

令和元年5月31日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04435

研究課題名(和文)鉄の生物地球化学的動態に基づく沿岸域一次生産性評価

研究課題名(英文) Evaluation of primary productivity in coastal waters based on biogeochemical behavior of iron

研究代表者

藤井 学 (Fujii, Manabu)

東京工業大学・環境・社会理工学院・特任准教授

研究者番号：30598503

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円

研究成果の概要(和文)：鉄は生物にとって重要な微量栄養素であり、基礎生産を担う藻類の光合成や窒素固定において必要不可欠である。外洋では鉄が不足することで植物プランクトンが成長できない海域(HNLC海域)が存在し、過去数十年において海洋学を中心に鉄の化学形態や生物利用性に関する研究が進められてきた。しかし、河川や河口、沿岸域における鉄の動態については知見が不足しており、流域人間活動が沿岸域への鉄輸送や生物基礎生産に及ぼす影響については分かっていないことが多い。本研究では、河川・沿岸域での鉄の生物地球化学的動態(酸化還元、凝集沈降、藻類摂取等)を明らかにすることで、流域土地利用が沿岸域一次生産性に及ぼす影響を評価する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

持続可能な開発目標でも示されるように、沿岸海洋域を持続可能な形で利用し海洋生態系・資源を将来にわたり保全していくことは重要である。本研究では、これまで知見が不足していた河川・沿岸域における鉄の生物地球化学的動態を明らかにすることで、陸域人間活動が沿岸域での鉄動態や生物利用に及ぼす影響を定量的に示した。例えば、沿岸域への鉄輸送は森林や都市部などの土地利用や湾内での海水交換に影響を受ける一方、湾内で生産される有機物も生物利用性に貢献していることが分かった。今後は、本研究で得られた鉄の生物地球化学的動態に関する推定精度をさらに向上させることで、鉄の動態を考慮した流域保全に活用していくことが望まれる。

研究成果の概要(英文)：Iron is an essential micronutrient for organisms, as this trace element plays a role in the photosynthesis and nitrogen fixation of primary producers including phytoplankton. In the open ocean, there is a region where growth of phytoplankton is limited due to lack of iron, and in the past decades studies on iron chemical speciation and bioavailability have been advanced particularly in the research area of oceanography. However, knowledge on the iron dynamics in rivers, estuaries and coastal areas are less accumulated, and the effects of human activities on water transport to the coastal areas and biological basic production are in many cases unknown. Therefore, this study has investigated the impact of land use in the river basin to the coastal primary productivity by examining the biogeochemical dynamics (e.g., redox kinetics, coagulation behavior, algal iron uptake) in rivers and coastal area.

研究分野：水環境工学

キーワード：鉄 生物地球化学 沿岸域 植物プランクトン 酸化還元 凝集沈降 フラックス 土地利用

1. 研究開始当初の背景

生物基礎生産の高い沿岸域を維持する上で、陸域から河川を経て供給される栄養素は重要な役割を担っていると考えられている。特に、微量金属である鉄は、一次生産者（植物プランクトン）の光合成や呼吸に欠かすことのできない生元素である。日本では古くから、沿岸域を健全な状態に維持するために、植林などを含め漁師が流域保全活動を行うなど、陸と海のつながりの重要性が認識されている。近年では、環境省を中心に「つなげよう、支えよう森里川海」プロジェクトを実施するなど、陸と海のつながりの重要性が社会的にも浸透しつつある。

これまで海洋学を中心に、海水中での鉄の生物地球科学的動態に関する研究が進められてきた。これは、海洋の三割以上の水域で、鉄が基礎生産を支配する制限因子であることが知られているためである。外洋では溶存鉄濃度がサブナノモラーと非常に低いうえに、溶存鉄の多くが有機リガンドと錯形成をしている。植物プランクトンに利用可能な鉄形態は、有機リガンドから解離した無機鉄であり、その濃度は、溶存鉄濃度よりさらに低い濃度となる。有機リガンドからの解離反応は、微生物や光作用による還元反応により促進されることが知られている。

