

## 島根県仁多郡東出雲町横田地域の土壌の化学組成とたたら製鉄の関係

### The relation between the geochemistry of stream sediments and development of Tatara iron making in Yokota, Oku-Izumo, Shimane, Japan

武邊 勝道 (TAKEBE Masamichi)<sup>1)</sup>・鶴留 浩和 (TURUDOME Hirokazu)<sup>2)</sup>・  
赤川 史典 (AKAGAWA Fuminori)<sup>3)</sup>・山本 鋼志 (YAMAMOTO Koshi)<sup>4)</sup>・  
吉田 英一 (YOSHIDA Hidekazu)<sup>5)</sup>

- 1) 松江工業高等専門学校  
Matsue National College of Technology, 4-14, Nishi-ikuma-cho, Matsue, Shimane, 690-8518, Japan.
- 2) 関西保温工業株式会社  
Kansai Ho-on Corporation, 10-6-4, Minami-Funaba, Tyuo, Osaka, 542-0081, Japan.
- 3) 日立サイエンスシステムズ  
Hitachi Science Systems, 1040, Ichige, Hitachinaka, Ibaraki, 312-0033, Japan.
- 4) 名古屋大学大学院環境学研究科  
Department of Earth & Environmental Sciences, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa, Nagoya 464-8602, Japan.
- 5) 名古屋大学博物館  
The Nagoya University Museum, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8601, Japan

#### Abstract

It is known that the technology and culture of “Tatara iron making” have developed in Okuizumo, Shimane, Japan from ancient time. In order to clarify the relation between the development of Tatara iron making and geochemical feature in the region, this study analyzed the chemistry of stream sediments in Yokota, Okuizumo and made geochemical maps. The research area consists mainly of felsic igneous rocks. The igneous rocks extend from northeast to southwest and show parallel distribution with a few kilometers in width. The distribution of these rocks affects the element compositions of stream sediments. The sediments from area, in which the Yokota granodiorite is distributed, show high concentrations of Fe, MgO and CaO and low concentrations of SiO<sub>2</sub>. The sediments from area composed of the other rocks show opposite geochemical features. Stream sediments from Yokota area are entirely characterized by high Fe concentration. The average Fe concentration is 7.1% and some samples show higher Fe concentration than 15%. The average concentration is higher than twice of Fe concentration of JG-1a, JG-2, and JG-3. Samples, of which magnetic component are removed, show lower Fe concentration than that of bulk ones. The removed components of the samples show X-ray diffraction patterns with peaks of magnetite and hematite. Therefore, the high Fe contents of the stream sediments are ascribed to high content of magnetite, which is principal mineral for Tatara iron making. The enrichment of magnetite in Yokota may play an important role in development of the industry. While, there is no distinct relation between the distributions of Fe concentration and Tatara ruins in Yokota, suggesting additional requirements for the development of Tatara iron making.

## はじめに

自然環境と人間社会の間には深いつながりがあり、ある地域で発展してきた社会・文化・歴史は地域の自然環境に大きく影響を受けていると考えられる。したがって、地域における自然環境の独自性や特徴を調べることは、その地域特有の文化や歴史をより深く理解するための有効な手段であると言える。

奥出雲地域では、古くからたたら製鉄産業が発達してきたことが知られており、近世～近代には日本の鉄の半分以上を奥出雲のたたら製鉄がまかなっていたと言われており(片山ほか, 2005)。当時、輸送や経済状況の面で卓越していたとは思えない中山間地域で大規模な製鉄産業が発展し得たことは、奥出雲地域の自然が特別にたたら製鉄に適していた可能性を示している。本研究では奥出雲地域の河川堆積物を化学分析して元素濃度分布図(地球化学図)を作成し、地球化学的観点からたたら製鉄が発展し得た理由について議論する。

## 試料並びに分析方法

本研究の調査地域は島根県仁多郡奥出雲町横田の北東部地域であり、試料採取は数100m間隔で行った(図1)。川(沢)の中央部河床の川砂を採取し、水とともに80メッシュ(180 $\mu$ m)の篩にかけ、篩を通過したものを試料として採取した。今回分析を行ったのは合計44試料である。

