

島根県斐伊川流域の各種原材料を用いた たたら製鉄実験と授業実践

増田史朗* 水野 薫**

Shirou MASUDA* and Kaoru MIZUNO**

Class practice of Tataru steelmaking using raw materials obtained from
the Hi-i basin, Shimane Prefecture

ABSTRACT

“Tataru” is a Japanese traditional process to produce carbon steel from iron sand and charcoal. Characteristics of Tataru steelmaking process are a method of directly reducing iron sand by charcoal with low-temperature reaction and short reduction time. Tataru iron making had a great impact on the region's geography, history and industry. It is necessary to make teaching materials of Tataru ironmaking from a broader perspective. We tried to operate using not only iron sand but also charcoal, lime and other raw materials necessary for Tataru iron making, which are all locally available. As a result of present ironmaking operations, a lump of metal (high carbon steel) with metallic luster could be obtained. And carbon concentration in the steel was estimated from measurement of electrical resistivity to be 0.7 wt%. In addition, from the impressions of the junior high school students who participated in the experiment, it was confirmed that there was an increase in interest not only in science but also in regional history and industry.

【キーワード：たたら製鉄, 玉鋼(たまはがね), 地元産原材料】

1. はじめに

理科の教育課程において、酸化と還元は中学校と高校の理科の単元として多くの分量を有している。酸化は燃焼や鉄のさびなどのように経験しやすい現象であるため理解が容易な概念であるが、還元は日常的に現象を目にすることは非常に少なく、理解の難しい概念と言える。ただそのなかで金属、とりわけ鉄鉱石から鉄を取り出す鉄の精錬は理解しやすい還元の場合である。しかし、産業としての製鉄業は巨大高炉に鉄鉱石とコークスを交互に連続的に投入する操業であるため、支持体の無い高炉内部で起こっている溶融鉄の生成や滴下などの一連の反応や現象を想像することは生徒にとって容易ではない。これに反して、古来の製鉄法であるたたら製鉄は実時間の現象こそ目の当たりにすることができないが、一回ごとの操業であるため、現象の開始と終了が明白であり把握しやすい還元反応といえる¹⁾。そのため、現行では中学2年生の理科教科書でも紹介されている例がある²⁾。さらに、たたら製鉄は砂鉄を木炭で直接還元する製鉄法であり、真砂砂鉄が多く分布している地方では産業として古くから盛んに行われていた関係で理科以外の教科での実践も報告されている³⁾。

たたら製鉄では反応温度が1000℃以上と高温であることや実験装置(還元炉)が大掛かりになり手軽に実施

できないなどの問題点が存在するにもかかわらず、昔から教材化の努力がなされ、多数の実践が報告されている。嚆矢としては久津見により小学校で鉄づくりが可能であることが報告されている^{4,5)}。その後、中川や天野による中学校での実践報告をはじめとして数多くの実践が報告されている^{6,7,8)}。特に1998年以降、総合的な学習の時間が創設され、この学習時間において地域に根差した産業を学ぶ機会が増加した。この中で近代に栄えた産業としてたたら製鉄を追体験する試みが鳥取県や島根県の小学校でみられた。しかし、実践を行った学校はその後閉校や統合により、これらの実践が途切れてしまったようである。現在は島根県奥出雲町の教育員会を中心として、今も商業的に操業する唯一のたたら炉である日刀保(日本美術刀剣保存協会)たたらの指導のもとで実践に取り組まれている例がある⁹⁾。ただし、この取り組みは粘土による築炉など本来のたたら製鉄の本格的な技法を基にしているため、小中学校での独力による教材化やその普及は難しいと考えられる。

教材として開発された小型たたら炉の構造は大別すると上部を切り取った石油缶の内側に粘土を張る形式¹⁰⁾とレンガによる炉の二つの流れがある。レンガを用いる方法に関しては、境により体系的な研究・実践が行われており、教育的にも技術的にも教材化の域に達してい

