



わが国における製鉄技術の歴史 —主としてたたらによる砂鉄製錬について—

舘 充*

History of Iron and Steel Making Technology in Japan
—Mainly on the smelting of iron sand by Tatara—

Mitsuru TATE

Synopsis : Iron making from iron sand in Chugoku district began soon after the introduction of iron ore smelting by the low shaft box-type furnace in the middle of the sixth century and it rapidly spread all over the country, but Chugoku district continued to be the center of its progress. The process consistently developed throughout the ancient and the medieval times towards more elevated furnace temperature by means of increased furnace volume, improved underground facilities for moisture elimination and increased blowing capacity of bellows. The development resulted in the birth of Tatara as the finally-evolved box-furnace on the one hand and in the change of the chief product of smelting from lumpy mixture of metal with slag or a large metal block involving some slag to molten pig iron (Zuku) on the other hand. The priority production of Zuku led to the invention of the two-stage refining process for its conversion into wrought iron (Ohkaji) in the 17th century. Zuku-making by Tatara and refining by Ohkaji formed Japanese indirect wrought iron making system.

Metal block (Kera), which was formed in Zuku making from a sort of iron sand hard to fuse (Masa) compared with another sort of iron sand (Akome), proved to contain about 50% parts of steel high in carbon content, which, naturally, were taken out by hammering after the rough crushing by falling-weight method.

Because of economical disadvantages mainly due to inefficiency of iron sand smelting, Japanese indirect iron making system could not survive after 1923 in spite of several successes in developing new iron making process of blast furnace-type. However Tatara is preserved as a technical heritage and is still operated several times a year for direct steel making through Kera.

Key words: iron sand, Akome, Masa, Tatara, low shaft box-type furnace, underground moisture-eliminating facilities, box-bellows, tread-bellows, improved tread-bellows, metal block, Kera, molten pig iron, Zuku, two stage refining, Ohkaji, falling-weight method

はじめに

砂鉄を原料とする近世たたら製鉄法は明治期まで日本式間接製鉄法体系として存続し、また直接製鋼法としては現在も技術遺産として継承・保存されている。本稿はこの製鉄法の技術的側面についてその起源から産業としての終焉にいたるまでの歴史を述べようとするものであるが、中世以前の歴史については、近世以降のたたら製鉄法の諸知見に立脚して、諸史・資料を総合的に評価し、さらには仮説を導入する方法をとらざるをえない。したがって本稿では首題に関する今日までの認識の到達点を示し、さらには未解明の問題を摘出することをめざしたい。

1. 前史¹⁾

わが国の鉄の歴史は製鉄の開始に先立つ鉄器の導入によって始まる。すなわち早く弥生期に中国製の鍛造・铸造鉄製農工具が輸入され、やや遅れて鉄の武器も導入された。

その素材は塊錬鉄 (= 海綿鉄)、鑄鉄、可鍛鑄鉄、鑄鉄脱炭鋼、炒鋼など古代中国で造られたほとんどすべての品種に及んだようである。これらの鉄器は弥生人の鉄に関する知見を豊富にただけでなく、弥生後期には鍛錬鍛冶による鉄器国産化のさい原材料として用いられたと考えられている。また弥生末期には韓国から舶載された鉄や製錬系鉄塊 (未分離の鉄滓を含む製錬生成鉄塊) などをも原料として精錬鍛冶も始まったとされている。精錬鍛冶の重要な役割は鉄滓の除去による清浄化と組成の均一化であったとみられるが、鍛冶原料の一部として銑鉄 (鑄鉄) のような高炭素材を用いることがあったとすれば、脱炭精錬も行われたと考えねばならない。しかし古代中国で発明された炒鋼法のような一原材料の溶融・攪拌下の酸化を特徴とする一プロセスが導入された形跡はない。なお精錬鍛冶の最終製品は低炭素可鍛鉄材—軟鉄、古典的な用語は鉄、和語はなまがね、またはねりがね—であって、焼入れ硬化性の顕著な中・高炭素鋼材—古典的な用語は鋼 (刃鉄)、和語ははがね—ではなかったと考えるべきであろう。

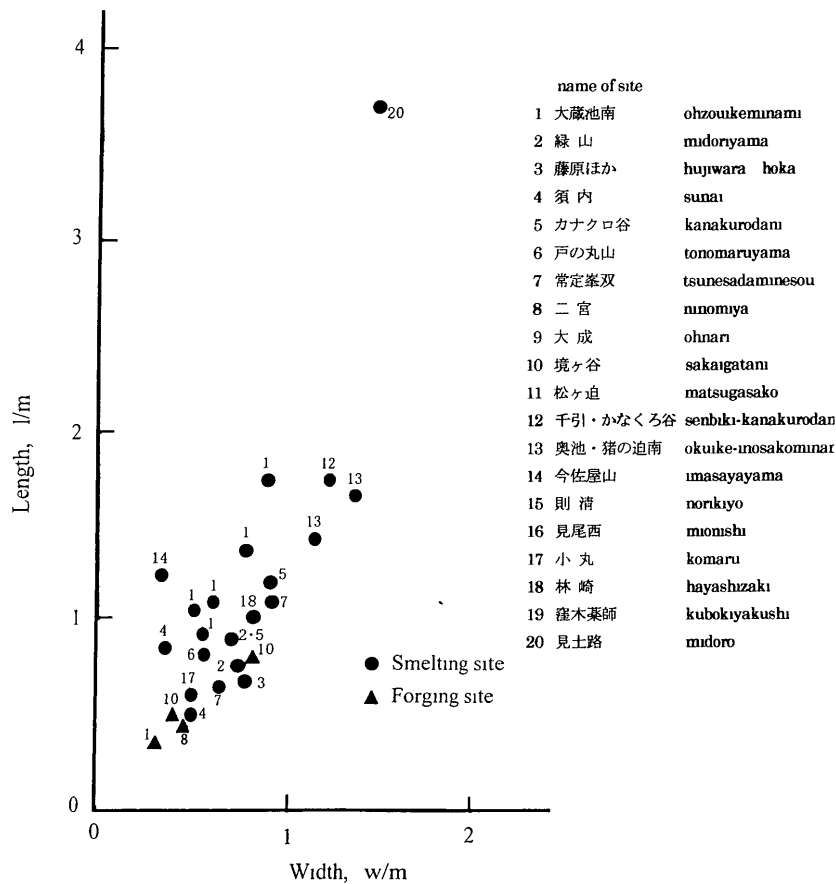


Fig. 1 Dimensions of furnace sites in the tumulus times.

