

主要元素に基づいた古代遺跡出土鉄滓の識別

松本 建速*

Distinguishable Procedure for Ancient Iron-making Slag by Using Major Elements

Takehaya MATSUMOTO

Synopsis : To identify the process of iron production, some indicators are proposed by using the chemical components of excavated slag. Especially, the ratio of Ti/Fe and V/Fe are useful for this purpose. All indicators, however, are not always appropriate for the distinguishable procedure between bowl-shaped slag and other slag. It is not yet fundamentally explained that major elements of iron-making slag caused from any materials.

In this article, ten major elements which are constituent of iron-making slag as Silicon (Si), Iron (Fe), Aluminium (Al), Titanium (Ti), Manganese (Mn), Magnesium (Mg), Calcium (Ca), Sodium (Na), Potassium (K) and Phosphorus (P) are considered by using the released analytical data. Every element has been normalized against Si, and the correlation diagrams are plotted. The correlation diagram with Si can be distinguished as 3 groups.

- (1) Elements Al, Ca, Na, K and P have positive correlation with Si
- (2) Elements Ti, Mn, and Mg do not correlate with Si
- (3) Fe has negative correlation with Si

Elements of group (1) as Ca, Na, K and P increase the content in any slag during the smelting, refining and forging processes. Thus, it is obvious that these four elements can not be utilized for the distinguishable procedure of ancient iron-making slag.

On the other hand, elements of group (2) as Ti, Mn and Mg are appropriate to be indicators for the distinguishable procedure of two types slag between forging slag (sometimes in refining process) and other slag (normally in smelting process). On the basis of concentration of the 3 elements, it is indicated that bowl-shaped slag is formed in forging (sometimes in refining), and other slag is done in smelting.

As the result of this study, the ratio of element as Mn/Ti, Mn/Si, Mg/Ti and Mg/Si are suggested to be useful as indicators for the distinguishable procedure between bowl-shaped slag and other slag.

Key words: distinguishable procedure, ancient iron-making slag, major elements, forging process, smelting process

1. はじめに

古代の各種の鉄生産遺跡から出土した鉄滓の化学成分に基づいた鉄滓の生成活動の推定が、これまで数多く実施されてきた。そして、元素比 Ti/Fe と V/Fe との相関による識別が鉄滓の分類に有効であることが知られている。その結果は鉄滓の生成過程を考慮した考古学的形態分類と一致する場合が多い。他に、鉄滓の生成過程の考察に、Ca や P の濃度を重視する立場がある。これらの考察結果は鉄滓の考古学的形態分類による考察結果とは一致せず、伝統的考古学的調査に基づくものとは異なる歴史叙述を促すことになる。しかしながらこれまでのところ、鉄滓の生成過程の考察に適した元素に関する議論が尽くされたとは言いがたい。それぞれの分析者が考察目的に応じて鉄滓の化学成分を測定し、データが蓄積されているのが現状であり、鉄滓の主成分元素（以下では主要元素と記す）ですら、そのいくつかしか測定されない分析報告も散見される。

ところで地球化学分野では、地殻を構成する元素のうち、パーセントオーダーで含有される元素を主要元素と呼ぶ。地殻の化学成分は、%単位で示す限り、主要元素だけでほぼ100%となる。そして、地殻を構成する種々の火成岩の主化学組成を、主要元素の酸化物の重量%として表示することができ、その結果を火山活動内容の推定などに利用している。翻って鉄滓の主要元素を考えると、これは地殻の主要元素と同じである。したがって、鉄滓の主化学組成も火成岩同様に、主要元素の酸化物の重量%として表示することができ、ひいては鉄滓の生成過程の推定に利用できるはずである。

そこで本稿では、生成過程が異なると推定される考古学的に形態分類された鉄滓の主要元素の組成に注目し、鉄滓の識別に利用できる元素を検討した。そして、その元素を使って、鉄滓の識別を行うための指標を作ることとした。

2. 使用するデータと考察方法

2.1 使用するデータ

考察には、国立歴史民俗博物館研究報告^{1,2)}（以下では歴博報告と略す）に掲載されたデータを用いた。分析された試料は、東北地方から近畿地方までの古代から中世前半

