



鉄の歴史

スウェーデンの製鉄史概論 近代製鋼法 (Bessemer 転炉) 誕生まで

1. 鉄器時代から高炉の誕生まで

Iron in Sweden — Classical Processes up to 1900 —

矢島忠正

Tadamasa Yajima

元大同特殊鋼(株) 常務取締役
元日本鉄鋼協会共同研究会 特殊鋼部会長

序

1997年6月、Jernkontoret「スウェーデン鉄鋼協会」の250年記念講演会に出席する機会を得た。会議は製鉄技術の「現在、過去そして未来」の三部より構成されていたが、スウェーデン製鉄史を扱った「過去」のセッションが異色であった。

このセッションは地元スウェーデンに始まり、スウェーデン製鉄業と歴史的な繋がり強いベルギー、イギリス、フランス、ドイツ、オランダの諸国が発表した。

明治維新で「たたら吹き」から短期間で一挙に「近代製鉄法」に変革した島国日本では想像もつかない大河のようなヨーロッパの政治、経済、宗教の流れの中にあって、それに大きく影響した良質の「鉄鉱石」資源を持つ北欧の小国スウェーデンの姿がそこにあった。

2000年、スウェーデンは粗鋼生産量こそ5,229千t(CC比率87%)にすぎないが、合金鋼、ステンレス鋼が54%(2,787千t)と過半を占め、また自国鋼材生産量4,999千tの内実に77%(3,854千t、約4,800億円)を輸出し、逆に主に普通鋼鋼材を2,676千t(2,600億円)輸入している²⁹⁾。

このように現在の特殊鋼大国スウェーデンも「鉄は国家なり」とその存亡を左右した製鉄業を「Bergsman (ベリスマン): Peasant Miner」と呼ばれた農業の傍ら製鉄業を営む独特の社会階級に依存した時代に始まり、1200年以後約700年の間にドイツ、ベルギーそして産業革命以後は最大の顧客イギリスから相次いで新製鉄技術を導入、消化して発展を遂げている。この姿に資源こそ持たないが、1945年灰燼の中から僅か30年余の間に自由主義社会のショウウィンドウとして西側諸国から相次いで新技術を原料、燃料と共に導入、消化しながら、開かれた西側市場にその製品を供給し、粗鋼生産量1億tにまで急成長した日本との共通点も数多く見出す事ができる。

以下3回にわたって近代製鋼法が生まれるまでの「スウェーデン古典的製鉄史」を纏めてみた。数々の貴重な資料を提供して頂いた先生方、多くの友人に心から御礼申し上げると共に、筆者固有の独断と偏見をご叱正頂ければ幸いである。

1 鉄器時代の誕生 アナトリアから アルプス北部へ BC2200-400年

鉄器時代は青銅器時代の紀元前2200年頃現在トルコのヒッタイト王朝が支配したアナトリア地方で誕生したと考えられている。しかし鉄器は青銅器や金、銀の装飾品よりはるかに錆びやすく、また当時金より高価であったと言われる程の貴重品であったので考古学的調査で発見される確立は極めて小さかった (Fig.1)。

BC1200年代前期頃、黒海の東南部古代Pontus (Kolchis 近傍) のヒッタイト国王ハッシュシュリ (Chattusil) III世 (BC 1298-1266) はエジプト国王ラムセス (Ramses) II世 (BC 1301-1234) に宛てたと思われる書簡で次のように述べている。

「御申越しの良質の鉄の件、残念ながら Kisvanda の倉庫に在庫がありません。今は鉄を造るには時期が悪いですが、できるだけよい鉄を造るよう部下に指示したところです。出来次第お送りします。今回は鉄の刃だけ送らせて頂きます。」¹⁾

しかしBC1200年頃気象の寒冷化による民族移動の結果、アナトリア地方の住民も難民として南へ移動、パレスチナに定住、ペリシテ人の名の下に製鉄技術を秘術として伝えたと



Fig.1 ツタンカーメン (BC 1358-1349) の棺から発見された鉄の短剣¹⁾ 全長31.9cm。刃は焼入れされた鉄、柄は七宝の金製。発見当時刃先に数箇所錆以外には鉄の輝きを保持していた。カイロ、エジプト博物館蔵。

言われている。

鉄に関して現存する最古の文献の一つ「旧約聖書」は「創世記第4章、ヨブ記第28章」等、数箇所鉄に関する記述があるが、「サムエル記上第13章」にはイスラエル建国当時 (BC1000年) サウロの頃のペリシテ人と鉄に関する記述が見られる²⁾。

