

踏みふいご付箱形炉の成立と展開

門脇 秀典

要旨

踏みふいご付箱形炉は、福島県相双地方で成立した製鉄炉形態として知られ、炉壁に羽口を装着することとともに8～9世紀代に本地方の技術基盤として定着したと考えられる。本論ではこの時期の箱形炉を「大船廻A型」・「鳥打沢A型」「向田G型」に形態分類し、それぞれの技術系譜を考察した。また、羽口付炉壁の形態変化は、踏みふいごの大きさや設置の高さと連動しており、これらの変化が高チタン砂鉄を用いた銑鉄生産への技術適応の結果であったと推察した。

キーワード

踏みふいご 箱形炉 壓形炉 製鉄炉編年 炉基礎構造 羽口付炉壁 装着角度 銑鉄生産

1 はじめに

横大道製鉄遺跡の国指定史跡にむけた調査を行っていた2009年頃、文化庁の調査官と何人かの福島県の研究者で、遺跡に隣接する山林を見て回ったことがある。製鉄炉の作業場と予測される窪地や廃滓場に散見する炉壁や羽口を見て、「この立地と作業場の規模からみて、9世紀代だろう」「おそらくこの位置に踏みふいごと箱形炉があるだろう」「この羽口なら9世紀中葉以降ではないか」「この鉄滓なら壓形炉だろう」と私たちが議論するのを、調査官に驚かれたことがある。「確認調査もしていないのに、ここまで製鉄遺跡のことがわかるのか」と。

この調査の約2年前、表土掘削を終えたばかりの横大道製鉄遺跡では、円墳のような鉄滓の山が姿を現しつつあった。それを前に、「この遺構が形成されるにあたり、何十回、もしかしたら何百回と製鉄炉が築かれ、どれくらいの年月を操業したのであろうか」と想いを巡らせたものである。

一方で1トン程度の排滓量で、数回の操業で廃棄したのではないかと考えられる製鉄炉もある。両者の違いは技術的な差であるのだろうか。もしかしたら多くの操業失敗を克服して、巨大な廃滓場を有する製鉄炉が造営され、長期間にわたって操業がなされたのではないだろうか。そして、その期間のなかで技術が固定することなく、変化し続けた可能性はないだろうか。

製鉄炉の技術変化や築炉設計を考える上で最も重要なことは、出土した炉壁(遺物)を製鉄炉(遺構)の一部としてとらえることである。炉壁に羽口が装着

され、それが何点か接合することで、送風角度や製鉄炉の規模や炉高など、製鉄炉を立体物として復元することが可能となる。

本論では、箱形炉の送風装置として踏みふいごが登場することにより、どのように技術変化が生まれ、炉形態が変わったのかを考えてみることにした。また、炉壁に装着される羽口の角度や高さ、芯々間距離などに着目し、その形態変化を統計的に考察することとした。

2 金沢地区製鉄炉編年

福島県相双地方の製鉄炉の編年については1980～90年代に発掘調査が行われた武井地区製鉄遺跡群(新地町)、大坪地区製鉄遺跡群(相馬市)、金沢地区製鉄遺跡群(南相馬市)、大廻遺跡(南相馬市)を中心に研究が進展した。その多くは、それぞれの報告書の考察編で詳細が述べられ、それを体系化する形で2005年に能登谷宣康が『福島考古』第46号に編年案(金沢地区製鉄炉編年Ⅰ～Ⅶ期)をまとめている(能登谷2005)。

また、新地町・相馬市の武井・大坪地区製鉄遺跡群でも編年案が示されており、金沢地区製鉄遺跡群の編年案との並行関係が明確である(表1)。このことから本論の年代観は、金沢地区製鉄炉編年を基準に記述を進める。以下、簡単にその内容を振り返っておく。

I期(7世紀中～後葉) この時期の製鉄炉は、丘陵頂部に立地する両側排滓の長方形箱形炉(以下、箱形炉と略す)が主体である。炉本体部は丘陵頂部を横断するように設置され、その両側には方形の作

表1 製鉄炉編年の対比

年 代	金沢地区製鉄遺跡群・大迫遺跡	武井・大坪地区 製鉄遺跡群
7世紀中葉～後葉	I期	第I期
7世紀末葉～8世紀初頭	II期	第II期
8世紀前葉～後葉	III期	
8世紀末葉～9世紀前葉	IV期	第III期
9世紀中葉～後葉	V期	第IV期
9世紀末葉～10世紀前葉	VI・VII期	第V期

業場・排滓溝が付属している。当該期に操業した製鉄炉は、武井・金沢地区製鉄遺跡群などを合わせ、26基を数える。両側排滓の箱形炉は、滋賀県源内峠遺跡や群馬県三ヶ尻西遺跡などで発見されている。これらの遺跡間で製鉄技術が、極めて短期間に伝播したことが指摘されている(穴澤1994ほか)。

Ⅱ期(7世紀末葉～8世紀初頭) この時期の製鉄炉は、丘陵斜面に立地する片側排滓の箱形炉である。炉掘形の主軸は、等高線に直交するように設置される縦置炉が大半である。炉掘形の長辺側は平坦に整地され、炉の両側に送風装置が設置されていたものと推察される。作業場には大小のピットが付属するものがある。この時期の製鉄炉から送風用に羽口が登場する。この箱形炉の形態は千葉県域に類例があり、共伴土器のなかには武藏系・常総系土器が含まれている。関東地方の影響を受けて鉄生産が展開した時期と考えられている(安田1995)。この時期の製鉄炉は、武井・金沢地区製鉄遺跡群などを合わせ、8基を数える。

Ⅲ期(8世紀前葉～後葉) この時期の箱形炉は、立地条件・炉掘形の形態などがⅡ期と同じであるが、炉掘形内の山側に付属していたピットが消失する。この時期の製鉄炉の炉底は、地山に粘土を盛り上げて基壇状に構築されている。この時期の箱形炉には、背部には踏みふいごが付設されず、炉の側面側から羽口を用いて、送風を行っていたとみられる。この時期に特筆すべき点としては、8世紀中葉頃に縦形炉が初めて登場することである。炉背部に踏みふいごが付設された縦形炉の出現は、送風技術の上で革新的であったとみられる。この時期に操業した製鉄炉は、相双地方全体で箱形炉が49基、縦形炉が30基を数える。

Ⅳ期(8世紀末葉～9世紀前葉) この時期の製鉄炉の最大の特徴は、縦形炉に付設された踏みふいごが、箱形炉の送風装置として採用されることであ

る。この技術融合はおそらく金沢地区を中心とした製鉄遺跡群で達成されたとみられ、独自の類型として成立する。その後、Ⅳ期からV期にかけて、方形堅穴状の作業場を有する「鳥打沢A型箱形炉」(能登谷2005)へと進化する。製鉄炉1基当たりの生産量も飛躍的に増大している。この時期に操業した製鉄炉は、相双地方全体で箱形炉が75基、縦形炉が9基を数える。

Ⅴ期(9世紀中葉～後葉) この時期の製鉄炉はⅣ期のものと基本形態は変わらないが、炉底面の下部に基礎構造を有するものが特徴的である。このなかで炉基礎構造の長軸が3mを超えるものも出現する。基礎構造土は木炭粒を多量に含む土が充填される。この時期の金沢地区製鉄遺跡群では、徐々に鉄生産の規模が縮小する。おそらく木炭資源の枯渇が、遺跡群の衰退を招いたと考えられ、この時期を最後に金沢地区製鉄遺跡群では鉄生産は行われていない。この時期に操業した製鉄炉は、相双地方全体で箱形炉が79基を数える。

VI・VII期(9世紀末葉～10世紀) VI期の箱形炉の形態は、金沢地区製鉄炉編年Ⅳ・V期に特徴的であった炉背部の踏みふいごの掘形が消滅し、炉の両側面側からの送風に変化する。炉底面の下部に深さが50cmを超える基礎構造の掘形を有し、木炭混じりの土が充填されている。また、天化沢A遺跡などでは、VII期の円筒形自立炉が多数見つかっている。同17号製鉄炉の炉壁接合資料によれば、装着される羽口の数は3本と少なく、一方に排滓孔を設けている。円筒形自立炉は羽口を用いる点や送風方向、炉壁の構築方法など箱形炉の技術系譜の上に成立したものだと考えている。この時期に操業した製鉄炉は、相双・いわき地方全体で29基を数える。