の遺跡から出土した、椀形滓49点、非椀形滓36点、羽口3点、炉壁9点、粘土塊1点、砂鉄11点および鉄鉱石2点の合計111点である。

議論をできるだけ単純にするために、地域と時代を限定した。東北および中部地方で産出される鉄の原料は、火山岩起源のTi鉄鉱を多く含む砂鉄である。したがって、Ti

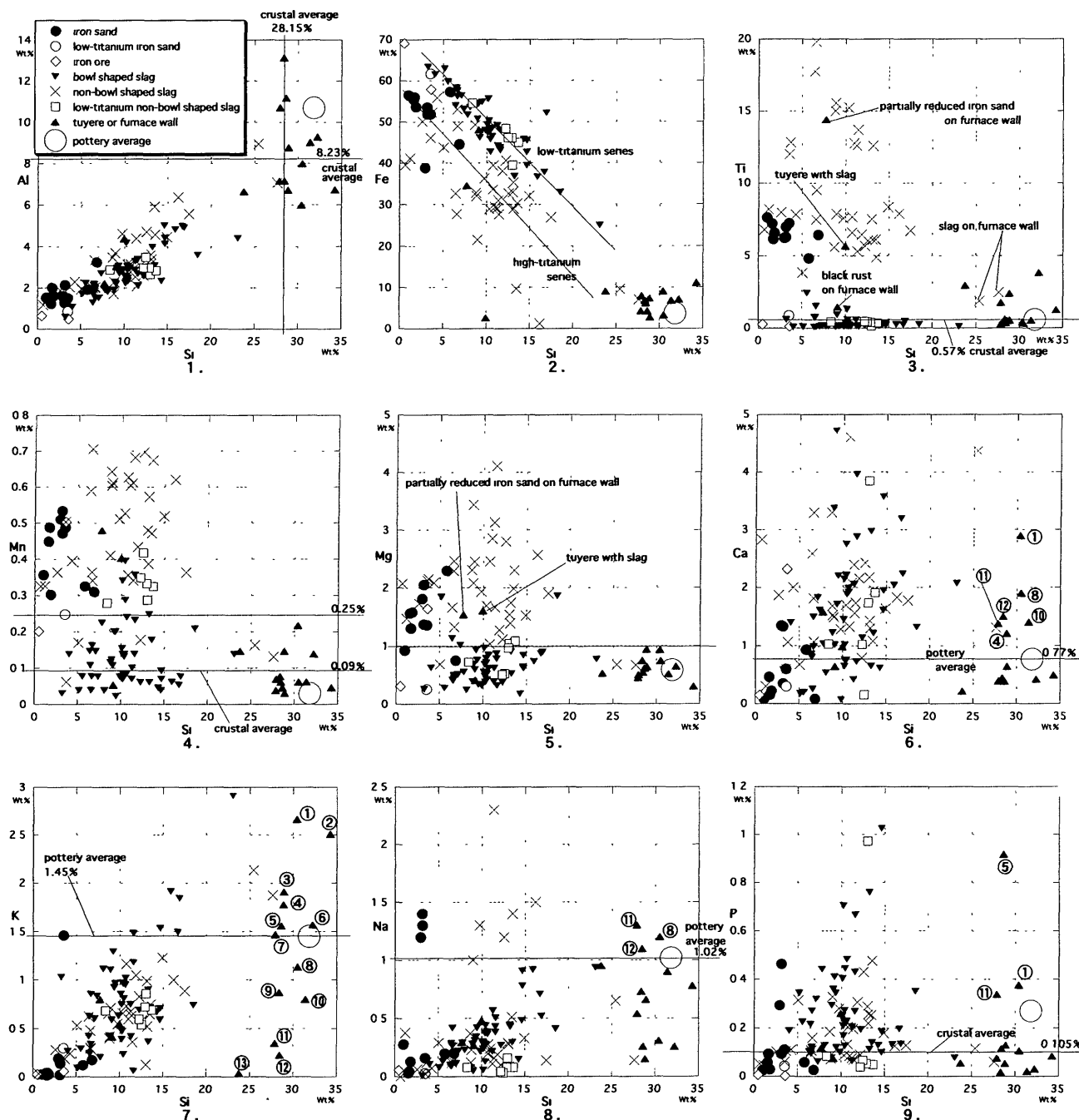


Fig 1. Correlation diagrams for the Al, Fe, Ti, Mn, Mg, Ca, K, Na, P vs Si in ancient iron-making slags, and iron sand excavated from eastern and Kinki-district in Japan.

