

鉄丸石はどうやってできるのか？

静岡市立豊田中学校

3 年 高津 圭梧

1 動機

小学 6 年生の時の研究で、安倍川河口付近から鉄丸石を採取しながら安倍川本流・安倍川支流の藁科川・安倍川支流の足久保川の 3 つの河川を遡り、安倍川水系の鉄丸石が分布する範囲を調べた。その中で、安倍川支流の藁科川で採取した鉄丸石の中に種類がわからない鉱物が含まれているのを発見した。その鉱物の種類を鉄丸石の生成方法から調べようと考えたが、鉄丸石は生成方法が確立されていなかった。そこで、先に鉱物を特定し、鉄丸石が生成される環境や条件の候補をしぼろうと考えた。

2 仮説

内部のマトリックス部分が粘土鉱物を中心とした炭酸塩鉱物を含む固化物と推定されているため、炭酸塩岩にみられる置換・交代作用が鉄丸石の生成に関係すると考えられる。

へそを通じている状態の鉄丸石に内包された黄鉄鉱を見ると、内部を充填するように位置しているようにも見えることから、黄鉄鉱は二次的な鉱物であると考えられる。

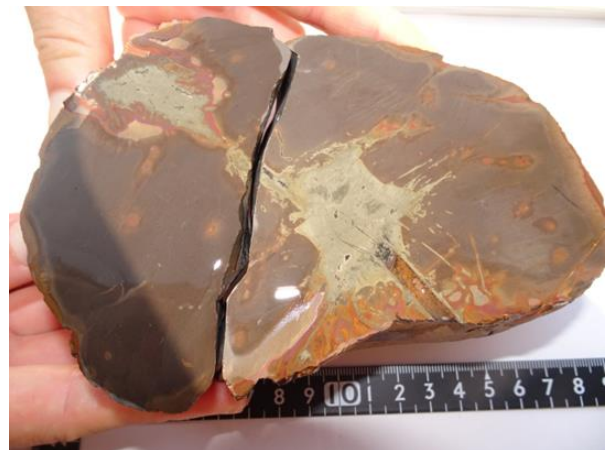


写真 1 チューブ状の黄鉄鉱を内包する鉄丸石

3 研究方法

(1) 鉄丸石に内包される鉱物の特定

- ア 鉄丸石を切断する
- イ 砥石で研磨する
- ウ 鉱物を含む面を薄片にする
- エ 偏光顕微鏡で薄片観察を行う
- オ 薄片作成時に生じるチップで成分分析を行う
- カ エ・オより鉱物の種類を特定



写真 2 鉄丸石の薄片

(2) 泥岩・頁岩と鉄丸石それぞれを構成する元素を調べる

- ア (1)のウで鉄丸石から切り出したチップをサンプルとする
- イ 鉄丸石同様、安倍川産の泥岩・頁岩をサンプルとする
- ウ ア・イを微小部蛍光 X 線解析装置にかけ、元素解析を行う
- エ 成分分析結果を比較し、成分的な相違点を見つける



