

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H03060

研究課題名（和文）海洋マイクロプラスチック採集の標準化に向けたニューストーンネット採集特性の解明

研究課題名（英文）Studies on catching performance of newston net for standardization of microplastics sampling method

研究代表者

東海 正（Tokai, Tadashi）

東京海洋大学・学術研究院・教授

研究者番号：30237044

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,020,000円

研究成果の概要（和文）：海面を漂流するマイクロプラスチック（MPs）の採集に国際的にも標準的に用いられている目合0.350mmのニューストーンネットについて、採集特性（網目選択性等）や流体特性（濾水効率や流体抵抗、網口深度等）を明らかにした。特に網目選択性（サイズ別網目保持率）を推定して、微細なMPs（特に繊維状）が網目を抜けていることを明らかにし、MPsサイズ組成の補正方法を提示した。海面に網口を半分だして曳網されるニューストーンネット周りの流れの可視化を行い、曳網速度別の濾水効率を推定した。網口に適切に装着した濾水計による濾水量推定の有効性を示した。細かな目合の平面網地の流体特性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ニューストーンネットの網目選択性の研究成果は、ネット採集では微細なマイクロプラスチックを採集できないことを示し、海洋MPs動態研究のまた漂流MPsの地球規模データベースの論文でも引用されるなど、MPsの分布、動態研究ミッシングリンクに一つの答えを提供した。また海洋観測や海洋生物を含む海洋学分野の研究にニューストーンネット採集特性、並びに漁具流体力学分野に対してネット採集具設計とその数値計算の基礎データを提供することができた。

一般社会に対してこうした微細なマイクロプラスチックの存在を伝えることで、プラスチックの発生と海洋への流入の抑制につながることを期待される。

研究成果の概要（英文）：This study clarified the sampling characteristics (e.g., mesh selectivity) and fluid characteristics (e.g. filtration efficiency, fluid resistance, and mesh mouth dynamics) of a neuston net with 0.350 mm mesh size, which is internationally standard for collecting microplastics (MPs) drifting on the ocean surface.

In particular, mesh selectivity (retention probability by MPs size) was estimated, which suggested that fine MPs (especially fibrous) were missing from the mesh. And a correction method for MPs size composition was also presented. Visualization of the flow around a neuston net towed with the net mouth half out to sea surface was conducted to estimate the filtration efficiency by towing speed. The water flowmeter properly attached to the net mouth was demonstrated to be effective to estimate a water volume filtered by the net. The hydrodynamic characteristics of a fine mesh plane netting were clarified, providing basic data for hydrodynamic studies on fine mesh nets.

研究分野：水産工学

キーワード：マイクロプラスチック ニューストーンネット 網目選択性 サイズ組成 流れの可視化 濾水効率 密度推定 流体抵抗

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、海洋におけるマイクロプラスチック (MP) 汚染が問題となり、海表面の稚魚や卵を採集するニューストンネットが MP の密度分布の調査に世界的に用いられている。しかしながら、ニューストンネット (網目 0.33mm) による採集では最大径 1mm より小型の MP の採集数が少ないことが指摘され、その所在が海洋中の MP 動態を知る上で問題とされていた。そのひとつの要因として考えられる、MP が網目を抜ける特性、いわゆる網目選択性が明らかでなかった。

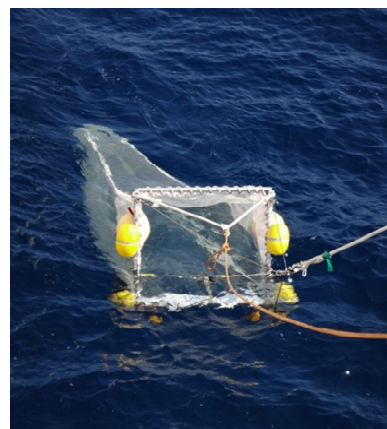


図1 曳網されるニューストンネット。
網口の上半分は海表面上に出ている。

(2) このニューストンネットの採集結果から MP の密度推定に大きく影響する濾水量は、慣例的に係数を乗じて推定されたりしてきており、不明な点があった。特に、ニューストンネットでは、網口半分を海面上に露出しながら曳網されることから、網全体が水没するネットとは網口付近や網内の流速分布や圧力分布は大きく異なるものと考えられるが、濾水効率を求めるために必要なこれら流れの研究結果がなかった。

