

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2022

課題番号：18K14515

研究課題名（和文）海洋中・深層における低次食物網構造の解明：細菌で結ぶマリンスノー食物網

研究課題名（英文）Elucidating lower food web structures in mesopelagic zone

研究代表者

佐野 雅美（Sano, Masayoshi）

東京大学・大気海洋研究所・特任研究員

研究者番号：00814732

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：南大洋における中・深層低次食物網構造の解明に向け、粒子の沈降過程を明らかにすること、各種沈降粒子の細菌叢・真核生物相の特徴を求め、動物プランクトンの摂餌する沈降粒子のタイプを明らかにすること、またその知見を長期のセジメントトラップ試料でも利用可能にする手法の確立を目的とした。粒子は表層から主に糞粒として沈降していた。細菌叢・真核生物相解析は食性解析で有用であり、凝集体等を摂食する指標となる可能性のある分類群や、また摂餌されないタイプの沈降粒子の存在も明らかとなった。またトラップで採集されにくい粒子が摂食されている可能性もあった。さらに長期トラップ試料の遺伝子解析のための固定保存法を確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、沈降粒子とこれを消費する動物プランクトンとの関係について、沈降粒子食性の指標や消費されない沈降粒子の存在を明らかにし、またセジメントトラップで動物プランクトンの消費する粒子を正確に捉えられているのか、という根本的な課題を提示することにも繋がった。鉛直的な炭素輸送における動物プランクトンの消費やリパッキングの影響を見直す必要にも繋がるため、今後の課題として取り組む必要がある。加えて今後の沈降粒子研究の発展を促進する手法も確立することができた。以上の知見は、今後海洋における物質循環像の理解の進展に繋がることが期待される。

研究成果の概要（英文）：For elucidating of lower food web structure in mesopelagic zone of Southern Ocean, the purpose of this study is to reveal sinking process of particles, features of bacterial and eukaryotic community structures of various types of sinking particles and types of sinking particles which zooplankton species feed on, and to establish a method which make it possible to apply the results to long-term sediment trap samples. The particles settled as mainly fecal pellets from the surface layer. It was suggested that usefulness of bacterial and eukaryotic community structure analyses for feeding analysis of zooplankton, candidate indicator bacteria of zooplankton feeding on aggregates and presence of a type of sinking particle which zooplankton did not feed on. It was also suggested that zooplankton fed on sinking particles which are difficult to collect by sediment traps. Additionally, we established a preservation method for molecular analysis of long-term sediment trap samples.

研究分野：生物海洋学、海洋プランクトン学

キーワード：南大洋 沈降粒子 動物プランクトン 糞粒 バクテリア

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

マリンスノー(沈降粒子)とは植物プランクトンの凝集体、生物遺骸や糞粒など沈降する様々な粒子の総称で、その生成過程によりサイズ、形状、組成、化学的性質などは多様である。光合成による一次生産の無いおよそ水深 200 m 以深の海洋中・深層において、表層から供給される沈降粒子は動物プランクトン等の重要な餌資源であり、中・深層の生態系を支えている。中・深層生態系は魚類・大型動物等様々な高次捕食者の摂餌場となるなど表層生態系とも密接に関係し、生態系全体でも重要な役割を果たしている。気候変動等に対する感受性が極めて高いとされ、その生態系構造の理解が急務となっている南大洋でもオキアミ類やハダカイワシ類など中・深層環境と密接な関係のある生物が生態系の鍵となっている。そのためこれを支える中・深層低次食物網構造の解明は同海域の生態系構造を理解する上で重要である。また沈降粒子は炭素を表層から深層へ輸送する役割を果たすため、鉛直的な炭素輸送を理解する上でもその分解・減耗過程を明らかにする必要がある。しかし、沈降粒子と動物プランクトンの関係についての知見は未だ不足している。過去、沈降粒子が動物プランクトンに無選択に利用される単純な食物網が考えられていたが、近年動物プランクトンによる沈降粒子の選択的な利用、例えば植物プランクトン由来の沈降粒子の専食や甲殻類遺骸で構成される沈降粒子の利用など様々な沈降粒子を中心とした多様な食物網の存在が明らかとなってきた(Sano et al. 2013, 2015)。しかし様々な変質・分解過程を経て形成される沈降粒子と捕食者の消化管内容物の性状を定量的に把握することは従来の形態学的、生化学的手法のみでは困難なことや、凝集体などの沈降粒子は脆弱で採集時に多くが崩壊し非破壊的な採集が困難であることなどが障碍となり、明らかとなっているのは未だその一端に過ぎない。中・深層の低次食物網構造や有機物の沈降過程を理解するためには、これらの問題を解決し、沈降粒子を中心とした食物網がどのような構造か明らかにする必要がある。

