



鉄の歴史

日本の古代製鉄で使用された鉱石

—その鉱物と化学組成の特徴—

Ores for Ancient Iron Smelting in Japan

—Chemical and Mineralogical Characteristics—

井澤英二

九州大学 名誉教授

Eiji Izawa

1 はじめに

日本列島での鉄生産の歴史を考えると、製鉄原料となる鉱石を古代の人々がどのように認識していたかを知りたいと思う。山地の黒く重い石や海浜の黒砂を、鉄の鉱石として採取したことは容易に想像がつく。しかし、古代製鉄の鉱石の産地や採取法については、よく分かっていない。俵¹⁾は製鉄原料を塊鉄鉱および砂鉄と呼び分けている。ここでは、俵にならって塊状鉱石を塊鉄鉱、砂状鉱石を砂鉄と呼ぶことにする。日本の古代製鉄で両者が使用されていたことはよく知られている²⁾。どちらの鉱石も主要な鉄鉱物は磁鉄鉱である。赤鉄鉱や褐鉄鉱(針鉄鉱)を主要鉄鉱物とする鉱石は、世界各地の古代製鉄で使用例が知られているが、これまでの調査では日本には確認されていない。

7世紀後半から8世紀前半にかけて、日本列島の各地で組織的な鉄生産が始まった状況が、考古学的な調査の結果から明らかにされてきている。本報告では、飛鳥/奈良時代の大規模製鉄遺跡のなかで、よく調査された、あるいは現在調査が進行している遺跡について、使用された鉱石の構成鉱物と化学組成の特徴をまとめた。また、原料鉱石の特徴が、どのように鉄滓の化学組成に引き継がれているかを検討した。このようなデータは、鉱石の産地と採取法を考察する材料となるであろう。

化学組成は、Rh管球(4kW)を装着した蛍光X線分析装置(理学電機工業(株)製RIX3100)で求めた。粉末をペレットに加圧成形した試料を用い、地質調査所岩石標準試料を参照試料としてFP法(fundamental parameter method)で補正計算を行った。検出限界は、軽元素で10ppm、重金属元素では2ppm程度である。鉱石や鉄滓について化学組成の特徴を議論するうえでは十分な精確さ(相対誤差5%以下)が得られている。また、鉱物相の分析には、X線回折装置(理学電機(株)製RINT2000)を用いた。

2 古代の大規模製鉄遺跡と使用された鉱石

飛鳥時代末から奈良時代初頭に、大規模に鉄を生産した地域は滋賀県の琵琶湖周辺(近江の遺跡群:木瓜原遺跡、源内峠遺跡など)、福岡県糸島半島(福岡市の元岡遺跡)、新潟県(柏崎市の軽井川南遺跡)、福島県(相馬市から原町市にかけての遺跡群:武井地区、金沢地区)である(図1)。これらは古代律令国家成立期にあって、官営的な操業が行われた地域と考えられる。

2.1 近江の製鉄遺跡

近江の鉄生産地は多数あるが、7世紀末から8世紀の初めに稼動していたと推定される木瓜原の製鉄遺跡³⁾は詳細に調査されている。近江国庁の北東4キロの位置にあるこの遺跡は、立命館大学びわこ・くさつキャンパスの用地造成に先行して1990年から1992年度に発掘調査された。立命館大学が発行した遺跡の概要冊子⁴⁾は、発掘を担当した横田洋三氏に



図1 古代の大規模製鉄遺跡が発見された地域

よる解説と、早川和子氏によるほのぼのとした詳細な絵が魅力的である。1基の大型製鉄炉を囲んで、大鍛冶炉、小鍛冶炉、木炭窯、須恵器窯、梵鐘鋳造場などが配置された古代の製鉄コンビナートともいえる遺跡がよく紹介されている。

製鉄炉は箱型炉1基で、内法で幅0.65 m、長さ2.85 mと大型である。この製鉄炉跡は大学のグラウンドの地下に展示室を設置して現状保存されている。製鉄原料は塊鉄鉱であり、未使用の鉱石塊のほか、鉱滓溜りからは炉内に投入された粒状鉄石（粒度：1－20 mm）が出土している。粗鉄石を破碎して、磁鉄鉱に富む部分を選び分けて精鉄としたのであろう。

鉱石は磁鉄鉱にザクロ石、透輝石、角閃石、燐灰石を伴い、スカルン鉄床（接触交代鉄床ともいう）から産出したものである。産地については、鉄石の性格から琵琶湖北岸のマキノ鉄山の可能性が指摘されている⁵⁾。源内峠や東谷からも原料の塊鉄鉱が出土している。化学組成、特に微量成分の特徴⁶⁾は木瓜原と類似していて、スカルン鉄石である。

