

古代鉄遺物の化学組成を利用した技術選択に関する実証研究

日大生産工(学部) ○柴田春希 日大生産工 大江秋津

1 はじめに

製鉄炉の形態は、関東では9世紀頃まで箱型炉と堅形炉が並存し、8世紀後半以降は堅形炉が主流となった。ところが、中世以降のたたら製鉄には、箱型炉の技術が導入されている。製鉄原料は全国的(特に東日本)に砂鉄を利用して、砂鉄はもととなった岩石により成分が異なるため、利用する砂鉄への適合性を高めるために、製鉄炉の形態を変化させている可能性がある。本研究は、鉄生産のための製鉄炉の技術選択に時代的背景と原材料の特性が与える影響を実証する。

2 理論と仮説

(1) 製鉄炉の特性

箱型炉は、短軸両端に風力が弱くても安定した高温の炎を作ることが可能であり、品質のばらつきが少ない製品製造を可能とする¹⁾。近世から近代で多く利用された炉である「たたら」は、この技術を発展させて利用している¹⁾。

堅形炉は、小高い土手の上から真下に堅穴を掘り、土手の裾から横穴を掘り、堅穴に通じる風穴としている²⁾。1か所のみ大きな送風吹き込み口から炉内に風を送るため、高温の維持が難しく、操業成績のばらつきが大きい炉であった可能性も指摘されている¹⁾。

堅形炉の方が箱形炉よりも温度管理の難しさから、品質のばらつきができるため、大量生産はしづらい³⁾。8世紀初頭の最も古い時期の堅形炉が確認され、10世紀中頃まで存続していたとされる¹⁾。以上より、次仮説を提示する。

仮説1：関東では、古い時代ほど堅形炉が選択される。

(2) 三元系平衡状態図とユークリッド距離

原料である砂鉄と精錬時の反応副生物の成分変化を検討するため、両者の主要3成分であるFeO、SiO₂、TiO₂を100%となるように換算後、三角図表上にプロットしたものである。

本研究は、砂鉄の成分値と精錬された鉄遺物の成分値間の距離について、ユークリッド距離(式1)を用いて算出した。求められたユークリッド距離からは、砂鉄から鉄遺物への成分の変化具合

がわかり、長いほうがより炉の性能が高い可能性があるからである。しかし、高温に耐えられなくなった炉壁が崩れたことによる。その結果、炉壁の主成分であり、砂鉄にも4~5%含まれる成分であるSiO₂の値が、砂鉄に比べて鉄遺物は高くなるため、ユークリッド距離は長くなる。つまり、ユークリッド距離の長さについては、炉壁の耐火性を考慮しなければならない。このことから、より高温がでる堅形炉は、箱型炉にくらべて、砂鉄から鉄遺物への変化が大きいため、高温がでることから炉壁の崩れも大きく、SiO₂量も増加する可能性がある。いずれも、ユークリッド距離を増大させる要因であるため、次仮説を提示する。

仮説2：ユークリッド距離が長いほど縦型炉が選択される。

式1 ユークリッド距離

x : 鉄遺物の含有成分地

y : 砂鉄の成分地

$$d(x,y) = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + \dots + (x_n - y_n)^2}$$

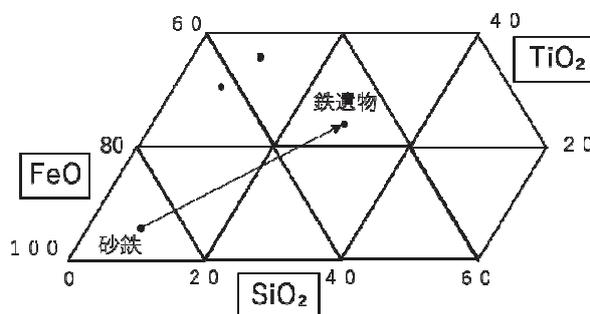


図1 三元系平衡状態図(例)

(3) 鉄生産における含有成分の特徴

FeOは、還元前の砂鉄の中で最も多い成分であり、還元に伴いFeO値は減少するだけでなく、SiO₂を主成分とする炉壁と反応することで、非常に還元されにくいファヤライトが生成される⁴⁾。ファヤライトは炉内の還元を抑制し、炉内温度を下げることにより、不純物を含む鉄である銑(ズク)の割合を上げる。堅形炉では非常に多くのFeOの割合の高い鉄遺物が確認されていることが指摘されており¹⁾、次仮説を提示する。

The Empirical Research of Ancient Iron's Chemical Composition
about Technological Selection

