

2C01

放射光源 X 線吸収分光法による分子スケールスペシエーションを
駆使した微生物-鉄-鉱物（岩石）相互作用研究
○光延 聖（静岡県立大学）

鉄は、地球表層に豊富に存在する元素であり、ほぼすべての生物にとって不可欠な金属である。海洋地殻などの岩石圏や堆積物、土壌にも多くの鉄が含まれており、それらの環境に生息する微生物は、鉄をエネルギーや生体成分として利用し、結果として微生物活動は地球上での鉄循環の一翼を担ってきた。また、鉄酸化微生物によって生成される鉄バイオミネラルは、その巨大な表面積と強い表面電荷に起因して、鉄以外の元素や有機物の環境動態へ大きな影響を与えている。

演者はこれまで主に放射光源 X 線分析法による化学状態分析（スペシエーション）を利用して、地球表層での微生物-鉄-鉱物相互作用を解き明かす研究を進めてきた。とくに X 線吸収微細構造法（XAFS 法）は、原子・分子スケールで化学状態（価数、配位環境、鉱物種）を非破壊かつ元素選択的に調べられるため、微生物由来に限らず固相中で起きる鉄の化学反応過程を動力的かつ速度論的に議論するのに有効な手法である。また、近年では集光した X 線を利用して、 μm から nm レベルの高い空間分解能で化学状態を調べられる最先端の X 線顕微鏡装置が放射光施設に設置され、微生物のシングルセル（1 細胞）レベルでの化学種決定まで技術的には可能となっている。講演では、演者が最近進めている以下の研究や研究動向を紹介しながら、微生物-鉄-鉱物相互作用研究における分子スケールスペシエーションの有効性と今後の方向性について議論する。

(1) 鉄酸化細菌によるバイオミネラリゼーション研究

高空間分解 XAFS 法（ μXAFS 法）と細胞可視化技術である蛍光 *in situ* ハイブリダイゼーション法（FISH 法）を組み合わせ、環境試料中の特定の微生物反応を高い空間分解能（1 μm ）で直接観察する手法を開発した。本手法を堆積物中でのバイオミネラル生成に応用し、鉄酸化細菌が生成した水酸化鉄鉱物は、2 次元的な結晶構造を有し、無機合成物にはないユニークな特徴を示すことを明らかにした（Mitsunobu et al., 2012）

(2) 鉄酸化細菌によるバイオリーチング研究

軽元素の化学種決定に特化した走査型透過 X 線顕微鏡（STXM）を新たに応用することで、微生物 1 細胞レベルの空間分解能（約 50 nm）で元素化学種を分析する手法を確立し、鉄酸化菌によるパイライト溶解機構の解明に応用した。その結果、鉄酸化菌が鉱物付着面で金属錯生成能を有する細胞外有機物（酸性多糖）を大量産生し、鉱物溶解を促進させるという生物触媒作用（Bio-catalysis）機構を分光学的に明らかにした（Mitsunobu et al., 2015; submitted）。

Study on the microbe-iron-mineral interaction by synchrotron-based chemical speciation techniques.

*S. Mitsunobu (University of Shizuoka)

2C02

海洋環境での酸化鉄被膜形成に関わる微生物

- 牧田寛子^{1,2}、田中英美子^{2,1}、布浦拓郎¹、平井美穂¹、
阿部真理子¹、鈴木優美^{2,1}、関野優也^{2,1}、菊池早希子¹、
光延聖³、高橋嘉夫⁴、高井研¹
(¹JAMSTEC、²神工大・工、³静科大・院理、⁴東大・院理)

世界各地の海洋環境において、酸化鉄で覆われた海底面（酸化鉄被膜地帯）が確認されている。それらは、環境中の鉄を直接的あるいは間接的に利用する微生物により形成された微生物と鉱物（主に酸化鉄）の複合体であり、それらの複合体（酸化鉄被膜）は、鉄利用微生物の生理・生態を理解する上で最適な試料であると考えられている。

海洋性の鉄利用微生物は、海洋地殻に含まれる鉄の総量を踏まえると、圧倒的な存在量を誇る事が予想され、光の届かない栄養の乏しい環境での生態系を支える重要な一次生産者であると考えられる。この仮説に基づき、鉄利用微生物の一次生産活動や物質循環における役割が注目されるようになり、近年各地の酸化鉄被膜地帯での微生物調査が実施されている。

我々はこれまでに、沖縄トラフやマリアナ島弧そして南部マリアナトラフの熱水活動域に存在する酸化鉄被膜地帯での微生物学的調査を行ってきた。本発表では、微生物群集構造解析から予想される酸化鉄被膜での生態系維持に最も貢献する一次生産者について議論し、培養手法によって明らかとなった新規鉄酸化細菌の存在とそれらの生化学的性状、酸化鉄被膜形成に関わる海洋性鉄利用微生物の生態について報告する。

Microorganisms involved in formation of Iron-dominating flocculent mats in the marine environment.

