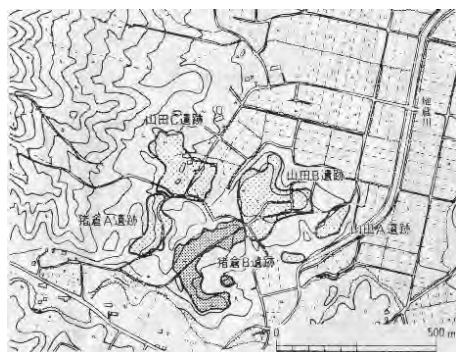


図4 大坪地区製鉄遺跡群

ある。また、官衙風配置の建物跡群や墳墓群も存在する。

⑤南相馬市天化沢A遺跡

金沢地区製鉄遺跡群の南西に隣接する。平安時代の製鉄炉跡17基、木炭窯跡1基、鍛冶炉跡2基、木炭焼成遺構28基が検出されている。製鉄炉跡は9世紀後半の箱形炉と10世紀代の円筒形自立炉である。なお、製鉄炉跡の内14基が北に開口する沢に面した斜面に集中している。

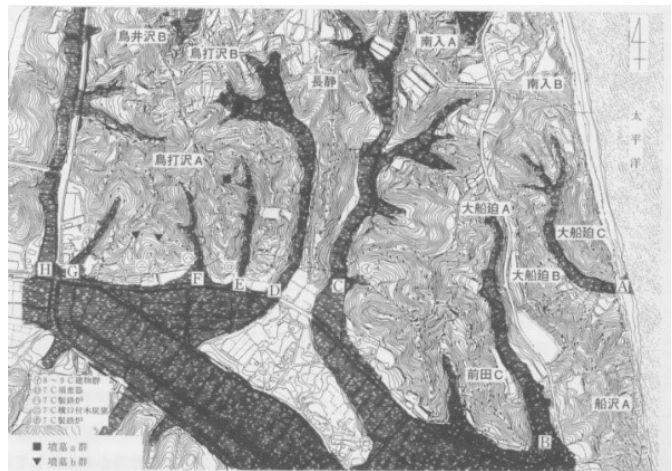


図5 金沢地区製鉄遺跡群

⑥南相馬市川子地区製鉄遺跡群

大迫遺跡から9世紀後半～10世紀中葉の製鉄炉跡7基、木炭窯跡26基、鍛冶炉跡1基、竪穴住居跡17軒、須恵器窯跡2基、木炭焼成土坑をはじめとする土坑372基などが検出されている。製鉄炉跡は箱形炉の他、竪形炉、円筒形自立炉がある。

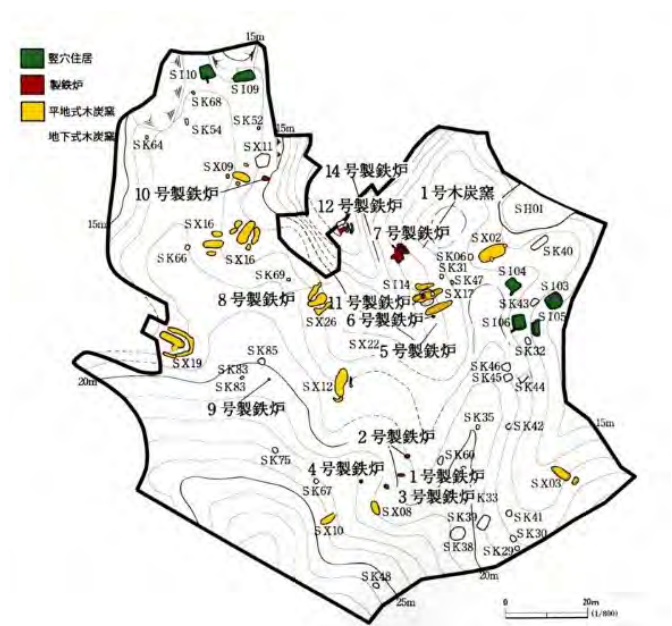


図6 天化沢A遺跡遺構配置

⑧南相馬市蛭沢製鉄遺跡群・川内迫遺跡群

17地点の内、完全に調査が終了したのは10地点。8世紀後半～10世紀前葉の製鉄炉跡23基、木炭窯跡8基、鍛冶炉跡2基、竪穴住居跡10軒などが検出され、鋳型も出土している。製錬・精錬・鋳造・製炭が行われていた。

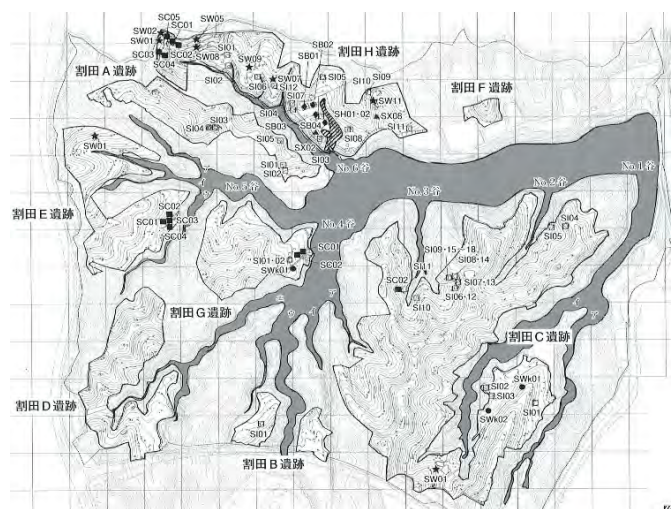


図7 割田地区製鉄遺跡群

⑨南相馬市横大道製鉄遺跡群

横大道製鉄遺跡・館越遺跡・中平A遺跡・中平B遺跡・天梅遺跡から構成される。横大道製鉄遺跡から8世紀～9世紀の製鉄炉跡7基、木炭窯跡31基、廃滓場4箇所が検出されている。製鉄炉跡の内、6基は竪形炉で、環状盛土の内側に群在している。平成23年に国指定史跡に指定された。また、周辺地域の踏査と確認調査の結果、人工的な窪地や廃滓場が多く見つかった。

⑩双葉郡浪江町北中谷地遺跡

7世紀後半～8世紀前葉の製鉄炉跡1基、9世紀の鍛冶炉跡2基のほか、木炭焼成土坑が検出されている。近年、近接する赤坂D遺跡からも7世紀後半～8世紀前葉の製鉄炉跡のものと推測される廃滓場が検出されている。

⑪双葉郡浪江町太刀洗遺跡

9世紀前半の製鉄炉跡廃滓場2箇所、木炭窯跡3基などが検出されている。

⑫双葉郡富岡町後作B遺跡

9世紀後半の製鉄炉跡2基、木炭窯跡1基が検出された。

⑬双葉郡檜葉町南代遺跡

8世紀後半～9世紀初頭の製鉄遺構11基(廃滓場のみ5ヶ所含む)、木炭窯跡6基などが検出されている。製鉄遺構の内、箱形炉は1基である。

⑭いわき市磐出館跡

7世紀後半～8世紀代の横口付木炭窯跡が6基検出されている。横口の数に5～7個で、焼成室の主軸が等高線とほぼ平行するものと直交するものがある。近隣に同時期の製鉄炉跡の存在が推測される。

⑮いわき市清水遺跡

9世紀中葉以降の製鉄炉跡8基、木炭窯跡2基、木炭焼成土坑11基が検出されている。

5. 古代の製鉄炉跡の変遷

新地町武井地区製鉄遺跡群及び南相馬市金沢地区製鉄遺跡群の調査成果を基に、福島県内における古代の製鉄炉の変遷を紹介する。

7世紀後半～8世紀前葉

両端が開口する溝状の炉掘形を持つ箱形炉で、炉掘形の両端に土坑状ないしは溝状の掘り込みを持ち、炉の主軸延長線上の両側に排滓される。丘陵頂部に設置される縦置炉と斜面に設置される横置炉がある。送風装置は炉長辺の両脇に設置されたものと推測されるが、送風用羽口は出土していない。当時の吉備あるいは近江から技術移転されたものと推測される。

縦置炉では同形状の2～3基の炉が並列する例が多く、炉掘形の幅が狭い南相馬市大船迫C遺跡3～5号炉や同市大船迫A遺跡29・30号炉は7世紀第3四半期と推測され、炉掘形の幅が比較的広い新地町向田E遺跡1・2号炉、南相馬市長瀬遺跡11・12号炉、24・25号炉、同市鳥打沢A遺跡15・16号炉、相馬市新沼大迎遺跡1・3・4号炉などは7世紀第4四半期～8世紀前葉と推測されている。また、向田E遺跡1号炉、長瀬遺跡11号炉、鳥打沢A遺跡15・16号炉の炉基底部には礫が敷かれている。類例は他にもあるが、その中で、南相馬市鳥打沢B遺跡2号炉(8世紀前葉)は斜面に設置されたもので、次の段階の縦置炉への連続性をうかがわせる。

横置炉は新地町洞山D遺跡1号炉と南相馬市鳥打沢A遺跡11号炉があり、それぞれに横口付木炭窯

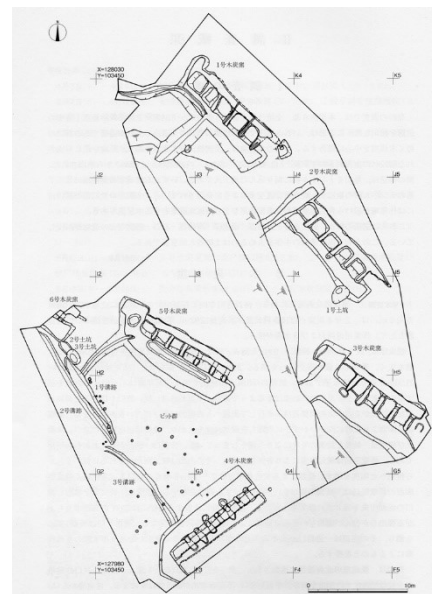
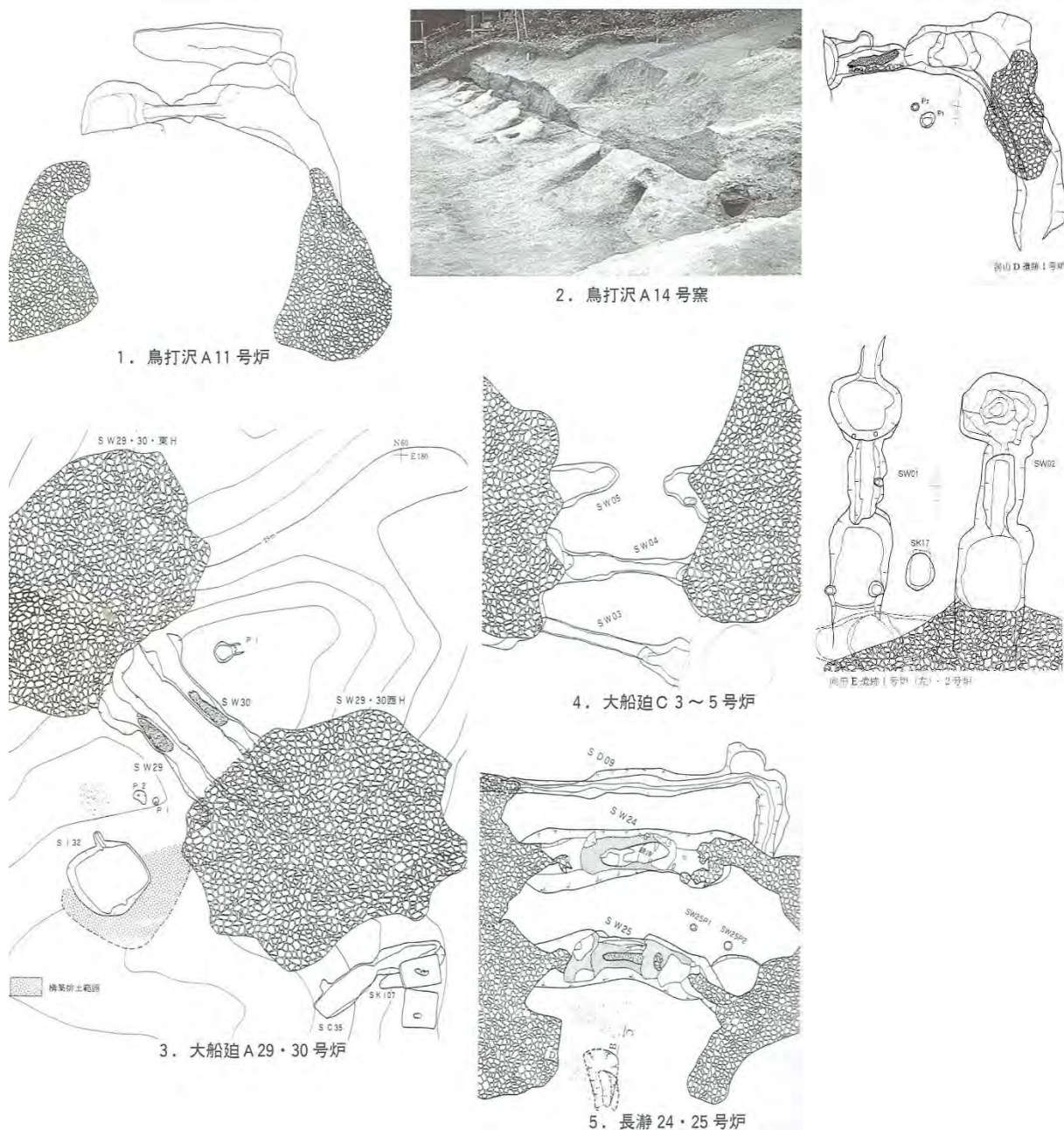


図8 磐出館跡遺構配置



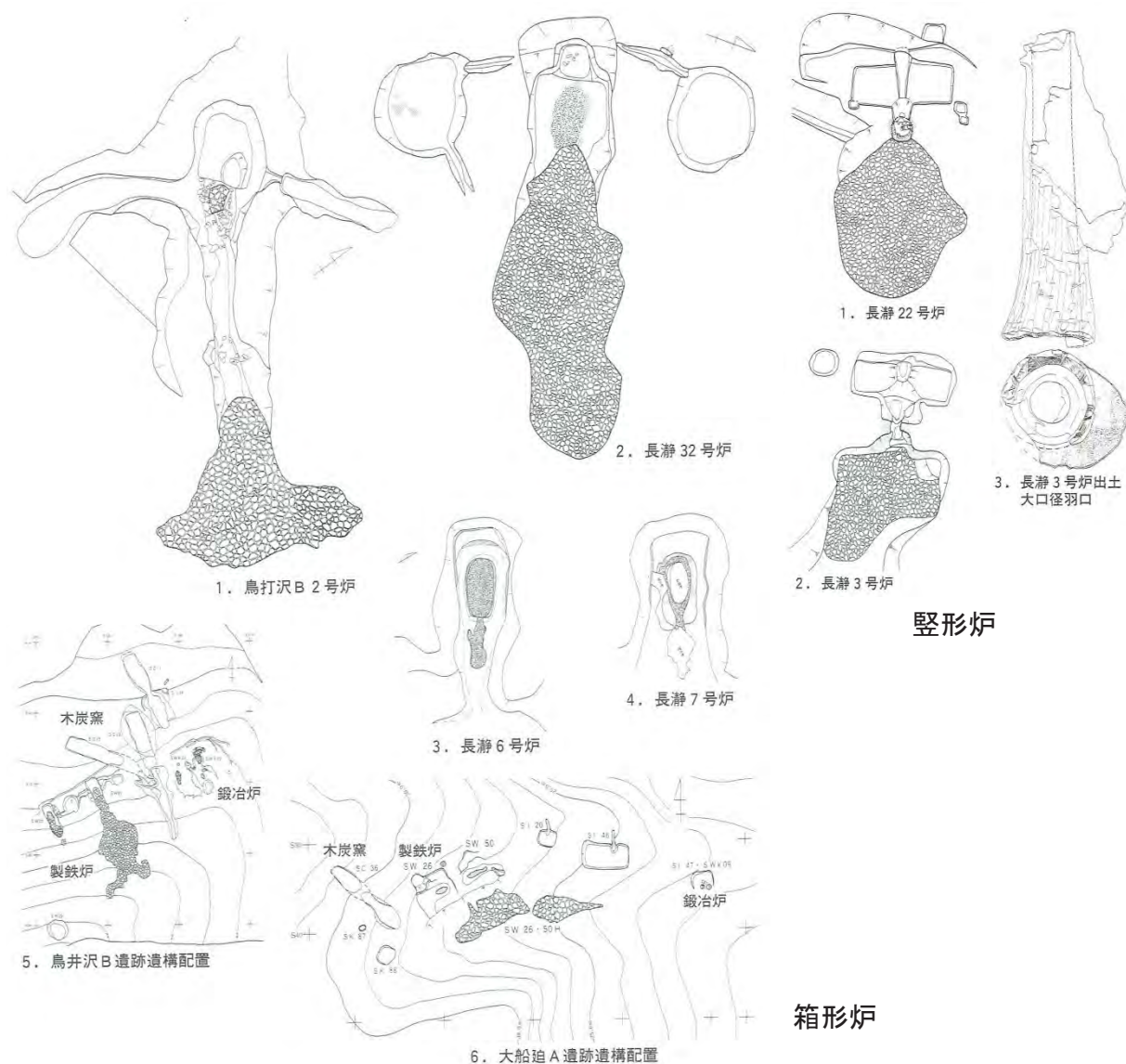


図10 8世紀前葉～8世紀中葉の製鉄炉

横置き箱形炉の掘形は斜面下方側が開口する浅い溝状のL字型を呈し、斜面下方に廃滓される(片側廃滓)。南相馬市大船迫A遺跡26・50号炉、同遺跡44・52号炉、新地町洞山D遺跡3・4号炉のそれぞれの2基は同一主軸線上に存在しており、同時存在が推測される。

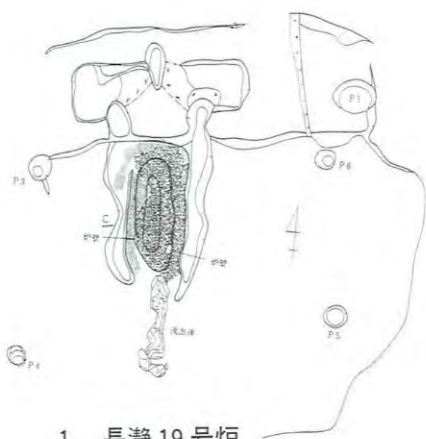
縦形炉は炉背部に送風用の踏みふいごの掘形が付随し、炉と踏みふいご掘形の間には内径約10cmの大口径羽口が1本装着されている。炉の平面形は円形基調である。当時の上野・武蔵などの関東地方から導入されたものと推測されている。類例として、南相馬市長漣遺跡10・22号炉、同市横大道製鉄遺跡4～9号炉などがある。

なお、この時期には、南相馬市鳥打沢A遺跡・鳥井沢B遺跡・大船迫A遺跡に見られるように、一つの沢内の南向き斜面に製鉄炉跡・木炭窯跡・鍛冶炉跡がセットで存在する例がある。

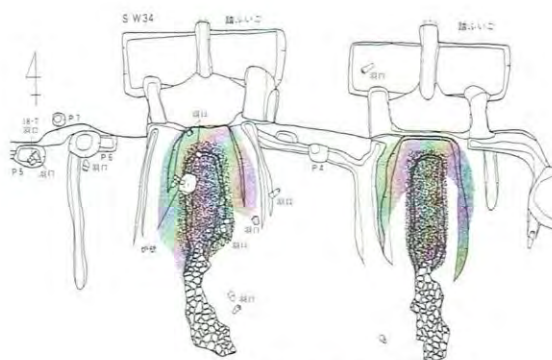
8世紀後葉～9世紀前葉

8世紀中葉同様、箱形炉と縦形炉である。

箱形炉は縦置炉と横置炉が存在するが、前者が圧倒的に多い。縦置炉は前期の縦置炉同様、丘陵斜面



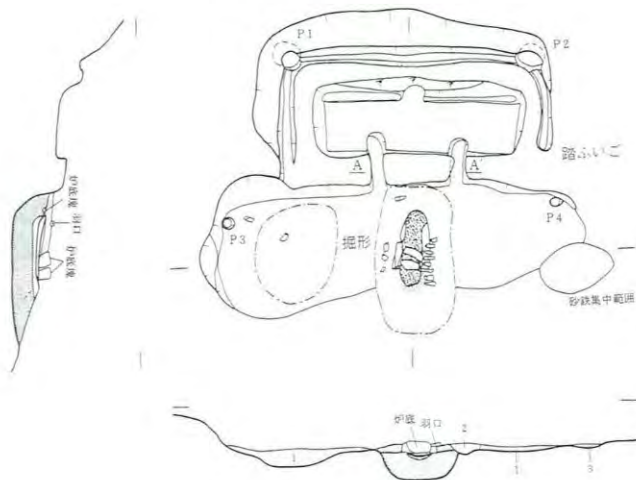
1. 長瀬 19号炉



2. 大船迫 A 3・34号炉



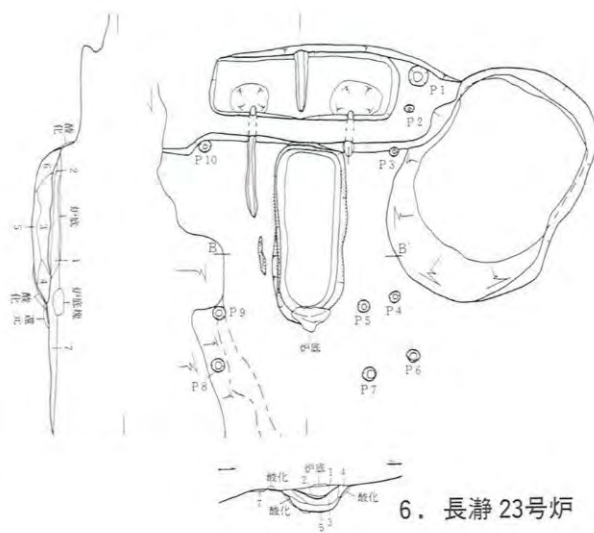
3. 大船迫 A 48号炉



4. 長瀬 15号炉



5. 大船迫 A 15号炉



6. 長瀬 23号炉

図 11 8世紀後葉～10世紀初頭の製鉄炉

に削り出した平場内に設置され、掘形は斜面下方側が開口する浅い直線的な溝状となり、斜面下方にのみ廃滓される(片側廃滓)が、竪形炉の炉背部に付随していた送風用の踏みふいごの掘形が斜面上位側の炉背部に付随する。つまり、送風装置の位置が変化する。南相馬市長瀬遺跡 9・19号炉、同市大船迫 A遺跡 9～11・22・48号炉、同市鳥打沢 A遺跡 1・12号炉の他にも類例が多く、上記の他にも鳥打沢

A遺跡では作業場内に2・9号炉が2基並列し、大船迫A遺跡では3・34号炉、4・13号炉、8・12号炉、32・33号炉、37・38号炉が2基並列、35・36・43号炉は3基が並列して検出されている。

横置炉は相馬市大森遺跡2・3号炉のみが確認されている。これらは丘陵頂部に設置され、同一主軸線上に隣接するが、新旧関係がある。また、炉には羽口を装着せず、炉壁の下部に送風孔を穿っている。このような、羽口を装着しない例としては、新地町向田G遺跡1号炉がある。

豎形炉は前期同様、炉背部に送風用の踏みふいごの掘形が付随し、炉と踏みふいご掘形の間には内径約10cmの大口径羽口が1本装着されているが、炉の平面形は隅丸長方形基調である。類例として、南相馬市長瀬遺跡2・3号炉、同市南入A遺跡1号炉、同市鳥打沢B遺跡1号炉などがある。

9世紀中葉～10世紀初頭

前期の箱形炉と見た目は似ているが、炉掘形は一方が開口する長大な溝状ないしは長方形を呈し、深くなり、基礎構造の充実が図られる。また、炉壁下部に設置される羽口の間隔が狭く、羽口の数も多くなる。なお、新地町向田A遺跡6・7号炉のような横置炉も存在する。

豎形炉は9世紀中葉以降には存在しない。

類例として、南相馬市大船迫A遺跡15・25・27号炉、同市長瀬遺跡5・15・16・23号炉などがある。

6. 古代末～中世の製鉄炉

金沢地区製鉄遺跡群及び武井地区製鉄遺跡群などの大規模な製鉄遺跡は10世紀前葉には終焉を迎えるが、浜通り地方ではその後も製鉄が行われていた。

南相馬市天化沢A遺跡1～6・8～17号炉

10世紀代の円筒形自立炉。9世紀代までの製鉄炉跡に比べて小ぶりの楕円形・円形・隅丸長方形基調の基礎構造を持ち、羽口は肉厚のものが炉に装着される。炉に設置される羽口の数は少なく、17号炉では内径約30cmの円筒形の炉壁に3方向から羽口が設置され、一方に出滓孔を設けている。この製鉄炉の燃料となる木炭を生産した遺構は窯構造を持たない平地式の木炭焼成遺構と推測される。

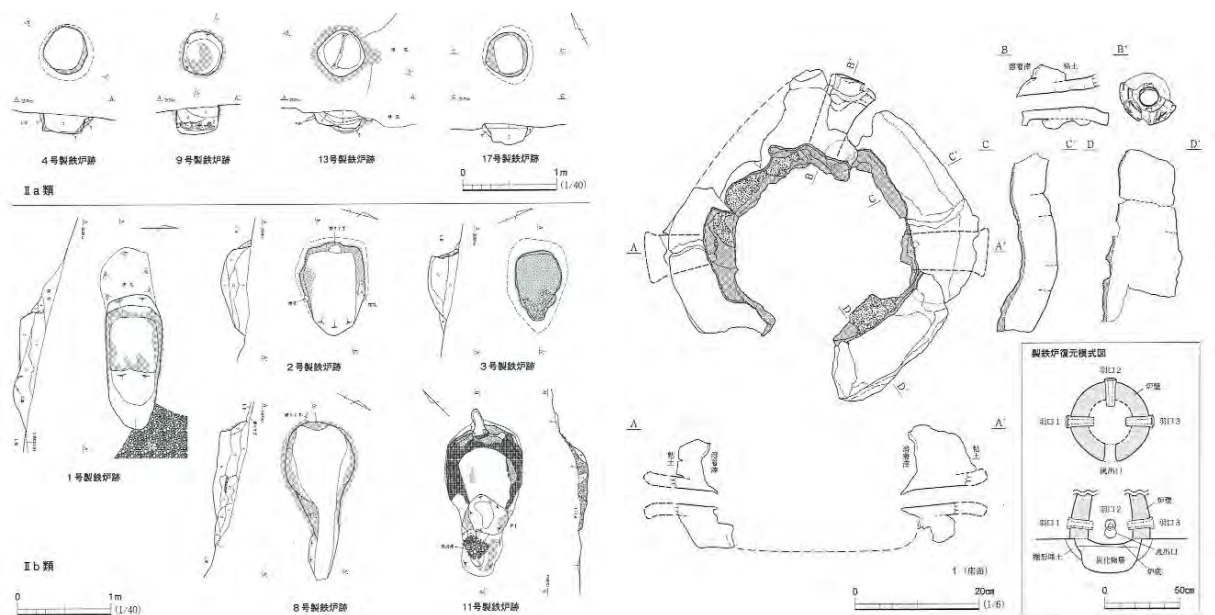


図12 円筒形自立炉

相馬郡新地町南狼沢A遺跡1号製鉄遺構

13世紀前半の箱形炉。炉跡部分には浅い皿状のくぼみを持ち、炉背部に踏みふいごを伴う。炉の痕跡及び廃滓場から出土した炉壁や羽口から、横置きで片側送風の箱形炉が想定されている。羽口は外径12～15cm前後、先端部内径約4～6cmと古代の箱形炉に設置される羽口よりも大ぶりで、外面には縦方向の竹管状の圧痕や横方向の繊維束状の圧痕が認められる。

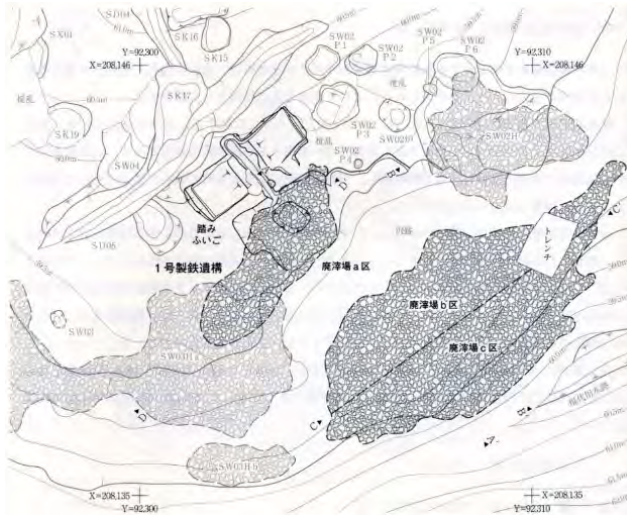


図13 南狼沢A遺跡遺構配置

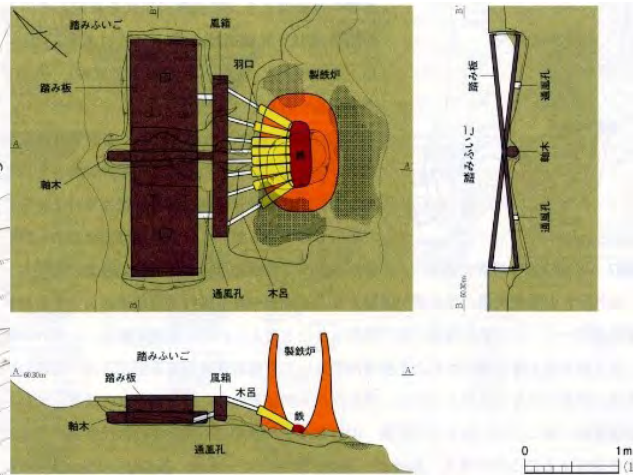


図14 南狼沢A遺跡1号製鉄遺構復元図

7. さいごに

『万葉集』の中に、「真金吹く丹生の真朱の色に出て言わなくのみそ吾が恋ふらくは」(巻第十四三五六〇)という歌がある。「真金吹く」はまさしく製鉄のことであり、鈴木啓氏により、これは金沢地区製鉄遺跡群が所在する南相馬市原町区金沢、かつての行方郡真吹郷の歌と推測されている。

浜通り地方の古代製鉄に関しては、数多くの遺跡が発掘調査され、先の寺島氏を先駆に多くの方々により色々な切り口で研究が進められてきた。この度のシンポジウムでは、「ふくしまの製鉄遺跡研究の到達点」とあるが、浜通り地方における製鉄遺跡の発掘調査が一時のブームではなく、どこを掘っても鉄滓、製鉄遺跡が出てくるという状況で引き続き行われており、その度に新しい知見が得られていることから、到達点はまだ先のことを考えたい。今後は、行方郡の南隣の標葉郡、さらにその南の磐城郡の製鉄研究が進展することを期待したい。

引用・参考文献

- 飯村均 2005 『律令国家の対蝦夷政策 相馬の製鉄遺跡群』シリーズ「遺跡を学ぶ」21 新泉社
- いわき市教育委員会 2014 『磐出館跡—横口付木炭窯群の調査概報—』
- 島根県古代文化センター編 2020 『たたら製鉄の成立過程』
- 能登谷宣康 2005 「金沢地区の古代鉄生産」『福島考古』第46号 福島県考古学会
- 福島県教育委員会 1989 『相馬開発関連遺跡調査報告Ⅰ』
- 福島県教育委員会 1995 『一般国道6号相馬バイパス遺跡発掘調査報告Ⅰ』
- 福島県教育委員会 1995 『原町火力発電所関連遺跡調査報告Ⅴ』
- 福島県教育委員会 2007 『原町火力発電所関連遺跡調査報告Ⅹ』
- 福島県教育委員会 2010 『常磐自動車道遺跡調査報告60』
- 福島県教育委員会 2015 『常磐自動車道遺跡調査報告72』
- 福島県教育委員会 2016 『農山漁村地域復興基盤総合整備事業関連遺跡調査報告1』

