

鉄滓の山から読みとく歴史

福島県文化財センター白河館

門脇 秀典

1. はじめに

製鉄遺跡を研究する者は、「いつかは古代の製鉄技術を再現し、流れ出る銑鉄や炉底に溜まった鉬塊を取り出してみたい」と夢をいだく。製鉄炉を寸法どおり復元して、砂鉄を溶かせば鉄ができると思われがちだが、それが簡単ではないことは過去に当館で行われた製鉄実験が物語っている。

遺跡から出土した膨大な量の鉄滓は、古代製鉄技術の結晶である。鉄滓は刻々と変化する製鉄炉の状況を瞬間的に記録したものである。鉄滓は、灼熱の製鉄炉の中を流れる血液のようなものであり、その成分値を読み解くことは血液検査の判定とよく似ている。血液のようにサラサラと流れる鉄滓を生み出すことができたなら、その下には光り輝く鉄が流れているはずである。

企画展「ふくしま鉄ものがたり」を開催するにあたり、副題として「鉄滓の山から読みとく歴史」を掲げることとした。鉄滓は外見上、ほとんど同じものであるので、一般的にはわかりにくい。だが鉄滓のひとつひとつには、ものがたりがあったはずである。本論は、鉄滓ものがたりの序章としたい。

2. 砂鉄について

福島県浜通り地方には製鉄遺跡が数多く存在するが、その最大の要因は原料である砂鉄であろう。本地域の海岸は砂鉄が豊富で、今でもよく採れるのだが、分析してみるとかなりの割合でチタン分が含まれる。一般にチタン分が高いとされる中国地方の赤目砂鉄ですら5～10%程度であるのに対し、本地域の砂鉄には約30%も含まれる。

図1は浜通り地方の古代製鉄遺跡から出土した砂鉄の成分の内、酸化鉄・シリカ・酸化チタンの比率をプロットしたものである。砂鉄のプロット(④～⑱)は、酸化鉄と酸化チタンの化合物である「ウルボスピネル(W_2T)」と「シリカ」を結んだ線分に並ぶ。これは比重選鉱によって、シリカの割合は減少するが、酸化鉄・酸化チタンの割合はほとんど変化しないことを示している。また、遺跡・時期が異なるにもかかわらず、ほとんどのプロットが同じ線分にのるということは、浜通りの海岸で採取される砂鉄(原鉱)の成分がほとんど同じであることを裏付けている。逆にプロットの違いは原料である海岸砂鉄をどこまで比重選鉱により精選したか、つまりシリカをどれくらい取り除いたかを示している。

これは古代における砂鉄の選鉱技術を示している可能性が考えられるのだが、ここで課題となるのはシリカの割合の異なる砂鉄を何種類か用意していたかどうかである。砂鉄の比重(水櫃)選鉱を行った場合、水を流した上流側には鉄分が多い砂鉄が溜まり、中流にはシリカの割合が高い砂鉄が溜まる。これらの砂鉄を使い分けていたかどうかは、海岸砂鉄を用いた比重選鉱実験やふるい分け試験などを行って、今後、遺跡出土の砂鉄との比較検証が必要となる。

また、図1のプロット(①～③・㉓)は線分からやや離れ、チタン濃度がより高い側にある。これも比重選鉱の結果を反映したものと考えられ、比重の軽い砂鉄を選択していた可能性がある。

なお、プロット㉕～㉘は線分から大きく離れ、チタン濃度が低い側にある。鉄分濃度だけが上昇している現象は資料選定の過程で磁石が使用された可能性があり、サンプリングエラーと考える。

表 1 砂鉄成分表

No.	遺跡	遺構	時期	T.Fe	FeO	Fe2O3	SiO2	Al2O3	TiO2
①	南狼沢 A	SK22	中世	36.7	10.3	41.0	1.6	1.0	41.5
②	館越	SW02	9c 前	41.2	10.6	47.1	1.9	0.8	36.8
③	荻原	SW01	9c 中	40.9	10.2	47.1	3.8	1.1	35.5
④	横大道	SW04	9c 前	41.1	11.2	46.3	5.3	1.2	32.0
⑤	天化沢 A	SW07	9c 中	40.5	12.4	44.0	5.5	1.5	31.7
⑥	南代	SW06	8c 後	39.9	23.8	30.4	6.2	2.2	29.6
⑦	大船迫 A	SW35・36	9c 前	40.3	13.0	43.0	8.1	2.5	29.0
⑧	大船迫 A	SW05	9c 前	39.9	14.2	41.1	8.6	2.2	28.9
⑨	大船迫 A	SW15	9c 中	39.2	15.2	39.0	9.2	2.2	29.9
⑩	向田 G	SW01	9c 前	38.6	12.4	37.5	10.1	2.4	27.0
⑪	大船迫 A	SW22	9c 前	39.4	17.0	37.3	10.3	2.0	28.9
⑫	大船迫 A	SW24	8c 後	37.9	14.1	38.3	12.4	2.0	27.3
⑬	大船迫 A	SW26	8c 後	39.0	12.3	42.0	12.8	1.5	26.3
⑭	大船迫 A	SW29	7c 後	34.0	10.9	36.4	17.3	5.0	23.4
⑮	大船迫 A	SW51	8c 前	34.3	14.4	32.9	17.8	3.5	24.6
⑯	大船迫 A	SW37・38	9c 前	33.8	11.7	35.3	18.6	3.6	24.1
⑰	大船迫 A	SW07	9c 前	34.3	11.0	36.6	19.1	4.1	22.9

No.	遺跡	遺構	時期	T.Fe	FeO	Fe2O3	SiO2	Al2O3	TiO2
⑱	大船迫 A	SW46	8c 前	31.7	12.1	31.8	21.4	5.2	23.0
⑲	向田 E	SW01	7c 後	34.0	21.2	18.3	22.2	3.2	23.8
⑳	原町北泉海岸			33.9	11.7	35.4	19.2	1.3	22.9
㉑	新地大戸浜海岸			40.1	10.5	45.6	7.3	1.2	31.4
㉒	小高村上海岸			30.4	2.1	41.0	27.8	1.5	17.8
㉓	相馬中村海岸	文献値		39.3	29.3	24.3	1.4		39.3
㉔	双葉郡の砂鉄	文献値		43.2	29.8	28.7	2.0		32.7
㉕	横大道 (磁選)	SW01H	9c 前	47.5	18.8	46.7	11.7	1.9	17.0
㉖	鳥打沢 B (磁選)	SW02	7c 後	54.8	28.1	46.8	3.0	2.0	16.0
㉗	割田 C (磁選)	SW01	9c 中	54.1	29.7	44.3	3.7	1.9	17.3
㉘	長瀬 (磁選)	SW09	9c 前	50.5	25.4	43.8	6.2	4.1	14.3

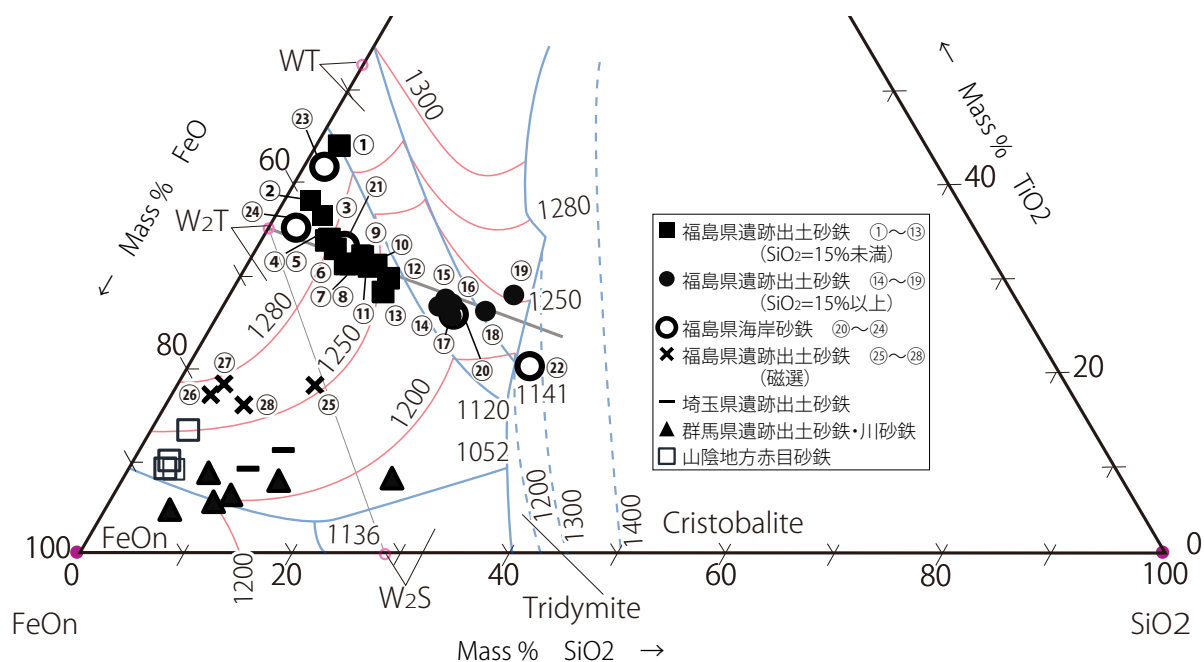


図 1 砂鉄成分の評価

また、浜通り地方の砂鉄と、山陰地方の赤目砂鉄や群馬・埼玉県の製鉄遺跡から出土した砂鉄を比較した場合、浜通り地方の砂鉄は際立ってチタン濃度が高いことがわかる。

ここで浜通り地方の砂鉄についてまとめておく。

- ・海岸で採取される砂鉄（原鉱）の成分は、ほとんど同じであること。
- ・比重選鉱により精選が進んだ砂鉄では、全鉄分が40%前後、チタン濃度が30%前後であること。
- ・さらにチタン濃度が35%を超える砂鉄が存在すること。

なお、炉壁や炉内滓資料の中から、肉眼で砂鉄粒子が残った「砂鉄焼結塊」を抽出し、分析することで、製鉄炉に投入された砂鉄と近似した値を得ることができる。今後は「砂鉄焼結塊」の成分値も合わせて検討することで、使用された砂鉄の実態に迫ることができるだろう。