日本書紀で「すさのおの尊」が「ヤマタノオロチ」の尻尾から熱田神宮に祀られている三種の神器の一つ、「天のムラクモの剣=草薙の剣」を取り出したのはこの頃であろうか。

この民族移動を契機に製鉄技術は更に地中海西部へ拡散し、ギリシャにはBC1200年頃到達する。ギリシャ神話は美と愛の女神「アフロダイテ (Aphrodite: ローマ神話の Venus)」の夫に鍛冶屋の神様「ヘファイストス (Hephaistos)」を配している。またギリシャ時代の遺跡から現イタリア、エルバ島産の鉄鉱石を用いた鉄塊が発見されており、当時既に広範囲に鉄の交易が行なわれていたことを示唆している。

オーストリア、ザルツブルグ近郷ザルツカンマーグート (Salzkammergut) はその名の通り BC2500 年から岩塩の産地として知られている。1846 年その一つ海拔 1000 m のハルシュタット (Hallstatt) 岩塩鉱近くの間山で砂利の採掘場所を探していた鉱山の管理者が偶然人骨を掘り当てた³⁾。更に掘り進むと BC800 年以降と推定される 993 基の墳墓から 6084 点もの青銅、金、銀製品と共に多数の鉄器の副葬品が出土した。アルプス以北の所謂第一鉄器時代の始まりと共に考古学誕生の瞬間である。

当時ケルト文化圏に属した Hallstatt 自身は山に湖が迫る狭い場所に位置し、そこで製鉄業が行われた形跡は無く、数々の副葬品は住人が当時「白い黄金」と呼ばれた岩塩から得られた富で購入したものと思われる。近くの現在レオーベン (Leoben) 近郷が属するシュタイヤーマルク州 (Steiermark) はローマ時代ノリカム (Noricum) を呼ばれ、既に鉄を生産しており、鉄器はそこで生産されたものと推定される。

今日 Leoben からドナビッツ (Donawitz)、エルツベルグ (Erzberg) 鉄鉱山を経て北上し、ドナウ川沿岸のリンツ (Linz) に至るローマ時代からの「鉄の道」(Eisenstrasse) が走っている。LD 法もそのルーツはローマ、更に遡ってケルト時代 (?) にあった。

製鉄技術がアルプス北部まで伝わったルートは明らかでないが、

1. 南ルート: ギリシャ・イタリア北部 (エトルリア)
ーオーストリア西部へ
2. 北ルート: 黒海ーウクライナードナウ川を遡上の二つが考えられる。

この10年後の1857年、Hallstattの西600kmのスイス、

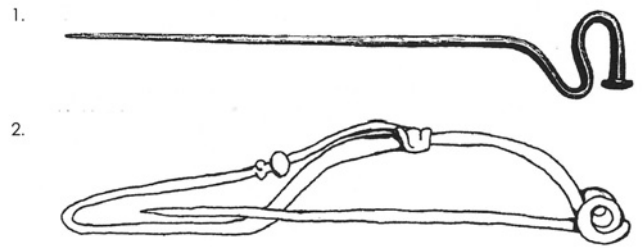


Fig.2 ノルウェーで発見された La Tène 期の鉄製装飾用ピン⁵⁾
1 は初期のストレート型、2 はバネ機構付の安全ピン型

ヌシャートル (Neuchâtel) 湖畔ラテーヌ (La Tène) の湖中から BC400 年以後と推定される多数の鉄器が発見される。ここでは Hallstatt の刀剣より数段進歩した鋼が登場、焼入れ焼戻し熱処理技術と共にクラッド技術が開発されていた。

従って BC400 年以降ローマ帝国誕生の AD0 年頃までは第二鉄器時代あるいは La Tène 期と呼ばれている⁴⁾。

日本に鉄器が伝わったとされる弥生時代前期 (BC300-) 頃である。

長く寒い冬を越すため食料を保存する岩塩は近世に至るまでスウェーデンの重要な輸入品であった。四方を海で囲まれたバルト海 (スウェーデンでは東海と呼ぶ) は塩分濃度が南部でも 1.5% 程度と通常の海水の半分以下で、沿岸に住む住民は輸入された岩塩に依存した。

ケルト時代から Hallstatt を始め南ドイツの岩塩産出地帯から所謂「塩の道」も北へ伸びており、これを通じ鉄器がその製造技術と共に遠く北欧の地まで伝わったと考える事もできよう。

ノルウェー、ベストフォルド (Vestfold) 郡サンデ (Sande) のオース (Ås) で BC100 年頃の青銅製骨壺の中から副葬品として La Tène 様式の安全ピン式ブローチが発見されている。女性にとっても当時鉄製品は金にも優る最高級の装飾品であった (Fig.2)。

鉄を意味するスウェーデン語のイエルン (Järn)、英語の Iron はケルト語を語源とする事からケルト人が鉄器の導入とその発展に尽くした役割の大きさを推し量る事が出来る²⁾。