写真3 薄片観察の様子

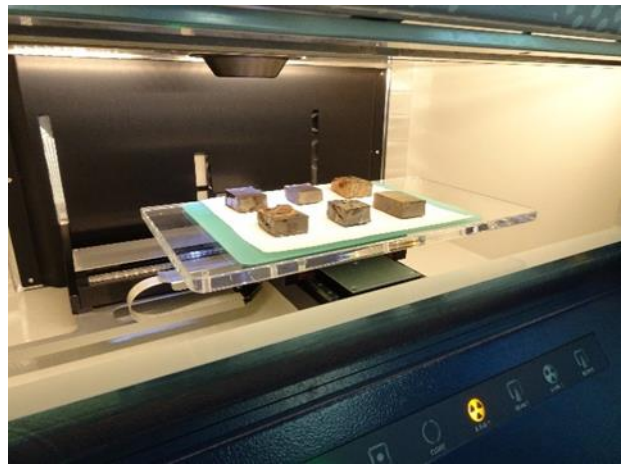


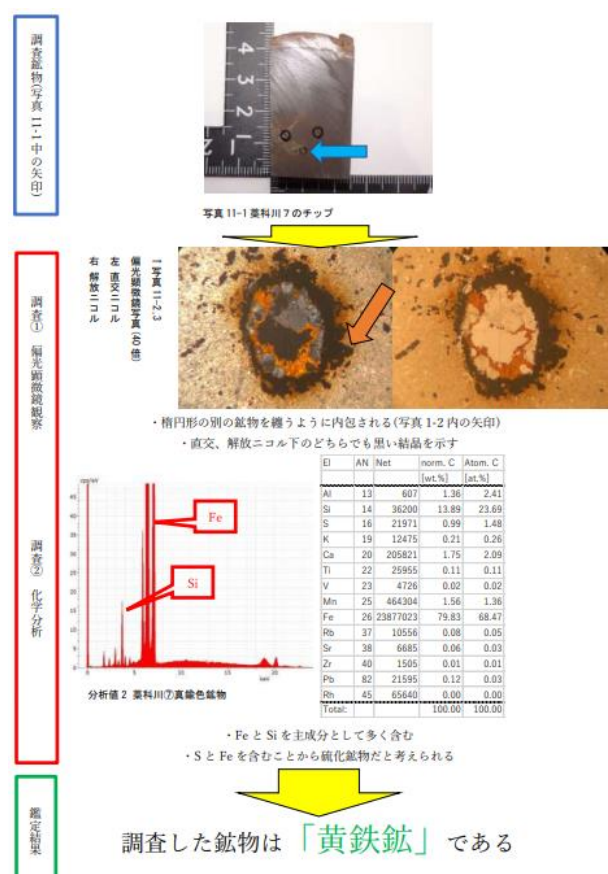
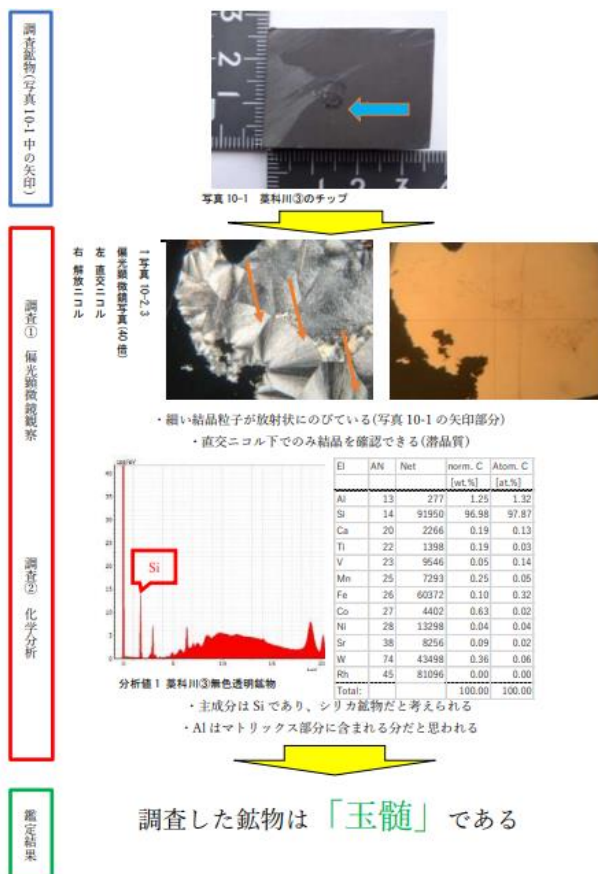
写真4 鉄丸石のチップを台上にセットした様子

4 結果

試料となった鉄丸石

河川	産地	番号	長径(mm)	短径(mm)	重量(g)	体積(cm ³)	比重(g/cm ³)	鉱物の多寡
藁科川	富厚里	③	118.76	95.44	1826.0	599.8	3.044	透明な鉱物, 黄鉄鉱
		④	129.57	82.12	1478.0	492.6	3.000	なし
		⑦	89.34	66.37	681.0	231.2	2.946	チューブ状の黄鉄鉱
		⑧	138.26	108.07	2242.0	738.6	3.035	チューブ状の黄鉄鉱
足久保川	飛沢橋	⑨	117.49	62.57	1108.0	372.0	2.978	変成した黄鉄鉱, 石英脈

