



## 鉄の歴史

# 古代に流通した原料鉄と鋼精錬法の特徴

Metallurgical Investigations of the Crude Iron and Smelting Slag Excavated from the Ancient Ruins

佐々木 稔  
Minoru Sasaki

神奈川大学 大学院歴史民俗資料科学研究科  
非常勤講師

## 1 はじめに

古代の製鉄史は、考古学を中心に歴史学（文献史学）と理工学が支援する形で発展してきた境界領域の学問である。三つの学問は研究方法に独自の性格があり、それを容認・尊重して共同研究を行うことが求められる。製鉄史の一側面である製鉄技術史の研究だからといって、この基本的性格を軽視することはできない。読者はまずそのことを理解していただきたい。

今回は本誌に「遺物が語る古代日本の鉄」の題目で、出土遺物についての金属学的解析データの紹介を中心にして、そこから読み取れる“鉄の歴史”を解説した。そこでは読者になるべく自分で考えることを期待し、筆者の見解を押しつけるのは極力避けたつもりである<sup>1)</sup>。

ところで最近数年の間に、製鉄史研究の中では原料鉄の生産と流通の問題が大きく取り上げられるようになった。これは他の生産資材との整合性が求められる要因になり、現在は古代における“モノ”の生産と流通という総合的な研究の一部を構成する方向に進みつつある。

本稿では、古代の原料鉄と流通に関する筆者の見解を試論として述べたいと思う。製鉄遺跡は本題と離れるので、多くは説明しないことにする。

## 2 トルコの古代都市遺跡の調査結果から推定される原料鉄とその処理法

鉄の故郷が古代トルコのヒッタイトにあることは、本誌の読者に異論はないであろう。トルコ西北部アナトリア地方のボアズキョイ遺跡（図1参照）で、BC23世紀頃と推定される第13王墓から金製の柄を嵌めた鉄製の短剣が出土したことは、あまりにも有名である。

同じ地方にある古代都市のカマン・カレホユック遺跡は、

日本調査隊が10年以上にわたって発掘調査を続けており、遺跡の建築層にもとづく文化層の時代区分の研究が系統的に行われてきた。現在のところ、最下層のⅢc層はアッシリア植民地時代（BC20～BC18世紀）に相当すると考えられている<sup>2)</sup>。

遺跡の最下層（調査の当初はⅢc～Ⅲa層の区分はなかった）から出土した鉄滓の外観を図2に示す。化学組成と鉱物組成にもとづいて鋼精錬滓（正しくは鉄を精製したときの鉱滓というべきか）と判定された<sup>3)</sup>。ほかの層位の鉄滓の中に



図1 古代トルコの主要遺跡

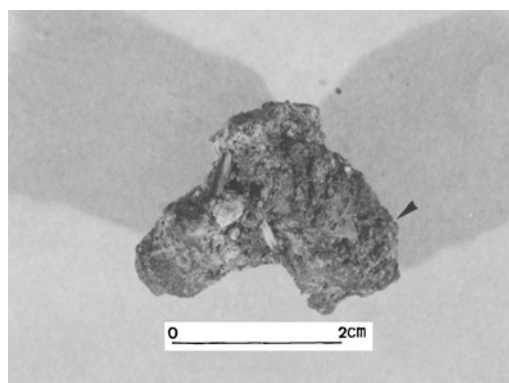


図2 カマン・カレホユック遺跡Ⅲ層出土鉄滓の外観

は、碗型状を呈するものもあると原報に述べられている<sup>4)</sup>。しかし、遺跡内に鉄関連炉跡を発見するに至ってはいない。

図3には、他層出土の7点の鉄滓と合わせて、主要なスラグ成分間の関係を示した<sup>\*1</sup>。CaOとMgO対Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>比が炉壁材のそれよりもはるかに高値となる例が見られる。このような場合は、含CaO、含MgO材料の使用を想定して間違いないであろう。

ほかにⅢc層出土鉄片の金属学的解析を行い、その中の非金属の微小な夾雑物（製鉄技術史の研究分野では鋼製鉄器中の非金属介在物と呼ぶのが慣習的になっている）が見いだされた。当時の鋼精錬技術では、鉄滓が分離しきれずに残ったものと考えられる。その組成はCaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>系であって、鉄滓と基本的に矛盾しないことが分かった。

また時代は下るが、Ⅱa層（BC12世紀～BC333年の間にあるⅡ層はさらにⅡd～Ⅱaの4層に細分されている）から内部に黒鉛化組織の残っている遺物が検出され、銑鉄に近い組成であることが確められた<sup>5)</sup>。遺跡の現地調査に参加した赤沼英男氏によれば、採取・保管されていた200kgを越す鉄関連遺物の中から見つけた、ただ1個の試料であるという。Ⅱa層の時代に、たまたま使われずに残った原料鉄と思われる。

以上の結果から、この“遺丘”内では、外部から搬入した原料鉄を精錬し、その鋼を鍛造・製品化したことが考えられるようになった<sup>\*2</sup>。

古ヒッタイト王国時代には、原料鉄の製造と鋼の精錬・加工の基地は地理的に離れており、すでに分業的な生産体制にあったことが推測される（これは時代的に先行したメソポタミア地方の青銅器生産の場合と同じである）。粘土板文書にあるといわれる「黒い鉄」と「良質の鉄」は、そのような社会的条件の下で“粗鉄”と“精製した鉄”を区別して使った用語の可能性がある。ただし、この時代の原料鉄が現代の銑鉄に同じといえるものかどうか、今後類例の増加をもって慎重に判断しなければならないであろう。

