

## ～鉄滓の山から読みとく歴史～



国指定史跡「横大道製鉄遺跡」8世紀中葉頃の豎形炉操業推定図

福島県域は、かつて古代律令国家を代表する鉄生産地でした。とりわけ、浜通り地方には7世紀後葉から10世紀前葉までの製鉄遺跡\*が集中しており、この地方の鉄が律令国家の東北経営や対蝦夷政策の物資として大きな役割を担っていたとも考えられてきました。

企画展では、列島各地の製鉄技術の影響を受けながら、福島県域独自の技術へと発展した実態を考古学や金属学の立場から解き明かします。

※鉄生産の工程は第一に砂鉄や鉄鉱石を溶かして粗鋼を作り出す製錬工程、第二に粗鋼の不純物を取り除き、炭素量などの成分調整を行う精錬工程、第三に鍛冶や鑄造などを行い、鉄製品を作り出す工程に分かれます。広義の「製鉄遺跡」とは、そのいずれかの工程を示す遺構・遺物が認められる遺跡のことです。これに燃料である木炭を作る「製炭遺跡」、砂鉄や鉄鋼石を採掘した遺跡などを含めて、「製鉄関連遺跡」とよんでいます。狭義の「製鉄遺跡」とは製錬工程を示す遺跡に限ります。今回は広義のものを「製鉄関連遺跡」、狭義のものを「製鉄遺跡」とよびます。

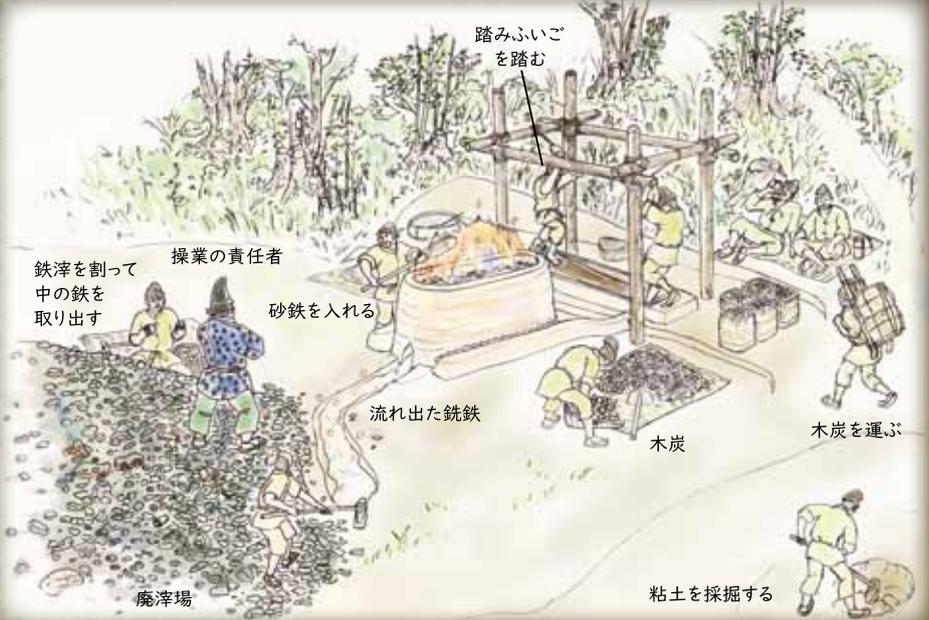
福島県の製鉄関連遺跡は、分布調査で確認されたものも含め 500 遺跡を数え、なかでも浜通り地方に集中しています。また、本地方の製鉄遺跡研究は、1980 年の「唐神遺跡」を皮切りに、「武井地区製鉄遺跡群」・「大坪地区製鉄遺跡群」、さらに 1990 年代には国内最大級と目される「金沢地区製鉄遺跡群」の発掘調査へと続きます。2000 年代では常磐自動車道建設関連の調査で多くの知見が得られ、なかでも「横大道製鉄遺跡」の調査では遺跡の構造がより具体的に解明され、国指定史跡として現状のまま保存されることになりました。さらに 2011 年以降の東日本大震災復興関連調査においても、数多くの製鉄遺跡が発見されています。