①Furu 220 (布留), molten furnace wall (炉壁溶解物), ②Hachibuse 86 (鉢伏), vitrified furnace wall (炉壁付着ガラス質部), ③Urushimachi 63 (漆町), vitrified furnace wall (炉壁ガラス化部), ④Rendaji 97 (蓮台寺), partially molten furnace wall (炉壁溶解途上部), ⑤Furu 228 (布留), unvitrified tuyere (羽口, 非ガラス化), ⑥Tajirishimpeidan 66 (田尻シンペイダン), vitrified furnace wall (炉壁ガラス化部), ⑦Tsukagoshi 58 (塚越), vitrified furnace wall (炉壁ガラス化部), ⑧Chikoji 205 (地光寺), unvitrified clay (粘土塊, 非ガラス化), ⑨Fujimidai 272 (富士見台), unvitrified furnace wall (炉壁, 非ガラス化), ⑩Mukaida 264 (向田), unvitrified furnace wall (炉壁, 非ガラス化), ⑪Kitayasuda 48 (北安田), vitrified tuyere (羽口ガラス化部), ⑫Imamachi A50 (今町), vitrified tuyere (羽口ガラス化部), ⑬Rendaji 90 (蓮台寺), unvitrified furnace wall (炉壁, 非ガラス化)

の濃度に基づけば、利用された原料が遺跡周辺で入手したものか否かを把握できる。そして、鉄鉱石を産出する地域に見られる低Tiの例と比較するために近畿地方のデータを入れた。また、近畿地方だけでは低Tiの例が少なかったため、岡山県の鉄鉱石1点と、島根県の花崗岩起源の低Tiの砂鉄1点を参考として用いた。

本稿では、鉄滓を形状だけに注目して、碗形滓と非碗形滓とに2分した。歴博報告における「碗形鍛冶滓」を碗形滓と記し、それ以外の形状のすべての滓を非碗形滓と表記した。本稿では鉄滓をこれ以上に細分せずに論を進める。

遺跡から出土する鉄の生産活動に関わる炉の形態は2大別される。地上に構造物を造らず、炉床としての凹部を持つ炉と、地上に構造物を造る炉（竪形炉、箱形炉）との2つである。碗形滓は前者の炉床に溜まった滓と推定でき、非碗形滓は後者の炉で生成した滓と考えられる。

化学成分に基づいて鉄滓を分類するには、主要元素をすべて分析しておくことが理想的である。鉄滓を構成する素材は地殻の一部であるから、現在地殻中に知られているほぼすべての元素が含まれることになるだろうが、桂敬³⁾が述べるように、地殻の主要元素であるO, Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, Pの11元素がその大部分を占める。ZrやVを0.1%以上含む例も少数あるが、一般的な鉄滓は、%単位で記す限り、地殻の主要元素だけでほぼ100%となる。したがって、これらの主要元素を測定しておけば、鉄滓の化学的性質の概略を論ずることができるのである。

各自治体の発掘調査報告書には先に示した主要元素を測定した分析例が多いが、歴博報告を用いたのは、それが一般に入手しやすい文献であることと、放射化分析によって多くの微量元素も測定されているので、発展的に考察を継続することができるからである。

なお、本稿で使用した歴博報告のデータの大半は化学分析によるが、Naの化学分析が施されていない試料が71点あるので、それらについては同一固体を分割して試料としたものを放射化分析で測定したデータを使用した。また、化学分析の結果は酸化物としての値が報告されているが、本稿では元素のみの値を算出して用いた。

2.2 方法：Siによる規格化

本稿で議論の対象とする鉄滓は、ガラス質物質やカンラン石などのSiを含む物質と、Feを含む結晶物質とで構成される。それらは、砂鉄、鉄鉱石などのFeを多く含む原料から金属Feを分離する過程で生成した諸物質や、分離された金属Feを精練する過程を経て残存した諸物質である。そして、始発原料と鉄滓との化学成分の違いを大雑把に見るならば、相対的に、Siが増加している。そこで本稿では、「始発原料（木炭も含む）から鉄滓までの系」を、「Feを中心とした物質がFeとSiを中心とした物質へと変化

する系」であると捉え、鉄滓における主要元素の量の違いを見るに際し、Siの濃度変化に対する各元素の濃度の変化を見た。Si濃度を横軸に設定し、対象とする元素の濃度を縦軸に置いたグラフを元素ごとに作成した(Fig 1)。

なお、筆者がこれまで分析してきた東日本における粘土・シルト・砂の混和物である土器類1,700点あまりの主要元素の平均値も示した¹⁾。焼成した粘土等の「標準試料」としてそれらを使い、本稿で用いるデータ中の羽口・炉壁の値に、炉の操業以後に加わった元素があることを示すためである。

3. 結果と考察

3.1 Siに対する各元素の相関

Fig. 1によると、各元素とSiとの関係を3つに分けられる。

- (1) Siと正の相関を持つ元素：Al・Ca・Na・K・P
- (2) Siと相関を持たない元素：Ti・Mn・Mg
- (3) Siと負の相関を持つ元素：Fe