弥生期に製錬も始まっていたのではないかと考える識者は少なくないが、その有力な根拠とされる小丸遺跡（広島県三原市）は¹⁴C年代を3世紀とすることに疑問があって、確たる証拠と認められるにいたっていないようである。

2. 製鉄の始まり

今日遺跡調査結果の裏付けを伴って遡り得る製鉄の始まりの時は古墳時代後期の6世紀半ば、所は広島県東部から岡山県にまたがる地域、すなわち古代吉備地方に属する地域である。鉄山必用記事1・10節の題名「製鉄の始まりは備中の国とされる訳」には理由があったということであろうか。当初の原料は磁鉄鉱であったが、6世紀後半には砂鉄が用いられるようになり、やがてその資源の賦存条件から全国的に主原料となった。初期の製錬炉は「浅い土坑状の地下構造の上に設けられた、内径45 cm前後の円形あるいは隅丸方形気味の平面形をもつ、土製の小型」炉²⁾で、両長辺側の「炉壁基部に12 cm前後の間隔で穿たれた複数の小さな通風孔」²⁾から強制送風し、両短辺部から左右に排滓するものであった。炉の高さは明らかでないが、長方形気味の横断面、長辺側に置かれた複数の羽口という箱形炉

の特徴を端的に備えていたといえる。事実古墳時代の製鉄炉跡炉底（被熱）面の長さ対幅の測定値が傾斜角45°以上の直線の周りに分布していることは、この特徴が基本的なものであったことを物語っている(Fig. 1³⁾¹⁾。この特徴はまた円形ないし方形断面で、単一羽口を備えた中国・韓国型の豎形炉とは異なる系譜を示唆している。送風手段としてはおそらくは小能力の吹皮（獣皮製袋鞴）が用いられたと考えられ、炉温が十分高くなかったため、製品は未分離のスラグを含有する小鉄塊であったとされている。したがってその精錬はスラグの熔融分離と組成の均一化による軟鉄材の製造であったと思われる。

わが国の製鉄が砂鉄を主原料とした理由は何か、また世界的に類例の少ない箱形（低）炉による製錬法の由来は何かは、今日依然として未決着の問題である。前者について穴澤は最近中国（鞏県鉄生溝）や韓国（石帳里）の塊鉄製錬遺跡で遺棄された砂鉄粒子大の粉鉄が多量に発見されたことから、塊鉄石の破碎などによって発生した粉鉄の利用が図られた可能性を想定し、この発想がわが国に導入され、いたる所で容易に採取しうる砂鉄の活用につながったかもしれないという見解を述べている²⁾。確かに塊鉄製錬では最適粒度をめざして破碎が行われることが多く、そのさい篩い

† Fig. 1中の20は最近中世の遺跡と訂正されている。

下として粉鉱が発生する可能性は強いが、磁鉄鉱のような緻密な鉱石は生では破碎し難いという問題がある。ただし穴澤自身も言及しているように、鉱石が風化によって粉鉱として賦存する場合もある。例えば中国の福建省や浙江省では古くから砂状磁鉄鉱を産出することで知られている⁴⁾。さらに粉鉱の利用は箱形低炉による製錬という着想へと導く可能性が強いということが重要であろう。海外における箱形低炉の実例は俵によって紹介されたカンボジアの例⁵⁾があるだけであり、しかもそこでどんな原料が用いられたかは不明であるが、箱形低炉による砂鉄製錬の起源は粉鉱製錬を行っていた所とみるべきではなかろうか。

なお箱形低炉による砂鉄製錬法は律令国家の関与のもとにまず急速に西日本各地に広がり、さらにその波は7世紀後半には東北地方南部にも及んだ。一方、8世紀には関東地方や東北地方南部に板踏鞴（以下踏鞴）を備えた半地下式豎形炉による製錬法が導入された。

3. 古代の製鉄

古代日本の製鉄を特徴づけるのは豎形炉製鉄の全国各地への広がり、中国地方における箱形低炉製鉄技術の発展であった。その特徴の一つは炉長の延長による炉の大型化の進展であり、いま一つは鉄滓層または木炭層を有するに過ぎなかった炉床下部に後世の本床-小舟方式の先駆的形態とみられる防湿構造が出現したことであった¹²⁾。すなわち箱形低炉遺跡の炉底（被熱）面の測定値は長さが5mを越えるものが出現したことを示しており(Fig 2⁶⁾、この測定値から大矢遺跡（安芸）の炉は長さ2m、幅1m強と推定されている。また同遺跡の炉底には長さ3.4m、幅1.3m、深さ0.5mの舟底状に窪んだ部分と、それを取り囲むように両側に弧状に設けられた幅0.6m、深さ0.4mの部分が認められている。舟底状窪みの内側はよく焼けていて、底面には粉炭、その上には鉄滓や炉壁片が充填されており、本床に対応するものとみられる。また両側の弧状の溝は小舟

