

古代製鉄炉復元操業実験の成果と課題

R3. 3. 14

(公財) 福島県文化振興財団 吉田 秀享

1 鉄とは？

鉄は元素記号 Fe で、原子番号 26 の金属元素です。地球上では、酸素・ケイ素・アルミニウムに次いで多い物質です。人間の体内には 1 Kg あたり 45mg の鉄分があるといわれています。

鉄は、英語で Iron、フランス語では Fer、ドイツ語では Eisen、日本語の旧字体では 鐵（金の王なる哉）と書きます。

鉄という金属は、金や銅のように自然界では単族に存在しません。ただ、宇宙から降ってくる隕石の中に、まれに隕鉄としてみることができます。普通は酸化鉄（砂鉄・鉄鉱石）の状態ではしか確認できません。

このため、「金属鉄」を得るには、砂鉄や鉄鉱石に熱を加えて酸素を取り除き（還元）、炭素と組み合わせて金属を得る作業が必要となります。これがいわゆる鉄生産（製鉄）です。

鉄は、図2に示したように大きく分けて3つの種類

（純鉄・ハガネ・ズク）があります。この3種類は鉄に含まれる炭素量により性状が異なっています。そして、鉄は含まれる炭素濃度により、次のように溶解される温度も異なるのです。

●炭素量：0.04%以下（純鉄）→1,536℃

●炭素量：2.1%以上（銑鉄）→1,140℃

このように、鉄が溶ける温度差は396℃で、実に400℃弱の温度差が同じ金属であるのに生じているのです。したがって、当時の製鉄工人がどのような鉄を生産していたかという彼らのねらいを知ることが肝要なのです。

2 日本の製鉄

日本では、弥生時代から鍛冶炉はありますが、確実な製鉄炉は確認されていません。日本書紀などの文献からは、7世紀には鉄生産の拡大があったのではと考えられています。

●AD 642 倭、百済へ鐵を輸出か？

（日本書紀；皇極天皇元年四月乙未（642年4月10日）、蘇我大臣（蝦夷：えみし）、畝傍の家に百済の翹岐（ぎょうぎ）等を喚びて、親（みづか）ら対（むか）いて語話（ものがたり）す。仍て馬一疋、鐵（ねりがね）二十錠賜ふ。ただ塞上（さいじょう）喚はず）

