

研

福島県文化財センター白河館

究

〔研究論考〕

■まほろんイベント「鉄づくり」報告

.....吉田秀享

■まほろん1号炉（原町市大船迫A遺跡15号製鉄炉の復元炉）における
操業条件.....佐藤健二

■「まほろん」における復元たたら製鉄からの鉄塊とスラグ中の元素濃度
及び金属学的組織.....平井昭司・加藤将彦・村岡弘一・岡田往子

■「鉄づくり」イベント産出鉄塊等の成分分析調査

.....川鉄テクノロジー株式会社

■復元的視点による竪穴住居跡の発掘調査

.....福島雅儀

〔文化財報告〕

■埋文センターの情報発信について

.....藤谷 誠

2004 紀

福島県教育委員会
（財）福島県文化振興事業団
2005年3月31日発行

要



福島県文化財センター●白河館

研

究

紀

要

2004

福島県教育委員会
(財) 福島県文化振興事業団

目 次

≡研究論考≡

まほろんイベント「鉄づくり」報告

ーまほろん1号炉による操業についてー（吉田秀享）	1
まほろん1号炉（原町市大船迫A遺跡15号製鉄炉の復元炉）における操業条件 （佐藤健二）	25
「まほろん」における復元たたら製鉄からの鉄塊とスラグ中の元素濃度及び金属学的組織 （平井昭司・加藤将彦・村岡弘一・岡田往子）	35
「鉄づくり」イベント産出鉄塊等の成分分析調査 （川鉄テクノリサーチ株式会社 分析・評価事業部 埋蔵文化財調査研究室）	45
復元的視点による竪穴住居跡の発掘調査（福島雅儀）	71

≡文化財報告≡

埋文センターの情報発信について（藤谷 誠）	101
-----------------------------	-----

まほろんイベント「鉄づくり」報告

—まほろん1号炉による操業について—

吉田 秀享

1 はじめに

まほろん（福島県文化財センター白河館）の事業の一つに、古代の技術や素材をできる限り検討して、今に甦らせるという研究復元事業がある。この事業は、遺跡で確認できた遺構や、出土した遺物を対象とし、今までに横穴墓から出土した種々の副葬品（馬具・刀剣・容器類等）や、古墳出土の青銅鏡などを復元してきた。

平成14年度からは、「古代の鉄」をメインテーマとし、福島県浜通り地方北部の製鉄遺跡から出土した鋳型を基に、梵鐘や獣脚付き容器、風鐸などの铸铁製品の復元を行っている。平成15年11月1・2日の両日にわたって行われた「鉄づくり」イベントも、この事業の一貫として行われたものである。

なお、本炉の操業結果の一部は、すでに「前近代製鉄実験」研究グループ第5回例会において発表しているが^(註1)、本稿をもって正式なものとする。

2 復元した製鉄炉の調査事例

今回復元の対象とした製鉄炉は、原町市にある大船迫A遺跡15号製鉄炉である（写真1・図1・2）。この炉は箱形炉であり、平安時代9世紀前半に機能し、廃絶されたものである。送風装置としては、踏みふいご掘形と送風溝が確認され、ふいごの長軸に直交するように炉が配置されているため、全体としてT字形を呈している。

調査の結果、本炉では、最低でも2回の操業が行われたことが推測できる。このうち、2回目の操業では、主に炉の東側壁が「く」字状に折れ曲がって倒壊し、操業廃棄時のままの状態が確認された（図3上段・写真2）。炉壁は、主に内側を上方に、外側を下方に向けて確認された。このため、倒壊した炉壁から、炉底から炉頂までの高さが推定でき、さらに炉の規模が推測で



写真1 製鉄炉全景

きる資料であったため、今回の復元操業炉の候補として選択したわけである。

なお、本製鉄炉では、表1に示した鉄滓類が出土している。これを見ると、1回目の操業では、流出滓（炉内滓を含む）が62kgほど出土しているが、2回目の操業では、8kg弱しか出土していないことがわかる。

このことから、2回目の操業は失敗した可能性が高いものと思われ、倒壊した炉壁は当時のままの状態を維持していると判断し

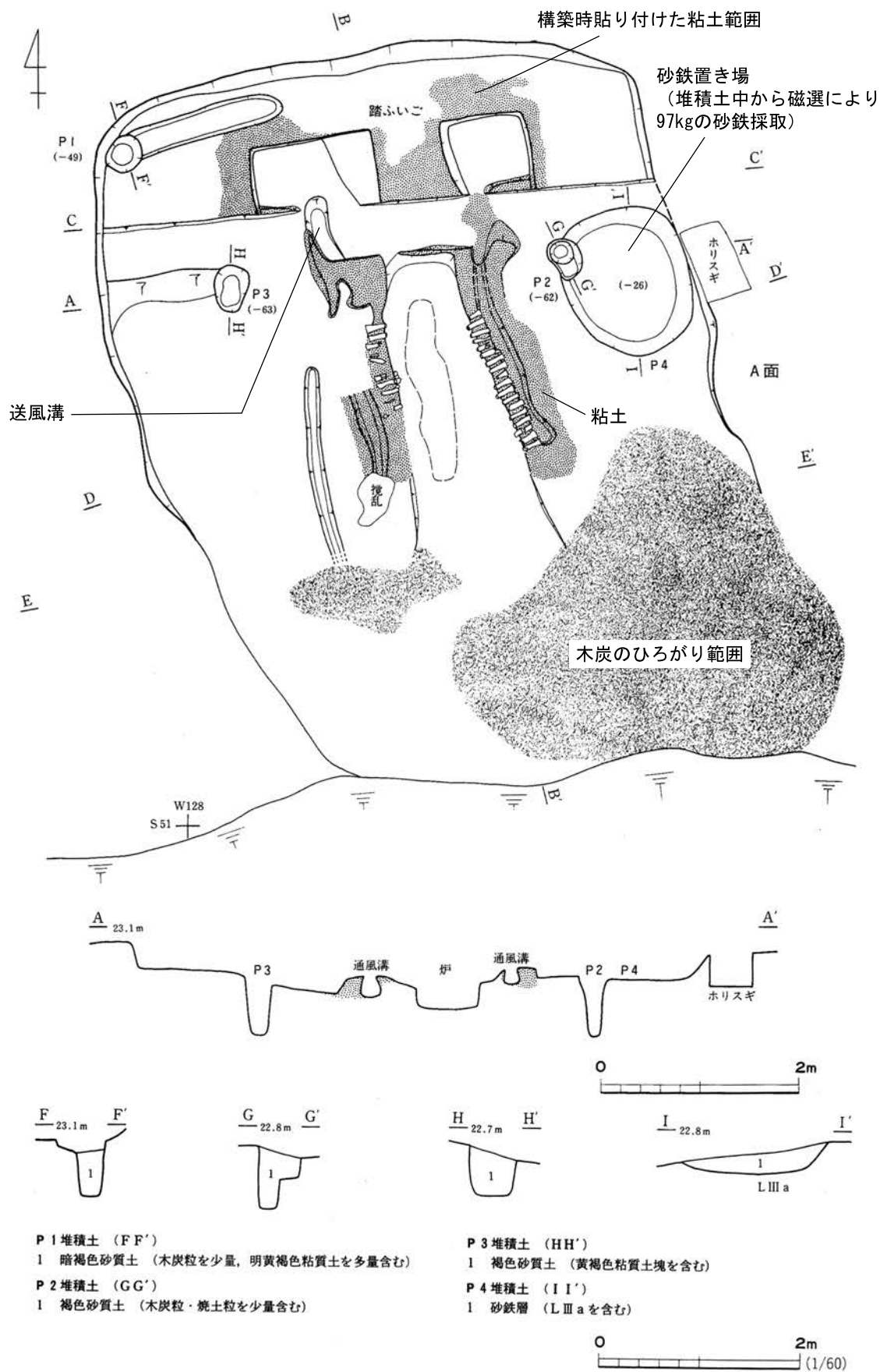
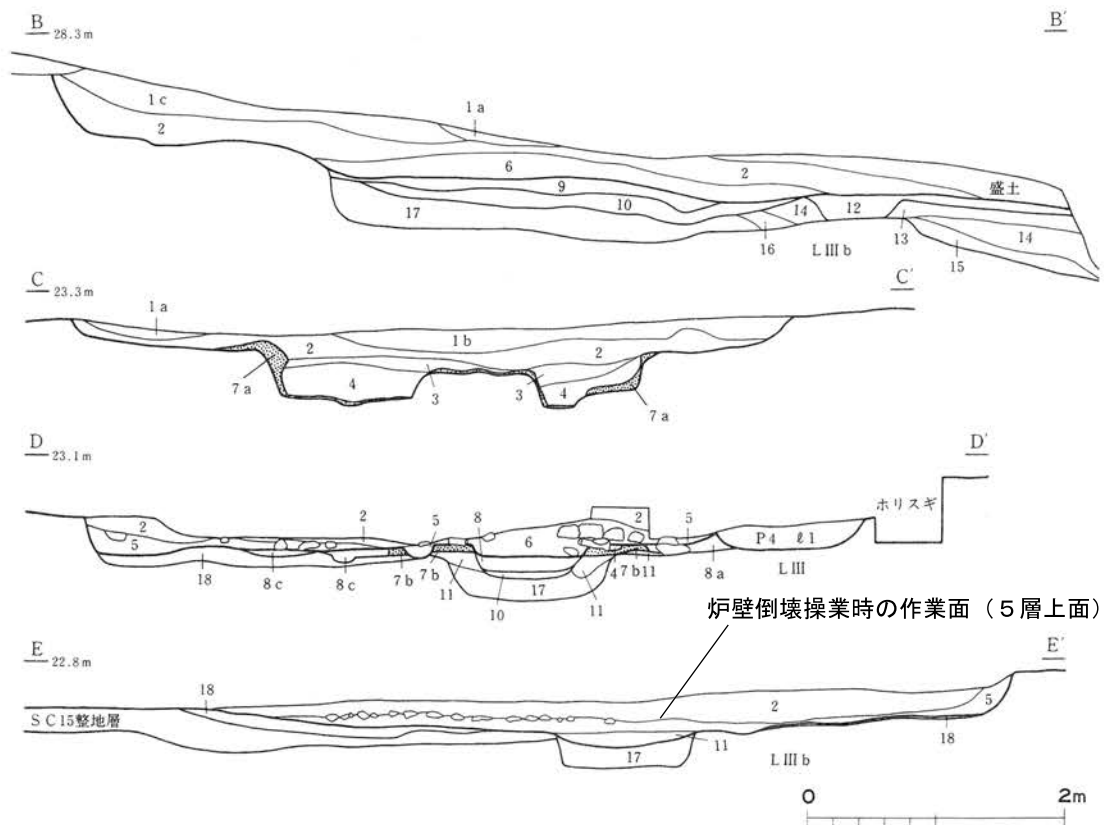


図1 15号製鉄炉 (国井1995より転載・加筆)



SW15堆積土 (AA'・BB'・CC'・DD')

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 1 a 黒褐色砂質土 (L III a・木炭粒を含む) | 8 c 褐色砂質土 (木炭粒を少量含む) |
| 1 b にぶい黄褐色砂質土 (L I aを多量・木炭粒を少量含む) | 9 黒色砂質土 (木炭を多量・焼土粒を含む) |
| 2 褐色砂質土 (L III aを多量・暗褐色砂質土塊を含む) | 10 黒褐色砂質土 (木炭粒を多量・焼土粒を含む) |
| 3 黄褐色砂質土 (L III a・黄褐色粘土・木炭粒を含む) | 11 黒色砂質土 (木炭粒を含む) |
| 4 黄褐色砂質土 (L III a・木炭粒を含む) | 12 黒褐色砂質土 (木炭粒・鉄滓を多量・焼土粒を少量含む) |
| 5 褐色土質土 (L III a・炉壁・鉄滓を多量含む) | 13 暗褐色砂質土 (木炭を多量・L III a・炉壁・鉄滓を少量含む) |
| 6 黒色砂質土 (木炭粒を多量・炉壁・鉄滓を含む) | 14 褐色砂質土 (L III aを多量・木炭粒・焼土粒を微量含む) |
| 7 a 暗黄褐色粘土 (L III aを含む) | 15 黒褐色砂質土 (木炭粒・炉壁を微量・L III aを少量含む) |
| 7 b 黄褐色粘土 (L III a・木炭粒・焼土粒を含む) | 16 暗赤褐色砂質土 (焼土を多量・木炭粒・炉壁を少量含む) |
| 8 a 赤褐色砂質土 (木炭粒・焼土粒・黄褐色粘土を含む) | 17 黒褐色砂質土 (木炭粒を多量・焼土粒を少量含む) |
| 8 b 暗褐色砂質土 (木炭粒・焼土粒・炉壁を含む) | 18 褐色砂質土 (黄褐色粘土塊を少量含む) |

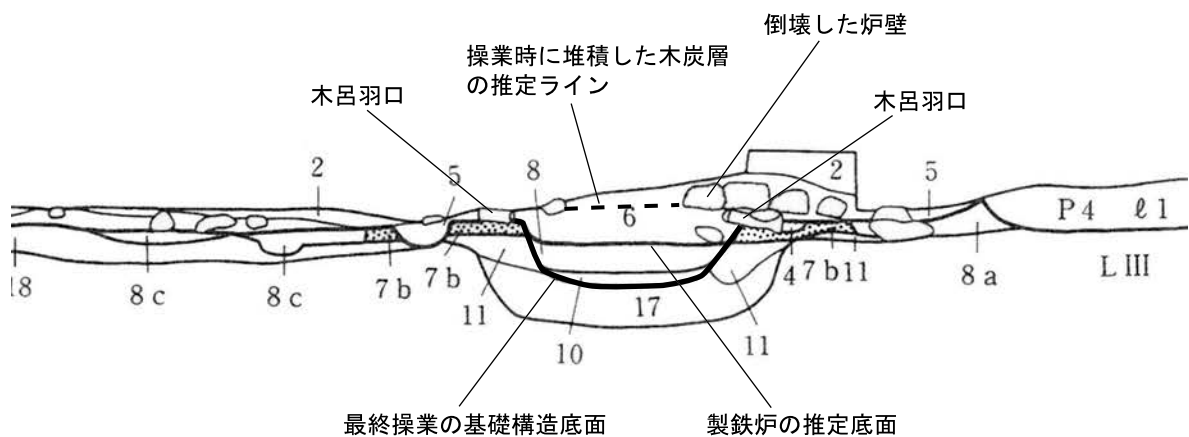


図2 15号製鉄炉断面図と拡大図(下)(国井1995より転載・加筆)

表 1 15号製鉄炉出土鉄滓類一覧

単位 (kg)

出土位置	炉 底	炉 壁	炉内滓	流出滓	備 考
A面炉内	8.6	—	5.0	2.4	2回目の操業に伴うもの。炉壁は計量していない。
作業場 Q1	7.0	14.9	7.6	221.7	流れ込みのため、本炉の操業には直接関連しない。
作業場 Q2	0.0	1.8	0.0	0.3	2回目の操業に伴うもの。図1のE-E'に見える鉄滓類が主と思われる。
作業場 Q11	0.0	2.9	8.9	6.5	2回目の操業の基礎構造部内から出土したもの。
廃滓場 Q1	22.1	23.0	24.9	585.5	1回目の操業に伴うもの。
廃滓場 Q2	3.0	4.3	7.8	35.0	1回目の操業に伴うもの。

※本表は、報告書から抜粋したものである。ただ、報告書中作業場 Q3 出土および Q16 出土は、作業場内堆積土中に該当する層がないため、除いている。更に廃棄場 Q2 には、報告書中で Q3 出土と示された量を合算している。

た。

3 復元炉について

今回復元した炉の実測図は図5に示したが、以下ではその根拠を説明する。

1) 炉の規模について

まず、製鉄炉の高さであるが、図3上段に示した炉壁の倒壊図及び写真1より、確認できた炉壁は直立していたブロックと、倒壊していたブロックの大きく2つに分けられる。直立した炉壁は、図3下段で太線内で示したものであり、この部分の炉壁の厚さは15cmである。これの下方に示した点線で囲ったやや傾いて確認できた炉壁から、この炉壁の高さが20cmであることが知られた。



写真2 炉壁の出土状況

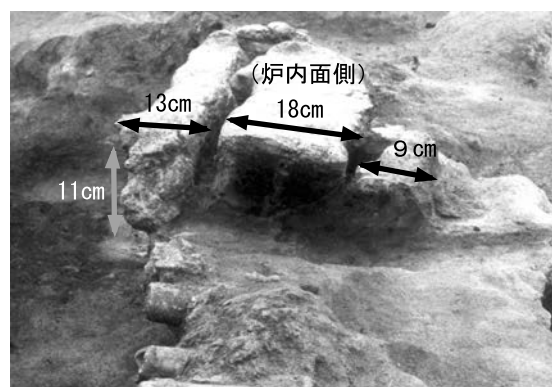


写真3 倒壊した上方炉壁のアップ

さらに、直立した炉壁の上方には、図中A～Cとした高さ15cmの炉壁ブロックが積み上げられ、ちょうどこの部分が、積み上げられた炉壁が倒壊時に「く」字に折れ曲がった屈曲部に該当すると判断した。そして、その上に広い範囲で倒壊した炉壁（図中D：高さ50cm）が積み上げられ、炉の東壁を構築していたものと推測した。

このことより、確認できた範囲内での炉壁推定高は、 $20 + 15 + 50 = 85$ cmとなる。ただ、この数値では、羽口を装着した部分の炉壁高を加算していないため、本来の炉の高さは、最低でも、これに羽口を装着した炉壁分及び羽口分を合算したものとなる。

このため、図4に示した炉底の熱変化範囲と確認できた木呂羽口底面までの高さを加算する

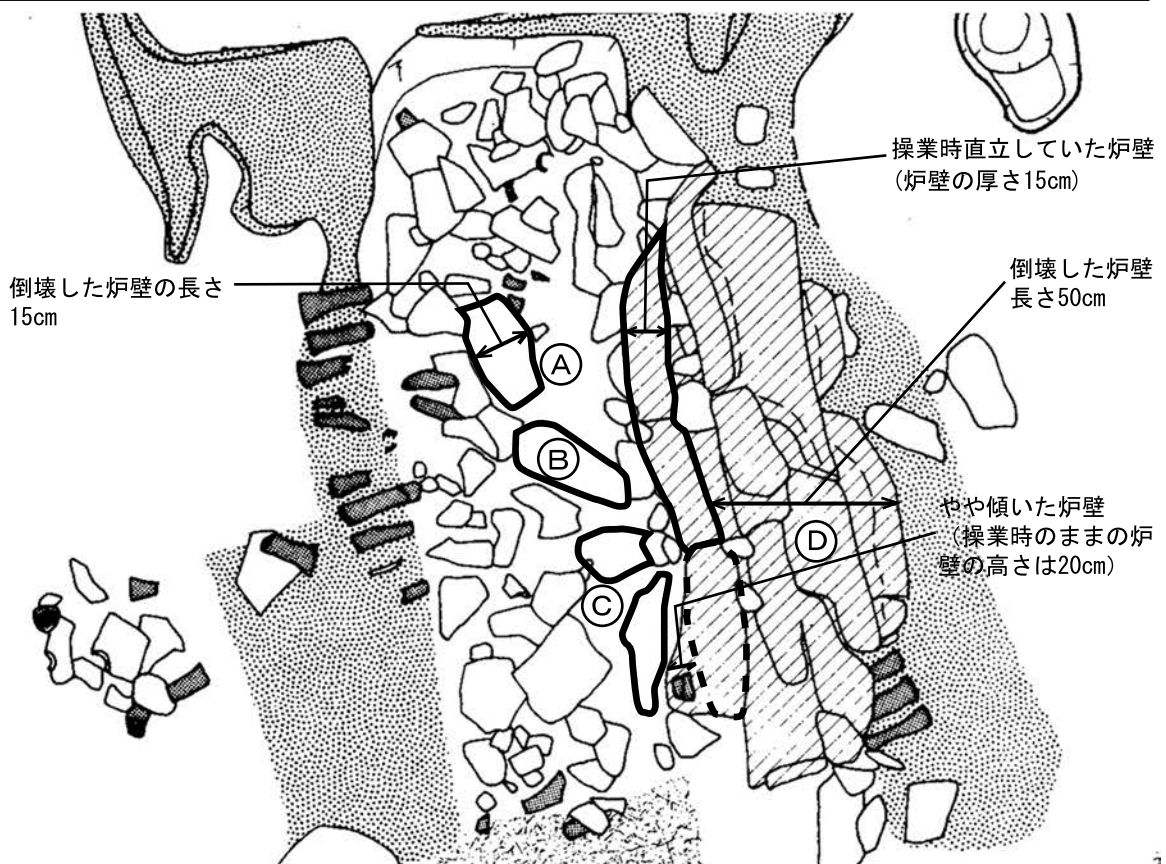
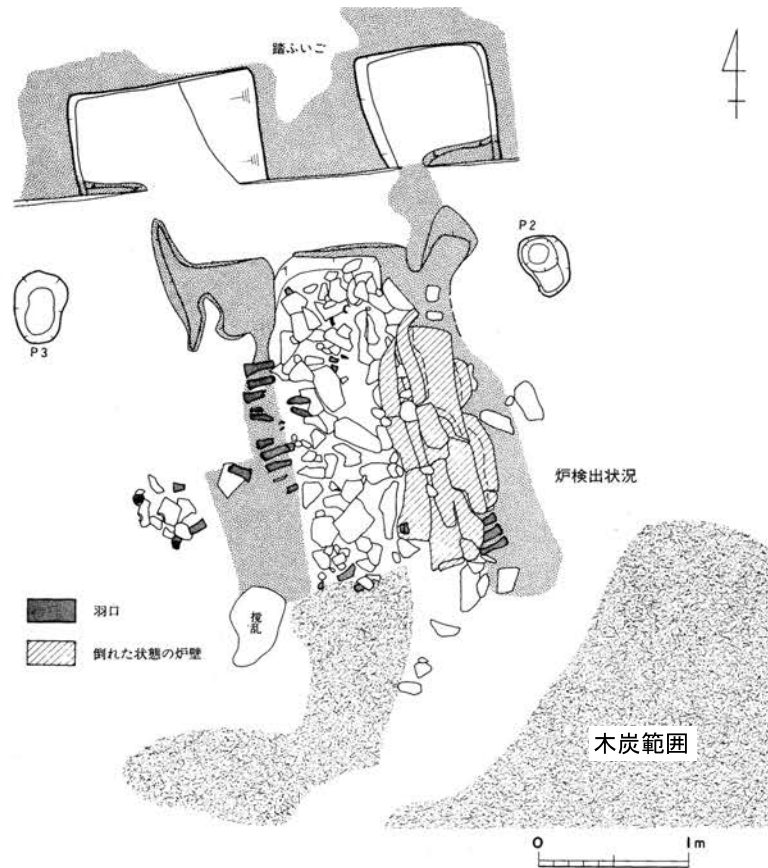


図3 15号製鉄炉炉壁出土状況（上）と拡大図（下）（国井1995より転載・加筆）

こととし、この高さの平均が 13 cmであったため、これを足して 98 cmとした。さらに確認できた炉壁では、確実に炉の最頂部と判断できる炉壁が認められなかったため、炉頂部の壁高も加えることとした。

炉頂部壁高は、写真 3 より上方の炉壁 1 ブロックの高さが 9 cmであったため、1 段分を積み上げたものと仮定して 9 cmを加えた。この他、出土した炉壁に装着した羽口の内径 3 cmを加えることとし、推定炉高は、 $85 + 13 + 9 + 3 =$ 計 110 cmを算出した。

次に、炉の幅・長さであるが、図 4 に示した熱変化範囲をその根拠とした。ただ、この範囲は、調査報告書では 1 回目の操業に伴うものと判断されたものである。今回、図 2 に示した D-D' 断面から、この範囲は 2 回目、すなわち倒壊した炉壁に伴う炉底の痕跡と判断した。それは、同図下段に示した拡大図にあるように、木呂羽口から凹レンズ状に掘り込まれたラインが見られ、かつ熱変化範囲の痕跡が $\ell 9$ 上面に認められているからである。なお、報告においては、 $\ell 9 \cdot 10$ を 2 回目の操業に伴う基礎構造堆積土と判断している。さらに、報告書では縦断面 (B-B') に確認できる $\ell 9$ が、横断面 (D-D') では $\ell 8$ となり、層位番号が合っていない。このため、今回報告書掲載 D-D' の $\ell 8$ が $\ell 9$ であると判断した。

また、 $\ell 9$ の上層 $\ell 6$ 中には倒壊した炉壁ブロックが認められている。炉壁ブロックの上層には、 $\ell 5$ が堆積しているが、同図の E-E' 断面では、 $\ell 5$ 上面に炉壁のブロックが認められている。この矛盾はおそらく調査時の誤認であり、拡大図に示した製鉄炉基礎構造付近の $\ell 5$ は、E-E' 断面でみられる $\ell 5$ と同一層とは思われない。色調の類似からは、 $\ell 2$ の可能性が考えられる。このように推測すると、拡大図に示したように $\ell 6$ は波線で分層され、本来の $\ell 6$ は木炭や砂鉄などを含んだ操業時の堆積層と考えられる。そして、 $\ell 5$ は 2 回目の操業時に整地した作業面の堆積土と判断できる。

さて、前述した熱変化範囲は、幅 30 ～ 37 cmで、長さ 180 ～ 185 cmをはかる。この規模に、前述したように炉壁の厚さが 15 cmであったため、幅 30 cm+炉壁厚さ 15 cm $\times$ 2 = 60 cm、長さ 180 cm+炉壁厚さ 15 cm $\times$ 2 = 210 cmと推定した。

以上のことから、15 号製鉄炉の外寸規模は、幅 60 cm、長さ 210 cm、高さ 110 cmであることが推測された。ただ、実際に行った復元炉では、長さを約半分の 110 cmとした。これは、最初の復元操業であったがために、なにぶんにも当方が躊躇したからである。ただ、炉の幅や高さは、推定した製鉄炉そのままの幅 60 cm、高さ 110 cmとした。構築時の炉壁の厚さは、羽口周囲は、出土した木呂羽口の長さより 20 ～ 24 cmとし、炉上方では 15 cm、炉頂部は 8 cmとした。炉の内径は炉頂部から 65 cm下がったところで 24 cm、同 84 cm下がったところ（羽口直上）で 21 cmである。

基礎構造の規模は、調査事例に則り、外寸で幅 120 cm、深さ 40 cmとし、長さのみ 180 cmと本来の半分とした（報告書では、長辺 183 cm、短辺 40 cm、深さ 40 cmと記載されているため、掲載図面から幅 120 $\times$ 長 360 $\times$ 深 40 cmと計測した。）。

2) 送風と羽口の挿入角度

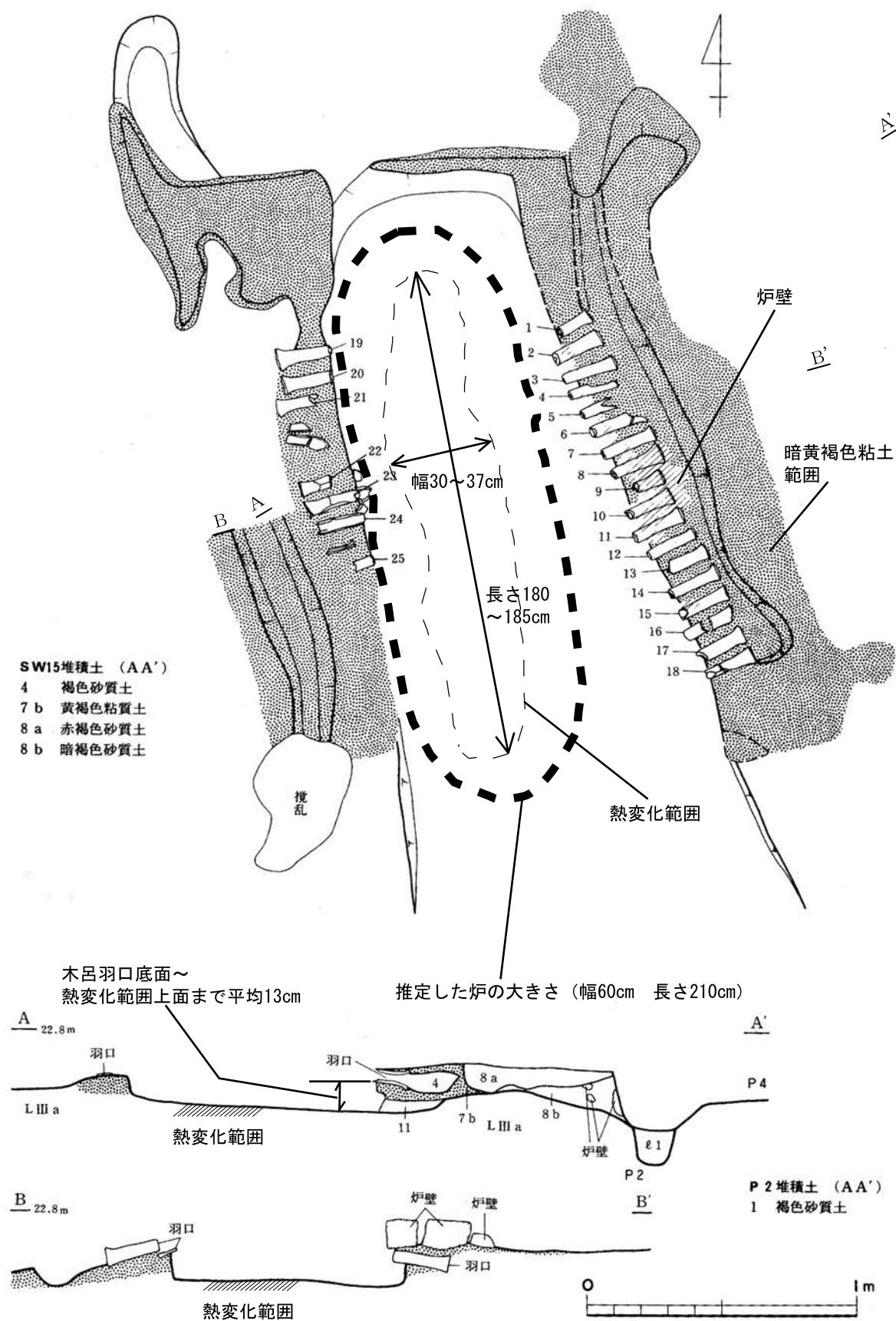


図4 木呂羽口出土状況と熱変化範囲 (国井 1995 より転載・加筆)

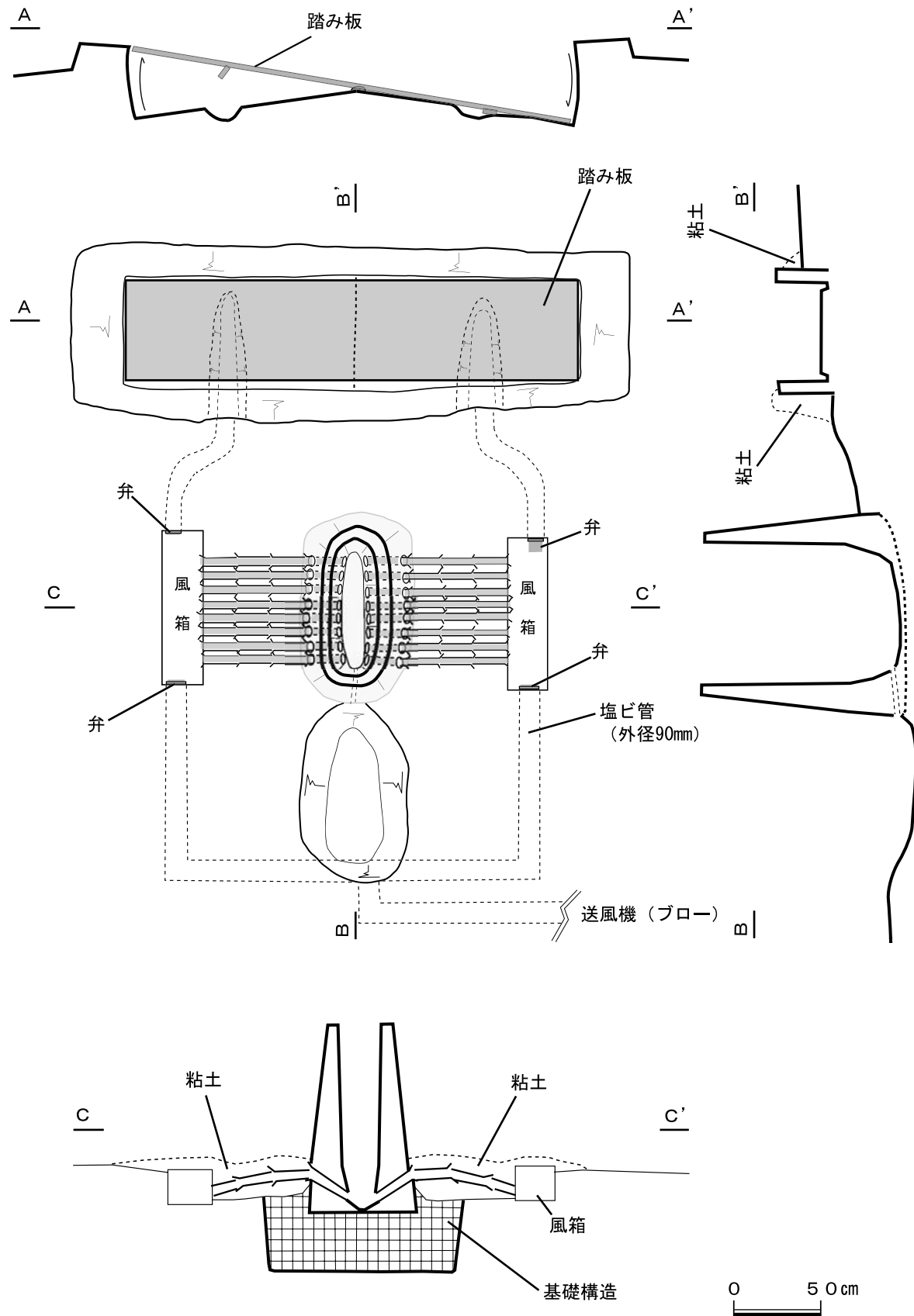


図5 まほろん1号炉

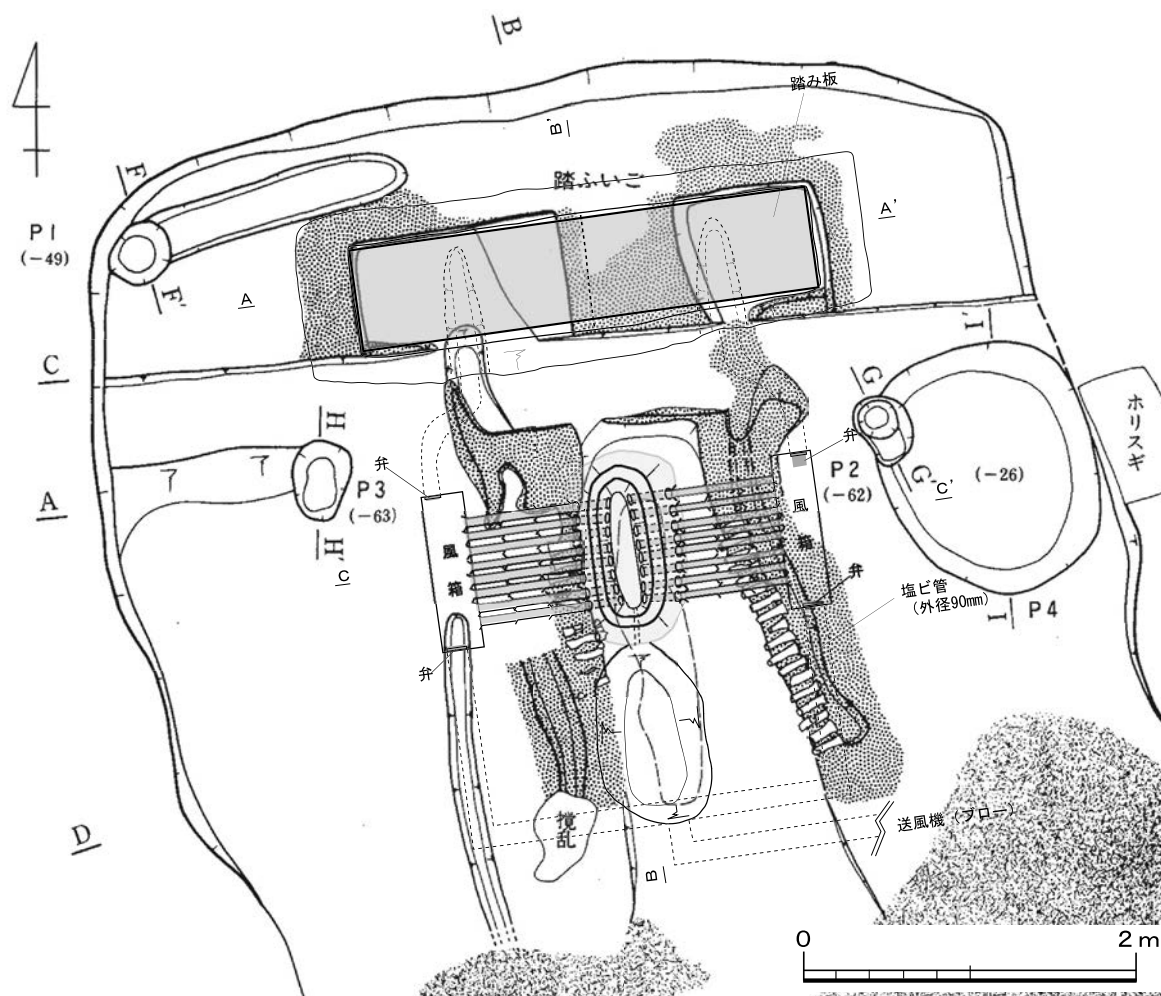


図6 大船迫A遺跡 15号製鉄炉とまほろん1号炉

送風装置である踏みふいごは、調査事例の踏みふいごの掘形を参考にし、これと同規模とした。ただ、調査での踏みふいご掘形は東側と西側で、長方形の痕跡が異なっている(図1参照)。また、中央部にあるはずの軸受けの窪みも確認できなかった。このため、図2 C-C' 断面から、壁面に粘土が貼られている東側穴の下端に準じ、踏みふいご幅 60 cmを採用し、長さは掘形底面の下端の長さ 270 cmとした。踏みふいごの深さは、西側の掘形の方が遺存状態がよかったため、これにより 42 cmとした。おそらく平安時代ではこれより深かったと思われるが、当時の作業面を推測する根拠がないため、この深さとした。踏み板は合板3枚を貼り合わせ製作し、吸気用弁を左右2箇所に取り付け、側面にジュウタンマットを貼り付けた。

送風孔は調査事例と同様の位置にしたが、塩ビ管で製作した送風溝は、西側で実際の溝位置より西に 50 cmほど、東側で 20 cmほど東に離れている。これは、土中に埋めた塩ビ管が、炉の強制乾燥時の燃焼熱により変形することを防ぐためであり、炉から少しでも離すよう、あえて行った。このため、送風溝や木呂羽口の位置は、合致していない。また、実際の炉では、送風溝から直接木呂羽口に連結しているが、今回は内寸幅 25 cm、長さ 90 cm、高さ 20 cmの風箱を2個設置し、この風箱に木呂羽口を連結できるようにした。実際の製鉄炉と、復元した製鉄炉の位置関係については、図6に示した。

なお、送風溝あるいは送風孔のいずれかの位置に、空気の逆入を塞ぐ“弁”が取り付けられていたはずであるが、調査では確認できなかったため、今回は風箱内に設置した。

次に、羽口であるが、内径は出土した木呂羽口に準拠して、先端部 30 mm（乾燥・焼成の結果、内径は 29 ないし 27 mm となり、出土例と近似している。）、長さは 20 cm 前後とした。この羽口は、「鉄づくり」イベントの準備作業として一般来館者に製作してもらったため、長さに若干の違いがあるものの、内径は芯棒が同一のため、同径のものとなった。炉壁装着羽口と木呂羽口では、粘土の材質を変えて製作している（後述）。

羽口の装着角度は、報告書によれば 12 ないし 15° の角度と記載されている（報文第 33 表）が、いずれも羽口に残る熱変化範囲からの算出であるため、おおよその目安でしかない。このため、今回は、鉄づくりの指導を頂いた藤安将平刀匠が、砂鉄より鋼を産出する際に装着する羽口角度と同様の 35° とした。

また、炉に装着する羽口の本数は、片側 8 本、両側で 16 本とした。出土した木呂羽口の本数は 18 本であり、炉の長さも実際より半分ほどであったため、片側を 8 本とした。なお、2 個の羽口が装着されたまま出土した炉壁から、羽口と羽口の間隔は外寸で 4 cm とした。羽口と羽口の心間の距離は約 8.2 cm（羽口間 4 cm + 羽口厚 1.2 cm + 羽口内径 3 cm）であったため、片側 8 本の場合、 $8.2 \text{ cm} \times 7 \text{ 区間} = 57.4 \text{ cm}$ となり、構築する復元炉は、長辺側がおおよそ 60 cm 強の直線をなし、短辺側が弧状を呈する楕円形となった。

風箱に装着した木呂羽口と炉壁に装着した羽口を繋ぐ部分の装置は、全く不明である。竹などを利用した可能性が高いが、痕跡が認められない。今回は、木呂羽口を連結して使用した。連結した木呂羽口は 3 基になった。

4 操業について

1) 原材料について

原料は、福島県西白河郡大信村の隈戸川で採取した砂鉄を、磁選して使用した。燃料は、岩手県産のマツと、一部栃木県那須郡塩原村産のクヌギ・コナラを使用した。炉材粘土は、砂鉄と同様の大信村産の通称“山砂”を使用した。各分析値は、別項の分析報告を参照頂きたい。

なお、本来であれば、砂鉄や燃料の木炭、炉材粘土は、製鉄遺跡から出土したものと合致したものにすべきである。実際に、砂鉄は相双建設事務所から浜砂鉄採取の許可も得、採取もしたが、採取できた砂鉄量が少なく、断念した。さらに、木炭や粘土は、後述するように操業前の予備操業実験の結果を鑑み、上述のものにせざるを得なかった。

2) 操業について

(1) 目的

今回の操業では、次の点を主たる目的とした。

- ・粘土で炉を構築し、踏みふいごで送風し、まず砂鉄から鉄を作ってみる。

＊ 1 回の操業で使用する粘土・砂鉄・木炭の量の目安と、鉄が産出するまでの操業時間を

把握する。

- *産出される鉄の種類と排出される鉄滓量を把握する。
- *産出鉄・鉄滓と、砂鉄・木炭・粘土の成分の差異を把握する。
- *炉内の温度変化と送風量を測定する。

(2)「鉄づくり」イベントまでの準備作業およびプレ操業

鉄づくりに向けての準備作業は、その概要を表2に示した。その中で、来館者参加の準備作業として、砂鉄選別と羽口づくり、木炭の小割作業を行った。また、イベント前にプレ操業を行った。以下、これらこれらの準備作業の中で気づいた点と、プレ操業について記述する。

・砂鉄選別（平成15年8月13・14日実施：8/13 70人参加 8/14 35人参加）

選別作業に使用した砂鉄は、相馬市古磯部海岸から採取した浜砂鉄である。当初、プラスチック製の整理箱（内寸幅24×長39×深7cm）内に、一掴み程度の砂鉄を入れ、砂金洗いのように上下左右に箱を動かして、選別を行った。この方法では、非常に手間がかかり、かつ砂鉄の選別も良好にできなかったため、幅90cm、長さ180cmの板の両脇に1寸5分角の杵木を設置し、これを2枚連結した簡易なトイを設置した。トイには緩やかな勾配を付け、上方より水道水を流して、砂鉄をもみ洗いするような方法で選別を行った（写真4参照）。



写真4 トイを使った砂鉄選別

このような比重選鉱方式の場合、最初は砂中に石英・長石等が混じっているため、砂全体が軽い感じがするが、これらが流れ去るとネットリとし、非常に重い感じがする。色調では、灰色混じりの黒褐色の砂質土が、漆黒のスライム状の砂となる。このスライム状のものが、選鉱した砂鉄であり、部分的に玉虫色のような紫がかった光沢を呈するものもあった。

今回の方法により、僅かな流水状況下で、簡単な板状のトイにより、非常に効率よく砂鉄を選別することが可能であることが確認できた。おそらく当時の方法も、これに似た方法ではなかったかと思われる。

なお、流れ去った石英や長石の混じった白い砂であるが、当時の製鉄工人たちにとっては、そのまま廃棄するのではなく、なんらかの形で利用したのではないかと思われた。しかし、この砂鉄選別のイベント時には、その利用方法すら気づかなかった^(註2)。

・羽口づくり（平成15年9月13～15日実施：9/13 33人参加 9/14 28人参加 9/15 14人参加）

羽口用粘土の質量は、1本700gとした。材料は、平成15年度原町火力発電所関連で調査していた割田B遺跡の粘土採掘坑から採取した粘土（以下、原町粘土とする）と、炉壁に使用した大信村の通称“山砂”（以下、大信粘土とする）を使用した。