福島県浜通り地方の古代・中世製鉄遺跡の調査年表と製鉄炉数・遺物量（製錬遺構のみ、精錬・鍛冶遺構は除く）

調査年度	所在地	遺跡名	調査面積(m <sup>2</sup> )	箱形炉・円筒炉					豎形炉			中世不明	製鉄炉計	廃滓場のみ	製鉄遺構合計	製鉄関連遺物量(個)	報告書				
				I	II	IIIa	IIIb	IV	V	VI	IIIb							IV	V		
1980	南相馬市	唐神遺跡	表面調査						6						5	1	6	—	福島県文化財調査報告書第4集		
1984~86	新地町	武井地区製鉄遺跡群 (向田A・D~G、洞山D、武井B)	28,640	3	2		4	6	3		2			1	20	1	21	61,365	福島県文化財調査報告書第215集		
1985~93	相馬市	大坪地区製鉄遺跡群 (猪倉A・B、山田A・B)	67,925						2	9	1		1	12	1	13	111,355	福島県文化財調査報告書第216・333集			
1986	新地町	向田C遺跡	4,000										1				—	新地町教育委員会			
1986	新地町	金子坂遺跡	90										1				1,409	新地町教育委員会			
1988	相馬市	大森C遺跡	1,500						4					2	2	4	714	福島県文化財調査報告書第211集			
1989~97	南相馬市	金沢地区製鉄遺跡群 (馬打沢A・B、鳥井沢B、大船迫A・C、長瀬、南入A)	185,930	22	3	12	24	42	7		7	4		2	105	18	123	612,291	福島県文化財調査報告書第236・265・281・297・310・315・343・344集		
1990	相馬市	段ノ原B遺跡	350						1					1	0	1	8,130	相馬市文化財調査報告書第7集			
1990~93	いわき市	清水遺跡	20,092										8				—	いわき市埋蔵文化財調査報告第66冊			
1992~97	南相馬市	蛭沢・川内迫遺跡群	29,300					10	11				2			23	0	23	—	原町市埋蔵文化財調査報告書第33集	
1993	相馬市	篤塚B・大森遺跡	5,050	1					3					3	1	4	61,767	福島県文化財調査報告書第311集			
1994・95	南相馬市	出口遺跡	1,700						4	1				4	1	5	1,266	原町市埋蔵文化財調査報告書第16集ほか			
1995	いわき市	白岩堀ノ内遺跡	35,800				1							1	0	1	282	福島県文化財調査報告書第332集			
1995~97	南相馬市	大迫遺跡	54,760									2		6	1	7	5,198	福島県文化財調査報告書第336-343-344集			
1996・2005	南相馬市	追合B遺跡	試掘調査											8	7	1	8	—	原町市埋蔵文化財調査報告書第15集ほか		
1996	南相馬市	大月平製鉄遺跡							1					0	1	0	1	—	鹿島町史3資料編2		
1997	相馬市	新沼大迎遺跡	4,800	3										1	4	0	4	—	相馬市史4資料編1		
1998	富岡町	上本町D遺跡	6,200						1	1					0	2	2	146	福島県文化財調査報告書第364集		
2000	相馬市	北迫A遺跡	800					1						1	0	1	4,468	福島県文化財調査報告書第383集			
2000・08	南相馬市	田堤遺跡	試掘調査						2					2	0	2	—	原町市内遺跡発掘調査報告書6			
2003	富岡町	後作B遺跡	1,600						2					2	0	2	3,192	富岡町教育委員会			
2003・04	浪江町	太刀洗遺跡	5,700						2					0	2	2	4,393	福島県文化財調査報告書第216・333集			
2003~05	南相馬市	割田地区製鉄遺跡群	80,600					15				1		10	6	16	30,848	福島県文化財調査報告書第439集			
2004	大熊町	上平A遺跡	2,550								3			3	0	3	33	福島県文化財調査報告書第428集			
2004・05	南相馬市	大塚遺跡	927						2					2	0	2	672	南相馬市埋蔵文化財調査報告書第5集			
2006・07	南相馬市	荻原遺跡	19,340						2					2	0	2	5,371	福島県文化財調査報告書第467集			
2007~09	南相馬市	横大道製鉄遺跡【国指定史跡】	13,200				1	1	2		7			9	10	10	20	73,892	福島県文化財調査報告書第469集		
2008	南相馬市	館越遺跡	4,300				1	1				1		3	0	3	4,827	福島県文化財調査報告書第471集			
2008	南相馬市	中山C遺跡	1,200									1		1	0	1	80	福島県文化財調査報告書第470集			
2009	南相馬市	榎木沢B遺跡	2,800										5	4	1	5	8,305	福島県文化財調査報告書第470集			
2011・12	新地町	大清水B遺跡	12,100					2	1					2	1	3	30,469	福島県文化財調査報告書第498集			
2011・12	新地町	沢入B遺跡	4,700											1	0	1	479	福島県文化財調査報告書第498集			
2012	新地町	鈴山遺跡	6,200					2						1	2	3	18,773	福島県文化財調査報告書第498集			
2013	新地町	南狼沢A遺跡	5,600										4	4	0	4	14,231	福島県文化財調査報告書第499集			
2013	南相馬市	榎木沢C遺跡	7,000						1					1	0	1	—	南相馬市教育委員会（整理中）			
2014	南相馬市	天化沢A遺跡	30,200					1	1	15		1		17	0	17	4,062	福島県文化財調査報告書第508集			
2014・15	楢葉町	南代遺跡	3,800				1							7	5	12	28,718	福島県文化財調査報告書第517集			
2015・16	南相馬市	谷地中遺跡	14,000				5							4	1	5	10,939	福島県文化財調査報告書第525集			
試掘・発掘調査を実施した遺跡数 61 (浜通り地方の古代・中世の製鉄遺跡に限る)				657,704	26	8	12	37	75	79	29	30	9	2	10	21	280	58	338	1,107,675	黒字：福島県教育委員会調査主体 (まほろん収蔵資料) 赤字：各市町村教育委員会調査主体