近江の古代製鉄では、地表に露出していた鉄石を破碎して採掘するか、あるいは風化作用で露頭から分離した鉄石塊や礫を拾い集めたのであろう。出土した鉄石中の磁鉄鉱は、ときには1 mm程度の大きな結晶もあるが、大部分は0.1－0.5 mmという微結晶で、集合して大塊となっている⁵⁾。熱水から沈殿した磁鉄鉱の特徴として、結晶中の不純物は微量である。したがって、鉄石に混在しているケイ酸塩鉱物や硫化鉄物を見分けて、分離除去することにより精鉄の品位を高めることが可能であった。

2.2 元岡遺跡

元岡遺跡（正式名称は元岡・桑原遺跡群）の製鉄遺跡⁷⁾は、糸島半島（福岡市西部）の九州大学移転用地（275ヘクタール）から発見された。1995年に開始された調査は2004年現在も継続されている。調査の過程で、移転用地内に4世紀代から6世紀代まで造営⁸⁾された7基の前方後円墳（図2）、5世紀なかばから造墓が始まったと推定されている石ヶ元円墳群（32基）の存在が明らかになった。6世紀後半から7世紀代に築造された円墳の一部から鍛冶道具一式が出土している。また、墓道に鉄滓が置かれていた円墳があり、この鉄滓は形状と化学組成の特徴から砂鉄を原料とする製鉄滓⁹⁾とされた。

10年間におよぶ調査の結果、27基の炉跡が並ぶ12次調査地の谷（図3）のほか、各所に製鉄遺構が見出され、8世紀代の操業が推定されている。奈良時代では国内最大級の製鉄遺跡である。7次調査地の谷からは、「壬辰年韓鐵」と書かれた木簡が出土して、年紀は西暦692年とされた。20次調査地では古代の溜池跡から多数の木簡が見つかり、その中に「大宝元年」（701年）の元号が書かれた木簡があった。周辺から



図2 元岡遺跡最大の前方後円墳の石ヶ元古墳（築造：6世紀中葉）
立地する尾根は、九州大学による造成で削平される計画となっている（2003年6月撮影）。



図3 元岡遺跡第12次調査地
谷の左岸（写真中央手前）に27基の製鉄炉跡があり、谷はおおよそ60トンの鉄滓、炉壁片で埋められていた。谷の中に見える黒い壁は、掘り上げずに残された廃滓の観察用断面（2000年3月中島正和撮影）。

は多数の建物の柱跡が検出されて、役所（官衙）の性格を持つ遺跡と推測された¹⁰⁾。

12次調査地点で発見された炉跡は、炉底幅30－80 cm、長さ40－130 cm⁷⁾とやや小型の箱型炉である。使用された鉄石は、付近の海岸に産する浜砂鉄と考えられる。炉の近くから遺物としてチタン分の少ない砂鉄が出土している。12次調査地から出土した砂鉄（試料番号P3区0489-P1）の鉄酸化物は磁鉄鉱（粒径0.05－0.4 mm）で、風化によって粒子の外周あるいは劈開に沿ってわずかに赤鉄鉱に交代されている¹¹⁾。砂鉄の構成鉱物には石英、カリ長石、斜長石、角閃石が認められ、花崗岩起源の砂であることを示している。

2.3 軽井川南遺跡

新潟県柏崎市の軽井川南遺跡群は、JR柏崎駅の南東4キロメートルにある産業団地造成予定地（28ヘクタール）で、2003年夏からの発掘調査によって発見された。大規模な製鉄遺跡で、鉄生産は奈良時代から鎌倉時代初期まで継続したと予想されている。

ここで報告するのは、付近から出土した土器から8世紀代と予測されている下ヶ久保D遺跡（図4）と下ヶ久保C遺跡から得られた製鉄関連遺物についてである。下ヶ久保D、C両遺跡からは、大型（幅1 m、長さ3 m？）の箱型炉3基と豎

型炉4基、木炭窯21基が発見されている。箱型炉で始まり
 型炉に移行した可能性があるという。多数の木炭窯が製鉄
 炉に近接して存在することが特徴である。

軽井川南遺跡で使用された鉱石の性格を知るために、鉄滓
 その他の分析を行った。結果を表1に示す。試料のうちKM-
 1aからKM-4は柏崎市教育委員会の中野純氏に提供いた
 いたものである。炉壁片は被熱により石英以外の原鉱物に変
 化しているが、シリカが多く花崗岩質の化学組成を示してい
 る。鉄滓はチタンに富み、ファヤライトとチタン鉄鉱（ウ
 ルボスピネルと磁鉄鉱の中間組成）からなる。原料鉱石は砂



図4 軽井川南遺跡群
 下ヶ久保C遺跡から北方の下ヶ久保D遺跡を見る。丘陵斜面に
 4基の大型の木炭窯が見える。窯と窯の間隔はおよそ10mであ
 る。写真の右側で斜面の下端部に箱型炉と廃滓場がある（2004
 年9月撮影）。