表2 まほろんイベント「鉄づくり」準備作業一覧

日 付	内 容	人 数	日 付	内 容	人 数
4/16(水)	那須塩原村の菊池良一郎さん宅へ伺い、木炭購入の件について打ち合わせを行う。	2	9/27(土)	踏みふいご製作2日目。ふいご枠ほぼ完成。	1
4/24(木)	相双建設事務所へ砂鉄採取の件について打診する。	1	9/30(火)	踏み板製作。	1
5/1(木)	菊池良一郎さんより木炭400kg届く。	1	10/1(水)	作業場空焚き開始。単管パイプ等資材到着。	5
5/7(水)	砂鉄採取の申請書送付される。	1	10/2(木)	作業場空焚き2日目。上屋製作開始。	5
5/8(木)	鉄づくり基本要項作成	1	10/3(金)	夜、藤安将平刀匠から大信村の粘土入手の報入る。	
5/14(水)	砂鉄採取箇所の現地調査。		10/4(土)	屋根にトタン板をはって上屋完成。	6
～5/15(木)		2		トタン板の東西側にシートを張る。現地にて踏みふいご・基礎構造掘削場所縄張り。	2
5/23(金)	砂鉄採取箇所の件で、相双建設事務所と電話で打ち合わせを行う。	1	10/5(日)	基礎構造・踏みふいご場所の掘削。送風機設置。	4
6/3(火)	福島市の藤安将平刀匠宅へ伺い、鉄づくりの基本打ち合わせを行う。	1	10/6(月)	鉄づくりの役割分担表とメディア投げ込み資料作成。	1
6/5(木)	大信村隈戸川産の砂鉄採取箇所の調査。	2	10/7(火)	踏みふいご設置。風が出る。夜、風箱製作開始。	7
6/7(土)	砂鉄採取申請書作成および送付	1	10/8(水)	基礎構造焼成開始。	2
6/13(金)	白河市白坂の山内義雄さん宅へ伺い、木炭窯用の粘土のサンプルを分けてもらう。	2		風箱製作2日目。	2
6/14(土)	鉄のフォーラム参加(14日)および、温度等測定を依頼する東京産業研究所佐藤健二先生と打ち合わせ(15日)。	1	10/9(木)	粘土捏ね開始。	1
6/20(金)	藤安将平刀匠にサンプル粘土を送り、羽口あるいは炉壁用粘土の使用可能実験を行ってもらう。	1		基礎構造焼成2日目。	3
6/24(火)	復元炉にする原町市大船迫A遺跡15号製鉄炉の検討を開始する。	1	10/10(金)	粘土捏ね2日目。	3
6/25(水)	原町市大船迫A遺跡15号製鉄炉の検討	1		砂鉄箱・木炭箱製作。	2
6/28(土)	原町市大船迫A遺跡15号製鉄炉の検討	1	10/11(土)	風箱設置。	3
6/29(日)	原町市大船迫A遺跡15号製鉄炉の検討。ようやく炉を理解する。	1		プレ操業用炉構築開始。	4
6/30(月)	福島市の藤安将平刀匠宅へ伺い、粘土実験結果を聞く。	1		粘土捏ね3日目。	1
7/1(火)	復元炉基礎資料作成開始。	1	10/12(日)	炉構築2日目。完成	6
7/8(火)	相馬市古磯部にて、砂鉄採取作業。鹿島町割田B遺跡よりサンプル粘土採取。	2	10/15(水)	夕方より炉乾燥開始。翌12日明朝まで、継続。	2
7/9(水)	相双建設事務所へ砂鉄採取完了届け送付。	1	10/17(金)	プレ操業。参加者30名	
7/12(土)	鉄づくりチラシ作成。	1	10/19(日)	羽口製作。	1
7/29(火)	鉄づくりチラシ作成終了。	1		作業場清掃。	2
7/30(水)	鉄づくりチラシ作成終了。	1	10/20(月)	プレ操業結果報告作成。	1
8/4(月)	福島市藤安将平刀匠宅へ伺い、割田B遺跡からの粘土での実験を依頼する。	1	10/21(火)	踏み板補強。	1
8/8(金)	鉄づくりチラシ発議作成。	1		藤安将平刀匠宅に伺い、本番に向けた打ち合わせを行う。	1
8/12(火)	砂鉄選別作業の準備	1		炉構築のための準備作業再開。作業場空焚き開始。	3
8/13(水)	鉄づくり準備作業「砂鉄選別」初日。参加者70名	4		炉壁用粘土捏ね開始。	4
8/14(木)	鉄づくり準備作業「砂鉄選別」2日目。参加者35名	4		イベント用資料作成。	1
9/2(火)	鹿島町の発掘現場に粘土採取に行く。白河一鹿島1日～9/3(水)	2	10/22(水)	作業場空焚き2日目。	3
9/4(木)	復元炉資料完成。	1		炉壁用粘土捏ね2日目	4
9/6(土)	操業に関する資料作成開始。	1		イベント用資料作成。	1
9/9(火)	操業に関する資料作成。	1	10/23(木)	基礎構造焼成1日目。	3
9/10(水)	操業に関する資料完成。	1		炉壁用粘土捏ね3日目。	5
9/11(木)	復元炉の設計図作成。	1		イベント用資料作成。	1
9/12(金)	粘土につなぎとして入れるワラ切りを行う。	4	10/24(金)	岩手より松炭到着。	
	羽口試作する。	2		基礎構造焼成2日目。	2
	鉄づくり準備作業「羽口・炉壁用粘土づくり」のパネル作成。	1		ふいご用ウマ製作1日目	2
9/13(土)	鉄づくり準備作業「羽口・炉壁用粘土づくり」の初日参加者33名	6		炉壁用粘土捏ね4日目。	2
9/14(日)	鉄づくり準備作業「羽口・炉壁用粘土づくり」の2日目。参加者28名	6	10/25(土)	イベント用資料作成。	1
9/15(月)	鉄づくり準備作業「羽口・炉壁用粘土づくり」の3日目。参加者14名	6		風箱作成。	2
9/17(水)	鉄づくりに伴う火災等発生届についての打ち合わせのため消防署へ伺う。	2	10/26(日)	ふいご用ウマ製作2日目。	3
9/19(金)	鉄づくり準備作業「木炭小割作業」のパネル作成	1	10/27(月)	送風機設置。	7
9/20(土)	鉄づくり準備作業「木炭小割作業」初日。参加者5名	3	10/28(火)	イベント用資料作成。	1
9/21(日)	復元炉設計図作成	1	10/29(水)	炉構築開始。	4
9/25(木)	鉄づくり準備作業「木炭小割作業」2日目。参加者12名	3		木炭小割作業開始。	3
	消防署へ火災等の届け提出。	2		炉実測。炉乾燥開始。	3
	羽口づくり開始。	2		木炭小割作業2日目。	3
	復元炉設計図完成。	1		炉壁用粘土捏ね5日目。	2
9/26(金)	踏みふいご設計図作成。	1		H14年度研究復元展示準備。	1
	踏みふいご製作開始。	1	10/30(木)	炉構築2日目。	4
		1		木呂羽口設置。	4
			10/31(金)	炉壁用粘土捏ね6日目。	4
				炉構築3日目。	5
				イベントの準備作業	9
			11/1(土)	まほろんイベント「鉄づくり」。参加者305名	
			～11/2(日)		
			11/6(木)	上屋解体・撤去片づけ。塩ビパイプ除去。	4
			11/7(金)	資材および資材搬入口片づけ。	2
			11/11(火)	イベント資料片づけ。	1
			11/14(金)	福島市藤安将平刀匠宅へ、送風機返却。	1
			11/18(火)	復元炉上屋再構築開始。	4
			11/19(水)	復元炉上屋構築2日目。下段部分に屋根架かる。	3
			11/20(木)	復元炉上屋構築3日目。屋根架か終了。	2
				延べ人数合計 259人 ＊人数は、準備作業を行ったまほろん職員数を示す。	

羽口の芯棒には直径 30mm の丸材を使用した。これを 1 本 27 cm の長さとし、これに 20 cm のところに印を付け、長さ 20 cm、内径 30 mm の羽口を基準とした。芯棒に粘土を巻き付け、キリタンポのようにして製作した結果、芯棒に粘土が密着し、芯棒が抜けない状況となった。このため、最初に粘土を板状にのばし、この板状の粘土の内面に水を付け、さらに芯棒にも、粘土を水で緩く溶いた液を塗りつけ、この状態で芯棒に粘土を巻き付けた。この結果、芯棒は比較的簡単に抜けるようになり、芯棒を抜き取る際の羽口自体の破損率が下がった。しかしながら、それでも芯棒が抜けにくい場合も時にはあった。

出土遺物の羽口内面を観察すると、比較的多めに水分を含んだ状態で、芯棒を回転して抜いている状況が観察できる。このため、おそらく今回のような状況で、製作していたものと推測できる。また、吸気部先端のラッパ状の開き具合であるが、これについては、来館者に製作してもらった関係上、非常にまちまちであった。ただ、使用に際しては、大きく開くものと、開きがなく直線を呈するものでは、さほどの支障はなく、内径さえ合致していれば、使用に耐え得るものであった。これは、相馬市山田 A 遺跡で出土した 9 本の羽口が装着された炉壁での羽口吸気部の特徴と合致している(小暮 1997)。

乾燥後、電気炉で焼成し、約 2 割弱収縮した。プレ操業の時には、片側 8 本の羽口の内、原町粘土で製作した羽口 4 本と、大信粘土で製作した 4 本を装着した。そして、ノロ出し側には原町粘土の羽口、ふいご側には大信粘土の羽口を並べ、これらが相対するようにした。プレ操業の失敗後、全ての羽口を大信粘土で製作し、操業に臨んだ。来館者に製作して頂いた羽口は木呂羽口として使用した。

・炉壁の粘土ブロックづくり

前述の羽口づくりと平行して、炉の構築に使用する粘土ブロックづくりも行った。粘土は、原町粘土と大信粘土を使用し、スサ入りと砂入りの 2 種類用意した。スサは重量の 3 %、砂は 30 % 混入した。当初、スサ入り 1.5 kg と砂入り 1.5 kg を合わせて 3 kg とし、幅 20 × 厚 10 × 長 20 cm の直方体の粘土ブロックを作った。この大きさは、羽口の長さから推定したものであったが、実際に製作してみると、この重さと大きさでは、1 個の粘土ブロックを製作するのままならず、最終的には幅 10 × 厚 10 × 長 20 cm 程の直方体の粘土ブロックとなり、これを 2 個



写真5 羽口づくり



写真6 山田 A 遺跡出土炉壁装着羽口

(小暮 1997 より転載)

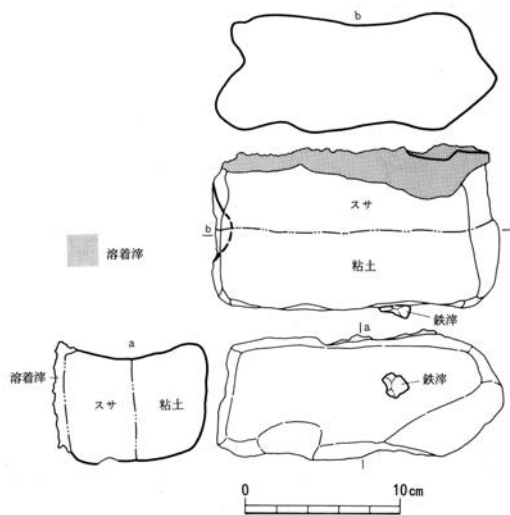


図7 猪倉A遺跡出土炉壁

(吉田 1996 より転載) ・木炭小割 (平成 15 年 9 月 20 ～ 21 日実施 : 9/20 5 人

参加 9/21 12 人参加・藤安将平刀匠指導)

木炭は、ナタ等を使用して長さ 10 cm ほどに小割した。プレ操業では、栃木県那須郡塩原村産のクヌギ・コナラを使用した。『鉄づくり』イベントの際は、当初岩手県産のマツを使用し、その後、一時期クヌギ・コナラに切り替えた。炉に投入する場合の木炭の大きさは、これよりやや小さめなのが良いように思われたが、実際の製鉄遺構から確認された木炭は 5 cm 程度である。これに比べると異様に大きいものである。

・プレ操業結果 (平成 15 年 10 月 11・12 日実施)

『鉄づくり』イベントの予備実験として、プレ操業を実施した。前日の 10 月 11 日までに炉や送風装置等が全て構築され、同日夕方から炉を乾燥させるためのマキによる燃焼を炉の内外で行った。強制燃焼は一晩中に行い、12 日未明に終了した。12 日午前 11 時より操業を開始した。今回の予備実験操業は初めての経験であったため、送風の状態確認や、砂鉄からの鉄づくりを肌で感じることを念頭において行った。

操業の経過や結果は表 3 に示したが、送風開始直後から風漏れが生じ、炉内温度が上がらず、ノロも形成されなかった。これらの失敗要因は、主として羽口にあると思われる。炉に装着した羽口角度は 15° としたが、この角度は、復元した大船迫 A 遺跡 15 号製鉄炉から出土した羽口の角度と同様のものである。この角度だと、羽口からの送風は、炉底よりやや上がった壁面付近に当たる。このため、炉底よりやや上方 (約 8 cm) で、炉の両側からの送風が交差する。失敗要因の一つが、

並列して、炉を構築することとなった。

なお、この大きさは、図 7 に示した相馬市猪倉 A 遺跡から出土した炉壁ブロック 1 個の大きさとほぼ一致している。ただ、今回のように粘土ブロックを 2 個並列して炉壁を構成している事例は確認できていないため、当時の炉の構築、特に操業前の炉壁厚に関しては、さらなる検討が必要である。

プレ操業では、炉の 1/3 程の上方部分のみ原町粘土のブロックを使用し、下位の 2/3 程の部分には大信粘土のブロックを使用し、炉を構築した。『鉄づくり』イベントの際は、全てを大信粘土で構築している。

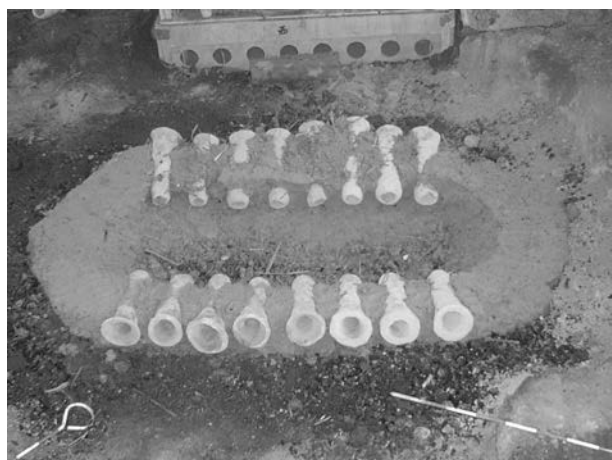


写真7 プレ操業時の羽口設置状況

表3 プレ操業結果報告 (砂鉄・木炭投入時間一覧表：平成15年10月12日実施)

回数	投入時間	量(kg)	回数	投入時間	量(kg)
			炉満タン	11:05	28
			1	11:25	7.8
			2	11:38	8.9
1	12:02	2.0	3	11:53	8.6
2	12:14	1.6	4	12:15	4.5
3	12:35	2.1	5	12:35	5.9
4	12:53	2.7	6	12:55	5.9
5	13:14	2.5	7	13:15	4.3
6	13:25	2.7	8	13:27	4.6
7	13:45	4.1	9	13:45	3.8
8	14:02	2.7	10	14:00	3.6
9	14:15	2.7	11	14:15	5.8
10	14:25	2.7	12	14:27	5.8
計	2時間22分	25.8	計	3時間2分	97.5

【操業の状況】

11:05 炉内に木炭を充填する。踏みふいご送風開始。
 11:10 ごろ 風箱から空気が漏れるため、粘土を充填する。
 11:25 木炭投入開始
 11:38 炎が上がりすぎるため、踏む速度をゆっくり目とする。
 12:02 砂鉄投入開始
 12:35 村下温度が上がらず反応が遅いと言い出す。
 12:43 踏みふいご重くなる。機械送風開始。
 13:31 ノロ出し穴確認。ノロ出ず。すぐに閉める。
 13:37 機械送風停止。踏みふいご再開。
 13:40 ふいご踏み5人体制に。
 炉内の温度が上がらない。
 オレンジ色の炎にならない。
 14:05 機械送風と踏みふいご
 同時送風開始。炉内温度が上がらない。
 14:40 西側木呂羽口取り外し。
 炉内状況確認。ノロで羽口が詰まっている。
 15:00 送風停止。

【状況の推測】

- 送風開始とともに風箱から空気が漏れた。
→羽口が熱で溶けて詰まってしまった。
- 炉内の温度が上がらない。
→羽口からの送風ができなかったため。
- オレンジ色の炎が炉の北側（ふいご側）のみであった。
→大信村の粘土で製作した羽口のみつまらなかった。
- ノロがでない。
→ノロ出し側の温度が下がり、ノロで詰まってしまった。

その他

- 風箱内の弁・栓ともに有効に機能した。
- 踏みふいごの枠・踏み板とも大人7人でも耐久した。
- 送風管で使った塩ビ管・風箱が燃えることはなかった。
→弁が有効に機能した結果。

投入木炭量：97.5kg
 投入砂鉄量：25.8kg
 採取鉄量：微量

このようにした羽口の装着角度と炉底付近の壁面角度の不一致ではないかと考えたため、「鉄づくり」イベントでは、炉に装着する羽口角度を35°とし、送風の交差点が炉底になるように配慮した。

また、原町粘土で製作した羽口は、炉の強制乾燥の時点で、すでに熱により先端が閉塞していた。このため、操業時には、送風ができず、風漏れが起き、必然的に炉内温度が上昇しなかった。逆に、大信粘土で製作した羽口は、最後まで送風が可能であった。このことから、イベント本番では、羽口および炉壁ブロックには大信粘土を使用することとした。

ただ、平安時代の製鉄炉出土の羽口では、この15°あるいは10°未満で炉壁に羽口を装着している。さらに、製鉄遺跡では、粘土採掘坑から採取した粘土を使用して製鉄炉や羽口等を構築・製作していたと考えられている。しかしながら、このように実際に行った実験とのギャップからは、遺跡出土の羽口角度測定の見直しや、あるいは浅い角度でも操業可能な方法の模索、あるいは粘土の吟味等、数多くの問題が浮き彫りになった。今後、これらの問題の一つ一つを、実験を行いながら検討していかなければならない。

この他、手作りの送風装置は非常に良好であり、風箱に設置した弁も有効に機能していたことが今回の実験で判明した。炉内温度を上げるために、イベント本番ではマツ炭を使用することなどを確認してプレ操業が終了した。

3)「鉄づくり」イベント

「鉄づくり」イベントの操業状態は、表4及び図8～10に示した。炉内の温度変化や炉周囲の温湿度等については、別項の佐藤健二氏の「まほろん1号炉における操業条件」を参照頂きたい。また、各種分析についても、別項を参照頂きたい。

以下、炉の構築から操業の結果で、気付いたことを列記していく。

(1) 炉構築時において

・炉壁の粘土ブロックについて

炉を構築する粘土ブロックは、直方体状のブロック同士を付けようとする、必然的にブロック側面は、片側が凹み、片側が凸状になる。さらに、上方から叩くため、ブロックの下位が弧状を呈するようになる。この形態は、まさに図7に示した猪倉A遺跡の事例と同様なものであり、当初から意識して形状を整えたものではないと思われた^(註3)。

・基礎構造について

基礎構造は、炉下部の乾燥の他、炉壁の倒壊を防ぐための土台作りもかねていると思われる。内部でマキを焚き、これが燃えている状態で叩き締めるが、木炭（あるいはオキ）の状態では、どうしても締まっていけない。このため、火に土などを被せて叩き締めたが、この方法だと非常に堅固なものになる。したがって、基礎構造構築時は、土などを被せて叩き締めた可能性が考えられる。（輻射熱を防ぐためにも土をかぶせるのではないだろうか。調査事例の中でも、基礎構造堆積土中は木炭混じりの土砂が多い。）。

・炉と送付装置の掘削順序について

炉と送風装置の掘削順序は、踏みふいご掘形→送風溝→基礎構造の順番が考えられる。まず、ふいご掘形を掘って送風孔からの風の通り道を確認した後に、送風溝を掘削する。その後に基



写真8 砂鉄投入のようす



写真9 操業のようす

表4 まほろんイベント「鉄づくり」操業の状況

時 間	状 況	時 間	状 況
10時45分ごろ	舞いざりて火をおこす。	18時42分	8回目ノロ出し（ノロ量：8.7 k g）
10時52分	火入れ	19時29分	炉東側中間付近、ひび割れ発生。粘土で補修する。
10時56分	炉内に木炭を充填する。踏みふいご送風開始。	19時42分	9回目ノロ出し（ノロ量：2.15 k g） ノロの粘性が上がり、炉内のケラが下方に下がり始める。
11時20分ごろ	炉内の温度の上昇が早い。炉内温度1,400℃になる。		ノロ出し溝を掘り下げる。
11時23分	炉上部に縦方向の亀裂3カ所に入る。	19時53分	ノロ出し穴付近ひび割れ発生。粘土で補修する。
11時31分	炉の上部を番線で締める。	20時40分	10回目ノロ出し（ノロ量：1.55 k g） ノロが少ししか出ない。
11時39分	砂鉄投入開始	20時45分	ノロ出し溝、掘り下げる。
11時43分	炉の炎色：下方 紫色 上方 オレンジ色。	21時35分	11回目ノロ出し（ノロ量：1.3 k g） ケラさらに下方に沈み、下部構造を構成するカーボンペットの細炭がノロ穴から出る。
11時48分	炉下部より炎が漏れるため、修復する。炉の膨張止まる。	21時40分ごろ	木炭をマツ炭のみに変更し、ふいごを踏むペースを上げ、炉内の反応を促進させようとする。
12時20分	1回目ノロ出し。僅かに出るのみ。 炉西側送風漏れ始めるため、粘土により補修する。	21時50分ごろ	炉西側補修。
12時38分	村下、炎を見て“鉄できている”と発言。	22時00分ごろ	操業炉周辺深い霧（煙：一酸化炭素か？）に覆われ、上空には満天の星空が見えるようになる。
12時45分	2回目ノロ出し（ノロ量：3.95 k g 1回目と合算）	20時20分ごろ	炉から上がる炎の色が、炉の中央から北側がオレンジ色、南側が青紫色になり、一定しない状況となる。
12時58分	炉内温度やや下がる。羽口付近1,300℃。上部980℃。	22時30分ごろ	木炭の投入間隔、従来の10分おきから20分おきになる。
13時03分	炉内温度やや上がる。羽口付近1,340℃。上部990℃。	23時15分	12回目ノロ出し（ノロ量：0 k g） ノロが出ず、口をふさぐ。炉内で鉄が燃えている状況（火花がバチバチと飛んでいる）が確認される。
13時10分	中のようなすを見るためノロ出し穴を開けるが、すぐに閉じる。	0時05分ごろ	木呂羽口より、風漏れ著しい。粘土を充填して補修する。
13時59分	3回目ノロ出し（ノロ量：8.7 k g）	0時10分	砂鉄の投入を従来通り（木炭投入と同時に砂鉄投入）に戻す。
14時10分	炉内順調に反応している。村下より“順調”宣言。	0時20分ごろ	羽口付近の炉内温度下がりがだし、炉上部の温度上がり出す。これ以降、炉上下の温度差が縮まる。
14時51分	4回目ノロ出し（ノロ量：11.55 k g） ノロが溶岩のように流れ出る。	1時10分ごろ	木呂羽口より風漏れ。粘土で補修する。
15時25分	炉の上方および東側にヒビが認められる。 粘土により補修。	1時30分ごろ	踏み輪の短辺両側で大量の風漏れ。粘土で応急措置する。
15時29分	炉の補修続く。炉内温度下がりは始める。	1時46分	13回目ノロ出し（ノロ量：0 k g） ノロが全く出ない。
15時40分	炉内温度下がったまま。粘土による補修継続。	2時00分ごろ	炉内温度羽口付近は下がり、上方は上がる。
15時45分	5回目のノロ出し（ノロ量：6.9 k g） 少しノロの出が悪い。	2時10分ごろ	炉中央部に棚が確認される。（棒で炉内を突くと、中央付近で堅いものに当たり止まってしまう。）
15時50分	炉の補修続く。	2時32分	“蛍の光”のBGMに合わせ、送風停止。
16時14分	6回目ノロ出し（ノロ量：11.55 k g） 炉の補修終了。 炉内の温度上がり始める。		投入木炭量：279.1 k g 投入砂鉄量：132.3 k g 採取鉄量：34.0 k g ノロ量：60.2 k g
16時20分ごろ	炉の反応が早いいため、イベント終了が早まる 危機感が発生。延命策として投入砂鉄量を減らし、炉内温度を維持する操業に移行する。 以後、砂鉄は木炭投入3回に1回の割りに減らす。（今まで10分おきに砂鉄を投入していたものが、30分おきとなる）。		
17時42分	7回目ノロ出し（ノロ量：3.85 k g） ノロ出し穴より火花飛び散り、鉄ができている状況が確認できる。 番子に“鉄が育っている”との説明をする。		
18時30分ごろ	木炭をマツ1：クスギ・コナラ1とし、少しでも操業が延命するようにする。		

表5 「鉄づくり」イベント砂鉄・木炭投入一覧

【砂鉄・大信村採取】						【木炭・マツ主】						【砂鉄・大信村採取】						【木炭・マツ主】					
回数	投入時間	量(kg)	累計(kg)	ノロ出し時間	ノロの量(kg)	回数	投入時間	量(kg)	累計(kg)	回数	投入時間	量(kg)	累計(kg)	ノロ出し時間	ノロの量(kg)	回数	投入時間	量(kg)	累計(kg)				
						※2	10:56	21.4	21.4	33	20:10	2.8	107.1			38	17:40	3.6	163.7				
						1	11:10	6.3	27.7	34	20:41	2.5	109.6	20:40	⑩1.55	39	17:50	3.6	167.3				
						2	11:17	4.4	32.1	35	21:21	2.7	112.3	21:35	⑪1.3	40	18:00	3.6	170.9				
						3	11:25	5.1	37.2	36	22:03	2.3	114.6			41	18:09	3.6	174.5				
						4	11:33	3.2	40.4	37	22:51	3.0	117.6			42	18:20	3.6	178.1				
						5	11:37	2.8	43.2	38	23:36	2.4	120.0	23:15	⑫0	43	18:30	3.6	181.7	マ1.8ク1.8			
1	11:39	3.5	3.5			6	11:44	2.8	46	39	0:15	2.5	122.5			44	18:40	3.6	185.3	マ1.8ク1.8			
2	11:46	3.8	7.3			7	11:48	3.6	49.6	40	0:35	2.4	124.9			45	18:48	3.6	188.9	マ1.8ク1.8			
3	11:54	3.8	11.1			8	11:56	4.6	54.2	41	0:50	2.5	127.4			46	18:55	3.6	192.5	マ1.8ク1.8			
4	12:04	4.1	15.2			9	12:06	3.5	57.7	42	1:13	2.3	129.7			47	19:05	3.6	196.1	マ1.8ク1.8			
5	12:14	3.6	18.8	12:20	①	10	12:09	1.6	59.3	43	1:31	2.6	132.3	1:46	⑬0	48	19:14	3.6	199.7	マ1.8ク1.8			
6	12:22	3.5	22.3			11	12:15	4.6	63.9		2:32	送風停止				49	19:21	3.6	203.3	マ1.8ク1.8			
7	12:35	3.5	25.8			12	12:25	4.6	68.5	計	14時間	132.3			60.20	50	19:28	3.6	206.9	マ1.8ク1.8			
8	12:43	3.5	29.3	12:45	②3.95 ※1	13	12:37	4.6	73.1	10分						51	19:37	3.6	210.5	マ1.8ク1.8			
9	12:50	3.5	32.8			14	12:45	3.5	76.6	※1 (1回目合算) ※2 炉満タン						52	19:45	3.6	214.1	マ1.8ク1.8			
10	13:01	3.5	36.3			15	12:53	3.4	80							53	19:51	3.6	217.7	マ1.8ク1.8			
11	13:12	3.5	39.8			16	13:04	3.6	83.6							54	20:00	5.4	223.1	マ1.8ク3.6			
12	13:24	3.5	43.3			17	13:13	3.6	87.2							55	20:13	3.6	226.7	マ1.8ク1.8			
13	13:40	3.5	46.8			18	13:26	4.5	91.7							56	20:24	3.6	230.3	マ1.8ク1.8			
14	13:50	3.6	50.4	13:59	③8.7	19	13:42	3.6	95.3							57	20:40	5.4	235.7	マ1.8ク3.6			
15	14:04	3.5	53.9			20	13:53	3.6	98.9							58	21:00	5.4	241.1	マ1.8ク3.6			
16	14:16	3.7	57.6			21	14:05	3.6	102.5							59	21:12	3.6	244.7	マ1.8ク1.8			
17	14:33	2.9	60.5			22	14:18	3.6	106.1							60	21:24	3.6	248.3	マ1.8ク1.8			
18	14:44	3.0	63.5	14:51	④11:55	23	14:34	3.6	109.7							61	21:44	3.5	251.8				
19	14:55	2.9	66.4			24	14:45	3.6	113.3							62	21:58	2.1	253.9				
20	15:13	3.0	69.4			25	15:00	3.6	116.9							63	22:03	3.6	257.5				
21	15:25	3.0	72.4			26	15:15	3.6	120.5							64	22:15	3.6	261.1				
22	15:40	2.9	75.3	15:45	⑤6.9	27	15:28	3.6	124.1							65	22:35	3.6	264.7				
23	15:56	2.9	78.2			28	15:45	3.6	127.7							66	22:52	3.6	268.3				
24	16:11	3.1	81.3	16:14	⑥11:55	29	15:59	3.6	131.3							67	23:14	3.6	271.9				
25	16:35	2.8	84.1			30	16:12	2.6	133.9							68	23:56	3.6	275.5				
26	17:00	2.8	86.9			31	16:28	3.6	137.5							69	0:10	3.6	279.1				
27	17:40	3.0	89.9	17:42	⑦3.85	32	16:39	3.6	141.1							70	0:35	3.6	282.7				
28	18:07	2.6	92.5			33	16:49	3.6	144.7							71	0:48	3.6	286.3				
29	18:48	2.9	95.4	18:42	⑧8.7	34	16:59	3.6	148.3							72	1:12	3.6	289.9				
30	19:12	2.9	98.3			35	17:09	3.6	151.9							73	1:32	3.6	293.5				
31	19:25	3.0	101.3			36	17:21	4.6	156.5							計	15時間	293.5					
32	19:40	3.0	104.3	19:42	⑨2.15	37	17:33	3.6	160.1							34分							

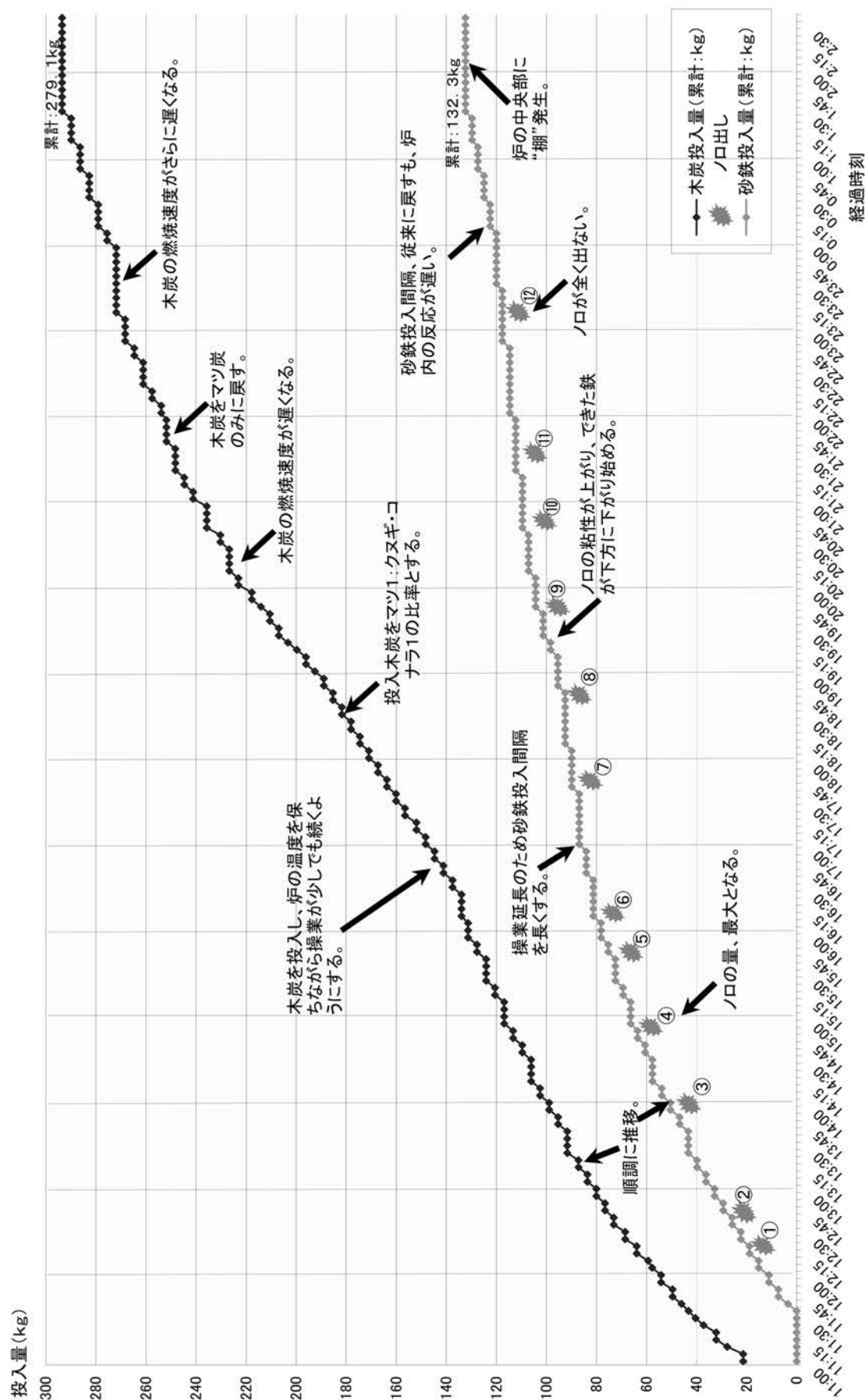
礎構造部分を、送風溝の間に設置・掘削するものと思われる。これが逆だと、基礎構造の上端と送風溝の底面、さらに送風溝の底面と踏みふいご掘形送風孔の底面の接続が非常にむずかしい。したがって、送風溝の底面レベルが解れば、羽口の設置位置がある程度推測できることになる。

なお、送風溝の構成素材であるが、素掘りのトンネルとは考えられず、なんらかの芯材があったものと思われる。芯材は竹等では強度が弱いため、丸太材を半裁して中を削りぬいたようなものが考えられる。調査事例で送風溝が緩やかに湾曲するのも、この芯材との関連があるかもしれない。今後の調査事例に期待したい。

(2) 操業の結果

・砂鉄・木炭の投入量と、産出鉄の重量・排滓量

図8 砂鉄・木炭投入量一覧



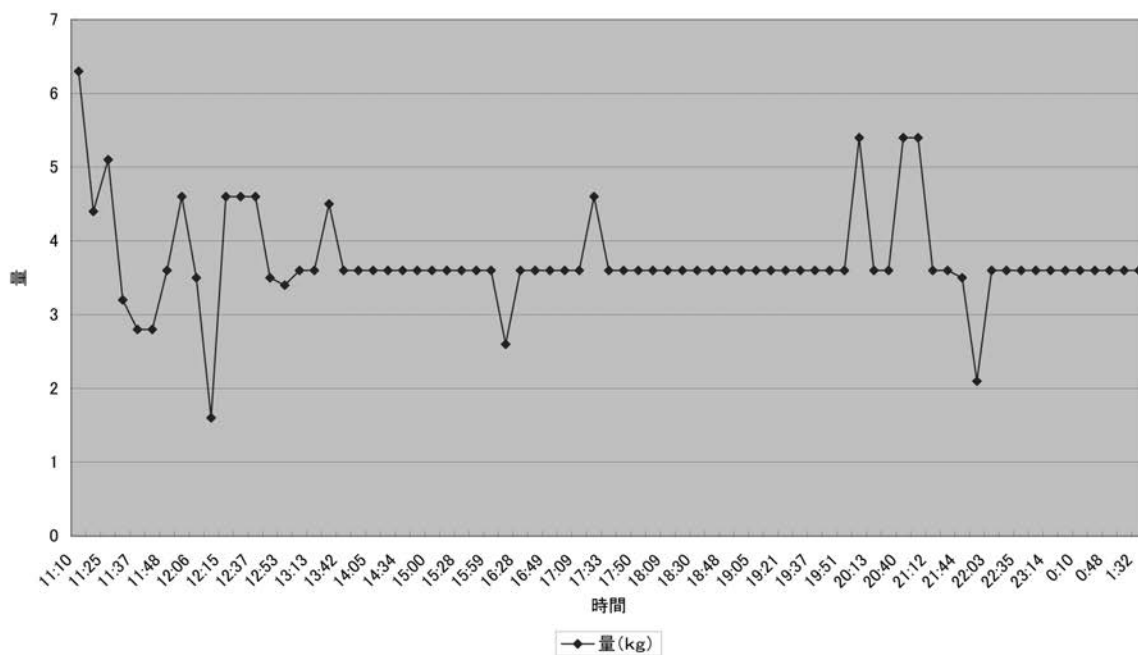


図9 木炭投入量 (kg)

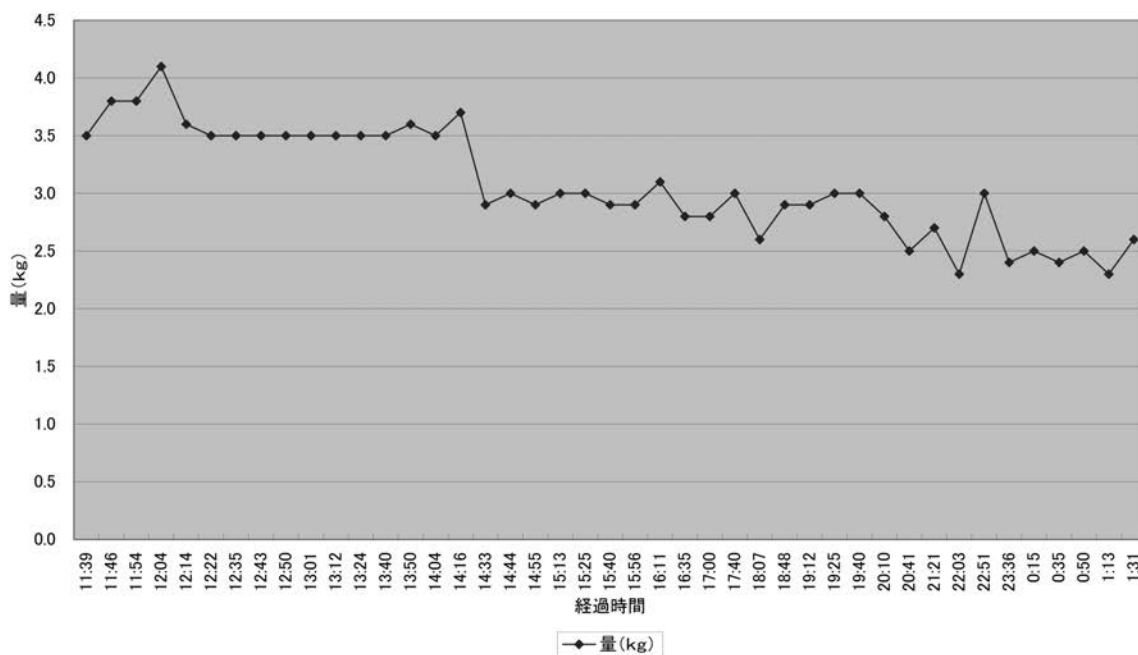


図10 砂鉄投入量一覧

砂鉄投入量：132.3kg

木炭投入量：279.1kg

産 出 鉄：34.0kg（写真11・図12参照：長さ82cm、幅31cm、厚さ7～11cm）

鉄 滓 量：流出滓60.2kg

炉内滓1.8kg

含鉄鉄滓2.0kg（鉄塊と鉄滓が混じり合ったもの。ハンマーで叩くと鉄と分かれる。）

＊砂鉄と木炭の投入割合が1：2であるのは、炉材の浸食から操業終了が早まる危惧が生じ、イベントの継続維持のため砂鉄の投入回数を減らしたからである。図8中の砂鉄の投入ラインが午後4時ごろから穏やかであるのは、このためである。

この結果、炉内では羽口直上の温度が下がり、生成された鉄は基礎構造まで沈降し、炉の最下位部と羽口上方の2箇所に温度の高い状況が発生した。砂鉄の反応は羽口の上方に移り、これによりいわゆる棚吊りが生じたが、ノロはほとんど形成されなかった。

・炉の状態

操業後、すぐに炉の解体をおこなった。このため、解体の記録は簡単な写真撮影のみである。

図11及び写真10に炉の横断面を示した。炉壁の浸食が羽口のかかなり上方まで及んでいるのは、棚吊りの結果と思われる。

砂鉄の反応は、炉頂部から35 cm下がった部分からみられ、炉壁にノロが付着するのは、炉頂から55 cmほど下がったところ（羽口からは30 cmほど上方）からである。

解体後、ノロが付着した炉壁はやや現状を保っているが、これ以外の部分の炉壁は、風雨等にさらされ、風化し土壌化している。

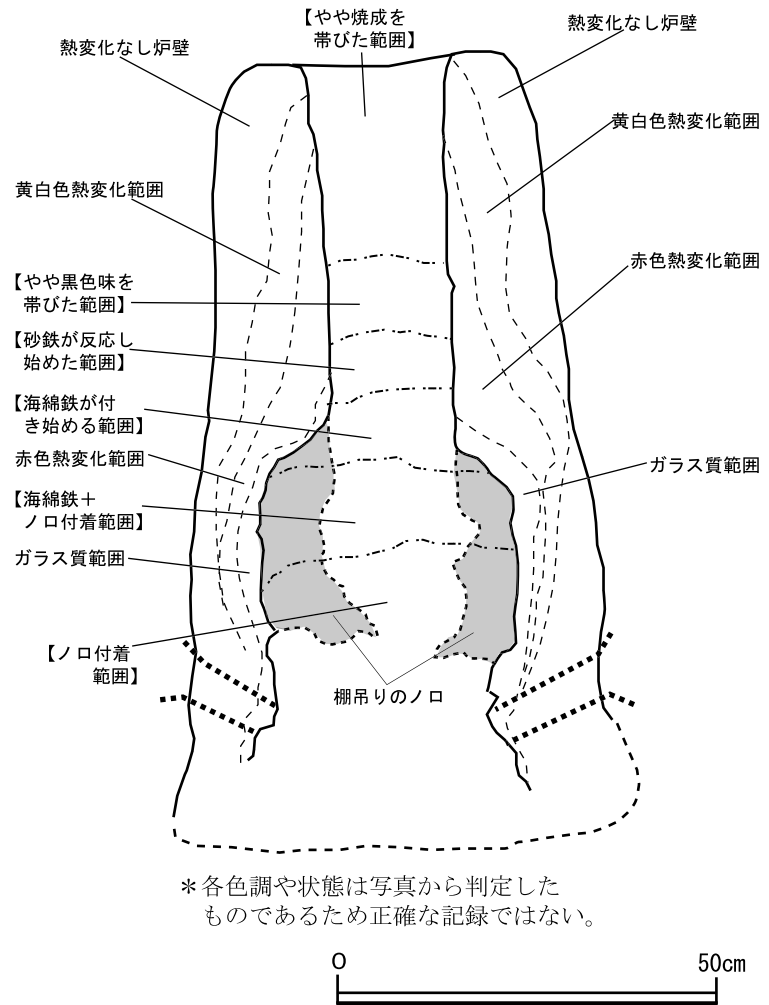


図11 操業後の炉



写真10 炉解体のようす

このことは、遺跡で出土する炉壁も同様の傾向を有することが伺え、製鉄炉の炉頂部付近の炉壁が確認しづらいことを物語っている。

・炉材粘土

今回の製鉄炉の操業では、大信村産の粘土を使用した。製鉄炉の操業においては、炉材粘土が最も重要であり、砂鉄と相性のよい粘土選択が、非常に大切なことであることが知られた。古代の製鉄炉の立地条件の中で、砂鉄が採取でき、木炭となる雑木林があることなどがよく挙げられているが、最も肝要なことは、炉材の粘土選択であると思われる。

しかも、その粘土は、砂鉄が反応する際、溶出しなかつ送風の羽口の口を塞がないものでなくてはならない。このため、砂鉄と相性のよい粘土が採取できる場所に、製鉄炉が立地しているとも推定できる。

・炉内滓の少なさ

鉄滓は基本的に流出滓であり、炉内に堆積したいわゆる炉内滓は、生成されたケラの上部に貼り付いていたものであり、ハンマー等で叩くと壊れ、はがれたものであった。生成鉄と滓が複雑に絡み合った含鉄鉄滓も僅かだが認められた。これらは、明確に鉄とノロが分離できなかったものであり、炉外に流出できなかったものと判断している。

製鉄遺跡から確認される炉内滓と呼ばれるような鉄滓は、確認できなかったし、その量は非常に少ない。このことは、炉内滓の生成プロセスや、そもそも炉内滓とは何なのかという新たな問題を提示しているのではないだろうか。

・いわゆる炉底塊・炉底滓とは？

今回の操業において、炉底に認められたのは、生成物であるケラであった。ケラの状況

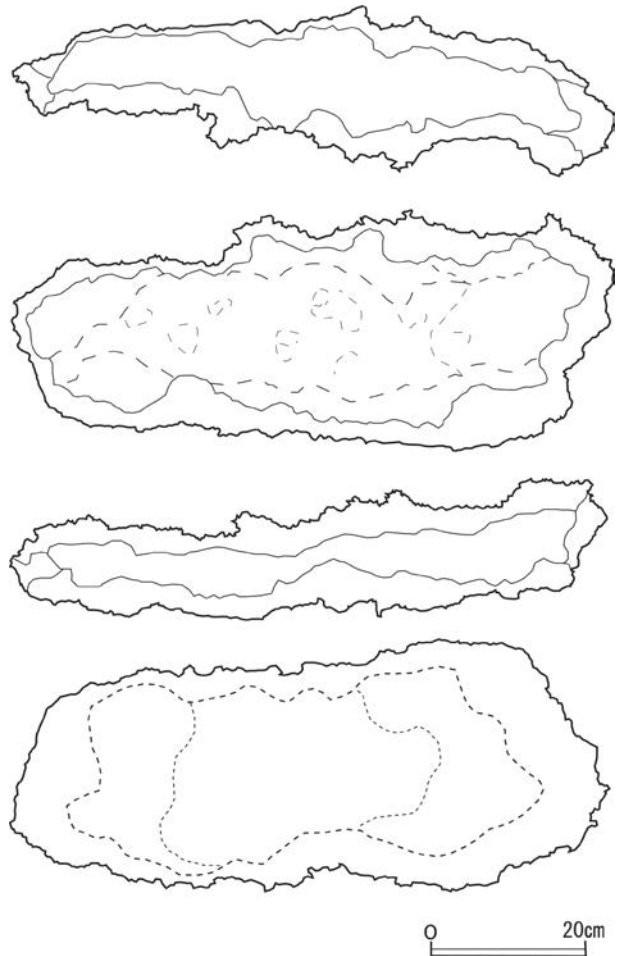


図 12 生成されたケラ

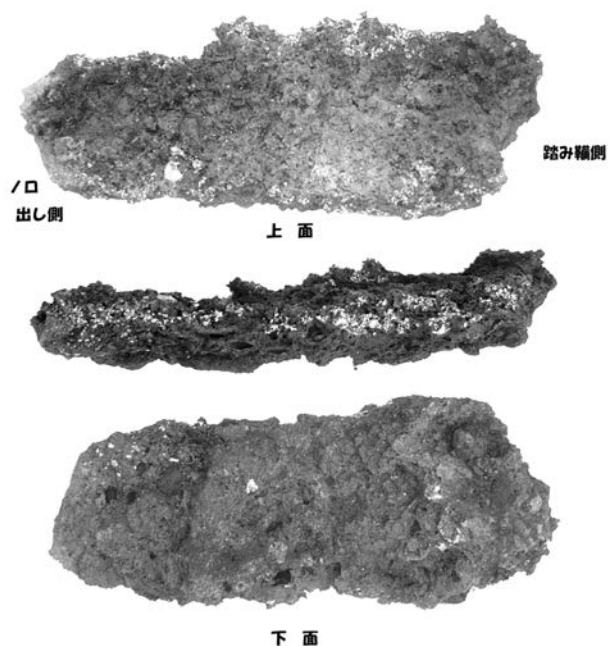


写真 11 生成された鉄塊（ケラ）

は写真 11 や図 12 に示したが、これの底面の状態は、調査事例に見られるような、いわゆる炉底塊・炉底滓とは明らかに異なっているし、整合性は認められない。遺跡出土の炉底塊・炉底滓の見直しが必須であり、さらに、古代の製鉄操業、すなわち生成物の捉え方も検討していかなければならない。

5 分析結果

分析についてはほとんど素人であるので誤謬があろうが、気付いたことを記述する。今回の操業に伴う各種試料の分析は、別項を参照頂きたい。

砂鉄と鉄滓の成分分析の中での $\text{TiO}_2/\text{T.Fe}$ の割合は、砂鉄が 0.19 であったのが、ノロ出し 4 回目の鉄滓では 0.25、7 回目の鉄滓では 0.27 と増加し、7 回目の方が値が高い。このことは、操業がある程度順調に推移し、砂鉄中のチタンが濃縮除去できたことを意味する。鉄生成率は 3 割弱であったが^(註4)、偶然にもこの割合は 15 号製鉄炉の鉄生成率に類似している^(註5)。

生成した鉄塊の炭素濃度は、0.2～0.3%（川鉄テクノロジー㈱では、鉄塊上部 0.17%、同下部 0.12%）と非常に低く、軟鋼であった。

また、送風量が多かったため炭素濃度が低かった可能性が考えられているが、これは、踏みふいごの大きさに対し、炉の規模が小さかったことに起因する。逆に言えば、踏みふいごの規模と炉の大きさには相関関係があり、当然装着する羽口の本数やその設置間隔まで、当時の工人たちの経験値により決定されていたものと推測される。

最後に、製鉄遺跡調査時での分析では、今後以下の点に留意していただきたいと思う。

◎製鉄炉の操業は 1 回ごとに異なるため、極力 1 回の操業が理解できるような分析資料を抽出することが肝要である。具体的には、砂鉄・生成された鉄塊・鉄滓・炉壁や羽口からの粘土・木炭が、全て 1 回の操業での原材料や生成物と判断できる試料を分析することである。ある炉から鉄滓、別の炉から鉄塊、またある別の炉から羽口等の試料を抽出するのでは、本当の意味での炉の性格付けはできず、具体的復元は非常に困難なものになる。

また、鉄塊はピュアなメタル面を供出し、炭素濃度の測定を行い、少しでも古代の製鉄工人が目指した鉄の種類が、いかなるものであったのかを探る手がかりとすべきである。鉄の種類による炉形の形態変化及びその変遷が必須であり、これを新たに加えることで古代の製鉄技術の変遷が、もう少し明確に把握できるのではないかと考えている。

6 ま と め

今回行ったまほろん 1 号炉の操業は、平安時代の製鉄炉をできうる限り復元し、砂鉄から鉄を産出する目的で実施したものだが、これは半ば成功したと言える。ただ、今回産出されたような鉄を、当時の工人たちも作っていたのかと問われると、操業は完全な失敗と言わざるを得ない。操業の質、生成物の質が根本的に違っている。