因みに馬の蹄鉄や鉄たがを嵌めた車輪はステップ地方からヨーロッパの森林地帯に移住したケルト人の発明とされている²⁾。

このようにローマ時代以前でもアルプス北部では広範囲に交易が行なわれていた。

2 La Tène 期 吹錬炉 (低シャフト炉: Bloomery, Sw: Blåsterugn) による直接製鉄法

1938 年に始まったスウェーデン古代遺跡調査局 (Riksantikvarieämbetet) の記録によると今日までスウェーデン全土

で5000箇所の製鉄遺跡が発見されている。

近年考古学の分野でC¹⁴、サーモルミネッセンス法、年輪測定法等新しい手法を用いた発掘調査が行われている。製鉄遺跡もその例外ではなく、北欧諸国各地で従来の見解を書き改める新しい発見が各所で得られている。

歴史が新しいスウェーデンでは一般にTable1の時代区分が採用されている。

この分類に従うとHallstatt期（第一鉄器時代）は青銅器時代に、La Tène期（第二鉄器時代）はローマ前期に分類される。

中部スウェーデンベストマンランド（Västmanland）のリダーヒュッタン（Riddarhyttan）で発掘された製鉄遺跡はFig.3に示す吹錬炉で、全高約1 m、全幅0.5 m程の低シャフト炉である。C¹⁴による年代測定によりこの炉はBC400年頃と判定された⁶⁾。

鉄原料は酸により水に溶けた鉄が再度析出、沈殿した水酸化鉄（Limonite）、通称赤土（レードヨルド、Rödjord）で、灼熱減量—20％、ドライベースで鉄分—60％の比較的高品位鉱石で、ピットで焙焼後装入された。この赤土は石器時代、洞窟画の赤色顔料としても使われていた。産出形態は砂状、豆状、あるいはコインやコーヒークサスの性状を呈する粉末も

しくは日本の砂鉄と似た微粒鉄鉱石であった（Fig.4）。

燃料には初期は木材、後期は木炭が用いられた。

操業は木材、鉄鉱石を上方から装入、人力による送風で5-6時間の精錬後約20 kgの海绵状鉄塊（Bloom,Luppe）が造られた。これは軟鉄で、鑄造により夾雑物を搾出後製品に加工された。

「鉄は溶かす、即ち銑鉄にすると病気になり、健康にするには大変な労力、即ち木炭炉床で鉄鉱石を用いて脱炭精錬、を必要とする。」という事が当時から語り伝えられていた²⁾。

Riddarhyttanでは1×1.5 km²の赤土沖積地帯に各1-4基の炉を持つ7箇所の製鉄遺跡が発見されている。Fig.5はノルウェーの1996年冬季五輪開催地リリエハンメル（Lillehammer）の西約20 kmに位置するドックフロイ（Dokkfloy）周辺で発掘されたBC100年頃の製鉄遺跡分布を示す。海拔750 m、約3km²の沼沢地の谷間に多数の吹錬炉が木炭釜と共に発見されている⁷⁾。

この遺跡は6世紀まで500年間操業し、200年の休止期間の後再開されている。周辺の森林を伐採しつつ、その復元を待つて再開されたものであろう。

筆者が師事したストックホルム王立工業大学名誉教授、日本鉄鋼協会名誉会員のSven Eketorp氏はストックホルム郊

Table1 北欧に於ける時代区分⁶⁾

石器時代	青銅器時代	鉄器時代			
		ローマ前期	ローマ時代	民族移動期	Wendish 期
- 1500BC	1500 - 400BC	400 BC - 0	0 - 400	400 - 600	600 - 800
鉄器時代					
Viking 時代	中世	近世			
800 - 1050	1050 - 1500	1500 -			



Fig.3 吹錬炉（Blåsterugn）
Riddarhyttanの遺構とEketorpの復元炉⁵⁾
左 Riddarhyttan, Skinnskattebergの遺跡 BC400頃⁶⁾
右 Eketorp教授宅の復元炉。全高70cm、炉内径30cm。

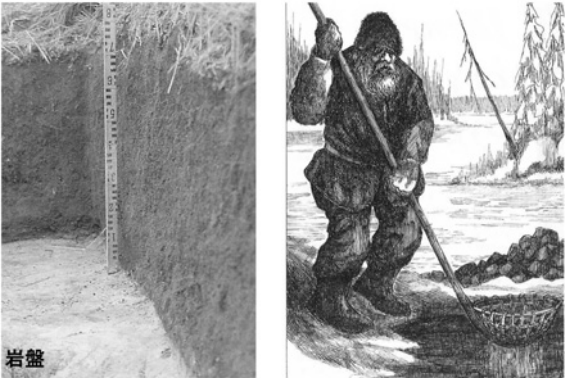


Fig.4 沼鉱石（Bog ore：Limonite）の産出状況⁵⁾
左 赤土（Rödjord）⁶⁾
約80cmの水酸化鉄堆積層（Limonite）
鉄分30-50％、lg-loss 10-20％
右 湖鉱石（Sjömalm）²⁶⁾ 湖底で風化した塊鉱石。
鉄分40-50％、lg-loss 3-7％

成分出典：Das Eisenhüttenwesen Schwedens. 1885 Leipzig. 付表1-3.