箱形炉の操業の様子（9世紀中葉頃）

浜通り地方の砂鉄は、不純物であるチタン分の割合が非常に多く、還元が難しいと考えられてきました。このため、うまく鉄を生成するには製鉄炉の炉内温度を一定に保つことが最重要課題でした。1,200℃以上の炉内温度を維持するためには、一定した風圧と風量で炉内に空気を送る必要がありました。本地方では、8世紀初頭頃に炉下部の送風孔に「羽口」（小型の土管）が装着され、さらに8世紀末葉頃に箱形炉の送風装置として初めて「踏みふいご」が導入されるなど、安定して炉内に空気を送る技術が発達しました。



魔滓場

粘土を採掘する

導入期

「国家標準型」箱形炉の導入

中大兄皇子らが政治の実権を握った7世紀中頃、近江国湖南地域では「国家標準型」といわれる両側排滓の箱形炉が確立します。この製鉄炉は長さ200～250cm・幅40cmほどの長方形の炉の両側に、円形もしくは長方形を呈する排滓作業のための空間が設けられ、上から見た形から「鉄アレイ形」とも呼ばれます。このタイプの炉は、中国・畿内・東海・関東地方に類例があり、7世紀後葉の比較的短期間に各地に技術移転が計られたと考えられています。

福島県浜通り地方で製鉄操業が開始されるのも、ちょうど同じ時期にあたります。近江国起源の「国家標準型」の箱形炉が導入されたほか、横口式木炭窯という特殊な窯で木炭を焼く技術なども同時に伝えられました。

浜通り地方にやって来た製鉄工人は、原料砂鉄の違いに最初は戸惑ったことでしょう。何しろ近江国ではチタン分など不純物が極めて少ない鉄鉱石を原料に操業しており、関東地方の砂鉄でもチタン分は5～10%程度、一方、浜通り地方の砂鉄ではチタン分が20～30%もあり、一般に鉄を生成することが難しいといわれています。しかしながら当時の製鉄工人はこの難題を乗り越切り、7世紀末葉に操業最盛期をむかえたとされる大船迫A遺跡29・30号製鉄炉跡では、当地方最大の排滓量76トンを誇り、高い技術水準にあったと考えられています。