このように海洋学での過去数十年の研究から、海洋での鉄動態に関する知見が蓄積されてきているが、以前として淡水域や沿岸域における鉄の環境動態については、その多くが未解明である。特に陸域由来の鉄が沿岸域一次生産に及ぼす影響について、科学的知見は極めて限定的である。持続可能な開発目標においても示されるように、生物生産性豊かな沿岸域を将来にわたり保全していくためには、鉄を含めた栄養素が陸から沿岸域にかけてどのように振る舞い、沿岸域生態系の健全性に貢献しているのかを科学的に示していく必要がある。そして、以上のような鉄動態を考慮した流域土地利用等を提案していくことが望まれる。

2. 研究の目的

本研究では、沿岸域における鉄の沈降・溶出、酸化還元、微細藻類による摂取など、沿岸域で重要な鉄の生物地球化学的動態を室内実験ならびに野外調査から明らかにすることで、陸域由来の鉄が微細藻類にどの程度取り込まれ、沿岸域一次生産に貢献しているかを明らかにする。

3. 研究の方法

本研究は、以下の4課題より構成される。

課題1：河川ならびに沿岸域での基礎環境・水質変数、鉄濃度の時空間分布などを明らかにするための現地調査を実施した。現地調査は、宮城県南三陸町志津川湾を含め国内の複数の流域（北上山地、相模川流域）を対象とした。調査では、海水、河川水試料ならびに処理排水などの起源を異にする淡水試料も採取した。水試料はメンブレンフィルターによるろ過を行い、水質分析（溶存有機態炭素(DOC)濃度、溶存有機物の光学的(吸光・蛍光)指標、鉄を含めた全溶存態微量金属濃度等）を行った。さらに、ろ過水試料は冷暗所に保管され、後述の室内実験に供した。水質分析に加え、Visual MINTEQ（化学平衡計算ソフト）を用いたスペーシエーション解析を行った。

課題2：鉄の酸化還元や河口・沿岸域での凝集・沈降を明らかにするための室内実験を実施した。鉄の酸化還元反応については、河川や海水試料中における反応速度をルミノールケミルミネセンス法ならびにフェロジン比色法により測定した。また、鉄に配位する溶存有機物は、酸化還元や凝集沈降反応に大きな影響を及ぼすことが考えられるため、蛍光法等により溶存有機物の性質についても調べた。野外調査試料に加え、分子データが豊富に存在する標準腐植物質を用いた実験も行った。鉄の凝集・沈降実験については、放射性同位体鉄(^{59}Fe)を添加した河川水試料と海水試料を混合し、メンブレンフィルターによるろ過、ガンマカウンターによる放射性 ^{59}Fe 濃度を測定することで実施した。土地被覆データは環境省自然環境局生物多様性センターの植生図を利用した。

課題3：志津川湾の優先藻類種を用いて室内培養試験を実施することで、鉄摂取量や増殖速度等を定量した。具体的には、微細藻類として *Skeletonema marinoi-dohrnii*、大型藻類として *Eisenia bicyclis* を選定し、放射性同位体鉄(^{59}Fe)存在下における細胞内 ^{59}Fe 蓄積量の経時間変化を追跡することで、鉄摂取速度を算出した。光還元が鉄摂取に及ぼす影響を調べる実験では、第一鉄と強固に結合し鉄摂取を阻害するフェロジンを培地に添加することで、光還元の影響を定量した。また、鉄摂取に及ぼす有機物の性質を把握するため、有機物の蛍光特性についても測定を行った。

課題4： 現地調査ならびに室内実験で得られた、河川・沿岸域における鉄濃度や、沿岸域藻類の鉄摂取量・増殖、鉄の化学反応モデルからシミュレートされる生物利用可能な鉄濃度の時空間変動を考量することで、沿岸域への鉄の流入フラックスや藻類による鉄摂取フラックスの算定を行った。その上で、季節・空間変動や土地利用を含む流域特性が、鉄の環境動態に及ぼす影響を評価した。

