



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	教材用小型たたら製鉄炉の研究開発及びその成果を活用した製鉄実習がもつ教科教育との連携効果の検証
Author(s)	境, 智洋
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(教育学)
Dissertation Number	甲第12373号
Issue Date	2016-06-30
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k12373
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/62871
Type	doctoral thesis
File Information	Chihiro_Sakai.pdf



教材用小型たたら製鉄炉の研究開発及び

その成果を活用した製鉄実習がもつ教科教育との連携効果の検証

境 智 洋

目次

はじめに

- | | |
|---------|---|
| 1 研究の背景 | 1 |
| 2 研究課題 | 4 |

第1章 教材用小型たたら製鉄炉と学校教育

- | | |
|----------------|----|
| 1 たたら製鉄実習と学校教育 | 7 |
| 2 教科教育との連携とは | 18 |

第2章 教材用小型たたら製鉄炉の開発

- | | |
|--------------------|----|
| 1 教材用小型たたら製鉄炉の開発 | 23 |
| 2 教材用小型たたら製鉄炉とその改良 | 32 |
| 3 安価炉への改良 | 43 |

第3章 教材用小型たたら製鉄炉の活用と教科教育との連携による実践

- | | |
|---|----|
| 1 教材用小型たたら製鉄炉で生じるノロとノロを活用した
溶岩学習教材を用いた教科教育との連携による実践と成果 | 61 |
| 2 小規模校による教科教育との連携によるたたら製鉄実習の実践と成果 | 74 |
| 3 北海道教育大学附属釧路小学校による教科教育との連携による
たたら製鉄実習の実践と成果 | 86 |

おわりに

- | | |
|---------|-----|
| 1 成果と課題 | 104 |
| 2 将来の構想 | 105 |

はじめに

1 研究の背景

たたら製鉄とは、日本古来の製鉄法を言う（黒岩，1976）．この製鉄法は、粘土で作った炉に火を入れ足踏みや水車による動力で動くふいごによって空気を送り、3昼夜、砂鉄と木炭を交互に炉に入れ続けることによって鋼（ケラという）をつくる製鉄法である．江戸時代中期に高度に発達した商業生産用のたたら炉は、保温及び湿気防止のために独特の地下構造を持ち、炉の大きさは長さ約3m、幅約1m、高さ約1mであった（窪田，1973）．しかし、明治に入り西洋式の高炉による製鉄法（菅，2004）が盛んになると、次第に廃れ、昭和になると幻の製鉄法と言われるまでになった．その中で、刀剣の製作を目指す刀匠による小規模なたたら製鉄研究は戦後続けられていた（久津見，1980b）．刀匠以外によるたたら製鉄に関する本格的な研究が始まったのは1960年代後半からである．その中でも国内で莫大な経費と労力をかけ、長い準備期間をかけた復原たたらが行われたのが1969年の事である（山内，1975）．小型炉では、1973年には鉄鋼短期大学（現：産業技術短期大学）が耐火レンガを用いた炉で実験が行われた（横川，1976）．

たたら製鉄を学校で体験する初めての試みは、1974年「社会科の授業を作る会(当時)」の東京都調布市立野川小学校教諭、久津見宣子である（斉藤, 1976：久津見 1979, 1980a）．久津見実践は、小学校において「鉄作り」が可能であることを示した．一瀬清（一瀬, 1987）が久津見実践と似た炉によって小学校で実践を行っている．粒状の鉄が生成されたことは記載されているが、実際にどのように授業で取り組んだかは記載が無い．当時、教科以外の指導時間を生み出すことは難しく、さらに指導要領に依拠しない授業を行うことは大変難しい状況であった．その中で久津見、一瀬が小学校で鉄作りを行ったことは画期的な事であったといえる．中川淳（中川，1983）は中学校の文化祭で鉄作りを実施した．この実践は餅鉄といわれる鉄の含有率の高い円礫状磁鉄鉱（岡田，1968）を砕いて使った．加藤誠・天野武弘（加藤・天野1983;天野1980, 1987）は、築炉に粘土を用いた本格的な炉であった．大月健彦（大月，1982）は、石油缶を利用した炉で行っている．実際の操業記録が記載はされていない．このように 1980年代には、たたら製鉄は学校現場で行われ実践が公表されている．その中で耐火レンガを用いた炉（蛭田，1982；内海，1984）や大月実践のように石油缶の内側に粘土を貼る炉（宮津，1986）など試みられ、小型炉によるたたら製鉄実習の2つの炉の流れ（レンガによる炉と石油缶などの鉄製炉の内側に粘土などの内張をした炉）が出来あがった．北海道教育大学釧路分校（当時）の高嶋幸男は、久津見実践、中川実践、天野実践、大月実践、一瀬実践を検討して1987年に、中学校技術科でレンガ炉による鉄作りを行った．学校での実践を考慮に入れ、簡素化した炉の作り方、鉄づくりの手順、素材の入手などを公開することで、以降のたたらを実践してみようとする実践家に影響を与えた．またイベント等で操業されるレンガ炉も多数作られ、永田和宏は永田式のたたら製鉄炉（永田，1998）を普及させ黒金会（くろがねかい）がたたら操業を現在も続けており（<http://www.tatara.net/kuroganekai/kuro.html>），さらに「もの

づくり教育たたら」としてNPO法人を立ち上げ、多くの実践が誕生している (<http://www.tatara.or.jp/index.html>)。また 室蘭工業大学材料物性工学科材料製造プロセス学研究室（当時）では、日高産橄欖岩を砕いたオリビンサンドを水ガラス（珪酸ナトリウム）で固化したものをパール缶の内壁に貼り付けた小型パール缶たたら製鉄炉の開発に成功した（片山 1999）。この炉を用いたイベントも2000年代には多数実施され（桃野, 2002；桃野・杉野, 2002）、現在も室蘭市で行われているアイアンフェスタで実演されている。仙台市立根白石中学校では、1992年から数年にわたり体験学習として博物館、科学館などと連携した鉄作りが継続されていた。これは東北地方で発展した竪型炉をモデルとして作られた炉による実践である（高橋, 2002）。

2000年以降、学校教育に総合的な学習の時間が創設された（文部科学省, 1998）。この総合的な学習の時間において、地域に根ざした産業を追体験する試みが行われるようになった。江戸時代に盛んにたたら製鉄が行われてきた島根県、鳥取県では小学校の一部で総合的な学習の時間を活用したたたらが行われている。鳥取県日南町立石見西小学校（石見西, 2001, 2002；三森, 2002）で行われた鉄作りは、2000年から始められた。日本刀剣保存協会（日刀保）のたたらで村下（むらげ：たたら師という技能集団の技術責任者のことを村下という（山内, 1975）。以下、たたら技師長を村下で記載する）をする木原氏の協力により、生活科及び総合的な学習の時間の一貫として全校体制で行われたものである。さらに、島根県安来市立西比田小学校（西比田小学校, 2001）で行われた鉄作りは、詳細は不明であるが、石見西小学校実践同様に木原氏の指導により総合的な学習の時間（全105時間）で5、6年生が取り組んだものである。これらは、年間指導計画に位置づけられ、各学年の分担と、活動計画が練られている中で実施されていた。学校の年間指導計画に製鉄実習を位置づけたことが特色ある活動として継続された要因である。しかし、炉作り等、児童の力を使いながらも、専門的な指導者がいてできるものである。また、学校独自の実践であったため、一般化は難しく教師の共有財産になっていたとは言えない。さらに現在は両校とも閉校又は統合され、統合した学校で継続して行われているという報告はない。

このように先駆的に実践されたたたら製鉄、地域に根ざした産業を追体験する試みにおけるたたら製鉄は、学校教育において国内に普及することが無かった。草野（1990）が指摘するように、広く実践される条件、つまり教師の共有財産とはなっていないことである。炉の構造、実際に行う場合の手順、専門的な知識など実践者のみに限定され、教師の共有財産になり得なかったといえる。

たたら製鉄を教師の共有財産にすることは不可能なのだろうか。久津見宣子（久津見, 1980c）は、授業計画について「人間の歴史」は地球の歴史から現代に至るまで膨大な内容である。子どもたちが具体的なイメージを描けるような歴史学習にしたいという願いから実習や見学をできるだけ取り入れているので、授業にあたっては十分な時間数を確保しなければならないとし、5年生、6年生を通した授業計画表を記載している。その膨大

な時間は、社会科を自主編成したカリキュラムとなっている。白井春男（白井，1980）では人間の歴史の特徴を3つあげている。

- (1) 私たちの今の生活、衣、食、住、道具、考え方などは、私たちだけで勝手に決めたり、作ったりしたものではなく、遠い遠い昔から様々な人々の努力が積み重なってできてきたということをわからせること。
- (2) 遠い遠い昔からの様々な人々という場合、日本人の祖先だけでなく、世界中すべての人々をさしていること。
- (3) 長い長い歴史を持つ人間の社会も、生産・労働に視点をおいてみると、①狩りと最終の時代②農業と牧畜の時代③大量生産の時代の3つに大別出来ること。

このように、人間の歴史という社会科の側面を中心に据えたカリキュラムを提案した。この考えは、コア・カリキュラムに通じ、中核部分に学びの核となる内容が統合される、あるいは、それによって構造化されているカリキュラムである（梅根，1977）。この場合、人間の歴史を中心に据えたカリキュラムであることが伺える。あくまで人間の歴史が主であり、鉄作りはその中の一部である。遠山啓（遠山，1976）は総合学習という各教科を結びつけ、それらを統一する新しい形態の学習が必要であり、各教科と総合されたあらたな時間を設定すべきであると論じている。具体的なカリキュラムは提示されていないが、一瀬清（一瀬，1987）は、小学校6年生の実践として取り組む際、「こうした国語，社会，理科という分野にはおさまきれない学習（ここではたたら製鉄実習）は小学校でもっと充実されるべきものだと思っねづね思っている。そして、その総合学習の中で「ものづくり」は核になるべきものだと思う。知識はバラバラな、細切れなものとして子どもたちの中につくられていくものではなく、能動的、行動的に獲得していくものだと思う」という。この考えは遠山の総合学習の考えを鉄作りにあてはめたものといえる。

筆者は、オリジナルな教科カリキュラムに鉄作りを位置づけるには、膨大な時間とそのオリジナルなカリキュラムの実践検証が必要であろう。ゆえに、鉄作りを学校教育で行うには、鉄作り実習を行う時間を設定すべきであると考え。筆者もここでいうたたら製鉄実習を行う時間を「総合学習」として位置づけたい。

ここで、筆者は鉄作りを効果的に実施し、教師の共有財産として位置づけるには、総合学習として鉄作り実習ができる時間を設定し、それらを既存と教科と連携させることが重要である。つまり、遠山啓（遠山，1976）の考える各教科を結びつけそれらを統一する新しい形態の学習、いわゆる総合学習を柱にした授業が鉄作りを教師の共有財産にするには必要である。

文部科学省（1998a）の学習指導要領では、総合的な学習の時間が創設され、たたら製鉄のようなものづくり実習が実施可能となった。ここで、たたら製鉄と教科教育を連携させること、つまり、教科の内容と鉄をつくることがリンクさせることができるようにすることで、学習として教科との関連を持ち、意味のあるものに据えることができると考えた。例えば、文部科学省（1998a）の学習指導要領において、ものづくりを通して国語を

適切に表現して伝える力を高めようとする国語教育，人がどのようにモノをつくり活用したか，その歴史的背景を考えさせる社会科教育，鉄ができる過程について実感を伴って理解をさせる科学的に理解させる理科教育，鉄の加工と利用から創り出すよろこびを味わう美術教育など，教科と結びつけることでたたら製鉄実習は意味のあるものになる。

教科との連携の中に位置付いた総合学習でのたたら製鉄実習であるならば，教科の学びを総合学習で深め，総合学習の時間で得た体験から発する疑問，不思議を教科で解決させることも可能であろう。

2 研究課題

たたら製鉄実習が実践される条件，つまり教師の共有財産となるためには，以下の条件が必要である。

- (1) 炉の構造，実際に行う場合の手順が簡便であること，さらに，たたら製鉄を実施する際の費用が安価であること。
 - (2) たたら製鉄を実施する際に，学校教育の中で実施が可能であること。
- である。

そのために，本論の研究課題を以下のように設定する。

研究課題

- 1 砂鉄から鉄をつくる「いつでも，どこでも，だれにでも」できる教材用小型たたら製鉄炉をつくりあげ，学校教育で実践検証し，その炉の有効性を確認する。
- 2 教材用小型たたら製鉄炉の活用を図り，総合学習を中心とした教科との連携教育を実践し，その効果を検証する。

1では，主に北海道の海岸に堆積する磁鉄鉱(砂鉄)から鉄作りを行う。日本古来の製鉄技法及び1970年以降の久津見実践，高嶋実践で使われた「小型たたら炉」の改良を図り，その炉の有効性の検討を行う。また，広く国内外の小中学校教員に砂鉄から鉄をつくるノウハウを提供するため，より安全に，より安価で，だれでも，どこでも，いつでもできる炉を検証し確実に鉄ができる教材炉としてインターネット等で公開する。

2では，1で作成した炉を，広く国内外の小中学校の教員に実践できるかを全国のたたら製鉄実践例と比較検討する。また炉を溶岩学習教材など，たたら以外の教材として活用することで，自然史や社会史を学ぶ可能性を検討する。

『いつでも，どこでも，だれにでも学校教育において，砂鉄から鉄を作ることが出来るようになり，製鉄実習などのものづくり学習の効果的な授業方法が確立される』ことが，本論の目的である。学校教育における1つの指導法を提案することができればたたら製鉄は学校教育で指導可能となるはずである。教育思想史上の系譜からすれば，コア・カリキュラム理論（梅根，19

77) 及び総合学習（遠山, 1976）を背景とするが、学校教育で実施可能な教材と授業プランを提案するものである。

文献

- 天野武弘（1980）：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, pp. 21-34.
- 天野武弘（1987）：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, pp. 1789-1790.
- 内海行英（1984）：木炭づくりから製鉄まで, 技術教育研究, 24, pp. 7-18.
- 内海行英（1995）：ふいご作りから製鉄まで, 技術史教育論, 前田清志編, 多摩川大学出版部, 東京, pp. 300-316.
- 梅根 悟（1977）：総合学習思想の近代教育思想史上的位置, 総合学習の探求, 勁草書房, 東京, pp. 2-29.
- 蛭田容之（1982）：餅鉄から鉄をつくる, 暮らしと環境, 地学団体研究会編, 東海大学出版, 神奈川, pp. 29-33.
- 一瀬清（1987）：砂鉄から鉄ができた, ひと, 太郎次郎社, 東京, 第179号, pp. 78-88.
- 石見西小学校（2001）：古代たたらに再挑戦ふるさと石見, 日南市立石見西小学校研究紀要, pp. 28-62.
- 石見西小学校（2002）：古代たたら挑戦Ⅲふるさと石見, 日南市立石見西小学校研究紀要, pp. 22-60.
- 加藤誠・天野武弘（1983）：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-, 東京, pp. 513-548.
- 片山博, 桃野正, 天野哲也, 宮本剛汎, 大橋行盛（1999）：たたら製鉄と日本刀, 室蘭工業大学公開講座テキスト, pp. 60-61.
- 菅 孝宏（2004）：鉄鉱石から鉄と鋼に-鉄と酸化鉄の物理化学-, 鉄古くても進化している材料, 財団法人JFE21世紀財団, 東京, pp. 32-70.
- 黒岩俊郎（1976）：たたら-日本古来の製鉄技術-, 玉川大学出版部, 東京, pp. 1-251.
- 窪田蔵郎（1973）：鉄の考古学, 雄山閣出版, 東京, pp. 249-299.
- 草野隆光（1990）：鉄はつくられたか-実験授業報告「鉄の技術史の導入」によせて-北海道大学教育学部附属産業教育計画研究施設研究報告書, 第35号, pp. 1-23.
- 久津見宣子（1979）：鉄をつくる「人間の歴史」における鉄の役割, ひと, 東京, 73, pp. 57-78.
- 久津見宣子（1980a）：鉄をつくる, 授業をつくる, 東京, 1, pp. 32-58.
- 久津見宣子（1980b）：砂鉄は鉄になろうと待っている-天田昭次さんから学んだこと, 授業をつくる, 東京, 1, pp. 81-89.
- 久津見宣子（1980c）：鉄をあかめてたたく-鍛冶の実習-, 授業をつくる, 東京, 1,

pp. 60-70.

黒金会 (2015) : <http://www.tatara.net/kuroganekai/kuro.html> (2015. 11月にアクセス).

三森厚子・栞原昭徳(2002) : 古代たたら製鉄に挑むー地域文化を生かした全校児童の取り組みー, 日本生活科・総合的学習教育学会自由研究発表第19分科会資料, 山口大学, pp. 1-91.

宮津濃(1986) : 小学生とつくるはじめての鉄作りの授業, 技術教育研究, 38, pp.25-33.

桃野正・杉野正宜(2002) : オリビン砂を応用した箱形炉によるたたら製鉄, たたらフォーラム講演概要集, pp.25-34.

桃野正(2002) : たたら製鉄の事例報告(室蘭工業大学), 第4回たたらサミット報告書, たたらサミット実行委員会, pp.35-38.

文部省(1968) : 小学校学習指導要領, <https://www.nier.go.jp/guideline/>.

文部省(1998) : 小学校学習指導要領, 文部科学省, p. 2, 3.

文部科学省 (2008a) : 小学校学習指導要領. 東京書籍, 東京, p69.

文部科学省 (2008b) : 小学校学習指導要領解説 総合的な学習の時間編, 東洋館出版社, 東京, p21.

中川淳 (1983) : 鉄をつくる, 技術教育の方法と実践, 技術教育研究会編.

永田和宏 (1998) : 小型たたら炉による鋼精錬機構, 鉄と鋼, 84, pp. 715-720.

岡田寛吉 (1968) : 岩手県釜石鉱山付近の餅鉄, 地学研究, 19巻, pp. 279-281.

大月健彦 (1982) : 鉄をつくる, 化学と教育ーその実践, アルケミストの会編, 地歴社, 東京, pp. 211-220.

斉藤茂男(1976) : 教育ってなんだ (下), 太郎次郎社, 東京, pp. 1-250.

白井春男(1980) : すべての人が「人間の歴史」の授業を創るために. 授業をつくる, 東京, 3, pp. 113-118.

高嶋幸男 (1988) : 小型炉による「鉄づくり」操業実験 北海道教育大学紀要第42号, pp. 71-89.

高橋礼次郎 (2002) : 鉄が人間を創る-中学校における製鉄実験学習-, たたらフォーラム講演概要集, たたらフォーラム実行委員会編, p11.

高塚秀治(1999) : 鉄滓分析によるわが国前近代製鉄技術の研究, 東京工業大学学位論文, pp. 1-120.

遠山啓(1976) : 競争原理と超えて-ひとりひとりを生かす教育, 太郎次郎社, 東京, pp. 1-268.

山内登貴夫(1975) : 和鋼風土記, 角川選書, 東京, pp.1-231.

横川清志(1976) : 復原たたら炉による製鉄について, たたら研究, 19, pp.1-11.

第1章 教材用小型たたら製鉄炉と学校教育

1 たたら製鉄実習と学校教育

学校教育において、たたら製鉄による鉄づくりがどのように行われ、その実践がどのように行われたのかを検討する。

(1) 久津見実践

古代以来の鉄づくり「たたら」を学校で体験する初めての試みは、1974年と言われる。実践者は、「社会科の授業を作る会(当時)」の久津見宣子である。小学校社会科の中で行ったものであり、鉄づくりに関して教具、手順などのノウハウがない状況で実施したことは、画期的なことであった(久津見 1980)。

この久津見宣子が行った鉄づくり(以下:久津見実践)は、白井春男による『人間の歴史』のテキストで授業を行っていた際、「古代国家の発展と衰滅」の中で「鉄の生産用具と武器が古代国家の発展の基礎であり、鉄が人間の社会を変えたという事実に感動し」、この感動を子どもたちに伝えたいという願いから始まった。当初はテキストの内容を伝えるだけであったが、「鉄の道具を初めてつくりだした人々はいったいどのようにして鉄鉱石を鉄に変え、道具にしていたのだろうか。」という問題意識から、自ら製鉄・鍛冶を行っている天田昭夫刀匠に出会い、指導を受け「鉄づくり」に至った。

久津見実践、「鉄づくり」に至る教材・教具の開発が行われている。教材・教具の製作に当たっては、天野刀匠との出会いがあり、天野刀匠の指導と協力があって行われた。また、授業は、テキスト「人間の歴史」の内容を受け止め、それを具体的なものに描き変え、子どもが受け止められるようにしようとしたものである(久津見, 1980)。当時は、オリジナルな社会科に位置付けた授業の一貫で行われた。年間指導計画に人間の歴史を盛り込み久津見宣子実践を作り上げている。

久津見実践は、小学校において「鉄作り」が可能であることを示した。これは、小学生の手によって炉を作り、小学生の協働で鉄作りができることを明らかにしている。しかし、これを参考に鉄作りを行うには、授業時間の確保とともに、炉作りから実際の操業までの時間数の確保、炉の作り方、道具や材料の入手など、久津見氏でなければできない要素を含んでいた。この久津見氏の実践を検討して、社会科の授業を作る会が追試実践(一瀬, 1987)を行っている。しかし、一般的な教科書の内容の流れではないことが要因で広まることはなかった。

(2) 中川実践・天野実践・大月実践・一瀬実践

中川淳(中川, 1983)は中学校の文化祭で鉄作りを実施した。砂鉄 21.65kg から鉄 12.5kg を生成したと記載されている、これは餅鉄を砕いて直径 2cm にして使ったと記載されており、歩留まり 57%である。餅鉄とは、円礫状磁鉄鉱のことをいい、磁鉄鉱が流水などで円磨されたものである(岡田, 1968)。この餅鉄の還元実験によると還元は比較的容易で歩留まりが 60~70%という報告がある(芦, 1994)。また、田口は餅鉄の二クロム酸カリウム容量法を用いて、餅鉄の T.Fe (鉄中の総鉄量)を測定している(田口, 1994)。これによると、釜石(岩手県)は 67.25%、江刺(岩手県)は 70.56%と非常に純度が高い(例えば、北海道標津の砂鉄は 56.19%、常呂の砂鉄は 50.91%)。中川実践の甲子川は釜石鉄山が近くにあることから、純度の高い餅鉄を使ったことから、歩留まり 57%という高い歩留まりを示したのだろう。中川実践は文化祭のイベントで行ったものであり、また材料も特殊であったといえる。

加藤誠・天野武弘(加藤・天野 1983)は愛知県産業教育実技研修においてたたらを行った。加藤・天野実践(以下:天野実践)は、築炉に粘土を用いた本格的な炉である。レンガの内張にモルタルを貼り、さらにレンガの外張りに赤土を盛るという高度な炉を構築している。築炉の時間は記録されていないが、内部の構造やモルタルを貼り付けるなど高度な方法である。

大月健彦(大月, 1982)は、石油缶を利用した炉で行っている。大月(1982)の図では角形の石油缶の中に粘土で内張した図が示されている。実際の操業記録が記載はされていないが、砂鉄挿入量の 10~20%の鉄が出来ると記載されている。理科で行ったようであるが、教科の位置づけやカリキュラム上のどこに位置付くかは記載されていない。また、琉球大学教育学部の松田伸也(松田, 2002)は 1999 年に琉球大学内で大月実践炉を用いたたたら製鉄を実施している。約 2 時間半の操業で歩留 20% (磁鉄鉱 4.6kg に対して、約 0.8kg の鉄を生成)であった。実際に学校外で実践されたことは記録されていない。

一瀬清(一瀬, 1987)は、小学校 6 年生の実践として取り組んでいる。この一瀬実践は、子どもたちがグラウンドや公園の砂場から砂鉄集めを行った。炉は久津見実践と同様に耐火レンガをくみ上げたものであ

る。約5時間の操業後、7キロの砂鉄を挿入し、約600gの鉄粒が出来上がった。鉄の粒が散在した状態である。この実践は、一瀬が「鉄作りは6年生の課題にふさわしいものだと思う。鉄は人間の歴史を大きく動かしてきた金属であり、いまでも、もっとも多く利用されている金属である。金属の性質、金属の酸化・還元を学習する具体的な実験にもなる。私はこうした国語、社会、理科という分野にはおさまりきれない学習は小学校でもっと充実されるべきものだとつねづね思っている。そして、その総合学習の中で『ものづくり』は核になるべきものだと思う。知識はバラバラな、こまぎれなものとして子どもたちの中につくられていくものではなく、能動的、行動的に獲得していくものだと思うからだ」という。ものづくりを中核にすえたカリキュラムの構想打ち出していることは評価したい。しかし、具体的なカリキュラム構想には至っていない。

(3) 高嶋実践

北海道教育大学釧路分校(当時)の高嶋幸男は、上記の久津見実践など、表にある久津見実践(久津見, 1980)、中川実践(中川, 1983)、天野実践(加藤・天野 1983)、大月実践(大月, 1982)、一瀬実践(一瀬, 1987)を検討して、1987年に行われたものである(高嶋, 1988)。本論では、高嶋実践で用いた炉を参考としているため、以下に詳細に記載する。

① 炉の形と大きさ

炉内が底にいくに従って、内壁が狭くなる形を取り入れた。これは高嶋が参考にしたすべての操業炉に見られ、古来たたら炉の船底形を意識したものである。レンガを積み上げた炉であるため、外見上は目立たない。炉の大きさは、21cm×21cmであり、参考にした炉よりも内径は狭い。高さは、炉底から80cm以上である。これは内径が狭いために、砂鉄を還元させる還元帯を高さによって確保しようとしたものである。これは、久津見、天野、一瀬実践を踏襲したものである。

② 炉材について

耐火断熱レンガ(炉底部)及び耐火レンガ(炉底を除く炉全体)を耐火モルタルでつなぎ、くみ上げて製作している。炉内壁は、耐火モルタルが塗られている。モルタルの内部の形状は①の通りである。

③ 炉下部(地下)構造

地下構造は、地下からの湿気を防ぐための重要な構造とされている(窪田, 1973)。その考え方は、久津見、中川、天野実践で行われ、深さ30cm程度で地下構造をつくり、その上に築炉している。しかし、高嶋実践では、天野実践を参考にし、地下構造はなく、コンクリートブロックの上にレンガをくみ上げている。従来の地下構造を重視するのではなく、設営時間や設営方法の簡略化したいことは教材化にとって画期的である。

④ 炉作りの時間と乾燥

久津見実践、中川実践では、炉を長い時間をかけて自然乾燥させているが、レンガでは強制乾燥でも十分であることが天野実践で紹介されている。高嶋実践も天野実践を踏襲し、強制乾燥を行っている。また、久津見実践は、築炉から子どもたちと実践を行っているため、長期間かけて行われた。その多くは乾燥のための時間を兼ねていると思われる。天野実践は築炉から2日間で製鉄を行っていることから、築炉から操業まで1日程度の実践である。これを踏襲し、高嶋実践では、築炉から操業までを2日間であった。

⑤ 原料の入手

高嶋実践では新日鉄室蘭製鋼所の好意でフィリピン産の砂鉄を入手している。久津見実践は、たたらで使われていたと思われる出雲の砂鉄を使っているが、中川実践、天野実践、大月実践は地元あるいは近隣の地で入手している。さらに、高嶋実践では木炭はナラ炭を使用した。このように材料は、入手しやすさを優先した。

⑥ 送風装置と羽口数

高嶋実践では、こどもたちの実感や体験の機会を与えるために手押しふいごを用いた。羽口は、ふさがれることを考慮した2カ所としている。

⑦ 砂鉄・木炭の挿入量

砂鉄及び木炭を1kgづつ、10分間隔程度で装入している。砂鉄及び木炭の装入は、久津見・中川・天野実践を参考としている。また、挿入間隔は、炉の大きさから10分程度と算出している。

⑧ 鉄の生成量

3回の操業で、12kgの砂鉄から1.65kg、15kgの砂鉄から3.28kg、19kgの砂鉄から3.6kgの粗鉄が生成されたとある。ここでは、鉄の塊（以降、鉄の塊をケラと記載する）の総量として、木炭などの不純物を含むとしている。実際にどれくらいのケラができたかは、不明である。

高嶋実践は、学生の卒論の一環として行われ、授業実践は、中学校の技術家庭科の一部として行われた。あくまで本鉄作りは、1回限りの実践である。学校での実践を考慮に入れ、手軽までは行かないが簡素化した炉の作り方、鉄づくりの手順、素材の入手などは、たたらを実践してみようとする実践家に大きな影響を与えた。

（４）仙台市立根白石中学校実践

仙台市立根白石中学校では、1992年から数年にわたり体験学習として博物館、科学館などと連携した鉄作りが継続されていた。これは東北地方で発展した製鉄炉である竪型炉をモデルとして作られた（高橋、2002）。炉の基本設計は宮城県多賀城市の柏木遺跡三号炉を参考にしてもので、規模は実際の炉の4分の1の大きさで設営された。炉壁は凝灰岩ブロックを芯として内外壁に粘土を貼り付けた本格的な円筒型炉であり、地下80cmまで地表を掘り下げて地下構造を作り、凝灰岩や木炭などをたたき締めて充填するように、実際の竪型炉の再現実験であった（高橋、1994）。ゆえに、一般化を図る炉ではなかったが、東北地方のたたら製鉄を再現した実験を中学校で行ったことは画期的であった。

（５）島根県立石見西小学校実践

鳥取県日南町石見西小学校（石見西、2001、2002；三森、2002）で行われた鉄作りは、2000年から始められた。日本刀剣保存協会（日刀保）のたたらで村下をする木下氏の協力により、生活科及び総合的な学習の一環として全校体制で行われたものである。石見西小学校は、2010年に廃校となるまで10年間たたらを行った学校である。

総合的な学習の時間、及び生活科で行われたことから、ねらいが明確に示されている。

ねらい

- （１）理解 先人の残したたたら技術のすばらしさを知る
- （２）体験 自分の役割を自覚し、責任をもって果たしたり協力したりして活動する。
- （３）交流 保護者・地域の方々と体験を共にしたり、たたらについて語り合ったりするなどして交流する。

この中で学年毎の活動内容を割り振り、全校でたたらに取り組んでいる。

５．６年生は18時間（総合的な学習の時間）

３．４年生は12時間（総合的な学習の時間）

１．２年生は8時間（生活科）

年間指導計画に位置づけ、各学年の分担と、活動計画が練られている中で実施していることは、継続して実施していく上で参考になるものである。しかし、炉作り等、児童・生徒の力を使いながら実施するが、専門的な指導者が居てできるものであり、この学校独自の実践となっているため、一般化は難しいと言える。

（６）島根県安来市立西比田小学校実践

島根県安来市立西比田小学校（西比田小学校、2001）で行われた鉄作りは、詳細は不明であるが、石見西小学校実践同様に木下村下の指導により総合的な学習の時間（全105時間）で5、6年生が取り組んだものである。西比田小学校は、2003年に東比田小学校と統合して、現在はたたらを行っていない。

総合的な学習の時間で行われており、全105時間の単元構想が練られている。

単元構想

- (1) 気づく・つかむ：古代たたらプロジェクトをつくろう（全 15 時間）
- (2) むかう・ためす：古代たたら復元大作戦（45 時間）
- (3) 広げる・活動する：さあいよいよ古代たたら復元だ！（全 30 時間）
- (4) まとめる・振り返る：こちら西比田 情報発信基地（15 時間）

(3) の活動でたたら製鉄を実施し、4 日かけて築炉、1 日で操業を行っている。しかし、炉の構造、鉄作りの活動そのものの報告がない。

石見西小学校同様に、年間指導計画に位置づけ、活動計画が練られている中で実施していることは、継続して実施していく上で参考になるものである。しかし、炉作り等、児童の力を使いながら実施するが、専門的な指導者が居てできるものであり、さらに鉄作りが総合的な学習の時間全 105 時間というのは、この学校独自の実践となっているため、一般化は難しいと言える。

(7) 製鉄実習の課題

先駆的に実践されたたたら製鉄、地域に根ざした産業を体験する試みにおけるたたら製鉄は、学校教育において国内に普及することが無かった。草野（1990）は、鉄作りについて批判的な意見を述べている。技術科の実践に限った内容での批判であるが「鉄作りの授業は技術科の実践としては特異な試みの域を出ることはありえない。学習指導要領上・・・などからではなく、広く実践される条件がない。従って、この実践（鉄作り実践、ここでいうのは中川実践（中川、1983）の事である）は教師の共有財産とはならない。すぐれた実践研究の用件の一つは、他の教師がその成果を現実の授業に使用できることである。（中略）第二にこの授業の最大の弱点は専門家の指導をきちんと受けていないことである。このため鉄の技術についての知識不足が目につく（中略）教師の感動は生徒の感動と同次元であってはならない。生徒の感動に感動するのが教師の感動の次元である。」という。広く実践される条件、つまりたたら製鉄は教師の共有財産とはなっていないことである。

草野（1990）の見解は、1990年当初は総合的な学習の時間（文部科学省、2008a）が創設されていない時のものである。当時は教科書の内容に無い鉄作りを行うには時間的な余裕がなかったといえる。久津見実践、一瀬実践にも言えるが、1980年代には教科以外の指導時間を生み出すことは難しく、さらに指導要領を越えた又は指導要領に依拠しない授業を行うことは大変難しい状況であった。その中で久津見、一瀬が小学校で鉄作りを行ったことは画期的な事であったといえる。しかし、教師の共有財産とはなり得なかったことは頷ける。

日本の学校教育の中で久津見実践（久津見 1979, 1980a）から始まった様々な鉄作り実践は、久津見実践のようにオリジナルな社会科で行われた実践はあるが、その多くは1つの教科の中で取り組むには難しく、いずれも教科外として取り組むことにより実施された。つまり、たたら製鉄実習は、教科として行うのではなく、鉄作り実習を行う時間を設定することで、行われることが良いと言える。筆者は鉄作りを効果的に実施し、教師の共有財産として位置づけるには、鉄作り実習ができる時間を設定し、それらを既存と教科と連携させることが重要である。つまり、遠山啓（遠山、1976）の考える各教科を結びつけそれらを統一する新しい形態の学習、いわゆる総合学習を柱にした授業が鉄作りを教師の共有財産にするには必要であろう。

2008年の指導要領では、総合的な学習の時間が設けられ、教師の共有財産としてたたら製鉄のような体験学習も可能となった。総合的な学習の時間の第4章指導計画の作成と内容の取り扱い、第1節指導計画の作成に当たっての配慮事項（文部科学省 2008b）において、「各教科、道徳、外国語活動及び特別活動を含めた全教育活動の中で、総合的な学習の時間の位置づけを明確にすることが重要である。各教科、道徳、外国語活動、総合的な学習の時間及び特別活動が適切に実施され、その上で相互に関連し合うことではじめて教育課程はその機能を果たし・・・」と記載される。総合的な学習の時間を教科では行うことのできないたたら製鉄実習のような体験学習を教育課程の中に組み込むことでより具体的なイメージがつくと考えている。このたたら製鉄実習を、総合的な学習の時間に据え、教科教育と連携させることで、教科での学びを生かした実習を実施する、または、実習により様々な課題を解決するために教科で学ぶなど

関連を持たせた学習が展開できる。総合学習を総合的な学習の時間で実践することで、共有財産にすることが可能となった。

次項では、教師の共有財産として、たたら製鉄実習を広く学校教育で行うにはどのような教材と授業プランとして実施すべきかを検討する。

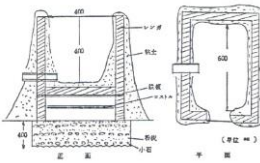
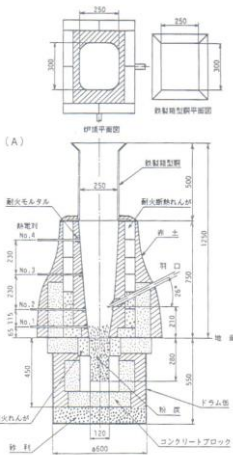
また、炉の構造は、製鉄実践から、レンガによる方式と、石油缶などの型枠に粘土などを内張にした方式の2つの流れが出来上がったことが分かる。その中で、内張方式は、内張にする粘土の厚さや、形状が実践者の感覚で作られており、一般化することは難しい。そのため、児童生徒に炉を作らせることは、実践者の指導が必要で有りだれでも出来るものには成りにくい。故に、レンガをくみ上げる方式が学校教育に適すると判断したい。次章では、炉の構造、実際に行う場合の手順、専門的な知識など実践者のみに限定されていたたたら製鉄実習の技術的側面について、教師の共有財産とするための方法を検討する。

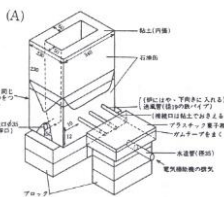
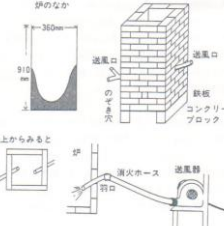
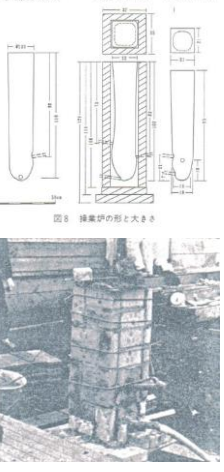
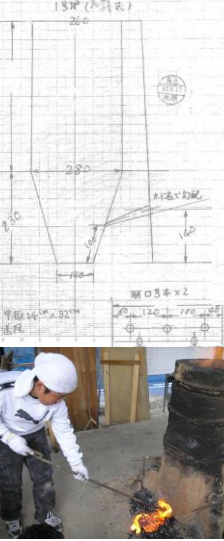
文献

- 芦 文八郎(1994)：仙台藩の高炉導入，北上山地の製鉄，みちのくの鉄―仙台藩焔屋製鉄の歴史と科学―，あぐね技術センター，東京，p. 169.
- 一瀬清 (1987)：砂鉄から鉄ができた，ひと，太郎次郎社，東京，第 179 号，pp. 78-88
- 石見西小学校(2001)：古代たたらに再挑戦ふるさと石見，日南市立石見西小学校研究紀要，pp. 28-62.
- 石見西小学校(2002)：古代たたら挑戦Ⅲふるさと石見，日南市立石見西小学校研究紀要，pp. 22-60.
- 加藤誠・天野武弘 (1983)：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―，東京，513-548.
- 窪田 蔵郎 (1973)：鉄の考古学，雄山閣出版，東京，p. 299，
- 草野隆光 (1990)：鉄はつくられたか―実験授業報告「鉄の技術史の導入」によせて―北海道大学教育学部附属産業教育計画研究施設研究報告書，第 35 号，pp. 1-23.
- 久津見宣子 (1980)：鉄をつくる，授業をつくる，東京，1，pp. 32-58
- 中川淳 (1983)：鉄をつくる，技術教育の方法と実践，技術教育研究会編，明治図書，東京，pp. 115-123.
- 松田伸也 (2003)：磁鉄鉱を原料とするオイル缶たたら炉の操業―容易で安全・確実なケラ（銅塊）の作り方を目指して―，琉球大学教育学部教育実践総合センター紀要，第 10 号，pp. 57-71.
- 三森厚子・栗原昭徳(2002)：古代たたら製鉄に挑む―地域文化を生かした全校児童の取り組み―，日本生活科・総合的学習教育学会自由研究発表第 19 分科会資料，山口大学，pp. 1-91.
- 文部科学省 (2008a)：小学校学習指導要領，東京書籍，東京，p. 69.
- 文部科学省 (2008b)：小学校学習指導要領解説 総合的な学習の時間編，東洋館出版社，東京，p. 21.
- 岡田寛吉 (1968)：岩手県釜石鉱山付近の餅鉄，地学研究，19 巻，pp. 279-281.
- 大月健彦 (1982)：鉄をつくる，化学と教育―その実践，アルケミストの会編，地歴社，東京，pp. 211-220.
- 田口 勇 (1994)：仙台藩製鉄遺物の分析化学的研究，みちのくの鉄―仙台藩焔屋製鉄の歴史と科学―，あぐね技術センター，東京，p. 323.
- 高嶋幸男 (1988)：小型炉による「鉄づくり」操業実験 北海道教育大学紀要第 42 号，pp. 71-89.
- 高橋礼次郎 (1994)：焔屋製鉄を再現する，みちのくの鉄―仙台藩焔屋製鉄の歴史と科学，あぐね技術センター，東京，pp. 233-261.
- 高橋礼次郎 (2002) 鉄が人間を創る―中学校における製鉄実験学習―，たたらフォーラム講演概要集，たたらフォーラム実行委員会編，p. 11.