むかいだ 向田E遺跡 1・2号製鉄炉 新地町

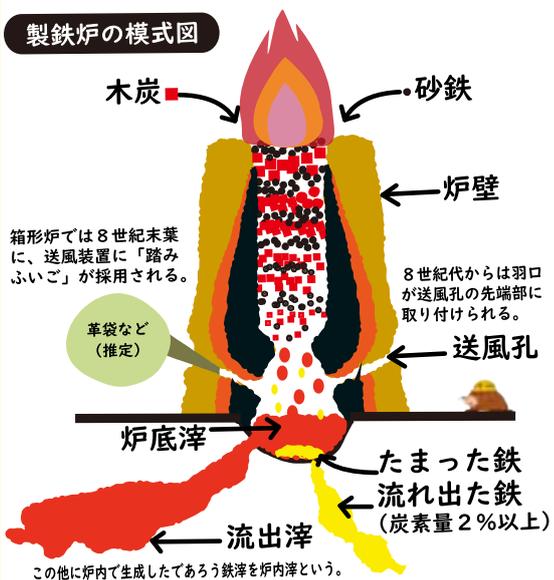


ほらやま 洞山F遺跡 2号木炭窯 新地町



おおふなざく 大船迫A遺跡 29・30号製鉄炉 南相馬市

製鉄炉の模式図



コラム1

鉄ができる過程

砂鉄から鉄を作る過程においては、製鉄炉の中で少し複雑な化学反応がおこっています。

- ①砂鉄の主成分はマグネタイト、つまり鉄と酸素の化合物です。
- ②木炭を燃やすと二酸化炭素ガスが発生し、さらに空気が不足しがちな製鉄炉の内部では一酸化炭素ガスが発生します。
- ③高温になった炉の中では、一酸化炭素ガスが砂鉄の中の酸素を連れ出して二酸化炭素ガスとなって炉の上に昇っていきます。これを「酸化還元反応」といいます。
- ④この結果、酸素との結合が解けた鉄同士が集まり、炉の底でまとまっていきます。ただ、純粋な鉄のままだと、溶けるために1,500度以上の温度(融点)が必要になってしまいます。
- ⑤そこで鉄の融点を下げるのに大きな役割を果たすのが、炭素です。鉄のなかに炭素が2%以上溶け込むことにより、融点は1,150度まで下がり、ドロドロに溶けた鉄になります。
- ⑥一方、砂鉄から分離した「鉄滓(不純物)」もドロドロに溶かし、それを炉の外に排出しなければ、炉の中が鉄滓で満たされてしまいます。
- ⑦そこで重要な役割を果たすのが、シリカなど粘土に含まれる成分です。シリカはチタンと溶け合うことにより、融点を下げる役割があります。これにより砂鉄に含まれる不純物は、炉の外に排出できるようになります。

## 「縦置タイプ」の箱形炉の登場

導入期（7世紀後葉）の箱形炉は、丘陵尾根部の平坦面に築かれていました。これが8世紀初頭頃になると、丘陵斜面を切り崩して、等高線と並行方向に箱形炉の長軸をそろえた炉（両側排滓の横置タイプ）へと変化します。このタイプの製鉄炉は、数は少ないですが9世紀中葉くらいまで存続します。

一方、8世紀前葉には、関東地方からの製鉄技術の影響を受けて、丘陵斜面の等高線に直交方向に炉を築く、「縦置タイプ」の箱形炉が出現します。これに伴い、浜通り地方の箱形炉では炉壁下部の送風孔に羽口（長さ20cm、内径3cm位の土管）を装着する技術が生まれました。

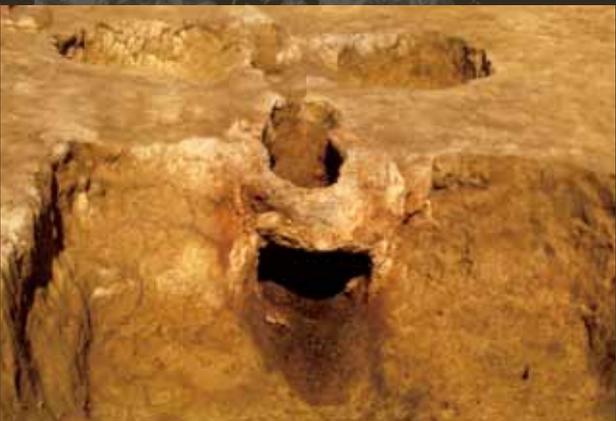
浜通り地方で独自の技術が生まれた背景には砂鉄中のチタンと鉄の分離を促すために、前提条件として炉壁の粘土を多量に溶かし、鉄滓を生成する必要があったためだと考えられます。ただあまりにも炉壁だけが溶けてしまうと、送風孔が詰まってしまうので、その部分に溶けにくい粘土で作った管（羽口）を取り付けたと考えられます。つまりチタン分が高い砂鉄への技術適応の結果だったといえます。その裏付けとして羽口を装着する箱形炉の炉壁が出土する古代製鉄遺跡の分布と高チタン砂鉄の分布域は一致しています。