(1) 鉄丸石に内包される鉱物の特定



調査鉱物写真① 中の矢印

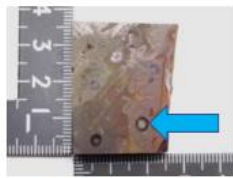
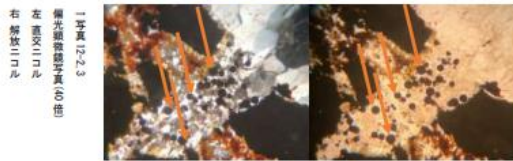
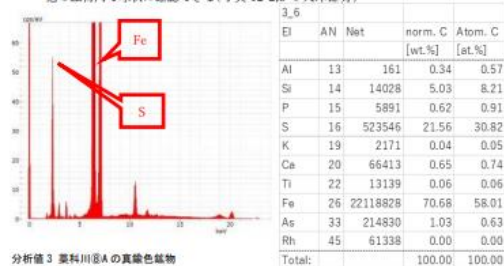


写真 12-1 基科川③Aのチップ



- ・直交、解放ニコル下のどちらでも黒い結晶を示す(写真 12-2,3 の矢印部分)
- ・他の鉱物内で球状に確認できる(写真 12-2,3 の矢印部分)



- ・Fe と S を主成分として多く含む
- ・S と Fe を含むことから硫化鉱物だと考えられる

調査した鉱物は「黄鉄鉱」である

調査鉱物写真① 中の矢印

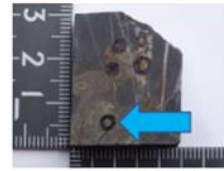
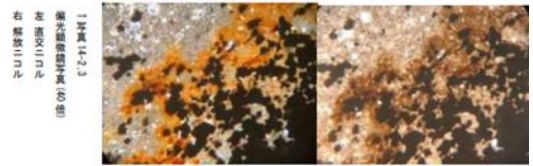
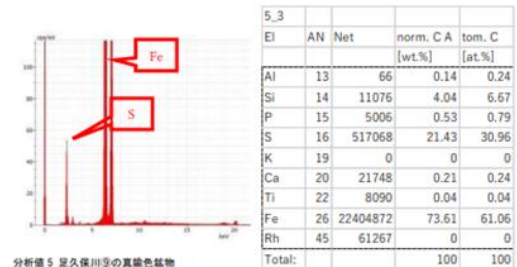


写真 14-1 足久保川③のチップ



- ・直交、解放ニコル下のどちらでも黒い結晶を示す
- ・球状の鉱物が確認できる



- ・Fe と S を主成分とするため、硫化鉱物である
- ・Al や Ti などの他の金属が検出される

調査した鉱物は「黄鉄鉱」である

調査鉱物写真① 中の矢印

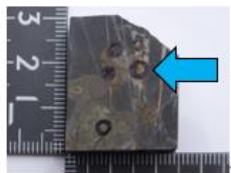


写真 13-1 足久保川③のチップ



- ・無彩色の形状が定まらない結晶(写真 13-2 の矢印部分)
- ・脈のように連なって確認できる(写真 13-2 の矢印部分)
- ・溶晶質は確認されない



- ・主成分は Si であり、シリカ鉱物だと考えられる

調査した鉱物は「石英」である

(2) 泥岩・頁岩と鉄丸石それぞれを構成する元素を調べる

表2 化学分析の結果

(左表：鉄丸石泥質部分の平均値、右表：泥岩・頁岩の平均値)

El	AN	Net	norm. C	Atom. C	El	AN	Net	norm. C	Atom. C
			[wt.%]	[at.%]				[wt.%]	[at.%]
Al	13	550.2	1.338	2.32	Al	13	2120	9.06	11.55
Si	14	44731.794	19.79	31.514	Si	14	53504	46.59	56.95
K	19	26503.766	0.606	0.682	K	19	160479	10.81	9.49
Ca	20	159.126	1.734	1.926	Ca	20	17711	0.65	0.56
Ti	22	37608.868	0.208	0.196	Ti	22	114153	2.06	1.48
Fe	26	21265274.43	71.012	61.348	Fe	26	3632744	28.17	17.34
その他		375775.536	1.607	1.339	その他		80727	1.755	2.23
Total:			96.93	99.33	Total:			100.04	100.01

- ・含まれる主成分としてどちらも Si と Fe が大きい割合を占める
- ・鉄丸石の方が Fe を多く含み、Si は第二主成分にあたるが、泥岩・頁岩は反対に Si を多く含み、Fe が第二主成分にあたる
- ・泥岩・頁岩の方が岩石中に含まれる Fe と Si の割合の差が小さい
- ・どちらも同じくらいの割合の雑成分を含む