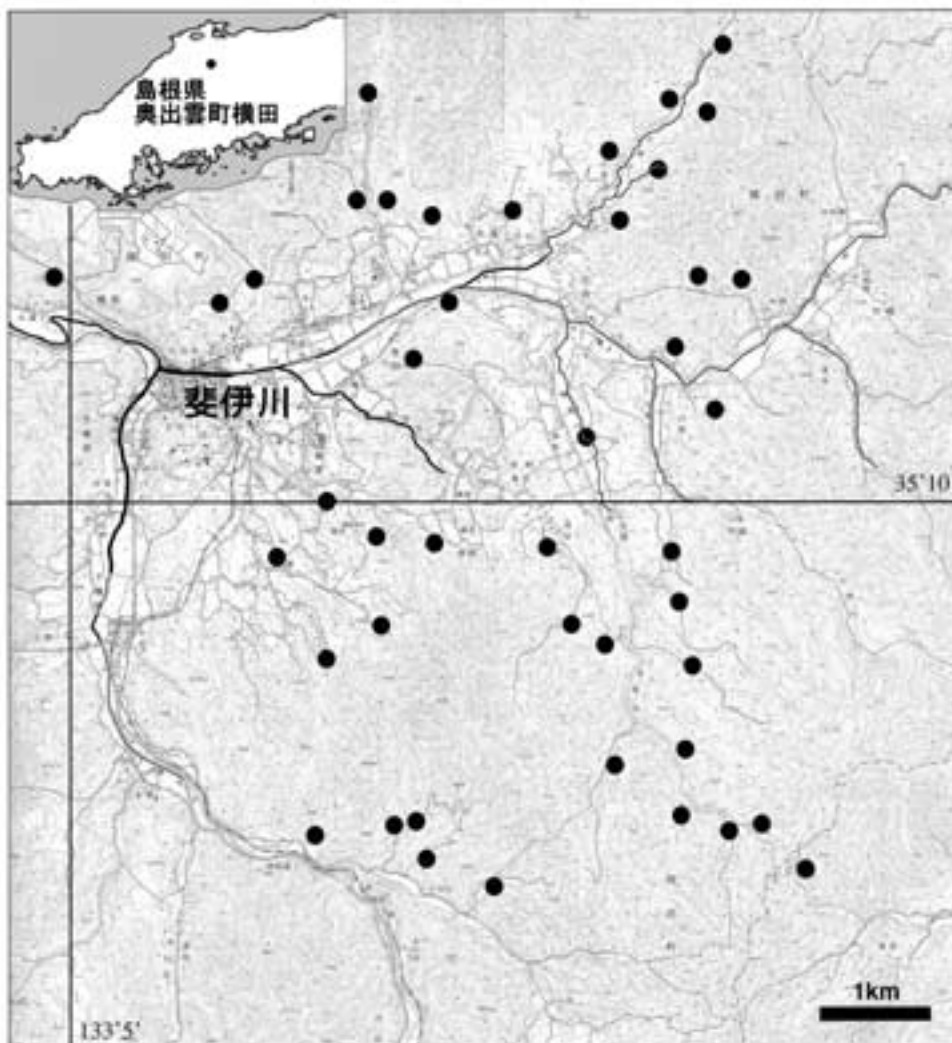


図1. 試料採取地点

本研究では主成分元素分析と鉱物組成分析を行った。主成分元素濃度は杉崎ほか(1977)の方法による蛍光X線分析(XRF: Shimadzu SXF-1200)で測定した。試料0.7gと四ホウ酸リチウム6.0gを精秤したものを混合して溶融ガラスビーズを作成し、XRF用試料とした。標準試料には産業技術総合研究所地質調査総合センターの岩石標準試料を用いた。管球にはロジウム管球を用い、印加電圧と管電流はそれぞれ40kV・70mAの条件で測定した。一方、鉱物組成はX線回折(XRD: Multiflex Rigaku X-ray diffractometer)により分析した。XRDではCu・K $\alpha$ 線を用い、印加電圧と管電流をそれぞれ40kV・20mAとし、2度/分で走査した。

全岩組成分析に加えて、試料中の砂鉄の影響を調べる目的で、鉄に富む3試料(AB02, AB10, YO06)を棒磁石で磁選し、磁性成分に富むフラクションAと非磁性成分に富むフラクションBに分けて分析した。フラクションAに対してはXRDを行い、フラクションBに対してはXRFを行った。

XRFの分析結果は酸化鉄濃度として出てくるので、本論文での化学組成の議論の中では、主に酸化鉄の元素濃度を用いる。ただし、鉄に関しては、河川堆積物中における二価鉄と三価鉄の割合が不明であるため、本論文では酸化鉄の濃度ではなく鉄原子の濃度を用いて議論を行う。

## 地質概要

地質調査所発行5万分の1図幅「横田」(村山ほか, 1973)と「多里」(猪木・坂本, 1977)をもとに作成した調査地域の地質図を図2Aに示す。調査地域の地質は主に珪長質火成岩からなり、一部に苦鉄質火成岩が産する。珪長質火成岩類は幅約3~4kmで北東から南西に帯状に伸びた分布を示す。北西部から鳥取花崗岩、横田花崗閃緑岩、竜駒花崗岩類、酸性火山岩類の順に分布している。酸性火山岩類は竜駒花崗岩類に貫入されている。花崗岩類の形成年代は、貫入関係から、竜駒花崗岩類、横田花崗閃緑岩、鳥取花崗岩の順であると考えられる。また、鳥取花崗岩の中には、直径1~2kmのかんらん石玄武岩の貫入岩体が分布する。竜駒花崗岩類の中には、幅2km程度で長さ6km以上の半深成岩複合岩が南西方向にのびたレンズ状岩体として2ヶ所に分布する。この半深成複合岩体は、竜駒花崗岩に貫入されている。また、横田花崗閃緑岩、竜駒花崗岩類、半深成岩複合岩の中には数100m規模のH岩貫入岩体が産する。竜駒花崗岩類の間には数100m規模のアプライト脈とペグマタイト脈が発達している。またこのほかに、調査地域の花崗岩類には、小規模なペグマタイト脈やアプライト脈やH岩岩脈が多数貫入している。