2. 研究の目的

ゲルセジメントラップを製作・導入することで、沈降粒子を非破壊的に採集する。これにより南大洋における粒子の沈降過程や、また沈降粒子各種の細菌叢・真核生物相の特徴を遺伝子解析などにより明らかにする。また沈降粒子食性の動物プランクトン各種についても懸濁粒子者と比較しつつ消化管内容物の細菌叢・真核生物相の特徴を明らかにする。これらを比較することで、動物プランクトン各種が摂餌する沈降粒子のタイプ、もしくは摂餌しないタイプの沈降粒子を明らかにすることを試みる。また南大洋は海氷の発達などの要因で観測時期が限定されるため、長期係留されるセジメントラップの情報が重要となるが、本研究で得られる知見を応用できるよう、遺伝子解析を可能にする手法の開発を行う。

3. 研究の方法

(1)ゲルセジメントラップの導入および現場観測による試料採集

ゲルセジメントラップを製作・導入した(図1)。凝集体等の脆弱な粒子を非破壊的に採集するため、トラップ筒底部のカップ内に沈降粒子を埋没させるためのゲルを添加するが、採集・回収時の傾斜によりゲルが流動すると埋没した粒子の崩壊に繋がる。これを防ぐため筒を常に垂直に保つ構造にした。日本近海でのテストで良好な結果が得られたため、平成 30 年度の海鷹丸による南極航海で、漂流系による季節海水域での観測を行った。トラップは深度 50, 200, 500 m に設置し、約 24 時間漂流後、回収した。船上でカ



図1. ゲルセジメントラップ

ップ内の沈降粒子を撮影後、凍結保存して持ち帰った。また比較のため、トラップと同深度の海水をフィルターに濾過し、持ち帰った。また各種ネット観測により動物プランクトンを採集し、凍結および固定保存したものを持ち帰った。

(2)ゲルセジメントラップ試料の画像解析

船上で撮影した沈降粒子の画像解析を行った。沈降粒子を形状に基づき凝集体、円柱状糞粒、楕円状糞粒、植物プランクトン、分解過程糞粒、その他にタイプ分けし、解析面を画像処理ソフト ImageJ 上で二値化した後、各粒子の投影面積から、球相当径を求め、体積を算出した。円柱状糞粒については面積と周長から長さ半径を算出し体積に換算した。求められた体積に基づき、González and Smetacek (1994) および Alldredge (1998) の式に基づき炭素量に換算し、各種粒子の有機炭素粒子束における寄与率を求めた。

(3)沈降粒子・動物プランクトン消化管内容物の細菌叢・真核生物相解析

(1)で持ち帰った試料を用い、懸濁粒子、沈降粒子各種および動物プランクトン各種の消化管内容物の細菌叢・真核生物相の解析を行った。ゲルセジメントラップ試料から(2)で区分した各種沈降粒子を実体顕微鏡下で1粒子ずつピックアップし、それぞれから DNA を抽出した。また消化管内容物の認められた主な動物プランクトン種 *Calanus propinquus*, *Rhincalanus gigas*, *Limacina* sp., *Euphausia triacantha*, *Pleuromamma robusta*, *Gaetanus tenuispinus*, *Euchirella rostromagna*, *Scaphocalanus affinis*, *Racovitzanus antarcticus* から消化管内容物を取り出し、DNA を抽出した。抽出した DNA を鋳型に 16S rRNA V3-4 領域、18S rRNA V9 領域を PCR 増幅し、Miseq によるアンプリコンシーケンスを行ない、細菌叢および真核生物相の解析を行った。さらに固定試料の検鏡を行い動物プランクトンの鉛直分布を求めた。また比較のため、日本近海で採集し凍結保存していた *Pleuromamma xiphius*, *Spinocalanus magnus*, *Scottocalanus securifrons* の消化管内容物について同様に細菌叢の解析を行った。

また近年、南大洋季節海水域の海水融解期の沈降フラックス中において、摂食により糞粒状に巨大化し沈降する *Gyrodinium* 属の渦鞭毛虫が高い割合を占めることが明らかとなってきている (Matsuda et al. in prep)。しかし動物プランクトンがこれを摂食しているのかは明らかとなっておらず、もし摂食されない場合は、深層への有機物輸送を促進していることになる。そこで上記の真核生物相のデータについて *Gyrodinium* に着目した解析を行った。

