

S E Mを用いた砂鉄産地の特定

徳島県立城南高等学校応用数理科 3 年

加藤開成

小泉千宗

友成亨太

登佐古翔也

目次

1. 研究概要
2. 研究目的
3. 研究方法
4. 現地調査結果と考察
5. SEM による測定結果と考察
6. 結論と今後の課題
7. 参考文献
8. 謝辞

1. 研究概要

室町時代に徳島県南部の海部川流域で、「海部刀（かいふとう）」という刀剣が作られていたことを知った。当時の刀剣はたたら製鉄法により得られた「玉鋼（たまはがね）」を材料にしており、海部刀に用いられた玉鋼の基となる砂鉄産地を突き止めたいと思った。現在最も有力な説は、今の島根県奥出雲地方の砂鉄から作られた玉鋼から作ったという説である。しかし、その根拠は海部地方と今の神戸付近を結ぶ海運があったからという曖昧なもので、海部で採れた木材を運んだ帰りに玉鋼を運んで来たのではないかという状況証拠からである。私たちはこのことに疑問を抱き、それらの地域の歴史を調べるとともに砂鉄・玉鋼・刀剣の成分を分析することで何かわかることがあるのではと考えた。

2. 研究目的

海部刀は、鎌倉時代末期に「海部氏吉（かいふうじよし）」を祖として作られ始めた刀剣である〔図1〕。その特徴として、反りが深いことや曲線に近い形状をしており、刃は肉厚で重量があり、切るというよりたたき折るという感じである。その後、実用的な戦闘用の刀剣として室町時代後期から戦国時代には隆盛を誇り、1600年の関ヶ原の戦いでは蜂須賀家が海部刀を携えて戦闘に参加している。また、日常生活においてもナタやカマの代わりとして多くの刀剣が作られた。

この時代の刀剣は、たたら製鉄法により得られる玉鋼から作られている。たたら製鉄法とは、土で固めた四角い炉の中に砂鉄や木炭などを入れて強熱し、融解した砂鉄を炭素で還元することで鉄を得る方法である〔図2〕。このとき塊状になった砂鉄の中心部にできるのが玉鋼であり、鉄の純度がきわめて高くなっている。一方で、周囲の土壁に近い部分には不純物が多く鉬（けら）とよばれて取り除かれている〔図3〕。

古刀期の海部刀に用いられた砂鉄はどこから来たのか。これが私たちの研究の最終目的である。しかし、未だに室町時代の海部刀を入手できていないため、調査の過程で入手できた岡山県備前長船（びぜんおさふね）の刀剣の元素分析結果を参考にした。また、現代のたたら製鉄法で作られた玉鋼とその原料の砂鉄も入手した。併せて、奥出雲地方や周辺から砂鉄を採取し、地元の博物館や個人から入手した玉鋼を元素分析して成分を比較することにした。なお、古刀とは室町時代後期以前に作られたの刀剣のことで、江戸時代の物は新刀、明治～昭和の物は新々刀、最近の物は現代刀と呼ばれる。

3. 研究方法

- (1) 文献調査を行い、室町時代の古刀期における砂鉄の産地を特定し、砂鉄を採取する
- (2) たたら製鉄法により砂鉄から作られた玉鋼を入手する
- (3) 古刀期に作られた刀剣の刃の一部、または同時期の鉄製品を入手する
- (4) 走査型電子顕微鏡（SEM）を用いて、砂鉄・玉鋼・刀剣の元素分析を行う
- (5) 分析結果を比較して考察する

まず、文献やネットより当時の砂鉄の産地で今も砂鉄が採れるかどうか調べた。海部刀に用いたのであれば、その産地は四国内か中国地方、近畿圏、九州地方までの範囲と考えられる。当時の海運は瀬戸内航路だけでなく、今の宮崎県や鹿児島県から高知県の足摺岬や室戸岬を経て畿内に達する太平洋航路もあったと思われる。また、未だに遺構が発見されていないが海部川流域でも製鉄が行われていた可能性がある。そこで、上述の産地から可能な限り砂鉄の採取を行った。

次に、たたら製鉄法で作られた玉鋼や刀剣の入手を試みた。砂鉄が融解して玉鋼に変化する過程で、成分がどのように変化するのかが興味があったからである。なお、刀剣については天文3年（1534年）の銘がある備前刀の刃の一部を入手した。

元素分析については、神戸市立工業高等専門学校のご協力により、走査型電子顕微鏡を使わせて頂けることになった〔図4～7〕。光の代わりに電子線を用いることで、光学顕微鏡では不可能なnm単位の微細な構造を観察できる。また、照射された部分から発生する二次電子や蛍光X線などを検出することで元素分析もでき、試料表面の特定の一点だけまたは指定した範囲を線や面としてスキャンできる。「Scanning Electron Microscope」を略して「SEM（セム）」と呼ばれる。なお、使用したSEMは日本電工JSM-IT200である。