* H. Makita^{1,2}, E. Tanaka^{2,1}, T. Nunoura¹, M. Hirai¹, Y. Suzuki^{2,1}, Y. Sekino^{2,1}, S. Kikuchi, S. Mitsunobu³, Y. Takahashi⁴ and K. Takai¹ (¹JAMSTEC, ²Grad. School of Eng., Kanagawa Inst. Tech., ³Grad. School of Sci., Univ. Shizuoka, ⁴Grad. School of Sci., Univ. Tokyo)

2C03 (Invited)

微好気性鉄酸化細菌の生理・分布・ゲノム・排泄物と、その生物地球化学的意義

○加藤真悟
(デラウェア大学)

鉄は地球上に普遍的に存在し、主に Fe(II)と Fe(III)の状態では酸化還元反応を繰り返しながら環境中を巡り、様々な元素の分布や挙動、エネルギーフラックスに影響を与えている。ほぼ全ての生物が微量の鉄を生育に必要とする一方で、化学合成独立栄養性鉄酸化細菌（以下、単に鉄酸化細菌）は、Fe(II)と O₂の酸化還元反応から得られるエネルギーを使って、炭酸固定により体を構成する有機物を作り出し、増殖することができる。この種の鉄酸化細菌は、その Fe(II)酸化の副産物として、細胞外に酸化鉄-有機物複合体を大量に産出する。この酸化鉄-有機物複合体には、リンやヒ素、重金属等に対する吸着能がある。地球表層の大部分を占める中性 pH 付近において、大気圧下で酸素飽和した条件下では Fe(II)の自然酸化が速いため、鉄酸化細菌は Fe(II)から増殖に十分なエネルギーを獲得できない。一方で、酸素濃度が低い微好気条件下では、Fe(II)の自然酸化が遅くなるため、鉄酸化細菌は自然酸化する前に Fe(II)を利用することができる。実際に、これまでに分離された中性 pH 付近を好む鉄酸化細菌は、すべて微好気性である。鉄および微好気環境の空間的な広がりを考えると、鉄酸化細菌は地球上に幅広く存在し、地球規模での元素・エネルギー循環に多大な影響を与えている可能性がある。しかしながら、鉄酸化細菌は難培養性微生物の代表格として知られており、室内で培養できる分離株が極めて少ないため、その生理や分布はよくわかっていない。特に、中性 pH 付近で生育する海洋性鉄酸化細菌に至っては、性状が詳しく調べられているのはたったの 1 種であり、その極めて限定的な情報に基づいて諸々の議論が交わされているのが現状である。演者はこれまでに、淡水性および海水性の新奇鉄酸化細菌を分離し、その性状・ゲノム解析を進めてきた。本講演では、これまでの鉄酸化細菌研究を俯瞰し、演者の最新の成果も踏まえて、鉄酸化細菌の生物地球化学的意義を議論する。

The physiology, distribution, genomes and byproducts of neutrophilic, microaerophilic iron oxidizing bacteria: implication for their contribution to global biogeochemical cycling

*S. Kato (Univ. Delaware)

2C04

(Invited)

導電性鉄鉱物との電子授受に基づく微生物代謝

○加藤創一郎¹

(¹産業技術総合研究所)