(3) MP 採集にはニューストンネットとともにマンタネットも用いられており、MP 採集データを総合的に用いて全球的な MP 分布を解明するためにも、これらネットの採集性能を明らかにする必要があった。

2. 研究の目的

本研究では、ニューストンネットの MP に対する網目選択性を明らかにして、目合 (網目の大きさ) に対してどのようなサイズの MP が網目を抜けて採集できていないのかを明らかにするとともに、MP のサイズ組成の補正方法を提示する。また、水面を曳網される状態におけるニューストンネット周りの流速分布特性を、回流水槽において流れの可視化を行い、その結果から濾水効率などの特性を明らかにする。特に、網口に装着される濾水計から求めた濾水量の有効性を検討する。さらに、海上でのニューストンネットの曳網実験を行い、曳網時における網口の姿勢を記録して、網抵抗との関係を検討するとともに、ニューストンネットとマンタネットの同時並行操業を行い、その採集性能の違いを明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 海上でのニューストンネット曳網実験では、標準的に用いられている 0.33mm 目合のニューストンネットに対して、0.2mm あるいは 0.1mm のニューストンネットを対照実験として、二つのニューストンネットを同時に曳網する比較操業実験を行う。これで得られたマイクロプラスチック採集物のサイズを比較することで、0.33mm 目合のニューストンネットによるマイクロプラスチックに対する選択性曲線パラメータを求める。さらに、得られた MP に対する網目選択性をもとに、ブートストラップ法とモンテカルロシミュレーションを組み合わせ、採集物のサイズ組成から海中に存在した MP のサイズ組成を推定する方法を提案する。

(3) 海上での曳網実験時に、曳網中のニューストンネットの網口の傾きや挙動をビデオカメラや傾斜計を用いて計測する。マンタネットについてもニューストンネットを同時並行に曳網する比較実験を行い、その特性を把握する。

(4) 回流水槽でのニューストンネット周りの流れの可視化実験では、実物のニューストンネットを回流水槽内に入れて、MP 粒子の挙動を模倣可能な粒子画像流速計測法 (Particle Image Velocimetry, PIV) 法にレーザースクリーン法を組み合わせ、網内外の流速分布を明らかにする。この積分値としての濾水量と MP 粒子の採取量から採集効率を求め、同時に設置した濾水計の数値から適正な採集量を求める計算式を推定する。

4. 研究成果

(1) 目合の異なるニューストンネットによるマイクロプラスチック MPs 比較実験のデータを解析した。海表面を漂う繊維状の MPs は太さと長さに相似形が保たれていないことを明らかに

して、その形状の特徴から破片状の MPs とは網目選択性が異なる結果を示唆した(文献)。また、得られた破片状の MPs の目合別のサイズ組成に対して SELECT 解析法を適用することで、世界で標準的に海洋中の MPs 採集に用いられている目合 0.33mm のニューストーンネットの網目選択性曲線のパラメータとその誤差を推定することができた(図 2)。これによって、目合 0.33mm では粒径 1mm 以下の MPs は網目を抜けている割合を粒径別に示し、得海中の MP サイズ組成推定の補正方法を提示した。また、0.33mm 目合 vs 0.2mm (あるいは 0.1mm)目の比較実験データの解析を進めて、より精度の高い破片状の MPs に対する網目選択性、並びに繊維状 MPs の選択性を求めるための解析を進めた。この結果は、海面を漂流するマイクロプラスチックの地球規模データベースの論文(文献)でも引用されるとともに、それに基づく補正や再評価につながっている(例えば、文献)。また、この成果に基づき、標準のニューストーンネットの網目を抜けるような、より微細なマイクロプラスチックを採集するため、2重袋網のニューストーンネット開発し、目合 0.65mm のネットで粒径 1mm より微細なマイクロプラスチックが大量に海面を漂っていることを明らかにした(図 3、文献)。