4. 現地調査結果と考察

（1）徳島県南部の現地調査と砂鉄採取、海部刀研究者からの聞き取り調査

牟岐町の海岸や海部川河口では砂州が発達し、土砂が沈殿しやすい地形であった〔図8・9〕。前者では、砂の重量の10%くらいが磁石にくっついた。しかし、先行研究から砂鉄の含有量は少ないことがわかっている。後者では、1%にも満たない量の砂鉄しかなかった。また、海部氏吉が当時居住していた海部川中流の笹無谷（ささむだに）を訪れた〔図10〕。ここで砂鉄の採取を試みたが、まったく砂鉄が採れなかった。なお、「笹」とは砂鉄を意味する言葉で、そのままの意味として受け取れば「砂鉄のない谷」となる。このことから、海部刀に用いた玉鋼はここではなく別の地方からもたらされたという仮説の信憑性が裏付けられる。他には、阿波海南文化村にて多数展示している海部刀を見学し、学芸員の方から海部刀に関するレクチャーを受けた。

海部刀を長年研究されている坂本憲一氏を訪ねた。氏が所有する海部刀を何振りか拝見するとともに、海部刀の歴史について教えていただいた〔図11・12〕。それによると、海部刀は薩摩の波之平（なみのひら）という刀剣の流れを汲んでいるという。刀剣製作の流派は大きく5つに分かれ、それぞれ山城伝・鎌倉伝・相州伝・美濃伝・大和伝という。しかし、波之平はそれらに含まれず独自の発展をしてきた。その流れが海部刀に見られるのであれば、先に述べた太平洋航路によりもたらされた可能性がある。

（2）日本各地の砂鉄の採取や玉鋼・刀剣の入手

自分たちでは行くことができなかったのも、先生や協力者をお願いした。訪問した主な施設と砂鉄産地は以下の通りである〔図13～22〕。

○九州地方

- ① 千疊敷（福岡県北九州市若松区）
- ② 神之川（鹿児島県日置市吹上浜）〔図 23〕
- ③ 喜入（鹿児島県鹿児島市喜入町）〔図 24〕
- ④ 穎娃（鹿児島県南九州市穎娃町）
- ⑤ 夏井海岸（鹿児島県志布志市）〔図 25〕
- ⑥ 種子島（鹿児島県種子島）

○中国地方

- ⑦ 奥出雲たたらと刀剣館（島根県奥出雲町）〔図 26〕
- ⑧ 船通山北・南（島根県奥出雲町）〔図 27・28〕
- ⑨ 鉄の歴史博物館（島根県吉田町）〔図 29・30〕
- ⑩ たなべたたらの里（島根県吉田町）
- ⑪ 菅谷たたら（島根県吉田町）
- ⑫ 備前長船刀剣博物館（岡山県瀬戸内市）
- ⑬ 折居海岸（島根県浜田市折居町）
- ⑭ 羽内谷（島根県仁多郡奥出雲町）〔図 31～33〕
- ⑮ 高梁川（広島県広島市安佐北区）
- ⑯ 吉井川 上流（岡山県美作市美咲町）
- ⑰ 同 下流（岡山県和気郡和気町）

○四国地方

- ⑱ 平野の浜（高知県四万十市平野）〔図 34〕
- ⑲ 足摺岬（高知県土佐清水市足摺町）〔図 35・36〕
- ⑳ 海部川河口（徳島県海部郡海陽町）〔図 9〕
- ㉑ モラスコ牟岐（徳島県海部郡灘下浜辺）〔図 8〕

○近畿地方

- ㉒ 千種高原（兵庫県穴栗市千種西河口）〔図 37〕
- ㉓ 琵琶湖東岸（滋賀県長浜市十里町）

○北海道地方

- ㉔ 石狩川河口（北海道石狩市浜町）〔図 38・39〕

このうち、⑦・⑩・⑫の施設において現代の刀匠がたたら製鉄法で作った玉鋼を入手できた〔図 30〕。また、⑧は当時の砂鉄産地であり、そのうち3ヶ所から砂鉄を採取した。この産地では今でも「鉄穴流し（かんながし）」により砂鉄採取を続けている。

鉄穴流しとは、傾斜地に溝を掘ってそこに砂鉄を含んだ土砂を入れ、上手から水を流して砂鉄を分離する方法である。比重の小さい土砂は下手に流され、比重の大きい砂鉄はほとんど流されずにその場に残る。これを繰り返すことで、砂鉄の純度を高めることができ

る [図 31・33]。今でも砂鉄を原料にたたら製鉄法にて玉鋼を作り、それを現代の刀匠に供給して日本刀が作られている。

産地の土砂に含まれる砂鉄の重量は、全体の 1～2 % 程度である。砂鉄は鉄だけからなる鉱物ではなく酸化鉄として存在する。四酸化三鉄を主成分とする真砂（まさ）砂鉄と、酸化鉄（Ⅲ）を主成分とする赤目（あこめ）砂鉄がある [図 40]。また、採れる場所により山砂鉄・川砂鉄・海砂鉄とも言われる。鉄の漂砂鉱床であり、奥出雲や薩摩半島、高知県西部の幡多砂鉄鉱山のように鉱山として稼働していた場所もある。

（3）砂鉄産地を選んだ理由

文献調査により、12～14 世紀の平安から鎌倉時代にかけて、千種高原で砂鉄の採掘が行われていたことがわかった。その後 15 世紀になると、採掘場所は吉井川や高梁川など美作地方へと移り、この時期に備前刀の古刀が作られたと考えられる。更に 16 世紀の室町時代になると、船通山周辺が砂鉄の一大産地になり、その産地の砂鉄が海部刀の原料であったという通説があることからそこを選んだ。

