

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 29 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H04479

研究課題名(和文)北太平洋亜寒帯域の鉄循環および生物生産と海洋酸性化の関わり解明

研究課題名(英文) Effects of ocean acidification on Fe availability and plankton productivity in the subarctic North Pacific

研究代表者

武田 重信 (TAKEDA, Shigenobu)

長崎大学・水産・環境科学総合研究科(水産)・教授

研究者番号：20334328

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円

研究成果の概要(和文)：北太平洋亜寒帯域において、海水中の鉄有機配位子と錯形成した有機錯体鉄の植物プランクトンによる利用能に対する、海洋の酸性化の影響を調べた。生物生産性の高い西部北太平洋ではpH低下によって有機錯体鉄が珪藻に利用され難くなったのに対し、鉄が不足し易い東部北太平洋では大きな影響は認められず、酸性化に対する植物プランクトン応答が北太平洋の東西で異なる可能性が明らかになった。また、その影響を考慮した海洋鉄循環モデルを用いた数値実験から、将来の海洋酸性化に伴う鉄利用能の低下は、北太平洋全体における基礎生産の正味の増加をもたらすことが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大気から海洋表層への二酸化炭素の溶解に伴う海洋酸性化は、微量栄養素の一つである鉄の生物利用にも影響を及ぼすと考えられる。本研究では、鉄が植物プランクトン生産の主要な制限要因となって北太平洋亜寒帯域の東部海域において、植物プランクトンによる有機錯体鉄の利用を海洋酸性化が抑制する作用が大きく異なることを明らかにした。このことから、将来の海洋酸性化に対する海洋生態系の応答を予測する上で、海域による鉄の存在形態の違いを考慮することの重要性が示された。

研究成果の概要(英文)：The effects of ocean acidification on the bioavailability of organically complexed iron to phytoplankton was investigated in the subarctic North Pacific. In the productive western North Pacific, the decrease in pH made it difficult for diatoms to utilize organically complexed iron, whereas no significant effects were observed in the iron-scarce eastern North Pacific, suggesting that phytoplankton responses to ocean acidification may be different in the eastern and western North Pacific. Numerical experiments using an ocean iron circulation model suggest that future ocean acidification and decrease in iron availability will result in a net increase in primary production in the whole North Pacific.

研究分野：海洋生物地球化学

キーワード：海洋科学 植物プランクトン 鉄 海洋酸性化 北太平洋

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 海洋酸性化と植物プランクトンの鉄利用

人為起源の二酸化炭素の大気への放出量の増加に伴い、海洋の酸性化が進んでおり、2100年には北太平洋亜寒帯域を含む海洋表層の pH が 0.3~0.5 低下すると予測されている (Doney et al., 2009)。北太平洋亜寒帯の西部海域は、春季から秋季に生物活動が盛んになり、表面海水中の二酸化炭素が消費されて大気から海洋への二酸化炭素の吸収域として機能しているが、同海域における一次生産は鉄不足による制限を受けていることが海洋鉄散布実験によって確認されている (Takeda and Tsuda, 2005)。海水中における溶存鉄の約 99% は有機錯体鉄として存在することから、一次生産を担う植物プランクトンの鉄利用を考える上で、鉄の化学的な存在形態が極めて重要になる。

海洋において、将来の海水の pH 低下が植物プランクトンによる有機錯体鉄の利用能に及ぼす影響については、これまで相反する二つの報告がある。一つは鉄が利用され難くなるという大西洋の成層が発達した沖合域で得られた結果であり (Shi et al., 2010)、もう一つは鉄が利用され易くなるというカリフォルニア沿岸の湧昇域で得られた結果である (Wells et al., 2015)。

上記の異なる生物応答が見られた二つの海域では、海水中に存在する鉄有機配位子の性質が異なっていると推定され、大西洋ではシデロフォア (バクテリアが鉄欠乏時に周囲の海水から鉄を取り込むために産生する鉄有機配位子) が、カリフォルニア沿岸ではフミン様物質 (海水中での有機物の微生物分解過程で生成する高分子化合物) が候補として考えられる。一方、北太平洋亜寒帯の西部海域は、外洋の中でも高濃度のフミン様物質を海水中に含んでいることをこれまでの現場観測データから確認しており、また東部海域で夏季みられる厳しい鉄欠乏環境下ではバクテリアによるシデロフォア生産が起きている可能性が非常に高い (Takeda et al., 2013)。