ながとる 長瀬遺跡 32号製鉄炉 南相馬市



大船迫A遺跡 46号製鉄炉 南相馬市



大船迫A遺跡 42号製鉄炉 南相馬市



さわいり 沢入B遺跡 1号製鉄炉 新地町

## たてがたる 豎形炉の登場

8世紀中葉頃（東大寺で大仏を铸造していた頃）、これまでの箱形炉に加え、豎形炉とよばれる新たなタイプの製鉄炉が出現します。

豎形炉は推定内径60cm、高さ150cm位の円筒形の製鉄炉で、「踏みふいご」とよばれる送風装置から1本の大口径の土管（通風管）を通して、炉内に空気が送られます。

また、踏みふいごの製作は高度な木工技術が必要とし、それまでの製鉄技術にはまったくなかったものでした。一説には大仏などの铸造に用いられた溶鋸炉の技術が、豎形炉に技術移転されたともいわれています。

関東地方では8世紀代に「国家標準型」の箱形炉から豎形炉への転換が行われましたが、浜通り地方では8世紀中葉から9世紀前葉にかけて、豎形炉と「縦置タイプ」の箱形炉、2タイプの製鉄炉が併存します。なぜ2タイプの炉が併存するのかはいまだに解明されていません。



長瀬遺跡出土通風管（9世紀）



大船迫A遺跡出土羽口（8世紀）

最盛期

「鳥打沢タイプ」の箱形炉の登場

8世紀末葉頃、陸奥国では国府多賀城が蝦夷との争いで焼け落ちるなど、いわゆる「38年戦争」という動乱期に突入していきます。この戦争の物資として、浜通り地方で生産される鉄が重要な役割を果たしたと考えられています。この時期の製鉄炉は本地方だけで75基、製鉄関連遺物の総量は587トンと、他の時期と比較して突出しています。

この時期の箱形炉の最大の特徴は、「縦置タイプ」の箱形炉の送風装置として、竪形炉で用いられた踏みふいごが採用されることにあります。最初に発見された遺跡にちなみ「鳥打沢タイプ」



大船迫A遺跡7・8・12号製鉄炉の廃滓場 南相馬市



舘越遺跡1号製鉄炉 南相馬市



鳥打沢A遺跡1号製鉄炉 南相馬市

の箱形炉とよばれます。踏みふいごの採用により安定した送風量が維持でき、増産化につながったと考えられます。

箱形炉の炉壁下部には送風孔が設けられ、そこに羽口が装着されていました。炉内環境に大きく影響を与えたであろう羽口の装着角度は、9世紀の初頭くらいまでは比較的急な角度(約20~30度)で行われていました。それが9世紀前葉以降は浅い角度(約10度)に転換します。

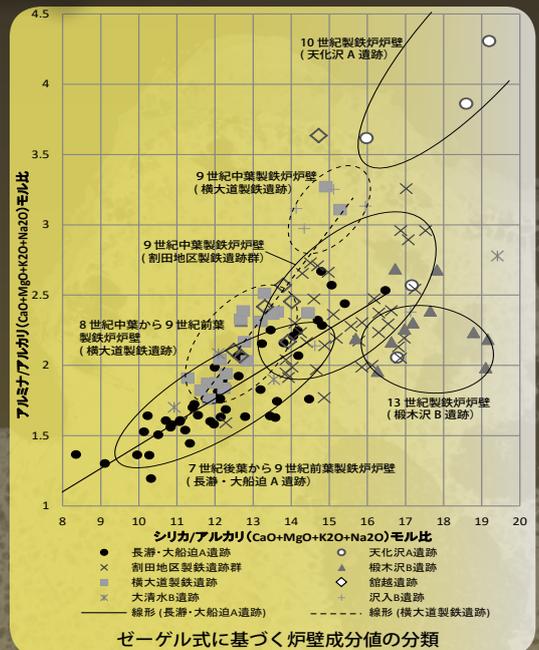
送風角度の変化が鉄生成過程に与える影響は金属学の立場でも諸説あり研究途上にあります。ただ浅い送風角度の箱形炉で、高炭素の鑄鉄塊(炭素量約3%以上)がより多く出土することは従来からいわれており、今後の工学的解明が望まれます。