また、刀剣を作るのであればその元となる玉鋼の安定的な供給が必要不可欠である。ゆえに、玉鋼を入手しやすい地域または手段がある場所を考慮した。海部氏吉は、笹無谷という砂鉄を全く産出しない場所に住居と工房を抱えていた。つまり、何らかの方法で玉鋼を得ることができたと思われる。一方で、玉鋼を作るには良質の砂鉄と、砂鉄を熔融して還元するための多量の木炭が必要である。ゆえに、たたら製鉄の工房は砂鉄産地のすぐ近くに設けられたと考えられる。

海部川流域ではほとんど砂鉄を産出しない。一方で、近くの遺跡から鉄器が出土しているので、鉄の流通はあったと推測できる。昔は砂鉄が大量にあったが採り尽くされて今はなくなった可能性もある。また、牟岐町のモラスコ牟岐前の海岸は重量としては四国最大の砂鉄産地である。分析結果から鉄の含有量が 30% 程度しかなくこの砂鉄から玉鋼を作ったとは考えられにくい、海部刀の工房から近い産地なので採取場所として選んだ。

海部川の北に伊勢田川、南に野根川が流れており、それらの流域ではキースラーガーが採掘されていた。キースラーガーは含銅硫化鉄鉱とも呼ばれ、鉄と硫黄を主成分とする鉱石である。江戸時代から明治時代にかけて、海部川流域の穴瀬谷・川上・五葉松谷等で鉱山が稼働していた。また、伊勢田川流域には浅川鉱山、野根川流域には穴喰鉱山があった。このことから、砂鉄ではないが鉄を含む鉱床が発達している地域であると言える。

九州地方の海岸には多くの砂鉄産地がある。特に薩摩半島沿岸に多く、波之平の刀剣の原料であると考えられている。吹上浜北部の神之川や半島南部の穎娃（えい）、東部の喜入（きいれ）等では、石英質の白い砂粒に混じって黒光りする砂鉄の粒が見られる。一方で、海部川流域には「薩摩郷（さつまごう）」という地名があり、このことから海部刀の砂鉄は薩摩半島からもたらされた可能性もある。なお、琵琶湖沿岸部は五家伝の工房に近いために採取し、石狩川は修学旅行に行ったときに時間を取って採取してきた。

5. SEM による測定結果と考察

まず、鉄穴流しで分離するのは難しいので、磁石を用いて土砂から砂鉄を分離した。砂鉄を含んだ砂に直接触れさせるのではなく、3ミリほど空中に浮かせても付着する粒子を採取した。これを3回繰り返して砂鉄の純度を高めた。次に、SEMを用いて砂鉄と玉鋼の元素分析を行った。なお、画像における倍率の高低やピントのズレは分析に影響を与えない。指定した範囲内に範囲内に電子線が当たり、発生した二次電子や蛍光X線を機器がそのまま捉えるからである。今回は余り時間をかけずに全体をスキャンしたかったので、ライン（線）分析を行った[表1・2]。元素単独ではなく金属酸化物として成分を分析し、3回ずつ測定してその平均値を取った。また、サンプルの測定結果の具体例も掲載した[図41・42]。

表2の砂鉄Aは、奥出雲の刀匠が自ら採掘してたたら製鉄の原料としたものである。ただし、採取場所は不明である。その結果、得られたのが表3の玉鋼Aとなる。砂鉄Bはたなべたたらの里から入手したもので、得られたのが玉鋼Bである。砂鉄Cは鉄の歴史博物館から入手したもので、得られたのが玉鋼Cである。

羽内谷（はないだに）は、船通山山頂から北へ6km離れている。図31～33のように、今でも砂鉄が採掘されている。これから得られたのが玉鋼Dである。船通山北の砂鉄は、山頂から北へ4kmの温泉地で採取したものである。一方で、船通山南は山頂から南へ4kmの萩山川で採取している。また砂鉄Eは吉井川上流から採取できた砂鉄である。また、これらから得られたのが玉鋼Eである。

(1) 表1-A,表1-Bより、砂鉄にはOとFe以外にMg・Al・Si・K・Ca・Ti・Mn等が含まれる。それらのうちAl・Si・Ca等は、母岩である花崗岩を構成する元素と考えられる。ゆえに、これらの非金属元素及び典型金属元素は比較対象から外した。一方で、遷移元素は鉄となじみやすいので、FeとTiやMnとの関係を調べることにした。

(2) 表1-Aと表1-B及び表2より、すべての砂鉄に含まれているTiO₂とMnOの比を求めた。その結果として、砂鉄AとCが65.00と69.00、羽内谷と船通山北が3.42と3.64となり、互いに数値が近いことがわかった。後者は直線距離で2kmしか離れておらず、距離が近い場合は砂鉄の成分が似ると考えられる。このことから、砂鉄AとCの産地も互いに近い距離にあると推測できる。一方で、船通山南の数値は羽内谷や船通山北と異なり、同じ山系であっても場所が離れていれば成分が異なると考えられる。また、吉井川上流と下流を比べてみると、上流にはMnO、TiOがないが下流ではMnOは0.5、TiOは5.1と異なるため同じ河川で採取した砂鉄でも上流、下流などの採取した場所によって異なると考えられる。

