

平成 22 年 5 月 31 日現在

研究種目：基盤研究 (A)

研究期間：2007 ～2009

課題番号：19255014

研究課題名 (和文) 南大洋の環境変動と生態系変動

研究課題名 (英文) Studies on the Changes in Environment and Ecosystem
in the Antarctic Ocean

研究代表者

石丸 隆 (ISHIMARU TAKASHI)

東京海洋大学・海洋科学部・教授

研究者番号：90114371

研究成果の概要 (和文)：海鷹丸による、2 回の南大洋インド洋海区における学際的な研究航海を実施した。生物関係では、陸棚から外洋における魚類の分布組成、中・深層における魚類や動物プランクトンの分布、動物プランクトンの分布変動と南極周極流周辺に形成されるフロントの位置との関係等を明らかにした。物理学分野ではケープダニレー沖において新たな南極底層水形成海域を発見し、深層水の分布とその変動、形成機構等に関する知見を得た。

研究成果の概要 (英文)：Interdisciplinary oceanographic study was conducted at the Indian sector of the Antarctic Ocean. TRV Umitaka-Maru of the Tokyo University of Marine Science and Technology visited the area twice during the IPY (International Polar Year) 2007-2008. Community structures of surface (0-200m) and deep water (200-2000m) fish and zooplankton were studied at the area off Adelie Land and off Lützow-Holm Bay. Formation process of the Antarctic Bottom water was studied off Cape Darnley.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	13,100,000	3,930,000	17,030,000
2008 年度	10,100,000	3,030,000	13,130,000
2009 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
総計	24,700,000	7,410,000	32,110,000

研究分野：水産学一般

科研費の分科・細目：水産学・水産学一般

キーワード：①海洋科学 ②海洋生態 ③環境変動 ④極地 ⑤水産学

1. 研究開始当初の背景

(1) 南大洋研究の重要性

南大洋は、太平洋、大西洋、インド洋に直接つながるために、各海洋の影響を受けるが、同時に、南大洋における環境変化は各海洋へと伝播するため、地球環境の変動に対して重要な位置にあると言える。特に、南極大陸周辺はグ

リーンランド沖とともに深層水が形成される海域であるため、そこにおける変化は深層大循環を通じて全海洋に大きな影響を与え、気候や生態系に影響する。地球温暖化に影響する二酸化炭素の大気-海洋間の収支や雲核形成に関与する DMS(硫化ジメチル)の生成は、海洋生物の活動に密接に関与しており、一方、南大洋の

生態系は、海氷の発達に大きく影響されるため、気候変動を敏感に反映する。このように、地球規模の環境や生態系の変動と南大洋における変動とは強く関わっていることから、南大洋の環境変動と生態系変動の相互関係を解明し、長期間モニターすることは、極めて重要である。

南大洋には、主要栄養塩ではなく鉄が植物プランクトンの増殖を制限する HNLC (High Nutrient Low Chlorophyll) 海域が広く分布することが知られるようになった。HNLC 海域の分布は、各栄養塩の供給機構や供給速度の相異によって左右されるため、南極周極流の蛇行経路の変動や南極湧昇の強さに支配されると考えられる。これらは、10年弱の周期を持つ南極周極波と呼ばれる大規模な大気-海洋変動に関与しており、エルニーニョ現象との関連も考えられているが、現象を支配するメカニズムについての詳細は明らかではない。また、植物プランクトンの種組成や現存量は、成長を制限する栄養塩の種類（主に硝酸塩、珪酸塩、鉄）と量に左右されるため、HNLC 海域の広がり深く関わっている。表層の生態系においては、オキアミ、カイアシ類、サルバを中心とする群集のそれぞれが卓越する海域があり、これは、植物プランクトンの種組成に支配される。また低次生産構造の変化は、主としてオキアミを摂食するヒゲクジラ類、カニクイアザラシ、小型ペンギンなどに大きな影響を与えるとともに、下層への物質輸送の形態や量を変化させるため、中深層のプランクトン、魚類、イカ類を餌とする大型ペンギンやハクジラ類などに至る生態系にも影響を及ぼすと考えられる。