3 踏みふいご導入前夜

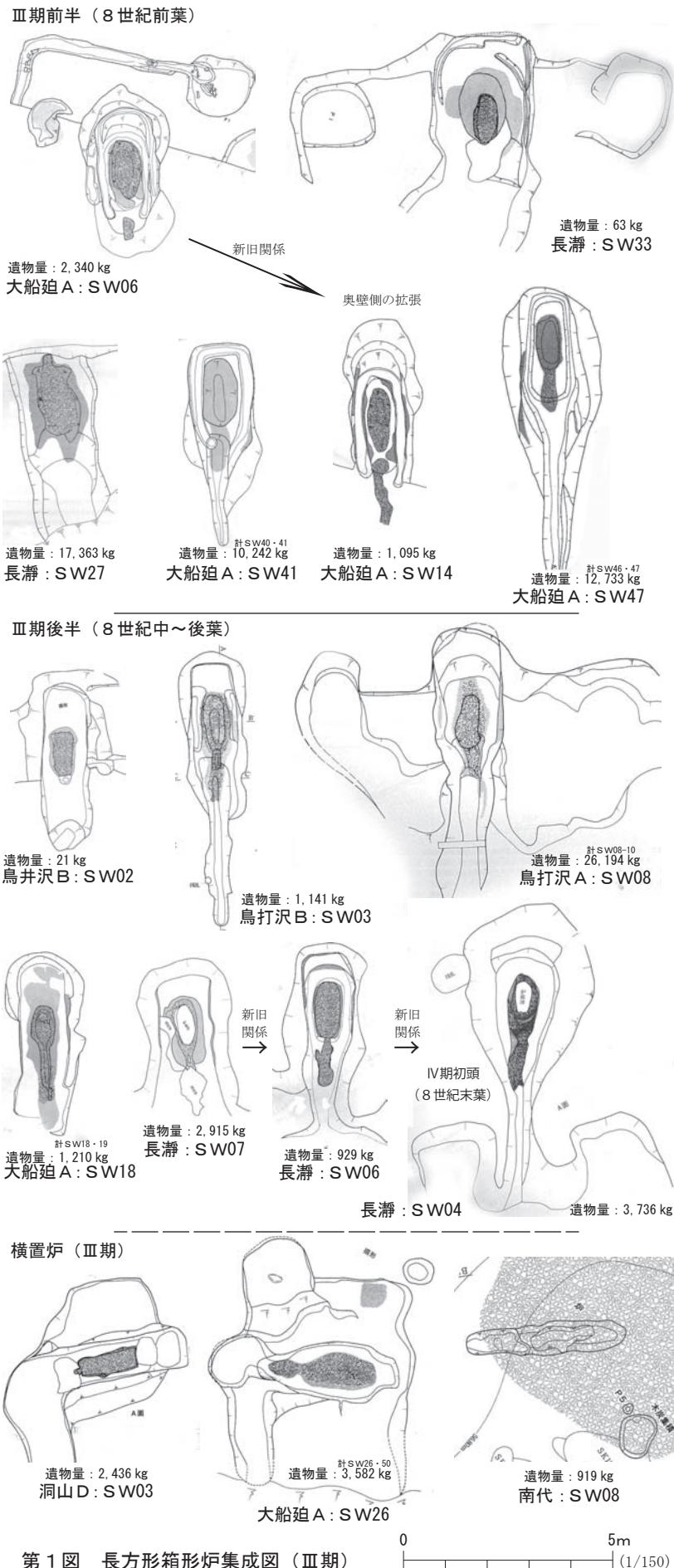
福島県相双地方の古代製鉄炉を特徴づけるものとして、箱形炉の送風装置として踏みふいごが導入されることにある。これが最も進化した形として、方形堅穴状の作業場を有する「鳥打沢A型箱形炉」が金沢地区製鉄炉編年Ⅳ期に登場する。この成立をめぐって、やや遡ってⅢ期の製鉄炉から見ていきたい。

Ⅲ期の箱形炉は縦置炉が大半で、斜面の等高線と並行して設置される横置炉は少数である。縦置炉の

炉掘形は斜面下方が開口する長方形を呈する。炉底は掘形中央付近に設けられ、地山に粘土(敷設土)を盛り上げて基壇状に構築されている。平滑な炉底溝をそのまま残して、その上に粘土を貼って新しい炉底とする場合もある。この場合は、製鉄操業末期に鉄滓をきれいに出し切る、もしくは鉄滓だけをきれいに溜めるような特殊な技術が想定されるが、それがどのような技術であったのかは、解明できていはない。

第1図にⅢ期の箱形炉を集成し、共伴土器を基準にⅢ期前半(8世紀前葉)と後半(8世紀中～後葉)に分けて示した。新旧関係のある大船廻A遺跡6号製鉄炉から14号製鉄炉の炉形態の変化は、炉掘形の奥壁(斜面上方)側が拡張されている点にある。さらに、Ⅲ期後半の箱形炉では、炉の中心が廃滓場寄りに移動し、奥壁側が拡張している。この奥壁側の空間には鉄滓が流れた痕跡があり(長瀬遺跡27号製鉄炉・鳥打沢A遺跡8号製鉄炉・大船廻A遺跡18号製鉄炉)、斜面下方への片側排溝を主体としながら、補助的に奥壁側にも排溝孔が設けられていた可能性が高い。これは操業末期に鉄滓をきれいに出し切る工夫の一つだと考えている。

Ⅲ期の箱形炉の送風は常に炉の両側面側からであり、炉掘形の奥壁側は補助的に排溝を行うための空間として確保されている。この点、IV・V期の踏みふいご付箱形炉は奥壁(背部)側への排溝がまったくできない構造となっており、片側排溝しかできないデメリットを抱えることになる。



第1図 長方形箱形炉集成図（Ⅲ期）

踏みふいご付箱形炉の成立と展開

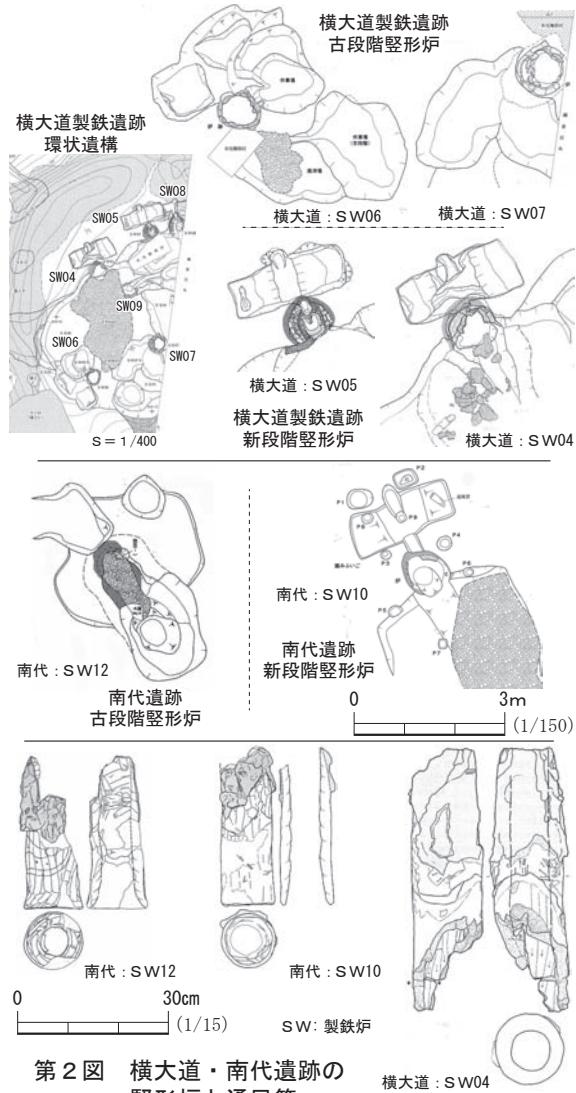
また、Ⅲ期の箱形炉の炉底底部にはカーボンベットとよばれる基礎構造がなく、基本的に粘土(敷設土)を積み重ねて基壇状の炉底を築いている。このタイプの炉底は、横置炉ではⅠ期、縦置炉ではⅡ期に出現し、ともにⅣ期まで続く。したがってこの炉底構造に着目した場合、Ⅲ期後半の鳥打沢A遺跡8~10号製鉄炉や長瀬遺跡7号製鉄炉からⅣ期初頭の踏みふいごのない長瀬遺跡4号製鉄炉までは技術的な連続性を示唆する。さらに、この系譜の上に後述する「大船廻A型箱形炉」が成立したと考えても、大きな矛盾はないだろう。

一方、踏みふいごは、8世紀中葉頃に半地下式堅形炉(以下、堅形炉)の導入とともに相双地方にもたらされた技術である。起源については、8世紀前葉の千葉・埼玉県域の製鉄遺跡とみるか(穴澤1994ほか)、8世紀代の都城周辺で導入された鋳造用溶解炉の技術が8世紀中葉頃に堅形炉に応用されたと考えるかで(大道2003)、見解が分かれる。

8世紀中葉頃に製鉄操業が開始したと考えている横大道製鉄遺跡からは、6基の堅形炉が発見され、この時期の本地方への技術導入のあり方を知る上で重要である。同遺跡には典型的な踏みふいごを有する堅形炉(4・5・8号製鉄炉)が成立する以前に、明確な踏みふいごの掘形がなく、想定される送風装置と炉との高低差が顕著ではない堅形炉がある(6・7・9号製鉄炉)。また、6基の堅形炉では、それぞれ炉壁の構築方法や胎土が異なり、最終的には、①炉壁粘土に大量のスサを混ぜること、②形の整った踏みふいごを設置し、炉底との間に高低差を設けること、③大口径の通風管を用いることの3点にたどり着き、技術が確立したと考えられる。

また、南代遺跡には典型的な堅形炉(10号製鉄炉)とは別に、踏みふいごの掘形がない堅形炉(12号製鉄炉)が発見されており、小口径の通風管を伴っている。10号製鉄炉と12号製鉄炉の新旧関係はわからないが、横大道製鉄遺跡例を参考にすれば、12号製鉄炉が先行形態と考えられなくもない。

したがって相双地方の堅形炉は、踏みふいごの設置位置が低い鋳造用溶解炉の技術を試験的に導入しながら、最終的には踏みふいごと炉底との間に高低差がある送風技術を関東地方から取り入れたと考えるべきだろう。このような先行形態の堅形炉が金沢



第2図 横大道・南代遺跡の堅形炉と通風管

地区や武井地区などの一大生産拠点ではなく、そこから離れた製鉄遺跡で発見されていることは重要なことである。他地域からの新技術が、郡衙周辺などの中核地域に先行して伝播したのではなく、相双地方にいくつか設けられた拠点的製鉄遺跡において、多元的に受容が行われた可能性を示唆する。