(3) 表2と3より、砂鉄と玉鋼の成分を調べると、指標となるMnが検出されず、Tiもきわめて少なくなっている。これらの玉鋼は現代の刀匠や研究機関がたたら製鉄法の際、木炭を入れて作ったもので、MnやTiがほとんど残っていない状態で作られたと考えられる。この事実は玉鋼から鉄以外の不純物を取り除くという点において、現代のたたら製鉄

法が玉鋼を作るのに大変優れていることを意味する。一方で、研究過程で入手した古刀期の備前刀の成分は Fe が 81.7% に対して Mn が 0.2% 含まれることがわかっている。

現代の玉鋼からは、Mn がまったく検出できなかった。ゆえに、SEM による分析では、現代の玉鋼や刀剣の基になる砂鉄産地の特定には不向きである。しかし、古刀期以前の玉鋼や刀剣あるいは農機具等の鉄器に対してであれば、それらの原料となる砂鉄産地を特定できる可能性があると考えられる。

6. 結論と今後の課題

奥出雲の砂鉄については、FeO と TiO₂ 及び MnO を比較することで産地をある程度特定できると判断した。現代の玉鋼や刀剣原料の砂鉄産地の特定は難しいが、古刀期の玉鋼や刀剣ならば特定できる可能性がある。これは海部刀にも当てはまると思う。

たたら製鉄法に用いられた砂鉄の入手は、私たちだけでなく多くの方のご協力でかなり集めることができた。しかし、海部刀だけでなく古刀期以前の刀剣等の入手は困難を極めている。多くの研究者や研究機関に問い合わせたが、貴重な物なのでなかなか傷つけることができないからである。ある機関で海部刀と思われる錆びた小刀を研磨させていただいたことがあった。ところが、後日それが海部刀でないことが判明しとても残念に思った。

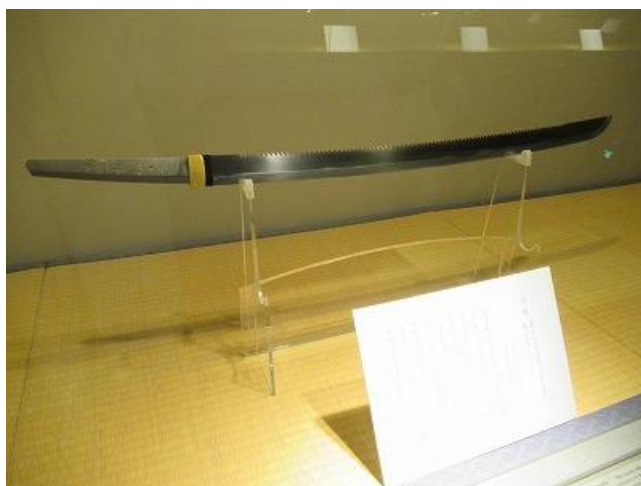
刃の一部が数 g あれば分析可能なので、さびた刀剣を研磨するときに出る削りかすを得られる機会がないか諦めずに探している。

7. 参考文献

- ・海部刀の原料の砂鉄はどこから来たか（仲野瑞，城南高等学校）2020
- ・鉄製品に含まれるスラグとその起源の探求（マルコス・マルティノン・トーレス，サンダー・フェルドハイゼン，考古学ジャーナル）2009
- ・民俗文化財集「海部川流域の民俗」（徳島県郷土文化会館）1996
- ・海部町史（海部町編集委員会）1971
- ・海南町史（海南町編集委員会）1995
- ・四国鉱山誌（四国通商産業局）1957
- ・日本地方鉱床誌四国地方（朝倉書店）1973

8. 謝辞

神戸市立工業高等専門学校の西田真之先生には、SEM による元素分析で大変お世話になりました。また、坂本憲一氏から海部刀に関する様々な知識を教えてくださいました。奥出雲たたらと刀剣館・たなべたたら里から玉鋼を提供していただきました。備前長船刀剣博物館から分析に関する助言をいただきました。徳島鉱石クラブには、画像の使用許可と現地案内をして頂きました。ありがとうございました。