分類(1)の元素はどの形態の鉄滓においてもSiとともに増加する。いかなる鉄滓の生成過程でも増加する元素である。

分類(2)の元素はSiと相関関係を持たないだけでなく、試料の種類ごとに濃度が明瞭に違う。この点が分類(1)の元素と全く異なる。すなわち、(2)の元素は、試料の種類によってその生成環境が異なっていることを示す。

分類(3)のFeは、いかなる種類の試料であれ、Siの増加に対して比例的に減少している(Fig 1-2)。また、同図では大きく2系列を識別できる。この系列について後に考察する。

3.2 Siと正の相関を持つ元素

どの形態の鉄滓でも分類(1)のAl, Ca, Na, KとPはSiと共に増しているため、鉄滓とは、始発物質に対してSi, Al, Ca, Na, K, Pが増加する物質であると言い換えることができる。そして、分類(1)の5元素とSiとは、増加の傾向によって2つに分類できる。一つはSiとAl、もう一つはCa, Na, K, Pである。前者は金属Feが失われたことによる、見かけ上の増加が大きく、後者は実際の増加率が高い。

後者の元素が実際に増加したことは、炉壁や羽口における濃度を見れば明らかである。SiとAlは共に長石および粘土鉱物に最も多く含まれる元素であり、また、石英はSiO₂である。それらの3種の鉱物は土器の胎土の主要構成要素である。したがって、SiとAlは土器類の値がほぼ最高値であり、鉄滓にはそれらの値を超過例はない(Fig 1-1)。それに対し、Ca, Na, K, Pの4元素は、鉄滓、炉壁、羽口に、土器類よりも高い値のものが多くある。高温焼成に耐える

¹⁾ 北海道・青森県・秋田県・岩手県・新潟県・茨城県・千葉県・埼玉県・神奈川県・奈良県・京都府の縄文土器・土師器・須恵器、約1700点の胎土をICP-AESで分析した値に基づいている。分析値の一部は松本建速¹¹⁾¹²⁾に掲載してある。

粘土等の成分は、 SiO_2 と Al_2O_3 が90%近くになり、残りの10%前後を他の主要元素の酸化物が占める。Ca, NaとKのような移動しやすい元素は、粘土鉱物になる過程で減少し、若干の地域差はあるが、それぞれ酸化物で1%台以下となっているのが通例である。したがって、図に示した土器類の平均値よりも高いアルカリおよびアルカリ土類元素の値があったとすれば、その値は炉の操業の過程で他の物質が加わったものである。

炉の操業中の増加率が高い元素であるCa, Na, KとPについてもう少し詳しく考察する。Fig. 1-3~5に示すように、どの形態の鉄滓でも、それらの元素は Si とともに増加する。それらは鉄滓が生成するどの工程においても利用される物質に由来する元素である。すべての工程で使われる物質に木炭があり、焼成後には、その灰分が滓中にとどまる。樹種によって灰分中に含まれる量やそれぞれの元素組成は異なるが、木炭の灰分には各種のアルカリおよびアルカリ土類元素が含まれる¹²。

本稿で用いたデータに基づき、炉壁や羽口のCaやKの濃度の変化を考える。同一地域の粘土の化学組成は、それほど変わらないのが一般的であるので、データとして、同一遺跡の羽口や炉壁の値を用いると良い考察ができる。奈良県布留遺跡で出土した羽口のデータでは、溶解炉壁はKが2.7%, Caが2.9%, 未溶解羽口はKが1.6%, Caが0.4%である。未溶解羽口は羽口のフイゴ側の基部なので、高熱を受けていない。つまり、この成分の値は、羽口が製作された当初の値である。それを基準にすると、溶解炉壁のK, Caは、本来の値よりも1%以上高い値であり、それらは、炉の操業中に添加された物質の元素濃度であると考えられる。

また、土器の胎土にもKやCaが2%ほど含まれる例があるが、普通、1.5%以上あるものは少ない。Fig. 1中で1.5%以上のKやCa濃度を含有する炉壁の多くは、炉の操業中に添加されたと考えるべきであろう。さらに、それらの試料の多くは、ガラス化、あるいは溶解しているが、それはKやCaを多く含む物質が融剤となり粘土内の SiO_2 などと反応した結果であろう。木灰や藁灰を用いた釉薬が陶器表面をガラス化させること⁴⁾と類似した現象と考えられる。したがって、炉壁や羽口で、CaやKを増加させているのは木炭の灰分であると推測できる。このことから、鉄滓で添加されたCaやKの多くは、木炭の灰分に由来すると考えられる。鉄滓におけるCaの由来として木炭の灰分を考えるべきとした、村上英之助⁵⁾の判断を支持できる。

