

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 10 日現在

機関番号：16301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2010～2012年度

課題番号：22681001

研究課題名（和文）水圏環境の貧酸素化による微量元素の動態変化とその潜在的生態影響の解明

研究課題名（英文）Hypoxia-induced mobilization of trace elements and its potential effect on aquatic ecosystem

研究代表者 板井 啓明 (ITAI TAKAAKI)

愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・講師

研究者番号：60554467

研究成果の概要（和文）：貧酸素化にともなう微量元素動態の変化が水生生物に及ぼす影響を評価することを目的に、琵琶湖を主なフィールドとして調査を実施した。その結果、(1) 2007年に琵琶湖湖底で大量斃死した固有種イサザが、低酸素環境下でMn・Asに暴露していたこと、(2) 琵琶湖底泥表層にMn・Asが著しく濃縮しており、貧酸素化により濃集層が薄化している地点ほど湖水への拡散溶出フラックスが大きいこと、などを明らかにし、類似の現象が世界各地の貧酸素水域で懸念されることを示唆した。

研究成果の概要（英文）：The aim of this project is to evaluate ecotoxicological effect of hypoxia-induced mobilization of trace elements from lake/marine sediment. To test this effect, I made field surveys, mainly in the Lake Biwa, coupled with laboratory experiments. The results indicated that (i) mass mortality of an endemic goby fish (*isaza*) in 2007 could be induced by exposure to Mn and As mobilized from lake sediment, (ii) Mn and As have been accumulated in the thin surface of sediment, and thickness of this enrichment layer is decreasing due to progressive hypoxia. Increasing dissolution flux of Mn and As from sediment can be a cause of adverse effect to lake organism. These result also suggested that similar phenomena is of concerned in other hypoxic water environment in the world.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	6,800,000	2,040,000	8,840,000
2011年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
2012年度	2,100,000	630,000	2,730,000
年度			
年度			
総計	12,800,000	3,840,000	16,640,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：水圏・貧酸素化・マンガン・ヒ素・生態影響

1. 研究開始当初の背景

近年、世界各地の沿岸域や閉鎖系水域において、貧酸素化の進行が報告されている。貧酸素化は、富栄養化や地球温暖化など、人為的・非人為的な要因が複合的に作用して生じ

ており、今後も拡大が予測される。貧酸素化は、環境中に賦存するヒ素・マンガン・硫黄などの元素の酸化還元反応を促進し、動態を変化させる。この元素動態の変化がひいては生物相に対し悪影響を及ぼす可能性がある。

実際にそのような悪影響を伺わせる例として、2007年12月に琵琶湖の湖底に生息する固有魚種イサザが大量へい死した事件が挙げられる。滋賀県琵琶湖環境科学研究センターが2000年から実施している湖底調査により、大量へい死時の湖底の溶存酸素濃度は、0.6 mg/Lと通常生物が生存可能なレベルを下回っていたことが指摘されており、湖底の貧酸素化が直接あるいは間接的にイサザの大量へい死に関与したと考えられている。加えて、愛媛大学沿岸環境科学研究センター（以下CMES）でイサザ中の微量元素を測定した結果、著しく高濃度のヒ素・マンガンが検出された。ヒ素・マンガンは還元的環境下で流動しやすいため、貧酸素環境下でそれら毒性元素の暴露が増加し、イサザの大量へい死につながったことが示唆された。

上記の研究で、とくに重要な発見は2つある。1点目は、天然に普遍的に存在する元素が貧酸素化に伴い挙動を変化させ、間接的に生態系に影響を与えたことである。2点目は、この現象は、汎地球的に進行している地球温暖化と関連していることである。すなわち、このような事例は今後世界中の至る所で発生する可能性があり、その現象解明と具体的な対策の提言が喫緊の課題である。

従来の多くの研究では、貧酸素化により水生生物の大量死を生じる要因として、酸素濃度の低下による窒息、すなわち環境の貧酸素化による直接的な影響が主に検討されてきた。一方、琵琶湖での研究結果は、そうした直接的要因に加えて、堆積物由来の毒性元素への暴露、すなわち間接的要因が寄与していることを示唆している。地球化学的観点では、貧酸素化により毒性元素の暴露レベルが上昇することは十分にあり得ることであり、仮にこの要因単独では生物死に直結しなくても、毒性元素への慢性暴露による複合的影響が貧酸素化による生態影響をより悪化・顕在化させる可能性も考えられることから、毒性元素への暴露リスク評価は生態系保全の観点から第一級の課題であるといえる。