3. 製鉄関連遺物量の比較

これまでに浜通り地方の古代・中世製鉄遺跡からは、約1,108トンの製鉄関連遺物(鉄滓や炉壁など)が出土している。これは発掘調査された遺跡のみの集計であるが、ほとんどの遺跡で漏らすことなく計量データがあることは特筆すべきことである。この成果一覧については、巻末の鉄滓重量表に掲載している。

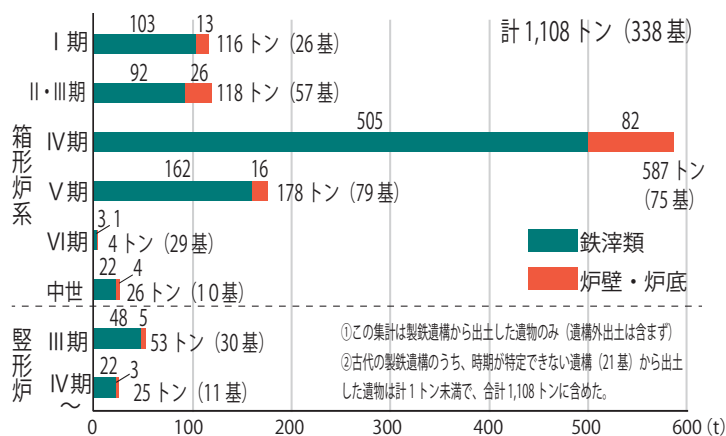


図2 浜通り地方の古代・中世製鉄遺構数・時期別遺物量

これまでに浜通り地方で見つかった古代・中世の製鉄遺構(製鉄炉・廃滓場)の総数は338基で、この内、製鉄炉の数は280基である。製鉄炉の時期別に製鉄関連遺物の集計を行ったところ、図2のような結果となった。なお、時期の区分は、金沢地区製鉄遺跡群の報告で示された編年案に基づき、I期(7世紀中～後葉)、II期(8世紀初頭)、III期(8世紀前～後葉)、IV期(8世紀末葉～9世紀前葉)、V期(9世紀中葉～後葉)、VI期(10世紀)とした。

まず、箱形炉と豎形炉の製鉄関連遺物量(以下、遺物量とする)を比較すると、全体の93%(1,029トン)が箱形炉系の遺構から出土した遺物である。このことから本地方では豎形炉系の技術が限定的であり、あくまで箱形炉系の技術が古代から中世にかけて主体であったことがわかる。

各時期で見てみると、I期(7世紀中～後葉)では26基の製鉄遺構(箱形炉)から116トンの遺物が出土しているが、その多くは本地方最大の遺物量の大船泊A遺跡29・30号製鉄炉跡からである(76トン)。この製鉄炉はI期の中でも7世紀第3四半期に位置付けられるが、遺物量の多さは導入期から比較的短期間のうちに製鉄技術が習熟していたことを示している。

II・III期(8世紀初頭～後葉)では57基の製鉄遺構(箱形炉)から118トンの遺物が出土している。I期に比べて製鉄遺構の数は倍増しているため、1基あたりの遺物量は減少していることになる。同じ時期の豎形炉は30基が見つかっており、合計53トンの遺物が出土している。この内、約33トンが南相馬市小高区の横大道製鉄遺跡と檜葉町の南代遺跡からの出土である。

IV期(8世紀末葉～9世紀前葉)は、箱形炉に踏みふいごが導入された時期で、75基の製鉄遺構(箱形炉)から587トンの遺物が出土している。1基あたりの遺物量が20トンを超える製鉄炉もあり、集中的な生産体制の様子がうかがえる。この時期が本地方の鉄生産のピークである。同じ時期の豎形炉は11基が見つかっており、合計25トンの遺物が出土している。

V期(9世紀中葉～後葉)は、79基の製鉄遺構(箱形炉)から178トンの遺物が出土している。IV期に比べ製鉄炉の数が増加しているにもかかわらず、遺物の総量が減少していることから、IV期でみられた集中的な生産体制が維持できず、分散型の生産体制に移行したことがうかがえる。

VI期(10世紀)は、29基の製鉄遺構(箱形炉系・円筒形自立炉)から4トンの遺物が出土している。また、中世(12・13世紀)は、10基の製鉄遺構(箱形炉系)から26トンの遺物が出土している。発掘された遺跡の数が少なく、これらの時期別遺物量の評価については今後の課題である。

また、製鉄関連遺物は、まず外見上の特徴をもって流出滓・炉内滓・炉底滓・炉壁(羽口を含む)・鉄塊系遺物に大別してきた。流出滓は炉外で流動した滓のことで、外見上は他との区別が最も容易である。炉内滓は、製鉄炉内で生成したであろう鉄滓で、砂鉄焼結塊やガラス質滓、炉内流動滓などを含む。実際は、流出滓とは外見上異なる鉄滓の総称であることも多く、統計上は注意が必要である。炉底滓・炉壁は使われた粘土の外見で分けることが多く、前者は砂や礫が混ぜられた粘土で、後者はワラスガが混ぜられていることが多い。いずれも粘土が付着しているため、鉄滓そのものの重量の比較はできない。したがって、分類作業によるヒューマンエラーが発生しにくい流出滓の量をもって排滓量とみるのが統計上は正しいだろう。

4. スラグ状態図からみた各遺構の特徴

次に鉄滓の成分値から、製鉄炉の操作条件について考えていきたい。図3は近年発表された酸化鉄－シリカー酸化チタン－5%アルミナ系スラグ状態図(板谷・渡邊2015)で、高チタン砂鉄を用いた本地方製鉄遺跡出土の鉄滓の評価に最も有効的である。この図を用いると、どのような操作条件で排出された鉄滓なのかがわかり、砂鉄から還元が進み金属鉄が生成される過程において、各段階で排出された鉄滓を集成することで、炉内環境の復元が可能になるといわれている。

浜通りの製鉄遺跡から出土した鉄滓は、高チタン砂鉄を原料に生成したものであるため、そのほとんどが鉱物相のウルボスピネル・イルメナイト・シュードブルッカイト領域にプロットされる。これを遺構別に検討すると、IV期の横大道製鉄遺跡1号廃滓場跡(箱形炉由来)の鉄滓はシュードブルッカイト領域の中でも、融点が1,280～1,300度の帯域に集中している(図4-1:資料No.15・21・24～26)。これらは顕微鏡組織ではイルメナイト・シュードブルッカイトが主体的である(表2)。外観的にも流動単位の大きな流出滓資料が多く、箱形炉の操作が最も安定した段階に排出された鉄滓であると推察できる。

この領域に安定期の鉄滓がプロットされていることは、1号廃滓場跡の箱形炉の操作が良好に推移したことを示している。また、安定期に排出された鉄滓のなかには、炭素濃度が3%程度の金属

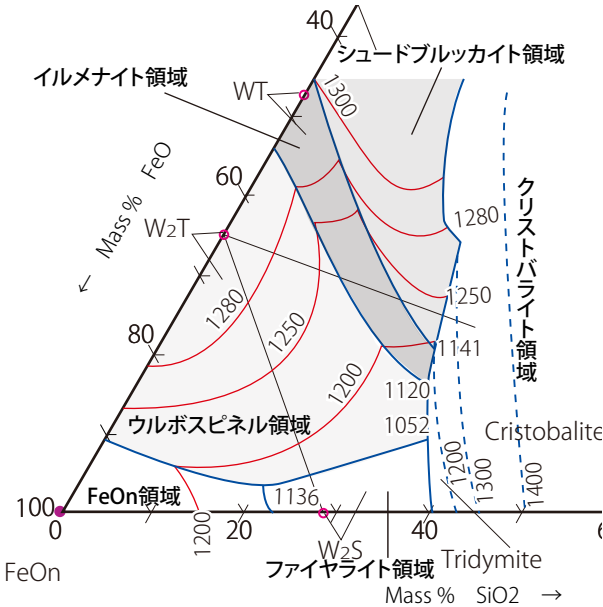
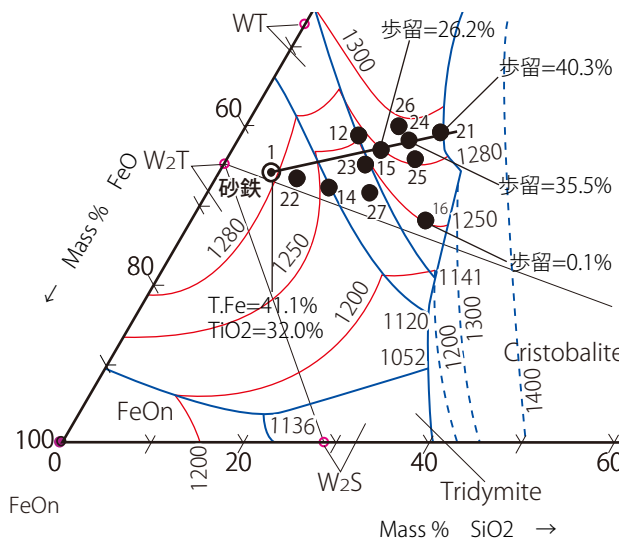


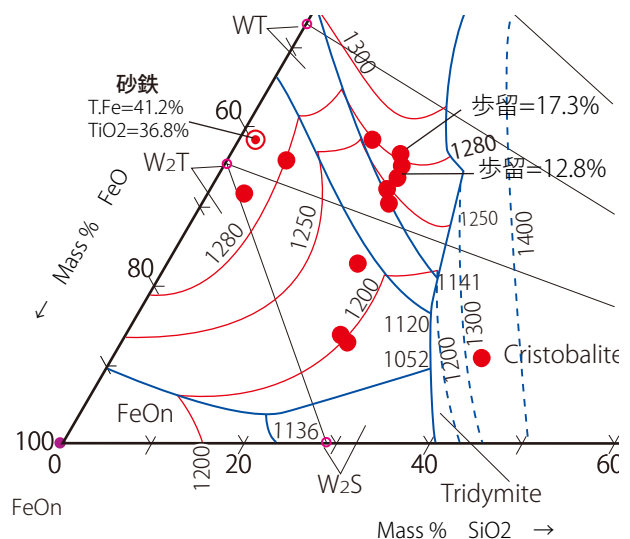
図3 酸化鉄－シリカー酸化チタン－5%アルミナ系スラグ状態図(板谷・渡邊2015を基に作成)