一方、炉壁や羽口のNaは土器類の平均より高い値のものが少なく、鉄滓でも、CaやKに比べて少量しか増加していない。Naが樹木の灰にあまり含まれないことと一致する¹²。

次にPについて述べる。Pは、試料の種類によっては土中に堆積している過程で沈着する場合があるので、注意を要する。G. Dumaによれば、600~800°Cで焼成された粘土の場合、Pが沈着し、とどまりやすい⁶⁾。本稿で用いた試料では、布留遺跡出土の羽口に含有されるPは0.9%を超す(Fig. 1-9)が、これは土中で沈着した例であると解釈できる。その根拠は次の2点である。1点目は、この布留遺跡の試料が羽口基部の破片であるので、炉の操業時に高温下ではなく、羽口製作における焼成で加熱されただけであり、G. Dumaの述べた600~800°Cで焼成された粘土の範疇に入ることである。2点目は、東日本各地の粘土の分析結果によれば⁷⁾、Pの濃度は地殻平均の値である0.105%の前後が普通であり、多くても0.2%以下であることである。したがって、この布留遺跡出土の羽口試料は、土中堆積時にPが沈着した例であると考えられる。

一方、Fig. 1-9に示すように、ガラス化した羽口や炉壁の場合、P濃度が地殻平均前後かそれ以下である。これらは本来の粘土等に含まれていただけのPであり、操業時も含め、後に加わった値ではない¹³。粘土鉱物が高温で焼成されて他の鉱物に変化すると、Pは沈着しなくなる。

しかしながら、0.3% Pを超す炉壁が2点ある(Fig. 1-9)。それらはガラス化していたり、溶解していると記されているものである。そのPは堆積後に加わったのではない。これらは2点とも、PだけでなくCaが高い(1.4%と2.9%)。この場合のPはCaとともに炉の操業中に木炭の灰分から加わったと推定できる。地球上において、Pは生物に多く含まれる元素である。新井宏が砂鉄製錬の実験例を示し、製錬時にPが木炭から添加されると推測している⁸⁾が、それを支持する。

最後に Si と Al の増加について考える。砂やシルトの大部分は石英と長石で占められるが、石英は SiO_2 であり、長石を構成する主要な元素は Si と Al である。粘土の大部分も Si と Al である。そして、考古学的情報に基づけば、古代から中世前半頃の竪形炉の場合、炉壁、羽口などが溶解して鉄滓に含まれるという現象は、羽口の先端部や羽口付近の炉壁周囲で部分的に起こるだけである。椀形滓の生成遺構と推定される地面を掘り窪めた地床炉には、粘土等で構築された構造部が存在しないため、溶解する可能性の

¹² 木炭の灰分の分析値は多くはない。岩瀬慶三¹³⁾の分析では、樺炭の灰で、 CaO が49.60%, K_2O が19.90%である。また、筆者がICP-AESで、土壌分析と同様の前処理をして分析した結果では、樹種によってばらつきがあるが、アカマツ・クリ・フナ・コナラ・ミズナラの幹を炭にした後に燃やして得た灰分の場合、Caは7.89~26.95%, Naが0.12~2.10%, Kが4.75~36.60%である¹⁴⁾。

アルカリという語は、アラビア語で灰を表す語に由来することからもわかるように、一般に灰分にはアルカリおよびアルカリ土類元素が多く含まれるが、木炭の灰分の場合、CaとKを多く含むのが特徴である。

¹³ Fig. 1-9中の土器類の平均値は0.27% Pで、地殻平均よりも高いが、土器が土中に堆積している間にPが沈着したものが試料中に多いたためである。造岩鉱物が溶解するほどの高温で焼成された須恵器の場合、Pはすべて0.1%以下である。

ある粘土部分は炉面だけである。須恵器や陶器を1200～1300℃で焼成しても、それらは溶解しない。焼き物の素地の種類によっては、そのような高温焼成に堪えない場合があるが、それは、粘土鉱物の収縮が激しいために器が歪むのであり、溶解してしまうわけではない。ただ、灰分のようにCaやKを多く含む物質は粘土に対して溶融剤として働き、1000℃ほどでもガラス質部分を作るので、木炭の灰分と接触した粘土部分が溶解し、鉄滓に溶け込むことはあろう。そのような場合でも、先に述べたように、炉や羽口の溶解部分の狭さから考えて、鉄滓中に埴形炉や地床炉の粘土からSiやAlが多量に供給されはしないであろう。ただし、操業後の箱形炉壁を観察したことがないので、それについては言及しない。