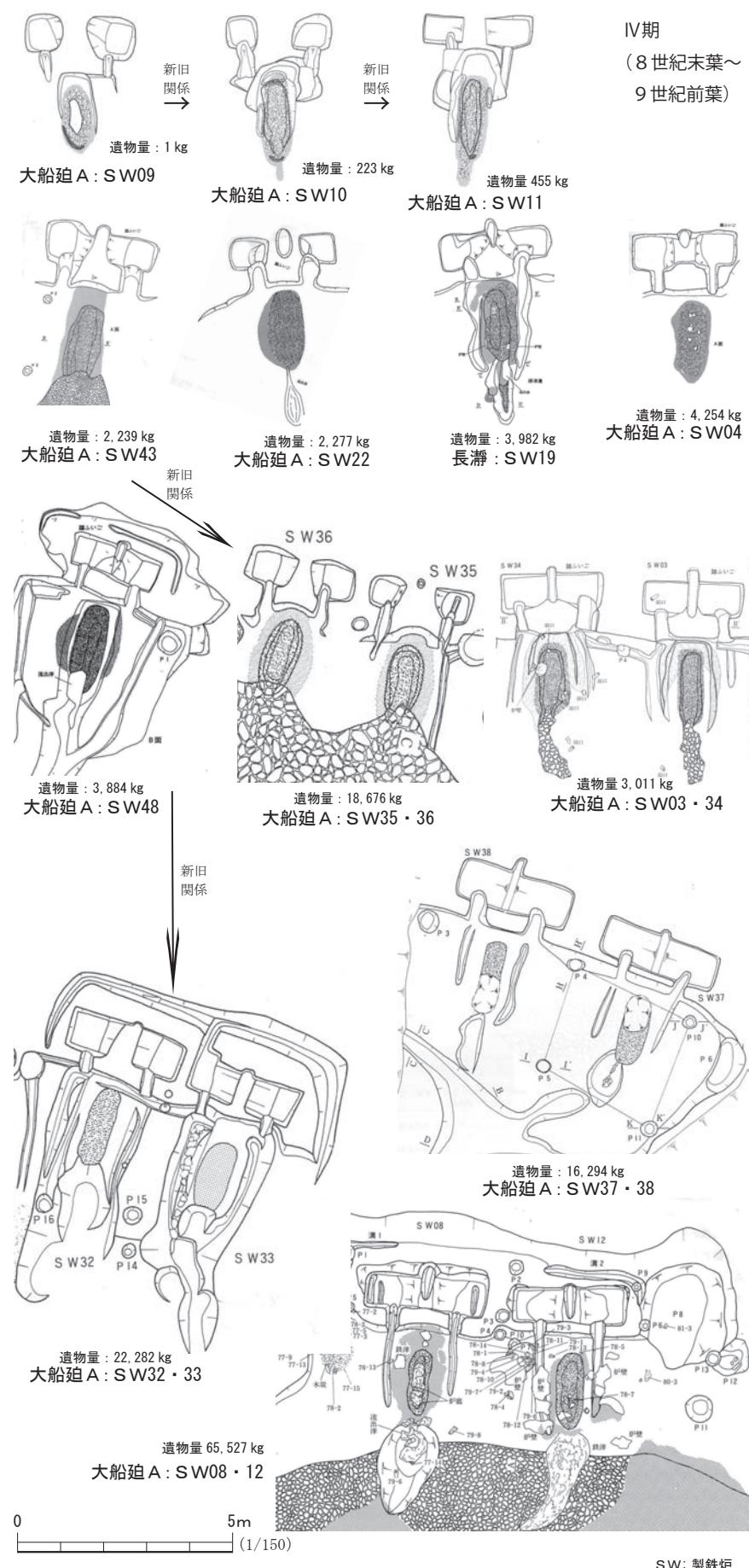
4 踏みふいご付箱形炉の成立

堅形炉で開発された踏みふいごによる送風技術が、8世紀末葉頃に箱形炉に採用されることにより、相双地方の鉄生産量が飛躍的に増大したことは、ほぼ定説となっている(飯村2005ほか)。本項では箱形炉へ踏みふいごが導入されるにあたり、それまでにあった技術が変容し、新技術がどのように融合したかを考察する。このため、Ⅳ期の箱形炉の形態を3つのタイプに分け、それぞれの技術変遷と連鎖の過程を見ていきたい。

(1) 大船廻 A型箱形炉
II期からIII期にかけて、技術が確立したと考えられる基礎構造がない箱形炉は、基壇タイプの炉底を有し、そこにIV期になり、新たに踏みふいごが取りつく。排滓方向は1方向で、縦置炉の一類型と考えられる。いうなれば、本タイプの箱形炉は、本地域の伝統的な技術基盤の上に、豊形炉系の送風技術が融合した形といえる。

IV期における本タイプの箱形炉は、作業空間の拡幅と遺物量の増加を指標に変遷を考えると合理的に説明できる。ほとんどの箱形炉の周辺は作業空間として平坦に整えられているが、その大きさはIV期では初期のものほど小規模で簡易的である。共伴土器からIV期初頭と考えられる大船廻A遺跡9~11号製鉄炉は、出土遺物の量が1kg→223kg→455kgと増加していることから、試験操業を繰り返しながら技術導入をはかったことがうかがえる。10・11号製鉄炉では踏みふいごと箱形炉との間に空間を設け、奥壁側からの排滓を準備している点もIII期の箱形炉の伝統を踏襲しているように考えられ、その意味では前時代的な在り方をみせる。

箱形炉周辺の作業空間が簡易的なもの(大船廻A遺跡4・22・43号製鉄炉など)は、丘陵斜面に1基単体で設置されるものが多く、遺物(排滓)量も5トン未満である。



第3図 長方形箱形炉集成図 (IV期・「大船廻 A型」基礎構造がないタイプ)

これが踏みふいごと箱形炉を明確に区分し、方形堅穴状に作業空間を整地し、2基一対で箱形炉を設置するようになると、遺物量が飛躍的に増し、大船廻A遺跡8・12号製鉄炉では65.5トンと当地方最大級の鉄滓の山を築く。製鉄炉の操業期間を正確に導き出すことはできないが、9世紀前葉の比較的長期間にわたって操業していたことは想定できよう。

IV期の基礎構造のない踏みふいご付箱形炉は、そのほとんどが金沢地区製鉄遺跡群のなかでも大船廻A遺跡という最も海岸に近いエリアに集まっている。おそらく同じ技術者集団が長期間にわたって操業を繰り返し、鉄生産をおこなった結果であろう。よってこのタイプの箱形炉を「大船廻A型箱形炉」と認定したい。

(2) 鳥打沢A型箱形炉

踏みふいごが箱形炉に採用される過程を最もよく示しているのが、長瀬遺跡10号製鉄炉(Ⅲ期末)から9号製鉄炉(IV期)への推移だといわれている(西山1991)。これは踏みふいごの大きさや設置方向などがほぼ同じで、同じ技術者集団が堅形炉から箱形炉に造り替えた可能性が高い。9号製鉄炉は炉基礎構造がある箱形炉で、炉底面の下に深さ30cmの箱形の掘り込みをもち、木炭を混ぜた土が充填されていた。遺物量が10トン近くあり、このタイプの炉としては完成形に近いあり方をみせる。

一方、長瀬遺跡5号製鉄炉は過渡的な様相を見せる。遺物量が極めて少なく、踏みふいごの掘形が明瞭ではないため、試験操業的な炉の可能性がある。この製鉄炉は、構築排土でIV期初頭の4号製鉄炉を埋めており、それほど時間差がないものと考えられる。この製鉄炉の谷を挟んで反対側には、ほぼ同じ時期の堅形炉(3号製鉄炉)があり、同じ谷の谷頭部にはその直前の時期の堅形炉(2号製鉄炉)がある。