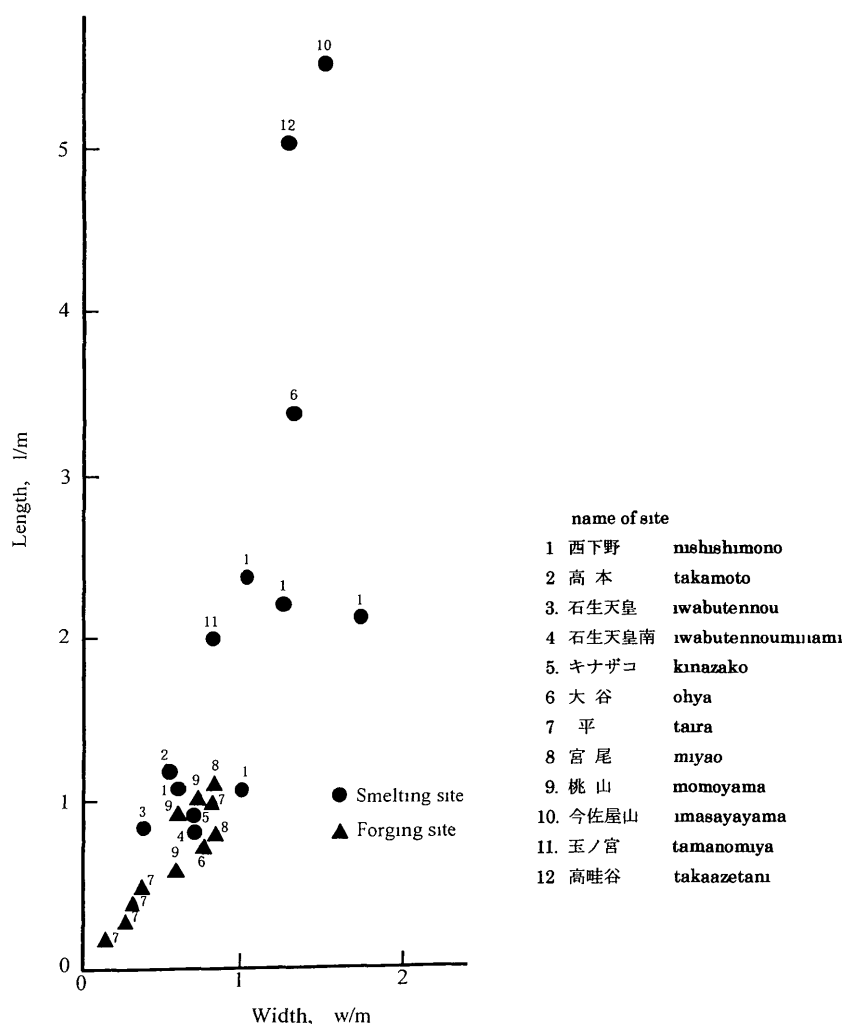


Fig 2. Dimensions of furnace sites in the ancient times.

¹²⁾ 近世たたら炉の本床は炉床下部の木炭充填層とその上部に炭粉叩き固め炉床がつくられる。また小舟は本床の両側に設けられる天井付き空洞部で除湿・防湿の役割を演じる [Fig 4 参照]。なお近世たたら炉とは箱形低炉の最終発展形態を意味し、以下には鑪の字を用いる。ただしプロセス全体を表す場合は「たたら」と書く。

Table 1 Blowing capacity of several types of bellows represented by weight of charcoal burnt in a campaign of Tataru (kg/4 d)

Futatsu-fugo	Fumi-fugo	Yotsu-fugo	Ko-tenbinfugo	Oh-tenbinfugo	Yatsu-fugo
4500~4875	7500	8250	9000	15000	15000
2 B-bellows	2 T-bellows	4 B-bellows	2 SI-bellows	2 LI-bellows	8 B-bellows

B-bellows—Box-bellows worked by hand; T-bellows—Tread-bellows worked by two laborers; SI-bellows

—Improved tread-bellows worked by a laborer; LI-bellows—Improved tread-bellows worked by two laborers.

に相当するものとみられている。もっとも本床状遺構と小舟状遺構はどの遺跡でも揃ってみられるのではなく、今佐屋山（石見）や高畦谷（島根玉湯）などの山陰の大型炉は小舟状遺構を欠いている。このことは箱形低炉技術の発展に地域差があったことを示唆している。

箱形低炉遺跡の調査は多くの場合炉の長辺側に鞴台とみられる台座が設けられていたことを示している。おそらく早くから鍛冶炉用として導入されていた吹差鞴（以下差鞴）を両長辺側に1台ずつ備える方式、すなわち二つ鞴方式が採用されたのであろう。踏鞴は当初から製錬炉用であったためその送風能力が大きく、大矢遺跡程度の炉に2台配置方式で用いるのには過大であったと思われる（後掲のTable 1参照）。9世紀に東北地方で箱形低炉に踏鞴を適用する例が現れたが、短辺側に1台を配置する方式が採用されたのはこのことを示すものであろう。しかしこの方式は両長辺側に置かれる羽口に送風を均等に分配させることに難があって中国地方では採用されなかったのであろう。

以上のように「古代末には製鉄技術の面で画期的な進展」⁷⁾があり、鉄の生産量の増加とともに、銑鉄（和語はずく、なべがね）が多く造られるに至ったとする見解は少なくない。奈良時代には鑄鉄鑄物が造られるようになったという事実や、豎形炉による製鉄では踏鞴の上述の特徴から早く銑鉄が造られたとされる状況を反映するものであろう。しかしこれに先立つ時代にはスラグの分離不十分で小鉄塊が造られていたものであり、技術進歩の総合的効果はまずスラグの完全分離と鉄塊の凝集による大塊化、そして溶銑の自然発生的副産として表れたとみるべきではなかろうか。

なお大矢遺跡では直径0.2~0.6mの小型鍛冶炉と、直径0.7m以上または1.6m×0.6~0.9mの大型鍛冶炉の遺構が見出され、後者は銑鉄用の精錬鍛冶炉であったのではないかとされている⁷⁾が、処理すべき鉄塊の量と寸法の増大も鍛冶炉の規模の増大を招きうることを考慮すべきであろう。銑鉄が生成したとしてもまずそれを鉄塊とともに精錬する段階があるはずである。

