

令和 3 年 6 月 11 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01292

研究課題名(和文) マイワシレジームの最大個体数を百年規模で減少させた北西太平洋の海洋プロセスの解明

研究課題名(英文) Oceanic process

研究代表者

加 三千宣 (Kuwa, Michinobu)

愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・准教授

研究者番号：70448380

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：日本マイワシは、かつて世界最大漁獲量を誇り、日本マイワシレジームの再来は今後百年の食料の安定供給の鍵を握る。しかし、マイワシレジームを支配する要因は不明である。本研究では、『過去に起こったマイワシレジームの100年規模の消失の原因がオホーツク海からの鉄供給と北西太平洋の一次生産の低下にある』という仮説を検証した。マイワシが回遊する海域の海底コア試料を用いて珪藻群集と植物プランクトンが持つ色素と動物プランクトン由来色素の濃度を調べた結果、オホーツク海からの溶存鉄の主要ルートである沿岸親潮の流入の強さは、必ずしも北西太平洋を広く回遊するマイワシの個体数変動の支配要因になっていないことがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年の地球温暖化による海水生産の低下は中層循環強度を弱めるとされるが、こうした中層循環の弱化による北西太平洋への鉄供給低下や沿岸親潮の鉄供給の長期変動が北西太平洋の魚類を含む海洋生態系へのインパクトは明らかになっていない。本研究は、中層循環強度や沿岸親潮の強さと沿岸親潮域の低次生産の間のリンケージを明らかにしたが、マイワシのような黒潮～黒潮親潮続流～親潮を回遊する魚種に影響することはないことがわかった。マイワシはむしろ回遊するそれぞれの海域での低次生産に影響を受けていることが判明し、特に親潮域での低次生産がマイワシと類似した長期減少トレンドを示した。親潮域の栄養塩供給機構の重要性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：Japanese sardine fisheries recorded the world's largest fish catch in the late 20th century, which indicates that Japanese sardine is a key species to support the world food productions for the next century. However, oceanic processes driving the sardine flourish during the regimes remains unclear. Here we tested a hypothesis that one of the factors driving the centennial-scale disappearance of sardine flourish in the past was attributed to centennial-scale depletion in lower trophic productivity due to that of iron supply from the Okhotsk Sea. Comparisons of temporal patterns of sea ice-related diatom abundance and algal and zooplankton pigment concentrations in the core sediments from the slope area off Hokkaido with those of sardine scale deposition rates demonstrated different temporal patterns between each other. This indicates that an intensity of Coastal Oyashio which was the main path way transporting dissolved iron were not necessary a factor driving the sardine population.

研究分野：古環境学・古生物学・古海洋学

キーワード：マイワシ 海洋低次生産変動 沿岸親潮 オホーツク海 鉄

### 1. 研究開始当初の背景

世界の漁獲の 6 分の 1 を占めるイワシ類は世界で最も漁獲される魚であり、漁業養殖や農業肥料、そして養豚養鶏の餌として利用され、世界の食糧を支える魚と言っても過言ではない。近年、その需要は新興国の経済発展とともに増大しているが、そのイワシ類資源の供給は決して安定しているものではない。世界有数漁場ではこの 100 年でマイワシとカタクチイワシの魚種交替による劇的な資源変動がほぼ同時に起きている(図 1)。現在、世界最大漁場のペルー沖でカタクチイワシの漁獲量が著しく減っていることから、今後、世界の食料資源動向のカギを握るのが、かつて世界の漁獲資源を誇った日本でのマイワシ資源の回復である。