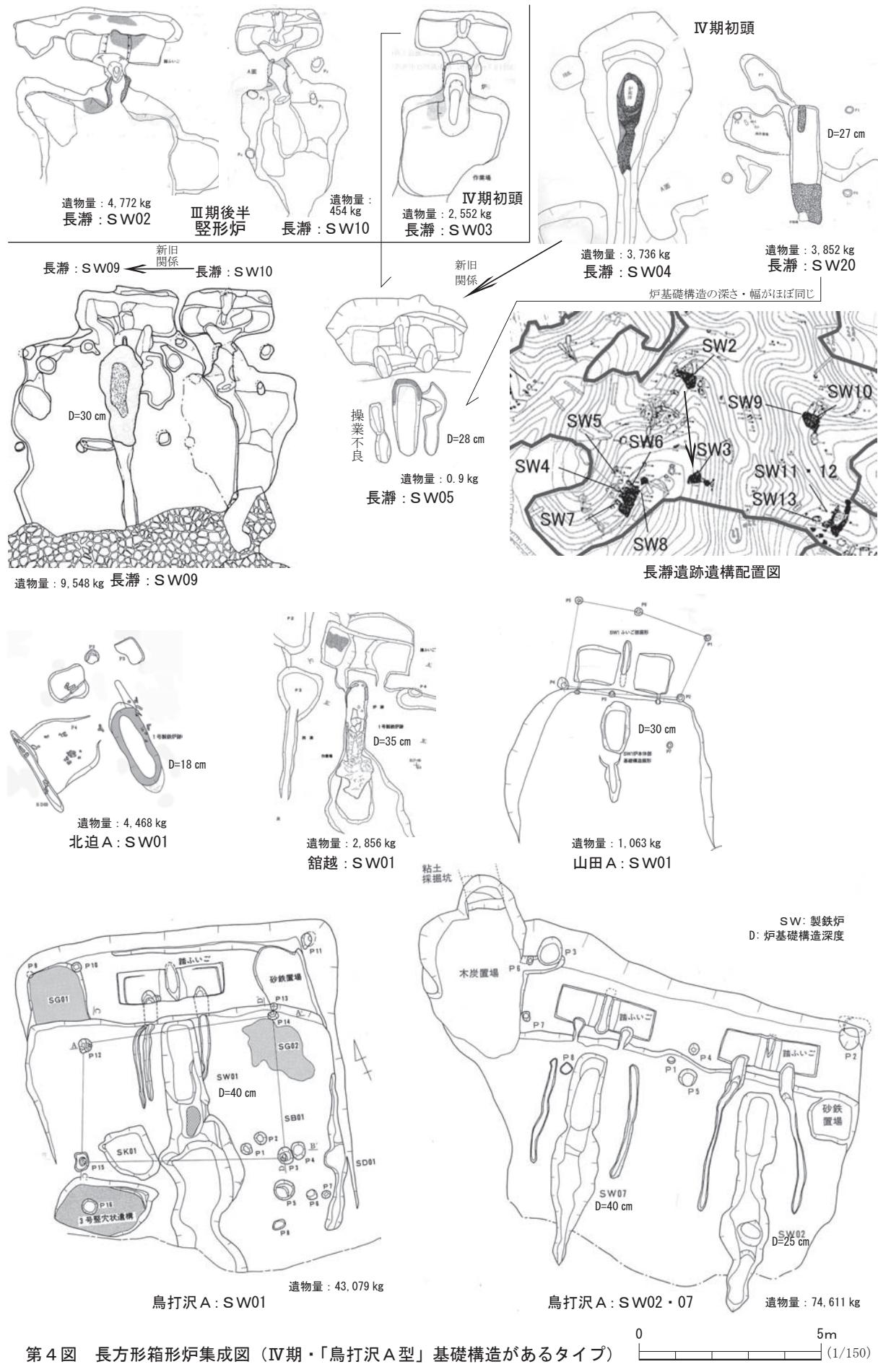
このように長瀬遺跡の一つの谷の中には、Ⅲ期末からIV期初頭の箱形炉と堅形炉がそれぞれ対峙していて、技術融合が起りやすい環境にあったと推察できる。その中で5号製鉄炉が成立した可能性は考えてもいいだろう。加えて先述の長瀬遺跡10号製鉄炉(堅形炉)から9号製鉄炉(箱形炉)への技術移転は、同じ時期のすぐ隣の谷でおきた出来事であり、5号製鉄炉の操業不良を克服して、9号製鉄炉が成立した可能性はある。

IV期の炉基礎構造がある箱形炉は、長瀬遺跡のエリアから大船廻A遺跡のエリアに展開することなく、金沢地区から遠く離れた相馬市の北迫A・山田A遺跡や南相馬市小高区の館越遺跡に散在する。このタイプの箱形炉が本格的に稼働するのは、IV期後半になってからで、金沢地区では最も海から離れた丘陵である鳥打沢A遺跡1号製鉄炉や2・7号製鉄炉においてである。それぞれの遺物量が43トン・75トンと膨大で、かなりの長期間にわたって操業が続いたと考えられる。踏みふいごと炉の周辺は方形区画として別々に整地され、砂鉄置場や木炭置場といった土坑が設置される。炉底面の下に深さ25cm以上の箱形の掘り込みをもち、木炭を混ぜた土が充填される。典型的な「鳥打沢A型箱形炉」(能登谷2005)の成立である。

(3) 向田G型箱形炉

IV期において、送風装置に踏みふいごを採用しない箱形炉が少数ある。向田G遺跡2号製鉄炉は、長さが700cmを超える地下式木炭窯の作業場のような空間を有し、その中央に長さ250cmほどの炉底を設置している。その下は深さ20cmほどの基礎構造で、木炭混じりの土が充填されている。同1号製鉄炉にも同じ深さの炉基礎構造があり、その上に粘土を貼って炉底としている。この炉は炉壁に羽口を装着せず、下部に送風孔を穿っただけのもので、このような例は同時期では大森遺跡2・3号製鉄炉(横置炉)にのみ存在する。本地域のⅢ期の箱形炉の炉壁に羽口を装着しない例はないことから、他地域からの技術移転の可能性が考えられる。

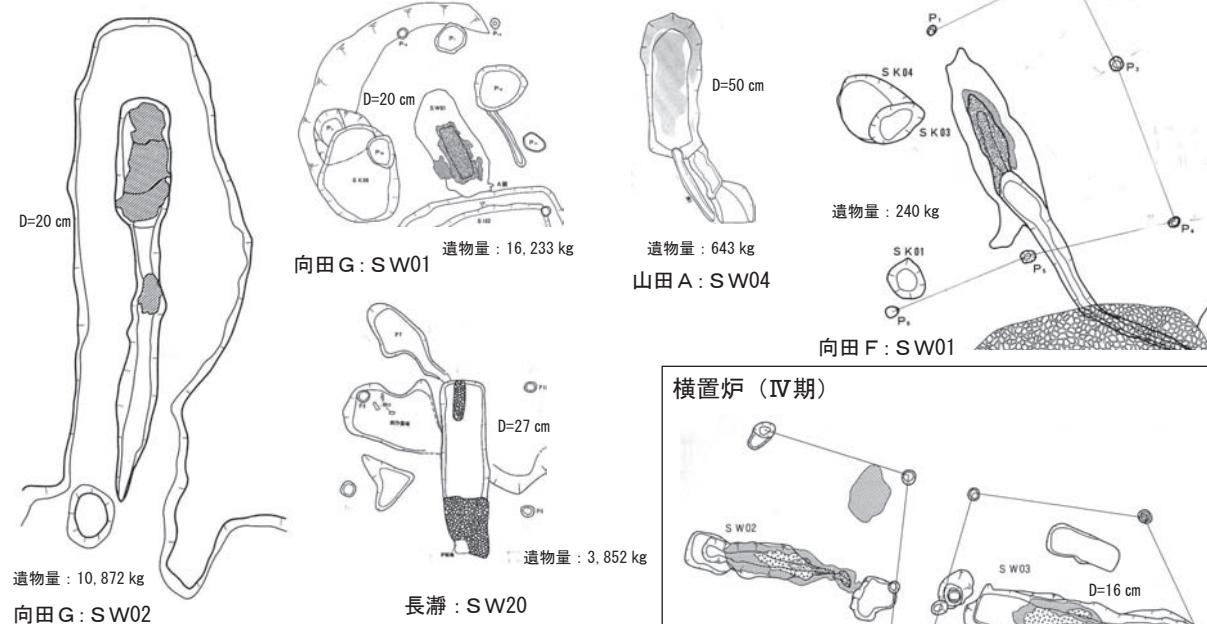
向田G遺跡1・2号製鉄炉例のように長さ250cm、深さ20cmを超える箱形の炉基礎構造をもつ箱形炉は、IV期からVI期にかけて存在する。送風方法は踏みふいごではなく、炉側面側からの2方向送風が想定できるが、遺構ではその痕跡を確認できていない。向田G遺跡1号製鉄炉の例を除けば、炉壁には羽口が装着されており、IV期の炉では20°以上の比較的急な角度、V・VI期の炉では15°未満の浅い角度の送風が想定される。V期の荻原遺跡1号製鉄炉には鋳造炉が併設されていて、銛(鑄)鉄生産との強い関連を示唆する。向田F遺跡1号製鉄炉や割田H遺跡9号製鉄炉、長瀬遺跡20号製鉄炉などでは、炉の周りを取り囲むように柱穴が巡り、何ら