考古学的には製鉄炉の調査事例から、古墳時代6世紀後半には製鉄生産が始まったと考えられています。

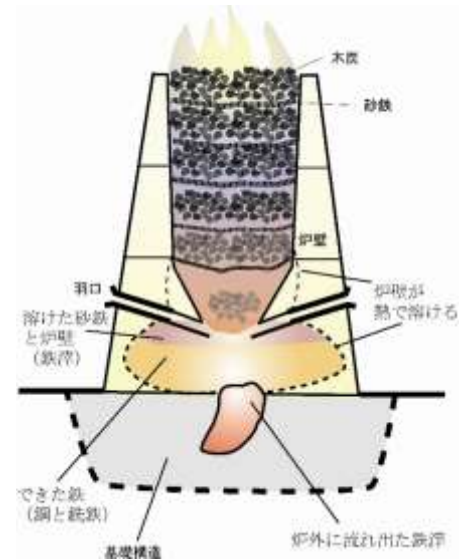


図1 鉄生産のようす

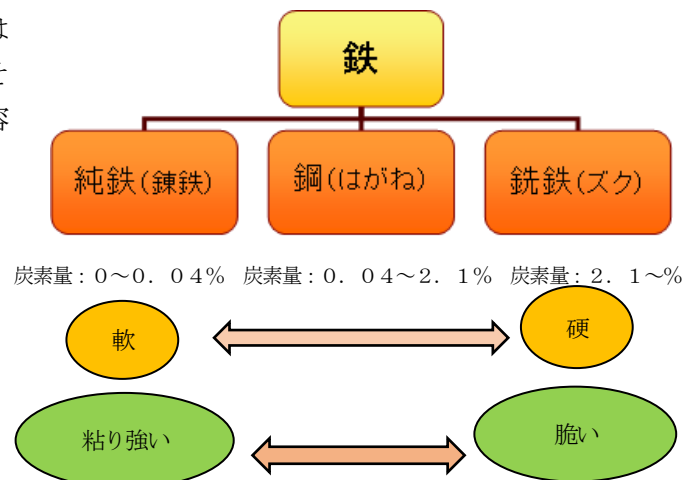


図2 3種類の鉄

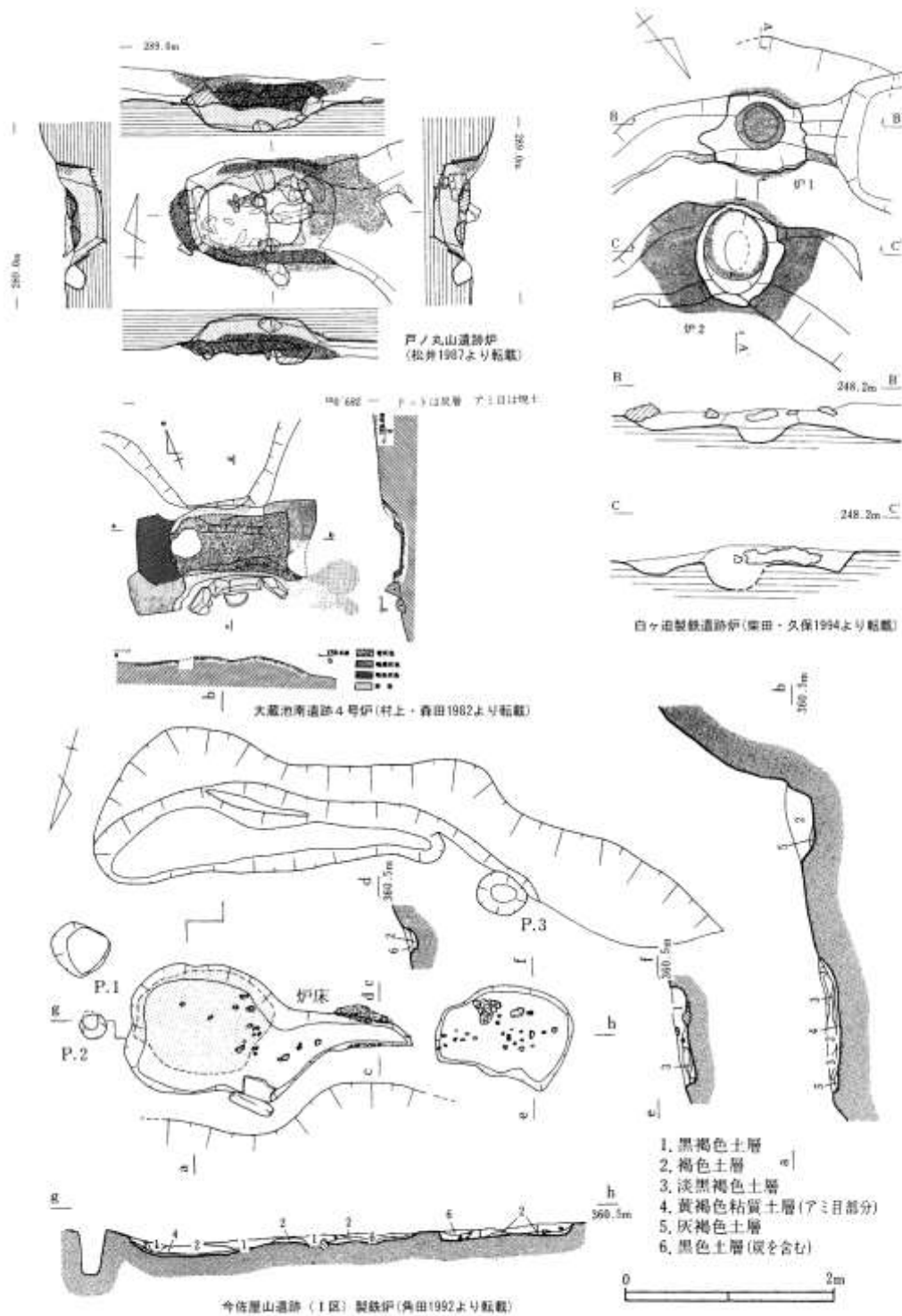


図3 日本の製錬技術—黎明期の製鉄炉—

上の図は、以下の各文献より転載。

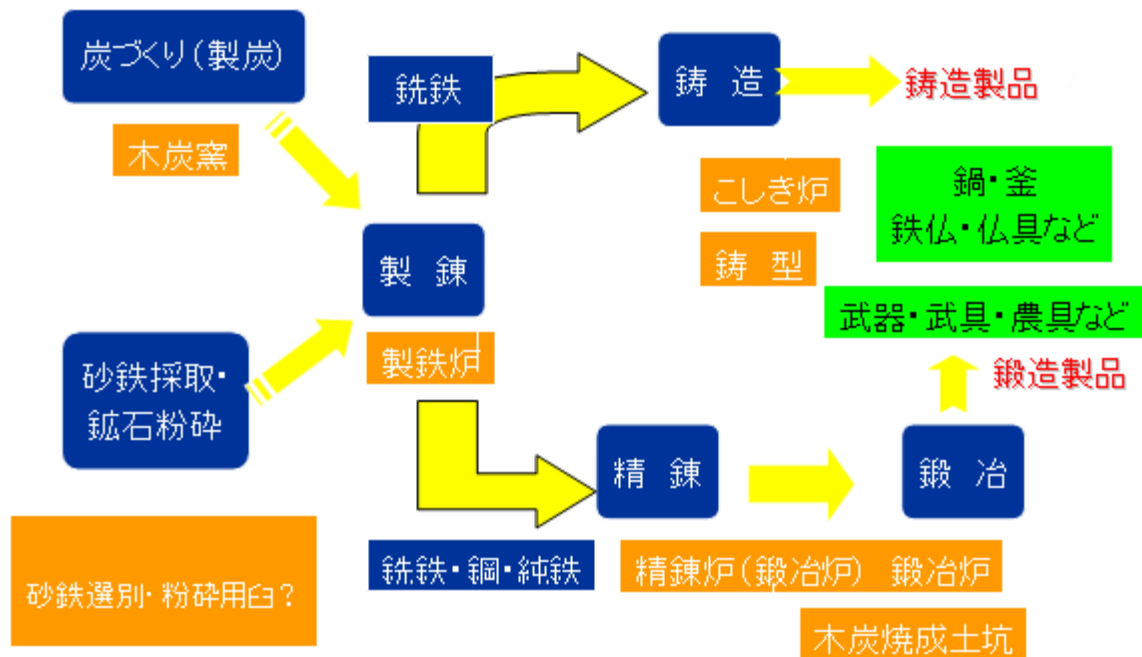
1987 松井和幸 「戸の丸山製鉄遺跡発掘調査報告書」 広島県埋蔵文化財センター調査報告書第62集

1994 柴田治・久保一臣 「白ヶ迫製鉄遺跡」 広島県三良坂町文化財調査報告書第2集

1982 村上行雄・森田友子編 「大蔵池南製鉄遺跡群」 久米開発関連事業に伴う埋蔵文化財調査報告書4

1992 角田徳幸 「今佐屋山遺跡」 中国横断自動車道広島浜田線建設予定地内埋蔵文化財発掘調査報告書IV

3 古代の鉄生産工程



4 福島県相双地域の2つの古代製鉄炉

古代製鉄遺跡の発掘調査により、福島県相双地域では飛鳥時代7世紀後半に箱形炉が導入され、奈良時代8世紀後半には竪形炉も導入されます。そして、その後は、箱形炉と竪形炉の2種類の炉によって操業が行われるという、当時の日本国内では非常にまれな地域であることがわかってまいりました。また、送風に土管（羽口あるいは通風管）を使用することも、当該地域の特徴の一つであることもわかってきました。