これまで過去 100 年間でのイワシ類に見られる数十年規模の魚種交替は、太平洋数十年規模振動

(PDO) のような大洋規模の気候変動との関連性が指摘されている(Takasuka et al., 2008; Takahashi et al., 2008)。PDO 指数が正位相時にマイワシが増加し、負位相時にカタクチイワシが増加するという説である(図 1)。実際、ここ数年 PDO は正位相に戻り、日本ではマイワシ資源が増加する兆しが見えてきたと言われるが、この 100 年で見られたマイワシとカタクチイワシの魚種交替は、申請者らの過去 1000 年以上の海洋堆積物記録に基づく研究から、定期的に行われていないことが明らかになってきた(Kuwae et al., 2017, Progress in Oceanography)。一方で、マイワシ個体数の十年規模の爆発的増加、いわゆるマイワシレジームが 100 年以上も現れない時代が何度も繰り返し起こってきたという驚くべき現象も見えてきた(図 2 の灰色ゾーン)。これは、東アジアの積雪や北米の冬季降水量から復元された PDO 指数の約 300 年周期変動と連動しており、マイワシレジームの百年規模の消失が、気候変動によって生じることを強く示唆している(Kuwae et al., 2017)。現在はマイワシレジームが形成される時代が 200 年ほど続いているが、気候の約 300 年周期性に基づけば、近い将来このタイプの気候変動によって、顕著なマイワシレジームが 100 年以上消失する時代に突入するというシナリオもありうる。すなわち、世界の次の 20 年の食料供給を支えるはずの**日本のマイワシ資源が大幅に増加しない可能性もある**。したがって、マイワシが今後増えるかどうかを判断する上で、こうした**気候やマイワシ個体数の数百年規模変動の原因**を早急に明らかにする必要がある。

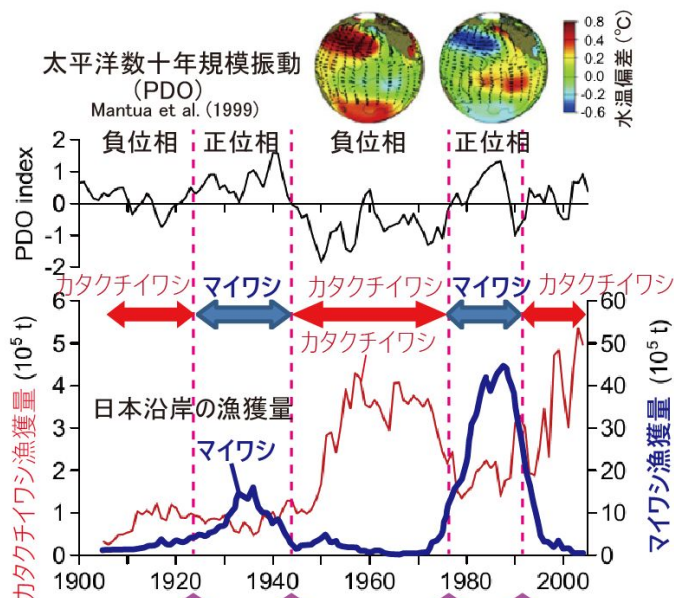


図 1 太平洋十年規模振動 (PDO) とマイワシ・カタクチイワシ間の魚種交替。矢印はレジームシフトの時期を示す。

### 2. 研究の目的

本研究は、これまでの研究から明らかになってきたマイワシ個体数の数百年規模での変動が何によって駆動されているのか、次の仮説を提案し、培養実験と古海洋学的手法を駆使し検証する。

**『100 年規模でマイワシレジームの最大個体数を低下させた原因は、オホーツク海からの鉄供給と北西太平洋の一次生産の低下にある』**

一般に、マイワシ個体数を支配する要因として、餌密度を左右する一次生産とそれを支える栄養物質の多寡があげられる。日本のマイワシは、黒潮域から、黒潮続流や親潮続流域の日付変更線に及び広範囲の環境収容力を利用して時に 1 万倍にも数を増やす種であり、その膨大な個体数はこれらの海域の一次生産によって支えられている。したがって、マイワシ個体数低下の原因は、**北西太平洋の広範囲の一次生産の低下**が第一の要因と考えられる。これほど大規模に一次生産を低下させる海洋プロセスは幾つもあるわけではない。本研究では、**オホーツク海起源の鉄の北西太平洋への供給**(図 4)に着目する。オホーツク海起源の鉄は中層・亜表層・表層の大規模な海洋循環を通じて北西太平洋の広範囲の高い生物生産を支えることが指摘されている(Nishioka et al. 2007; Shiozaki et al., 2014; 黒田ほか 2016)。特に、年間で最も生産が高い春のブルームを形成する主要珪藻種は、窒素ではなく鉄制限によって終息することが知られている(Sugie et al., 2010)。したがって、**マイワシと北西太平洋の珪藻生産、そしてオホーツク海からの鉄供給との間に**