これらの知見を基に、海水中に含まれる鉄有機配位子の違いが異なる生物応答を導いたとの仮説を構築した。北太平洋亜寒帯の東西の海域には、特徴的な鉄有機配位子が異なる割合で存在していることが予想され、両海域間の実験結果の比較から、この仮説を検証するのに適した研究フィールドであると考えられる。

(2) 海洋酸性化に対する海洋生態系応答の将来予測

これまでの知見は、海洋生態系への酸性化影響は均一なものではなく、各海域の鉄有機配位子の組成によって異なる生物応答が導かれることを示唆している。そのため、将来の地球温暖化・海洋酸性化の影響を予測する上で、全球モデルを使ったそのメカニズムの解明が必要になる。将来の地球環境における海洋生態系の応答を予測するための物理-生態系モデルに関する研究の進展は著しく、様々な形で炭素循環と鉄の循環をリンクさせたモデルが開発されている (Moore and Braucher., 2008)。しかし、その中で最もブラックボックス的な扱いとなっているのが鉄有機配位子の役割である。その要因として、海洋の現場における鉄有機配位子の濃度分布や化学的な性質、ならびにそれらの変動機構に関する知見が乏しいことだけでなく、植物プランクトンによる鉄の利用戦略が極めて多様であり、有機配位子と錯形成した鉄が現場のプランクトン群集によってどの程度の割合で利用され得るのかを予測することが非常に難しいことが挙げられる。但し、性質の異なる有機配位子の空間的な変動を考慮したモデルを導入して、海洋の鉄循環にフミン様の鉄有機配位子が特に重要な役割を果たしている可能性も指摘されている (Misumi et al., 2013)。酸性化がこれらの有機配位子の性質にどのような変化を生じさせるのかをモデルに組み込むことができれば、従来とは異なる新たな海洋の物質循環像の予測結果が生まれることが期待される。

2. 研究の目的

(1) 研究目的

微量栄養素である鉄が植物プランクトンによる生物生産の主要な制御要因として作用している北太平洋亜寒帯域を対象として、植物プランクトンの培養実験や現場観測を実施するとともに、鉄循環に関する新たなモデルを構築する。これにより、海洋の酸性化、すなわち大気から海洋表層への二酸化炭素の溶解に伴う pH の低下が、鉄有機配位子と溶存鉄の錯形成にどのような影響をもたらすのかを明らかにし、その結果として生じる鉄利用能の変化が、植物プランクトンの群集組成ならびに生産性に及ぼす影響を評価することを目的とした。

(2) 研究課題

上記の目的を達成するため、以下の課題に取り組んだ。

将来の海洋の酸性化は、植物プランクトンによる鉄有機配位子の利用能を高めるのか、低めるのか、その変化は有機配位子の性質によって異なるのか？

将来の海洋酸性化に伴う植物プランクトン群集の鉄利用能の変化は、北太平洋における生物生産と物質循環にどのような影響を及ぼすのか？

3. 研究の方法

(1) 鉄有機配位子が北太平洋亜寒帯域の植物プランクトン増殖に及ぼす影響評価

化学的性質や起源の異なる鉄有機配位子が植物プランクトン増殖に及ぼす影響を評価するため、2017年6~8月の白鳳丸 KH-17-3 次航海に乗船し、北太平洋亜寒帯域の西部 (47°N, 160°E) および東部 (50°N, 145°W) の表層 10m 層から採取した海水を用いて船上培養実験を行った。これらの海水の溶存鉄濃度は、いずれも 0.06 nM と極めて低い値であった。鉄有機配位子について

は、シデロフォアとしてデスフェリオキサミン B (DFB)、植物プランクトン細胞由来物質としてガロカテキン(GAL)、多糖類としてグルクロン酸(GLU)、腐植様物質としてスワニー川フルボ酸(SRFA)を用いた。それぞれ最終濃度が鉄 2nM、有機配位子 20 nM (SRFA は 0.2 mg/L) の割合になるよう添加した。比較として無添加区 (Control) および無機鉄 2 nM を添加する実験区 (Fe) を設け、海面入射光の 30% の光量に調整した現場水温条件で 7 日間培養して、サイズ分画クロロフィル a 濃度および栄養塩濃度の変化を測定し、天然植物プランクトン群集の増殖応答を調べた。