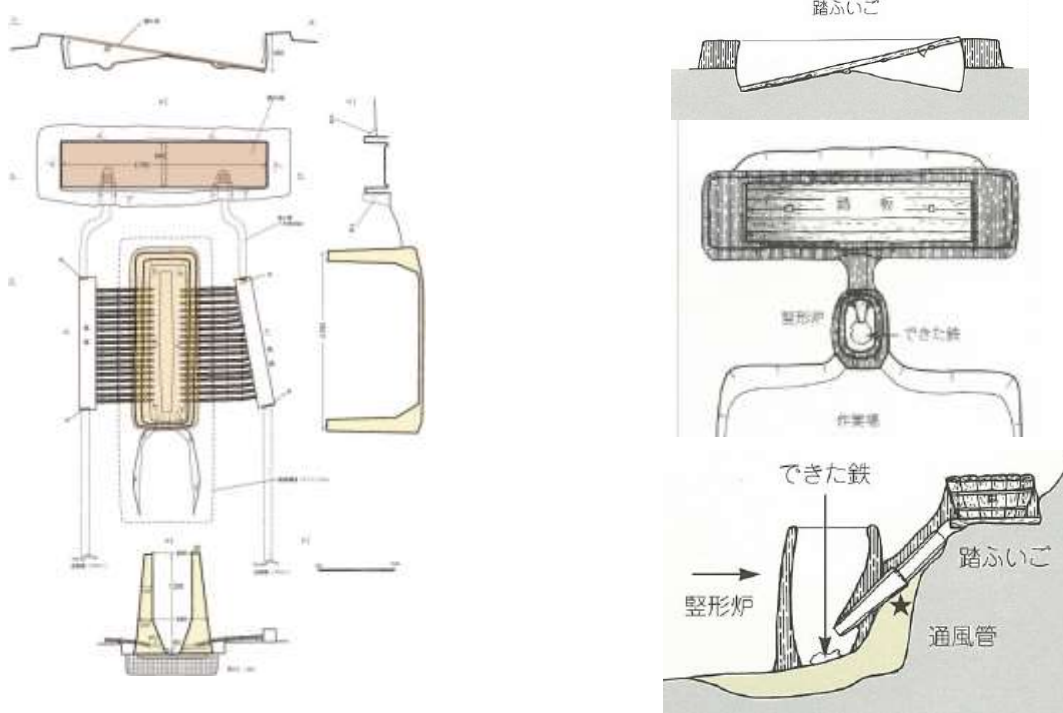


図4 箱形炉（左）と竪形炉（右）

この他、操業の際に発生するカス（鉄滓類）を集積した場（廃滓場と呼んでいます。）からは、大人の手の親指第一関節程度の大きさの鉄塊が出土します。これらの鉄塊の炭素量を調べてみると、含有炭素量からその製鉄炉で生産された鉄の種類が確認でき、そこから当時の製鉄工人の狙いが推測できることがわかってきました。その結果を示したのが表 1 です。

表 1 遺跡出土の鉄塊の炭素量（すなわち鉄の質）

遺跡名	製鉄炉番号	炉 形	時 期	T. Fe (%)	炭素量 (%)	推定さ れる鉄	備 考
鳥打沢A	15・16号炉	箱形	8c代	97.0	3.180	銑鉄	両側廃滓
横大道	4号製鉄炉	竪形	8c後半	—	3.580	銑鉄	
大船迫A	2号炉	炉形不明	9c前半	96.8	2.540	銑鉄	
横大道	1号廃滓場	箱形	9c前半	—	3.290	銑鉄	
猪倉A	1号炉	箱形	9c後半	—	2.900	銑鉄	
猪倉A	2号炉	箱形	9c後半	—	2.720	銑鉄	
猪倉A	5号炉	箱形	9c後半	—	2.920	銑鉄	
大迫	1号炉	箱形	9c後半	—	1.240	鋼(高炭素鋼)	
猪倉B	1号炉	箱形	9c後半	97.0	2.330	銑鉄	
大迫	4号炉	炉形不明	10c代	91.0	0.840	鋼(高炭素鋼)	
	4号炉	炉形不明	10c代	—	2.240	銑鉄	

* 各遺跡報告書の分析結果から抜粋 * 大迫4号炉試料は、同一鉄塊。測定場所により、炭素量が異なる。

この表からは、箱形炉・竪形炉どちらの炉でも炭素量の高い銑鉄（ズク）を生産していたことと、そして奈良平安時代の8～9世紀前半の長い期間にわたって、銑鉄（ズク）を作り続けていたことも理解できます。また、10世紀になると、銑鉄（ズク）も鋼（ハガネ）も確認できるような鉄生産がなされていたことも垣間見てとれます。