参考資料

① 各時期の鉄づくりの様子

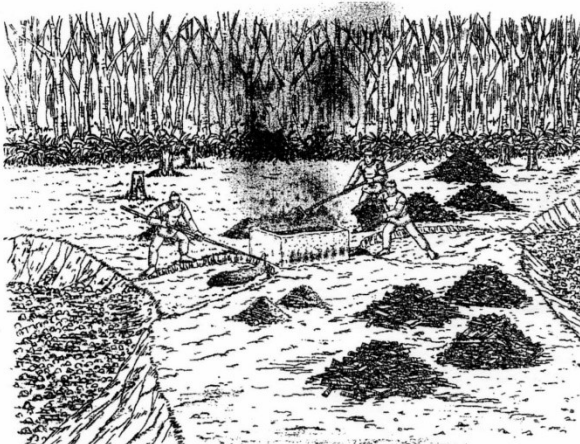


図 15 7世紀後半～8世紀前葉の箱形炉

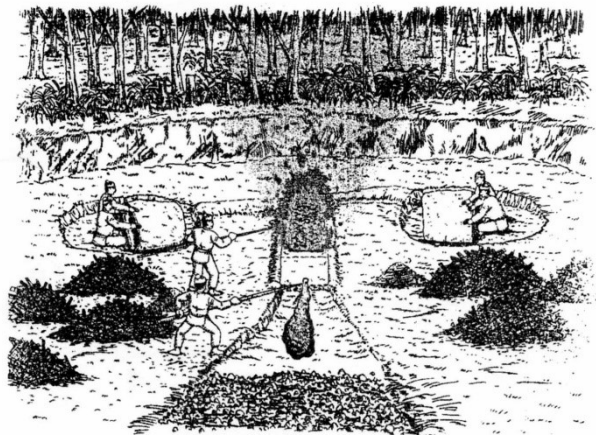


図 16 8世紀中葉の箱形炉

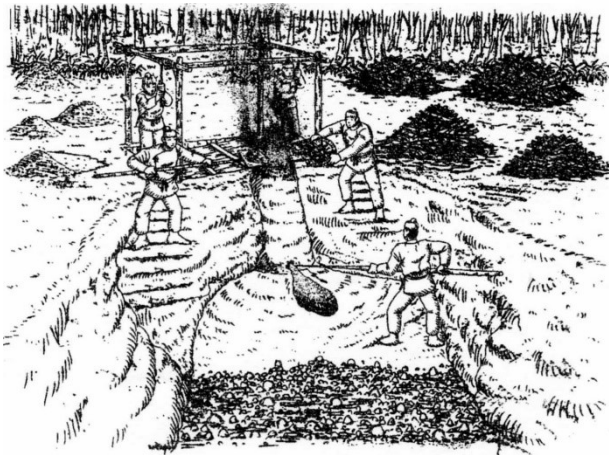


図 17 8世紀中葉～9世紀前葉の豎形炉

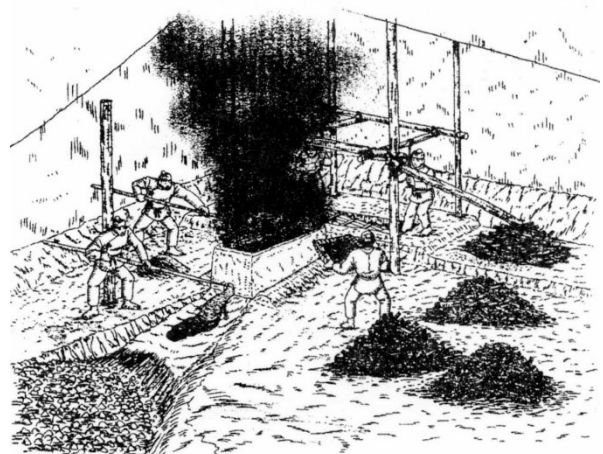


図 18 8世紀後半～10世紀前葉の箱形炉

② 各時期の箱形炉の羽口

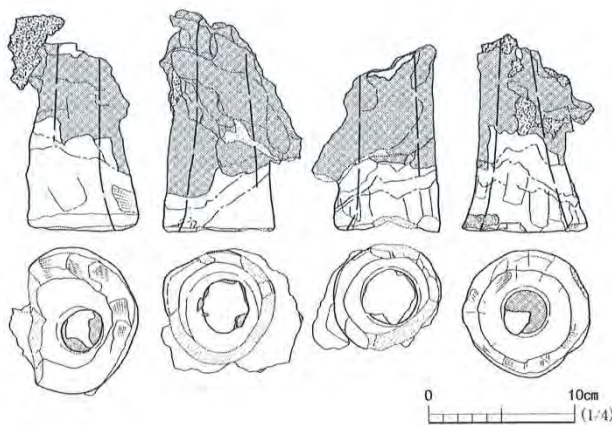


図 19 8世紀中葉の羽口（谷地中遺跡）

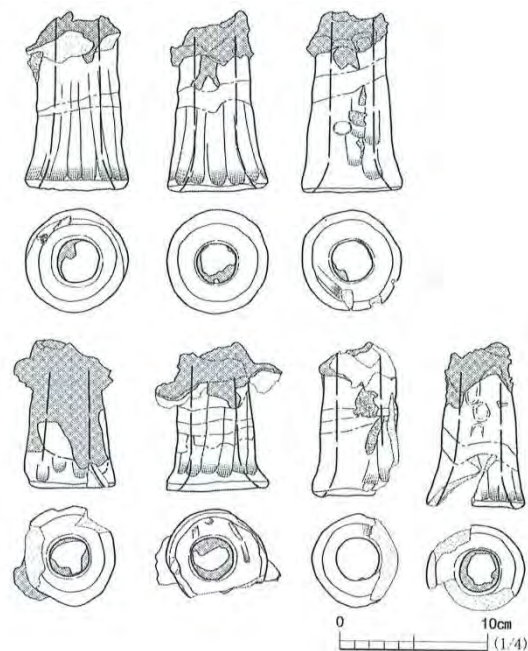


図 20 9世紀後半の羽口（天化沢A遺跡）

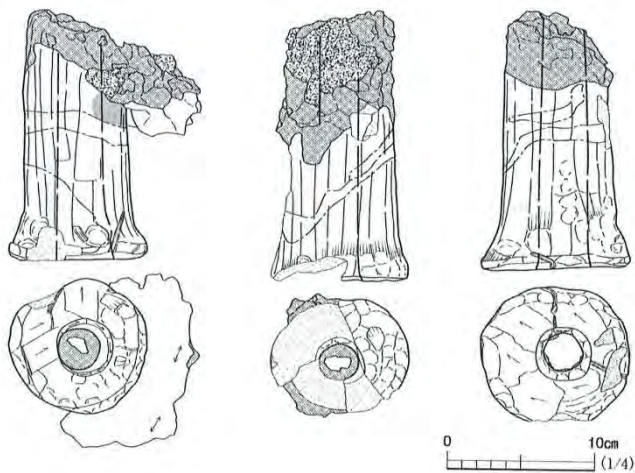


図 21 10 世紀の羽口（天化沢 A 遺跡）

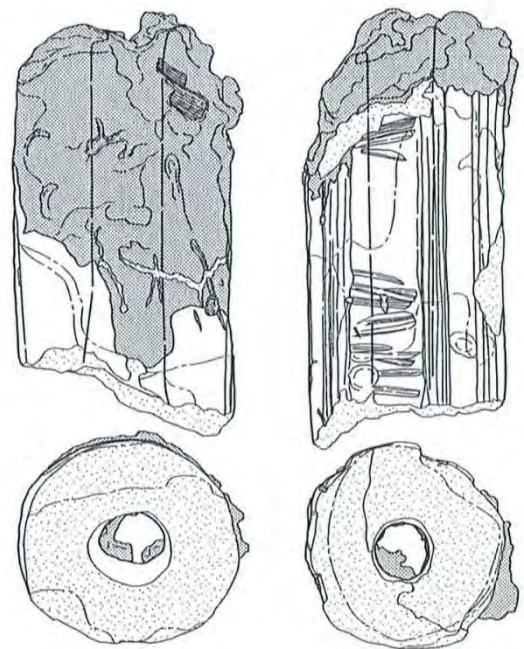


図 22 13 世紀の羽口（南狼沢 A 遺跡）

③ 発掘調査成果を基に古代陸奥国南部の鉄生産に挑む

(1) 長方形箱形炉の復元操業—まほろん 1～5 号炉—

モデルの炉：南相馬市大船迫 A 遺跡 15 号炉、同市長瀬遺跡 15 号炉



図 23 まほろん 2 号炉操業の様子



図 24 まほろん 4 号炉操業前の様子

(2) 竪形炉の復元操業—愛大 17 号炉、立子山たたら 1～8 号炉—

モデルの炉：南相馬市横大道製鉄遺跡 5 号炉



図 25 愛大 17 号炉（奥）操業の様子



図 26 立子山たたら 1 号炉操業の様子

鉄滓の山から読みとく歴史

福島県文化財センター白河館

門脇 秀典

1. はじめに

製鉄遺跡を研究する者は、「いつかは古代の製鉄技術を再現し、流れ出る銑鉄や炉底に溜まった鉬塊を取り出してみたい」と夢をいだく。製鉄炉を寸法どおり復元して、砂鉄を溶かせば鉄ができると思われるが、それが簡単ではないことは過去に当館で行われた製鉄実験が物語っている。

遺跡から出土した膨大な量の鉄滓は、古代製鉄技術の結晶である。鉄滓は刻々と変化する製鉄炉の状況を瞬間的に記録したものである。鉄滓は、灼熱の製鉄炉の中を流れる血液のようなものであり、その成分値を読み解くことは血液検査の判定とよく似ている。血液のようにサラサラと流れる鉄滓を生み出すことができたなら、その下には光り輝く鉄が流れているはずである。

企画展「ふくしま鉄ものがたり」を開催するにあたり、副題として「鉄滓の山から読みとく歴史」を掲げることとした。鉄滓は外見上、ほとんど同じものであるので、一般的にはわかりにくい。だが鉄滓のひとつひとつには、ものがたりがあったはずである。本論は、鉄滓ものがたりの序章としたい。

2. 砂鉄について

福島県浜通り地方には製鉄遺跡が数多く存在するが、その最大の要因は原料である砂鉄であろう。本地域の海岸は砂鉄が豊富で、今でもよく採れるのだが、分析してみるとかなりの割合でチタン分が含まれる。一般にチタン分が高いとされる中国地方の赤目砂鉄ですら5～10%程度であるのに対し、本地域の砂鉄には約30%も含まれる。

図1は浜通り地方の古代製鉄遺跡から出土した砂鉄の成分の内、酸化鉄・シリカ・酸化チタンの比率をプロットしたものである。砂鉄のプロット(④～⑱)は、酸化鉄と酸化チタンの化合物である「ウルボスピネル(W_2T)」と「シリカ」を結んだ線分に並ぶ。これは比重選鉱によって、シリカの割合は減少するが、酸化鉄・酸化チタンの割合はほとんど変化しないことを示している。また、遺跡・時期が異なるにもかかわらず、ほとんどのプロットが同じ線分にのるということは、浜通りの海岸で採取される砂鉄(原鉱)の成分がほとんど同じであることを裏付けている。逆にプロットの違いは原料である海岸砂鉄をどこまで比重選鉱により精選したか、つまりシリカをどれくらい取り除いたかを示している。

これは古代における砂鉄の選鉱技術を示している可能性が考えられるのだが、ここで課題となるのはシリカの割合の異なる砂鉄を何種類か用意していたかどうかである。砂鉄の比重(水樋)選鉱を行った場合、水を流した上流側には鉄分が多い砂鉄が溜まり、中流にはシリカの割合が高い砂鉄が溜まる。これらの砂鉄を使い分けていたかどうかは、海岸砂鉄を用いた比重選鉱実験やふるい分け試験などを行って、今後、遺跡出土の砂鉄との比較検証が必要となる。

また、図1のプロット(①～③・㉓)は線分からやや離れ、チタン濃度がより高い側にある。これも比重選鉱の結果を反映したものと考えられ、比重の軽い砂鉄を選択していた可能性がある。

なお、プロット㉕～㉘は線分から大きく離れ、チタン濃度が低い側にある。鉄分濃度だけが上昇している現象は資料選定の過程で磁石が使用された可能性があり、サンプリングエラーと考える。

表 1 砂鉄成分表

No.	遺跡	遺構	時期	T.Fe	FeO	Fe2O3	SiO2	Al2O3	TiO2
①	南狼沢 A	SK22	中世	36.7	10.3	41.0	1.6	1.0	41.5
②	館越	SW02	9c 前	41.2	10.6	47.1	1.9	0.8	36.8
③	荻原	SW01	9c 中	40.9	10.2	47.1	3.8	1.1	35.5
④	横大道	SW04	9c 前	41.1	11.2	46.3	5.3	1.2	32.0
⑤	天化沢 A	SW07	9c 中	40.5	12.4	44.0	5.5	1.5	31.7
⑥	南代	SW06	8c 後	39.9	23.8	30.4	6.2	2.2	29.6
⑦	大船迫 A	SW35・36	9c 前	40.3	13.0	43.0	8.1	2.5	29.0
⑧	大船迫 A	SW05	9c 前	39.9	14.2	41.1	8.6	2.2	28.9
⑨	大船迫 A	SW15	9c 中	39.2	15.2	39.0	9.2	2.2	29.9
⑩	向田 G	SW01	9c 前	38.6	12.4	37.5	10.1	2.4	27.0
⑪	大船迫 A	SW22	9c 前	39.4	17.0	37.3	10.3	2.0	28.9
⑫	大船迫 A	SW24	8c 後	37.9	14.1	38.3	12.4	2.0	27.3
⑬	大船迫 A	SW26	8c 後	39.0	12.3	42.0	12.8	1.5	26.3
⑭	大船迫 A	SW29	7c 後	34.0	10.9	36.4	17.3	5.0	23.4
⑮	大船迫 A	SW51	8c 前	34.3	14.4	32.9	17.8	3.5	24.6
⑯	大船迫 A	SW37・38	9c 前	33.8	11.7	35.3	18.6	3.6	24.1
⑰	大船迫 A	SW07	9c 前	34.3	11.0	36.6	19.1	4.1	22.9

No.	遺跡	遺構	時期	T.Fe	FeO	Fe2O3	SiO2	Al2O3	TiO2
⑱	大船迫 A	SW46	8c 前	31.7	12.1	31.8	21.4	5.2	23.0
⑲	向田 E	SW01	7c 後	34.0	21.2	18.3	22.2	3.2	23.8
⑳	原町北泉海岸			33.9	11.7	35.4	19.2	1.3	22.9
㉑	新地大戸浜海岸			40.1	10.5	45.6	7.3	1.2	31.4
㉒	小高村上海岸			30.4	2.1	41.0	27.8	1.5	17.8
㉓	相馬中村海岸	文献値		39.3	29.3	24.3	1.4		39.3
㉔	双葉郡の砂鉄	文献値		43.2	29.8	28.7	2.0		32.7
㉕	横大道 (磁選)	SW01H	9c 前	47.5	18.8	46.7	11.7	1.9	17.0
㉖	鳥打沢 B (磁選)	SW02	7c 後	54.8	28.1	46.8	3.0	2.0	16.0
㉗	割田 C (磁選)	SW01	9c 中	54.1	29.7	44.3	3.7	1.9	17.3
㉘	長瀬 (磁選)	SW09	9c 前	50.5	25.4	43.8	6.2	4.1	14.3

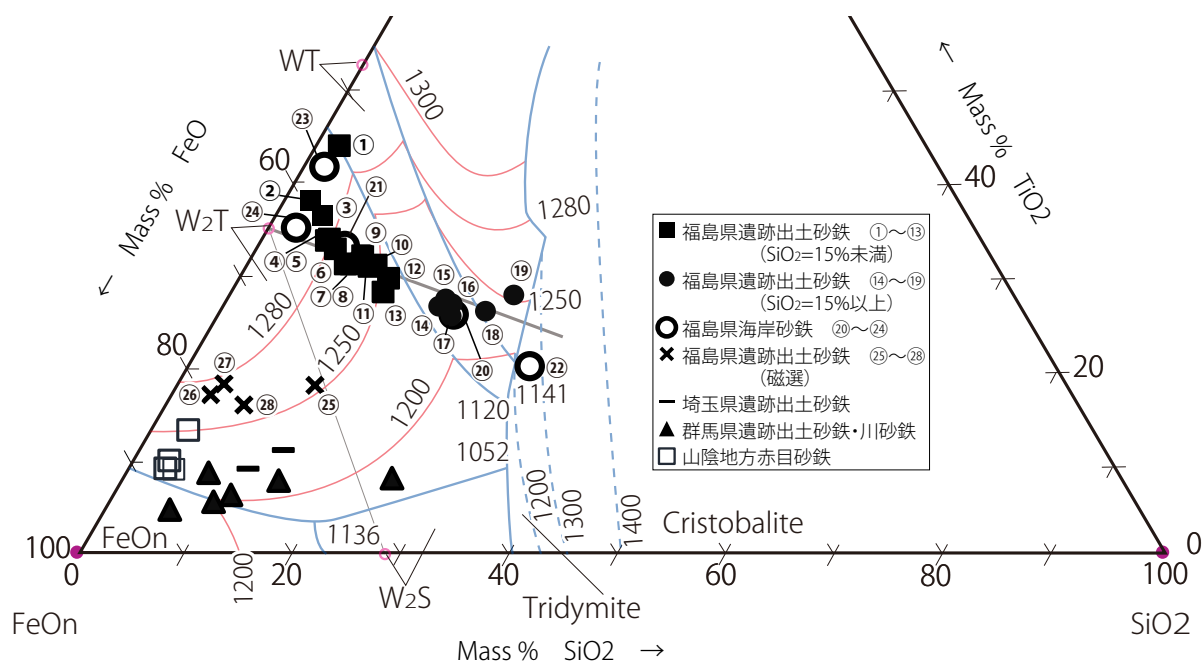


図 1 砂鉄成分の評価

また、浜通り地方の砂鉄と、山陰地方の赤目砂鉄や群馬・埼玉県の製鉄遺跡から出土した砂鉄を比較した場合、浜通り地方の砂鉄は際立ってチタン濃度が高いことがわかる。

ここで浜通り地方の砂鉄についてまとめておく。

- ・海岸で採取される砂鉄（原鉱）の成分は、ほとんど同じであること。
- ・比重選鉱により精選が進んだ砂鉄では、全鉄分が40%前後、チタン濃度が30%前後であること。
- ・さらにチタン濃度が35%を超える砂鉄が存在すること。

なお、炉壁や炉内滓資料の中から、肉眼で砂鉄粒子が残った「砂鉄焼結塊」を抽出し、分析することで、製鉄炉に投入された砂鉄と近似した値を得ることができる。今後は「砂鉄焼結塊」の成分値も合わせて検討することで、使用された砂鉄の実態に迫ることができるだろう。

3. 製鉄関連遺物量の比較

これまでに浜通り地方の古代・中世製鉄遺跡からは、約1,108トンの製鉄関連遺物(鉄滓や炉壁など)が出土している。これは発掘調査された遺跡のみの集計であるが、ほとんどの遺跡で漏らすことなく計量データがあることは特筆すべきことである。この成果一覧については、巻末の鉄滓重量表に掲載している。

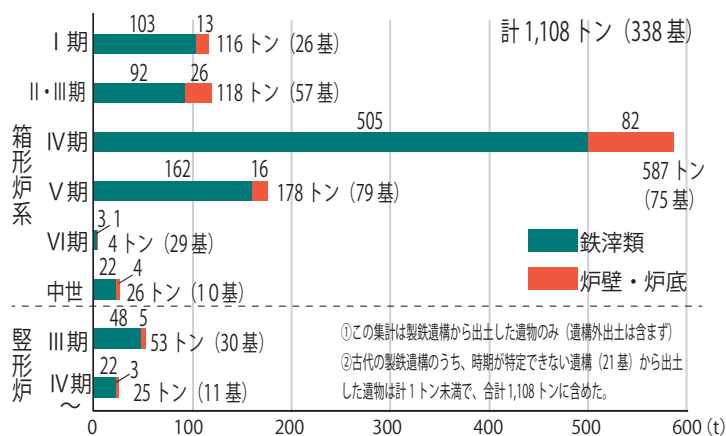


図2 浜通り地方の古代・中世製鉄遺構数・時期別遺物量

これまでに浜通り地方で見つかった古代・中世の製鉄遺構(製鉄炉・廃滓場)の総数は338基で、この内、製鉄炉の数は280基である。製鉄炉の時期別に製鉄関連遺物の集計を行ったところ、図2のような結果となった。なお、時期の区分は、金沢地区製鉄遺跡群の報告で示された編年案に基づき、I期(7世紀中～後葉)、II期(8世紀初頭)、III期(8世紀前～後葉)、IV期(8世紀末葉～9世紀前葉)、V期(9世紀中葉～後葉)、VI期(10世紀)とした。

まず、箱形炉と豎形炉の製鉄関連遺物量(以下、遺物量とする)を比較すると、全体の93%(1,029トン)が箱形炉系の遺構から出土した遺物である。このことから本地方では豎形炉系の技術が限定的であり、あくまで箱形炉系の技術が古代から中世にかけて主体であったことがわかる。

各時期で見てみると、I期(7世紀中～後葉)では26基の製鉄遺構(箱形炉)から116トンの遺物が出土しているが、その多くは本地方最大の遺物量の大船泊A遺跡29・30号製鉄炉跡からである(76トン)。この製鉄炉はI期の中でも7世紀第3四半期に位置付けられるが、遺物量の多さは導入期から比較的短期間のうちに製鉄技術が習熟していたことを示している。

II・III期(8世紀初頭～後葉)では57基の製鉄遺構(箱形炉)から118トンの遺物が出土している。I期に比べて製鉄遺構の数は倍増しているため、1基あたりの遺物量は減少していることになる。同じ時期の豎形炉は30基が見つかっており、合計53トンの遺物が出土している。この内、約33トンが南相馬市小高区の横大道製鉄遺跡と檜葉町の南代遺跡からの出土である。

IV期(8世紀末葉～9世紀前葉)は、箱形炉に踏みふいごが導入された時期で、75基の製鉄遺構(箱形炉)から587トンの遺物が出土している。1基あたりの遺物量が20トンを超える製鉄炉もあり、集中的な生産体制の様子がうかがえる。この時期が本地方の鉄生産のピークである。同じ時期の豎形炉は11基が見つかっており、合計25トンの遺物が出土している。

V期(9世紀中葉～後葉)は、79基の製鉄遺構(箱形炉)から178トンの遺物が出土している。IV期に比べ製鉄炉の数が増加しているにもかかわらず、遺物の総量が減少していることから、IV期でみられた集中的な生産体制が維持できず、分散型の生産体制に移行したことがうかがえる。

VI期(10世紀)は、29基の製鉄遺構(箱形炉系・円筒形自立炉)から4トンの遺物が出土している。また、中世(12・13世紀)は、10基の製鉄遺構(箱形炉系)から26トンの遺物が出土している。発掘された遺跡の数が少なく、これらの時期別遺物量の評価については今後の課題である。

また、製鉄関連遺物は、まず外見上の特徴をもって流出滓・炉内滓・炉底滓・炉壁(羽口を含む)・鉄塊系遺物に大別してきた。流出滓は炉外で流動した滓のことで、外見上は他との区別が最も容易である。炉内滓は、製鉄炉内で生成したであろう鉄滓で、砂鉄焼結塊やガラス質滓、炉内流動滓などを含む。実際は、流出滓とは外見上異なる鉄滓の総称であることも多く、統計上は注意が必要である。炉底滓・炉壁は使われた粘土の外見で分けることが多く、前者は砂や礫が混ぜられた粘土で、後者はワラスガが混ぜられていることが多い。いずれも粘土が付着しているため、鉄滓そのものの重量の比較はできない。したがって、分類作業によるヒューマンエラーが発生しにくい流出滓の量をもって排滓量とみるのが統計上は正しいだろう。

4. スラグ状態図からみた各遺構の特徴

次に鉄滓の成分値から、製鉄炉の操作条件について考えていきたい。図3は近年発表された酸化鉄－シリカー酸化チタン－5%アルミナ系スラグ状態図(板谷・渡邊2015)で、高チタン砂鉄を用いた本地方製鉄遺跡出土の鉄滓の評価に最も有効的である。この図を用いると、どのような操作条件で排出された鉄滓なのかがわかり、砂鉄から還元が進み金属鉄が生成される過程において、各段階で排出された鉄滓を集成することで、炉内環境の復元が可能になるといわれている。

浜通りの製鉄遺跡から出土した鉄滓は、高チタン砂鉄を原料に生成したものであるため、そのほとんどが鉱物相のウルボスピネル・イルメナイト・シュードブルッカイト領域にプロットされる。これを遺構別に検討すると、IV期の横大道製鉄遺跡1号廃滓場跡(箱形炉由来)の鉄滓はシュードブルッカイト領域の中でも、融点が1,280～1,300度の帯域に集中している(図4-1:資料No.15・21・24～26)。これらは顕微鏡組織ではイルメナイト・シュードブルッカイトが主体的である(表2)。外観的にも流動単位の大きな流出滓資料が多く、箱形炉の操作が最も安定した段階に排出された鉄滓であると推察できる。

この領域に安定期の鉄滓がプロットされていることは、1号廃滓場跡の箱形炉の操作が良好に推移したことを示している。また、安定期に排出された鉄滓のなかには、炭素濃度が3%程度の金属

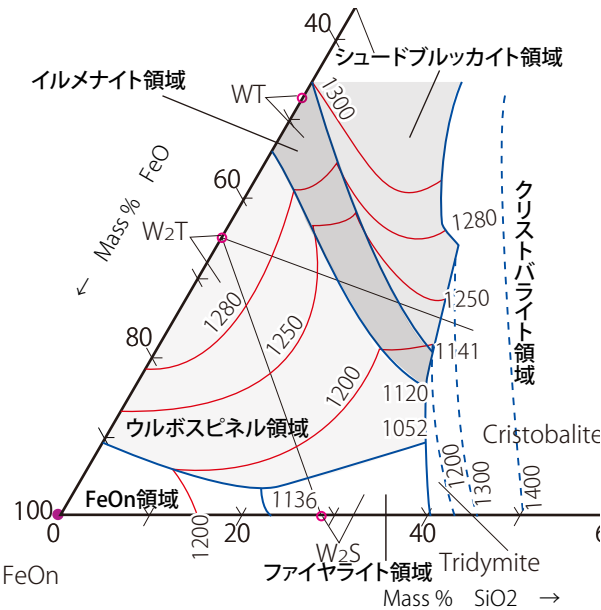
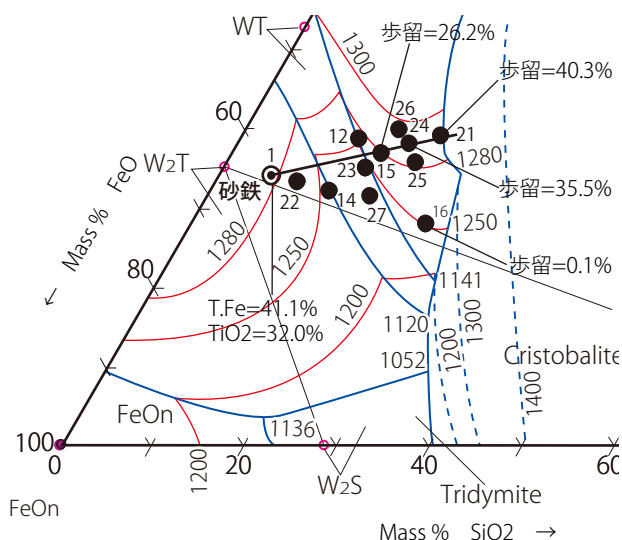


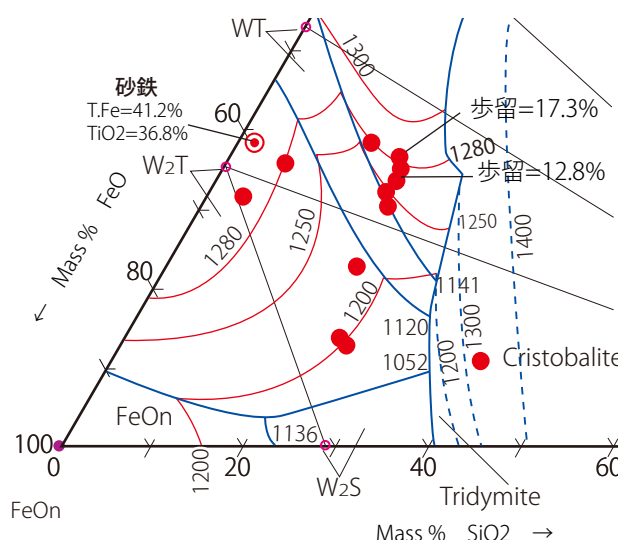
図3 酸化鉄－シリカー酸化チタン－5%アルミナ系スラグ状態図(板谷・渡邊 2015 を基に作成)

表2 横大道製鉄遺跡1号廃滓場跡出土の鉄滓の性状

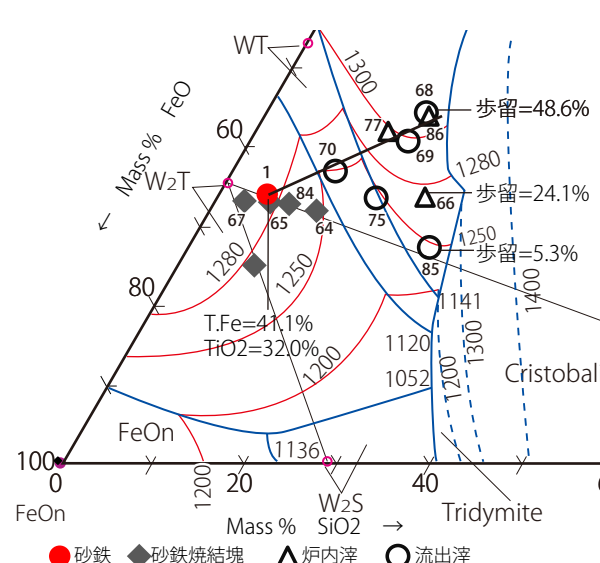
資料 No.	種 別	顕微鏡組織ほか
1	砂鉄	T.Fe=41.1%,TiO2=32.0%
22	流出滓 (鉄塊系)	ウルボスピネル主体
14	砂鉄焼結塊	砂鉄粒明瞭に残る
12	炉内滓	イルメナイト・シュードブルッカイト主体
23	流出滓 (鉄塊系)	C = 1.5%の過共析鋼を含む
27	流出滓	ウルボスピネル主体
15	炉底滓 (鉄塊系)	ウルボスピネル・イルメナイト主体
26	流出滓	イルメナイト主体
24	流出滓	イルメナイト主体
25	流出滓	イルメナイト・シュードブルッカイト主体
21	流出滓 (鉄塊系)	イルメナイト主体 C = 3%のまだら鑄鉄を共伴



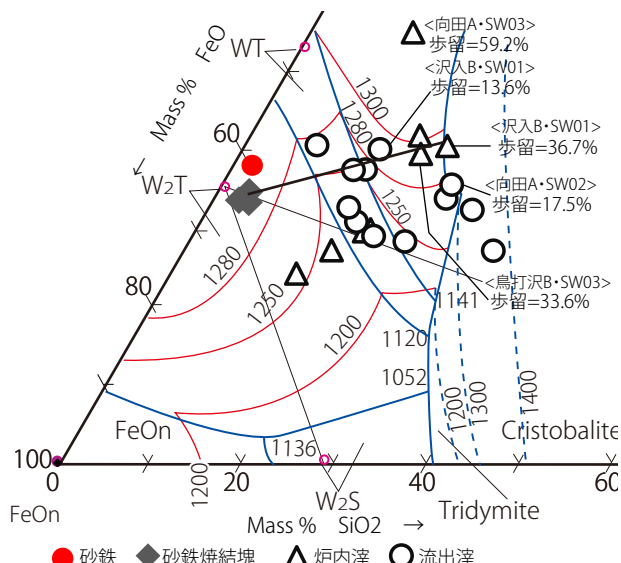
1. 横大道製鉄遺跡 1号廃滓場跡出土鉄滓の3元状態図



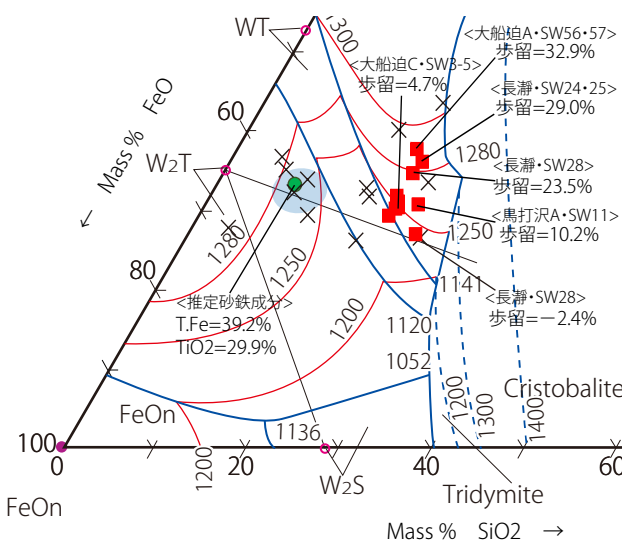
2. 館越遺跡 1号製鉄炉跡出土鉄滓の3元状態図



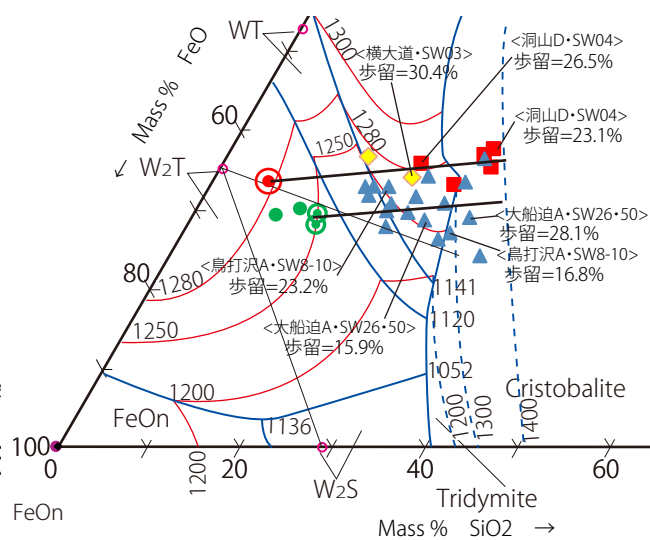
3. 横大道製鉄遺跡（竪形炉）出土鉄滓の3元状態図



4. 9世紀前葉（竪形炉）出土鉄滓の3元状態図



5. 7世紀後葉（箱形炉：金沢地区）出土鉄滓の3元状態図



6. 8世紀（箱形炉）出土鉄滓の3元状態図

図4 砂鉄・鉄滓の3元状態図（1）

鉄を内包する資料(資料No.21)がある。このことは操業安定期では鑄鉄が炉外に流れ出ていたことを明確に示している。一方、顕微鏡組織観察で砂鉄粒子が残る資料(資料No.14)や還元が不十分な金属鉄を含む資料(資料No.22)は、砂鉄のプロットに近い側にある。これらはウルボスピネルの領域にあり、顕微鏡観察結果とも一致する。

以上のことから1号廃滓場跡の鉄滓の分析値を読み解くと、砂鉄のプロットを始点にイルメナイトからシュードブルッカイト・クリストバライトの境界付近に向かってデータが推移している。仮にウルボスピネル領域で還元プロセスが進行し鉄成分が減少して、相対的に鉄滓のチタン濃度のみが上昇した場合では、資料No.22付近からデータは右上がり続けるはずである。この場合、例えば酸化鉄40%、シリカ10%、酸化チタン50%であればシュードブルッカイト領域で融点が1,300度以上の帯域となり、このような高温を維持することは困難である。

この鉄滓の融点制御に大きく寄与するのがシリカ(粘土)の融解である。シリカの濃度が20～30%に高まることにより、イルメナイト・シュードブルッカイト領域で1,280～1,300度帯域での環境条件を維持できる。本地域特有の高チタン砂鉄を還元するプロセスにおいては、造滓剤としてシリカが働くことにより、鉄滓中のチタン濃度の上昇を抑え、さらに融点の上昇を抑制する効果があったと推察できる。

一方、Ⅳ期初頭の館越遺跡1号製鉄炉跡から出土した鉄滓は、イルメナイトとシュードブルッカイト領域の境界付近に分布し、融点が1,280度以下にとどまっている(図4-2)。つまり本遺構は横大道製鉄遺跡1号廃滓場跡よりも炉内温度が低かった可能性がある。

一方、竪形炉から出土した鉄滓は、長方形箱形炉のものとは若干異なる領域でデータが推移する。図4-3に竪形炉(横大道製鉄遺跡4・5・8号製鉄炉跡)の鉄滓データを示す。砂鉄データに近い位置に、砂鉄焼結塊(資料No.64・65・67・84)が集中して分布している。一方、操業が停止する段階において炉内に残留していた鉄滓の資料(資料No.68・69・77・86)は、シュードブルッカイト領域の1,300度以上の帯域にある。おそらく、この領域を目標とした操業を行っていたと推察できる。

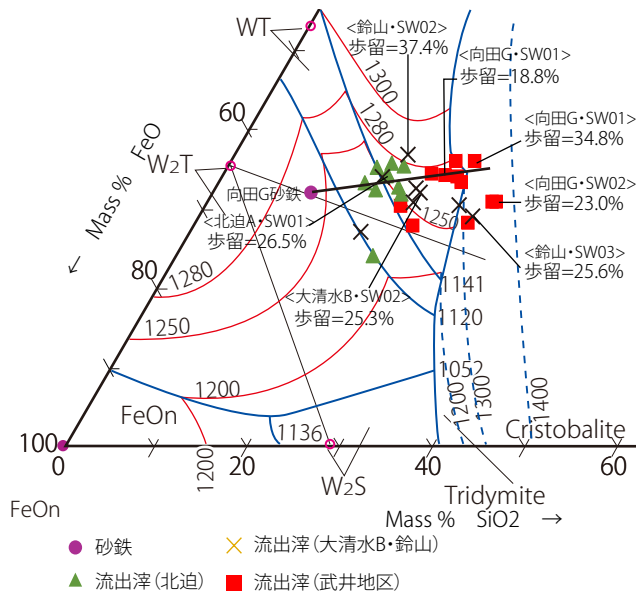
また、竪形炉と箱形炉の鉄滓データを比較した場合、明らかに竪形炉の方が融点の高い側でデータが推移している。このことは箱形炉よりも竪形炉の方が高い炉内温度であった可能性を示唆する。