古ヒッタイト王国の崩壊によって鉄の生産技術の秘密が洩れ、西アジア一帯に拡散したというのが、従来の一般的な見方である。しかしながら上述のような生産体制であれば、西アジアに止まらず、ユーラシア大陸の文化が進んだ地域への製鉄技術の転移は容易に行われたのではあるまいか（秘匿しようとしたのは鋼製利器の鍛造技術かも知れない）<sup>6)</sup>。

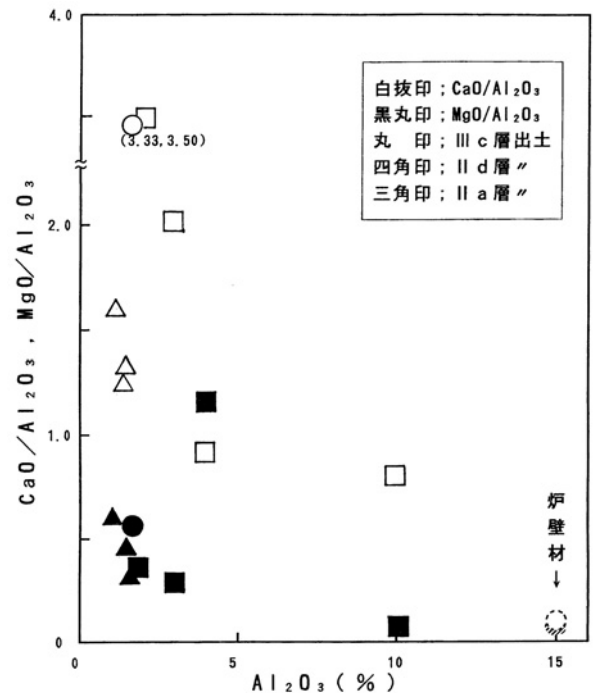


図3 カマン・カレホック遺跡出土鉄滓中のスラグ成分間関係

### 3 古代中国における鑄鉄半製品の製造

古代の製鉄技術は、BC10世紀頃にインド大陸に伝わったといわれる。その後、海上・水上を含む活発な交易路を経て、中国大陸の華中・華南沿岸部に広まったのではないかと筆者は想像する。黄河中流域での青銅器の生産開始はBC2000～BC1850年頃なので、それに遅れることおよそ千年である。この理由は鉄器を受容する側の社会体制にあったと思われる。

春秋戦国時代（BC770～BC403年）には、豎型炉で銑鉄を製造する方法が確立した。溶融銑鉄を鑄型に注ぎ込んで鑄物を造る技術は、関連遺物の出土が西アジアよりも早い時期に見られるので、中国独自の発明として広く承認されている。豎型炉の遺構を検出した遺跡で、鑄型が出土したという例も、かなり多いようである。図4には、板状と棒状の鑄鉄半製品を製造した鑄型（名称はそれぞれ板材範と棒材範）を示した。この図を提示した李京華氏は、日本の弥生時代出土した鉄関連遺物の中から、同様の鑄型で鑄造したと考えられる例をいくつか挙げている（後掲の図6aを参照）。

前漢（BC202～AD8年）の終わり頃には、銑鉄を精錬して

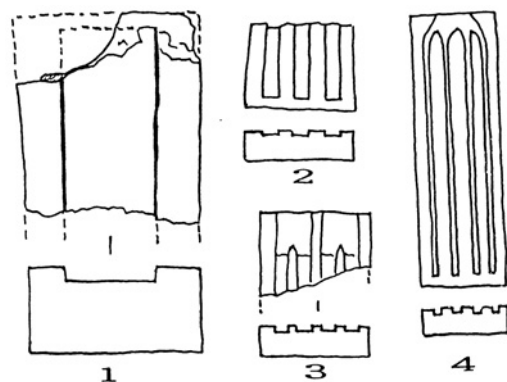
\*1 古代の鋼精錬では、鉄浴表面の再酸化鉄が炉壁と反応して、鉄滓が生成すると考えられている。図3中の「炉壁材」は炉壁粘土の一般組成を表したものである。

\*2 『鉄の歴史』の著者ベックは、鋼製造法を扱った個所でアリストテレスの『気象学』から、次の文章を引用している。「ところで、加工された鉄そのものも溶ける。それは、溶けて再び固体になって鋼になり、一方スラグは分離し、底に移る。」（ベック著・中澤護人訳『鉄の歴史Ⅰ（2）』p.167）。これに続くベックの記述では、スラグが鋼の下底に移る（溜る？）、という個所の解釈に苦しんでいるようにみえる。読者は、後述する炒鋼炉跡ならびに火窟型炉跡に関する説明をもとに、何故スラグが鋼の下底に溜る（たまる）のか、自分で考えていただきたい。

鋼に変える炒鋼法に改良された。さらにAD2世紀頃から、固体の脱炭材として鉄鉱石粉を同時に使用する方法が開発されて、鋼の生産性は飛躍的に向上したといわれる。河南省南陽市北関瓦房庄遺跡で発掘されたという漢代の炒鋼炉跡の1例を、図5に引用した<sup>7)</sup>。炉の下部しか残っていないが<sup>\*3</sup>、これは日本の鍛冶工房跡で検出される火窪型炉(地床炉とも呼ばれる)の下部構造に似ているように思われる。両者の技術の関係について、今後十分な検討が必要であろう。