微生物の中には、金属鉱物などの固体物質の酸化還元反応を通してエネルギーを獲得するものが存在する。さらに近年、人工的な電極や（半）導体性の金属化合物などの導電性物質との電子授受によりエネルギーを得て生育可能な微生物が発見された。この新規微生物代謝は「細胞外電子伝達」と呼ばれ、近年これを利用したエネルギー変換、物質生産、環境浄化に関する研究が盛んにおこなわれている。一方で「細胞外電子伝達」反応の生態学的な意味については未知の部分が大きかったが、我々のグループは自然界にも存在する導電性鉱物をいわば“電線”として利用する、新たな微生物代謝機構を見出した。我々はまず、電流産生微生物の *Shewanella* や *Geobacter* がヘマタイトやマグネタイトなどの（半）導体性酸化鉄粒子と電子授受をおこなうことで鉱物-微生物からなる導電性ネットワークが形成され、長距離電子伝達、ひいては電流産生能の増大が可能になることを明らかにした。さらに電流産生菌 *Geobacter* と電流消費菌 *Thiobacillus* からなるモデル共生系を構築し、両者単独では生育ができない、酢酸と硝酸を唯一の電子供与体・受容体とした条件で培養をおこない、導電性酸化鉄の存在下でのみ酢酸酸化と硝酸還元が起こりうることを示した。この結果は導電性酸化鉄を流れる電流が両微生物の代謝を電氣的に接続し、共生関係を成立させていることを意味する。またこのような導電性物質を流れる電流を介した共生関係は、有機物からのメタン生成を含む、様々な微生物共生反応に適用可能であることも我々は示している。導電性を有する鉱物が自然界に普遍的に存在していることを考慮すると、微生物と導電性鉱物との電子授受反応は地球規模の物質・エネルギー循環に多大な影響を及ぼしている可能性を持つと考えられる。また既知の微生物共生反応の高効率化、新規の微生物共生反応の創出を通し、様々なバイオテクノロジー技術への応用も期待されている。

Electron exchange between microorganisms and conductive iron minerals

*S. Kato¹ (¹ National Institute of Advanced Industrial Science & Technology)

2C05

淡水性ラン藻類 *Microcystis aeruginosa* による鉄摂取速度論

○藤井学¹、T. David Waite²

(¹東京工業大学、²豪州ニューサウスウェールズ大)

鉄は藻類にとって必須である。海域や湖沼などの水環境中において、水中での鉄不足が藻類の増殖や代謝に影響を及ぼすことが明らかとなっている。本研究では、アオコの代表種である淡水性藍藻類 *Microcystis aeruginosa* の鉄摂取に及ぼす影響を調べた。実験方法として、マイクロ波滅菌した Fraquil*培地で、*Microcystis aeruginosa* PCC7806 株を温度 27°C、光強度 $157 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (蛍光灯を使用)、14:10hr サイクルの明暗条件で培養した。対数増殖期後期に細胞を回収し、放射性同位体鉄を用いた鉄摂取実験を行った。

EDTA を鉄結合リガンドとした系において、光照射条件下では、暗条件と比較して、Fe(II)生成速度と鉄摂取速度が 2 オーダー増加した。特に、波長 500nm 以下の光が Fe^{III}EDTA 錯体の還元解離反応と *Microcystis* による鉄摂取を促進させた。従って、Fe^{III}EDTA の光還元により生じた第一鉄イオン(Fe(II))を摂取することで、藻類の鉄摂取速度が増加することが示唆された。一方で、湖沼・河川などの淡水中において主要な鉄結合リガンドと考えられている腐植物質 (スワニー川フルボ酸) を用いた系において、暗条件での鉄摂取は明条件と同様に高い値を示した。これは、腐植物質が暗条件において鉄を還元する性質を有すること、また第二鉄(Fe(III))腐植物質錯体の解離も比較的速やかに生じるためと考えられ、この解釈は他の実験データとも整合性があった。以上の知見に基づき *Microcystis* の鉄摂取速度論モデルを構築し、自然水中での *Microcystis* の鉄摂取動態について考察した。

Iron uptake kinetics by freshwater cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*

*M. Fujii¹, T. David Waite² (¹Tokyo Institute of Technology, ²The University of New South Wales)

○菊池早希子¹、牧田寛子¹、白石史人²、今野祐多¹、高橋嘉夫¹⁻³
(¹海洋研究開発機構、²広島大学・院理、³東京大学・院理)

【研究目的】 鉄酸化菌の関与により生成された水酸化鉄は Biogenic iron oxyhydroxides (BIOS) と呼ばれ、地球表層に広く存在する。BIOS は高い吸着能を持つため、酸化的环境下で様々な微量元素を吸着し、それらの挙動を支配する鉱物と考えられてきた (Ferris et al., 2000)。一方で、BIOS は還元的な環境で鉄還元菌に容易に還元され、二次鉱物へと変化することも示唆されている。よって BIOS の生成から二次鉱物への変化を把握することは、BIOS を介した微量元素の循環を理解する上で重要である。そこで本研究では BIOS を主成分とする天然の堆積物を対象として、(1) BIOS の還元に伴う二次鉱物の生成とその空間分布、(2) BIOS の還元率を決定づける要因を明らかにすることで、BIOS を介した微量元素循環のより詳細な理解につなげることを目的とした。