(2) 海洋酸性化が植物プランクトンの鉄利用能に及ぼす影響評価

北太平洋亜寒帯から採取した表層海水と植物プランクトン培養株を用いた室内培養実験により、海洋酸性化が現場海水に含まれる有機配位子と錯形成した鉄の植物プランクトンによる利用能に及ぼす影響を調べた。実験用海水は、上記の 2017 年白鳳丸航海において北太平洋亜寒帯域の西部と東部で採取した表層ろ過海水を、凍結保存して陸上実験室に持ち帰ったものを用いた。培養実験に用いた海水に含まれる天然の鉄有機配位子の濃度は西部 1.7 nM と東部 2.2 nM、条件安定度定数 ($\log K$) は西部 11.5 と東部 11.7 であった。また、鉄有機配位子との関係性が指摘されている海洋性腐植様の蛍光性溶存有機物の蛍光強度は、西部の方が東部よりも 1.25 倍高い値を示した。植物プランクトンは、北海道大学練習船おしよる丸の北洋航海 (2018 年 7 月) において北太平洋亜寒帯の鉄制限海域である高栄養塩低クロロフィル域の植物プランクトン群集を採取し、粗培養した後、代表的な珪藻 *Thalassiosira* sp. を単離して培養株を作成した。

酸性化条件は、北太平洋亜寒帯域における将来予測値に基づく pH7.6 とし、現状の pH8.0 と比較した。海水試料は、解凍後に 0.5 nM の塩化鉄を添加して冷暗所に一晚放置し、海水中の天然有機配位子と鉄を錯形成させた。続いて、CO₂ 濃度約 360 ppm と 1200 ppm に調整した空気を海水に通気し、pH7.9~8.0 (高 pH) と pH7.5~7.6 (低 pH) の二つの実験区を各 3 連で設けた。珪藻培養株は、鉄欠乏になるよう鉄無添加の培地で予備培養した後、各 pH の海水に接種して、CO₂ 濃度を調整した空気を海水に穏やかに通気しながら、温度 10°C、光量約 100 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、明暗周期 12:12h で 4~5 日間培養し、生体内クロロフィル蛍光と細胞数の変化に基づく増殖速度、栄養塩消費量、光合成活性の指標となる光化学系 II の最大量子収率 (F_v/F_m) などを測定することで生理的応答を調べた。

(3) 鉄循環モデルを用いた海洋一次生産に対する海洋酸性化の影響評価

新たな鉄循環モデルの構築に向けて、鉄有機配位子の生成・消滅過程を陽に扱うことができる全球モデル CESM2-MARBL を導入した。鉄有機配位子の生成・消滅過程の改良を行った後、酸性化による錯形成の強さの変化に対する基礎生産の応答を評価するため、植物プランクトンの鉄制限項を溶存無機鉄 (Fe') 濃度を用いて定式化した。各植物プランクトン種における Fe' の半飽和定数については、全溶存鉄の半飽和定数の濃度が表層濃度の頻度分布において示すパーセントイル値を参考にして、妥当な値を推定した。この新しいモデルと従来モデルとの間で、表層の全溶存鉄濃度および一次生産量の比較を行い、計算結果の妥当性を確認した後、鉄有機配位子の条件安定度定数 K を $\log K = 12, 13, 14$ と変化させる感度実験を行い、各変数の応答を調べるとともに、基本条件を $\log K = 13$ として、他の条件の計算結果との差を求めた。

4. 研究成果

(1) 鉄有機配位子が北太平洋亜寒帯域の植物プランクトン増殖に及ぼす影響評価

北太平洋亜寒帯域で実施した船上培養実験において、植物プランクトン細胞由来物質、多糖類、腐植様物質のモデル配位子として用いたガロカテキン、グルクロン酸、スワニー川フルボ酸とそれぞれ錯形成させた鉄を添加したところ、西部と東部の両海域ともにクロロフィル濃度の明瞭な増加が確認され、これらの配位子と錯形成した有機錯体鉄は、無機鉄と同等の植物プランクトン増殖促進効果を示すことが分かった (図 1)。増殖した植物プランクトンは、現場の天然植物プランクトン群集組成を反映して、いずれの海域の実験においても大型の珪藻類が優占していた。西部海域では実験開始時の植物プランクトン量が東部海域の約 2 倍と多かったため、培養海水中の硝酸塩、リン酸塩、ケイ酸塩が、培養 5 日目までに、ほぼ消費され尽くしていた。

