

令和4年度 研究船共同利用研究申込書

2021年 8月 20日

研究船共同利用運営委員会 委員長 殿

研究代表者（申込者） 中村 知裕

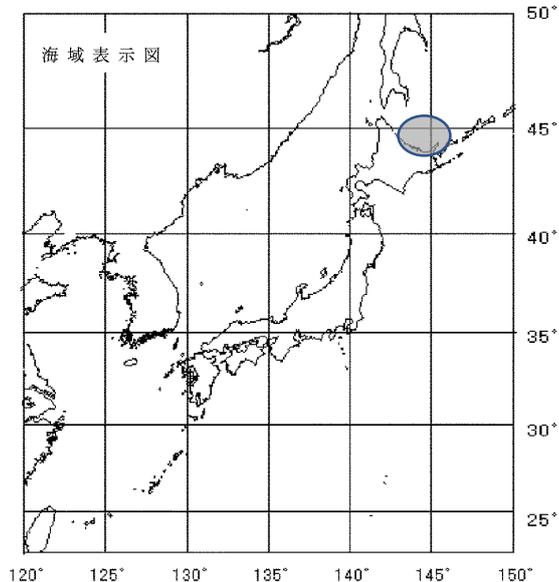
所属機関 北海道大学・低温科学研究所  
職名 講師  
氏名 中村 知裕

研究船を利用した研究を下記のとおり申し込みます。

研究課題		オホーツク海南西部における潮汐混合とポストブルーム期の物質循環・生態系に関する研究				
	氏名	所属機関・職名	研究分担内容	旅費負担	乗船・非乗船	期間及び海域等
研究代表者・分担者	中村 知裕	北海道大学低温科学研究所・講師	総括・海洋物理	無	○	1. 必要観測日数 10 日間 2. 観測希望時期 5月上旬から中旬 3. 観測海域 北海道オホーツク沿岸特に知床沖海域 4. 希望船舶 (○で囲む) 新青丸 よこすか 5. 乗合航海の可否 不可 6. 震災関連研究航海 (該当する場合は○で囲む)
	西岡 純	北海道大学低温科学研究所・准教授	栄養物質循環	無	○	
	三寺 史夫	北海道大学低温科学研究所・教授	海洋物理	無		
	宮崎 雄三	北海道大学低温科学研究所・助教	大気化学	無	○	
	藤尾 伸三	東京大学大気海洋研究所・准教授	海洋物理	無	○	
	柳本 大吾	東京大学大気海洋研究所・助教	海洋物理	無	○	
	鈴木 光次	北海道大学地球環境科学研究所・教授	植物プランクトン生理機構	無	○	
	山下 洋平	北海道大学地球環境科学研究所・准教授	物質循環	無	○	
	三谷 曜子	北海道大学北方圏フィールド科学センター・准教授	鯨類生態	無	○	
	今井 望百花	北海道大学・環境科学院・M1	栄養物質循環	無	○	
	深井 悠里	北海道大学・環境科学院・D2	微細藻類生態生理	無	○	
	古巻 史穂	北海道大学・環境科学院・D1	鯨類生態	無	○	
大学院生	北海道大学・環境科学院・入学予定	大気化学	無	○		
大学院生	北海道大学・環境科学院・入学予定	海洋化学	無	○		
大学院生	北海道大学・環境科学院・入学予定	海洋物理	無	○		