(4)遺伝子解析に適した沈降粒子の現場固定法の開発

本研究で用いるように、遺伝子解析は沈降粒子試料からこれまで得られなかった様々な情報が得られる有用な手法であるが、セジメントラップにより採集される沈降粒子試料は、通常回収までの分解を避ける目的でホルマリンなどの固定液をトラップの採集容器内に充填して採集を行うため、遺伝子解析の上では適していない。本研究では短期の観測のため固定液を用いなかったが、今後本研究の知見を踏まえ、研究を展開する上では、固定が必要となる長期的な採集試料に基づく解析も必要である。そこで、従来の化学分析などの目的を損なわず遺伝子解析にも適した固定保存液を検討した。ネットにより採集した動物プランクトン試料を検討に用い、採集後速やかに各種固定保存方法で処理し、長期間保存した後に、試料から抽出した DNA の状態などについて比較した。



4 . 研究成果

(1)粒子の沈降過程

ゲルセジメントラップにより採集された沈降粒子(図2)

図2. ゲルセジメントラップにより採集された沈降粒子

の画像解析を行った結果、有機炭素粒子束における各種粒子の寄与率は 50m においては円柱状糞粒が 55%を占めており、分解過程糞粒と合わせると 68%と糞粒の関与する粒子の割合が大きく、凝集体の寄与は 27%程度だった。200m では円柱状糞粒の寄与率は 20%まで減少した一方、分解過程糞粒と凝集体はそれぞれ28%、45%と50mより増加していた。500mでは円柱状糞粒の寄与率は更に10%まで減少し、分解過程糞粒も 8%に減少した。一方で凝集体は 80%と大きな割合を占めていた。また、植物プランクトン、楕円状糞粒、その他の寄与はいずれの深度でも 4%以下であった。したがって沈降速度の早い糞粒として速やかに表層から中層へ輸送された後、分解されより沈降速度の遅い凝集体に変化したことが推測された。また、動物プランクトンの鉛直分布と体サイズ、また遺伝子解析の結果から、50m における大型の円柱状糞粒の排出者は *Limacina* sp.と考えられた。アラゴナイトの殻を持つ *Limacina* は今後海洋酸性化の影響が危惧されており、鉛直的な炭素輸送に与える影響を今後見積もる必要がある。

(2)沈降粒子・動物プランクトン消化管内容物の細菌叢・真核生物相解析

懸濁粒子、沈降粒子、動物プランクトン消化管内容物の細菌叢・真核生物相を解析した。ゲルや抽出試薬によるバックグラウンドの影響を除去するため、試料と同一条件のゲルについても同様の解析を行い、検出された分類群をコンタミネーションによるものとして除去した。沈降粒子・懸濁粒子については各層で LEfSe (Linear discriminant analysis effect size) 解析による粒子タイプ間の比較を行ったところ、それぞれ特徴的な分類群が検出された (図3)。真核生物相については深度間での違いも明瞭であった。一方、動物プランクトン消化管内容物については Unifrac 解析を行ったところ (図4)、種間で有意に