* 島根県雲南市立大東中学校
現所属 島根県松江江市立八束学園

** 島根大学学術研究院教育学系

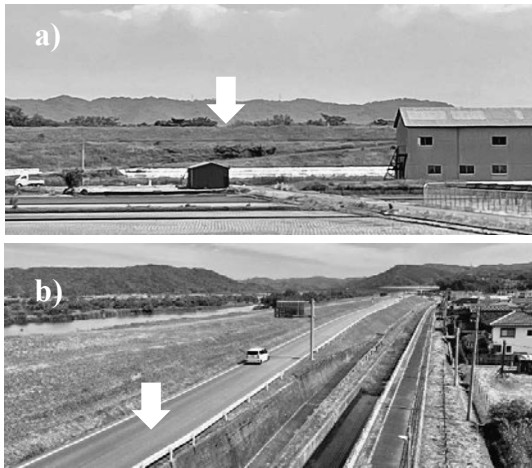


図1. 天井川の例(斐伊川). 矢印が堤防. (a) 周辺の平地から見た堤防. (b) 堤防の上方から見た河川と周辺地.

る¹¹⁾。しかし、実験中に炉壁の隙間を埋めた粘土が剥離して隙間から炎が噴き出し、上方の炉壁の表面で300～400℃とやけどの危険がある温度になっているなどの安全面での課題がまだ残るが、対策として炉壁を構成する耐火煉瓦を二重にして隙間を塞ぐなどして、安全性を高めた実践例も報告されており、たたら製鉄の教材化は技術的には可能であることが広く認識されている¹²⁾。

これらの研究では主として製鉄(還元)に重きをおき、原材料等の生産地にはほとんどこだわっていない。たたら製鉄は地域の産業だけでなく地域文化としての側面も有しており、還元の教材だけに限定することはたたら製鉄の教材化としては不十分な側面が認められる。例えば、島根県出雲地方を流れる斐伊川では、簸川平野を流れる地域において高さ10mにもなる高い堤防が築かれている(図1)。これらは天井川と呼ばれ、かつてたたら製鉄が盛んであったこの地域に見られる高い河底を持つ川の特徴であり、防災・治水の面で古くから人々を悩ませてきた¹³⁾。この高い河底は比重選鉱法を用いて砂鉄を採集した残土(砂)が下流に運ばれ堆積した結果である。このようにたたら製鉄は製鉄業としての産業だけでなく、地理や製鉄の原材料の調達や輸送などの地域経済にも大きな影響を与えていた。筆者たちはたたら製鉄が盛んだ地域に位置する関係で、より広い観点からたたら製鉄の教材化の必要性を感じている。たたら製鉄をものづくり活動への授業構成へ利用しようとした試みも報告されているが、地域との関連はあまり強調されていない¹⁴⁾。

そこで多角的な教材化の第一歩として砂鉄だけでなく、木炭や石灰などたたら製鉄に必要な他の原材料もすべて地元で得られる原料を用いた操業を試みた。とくに木炭は地元の薪を蒸し焼きにして作製し、他の教科にまで及ぶ教育効果を期待できる形態を取った。すなわち本研究は、たたら製鉄実験の材料をすべて身近な地域(斐伊川流域)から集めて準備し、実際にたたら製鉄実験を行い、その実施可能性を検証して、得られたたたら鉄の特徴を調べようとしたものである。

本来ならば、原材料に限らず、手法や道具に関しても

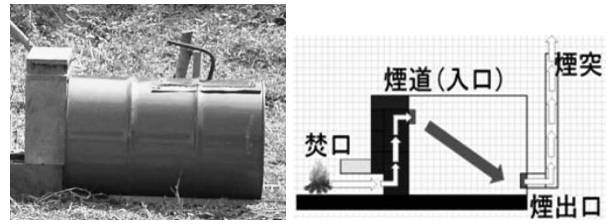


図2. ドラム缶を用いた炭焼き窯の外観と構造.