4．研究成果

4．1 河川や沿岸域における鉄と有機物の現地調査（課題1）

宮城県南三陸町の志津川湾ならびに流入河川における溶存鉄濃度、溶存有機物濃度の調査から、湾内において溶存鉄濃度は、時空間的に変動し数 nM ~ 10 nM 程度で存在した。また、流入河川では、溶存鉄濃度は数 ~ 数百 nM の範囲で変動した。鉄濃度は下流域で高い傾向を示していた。また、排水（浄化槽排水）や田面水中で高い鉄濃度が観測されたことから、人為的な土地利用が河川中の鉄濃度に影響を及ぼしていることが示唆された。また、志津川湾内の溶存鉄濃度は、湾外に比べ湾奥で高い値を示し、陸域由来の鉄が湾内に流入している影響が示唆された。溶存有機物について蛍光特性を調べたところ、志津川湾内では多くの場合蛍光指標が 1.8 以上を示し、湾内では、海水中で生産された自生有機物が含まれることが分かった。一方で、河川水の蛍光指標は 1.6 よりも低く、流入河川では陸域由来の他生有機物を多く含んでいた。溶存有機炭素濃度は湾内と河川水中において同程度で存在していた（~ 数 mg/L）。

淡水域での微量金属動態を調べるため、相模川流域の都市、自然河川ならびに下水処理水を対象として、鉄や銅などの微量金属のスペーシエーションを調べた。微量金属の生物利用性もしくは毒性は、溶存態金属濃度ではなく溶解性無機金属濃度に依存するため、金属スペーシエーションの把握は水生生物への影響を評価する上で重要となる。排水等の人間活動の影響を受ける本流を都市河川、人間活動の影響が小さい支流を自然河川と定義し、鉄と銅のスペーシエーションについて、都市河川と自然河川の比較を行った。その結果、自然河川では、生物利用性が高い溶解性無機金属の割合が大きくなることが示唆された。感度分析より、自然河川では、処理排水を含む都市河川と比較して、溶存態有機物濃度が低く、有機リガンドによる錯形成の程度が低いことが主因であると推測された。以上の結果は、排水中に含まれる有機リガンドが、微量金属と結合することにより淡水中での生物利用性を低下する働きがあることを示唆する。しかし、塩濃度が高い沿岸域においては、海水由来金属イオンが有機リガンドとの錯形成において競合することが考えられるため、この結果を沿岸域に外挿するには注意が必要である。

4．2 鉄の酸化還元に及ぼす溶存有機物(DOM)の影響（課題2）

鉄の生物利用性は、酸化還元作用に影響を受ける。一般的に溶解度の高い第一鉄(Fe(II))から溶解度の低い第二鉄(Fe(III))への酸化反応は、鉄の生物利用性を低下させる要因となる。この課題では、特に有機物のタイプが沿岸海域での酸化反応に及ぼす影響に着目した。南三陸町志津川湾における野外調査で河川水や処理廃水、沿岸海水から水試料を採取し、種々の組成を異にする DOM を得た。その後実験室にて、25 暗条件でルミノールケミルミネセンスを用い第一鉄の酸化速度を測定した。その結果、第一鉄酸化の二次速度定数 ($7\text{--}75 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$) は時空間的に変動し、その変動は水試料の pH ならびに DOM の性質に影響を受けることが分かった。同 pH において、淡水条件では沿岸海水条件よりも酸化速度は大きく、腐植物質型（外来性）の DOM が酸化速度を促進する働きがあることが分かった。一方で、沿岸海水においては、微生物由来（自生）DOM が酸化速度を低下させる役割があることが分かった。さらに、室内培養試験により、海洋植物プランクトンから生産される細胞外有機物の存在下において鉄の酸化速度は低下することも確かめられた。一連の結果は、沿岸域において植物プランクトンから放出される自生有機物が鉄の酸化速度を低下させることで、生物利用性を高める働きを有することを示唆する。

以上の野外調査試料を用いた酸化実験に加え、分子組成が明らかとなっている標準腐植物質を用いて、鉄の酸化還元速度との関連を調べた。この実験では、起源を異にする種々の標準腐植物質を用いて鉄の酸化還元実験を行うことにより、環境水中での生物利用性の高い第一鉄の定常濃度を明らかにすることを目的とした。特に、鉄の酸化還元反応として、中性 pH 範囲 (pH 7~8) においてみられる、溶存酸素 (O_2) と過酸化水素 (H_2O_2) による第一鉄の酸化、ならびに光化学・熱力学的作用による第二鉄の還元に着目した。第二鉄の還元実験は疑似太陽光を用いたルミノールケミルミネセンス法により、第一鉄の酸化実験は、フェロジン法により行った。反応速度定数は腐植物質に依存して、酸化速度では 7 倍程度、還元速度では 10 倍程度の範囲で変動した。また、酸化速度定数では、溶存酸素と比較して過酸化水素による酸化反応において大きな変動を伴った。標準腐植物質は分子組成などの基礎分子データが得られている。従