(2) インド洋セクターにおける研究

南大洋における環境や生態系は、周極的に均一であると考えられてきたが、近年、海域による差が大きいことが次第に明らかになってきている。しかし、観測海域は接近が容易な南極半島付近に限られる傾向があった。また南極半島付近は、オキアミ資源が豊富であることから生物学的（水産学的）な研究も集中している。これに対しインド洋セクターは、先進国からの距離が遠いこともあり研究例が極めて少ないのが実情であるが、申請者らは1995年度に海鷹丸がウィルクスランド沖で採集したプランクトン試料と、オーロラ・オーストラリスが同海域で1ヵ月半後に採集した試料を用いてサルバの動態に関する共同研究 (Chiba et al. 1999) を行い、これを契機として、オーストラリア南極局との緊密な関係を保っている。また、国立極地研究所とは研究協力協定を持ち、相補的に研究を進めている。例えばしらせの航海途上に採集された表層プランクトンのルーチンサンプルに関しては、本学で解析を行っている。2004、2005年度には笠松などの極地研関係者が海鷹丸に乗船して二酸化炭素やガス成分を測定し、昭和基地

沖・基地観測と並行してエアロゾル粒子の形成過程や分布に関する研究、海鳥類、大型哺乳類の動態と海氷との関係等に関して研究を行った。また、北大低温研の若土、青木らは、長島（海洋大名誉教授、本応募では吉田、北出が後継）と深層水形成や海氷の形成に関する共同研究を進めて来た。深層循環に関しては、Bindoffら(2000)が発見したアデリーランド沖で形成される深層水の流量の見積もりや循環経路の確定が重要課題であり、14年度航海では、ケルゲレン海台における流量が海底付近までのLADCP（垂下式音響ドブラー流速計）観測によって見積もられた (Narumiら2005)。16年度航海では、アデリーランド沖において同様の観測が行われ、流量がBindoffらの見積もりより著しく小さいことが分かり、また、大陸斜面を東に向かう流れの他に、一部は反転して沖合に向かうことなどが明らかになり、深層水の流れが時間的にも空間的にも一定していないことが分かった。近年のこのような研究成果は、本海域における継続的な観測の重要性を示すものである。

(3) 国際極年と南大洋研究の動向

わが国の南極観測は国際地球観測年 (IGY, 1957/58) にあわせて開始され、H19 年度 (2007/2008 年) は50年目であり、第4回国際極年 (IPY2007-2008) にあたる。国際協力による研究が求められる。本研究では Census of Marine Life (CoML, 海洋生物の過去・現状を把握し将来を予測する計画) のうち、CAML (Census of Antarctic Marine Life) に参画する。特に、H19 年度には、アデリーランド沖において、日豪仏の共同による CEAMARC (Collaborative East Antarctic Marine Census) を実施する。

2. 研究の目的

南大洋とくにインド洋セクターの海洋構造、栄養塩供給機構、表層の低次生産構造、中深層生態系やそれらの変動に関する情報を把握することは極めて重要であり、申請者らは各機関と共同研究を行っているが、研究は端緒に付いたばかりである。本研究では、インド洋セクターの東側 (昭和基地沖) と西側 (アデリーランド沖) の2つの海域を主な対象として、海鷹丸により、学際的、国際的な研究を行うことにより、以下の点を解明することを目的とする。

- a) 表層循環とその時空間的変動
- b) 深層水の形成過程および深層循環とその時空間的変動
- c) 主要栄養塩の分布とその時空間的変動
- d) 溶存態二酸化炭素の分布と DMS (P) 等のエアロゾル関連物質の形成機構
- e) 基礎生産と植物プランクトン組成の時空間的変動
- f) 表層動物プランクトン群集および中深層生物群集の動態

3. 研究の方法

(1) 航海の概要

2007/2008 (H19年度) と 2008/2009 (H20年度) の2次にわたり、練習船「海鷹丸」遠洋航海の途上で南大洋インド洋セクター沖における研究航海を実施した(図1)。

H19年度はケープタウンーフリーマントル間(レグⅠ:12月24日ー1月18日)の約1ヶ月は昭和基地沖とマックロバートソンランド沖を調査し、表層の生態系と物理・化学的環境との関係を明らかにし、中深層生物の組成や生物量を調べることを目的とした。引き続き実施したフリーマントルーホバート間(レグⅡ:1月23日ー2月17日)はアデリーランド沖(仏デュモンデュールビル基地)においてCAML(南極海生物多様性研究)の一環として日豪仏共同で、中深層性魚類の群集構造を明らかにするために調査を行った。