すなわち、今回のような炭素量 0.12～0.3%の鉄塊（ケラ）は、タガネを入れても柔らかすぎて容易に碎けないため、割れないのである。平安時代の工人たちが産出していたのは小割

りできる鉄、次の作業工程に移行できる鉄であったはずである。それは、今回のような“炭素量の低い鉄のかたまり”ではなく、炭素量の高い鉄、すなわち銑鉄ではなかったのかと思われる。次回は、これを目的とした研究復元事業、すなわち復元炉の操業を行いたいと思う。

最後になりましたが、今回の操業に際してご指導くださった藤安将平刀匠並びに以下に名前を記した個人の方々や機関、さらにはお手伝いいただいた多くのみなさまに厚く感謝申し上げます。多くなる感動をありがとうございました。

＜今回の鉄づくりでお世話になった方々と機関＞

砂鉄の入手：星 秀夫（大信村） 相馬港湾建設事務所 相双建設事務所

木炭の入手：菊池 良一郎 星 忠夫（栃木県那須郡塩原村）

粘土の入手：福島県文化振興事業団遺跡調査部原町火力発電所関連遺跡発掘調査班のみなさんと
作業員の方々

有賀 一久（西郷村） 山内 義雄（白河市）

鉄づくりに関する様々な画像データ：熊本県立装飾古墳館 池田 朋生 長谷部 善一

実験炉に関するデータ：平間 亮輔

操業に関すること：星 秀夫 國島 将永 有賀 一久

佐藤 健二（温度測定）

平井 昭司 岡原 正明（各種分析）

＜参考・引用文献＞

国井秀紀 1995 「第2編大船迫A遺跡第4章第1節15号製鉄炉」『原町発電所関連遺跡発掘調査報告書V』 福島県文化財調査報告書第310集

小暮伸之 1997 「第2編山田A遺跡」『相馬開発関連遺跡調査報告V 本文2』 福島県文化財調査報告書第333集

（註1） 吉田秀享 2006 『まほろん1号炉の操業について—福島県原町市大船迫A遺跡15号製鉄炉復元操業—』「前近代製鉄実験」研究グループ第5回例会予稿集「鉄の歴史—その技術と文化—」フォーラム編（社）日本鉄鋼協会 社会鉄鋼工学会

（註2） 依 国一 1933 『古来の砂鉄製錬法』丸善の「第5章銑押し」によると、和銑製造の場合、ノロを作り出すため、砂鉄挿入の最初の2回目までは、砂鉄を精洗した時の洗い滓を投入するとある。おそらく、この洗い滓が、比重選鉱によって流れ出たこのような白い砂であり、これを使用して銑押し操業が行われたのではないだろうか。

（註3） 吉田秀享 1996 「第2編 猪倉A遺跡」『相馬開発関連遺跡調査報告IV 本文2』 福島県文化財調査報告書第326集の第4章まとめにおいて、「炉壁を構築する際には、ホゾとホゾ穴を組み合わせるような構築方法が採用されていることが推測された。」としたが、実際に構築すると前述のようにブロックが変形する。

（註4） 鉄生成率に関しては、以下の福田豊彦氏の論に準拠している。

福田豊彦他 1985 「広島県と滋賀県における岩鉄製鉄」『日本歴史』 第448号 吉川弘文館

福田豊彦 1982 「第四章文献資料から見た古代の製鉄」『古代日本の鉄と社会』 東京工業大学製鉄史研究会

福田豊彦 1985 「日本古代鉄生産の諸様相—中世製鉄の前提として—」『日本史研究』 第280号 日本史研究会

（註5） 吉田享子 1995 「第4編考察第1章第3節鉄滓」『原町火力発電所関連遺跡調査報告V』 福島県文化財調査報告書第310集において、原町市金沢地区の製鉄炉での鉄生成率が計算表示されている。大船迫A遺跡15号製鉄炉は35.1%と算出されている。

まほろん 1 号炉（原町市大船迫A遺跡 15 号製鉄炉の復元炉） における操業条件

東京都立産業技術研究所 佐藤 健二

1 はじめに

福島県原町市で平安時代、9 世紀前半の製鉄炉が発掘され、調査結果から、炉の規模は 210 cm(長さ)×60cm(幅)×102cm(高さ)の規模をもつ箱形炉の構造と推定された。この炉を復元し、西白河郡大信村産の砂鉄からの鉄づくりの再現実験を行った。この復元炉での操業時の炉内温度と輔（ふいご）及び風箱の送風管による炉内への送風量を測定した結果を報告する。

これまで、たたらの復元実験は、たたら製鉄復元計画実行委員会^(註1)によって炉高 110cm の長方形箱形炉で 3 日間の連続操業が行われ、温度・雰囲気ガス・炉壁の損耗などが計測された。操業時の炉底部の温度は 1,400～1,520℃である。炉内へは送風機で連続的に送風する条件である。また、小型の簡易角形たたら炉による試みも行われ^(註2-4)、同様に送風機による送風で、ピーク時には羽口前で 1,500℃を越える温度となっている。送風機送風による炉の内径約 18cm の円筒型簡易炉（甗炉型）の実験^(註5,6)では、操業中に炉底側の温度は 1,200～1,450℃となり、1 回の投入量が少ないこともあり、砂鉄の投入によっても炉内温度変化は少ない結果である。これらの実験は、全て送風機による操業であり、復元炉操業で人手による踏みふいご送風によった炉況の測定事例はこれまで報告されていない。

2 操業条件及び測定条件

1) 炉内温度の測定

写真 1 に復元炉の外観を示す。炉体外形寸法は 110cm(長さ)×60cm(幅)×110cm(高さ)で、15 号製鉄炉の推定寸法よりも長手方向を 100cm 短くしている。矢印位置が炉内温度の測定位置である。また、炉内の長手方向の両端を丸く仕上げた構造である。

炉内の概略構造と炉内温度の測定位置を図 1 に示す。炉内温度の測定位置は、炉高の中央やや下の炉頂から 65cm の位置（以下、温度（上））と、羽口のやや上、炉頂から 84cm の位置（以下、温度（下））の 2 カ所とした。いずれも炉体長手方向の中央部とし、熱電対保護管の先端位置は、温度（上）は炉内壁面から 5 cm、温度（下）は炉内壁面から 5 cm の位置である。ただし、温度（下）熱電対の破断後（12:00～）は、炉壁面から 1 cm の位置にした。それぞれの熱電対位置の炉壁幅は炉頂から 65cm の位置で 24cm、84cm の位置で 21cm と若干羽口の上端が狭くなっている。熱電対用保護管は上下共に高純度アルミナを用いた。

温度測定にはφ 0.5mm の R 熱電対 (Pt/Pt - 13%Rh、PR) を用いた。炉内温度データはデータロガー（データ記憶装置）に取り込み、火入れから 4 時間まではサンプリング時間を 0.1 秒とし、4 時間後から、炉の操業停止までの約 12 時間はサンプリング時間を 0.2 秒とした。



写真1 炉の外観と熱伝対の設置位置



2) 送風量の測定

送風量は番子が踏み鞆を踏んだ際の風の圧力変化から求めた。風圧の測定には圧力センサ（共和電業（株）製、PS-05KD：定格容量 50kPa）を用いた。圧力センサの径は $\phi 6.0\text{mm}$ で、センサ保護のため、外径 $\phi 6\text{mm}$ 、内径 $\phi 4\text{mm}$ のアルミナ管に接着剤で固定した（写真2）。矢印がセンサーで、空気抵抗を少なくするためと、送風管内の中央に固定できるよう針金で組み上げ、管中心への位置決めを行った。

送風時の圧力は温度測定と同時に行い、データはデータロガー（データ記憶装置）に取り込み、火入れから4時間まではサンプリング時間を0.1秒とし、4時間後から、炉の操業停止までの約12時間はサンプリング時間を0.2秒とした。

踏み鞆は、踏み板中央部が山形になっており、長手方向の端中央・下の2ヶ所に送風のための吹き出し口が設けられている。写真3に踏み鞆のセンサの設置位置（矢印）と内径 $\phi 83\text{mm}$ の吹き出し口での設置状態を示す。圧力センサの設置位置は、踏み鞆の東側と2ヶ所の東側風箱の送風管内とした。

写真4に風箱から炉内へ空気を送風する送風管の外観を示す。送風管は焼成した粘土製で、長さが15～20cm、内径が約30mmである。写真5に風箱内のセンサーの設置位置を示す。白い矢印が送風の方を示し、東側風箱内の8ヶ所ある羽口への送風の鞆側から2番目（以下、No. 2）と最も遠い位置にある8番目（以下、No. 8）の2ヶ所で測定を行った。送風管同士を繋ぎ合わせるため、口が広く、テーパがついている。このため、管中部の $\phi 30\text{mm}$ の平行部分にセンサーを設置しており、センサーは管の奥に入り込んでいる。

3) 操業時の気温と湿度

製鉄炉の操業時の気温と湿度は通風乾湿計を用い、踏み鞆隅から約40cm離れた地上1mの位置で測定した。

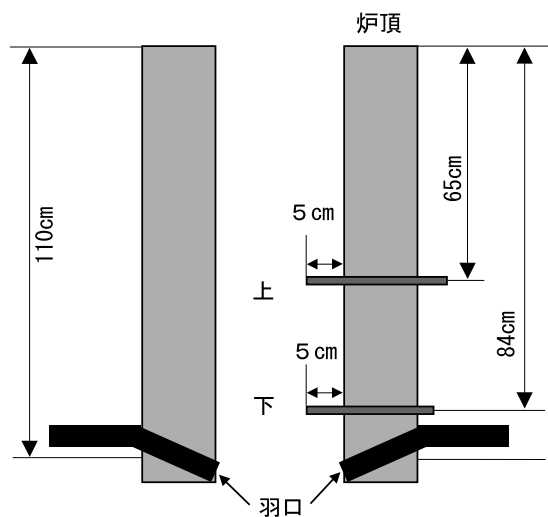


図1 炉内温度の測定位置

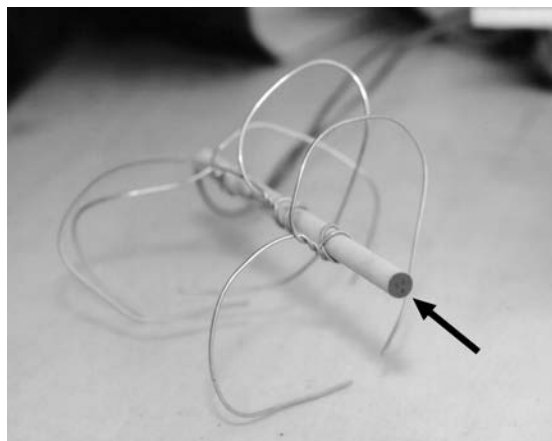


写真2 組み上げられた圧力センサの外観



写真3 踏み鞆の外観と圧力センサーの設置位置

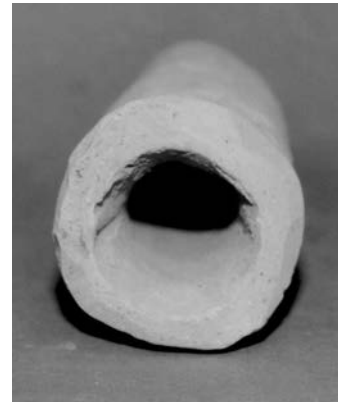
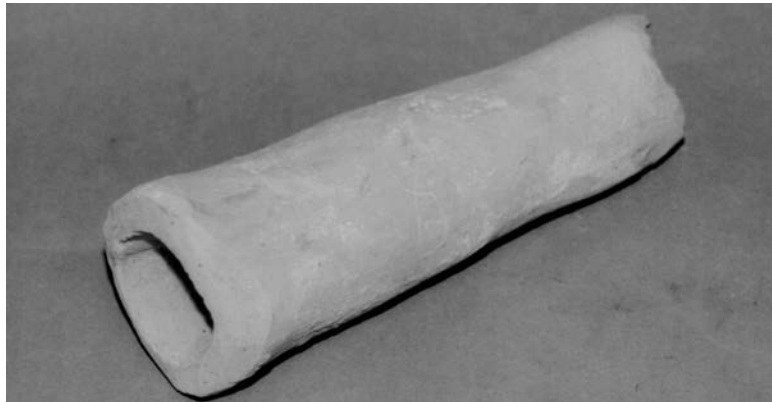


写真4 送風管の外観



写真5 風箱内のセンサ設置状況

図 2 に操業時の温度と湿度の測定結果を示す。操業開始の約 1 時間後の正午ごろは気温 24℃、湿度 58% であったが、時間経過に伴い、徐々に気温が低下し、湿度は上昇した。日没時の 17:00 では、気温 17.5℃、湿度は 100% で、その後、気温は約 10℃まで低下するが、湿度は操業停止まで 100% であった。

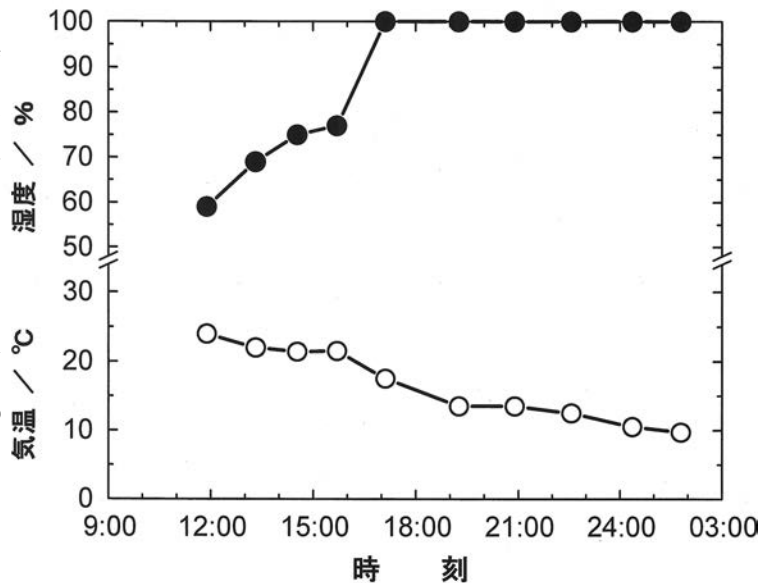


図 2 操業時の気温と湿度

3 炉内温度と送風量の測定結果

1) 炉内温度

図 1 に示す位置での火入れ (10:52) から次の日の操業停止 (02:32) までの炉内温度の測定結果を図 3 に示す。操業初期は松炭のみを投入し、炉内温度を上昇させた。火入れから炉内温度は急速に上昇し、火入れ後の 30 分間で温度 (上) は 960℃、温度 (下) は 1,410℃まで達した。11:09 から炭と同時に砂鉄を投入したが、11:45 まで温度 (下) は 1,400℃以上を維持した。また、温度 (上) は上昇し続け、11:37 で最高温度の 1,150℃を示したが、その後、炭と砂鉄の投入毎に対応して温度が低下し、12:00 直前には約 1,000℃まで低下した。12:00 直前の矢印 A で温度 (下) の熱電対が切断したため、熱電対を入れ替えると同時に、温度 (下) の測定位置を変えた (炉壁面から 1 cm)。炉温は 12:00 頃から緩やかに低下し、温度 (上) は 14:00 頃に 900℃前後の最低値

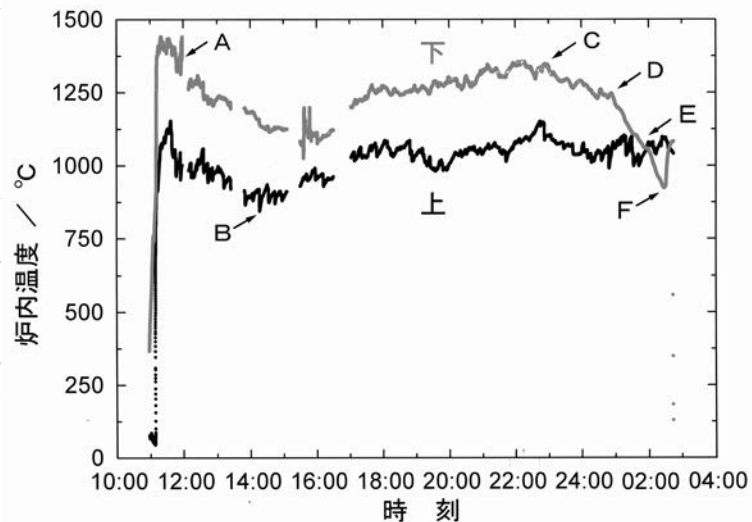


図 3 炉内温度の経時変化

(矢印 B) を示し、その後緩やかに上昇した。この間、温度 (下) は 16:00 頃に最低値、1,100℃となり、その後 23:00 頃 (矢印 C) まで緩やかに上昇した。

矢印 C から、操業調整のため、炭と砂鉄の投入を抑えた。これによって温度 (下) は低下した。温度 (上) も同様に低下している。00:00 頃から、再び炭と砂鉄を投入し始めた。01:00 頃 (矢印 D) から、温度 (下) が急激に低下したが、温度 (上) は緩やかに上昇し続けていた。02:00 頃 (矢印 E) で温度 (上) と温度 (下) が逆転し、温度 (上) が高くなった。矢印 F で

上から棚の部分をついて一部を落とし、若干温度が上昇したが、その後、炉況が不安定と判断されたため、02:32 に送風を停止した。

図 4 に操業初期の 11:30 ～ 12:00 間の炉内の温度変化を示す。温度（上）は 1,000 ～ 1,100℃ の間で規則性のある上下変化を繰り返しているが、温度（下）の変化は温度（上）に比べて小さい。村下（むらげ）が、細い鉄棒で炭や砂鉄の投入前に、炉頂から炉内の燃焼炭を突いて隙間を少なくする作業の際（矢印・村下）に温度降下が起こり、さらにその後の炭と砂鉄の投入の一連の作業によって温度（上）は 100 ～ 120℃ 低下する。温度（下）は 30℃ 程度の温度降下である。

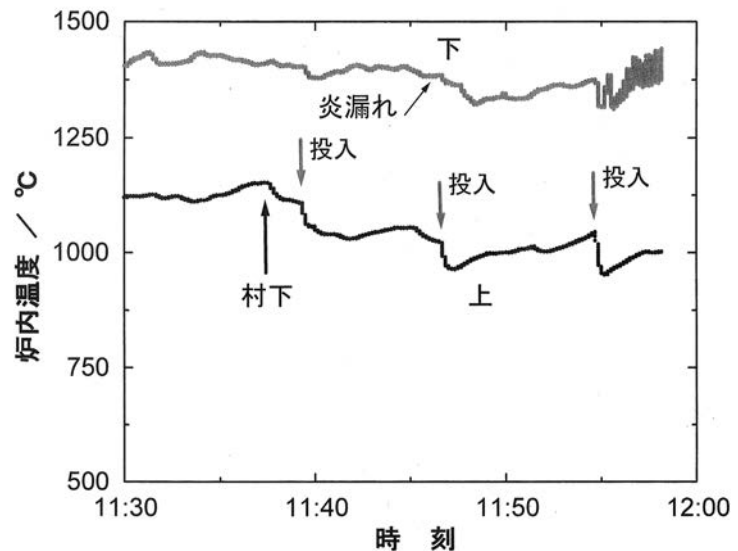


図 4 操業状態による炉内温度変化 (11:30 ～ 12:00)

11:48 に炉の下部から炎が漏れたため、炉の補修を行った。炉の下部での亀裂によって温度低下が認められ、温度（下）は 1,350℃

まで低下したが、その後、再び温度は上昇した。12:00 前に温度（下）が不安定になり、熱電対が切断した。12:00 前までの温度（下）の最高温度は 1,440℃ である。

熱電対の再設置の際、高温操業によるアルミナ保護管と熱電対の損傷を考慮し、温度（下）の熱電対の先端位置を炉内壁面（操業前の測定位置）から 1 cm に変更した。9 分後の再設置後の温度（下）が 1,290℃、温度（上）が 982℃ であり、熱電対切断前の温度（上）から、温度（下）を見積もると 1,390℃ 程度であるため、温度（下）での炉内温度は初期の設置位置に比べ、約 100℃ 低いと推定される。

図 5 に操業終期の 23:00 ～ 02:30 間の炉内の温度変化を示す。23:00 過ぎから、炭、砂鉄の投入を抑える操業調整を行ったことで、温度（下）は 1,300℃ から次第に低下した。00:00 からの炭、砂鉄の投入再開によっても、温度（下）は低下傾向にある。温度（上）は 1,100℃ にほぼ維持されている。01:00 前（矢印）からは、温度（下）の温度低下が大きくなり、02:00 頃には温度（上）より

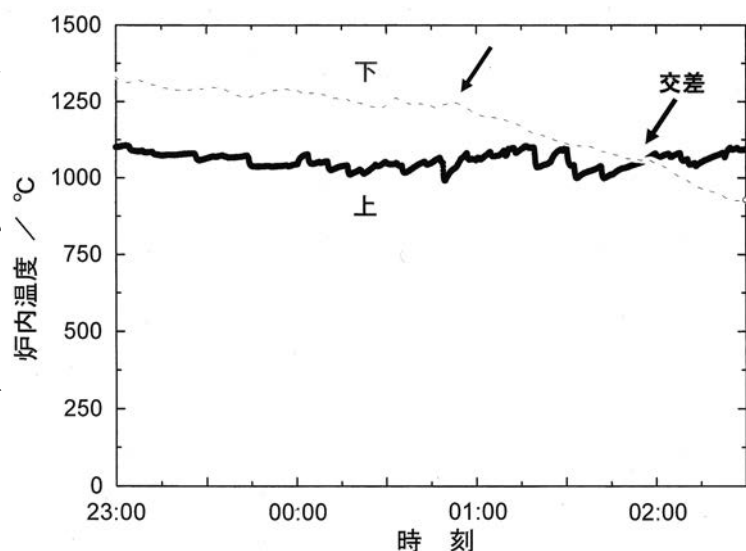


図 5 23:00 からの炉内温度変化

も低くなり、02:30 には 900℃まで低下した。この現象は、炉内の羽口上部に棚吊りが生じたために起こったことによる。棚吊りは還元された鉄・砂鉄・炭が焼結し、炉壁に支えられながら、この塊が宙づりになった状態である。羽口から空気を送っても砂鉄が十分還元されず、熔融鉄が連続的に炉底へ落ちていかない。また、羽口からの空気は棚吊りの脇の空気が通りやすい所を通して上に抜けていったため、温度（上）は順次投入された炭の燃焼によって 1,100℃程度に維持されていたと思われる。

写真 6 に還元炉の解体した断面を示す。熱電対の位置を、それぞれ矢印で示す。解体時に羽口上部での棚吊りが確認された。温度（上）の熱電対位置では、炉の内壁はほとんど浸食されていない。しかし、温度（下）熱電対位置では、炉壁の浸食が激しく、内側の煉瓦がほとんど残っておらず、炉内壁面が 14～15 cm 程度後退している。温度（下）は作業時間の経過に伴い、炉壁が浸食されることで、炉壁面からの距離が次第に長くなり、作業停止の際には実際の炉壁面から 15～16 cm の位置での測定結果となる。

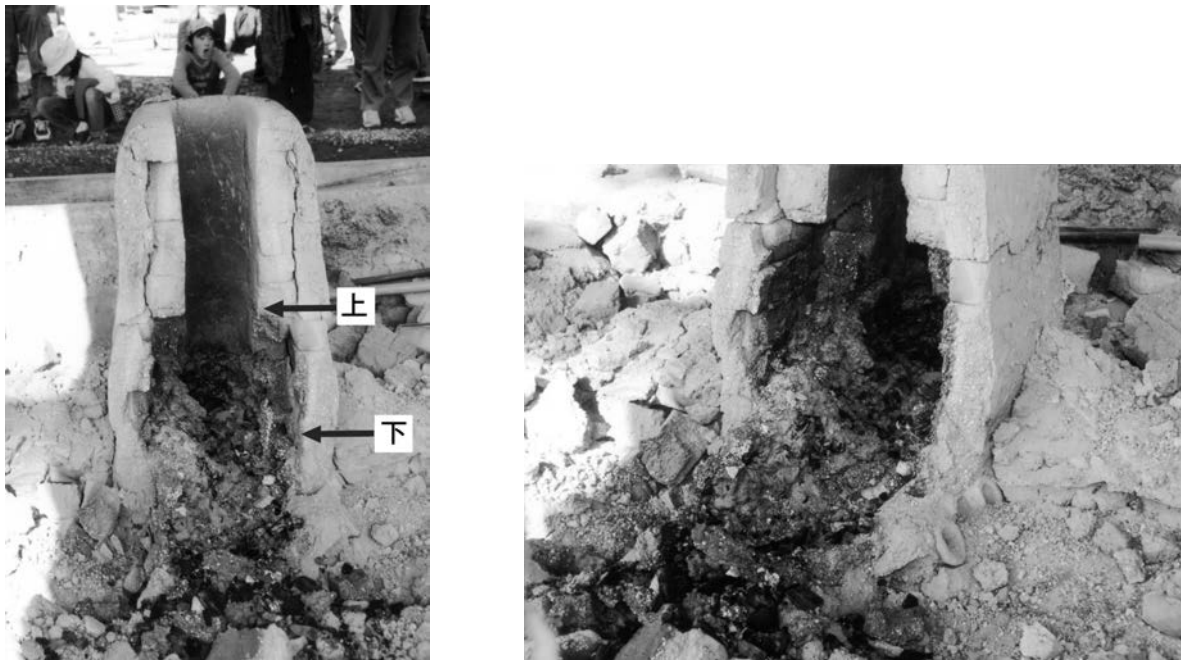


写真 6 炉内部の侵食の状況

2) 踏み鞆及び羽口からの送風量

砂鉄投入前で炭のみを炉内に投入し、炉内温度を上昇させた 11:00 における踏み鞆の吹き出し口でのセンサの圧力変化を図 6 に示す。周期的な最高及び最低圧力ピークは鞆を一回踏んだときの圧力変化を示し、1 分間に 25 回のペースで風が炉内に送られている。ただし、踏み鞆の吹き出し口は東側と西側にあり、交互に送風されることから、炉内にはその倍の 50 回／分で送風されている。ここで圧力変化は風速の変化を意味する。

鞆の圧力と風箱の入り口から 2 番目（No. 2）と 8 番目（No. 8）を重ね合わせた結果が図 7 である。最大ピークの生じる位置はほぼ一定しているが、鞆の最低ピークの際に風箱の送風管との圧力変化が対応していない。また、No. 2 のセンサは非常に不安定であるため、以降は鞆と

No. 8 について比較を行った。

図 8 に 6 秒間の鞆と送風管の圧力変化を示す。鞆の圧力は実線で示す最低値から上昇し、一旦一定となり、その後最大値を示すが、上昇の時と同様に下降の際に一旦一定となり、最低値まで低下する様式を示す。鞆の実線の圧力は一定で、0 の値（基準線：炉内が空の状態で行い、鞆を停止した状態がこの実線になることを確認した）の圧力を示し、この線よりも下側で負の圧力が生じている。鞆と風箱からの送風状況が若干異なる。風箱 No. 8 の送風管の基準線を破線で示す。圧力変化の形態はほぼ同じであるが、鞆の最低圧力の位置（矢印 A）で風箱の No. 8 は圧力が高くなっている（矢印 B）。この現象は鞆には、風の逆流防止弁が設置されているが、風箱から炉内、反対側の風箱までは通じていることが原因と考えられる。一方が風を送った後は風速が低くなるが、反対側風箱送風管からの送風による風圧を受ける。炉内に導入された空気は高温にさらされることで 5 倍ほど膨張し、炉内圧を上昇させる。この結果、鞆の最低圧力時では風箱の圧力上昇となったと考えられる。

図 9 に砂鉄と炭を投入してからの 11:30 における鞆の圧力変化を示す。鞆の送風回数は 37 回／分

（両側で 74 回／分）である。図 10 に 11:30 における 6 秒間の鞆と風箱の送風管圧力の変化を示す。基準線からの一回の圧力差も 11:00 では 0.05 kgf/cm^2 であったのが、送風のサイクルが短く

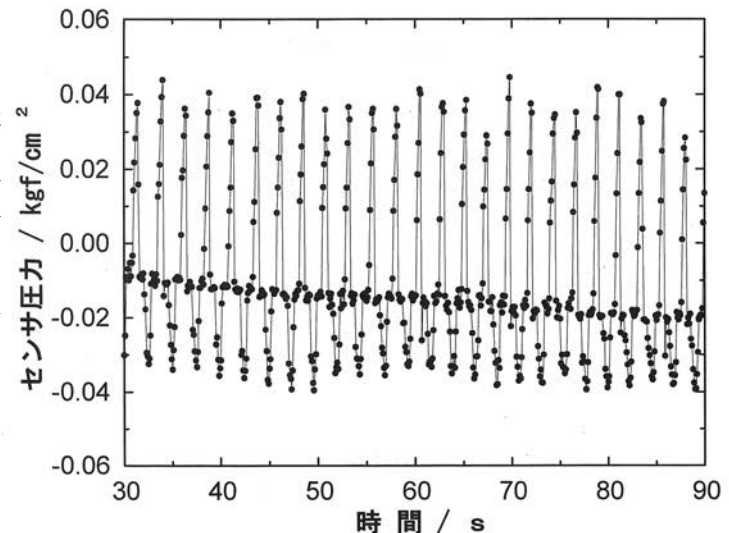


図 6 11:00 における踏み鞆の圧力変化

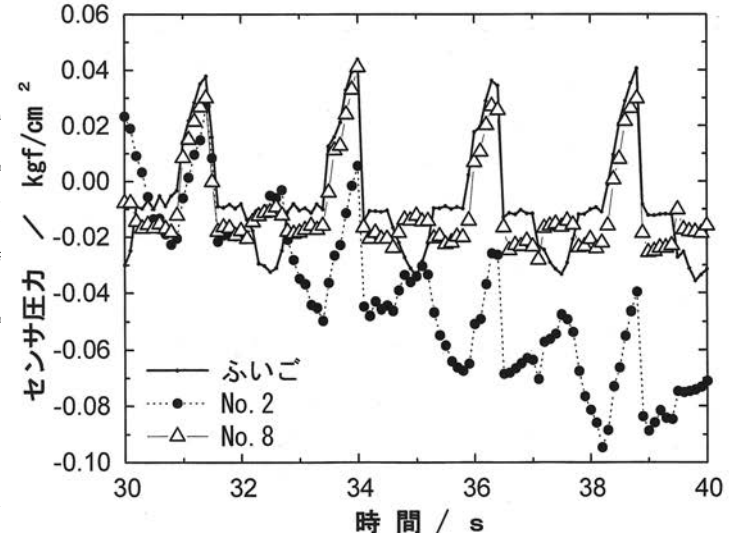


図 7 踏み鞆及び送風管の風量変化

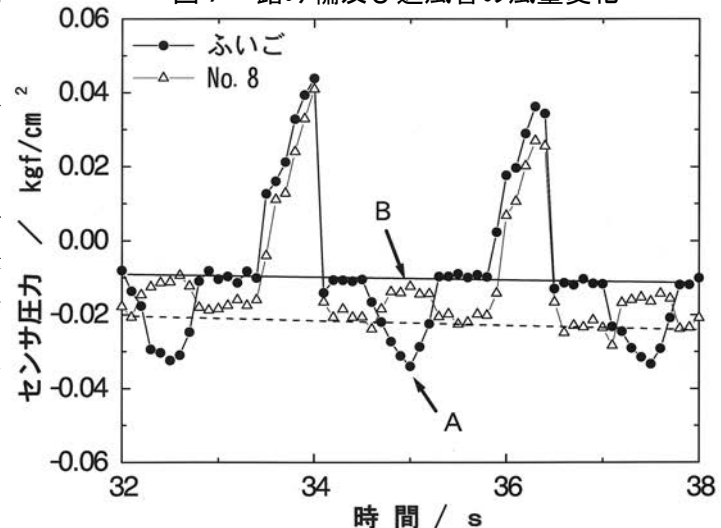


図 8 6 秒間の踏み鞆と送風管の風量変化（11:00）

なったことで 0.08 kgf/cm^2 程度まで増加している。

図 11 に 17:00 における 6 秒間の鞆と風箱の送風管の圧力変化を示す。データのサンプリング時間は 0.2 s であるため、やや波形の形状が単純であるが、鞆の踏み数が増えるのに伴い、基準線からの圧力差が大きくなる傾向にある。また、No. 8 の圧力差は 17:00 では、 0.06 kgf/cm^2 であったが、踏み数が増した例えば、01:30 では、 0.08 kgf/cm^2 に増加している。

ここで、実際の鞆の吹き出し口と風箱の送風管内の風速を (1) 式のベルヌーイの式によって求めた^(註7)。

$$V = (2 / \rho \times \Delta P)^{1/2} \quad (1)$$

ここで、 V は風速、 ρ は空気の密度、 ΔP は圧力差である。

センサは鞆の吹き出し口径と送風管径との面積比から、鞆で 0.5% 、送風管で 4% を占めるが、誤差が小さいため、計算上無視した。また、空気の断熱圧縮によって 4% 程度の密度変化が見積られるが、これも計算上無視した。

また、鞆及び送風管円筒管の中心にセンサを設置していることから、最大風速 ($V_{\max}$) は中心で得られ、風量 (Q) は (2) 式によって求めた^(註8)。

$$Q = 0.83 \times (\pi / 4) \times d^2 \times V_{\max} \quad (2)$$

ここで、 d は送風管の径である。

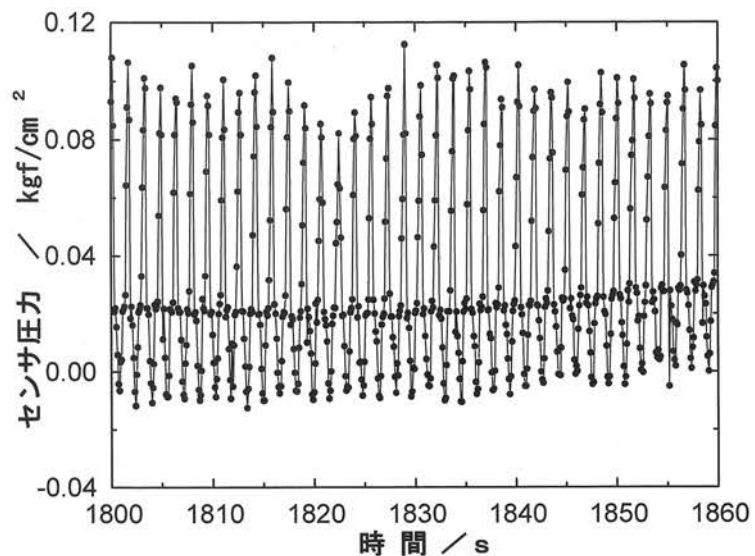


図 9 11:30 における踏み鞆の圧力変化

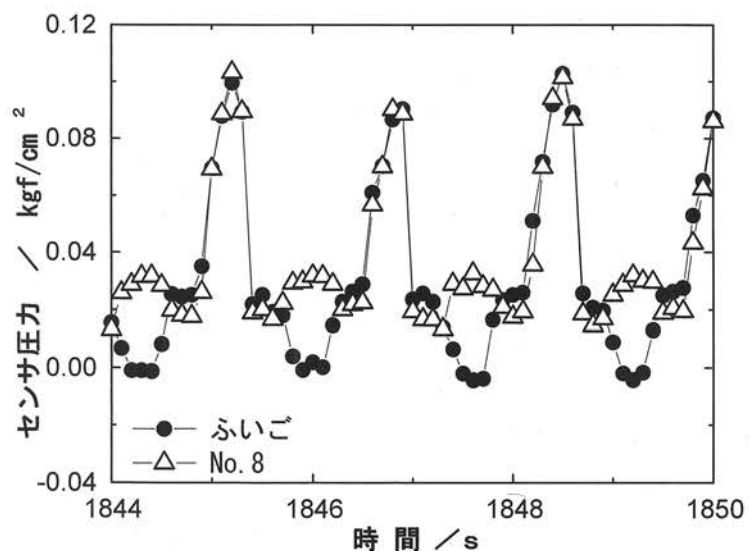


図 10 6 秒間の鞆と送風管の圧力変化 (11:30)

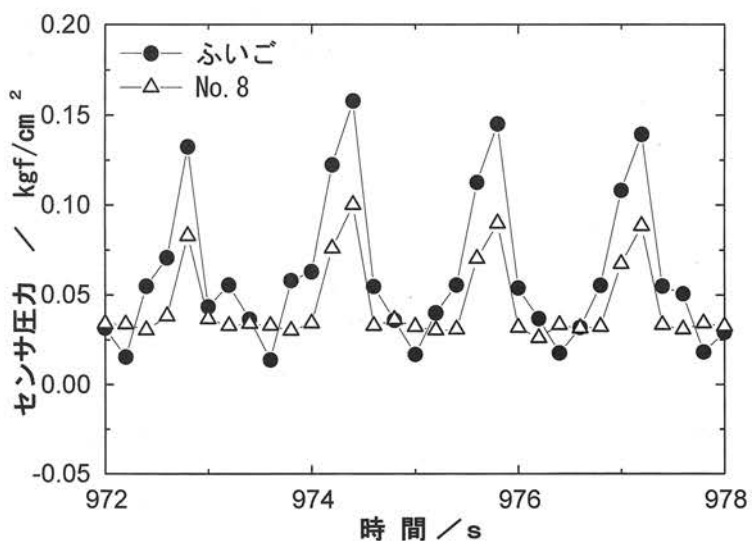


図 11 鞆の送風管の風量の変化 (17:00)

図 12 に 11:00 における鞆と送風管の風速の変化を示す。計算の都合上この時間幅の中での最小圧力を 0 として、補正した。それぞれ風速のばらつきを考慮し、鞆は図中の実線、No. 8 の送風管は破線を基準線と見なすと、鞆の送風管では最大風速が 50m/s、No. 8 の送風管では、65m/s である。同様に 11:30 からの鞆の踏み数が増えた場合、鞆の送風管は 65 m/s、風箱の送風管は 90 m/s と一回当たりの送風速度が高い。

これより、1 分間当たりの送風量を求めた値を表 1 に示す。1 回当たりの送風量は 0.1 ～ 0.14m³ で、一分間では、踏み鞆の踏み数（送風回数）に応じて、時間経過と共に増えている。風箱の送風管

からの一回の送風量は 0.014 ～ 0.024m³ であり、鞆からの送風量の増減にほぼ対応している。

ここで、図 13 に示す踏み鞆の概略寸法から、一回当たりの送風量の概算を行った。送風管下の位置から踏み鞆の外壁高さは 42cm であるが、実際の有効稼働高さを 38cm とすると、片方の踏み板下の空間の体積は、0.154m³ となる。この空気が 100% 送風されたとすると、それぞれの時間における送風量は 69 ～ 88% であり、センサ圧力から求めた値はほぼ妥当と考える。

本測定では、風箱送風管 No. 2 のデータは採れなかったが、鞆から送られた送風量が No. 8 の送風管から送られた割合を表 2 に示す。風箱から羽口を通して炉内へは 8 本の送風管で送風されるが、平均的に送風されると 1 本当たり、12.5% の送風量となる。作業中の羽口の状況がノロかみ、溶損など、また、羽口前方の炉内の状況も変化する。このため、風箱の各送風管の送風量も変化していると思われるが、火

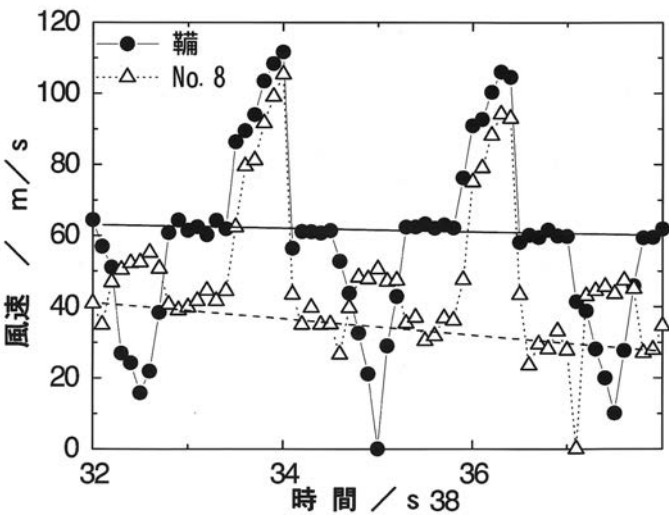


図 12 11:00 における踏み鞆と羽口の風速変化

表 1 踏み鞆による送風条件（東側）

時刻	送風回数 回／分	鞆の送風管		風箱のNo. 8送風管	
		送付量/回 m ³ /回	送風量(1分間) m ³ /min	送付量/回 m ³ /回	送風量(1分間) m ³ /min
11:00	25	0.107	2.67	0.0182	0.45
11:30	37	0.115	4.24	0.0204	0.75
17:00	43	0.097	4.19	0.0138	0.59
01:30	49	0.137	6.70	0.0238	1.16

※送風回数 15:30 ; 46回／分、21:00 ; 41回／分

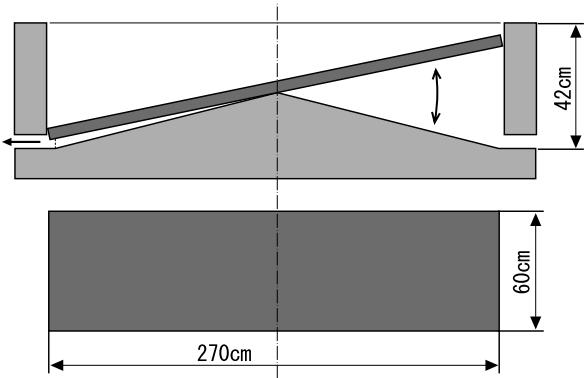


図 13 踏み鞆の概略図

表 2 風箱の No. 8 送風管の送風量の割合

時刻	鞆の送風量 m ³ /回 (A)	No. 8送風量 m ³ /回 (B)	B/A %
11:00	0.107	0.0182	16.9
11:30	0.115	0.0204	17.8
17:00	0.097	0.0138	14.2
01:30	0.137	0.0238	17.4

入れからの時間が短く、炭のみで操業を行った 11:00 では約 17% であり、以降の送風量の割合も 17% 前後であることを考慮すると、No. 8 側（出滓口側）での送風量が多いことが解る。

鞆から風箱へ送風される際には、強い風の流れ（流束）が生じているため、風箱内の全ての送風管の圧力変化が同一とは考えられず、流れが衝突する先端側がより風圧が高くなると考えられる。このため、鞆からの風が直接風箱の壁に衝突する No. 8 側の風圧が高くなるため、当然、風量が増加すると考える。

4 おわりに

復元炉による操業時の温度及び送風量を測定した。その結果は以下のようなものである。

（1）炉内温度

炉内壁面から 5cm、羽口中心上部 13cm の位置（温度（下））では、炉内温度は炉の火入れから 30 分で 1,400℃以上の温度となり、1 時間までの最高温度は 1,440℃である。温度（下）より 19 cm 高い位置（温度（上））では、温度（下）より 375 ～ 400℃低い温度であった。熱電対の損傷によって炉内壁面から 1 cm へ移動したことによる表示温度の低下は約 100℃である。その後、棚吊りが起こるまでは（上）と（下）の温度差は 200 ～ 250℃であった。

1 回の炭と砂鉄の投入によって温度（上）は明確な温度低下が認められ、100 ～ 120℃低下するが、温度（下）は約 30℃の低下であった。

棚吊りによって温度（下）では、急速な温度低下が認められ、温度（上）よりも低下した。

（2）送風量

鞆と風箱の送風管の圧力変化から、送風回数、風速、送風量を測定した。11:00 の送風回数は 50 回／分（両側の合計）で、砂鉄投入時からは 80 ～ 100 回／分の間で推移した。鞆と風箱の送風管の圧力変化は、ほぼ同様な圧力波形を示すが、鞆の最低圧力部で風箱の送風管は炉の反対側からの風圧の影響を受け、圧力がわずかに増加する現象が見られる。

鞆 1 回の平均送風量は 0.114m³ で、鞆の有効体積から求めた値の 3/4 である。鞆の送風口から最も遠い位置の風箱 No. 8 送風管の平均送風量は鞆の送風量の約 17% である。

<参考文献>

- （註 1）たたら製鉄復元計画委員会報告「たたら製鉄の復元とその鉤について」、日本鉄鋼協会、（昭和 46 年）
- （註 2）澤田滋：「たたらにチャレンジ!」、BOUNDARY（1987 年 9 月号）、40-45
- （註 3）永田和宏：「小型たたら炉による鋼製錬機構」、鉄と鋼、84(1998)、715-720
- （註 4）永田和宏：「現代によみがえるたたら製鉄」、ふえらむ、5(2000)、231-236
- （註 5）小松芳成、後藤正治、麻生節夫：「たたら製鉄に関する実験的検討」、秋田大学工学資源学部研究報告 22(2001)、53-60
- （註 6）小松芳成、後藤正治、麻生節夫：「たたら製鉄に基づく向浜砂鉄の精錬と鑄造」、秋田大学工学資源学部研究報告 23(2002)、23-32
- （註 7）例えば、谷一郎：「流れ学」岩波全書、(1981)、P. 16
- （註 8）例えば、真島正市編：「工業測定便覧」コロナ社、（昭和 29 年）、P. 573

「まほろん」における復元たたら製鉄からの鉄塊と スラグ中の元素濃度及び金属学的組織

武蔵工業大学 平井昭司・加藤将彦・村岡弘一・岡田往子

1 はじめに

2003年11月1日～2日に福島県文化財センター白河館『まほろん』において、「鉄づくり」イベントが行われた。ここでは、砂鉄を原料として平安時代の炉形の大きさを復元したたたら炉を操業し、鉄作りが行われた。本研究報告は、この鉄製錬過程において生産された鉄塊及びスラグ中の含有元素濃度と金属学的組織からこれら物質を評価することを目的とした。

2 復元たたら

たたら炉（炉幅：60cm、炉長：110cm、炉高：110cm）は、大船迫A遺跡・15号製鉄炉を元に復元したものである。原料には砂鉄（福島県西白河郡大信村隈戸川産）、燃料には木炭を用い、空気供給に踏み鞆を使用して操業を行った。総計、砂鉄：132.3kgと木炭：279.1kgを投入して、鉄：34.0kgおよび鉄滓：60.2kgが生成された。

3 分析試料

本たたら炉により製鉄の操業を行い、そこから分析資料を採取した箇所の概略を図1に示す。また、分析のために試料を切削した箇所を図2に示す。なお、鉄塊（特大）の炭素及び硫黄を定量するためAとBの箇所を複数分析したので、その箇所も示す。分析試料は、手動ダイヤモンドカッターを使用して鉄塊の金属部を切削した。砂鉄及びスラグ試料は約数gの試料をメノウ製乳鉢により粉碎（100 μ m以下）・均質化したものを採取した。鉄塊（特大）は炉の底部分にあったもので、黒色部と光沢部よりそれぞれ試料採取を行った。

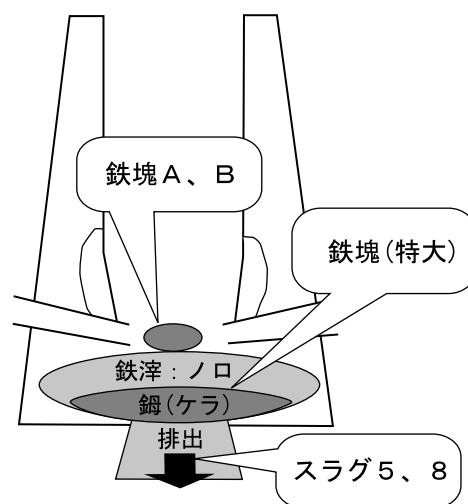


図1 たたら炉からの分析資料の採取箇所

また、本操業とは別に、刀匠藤安将平氏が同一砂鉄を原料に鉄作りした鉄塊も分析試料、鉄塊（藤安）とした。

鉄塊A及び鉄塊Bは、操業終了時に鉄塊を割ったときに剥がれた資料である。鉄塊（特大）は、炉底に残った資料であり、川鉄テクノロジーサーチで一部を切削した資料である。スラグ5は、操業約5時間後の5回目の炉底から流れ出した鉄滓で、スラグ8は、約8時間後の8回目の炉底から流れ出した鉄滓である。

鉄塊AとBの表面は、ごつごつとし、黒色部と茶褐色の部分がある。切断すると内部は、銀色の金属部があり、Bの切断内部には小さな空洞も見られた。鉄塊（藤安）もほぼ鉄塊A、B