って、それらの基礎分子データと本課題で得られた反応速度定数ならびに第一鉄定常濃度について相関分析を行ったところ、第一鉄の酸化速度は腐植物質の脂肪族含有量と有意な正の相関を示した。これは、腐植物質の脂肪族成分と第一鉄の配位により、第一鉄の酸化が促進されることを示唆する。一方で、還元速度定数と第一鉄の定常濃度については、腐植物質中のフリーラジカル含有量と比較的強い正の相関を示した。これは、腐植物質中のラジカルセスキノンが還元特性を示すためと考えられる。以上の結果は、鉄の酸化還元反応速度論ならびに第一鉄の定常濃度は腐植物質の化学特性により影響を受けることを示している。

4.3 河口・沿岸域での凝集・沈降（課題2）

流域土地利用が河川由来溶存鉄の河口・沿岸域動態に及ぼす影響を明らかにするため、河口・沿岸域での溶存鉄の凝集・沈降に及ぼす溶存有機物と土地被覆の影響を調べた。集水域に異なる土地利用を有する三陸地域の複数の河川を対象として夏季と冬季に野外調査を行った。この野外調査で採取した河川水と海水を混合し、放射性認識した鉄(⁵⁹Fe)を添加することで、沿岸域における河川由来鉄の凝集沈降試験を行った。河川中の溶存鉄濃度は6 nM から2 μM の間で変動し、海水混合試験後においては、2-83%の鉄が溶存態として存在し沿岸域に輸送されると推定された。沿岸域を想定した海水混合後における状況では、溶存鉄濃度は溶存有機物の蛍光特性と相関を示した。特にフルボ酸様ピークとは正の相関、フミン酸様ピークとは負の相関を示した。溶存鉄濃度は、土地被覆の中でも耕作地と都市域と正の相関を示したが、針葉樹や広葉樹とは負の相関を示した。これは、多くの河川溶存鉄が耕作地や都市域を由来とするものであることを示唆する。一方で、溶存鉄の輸送力（海水混合試験後においても鉄を溶存態として維持する能力）については、針葉樹や広葉樹の土地利用面積と正の相関を示した。従って、森林から供給される溶存鉄濃度は比較的低いものの、森林由来有機物は鉄と強固に結合することで、高塩濃度の河口・沿岸域における鉄の凝集沈降を抑制する能力が高いことが示唆された。従って、沿岸域への供給という観点では、河川由来溶存有機鉄の量と質の両面を評価していく重要性が示された。

4.4 沿岸域藻類による鉄摂取（課題3）

河川および沿岸域由来有機物に着目し、沿岸域微細藻類および大型藻類による鉄摂取速度論を調べた。微細藻類としては *Skeletonema marinoi-dohrnii*、大型藻類としては *Eisenia bicyclis* を選定した。三陸地域の山地河川や沿岸域を起源とする有機物（DOM）ならびにエチレンジアミン四酢酸（EDTA）を有機リガンドとして、放射性認識した鉄(⁵⁹Fe)を用いた培養試験を実施した。藻類による鉄摂取速度は溶存鉄濃度と正の比例関係を示した。ミカエリス-メンテン式により鉄摂取機構を調べた結果、*Skeletonema marinoi-dohrnii* ならびに志津川湾で採取した珪藻類の半飽和定数は、溶存鉄濃度で2-4 nM 程度であることが示された。志津川湾において、溶存鉄濃度はこの値を下回ることもあり、藻類の鉄摂取は制限を受けている場合があることが示された。また、*Skeletonema marinoi-dohrnii* と *Eisenia bicyclis* の鉄摂取は、淡水条件よりも海水条件で速く、海水中の有機リガンドが鉄の生物利用性を上昇させることが分かった。これは、海水由来の有機物が第一鉄の酸化を抑える効果があることと一致した。蛍光光度法によるDOMの分析から、起源を異にするDOMは、鉄摂取においても異なる影響を示すことが分かった。河川由来DOMの場合、光化学的な作用により鉄摂取は促進されたものの、海域由来DOMと比較して鉄の解離が遅く、結果として、淡水条件では鉄摂取が減少することが明らかとなった。