5 古代鉄生産への疑問と操業実験

以上のような調査成果から次のような疑問が発生しました。

疑問 1 なぜ、古代相双地区では、異なる形状の製鉄炉で銑鉄（ズク）を生成しているのか？

疑問 2 なぜ、古代相双地区の製鉄操業では、羽口や通風管といった送風用の土管を必要とするのか？

これらの疑問への解決に近づくため、10年ほど前から実際に写真1・2に示したような箱形炉と竪形炉、それぞれの炉で操業実験を行っています。このうち、箱形炉での実験操業は、まほろんで行いました。

復元した製鉄炉は箱形炉が南相馬市原町区の大船迫A遺跡15号製鉄炉、竪形炉が同市小高区の横大道遺跡5号製鉄炉です。前者が平安時代9c前半で、後者は奈良時代8c後半の炉です。

操業実験では、古代の製鉄工人が見たであろう「鉄」そのものを、未だ見ることはできませんが、徐々に古代製鉄工人が生産した鉄に近づいています。



《箱形炉》

福島県南相馬市原町区にある大船迫A遺跡15号製鉄炉。

平安時代9世紀前半に使用され、廃絶された箱形炉である。

送風装置として踏みふいごが設置され、この長軸に直交するように炉が配置されている。

操業時間：30時間32分

投入木炭量：937.4kg

(炉満タンになるまで220kg)

投入砂鉄量：306kg

生成鉄：51kg

(砂鉄投入量の17%)

(炭素量0.19~1.72%の亜共析鋼から過共析鋼 一部にネズミ鑄鉄の組織確認)

羽口角度：12°



生成鉄

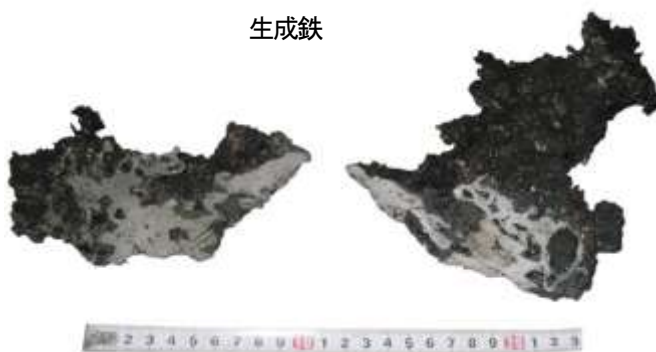


写真1 箱形炉の操業実験



《豎形炉》

福島県南相馬市小高区にある
横大道遺跡5号製鉄炉。

奈良時代8世紀後半に操業さ
れた豎形炉である。

斜面の高低差を利用し、斜面
上方に送風装置として斜面下
にバケツ形の炉が構築されて
いる。

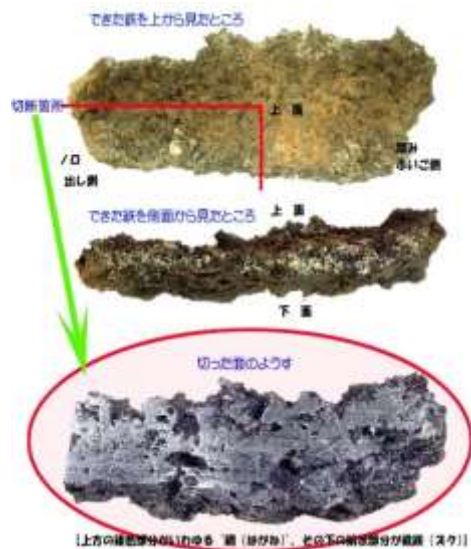


写真2 豎形炉の操業実験

(愛媛大16・17号炉(奥))