表2 横大道製鉄遺跡1号廃滓場跡出土の鉄滓の性状

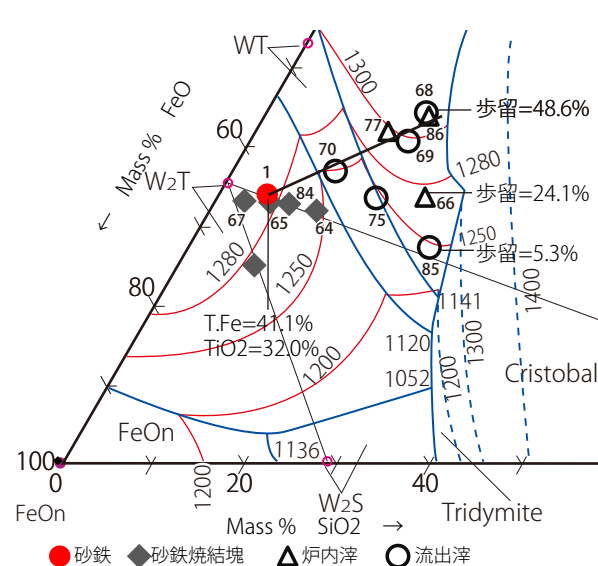
資料No.	種別	顕微鏡組織ほか
1	砂鉄	T.Fe=41.1%,TiO2=32.0%
22	流出滓(鉄塊系)	ウルボスピネル主体
14	砂鉄焼結塊	砂鉄粒明瞭に残る
12	炉内滓	イルメナイト・シュードブルッカイト主体
23	流出滓(鉄塊系)	C = 1.5%の過共析鋼を含む
27	流出滓	ウルボスピネル主体
15	炉底滓(鉄塊系)	ウルボスピネル・イルメナイト主体
26	流出滓	イルメナイト主体
24	流出滓	イルメナイト主体
25	流出滓	イルメナイト・シュードブルッカイト主体
21	流出滓(鉄塊系)	イルメナイト主体 C = 3%のまだら鑄鉄を共伴



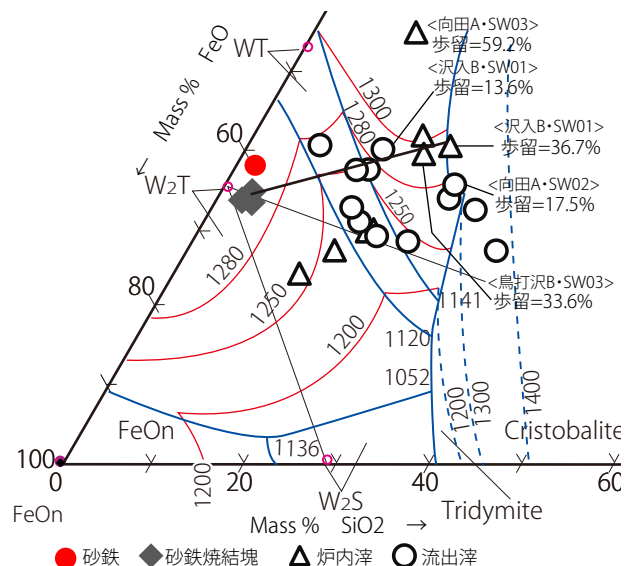
1. 横大道製鉄遺跡 1号廃滓場跡出土鉄滓の3元状態図



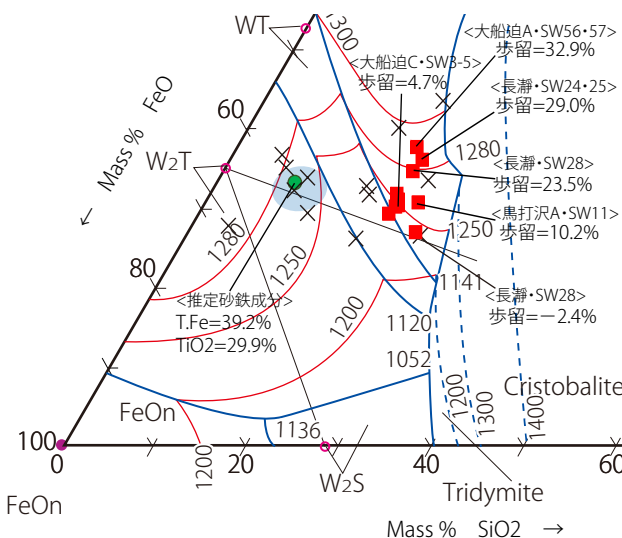
2. 館越遺跡 1号製鉄炉跡出土鉄滓の3元状態図



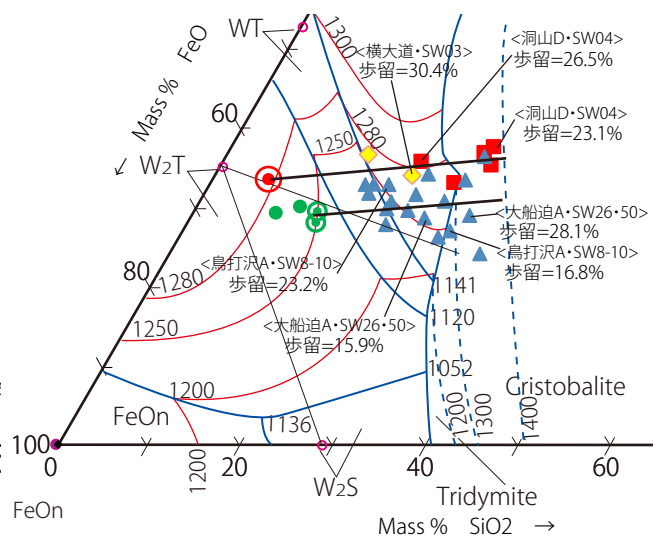
3. 横大道製鉄遺跡（竪形炉）出土鉄滓の3元状態図



4. 9世紀前葉（竪形炉）出土鉄滓の3元状態図



5. 7世紀後葉（箱形炉：金沢地区）出土鉄滓の3元状態図



6. 8世紀（箱形炉）出土鉄滓の3元状態図

図4 砂鉄・鉄滓の3元状態図（1）

鉄を内包する資料(資料No.21)がある。このことは操業安定期では鑄鉄が炉外に流れ出ていたことを明確に示している。一方、顕微鏡組織観察で砂鉄粒子が残る資料(資料No.14)や還元が不十分な金属鉄を含む資料(資料No.22)は、砂鉄のプロットに近い側にある。これらはウルボスピネルの領域にあり、顕微鏡観察結果とも一致する。

以上のことから1号廃滓場跡の鉄滓の分析値を読み解くと、砂鉄のプロットを始点にイルメナイトからシュードブルッカイト・クリストバライトの境界付近に向かってデータが推移している。仮にウルボスピネル領域で還元プロセスが進行し鉄成分が減少して、相対的に鉄滓のチタン濃度のみが上昇した場合では、資料No.22付近からデータは右上がり続けるはずである。この場合、例えば酸化鉄40%、シリカ10%、酸化チタン50%であればシュードブルッカイト領域で融点が1,300度以上の帯域となり、このような高温を維持することは困難である。

この鉄滓の融点制御に大きく寄与するのがシリカ(粘土)の融解である。シリカの濃度が20～30%に高まることにより、イルメナイト・シュードブルッカイト領域で1,280～1,300度帯域での環境条件を維持できる。本地域特有の高チタン砂鉄を還元するプロセスにおいては、造滓剤としてシリカが働くことにより、鉄滓中のチタン濃度の上昇を抑え、さらに融点の上昇を抑制する効果があったと推察できる。

一方、Ⅳ期初頭の館越遺跡1号製鉄炉跡から出土した鉄滓は、イルメナイトとシュードブルッカイト領域の境界付近に分布し、融点が1,280度以下にとどまっている(図4-2)。つまり本遺構は横大道製鉄遺跡1号廃滓場跡よりも炉内温度が低かった可能性がある。

一方、竪形炉から出土した鉄滓は、長方形箱形炉のものとは若干異なる領域でデータが推移する。図4-3に竪形炉(横大道製鉄遺跡4・5・8号製鉄炉跡)の鉄滓データを示す。砂鉄データに近い位置に、砂鉄焼結塊(資料No.64・65・67・84)が集中して分布している。一方、操業が停止する段階において炉内に残留していた鉄滓の資料(資料No.68・69・77・86)は、シュードブルッカイト領域の1,300度以上の帯域にある。おそらく、この領域を目標とした操業を行っていたと推察できる。

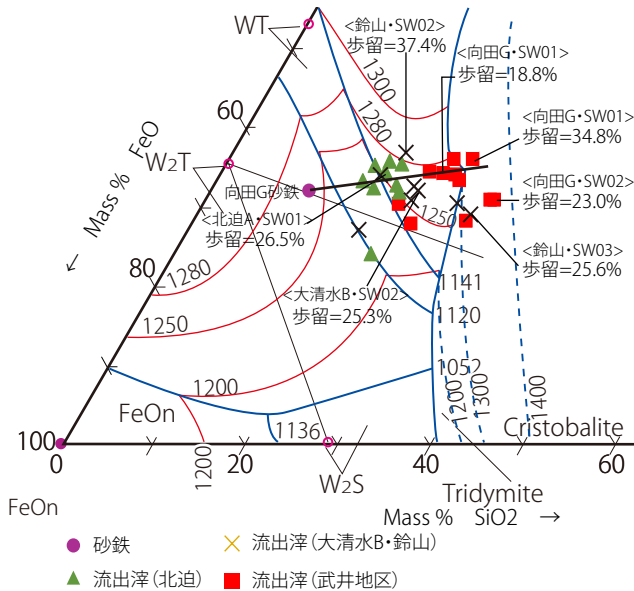
また、竪形炉と箱形炉の鉄滓データを比較した場合、明らかに竪形炉の方が融点の高い側でデータが推移している。このことは箱形炉よりも竪形炉の方が高い炉内温度であった可能性を示唆する。