伝統的な観点を考慮する必要があるが、たたら製鉄の科学技術的な条件の確立が不十分なことに加え、筆者らのたたら製鉄の経験不足のため、本研究では原材料に限定した。

2. 実験

2.1 砂鉄

近世たたら製鉄に用いられていた砂鉄は鉄穴(かな)流しと呼ばれる小川の水流を利用した比重選鉱法により採取されていた。この方法は大掛かりな設備が必要になり、教材化に向いていない。そこで、鉋穴流し後の砂鉄を含む残土が堆積している河川の河原から磁気選鉱法で砂鉄を集めた。鉄穴流しで発生した大量の土砂を流した島根県東部に位置する斐伊川本流と支流の三刀屋川との合流点が第一著者の勤務している中学校から西へ約5kmのところにある。そこでは流れが急になったところから少し緩むあたりに砂が多く堆積している。これは、流速の変化による自然の比重選鉱が起こっていると考えられる。そのような砂が堆積しやすい場所に砂鉄も多く堆積していることが地元では知られている。ハンドマグネットに防水用のプラスチックケースをつけ採集した。部活動の生徒や保護者の5名で2時間程度採集を行い、約45kgの砂鉄を得た。この砂鉄を水洗いし乾燥させて原材料として使用した。なお採集に当たっては、斐伊川を管理する国土交通省出雲河川事務所の許可を得て実施した。

2.2 木炭

たたら製鉄では砂鉄の還元材料として木炭を使用している。従来の教材化の報告でも木炭を使用しているが、その木炭の材質や原産地には関心が払われていなかった。本研究においては地元の原料を用いて、江戸時代から明治時代の操業と同じように実施することが目的のひとつである。そのため、地元産の木材から自力で炭焼きを行って、木炭を得た。第一著者の勤務先の中学校の近隣に位置する島根県大原森林組合から学校の周辺に生育

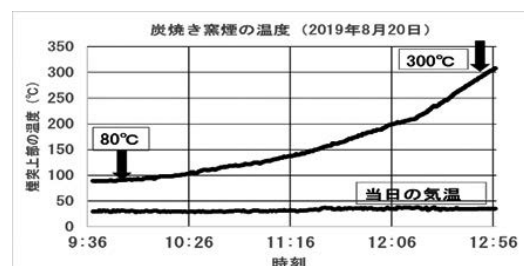


図3. 炭焼き窯の煙の温度変化. 気温はほぼ一定.



図4. 操業中の炭焼き窯. 右端はたたら炉の覆い屋根(矢印).

するナラヤクリの原木を約700 kg購入し、原木をチェーンソーで切り、薪割機で炭材にして乾燥させた¹⁵⁾。

炭焼きには近江通商社製のドラム缶式炭窯を用いた。炭窯の写真と構造を図2に示す。ただし、粘土で周りを固めてある。一度に約70 kg程度の原木を炭窯に入れ、約7時間かけ煙の温度を測りながら炭焼きを行った。図3は煙の温度をK熱電対で測定し、グラフ化したものである。煙の温度が80℃を超えると灰白色の刺激臭が出てくるようになり、窯口の焚きをやめ、自然(じねん)を待った。この自然とは窯の中の温度が自然(しぜん)に上昇し、炭化が進むことをいう。300℃を超え、青色を帯びてくると空気を遮断して窯止め(焚き口を塞いで火を消すこと)を行った。その後、一晩おいて炭出しを行った。砂鉄10 kg程度を一回の操業に用いるたたら製鉄の実験では、一回の炭焼きで十分な量の木炭が作製できた。このようにして、従来はホームセンターで購入した外国製の木炭を使用していたものを、地元の原材料で作製した木炭に置き換えた。炭焼きの操業中の写真を図4に示す。炭焼き窯と後述するたたら炉は天候の影響を避けるために簡易な小屋内に設置した。また窯の温度は煙の色でもほぼ予想できることが分かった。本実験の場合、図4に示すように炭焼き炉とたたら炉を並べて運動場の隅に設置したが、炭焼きに際して発生した煙により運動部の活動などへ影響がでることがあったので、特に炭焼き窯の設置場所や操業時の風向き等に関しては注意する必要がある。

2.3 石灰

たたら製鉄では、還元反応の触媒として炭酸カルシウム(石灰)を入れる必要がある。具体的には還元反応時に出る不純物を含んだ鉄滓(ノロ)の粘性を低くして流動性を上げる働きをしている¹¹⁾。炭酸カルシウムとして、近代たたら製鉄では貝の殻を用いている。境らが北海道の室蘭で実施した実験ではホタテの貝殻を破碎して使用している。我々は斐伊川水系の宍道湖に生息するシジミの殻を破碎せずに使用した。宍道湖のシジミ漁は全国のシジミ水揚げ量の第二位を占めるほど産業として組織化されているため、宍道湖漁協の許可を得てシジミの殻を採集した。