2. 研究の目的

貧酸素化にともなう微量元素の動態変化と水生生物への暴露について包括的な知見を得ることを目的とし、以下の三課題を設定した。

(1) 琵琶湖湖底で大量へい死したイサザへのマンガン・ヒ素暴露の実態解明

琵琶湖北湖湖底で大量へい死したイサザから、当時の生存個体に比べて著しく高濃度のマンガン (Mn) およびヒ素 (As) が含有されていた事実は、貧酸素化の進行が微量元素動態を変化させ、水生生物に暴露する可能性を示唆する結果である。しかし、琵琶湖の底泥は元来 Mn・As 濃度が高く、Mn・As が死

後に濃縮した可能性が否定できない。本課題では、イサザに対する Mn と As の暴露実態を検証するため、(i) Mn・As の組織別分布解析、(ii) 各組織中の Mn・As の化学形態分析、(iii) 死亡個体の浸漬試験、を実施した。

(2) 貧酸素化にともなう琵琶湖湖底堆積物からのマンガン・ヒ素の溶出挙動解析

琵琶湖湖底堆積物の表層数センチメートルに、Mn と As が高濃縮している事実は、予てから指摘されてきた。この濃集層は湖のほぼ全域で観測され、濃集層中の Mn・As 濃度は、それぞれ地殻平均の数10倍・数100倍に達する。Mn・As は還元的環境での溶出と酸化的環境での沈澱・吸着を繰り返して自然に濃縮したと考えられており、このような濃集層は琵琶湖に限らず世界の様々な湖沼で観測されている。貧酸素化が進行している琵琶湖では、将来的に底泥からの Mn・As 大量溶出の可能性が否定できないことから、地球化学的手法に基づく湖底付近の Mn・As 動態解析に着手した。

(3) 別府湾における溶存酸素濃度変化と微量元素挙動の関係

貧酸素環境下での微量元素挙動は、淡水と海水で差があると考えられることから、琵琶湖の他に貧酸素化が顕著な沿岸海洋域でもモデル研究が必要と考え、別府湾を対象に調査を実施した。別府湾の特徴は、沿岸部がもともと水深が深く、夏季に強い成層構造が発達することから、7月-11月頃に最深部が無酸素状態になることである。酸化還元境界が water column 中に現れるため、境界付近における酸化還元に敏感な元素の挙動を調査しやすい。また、CMES 環境動態解析部門の先行研究により、底泥・海水の基本的な化学組成の特徴が得られているため、共同調査を進めやすい。2010年度の、9月下旬と11月下旬に調査を実施した。

3. 研究の方法

各課題の研究方法は以下の通りである。

(1) 琵琶湖湖底で大量へい死したイサザへのマンガン・ヒ素暴露の実態解明

① 生態毒性学的アプローチ

2007年から2008年の冬に、北湖で採取したイサザ死亡個体10検体と生存個体5検体を組織別分析と化学形態分析に供試した。また、2009年3月に採取した生存個体のうち、数日内に死亡した30個体を浸漬試験に用いた。

組織別分布：死亡個体3検体と生存個体7検体を、超純水で表面を洗浄したのち解剖し、各組織（筋肉、皮膚、鰓、内臓、解剖残渣）を採取し、各々の Mn・As 濃度を分析した。

形態分析：死亡個体3検体から採取した各組

織中 Mn・As の化学形態を、X 線吸収微細構造法 (XAFS) を用いて解析した。

浸漬試験：琵琶湖湖底水中の Mn・As 濃度を基準に、Mn は $500 \mu\text{g L}^{-1}$ 、 $5000 \mu\text{g L}^{-1}$ 、 $50000 \mu\text{g L}^{-1}$ 、As はヒ酸・亜ヒ酸それぞれについて $0.5 \mu\text{g L}^{-1}$ 、 $5 \mu\text{g L}^{-1}$ 、 $50 \mu\text{g L}^{-1}$ の暴露群を設定し、試験水の温度・溶存成分を湖底の条件に揃えた上で、3 日間の浸漬実験を実施した。