表2 豎形炉の操業実験結果

炉名称 実験日	木炭	砂鉄	生成鉄	送風
愛大17号炉 (H24. 9. 22)	129.5 kg	60.5 kg	3 kg	踏みふいご
立子山1号炉 (H25. 9. 22)	129.2 kg	33.3 kg	2.99 kg	ブロア
立子山2号炉 (H26. 5. 31)	119.6 kg	49.3 kg	9.947 kg	ブロア



箱形炉(まほろん1号炉)操業結果
 操業時間:15時間36分
 投入木炭量:279.1kg
 投入砂鉄量:132.3kg
 生成鉄:34.0kg
 (砂鉄投入量の26%)
 炭素量0.17%の低炭素鋼
 廃滓量:60.2kg
 羽口角度:30°

写真3 箱形炉での生成鉄塊



縦形炉(立子山2号炉)操業結果
 操業時間:9時間42分
 投入木炭量:119.6kg
 投入砂鉄量:49.3kg
 生成鉄:9.95kg
 (砂鉄投入量の20%)
 通風管角度:55°

写真4 縦形炉での生成鉄塊

6 操業実験から推測される古代製鉄技術

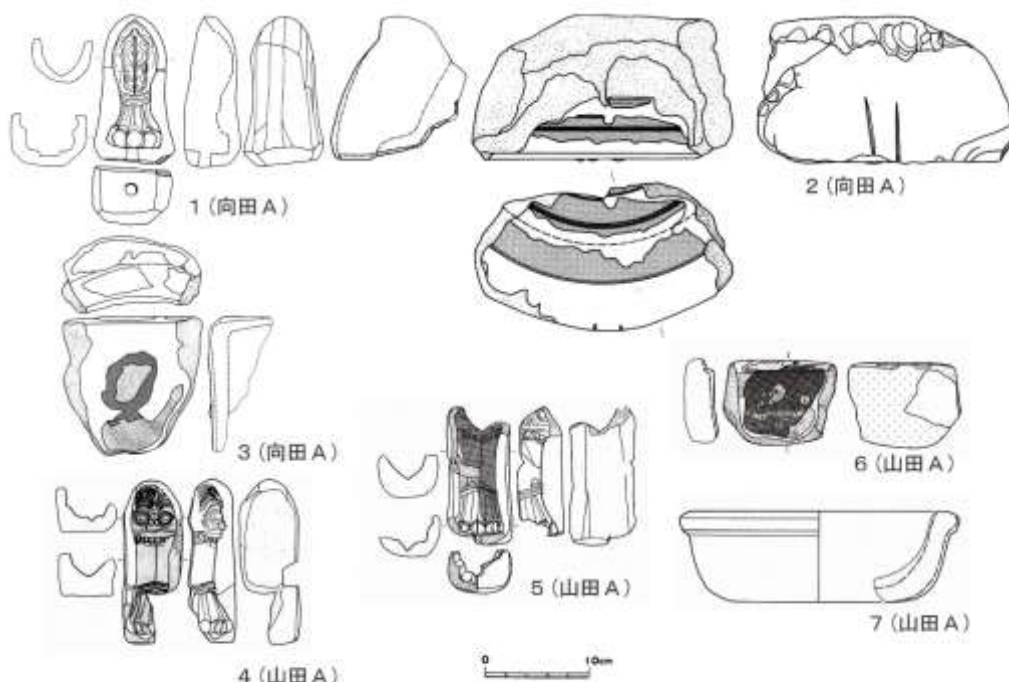
- 箱形炉の操業実験は、炉の長さ2m60cmという大規模なものであったが、この箱形炉の操業時間は、少なくとも2日間以上(48時間)であった可能性が高いと考えられる。
- 1回の箱形炉の操業に使用する砂鉄・木炭・粘土の量は？
 推定で…… 砂鉄:1.2t 木炭:2.5t 粘土:2.9t と試算できる。
- 箱形炉の3回の実験から、送風用の羽口の設置角度が12°と比較的浅い場合は、銑鉄(ズク)の生産、逆に30°前後の急な場合は、鋼(ハガネ)をねらった操業が考えられる。
- 縦形炉の操業実験は、炉の高さが1m90cm~2m40cmと箱形炉の1m20cmと比べ、70~120cmも高い炉となった。そして、生成物された鉄は、炭素量の高いズクのみという、箱形炉とは異なった生成物を得る結果となった。