2.4 たたら炉

鳥根県奥出雲町の小中学校でたたら製鉄の授業で使用されているたたら炉(還元炉)はたたら製鉄の技術的総責任者である村下(むらげ)の指導のもとで、古来の

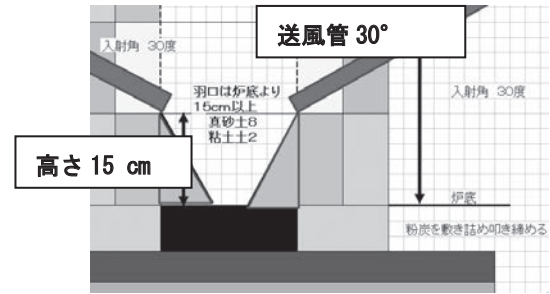


図5. 炉底(元釜)部分.

方法を踏襲して粘土と真砂土の混合で炉を構築している^{9,16)}。しかし我々は実験の容易性、安全性そして再現性を保つという観点から、耐火レンガと炉底の混合土とでつくる併用方式¹¹⁾を採用した。図5に示すように炉底には粉炭をしき、混合土でノロなどが流れやすいようにV字型とした。ここで、炉床は実験用の木炭を小さく切断するときに出た炭の粉を利用した。V字部分が粘土と真砂土の混合土である。送风管(羽口)は斜め上方から差し込んだ。送风管には鋼鉄製ガス管(外径34mm, 内径25mm)を使用した。炉づくりで最も難しい部分は風を送る送风管の設置である。初めは底から風を送ることだけと単純に考えていたが、ノロの生成と送風の関係が技術的に重要であることが指摘されている¹⁷⁾。すなわち砂鉄は上部から下降しながら溶けていく。当然送风管の口にも溶融物が降りてくる。江戸時代の技術を継承している日刀保たたら操業では作業員が送风管に炉外から鉄杭を突き入れる操作(ホド突き)が頻繁に行われる。これはノロによる送风管のつまりを防ぐための作業である。すなわち送風が弱まると炉内の温度が低下し操業の失敗に繋がるからである。これを防ぐために実際のたたら製鉄ではホド突きを高頻度に行なっている。そこで、本実験では送风管を直接炉内に入れているので、ノロが溜まり過ぎて送风管の位置まで達しないように炉底より約15 cm高い位置に水平から約30°の角度を付けて送风管を設置した。炉壁のレンガの積み上げは、耐火コンクリートでレンガのすき間を埋める方法もあるが¹⁰⁾、本研究は水で溶かした粘土でレンガを固め積み重ねた。当初、レンガを重ねるだけで炉ができないか試みたが高温と通風の確保のために確実にふさいだほうが良いことが分かった。

上部と中間部の炉壁には耐火レンガ(日本ガスエンジ



図6. たたら炉の操業中. 砂鉄を生徒が投入している。地面を掘り下げて炉の高さを下げ、投入しやすくしてある。シャベルの下にジョウゴが見える。

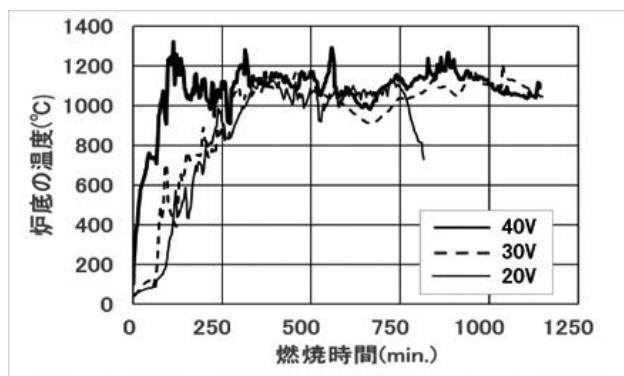


図7. 送風量(送風機の電圧)による炉底の温度比較。

ニアリング社製SK32)を二重にして築き、炉頂には鉄製のジョウゴを設置した。これにより、炉内上部の温度が700℃に達しても炉壁の外部では20～40℃と素手で触れるくらい安全性が向上した。また、ジョウゴの設置で噴き出す砂鉄が減り、収率が15%まで向上した。炉の高さは120cmが必要といわれるが¹⁾、高いと風の通りが悪く、95～110cmの範囲で行った¹¹⁾。さらに、炉が高すぎると生徒が砂鉄や木炭を投入することが著しく困難となる。そこで本研究では、図6に示すように地面を約30cm掘り下げ、生徒が不自然な姿勢を取らなくても投入できるように配慮した。ここで使用した真砂土や粘土は第一筆者の勤務校周辺で採取した。