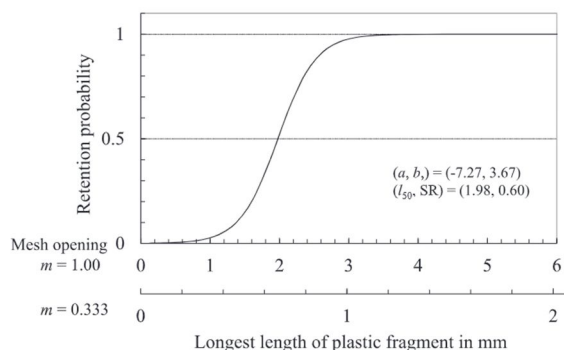


図 2 マイクロプラスチックの最大 Feret 径に対する網目保持確率 (Tokai et al. 2021 文献 より)

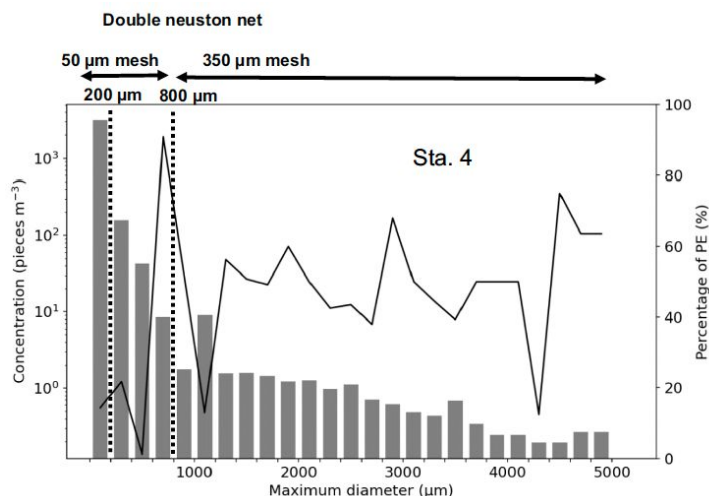


図 3 350 μm と 50mm の 2 重袋網のニューストーンネットによって採集されたマイクロプラスチックの粒径組成 (Xu et al. 2022 文献 より)

(2) 0.35mm 目合と 0.2mm (あるいは 0.1mm)目合のニューストーンネットによる MPs 採集の比較実験データの解析から、破片状 MP と繊維状 MP の網目選択性曲線を推定した。また、MPs の選択性に及ぼす破片状 MPs の最大 Feret 径と最小 Feret 径、繊維状 MPs の長さとおさの影響を検討した。破片状の MPs が網目を抜けるかどうかは MPs の最小 Ferer 径が、また網目の保持には MPs の最大 Ferer 径が重要な要因であった。一方、繊維状 MPs の網目選択性には MPs の太さが重要であるものの、網目よりも十分に細くても長いものは網目に保持され、長い繊維状 MPs が細かい場合には網目を抜けて、採集量が過小評価となることを明らかにした。これらの結果は、洗濯で生じる繊維片 MPs のネット採集(文献)にも応用される。

(3) ニューストーンネット周りの流れの可視化については、回流水槽実験において PIV (Particle Image Velocimetry, 粒子画像流速計測手法)を用いて、ネットの網口周辺での流れの可視化を行い、表層曳網時と中層曳網時について、流速別に網内に流れ込む水量を計測して、流速別の濾水率を推定した。表層での濾水率は中層時よりも高く(85%以上)流速の増加に伴い低下した。この値は慣例的に想定されてきた値よりも高く、ニューストーンネットの濾水量のより適切な補正式を提示した。また、網口に装着した濾水計で算出した濾水量は密度の推定に十分な精度を持つことが分かった。