表1 軽井川南遺跡の製鉄関連遺物と柏崎海岸高浜砂鉄鉱山跡の砂鉄
 の化学組成（XRF分析）と構成鉱物
 KM-1a～KM-4は柏崎市教育委員会提供。

番号	KZ-1	KM-1a	KM-2	KM-3	KM-4
遺跡名称	高浜鉱山	下ヶ久保C区		下ヶ久保D区	
位置	宮川海岸	表採	廃滓場一括	廃滓場一括	
試料名	砂鉄	炉壁	スラグ化 炉壁	炉内滓	流出滓
特徴	黒色細粒	淡褐色	暗褐色	緻密、径2-10 mmの気孔	表面平滑、裏 面に砂粒付着
SiO ₂ (mass%)	19.16	74.49	43.99	23.05	22.80
TiO ₂	9.59	0.68	11.37	9.53	10.13
Al ₂ O ₃	2.03	15.84	10.07	7.08	6.62
FeO*	53.84	4.53	24.97	50.26	50.28
MnO	0.65	0.03	0.56	0.53	0.56
MgO	10.82	0.94	3.74	2.90	3.44
CaO	1.60	0.22	1.63	2.06	1.62
Na ₂ O	0.21	0.49	0.42	0.33	0.35
K ₂ O	0.03	1.66	1.25	0.96	0.79
P ₂ O ₅	0.14	0.05	0.11	0.16	0.23
計	96.47	98.93	98.11	96.86	96.82
S (ppm-mass)	153	76	253	368	239
V	2280	125	3920	2260	2660
Cr	460	61	482	243	314
Cu	154	27	10	18	14
Zr	1030	170	223	399	248
構成鉱物	mt-hm- il(30%hm)- hyp-aug-hb	qz-cr-mul- glass	qz-cr- il(10%hm)- pbr-glass	fay- usp(50%mt)- glass	fay- usp(50%mt)- glass

FeO* = 全FeをFeOとして表示、qz = 石英、cr = クリソトバライト、hyp = 単斜輝
 石、aug = 普通輝石、hb = 角閃石、mt = 磁鉄鉱、hm = 赤鉄鉱、il(hm mol%) = チ
 タン鉄鉱、mul = ムライト、glass = ガラス、pbr = シュードブルッカイト、usp(mt
 mol%) = ウルボスピネル、fay = ファヤライト。

鉄で、海岸で採取され運ばれて来たと考えられるので、柏崎
 市北部（宮川海岸）の海浜砂鉄を採取して分析した。黒色の
 浜砂をすくい取って、水洗しただけの試料である。この海岸
 では、近年まで高浜砂鉄鉱山が鉄原料（精鉱中のTiO₂含有
 率：14.6%¹²⁾）を採取していた。鉱石中の鉄酸化物は、量的
 には磁鉄鉱＞赤鉄鉱＞チタン鉄鉱の順で、磁鉄鉱に富む。砂
 鉄に含まれるチタンは、チタン鉄鉱に由来する。

砂鉄と周囲の浜砂は斜方輝石（いわゆる紫蘇輝石）に富み、
 少量の角閃石、単斜輝石（普通輝石）のほか斜長石、石英が
 検出され、火山岩起源の特徴を示している。カリ長石も少量
 含まれている。後背地に分布する中新世から更新世にかけて
 の地層は、多数の火山灰層を挟在する¹³⁾。柏崎市西方には
 鮮新世の安山山岩質火山砕屑岩からなる米山山塊がある。ま
 た、砂丘堆積物には砂鉄が含まれている。これらに由来する
 鉄鉱物が海域に堆積して、打上げ砂鉄の供給源となっている
 と考えられる。

2.4 相馬／原町の製鉄遺跡

福島県北部の太平洋岸と阿武隈高地東縁部の間にある浜通
 り丘陵地で、工業団地および火力発電所建設に関連した調査
 （1982－1994年）が行われ、相馬地域（武井地区など）¹⁴⁾か
 ら原町市（金沢地区）¹⁵⁾にかけて大規模な製鉄遺跡が発見さ
 れた。鉄生産は7世紀後半代に箱型炉によって開始され、8
 世紀代には次第に型炉へと転換して11世紀まで続いたと
 される¹⁴⁾。なお、原町市金沢遺跡の型炉（長瀨遺跡22号
 製鉄炉：8世紀後半？）は福島市教育委員会によって切り取
 り保存されている¹⁵⁾。

武井地区（相馬地域）の向田E遺跡（7世紀後半代）では、
 例えば、幅40 cmで長さ2 mの炉底面が検出されていて、長
 大な箱型炉である。遺跡からはチタン分が非常に多い砂鉄
 (TiO₂：23.8%) が出土している。この鉱石は、近接する海
 岸で採取され、運ばれたものであろう。福島県北部の太平洋
 岸は、相馬海岸とも通称され、近年までチタンと鉄の原料と
 して砂鉄が採取されていた。海浜の漂砂鉄床は、台風など気
 象条件によって大きく消長する。この地域では「暴風がやや
 終そくしかかった時期」には砂鉄の層は「厚さ50 cm以上に
 達する」という¹⁶⁾。