と類似して表面がごつごつしているが、黒色部以外に少し黄色がかった金属光沢の部分も見られ、切断内部は銀色の金属部で、約1mm φ程度の小さな空洞も沢山見られた。鉄塊（特大）は、炉底に固まっていた大きな鉄とスラグの混ざった平板状の塊であり、たたら炉の端に位置したところのものである。縦に切断すると金属部と黒色のスラグ部がはっきりと分かり、また、数多くの空洞部も見られた。スラグ5と8の表面は、滑らかな黒色の表面で、流れ出た様子が残っている。その裏側には土や小さな小石が挟まりざらざらしていた。切断内部も黒色をしているが、硬い状態である。

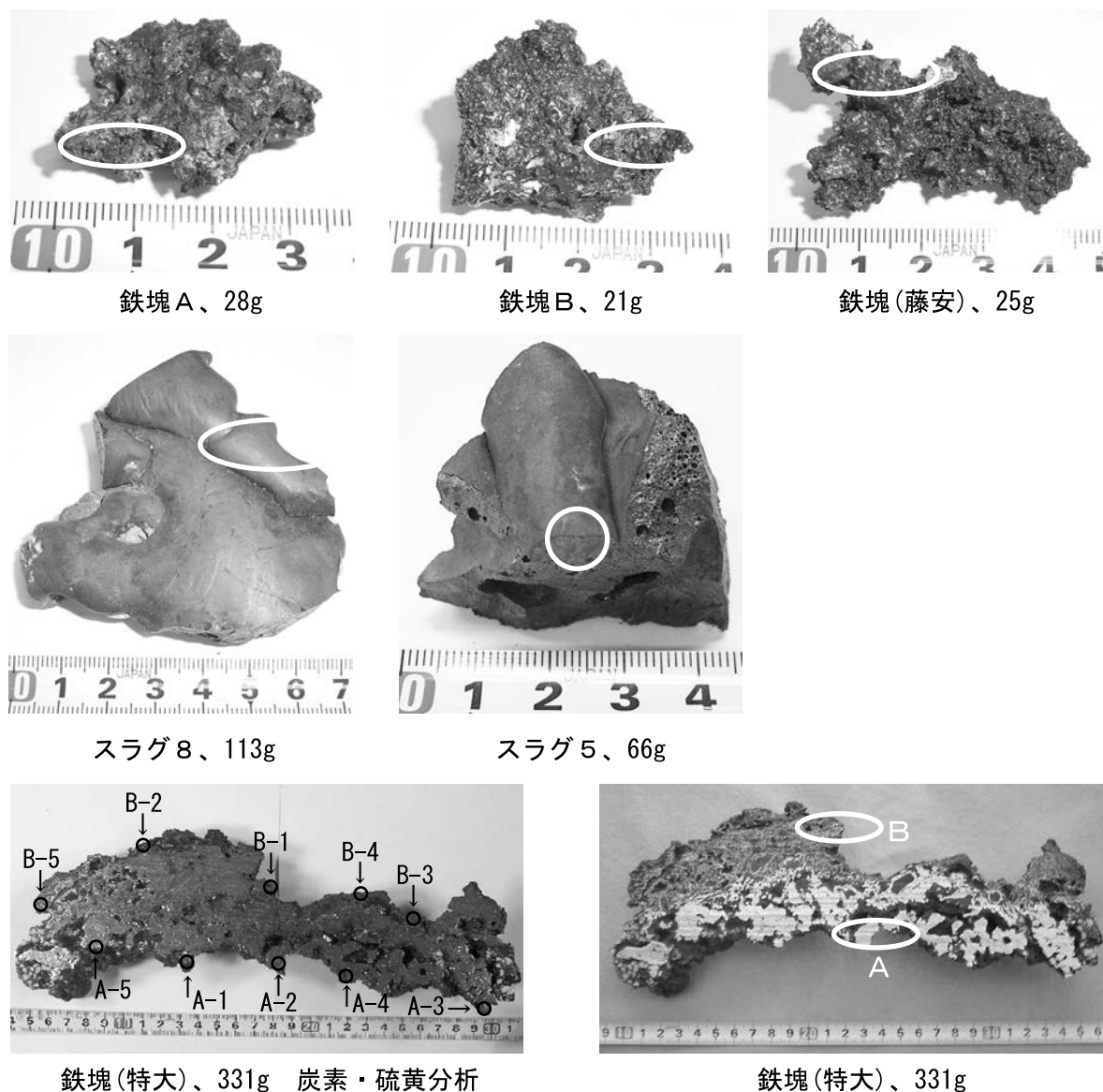


図2 分析資料と分析試料の採取箇所

4 分析法

1) 燃焼赤外線吸収法

炭素と硫黄の定量を行うために、(株)堀場製作所製 炭素・硫黄分析装置 EMIA-510 を使用

した。本装置は管状炉式燃焼赤外線吸収法を用いた装置である。分析条件を表1に示す。また、実試料の分析を行う前に、予め表2に示す（社）日本鉄鋼連盟製の鉄鋼標準物質（炭素濃度：0.042～4.73%、硫黄濃度：0.0057～0.346%）を用いて分析をし、補正曲線を作成して、試料重量が0.1 g程度であれば炭素については1%以下、硫黄については5～6%程度の誤差範囲内で分析できることを確認してから分析を行った。そのため分析用の試料を手動ダイヤモンドカッターで切り出す際、各試料の重量は0.1 g程度になるようにした。

表1 炭素・硫黄分析装置の分析条件

燃焼管温度	1450℃	
測定時間	炭素	60秒
	硫黄	70秒
待ち時間	3秒	

表2 使用した鉄鋼標準物質

試料No.	濃度(%)	
	炭素	硫黄
JSS057-6	0.52	0.0057
JSS242-10	—	0.030
JSS030-7	0.196	0.0076
JSS102-6	4.73	0.0177
JSS174-7	0.042	—
JSS243-4	—	0.346

2) 蛍光X線分析法

（株）島津製作所製 蛍光X線分析装置 EDX-800 を使用して表3の条件で分析を行った。鉄塊においては試料切断面の光沢部分、砂鉄及びスラグにおいては試料を粉碎し粉末状にしたものを加圧成型（5t・10秒）したもの、鉄塊（特大）からは黒部分と光沢部分よりそれぞれ分析を行った。

表3 蛍光X線分析装置の分析条件

X線管球	R h 管球(25W)
測定X線	K α
印加電圧	Na-Sc : 15kV
	Ti-U : 50kV
測定時間	1000秒(Live Time)
雰囲気	真 空

元素の定量には、FP（ファンダメンタル・パラメーター）法と検量線（EC）法の2種類の方法を検討し、主成分元素はFP法により、また、微量元素については検量線法を用いて行った。FP法とは測定強度から理論的に各元素ごとの感度係数を求め、検出された元素の合計で濃度を100%と計算する方法であり、エネルギー分散型の特徴である多元素定量、特に主成分の定量に効果がある分析法である。しかし、微量元素の定量においては全く利用できず、今までのデータから濃度0.1%未満の元素は解析が難しい。一方、EC法は、濃度が既知な標準試料（予め中性子放射化分析法で定量した鉄滓試料）あるいは標準物質を用いて、測定強度と濃度の間での回帰直線を算出して定量する方法で、0.1%未満の元素を定量することができる。しかし、TiとVを定量する場合、Tiの K_{β} （4.93 keV）とVの K_{α} （4.95 keV）が近接するので、共存補正のプログラムにより両ピークを分離し、解析を行わなければならない。

3) 機器中性子放射化分析法

蛍光X線分析法による定量では、分析の真度が他の分析法より劣るので、一部の試料を機器中性子放射化分析を行い、比較検討を行った。分析試料の中性子照射には日本原子力研究所のJRR-4の研究用原子炉を使用した。放射化した試料の γ 線測定は、高純度Ge検出器と4096チャンネル波高分析器からなる γ 線スペクトロメトリーにより行い、解析は、本研究室で開発したGAMA03プログラムで解析した。放射化するための中性子照射条件及び γ 線測定するための

条件を表4に示す。また、表5には元素を定量するために注目する放射性核種とその半減期と放出する γ 線エネルギーを示す。放射化分析に使用した試料は、砂鉄、スラグ5、スラグ8、鉄塊Aを選んだ。分析に使用した試料量は、砂鉄(79.7mg)、スラグ5(78.5mg)、スラグ8(68.6mg)、鉄塊A(96.6mg)である。元素の定量は、同時に照射した標準試料の γ 線強度との比較から算出した。標準試料は、日本鉄鋼連盟製の高純度鉄認証標準物質(JSS 001-3, 001-4, 003-4)、既に定量を行った遺跡スラグ試料、国立環境研究所製の粉塵認証標準物質(NIES 8)、Ti及びV標準液、高純度鉄(Mn極微量)を使用した。なお、Mnの定量においては、 ^{59}Fe (n, p) ^{56}Mn 反応により ^{56}Mn が生成するので、高純度鉄(Mn極微量)を用いてFeからの寄与(Mn 28.5 $\mu\text{g/Fe 1g}$)を計算し、補正を行った。また、Crの定量においては、 ^{54}Fe (n, α) ^{51}Cr 反応により ^{51}Cr が生成するので、高純度鉄(Cr極微量)を用いてFeからの寄与(Cr 8.32 $\mu\text{g/Fe 1g}$)を計算し、補正を行った。

表4 中性子照射条件及び γ 線測定条件

熱中性子束密度 ($\text{n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 照射場所		照射時間	冷却時間	測定時間	測定位置 Ge検出器の 垂直方向	分析元素											
9.1×10 ¹¹ 気送管	S1 (短寿命核種)	60sec	2〜15min	400sec	100, 200mm	(Na) Mg Al Ca Ti V Mn											
	L1 (中寿命核種)	6hr	2〜3day	10000sec 1200sec	60mm 150mm	Na K Ga As Br Mo (Sb) Ba La Sm Yb W U											
	L2 (長寿命核種)		8〜11day	20000sec	2mm	Sc Cr Fe Co Ni Se Rb Sr Zr Sn Sb Cs Ba Ce Tb Lu Hf Ta Th											

表5 中性子放射化分析に使用する核データ

元素	核反応	生成核種	半減期	γ 線エネルギー (keV)	元素	核反応	生成核種	半減期	γ 線エネルギー (keV)
Na	(n, γ)	Na-24	15.02 h	1369, 1732	Cd	(n, γ)	Cd-115	2.23 d	336
Mg	(n, γ)	Mg-27	9.46 m	1014	In	(n, γ)	In-116	54 m	417, 1097
Al	(n, γ)	Al-28	2.24 m	1779	Sn	(n, γ)	Sn-113	115 d	392
Si	(n, p)	Al-29	6.6 m	1273	Sb	(n, γ)	Sb-122	2.8 d	564
S	(n, γ)	S-37	5.1 m	3102	Sb	(n, γ)	Sb-124	60.2 d	603, 1691
Cl	(n, γ)	Cl-38	37.3 m	1642, 2168	Te	(n, γ, β^-)	Te-131	8.04 d	365
K	(n, γ)	K-42	12.36 h	1525	I	(n, γ)	I-128	25 m	443
Ca	(n, γ)	Ca-49	8.72 m	3084	Cs	(n, γ)	Cs-134	2.063 y	605, 796
Sc	(n, γ)	Sc-46	83.8 d	889, 1121	Ba	(n, γ)	Ba-131	12.0 d	496
Ti	(n, γ)	Ti-51	5.8 m	320	La	(n, γ)	La-140	40.3 h	329, 478, 1596
V	(n, γ)	V-52	3.76 m	1434	Ce	(n, γ)	Ce-141	32.5 d	145
Cr	(n, γ)	Cr-51	27.7 d	320	Pr	(n, γ)	Pr-142	19.2 h	1576
Mn	(n, γ)	Mn-56	2.58 h	847, 1811	Nd	(n, γ)	Nd-147	11.0 d	91.1
Fe	(n, γ)	Fe-59	44.6 d	1099, 1292	Sm	(n, γ)	Sm-153	46.8 d	103
Co	(n, γ)	Co-60	5.27 y	1173, 1333	Eu	(n, γ)	Eu-152	13.1 y	1408
Ni	(n, p)	Co-58	70.8 d	811	Tb	(n, γ)	Tb-160	72 d	879, 966, 1178
Cu	(n, γ)	Cu-66	5.1 m	1039	Dy	(n, γ)	Dy-165	2.33 h	95
Zn	(n, γ)	Zn-65	244 d	1116	Yb	(n, γ)	Yb-175	101 h	396
Ga	(n, γ)	Ga-72	14.1 h	630	Lu	(n, γ)	Lu-177	6.71 d	113, 208
As	(n, γ)	As-76	26.3 h	559	Hf	(n, γ)	Hf-181	42.4 d	482
Se	(n, γ)	Se-75	121 d	136, 265	Ta	(n, γ)	Ta-182	115 d	1221
Br	(n, γ)	Br-82	35.34 h	777	W	(n, γ)	W-187	23.9 h	686
Rb	(n, γ)	Rb-86	18.8 d	1077	Ir	(n, γ)	Ir-192	74.2 d	317
Sr	(n, γ)	Sr-85	64.0 d	514	Au	(n, γ)	Au-198	2.696 d	412
Zr	(n, γ)	Zr-95	64.0 h	724, 757	Hg	(n, γ)	Hg-203	46.8 d	279
Mo	(n, γ)	Mo-99	2.75 d	141	Th	(n, γ, β^-)	Pa-233	27.0 d	312
Ag	(n, γ)	Ag-110	252 d	658	U	(n, γ, β^-)	Np-239	2.35 d	106, 227, 278

4) 組織観察及び EPMA による分析

鉄塊（特大）について、黒部分及び光沢部分から、直径 1 インチ以内の大きさに切り出したものを型に入れ、エポキシ系樹脂で埋め込み、硬化させた。その後、表 6 の条件で研磨を行い、顕微鏡で組織観察するとともに EPMA（電子プローブマイクロアナリシス）により組織の画像を測定した。EPMA の装置は、日本電子（株）製の JXA - 8100/8200 で電子顕微鏡の機能とエネルギー分散型の特性 X 線スペクトロメトリーの機能を有している。試料の測定は、加速電圧；15 k V、照射電流； 1.8×10^{-7} A の条件で行った。

表 6 研磨の条件

	ペーパー・パフ	砥粒とサイズ	伸展液	1 箇所当たりの 圧力（ポンド）	研磨機の 回転数（rpm）	試料ホルダー の回転方向	研磨時間 （分：秒）
粗研磨	耐水研磨紙	#320 #400 #600 #800	水道水	5	120	時計回り	1:00
中間研磨	テクスメット1000	ダイヤモンドペー スト3ミクロン	メタダイ液	5	120	反時計回り	2:30
最終仕上げ 研磨	マイクロクロス	マスターポリッシュ	ラッピングオ イル蒸留水	5	120	時計回り	2:00

5 結果及び考察

1) 炭素および硫黄の定量結果

原料である砂鉄、鉄塊（藤安）、鉄塊 A、鉄塊 B、スラグ 8、鉄塊（特大）A 及び鉄塊（特大）B 試料の 3 箇所乃至 5 箇所から炭素及び硫黄用の試料を採取あるいは削り出し、分析を行った。表 7 にはそれぞれの分析結果を示した。また、図 4 及び図 5 にはそれぞれのデータを棒グラフで表示した。

表 7 たたら鉄試料中の炭素及び硫黄濃度

		1回目	2回目	3回目			平均値	標準偏差	相対標準 偏差(%)
原料：砂鉄	試料重量（g）	0.104	0.107	0.102					
	C 濃度（%）	0.030	0.031	0.032	—	—	0.031	0.001	3
	S 濃度（%）	0.027	0.026	0.027	—	—	0.027	0.000	1
鉄塊（藤安）	試料重量（g）	0.107	0.140	0.117					
	C 濃度（%）	0.586	0.618	0.755	—	—	0.653	0.090	14
	S 濃度（%）	0.002	0.002	0.002	—	—	0.002	0.000	14
鉄塊A	試料重量（g）	0.151	0.160	0.096					
	C 濃度（%）	0.267	0.212	0.290	—	—	0.256	0.040	11
	S 濃度（%）	0.016	0.014	0.015	—	—	0.015	0.001	8
鉄塊B	試料重量（g）	0.151	0.142	0.134					
	C 濃度（%）	0.343	0.284	0.371	—	—	0.333	0.045	13
	S 濃度（%）	0.018	0.019	0.016	—	—	0.018	0.002	12
スラグ 8	試料重量（g）	0.103	0.101						
	C 濃度（%）	0.089	0.104	—	—	—	0.097	0.010	5
	S 濃度（%）	0.058	0.066	—	—	—	0.062	0.006	10
鉄塊(特大)A	試料名	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5			
	試料重量（g）	0.118	0.128	0.120	0.167	0.150			
	C 濃度（%）	0.033	0.075	0.249	0.154	0.328	0.168	0.122	73
	S 濃度（%）	0.036	0.015	0.013	0.013	0.021	0.020	0.010	50
鉄塊(特大)B	試料名	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5			
	試料重量（g）	0.149	0.139	0.168	0.103	0.118			
	C 濃度（%）	0.027	0.101	0.056	0.040	0.069	0.058	0.029	49
	S 濃度（%）	0.007	0.014	0.024	0.012	0.012	0.014	0.006	45

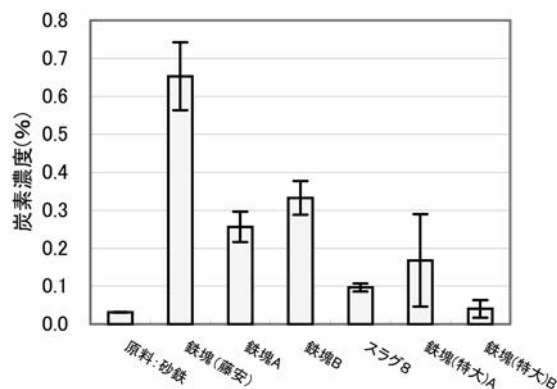


図4 たたら鉄試料中の炭素濃度

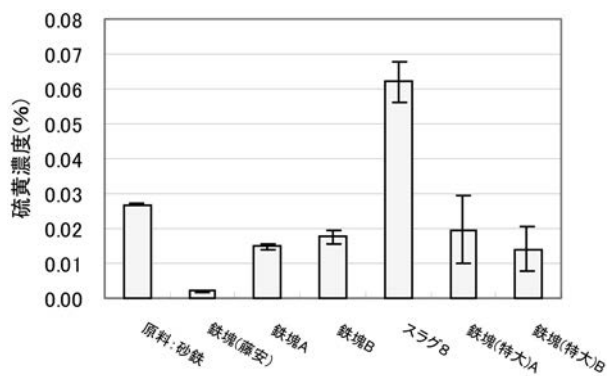


図5 たたら鉄試料中の硫黄濃度

図4は試料中の炭素濃度、図5は硫黄濃度で、各濃度は分析結果の平均値である。また、誤差棒は標準偏差を示している。図4から今回作られた鉄の炭素濃度が約0.2～0.3%であったことから軟鋼に近い鉄であった。別なところで同様な方法で作られた鉄塊(藤安)と比較すると、約0.7%より半分以下とかなり低い炭素濃度であることが分かる。恐らく、供給された空気量が過剰に多く、鉄塊中の炭素が燃焼してしまった現われかと思う。鉄塊(特大)についての結果を見ると、黒色部分(B)では0.1%を大きく下回っていて炭素濃度が低く、スラグ8の結果と同様な濃度であった。一方、光沢部分(A)は約0.17%の炭素濃度が得られ、鉄塊A、Bより低い濃度になっていた。鉄塊(特大)の誤差棒をみると50%を越す値で、分析する箇所ごとに大きな違いがあることが分かり、比較的高い濃度の箇所は、鉄塊AあるいはBの試料とも類似していた。後に述べるが鉄塊(特大)の分析箇所にはスラグ分が含まれているところもあり、低濃度であった。すなわち、この鉄塊(特大)試料中には鉄部分とスラグ状の部分が同時に存在する試料であることからこのようなことが生じた。さらに、原料の砂鉄と鉄塊中の炭素濃度を比較すると、製錬後は反応原理に従い鉄塊中に炭素が取り込まれ炭素濃度が高くなっている様子が分かった。

図5の硫黄濃度については、鉄塊(特大)Bのスラグ部分があるがどの鉄塊試料においてもほとんどが0.02%以下と低く、流出滓のスラグ8の場合のみ0.06%程度と明らかに鉄塊試料よりも高い濃度であった。また、砂鉄と鉄塊を比較すると、製錬後は炭素とは逆に硫黄濃度が低くなっていた。さらに硫黄は排出されスラグ中に取り込まれ高濃度になっていた。

2) 蛍光X線分析による結果

蛍光X線分析法によりFe濃度を測定した結果が図6である。主成分は、FP法により解析の精度は高いが、微量なSiをFP法で解析するため、感度係数を微量成分に合わせ、変化させている。しかし、Fe濃度は真の値より、多少低めである。後述する放射化分析法の値がより真の値に近い。鉄塊(藤安)、鉄塊A、鉄塊BのFe濃度は、約94%程度と比較的濃度が高く、Fe金属ができていることが分かった。また、鉄塊(特大)の光沢部分(A)も93%の濃度であり、Fe金属部であることが分かった。次に、スラグ8のFe濃度は、約47%程度で、砂鉄濃度約61%より低かった。製錬過程でFeが鉄金属部に集まり、スラグ部に不純物が多く集まるこ

とを考えると Fe 濃度が減少し、砂鉄の濃度より低くなることは予想がつく。また、鉄塊（特大）の黒色部分（B）の Fe 濃度が、59%であることは、この部分がスラグと鉄金属あるいは鉄酸化物との混合成分であるように推察できる。

図 7 には各試料中の Si 濃度の様子を示している。図から明らかなように鉄塊中における Si 濃度は 0.2 ～ 0.6%程度と砂鉄の 1%よりも低いが、鉄塊中には依然としてこれら元素が含有している。スラグ 8 での Si 濃度は約 7%と砂鉄に比較してかなり高い。この大部分は炉壁（粘土）からのものが大部分であると推察できる。鉄塊（特大）の黒色部分（B）の部分では、スラ

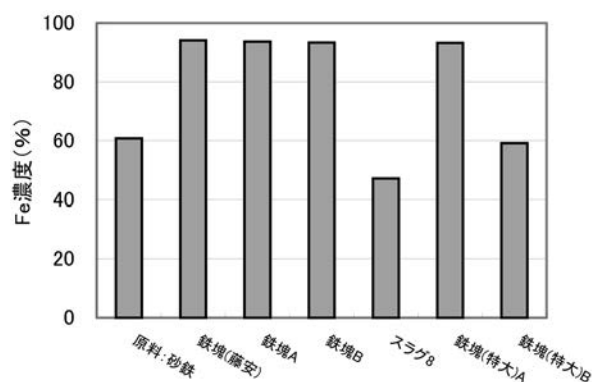


図 6 各試料中の Fe 濃度

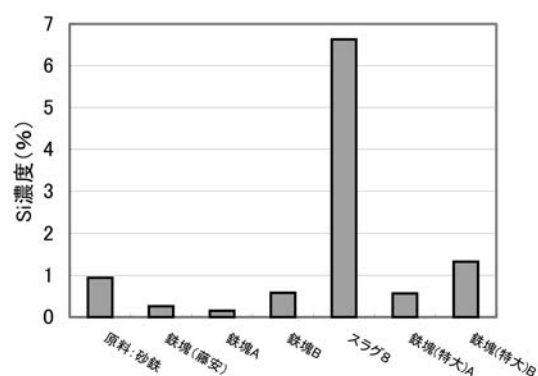


図 7 各試料中の Si 濃度

グ 8 ほどではないが、1%を超えた程度の濃度である。

3) 機器中性子放射化分析による結果

表 8 に機器中性子放射化分析した結果を示す。分析試料として 4 試料のみを分析したが、微量元素を含めて 30 元素を定量した。先に蛍光 X 線分析法による Fe 濃度を示したが、真値としては、中性子放射化分析法の方が信頼性高く、鉄塊 A で約 100% になっていることから、蛍光 X 線分析法の約 95% の値は本来 100% に近い値であることが推測できる。また、砂鉄の特有な Ti 及び V の濃度変化を見た場合、スラグ 5 と 8 の濃度は、砂鉄より見かけ上小さくなっている。一般には、製錬反応により Ti 及び V は砂鉄から除去され、スラグ部に濃集してくるので、今回の結果は逆のようであるが、全てのデータを Fe 濃度で除した値で見ると、スラグ中の Ti/Fe 及び V/Fe の

表 8 中性子放射化分析の結果 (ppm)

元素	鉄塊A	スラグ5	スラグ8	砂鉄
Na	5.6	4900	7200	800
Mg	-----	15000	18000	17000
Al	200	35000	43000	10000
K	-----	9800	14000	250
Ca	-----	10000	9900	4500
Sc	0.13	61	61	62
Ti	610	63000	63000	69000
V	67	2300	2200	2500
Cr	490	41	48	44
Mn	10	4100	4200	4500
Fe	1000000	440000	360000	610000
Co	330	28	26	120
Ni	-----	-----	-----	-----
Ga	110	82	67	28
As	23	-----	-----	3.6
Mo	23	-----	-----	-----
Sb	2.2	-----	-----	0.49
Cs	0.082	0.073	-----	-----
La	0.66	13	13	7.0
Ce	-----	38	44	31
Sm	-----	5.6	6.0	3.4
Eu	-----	0.82	0.61	0.80
Lu	-----	0.43	1.9	0.44
Hf	-----	7.5	7.3	7.6
Ta	-----	< 2.8	< 2.8	< 3.1
W	1.5	< 0.79	320	< 0.53
Th	-----	4.7	5.1	1.0
U	-----	-----	3.1	0.39

値は、砂鉄よりも大きくなっている。これを分かりやすく示したのが、図8である。縦軸、横軸とも対数で目盛っている。丁度45度の直線上に乗っていると、それらの試料のTi/V比が全て同じことを意味し、原料の砂鉄を中心に直線上の右上方は製錬滓が位置することが知られている。本結果によるとスラグ及び砂鉄のTi/V比は約28である。

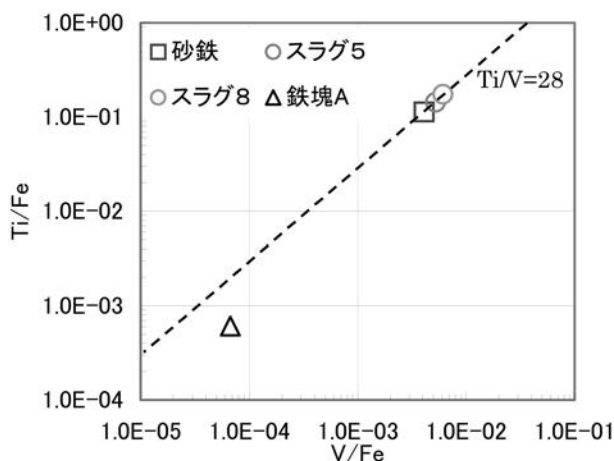


図8 試料中のV/FeとTi/Feとの相関図

使用した砂鉄は、西白河郡大信村を流れる隈戸川から採取したものであり、隈戸川は権太倉山から流れ出、須賀川市を通り、阿武隈川に合流する。以前、須賀川市にある阿武隈川沿いにある関林D遺跡および狐山遺跡から発掘した砂鉄を分析した。Fe濃度は、関林D遺跡^(註1)が34%、狐山遺跡^(註2)が8.9%とどちらも砂分が多く、本砂鉄の61%よりはるかに小さい。今回の砂鉄は、磁石により選別を行ったものであるがこのように高い。一方、Ti/V濃度比をみると、それぞれ36、26と本砂鉄の28に近い値である。このことは、この付近一帯がほぼ同一のTi/V濃度比であることが分かり、

原町市や相馬市等の海岸から産出する砂鉄^(註3)(Ti/V濃度比：92±8)とは明らかに違いがあることが分かる。

4) EPMA分析による画像解析の結果

鉄塊(特大)の試料のFe金属部で非金属介在物がある(A)部分とスラグ部分である(B)部分およびスラグ8の試料をEPMA分析し、図9に各組織の反射電子像を示す。金属部中の非金属介在物の種類に、濃淡の違いがある2種類の非金属介在物があることが確認できる。また、これらの非金属介在物は、スラグ部の(B)あるいはスラグ8の組織とは明らかに違うことが分かる。すなわち、(A)部分での非金属介在物は、丸みを帯びているのに対し、(B)部分あるいはスラグ8では針状の結晶が見えている。

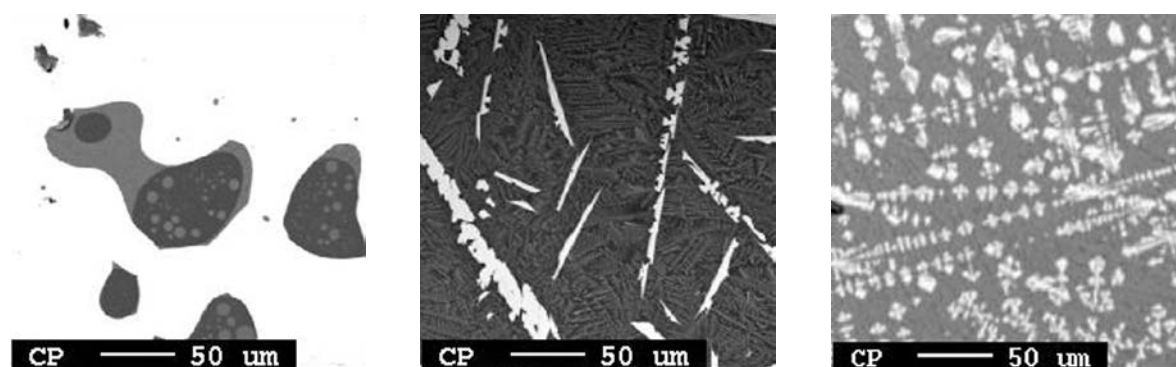


図9 EPMAによる反射電子像

(左から鉄塊(特大)(A部分)、鉄塊(特大)(B部分)、スラグ8)

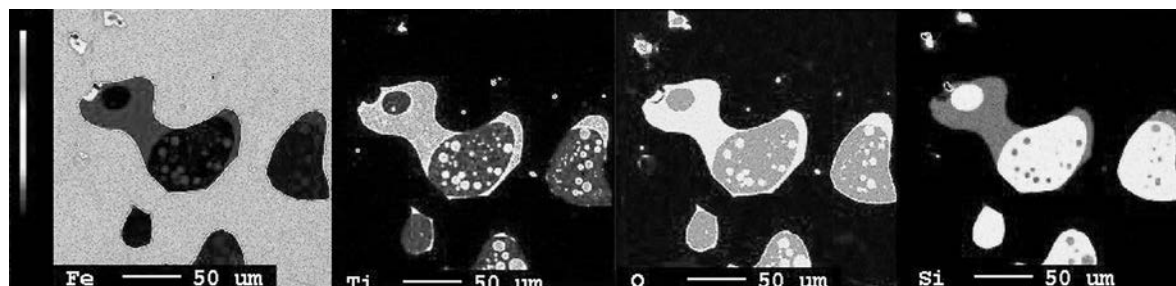


図 10 鉄塊（特大）(A) 部分の EPMA 解析像

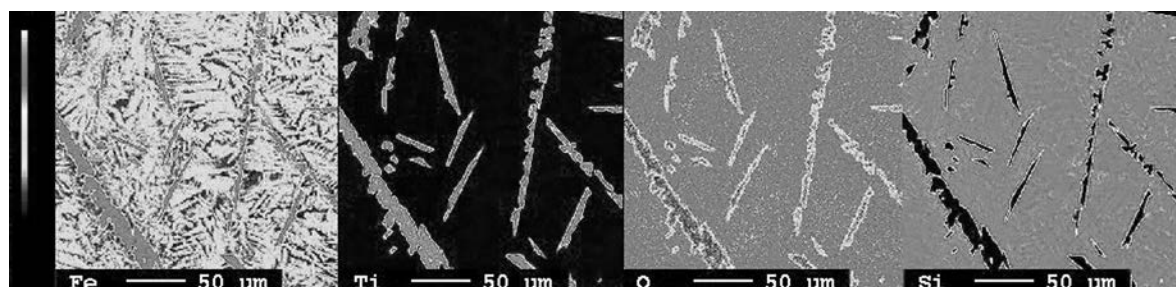


図 11 鉄塊（特大）(B) 部分の EPMA 解析像

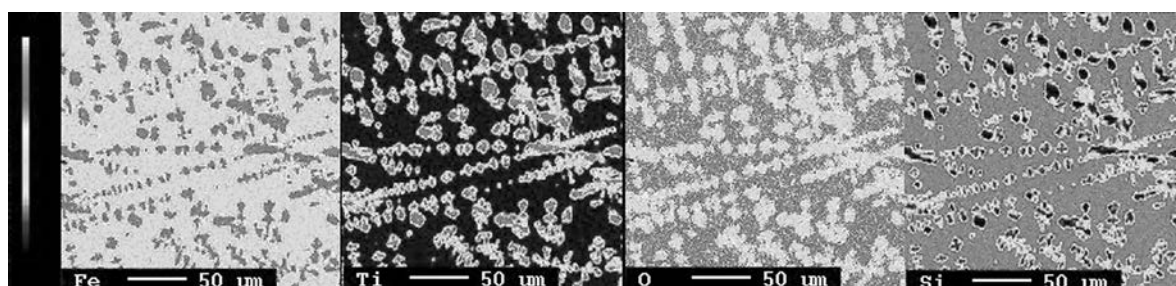


図 12 スラグ 8 の EPMA 解析像

図 10 には鉄塊（特大）(A) 部分を Fe、Ti、O、Si で解析した EPMA 解析像を示す。丸みを帯びたものは非金属介在物で、その周囲が Fe であることはこの図から明らかである。非金属介在物中には、O の存在があるが、そこには Si も多く存在している。すなわち、 SiO_2 の生成も見られ、さらにそれ以外 Ti の多いところもあり、特に、Ti があるところには Fe も存在し、Ti と Fe との酸化物から構成されていた。このように Fe 金属部には非金属介在物が存在していた。

図 11 は、鉄塊（特大）(B) 部分を Fe、Ti、O、Si で解析した EPMA 解析像を示す。(A) 部分とは異なって、針状の特徴的な組織が観察できた。全体には Si および O が占める SiO_2 と Fe、Si、O でできているファイヤライト (Fe_2SiO_4) で構成されているが、この針状部分には Fe と Ti、それに O からなる化合物が推察でき、恐らくイルメナイト (FeTiO_3) が生成されたものと思われる。また、 SiO_2 が主成分となっているところには、ここには示さないが Ca が多く検出されていた。すなわち、 SiO_2 や Ca は造滓成分として機能していた表れかと思う。

図 12 は、スラグ 8 を Fe、Ti、O、Si で解析した EPMA 解析像を示す。図 9 の反射電子像および図 11 の鉄塊（特大）(B) 部分と比較して、スラグ 8 試料にも類似した針状に近い組織が観察された。鉄塊（特大）(B) 部分と同様に全体は SiO_2 や Fe_2SiO_4 の造滓成分からでき、針状組織は、

Fe と Ti、それに 0 からなる化合物であることが分かり、イルメナイト (FeTiO_3) やウルボスピネル (Fe_2TiO_4) が生成されたものと思われる。図 10 から図 12 にかけての結晶形については、他の分析例を参考に推察した。

6 おわりに

中性子放射化分析法及び炭素と硫黄を定量する燃焼赤外線分析法による分析結果より、鉄塊中に含まれている鉄は約 100% 程度と多少不純物はあるものの鉄はできていた。また、炭素濃度が 0.2 ～ 0.3% 程度と軟鋼に属する鉄鋼であることが分かった。同じような砂鉄を使い、別な場所で製鉄した鉄塊（藤安）の炭素濃度は、0.7% であることを考えると、今回の鉄鋼はかなり燃えてしまったものと考えられる。硫黄濃度については、砂鉄に僅かしか含有されていないことから、鉄塊中にも 0.02% 以下と低かった。また、スラグあるいはスラグ質と思われる箇所 Fe 濃度は、50 ～ 60% 程度で、砂鉄濃度 60% を考えるとあまり製錬が行われていなかった。そこでの炭素濃度は 0.1% 以下であった。しかし、スラグ中の硫黄濃度は、0.06% 程度と砂鉄および鉄塊試料の金属部よりも高い濃度であった。なお、鉄塊のスラグ質のところでは、砂鉄の濃度と同程度であった。製錬反応では、Ti と V の挙動がほぼ同様で、スラグ内に一定の割合で濃集することが確認された。今回の砂鉄原料の Ti/V 比が 28 であることは、福島県の海岸にある砂鉄の Ti/V 比；約 90 とは異なり、両者の砂鉄を使った製鉄過程で排出される鉄滓区別を Ti/V 比を指標としてできることが明らかとなった。

<参考文献>

- (註 1) 平井昭司「関林D遺跡から出土の鋤先および砂鉄の中性子放射化分析」『福島県文化財調査報告書第 358 集』p243、1999 年
- (註 2) 平井昭司「狐山遺跡から出土の鍛冶関連遺物および砂鉄の中性子放射化分析」『福島県文化財調査報告書第 384 集』p71、2001 年
- (註 3) 平井昭司「原町市金沢地区製鉄遺跡群から出土の製鉄関連遺物の中性子放射化分析」『福島県文化財調査報告書第 310 集』p1305、1995 年

「鉄づくり」イベント産出鉄塊等の成分分析調査

川鉄テクノロジー株式会社 分析・評価事業部
埋蔵文化財調査研究室

1 はじめに

まほろんイベント「鉄づくり」における復元炉の操業状態や鉄生産の実態を明らかにするための一環としてイベントで得られた鉄塊および鉄滓と、原料である砂鉄・燃料である木炭・炉材である粘土等の化学成分分析・顕微鏡組織観察を含む自然科学的観点での調査を依頼された。組成分析、マクロ的特徴観察、ミクロ組織観察、X線回折などを中心に調査した結果について報告する。

なお、この調査は提供された 57 頁の 11 資料について従来から当社で行っている遺跡出土品の分析項目にもとづき実施したもので操業条件を加味して検討したものではありません。操業との関連については次回操業に役立つかどうか不明ですが、充填層の特徴から気づいた点など 54 ～ 55 頁に付記しました。

2 調査項目および試験・観察方法

1) 調査項目

調査資料の注記および調査項目を 57 頁の表 1 に示す。

2) 調査方法

(1) 重量計測、外観観察および金属探知調査

資料重量は電子天秤を使用して計量し、少数点 2 位以下で四捨五入した。各種試験用試料を採取する前に、資料の外観を mm 単位まであるスケールを同時に写し込みで撮影した。資料の出土位置や資料の種別等は提供された資料に準拠した。

着磁力調査については、直径 30mm のリング状フェライト磁石を使用し、官能検査により「強・稍強・中・稍弱・弱」の 5 ランクで表示した。産出物中の金属の有無は金属探知機（MC : metal checker）を用いて調査した。

(2) 化学成分分析

化学成分分析は鉄鋼に関する J I S 分析法に準じて行っている。

- ・全鉄 (T. Fe) : 三塩化チタン還元－二クロム酸カリウム滴定法。
- ・金属鉄 (M. Fe) : 臭素メタノール分解－EDTA 滴定法。
- ・酸化第一鉄 (FeO) : 二クロム酸カリウム滴定法。
- ・酸化第二鉄 (Fe₂O₃) : 計算。・化合水 (C. W.) : カールフィッシャー法。
- ・炭素 (C)、イオウ (S) : 燃焼－赤外線吸収法。
- ・ライム (CaO)、酸化マグネシウム (MgO)、酸化マンガン (MnO)、酸化ナトリウム (Na₂O)、珪

素 (Si)、マンガン (Mn)、リン (P)、銅 (Cu)、ニッケル (Ni)、コバルト (Co)、アルミニウム (Al)、ヴァナジウム (V)、チタン (Ti) : ICP 発光分光分析法。

・シリカ (SiO_2)、アルミナ (Al_2O_3)、酸化カルシウム (CaO)、酸化マグネシウム (MgO)、二酸化チタン (TiO_2)、酸化リン (P_2O_5)、酸化カリウム (K_2O) : ガラスビード蛍光 X 線分析法。但し CaO , MgO , MnO は含有量に応じて ICP 分析法またはガラスビード蛍光 X 線分析法を選択。

・酸化ナトリウム (Na_2O) : 原子吸光法。

なお、鉄滓中成分は、18 成分 (全鉄 T. Fe、金属鉄 M. Fe、酸化第一鉄 FeO 、酸化第二鉄 Fe_2O_3 、シリカ SiO_2 、アルミナ Al_2O_3 、ライム CaO 、マグネシア MgO 、酸化ナトリウム Na_2O 、酸化カリウム K_2O 、二酸化チタン TiO_2 、酸化マンガン MnO 、酸化リン P_2O_5 、コバルト Co、化合物 C. W.、炭素 C、ヴァナジウム V、銅 Cu) を化学分析している。分析は各元素について分析し、酸化物に換算して表示している。

粘土・炉壁は、13 成分 (全鉄 T. Fe、酸化鉄 FeO 、シリカ SiO_2 、アルミナ Al_2O_3 、ライム CaO 、マグネシア MgO 、化合物 C. W.、灼熱減量 Ig. Loss、二酸化チタン TiO_2 、酸化マンガン MnO 、酸化ナトリウム Na_2O 、酸化カリウム K_2O 、炭素 C、) を化学分析している。

鉄製品中成分の化学分析は、13 成分 (炭素 C、シリコン Si、マンガン Mn、リン P、イオウ S、銅 Cu、ニッケル Ni、コバルト Co、アルミニウム Al、ヴァナジウム V、チタン Ti、カルシウム Ca、マグネシウム Mg) を化学分析している。

(3) 顕微鏡組織観察

資料の一部を切り出し樹脂に埋め込み、細かい研磨剤などで研磨 (鏡面仕上げ) する。炉壁・粘土などの鉱物性資料については顕微鏡で観察しながら代表的な鉱物組織などを観察し、その特徴から材質、用途、熱履歴などを判断する。滓関連資料も炉壁・羽口などと同様の観察を行うが特徴的鉱物組織から成分的な特徴に結びつけ製・精錬工程の判別、使用原料なども検討する。金属鉄はナイトール (5%硝酸アルコール液) で腐食後、顕微鏡で観察しながら代表的な断面組織を拡大して写真撮影し、顕微鏡組織および介在物 (不純物、非金属鉱物) の存在状態等から製鉄・鍛冶工程の加工状況や材質を判断する。原則として 100 倍および 400 倍で撮影を行う。必要に応じて実体顕微鏡 (5 倍～20 倍) による観察もする。

(4) X 線回折測定

試料を粉砕して板状に成形し、X 線を照射すると、試料に含まれている化合物の結晶の種類に応じて、それぞれに固有な反射 (回折) された特性 X 線を検出 (回折) できることを利用して、試料中の未知の化合物を同定することができる。多くの種類の結晶についての標準データが整備されており、ほとんどの化合物が同定される。

測定装置 理学電気株式会社製 ロータフレックス (RU-300 型)、測定条件

使用 X 線 Cu- K α (波長 = 1.54178 Å)

② K β 線の除去 グラファイト単結晶モノクロメーター

③ 管電圧・管電流	55kV・250mA
④ スキャニング・スピード	4.0°/min
⑤ サンプルング・インターバル	0.020°
⑥ D.S. スリット	1°
⑦ R.S. スリット	0.15mm
⑧ S.S. スリット	1°
⑨ 検出器	シンチレーション・カウンタ

(5) 耐火度測定

耐火物及び耐火物原料の耐火度試験は、JIS R 2204（耐火物及び耐火物原料の耐火度試験方法）及びJIS R 8101（耐火度試験用標準コーン）に準拠して測定する。

資料を粉碎し、規定（量的に少量であるから寸法は第2種の小型：幅7mm、高さ27mm）のゼーゲルコーンを成型する。このゼーゲルコーンを傾斜80°で受台に装着し、毎分5℃で加熱する。コーンの先端が曲がり始め、受台に接触したときの温度を耐火度（溶倒温度）とする。

3 調査結果および考察

分析調査結果を図表にまとめて57頁～60頁に示す。表1に調査資料と調査項目をまとめた。表2～6は資料の化学成分分析結果を、表7は砂鉄の粒度分布の測定結果を、表8は耐火度測定結果をそれぞれ示す。

全資料の外観写真を61～68頁に、鋇のマクロ写真と顕微鏡ミクロ写真を64、65頁に、砂鉄の顕微鏡ミクロ組織写真を65、66頁に、流出滓の顕微鏡ミクロ組織を66頁に、炉壁胎土の顕微鏡ミクロ組織を66頁に、木炭のマクロ写真と顕微鏡写真を67、68頁に、X線回折チャートを68～70頁に示す。以下、資料の番号順に各資料の調査結果を述べ、最後に全体をまとめた。

1) 資料番号 No.1 鋇、着磁度：強、MC：有

外観：外観写真を61頁に示す。総重量は330.6g、長さ109mm×幅102mm×厚さ29mm。製鉄実験によって得られた大鋇塊を半割し、踏み鞆側の鋇塊をさらに長軸方向と短軸方向に切断し、うち鋇塊中央部（半割側）を化学分析対象とした。断面から、下部は黒色で硬いが、泡の表面に還元鉄が存在しているような形状である。上部は金属光沢を持つ鋇で、切断時粘りがあり軟らかい。炭素量がほとんどないようである。裏側は炉壁が溶けて一体化し、木炭片をかみ込んでいる。分析は上部と下部で別々に行った。

鉄の顕微鏡組織：鋇塊の下部で金属鉄が少なく滓が多い部分の5倍のマクロ写真と100倍、400倍の顕微鏡写真を64、65頁に示した。5倍の写真に見られるように熔融した金属鉄が網目状に連なって鉄滓中に懸濁しており、生成した鉄粒子が炉床に降下してきたものの滓の流動性が低く十分凝集できなかったことを示している。これは炉床に接する部分で温度が下がりやすく滓の流動性が低下していたためと考えられる。100倍、400倍の写真では鉄粒の凝集が進

みにくく元の鉄粒子の痕跡を残している。粒界と粒内には介在物が認められる。これらの介在物はおそらく鉄滓系の酸化物と思われるが特定できない。滓部分にはイルメナイト (Ilmenite: $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) とファイヤライト (Fayalite: $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) が非晶質スラグ中に晶出しているのが観察される。

鋇塊上部の5倍のマクロ写真と100倍、400倍の顕微鏡写真を64、65頁に示した。5倍の写真に見られるようにほとんどが金属鉄からなる鋇である。鋇塊の下部に比べ熱放散による温度低下が少ないためと思われるが鉄粒子の凝集が進んでいる。鉄粒子の凝集の様子は100倍の写真に見られるようにもとの鉄粒子の痕跡を残す圧着された状態になっており融けあった組織にはなっていない。鉄そのものの組織で見るとパーライト組織は認められず、Cの非常に低いフェライト組織のみになっておりCの低い鋇塊である。鉄粒子には介在物が多く観察される。

滓の顕微鏡組織：鉄滓部分の顕微鏡組織写真を66頁に示す。非晶質スラグに断裂した棒状、あるいは竜骨状にイルメナイトが分布し、その間を埋めるようにファイヤライトの微細な結晶が観察される。写真の視野にはないが一部にウルボスピネル (Ulvospinel: $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) も観察されている。これらは砂鉄を原料とした場合によく見られる組織である。

化学成分：分析結果を57頁の表2に示した。Cは0.17%と0.12%と低く浸炭はあまり進んでいない。顕微鏡組織がフェライトであったことと一致する。下部試料の場合、鉄以外の金属元素としてSi、Ti、Caをそれぞれ2.05%、0.91%、0.2%と比較的多く含んでおり、これらは分離されなかった滓成分が介在物として含まれるためと思われる。

これらの結果を総合的に見れば本資料は滓成分が介在物として含まれるCの含有量が0.12から0.17%と低めの鋇塊ということができる。

2) 資料番号 No. 2 砂鉄 (大信村隅戸川産)、着磁度：強、MC：無

外観：外観写真を61頁に示す。総重量は58.9 g、ややまとまった感じの砂鉄である。着磁力は強く磁選により採取されたもののように思われる。作業時の燃料やキラキラと輝く硅砂、大きめの石粒を含んでいる。

顕微鏡組織：断面の50倍と100倍の顕微鏡写真を65頁に示した。断面は硬質で滑らかな状態であるが内部に多量のガラス質様の微粒を含んでおり、一部には気孔が観察される。