中国で発行された著書の中には、炒鋼法を古代中国人民の発明とする記述もあるが、日本国内で出土した炒鋼製品と見られる遺物は西アジアの鋼製鉄器と材質上の共通性が認められるので、基本的には転移した技術にもとづくと考えざるを得ない<sup>6)</sup>。

上述の製鉄法に先行あるいは並行して、いわゆる「低温還



1～3は板材范、4は棒材范。李宗華氏による。

図4 板材范と棒材范(中国春秋時代)

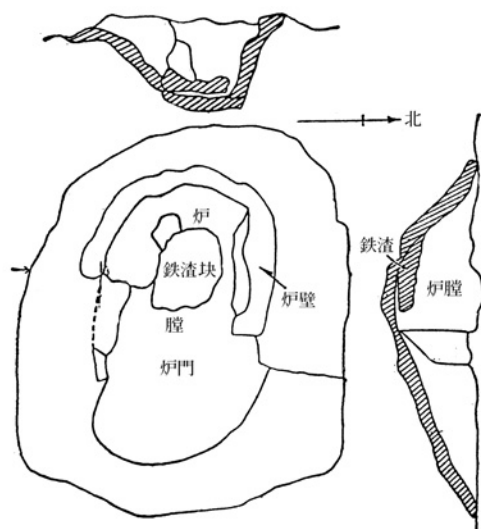


図5 漢代の炒鋼炉の遺構  
鉄渣塊；鉄滓塊、炉壁；炉床

元法」(海綿鉄製造法と同義)があったとする見解が根強くある。1950年代には、漢代の遺構を発見したという報告がなされたが、その後の発表論文では遺構の数を減ずる修正が行われ、最終的にはゼロとなった。見直した理由が明確にされないため、日本の人文社会科学系研究者からもそれを批判した論文が出ている<sup>8)</sup>。何よりも、古ヒッタイト王国の時代に成立していた鋼製造法とともに、材質的に劣る鋼しか製造できない低温還元法が技術転移したとは信じ難く、改めて見直す必要があるのではないかと筆者は考えている。

## 4 日本の弥生・古墳時代に流通した原料鉄と鋼精錬法の特徴

鉄関連遺物の調査で原料鉄と確認された例は、決して多くない。もともと原材料として消費されるものだからであろう。福岡県春日市赤井手遺跡の中期末(AD1世紀頃)の層から出土した“不明鉄器”は金属学的調査が行われ、鉄鉄ならびに鋼の2種類があることが明確にされた。図6aに原料鉄鉄と推定されたものの計測例を示す。化学組成は、表1のNo.1に引用した。炭素含有量は3.56%で、明らかに鉄鉄の組成である。弥生時代の工房跡からは鉄製鋳物を製造した鋳型が見つからず、古墳時代の末期になっても事例報告がないので、これは炭素分低減の処理を行って鋼を製造するための原料鉄の可能性が高い。ほかに板状のものも原料鉄と推定されているが、金属学的調査は行われていない。

現在までに確認された原料鉄には、形状寸法に規格性が見られる帯板状と棒状の鋳鉄半製品がある。これらは前述の板材・棒材の鋳型に対応している。両者は当時の東アジアで製造・流通していたと思われる。

一方、鋳鉄製品の表面に脱炭処理(古代中国で開発された

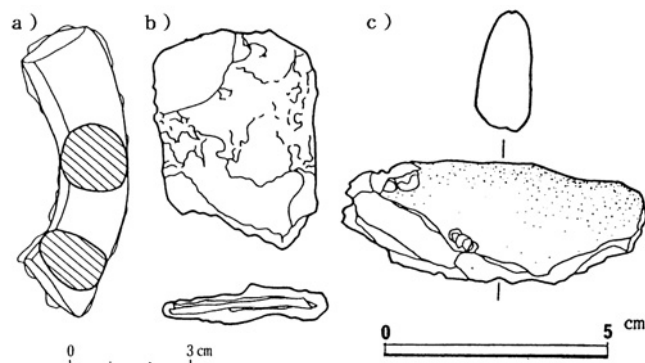


図6 日本国内での原料鉄鉄の出土例  
a) 棒状、福岡県春日市赤井手遺跡  
b) 板状、東京都足立区舎人遺跡  
c) 塊状、千葉県成東町真行寺廃寺跡

\*3 図5の原図にスケールが入っていないが、他の遺跡の例では長径0.37、短径0.28、残存高さ0.15(m)という報告がある。

表1 原料鉄鉄の化学組成例

| No | 形状 | 遺 跡・年 代              | 化学成分（％、抜粋） |      |       |       |       |       |       | ミクロ組織  |
|----|----|----------------------|------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
|    |    |                      | T. Fe      | C    | Cu    | P     | Ni    | Co    | Ti    |        |
| 1  | 棒状 | 福岡県春日市赤井手遺跡、弥生後期後半   | (メタル)      | 3.56 | 0.52  | 0.16  | —     | —     | nil   | 片状黒鉛   |
| 2  | 板状 | 東京都足立区舎人遺跡、7~8C代     | 86.5       | —    | 0.370 | 0.88  | 0.024 | 0.013 | 0.03  | レーデライト |
| 3  | 塊状 | 千葉県成東町真行寺廃寺跡、8C代     | (メタル)      | —    | 0.048 | 0.28  | 0.037 | 0.040 | Nil   | “      |
| 4  | “  | 新潟県北蒲原郡豊浦町真木山B遺跡、9C代 | (メタル)      | 1.55 | 0.106 | 0.038 | 0.025 | 0.042 | 0.025 | 過共析鋼   |
| 5  | “  | 東京都多摩市別所遺跡、10C代      | 89.60      | 3.76 | 0.082 | 0.234 | —     | —     | 0.002 | レーデライト |
| 6  | 板状 | 同 上                  | 91.3       | 4.16 | 0.031 | 0.195 | 0.022 | 0.045 | Tr    | —      |