H20年度は2009年1月7日ー2月6日の約1ヶ月間、昭和基地沖においてオーロラ・オーストラリスとの連携により外洋域から氷

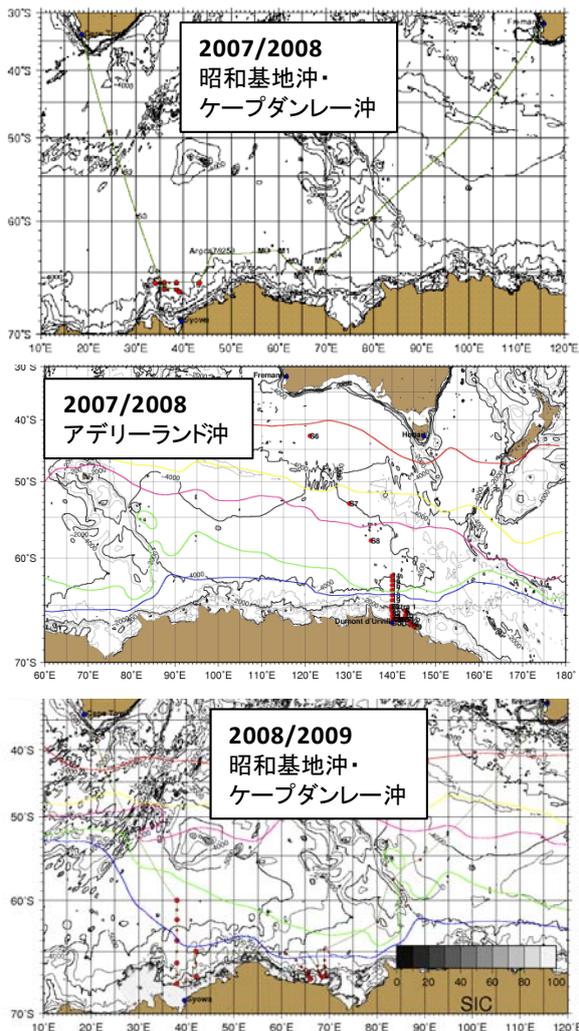


図1 観測点の位置図

縁・海水域での同時観測を行なった後に、ケープダンレー沖において深層水形成機構解明のための調査を行った。

(2) H19年度の研究概要

レグⅠでは、まず水塊特性・海洋構造を把握するため、ケープタウンから昭和基地沖へ至る航路上の3地点および海堆斜面域の10地点でXCTD観測を、ケルゲレン海台沖の14地点でXBT観測を実施し、過去の観測と合わせて海洋表層構造の経年的な変化を調査した。全航路において船底設置型ADCPによる流速観測を行い南極周極流の分布を調べるとともに、表層環境モニタリングシステム装置を用いて表面海水の水温、塩分、クロロフィルa濃度をモニターし、フロントの位置を把握する情報を得た。それらと同時に、大気-海洋間の二酸化炭素(CO₂)交換の時空間分布を把握するために、大気/海洋中CO₂濃度の測定を航行中に行った。停船観測では、陸棚および海堆の斜面域における境界混合や二重拡散対流による熱・塩フラックスの評価および深層水の水塊特性を把握する目的で、海底直上までのCTDとLADCPによる観測を実施し、乱流強度および混合効率を調べるため乱流微細構造プロファイラーによる観測を行った。また、南大洋における水中の光学的特性の違いは海色リモートセンシングによる各種パラメータの推定精度に大きく影響するため、海色衛星データを検証することを目的として水中光学観測や植物プランクトンの光合成の特性を調査する観測を実施した。各観測点では、適宜、海水を採取し各センサーの校正を行うとともに、DMS・栄養塩・クロロフィル濃度や、植物プランクトンやバクテリアの現存量を計数するサンプルを採取した。また、動物プランクトンの生物量および種組成を評価する目的で小型種についてはNORPACネットを、大型動物プランクトンおよび仔稚魚については表層(0m)から中深層(2000m)でRMTネットを曳網した。また、計量魚群探知機を使用してナンキョクオキアミの分布特性に関する調査を行い、曳航型の連続プランクトン採集器を用いて広範囲にわたる動物プランクトン水平分布を調査するための生物採集を行った。