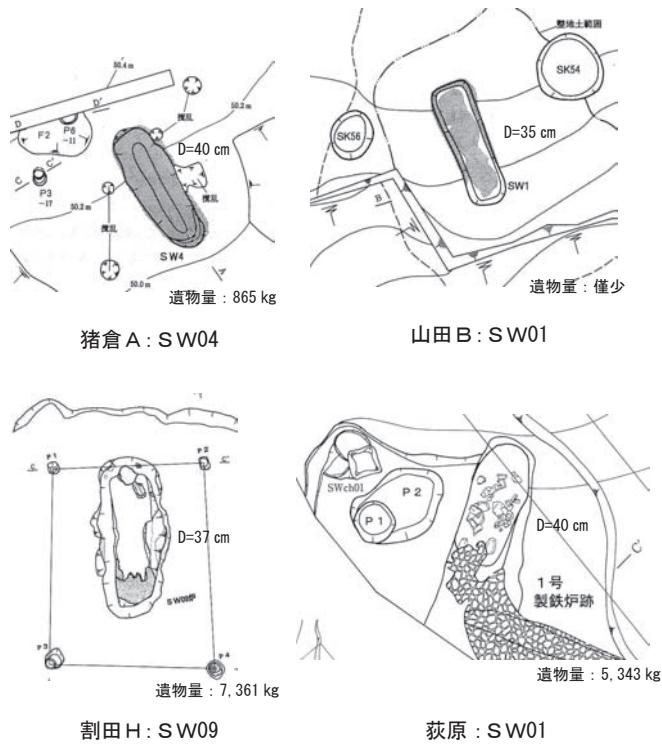
第4図 長方形箱形炉集成図（IV期・「鳥打沢A型」基礎構造があるタイプ）

踏みふいご付箱形炉の成立と展開

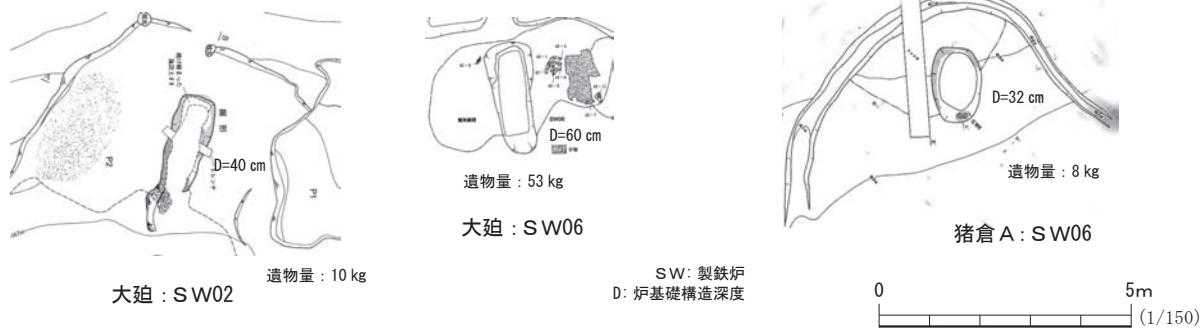
IV期（8世紀末葉～9世紀前葉）



V期（9世紀中～後葉）



VI期（9世紀末葉～10世紀）



第5図 長方形箱形炉集成図（IV～VI期・「向田G型」踏みふいごがないタイプ）

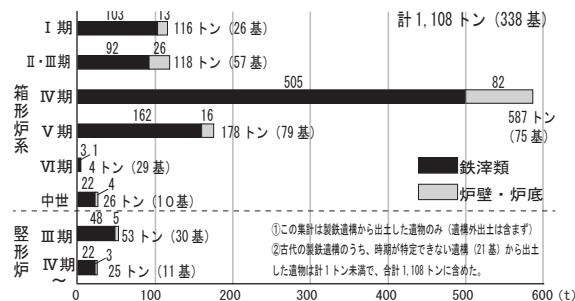
かの上屋構造があった可能性を示唆する。

箱形の炉基礎構造に木炭混じりの土を充填する箱形炉は、ほとんどが炉壁に羽口を装着するといった当地方独特的伝統的技術を踏襲しながら、踏みふいご付箱形炉とは別の技術基盤として確立し、継続していたと考えられる。よって当地方で最初に発見された遺跡にちなみ、「向田G型箱形炉」としておく。

本地方においてIV期に出現する「向田G型箱形炉」については、本地域のI～III期の製鉄炉に類例はない。他県例としては、8世紀代では新潟県村居遺跡E地点(新津市教育委員会編1997)、富山県南太閤山II遺跡(富山県文化財センター編1983)など北陸地方の製鉄遺跡に類例がある。炉壁に羽口を装着しない向田G遺跡1号製鉄炉の例も合わせて考えると、他地域からの技術移転の可能性が高い。

向田G遺跡1・2号製鉄炉とほぼ同じIV期初頭の所産と考えられる長瀬遺跡20号製鉄炉は、金沢地区製鉄遺跡群のIV期のなかでは、唯一、「向田G型箱形炉」として知られている。長さ300cmを超える炉基礎構造を有し、木炭混じりの土を充填した上に炉底を築いていたと考えられる。

前項で踏みふいご導入期のIV期初頭において、長瀬遺跡5号製鉄炉の操業不良を踏まえて、同9号製鉄炉が成立した可能性は述べた。さらに5・9号製鉄炉はともに深さ30cmほどの炉基礎構造を有しており、ほぼ同じ深さの炉基礎構造を有する同20号製鉄炉と強い関連が看取される。また、同炉から出土した羽口は、先端部内径の平均が3cmであることが報告されているが、同9号製鉄炉でもほぼ同じ大きさの羽口を炉壁に装着している。加えて、両炉の羽口装着角度はともに平均で20°程度とやや急角度であり、技術的な共通点が多い。「向田G型箱形炉」を技術基盤に、踏みふいごを付与した同5・9号製鉄炉が成立した可能性は高い。



第6図 時期別製鉄炉数と遺物量(門脇2020)

5 踏みふいご付箱形炉の展開

(1) 集中生産体制

IV期後半、9世紀前葉頃に相双地方では鉄生産が最盛期をむかえ、大船廻A遺跡のエリアでは8・12号製鉄炉を中心に、鍛冶炉、木炭窯といった関連施設がセットで機能する生産体制が確立したと考えられる。同時に少し離れた鳥打沢A遺跡でも1号製鉄炉や2・7号製鉄炉を中心に、さらに南相馬市小高区の横大道製鉄遺跡でも1号廃滓場を中心に集中生産体制が布かれたと推察できる。

このような集中生産体制のもと、同じ場所で築炉が繰り返され、1基あたり50トンを超える廃滓場が存在することは、かなり長い期間にわたって操業が行われた証しだといえる。ただ、この集中生産体制は、同時に木炭の大量消費につながり、拠点の維持が次第に困難になったことは想像に難くない。大船廻A遺跡では8・12号製鉄炉に後続するV期の遺構は減少し、同様に鳥打沢A遺跡や横大道製鉄遺跡でも同じことが起こっている。

一方、相双地方全体でみると、IV期はこれまでに75基の箱形炉が発見され、合計587トンの遺物が出土しているのに対し、V期は79基の箱形炉から178トンの遺物が出土している。IV期からV期にかけて製鉄炉の数がそれほど変わらないにもかかわらず、1基あたりの遺物量が明確に減少していることから、V期においては分散型の生産体制に移行したことがうかがえる。

(2) 「鳥打沢A型箱形炉」の発展

金沢地区製鉄炉編年V期に相当する箱形炉は、炉基礎構造がある「鳥打沢A型箱形炉」が主流となり、炉基礎構造がない「大船廻A型箱形炉」は姿を消す。このほか、「向田G型箱形炉」や横置炉、円筒形自立炉があるが、数はそれほど多くない。

V期の「鳥打沢A型箱形炉」は、IV期に比べて炉底面の規模はそれほど変わらないにもかかわらず(第8図2・3)、大きくて深い炉基礎構造を有している(同図6・7)。これは防湿目的あるいは、炉底改修の効率化(松本2000)を図ったものと考えられている。