〔図 1〕 室町時代の海部刀



〔図 2〕 土で固めたたたら場



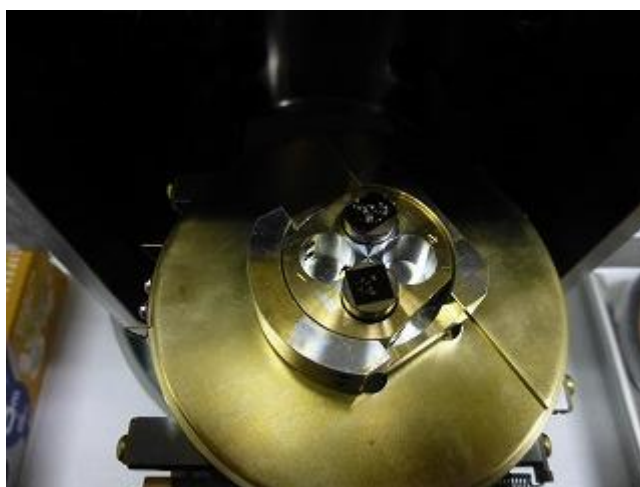
〔図 3〕 製鉄後に取りだした鉞



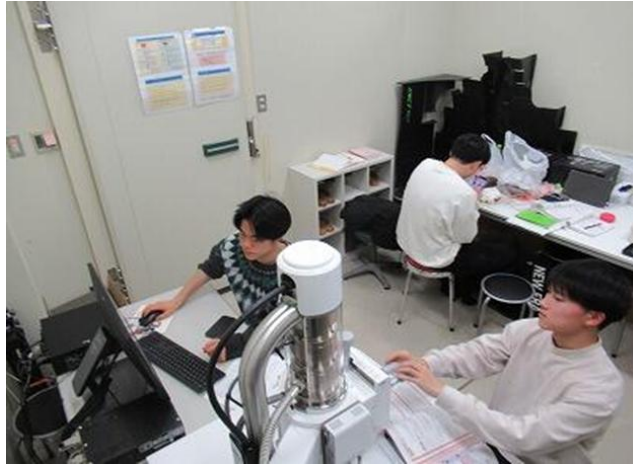
〔図4〕 今回の分析に使用した走査型電子顕微鏡



〔図5〕 電子顕微鏡の内部で、上部のフィラメントから電子線が照射される



〔図6〕 試料を入れた後、排気して真空にする



〔図 7〕 分析中の様子



〔図 8〕 砂鉄を採取した牟岐町の海岸