## 結 果

### (1) 全岩化学組成と元素濃度分布

#### SiO<sub>2</sub>

SiO<sub>2</sub>濃度は、ほぼ全ての試料で40~70%の間で、特に50~65%の試料が多い(図2B, 3A)。SiO<sub>2</sub>濃度は、斐伊川の南側付近で40~50%と相対的に低く、調査地域北部では50~60%で、調査地域南部では60~70%と高い(図2B)。

#### Fe

今回分析したほぼすべての河川堆積物のFe濃度は、花崗岩質の岩石標準試料であるJG-1a(花崗閃緑岩:群馬県東村沢入, 沢入花崗閃緑岩), JG-2(花崗岩:岐阜県蛭川村, 苗木花崗岩), JG-3(花崗閃緑岩:鳥根県三刀屋町, 三刀屋花崗閃緑岩)と比べて高い(図2C)。Fe濃度とSiO<sub>2</sub>濃度は負の相関関係を示し(図3A)、地化図も正反対の特徴を示す(図2B, C)。Fe濃度は斐伊川の南側付近で20~30%

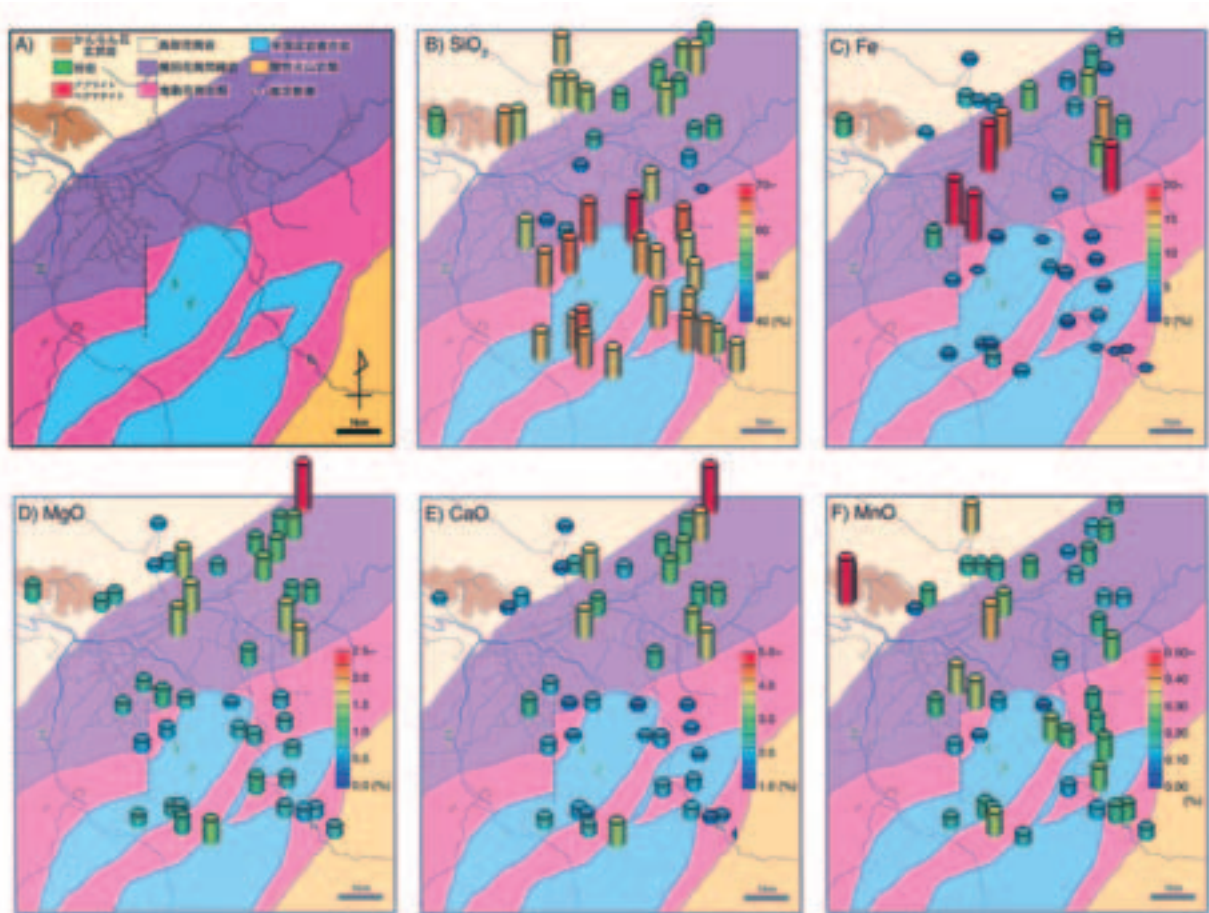


図 2. 研究地域の地質図 A) と地球化学図 B) ~ F). A) 地質図. B) SiO<sub>2</sub> 濃度. C) Fe 濃度. D) MgO 濃度. E) CaO 濃度. F) MnO 濃度.