今回、金沢遺跡の南の北泉海岸で採取された浜砂（2003
 年、能登谷宣康採取：図5）を分析した。この浜砂の鉄酸化
 物は磁鉄鉱とチタン鉄鉱である。このほか、石英、斜長石、
 斜方輝石、角閃石、少量の単斜輝石、カリ長石が検出され、
 安山岩、デイサイトなどの火山岩起源と思われる鉱物が多く、
 磁鉄鉱の供給源が火山岩であることを示唆している。しかし、
 チタン鉄鉱の供給源は何に求められるであろうか。

1970年代に、花崗岩に磁鉄鉱を含むもの（磁鉄鉱系花崗

岩)と含まないもの(チタン鉄鉱系花崗岩)の2種類があることが発見された¹⁷⁾。前者には磁鉄鉱とチタン鉄鉱が入っているので、風化することによって砂鉄の供給源となる。後者には、少量のチタン鉄鉱はあるものの、鉄の大半はケイ酸塩として存在するため、砂鉄の供給源とはならない。チタン鉄鉱を濃集した小規模な砂チタン鉱床を作ることにはある。相馬海岸の後背地に広く分布する阿武隈花崗岩類の多くは、チタン鉄鉱系花崗岩である¹⁸⁾。浜砂鉄に含まれているチタン鉄鉱は阿武隈花崗岩類に起源を求めるべきかも知れない。将来、海砂と後背地の岩石について鉱物を詳細に調査すれば、供給源の問題は解明出来るであろう。

3 製鉄原料を産する鉱床と鉱石の化学組成

製鉄原料を産出する地層や岩体を鉄鉱床と呼ぶ。古代の鉄生産に使用された鉱石を産出した鉱床としては、塊鉄鉱の場合にはスカルン鉱床が、砂鉄では海浜砂鉄床(打上げ砂鉄)が重要である。

3.1 スカルン鉱床

スカルンとは、花崗岩地域にあって石灰岩に熱水が作用して生成した岩石で、ザクロ石や灰鉄輝石などカルシウムのケイ酸塩鉱物を主要な構成鉱物としている。スカルンが大量の磁鉄鉱と黄銅鉱を含有して、鉄や銅の品位が高くなったものがスカルン型の鉄銅鉱床である。主な分布地域は、北上山地(釜石)、埼玉県(秩父)、近江(マキノ、石部)、岡山県(佐野、山宝、金掘)、秋吉台周辺(長登)、福岡県(門司、三ノ岳)である。このなかで、長登と三ノ岳地域では、古代から銅を生産していたことが知られている。

スカルン鉱床産の磁鉄鉱は、熱水から沈澱したものであり高純度である。ただし、スカルンは多様な鉱物で構成されて

いるので、鉱石としては不均質性が著しく、化学組成のばらつきが大きい。製錬の原料にスカルン構成鉱物の燐灰石が入れば、鉄滓と製品の鉄の燐の濃度が高くなる。また、黄銅鉱が混入すれば銅と硫黄の値が高くなる。一方、スカルン鉱床産の鉱石にはチタン、クロム、バナジウム、ジルコニウムが微量にしか含まれていない。これらの元素に乏しいという特徴は、鉄滓の化学組成に引き継がれて、スカルン鉱床産鉱石の指標となる。

3.2 砂鉄床

砂鉄は花崗岩、安山岩、デイサイトなどの火成岩に含まれている磁鉄鉱が、風化作用によって分離した結果生じたものである。風化岩石が現地に留まっている場合は、残留型砂鉄であり、川の流れや海流・波浪によって磁鉄鉱粒子の移動濃集があれば、川砂鉄、海浜砂鉄が生じる。

多くの場合、砂鉄に含まれる鉄酸化物の相と化学組成は複雑である。マグマ(熔融ケイ酸塩)から結晶化する鉄酸化物が、温度と酸化還元状態に応じて様々な相変化¹⁹⁾を行うことが複雑さの原因となっている。

元岡の砂鉄は、花崗岩起源の砂鉄の特徴として低チタンである。磁鉄鉱は山陰の花崗岩の磁鉄鉱(TiO_2 : 0.5%以下)²⁰⁾と同様にチタンが微量である。したがって、砂鉄の分析値で TiO_2 が1%をこえる場合は、少量のチタン鉄鉱とケイ酸塩鉱物のチタン分によるとみなせる。

古代製鉄で使われた高チタン鉱石の例として、柏崎市宮川海岸の砂鉄と相馬海岸の一部となる北泉海岸の砂鉄について述べる。両地域の砂鉄に見られる鉄酸化物の組み合わせを、 TiO_2 - FeO - Fe_2O_3 3成分系図で示す(図6)。マグマ(熔融ケイ酸塩)から結晶化する鉄酸化物は2つの固溶体シリーズに分かれる。磁鉄鉱-ウルボスピネル系列(立方晶系)のチタン磁鉄鉱と赤鉄鉱-チタン鉄鉱系列(三方晶系)である。火