〔図 9〕 砂州が発達した海部川河口



〔図 10〕 海部氏吉居住地跡の石碑



〔図 11〕 坂本氏宅にてレクチャーを受ける



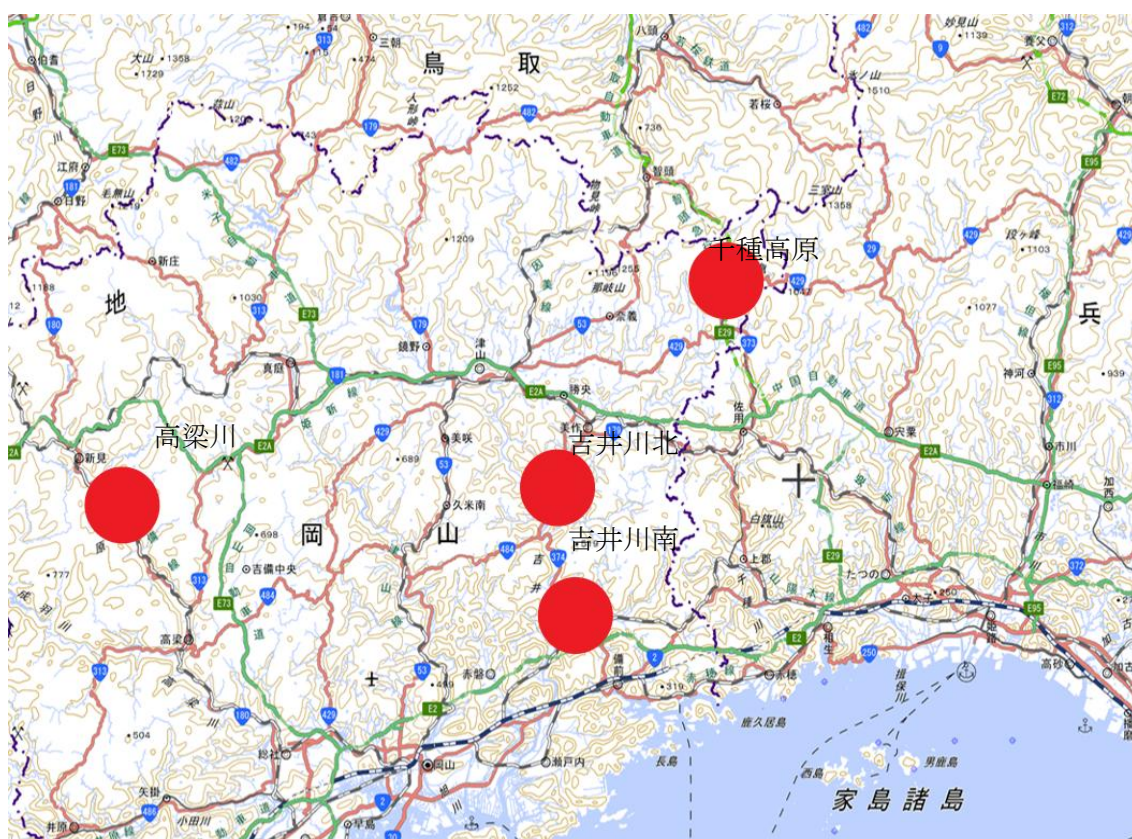
〔図 12〕 海部刀と坂本氏自作の玉鋼

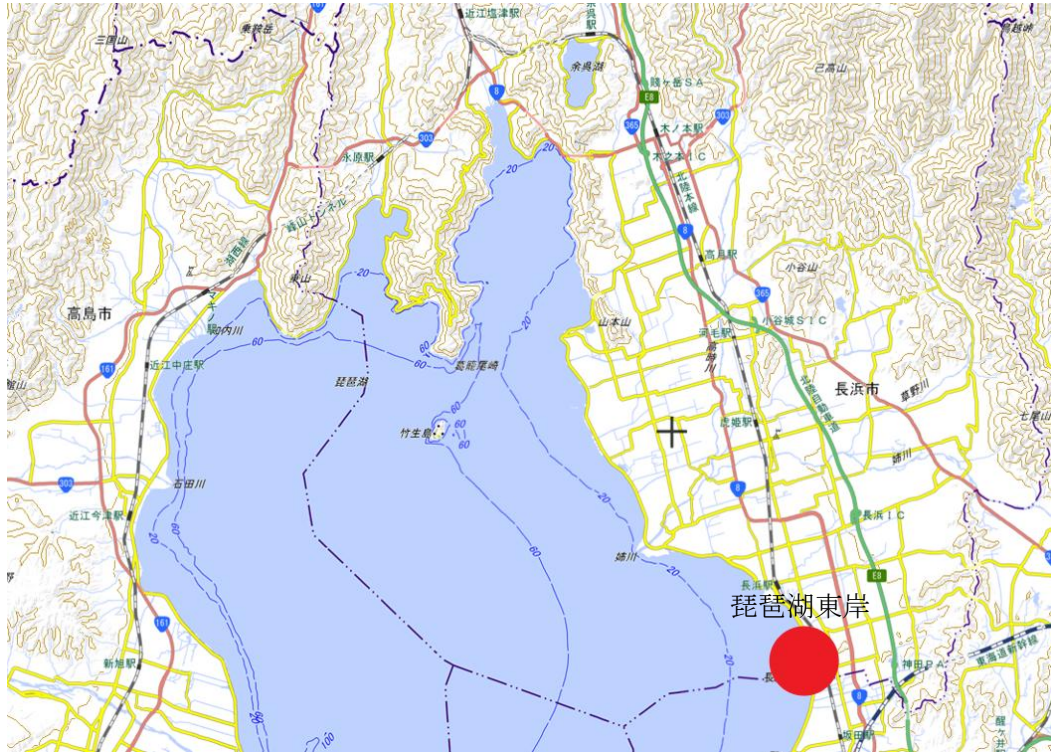


[図 13] 北九州地方全体図 (縮尺 1:100000)

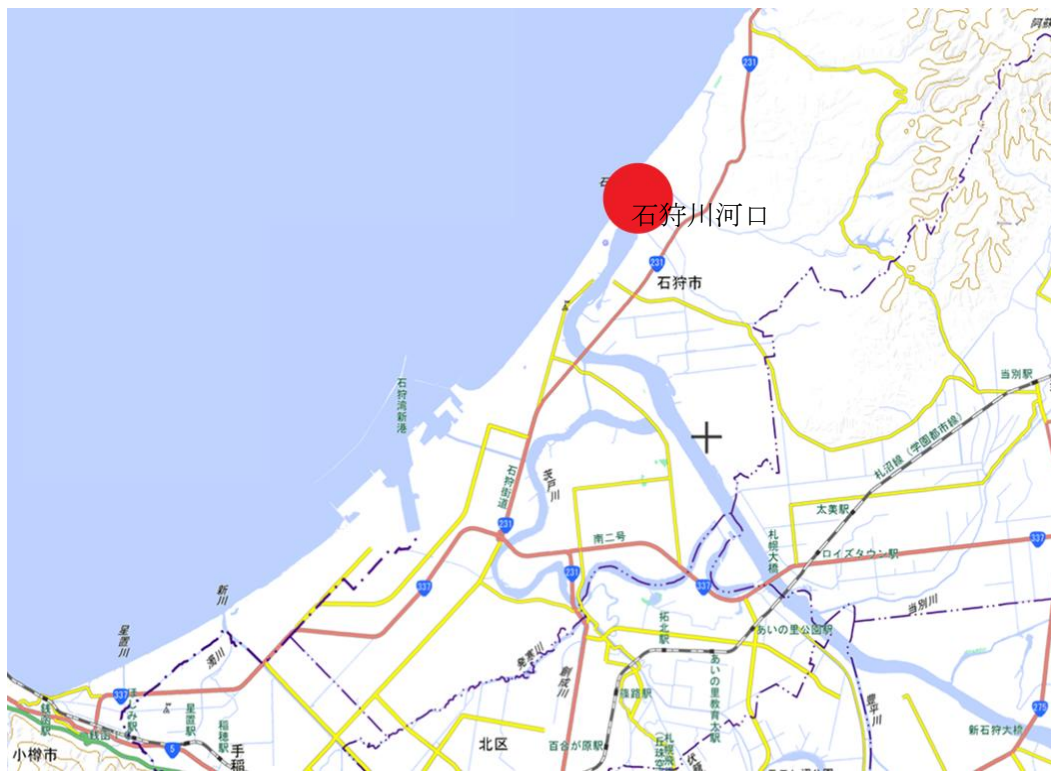


[図 14] 南九州地方全体図 (縮尺 1:300000)