次に他の地区の状況を、本来は製鉄炉1基ごとに検討すべきところであるが、データ数の関係から時期別にまとめてみる。

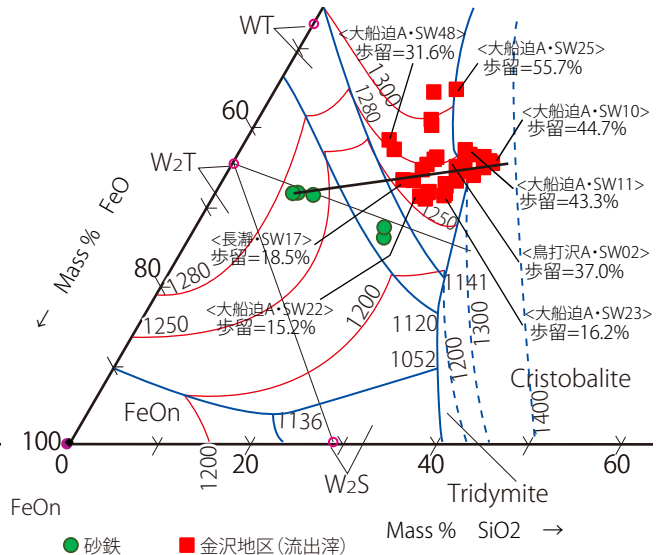
図4-5は、Ⅰ期の箱形炉の鉄滓のプロットである。流出滓のデータがシュードブルッカイト領域の融点が1,250～1,300度の帯域に縦長に分布している。流出滓に限っても成分値の偏差が大きいことは、操業条件が不均一であった可能性を示唆する。また分布の中心は、シュードブルッカイト領域の融点が1,250度付近にあることから、炉内温度が低かった可能性を示す。

図4-6は、Ⅲ期の箱形炉の鉄滓のプロットである。金沢地区製鉄遺跡群の鉄滓プロットは、武井地区製鉄遺跡群や横大道製鉄遺跡の鉄滓プロットよりも融点が低い1,250度付近にある。

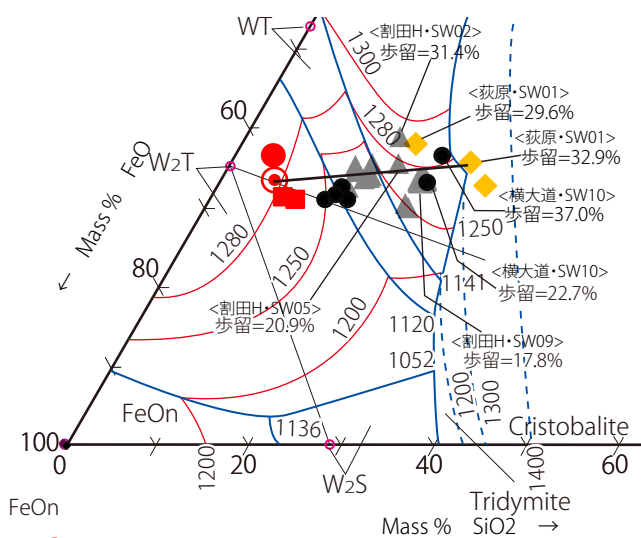
図5-1・2はⅣ期の箱形炉の鉄滓のプロットである。両者はシュードブルッカイト領域の融点が1,280度付近に分布が集中している。Ⅲ期の箱形炉の鉄滓データに比べ、より分布が集中傾向にあり、操業条件が比較的均一であったことを示唆する。これはこの時期に箱形炉に導入された踏みふいごにより、安定した送風が可能になったことに起因するのだろう。さらに遺跡ごとに詳細を見ると、図5-1



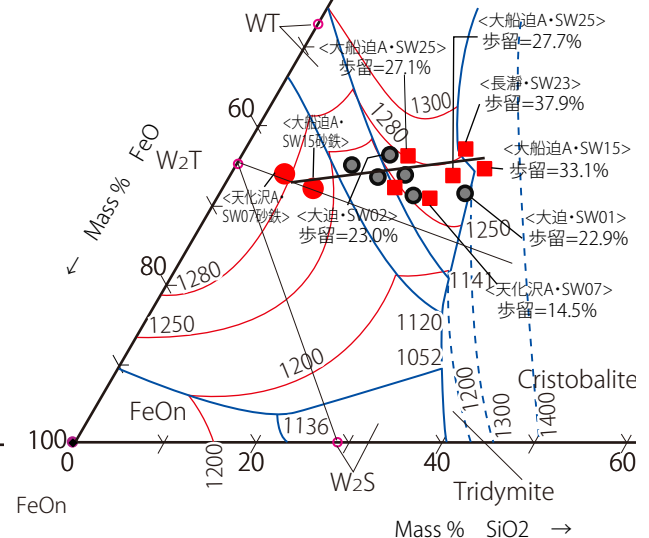
1. 9世紀前葉 (箱形炉: 宇多郡) 出土鉄滓の3元状態図



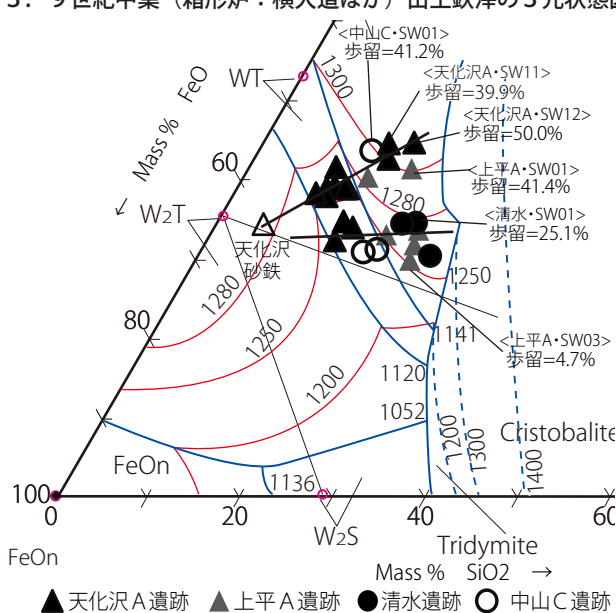
2. 9世紀前葉 (箱形炉: 金沢地区) 出土鉄滓の3元状態図



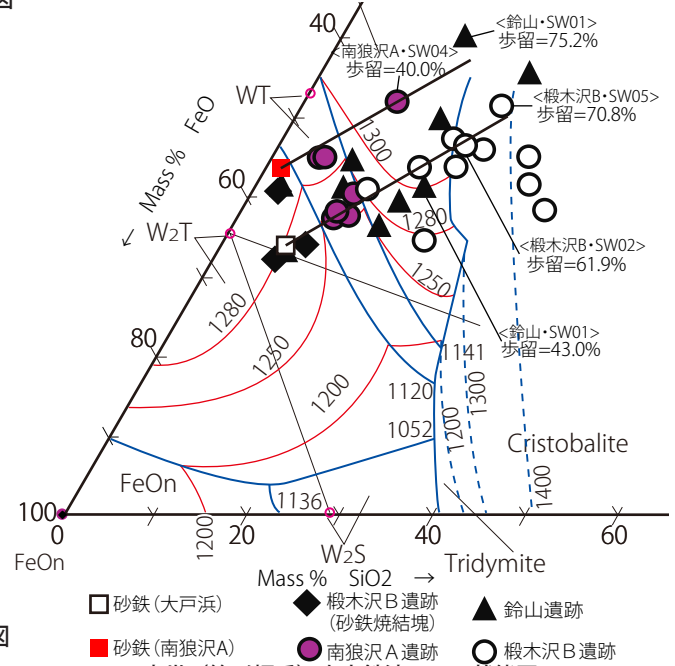
3. 9世紀中葉 (箱形炉: 横大道ほか) 出土鉄滓の3元状態図



4. 9世紀中葉 (箱形炉: 金沢地区ほか) 出土鉄滓の3元状態図



5. 9世紀後葉～10世紀 (円筒自立炉) 出土鉄滓の3元状態図



6. 中世 (箱形炉系) 出土鉄滓の3元状態図

図5 砂鉄・鉄滓の3元状態図 (2)

では、北迫A遺跡から大清水B遺跡、そして武井地区製鉄遺跡群の各鉄滓データ群が左から右に、より還元比率が高い方へ推移している。

図5-3・4はV期の箱形炉の鉄滓のプロットである。IV期のデータとほぼ同じ位置に分布することから、同じような操業条件であった可能性がある。なお、大船迫A遺跡15号製鉄炉は操業途中で炉壁が倒壊した可能性が示されているが、鉄滓のデータを見ると最も還元が進んだシュードブルッカイト・クリストバライト領域の境界付近にあり、操業が最も安定した段階に達していたことを示唆する。

図5-5はVI期の円筒形自立炉の鉄滓のプロットである。プロットは2つのグループに分かれる傾向があり、天化沢A遺跡の鉄滓プロットはシュードブルッカイト領域の1,300度以上の帯域を目標とした操業を行っていたと推察できる。これは横大道製鉄遺跡の竪形炉の鉄滓データの推移とよく似ている。一方で、清水遺跡や上平A遺跡の一部の鉄滓データは、IV・V期の箱形炉の鉄滓データの推移とよく似ていて、シュードブルッカイト領域の1,250～1,280度の帯域に分布が集中している。

図5-6は中世の箱形炉の鉄滓のプロットである。このプロットも2つのグループに分かれる傾向があり、榎木沢B遺跡の鉄滓プロットはシュードブルッカイト領域の1,300度以上の帯域を目標とした操業を行っていたと推察される。一方、南狼沢A遺跡の一部の鉄滓データは、チタン濃度がかなり高い側にある。これは同遺跡から出土した砂鉄のチタン濃度が41.5%と高く、かなりの高温での操業を強いられていた可能性がある。今後、中・近世の鉄滓データを集成し、検証する必要がある。

以上のことを整理すると、

- ・最も還元が進んだシュードブルッカイトとクリストバライト領域の境界付近では、鑄鉄(炭素量2%以上)が同時に生成している。
- ・送風装置として踏みふいごが導入される以前のI～III期の箱形炉は、操業が安定的ではなく、炉内温度がやや低かった可能性を示している。
- ・踏みふいご導入以後のIV・V期の箱形炉は、1,280度付近に鉄滓データが集中し、炉内温度が安定的であった可能性が高い。
- ・竪形炉や円筒形自立炉、中世の箱形炉は、1,300度以上の炉内温度を目標とした操業を行っていた可能性を示唆する。