本稿で用いた試料中には箱形炉の非埴形滓も含まれるが、ここでは埴形炉と地床炉で生成した鉄滓中のSiやAlの供給源について述べておく。それは砂鉄等の原料であると考え。一般に、遺構から出土した砂鉄の分析に供される試料は、高品位で、Fig. 1-1 2の砂鉄のように、Feが多くSiやAlが少ない。しかし、いくつかの遺跡報告書に掲載された砂鉄の分析では、品位の悪い例もあり、SiとAlが高濃度となっている⁹⁾。そして、Fig. 1-1・2に示す鉄滓の分析値はSiとAlを高濃度で含む原料が用いられた値であると考えべきである。SiとAlの濃度は炉の操業前と後とではほとんど変わらず、金属Feが分離した結果の見かけ上の増加であり、Feが少ない試料ほどそれらの値は高いのである。

以上に考察したように、鉄滓が生成するどの工程でも添加されるCa, Na, KとPは鉄滓の分類には使えない。

3・3 Siと相関を持たない元素：Ti・Mn・Mg

分類(2)のTi, MnとMgは、Siとの相関関係はない。それらの3元素の濃度は、埴形滓と非埴形滓とで明瞭に異なる。Tiはほぼ0.57%を境にして埴形滓ではより低濃度であり、非埴形滓ではより高濃度である(Fig. 1-3)。Mnは0.25%を境にして埴形滓ではより低濃度であり、非埴形滓ではより高濃度である(Fig. 1-4)。Mgの場合、両鉄滓を分ける濃度は1.0%である。ただし、低Tiの非埴形滓はこの限りではない。低Tiの非埴形滓の場合、TiとMgが埴形滓とほぼ同じ濃度である。Mnだけが、埴形滓に比べて若干高濃度の0.3～0.4%である。これらのことから、埴形滓と低Ti非埴形滓との識別は困難だが、Mnが有効な場合があると予想できる。

埴形滓と非埴形滓とにおいて、Ti, MnとMgの3元素がSiと相関を持たないのは、滓が生成されるどの生産工程でも、それらの元素を外から多量に添加する物質がないからである。Tiを横軸に取り、Mn, Mgとの相関を見たグラフがFig. 2である。それによると、MnとMgはTiと正の相関を持つ。Ti, MnとMgは原料に含まれている元素であると推定できる。

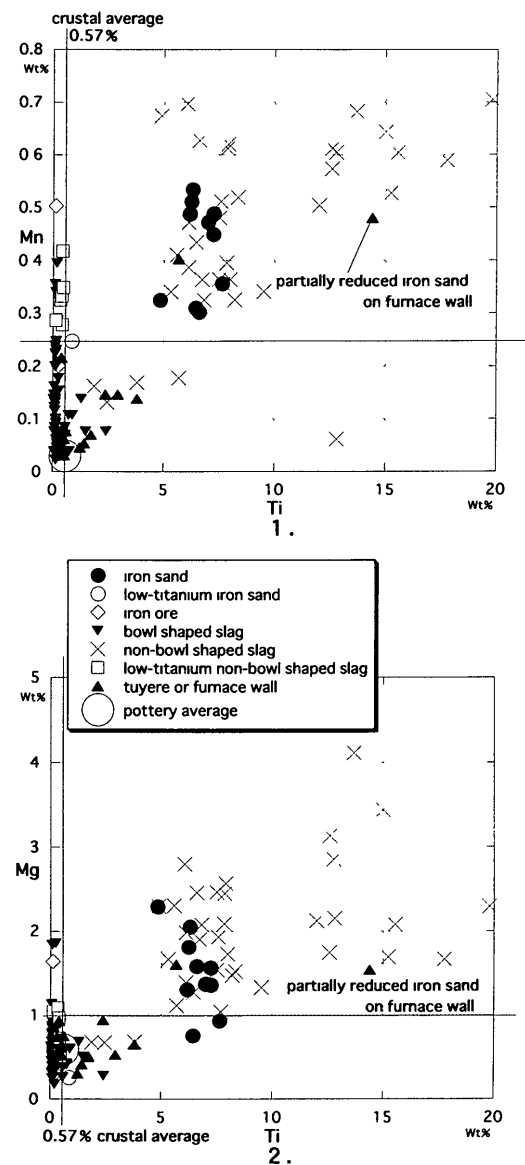


Fig. 2 Correlation diagrams of the Mn, Mg vs Ti

そして、滓の生成過程におけるTi, MnとMgの添加はほとんどない。したがって、埴形滓に含まれるそれらの3元素がそれぞれ一定の値よりも低いのは、埴形滓の原料中にそれらの元素が少ないからであると考えられる。一方、非埴形滓においてTi, MnとMgが砂鉄とほぼ同等か、それ以上の濃度となるのは、それらの元素が砂鉄に由来するからである。また、Ti, MnとMgを図示した砂鉄よりも高濃度で含む非埴形滓があるのは、金属Feが分離したことによる見かけ上の増加もあるだろうが、図示した砂鉄よりもそれらの3元素を多く含む低品位の砂鉄が原料として利用されていたからであると推測する。