② 地球化学的アプローチ

2009 年の 6 月 (夏季) と 12 月 (冬季) に、琵琶湖北湖の 7 地点で底泥コアを採取した。試料採取時に、深度別の溶存酸素濃度を CTD で測定した。湖底水は底泥直上 10-15 cm から採取し、現場で速やかにろ過したものを分析に供試した。コア試料は 5 mm 間隔にスライスし、凍結乾燥・粉碎後、フッ酸・硝酸を用いてマイクロ波加熱分解装置で酸分解し、分析に供試した。湖底水および底泥の微量元素濃度は ICP-MS (Agilent 7500cx) で測定した。湖底水中 As の化学形態は、HPLC-ICP-MS で分析した。また、B・D 地点におけるコア試料中の Mn と As の化学形態は、XAFS を用いて測定した。XAFS 分析は、高エネルギー加速器研究機構・Photon Factory の BL9A・12C で実施した。

(2) 貧酸素化にともなう琵琶湖湖底堆積物からのマンガンをヒ素の溶出挙動解析

2012 年 1 月に、琵琶湖北湖 7 地点で底泥・間隙水・湖底水 (湖底直上 1~10 m) を採取し、Mn・As 濃度と化学形態の分析により、底泥-間隙水間での Mn・As の分配挙動を精査した。次に、間隙水中 Mn・As の鉛直プロファイルを基に、間隙水-湖底水間での分子拡散フラックスを算出した。加えて、算出されたフラックス値の検証を目的に、コア試料を用いた Mn・As 溶出速度実験を実施した。これらの結果を総合し、今後貧酸素化が進行した場合の底泥-間隙水間の分配挙動変化、および湖底への溶出挙動変化について考察した。化学分析：2012 年の 1 月、12 月に、琵琶湖北湖の 7 地点で底泥コアおよび湖底水を採取した。コア試料は、深度 12 cm までを 5 mm 間隔でスライスし、現場で速やかに遠心分離し、上澄み液をろ過して間隙水を採取した。間隙水中の各種微量元素濃度は ICP-MS で、As の化学形態は HPLC-ICP-MS で分析した。コア試料中の Mn と As の化学形態は、Photon Factory BL12C において XAFS 法により分析した。拡散モデル：間隙水中の Mn・As の濃度プロファイルを基に、一次元の物質輸送を仮定し、拡張 Fick の第一法則を用いて Mn・As の鉛直拡散フラックスを算出した。

(3) 別府湾における溶存酸素濃度変化と微量

元素挙動の関係

2010 年の 9 月に、別府湾沖合の 3 地点で底泥コア試料を採取した。地点名は、沖合から沿岸に向かって、BP14 (水深 49 m)、BP12 (水深 57 m)、BP7 (水深 67 m) とした。また同 11 月に、同一の 3 地点において水試料と懸濁物試料を採取した。ニスキン型採水器を用いて、各地点の最深部から 1, 3, 5, 7, 9 m から水試料を採取した後、各試料 1L を $0.45 \mu\text{m}$ のグラスファイバーフィルターでろ過して懸濁物試料を採取した。試料採取時に、採取地点付近の湖水の溶存酸素濃度、温度等の深度分布を CTD で測定した。その他、各種化学分析は課題 (2) と同様の方法を用いた。

4. 研究成果

(1) 琵琶湖湖底で大量へい死したイサザへのマンガンをヒ素暴露の実態解明

① 生態毒性学的アプローチ

組織別分布：大量へい死時に採取した死亡個体ホールボディの Mn・As 濃度は、生存個体と比較してそれぞれ 104 倍・14 倍高値 (中央値比較) であった。死亡個体の皮膚中 Mn 濃度は、生存個体よりも著しく高値であったが、鰓・内臓中 Mn 濃度も生存個体の 50-100 倍程度高濃度であった。As 濃度は、死亡個体中の筋肉と皮膚でとくに高く、生存個体ではそれぞれ $<5 \mu\text{g g}^{-1}$ ・ $<10 \mu\text{g g}^{-1}$ であるのに対し、死亡個体では両組織とも $100 - 500 \mu\text{g g}^{-1}$ の高濃度であった。また内臓中の As 濃度も、生存個体で $<3 \mu\text{g g}^{-1}$ であるのに対し、死亡個体では $30 - 60 \mu\text{g g}^{-1}$ 検出された。