本研究では、炉内の変化を知るために、炉底部の温度を測る目的で送風管の先端付近と炉の最上部の2カ所にK熱電対温度センサーを設置した。この温度をデジタルマルチメーターを用い30秒間隔で測定した。なお、たたら炉の構造や建設に関する詳細は以前報告している¹¹⁾。

たたら製鉄の実験時は、砂鉄の投入により炉内の温度が一時的に低下する。炉内の温度をなるべく高温で一定に保つために、炎の出具合や炉底の温度変化を見ながら送風量を調整した。風量の制御は送風用のハンドブロウの入力電圧をスライダックにより20V～40Vまで変えた。図7は風量を変化させたときの炉内の温度の時間変化を示している。印加電圧が40Vの時に炉内の温度が最も高くなった。

2.5 操業

たたら炉の操業では、事前に炉を十分に乾燥させる必要がある¹¹⁾。本実験においては送風を行いながらスギなどの木材を2時間程度燃やした。その後、木炭を炉の最上部まで入れた。当初はブロウに印加する電圧を30Vに落として送風し、温度の上昇の様子を見ながら、電圧を調整した。炭の降下速度(炉の最上部からの下がり方)を、1分当たり1～2cmになるように風量(すなわち電圧)を調整した。風量を弱めすぎると鉄の溶融物が途中で固まり、いわゆる棚つり現象がおき、還元反応が進まなくなる。実験中の不具合の原因の多くは、炉の中段辺りが何らかの原因で温度低下し、砂鉄からできた溶融物が冷えて固まる現象がおき、下からの風が通りにくくなることである。一旦途中で溶融物が固まると送風量を



図8. ノロ出しの様子。

上げて空いたすき間から風が上がるばかりで回復は難しかった。いずれも1時間から1時間30分以内に終了し、ノロ出し(図8)や生成物の取り出し(鋳出し)まで観察させた。生徒は全員、ゴーグルと軍手を装着し、長袖・長ズボンの体操服で実習を行った。これまで第一筆者は2018年度の12月に3年生2クラス合同(約55名)を理科の応用実験授業として2回実施した。2019年度は1年生3クラス(約33名ずつ)に10月と11月に合計3回実施した。

3. 実験結果と考察

操業が終了して、たたら炉を撤去したのちに炉底には砂鉄とともに鋳塊が観察できた。図9に示すように鋳塊は銀色で金属光沢を有し、磁石に吸着したので、砂鉄から還元された鉄であることが生徒たちはすぐに理解できた。すなわち、地域で産出された原材料をもとに、教材レベルでもたたら製鉄が実施可能であることを確認することができた。

たたら製鉄の実験に参加した3年生と1年生の感想が得られた174名の生徒の感想を分析すると多い順に次のような結果が得られた(複数回答有)。

- ① ノロが流れ出すのを初めてみた。(78人,45%)
- ② かなり重い鋳塊ができていて驚いた。(40人,23%)
- ③ できた鋳塊に金属光沢があって鉄ができたことが実感できた。(20人,12%)
- ④ 炎が想像以上に大きかったのでびっくりした。(48人,28%)

以上の結果から、教科書に掲載されているたたら製鉄²⁾を実際に体験したことは貴重な経験であったということがわかる。第一筆者の勤務する中学校では生徒に日記形式の生活ノートを記述させている。通常の理科授業に



図9. 得られた鋳塊。どちらも金属光沢を示している。

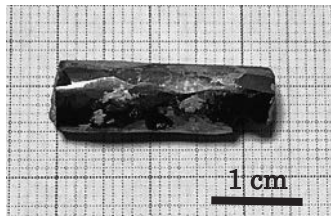


図10. 電気抵抗測定用試料.