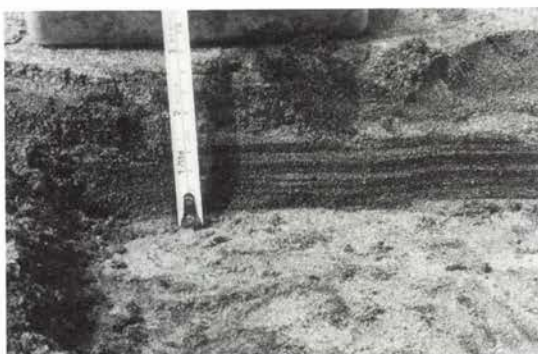


図5 福島県原町市北泉海岸の砂鉄層
金沢地区製鉄遺跡群(現在は東北電力原町火力発電所)の南に隣接するこの海岸には、数mmの厚さの砂鉄の層が何層も重なっている(2003年能登谷宣康撮影)。

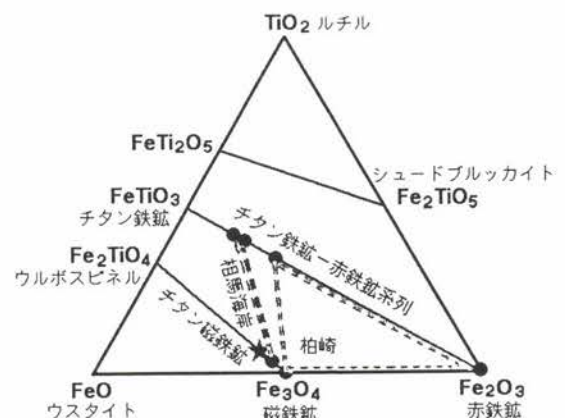


図6 TiO_2 - FeO - Fe_2O_3 3成分系の相関係
●=古代製鉄原料の鉄酸化物の組成、★=火山岩起源のチタン磁鉄鉱によく見られる組成。

山岩の場合には、両系列の中間組成領域にチタンを含有するマグヘマイト相（立方晶系）が存在することがあるが、ここでは考慮しない。それぞれの鉄酸化物相のチタン含有率は、X線回折によって格子定数を調べることで簡単に求められる^{21, 22)}。

柏崎（宮川海岸）の砂鉄には、磁鉄鉱、赤鉄鉱、チタン鉄鉱の3相が認められる。このうち磁鉄鉱と赤鉄鉱はチタンを含んでいない。チタン鉄鉱はチタン鉄鉱－赤鉄鉱系列の固溶体（赤鉄鉱成分30％）で、TiO₂含有率は35％である。反射顕微鏡で砂鉄を観察した結果、粒径0.1 mm前後の磁鉄鉱、チタン鉄鉱、赤鉄鉱の単体粒子に加えて、磁鉄鉱とチタン鉄鉱の2相が格子状構造で組み合わさっている粒子が区別された（図7）。

相馬海岸（金沢遺跡の南の北泉海岸）の砂鉄は、磁鉄鉱とチタン鉄鉱2相の組み合わせである。磁鉄鉱とチタン鉄鉱の割合は、およそ4：6となる。非常にチタン鉄鉱に富む砂鉄である。磁鉄鉱は10％程度のウルボスピネル成分を固溶している（TiO₂：3.4％）。チタン鉄鉱はチタン鉄鉱－赤鉄鉱系列の固溶体（赤鉄鉱成分15－20％）で、TiO₂含有率は40－47％である。

3.3 古代製鉄に使用された炉材と鉱石の化学組成の特徴

古代製鉄の現場に残された鉄滓は原料鉱石と炉壁との反応物である。成分によっては、製錬に使用された木炭の灰分の寄与も考慮する必要がある²³⁾。ここでは、これまで述べた4地域で鉄生産に使用された炉材、鉱石、鉄滓について化学組成の特徴を整理する。

3.3.1 指標元素

取り上げる元素は、バナジウム、チタン、ジルコニウム、クロムである。いずれも鉄との比を用いて規格化している。

バナジウム：水溶液（スカルンを作った熱水）から沈澱し

た磁鉄鉱のバナジウム濃度は低い。一方、熔融ケイ酸塩（マグマ）から晶出した鉄酸化物（火成岩中の磁鉄鉱、赤鉄鉱、チタン鉄鉱）には、バナジウムが固溶成分として濃集する。ケイ酸塩鉱物にはバナジウムはほとんど含まれない。したがって、鉱石や鉄滓のV/Fe比を見ればスカルン鉱床産の塊鉄鉱と火成岩（花崗岩や安山岩）に由来する砂鉄との区別ができる。

チタン：スカルン産磁鉄鉱はチタンを固溶していないし、共存するチタン鉱物も稀である。一方、火成岩中の鉄酸化物には磁鉄鉱の固溶成分として、あるいはチタン鉄鉱としてチタンが含まれる。

ジルコニウム：通常の岩石でジルコニウムを含む鉱物は唯一ジルコン（ZrSiO₄）である。この鉱物は、花崗閃緑岩、花崗岩、デイサイトといった珪長質（古い岩石学の用語では「酸性」）の火成岩に多く含まれる。硬度と比重が大きいのので、砂鉄の中に濃集する。砂鉄でジルコニウム濃度が高い場合は、磁鉄鉱の供給源として珪長質火成岩の寄与が大きいと推定出来る。