注) CuとPの0.1％以上、NiとCoの0.0数％以上の分析値に網かけをし、始発原料鉱石が磁鉄鉱と推定されることを示した。

技術で「退火処理」と呼ばれる)を施して脱炭層を形成させ、製品に強度と靱性を付与した铸铁脱炭鋼製品が、中国本土で多数出土している。中国の文献では、铸铁脱炭鋼製品と铸铁脱炭鋼の用語が厳密に区別されないまま使われており、とくに後者の技術概念が不明確であることについては、前出の論文でも指摘している<sup>8)</sup>。铸铁脱炭鋼製品(鉄斧や鑿など)が弥生時代の日本列島にもたらされたことは、金属学的調査結果からいっても間違いない。しかし、列島内部では「退火処理」炉の遺構は検出されず、また後世になってもこの技術が国内で適用された証拠はないので、製品は舶載されたとみるのが妥当である。金属学系研究者の一部に、前述の板状铸铁のような半製品までも退火処理された原料鉄の一種であると考え、これを「铸铁脱炭鋼」として扱った報告があるが<sup>9)</sup>、筆者は疑問に思っている。

炒鋼法の技術については、日本列島にいつ頃伝播したのか、製鉄史の上で重要な問題の一つになっている。弥生時代の鋼精錬(製鉄史の研究領域では後世の大鍛冶に同義として使われる)の遺構は、依然として確認されていない。しかし精錬工程の特徴を示す碗型状の鉄滓は、弥生前期から中期にかけての遺跡で出土しており、この頃からすでに鋼の精錬が行われていた可能性がある。その後同様の鉄滓が、九州西北部や山陽・山陰の沿岸部の中期中頃のいくつかの遺跡から出土するので、これらの地方で鋼の製造はかなり広範囲に実施されていたのではないと思われる。

ようやく最近になって、後期後半(AD3世紀前半)の石川県七尾市奥原峠遺跡の工房跡から、火窪型炉の跡が発掘され、精錬炉の底部と推定された<sup>10)</sup>。これは固く焼結した厚さ10数cmの皿型状の粘土層から成り、内面は黒色の酸化鉄に富むものであった。併せて一連の鉄関連出土遺物が金属学的に解析された結果、鋼精錬の工程に対応する生成物と判定された。しかし、これらの遺物を含む調査試料の一部は、後世の攪乱によって中世の包含層や掘削溝の中にあり、遺構と同時期の層に帰属しないことについて考古学系研究者の批判的意見が筆者のもとに寄せられた。もちろん遺跡の発掘調査範囲

内に中世の鉄関連遺構は見つかっていないが、調査試料の価値を考えれば金属学的に裏付けたといえないことも確かである。

この奥原峠遺跡より時期が僅かに下るものの、古墳時代前期初頭(AD3世紀後半)の千葉県八千代市沖塚遺跡の工房跡で、火窪型の炉跡が検出されている。工房の床面からは各種の鉄関連遺物が出土し、また埋め戻し層からはかなり多量の砂鉄が回収された。改めて考古学的・金属学的な検討が行われ、遺構と遺物はいずれも鋼精錬工程の特徴を示すという点で見解が一致した<sup>11)</sup>。遺物に関しては、鉄塊系遺物(それは内部に片状黒鉛組織を残していた)は原料鉄鉄を精錬した途中の産物、碗型滓は精錬終了後に炉内に残った鉄滓、小球状の粒状滓は精錬の過程で排ガスと一緒に炉外に排出されたものの、「鍛造剥片」(遺物を考古学的に分別処理したときの分離物の呼称)は半溶融状態の鉄滓の表面に生成した酸化鉄薄層が剥離したもの、と判定された。また砂鉄については、もしも工房内に集積されていたのであれば、精錬工程での脱炭材として使う目的があったとも考えられる。

既発行の報告書にある鉄滓分析値からCaOとMgOの対Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>比を求め、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含有量を横軸にとってプロットすると、図7aのようになる。一見して分かるように、「精錬鍛冶滓」(精錬滓と同義、図では丸印)ならびに「鍛錬鍛冶滓」(鍛冶工程で発生する小鍛冶滓と同義、三角印)と分類・記載した鉄滓の間に、成分組成上の有意な差は認められない。「鍛錬鍛冶滓」という前回の金属学的判定が誤っており、さらにそれを参考にした考古学関係者が、遺跡の性格を小鍛冶と間違って評価・報告したものと推察される。

弥生時代中・後期に、鋼片を組み合わせて加熱・鍛打・成形し製品を造る小鍛冶は、西日本のかなり多くの地で行われていた。小鍛冶工房で鋼を使用したことが確実であるにもかかわらず、遺跡内で鋼精錬の遺構が検出されない場合がある。遺跡外から何らかの鋼の半製品を搬入したことを想定せざるを得ないが、従来の調査研究結果からは原料鉄としての鋼半製品の広範な流通を証明することができない。形状が非常に