レグⅡでは、南大洋の稚仔魚相を把握する目的で、日豪仏の動物プランクトン・魚類研究者がRMTネットや中層トロールを用いてサンプルを採集した。

(3) H20年度の研究概要

概ねH19年度の観測と同様であるが、大気中および表面海水のDMS濃度を測定し、大気海洋間のアンモニアのやりとりを考察するため、海洋大気中のガス態および粒子態のアンモニア態窒素を測定した。そのほかに、北大低温研の大島らが、ポリニヤにおける海水生産に起因する南極底層水を捉えるために、2008年2月に白鳳丸にて設置した係留系4基

を回収する作業を行った。

(4) H21年度の研究概要

前2年度の航海で得られた資料の分析、データの解析を進め学会発表、論文作成などに努めた。生物系では、7月26-31日に北海道大学でSCAR (Scientific Committee on Antarctic Research) の第10回国際生物シンポジウムが開かれたため、これに合わせて多くの発表を行った。また、物理系の研究成果は、主に11月17-18日に国立極地研究所で開催された極域気水圏シンポジウムで発表した。

4. 研究成果

研究内容は極めて多岐にわたり、それぞれ成果を上げることができたが、ここでは特に重要な成果である、ケープダンレー沖の深層水形成と、アデリーランド沖のCEAMARCの結果について記す。

(1) ケープダンレー沖で観測された深層水の特性と海洋微細構造

近年、衛星データの解析からケープダンレー西方海域は大規模な南極底層水の形成域と考えられるようになったが、現場観測は極めて少なく、底層水の起源や形成過程は明らかではない。そのため、図2に示す3測点において水温、塩分、溶存酸素の海底に至るまでの観測を行った。その結果、図3に示すように、陸棚端には南極周極深層水 (MCDW) と陸棚水 (SW) の接するスロープフロントが形成され、陸棚斜面には海底に沿って低温・低塩 (図は省略) の水があり、周囲より高酸素であることから新しく沈み込んだ水であることが分かる。この水は浅い深度に分布しているが、南極底層水 (AABW) より重く、南大洋深部へと沈み込むポテンシャルを持つことが明らかとなった。この結果は、夏季においてもなおこの場所で AABW の形成と沈み込みが起こっていることを示唆する。

一方、AABW の形成には、MCDW と SW の混合が重要なプロセスであるため、TuroMAP を用いた観測を集中的に行い、乱流場の特徴を調べた。この結果、海底境界近傍で強い乱流混合が起きていることが明らかとなった。

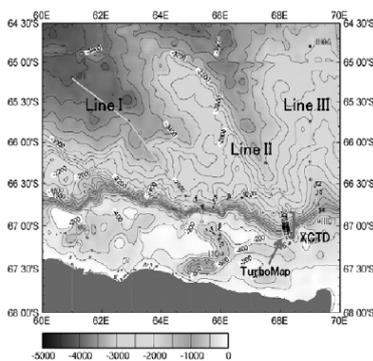


図2 ケープダンレー沖の観測点

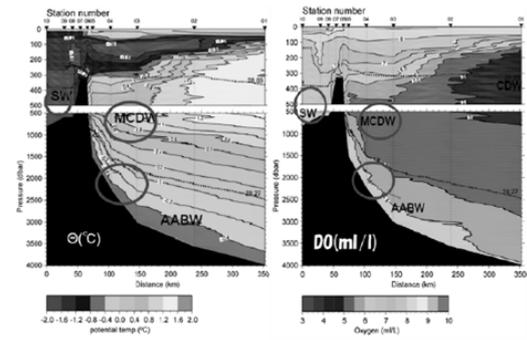
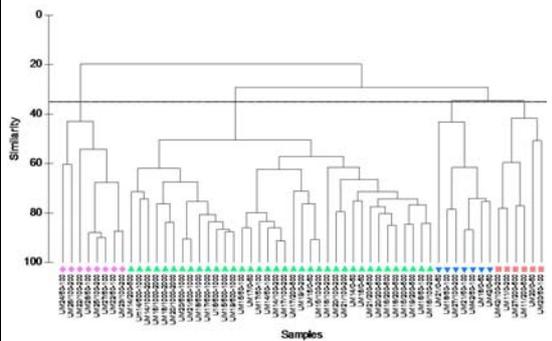