と高く、調査地域南部では低くて 5% 以下である (図 2C). 地質との関係でみると、横田花崗閃緑岩の分布する地域は SiO<sub>2</sub> 濃度が低くて Fe 濃度が高い (図 2B, C).

全岩化学組成と磁性成分を取り除いたフラクシオン B の比較を表 1 と図 3B に示した. 全岩組成と比較すると、磁性成分を取り除いたフラクシオン B は SiO<sub>2</sub> 濃度が高く、Fe 濃度は低い (図 8). その他のほとんどの元素濃度は全岩濃度よりもフラクシオン B の方が高い傾向がある.

表 1. 全岩とフラクシオン B の化学組成の比較

		total-Fe	total-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
全岩	YO06	22.5	32.1	3.66	1.45	1.68	0.381	1.58	45.6	2.98	11.7	0.136
	AB02	25.9	37.1	3.67	1.47	1.59	0.273	1.68	41.5	2.93	11.8	0.134
	AB10	12.0	17.2	3.15	1.91	1.48	0.209	1.30	54.5	3.74	14.5	0.083
フラクシオン B	YO06	3.60	5.15	4.40	1.80	1.62	0.338	1.85	59.8	3.94	16.0	0.093
	AB02	4.05	5.79	4.76	1.93	1.62	0.292	2.17	57.9	4.21	17.0	0.095
	AB10	2.83	4.05	3.48	2.05	1.41	0.203	1.39	62.1	4.01	16.6	0.069

### MgO・CaO

1 試料を除き、今回分析した堆積物試料の MgO 濃度と CaO 濃度は JG-2 より高く JG-3 より低い (図 3C). MgO 濃度と CaO 濃度は正の相関関係を示し (図 3C), 共に調査地域北東部で高く、南西部で低

い (図2D, E). 研究地域の最北西部から採取された試料のMgO濃度は3.63%で他の試料 (0.5~1.7%) の2倍以上あり, CaO濃度も5.54%と高い (図2E: 他の試料は4%以下).

## MnO

調査地域の一番北西側の1試料のMnO濃度は0.6%を超える高い濃度を示す. この試料以外のMnO濃度は0.4%を下回り, その平均値は0.2%である. 0.6%を超える1試料以外の試料に関しては, 明瞭な地域的傾向は見られない (図2F).

## (2) 鉱物組成

鉱物組成を調べた結果を図4に示す. 分析した全ての全岩試料に明瞭な石英と長石のピークがみられ, いくつかの試料には角閃石のピークもみられる. 磁性成分に富むフラクシオンAには磁鉄鉱の明瞭なピークがみられる.

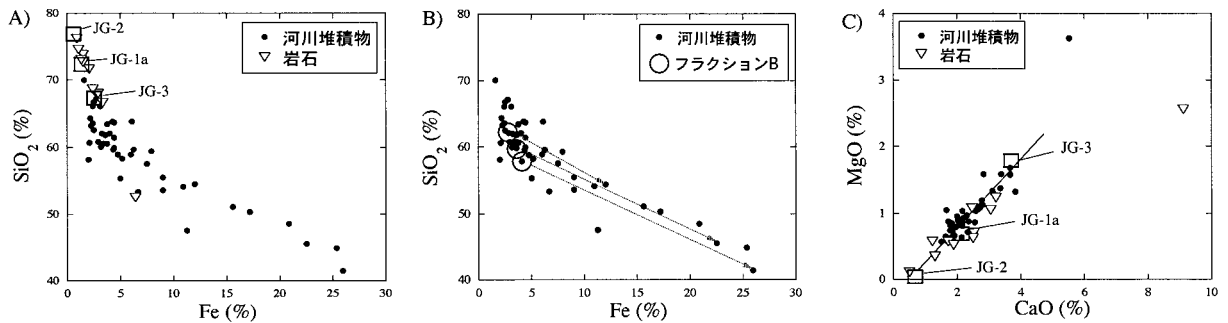


図3. 元素濃度の相関図. 岩石の化学組成は猪木・坂本 (1997) から引用. A) SiO<sub>2</sub>とFeの全岩濃度の関係. B) 全岩とフラクシオンBのSiO<sub>2</sub>とFe濃度の比較. 矢印は磁選した試料の全岩組成を起点として各フラクシオンB組成を指し示している. C) MgOとCaOの全岩濃度の関係.