【試料採取場所・分析手法】 分析試料は広島大学のぶどう池でみられる BIOS コア試料 (Fe: 40 wt%; 深さ 10 cm) を対象とした。採取した堆積物は 1 cm ごとに分取し、それぞれの深度における鉄鉱物種および鉄鉱物の空間分布を X 線吸収微細構造 (XAFS) および透過型電子顕微鏡 (TEM) により調べた。

【結果・考察】 XAFS 分析により、堆積物に含まれる BIOS は還元的環境下でも大部分が Ferrihydrite として残り、一部が Goethite や Siderite に変化することがわかった。深度別にみると、酸化的环境下堆積物上層 (深さ 1-2 cm) では BIOS は主に非晶質な水酸化鉄である Ferrihydrite として存在しており、鉄酸化菌由来のフィラメント状有機物が含まれていた。一方、還元的な環境となる深さ 3 cm 以深では、鉄還元菌による BIOS の還元が生じ、二次鉱物として Goethite や Siderite が沈殿していることがわかった。しかしながら、堆積物中の Goethite, Siderite, Ferrihydrite の割合は堆積物 5 cm 以深では変化せず、大部分の Ferrihydrite が還元されることなく残っていた。堆積物の 7 cm 以深では嫌気性発酵によるメタン生成が活発となっていることから、還元的環境下で BIOS 中の Ferrihydrite が完全に還元されないのは、有機物の不足が原因ではないと考えられる。TEM 観察により、堆積物 3 cm 以深では siderite や goethite が鉱物粒子の表面に沈殿していることが確認された。さらに、鉱物粒子表面のみの鉱物種を表す転換電子収量 XAFS 測定を行ったところ、Goethite が検出された。以上の結果より、鉄還元により生じた Goethite や Siderite が Ferrihydrite を覆ってしまうことで BIOS の生物利用性が低下し、大部分の Ferrihydrite が還元的な環境下でも残ると考えられる。以上の結果は BIOS に吸着した微量元素の長期的な挙動を考える上で重要な情報である。

Limited reduction of biogenic Fe oxyhydroxides caused by the encrustation of secondary Fe minerals
*S. Kikuchi¹, H. Makita¹, F. Shiraishi², U. Konno¹, K. Takai¹, and Y. Takahashi¹⁻³ (¹JAMSTEC, ²Grad. School of Sci., Hiroshima Univ., ³Grad. School of Sci., Univ. Tokyo)

2C07

(Invited)

鉄酸化細菌がつくる酸化鉄の構造と物理化学的解析

○鈴木智子¹、橋本英樹²、久能均³、高田潤³

(¹日女大理、²工学院大先進工、³岡山大院自然)

自然界には鉄やマンガンの酸化物を生成する微生物が数多く存在する。この種の微生物には、細菌や菌類のみならず藻類や原生動物が含まれ、人為的もしくは自然環境下で鉄やマンガンの酸化物を生成する(1)。自然環境中に常在するある種の鉄酸化細菌は、鉄分を多く含む地下水の湧出水や側溝、小川などの水圏に生息し、黄褐色の沈殿物を生成する【図1】(2)。この沈殿物は、鉄酸化細菌が水中に溶存する二価の鉄イオンを酸化することにより生じた酸化鉄で、常温・常圧・中性 pH・貧栄養の環境条件下で生成される(3)。本研究では、鉄酸化細菌の代表的種である *Leptothrix ochracea* ならびに *Gallionella ferruginea* が生成する酸化鉄 (Biogenous Iron Oxide: 以下 BIOX と略称する) に着目し、工学的材料としての利用に向けて、その特性を詳細に明らかにした。