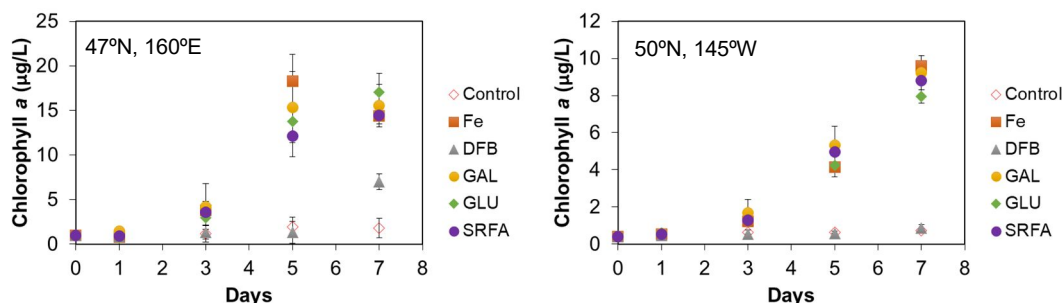


図 1 北太平洋亜寒帯の西部 (左) および東部 (右) で行った船上培養実験におけるクロロフィル a 濃度 (> 10 μm 画分) の経日変化

一方、シデロフォアのモデル配位子として用いたデスフェリオキサミン B と錯形成した鉄を

添加した実験区については、東部海域では 7 日間の実験期間を通して増殖がほとんど認められなかったのに対して、西部海域では培養開始後 5 から 7 日目の間に大型植物プランクトン（主に珪藻）の緩やかな増殖が確認された。これらの結果から、北太平洋亜寒帯域の東西海域において、天然植物プランクトン群集によるシデロフォア鉄の利用能に違いがあることを見出した。今後、東西海域における珪藻の種組成の違いと、それらの藻類がシデロフォア鉄を利用するための特別な鉄取り込み系を保有しているかどうかについても確認した上で、両海域での増殖応答に差異を生む要因を明らかにしていく必要がある。

(2) 海洋酸性化が植物プランクトンの鉄利用能に及ぼす影響評価

北太平洋亜寒帯域西部の表層水を用いた珪藻の酸性化培養実験では、pH 低下によって珪藻の比増殖速度は有意に低くなり、光合成活性（Fv/Fm）の最大値も低下したことから、酸性化は有機錯体鉄の利用能を低下させたことが示唆された（図 2）。珪藻が消費するケイ酸塩と硝酸塩の比率（Si/N 比）は鉄制限を受けると約 2 倍に増加することが知られており（Takeda, 1998）、低 pH 条件で見られた高い Si/N 比も、鉄が利用し難くなっていたことを示している（図 2）。一方、東部海域の表層水を用いた実験では、低 pH 区の比増殖速度が高 pH 区よりもやや高くなったが有意差は認められず、光合成活性（Fv/Fm）の最大値も両実験区で同様な値を示した（図 2）。また、消費された栄養塩の Si/N 比は、西部とは逆に高 pH 区で高くなる傾向がみられたが、ばらつきが大きく有意差は認められなかった。これらの結果から、海洋酸性化は、北太平洋亜寒帯の西部で、植物プランクトンによる有機錯体鉄の利用能を低下させるのに対して、東部ではほとんど影響を及ぼさないか、わずかに促進する可能性があり、将来の海洋酸性化に対する植物プランクトン（珪藻）の応答が北太平洋の東西で異なり得ることが明らかになった。但し、Hopkinson et al. (2010)は、北太平洋亜寒帯域東部の中でも、測点によって酸性化による天然植物プランクトン群集の応答が異なることを報告しており、実際には現場の植物プランクトン組成の違いや栄養塩環境などについても考慮する必要がある。