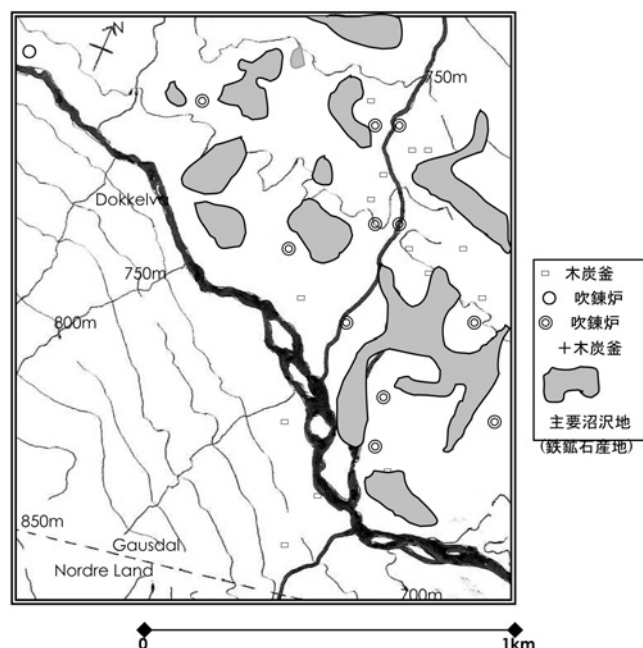
Fig.5 BC100頃のNorway, Dokkfloy周辺の吹鍊炉分布⁷⁾

Table 2 オクセレスンド (Oxelösund) のペレットを原料とした製品の成分の一例

C	Si	Mn	P	S	Cu	T-Fe
0.03	0.1	0.1	0.015	0.013	0.1	88

外の広大な自宅の庭に吹鍊炉を復元し (Fig.3)、毎年6月に学生を招いて試験操業を恒例の行事とされている。しかし毎年決まって海綿状の鉄塊を造る事は難しいとの事であった。オクセレスンド (Oxelösund) のペレットを原料とした製品の成分の一例 (%) をTable 2に示すが、約10 wt %の脈石が含まれている。

またスラッグは酸化鉄を約50 %含有する思いファヤライト系 (2FeO , SiO_2) である。

この詳細については後述するが、本法は1150年頃高炉が誕生するまでの約1500年間、ローマ時代、バイキング時代の唯一の直接製鉄法であった。

③ ローマ帝国 (0 - 465)

アルプス以北に第一、第二鉄器時代をもたらし、英語、スウェーデン語に鉄という言葉を残したケルト民族は紀元前52年、現フランス東南部のアレスシアでシーザー率いるローマ軍団に破れ、その時代に終止符を打つ。代わって東はシリア、イラクから西はスペインに至る地中海沿岸全てを制覇したローマ帝国が誕生する。

その余勢を駆って北部ドイツ平原に進攻したローマ軍は

AD9年、オスナブリュック南方に広がるトイトブルグの森 (Teutoburger Wald) でゲルマン軍の待ち伏せ攻撃を受け三個軍団が壊滅、後世のスターリングラード的大打撃を受ける。これに懲りたのかローマ軍はドナウ川とライン川を結ぶ地域に対ゲルマン防衛線を設け、それ以北はアンタッチャブルとし、現在の北欧諸国もローマの支配圏外に置かれる。しかし通商ルートは確保され、シュレスウィッヒホルスタイン (Schleswig-Holstein) 地方からは沼沢鉱石が供給された。

矛先を転じたローマ軍団は北へ向い、AD43年スコットランドを除くイギリス本土を征服する。

大帝国を築いたローマにとって伸びきった兵站線を維持する事は何にも増して重要であった。特に武器製造の鉄鉱山、製鉄所、鍛造所の確保と維持が最優先であった。

鉄鉱山はスペイン、フランス中部、オーストリア、エルバ島、アナトリア、シリア等に点在し、その鉄からローマ軍兵士の短剣等の武器を製造する鍛造工場はライン軍団にはリーム (Reims) の刀、トリアー (Trier) の槍、アミアン (Amien) の楯、ドナウ軍団にはフランケン (Franken) やシュワベン (Schwaben)、また遠くギリシャ駐屯軍にも武器を供給したオーストリア、ノリクム (Noricum) が有名であった。更に東は、シリアのダマスкас (Damascus)、西はスペインのトレド (Toledo) 等にも特に刀剣で著名な鍛造所があり、駐屯するローマ軍の重要な補給廠の役割を果たした。