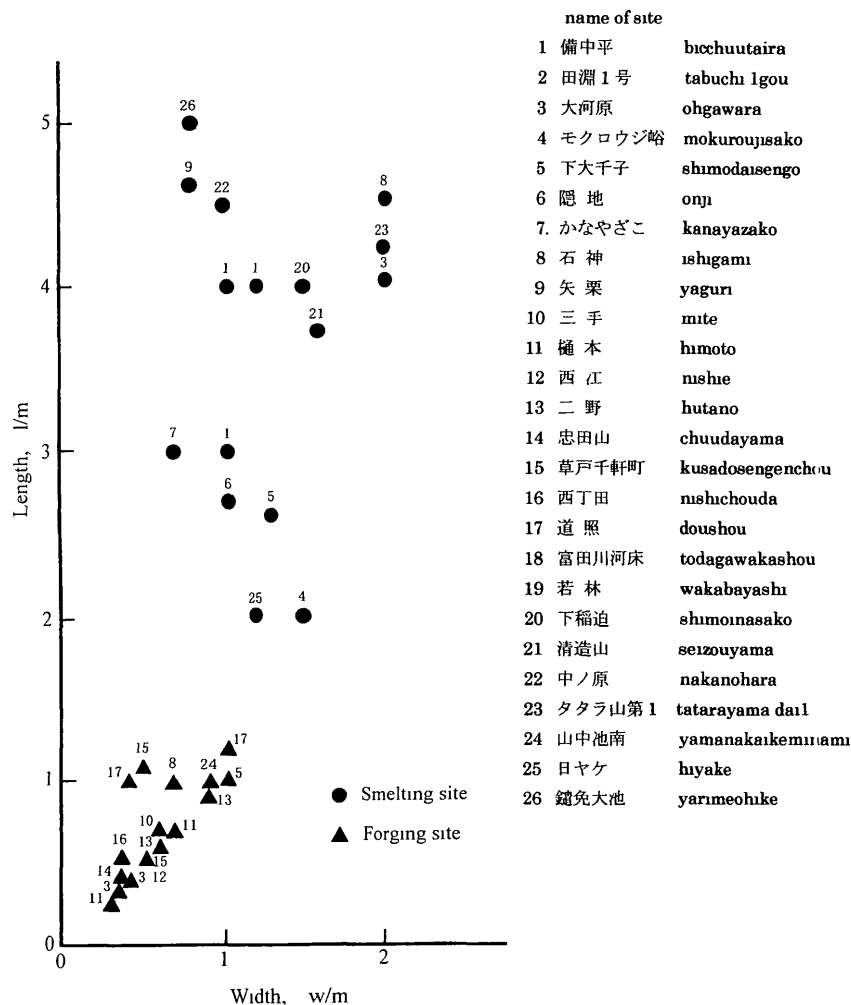
4. 中世の製鉄

中世には中国地方での古代末期に引き続く箱形低炉技術の進歩のもとで溶銑主産の意味での銑押しが可能となったと考えられる。Fig. 3⁸⁾は箱形低炉が炉長を延長する方向で大型化を続け、古代に存在した小型炉が姿を消したことを示しているが、同時に炉長とともに炉幅を顕著に拡大したとみられる二三の例の出現が目される。炉底地下防湿施設についていえば依然として小舟状遺構を欠く例が見られる一方、これを設ける例は着実に増え、加えて覆屋を設けて雨水の浸透に備える例も出現した。15世紀後半ないし室町後期に比定される石神遺跡（安芸）はこのような技術進歩の諸側面のすべてを備えた炉跡の典型であって、炉幅の拡大は鞴能力の増強に見合ったものと推測することができる。すなわち同遺跡の箱形低炉の規模は長さ23m、幅11mと推定されており、近世の天秤鞴（炉長7~8尺=2.1~2.4m、炉幅3~3.4尺=0.9~1.03m）と同規模である。したがってこの段階で1人踏天秤鞴の送風能力に近い能力を有する踏鞴が使用されたと考えられる（Table 1参照）。同遺跡が銑を生成しやすいとされる赤目系砂鉄の産出地帯（山陽）に属していることを併せ考えれば、ここで溶銑主産の意味での銑押しが成立したとみることができよう。

しかし脈石成分が少なく、造滓成分としてのFeOの生成量に敏感で、しかも相対的に高温を必要とする真砂砂鉄を原料とする銑押しには、13世紀の板屋III遺跡（出雲）や18世紀の殿淵山遺跡（出雲）の調査^{10,11)}で報告されたように、溶銑ならぬ高炭素鉄塊—白銑、過共析鉄およびスラグの凝結体—の生成のような問題もあった。したがって真砂砂鉄産出地帯で銑押しが成立し、それによって中国地方全体で銑押しが確立するためには、覆屋付き箱形低炉の大型化、本床・小舟の地下防湿施設の定型化、天秤鞴の発明にいたるまでの鞴能力のさらなる増強¹³⁾を含む箱形低炉製錬技術の一層の進歩が必要であった。そしてそれは近世たたら法への接近にほかならなかった。

銑押しの成立は銑鉄を脱炭精錬して低炭素可鍛鉄（軟鉄）を製造する技術、すなわち大鍛冶の開発を前提とする。また全国を遍歴した鑄物師が14世紀には鑄物製品や鍛冶製

¹³⁾ 鉄山必用記事に「昔の踏鞴では、銑は少量が自然に生成するの任せ、専ら鋸押しを行った」という趣旨の記述がある¹²⁾。これは踏鞴送風の真砂砂鉄製錬で溶銑の自然発生的生成がみられたこと、すなわち踏鞴の採用が真砂砂鉄の銑押しの端緒であったことを示唆するものである。真砂砂鉄製錬への踏鞴の導入の時期は遅くとも16世紀始めと推測される。それはまた四つ鞴の出現を促したとみられる。踏鞴の天秤鞴への改造〔1691年〕は番子労働の軽減を動機とするものであったが、同時に送風能力の増強をもたらし、溶銑の主産化すなわち真砂砂鉄による銑押しの成立に寄与したことは確実であろう。

Fig. 3 Dimensions of furnace sites in the medieval times⁸⁾.

品のほかに打鉄や熟鉄などの材料をも商ったとされる¹³⁾が、熟鉄は銑鉄を原料とする軟鉄を意味する中国渡来の用語であることから、この頃から銑鉄精錬の試みが始まっていたのではないかと推察される。また石神遺跡には大型の鍛冶炉が併設されていたことは知られているが、そこで銑鉄の低炭素可鍛鉄（軟鉄、熟鉄）への精錬が行われたことを示す証拠は発見されていない。板屋Ⅲ遺跡の竪形炉系の精錬鍛冶炉で高炭素鉄塊の精錬が行われたという報告¹⁰⁾にも精錬の実態は述べられていない。脱炭精錬法の探究は、おそらくは銑鉄や高炭素鉄塊を製錬生成物としてのけらすなわち低炭素固体鉄塊とともに精錬鍛冶炉に装入し、その比率をしだいに高めることによって行われたであろう。そのある段階で銑鉄をまず共析組成程度まで脱炭し、次にそれを低炭素鉄まで脱炭する2工程法へと移行したのであろう。こうして1炉構成の大鍛冶法が開発され、それによって銑押し-大鍛冶の日本式間接法が出現したのであろう。なお1炉構成の大鍛冶から左下場・本場の2炉構成の大鍛冶

