

令和元年5月31日現在

機関番号：82708

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K07831

研究課題名(和文) 沿岸ジェットによる日本海沿岸域の漂流・底生生態系の擾乱

研究課題名(英文) Disturbances of plankton and benthic ecosystems in the coastal area of the Japan Sea with the coastal jets

研究代表者

児玉 武稔 (Kodama, Taketoshi)

国立研究開発法人水産研究・教育機構・日本海区水産研究所・研究員

研究者番号：20735899

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：日本海の本州沿岸域について、海洋物理過程、生物・化学過程に関する研究をそれぞれ進めた。物理過程の研究から、夏～秋季にかけてそれまで富山湾に流入していた対馬暖流沿岸分枝が沖合に流れの向きを変えること、その過程で高気圧性渦を形成すること、それが沿岸分枝の季節性とリンクし、毎年生じる可能性があることが明らかになった。生物・化学過程の研究からは、対馬暖流沿岸分枝の弱い春の富山湾は冷水種が卓越していること、高気圧性渦の発生場所で堆積物の組成と其中的生物群集が異なることがわかった。以上から、日本海本州沿岸域を流れている対馬暖流沿岸分枝の挙動が、その海域の生物活動にも強く影響していることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

対馬暖流域は日本海側の漁業の主漁場である。我々の研究は其中でも最も生活と密接している、対馬暖流の沿岸分枝に着目し、まず、その流路の変動が生じる要因やその過程で生じる現象を解明した。また、動物プランクトンについても対馬暖流の沿岸分枝によって大きく群集が変化することが示された。さらに、流路遷移の過程で高気圧性渦が生じること、その発生域で粒度の小さい堆積物が多いことが示され、沿岸分枝の挙動が底生生態系まで影響する可能性が示された。我々の成果は論文発表による学術的な貢献だけでなく、流路遷移の予測や、日本海沿岸域の生態系の評価を通じて、社会的な貢献が将来的に可能になると考えられる。

研究成果の概要(英文)：We studied on the physical, chemical and biological processes in the coastal area in the Japan Sea along Honshu. We found that 1) coastal branch of Tsushima Warm Current (CBTWC) shifts from the coastal mode to the offshore mode in and around Toyama Bay in summer, 2) the shift is achieved by warm-water eddy generation by the CBTWC and 3) such eddies are generated in almost every year, 4) the cold-water zooplankton is dominant in the Toyama Bay in every spring when and where CBTWC does not flow into the Toyama Bay, and 5) the sediments at the seafloor are fine under the warm-water eddy generated area, the eastern part of the Noto Peninsula. Hence, we can say that the CBTWC changes the spatiotemporal distributions of plankton and benthic biota.

研究分野：海洋学

キーワード：日本海 対馬暖流 富山湾 プランクトン ベントス

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

沿岸域では、海流が陸地へ衝突・離岸することで、湧昇や混合を引き起こし、栄養塩類が有光層に供給されるため、植物・動物プランクトンの生産性、いわゆる低次生物生産が高い。沿岸域表層の生物生産の空間的な違いは、表層からの有機物の沈降と海底での堆積を通じて、海洋底層環境の空間的な違いを作り出し、底生生態系にも影響を与える。

本研究では、これまで多くの研究が進められている陸と直交した流れでなく、並岸的な沿岸流が引き起こす現象に着目する。日本海では、対馬暖流が沿岸分枝として本州に沿って流れており、熱や栄養塩類、プランクトン、魚などを西から東に運ぶことが期待されている。また、台風などによってエネルギーがもたらされた直後に、短期的に流れが強化され、「沿岸ジェット」となる場合がある。沿岸ジェット化にともない、若狭湾では、数十キロメートルスケールの時計回り環流が数週間形成・維持されることが知られており、すなわち、日本海の本州沿岸域において、より複雑な生物生産力の時空間変動が沿岸ジェットによって期待される。しかし、強化のメカニズム、渦流発生タイミング、生物生産への寄与といった理解は日本海の対馬暖流域においては不十分であり、今後の研究発展が必要な状況である。