比較資料

① 炉の比較

年度	地域	実践者	炉について			
			炉の形	炉材	炉の大きさ	炉底部(地下構造)
1979年 (初めて 実施は 1974年)	東京都 調布市	久津見宣 子	内壁は底に向けて狭めている 	耐火モルタル 目地モルタル 耐火レンガ(耐火度の違う 2種) 内壁用耐火粘土(3種)	1段レンガ7個の長方 形 全体で11段 高さ80cm 羽口交換時にさらに2 段積む	地下にセメントで固めた基礎囲い。そ こに1/3に切ったドラム缶を地上に 10cmほど出る形で埋める ドラム缶に粉炭を入れ、硬くたたき締 める。粉炭は、切り炭を踏みつぶした もの(12kg) ドラム缶の上に炉を築く。炉作りに際 し、レンガやブロックを脇に入れて炉 を支える。
1977年	岩手県 釜石市	中川淳		耐火レンガ(60枚) 耐火モルタル(3袋) 粘土性赤土(180kg) 炉底鉄板(1.6cm厚) は愚痴パイプ2本(35mm φ×300mm) ロストル10本(9mm φ× 700mm)	炉底部内径600mm× 400mm 炉内高400mm	①40cm掘り下げて、そこに小石と粉 炭を交互に充填し、地面の高さにす る ②炉底づくり1段目のレンガの水平 を取りながらつむ。その上にロストル の丸棒を並べておき、モルタルで固 定する ③さらにレンガを積み、炉底鉄板をし く。この鉄板の上にレンガを敷き詰め て炉底とする
1980年	愛知県 豊橋	天野武弘		半切りドラム缶(1ヶ) コンクリートブロック (390mm×170mm× 100mm:20丁) 耐火レンガ(SK3, 225mm ×110mm×60mm:30丁) 耐火断熱レンガ(イソライ ト, 225mm×110mm× 60mm:40丁) 赤土(鉄舟3杯) 小砂利(1斗缶3杯) 耐火モルタル(5kg) 藁(5束) 粉炭(バケツ1杯) 鉄製箱形胴(厚さ5mmの 鉄板を溶接して製作) は口用パイプ(25.4mm φ) 測温孔用鉄パイプ(内径 16mm φ)	炉頂部内径250mm× 300mm 炉内高(地面より) 1250mm	①地面に深さ約50cm周囲約1mの孔 をあけ、半分に切断したドラム缶を埋 め、周囲に小石を入れて炉床枠とす る ②ドラム缶底部に厚さ約10cm砂利を 敷き、その上にコンクリートブロック をおく。 ③この上に耐火断熱レンガ7個、耐火 レンガ4個で四角囲み積み、炉底部と する ④

年度	地域	実践者	炉について			
			炉の形	炉材	炉の大きさ	炉底部(地下構造)
1982年	千葉県	大月健彦		石油缶2個 粘土(砂等がある程度混ぜる)	炉頂部:内径240mm×110mm 炉内部高 410mm	①下の石油缶に羽口用の穴を3カ所あけ、さらに湯地口(ノロ出し口)用に切り取る。 ②年度を6〜7cm塗り、内壁とする。底部は逆三角形にする ③粘土がやわらかいうちに送風管を下向きにつける。 ④湯地口は、炉底と水平に穴をあける。 ⑤内壁を、下の石油缶の上端より5〜10cm上まで積み上げる。 ⑥そこに上の石油缶をのせ、内壁を板棒などたたきしめる
1987年	東京都	一瀬清		耐火レンガ112個 耐火モルタル30kg	炉頂部内径(正方形?) 1辺360mm 高さ910mm	なし
1987年 第1回2月 第2回5月 第3回6月	北海道 釧路市	高嶋幸男		耐火断熱レンガ70個 耐火レンガ20個 耐火モルタル(2袋) 石灰・石膏(1袋) ブロック(20個)	第3回が記録されているため、第3回の高さを示す 炉全体 地面から1210mm 炉内部炉底から 950mm 炉頂内径210mm×210mm	なし 地面を平たくし、ブロックを並べる
2000年	鳥取県 日南町	石見西小学校 (現在廃校)	炉頂260mm. 炉底140mmから高さ230mmで260mmまで広げる 	赤土600kgに真砂土を混ぜた粘土	高さ1050mm, 内側の幅260	深さ30cm, 60cm四方の穴を掘る。そこで薪を燃やしおきにしてたたき締める。繰り返し薪を燃やしてたたき締める作業を行う。

② 炉作り時間・作業時間・乾燥・原料の入手・送風装置・羽口の比較

実践者	炉作り時間	作業時間	自然乾燥	強制乾燥	原料の入手		送風装置	羽口数
					砂鉄	木炭		
久津見	炉作りは上下2段に分ける ①初日は下の部分6段(耐火度の高いレンガ)と内壁を塗る。 ②1週間後、さらに5段を積み、内壁を塗る。	6時間	③20日間自然乾燥	④作業前日、強制乾燥(からだき・1時間) ⑤作業当日、予備乾燥(からだき・2時間)	出雲砂鉄(刀匠天野昭次史により30kg入手)	不明	手押しふいご	2カ所 (2段目と3段目に対向して各1カ所)
中川	①炉作り3時間	4時間	②自然乾燥20日間	③強制乾燥2時間	甲子川の川原で1時間居餅鉄約60kgを採取。直径2cmの粒度に粉碎。	不明	手押しふいご(40回/分)	1カ所
天野	不明	4時間15分	自然乾燥	強制乾燥11時間	砂鉄 愛知県豊橋市城下町の海岸から採集	愛知県設楽郡鳳来町細川の渡辺氏製造10kg入り1200円×20袋	送風機 (100V,2.2A 3300rpm最大風量4.8m/min最高風圧60m水中、口径3inch)	2カ所 地面に26度の角度で鉄パイプをレンガの間に埋め込む。(下羽口＝底羽口)上羽口と同じだが角度は30度)

実践者	炉作り時間	作業時間	自然乾燥	強制乾燥	原料の入手		送風装置	羽口数
					砂鉄	木炭		
大月	不明	乾燥なしで5時間 パール缶で乾燥した炉で2時間 終了時間のみきわめは、作業開始後2～3時間して炉のひび割れが大きくなり、そこから炎が飛び出すとき。 終了後、炉底上部の塊を冷却した後、鉄を選び出す	不明	不明	砂鉄 千葉県飯岡海岸(砂鉄含有量約60%)の砂鉄を磁選(2回)して採取。	木炭 燃料店より購入1回の実験で約10kg以上使う(1俵3000円前後)3cmの大きさにナタで切る。	家庭用電気掃除機の排気口を利用 掃除機とその間に風分配装置を設置 送風量の調整は、掃除機の排気ホースと風分配装置の間で行う	3カ所
一瀬	不明	約5時間	不明	不明	①グランドや講演の砂場から磁石で採取 ②千葉県千倉海岸の砂浜より採取	木炭 奥多摩の農協	送風機	2カ所
高嶋	6月23日2時間 6月24日3時間 合計5時間	約4時間	3日間、自然乾燥	2時間55分	フィリピン産浜砂鉄(新日鉄室蘭製鉄所) 20kg 浜砂鉄は水洗いが必要	木炭 ナラ炭(鶴居木炭)	送風機 (強制乾燥中) 手押しふいご (本操業)	2カ所 中間羽口上の羽口 角度は25～30度
石見西小学校(現在廃校)	2001年の作業 10月22日午前9時～24日午後8時、下灰作業(炉床をつくる) 10月23日 土を練る 10月25日 8時30分～16時10分 炉作り	砂鉄を挿入していた時間 約8時間30分 7:45 点火 10:01 作業開始 18:35 炭の挿入終了 19:30 ケラだし 21:00 ケラ取り出し	なし	16時30分～23時30分まで強制乾燥	石見川周辺で砂鉄を採集 鉄穴ながし 川原の砂から磁石で採集 など、様々な方法で採集	学校近くの炭焼き小屋の松炭	強制乾燥 ブローア 操業中 ふいご	両端から管で送風。つぶり(風の分配器)を通して幾つかに分散させ羽口とする。羽口は各3本。

③ 挿入量・添加物・生成量・温度などの比較

実践者	挿入量		添加物	鉄の生成量	温度	実践校	文献
	砂鉄	木炭					
久津見	全使用量15.6kg 0.5kg×5回 1.2kg ×1回 1kg×9回 0.8kg×3回 挿入回数18回 挿入間隔10～25分	全使用量 28.8kg 1kg×3回 1.2kg ×9回 2kg×2回 3.2kg×1回 1.6kg ×4回 1.4kg×1回 挿入回数20回 挿入間隔10～25分	なし 1回目と2回目では 砂鉄に粉炭を混ぜ たペレットで操業し た。	？ 鉄が出来たと 記載	炉頂部 820～950℃ 羽口部 1140～ 1300℃	小学校6年生社会科	久津見宣子 (1980),鉄を つくる,授業 を創る,1
中川	全使用量21.65kg 1kg×17回 1.65kg ×2回 1.35kg×1回 挿入回数20回 挿入間隔10分	全使用量30.5kg 1.5kg ×19回 2kg×1回 挿入回数20回 挿入間隔11分	なし	12.5kg(径 35cmくらい) 炭素価1.1～ 1.2% ※歩留まり 57%	1250～ 1550℃	中学校文化祭	中川淳 (1983),鉄を つくる,技術 教育の方法と 実践, 技術 教育研究会 編
天野	全使用量21.4kg 0.5kg×4回 0.7kg ×5回 0.9kg×3回 1.1kg×12回 挿入回数24回 挿入間隔約8分	全使用量36kg 2.4kg×3回 1.2kg ×24回 (他に炉の乾燥に 43.3kg 11.5時間) 挿入回数27回 挿入間隔約8分	なし	7.2kg (歩留まり) 7.2/21.4× 100 =34wt% (鉄回収率) 21.4×0.559 ×100=60wt%	炉内 約900～ 1200℃	愛知県産業教育実技研修	加藤誠・天野 武弘(1983), 古代たたらを 想定した小た たら炉の実操 業

実践者	挿入量		添加物	鉄の生成量	温度	実践校	文献
	砂鉄	木炭					
大月	全使用量4～6kg (最初の3～4回は200g、以後300g) 挿入間隔15～20分	砂鉄挿入後、炉頂まで充填	なし	砂鉄挿入量の10～20%	炉頂部 700℃ 炉底部 1500℃ (光高温温度計)	理科	大月健彦 (1982),鉄をつくる,化学と教育,アルケミストの会編,地歴社
一瀬	全使用量7kg	全使用量約70kg	なし	600g	1200～1500℃	小学校6年生総合学習(国語、理科、社会)	一瀬清(1987)砂鉄から鉄ができた、ひと、179号
高嶋	全使用量19kg 1kg×19回 挿入回数19回 挿入間隔4～13分	全使用量19kg 1kg×19回 挿入回数19回 挿入間隔4～13分	なし	3.4kg(不純物が混じっている状態)	炉頂600℃ 羽口付近 1200℃	中学校3年生技術『金属加工』	高嶋幸男 (1988), 小型炉による「鉄づくり」操業実験、42, pp71-89
石見西小学校(現在廃校)	全使用量46.2kg 0.4kg×1回 0.5kg×12回 0.7kg×6回 0.8kg×42回 1kg×2回 挿入回数63回 挿入間隔約4～17分	全使用量96kg 0.8kg×5回 1kg×58回 挿入回数63回 挿入間隔4～17分 (乾燥34kg)	なし	15kg	炉頂 580～850℃ 炉下部 820～1050℃	全校 3～4年生総合的な学習の時間 (18時間) 5～6年生総合的な学習の時間 (12時間) 1, 2年生生活科 (8時間)	石見西小学校(2001), ふるさと石見

3 教科教育との連携とは

(1) 教科教育との連携と総合学習

教科教育との連携とは、総合学習を中心におき、各教科と総合学習を渡りながら授業を行うものである。図1-1は総合学習を中心にし、教科と総合学習が連携し合っていることを示している。このことから、筆者の言う教科教育との連携とは、授業方法の一種である。

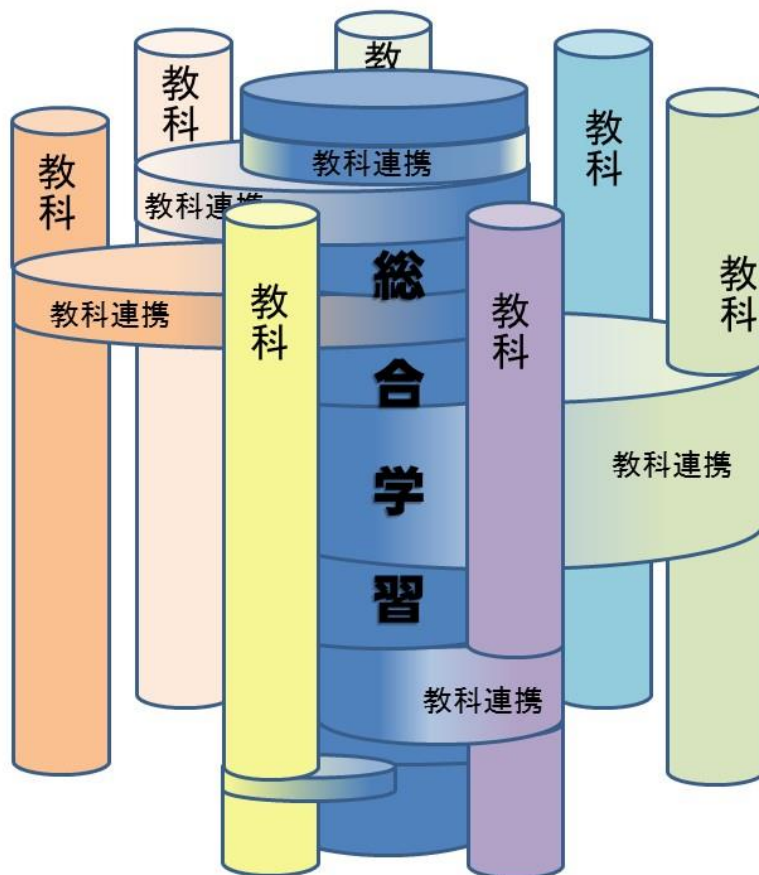


図1-1 総合学習を中心に置くモデル

総合学習を中心におき、各教科と総合学習を渡りながら授業を行う方法は、今までに議論されてきた授業方法でもある。

筆者のいう総合学習を中心にするという考え方は、コア・カリキュラムにも通じる部分がある。コア・カリキュラムは1930年代のアメリカのバージニア・プランの中等教育の部のカリキュラムに与えられた呼び名のことである。このコア・カリキュラムは、中核部分に統合されるあるいは、それによって構造化されているカリキュラムである。バージニア・プラン中等教育の特色は、コアコースを在来の教科とは編成の原理を全く異にした独特の教育領域として打ち立てた（梅根，1977）。コアコース以外は生徒が個性に応じて自由に選択する分科的な選択科目だけとしている。

1972年、日教組の教育制度検討委員会は、「教育内容をどうあるべきか」について「総合学習」を提案している（教育制度検討委員会，1972）。総合学習は、個別的な教科の学習や学級、学校内外の諸活動で獲得した知識や能力を総合して地域や国民の現実的諸課題について協働で学習し、その過程を通して社会認識と自然認識の統一を深め認識と行動の不一致を無くし、主権者としての立場と自覚を深めることを目指すものである。その観点から、総合学習は教育課程の独自の領域として教科と教科外の諸活動との中間領域という考え方であった。しかし、議論が成される中で、総合学習は教科の領域であるという議論が成される（今野，1977）。海老原（1977）は、総合学習は教科の領域であるという考え方に立ち、総合学習と教科学習の関係を論じた。海老原（1977）は、教科と総合学習は、教科学習の発展として総合学習があ

り、逆に教科学習へ問題意識に満ちた主体的な取り組みが生まれるという。つまり、「総合学習」という一定の時間を設定するという。この「総合学習」という時間を設定し、教科の発展あるいは教科を学ぶ意欲となる領域を総合学習とする考えは、筆者の考える総合学習と教科教育における連携の一方法となりうるものである。

1970 年は、総合学習に関する様々な実践が展開された。総合学習と教科教育の関係について以下に検討する。たとえば、信州大学附属長野小学校(1975)の総合学習は、低学年を中心に研究が進められ、中心に「子どもの生活」を据えた研究が行われた。子どもたちの生活を中心にして学習を展開すると、子どもたちがその生活の中から自分たちの発想に基づいた多くの課題を生み出してくる。教科的な課題から追究させることが可能であると報告した。これは総合学習から教科へと発展する姿を示した。総合学習はあくまで1つの領域であり、教科の発展として総合学習を位置づけた方法である。

広島大学教育学部附属小学校では総合学習を多くの仲間とともに協働し協力しながら経験を深め、自分たちの生活文化を豊富に、しかもより価値のある物にしていくといった活動の機会を得させようとする領域と定義した。広島大学教育学部附属小学校では、総合学習を教育課程の3領域に位置づけ、教科、文化的活動、自治的活動に分け、文化的活動の中に自主研究と総合学習を含めている(岡部 1973)。成城学園初等学校では8つの領域を持ってカリキュラムを編成し、教科との並びに総合教育が並列に扱われている。経験をより豊富にする領域として「散歩科」「遊び科」「読書科」「経験科」の四教科を特設して行った。意図する何かを教えるといった指導意識を前面に押し出さず、時間・場所・用具を設定し、その中において子どもたちの持つ能力・興味・自主性にもとづく活動を存分にさせるというものである。ゆえに、経験を豊富に積ませるという目標に集約している。広島大学教育学部附属小学校及び成城学園初等学校の総合学習は教科との並びとして展開された。この並びにおいて、総合学習は、他の教科との連携も視野に入れていることが伺える。

福井県武生市立武生西小学校では、活動学習と名付け、各教科で得られた分析的知識をいかに総合するかを学ぶ場であり、その学習を通して人間らしい資質の調和的発達、自発的に楽しんで実践し続けることの大切さを体得させる学習である。ここでは特活、社会、道徳を取り込み、理科、音楽、図工、体育を取り込んだ図 1-2 が示されている。教科の一部の時間を活動学習に宛て、教科と一部連携させた実践が展開された。東京都板橋区大山小学校教諭の鈴木は、教科内容を自主編成し、教科の一部を取り込んだ総合学習の展開を行った(鈴木、

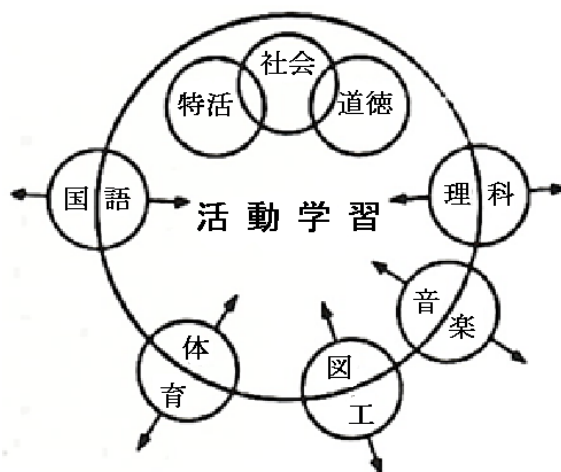


図 1-2 武生西小学校の活動学習

1977)。武生西小学校の活動学習同様に、教科の一部を取り込んだものである。両校の実践は、総合学習と各教科は密接に関連する。総合学習に教科教育の一部を取り込む方法である。筆者の連携とは、一部を取り込む方法ではない。あくまで教科教育と総合学習は別領域である。

遠山啓(遠山, 1976)は教育内容を「術・学・観」の3つの領域(図 1-3)に分けた。術とは手足を動かしものをつくる、目や耳で体験し学ぶ領域である。学とは国語、算数などの個々の教科の領域である。観は、雑多な地質としてつまこまれている知識や技術を総合して、それらを統一し、それを世界観、社会観、労働観、職業観などまでに高めるような領域である。教育内容という大きな建物の中で「術」は土台、「学」は柱、「観」は屋根に相当する。学はそれだけでは孤立して立ってお互いの連関がほとんど無い。その上に屋根に相当する「観」がのってそれらを結びつけ、統一する。そこで、総合学習と各教科を結びつけ、それらを統一する新しい形態の学習が必要であり、各教科と総合されたあらたな時間を設定すべ

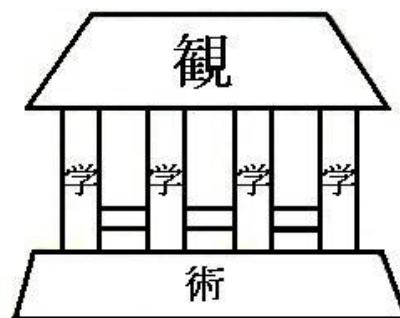


図 1-3 遠山啓の教育内容の3領域

きであると論じている。この時間を総合学習と名付けた。遠山は、教育全体をひとつの輪として見たときには、その輪にはっきりと組み入れた総合学習が必要であるという。

筆者の総合学習と教科教育の関係は、総合学習を中心におき、各教科と総合学習を渡りながら授業を行う。つまり、総合学習では、教科では扱わない内容を実施する。各教科教育ではそれぞれの領域の内容を学習する。総合学習と教科学習は連携し、教科の学びが総合で発展する場合、総合での学びが教科へ発展すること場合がある。筆者は、総合学習を中心に置き、輪には教科が配置され、それぞれが関連しているものである。

中心以外は、各教科である。各教科は、教科毎の内容を行うものである。総合学習を中心に据えた1つの指導法を提案するものである。

(2) たたら製鉄実習と教科教育との連携

筆者の総合学習を中心に置き、教科と連携させるにはどうすべきなのか。

久津見実践（久津見，1980）では、小学校において「鉄作り」が可能であることを示した。久津見は社会科のオリジナル教科書を用い、自主編成した実践である。そのため、鉄作りを行うにはカリキュラムの上では一般化は難しかった。一瀬実践（一瀬，1987）は久津見実践を参考にしているが、カリキュラムに位置付けられているかは不明である。高嶋実践（高嶋，1988）は中学校の技術家庭科の一部として行われた。石見西小学校実践（石見西 2001, 2002）は、年間指導計画に位置づき、各学年毎に活動計画が練られている。この実践は学校体制の中で、総合的な学習の時間（文部科学省，1998）の年間指導計画に位置づけて継続した。しかし、指導者が専門家であり、学校教育の中で製鉄実習の準備、実施まですべてが学校関係者で行われたわけではない。この3実践から言えることは、学校教育の中でたたら製鉄実習を実施し、学びを充実させていくには、学校教育の中に位置付いた教科と、たたら製鉄実習を結びつけていくこと、さらに教具として扱うたたら製鉄用の炉は、教員が製作し、教員が中心となって実施すること、もしくは学校と連携した人や地域が実施し、継続できる体制を作ることが重要である。学校教育に位置付いたたたら製鉄実習は、総合学習と教科教育との連携の考え方を用いる事で、たたら製鉄実習が学びの中心となり、構造的に学ぶ事ができる（図1-4）

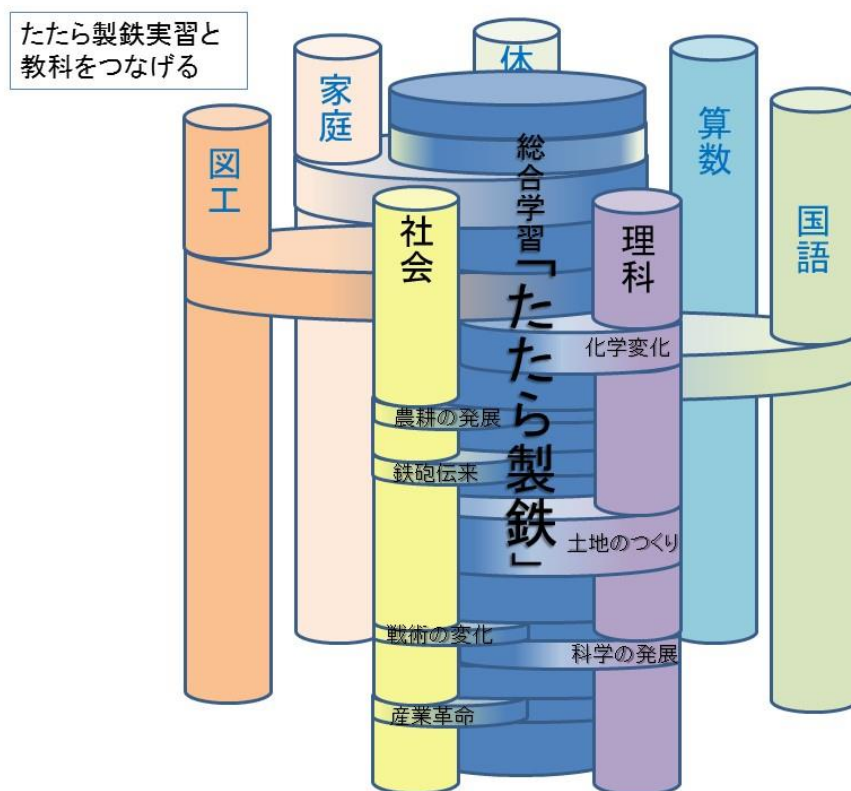


図1-4 たたら製鉄実習と教科教育との連携の概念図

図1-4は、たたら製鉄実習を行った場合を示している。例えば、2008年の指導要領での実施とする場合（文部科学省、2008）では、6年理科の単元「ものの燃え方」と関連させて、理科では、ものを燃やすには、空気（酸素）が必要なことを学ぶ。たたら製鉄実習では、ふいごを用いて送風することがどのような意味を持つのか、考えさせながら実習させる。さらに、実習後にものの燃焼と、本実習の送風を関連付けて考察させることも可能であろう。たたらでは、送風を弱くする。つまり酸素の供給を極力弱くする。その意味を考えさせることも可能である。この場合、化学変化の考え方も必要で、発展的な内容となるが、炭を弱い送風によって、不完全燃焼させ、一酸化炭素を発生させ、磁鉄鉱に含まれる酸化鉄が鉄に変化する状況を考察させることも可能であろう。また、6年理科「土地のつくり」と関連させ、理科では火山による土地の変化を学ぶ。その際、火山噴火によって溶岩が流れ、土地が変化することを理解する。たたらでは、砂鉄を還元させ、不純物が溶融したノロが生成させる。このノロを観察させることで、岩石が溶融した溶岩の流出や、これらが粉碎して火砕流となって流れ下る場合を想像させることができる。この実習後、火山災害について考察させることで、噴火による災害から守るためには、どうすべきかを考察させることも可能であろう。6年社会では、日本の歴史を人物を中心に学ぶが、織田信長は鉄砲を戦術として効果的に扱ったこと、鉄砲はポルトガル船によって種子島に伝わったことを学ぶ。たたら製鉄実習では、砂鉄から鉄をつくる過程を学ぶ。実習後、なぜ種子島から日本中に鉄砲が伝わることをできたのかを考察させることも可能であろう。種子島には砂鉄が広く分布する。さらにたたらの遺跡があることから、歴史と関連させて鉄と鉄砲の関係をより深く学ぶことができるだろう。このように1つの歴史の中で鉄の役割を考察させることも可能である。6年国語では、説明文での1つの素材として、6年算数では割合などの事例としてなど内容を検討することでたたら製鉄実習と関連させることは可能である。総合的な学習の時間の第4章指導計画の作成と内容の取り扱い、第1節指導計画の作成に当たっての配慮事項（文部科学省2008b）において、「各教科、道徳、外国語活動及び特別活動を含めた全教育活動の中で、総合的な学習の時間の位置づけを明確にすることが重要である。各教科、道徳、外国語活動、総合的な学習の時間及び特別活動が適切に実施され、その上で相互に関連し合うことではじめて教育課程はその機能を果たし・・・」と記載されているが、具体的な事例は示されても、そのイメージはつきにくい。筆者は、総合的な学習の時間をものづくり実習と位置づけた場合で、教育課程を組むことでより具体的なイメージがつくと考えている。この教科教育との連携は、たたら製鉄実習を中心に持ってきた場合である。この中心にある総合学習がたたら製鉄実習以外でも構想できることを示す。中心に据える総合学習と教科教育と連携させることで、より深い学びに発展していくものである。

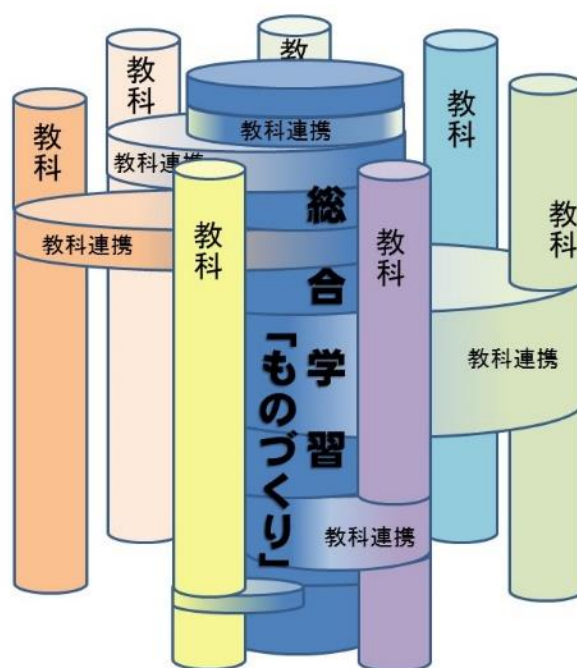


図1-5 ものづくりを総合学習に位置づけた場合

文献

- 海老原治善(1977)：現代学校の教育内容改革と総合学習の意義，総合・合科的学習の教育課程化，明治図書，東京，pp. 30-58.
- 井上 幸英(1977)：武生西小の低学年の教育課程，総合・合科的学習の教育課程化，明治図書，東京，pp. 155-190.
- 一瀬清 (1987)：砂鉄から鉄ができた，ひと，太郎次郎社，東京，第 179 号，pp. 78-88.
- 石見西小学校(2001)：古代たたらに再挑戦ふるさと石見，日南市立石見西小学校研究紀要，pp. 28-62.
- 石見西小学校(2002)：古代たたら挑戦Ⅲふるさと石見，日南市立石見西小学校研究紀要，pp. 22-60.
- 久津見宣子 (1980)：鉄をつくる，授業をつくる，東京，1，pp. 32-58.
- 教育制度検討委員会 (1972)：日本の教育をどう改めるべきか，勁草書房，東京，p19. 20.
- 今野健太郎 (1977)：戦前・戦後における総合・合科的学習の問題点，総合・合科的学習の教育課程化，明治図書，東京，pp. 21-40.
- 文部省(1998)：小学校学習指導要領，文部科学省，p.2,3.
- 文部科学省(2008a)：小学校学習指導要領，東京書籍，東京，p69.
- 文部科学省(2008b)：小学校学習指導要領解説 総合的な学習の時間編，東洋館出版社，東京，p21.
- 岡部充男(1977)：広島大付小の「総合学習」の実践，総合・合科的学習の教育課程化，明治図書，東京，pp. 67-96.
- 信州大学附属長野小学校(1975)：総合学習の主張，明治図書，東京，pp. 1-232.
- 鈴木孝雄 (1977)：第一階段の総合学習，総合学習の探求，勁草書房，東京，pp60-77.
- 庄司和晃 (1977)：成城学園初等学校の原初的な総合教育，総合・合科的学習の教育課程化，明治図書，東京，pp. 97-124.
- 高嶋幸男 (1988)：小型炉による「鉄づくり」操業実験 北海道教育大学紀要第 42 号，pp. 71-89.
- 遠山啓(1976)競争原理と超えて-ひとりひとりを生かす教育，太郎次郎社，東京，pp. 1-268.
- 梅根 悟(1977)：総合学習思想の近代教育思想史上の位置，総合学習の探求，勁草書房，東京，pp2-29.

第2章 教材用小型たたら製鉄炉の開発

1 小型たたら製鉄炉の開発

日本の古代たたら製鉄を小学校で追体験する試みは、1974年「社会科の授業をつくる会」の久津見宣子に始まる（久津見，1980）。この古代たたら実践を検討し、学生でも鉄を作る方法を模索して開発されたのが1987年、北海道教育大学釧路校教育方法学高嶋研究室での耐火断熱レンガを用いた炉である（高嶋，1988）。また1995年、ペール缶の底をくりぬき、オリビン砂で裏張りした炉を3段重ねて行う炉（片山他1999）などにより室蘭工業大学を中心にたたら製鉄出前授業が行われている。これら実験で比較的多くの量の砂鉄を還元し鉄の塊（以降、鉄の塊をケラと記載する）することに成功した。

2002年に文部省の学指導要領（文部省，1998）が改訂され総合的な学習の時間が導入されるに伴い、小中学校で地域と産業や歴史を結び付けた授業が広く展開されるようになった。古代以来の「鉄づくり（たたら）」操業の追体験も、伝統的な製鉄技術者や研究者さらに操業実践経験者が存在している島根県や鳥取県の小中学校で行われてきている（石見西小学校，2001・2002）。

久津見実践及び高嶋実践のレンガ炉は大型であり、試行錯誤しながら、時間をかけて実践に至っている。また室蘭工業大学実践、石見西小学校実践では、専門的な技術者を招聘して実践を行っている。筆者が考える『小学校の1日の授業時間で、地域から産出する砂鉄や木炭を使い、低コストで、専門的な技術者を迎えずに教員が容易に行なえるたたら製鉄』には至っていない。筆者は1999年、久津見(1980)、高嶋(1988)、片山他(1999)の実践を検討し、『小学校の1日の授業時間で、地域から産出する砂鉄や木炭を使い、低コストで、専門的な技術者を迎えずに教員が容易に行なえるたたら製鉄』のための教材用小型たたら製鉄炉の開発を行った。

(1) 「鉄づくり」操業の基本

久津見(1990)や高嶋(1988)によるレンガ炉や片山(1999)によるペール（ペール）缶を積み上げて行う鉄づくりの技術を検討し、両者の鉄作りから基礎的な技術をまとめた。

- ① 炉は、炉高80～100 cmである。
- ② 炉底は、炉口よりも小さい形か同等の大きさが良い。
- ③ 土台は、湿気を防ぐため、コンクリートブロックを敷く。その上に赤レンガを敷く。

室蘭工大実践では、さらに鋼板（厚さ10mm）を敷く

- ④ レンガ炉は、すべて耐火断熱レンガを使用する。
 - ⑤ 炉の乾燥を十分に行ってから実験を行う（火を入れてから2時間程度）。
 - ⑤ 人力、動力を含め送風器は、必要である。
 - ⑥ 砂鉄の1回の装入量は、300g～1000gである。
 - ⑦ 炭の1回の装入量は、砂鉄と同量または、1.5倍の重さにする。
 - ⑧ 炭の大きさは約3センチ四方にする。
 - ⑨ 炭酸カルシウムを砂鉄質量の10分の1質量分を加える（この炭酸カルシウムは近代製鉄においてノロ（製鉄の際に生じる鉄滓をノロという）の融点を下げるために用いている。室蘭工業大学実践で利用している）。
 - ⑩ 羽口は、口径60mmで、1ヶ所に設ける。角度は水平面から30°から40°の角度を持って装入する。
- これらの技術を参考に、小型レンガ炉の開発にあたることとした。

教材用小型たたら製鉄炉開発にあたり、小学校で活用できる事という条件がある。そのためには、以下の条件を満たすことである。

- ①確実に鉄ができること
- ②小学生が安全に扱えること。
- ③購入または入手が可能な素材であること
- ④学校の就業時間内にすべてが終わること。

これらの条件を満たすために、炉の開発では以下を検討した。

炉の構造は、耐火断熱レンガをくみ上げてつくるため、最低の大きさは、レンガを口の字に組む大きさである。この炉で確実に鉄ができ、これに加えて、以下の内容を確定していくことが必要である。

- ①小学校3年生程度（総合的な学習の時間は3年生より実施のため）で、炉の中に炭や砂鉄が装入でき

るようにするため、炉の高さを確定する。

②ホームセンター及び通信販売で購入可能である炭材を確定する。

③炉に送る送風量を確定する。

④炉に装入する砂鉄量を確定する。

⑤身近な場所、あるいは入手可能な砂鉄を確定する。

(2) 教材用小型たたら製鉄炉の基本設計の確立

1999年11月4日、22日、24日に北海道立理科教育センター（現在は北海道立教育研究所附属理科教育センター）において以下の実験を行った。

実験1 炉高を変えた場合の鉄の形状及び生成された鉄の質量比較

昭和初期の靖国たたら炉の高さは炉底から117cm、昭和42年に復元実験が行われた菅谷たたら炉の高さは炉底から110cm（窪田、1973）である。久津見（1990）や高嶋（1988）によるレンガ炉や片山（1999）によるペール缶炉も約1mである。小学生3年生の実施を考慮し、できる限り小型にしたい。小型でより多くの鉄ができることを考慮し、レンガを14段積んだ2号炉（炉底から1361mm）、10段積んだ3号炉（炉底から897mm）、8段積んだ4号炉（炉底から665mm）で検討する。

高さ実験の準備

炉高を変えた『たたら炉』（図2-1～25）、砂鉄6kg、炭酸カルシウム600g（砂鉄と炭酸カルシウムの質量比を10:1にして混合）、木炭ペレット（木炭を約3cm四方にしたもの）約20kg、熱電対温度計（1600℃まで測定できるR熱電対）、送風機（市販のブロア）、送風管（φ60mm×50cm）、送風ホース（洗濯機用ホース）、スライダックス（0v～120v、風量調整用）軍手、スコップを各2組（砂鉄、木炭装入用）

・木炭は、下川町でカラマツ材を用いた。・砂鉄は室蘭工業大学で実験用として納入したオーストラリア産（タアロア）の砂鉄を用いた。



図2-1 1999年11月4日 実験炉手前:2号炉 中:3号炉



図2-2 1999年11月22日 実験炉（奥側:3号炉 中:4号炉）

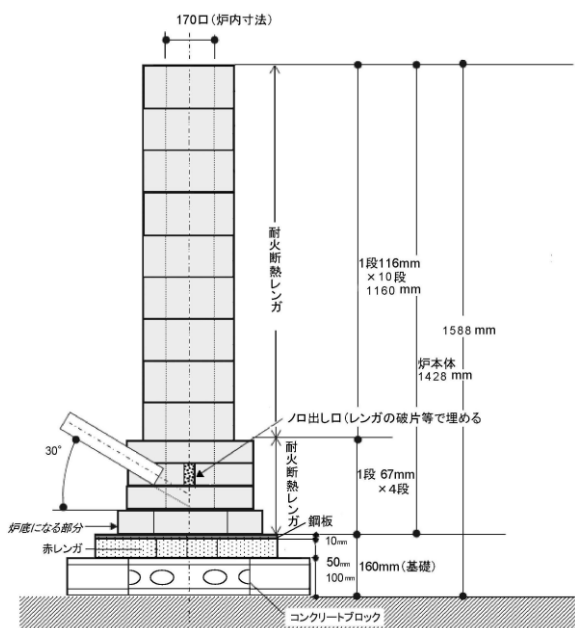


図 2-3 2号炉設計図(炉底から 1361mm)

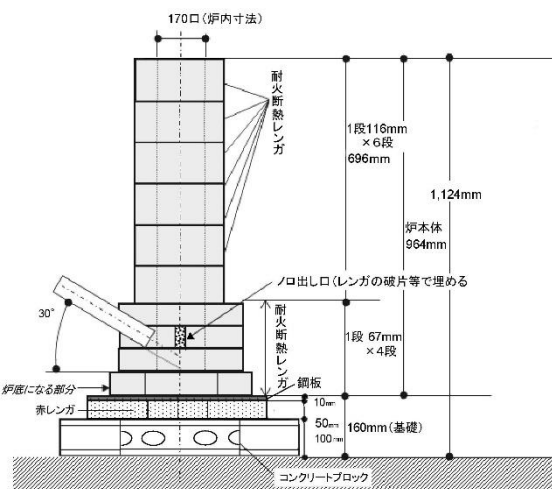


図 2-4 3号炉設計図(炉底から 897mm)