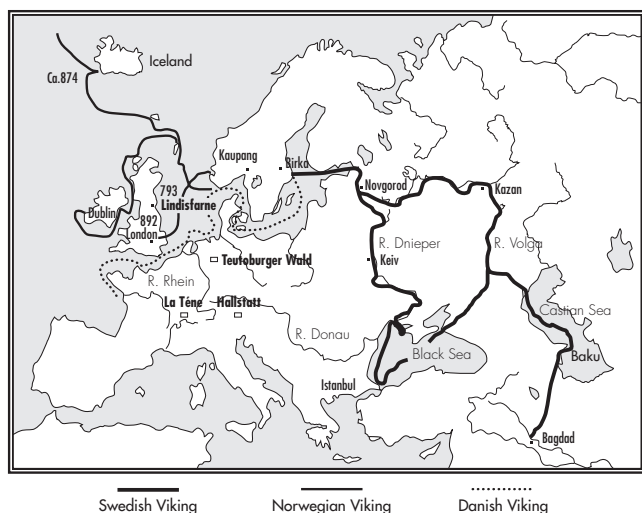
ローマ帝国がその体制を維持できた理由の一つには鉄鉱山、製鉄所の維持管理とそこから伸びる長大な兵站線を防衛できた事にあったと言われている。まさに鉄は国家なりであった²⁾。

ローマ時代にスウェーデンの製鉄所から鍛造所に至る河川の流域の拠点に設けられた城砦 (Borg) や櫓 (Skans) も遠くローマ帝国から伝えられた通商ルートの保護を目的としたものと考えられよう⁶⁾。

476年、強大なローマ帝国もゲルマン部族の攻撃を受け崩壊する。武器の携行を兵士にしか許可しなかったローマに対し、少数の遊牧民族のゲルマン部族は女、子供に至るまで武器を携行していたことがローマ敗因の一つであったといわれている²⁾。

④ バイキングの時代 (800 - 1066)

793年6月8日、イギリス、ノーザンバーランド (Northumberland) のリンデスファーン (Lindisfarne) 修道院が数隻の船団に襲撃される。以降1066年のヘイスティンクス (Hastings) の戦いまでの北欧諸国が世界史に初めて登場するバイキング時代の始まりである。

Fig.6 バイキングの通商ルート⁸⁾

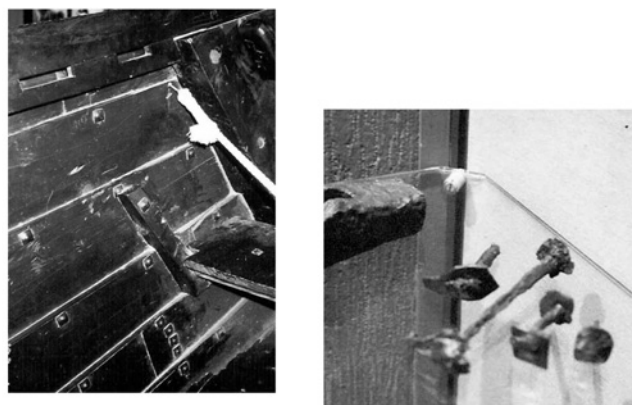
バイキングの起源、その目的などについては諸説があるが、増加した人口圧力が北欧の民族を国外に向わせたゲルマン民族大移動後の小規模な民族移動と考えることも出来る。彼等は兵士であると共に商人、農民で、修道院や集落の襲撃、略奪も行ったが、その一方イギリスやフランス北部そして南イタリア、更に北はアイスランド(874?)やグリーンランドに至る植民や広範囲な通商活動も行った。ケルト語がアイルランドに遺されているのと同様、現在のアイスランド語はバイキング時代の北欧語?を遺すと言われている。

デンマーク、ヘデビー(Hedeby)やノルウェー、カオパン(Kaupang)、ニダロス(Nidaros)を拠点とするバイキングはそれぞれ北へ、西へと向かったが、スウェーデンバイキングは主としてメーラレン湖のビルカ(Birka)から東に向かい、バルト海からロシアに入り、ボルガ、ドニエプル川を下ってカスピ海、黒海を経て遠くバグダードにまで達した。Birkaは800年から960年頃までスウェーデンバイキングの通商拠点として栄え、中部スウェーデン各地からの鉄の集散地としてデンマークのヘデビー向の鉄製品輸出も行われた^{8, 9)}。

この大遠征を可能にした一つがバイキングシップを生んだ卓越した造船技術であった。

バイキングシップはキールを有する木造船で、キールから幅15 cm、厚み5 cm位の木板を鉄釘で互いに接合、1.5 m置きにリブを配した綺麗な曲線を描く全長35 m、最大幅4.5 m、排水量50トン程度の所謂ロングシップである。これに食料、武器、鉄の大鍋等の炊飯器具を満載、30-40名の乗組員と時には馬、家畜まで載せ、順風の時は一本マスト、110 m²の羊毛製一枚帆で、最速12 ktで帆走した。