両菌は、 β -proteobacteria に属する化学合成独立栄養細菌であり、*L. ochracea* はチューブ状の酸化鉄 (L-BIOX) を生成し、*G. ferruginea* は、ソラマメ型細胞の長径の片側からねじれた紐状酸化鉄 (G-BIOX) を生成する【図2】。これら BIOX を電顕観察すると、L-BIOX のチューブ外側は網目状の微細な繊維 (幅約 20 nm) に覆われ、チューブ内側は粒子状からなる二層構造であった。紐状の G-BIOX は 5~200 nm の多数の細い繊維が束になってねじれ、らせんを形成していた。さらに、高分解能電子顕微鏡解析によると、外見は大いに異なるにも関わらず、それらの基質は共通的に直径約 3 nm の酸化鉄ナノ粒子の集合体であることが明らかとなった。元素分析の結果、これらの酸化鉄は、鉄と酸素に加え、ケイ素とリンを含んだ複雑な構造であることが示された。これらの元素はナノスケールで構造中に均一に分布しており、Fe : Si : P = 73 : 22 : 5 (L-BIOX), 79 : 16 : 5 (G-BIOX) (原子比率) のほぼ同様な比率を示した。次に、結晶構造解析によって、それら酸化鉄が完全な非晶質 (Amorphous) であることが明らかとなった。FT-IR を用いて BIOX 構成元素の化学結合状態を解析したところ、ケイ素やリンが酸素を介して鉄と結合していることを示し、さらに、水酸基に帰属するブロードなピークは、多量の吸着水を含むことを示した。加えて、炭素が存在することが明らかとなった。そこで、透過型電子顕微鏡に搭載された電子エネルギー損失分光装置を用いて炭素の解析を行ったところ、BIOX を構成する数十 nm の酸化鉄繊維の内部に、さらに細い繊維状炭素の分布が検出された。この結果は、細菌が作り出す有機物繊維が骨格となり、そこに水中の Fe, Si, P などが集積するという可能性を示唆した。この結果から、BIOX は有機・無機ハイブリッド構造体であることが証明された。その他、大きな表面積を持つこと (280 m²/g : L-BIOX, 370 m²/g : G-BIOX)、約 20 nm と 3 nm 以下の非常に細かい細孔を多数有する多孔質体であることも明らかとなった。すなわち、BIOX は人工合成が非常に困難な複雑な構造体であった。

本研究では、さまざまな工業的活用法を模索しており、赤色顔料や触媒担体、Li イオン二次電池の電極材、細胞培養基材、植物病害防除資材として多方面での活用に見るべき兆しを見出している。

次のステップとして *Leptothrix* 属細菌の単離菌株 (OUMS1) を用いた研究を進めており、BIOX の形成メカニズムの解明や、合成培地中で OUMS1 を培養し自然界に無い BIOX の創出を目指している。将来、鉄酸化細菌によりつくられた新規の高機能材料が様々な分野で実用化されることを期待して研究を進めている。

本研究は、平成 20 年度文部科学省特別教育研究推進経費 (J.T.)、JSPS 科研費 24780073 (T.S.) および JST CREST 「元素戦略を基軸とする物質・材料の革新的機能の創出」 事業 (J.T.) の成果である。

【参考文献】

- 1) Ghiorse, W. C., *Ann. Rev. Microbiol.* **38**, 519-521 (1984)
- 2) Matsushita, T., *J. Hygienic Chem.* **15**, 219-224 (1969)
- 3) Comell, R. M. and Schwertmann, U., “Iron Oxides”, 2nd Edition, Weinheim, Germany, Wiley-VCH Verlag, 484-489 (2003)

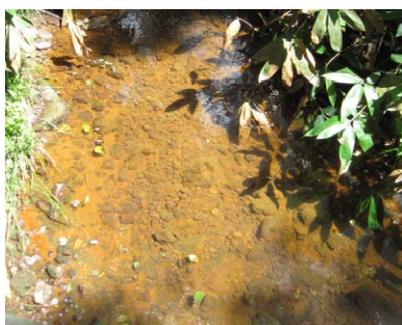


図1. 小川に形成された赤茶色の堆積物



図2. L-BIOX(左)とG-BIOX(右)の光学顕微鏡写真

Structural and physicochemical analyses of iron oxides produced by iron oxidizing bacteria

*T. Suzuki¹, H. Hashimoto², H. Kunoh³, J. Takada³ (¹Faculty of Science, Japan Women's Univ., ²School of Advanced Engineering, Kogakuin Univ., ³ Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama Univ.)