X線回折：X線回折の結果を68頁に示す。マグネタイト (Magnetite: Fe_3O_4) が最強強度を示し イルメナイトが次の強度を示している。石英 (Quartz: SiO_2) とこの高温型であるクリストバライトも認められる。粘土成分のひとつであるアノーサイト (Anorthite: $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) がわずかに同定された。

化学成分：化学成分分析結果を57頁の表3に示した。全鉄57.7%でFeOは33.1%、 Fe_2O_3 は45.7%で Fe_2O_3 とFeOの比率は42:58で SiO_2 は3.13%である。砂鉄に多量に含まれる TiO_2 は11.0%であった。59頁の図1に見られるように東北地方の砂鉄群の中では $\text{TiO}_2/\text{T.Fe}$ は低いほうでV/ TiO_2 は高い部類にあり、中国地方の赤目砂鉄に近い成分となっている。

粒度分布：砂鉄の粒度分布を58頁の表7に示す。0.5mmを超えるものはわずかに0.7%と少

なく 0.25mm 以上の粒子が約 73% を占める比較的粗い砂鉄で平均粒径は 0.378mm である。

3) 資料番号 No. 3 砂鉄 (相馬市古磯部浜産)、着磁度：稍強、MC：無

外観：外観写真を 61 頁に示す。総重量は 49.0 g、微粒子の砂鉄である。珪砂や貝殻の微小片が多く混入しており、資料 2 に比べ白っぽい。着磁力はやや強で精選された砂鉄に比べ磁着力は弱く砂が多く含まれている。

顕微鏡組織：断面の 50 倍と 100 倍の顕微鏡写真を 66 頁に示した。資料 2 に比べ緻密で気孔やガラス質粒子は少ない。資料には多量の珪石が混入している。

X線回折：X線回折の結果を 69 頁に示す。フェロシライト (Ferrosilite: $\text{FeO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$) が最強強度を示し、マグネタイトとイルメナイトが次の回折強度を示している。そのほかに石英が同定されている。

化学成分：化学成分分析結果を 57 頁の表 3 に示した。全鉄は 24.6% に過ぎず FeO は 7.17%、 Fe_2O_3 は 27.2% で Fe_2O_3 と FeO の比率は 21 : 79 である。 SiO_2 は 41.4% と多量に含まれており、MgO も 14.2% と多量に含まれておりフェロシライトが最強強度で同定されたこととよく一致した結果である。59 頁の図 1 に見られるように東北地方海岸砂鉄とほぼ同じ成分である。

粒度分布：砂鉄の粒度分布を 58 頁の表 7 に示す。平均粒径は 0.224mm であった。0.5mm を超えるものはなく 0.25mm 以下で約 83% を占める。

4) 資料番号 No. 4 流出滓 (4 回目ノロ出し)、着磁度：弱、MC：無

外観：外観写真を 61 頁に示す。総重量は 195.7 g、長さ 72mm × 幅 63mm × 厚さ 34mm。三方に割欠面のある肉厚な流出滓である。上部は滑らかで平坦。凹部に土が固着している。破面は青鉄色で光沢があり、大きなガス孔や空洞が認められ、よく溶融しており緻密である。底部は白色の石英粒を含む床材が一面に付着している。床材部と空孔は避けてサンプリングした。

滓の顕微鏡組織：断面の 100 倍と 400 倍の顕微鏡写真を 66 頁に示した。崩れた多角形状で内部に空孔や欠落部を持つ典型的なウルボスピネルと薄い暗褐色をした板状のファイヤライトで構成される組織である。また、ファイヤライトの間には樹脂状の小さなウスタイト (Wustite: FeO) が観察される。これらは X線回折の結果とよく一致する組織である。金属鉄もわずかにみられる。この顕微鏡組織は砂鉄を製錬した際に見られる典型的な組織の一つである。

X線回折：X線回折の結果を 69 頁に示す。ウルボスピネル ($\text{Ulvospinel} : 2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) が最強強度を示し、ファイヤライトが 2 番目の強度で明確に同定された。わずかに石英も同定されているがおそらく床材が混入したものと思われる。

化学成分：分析結果を 57、58 頁の表 4 に示した。全鉄 39.5% に対して金属鉄は 0.36% と少ない。また、FeO は 46.0%、 Fe_2O_3 は 4.79% で Fe_2O_3 と FeO の比率は 9.4 : 90.6 で SiO_2 は 25.3% である。56 頁に示した $\text{FeO} - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ の 3 元系平衡状態図ではウスタイトと鉄の境界に近い組成である。図 2 は各地の遺跡から発掘された鉄滓について T.Fe と TiO_2 の関係から製造工程を分類した図で、本資料は当然ながら砂鉄系製錬滓の領域にあり、やや Ti が低い位置に

ある。原料砂鉄の Ti が 11%であることを考慮すると造滓材が多い製錬をしたことを意味する。図 3 は同じく T.Fe と造滓成分量の関係から砂鉄系製錬滓、砂鉄系鍛冶滓・鉍石系製錬滓の判別を検討する図であるが本資料は T.Fe に対して造滓成分が多い製錬であったことを示している。すなわち、後述の木炭灰分は 1.7%と 1.9%で非常に少ないため木炭灰からの造滓成分の供給は少なく、また炉壁の耐火度も 1310℃、1340℃とあまり高くないため多量の炉壁粘土が侵食溶解されたことが化学成分の面から示されている。

5) 資料番号 No.5 流出滓(7 回目ノロ出し)、着磁度：弱、MC：無

外観：外観写真を 62 頁に示す。総重量は 104.5 g、長さ 61mm × 幅 48mm × 厚さ 25mm。割欠面が 4 面ある流出滓。上部は滑らかで平坦。破面は緻密で微細な発泡痕がある。底部は青鉄色の光沢のある表面に床材が付着している。床材の大きな石英粒や黒い石粒、木炭小片等をかみ込んでいる。床材を除去してサンプリングした。

滓の顕微鏡組織：断面の 100 倍と 400 倍の顕微鏡写真を 66 頁に示した。組織はメタルと滓の境界部を調べた。崩れた多角形状で内部に空孔や欠落部を持つ典型的なウルボスピネルと薄い暗褐色をした板状のファイヤライトと非晶質ガラスで構成される組織である。これらは X 線回折の結果と完全に一致する組織で、典型的な砂鉄製錬滓の組織の一つである。

X 線回折：X 線回折の結果を 70 頁に示す。ウルボスピネルとファイヤライトのみが同定された。

化学成分：化学成分分析結果を 57、58 頁の表 4 に示した。全鉄 36.0%に対して金属鉄は 0.28%と少ない。また、FeO は 44.2%、Fe₂O₃ は 1.89%で Fe₂O₃ と FeO の比率は 4 : 96 で SiO₂ は 28.5%である。56 頁に示した FeO- Fe₂O₃ -SiO₂ の 3 元系平衡状態図ではウスタイトと鉄の境界に近い組成である。さらに使用している砂鉄原料の割には TiO₂ が 9.77%と低く、造滓成分が 42.48%と高い。図 2 は各地の遺跡から発掘された鉄滓について T.Fe と TiO₂ の関係から製造工程を分類した図であるが本資料は砂鉄系製錬滓の領域にあり、やや Ti が低い位置づけとなる。原料砂鉄の Ti が 11%であることを考慮すると造滓材が多い製錬をしたことを意味する。図 3 は同じく T.Fe と造滓成分量の関係から砂鉄系製錬滓、砂鉄系鍛冶滓・鉍石系製錬滓の判別を検討する図であるが本資料は T.Fe に対して造滓成分が多い製錬をしたことを示している。資料 4 と同様に炉壁粘土が多量に侵食溶解したと考えられる。表 3、表 4、表 5 の化学成分結果を用いて TiO₂、SiO₂ の物質収支から炉壁の溶損量を推算すると砂鉄 100 に対して 37 程度溶損したことになる。

資料 4 に比べ Fe₂O₃ と FeO の比率が 4 : 96 と FeO 側に来ていることは 4 回目と比べ 7 回目のノロ出しの方が酸素ポテンシャルがより還元側に変化したことを示している。

6) 資料番号 No. 6 粘土(大信村産)、着磁度：無、MC：無

外観：外観写真を 62 頁に示す。総重量は 536.4 g 長さ 94mm × 幅 84mm × 厚さ 68mm。操業炉壁用の材料で明るい黄土色の粘土である。白色の石英粒や黒色の石粒等の混入が多い。手で触

ると崩れやすく脆い。

化学成分：分析結果を 58 頁の表 5 に示した。シリカは 78% と通常の粘土の約 60% よりかなり高く、アルミナは 11.9% と通常の粘土の約 15 ～ 18% よりも低い。これは外観観察で見られたように石英粒の混入が多いためと考えられる。一方、造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) 中の軟化性を持つアルカリ土類成分 ($\text{CaO} + \text{MgO}$) は 0.26% と低いものの、耐火度を低下させる $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ は 6.6% と高く化学成分的には耐火度はあまり高くないことを示唆している。この粘土を使用した炉壁（資料 No. 8、9）の耐火度が 1310℃、1340℃と比較的低かったことと一致する。灼熱減量は 1.64%、結合水は 1.13% と粘土としては低い。

7) 資料番号 No. 7 粘土（鹿島町産）、着磁度：無、MC：無

外観：外観写真を 62 頁に示す。総重量は 71.1 g、長さ 67mm × 幅 53mm × 厚さ 28mm。平安時代の製鉄遺跡粘土採掘坑より採取した資料である。黄土色の粘土で軽い。資料 6 に比べ混入物は少なく、緻密である。植物根をかみ込み、微細な硅砂もわずかに含んでいるため、表面はキラキラしている。

化学成分：分析結果を 58 頁の表 5 に示した。シリカは 70.5% と通常の粘土の約 60% より高く、アルミナは 14.8% と通常の粘土の約 15 ～ 18% の低い側にある。一方、造滓成分 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) 中の軟化性を持つアルカリ土類成分 ($\text{CaO} + \text{MgO}$) は 2.7% とやや高く、また耐火度を低下させる $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ も 2.5% と通常の範囲で化学成分的には耐火度としてはあまり高くないことを示唆している。灼熱減量は 4.8%、結合水は 3.7% で通常の粘土よりもやや低い。資料 6 に比べ褐色が濃いのは鉄分の違いによるものと思われる。

8) 資料番号 No. 8 炉壁（炉下部、羽口付近）、着磁度：強、MC：有（黒色溶融部）

外観：外観写真を 62、63 頁に示す。総重量は 765.5 g、長さ 111mm × 幅 92mm × 厚さ 79mm。大きめの炉壁である。炉内側は厚さ 10mm 程度の黒色溶融部があり、石英粒が溶け込みゴマ塩状の光沢のあるガラス質となっている。端部は MC 反応があり、着磁力強である。砂鉄焼結塊と思われる。この部分の組織観察を行う。溶融部表面はガラス質滓の上に鮮やかな赤色が付着している。裏面の炉壁材は明るい橙色の部分の厚さ 20mm 程度残っている。炉材は脆く崩れやすく、石英粒を多くかみ込み、粘土と混合して作られた炉材である。被熱影響の比較的少ない橙色の部分から調査試料は採取した。

顕微鏡組織：断面の 100 倍と 400 倍の顕微鏡写真を 66 頁に示した。顕微鏡組織は外観からも見られたように全面にガラス化しており発泡による球形の気泡を多量に内包している。一部に珪石の未溶融部分が観察される。400 倍の写真は溶融滓と接触したと思われる部分を観察しているがウルボスピネルと思われる組織がガラス質の中に観察され鉄滓と反応したことが分る。

化学成分：化学成分分析結果を 58 頁の表 5 に示した。シリカは 77.0% と通常の粘土の約 60% より高く、アルミナは 13.7% と通常の粘土の約 15 ～ 18% よりも低く耐火度的には不利

である。一方、造滓成分中の軟化性を持つアルカリ土類成分 ($\text{CaO}+\text{MgO}$) は 0.67% とやや低いものの耐火度を低下させる $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ は 6.58% と高い。化学成分的にはアルミナが低いことと $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ が高いため耐火度としては低くなることが示唆される。58 頁に示した耐火度が 1310℃ と低めであることと一致している。成分的には大信村の粘土に比べ Fe 分がやや高いのは自然物としての粘土の成分の変動と考えられる。

9) 資料番号 No. 9 炉壁 (炉上部)、着磁度：稍弱、MC：無

外観：外観写真を 63 頁に示す。総重量は 391.7 g、長さ 95mm × 幅 59mm × 厚さ 83mm。上部は黒色の砂鉄がはり付き、茶色の微細な土も付着している。MC 反応なく、着磁力はやや弱である。裏面は淡橙色の部分があるものの、ほとんど熱影響を受けていない白っぽい黄土色の胎土が残っている。資料 8 と同様、大きめの石英粒を多量に含み、植物繊維痕も見られる。胎土は脆く崩れやすい。黄土色の部分をサンプリングした。

化学成分：化学成分分析結果を 58 頁の表 5 に示した。化学成分的には SiO_2 が 74.6%、 Al_2O_3 が 15.2% で基本的には資料 6 と同じものである。一方、造滓成分中の軟化性を持つアルカリ土類成分 ($\text{CaO}+\text{MgO}$) は 0.77% と低く、耐火度を低下させる $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ は 7.06% と高い。58 頁に示した耐火度は 1340℃ と低めである。鉱物組織的にはムライト ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) と遊離した石英粒で構成されていると思われる。同定には X 線回折などの解析が必要となるが今回は実施していない。

10) 資料番号 No.10 木炭 (マツ材)、着磁度：無、MC：無

外観：外観写真を 63、64 頁に示す。総重量は 52.9 g、長さ 134mm × 幅 58mm × 厚さ 44mm × 外径 60mm。操業時の燃料。年輪が鮮明で、表皮も残存している木炭である。全体に光沢があり、清浄な資料である。断面は緻密で詰まっており、しっかり焼かれている。

顕微鏡組織：横断面のマクロ写真 (5 倍) を 67 頁に示した。晩材部の 50 倍、100 倍、400 倍の顕微鏡写真を 67 頁に、早材部の 50 倍、100 倍、400 倍の顕微鏡写真を 67 頁に示した。疎な早材部と緻密な晩材部から構成される年輪がきれいに観察される。中央の白色に見える部分や右上部に見える白色部は減圧含浸させた樹脂である。晩材部の幅は狭く仮道管の早材部から晩材部への移行は緩やかである。孔圏部は 1～2 列である。晩材部の組織は緻密で整然としている。早材部の放射組織は破損したものが多い。

化学成分：化学成分と発熱量の測定結果を 58 頁の表 6 に示した。固定炭素は (F.C) は 81.8% である。揮発分 (V.M) は 16.3% で木炭としてはやや高く炭化が少ないようである。P、S はそれぞれ 0.006% で低い。灰分は 1.9% と非常に低く、発熱量は 7860cal/g で木炭としては高発熱量である。

11) 資料番号 No.11 木炭 (コナラ)、着磁度：無、MC：無

外観：外観写真を 64 頁に示す。総重量は 62.7 g、長さ 112mm × 幅 46mm × 厚さ 48mm × 外径

120mm 以上。年輪が鮮明で、表皮も残存している木炭片。資料 10 に比べて重量感がある。全体に光沢があり、横に大きく割れが入っている。砂礫の付着のない清浄な資料である。

顕微鏡組織:横断面のマクロ写真(5倍)を 67 頁に示した。年輪や維管束が明瞭に観察される。50 倍、100 倍、400 倍の顕微鏡写真を 68 頁に示した。孔は丸みを帯びた環孔材で、孔圈部は 2 列である。維管束は火炎状に外部に向かって伸びている。この火炎状の孔圈の伸びからコナラと判断される。

化学成分:化学成分と発熱量の測定結果を 58 頁の表 6 に示した。固定炭素は (F.C) は 89.5%である。揮発分 (V.M) は 8.8%である。P、S はそれぞれ 0.025%と 0.024%で高い。発熱量は 7860cal/ g である。

4 ま と め

(1) 鋳 (資料番号 1)

得られた産出物は C の含有量が 0.12 から 0.17%と炭素が低めの鋳塊である。

(2) 砂鉄 (資料番号 2、3)

大信村産の砂鉄は品位も高くマグネタイトとイルメナイトが主成分である。古磯浜産の砂鉄は東北地方の浜砂鉄と似た成分で夾雑物を非常に多く含む。

(3) 流出滓 (資料番号 4、5)

砂鉄製錬の典型的な鉱物組織の一つである Fe、Ti の複合酸化物であるウルボスピネル、Fe と Si の複合酸化物であるファイヤライトと非晶質ガラスで構成され、 $\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ の 3 元系平衡状態図ではウスタイトと鉄の境界に近い組成である。炉壁粘土が多量に溶解したと考えられる。

(4) 粘土 (資料番号 6、7)

大信村産の粘土は通常の粘土と比べ SiO_2 が高く、 Al_2O_3 が低く、 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ の高い粘土で、資料番号 8、9 の耐火度からみて耐火度 1300℃強の粘土である。鹿島町産の粘土は大信村産のものに比べ SiO_2 が低く、 Al_2O_3 が高い粘土で耐火度は大信村産に比べ高いと予想される。

(5) 炉壁 (資料番号 8、9)

耐火度は 1310℃、1340℃で、炉下部の炉壁は滓と反応し熔融している。

(6) 木炭 (資料番号 10、11)

資料 No. 10 の木炭は年輪が明確に分る晩材部の薄い松を原料とする炭で、資料 No. 11 の木炭はコナラと判断される。いずれも灰分は 2 %弱で非常に低く、発熱量は 7860cal/ g と木炭としては高い。

付 記

以上、提供いただいた資料について解析できることを報告いたしましたが、以下に測定温度が高かった割に得られた鉤が必ずしも温度高く製錬された鉤でなかった要因について推定も交えて、１．ガス流れ分布と温度、２．砂鉄の降下速度と還元反応、３．送風量などの観点から考えを述べさせていただきます。

（１）ガス流れ分布と温度

基本的にたたらのような充填層では層内をガスが流れることによって対流伝熱により熱が供給され装入物の温度が上がります。たたらのように粗い木炭と細かな砂鉄を供給しますと砂鉄のある部分はガス流れが阻害され砂鉄の存在する部分を避けるようにガスは上昇するため温度上昇が周りに比べ遅くなります。したがって砂鉄の存在する部分は炉の上から下まで温度が周りよりも低くなります。これはまったく避けようのない現象で、ある程度砂鉄の存在する部分にもガスが流れるようにして温度を上げ、さらに炉内の還元ガスと砂鉄の接触を図って酸化鉄の間接還元を進めることが必要です。あまり一度に、一箇所に砂鉄を供給するとこの部分にはガスが流れなくなり（還元ガスも供給されないことになる）温度上昇は伝導伝熱のみになり温度上昇は非常に遅くなるばかりでなく還元も非常に遅れる結果となります。当然、浸炭も少なく、Cの低い温度の低い鉄粒子が生成することになります。最悪の場合はほとんど還元されないまま砂鉄が炉床に降下してしまう結果にもなります。

また、充填層の特徴として炉内のガスは壁際を多く流れる傾向があり、中央付近に砂鉄を集中させると周辺にばかりガスが流れ炉壁の過大な溶融を引き起こす結果となります。充填層の特徴として充填材（たたらの場合は木炭）の大きさを小さくすることは壁際での空隙を小さくするため、壁際のガス量を抑制するのに有効と考えられています。

（２）砂鉄の降下速度と還元反応

たたらにおいては砂鉄の降下速度は木炭の消費速度によってほぼ決まります（勿論、棚つりなどの異常降下が起こっていない場合です）。すなわち、羽口前で消費される分だけ木炭が下がり、これに伴って砂鉄も降下することになります。したがってあまり多量に送風をすると木炭と砂鉄は炉内を速い速度で降下することになり、伝熱や間接還元反応が追いつかなくなり当然還元が遅れて未還元のまま砂鉄は滓となり炉下部にたまることになります。伝熱や間接還元反応は炉内を上昇するガス量には比例しませんので適正量以上の送風をすると必ず還元遅れ、昇温遅れが起こります。これに対処するには砂鉄と木炭の比率を下げる方向に操作しなければなりません。一度滓化してしまうとガスによる還元は期待できず直接還元反応しか進まず、しかもこの反応は大きな熱を奪う吸熱反応で木炭と滓の接触面積が小さいことから実質的には滓化した後は還元反応は起こらないことになります。したがって、砂鉄の昇温遅れ、還元遅れが起こらない程度の送風をする必要があります。この現象も砂鉄が適切に装入されている場合でも起こるので上記１のようなガス流れの不均質が問題になるような状況では一層これは顕在

化するであろうとおもいます。

(3) 送風量

炉壁の厚みなどが大幅に変化しない程度の時間内であればその時間での壁を通したり、炉床を通しての単位時間当たりの熱放散速度は一定と考えられます。したがって、送風量を上げれば時間当たりの熱発生量は送風量に比例して増えるのでその差としての温度は上昇し、理論的な燃焼温度に近づくことになり炉下部の温度を上げるには有利になります。しかし、上記しました1, 2のような状況が存在すると炉壁側の温度は十分高いのに砂鉄の存在する部分は温度が上がっておらず、温度が低く浸炭もあまり進んでいない鉄粒子が出来る結果になります。

(4) 操業について

炉全体として温度が上がっても反応すべき砂鉄や出来た鉄粒子・鋳がそれほど温度が高くない場合があることを示しました。上記のいずれでも起こる現象と言えます。

今回の操業で測定された温度は1400℃、あるいは1500℃にも達したと伺っておりますがその割りに生成した鋳は温度が高いようには見えず、浸炭もあまり進んでいなかったこと、炉壁が多量に熔融したことなどは上に書きました要因が複合して起こったのではないかと思います。島根県吉田村の例で見ますと羽口の径は1 cm くらい、間隔は実質的に20 から30cm くらいになっているようです。一方、今回のイベントを見ますと羽口径は2.4cm、羽口間隔は10cm 以下となっており相当大的な風量が入ったのではないかという気がいたします。(あくまで推察です)

また、吉田村でも毎年実施してもなかなか安定して来ないのは以上のような難しさがあるためではないかと考えております。

以上

5 参 考

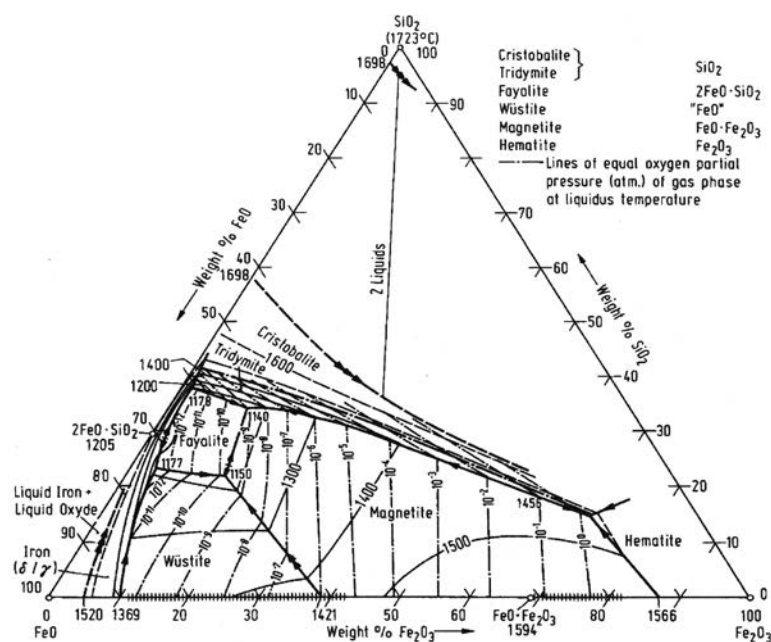
(1) 鉄滓の顕微鏡組織について

鉄滓を構成する化合物結晶には、一般的に表A1のような鉱物組織がある。酸化鉄(Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 、 FeO)、二酸化ケイ素(シリカ： SiO_2)、アルミナ(Al_2O_3) および二酸化チタン(TiO_2)を組み合わせた化合物(固溶体)が多く、これら鉱物結晶は含有量にも依存するが、X線回折により検出され確認できる。鉄滓中の低融点化合物はガラス相(非晶質)を形成する傾向があり、X線回折では検出されない場合が多い。

表 A 1 鉄滓の顕微鏡鉱物組織とその観察状況

鉱物組織名 (和)	鉱物名 (英)	化学式	偏光顕微鏡観察状況
ヘマタイト	Hematite	α -Fe ₂ O ₃	赤褐色～赤紫色
マーゲマイト	Maghemite	γ -Fe ₂ O ₃	赤紫色～黒紫色
マグネタイト	Magnetite	Fe ₃ O ₄	白青色、四角または多角盤状
ウスタイト	Wustite	FeO	灰白色、繖玉状または樹枝状
ファイヤライト	Fayalite	2FeO · SiO ₂	薄い青灰色、短冊状の長い結晶
ウルボスピネル	Ulvospinel	2FeO · TiO ₂	白色、四角～角形板状結晶
イルメナイト	Ilmenite	FeO · TiO ₂	白色、針状・棒状の長い結晶
シュードブルッカイト	Pseudobrookite	FeO · 2TiO ₂	白色、針状の結晶
ハロイサイト	Halloysite	Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂ · 2H ₂ O	X 線で同定できたが組織は不明
ハーシナイト	Hercynite	FeO · Al ₂ O ₃	ウスタイト中に析出、ごま粒状。
アカゲナイト	Akagenite	β -FeOOH	X 線で同定できたが組織は不明
ゲーサイト	Goethite	α -FeOOH	白～黄色、リング状が多い。

(2) 鉄滓の平衡状態図



FeO-Fe₂O₃-SiO₂系状態図 (by Osborn and Muan): Slag Atlas
 [ドイツ鉄鋼協会] (1981) [Verlag Stahleisen] Düsseldorf, Fig. 106, p. 76

6 図表・写真

・調査資料と調査項目

表 1 調査資料と調査項目（鉄づくりイベント産出鉄塊等）

資料 No	種別 位置等	重量 g	着 磁 度	M C 反 応	化学 成分	外 観 写 真	マ ク ロ 写 真	ミ ク ロ 写 真	X 線 回 折	耐 火 度	発 熱 量	粒 度 分 布
1	鋳	330.6	○	○	○	○	○	○				
2	砂鉄 大信村：隅戸川産	58.9	○	○	○	○		○	○			○
3	砂鉄 相馬市：古磯部浜産	49.0	○	○	○	○		○	○			○
4	流出滓：4回目ノロ出し	195.7	○	○	○	○		○	○			
5	流出滓：7回目ノロ出し	104.5	○	○	○	○		○	○			
6	粘土：大信村	536.4	○	○	○	○						
7	粘土：鹿島町産	71.1	○	○	○	○						
8	炉壁（炉下部：羽口付近）	765.5	○	○	○	○		○		○		
9	炉壁（炉上部）	391.7	○	○	○	○				○		
10	木炭（松材）	52.9	○	○	○	○	○	○			○	
11	木炭（クヌギ・コナラ）	62.7	○	○	○	○	○	○			○	

・化学成分分析結果

表 2 鉄塊（鋳）の化学成分分析結果（％）

資料 No.	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Co	Al	V	Ti	Ca	Mg
1 上	0.17	0.038	0.002	0.255	0.012	0.010	0.002	0.034	0.017	0.006	0.044	0.007	0.007
1 下	0.12	2.05	0.24	<0.002	0.034	0.006	0.001	0.008	0.042	0.053	0.91	0.20	0.084

表 3 砂鉄の化学成分分析結果（％）

資料 No.	T. Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	比率（％）	
										Fe ₂ O ₃	FeO
2	57.7	33.1	45.71	3.13	2.06	0.50	1.49	0.06	0.05	42.0	58.0
3	24.6	7.17	27.2	41.4	1.65	2.71	14.2	0.12	0.04	20.86	79.14

資料 No.	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	V	C. W.	TiO ₂ /T. Fe	MnO/TiO ₂	V/TiO ₂	造滓 成分％
2	11.0	0.58	0.346	0.24	0.24	0.19	0.010	0.0218	7.29
3	7.31	1.03	0.114	0.036	0.23	0.29	0.042	0.0049	60.12

C. W = 化合水、造滓成分 = SiO₂ + Al₂O₃ + CaO + MgO + Na₂O + K₂O

表 4 流失滓の化学成分分析結果（％）

資料 No.	T. Fe	M. Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	比率（％）	
											Fe ₂ O ₃	FeO
4	39.5	0.36	46.0	4.79	25.3	6.97	1.63	1.58	0.72	1.36	90.57	9.43
5	36.0	0.28	44.2	1.89	28.5	8.01	1.95	1.82	0.8	1.40	95.90	4.10

「鉄づくり」イベント産出鉄塊等の成分分析調査

資料 No.	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Co	C.W.	C	V	Cu	TiO ₂ /T.Fe	MnO/TiO ₂	造滓 成分%
4	9.88	0.56	0.32	0.008	0.25	0.01	0.22	0.001	0.25	0.014	37.56
5	9.77	0.58	0.294	0.008	0.26	0.01	0.21	0.001	0.27	0.016	42.48

C.W=化合物、造滓成分= SiO₂ + Al₂O₃ + CaO + MgO + Na₂O + K₂O

表5 粘土・炉壁化学成分分析結果 (%)

資料 No.	T. Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	C.W.	灼熱減量
6	0.81	0.46	0.65	78.0	11.9	0.26	<0.1	1.13	1.64
7	2.82	0.54	3.43	70.5	14.8	1.86	0.89	3.72	4.81
8	1.34	0.21	1.68	77.0	13.7	0.46	0.21	0.37	0.43
9	1.49	0.57	1.50	74.6	15.2	0.52	0.26	0.6	0.64

資料 No.	TiO ₂	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	C
6	0.17	0.03	2.18	4.44	0.08
7	0.73	0.06	1.51	1.02	0.53
8	0.28	0.03	2.45	4.13	0.03
9	0.31	0.04	2.67	4.39	0.03

表6 木炭の化学成分、発熱量 (%、cal/g)

資料 No	Ash	V.M	F.C	水分	P	S	発熱量
10	1.9	16.3	81.8	2.8	0.006	0.006	7860
11	1.7	8.8	89.5	3.5	0.025	0.024	7860

・砂鉄の粒度分布

表7 砂鉄の粒度分布 (%、μm)

資料 No.	-100	+100	+150	+250	+500	+1000	平均粒度
2	0.3	1.4	25.0	60.5	12.1	0.7	380
3	0.4	8.2	74.1	17.3	0.0	0.0	224

・耐火度

表8 粘土・炉壁の耐火度試験結果

資料番号	耐火度 S K 番号	耐火度 (℃)
8	S K 10+	1310
9	S K 12-	1340
[備考] 試験方法：耐火煉瓦の耐火度の試験方法 (JIS R2204) に準拠 試験条件：酸素プロパン炉法 *耐火温度：下表のゼーゲルコーン溶倒温度比較表を参照		

ゼーゲルコーン溶倒温度比較表

温度 (℃)	コーン 番号	温度 (℃)	コーン 番号	温度 (℃)	コーン 番号	温度 (℃)	コーン 番号
600	022	960	07a	1,280	9	1,650	29
650	021	980	06a	1,300	10	1,670	30
670	020	1,000	05a	1,320	11	1,690	31
690	019	1,020	04a	1,350	12	1,710	32
710	018	1,040	03a	1,380	13	1,730	33
730	017	1,060	02a	1,410	14	1,750	34
750	016	1,080	01a	1,435	15	1,770	35
790	015a	1,100	1a	1,460	16	1,790	36
815	014a	1,120	2a	1,480	17	1,825	37
835	013a	1,140	3a	1,500	18	1,850	38
855	012a	1,160	4a	1,520	19	1,880	39
880	011a	1,180	5a	1,530	20	1,920	40
900	010a	1,200	6a	1,580	26	1,960	41
920	09a	1,230	7	1,610	27	2,000	42
940	08a	1,250	8	1,630	28		
註：コーンは正確な温度を測定するものではない。							
耐火度の数値を概略の温度で示す場合にのみ上の温度表が使われる。							
この表はJ I S R 0 3 0 5付表による。 コーン番号＝S K番号							