形態分析：死亡個体中の Mn の化学形態は、すべての組織において Mn^{2+} が主要であり、その割合は 50 - 100% であった。 MnO_2 は湖底堆積物表層に濃縮している酸化物であるが、イサザからの検出頻度は低かった。As は、S 結合態の As がもっとも支配的であり、亜ヒ酸、ヒ酸も数 10% オーダーで検出された。S 結合態の As は、体内の各種タンパク質中に存在するチオール基と結合していると推察される。湖底堆積物中のヒ素の形態はヒ酸が主体であるため、As の主要な形態が As-S であることは、暴露後に形態変化が生じたことを示唆している。

浸漬試験：浸漬試験の結果、Mn を暴露したイサザからは、鰓を除くすべての組織で暴露濃度の増加に伴う Mn 濃度の上昇が認められた。このことから、死亡個体に濃縮した Mn は、二次濃縮の影響を受けたことが否定できない。一方 As は、各組織中 As 濃度の暴露濃度依存的な上昇は認められず、むしろ暴露後にやや減少の傾向を示した。この傾向は、亜ヒ酸暴露系とヒ酸暴露系の双方において観測された。すなわち、イサザ死亡個体に As を暴露させた場合、体内に浸透することは考えにくい。このことから、As については生存時

に暴露をうけた可能性が高いと考えられる。

上記結果は、以下のように総括される。

Mn: 死亡個体では皮膚と鰓に濃縮されるが、内臓でも比較的高濃度である。主要な化学形態は Mn^{2+} であり、湖底水中の形態と同様である。ただし、底泥表層に存在する MnO_2 は、死亡個体からの検出頻度が低い。死亡個体に Mn を暴露した場合、濃度依存的に吸収され、内臓に達する。

As: 死亡個体では皮膚と筋肉に濃縮されるが、内臓でも比較的高濃度である。主要な化学形態はチオール基含有タンパクとの結合態と考えられ、湖底水・湖底堆積物中の形態とは異なっている。死亡個体にヒ酸または亜ヒ酸を暴露した場合、湖底水の 10 倍以上の濃度でも吸収されない。

このことから、大量へい死時のイサザから高濃度で検出された Mn と As について、Mn は死後吸収の影響を強く受けたと考えられるが、As は死後吸収での説明は困難である。また、As の生体への毒性は、チオール基への結合による各種酵素の活性阻害が主な要因と考えられており、貧酸素下での暴露や毒性リスク評価の必要性を示唆する結果となった。

②地球化学的アプローチ

2009年6月及び12月の湖底水中Mn濃度は、 $0.716\sim 3930\ \mu\text{g L}^{-1}$ であった。琵琶湖の平均的な溶存Mn濃度は $1.76\ \mu\text{g L}^{-1}$ であり、最深部付近では20~2000倍高濃度であった。一方、湖底水中As濃度は $1.31\sim 6.78\ \mu\text{g L}^{-1}$ であり、琵琶湖の平均的な溶存As濃度($1.05\ \mu\text{g L}^{-1}$)の数倍程度であった。最深部の6月と12月の溶存Mn・As濃度を比較すると、12月の方が相対的に高い濃度を示した。溶存酸素濃度は成層が形成される夏季から冬季にかけて減少しており、貧酸素化に伴うMn・Asの溶出を支持した。大量死発見当時の湖底の溶存酸素濃度は $0.6\ \text{mg L}^{-1}$ と著しく低く、より高濃度のMnとAsが溶出した可能性もある。

底泥中のMnとAsは、表層ほど顕著な高濃度を示した。この深度分布は、深部から表層に向かって拡散するMnやAsが、底泥表層で酸化されて沈殿・吸着するためと考えられる。底泥表層のMnは $2670\sim 26700\ \text{mg kg}^{-1}$ 、Asは $50.7\sim 780\ \text{mg kg}^{-1}$ ときわめて高い濃度を示した。XAFS分析により、これらのMn・Asは酸化態(それぞれマンガン酸化物・ヒ酸イオン)として存在することが確かめられたことから(次節参照)、低酸素下では高濃度のMn・Asが湖底水中に溶出すると予想される。すなわち、湖底に生息するイサザは、MnやAsに対する暴露リスクが高いことが示された。

生態毒学的アプローチ、地球化学的アプローチの双方とも、湖底の貧酸素化がイサザへのMn・As暴露をもたらしたという仮説と調和的であった。本研究の成果は、Itai et al.