2C08

(Invited)

鉄質温泉堆積物に見られる縞状組織の生成プロセス

○高島千鶴

(佐賀大学文化教育学部)

温泉大国である日本国内のいくつかの場所では、ミネラル成分に富む温泉水から鉄質沈殿物が析出する。この温泉成鉄質沈殿物は先カンブリア紀に形成された縞状鉄鉱層(BIF)と組成的・組織的に非常に類似している。具体的には1) 鉄酸化物を主体とした構成鉱物、2) ミクروسケールの縞状組織、3) 微生物により引き起こされる鉄沈殿、である。以上の共通点から、未だに解明されていないBIFの生成過程を明らかにするために、BIFのモダンアナログとしてのポテンシャルが高い温泉成鉄質沈殿物の研究を進めている。本発表では、2つの鉄質沈殿物の生成プロセスに焦点を当てる。

1. 現世温泉成鉄質沈殿物

1) 入之波温泉：奈良県吉野郡川上村の入之波温泉はカルシウムイオンと二酸化炭素に富む中性炭酸水素塩泉である。温泉水には鉄イオンも含まれており、湯元では鉄質沈殿物が堆積している。鉄質沈殿物の内部には厚さ約100 μm の縞状組織が認められ、炭酸塩鉱物の基質と上方に向かって枝分かれした直径10-20 μm のフィラメント状鉄水酸化物で構成されている。フィラメント状鉄質沈殿物はラミナの上端で一斉に成長を停止していた。

フィラメント状鉄質沈殿物の中心部分には微生物の集合体が確認できた。微生物を遺伝子解析で特定したところ、中性環境で生息する微好気性鉄酸化細菌が検出された。これらの細菌は、中性pH環境で鉄イオンを酸化して栄養を摂取する独立栄養化学合成細菌であり、入之波温泉の湯元付近の環境はこの鉄酸化細菌にとって最適である。また、メタン酸化細菌、硫黄酸化細菌など、生育するために溶存酸素が必要な独立栄養化学合成細菌が検出された。

上述の堆積物組織と微生物群集を考慮すると、鉄酸化細菌が増殖すると、水一堆積物境界面において、自身の代謝に必須である鉄イオンが欠乏し、他の化学合成細菌との競争力を失って衰弱すると考えられる。そうすると、堆積物表面では鉄酸化物の沈殿に代わって炭酸塩鉱物の沈殿が優勢になる。鉄沈殿の停止により、再び鉄イオンの濃度が回復すると、鉄細菌の生長が開始する。このようなプロセスで入之波温泉の鉄質沈殿物のミクروسケールの縞状組織が形成されたと考えられる。

2) 奥々八九郎温泉：秋田県奥々八九郎温泉は秋田県と青森県の県境付近にある。奥々八九郎温泉の泉質は入之波温泉と似ており、中性炭酸水素塩泉である。湯元には鉄に富む沈殿物が析出している。奥々八九郎温泉の鉄質沈殿物にも縞状組織が確認された。肉

眼で観察されるミリメートルスケールの縞状組織は鉄水酸化物と炭酸塩鉄物の互層で構成されている。さらに、顕微鏡下では鉄水酸化物層内に厚さ約数 10 μm ~100 μm の細かい縞状組織が認められた。その細かい縞状組織は細粒な鉄酸化物の粒子で構成される。

鉄質沈殿物を溶解して観察すると、フィラメント状の微生物の集合体が観察された。また、鉄質沈殿物の薄片を蛍光顕微鏡下で、鉄質沈殿物相に光合成細菌の自家蛍光が確認された。

遺伝子解析を行うと、奈良県入之波温泉の鉄質堆積物から報告された鉄酸化細菌が検出された。さらに、入之波温泉の鉄質沈殿物からは未検出のシアノバクテリアが検出され、蛍光顕微鏡観察結果と矛盾しない。

奥々八九郎温泉と入之波温泉の湯元は物理・化学的環境が非常に類似しているが、溶存酸素濃度が異なる。入之波温泉は多少の溶存酸素を含んでいるが、奥々八九郎温泉は全く含んでいない。おそらく奥々八九郎温泉の鉄質沈殿物は、シアノバクテリアの光合成により発生した酸素を沈殿物表面で鉄酸化細菌が利用することにより、沈殿したと考えられる。

2. 縞状鉄鉱層への応用

2つの温泉成鉄質沈殿物に見られるミクロスケールの縞状組織の生成には、微生物が関与している共通点が見られた。

入之波温泉の鉄質沈殿物は化学合成細菌群衆の酸素をめぐる競争により沈殿した (Takashima and Kano, 2008)。このモデルは、深海で形成した BIF やシアノバクテリアが発生した約 27 億年前より古い時代の BIF に適応できる。