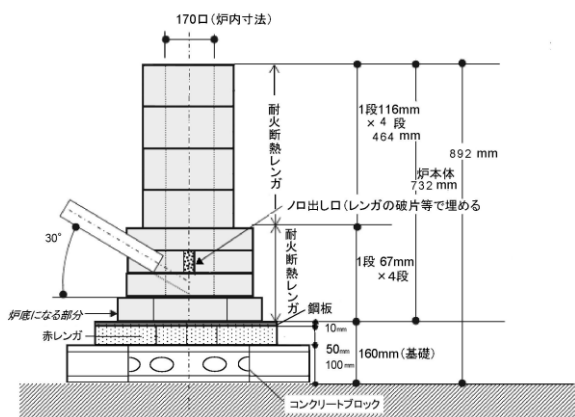


図 2-5 4号炉設計図(炉底から 665mm)

実験準備

- 1 3m 四方の平らな乾燥した場所を確保する。
- 2 図 3～5 のように炉を組み立てる。
- 3 レンガ炉は 1～3 日置いて乾燥させる。

実験

- 1 少量の木炭をいれて点火する。
- 2 弱い送風を開始し、木炭を積み増しする。
- 3 木炭を最上端まで装入し、送風量を増加させる。
- 4 約 3 時間木炭を加えながら、強制乾燥させる。
- 5 炉頂から火炎が立ち昇り、上端の炎が 600℃以上を確認する。
- 6 送風量を加減して、木炭の降下速度を 2cm/分程度に調整する。約 1 時間、木炭のみを装入して炉を乾燥させる。
- 7 炉全体が乾燥し、レンガからの湯気が消え、さらにオレンジ色の炎が出始める。
炉頂から 10cm 木炭が下がった時点で、砂鉄 200g を木炭上面に装入する。
- 8 木炭ペレット 300g を装入する。

- 9 炉頂から木炭が 10cm 下がった時点で、方法 1, 2 を 30~40 回繰り返す。
- 10 時々、炉の温度、炉頂（最上部の炭から 10cm 程度上）の温度を測定し記録する。
（炉底 1450℃ 炉頂 600℃以上を確保する）
- 11 砂鉄を 20 回装入するごとに炉底のノロ出し口よりノロ出しを行う。
- 12 約 6000 g の砂鉄を装入したら、砂鉄および木炭ペレットの装入を中止する。
- 13 最後のノロ出しを行う。
- 14 送風を中止する。
- 15 木炭が燃え尽きるのをまつ。
- 16 冷却したのち「ノロ」と「ケラ」をとりだす。

表 2-1 高さを変えた場合の炉の砂鉄質量と生成した鉄の質量の割合

実験月日	11 月 4 日	11 月 22 日	11 月 24 日
炉の名称	煉瓦 2 号炉	煉瓦 3 号炉	煉瓦 4 号炉
煉瓦の段数	13 段（縦積 9 段）	10 段（縦積 6 段）	8 段（縦積 4 段）
炉底からの高さ (mm)	1361	897	665
炭	松	松	松
1 回の砂鉄量	200g	200g	200g
砂鉄	オーストラリア産	オーストラリア産	オーストラリア産
炉羽口附近温度	1450℃	1450℃	1450℃
ノロ出し口	炉底上 6 cm	炉底上 6 cm	炉底上 6 cm
羽口数	1	1	1
ケラ／砂鉄 （質量比）	0.19	0.12	0.08
木炭総量	19900g	26850g	15000g
砂鉄総量	6200g	7400g	6000g
大きいケラの質量	660g	900g	150g
鉄の総質量	1180g	910g	460g
ケラの出来方	炉底（羽口附近）にケラ ができる	炉底（羽口附近）にケラ ができる	大きなケラができず、小 さなケラが多数

結 果

炉高が 665mm になると、鉄が成長できず、鉄粒として散在するようになる。また、生成率も悪くなり、炉高が低くなると炉の中で砂鉄を還元する環境が悪くなるために、砂鉄のまま炉の周りに付着すると考えられる。897mm では、1361mm より還元率は下がるが、ある程度の鉄の塊が成長していたことから、炉の中に還元する環境ができ、羽口附近の高温が維持されていた。この実験では、レンガを炉底より 897cm（レンガを 10 段の設計図（表 2-1）以上とすることで鉄の塊が成長できると判断した。

考 察

昭和初期の靖国たたら炉の炉高は炉底から 117 cm、昭和 42 年に復元実験が行われた菅谷たたら炉の炉高は炉底から 110 cm（窪田 1973）である。炉の口径は大きく違うが、高さは 1m 前後というのが砂鉄を還元する環境をつくる条件として適当であることが本実験でわかった。しかし、あくまでも条件がすべてそろっている条件での実験ではない。あくまでも本実験の上での結論であるため、さらに検証が必要である。

実験 2 炭材を変えた実験の比較

窪田（1973）は、古代製鉄の遺構といわれている地点がほとんど松林に囲まれた場所にあり、また、木炭や栗炭がたたらにおいてよい炭であると指摘した。このことについてホームセンター等で購入しやすい

檜炭及び、北海道下川町で生産しているカラマツ炭を使い検討する。

準 備

木炭（カラマツ炭・檜炭）、その他の道具は実験 1 を参照

方 法

操作の手順は実験 1 を参照。レンガ炉（10 段）とペール缶炉を利用した。

ペール缶の送風器は 100V 3.5A 2.3 m³/min（日立 RB20 ブロア）を使った。レンガ炉の送風器は 100V 3.1A 3.1 m³/min（東芝 HB-310A ブロア）を使った。

結 果

結果は表 2 にまとめた。

松炭は、燃焼しやすく炉内で燃えて落下する速さが一定である。しかし檜炭は、燃焼が始まると高温になりすが、燃えて落下する速さが不規則で、炉の中に空洞ができやすい。そのため炉内の還元される環境が松炭よりも劣った。ゆえに、北海道内で実施する際は、カラマツ炭を購入すると良い。

実験 3 送風量を変えた実験の比較

窪田（1973）は、1969 年にたたら復元実験の記録の中で、送風を動かすモーターからの送風量は、送風開始時には減速されて、風量 0.2 m³/sec（12.0 m³/min）であるとした。たたら復元炉は 2650mm×930mm×1100mm の容積を持ち、本実験炉（170mm×170mm×1080mm）のおよそ 87 倍の容積と 85 倍の表面積を持つ。また、たたら復元炉の送風管は 16 本ずつ両方向から送風され、32 本の送風管 1 本ずつに送風される風量は 0.32 m³/min（12.0 を 32 等分する）である。本実験炉の送風管は 1 本である。本実験の送風能力は 2.3 m³/min ゆえに、能力を 7 分の 1 程度つまり、15V～20V 程度に絞ることが要求される。

また、窪田（1973）は、1969 年にたたら復元実験の記録の中で、送風量は、送風開始後には、極低風であるが、送風開始後 12 時間で低風に変化すると図で記載している。その送風能力は記載がない。ここで、15v 程度を初期とし、全般にはそれよりも強く送風すると判断し、20V～25V 程度に絞った場合と、能力を半分程度 40～45V の場合で検討する。

準 備

ブロアでの送風（20～25V 及び 40V～45V）、その他の道具は実験 1 を参照

方 法

操作の手順は実験 1 を参照。ペール缶炉を利用した。ペール缶の送風器は 100V 3.5A 2.3 m³/min（日立 RB20 ブロア）を使った。

結 果

結果は表 2 にまとめた。

風量では、送風量を上げるにより炉内が 1600℃を超えた。高温のために溶けて平たいケラを生成することができた。たたら本来の鉄の塊（ケラ）とは様相を異にする。窪田（1973）によると、銑（ずく）が生成されたものと思われる。鉄の性質に変化があったものと思われるが、鉄を作るという教材の視点からは送風量をやや多くすることは問題ないと考える。さらに強くすることは検討していないが、より送風を多くすることで逆に酸化が進むことが懸念される。

実験 4 砂鉄量を変えた実験の比較

窪田（1973）は、1969 年にたたら復元実験の記録の中で、装入する砂鉄は当初は 3kg 程度、後に 18kg になると記録している。炉の表面積を考え、85 分の 1 程度の割合とすると、初めは 35g 程度、途中から 200g 程度である。35g の装入では、学校の就業時間では大きな鉄の塊ができないことから、ここでは、最大量と考え 200g 装入の場合と、より大きな鉄の塊をつくることを考え、2 倍の 400g 装入を検討する

準 備

砂鉄（装入量 200g, 400g）、その他の道具は実験 1 を参照

方 法

操作の手順は実験 1 を参照。ペール缶炉を利用した。レンガ炉の送風器は 100V 3.1A 3.1 m³/min

(東芝 HB-310A ブロア) を使い、能力が大きいので 15~20V で実施する。砂鉄はオーストラリア産 (タアロア) の砂鉄を用いた。

結 果

結果は表 2 にまとめた。

砂鉄量を 400g にすると、砂鉄のままで炉底にたまる状態になり、ケラが成長できず、粒の鉄が多数生成された。砂鉄が粉のまま炉底にたまる現象が見られた。このことから、砂鉄量は、本実験炉の大きさでは 200g が適当である。これは、窪田 (1973) の、1969 年にたたら復元実験の記録の中で、装入する砂鉄が後に 18kg になると記録している。炉の表面積を考え、85 分の 1 程度の割合とすると、200g 程度であり、妥当な数値である。

表 2-2 炭材・送風量・砂鉄量を変化させた場合の砂鉄質量と生成した鉄の質量の割合

	11月4日	11月22日	11月22日	11月24日	11月4日	11月22日	11月24日
炉の名称	煉瓦 2 号炉	煉瓦 2 号炉	煉瓦 3 号炉	煉瓦 3 号炉	ペル缶 1 号炉	ペル缶 1 号炉	ペル缶 1 号炉
煉瓦の段数	3 段 (縦積 9 段)	3 段 (縦積 9 段)	0 段 (縦積 6 段)	0 段 (縦積 6 段)			
炉底からの高さ (mm)	1361.0	1361.0	897.0	897.0	105.0	105.0	105.0
炭	松	楷	松	松	松	松	楷
砂鉄	オーストラリア	オーストラリア	オーストラリア	オーストラリア	オーストラリア	オーストラリア	オーストラリア
1 回の砂鉄量	200g	200g	200g	400g	200g	200g	200g
送風器にかけた電圧	15~20V	15~20V	15~20V	15~20V	20~25V	40~45V	20~25V
使った送風器の風量	3.1・/min	3.1・/min	3.1・/min	3.1・/min	2.3・/min	2.3・/min	2.3・/min
炉羽口附近温度	1450℃	1450℃	1450℃	1450℃	1450℃	1450℃以上	1450℃
ノロ出し口	炉底上 6 cm	炉底上 6 cm	炉底上 6 cm	炉底上 6 cm	炉底上 8cm	炉底上 8cm	炉底上 8cm
羽口数	1	1	1	1	1	1	1
ケラ/砂鉄 (質量比)	0.19	0.08	0.12	0.05	0.23	0.11	0.13
実験時間 (本作業)	2時間55分	4時間30分	4時間03分	2時間00分	3時間40分	2時間35分	2時間30分
木炭総量	19900g	6800g	26850g	17600g	25300g	26200g	18800g
砂鉄総量	6200g	38600g	7400g	12400g	7400g	6800g	5800g
大きいケラの質量	660g	230g	900g	300g	1200g	730g	510g
鉄の総質量	1180g	530g	910g	610g	1720g	770g	780g
けらの出来方	炉底 (羽口附近) にケラができた	小さいケラが炉壁や炉底に多数できる	炉底 (羽口附近) にケラができた	大きなケラができず、小さなケラが多数できた	炉底 (羽口附近) にケラができた	炉底 (羽口附近) にケラができた	炉底 (羽口附近) にケラが平たくできる

実験 5 チタン分を多く含む砂鉄とチタン分が少ない砂鉄で行った実験の比較

窪田 (1973) は、たたらで使われた砂鉄において、浜砂鉄は塩分を含みたたらでは使用されていないという。基本は山砂鉄であり、砂鉄含有量の多い、切り崩せる程度に風化した軟質花崗岩の場所から採集していたという。山砂鉄は、帯磁率が高い磁鉄鉱系列の砂鉄である (久城他, 1989) ことから鉄の割合が高く、チタン分が少ない。ゆえに、たたらに適していたと言われてきた。

北海道において、花崗岩は、まずは、日高山脈から北見山地にかけての北海道中軸帯の第三期深成岩類の一部として露出している (前田他, 1986)。また、道南の松前から茅沼にかけて白亜紀の深成岩類が点在する (土谷他, 1986)。その多くは、チタン鉄鉱系列 (久城他, 1989) であって、チタン分の多い磁鉄鉱が含まれる。北海道の砂鉄は、花崗岩を母岩とするとほとんどはチタンが多くなることは前述したが、そのほとんどは安山岩質の火成岩が風化したものや火山灰が洗われて堆積した砂鉄である。安山岩質を母岩とする砂鉄は、チタンを多く含む (長谷川, 1936)。

このことから、北海道の砂鉄を採集してたたらを行うと、チタン分が高い砂鉄になること予想される。ゆえに、磁鉄鉱系列の砂鉄 (タアロア砂鉄) と、北海道別海町雷床丹川河口砂鉄を比較して実験を行う

2001 年 2 月 28 日に北海道立理科教育センター屋外でペール缶による実験炉を設置し、北海道別海町の雷床丹川河口周辺で採集し、水洗後、磁選した砂鉄を使って実験を行った。

準備

炉（実験 1 を参照）別海町雷床丹川河口の砂鉄を磁石で選別

方法

方法は、実験 1 に同じ

結果

鉄が生成され、砂鉄からの生成率は 0.07 である（表 3）。

図 6 の砂鉄の化学分析の比較を見ると、実験 1 ～ 4 で使った砂鉄（オーストラリア・タアロア産）に比べて、鉄の値が 10% 低く、チタンが 10% 高い。砂鉄とケラの質量比では、タアロア産よりも低くなるが、炉底には鉄が結合し、ケラができあがっていた。ゆえに教材用小型たたら製鉄炉では、砂鉄の化学組成の違いに若干の影響はあるが鉄を生成させることができることがわかった。北海道の砂鉄を用いても鉄作りは可能である。

表 2-3 砂鉄を変えた場合の比較

	11月4日	2月28日
炉の名称	ペル缶 1 号炉	ペル缶1号炉
煉瓦の段数		
炉底からの高さ(mm)	105.0	105.0
炭	松	松
砂鉄	オーストラリア	別海雷床丹海岸
1 回の砂鉄量	200g	200g
送風器にかけた電圧	20～25V	20～25V
使った送風器の風量	2.3・／min	2.3・／min
炉羽口附近温度	1450℃	未測定
ノロ出し口	炉底上8cm	炉底上8cm
羽口数	1	1
ケラ／砂鉄 (質量比)	0.23	0.07
実験時間（本操業）	3時間40分	2時間50分
木炭総量	25300g	26000g
砂鉄総量	7400g	7800g
大きいケラの質量	1200g	213g
鉄の総質量	1720g	540g
けらの出来方	炉底（羽口附近）にケラができた	炉底（羽口附近）にケラが平たくできる

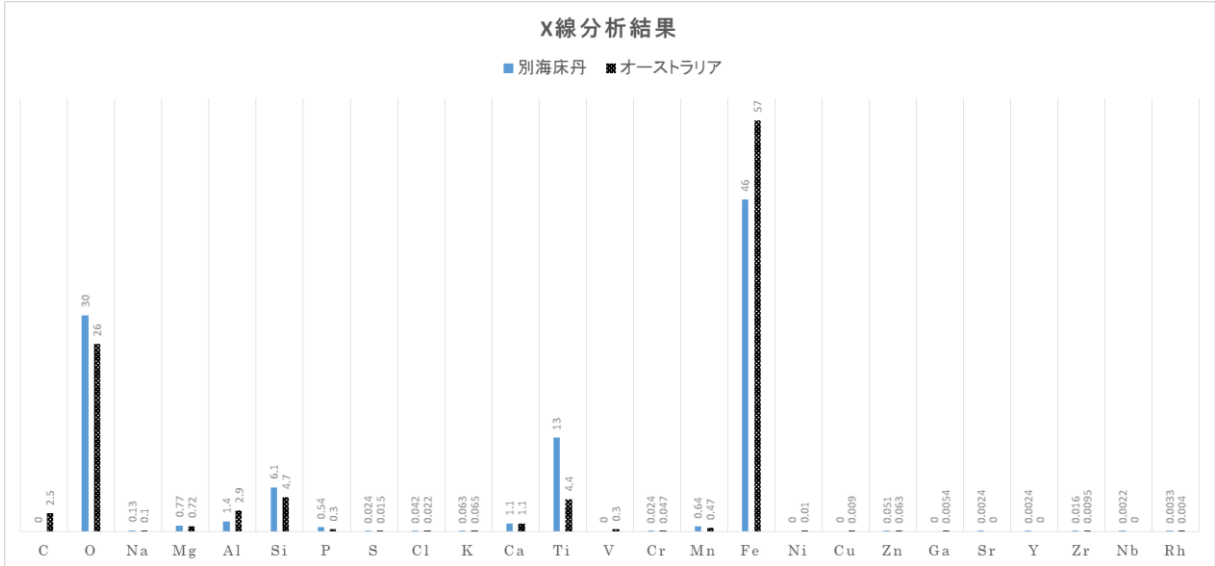


図 2-6 別海床丹海岸砂鉄及びオーストラリアタアロア砂鉄の成分化学分析

(3) 教材用小型たたら製鉄炉（第 1 期）

(2) で検討した結果より得られた耐火断熱レンガを使った炉における『鉄づくり』の方法を以下に記録する。

① 炉の構造

炉の下部構造は、平らにした土地に砂を敷きその上に圧さ 100 mm のコンクリートブロック、さらに赤れんがをコンクリートブロックの上に敷き詰めて土台を作る。土台の上に厚さ 10mm の鋼板を敷き、炉の土台の上に耐火断熱レンガを耐火モルタルでつなぎながら敷いていく。その上は、口の字型にレンガを組んでいく。炉の高さは炉底から 897 mm で炉底から 3 段まではノロ出し口や送風口が設けられるが、基本的には口径は 170 mm 四方である。レンガは、熱が逃げないようにするため耐火断熱レンガを使う。

自然乾燥は短時間でよい。操業当日は、2 時間程度の十分な強制乾燥を行うとよい。

② 羽口の数と向き

羽口は、口径 60 mm で、1 ケ所に設ける。角度は水平面から 30° から 40° の角度を持って装入する。

③ 炭と砂鉄

炭は、松炭が適当である。北海道では、カラマツ等の利用がよい。松炭を約 3 cm 四方に切って使う。砂鉄は地元でとれる砂鉄を使う。砂鉄には、砂鉄の質量の 10% の炭酸カルシウムを混合させ、ノロ出しの際に粘りが強い時には、炭酸カルシウムの量を増やしてノロを軟化させるとよい。

④ 送風装置

市販のブロアでよい。風量が強いと火炎が上がり危険なため、風量調節のために単巻可変変圧器（スライダック）を用いるとよい。毎分 0.5 m³メートルの送風量が適当である。

⑤ 炉の温度

高温になるとケラが熔融する。そのため本来の鋼を生成させるためには、炉底温度が 1450°C が適当と思われる。しかし、鉄を作るためだけを考えて、温度は炉底が 1450°C 以下にならなければよい。

⑥ 操業時間

教材の観点から本操業 3 時間が適当と思われる。強制乾燥は朝 7 時に火入れをし 3 時間程行う。午後 2 時には炉の解体を行う時間がよい。

⑦ 砂鉄、木炭の装入量と装入時間

操業の基本的な内容は、実験 1 に記載した。

⑧ 必要な道具類（高さ 88cm 1 基を製作する場合）

小学校で操業を行う場合の必要な道具を記録する。

ア 炉の製作

砂（炉底の安定用）、耐火断熱レンガ（丸越 GM15）34 個、断熱レンガ（SK-32）12 個、耐火モルタル（SK-34）1 袋、コンクリートブロック（高さ 10cm）10 個、赤レンガ 18 個、針金（#12・25m）、モルタル（炉土台固定用）、1 m 水道管（送風管）（φ60mm）、送風ホース（洗濯機排水ホース）、送風ブロア、焼き物用粘土（送風管固定及び炉の補修用）（白萩粘土）20kg *耐火断熱レンガ 単価 470 円／個である（2000 年）ゴム手袋、ポリバケツや衣装ケース（モルタル練り用）、のこぎり（耐火断熱レンガを切る場合）、ドラムコード（電源確保）、スライダック（単巻可変電圧器）、ドリル（羽口加工用）

イ 操業時に必要なもの

砂鉄（6kg）、炭酸カルシウム 600g、木炭（20kg）、鋼鉄棒（ノロ出し用）、スコップ（炭、砂鉄装入用）、はかり（炭、砂鉄測定用）、のこぎりかナタ（木炭切断用）、ハンマーとペンチ（炉解体用）、金バシ、水を入れた衣装ケース（ケラ冷却用）、熱電対（1600°C まで測定できる R 熱電対がよい）、耐熱手袋、安全眼鏡（炎から顔を守るため）

(4) 第 1 期の成果と課題

1999 年 9 月 13 日に第 1 回目のたたら製鉄実験を行った。1 回目は、炉の構造から炉内部の温度が上がらず 4.4kg の砂鉄から 0.22kg の多数の鉄粒しか生成させられなかった。そこで 2 回目以降は、できる限り小さくなるように製作したレンガ炉、室蘭工業大学材料物性研究室発案のペール缶炉（片山 1999）で実験を行い、多くのデータを得る事ができている。レンガ炉は子ども達に炉を組み立てることを体験させることができ、ペール缶炉は持ち運びができ、設置も簡単であるというそれぞれの利点がある。それらの炉で約 3 時間の操業を行い、レンガ炉は、砂鉄 6.2kg 木炭 19.9kg から 1.18kg の鉄、ペール缶炉は砂鉄 7.2kg 木炭 20.2kg から 1.72kg の鉄を作ることができた。条件を変える中で行った実験より、鉄づくりの条件と

していくつかの項目を浮かび上がらせ小学校教材として簡便な炉をいかに製作していくかの参考としてのデータを記録することができた。

ここで課題となるのが炉製作の費用である。そのためには、以下の検討が必要である。

① 炉の基本的な構造をそのままに、高価な耐火断熱レンガの割合を下げ、安価なレンガにする。

② レンガ以外の素材による炉を製作する。

さらに、より古代のたたら製鉄法に近づけるには、送風方法である。

③ 足踏みふいごの開発とその活用

次に、だれでもどこでもできることが重要になる。

④教材用小型たたら製鉄炉によって行うたたら製鉄のマニュアル化

次項以降で検討する。

文献

石見西小学校(2001)：古代たたらに再挑戦 ふるさと石見，日南市立石見西小学校研究紀要。

石見西小学校(2002)：古代たたら挑戦Ⅲ ふるさと石見，日南市立石見西小学校研究紀要。

片山博・天野哲也・宮本剛汎・大橋行盛・桃野正（1999） たたら製鉄と日本刀 室蘭工業大学公開講座
テキスト pp.60-61.

久城育夫・荒牧重雄・青木謙一郎編(1989)：日本の火成岩，岩波書店，東京，pp.1-206.

久津見宣子(1980)：鉄をつくる 授業をつくる，授業をつくる社，東京，第1号 pp.32-55.

窪田蔵郎（1973）：鉄の考古学 考古学選書9 雄山閣出版，東京，pp.249-299.

高嶋幸男（1988）：小型炉による「鉄づくり」操業実験 北海道教育大学紀要第42号 pp.71-89.

土谷信高・三木順・西川純一・橋本正彦（1986）：西南北海道の白亜紀深成岩類・白亜紀沈み込みに伴う大陸縁辺部タイプ火成活動・地団研専報,31,pp.33-50.

長谷川熊彦（1936）：砂鉄，工業図書株式会社，東京，pp.1-315.

前田仁一郎・末武晋一・池田保夫・戸村誠司・本吉洋一・岡本康成（1986），北海道中軸帯の第三紀深成岩類・分布・活動年代・主要元素組成・テクトニクス，地団研専報,31,pp.223-246.

文部省（1998）：小学校学習指導要領，文部科学省，p.2,3.

2 教材用小型たたら製鉄炉とその改良

本項では1項で開発した教材用小型たたら製鉄炉を用いて小学校で実践し、小学校でのたたら製鉄実験が可能であるかを検証する。次に、炉の検証を行い、小学校、中学校において、児童生徒が主体的にたたら製鉄に取り組むことができるために、安価とした教材用小型たたら製鉄炉と、「たたら製鉄」が教材として学校で活用できるよう「マニュアル化」を行う。さらに、筆者が開発した教材用小型たたら製鉄炉で、筆者が作成した「鉄づくりマニュアル」を活用した小規模校の実践を取り上げ、マニュアルの妥当性を検討する。

(1) 教材用小型たたら製鉄炉を用いた授業の検証

1999年12月4・5日に白老町立白老緑丘小学校の6年生2クラス(70名)で、理科の授業で『鉄と金属』の授業を行った。4日は、『金属の性質とたたら製鉄』(1時間)として6年生の2クラスで筆者が授業を行い、5日は、朝から1日(5時間)を使って6年生の担任である田中教諭と佐々木教諭、石川教諭の協力で『たたら製鉄』の体験学習を行った。

本授業の目標(6時間)を以下のように設定した。

- ・金属の性質のうち「電気を通す」「高温で溶ける」ことについて実験を通して実感させる。
- ・砂鉄を高温で還元させると鉄ができることを『たたら製鉄』の体験学習で実感させる。
- ・鉄を作るには、たくさんのエネルギーが必要なことについて体験を通して実感させる。

1日目は、教室で、砂鉄と鉄の違いを調べるために電気を通すかという実験を行った。これは砂鉄が固まったものが鉄であるという子どもの概念を崩すために行ったものである。金属の性質の1つである溶けるということを、鉛を使ったものづくりで確かめ、高温にすることによって金属を溶かす事ができるということを学習させた。これらの授業で砂鉄を高温で溶かすだけでは鉄にはならず、なんらかの方法で高温にし、何かをしなければ鉄にはならないことを学習した。

2日目に鉄づくりを行った。朝から降り出した雨は4日午後も降り続き、金属の授業の後に子ども達と一緒にレンガ炉を作る予定であったが、子ども達の炉作りは中止となった。そのため、夕方以降の雨の合間を縫って、6年生の担任教諭、石川教諭、筆者で教材用小型たたら製鉄炉を2基と、ペール缶炉2基の土台を作成した。

強制乾燥

雨は5日の未明に上がり、5日当日は曇であった。炉が雨のために若干濡れており、6時からレンガ炉の強制乾燥を3時間行った。ペール缶炉は7時から組み立て、8時から強制乾燥を行った。

実験

9時から子ども達はクラスごとにレンガ炉、ペール缶炉の操業にあたった。各クラスを2つに分け、それぞれが4～5名ずつ4つのグループにわかれた。4グループは、炭班、炭計測班、砂鉄班、記録班に分かれ、以下の仕事を行い、5回の砂鉄装入ごとに、ローテーションを行った。

- ・炭班 炭をのこぎりで約3cm四方に切る。(1グループ15kgの炭)
- ・炭計測班 炭を300gずつはかる。炭を装入する。
- ・砂鉄班 砂鉄を200gずつはかる。砂鉄を装入する。
- ・記録班 大きな模造紙に書かれた記録用紙に、砂鉄や炭量を装入ごとに記録する。また、内部の様子を観察する。

実験の結果

いずれのクラスも30回の装入を行い、6000gの砂鉄を装入した。レンガ炉は、雨と湿気のため乾燥が充分に行うことができず、炉の温度が上がらなかった。そのために、ケラを大きく成長させることができなかったが、150g程度のケラを生成した。ペール缶炉では、1組で250g、2組で450gのケラが成長した。

(子ども達が実験後にケラを持ち帰ったため正確な値は求められなかった) 操業時間は3時間。午後1時にはケラを取り出し、午後2時には、片づけが終了した。

1日目の感想では、「理科はこんなに楽しいものかと思いました」「理科がもっと好きになりそうです」「鉛が溶けるところをみれてよかった」「鉛を溶かしたら、何かの形にできることがわかった」「砂鉄に鉄という字が入っているのに鉄ではないということがわかった」 反面、「鉛づくりをもっとゆっくりやれた

かった」「テスター君でもっと探してみたかった」「磁石ですいつくものをもっと探してみたかった」などの感想もあった。時間的な制約があり、内容が豊富であったために、全員が満足するまで体験ができなかったが、「鉄と砂鉄の違い」「金属が溶けること」は理解されていた。

2日目の感想では、「鉄が少ししかできなくて、とてつもなくエネルギーをつかうんだな」「少ない鉄だったけど、苦労したせいかいっぱいできたように思った」「鉄を作るのにこんなに苦労するとは思わなかった。身の回りの鉄がこんな風につくってきたなんて」「どれくらい入れれば大きな鉄ができるんだろう」「ほんの小さな鉄をつくるのに、たくさんの人、たくさんの炭、たくさんのエネルギーが必要なんだ」など、子ども達自身の中に、ものづくりとエネルギーの問題を考える子、新しい課題を作り始めた子が多くいた。

このことは、子どもたちがものづくりを通して、ものの見方に新しい視点を与えていることがわかる。「やっぱりつくってよかった」「今、うれしくて胸がいっぱいです」などの感想があり、総合的な学習の教材として『人間と自然とのかかわり』を学習する教材の1つであることもわかってきた。

1999年以降、筆者の勤務した北海道・別海町立中央小学校学校における実践や、道内小学校における実践や教員研修、社会教育でのたたら製鉄実習(表2-4)が行われた。いずれも大きな事故もなく、いずれも鉄が生成された。このことにより、小型レンガ炉による「たたら製鉄」が小学校だけでなく、広く実施可能であることが実証された(表2-4)。また、それぞれで利用した砂鉄の化学分析結果をアースサイエンス株式会社に依頼し、ICP発光分析(誘導結合プラズマ発光分光分析)によって成分の分析を行った。結果が表2-5である。小型レンガ炉を用いてからは、水洗した砂鉄は成分にとらわれず歩留(砂鉄(g)から得た鉄(g)の収量の割合)17%以上を確保している。このことから、小型レンガ炉によるたたら製鉄においては、砂鉄に含まれるチタン含有量は鉄のでき方には影響は少ないことがわかった。つまり、小型炉、特に開発した小型レンガ炉を用いると道内のどこの砂鉄を用いても子どもが「できた」と実感できる鉄が確実に出来上がることがわかってきた。

表2-4 1999年から5年間にわたった教材用小型たたら製鉄炉による実践検証

実施年月日	実施した場所(学校)	対象	炉数	砂鉄(kg)	けら(kg)	砂鉄/鉄
1999年10月	白老町立白老緑丘小学校	6年生(理科)80名	4基	6	0.45	0.08
2000年11月	別海町立別海中央小学校	6年生(総合)120名	4基	8	1.5	0.19
2001年10月	中標津町立中標津東小学校	4年生(総合)85名	3基	11	1.2	0.11
2002年2月	北海道教育大学釧路校	大学生(集中講義)30名	1基	10	1.2	0.12
2002年8月	自然体験村とこ昆虫の家	4~6年生(自然体験活動)20名	1基	12	2	0.17
2002年8月	北海道立理科教育センター	教員研修(20名)	1基	8	0.8	0.10
2002年9月	室蘭祝津臨海公園	たたらフォーラム(演示)	1基	10	2.4	0.24
2003年9月	黒松内町立中ノ川小中学校	全校児童・生徒(10名)	1基	14	3	0.21
2004年3月	札幌市立伏見小学校	6年生(課外活動)60名	2基	11	1	0.09
2004年5月	北海道立理科教育センター	教員研修(20名)	1基	10.6	0.8	0.08

表2-5 1999年からの使用した砂鉄のICP発光分析(誘導結合プラズマ発光分光分析)

実施年月日	砂鉄採取場所	たたら製鉄実習・実施場所	水洗の有無	砂鉄 (kg)	けら (kg)	砂鉄/ 鉄	砂鉄化学分析値									
							SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	S	
1999年10月	オーストラリア	白老町立白老緑丘小学校		6	0.45	0.08										
2000年11月	別海町雷床丹	別海町立別海中央小学校	軽く水洗い	8	1.5	0.19	5.33	24.90	1.44	65.40	0.01	0.87	2.90	0.89	0.02	
2001年10月	標津町伊茶仁海岸	中標津町立中標津東小学校	軽く水洗い	11	1.2	0.11	1.44	11.45	1.80	81.90	0.01	0.88	1.92	0.77	0.02	
2002年2月	釧路市大衆毛海岸	北海道教育大学釧路校	軽く水洗い	10	1.2	0.12	2.16	12.60	2.15	82.30	0.02	0.67	2.08	0.52	0.02	
2002年8月	小清水町北浜海岸	自然体験村とこ昆虫の家	軽く水洗い	12	2	0.17										
2002年8月	標津町伊茶仁海岸	北海道立理科教育センター	軽く水洗い	8	0.8	0.10	1.44	11.45	1.80	81.90	0.01	0.88	1.92	0.77	0.02	
2002年9月	標津町伊茶仁海岸	室蘭祝津臨海公園	軽く水洗い	10	2.4	0.24	1.44	11.45	1.80	81.90	0.01	0.88	1.92	0.77	0.02	
2003年9月	黒松内町浜中	黒松内町立中ノ川小中学校	軽く水洗い	14	3	0.21	1.56	10.85	2.63	84.90	0.03	0.59	1.83	0.34	0.01	
2004年3月	標津町伊茶仁海岸	札幌市立伏見小学校	軽く水洗い	11	1	0.09	1.44	11.45	1.80	81.90	0.01	0.88	1.92	0.77	0.02	
2004年5月	標津町伊茶仁海岸	北海道立理科教育センター	軽く水洗い	10.6	0.8	0.08	1.44	11.45	1.80	81.90	0.01	0.88	1.92	0.77	0.02	

(2) 教材用小型たたら製鉄炉の改良

安全で、より小型で、確実に鉄ができる「教材用小型たたら製鉄炉」の開発から、10回の実践検証の中で、炉の上位部分に耐火レンガを用いても鉄が生成できることがわかった。結果、炉に使う購入単価の高い耐火断熱レンガの割合を最小限に留める炉を完成させることができた。

この炉の概要を図 2-7 に、炉の設計図を図として示した。また、設計図通りに製作するために、レンガの積み方の要領を図 2-8 に示した。また、図 2-8 の積み方要領に沿って組み立てたのが図 2-9～図 2-15 である。



図 2-7 教材用小型たたら製鉄炉

ノロ出し口はレンガ隙間30mmに粘土や耐火断熱レンガの破片を詰める。

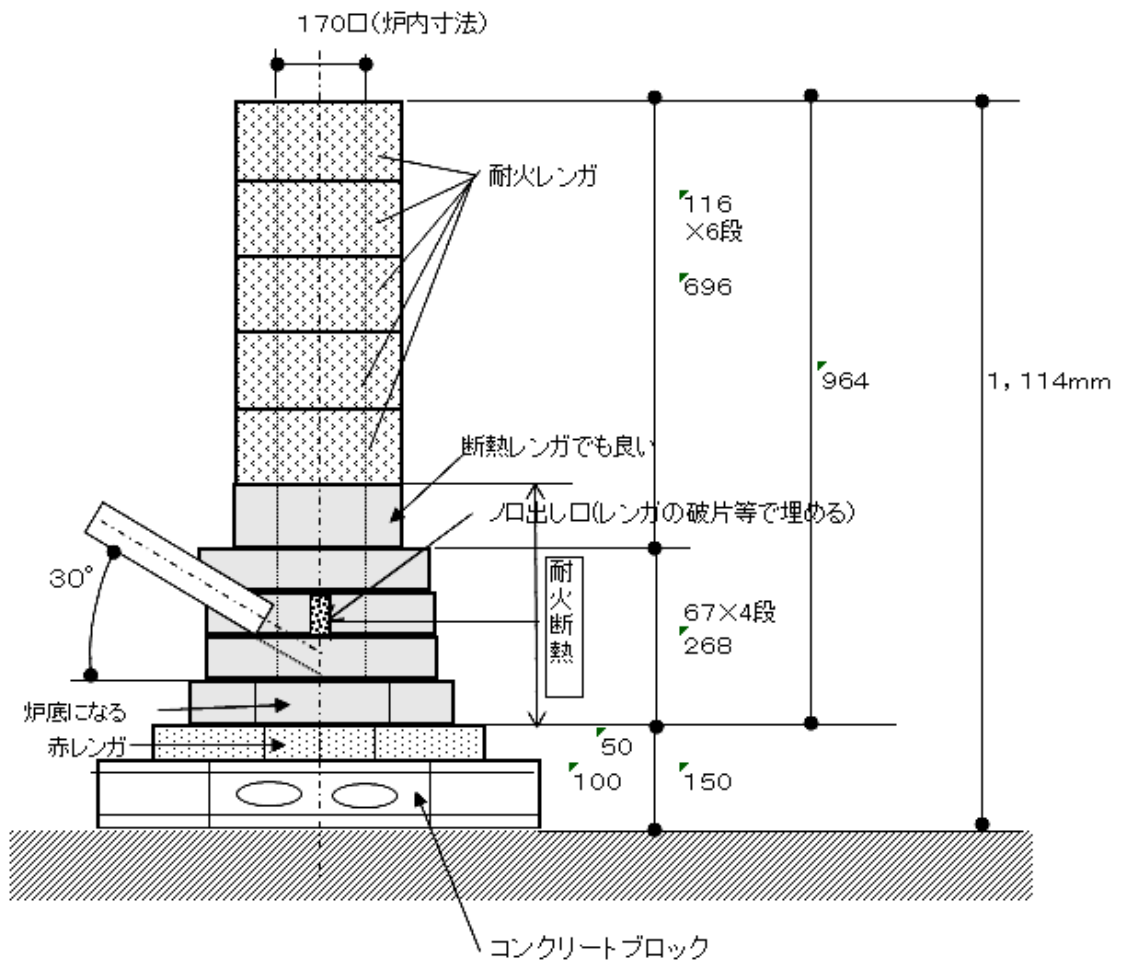
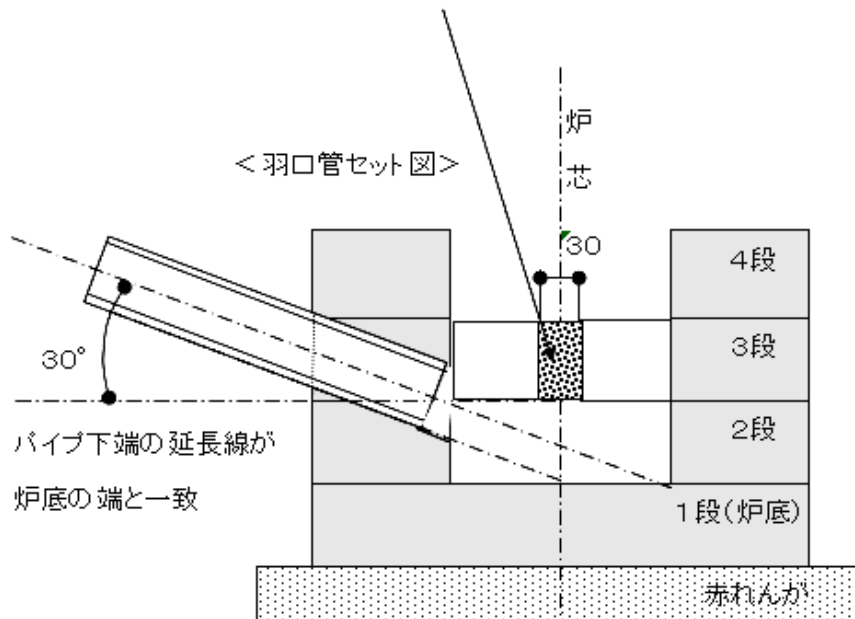