4.5 沿岸域への鉄の負荷量とフラックス（課題4）

河川流域から沿岸域への溶存鉄の輸送について、溶存鉄負荷量を土地被覆タイプと関連付けて調べた。北上山地流域において、夏季と冬季に計120地点以上もの地点において河川水を採取した。土地被覆を広葉樹林、針葉樹、草地、水田、耕作地、および都市部に分類した。対象河川の下流域では溶存鉄濃度は1-120 μg/L で存在し、上流域ではそれより低く0.1-7 μg/L で存在した。溶存鉄濃度と土地被覆データに対する回帰分析から、溶存鉄の原単位を各土地被覆に対して算定した。溶存鉄の原単位は、森林<<水田<都市部の順であり、また季節変動を示した。さらに、各季節における都市部と河川の溶存鉄濃度の間に有意な正の相関が見られたことから、河川流域の鉄輸送において人間活動が影響を及ぼしていることが示唆された。

沿岸域における鉄の物質収支を明らかにすることを目的として、志津川湾を対象として鉄のフラックス・ストックについての解析を行った。この解析では、野外調査ならびに室内実験データを基に、河川からの流入フラックス、河口・沿岸域での凝集沈降フラックス、海水交換による希釈、藻類による摂取フラックスを考慮した。また、湾内における溶存鉄、微細藻類中の鉄の量をストックとして評価した。その結果、河川から湾内への鉄流入フラックスは、微細藻類の鉄摂取フラックスの数%から50%を占めていることと推定された。従って、河川から流入

する鉄は、湾内での一次生産に一定の寄与があることが示唆された。一方で、海水交換による湾内への鉄の流入フラックスは大きく、湾内への溶存鉄ストックに大きな影響を及ぼしていることが明らかとなった。しかしながら、今回の推定においては、流量データの時空間解像度を向上させ、各プロセスの推定精度を上げる必要があり、今後の課題となる。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 8 件)

1. 和田光央, 藤井学, 都市・自然河川ならびに下水処理水中における微量金属スペーシエーション: 相模川流域での事例研究, 土木学会論文集 G(環境), 73 巻 7 号, III_17-III_27, 2017. (国際共著無, オープンアクセス無, DOI: https://doi.org/10.2208/jscejer.73.III_17)(査読有)
2. Lee, Y. P., Fujii, M., Kikuchi, T., Natsuike, M., Ito, H., Watanabe, T., Yoshimura, C. (2017) Importance of Allochthonous and Autochthonous Dissolved Organic Matter in Fe(II) Oxidation: A Case Study in Shizugawa Bay Watershed, Japan, *Chemosphere*, Elsevier, Vol. 180, pp. 221–228. (国際共著無, オープンアクセス無, DOI: [doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.04.008](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.04.008))(査読有)
3. Lee, Y. P., Fujii, M.*, Kikuchi, T., Terao, K., Yoshimura, C., Variation of Iron Redox Kinetics and Its Relation with Molecular Composition of Standard Humic Substances at Circumneutral pH, *PLoS ONE* 12(4): e0176484, 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176484> (査読有)
4. 遠藤雄大, 夏池真史, 宮本真奈美, 吉村千洋, 藤井学, 北上山地水系の冬季における土地被覆の溶存鉄負荷量に対する影響およびその原単位, 土木学会論文集 B1(水工), 74 巻 4 号, I_535-III_540, 2018. (査読有)
5. 那須川康平, 松前大樹, 藤井学, 鉄制限が淡水性藍藻類の細胞酸化ストレスならびに毒素生成に及ぼす影響, 土木学会論文集 G(環境), 74 巻 7 号, III_153- III_160, 2018. (査読有)
6. Fu, Q-L, Fujii, M., Natsuike, M., Waite, T. D., Iron uptake by bloom-forming freshwater cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* in natural and effluent waters, *Environmental Pollution*, Elsevier, Vol 247, pp 392-400, 2019. (査読有)
7. Fu, Q-L, Yeung, A. C. Y., Fujii, M., Natsuike, M., Waite, T. D. *, Physiological responses of the freshwater N₂-fixing cyanobacterium *Raphidiopsis raciborskii* to Fe and N availabilities, *Environmental Microbiology*, Wiley, Vol. 21(4), pp 1211-1223, 2019. (査読有)
8. Takaara, T., Sasaki, S., Fujii, M.*, Ito, H., Masago, Y., Omura, T., Lectin-stimulated cellular iron uptake and toxin generation in the freshwater cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*, *Harmful Algae*, Elsevier, Vol 83, pp25-33, 2019. (査読有)