クロム：クロムは、一般のスカルン産鉱石には乏しい元素である。火成岩中ではジルコニウムと対極的で、蛇紋岩や斑れい岩など超苦鉄質岩、苦鉄質岩（古い用語では塩基性岩）に特徴的な元素である。珪長質岩では濃度が低くなる。特に、蛇紋岩に産するクロム鉄鉱は、硬度と比重が大きいのので、砂鉄の中に濃集する。クロム濃度が高い浜砂鉄の後背地には、蛇紋岩など超苦鉄質岩が存在する可能性が大きい。

3.3.2 炉材

製鉄炉は、その土地の表土を主な材料として構築される。したがって、炉材となるのは、河川が運んだ沖積土（琵琶湖沿岸）、花崗岩の風化土（元岡）、新第三紀の砂岩泥岩を母材とする土壌（武井、金沢）など様々である。使用した土が多種であるにもかかわらず、各地域の炉材の化学組成には共通の特徴があり、特に、鉱石と炉材の反応を考察する際に指標となる元素の含有率については地域差が小さい。

3.3.3 鉱石と鉄滓

Ti/Fe-V/Fe（図8）：これまで、各地の鉄関連遺物の化学組成に関して、チタンとバナジウムの関係が注目され、Ti/Fe-V/Fe図としてまとめられている^{25, 26)}。ここでもまず、Ti/Fe-V/Fe図で各製鉄遺跡の特徴を整理する。

炉材は、地域によらずTi/Fe-V/Fe図中のごく狭い領域（網かけで示す）に集中する。近江の塊鉄鉱については、明らかに低チタン、低バナジウムの領域に限定される。砂鉄のV/Feは地域に関係なくほぼ一定の値を示す。塊鉄鉱と砂鉄を分ける境界値は、V/Fe = 4×10^{-4} である。砂鉄は地域ご

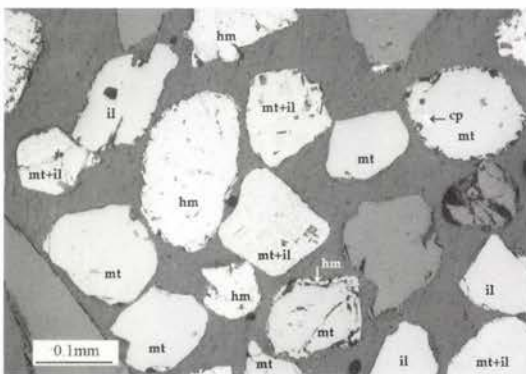


図7 柏崎市宮川海岸の砂鉄の顕微鏡写真
mt＝磁鉄鉱；hm＝赤鉄鉱；il＝チタン鉄鉱；mt-il＝磁鉄鉱とチタン鉄鉱の格子状離溶構造。灰色の粒子は珪酸塩鉱物。

とにTi/Feの違いが大きい。相馬海岸の武井（高チタン）から安山岩起源の柏崎（軽井川南）、花崗岩起源の元岡（低チタン）と上下に分布する。

製錬の過程では、磁鉄鉱は還元されてウスタイトから金属鉄に変化する。同時に、炉壁や砂鉄中に含まれている珪酸分と酸化鉄の反応が進行してファヤライト系の熔融ケイ酸塩が生じる。この反応で、チタンとバナジウムはケイ酸塩に入るので、鉄滓のTi/Fe、V/Feは増加して図の右上に向かう。一方、炉壁との反応の影響で炉材の領域に向かう変化も同時に進行する。

近江の塊鉄鉱では、両反応によるTi/Fe、V/Feの変化方向が一致するため、図8に見られるように鉄滓の組成をプロットすると鉍石と炉材の中間に分布する。砂鉄の場合は、両反応の変化の方向が異なるため、鉄滓の組成分布に不規則な広がりが見られる。それでも、鉍石のTi/Feの影響は残り、高チタンの武井の鉄滓は上部に、低チタンの元岡では、鉄滓は炉材の領域より下部に位置する。軽井川南の鉄滓は両地域の中間に分布する。

Zr/Fe-V/Fe (図9)：炉材は地域によらず、ごく狭い範囲に集中する。塊鉄鉱では鉍石、鉄滓ともに図の炉材領域の左下に分布する。砂鉄では、元岡が高い値を示し、軽井川南の鉄滓と柏崎の砂鉄は低い値を示す。砂鉄の供給岩が花崗岩（元岡）と安山岩（軽井川南）であることを反映している。武井地区については、放射化分析による鉄滓のZr値が1例報告されている²⁷⁾。この1点と北泉海岸の浜砂鉄は炉材の領域に