pH の低下が有機錯体鉄の利用能に影響を及ぼすメカニズムとしては、有機錯体から鉄が解離するときに生成する水素イオンの多寡が関係すると考えられており、シデロフォアの中でもヒドロキسام酸型では pH 低下によって利用され難くなるのに対して、カテコール型では pH 変化の影響をほとんど受けないなど、化学構造の違いも重要になる（Shi et al., 2010）。また、pH 低下は、特定の鉄有機配位子と鉄イオンの錯形成の安定度を上昇させる場合もあり得る（Avendaño et al., 2016）。本研究で用いた海水に含まれる鉄有機配位子の条件安定度定数は、西部と東部の間で大きな違いが認められなかったものの、有機配位子の組成、特に化学構造や pH 変化に対する安定度の応答が海域間で異なっている可能性が考えられるため、海水中の主要な有機配位子の構造を解析することのできる研究手法の確立が、今後の大きな課題である。

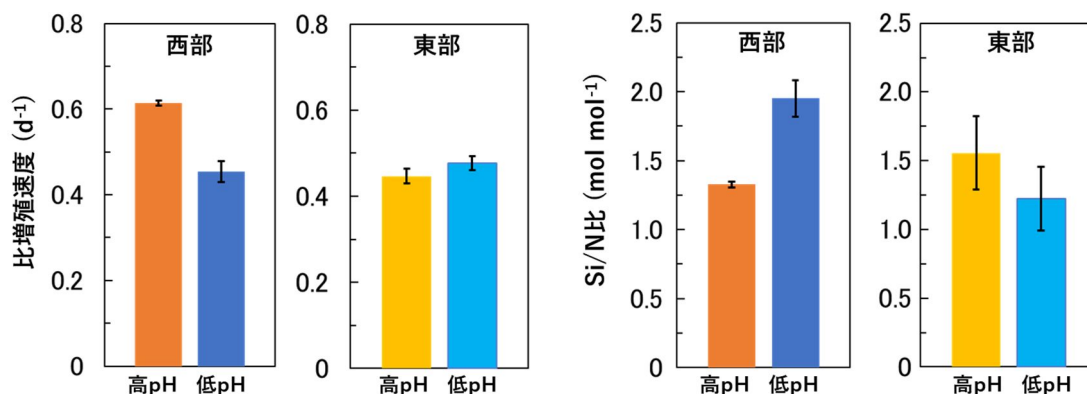


図 2 北太平洋亜寒帯域の西部と東部で採取した表層ろ過海水に 0.5nM の鉄を添加して天然有機配位子と錯形成させた後、pH を 8.0 (高 pH) と 7.6 (低 pH) に調整して珪藻を培養した時の比増殖速度(左)および消費された栄養塩の Si/N 比(右)(n=3 の平均値と標準偏差)

(3) 鉄循環モデルを用いた海洋一次生産に対する海洋酸性化の影響評価

植物プランクトンの鉄制限項を溶存無機鉄濃度で定式化した新たな海洋モデルを用いて有機錯体鉄の利用し易さ（条件安定度定数）を変化させる数値実験を行った。その結果、条件安定度定数が大きくなって植物プランクトンが有機錯体鉄を利用し難くなると、全海洋に占める鉄制限海域の面積が倍増し、北太平洋の大半の海域で小型および大型植物プランクトンが鉄制限を受けるとともに、鉄制限海域の一次生産が減少するのに対して、鉄制限を受けていない海域の一次生産が増加することが示された（図 3）。また、鉄制限海域ではもともと一次生産が比較的高い所が多く、それ以外の窒素など主要栄養塩によって制限されている海域では一次生産の低い所が多いことから、条件安定度定数が大きくなると、全球的な一次生産の水平勾配が弱まる傾向が見られた。一方、条件安定度定数が小さくなって植物プランクトンが有機錯体鉄を利用し易くなると、逆のパターンになり、鉄制限を受けるのは南大洋と太平洋の一部の海域のみに縮小することが分かった。これらの応答は、溶存鉄と栄養塩の変化から次のように説明される。まず、有機錯体鉄を利用し難くなると、鉄制限海域の一次生産が低下して溶存鉄濃度と栄養塩濃

度が上昇し、鉄制限海域から余剰の栄養塩が鉄制限を受けていない海域に水平輸送されるようになる。そして、この窒素やリンの供給によって鉄制限を受けていない海域の一次生産が増加するとともに、同海域の溶存鉄が消費されて低くなる。以上のように、有機錯体鉄の利用能の変化は、海域間の栄養塩輸送に大きな影響を及ぼし得ることが明らかになった。