鉄釘は写真(Fig.7)に示すように内部と外部共に小さな鉄片のワッシャーをつけ、釘をかしめる時に製鉄用木炭の製造時の副産物木タールを用い漏水を防いでいた。リブとマストの基礎には天然の木材をその形状、曲線を生かして活用、図

Fig.7 バイキングのロングシップ(内側と鉄釘)
Historisk Museum, Oslo. 2002、

面は一切無く、全てが現寸合わせの造船術であった。

造船資材としての鉄、木タール、木材を切り出し加工する手斧、鉋、武器としての斧、等全てがケルト人によりもたらされた製鉄技術の産物であった。

しかし中東、地中海沿岸にまで到達したバイキングを驚かせたものは進歩した製鉄技術と組織化された軍隊であった。ダマスカスの半月刀、フランク王国の直刀そして甲冑に身を固めた騎士は、斧を振り回し半裸の少数の盗賊集団バイキング文化とは全く異なるものであった。

1000年代後期、移住したバイキングがそれぞれの土地で同化し、一方キリスト教が北欧にも敷衍すると共にその活動も終息する。

一方1066年Hastingsの戦いでバイキングを打破したウィリアム征服王のイングランドではその後20年間で鉄の生産が2倍になった。民族国家の誕生と共に「国民を守り、国民を養う」鉄は国家なり時代が到来する。

5 シトー(Citeaux)派修道会による製鉄技術の拡散²⁾

北欧諸国がヨーロッパの一国となった背景の一つにキリスト教の伝道が大きな役割を演じた。これは単なる宗教の伝道以上に大きな意味を持った。

北欧の王国誕生はキリスト教の伝道と同時に起こり、スウェーデンの聖エリック(St.Erik)、ノルウェーの聖オラフ(St.Olaf)、デンマークの聖クヌート(St.Knut)等、各国の守護神(Patron saint)の名の下に教会により世襲制の国王が選任された。国王は教会に従属するローマ法王の僕で、僧侶は人々の魂を救済するので無税であった。記録によると1210年11月21日教会による戴冠式でエリック・クヌッソン(Erik Knutsson)がスウェーデン王位につくが、これは教会と国王が合意に達した事を意味した²⁾。

教会により、法制度、租税システム等が整備されてゆく。製鉄業に関しても「鋳や鋳の深さ以下にある資源は国王に帰属する。」「製鉄業に対する認可制度」「製品品質を維持する為のマーキングや罰則」等の諸制度の原型が作られた。マーキング制度は自家消費のために鉄を生産するベリスマンと国王のとの間に論争を引き起こした。

またバルト海沿岸のリューベック (Lübeck) やドイツ各地から商人、職人等がスウェーデンに移住し、通商や産業振興の一翼を担った (Fig.8)。

キリスト教に改宗した上流社会の人々は来世の幸福を願い、土地、製鉄所等を教会に寄進し、教会は財政的にもその基盤を強化してゆく。

一方1000年代ヨーロッパでは鉄鉱山の探鉱とその開発が積極的に行われた。この一翼を担ったのが、1098年フランス中部ディジョン (Dijon) 近傍に設立されたシトー派修道会に属する僧院であった。修道会は人里離れた原野や森林の中に僧院を建設、そこには修道士と修道労士が生活を共にし、自給自足のための農場や施設を組織的に運営した。

最盛期には700箇所の男子修道院と900箇所の女子修道院を擁した²⁾。

1115年に設立されたシトー派の一セクト、クレルボー (Chairvaux) 修道会はフランスを中心にイギリス、スウェーデン等に展開し、僧院から離れたところに立地した農場、水力式製粉工場、製材所等から構成される自給のみならず積極的に外販を行う生産部門を保有した。僧院によっては製鉄部門を持つところもあり、そこには熟練した精錬、鍛造修道労士が生産に従事し、彼等の発明した技術は同じセクトの修道会に伝承された。

修道会は土地を借受け、リース料を生産された品物で支払った。鉄の場合は生産量の10%がリース料として土地所有者 (王侯貴族、権力者、僧侶) に支払われた。

1100-1200年代のフランスでは35の修道会が製鉄事業に従事し、内クレルボー修道会は年産700tを生産する系列製鉄所を運営していた²⁾。

彼等はイギリスでもシェフィールド地区で6製鉄所を運営し、彼らこそがシェフィールド製鉄業の基礎を築いた人々であった。

スウェーデンに進出したシトー派修道会は、アルベストラ (Alvastra) (1143)、ニイダーラ (Nydale) (1143)、グードヘム (Gudhem) (1164)、ユーリタ (Julita) 等数箇所に僧院を建設、製鉄業を営んだ (Fig.8)。