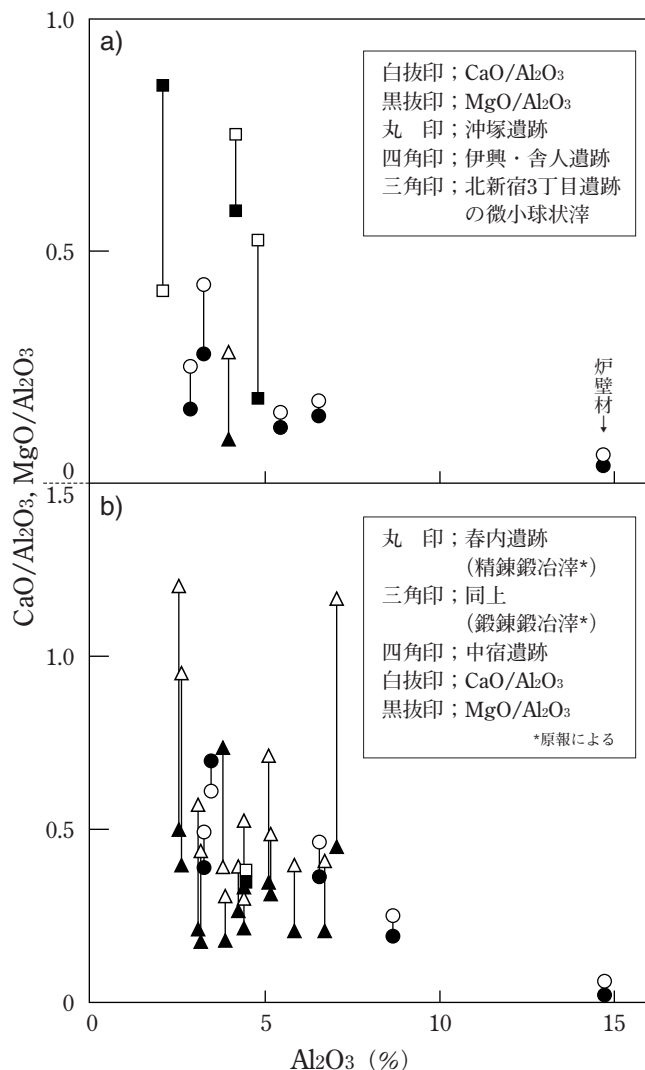


図7 鍛冶工房出土鉄滓中のスラグ成分間の関係  
a) 弥生・古墳時代の火室型炉跡  
b) 律令体制下官衙工房の連房式鍛冶炉跡

よく整えられているものに、福岡市比恵遺跡出土の鋼の半製品があるが、他に出土例がないため現段階で流通品と判定することは難しい。鋼半製品の流通は引き続き重要な問題になっている。

5世紀の中頃になると、原料鉄の中でも鋼の半製品は、形状と重量に規格性をもったいわゆる鉄鋌（てっい）として現れ、列島内で流通するようになる。古墳に埋納されることがあり、中でも奈良市の大和6号墳からは、大小合わせて872枚、140キログラムの出土をみた。中型ならびに小型の例を図8a、bに示す。中型は両端が撥形に開いている。大型も同様である。

古墳以外に、鍛冶工房跡から出土した鉄鋌がある。すべて1枚ずつの出土であり、本来銅製鉄器の製作に用いられるはずのものが、何かの理由で未使用のまま残されたのではないかとと思われる。この中で金属学的に調べられたのは4例に及

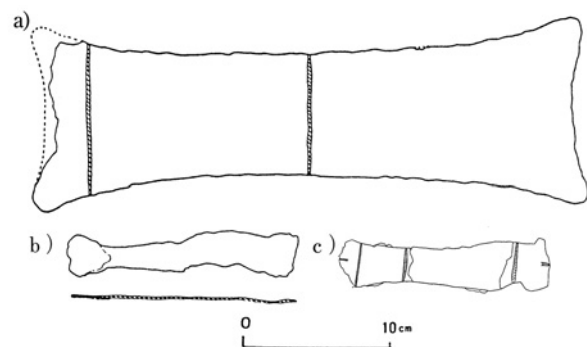


図8 出土鉄鋌の計測図例（古墳時代）  
a、b) 奈良市大和6号墳  
c) 大分県日田市萩鶴遺跡

んでいる。図8cには、大分県日田市萩鶴遺跡出土の鉄鋌を引用した。

鉄鋌は板状で、重量に規格性がある鋼半製品である。調査した範囲では含有炭素量0.1～0.2%の軟鋼が多いが、表2に引用した8点の中に焼きが入るような炭素量の高いものが2例ある（表2No.1、No.4）。やはり利器の製作にも使用可能な素材と考えなければならない。

同様の形状の鉄鋌は朝鮮半島南部の古墳からも多数出土しているので、その地で作られたとする見解が一般的である。しかし鉄鋌の地金である鋼のすべてを、半島の生産と断定することはできない。前報<sup>1)</sup>でも述べたように、Cu含有量が0.1%を越すような鋼の始発原料鉱石になったのは磁鉄鉱であり、そのCu分は随伴する銅鉱物（黄銅鉱CuFeS<sub>2</sub>）に由来する。古代の日本だけでなく、東北アジア一帯に長期にわたって供給された銅含有量の高い鋼は、山東半島から揚子江下流域にかけた地帯に賦存する含銅磁鉄鉱が採掘・製錬され、製造した鉄鉄や鋼の一部は半島南部に運ばれて、鉄鋌の形に整えられたと考えざるを得ない。

## 5 律令体制下の鍛冶工房の性格

列島内における鉄生産の開始時期については、今日なお活発な議論が行われている。すなわち、①畿内において鍛冶工房の急激な増加がみられる5世紀前半に開始されたと考える説、②古墳に大量の鉄器が埋納される5世紀中頃から後半にかけて始まったとする説などが、考古学関係者から出されている。これらは鉄器の生産と使用の増大にもとづくが、やはり一種の状況証拠といえる。