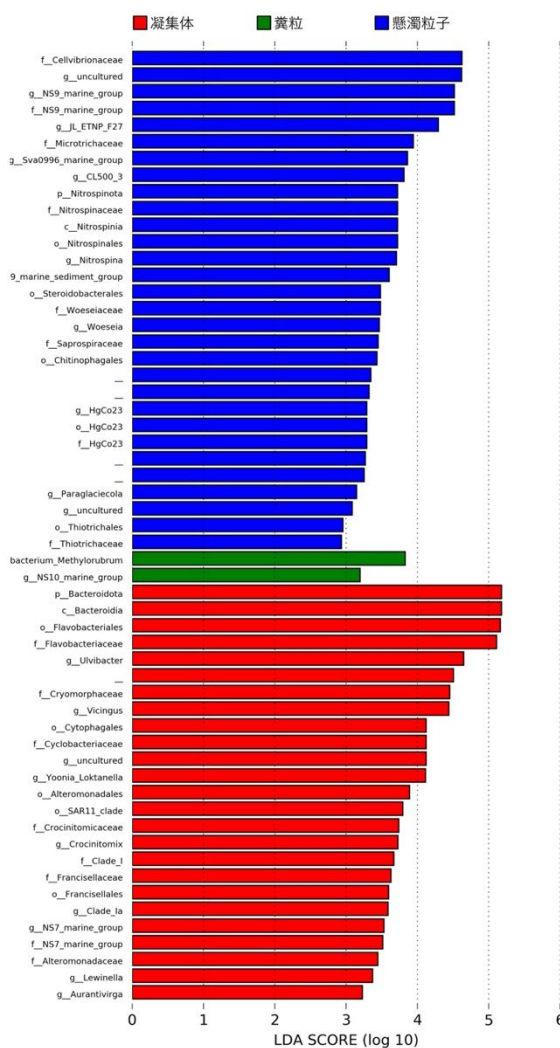


図3. 深度200mの懸濁粒子・沈降粒子各種で特徴的な分類群 (LEfSe解析)

細菌叢は異なっていた (PERMANOVA, FDR $q < 0.05$)。しかし沈降粒子各種で特徴的な細菌は、動物プランクトン側ではほぼ検出されないものも多く、またその逆の場合も見られた。凝集体や糞粒で高い割合を占めていた *Polaribacter* については、甲殻類殻が主要な消化管内容物であった *E. triacantha*, *S. affinis* を除く沈降粒子食性種の消化管内容物でも高い割合を占めていた。そのため、凝集体等を摂食する指標となる可能性があった。また、主に甲殻類殻などの沈降粒子を摂食する種は確認されたが、ゲルトラップでは該当する粒子が採集されていなかった。動物プランクトンがトラップに採集されにくい、沈

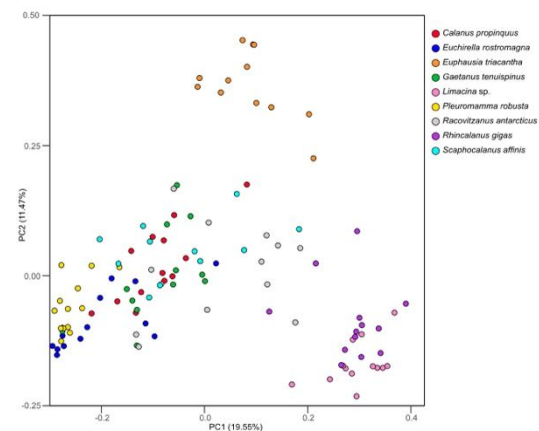


図4. 動物プランクトン消化管内容物細菌叢のunweighted UniFrac距離に基づく種間での比較

降速度の遅い粒子を摂食している可能性も考えられ、その場合トラップ観測では動物プランクトンが消費する粒子を十分に捉えられないことになる。鉛直的な炭素輸送における動物プランクトンの消費およびリパッキングの影響を見直す必要にも繋がるため、今後この点についてさらに着目する必要があると考えられた。また懸濁粒子食者と考えられていた *C. propinquus* の細菌叢および真核生物相は、*Limacina* sp. や *R. gigas* などの他の懸濁粒子食者よりも沈降粒子食者に類似しており、表層で沈降粒子食を行っていることが示唆された。

さらに比較のため日本近海(相模湾)の中層から採集した沈降粒子食性種の消化管内容物の細菌叢解析を行なったところ、発光性細菌が付着するとされる甲殻類殻などの沈降粒子を主に摂食する種(*S. securifrons*)では、発光性種を含む *Photobacterium* および *Vibrio* 属が平均 23.1%と高い割合を示した。一方南大洋では、沈降粒子中および甲殻類殻が主な消化管内容物であった沈降粒子食性種から、それらは殆ど検出されなかった。海域間での違いにも今後着目する必要がある。

結論として、動物プランクトンの沈降粒子食・懸濁粒子食の判別および種間での食性の類似性を明らかにする上で細菌叢解析は有用と考えられた。動物プランクトンの摂食する沈降粒子については、指標となりうる分類群は検出されたものの、動物プランクトンが摂食する沈降粒子をセジメントトラップで十分に採集できているのかという根本的な課題を含めた検討が今後必要であると思われる。

(3)沈降する糞粒様渦鞭毛虫の被食

沈降粒子、動物プランクトン消化管内容物の真核生物相について *Gyrodinium* に着目した解析を行った結果、深度 50m の沈降粒子では *Gyrodinium* 由来の配列が真核生物群集の内平均 4.4%を占め、200m では減少し 1.6%であった。一方で動物プランクトンの消化管内からはいずれの種からも全く検出されなかった。*Gyrodinium* が潜在的餌料として環境中にあっても動物プランクトンの消化管内から検出されない例もあり(Rays et al. 2016)、本研究でも摂食されていないことが考えられた。これは *Gyrodinium* が沈降過程で動物プランクトンからの被食を受けず、50-200 m の間で糞粒を排出後表層へ回帰し、効率的に下層への有機物輸送を行っていることを示唆し、鉛直的な炭素輸送を見積もる上で新規かつ重要な知見と考えられた。