V期の「鳥打沢A型箱形炉」は、丘陵裾部の緩斜面もしくは平坦面に立地することが多く、他の時期に比べて最も沢に近い場所を選地している。これは

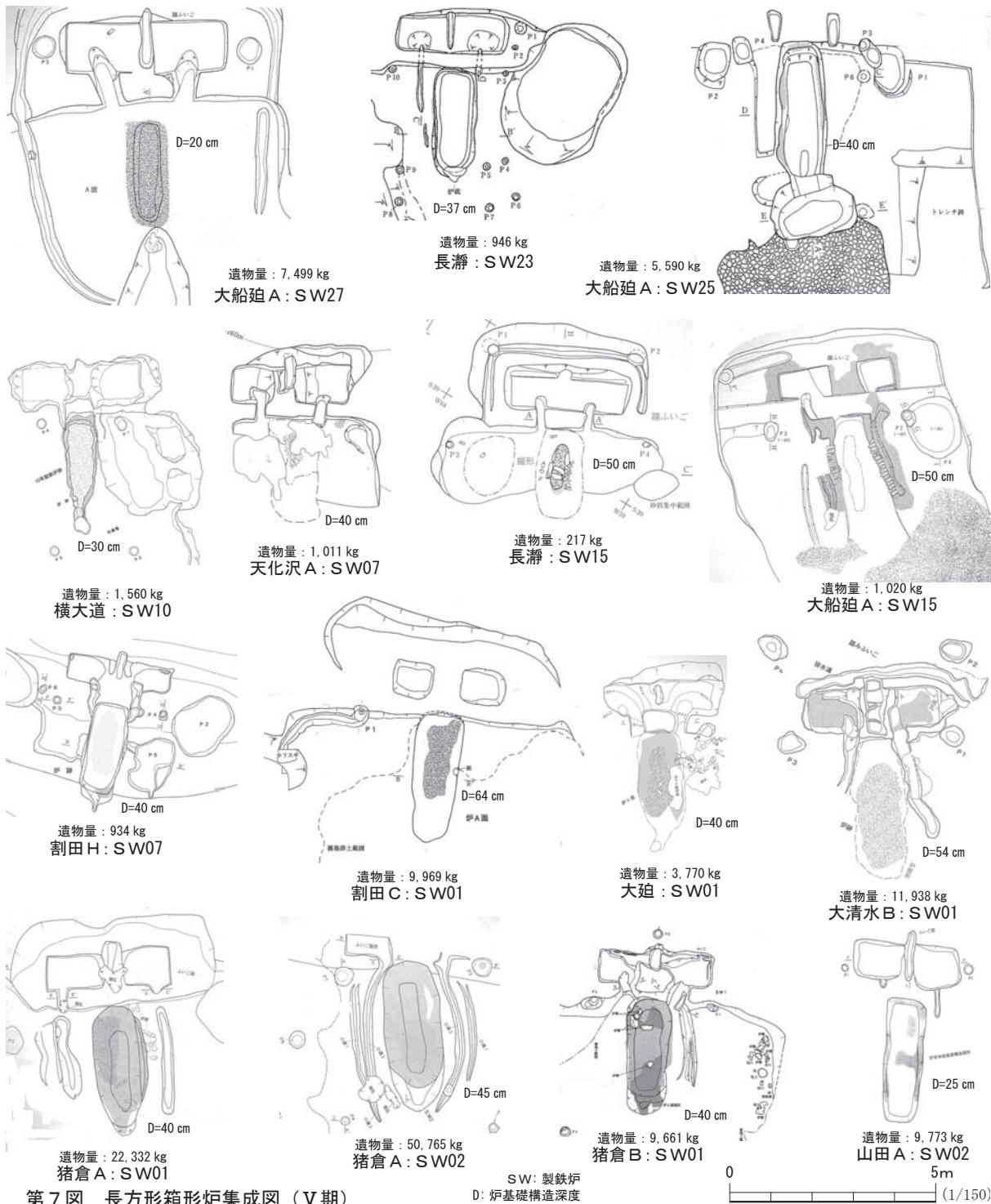
踏みふいご付箱形炉の成立と展開

踏みふいごの大きさと設置位置に関係があるのではないかと考えている。

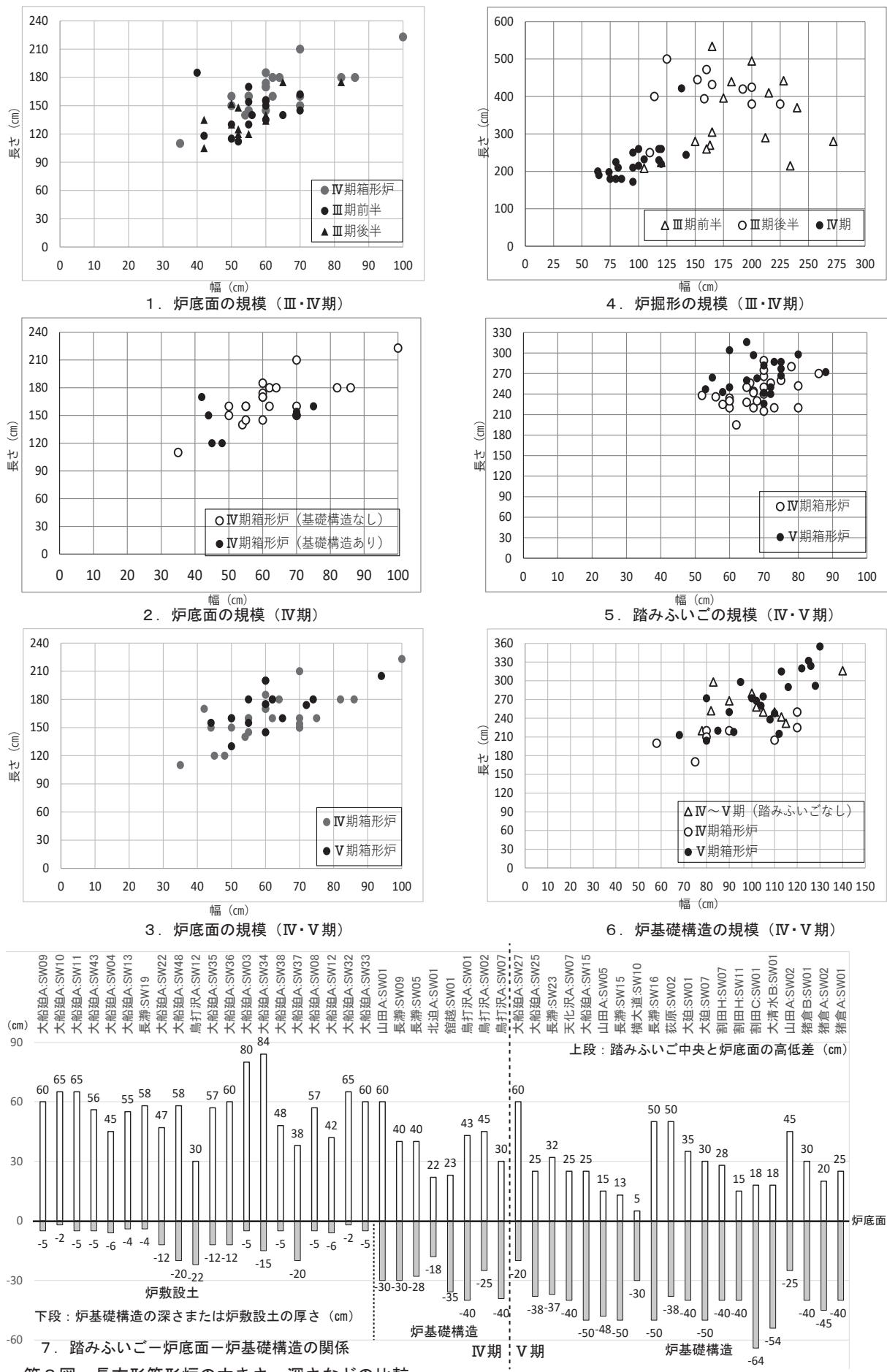
従来、箱形炉の踏みふいごの大きさがIV期よりもV期が大型であることは指摘されており(安田2008)、送風量の増加と操業の安定化をはかったものであると推察されてきた。今回、改めて踏みふいごの掘形底面積で比較したところ、IV期の箱形炉は平均 1.59m^2 で、V期は平均 1.70m^2 であった。第8図5は、踏みふいご底面の規模を散布図で示したもの

だが、長軸方向に若干大きくなっていることがわかる。これを平均値で示すと、踏みふいごの底面長さはIV期の箱形炉で242cm、V期では270cmであり、30cmほど大型化していることがわかる。

第8図7は、踏みふいご底面中央の高さと炉底面中央との高低差を製鉄炉ごとに示したものである。図の左端の大船廻A遺跡9号製鉄炉から同33号製鉄炉までは「大船廻A型箱形炉」で、踏みふいごと炉底面とは平均で57cmの高低差がある。一方、IV



第7図 長方形箱形炉集成図（V期）



踏みふいご付箱形炉の成立と展開

期の「鳥打沢A型箱形炉」(山田A遺跡1号製鉄炉から鳥打沢A遺跡7号製鉄炉)では平均で38cm、V期の「鳥打沢A型箱形炉」(大船廻A遺跡27号製鉄炉から猪倉A遺跡1号製鉄炉)では28cmと明らかに高差がなくなっている(低床化)。

踏みふいごの大型化と低床化は踏みふいごの周囲をより大きく平らに整地する必要があるので、V期の箱形炉は設置に際し、斜面よりも丘陵裾部の平坦面を選ぶ傾向があるのではないかと推察できる。そして踏みふいごの底面レベルが低下することにより、そこに接続される送風管(木呂)のレベル、さらには炉壁に装着される羽口の設置レベルが下がる。これこそがV期の「鳥打沢A型箱形炉」の築炉設計上、最も重要なことだと考えている。

(3) 羽口付炉壁の検討

かつて筆者は炉壁の粘土成分に関する論考において、9世紀中葉頃のIV期からV期へ移行する段階において、溶けやすい粘土から溶けにくい粘土へと変換し、混和材の主体がワラスサから砂粒へ変わることを指摘した(門脇2015)。また、今回、当館収蔵の箱形炉炉壁資料422点の計測を行ったところ、IV期からV期にかけて段階的に装着角度が変化していくことがわかった(第10図)。

II期からIV期前半の箱形炉では、羽口装着角度が25~35°の急角度のものがほとんどである(第10図)。IV期後半の「大船廻A型箱形炉」(同図1)や「鳥打沢A型箱形炉」(同図2)の羽口装着角度は、16~40°とやや急角度から急角度まで多様である。横大道製鉄遺跡1号廃滓場から出土した羽口の装着角度は、最小0°最高40°と開きがあり、平均18.7°に対し標準偏差は9.4とばらつきが大きい結果であった(同図3)。1回の操業では装着角度がほぼ一定だと考えられるので、このばらつきは築炉・送風技術の多様性を示しているのだろう。

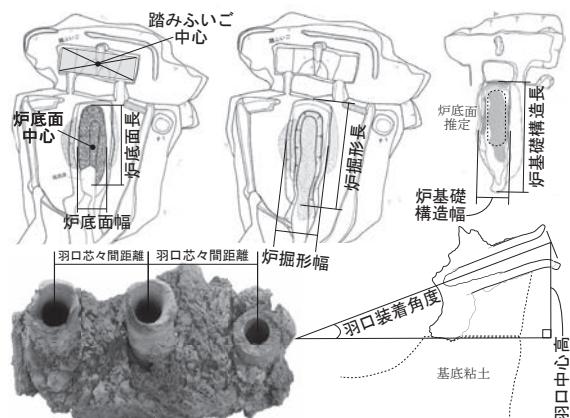
したがって、送風技術の多様性が認められるIV期後半において、10°以下の浅い角度の送風が初めて登場したことは、急な角度から浅い角度へと送風技術が転換する前兆としてとらえることができる。

また、「向田G型箱形炉」でも、IV期の長瀬遺跡20号製鉄炉(同図4)からV期の荻原遺跡1号製鉄炉(同図5)や割田H遺跡9号製鉄炉(同図6)においても、20°前後のやや急角度から10°前後の浅い角度

に転換することがわかる。V期の「鳥打沢A型箱形炉」においても、大船廻A遺跡15・25・27号製鉄炉(同図7~9)などはやや急な角度の羽口装着角度を主体とし過渡的様相を示すが、割田C遺跡1号製鉄炉(同図10)や猪倉A遺跡1・2号製鉄炉(同図13・14)などは、10°以下の浅い角度の送風に転換している。後者はV期の中でもやや新しい段階に位置づけられることから、次第に浅い角度の送風へと収斂していったことがうかがえる。