図 2-8 教材用小型たたら製鉄炉の設計図

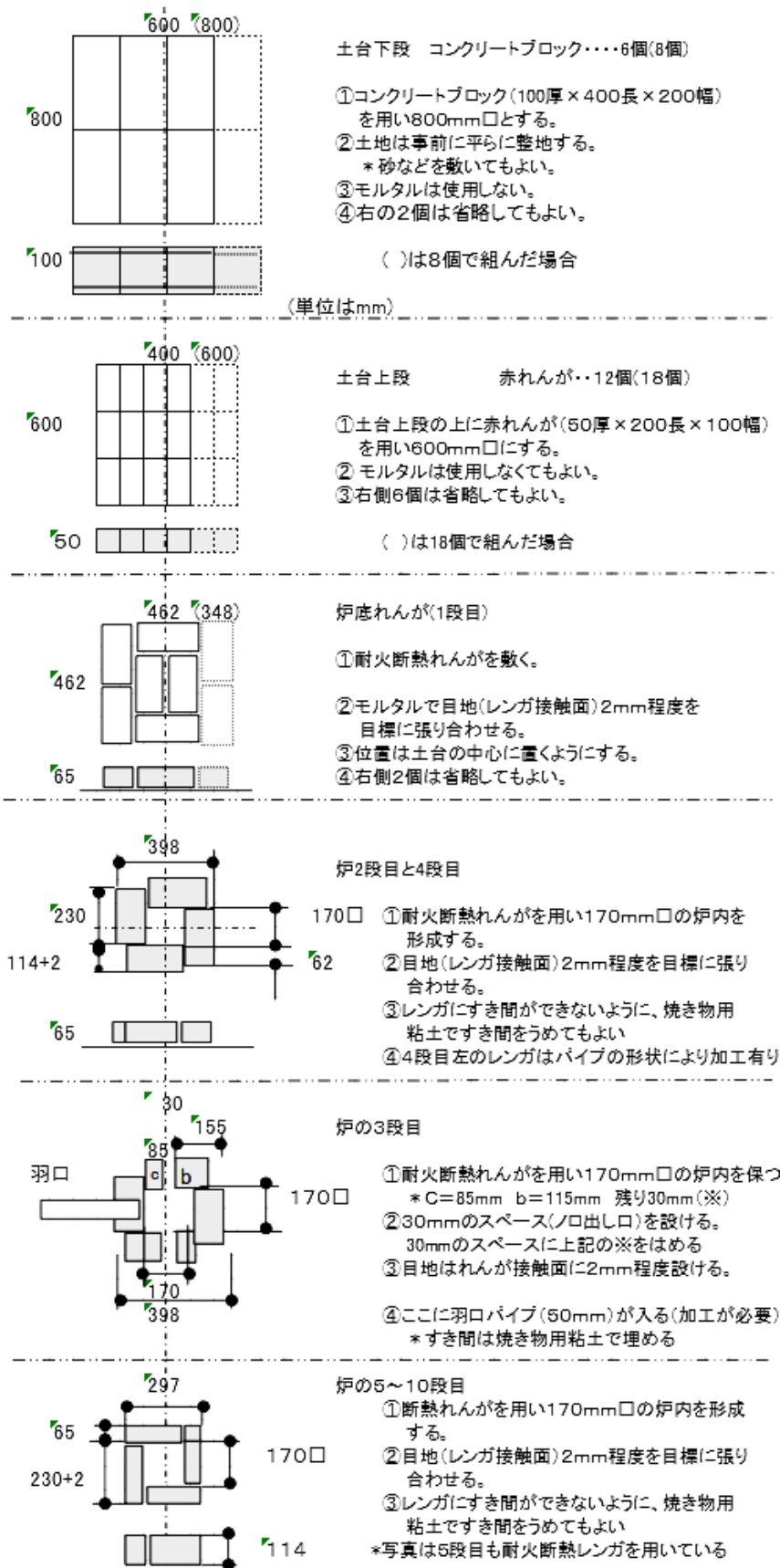


図 2-9 教材用小型たたら製鉄炉のレンガの積み方



図 2-10 炉の土台下段と土台上段

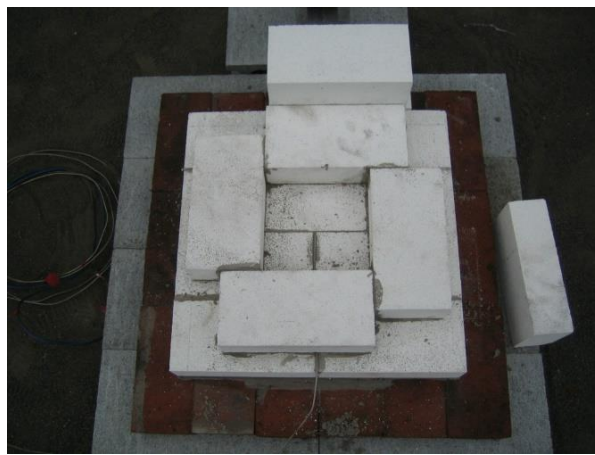


図 2-11 炉底レンガ（1 段目）と 2 段目

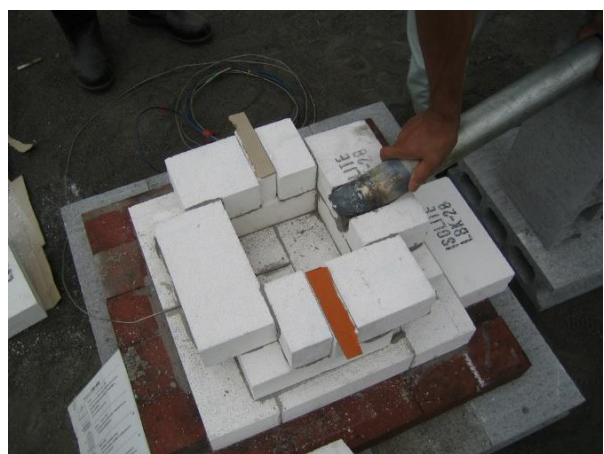


図 2-12 2 段目ノロ出し口



図 2-13 羽口用パイプの設置



図 2-14 4 段目以降の積み上げ



図 2-15 8 段目の様子

(3) 教材用小型たたら製鉄炉によるたたら製鉄実習のマニュアル

10回の検証の結果から、1日の学校の授業時間内で鉄ができるマニュアルを作成することができた。マニュアルの概要を以下に示す。

1 送風について

炉頂が600℃を維持する風量（市販送風機の出力を5分の1程度）とする。送風能力は約0.5 m³/minであり、市販の送風機（ブロー）であれば、20V～25V程度の送風量である。

2 炉の管理について

観察窓から見える炎の色を変えない（炉内温度を一定に保つ）。そのために、木炭が常に炉の中に充填されているようにする。鋼鉄の棒で、木炭装入後、数回に一度、炉の頂上から四隅を突き、木炭を下に落とす操作を行うことも必要である。

3 砂鉄・木炭等の材質

砂鉄は産地に影響されない（多少の塩分が含まれても鉄ができる）。木炭は、松炭が良い（カラマツ・アカマツ等）。切った際の粉炭は炉に入れない。ノロ出しのために貝殻粉を砂鉄質量の10%を添加する。

4 実験に必要な道具および素材

送風ホース（洗濯機の排水ホース）、送風ブロー（送風器）、陶芸用粘土（送風管の固定及び炉の補修用；20 kg）、スライダック（単巻可変電圧器）、ドリル（送風管を入れる部分の加工用）、砂鉄（6 kg）、炭酸カルシウム又は貝殻粉（600 g）、木炭（松炭；20 kgを3 cmずつ切ったもの）、鋼鉄棒（1 m程度；ノロ出しなどに用いる）、スコップ（炭、砂鉄装入用）、はかり（1 kg用；炭・砂鉄測定用）、のこぎり（木炭切断用）、ハンマーとペンチ（炉解体用）、金バシ（鉄をつかむはさみ）、水を入れたペール缶（鉄の冷却用）、熱電対温度計、耐熱手袋、安全眼鏡又は保護面（炎などから目や顔を守るため）

5 鉄づくりの手順

【炉の作製】

（前日又は朝の7:00～8:00）

炉の作成は、図1～図3の瀬系図及びレンガの積み方要領による。

【実験準備】

（8:00～10:00）

- ① 約300gの木炭を炉に入れて点火する。
- ② 弱い送風を開始し、木炭を炉の中に入れていく。
- ③ 火を入れて約20分程度で木炭を炉の最上端まで装入し、送風量を増加させる（図2-16）。
- ④ 炉の中に常に木炭が充填されているように木炭を加えながら、炉を乾燥させ、炉の内部の温度を上げる。
- ⑤ 炉の上部から火炎が立ち昇り、炉の上端の炎の温度（炉の頂の木炭から10cm程度上方）が600℃以上であることを確認する（炎の色がオレンジに見える）。
- ⑥ 送風量を加減して、炉の中の木炭の降下速度を5分で10cm程度に調整する。このとき、送風量は約0.5 m³/minとするため、市販の送風機では20V～25V程度である。



図2-16 木炭が充填されたたたら製鉄炉

【実験・操業】（10:00～12:30）

- ① 炉の上部から10 cm木炭が下がった時点で、砂鉄200 g、炭酸カルシウムや貝殻粉20 gを木炭上面に振りまいて装入する。
- ② ①の後すぐに木炭300 gを装入する。
- ③ 炉の上部から木炭が10 cm下がった時点で、方法①、②を30回繰り返す。
- ④ 20分間隔ぐらいに、炉の上部の温度を測定し記録する（炉の上部の炭から10cm上が600℃以上を確保する）。

- ⑤ 木炭5回装入毎に、炉の四隅を鋼鉄棒で突く。（常に木炭が炉の中に充填されているようにするため）
- ⑥ 砂鉄を30回装入した時点で炉底のノロ出し口を開けて砂鉄中に含まれる不純物（ノロ）を鉄の棒でかき出す（図2-17）。



図2-17 ノロ出しと、出てきたノロ

【実験後の後処理】（12:30～13:10）

- ① 木炭のみを5回装入する。
- ② 木炭が炉の半分まで落ちるのを待つ。

【炉の解体】（13:10～13:30）

- ① 送風を停止する。同時に送風管を抜き取る。
- ② 耐火レンガを耐熱手袋やハンマーを使って上から1つずつ外し、外したレンガをスコップに載せて安全な場所に移動させて解体する。
- ③ 耐火断熱レンガをハンマー等で壊しながら、炉の内部を開く（2-18）。



図2-18 炉の解体と出てきたケラ

- ④ 炉の内部の赤熱した塊（鉄）を金バシなどで挟んで取り出し、水の入ったペール缶に入れて冷やす。
- ⑤ 冷却後、鉄（ケラ）はノロなどに覆われているため、ハンマーで叩きながら鉄（ケラ）を取り出す（図13）。

【片づけ】（13:30～14:30）

砕けていない耐火断熱レンガは、保管し再利用する。

6 作業分担の方法

- ① 村下 1つの炉についてすべての指示を与える。砂鉄を5回装入ごとに班の交代を指示する。
※村下（むらげ）とは、たたらにおける技師長のことである。

- ② 炭 班 炭を3cm四方に切り、300g ずつ計る。計った炭を村下の指示で炉に装入する。
- ③ 砂鉄班 砂鉄を200g、炭酸カルシウム20gを計り混合する。その混合した砂鉄を村下の指示で炉に装入する(220g ずつ)。
- 炭酸カルシウムは、貝殻をくだいてもよい。その際は、砂鉄班が貝殻を砕く作業を行う。
- ④ 記録班 ノートや模造紙に砂鉄、木炭の装入時間、炉の様子を記録する。
- * 村下は固定、各班は、砂鉄5回装入ごとにローテーションするとよい。



図 2-19 できたケラの様子

(4) 教材用小型たたら製鉄炉によるたたら製鉄実習のマニュアルの公開

北海道の砂鉄、木炭を用いた「鉄づくり」を、理科や総合的な学習の時間の1つの教材として北海道内の小・中学校に広め普及をはかった。そのために、2005年には北海道立理科教育センター(現 北海道立教育研究所附属理科教育センター)のホームページ上、現在では、北海道教育大学釧路校・授業開発・境研究室のホームページホームページ上に「たたら製鉄」のページ (<http://cs.kus.hokkyodai.ac.jp/tatara/top1/index.htm>) を設け、鉄づくりの詳細な情報を発信した(図2-20)。その際、鉄づくりを支援していくための体制づくりを行い、鉄をつくるための様々なアドバイスをホームページ上で発信するとともに、質問や支援要請に応じていく体制をつくった。



図 2-20 北海道教育大学釧路校・授業開発・境研究室のホームページ上のたたら製のページ

炉をつくってみよう

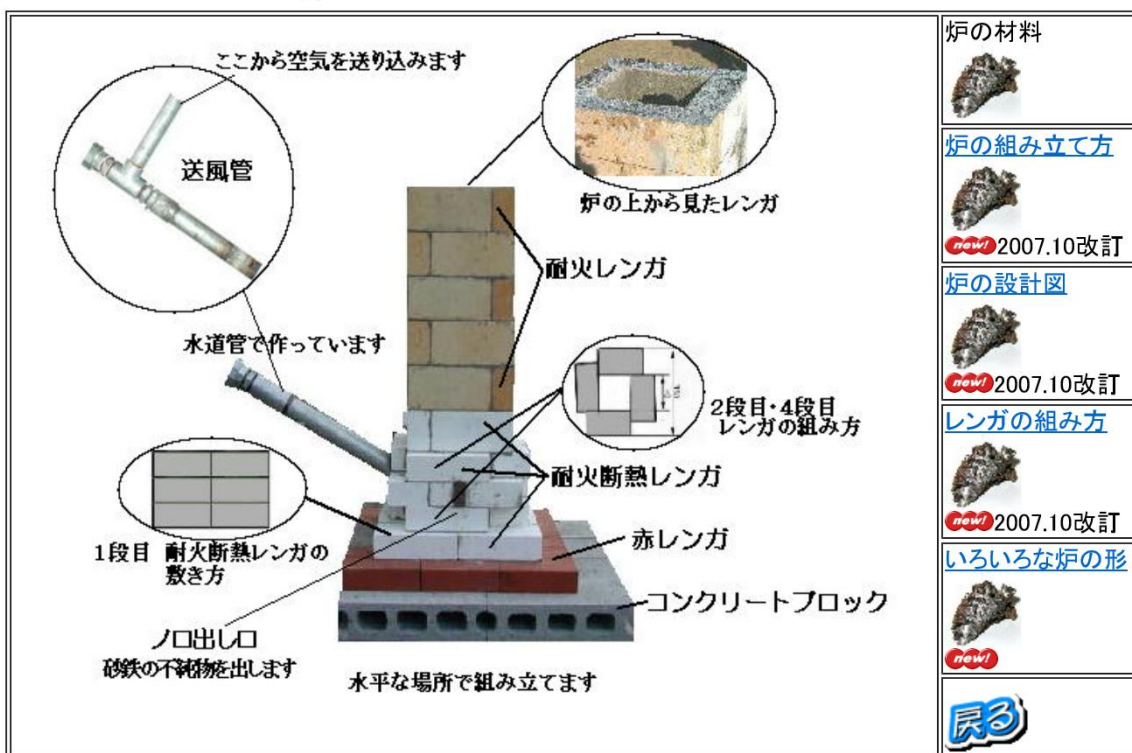


図 2-21 炉づくりのマニュアルページ

(5)たたら製鉄実習のマニュアルの公開後の成果

北海道内の小学校では、マニュアルを公開した以降、開発した炉によって筆者以外の実践でも活用され始めている（表2-6）。2005年7月には、秋田大学教育学部附属秋田中学校において「酸化還元」の教材として「たたら製鉄」が行われた。このように鉄づくりのマニュアル化によって、「たたら製鉄」実践が学校の実践として以前よりも広がった。

表 2-6 マニュアル公開後に筆者が立ち会わずに実施されたたたら製鉄実習（筆者に報告のあったもの）

実施年月日	実施した場所	対象	炉数	砂鉄 (kg)	けら (kg)	砂鉄/鉄
2004年8月	室蘭市輪西公園	教員研修(50名)	4基	10	1.8	0.18
2004年9月	蘭越町立三和小学校	5・6年生(9名)	1基	9	1.5	0.17
2004年11月	根室市立瑤瑠瑠小学校	6年生(10名)	1基	12	1.5	0.13
2005年6月	秋田大学附属秋田中学校	中学3年生(理科)	1基	大きな鉄		
2006年7月	岡山県西粟倉村立 西粟倉小学校	小学6年生 (総合)	2基	6.2	1.2	0.19
2006年8月	阿寒町阿寒湖畔 (自然体験プログラム)		1基	大きな鉄		
2007年8月	音更町下音更 (児童館による体験学習)		1基	鉄が生成		
2008年8月	常呂昆虫の家 (常呂町・社会教育)	事前準備に実施	2基	10.0	1.2	0.12
2007年11月	白糠町立茶路中学校	中学3年生10名	1基	14.0	2.6	0.19
2011年8月	北海道立 理科教育センター	教員研修 (道内教員24名)	1基	12.0	3.1	0.26
2012年8月	北海道立 理科教育センター	教員研修 (道内教員18名)	1基	12.0	1.8	0.15

また、境(2005a)の「レンガ式たたら製鉄炉(ここでは、教材用小型たたら製鉄炉)による鉄づくり」や、境(2005b) たたら製鉄実験のマニュアル化と教育実践の公表、及び北海道立理科教育センターのホームページや、北海道教育大学ホームページによりたたら製鉄のマニュアルを公開した後、筆者制作の炉の設計図をもとに鉄作りがいくつか報告されている。例えば、土屋(2010)による「たたら製鉄で鉄をつくり、その鉄を加工して道具をつくる技術の究明」で利用されているなど 11 事例、16 基になる。その生成された鉄の総量は約 15kg を超え、砂鉄の質量を生成した鉄の質量で割った歩留まりは、0.17 を超えている。さらに、2015 年までに、北海道内で、筆者らが学校を訪問したり、社会教育機関、教員研修機関などでたたら製鉄実習が行われており、筆者が実施したたたら製鉄実習は 41 事例、56 基になる。また、そのすべてで、鉄が生成され、砂鉄の質量を生成した鉄の質量で割った歩留まりは、0.15 である。

文献

境 智洋(2002)：レンガ式鉄づくり小型炉の開発とその実践，教育学の研究と実践，第 1 号，北海道教育学会，pp.13-20.

境 智洋(2005a)：レンガ式たたら製鉄炉による鉄づくり，平成 16 年度東レ理科教育賞作品集，pp.1-4.

境 智洋(2005b)：たたら製鉄実験のマニュアル化と教育実践，平成 16 年度ノーステック財団基盤的研究開発育成事業報告.

境 智洋：たたら製鉄，北海道立理科教育センターホームページ (<http://www.ricen.hokkaido-c.ed.jp/340chigaku/tatara/top1/index.htm>).

土屋 次男(2010)：たたら製鉄で鉄をつくり，その鉄を加工して道具をつくる技術の究明，長野県学校科学教育奨励金研究結果報告書，(<http://sbc21.co.jp/corporate/shorei/2009/11.pdf>).

3 安価炉への改良

2では、国内で発表されている最小の教材用小型たたら製鉄炉において、炉の作成方法、鉄作り実験の手順がマニュアル化し広く全国でたたら製鉄が実施されるに至った。この教材用小型たたら製鉄炉は、砂鉄量とできた鉄の質量の割合（歩留）が平均で16%と効率が高いことが特徴である。また、ケラ（鉄の塊）を出す際にレンガを1つ1つ解体していくため、古来から行われてきた「たたら製鉄」の操業と同様に炉を壊す様子を再現できるという特徴もある。鉄作りマニュアルを参考に鉄づくりを行ったという実践が全国から報告されるようになった。たとえば、NPO の自然体験実習プログラム（阿寒ネイチャーセンター 2006）、社会教育施設の体験プログラム（中士幌福祉事業会 2007）、北海道以外の学校の「総合的な学習の時間」での体験実習（保坂 2005、有元 2006）などの報告がある。

しかし、マニュアル化後、教材用小型たたら製鉄炉のコストに課題が出てきた。教材用小型たたら製鉄炉に用いる耐火断熱レンガの単価が年々高くなり、2005 年で 300 円/個であったものが、2011 年で 850 円/個となった。そのため炉 1 基の費用が 2011 年で約 3.2 万程度になっている。また、5 時間に及ぶ実験のために耐火断熱レンガの一部が溶融し、炉の下部 20 個のレンガは再利用ができない状態になり、実験後廃棄となる。学校において、耐火断熱レンガを購入し実践するには費用面で難しく、繰り返し容易にできる実験ではなくなってきた。学校予算が縮減される中で、総合的な学習の時間の教材の 1 つとして選択できるようにするためには、炉の構造のうち耐火断熱レンガの部分をより安価にすることが必要である。そのために、耐火断熱効果の高いオリビンサンドに着目し、それらをレンガに応用することとした。具体的には、様似町幌満（ほろまん）に産出する橄欖（かんらん）岩を粉碎した粉末（オリビンサンド）と水ガラス（珪酸ナトリウム）を混合させたものを型枠に入れて固化させ、レンガ（以下、オリビンレンガ）を作る。このオリビンレンガを「教材用小型たたら製鉄炉」の材料として利用する。このことによって、従来の炉の半値以下に下げることが可能となった（境，2012）。

本項では、このオリビンレンガを使った教材用小型たたら製鉄炉の製作過程を報告し、確実に鉄ができる教材用小型たたら製鉄炉の構造について実験から得られた知見を述べる。さらに、その炉を使った鉄づくりの授業実践を述べ、その成果と今後の展望をまとめる。

(1) オリビンレンガ炉の実験経過

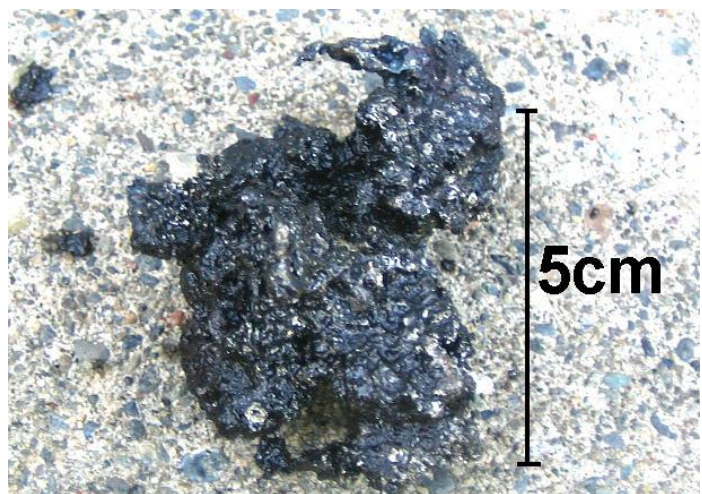


図 2-22 実験炉とできた鉄（ケラ） 左：実験炉 右：できた鉄

様似町幌満のオリビンサンドは、成分に含まれる MgO の割合が非常に高い（新谷 1968）．ゆえに、融点が $1600^{\circ}C$ 以上となり耐火度が非常に高い（Bowen 1935）．このオリビンサンドは、鋳物砂（鋳物を作る際に用いる鋳型用の砂）や土木建築用資材として用いられている．

室蘭工業大学材料物性工学科材料製造プロセス学研究室（当時：以下同様）では、オリビンサンドを水ガラス（珪酸ナトリウム）で固化したものをペール缶の内壁に貼り付けた小型ペール缶たたら製鉄炉の開発に成功した（片山 1999）．この結果を参考に、境は、オリビンサンドを型枠に入れてオリビンレンガとして成型し、教材用小型たたら製鉄炉に応用することを試みた（境 2008）．耐火断熱レンガによって作られていた教材用小型たたら製鉄炉の炉底から4段目までをオリビンレンガに置き換えて作るものである．2つの形態で実験し、1つは口型（口型の外枠は $410mm \times 410mm$ 高さ $80mm$ で上に行くに従い $400mm \times 400mm$ に裾を絞っている．内枠は $178mm \times 178mm$ 高さ $80mm$ で上に行くに従い $170mm \times 170mm$ に裾を絞っている）、1つは通常の耐火レンガの大きさ（ $230mm \times 114mm \times 65mm$ ）に成形したもので行った．口型に成形したオリビンレンガ（以下、口型オリビンレンガ）を組み上げた炉では、少量の鉄塊と、いくつか散在した鉄が生成した．鉄の総量は $0.4kg$ 、歩留は9%である．耐火レンガの大きさに成形したオリビンレンガ（以下、レンガ型オリビンレンガ）で製作した炉では鉄は全く生成していない（図 2-22）．

オリビンサンドを成型し、口型やレンガ型オリビンレンガで作った炉とすることにより、従来の教材用小型たたら製鉄炉より費用を約4分の1まで圧縮できた．しかし、口型オリビンレンガを用いた炉は歩留が9%であり、大きな鉄の塊を得るまでは至っていない．この口型及びレンガ型オリビンレンガを用いた小型炉による炉の開発では、炉内の温度が一定に保てていない．炉内温度が上がらない原因として、以下の理由が考えられる（2008 境）．

① オリビンレンガ表面の加工が不十分である．

オリビンレンガは手作りのため隙間が多くなり炉内の温度が上がらない．具体的には、オリビンレンガの成型において、オリビンサンドを型枠に押し込んでいるため表面に凹凸が生じている（図 2-23）．そのため表面の処理がされていないままオリビンレンガを積み上げているため、レンガ同士に隙間が生じている．レンガ同士の隙間から火が噴き出し、何度も外側から粘土で補修する作業が生じた（図 2-24）．



図 2-23 レンガ面の凹凸が未処理である

② オリビンレンガ同士の接合に焼き物用粘土を用いている。

口型オリビンレンガの接合は、焼き物用粘土を水で溶いて泥状になったものを使っている。そのため炉の乾燥させる段階で、炉から剥離したり、亀裂が生じていることが認められる。また、炉内の温度が上がり、粘土が溶け出して、亀裂や欠損が生じていることが認められる。そのため、隙間ができ、炉内の温度が上がらない（図 2-25）。



図 2-24 レンガ接合部分の隙間から炎が吹き出す



図 2-25 レンガ面で粘土が剥離し、隙間が生じていた

① オリビンレンガの表面処理を平らにする処理を行う。

金ヤスリや、赤レンガなどを用いて製作したオリビンレンガの表面を平らにする処理を行う。

② オリビンレンガの接合には耐火モルタルを用いる。

オリビンレンガの継ぎ目に2mm程度で粘性のある耐火モルタルを利用する。耐火度が高く収縮が少ないため体積変化が少ない。ゆえに、オリビンレンガ同士の接合面に隙間ができていく。

これらの改良点に従い、安価で購入できる改良型のオリビンレンガを作成し、操業実験を行う。

(2) 口型オリビンレンガを用いた小型炉の作成と実験操業

2008年5月に北海道教育大学釧路校授業開発研究室で口型オリビンレンガを製作した。口型オリビンレンガの作成の詳細図は、3項末の資料1、2に掲載した。

(i) 型枠

枠はアルミ、土台はベニヤ合板を利用した(図2-26)。

アルミ枠は、忠津鉄工所(北見市常呂町)に依頼し製作して頂いた。

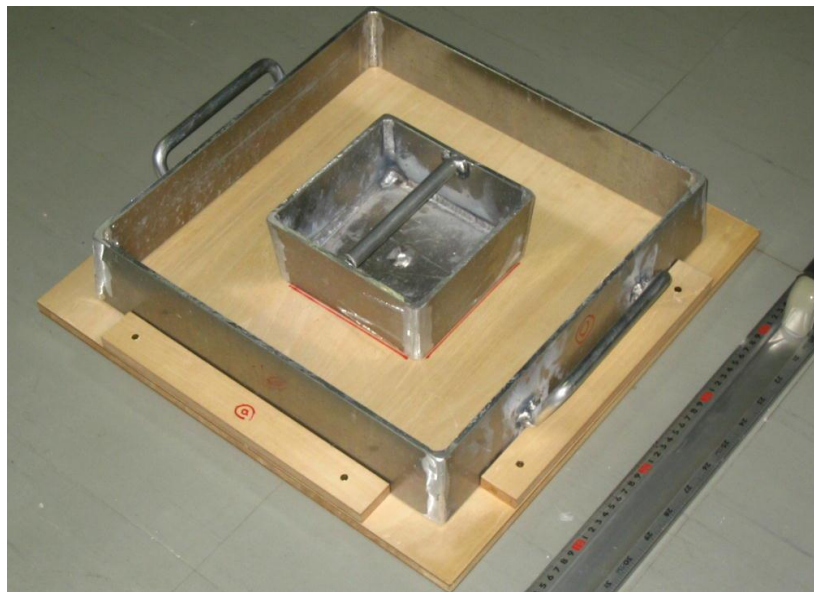


図2-26 口型炉の型枠

(ii) 口型オリビンレンガの作製

ア 準備

オリビンサンド(7号)、水ガラス(珪酸ナトリウム)、型枠一式、バット(縦60cm×横80cm×深さ10cm程度)、金属ヤスリ、角材の棒(4cm×4cm×50cm程度)オリビンサンドは様似町の東邦オリビン工業株式会社、水ガラスは愛知珪曹工業株式会社から購入した。

イ 方法

- ① 大きめのバットの中に、オリビンサンド20kgを入れ中心にくぼみをつける。くぼみに、水ガラス1kgを入れる(図2-27)。
- ② 素早くオリビンサンドと水ガラスを混ぜ合わせ、よく練る。練った砂は、手で握って軽く固まる程度とする。
- ③ 型枠にオリビンサンドと水ガラスを混合したものを入れていく(図2-28)。
- ④ 枠の中に隙間ができないように、角材の棒などで突き固める(図2-29)。空気中の二酸化炭素と反応し固化するため、素早く突き固める。表面は出来る限り平らに加工する。
- ⑤ 型枠を軽く叩き、突き固められたオリビンサンドと型枠の間にわずかな隙間をつくる。
- ⑥ 型枠を外す。砂が崩れた場合は、すぐに砂を盛り補修する(図2-30)。
- ⑦ 数日放置し、空気中の二酸化炭素により水ガラスを固化させる。



図 2-27 水ガラスを混合



図 2-28 型に装入



図 2-29 突き固め



図 2-30 型から外す



図 2-31 ノロ出し口の加工

- ⑧ 方法①～⑦の手順で、炉底、1 段目、2 段目、3 段目、4 段目を製作する。2 段目～4 段目はノロ出し口、送風管口（羽口）を作製するため、一部加工する（図 2-31）。
- ⑨ 2 日後、レンガの表面を金属のヤスリや赤レンガ等で平面加工する。

(iii) 口型オリビンレンガを用いた小型炉の製作

教材用小型たたら製鉄炉の耐火断熱レンガ部分を口型オリビンレンガに置き換えた小型レンガ炉により2008年5月に、北海道教育大学釧路校授業開発研究室学生が炉作りと鉄作りを行った。

ア 炉の組み立て準備

製作した口型オリビンレンガ(炉底～4段目), 耐火レンガ(5段目～9段目), 耐火モルタル, 信楽粘土, 鋼板(45cm四方, 厚さ8～10mm程度), 木炭(1kg程度), 送風管(内径40mm程度の水道管を用いる), コンクリートブロック(高さ15cm程度), 赤レンガ

イ 炉の組み立て方法

- ① 炉の基礎として、コンクリートブロックを6個敷き、その上に赤レンガを10丁敷く。さらにその上に鋼板を敷く(図2-32)。
- ② 口型オリビンレンガを炉底を含め3段目まで積み重ねる(図2-33)。レンガの隙間は、耐火モルタルを水で練ったものを使う。また、口型オリビンレンガの表面が平らを保つよう、金属ヤスリ等で加工しながら積み上げる。
- ③ 4段目を積み上げ、送風管を取り付ける前に、木炭を300g程度入れて着火する。送風機により風を送り、木炭全体に火を行き渡らせる。その後、残り300gを入れてさらに木炭全体を燃焼させる。
- ④ 方法③の後、鉄棒で突き、炭を粉碎する(図2-34)。
- ⑤ 送風管を取り付ける。隙間は焼き物用粘土で埋める。その上は耐火レンガは4つを1段に口の字に組む。接合は耐火モルタル。内側の口径は17cmとする(図2-35)。



図 2-32 鋼板を敷く



図 2-33 3段目まで重ねる



図 2-34 炉内の木炭を粉碎する



図 2-35 耐火レンガを積み上げる

⑥ 送風管の角度は 30 度で炉の 3 段目から入れる。この炉の概要を図 2-36 に、炉の設計図及び炉の組み立て方を 3 章末に資料（資料 2，3）として示した。

本実験では、15 時 00 分より炉を製作し、約 1 時間で積み上げた。炉の上部を赤レンガでふたをし、翌日の実験に備えた。

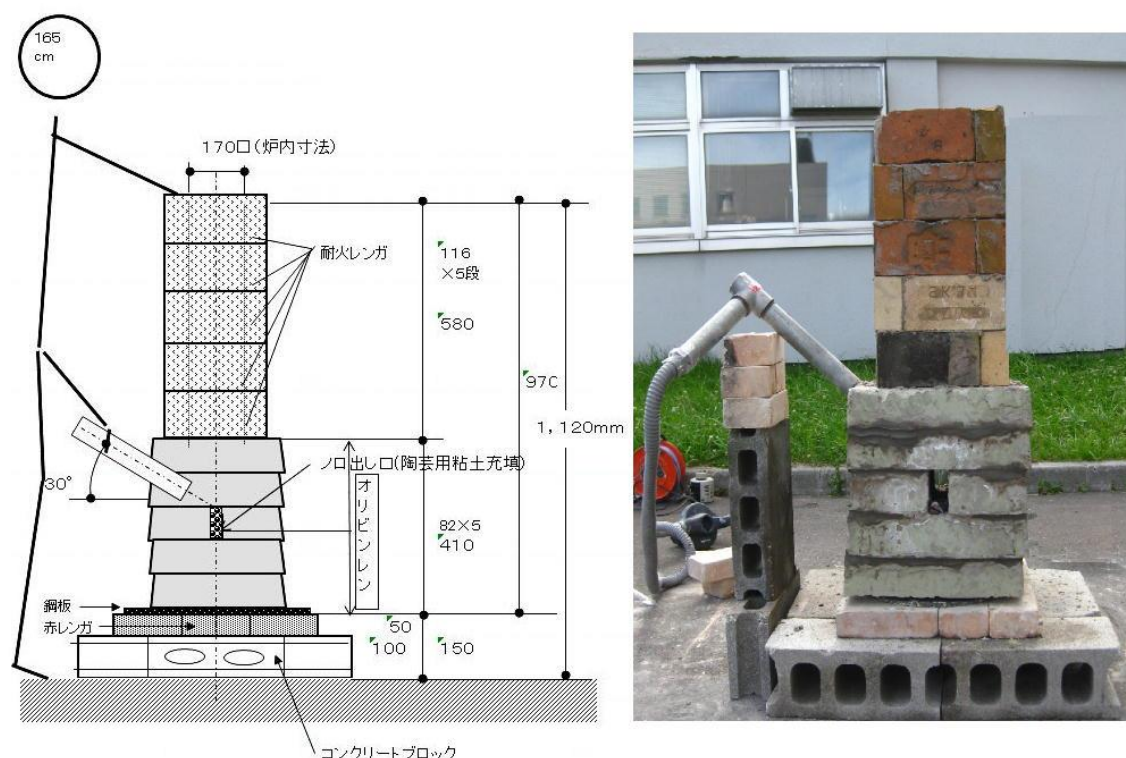


図 2-36 炉の設計図・炉の側面

(iv) 口型オリビンレンガを用いた小型炉による実験操作

7 時 30 分に火を入れ、木炭を炉の中に充填していき、9 時 25 分より砂鉄の装入を行った。砂鉄装入量 10kg で、約 3 時間の実験的な操作を行った。以下は、口型オリビンレンガ炉の操作の概要である

ア 実験の準備

木炭（カラムツ炭：16.5kg）、砂鉄（標津町伊茶仁（いちゃに）海岸砂鉄：10kg）、炭酸カルシウムや貝殻粉（1kg）、ハンマー、上皿はかり（2台：砂鉄、貝殻粉、木炭計測用）、ケラ出し用金ハシ（鉄の塊をつかむもの）、鉄製のバケツ（ケラ冷却用）、平型スコップ、スライダック（可変変圧器）、送風機（100v 電源で毎分 3.5 m³の送風量を得られるもの）鋼鉄棒（1.5m）、革手袋、安全眼鏡、炎から頭髪を守る帽子（タオルなど）、そのほか汚れてもよい綿製の服、温度計（1200℃対応）

伊茶仁海岸砂鉄の化学分析では、TiO₂ 11.45%、Fe₂O₃ 81.9%とチタン分が多い砂鉄である。化学分析は 2005 年にアースサイエンス社に依頼し分析した結果である。

イ 炉の乾燥と予熱

- ① 約 300g の木炭を炉に入れて点火する。
- ② 送風機をスライダックを用いて、30V で送風する。木炭を炉の中に入れ、約 30 分程度で木炭を炉の最上端まで装入する。
- ③ 約 2 時間、炉の中に常に木炭が充填されているように木炭を加えながら、炉を乾燥させ、炉の内部の温度を上げる。
- ④ 炉の上部から火炎が立ち昇り、上端の炎が 600℃以上であることを確認する（炎の色がオレンジに見える）。
- ⑤ 送風機をスライダックを用いて、25V で送風する。炉の中の木炭の降下速度を 5 分で 10cm 程度に調整する。

ウ 実験

- ① 炉の上部から 10 cm 木炭が下がった時点で、砂鉄 200 g、炭酸カルシウムや貝殻粉を 20 g 装入を木炭上面に振りまいて装入する。
- ② ①の後すぐに木炭 300 g を装入する。
- ③ 炉の上部から木炭が 10 cm 下がった時点で、方法①、②を 30 回繰り返す。
- ④ 20 分間隔ぐらいに、炉の上部の温度を測定し記録する（炉の上部が 600℃以上を確保する）。
- ⑤ 木炭 5 回装入毎に、炉の四隅を鋼鉄棒で突く。
（常に木炭が炉の中に充填されているようにするため）⑥ 砂鉄を 30 回装入した時点で炉底のノロ出し口を開けて砂鉄中に含まれる不純物（ノロ）を鉄の棒でかき出す
- ⑦ ノロ出し後も、炉の上部から木炭が 10 cm 下がった時点で、さらに方法①、②、③、④を 20 回繰り返す。ノロ出しは、30 回装入後は、10 回ごとに繰り返す。
- ⑧ 方法①、②、③、④を全部で 50 回繰り返した後、木炭のみを 5 回装入する。
- ⑨ 木炭が炉の半分まで落ちるのを待つ。

エ 炉の解体

- ① 耐火レンガを耐熱手袋やハンマーを使って上から 1 つずつ外し、外したレンガをスコップに載せて安全な場所に移動させる（図 2-37）。
- ② 口型オリビンレンガをハンマー等で壊しながら、炉の内部を開く。
- ③ 炉底から 4 段目になった時点で送風を停止する。同時に送風管を抜き取る。
- ④ 4 段目以下を中心の鉄の塊が露出するように、口型オリビンレンガを壊していく。
- ⑤ 炉の内部の赤熱した塊（鉄）を金バシなどで挟んで取り出し、水の入った鉄製のバケツ（パール缶など）に入れて冷やす（図 2-38）。
- ⑥ 冷却後、鉄（ケラ）はノロなどに覆われている。ハンマーで叩きながら鉄（ケラ）を取り出す（図 2-39）。



図 2-37 炉の解体



図 2-38 ケラ（鉄塊）の取り出し



図 2-39 できたケラ（約1.2kg）

表 2-7 2008 年実験炉の記録

回数	時間(分)	砂鉄(g)	炭(g)	貝殻(g)	炉頂温度	回数	時間(分)	砂鉄(g)	炭(g)	貝殻(g)	炉頂温度
1	9:25	200	300	15	670℃	26	11:03	200	300	15	
2	9:30	200	300	15	650℃	27	11:06	200	300	15	650℃
3	9:35	200	300	15		28	11:10	200	300	15	670℃
4	9:38	200	300	15		29	11:16	200	300	15	730℃
5	9:42	200	300	15		30	11:20	200	300	15	
6	9:45	200	300	15		31	11:30	200	300	15	
7	9:49	200	300	15	690℃	32	11:31	200	300	15	
8	9:53	200	300	15		33	11:32	200	300	15	
9	10:00	200	300	15		34	11:34	200	300	15	600℃
10	10:04	200	300	15		35	11:38	200	400	15	630℃
11	10:06	200	600	15	630℃	36	11:41	200	400	15	
12	10:08	200	600	15	↓増炭	37	11:44	200	300	15	
13	10:14	200	600	15	650℃	38	11:48	200	300	15	
14	10:20	200	300	15		39	11:54	200	300	15	ノ口出し
15	10:23	200	300	15		40	12:00	200	300	15	
16	10:27	200	300	15	710℃	41	12:04	200	300	15	630℃
17	10:33	200	300	15	690℃	42	12:11	200	300	15	
18	10:38	200	300	15		43	12:15	200	400	15	
19	10:42	200	300	15		44	12:17	200	400	15	
20	10:43	200	300	15		45	12:20	200	400	15	700℃
21	10:46	200	300	15	550℃	46	12:33	200	300		
22	10:50	200	300	15	700℃	47	12:35	200	300		
23	10:55	200	300	15		48	12:37	200	300		
24	10:57	200	300	15		49	12:41	200	300		
25	10:59	200	300	15		50	12:46	200	300		
合計								10000	16400	675	

オ 結果

13 時 00 分に最後の砂鉄を装入し、その後 14 時から炉の解体を行った。本実験の経過は表 2-7 に掲載した。水冷後、鉄の塊 1.2kg と、いくつか散在した鉄の塊(0.5kg) が生成した。砂鉄 10kg から鉄 1.7kg が誕生し、歩留 17%であった。

カ 考察

成型と隙間を充填することで内部の温度を一定に保つことができ、耐火断熱レンガを用いた小型炉とほぼ同じ割合の鉄塊を得ることができた。故に、オリビンレンガに置き換えても十分な鉄を生成できると判断できた。

(3) レンガ型オリビンレンガによる炉の作成と実験操作

2009 年 6 月に北海道教育大学釧路校授業開発研究室でオリビンサンドレンガ（レンガ型）を製作した。

(i) 型枠

レンガ型オリビンレンガは、仕切り部分はアルミ、外枠は（2×4材 1820mm）を利用した（図 2-40）。



図 2-40 レンガ型の型枠

(ii) レンガ型オリビンレンガ炉の作製

ア 準備

オリビンサンド (7号), 水ガラス (珪酸ナトリウム), 型枠一式, バット (60cm×80cm 程度), 金属ヤスリ, 角材の棒 (4 cm×4 cm×50cm 程度)

イ 方法

- ① 口型オリビンレンガの作成方法①～⑦と基本的には同じ (図 2-41).