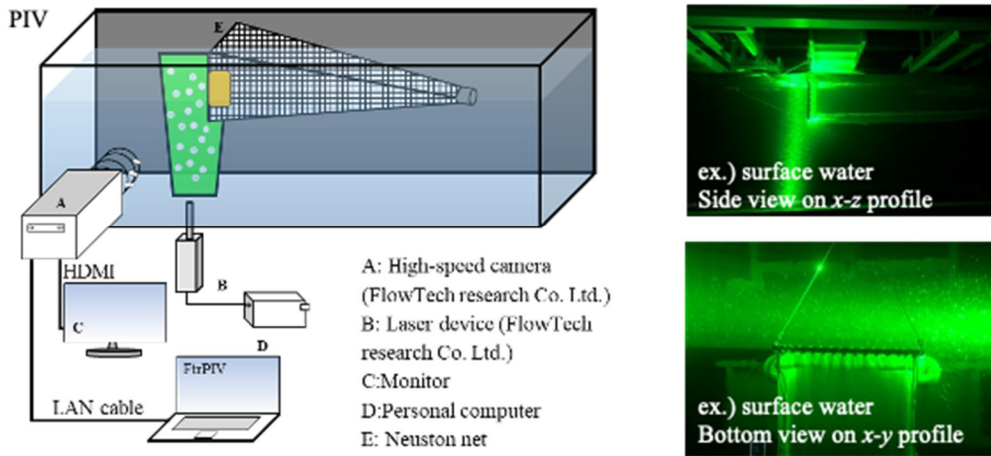


図4 PIVを用いたニューストンネットの網口周りの流れの可視化

(4) ニューストンネットの濾水性能と海表面における曳網動態のシミュレーションの基礎資料を得るため、ニューストンネットに用いられる平面網地について、流れに直角と平行に置いた場合の抗力を、また流れに傾けて置いた場合の抗力と揚力を計測し、網目係数や流れに対する迎角と抗力係数および揚力係数の関係を求めた（文献）。ニューストンネットに用いられている無結節モジ網について、平面網地を流れに直角と平行に、およびある角度（迎角）をつけて配置した場合の抗力と揚力を計測し、網目係数や流速別に迎角に対する流体力係数（抗力係数と揚力係数）を計測し、流体力学モデルから新たにこうした無結節モジ網の流体特性を示す経験式を得た。これはニューストンネットなどの採集具設計のための数値計算の基礎となる。

(5) 海上での曳網実験によってニューストンネットの網内流速と網口深度の挙動を計測し、網内の流速が遅れてきた際に網深度が深くなる挙動を捉えることができた。目詰まりの起きない回流水槽内での計測から、網地が目詰まりすることで、網内に入る流量が減少するとともに網の抵抗が大きくなり、網深度が深くなる挙動を捉えることができた。この網内の流速の遅れが海上曳網中の目詰まりによる可能性とその問題点を指摘し、適正なネットの管理の必要性を指摘できた。

(6) マイクロプラスチック MPs 採集に世界中で標準的に用いられているニューストンネットとマントネットの同時曳網実験の結果から、両ネットで浸水深さが異なるものの、表層に浮いているPE、PP製のマイクロプラスチックについては曳網面積あたりの採集量で標準化することで、両ネットの採集性能が同等であることを明らかにした（図5、文献）。植物プランクトンなどによるネットの目詰まりが生じると、著しく濾水量が減少することを明らかにして、濾水計の装着の必要性を示すことができた。