(2012a, Environmental Science & Technology, 46, 5789-5797.)に掲載された(Fig. 1)。

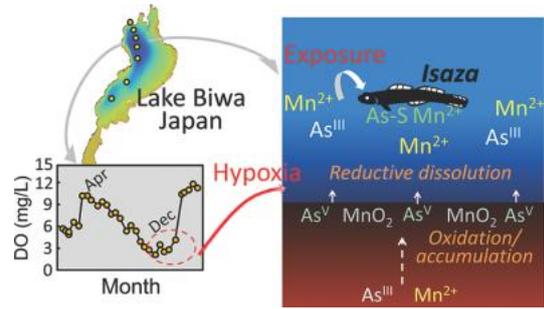


Fig. 1 A schematic illustration of hypoxia-induced exposure of Mn and As to *isaza*.

(2) 貧酸素化にともなう琵琶湖湖底堆積物からのマンガン・ヒ素の溶出挙動解析

湖底におけるMn・As動態の詳細な解析を目的に、底泥中の可動態Mnの鉛直プロファイル解析した結果、7地点中5地点の表層において、明瞭な濃集層が認められた。MnのX線吸収端近傍構造(XANES)を解析した結果、濃集層の認められた5地点(A, B, D, F, G)では0-1cmでは MnO_2 が支配的であったが、濃集層の認められなかった2地点(C, E)では最表層(0-0.5cm)でも Mn^{2+} が主体であった。これらの結果から、C, E地点は他の5地点と比較して還元的な環境にあると考えられる。可動態Asの鉛直プロファイル解析した結果、7地点全てで明瞭な濃集層が認められた。AsのXANESを解析した結果、表層0-1cmではヒ酸が卓越し、1-4cmでは亜ヒ酸の割合が増加、さらに深部では硫化物態のヒ素が支配的になるという傾向が見られた。ただし、C, E地点では表層のヒ酸の割合が<60%と低く、やはり他の地点と比較して還元的環境にあることが示唆された。C, E地点は、ともに水深が深く、溶存酸素の供給が少ないために還元的環境が形成されたと推察される。

間隙水中のMnプロファイル解析した結果、全地点で表層0-2cmに濃度のピークが認められた。すなわち、Mnはピークを境に上下方向に拡散すると考えられる。上方向への推定拡散フラックスは、 $3400 - 16000\ \text{mg/m}^2/\text{year}$ であった。推定拡散フラックスの変動は、間隙水中のピーク位置およびピーク形状と関係しており、ピーク位置が浅い地点ほど、ピークが鋭くフラックスが大きい傾向が認められた。ピーク深度は、 $F > A \approx B \approx G > D > C \approx E$ であり、推定拡散フラックスが最大であったのはD地点であった。これらの結果から、底泥から湖水へのMn溶出フラックスは、酸化的環境から還元的環境への変

化にともなう濃集層厚の減少により次第に増加するが、濃集層が消失すると再度減少すると考えられる。As については、間隙水中のピーク深度が Mn と比較して深い位置に現れる傾向があるが、各採取地点間のピーク深度の相対位置は、Mn のケースと一致していた。本研究の結果は、今後琵琶湖の貧酸素化が進行した際の、底泥から湖水への Mn・As 溶出フラックスの変化予測に有効である。現在は最深部付近の濃集層が消失しつつある状況にあるが、今後貧酸素化が進行すると、より浅部においても濃集層の厚みが減少し、Mn と As の溶出量が増加すると予測される。

(3) 別府湾における溶存酸素濃度変化と微量元素挙動の関係

11 月の各地点における水温の深度分布は、表層から深部に向かって減少しており、BP7 では深度 62 m 付近に水温躍層が形成されていた。溶存酸素濃度は水温躍層の上下で大きく変動し、62 m 以深の溶存酸素濃度は 2 mg/L 以下、海底付近はほぼ無酸素状態であった。BP12、BP14 の最深部における溶存酸素濃度はそれぞれ約 6 mg/L、7mg/L であった。