箱形炉の羽口付炉壁については、胎土や羽口装着角度、羽口芯々間距離や羽口中心高(基底粘土上面もしくは炉壁最下段から羽口吸気部中心までの高さ)を基準に分類することが可能である(表2)。これを基に羽口芯々間距離と羽口中心高の関係にまとめたのが第11図のグラフである。II~IV期初頭までは羽口芯々間距離が広く、羽口中心高が高いI a類の羽口付炉壁が主体をなし(同図1)、IV期後半ではI a類からやや羽口中心高が低いI b類の炉壁が盛行する(同図2)。「向田G型箱形炉」の羽口付炉壁はスサ入りの粘土を用いたI c類(IV期)から砂を混ぜた粘土のII a・II b類(V期)へと転換する(同図3)。V期の羽口付炉壁は羽口芯々間距離がそれほど変わらず、羽口中心高がII a→II b→II c類へと次第に低くなる傾向が看取できる(同図4~8)。

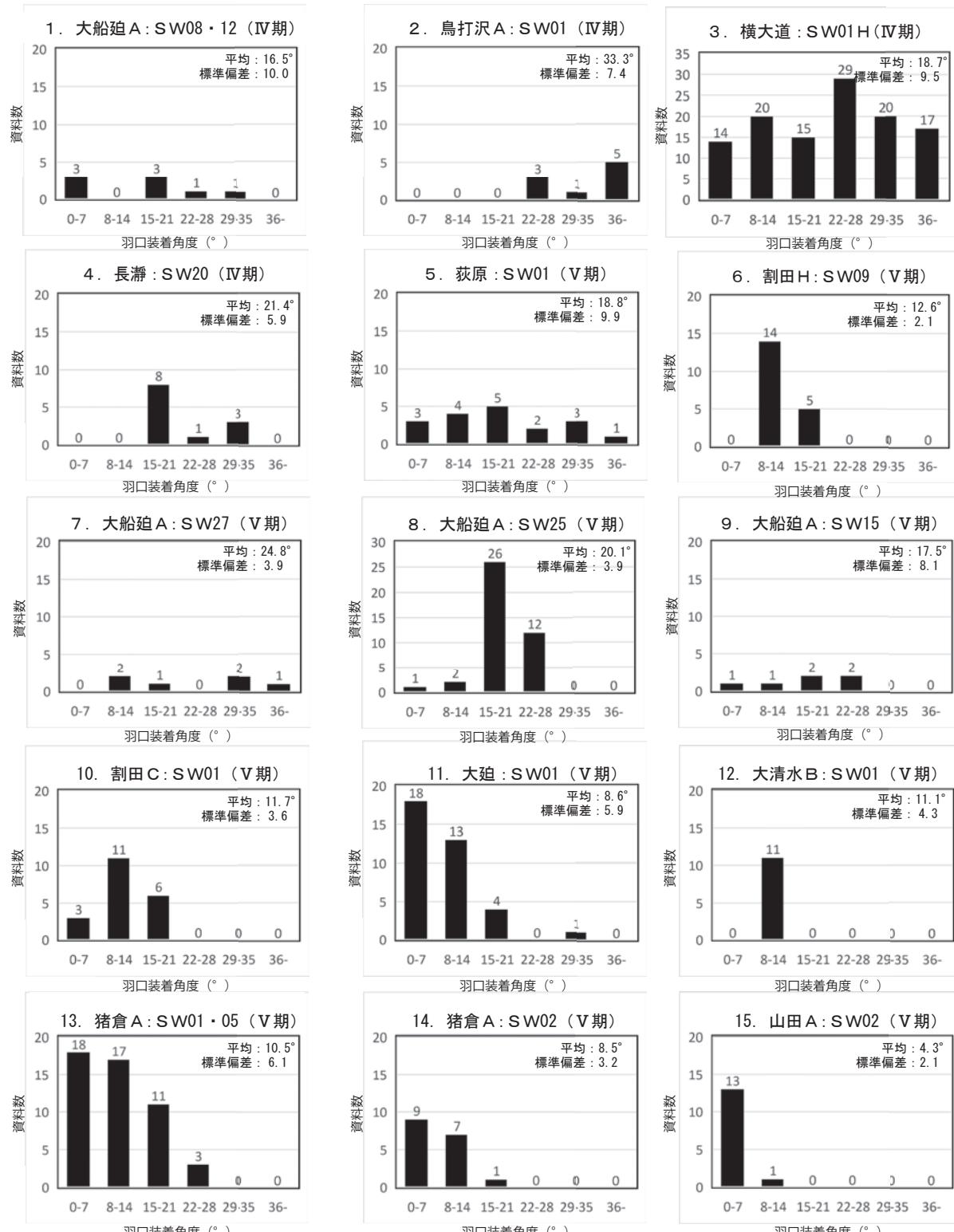
この傾向は先に述べた踏みふいごの低床化と連動している。このことにより送風管の高さを炉底付近まで下げ、浅い角度で空気を送り込むことが可能となる。加えて芯々間距離を短くし羽口をより多く並べることで1本あたりの風圧は下がる。こうすることで均等な風を炉底全体に行き渡らすことが可能となったと推察できる。



第9図 箱形炉と羽口付炉壁の各部計測箇所

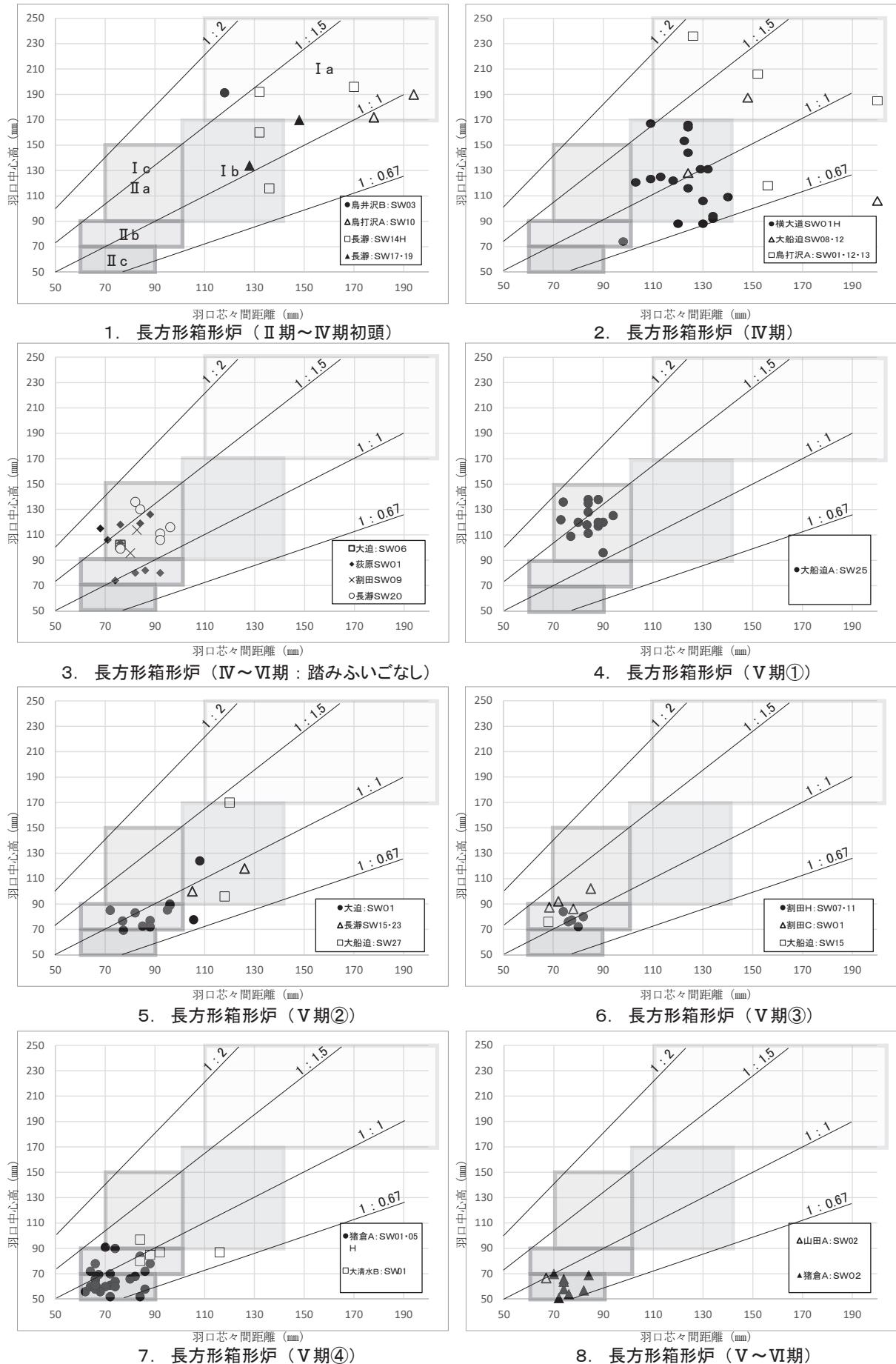
表2 羽口付炉壁の分類

分類	胎 土	装着角度	芯々間距離	羽口中心高	時期
I a	スサ入り粘土主体	平均 20°以上	11cm以上	17cm以上	II～IV期
I b	スサ入り粘土主体	平均 16～20°	10～14cm	9～17cm	IV期主体 / V期初頭
I c	スサ入り粘土主体	平均 16～20°	7～10cm	9～15cm	IV期主体
II a	砂入り粘土主体	平均 9～16°	7～10cm	9～15cm	V～VI期
II b	砂入り粘土主体	平均 16°未満	6～9cm	7～9cm	V期
II c	砂入り粘土主体	平均 9°未満	6～9cm	7cm未満	V～VI期