考古学的に製鉄炉（長方形箱型炉）と判定された初期の遺構は、西日本の数カ所で検出されている。7世紀になって製鉄炉跡と報告される遺構は増えはじめ、8世紀には急速に増加して検出される遺構は東北地方南部にも及ぶという。しかし鉄鉄と鉾（けら）様（鉾は鉄鉄と鋼が入り混じったものを

表2 鉄鋳の化学組成例

| No | 出土地              | 分析試料 | 化学成分(%) |      |        |       |        |        |        | 推定炭素量%  | 非金属介在物 |
|----|------------------|------|---------|------|--------|-------|--------|--------|--------|---------|--------|
|    |                  |      | T.Fe    | C    | Cu     | P     | Ni     | Co     | Ti     |         |        |
| 1  | 奈良市大和6号墳         | 鉄片   | —       | 0.71 | 0.44   | 0.19  | 0.022  | 0.020  | 0.002  | —       | G主体    |
| 2  | 同上               | —    | —       | 0.35 | 0.019  | 0.023 | 0.14   | 0.041  | <0.001 | —       | W主体    |
| 3  | 同上(85A)          | —    | —       | 0.11 | 0.207  | 0.01  | (91)   | (250)  | 0.001  | —       | —      |
| 4  | 同上(86A)          | —    | —       | 0.62 | 0.023  | 0.074 | (<100) | (42)   | 0.004  | —       | —      |
| 5  | 東京都板橋区赤塚氷川神社北方遺跡 | 鋳片   | 60.26   | —    | 0.10   | 0.038 | 0.029  | 0.010  | 0.041  | 0.1/0.2 | W主体    |
| 6  | 名古屋市伊勢山中学校遺跡     | —    | 57.8    | —    | 0.44   | 0.19  | 0.022  | 0.020  | 0.038  | 0.1/0.2 | W      |
| 7  | 東京都足立区伊興遺跡       | —    | 61.20   | —    | <0.005 | 0.21  | <0.005 | <0.005 | 0.028  | 0.3/0.4 | —      |
| 8  | 大分県日田市萩鶴遺跡       | —    | 65.26   | —    | Ni1    | 0.026 | 0.009  | Ni1    | 0.004  | 0.2/0.3 | G主体    |

注) No. 1、2鉄鋳の化学分析値と非金属介在物の同定はそれぞれ久野雄一郎氏、筆者の報告から抜粋。No. 3、4 は『国立歴史民俗博物館研究報告第59集』より引用。No. 5～7は筆者、またNo. 8は赤沼英男氏の報告から引用。介在物の符号Gは非晶質珪酸塩、Wはウスタイト。

いう)物質のいずれを生産したのか、確認されないままである。

ここで遺跡と遺物の調査から想定される鍛冶活動の場について、筆者の見方を述べておくと、①官衙に付属した工房、②大寺院(地方では国分僧寺)に付属した工房、③小寺院(村落内寺院のような)の建立時に鉄製建築材料を製作するため簡単な覆い屋根を掛けた程度の鍛冶場、④律令体制に組み入れられない集落の中に存在した工房、⑤その他、のようになる。「その他」には、後述する半地下式竪型炉跡が遺跡内で検出された例を含めておきたい。

それでは遺跡から出土する原料鉄には、どのようなものがあるだろうか。原料鉄と確認されるのは金属学的な調査が行われた場合に限られるため、報告数は決して多くない。その中から古墳時代後期～奈良時代～平安時代中期の間の5例を選んで、表1に引用した。No.2の東京都足立区舎人遺跡(古墳後期、鍛冶工房跡も検出)出土の板状鋳鉄は、若干錆が進んだ試料であるが、内部にレーデブライト組織を残している。Cuは0.370%、Pは0.88%を示す。No.3の千葉県成東町真行寺廃寺跡(8世紀代)の塊状鋳鉄は完全なメタル試料で、炭素分析値はなく、レーデブライト組織と報告されている。P; 0.28、Ni; 0.037、Co; 0.040(いずれも%)である。No.4の新潟県北蒲原郡豊浦町真木山B遺跡(9世紀代、近くに半地下式竪型炉跡)出土の塊状鋳鉄は、完全なメタル試料で過共析鋼の組織を示し、C; 1.55%、Cu; 0.106%、Co; 0.042%になっている。No.5、6の東京都多摩区別所遺跡(10世紀後半、半地下式竪型炉跡を伴う)の塊状と板状の原料鉄は若干錆が進んでいるが、ともにレーデブライト組織が観察され、炭素分析値はそれぞれ3.76%、4.16%である。前者のP; 0.234、後者のP; 0.195、Co; 0.045(いずれ

も%)は高いレベルにある。このように原料鉄を金属学的に調べた範囲内では鉄鋳組成の場合がほとんどであり、始発原料鋳石を磁鉄鋳と判定できる場合が多い\*4。

鍛冶工房の形態には、一つの工房に一つの炉をもつ“1房1炉式”(仮称)と、国衙・郡衙に付属し、長方形プランをもつ建物の中に複数の炉を配置した“連房式鍛冶工房”がある。前者の“1房1炉式”工房の鍛冶炉として千葉県柏市花前遺跡(8世紀代)の例を図9に、また“連房式鍛冶工房”の炉として神奈川県平塚市坪の内遺跡(8世紀代)の例を図10に示した。前者は、炉上部を覆うように造られた、フード型の炉体が残った火窟型炉である。前述の中国漢代の炒鋼炉跡との類似性が認められるであろう。