数百年規模変動の有意な位相関係が認められれば、上述の仮説を強く支持することになる。本研究では、海域の珪藻生産がオホーツク海由来の鉄の影響を強く受ける**北海道・三陸沖の海底コア試料**を用いて、北西太平洋の珪藻生産量と後に述べる鉄供給指標となる珪藻休眠胞子の過去1000年間の動態を明らかにし、百年規模のマイワシ減少の原因を明らかにする。

### 3. 研究の方法

本研究では、上述の仮説を検証するために、次の3つの課題に取り組む。

**課題1(研究代表者、加)**では、現在の海洋環境において春のブルームが鉄制限によって終息するとされる北西太平洋の珪藻生産(Sugie et al., 2010)に着目し、100年規模のマイワシ減少期に親潮域・沿岸親潮域の3地点(図4)で一次生産が低下したかを**堆積物中の生物源オパール**(主体は珪藻殻)により明らかにする。対照として、鉄の影響を受けない海域(房総沖、日本海)についても同様に調べる。すでに、沿岸親潮域の北海道沖の海底コア試料では、生物源オパール濃度が100年規模のマイワシの減少期に低下している事実を見出し、上述の仮説と整合的であること確認している(図2)。

**課題2(研究分担者、杉江)**では、この珪藻生産の減少が、窒素などの栄養塩の減少なのか、オホーツク海由来の鉄供給の減少なのかという問題に対して、従来の古海洋学にはなかった革新的な古海洋学的指標の開発に取り組む。珪藻の *Thalassiosira nordenskiöldii* (図3下)は、春季ブルーム終焉期に窒素よりも鉄欠乏下で休眠胞子を作る。一方で、*Chaetoceros diadema* (図3上)は鉄よりも窒素欠乏下で休眠胞子を作る(Sugie et al., 2010)。これら二種の生産量は、沿岸親潮域や親潮域では**オホーツク海起源の鉄供給**によって逆の応答を示すはずである。したがって、堆積物中のこれら二種の休眠胞子の相対頻度は春季ブルーム終息を制御したのは鉄か窒素かを知る有力な指標となりうる。しかし、これら二種の鉄と窒素に対する応答の違いは、天然プランクトン群集を用いた、様々な種の相互作用がからむ培養実験系において、たった1度観察されたのみであった。したがって、本研究では、**上述二種の単離株**を用いて、それぞれの栄養塩環境を個別に制御した培養実験を行い、両種の休眠胞子形成に及ぼす窒素と鉄の影響をより厳密に定量化して、指標としての妥当性を確かめる。

**課題3(研究分担者、小野寺)**では、上述二種の堆積物中の**休眠胞子相対頻度の時系列変化**を調べ、オパール濃度低下と鉄供給との関係を明らかにする。

### 4. 研究成果

オホーツク海から北西太平洋への鉄供給の主要ルートであると考えられる沿岸親潮域の末端域にあたる北海道苫小牧沖のコア試料を用いて、色素分析と珪藻分析を行った。その結果、植物プランクトン指標 Chlorophyll a と動物プランクトン指標 SCEs の堆積物中の濃度に、数百年スケール変動が認められた。この変動は、沿岸親潮水塊の指標となる海水関連珪藻種の出現頻度と相関が認められ、これは沿岸親潮がもたらす栄養塩・鉄の北西太平洋への供給が百年スケールの低次生産変動に寄与していることが示唆された。また、オホーツク海中層水形成量の二つのプロキ