3・4 Siと負の相関を持つ元素

分類(3)の元素はFeだけである。すべての試料に共通して最も高濃度で含まれる元素はFeであり、それに次ぐのがSiである(Fig. 1)。したがって、Feの増減を相対的に最も敏感に反映する元素がSiとなる。

そして、Fig. 1-2に2つの系列を読み取ることができる。砂鉄および非碗形滓の系列と、碗形滓および低Ti非碗形滓の系列である。Fig. 1-3~5に示すように、前者にはTi, Mn, Mgが高濃度で含まれ、後者にはそれらの3元素が少ない。以下では、両系列を分ける3元素中、最も濃度が高いTiで代表させて、前者を高Ti系列、後者を低Ti系列と呼ぶ。

高Ti系列はFe, Ti, Mn, Mg, Siが高いことから、ウルボスピネル(Fe_2TiO_4)、Ti鉄鉱(FeTiO_3)などのFe, Tiを含む結晶や、Fe, Mg, MnとSiからなる固溶体であるカンラン石(一般化学組成式 A_2SiO_4 , $\text{A}=\text{Fe, Mg, Mn}$)を含むと考えられる。この系列の原料はTi鉄鉱を含む砂鉄である。一方、低Ti系列に含まれるTi濃度は地殻平均以下である(Fig. 1-3)。この系列はTi鉄鉱を含む物質が起源ではない。また、低Ti系列はMn, Mgが少なく(Fig. 1-4・5)、カンラン石をあまり含まないと推測できるので、この系列に含まれるFeは主にウスタイト(FeO)や磁鉄鉱(Fe_3O_4)であると考えられる。

以上から、Ti鉄鉱を含む砂鉄を原料とする地域では、高Ti系列は製錬に関連する物質からなり、低Ti系列は鍛冶に関連する物質からなることがわかる。したがって、非碗形滓は製錬滓、碗形滓は鍛冶滓であると推測できるのである。

ただしFig. 1-2で、低Ti系列の碗形滓と低Ti非碗形滓とを分けることは困難である。だが、東北地方や中部地方のように、低Tiの原料が存在しない地域では、本来、低Tiの非碗形滓は存在しない。熟練した観察者ならば、碗形滓か非碗形滓かを確実に判別できるであろうから、外見で分類できる場合には、それを加味して判定する必要がある。

3.5 鉄滓の分類に有効な指標：Mn/Ti, Mn/Si, Mg/Ti, Mg/Si

鉄滓の生成過程で使われるTi, MnおよびMgを高濃度で含む原料は砂鉄である。したがって、それらの元素は鍛冶滓には少なく、製錬滓に多い。Siは炉壁や羽口、さらに樹種によっては木炭の灰分にも多く含まれるが、本稿の試料とした古代および中世前半の堅型炉の炉壁があまり溶解していないので、原料の砂鉄から供給されるSiが最も多いと推定できる。そこで、Ti, Mn, Mg, Siの4元素を用いてMn/Ti, Mn/Si, Mg/Ti, Mg/Siの4つの指標を作り、それらを使った2つのグラフを示した(Fig. 3)。