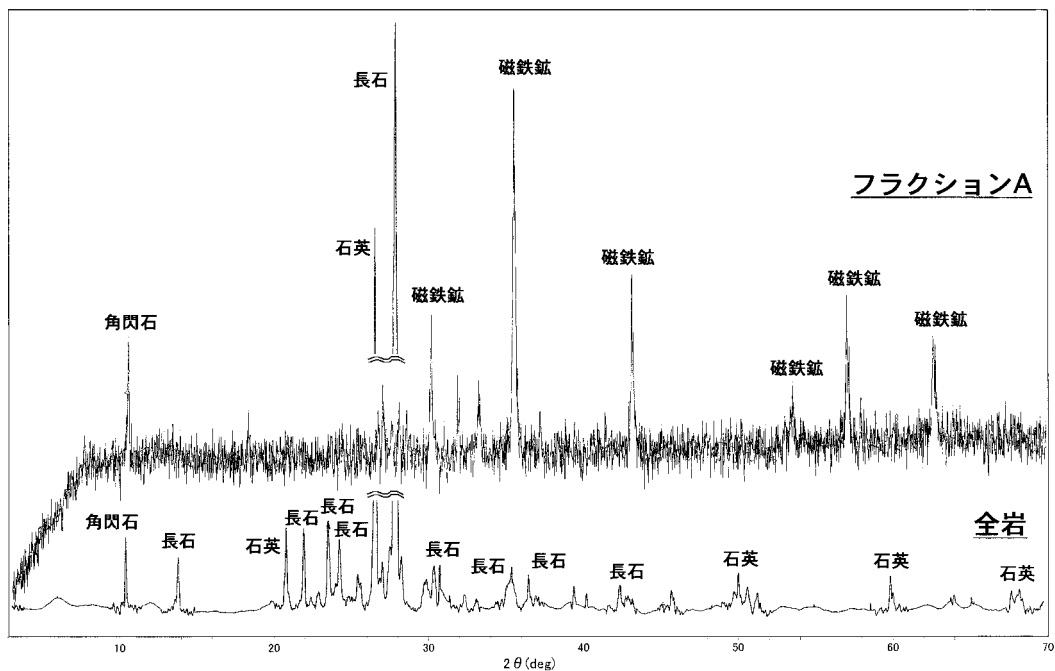


図4. 全岩試料 (SH10) とフラクシオンA (AB06) のXRDの分析結果.

## 考 察

### (1) Fe

研究地域は花崗岩質の標準岩石試料や日本の地殻の平均化学組成 (Fe = 3.8%; Togashi *et al.*, 2000) と比べて、高い Fe 濃度を示す。特に、横田花崗岩分布域には Fe 濃度が 15% を超える河川堆積物が分布している (図 2C)。山本ほか (1998) は本研究地域と同様に花崗岩類が広く分布している愛知県領家花崗岩地域において、地球化学図を作成している。山本ら (1998) の報告によれば、領家花崗岩地域の河川堆積物の Fe 濃度は高くても 7% 以下である。つまり、横田花崗岩分布域の Fe 濃度は同じ花崗岩分布地域と比較して相当高いと言える。津末・石原 (1974) は西南日本に産する花崗岩の中で、奥出雲地域の花崗岩が他地域の花崗岩に比べて磁鉄鉱に富むことを指摘している。したがって、横田地域の河川堆積物の高い Fe 濃度が、母岩の鉱物組成を反映している可能性が高い。

河川堆積物と同様に、調査地域に分布する岩石の Fe と SiO<sub>2</sub> の濃度の間には負の相関関係がある (図 3A)。河川堆積物の Fe と SiO<sub>2</sub> の濃度分布は岩石の分布と対応しており、Fe 濃度が高く SiO<sub>2</sub> 濃度の低い斐伊川付近には横田花崗閃緑岩が分布し、Fe 濃度が低く SiO<sub>2</sub> 濃度の高い地域には鳥取花崗岩・竜駒花崗岩類・半深成岩複合岩が分布する (図 2A, B, C)。調査地域に露出している花崗岩質岩石のなかで、横田花崗閃緑岩は比較的高い Fe 濃度を示しており (猪木・坂本, 1977)、斐伊川付近の河川堆積物の高い Fe 濃度は、横田花崗閃緑岩の影響を受けている可能性が高い。ただし、横田花崗閃緑岩の Fe 濃度は 2.3% 程度 (猪木・坂本, 1997) である一方で、堆積物試料の Fe 濃度のほとんどは 3% を超えている (図 2C, 3A)。横田花崗岩分布域に限らず、研究地域全体を通じて、河川堆積物の Fe 濃度は近傍に露出する岩石に比べて高い。