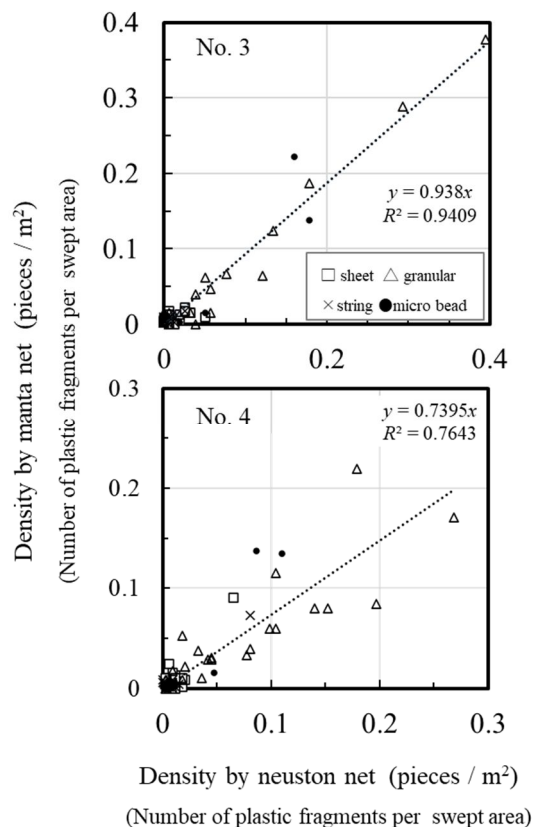


図5 ニューストンネットとマントネットで採集した形状別 MPs の密度の比較

< 引用文献 >

Tadashi Tokai, Keiichi Uchida, Mao Kuroda, Atsuhiko Isobe. Mesh selectivity of neuston nets for microplastics. Marine Pollution Bulletin, 165, 2021, 112111. DOI 10.1016/j.marpolbul.2021.112111

Atsuhiko Isobe, Takafumi Azuma, Muhammad Reza Cordova, Andrés Cózar, Francois Galgani, Ryuichi Hagita, La Daana Kanhai, Keiri Imai, Shinsuke Iwasaki, Shin'ichiro Kako, Nikolai Kozlovskii, Amy L. Lusher, Sherri A. Mason, Yutaka Michida, Takahisa Mituhasi, Yasuhiro Morii, Tohru Mukai, Anna Popova, Kenichi Shimizu, Tadashi Tokai, Keiichi Uchida, Mitsuharu Yagi, Weiwei Zhang. A multilevel dataset of microplastic abundance in the world's upper ocean and the Laurentian Great Lakes. *Micropl. and Nanopl.* 1, 2021, 16. DOI 10.1186/s43591-021-00013-z

Haruka Nakano, Keiichi Uchida, Tetsutaro Aikawa, Toshifumi Hayashi, Hisayuki Arakawa. Reevaluation of microplastics identification based on Neuston net survey data. *Marine Pollution Bulletin* 171, 2021, 112799. DOI 10.1016/j.marpolbul.2021.112799

Haodong Xu, Haruka Nakano, Tadashi Tokai, Tadashi Miyazaki, Hiroaki Hamada, Hisayuki Arakawa. Contamination of sea surface water offshore the Tokai region and Tokyo Bay in Japan by small microplastics. *Marine Pollution Bulletin*, 185, Part A, 2022, 114245. DOI 10.1016/j.marpolbul.2022.114245

秋田陽子, 後藤 純子, 東海 正. 洗濯機付属糸くずフィルターがマイクロプラスチックファイバーの流出を削減する効果. *繊維製品消費科学* 64, 2023, 197-206. DOI 10.11419/senshoshi.64.3_197

Gaobo Guo, Xinxing You, Fuxiang Hu, Ryo Yamazaki, Xin Zhuang, Qianli Wu, Gonghai Lan, Liuyi Huang. Hydrodynamic characteristics of fine-mesh minnow netting for sampling nets. *Ocean Engineering*. 281, 2023, 114738. DOI 10.1016/j.oceaneng.2023.114738

Keiichi Uchida, Mao Kuroda, Tadashi Tokai. Comparison of Microplastic Sampling Performance between a Neuston Net and a Manta Net. *Fisheries Engineering*, 59(1), 2022, 19-26. DOI 10.18903/fisheng.59.1_19