次に他の地区の状況を、本来は製鉄炉1基ごとに検討すべきところであるが、データ数の関係から時期別にまとめてみる。

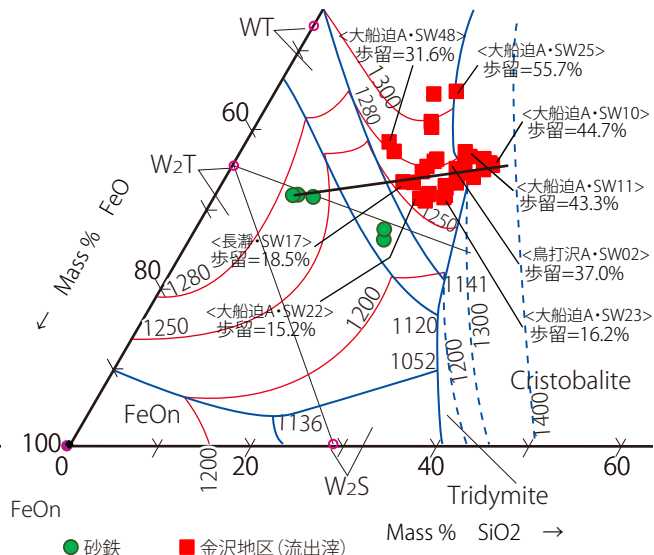
図4-5は、Ⅰ期の箱形炉の鉄滓のプロットである。流出滓のデータがシュードブルッカイト領域の融点が1,250～1,300度の帯域に縦長に分布している。流出滓に限っても成分値の偏差が大きいことは、操業条件が不均一であった可能性を示唆する。また分布の中心は、シュードブルッカイト領域の融点が1,250度付近にあることから、炉内温度が低かった可能性を示す。

図4-6は、Ⅲ期の箱形炉の鉄滓のプロットである。金沢地区製鉄遺跡群の鉄滓プロットは、武井地区製鉄遺跡群や横大道製鉄遺跡の鉄滓プロットよりも融点が低い1,250度付近にある。

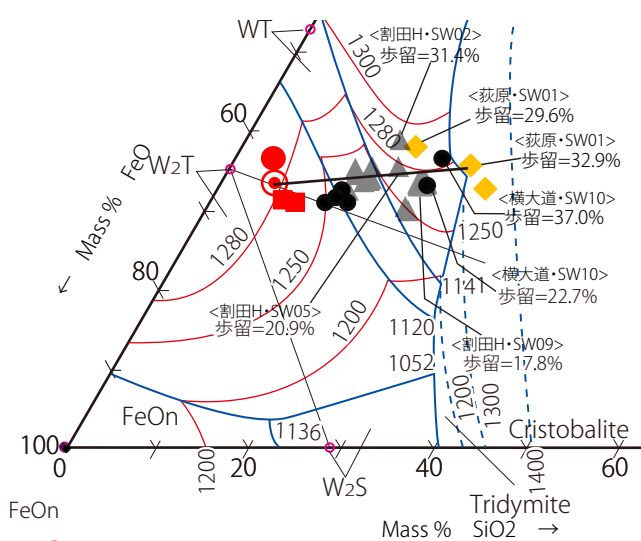
図5-1・2はⅣ期の箱形炉の鉄滓のプロットである。両者はシュードブルッカイト領域の融点が1,280度付近に分布が集中している。Ⅲ期の箱形炉の鉄滓データに比べ、より分布が集中傾向にあり、操業条件が比較的均一であったことを示唆する。これはこの時期に箱形炉に導入された踏みふいごにより、安定した送風が可能になったことに起因するのだろう。さらに遺跡ごとに詳細を見ると、図5-1



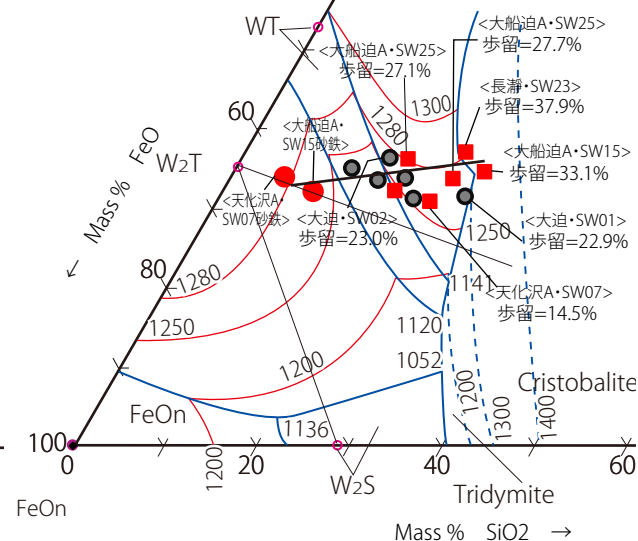
1. 9世紀前葉 (箱形炉: 宇多郡) 出土鉄滓の3元状態図



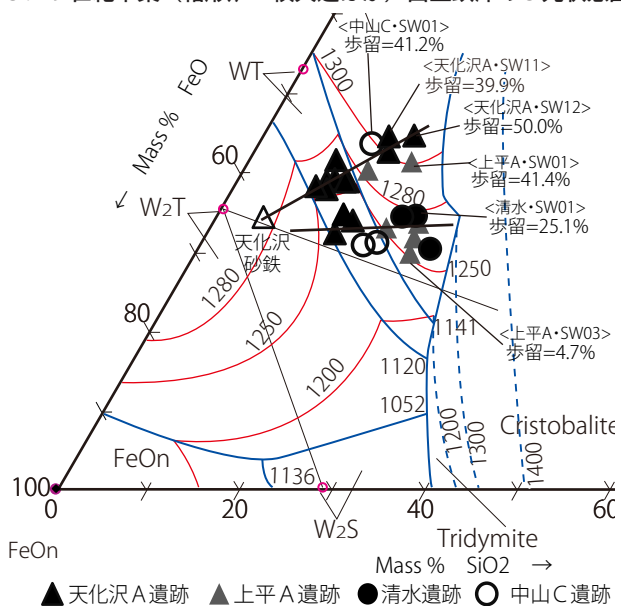
2. 9世紀前葉 (箱形炉: 金沢地区) 出土鉄滓の3元状態図



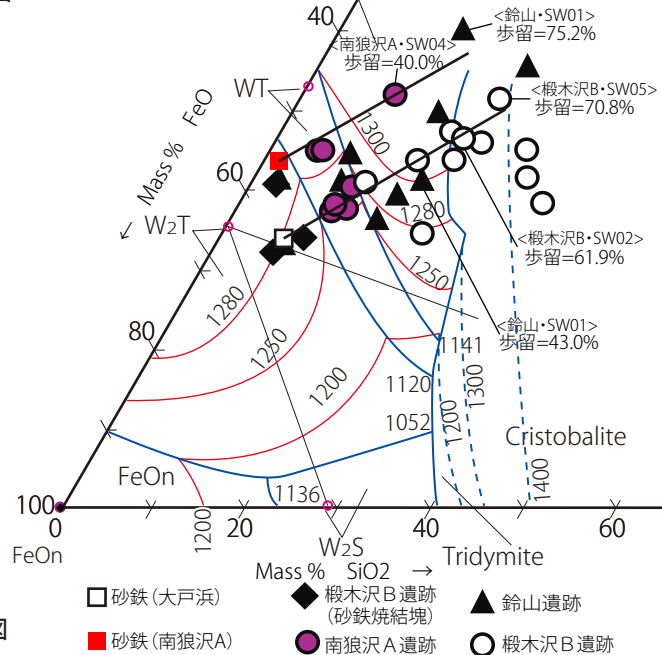
3. 9世紀中葉 (箱形炉: 横大道ほか) 出土鉄滓の3元状態図



4. 9世紀中葉 (箱形炉: 金沢地区ほか) 出土鉄滓の3元状態図



5. 9世紀後葉～10世紀 (円筒自立炉) 出土鉄滓の3元状態図



6. 中世 (箱形炉系) 出土鉄滓の3元状態図

図5 砂鉄・鉄滓の3元状態図 (2)

では、北迫A遺跡から大清水B遺跡、そして武井地区製鉄遺跡群の各鉄滓データ群が左から右に、より還元比率が高い方へ推移している。

図5-3・4はV期の箱形炉の鉄滓のプロットである。IV期のデータとほぼ同じ位置に分布することから、同じような操業条件であった可能性がある。なお、大船迫A遺跡15号製鉄炉は操業途中で炉壁が倒壊した可能性が示されているが、鉄滓のデータを見ると最も還元が進んだシュードブルッカイト・クリストバライト領域の境界付近にあり、操業が最も安定した段階に達していたことを示唆する。

図5-5はVI期の円筒形自立炉の鉄滓のプロットである。プロットは2つのグループに分かれる傾向があり、天化沢A遺跡の鉄滓プロットはシュードブルッカイト領域の1,300度以上の帯域を目標とした操業を行っていたと推察できる。これは横大道製鉄遺跡の竪形炉の鉄滓データの推移とよく似ている。一方で、清水遺跡や上平A遺跡の一部の鉄滓データは、IV・V期の箱形炉の鉄滓データの推移とよく似ていて、シュードブルッカイト領域の1,250～1,280度の帯域に分布が集中している。

図5-6は中世の箱形炉の鉄滓のプロットである。このプロットも2つのグループに分かれる傾向があり、榎木沢B遺跡の鉄滓プロットはシュードブルッカイト領域の1,300度以上の帯域を目標とした操業を行ったと推察される。一方、南狼沢A遺跡の一部の鉄滓データは、チタン濃度がかなり高い側にある。これは同遺跡から出土した砂鉄のチタン濃度が41.5%と高く、かなりの高温での操業を強いられていた可能性がある。今後、中・近世の鉄滓データを集成し、検証する必要がある。

以上のことを整理すると、

- ・最も還元が進んだシュードブルッカイトとクリストバライト領域の境界付近では、鑄鉄(炭素量2%以上)が同時に生成している。
- ・送風装置として踏みふいごが導入される以前のI～III期の箱形炉は、操業が安定的ではなく、炉内温度がやや低かった可能性を示している。
- ・踏みふいご導入以後のIV・V期の箱形炉は、1,280度付近に鉄滓データが集中し、炉内温度が安定的であった可能性が高い。
- ・竪形炉や円筒形自立炉、中世の箱形炉は、1,300度以上の炉内温度を目標とした操業を行っていた可能性を示唆する。

5. 製鉄歩留まり・鉄生産量について

製鉄操業が安定した段階に排出された流出滓は、酸化鉄-シリカ-酸化チタン-5%アルミナ系スラグ状態図ではシュードブルッカイト領域にプロットされる。この領域での製鉄歩留まり(鉄収率)を比較することで、各時期の操業の実態や鉄生産量について考えてみたい。製鉄歩留まりとは砂鉄中の不純物がすべて鉄滓に移行したと仮定して、算出される理論的な値である。高チタン砂鉄の場合はパラメータとして、酸化チタンを用いる。

$$\text{製鉄歩留まり} = 1 - \{ (\text{流出滓の T.Fe} / \text{流出滓の TiO}_2) / (\text{砂鉄の T.Fe} / \text{砂鉄の TiO}_2) \}$$

まず、表3に各時期のシュードブルッカイト領域にプロットされる流出滓のT.Feの平均値と最小値、最大値を示す。これを基に各時期の製鉄歩留まりの平均値と最小・最大値を算出する。

その結果、平均値だけを比較すればI～III期の箱形炉では製鉄歩留まりが20%台と低く、操業効率が悪い。踏みふいごが導入されたIV期以降の箱形炉では製鉄歩留まりは30%台で推移し、さらにVI期

表3 各時期の製鉄歩留まりと鉄生産量

時期	炉形態	遺跡	製鉄炉数	流出滓重量(kg)	流出滓鉄分量(%)			製鉄歩留まり(%)			製錬鉄推定鉄分量(kg)			砂鉄鉄分量(%)	砂鉄推定使用量(kg)
					平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大		
I 期 (7世紀後葉)	箱形炉	武井・金沢地区	26	97,113	31.9	27.8	33.0	21.6	10.2	32.9	8,457	3,640	13,237	39.2	100,105
II・III期 (8世紀)	箱形炉	武井地区・横大道・南代	9	10,947	29.4	27.5	32.1	28.5	26.5	30.4	1,280	1,177	1,315	41.1	10,944
II・III期 (8世紀)	箱形炉	金沢地区	41	72,589	29.4	27.5	32.1	25.7	23.2	28.1	7,382	7,039	7,802	38.5	74,605
IV期 (9世紀前葉)	箱形炉	武井地区・大清水 B・鈴山(ほか)	18	118,881	28.3	26.2	31.2	30.7	26.5	34.8	14,869	13,373	16,624	38.6	125,680
IV期 (9世紀前葉)	箱形炉	金沢地区	41	258,367	27.0	22.5	31.8	31.6	18.5	44.7	32,228	18,650	46,990	39.9	255,606
IV期 (9世紀前葉)	箱形炉	横大道	1	48,853	28.5	24.6	30.9	33.3	26.2	40.3	6,936	5,359	8,113	41.1	50,751
IV期 (9世紀前葉)	箱形炉	舘越	1	2,139	30.2	28.4	31.7	15.0	12.8	17.3	114	100	127	41.2	1,845
V期 (9世紀中～後葉)	箱形炉	武井地区	12	82,644	28.4	24.4	31.8	32.4	25.8	39.0	11,249	9,138	12,893	38.6	89,949
V期 (9世紀中～後葉)	箱形炉	金沢地区・大迫・天化沢 A	12	1,783	28.8	25.0	32.3	30.5	23.0	37.9	2,581	1,975	3,123	40.5	20,931
V期 (9世紀中～後葉)	箱形炉	割田地区・大清水 B・横大道(ほか)	23	41,399	28.6	24.6	31.5	29.9	22.7	37.0	4,304	3,272	5,110	40.9	35,254
VI期 (10世紀)	円筒炉	天化沢 A・上平 A(ほか)	20	2,172	27.8	24.8	32.4	39.5	25.1	50.0	394	236	539	40.5	2,464
中世 (12・13世紀)	箱形炉	南狼沢 A・鈴山・榎木沢 B	10	21,131	20.2	16.4	26.8	58.2	43.0	75.2	5,943	4,272	10,508	36.1	27,825
III期 (8世紀後葉)	竪形炉	武井・金沢地区・横大道・南代(ほか)	27	39,722	26.2	24.5	28.5	48.6	24.1	48.6	5,956	3,595	9,202	41.1	39,814
IV期 (9世紀前葉)	竪形炉	武井・金沢地区・沢入 B(ほか)	8	6,842	29.6	25.8	32.6	32.1	13.6	59.2	930	341	2,488	41.2	7,031
計			249	804,582							102,623	72,165	138,069		842,803

の円筒形自立炉で約40%、中世の箱形炉では約60%と操業効率が上がっている。

次に製鉄歩留まりと流出滓の重量から、鉄生産量を試算する。あくまで投入した砂鉄の鉄分(T.Fe)がすべて製錬鉄側と流出滓側に割り振られたと仮定しての理論値であり、砂鉄の飛散ロスや鉄滓と分離しきれなかった鉄分を加味すれば、実際の鉄生産量はさらに下回る。

$A = \text{流出滓重量(kg)} \times \text{流出滓の T.Fe 平均濃度(}\%) \times 0.01 = \text{流出滓中の全 T.Fe 量(kg)}$

$B = [A \times \{100 / (100 - \text{製鉄歩留まり(}\%)\})] - A = \text{生成した製錬鉄の全 T.Fe 量(kg)}$

さらに次式により砂鉄使用量を推算する。

$C = 100(A + B) / \text{砂鉄の T.Fe(}\%) = \text{砂鉄推定使用量(kg)}$

以上の試算の結果を各時期の鉄生産量(製錬鉄推定 T.Fe 量)として表3に示す。当然ながら排滓量と比例して鉄生産量も増減する訳だが、流出滓の重量のおおよそ10～15%程度の鉄生産量であったことが推定される。したがって浜通り地方の古代・中世製鉄遺跡では最小値を採用すれば合計で70トン程度、平均値をとれば100トン程度の製錬鉄が生産されていたと推算できる。

一方、砂鉄推定使用量は流出滓の重量とほぼ同じであったことから、浜通り地方の古代・中世製鉄遺跡では合計で800～900トン程度の砂鉄が使用されたと推算した。

表 4 製鉄遺構集成

遺跡名	横大道	館越	横大道	鈴山	大清水 B
遺構名	3号廃滓場跡	1号製鉄炉跡	1号廃滓場跡	2・3号製鉄遺構	2号製鉄遺構
時期	8世紀後半	9世紀初頭	9世紀前半	9世紀前半	9世紀前半
炉形態	箱形炉	箱形炉	箱形炉	箱形炉	箱形炉
踏ふいご	なし（推定）	あり	あり（推定）	あり（推定）	あり（推定）
羽口耐火度（平均）	1,350 度	1,490 度	1,330 度	1,460 度	1,520 度
装着角度（平均）	33°	30°	① 9 ～ 16° ② 21 ～ 30°	① 15° ② 40 ～ 50°	10 ～ 15°
先端部内径（平均）	2.5 cm	3.4 cm	2.9 cm	2.0 ～ 2.5 cm	2.5 cm
炉壁耐火度（平均）	1,210 度	1,150 度	1,205 度	1,315 度	1,320 度
炉壁混和材	スサ	スサ	スサ	スサ	スサ
鉄塊炭素濃度平均 （最小～最大）	2.92% (2.58 ～ 3.16%)	2.38% (1.17 ～ 3.14%)	2.42% (1.27 ～ 3.29%)	2.74% (2.32 ～ 3.38%)	2.79% (2.58 ～ 3.00%)
遺物量（計）	2,666 kg	2,853 kg	51,391 kg	15,319 kg	9,417 kg

遺跡名	大清水 B	横大道	割田 C	割田 H	大清水 B
遺構名	3号製鉄遺構	10号製鉄炉跡	1号製鉄炉跡	7・11号製鉄炉跡	1号製鉄遺構
時期	9世紀前半	9世紀後半	9世紀後半	9世紀後半	9世紀後半
炉形態	箱形炉	箱形炉	箱形炉	箱形炉	箱形炉
踏ふいご	あり（推定）	あり	あり	あり	あり
羽口耐火度（平均）	1,480 度	1,500 度	1,560 度	1,260 度	1,490 度
装着角度（平均）	8 ～ 20°	11 ～ 15°	11 ～ 15°	11 ～ 15°	10 ～ 15°
先端部内径（平均）	2.5 ～ 3.0 cm	2.7 cm	2.4 cm	2.7 cm	2.5 cm
炉壁耐火度（平均）	1,380 度	1,380 度	1,430 度	1,255 度	1,290 度
炉壁混和材	スサ	砂	スサ・砂	スサ	砂
鉄塊炭素濃度平均 （最小～最大）	2.48% (1.35 ～ 2.96%)	3.30% (3.23 ～ 3.41%)	2.16% (1.14 ～ 3.39%)	0.37% (0.03 ～ 1.19%)	2.68% (1.95 ～ 2.94%)
遺物量（計）	9,125 kg	1,350 kg	9,970 kg	1,857 kg	11,985 kg

遺跡名	割田 H	割田 H	萩原	中山 C	楳木沢 B
遺構名	2・5・8号製鉄炉跡	9号製鉄炉跡	1号製鉄炉跡	1号製鉄炉跡	1・2・4・5号製鉄炉跡
時期	9世紀後半	9世紀後半	9世紀後半	10世紀	10世紀
炉形態	箱形炉	箱形炉	箱形炉	小型炉	箱形炉（銭神 G 型）
踏ふいご	なし	なし	なし	なし	なし
羽口耐火度（平均）	1,320 度	1,300 度	1,365 度	不明	1,340 度
装着角度（平均）	30°	11 ～ 15°	7 ～ 13°	不明	不明
先端部内径（平均）	3.1 cm	2.7 cm	2.6 cm	2.4 cm	3.5 cm
炉壁耐火度（平均）	1,220 度	1,210 度	1,310 度	不明	1,300 度
炉壁混和材	スサ・焼土塊	スサ	砂	スサ	砂
鉄塊炭素濃度平均 （最小～最大）	1.13% (0.03 ～ 3.21%)	0.15% (0.04 ～ 1.12%)	3.00% (1.09 ～ 5.35%)	2.40% (2.21 ～ 2.51%)	2.61% (0.41 ～ 3.49%)
遺物量（計）	4,990 kg	7,372 kg	5,436 kg	79.9 kg	8,910 kg

遺跡名	鈴山	南狼沢 A
遺構名	1号製鉄遺構	1～4号製鉄遺構
時期	中世か	13世紀
炉形態	箱形炉	箱形炉
踏ふいご	なし	あり
羽口耐火度（平均）	1,405 度	1,400 度
装着角度	5 ～ 15°	30°
先端部内径（平均）	5.5 ～ 6 cm	4.4 cm
炉壁耐火度（平均）	1,315 度	1,345 度
炉壁混和材	砂・スサ	砂
鉄塊炭素濃度平均 （最小～最大）	2.11% (0.047 ～ 3.19%)	1.29% (0.17 ～ 4.35%)
遺物量（計）	3,562 kg	13,316 kg

遺跡名	横大道	横大道	館越	割田 E	沢入 B
遺構名	6・7・9号製鉄炉跡	4・5・8号製鉄炉跡	2号製鉄炉跡	1号製鉄炉跡	1号製鉄遺構
時期	8世紀後半	8世紀後半	9世紀前半	9世紀前半	9世紀前半
炉形態	縦形炉	縦形炉	縦形炉	縦形炉	縦形炉
踏ふいご	不明	あり	あり	あり	あり
羽口耐火度（平均）	不明	1,380 度	1,500 度	1,540 度	1,420 度
装着角度	不明	53 ～ 60°	不明	45 ～ 50°	不明
先端部内径（平均）	不明	7.2 cm	不明	10 cm	10 cm
炉壁耐火度（平均）	1,200 度	1,230 度	1,360 度	1,200 度	1,425 度
炉壁混和材	砂主体（内面スサ）	スサ	スサ・砂	スサ	スサ
鉄塊炭素濃度平均 （最小～最大）	不明	2.46% (0.74 ～ 3.58%)	3.19% (2.68 ～ 3.54%)	1.03% (0.06 ～ 3.20%)	1.52% (0.1 ～ 4.38%)
遺物量（計）	70 kg	1,723 kg	1,926 kg	1,069 kg	499 kg

6. 生産された鉄について

これまでに鉄塊系遺物は様々な分析調査がなされてきた。その成果の一部については、製鉄炉ごとに出土した鉄塊の炭素濃度の平均・最小・最大値を表4に示した。これによれば、ほとんどの製鉄炉で、炭素濃度が2%台の铸铁が生産されていたと推察される。ただ、さびにくく、残存しやすい铸铁塊が主に分析に選択的に供試されている場合が多く、この結果のみをもって議論するのはいささか危険である。したがって、先に述べた流出滓の成分に基づく議論により、生成鉄を考えることが有効である。

7. 炉壁について

浜通り地方の古代製鉄遺跡から出土する箱形炉の炉壁には、鍛冶羽口を何十本も送風孔に装着する例が多い。羽口付炉壁は福島・宮城県域の製鉄遺跡に集中し、他地域の分布はごく稀である。なぜ羽口が炉壁に必要であったのか？羽口の耐火度が高く、溶けにくいことから、操業終盤まで炉内に送風を可能にすることが目的であったと推察できる。ただ羽口の耐火性能の問題だけでは羽口付炉壁が本地域に集中して出土するのが説明できない。

逆に製鉄炉の炉壁に求められる粘土に特徴があったのではないだろうか。前節で、高チタン砂鉄の還元プロセスにおいて、炉壁に含まれるシリカの融解が不可欠であることは述べた。それならば、どれ位の炉内温度で溶解が進む粘土を炉壁に用いていたのであろうか。

まず、横大道製鉄遺跡の分析事例をもとに考える。同遺跡の炉壁成分については、板谷宏が成分中の酸化カルシウム・酸化カリウム・酸化ナトリウムの比率に着目し、炉壁には製鉄炉ごとに違った粘土が用いられていること、それが地山の最上部にある黄褐色粘土と地表面下約1mにある白色粘土に由来することなどを明らかにした(板谷2010)。さらに特筆すべきは白色粘土の耐火度が1,120度程度とかなり低かったことである。地表面に近い黄褐色粘土の耐火度が1,300度程度であったことからすると、採掘が困難な白色粘土をわざわざ選択していたことになる。

板谷の研究を受け、改めて横大道製鉄遺跡の炉壁成分を見直すと、粘土の主要成分であるシリカとアルミナの比が一定ではないかと思うようになった。そこで、この比を用いた先行研究をあたると、「ゼーゲル式」という19世紀の基礎研究にたどりついた。

「ゼーゲル式」は、粘土の成分を塩基性酸化物（アルカリとアルカリ土類、以下アルカリ）、中性酸

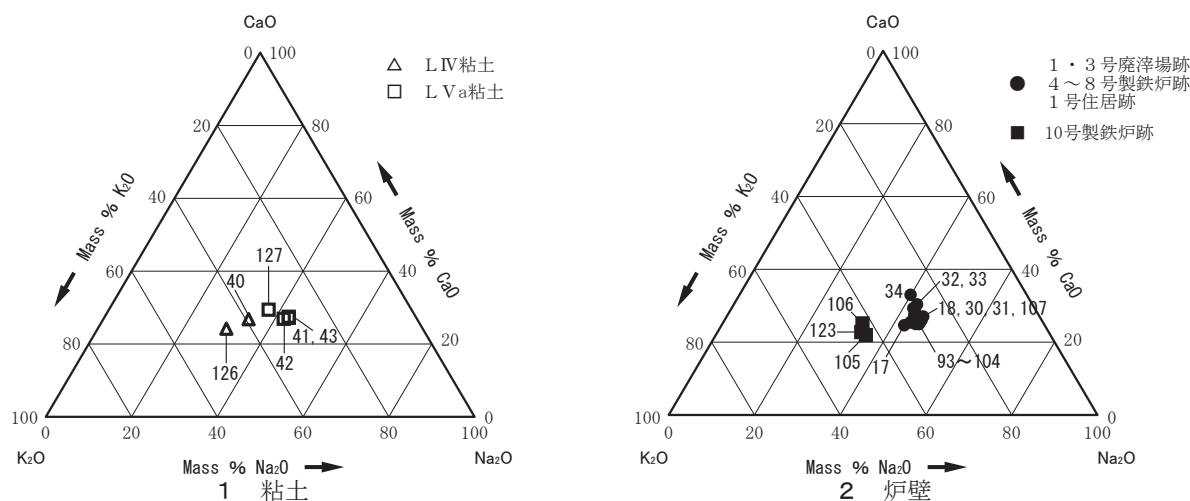


図6 横大道製鉄遺跡の炉壁胎土分類 (板谷 2010)

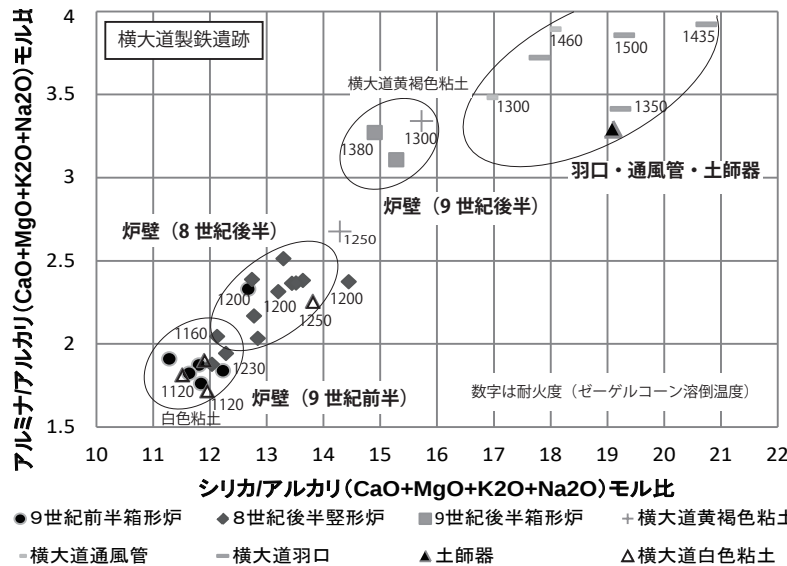


図7 横大道製鉄遺跡出土の炉壁・羽口ほか胎土成分比較 (門脇 2018)

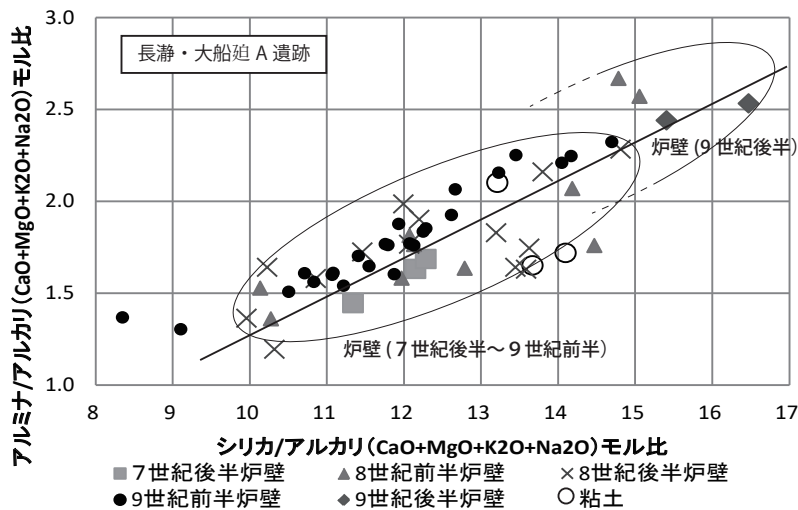


図8 長瀬・大船迫 A 遺跡出土の炉壁胎土成分比較 (門脇 2018)

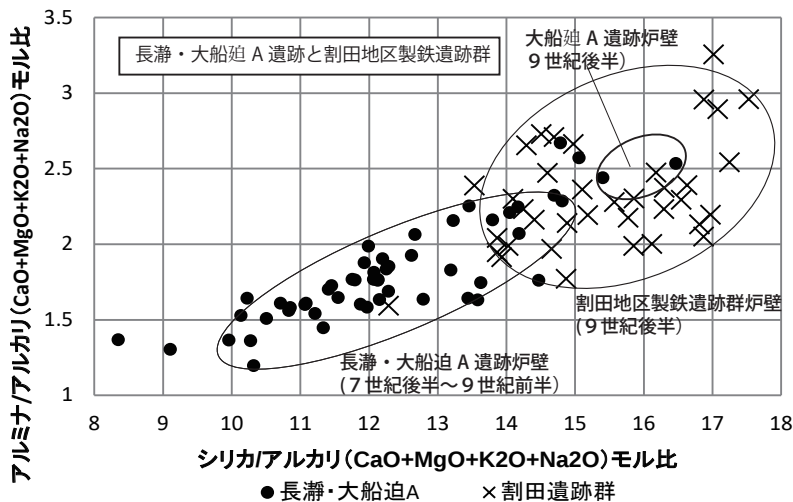


図9 長瀬・大船迫 A 遺跡と割田地区製鉄遺跡群出土の炉壁胎土成分比較 (門脇 2018)

化物（以下アルミナ）、酸性酸化物（以下シリカ）の三つに分類し、それぞれの酸化物をモル比で表す。次にアルカリのモル比の和を1に換算して、アルカリに対するアルミナの比、アルカリに対するシリカの比をそれぞれ求める。ここで得られたアルミナとシリカの比が釉薬の性質を分類するものといわれている。

これを炉壁のような耐火物で応用すると、アルミナおよびシリカの比が小さければ小さいほど、粘りが少なく溶けやすくなり、逆に大きければ大きいほど粘りが増し、溶けにくいと予想できる。

図7は、横大道製鉄遺跡の出土炉壁・羽口・通風管の成分比である。まず、地山上層の黄褐色粘土と地山下層の白色粘土を結んだ線上に、炉壁のプロットが並ぶ。これはいずれかの粘土もしくはその中間的な粘土を用いていたことを示す。特に9世紀前葉の箱形炉（1号廃滓場跡）出土炉壁は白色粘土と比較的近い位置にあり、ほぼ同質と考えてよい。これは板谷が行った研究結果を追認しており、白色粘土を用いて箱形炉の炉壁を構築していたと考えてよいだろう。

これより、やや黄褐色粘土寄りにあるのが8世紀後葉の縦形炉の炉壁資料である。横大道製鉄遺跡では縦形炉が6基見つかったが、それぞれ炉壁の積み上げ方が異なる。レンガ状に積み上げるものやワラスサを多量に入れて積み上げるものなど

の違いがある。にもかかわらず、
基質となる粘土は大きな差がなく、
黄褐色粘土より白色粘土に
近い成分のものを選択していた
と考えられる。

一方、9世紀後葉の箱形炉(10
号製鉄炉跡)の炉壁のプロット
は、前二者から大きく離れて、
黄褐色粘土に近い位置にあり、
ほぼ同質と判断する。これにより
横大道製鉄遺跡では9世紀中
葉頃に、炉壁に用いる粘土に大
きな変化があったとみるべきだ
ろう。ゼーゲル式の考え方に基
づく、アルカリに対するアル
ミナの比、またシリカの比のそ
れぞれが小さいほど粘土は溶け
やすく、その逆は溶けにくいと
いう。これをあてはめれば、9
世紀中葉を境に溶けやすい炉壁
から溶けにくい炉壁に変化した
とみられる。

一方、羽口・通風管はアルカリ

に対するシリカ・アルミナの比がともに高く、溶けにくい粘土と評価できる。各プロットに、実際の耐火度試験で得られた値を添えてみると(図7)、1300～1500度と炉壁に比べてかなり高い。また、ゼーゲル式で得られたプロットと実際の耐火度との間には相関関係があり、当たり前のことだが図7の右上に向かって耐火度が高く、左下に向かって低くなる傾向がある。また、プロットが近く、ほぼ同質と判断できるもの同士では、耐火度もほぼ同じである。

図8は金沢地区製鉄遺跡群の長瀬遺跡・大船迫A遺跡から出土した炉壁の分析値をゼーゲル式で計算し、プロットしたものである。導入期の7世紀後半(I期)から最盛期の9世紀前半(IV期)の製鉄炉から出土した炉壁については、ほぼ同じ帯域に分布している。これを先ほどの横大道製鉄遺跡例と比べると、溶けやすい炉壁のグループのプロットとほぼ重なる。

一方、図9は割田地区製鉄遺跡群から出土した9世紀中葉から後葉(V期)の箱形炉の炉壁のプロットである。明らかに長瀬・大船迫A遺跡から出土した炉壁のプロットとは異なり、溶けにくい側にある。これも横大道製鉄遺跡例と同じ変化といえる。