横大道製鉄遺跡1号廃滓場  
出土炉壁(9世紀初頭)  
装着角度21度

右図は一般に釉薬を調合する際に利用されるゼーゲル式を応用して、炉壁胎土の溶けやすさ・溶けにくさを相対的に示したグラフです。

左下に向かうにしたがい溶けやすい炉壁、右上に向かうにしたがい溶けにくい炉壁を示します。



横大道製鉄遺跡10号製鉄炉  
出土鉄塊(9世紀中葉)  
炭素量3.30%の流れ鉄

製鉄遺跡では製鉄炉や木炭窯といった遺構とともに、大量の鉄滓や炉壁が出土します。福島県では約35年にわたって製鉄遺跡の調査を行ってきましたが、そのほとんどの遺跡で製鉄関連遺物を回収し、これを鉄塊・鉄滓・炉壁などに分類し、重量を記録してきました。その総量は発掘調査した浜通り地方の古代・中世の製鉄遺跡だけでも1,100トンを超えます。この分類作業の結果、時期別・遺構別の鉄生産量を推定できるようになりました。また、炉壁や炉底滓の接合作業を行うことにより、製鉄炉の構造も理解できるようになっています。

また、製鉄関連遺物に対しては考古学的な形態分類に金属学などの

評価を加えた学際的研究を行っています。これにより近年では、鉄滓の成分や炉壁の耐火度などから製鉄操業の温度や炉内環境も推定できるようになりました。炉壁の成分分析では、どの地層の粘土を選択していたか、どれくらい溶解していたかなど、操業の様子を具体的に描くことが可能になってきました。このような成果を踏まえ、まほろんでは2003~2012年に製鉄実験を行い、古代の製鉄技術の解明に努めています。

習熟・減衰期

箱形炉から円筒炉へ

安定した製鉄操業を行うためには、「いかに製鉄炉の炉底を冷やさないか」が重要だといわれ、これには地中からの湿気をいかに断ち切るかが大きな課題だったと考えられています。このため、7世紀後葉の箱形炉では礫や木炭混じりの土を炉底の下に敷いて防湿・保温の効果を高めていました。また、8世紀代の箱形炉では地面の上に粘土を突き固め、操業前に十分に焚き火で乾燥を行っていました。

9世紀初頭から中葉頃は、製鉄操業の前に箱形炉を設置する場所をあらかじめ四角く掘って土坑とし、その中で焚き火を繰り返しながら、その燃え残りの炭を充填していく、いわゆる「木炭敷きの基礎構造」をもつ箱形炉が登場します。この基礎構造は9世紀前葉頃までは深さが20～30cmと比較的浅いのですが、9世紀中葉以降では50cmを超えるものまであり、防湿に対する意識の高さがうかがえます。

9世紀中葉頃の箱形炉は、炉底の規模で長軸200cmを超えるものもあり、大型化が図られます。

送風角度は10度以下の浅い角度に統一されるほか、送風間隔が狭く、片側だけで18本（両側で36本）程度の羽口を並べ、送風を行っていたようです。これに伴い、踏みふいごの大きさも9世紀前葉頃の箱形炉に比べて、一回り大きくなっています。技術的には習熟期を迎え、この時期の箱形炉からは鑄鉄の塊が多く出土しています。しかしながら9世紀中葉以降、浜通り地方においては製鉄炉の数が減少し、7世紀後葉から約250年間続いた箱形炉での製鉄操業は10世紀前葉をもって終焉を迎えます。

10世紀代の製鉄炉は、70cmほどの円形もしくは楕円形の土坑状の基礎構造（掘形）に炭や焼土を充填し、その上に小型の「円筒形自立炉」を築いていました。送風方法も踏みふいごを設置するのではなく、簡易的な方法で行われていたようです。炉壁の下部から炉の中心に向かって、羽口を用いて3方向から送風が行われ、空いた1方向から排滓が行われていたと思われます。