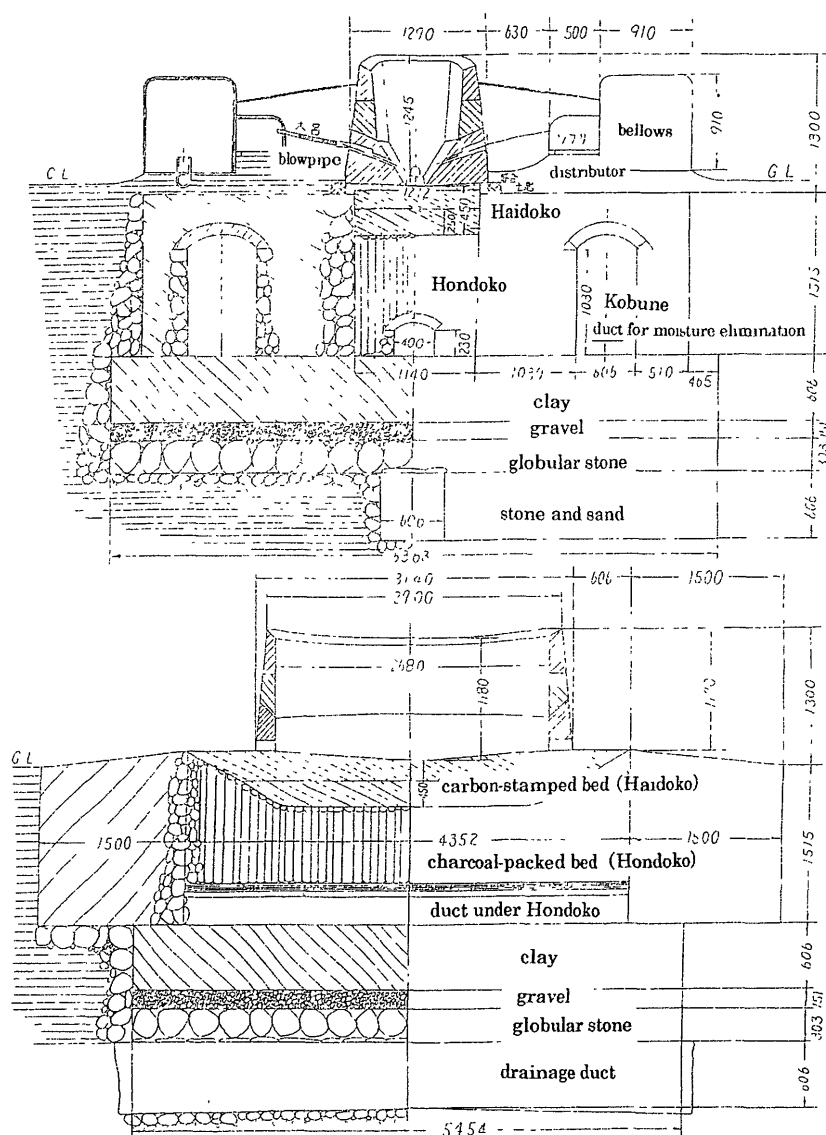
への移行の時期は明らかでないが、出雲の獅子谷遺跡などで17世紀後半には2炉構成の大鍛冶場が出現したことを示す遺構が発見されている¹⁴⁾ことから、遅くとも17世紀後半ということになる。

5. 近世の製鉄

5.1 日本式間接法

近世たたらは大鍛冶とともに日本式間接製鉄法の構成要素として中国地方に出現し、そこで成長し、そこから全国各地に技術移転された。それに箱形低炉の1000年余の発展の到達点であったが、高殿と呼ばれる定型的な覆屋のなかに酸性耐火粘土で築かれ、排水のための床釣りとその上に構築される本床・小舟という定型的な地下防湿施設をもつことを基本的特徴とするもので、高殿たたらとも呼ばれた(Fig. 4¹⁵⁾参照)。それはまた輸送の便に恵まれた場所に広い本山を確保して、洋梨形断面の土窯で所要の木炭（大

¹⁴ 1軒の高殿には1基の鑑炉が築かれたが、東北の南部地方には鋸と呼ばれる建屋のなかに前釜、上釜と呼ばれる鑑炉2基が置かれ、それぞれの職人—中国地方の村下、炭坂、炭焚、本主、番子—に対して大工、炭盛、跡押、本主、番子—によって並行稼働された例がある¹⁶⁾。

Fig. 4 Tatara furnace and its underground construction¹⁵⁾

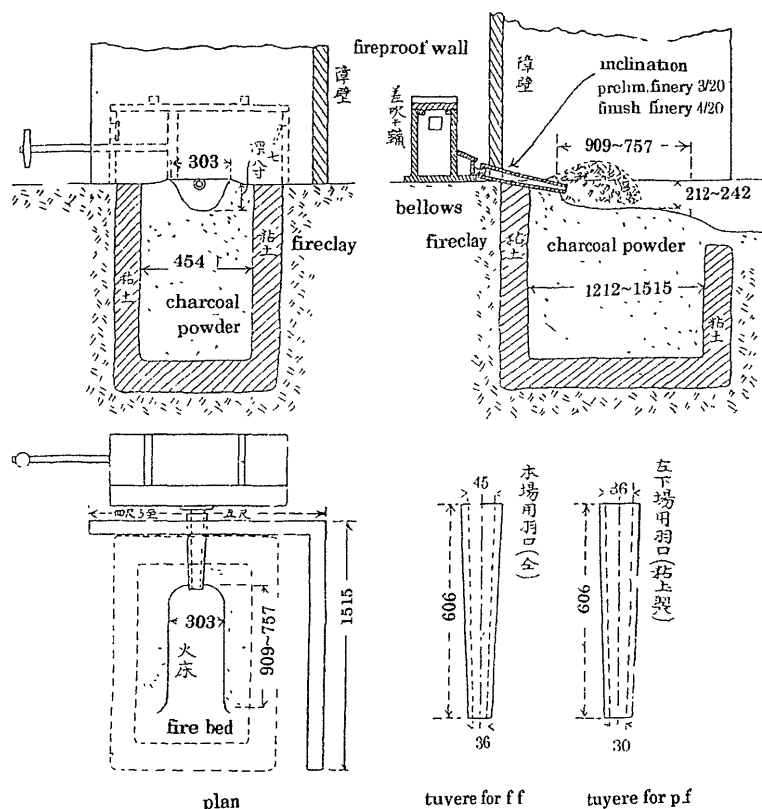
炭)を製造し、長期間立地を変えることなく稼働されたので永代たたらとも呼ばれたが、出雲地区を除いては10年程度で樹木の植え替えのため立地を移動するのが普通であった。その操業は初期には季節を限るなど断続的に行われていたが、18世紀始めには通年的に行われるようになった。ただし炉材が溶剤の役割を兼ね、しかも浸食性の強い高FeOスラグを生成させるので鑪本体の寿命が短く、銑押しでは4日を1代として更新されるため稼働率は低く、月間4代(年間~50代)の操業を標準とした。所要の砂鉄は17世紀初頭に開発された鉄穴流しによる大規模採取によって供給された。