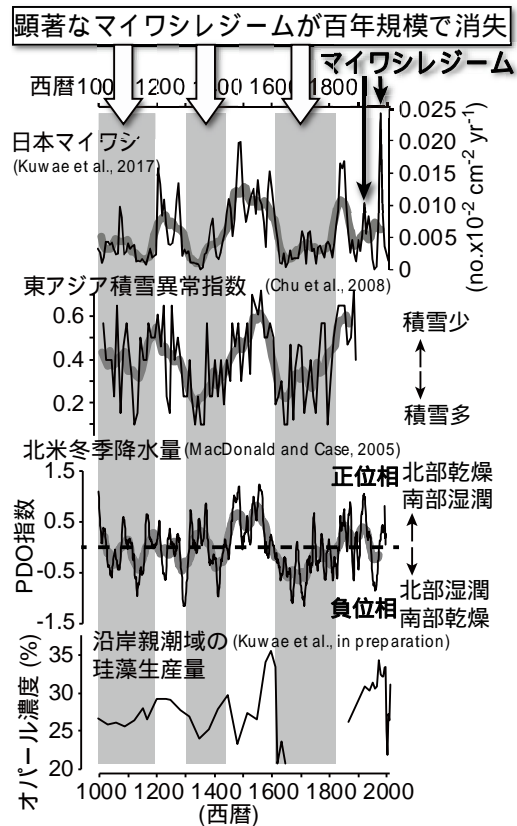


図2 過去1000年間の日本マイワシの個体数、PDO指標、東アジア積雪異常、北米冬季降水量、沿岸親潮域の珪藻生産量、灰色は百年規模のマイワシ個体数の低下期。

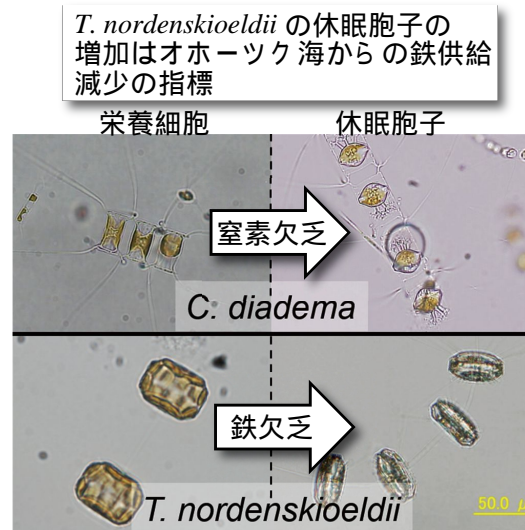


図3 *Chaetoceros diadema* (上) *Thalassiosira nordenskiöldii* (下) の栄養細胞(左)と休眠胞子(右)

シ記録との比較により、海水関連種の出現頻度と中層水形成量変動は同位相関係にあることがわかった。これらのことは、鉄を北西太平洋へ供給する二つの主要経路(沿岸親潮と中層水)は、沿岸親潮域の低次生産変動と密接に関連していることを示唆している。一方、いずれの指標にも長期的な上昇トレンドが認められるが、マイワシに見られるような長期的な減少トレンドを示さなかった。したがって、オホーツク海からの沿岸親潮がもたらす鉄供給は、必ずしも北西太平洋の温帯・亜寒帯を広く回遊するマイワシの個体数変動の支配要因になっていないと考えられた。

マイワシが餌場として利用する黒潮続流、黒潮・親潮移行域、親潮域の低次生産変動を復元した結果、マイワシ個体数が100年規模で低下する時期に、沿岸親潮域を含めた4つの海域のうちの一つあるいは複数の海域で低次生産が100年規模で低下していることがわかった。100年スケールでマイワシ個体数が低下した原因は、マイワシが回遊する幾つかの海域の餌環境の低下にあることが本研究によって結論付けられた。

単離株を用いた鉄添加培養実験の結果、休眠孢子が思うように増えないという問題もあったが、種間の鉄濃度に対する成長速度の違いを明らかにすることができた。これにより、親潮域の珪藻類は鉄濃度に対して感度の違いを明確に示すことがわかった。中でも *Thalassiosira* 属より一部の *Chaetoceros* 属の方が低い鉄濃度に耐性があることがわかり、鉄濃度の異なる海域の表層堆積物中の珪藻分布を説明することが明らかになった。こうした鉄濃度に対する成長速度の違いを種ごとに明らかにすることで、鉄供給に対する珪藻類の応答を古海洋学的に詳細に明らかにできる可能性が見えてきた。