図10は相双地域の古代・中世製鉄遺跡から出土した炉壁の胎土成分を遺跡ごとにプロットをしたも

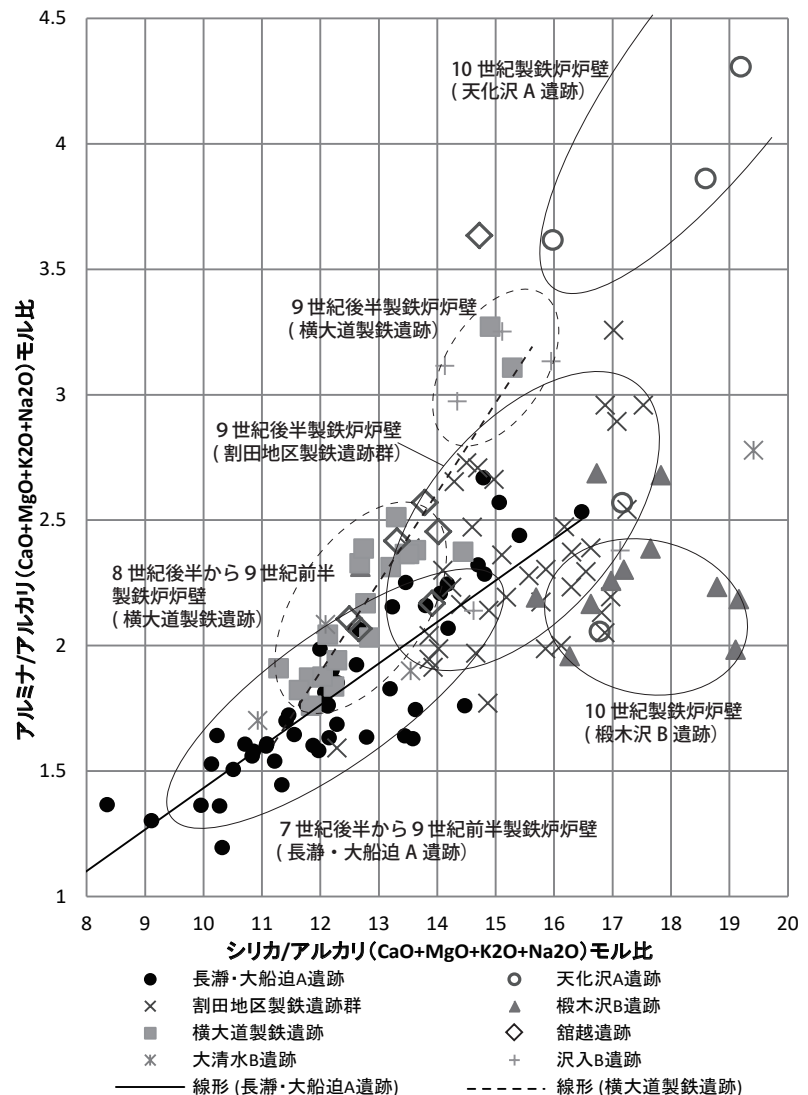


図10 相双地域における古代・中世製鉄遺跡出土の
炉壁胎土成分比較 (門脇 2018)

のである。これに資料数の多い横大道製鉄遺跡例と長瀬・大船迫A遺跡例には、回帰直線を添えてある。まずこの2例で線形が異なるということは、由来となる粘土成分が違うことを示しているのだろう。にもかかわらず、9世紀中葉段階で溶けにくい側の粘土を選択していることは、共通した技術基盤の変化としてみてよいだろう。

また、長瀬・大船迫A遺跡例と割田地区製鉄遺跡群の領域が異なることのほかに、割田地区製鉄遺跡群と鍛木沢B遺跡の領域がほぼ同じであることなど、ゼーゲル式を基にした散布図を活用すれば、遺跡間での炉壁成分の相対的評価(溶けやすいか、溶けにくい)が可能になる。

以上のことをまとめると、横大道・金沢地区製鉄遺跡群では、9世紀中葉頃に炉壁の粘土成分の変化がある。具体的には溶けやすい粘土から溶けにくい粘土へと変換する。これは成分値に限らず、9世紀後葉にかけての時期に炉の構築方法や混和材(ワラスサから砂粒へ)、さらには羽口の装着本数や装着角度などの変化と関係があるとみているが、このことは別稿としたい。

8. 木炭について

製鉄燃料である木炭については、これまで多くの遺跡で樹種同定がなされてきた。ここでは製鉄燃料に限定して議論したいので、木炭窯跡から出土した木炭の樹種構成について述べる。なお、製鉄炉作業場や炉下部構造からも木炭もしくは炭化材が出土しているが、これらは炉構築時の空焚きに用いられた可能性があるため、今回は検討対象外とする。

表5に各地区の木炭樹種構成を示した。興味深いのは沿岸部に近い遺跡と内陸部の遺跡では主体となる樹種に違いがみられることである。

まず新地町沿岸部の武井地区製鉄遺跡群のⅠ期においてはクヌギを主体とするが、Ⅱ期以降はコナラが主体となる。再びクヌギが主体となるのはⅤ期においてであるが、Ⅵ期ではコナラ主体に戻る。一方、新地町・相馬市内陸部の大坪地区製鉄遺跡群などでは、Ⅳ～Ⅵ期を通じてクマシデやイヌシデなどのシデ類が主体をなし、中世においては針葉樹であるモミが用いられている。

南相馬市沿岸部の金沢地区製鉄遺跡群では、導入期のⅠ期においてはクヌギ・コナラが用いられているが、Ⅱ・Ⅲ期からⅣ・Ⅴ期に新しくなるにしたがってクヌギの割合が減少する。南相馬市鹿島区・原町区内陸部の大迫・割田地区製鉄遺跡群では、Ⅴ期においてはコナラを主体とするが、中世においてはクリが用いられている。

南相馬市小高区内陸部の横大道・館越遺跡では、Ⅲ～Ⅳ期を通じてクヌギが主体となる。一方、浪江町内陸部の太刀洗遺跡などでは、クマシデやイヌシデなどのシデ類が主体となる。

以上のことから若干の考察を試みる。先に砂鉄の使用量についての推算結果を示したが、近世のたたら製鉄例を参考にすると、木炭の使用量は、砂鉄使用量とほぼ同量か1.2～1.5倍程度とされる。この推定に基づけば、1,000トン近くの木炭が使用されたことになる。この膨大な量の木炭生産により、浜通り地方の植生に一定程度の影響を与えたことは想定できる。また、木炭窯跡から出土した木炭の樹種構成が遺跡周辺の植生のすべてを反映したものではないが、製鉄導入期の遺跡周辺にはコナラ・クヌギを中心とした落葉広葉樹林が広がっていたことは想像できる。特にコナラはⅠ期からⅤ期を通じて各地区で普遍的なあり方をみせる。一方、導入期のⅠ期で最も多く使用されたクヌギが、Ⅱ期以降に減少していることは、この樹種の消費に対し自然再生が追い付いていない状況を示している。

表5 木炭窯跡から出土した木炭の樹種構成変遷

①武井地区製鉄遺跡群（新地町沿岸部）

I 期（7世紀後葉）	⇒	II・III期（8世紀）	⇒	IV期（9世紀前葉）	⇒	V期（9世紀後葉）	⇒	VI期（10世紀）
○ コナラ：171点 ◎ クヌギ：343点 ク リ：16点		◎ コナラ：165点 ▲ クヌギ：53点 ○ クリ：116点 ◎ シデ類：145点		◎ コナラ：156点 ▲ クヌギ：64点 ▲ クリ：36点 シデ類：11点		◎ コナラ：454点 ◎ クヌギ：466点 ○ クリ：241点 ▲ シデ類：140点		◎ コナラ：105点 ▲ クヌギ：57点 ▲ クリ：30点

②大坪地区製鉄遺跡群・大清水B・沢入B・鈴山遺跡（新地町・相馬市内陸部）

IV期（9世紀前葉）	⇒	V期（9世紀後葉）	⇒	VI期（10世紀）	⇒	中世（12・13世紀）
○ コナラ：32点 クヌギ：なし ▲ クリ：17点 ◎ シデ類：51点		▲ コナラ：24点 クヌギ：なし ク リ：3点 ◎ シデ類：110点		◎ シデ類：20点		◎ モミ：23点

③金沢地区製鉄遺跡群（南相馬市原町区沿岸部）

I 期（7世紀後葉）	⇒	II・III期（8世紀）	⇒	IV期（9世紀前葉）	⇒	V期（9世紀後葉）
◎ コナラ：27点 ◎ クヌギ：21点 ク リ：1点		◎ コナラ：980点 ▲ クヌギ：280点 ▲ クリ：178点 シデ類：33点		◎ コナラ：475点 ▲ クヌギ：92点 ▲ クリ：74点 ▲ シデ類：71点		◎ コナラ：210点 ▲ クヌギ：56点 ク リ：8点 ▲ シデ類：22点

④大迫・楢木沢B遺跡・割田地区製鉄遺跡群（南相馬市鹿島・原町区内陸部）

V期（9世紀後葉）	⇒	VI期（10世紀）	⇒	中世（12・13世紀）
◎ コナラ：230点 ▲ クヌギ：39点 ク リ：5点 ▲ シデ類：23点		その他の広葉樹 37点		◎ クリ：47点

⑤横大道・館越遺跡（南相馬市小高区内陸部）

III期（8世紀）	⇒	IV期（9世紀前葉）	⇒	V期（9世紀後葉）
コナラ：3点 ◎ クヌギ：162点		コナラ：5点 ◎ クヌギ：47点		コナラ：1点 クヌギ：4点 ク リ：1点

⑥太刀洗・朴迫D遺跡（浪江町内陸部）

IV期（9世紀前葉）	⇒	VI期（10世紀）
▲ コナラ：36点 クヌギ：なし ▲ カエデ：89点 ◎ シデ類：732点		その他の広葉樹 8点

III期から製鉄操業が始まる横大道・館越遺跡ではクヌギを最優先に選択していた。このことはI期から始まる武井・金沢地区製鉄遺跡群と異なり、横大道・館越遺跡周辺には未開拓の森が広がっていたと想像できる。その中でクヌギを専ら選択したことは、古代製鉄においてクヌギが重要な樹種であったことを示している。一方、大坪地区製鉄遺跡群や太刀洗遺跡ではシデ類の占有率が高く、逆にクヌギが用いられていない。横大道遺跡と太刀洗遺跡とはそれほど離れた遺跡ではないので、植生環境が大きく変わっていたとは思えない。したがって、製鉄工人の選択性が働いているものと考えられる。

古代から中世にいたる段階において、特にコナラ・クマシデなどの落葉広葉樹林が急速に縮小し、二次林が拡大したことは、割田地区製鉄遺跡群の花粉分析の結果から明らかになっている（財団法人福島

県文化振興事業団編2007)。中世においてはマツ・スギ・モミなど二次林の拡大により、製鉄燃料も転換を余儀なくされたと考えられる。このことから考えれば、10世紀代からの製鉄遺跡の急速な減少は、木炭燃料の枯渇が最大の要因だったと考えられる。

9. おわりに

福島県で製鉄遺跡の調査が本格的に始まった頃、当時、福島県文化センターにいた寺島文隆氏が鉄滓の重要性を説き、全量を回収し、分類・計量することを徹底しなかったら、本論を起草することはできなかっただろう。その後、武井地区から金沢地区製鉄遺跡群に続く大規模開発に伴う発掘調査においても、東日本大震災後の緊急発掘調査においても、福島県では一貫して鉄滓の全量把握に努めている。

日本有数の製鉄所の研究機関にいた板谷宏氏と筆者との出会いは、割田地区製鉄遺跡群の調査をしていた頃にさかのぼる。当時、考古学とはまったく無縁だった板谷氏を発掘現場に案内し、「分析を行って我々が知りたいことは、鉄の生産プロセスである」と伝えたことを覚えている。その後、筆者が横大道製鉄遺跡の構造を解明するにあたり「粘土」というキーワードにたどり着けたのも、板谷氏の研究のおかげだと感謝している。

これまでに浜通り地方で発掘調査を行った製鉄遺跡は60か所を超えるが、当然ながら浜通り地方の丘陵部や山間部には、いまだ手つかずの鉄滓の山がいたる所に眠っている。今回、算出した鉄生産量も砂鉄使用量も、あくまで通過点の数字に過ぎず、今後も増え続けるだろう。ただこの何百トン・何千トンという数字の背景を考えた時、鉄づくりにかかわった人々の息吹を感じざるを得ない。

引用・参考文献

- 飯村均 2005『律令国家の対蝦夷政策・相馬の製鉄遺跡群』新泉社
- 板谷宏 2007「割田遺跡群出土の製鉄関連遺物の評価」『原町火力発電所関連遺跡調査報告X』福島県教育委員会。
- 板谷宏 2010「横大道遺跡出土の製鉄関連遺物の評価」『常磐自動車道遺跡調査報告60』福島県教育委員会。
- 板谷宏 2011「製鉄関連遺物の化学分析」『常磐自動車道遺跡調査報告62』福島県教育委員会。
- 板谷宏・渡邊玄 2015「砂鉄製鉄滓への炉壁溶解の定量評価(FeO-TiO₂-SiO₂-5%Al₂O₃-(CaO, MgO) スラグ状態図)」『第27回フォーラム講演会「どのようにして従来製鉄法をプロセス工学的に解明するのか」(Part II)論文集』日本鉄鋼協会。
- 門脇秀典 2007「製鉄関連遺構と遺物の評価」『原町火力発電所関連遺跡調査報告X』福島県教育委員会。
- 門脇秀典 2010「考察」『常磐自動車道遺跡調査報告60』福島県教育委員会。
- 門脇秀典 2015a「羽口が装着された箱形炉の炉壁について」『森浩一先生に学ぶ』同志社大学考古学研究室。
- 門脇秀典 2015b「古代陸奥南部における製鉄炉の炉壁について」『鉄の技術と歴史』研究フォーラム第20回公開研究発表会論文集』日本鉄鋼協会。
- 門脇秀典 2017「古代陸奥南部における製鉄技術の画期」『鉄の技術と歴史』研究フォーラム第22回公開研究発表会論文集』日本鉄鋼協会。
- 門脇秀典 2018「ゼーグル式を用いた炉壁成分値の解析」『実証の考古学—松藤和人先生退職記念論文集—』同志社大学考古学研究室。
- 公益財団法人福島県文化振興財団編 2015 a『常磐自動車道遺跡調査報告71』福島県教育委員会。
- 公益財団法人福島県文化振興財団編 2015 b『常磐自動車道遺跡調査報告72』福島県教育委員会。
- 公益財団法人福島県文化振興財団編 2016『農山漁村地域復興基盤総合整備事業関連遺跡調査報告1』福島県教育委員会。
- 公益財団法人福島県文化振興財団編 2017『県道広野小高線関連遺跡発掘調査報告1』福島県教育委員会。
- 財団法人福島県文化センター編 1995『原町火力発電所関連遺跡調査報告V』福島県教育委員会。
- 財団法人福島県文化センター編 1996『原町火力発電所関連遺跡調査報告VI』福島県教育委員会。
- 財団法人福島県文化振興事業団編 2007『原町火力発電所関連遺跡調査報告X』福島県教育委員会。
- 財団法人福島県文化振興事業団編 2010 a『常磐自動車道遺跡調査報告59』福島県教育委員会。
- 財団法人福島県文化振興事業団編 2010 b『常磐自動車道遺跡調査報告60』福島県教育委員会。
- 財団法人福島県文化振興事業団編 2011 a『常磐自動車道遺跡調査報告61』福島県教育委員会。
- 財団法人福島県文化振興事業団編 2011 b『常磐自動車道遺跡調査報告62』福島県教育委員会。

製錬技術の視点から見た横大道・館越遺跡の操業技術

日本鉄鋼協会「鉄の技術と歴史研究」フォーラム顧問（元 JFE スティール）

板谷 宏

1. 緒言

福島県浜通り地方の砂鉄はチタニア（ TiO_2 ）が高いことで良く知られている。当然、横大道遺跡・館越遺跡も高チタニア砂鉄を原料とした製鉄を行っており、それが鉄滓生成、製錬歩留りなどの操業成績、胎土溶解などの製錬操業にどのような影響を及ぼしていたかを全国のチタニア含有量の異なる砂鉄を原料とした製鉄遺跡と比較しながらその特徴を製錬技術の視点から考察した。遺跡データは参考文献 1)～15) にもとづく。

2. 浜通り地方の砂鉄の特徴

地質的にはチタン鉄鉱系花崗岩と磁鉄鉱系花崗岩の遷移帯にある。第 1 表に横大道・館越遺跡砂鉄のチタニア含有量を他の遺跡出土砂鉄と比較して示す。比較対象として低チタニア砂鉄の岩手県子飼沢遺跡、島根県神戸川流域の遺跡、中からややチタニアの多い新潟の軽井川南遺跡と秋田県堂ノ下遺跡、高 TiO_2 の同じ浜通り地域の割田地区製鉄遺跡群、榎木沢 B 遺跡を選出した。選択には比較に耐えうるデータ量を考慮した。分析値からも横大道・館越遺跡の砂鉄は非常にチタニア（ TiO_2 ）を多く含んでいる。

表 1 砂鉄・砂鉄焼結塊の T.Fe と TiO_2

遺跡	砂鉄		
	T.Fe	TiO_2	$\text{TiO}_2/\text{T.Fe}$
横大道※	40.24	30.1	0.75
館越※	44.3	28.1	0.63
割田	54.1	17.3	0.32
榎木沢 B※	38.0	37.9	1.00
軽井川南	55.1	12.5	0.23
堂ノ下	49.0	16.9	0.35
子飼沢	56.1	3.5	0.06
神戸川流域	61.9	5.5	0.09

※砂鉄焼結塊の分析値を採用した

2.1 砂鉄の鉱物構成

砂鉄の含 TiO_2 鉱物はウルボスピネルとマグネタイトの全率固溶体 (1) チタノマグネタイト、イルメナイトとヘマタイトの全率固溶体 (2) チタノヘマタイト、フェリシュードブルッカイトとフェロシュードブルッカイトの全率固溶体 (3) の集合体として構成される。図 1 は EPMA による砂鉄粒子内の成

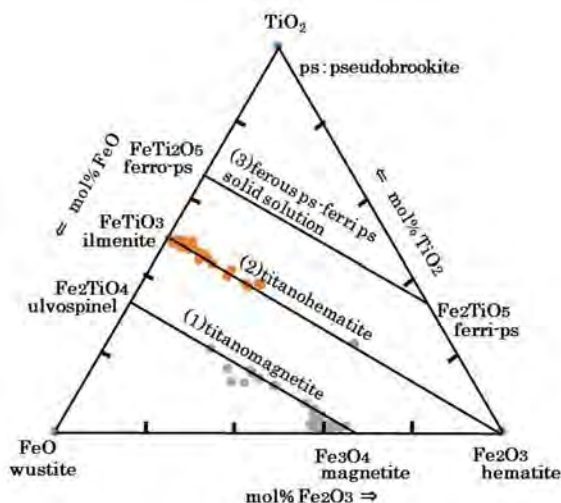


図 1 砂鉄の Fe-Ti-O の鉱物構成

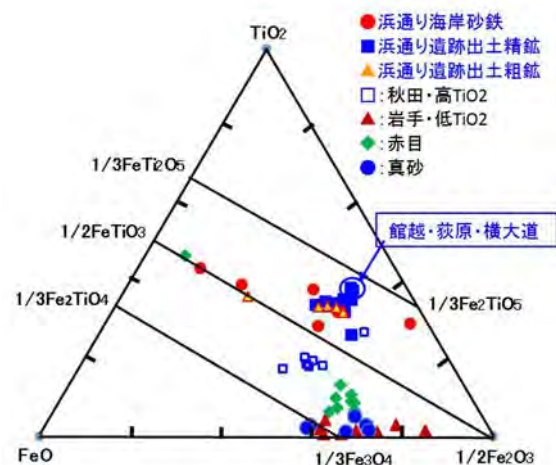


図 2 各地砂鉄の Fe-Ti-O の鉱物構成

分分析のデータ（北風ら 2015）を $\text{FeO-Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ 三角図（Park 2004）上にプロットした結果で、実際の砂鉄データからも FeOx-TiO_2 鉱物が前記全率固溶体からなることが確認できる。図 2 に浜通り砂鉄と代表的な各地の砂鉄データをプロットした。浜通り砂鉄は単に TiO_2 濃度が高いばかりでなく全率固溶体（2）チタノヘマタイトと全率固溶体（3）フェロシュードブルッカイトーフェリシュードブルッカイトからなり鉱物構成そのものが異なる。低チタニア、中チタニア砂鉄の場合はマグネタイトを中心に全率固溶体（2）チタノヘマタイトとから構成されている。

2.2 砂鉄の選鉱

図 3 の $\text{FeO-Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ 状態図では浜通り砂鉄の分析値はほぼ直線的に並びその先端は SiO_2 になる。比重選鉱により SiO_2 は減少するが鉄/チタニア比は変化せず、図 2 での■と▲のプロットが横方向に分布し鉄分は尾鉱に逃さず脈石分だけを除去したことが伺える。遺跡、時代が異なるにも関わらず一本の線に乗ることは浜通り海岸で採取される原鉱はほぼ同じであることを示す。プロットの違いは選鉱の程度を表し、図中に示すように浜通り遺跡の中でも館越、荻原、横大道ではその位置からかなり高い選鉱技術を有していた可能性を示す。種々の場面で磁力選鉱データが現れるが浜通り砂鉄と同様、遺跡で使われていたものと

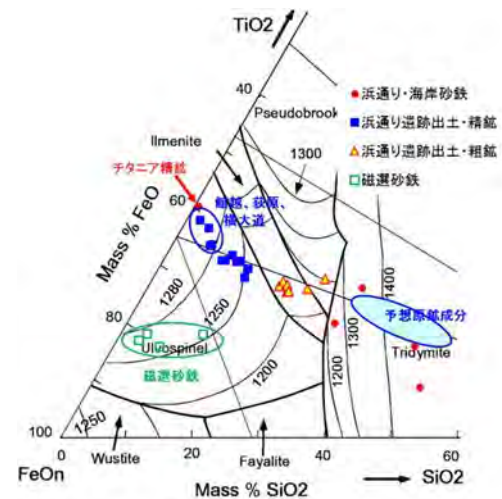


図 3 浜通り地方の砂鉄成分

は全く別物と認識しなければならない。図示しないが同様に他遺跡のデータをプロットすると当然 TiO_2 の差は明瞭に表れ、プロットは比較的狭い範囲にあり選鉱は浜通り砂鉄ほど精選しないで済んでいたように見える。逆に、浜通り砂鉄はしっかり精選する必要があったのではないかとと思われる。

2.3 砂鉄粒度

表 2 に浜通り地方の砂鉄粒径と低 TiO_2 砂鉄の粒径を比較して示す。中国地方では TiO_2 の低い真砂に比べ TiO_2 の高い赤目砂鉄の方がやや小さいと言われるが浜通り地方の砂鉄は低 TiO_2 砂鉄に比べ半分程度の粒径でその小ささが際立つ。炉の生産性向上には送風量増が必須だが筆者は終末速度の計算から砂鉄のような小粒径粒子の処理では飛散限界により粒子径が送風の上限を規定している可能性を指摘した。（板谷 2013）この点から考えると浜通り地方では他地域に比べ粒径の小ささが炉の生産性を強く抑制していた可能性が考えられる。

2.4 砂鉄のまとめ

- TiO_2 が非常に高く、鉱物相はチタノヘマタイト全率固溶体とフェリシュードブルッカイトーフェロシュードブルッカイト全率固溶体からなっている
- 優れた選鉱技術を有していたと思われ浜通りの原鉱はほぼ同じものと推定される。
- 粒径的には非常に小さく、送風は飛散問題のためかなり抑制されていたと想定される。

表 2 砂鉄の粒径

	遺跡など	平均粒径 (μ)
高 TiO_2	横大道	164
	館越	157
	荻原	156
	割田 C	169
低 TiO_2	山口館	287
	島田 II	320
	近内館	303
	砺波・下り	255

3. 製鍊技術

以上のような特徴を持つ砂鉄を製鍊した操業はどのようなものであったかを以下に検討した。

3.1 鉄滓の種別判定とデータの

取捨選択

出土鉄滓の種別や成分データにもとづき操業技術を検討するには製鍊滓などの鉄滓の種別を確認し、分析データが技術的検討に耐える妥当性を持つか判断する必要がある。鉄滓の種別判断は基本的に出土遺構の性格によるが、時には判別に苦慮するものもある。種別判定には図4

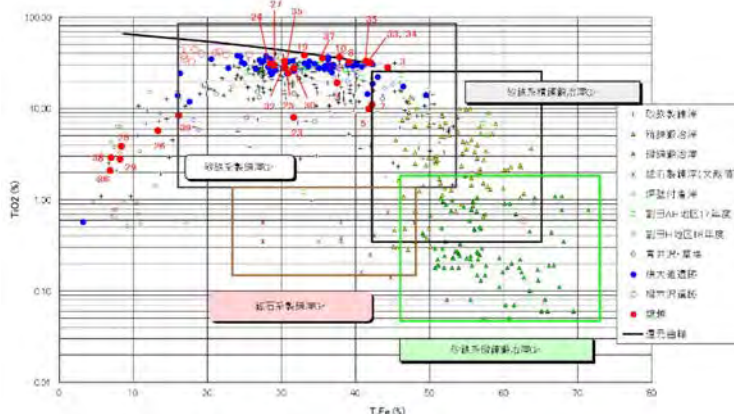


図4 鉄滓の T.Fe と TiO2 濃度

なかつたが同様の T.Fe と造滓成分量との関係も使用してきた(天辰 2005)。この方法の問題点は低 TiO2 砂鉄の製鍊滓と精鍊滓の識別が必ずしも明瞭でない点にある。図5は鉄滓の MnO/T.Fe と TiO2/T.Fe の関係から製鍊滓と精鍊鍛冶滓を識別する方法の例で、始発原料の砂鉄に関する情報も得られ、遺跡による砂鉄の違いも識別できる。製鍊滓は砂鉄や砂鉄焼結塊よりも TiO2/T.Fe、MnO/T.Fe の大きい側に位置し、精鍊鍛冶滓はこれよりも小さい側に位置する。分析値が無くても実際に使われた砂鉄の MnO と TiO2 の比率はその傾きとして把握できる。例えば横大道、館越、割田に使われた砂鉄はまほろんの実験に使われたものとはその傾きが大きく異なり別な砂鉄と判断できる。さらに V/T.Fe と TiO2/T.Fe の関係も考慮するとさらに砂鉄

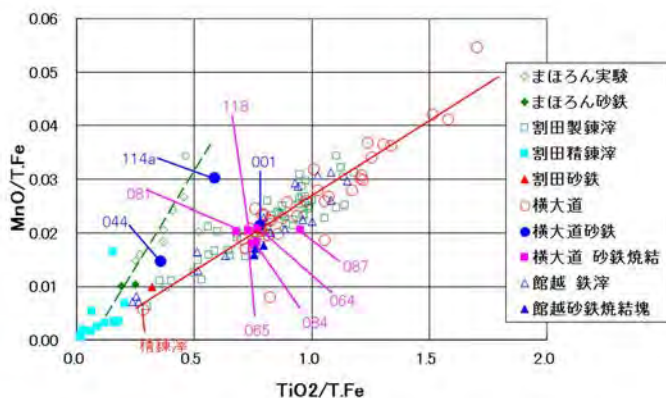


図5 砂鉄・鉄滓の MnO/T.Fe と TiO2/T.Fe の関係

の微妙な差異も識別できる。これらは基本的に製鍊・精鍊に伴う MnO、TiO2、V の物質バランスから導かれるもので明瞭な理屈に裏付けられた判別である。図は省略したが他の遺跡においても全く同様な直線関係が成立している。横大道と館越について少し詳しく見た結果では竪型炉では遺構に依らず資料番号 1 の砂鉄が使われたと推定された。なお、銹は $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ として存在するため鉄滓の分析では銹化鉄の巻き込みによりしばしば全鉄分 (T.Fe) に本来は滓でない鉄分が分析され、鉄バランスなどの計算による評価に大きく影響する。銹の Fe_2O_3 は直接分析できないが結合水 (CW) である程度の判断は出来る。CW の分析は必須で、その分析値の使用可否を慎重に検討し取捨選択することが重要である。

3.2 製鍊滓の特徴 (状態図上に見る製鍊滓)

過去には $\text{FeO}-\text{TiO}_2$ 二元系状態図を用いて鉄滓の性状が論じられた時期もあったが $\text{FeO}-\text{SiO}_2-\text{TiO}_2$

状態図（ドイツ鉄鋼協会 1995）が発表されて以降この3元系状態図が使用されてきた。しかし、状態図から読み取れる高チタニア砂鉄の鉄滓では融点が1500℃、1600℃を超えるようなものも多く、往時の操業としては非現実的であった。筆者は鉄滓の実態を種々検討し5%のAl₂O₃を含むFeO_n-SiO₂-TiO₂系状態図を熱分析実験・熱力学計算により作成した。（板谷 2015）以下、本稿では5%Al₂O₃を含む状態図を用いた。状態図で見ると生成鉄滓は低TiO₂砂鉄ではウスタイト、ファイヤライト主体、中TiO₂砂鉄ではウルボスピネル、ファイヤライト、一部イルメナイトからなり、高TiO₂砂鉄ではイルメナイト、シュードブルッカイト主体の組織となり、これらは顕微鏡観察と一致する。

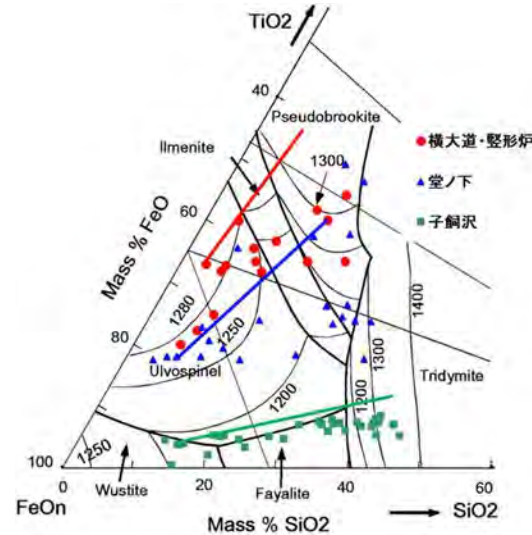


図6 5%Al₂O₃-FeO_n-SiO₂-TiO₂ 状態図上での鉄滓の位置

図6に横大道、堂ノ下、子飼沢出土鉄滓の成分をプロットした。図中矢印は砂鉄を起点として金属化（還元）に伴う製錬滓の理論的成分変化を示す。実際の製錬滓はTiO₂濃度に依らず矢印に比べSiO₂が高い側に偏奇し、金属鉄生成と胎土溶解が同時進行していることを示す。矢印と実際の鉄滓とのずれは高TiO₂濃度の方が大きくなる傾向があり、胎土を十分溶解させ融点を下げなければ操業が出来なかったであろう。製錬に伴う胎土の溶解は後述するが金属化と胎土溶解が同時に起こることは間接還元の寄与が大きいことを意味する。製錬には生焼けの炭は水素発生があり還元により有利であるとの説は根拠を失う。

横大道遺跡の場合、竪形炉と箱形炉では鉄滓が異なり箱形炉の方が胎土を多く溶解している。（図7）ここでも銹化を十分把握して除外しないと全体の解釈を誤らせることになる。箱形炉では1号廃滓場と10号ではやや胎土溶解に差がありそうである。後記の図11に見られるように箱形炉では金属化が

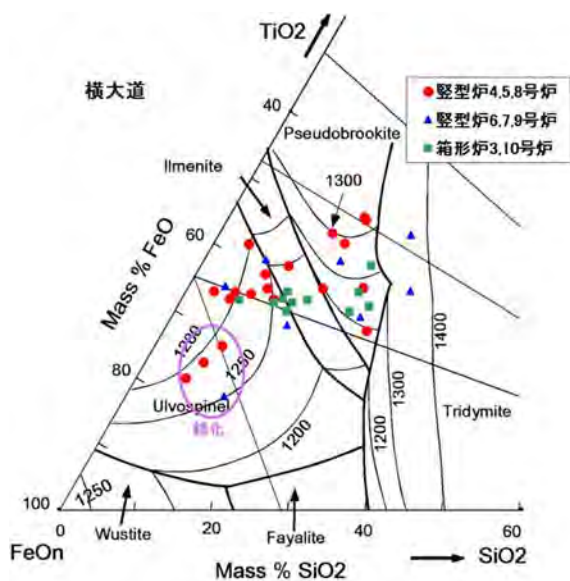


図7 5%Al₂O₃-FeO_n-SiO₂-TiO₂ 状態図上での横大道遺跡竪形炉と箱形炉の鉄滓の比較

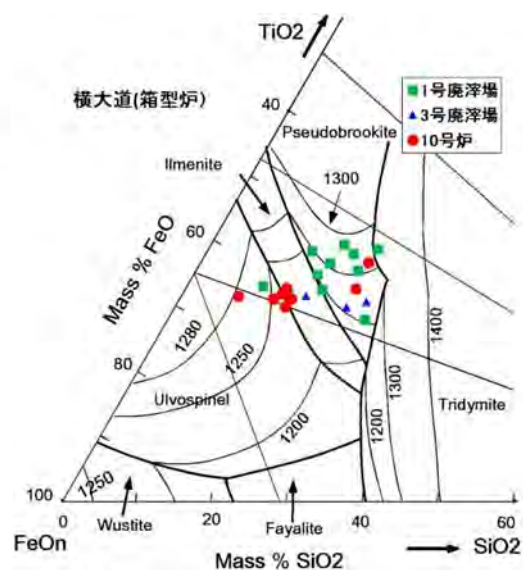


図8 5%Al₂O₃-FeO_n-SiO₂-TiO₂ 状態図上での横大道遺跡箱形炉の鉄滓の位置

進む様子はなくほとんど胎土溶解のみが起こった様相を呈している。館越遺跡の場合も（図 9）1 号炉（箱形）と 2 号炉（竪型）では成分範囲が異なり、1 号炉の方が多く胎土を溶解しているとみられる。2 号炉はほとんど胎土が溶けておらずかなり融点の高い鉄滓を処理せざるを得ない操業であったと推察される。この図においても資料 5、7、23 は精錬鍛冶滓ではないかと想定される位置づけにある。紙面の制約によりすべての遺跡について図示できないが割田遺跡では E 遺跡出土鉄滓は製錬炉出土でありながら精錬鍛冶滓ともとれる位置づけであった。箱形炉で見ると轆の有無により胎土溶解の様子は異なって見える。子飼沢が鉄滓溶融の点で最も負荷が軽かったと想像できる。融点は還元進行に依らず 1200℃以下の領域にあり、胎土溶解が進み過ぎて SiO₂ リッチなガラス質滓にならない限り流動性は確保できたと考えられる。神戸川流域では近世と中世でかなり異なった操業であったことが読み取れる。（図 10）

3.3 還元と金属化率

3.3.1 還元状況

図 11 は図 7 と同じデータを FeO-Fe₂O₃-TiO₂ 三角図（mol 分率）にプロットしたもので竪型炉と箱形炉で異なる様相を呈し還元が異なっていたことは明らかである。金属鉄が生成するとプロットは砂鉄を起点