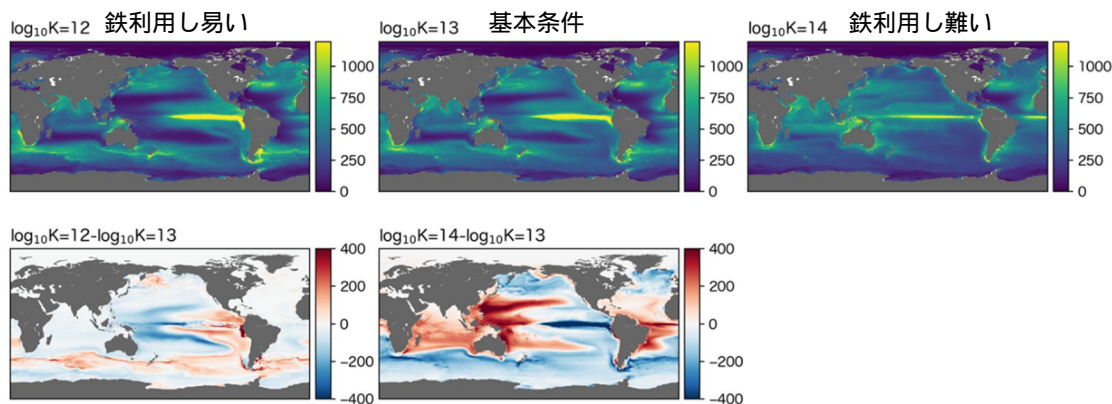


図3 海洋モデルを用いて有機錯体鉄の利用し易さ（条件安定度定数 $\log K$ ）を3段階で変化させた時の一次生産量（ $\text{mgC m}^{-2} \text{day}^{-1}$ ）の分布（上段）、鉄を利用し易くした場合と基本条件の差（下段左）、鉄を利用し難くした場合と基本条件の差（下段右）

これらの応答を海洋全体で平均化してみると、有機錯体鉄の利用能の低下は、全球の一次生産量をほとんど変化させないが、空間的な差異を小さくして均一化すること、表層の栄養塩濃度の増加と溶存鉄濃度の減少を生じることが分かった。この全球的な栄養塩濃度の増加は、鉄制限海域での栄養塩消費の減少によるものであり、鉄濃度の減少については、鉄制限海域での鉄濃度上昇よりも、非鉄制限海域での鉄消費促進による濃度低下の効果の方が大きいことで説明された。これに対して、北太平洋での応答を抽出してみると、海域全体としての一次生産量がやや増加するとともに、鉄濃度と栄養塩濃度について全球で見られた変化の傾向が顕著化することが示された。

(4) 海洋酸性化による植物プランクトン鉄利用能と海洋生物生産の変化に関する総合評価

本研究で得られた観測・実験データとモデル計算結果から、将来の海洋酸性化は、鉄制限海域となっている北太平洋亜寒帯域における植物プランクトンの生産性や群集組成を変化させる可能性が大きく、その影響は東西の海域で異なる形で生じ得ることが示された。また、その影響は北太平洋の亜寒帯だけでなく、亜熱帯域などの他の海域における栄養塩環境や一次生産にも及ぶことも示唆された。これらの成果は、海洋における生物生産の変動機構の理解を深め、将来の地球環境変化に対する海洋生態系と物質循環の応答を予測するモデルを高度化する上で重要な知見となる。海洋には様々な種類の鉄有機配位子が存在しており、今後は、海水中の主要な鉄有機配位子の組成と化学・生物学的な特性を明らかにしていくことが重要になる。