どちらの図でも碗形滓と非碗形滓とを明瞭に分けられるが、より識別に適しているのはMn/TiとMn/Siのグラフである。

5. 結論

形態観察によって碗形滓および非碗形滓とに分類された試料について、それらを構成する主要元素を用いた識別を試み、以下のような結果を得た。

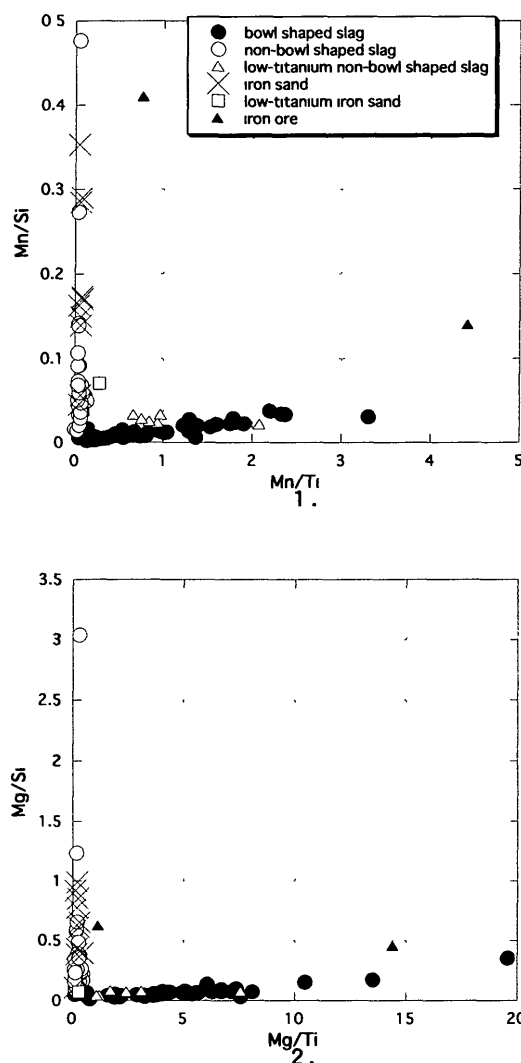


Fig. 3 Correlation diagrams using indicators for identification of bowl-shaped slags “wanngata-sai” and other materials. 1. Mn/Si vs Mn/Ti 2. Mg/Si vs Mg/Ti

(1) 主要元素を用いて非碗形滓と碗形滓とを識別できた。両鉄滓の識別に利用できる元素はFe, Si, Ti, MnとMgであり、利用できない元素はCa, Na, KとPである。

(2) FeとSiの相関図から高Tiと低Tiの2系列を読み取れた。低Ti系列はTi, MnとMgが砂鉄よりも低濃度なので、Ti鉄鉱を含む物質を原料としない。碗形滓は低Ti系列であり、地床炉で生成した形態なので、鍛冶滓と考えられる。高Ti系列はTi, MnとMgが砂鉄と同じか、より高濃度であるので、Ti鉄鉱を含む物質を原料とする。非碗形滓は高Ti系列なので、製錬滓と考えられる。

(3) Mn/Ti, Mn/Si, Mg/TiとMg/Siは碗形滓と非碗形滓とを識別するのに有効な指標である。加えて、考察に用いた試料が少なく、まだ不確実だが、MgよりもMnを用いる指標がより敏感であると推測する。

6. おわりに

東北部地域の既存の分析には、椀形滓と報告されているが、TiとMgの濃度が高い例があり、今回の試料から導かれた考察結果と矛盾する場合がある。そのよう事例では、MnやKが測定されていないことが多く、考察の目的に合わないので本文中では言及しなかったが、それらの中には、Ti鉄鉱やカンラン石を含む物質を原料とした試料や、椀形滓ではなく、竪型炉の炉底塊の湾曲部を持つ破片と判断すべき試料があるかもしれない。したがって、化学成分と形態に基づいて鉄滓を識別するには、椀形滓か非椀形滓かの形態からの区別を確実につけることと、全主要元素を測定することが基本となる。さらに、過去の諸活動で生成した鉄滓の一部を試料とする考古学的観察や化学成分による識別には限界もあり、天辰正義¹⁰⁾が指摘するように、顕微鏡組織の観察やX線回折等の測定によるクロスチェックが必要である。

文 献

- 1) 国立歴史民俗博物館編：国立歴史民俗博物館研究報告，**58** (1994), 534
- 2) 国立歴史民俗博物館編：国立歴史民俗博物館研究報告，**59** (1994), 367
- 3) 桂 敬：季刊考古学，**8** (1984), 53
- 4) 内藤 匡：新訂古陶磁の科学，雄山閣，東京，(1969), 270
- 5) E Murakami *Journal of Historical Iron and Steel, The Society for Historical Iron and Steel Research, Jpn* , **32**・**33** (1992), 82
- 6) G Duma *Curr Anthropol* , **13** (1972), 127
- 7) 松本建速：日本第四紀学会講演要旨集，**32** (2002), 156
- 8) H Arai *Bull Iron Steel Inst Jpn* , **5** (2000), 742
- 9) 平井昭司：原町火力発電所関連遺跡調査報告Ⅴ，福島県文化センター，**310** (1994), 1305
- 10) 天辰正義：「鉄関連遺物の分析評価」研究グループ「前近代製鉄実験」研究グループ合同例会講演論文集，(2003), 46
- 11) T Matsumoto *Quat Res* , **42** (2003), 1
- 12) T Matsumoto *Quat Archaeol Stud* , **50** (2003), 102
- 13) 岩瀬慶三：砂鉄の研究，科学主義工業社，(1942), 722
- 14) 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回講演論文集，(2003), 27