図 2-41 オリビンサンドの装入

- ② 作成したレンガ型オリビンレンガのうち2個のレンガ型オリビンレンガは送風管が通るように加工する。また, 1個を半分に切り, 半分の大きさのレンガ型オリビンレンガを作成する。これはノロ出し口とするためである。
- ③ 2日後, レンガ型オリビンレンガの表面を金属のヤスリや赤レンガ等で平面加工する。

(iii) レンガ型オリビンレンガを用いた小型炉による鉄づくり

ア 炉の組み立てと実験

本実験は, 2009年7月16日17時00分よりレンガ型オリビンレンガを用いた小型炉を製作し, 約1時間で積み上げた。レンガ型オリビンレンガを用いた小型レンガ炉は口型オリビンレンガの部分レンガ型オリビンレンガとした以外は, 組み立て方は同じである。

炉が組み上がると, 炉の上部をレンガでふたをし, 翌日の実験に備えた。翌7月17日7時00分に火を入れ, 木炭を炉の中に充填していき, 9時00分より砂鉄の装入を行った。砂鉄装入量10kgで, 約3時間の実験的な操作を行った。実験操作の方法は2008年の方法と同様に行った(図2-42, 2-43)

イ 結果

13時00分に最後の砂鉄を装入し, その後14時から炉の解体を行った。水冷後, 砂鉄量9.0kgからケラ0.63kg (歩留7%)を得た。

ウ 考察

レンガ型オリビンレンガは, 成形に時間をかけても, 手作りのため1つ1つの間の隙間を完全にふさぐことは難しい。そのため, レンガ型オリビンレンガを用いた教材用小型たたら製鉄炉は前回よりも収量では改善されているが, 手作りでは, これ以上の収量は望めず, 耐火断熱レンガ同様の歩留15%以上を望めない。

(4) オリビンレンガを用いた教材用小型たたら製鉄炉の結論

2009年10月, 2010年10月に口型オリビンレンガを用いた小型レンガ炉により操作を行った。2009年

10月には、砂鉄総量9.0kgから鉄塊1.9kg（歩留21.1%）を得た（図2-44）。2010年は砂鉄総量9.0kgから鉄塊0.8kg、鉄粒0.4kg（歩留13.3%）を得た。2010年は、風が強く、途中で操業を中止している。また2011年には、砂鉄総量12.0kgから鉄塊2.0kg（歩留16.6%）を得ている。耐火断熱レンガを口型オリビンレンガに置き換えてたたら製鉄実験を行うことにより以下の成果が得られた。



図2-42 レンガ型炉の下部の組み方



図2-43 レンガ型オリビンレンガを用いた小型炉
奥に見えるのが口型オリビンレンガを用いた炉



図 2-44 2009 年の歩留 21%のケラと切断面

- (1) オリビンサンドを水ガラスにより練り、口型の型に入れて固化させた口型オリビンレンガを用い、口型オリビンレンガの表面を平らにする加工を行う。この改良型の口型オリビンレンガを用いることで耐火断熱レンガと同様の教材用小型たたら製鉄炉をつくることができた。
- (2) (1)によってつくられた口型オリビンレンガを従来の耐火断熱レンガに置き換えて製作した教材用小型たたら製鉄炉で歩留 15%（開発後 4 年間の平均 16.4%）程度、最高で 21%を得ることができた（表 2-8）。

表 2-8 実験炉の歩留の状況

	口型オリビンレンガ炉						レンガ型オリビンレンガ炉	
	2007年 (参考)	2008年	2009年		2010年	2008～ 平均	2007年 (参考)	2009年
			6月	10月				
砂鉄総量(kg)	4.2	10.0	9.0	9.0	9.0	37.0	10.0	9.0
ケラ総量(kg)	0.4	1.7	1.3	1.9	1.2	6.1	0.0	0.6
歩留(%)	9.5%	17.0%	14.4%	21.1%	13.3%	16.5%	0.0%	7.0%

- (3) 従来の教材用小型たたら製鉄炉は、炉の基礎部分（コンクリートブロック、赤レンガ）に、耐火断熱レンガ、耐火レンガを組み上げており、費用は炉 1 基あたり約 3 万 2 千円である（2008 年の報告では 2 万円であった）。2 回目からは、耐火断熱レンガのみを購入するだけで鉄づくりができるが、耐火断熱レンガ単価が 850 円で、耐火断熱レンガ部分のみで 1.8 万円程度が必要である。この部分を口型オリビンレンガにすることによって、費用は炉 1 基あたり約 1 万 6 千円となる。2 回目からは、水ガラスとオリビンサンドを購入するだけで鉄づくりができるため、約 2500 円程度まで削減することができる。
- (4) 「総合的な学習の時間」において「レンガづくり」から体験させることができるとともに、北海道の素材を使ったプログラムの可能性が広がった。

6 おわりに

北海道の海岸には広く海岸砂鉄が分布する。様似町幌満には、オリビンサンドの原材料である橄欖岩が分布する。カラマツ炭(下川町で生産されている)は、間伐されたカラマツを活用した炭であり、カラマツは北海道の防風林などとして広く植林されている。レンガは江別などで今も製作され、道内には粘土が豊富に産出する。この北海道の自然素材を活用した炉で、古来からの「鉄作り(たたら)」操業を体験することは、「地球の壮大な歴史を学び、人間と大地のかかわりを学習するプラン」や「人間の技術の歴史と人々の生活を学習するプラン」へと発展させることができる。まさに、北海道の素材で壮大なプランが展開できることになる。

オリビンサンドは、マントルを構成する橄欖岩を砕いたものであり、地球をつくる岩石である。砂鉄は、地球の長い歴史の中で火山活動後に水流のはたらきで鉱物が洗われて凝集したり再堆積したものである。オリビンサンド、砂鉄を通して、地球のダイナミックな歴史を学ぶことができる。砂鉄が木炭を使って鉄に還元されることは、長い歴史の中で人間が得てきた技術である。木炭や、砂鉄とかわることで、子どもたちは長い地球の歴史の一端をみているだけでなく、そこに人間が自然から学んできた技術の歴史を学ぶことができる。砂鉄から地球のダイナミックな歴史を学ぶこととあわせて、子ども達に人間の技術の歴史を、体験を通して学ばせることの意義は大きい。また、砂鉄から鉄を作るには多くの木炭と砂鉄を必要とする。その結果、木炭を得るために多くの森林を失い、砂鉄の採取によって地域の環境を変えてきたという史実がある。人間にとって技術の進歩は多くの利益を生むが、エネルギーを大量に消費し、同時に自然を激変させるというマイナスの面も生じた。このように『たたら製鉄』は、科学技術と人間のかかわり考えさせることが可能である。それと共に人間と自然のかかわりを見つめ、科学技術のあり方を考える教材のひとつに位置付くのである。

総合的な学習の時間において、『大地と人間のかかわり』『技術の歴史と環境』を学習するプラン展開して行くにあたって、オリビンレンガを用いた炉は「安価であること」と、「子どもたちが素材から炉を創り上げること」だけでなく、北海道の素材であり、地球の素材であることにも大きな意味がある。

1 回目は、炉の構造からほとんど鉄を生成させることができなかった。以降、室蘭工業大学材料製造プロセス学研究室発案のペール缶炉にヒントを得ながら、改良を重ね、安価で小型、そして北海道の素材を使った炉に至ることができた。

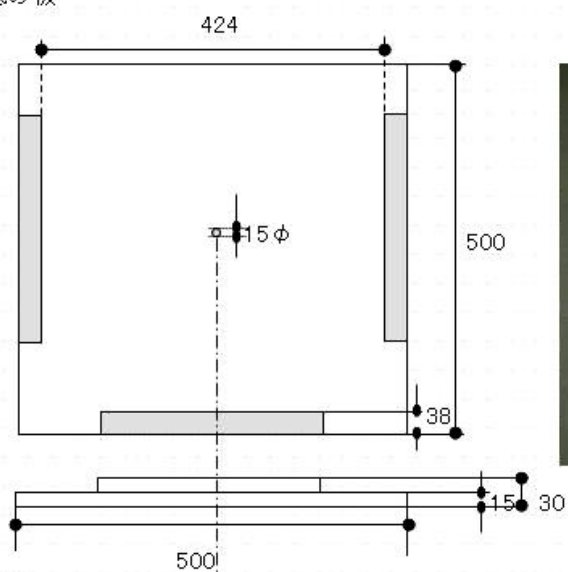
文献

- 阿寒ネイチャーセンター(2006) : 阿寒にあればいいべさ, blog にて公表 <http://akannc.blog63.fc2.com/blog-entry-5.html>.
- 有元恭志(2006) : たたら製鉄実習報告, 西栗倉小学校実践記録.
- 片山博, 桃野正, 天野哲也, 宮本剛汎, 大橋行盛(1999) : たたら製鉄と日本刀, 室蘭工業大学公開講座テキスト, pp. 60-61.
- 久津見宣子(1980) : 鉄をつくる, 授業をつくる, 授業をつくる社, 東京, 第1号, pp. 32-55.
- 窪田蔵郎(1973) : 鉄の考古学, 考古学選書9, 雄山閣出版, 東京, pp. 249-299.
- 境智洋(2002) : レンガ式鉄作り小型炉の開発とその実践—たたら製鉄から展開する総合的な学習—, 教育学の研究と実践, 第1号, pp. 13-20.
- 境智洋(2005a) : たたら製鉄実験のマニュアル化と教育実践, 平成16年度ノーステック財団基盤的研究開発育成事業報告, pp. 1-10.
- 境智洋(2005b) : 鉄作りマニュアルを用いた小規模校によるたたら製鉄の実践, 北海道教育大学へき地教育研究センター研究紀要, 第60号, pp. 1-10.
- 境智洋(2008) : オリビンサンドを用いたたたら用レンガの開発, 北海道立理科教育センター研究紀要, 第20号, pp. 78-87.
- 境智洋(2012) : オリビンレンガを活用した教材用製鉄炉の開発, 教育学の研究と実践, 第7号, pp. 34-44.
- 新谷光二(1968) : ズン岩の炭素による還元, 北海道大学工学部研究報告, 48, pp. 55-70.
- 高嶋幸男(1988) : 小型炉による「鉄づくり」操業実験, 北海道教育大学紀要, 第42号, pp. 71-89.
- 中士幌福祉事業会(2007) : 士幌町サタディスクール・巡回児童ステーション事業, 平成19年度省庁連携

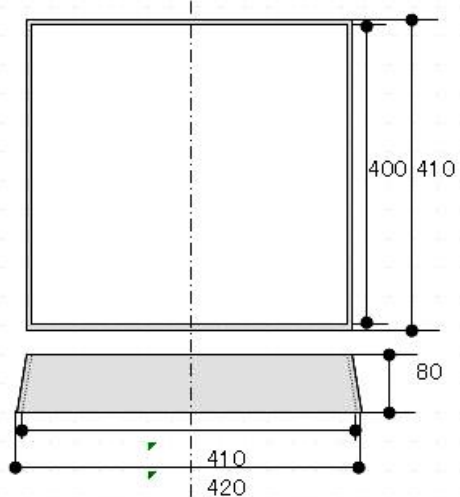
- 体験活動ネットワーク推進プロジェクト事例集, pp. 1-5.
- 鳥取県西比田小学校 (2001) : 二基の炉に思いを込めて, 平成 13 年度古代たたら復活, 西比田小学校研究紀要.
- ※その他 2010 年度では, 島根県奥出雲町小学校, 広島県庄原小学校, 宮城県一関内野小学校などHPでの報告がなされている.
- 保坂学(2005) : 理科分科会記録, 平成 17 年度秋田大学文化学部附属中学校公開研究協議会分科会記録集, pp. 13-17.
- ※その他, 秋田さきがけ新聞(2005 年 6 月 8 日付記事)に詳細が記載されている.
- 文部科学省 (1998) : 小学校学習指導要領, 文部科学省, p2, 3.
- Bowen, N. L. and Schairer, J. F. (1935) The system $MgO-FeO-SiO_2$ American Journal of Science, 29, pp. 151-217.

資料1 ロ型オリビンレンガの型枠設計図

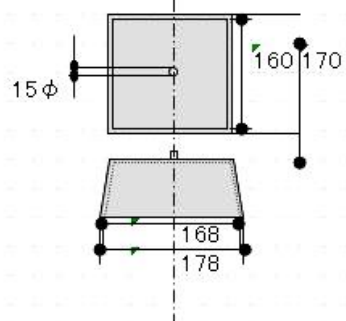
1 底の板



2 外側

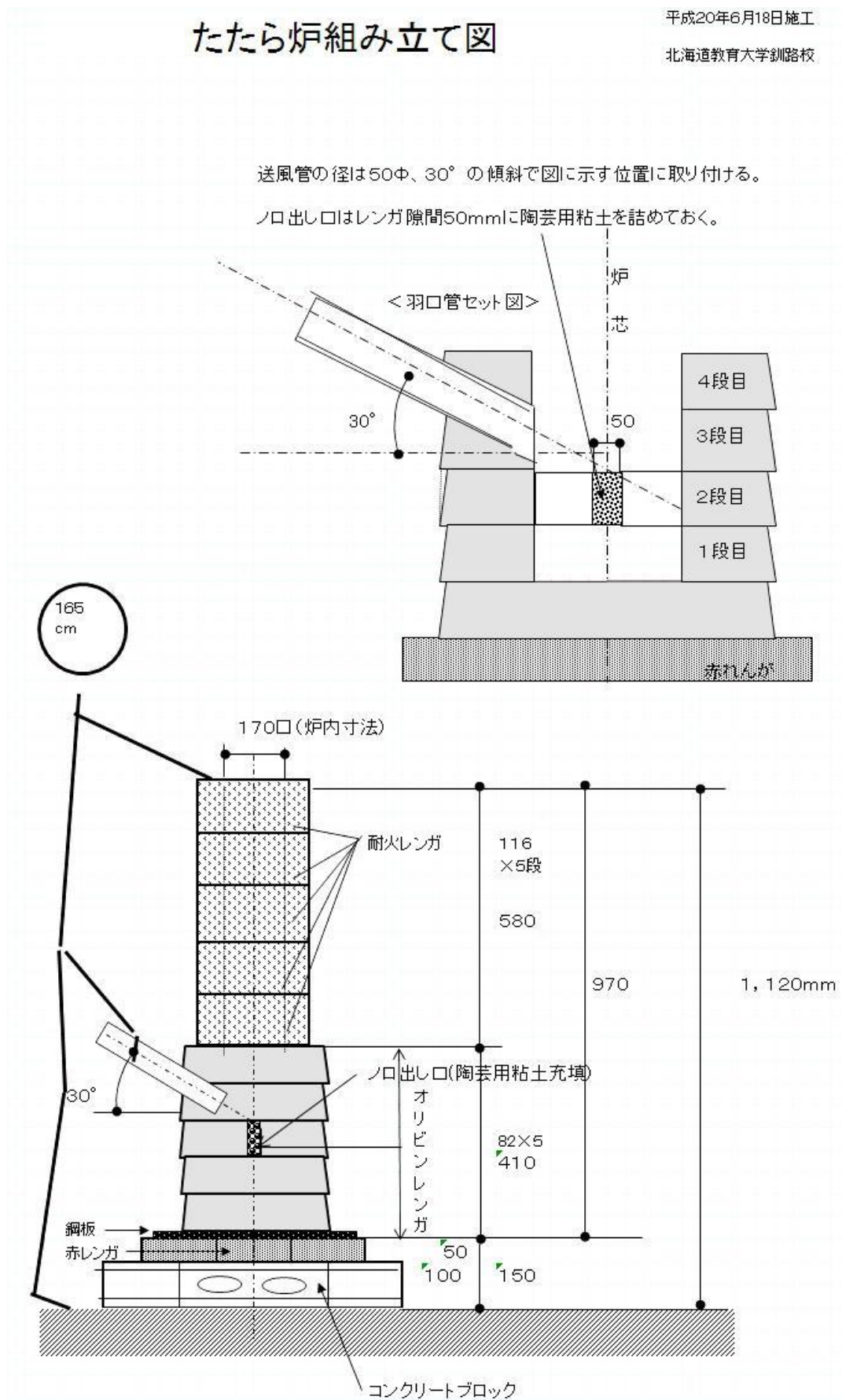


3 内側と1, 2の組み方



たたらレンガ積み要領

	土台下段 コンクリートブロック・・・8個 ①コンクリートブロック(100厚×400長×200幅)を用い800×600とする。 ②グラントは事前に平に整地する(砂やボタを用い)。 ③モルタルは使用しない ※ブロックの寸法は少し小さいようです。	
	土台上段 赤れんが・・・10個 ①土台上段の上に赤れんが(50厚×200長×100幅)を用い600×500とする。モルタルは使用しない。 ②鋼板(5～10mm厚×450口)を赤れんがの上に敷く	
	炉底れんが ①炉底用レンガを鋼板の上に敷く ②位置は土台のほぼ中心に設置 ③上部を赤レンガや金ヤスリで平らにする	
	炉腹れんが(1段目) ①炉腹レンガ1段目用レンガをのせる ②位置は土台のほぼ中心に設置 ③モルタルで目地(敷き部、レンガ接触面)2mmを目標に張り合わせる。 ④上部を赤レンガや金ヤスリで平らにする モルタルは耐火モルタルを用いる。	
	炉腹れんが(2段目) ①炉腹レンガ2段目用レンガをのせる(2つに分かれる。間を50mmとする) ②位置は土台のほぼ中心に設置 ③モルタルで目地2mmを目標に張り合わせる。 モルタルは耐火モルタルを用いる	
	炉腹れんが(3段目) ①炉腹レンガ3段目用レンガをのせる ②位置は土台のほぼ中心に設置 ③モルタルで目地2mmを目標に張り合わせる。 ④一部欠けている部分に送風管を挿入し、すき間を珪藻土でふさぐ。	
	炉腹れんが(4段目) ①炉腹レンガ4段目用レンガをのせる ②位置は土台のほぼ中心に設置 ③モルタルで目地2mmを目標に張り合わせる。 ④一部欠けている部分に送風管を挿入し、すき間を珪藻土でふさぐ。 ※欠けている部分は3段目の欠けている部分に合わせる。	
	炉腹れんが(5段目) ①炉腹レンガ5段目用レンガをのせる ※5段目用は1段目と同じ ②位置は土台のほぼ中心に設置 ③モルタルで目地2mmを目標に張り合わせる。 モルタルは耐火モルタルを用いる	
	炉腹れんが(6～10段目) ※耐火レンガを20個使用する ①耐火レンガを内径170mmでくむ。 ②モルタルで目地2mmを目標に張り合わせる。 ③接合はモルタルは耐火モルタルを用いる	



第3章 教材用小型たたら製鉄炉の活用と教科教育との連携による実践

1 教材用小型たたら製鉄炉で生じるノロとノロを活用した溶岩学習教材を用いた教科教育との連携による実践と成果

(1) はじめに

義務教育における火山の学習は、小学校指導要領において6年生理科「(4)土地のつくりと変化」で扱われている。また、中学校学習指導要領において中学校理科第2分野「(2)大地の成り立ちと変化」で扱われている(文部科学省, 2008a, b)。

火山や溶岩について小学生や中学生が実感を伴った理解を得るには、火山活動によって多量の火山砕屑物が噴出することや、溶岩の流出により土地が変化することなどを目の前で観察することが有効であるが、研究者でも滅多に体験できない事でもあり実現するのは難しい。そのため、火山の噴火による土地の変化を理解させる方法として、歯科用印象材や食材を活用した火山噴火モデル実験が行われている(境, 2004; 林, 2006)。これらの火山噴火モデル実験は実際に体験困難な現象を可視化することで、より安全に児童生徒に理解させることに役立っている。しかし、高温で、流動性のある溶岩の迫力は、映像や火山噴火モデル実験では十分に伝えられない。高温の溶岩をつくる実験として、るつぼ等に岩石を入れて熔融させることがいくつか報告されている(栗田, 1984)。しかし、るつぼから流れ出すと急冷されすぐにガラス化するため、溶岩流のように流れる様子を見せるには至らない。その中で、七輪による溶岩生成実験(下岡ほか, 2011)では、小規模であるが、流れる様子を見せることができ、その後、水冷させる場面が紹介されていることは興味深い。

授業でさらに実感を伴った学習を行うには、粘性の高低による溶岩の形態の違いを実際に観察させたり、流出する溶岩の色や熱さを体感させたりすることが必要である。そこで、本項での目的を次のように定める。

- ①児童生徒に火山噴火の際、流出する溶岩の温度や形態を実感させることのできる溶岩流出モデル実験を開発する。
- ②開発・実践した溶岩流出モデル実験を児童の感想から評価する。
- ③ノロ(製鉄の際に生じる鉄滓をノロという)の組成と玄武岩溶岩の組成を比較して実際の溶岩と似ているかどうかを検討し、その結果、溶岩流出モデル実験として妥当かを判断する。
- ④総合的な学習の時間による「鉄づくり」と6年生理科「土地のつくり」を連携させ、火山による土地の変化を実感する授業プログラムの有効性を明らかにする。

(2) 教材用小型たたら製鉄炉の利用

(i) 溶岩流出モデル実験に利用できる教材用小型たたら製鉄炉

本項では、筆者が開発した教材用小型たたら製鉄炉(境, 2002)を溶岩流出モデル実験炉に転用した。

「たたら製鉄」とは、日本古来の製鉄法で、江戸時代に高度に発達した。この製鉄法では、火を入れた炉にふいごによって空気を送り、3昼夜、砂鉄と木炭を交互に炉に入れ続けることによって鋼をつくる。明治に入り高炉による製鉄法が盛んになると、次第に廃れ、昭和になると幻の製鉄法と言われるまでになった(窪田, 1973)。筆者は、この「たたら製鉄」を小学校、中学校において、児童生徒が主体的に製鉄に取り組むことができる総合的な学習の時間に活用できる教材とするために、教材用小型たたら製鉄炉を開発した(境, 2002)。さらに、「たたら製鉄」を教材として活用できるようにするために、教材用小型たたら製鉄炉を用いた実験の方法と手順をマニュアル化した(境, 2005a, b)。

この教材用小型たたら製鉄炉を転用した溶岩流出モデル実験炉の構造を図3-1, 3-2に示す。基礎部分は、コンクリートブロックを水平に敷き、その上に赤レンガを敷く。さらに、その上に厚さ10mmの鋼板を敷く。地面からの湿気を防ぐ事が主な構造の目的である。炉の本体は、基礎部分の上に、下部4段までは耐火断熱レンガで口型に炉を組み立てる。その上に、耐火レンガを口型に組み上げる。

下部の4段を耐火レンガで製作した場合は、熱が炉の内部に籠もらないため、このような小型の炉では鉄がほとんど生成されなくなる。また、砂鉄を還元し、鉄(たたら製鉄で作られた粗鋼をケラという。ここでは鉄と記述する)とノロに分離するには、十分な高さの炉でなければならない(境, 2002)。ゆえに、高価な耐火断熱レンガの使用個数が少なく、かつ鉄が生成できる高さをもった炉を設計した。図3-1の構造

によって、炉下部における内部温度を 1400℃程度に保ち、内部で砂鉄が還元され、鉄とノロに分離される環境が実現できる。

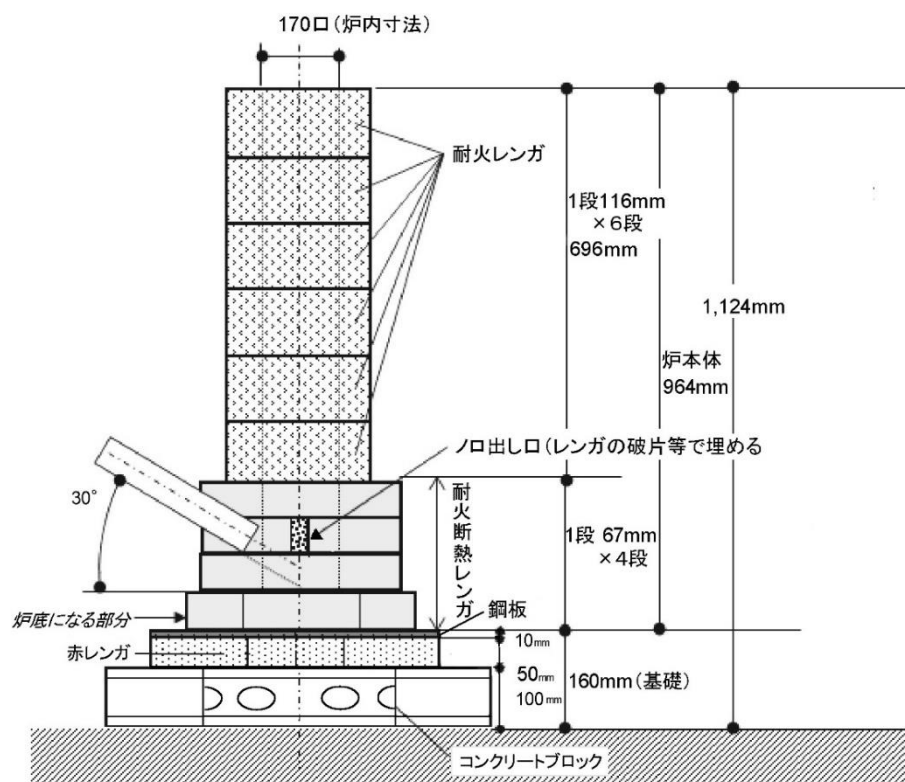


図 3-1 溶岩流出モデル実験に利用した教材用小型たたら製鉄炉の設計図



図 3-2 溶岩流出モデル実験に利用した教材用小型たたら製鉄炉の全景

(ii) 溶岩流出モデル実験の方法と手順

「溶岩流出モデル実験」を小型炉で行う際の方法と手順は、境（2005b）の資料3に沿って行う。鉄を作る際に不純物が分離されノロとして外部へ流し出す「ノロ出し」が溶岩流出モデル実験となる。溶岩流出モデル実験として行う場合の実験の方法と手順は以下の通りである。

炉の中に火を入れ、送風を開始し、約1時間かけて徐々に木炭を装入し炉の最上部まで満たしていく。木炭の燃焼量（＝減少量）は給気量にほぼ依存し、木炭が約10分間に5cmの速度で炉の中を降下して行くように送風を調節する。木炭が5cm降下したら、新しい木炭を加えて炉の最上部まで満たす。この作業を約1時間繰り返す。この間に炉は乾燥し、その内部温度が上昇していく。

次に砂鉄を装入する方法と手順は以下の①～⑥で行う。

- ①炉の上部から10cm木炭が下がった時点で、砂鉄200g、炭酸カルシウムや貝殻粉20gを木炭上面に振りまいて装入する。炭酸カルシウムや貝殻粉を装入するのはノロの粘性を低くするためであり、砂鉄質量の10%を添加している（境, 2002）。この実験では海岸で採取した砂から磁選した砂鉄を使う。
- ②①の後すぐに木炭300gを装入する。
- ③炉の上部から木炭が10cm下がった時点で、方法①、②を行う。この作業を30回繰り返す。砂鉄の1回の添加量を200gとするのは、砂鉄量が多くなると、還元が進まず鉄の生成が減少するためである（境, 2002）。
- ④20分間隔ぐらいに、炉最上部の木炭で満たされた直上の温度を測定し記録する（600℃以上を確保する）。
- ⑤常に木炭が炉の中に充填されているようにするため、木炭5回装入毎に、炉の四隅を鋼鉄棒で突く。
- ⑥砂鉄を30回装入した時点で炉底のノロ出し口に詰めているレンガを引き出し、ノロ出し口を開けてノロの流出を観察させる（図3-3）。



図3-3 ノロの流出

鉄ができることによって、ノロが生成される。このノロを、鉄の成長を促すために炉外へ排出する。小型炉を用いたたたら製鉄実験は、ノロ出し口を開け続けると炉内の温度が下がり鉄の生成量が低くなる。

そのため、できる限りノロ出し口を開けることは避け、ノロ出しは炉の底にノロが溜まり、鉄が成長できない状況になった時だけ行う。しかし、溶岩実験の場合は、多少、鉄の生成が少なくなっても、ノロの流出を優先する。そのため、鉄づくりの場合よりも、ノロ出し回数を多くし、様々な状態のノロを観察させる。⑥のノロ出し以降、5から10回の砂鉄装入ごとにノロを出していく。炉の内部温度が変化することで、排出されたノロの粘性が変化する（図3-4）。



図 3-4 粘性の高いノロの流出

砂鉄の装入回数が 70 回を超えると、鉄が生成されて炉の底が高くなり、送風管が詰まるため送風できなくなる。送風管がつまり始めたら砂鉄と木炭の装入を中止する。木炭が炉の半分まで降下するのを待って送風を停止し、炉の解体を行う（境, 2005b）。

ノロが熔融状態となって流れ出るためには、炉内で鉄が生成されていなければならない。海岸の砂を磁選して、砂鉄を含まない砂をつくる。この砂を使って上述の溶岩流出モデル実験を行うと、炉の内部に黒色のガラスが生成されるだけで、ノロの流出は起こらない（図 3-5, 3-6）。 SiO_2 を多く含む砂が溶けて、炉底でガラス化していったと考えられる。砂鉄を用いた場合、鉄がノロに含まれるため粘性が低くなる。さらに、鉄の生成によって炉内が高温に保たれるとともに、ノロ出し口を開けたときにも、鉄があるために炉内が冷却され難くなっていると思われる。



図 3-5 流出せず内部でガラス化したノロ

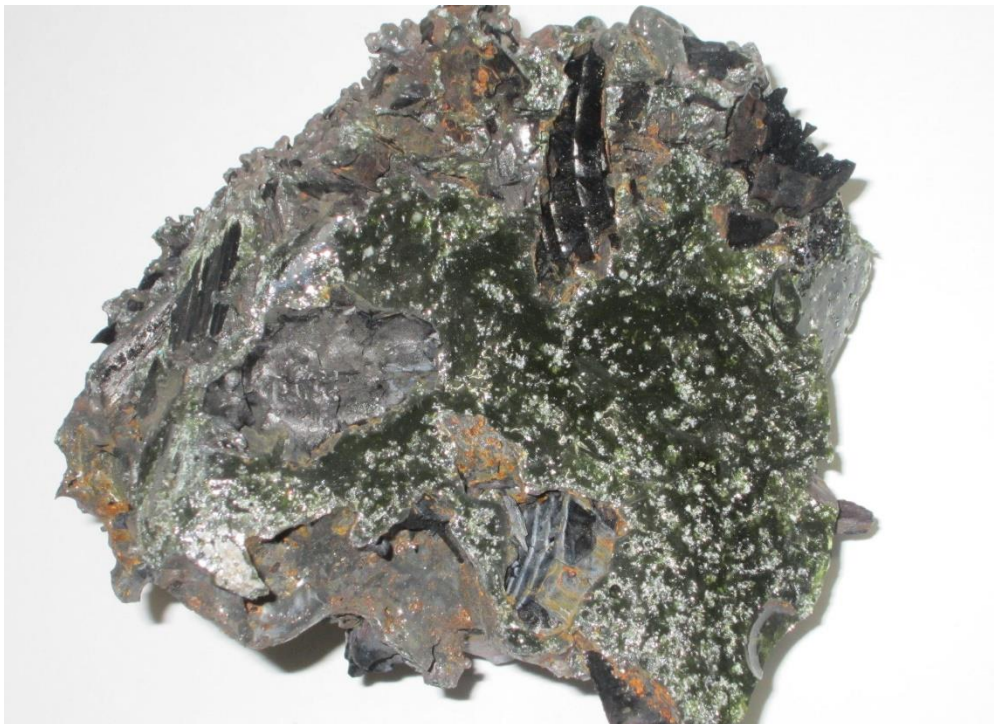


図 3-6 取り出したガラス化したノロ

(3) ノロの形状, 流動性, 化学組成

本節では, ノロが実際の溶岩をどこまで再現しているのかを検討する.

(i) 流出したノロの形状

粘性の低いノロ (炉内の温度が高い) が流出したときには, 表面が波状となって冷え固まる. これは, 玄武岩溶岩が流出する際の縄目状溶岩 (パホイホイ溶岩) の形状と非常に似ている (図 3-7, 3-8).