< 引用文献 >

- Avendaño, L., M. Gledhill, E.P. Achterberg, V.M.C. R  rolle, C. Schlosser (2016) Influence of ocean acidification on the organic complexation of iron and copper in northwest European shelf seas; a combined observational and model study, *Front. Mar. Sci.*,3:58, doi: 10.3389/fmars.2016.00058.
- Doney, S.C., W.M. Balch, V.J. Fabry, R.A. Feely (2009) Ocean acidification: A critical emerging problem for the ocean sciences, *Oceanography*, 22(4): 16-25.
- Misumi, K., K. Lindsay, J.K. Moore, S.C. Doney, D. Tsumune, Y. Yoshida (2013) Humic substances may control dissolved iron distributions in the global ocean: Implications from numerical simulations, *Global Biogeochem. Cycles*, 27: 450-462.
- Moore, J.K., O. Braucher (2008) Sedimentary and mineral dust sources of dissolved iron to the world ocean, *Biogeosci.*, 5: 631-656.
- Shi, D., Y. Xu, B.M. Hopkinson, F.M.M. Morel (2010) Effect of ocean acidification on iron availability to marine phytoplankton, *Science* 327: 676-679.
- Takeda, S. (1998) Influence of iron availability on nutrient consumption ratio of diatoms in oceanic waters, *Nature*, 393: 774-777.
- Takeda, S., F. Chai, J. Nishioka (2013) Report of Working Group 22 on Iron Supply and its Impact on Biogeochemistry and Ecosystems in the North Pacific Ocean, *PICES Sci. Rep.*, No.42, 60 pp.
- Takeda, S., A. Tsuda (2005) An *in situ* iron-enrichment experiment in the western subarctic Pacific (SEEDS): Introduction and summary, *Prog. Oceanogr.*, 64: 95-109.
- Wells, M.L., C.G. Trick, V.L. Trainer, C.E. Ikeda (2015) The effect of ocean acidification on the availability of ambient Fe in upwelled waters, *Association for the Sciences of Limnology and Oceanography*, Aquatic Sciences Meeting, Granada, Spain.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 近藤能子	4. 巻 30
2. 論文標題 海洋における鉄の存在形態と微量金属元素（鉄、マンガン、ニッケル、亜鉛、カドミウム等）の動態に関する研究	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 海洋化学研究	6. 最初と最後の頁 90-97
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Misumi Kazuhiro, Tsumune Daisuke	4. 巻 26
2. 論文標題 Current status and issues of marine biogeochemical cycle models with a focus on the iron biogeochemical cycle	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Oceanography in Japan	6. 最初と最後の頁 95 ~ 111
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5928/kaiyou.26.3_95	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Nishioka Jun, Obata Hajime, Ogawa Hiroshi, Ono Kazuya, Yamashita Youhei, Lee Keunjong, Takeda Shigenobu, Yasuda Ichiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Subpolar marginal seas fuel the North Pacific through the intermediate water at the termination of the global ocean circulation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 1 ~ 9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1073/pnas.2000658117	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計24件（うち招待講演 1件/うち国際学会 12件）

1. 発表者名 Misumi, K., J. Nishioka, H. Obata, D. Tsumune, T. Tsubono, M. C. Long, K. Lindsay, J. K. Moore
2. 発表標題 Pacific iron cycle driven by lateral export from continental-shelf sediments mediated by slowly sinking particles
3. 学会等名 2018 Annual CESM Workshop（国際学会）
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Takeda, S.
2 . 発表標題 Ocean acidification and iron biogeochemistry in the North Pacific
3 . 学会等名 GEOTRACES Workshop - BIOGEOTRACES Japan begins - (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Misumi, K., D. Tsumune, T. Tsubono, M. C. Long, K. Lindsay, J. K. Moore
2 . 発表標題 Contribution of marginal sea sediment on iron cycling in the North Pacific
3 . 学会等名 AGU/ASLO/TOS 2018 Ocean Sciences Meeting (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 S. Takeda, K. Hideshima, Y. Kondo, M. Sato
2 . 発表標題 Effect of ocean acidification on bioavailability of iron bound to natural iron-complexing ligands
3 . 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Y. Kondo, Y. Sunahara, J. Nishioka, H. Obata, S. Takeda
2 . 発表標題 Distributions of natural organic Fe-binding ligands in the eastern and western subarctic North Pacific
3 . 学会等名 Ocean Sciences Meeting 2020 (国際学会)
4 . 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	津旨 大輔 (TSUMUNE Daisuke) (10371494)	一般財団法人電力中央研究所・環境科学研究所・上席研究員 (82641)	
研究 分担者	三角 和弘 (MISUMI Kazuhiro) (10462889)	一般財団法人電力中央研究所・企画グループ・上席 (82641)	
連携 研究者	近藤 能子 (KONDO Yoshiiko) (40722492)	長崎大学・水産・環境科学総合研究科(水産)・助教 (17301)	