* 受付年月日		* 採否		* 整理番号	
---------	--	------	--	--------	--

\*印欄は記入しないでください。

<p>震災との関連、国連海洋科学の10年との関連</p>	<p>本航海および研究内容は、震災とは直接関係はしていない。しかしながら、研究対象海域は沿岸親潮の源流域であり、その沿岸親潮は、北海道の道東や道南の沿岸域だけでなく、三陸沿岸域の水産業にも大きな影響を与えることが知られている。したがって、本研究によって得られる知見は、震災海域における水産業復興に向けて基礎的データを与えるものとする。</p> <p>オホーツク海では漁獲量が減少しており（養殖を除く。桜井2020など）、潮汐と海洋生態系の関係やポストブルーム期の科学的知見を得るための本研究は、海洋生態系の保全と持続的な海洋資源利用の方向性を探る研究でもある。この点は、UN Decade of Ocean ScienceのA healthy and resilient Ocean, A sustainable Productive Oceanに貢献することにつながる可能性がある。</p>	
<p>観測希望時期等</p>	<p>今回の観測ではポストブルーム期の海洋物理・生物地球化学および生態系の観測ならびに、係留系の回収と再設置を第2の目的とする。そのため、海氷融解直後の植物プランクトンの大ブルームが終わった後の遷移期、5月上旬から中旬が最良である。</p>	
<p>使用観測設備・機器</p>	<p><u>申込者が持込む観測機器（名称・数量・重量）</u>          有色溶存有機物センサ（Wetlabs社）2式、各1 kg          PAM 蛍光光度計（Walz社）1式、20 kg          FRe 蛍光光度計（Satlantic社）、20 kg          潮汐観測用ADCP5台、計150 kg          表層モニタリングシステム、60 kg          水中分光放射計C-OPS（Biospherical Inst. Inc.）1式、20 kg          ハイボリュームエアサンプラー・2台・50 kg          アンダーセン型カスケードインパクター・1台・30 kg          セジメントトラップ1台、切離装置・ロープ・浮体1系分          水中音響記録計1台（Ocean Instruments社）、2.6kg</p> <p>搭載を希望する可搬型機器（添付「利用の手引き」参照）          （大型の可搬型機器の搬入搬出には、多額の経費を必要とするため、採択後の運航計画作成に当りご相談させていただく場合があります。）</p> <p>係留用ロープウィンチ 1台</p>	<p>観測海域（枠で囲んでハッチをつけてください。）          （この地図からはみ出す場合は、適宜別の地図と入れ替えてもかまいません。）</p>  <p>海域表示図</p>
	<p>搭載を希望する共同利用観測機器</p> <p>ロープ巻き取り機 1台          24本掛CTD-CMS および          24本掛け用CTDフレーム予備          12L採水器          LADCP 1台          溶存酸素自動滴定装置          酸素瓶          塩検瓶          オケアングラブ採泥器</p>	<p>研究代表者の連絡先</p> <p>所属機関 北海道大学低温科学研究所          職名 講師          氏名 中村 知裕</p> <p>住所 〒060-0819          札幌市北区北19条西8丁目</p> <p>TEL : 011-706-7497          FAX :          e-mail : nakamura@lowtem.hokudai.ac.jp</p>

## ●研究目的・内容

オホーツク海は潮汐それも1日周期の日周潮が強い。特に千島列島の潮汐は内部波生成と鉛直混合を通し、水塊形成・物質循環・生態系に大きな影響を与えている(e. g., Nakanowatari et al. 2021)。しかし、千島列島を除くと、内部波やそれによる鉛直混合の観測はほとんどない。本航海では、潮汐は強いがその影響は不明のままであるオホーツク海南西部における①「潮汐による内部波生成と鉛直混合」の観測を第1の課題とする。

オホーツク海南西部の陸棚斜面は、日周潮による内部波(風下波)生成の条件—強い流れと水平スケールの小さい凹凸海底地形—を満たす。流れは、潮流が強い上に東樺太海流が通る。海底地形も、ETOPO1など全球水深データでは滑らかだが、2020年白鳳丸KH-20-12航海で東樺太海流通年観測のための係留系を設置した際、この海域の陸棚斜面は幅数kmの尾根と谷が繰り返し凸凹であることが判明した。こうした高い尾根と深い谷の上を強い潮流や海流が流れると、比較的大振幅の内部波(風下波)が生成される。

海底で生成された内部波は、上に伝播して海面混合層で反射する際に、エネルギーの一部が擾乱ひいては混合を引き起こす。つまり、オホーツク海南西部の陸棚斜面では、内部風下波が生成され、混合層と亜表層の間で混合を引き起こし、冬季以外も亜表層から表層へ栄養物質を供給することで物質循環や生態系にかかわっている可能性がある。