〔図 19〕 琵琶湖周辺図（1：100000）



〔図 20〕 北海道石狩川周辺図（1：100000）



[図 21]足摺岬周辺図（1：300000）



[図 22]徳島県南部周辺図（1：100000）



〔図 23〕 薩摩半島西岸の吹上浜



〔図 24〕 薩摩半島東岸の喜入より桜島を望む



〔図 25〕 志布志市の夏井海岸（海砂鉄）



〔図 26〕 奥出雲たたらと刀剣館のたたら製鉄の模型



〔図 27〕 船通山の登山口北側



〔図 28〕 船通山の砂鉄採掘跡地



〔図 29〕 鉄の博物館



〔図 30〕 鉄の博物館の玉鋼



〔図 31〕 羽内谷の鉄穴流し（近代）



〔図 32〕 羽内谷の砂鉄採掘場所



〔図 33〕 羽内谷の鉄穴流し（復元）



〔図 34〕 平野の浜（幡多砂鉄鉱山跡）の砂鉄層



〔図 35〕 足摺岬の砂鉄鉱山跡地



〔図 36〕 足摺岬の砂鉄層（山砂鉄）



〔図 37〕 千種高原スキー場の奥地



〔図 38〕 石狩川河口のはまなす公園



〔図 39〕 石狩川の砂鉄層



〔図 40〕 奥出雲の真砂砂鉄

[表1 - A] 砂鉄の成分分析結果（モル％）

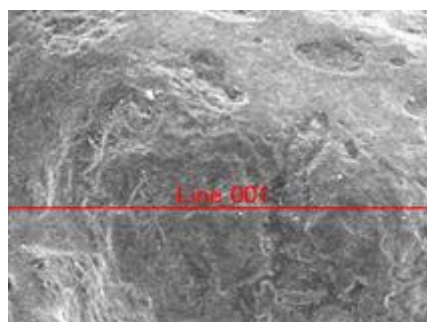
	羽内谷	船通山北	船通山南	高梁川	吉井川下	千種高原	折居海岸	平野の浜	足摺岬
MgO	1.0	1.1	2.0	0.0	0.0	0.0	1.7	14.5	0.0
Al ₂ O ₃	5.2	6.0	2.3	3.1	8.0	5.1	1.8	1.1	8.8
SiO ₂	18.9	10.5	2.8	5.5	23.2	9.0	4.0	6.4	18.1
K ₂ O	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CaO	1.0	2.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TiO ₂	11.3	8.0	6.4	7.9	0.0	2.8	4.6	7.1	11.1
MnO	3.3	2.2	0.7	1.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.5
FeO	56.5	69.3	85.1	82.4	68.7	82.4	79.1	71.0	61.4
TiO ₂ /FeO	0.2000	0.1154	0.0752	0.0958	—	0.0340	0.0582	0.100	0.181
MnO/FeO	0.0584	0.0317	0.0082	0.0121	—	0.0085	—	—	0.0081
TiO ₂ /MnO	3.42	3.64	9.14	7.90	—	4.00	—	—	22.2

[表1 - B] 砂鉄の成分分析結果（モル％）

	喜入	額娃	神之川	夏井海岸	種子島	千畳敷	琵琶湖	石狩川	吉井川上
MgO	2.6	4.5	0.0	2.5	4.6	4.4	0.0	5.9	0.5
Al ₂ O ₃	4.0	5.2	0.0	2.2	1.3	3.5	2.6	5.8	8.1
SiO ₂	8.9	13.6	3.1	4.2	0.3	7.1	9.6	9.4	16.6
K ₂ O	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0
CaO	0.7	0.3	0.0	0.0	0.3	0.5	0.7	0.0	0.0
TiO ₂	9.1	6.0	7.8	26.0	21.2	9.3	0.0	4.2	5.1
MnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	1.4	0.0	0.4
FeO	74.9	70.4	87.5	69.2	69.4	74.7	85.1	73.2	68.2
TiO ₂ /FeO	0.1215	0.0852	0.0891	0.3757	0.3055	0.1245	0.0000	0.0574	0.0748
MnO/FeO	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0107	0.0165	0.0000	0.0059
TiO ₂ /MnO	—	—	—	—	—	11.60	—	—	12.70

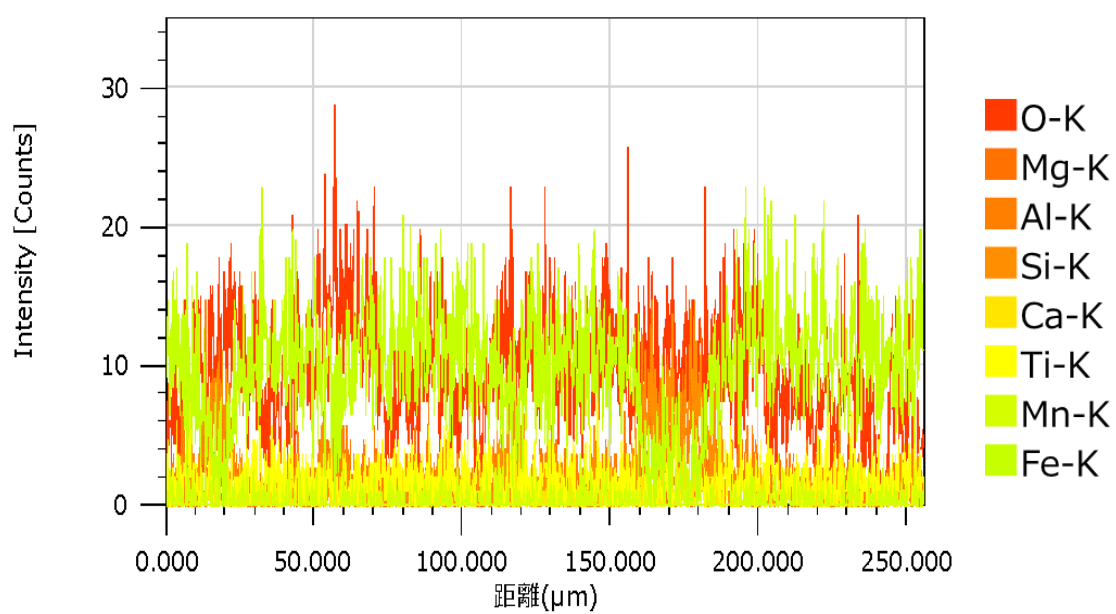
[表 2] 砂鉄の成分分析結果 (モル%)					
	砂鉄A	砂鉄B	砂鉄C	砂鉄D	砂鉄E
C	—	—	—	—	—
MgO	1.9	3.4	8.3	1.0	0.5
Al ₂ O ₃	1.6	10.9	5.6	5.2	8.1
SiO ₂	3.9	30.8	5.8	18.9	12.6
K ₂ O	0.0	0.8	0.0	0.4	0.0
CaO	0.1	1.1	0.7	1.0	0.0
TiO ₂	13.0	0.5	6.9	11.3	5.1
MnO	0.2	0.5	0.1	3.3	0.4
FeO	79.2	46.6	72.1	56.5	68.2