入る。

Cr/Fe-V/Fe (図10)：炉材は地域によらず、ごく狭い範囲（網かけで示す）に集中する。塊鉄鉱はチタン、ジルコニウムの場合と同様に炉材領域の左下にプロットされる。砂鉄では、軽井川南で低い傾向が認められた。元岡と武井の砂鉄は、炉材領域内におさまっている。塊鉄鉱、砂鉄のどちらについても、鉄滓のCr/Fe値が鉍石のCr/Fe値を保存している様子がうかがわれる。製錬の過程で、クロムが金属鉄と鉄滓の両者に等しく分配されるということであろう。したがって、鉄滓に著量のクロムが含まれることは、鉍石のCr濃度が高かったことを示す。

浜砂鉄では、後背地に蛇紋岩が分布すれば、鉍石のCr/Fe値が高くなるであろう。福岡市周辺の山地には蛇紋岩があるので、海岸の状況によっては、クロム鉄鉱が打上げ

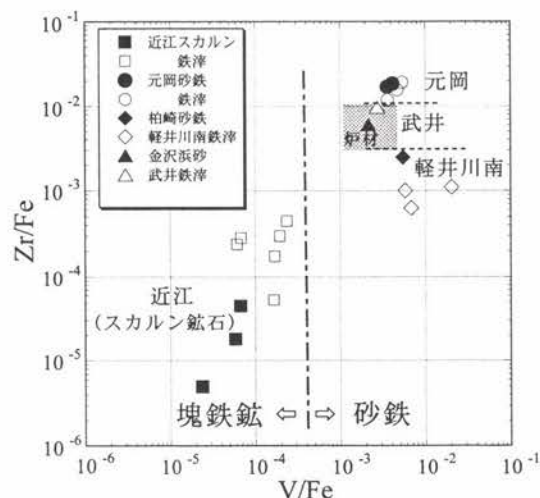


図9 古代製鉄の鉍石と鉄滓のZr/Fe-V/Fe図
Zrの鉍物、ジルコニウムは花崗岩地域の海浜砂鉄に多いと考えられる。

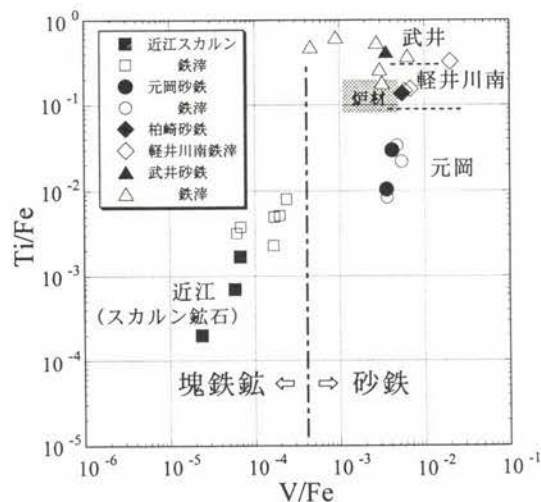


図8 古代製鉄の鉍石と鉄滓のTi/Fe-V/Fe図
塊鉄鉱と砂鉄の境界はV/Fe = 4×10^{-4} である。砂鉄は、通常の岩石のTi/Fe値を示す中間グループ（軽井川南）を挟んで、低チタン砂鉄（元岡）と高チタン砂鉄（武井や金沢など相馬海岸）に区分出来る。データ：近江、元岡は既報値^{6,11)}；軽井川南は本報告（表1）；武井地区（相馬地域）は大澤²⁴⁾による砂鉄（試料番号FBC88103）、鉄滓（試料番号FBC88058、FBC88059、FBC88061、FBC88062、FBI85021、FBI85022）の分析値を用いた。

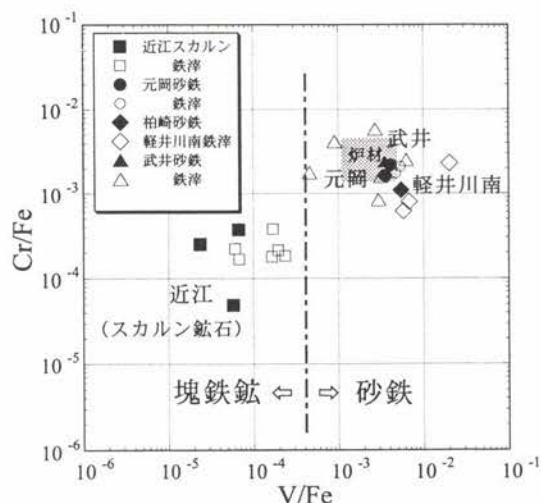


図10 古代製鉄の鉍石と鉄滓のCr/Fe-V/Fe図
製錬の過程でCr/Fe比はほぼ一定値を保っている。

砂鉄に混入する可能性がある。最近、元岡を含む福岡平野の古代製鉄の鉄滓にクロムが多く含まれることがあると指摘された⁹⁾。鉄穴流しによって風化花崗岩から磁鉄鉍を濃集する過程では、クロム鉄鉍の混入は起こらない。鉄滓の高いCr/Fe値は、浜砂鉄が採取されたことを示すものであろう。