全岩試料から磁性成分を取り除くと Fe 含有量が大きく減少することは (表 1, 図 3B)、磁性成分に富むフラクシオン A が高い Fe 濃度を持つことを示している。フラクシオン A の XRD の結果には磁鉄鉱 (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) の明瞭なピークがみられることから、フラクシオン A には磁鉄鉱が豊富に含まれることが分かる。したがって、河川堆積物の高い Fe 濃度は高い磁鉄鉱含有量を反映していると考えられる。また、磁選によって磁鉄鉱に富むフラクシオン A を取り除くと、Fe 濃度の低下の程度にほぼ匹敵して SiO<sub>2</sub> 濃度が上昇する (図 3B)。加えて、5% を超える高い Fe 濃度を示す試料のほとんどが、Fe 濃度と SiO<sub>2</sub> 濃度の相関図上で、全岩試料とフラクシオン B の化学組成を結んだ直線の周りにプロットされる (図 3B)。このことは、今回分析した高い Fe 濃度を示す河川堆積物の SiO<sub>2</sub> 濃度やその他の化学組成が磁鉄鉱の含有量によって大きく左右されていることを示している。磁鉄鉱の比重は重くて水に流されにくいいため、川底に溜まりやすく、河川堆積物中に濃集される可能性がある。河川堆積物の Fe 濃度が岩石に比べて高い理由は、磁鉄鉱が濃集され、流されずに残っているためと考えられる。磁鉄鉱はたたら製鉄の原料である砂鉄の主要鉱物である。本研究の結果は、斐伊川付近の横田花崗閃緑岩の分布域が磁鉄鉱を採取しやすい場所であることを示している。

### (2) MgO・CaO

研究地域の河川堆積物との MgO 濃度と CaO 濃度は正の相関関係を示している (図 3C)。また、研究地域に露出している岩石の MgO 濃度と CaO 濃度も同様な正の相関を示す (図 3C)。濃度範囲も河川堆積物と岩石とでおおむね一致していることから、河川堆積物の MgO 濃度と CaO 濃度は近くに分布する岩石の化学組成を反映している可能性が高い。花崗岩類中で Mg と Ca の両方を含む可能性がある主要造岩鉱物としては角閃石が挙げられる。

前述のように今回分析した河川堆積物の化学組成は磁鉄鉱に由来する Fe 含有量の多少に大きく影響を受けていると考えられる。Fe 濃度の増減による影響を取り除いて、MgO と CaO 組成と地質との関係を議論するために、MgO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>比と CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>比の地化図を示したのが図5A, Bである。規格値に Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>濃度を用いた理由は、Al が風化の影響を受けにくく (Mason and Moore, 1982)、磁鉄鉱にはほとんど含まれないためである。MgO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>比やCaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>比は、横田花崗閃緑岩分布域でほかの地域よりも高い傾向がある。横田花崗閃緑岩は調査地域に分布している他の花崗岩質岩石に比べて高い MgO 濃度と CaO 濃度を示す (猪木・坂本, 1997)。また、猪木・坂本 (1997) は、横田花崗閃緑岩が主要造岩鉱物として緑色角閃石を含むことや、角閃石に富む塩基性捕獲岩を含むことを報告されている。以上のことから、角閃石含有量の多少がこの地域のMgO濃度とCaO濃度を左右していると考えられる。

### (3) MnO

調査地域再北西部のかんらん石玄武岩に近接した場所で採取された MnO 濃度はほかの試料に比べて極端に高い (0.6%)。同様の特徴は、MnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>比の分布図においても見られる (図5C)。苦鉄質岩ほど重金属に富むことが知られているが、0.6%という高いMnO濃度は一般的な火成岩の組成に比較して非常に高い (一般に0.2%以下 : c.f. Krauskopf and Bird, 1995 ; 岩石標準試料 : 産業技術総合研究所, 地質調査総合センター)。しかし、当地域のかんらん石玄武岩の化学組成が不明であるため、母岩と河川堆積物の化学組成の比較をすることは難しい。この高いMnO含有量は、この地域周辺に特別にMnを濃集させた鉄床的な母岩が存在する可能性や、何か人為的な影響を表している可能性があるものの、より詳しく議論するには、母岩の化学組成を調べることと、調査地域の周辺のより多くの河川堆積物の化学組成を調べることが必要であろう。

調査地域に広く分布する花崗岩類の MnO 濃度は0.1%を下回っている一方で (猪木・坂本, 1977)、高いMnO濃度を示す試料を除いた河川堆積物のMnO濃度の平均値は0.2%である。当地域に分布する花崗岩類には多数のペグマタイト脈やアプライト脈やH 岩岩脈が発達しており、こうした岩脈の化学組成が河川堆積物の高いMnO組成に影響を与えている可能性はある。その他にも、ある種の鉱物の濃集によりMnOが河川堆積物に濃集している可能性や人為的な影響の可能性もあり、結論を導くには更なる調査が必要である。