銑押し製の製品構成は原料が赤目砂鉄か真砂砂鉄かで少し違い、前者では銑鉄95%で低炭素濃度の鋳が5%の程度、

後者では銑鉄75%で高炭素濃度部を含む鋳25%の程度であったが、いずれの場合も1代に40駄(=1200貫=4500kg)の銑鉄を製造すべきものとされた。木炭比は3貫/(銑)貫の程度とされていたので、1代の大炭消費量は3600貫(=13500kg)となり、小天秤とも呼ばれた1人踏の天秤轆では送風能力不足ということになる。その対策は最終的には2人踏の大天秤の採用となったと思われる¹⁵⁾。なおその他の設備はほとんど定型化の域を脱しなかったが、本床-小舟の地下施設に関しては、両者の位置関係の変化や両小舟の溝渠による結合などに様々な変種が現れた。Fig. 4は本床下に小舟を有する一例である。

間接製鉄法のいま一つの要素である大鍛冶法の設備(地

¹⁵⁾ 1台に2人の番子が乗る大天秤は両側に1台ずつ、併せて一度に4人の番子が踏み作業を行うという意味で慣例的に4人踏と呼ばれたが、ここでは2人踏と呼ぶことにした。なお鉄山必用記事¹⁷⁾によれば1人踏天秤輪鑪用および2人踏天秤輪鑪用の仲板〔炉長を規定する定尺〕長さはそれぞれ7尺〔=212m〕、1丈2尺〔=364m〕であるので、2人踏天秤輪鑪の出現は炉長3m超とさる大型化を伴ったことが知られる。

Fig. 5 Forging furnace¹⁸⁾.

下防湿施設を有する炭灰造りの火窟、酸性耐火粘土製の火口、差轆から成る)は左下場、本場ともほとんど同様であった (Fig. 5¹⁸⁾参照)。作業は1日に45~63貫(169~236kg)の原料銑(白銑)を精錬するものであったが、炭素濃度が共析鋼程度の左下鉄を造ることを目的とする左下場の工程は本場のそれに比べて非常に速く進行するので、初期には前日に原料銑を一括処理して左下鉄を造り、翌日これを歩鋸などの副原料とともに6回の本場作業によって低炭素濃度の割鉄(和鉄)とするのが普通であった。1回の本場作業は脱炭・鍛錬成形を含めて2h程度であり、製品の歩留は65%以下と低く、割鉄単単位量あたりの小炭消費量は2を下らなかった。

鉄山必用記事は鑪1基は1日45貫の銑を処理する大鍛冶屋4軒分の銑鉄を製造すべきものとしている¹⁹⁾。するとたたら炉は1代に720貫(=2700kg)の銑を生産し、2160貫(=8100kg)の木炭を消費することとなる。この木炭消費量は小天秤の送風能力の範囲内にあって、近世たたら炉の初期の設備能力とよく整合する。事情は大鍛冶屋が1日50貫の銑を処理する場合も同様であるが、1日60貫となれば最早4軒の大鍛冶屋の銑鉄所要量を満たしえないこととなる。この状況は中国地方の鑪数対大鍛冶屋(鑪場附属および鍛冶屋専業)数の1800年前後の比が1.27の程度である²⁰⁾ことと見合うように思われるが、それでは多くの鑪で1代40

駄の銑の製造をめざし、送風能力の増強に迫られたという前述の事情をどのように理解すべきであろうか。

5.2 鋸押し

鉄山必用記事の「昔の踏轆鋸では専ら鋸押しを行った」という前掲の記述は、真砂砂鉄の製錬への踏轆送風の適用による炉温の上昇が少量の溶銑の自然発生的生成とともに、鉄塊の炭素濃度の上昇をも伴い、鋸を含む鉄塊(重鉄)を生成するに至ったと解されるが、この鋸は焼入れ硬化と加工硬化を利用して破碎される共析鋸、すなわち延鋸であった¹⁶⁾。

鉄山必用記事はまた「後年に白鋸が造られるようになってから、延鋸というものが流行らなくなった」²¹⁾と述べている。白鋸が延鋸のように加工硬化や焼入れ硬化の処理を施さず、主として重鉄の羽口先部分の手破碎と目視識別により製造されること、破碎片が重さと粒度によって頃物、目白、豆目白などに仕分けられることは近世の鋸造りとはほとんど同様であることから、白鋸含有重鉄は真砂砂鉄を原料とする銑押しのさいに副産される過共析鋸を含む鉄塊、すなわち近世の鋸塊そのものと考えることができる。また白鋸製造のさい堅くて手破碎不能なものは形を整えた後に銅折に掛けるとされていることから、その製造は18世紀後半とされる重量物の落下による破碎法(銅折または銅割)の出現期にまで及んでいたことが知られるが、大重鉄

¹⁶⁾ ここで鋸の字は高炭素鋼を指すが、銑鉄の精錬によって生成したのではなく、直接に生成したものを表す。読みは「にがね」である。

(大鉄塊)の形成は真砂砂鉄による銑押しの問題点の一つであって、銅折はその対策でもあったのである。すなわち白釧の製造は近世の釧造りの始まりであり、その原料としての鋳塊は真砂砂鉄による銑押しの所産であった。