(4)遺伝子解析に適した沈降粒子の現場固定法の開発:

セジメントトラップで採集される沈降粒子試料の遺伝子解析目的に適した現場固定法の検討の結果、10%中性ルゴール液で固定保存することで、DNA の断片化を防ぎ、凍結保存と同等以上に試料からの抽出 DNA 量が得られることが明らかとなり(図5)、その長期保存における有効性が示された。また検鏡や安定同位体分析にも有効であった。これにより、長期的なトラップ観測により採集した沈降粒子試料でも遺伝子解析が可能となった。本手法は既に南大洋における長期係留型セジメントトラップ観測に適用され、現在その遺伝子解析も進行しており、船舶観測が困難な冬季の海水下を含め、短期トラップでは得られなかった情報が得られることが今後期待される。また *Limnology and Oceanography: Methods* 誌に公表した成果は Top 10 most downloaded papers にもなっており、今後のセジメントトラップ観測に基づく沈降粒子の遺伝子解析研究を促進するものと思われる。

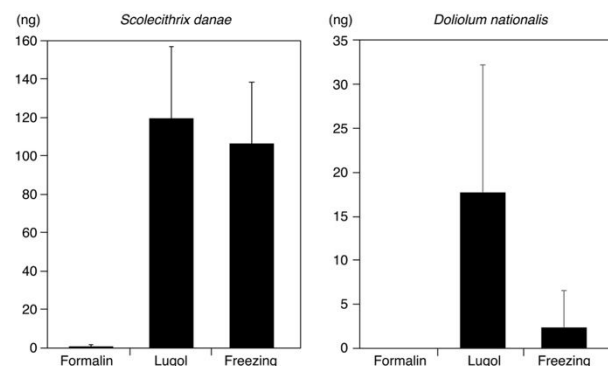


図5. 凍結保存、5%ホルマリン海水固定、10%中性ルゴール液固定により44ヶ月保存した動物プランクトン2種から抽出された1個体あたりのDNA量

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 Sano Masayoshi, Makabe Ryosuke, Kurosawa Norio, Moteki Masato, Odate Tsuneo	4. 巻 18
2. 論文標題 Effects of Lugol's iodine on long term preservation of marine plankton samples for molecular and stable carbon and nitrogen isotope analyses	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Limnology and Oceanography: Methods	6. 最初と最後の頁 635 ~ 643
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/lom3.10390	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 Sano Masayoshi, Makabe Ryosuke, Matsuda Ryo, Kurosawa Norio, Moteki Masato	4. 巻 17
2. 論文標題 Effectiveness of Lugol's iodine solution for long-term preservation of zooplankton samples for molecular analysis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Plankton and Benthos Research	6. 最初と最後の頁 349 ~ 357
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3800/pbr.17.349	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17件（うち招待講演 0件/うち国際学会 7件）