図 3-7 縄目状溶岩 (ハワイ島: 筆者撮影 2010. 3. 4)



図 3-8 縄目状になったノロ

また、ノロの粘性がやや高い（炉内の温度が若干低い）場合は表面がガサガサになる。これは、実際に玄武岩溶岩が流出する際の鉾滓状溶岩（アア溶岩）の形状と非常に似ている（図 3-9）。これらから、粘性の低い溶岩（玄武岩溶岩）が冷え固まる際の形状の再現と言ってもよいと考える（荒牧・宇井, 1989）。



図 3-9 粘性がやや高い鉾滓状のノロ（→部分）



図 3-10 化学組成を調べたノロ

(ii) ノロの化学組成

2012 年 8 月に実施した溶岩流出モデル実験で得られたノロ (図 3-10) の化学組成を、FP 法蛍光 X 線分析によって調べた。分析は、札幌の(株) アースサイエンスに依頼し、JEOL 製 JSX-3100R II 分析装置 (エネルギー分散型) で、砂鉄、ノロ、鉄を $100\mu\text{m}$ 以下に粉碎したものをプレス (錠剤化) し、真空状態で測定した。結果は 100% で換算したものをを用いた。

表 1 は流出したノロ及び実験で使用した砂鉄の分析結果である。砂鉄は、磁鉄鉱 ($\text{Fe}_{304}=\text{FeO} \cdot \text{Fe}_{203}$) を主とし、少量の石英、斜長石、チタン鉄鉱などを含んでいる。チタンは磁鉄鉱に固溶している可能性もある。また、ノロには鉄と二酸化ケイ素が多く含まれていることがわかった。ノロ中の二酸化ケイ素と酸化アルミニウムは主に炉壁から入り込んだと考えられる。耐火断熱レンガであっても、実験終了時には多いところでは 40% ほどが溶け出している。図 3-11 は炉の水平断面の中で、炉底から 4 段目に使った耐火断熱レンガを見たものである。炉壁に使用したレンガは標準シャモットレンガ ($\text{SiO}_2: 52.0\%, \text{Al}_2\text{O}_3: 42.0\%$) の SK34 (AGC セラミックス, 2013) 及び高温雰囲気用耐火断熱レンガ ($\text{SiO}_2: 34.9\%, \text{Al}_2\text{O}_3: 63.1\%$) の GM15 (丸越工業, 2013) である。ノロ中のカルシウムは、実験で添加した貝殻粉由来である。

さらに、本実験以外のノロの化学組成を確認するために 2003 年に福島県文化財センター白川館で行われた鉄作りイベントで得られた砂鉄、ノロの化学組成分析結果 (JFE テクノリサーチ株式会社/分析・評価事業部埋蔵文化財調査室, 2005) を利用する。分析は鉄鋼に関する JIS 分析法に準じて行っている。結果は 100% で換算したものをを用いた。白川館鉄作りイベントのたたら製鉄炉は粘土で作られた本格的な炉である。表 2 は砂鉄及び流出したノロの化学組成分析結果である。ノロ出しは 11 回行われ、表 2 の①は 6 回目、②は 7 回目のノロである、③は実験終了後に炉の中で固まったノロである。



図 3-11 実験後のシャモットレンガ

表 3-1 ノロの FP 蛍光法 X 線分析結果

	砂鉄	ノロ
(Wt.%)		
SiO ₂	13.4	23.8
TiO ₂	1.7	2.8
Al ₂ O ₃	4.5	11.7
FeO	77.0	50.5
Cr ₂ O ₃	0.1	0.0
MnO	0.4	0.7
MgO	1.1	0.6
CaO	0.7	5.9
Na ₂ O	0.0	0.9
K ₂ O	0.3	1.4
P ₂ O ₅	0.6	1.1
ZrO ₂	0.3	0.5

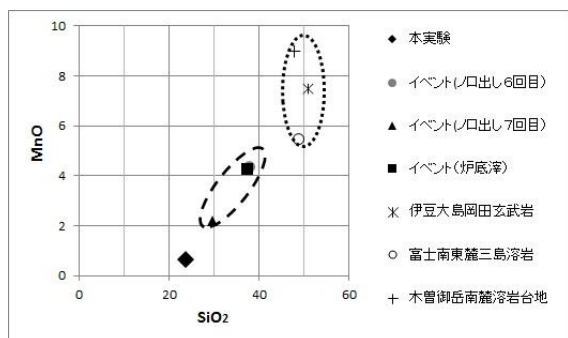
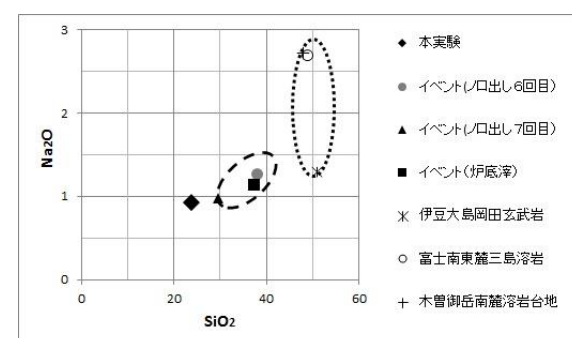
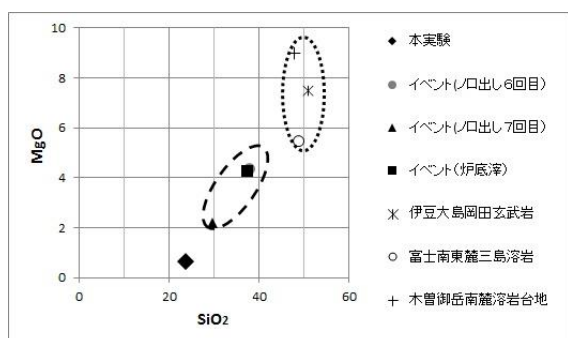
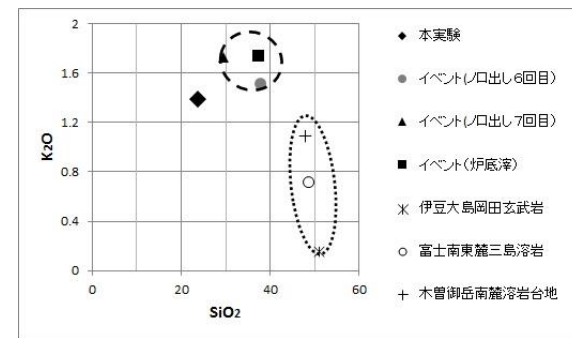
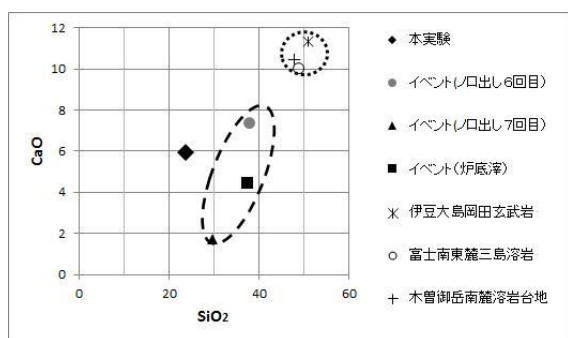
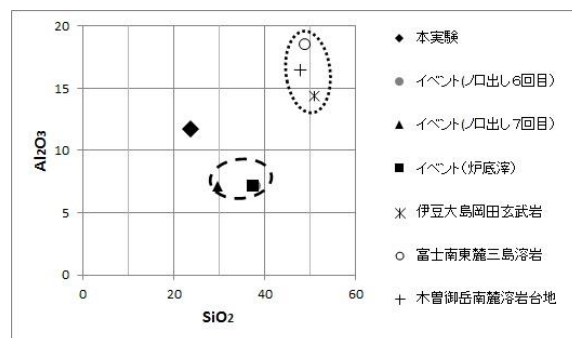
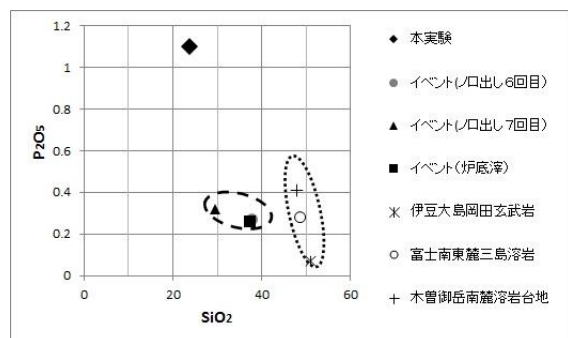
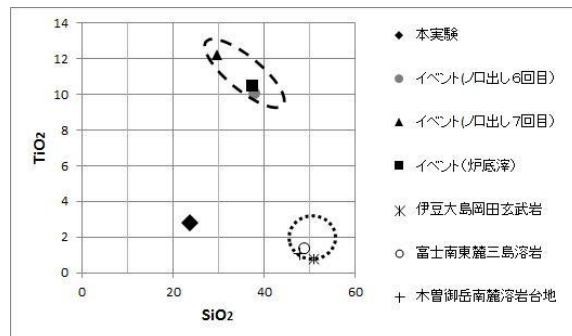
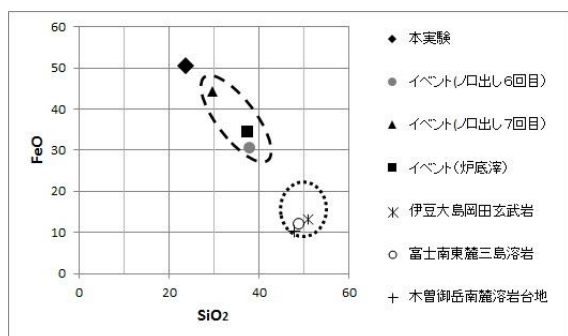
表 3-2 砂鉄・ノロの化学組成分析表, 分析結果

	砂鉄	ノロ①	ノロ②	ノロ③
(Wt.%)				
SiO ₂	4.6	37.4	29.4	36.4
TiO ₂	13.8	10.0	12.1	10.2
Al ₂ O ₃	2.0	7.2	7.1	7.1
FeO	29.6	6.8	23.3	14.9
Fe ₂ O ₃	45.6	23.3	20.6	19.0
MnO	2.1	0.6	0.6	0.6
MgO	0.6	4.3	2.2	4.3
CaO	1.2	7.3	1.7	4.4
Na ₂ O	0.1	1.3	1.0	1.1
K ₂ O	0.0	1.5	1.7	1.7
P ₂ O ₅	0.4	0.3	0.3	0.3

白川館鉄作りイベントで得られたノロは、前述の溶岩流出モデル実験で得られたものよりも多くの二酸化ケイ素を含んでいる。これは白川館鉄作りイベントで使用した炉の壁が、粘土 (SiO₂ : 78.0%, Al₂O₃ : 11.9%) を使用していることからであろう。炉壁と砂鉄から半々の割合でノロに入り込んだと考えられる。

(iii) ノロの流動性と溶岩学習教材としての価値

本論文の実験炉を使った実験及び白川館鉄作りイベント共に、鉄がノロに入り込み、二酸化ケイ素の割合が 20~40%である。また、両者とも流出したノロは粘性の低い性質をもっていた。久城 (1978a) は、「珪酸塩メルトにおいては、Si-O 結合が基本構造をつくっており、Si-O-Si の結合の程度によって粘性が変化するらしい。たとえば、SiO₂ のメルトに (中略) 金属酸化物を加えると、連続した Si-O-Si は金属原子が途中に入ることによって切れたり、あるいは弱い金属結合が間に入ることによって、その付近の結合が弱くなったりする。その結果、粘性も低下することになる」と論じている。表 3-1 及び表 3-2 より本論文の実験炉で得られたノロ及び鉄作りイベントで得られたノロの二酸化ケイ素の重量%は玄武岩質溶岩の重量%45~52 (都城・久城, 1975) より低い値を示す。伊豆大島岡田、富士南東麓三島溶岩、木曾御岳南麓溶岩台地の玄武岩の化学組成 (久城, 1978b) を比較するため、Harker 図にプロットしたものを図 3-12 に示した。本実験炉で得られたノロの粘性が低いのも二酸化ケイ素の重量%の値が低いからであることがわかる。本実験炉から流出するノロには酸化鉄が高い割合で含まれているため、現在見るができる溶岩とは、組成では類似していない。また、筆者の実験炉では、よりノロの粘性を低くするために、砂鉄質量の 10%に相当する貝殻粉を添加している (境, 2002)。このため、砂鉄と炉壁の組成に炭酸カルシウムが混ざったものがノロになっていると考えられる。さらに、その他の化学成分からの含有量についても、砂鉄の組成にもよるが玄武岩の組成とはあまり類似していない。しかし、(3) ノロの形状、流動性、化学組成の (i) 流出したノロの形状で述べたように、冷え固まったノロの表面形状が粘性の低い溶岩が流出し冷え固まった形状と似ており、詳細な化学組成の一致にこだわらなければ粘性の低い溶岩の教材として使える。さらに、炉内で高温のノロが生成された後、保温に優れた耐火断熱レンガの性質を利用して粘性の低いノロが流出する様子を『溶岩』として児童生徒に見せることもできるだろう。(4) で小学校における授業実践の結果を述べる。



本実験 ノロ イベント ノロ 玄武岩 溶岩

図 3-12 玄武岩及びノロの Harker 図

(4) 小学校における授業実践

総合的な学習の時間における「鉄づくり」を中心に据えた授業を2012年度に北海道教育大学附属釧路小学校6年生を対象に実施した。図3-13は、本実践における社会科及び理科の授業と総合的な学習の時間の連関を示している。

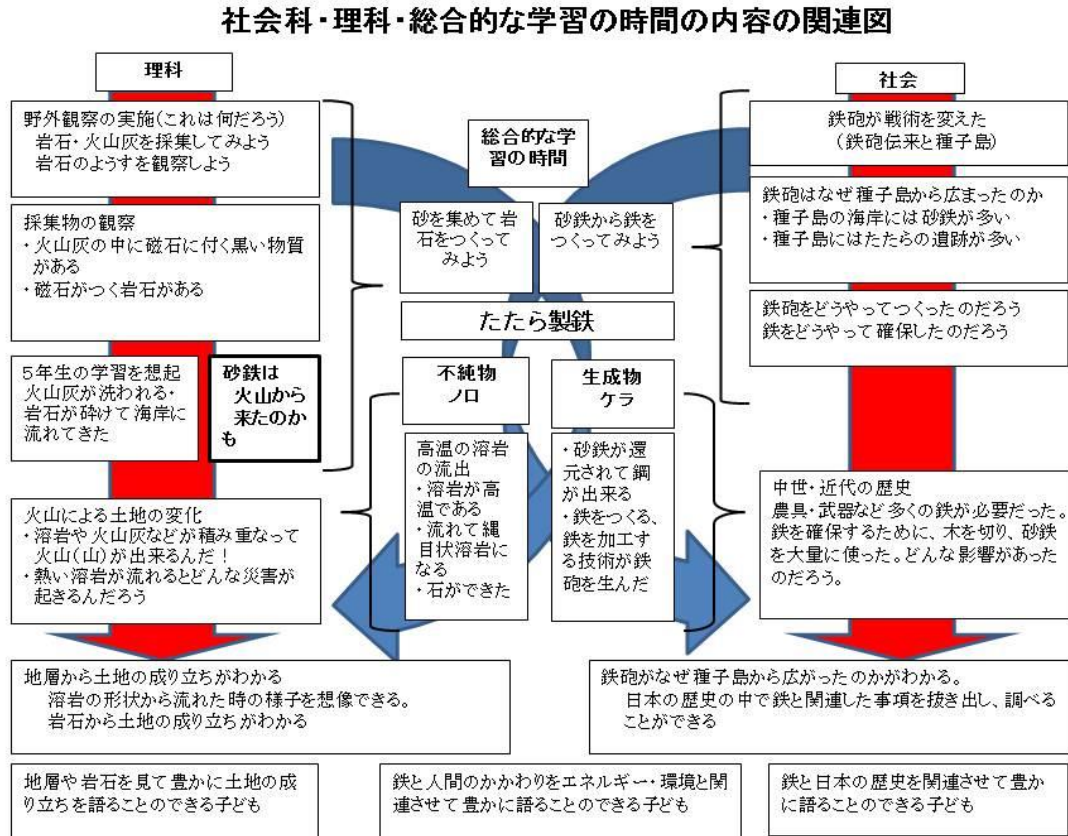


図3-13 社会科及び理科の授業と総合的な学習の時間

理科では単元「土地のつくり」の中で身近に多い砂鉄（磁鉄鉱）を扱うとともに、火山噴火による土地の変化の場面で溶岩流出モデル実験を行うために以下の内容を加えて行った。

- ・地域の露頭で見られる火山灰をわんがけすると火山灰の中に砂鉄（磁鉄鉱）が含まれていること。
- ・北海道の海岸には火山灰が洗われて堆積した砂鉄が多いこと。
- ・火山噴火によって土地が形成されることがある。この火山噴火によって火山灰が降り、火山灰中の磁鉄鉱が砂鉄として海岸などに堆積していること。
- ・火山が噴火する度に、溶岩や火山灰が何度も繰り返し堆積することで火山体が成長すること。

また、社会科では、以下の学習を行っている。

- ・鉄が歴史の様々な転換点で意味を持っていること。たとえば、ポルトガル人によって伝えられた鉄砲が、鉄の生産（たたら製鉄）と加工技術によって日本国内で複製が可能であった。このことから一気に日本国内に鉄砲が広まり、武器として活用されたこと。また明治政府による富国強兵政策により鉄の増産が図られ、その後の戦争や産業の育成に大きな影響を与えていること。

これらの理科と社会科の学習が「鉄」というキーワードでつながっていることから、総合的な学習の時間において「鉄づくり」を行うと共に、火山噴火による溶岩の流出実験を同時に行っている(図3-14)。また、炉の解体では、炉内を全員に覗かせ、炎の色と共に猛烈な熱気を肌で感じさせた。

授業を終えて、児童がノロ出しの場面を記述した感想には、火山に関する記述が多く見られた。「どんな物が出てくるだろうと楽しみでした。見てみるとすごい熱気が全身にあたって熱かった。ちょっと怖か

った。」「一番印象に残ったノロ、驚きの温度です。まさかの 1000 度超え。ドロドロだった。」「鉄の棒を入れて溶けたりしないか心配した。マグマを実際に体験できたような感じだろう。」「中にあるときはオレンジ色だったのに、外に出てくると黒色に次第に変わっていく。なぜなのだろう。」「ノロは溶岩のようです。1000 度以上もあり、びっくりしました。はじめはどろどろしていたのにすぐに固まりました。そして水の中に入れるとすごく沸騰してすごいと思いました。」多くの児童は、鉄ができたことと同時に、炉の中の熱さを感じている。また、真っ赤になったものが出てきたこと、それらが冷やされると黒色に変化していくことに興味を持って書いている。ノロを溶岩と捉えた場合、強烈な熱とともに、どろどろした物質が出てくることを目と皮膚で感じさせることができた。



図 3-14 ノロ出しを観察する児童

(5) 成果と課題

小型たたら教材用を溶岩流出モデル実験炉に転用し、ノロの流出を教材として活用することで、児童に火山噴火の際、流出する溶岩の温度や形態について実感をもって感じさせることができることを明らかにした (境, 2015)。

地学教育の魅力は、児童に長い地球の歴史の中の一瞬を観察させ、地球のドラマを実感させることにある。そのドラマを実感させるには、体験的な実験や、多くの観察が必要である。ところが、現行の小学校における地学分野の授業時数だけでは実感させるには難しい。そこで総合的な学習の時間を活用し、社会科と理科の関連した内容を結びつけ、十分な授業時間を確保する。ここでは、本論文の溶岩流出モデル実験炉を使い、総合的な学習の時間における「たたら製鉄」を通して、社会科と理科を結びつけ、体験的な実験を行う時間を確保することができた。

鉄づくりにおけるノロの流出を単に鉄の不純物の流出として見せるのではなく、「火山噴火における溶岩流出のモデル」として見せることで、児童のイメージが大きく変わることが児童の感想からわかった。児童の感想からは、溶岩が高温であることや、赤いノロが次第に冷えて黒色になること、ノロを火山噴火の溶岩流出と重ね合わせてイメージしていることなどがわかり効果があったと捉えることができる。

附属釧路小学校での実践では、流出した溶岩がやや粘性が高く鉾状を示した。小型炉ゆえに、途中で木炭の落下がうまくいかず、炉内の炭の位置で微妙にノロを出す付近の温度が下がることが原因と考えられる。そのため児童が期待した縄目状溶岩を見せることはできなかった。ノロ出しの際、内部ではノロが熔融状態でも、ノロを出す付近の炭の状態ではノロの温度が低下し、粘性が高くなる場合がある。

この現象は、小学校理科においては発展的な内容となる。中学校理科では、火山噴出物とマグマの性質との関連を考察させることがねらいとなっていることから、マグマの粘性についてより理解を深めるために、下の2点について触れることができるだろう。

①ノロに含まれる二酸化ケイ素の割合が低いことから、粘性が低い性質があること。

②粘性が低くても温度によって粘性が変わり、温度が高いと流れるが、温度が低いと流れにくくなること。

現状では、炉内の温度をコントロールできない。そのため、出てくる溶岩の形状が縄目状溶岩か鉾状溶岩か、どちらが出てくるかをコントロールできないことが課題である。

文献

AGC セラミックス株式会社(2013)：標準シャモット質レンガ分析結果. AGC セラミックスホームページ http://www.agcc.jp/2005/databank/04_01_03.html.

荒牧重雄・宇井忠英(1989)：§1. 2 溶岩流の構造・概観. 久城育夫・荒牧重雄・青木謙一郎(編)，日本の火成岩，岩波書店，東京，pp.3-9.

林信太郎(2006)：世界一おいしい火山の本，小峰書房，東京，pp.37-95.

JFE テクノリサーチ株式会社 分析・評価事業部埋蔵文化財調査研究室(2005)：鉄づくりイベント産出鉄塊の分析調査. 福島県文化財センター白川館研究紀要，2004，pp.33-64.

久城育夫(1978a)：§6. 2 マグマの粘性. 久城育夫・荒牧重雄(編)，岩波講座 地球科学 3 地球の物質科学 II -火成岩とその生成-，岩波書店，東京，pp.195-206.

久城育夫(1978b)：§5. 1 日本列島第四紀の火山岩の岩石的性質. 久城育夫・荒牧重雄(編)，岩波講座 地球科学 3 地球の物質科学 II -火成岩とその生成-，岩波書店，東京，pp.153-170.

窪田蔵朗(1973)：たたら製鉄法. 考古学選書9鉄の考古学，雄山閣出版，東京，pp.249-289.

栗田政利(1984)：鉄でも岩石でもとろかそう. 楽しくわかる観察・実験，新生出版，東京，pp.106-107.

丸越工業(2013)：高温雰囲気用耐火断熱レンガ GM 分析結果. 丸越工業ホームページ <http://www.marukosi-jp.com/products/special.html>.

都城秋穂・久城育夫(1975)：§18-3 火成岩の岩型の分類表，岩石学II-岩石の性質と分類，共立全書，東京，pp.59-63.

文部科学省(2008a)：小学校学習指導要領. 東京書籍，東京，p69.

文部科学省(2008b)：中学校学習指導要領. 東山書房，京都，p66.

境智洋(2002)：レンガ式鉄づくり小型炉の開発とその実践. 教育学の研究と実践1，pp.13-20.

境智洋(2004)：歯科用型取り材を用いた火山体モデルづくり. 平成15年度東レ理科教育賞受賞作品集，(財)東レ科学振興会，千葉，pp.36-39.

境智洋(2005a)：たたら製鉄実験のマニュアル化と教育実践. 平成16年度ノーステック財団基盤的研究開発育成事業報告，札幌，pp.1-10.

境智洋(2005b)：鉄作りマニュアルを用いた小規模校によるたたら製鉄の実践. 北海道教育大学へき地教育研究センター研究紀要，60，pp.1-10.

境智洋(2015)：小型たたら製鉄炉で生じるノロとノロを活用した溶岩学習教材、地学教育，67，pp.147-156.

下岡順直・三好雅也・馬渡秀夫・吉川慎・山本順司・渡邊克裕・斎藤武士・杉本健・山田誠・三好まどか・竹村恵二(2011)：七輪でマグマをつくる. 地学教育，64，pp.53-69.

2 小規模校による教科教育との連携によるたたら製鉄実習の実践と成果

「たたら製鉄」を一般の人や子どもたちに体験させる試みが、炉の構造や作業の過程を小規模にすることによって、全国で行われるようになった。その多くは、炉を製作した研究者や技術者が中心となって準備を行い、鉄づくりの行程の一部を一般の人や、子どもたちが体験するに留まっていることが多い。

本論では、小学校、中学校において、筆者が開発した教材用小型たたら製鉄炉や室蘭工業大学材料物性工学科材料製造プロセス学研究室開発のペール缶炉（片山ほか1999）で、筆者が作成した「鉄づくりマニュアル」を活用したへき地小規模校の実践を取り上げる。そこから「たたら製鉄」を教材として学校教育のどこに位置付け、どのように活用すべきなのかを「総合的な学習の時間」の活用と共に検証する。

（1）道内小規模校における「たたら製鉄」実践

「鉄づくりマニュアル」を活用して「たたら製鉄」を行った2校の実践を以下に示す。両校は、「たたら製鉄」を体験学習の一貫で終わらせるのではなく、一連の学習の流れの中に位置づけて行われた。また、蘭越町立三和小学校は、炉の設営も同校の森川信弘教諭が中心となって行ったものである。

わくわくタイムの年間カリキュラム

月	全校の取り組み (100時間) 「地域の名人から学ぼう」	3・4年 (95時間) 「わたしたちをとりまく 自然や環境」		5・6年 (100時間) 「地域を見つめる」	
		学級テーマ 「周りの自然をし らべよう」	個人テーマ 「人々や暮らしを 知ろう」	学級テーマ 「地域から学ぼう」 (45)	個人テーマ 「炭・鉄・米」 (30)
4	陶芸教室 (5) ・作品の計画 ・名人から学び、 焼き物を成形する ・できた作品の鑑賞	国際 (17) 世界学校・世界の文化	甜菜の秘密 (45) ・農業体験 甜菜の植え付け) ・情報収集の基礎・ 表現に役立てよう ・収穫 ・甜菜について調べ、 いろいろな食べものを作る。	炭を作ろう (45) ・炭焼き体験 ・炭と砂鉄で鉄を作ろう ・「炭の効能や、利用方法などを調べる。炭作りは、地域の名人と一緒に作業をする。」	国際 (17) 世界学校・世界の文化
5					
6					
7					
8					
9					
10	わら細工教室 (5) ・米づくりの歴史やわらの活用について調べる ・計画 ・実技講習 ・感想やお礼の手紙	・世界の森にすむ動物	人々や暮らしを知ろう (25) ・個人テーマの設定 ☆ 道路 ☆ 仕事 ☆ 建物 ・下調べ ・フィールドワークの計画 ・まとめと課題 ・全体のまとめ	炭・鉄・米 (30) ・個人の興味関心に基 づいた課題を設定し、 課題解決学習を行う。 ☆ 炭について ☆ 鉄のひみつ ☆ お米の実験 ・集会に向けての準備	・世界の森にすむ動物
11					
12					
1					
2					
3					
9月～わくわく集会 (2) *全校での発表交流					
2月～わくわく集会 (2) *全校での発表交流					
		次年度へ向けて (6) ・資料整理と次年度への展望を持つ。		次年度へ向けて (6) ・これから調べたいことについて考える。	

図 3-15 三和小学校の総合的な学習の時間

(i) 蘭越町立三和小学校(2004 年)

蘭越町立三和小学校は、全校児童 17 名(2004 年)の小規模校で、山間部の学校である。総合的な学習の時間(わくわくタイム)で「ふるさと学習」に取り組んでいる。図 3-15 からわかるように、地域理解を大きなテーマとし、高学年は「地域を見つめる」をメインに学級テーマ「地域から学ぼう」個人テーマ「炭」「鉄」「米」を設定して取り組んでいる(森川 2005)。

北海道南部では、明治初期にレンガを組み立てた炉を使って砂鉄から鉄をつくっていた経緯がある(近堂 2004)。また、製鉄遺跡も北海道南部に点在することから、明治初期から製鉄が行われていたことがわかる(穴澤 2002)。北海道南部の歴史を顧みることを学習に取り入れ、森川教諭は、学校の教材として今まで取り上げることに無かった蘭越町の木炭と砂鉄から鉄をつくることを行った。さらに、米の栽培から収穫までを一貫して体験させることも平行して行い、自分たちの地域の良さに目を向け、蘭越町を誇りに思えるような子どもを育成したいと考えた。以下は三和小学校の鉄づくりの流れである。

(1) 鉄づくりの基礎知識を得る

森川氏は、「たたら製鉄」の基礎知識を得るために様々な研修会に参加してきた。2002 年北海道立理科教育センターにおける特別研修講座「鉄をつくる」、2004 年室蘭のたたら講習会、さらに理科教育センターでの課題研修に参加し「地域素材を活用した総合的な学習の時間の授業づくり」というテーマで 1 年を通して鉄を中心とした教材化を検討した。

(2) 木炭の製造

三和小学校 P T A の協力を得て春に学校林の間伐材を回収した。その後、地域の炭焼きに従事する人に協力をお願いして間伐材を活用した炭作りを行った。子どもたちは切り取った木を揃える作業、炭窯への運搬作業、炭出し等の作業を行い、夏休み明けには約 200kg のトドマツ炭を作り上げた(図 3-16)。



図 3-16 炭作り体験



図 3-17 砂鉄の採集

(3) 砂鉄の採取

5 月に 5・6 年生が日本海側に面した蘭越町港町において砂鉄を含む砂を採取した。学校に戻り採取した砂鉄を含む砂を、子どもたちが磁石で砂と砂鉄を選別した(図 3-17)。その後、回収した砂鉄を水洗し、乾燥させた。

(4) 炉の組み立て

鉄づくりマニュアルにある設計図を参考にしてたたら製鉄実習の 3 日前に 5、6 年生児童と森川教諭が小型レンガ炉の設営を行った(図 3-18)。送風管の取り付け、レンガの組み立て、モルタル塗りなど児童にとって初めての体験であった。「これで鉄ができるのか」という疑問と共に、自分たちでつくった炭と集めた砂鉄から鉄をつくることに期待が高まった。

(5) たたら製鉄体験 (2004 年 9 月 24 日)

学校のグラウンドにおいて、午前 9 時より実習を行った(図 3-19)。森川教諭が授業時間から開始できるよう 7 時から炉に火を入れて炉を暖めておき、児童が登校する頃にはオレンジ色の炎が炉から立ち上がっていた。



図 3-18 完成した三和小学校のたたら製鉄炉



図 3-19 鉄作りと三和小学校児童

筆者作成のマニュアルの作業例をもとに、子どもたちは3グループに分かれて「炭切りと炭の装入」「砂鉄の計量と装入・貝殻粉の計量と装入」「炉の様子と、木炭、砂鉄、貝殻粉の装入量の記録」に分かれ、クラスの代表1名が村下（たたらでは技師長を村下という）となって全体の指示にあたった。途中から雨が降り出し、あいにくの天候であったが、午後2時には、約1.5kgの鉄が誕生した。表1は、子どもたちが炉の様子、炭の量、砂鉄の量などを記録したものである。

森川氏は、総合的な学習の時間で行った「たたら製鉄」について以下にまとめている（森川 2005）。

- ・「たたら製鉄」などのものづくりを通し、地域と協同で行う場面が多くあり、また活動の様子を広く公開することで学校と地域の結びつきが強化され、学校との地域の協力体制が密接になってきた。
- ・子どもたちが地域に飛び出し、地域に根ざした産業を調べたり、関わっていく姿が出てきており、地域を再発見する姿がでてきている。

三和小の実践は、「たたら製鉄」を子どもたちの1つの体験に留まらず、総合的な学習の時間を活用し、地域の産業や地域の歴史と関連させることで、子どもたちに地域の学習をダイナミックに展開させている。

表 3-3 三和小学校の「たたら製鉄」の記録

	時間	砂鉄	木炭	その他		時間	砂鉄	木炭	その他
1	9:08		300g	炭がどさっと落ちた。	46	11:25	200g		
2	9:09		300g	もう一回落ちた。	47	11:29	200g	600g	炭をたくさん入れた。
3	9:10		300g	またまた炭が落ちた。	48	11:31	200g		砂鉄30回目たっせい！
4	9:12	200g		600℃あった	49	11:34		300g	
5	9:16	200g	300g	炭と砂鉄を入れた。	50	11:36			雨が強くなってきた…。心配。
6	9:21	200g	300g	どっちも入れた。	51	11:40		600g	炭が40回目になった！
7	9:25	200g	300g	村下がかきまぜる。	52	11:41	200g		
8	9:27		300g	炭を入れた。	53	11:46	200g	300g	
9	9:30	200g		砂鉄を入れた。	54	11:49		300g	貝殻をたくさん入れた。
10	9:34		300g	天気があやしい…。	55	11:50	200g		
11	9:35	200g			56	11:52		300g	
12	9:37		300g	炎があがる。	57	11:56	200g	300g	
13	9:38	200g			58	12:00	200g	300g	砂鉄35回目。
14	9:40		300g	炭10回目いれる！	59	12:07		300g	交代で給食をとる。
15	9:42	200g	300g	炭がどさっと落ちた。両方投入	60	12:08	200g	300g	
16	9:45	200g	300g		61	12:12	200g	300g	屋根つきでつつつきにくい。
17	9:51	200g		砂鉄10回目投入。	62	12:15	200g	300g	どっとも入れた。
18	9:53		300g		63	12:20	200g	300g	炭50回目になったよ～！
19	9:57		300g	炭だけ入れた。	64	12:25	200g	300g	砂鉄40回目になった。
20	10:01	200g			65	12:32		300g	
21	10:03		600g	炭をたっぷりと入れた。	66	12:34	200g		
22	10:06	200g		雨が降り始めた。小雨。	67	12:38	200g	300g	
23	10:10		600g	燃え方がはげしくなる。	68	12:43	200g	300g	
24	10:11	200g			69	12:46		300g	
25	10:13		300g		70	12:50	200g	300g	
26	10:16	200g			71	12:54		600g	
27	10:19		600g	炭をどっさりと入れたよ。	72	12:56	200g		雨のため、ここでおしまい。
28	10:21	200g		砂鉄15回目！やったー！	73	13:00			挿入中止。ノロだし。
29	10:28	200g	300g		74	14:00			ケラだし。約1, 5kgのケラ。
30	10:33	200g		ろの中がドロドロ。	75	15:00			片づけ終了
31	10:34		300g	炭の小さいやつを入れた。	76				
32	10:38	200g	300g		77				
33	10:43	200g	300g	砂鉄と炭を入れた。	78				
34	10:45	200g	300g	砂鉄20回目たっせい！	79				
35	10:50	200g	300g	雨つぶが大きくなってきた。	80				
36	10:52		300g		81				
37	10:55	200g	300g		82				
38	11:00	200g	300g	炭30回目いきました。	83				
39	11:03		300g		84				

No.	時間	炭量	砂鉄量	気がついたこと	No.	時間	炭量	砂鉄量	気がついたこと
	7:30			炉の底で炭を燃やす	48	13:45			村下突く
	8:15			炉を設営	49	13:47	300	200	炎の音が聞こえる
	8:45			火入れ	50	13:50			ノロが湧いている
	9:00			ブローで送風開始	51	13:52			森川IT突く
	10:50			子ども配置につく	52	13:52	300	200	下から炎吹き出す(修理)
1	11:00	300	200	操業開始	53	13:55			村下突く
2	11:03	300		炎が赤い	54	13:56	300	200	炭が下に落ちてくる
3	11:06	300	200	炎がオレンジ	55	13:59	300	200	
4	11:11	300	200	鉄が見えてきた	56	14:04	300	200	ノロのつららができる
5	11:14	300			57	14:10	300	200	
6	11:20	300	200	あちこちから炎吹き出す	58	14:14	300	200	校長T突く
7	11:25	300	200	炎が赤くなった	59	14:18	300	200	
8	11:30	300	200	電圧20V	60	14:22	300	200	貝殻50g
9	11:33			電圧17V	61	14:27	300	200	
10	11:36			記録交代	62	14:30	300	200	ノロだし
11	11:38	300	200	ノロ出し口壊れる	63	14:36	300	200	
12	11:40	300		炎がオレンジ色	64	14:39	300	200	ぼたぼたたれている
13	11:42	300	200	上から炎吹き出す	65	14:43	300	200	泡見たいのが出る
14	11:45			新栄Tが炉を突く	66	14:45	300	200	じゅくじゅくしている
15	11:45	300	200	風が強くなる	67	14:48	300	200	じゅくじゅくしている
16	11:50			森川IT炉をつく	68	14:52	300	200	ぶるぶるしたものが出る
17	11:51	300	200	炎オレンジ濃くなる	69	14:55	300	200	ぼたぼたしている
18	11:52			境T炉をつく	70	14:59	300	200	ノロのつららできる
19	11:53	300	200	炭が落ちない	71	15:03	300	200	ぶくぶくしている
20	11:55			校長T炉をつく	72	15:06	300	200	ちっこいぶつぶつ
21	11:57	300	200	村下炉をつく	73	15:10	300	200	みんな上手くなった
22	12:00				74	15:13			村下突く
23	12:04			小さい炭が落ちる	75	15:13	300	200	炭が常に動く
24	12:05	300	200	村下つく	76	15:18	300	200	ノロつらら巨大化
25	12:08			大きい炭の固まり見える	77	15:20			村下送風管突く
26	12:10	300	200	新栄Tが炉を突く	78	15:21			校長T突く
27	12:14			村下突く	79	15:22	300	200	日が傾く
28	12:16	300	200		80	15:23			村下突く
29	12:18	300	200	砂鉄挿入遅れる	81	15:25			村下突く
30	12:23	300	200	森川IT炉を突く	82	15:25	300	200	ノロを出す
31	12:28	300	200		83	15:30			5分ノロがずっとでる
32	12:32	300	200		84	15:34	300	200	4時休憩決定
33	12:39	300	200	森川ITちょす	85	15:39	300	200	
34	12:44	300	200		86	15:40	300		
35	12:49	300	200		87	15:42	300	200	
36	12:50	300	200	ゴボって鳴った	88	15:44	300	200	
37	12:53	300	200	見えなかった	89	15:47	300	200	ぐつぐつしている
38	13:00	300	200	ぼたぼた落ちる	90	15:50	300	200	泡見たのがある
39	13:09	300	200	落ちてきた	91	15:53	300	200	何ともいえない
40	13:11	300	200	どんどん落ちてきた	92	15:57	300	200	変わりなく
41	13:15	300	200	貝殻50g挿入					

(ii) 黒松内町立中ノ川小中学校(2003 年～2004 年)

黒松内町立中ノ川小中学校は、山間部の全校生徒・児童9名(2004 年)の小規模校で、後志管内唯一の小中併置校である。2003 年度から2カ年にわたり文部科学省「理科大好きスクール」に指定され、総合的な学習の時間、選択理科の時間活用して古生物学者を招いたり、地域の博物館と協同しながら「大型動物化石の復元」を行った。また校内にはミニ博物館を設置し、子どもたちが科学に目を向けるよう取り組んでいる。また総合的な学習の時間「なかなかタイム」では、人と人のふれあい、地域に学ぶことを中心に、少人数ゆえの機動力を生かした活動を行っている。

2003 年から2年間の「なかなかタイム」の中で、中ノ川中学校横山光教諭は、地域の砂鉄から鉄を作り出し、製品までをたどる「たたら製鉄」「鍛造」を体験させようと考えた。これらの活動を体験することによって多くの人との出会いや多くの人と協力する場面があり、コミュニケーション力を育てることができると考えた。さらに地域の自然、日本の伝統技術を体験を通して学び、さらに子どもたちの思いを生かした展開へと結びつけようとした。以下がたたら製鉄・鍛造体験の流れである。

(1) たたら製鉄 (2003 年9月22日)

砂鉄は、事前に生徒が寿都湾沿いの海岸から採取したものを用いた。前日に先生方で炉を組み立て、当日は朝8時45分に火を入れた。炉が暖まるまでの間、1時間目は全校理科を行い、砂鉄と鉄の違いを実験によって確認、さらにスズを溶かして鋳型に流し込みペーパーウェイトをつくる活動を行った。

2時間目からは、マニュアルの作業分担を参考にして、外に出て全校を3グループに分け作業を行った。村下として中学3年生の1名が全校児童生徒を指示し、寿都産の砂鉄200gと、寿都産のホタテ貝をすりつぶした粉20g、カラマツ炭300gを70回交互に入れる作業を5時間繰り返した。30、45、60回目には、砂鉄の不純物を取り出すノロだしを行い、真っ赤な液状のノロが炉から流れ出した。炉を解体し中から約3kgの鉄(けら)が取り出された。表2は、子どもたちが炉の様子、炭の量、砂鉄の量などを記録したものである。



図3-20 ノロだしの様子



図 3-21 村下役の中学校 3 年生とできたケラ

(2) 瑞泉鍛刀所への訪問

2004 年度になり，日本製鋼所室蘭製鉄所内瑞泉鍛刀所へ訪問した。

出来上がった鉄を叩くが，ノロ（鉄の不純物）が多くなかなかまとまらなかった．そこで，鍛刀所に保存していた玉鋼を実際に叩き，鉄が伸びることを実感した．



図 3-22 鍛刀所での鍛造

(3) たたら全国サミットで発表

2004年10月に室蘭で行われた「第5回全国たたらサミット」では、大勢の観衆の中で、今までの鉄づくりの経緯と成果を発表した。以前は、人前での発表が苦手だった子どもたちが、堂々と自分の実践をもとに、日本の伝統、鉄づくりの大変さ、協力する大切さ、鉄を通して多くの出会いについて多くの人に伝え、会場から大きな拍手が贈られた。

横山教諭は、総合的な学習の時間を活用して行った「たたら製鉄」体験学習を以下にまとめている（横山 2004）。

- ・「鉄づくり」「鍛造体験」「発表」と多くの経験を積むだけでなく、「たたら製鉄」を通して多くの人と出会うことができた。
- ・たたら製鉄が教材として大きく広がりを持ち、子どもの成長にとって得るものが大きかった。

中ノ川小中学校の実践は、「たたら製鉄」を子どもたちの体験のスタートに位置づけ、そこから子どもたちの鉄を加工してみたいという思いを生かした展開に拡大させ、地域を飛び出してダイナミックに展開させている。

(2) たたら製鉄の教育上の効果と総合的な学習の時間

2校の実践から「たたら製鉄」が、「総合的な学習の時間」を活用することによって様々な展開を創造することができることがわかってきた。以下、たたら製鉄実習を行った場合の教育上の効果と、総合的な学習の時間に位置づけて「たたら製鉄」実習を行った場合の効果を示す。

表 3-5 1999 年から 2005 年までの北海道内のたたら製鉄実習の一覧

実施年月日	実施した場所(学校)	対象	炉数
1999年10月	白老町立白老緑丘小学校	6年生(理科) 80名	4基
2000年11月	別海町立別海中央小学校	6年生(総合) 120名	4基
2001年10月	中標津町立中標津東小学校	4年生(総合) 85名	3基
2002年2月	北海道教育大学釧路校	大学生(集中講義) 30名	1基
2002年8月	自然体験村とこ昆虫の家	4～6年生(自然体験活動) 20名	1基
2002年8月	北海道立理科教育センター	教員研修(20名)	1基
2002年9月	室蘭祝津臨海公園	たたらフォーラム(演示)	1基
2003年9月	黒松内町立中ノ川小中学校	全校児童・生徒(10名)	1基
2004年3月	札幌市立伏見小学校	6年生(課外活動) 60名	2基
2004年5月	北海道立理科教育センター	教員研修(20名)	1基
2004年8月	室蘭市輪西公園	○ 教員研修(50名)	4基
2004年9月	蘭越町立三和小学校	◎ 5・6年生(9名)	1基
2004年10月	室蘭市輪西公園	たたらサミット(演示) 室工大生	1基
2004年11月	根室市立瑤瑤瑠小学校	6年生(10名)	1基
2005年2月	北海道教育大学釧路校	大学生(集中講義) 30名	1基
2005年5月	北海道立理科教育センター	教員研修(24名)	1基
2005年8月	自然体験村とこ昆虫の家	4～6年生(自然体験活動) 30名	2基
2005年8月	室蘭市輪西公園	◎ 4～6年生親子・教員70名	4基

(○)は筆者が築炉し第三者が実践した実習 ◎は筆者監修のもと筆者以外が築炉し実践した実習)

i) たたら製鉄実習の効果

表 3-5 に掲載した筆者が関与した「たたら製鉄」を行った小学校において、子どもたちから次のような感想があった。

- ・鉄が少ししかできなくて、とてつもなくエネルギーをつかうことがわかった。
- ・鉄をつくるのにこんなに苦労するとは思わなかった。

- ・身の回りの鉄がこんな風につくられてきたなんて。
- ・ほんの小さな鉄を作るのに、たくさんの人、たくさんの炭、たくさんのエネルギーが必要なのがわかった。

また、アンケートや指導者の意見等の検討から、以下の教育上の効果があることがわかった。

- ①『人間と自然とのかかわり』『ものづくりとエネルギー』を学習する有効な教材であり、「たたら製鉄」から様々な発展的な展開ができた。また、子どもたちの「ものの見方」に新しい視点を与えることができ、ものとエネルギーについての科学的な思考を促すことができた。
- ②日常生活の中のもののでき方について興味関心が高まった。
- ③ 地域の自然を資源という視点から捉えることができ、自然への興味を広げることができた。