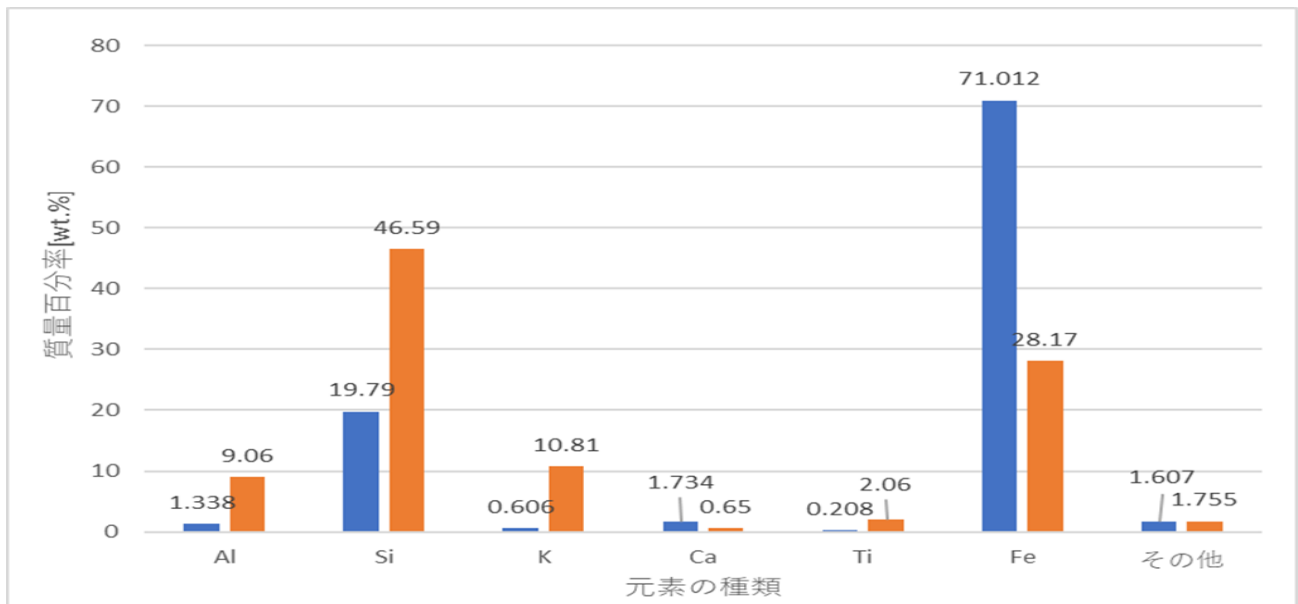


図1 化学分析値の比較

(青：鉄丸石泥質部分の平均値、オレンジ：泥岩・頁岩の平均値)

5 考察

(1) 黄鉄鉱の生成環境

黄鉄鉱は、①低温熱水鉱脈鉱床、②黒鉄鉱物を含む噴気性堆積鉱床、③岩銅硫化鉱床、④泥質堆積岩、⑤石炭還元性条件下の湖水堆積物、⑥深海底のスモーカーで生成される。

この内、④泥質堆積岩は、海底の泥の中で貧酸素状態になると海水中の硫酸イオンが硫酸還元細菌によって硫化水素(H_2S)となり、それが海水中の鉄イオンや泥の鉄成分と化合して二硫化鉄を形成する。このことから、硫酸イオンの還元状態ができあがり、その通り道や後に充填された鉱物を核に鉄丸石を形成する可能性が考えられる。また、④泥質堆積岩は、海成泥質堆積岩層を起源とする堆積岩には微細な黄鉄鉱が含まれていることが多い上、体積当たりの表面積が大きいことから水と酸素にさらされると酸化

し、水酸化鉄と硫酸に変化する。このことから、鉄丸石に内包される黄鉄鉱は表面を空気中にさらしてすぐは金属光沢を示していたことから、酸化しておらず鉄丸石は完全に外部からの影響を遮断できていたと考えられる。

(2) 石英と玉髄の生成環境

石英と玉髄は、①酸性火成岩、②砕屑堆積岩、③チャート及びその変成岩、④熱水からの沈殿物で生成される。

このように石英と玉髄は幅広く産出し、生成環境の特定には向かない。しかし、砕屑性堆積岩には泥質堆積岩も含まれるため、黄鉄鉱を内包することと踏まえると、鉄丸石が石英や玉髄を黄鉄鉱とともに内包することに違和感はない