・砂鉄の分類

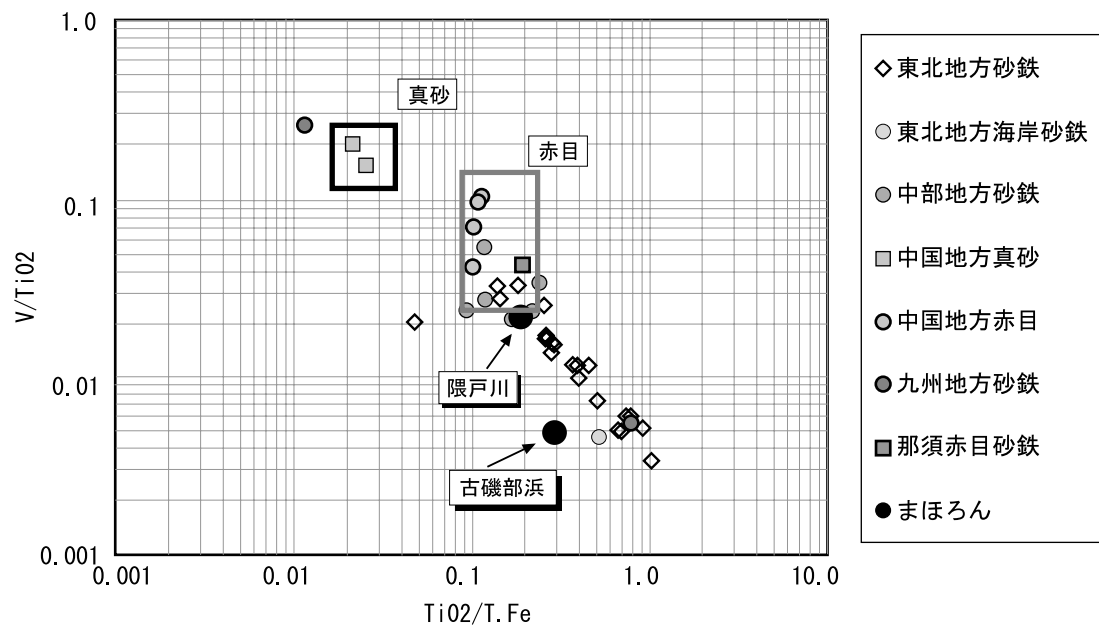


図1 砂鉄中の酸化チタンとバナジウムの分布図

・製造工程上の鉄滓分類

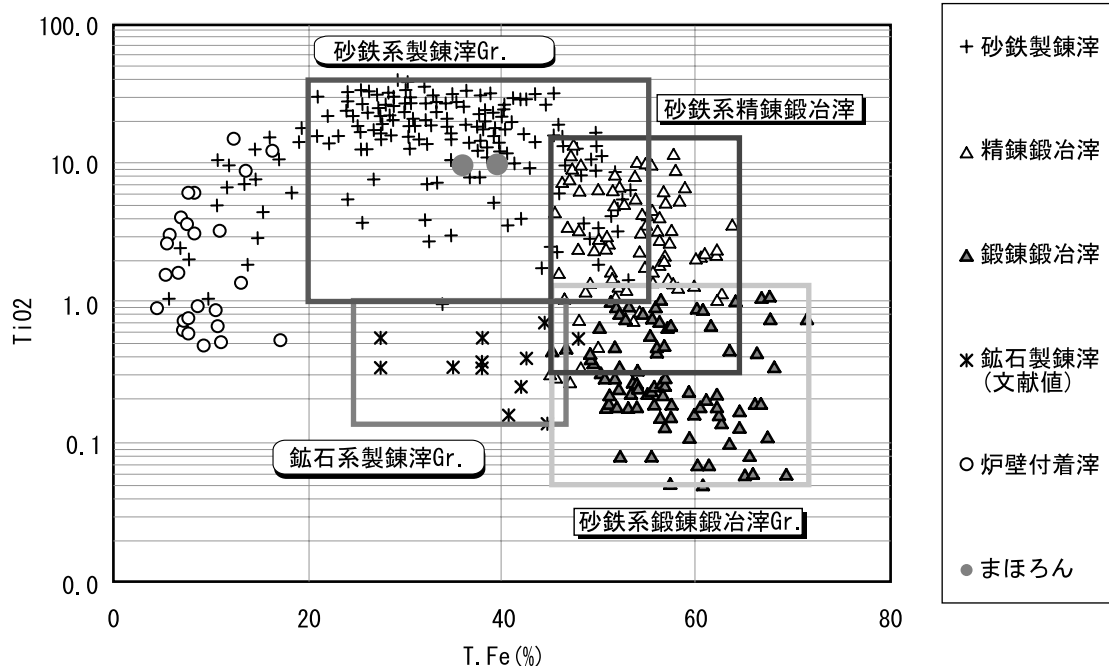


図2 出土鉄滓類の全鉄量と二酸化チタン量の分布図

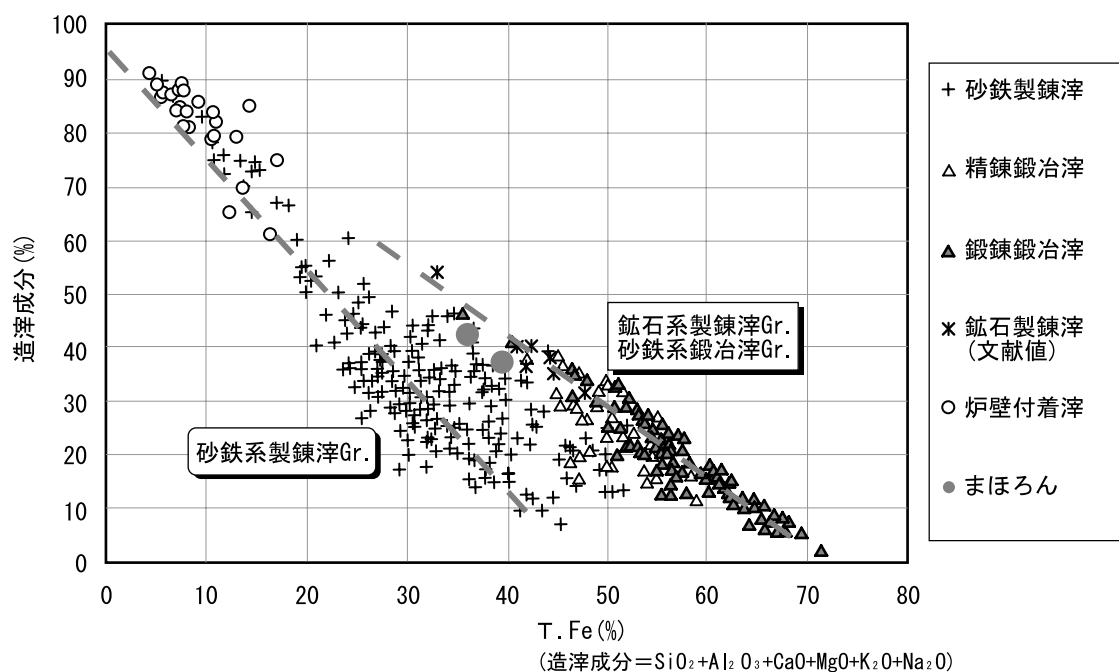


図3 製錬滓と鍛冶滓の分類



写真1 鋳塊 1



写真2 鋳塊 2

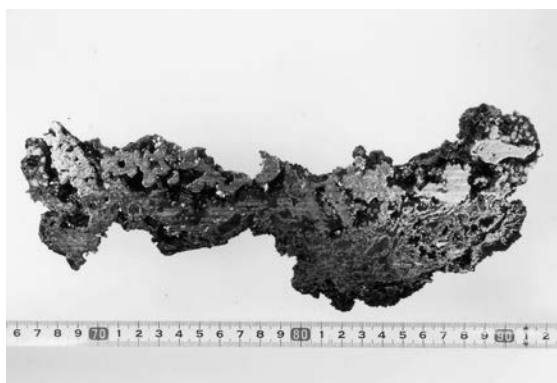


写真3 資料 No. 1 鋳塊（切断面） 1



写真4 資料 No. 1 鋳塊（切断面） 2



写真5 資料 No. 2 砂鉄（大信村：隈戸川産）

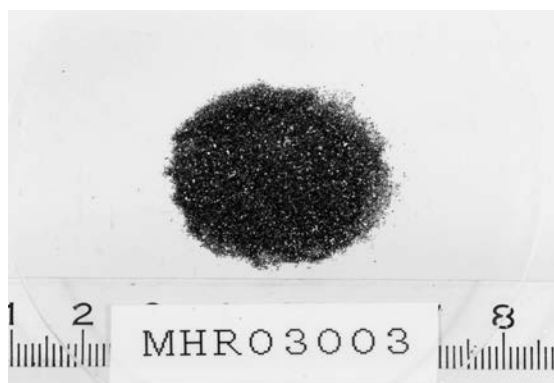


写真6 資料 No. 3 砂鉄（相馬市：古磯部産）



写真7 資料 No. 4 流出滓（4回目ノ口出し） 1



写真8 資料 No. 4 流出滓（4回目ノ口出し） 2



写真9 資料 No. 5 流出滓（7回目ノロ出し）1



写真10 資料 No. 5 流出滓（7回目ノロ出し）2



写真11 資料 No. 6 粘土（大信村産）1



写真12 資料 No. 6 粘土（大信村産）2



写真13 資料 No. 7 粘土（鹿島町産）1



写真14 資料 No. 7 粘土（鹿島町産）2

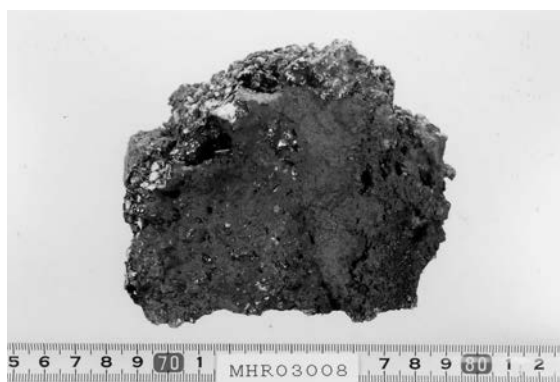


写真15 資料 No. 8 炉壁（炉下部、羽口付近）1



写真16 資料 No. 8 炉壁（炉下部、羽口付近）2



写真 17 資料 No. 8 炉壁（炉下部：羽口付近） 1



写真 18 資料 No. 8 炉壁（炉下部：羽口付近） 2



写真 19 資料 No. 9 炉壁（炉上部） 1



写真 20 資料 No. 9 炉壁（炉上部） 2



写真 21 資料 No. 9 炉壁（炉上部） 3



写真 22 資料 No. 9 炉壁（炉上部） 4



写真 23 資料 No. 10 木炭（松材） 1



写真 24 資料 No. 10 木炭（松材） 2



写真 25 資料 No. 10 木炭（松材） 3



写真 26 資料 No. 10 木炭（松材） 4



写真 27 資料 No. 11 木炭（コナラ） 1



写真 28 資料 No. 11 木炭（コナラ） 2



写真 29 資料 No. 11 木炭（コナラ） 3



写真 30 資料 No. 11 木炭（コナラ） 4

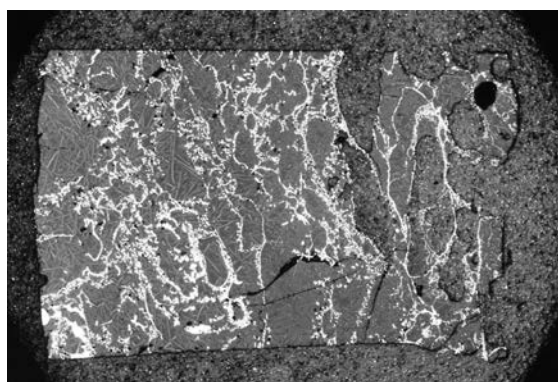


写真 31 資料 No. 1（鍋の下部） × 5

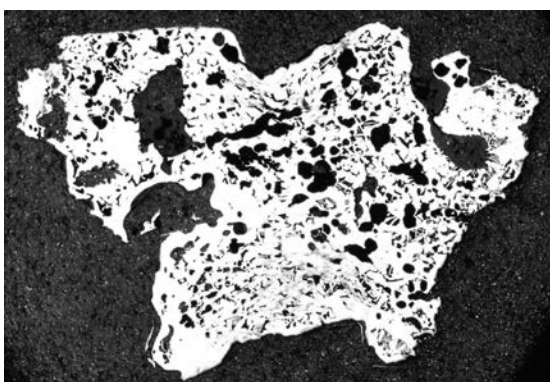


写真 32 資料 No. 1（鍋の上部） × 5

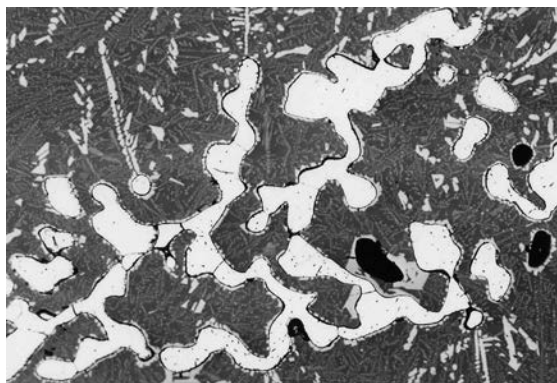


写真 33 資料 No. 1 鋳の下部 × 100

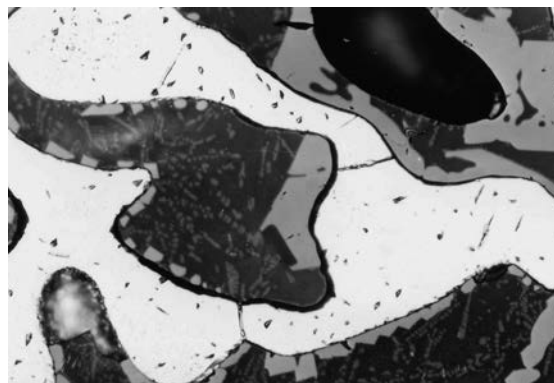


写真 34 資料 No. 1 鋳の下部 × 400

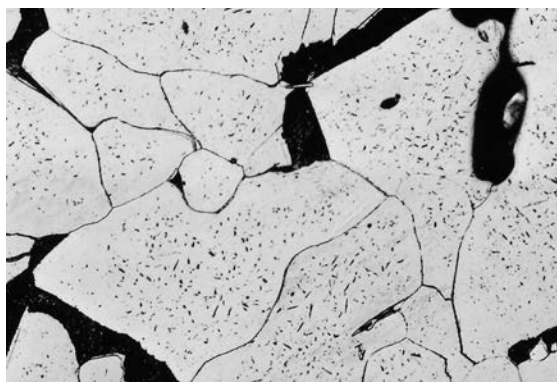


写真 35 資料 No. 1 鋳の上部 × 100

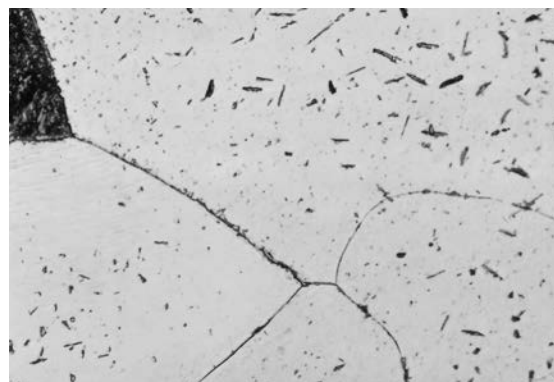


写真 36 資料 No. 1 鋳の上部 × 400



写真 37 資料 No. 1 鋳の下部（滓部分） × 100

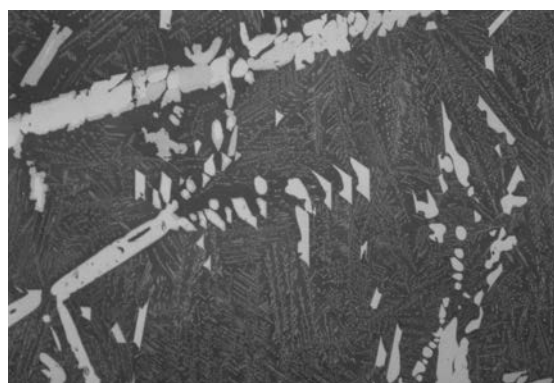


写真 38 資料 No. 1 鋳の下部（滓部分） × 400

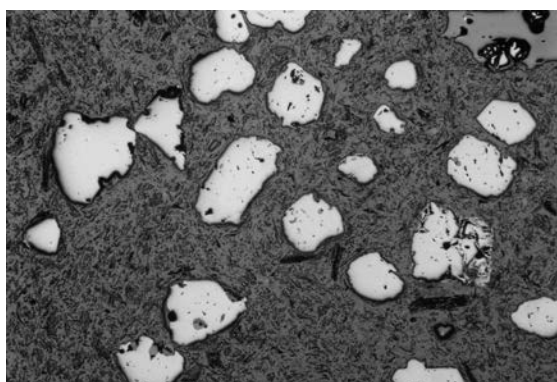


写真 39 資料 No. 2 砂鉄（大信村：隈戸川産） × 50

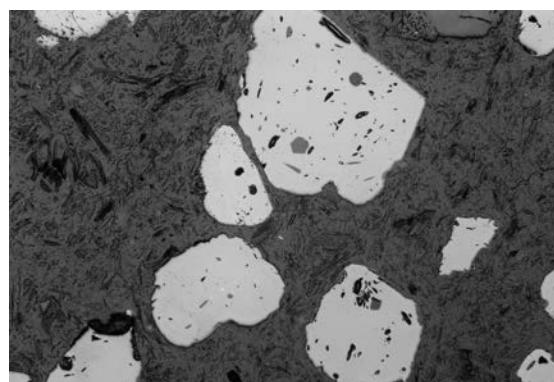


写真 40 資料 No. 2 砂鉄（大信村：隈戸川産） × 100

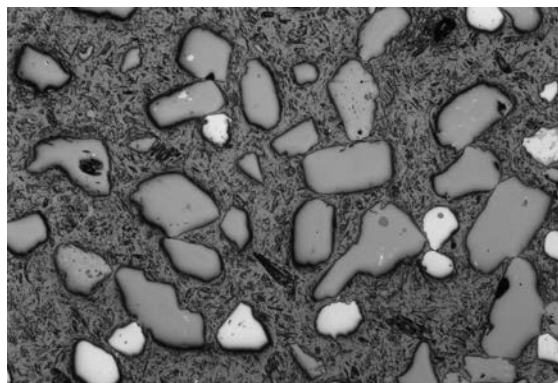


写真 41 資料 No. 3 砂鉄（相馬市：古磯部産）× 50

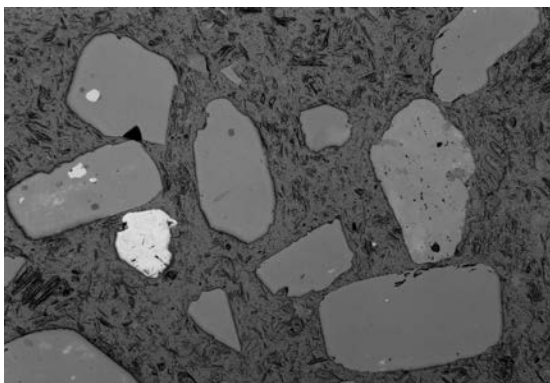


写真 42 資料 No. 3 砂鉄（相馬市：古磯部産）× 100

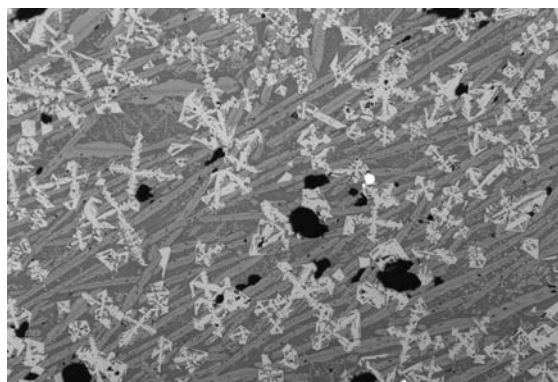


写真 43 資料 No. 4 流出滓 × 100

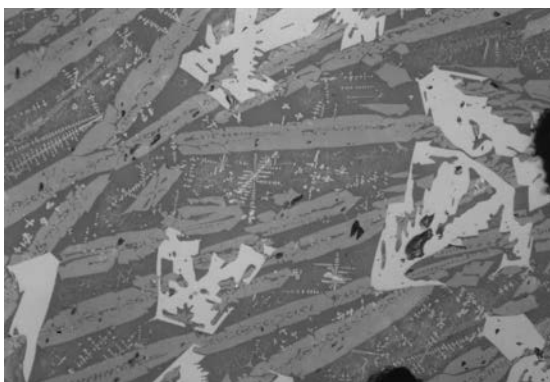


写真 44 資料 No. 4 流出滓 × 400

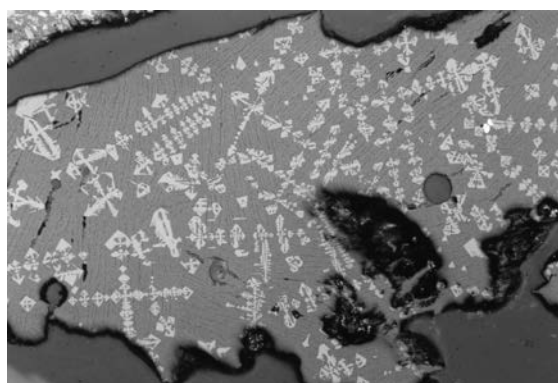


写真 45 資料 No. 5 流出滓 × 100



写真 46 資料 No. 5 流出滓 × 400

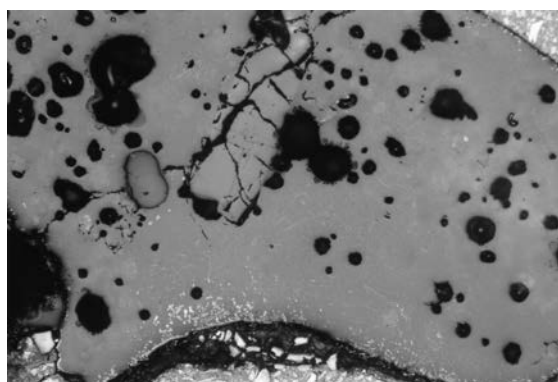


写真 47 資料 No. 8 炉壁（炉下部：羽口付近）× 100

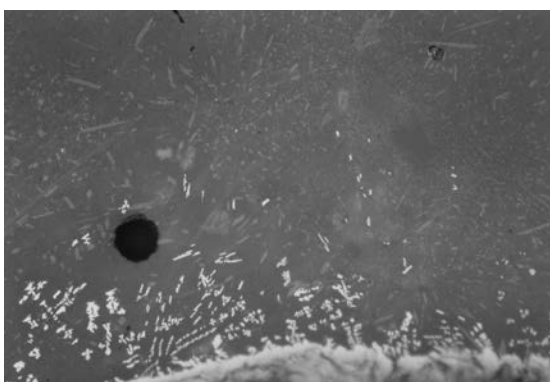


写真 48 資料 No. 8 炉壁（炉下部：羽口付近）× 400



写真 49 資料 No. 10 木炭（マツ材 横断面）× 5

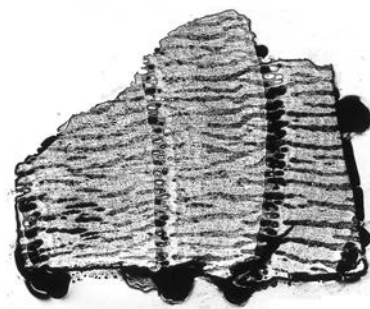


写真 50 資料 No. 11 木炭（コナラ）× 5

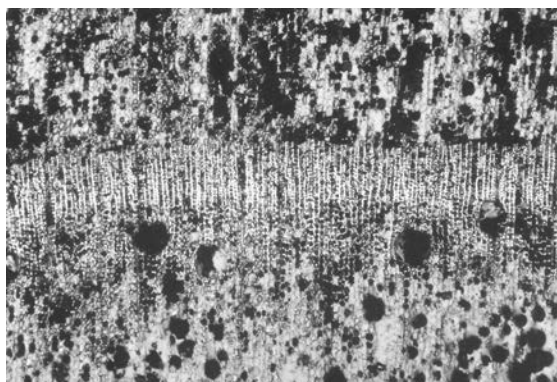


写真 51 資料 No. 10 木炭（松材：年輪の晩材部分）× 50

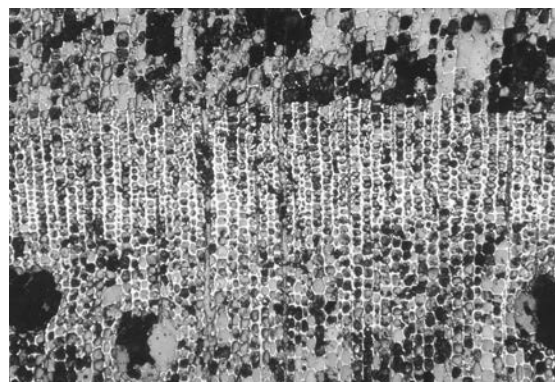


写真 52 資料 No. 10 木炭（松材：年輪の晩材部分）× 100

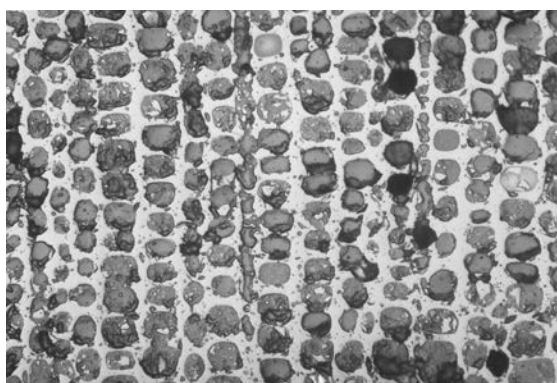


写真 53 資料 No. 10 木炭（松材：年輪の晩材部分）× 400

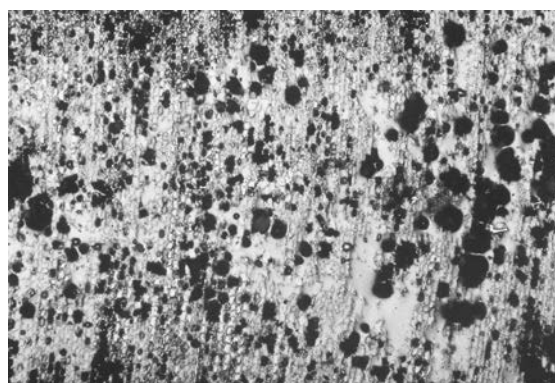


写真 54 資料 No. 10 木炭（松材：年輪の早材部分）× 50

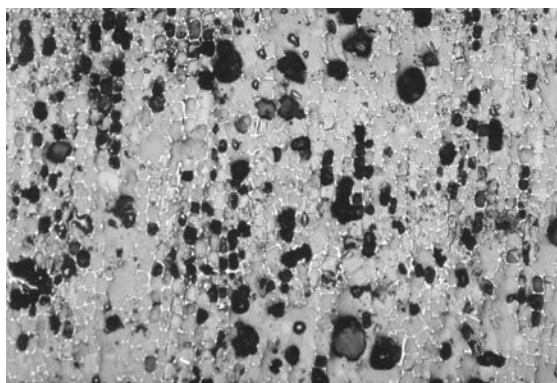


写真 55 資料 No. 10 木炭（松材：年輪の早材部分）× 100

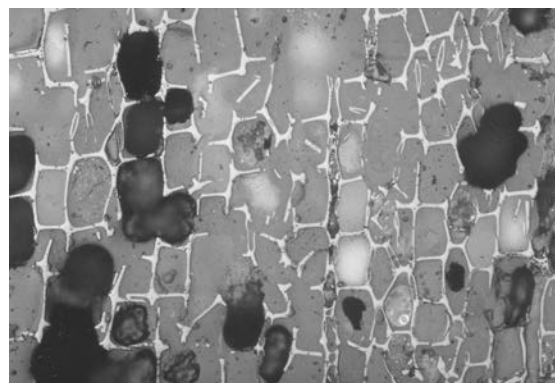


写真 56 資料 No. 10 木炭（松材：年輪の早材部分）× 400

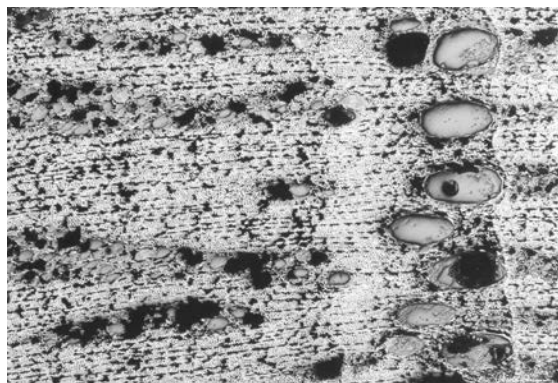


写真 57 資料 No. 11 木炭（コナラ） × 50

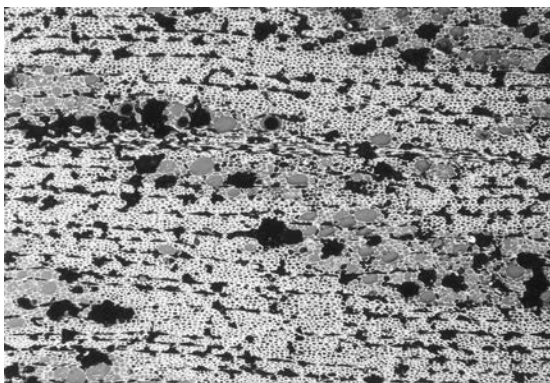


写真 58 資料 No. 11 木炭（コナラ） × 100

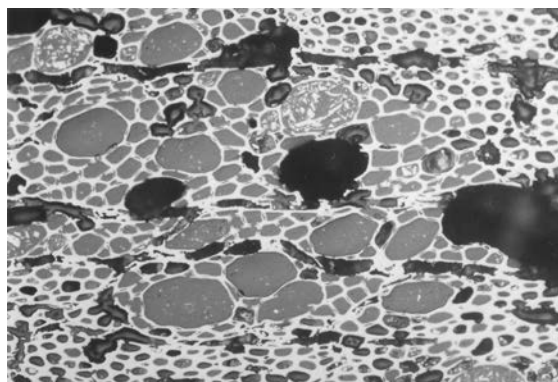


写真 59 資料 No. 11 木炭（コナラ：維管束部） × 400

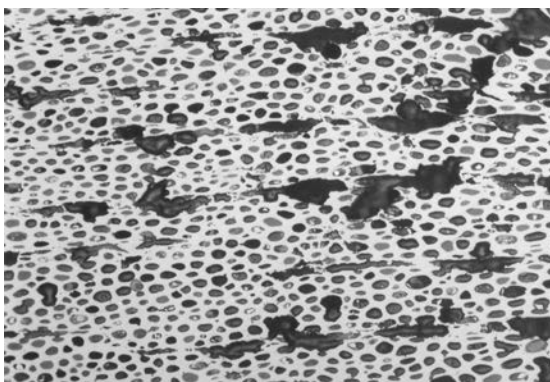


写真 60 資料 No. 11 木炭（コナラ：維管束部の外） × 400

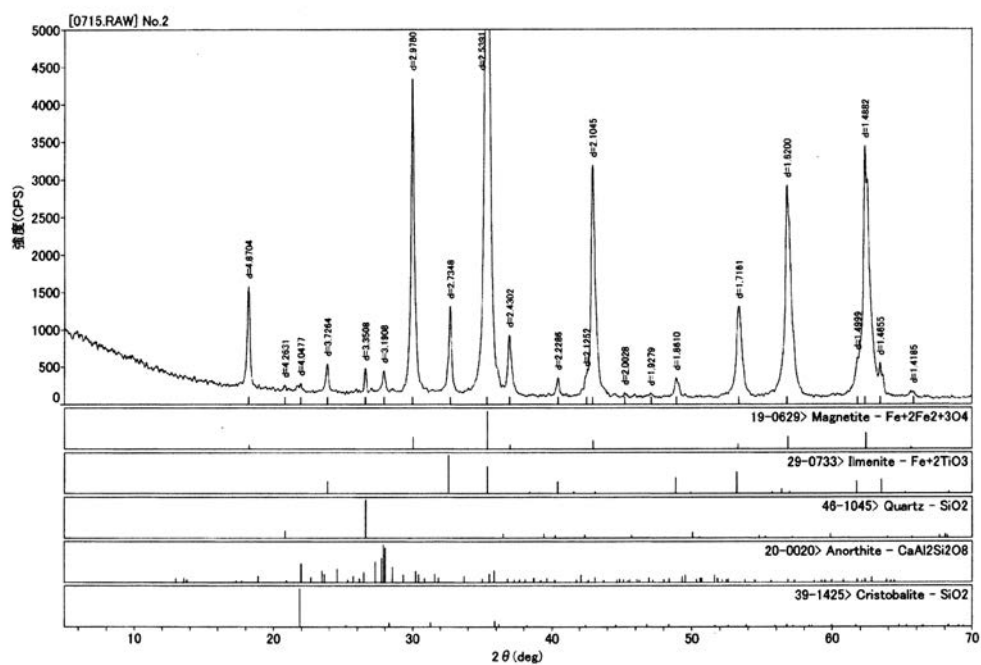


図 4 資料 No. 2 砂鉄（大信村：隈戸川産）

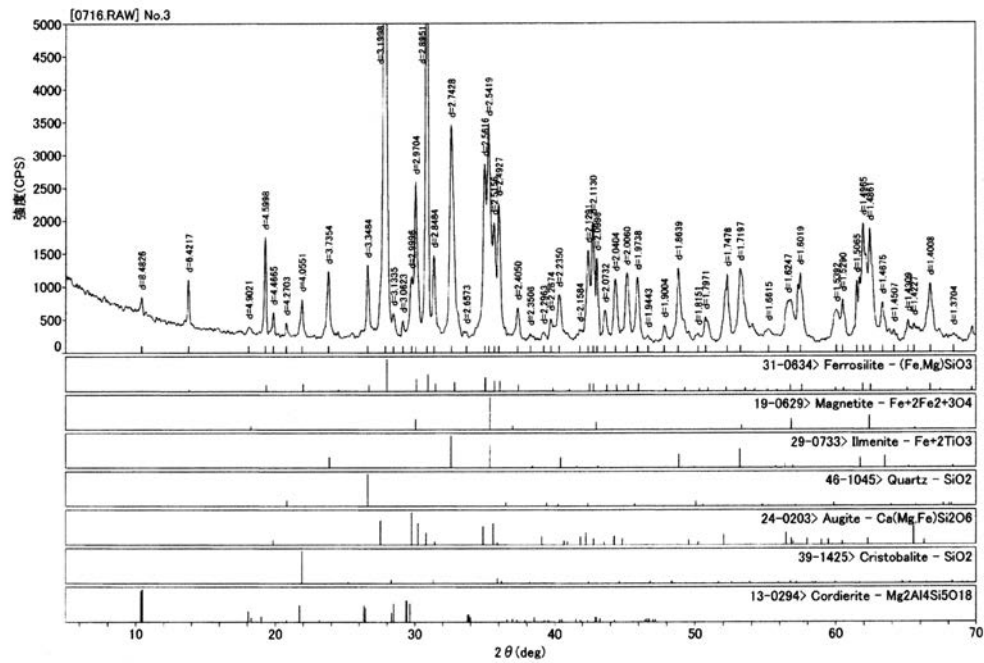


図5 資料 No. 3 砂鉄 (相馬市 : 古磯部産)

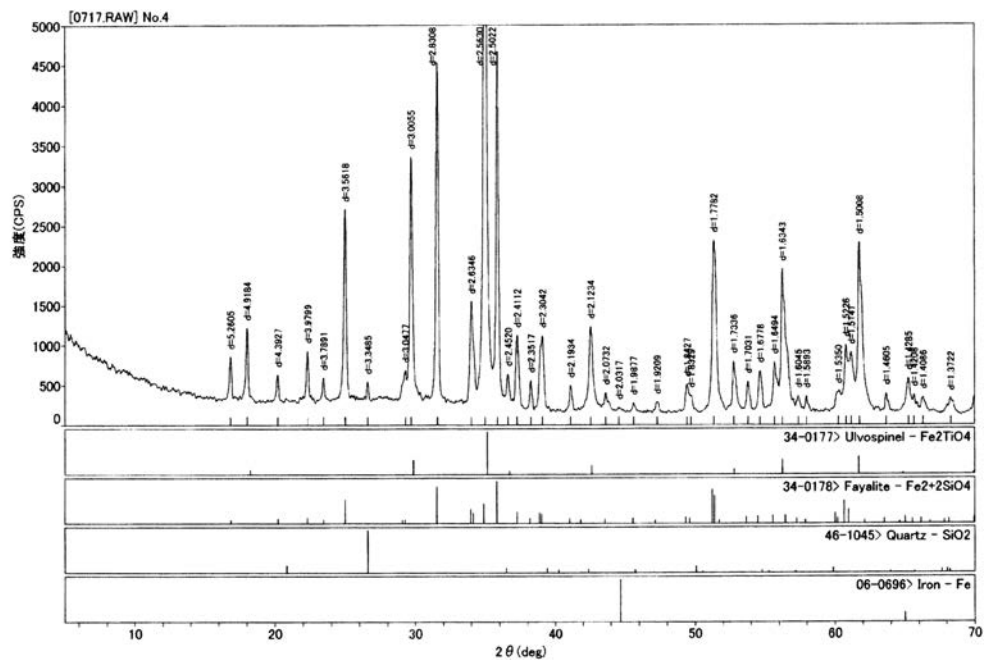


図6 資料 No. 4 流出滓 (4 回目ノ口出し)

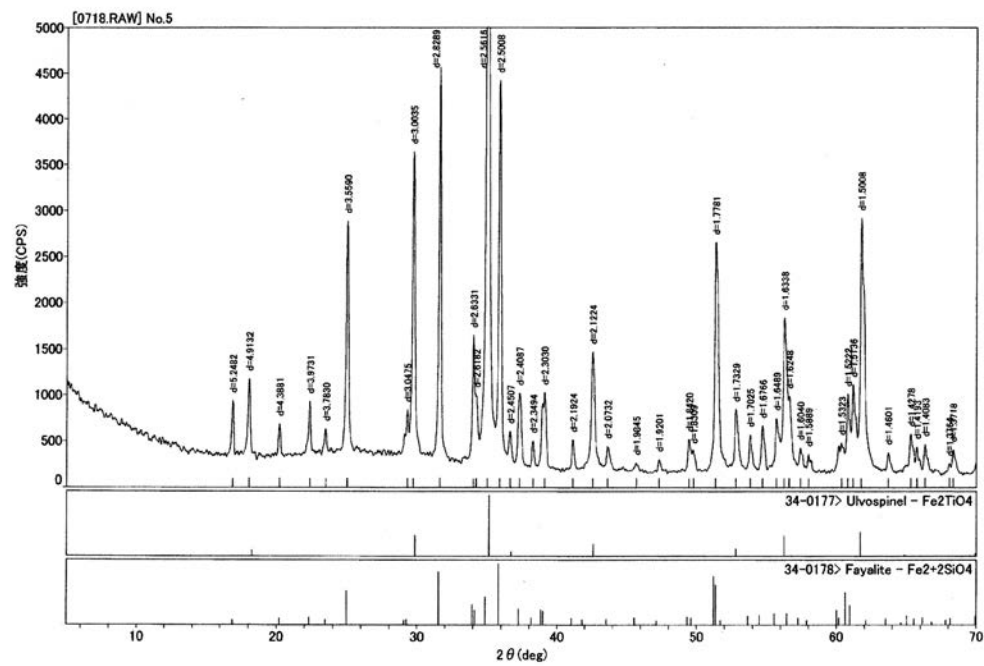


図7 資料 No. 5 流出滓（7回目ノロ出し）

復元的視点による竪穴住居跡の発掘調査

福島 雅儀

はじめに

旧石器時代から平安時代にかけて、多くの遺跡から種々な竪穴住居跡が検出されている。竪穴住居は長い間、集落の中心となる居住施設であった。竪穴住居は、基礎部分、床面、周壁、壁溝、柱穴、炉等で構成される構築物である。しかしその実物が、現在も存在しているわけではない。竪穴住居が廃棄され、その後の経年変化を経て発掘されたのが竪穴住居跡である。竪穴住居跡からは、各種の生活用具が出土する。竪穴住居跡には、祖先の暮らしと生活の痕跡が詰まっている。

竪穴住居跡の発掘調査は、ほぼ決められた手順で実施され、すでに確立されたマニュアルがある。ただし、決められた手順による処理と調査は異なっている。分からないことを少しでも明らかにしていくこと、今までの知見に対して誤りを正すことが調査といえよう。一方、マニュアルに合わせて遺構自体をねじ曲げるのは、処理である。それも十分でないのは、破壊に類する行為でしかない。

ここでは、これまでの調査手順に変更を加えることは意図していない。また、効率的な掘削や記録作成についての方法を提示することでもない。その代わり、竪穴住居跡を構成する土層を中心に、検討しなければならない項目や観察上の留意点のいくつかを考えてみた。竪穴住居跡から祖先の生活を復元する場合、不明な点や意見の分かれることが少なくない。これは、発掘調査における土層の理解、解釈に主因があると考えたからである。これを解消する手がかりを探すのが、第1の目的である。

さらに竪穴住居における祖先の生活を知るには、復元による住居の具体的な姿を明らかにする作業が必要になる。発掘調査で得られる資料は、有機質で作られた日常生活品や道具、住居施設の大半が失われているからである。竪穴住居跡から得られる情報は、発掘調査の精度に限定され、発掘調査の方法、技量が大きな比重を持っている。考古学の研究を行う上で、発掘調査が重要なことはいうまでもない。それには、復元的視点から情報の収集に努めるべきである。この観点から、竪穴住居跡の調査方法を考えることが、第2の目的である。

1 考古学的な土層の区分

遺構は土層集合体とも言えよう。周囲の地層に人為的な改変が加えられることによって形成された土層の集まりである。このまとまり、遺構を検出する作業から発掘調査の掘り下げは開始される。そこで、土層についての認識を再確認することから、検討を始めることにする。

発掘調査で行われている土層の区分は、土質の違いによってなされているようである。「では、土質の違いとは何か。」と問えば、調査員によって様々な回答が帰ってくる。土質の相違とい

っても結局は主観である。同一土層として区分されている土層が、50 cm、あるいは1 mも離れると全く別の土質であることも少なくない。薄層のまとまりであることもある。異なった土質が混ざり合って斑状になった土層もある。

発掘調査の現場の土層区分は、土の相違だけではない。地質学や土壌学と考古学では、土層の分類基準は大きく異なっている。知りたい内容によって、土層の認識基準は異なっている。発掘調査の土層区分方法について、竪穴住居跡に関連した整理をしておきたい。

通常の報告書では、土層注記に色調と土質が表記されている。例えば黒褐色シルトや黄灰色細砂などである。色調と土質は、土色帳と照らし合わせて記入されたものである。これに加えて木炭粒、土器片、小石の有無が補足されることもある。これを発掘調査現場で実測図の脇に記入してゆくのであるが、天気、土中の湿気、サンプル採取場所、個人の判定によってかなりの相違が生じているのは、発掘調査の経験者であれば十分に分かっていることである。

ここで注意しなければならないのは、発掘調査で区分され、あるいはまとめられる土層は、色調や土質では区分されていないことである。調査員は、土層が形成された原因や時間経過によって、土層をまとめているのである。土層が形成され、あるいは堆積したまとまり、変化した部分を単位として土層を区分しているのである。

遺構を構成する土層は、人為的に形成された土層と自然堆積による土層に分かれる。自然堆積土層は、施設の崩壊や有機物の腐朽によって生じた空間を埋める崩落や土砂の流入等で形成される。人為的土層では、施設を造るために使用された土砂・石材が中心である。施設の形状、目的によって使用される土砂・石材が選択されるのである。

遺構の調査では様々な土層が検出される。柱穴であれば、掘られた穴、据えた柱の痕跡、柱を安定させるために穴に詰めた土砂などである。その形成や造られた工程、逆に壊れ方等を反映した土層の区分が求められているのである。人為的に造られたならば、それを反映した土層、使用された変化を示す土層が遺されているはずである。認識された土層のもっている意味と土層間の時間的経過に対する整合性が重要なのである。

遺構の土層は、特異な変化をすることもある。例えばカマドの燃焼部では、火を燃やすことにより内部の表面が焼土化して赤く変色する。これは土層の一部を焼土に変化させ、新しい土層に変化した結果である。炉の焼土面も同様である。木炭窯や須恵器窯あるいは製鉄関連施設、水田土層など、考古学が対象とする土層は、特徴的な変化に注意しなければならない例が少なくない。

土層の認識では、平面的な分布を把握することも重要である。通常の遺構調査では、土層断面において土層の区分を行い、層序を記録する。これからさらに、遺構を形成する各土層の広がりやを追究することには、あまり注意は向けられていない。遺構を理解するには、一つの土層分布する平面的な広がり、厚さを含めて三次元的な認識が必要である。発掘調査区分される土層は、純粋な土質の違いではないのである。

2 基本土層と旧表土面

発掘調査の遺構検出面が自然層の地山であれば、一つの土層にまとめても発掘調査の結果に影響を与えることは少ない。しかし遺構検出面が多くの遺構を覆う文化層や文化層の間に形成された自然土層では、慎重な観察と検討が土層の区分に求められることになる。このような土層は、遺跡内における文化層の重なりを秩序付けることから、基本土層と呼ばれている。さらに空間的分布範囲と合わせて、各遺構の対応関係を検討する基準とするのである。したがって基本土層は、土層の形成された時期との対応関係を踏まえて、また遺跡の意義を踏まえて設定されなければならない。

発掘調査で設定される基本土層の層序は、単なる土質の違いで区分するのでもないし、断面観察のみで設定するのではない。調査区の一部で確認した土層断面の土層図で基本土層が表示されている例も少なくないが、これでは基本土層を示したことにはならないことがある。基本土層の区分では、土層の形成過程と形成された時間幅、それに分布する範囲と深さに着目して、遺跡全体の変遷を示す基準としなければならない。

基本土層をこのように考えると、例えば丘陵の斜面に立地する遺跡では、丘陵上部が浸食されて形成された扇状地状地形、あるいは河川周辺で浸食と堆積が繰り返された場所の遺跡などでは、複雑な基本土層が想定されよう。三春町越田と遺跡や、須賀川市一斗内遺跡などである。このような遺跡では、幾層にも重なる自然土層と文化層の関連を結びつけた基本土層を設定しなければならない。基本土層は、文化層を形成する土層、自然と人為的な営力によって形成された成因によって、遺跡の時期的な変遷を反映した土層秩序としなければならない。集落遺跡の分析において、各住居・様々な施設の同時存在や一定期間における型式を明らかにする基礎となるのが基本土層の認識である。

竪穴住居跡の調査では、基本土層のなかでも、現表土層あるいは旧表土層の認定が極めて重要になる。宮本長二郎は、つぎのように述べて（宮本 1996）いる。「表土を取り除いて、地山で遺構を検出する方法は、手っ取り早い調査のためには必要なことかもしれないが、それと引き替えに多くの貴重な情報を失っている。」表土面は建物を建てる場所であり、竪穴住居跡から竪穴住居を復元する時には、上屋に関係する各種施設が設置される場所であり、この認識は上屋構造を考える上で大きな影響を与えることになる。

山林原野の表土層を中心に考えてみる。山林原野の表土層は、動植物による攪乱層が形成されることになる。場所にもよるが現地表面から 30 ～ 50cm の深さまでは、木根や小動物の攪乱による表土層が形成されている。これは、それ以前に形成された土層が均一な表土層に変化して、遺構の重複関係が失われたことを意味している。この土層中から遺構を検出することは、多くの労力と高度な発掘調査技術が必要になる。宮本が嘆くにも係わらず、発掘調査で表土が除去される主因である。

しかし遺跡が生きていた段階の旧地表面が遺存していれば、状況は一変する。群馬県黒井峯遺跡や中筋遺跡の調査成果が、古墳時代集落の研究を飛躍的に進めたことは、ここで指摘する

こともない。福島県でも会津高田町鹿島遺跡で、縄文時代前期の地表面が沼沢火山灰の降下層の下層で検出されている。また三春町柴原A遺跡では縄文時代後期、会津坂下町中平遺跡では古墳時代の集落地表面が検出されている。福島県の例では、黒井峯遺跡のように竪穴住居構造の解明とまでは行かなかったが、少なくとも地表面まで含めた竪穴住居基礎構造が明らかになった。

旧地表面が確認されている遺跡、例えば会津高田町鹿島遺跡3号竪穴住居跡（福島県教育委員会1991c）では、沼沢火山灰に覆われて縄文時代前期後半の竪穴住居跡が旧地表面に周堤を伴って検出されている。この竪穴住居跡は、旧地表面から床面まで深さが一定ではなく、最も深い部分で78cm、浅いところは5cm程度で遺存していた。また周堤は旧地表面から7～32cmの盛り土が確認されている。この竪穴住居跡は、廃棄されてしばらくしてから火山灰に覆われたと推定されているので、これは本来の状況ではないと指摘されている。しかし、この竪穴住居の掘形が比較的浅く造られていたことに変わりはない。柴原A遺跡や鹿島遺跡の竪穴住居跡では、地表面から立ち上がる壁が想定されなければならない。竪穴住居跡の関連でいえば、竪穴住居掘形の深さが正確に復元されることは、復元を考える上で大きな意味を持っている。

3 竪穴住居跡を構成する土層

竪穴住居跡は、竪穴住居全体に堆積した覆土、施設を構成する土層、基盤土層で構成される。覆土の起源で区分すれば、周辺からの崩壊土、洪水堆積土、火山降下物層など竪穴住居の外に起源のある土層、周壁や堤の崩壊、あるいは土屋根などという竪穴住居自体に起源のある土層に分けることも出来る。炭化材層も後者である。堆積要因では、自然の営力により形成された土層に対して、埋め戻しや整地など、人為的に形成される覆土もある。そうして最上層は、表土層に変化する。草地や山林の表土であれば、草木根と小動物の影響を受けることになる。また人為的な整地層であることもある。

三春町仲平3号竪穴住居跡の土層（福島県教育委員会1991b）をみてゆこう。1a層から3h層まで、大きく3層、細かく25層に分けている。このうち1a～1d層は凹地に長い時間をかけて形成された土層のまとまりである。黒灰色や黒褐色を基調としたシルトが主体となった土層である。1a層には草木根が繁茂した痕が遺されていた。表土層の下部である。1b層は火山灰が主体となった土層で、浅い凹地に堆積していた。堆積した後に小動物による攪乱を受け、土質は変化している。

1c層はほぼ均一な土層である。堆積により形成されこれが表土化する過程で、均一な土層となったのである。縄文時代中期末葉の土器片を中心に、弥生土器なども含めた多くの遺物が含まれていた。1b層がF Pであれば、大木10式期から約2,500年かけて形成された土層ということになる。周辺からの流入土であろうか。

大別2層と1層の層境界面は、盲穴状の凹凸が顕著に分布している。これは上下方向を基調として延びる盲穴で、穴の大小や形状から木根痕であろう。長時間にわたる自然堆積によって形成された土層であれば、堆積の進行とともに表土面が上昇し、また草木の繁茂と小動物などに

よる土層の攪乱と変質を受けることになる。大別1層自体は、無数の攪乱跡・変質土層の集合体である。したがって、1a～1d層に区分した土層の注記は、そのような土質を基調としたまとまりという意味でしかない。1層とまとめたのも、この認識からである。このような形成過程の土層を細かな土質の相違で区分することは、考古学の視点とは異なる観点であるといえよう。大別2層は11層に細分されている。シルトを主体にしているが砂や小石、木炭片も含まれていた。各層が比較的まとまった塊状になっている。出土する土器は、大木10式である。塵穴として利用されたのであろうか。土層が細かく分かれることから、表土化が進行しないうちに比較的短期間に形成された土層である。こう考えると人為的に形成された土層といえることができる。報告書段階の理解とは異なる点である。

また大別3層のa～d層は遺物が含まれていなかったもので、これに含めた。しかしこれらの土層は山側を中心に形成された土層で、竪穴住居跡の壁面に沿うように分布していた。竪穴住居が廃棄された後で、山側から流入した土砂による土層であろう。大別3層とは区別して考えておきたい。

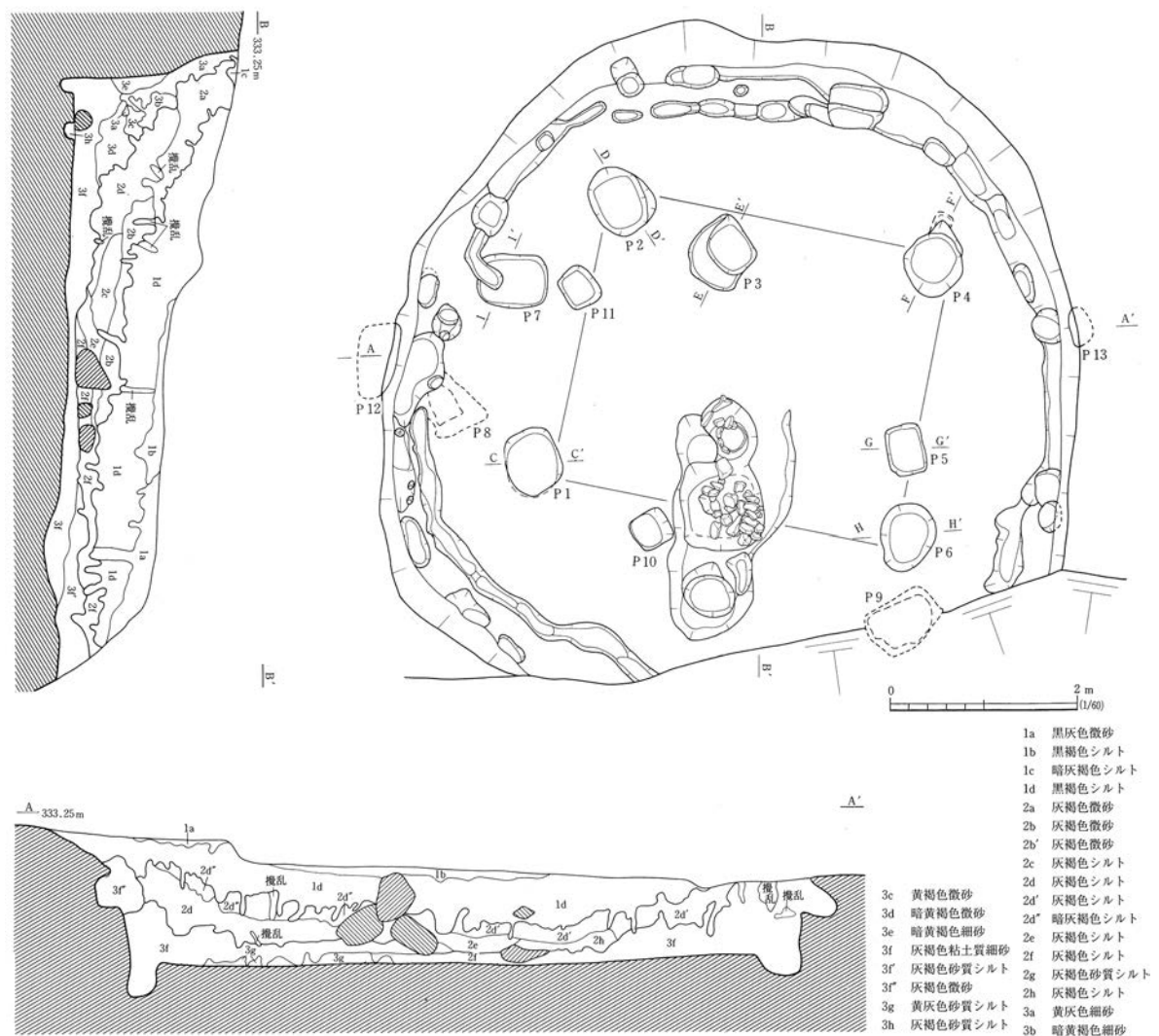


図1 三春町仲平3号竪穴住居跡（3次調査）

平になり、周壁近くで厚く堆積していることが理解しやすいのではないだろうか。遺物がほとんど出土しないことも、土屋根に起因する土層とする根拠のひとつである。ただし土屋根土とするにも、後に述べる檜葉町馬場前 110 号竪穴住居跡とは、異なった堆積状況である。

土屋根の堅穴住居が火災によって廃絶したときの堆積では、まず床面の上に屋根の土を載せた樹皮や小枝の炭化物が堆積し、つぎに土屋根が落下すると推定されている。黒井峯遺跡では、この様子が確認（群馬県子持村教育委員会 1992）されている。御所野遺跡の堅穴住居燃焼実験では中央部の屋根は床に叩きつけられ、屋根材に覆われて酸欠状態になる。その結果、屋垂木等は炭化する前に火は消えて生焼け状態になる。柱と柱を結ばれるラインから外側だけの垂木に炭化状態が認められる。垂木は屋根に取り付けられた形状を遺して落下する。このような堆積状況が確認されている。

三春町四合内B 7号竪穴住居跡は、平安時代前期の焼失した竪穴住居（福島県教育委員会 1993）である。堆積土は大きく3層に区分した。第1層は自然堆積により形成された土層で、表土の

— 76 —

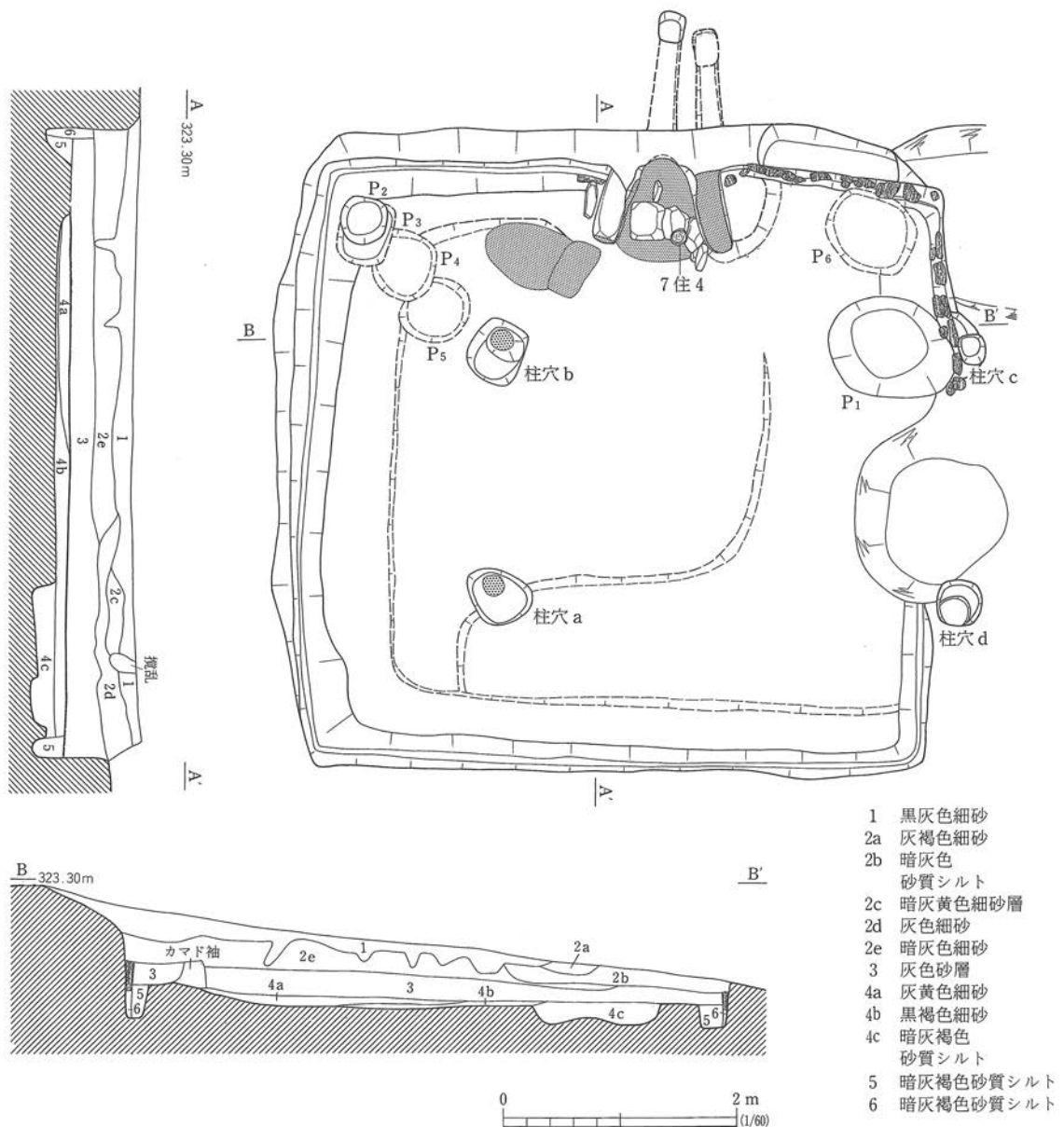


図3 三春町四合内7号竪穴住居跡

下部層である。第2層との層境面で草木根による凹凸が形成されていた。第2層は水平に堆積する土層である。西南部を中心に細分されているが、土層は水平方向を基調にして、層厚に偏りはない。自然堆積のような、土層の上下で粒子の大小重軽による選択は進んでいない。また表土化した痕跡もない。土層に斑状の混ざり痕は遺されていないが、人為的に埋めた土による土層であろう。火災後の始末により形成された土層である。

第3層は、木炭とこれに混ざる土砂からなっている。焼け落ちた上屋の上に土砂を被せたときに、焼け残った屋根・壁。天井材に土砂が混ざった土層である。しかし火災で生じた灰土は、分解して消失していた。また屋根材や柱材も炭化しなかった部分は、腐朽により消失している。現位置を保って出土した板壁材は表面が炭化していたのみで、炭化を免れた裏面や板根部は、消失していた。炭化材に板材が多いのも、あるいは柱材の炭化した表面のみが遺存した結果の可

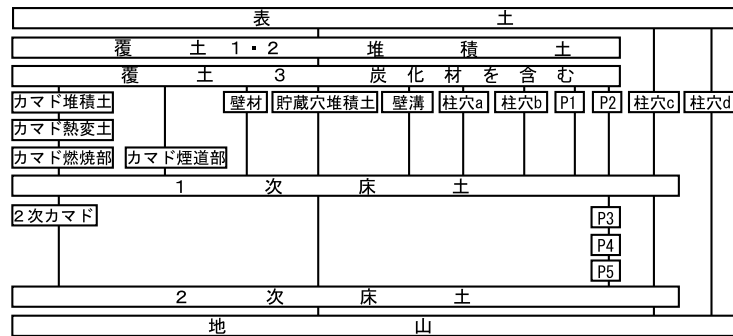


図4 三春町四合内7号竪穴住居跡土層相関図

な木炭片には板材が多く含まれていた。しかし、茅や樹皮の炭化物は確認することはできなかった。

施設を構成する主要な土層は、つぎの各層である。床土は、掘形に詰めた粘土などの貼土、床面の表層に遺存する木炭、焼土、砂土などである。床面の土層は、踏み締まりなどの生活痕跡が加わることになる。この土層の表面は、竪穴住居の利用を考える上で鍵となる。床土層の形成過程の理解には、十分な観察が求められよう。硬さ、軟らかさ、構成土、厚さ、形状、分布、変化などに注意しなければならない。

たとえば三春町越田和1号竪穴住居跡（福島県教育委員会1996）では、床土は大きく上下に分かれていた。下層は地山土や表土で、土質の異なる土が混ざって斑状になっていた。上層は厚さ10cmの砂質シルトで、色調の違う薄層が水平方向で縞状になっていた。薄層の厚さは1～2cmで、カマドの反対側では6層まで確認した。明るい地山の砂質シルトを敷き詰めて床面を造り、その上部が日常生活で黒味を帯びるように変色し、層が重なった土層であろう。

またカマド付近では、この黒みのある土層に焼土粒や木炭片が含まれていた。この夾雑物はカマド焚き口を中心に分布していた。カマドの掻き出し土が床面を汚した痕である。さらに主柱穴で囲まれた床面の中央部とその南側は、堅く締まった土間になっていた。

主柱穴は、屋根を支える構造柱を据える穴である。壁・底面は基盤層と床土である。内部は埋土、柱痕跡土、崩壊土に分けておく。柱の据え方から考えるならば、一般に掘形底面に直接柱を据えるのが大半である。なかには底面に石や木を置くこともある。石の場合はそのまま検出されるが、柱根の痕跡は、木の腐朽によって生じた隙間に崩落土が詰まった状態で検出される。断面形をみると、円形の他に半円形や長方形の例もある。これは柱の断面形の痕跡である。埋土は、柱根を支えるために、柱穴の内部を人為的に詰めて造られた土層である。粘土に砂を混ぜた土質が多用される。土層の厚さ詰め方等の観察が必要であろう。