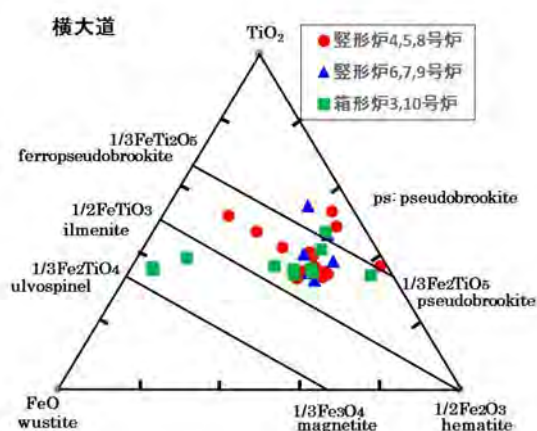


図 11 FeO-Fe₂O₃-TiO₂ 三角図上での横大道遺跡の鉄滓の位置

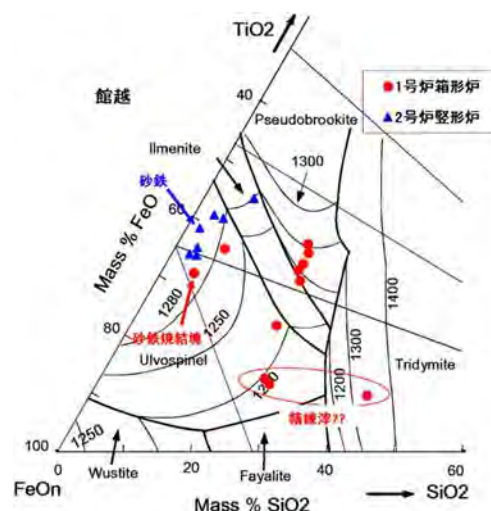


図 9 5%Al₂O₃-FeO-SiO₂-TiO₂ 状態図上での館越遺跡の鉄滓の位置

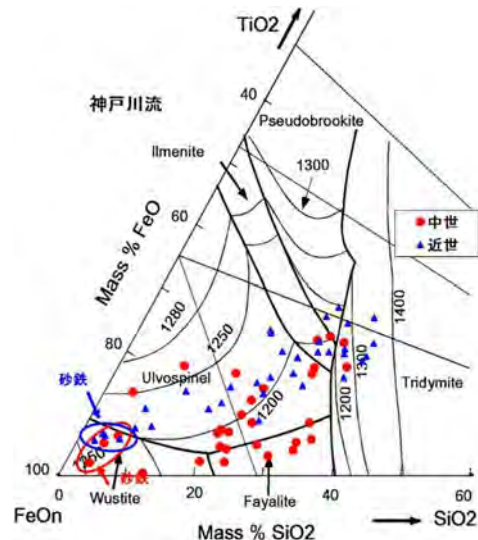


図 10 5%Al₂O₃-FeO-SiO₂-TiO₂ 状態図上での神戸川流域遺跡の鉄滓の位置

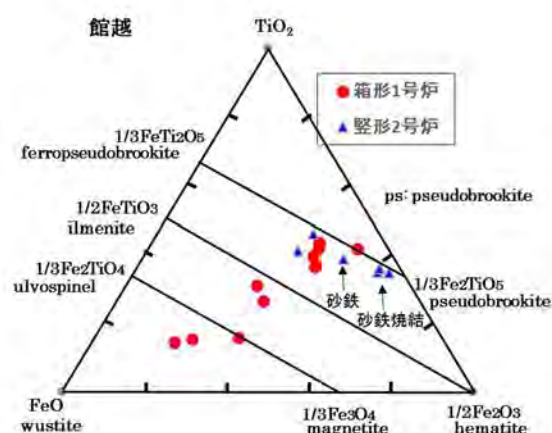


図 12 FeO-Fe₂O₃-TiO₂ 三角図上での館越遺跡の鉄滓の位置

として左上方向に分布するが箱形炉ではデータは水平に分布し、金属鉄生成は非常に少なかったと判断できる。同じ竪型炉でも踏み鞆付きの 4、5、8 号炉と鞆末検出の 6、7、9 号炉とでは大きな差があるか判断は難しい。館越の場合（図 12）、竪型の 2 号炉では金属鉄生成の可能性を示唆するが 1 号竪型炉では奇異なプロットとなっている。砂鉄を起点として左下がりとなり、FeO を主体とする鉄分増加を示す。単純に製錬炉としては理解できない。図示しないが割田 E 遺跡 1 号炉でも館越 1 号炉と同様に製錬滓を酸化鉄で薄めなければ起こらない位置にある。なぜ、このようなことが起こるのか今後の研究を待ちたい。

他の遺跡の検討結果は以下のようなものである。榎木沢 B 遺跡では砂鉄からいきなり鉄生成が始まるようにみえる。軽井川遺跡では TiO₂ が増加する方向に分布せず金属化があまり進まなかったことを示す。堂ノ下はかなりばらつきがみられ、神戸川流域では中世に比べ近世の操業では金属化が良好になっている。

3.3.2 操業成績（金属化率）

金属鉄にまで還元された砂鉄中铁分の比率（ η ）は砂鉄を基準として Fe と TiO₂ のバランスから計算することが出来る。遺跡毎に資料数が異なるため表示は比率（%）で示した。結果は一括して表 3 に示す。

横大道遺跡では金属化率 10%以下が 4 割近くを占め、平均でも 22%と相当難しい操業を強いられたように見える。館越の場合でも 30～50%に集中し平均でも 31%程度であ

る。これに対して割田では 50%以上に集中し 70%代が 65%を占めている。横大道と割田を比較すれば（図 13）その差は歴然である。状態図でも触れたが TiO₂ が低く、胎土の溶解もあまり必要とせず融点も低くなる子飼沢の場合のデータは 50%以上に集中し高い歩留りを得ている。砂鉄中の TiO₂ が低い神戸川流域では同様に高い歩留りを示し、技術革新があったのかどうかは別にして中世に比べ近世の方が明瞭に高成績となっている。

図 14 に砂鉄の TiO₂ と金属化率の関係を示す。夾雑物の影響を排除するため横軸は TiO₂/T.Fe でとってある。明らかに TiO₂/T.Fe の増加とともに金属化率（歩留り）は低下し、TiO₂ が高いほど胎土を多く溶解させる必要があるなど操業の難しさを示しているように思われる。榎木沢 B に関しては高 TiO₂ にもかかわらず高歩留りを得ているが FeO-Fe₂O₃-TiO₂ の 3 元図に見たようにかなり異なった挙動を示し、操業技術などに特別な工夫があったかもしれないが詳細は不明である。より正確な検討のためには炉内滓は避け流出滓のみを対象とすることが望まれるが、現実には難しく資料数多いものを対象として検討した。

表 3 砂鉄成分と金属化率

遺跡	原料砂鉄			金属化率 η (%)
	T.Fe	TiO ₂	TiO ₂ /T.Fe	
横大道	40.2	30.1	0.749	22.0
館越	44.3	28.1	0.634	31.2
割田	54.1	17.3	0.320	63.9
榎木沢 B	38.0	37.9	0.997	59.3
軽井川	55.1	12.5	0.227	34.2
堂ノ下	48.97	16.92	0.346	51.5
子飼沢	56.1	3.51	0.063	53.5
神戸川近世	61.93	5.52	0.089	72.2
神戸川中世	61.93	5.52	0.089	56.0

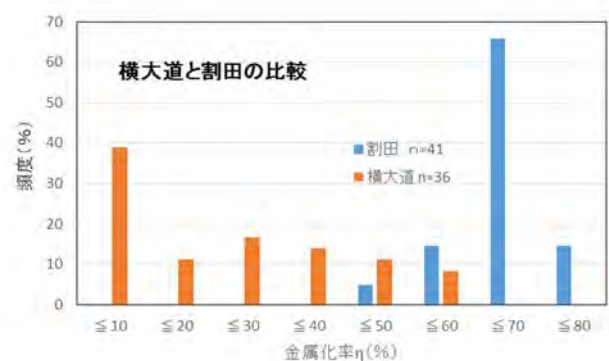


図 13 横大道と割田の金属化率の比

前述のように金属化は溶融状態で起こっていると判断できる。反応としては、
 $\text{FeO}(\text{slag}) + \text{C}(\text{charcoal}) = \text{Fe}(\text{金属化}) + \text{CO}(\text{gas})$ で表され、逆反応は起こりにくいので
 反応速度は $V = k \times a_{\text{FeO}} \times a_{\text{C}}$ で表される。

ここで V : 反応速度、 k : 反応速度定数、 a_{FeO} :
 鉄滓中の FeO の活量、 a_{C} : 炭素（木炭）の活
 量である。木炭は C の純物質とみなせるから $a_{\text{C}} = 1$ で、反応速度（金属鉄生成速度）は $V = k \times a_{\text{FeO}}$ となり FeO の活量に比例する。

図 15 は（松崎 1997）による $\text{FeO}-\text{SiO}_2-\text{TiO}_2$ 三
 元系スラグの FeO （本報告の FeO と同義）活
 量測定結果で FeO の活量は SiO_2 、 TiO_2 濃度
 にはあまり影響を受けず FeO 濃度とともに大きくなっている。したがって FeO 濃度の高い方が反応速度は速くなる。
 図 6 に見られるように TiO_2 の低い砂鉄の方が高 TiO_2 状態で反応が始まり還元が進むため金属化率も高くなるはずでその結果が図 14 として表れたものと考えられる。

4. 胎土溶解

砂鉄製錬では溶剤としての胎土溶解が重要と認識されている。図 6 で触れたように TiO_2 の高い砂鉄の方が多量に胎土を溶解しているように見える。砂鉄の TiO_2 と胎土溶解量の関係を検討した。まず、胎土溶解と製錬滓成分の関係について見てみる。代表例として図 16、図 17 に横大道、神戸川流域の遺跡について $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ 対

して $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ をプロットした。いずれも両者はきれいな直線をなす。 Al_2O_3 と SiO_2 の増分源は炉壁などの胎土でありその傾きは溶解した胎土の主要鉱物相である Al_2O_3 と SiO_2 の比を示し、各遺跡とも同質の胎土が使用されその比がそれぞれ 0.29、0.24 ということを示す。逆にこの比の胎土が

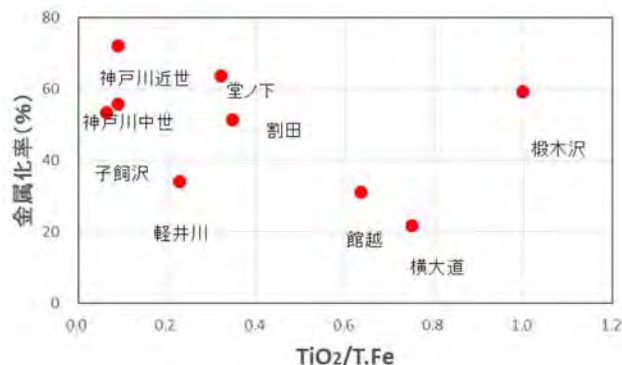


図 14 金属化率に及ぼす砂鉄の $\text{TiO}_2/\text{T.Fe}$ の影響

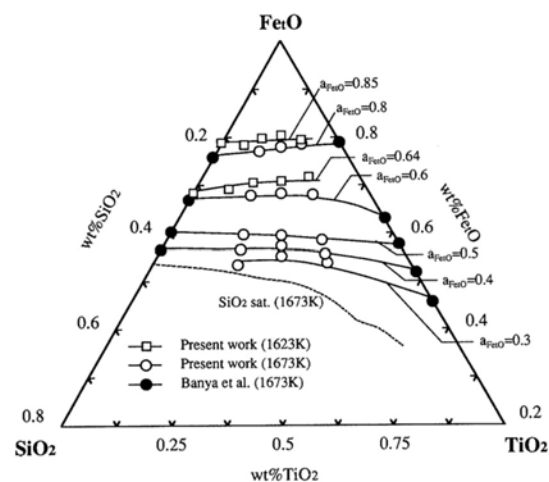


図 15 固体鉄との接触状態での FeO の等活量線 (Matuzaki 1997)

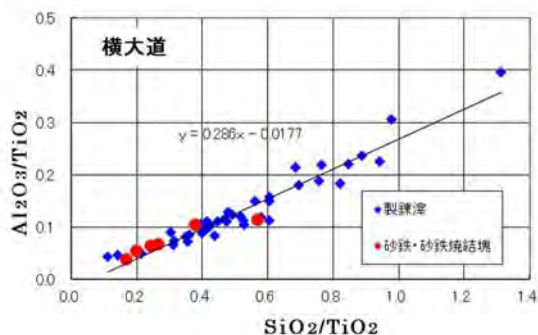


図 16 横大道の $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ と $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ の関係

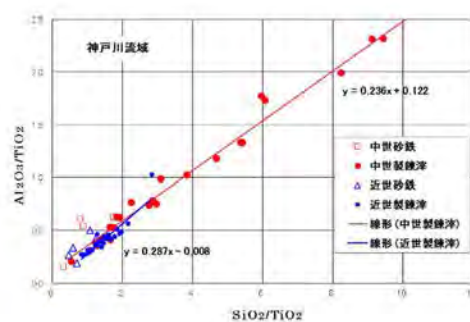


図 17 神戸川 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ と $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ の関係

溶解したことになる。遺跡ごとに大きな差のない胎土使われたことを示す。図示していないが館越、割田、榎木沢B、軽井川、堂ノ下、子飼沢でも両者は良い直線性を示している。表 4 に図の傾きから求めた $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ の比と炉壁胎土の分析値から計算した比を対比して示す。館越については差があるがその他はよく一致している。以上から各遺跡ともほぼ同質の粘土が炉壁

前に述べたように TiO_2 の高い砂鉄ほど胎土溶解量は多いように見える。鉄、 SiO_2 、 TiO_2 の物質収支から砂鉄 1 に対する胎土の溶

解率 β は下式で計算できる。ここで金属化率は α (-)、砂鉄の鉄分を TFe° (%）、シリカ分を SiO_2° (%）、粘土のシリカ分を $\text{SiO}_2\text{-cray}$ (%）、鉄滓の鉄分とシリカ分を TFe (%）、 SiO_2 (%) とする。

$$\beta = (\text{SiO}_2 \times (1 - \alpha) \times \text{TFe}^\circ / \text{TFe} - \text{SiO}_2^\circ) / \text{SiO}_2\text{-cray}$$

胎土溶解率 β と TiO_2/TFe の関係を図 18 に示す。

TiO_2 を高濃度に含む砂鉄ほど多量の胎土を溶解して操業されたとみられる。状態図からも分かるように融点の低い流動性の高い滓とするためには温度を高め、胎土を多量に溶かしていたであろうとの想定と一致する。

5. 胎土の選択と性状

5.1 成分的特徴と耐火度

全国的にみて、古代箱形製鉄炉では単に炉壁に搾孔し送風しているのが主流であるのに対して浜通り地方の製鉄遺跡の箱形炉では多数の羽口が設置されている。高チタニア砂鉄を製錬するには多量の炉壁や炉底胎土を溶解する必要がある、鉄滓の融点を抑えるために炉壁胎土を溶解せざるを得なかった結果であろう。羽口などの送風部材の耐火度を高め、炉壁溶解を進めながらも末期まで送風を可能とし、溶融しやすい炉壁胎土の使用を可能とした。このような視点で胎土類の耐火度、成分について検討した。

表 5 に横大道での胎土類分析値を示す。着色は相対的な濃度分布を示す。色別は「緑：少ない、黄：中間、ピンク：多い」である。 CaO 、 Na_2O などのアルカリ、アルカリ土類成分が低く、 Al_2O_3 が 20%以上と高い羽口類や LIV 層グループと CaO と Na_2O が高く、 Al_2O_3 が 18%前後とやや低いグループに分かれ、 TFe も考慮すると表の着色のように 3 グループに分けられる。羽口、通風管などの耐火度は $1350^\circ\text{C} \sim 1500^\circ\text{C}$ 、平均でも 1367°C と明らかに高く、アルカリ、アルカリ土類の多い炉壁などは 1200°C 前後で平均でも 1199°C である。 TFe の高い中間グループは平均で 1312°C である。異なる胎土を使い分け耐火度を変えていたことは明らかである。特筆すべきは地表面から約 50 cm 下のローム粘土 (LIV 層粘土) の耐火度は 1300°C であるのに対して炉壁胎土としてこれよりもさらに深い地表から 1m 下の耐火度が $1120 \sim 1200^\circ\text{C}$ と低い LIV 層の粘土を使用していることである。わざわざ採掘が難しい深い位置の耐火度が低い粘土を炉壁として選択的利用している。炉壁溶解を強く意識した胎土選択が行われていたことを示す。今回、表では示していないが割田、館越遺跡、榎木沢 B 遺跡などの場合も羽口などは高 Al_2O_3 、低アルカリ・低アルカリ土類で耐火度が高くなる胎土成分で構成されている。特に、 Al_2O_3

表 4 溶解胎土の $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$

遺跡	推算値	分析値
横大道	0.29	0.30
割田	0.20	0.25
館越	0.24	0.34
榎木沢 B	0.23	0.23
軽井川	0.21	0.24
堂ノ下	0.23	0.25
子飼沢	0.33	0.38
神戸川流域	0.24	0.25

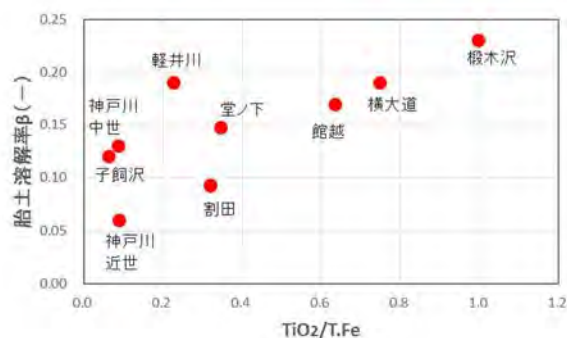


図 18 胎土溶解率と TiO_2/TFe の関係

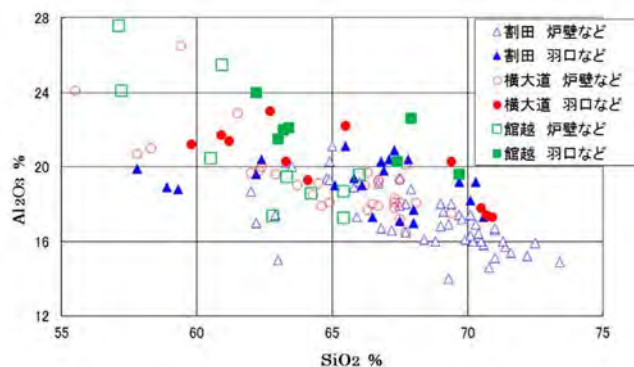
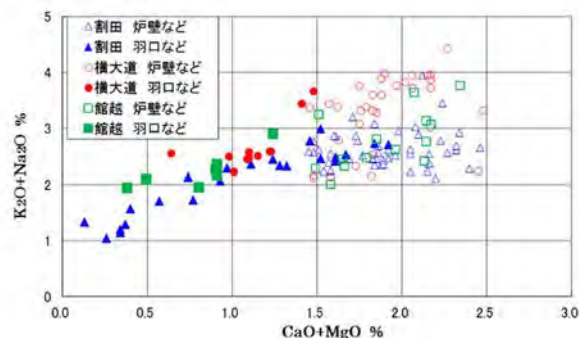
表 5 横大道の胎土成分

横大道遺跡の胎土の成分的な特徴 (表25を再検討)															
資料 No.	種別	出土	CaO	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	T.Fe	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	MnO	Na ₂ O+K ₂ O	耐火度	耐火度 平均値
35	羽口	SW01H	0.59	1.54	17.3	70.9	2.12	2.73	3.50	0.89	0.98	0.05	3.66	1240	1367
36	羽口	SW01H	0.55	1.40	17.8	70.5	2.04	2.84	3.74	0.86	1.07	0.04	3.44	1250	
37	羽口	SW01H	0.51	0.99	22.2	65.5	1.58	3.44	4.52	0.59	0.83	0.03	2.57	1500	
38	羽口	SW03H	0.53	1.06	20.3	63.3	1.16	4.11	5.60	0.48	0.92	0.03	2.22	1335	
39	羽口	SW03H	0.62	1.22	19.3	64.1	1.23	3.95	5.33	0.47	0.88	0.03	2.45	1350	
125	羽口	SW10	0.39	0.85	21.7	60.9	1.65	3.05	4.19	0.59	1.06	0.03	2.5	1500	
109	通風管	SW04	0.54	1.16	21.4	61.2	1.42	3.24	4.31	0.68	0.81	0.02	2.58	1300	
110	通風管	SW05	0.44	1.06	23.0	62.7	1.45	3.45	4.41	0.71	0.87	0.02	2.51	1460	
40	LIV粘土	基本土層	0.94	1.18	19.7	62.0	1.35	4.11	5.28	0.89	0.76	0.04	2.53	1250	1312
126	LIV粘土	SC17	0.69	0.85	21.0	58.3	1.28	5.27	7.36	0.89	0.65	0.03	2.13	1300	
19	炉底	SW03H	0.59	1.05	26.5	59.4	1.07	5.46	7.28	0.89	0.68	0.07	2.12	1470	
105	炉壁	SW10	0.64	1.02	21.8	63.2	1.31	5.73	7.55	1.09	0.89	0.06	2.33	1190	
123	炉壁	SW10	0.62	0.91	22.9	61.5	1.24	6.04	8.38	1.20	0.95	0.05	2.15	1380	
124	炉底粘土	SW10	1.44	1.08	20.7	57.8	1.16	5.47	7.33	1.01	0.92	0.08	2.24	1280	
41	LIVa粘土	SW01H	1.45	2.28	18.0	66.5	1.55	2.45	3.10	0.57	0.56	0.04	3.83	1200	1199
42	LIVa粘土	SW07	1.47	2.28	16.5	67.7	1.66	2.84	3.66	0.59	0.55	0.04	3.94	1120	
43	LIVa粘土	SI01	1.52	2.36	17.7	66.3	1.60	2.66	3.40	0.65	0.55	0.04	3.96	1120	
31	炉壁	SW01H	1.26	1.93	19.6	62.9	1.35	3.92	5.13	0.59	0.78	0.03	3.28	1215	
32	炉壁	SW01H	1.58	2.22	17.2	67.5	1.50	3.12	4.06	0.48	0.58	0.05	3.72	1200	
33	炉壁	SW01H	1.50	2.17	18.1	67.3	1.55	3.96	5.06	0.67	1.15	0.06	3.72	1200	
18	炉底	SW01H	1.50	2.30	18.1	68.1	1.64	3.83	4.68	0.65	0.92	0.06	3.94	1160	
34	炉壁	SW03H	1.59	1.92	18.3	67.3	1.40	3.74	4.87	0.89	0.75	0.04	3.32	1215	
95	炉壁	SW04	1.22	2.24	19.3	67.5	1.52	3.42	4.47	0.75	0.63	0.03	3.76	1230	
93	炉壁	SW04	1.14	1.94	19.0	63.7	1.44	3.98	5.28	0.48	0.87	0.05	3.38	1190	
98	炉壁	SW05	1.12	1.92	18.1	64.9	1.45	3.28	4.39	0.34	0.57	0.03	3.37	1200	
97	炉壁	SW05	1.35	2.34	18.1	67.5	1.55	3.19	4.25	0.53	0.52	0.03	3.89	1230	
100	炉壁	SW06	1.18	2.08	19.1	64.5	1.36	3.44	4.63	0.39	0.54	0.03	3.44	1200	
102	炉壁	SW07	1.10	1.98	19.7	66.3	1.40	3.96	5.50	0.69	0.72	0.04	3.38	1200	
104	炉壁	SW08	1.06	1.83	20.1	67.7	1.49	3.66	5.07	0.77	0.64	0.03	3.32	1300	

は耐火度への影響が大きく、試料 No35、36 の羽口、No104 の炉壁で明瞭に表れている。

Al₂O₃ と SiO₂ の関係では図 19 のように胎土類全般としては SiO₂ が多くなると Al₂O₃ が減少するが羽口類には同じ SiO₂ 濃度に対して Al₂O₃ が高くなる成分選択が現れている。胎土そのものでは表 4 にも見られたように館越では SiO₂ が低く、Al₂O₃ が高い胎土が使用されている。

カリ長石、曹長石、灰長石の量に密接に関係するアルカリ・アルカリ土類の多寡も耐火度に影響すると思われる。図 20 に CaO+MgO と K₂O+Na₂O の関係を示す。全体的にはアルカリ土類の増加とアルカリ類の量は比例的に増減する。しかし羽口類と炉壁類では明瞭に位置が異なり、両者が少ない領域に羽

図 19 胎土の Al₂O₃ と SiO₂ の関係図 20 胎土の K₂O+Na₂O と CaO+MgO の関係

口類の分析値は位置し、これらの少ない胎土を選択使用していたと判断できる。

さらに CaO、Na₂O、K₂O の 3 元図から見ると図 21 のように下層の LV 層粘土は LIV 層に対して CaO 濃度はあまり変わらないが Na₂O が多く、K₂O が少ない。竪形炉と箱形炉で見ると図 22、図 23 に示すように炉壁には LV 層が使われている。羽口類は CaO が少なく K₂O の多い胎土が使われ、LIV 層とも異なる胎土で、遺跡外から持ち込まれた可能性をうかがわせる。

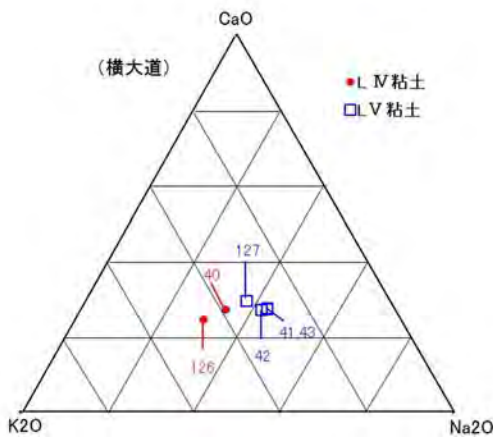


図 21 粘土の CaO-K₂O-Na₂O 3 元分布

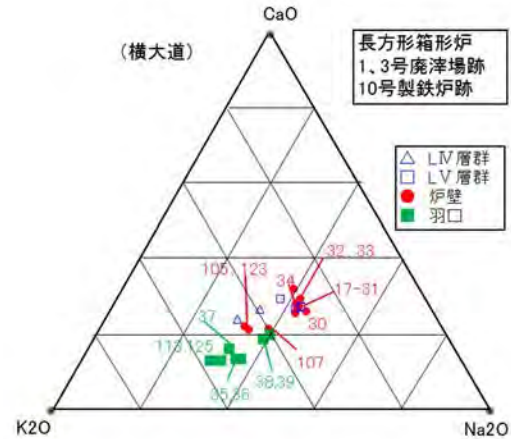


図 22 箱形炉の CaO-K₂O-Na₂O 3 元分布

5.2 ゼーゲル式による総括的な胎土の評価

以上述べてきたように炉壁や羽口類の胎土に関して Al₂O₃、SiO₂、アルカリ類、アルカリ土類成分が溶融性に影響を及ぼしている。これら成分に関して、個々の影響は上述の通りであるが全成分的な評価も必要である。鉱物学的にはノルム計算法を元に検討することも可能であるがここではゼーゲル式を用いて的確にまとめられている（門脇 2017）の結果を参考にした。その概念は個々の成分をモル分率に換算し、酸化物の融点を下げる効果を持つアルカリとアルカリ土類の塩基性酸化物と一般には融点を上げる中性酸化物のアルミナ、P₂O₅ や SiO₂ などの粘性を上げるネットワークフォーマーである酸性酸化物に分類する。次いでアルカリ成分（アルカリとアルカリ土類）に対する Al₂O₃ の比率と SiO₂ の比率を求め、この両者の相対的な位置から釉薬の性質を推察する手法である。

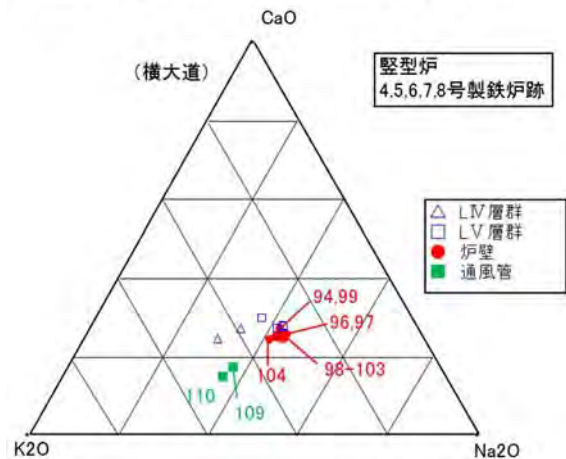


図 23 竪形炉の CaO-K₂O-Na₂O 3 元分布

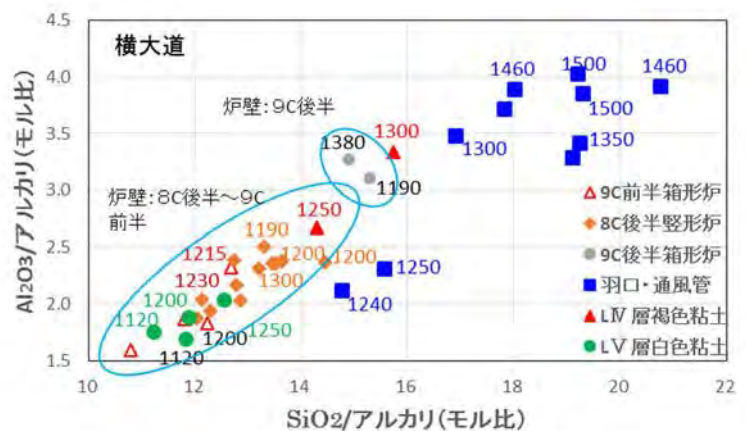


図 24 横大道遺跡出土の炉壁・羽口胎土成分比較（門脇 2017 を再プロット）

図 24、図 25 に横大道、館越のゼーゲル式による SiO_2 /アルカリ成分（モル比）と Al_2O_3 /アルカリ成分（モル比）の関係を示す。これまでの検討結果と同じく羽口類はシリカ比率、アルミナ比率が高く高耐火度グループに属し、LIV層よりアルミナ、シリカが高く本遺跡と別な胎土が使用されたとみられる。一方、炉壁は LV 層の耐火度の低いグループに属す。表 5、図 24、図 25 はアルカリ、アルカリ土類が少なく、 Al_2O_3 、 SiO_2 の高いほど融点は高くなることを示し、羽口、通風管はその目的のため外部から持ち込んだことを示す。

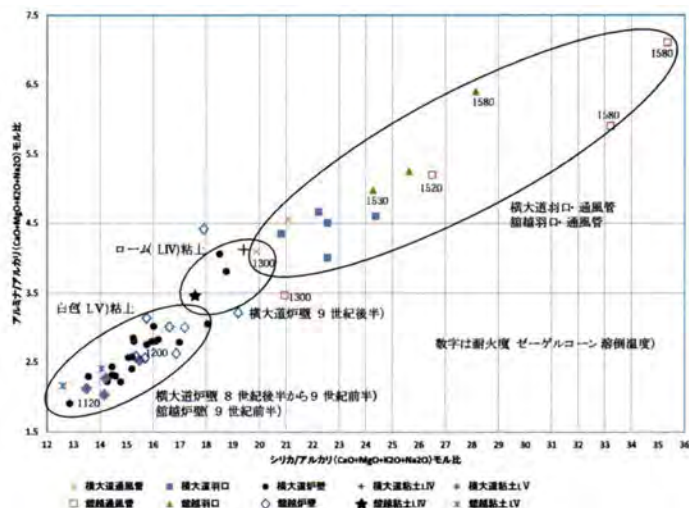


図 25 横大道・館越遺跡出土の炉壁・羽口胎土成分比較（門脇 2017）

今回の検討では実施しなかったがノルムの考えをベースに 150 試料の耐火度データを重回帰し下図のように耐火度を推算する方法もあり、各成分の持つ意味を考える方策としたいと考えている。

$$f(x) = (a\text{Al}_2\text{O}_3 + b\text{SiO}_2) / (c\text{CaO} + d\text{MgO} + e\text{MnO} + f\text{Fe} + g\text{TiO}_2)$$

係数 $a \sim g$ は重回帰係数として求めている。本式の分母は軟化性成分であり、分子は融点を上げる成分であることを意味する。

6. まとめ

本検討結果は以下のようにまとめられる。

1. 横大道、館越など浜通り地方の砂鉄は極めて TiO_2 濃度が高く、チタノヘマタイト系列とフェロシュードブルッカイト-フェリシュードブルッカイト系列の鉱物相からなる。
2. 高 TiO_2 砂鉄を処理するためと思われるが選鉱技術のレベルは高かったと想定される。

磁選砂鉄は遺跡使用の砂鉄とは全く異なると認識しておく必要がある。

3. 金属化率（製錬歩留り）の視点では横大道、館越の操業はあまり良くない。速度論的にみて金属鉄生成は熔融状態で進み、高 TiO_2 砂鉄であるがゆえに FeO の活量が下がるためと考えられる。
4. 生成する鉄滓は状態図的に見ても低 TiO_2 砂鉄はウスタイト、ファイヤライト主体、中 TiO_2 砂鉄ではウルボスピネル、ファイヤライト、一部イルメナイトからなり、高 TiO_2 砂鉄ではイルメナイト、シュードブルッカイト主体の組織となる。
5. 砂鉄の TiO_2 濃度と炉壁胎土の溶解量には相関が認められ、高 TiO_2 砂鉄を処理し、鉄滓の熔融性を確保するため他地域に比べ多量の炉壁胎土の溶解が強いられている。その結果、炉壁や羽口な

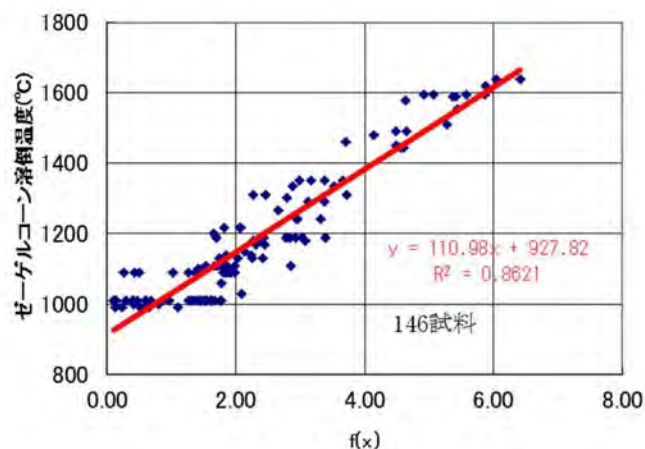


図 26 粘土遺物の耐火度と化学組成の関係

どの粘土利用技術がかなり高かったと推察される。

6. 上記 5 のため横大道ではあえて深い層から耐火度が低い粘土を採掘し炉壁として使用している。

7. 羽口、通風管などは Al_2O_3 、 SiO_2 が高く、アルカリやアルカリ土類の低い粘土を使用し高耐火性を確保している。外部から調達したと思われる。

8. 箱形炉と豎形炉で操業成績に差が認められた。

7. 参考文献

遺跡発掘調査報告

- 1) 秋田県教育委員会：秋田県文化財調査報告書 377 集（堂ノ下遺跡Ⅱ）2004 年
- 2) 岩手県文化振興事業団：子飼沢Ⅰ・Ⅱ遺跡発掘調査報告 2011 年
- 3) 柏崎市教育委員会：柏崎市埋蔵文化財調査報告書 59、60（軽井川南遺跡群）2010 年
- 4) ～10) 島根県教育委員会：志津見ダム建設予定地内埋蔵文化財発掘調査報告書 5（板屋Ⅲ遺跡）1998 年、同上 9（戸井谷尻遺跡・長老畑遺跡）2001 年、同 10（丸山・大槇鉦跡）2001 年、同 11（檀原遺跡）2002 年、同上 15（殿淵山遺跡・獅子谷遺跡）2002 年、同上 19（戸井谷遺跡）2003 年、同上 21（貝谷遺跡（2）他）2003 年
- 11) ～15) 福島県文化振興財団：原町火力発電所関連遺跡調査報告 10（割田 A～H 遺跡）2007 年、常磐自動車道遺跡調査報告書 59（荻原遺跡）2010 年、同 60（横大道遺跡）2010 年、同 61（鍛木沢 B・他）2011 年、同 62（舘越遺跡）2011 年