後者の鍛冶炉は、炉床が床面よりやや高く築かれている点に違いはあるものの、全体的な形状は火窟型炉の特徴を示す。重要なのは椀型滓がそのまま炉中に残っていることである。ベックが『気象学』から引用した「(鉄滓が)底に溜る」という記述は、この事実で裏付けられるのではなかろうか。なおこの遺構は、樹脂を浸透させて硬化する保存処理を行ったのち、そっくりはぎ取って、現在平塚市博物館に展示されている。これは国内で唯一保存されている、椀型滓を炉底に残した火窟型精錬炉の遺構である。

火窟型の鍛冶炉の操業方法については、実証する文献はなく、遺構と遺物をもとに推測するしかない。筆者の想像を述べると、「背後の炉壁を貫いて羽口を斜め下方向に装着し、炉内の木炭層には数cm程度の大きさに揃えた原料鉄数kg(あるいはそれ以上の)を充填したあと、炉前の開口部を閉じて送風を開始する。脱炭材の砂鉄や含CaO、含MgO造滓材は、炉体上部の炉口から脱炭の進行に応じて段階的に装入する。溶解した鉄は脱炭が進むにつれて半熔融状態になる。

\*4 磁鉄鋳と判定可能な標識成分の含有量レベルを、CuとPでは0.1%以上、NiとCoならば0.0数%以上と筆者は考えている。

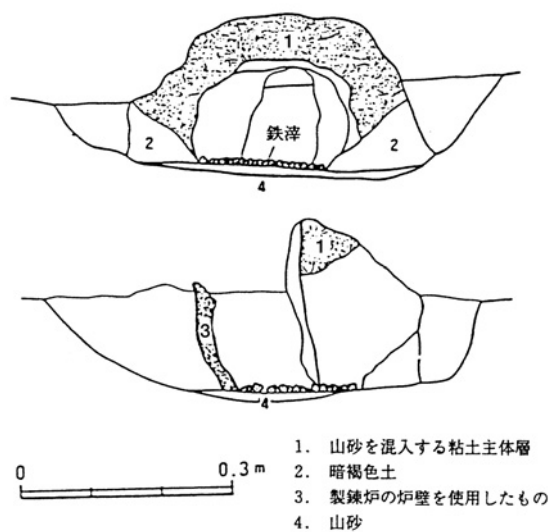


図9 鍛冶工房跡の精錬遺構の例（千葉県柏市花前遺跡、8世紀代）



図10 碗型滓を残した精錬炉跡の例  
（神奈川県平塚市坪の内遺跡、8世紀代、  
坪の内遺跡調査団の了解を得て掲載）

脱炭の終点（おそらく経験的に判断して）に達すると、送風を止めて閉じた開口部を開き、炉内に生成した銅を引き出す。残った鉄滓はお供え餅を逆さにした形に固まる」。あとは読者の自由な推理にお任せしたい。

さて、7世紀後半の評（ひょう）の段階にあって、郡衙跡と考えられる春内遺跡（茨城県鹿嶋市）と熊野遺跡（埼玉県岡部町）の両遺跡で出土した鉄滓の分析値から、CaOとMgOの対 $Al_2O_3$ 比を求め、鉄滓の $Al_2O_3$ 含有を横軸にとってプロットすると、図7bのようになる。一見して分かるように、春内遺跡の既発行報告書で精錬鍛冶滓（図では丸印）、鍛錬鍛冶滓（三角印）と分類された鉄滓の間に、成分組成上の有意な差は存在しない。鉄滓はすべて精錬滓であり、鉄滓の間違った判定が遺構の考古学的評価を誤らせたものと思われる。

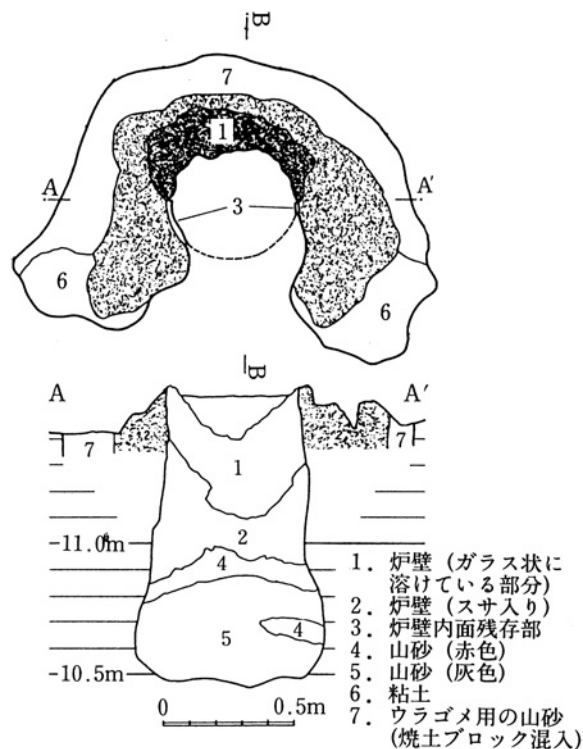


図11 半地下式壺型炉遺構の例（千葉県柏市花前遺跡、8世紀代）

鉄関連遺物の中には、発掘調査担当者によって“鉄塊系遺物”と肉眼分類されたものがある。表面が鉄錆と鉄滓で覆われているが、内部に銑鉄の組織を留めた金属鉄がある場合が多い。これを精錬の途中もしくはそれが終了して廃棄された遺物と考えるか、それとも工房から離れた場所にある製鉄炉で生産された鋤様の物質が搬入されたとみるかによって、原料鉄に対する見解はまったく違ってくる。前者は鉄塊系遺物を精錬途中の産物、後者はそれ自体が原料鉄であると考え。ただし後者は、塊状の銑鉄、棒状あるいは板状の鑄鉄半製品の出土を考慮に入れない。