4 おわりに

現在調査中の元岡遺跡については、調査から10年の節目の年を迎えている。今後は評価にもとづいた保存策と活用が論議されるであろう。製鉄炉群の並ぶ12次調査地点の谷部と大宝元年の木簡を出土した20次調査地点は現状保存の方向にあるという。しかし、製鉄開始の直前とも言える時期の前方後円墳として、その重要性が高まっている石ヶ原古墳が、削平される計画になっているのは残念なことである。石ヶ原前方後円墳を載せた丘については、地形を含めて現状保存されることを望みたい。

一方、軽井川南遺跡は調査が始まったばかりであり、全貌を知るにはいましばらくの期間が必要であろう。日本考古学協会からは、2004年9月15日付けで、「柏崎市軽井川南遺跡群の保存に関する要望について」が柏崎市長をはじめ各方面に提出されている。新潟地域は中越地震の被害と影響を受け、また、冬に向かい遺跡の調査は中断しているが、来春に調査が再開されることを念願している。

鉄の歴史は国の歩みと重なりながら、地域の自然の制約を技術の中に取り込む過程であった。古代の鉄生産技術を解明するうえで、福岡市の元岡・桑原遺跡群と柏崎市の軽井川南遺跡群の調査の進展に期待するところが大きい。

謝辞

福岡市教育委員会、柏崎市教育委員会の発掘担当の方々には、遺跡の見学に際しお世話になった。横田洋三、中野純、菅波正人、能登谷宣康の諸氏には試料の採取にご協力いただいた。軽井川南遺跡の遺物の分析には吉川竜太氏の協力を得た。上記の方々に感謝申し上げる。

参考文献

- 1) 俵國一：古来の砂鉄製錬法，丸善，(1933)
- 2) 村上恭通：倭人と鉄の考古学，青木書店，(1998)
- 3) 滋賀県文化財保護協会：立命館大学びわこくさつキャンパス造成工事関連埋蔵文化財発掘調査報告書，木瓜原遺跡，滋賀県教育委員会，(1996)
- 4) 和田晴吾（編）：古代の製鉄コンビナート 木瓜原遺跡の発掘，立命館大学，(1994)
- 5) 富田克敏：立命館大学びわこくさつキャンパス造成工事関連埋蔵文化財発掘調査報告書，木瓜原遺跡，滋賀県教育委員会，(1996)，241.
- 6) E. Izawa：Proceedings of BUMA-V，(2002)，117.
- 7) 菅波正人：考古学研究，48，(2001) 3，125.
- 8) 小田富士雄：古文化談叢，第39集，(1997)，107.
- 9) 大澤正己：福岡市埋蔵文化財調査報告書第744集，福岡市九州大学統合移転用地内埋蔵文化財発掘調査報告書，元岡・桑原遺跡群2，福岡市教育委員会，(2003)，216.
- 10) 福岡市教育委員会：九州大学統合移転用地内埋蔵文化財発掘調査概報2 一元岡・桑原遺跡群発掘調査一，(2003)
- 11) 井澤英二：日本鉍業史研究，43，(2002)，26.
- 12) 地質調査所：日本鉍産誌 (BI-c)，(1954)，43.
- 13) 小林巖雄，立石雅昭，吉村尚久，上田哲郎，加藤碩一：柏崎地域の地質，地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅)，地質調査所，(1995)
- 14) 福島県文化センター：相馬開発関連遺跡調査報告 I (福島県文花財調査報告書第215集)，福島県教育委員会，(1989)
- 15) 福島県文化センター：原町火力発電所関連遺跡調査報告 III (福島県文花財調査報告書第281集)，福島県教育委員会，(1992)
- 16) 早川典久：通商産業省，未利用鉄資源 第5輯，日本鉄鋼連盟，(1959)，80.
- 17) S. Ishihara：J. Geol. Soc. Japan，(1979)，509.
- 18) 亀井淳志，高木哲一：地質学雑誌，109 (2003)，234.
- 19) 津末昭生，石原舜三：鉍山地質，24 (1974)，13.
- 20) A.F. Buddington and D.H. Lindsley：J. Petrol.，5，(1964)，310.
- 21) D.H. Lindsley：Carnegie Inst. Washington Year Book，61 (1965)，144.
- 22) N.E. Brown and A. Navrotsky：Am. Mineralogist，78 (1993)，941.
- 23) 松本建速，堀川循正，羽場睦美：鉄の歴史—その技術と文化— フォーラム第5回公開研究発表会講演論文集，(2003)，27.
- 24) 大澤正己：相馬開発関連遺跡調査報告 I (福島県文花財調査報告書第215集)，福島県教育委員会，(1989)，357.
- 25) 大澤正己：荒尾市文化財調査報告第7集，金山・樺製鉄遺跡群，上巻，荒尾市教育委員会，(1992)，239.
- 26) 平井昭司，岡田往子：CAMP-ISIJ，16，(2003)，264.
- 27) 国立歴史民族博物館研究報告，58，(1994)，180.

(2004年12月13日受付)