しかし過共析釧を含有する鉄塊としての鋳塊が銑押しの副産物ではなく、主産物の地位を占める鋳押しが成立するまでには数十年の歴史を必要とした。鋳押しの模索は1790年代の割鉄価格の暴落を背景として19世紀初頭から始まった。それは1代4日の銑押し(四日押し)から1代3日の三日押しへと移行することにより、鋳塊の過大化を避けつつその生産比率を50%程度に上げ、低原価を経済的利点とする釧の増産を図るものであったが、鉄山師糸原家の鑪の三日押しの比率は1820年代で20%台、1830年代で50%台であり、それが100%となるのは幕末期(1850年代)のことであった²²⁾。高品質の釧に一定の需要があったことは事実であろうが、過共析釧には割鉄のような汎用性に欠けるという問題もあり、したがって割鉄生産量の維持といういま一つの生産課題を放棄することができなかったのである。

三日押しでは上の二つの課題を解決するため増鉦、増風に努めたとされるが、その効果を明示する近世期の記録は乏しい。銑押し鑪と鋳押し鑪の設備上の相違についても同様であるが、同じ炉で1代の始めには銑押しを行い、終りに鋳押しを行ったという鉄山必用記事の記述もあることから、これに重大な意味があったとは考えにくい。唯一の重要因子は原料砂鉄で、鋳押しは真砂砂鉄に限ることは自明であり、しかも立ち上がり期すなわち籠り期には赤目に近い性状の籠り砂鉄を使用し、上り、下り期には漸次高品位の上り・下り砂鉄に変えることが近代に伝えられている。なお装入方式については銑押しでは木炭先・砂鉄後であるに対し、鋳押しでは砂鉄先・木炭後であることも後世に伝えられている。

6. 近代におけるたたら製鉄

確立期の近世たたら製鉄法(日本式間接製鉄法)の経済性はヨーロッパの木炭高炉-木炭精錬炉方式の間接法のそれとは同等であった²³⁾が、以後近代にいたるまで顕著な改善をみなかったのが、コークス高炉-パドル炉方式のそれには遠く及ばなかった。したがってたたら製鉄は明治維新後、その主産品である和鉄が輸入洋鉄との競争にさらされるに及んで苦境に陥ったが、一方官営釜石製鉄所の挫折後軍工廠以外の製鋼企業が出現しなかったという情勢の下で、山陰の大鉄山師と、山陽の零細鉄山の救済のために発

足した官営広島鉦山を中心として営業を続けた。それは官営八幡製鉄所の生産が軌道に乗った後は再び頹勢に向い、第1次大戦中の鉄飢饉の下で一息を吹き返したものの、結局大正12(1923)年に産業としては廃絶した。

苦境への対策の一つは鋳押し中心の操業を行うことであった。すなわち出雲の鉄山師田部家の鑪の鋳生産割合の実績は(銑押し分を含めて)明治8~12年は平均43%、明治13~16年は平均44%であり、年次は不明であるが出雲全体の明治初年の生産見積もりでも鋳は55%を占めていた。事情は伯耆日野郡の場合でも同様で、鋳押し鑪数の全鑪数に対する比率は明治10~16年の平均で58%であった²⁴⁾。この対策は真砂砂鉄産出地域に限られるものであり、中国地方全体としては鋳生産量の比率はこれほど高くはないが、明治20年代から大正期にかけての統計値は鉄鋼生産全体の顕著な減少基調とともに、この比率が明治20年代には20%台であったものが30年代には30%台に上り、30年代後半には50%前後に達して山陰地域の比重の増大を示している。(なお第一次大戦期には生産量の急上昇とともに銑生産量の比率も90%台に上る)²⁵⁾。

いうまでもなく技術の改良も行われた。その一つはたたら製鉄法の矛盾の一つであった鑪の人力駆動の問題の解決であった。天秤鑪を差鑪に変え、これを水車で駆動する方式はすでに近世期に採用される例もあったが¹⁷⁾、これが広く適用されるに至った。また一時トロンプ(Trompe、流水通風機)方式も採用されたが、この方式では送風が水分を飽和することが知られて廃止された。しかし低稼働率、低鉄歩留(~50%)、高木炭比などプロセスそのものに関わる諸指数の改善を目指す試みは、結局箱形低炉としてのたたら炉を角炉や丸炉などの熱風高炉型の装置に置き換える方向で進められた。この試みは粉状原料としての砂鉄の塊成を伴い顕著な成果を上げたが、同時にTiO₂に由来する障害をも顕在化させ、製鉄原料としての砂鉄の限界を明らかにした。なお大鍛冶法はたたら製錬プロセスの問題の蔭に隠れて、その弱点を問われることが少なかったが、これにもヨーロッパのプロセスに比べて著しく歩留が低いという問題があったことが知られている。

たたら製鉄が近代まで存続したことはこのプロセスの近代科学的・工学的な研究の機会を提供した。その成果はこの製鉄法の産業としてのあり方(手工業的、伝承的方法)とも関連して決して十分ではないが、これに関する今日の科学的知見の多くは俵を始めとする諸先学によって行われた調査・研究^{26~30)}の所産であり、その二三を挙げれば次の通りである:赤目砂鉄と真砂砂鉄の性状の相違、木炭の具備すべき性状¹⁸⁾、銑押しおよび鋳押しにおけるそれぞれ1

†7 鉄山必用記事は薩摩で水車駆動の差鑪が砂鉄製錬と大鍛冶に用いられたと述べている^{31,32)}が、製錬は鑪炉ではなく豎形炉であったとみられる。また岡田は南部藩領鉄山では天保期、八戸藩領鉄山では安政期にたたら操業に水車駆動の差鑪送風が適用されたことを明らかにしている³³⁾。

†8 たたら製錬用の大炭は高揮発分の黒炭で、豎形炉用のように硬さは重視されず、燃焼性が重視された。大鍛冶用の小炭は早くは小枝の伏焼き法で造られていたが、後には窯焼された。

代の操業諸条件と生成物とくに柄実（スラグ）の組成の推移、銑押し鏝と鋳押し鏝の相違点；左下場および本場のそれぞれ1吹きの経過。

7. 生産量の推移

村上是美作国の大治4(1129)年の東大寺返抄案一年貢などの領収書の下書きを指すが、ここでは調鉄、調鉄を含む調・庸の数量とそれらの米換算量、割当戸数などの記録一の検討に基づいて、11世紀初頭の鉄生産量を620t/年と推算している³⁴⁾。製鉄開始期からこの時期までの生産量の増加は律令体制の下で、東日本への豎形製鉄炉の導入を伴って、製鉄が全国的に展開されたことによるものと考えられる。