## 2. 研究の目的

これまでの研究背景から、本研究では沿岸海洋物理、表層の低次生物生産、さらに堆積物・ベントスについての3分野の研究内容を進め、日本海本州沿岸域において、海洋の物理的な擾乱が化学環境を変化させ、生物群集に与える影響までを調べ、日本海対馬暖流域における対馬暖流沿岸分枝の生物活動に与える役割を評価することを目的とする。すなわち、まず、1) 対馬暖流沿岸分枝の流路変動の物理的な要因解明を進め、そこで起きている現象を記述するとともに、2) 漂泳生態系の時空間的な変動について記述し、3) 海底の化学・生物学的空間変動を調べ、そこにある関連性を明らかにすることを目的とする。

## 3. 研究の方法

物理的な解析には高解像度の数値シミュレーションモデルおよび、佐渡沖の水温・塩分の観測結果、定点における潮位観測結果を主に利用して解析を進めた。プランクトンについては植物プランクトン群集を多波長蛍光光度計で評価した。動物プランクトンについては、顕微鏡観察によって得られていた1999年からの種別現存量データを解析した。海底環境およびベントス群集については、富山湾から佐渡周辺の100から1100m深の海底堆積物を採集し、その粒度を測定するとともに、メイオベントスについても顕微鏡観察により同定・計数した。

## 4. 研究成果

まず、対馬暖流沿岸分枝の強化によって、渦形成がどこでどのように生じるかを観測データ解析と数値シミュレーションから調べた。その結果、対馬海峡から能登半島北部まで続いている大陸棚が断絶する富山トラフ上で変動が認められ、春季から夏季に富山湾に侵入するように流れていた対馬暖流沿岸分枝が夏季の流速の強化とともに沖合域に流路が遷移し (Figure 1)、その際に、富山湾内部に時計回りの高気圧性渦が発生することが明らかになった (Igeta et al. 2017 Journal of Physical Oceanography【雑誌論文4】)。また、能登半島西部を通過した台風によっ

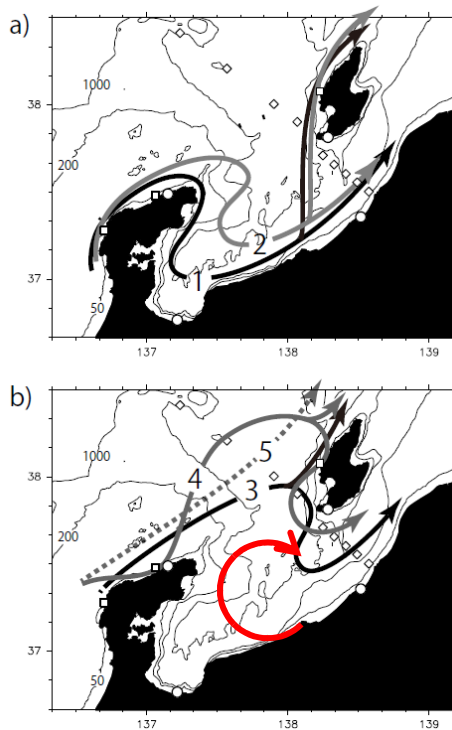


Figure 1 数値シミュレーションから明らかにされた対馬暖流沿岸分枝の変動パターン。a)は沿岸域を流れるパターン(沿岸モード), b)は沖合に遷移したパターン(沖合モード)を示す。図中赤矢印は沖合モード発生時に生じる高気圧性渦を示す。