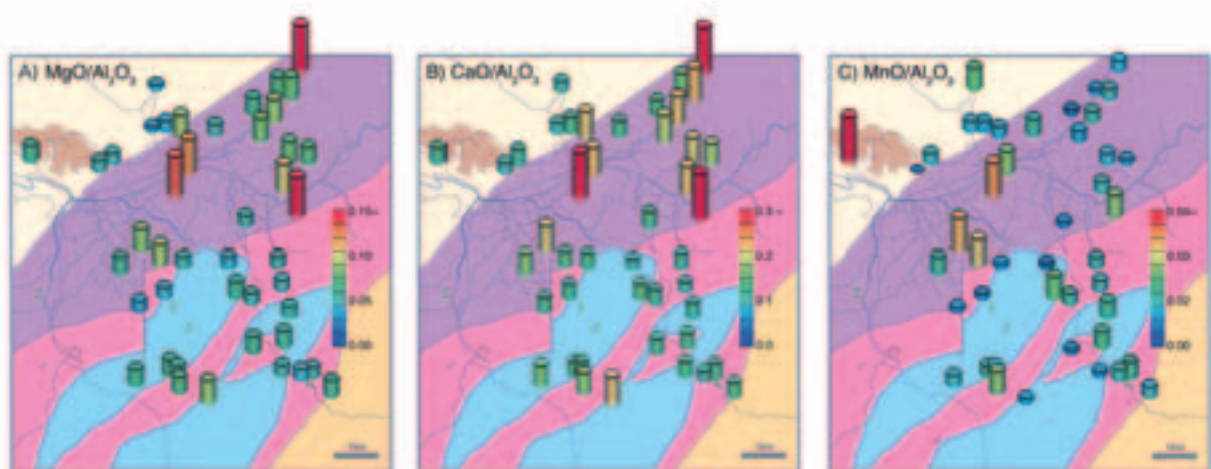


図 5. 地球化学図. A) MgO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. B) CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. C) MnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

#### (4) たたら製鉄との関係

全般的に、本調査地域の河川堆積物は、標準岩石試料や愛知県領家花崗岩分布地域の河川堆積物と比べてFe濃度が高い。横田地域の河川堆積物の高いFe濃度は磁鉄鉱の高い含有量に起因していると考えられることから、横田地域は砂鉄が多量に採取できる場所であると言える。この地域での砂鉄(磁鉄鉱)の得やすさは、この地域が砂鉄を原材料とするたたら製鉄に適した地域として選ばれ、産業が発展していく上で重要な側面であったと考えられる。

一方で、Fe濃度の高い地域とたたら製鉄遺跡の集中している地域は必ずしも一致しない(図2C, 6)。このことは、たたら製鉄には、砂鉄の確保の他にも重要な環境側面があることを意味している。たたら製鉄には大量の木炭を必要であり、「鉄粉四里に炭三里」と言う言葉もある。この言葉は、木炭の輸送が砂鉄に比べて困難であり、木炭の供給がたたら場に近いくことが必要であったことを意味している(片山ほか, 2005)。したがって、たたら製鉄では木材の供給しやすさが遺跡の分布により大きな影響を与えていた可能性が挙げられる。砂鉄の分布と製鉄史跡の位置との関係を議論するには、調査地域をより広げて、より広いスケールで地化図と史跡の分布の比較を行う必要があると考えられる。