これらのことから、「たたら製鉄」が、ものづくりを学ぶだけでなく様々な広がりをもつ教材として有効であることがわかってきた。

(ii) 総合的な学習の時間を使った「たたら製鉄」

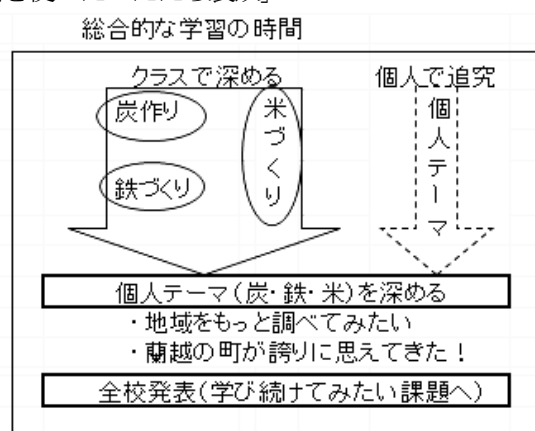


図 3-23 三和小学校高学年の総合的な学習の時間

三和小学校では、米づくり、炭作り、鉄づくりの3つの大きな体験学習を総合的な学習の時間に位置づけた。図 3-23 にあるクラスで深めるとは、クラス全員で共通の課題について取り組んでいる姿を示している。同様に、個人で研究とは、炭作り、鉄作り、米作りに関して個人個人が疑問に思ったことを個人で解決していく姿を示している。

その後、クラスの一人一人がさらに「炭・鉄・米」に関して課題をもって調べていった。学年末には学校内だけでなく、地域へ飛び出して追究した活動の成果が模造紙等にまとめられ、全校児童の前で発表している。発表では、蘭越町の豊かな自然や地域の良さを実感したことと共に、これから自分たちがどのようにこの地域、自然と関わっていくべきかを考えた発表がなされた。教師の「地域を誇りに思う子ども」に育てていきたいという思いが実った実践である。

中ノ川小中学校では、「たたら製鉄」で得られた鉄をもとに、鍛造体験を行い、次の展開へステップアップしている。また「ほ乳類化石復元」をメインにした総合的な学習の時間を行うことによって、積極的に地域と関連をもち、学校の活動を「なかなかタイム」通信として町内に配布したり、多くの場において発表するなど外に開いた活動を展開している。今では、黒松内町の新しい観光資源「クジラ化石」を提供している。「多くの人と関わらせていきたい」と

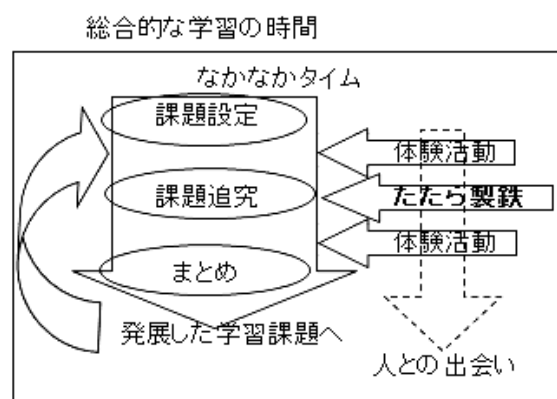


図 3-24 中ノ川小中学校の総合的な学習の時間

いう教師の思いが大きく実った実践である。図 3-24 は中ノ川小中学校の総合的な学習の時間（なかなかタイム）の概要を図に示したものである。少人数ゆえの機動力を生かした体験活動（たたら製鉄も体験活動の一部である）を多く行い、メインの総合的な学習とリンクさせてダイナミックに展開している。

2校の実践から「たたら製鉄」を単に体験学習として位置づけるのではなく、総合的な学習の時間を有効に活用し、そこから様々な広がり創造すると、その活動が大きく発展していくことがわかる。「たたら製鉄」が学習展開のきっかけや深める場面になったのである。

両校の総合的な学習の時間は、以下の要素を持っている。

- ① 学習の内容の中に子どもたちが1つの事をなし遂げる大きな体験学習（たたら製鉄実習など）があること。
- ② 教師の願いが反映され、子どもたちが学習を積み上げていく過程で大きな成長が見えること。
- ③ 子どもたちが、地域や社会に飛び出していこうとしたり、何か行動をとりたいと考える姿があること。つまりやってきたことが自分との関わりになってくること。

つまり、両校は「総合的な学習の時間」を有効に使って目の前にいる子どもたちを育てていくために、一遍の単なる活動や、教科の補充の時間ではなく、創造性のあるダイナミックな学習を展開しているのである。

（3） おわりに

小規模校においても、トピックで行われている「たたら製鉄」が、教科教育との連携を図ることでもものづくりを学ぶだけでなく様々な広がりをもつ教材として有効であることがわかってきた。さらに総合的な学習の時間を活用することによって、創造的かつダイナミックな展開を作り上げる1つの教材として効果を示すことがわかってきた。

ここに総合的な学習の時間をメインに理科と総合的な学習の時間をリンクさせた年間指導計画例を図 3-25 に示す。理科と総合的な学習の時間をリンクさせることでダイナミックな学習が展開されることが示されているものである。

第4学年 理科

(学年で取り組む時間 50 時間)

月	単元(題材)	ねらい・総合的な学習と関連する主な学習活動	*評価 ○支援	他教科との関連
4	●あたたかくなると (4) ○電気のはたらき (14)	○自分たちが住む学校周辺の動物、植物をゲームを利用して観察したり、調査したりすることによって、自分たちの住む環境が春・夏を通してどんな自然環境にあるのかを知る事ができる ・学校周辺の森に行って、動物・植物を観察する ・学校周辺の自然をネイチャーゲームで楽しむ ・学校周辺の自然を友達と共有することための工夫をする ・自分の家と学校との間の自然を調べてみる	*多様な動植物の名前を使うことができたか *植物の成長の違いが天気や気温などに影響を受けていることが理解できたか ○調査の方法・資料のまとめ方をつたえる	○社会見学(社会) 浄水場・下水処理場 ゴミ処理場の見学 ○水のゆくえ(社会)
5	●あたたかくなると (5)			
6	○あつくなると (6)	調べたい課題を見つけ、自分なりに調べる方法を身につける1学期		
7	●自由研究計画 (2)	○夏休みに調べてみたいことをまとめ、調べる方法を考えることができる ・夏の身近な動植物を調べてみたい ・昆虫採集をしてみたい ・植物の分布を調べてみたい ・植物と人間生活のかかわり (15時間)	*何を調べ、どうまとめていくか見通しをもつことができる ○様々な調査の方法をつたえる ○資料の発表の仕方の方法をつたえる ○資料のまとめ方の工夫を伝える	○花を見つける手がかり ○とんぼの楽園づくり (国語・説明文) ○町に大きなかばがきた (国語・聞く話す)
8	●自由研究発表 (2)	○課題を見つけ調査したことを、まとめ、発表することができる		
9	○星の動き (6)	○自分たちが住む学校周辺の動物、植物を観察したり、調査したりすることによって、自分たちの住む環境が秋・冬を通してどんな自然環境にあるのかを知る事ができる ・学校周辺の森に行って、動物・植物を観察する ・学校周辺の自然をネイチャーゲームで楽しむ ・学校周辺の自然を友達と共有することための工夫をする ・自分の家と学校との間の自然を調べてみる	*天気、気温、場所などの変化の様子と動植物の変化の様子を関連づけて記録することができたか ○友達と協力してまとめさせる ○ポスターセッションの方法を指導する	
10	●すずしくなると (7)			
11	○水の姿とゆくえ (15)	新しい視点をもって調べたい課題を見つけ、調べる方法を身につける2学期		
12	●寒くなると (6)	○調査して発表する中で、新しい視点を見つけることができる ・標津川が削ってできた中標津の地形を調べる ・川の始まり。川の終わり ・大地に含まれるもの ・砂鉄の起源と火山 ・地域素材を生かしたものづくりで自然と人間のかかわり 『砂鉄から鉄をつくろう』 (25時間)	*季節の変化と動植物の変化を関連づけて説明することができる *中標津の自然を周辺の環境と結びつけて説明する事ができる ○自然のものでできるものづくりから新しい視点をあたえる	○遊び方を紹介しよう (国語・聞く話す) ○書き表現を工夫して (国語・作文)
1	○もののあたたまり方と体積 (13)	○自分たちが1年間にわたって観察したり、調査したことをまとめることができる ・あつめた資料をもとに、ポスターにまとめる ・資料館・図書館・インターネット等を活用して自分の課題に沿って調べてまとめていく	*生き物季節による成長や季節による活動の違いを分かりやすく表す事ができる。	○北海道 (社会) ～地域からの発信
2	●生き物の1年を振り返って (10)	調べたことをもとに、地域の自然の豊かさを伝えることのできる3学期		
3		○自分たちが調べたこと、実験してわかったことを、他の人にわかるように伝えていくことができる ・参観日等で1年間のまとめを発表する ・暖かい地方へ中標津情報を発信する (10時間)	○発表の仕方を生かし高め合うセッションをさせる ○わかったことを工夫して伝達する方法をつたえる	

●は、総合的な学習に発展させる単元

理科で目指す子ども像 ○見通しを持って実験、観察に取り組む子ども ○学んだことをよりよく表現することができる子ども	総合的な学習の時間で目指す子ども像 ○自分なりの課題を見つけ追求しようとする子ども ○五感を使って課題をよりよく解決しようとする子ども
---	---

図 3-25 中標津東小学校4年生 総合的な学習の時間と理科を関連させた年間指導計画

文献

穴澤 義功(2002) :鉄の考古学入門, 第4回たたらサミット資料集, pp. 5-19.

窪田蔵朗(1973) :鉄の考古学, 考古学選書9, 雄山閣出版, 東京, pp. 249-299.

近堂 俊行(2004) :五稜郭と古武井溶鉱炉ー武田斐三郎の築造した高炉, 第5回たたらサミット資料集, pp. 24-49.

境 智洋(2002) :レンガ式鉄づくり小型炉の開発とその実践, 教育学の研究と実践第1号, 北海道教育学会, pp. 13-20.

境 智洋(2005) :レンガ式たたら製鉄炉による鉄づくり, 平成16年度東レ理科教育賞作品集, pp. 1-4.

境 智洋(2005) :たたら製鉄実験のマニュアル化と教育実践, 平成16年度ノーステック財団基盤的研究開発育成事業報告.

境 智洋 たたら製鉄, 北海道立理科教育センターホームページ

<http://www.ricen.hokkaido-c.ed.jp/340chigaku/tatara/top1/index.htm>.

森川 信弘(2005) : 地域素材を活用した総合的な学習の時間の授業づくり, 北海道立理科教育センター研究紀要, 第17号, pp. 63-66.

横山 光(2004) :すばらしい鉄づくり体験, 第5回たたらサミット資料集, pp. 64-67.

3 北海道教育大学附属釧路小学校による教科教育との連携によるたたら製鉄実習の実践と成果

北海道教育大学附属釧路小学校（以下：附属釧路小）では2008年度より、各教科等と総合的な学習の時間を連携させて環境教育を進めてきた。本論では、教科教育との連携に「たたら製鉄」を位置づけた取り組みの成果について論じる。

(1) 教科教育との連携プログラム

環境教育は、広範囲で多面的な問題である。ゆえに、各教科を通じ教科教育との連携による取り組みを必要とする問題である。大地に視点を当てた体験活動からは、「土地の歴史」に関するもの、「災害」に関するもの、「土地と農業生産」に関するもの、「自然の素晴らしさや不思議さ」につながるものなど、多種多様な教科等に派生していく。そして、それらは様々な道筋をたどりながら、最終的には「大地の環境」という1つの視点に統合されていく。このような学びの中で、子どもたちは自己をとりまく環境と人間の活動とを総合的に理解し、自己の判断で行動していく事ができる人材へと育っていくと考える。環境教育とは、環境というフィルターを通して、各教科等での学びを見つめ、体験活動を中心に据えて環境という視点で各教科の関連を図りながら、教科教育との連携の学びを構築していく。

(2) 第6学年の教科間連携による環境教育

図3-26は附属釧路小学校「学びのストーリー」に記述された第6学年の年間指導計画である（北海道教育大学附属釧路小学校, 2009）。学びのストーリーとは、北海道教育大学附属釧路小学校の年間指導計画を指したもので、子どもたちの学びが物語のように各教科と総合的な学習の時間が関連し合って学ばれることを示している。2009年度は「大地」と「人類」を柱に年間指導が生まれ、真中を走る2つの流れ（大地と人類）に各教科が連携していることがわかる。

ここでは、「大地・人類の歴史から未来の環境を考える」ことが6年生のテーマとしてあげられており、ねらいとして「道東の大地がどのように作られ、その地の恵みを先人の人たちがどのように生かして生活してきたかを見学、調査、追体験する活動を通して、環境に関するものの見方や考え方を深め、より主体的に環境と関わり、環境を大切にすることができるようになる」ことが掲げられている。「たたら製鉄」は、ここでは社会科の「江戸時代の農業や文化について調べよう」の中で取りあげ、大きな流れの中で、たたらが教科教育との連携の中に位置付けられている。

図3-27は2015年度の附属釧路小学校「第6学年 学年・学級経営年間プログラム」である（北海道教育大学附属釧路小学校, 2015）。この図では、「たたら製鉄」が理科教育との連携の中に位置づけられ、さらに他の教科と連携しながら子どもたちの学びを深めていく構造図となっている。小学校の指導計画は、児童の実態や指導方法によって変わるが、北海道教育大学附属小学校は、各教科とたたら製鉄が関連し合っ

(3) 教科教育との連携効果の検証

教科教育とたたら製鉄実習を連携させることでどのような成果が見られるか。今回は、教科教育との連携をさぐるものであり、教科での学びがどのように感想に現れるかを児童の感想から分析することとした。そのため「たたら製鉄実習を行っている学校と、行っていない学校との比較」「同じ学校内で、たたら製鉄実習を行っているクラスと行っていないクラス」の比較は実施していない。

本調査は、たたら製鉄実習を効果的に行うための指導法を分析するものである。

北海道教育大学附属釧路小学校の実践例の効果を見るために、附属小学校の2つの取り組みとともに、以下に比較対象（2校）を示す。

- 1 : 教科教育との連携を実施し「たたら製鉄実習」を行った附属釧路小学校（１）
 - ・感想の内容に教師の指示はしていない。「たたらを振り返って」という感想用紙に記述させた。
- 2 : 教科教育との連携を実施し「たたら製鉄実習」を行った附属釧路小学校（２）
 - ・たたらを実施し、たたらの「メリット」「デメリット」についてメモを取らせ、その内容を膨らませて記録文として記述させた。
- 3 : 出前授業として行った函館市立高盛小学校
 - ・感想の内容に教師の指示はしていない。「感想用紙」に記述させた。
- 4 : 出前授業として行った羅臼町立羅臼小学校
 - ・感想の内容については指示を与えている。「今まで学んだ事と今回のたたらがどんな関係があるか。たたらを行ったこととどんな事が関係しているか考えながら感想を書きなさい」と指示を出し、感想用紙に記述させた。

なお、それぞれの実践は、以下の年度、日程で行われた。

- ・附属釧路小学校（１）の実践は2012年
- ・附属釧路小学校（２）の実践は2015年
- ・函館市立高盛小学校の実践は2012年
- ・羅臼町立羅臼小学校の実践は2015年

ア 実践の状況

○2012年・北海道教育大学釧路校



図 3-28 2012年 附属釧路小実践 全景



図 3-29 2012年村下役の児童と支援する学生



図 3-30 2015年 附属釧路小学校
ノロ出しを見学する児童



図 3-31 2015年けら出しの様子

2012 年 10 月及び 2015 年 10 月 16 日に北海道教育大学附属釧路小学校 6 年生において「たたら製鉄」実習を行った（図 3-28～3-31）。これは、図 1 による理科，社会などの教科教育との連携の中で行われた実習である。両たたら製鉄の授業は以下のように行われた。

(ア) 実施目的

標津海岸に堆積する「砂鉄」と，道内産のカラマツ松炭を利用し，日本古来の方法「たたら製鉄」の技法を用いて，鉄をつくる。日本古来の製鉄技法体験することを通して，子どもたちに，「ものをつくる」ことが多大なエネルギーを必要とするとともに，多くの労働が必要であることを実感させる。また，理科や，社会の学習と関連させ，鉄が人間とどのように関わってきたかを理解させる。

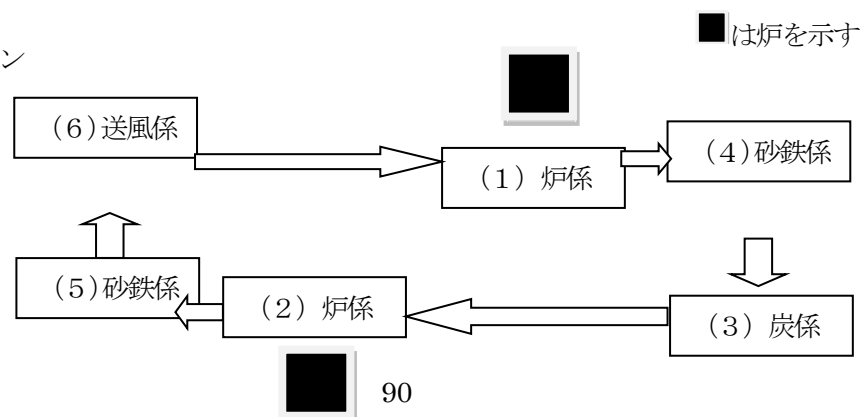
(イ) 日 程

- 6:00 炉づくり開始（北海道教育大学釧路校学生で行う）
- 6:30 火入れ
- 8:30 砂鉄装入開始
 - 1 時間目 「たたら製鉄」ってなんだろう？ 授業「鉄と人間のかかわり」
 - 2 時間目 6 年 1 組 6 つのグループに分かれて，ローテーションで作業
 - 3 時間目 6 年 2 組 6 つのグループに分かれて，ローテーションで作業
 - 4 時間目 学生が作業
- 12:30 作業終了
- 13:00～ 6 年生全体炉の解体 ※ 作業時間以外は平常の授業を実施
- 14:00 解体終了
- 15:00 炉の撤収

(ウ) 日程の具体

- 1 時間目
 - 「たたら製鉄」とはどのような製鉄技法なのかを「もののけ姫」や，鉄砲伝来など具体的な事例を示しながら，授業を行う。
- 2～3 時間目
 - グループに分かれ，以下の作業を行う。できる限り全員ができるようローテーションで行う。
 - (1) 村下（リーダー）の合図で，木炭を 300 g，砂鉄 200g と貝殻粉 20 g を炉の中に入れる。また，装入回数等を記録する。
 - (2) 同上
 - (3) 木炭を長さ 5 cm 程度にのこぎりで切る。村下（リーダー）の合図で切った木炭を 300g 計量して，の人に届ける。
 - (4) 砂鉄 200g と貝殻粉 20 g を計量して，村下（リーダー）の合図で（1）の人に届ける。
 - (5) 同上
 - (6) 送風（足踏み鞆を踏む）

(エ) ローテーション



以上のとおり実施した。

両実践とも、けらが誕生している。また、実施は、釧路校学生と共同で行っている。

○函館市立高盛小学校

教科教育との連携による授業の効果を見るために、たたら製鉄実習のみを行った実践例をあげる。2012年に函館市立高盛小学校4～6年生87名による「たたら製鉄」実習を行った。この学校では、たたらを1日実施し、4、5、6年生が交代で行った。以下の要領で行っているが、基本的に北海道教育大学附属釧路小学校での授業の流れは同じであり、学年ごとに取り組む形をとった（図3-32、3-33）。



図3-32 炉を解体する高盛小児童



図3-33 熱さを体験する児童

(7) 実施目的

函館海岸に堆積する「砂鉄」と、道内産のカラマツ松炭を利用し、日本古来の方法「たたら製鉄」の技法を用いて、鉄をつくる。日本古来の製鉄技法体験することを通して、子どもたちに、「ものをつくる」ことが多大なエネルギーを必要とするとともに、多くの労働が必要であることを実感させる。

(4) 日 時

2012年8月31日（金）1時間目～5時間目

(5) 日 程

6:00 炉づくり開始

7:00 火入れ

9:00 砂鉄装入開始

1時間目 4～6年生 「たたら製鉄」ってなんだろう？ 授業「鉄と人間のかかわり」

2時間目 4年生作業 4つのグループに分かれて、ローテーションで作業

3時間目 5年生作業 4つのグループに分かれて、ローテーションで作業

4時間目 6年生作業 4つのグループに分かれて、ローテーションで作業

12:30 作業終了

5時間目 4～6年生 炉の解体（6年生は解体作業に参加4・5年生は見学）

※ 作業時間以外は平常の授業を実施

14:00 解体終了

15:00 炉の撤収

以上のとおり実施した。

本実践では、けらが誕生している。また、実施は、釧路校学生2名が参加し補助を行った。

○羅臼町立羅臼小学校

高盛小学校同様に、たたら製鉄実習のみを行った実践例をあげる。2015 年に羅臼町立羅臼小学校 5, 6 年生 63 名による「たたら製鉄」実習を行った。この学校では、たたらを 1 日実施し、5, 6 年生が交代で行った。以下の要領で行っているが、基本的に北海道教育大学附属釧路小学校での授業の流れは同じであり、学年ごとに取り組む形をとった（図 3-34, 3-35）。



図 3-34 羅臼小学校実践



図 3-35 熱さを体験する児童

(ア) 実施目的

標津海岸に堆積する「砂鉄」と、道内産のカラマツ松炭を利用し、日本古来の方法「たたら製鉄」の技法を用いて、鉄をつくる。日本古来の製鉄技法体験することを通して、子どもたちに、「ものをつくる」ことが多大なエネルギーを必要とするとともに、多くの労働が必要であることを実感させる。

(イ) 日 時

平成 27 年 9 月 18 日（金）3 時間目～5 時間目

(ウ) 日 程

6:00 炉づくり開始

7:00 火入れ

9:00 砂鉄装入開始

3 時間目 6 年生作業 4 つのグループに分かれて、ローテーションで作業

4 時間目 5 年生作業 4 つのグループに分かれて、ローテーションで作業

12:30 作業終了

5 時間目 5, 6 年生 炉の解体（抽出した児童が解体作業に参加）

※ 作業時間以外は平常の授業を実施

14:00 解体終了

15:00 炉の撤収

以上のとおり実施した。

本実践でも、けらが誕生している。また、実施は、釧路校学生 6 名と共同で行っている。

イ 授業後の感想の分析方法

教科教育との連携を行ってたら製鉄実習を行っている場合と、出前授業でたら製鉄だけを一度きりで体験させるために行った実習の場合の児童の感想の比較を行う。ただし、この感想比較は、同じ学校の同じ児童で実施したものではなく、集団が違う児童で行っている。そのため、あくまでも異集団での検証であり、傾向をつかむ程度の検証である。

また、一度きりの体験学習は、学校教育ではよく行われることである。そのため、教科教育との連携を図っていない場合でも、効果的に体験学習ができる方法を探るため、感想を欠かせる際に教師の一言がどのように影響するかも検証した。

感想の分析は、教科との連携が児童に意識されているかを見るため、教科教育の中の単元に出てくる「言葉」をキーワードにそれらの言葉が感想に含まれているかどうかで検証した。

以下がキーワードである。

理科

6年生「ものの燃え方と空気」

Keyword：燃える，空気，酸素，二酸化炭素

6年生「土地のつくりと変化」

Keyword：マグマ，溶岩，火山，高温（マグマなどと比較して
過年度（4年生「電気の通り道」）

Keyword：金属，ピカピカ（金属と関連させて）

過年度（4年生「ものの温度と体積」）

Keyword：沸騰，水，膨張

社会

6年生「日本の歴史」

Keyword：鉄砲，刀，火縄銃（鉄を加工した武器など）

歴史的な建造物（鉄と関連させて），鋳物（仏像），戦争

鉄と関連させた年号や年代

過年度（5年生「職業」）

Keyword：昔と比較している言葉

ものづくりが大変（辛い・厳しい）

※昔と大変の両方に触れている

※日常生活と関連させている

表 3-6 理科との関わり

	Keyword	北海道教育大学附属蘭小(2012.11)	北海道教育大学附属蘭小(2015.10)	函館市立若竹小学校(2012.8)	
児童数		6年(69名)	6年(29名)	4年(23名)・5年(26名)・6年(39名)	5年(32名)・6年(33名)
学習用紙の表記		「たたら製鉄」の実習を終えて	日本に与えたメリット、デメリット	「たたら製鉄変遷」を行って、学んだことや感想を書きましょ	「たたら製鉄」の感想
教師の指示		プリントに書きなさい	たたら製鉄が当時の日本に与えた影響について報告文を書きなさい。	プリントに書きなさい	たたら製鉄をやって、今まで学習したことや、今まで体験したことと関連させて、感想を書きなさい
理科ものの燃え方と空気	・燃える ・空気 ・二酸化炭素	・鉄が燃えると火花が散る(6-2栗野) ・ものが燃えると、熱気が上ることがわかった(6-2青山) ・炎も燃える(6-2佐藤) ・空気を送ることで温度が上がることをわかった(6-2藤原) ・炭を燃やすだけで1300℃を超えることはびっくり(6-1佐々木) ・炭を燃やした後の灰は、温度が下がっている(6-1佐々木) ・鉄は燃えたと火花が散ります。実験に見てびっくりしました(6-2伊藤)	・ものを燃やすことで大量の二酸化炭素を作り出している(6-1 渡部) ・森を燃焼することで、空気中の二酸化炭素から酸素を発生させる草木成がでなくなること可能性がある。土砂が大量に川に流れ込み川も汚染されてしま(6-1伊藤) ・二酸化炭素などの排出の問題がある(6-1 八重樫) ・二酸化炭素が出て、森がなくなり空気が浄化できない(6-1 塚原) ・酸素を多く使う(6-1 高橋) ・酸素を使っている(6-1 高橋)	・ものの燃え方で「空気の入口と出口が必要」ということを学習しました。ふいこで空気を入れるのがよくわかりました(6年平藤) ・酸素がないと燃えないからそのやわぐりをふいこが果たしている(6年西田) ・火が燃えるときには「空気の出入り口」が必要でふいこをふんで、空気に酸素を多く入れ続けることが重要とわかった(6年平藤) ・ものが燃えるには酸素や酸素が必要だと思い出した(6年野) ・空気の出入り口をつくる必要がある(6年今野) ・火が燃えるのは空気や酸素があることがわかりました。ふいこで空気を送るのは、ものの燃え方と似ているとわかります(6年田中) ・鉄に火をつけるのと激しく燃えるということを教科書で見た(6年土橋) ・ふいこをやっていると、火は空気と空気の通り道が必要だったんだと理科の勉強を思い出しました(6年下柳) ・ふいこをふんで空気を送ることは、ものの燃え方と少し似ていると感じました(6年松田) ・ものの燃え方について勉強したとき、空気の通り道がないと火は燃えないと学習したので、ふいこを使っていることがわかりました(6年杉山) ・ふいこで空気をふき入れていく、理科でものの燃え方をやりました。空気の入れ替わりが必要なのことがわかります(6年四ツ尾)	
電気のとり道	・金属 ・ピカピカ (上記、鉄と関連させて)	・鉄を切るときに火花が散ることがわかる(6-2岡村) ・火花が散ることと鉄だとわかる(6-2佐藤) ・火花が散り鉄が入っている(6-2中村) ・びくびくしてつるつるしています。鉄だといことがわかります(6-2中村) ・鉄の塊が出てきて、表面がピカピカで、これが鉄だとわかりました(6-1川辺)			
ものの温度と体積	・沸騰 ・水 ・膨張	・鉄といくと、水は、急に沸騰する(6-1佐藤) ・真つ茶の鉄を、水にいれるとすぐに沸騰が確認しました(6-1竹川)			・鉄を水にいれるとすぐに沸騰した。すぐくびくびした(6年今泉)
土地のつくりと変化	・マグマ ・溶岩 ・火山 ・高温(マグマなどと比較して)	・ノロは驚きの温度で、まさに1000℃越えて、溶岩みたいでどろどろだった(6-2 野村) ・戸の中はマグマのようでした(6-2佐藤) ・戸に近づかなくても熱いことがわかった。溶岩を流しているよう(6-2赤石) ・ノロが出たときは、マグマがみたいだと思いました。1300℃くらいとききびっくりしました(6-2宇野) ・たたらの中は1300℃以上で火山のマグマと同じくらい温度なののだと思う(6-1大谷) ・マグマと同じくらい温度なのだと知って驚いたことのない温度でした(6-1川辺) ・ノロを出すときは溶岩みたいですごいと思います。ノロの温度は1000℃を超ええびっくりです。ノロはピカピカに、溶けるように固まっています(6-1竹川) ・ノロの中はマグマ以上の温度に感じます(6-1三間) ・ノロと温度が同じ、マグマがこんなあついということがわかった(6-1野生) ・ノロはマグマに匹敵する温度です(6-1藤) ・ノロはマグマに匹敵する温度です(6-1野村) ・温度がマグマと同じくらいです(6-1野村) ・マグマを実験に見ているのが不思議でした(6-2藤山) ・マグマの温度と一緒だと思っ(6-1中村)		・溶岩みたいなノロを流れてよかった(6年 高橋) ・火山の中を流ているようだった(6年吉田) ・温度がマグマの温度と同じくらい高いことは驚いた(6年四宮) ・マグマの温度と同じくらい高いこと(6年西村)	

表 3-7 社会科(歴史)との関わり

[illegible]

表 3-8 社会科(環境関わって・・6年生)

[illegible]

表 3-9 社会科(働くこと)との関わり

[illegible]

表 3-6～3-9 のとおり、教科との記述に関連した語彙が多いのは、教科教育と連携を図った附属釧路小の児童であることがわかる。

感想の中に既習事項の単語や文章がどれだけ記述されているかを見る。

A 教科との連携を図りながら、製鉄実習を行っている場合、自由に感想を書かせた場合は、学習した内容と関連付けた記述が多くなる傾向にある。

附属小学校（2012）では、表 3-6 から、6 年生の既習事項「6 年生理科：ものの燃え方と空気」と関連させている記述は 7、「6 年生理科：土地のつくりと変化」と関連させている記述は 13 である。さらに学習している途中であるが、表 3 より、「6 年生社会科の歴史」と関連させている記述は、11 となる。また既習事項であるが、「4 年生電気の通り道」の金属の性質に触れている記述は 5、「4 年生ものの温度と体積」での物質の三態に触れている記述は 2 ある。

歴史の中の鉄に触れている児童は「火縄銃」、「日本刀」、「刃物」などの鉄製品について触れており、歴史にふれながら、「昔の人の苦勞を知ることができた」「鉄が昔からつくられていた」「昔から行われてきた製法」「昔の人はすごい」「昔ものづくりは手作業で行われてきた」など、歴史の中の生活と結びつけた感想を記述した。また、温度について記述していた児童は、「鉄は赤いと熱い」、「のろが冷えるとすぐに固まる」、「水の中に入れたらすぐに沸騰した」、「オレンジ色のものが外に出ると黒に変わる」などとも記述している。さらに「土地のつくり」と関連させて記述した児童は「マグマの温度を感じることができた」「マグマに似ていた」などの火山噴火の溶岩流出と関連付けた記述があった。

鉄をつくる技術を「たたら」ということを全員が触れており、自由研究など発展した考えを持っていた児童は 8 名であり「鉄づくりが終わったつぎの日に砂鉄を採集に行ってきました。砂鉄に興味をもった」「もっと詳しくたたらを調べてみたい」「詳しい情報を集めてたたらに詳しくなりたい」「たたらをもっと知りたい」「たたらの事を伝えられるようになりたい」「鉄がどのように炉の中で鉄に変わっていくのかを調べてみたい」「昔の人たちが砂鉄や木炭の量をどのように計算して投入していたのか調べてみたくなった」との記述があった。

函館高盛小学校では、自由に感想を書かせている。学年が 4～6 年生まで幅が広く、比較する満足得る数値は得ていないが、傾向を見ることが出来る。「6 年生理科：土地のつくりと変化」と関連させている記述は 4 である。学習している途中であるが、表 3-7 より、「6 年生社会科の歴史」と関連させている記述は、3 となる（うち 4 年生で 1 あるが、関心の高い児童であろう）。

歴史の中の鉄に触れている児童は「火縄銃」「日本刀」について触れている。歴史にふれながら、「函館戦争以来の鉄づくりかもしれない(6 年生)」「函館戦争いらいの大森浜の砂鉄による鉄づくりで成功した(4 年生)」など、歴史と結びつけた感想を記述していた。また、「マグマ」や火山と関連させて記述した児童は「火山の中を見ているようだった」などの記述があった。

鉄をつくる技術を「たたら」ということについては 16 名が触れており、自由研究など発展した考えを持っていた児童は 2 名であり「鉄の歴史について調べてみようと思います(6 年生)」「たたらのことと鉄の歴史の事を調べてみたいと思います（4 年生）」という記述があった。

このように何も児童に指示を与えず自由に感想を書かせた場合は、教科教育と連携を意識した取り組みを行う取り組みを行っている方が、児童に教科と結びついた感想を書く傾向にあることがわかる。つまり、教科と結びつけて体験学習に取り組む姿勢ができていていることが伺える。

B 教科との連携を意識させるには、感想を自由に書かせるのではなく、教科を意識した書かせ方をすることで、学習した内容と関連付けた記述が多くなる傾向にある。

2015 年の羅臼町立小学校では、授業終了後に、児童に「たたら製鉄をやって、今まで学習したことや、今まで体験したことと関連させて、感想を書きなさい」と指示をして、感想を書かせ 65 名の感想を得た。

児童が感想を記述する際には、説明後には記述内容について指示を与えていない。その中で特徴的な事項を挙げる。

羅臼小学校では、表3-6から、6年生の既習事項「6年生理科：ものの燃え方と空気」と関連させている記述は11あった。附属小学校で記述の多かった「6年生理科：土地のつくりと変化」は未修であり、記述は0である。さらに学習している途中であるが、表3-7より、「6年生社会科の歴史」と関連させている記述は、6となる。また既習事項であるが、「4年生ものの温度と体積」での物質の三態に触れている記述は1ある。

その他、羅臼初の鉄が出来て良かった。楽しかったなどの記述があったが、「大変だった」「難しかった」など作業の大変さを記述した児童は、29名いた。「鉄を作るのがすごく大変(6年生)」「鉄をつくるのがこんなに大変(6年生)」など、作業を振り返り記述している。また、その中で「初めて鉄を作って、たくさんの時間をかけてやっているのに少ししか鉄ができていなかった(6年生)」「鉄を作ってみて時間がすごくかかるのに、あんなにも少ししかとれなかったのが驚き(6年生)」「作ってみていっぱい時間がかかったのに、少ししか出来ないことにびっくりした(5年生)」などの感想も記述されていた。「大変だった」「難しかった」など作業の大変さを記述した児童は、29名いた。「鉄を作るのがすごく大変(6年生)」「鉄をつくるのがこんなに大変(6年生)」など、作業を振り返り記述している。また、その中で「初めて鉄を作って、たくさんの時間をかけてやっているのに少ししか鉄ができていなかった(6年生)」「鉄を作ってみて時間がすごくかかるのに、あんなにも少ししかとれなかったのが驚き(6年生)」「作ってみていっぱい時間がかかったのに、少ししか出来ないことにびっくりした(5年生)」などの感想も記述されていた。

歴史の中の鉄に触れている児童は「大仏」について触れていた。「東大寺の仏像を作った人たちの大変さがわかった」「大仏を作っていたときもたたら製鉄で鉄を作っていたんだと思います」「社会科の資料集で仏像を作っているとき、たたらを踏んで空気を送っている人の絵がありました」などと記述している。実際は銅であるが、金属を溶かして流し込んだという学習とたたらが結びついたと考えられる。さらに特徴的なのは、「ものの燃え方」の学習と関連させている児童が6年生で多いことである。「ふいごで空気を入れることはものがもえるのに必要」「理科の授業で火が燃え続けるには空気の出入り口が必要で」「燃えるためには酸素が必要」など既習事項と関連させていた。

このように教師の「今まで学習したことや、今まで体験したことと関連させて、感想を書きなさい」によって、感想の内容が教科教育と関連させたものになっていくことが伺える。つまり、教科教育と連携して体験学習を実施する際、教科を意識させることで、一度きりの体験学習がより教科教育と連携した内容となっていくことができる。

C 国語との連携を意識させるには、感想を自由に書かせるのではなく、教科を意識した書かせ方をすることで、学習した内容と関連付けた記述が多くなる傾向にある。

2015年北海道教育大学附属小学校では、たたら製鉄実習終了後に、国語の時間で説明文を書かせている。その中で、「たたら製鉄のメリット、デメリット」でメモを取らせ、「たたらが行われた時代に日本に与えたメリット、デメリット」という内容で記述させている。指導者は、メリット、デメリットについて箇条書きでメモを書かせ、そのメモに従って内容を深めさせている。

表3-6から、6年生の既習事項「6年生理科：ものの燃え方と空気」と関連させている記述は6あった。さらに学習している途中であるが、表3-8より、「6年生社会科の歴史」と関連させている記述は、26となる。さらに、総合的な学習の時間で環境を柱にしていることから、環境分野との関連事項が多数を占めている。記述は27になる。

デメリットに占める環境及び労働に関する語彙が非常におおいのが特徴である。

このように国語の説明文にかかわり、時代と関連付けた様々な事象が見えてくる。この事象は、教科と関連した内容が多くあり、教科と関連したカリキュラムにさらに、教師が意図した内容を深めさせることが、説明文の書き方から出来る傾向が見えてきた。