てエネルギーが供給され形成された近慣性内部波が富山湾沿岸に強流を引き起こし、それが海底地形の複雑性によって散乱することで、流れのビーム構造・鉛直シアが発生することで乱流混合を引き起こしていることが明らかになった(久賀ら 2018 La mer【雑誌論文 10】),そして、この現象が対馬暖流沿岸分枝の季節変動とリンクする可能性を示した。以上のことから、対馬暖流の強化によって、表層の物質を下層に降下させる高気圧性が形成されるとともに、富山湾内に栄養塩供給を期待させる擾乱を発生させることで、成層が発達した夏季の富山湾の生産性を高めている可能性がある。

次に、秋季における新潟県沿岸・沖合定線の流動構造の経年変動について、水温・塩分の鉛直構造を調べた。その結果、まず、数値シミュレーションから得られていた高気圧性渦の存在が実測の観測でも確かめられ、その強弱に年々変動があるものの、毎年形成されていることが明らかになり、それが富山湾と佐渡(小木)の潮位差に現れていることがわかった。

動物プランクトンについての群集構造の解析結果から、空間的な違いがあることが示された。すなわち、5月の動物プランクトン群集については、富山湾においては冷水種である *Oithona atlantica* や *Pseudocalanus newmani* が、能登半島西部では *Corycaeus affinis* や *Calanus sinicus* といった暖水種が多くなっていた。また、年々変動については空間変動と比較すると小さくなっており、富山湾に冷水種が優占する構造が長期的に維持されていることが明らかになった(Kodama et al. 2017 Ocean Science【雑誌論文 7】)。この空間分布については、植物プランクトン現存量などと比較して、水温が強く寄与していることが明らかになった。水温については、対馬暖流沿岸分枝によっておきる水平移流の寄与によって決まっており、対馬暖流沿岸分枝によって、沿岸域の動物プランクトン群集組成が異なることが明らかになった。

海底環境とメイオベントスについて調べた結果、同じ水深(200m付近)であっても、能登半島東部では、堆積物の粒度が上越沖と比較して小さくなる傾向が認められた。これと同時に、メイオベントスもカイアシ類に比べて泥質を好む線虫類の割合が高くなっており、表層部の海洋環境の違いが、底質を介してメイオベントス群集まで変化させていることが示された。富山湾東部では毎年夏季から秋季にかけて高気圧性渦が発生していることから、高気圧性渦によって、表層からの物質の沈降が活発化され、底質の空間的違い、ベントス群集の空間的違いが生じている可能性が示唆された。

以上、我々の研究成果についてまとめると、対馬暖流域の特に海底地形構造が大きく変化する富山湾に着目した研究を行い、富山湾で沿岸分枝の流路遷移が起き、それが毎年起きる可能性があること、沿岸分枝上・下流によって動物プランクトンの群集相が違ふこと、高気圧性渦では下向きの物質輸送が卓越しており、さらにその発生域では水深 200m 付近の底質が異なるが明らかになり、富山湾は、対馬暖流沿岸分枝の強化、すなわちジェット化によって生じる物理的な擾乱

が浮遊生態系－底生生態系の空間的な変動を生じさせていることが示された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 11 件)

