

世界自然遺産理解促進・交流事業/オンネトー・ジオツアー

約35億年分のタイムトラベル オンネトーの鉄・マンガン生成と微生物

三田 直樹*

はじめに

ここにロゼッタ・ストーンのコピーのミニチュア模型があります。大英博物館に行った時に買ってきました。貴重なものを見つけてそれを調べていくと、物事を解き明かしていくヒントになることがあります。ロゼッタ・ストーンは、異なった言語で書かれた同じ内容から、さまざまな文章を解き明かすきっかけになったものです。

オンネトー湯の滝マンガン酸化生成地、そして錦沼鉄酸化生成地も同様です。ここで分かったことは、原始の地球を解き明かすことでもあるのです。ここはロゼッタ・ストーンのような存在なのです。

原始の地球

原始の地球と言いましたが、どんなイメージでしょうか。35億年前は地球上に酸素ガスがあるかないか、という頃で、海水中にはまだ酸素ガスがなく金属が高濃度で溶けており、とても飲むわけにはいかないような「鉍毒水」のようなものでした。これらは火山活動で溶け出してきたものです。

最初に酸素ガスを出した生命は藍藻（別名：シアノバクテリア）とされていますが、それは藻類の原始的なものです。サンゴのように石灰を作ることもあり、それをストロマトライトといいます。縞々の構造をしています。

海水中の鉄やマンガンは、酸素の発生により酸化され、それらは鉄さびやマンガン酸化物のような沈

殿物となりました。ただ、酸性の原始の海では酸素があっても、金属と反応して沈殿を作るとはできなかったのです。湯の滝では酸化マンガンが、錦沼

では酸化鉄がつくられていますが、それらは微生物が作ったものです。進化により地球上に湯の滝や錦沼と同じような能力をもった微生物が誕生し、海水中に溶けていた金属を沈殿に変えたのです。

微生物によるマンガン酸化物の生成を現在進行形の現象としてみられる場所は、世界にここしかありません。錦沼での鉄さび（褐鉄鉱）生成もそんなにあるものではないのです。オンネトー湯の滝や錦沼は、原始の地球を再現しているのです。

元素としての鉄・マンガン

元素の周期表で、マンガンや鉄は遷移金属のお隣さん同士です。お隣はたいてい似たような性質を持っています。マンガンは乾電池で有名ですが、その約10倍も製鉄で使われています。実験で過酸化水素を丸い石に振りかけてもらいましたが、これは「マンガン団塊」といい、深海にある未来の資源です。

鉄は日常の生活を支えている基盤材料です。また血液中で酸素を運んでいるヘモグロビンも鉄です。その他、磁気製品などにも使われ、鉄は生活に密着していることがわかります。

私たちは大昔にできたこれらの鉍物資源を採掘して使っています。いまはほとんどが輸入です。昔は日本でも鉄やマンガンを採掘していましたが、日本の鉍物資源は、種類はいろいろあっても量が少ないのです。輸入に頼らざるを得なくなりました。

原始の地球を再現している場所

南アフリカ共和国のカラハリ砂漠に、鉄とマンガンの酸化物の巨大鉍床があります。もし、湯の滝と錦沼が巨大であったら、何億年が経てばこのようになったのかな?と想像してしまいます。この巨大鉍床の形成は22億年から27億年くらい前とされています。地球が若い頃、海底に誕生したものです。その誕生の過程についてヒントになることが、オンネトー周辺での研究でだんだん分かってきたのです。

単純に言うと、きょうの見学のテーマは、硫黄・鉄・マンガンという3点セットを「濃縮」したものです。まず硫黄がありました。熱いマグマから硫化水素な



図1 湯の滝・錦沼の位置

* 産業技術総合研究所

ど硫黄化合物のガスがでできます。また金属との化合物をつくります。まず最初に硫黄、そして鉄がさびて出てきます。さらにもう少し離れていくとマンガンの黒いサビが出てきます。

このように硫黄・鉄・マンガンは、火山から順番に外に向かって現れます。雌阿寒岳では、これらが揃っているおかげで良く分かるのです。つまり、地球史を考える上で非常に恵まれた場所をこの地域は持っているのです。また、かつてそれらを採掘した鉱山があったのは、それだけ立派なものだったとも言えます。