論文、出版物等

- 16) 天辰正義：鉄と鋼 Vol.91（2005）p 47
- 17) 板谷宏：第 25 回「鉄の技術と歴史」研究フォーラム講演会、日本鉄鋼協会、（2013）p 37
- 18) 板谷宏、他：第 31 回「鉄の技術と歴史」研究フォーラム講演会、日本鉄鋼協会、（2015）p 39
- 19) 門脇秀典：第 22 回「鉄の技術と歴史」研究フォーラム公開研究発表会、日本鉄鋼協会、2017）p 35
- 20) 北風 嵐、他：山口大学工学部研究報告、Vol.66（2015）p 53
- 21) E.Park and O.Ostrovski, ISIJ Int. 44(2004) p74
- 22) K.Matuzaki and K.Ito : ISIJ Int. 37(1997) p562
- 23) VdEh（ドイツ鉄鋼協会）Slag Atlas 2nd ed、Sept 1995

第2編 古代鉄生産技術の展開

群馬県の製鉄遺跡

群馬県地域創生部文化財保護課

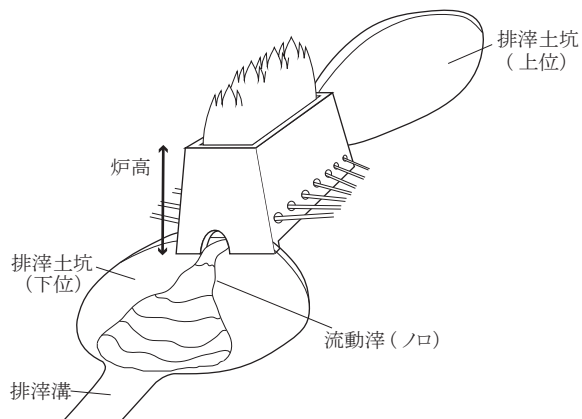
笹澤 泰史

話の流れ

1. はじめに
2. 群馬県の製鉄遺跡研究史
 3. 群馬県の製鉄実験と遺跡の発掘・整理
 4. 7 世紀後半の画期
 - ①導入期の箱形炉
 - ②在地に適した製鉄炉の試行と開発
5. その後の製鉄技術の変遷
 - ①技術の変化から見る生産体制の変化(竪形炉への変遷)
 - ②やがて小規模な製鉄へ(小形自立炉への変遷)

1. はじめに

箱形炉



竪形炉

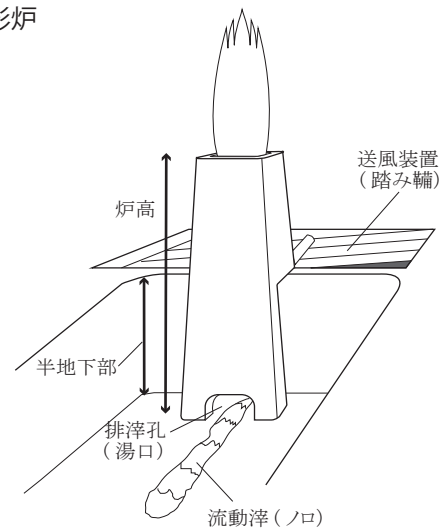


図 1 箱形炉と竪形炉(笹澤2016)

2. 群馬県の製鉄遺跡研究史

①片並木遺跡(1961 調査年)

群馬県内で、はじめての製鉄遺構の調査。勢多郡宮城村大字苗ヶ島片並木(現在の前橋市)に所在。

当時の村長である上野丑之助が鉄滓や被熱石が切り通し面から露出しているのを発見したことに端を発する。依頼を受けた群馬大学教授の尾崎喜左雄は、現地へ赴き、その重要性を認め、井上唯雄、松本浩一らの卒業生及び学生を動員して調査を行うこととなった。竪形炉 1 基が検出され、井上によって調査報告書がまとめられた(1969)。

この竪形炉は炉体に石組みのある構造で、石組みの下部からは 9 世紀初頭に比定される須恵器の皿が出土した。

②菅ノ沢遺跡(1968)

県内 2 例目の製鉄遺跡の調査。太田市毛里田字今泉口に所在。

駒澤大学考古学教室により、須恵器窯跡の学術調査中に 3 基の竪形炉が発見された（1968）。当初は特殊な遺構とされ、製鉄炉とは認定されなかったが、その後の第 3 次調査（1969）の際、それが製鉄炉であることが確認された〔飯島・穴澤 1969〕。

この菅ノ沢製鉄遺跡の調査は、我が国の製鉄遺跡の考古学的研究の端緒といえる程、重要なものとなった。

③金井製鉄遺跡（1975）

渋川市金井に所在。県指定史跡。竪形炉と炭窯が発見された。全国に先駆けて、金属学的な自然化学分析が行われた〔大澤 1975〕。

④三ヶ尻西遺跡（1992）

勢多郡粕川村（現前橋市）に所在。東日本最古といわれる 7

世紀中頃から後半の 2 基の箱形炉と鍛冶工房を含む 12 軒の竪穴住居が発見された。近年、2 基の箱形炉に新旧関係があることが示された。

⑤北関東自動車道に伴う調査以降（2002～）

太田市峯山遺跡 3 基、太田市西野原遺跡 4 基、元総社蒼海遺跡 1 基の箱形炉、伊勢崎市南原間遺跡 1 基、桐生市芳ヶ入遺跡 8 基などの竪形炉、

渋川市津久田上安城遺跡 1 基、高崎市下芝内手畑遺跡 5 基などの小型自立炉が発見された。群馬県地域では、11 基の箱形炉が確認されているが、主体は竪形炉である。

箱形炉が展開する時期は 7 世紀中頃から 8 世紀前半に限られ、その後、8 世紀中頃から 10 世紀に竪形炉、10 世紀中頃から 11 世紀代に小型自立炉が展開する。群馬県の製鉄技術の変遷は、おおむね関東全域の変遷でもある。

3. 群馬県の製鉄実験と遺跡の発掘・整理

群馬県に関する古代製鉄実験としては、太田市菅ノ沢遺跡がモデルになった 1976 年の長谷川熊彦の実験が、その端緒といえる（作業場所は新潟県であるが）。長谷川の実験には、駒沢大学考古学研究室と群馬県太田市の天田刀匠が協力している。当時の送風方法は自然通風である。投入された木炭は 145.5 kg、砂鉄は島根県産と兵庫県産を組み合わせ 61.5 kg を使用している。復元された製鉄炉の炉高は約 2 m と高いため、送風機を用いずとも炉内温度がある程度上昇したようであるが、砂鉄の還元反応はわずかで、12 時間の作業により、焼結したまとまりの悪い 2.5 kg の鉄塊が採取されたようである。

群馬県内では、その後、4 例の古代製鉄実験が行われている。

1 例目は、旧大胡町教育委員会 山下歳信による製鉄実験である。山下は、八ヶ峰遺跡において竪形炉が検出されたことを受けて、鍛冶師渡辺氏らの協力を得て実験を行っている。作業時間は 4 時間 40 分、ノロ出しに成功し、約 20 kg の砂鉄の投入で 4 kg の鋤状の鉄塊を生成したとのことである〔山下 1986〕。

2～4 例目は、財団法人 群馬県埋蔵文化財調査事業団による古代製鉄実験である。実験は、峯山遺跡・西野原遺跡などの大規模製鉄遺跡が県内で発見されたことを機会に企画された。いずれも竪形炉を復元

炉形 型	箱形炉	竪形炉 菅ノ沢型	小型自立炉 西浦北型
7世紀			
8世紀			
9世紀			
10世紀			
11世紀			

図 2 群馬県の製鉄炉の変遷（笹澤 2007）

した製鉄実験である。

3・4例目は伊勢崎市南原間遺跡の竪形炉を復元している。3例目の作業時間は5時間48分。約20kgの砂鉄、約145kgの木炭を使用した。粘性の高いノロが操業初期に流出している。炉底に鉄塊が生成したが、そのまま保存しているため、生成した鉄の重量は不明である。4例目の作業時間は7時間10分。約47kgの砂鉄、約140kgの木炭を使用している。操業では、出銑孔が固まり、ノロは一度も排出されなかった。

炉は解体され、断面観察と、生成された鉄塊や木炭を覆った生成鉄などの科学分析が行われた。

4例目の実験成果は以下の通り。

- ①炉の中段では還元反応が起こり、木炭表面に炭素量の低い鉄の膜が出来る。
- ②炉の下段付近で木炭が燃え尽き、木炭表面に生成した鉄がまとまる。
- ③送風孔付近の一部では、滓が液状し、銑玉が生成する。
- ④滓中を下降した銑玉が結合し、炉底でまとまる。

4. 7世紀後半の画期（箱形炉の導入）

箱形炉 炉床部の平面形が、約1～2.5×約0.5～1mの方形・長方形の焼土部や掘り込みとして確認される。炉体の長軸方向に複数の通風孔が設置され、通風と排滓方向を直角に配置することを特徴

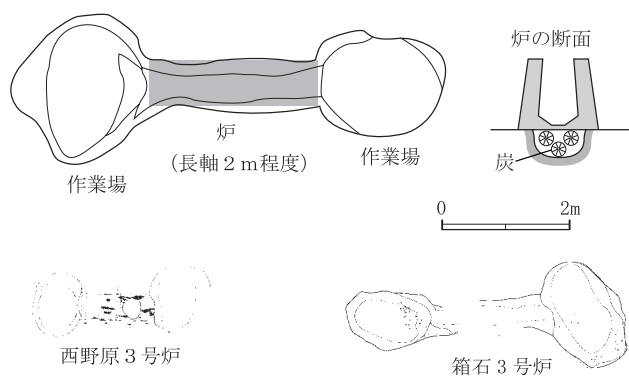


図4 初期の箱形炉(横置き)

炉の地下構造（礫床）

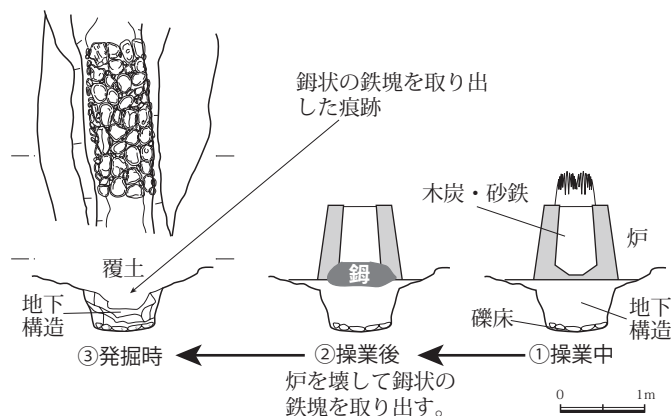


図5 峯山遺跡のⅡ区2号炉の操業復元



図3 群埋文3号炉の操業（笹澤 2008）

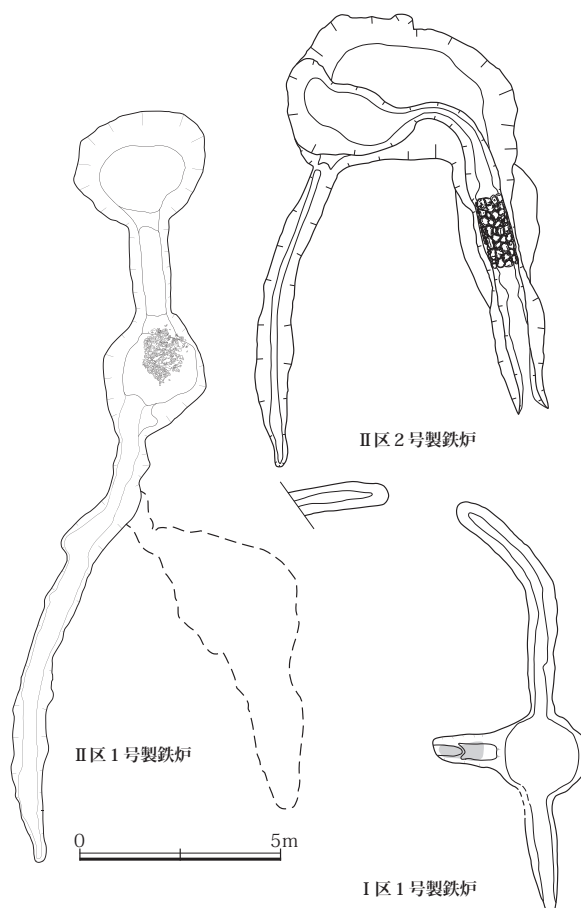


図6 峯山遺跡の箱形炉

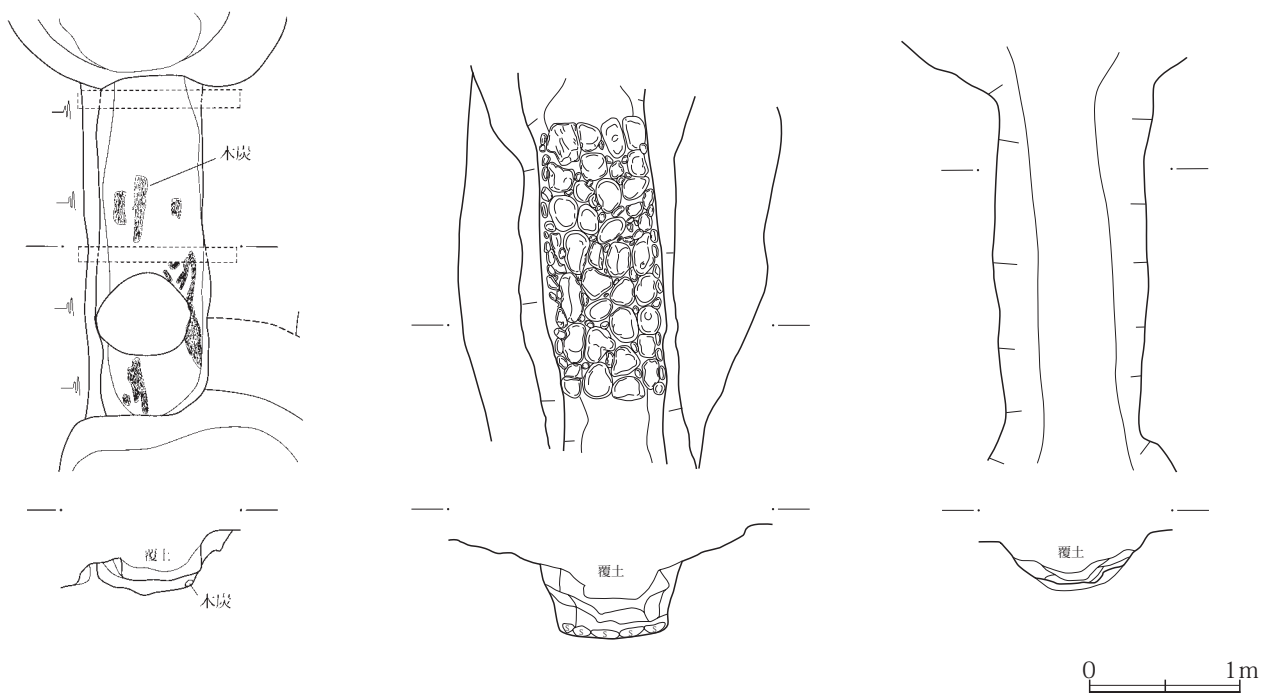


図7 群馬県の箱形炉の地下構造

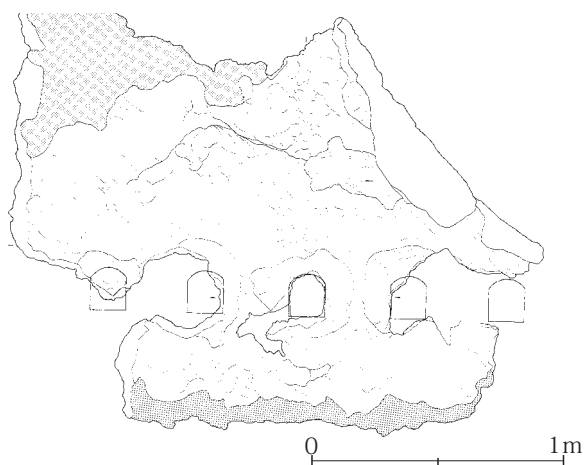


図8 峯山遺跡Ⅰ区1号製鉄炉出土炉壁

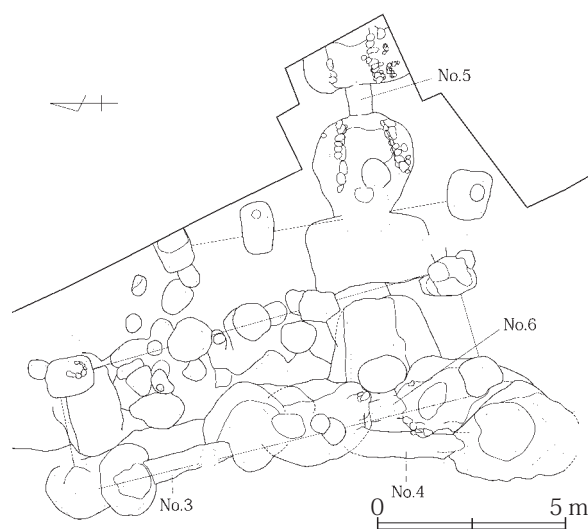


図9 西野原遺跡の箱形炉

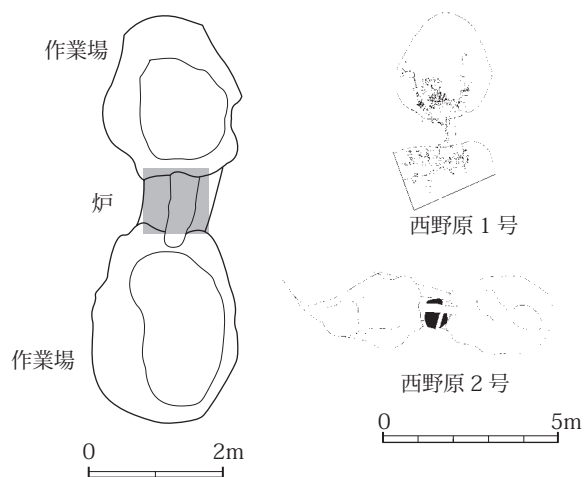


図10 西野原遺跡小型箱形炉

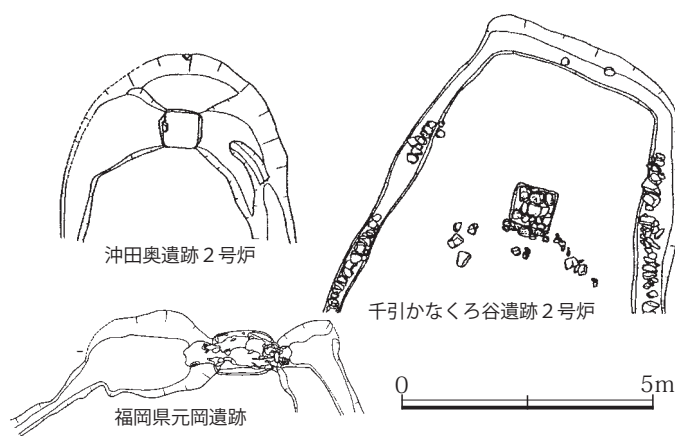


図11 中国山地(上)と北部九州(下)の小型箱形炉

とする製鉄炉である。箱形炉は、1 度の操業でたくさんの鉄を生成することができるが、操業ごとに炉を構築する必要がある。峯山遺跡では、鋤状の鉄塊が生成されていたことが確認されている（図5）。関東地方では、これまでに焼成した羽口を装着した箱形炉は見つかっていない。

5. その後の製鉄技術の変遷

豎形炉 隅丸方形や円形の平面形状を持つ。豎形炉の特色は、操業ごとに炉を一から作る必要がなく、

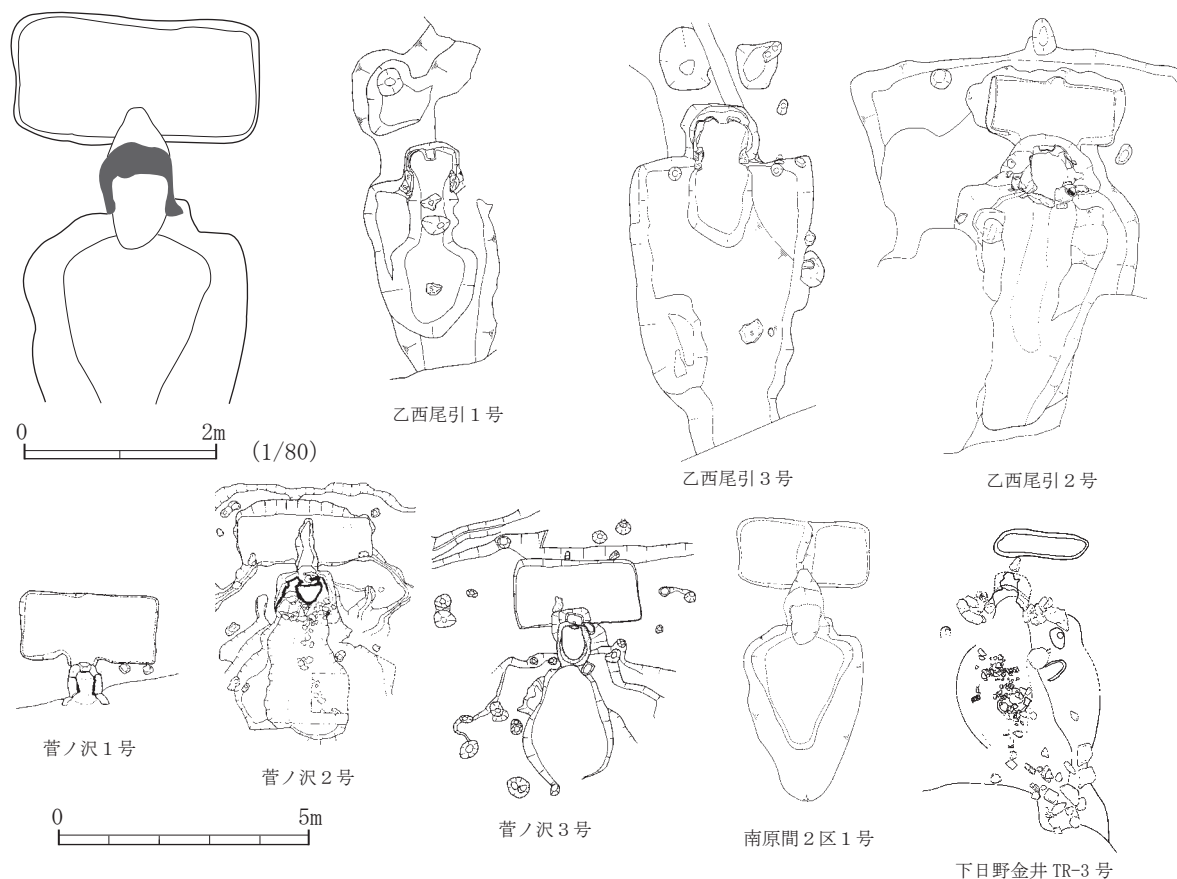


図12 群馬県の主な8～9世紀の豎形炉

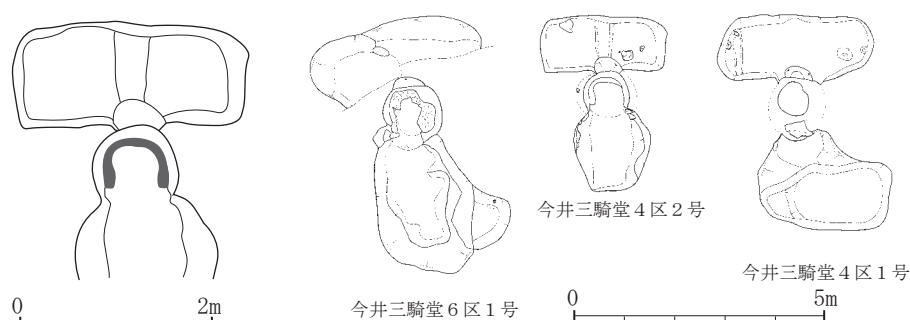


図13 群馬県の主な10世紀の豎形炉

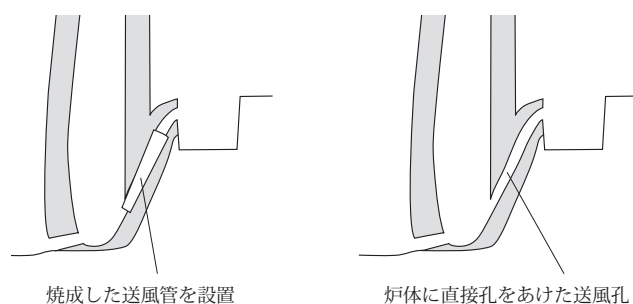


図14 豎形炉の送風(栗岡2005を参考に作成)

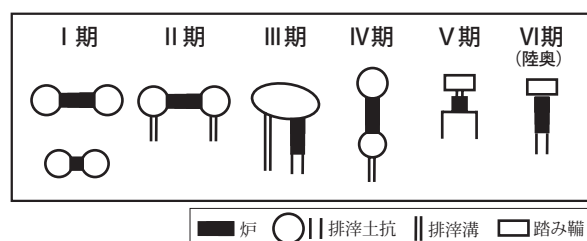


図15 両側排滓から片側排滓への変遷

補修しながら複数回操業することが可能なことである。高炉であるため、炉を高温に保つことができる。還元域も長い。送風は、焼成した送風管を使用するものと、炉を構築するときに送風孔をあけておくものがある(第 14 図参照)。

小型自立炉 隅丸方形や円形の平面形状を持つ。かつては、豎形炉(西浦北型)に分類されていたが、近年ではその規模や構造から「小型自立炉」とする研究者が多い。

発掘調査では遺構を鍛冶炉と誤認されることがあるが、還元目的の炉高が想定される炉壁や、銑塊・砂鉄焼結塊・流動滓などの遺物の出土から、製鉄工程の炉であることがわかる。焼成した羽口を装着した送風が確認されている



図16 関東の主な小型自立炉(西浦北型)

6. まとめ

① 7世紀後半に大型の箱形炉が導入されるが、そのままの形では定着しない。

＝現地の原材料にあった製鉄炉の開発

(近江は鉄鉱石、導入された地域は砂鉄。地域ごとに異なる粘土)

② 8世紀後半には地域ごとに原料や労働規模に見合った製鉄技術が開発される。

・関東地方……小規模操業に適した豎形炉を選択→さらに小型自立炉へ

(安価な鉄素材の流通に淘汰されていったか)

・東北南部……大規模操業に適した箱形炉に豎形炉の技術を融合した製鉄炉が開発される。

→完全な片側排滓の箱形炉へ

＝高い技術と豊富な森林資源・砂鉄原料により、国内最大の製鉄コンビナートを形成

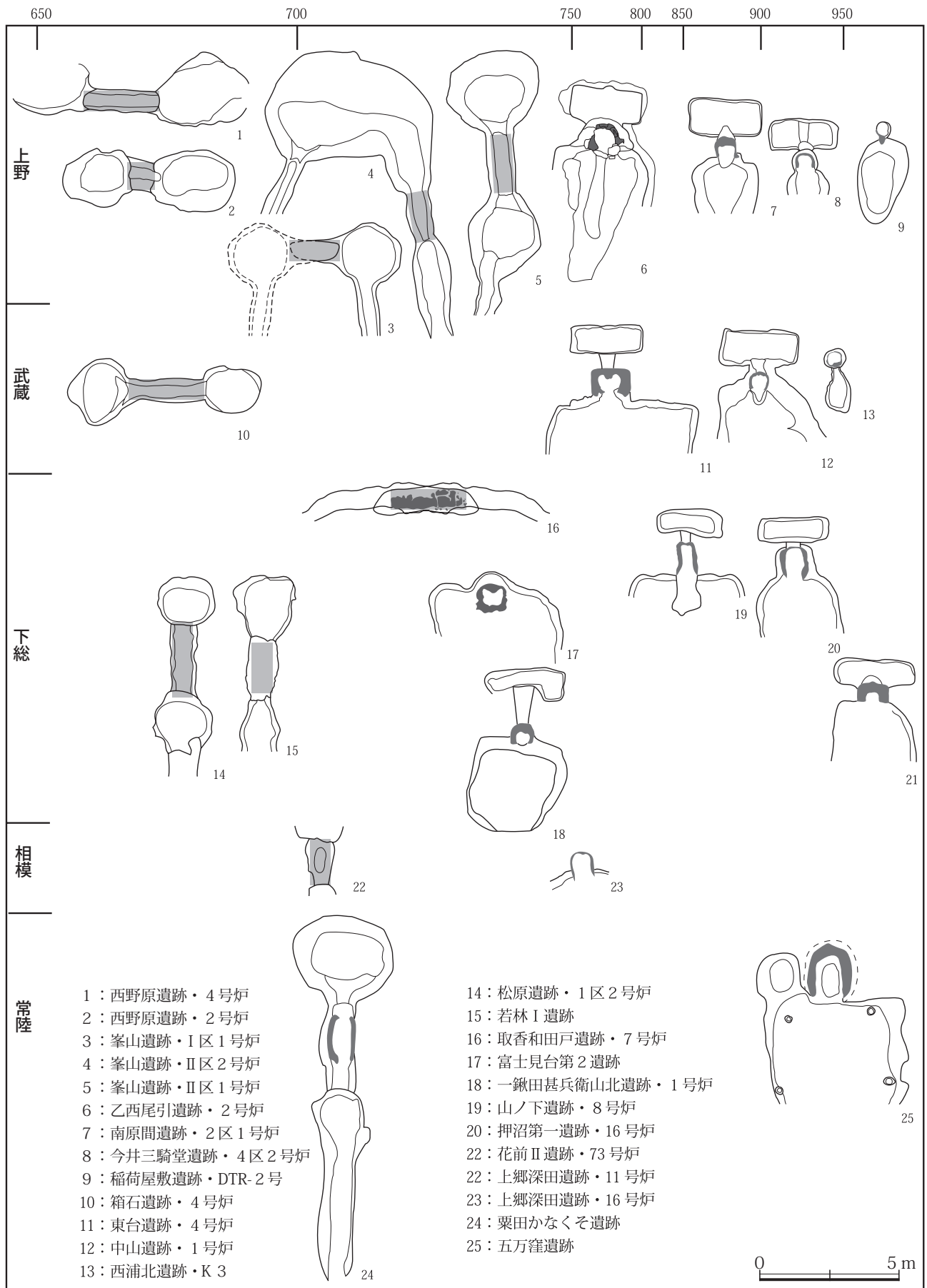


図17 関東地方における古墳時代～古代の製鉄炉の変遷（笹澤2014）

群馬県の製鉄遺跡一覧表

	遺 跡 名	所 在 地	炉 型	数	時 期	備 考
1	三ヶ尻西	前橋市粕川町深津	箱形炉	2	7世紀後中頃～後半	1992～1993年調査/小島純一 1997「古代の製鉄の村ー赤城南麓に製鉄遺跡を追うー」/『ぐんま 地域文化』8号(財)群馬地域文化振興会
2	元総社蒼海	前橋市元総社町	箱形炉	1	7世紀後半	2010年調査『元総社蒼海遺跡群 63・64・65』前橋市教育委員会 2011
3	松原田	前橋市粕川町深津	箱形炉	1	7世紀後半か	1985年調査/『深津地区遺跡群 付篇 西迎遺跡 K 1』粕川村教育委員会 1985/小島純一 1997「古代の製鉄の村ー赤城南麓に製鉄遺跡を追うー」/『ぐんま 地域文化』8号(財)群馬地域文化振興会
4	西野原	太田市西長岡町他	箱形炉	4	7世紀末	2003～2005年調査/『西野原遺跡』(財)群馬県埋蔵文化財調査事業団 2010
5	峯山	太田市内上強戸	箱形炉	3	8世紀初頭～前半	2002～2003年調査/『峯山遺跡』(財)群馬県埋蔵文化財調査事業団 2010
6	下日野金井窯跡	藤岡市下日野	竪形炉	4	8世紀代	1986～1988年調査/『G 1 藤岡市下日野金井窯址群・G 4 金山下遺跡・金山下古墳群・G 3 平井詰城』群馬県藤岡市教育委員会 2005
7	清水西	桐生市相生町	竪形炉	1	8世紀中頃	1990～2003年調査/増田修 2004「桐生市の製鉄遺跡」『第2回歴史シンポジウム もののけ姫から見る古代桐生ー製鉄・森・異文化ー』
8	金井製鉄	渋川市金井	竪形炉	1	8世紀中頃	1974年調査/『金井製鉄遺跡発掘調査報告書』群馬県渋川市教育委員会 1975
9	金井前原Ⅱ	渋川市金井	竪形炉	1	不明	1996年調査/『金井前原Ⅱ遺跡』渋川市教育委員会 1997
10	芳ヶ入	桐生市菱町	竪形炉	8	8世紀中頃	2008年調査/『芳ヶ入遺跡』(株)毛野考古学研究所 2013
11	乙西尾引	前橋市堀越町	竪形炉	3	8C中葉～9世紀前葉	1991年調査/『乙西尾引遺跡・西天神遺跡・柴崎遺跡』群馬県勢多郡大胡町教育委員会 1994
12	中ノ沢室沢	前橋市粕川町	竪形炉	1	8世紀中葉～9世紀後半	1999年調査/梅澤克典 2003「粕川村の鉄」『勢多郡文化財ニュース No.5』勢多郡町村教育委員会事務研究会
13	戸谷	安中市下秋間	竪形炉	2	9世紀前半	1981年調査/『戸谷遺跡』群馬県教育委員会 1982
14	片並木	前橋市苗ヶ島町	竪形炉	1	9世紀	1961年調査/『片並木遺跡ー赤城山南面の製鉄遺跡ー』群馬県宮城村誌研究篇第三集宮城村誌編集委員会 1969
15	芳賀東部団地	前橋市鳥取町	炉形不明 瞭	(3)	9世紀後半	1973～1980年調査/『群馬県史』資料編2・原始古代2群馬県史編さん委員会 1986
16	八ヶ峯	前橋市上大屋町	竪形炉	1	9世紀後半	1984年調査/『上大屋・樋越地区遺跡群』群馬県勢多郡大胡町教育委員会 1986
17	伊勢崎東流通団地	伊勢崎市日乃出町	竪形炉	1	9世紀後半	1977年調査/『群馬県史』資料編2・原始古代2群馬県史編さん委員会 1986/『伊勢崎・東流通団地遺跡』群馬県企業局 1982
18	南原間	伊勢崎市田部井町	竪形炉	1	9世紀後半	2002～2003年調査/2003『遺跡に学ぶ』第22号
19	高源地東Ⅰ	渋川市石原	竪形炉	—	奈良・平安	2003～2005年調査/『高源地東Ⅰ遺跡』財団法人群馬県埋蔵文化財調査事業団 2006(製錬滓出土)
20	菅ノ沢	太田市東今泉町	竪形炉	3	9世紀後半～10世紀初	1968～1977年調査/飯島武次・穴澤義功 1969「群馬県太田市菅ノ沢製鉄遺構」『考古学雑誌』55巻2号/『太田市金井丘陵菅の沢窯址発掘調査概報』1977、『群馬県史』資料編2 原始古代2 群馬県史編さん委員会 1986
21	高太郎Ⅱ遺跡	太田市長手町	竪形炉	3	10世紀前半	『太田市史』通史編原始古代 1996/『長手谷遺跡群発掘調査報告書』1991 太田市教育委員会
22	今井三騎堂	前橋市東大室町	竪形炉	3	10世紀～11世紀	1998～1999年調査/『今井三騎堂遺跡・今井見切塚遺跡ー歴史時代編ー』財団法人群馬県埋蔵文化財調査事業団 2005
23	今井見切塚	伊勢崎市赤堀町	竪形炉	2	平安後半	1997年調査/『今井三騎堂遺跡・今井見切塚遺跡ー歴史時代編ー』財団法人群馬県埋蔵文化財調査事業団 2005
24	有馬条理	渋川市有馬	不明	2	平安後半	1981年調査/『有馬条里遺跡』渋川市教育委員会 1983
25	月山	前橋市小神明町	竪形炉	1?	不明	井上唯雄 1991「製鉄業」『群馬県史 通史編2』群馬県史編さん委員会
26	女淵大峯B遺跡	前橋市粕川町	竪形炉	1	不明	2003年調査/『年報23』財団法人 群馬県埋蔵文化財調査事業団 2004/ 鋳型出土
27	上川久保	前橋市西大室町	竪形炉	1	不明	1976年調査/穴澤義功 1987「関東地方を中心とした古代製鉄遺跡の研究の現状と課題」『日本古の鉄生産』たたら研究会
28	上小友	桐生市菱町	竪形炉	1	不明	1991年調査/増田修 2004「桐生市の製鉄遺跡」『第2回歴史シンポジウム もののけ姫から見る古代桐生ー製鉄・森・異文化ー』/確認調査
29	元屋敷	太田市数塚町	竪形炉	1	11世紀後半か	1977年調査/穴澤義功 1987「関東地方を中心とした古代製鉄遺跡の研究の現状と課題」『日本古代の鉄生産』たたら研究会
30	五輪	伊勢崎市除ヶ町	小型自立炉	5	10世紀第2四半期	1975・1976年調査/穴澤義功 1987「関東地方を中心とした古代製鉄遺跡の研究の現状と課題」『日本古代の鉄生産』たたら研究会./中東耕志 2001「除ヶ町・五輪遺跡の発見」『豊受探訪』豊受郷土文化研究会
31	下芝内出畑	高崎市箕郷町	小型自立炉	5	10世紀	2019年調査/『下芝内出畑遺跡・和田山天神前2遺跡』(公財)群馬県埋蔵文化財調査事業団 2019
32	津久田上安城	渋川市赤城町	小型自立炉	1	10世紀か	2006年調査/『津久田上安城遺跡』群馬県渋川市教育委員会 2009
33	小泉宮戸遺跡	東吾妻町小泉	小型自立炉	4	平安後半(10世紀か)	2001年調査/『町内遺跡Ⅰ 小泉宮戸遺跡』群馬県吾妻郡吾妻町教育委員会 2003
34	稲荷屋敷	藤岡市本動堂	小型自立炉	3	10世紀後半～11世紀	1988～1991年調査/『滝前C遺跡・稲荷屋敷遺跡』財団法人群馬県埋蔵文化財調査事業団 1997