当時スウェーデンには既に製鉄業に携わる農民、Bergsmanが存在したが、教会という管理されたシステムの下で製鉄業を行った修道会の存在も無視できない。

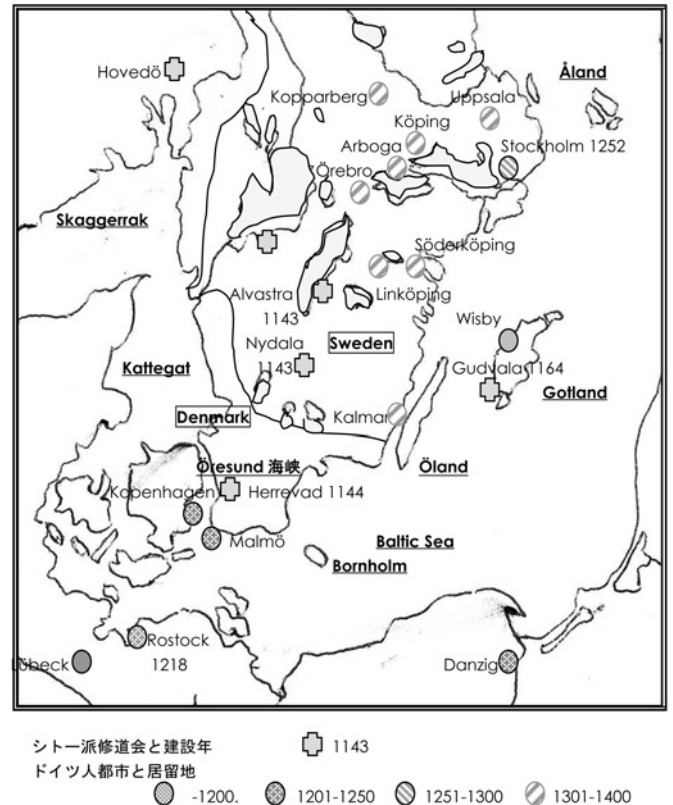


Fig.8 シトー派修道会とドイツ人移民 (1143-1400)¹⁰⁾

6 高炉と間接製鉄法の誕生 Lapphyttan (1200年頃)

1976-79年の予備調査後1984年まで中部スウェーデン、ノルベリ (Norberg) 近傍のラップヒュッタン (Lapphyttan) で中世の製鉄遺跡の大規模な発掘調査が行われた。

その結果Lapphyttanは高炉、Norberg地方の鉄鉱石を用い、鉱石と木炭倉庫、鉄鉱石の焙焼炉、八基の精錬炉床、鍛造工場、鍛冶屋、住居、製品倉庫等を有する大規模な製鉄所であった事が明らかとなった^{2, 8)} (Fig.9)。

高炉は残された遺構、構造物から水車により駆動される轆を備えた木壁式高炉でシャフト高は約3m、直径は約1mと推定される。廃棄スラッグ中に混じっている木炭のC¹⁴測定結果はこの高炉が1150-1225年のある時期に操業を開始し、1325-1400年に吹き止めされた事を示唆し、サーモルミネセンス法による炉床部の砂岩レンガの年代測定によるとこの高炉は1300年代末期に吹き止めされた。

廃棄されたスラッグ、鉄鉱石の分析はNorberg地域の山鉄石を使用したものであることが明らかにされた。また八基の精錬炉床の存在はこの製鉄所が8人で運営された事を物語っている。

ここにそれまでの吹錬炉とは異なり、

Fig.9 Lapphyttan 一貫製鉄所の復元想像図²⁸⁾

- (1) 山鉱石を用い、
 - (2) 焙焼炉による鉱石の予備処理を行い、
 - (3) 水車駆動の轆を備え長時間操業を行ない、
 - (4) 溶融銑鉄を製造し、
 - (5) それを炉床精錬法（人力送風）で可鍛鉄に精錬する
- 今日の製銑製鋼法の基本パターンである間接製鉄法が誕生した。

約200年の稼働後この高炉が休止された理由は明らかでないが、恐らくは周辺の木炭資源の枯渇か、1350年頃スウェーデンで大流行したペストによる人口急減によるものであろう。調査後この遺跡は再度埋め戻された。

1982-83年にかけてサックスヒュッタン (Saxhyttan) で Lapphyttan 高炉の原寸大復元炉を用いて銑鉄製造が行われた。しかし残念ながら数日間の連続操業で銑鉄を製造することは出来なかった。中世の高炉操業法にはまだまだ隠された秘密が多いようである¹¹⁾。

Lapphyttan 遺跡はドイツ、ウェストファーレン (Westfalen) のユーバッハ (Jubach) で発見されたものと並んで北ヨーロッパ最古の高炉遺跡と考えられている。

本稿では、スウェーデン製鉄史概論第1回目として鉄器時代から高炉の誕生までを解説した。次回は13-17世紀の製鉄技術の発展について解説したい。

用語解説1 鍛造法 (Forge) または炉床精錬法 (Hearth Process)