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Gaobo Guo, Xinxing You, Fuxiang Hu, Ryo Yamazaki, Xin Zhuang, Qianli Wu, Gonghai Lan, Liuyi Huang	4. 巻 281
2. 論文標題 Hydrodynamic characteristics of fine-mesh minnow netting for sampling nets	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Ocean Engineering	6. 最初と最後の頁 114738
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.oceaneng.2023.114738	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Haodong Xu, Haruka Nakano, Tadashi Tokai, Tadashi Miyazaki, Hiroaki Hamada, Hisayuki Arakawa	4. 巻 184
2. 論文標題 Contamination of sea surface water offshore the Tokai region and Tokyo Bay in Japan by small microplastics	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Marine Pollution Bulletin	6. 最初と最後の頁 114245
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.marpolbul.2022.114245	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 秋田陽子, 後藤 純子, 東海 正	4. 巻 64
2. 論文標題 洗濯機付属糸くずフィルターがマイクロプラスチックファイバーの流出を削減する効果	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 繊維製品消費科学	6. 最初と最後の頁 197-206
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11419/senshoshi.64.3_197	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 K. UCHIDA, M. KURODA, T. TOKAI	4. 巻 59
2. 論文標題 Comparison of Microplastic Sampling Performance between a Neuston Net and a Manta Net.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Fisheries Engineering	6. 最初と最後の頁 19-26
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18903/fisheng.59.1_19	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. TOKAI, K. UCHIDA, M. KURODA, A. ISOBE	4. 巻 165
2. 論文標題 Mesh selectivity of neuston nets for microplastics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Marine Pollution Bulletin	6. 最初と最後の頁 112111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.marpolbul.2021.112111	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8件(うち招待講演 1件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Tadashi TOKAI
2. 発表標題 Marine Plastic Pollution from Scientific Point of View-Research Result from Environment Research and Technology Development Fund,4-1502 & SII-2 I
3. 学会等名 International Forum for Sustainable Asia and the Pacific: ISAP 2022 Thematic Track Session 15 Expectations and Challenges for International Cooperation to Tackle Plastic Pollution (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 島田 響、塩出大輔、内田圭一、胡 夫祥、東海 正
2. 発表標題 ニューズトンネットの目が網口内部の流速と網口深度に及ぼす影響について
3. 学会等名 2023年度日本水産学会大会春季大会 2023年3月29日
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 島田 響、塩出 大輔、内田 圭一、胡 夫祥、東海 正
2. 発表標題 ニューズトンネット曳網時における網口内部の流速と網口深度について
3. 学会等名 2022年度日本水産工学会学術講演会、2022年6月11日、北海道大学(函館キャンパス)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山崎 涼・胡 夫祥・東海 正・塩出大輔・You Xinxing
2. 発表標題 海洋マイクロプラスチック採集用ニューストーンネットに用いられる網地の流体抵抗について
3. 学会等名 令和4年度日本水産学会春季大会、2022年3月28日、日本大学生物資源科学部（オンライン開催）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山崎 涼, 尤 金星, 胡 夫祥, 塩出 大輔, 東海 正
2. 発表標題 海洋マイクロプラスチック調査用採集具周りの流れの可視化と濾水率の推定
3. 学会等名 日本水産工学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黒田 真央、東海 正、内田 圭一、宮本 佳則
2. 発表標題 複数目合(0.350 mm、0.200 mm、0.100 mm)の比較曳網実験に基づいたマイクロプラスチックに対するニューストーンネットの網目選択性の推定
3. 学会等名 日本水産工学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黒田 真央、東海 正、内田 圭一、宮本 佳則
2. 発表標題 繊維状マイクロプラスチックに対するニューストーンネットの網目選択性
3. 学会等名 日本水産工学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 許 浩東、中野 知香、東海 正、荒川 久幸
2. 発表標題 ニューストンネットによる海表面の微細マイクロプラスチックの採取の試み
3. 学会等名 JpGU (日本地球惑星科学連合) 大会
4. 発表年 2021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	胡 夫祥 (Hu Fuxiang) (80293091)	東京海洋大学・学術研究院・教授 (12614)	
研究分担者	塩出 大輔 (Shiode Daisuke) (40361810)	東京海洋大学・学術研究院・准教授 (12614)	
研究分担者	内田 圭一 (Uchida Keiichi) (50313391)	東京海洋大学・学術研究院・教授 (12614)	
研究分担者	荒川 久幸 (Arakawa Hisayuki) (40242325)	東京海洋大学・学術研究院・教授 (12614)	

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
---------	---------