(3) 鉄丸石以外のコンクリーション

鉄丸石によく似た岩石として、球状鉄コンクリーションというものがある。名古屋大学の吉田英一先生が検証を行った結果、炭酸カルシウムコンクリーションと酸性地下水との反応で形成されたと提唱されているものである。炭酸カルシウムコンクリーションは CaCO_3 を主体としたコンクリーションであり、鉄イオンを含む塩化鉄(FeCl_2)水溶液と反応し、数か月という短い期間で鉄酸化物の殻が炭酸カルシウムコンクリーションの周りに形成される様子が吉田先生の著作物内で示されている。また、表面の鉄の沈殿の形成に伴って酸化鉄の割合が増加している。このような錆色の殻はほとんどの鉄丸石に確認でき、鉄丸石のマトリックス部分に副成分としてわずかにCaが検出されることから炭酸カルシウムコンクリーションとの関わりが深いことを示唆していると考ええる。



写真5 鉄丸石の錆色の殻

炭酸カルシウムコンクリーションは生物の死骸からでた有機酸が放射状に拡散され、炭素部分を消費しながら地中で形成するとされ、生物部分を核とするため、球状に産する。これに対し、鉄丸石は硫化水素などの気体の通り道を核にすると考えると、下方から上方に貫通するように核の位置が形成され、通り道も不安定なことから完全な球状にはなりにくいと思定される。また、通り道が周囲の泥質堆積岩内の微細な黄鉄鉱で充填される前に周囲の泥の圧力でふさがれた場合、肉眼で確認できるほどの大きさの鉱物は内包されないが、鉄丸石内の葉理によって境目の存在は確認できていると考えられる

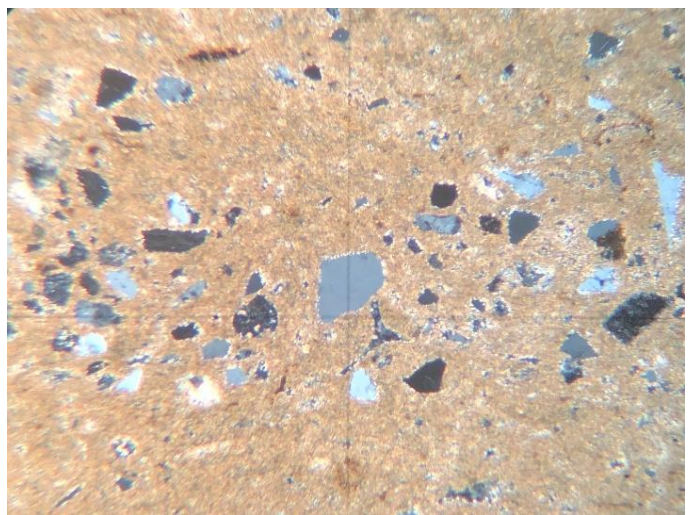
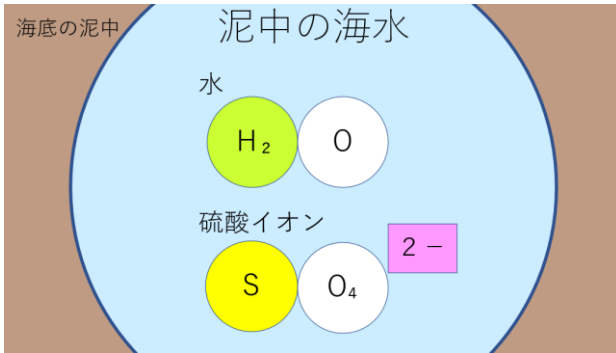


写真6 藁科川④の葉理部分

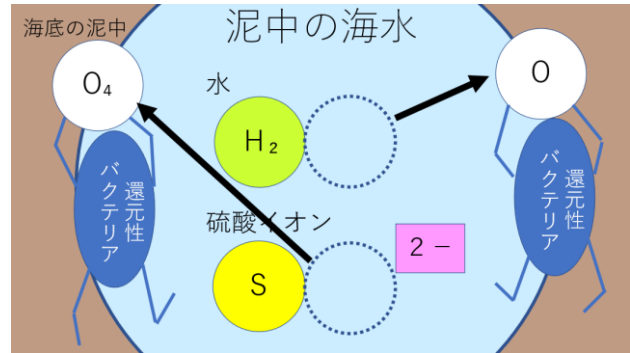
(葉理部分は写真6のような周囲とは異なる結晶が偏光顕微鏡下×40で確認できた)。