前述の花前遺跡の鍛冶工房は、丘陵上部の開けた場所にある。そこから数10m離れた斜面を筒状に掘り込んで、半地下式壺型炉跡が造られている。これを図11に示した。この型の炉は、数年前まで製錬炉（製鉄炉）と考えられていた。しかし同型の炉を発掘した他の遺跡の調査で、出土遺物について一連の金属学的な研究が行われた結果、この型の炉は精錬炉である可能性の高いことがわかった。そこで花前遺跡出土鉄滓のスラグ成分間の関係を検討してみたのが、図12である。鉄滓の $TiO_2$ 含有量が高いので、ここではCaOとMgOは対 $TiO_2$ 比をとってある。原報告にある精錬滓と半地下式壺型炉跡出土の“製錬滓”との間に有意な差は見いだされない。やはり銅精錬滓と考えるべきであろう。

こうして、律令体制下にあった官衙付属工房やその他の工房では、流通していた原料鉄を使用したのか、それとも工房

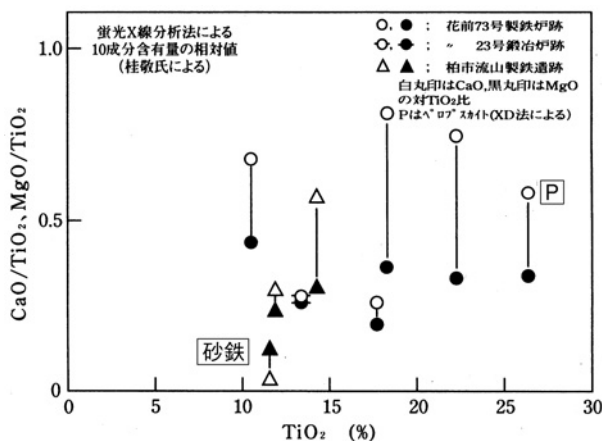


図12 半地下式壺型炉跡出土“製錬滓”と精錬滓のslag成分の比較（千葉県柏市花前遺跡、8世紀代）

の近くで砂鉄を原料に製造した鋳様の物質を使ったのか、製鉄史研究の上から大きな問題が提起されることになった。

なお、中世に入っの平安時代後期からのちは、鋼精錬操業が大規模化して鉄器生産には大きな飛躍が現れる。ここでも原料鉄と流通の問題は重要な研究課題になっており、先に筆者を含む共同研究者で一つの報告を行った<sup>12)</sup>。興味をもつ読者にお読みいただけるならば、筆者としては大きな喜びである。

## 6 おわりに

古代の原料鉄の流通の問題は、日本国内に止まっていたのでは、よく見えてこない。国外にも目を向けて、大きな流れの中で捉える必要がある。それに比べて、古代の鋼精錬法というプロセス技術の原理的な解明は、容易であるように思われるかも知れない。しかし、失われた操業法の再現になると、非常に難しい。両方の問題について、誰もが納得の行くような解答が得られるまでには、長期にわたる研究が必要である。性急に解答を求めることは慎むべきであろう。

製鉄史のような境界領域にある学問研究分野では、理工学系研究者は考古学・歴史学研究者の良き支援者・協力者として、謙虚に振る舞うことが肝要であると筆者は考えている。

## 引用文献

- 1) 佐々木稔：遺物が語る古代日本の鉄，ふえらむ，1（1996）4，38.
- 2) （財）中近東文化センター『アナトリア研究Ⅰ～Ⅷ』に研究成果が発表されている。
- 3) 赤沼英男，佐々木稔：遺物の金属工学的解析結果からみたヒッタイト時代における銅の製造，（財）中近東文化センター，同上誌，V（1996），195.
- 4) 赤沼英男：カマン・カレホック出土遺物の金属学的解析結果から推定されるヒッタイトおよびフリュギア時代における鉄器の製作，同上誌，VI（1997），241.
- 5) 赤沼英男：フリュギア時代における鉄器製作とその流通に関する一考察，同上誌，VII（1998），326.
- 6) 佐々木稔：『鉄の歴史』に支えられて辿った鉄の道，日本鉄鋼協会141回春季講演大会中澤護人記念シンポジウム資料集，（2001），88.
- 7) 中国冶金史・論文集，北京鋼鉄学院編，（1986），84.
- 8) 佐原康夫：漢代の製鉄技術について，古史春秋，朋友書店，（1990）6，26.
- 9) 大沢正己：弥生時代の初期鉄器文化，日本鋳業史研究，日本鋳業史研究会，（2000）39，34.
- 10) 佐々木稔：奥原峠遺跡出土鉄関連遺物の金属学的解析，奥原峠遺跡，七尾市教育委員会，（1998）3，70.
- 11) 萩原恭一，佐々木稔：沖塚遺跡の再検討，千葉県史研究，千葉県史料研究財団，（2001）9，114.
- 12) 赤沼英男，佐々木稔，伊藤 薫：出土遺物からみた中世の原料鉄とその流通，製鉄史論文集，たたら研究会編，（2000），553.

（2001年4月9日受付）