

鎌倉高校に聞く！ たたら製鉄の謎を追う

日時：2017年3月25日（土）13：30～15：30

場所：鎌倉市腰後行政センター1階 多目的室

講師：

鎌倉高校科学研究会顧問 木浪信之（きなみ のぶゆき）氏、

鎌倉高校副校長 石川雅之（いしかわ まさゆき）氏、

鎌倉高校科学研究会生徒5名

主催：鎌倉市図書館

協力：神奈川県立鎌倉高等学校

参加者：67名



はじめに

鎌倉高校、科学研究会のご協力により、この度、鎌倉市図書館と鎌倉高校のコラボレーションで、サイエンスカフェを開催することができました。

この「別冊図書館だより」はその内容の記録です。

ごあいさつ

石川副校長（以下 石川）：科学研究会のがんばりで、画期的な成果にたどり着くことができたので、広く皆さんにこのことをお知らせしたいと思っていたところ、今回「鎌倉たたら製鉄の謎を追う」という場を設けていただき、うれしく思う。

私は鎌倉に住んでまだ30年ほどの新米。昔から鎌倉に住んでいた人に、稲村ガ崎が黒い砂浜だったということを聞くと、合点がいく。故・井上ひさし氏の小説『東慶寺花だより』の中に、「おきん」という章

があって、その中で主人公が鉄練り（精錬した鉄）にたずさわっている。稲村の砂浜を使って刀を作っていく営みの中で「駆け込み」（縁切り、離縁）をしなければならないという物語である。一昨年、「駆け込み女と駆出し男」という映画になり、市川染五郎もこの小説を歌舞伎にしている。

今日の話では、なぜ名だたる正宗のような刀鍛冶が現在は無くなってしまったのかという謎に迫る。本校の科学研究会のメンバーが研究を重ねて、先輩たちがたどりつけなかった局面を突破し、結果を得た。なかなか結果が出ず、新たな研究に取り組もうか思い悩んでいたが、腰越に住む私はこれを眠らせておくわけにはいかないと思った。この研究にかかる費用は、ロータリークラブの有志より研究費をいただき、オール鎌倉で研究成果を出すことができた。成果を物理学会でも発表した。たたら製鉄研究は、実に鎌

倉らしく、これからも発展する要素をもっている。日本学生化学賞の一等もいただいた。今後も研究成果に磨きをかけていきたいと考えている。

たたら製鉄とは…

木浪教諭 (以下 木浪) : 鎌倉高校の木浪です。説明には数式・グラフ・反応式を入れたので、難しく感じるかもしれないが、そういうものか、と柔らかく捉えていただければと思う。後の時間で生徒が質問にお答えする。

「たたら製鉄」とは、材料に鉄鉱石ではなく、砂鉄を使用した日本独自の古代製鉄法。語源はタタール人も、鉄を運んできた民族の名前とも言われている。砂鉄を鉄の材料にすることは、国外ではまれである。日本は鉄鉱石が取れないため、砂鉄を使った。砂鉄は、鉄の融点 (1,538°C) より低い 1,200°C で、現代製鉄よりも高品質の鉄を作ることができる。現代製鉄で作った鉄では刀を作れないが、たたら製鉄の鉄ならば刀を作ることができる。

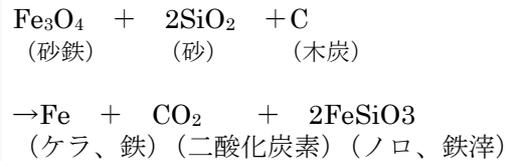
「海岸の砂鉄は海水で、すでに錆びてしまっているのではないかと」と、疑問を持つ方もいるかと思う。確かに砂鉄は錆びている。錆びているが、磁石にはくっつく。

砂鉄 (正式には磁鉄鉱 Fe_3O_4) は、 FeO と Fe_2O_3 から成り立っているため、 FeO を含む砂鉄は磁石に



鉄分がなくなっている。磁力は FeO によって発生している。

この化学変化を反応式で表すと、



となる。

(ノロとは不純物で、砂が酸素を吸い取ってできた二酸化ケイ素のこと。)