おける実験では、生活ノートに実験観察の記述が少ないが、たたら製鉄実験では、翌日の生活ノートに多くの生徒が感想を記述するなど反響が大きかった。

ただ、たたら炉の操業に関する印象が強かったためか、地元で得られる原材料から鋳塊が製造できた点に関する感想は少なかった。今後はこの点に関して目を向けさせる指導が必要になるであろう。

授業によるたたら製鉄の実践に加え、第一筆者の勤務校の部活動の一環としてたたら鉄の分析も行ったので、その結果にも触れておく。

3.1 たたら鉄の電気抵抗率

生成された鋳塊は銀色で金属光沢を有するため、砂鉄が還元されて鉄になったことが一目で分かった。さらに生徒は金属が電気伝導性を示すことを中学校2年生で学習しているため、鋳の電気抵抗を測定した¹⁹⁾。鋳塊を平均半径2.3mm、長さ約20mmの丸棒状試料を切り出し整形し、電気抵抗を四端子法で測定した。試料の写真を図10に、測定時の配線を図11に示す。すなわち電源として起電力約1.5Vの乾電池、負荷抵抗として100Ωのカーボン抵抗を試料と直列に配線した。この結果、試料には15mAの電流が流れ、端子間電圧は11.8μVを示した。電圧端子間の距離は10.0mmであった。最終的には試料の直径と電圧端子間距離から電気抵抗率 ρ を算出した。

得られた室温でのたたら鉄の電気抵抗率は $\rho = 13 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$ であった。鉄および鉄・炭素合金の電気抵抗率の文献値を調べると、純鉄で $9.7 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$ 、1 wt% C-Feでは $14.2 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$ であった²⁰⁾。この二つの値から内挿法で今回得られたたたら鉄の炭素濃度を推測すると、0.7wt% C-Feに相当した。以前、著者らが行った予備的な実験では、鋳塊中の炭素量を燃焼・赤外吸収法で測定した結果、炭素濃度は0.57wt%であった¹²⁾。この予備的な実験とは木炭などの砂鉄以外の原材料が異なっているが、たたら炉の構造や実験手順等は同じである。そのた

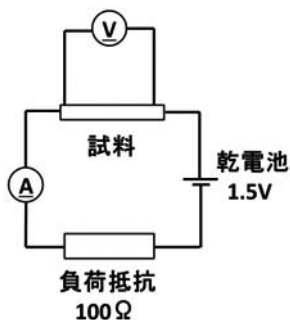


図11. 四端子法の配線図.

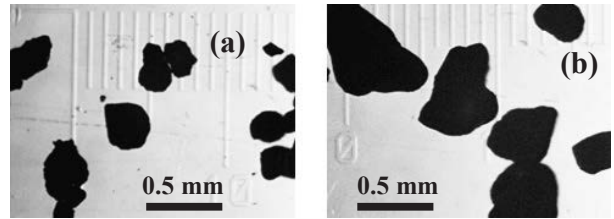


図12. 原料砂鉄の顕微鏡写真. (a) 斐伊川で採取した川砂鉄. (b) 日野川河口で採取した海砂鉄.

め、今回の試料の炭素濃度は、ほぼ同等な値を示していると考えられる。燃焼・赤外吸収法という高価な測定装置を用いなくても、炭素濃度の推定は電気伝導率の値から可能であることが示された。しかし一つの試料に関する結果であるため、試料によるバラツキなどは今後明らかにする必要がある。

3.2 火花分析による砂鉄の違いの評価

他の地域でも採取できる原材料だけを用いてたたら製鉄が教材として実施できることを確認するため、鳥取県西部で採集できる砂鉄を用いたたたら製鉄も行った。この地域は山陰地方では島根県に並ぶたたら製鉄の歴史を持っていた。そこで鳥取県米子市を流れる日野川河口の海砂鉄を採集した。この砂鉄を約20 kg採取して、2回の製鉄実験を行い、得られた鋳塊と前述した鋳塊とを比較した。砂鉄以外の原料は斐伊川産の砂鉄の実験と同じで実験条件も同様である。まず図12に光学顕微鏡を用いて観察した2種類の砂鉄の写真を示す。どちらも磁気選鉱したままで、篩にはかけていない状態である。図12(a)は斐伊川で採取した川砂鉄、(b)は日野川河口の海砂鉄である。砂鉄粒子の色はどちらも同じようであったが、粒子の直径が川砂鉄では0.3 mm程度と小さいのに対して、海砂鉄では0.5 mm程度と大きかった。