柱穴の最上層は、床土と一体化して、検出の難しい場合が少なくない。主柱穴は円筒形や箱形の掘形で、柱周りより大きく造られているのが一般的である。なかには、古墳時代竪穴住居跡のように、掘形の直径と柱の直径がほぼ同じで、その間に隙間のないこともある。この場合は、埋め戻し土を詰めることがないので、杭を地山に打ち込んだような状況でとして検出されることになる。周辺地盤が地山のままで、強固な造りである。その分、掘形の掘り下げと柱の据え方に手間がかかる方法である。

能性がある。

3層上層の炭化材片と土砂を取り除くと、カマド壁と直交するようになって垂木材が出土した。また床面の中央部では、これに直交する柱材も出土している。柱材にはホゾ穴、相欠き穴とともれる加工痕を遺す炭化材もあった。細か

主柱により屋根を支える構造では、主柱穴は竪穴住居の幅、直径を4等分した長さを基本に壁から内側に設けられる傾向がある。この点が、屋根の加重を支える中点となるからである。葺き下ろし屋根であれば、大半の加重を桁で受け、さらに主柱がこれを支えることになる。主柱の位置がこれより内側では、垂木尻に加重が片寄ることになる。また屋根が葺き下ろし式でなければ、桁を支点として梃子の原理で垂木の重心を棟木側に置き、棟木で垂木を固定すれば、垂木尻は上方向に安定することになる。

あるいは、桁廻で屋根を上下に分割して造る案も想定される。登呂遺跡の竪穴住居復元案である。この方法であれば、屋根の上半部、いわゆるグシを大きく造ることも可能になる。屋根の上半部を大きく造る装飾な家形埴輪は、このような家がモデルとされたのであろうか。

床面には、溝壁溝や間仕切り溝が設けられている。堆積土多くは、覆土と近似した土質である。この土層では、内部の堆積土と覆土の関係、床面土層との関係に加えて、床土に含まれている炭化物にも注意を向けるべきである。低湿地の登呂遺跡では、木炭を敷き詰めて防湿効果を高める工夫（浅野毅教示）がなされていた。さらに溝の所々に、壁柱穴が配置されていることもある。あるいは短い溝を連結した形状となっていることも少なくない。住居が使われていたときに開口していたのか、あるいは排水施設であったのか、板材などを立て並べて壁の保護施設であったのかなど、用途を推定する根拠を見つけることである。

また壁溝が住居外に延びていることもある。湿気抜き溝である。あるいはカマド下に湿気抜き溝が造られることもある。前者は開口していた可能性が高い。郡山市西前坂遺跡の竪穴住居跡にその例がある。後者は越田和遺跡などで確認されている。

縄文時代中期の竪穴住居跡では、壁溝は細長い楕円形状の溝を繋ぎ合わせた形状であることが少なくない。底面も凹凸が著しい。これは板材よりは丸太材を並べた痕跡ではないだろうか。平安時代の竪穴住居跡では、三春町四合内B遺跡1号・7号竪穴住居跡から板材とその痕跡が検出されている。7号竪穴住居跡では壁溝と対応して炭化した板材が出土しているし、板材のない場所では、溝の内部に板材根の痕跡が遺っていた。溝に沿って縦方法に内部を二分する土層である。

福島県内では、いわゆる地床炉と石囲い炉が知られている。これに土器埋設炉も加わる。炉では焼土面が形成されている。炉の形状は台状、平坦面、凹地状などがある。焼土面の形成、形に注意することはいうまでもない。また周辺に散在する焼土粒、木炭粒の痕跡、床面の踏み締まりも、合わせて観察することが求められている。ただし、灰土は自然の営力によって分解され、炉やカマドから検出されることはない。埋設土器の底部にある木炭粒や焼土粒の堆積土は、そこに含まれていた灰土が消滅した結果である。

石囲い炉は、地床炉の土層に加えて、床面に据えられた石材の据え付け穴、掘形の埋め戻し整形跡、造り替えによる重複によって形成された土層等で構成されている。周辺には、焼土や炭化物が散布している。

カマドは燃焼室と煙道で構成され、古墳時代中期から平安時代前期にかけて設けられた。煙

道は水平方向と垂直方向に延びるもの、燃烧室は、竪穴住居掘形内部やこれから飛び出す位置に造られている。燃烧室の形態構造は多様で、素材の土質も様々である。一般に燃烧室の袖と呼ばれる突出部は、砂を混ぜた粘土で造られている。この内部に、特に焚き口天井部に土器や土器片が混和材として入れられることもある。あるいは、袖先や天井に石材を入れることもある。煙道は割り抜き式と掘形の内部に空洞を遺して充填土を加える構造が多く、一部で土器などを土管状に据えることもある。

燃烧室の内部では、形成された焼土面の観察、底面に堆積した焼土と炭化物の状態、土器を支える支脚の位置が重要になる。焼土面には、火炎の動きが反映されているし、内部堆積土には、獣骨や種子の炭化物などが比較的多く含まれている。燃烧室前面の床面堆積土とは唇歯の関係にあるので、これと同様に含有物に注意する必要がある。

このほか床面上、床土中・下には各種の穴が造られている。いわゆる貯蔵穴など床面上で検出される土坑では、覆土との関係がポイントである。竪穴住居が使用されていた段階で開口していたのであれば、覆土の一部が堆積土に含まれている。この場合でも、下層の堆積土は覆土と同一土層とは限らない。使用目的によって形成される土層にも違いは生まれるからである。

床面・中下から検出される土坑では、単なる土坑以外に、土器が納められていたりすることがある。何かを納めて、埋め戻したのであれば、人為的な土層が形成されているはずである。さらに埋納物が腐朽すれば、上部の崩壊と土層の変形痕跡が確認されるはずである。このほか、竪穴住居の各所から出土する遺物も土層の一つとみなすことも可能である。

基盤層は、竪穴住居の掘形の底面や壁面、遺構検出面を形成する土層である。この場合に遺構となるのは、掘り下げられた地盤層の表面の形状である。土層そのものではない。ほかの遺構との関連では、遺構の時期を決める上で、基盤層に含まれる遺構と遺物が問題になる。遺構の重複関係にあれば基盤層の一部に古い遺構が含まれるからである。また遺物包含層であっても同様である。

4 竪穴住居跡を構成する土層群の秩序

竪穴住居跡の土層を以上のように捉えると、つぎにこれを構成する土層群の結びつき関係を把握することになる。竪穴住居の築造過程や造り替え、使用状況、廃棄後の経年変化などを知るためである。発掘調査では、竪穴住居跡を構成する土層群の分類と秩状の秩序を明らかにすることが重要である。

図2には、三春町仲平遺跡3号竪穴住居跡（三次調査）の土層群が、相対的時間変化で形成された過程を整理して示した。実線は前後関係である。P1、壁溝などは土層の集合部である。このように土層を整理することにより、竪穴住居の変遷や施設の関係が明らかになる。この竪穴住居では大改修が1回あり、築造から廃棄までの間に2基の土器埋設遺構が造られたことが明確になる。廃棄された時点で、複式炉が破壊されていたこと、竪穴住居跡床面に土屋根の土砂が堆積したことを示している。

図3は三春町四合内B遺跡7号竪穴住居跡で、図4はその土層の関係図である。この竪穴住

居跡は、旧竪穴住居の南東隅を基点に北西方向に拡大して造り替えがなされ、最終的には火災により廃棄された遺構である。柱穴Cと柱穴Dは、竪穴住居掘形と近接する地山を検出面としていたが、柱の位置関係から想定した結びつきである。

竪穴住居跡の土層形成過程を図表に整理することによって、竪穴住居が造られてからそれが発掘されるまでの変化を追うことが可能になる。また出土する遺物も一つの土層と捉えて考えれば、土層変化のなかに占める位置も明確になる。さらに基盤層と基本層序と関連させることによって、遺跡全体のなかで各遺構の时期的な変遷を把握することもできる。発掘調査は、この土層群の形成過程を明らかにして、それを復元できる記録を作る作業である。

5 複式炉を持つ竪穴住居跡の変化

前節で示した竪穴住居跡を構成する土層や土層相対変化表を基に、竪穴住居跡から竪穴住居を復元してみることにする。その具体例として、縄文時代中期後半の複式炉を持つ竪穴住居跡と奈良時代の竪穴住居跡を具体例とした。この時期の竪穴住居が白河館に復元されており、これと合わせて竪穴住居の発掘調査研修が可能と考えたからである。

まず復元に先立って、複式炉を持つ竪穴住居跡の変遷を概観しておく。複式炉のある竪穴住居跡の平面企画については、3本柱と4本柱の主柱が知られていた。これをもとに目黒吉明によって、浮桁構造の竪穴住居が考え（目黒1978）られ、現実に復元もされている。また飯館村上ノ台A遺跡の調査（福島県教育委員会1990a）から山内幹夫は、複式炉主軸線上に柱穴間の中点と想定竪穴住居外形線の中心を見出し、この偏差を求めて竪穴住居跡の変化を追究することを試みた。

さらに1984年、福島県立博物館による塩沢A遺跡の調査では、2個の埋設土器を持つ複式炉が設置された竪穴住居跡の構築原則として、つぎの5点（福島県立博物館1985）が指摘されている。

- ①竪穴住居跡外形に対応する想定円とその中心に複式炉の埋設土器Aが重なること。
- ②炉の主軸を決定し埋設土器Aに隣接して埋設土器Bを据える。
- ③炉の主軸線上で埋設土器Bを通る直線上に側柱穴（主柱穴）が設けられる。
- ④側柱穴は竪穴住居の周溝から一定の距離がある。
- ⑤側柱穴間の距離の1/2が、石組部＋石囲部の最大長さとなる。

この案では、報告書でいう側柱穴（通常は主柱）を結ぶ多角形と竪穴住居外形の間に整合性を認めることは難しい。これは奥壁側の主柱穴についての検討がなされていないこと、前庭部側の柱穴を主柱穴とした認識に問題があった結果である。

塩沢A遺跡の成果を踏まえて森幸彦は、法正尻遺跡の資料からつぎの4点（森1993）を指摘した。

- ①住居外形は円形を基調とし、円の中心は炉の中軸線上で炉の埋設土器頂部、あるいはこれより軸頂よりにある。
- ②炉の主軸を中心に左右対称に側柱穴がある。側柱穴は炉の燃焼施設上を横断する線上に配

置される。

③軸頂柱穴あるいは軸頂対柱穴を有し、大木 9 新式（森編年）では住居プランに沿った柱穴配置がなされ、大木 10 古式では主柱穴は 3 本あるいは 4 本構造をとる。

④主柱穴配置は軸頂側に集中し、軸底側には一定した柱穴配置が認められない。

森の指摘は、塩沢 A 遺跡の認識をより発展させたといえようが、主柱穴の位置、個数の理解に不十分な点がある。以下で述べるように、複式炉が完成する大木 9 式期の竪穴住居は 7 本の主柱構造である。前庭部側の柱穴は、複式炉主軸線と直交する位置にあり、大木 9 式期は石囲部にあるが、大木 10 式になると、次第に土器埋設部の上を通るように変化ようになる。さらに、時間変化も考えられていない。

近年、榎葉町馬場前遺跡の調査成果（福島県教育委員会 2002a・2003）から、坂田由紀子による竪穴住居跡の企画案に対する研究（坂田 2003）が発表されている。馬場前遺跡の竪穴住居跡外形は、円形というよりは楕円形を基調としている点、外形線に凹凸があることに注目した平面企画案である。さらに基準尺の検討も合わせて、竪穴住居跡を 17 群に細分している。ただ坂田の案では、基点となる A 点、B 点の根拠、竪穴外形線の求め方が複雑である。また主柱穴と竪穴住居跡外形と複式炉の位置が必ずしも結びついていないと限らないようである。

しかしこれまでの研究からは、竪穴住居外形・主柱穴と複式炉の配置が結びついた何らかの建築企画が存在していたことを伺い知ることができる。したがって、この関係を明らかにすること、そしてこの種の竪穴住居の出現から衰退までの変化を追い、共通する築造原則と変化を明らかにすることが対象に復元を考える前提作業となる。

福島県地域で複式炉の原型が出現する時期は、大木 8 b 式期である。猪苗代町法正尻遺跡（福島県教育委員会 1991a）と富岡町前山 A 遺跡（福島県教育委員会 2002b）で良好な資料が知られている。法正尻 90 号竪穴住居跡は、長さ 7.7 m、幅 6.4 m で、円形を基調としているが、少し楕円形になっている。この主軸に合わせて、石囲炉とそれに前庭部を設けた炉が設けられている。つまり、竪穴住居の外郭線主軸方位と石囲炉・前庭部の主軸線は重なっている。石囲炉は楕円形に小石を並べたものである。前庭部はこの石囲炉の手前から竪穴住居掘形に開くように造られている。これを原複式炉としておく。

説明の都合上ここでは、複式炉の前庭部から石囲炉に向かう方向を奥側、反対側を手前側という方向で呼ぶことにする。主柱穴の呼び方は、主軸線の左側を柱穴 b 列、右側を柱穴 c 列とする。最も手前にある左側の柱穴を柱穴 b 1 とし、奥に行くにしたがって b 2, b 3 とする。右側も同様である。

法正尻 90 号竪穴住居跡の主柱穴は、合計 8 基で構成されている。この竪穴住居跡の主柱穴は、原複式炉主軸線の延長を基軸として配置されている。また住居掘形の中点を同じくする同心円上に配置されている。最も南側の主柱穴 b 1 と c 1 は、前庭部の奥側で主軸線と垂直に交差する直線上の左右、前庭部の端に当たる位置に造られている。つぎに石囲炉の奥側で、主軸と直交する直線に対応した左右に主柱穴 b 2 と c 2 がある。さらに複式炉の奥端から主軸線にそって、複式炉の長さ近く奥側にも同様の位置、主柱穴 b 3 と c 3 が設けられている。最も奥側に

ある柱穴は、柱穴の配置図上で柱穴の配置、主軸線と直交した線上の左右に設けられている。

主軸線の中心点を基点として、竪穴住居側壁下端に合わせた長さを半径として、円を描いてみた。右側円弧線が竪穴住居跡掘形の外を巡り、左側手前で内側を巡っているが、その他は円線に合っているように見える。このように、主軸線上で、掘形外形と重なるような円の中心を0点とする。またこの0点は、主柱穴を結ぶ八角形の中心ともほぼ重なっている。

この竪穴住居跡は、竪穴住居と複式炉の主軸を合わせて造られ、竪穴住居の外形は0点を中心に円形を描く線を基調に、これより少し細長くなっていた。主柱は8基で構成され、掘形外形線に対応した形態で、主軸線の左右に4基ずつ配置されている。このような住居跡は、大木8b式期から大木9式期の前半にかけて、東北地方中・南部を中心に分布していた。複式炉の出現にさいして、前庭部が先に設けられる点に注意したい。

大木8a式期には、楕円形石囲炉の内部に土器が据えられていたことから、これが発展して複式炉が出現すると考えられていたが、土器の付設は一時途絶えるようである。ただし、後に土器が埋設される位置には、前山A7号竪穴住居跡などで、焼土面が形成されている。また石囲による小さな区画が設けられることもある。

大木9式期になると土器埋設部、石囲部、前庭部で構成される本格的な複式炉が出現する。全体の形状は、土器埋設部を頂点に前庭部が開く扇形である。埋設される土器は、1～3個で、なかには4個以上の例もある。石囲部は小さな平石を貼石の手法で造る特徴がある。主柱穴は7個で構成されている。7本柱式である。

法正尻66号竪穴住居跡を見ていこう。この竪穴住居跡は、直径8.4mの円形である。竪穴住居跡内部の重複関係ではSK396は、この遺構より新しいとされている。これと重複してP8が検出されているが、これは他の主柱穴より直径が明らかに小さい。またSK396の深さは100cmで、P8は107cmである。SK396の掘り下げ後に検出されたとすれば、66号竪穴住居跡との結びつきも、不確定な要素が残る。P9も、P4とP5より古い遺構である。少なくとも最終段階の主柱穴からは除かれよう。P20とP26は深さから主柱穴として報告されている。しかし、P5で検出されている柱痕の直径が50cm程度であるのと比べると、明らかに小さく、主柱というよりは補助柱と考えるべきである。またP24とP29は竪穴住居の上屋構造とは結びつかない位置にある。

以上を除外して、66号竪穴住居跡の柱穴配置と想定竪穴外形を求めたのが図2である。複式炉の主軸を求め、これを奥端側へ真っ直ぐに伸ばすと、主柱穴が設けられている。これを柱aとする。また石囲部で主軸に直交させた直線の左右には柱b1と柱c1が配置されている。この両主柱穴から柱aに向かって弧を描くように、また主軸線に対応させて柱b2、b3、c2、c3が配置されている。

つぎに複式炉の主軸線に沿って竪穴住居掘形を分割する直線を設け、柱b2と柱c2を結ぶ直線を引くと、両直線は直交する。この交点0点となっている。これを中心に周壁直下までの距離を半径として円を描くと、竪穴住居跡の周溝とこの円がほぼ合致することになる。さらに同じく0点を中心に、0点と柱aの推定柱位置を半径とする円を描くと、やはり各柱位置と対

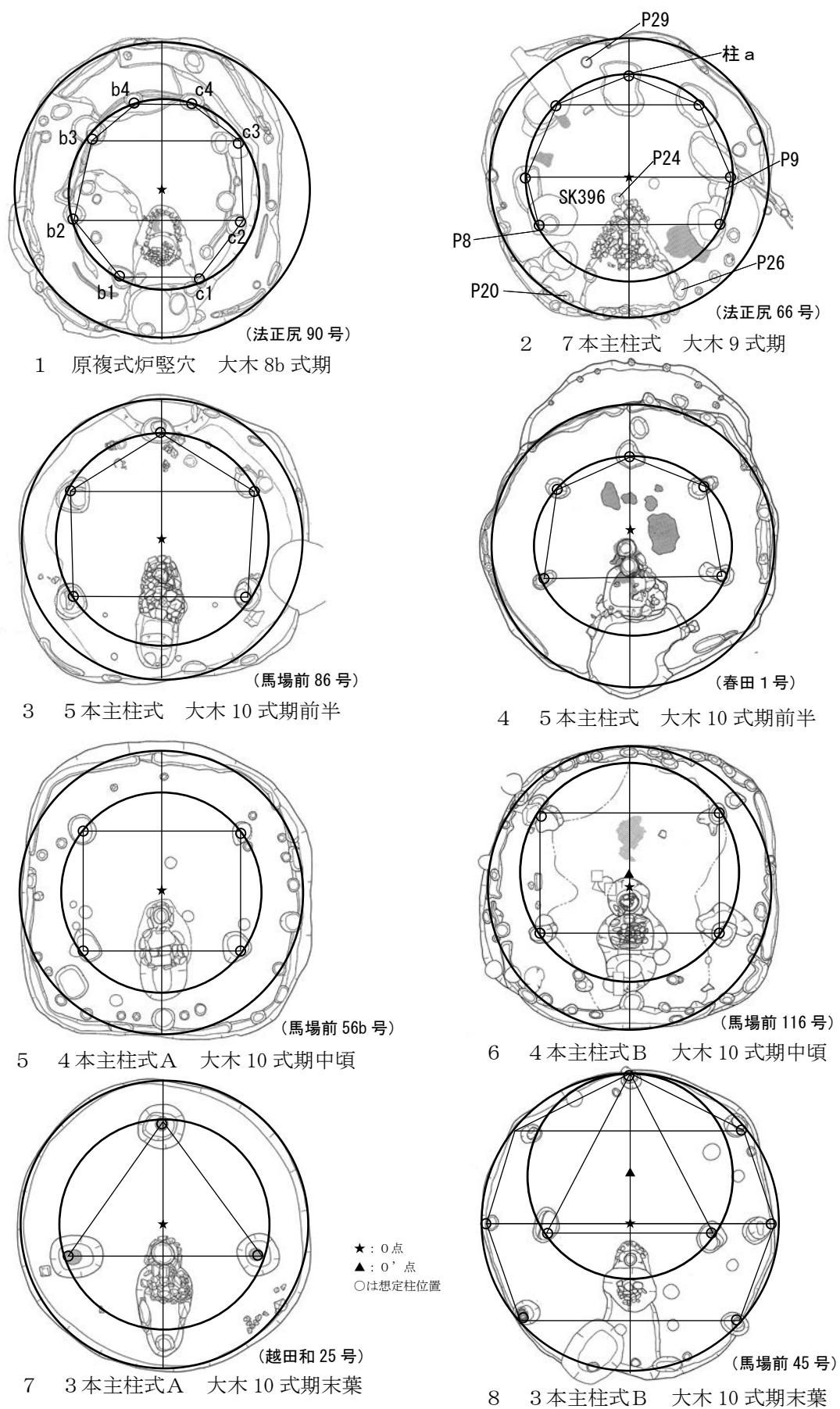


図 5 複式炉竪穴住居跡平面企画変化

応する円となる。

竪穴住居外形の半径は、約 4 m である。想定柱配置円半径は 3 m 前後で、7 本の主柱穴が竪穴住居外形と複式炉主軸に合わせて対応している。複式炉の主軸線と竪穴住居の主軸線が合致し、さらに柱位置と竪穴住居掘形の外形がこれと結びついて、この竪穴住居が計画的に企画されたことを示している。

同様な方法で求めた平面企画は、法正尻 110 号竪穴住居跡や春田 2 号竪穴住居跡でも求めることが出来た。法正尻 110 号竪穴住居跡の場合は、竪穴住居の手前側が直線的に造られているために、掘形線はこの線の内側になっている。また主柱 b 3 と主柱 a、さらに主柱 c 3 の位置関係も、竪穴住居跡の周溝と対応している。

法正尻 66 号竪穴住居跡では、主軸線上の前庭部側に主柱穴は配置されていない。代わりに主軸線と周溝の交点付近には、周溝に 3 基の小さな柱穴が並んでいる。法正尻 110 号竪穴住居跡でもこの付近に小さな穴があった。この部分にある柱穴を柱 d とする。この柱穴 d は主柱穴ではなかったと考えられる。法正尻 110 号では手前側の竪穴住居跡掘形は、柱 c 1 と柱 b 1 に対応するように直線的になっている。主柱と竪穴住居跡掘形が対応するのは、主柱に架けた桁・梁に掘形から垂木を渡さなければならないからである。柱穴 d を主柱穴に含めれば、竪穴住居掘形と主柱を結ぶ多角形は、0 点を中心とする円と対応しなくなる。

大木 10 式期前半から中頃では、5 本柱式が盛行する。複式炉主軸線と竪穴住居主軸線が合致し、竪穴住居跡の平面形が円形を基調としていることに変化はない。馬場前遺跡 86 号竪穴住居跡は 5 本柱式である。複式炉の主軸にあわせて、壁の近くに柱 a が設けられている。これが主柱を結ぶ五角形の頂点である。

また石囲部で主軸線と直交させた直線上には柱 b 1 と柱 c 1 が造られている。柱 b 2 と柱 c 2 は、この交点から複式炉の全長に合わせるように奥側で、主軸線と直交させた線上に配置されている。さらに柱 a と柱 b 2、柱 c 2 を結ぶ直線距離も坂田が指摘（坂田 2002）するように、複式炉の全長と近似した距離である。複式炉は竪穴住居の主要施設であり、竪穴住居外形と柱間位置、間隔とも密接に結びついていたことを反映している。竪穴住居掘形の中心は、複式炉奥端よりやや奥側の主軸線上である。竪穴住居掘形の外形線は円形を基調としているが、主柱穴を結ぶ五角形に合わせるように、少し凹凸がある。

このほか、大木 10 式前半期の段階における複式炉の特徴として、つぎの 4 点を上げておく。

- ①埋設土器は、1 基の例が多くなる。
- ②石囲部が小さくなり、方形を基調とする。また土器埋設部との境に大きな板石が用いられる傾向がある。
- ③前庭部も細長くなり、先端は周壁から離れて小さく尖る形態が多くなる。
- ④前庭部の手前側に柱 d が配置される。などである。

4 本柱式は大木 10 式中頃を中心とした竪穴住居跡である。基本的な平面企画はこれまでの方法を踏襲して、複式炉の主軸線と竪穴住居掘形の主軸は合致している。この場合、柱 a は設けられていない。竪穴住居掘形の中心点も主軸線上にあり、土器埋設部から少し奥側である。

竪穴住居の掘形は、円形を基本としているが、主軸を結ぶ梁・桁の形状に合わせて方形気味になっている。また面柱 d と主柱 b 1・c 1 と結ぶ直線を設定した多角形を想定して 0 点を求めても、竪穴住居掘形の外形線が 0 点と対応しないことは、5 本柱式などと同様である。これは柱穴 d が、主柱穴ではないことを示している。

4 本柱式では、5 本柱式と同様に主柱穴を結ぶ矩形の中心と竪穴住居外形の中心 0 点が合致しない平面企画で造られた竪穴住居も出現する。これを 4 本柱 B 式とした。また、合致する竪穴住居跡を 4 本柱 A 式とした。4 本柱 A 式は、柱 b 1 と柱 c 1 を結ぶ直線が複式炉の石囲部の上を通る特徴がある。これに対して 4 本柱 B 式は、同様の直線がこれより土器埋設部に近接して造られる傾向にある。4 本柱 A 式は、馬場前 46 号、65 号、110 号などである。B 式は馬場前 116 号などである。

3 本柱式は、大木 10 式中段階から新段階の竪穴住居である。複式炉の退化傾向は進行する。石囲部は板石を用いた石組みに変化するものも出現する。この段階でも、複式炉と竪穴住居の主軸線は共通で、柱 b 1 と柱 c 1 は、土器埋設部付近で軸線と直交させ、この直線上に配置される。さらに軸線上に柱穴 a が配置される。主柱穴を結ぶ直線は、柱穴 a を頂点とする二等辺三角形を描く形である。また柱穴 d は前庭部の手前端に設けられている傾向にある。

同じく 0 点だけを持つものを 3 本柱 A 式、0' 点のある方を 3 本柱 B 式としておく。3 本柱 A 式で 0 点は、土器埋設部か、それより少し奥側に想定される場所である。主柱穴は側壁と離れた位置にあり、柱 b 1 柱 c 1 も同様な間隔を置いて側壁から離れている。3 本柱 B 式では、柱 a が竪穴住居掘形の端に位置している。主柱の梁・桁が水平になっていれば、この部分は側壁と重なる部分であり、竪穴住居には側壁が設けられていることになる。柱 b 1 と柱 c 1 を結ぶ直線は、土器埋設部付近を通る位置に設けられている。柱 b 1 と柱 c 1 は壁から離れた位置にある。また 0 点は複式炉の中軸上で、柱 b 1 柱 c 1 を結ぶ交点付近に位置している。

この 3 本柱 B 式の馬場前 45 号竪穴住居跡では、柱穴 a を含めて同規模の壁柱穴が 7 基検出されている。前庭部側に壁柱穴はないが、この中央に壁柱を配置すれば、壁柱を結ぶ直線は整った八角形になる。実際には前庭部が側に壁柱穴は設けられていないので、この部分が出入口となっていたのであろう。また壁穴は整った配置で、主柱穴と同程度の規模で数からすると、壁柱が上屋を支え、主柱は形骸化していたのかもしれない。

3 本柱 B 式で注意しなければならないのは、4 本柱式や 5 本柱式では、柱穴を結ぶ形状に竪穴住居掘形の形状が影響されているのに対して、3 本柱式ではそのような点が伺えないことである。竪穴住居の外形が、決して三角形を基調とはしていない。これは竪穴住居に側壁が設けられていたことの反映であろうか。竪穴住居掘形・周堤壁の高さを合わせて、人の背丈より高い周堤壁は平坦地では想定することは難しいとすれば、さらに立ち壁を想定しなくてはならないことになる。馬場前 45 号竪穴住居の壁柱穴は、これを示している。そうすると主柱は、形骸化した存在となっていたことになる。3 本柱 A 式には、法正尻 68 号・69 号、馬場前 31 号、越田和 25 号等がある。

このほか、柱穴の設けられない竪穴住居跡もあるが、これは小型竪穴住居跡が大半である。

やはり、竪穴住居跡の外形と結びついて、複式炉の主軸線上に0点を求めることができる。主柱が無いので、竪穴住居掘形に周堤加えた高さを壁にして、その上に扱首構造屋根を基本とする屋根を被せたのであろうか。

ここで検討した検証方法の手順をまとめておく。

①実測図を基に複式炉の主軸を求める。このとき柱aがその延長線上にあれば、これも含めて主軸線を求める。

②主軸と直交する直線上で、左右に柱bと柱cを求める。

③竪穴外形の中心を求め、これを中心に壁下までを半径とする円を描く。この中心を主軸線上にあり、これを0点とする。

④つぎに柱穴を結ぶ多角形の重心を求め、これを中心に柱穴推定位置を半径とする円を描く。この中心点が0点と合致すればそのまま0点とし、合致しなければ0'点とする。0'点も主軸線上にある。

⑤作図上の推定位置と本来の位置には誤差があるから、全体の関係を検証する。

この手順で作成したのが図5である。図示した以外に、法正尻遺跡、仲平遺跡、越田和遺跡、四合内B遺跡、春田遺跡、上ノ台遺跡などの竪穴住居跡で検証を行った。

6 縄文時代中期後半の竪穴住居跡復元

竪穴住居跡から竪穴住居の復元研究は、関野克による登呂遺跡（日本考古学協会編 1949・1954）と平井遺跡（平出調査会 1995）における藤島亥治郎、岡山県沼遺跡における焼失住居跡を元にした渋谷泰彦の研究（渋谷 1957）により基礎が造られた。この後、発掘調査技術が、遺構の認識と記録方法において急速に進歩し、遺構の細部にわたって注意深い調査が実施されることである。これを受けて、宮本長二郎や石野博信などの研究（宮本 1996、石野 1990）として総合的な研究成果を産みだしている。

さらに近年は、黒井峯・中筋遺跡など（渋川市教育委員会 1988・子持村教育委員会 1992）から古墳時代土屋根構造の竪穴住居跡が知られるようになり、縄文時代においても土屋根構造の可能性を意識した発掘調査が実施されるようになった。岩手県御所野遺跡などである。これとともに登呂遺跡や平出遺跡の茅葺き屋根構造に対する見直しが進んでいる。また建築部材の出土例も増えている。遺構の詳細な発掘調査成果、出土部材を組み合わせるの竪穴住居研究が発掘調査の現場で進められている。

竪穴住居の上屋構造については、現物が遺存していないことから、下部構造を基にした上部構造の平面配置と民俗・民族例加えた推定復元が行えるにすぎない。この制約から多種多様な復元推定案を考えることが可能である。判断に迷うこと、判断できないことも少なくない。いくつもの可能性から、ひとつひとつ根拠を重ねた復元が進められるべきである。

竪穴住居の上屋構造は、大きく分けると二つの案がある。ひとつは扱首構造の屋根をそのまま竪穴住居の掘形に載せる渋谷文雄の考え（渋谷 1982）である。もうひとつは、主柱がある場合は梁・桁を巡らす束構造を想定する案（都出比呂志 1989、宮本長二郎 1996 など）である。後者は

建築史における成果を踏まえた考えで、研究者の多くが、この考えに沿った復元案を提示している。

渋谷文雄の考えは、小型であれば、問題はない。主柱間を壁に沿って結ぶ直線が、竪穴住居掘形と類相似形とならなくても支障はない。屋根自体が収首構造ならば、長い収首に支えを設ける考えは合理的でもある。上屋想定 of 有力な案であると認識している。これに対する反論は少ない。ところが、渋谷の案で復元された竪穴住居は、松戸市博物館で試みられている以外は、普及していないようである。

渋谷文雄の復元案で不都合な点、4点を挙げておく。

①主柱穴は、収首垂木を支えるにとしては強固な造りである。

②横垂木で主柱間の垂木を支えるにしても、加重は主柱が受けることになる。これを支えるには桁を主柱に架け渡した方が強固である。特に、土屋根の場合、屋根の傾斜はゆるくなり、加重も増大する。渋谷の案では、土屋根住居の加重を支えるには不利である。

③Y字頭柱、渡腮、欠込、大入、包ホゾ、通ホゾ、樋布倉などの木材結合方法（宮本1996）が、縄文時代にも知られている。

④民族例の竪穴住居では、主柱は梁・桁を回す構造柱となっている。

③について、Y字頭柱は、二股になった樹木の幹と枝を利用して横木を受ける構造である。材料となる樹木に制約はあるが、構造的には強固になる。渡腮、欠込は両方あるいは一方の柱材を打ち削って、組み合わせる方法である。大入、包ホゾ、通ホゾは、ホゾ結合の種類である。掘立柱建物の柱結合、竪穴住居の梁・桁の架け渡しにも使われた技法であろう。ここでは主柱穴が設置されていれば、梁・桁が架け渡されていたとして復元を行った。

さらに渋谷文雄は、竪穴住居跡の単位長を地面に掘られた竪穴の規模ではなく、上部構造を造る収首材の長さに求めている。斜めに据えた収首が地表に投影される長さは、表面上の距離であり、本来は建築学的には収首の長さを重視しなければならないという考えである。

これは、渋谷が建築学方法の視点から竪穴住居を捉えた結果であるが、竪穴住居は居住する人々の身体的な大きさによって大きく規制され、これに合わせて作られるのではないだろうか。やはり、竪穴住居自体の平面企画を重視しなければならない。これを基に、上屋の構造が決定されたと考えた方が自然であろう。

竪穴住居の復元では、発掘調査成果を踏まえた平面企画を明らかにすることから始めるのが一般的である。これを基に柱、壁、屋根を想定してゆくことになる。また屋根構造は、主柱穴が配置されている場合には、宮本長二郎などの復元案（宮本1996）が採用しているように、柱上面に梁・桁が架け渡された構造を想定しておく。

白河館に復元されている法正尻66号竪穴住居跡を例（白河館2001）に、復元案を検討してみよう。この竪穴住居跡の柱穴と竪穴住居外形は前節で検討した。つぎに、入口と周壁の構造が、竪穴住居を復元する上で重要な要素である。竪穴住居の出入口と推定されているのは、2案ある。復元案1は、複式炉前庭部に想定される考え、復元案2は、前庭部脇に考える案（福島県教育委員会1990a）である。復元案2は、飯舘村上ノ台遺跡の調査で検出されたスローブ状の

遺構である。竪穴住居跡の覆土と明確な重複関係が把握されなかつこと、出入りが可能な遺構である点を根拠とした想定案である。しかし、この溝状の傾斜面以外に、附属する対応する施設は確認されていない。さらに他の遺跡でも明確な類例は、確認されていない。

復元案1の根拠は、つぎの8点である。

①前庭部の床面は踏み締まっており、この部分を中心に床面の奥部に続く踏み締まり面の基点となっている。

②前庭部手前側に、柱穴dが確認されることは少なくない。柱穴dは主柱穴の配置関係とは対応していない。またこれより小型である。柱穴dは、主柱穴とは別の役目を持って造られた穴と考えられる。

③猪苗代町北向遺跡では、この部分に踏み台状の立石が据えられている。

④竪穴住居跡の主軸線上に当たる場所である。この部分の竪穴住居掘形は、他の部分に比べて直線的になっている傾向がある。

⑤竪穴住居跡の主軸線上に位置している。

⑥は⑤と関連して屋根の形状も主軸方向は、掘形の主軸と合致していたと考えられる。すると屋根の奥側は突き出す形態であったのに対して、前庭部側は大きく開く形態が推定されよう。なかでも三本柱式は、この形状以外の想定は難しい。

⑦複式炉をもつ竪穴住居が造られた期間を通して、基本的な平面企画の原則に大きな変化は見られない。

⑧壁溝が、前庭部で途切れる場合をよくみかける。

①～⑧により、出入口施設は復元案1の位置を想定しておく。復元案1での出入口は、北向遺跡では、踏み台式の台石である。前庭部で検出される柱穴では、立石の代わりに木柱台や梯子が用いられたのであろう。また小さな穴が並んでいれば、木柱を並べた跡と考えられる。法正尻66号竪穴住居跡では、P17・18・19である。あるいは、この穴は造り替えの痕跡とも考えられる。

前庭部に出入口の施設を想定すれば、P20とP26には出入口の左右を区画する柱跡と考えられる。またこれと対応してP27とP30が検出されている。出入口の側柱であろう。この4個が柱であれば、主柱b1とc1に架けた梁から横木を渡せば、壁から突き出た屋根を出入口に架けることができる。出入口に庇を設けるのは、風雨や寒さを避ける点で合理的であろう。

壁溝は、側壁を支える保護材が据えられた痕跡の可能性が高い。所々に柱穴が配置されていることもその痕跡を示している。この種の住居で検出された壁溝の形態は、大きく二つに分かれている。一つは均一な幅、深さの溝が巡っているもので、全体に大きな凸凹はない。もう一つは細長い溝を繋げて全体で壁溝とした形態である。溝幅は一定ではなく、底部も深淺がある。前者では、板材や丸木のどちらでも使用することができるが、後者では板材よりは丸木材に適した壁溝であろう。丸木材の直径に合わせて掘り下げた結果、凹凸の著しい壁溝となったと考えられる。

法正尻66号竪穴住居跡では、側壁の下端に接して壁溝が巡らされている。写真では、外形

に不定形な出入りがあり、底部も凸凹が顕著で、浅深がある。中には途切れるように浅い部分もある。細長い溝をつなげた状況である。柱穴は壁溝の出入口付近では 50 cm 前後の狭い間隔で設けられている。これは出入口と合わせて、上屋構造とも結びついているのであろう。これに対して竪穴住居跡の奥半部では、主柱に合わせるように配置されているように見える。壁溝に板材。あるいは細木を並べて、要所を壁柱で補強した痕跡であろう。

壁溝が設けられていない竪穴住居跡では、周壁は、斜面となっていた可能性が考えられる。直立する地土の周壁では、これを支えることが出来ないからである。富山市北代遺跡では、このような想定（藤田富士夫教示）がなされている。

上屋を想定するときに側壁の高さを決めることは、根拠が乏しいことから困難である。困難という以上に推定でしかないともいえる。ところが側壁の高さは、上屋構造を決める重要な要素であるから、竪穴住居復元の全体にかかわってくる。

周壁が高くまで遺存していた一例として、三春町仲平 3 号竪穴住居跡（三次調査）がある。この竪穴住居跡では、床面から 1.6 m 程度の高さであった。これよりさらに、1 m 以上も高い側壁が造られていたとは考えられない。本来の深さは、表土部分を加えても、床面から 2 m 程度掘り下げられた深さであろうか。これに周堤が巡っていた可能性もあるが、側壁が 2 m もの深さであれば、盛り上げて壁高さを加えるというよりは、周囲から流水が侵入しないような防水施設の役目が考えられる。側壁の高さとは、切り離したことを想定すべきであろう。

一方、法正尻遺跡や馬場前遺跡のような平坦地では、表土層の検討でも述べたように、竪穴住居掘形の深さは、表土層と検出面までの深さに、周堤高を加えた高さであろう。法正尻 66 号竪穴住居跡では、検出面からの深さは最大で 34cm と報告されている。法正尻 66 号竪穴住居跡と同型式、期同型式、同規模の 58 号竪穴住居跡では、検出面から床面までは 70cm、地表面から床面までは 1.2 m 前後であった。仮に、地表面から 0.8 m の周堤を巡らせば、仲平 3 号竪穴住居跡（三次）の側壁と近似した壁高さとなる。

また仲平 3 号竪穴住居跡では、旧地表面直下に近い高さで側壁が遺存していたが、竪穴住居の周囲に排水溝が設けられていた痕跡は確認できなかった。これは土屋根竪穴住居では、このような排水溝は設けられないという指摘（浅川編 2002）と合致している。

この時期の周堤自体が検出された例はない。痕跡と考えられるのは、飯舘村上ノ台 24 号竪穴住居跡（福島県教育委員会 1990a）で検出された竪穴住居掘形の外を巡る小柱列である。小柱列を結ぶ円線は、壁溝と 1 m 前後の幅で竪穴住居掘形を巡り、23 基が確認されている。直径 10cm 前後、深さ 40cm 程度で垂直になっている。杭の痕跡である。垂木あるいは扱首の先端を支えた可能性と周堤の保護杭の可能性があるし、両方の用途を兼ねることもできる。しかし出入口相当部分にも分布していること、南西縁と東北縁で杭間の間隔に粗密があることから、ここでは周堤の保護杭の痕跡と理解しておく。垂木の支えであれば、間隔もより一定になっていたのではないだろうか。

屋根材について、法正尻 66 号竪穴住居跡の調査報告では言及されていない。堆積土もこれを明らかにできる状況ではなかったらしい。複式炉の設けられた竪穴住居の堆積土では、馬場

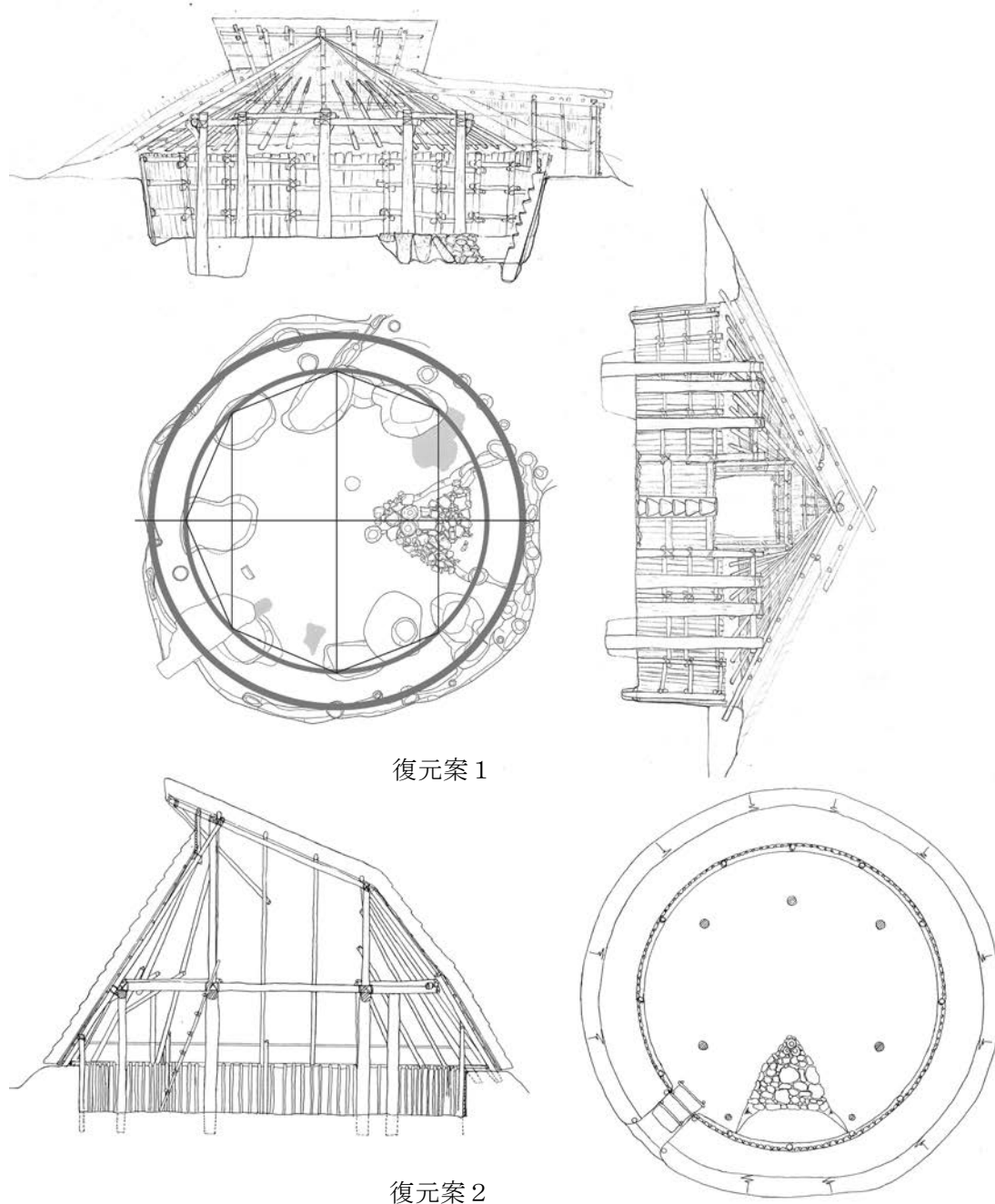


図6 法正尻 66号竪穴住居跡復元案

前 86 号竪穴住居跡の堆積状況は特異である。火災によって廃絶した竪穴住居で、内部から多くの遺物が出土している。

この堆積土は、通常の堆積とは異なり、竪穴住居掘形の中央上から周辺に向かって堆積している。最下層からは茅（？）、樹皮、クリ、ヤマグワなどの炭化材を含む土層が堆積し、その上に焼土を含む土層が堆積していた。報告では意図的な祭式を想定しているが、日常的な遺物が床面から出土しているので、その可能性は少ないであろう。土層形成の認識は異なるが、この竪穴住居が土屋根であると推定されることに変わりはない。

土屋根であれば、傾斜角度は茅葺きよりは緩やかになる。土が滑り落ちるのを防止するため

である。土屋根構造は、86号竪穴住居跡の最下層に樹皮と茅が含まれていたことから、垂木と木舞の上にこれを敷き詰め、この上に土を載せたことは確実である。この土が最上層となれば、雨水による流出を避けるために屋根はかなりの緩傾斜となり、さらに樹皮や茅で最上部を覆うことになる。岩手県御所野遺跡の復元実験で、土を露出させた土屋根の傾斜角度は、 35° が望ましいという報告（一戸町教育委員会 2004）がなされている。

同時に土屋根に使う土は、表土に近い黒土が望ましいという結果が得られている。粘土では、乾燥して収縮によるひび割れが発生し、漏水が生じるらしい。また雨水による浸食を防ぐには、草種を含んだ表土を用いて初夏の発芽期に屋根を造るのが最適であるという指摘（一戸町教育委員会 2004）がなされている。

しかし、黒井峯遺跡の土屋根のように中間に土入れ、その上下を茅や樹皮で挟む構造（麻柄一志の教示）であれば、土の収縮やひび割れはそれほど考慮する必要はない。むしろ黒土よりは粘土の方が有利である。黒土では湿気と微生物の含有が大きな欠点となる。これを避けるためには粘土を乾燥させた方が合理的である。馬場前 86号竪穴住居跡の覆土は、多量の焼土で構成されていた。これは焼失時に形成されたと言うよりは、焼土を屋根材に用いた可能性も考えたい。特異な堆積状況と厚い焼土層である。屋根の表面を茅等で覆えば、土屋根の雨水に対する耐久性が格段に向上することはいうまでもない。

屋根の形状は、複式炉が竪穴住居の南側に設けられていること、これと竪穴住居の主軸が合致することから、これに合わせた軸線が想定される。また複式炉の上部には煙出し施設が必要である。さらに背後にも煙出しを想定した。

北代遺跡の復元竪穴住居では、湿気処理が難しく、劣化が急速に進行していた。一方、登呂遺跡ではそれほどではなかった。この違いは、登呂遺跡例では屋根の通気性が極めて良好なことにあった結果であろう。登呂遺跡は、厚い茅葺き屋根であることもあって、湿地に立地するにも関わらず屋根の傷みは少なかった。また炉における焚き火の煙を排出するにも、二方向に排気穴を設けることは有効である。北代遺跡の棟に沿って帯状の排気穴をもう設けた竪穴住居では、薫蒸が実施されているにも関わらず、内部は快適であった。

複式炉前庭部には出入口が設けられている。この条件から、複式炉の奥側は扇形に垂木が配置され、複式炉側は主軸に直交する垂木配置が想定される。出入口面は、切り妻状の屋根で、平壁となって、その中央に出入口が設けられていたと考えた。以上を基に、上屋を復元したのが図6の復元案1である。まだまだ不確定な部分が少なくない。梁・桁の高さ、組み合わせ方法、屋根の傾斜角度、垂木の本数など、上屋を復元する基本的な条件は推定の域を出ていない。不明な点の多くは、浅川滋男の研究（浅川編 2002）などを参考にして復元を行った。

この復元案と白河館の縄文時代復元住居を比べてみると、つぎの5点が異なっている。

- ①主柱の配置が白河館案では、柱 b 1・c 1 が前庭部に位置している。
- ②柱 a が柱 b 3 と柱 c 3 を結ぶ直線上に置かれている。
- ③柱 b 2 と柱 c 2 の位置が大きく前庭部側にずれている。
- ④出入口が前庭部がない。主柱の認識が異なれば、上屋構造は当然異なってくる。