図3 Line I で観測されたポテンシャル水温 (左) と溶存酸素 (右) の鉛直断面

(2) CEAMARC プロジェクトの成果

平成19年度には、海鷹丸とオーロラ・オーストラリスにより、アデリーランド沖の陸棚上から南緯62°の沖合域の間で多段開閉式ネット (RMT) や各種のトロールネットによる動物プランクトンと魚類の採集を行った。カイアシ類については RMT (4.5mm 目合) による試料を種まで同定・計数した。出現種数は32属62種であった。図4は海面から2000mまでの各層で採集した試料をカイアシ類群集組成の類似度からクラスター解析した結果である。群集は主に4つに分かれ、その分布は図5のようになった。オキアミ類、クラゲ類に関しても同様に種までの同定計数を行って比較した結果、それぞれ特徴的な分布様式を示すことが明らかとなった。



	UM24	UM25	UM26	UM27	UM11
0-50	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue
50-100	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue
100-200	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue
200-500	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue
500-1000	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue
1000-2000	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue

	UM24	UM25	UM26	UM27	UM11
0-50	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue
50-100	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue
100-200	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue
200-500	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue
500-1000	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue
1000-2000	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue

a
b
c
d

図5 異なる組成を持つカイアシ類群集の分布

魚類に関しては、両船で得られた試料を全て分類し比較した。オーロラ・オーストラリスでは主に、大陸棚上の底生魚を採集し、海鷹丸では表層から深層までの遊泳魚を採集

したため、両船で同時に採集された種は27種のみで、全体では91種類を数えた(図6上)。

全体に対して、各科の占める割合は図6下のようになり、ノトセニア亜目 Notothenioidae (以下の4つの科を含む Artedidraconidae, Bathydraconidae, Channichthyidae, Nototheniidae) に属する種が全体の51%と最も高い多様性を示した。

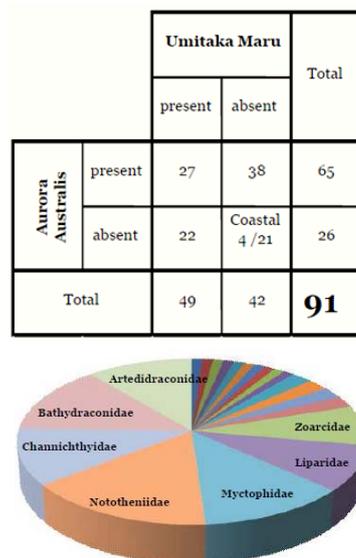


図6 海鷹丸とオーロラオーストラリスで得られた、魚類の種類(上)と組成(下) 以上のように、アデリーランド沖における魚類および動物プランクトンの生物多様性を国際共同研究により明らかにすることができたことは、大きな成果と言える。

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 Koubbi, P., C. Ozouf-Costaz, A. Goarant, M. Moteki, P.-A. Hulley, R. Causse, A. Dettai, G. Duhamel, P. Pruvost, E. Tavernier, A. Post, R. J. Beaman, S. Rintoul, T. Hirawake, D. Hirano, T. Ishimaru, M. Riddle, G. Hosie (in press): Estimating the biodiversity of the East Antarctic shelf and oceanic zone for ecoregionalisation: Example of the ichthyofauna of the CEAMARC (Collaborative East Antarctic Marine Census) CAML surveys. Polar Sci. 査読有
- ② Toda, R., M. Moteki, A. Ono, N. Horimoto, Y. Tanaka, T. Ishimaru (in press): Structure of the pelagic

cnidarian community in Lützw-Holm Bay in the Indian sector of the Southern Ocean. Polar Sci. 査読有

- ③ Hirano, D., Y. Kitade, H. Nagashima and M. Matsuyama (2010): Characteristics of Observed Turbulent Mixing across the Antarctic Slope Front at 140° E, East Antarctica. J. Oceanogr. 66, 95-104, 査読有
- ④ Moteki, M., N. Horimoto, R. Nagaiwa, K. Amakasu, T. Ishimaru and Y. Yamaguchi (2009): Pelagic fish distribution and ontogenetic vertical migration in common mesopelagic species off Lutzow-Holm Bay (Indian Ocean sector, Southern Ocean) during austral summer., Polar Biol., 32, 1461-1472, 査読有
- ⑤ Moteki, M. and T. Ishimaru (2008): Development of feeding and swimming functions in the larvae of *Chinodraco rastrospinosus* (Channichthyidae). Cybium, 32, 247-252. 査読有
- ⑥ Hashihama, F., T. Hirawake, S. Kudoh, J. Kanda, K. Furuya, Y. Yamaguchi and T. Ishimaru (2008): Size fraction and class composition of phytoplankton in the Antarctic marginal ice zone along the 140° E meridian during February-March 2003. Polar Sci., 2, 109-120. 査読有
- ⑦ M. Moteki, P. Koubbi, P. Pruvost and E. Tavernier (2008): Larvae and juveniles of the plunderfishes *Artedidraco shackletoni* and *A. skottsbergi* (Notothenioidae, Artedidraconidae) from the Indian sector of the Southern Ocean. Polar Biol., 32, 123-128. 査読有