[表 3] 玉鋼の成分分析結果 (モル%)					
	玉鋼A	玉鋼B	玉鋼C	玉鋼D	玉鋼E
C	38.7	45.9	32.1	21.3	21.9
MgO	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
Al ₂ O ₃	0.2	0.4	0.6	0.4	0.5
SiO ₂	0.0	2.5	0.8	3.0	1.2
K ₂ O	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0
CaO	0.0	0.3	0.4	0.3	0.3
TiO ₂	0.0	0.1	0.3	0.2	0.0
MnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FeO	60.9	50.7	65.6	78.2	76.0

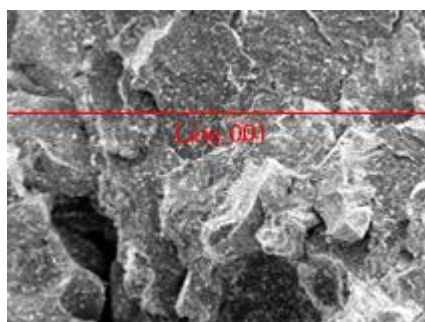


50 μm

元素	ライン	Mass%	Atom%
O	K	37.48±0.40	63.78±0.67
Mg	K	2.14±0.13	2.40±0.14
Al	K	4.38±0.16	4.42±0.17
Si	K	3.56±0.14	3.45±0.14
Ca	K	0.48±0.06	0.33±0.04
Ti	K	3.70±0.14	2.10±0.08
Mn	K	0.61±0.09	0.30±0.05
Fe	K	47.64±0.59	23.22±0.29
合計		100.00	100.00
Line_001_wholespectrum		フィッティング係数 0.0556	

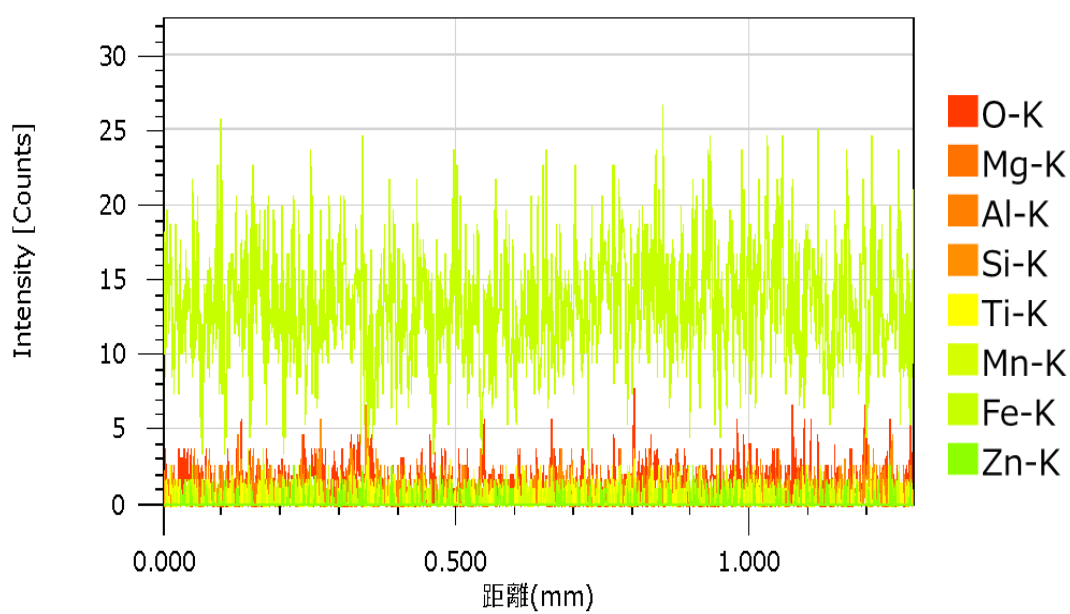


〔図 41〕 砂鉄Aの元素分析結果の一例



20 mm

元素	ライン	Mass%	Atom%
O	K	2.81±0.15	9.06±0.49
Mg	K	nd	nd
Al	K	0.51±0.11	0.96±0.20
Si	K	0.85±0.11	1.56±0.20
Ti	K	0.04±0.06	0.05±0.06
Mn	K	nd	nd
Fe	K	95.69±1.01	88.29±0.94
Zn	K	0.10±0.15	0.08±0.12
合計		100.00	100.00
Line_001_wholespectrum		フィッティング係数 0.0377	



〔図 42〕 玉鋼Dの元素分析結果の一例