溶存微量元素は、ほとんどが 1 µg/L 以下と低濃度であったが、もっとも酸素濃度の低い BP7 では、Fe、Mn、Co、Pb などが比較的高濃度であった。Mn は、BP12 の最深部で 0.38 µg/L、BP14 最深部では検出されなかったが、BP7 最深部では 69 µg/L と高濃度であった。BP7 における溶存酸素濃度は、海底から 6 -8 m の深度に酸素濃度躍層が認められたが、この層より上部における Mn 濃度は 1.9 µg/L と低濃度であった。この結果から、Mn は酸素濃度躍層以深では Mn²⁺として溶存するが、躍層以深ではマンガン酸化物として沈殿することが示唆された。Co は BP7 でのみ検出され、Mn と類似の深度分布を示した。Co は Mn 酸化物への吸着性が強いいため、Mn と同様の挙動を示したと考えられる。BP7 の Fe も同様に、海底から浅部に向かって減少する傾向を示したが、Mn、Co よりやや深い部分から濃度の減少傾向が見られた。熱力学的には、Fe²⁺/FeOOH の酸化還元電位は、Mn²⁺/MnO₂ よりも低いいため、このような深度分布が形成されたと考えられる。BP7 の Pb は、Mn、Co、Fe と異なり浅部に向かって濃度が上昇した

酸化還元状態の異なる 3 地点での調査から、酸化還元に敏感な元素の挙動についていくつかの知見が得られた。酸素濃度の減少にともない溶存濃度の増大が認められたのは、Mn、Fe、Co であった。しかし、これらの元素は酸化還元境界層以浅では速やかに沈殿/吸着により溶存濃度が低下するため、海洋生物への暴露リスクは小さいと考えられる。別府湾での微量元素の挙動は、琵琶湖のケースと比較すると、より熱力学的な予測と調和的である。

今後は、とくに琵琶湖において、還元環境下で溶出した成分の酸化速度を支配している要因を精査することが必要である。

(4) 総括

本研究では、貧酸素環境下での微量元素動態の変化が水圏生態系に及ぼす影響を評価するため、琵琶湖・別府湾におけるフィールド調査と室内実験を実施した。近年進行している琵琶湖湖底の貧酸素化が、固有魚種への Mn・As 暴露につながったことを実証したのが最大の成果である。しかし、生態影響を詳細に評価するには、より生態毒性学的なアプローチを今後進めていく必要がある。琵琶湖と別府湾を比較すると、別府湾海底付近における微量元素挙動が熱力学的予測と調和的であったのに対し、琵琶湖湖底はやや特異な環境にある。琵琶湖湖底に蓄積された Mn・As 量は莫大であり、今後は更なる溶出も懸念されることから、分野横断的な研究チームを発足させ、継続研究を実施予定である。

(2013-2015, 科学技術研究費・基盤研究 B, 琵琶湖湖底の貧酸素化にともなうマンガン・ヒ素大量溶出モデルの構築)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 7 件)

- ① Hamamura, N., Fukushima, K., Itai, T., 2013. Identification of arsenite- and antimonite- oxidizing bacteria associated with antimony mine tailings. *Microbes and Environments*. 2. 257-263. (査読有)
- ② Itai, T., Maruoka, T., Kusakabe, M., Uesugi, K., Mitamura, M. 2013. Use of soil color meter for aqueous iron and ammonium measurements. *Soil Science and Plant Nutrition*. in press. DOI:10.1080/00380768.2013.772887 (査読有)
- ③ Hyobu, Y., Itai, T., Hayase, D., Kumagai, M. and Tanabe, S. 2012. Mobilization of manganese and arsenic under hypoxia in the bottom of Lake Biwa. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry*, 6, 133-140. (査読有)
- ④ Itai, T., Hayase, D., Hyobu, Y., Hirata S., Kumagai, M., Tanabe, S., 2012. Hypoxia-induced exposure of the isaza fish to manganese and arsenic in the bottom of Lake Biwa, Japan - Experimental and geochemical verification. *Environmental Science &*