近年の地球温暖化による海水生産の低下は中層循環強度を弱めるとされるが、こうした中層循環の弱化による北西太平洋への鉄供給低下や沿岸親潮の鉄供給の長期変動が北西太平洋の魚類を含む海洋生態系へのインパクトは明らかになっていない。本研究は、中層循環強度や沿岸親潮の強さと沿岸親潮域の低次生産の間のリンケージがあることを明らかにしたが、高次栄養段階にあるマイワシのような黒潮～黒潮親潮続流～親潮を索餌回遊する魚種に必ずしも影響することはないことがわかった。マイワシはむしろ回遊するそれぞれの海域での低次生産に影響を受けていることが判明し、興味深いことに親潮域の低次生産がマイワシと類似した長期減少トレンドを示した。したがって、マイワシの爆発的増加を決定する要因には、親潮域の表層への栄養塩供給機構の重要性が示唆される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 加 三千宣	4. 巻 57
2. 論文標題 沿岸域堆積物の過去数百～数千年間を対象としたパレオ研究 豊後水道・別府湾を例として.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 第四紀研究	6. 最初と最後の頁 175-195
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 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 Michinobu Kuwae, Hiromichi Tamai <sup>1</sup> , Hideyuki Doi, Masayuki K. Sakata, Toshifumi Minamoto, and Yoshiaki Suzuki	4. 巻 3
2. 論文標題 Sedimentary DNA tracks decadal-centennial changes in fish species abundance.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Communications Biology	6. 最初と最後の頁 558
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s42003-020-01282-9	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28件（うち招待講演 2件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 人新世GSSP候補としての別府湾プロポーザルの概要.
2. 発表標題 加 三千宣
3. 学会等名 東京大学大気海洋研究所柏地区共同利用研究会「人新世国際標準模式地認定に向けた別府湾での取り組み」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木克明・加 三千宣・池原研・新井和乃・村山雅史
2. 発表標題 別府湾表層堆積物に保存された葉理の組成変動と成因.
3. 学会等名 東京大学大気海洋研究所柏地区共同利用研究会「人新世国際標準模式地認定に向けた別府湾での取り組み」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 横山祐典・Stephen Tims・Michaela Froehlich・阿瀬貴博・Keith Fifield・平林頌子・Dominik Knoll・加 三千宣・宮入陽介・Stephen Pavetich
2. 発表標題 別府湾の超極微量プルトニウム同位体に記録された人新世のシグナル.
3. 学会等名 東京大学大気海洋研究所柏地区共同利用研究集会「人新世国際標準模式地認定に向けた別府湾での取り組み」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上淳・竹中夏子・加 三千宣
2. 発表標題 人新世GSSP設定における球状炭化粒子（SCPs）の役割と別府湾における記録.
3. 学会等名 東京大学大気海洋研究所柏地区共同利用研究集会「人新世国際標準模式地認定に向けた別府湾での取り組み」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 日向博文・加 三千宣・川又勇人・榎本一成・真瀬充臣
2. 発表標題 別府湾最深部におけるマイクロプラスチック堆積量 75年間の変遷
3. 学会等名 東京大学大気海洋研究所柏地区共同利用研究集会「人新世国際標準模式地認定に向けた別府湾での取り組み」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋 真・Hoang Quoc Anh・青野大地・渡邊 功・加 三千宣・槻木玲美, 国末達也
2. 発表標題 別府湾および琵琶湖底質柱状試料におけるPCBs・POPs残留濃度・フラックスの時系列解析
3. 学会等名 東京大学大気海洋研究所柏地区共同利用研究集会「人新世国際標準模式地認定に向けた別府湾での取り組み」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 上野大介・高橋真・加 三千宣
2. 発表標題 AIQSターゲットスクリーニング法をもちいた別府湾底質コア中人為起源物質の網羅的分析.
3. 学会等名 東京大学大気海洋研究所柏地区共同利用研究集会「人新世国際標準模式地認定に向けた別府湾での取り組み」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 阿草哲郎・加 三千宣
2. 発表標題 別府湾堆積物における重金属濃度の歴史トレンドの解明.
3. 学会等名 東京大学大気海洋研究所柏地区共同利用研究集会「人新世国際標準模式地認定に向けた別府湾での取り組み」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 槻木玲美・Peter Leavitt・谷幸則・加 三千宣
2. 発表標題 堆積物に残存する色素からみた1900年以降の別府湾藻類群集の変化.
3. 学会等名 東京大学大気海洋研究所柏地区共同利用研究集会「人新世国際標準模式地認定に向けた別府湾での取り組み」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本正伸・瀬川雄大・加 三千宣
2. 発表標題 堆積物に残留する真核生物DNAからみた1970年以降の別府湾環境の変化.
3. 学会等名 東京大学大気海洋研究所柏地区共同利用研究集会「人新世国際標準模式地認定に向けた別府湾での取り組み」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加 三千宣
2. 発表標題 海洋堆積物コアの環境DNAから過去300年に遡って魚類生息状況を復元する.