これらのことから、相双地区の古代製鉄生産に関わる箱形炉と縦形炉が並立するナゾに対する一つの答えとして、次のような推測を考えています。

- 1) 竪形炉は、基本的に銑鉄（ズク）の生成が比較的容易な炉であること。これに対し、箱形炉での銑鉄（ズク）の生成は、非常に困難であること。
 - 2) 福島県浜通り北部（相双地域）で採取できる砂鉄は、砂鉄に含まれる鉄分の値が低く（T.Fe：40～49%）、逆にチタン成分が高い（TiO₂：16～41%）という、銑鉄（ズク）生産のための原料としてはあまり良質ではない原料であったこと。
 - 3) このため、“鉄づくり”を命じられた古代の製鉄工人がとった打開策は、羽口や通風管といった土製の管を炉壁に装着して送風を維持する技術の開発だったのではなかったか。
 - 4) そして、生産量が多いが失敗する確率が高いハイリスク・ハイリターンの箱形炉での銑鉄（ズク）操作のみでは、失敗した際の需要が賄えないことから、ローリスク・ローリターンの竪形炉での銑鉄（ズク）生産も同時に操作する方策を選択したと考えられること。
- 2つの炉の同時存在は、相双地方の悪しき砂鉄原料でも、なんとか需要をかなえようとした福島の製鉄工人、すなわち先人たちの創意工夫の賜物だったのではないだろうか。今後は、この推測の是非を課題としながら、少しでも当時の製鉄工人の技に近づきたいと思います。

7 鑄造遺跡から出土した鑄型

福島県相双地区の古代製鉄遺跡のもう一つの特徴として、鑄型に鉄を流して鑄鉄製品を製作する鑄造遺跡があります。主な時期は、平安時代9世紀前半です。このうち、様々な製品を製作した鑄造遺跡が、新地町向田A遺跡と相馬市山田A遺跡です。



これらの遺跡では、獣脚付き容器（羽釜タイプと火舎香炉タイプのもの）や梵鐘・風鐸などを製作していました。

それでは、鑄造遺跡から出土した鑄型をベースにして復元した獣脚付き容器について紹介します。

図5 向田A・山田A遺跡出土の鑄型

【羽釜タイプの獣脚付き容器】

上釜鋳型：図5-2

下釜鋳型：図5-3

獣脚鋳型：図5-1

【獅噛タイプの獣脚付き容器】

容器部鋳型：図5-7（中子）

図5-6（外子）

獣脚鋳型：図5-4・5

これらの鋳型から復元した鉄製品が羽釜タイプ（図6-1）、獅噛タイプ（図6-2）です。

この復元作業を通して、次の疑問がわきました、

疑問3 鉄製品の鋳込みで必要な鉄の量はどのくらいか？また、鋳型への鋳込み作業では、どのような道具が必要なのか？

8 鋳型から復元した鋳造作業で分かったこと

この疑問3の解答として、鋳型にシリコンを流し込んで1本のネコ脚形の獣脚に必要な容量を測定したところ、鋳型の大きさ、特に長さによって、おおよそ4種類の容量に分けられました（図7参照）。