炉の中の温度が 1,200°C になると砂鉄が溶け、溶けた鉄は木炭の上にかかる。そうすると木炭の不完全燃焼によって発生した一酸化炭素が、強力な還元剤となって酸化鉄を還元し、純度の高い鉄ができあがる。鉄は合金液滴として炉の下にポタポタと落ち、最終的にはケラ (ケラとはタタラの炉 (釜) 底にできた鉄塊のこと。鋼、鉄、銑などが含まれている。) になる。「これ鉄なの?」と思われる形状かもしれないが、切った断面はピカピカ光っている。炉からポタポタと垂れて集まるので、「す」が入る。

日本の独自のたたら製鉄

次に、日本の製鉄の歴史について振り返る。

縄文時代晩期に鉄器と青銅器が伝わり、弥生時代の中期には鍛冶加工が始まる。その後、製鉄技術と共に鉄鉱石が入ってくる。日本は技術も原料も大陸に依存していた。日本では鉄鉱石が採れず、輸入のみ。それだけでは追いつかず、砂鉄を使った。砂鉄では鉄鉱石と同じ方法では鉄ができないため、日本独自の製鉄方法が作られた。それがたたら製鉄。砂鉄の質は各地で異なり、奥出雲と稲村ガ崎ではまったく性質が違ふ。そのため、砂鉄の性質に合わせた炉や製鉄技術が発達した。

たたら製鉄が一番繁栄したのは江戸時代だった。その後、明治維新で開国したため、現代製鉄が入り、

大正時代にはたたら製鉄は消えてしまった。

全国的に見ると、かつては日本全国でたたら製鉄が行われていたが、室町時代末期から奥出雲の製鉄に淘汰される形でどんどん消えていった。

鎌倉たたら製鉄は、(刀工の) 正宗の相州伝確立のあと、数十年で廃れる。なぜ時の権力者に重用されるほどの刀ができた場所なのに無くなってしまったのか。その謎解きには、たたら製鉄をしてみるしかないと思った。

会場からたたら製鉄衰退についての質問

Q: 奥出雲の高度な炉の出現によって、ほかの製鉄が衰退したのか、社外秘のように技術を流出させないために、そういうことがあったのか。

A (高校生): 奥出雲の砂鉄はとても鉄が作りやすい砂鉄で、最初、奥出雲の砂鉄で実験したら、簡単に鉄ができた。ところが、稲村ガ崎の砂鉄を使って同じ方法で作ろうとしたらできなかった。奥出雲の砂鉄が製鉄に向いていたのが原因だと思う。



A (木浪): 鉄作りは一子相伝で、部外秘。今でも奥出雲の製鉄技術は極めて厳重に守られている。

Q: 出雲には5つくらい鉄の製造を伝える家があり、どの家も見渡す限りの山林を持っているが、それが(存続の) 決め手ですか？

A (木浪): 4キロとか5キロの鉄を作るのに、5俵くらいの木炭を使う。広大な森林を必要で、それが確保できたのが奥出雲だった。

たたら製鉄の実際 そして、これから…

木浪: レンガをきっちり積み上げ、たたら炉を作り、下に温度計を設置する。炉の高さは1.7m。送風機として掃除機もつけた。

木炭は握りこぶしくらいの大きさに割る。始めに木炭だけを燃やし、炉を十分加熱する。レンガ1枚分が10分で目減りするように火力を調節し、砂鉄30キロを投入。その後、20回ノロ出しという作業を行い、空気を止めて炉を壊して鉄を取り出す。炉の横に穴をあけノロを取り出すと、なかにケラが残る。ノロとケラは溶ける温度が違うので分離して取り出すことができる。また、このノロを分析して、砂鉄の質を分析できる。



2011年、2012年の実験

鎌倉高校科学研究会で2011年、出雲砂鉄を使ったたたら製鉄で、鉄が5.5kgもできた。こんなに簡単に出来るのかと2012年に鎌倉砂鉄を使ったところ、30kgの砂鉄を用意したのに、全くできなかった。通常、鉄を鉄で叩いても粉々にならないが、ハンマーでたたいたら粉々になってしまった。つまり鉄になっていない。もしかしたら、ここに鎌倉たたら製鉄の衰退の謎があるのかもしれない、と考えた。