5. 製鉄歩留まり・鉄生産量について

製鉄操業が安定した段階に排出された流出滓は、酸化鉄-シリカ-酸化チタン-5%アルミナ系スラグ状態図ではシュードブルッカイト領域にプロットされる。この領域での製鉄歩留まり(鉄収率)を比較することで、各時期の操業の実態や鉄生産量について考えてみたい。製鉄歩留まりとは砂鉄中の不純物がすべて鉄滓に移行したと仮定して、算出される理論的な値である。高チタン砂鉄の場合はパラメータとして、酸化チタンを用いる。

$$\text{製鉄歩留まり} = 1 - \{ (\text{流出滓の T.Fe} / \text{流出滓の TiO}_2) / (\text{砂鉄の T.Fe} / \text{砂鉄の TiO}_2) \}$$

まず、表3に各時期のシュードブルッカイト領域にプロットされる流出滓のT.Feの平均値と最小値、最大値を示す。これを基に各時期の製鉄歩留まりの平均値と最小・最大値を算出する。

その結果、平均値だけを比較すればI～III期の箱形炉では製鉄歩留まりが20%台と低く、操業効率が悪い。踏みふいごが導入されたIV期以降の箱形炉では製鉄歩留まりは30%台で推移し、さらにVI期

表3 各時期の製鉄歩留まりと鉄生産量

時期	炉形態	遺跡	製鉄炉数	流出滓重量(kg)	流出滓鉄分量(%)			製鉄歩留まり(%)			製錬鉄推定鉄分量(kg)			砂鉄鉄分量(%)	砂鉄推定使用量(kg)
					平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大		
I 期 (7世紀後葉)	箱形炉	武井・金沢地区	26	97,113	31.9	27.8	33.0	21.6	10.2	32.9	8,457	3,640	13,237	39.2	100,105
II・III期 (8世紀)	箱形炉	武井地区・横大道・南代	9	10,947	29.4	27.5	32.1	28.5	26.5	30.4	1,280	1,177	1,315	41.1	10,944
II・III期 (8世紀)	箱形炉	金沢地区	41	72,589	29.4	27.5	32.1	25.7	23.2	28.1	7,382	7,039	7,802	38.5	74,605
IV期 (9世紀前葉)	箱形炉	武井地区・大清水 B・鈴山(ほか)	18	118,881	28.3	26.2	31.2	30.7	26.5	34.8	14,869	13,373	16,624	38.6	125,680
IV期 (9世紀前葉)	箱形炉	金沢地区	41	258,367	27.0	22.5	31.8	31.6	18.5	44.7	32,228	18,650	46,990	39.9	255,606
IV期 (9世紀前葉)	箱形炉	横大道	1	48,853	28.5	24.6	30.9	33.3	26.2	40.3	6,936	5,359	8,113	41.1	50,751
IV期 (9世紀前葉)	箱形炉	館越	1	2,139	30.2	28.4	31.7	15.0	12.8	17.3	114	100	127	41.2	1,845
V期 (9世紀中～後葉)	箱形炉	武井地区	12	82,644	28.4	24.4	31.8	32.4	25.8	39.0	11,249	9,138	12,893	38.6	89,949
V期 (9世紀中～後葉)	箱形炉	金沢地区・大迫・天化沢 A	12	1,783	28.8	25.0	32.3	30.5	23.0	37.9	2,581	1,975	3,123	40.5	20,931
V期 (9世紀中～後葉)	箱形炉	割田地区・大清水 B・横大道(ほか)	23	41,399	28.6	24.6	31.5	29.9	22.7	37.0	4,304	3,272	5,110	40.9	35,254
VI期 (10世紀)	円筒炉	天化沢 A・上平 A(ほか)	20	2,172	27.8	24.8	32.4	39.5	25.1	50.0	394	236	539	40.5	2,464
中世 (12・13世紀)	箱形炉	南狼沢 A・鈴山・榎木沢 B	10	21,131	20.2	16.4	26.8	58.2	43.0	75.2	5,943	4,272	10,508	36.1	27,825
III期 (8世紀後葉)	竪形炉	武井・金沢地区・横大道・南代(ほか)	27	39,722	26.2	24.5	28.5	48.6	24.1	48.6	5,956	3,595	9,202	41.1	39,814
IV期 (9世紀前葉)	竪形炉	武井・金沢地区・沢入 B(ほか)	8	6,842	29.6	25.8	32.6	32.1	13.6	59.2	930	341	2,488	41.2	7,031
計			249	804,582							102,623	72,165	138,069		842,803

の円筒形自立炉で約40%、中世の箱形炉では約60%と操業効率が上がっている。

次に製鉄歩留まりと流出滓の重量から、鉄生産量を試算する。あくまで投入した砂鉄の鉄分(T.Fe)がすべて製錬鉄側と流出滓側に割り振られたと仮定しての理論値であり、砂鉄の飛散ロスや鉄滓と分離しきれなかった鉄分を加味すれば、実際の鉄生産量はさらに下回る。

$A = \text{流出滓重量(kg)} \times \text{流出滓の T.Fe 平均濃度(}\%) \times 0.01 = \text{流出滓中の全 T.Fe 量(kg)}$

$B = [A \times \{100 / (100 - \text{製鉄歩留まり(}\%)\})] - A = \text{生成した製錬鉄の全 T.Fe 量(kg)}$

さらに次式により砂鉄使用量を推算する。

$C = 100(A + B) / \text{砂鉄の T.Fe(}\%) = \text{砂鉄推定使用量(kg)}$

以上の試算の結果を各時期の鉄生産量(製錬鉄推定 T.Fe 量)として表3に示す。当然ながら排滓量と比例して鉄生産量も増減する訳だが、流出滓の重量のおおよそ10～15%程度の鉄生産量であったことが推定される。したがって浜通り地方の古代・中世製鉄遺跡では最小値を採用すれば合計で70トン程度、平均値をとれば100トン程度の製錬鉄が生産されていたと推算できる。

一方、砂鉄推定使用量は流出滓の重量とほぼ同じであったことから、浜通り地方の古代・中世製鉄遺跡では合計で800～900トン程度の砂鉄が使用されたと推算した。

表 4 製鉄遺構集成

遺跡名	横大道	館越	横大道	鈴山	大清水 B
遺構名	3号廃滓場跡	1号製鉄炉跡	1号廃滓場跡	2・3号製鉄遺構	2号製鉄遺構
時期	8世紀後半	9世紀初頭	9世紀前半	9世紀前半	9世紀前半
炉形態	箱形炉	箱形炉	箱形炉	箱形炉	箱形炉
踏ふいご	なし（推定）	あり	あり（推定）	あり（推定）	あり（推定）
羽口耐火度（平均）	1,350 度	1,490 度	1,330 度	1,460 度	1,520 度
装着角度（平均）	33°	30°	① 9 ～ 16° ② 21 ～ 30°	① 15° ② 40 ～ 50°	10 ～ 15°
先端部内径（平均）	2.5 cm	3.4 cm	2.9 cm	2.0 ～ 2.5 cm	2.5 cm
炉壁耐火度（平均）	1,210 度	1,150 度	1,205 度	1,315 度	1,320 度
炉壁混和材	スサ	スサ	スサ	スサ	スサ
鉄塊炭素濃度平均 （最小～最大）	2.92% (2.58 ～ 3.16%)	2.38% (1.17 ～ 3.14%)	2.42% (1.27 ～ 3.29%)	2.74% (2.32 ～ 3.38%)	2.79% (2.58 ～ 3.00%)
遺物量（計）	2,666 kg	2,853 kg	51,391 kg	15,319 kg	9,417 kg

遺跡名	大清水 B	横大道	割田 C	割田 H	大清水 B
遺構名	3号製鉄遺構	10号製鉄炉跡	1号製鉄炉跡	7・11号製鉄炉跡	1号製鉄遺構
時期	9世紀前半	9世紀後半	9世紀後半	9世紀後半	9世紀後半
炉形態	箱形炉	箱形炉	箱形炉	箱形炉	箱形炉
踏ふいご	あり（推定）	あり	あり	あり	あり
羽口耐火度（平均）	1,480 度	1,500 度	1,560 度	1,260 度	1,490 度
装着角度（平均）	8 ～ 20°	11 ～ 15°	11 ～ 15°	11 ～ 15°	10 ～ 15°
先端部内径（平均）	2.5 ～ 3.0 cm	2.7 cm	2.4 cm	2.7 cm	2.5 cm
炉壁耐火度（平均）	1,380 度	1,380 度	1,430 度	1,255 度	1,290 度
炉壁混和材	スサ	砂	スサ・砂	スサ	砂
鉄塊炭素濃度平均 （最小～最大）	2.48% (1.35 ～ 2.96%)	3.30% (3.23 ～ 3.41%)	2.16% (1.14 ～ 3.39%)	0.37% (0.03 ～ 1.19%)	2.68% (1.95 ～ 2.94%)
遺物量（計）	9,125 kg	1,350 kg	9,970 kg	1,857 kg	11,985 kg

遺跡名	割田 H	割田 H	萩原	中山 C	楳木沢 B
遺構名	2・5・8号製鉄炉跡	9号製鉄炉跡	1号製鉄炉跡	1号製鉄炉跡	1・2・4・5号製鉄炉跡
時期	9世紀後半	9世紀後半	9世紀後半	10世紀	10世紀
炉形態	箱形炉	箱形炉	箱形炉	小型炉	箱形炉（銭神 G 型）
踏ふいご	なし	なし	なし	なし	なし
羽口耐火度（平均）	1,320 度	1,300 度	1,365 度	不明	1,340 度
装着角度（平均）	30°	11 ～ 15°	7 ～ 13°	不明	不明
先端部内径（平均）	3.1 cm	2.7 cm	2.6 cm	2.4 cm	3.5 cm
炉壁耐火度（平均）	1,220 度	1,210 度	1,310 度	不明	1,300 度
炉壁混和材	スサ・焼土塊	スサ	砂	スサ	砂
鉄塊炭素濃度平均 （最小～最大）	1.13% (0.03 ～ 3.21%)	0.15% (0.04 ～ 1.12%)	3.00% (1.09 ～ 5.35%)	2.40% (2.21 ～ 2.51%)	2.61% (0.41 ～ 3.49%)
遺物量（計）	4,990 kg	7,372 kg	5,436 kg	79.9 kg	8,910 kg