[学会発表] (計29件)

- ① 北出裕二郎、ケープダンレー沖で観測された南極底層水の特性と分布、2010年日本海洋学会春季大会、2010年3月26-30日、東京海洋大学(東京)
- ② 北出裕二郎、海鷹丸によりダンレー沖で観測された深底層水の特性と海洋微細構造、第32回極域気水圏シンポジウム、2009年11月17-18日、国立極地研究所(東京)
- ③ Horimoto, N., Community structure of phytoplankton off Lützw-Holm Bay (Indian Ocean sector, Southern Ocean) in 2005 and 2006., Xth SCAR International Biology Symposium, 2009年7月26-31日、北海道大学(北海道)
- ④ Hirawake, T., Discrimination of

phytoplankton functional type using spectral shape of optical properties in the Southern Ocean., Xth SCAR International Biology Symposium, 2009年7月26-31日, 北海道大学(北海道)

- ⑤ Kanda, J., Vertical distributions of nitrogenous nutrients in surface waters of continental-shelf/slope regions off the Antarctica., Xth SCAR International Biology Symposium, 2009年7月26-31日, 北海道大学(北海道)
- ⑥ Moteki, M., Preliminary study of the vertical distribution of common mesopelagic fish species off Lützow-Holm Bay (Indian Ocean sector, Southern Ocean) during the midnight sun period., Xth SCAR International Biology Symposium, 2009年7月26-31日, 北海道大学(北海道)

[その他]

ホームページ等

○アウトリーチ活動

Census of Antarctic Marine Life

<http://www.caml.aq/voyages/umitaka-maru-200708/index.html>

○メタデータの公開

<http://biows.nipr.ac.jp/~plankton/> (アクセス制限付き)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石丸 隆 (ISHIMARU TAKASHI)

国立大学法人東京海洋大学・海洋科学部・教授

研究者番号: 90114371

(2) 研究分担者

山口 征矢 (YAMAGUCHI YUKUYA)

国立大学法人東京海洋大学・海洋科学部

研究者番号: 70114220

(H21: 定年退職のため、分担者から除外)

小池 義夫 (KOIKE YOSHIO)

国立大学法人東京海洋大学・海洋科学部・教授

研究者番号: 30017074

(H20: 定年退職のため、分担者から除外)

栗田 嘉宥 (KURITA YOSHIHIRO)

国立大学法人東京海洋大学・海洋科学部・教授

研究者番号: 80106757

(H20: 分担者に追加, H21: 定年退職のため、分担者から除外)

吉田 次郎 (YOSHIDA JIRO)

国立大学法人東京海洋大学・海洋科学部・教授

研究者番号: 30174931

神田 穰太 (KANDA JOTA)

国立大学法人東京海洋大学・海洋科学部・教授

研究者番号: 60202032

田中 祐志 (TANAKA YUJI)

国立大学法人東京海洋大学・海洋科学部・准教授

研究者番号: 90207150

土屋 光太郎 (TSUCHIYA KOTARO)

国立大学法人東京海洋大学・海洋科学部・准教授

研究者番号: 60251683

北出 裕二郎 (KITADE YUJIRO)

国立大学法人東京海洋大学・海洋科学部・准教授

研究者番号: 50281001

茂木 正人 (MOTEKI MASATO)

国立大学法人東京海洋大学・海洋科学部・准教授

研究者番号: 50330684

(H20のみ連携研究者)

堀本 奈穂 (HORIMOTO NAHO)

国立大学法人東京海洋大学・海洋科学部・助教

研究者番号: 90345405

平譚 享 (HIRAWAKE TORU)

国立大学法人北海道大学・その他の研究科・准教授

研究者番号: 70311165

(H20~: 連携研究者)

笠松 伸江 (KASAMATSU NOBUE)

大学共同利用機関法人情報・システム研究機構・国立極地研究所・助教

研究者番号: 90413921

(H20: 連携研究者, H21: 退職のため除外)