その結果、図13(a)に示すように川砂鉄から作製した鋳塊では凝集して固まる傾向が見られたが、(b)に示す海砂鉄から得た鋳塊では凝集しにくい傾向があった。この理由を明らかにするため、グラインダーの歯に試料を当てた時に発生する火花を観察して、含まれる炭素量の違いに差があるかを調べる火花分析を実施した²⁰⁾。この

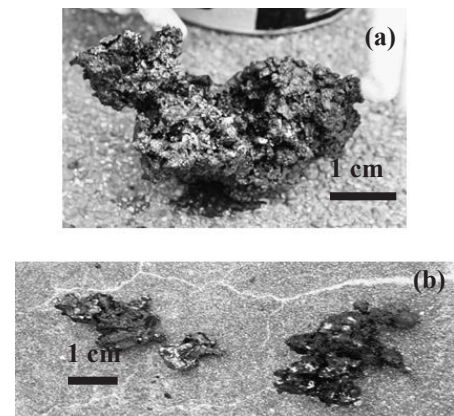


図13. 砂鉄原料の違いによる鋳塊. (a) 斐伊川で採取した川砂鉄. (b) 日野川河口で採取した海砂鉄.

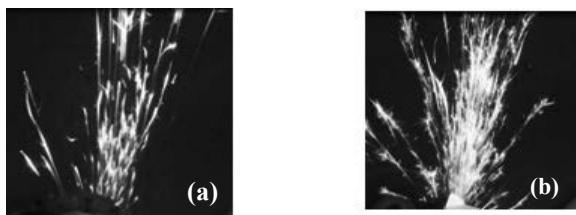


図14. 火花分析による炭素量の影響. (a) 炭素量の少ない試料(斐伊川で採取した川砂). (b) 炭素量の多い試料(日野川河口で採取した海砂).

分析方法では炭素の量が多い試料ほど火花の中に花状もしくは星状のような模様が多く現れることが知られている。そこで火花の様子を観察するため、デジタルビデオカメラで撮影した後にビデオのコマ送りで確認した。図14(a)に川砂鉄による鋤塊の火花、(b)に海砂鉄の結果を示す。明らかに海砂鉄製の鋤塊試料の方が星状の火花を多く示した。そのため、斐伊川産の川砂鉄は日野川河口産の海砂鉄より炭素を少なく含む鉄塊ができたと考えられる。これは、鉄が凝集するときに周りにある木炭からより多くの炭素を吸収した結果と考えられる¹⁵⁾。最終的には、砂鉄を含んでいた花崗岩の生成等に起因する原因と考えられるが詳細は不明である。なお前節の炭素濃度を測定した予備実験で作製したたたら鉄の火花検査では図14(a)の川砂と同じような火花を観察でき、炭素量が同程度と考えられた電気抵抗率の結果と矛盾しなかった。

4. まとめ

1. 島根県東部の斐伊川流域で入手できる原材料だけを使って、たたら製鉄を中学校理科の授業として実施した。
2. 砂鉄は古来の比重選鉱法である鉄穴(かんな)流して回収できなかった残りが斐伊川に多量に堆積しており、これをハンドマグネットによる磁力選鉱法により収集した。
3. 購入した木材から市販の炭窯を使ってクラブ活動として炭焼きを実施して木炭を得た。約70 kgの木材でたたら製鉄の実験(砂鉄10kg使用)が可能であった。しかし、煙対策の実施が必要であった。
4. 炭焼きに際して、K-熱電対を用いて炉内と煙の温度変化を記録した。その結果、煙の色と炭の生成過程の関係に関する知見を得た。
5. 石灰(炭酸カルシウム)は宍道湖に生息するシジミの殻を用いた。
6. 得られた鋤塊の電気伝導度を四端子法により測定した。その結果、0.7 wt%程度の炭素濃度を含む鉄であると考えられた。これは赤外線を用いて炭素濃度を決定した先行研究の結果とも矛盾しなかった。
7. グライNDERを用いた火花法で炭素量の多寡を評価した。その結果、採取地の異なる砂鉄から得た鋤塊中の炭素含有量が異なる可能性を明らかにした。
8. 地域で過去に行われていたたたら製鉄の歴史やその