遺跡名	鈴山	南狼沢 A
遺構名	1号製鉄遺構	1～4号製鉄遺構
時期	中世か	13世紀
炉形態	箱形炉	箱形炉
踏ふいご	なし	あり
羽口耐火度（平均）	1,405 度	1,400 度
装着角度	5 ～ 15°	30°
先端部内径（平均）	5.5 ～ 6 cm	4.4 cm
炉壁耐火度（平均）	1,315 度	1,345 度
炉壁混和材	砂・スサ	砂
鉄塊炭素濃度平均 （最小～最大）	2.11% (0.047 ～ 3.19%)	1.29% (0.17 ～ 4.35%)
遺物量（計）	3,562 kg	13,316 kg

遺跡名	横大道	横大道	館越	割田 E	沢入 B
遺構名	6・7・9号製鉄炉跡	4・5・8号製鉄炉跡	2号製鉄炉跡	1号製鉄炉跡	1号製鉄遺構
時期	8世紀後半	8世紀後半	9世紀前半	9世紀前半	9世紀前半
炉形態	縦形炉	縦形炉	縦形炉	縦形炉	縦形炉
踏ふいご	不明	あり	あり	あり	あり
羽口耐火度（平均）	不明	1,380 度	1,500 度	1,540 度	1,420 度
装着角度	不明	53 ～ 60°	不明	45 ～ 50°	不明
先端部内径（平均）	不明	7.2 cm	不明	10 cm	10 cm
炉壁耐火度（平均）	1,200 度	1,230 度	1,360 度	1,200 度	1,425 度
炉壁混和材	砂主体（内面スサ）	スサ	スサ・砂	スサ	スサ
鉄塊炭素濃度平均 （最小～最大）	不明	2.46% (0.74 ～ 3.58%)	3.19% (2.68 ～ 3.54%)	1.03% (0.06 ～ 3.20%)	1.52% (0.1 ～ 4.38%)
遺物量（計）	70 kg	1,723 kg	1,926 kg	1,069 kg	499 kg

6. 生産された鉄について

これまでに鉄塊系遺物は様々な分析調査がなされてきた。その成果の一部については、製鉄炉ごとに出土した鉄塊の炭素濃度の平均・最小・最大値を表4に示した。これによれば、ほとんどの製鉄炉で、炭素濃度が2%台の铸铁が生産されていたと推察される。ただ、さびにくく、残存しやすい铸铁塊が主に分析に選択的に供試されている場合が多く、この結果のみをもって議論するのはいささか危険である。したがって、先に述べた流出滓の成分に基づく議論により、生成鉄を考えることが有効である。

7. 炉壁について

浜通り地方の古代製鉄遺跡から出土する箱形炉の炉壁には、鍛冶羽口を何十本も送風孔に装着する例が多い。羽口付炉壁は福島・宮城県域の製鉄遺跡に集中し、他地域の分布はごく稀である。なぜ羽口が炉壁に必要であったのか？羽口の耐火度が高く、溶けにくいことから、操業終盤まで炉内に送風を可能にすることが目的であったと推察できる。ただ羽口の耐火性能の問題だけでは羽口付炉壁が本地域に集中して出土するのが説明できない。

逆に製鉄炉の炉壁に求められる粘土に特徴があったのではないだろうか。前節で、高チタン砂鉄の還元プロセスにおいて、炉壁に含まれるシリカの融解が不可欠であることは述べた。それならば、どれ位の炉内温度で溶解が進む粘土を炉壁に用いていたのであろうか。

まず、横大道製鉄遺跡の分析事例をもとに考える。同遺跡の炉壁成分については、板谷宏が成分中の酸化カルシウム・酸化カリウム・酸化ナトリウムの比率に着目し、炉壁には製鉄炉ごとに違った粘土が用いられていること、それが地山の最上部にある黄褐色粘土と地表面下約1mにある白色粘土に由来することなどを明らかにした(板谷2010)。さらに特筆すべきは白色粘土の耐火度が1,120度程度とかなり低かったことである。地表面に近い黄褐色粘土の耐火度が1,300度程度であったことからすると、採掘が困難な白色粘土をわざわざ選択していたことになる。

板谷の研究を受け、改めて横大道製鉄遺跡の炉壁成分を見直すと、粘土の主要成分であるシリカとアルミナの比が一定ではないかと思うようになった。そこで、この比を用いた先行研究をあたると、「ゼーゲル式」という19世紀の基礎研究にたどりついた。

「ゼーゲル式」は、粘土の成分を塩基性酸化物（アルカリとアルカリ土類、以下アルカリ）、中性酸

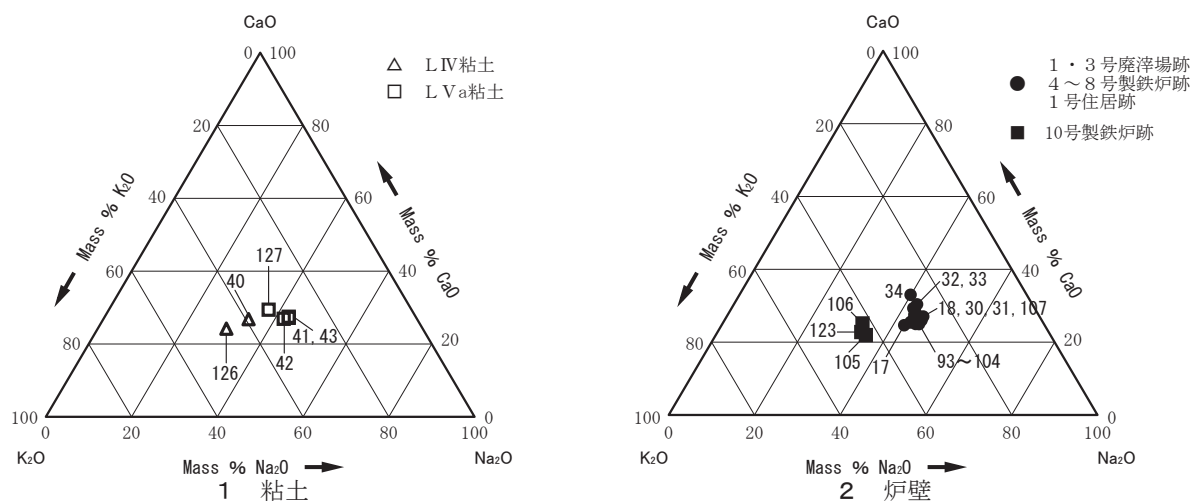
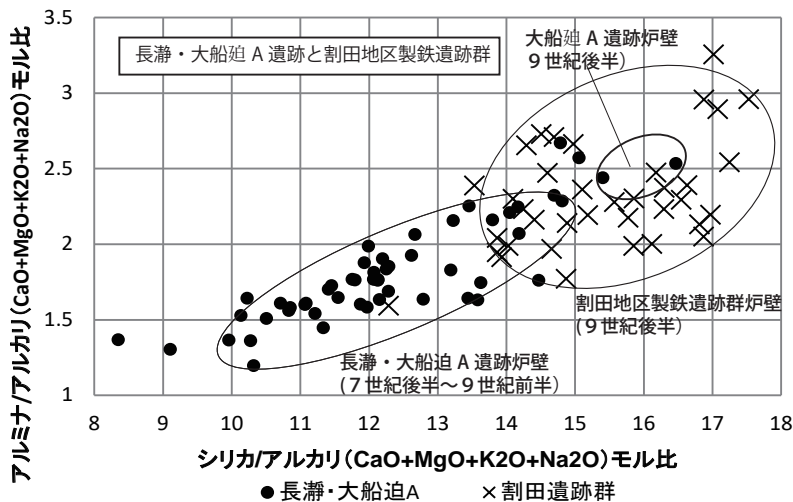
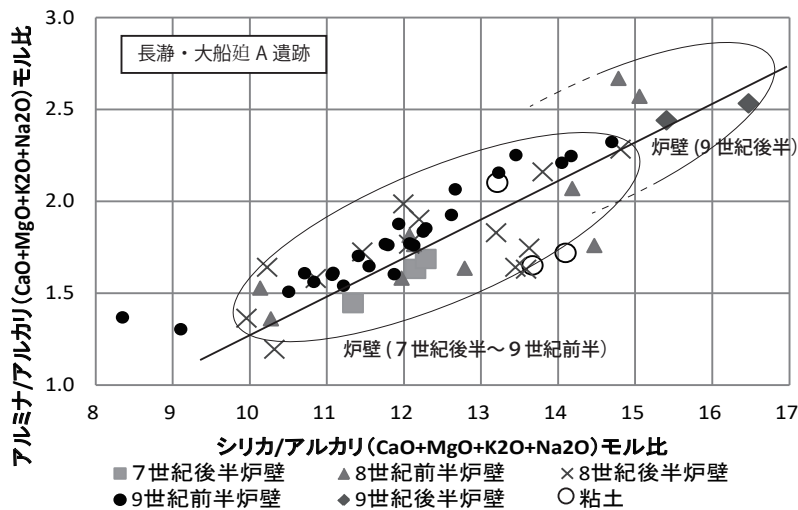
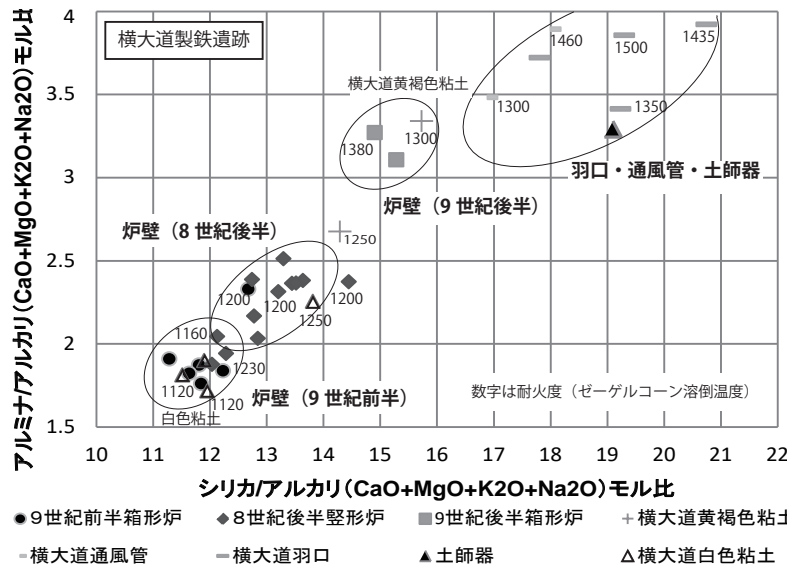