そこで本航海では、オホーツク海南西部における内部風下波生成・伝播の観測、および海面混合層に達した内部風下波の振舞いと表層亜表層間の混合に与える影響の見積もりを目指す。加えて、上述の係留系の回収も行う。この係留系データも利用すれば通年の解析が可能になる。係留系データは、設置目的である「東樺太沿岸流と海水の消長の関係」の解明にも用いられる。また我々の最新理論によると、潮汐が、“JEBAR”と呼ばれる効果を通して千島列島北東部の海堆で東カムチャッカ海流の流路を曲げ、オホーツク海と太平洋の海水交換を強めている(Shu et al. 2021)。宗谷暖流や東樺太海流がぶつかる知床沖の海山で、内部波観測と同時に上記理論の観測的裏付けも試みる。

②「ポストブルーム期の物質循環・生態系」の観測を第2の課題とする。春季、オホーツク海では、海水融解直後に植物プランクトンの大ブルームが起こり、その後(ポストブルーム期)も比較的高い植物プランクトン現存量(図2)や基礎生産が維持される。前者は、本研究グループの生物・化学班が2021年4月の新青丸KS-21-6航海で観測に成功した。

一方、ポストブルーム期の高い基礎生産は、どのように維持されるのだろうか?潮汐起源の風下波は一役買っているのだろうか?ポストブルーム期も現場観測データはほとんどなく、基礎生産を維持する栄養物質供給メカニズムや植物プランクトン群集の生理代謝機構は明らかになっていない。そこで、本航海では春季から夏季へ遷移する間のポストブルーム期における水塊分布と基礎生産を含む生物地球化学的パラメータを観測し、ポストブルーム期でなぜ高い基礎生産が維持されるのかを明らかにすることを目指す。また、経年変動に関する知見を蓄積するため、セジメントトラップを中心とした係留系を本航海で再設置する。

加えて、ポストブルーム期に比較的高い基礎生産が維持されていることを示唆するとともに、この時期には鯨類の出現が増え知床をはじめオホーツク海ではホエールウォッチングなどの観光業も始まる。本航海では、③ポストブルーム期には、雲の生成に影響を及ぼす生物起源ガスや有機エアロゾルの大気への放出・生成に植物プランクトン増殖がどのように関与しているのか?。④ポストブルームと高次生態系の頂点に存在する鯨類の分布にどのような関係があるのか?という興味深い研究課題にも取り組む。

本研究航海では上記①-④の課題に取り組む。なお、知床は「季節海水の形成による影響を大きく受けた海洋生態系と陸上生態系の相互関係の顕著な見本である」ことが高い評価を受け2005年に世界自然遺産に登録された。ユネスコは世界自然遺産登録に際し、「科学的知見」に基づく海洋生態系の保全と持続的な海洋資源利用の両立を強く求めている。本航海の観測は、この「科学的知見」に大きく貢献する。

## ●研究計画

### 課題①「潮汐による内部波生成と表層亜表層間の鉛直混合」

陸棚斜面および海山で25時間CTD-LADCP繰り返し観測、およびXCTDと船搭載ADCPを用いた準瞬間的な鉛直断面観測を行う。後者の海山(図3赤×)も全球水深データにないが、宗谷暖流・東樺太海流がぶつかる要所である。

前者の陸棚斜面は、東樺太沿岸流を観測するために設置した係留系(図3橙×)周辺をターゲットとする。係留系にはADCP、流速計、水温・塩分計、セジメントトラップを取り付け、1年半の係留観測を行っている。この係留系を回収し、(a)陸棚斜面上における潮流および東樺太海流による内部波生成について通年の解析、(b)衛

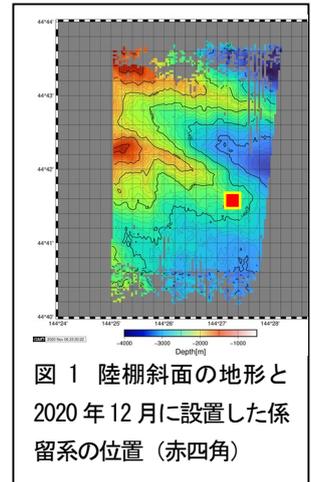


図1 陸棚斜面の地形と2020年12月に設置した係留系の位置(赤四角)