一方、奥々八九郎温泉の鉄質沈殿物の生成には鉄酸化細菌とシアノバクテリアの共生関係が重要である (Takashima et al., 2011)。このモデルは浅海性 BIF やシアノバクテリア発生以降の BIF に有効である。

現世の温泉堆積物を先カンブリア紀のアナログとして用いることは有用であり、今後先カンブリア紀の岩石から得られる情報と組み合わせることで、より正確な生成プロセス、さらには、古海洋環境の復元ができると期待できる。

【引用文献】

Takashima and Kano (2008) Laminated iron texture by iron-oxidizing bacteria in a calcite travertine. *Geomicrobiology Journal*, **25**, p.193-202.

Takashima et al. (2011) Bacterial symbiosis forming laminated iron-rich deposits in Okuoku-hachikurou hot spring, Akita Prefecture, Japan. *Island Arc*, **20**, p.294-304.

The forming processes of micro-scale lamination in iron-rich hot spring deposits

*C. Takashima (Saga Univ.)

2C09

鉄安定同位体を用いた高次海洋魚の生体内鉄代謝評価

○山方優子¹、田中佑樹¹、田辺信介²、板井啓明²、平田岳史¹
(¹京大院理、²愛媛大 沿岸環境科学研究センター)

鉄は多くの生物にとって必須元素であり、また鉄の存在が生物生産と大きく関わっていることは、Martinの鉄仮説(Martin, 1990)を始めとする多くの鉄散布実験で検証されている。しかし、鉄が生体内でどのように吸収・代謝されているのかは不明な点が多く、また海洋表層の鉄存在量も少ない($<10^{-7}$ wt%)ため、生体間での鉄循環(鉄バイオサイクル)に関しても制約条件は限定的である。陸上動物では、身体の部位ごとに鉄安定同位体比($\delta^{56}\text{Fe}/^{54}\text{Fe}$)の値が異なることが報告されており(Hotz et al., 2011; Walczyk and Blankenburg, 2005)、これは生体内の鉄が比較的大きな同位体分別を伴う酸化還元反応を通じて、部位ごとに酸化数の異なる化学形態で鉄を貯蔵しているためであると考えられている。ところが、海洋生物においては、鉄同位体比に関する報告例はマグロの筋肉の鉄同位体比に限られており(Walczyk and Blankenburg, 2002)生体内での鉄代謝に関して十分に議論できないため、本研究ではマグロ類に注目をし、生体内での吸収・代謝により鉄の同位体組成が変化することを利用して、海洋生物の鉄代謝や鉄のバイオサイクルに関する新たな知見を引き出す試みを行った。

本研究ではビンナガ(10個体)、メバチ(1個体)、マカジキ(2個体)から摂取した筋肉及び肝臓中の鉄同位体比を測定した。鉄同位体比の微小な変動を検出するため、生体試料の酸分解、陰イオン交換法による鉄の分離・回収を行った後、多重検出器型誘導結合プラズマ質量分析計(MC-ICP-MS)による高精度高分解能測定を行った。

分析により得られた鉄同位体比を見ると、マグロと陸上動物の筋肉と肝臓の鉄同位体比の挙動は似た傾向が見られるが、部位間における鉄同位体比の差は陸上動物と比べてマグロが約半分と小さいことが明らかとなった。この理由として、マグロの肝重量比が陸上生物(人間)に比べて約1/10倍だということ、マグロの筋肉中に含まれるミオグロビンの量が桁違いに多いこと、またマグロには熱交換器が筋肉と肝臓の両方に備わっていることなどが考えられる。また、本実験で測定したマグロの筋肉の鉄同位体比が、先行研究(Walczyk and Blankenburg, 2002)の報告値と比べて個体差を超えて有意(~1.5%)に低くなった。この大きな差が生まれた原因は、現段階で明らかではないが、可能性として成長による食性の変化、または、海域による食性の違いを反映したと考えることができる。本講演では、この結論に至った詳細を発表する。

Stable isotope signature of Fe in several higher oceanic fish

*Y. Yamagata¹, Y. Tanaka¹, S. Tanabe², T. Itai², T. Hirata¹ (¹Kyoto Univ., ²Ehime Univ.)