3. 学会等名 日本生態学会第24回公開講演会「環境DNAの衝撃 - 生き物たちの過去・現在・未来を解き明かす」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加 三千宣・人新世GSSP-別府湾プロポーザル研究グループ
2. 発表標題 別府湾堆積物の人新世GSSP提案と別府湾プロポーザル研究グループの最近の取組み
3. 学会等名 日本第四紀学会2020年大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 加 三千宣・土居秀幸
2. 発表標題 堆積物コアサンプル分析の最前線.
3. 学会等名 一般社団法人 環境DNA学会共催, 生態学研究センターの共同利用シンポジウム「環境DNA・環境RNA研究の新たな挑戦」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Michinobu Kuwae, Hironichi Tamai, Hideyuki Doi, Toshifumi Minamoto and Masayuki K Sakata
2. 発表標題 Sedimentary DNA can track decadal-centennial changes in fish species abundance.
3. 学会等名 Ocean Science Meeting, AGU/ASLO (国際学会)
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 林田 明, 安樂 和央, 大野 正夫, 加 三千宣, 竹村 恵二
2. 発表標題 別府湾のヒストンコア試料に記録された 完新世古地磁気永年変化.
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会 第 146 回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木克明、加三千宣、池原研、新井和乃、村山雅史
2. 発表標題 別府湾堆積物最上部にみられる葉理構造の成因推定.
3. 学会等名 地球環境史学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加 三千宣・鈴木 克明
2. 発表標題 人新世 完新世境界補助ストラトタイプとしての別府湾堆積物のポテンシャル.
3. 学会等名 日本第四紀学会2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加 三千宣・鈴木 克明
2. 発表標題 別府湾堆積物: 人新世-完新世境界の補助ストラトタイプ候補としてのポテンシャル.
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加 三千宣・鈴木 克明
2. 発表標題 人新世 完新世境界補助ストラトタイプとしての別府湾堆積物のポテンシャル.
3. 学会等名 日本第四紀学会2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木克明、加三千宣、池原研、新井和乃、村山雅史
2. 発表標題 別府湾堆積物最上部にみられる葉理構造の成因推定.
3. 学会等名 地球環境史学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 玉井 大道・加 三千宣・土居 秀幸・源 利文
2. 発表標題 浮魚類の個体数指標としての堆積物中環境DNAの利用可能性.
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 倉田 純・玉井大道・土居秀幸・源 利文・加 三千宣
2. 発表標題 過去の海洋魚類群集を復元するための堆積物中魚類起源DNA抽出法の改善に関する研究.
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加 三千宣・山本正伸・別府湾堆積物研究プロジェクト・杉本隆成
2. 発表標題 過去数千年間の日本マイワシ・カタクチイワシの長期変動.
3. 学会等名 日本水産海洋学会2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加 三千宣・山本正伸・佐川拓也・池原研・入野智久・竹村恵二・武岡英隆・杉本隆成
2. 発表標題 古海洋・古気候記録にみられる日本周辺のイワシ類の個体数と中緯度古気候指標の数百年規模変動.
3. 学会等名 日本海洋学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加 三千宣・山本正伸・別府湾海底コア研究グループ
2. 発表標題 別府湾海底堆積物にみられるイワシ類の過去7000年間の個体数変動.
3. 学会等名 日本第四紀学会2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本正伸・加 三千宣・入野智久・池原研・竹村恵二
2. 発表標題 別府湾海底堆積物記録からみた過去の気候と洪水イベント.
3. 学会等名 日本第四紀学会2018年大会シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加 三千宣・山本正伸・別府湾海底コア研究グループ
2. 発表標題 別府湾海底堆積物の魚鱗記録にみられる過去2800年間のイワシ類の長期動態.
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木克明・加 三千宣・池原 研・村山 雅史4・新井 和乃
2. 発表標題 別府湾表層堆積物に残された歴史・観測災害記録の解読.
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018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	杉江 恒二  (Sugie Koji)  (00555261)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(地球表層システム研究センター)・技術研究員   (82706)	
研究分担者	谷 幸則  (Tani Yukinori)  (10285190)	静岡県立大学・食品栄養科学部・教授   (23803)	
研究分担者	槻木 玲美 (加玲美)  (Tsugeki Narumi)  (20423618)	松山大学・法学部・教授   (36301)	

6. 研究組織（つづき）

	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	小野寺 丈尚太郎  (Onodera Jonaotaro)  (50467859)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(北極環境 変動総合研究センター)・主任研究員     (82706)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
米国	Idaho State University			