30gの砂鉄を同じビンに入れてみると、出雲砂鉄と鎌倉砂鉄では密度が全く違う。それぞれ1,200度～1,300度の炉で溶かし、酸化させたところ、出雲砂鉄は「おこし」のようになり、鎌倉砂鉄はぬるっとした見た目になった。磁石につけてみると、鎌倉砂鉄は磁

石にくっつく。ぬるっとした見た目はガラスによるもので、ガラス質に砂鉄が封じ込まれて酸素の出入りができなかつたといえる。

2013年の実験

2013年、砂鉄の選鉱（水洗い、塩抜きを行って弱い磁力の砂鉄を取る）を繰り返し、出雲砂鉄より密度が大きくなるように調整して再挑戦した。ところが失敗。出雲砂鉄より密度が高いのに、ノロと不純物と鉄が分離できない。なぜ分離できなかったのか。

蛍光 X 線で分析したところ、鎌倉砂鉄は出雲砂鉄に比べて、チタンとカルシウムの量が多く含まれていることが分かった。山から採取される出雲砂鉄と違い、鎌倉砂鉄は海から採っており、カルシウムは海からの影響が考えられる。カルシウムは取り除くことができるが、チタンは結晶の中に組み込まれているため除去することができない。

砂鉄は、含まれるチタンが5%未満だと「真砂砂鉄」、それ以上だと「赤目砂鉄」と呼ばれる。出雲は真砂で、鎌倉は赤目。赤目砂鉄は不純物と砂鉄の融点が非常に近いので分離が難しく、いい鉄を作るのは難しいことがわかった。製鉄技術は“一子相伝”でやっているのだから、カンと経験がわからないと技術が減ってしまう。

2013年の挑戦で得たノロとケラを分析したら全く同じ組成で分離できていなかった。分離するにはどうしたらよいか？粉炭を敷き、重いものが下、軽いものが上になるようにして、さらに温度制御を詳細に行った。また、砂鉄も、生徒が3ヶ月ほどかけて非常に熱心に選鉱した。その結果、2014年に少量だが、極めて純度の高い鉄ができた。そこでチタンは、炉の形状で分けられるのではと考えるようになった。

カルシウム除去については、京都の鳴き砂が熱湯で復活した事例を元にお湯で洗ってみることにした。30分～1時間くらい鍋で煮ると、お湯が汚れ、汚れ

が取れたことで砂の密度が上がる。その結果、カルシウムは出雲と同じレベルになり、鉄の割合も出雲を超えた。

2016年の実験

最新の2016年の結果では、チタンは減っていない。燃焼法で分析したところ、鉄の中には炭素やコバルトは増えているけれど、合金液滴が完全にできている。こうして、安定して鉄を作ることができるようになった。

鎌倉時代に、どのような組成の砂鉄を使っていたか、当時の鉄くぎを分析してみたいが、分析で破壊すると文化財保護法に触れてしまうので、まだできていない。

質問コーナー

Q：深田製鉄遺跡（横浜市栄区上郷町）でかなり量の鉄が取れたと言われている。どういう加工をされて鎌倉に来たか等をご存知でしたら聞きたい。

A：そのことについては情報を持っていない。

図書館より：今日、会場の後ろに関連図書を展示している。鉄伝来の本や鎌倉の地域の本も少しある。多少参考になるかもしれない。



Q: 司馬遼太郎の『街道をゆく』の中で、中国山地での製鉄に触れている。たたら製鉄が廃れたのはマキがなくなったからではないかと思うが？

A: 山林がなくなったことが原因と考えられるが、当時の日本はそれなりに森林があった。にもかかわらず奥出雲だけ残ったのは、それだけが原因ではないのではという意見もある。鉄づくりをやってみると、非常に大変で難しい。奥出雲は安定して良質の鉄をつくる技術を確立したが、他の地域は、巨大なスーパーができたことで小さな小売店がだめになるように廃れていったのでは。