村上是また近世における主として中国地方の鉄山から大阪市場への鉄鋼の積登高（集荷量）の値と、中国地方の鉄生産の全国生産に占める割合に基づいて、天明初年頃（1780～1782年）の鉄生産量を10300t/年と推定している。（ついで文化14[1817]年に13000tのピークに達した後、1818～1829年には8400tに下落するとしている）³⁵⁾。11世紀始めから18世紀末までの20倍近い増産は主として中国地方における箱形低炉製鉄の発展によるもので、その他の地方の製鉄は豎形炉製鉄の衰退を伴って、東北地方一南部・仙台藩など一箱形低炉製鉄を除いては大きく後退した。なお日本式間接法の展開期の生産量の伸びは鈍く、技術の停滞的傾向を反映している。

おわりに

砂鉄の製錬をめぐる問題はそれが粉状であるということだけにあるのではなく、母岩が酸性か塩基性かによって多寡の違いはあってもTiO₂を含有することにもあった。箱形低炉法では木炭という低温の熱源を用い、高濃度のFeOを含有する低温スラグを生成することを製錬原理としていたため、TiO₂に由来する障害は自ずと回避されていた。しかしこの原理がこの製鉄法のすべての弱点の原因であることが認識されて、熱風高炉型装置の採用によるその克服が目指されるに及んで、その問題が顕在化することとなった。新装置による操業には木炭の調達難という壁があって、コークス高炉なみの大型化も長期操業も行われなかったためか、Ti(CN)の生成による困難は必ずしも重大な障害とは考えられなかったようであるが、いずれにしてもこのことはたたら製鉄法の弱点が砂鉄単味製錬という難しい技術課題の解決に伴う必要悪であったことを示すものであった。このような曰くつきのプロセスの産物を普通鋼製造用の原料銑とすることに自体に問題があったということかもしれない。

なお鋳塊すなわち高炭素濃度部（釧）を含有する鉄塊が真砂砂鉄の製錬によってだけ得られ、赤目（系）砂鉄の製錬によっては得られないという経験は真実であるかどうか、もし真実であるとすればその理由は何かの問題が、釧の生成機構の問題とともに未解決であることを付言する。

文 献

- 1) 藤尾慎一郎：近世たたら製鉄の歴史，丸善，東京，(2003)，2.
- 2) 穴澤義功：近世たたら製鉄の歴史，丸善，東京，(2003)，25.
- 3) 河瀬正利：たたら吹製鉄の技術と構造の考古学的研究，溪水社，広島，(1997)，179.
- 4) 夏 湘蓉，李 仲均，王 根元（編著）：中国古代鉄業開発史，地質出版社，(1980)第5章 第2節.
- 5) 俵 国一：古来の砂鉄製錬法，丸善，東京，(1933)，133.
- 6) 河瀬正利：たたら吹製鉄の技術と構造の考古学的研究，溪水社，(1997)，191.
- 7) 河瀬正利：たたら吹製鉄の技術と構造の考古学的研究，溪水社，(1997)，188.
- 8) 河瀬正利：たたら吹製鉄の技術と構造の考古学的研究，溪水社，(1997)，219.
- 9) 館 充：「前近代における鉄の歴史」フォーラム第2回公開研究発表会講演論文集，(2000)，8.
- 10) 角田徳幸：第11回「鉄の歴史--その技術と文化--」フォーラム講演会論文集，(2003)，22.
- 11) 大澤正己，鈴木瑞穂：志津見ダム建設予定地内埋蔵文化財発掘調査報告書17 殿淵山遺跡・獅子谷遺跡(2) 分析・総括編，(2003)，123.
- 12) 下原重伸著，館 充訳 現代語訳 鉄山必用記事，丸善，東京，(2001)，13.
- 13) Y Asaoka "Mingu" Monthly, 16 (1983), 2690
- 14) 大澤正己，鈴木瑞穂：志津見ダム建設予定地内埋蔵文化財発掘調査報告書17 殿淵山遺跡・獅子谷遺跡(2) 分析・総括編，(2003)，275.
- 15) J Kozuka Tetsu-to-Hagane, 52 (1996), 1765
- 16) 陸中国下閉伊郡岩村早野家文書「萬帳」(上)，(1820)，117.
- 17) 下原重伸著，館 充訳：現代語訳 鉄山必用記事，丸善，東京，(2001)，85.
- 18) G Yamada Tetsu-to-Hagane, 4 (1918), 378
- 19) 下原重伸著，館 充訳：現代語訳 鉄山必用記事，丸善，東京，(2001)，119.
- 20) 土井作治：「近世たたら製鉄の技術」，日本技術の社会史 第五巻，日本評論社，(1983)，98.
- 21) 下原重伸著，館 充訳：現代語訳 鉄山必用記事，丸善，東京，(2001)，164.
- 22) I Takahashi Bull Iron Steel Inst, 1 (1996), 46
- 23) 村上英之助：「近世たたら製鉄法の評価」，近世たたら製鉄の歴史，丸善，東京，(2003)，239.
- 24) T Watanabe J Hist Iron Steel, 42 (2002), 38
- 25) 俵 国一：古来の砂鉄製錬法，丸善，東京，(1933)，7.
- 26) 俵 国一：古来の砂鉄製錬法，丸善，東京，(1933).
- 27) G Yamada Tetsu-to-Hagane, 4 (1918), 348
- 28) 前田六郎：和鉄・和鋼，河出書房，(1943).
- 29) J Kozuka Tetsu-to-Hagane, 52 (1996), 1763
- 30) たたら製鉄復元計画委員会：たたら製鉄の復元とその鋳について，日本鉄鋼協会，東京，(1971).
- 31) 下原重伸著，館 充訳：現代語訳 鉄山必用記事，丸善，東京，(2001)，16.
- 32) 下原重伸著，館 充訳：現代語訳 鉄山必用記事，丸善，東京，(2001)，112.
- 33) K Okada J Min Metall Inst J, 94 (1978), 55
- 34) E Murakami J Hist Iron Steel, 35-37 (1996), 44
- 35) E Murakami J Hist Iron Steel, 33 (1999), 1