影響さらにそれを可能にする資源の豊かさに生徒が気づくことができた。

謝辞

この研究を進めるにあたり、鉄の歴史村地域振興事業団の小林憲生氏には、本校までご指導に来ていただき貴重なアドバイスをいただいた。また、鉄の性質実験では、島根大学総合理工学部の山田容士・森戸茂一教授にいろいろアドバイスや実験をお手伝いいただきました。さらに、奥出雲町教育委員会社会教育課、高尾昭浩指導主事(現奥出雲町地域づくり推進課長)、宍戸俊悟主幹(現奥出雲町農業振興課農業遺産推進グループ企画員)には鳥上実験施設などを案内いただき多くのヒントをいただきました。ここに感謝いたします。

本実験はちゅうでん教育財団から資金の援助をいただきました。また、2018年度までの2年間は「武田科学財団」から資金援助をいただきました。あわせて感謝いたします。また、大東中学校クリエイティブ部の野中風花さんには実験準備などたくさん協力をいただいた。ここに感謝いたします。

参考文献

- 1) 俵國一:復刻・解説版 古来の砂鉄精錬法,(慶友社,2007) p.104-108.
- 2) 梶田隆章他:新しい科学2,(東京書籍,2016) p.262.
- 3) 天野武弘:小たたらによる鉄づくり-直接還元法による製鉄-,技術教育研究,17,21-34(1980).
- 4) 久津見宣子:ひとNo.73,(太郎次郎社,1979) p.58-78.
- 5) 久津見宣子:鉄をつくる.授業を創る,(太郎次郎社,1980) p.32-59,p.81-89.
- 6) 中川淳:技術教育の方法と実践,(技術教育研究会,1983) p.122-125.
- 7) 加藤誠,天野武弘:古代たたらを想定した小たたら炉の実操業,日本製鉄史論集-たたら研究会創立25周年記念論集(たたら研究会,1983), p.513-548.
- 8) 天野武弘:小たたら製鉄への挑戦,生徒とともに鉄の再認識を求めて,鉄と鋼,14,1789-1790(1987).
- 9) 奥出雲町文化体験実行委員会:世界で一つの「炎」を守り,つなげる「たたら体験学習」,仁多郡小中学校長会研究紀要,(奥出雲町教育委員会,2014) p.1-30.
- 10) 松田伸也:磁鉄鉱を原料とするオイル缶たたら炉の操業,琉球大学教育学部紀要10, 57-66(2003).
- 11) 境 智洋:レンガ式たたら製鉄炉による鉄づくり,北海道教育大学へき地教育研究センター研究紀要,60, 1-11(2005).
- 12) 増田史朗,水野 斎,船木修平,北村 心,宮本光貴,塚田真也,山田容士,水野 薫:小型レンガ炉を用いた「たたら製鉄」の教材化,島根大学教育学部紀要53, 87-93(2019).
- 13) 国土地理院ホームページ
https://www.gsi.go.jp/CHIRIKYOUIKU/kawa_2-1.html (accessed 6th March 2020)

- 14) 栢野彰秀, 舘 英樹, 境 智洋: ものづくり活動による小学生のものづくりに対する考えの変容, 北海道教育大学へき地教育研究センター研究紀要, **64**, 79-86 (2009).
- 15) 河瀬正利: 製鉄史論文集, たたら研究科創立四十周年記念誌, (たたら研究会, 2000) p.240-255.
- 16) 日本鉄鋼協会: たたら製鉄の復元とその鋸について, 日本鉄鋼協会, **30**, 34-43 (1971).
- 17) 永田和宏: 人はどのように鉄を作ってきたか, (講談社, 2017) p.11-21, p.127-146.
- 18) 梶田隆章他: 新しい科学2, (東京書籍, 2016) p.61-62.
- 19) 日本金属学会, 日本鉄鋼協会編, 鉄鋼便覧(第2版), (丸善, 1995) p.32.
- 20) 三島徳七, 三橋鐵太郎: 鋼材の火花試験方法に関する研究, 鋼と鉄, **24**, 117-136 (1928).