1. 発表者名 佐野雅美, 松田亮, 真壁竜介, 高尾信太郎, 黒沢則夫, 茂木正人
2. 発表標題 南大洋インド洋区における糞粒様渦鞭毛虫の働きについての一考察
3. 学会等名 日本海洋学会2022年度秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐野雅美, 真壁竜介, 木元克典, 松田亮, 黒沢則夫, 高橋邦夫, 川合美千代
2. 発表標題 セジメントトラップ観測に向けた新規固定液の検討 (1)
3. 学会等名 日本海洋学会2022年度秋季大会
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 Kurosawa, N., A. Kageswa, R. Makabe, S. Takao, M. Sano, K. Mizobata, M. Moteki, T. Odate
2 . 発表標題 Primary production and carbon export related to sub-surface chlorophyll maximum off Wilkes land during post bloom season
3 . 学会等名 JPGU2021
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Matsuda, R., J. Han, S. Okano, M. Sano, S. Takao, R. Makabe, M. Moteki, T. Odate, N. Kurosawa
2 . 発表標題 Contribution of Fecal pellet-like dinoflagellates to the carbon sequestration in the seasonal ice zone of the Southern Ocean
3 . 学会等名 JPGU2021
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Makabe, R., K.D. Takahashi, S. Takao, R. Matsuda, M. Sano, K. Mizobata, N. Kurosawa, M. Moteki, T. Odate
2 . 発表標題 Observation of pelagic system using a drifter off Wilkes land during sea ice melting season
3 . 学会等名 JPGU2021
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Sano, M., R. Makabe, N. Kurosawa, M. Moteki, T. Odate
2 . 発表標題 Molecular analysis of individual fecal pellets collected by using gel sediment traps in the Indian sector of the Southern Ocean
3 . 学会等名 JPGU2021
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 Sano, M., R. Makabe, N. Kurosawa, M. Moteki
2. 発表標題 Microbial community structures of sinking particles collected by using gel sediment traps in the Indian sector of the Southern Ocean during austral summer
3. 学会等名 The 12th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Matsuda, R., M. Sano, S. Takao, R. Makabe, M. Moteki, N. Kurosawa
2. 発表標題 dentification and phylogenetic analysis of fecal pellet-like dinoflagellates in the seasonal ice zone of the Southern Ocean The 12th Symposium on Polar Science
3. 学会等名 The 12th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松田亮、韓在慶、佐野雅美、高尾信太郎、真壁竜介、茂木正人、小達恒夫、黒沢則夫
2. 発表標題 南大洋季節海水域で沈降する糞粒様渦鞭毛虫2種
3. 学会等名 2021年度日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐野雅美、真壁竜介、黒沢則夫、茂木正人、小達恒夫
2. 発表標題 エタノールに代わる分子生物学的解析のための動物プランクトン固定手法
3. 学会等名 2020年日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masayoshi Sano, Ryusuke Makabe, Norio Kurosawa, Masato Moteki, Tsuneo Odate
2. 発表標題 Molecular analysis of fecal pellets collected by using gel sediment traps in the Indian sector of the Southern Ocean during austral summer.
3. 学会等名 The 11th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Jaekyeng Han, Ayuko Kagesawa, Masayoshi Sano, Shintaro Takao, Ryosuke Makabe, Masato Moteki, Tsuneo Odate, Norio Kurosawa
2. 発表標題 Role of fecal pellet-like dinoflagellates in the carbon transport and food webs in the seasonal ice zone of the Southern Ocean
3. 学会等名 The 11th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐野雅美, 真壁竜介, 山本あゆ, 黒沢則夫, 茂木正人, 小達恒夫
2. 発表標題 Effects of lugol 's fixtation on preservation of samples for carbon and nitrogen stable isotope and molecular analyses.
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 佐野雅美, 山本あゆ, 影沢歩友子, 真壁竜介, 茂木正人, 小達恒夫
2. 発表標題 ゲルセジメントラップを用いた夏季南大洋インド洋区における沈降粒子組成の解析
3. 学会等名 日本海洋学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masayoshi Sano, Ayu Yamamoto, Ayuko Kagesawa, Ryosuke Makabe, Masato Moteki, Tsuneo Odate
2. 発表標題 Composition analysis of sinking particles by using gel sediment traps in the Indian sector of the Southern Ocean during austral summer
3. 学会等名 The 10th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masayoshi Sano, Yuri Ohkubo, Natsuki Yamamoto, Kohei Matsuno, Ryosuke Makabe, Masato Moteki, Tsuneo Odate
2. 発表標題 Spatial distribution of zooplankton in the epipelagic and upper mesopelagic zone along 110°E in the Southern Ocean during austral summer 2017
3. 学会等名 Marine Ecosystem Assessment of the Southern Ocean 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masayoshi Sano, Ryosuke Makabe, Masato Moteki, Tsuneo Odate
2. 発表標題 Research plan and prior examination for analyzing marine snow food web in the marginal sea ice zone of the Southern Ocean
3. 学会等名 The Ninth Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>佐野雅美, 南極の海に降る雪 ~ マリンスノーとプランクトンの話~, たちかわ市民交流大学協働企画公開講座, 2022年.</p> <p>佐野雅美, プランクトン・海を支える小さな生き物達の話, 中学生高校生シンポジウム「海を探る、海を調べる。キャリアと研究 III」, 2020年.</p>

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
研究協力者	黒沢 則夫 (Kurosawa Norio) (30234602)	創価大学・理工学部・教授 (32690)	
研究協力者	真壁 竜介 (Makabe Ryosuke) (40469599)	国立極地研究所・先端研究推進系・助教 (62611)	

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