間接製鋼法の時代に入ると銑鉄の炭素を低減する必要がある。ベッセマー転炉の発明までこの工程は主に酸化鉄を敷詰めた炉床で木炭を燃焼させ銑鉄を溶かし、脱炭させる所謂鉱石脱炭法が採用された。製品は海綿状の純鉄でスラグを多量に含有していた。詳細は技術編に述べるが、今日の製鋼と圧延に当たるこの脱炭精錬工程＋スラグ搾出と熱間成型加工を総称して「鍛造工程：Forge」と呼んだ。本稿ではこれを鍛造法または炉床精錬法と呼ぶ。

用語解説2 焙焼法 (Roasting)

山鉱石は組織が稠密で硬く還元されにくかった。しかしある時からこれを事前に木材、木炭を用いて地中のピットで約一日間焙焼すると鉱石が微細に破碎されると共に組織が粗になる事が判明し、広く用いられた。水酸化鉄 (Limonite) 鉱石や湖中で風化した塊状鉱石の脱水、乾燥にも用いられた。後に鉱石中の硫黄を除去する酸化焙焼も兼ねるようになった。

参考文献 (3回連載分通し番号で記載します)

- 1) Forsmark och Vallonjärnet, Forsmarks Kraftgrupp AB, (1987), cover, 7, 8, 20, 100, 194, 227.
- 2) Hans Furuhausen : Mercurius och Vulcanus, Jernkontorets Bergshistoriska Skriftserie 32, (1997), 10,

- 16, 17, 19, 25, 28-30, 38, 41, 44, 57, 69-71, 72, 90, 91, 99, 105, 113, 131, 193.
- 3) G.E.Sandström : History of Tunneling, 31.
- 4) クリステアース・エリュエール : ケルト人, 創元社, (1994), 162.
- 5) Ellen Hoigård Hefseth : Brochure, Historisk Museum. Oslo, (2002), 58, 59.
- 6) Boken om Bergslagen, Förlaget Rubicon, (1988), 50-57, 102-108.
- 7) Brochure, Historisk Museum. Oslo, (2002)
- 8) Iron & Steel. Vol.3, Jernkontoret 250 years Conference Proceedings, (1997), 17, 22, 23, 39, 42, 70, 80, 102.
- 9) レジス・ボワイエ : パイキングの暮らしと文化, 白水社, (2001)
- 10) Grosser Atlas zur Weltgeschichte, Georg Westermann Verlag, (1976), 75, 87.
- 11) Nils Björkenstam : Saxhyttans Nya Masugn, Grythyttan. En antologi Del.2., (1985), 237-249.
- 12) Erik Sköld : Järn vid Helleforsverken under 200 År, (1991), 7.
- 13) National Geographic Atlas of World History, National Geographic Society, (1997), 197.
- 14) Birger Steckzen : Bofors Historia, AB Bofors, (1946), 17.
- 15) Karl-Gustav Hildebrand : Swedish Iron in the 17th & 18th Centuries, Jernkontorets Bergshistoriska Skriftserie 29, (1992), 11-12, 51, 66-67, 97-98, 145.
- 16) Ernst Ture Ström : Hyttebruket i Grythyttan, Grythyttan. En antologi Del.1., (1985), 162-176.
- 17) Carl Peter Thunberg : Resa Ut i Europa, Africa, Asia 1770-79, Tredje Delen. Resan til och uti kejsaredoomet Japan, 1775-76, Upsala. (1791), 316, 342.
- 18) シルビア・ジョンソン : 世界を変えた野菜読本, 晶文社, (1999)
- 19) Arthur Attman : Svenskt Järn och Stål 1800-1914, Jernkontorets Bergshistoriska Skriftserie 21, (1986), 10, 38, 54, 55, 57, 60, 67.
- 20) Sveriges Jernhantering 1936, Jernkontorets Annaler., 121 (1937), 735-744.
- 21) Sveriges Järnväger hundra år. 1856-1956, Kungl. Järnvägsstyrelsen, Stockholm, (1956), 47-49.
- 22) Bergslagernas Järnvägar 1879-1979, Bergslagernas Järnvägssällskap, (1979), 30. 他
- 23) Ett Svenskt Jernverk. Sandviken 1862-1937, Armqvist & Wiksells Boktryckeri AB, Uppsala, (1937), 32-35, 106, 400.
- 24) Transformation. Sandvik 1862-1987, Sandvik AB, (1987)
- 25) Henry Dyer : Dai Nippon, Blackie & Son. London, (1905), 158.
- 26) Bert Olls : Brand Smeder och Gamla Bruk, Ekelids Förlag, (1996), 10. 他
- 27) Lars Paulsson : Gruvan : Lärarhandling, Tekniska Museet, Stockholm, (1999)
- 28) kulturminnen och kulturmiljövård, Sveriges Nationalatlas, (1994), 57.
- 29) Personal Information.

(2003年1月17日受付)