図6 横大道製鉄遺跡の炉壁胎土分類 (板谷 2010)



化物（以下アルミナ）、酸性酸化物（以下シリカ）の三つに分類し、それぞれの酸化物をモル比で表す。次にアルカリのモル比の和を1に換算して、アルカリに対するアルミナの比、アルカリに対するシリカの比をそれぞれ求める。ここで得られたアルミナとシリカの比が釉薬の性質を分類するものといわれている。

これを炉壁のような耐火物で応用すると、アルミナおよびシリカの比が小さければ小さいほど、粘りが少なく溶けやすくなり、逆に大きければ大きいほど粘りが増し、溶けにくいと予想できる。

図 7 は、横大道製鉄遺跡の出土炉壁・羽口・通風管の成分比である。まず、地山上層の黄褐色粘土と地山下層の白色粘土を結んだ線上に、炉壁のプロットが並ぶ。これはいずれかの粘土もしくはその中間的な粘土を用いていたことを示す。特に9世紀前葉の箱形炉（1号廃滓場跡）出土炉壁は白色粘土と比較的近い位置にあり、ほぼ同質と考えてよい。これは板谷が行った研究結果を追認しており、白色粘土を用いて箱形炉の炉壁を構築していたと考えてよいだろう。

これより、やや黄褐色粘土寄りにあるのが8世紀後葉の竪形炉の炉壁資料である。横大道製鉄遺跡では竪形炉が6基見つかったが、それぞれ炉壁の積み上げ方が異なる。レンガ状に積み上げるものやワラスサを多量に入れて積み上げるものなど

の違いがある。にもかかわらず、
基質となる粘土は大きな差がなく、
黄褐色粘土より白色粘土に
近い成分のものを選択していた
と考えられる。

一方、9世紀後葉の箱形炉(10
号製鉄炉跡)の炉壁のプロット
は、前二者から大きく離れて、
黄褐色粘土に近い位置にあり、
ほぼ同質と判断する。これにより
横大道製鉄遺跡では9世紀中
葉頃に、炉壁に用いる粘土に大
きな変化があったとみるべきだ
ろう。ゼーゲル式の考え方に基
づく、アルカリに対するアル
ミナの比、またシリカの比のそ
れぞれが小さいほど粘土は溶け
やすく、その逆は溶けにくいと
いう。これをあてはめれば、9
世紀中葉を境に溶けやすい炉壁
から溶けにくい炉壁に変化した
とみられる。

一方、羽口・通風管はアルカリ

に対するシリカ・アルミナの比がともに高く、溶けにくい粘土と評価できる。各プロットに、実際の耐火度試験で得られた値を添えてみると(図7)、1300～1500度と炉壁に比べてかなり高い。また、ゼーゲル式で得られたプロットと実際の耐火度との間には相関関係があり、当たり前のことだが図7の右上に向かって耐火度が高く、左下に向かって低くなる傾向がある。また、プロットが近く、ほぼ同質と判断できるもの同士では、耐火度もほぼ同じである。

図8は金沢地区製鉄遺跡群の長瀬遺跡・大船迫A遺跡から出土した炉壁の分析値をゼーゲル式で計算し、プロットしたものである。導入期の7世紀後半(I期)から最盛期の9世紀前半(IV期)の製鉄炉から出土した炉壁については、ほぼ同じ帯域に分布している。これを先ほどの横大道製鉄遺跡例と比べると、溶けやすい炉壁のグループのプロットとほぼ重なる。

一方、図9は割田地区製鉄遺跡群から出土した9世紀中葉から後葉(V期)の箱形炉の炉壁のプロットである。明らかに長瀬・大船迫A遺跡から出土した炉壁のプロットとは異なり、溶けにくい側にある。これも横大道製鉄遺跡例と同じ変化といえる。

図10は相双地域の古代・中世製鉄遺跡から出土した炉壁の胎土成分を遺跡ごとにプロットをしたも

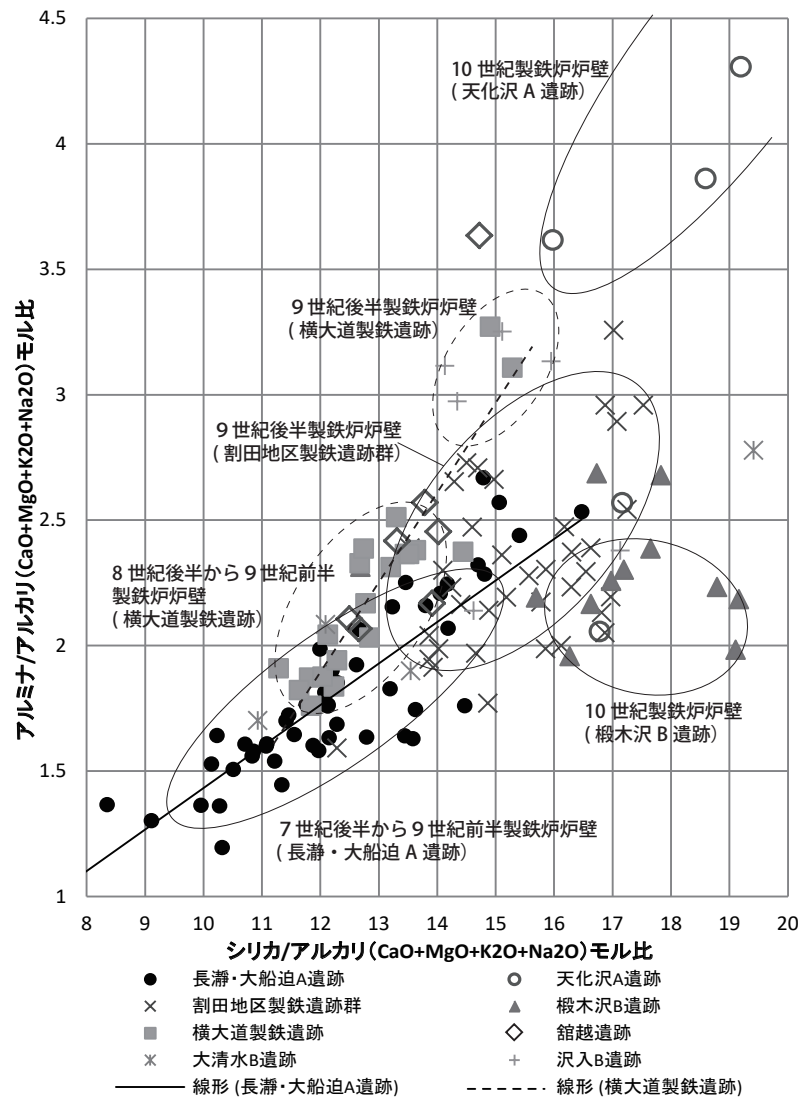


図10 相双地域における古代・中世製鉄遺跡出土の
炉壁胎土成分比較 (門脇 2018)

のである。これに資料数の多い横大道製鉄遺跡例と長瀬・大船迫A遺跡例には、回帰直線を添えてある。まずこの2例で線形が異なるということは、由来となる粘土成分が違うことを示しているのだろう。にもかかわらず、9世紀中葉段階で溶けにくい側の粘土を選択していることは、共通した技術基盤の変化としてみてよいだろう。

また、長瀬・大船迫A遺跡例と割田地区製鉄遺跡群の領域が異なることのほかに、割田地区製鉄遺跡群と鍛木沢B遺跡の領域がほぼ同じであることなど、ゼーゲル式を基にした散布図を活用すれば、遺跡間での炉壁成分の相対的評価(溶けやすいか、溶けにくい)が可能になる。

以上のことをまとめると、横大道・金沢地区製鉄遺跡群では、9世紀中葉頃に炉壁の粘土成分の変化がある。具体的には溶けやすい粘土から溶けにくい粘土へと変換する。これは成分値に限らず、9世紀後葉にかけての時期に炉の構築方法や混和材(ワラスサから砂粒へ)、さらには羽口の装着本数や装着角度などの変化と関係があるとみているが、このことは別稿としたい。

8. 木炭について

製鉄燃料である木炭については、これまで多くの遺跡で樹種同定がなされてきた。ここでは製鉄燃料に限定して議論したいので、木炭窯跡から出土した木炭の樹種構成について述べる。なお、製鉄炉作業場や炉下部構造からも木炭もしくは炭化材が出土しているが、これらは炉構築時の空焚きに用いられた可能性があるため、今回は検討対象外とする。

表5に各地区の木炭樹種構成を示した。興味深いのは沿岸部に近い遺跡と内陸部の遺跡では主体となる樹種に違いがみられることである。

まず新地町沿岸部の武井地区製鉄遺跡群のⅠ期においてはクヌギを主体とするが、Ⅱ期以降はコナラが主体となる。再びクヌギが主体となるのはⅤ期においてであるが、Ⅵ期ではコナラ主体に戻る。一方、新地町・相馬市内陸部の大坪地区製鉄遺跡群などでは、Ⅳ～Ⅵ期を通じてクマシデやイヌシデなどのシデ類が主体をなし、中世においては針葉樹であるモミが用いられている。

南相馬市沿岸部の金沢地区製鉄遺跡群では、導入期のⅠ期においてはクヌギ・コナラが用いられているが、Ⅱ・Ⅲ期からⅣ・Ⅴ期に新しくなるにしたがってクヌギの割合が減少する。南相馬市鹿島区・原町区内陸部の大迫・割田地区製鉄遺跡群では、Ⅴ期においてはコナラを主体とするが、中世においてはクリが用いられている。