錦沼の反対側からは、こんこんと湧き水が出ています。ここの微生物を使って実験をすると、溶けていた鉄が微生物の回りにくっついて、鉄サビがたくさんできるようになります。しかしこの微生物がいないと、何十日経っても沈殿はできません。この実験はアフリカの巨大鉱脈の成因をイメージさせてくれます。ここは微生物による鉱床形成の箱庭、縮図になっているのです。

マンガン酸化細菌

私たちが湯の滝に取り組む前は、海底火山で研究をしていました。そこでは微生物により鉱物ができているかな、と思ったからです。つらかったですが、船に乗り仕事をしていました。しかし「オンネトー湯の滝にある!？」と分かったときはびっくりしたものです。

湯の滝は流れ下るうちに、あっという間に黒く変わってしまいます。変えてくれたのは微生物で、電子顕微鏡で拡大してみると、糸状や球状になっていることがわかります。髪の毛より細いものです。これが源泉にいる原始的な藻類です。これにマンガンを作る特別な細菌が棲んでいました。

実験をしました。試験管に海水を入れ、マンガンも火山から出てくる熱水の濃度に合わせて入れています。①オンネトー湯の滝から採り出した、二酸化マンガンを作る特殊な能力がある細菌を純粋にしたもの、②の中央の3本は水深が約450・1,500・5,000mの海底火山から採取してきたもの、③微生物を全く入れていないもの、の3種類です。それぞれ20℃で25日間経過後、マンガンの沈殿が生成されるかを確認します。

なお海水は全て深海と同じpH7.5にしています。マンガンはpHが10以上ではないと沈殿しないので、

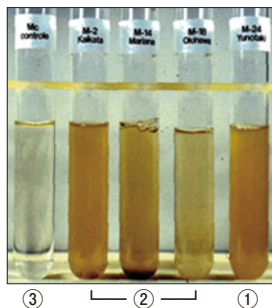
微生物がいなければ無色透明のままです。

海底火山からの採取は、ステンレスのワイヤーの先端に容器を付け、船上から降ろすのに3時間、上げるのに5～6時間という「1日仕事」でした。捕まらないことも多いのですが、能力のある微生物が見つかることがあります。そこから選りすぐりの「代表選手」を伊豆小笠原、マリアナ海溝、沖縄の海底火山から採取しました。まだ湯の滝のことを知らないうちは、これだけでウキウキしていたのですが。

結果は、③の試験管ではまったく沈殿はできないままですが、それ以外の試験管は茶褐色、やがて酸化マンガンの黒い沈殿となります。

深海底のマンガン団塊、さらには巨大な鉱床も同じように、目に見えない0.001mm位の大きさの微生物がつくったと考えられるようになりました。また酸素を出して有機物を作ってくれる原始的な藻がいるおかげで、二酸化マンガンを作る能力がある微生物も生きていけます。

研究者が集まり会議を開催したときには、「オンネトー湯の滝に地球創造の謎」「微生物がマンガン鉱床生成」「世界的に稀な現象」などと報道されました。



写真：湯の滝と海底火山から採取した純粋なマンガン酸化細菌による培養実験の結果

三田 (1994)
Geochemical Journal 28

針谷教授との思い出

私が調査船に乗って研究中に偶然、乗船メンバーから「北海道大学の針谷先生が、阿寒国立公園の湯の滝で二酸化マンガンが生成中だが世界で稀な現象だと語っている」という話を聞きました。針谷先生は地質学の教授で、しかも「国際鉱物学会の会長」という偉い存在だったので、お会いした事もなかった私には「ちょっと怖い存在」のような思いがしました。まもなく先輩が針谷先生に連絡してくれて、先生と私は「一緒に湯の滝に行きましょう」ということになりました。この時は、「湯の滝の現象

の成因は未解明」でした。私が「海底火山を研究した結果から、もしかすると湯の滝の二酸化マンガンも微生物が作っている可能性があると思うのですが、どうですか?」と先生に言ったら、「うん、うん、うん」と、そして「やってみなさい」と言うわけです。