1. 木暮 陽一(2016)五島列島沖から採集された日本初記録のゴカクヒトデ類(棘皮動物門, 海星綱, アカヒトデ目), 日本生物地理学会会報, 71 巻, 237-242, 査読有り
2. Yoichi Kogure, Takeya Moritaki (2016) Rediscovery of a rarely encountered sea star, *Lithosoma japonica* (Echinodermata, Asteroidea, Goniasteridae), from southeastern Japan, *Biogeography*, 18 巻, 17-22, 査読有り
3. Taketoshi Kodama, Yosuke Igeta et al. (2016) Long-term decrease in phosphate concentrations in the surface layer of the southern Japan Sea, *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 121 巻, 7845-7856, doi: 10.1002/2016JC012168, 査読有り
4. Yosuke Igeta et al. (2017) Transition of the Tsushima Warm Current path observed over Toyama Trough, Japan, *Journal of Physical Oceanography*, 47 巻, 2721-2739, doi: 10.1175/JPO-D-17-0027.1, 査読有り
5. Taketoshi Kodama et al. (2017) Presence of high nitrate to phosphate ratio subsurface water in the Tsushima Strait during summer, *Journal of Oceanography*, 73 巻, 759-769, doi: 10.1007/s10872-017-0430-4, 査読あり
6. 木暮 陽一, 2018, 炭素・窒素安定同位体比による日本海南部沿岸域における食物網構造の解析, 日本生物地理学会会報, 72 巻, 11-17, 査読あり
7. Taketoshi Kodama, Taku Wagawa et al. (2018) Spatial variations in zooplankton community structure along the Japanese coastline in the Japan Sea: influence of the coastal current, *Ocean Science*, 14 巻, 355-369, doi: 10.5194/os-14-355-2018, 査読あり
8. Taketoshi Kodama, Taku Wagawa et al. (2018) Improvement in recruitment of Japanese sardine with delays of the spring phytoplankton bloom in the Sea of Japan, *Fisheries Oceanography*, 27 巻, 289-301, doi: 10.1111/fog.12252, 査読あり
9. Taketoshi Kodama et al. (2018) Appendicularians in the southwestern Sea of Japan during the summer: abundance and role as secondary producers, *Journal of Plankton Research*, 40 巻, 269-283, doi: 10.1093/plankt/fby015, 査読あり
10. 久賀 みづき, 井桁 庸介ら (2018) 高解像度海洋モデルで表現された富山湾周辺海域における近慣性内部波・沿岸捕捉波の発生・伝播過程, *La mer*, 56 巻, 96-111, 査読あり
11. 木暮 陽一 (2019) 日本近海産ヒトデ類(棘皮動物門ヒトデ綱)種名目録, 日本生物地理学会会報, 73 巻, 70-86, 査読あり

〔学会発表〕(計 24 件)

1. 久賀 みづき, 井桁 庸介ら (2016) 富山湾における近慣性内部波の伝播, 日本海及び日本周辺海域における環境急変現象(急潮)のモニタリング、モデリング及びメカニズム解明に関する研究集会
2. 山崎 恵市, 北出裕二郎, 井桁 庸介ら (2016) 発生域と伝播経路の違いによる近慣性周期波動の増幅海域の変化, 日本海及び日本周辺海域における環境急変現象(急潮)のモ