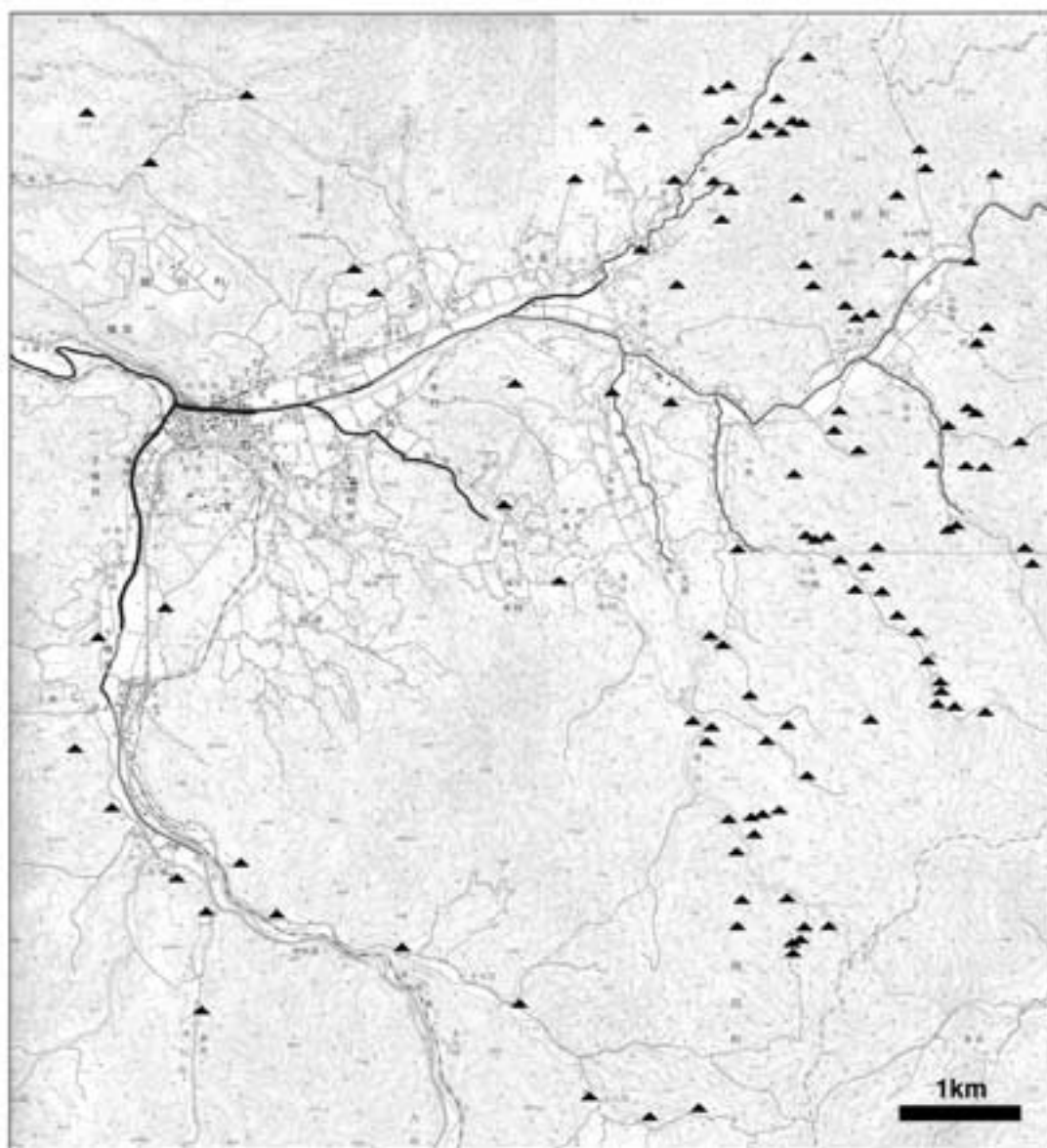


図6. たたら製鉄関連遺跡の分布図。横田町教育委員会(1999, 2000, 2001)を基に作成。



## まとめ

島根県仁多郡奥出雲町横田地域は全体として河川堆積物のFe濃度が高く，中でも横田花崗閃緑岩の分布する地域で特に高い．この高いFe濃度は磁鉄鉱の高い含有量を反映していると考えられる．磁鉄鉱はたたら製鉄の原料となる砂鉄の主要成分であり，この鉱物が豊富に採取できることが，この地域でたたら製鉄が発達した一因であると考えられる．

## 謝 辞

地球化学図を作成するにあたっては，名古屋文理大学の稲吉正実教授の作成されたプログラムを使用させて頂いた．島根県仁多郡奥出雲町の高尾昭浩氏には遺跡の案内をして頂き，遺跡分布の文献をご提供頂いた．本研究の遂行にあたっては，平成17年度笹川研究助成金を使わせて頂いた．ここに記して感謝申し上げる．

## 参考文献

- 猪木幸男・坂本亨（1977）5万分の1地質図幅「多里」．地質調査所．
- 片山裕之・北村寿宏・高橋一郎（2005）江戸時代における奥出雲たたら製鉄の経営展開，鉄と鋼，**91**，122-126．
- Krauskopf, K.B. and Bird D.K. (1995) Introduction to geochemistry, p. 647, McGraw-Hill, Inc. New York.
- Mason, B. and Moore, C.B. (1982) Principles of Geochemistry, p.344, John Wiley and Sons, Inc. Hong Kong.
- 村山正郎・服部仁・猪木幸男・石原舜三・坂本亨（1973）5万分の1地質図幅「横田」．地質調査所．
- 太田充恒・今井登・寺島滋・立花好子（2004）河川堆積物を用いた中国地方の地球化学図による元素濃度のバックグラウンド評価．地球化学，**38**，203-222．
- 杉崎隆一・木下貴・下村孝行・安藤和人（1977）蛍光X線による珪酸塩岩石の主成分元素の自動分析．地質学雑誌，**83**，725-733．
- Togashi, S., Imai, N., Okuyama-Kusunose, Y., Tanaka, T., Okai, T., Koma, T. and Murata, Y. (2000) Young upper crustal chemical composition of the orogenic Japan Arc. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, **1**, Paper Number 2000GC000083.
- 津末昭生・石原舜三（1974）西南日本における花崗岩質岩石中のFe-Ti酸化物．鉱山地質 (Mining Geology), **24**, 13-30.
- 山本鋼志・田中剛・川邊岩夫・岩森光・平原靖大・浅原良浩・金奎漢・Chris Richardson・伊藤貴盛・Cristian Dragusanu・三浦典子・青木浩・太田充恒・榊原智康・谷水雅治・水谷嘉一・宮永直澄・村山正樹・仙田量子・高柳幸央・井上祐介・川崎啓介・高木真理・根布悟志・稲吉正実（1998）愛知県豊田市北東部の領家花崗岩地域の地球化学図．地質学雑誌，**104**，688-704．
- 横田町教育委員会（1999）横田町の遺跡Ⅱ—鳥上地区—．28p.
- 横田町教育委員会（2000）横田町の遺跡Ⅲ—八川地区—．28p.
- 横田町教育委員会（2001）横田町の遺跡Ⅳ—馬木地区—．30p.

(2005年6月15日受付，2005年8月30日受理)