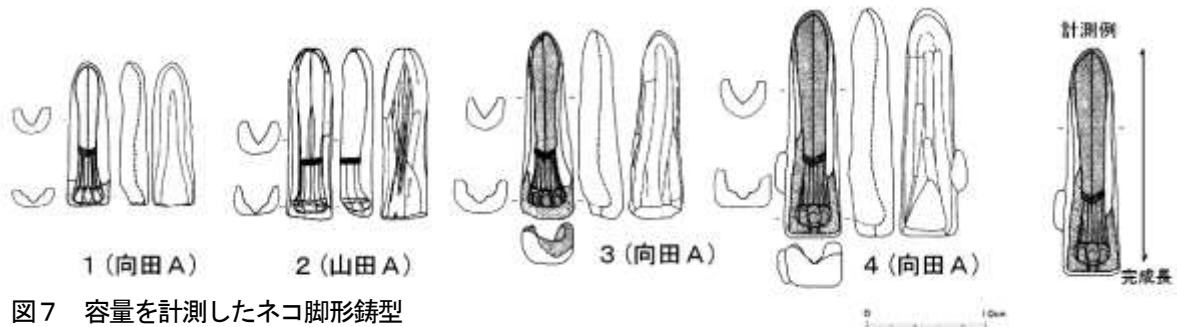


図7 容量を計測したネコ脚形鋳型

- | | |
|---------|-----------------------------|
| ① “小” | （図7-1）…完成長；11cmほど、容量；20ccほど |
| ② “中の小” | （図7-2）…完成長；14cmほど、容量；40ccほど |
| ③ “中の大” | （図7-3）…完成長；15cmほど、容量；60ccほど |
| ④ “大” | （図7-4）…完成長；18cmほど、容量；80ccほど |

この他、獅噛獣脚（図5-4）や、唐草文の獣脚（図5-1）では、容量は120ccほどであり、長さ35cm前後の特大の獣脚では500cc、もっとも大きな獣脚では1,350ccも必要であることが判明しました。

これらの獣脚は、基本的に3本1組で構成されますので、最低でもこの3倍の鉄の量が必要であることが推測できました。そして、容器分も含めた必要な鉄の量は……例えば図5-7の容器鋳型に、図7-1の“小”タイプの獣脚鋳型(20cc)が3本組み合わせて鋳込まれたとすると、

*容器分(≒直径26×器高7×器壁0.3cmの円柱形で計算)： $(13 \times 13 \times 3.14 \times 7) - (12.7 \times 12.7 \times 3.14 \times 6.7) = 321.40$ + 獣脚3本分：60=381.40 となりますので、1回の鋳込みで、380cc以上の容量が必要であると理解できます。

これが、最も容積の大きい特大の獣脚では3本で4,050ccも必要であり、さらに容器分を加えれば5ℓ以上の容量であったと推測できます。

このような大量の鉄を鋳型に流し込むには柄杓が必須であり、そのための道具として、向田A遺跡から出土した片口の容器鋳型を想定しています。

計測できた資料は少ないものの、片口の容器鋳型には、およそ口径 19 cm 前後で、器高が 6 cm 前後のものがあります。この鋳型から容積を計算すると、約 1,700cc となりますので、これなら十分な湯量が確保できます。

実際、図 8-3・4 に示したような取手付の鋳鉄製品が確認されています。ただ、これらや前述の片口の容器鋳型については、鉄ナベと考える研究者が大半です（2017「古河川戸台遺跡をめぐる諸問題」古河市歴史シンポジウム実行委員会）。

9 おわりに

古代の製鉄工人と同じような原材料によって、古代の人々と類似した体験や、実際に鋳型からの鑄造作業を味わってみると、机上の考えがいかに脆いものか、技術の復元とはいかに困難なものかがわかります。

考古学は“人々が生きてきた痕跡の追認”だと痛感しているこの頃です。



図 8 柄杓と取手付鋳鉄製品

[主な文献]

吉田秀享 2005 「まほろんイベント「鉄づくり」報告」『福島県文化財センター白河館研究紀要 2004』

吉田秀享 2006 「平安時代の鋳鉄製品」『福島県文化財センター白河館研究紀要 2005』

吉田秀享 2007 「まほろん 2 号炉による製鉄操業—平成 17 年度「鉄づくり」イベント報告」『福島県文化財センター白河館研究紀要 2006』

能登谷宣康 2009 「まほろん 3 号炉による製鉄操業—平成 19 年度「古代の鉄づくり」イベント報告」『福島県文化財センター白河館研究紀要 2008』

謝 意 昭和 59 年 4 月に（財）福島県文化センター事業第二部遺跡調査課に勤務して早いもので 37 年が過ぎました。その間、遺跡の発掘調査や、まほろんでの啓発普及・遺構遺物からの復元事業等に関わることができ、さらに埋蔵文化財保護行政の一端も経験することができました。仕事とはいえ、このような多くの業務に携えたことが糧となり、本日の内容となっています。今までの多くの関係者と諸先輩、同僚、仲間たちに厚く御礼申し上げ、講演を閉じます。

長い間、本当にありがとうございました。