- Technology, 46, 5789-5797. (査読有)
- ⑤ Itai, T., Kumagai, M., Hyobu, Y., Hayase, D., Horai, S., Kuwae, M., Tanabe, S. 2012. Apparent increase in Mn and As accumulation in the surface of lake sediment from 1977 to 2009 in Lake Biwa, Japan. *Geochemical Journal*. 46. e47-e52. (査読有)
- ⑥ 板井 啓明 2011. ベンガル平野における天然由来のヒ素による大規模な地下水汚染の発生機構 ～ フィールド・実験的研究の現状と今後の課題, *地球化学*, 45, 61-97. (査読有)
- ⑦ Hirata, S. H., Hayase, D., Eguchi, A., Itai, T., Nomiyama, K., Isobe, T., Agusa, T., Ishikawa, T., Kumagai, M. and Tanabe, S., 2011. Arsenic and Mn levels in Isaza (*Gymnogobius isaza*) during the mass mortality event in Lake Biwa, Japan. *Environmental Pollution*, 159, 2789-2796. 38. (査読有)
- [学会発表] (計 18 件)
- ① 板井 啓明, 兵部 唯香, 田辺 信介, 熊谷 道夫 (2012): 琵琶湖北湖底泥間隙水の地球化学的特徴に基づく微量元素の湖内動態解析, 2012年度日本陸水学会年会, 9月16日, 名古屋.
- ② 板井 啓明, 兵部 唯香, 熊谷 道夫, 田辺 信介 (2012): 琵琶湖北湖底泥中間隙水の化学組成にもとづく Mn・As の鉛直拡散フラックスの推定, 2012年度日本地球化学学会年会, 9月12日, 福岡.
- ③ Itai, T., Hayase, D., Hyobu, Y., Horai, S., Kumagai, M. and Tanabe, S. (2012): Exposure of goby fish to manganese and arsenic mobilized from sediment in Lake Biwa under hypoxia. The 4th International Congress on Arsenic in the Environment, 25-July, Cairns, Australia.
- ④ Itai, T., Kumagai, M., Hyobu, Y., Kuwae, M. and Tanabe, S. (2012): Change in enrichments of manganese and arsenic in the surface of sediment from 1976 to 2009 in Lake Biwa, Japan, 2012 ASLO Aquatic Science Meeting, 8-July, Otsu, Japan, Program Book, 31.
- ⑤ Itai, T., Hayase, D., Hyobu, Y., Hirata, S. H., Kumagai, M. and Tanabe, S. (2011): Evaluation of Mn and As exposure of a goby fish (*Gymnogobius isaza*) in the bottom of hypoxic lake - analytical and experimental approaches. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) North America 32nd Annual Meeting,

- 16-November, Boston, Massachusetts, USA, Abstract Book, 331.
- ⑥ Itai, T., Hayase, D., Hyobu, Y., Kumagai, M. and Tanabe, S. (2011): Manganese and arsenic exposure to a goby fish in Lake Biwa - Importance of simultaneous speciation in biota and surrounding environmental media. The 6th Global COE International Symposium on Advanced Studies by Young Scientists on Environmental Pollution and Ecotoxicology, 5-August, Matsuyama, Japan, Abstract Book, 90.
- ⑦ 板井 啓明, 兵部 唯香, 早瀬 大祐, 田辺 信介 (2011): 琵琶湖底泥のマンガン・ヒ素の経年的上昇とその環境化学的意義, 第20回環境化学討論会, 7月17日, 熊本, 講演要旨集, 370-371.
- ⑧ 板井 啓明, 早瀬 大祐, 平田 佐和子, 田辺 信介 (2011): 吸着実験による琵琶湖固有魚種イサザへのマンガン・ヒ素暴露の検証, 第20回環境化学討論会, 7月17日, 熊本, 講演要旨集, 352-353.
- ⑨ Itai, T., Hayase, D., Hyobu, Y., Horai, S., Kumagai, M. and Tanabe, S. (2011): Manganese and Arsenic Exposure to Fish in Lake Biwa - Importance of Simultaneous Speciation in Biota and Surrounding Environmental Media. The third International Symposium on Metallomics, 16-June, Münster, Germany, June, Abstracts, TGB05.
- ⑩ 板井 啓明, 早瀬 大祐, 平田 佐和子, 兵部 唯香, 熊谷 道夫, 田辺 信介 (2010): 琵琶湖北湖底泥のマンガン濃集層の経時変化, 2010年度日本地球化学学会年会 9月7日, 熊谷.
- (他 8 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

板井 啓明 (ITAI TAKAAKI)

愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・講師
研究者番号: 60554467