※笹澤 2007 に加筆

埼玉県の製鉄遺跡

—主に竪形炉の羽口と木炭窯について—

埼玉県ふじみ野市立上福岡歴史民俗資料館

高崎 直成

1. 埼玉県の製鉄遺跡

(1) 箱形炉

埼玉県内では寄居町末野地区の箱石遺跡で7世紀末から8世紀初頭の箱型炉が5基検出された。南北方向に2列併設され、東側に2基、西側に3基縦列する。長方形の炉底両端に排滓坑を設ける、いわゆる鉄アレ型¹の長方形箱形炉である。通風孔のある炉壁片も出土した。箱石遺跡の箱形炉の系譜について、赤熊浩一は近江地域に求めている。すなわち、炉の形態的特徴である長方形箱形炉で両側に排滓坑を持つこと、方形から長方形への転換が「この(近江)地域を起点として以東に展開」し「東山道ルートからの導入と東海道ルートからの導入によって東国にもたらされたように考えられる。」としている。(赤熊2007)

(2) 竪形炉

埼玉県内では11遺跡で77基検出している。8世紀第2四半期の桶川市宮ノ脇遺跡から始まり、10世紀第1四半期の深谷市菅原遺跡まで半地下式の竪形炉が、10世紀第3四半期には西浦北型と分類される自律式円筒炉が深谷市の宮西遺跡と西浦北遺跡で検出されている。半地下式竪形炉の系譜については朝鮮半島に求められ、鋳型を伴うことが多いことから、鋳造技術との一体化が指摘されている(穴澤1987ほか)。具体的な技術者集団としては、銀雲母を含む新治産須恵器甕や平底の土師器²の出土から、下総地域とのかかわりと下総地域に新羅系の宝相華文軒丸瓦が分布すること、さらに768年の新羅郡建郡から新羅系統の技術であると論じている。(赤熊2006)

西浦北型の竪形炉は半地下式に対して自立式竪形炉は鉄滓の出土量が少ないことから「鍛冶技術の中で考えるべき炉形態」との指摘もある。(赤熊2015)

2. 竪形炉の羽口について

(1) 半地下式竪形炉の全体構成

半地下式竪形炉は斜面を利用して構築されている。斜面の上段と下段に平坦地を設け作業場とし、炉は上部作業場と下部作業場の間にその高低差を利用して構築する。

上部作業場には踏み輪³を設置した跡と思われる長方形土坑(以下輪座とする)を検出することが多い。輪座と炉の間は、中心軸に近い左右両翼から溝がでて中心軸上でつながり、炉後背まで続く。本来トンネル状の孔であった上部が削平され溝として残っている場合があり、粘土や木製等の送風管が想定される。福島県山田A遺跡3号製鉄炉ではこの溝に通風管の破片が遺存していた(吉田1997)。しかし出土類例が少なく不明な点も多い。

残存高のある炉の場合、輪座から続く溝が炉の後背で斜めに下がっていき、炉奥壁にある張り出し部分に続く。張り出し部分は、突き出した下唇のようであったり、土台であったり、あるいは炉壁がその部分だけ「V」字形に欠如していたりと、さまざまである。また、炉の削平が進んでいると溝の痕跡がな

いことも多い。

(2) 炉構築方法

主な築炉方法の流れは以下のとおりである。

- ① 掘り方の掘削→(空焚き)→(炉床構造の構築)→(裏込め)→炉壁の構築と羽口の設置
- ② 操業→前壁の破壊(一部)→炉底塊の取り出し
- ③ 炉壁や羽口の補修→前壁の再構築

以下、②→③を繰り返す。

【羽口の装着】羽口(通風管)は別に造ったものを装着する場合と、炉を構築しながら羽口を製作していく場合の二通りが想定されている。羽口の製作技法については後述するが、装着にあたって粘土で土台を作る場合や、羽口を支える木材を刺した跡と思われる小さい穴が炉底や奥壁に穿たれている事例がある。

土台の残る例としては、埼玉県東台遺跡2号、4号炉で羽口部分の奥壁が内側に突出し、平面形態が『ハート』形になる(高崎2005)。群馬県乙西尾引遺跡1・3号炉の掘り方では、炉内へ中央部が張り出すような掘り遣しを確認している(藤坂1994)。千葉県富士見台Ⅱ遺跡C地点の炉にも突出した土台があり、ハート形を呈する(小栗1988)。群馬県下日野金井窯跡群TR2も羽口の下顎部分と土台が炉内へ張り出して残っている(古郡2005)。

羽口を支える添え木用と思われる小穴を検出した遺跡は、埼玉県東台遺跡1～6号炉(高崎2005)、新潟県居村遺跡A地点1号炉(渡邊1997)、福島県長瀬遺跡3号炉等である(安田他1991)。

【炉壁】多くの遺跡でスサ入り粘土の使用が報告されている。羽口の装着後にスサ入り粘土を貼付け固定したり(羽口カバー)、炉壁の補修に使用したりする事が多い。

炉壁の補修は2～4回以上、多い場合は6回以上の補修面があることが報告されている。埼玉県東台遺跡では炉壁の補修が繰り返され、平面・断面では3～5面の炉壁が確認できる。補修の厚さは1.2～9.5 cmである。部分的には5mm以下にもなる。羽口へも補修がなされている。

(3) 羽口構築のタイプ(第6図)

羽口製作・構築方をまとめると、以下の4タイプになる。

- A. 炉壁中に通風孔を設ける大山タイプ。通風孔の部分は炉内に張り出し、ハート形を呈する。張り出し部分の壁は下から上まで垂直で、その中を斜めに通風孔が貫通する。したがって、通風孔カバーの厚さは先端で薄く、上に行くほど厚さを増してくる。通風孔はスマキ状の芯材に粘土をはりつけて、炉壁と一体成形される。
- B. 羽口の下に粘土で土台を築く東台タイプ。羽口は築炉と同時に作成する。土台の上に半円形の羽口が乗る形を呈する。Aタイプに比べ羽口先を炉の中心まで伸ばしやすく、羽口の厚みは薄いため、操業中に羽口が溶融しやすい。溶融により羽口先は上へあがって行く。
- C. 別作成の羽口を装着する長瀬タイプ。焼成された堅牢な羽口を用いるため、土台を不要とし、直接炉内へ突き出して装着することが可能になったと思われる。また、厚いカバーもないため、操業に応じて羽口が溶融していきやすい。羽口を装着するにあたっては木材等で支え、羽口の固定後、焼成により支えの木材を焼失させる方法がとられたと思われる。

D. 羽口が土台なしで炉内に突き出ているタイプ。羽口が同時作成か別作成かは出土遺物がない、もしくは報告されていないため不明。炉奥壁中位に羽口装着の痕跡を残す。炉壁とつながった羽口下部が炉内へ突出している場合や、単にその部分だけ炉壁が欠如している場合があるが、いずれも装着痕より下部の炉壁が垂直に残っており、土台なしで羽口が炉内に突き出ていることになる。単に別作りの羽口が未検出の場合もあるが、今井三騎堂遺跡4区2号炉から出土した羽口のように、炉と一体成形の可能性もある。その場合、Cタイプのように木製の支えの上で羽口を作り、乾燥・固定させたと考えられる。

AタイプとBタイプに時期差が存在するかどうかは不明である。しかし、東台遺跡ではA、B、Dタイプが存在し、新旧関係ではB→Dの変遷は明らかである。(高崎2005) Aタイプの操業では羽口の後退が少ないため、羽口カバーを薄くして行った形態がBタイプであるならば、さほど時期差はなくAからBへ移行していったのではなかろうか。さらに、土台をなるべく小さくする工夫がなされ、Cへの以降も短期間であれば、Bタイプの遺構例が少ない説明もつくであろう。最終的には土台のないDタイプと堅牢な別作り羽口を用いたCタイプへと移行したと推察する。

炉壁内へ通風孔を設けるAタイプから、羽口周りの炉壁厚を減少させ、土台の上に羽口を設けたBタイプを経て、炉内に羽口を露出させるC・Dタイプへと変遷する仮定である。

3. 木炭窯について

古代の木炭窯は横口付、登り窯状の他、土坑状の製炭遺構（製炭土坑）があり、製炭土坑は規模・形態から大型（長方形・方形）、小型（円形・方形）などに分類できる。

横口付木炭窯は34基中27基が神川町の皂樹原・中原・金屎遺跡に集中し、同遺跡内で検出される精錬鍛冶の鍛冶工房跡との関連性が注目される。窯体部の長さは5m以上あり、最大21.3mある。幅は0.5～1.0m、平均0.63m、深さは平均0.94mである。

登り窯状木炭窯は県内では53基検出したが、大山遺跡や東台遺跡、宮脇遺跡等、半地下式竪形炉を検出するなど製鉄関連遺跡を中心に0.5～5kmの広範囲に分布する傾向があり、それぞれの製鉄遺跡への供給用に築かれたと考えられる(赤石1987、水口2002、高崎2005、赤熊2012)。

製炭土坑については、かつて分類を試みた(高崎2016)。すなわち、規模では1.2mと4.5mにピークがあり、概ね2.5mを境に大型と小型に区分できる。大型製炭土坑は長短比率2:1でⅠ類(長短比率2:1以上)とⅡ類(長短比率2:1以下)に分類し、さらに突出部の有無、中央溝の有無で小区分できる。(a類:突出部と中央溝がない。b類:突出部がなく、中央溝がある。c類:突出部があり、中央溝がない。d類:突出部と中央溝がある。)小型製炭土坑は規模で2.5m以下、形態で円形と方形・長方形に分類できる。

大型長方形製炭土坑の系譜の一つとして、以下の変遷が想定できる。

東台遺跡18地点で検出した登り窯状木炭窯は、木炭片や崩れ落ちた壁・天井が幾層にも堆積し、高くなった床面にあわせて煙道を作り替えており、何度も木炭を焼成していることが伺える。

4号木炭窯はさらに特殊で、14回以上の操業後、天井が落ちた後も崩落した天井を床面にして5回以上木炭を焼成している。その際、煙道も嵩上げた床面の高さで掘りなおされている。最終的な木炭焼成面は、遺構確認面から20cmの深さであった。最終の木炭層の上にはローム主体層があり、天井が崩れた後の製炭方法は、木材を並べた後、ローム土等を被せて焼いた伏せ焼であった可能性を示唆する。

この「登り窯状」の最終使用形態は、本村遺跡86地点の木炭窯の「大型長方形」と平面形態と規模の点では類似点が多い。本村遺跡86地点の木炭窯は浅く細長い長方形土坑で、「大型長方形」といった形態的な共通性がある。放射性炭素年代も東台製鉄遺跡に近い9～12世紀台である。

ちなみに東台、本村ともに炭化材の樹種はコナラ属クヌギ節で、製鉄製錬に適した黒炭である。

以上の点から、「大型長方形」については以下の変遷が想定できる。まず、東台遺跡「登り窯状」である4号木炭窯の最終形態と、本村遺跡86地点1号炭焼窯の類似性から、「大型長方形」は「登り窯状」の半地下形態から派生した。次に、県内で検出した遺構の中で時期のわかる遺構から類推すると「登り窯状」と近似する幅広から次第に幅が狭くなった。以上の2点である。すなわち、

①登り窯状の地下式→②崩れた天井を床面とした半地下式→③半地下式を構築（幅広）→④浅い大型長方形土坑（幅広）→⑤浅い大型長方形土坑（幅狭）

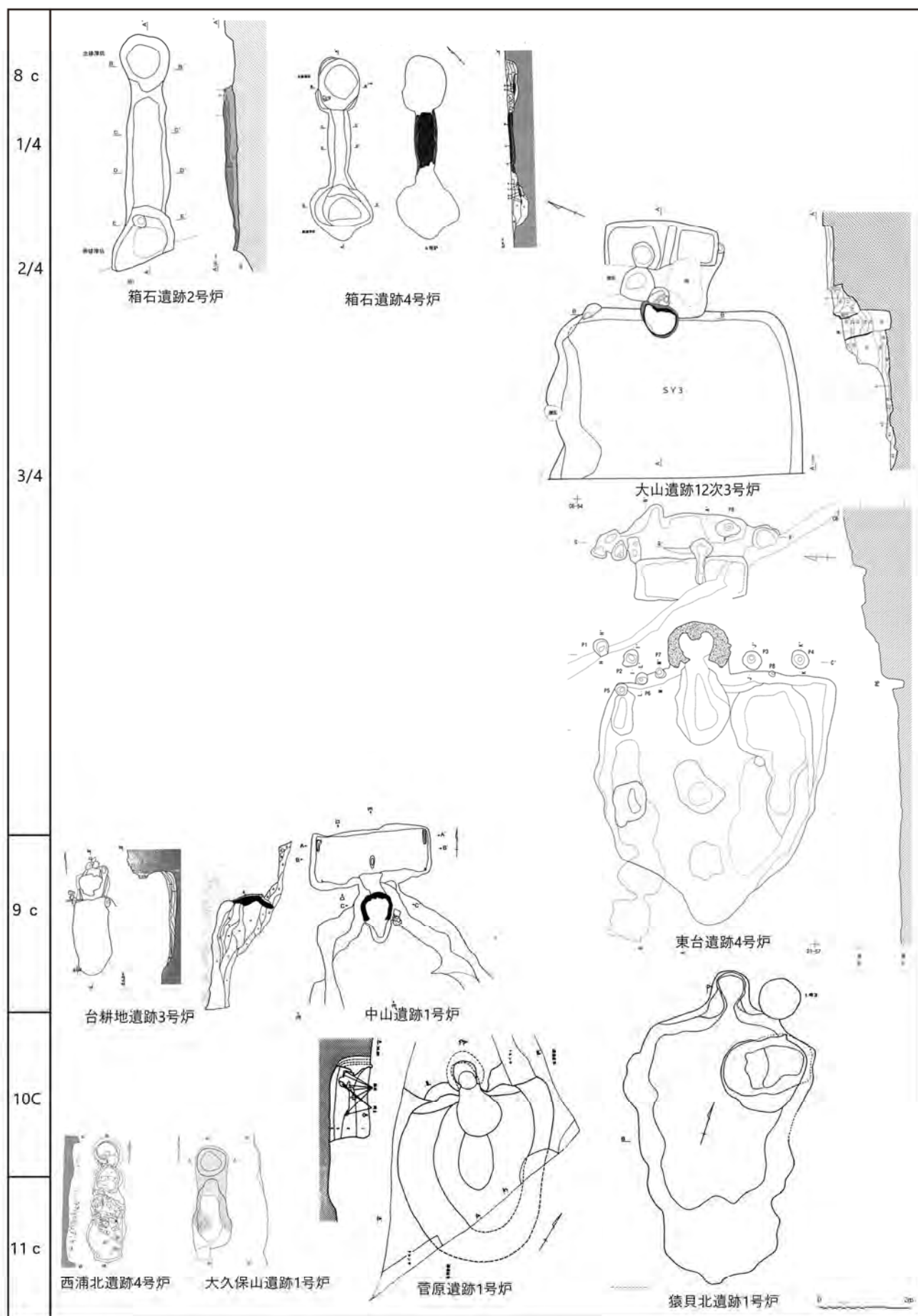
といった変化である。

一方、幅の狭さと遺構の深さの点では「横穴付」との類似性もある。

今のところ「大型長方形」には横穴の痕跡や「横穴付」に付属する作業場の存在がないことから、関連性は薄い、「横穴」を作る必要がなくなったことから「大型長方形」の形態が派生した可能性を探っておく必要がある。

引用・参考文献

- 赤石光資 1988 「まとめ」『愛宕山遺跡』上尾市教育委員会
- 赤熊浩一 2005 『中山遺跡』埼玉県埋蔵文化財調査事業団報告書第313集 （財）埼玉県埋蔵文化財調査事業団
- 赤熊浩一 2006 「新羅建郡と古代武蔵国の鉄生産」『埼玉の考古学Ⅱ』埼玉考古学会
- 赤熊浩一 2007 「古代武蔵の鉄製産―箱形炉と竪形炉―」『研究紀要』第22号 （財）埼玉県埋蔵文化財調査事業団
- 赤熊浩一 2015 「大山遺跡を中心とした古代武蔵国の鉄関連遺跡調査の動向」第29回「鉄の技術と歴史」研究フォーラム講演会
- 穴澤義功 1984 「製鉄遺跡から見た鉄生産の展開」『季刊考古学』第8号 雄山閣
- 穴澤義功 1987 「関東地方を中心とした古代製鉄遺跡研究の現状と課題」『昭和62年度たたら研究会大会資料』たたら研究会
- 穴澤義功 2003 「古代製鉄に関する考古学的考察」『近世たたら製鉄の歴史』丸善ブラネット p.30
- 小栗信一郎 1988 『千葉県富士見台第Ⅱ遺跡C地点』日本考古学年報39(1986年度版)
- 高崎直成 2005 『東台製鉄遺跡 東台遺跡Ⅳ(第15・18地点)』埼玉県大井町教育委員会
- 高崎直成 2012 「半地下式竪形炉の羽口について」『たたら研究』第51号 たたら研究会
- 高崎直成 2016 「北武蔵の中世製炭遺構について」『駒澤考古』第41号 駒澤考古学研究室
- 藤坂和延 1994 『乙西尾引遺跡・西天神遺跡・柴崎遺跡』群馬県勢多郡大胡町教育委員会
- 古郡正志 2005 『G1 藤岡市下日野金井窯跡群 G 4 金山下遺跡・金山下古墳群 G 3 平井詰城』群馬県藤岡市教育委員会
- 水口由紀子 2002 「発掘された埼玉県内の炭焼窯―古代の事例を中心として―」『埼玉県立歴史資料館研究紀要』第24号埼玉県立歴史資料館
- 安田稔他 1991 『原町火力発電所関連遺跡調査報告Ⅱ』福島県文化財調査報告書第265集 福島県教育委員会
- 吉田秀享他 1997 『相馬開発関連遺跡調査報告Ⅴ』福島県文化財調査報告書第333集 福島県教育委員会
- 渡邊朋和 1997 『金津丘陵製鉄遺跡群発掘調査報告書Ⅱ 居村遺跡E・A・C地点、大入遺跡A地点』新津市教育委員会



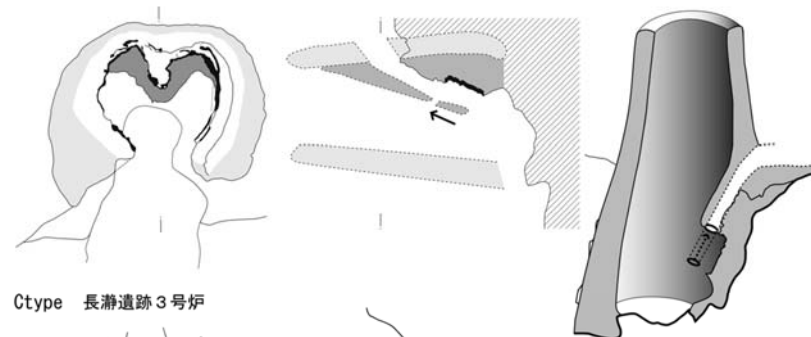
第 2 図 埼玉県製の鉄炉 (s = 1/120)



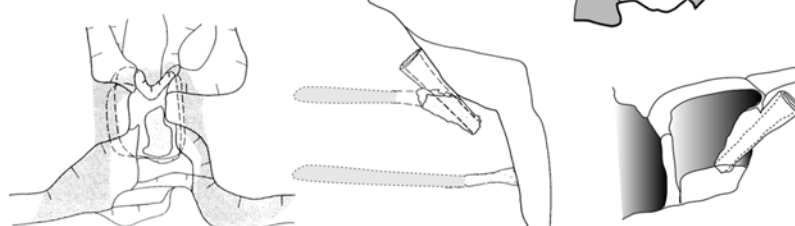
Atype 大山遺跡10・11次3号炉



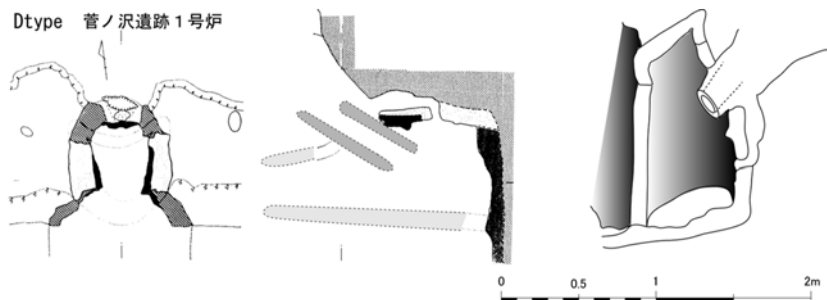
Btype 東台遺跡18地点2号炉



Ctype 長瀬遺跡3号炉

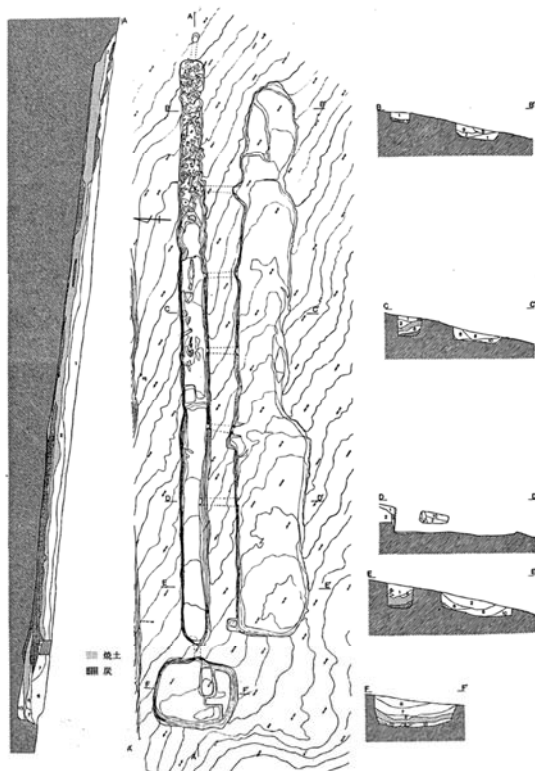


Dtype 菅ノ沢遺跡1号炉



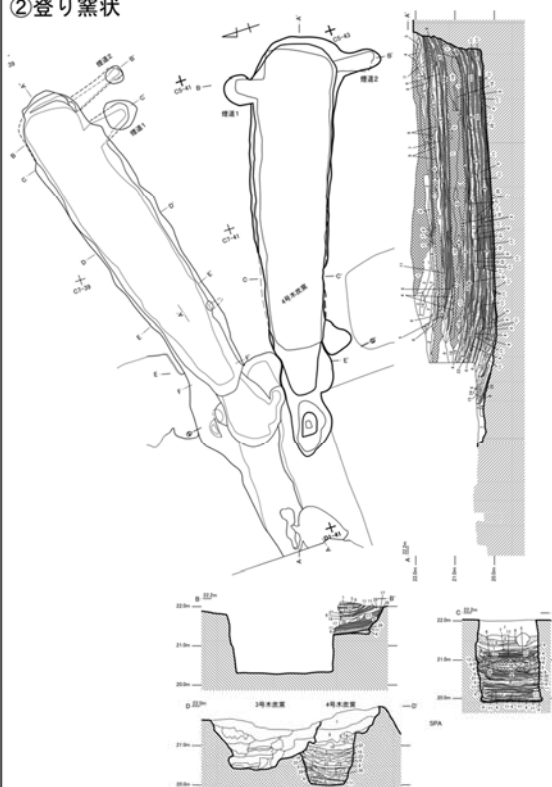
第3図 半地下式竪形炉構築方法及び羽口・通風孔装着復元案

①横口付



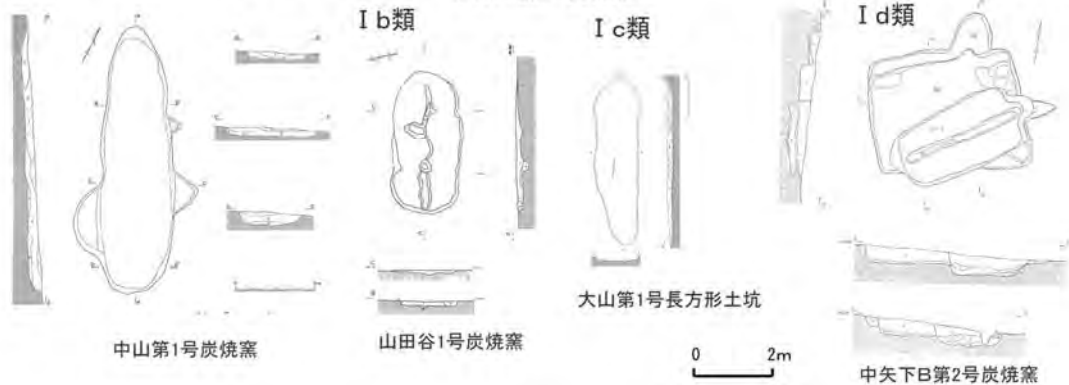
美里町如来堂D第4号窯跡

②登り窯状



ふじみ野市東台18地点 4号木炭窯

古代 Ia類



第4図 埼玉県の木炭窯 (S=1/200)

滋賀県の製鉄遺跡

滋賀県文化スポーツ部文化財保護課

大道 和人

1. はじめに

滋賀県では、湖東・甲賀地域を除いた広い範囲で製鉄遺跡の分布が知られている。発掘調査事例は湖南地域に集中するが、14遺跡で実施され、製鉄遺跡の具体的様相が徐々に明らかになってきた。発掘調査された近江の製鉄遺跡は7～8世紀の遺跡が中心である。近江の製鉄に関する史料としては、『日本書紀』天智天皇9年(670)、『続日本紀』大宝3年(703)9月辛卯条、『続日本紀』天平14年(742)12月戊子条、『続日本紀』天平宝字6年(762)2月甲戌条がある。史料と遺跡の年代は概ね一致している。また、古代製鉄の製鉄原料は全て鉄鉱石(磁鉄鉱)である。以下に滋賀県内の主な製鉄遺跡の概要、分布、時期、原料、製鉄炉の形態の様相・特徴などを記す。

2. 製鉄遺跡の様相

(1) 製鉄遺跡の概要(図1・2)

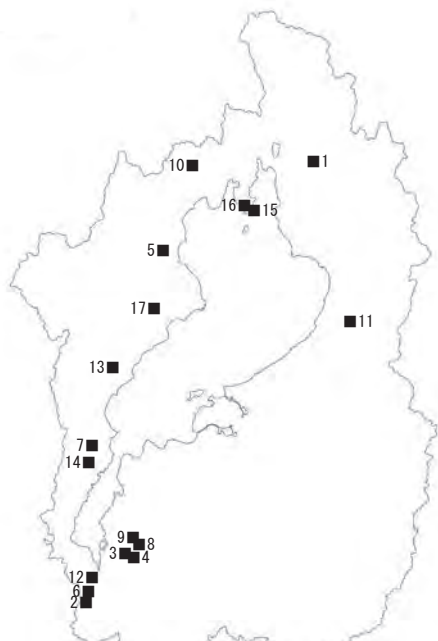
古橋遺跡(長浜市木之本町古橋) 滋賀県の最北部、高時川左岸の丘陵地に位置する。昭和60年(1985)の調査で製鉄炉が1基検出された。もともと露頭していたと考えられる角岩を破砕・削平し、平面を設定し、この部分に製鉄炉を設置したと考えられる。炉底を覆うように堆積した褐黒色土層から6世紀末～7世紀初頭の須恵器平瓶が出土した。県内最古の製鉄炉である可能性が高い(丸山・濱・喜多1986)。

南郷遺跡(大津市石山内畑町) 瀬田川の西岸、岩間山・袴腰山に挟まれた谷筋で、製鉄炉の下部構造が1基発見された。排滓坑の下層からは7世紀中頃の土器が出土し、湖南地域では最古級の製鉄炉である。製鉄炉から500m南に登った通称桜峠の西側には斜面をくりぬいた炭窯2基が確認されている(田中勝ほか1988)。

源内峠遺跡(大津市瀬田南大萱町) 瀬田丘陵の東岸に位置する瀬田丘陵のなだらかな北斜面に所在する。1977年・1983年に試掘調査が行われ、1997・1998年に発掘調査が実施された。発掘調査の結果4基の製鉄炉が発見された。製鉄炉の4号、3号、2号、1号の順に構築され、古い製鉄炉での操業により排出された排滓場を再び整地して新しい製鉄炉を構築している。出土した須恵器杯・蓋などから、7世紀後半の操業が比定される(丸山・濱・喜多1986、大道ほか2001)。

東谷遺跡(高島市今津町大供) 饗庭丘陵裾部、天川と天川に流れ込む東谷の合流点付近に所在する。平成14年度(2002)に排滓場の東辺を発掘調査し、同時に実施した磁気探査で、排滓場の範囲と製鉄炉の位置を推定した。土器類の出土は数点のみで、出土木炭のC14年代測定値から7世紀後半を前後する年代が得られている。以前より巨大な鉬塊の露頭が2箇所知られていたが、調査の結果、鉄滓や鉄塊が凝結して二次的に形成された酸化物の再結合滓であることが判明した(大道ほか2004)。

芋谷南遺跡(大津市石山南郷町) 瀬田川西岸の南郷丘陵に位置する。平成8年度(1996)の発掘調査で製鉄炉が1基検出された。炉は丘陵の南東斜面を削った平坦部に構築されていた。鉄滓層からは7世紀



製鉄遺跡

- 1 古橋遺跡 (7世紀前半)
- 2 南郷遺跡 (7世紀中頃)
- 3 月の輪南流遺跡 (7世紀後半)
- 4 源内峠遺跡 (7世紀後半)
- 5 東谷遺跡 (7世紀後半)
- 6 南郷芋谷南遺跡 (7世紀末)
- 7 境ヶ谷遺跡 (7世紀後半～8世紀)
- 8 木瓜原遺跡 (8世紀前半)
- 9 野路小野山遺跡 (7世紀後半・8世紀中頃)
- 10 北牧野製鉄A遺跡 (8世紀)
- 11 キトラ遺跡 (8世紀)
- 12 平津池ノ下遺跡 (8世紀後半)
- 13 後山校倉遺跡 (8世紀後半)
- 14 上仰木遺跡 (9世紀後半)

図1 発掘調査された製鉄遺跡

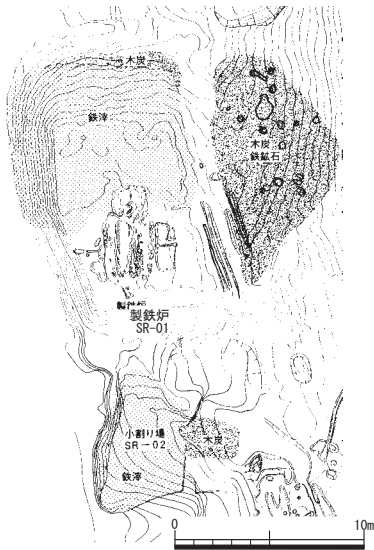


図3 木瓜原遺跡製鉄炉 SR-01
周辺地形図 (1/400)