南相馬市小高区内陸部の横大道・舘越遺跡では、Ⅲ～Ⅳ期を通じてクヌギが主体となる。一方、浪江町内陸部の太刀洗遺跡などでは、クマシデやイヌシデなどのシデ類が主体となる。

以上のことから若干の考察を試みる。先に砂鉄の使用量についての推算結果を示したが、近世のたたら製鉄例を参考にすると、木炭の使用量は、砂鉄使用量とほぼ同量か1.2～1.5倍程度とされる。この推定に基づけば、1,000トン近くの木炭が使用されたことになる。この膨大な量の木炭生産により、浜通り地方の植生に一定程度の影響を与えたことは想定できる。また、木炭窯跡から出土した木炭の樹種構成が遺跡周辺の植生のすべてを反映したものではないが、製鉄導入期の遺跡周辺にはコナラ・クヌギを中心とした落葉広葉樹林が広がっていたことは想像できる。特にコナラはⅠ期からⅤ期を通じて各地区で普遍的なあり方をみせる。一方、導入期のⅠ期で最も多く使用されたクヌギが、Ⅱ期以降に減少していることは、この樹種の消費に対し自然再生が追い付いていない状況を示している。

表5 木炭窯跡から出土した木炭の樹種構成変遷

①武井地区製鉄遺跡群（新地町沿岸部）

I 期（7世紀後葉）	⇒	II・III期（8世紀）	⇒	IV期（9世紀前葉）	⇒	V期（9世紀後葉）	⇒	VI期（10世紀）
○ コナラ：171点 ◎ クヌギ：343点 ク リ：16点		◎ コナラ：165点 ▲ クヌギ：53点 ○ クリ：116点 ◎ シデ類：145点		◎ コナラ：156点 ▲ クヌギ：64点 ▲ クリ：36点 シデ類：11点		◎ コナラ：454点 ◎ クヌギ：466点 ○ クリ：241点 ▲ シデ類：140点		◎ コナラ：105点 ▲ クヌギ：57点 ▲ クリ：30点

②大坪地区製鉄遺跡群・大清水B・沢入B・鈴山遺跡（新地町・相馬市内陸部）

IV期（9世紀前葉）	⇒	V期（9世紀後葉）	⇒	VI期（10世紀）	⇒	中世（12・13世紀）
○ コナラ：32点 クヌギ：なし ▲ クリ：17点 ◎ シデ類：51点		▲ コナラ：24点 クヌギ：なし ク リ：3点 ◎ シデ類：110点		◎ シデ類：20点		◎ モミ：23点

③金沢地区製鉄遺跡群（南相馬市原町区沿岸部）

I 期（7世紀後葉）	⇒	II・III期（8世紀）	⇒	IV期（9世紀前葉）	⇒	V期（9世紀後葉）
◎ コナラ：27点 ◎ クヌギ：21点 ク リ：1点		◎ コナラ：980点 ▲ クヌギ：280点 ▲ クリ：178点 シデ類：33点		◎ コナラ：475点 ▲ クヌギ：92点 ▲ クリ：74点 ▲ シデ類：71点		◎ コナラ：210点 ▲ クヌギ：56点 ク リ：8点 ▲ シデ類：22点

④大迫・楢木沢B遺跡・割田地区製鉄遺跡群（南相馬市鹿島・原町区内陸部）

V期（9世紀後葉）	⇒	VI期（10世紀）	⇒	中世（12・13世紀）
◎ コナラ：230点 ▲ クヌギ：39点 ク リ：5点 ▲ シデ類：23点		その他の広葉樹 37点		◎ クリ：47点

⑤横大道・館越遺跡（南相馬市小高区内陸部）

III期（8世紀）	⇒	IV期（9世紀前葉）	⇒	V期（9世紀後葉）
コナラ：3点 ◎ クヌギ：162点		コナラ：5点 ◎ クヌギ：47点		コナラ：1点 クヌギ：4点 ク リ：1点

⑥太刀洗・朴迫D遺跡（浪江町内陸部）

IV期（9世紀前葉）	⇒	VI期（10世紀）
▲ コナラ：36点 クヌギ：なし ▲ カエデ：89点 ◎ シデ類：732点		その他の広葉樹 8点

III期から製鉄操業が始まる横大道・館越遺跡ではクヌギを最優先に選択していた。このことはI期から始まる武井・金沢地区製鉄遺跡群と異なり、横大道・館越遺跡周辺には未開拓の森が広がっていたと想像できる。その中でクヌギを専ら選択したことは、古代製鉄においてクヌギが重要な樹種であったことを示している。一方、大坪地区製鉄遺跡群や太刀洗遺跡ではシデ類の占有率が高く、逆にクヌギが用いられていない。横大道遺跡と太刀洗遺跡とはそれほど離れた遺跡ではないので、植生環境が大きく変わっていたとは思えない。したがって、製鉄工人の選択性が働いているものと考えられる。

古代から中世にいたる段階において、特にコナラ・クマシデなどの落葉広葉樹林が急速に縮小し、二次林が拡大したことは、割田地区製鉄遺跡群の花粉分析の結果から明らかになっている（財団法人福島

県文化振興事業団編2007)。中世においてはマツ・スギ・モミなど二次林の拡大により、製鉄燃料も転換を余儀なくされたと考えられる。このことから考えれば、10世紀代からの製鉄遺跡の急速な減少は、木炭燃料の枯渇が最大の要因だったと考えられる。

9. おわりに

福島県で製鉄遺跡の調査が本格的に始まった頃、当時、福島県文化センターにいた寺島文隆氏が鉄滓の重要性を説き、全量を回収し、分類・計量することを徹底しなかったら、本論を起草することはできなかっただろう。その後、武井地区から金沢地区製鉄遺跡群に続く大規模開発に伴う発掘調査においても、東日本大震災後の緊急発掘調査においても、福島県では一貫して鉄滓の全量把握に努めている。

日本有数の製鉄所の研究機関にいた板谷宏氏と筆者との出会いは、割田地区製鉄遺跡群の調査をしていた頃にさかのぼる。当時、考古学とはまったく無縁だった板谷氏を発掘現場に案内し、「分析を行って我々が知りたいことは、鉄の生産プロセスである」と伝えたことを覚えている。その後、筆者が横大道製鉄遺跡の構造を解明するにあたり「粘土」というキーワードにたどり着けたのも、板谷氏の研究のおかげだと感謝している。

これまでに浜通り地方で発掘調査を行った製鉄遺跡は60か所を超えるが、当然ながら浜通り地方の丘陵部や山間部には、いまだ手つかずの鉄滓の山がいたる所に眠っている。今回、算出した鉄生産量も砂鉄使用量も、あくまで通過点の数字に過ぎず、今後も増え続けるだろう。ただこの何百トン・何千トンという数字の背景を考えた時、鉄づくりにかかわった人々の息吹を感じざるを得ない。

引用・参考文献

- 飯村均 2005『律令国家の対蝦夷政策・相馬の製鉄遺跡群』新泉社
- 板谷宏 2007「割田遺跡群出土の製鉄関連遺物の評価」『原町火力発電所関連遺跡調査報告X』福島県教育委員会。
- 板谷宏 2010「横大道遺跡出土の製鉄関連遺物の評価」『常磐自動車道遺跡調査報告60』福島県教育委員会。
- 板谷宏 2011「製鉄関連遺物の化学分析」『常磐自動車道遺跡調査報告62』福島県教育委員会。
- 板谷宏・渡邊玄 2015「砂鉄製鉄滓への炉壁溶解の定量評価(FeO-TiO₂-SiO₂-5%Al₂O₃-(CaO, MgO) スラグ状態図)」『第27回フォーラム講演会「どのようにして従来製鉄法をプロセス工学的に解明するのか」(Part II)論文集』日本鉄鋼協会。
- 門脇秀典 2007「製鉄関連遺構と遺物の評価」『原町火力発電所関連遺跡調査報告X』福島県教育委員会。
- 門脇秀典 2010「考察」『常磐自動車道遺跡調査報告60』福島県教育委員会。
- 門脇秀典 2015a「羽口が装着された箱形炉の炉壁について」『森浩一先生に学ぶ』同志社大学考古学研究室。
- 門脇秀典 2015b「古代陸奥南部における製鉄炉の炉壁について」『鉄の技術と歴史』研究フォーラム第20回公開研究発表会論文集』日本鉄鋼協会。
- 門脇秀典 2017「古代陸奥南部における製鉄技術の画期」『鉄の技術と歴史』研究フォーラム第22回公開研究発表会論文集』日本鉄鋼協会。
- 門脇秀典 2018「ゼーグル式を用いた炉壁成分値の解析」『実証の考古学—松藤和人先生退職記念論文集—』同志社大学考古学研究室。
- 公益財団法人福島県文化振興財団編 2015 a『常磐自動車道遺跡調査報告71』福島県教育委員会。
- 公益財団法人福島県文化振興財団編 2015 b『常磐自動車道遺跡調査報告72』福島県教育委員会。
- 公益財団法人福島県文化振興財団編 2016『農山漁村地域復興基盤総合整備事業関連遺跡調査報告1』福島県教育委員会。
- 公益財団法人福島県文化振興財団編 2017『県道広野小高線関連遺跡発掘調査報告1』福島県教育委員会。
- 財団法人福島県文化センター編 1995『原町火力発電所関連遺跡調査報告V』福島県教育委員会。
- 財団法人福島県文化センター編 1996『原町火力発電所関連遺跡調査報告VI』福島県教育委員会。
- 財団法人福島県文化振興事業団編 2007『原町火力発電所関連遺跡調査報告X』福島県教育委員会。
- 財団法人福島県文化振興事業団編 2010 a『常磐自動車道遺跡調査報告59』福島県教育委員会。
- 財団法人福島県文化振興事業団編 2010 b『常磐自動車道遺跡調査報告60』福島県教育委員会。
- 財団法人福島県文化振興事業団編 2011 a『常磐自動車道遺跡調査報告61』福島県教育委員会。
- 財団法人福島県文化振興事業団編 2011 b『常磐自動車道遺跡調査報告62』福島県教育委員会。