Haruki SHIBATA and Akitsu OE

仮説3：砂鉄のFeO値が高いほど堅型炉が選択される。

3 分析手法

(1) データと分析手法

本研究は、鈴木¹⁾の「分析からみた古代の鉄生産技術について」から、7世紀後半から13世紀頃の関東地方の出土砂鉄・精錬滓の化学組成および33箇所²⁾の遺跡の成分分析データを利用した。分析は、従属変数がダミー変数であるため、最尤法によるロジスティック回帰分析を行った。

(2) 変数

従属変数は堅型炉の選択であるため、堅型炉ダミーとした。独立変数は、遺跡の成立した年とした。遺跡の成立年は、7世紀中ごろといった、大まかな年代であるため、50年単位で数値化した。7世紀であれば700年、7世紀半ばであれば750年というように設定した。さらに、砂鉄FeO値、ユークリッド距離を独立変数とした。コントロール変数は、遺跡の存続期間、堅型炉の選択は地域性がある可能性を考えてその影響を排除するために千葉県ダミー、もともと砂鉄に含まれるSiO₂の影響を排除するために砂鉄のSiO₂値とした。

4 分析結果

表1 ロジスティック回帰分析結果

変数	堅型炉ダミー			
	モデルⅠ		モデルⅡ	
1 遺跡存続期間	0.03 *	[0.02]	0.04	[0.03]
2 千葉県ダミー	- 0.89	[0.54]	- 1.61	[1.61]
3 砂鉄SiO ₂	- 1.40 **	[0.04]	0.11	[0.16]
4 遺跡設立年			0.08 ***	[0.02]
6 ユークリッド距離			- 0.15 ***	[0.05]
5 砂鉄FeO			0.44 **	[0.20]
定数	- 1.40	[1.12]	- 92.68 ***	[30.65]
データ件数	90		90	
遺跡数	32		32	
対数尤度	- 45.45		- 20.79	
擬R-Square	0.15		0.61	

* $P < .10$ ** $P < .05$ *** $P < .01$ [] 内は標準誤差

表1は、最尤法によるロジスティック回帰分析の結果である。コントロール変数と独立変数間の最大相関係数は、0.508であり問題ない。表1を観察すると、モデルⅠは遺跡存続期間の長さ³⁾と砂鉄に含まれるSiO₂が有意であるが、独立変数が投入されたモデルⅡでは有意ではない。擬R-SquareはモデルⅠでは0.15であったところが、0.61となり、大幅にモデルの説明力が向上している。

表1から、遺跡設立年は正に強く有意で堅型炉の選択に影響している。つまり、新しい遺跡であるほど堅型炉が選択されているため、仮説1とは逆の結果となり、仮説1は支持されなかった。さ

らに、モデルⅡでは、ユークリッド距離は負で有意である。そのため、仮説2とは逆の結果を示したため、支持されなかった。最後に、砂鉄FeOが正に有意であることから、仮説3は支持された。

5 まとめ

本稿の理論的貢献は2点ある。まず、技術面について堅型炉と箱型炉の特性の違いについて新たな示唆が得られた。堅型炉は高温でできる反面、制御が難しく、不純物を多く含む品質の低い鉄である銑の量が多かった。分析から砂鉄と鉄遺物のユークリッド距離が仮説とは異なり、短いほど堅型炉が選択されていた。これは、箱型炉の性能が堅型炉の性能に比べてよかった可能性がある。箱型炉は低温であっても、炉壁の混入が少なく、結果的には還元を抑制する物質でありファヤライトも少なくなり、低温という性能面の問題をカバーした可能性がある。

次に、分析結果から、従来考えられていた堅型炉のほうが早い時期に関東で普及したのではなく、箱型炉の普及のほうが早かったことが明らかとなった。実際には、中国地方などの西の地域では、明らかに堅型炉が先に出現しているが、遅れて技術が伝わった関東地方では、すでに両者を比較して選択できる状況にあった結果、箱型炉の普及は、堅型炉よりも早かった可能性が示唆された。これは、新たな技術知識を探索し、獲得するという、経営学の組織学習論にあてはめれば、技術の選択が可能であれば、より良い技術知識を選択するという、現代と同様に説明できるメカニズムといえ、経営学と考古学の双方への貢献となる。今後は関東だけでなく、他地域データを増やし、一層の検証が必要である。

「参考文献」

- 1) 第14回古代官衙・集落研究報告書「官衙・集落と鉄」、鈴木瑞穂、分析からみた古代の鉄生産技術について、独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所(2011) p. 93-120.
- 2) 島立利貞、鉄の文化史、東京図書出版会、(2001) p. 17-20.
- 3) 門脇秀典、羽口が装着された箱形炉の炉壁について、福島県文化振興財団、(2017) <http://www.iseki.fcp.or.jp/A05/f27.html> (2017/10/1916:00)
- 4) 下川義雄、日本鉄鋼技術史、アグネ技術センター、(1989) p.1-11