実験が終了後、「こういう結果が出ました。上手くいきました」と伝えたら「そうだろう、そうだろう」と言い、そして先生の論文を送っていただきました。雑誌「ネイチャー」でした。「一生に一度載るかどうかわからない、あなたはそのような研究をやっていたのだよ」と。先生の論文は1964(昭和39)年、道南の駒ヶ岳にある「駒の湯」で、チョロチョロと流れていたところにマンガンが溶けていて、調べると同じような細菌が見つかり、「マンガンを析出させ沈殿にする能力があるバクテリアを見つけた」というものです。マンガン細菌の最先端の研究が日本から世界に発信されていたのです。

先生は最初、教えてくれませんでした。そのわけを聞いたら、「あなたが萎縮するといけないから」と言うのです。「何も知らなかったのが良かったのかな」と思いました。知っていたら怖かったですね。

湯の滝での研究がまとまった当時、針谷教授は理学部長を務め、忙しく時間も無いと思っていましたが、地元向けの説明のときも、観光協会の皆さんとの打ち合わせでも「結果をみなさんに分かりやすく説明することが仕事なのだよ」と来てくれました。

このような配慮のある先生が、偉ぶらないで育ててくれたことを思い出しました。

日本テレビ・午後は〇〇おもしろテレビ

「きょうは何の日」より(2004年9月6日放送)

…海底でしか見られないと思われていた現象が、いま目の前で起こっている。生きているマンガン鉱床のメカニズムを解明するため、針谷は研究を重ね、微生物が関与していることを突き止めます。

1988(昭和63)年、針谷の研究を引き継ぎ、湯の滝の更なる研究調査に挑むのが当時、通産省で地質調査をしていた三田直樹でした。

(三田)「黒い二酸化マンガンは、海底で大昔に出来た化石みたいな物だったのです。この地球上では、陸上では見られないと思われていたのですから、まさか、このような所に出ているとは夢にも思いませんでした。黒い二酸化マンガンが水の中で生

まれているのだろうか。微生物を調べてみました。そうしたら、この黒い物を作り出す微生物を取り出すことができたのです。」

湯の滝の岩やそこに生えている青緑色の藻、藍藻。拡大するとラグビーボールのような形をした微生物が無数に付いています。マンガン酸化細菌です。この微生物が出す酸素と湯の滝の水に含まれているマンガン成分が(マンガン酸化細菌によって)結び付き黒いマンガンの沈殿が生まれ、これが成長し続けていくのです。

三田は3年にわたる調査研究で得た成果を1992(平成4)年「万国地質学会」で発表。高い評価を得るとともに、マンガンの生成が地表で見られるのは世界でも湯の滝だけであると知らされます。ところが閉会後、ここを訪れた世界の研究者たちは思ってもみない光景を目にします。滝の源泉に露天風呂が造られ人が入っていたのです。「貴重な滝が破壊されてしまう」学者たちは一刻も早い改善を訴えます。(中略)

針谷教授や三田研究員たちは、地元の人々に「湯の滝がいかに貴重で大切であるか」を理解してもらうため、現地での視察会を繰り返し行いました。徐々に貴重さが理解され、1996(平成8)年、足寄町は源泉の露天風呂の使用禁止を決定。1998(平成10)年、国の調査が始まり、改めてその価値の高さが認められたのです。2000(平成12)年9月6日、世界で唯一、地表でのマンガン生成地・オンネト一湯の滝が国の天然記念物に指定されました。(後略)

微生物がつくった巨大鉱床

ここでもう一度、重要な点をお話したいと思います。まず、オンネト一湯の滝・錦沼では「鉱物生成が現在進行形で起きている」ということです。鉱山で採掘する鉱床は大昔に形成されたものですが、それと同じ現象を目の当たりにすることができます。つまり地球の過去を知ることができるのです。

巨大な鉱床は化学反応だけではできるはずがない、ということは実験で示しました。しかし、実際はできているのです。それは、この研究で分かった肉眼では見えない微生物の力によるものです。この鉄とマンガンを作ってくれる微生物が生まれなかったら、その後いろいろな生物は出現できません。微生物も進化をして別の微生物が生まれるのです。