ニタリング、モデリング及びメカニズム解明に関する研究集会

3. 井桁 庸介ら(2016)富山湾周辺における対馬暖流沿岸分枝の流路遷移,日本海及び日本周辺海域における環境急変現象(急潮)のモニタリング、モデリング及びメカニズム解明に関する研究集会
4. 和川 拓,井桁 庸介ら(2016)能登・佐渡沿岸域と沖合域の流れ場の変動とその成因,日本海及び日本周辺海域における環境急変現象(急潮)のモニタリング、モデリング及びメカニズム解明に関する研究集会
5. 和川 拓,井桁 庸介ら(2016)能登・佐渡沿岸域の流れ場の変動,日本海洋学会 2016 年度秋季大会
6. 井桁 庸介ら(2016)高解像度海洋モデルに見られた富山湾における近慣性内部波の伝播,日本海洋学会 2016 年度秋季大会
7. 児玉 武稔,和川 拓ら(2016) Interannual variation in phytoplankton blooms and its biological impacts in the Sea of Japan, PICES 25th annual meeting
8. 和川 拓,井桁 庸介ら(2016)能登・佐渡沿岸域と沖合域の流れ場の変動 宗谷暖流を始めた対馬暖流系の変動メカニズム
9. 和川 拓ら(2016)流速観測で捉えた磯口ジェットの流動構造,日本海洋学会 2016 年度秋季大会
10. 井桁 庸介(2017) Physical Oceanographic Processes over the Continental Shelf along the Japanese Coast of the Japan Sea, Marine Sciences Seminar in University of South Carolina
11. 井桁 庸介, Alexander Yankovsky, 和川 拓ら(2017) Current paths of the coastal and offshore branch of Tsushima Warm Current and their interactions over the submarine canyon in the Sea of Japan., 2017 Gordon Research conference
12. 児玉 武稔,和川 拓,久賀 みづき,田村 沙織,伊藤 雅,井桁 庸介ら(2017) Comparison of warm- and cold-waters in the Sea of Japan based on physical, chemical and biological aspects, JpGU-AGU Joint Meeting 2017
13. 児玉 武稔(2018)水産海洋研究における栄養塩標準の活用例:日本近海域の栄養塩動態解明への取り組み,海水標準物質開発 25 周年記念シンポジウム
14. 井桁 庸介ら(2018) Propagating and scattering processes of near-inertial internal waves calculated by high-resolution ocean model around Toyama Bay, Physics of Estuaries and Coastal Seas (PECS) Meeting 2018
15. 井桁 庸介(2018)富山トラフにおける対馬暖流沿岸分枝の流路遷移現象について,第73回日本海海洋調査技術連絡会総会
16. 木暮 陽一,大森昭仁(2018) OREASTERID SEA STARS FROM JAPAN WITH REFERENCE TO THE TAXONOMIC STATUS OF *Bothriaster primigenius* Döderlein, 1916, 16th International Echinoderm Conference
17. 井桁 庸介ら(2018)若狭湾環流形成と丹後半島への対馬暖流接岸との関係,日本海及び日本周辺海域における環境急変現象(急潮)のモニタリング、モデリング及びメカニズム解明に関する研究集会
18. 伊藤 雅,井桁 庸介(2018)台風が対馬海峡へ連行してきた高潮位に起因する山陰沿岸の急潮,日本海及び日本周辺海域における環境急変現象(急潮)のモニタリング、モデリング及びメカニズム解明に関する研究集会

19. 井桁 庸介ら ((2018) 富山トラフにおける対馬暖流流路の季節変動, 2018 年度九州沖縄地区合同シンポジウム
20. 井桁 庸介ら (2018) 若狭湾還流発生前に丹後半島北方で観測された対馬暖流の離接岸, 日本海洋学会 2018 年度秋季大会
21. 児玉 武稔 (2018) 日本海中層に出現する数十 km スケールの栄養塩濃度の擾乱, 日本海洋学会 2018 年度秋季大会
22. 児玉 武稔ら (2018) Variation in zooplankton community in the coastal area of the Sea of Japan since 1999, 2018 ASLO Summer Meeting
23. 井桁 庸介ら (2018) 富山トラフ上での対馬暖流沿岸分枝の流路遷移と、沿岸捕捉波によるその加速, 宗谷暖流を始めとした対馬暖流系の変動メカニズム
24. 児玉 武稔, 和川 拓ら (2018) 日本海の春季ブルームは対馬暖流系のマイワシにとって重要か?, 東京大学大気海洋研究所共同利用集会「変化拡大するマイワシ資源」

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名: 和川 拓

ローマ字氏名: Wagawa, Taku

所属研究機関名: 国立研究開発法人水産研究・教育機構日本海区水産研究所

部局名: 資源環境部

職名: 任期付研究員

研究者番号 (8 桁): 10601916

研究分担者氏名: 井桁 庸介

ローマ字氏名: Igeta, Yosuke

所属研究機関名: 国立研究開発法人水産研究・教育機構日本海区水産研究所

部局名: 資源環境部

職名: グループ長

研究者番号 (8 桁): 50444138

研究分担者氏名: 木暮 陽一

ローマ字氏名: Kogure, Yoichi

所属研究機関名: 国立研究開発法人水産研究・教育機構日本海区水産研究所

部局名: 資源環境部

職名: グループ長

研究者番号 (8 桁): 90371905

### (2) 研究協力者

なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。