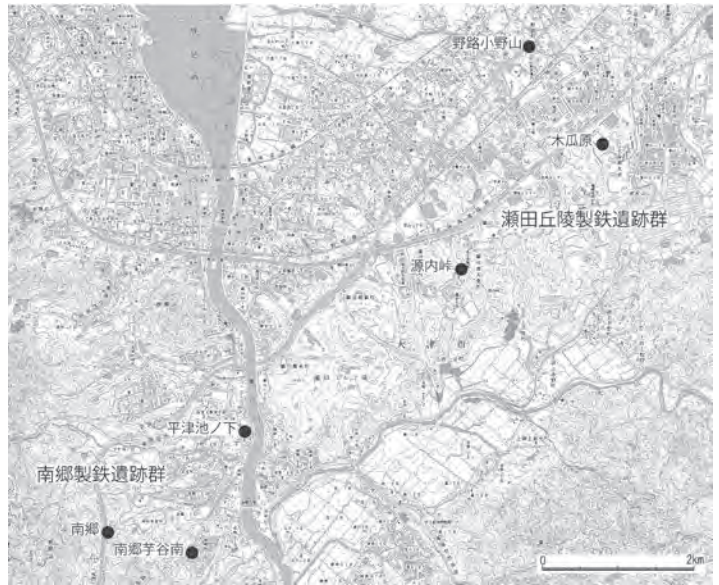


図2 瀬田丘陵製鉄遺跡群と南郷遺跡群の主な製鉄遺跡

歴年代	須恵器生産地資料	瀬田丘陵生産遺跡群製鉄炉	(南郷地区)
瀬田I期	・山ノ神遺跡(細分可) ・(月輪南流窯跡) ・笠山遺跡	・源内峠遺跡4号製鉄炉(近江1型) ・源内峠遺跡2・3号製鉄炉(近江1型)	・南郷遺跡製鉄炉(近江1型)
古	・観音堂窯跡	・野路小野山遺跡A群7号炉 ・野路小野山遺跡A群8号炉 ・源内峠遺跡1号製鉄炉(近江3型) ・木瓜原遺跡製鉄炉SR-01下層(近江2型) ・木瓜原遺跡製鉄炉SR-01(近江2型)	・芋谷南遺跡製鉄炉(近江1型)
瀬田中II期	・木瓜原窯跡 ・上層第1地区須恵器窯下層 テラスⅢ整地層 ・工房第2地区テラス232 ・南郷4号窯跡	・野路小野山遺跡C群SX-01(近江3型) ・野路小野山遺跡B群1号炉(近江3型) ・野路小野山遺跡B群2号炉(近江3型)	
新	・南郷1号窯跡 ・(参考資料一寺谷窯跡)		・平津池ノ下遺跡製鉄炉
800			

表1 瀬田丘陵生産遺跡群の製鉄炉の編年

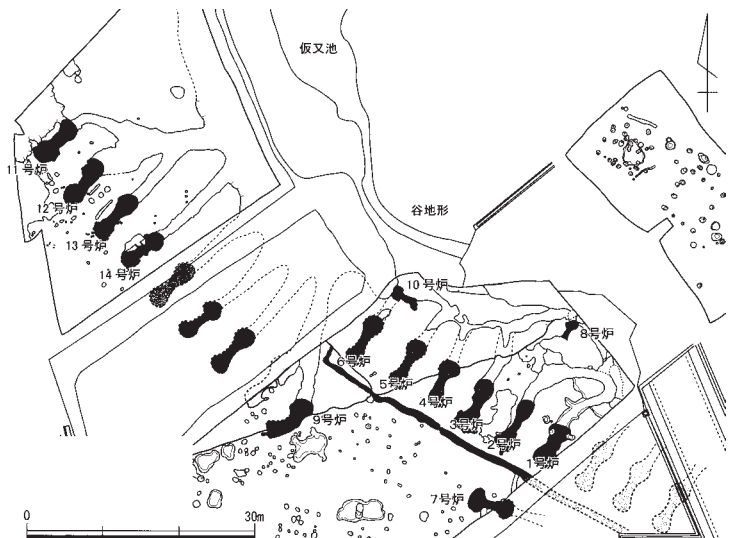


図4 野路小野山遺跡製鉄炉全体図 (1/1000)

末の土器が発見されている(青山・大道2019)。

木瓜原遺跡(草津市野路町 図3) 瀬田丘陵に立地する生産遺跡。約3万㎡の調査地において製鉄炉1基、須恵器窯、梵鐘鑄造遺構、木炭窯のほか、精練鍛冶、鍛錬鍛冶などの施設が発見され、総合的な生産遺跡であることが判明した。製鉄炉周辺には木炭置き場、鉄鉱石置き場、小割り場などがみられる。出土土器から8世紀前半の時期の操業が想定される(横田・大道ほか1996、大道・門脇1999)。

野路小野山遺跡(草津市野路町 図4) 瀬田丘陵の先端部、谷地形にはさまれた緩やかな斜面に位置する。これまでの調査で製鉄炉14基、精練鍛冶炉、管理棟、木炭窯などが発見されている。出土遺物やC14年代測定から、7世紀末から8世紀初頭と、8世紀中頃の2時期の操業が推定される。8世紀中頃には多数の炉が整然と並び、管理棟なども付属する全国的にも希有な工房となった。使用された鉄鉱石は非常に良質で、国家が関与した官営工房であると考えられる(大橋ほか1990、藤居2003、櫻井2007)。

北牧野製鉄A遺跡(高島市マキノ町牧野) 遺跡は牧野扇状地の南東に面した小川沿いの緩やかな斜面上にあり、1967年に発掘調査が実施された研究史に残る遺跡である。調査者の森浩一氏は、隣接する上開田集落の称念寺薬師如来に書かれた結縁人に漢人が含まれていることから、渡来系技術者の存在を指摘している。製鉄炉の炉形については炉底塊の検討から箱形炉であったことが判明した。操業時期は出土した須恵器片から8世紀と考えられる(森1971)。

キドラ遺跡(彦根市中山町) 霊山山系の西側裾部で、西側に開けたキドラ谷に位置する。平成8年(1996)に発掘調査が行われたが、製鉄関連遺構の大部分を工事影響範囲から外したため、製鉄炉と排滓場については一部調査を実施したのみである(本田1997)。

調査では製鉄関連遺物包含層が広がりを確認し、その一画で、大型で遺存状態が良好な炉壁が集中して出土した。また、調査区北端、丘陵南斜面裾部では、10～20cm大の黒色の角礫(脈石)が堆積する層(黒色角礫堆積層)を確認した。ここからは鉄鉱石が大量に出土した。さらに調査区から北に15mほどの、丘陵南斜面に9m×8mと12m×7mの不自然な窪地が2箇所存在している。黒色角礫堆積層は鉄鉱石の採掘時に、脈石や不純物の多い鉄鉱石が斜面に捨てられ堆積したもの、丘陵南斜面の不自然な窪地は鉄鉱石の採掘場と推定される。調査では奈良時代の須恵器・土師器が出土している。

平津池ノ下遺跡(大津市平津1丁目・千町1丁目) 瀬田川西岸の南郷丘陵に位置する。宅地造成に伴う調査で製鉄炉2基が縦に並んだ状態で検出された。当遺跡は数度にわたり調査が実施されており、7世紀後半の鍛冶炉や、広範囲から鉄鉱石(原礫も含む)が出土している。瀬田川に近く交通の要衝であり、製鉄のみならず、鉄器生産や鉄素材・鉄原料の流通を考える上でも重要な遺跡である(青山・大道2019)。

後山・畦倉遺跡(大津市北比良) 比良山地の麓で、比良川が形成した谷の入口にあたる。平成17年度(2005)に発掘調査が実施され、製鉄炉とこれに付属する不整形の排滓坑が検出された。調査範囲が狭いため断定はできないが、鉄滓が500kgほどしか出土していないことや、1時期・1基・1炉しか設営していない可能性があることから、県内では小規模な製鉄遺跡であると推定される。操業時期はC14年代測定値で8世紀中頃～9世紀の年代が得られている(瀬口ほか2007)。

上仰木遺跡(大津市仰木) 比叡山の東斜面、比叡山に源を発し、東流し琵琶湖に注ぐ、天神川上流域

の右岸側に所在する遺跡である。平成16年度～18年度(2004～2006)の発掘調査において、製鉄炉、窖窯状の木炭窯などの遺構を検出した。また須恵器窯から流出したとみられる9世紀後半から10世紀にかけての須恵器、10～11世紀の銅の铸造関係遺物が出土した。生産の経営母体としては、9世紀中葉以降に寺院としての体裁を整えていった延暦寺の造営との関係が指摘されている(畑中2010)。

(1) 分布

かつて近江国府のあった栗太郡から時計回りに滋賀県内の製鉄遺跡群を列挙すると、以下の通りとなる。

瀬田丘陵製鉄遺跡群(栗太郡)、田上山製鉄遺跡群(栗太郡)、南郷製鉄遺跡群(滋賀郡)、逢坂山製鉄遺跡群(山背国宇治郡・滋賀郡)、和邇製鉄遺跡群(滋賀郡)、比良山麓製鉄遺跡群(滋賀郡)、今津製鉄遺跡群(高島郡)、マキノ製鉄遺跡群(高島郡)、西浅井製鉄遺跡群(浅井郡)、伊香製鉄遺跡群(伊香郡)、犬上製鉄遺跡群(犬上郡)。

製鉄遺跡の発掘調査事例は、開発件数の多寡も考慮する必要はあるが、滋賀県南部の天津市・草津市域が多く、それ以外の地域では各製鉄遺跡群あたり1・2件程度である。

(2) 時期

発掘調査された滋賀県内の製鉄遺跡を、操業時期順に列挙すると、以下の通りとなる。

6世紀末から7世紀前半の古橋遺跡、7世紀中頃の南郷遺跡、7世紀後半の源内峠遺跡、東谷遺跡、7世紀末から8世紀初頭の芋谷南遺跡、木瓜原遺跡、野路小野山遺跡、8世紀の北牧野製鉄A遺跡、キドラ遺跡、8世紀中頃の野路小野山遺跡、8世紀中頃から9世紀の後山・畦倉遺跡、8世紀後半の平津池ノ下遺跡、9世紀後葉から10世紀の上仰木遺跡。

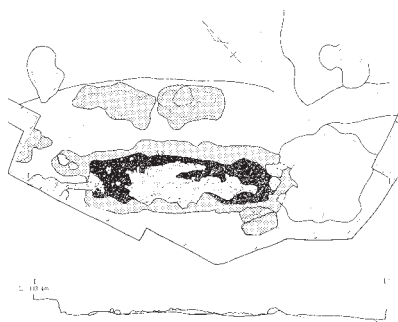
『日本書紀』天智天皇9年(670)「是歳造水碓而冶鉄」は、近江天津市周辺で「水碓」を用いた製鉄が行われていたことを示す資料で(中井2000)、7世紀後半の近江および京都府山科区の製鉄遺跡の様相・性格を考察する上で重要である。

(3) 原料

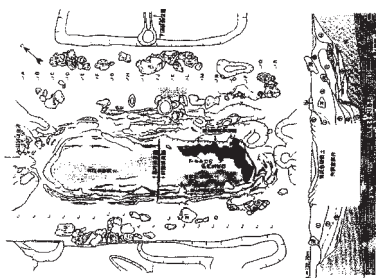
発掘調査された滋賀県内の製鉄遺跡では全て、製鉄原料に鉄鉱石を使用している。鉄鉱石は磁鉄鉱を主体としたものである。鉄滓の分析結果によると、リンとカルシウムの相関から、リン濃度の高い湖南地域、リンをほとんど含まない湖北地域に大きく分けられる。リンをほとんど含まない湖北でも古橋遺跡、北牧野製鉄A遺跡ではカルシウム濃度に違いがあり、両遺跡では異なった鉱床からなる鉄鉱石を使用していた可能性があること。木瓜原遺跡では湖南・湖北双方の特徴を有する鉄鉱石が搬入していることなどが判明している(高塚ほか1997)。一方、野路小野山遺跡から出土した鉄鉱石は良質で、湖北地域の特徴を有する。『続日本紀』大宝3年(703)9月辛卯条「賜四品志紀親王近江国鉄穴」、『続日本紀』天平14年(742)12月戊子条「令近江国司禁断有勢之家専貪鉄穴貧賤之民不得採用」、『続日本紀』天平宝字6年(762)2月甲戌条「賜大師藤原惠美朝臣押勝近江国浅井高嶋二郡鉄穴各一处」からは、鉄鉱石採掘場と考えられる「鉄穴」が、浅井・高嶋両郡を中心に近江に存在していたこと。製鉄の経営に政府・皇族・貴族・優勢の家・貧賤の民が関わり、製鉄の経営に相違があることがわかる(森1971)。

(4) 製鉄炉の形態(図5)

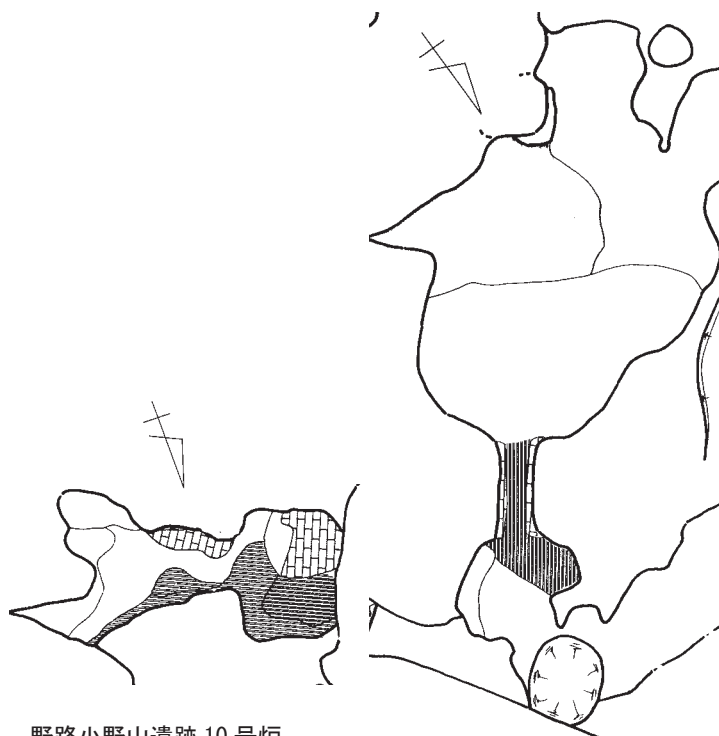
日本列島内で検出された製鉄炉は、箱形炉と竪形炉に大別されるが、滋賀県内で検出されている製鉄



源内峠遺跡 4 号炉
(源内峠型 近江 1 型 1/100)

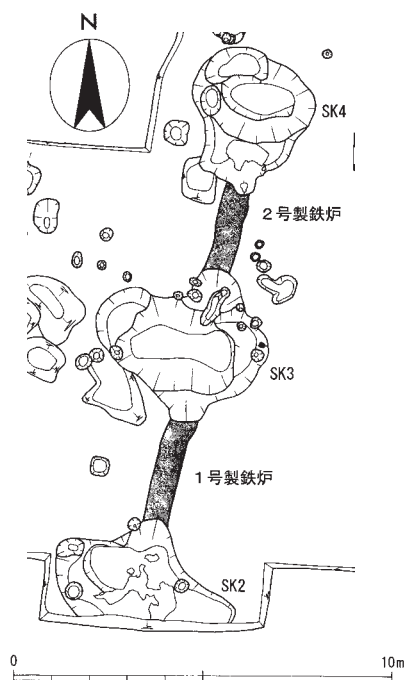


木瓜原遺跡製鉄炉 SR-01
(木瓜原型 近江 2 型 1/100)

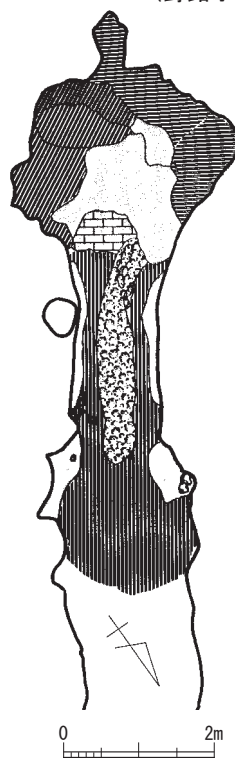


野路小野山遺跡 10 号炉
(野路小野山 10 号炉型 1/100)

野路小野山遺跡 8 号炉
(野路小野山 8 号炉型 1/100)



平津池ノ下遺跡 1 号・2 号製鉄炉
(平津池ノ下型 1/200)



野路小野山遺跡 2 号炉
(野路小野山型 近江 3 型 1/100)

図 5 滋賀県の製鉄炉

炉は、全て箱形炉である。滋賀県内の古代の製鉄炉の形態分類については2007年・2014年(大道2007・2014 b)に、さらに、日本列島内の8世紀中頃までの箱形炉の形態分類については2014年・2020年に行った(大道2014 a・2020)。以下では2014年に行った製鉄炉の型式分類を踏襲した形で、発掘調査された滋賀県内の製鉄炉の形態分類を行い、今後、製鉄遺跡を検討するための基準としたい。

源内峠型(近江1型) 2014年に行った形態分類では源内峠型(E1型)を、横置きで、炉長軸内寸が2m前後の規模をもち、平面形がやや細長い長方形を呈する箱形炉とした。源内峠型には、炉部分の両小口側に、土坑ないし排滓痕跡を広く遺す、鉄アレイ型の掘形をとまなう箱形炉と、幅が一定の細長い溝の中に炉の地下構造を造り、排滓は両小口から溝の中に行う形態の箱形炉の2種類があることから(村上恭2007)、前者を源内峠型、後者を遠所型と新たに型式設定を行った。

源内峠型(近江1型)は、古橋遺跡(6世紀末～7世紀前半)、南郷遺跡(7世紀中頃)、源内峠遺跡(2・3・4号炉、7世紀後半)、芋谷南遺跡(7世紀末～8世紀初頭)、野路小野山遺跡(7号炉、7世紀末～8世紀初頭)、後山・畦倉遺跡(8世紀中頃～9世紀)、上仰木遺跡(9世紀後半～10世紀)で検出されている。なお、遠所型は滋賀県内では検出されていない。

野路小野山10号炉型 製鉄炉の長軸が等高線に平行する「横置き」で、炉長軸内寸が50cm程、地山に粘土を直接貼る。または数cmの整地土を貼り、その上を炉底とする箱形炉である。地下構造の掘形内に炭化物の充填や、礫敷きを行わない。野路小野山遺跡(10号炉、7世紀末～8世紀初頭)で検出されている。

野路小野山8号炉型 製鉄炉の長軸が等高線に直交する「縦置き」で、炉長軸内寸が100cm程の箱形炉である。野路小野山遺跡(8号炉、7世紀末～8世紀初頭)で検出されている。

木瓜原型(近江2型) 丘陵尾根先端に立地し、炉の長軸が丘陵稜線に直交する形で設置され、炉長軸内寸が150cmから200cm程の箱形炉である。木瓜原遺跡(図3、7世紀末～8世紀初頭)で検出されている。

野路小野山型(近江3型)・平津池ノ下型 2014年に行った形態分類では野路小野山型(E3型)を、縦置きで、炉長軸内寸が100cmから200cm程、地下構造は掘方内に炭化物を充填するものと、礫敷きのものがあり、炉の両短辺部に排滓坑を有し、谷側の排滓坑からは溝が、斜面下に向かうように延びるといった形態的特徴をもつ箱形炉とした。2014年の形態分類は8世紀中頃までの製鉄炉を検討したものであったが、8世紀後半以降、製鉄炉の形態は同様でありながら、谷側の排滓坑に溝が取り付つかない箱形炉が出現することから、前者を野路小野山型、後者を平津池ノ下型と新たに型式設定を行った。

野路小野山型(近江3型)は、源内峠遺跡(1号製鉄炉、7世紀後半)、野路小野山遺跡(1～6・11～14号炉、8世紀中頃)で検出されている。また、平津池ノ下型は平津池ノ下遺跡(1・2号炉、8世紀後半)で検出されている。

3. 非鉄金属の溶解炉

鍛冶屋敷遺跡は滋賀県甲賀市信楽町黄瀬に所在し、甲賀寺推定地の史跡紫香楽宮跡内裏野地区から北東約450mの位置にある。2002年度の発掘調査で、送風施設、溶解関係遺構、土坑を一つの単位とする鑄造ユニットを16セット検出した。鑄造ユニットは規則正しく配置されており、このような事例は非常に珍しい。遺跡の立地や時期から、鍛冶屋敷遺跡は紫香楽での大仏造営に関係する遺跡である可能性

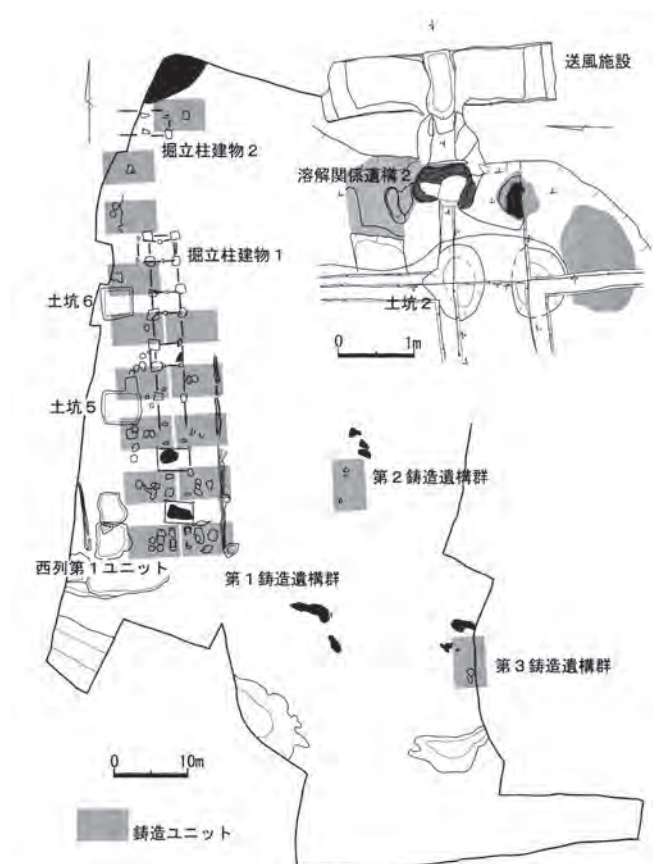


図 6 鍛冶屋敷遺跡主要遺構図と
第 1 鑄造遺構群西列第 1 ユニット (1/100)

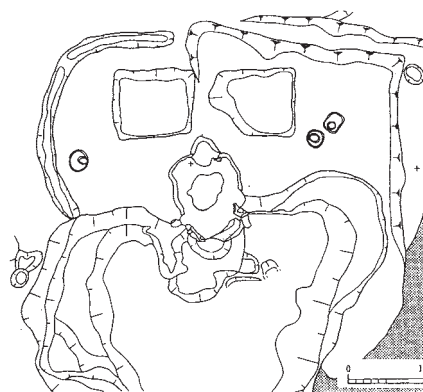


図 7 柏木遺跡 3 号製鉄炉 (1/100)

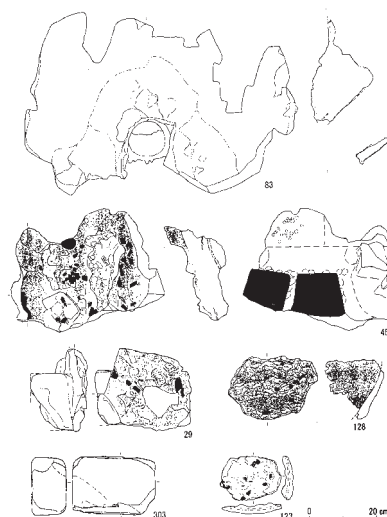


図 8 鍛冶屋敷遺跡出土炉壁

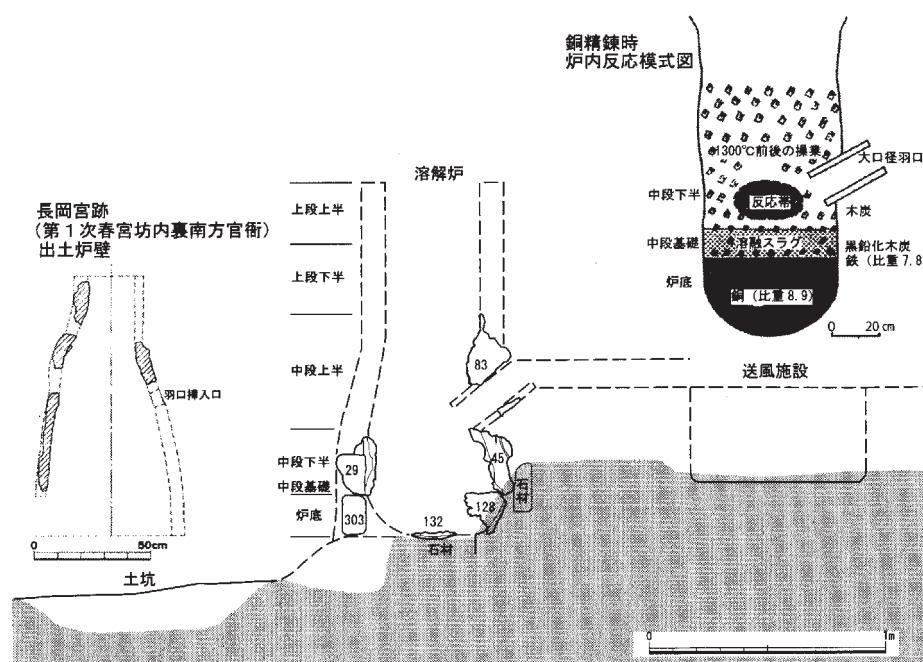


図 9 復元した溶解炉と関連図

が高い。これら鑄造ユニットでは、溶解炉を用いた。銅精錬や、大量の銅素材を扱う鑄造作業が行われたものと考えられる(大道・畑中ほか2006)。

検出された鑄造ユニットは、送風施設と溶解関係遺構については後世の削平を受けており、溶解関係遺構については操業後の破壊により遺存状況は良好ではなかった。唯一、第1鑄造遺構群西列第1ユニットで検出した送風施設において、踏みフイゴ土坑の最深部を確定することができ、また、溶解関係遺構も遺存状況が比較的良好であった。そこで、第1鑄造遺構群西列第1ユニットを復元モデルとし、出土した炉壁等などから、溶解炉と付随する施設の復元案を提示した(図6・8・9、大道2010)。

4. 滋賀県からみた福島県の製鉄技術史研究の2つの課題

(1) 製鉄導入期の箱形炉の技術系譜

滋賀県における箱形炉の変遷を時期別に概観すると、以下の通りとなる(表1)。

6世紀末～7世紀後半 古橋遺跡、南郷遺跡、源内峠遺跡で源内峠型(近江1型)が検出されている。特に、源内峠遺跡では、地下構造のないものから、礫敷きのものへと発展的な変遷をすることと、排出された製錬滓の量から操業が大規模であったことを確認できる。源内峠型(近江1型)の国家標準型の整備、操業技術や作法等の標準化への過程をみてとれる。

7世紀末～8世紀初頭 芋谷南遺跡では在来型の源内峠型(近江1型)が検出されている。しかし、木瓜原遺跡では、源内峠型(近江1型)を丘陵尾根先端に設置するという発展の中で、新たに木瓜原型(近江2型)が開発される。また、源内峠遺跡では源内峠型(近江1型)を縦置きに設置するという発展の中で、野路小野山型(近江3型)が開発される。さらに、野路小野山遺跡では近江以外の系譜を引く型式の箱形炉(野路小野山10号炉型・野路小野山8号炉型)が導入され、新たな国家標準型の箱形炉の開発が模索される。

8世紀中頃 野路小野山遺跡では野路小野山型(近江3型)を9基並列させ同時に稼働させた、ふたつのグループが存在していた可能性が高い。ここでの野路小野山型(近江3型)は、7世紀末から8世紀初頭における同遺跡での試行錯誤の成果の完成形とみたい。野路小野山遺跡では横口付木炭窯と登り窯式木炭窯、管理棟と考えられている大型掘立柱建物なども検出されている。古代の国内最大規模を誇る製鉄遺跡と評価でき、近江国府や紫香楽宮造営との関連を指摘できる。

8世紀後半～ 発掘調査事例が減少する。後山・畦倉遺跡、上仰木遺跡で源内峠型(近江1型)、平津池ノ下遺跡で平津池ノ下型の箱形炉が検出されている。

福島県の箱形炉の変遷過程と滋賀県の箱形炉の変遷過程を比較し、福島県の製鉄技術の源流は滋賀県にあるのか否か、滋賀県以外の系譜とみられる製鉄技術の痕跡や福島県独自の炉の構造がみられるのか、福島県への製鉄技術の導入には、鉄鉱石を原料とする滋賀県の製鉄技術がそのままたらされたのか、あるいは砂鉄製錬に熟練した他地域の技術者が関与しながら、福島県の製鉄技術が開発されたのか等の課題について考えてみたい。

(2) 半地下式竪形炉の技術系譜(図6・7)

筆者はかつて、半地下式竪形炉の送風関連遺構である踏み畚と、踏み鞆に伴う大口径羽口について、出現期である8世紀前半の半地下式竪形炉と、前章で述べた鍛冶屋敷遺跡で検出した遺構・遺物の検討

から溶解炉の復元案を中心に、8世紀代の半地下式竪形炉以外の事例とを比較・検討した。その結果、半地下式竪形炉と踏みファイゴ土坑までの距離と、溶解炉と踏みファイゴ土坑までの距離が一致する点、両者の踏みファイゴ土坑の規模が一致する点や、直線的形状の大口径羽口の装着方法が類似している点などを考慮し、半地下式竪形炉と溶解炉には形態的・技術的類似点が多く、系譜を追うことが可能であると判断した(大道2003)。

この判断に対して、半地下式竪形炉は、韓国の三国時代の円形炉から新たに導入された技術であるとする意見や(穴澤2018)、半地下式竪形炉の成立期が8世紀前半に対して、検出されている溶解炉が8世紀中頃であり、「時間的接点に課題がある」(神野2003)と指摘がある。

しかし、前者に対しては、韓国の三国時代の円形炉では「①踏みファイゴの遺構が検出されていない、②自立炉の構造が認められる、③湾曲した大口径羽口を用いている」など半地下式竪形炉との形態的特徴の差違。韓国の円形炉では鉄鉱石を使用しているのに対し、半地下式竪形炉は高チタン砂鉄を使用しているという製鉄原料の差違。後者に対しては、近年、滋賀県草津市の榊差遺跡・黒土遺跡で鑄造用溶解炉の炉壁片や大口径羽口が出土し、その操業時期が8世紀前葉にまで遡る可能性が高いこと(田中雪2019)などから、鑄造用溶解炉の技術が製鉄炉に応用され、半地下式竪形炉が東日本や南東北で開発されたとする見解を補強する考古資料が増えてきている。

福島の出現期の半地下式竪形炉はどのような経緯で開発されたのかという課題について、鍛冶屋敷遺跡をはじめとする、滋賀県で検出されている鑄造用溶解炉との比較・検討を行い、考察していきたい。

引用文献

- 青山均・大道和人2019『埋蔵文化財発掘調査集報Ⅷ 平津池ノ下遺跡 芋谷南遺跡』大津市教育委員会
- 石川俊秀・相沢清利1998「柏木遺跡」『昭和62年度発掘調査報告書』多賀城市埋蔵文化財センター
- 石川俊秀・相沢清利ほか1999『柏木遺跡Ⅱ—古代製鉄炉の発掘調査報告書—』多賀城市埋蔵文化財センター
- 穴澤義功2018「東日本を中心とした古代の鉄づくりの歴史とその背景」『那須のくろがね—集落の開発と鉄生産』大田原市なす風土記の丘湯津上資料館
- 大澤正己2009「古代鉄を巡る我が想い〜初期鉄器文化と鉄の生い立ち(酸化銅鉱の製錬副産物の可能性)〜」『長野県考古学会誌』129号 長野県考古学会
- 大橋信弥ほか1990『野路小野山遺跡発掘調査報告書』滋賀県教育委員会・草津市教育委員会・(財)滋賀県文化財保護協会
- 大道和人・門脇秀典1999「出土鉄鉱石に関する分割工程と粒度からの検討—木瓜原遺跡 SR-02の事例を中心に—」『紀要』第12号 (財)滋賀県文化財保護協会
- 大道和人ほか2001『源内峠遺跡』滋賀県教育委員会・(財)滋賀県文化財保護協会
- 大道和人2003「半地下式竪形炉の系譜」『同志社大学考古学シリーズ 考古学に学ぶ(Ⅱ)』同志社大学考古学シリーズ刊行会
- 大道和人ほか2004『東谷遺跡』滋賀県教育委員会・(財)滋賀県文化財保護協会
- 大道和人・畑中英二ほか2006『鍛冶屋敷遺跡』滋賀県教育委員会
- 大道和人2007「製鉄炉の形態からみた瀬田丘陵生産遺跡群の鉄生産」『同志社大学考古学シリーズⅨ 考古学に学ぶ(Ⅲ) 森浩一先生傘寿記念献呈論集』同志社大学考古学シリーズ刊行会
- 大道和人2010「古代の溶解炉の復元—鍛冶屋敷遺跡の事例から—」『同志社大学考古学シリーズⅩ 考古学は何を語るか』同志社大学考古学シリーズ刊行会
- 大道和人2014 a 「日本古代鉄生産の開始と展開—7世紀の箱形炉を中心に—」『たたら研究』第53号 たたら研究会
- 大道和人2014 b 「古代近江の鉄生産—技術系譜と背景—」『栗東歴史民俗博物館紀要』第20号 栗東歴史民俗博物館
- 大道和人2020「製鉄遺跡からみた日本列島各地の鉄生産の様相 近畿地方」『島根県古代文化センター研究論集第24集 たたら製

鉄の成立過程』島根県古代文化センター

神野信 2005 「房総半島における古代製錬遺跡」『研究紀要 24－30 周年記念論集』（財）千葉県文化財センター

櫻井拓馬 2007 『野路小野山製鉄遺跡範囲確認発掘調査報告書』草津市教育委員会

瀬口眞司ほか 2007 『後山・畦倉遺跡』滋賀県教育委員会・（財）滋賀県文化財保護協会

高塚秀治・片桐麻希子・斉藤努 1997 「古代近江製鉄関連遺物の自然科学的研究」『考古学と自然科学』第 35 号 日本文化財学会

田中勝広ほか 1988 『南郷遺跡発掘調査報告書』滋賀県教育委員会・（財）滋賀県文化財保護協会

田中雪樹野 2019 「滋賀県草津市櫛差遺跡の古代鋳物生産」『鋳造遺跡研究資料 2019』鋳造遺跡研究会

中井正幸 2000 「山階製鉄考－『日本書紀』天智九年「是歳造水碓而冶鉄」に関する一考察－」たたら研究会編『製鉄史論文集

たたら研究会創立四〇周年記念』

畑中英二 2010 『上仰木遺跡』滋賀県教育委員会・（財）滋賀県文化財保護協会

藤居朗 2003 『野路小野山製鉄遺跡発掘調査報告書』草津市教育委員会

本田修平 1997 『キドラ遺跡』彦根市教育委員会

丸山竜平・濱修・喜多貞裕 1986 「滋賀県下における製鉄遺跡の諸問題」『考古学雑誌』第 72 巻第 2 号 日本考古学会

村上恭通 2007 『古代国家成立過程と鉄器生産』青木書店

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』同志社大学文学部文化学科

山中章 1984 「1 長岡京第 127 次(7 A N 15 E－7 地区)～朝堂院南方、乙訓郡衙～発掘調査概要」『向日市埋蔵文化財調査報告書第 13 集』向日市教育委員会

横田洋三・大道和人ほか 1996 『木瓜原遺跡』滋賀県教育委員会・（財）滋賀県文化財保護協会