長瀬遺跡 15号製鉄炉 南相馬市

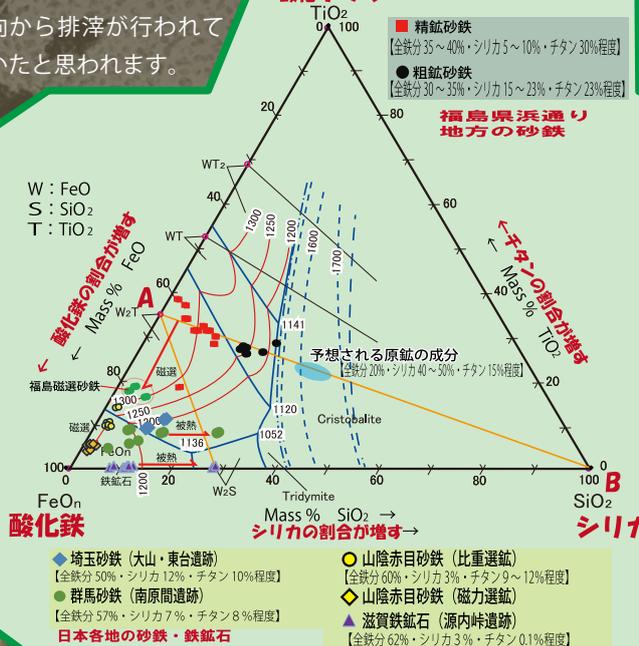


大船迫A遺跡 15号製鉄炉 南相馬市



天化沢A遺跡 5号製鉄炉 南相馬市

二酸化チタン



コラム2 浜通り地方の砂鉄

浜通り地方の古代製鉄遺跡からは、鉄の原料である砂鉄が出土します。この図は、砂鉄に含まれる成分のうち、酸化鉄 (FeO<sub>n</sub>)・シリカ (SiO<sub>2</sub>)・チタン (TiO<sub>2</sub>) の比率を示しています。浜通り地方の遺跡から出土した砂鉄は、この図上ではAとBを結ぶ線上に並んで分布しています。

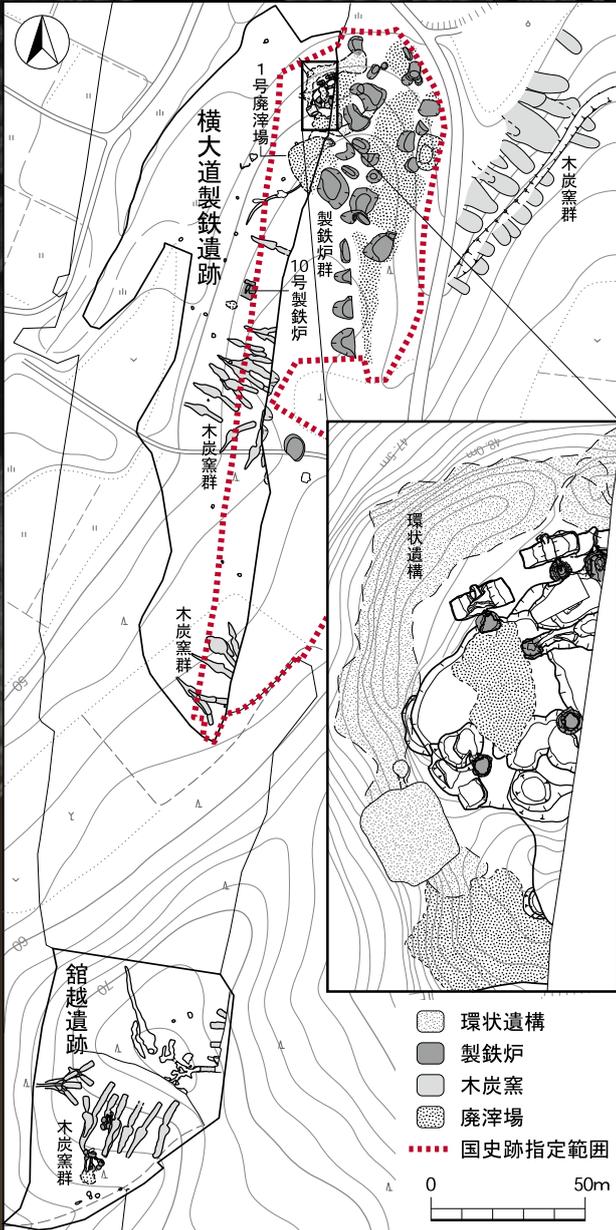
これらは出土した遺跡や遺構、時期が異なっているにも関わらず、酸化鉄とチタンの割合にはほとんど変化がありません。この結果は、浜通りの海岸で採取される砂鉄 (原鉱) の成分がほぼ同じであることを示しています。