Q: 非常に高度な研究ということで先生のご指導、生徒の頑張りに感心した。現在どの辺りまでチタンが減って、刀を作れるだけの十分な鉄が出来たのか？

A: 刀を作るところまではまだ。生徒と刀工の方を訪ねる予定。

Q: チタンは？

A: 結晶構造からチタンは減らせない。それにもかかわらずなぜチタンが減ったのか。純粋な鉄を作ってそれを冷やすと、ポリクリスタルというものになる。サイコロみたいに積み上がるのではなく、いろんなところから冷えたりしてぐしゃぐしゃな多結晶という状態。単結晶になると完全に変わり比熱も強さも変わる。直径1mmの鉄の線が、車を持ち上げるくらいになる。ただし、なぜそうなるのかというと、結晶構造をきっちり作っていかないとならないため難しくなるが、なぜ合金液滴が、チタンが排除されるのか。チタンが入っていることによって融点が下がっていく、純粋であればあるほど融点が高くなる。液滴は純度が高く、発熱反応を起こす。給炭して、融点がさらに下がる、それが、このように落ちてきてケラになる

という理解。

Q: 鉄に関わる産業に従事する者として、若者がやってくれることを嬉しく思う。鎌倉高校の科学研究会、何人くらい部員がいる？ほかに研究しているか？

A: 部員はこの5人です。3年は4人で、去年の4月に引退した。他の研究で先輩がやったものは、東日本大震災の後、放射線の鎌倉高校の敷地内での汚染具合を調べて研究をし、発表までこぎつけようとした。また、腰越の魚のマイクロプラスチック問題もやっている。神奈川周辺の研究がなされていないので第一人者に、ということを考えている。

普通高校では材料工学に触れる機会はないが、こういう研究をきっかけに材料工学にすすんだ生徒がいる。

Q: 鉄の融点は1,200°C、だが、1,200°C以下だとどういことが起こりうる？

A: 1,200度以上の高温にはならない。木炭ではそれ以上にはできないと考えられるし、炉も、あんな小さな炉では、1,500°Cにはもっていけない。鎌高の炉は1本の送風管だけ。もし具体的にすごい温度にして、高炉のように溶かしたらどうなるのかはわからない。



Q: ノロとケラの語源は？

A: 分からない。製鉄から出ている言葉は、地団駄をふむ、おしゃかになる、おすみつき、いろいろな

言葉で、たくさんあるが、ノロとケラの語源は分からない。

感想：鉄のテーマをぜひ続けていただきたいと思う。鉄で面白いものを作って売店に置いておくとか、若い人のフレキシブルなアイデアで。OBを巻き込みつつ部員を増やしてほしい。

Q：炭についてお聞きしたい、炭が重要な役割。鎌倉彫を磨くのも、友禅染めでも灰汁を使うなど、日本人は灰を多用している。炭素について、特性とか、昔の人がどうとらえていたか伺いたい。

A：出雲に行った時、使う炭は木炭よりも生っぼい方がいいと聞いたが、私はそれを使ったことがなく、市販のものを使っていて、東北のお店から買っている。製法を確立することが目的だったので、条件は固定している。鎌倉の砂鉄で出来ることは分かったので、他の地域の砂鉄を使って、同じ方法を試したい。赤目砂鉄で出来ることを発表していきたい。

感想：興味深いお話ありがとうございました。私は、嫁ぎ先がたたら砂鉄をやっている米子で、炭の話が出たが、相当量の木材、木酢液が取れて明治維新のあと栄えた。たたら製鉄は優秀なすばらしい鉄ができるので残った。嫁ぐ時に「包丁は持ってこなくていい。うちのを使うように」と言われた。

中野：会場後ろに図書館所蔵の砂鉄を取っていた時の写真を飾り、鉄を調べるリストも作成した。いろいろな資料を揃えたので図書館でお借りいただきたい。



この度、非常に興味深い話をお聞きすることができました。ご参加の皆様、鎌倉高校の科学研究会のみなさん、木浪先生、そして鎌倉高校副校長石川雅之先生、ご協力本当にありがとうございました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