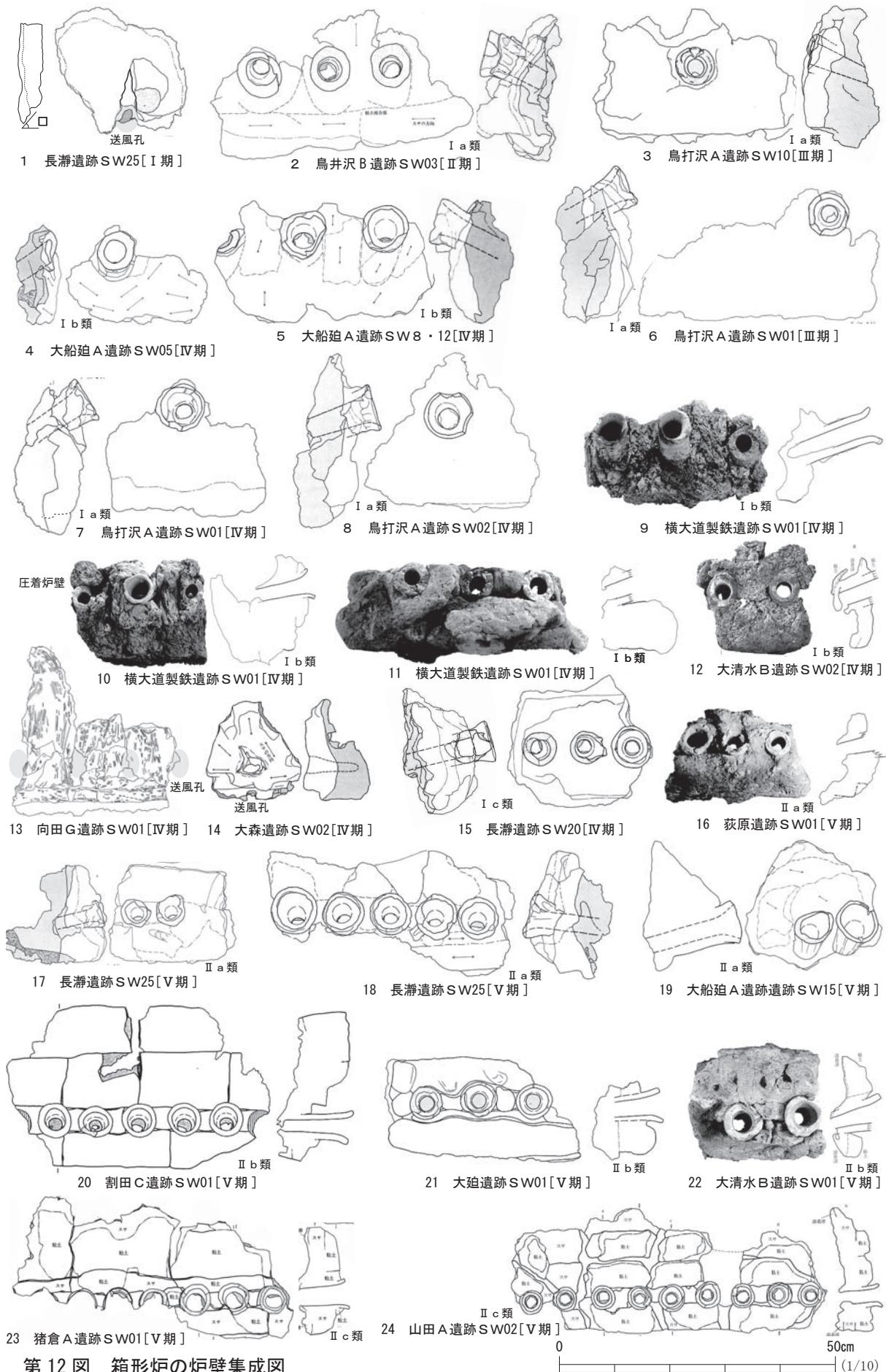


第10図 羽口装着角度の分布

踏みふいご付箱形炉の成立と展開



第 11 図 羽口の装着間隔と高さ



第12図 箱形炉の炉壁集成図

6 おわりに

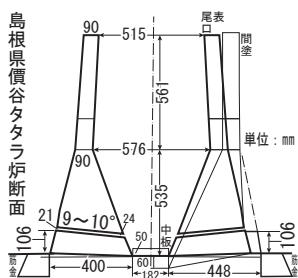
『古來の砂鉄製鍊法』を著した俵國一博士は、高炭素の銑(鑄)鉄を生産する近世以降のズク押し法の特徴として、第1にチタン分が多い赤目砂鉄を用いること、第2に羽口の位置を炉底面からの高さ約10cm、羽口の傾斜角9°~10°とし、炉底部全体に風がいきわたるようにすること、第3に炉底部の傾斜を大きくすることなどをあげている。一方、低炭素の鋼を生産するケラ押し法では、羽口の位置を炉底面から高さ約21~24cm、羽口の傾斜角を26°にするという(俵1933)。

今回の羽口付炉壁の分析では、9世紀前葉(IV期)から後葉(V期)にかけて、羽口の設置レベル(中心高)が次第に下がり、7cm前後に収斂していく様子が看取できた。また、羽口装着角度も9世紀中葉から後葉にかけて10°以下の浅い角度の送風に転換し、炉壁の胎土も溶けやすいものから溶けにくいものへと変わる。これらの変化は、まさしく安定した銑鉄生産に製鉄技術が到達したことを具現化したものであろう。

踏みふいご付箱形炉の成立と展開は、羽口付炉壁の形態変化と連動している。羽口の芯々間距離が狭まれば(装着本数が増えれば)、踏みふいごは大きくなる。羽口の設置レベルが下がれば、踏みふいごの設置レベルも下がる。羽口の位置が銑鉄生産に関わりがあるとするならば、一定の風量と風圧でコントロールできる踏みふいごの導入は、箱形炉の炉内環境の均一化・安定化に寄与したとみるべきだろう。そしてこの技術が当地方で普及するのは、全国一高いといわれる高チタン砂鉄への技術適応であって、9世紀代において銑鉄生産技術が習熟していたことは特筆に値するのではないだろうか。

本論は2020年度企画展「ふくしま鉄ものがたり」を企画構成するにあたり、当館収蔵の製鉄関連遺物を再度見直し、再計測を行った結果に基づいている。

また、展示の準備・開催期間中は、以下の方々からご指導をいただいた。記して感謝申し上げる。



第13図 ズク押し法による築炉設計(俵1933を基に作成)

穴澤義功 大道和人 笹澤泰史 能登谷宣康
吉田秀享(敬称略)

【引用・参考文献】

【調査報告書:福島県教育委員会発行】

福島県文化センター編 1989『相馬開発関連遺跡調査報告I』
福島県文化センター編 1990『原町火力発電所関連遺跡調査報告I』
福島県文化センター編 1991『原町火力発電所関連遺跡調査報告II』
福島県文化センター編 1992『原町火力発電所関連遺跡調査報告III』
福島県文化センター編 1993『原町火力発電所関連遺跡調査報告IV』
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』
福島県文化センター編 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』
福島県文化センター編 1996『相馬開発関連遺跡調査報告IV』
福島県文化センター編 1997『相馬開発関連遺跡調査報告V』
福島県文化センター編 1997『原町火力発電所関連遺跡調査報告VII』
福島県文化センター編 1998『原町火力発電所関連遺跡調査報告VIII』
福島県文化センター編 1998『原町火力発電所関連遺跡調査報告IX』
福島県文化センター編 2001『一般国道6号相馬バイパス遺跡発掘調査報告II』
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』
福島県文化振興事業団編 2010『常磐自動車道遺跡調査報告59』
福島県文化振興事業団編 2010『常磐自動車道遺跡調査報告60』
福島県文化振興事業団編 2011『常磐自動車道遺跡調査報告62』
福島県文化振興財団編 2015『常磐自動車道遺跡調査報告71』
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』
【調査報告書:その他】

富山県埋蔵文化財センター編 1983『都市計画街路七美・太閤山・
高岡線内遺跡群発掘調査概要』富山県教育委員会
新津市教育委員会 1997『金津丘陵製鉄遺跡群発掘調査報告2』
新津市教育委員会

山田廣・三瓶秀文 2004『後作B遺跡発掘調査報告書』富岡町教育委員会
【論文等】

穴澤義功 1994『古代東国の鉄生産』『古代東国の産業』
栃木県立なす風土記の丘資料館
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』大田原市なす風土記の丘湯津上資料館
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
大道和人 2003『半地下式豊型炉の系譜』『考古学を学ぶII』
同志社大学考古学研究室

門脇秀典 2015『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 2020『鉄滓の山から読み解く歴史』『シンポジウム「鉄の
道をたどる」予稿集』福島県文化財センター白河館

俵國一 1933『古來の砂鉄製鍊法』丸善株式会社(復刻解説版 監修:
館充 編集:「古來の砂鉄製鍊法」研究会 2007 慶友社)
西山眞理子 1991『古墳時代以降の遺構と遺物 製鉄炉の変遷』『原

町火力発電所関連遺跡調査報告II』福島県文化センター
能登谷宣康 2005『金沢地区的古代鉄生産』『福島考古』第46号
福島県考古学会
松本茂 2000『なぜ、製鉄炉の炉底は作り変えられるのか』『竹石健
二先生・澤田大多郎先生還暦記念論文集』

安田稔 1995『金沢地区的土師器と須恵器』『原町火力発電所関連遺
跡調査報告VI』福島県文化センター
安田稔 2008『金沢地区製鉄遺跡群の製鉄炉における踏み轍規模の
変化について』『研究紀要2008』福島県文化財センター白河館