6 まとめ

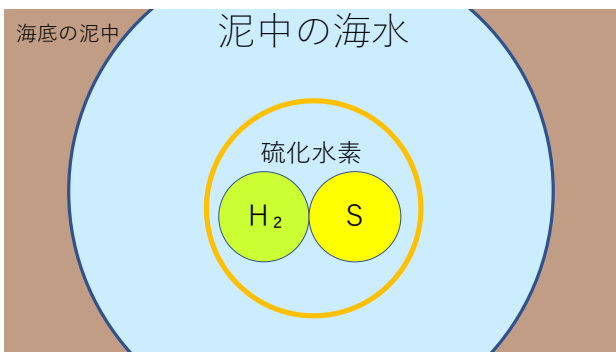
本研究から考えられる鉄丸石の作り方



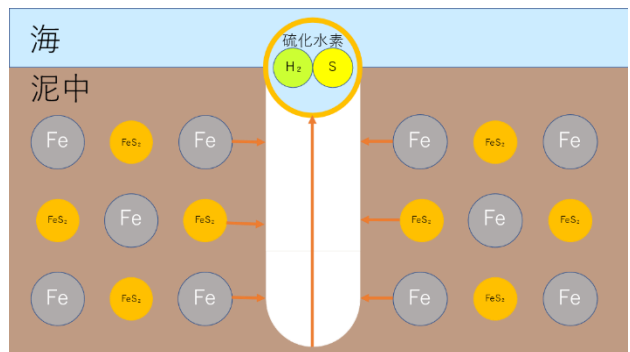
(1) 海底にある貧酸素状態の泥中に含まれる海水が持つ水分子と硫酸イオンが存在している



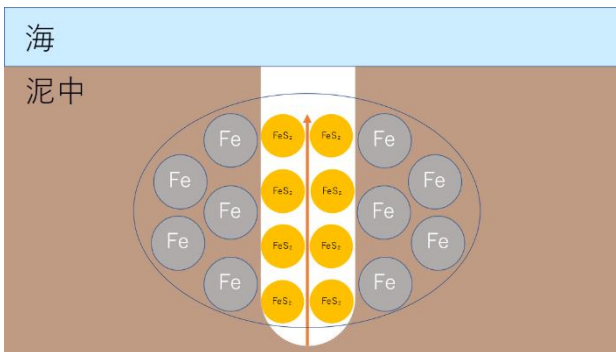
(2) 還元性バクテリアがO(酸素)を奪う



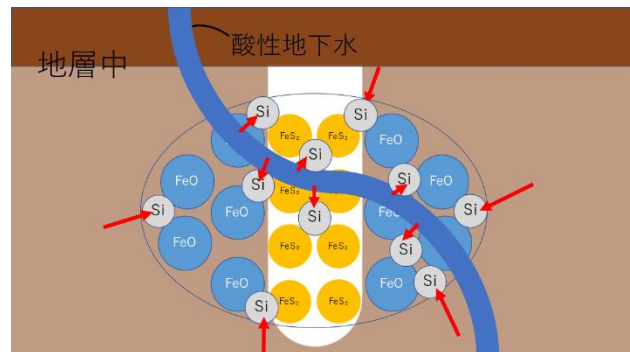
(3) O(酸素)が奪われたことでH₂(水素)とS(硫黄)が残り、化合することでH₂S(硫化水素)が生まれる



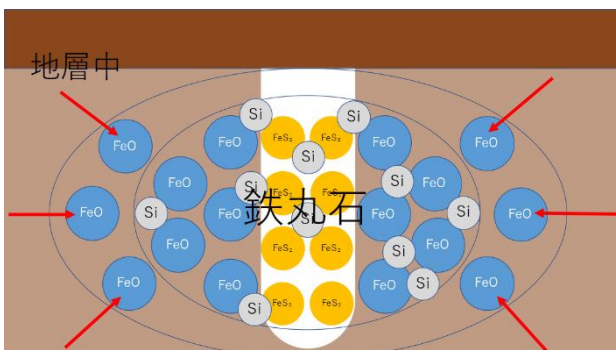
(4) 硫化水素は気体のため、泥をかき分けながら上方に進み、それによってチューブ状の空洞ができる