つまり、硫黄・鉄・マンガン、このようなもので「毒」

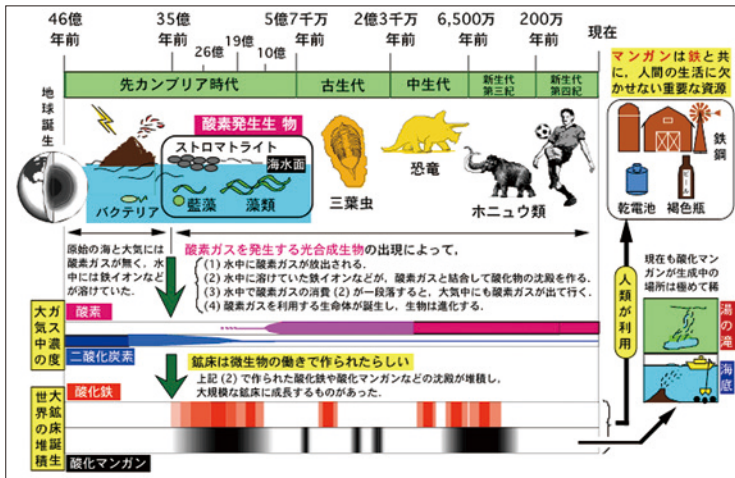


図2 鉄とマンガンに着目した地球と生命の共進化の概念
三田 (1995) 「月刊地球」17 (7)

の状態だった地球をきれいにし、次の新しい生物が生まれるように環境を整えてくれたのが、このような微生物だったということが分かってきたのです。しかも、きれいにしてくれただけではなく、鉱物資源を形成したのです。

現在このような現象が見られる場所は、世界的にほとんどないのです。研究により貴重だということが分かり、国立公園として保護されているおかげもあって、皆さんと一緒に勉強をすることができます。

研究者も「自然の中で僕たちも研究をさせていただいている」という謙虚な姿勢が必要です。オンネトー湯の滝が天然記念物になればという思いが、みんなの心に浸透していったのです。近頃では世界遺産に登録を進めたいという話も出はじめています。

共生のチカラ

人生観とも重なるかも知れませんが、オンネトー湯の滝には、酸素と有機物を作ってくれる原始的な藻がいます。それがいなくなったら、マンガン酸化細菌は生きていけなかったのです。ところがうまい具合に「マンガン酸化細菌」「酸素と有機物をつくってくれる藻」というペアができたので、ここにマンガン酸化物というとんでもないものができたのです。私もこんな研究ができるからといって、研究ができる環境や一緒にやってくれる人、教えてくれる人、叱ってくれる人、そのような人がいなくなったらまともな仕事ができない。同じですね。

人間社会は、共生の社会の典型であり、いろいろな生物でも共生があるわけです。時にはケンカを

してしまったり、戦争をしてしまったりということもあります。しかし「共生が大事だ」ということは、原始の地球を浄化して資源を作るという話でも同じです。私たちがここを保護しようと思ってみんなに知らせるとき、一緒に共生しあっているのです。地元の人、学芸員、そして研究者。

先日ノーベル賞を受賞した北里大学の太田先生も「自分は微生物の力を借りただけだ」とおっしゃって、たいへん謙遜をする先生だと思いましたが、その言葉は、みんなが感じて

いるものではないかと思います。

大昔に微生物が浄化をしてくれて、次の生命体ができるように準備をしてくれた、しかも大型の生命が生まれる準備をしてくれたということが重要です。その解明ができる場所がここなのです。しかもそれがここ1カ所に全て揃っているのです。雌阿寒岳周辺でバツとわかるわけです。こんなすごいことはないのです。

そう思ったとき、「世界遺産に」という話を聞くと、これはごく自然の動きなのかと感じたりすることがあります。気負うことなく、皆さんがこの自然をよく理解し周辺の人たちに伝え、そして若い人が活躍する、そのようなことを期待しています。

微生物からの贈り物

私などまだ未熟ですが、これからもっといろいろな人が出て、この場所でいろいろな研究が進むと、地球史においてとんでもないことがもっと分かるような気がします。皆さんは今日、その「一里塚」にいるのです。

今回、約35億年分のタイムトラベルをいっぺんにしてしまったわけですが、微生物からこれからの人生の次へのステップへ新しいパスポートをいただいた、生涯学習のパスポートが新しくなったと思ってお帰りになっていただければありがたいです。

この記事は、2015年10月25日に開催した「オンネトー・ジオツアー」(主催: 釧路市立博物館/ 主担当: 石川孝織) での三田直樹氏の講演を、講演者・担当者により加筆・編集したものです。