一方で、砂鉄に含まれるシリカの割合は高いものから低いものへと連続的に推移しています。比重選鉱を行うことで、酸化鉄やチタンと比べて比重が軽いシリカは、砂鉄から取り除かれます。それにより、採取したままの状態だった砂鉄は、粗鉱砂鉄もしくは精鉱砂鉄に選り分けられていたと考えられます。

近現代のたたら製鉄では、シリカの比率が異なる砂鉄を操業段階に応じて使い分けしているといわれています。古代においても、適宜、砂鉄を使い分けて鉄づくりを行っていたかもしれません。

3元状態図原図：Phase diagram of FeO-TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>slag (Phase diagram of smelting slag of titanium oxide bearing iron sand) Hiroshi Itaya, Takashi Watanabe, Miyuki Hayashi, Kazuhiro Nagata ISIJ International, Vol.54 (2014), No. 5, pp.1097-1073

# 横大道製鉄遺跡の構造



横大道製鉄遺跡・館越遺跡 遺構配置図



横大道製鉄遺跡全景 (北西から)



環状遺構



環状遺構内部の竪形炉群



館越遺跡木炭窯群

南相馬市小高区飯崎にある横大道製鉄遺跡は、太平洋岸から7km内陸に入った標高40～50mの丘陵上に立地し、8世紀中葉頃から9世紀中葉頃に、製鉄・製炭を行った大規模な生産遺跡です。常磐自動車道建設に伴う発掘調査において、製鉄炉・廃滓場・木炭窯が良好な遺存状況で確認されたため、平成23年2月7日に重要な遺構が発見された約9300㎡の区域が国史跡に指定され、保護が図られることとなりました。

発見された製鉄遺構は製鉄炉10基、廃滓場10カ所で、この内6基の製鉄炉が直径20m程の環状遺構の中から集中して発見されました。環状遺構は、その中央を掘削して造り出した人工的な地形で、くぼ地の内側に6基の竪形炉（製鉄炉）が配置されていました。く

ぼ地の周囲には中央を掘削した土が盛り上げられていました。このことから竪形炉を計画的に配置するために直径20mにもおよぶ大規模な土木工事を行ったものと考えられます。

環状遺構から南に5mほど離れた位置に直径20m程の規模の1号廃滓場跡が分布します。調査範囲だけでも9世紀前葉頃の箱形炉由来の鉄滓・炉壁が60トン以上出土しました。発掘調査範囲の外側では、1号廃滓場の東側に大小合わせて5カ所のくぼ地が確認されました。これらは1号廃滓場を取り巻く、並列する製鉄炉（箱形炉）の作業場である可能性が高いと考えられます。このほかにも、発掘調査範囲の外側では、製鉄炉と考えられるくぼ地が31カ所見つけられました。これらは環状遺構と1号廃滓場を中心とする区域に密集して分布しています。

また、地下式木炭窯は発掘調査範囲に26基、東側の隣接地では23基が確認されています。これらは狭い範囲に密集して分布していました。さらに本遺跡の南に隣接した館越遺跡でも、16基の地下式木炭窯が発見されました。発見された木炭窯の中には窯体の長さが13.4mと、これまでに浜通り地方で見つかった地下式木炭窯の中では最大のものもあります。

以上のように横大道製鉄遺跡は、古代の製鉄炉・廃滓場・木炭窯がセットとして良好に遺存し、その規模や遺構の数量においては東北地方屈指の大規模な製鉄遺跡と考えられます。8世紀中葉から9世紀中葉にかけては、律令国家による東北経営が活発になり、鉄製品の量産要求が急増した時期であります。したがって、当時の政治的・社会的状況を知る上で不可欠な遺跡といえるでしょう。