(5) 泥中に含まれていた微細なFeS₂(黄鉄鉱)が圧力の小さい空洞部分に集まり、その周りにFe(鉄)が集まる



(6) 地層中で酸性地下水に接することでFe(鉄)がFeO(酸化鉄)に変化する
地中や地下水からSi(シリコン)が溶け出し、Siを主成分とする石英や玉髄が内包される



VII 内部が生成された後、FeO(酸化鉄)の殻を纏っていく

7 感想

今回の研究では、成分解析や薄片観察など新しい手段を使用しながら、昨年までの研究をより深めることができた。鉄丸石は名前に「鉄」とつく上、成分中も鉄が多い割合を占めるものの磁性を持たない。よって鉄としての性質は持たず、完全に酸化した状態で産出されているのだろうと考えられる。今回、研究で使用した微小部蛍光X線解析装置では結晶構造まではわからないため、鉄丸石の成分の多くの割合を占める酸化鉄の価数は不明である。鉄丸石の主成分である酸化鉄の価数を知ることができれば、鉄丸石が生成される中のどの段階で酸化したのかを知るきっかけになりえると思ったため、機会があれば調べてみたい。

また、化学式やイオンについての化学分野の知識が少ないため、鉄丸石を理解する上で必要な知識を得るために化学分野の理解にも努めたい。

そして、僕が行っている鉄丸石についての研究は、内部の黄鉄鉱を水に曝さずに長期間保存し続けることが可能になる生成方法の全貌を明らかにできれば、建築技術の向上や自然科学を知ることにおいてSDGs目標の9番の「産業と技術革新の基盤をつくろう」や11番「住み続けられるまちづくりを」につながるのではと考えている。

8 謝辞

論文執筆に当たりご指導いただいた静岡大学技術部教育研究第二部門長の楠賢司先生、静岡大学特任教授の青木克顕先生、成分解析を行う上で微小部蛍光X線解析装置を使用するに当たりご指導いただいた静岡県工業技術研究所化学材料化科長の真野毅様、主任研究員の望月智文様、ありがとうございました。

9 参考文献およびURL

- ・「球状コンクリーションの科学」著 吉田英一 発行所 近未来社 発行年度 2019/5/27
- ・「岩石薄片図鑑」著 青木正博 発行所 株式会社 誠文堂新光社 発行年度 2017/1/17
- ・「含まれる鉱物や組織で種類を知る 薄片でよくわかる 岩石図鑑」
著 チームG 発行所 株式会社 誠文堂新光社 発行年度 2014/3/17
- ・鉱物パイライトの特徴とは？他の鉱物と共存するって本当？ | カラッツ Gem Magazine (karatz.jp)
- ・蘆科川の鉄丸石 | MUSEO モノ日記
- ・足久保川の鉄丸石 | MUSEO モノ日記
- ・葉山のへそ石・子産石 | MUSEO モノ日記
- ・鉄丸石という丸いものの正体？ - 続 曇りのち快晴 (hatenablog.com)
- ・研究ノート「岩石の化学組成を調べる」川手新一 (kanagawa-museum.jp)
- ・秩父鉱山の岩石薄片① - С к л а д П а м я т и (hateblo.jp)
- ・炭酸塩コンクリーションの成因について ja (jst.go.jp)
- ・水中置換法 | 材料・素材の物性 | 分析・試験・解析 | 住ベリサーチ (sb-r.co.jp)
- ・国内産玉髄・瑪瑙の形成過程 Microsoft Word - R1-01-27-062.docx (jst.go.jp)
- ・四万十累層群の生痕化石起源の炭酸塩類コンクリーション-三浦半島と房総半島の葉山・保田層群産へそ石・静岡県と高知県の瀬戸川層群と室戸半島層群産鉄丸石- | 文献情報 | J-GLOBAL 科学技術総合リンクセンター (jst.go.jp)
- ・20 万分の1 地質図幅「静岡及び御前崎」(第2版). 産業技術総合研究所地質調査総合センター
杉山雄一・水野清秀・狩野謙一・村松 武・松田時彦・石塚 治・及川輝樹・高田 亮・荒井晃作・岡村行信・実松建造・高橋正明・尾山洋一・駒沢正夫(2010)