〔学会発表〕(計 10 件)

1. Y.P. Lee, M. Fujii, K. Terao, T. Kikuchi and C. Yoshimura: “Influence of dissolved organic matter properties on Fe(II) oxidation in natural and engineered waters” Goldshmidt Conference, Yokohama, Japan, 2016,
2. Y.P. Lee, M. Fujii, K. Terao, T. Kikuchi and C. Yoshimura: “The influence of dissolved organic matter on Fe(II) oxidation in natural and engineered waters” ASLO 2016 Summer Meeting, Santa Fe New Mexico, USA, 2016.
3. M. Natsuike, T. Kikuchi, Y.P. Lee, Y. Endo, L. Yuhe, M. Fujii and C. Yoshimura: “Iron availability by coastal diatom *Chaetoceros* sp. in the Shizugawa Bay, Japan” EMECS'11 SeaCoasts XXVI, St. Petersburg, Russia, 2016.
4. 夏池真史, Lee Ying Ping, 遠藤雄大, 菊地哲郎, 藤井学, 吉村千洋: “宮城県志津川湾およびその流域における溶存鉄動態の解明” 日本プランクトン学会・ベントス学会合同大会, 熊本, 2016
5. 和田光央, 藤井学, 都市・自然河川ならびに下水処理水中における微量金属スペーシエーション: 相模川流域での事例研究, 第 54 回環境工学研究フォーラム(土木学会 環境工学委員会) 2017 年 11 月 17 日, 岐阜大学
6. 遠藤雄大, 夏池真史, 宮本真奈美, 吉村千洋, 藤井学, 水工北上山地水系の冬季における土地被覆の溶存鉄負荷量に対する影響およびその原単位, 第 6 2 回 水工学講演会, 岡山大学津島キャンパス, 2018 年 3 月 7 日
7. Fu, Q., L., Fujii, M., Yeung, A. C. Y., and Waite, T. D. Iron Uptake Kinetics of Bloom-Forming Cyanobacteria, 6th Australian & New Zealand Cyanobacteria Workshop (2018 年)
8. Fu, Q.L., Fujii, M., Iron Uptake Kinetics of Bloom-Forming Cyanobacteria, Water and Environment Technology Conference 2018
9. 中谷鴻太, 藤井学, 湖沼水質が藍藻毒生成と微生物多様性に及ぼす影響, 第 5 回環境水質工学シンポジウム, 2018 年
10. 那須川康平, 藤井学, 水性藍藻類の細胞酸化ストレスならびに毒素生成に及ぼす水質因子

の影響、第53回日本水環境学会年会、2019年

〔図書〕(計 1 件)

1. 藤井学、夏池真史、伊藤紘晃、吉村千洋、第2章開放性内湾の持続可能な利用と海洋環境の実現を目指して 2.3 森は海の恋人か(「里海管理論-きれいで豊かで賑わいのある持続的な海」 柳哲雄編) 農林統計協会、2019、p368 (ISBN: 978-4-541-04281-1)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：吉村 千洋
ローマ字氏名：Chihiro Yoshimura
所属研究機関名：東京工業大学
部局名：環境・社会理工学院
職名：准教授
研究者番号(8桁)：10402091

研究分担者氏名：伊藤 紘晃
ローマ字氏名：Hiroaki Ito
所属研究機関名：熊本大学
部局名：くまもと水循環・減災研究教育センター
職名：助教
研究者番号(8桁)：80637182