(ウ) 考察

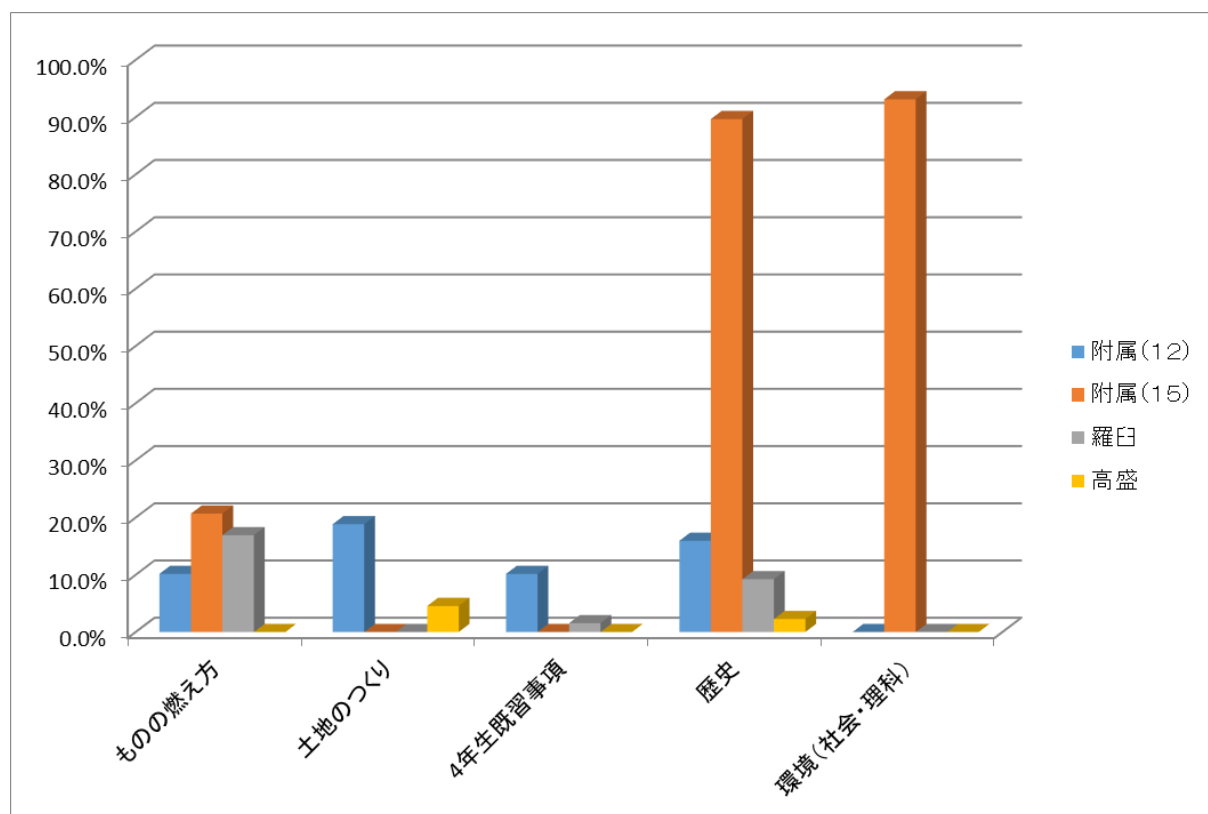


図 3-36 4校の児童の感想中の語彙数の比較

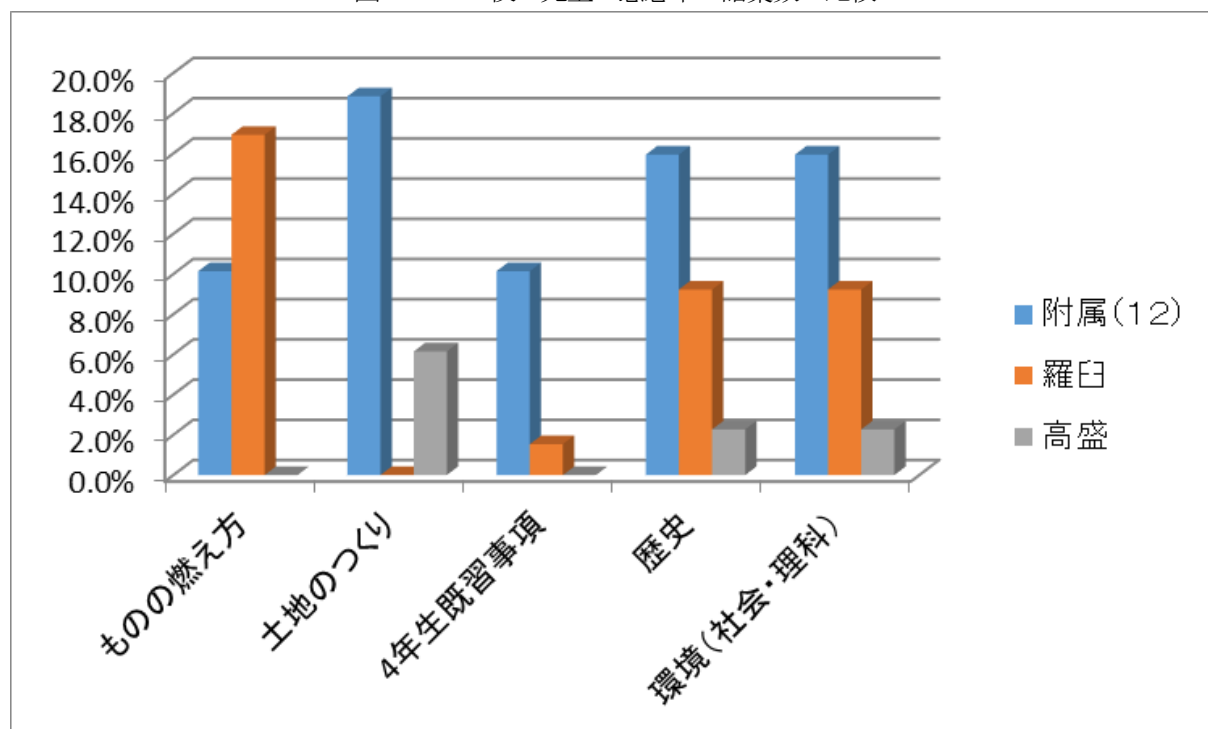


図 3-37 附属小(2012), 高盛小, 羅臼小の感想文中の語彙数の比較

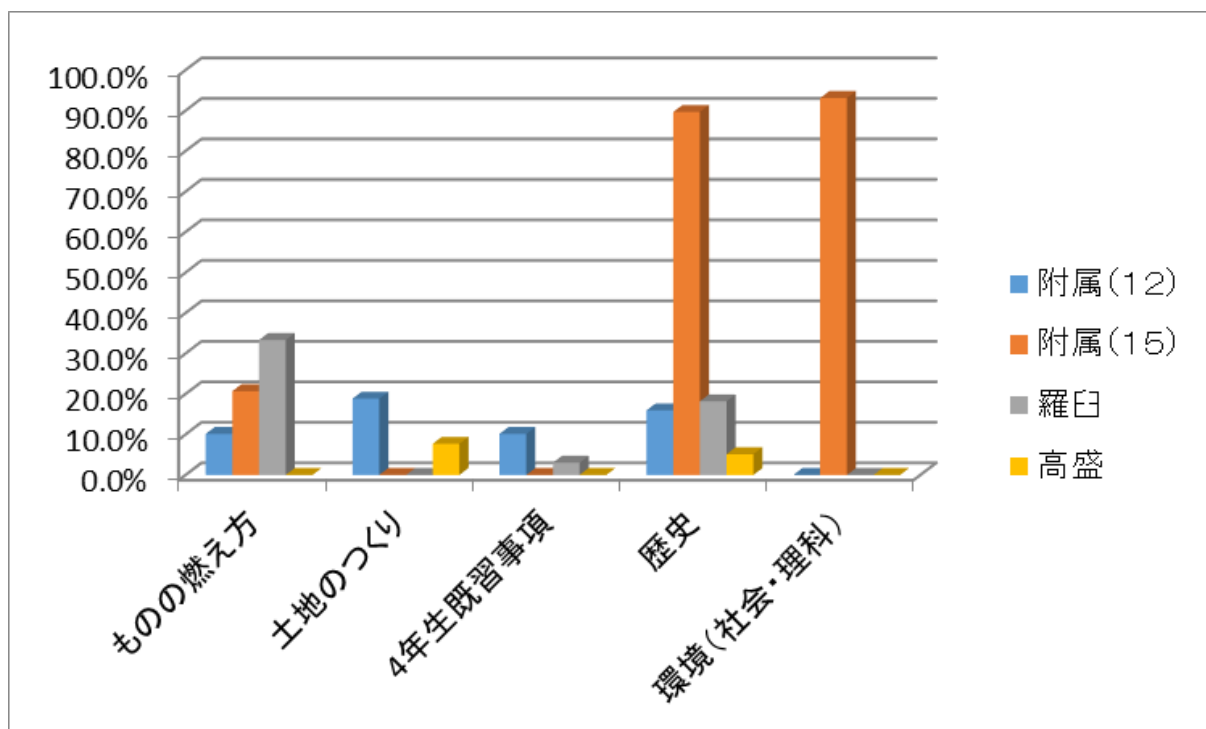


図 3-38 4校の6年生だけを抽出した場合の感想文中の語彙数の比較

図 3-36～3-38 より、附属小のように教科との連携を行うことにより、体験学習である製鉄実習が、児童にとって教科教育との結びつき、及び教科教育から発展した学びにつながっている。学年間の違いや、学校及び児童の違いはあるが、以下の成果があるといえる。

1. 理科，社会と結びついた感想を得られていることから、教科教育の学びを強固にするとともに、教科教育での学びが実感として定着させることができている。
2. 発展した考えを持つ児童が多いことから、教科教育の学びにとどまらず、教科教育から発展した学びへのアプローチが築かれている。
3. たたらを行うことで「楽しい」という感想だけでなく、実際の昔の人々の苦勞に言及する児童が多いことから、実体験したこと、人とモノづくりとの関わりや、人がどのようにものを得てきたのかを考えることが出来るようになってきている。

教科教育と総合的な学習の時間の連携は総合的な学習の時間が登場してから絶えず言われてきたことである。しかし、具体的な事例と、その成果を感想文の語彙から分析することはほとんど行われてこなかった。

上記のように、教科教育との連携を意識することによって教科教育の学びを強固にすることが分かってきた。さらに、たたら製鉄のような行事は、学校教育の中で年間計画に位置付かず、突発的に行われることもある。函館高盛小学校、羅臼町立羅臼小学校の事例である。その中で、教科教育と連携を図るには、児童に教科教育と連携を意識させることも必要であることがわかってきた。つまり、羅臼小学校のように「今まで学んだ事と今回のたたらがどんな関係があるか。たたらを行ったこととどんな事が関係しているか考えながら感想を書きなさい」と体験学習をそのまま終わらせるのではなく、「教科教育と関連を意識させる」「日常生活との関連を意識させる」ことによって、教科教育との連携までは至らないが、教科教育で学んだ事が、体験と関連していることを意識させることができることがわかる。一度きりの体験学習に向かわせる時、学習中、学習終了後、いずれも、教科教育や日常生活との関連を意識させる教師側、主催側の意識が重要であることがわかる。

ウ 環境教育とたたら製鉄

2015 年の北海道教育大学附属釧路小学校における実践での感想で、表 3-8 にある環境（環境に悪影響）に 27 人の環境破壊に関する感想が記述されている。これは、総合的な学習の時間で環境を柱にしていることから、環境分野との関連事項が多数を占めたことがわかる。しかし注目したいのは、「たたら製鉄のメリット、デメリット」でメモを取らせ、「たたらが行われた時代に日本に与えたメリット、デメリット」という内容で記述させていることである。児童 A は、「たたら製鉄は、動物に影響を与えます。木を切ったり山を崩したり自然を破壊してしまいます。反面、日本の昔からあるたたら製鉄が、日本の発達の力になった。」、児童 B は「山を崩して砂鉄を大量に使う。木を切って木炭を大量に使うことが環境破壊につながる。反面、たたらで作った鉄でつくる釘が法隆寺、東大寺などに使われているから長く残っている。織田信長などが時代を変えることにつながった」、児童 C は「何十トンもの木炭や大量の砂鉄を採集することは環境破壊につながる。反面、今も数多く残っている建造物は純度の高い鉄から作られた釘を使っているからです」など、メリット、デメリットについて両面を検討していることが特徴である。これは、説明文の指導の中で培った力である。ここで大切な事は、環境だけを視点にあてて、自然破壊であるということだけを書かせることは避けなければならない。人によってものを作ることは、メリットとデメリットがあるという考えを持つ事が出来ること、そのメリット、デメリットにも目を向かせる視点を与えることである。人が自然に働きかけ、自然からモノを得るには、環境を変えてしまう。つまり自然に負荷をかけることで人間が生活していることを意識させることが重要であろう。1992 年にブラジルのリオ・デ・ジャネイロで開かれた「環境と開発に関する国連会議」では、キーワードとして「持続可能な開発 (Sustainable Development)」が登場した (阿部, 1996)。その 5 年後テサロニキで「環境と社会に関する国際会議-持続可能性のための教育とパブリック・アウェアネス」という国際会議が開かれ、テサロニキ宣言が出されている。その中で環境教育を「環境と持続可能性のための教育」と表現してもかまわないとある (阿部他, 1999)。これは、環境教育が 21 世紀における「持続可能な社会、循環型社会」を実現される中核をなす教育として位置づけられたことである。持続可能な社会を築くためには、環境に負荷をできる限りかけないように、かつ持続可能な社会を築いていく意識を持ち、社会参画できる人を作ることである。たたらも日本の人々が生活を豊かにするために環境に負荷をかけて鉄を生み出してきた。環境に負荷をかけた事だけを取り上げては、環境に悪い影響が出ることだけに目が行くだろう。しかし、附属小学校での実践では生活を豊かにしてきた視点（メリット）を考えさせたことは評価したい。

たたら製鉄は、燃料が木炭で、砂鉄は山を崩して鉄穴流し（かんながし）によって得ていた (窪田, 1973)。このことから、山を崩し、木を切るだけを見ると一般には環境破壊というイメージがあるだろう。しかし、北村他 (1997) において、木炭と砂鉄について、以下のように述べている。

- (1) 1 つのたたら場で必要な木炭材の山は 100 町歩、大鍛冶場用が 30 町歩であった。たたら場用木材は 25~30 年たった木を切り株残して丁寧に切り、窯場で焼く。やがて切り株から出た芽は 25~30 年後には大きく伸びて、また木炭用木材になる。したがって、たたらには少なくとも 4000 町歩の山を必要とした。したがって鉄師は少なくとも 4000 町歩の山を必要としたが、乱伐するのではなく、育成に力が注がれていた。(大鍛冶場とは、ケラや鉄の粒を処理する場所である。鉄師 (たたら製鉄を行った人々・たとえば田部家、櫻井家などは広大な土地を所有した (窪田, 1973)。)
- (2) 砂鉄を採取した後の土砂が川に入ると下流の洪水の原因になった時期もあることは事実であるが、藩の事業として浚渫が行われ、土砂は農地を拡大するのに有効に使われた。狭い平地の跡地は畑とし、次第に水田作りを進めて新田開発を行った。また、下流の沼や河川敷を地上げして畑から水田に転換させた。鉄山と水田開発は十分に水源涵養、保水力確保に役立った。

ゆえに、奥出雲のたたらは、結果的には「エコロジ的な経営」であったという (北村他, 1997)。このようなエコロジ的な経営が成されていた奥出雲のたたらについて、子どもたちには環境破壊のイメージを植え付けるのではなく、様々な取り組みがなされ、環境を維持しつつあったたたら製鉄であったことも、伝える必要がある。また、宮崎駿監督の「もののけ姫」(宮崎, 1997a, b) には、たたら製鉄と自然と対立する人間を描いている。自然と人の共生を描いたというのが、舞台が奥出雲であると、鉄師、農民、藩、たたら労働者が力を合わせて共生しており、戦いではなかったとも言える。筆者は「もののけ姫」に描か

れた「たたら製鉄」のイメージを「自然破壊である」と子どもに与えることは避けなければならないと考える。

参考文献

- 阿部治 (1996) : リオ・デ・ジャネイロ宣言, 環境教育指導事典, 佐島群己ほか編, 国土社, 東京, pp. 36-37.
- 阿部治 (1999) : 「環境と社会に関する国際会議-続可能性のための教育とパブリック・アウェアネス」におけるテサロニキ宣言, 環境教育, 日本環境教育学会, 8, No. 2.
- 北海道教育大学釧路校・北海道教育大学附属釧路小学校 (2009) : 学びのストーリー～環境教育プロジェクト～, p. 15, 16.
- 北海道教育大学釧路校・北海道教育大学附属釧路小学校 (2015) : 学級経営年間プログラム集.
- 北村寿宏・片山裕之・高橋一郎 (1997) : 環境調和型製鉄法へのアプローチ～奥出雲の「企業たたら」の歴史に学ぶ鉄鋼業の環境対応技術の方向～, 島根大学総合理工学部紀要. シリーズ A , 31, pp. 291-301.
- 窪田 蔵郎 (1973) : 鉄の考古学, 雄山閣出版, 東京, pp. 250-258,
- 宮崎駿 (1997a) : もののけ姫 (上), 徳間書店, 東京, pp. 1-120.
- 宮崎駿 (1997b) : もののけ姫 (下), 徳間書店, 東京, pp. 1-120.

おわりに

1 成果と課題

筆者は小中学生を対象とし、小中学校の授業で実際に利用できる教材用小型たたら製鉄炉を製作した。この教材用小型たたら製鉄炉は、小学校や、社会教育での鉄作り実践を通して「いつでも」「どこでも」「だれにでも」できる教材用小型たたら製鉄炉であることを証明することができた。また、橄欖岩を砂状に粉碎したオリビンサンドを用いてレンガを作成し、そのオリビンレンガを用いて作成した教材用小型たたら製鉄炉を完成させ、コストを下げることに成功し、より安価でより確実に鉄ができる炉が完成した。また、炉を活用し火山を学ぶ1つの教材としての有効性を見いだした。続いてたたら製鉄実習を学校教育において実施する際には、教科以外にたたら製鉄実習を実施する時間、総合学習の時間を設置すべきであることを論じた。またこの総合学習を中心に据えて、教科教育と連携する授業方法が効果的であることを児童の感想から明らかにした。この成果は、今後、学校教育において子どもたちに鉄作りを体験させる際、さらに多くものづくりを実施させる際の一助となるものである。

本論では、教材用小型たたら製鉄炉の開発及び製鉄実習を効果的に行うための方法論を展開したが、各章を振り返り、成果を顧み、課題を導出する。

第1章では、たたら製鉄実習を行うにあたり、学校教育において、今までに鉄づくりがどのように行われ、その実践がどのように行われたのかを検討した。また、たたら製鉄実習を中心に据え、教科教育と連携させた授業方法を提案した。このことで、教師の共有財産となりうることを論じた。

第2章では、小中学生を対象とし、小中学校の授業で利用できる教材用小型たたら製鉄炉を製作した。この教材用小型たたら製鉄炉は、学校教育や、社会教育での鉄作り実践を通して「いつでも」「どこでも」「だれにでも」できる教材用小型たたら製鉄炉に改良された。この炉を活用して1999年から2015年度までに、筆者及び筆者以外の人がこの教材用小型たたら製鉄炉を用いて52事例（72基）の炉をつくり、およそ110kgの鉄を生成させていることになる。中でも筆者以外が教材用小型たたら製鉄炉を用いて11事例、16基実施されており、砂鉄の質量を生成した鉄の質量で割った歩留まりは、0.17を超え確実に鉄が出来ていることがわかる。

また、オリビンサンドでレンガを製作し、オリビンレンガを用いた炉を完成させ、コストをすべて新規の教材用小型たたら製鉄炉（レンガ炉）の50%、2回目以降で、1回目に使ったレンガを再利用した小型教材用たたら製鉄炉では10%まで下げることに成功し、より安価でより確実に鉄が出来る炉が完成した。「オリビンレンガを活用した教材用製鉄炉」（境、2012）として北海道教育学会誌に発表した。この成果は、今後、学校教育、社会教育において子どもたちに鉄作りを体験させる際の一助となるものである。

第3章では、教材用小型たたら製鉄炉は、火山教材として応用させることも可能であることを示した。今まで体験が難しいとされた溶岩の温度を実際に大勢の児童・生徒に体

験させること、溶岩の粘性の違いにより溶岩の形態が違うことを示すことが可能となった。「小型たたら製鉄実験炉で生じるノロとノロを活用した溶岩学習教材」(境, 2015)として地学教育学会誌に発表した。この成果は地学教育の一教具として活用できるものである。さらに、製鉄実習が効果的に行われるためには、教科教育と連携させることが有効であることを示した。教科教育との連携は、ものづくりを行う際の授業方法の1つとなっていくものである。

筆者の提案する「製鉄実習を行う総合学習と教科教育との連携」は、ものづくりなどを教科教育の教材としては実施するには難しい事象を、学校教育で行う際の指導法として活用されることが期待できる。課題は、教える側における教科を連携する力や教科外のものづくり等を中心に据える実践を想像する力(何をしたらよいか)をどのように身につけさせていくかである。

2 将来の構想

筆者は、1997年に地域の大地にある「粘土・砂・石」「水」などを生かし、大地と人間のかかわり方を根底にすえた学習を『大地の授業』として提起した(境, 1997)。

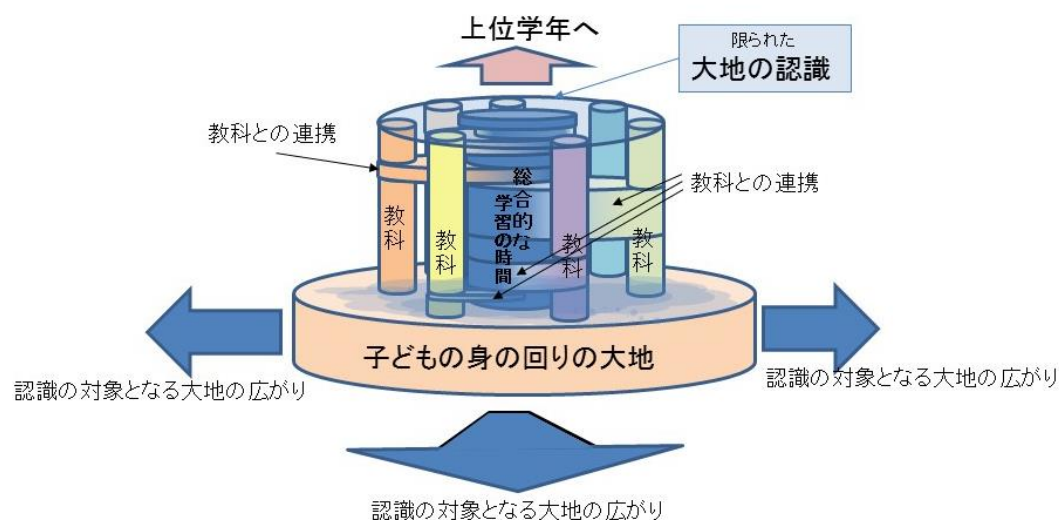


図4-1 1つの教科連携教育図

『大地の授業』は身近な大地の自然「粘土・砂・石」「水」などへの認識と愛着を深め、さらに、郷土を理解することから、人間が、地球の歴史の中に位置付けられることを認識する学習である。筆者は、大地の授業は、子どもたちが、素直に確かめてみたくなること、探究したくなること、不思議だと思ふことから始まり、教室の1人1人すべてが科学者であり、学習者として位置付けられる授業である。あくまでも子ども主体の授業である。田中孝彦(1994)は、次のように提起している。「学習の主体はあくまでも子ども。教師は、子どもが何を知的に探究したい問題としてつかむこと。子どもの生活上の問題、関心を受

け止め,それを知的関心に転換し学習のテーマとして内部で熟成させていくことを促すような「対話」「問答」を重視する必要がある,「子どもの生活・要求にねざしたテーマに関して学問・文化を教材として組織する」,「一方的伝達型の授業を改造し,子どもたちの知的共同が成立するような授業の創造を」。子どもたちが,素直に確かめてみたくなること,探究したくなること,不思議だと思ふことをいかした授業は,地球科学分野だけでなく,科学教育の中に実践として積み上げていくことも必要である。『大地の授業』は,理科とりわけ地学の側面を中心に据えたカリキュラムの構想である。図4-1は,子どもたちの身の回りの大地の中における1つの素材から展開する授業を示している。中心には,総合学習の時間に相当する時間があり,1つの素材から展開する実験,観察,ものづくり,調査などを実施する柱である。その際,教科との連携を意識し,関連事項で教科と連携させることを示している。例えば,たたら製鉄が中心にあり,それに関係した教科が周りにある。上の蓋は,子どもがそれぞれの教科連携で得た自然を認識した姿,遠山(1976)による「観」である。

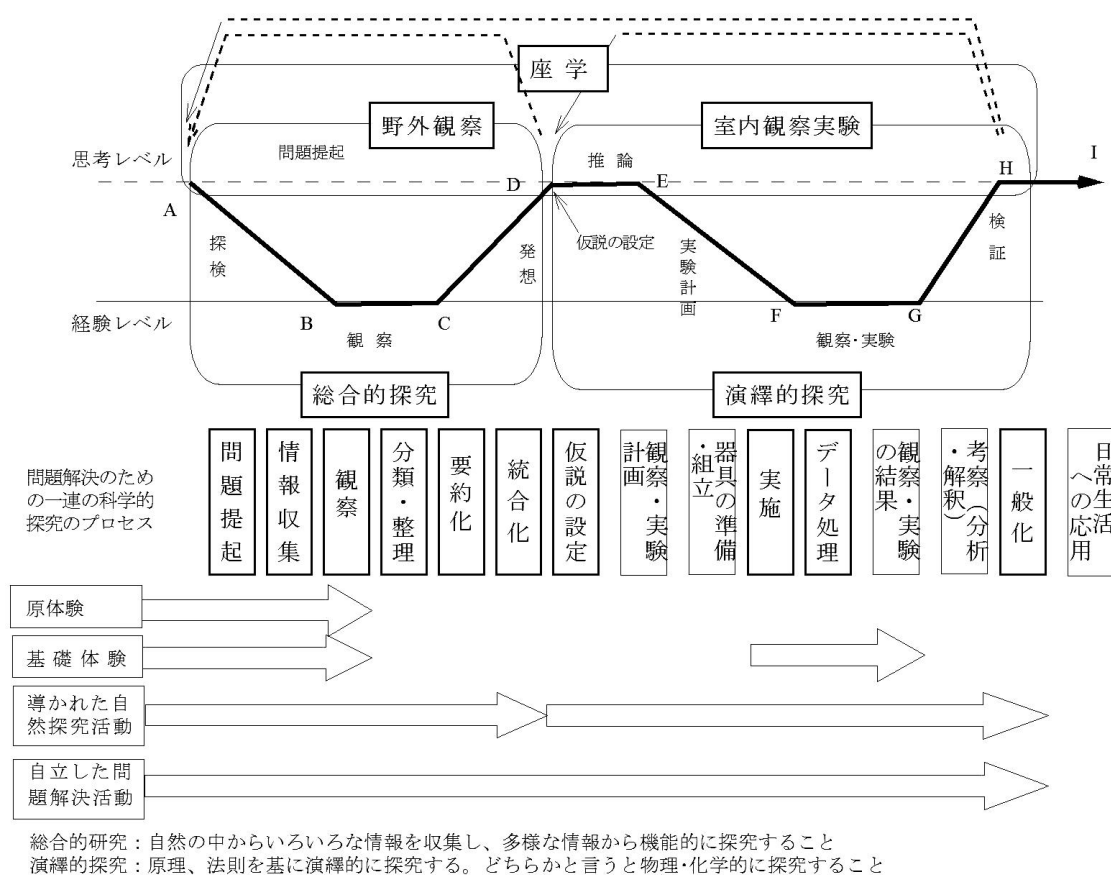


図4-2 理科教育用W型問題解決モデル(五島・小林2009)

五島・小林(2009)は、子どもの問題解決能力を育成するために川喜田二郎（1967）のW型問題解決モデルを応用した理科教育用W型問題解決モデル（以下：W型問題解決モデル）を提案した（図4-2）。W型問題解決モデルにおける問題解決の過程を、野外観察の過程と室内観察実験の過程の2つに分けた。前者の野外観察の過程は、ありのままの自然から気づいた事実を集め、そこからわかることを自由に考えたり、説明したりする総合的な問題解決の過程であり、そこでは、多様な発想ができる能力の育成に有効であるとしている。一方、後者の室内観察実験の過程では、実験室内で人工的に制御された環境を作り出し、要素を還元的に抽出して仮説を立て、分析的・演繹的に検証するような仮説検証的な探究を行う能力の育成に有効であるとしている。

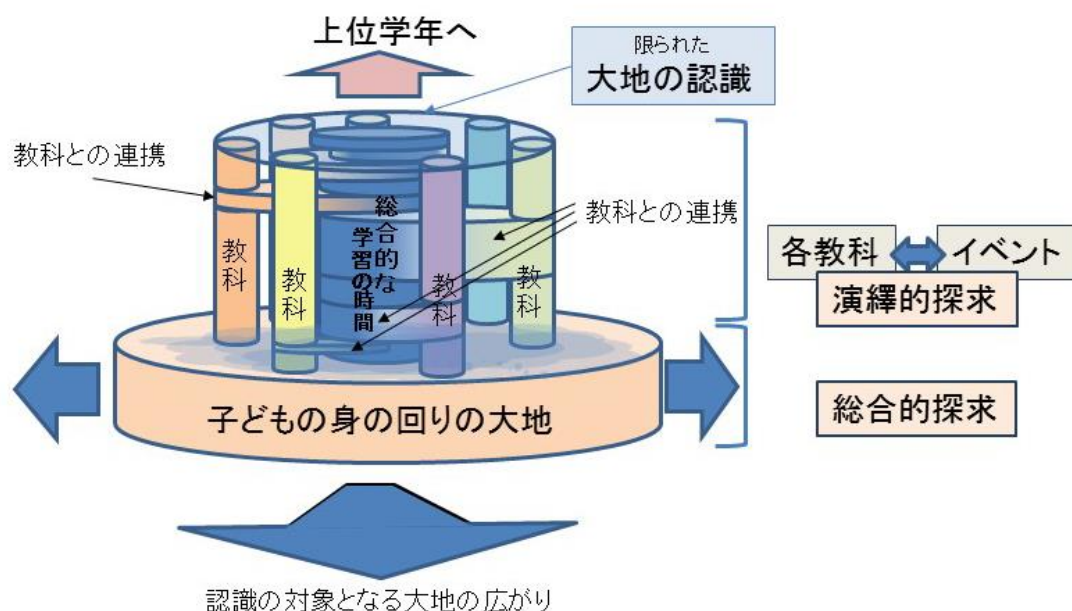


図4-3 教科教育との連携と総合的探求・演繹的探求

この「W型問題解決モデル」を、筆者の大地の授業の図4-1の全体構造にあてはめてみたい（図4-3）。「子どもの身の回りの大地」では、自然の中で大地から気づいた事実を集め、そこから自由に考えたり、説明したりする総合的探求の過程を生み出す部分である。砂鉄を見つけ、砂鉄から様々な疑問や、気がついたことを発見し合う部分である。「砂鉄は何に利用できるのだろうか?」「砂鉄はどうしてここにあるの?」「砂鉄は磁石に付くから鉄なのだろうか」「砂鉄はどこでとれる?」「砂鉄はなぜ黒い」「砂鉄は砂の中にどれくらい入っている?」など様々な思いが生じるだろう。縦に立ち上がる教科、総合学習は、疑問や、気がついたことを元にして、学習が展開する（演繹的探求）。その解決法は、理科だけではない。様々な教科が関連し合って解決していくものである。解決法の1つに「たたら製鉄」が位置付くことになる。砂鉄を学ぶ過程で

は、砂鉄の起源はマグマの中に入り込む磁鉄鉱，チタン鉄鉱（久城，1978）に由来する．マグマが冷えて固まると火成岩となる．この火成岩を含む大地が流水の働きによって浸食され，流水の働きによって磁鉄鉱が運搬され堆積する（北野，2009）．そして採集された磁鉄鉱が主体の砂鉄が炉の中で鉄になる．この砂鉄という素材を扱い，人の手で鉄をつくる．この過程は，大地の素材からものを作ることを通して，地球の営みを学び，地球のドラマを感じさせることができる．さらに，出来た鉄をもとに人の歴史，鉄との関わりなど，広く鉄と人の関わりについて学ぶ事ができる．「鉄はどこで作られたのか」「鉄から出来たモノは何か」「身近な鉄は」「人は鉄を何に利用したのか」「今の鉄作りは」など，新たな課題も演繹的探求の過程で解決することになる．上部に示した青い円盤は，砂鉄から得られた大地と人との関わりが認識された姿（「大地の認識」ここでは大地観としたい）．

また，この場合は砂鉄だけなので限られた大地の認識である）を示している．そして，一般化され，日常生活への応用，次のステップへ（上位への新たな問題へ進む）と考えたい．

図4-4は，図1が大地の認識の広がりによって深化した図である．子どもの身の回りから，さらに気づいた事実を集め，そこから自由に考えたり，説明したりする総合的な問題解決の過程を生み出され，横に広がったイメージである．総合的探求では，川を題材にした場合「川の水はどこからくるのだろう」「川の水はどんなものに使われるのだろう」「川の水は地下にしみこまないの？」「川は汚れてないのだろうか？」「川の水って飲めるの？」など，様々な疑問，不思議がでてくるだろう．そこから演繹的探求として，子どもの身の回りの自然から得られた様々なものづくりや実験，調査が中心にありそれぞれで教科との連携が横に広がっていく姿を示している．上部の円盤「は，子どもがそれぞれの教科連携で得たその学年（発達段階に応じた）大地の認識した姿（広がった大地観）である．

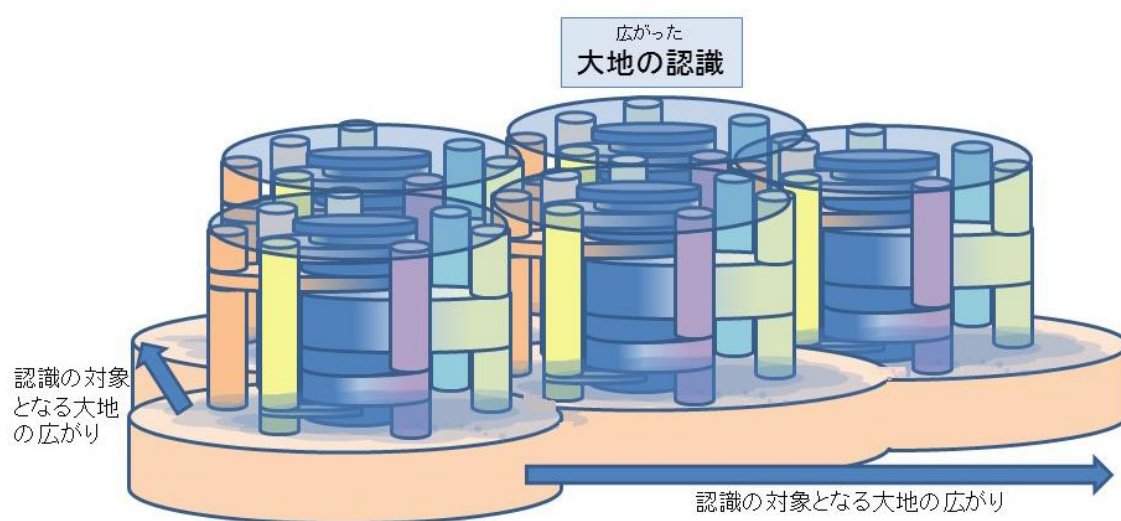


図4-4 横に深化した教科連携教育図

図4-5は、図1-1が深化し縦に学年でつながった図をしめしている。同じ素材で、発達段階に応じた学びの図である。このように1つの柱に付随した教科が縦、横に広がり、子どもの学びを深めていく。その際、基盤となっているのが子どもの身の回りの大地であり、大地が大きく広がっていくことになる。さらに、この教科連携図を覆う蓋は、子どもの学んだ姿であり、これらの学習で学んだことによって大地を認識であり、深化した大地観である。

『大地の授業』は、本論で砂鉄から始まる様々な展開例を示し、子どもたちの学びが深化することを示したが、大地の授業は18年を経て、本論によってカリキュラム授業構想を浮かび上がらせることができてきた。今後も実践をさらに積み重ねて、大地の授業の体系を作り上げて行くことが大きな課題である。

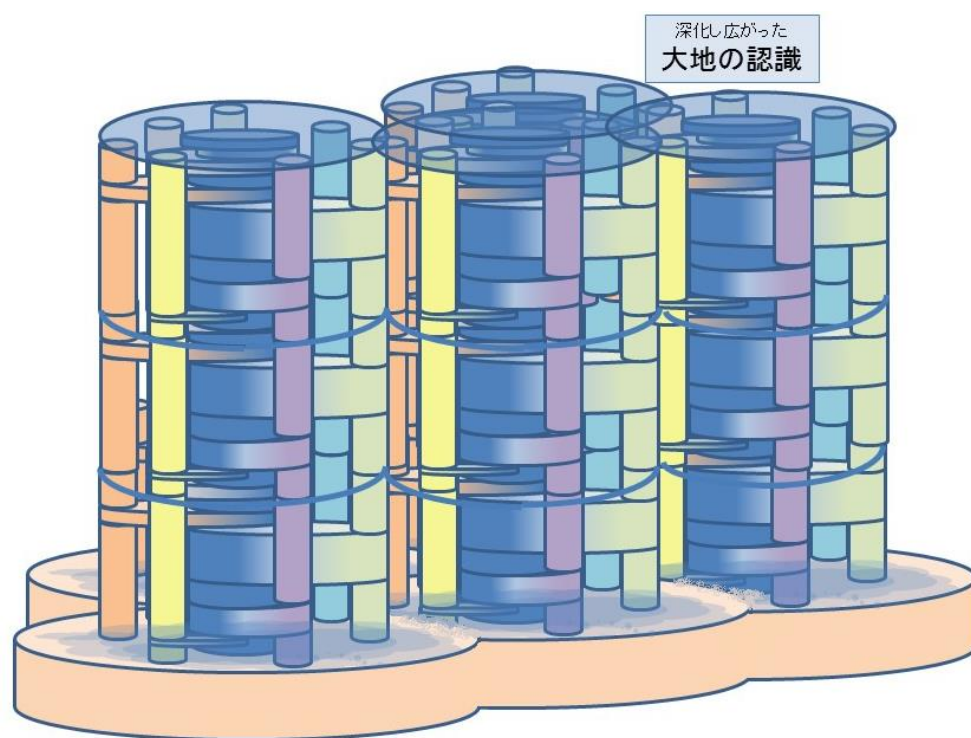


図4-5 縦・横に広がり、学びが深まっていく教科連携図

文献

- 五島政一・小林辰至(2009)：「W型問題解決モデルに基づいた科学的リテラシー育成のための理科教育に関する一考察－問題の把握から考察・活用までの過程に着目して－」『理科教育学研究』第50巻，第2号，39-49.
- 川喜田二郎(1967)：「発想法」，中央公論新書，東京，22.
- 北野康(2009)：水の科学，NHKブックス，東京，pp. 1-257.
- 久城育夫・荒牧重雄・青木謙一郎(1989)：日本の火成岩，岩波書店，東京，pp. 1-206.
- 久津見宣子(1980a)：鉄をつくる，授業をつくる，東京，1，pp. 32-58.
- 久津見宣子(1980b)：鉄をあかめてたたく－鍛冶の実習－，授業をつくる，東京，1，

pp. 60-70.

文部省（1998）：小学校学習指導要領，文部科学省，p. 2, 3.

文部科学省（2008a）：小学校学習指導要領．東京書籍，東京，p69.

文部科学省（2008b）：小学校学習指導要領解説 総合的な学習の時間編，東洋館出版社，東京，p21.

境 智洋（1997）：『大地の授業』構想とその展開-地域に根ざした小学校総合学習のあり方，北海道教育大学教育学部学校教育専修修士論文．

境 智洋（2012）：オリビンレンガを活用した教材用製鉄炉の開発，教育学の研究と実践，7，pp. 35-44.

境 智洋（2015）：小型たたら製鉄炉で生じるノロとノロを活用した溶岩学習教材，地学教育，67，4，pp. 147-156.

白井春男（1980）：すべての人が「人間の歴史」の授業を創るために，授業をつくる，東京，3，pp. 113-118.

白井春男（1981）：すべての人が「人間の歴史」の授業を創るために-地球の歴史の授業をどのように創るか，授業をつくる，東京，5，pp. 122-127.

田中孝彦（1994）：学習観の転換を構想するなかで改めて学力論争を，雑誌教育，国土社，東京，pp. 5-15.

謝辞

第2章第1項において，ペール缶炉製作にあたっては，室蘭工業大学材料製造プロセス学研究室桃野正教授（現：名誉教授）に指導，助言を頂いた．北海道教育大学教育学部釧路校高嶋幸男教授（現：名誉教授），札幌校の田中実教授（現：名誉教授）には，ものづくり教育に関わり助言，援助を頂いた．また，白老町立白老緑丘小学校（1999年当時）には，小林正明校長並びに石川一美教諭，教職員の皆様には，事前の打ち合わせから当日の授業実践まで協力を頂いた．さらに，実験の準備，実験の検討と多くの助言，指導を北海道立理科教育センター（現：北海道立教育研究所附属理科教育センター）職員の方々に協力を頂いた．

第2章第2項において，北海道はもとより岡山県，秋田県の教員にもたたら製鉄実習に関する情報を提供頂いた．岡山県栗倉小学校実践では，有元恭史氏に協力を頂いた．また，たたら製鉄実習にあたり，道内小中学校の教職員の皆様，教育機関の皆様に協力を頂いた．

第2章第3項において，オリビンレンガ炉の型枠製作では，北海道北見市忠津鉄工所の忠津信征氏に協力を頂いた．

第3章第1項において岡本研氏（東海大学札幌キャンパス教授），横山光氏（北翔大学准教授）には，貴重なご助言を頂いた．また（株）アースサイエンス社の加藤孝幸氏，飯田友彰氏，齊藤晃生氏には，砂鉄，ノロ，鉄の化学分析で協力を頂いた．

第3章第2項において、蘭越町立三和小学校、中ノ川小中学校の教職員の皆様に協力を頂いた。

第3章第3項において、北海道教育大学附属釧路小学校教職員の皆様、羅臼町立羅臼小学校教職員の皆様、函館市立高盛小学校教職員の皆様には、多大な協力を頂いた。

若菜博教授、北林雅洋教授には、本学位論文の予備審査段階で貴重な意見を頂いた。ここに感謝申し上げたい。