⑤屋根がカヤブキでない。

白河館復元案では浮桁を応用した棟梁が設けられているが、これが設けられていたとしても、柱b3と柱c3を結ぶ線上から飛び出すのではなく、柱aを復元案1の位置に据えることによって、浮桁の必要はなくなる。反対側、前庭部でもここでの復元案に合わせて柱bと柱cを結ぶ梁で棟梁を結合し、この先に出入口が設けられることになる。浮桁など、不安定な要素を可能な限り取り除いた復元が望ましいのではないだろうか。

棟梁が主柱間、あるいは主柱と桁を結ぶ位置に設けられていた可能性は十分考えられる。構造柱は、上下の加重には強固な反面、横方向から加えられた力には、補強を加えなければ脆弱である。これに対しては梁を渡して桁組を補強するのも一案である。桁と梁を三角形とした形状で組み合わせれば、より安定する。また、屋根材にカヤが普及するのは、鉄器の利用が可能になってからではないだろうか。石器で屋根を葺くようなカヤを多量に確保するのは極めて難しい。(村本周三の教示)

7 奈良時代竪穴住居跡の復元

奈良時代になると、この地域でも集落から多くの鉄器が出土する。農耕具や武器の類である。また掘立柱建物も急速に普及し、寺院や官衙では瓦葺き建物も造られるようになる。このことは、竪穴住居の建築技術や構造にも大きな影響を与えることになった。柱組には各種のホゾが使用され、尺度を用いた建築方法が普及していったと推定される。竪穴住居跡の外形や柱組が結びついて整った矩形となるのも、このような技術が確立された結果である。

竪穴住居は、古墳時代にカマドが導入されて以降、試行錯誤を経て栗囲式期になると、貯蔵穴や主柱穴カマドの位置が安定するようになる。古墳時代の竪穴住居とは、主柱穴の掘形が大きくなること、壁柱穴の普及が大きく異なっている。主柱は、掘立柱建物の柱穴と同様に大きな掘形の中に柱を据える構造となる。古墳時代では、柱掘形と柱根の直径はほとんど同じであった。竪穴住居の屋根を主柱構造で支える要素がより強化されるように改良された結果である。

これとともに、大型竪穴住居跡を中心に壁柱が設けられるようになる。壁柱は主柱よりは細い材が使用されているが、古墳時代の竪穴住居主柱と同程度はある。これに桁を回して主柱の桁廻りと合わせて垂木を配置すれば、地表に立ち壁を巡らすことが可能になる。古墳時代の竪穴住居が土屋根であったのに対して、大きな相違といえよう。壁柱の出現は竪穴住居が長い役割を終え、平地式住居が普及する上で大きな要素である。

奈良・平安時代の竪穴住居跡は、主柱の数と配置場所から大きく4種類に分けることができる。

- ①4本柱が掘形の中央に配置されるもの。
- ②4本柱で、そのうちの2本が側壁線上に造られるもの。
- ③竪穴住居の軸線上に2本柱の主柱穴が配置されるもの。
- ④主柱のないもの。

このうち③は、柱を結ぶ直線がカマドの軸線と直交する小野町堂田遺跡例と平行する須賀川

市沼平6号竪穴住居跡がある。また④のなかには少数ではあるが壁柱のある例がある。沼平13号竪穴住居跡である。

白河館には、東村谷地前C27号竪穴住居跡が図7の復元案2で復元されている。この竪穴住居跡は、主柱の抜き取り跡から少なくとも1回以上の建て替えが推定され、西壁を部分も隅柱が近接していることから、この部分を中心に造り替えが行われた可能性が高い。

遺存している壁柱も、最終段階の柱穴に加えて建て替え前の壁柱穴が含まれていると推定されよう。西壁側に拡張されたと推定されるので、西壁溝から検出されたP17は、拡張以前の柱穴の可能性があり、P16も二つの柱穴が重なってみえる。P27も同様に建て替え前の壁であろうか。これらを除く壁柱穴が最終段階に機能していたと判断できる。竪穴住居跡北西隅のP20とP21、南西隅のP14とP15が近接して造られているのも、側壁が西側に広げられたことの影響であろう。本来はそれぞれ1個の柱で十分である。

カマドの脇にあるP23とP24は、他の竪穴住居跡でも同様な位置に造られている例が多いことから、カマドに伴う支柱と推定される。防火板あるいは棚状施設の支えであろうか。他の壁柱は、壁の支柱であると推定される。支柱間に木舞を縦横に組んでこれに樹皮や茅を編み込めば壁ができる。壁の高さは、推定するしかないが、形態的に古墳時代と大きな変化がなければ、埴輪に表現された壁持ち家などが参考になるであろう。床面から梁行・桁行まではおよそ2m程度として、北側で壁高さの遺存値が0.7mこれに表土と周堤壁の高さを0.5mとすれば、壁の高さは0.8m程度であろうか。いずれにしても推測でしかない。

竪穴住居の上部構造を考える上では、カマドと反対側に造られたP26の理解が大きく関わる。復元された竪穴住居では、棟持ち柱が想定されている。この結果から屋根はカマド側が寄棟、P26側が入母屋造りとなっている。これに類似した形の復元屋根は、平出3号竪穴住居跡で復元（平出調査会編1955）されている。ただしこの竪穴住居跡は4本主柱で、このうち2本柱は壁線上に設けられた型式である。

棟持ち柱は、縄文時代からの伝統的な建築構造のひとつで、弥生時代以降は、集落の中心的な建物、古墳時代では居館の主殿などで格調高い建物に使用される構造様式である。ところが7世紀代以降、集落や居館から棟持ち柱構造は急速にみられなくなる。寺院・官衙建設に伴う建築技術が、一般集落の建物建築にも影響を与えた結果である。

白河館のように、中型竪穴住居でしかも片側のみというのは、棟持ち柱構造の性格からみれば、かなり特殊な理由を想定しなければならないであろう。この程度の竪穴住居であれば棟木を支えるのは扱首構造でも可能であるし、梁に束木を設けることでもできる。茅葺き屋根を貫く棟持ち柱は、雨漏りの可能性が高くなるなど、不都合な要素である。床面から柱を立てる必要はない。またその場所も出入口に相当する場所である。通路の支障にもなる。

P26が検出された位置は、第5ピットとも呼ばれ、古墳時代以来に竪穴住居の出入口が想定されている場所（谷島一馬1979）である。茨城県うぐいす平66号竪穴住居跡（茨城県教育委員会1994）では、この場所から木柱に階段が設けられた遺構が検出されている。また矢吹町後原2号竪穴住居跡（福島県教育委員会2001）からは同じく梯子状の出入口が検出されている。P26は、

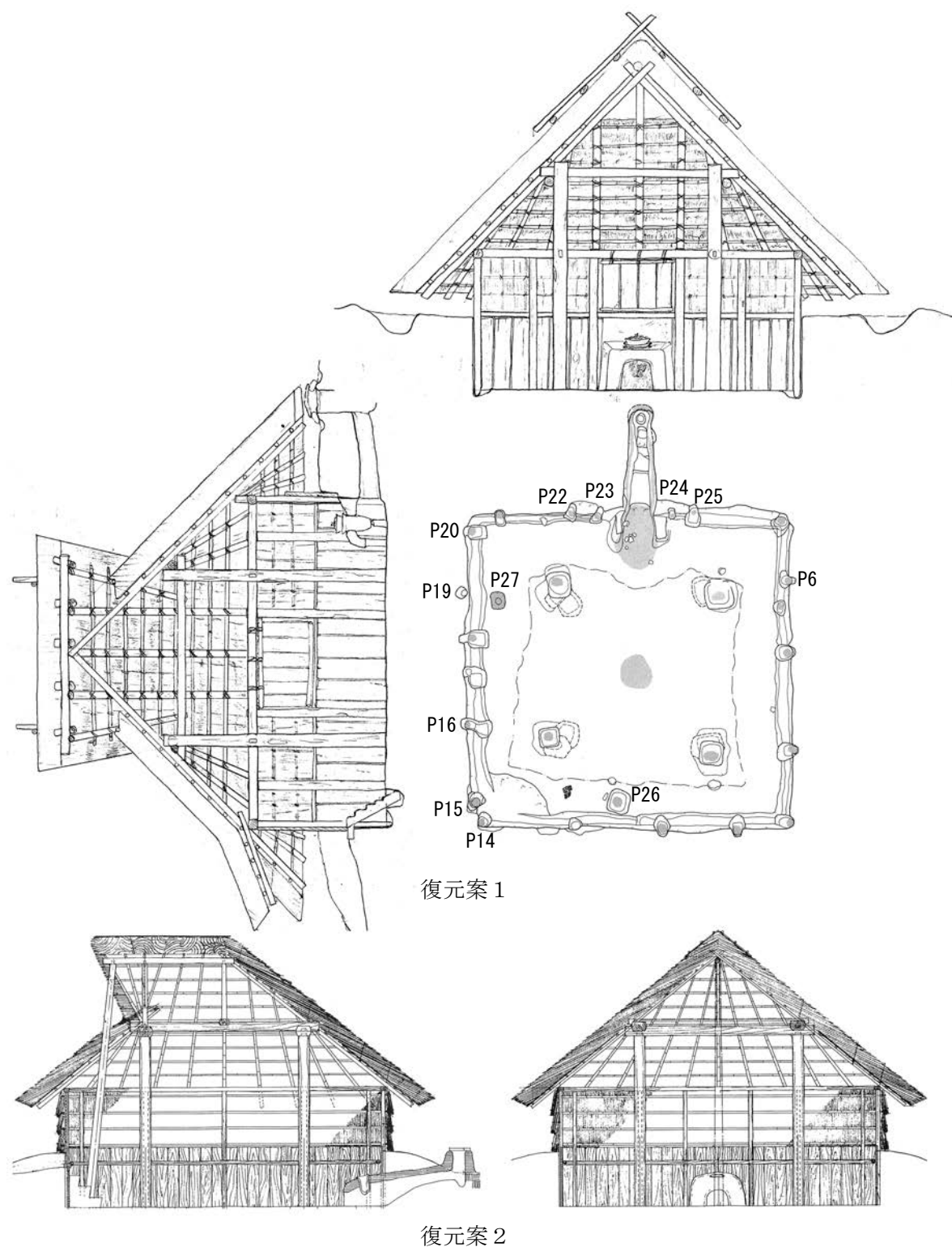


図7 谷地前C 27号竪穴住居跡復元案

棟持ち柱ではなく、出入口施設の柱階段の柱穴である。復元にさいいて、P 26 が出入口施設の可能性も考慮はされた（福島県文化財センター白河館 2001）が、これが採用されなかった理由は明示されていない。

以上から谷地前 27 号竪穴住居跡は、4 本主柱で復元しなくてはならない遺構であるといえ

よう。この竪穴住居跡の主柱穴は、竪穴住居四隅を結ぶ対角線上に位置し、外形の矩形と相似形に配置されている。また外形の四壁も2壁が直角で相対している。柱筋と外形が正確な矩形を成していることは、これらを結ぶ梁・桁・束・垂木がホゾや欠きなどの各種木工技術によって造られたことの反映である。奈良時代になれば、基本的な鉄製建築工具が普及していたことから、近代の通常的な農家に近い建物構造を造ることも可能と考えられる。

竪穴住居の四壁は、壁溝と要所に配置された支柱から、柱間に板材を並べこれを支柱で安定させる周堤壁と考えられる。この板壁が、地表部にもそのまま続く構造であろうか。あるいは、地表部ではさらに茅や樹皮を押し付けて補強を加えることも可能である。ただ土壁ではなかったらしい。スサ入り粘土が出土した例はない。また板壁・草壁であれば、支柱間の要所を窓とすることも、比較的容易に可能である。P 19 や P 6 付近がその可能性が高い。

カマドの左右にある柱穴は、カマドの防火施設の一部と考えられる痕跡である。カマドの両脇からは、この種の柱穴を検出することも少なくない。カマドからの横焼けや火の粉を防ぐには、板壁に泥土を塗りつける方法や火伏せ棚を設ける等の方法が考えられる。

このような柱構造・壁を踏まえて屋根を推定すると、茅葺きの扱首構造で入母屋造りが最も可能性が高いのではないだろうか。家形埴輪にもある屋根である。家の主軸は、出入口からカマドとして、この方向で煙出し窓が設けられていたのであろう。カマド上から最も煙出しが排出しやすい位置（都出 1989）である。出入口とその上に煙出し窓が、しかも南向きに造られていれば、採光の点でも有効である。

また谷地前 27 号竪穴住居跡と平出 3 号竪穴住居跡の平面規模と柱位置は、極めて近似した特徴を持っている。そこで、平出 3 号竪穴住居跡を基に藤島亥二郎が復元した上屋と合成して復元したのが復元案 1 である。あるいは登呂遺跡復元案（日本考古学協会編 1949）のように、桁廻りで屋根を上下に分割する案も可能であろう。以上から谷地前 27 号竪穴住居跡は、主柱 4 本入母屋造り立ち壁で、茅葺きあるいは板葺きの竪穴住居という復元案を考えておきたい。

図 7 の復元案 1 と復元案 2、最も異なる点は P 26 の理解である。これひとつの違いで、復元される竪穴住居の構造と形態は大きく異なることになる。このほか、垂木に孟宗竹が使用されている点に、少し違和感が生じるかもしれない。孟宗竹は江戸時代に普及した外来種で、奈良時代の阿武隈川上流域には存在していた根拠は十分ではない。また木舞は、1 本ではなく、細い材を 2 本合わせて使用すると相互の反発によって茅の緩みを防止するのに役立たせることも出来る。

8 馬場前 86 号竪穴住居跡の生活空間

竪穴住居での生活を考える上で基本となるのは、建物の空間と施設配置であり、生活に伴う居住者の動きである。これを踏まえて、馬場前 86 号竪穴住居跡を例に竪穴住居の生活空間について考えてみることにする。先節で述べたように、この竪穴住居跡は、火災によって廃棄されたと考えられる検出状況を遺存していた。しかも竪穴住居跡の堆積土は、その後に攪乱を受けた痕跡は見られなかった。竪穴住居跡から出土した遺物は、火災直前に竪穴住居内部に置か

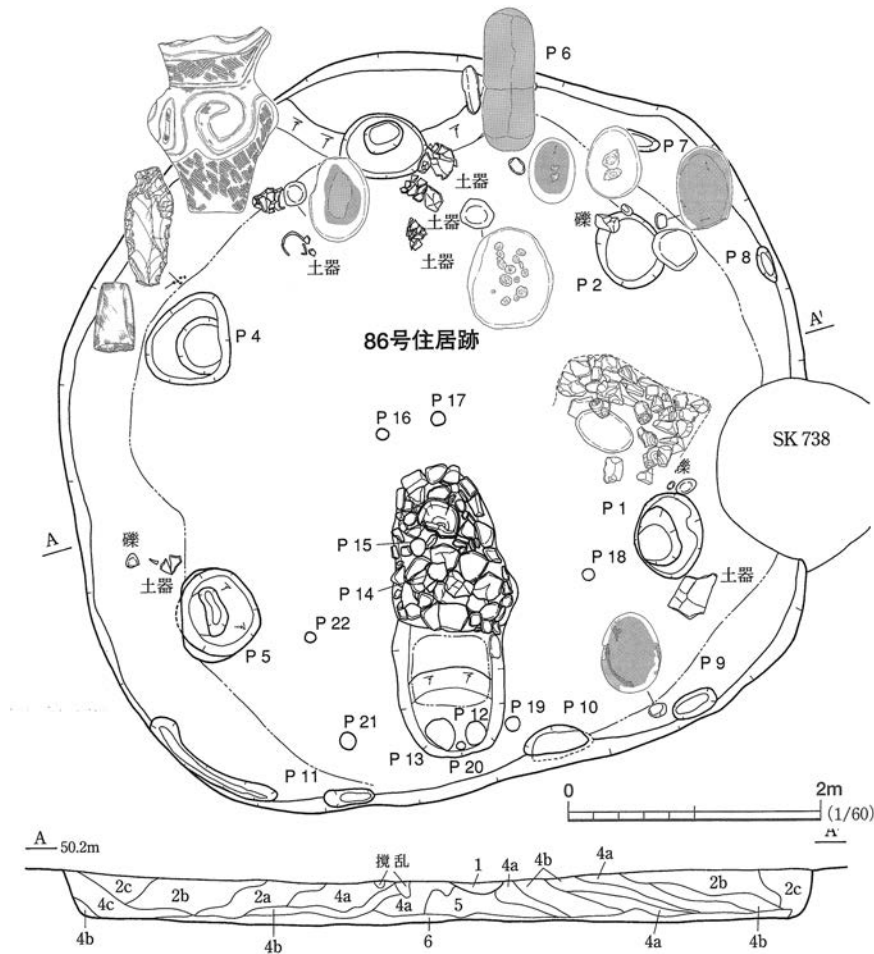


図8 檜葉町馬場前 86 号竪穴住居跡

れていた場所を反映した位置にあると考えられよう。

火災をうけて廃絶した竪穴住居については、出土遺物が少ないことから人為的な廃棄行為であるという指摘がある。住居に火をつけて廃棄する行為がないとは限らないが、これはむしろ異常な処理方法ではないだろうか。犯罪に対する処罰や忌避の対象などの場合も推定されよう。集落のなかで住居を焼き払う行為は異常であり、他の施設に引火することもある。薪が多量に必要なことは縄文時代も古墳時代も変わりはない。古屋は絶好

の薪材である。これが利用されないはずはない。

また季節による竪穴住居と平地住居の棲み分けが、黒井峯遺跡などの調査を踏まえて強調されている。しかし夏期に竪穴住居で住まなくなったとしても、それが廃屋になった訳ではない。竪穴住居の内部で火焚きを中止すれば、急激な劣化が進行することは多くの事例で明らかである。最小限でも維持管理の作業は必要である。それに、夏期には日中の酷暑を竪穴住居の内部で緩和することも可能である。

86号竪穴住居跡は5本柱式の複式炉が設けられている。規模は直径約6mである。主柱穴と複式炉前庭部を結ぶ範囲では、床面に踏み締まり痕が遺っていた。これに対して前庭部を除く壁周辺には、踏み締まり痕が不明瞭となっていた。複式炉前庭部が壁と接して踏み締まっていたことは、この部分が竪穴住居の出入口と直結していたことを示している。また複式炉を中心に主柱穴で囲まれた範囲が、土間として利用されていたことを意味している。

柱aの奥には段状の高まりが設けられていた。同様な施設は馬場前106号竪穴住居痕跡でも検出されている。この場所には土壇の代わりに石壇状の施設が設けられる場所でもある。三春町仲平2号竪穴住居跡（3次）では、長方形土坑の短辺側に板材を据えて段とした遺構が検出されている。この場所からは、宗教的器物と考えられる石棒・石柱などが出土すること、ある

いはこれを据えたような痕跡が検出されることから、祭祀関連遺構と考えられている。能登谷宣康は、山本輝久や飯島吉晴などの指摘を受けて、家神祭祀的な施設を想定（能登谷 1993）している。

86 号竪穴住居跡ではこの段状施設の前面に土器や磨石が集中して出土している。床面に散在して出土し、置き据えられた状況ではない。土器は、小型土器と破片である。また棚から落下したとも考えられない状況である。出土床面は、踏み締まり痕が形成されていた部分である。これに対して段状施設の平面から、遺物は出土していない。これに近接して柱 b 2 の奥側からは石匙と磨製石斧頭が出土している。磨製石斧頭に柄をつけて、柱や屋根裏に吊すことも可能である。柱 c 2 の北側からは磨石類が 3 点出土している。確かに祭壇と理解することも可能であるが、祭祀を証明することは困難である。少なくとも、この付近に道具類が置かれていたことの反映である。それが日常的な道具類であれば、この場所が聖所と限定する必要もないであろう。

竪穴住居跡の前半部では、柱 c 1 の北側から有機質の袋状入れ物に納められていたと推定される剥片 34 点、それに石核と叩き石が出土している。これは吊り下げられていたのであろうか。このほか付近からは、礫と土器片が出土している。また柱 b 1 の奥側からも礫と土器片が出土している。

剥片が袋状の入れ物から出土した例は、福島市獅子内 68 号土坑などが知られている。また越田和 3 号建物跡では、土器の中に納められていた。剥片石器類は、土器や袋に納めて保管されていたのであろうか。同 115 a 号竪穴住居跡では、床面上の堆積土中から石鏃と剥片が 22 点ほど出土している。これも同様である。これに対して、同 113 号竪穴住居跡では前庭部の右側から剥片が出土している。この剥片は大半が自然面を残しているので、廃棄する剥片が集められていた可能性もある。しかし目的を限定する根拠は乏しい。柱 b 1 と柱 b 2、柱 c 1 と柱 c 2 に挟まれた部分は、遺物が出土しない空間である。この部分が休息空間であろうか。これに近接して道具や石器材料が保管されていたのであろう。

前庭部は出入口に近接し、複式炉の火焚き場と推定される場所であり、これに近接して薪が置かれていたと考えられよう。前庭部の左右どちらかである。しかし他の竪穴住居跡では、この部分から石器や土器が出土しているので、用途が固定していたわけではない。

複式炉は、土器埋設部と石囲部、それに前庭部で構成されている。前庭部は石囲部の火を管理する場所であり、土器埋設部は炭火を入れる施設と考えられている。炎と炭火という 2 種類の火を管理する施設である。火の違いに合わせて各種の生活に役立てたのであろう。炎を上げる火は、竪穴住居の明かりであり、竪穴住居全体を保温することになる。煙は、住居を薫蒸するとともに、食品や獣皮の加工に役立った。土器埋設部は、いわば火鉢である。種火を確保して、調理や各種の熱加工等にも利用することができる。

86 号竪穴住居跡では設けられていないが、前庭部に埋設土器が設置された例も知られている。能登谷宣康の分析（能登谷 1993）によれば、埋設土器は開口しているもの、蓋をした例が知られているという。火熱を受けた痕跡もないらしい。また内部は空洞になっていた可能性も

ある。前庭部の床面下に土器全体が密閉して埋められていたのではないらしい。開閉が可能で内部が空洞であれば、火焚き場に附属させて、小物置場としても利用できるのではないだろうか。祭祀・宗教関連施設の可能性もあるが、実用的な用途を探って行くことを積み重ねておきたい。

86号竪穴住居跡の床面利用を以上のように推定すると、休息・睡眠場所は複式炉の左右が想定され、この部分の広さから成人2名程度の居住が想定されよう。子供などはこれに付随して居住しても、大きな問題はないであろう。この時期の竪穴住居は、家族に類する集団の居住施設であるといえよう。このように考えると竪穴住居の規模は、単純に居住人数を反映しているというよりは、居住者の生活にも規制されることになる。

おわりに

竪穴住居跡の発掘調査は、基礎構造を明らかにするとともに、失われた上部構造の痕跡をより多く集めることである。そうして、遺構の形状、構造を復元し、そこに居住した祖先の生活を復元することである。さらにこれらを遺跡のなかにおくことにより、集落全体の景観を復元することである。単に調査結果の遺構の差異を分析するのではなく、復元的視点で考古資料を集めることが求められているのである。集落の様子が復元されれば、そこでの生活をより具体的に追体験することもできよう。

遺跡公園や博物館に復元された竪穴住居は、竪穴住居跡に上屋が架けられた構築物である。内部には各種の生活用具が並べられていることも少なくない。柱、壁、屋根、敷物が復元され、土器、各種の道具類、薪等が置かれている。あるいは、そこで食べ物が調理され、衣服が架けてあったりもする。竪穴住居とそこに居住した人々の生活が再現されているのである。こうして専門家以外の人々も、祖先の生活を追体験することができるようになる。そのようなことを願って、竪穴住居跡の調査方法を整理してみた。

小論は、当館が実施している文化財研修の一環として、竪穴住居調査研修の資料として作成した。その資料収集では、下記の機関、個人から数多くの教示を受けた。また研修参加者からも多くの貴重な意見をいただきました。

群馬県渋川市教育委員会 静岡市登呂博物館 富山市教育委員会

浅野 毅 大谷 明伸 小林 良光 藤田 富士夫

村本周三（総合研究大学院大学大学院生）

<参考文献>

浅川滋男編 2002『先史日本の住居とその周辺』同成社

石野博信 1990『日本原始・古代住居研究』吉川弘文館

一戸町教育委員会 2004『御所野遺跡環境整備事業報告』Ⅰ一戸町文化財調査報告書第50集

茨城県教育委員会 1994「うぐいす平遺跡」『（仮称）上高津団地建設事業地ない埋蔵文化財調査報告書』

楠本政助 1988「竪穴住居の復元」『考古学叢考』下巻 吉川弘文館

群馬県子持村教育委員会 1992「黒井峯遺跡発掘調査報告書」『子持村文化財調査報告』第11集

群馬県渋川市教育委員会 1988『中筋遺跡第2次発掘調査概要報告』

復元的視点による竪穴住居跡の発掘調査

- 坂田由紀子 2002 「複式炉を伴う竪穴住居の規格」『福島県文化財センター白河館研究紀要』2
- 渋谷泰彦 1957 「竪穴住居址群の復元研究」『津山郷土館考古学研究報告』第2冊
- 渋谷文彦 1982 「竪穴住居址の柱穴位置と規模について」『考古学雑誌』第67巻第4号日本考古学会
- 都出比呂志 1989 『日本農耕社会の成立過程』岩波書店
- 日本考古学協会編 1949 『登呂』同 1954 『登呂（本編）』毎日新聞社
- 能登谷宣康 1993 「縄文時代中期末葉の竪穴住居跡にみられる特殊施設」『論集しのぶ考古』
- 橋本 正 1976 「竪穴住居の系譜と分類」『考古学研究』通巻91号
- 福島県教育委員会 1980 「谷地前C」『福島県文化財調査報告』第85集
- 福島県教育委員会 1989 「柴原A遺跡（第1次）」『福島県文化財調査報告』第217集
- 福島県教育委員会 1990a 「上ノ台A遺跡第2次」『福島県文化財調査報告』第230集
- 福島県教育委員会 1990b 「春田遺跡」『福島県文化財調査報告』第235集
- 福島県教育委員会 1991a 「法正尻遺跡」『福島県文化財調査報告』第243集
- 福島県教育委員会 1991b 「仲平遺跡（第3次）」『福島県文化財調査報告』第254集
- 福島県教育委員会 1991c 「鹿島遺跡」『福島県文化財調査報告』第266集
- 福島県教育委員会 1993 「四合内B遺跡」『福島県文化財調査報告』第289集
- 福島県教育委員会 1996 「越田和遺跡」『福島県文化財調査報告』第322集
- 福島県教育委員会 2001 「後原遺跡」『福島県文化財調査報告』第370集
- 福島県教育委員会 2002a 「馬場前遺跡1次調査」『福島県文化財調査報告』第388集
- 福島県教育委員会 2002b 「前山A遺跡」『福島県文化財調査報告』第389集
- 福島県教育委員会 2003 「馬場前遺跡2・3次調査」『福島県文化財調査報告』第398集
- 福島県立博物館 1985 「'84塩沢上原A遺跡発掘調査概要」『福島県立博物館調査報告』第10集
- 福島県文化財センター白河館 2001 「事業概要」『年報2001』
- 麻柄 一志 1992 「土屋根の竪穴住居」『魚津市立博物館紀要』第3号
- 平出調査会編 1955 『平出』朝日新聞社
- 宮本長二郎 1996 『日本原始古代の住居建築』中央公論美術出版社
- 目黒吉明 1976 「岩淵遺跡」『福島大学考古学研究会発掘調査報告書』第2冊
- 森 幸彦 1993 「複式炉小考」『論集しのぶ考古』
- 谷島一馬 1979 「竪穴住居における踏み跡と入口の位置について」『千種山遺跡発掘調査報告書』千種山遺跡発掘調査団
- 渡辺修一 1985 「古墳時代竪穴住居の構造的変遷と居住空間」『研究連絡誌』11 千葉県文化財センター

埋文センターの情報発信について

藤 谷 誠

1 はじめに

近年、各地の埋蔵文化財センターでも多くの機関がホームページを立ち上げて、インターネットを利用した情報発信を行っている。

今回、平成 16 年分（平成 16 年 1 月～平成 16 年 12 月期）の埋蔵文化財センターのホームページのアクセス数の推移についての調査を行った。アクセスカウンタが設置されているページを対象にしたが、遺漏があればご容赦願いたい。

これを元に、各ページの内容（構成要素）との相関関について考察を加えた。なお、内容の調査は、平成 16 年 12 月に実施したので、年の途中で各ページに大きな刷新があれば、正確な相関を示していない場合もあることをおことわりしておく。

内容とアクセス数の相関を考察することによって、埋蔵文化財センターのより効果的な情報発信のあり方の参考としていただければ幸いである。

2 対象としたページ

今回、対象としたホームページは、原則として行政的な発掘調査を行っているか、あるいはその調査成果品を管理している公的な埋蔵文化財センターのもので、独自の内容を持っているページに限定した。また、埋蔵文化財センターのこのようなホームページの中で、アクセスカウンタを設置してあるものを対象としたが、その割合は全体の 9 割程度となっている。アクセスカウンタについては、ページ刷新等により、撤去したもの、途中で入れたものもあったが、6 ヶ月以上アクセス数を取れたものについては、対象とした。

対象となった中で、それぞれ都道府県関係の機関を K 1 から数字で、市町村関係（広域調査機関も含む）の機関を S 1 から数字で示した。

3 アクセス数について

1) 調査方法

アクセス数は、毎月月末にカウンタの数字を記録し、前月末の数字との差をカウントし、その月のアクセス数とした。記録の時間は、極力午前中としたが、月によっては夕方までずれ込むものもあった。

2) アクセス数とグループ化

アクセス数を 103 ページの表 1 に示した。表中の「－」となっている項目は、アクセスカウンタが不調であったり、撤去されていたりしてアクセス数が計測できなかったものである。月

平均アクセス数は、各月合計数を単純に月数で割ったもので、小数点以下は切り捨ててある。

まず各月合計アクセス数は最大 41,019 件、最小 1,406 件となった。これを月平均アクセス数でみると、最大 3,781 件、最小 117 件、月平均 1,380 件となっている。単純に月平均でみると約 12 倍の格差が認められた。

機関別では、都道府県機関のアクセス数の平均が月平均 1,509 件、市町村機関のでは、これが 885 件となっている。月単位でのアクセス数をみると、最大の 4 月が 1,590 件、最小の 1 月が 1,233 件となっている。

以下のホームページ構成要素との関係を考察するために、これらの機関を、月別のアクセス数を元に、便宜上、2000 件以上を上位グループ、1000 件から 1999 件までを中位グループ、999 件以下を下位グループとして 3 つに分類することにした。

4 ホームページの構成要素の分類

アクセス数を増加させる要因には、ホームページの見易さや更新頻度などの要因もあるが、それらを数値化することは難しいため、今回は内容要素を分類しその有無について調べる手法をとった。

ホームページの構成要素について、以下の大別 5 種類、細別 26 種類の要素に分類した。

所在地や業務・組織が変化しない限り不変のものを「定型的静的コンテンツ」とした。細別では所在地・連絡先情報（住所・電話番号・地図・mail・休所日）、業務紹介、施設紹介、組織紹介、利用案内、資料貸し出し閲覧案内に分かれる。資料の案内については、本来利用案内の一部に含まれるが、埋蔵文化財センターといった資料の収蔵機能をもった施設の特質として、別項目とした。定型的静的コンテンツは、資料貸し出し閲覧を除くと、埋文センター以外の機関でも形の違いはあるにせよ必ず持っている情報である。

年単位以内で変化する内容を持ったものを「動的コンテンツ」とした。具体的には、行事の案内や発掘調査・現地説明会等である。この中でも行事案内については、主催事業のみの案内と主催事業以外の周辺地域の案内の 2 つに分類した。

各埋蔵文化財センターが収蔵している資料や遺跡の情報及び地域の遺跡の情報を「蓄積型コンテンツ」とした。今後、調査の進展によって、内容が充実していく方向にあるため、蓄積型の呼称をつけた。内容は、収蔵資料の紹介、遺跡の紹介及びデータベースとした。データベースについては、遺跡・遺物・写真・文献に細別した。遺跡は、更にテキストと画像、GIS に分け、遺物はテキストと画像に分けた。また、収蔵品と遺跡の紹介はデータベースと重複する部分もあり、基本的にデータベースに記載があれば、この項目も連動する形となる。この蓄積型コンテンツは、動的コンテンツとともに埋蔵文化財センターが持っている固有の情報と言えよう。

各埋蔵文化財センターで刊行した出版物について、蓄積型コンテンツとは別に「刊行物系コンテンツ」とした。インターネットの普及により、今後も電子的な出版物が増える見込みであるため、別項目とした。具体的には、発掘調査報告書、広報誌、年報、研究紀要等が該当する。

表1 平成16年ホームページアクセス数

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	各月合計	月平均
K 1	4,773	4,513	3,735	4,194	4,041	3,545	3,830	-	-	3,133	3,347	2,708	37,819	3,781
K 2	2,221	2,377	2,186	6,397	5,563	4,732	3,286	3,697	2,840	2,833	2,604	2,283	41,019	3,418
K 3	2,780	2,962	3,886	3,630	3,793	4,048	3,557	3,336	3,418	3,496	3,243	2,843	40,992	3,416
K 4	2,110	2,594	2,267	3,752	3,175	4,653	4,044	3,429	4,456	2,688	3,922	3,164	40,254	3,354
S 1	3,394	2,836	2,952	2,813	2,924	2,878	2,752	2,669	2,868	3,236	2,908	2,649	34,879	2,906
K 5	1,156	2,621	2,297	2,475	2,643	2,789	2,221	1,990	2,309	2,586	2,348	2,605	28,040	2,336
K 6	1,972	2,121	1,860	2,616	2,747	2,456	2,438	-	-	2,674	2,363	2,031	23,278	2,327
K 7	1,877	2,187	1,640	2,388	2,272	2,086	1,832	1,676	1,842	2,135	1,786	1,511	23,232	1,936
K 8	1,372	1,402	1,486	3,086	2,097	1,802	2,168	1,506	1,335	1,321	1,341	1,457	20,373	1,697
S 2	1,404	1,202	1,190	1,203	1,213	2,391	1,479	1,456	1,445	2,407	2,407	1,560	19,357	1,613
K 9	1,477	1,109	1,233	1,893	1,795	1,707	1,554	1,315	1,717	1,591	1,465	1,971	18,827	1,568
K 10	1,371	1,247	1,379	1,662	1,715	1,985	-	-	-	-	-	-	9,359	1,559
K 11	1,190	1,277	1,260	1,659	1,439	1,852	1,866	1,341	1,403	1,675	1,591	1,952	18,505	1,542
K 12	1,170	1,294	1,205	1,457	-	-	1,381	1,202	1,141	1,209	1,056	1,092	12,207	1,220
K 13	-	-	-	-	-	-	1,156	1,165	1,130	1,422	1,214	968	7,055	1,175
K 14	1,069	881	1,017	956	1,164	1,116	1,256	1,297	1,364	1,332	1,241	1,083	13,776	1,148
K 15	833	1,016	837	775	761	891	901	1,340	970	1,015	1,023	921	11,283	940
K 16	804	934	766	1,056	1,078	1,046	987	798	877	997	911	729	10,983	915
K 17	1,061	1,077	1,035	913	924	955	829	827	782	741	950	800	10,894	907
K 18	1,015	957	977	915	1,034	859	834	832	850	850	-	759	9,882	898
K 19	708	665	774	1,010	1,010	1,086	882	934	950	1,034	902	759	10,714	892
K 20	679	844	1,012	983	878	810	855	851	929	957	943	966	10,707	892
K 21	709	756	868	861	820	1,025	1,165	1,147	921	856	783	787	10,698	891
K 22	764	690	680	626	1,275	847	866	864	731	727	703	577	9,350	779
K 23	799	746	655	940	931	1,077	699	610	522	795	611	528	8,913	742
K 24	599	615	639	776	862	724	675	717	596	-	-	-	6,203	689
K 25	522	763	660	621	622	522	566	675	571	665	638	605	7,430	619
S 3	591	517	629	575	581	807	745	693	680	511	485	572	7,386	615
S 4	572	455	515	687	700	723	565	609	658	655	-	-	6,139	613
K 26	706	863	674	611	688	434	407	489	547	618	620	528	7,185	598
K 27	590	469	686	494	471	510	553	485	454	479	517	439	6,147	512
S 5	132	142	176	203	197	205	196	220	212	206	153	172	2,214	184
S 6	201	131	189	171	152	144	171	152	151	142	128	110	1,842	153
S 7	92	81	141	102	144	150	101	142	127	96	120	110	1,406	117

発掘調査報告書は目録のみと電子図書化（PDF ファイル化）の2つの項目に分け、それ以外は、内容が電子図書化（PDF ファイルまたはHTML ファイル）されているかどうかを基準とした。

「その他のコンテンツ」としては、リンク集、子供向けのコンテンツ、質問コーナー、英語のページ、基本情報の開示等を含めた。前に分類した項目に入れるのがむずかしいものを列記してある。

これらコンテンツについて、内容の充実度等は度外視して、その有無等についてまとめたのが31ページの第2表となっている。アクセス上位グループが7機関、中位グループが9機関、下位グループが18機関となっており、その境界には横線を引いてある。

5 アクセス数と各コンテンツの関係について

1) 定型的静的コンテンツ

所在・連絡情報では、住所・電話番号の基本情報は、ほとんど全ての機関で掲載されているが、地図、電子メールについては、下位グループの方に掲載していない機関が多い傾向がある。業務紹介・施設紹介・組織紹介については、中位グループが最も割合が高く（77%）、上位グループがそれに次ぎ（71%）、下位グループの割合が一番低い（61%）傾向があり、上・中位グループの割合が高い傾向がある。

利用案内については、上位グループで71%、中・下位グループで40～50%台の機関が掲載しており、上位と中・下位グループでその差が認められた。

資料の貸し出し・閲覧情報については、案内と書式をダウンロードできるようにしている機関が、上位グループで42%、中・下位グループでともに11%となっている。こちらについては、4倍近い差が認められる。

2) 動的コンテンツ

主催行事予定については、58%の機関が掲載しているが、上位グループと下位グループに差はあるものの中位グループの掲載率が高く（88%）、上位（57%）、下位グループ（44%）と続く結果となった。

地域内行事予定については、上位グループ（57%）と中・下位グループ（ともに10%台）に5倍位の差が認められた。今回最も差の出たコンテンツである。発掘調査状況報告については、上位グループが11%、中位グループが66%、下位グループが61%と、中・下位グループが上位グループを上回る結果となっており、大変興味深い。

現地説明会については、PDF化を含めた紹介している機関の割合が上位グループが42%、中位グループが33%、下位グループが44%と、中位グループで低くなるものの、上位グループと下位グループが多くなる傾向が認められる。

3) 蓄積型コンテンツ

収蔵品紹介では、上位グループでは57%、中・下位グループで44%の機関がホームページに掲載しており、上位グループが若干高い割合となっている。

遺跡紹介は、全体的に64%の機関が掲載しており、その割合は、上位グループで85%、中位グループで55%、下位グループで61%となっている。これについても、上位グループがより高い割合となっている。

データベースについては、その公開割合の絶対数自体が少ないが、各データベースごとで見ると以下となっている。遺跡データベースを公開している機関の割合は、上位グループで42%、中位グループで0%、下位グループで16%となっている。まだまだ公開している機関は少ないものの、画像を含めたものやGISシステムを持つものなども公開されはじめている。遺物

表2 ホームページコンテンツ一覧

[illegible]

データベース、写真データベースについては上位グループの一部のみが公開している。文献データベースについては、上位グループの掲載割合が 28%、下位グループのそれが 11%となっている。

4) 刊行物系コンテンツ

発掘調査報告書情報については、約半数の機関が掲載しており、その掲載割合は、PDF 化したものを含めて上位グループが 57%、中位グループが 33%、下位グループが 50%となっている。

広報誌（PDF ファイル）の掲載割合は、上位グループが最も高く 85%、中位グループで 66%、下位グループで 38%となっており、上位グループの割合が下位グループの 2 倍以上となっている。

年報については、PDF 化してる機関の割合は、上位グループで 14%、中位グループで 33%、下位グループで 5%となっている。同様に研究紀要は、上位グループで 28%、中位グループで 22%、下位グループで 16%となっている。

5) その他のコンテンツ

リンク集は、全体の 85%の機関が掲載しており、それぞれの割合は上位グループ 85%、中位グループ 88%、下位グループ 83%となっており、それぞれの割合に特に大きな有意差は認められなかった。

子供向けのコンテンツについては、上位グループの掲載割合が 42%、中位グループが 44%、下位グループが 22%となっており、上・中位グループの掲載割合が高い傾向が認められる。Q&A コーナーは、上位グループが 14%、中・下位グループで 22%が掲載されている。

英語のページは掲載している機関が 2 機関のみとなっている。また、情報開示は、上位グループが 14%、中位グループが 22%、下位グループが 27%となったおり、上位グループよりも中・下位グループの方が割合の高い傾向が認められた。

6 考 察

5 で認められたアクセス数とコンテンツの相関関係から、以下のような傾向を推定することができた。

(1) 掲載することによるアクセス UP 効果が高いと思われるコンテンツ

上位グループの掲載率が高く、なおかつ中・下位グループより 2 割以上の差があるものについて、アクセス UP 効果が高いコンテンツであると推定した。以下、利用案内（上位 71%、中位 44%、下位 50%）、資料貸出・閲覧関係の情報（上位 42%、中位 11%、下位 11%）、地域行事案内（上位 57%、中位 11%、下位 17%）、遺跡紹介（上位 85%、中位 55%、下位 61%）、PDF 化した広報誌（上位 85%、中位 66%、下位 38%）、データベース（上位 42%、中位 0%、下位 16%）の 6 つのコンテンツがこれにあたる。この内、上位グループと中・下位グループとの差が最も大きかったのは、資料貸出・閲覧関係の情報であった。

(2) 掲載することによって若干アクセス UP が認められると思われるコンテンツ

収蔵品紹介（上位 57%、中・下位 44%）、研究紀要 PDF 版（上位 28%、中位 22%、下位 16%）の 2 コンテンツについては、(1) に取り上げたコンテンツよりも掲載率の差は少ないものの、上位グループが中・下位グループよりも多い傾向があり、若干のアクセス UP 効果があると推定される。

また、子ども向けのコンテンツについては、上位グループが 42%、中位グループが 44%と下位グループの 22%を大きく上回っており、若干のアクセス UP 効果が認められると思われる。

(3) アクセス UP との相関を認めることがむずかしいコンテンツ

利用案内と資料貸出・閲覧をのぞく定型的静的コンテンツ、行事予定案内、発掘調査状況報告、現地説明会 PDF 資料、発掘調査報告書、年報 PDF 版、リンク集、情報開示については、上位グループと中・下位グループの相関に有意性は認めることはむずかしかった。直接アクセス UP に関係するとは考えることは難しいかもしれない。

7 まとめ

以上、埋蔵文化財センターのホームページアクセス数とコンテンツの相関関係についてまとめた過程で、コンテンツによってはアクセス UP に効果があるものがあると推定できた。特に、利用関係のコンテンツのポイントが高く、「利用者にやさしい」情報発信がアクセス数に反映されていることを再認識することが出来た。

また、一部の独自コンテンツについてもアクセス UP 効果が認められており、特にその効果が認められなかった独自コンテンツと比較して、生のままの資料（発掘調査報告書・発掘調査状況）よりも、それを加工したコンテンツ（遺跡紹介・データベース・収蔵品紹介等）の方がアクセス UP 効果が高いことも再認識することが出来た。

このような傾向から、情報発信においては、利用案内の詳細な提示や独自資料をわかりやすく加工したコンテンツの掲載が求められていると推定される。

行政発掘調査等で得られた成果品については、埋蔵文化財が国民共有の財産である以上、広く国民に公開・利用されなければならない。今後、研究者の利用のみにとどまらず、学校教育や生涯学習とも連携して広くその成果を利用してもらう一つの大きな手段として、インターネットのホームページを利用した情報発信がある。

情報発信については、その形態によって通信費・人件費等の様々な経費がかかっている。また、製作更新担当職員のスキルによっても、その仕上がりに大きな違いが出、最終的なアクセス件数にも反映されるものと思われる。単純に考えると、アクセス件数が少ないと、1 件あたりの提供コストが高くなり、それが多くなると提供コストは低くなる。組織体制・人員・予算等の問題もあるが、今後、充実した情報発信を行うためには、コスト意識念頭において、コンテンツの充実や研修などによる職員のスキルアップ等により、一層効率的な情報発信を行っていく必要があろう。

埋文センターの情報発信について

<参考にしたホームページ（北から）>

- <http://www.domaibun.or.jp/> （財）北海道埋蔵文化財センター
- <http://www.ao-maibun.jp/> 青森県埋蔵文化財調査センター
- <http://www.vill.inakadate.aomori.jp/maizou/> 田舎館村埋蔵文化財センター
- <http://www.echna.ne.jp/%7Eimaibun/index.html> （財）岩手県文化振興事業団埋蔵文化財センター
- <http://www.vill.takizawa.iwate.jp/section/maibun/> 滝沢村埋蔵文化財センター
- http://www.pref.akita.jp/gakusyu/maibun_hp/index2.htm 秋田県埋蔵文化財センター
- <http://www.yamagatamaibun.or.jp/> （財）山形県埋蔵文化財センター
- <http://www.mahoron.fks.ed.jp/> 福島県文化財センター白河館
- <http://www.maibun.or.jp/> （財）とちぎ生涯学習文化財団埋蔵文化財センター
- <http://www.ibaraki-maibun.org/> （財）茨城県教育財団埋蔵文化財部
- <http://www.saimaibun.or.jp/> （財）埼玉県埋蔵文化財調査事業団
- <http://www.chibaken-bunkazai-center.or.jp/> （財）千葉県文化財センター
- <http://www.inba.or.jp/> （財）印旛郡市文化財センター
- <http://www.kimitsugunshibunkazai-center.or.jp/> （財）君津郡市文化財センター
- <http://www.planet.pref.kanagawa.jp/city/koukogaku/zaidan.htm> （財）かながわ考古学財団
- <http://www.maibun.net/> （財）新潟県埋蔵文化財調査事業団
- <http://www.pref.toyama.jp/branches/3041/3041.htm> （財）富山県埋蔵文化財センター
- <http://www.ishikawa-maibun.or.jp/> （財）石川県埋蔵文化財センター
- <http://www.grn.janis.or.jp/~maibun/> 長野県埋蔵文化財センター
- <http://www.maibun.com/index01.html> （財）愛知県埋蔵文化財センター
- http://www.maibun.gifu-net.jp/f_top.htm （財）岐阜県教育文化財団文化財保護センター
- <http://www.city.kakamigahara.gifu.jp/maibun/> 各務原市埋蔵文化財調査センター
- <http://www.museum.pref.mie.jp/maibun/> 三重県埋蔵文化財センター
- <http://www.shiga-bunkazai.jp/> （財）滋賀県文化財保護協会
- <http://www.kyotofu-maibun.or.jp/> （財）京都府埋蔵文化財調査研究センター
- <http://www.kyoto-arc.or.jp/> （財）京都市埋蔵文化財研究所
- <http://www.occh.or.jp/> （財）大阪府文化財センター
- <http://www.occpa.or.jp/> （財）大阪市文化財協会
- <http://www.city.okayama.okayama.jp/kyouiku/maibun/> 岡山市埋蔵文化財センター
- <http://hmaibun.d-net.co.jp/> （財）広島県教育事業団埋蔵文化財調査室
- <http://www.pref.tottori.jp/maibun/> （財）鳥取県教育文化財団埋蔵文化財センター
- <http://www.pref.shimane.jp/section/maibun/> 島根県教育庁埋蔵文化財調査センター
- <http://www.tokushima-maibun.or.jp/> （財）徳島県埋蔵文化財センター
- <http://kochi-bunkazaidan.or.jp/~maibun/> （財）高知県文化財団埋蔵文化財センター
- <http://www.jomon-no-mori.jp/> 鹿児島県立埋蔵文化財センター
- <http://www.maizou-okinawa.gr.jp/> 沖縄県立埋蔵文化財センター

福島県文化財センター白河館

研究紀要 2004

平成 17 年 3 月 31 日発行

編集 財団法人福島県文化振興事業団
福島県文化財センター白河館（まほろん）
〒 961-0835 白河市白坂字一里段 86
TEL 0248-21-0700 <http://www.mahoron.fks.ed.jp>
発行 福島県教育委員会
〒 960-8688 福島市杉妻町 2-16
印刷 キング印刷株式会社
表紙デザイン 久家三夫

福島県文化財センター白河館
研究紀要2004