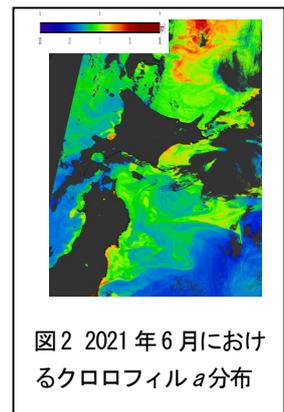


図2 2021年6月におけるクロロフィルa分布

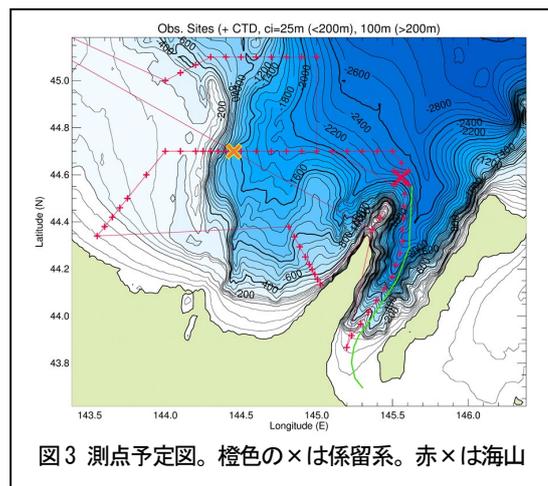


図3 測点予定図。橙色の×は係留系。赤×は海山

星からの海水情報や大気データと組み合わせ、海水の消長と東樺太海流の季節進行との関係の解明を目指す。

## 課題② ポストブルーム期における高い基礎生産の維持機構の解明

5月前後のポストブルーム期は、東樺太海流が弱まり宗谷暖流が強まり始める遷移時期であり、水塊の分布は複雑である。ごく表層では、雪解けに伴う河川流出水が増え、4月にオホーツク海南部で解けた海水融解水は移流・変質されて弱まるが、オホーツク海北部で解けた海水融解水は東樺太海流により移流されてくる。その下には、冬季混合層の名残である氷点下の冷水や、冬を越した宗谷暖流変質水が分布する。さらにその下には、オホーツク海北部で生成された高密度陸棚水も流れてくる。しかし、この時期の栄養物質の分布とその供給源は分かっていない。そこで(1)水塊構造と栄養塩の3次元的な分布を把握し、(2)化学トレーサーを用いて各水塊を異系化し、河川水・海水融解水等の水平輸送や冷水等の鉛直輸送に伴う栄養物質のフラックスを定量化し、(3)高い基礎生産を維持している植物プランクトンの分布や特徴を把握する。

このために、北海道オホーツク海沿岸から知床半島に沿って上記水塊を捉える観測ラインを設定し(図3)、CTD-LADCP観測(一部XCTD)およびCTD-CMS(クリーン)採水を行い、物理・化学・生物パラメータを観測する。これにより、(1)水温・塩分・栄養塩といった水塊と栄養物質の分布と流速場、(2)これらに有色溶存有機物(CDOM)・酸素同位体(海水融解水トレーサー)・アルカリ度(河川水トレーサー)を組み合わせた起源推定を行う。採水に加えて衛星観測と同期した大気水中光学観測も行うことで、(3)植物プランクトン群集の現存量、組成、光学的特性・光合成生理状態・基礎生産の時空間解析が可能になる。加えて経年変動観測のためセジメントトラップと水中音響記録装置および水温塩分計を取り付けた係留系を再設置する。

## 課題③ ポストブルーム期の植物プランクトン増殖により生成された、生物起源ガスや有機エアロゾルの観測

本課題では、大気エアロゾルの主要成分である有機物の量と変動に対応する、海洋表層ブルーム中の植物プランクトン量、組成、活性の変化を測定する。各採水地点・時刻に対応させ、ハイボリュームエアサンプラーおよびカスケードインパクターを用い、6-12時間の頻度で粒径別の大気エアロゾル試料を採取する。採取したエアロゾル試料を用い、元素分析や安定炭素同位体比測定、起源情報を含む有機物分子トレーサーの組成分析を行う。さらに海洋表層の微生物パラメータの測定結果との詳細な比較により、本海域のポストブルーム期における植物プランクトンの量・組成と溶存態有機物および大気エアロゾルの有機物組成・量を関連付ける。これにより、ポストブルーム期に海洋表層から大気エアロゾルへの有機物の供給過程・エアロゾル生成量を明らかにすることを目的とする。

## 課題④ ポストブルーム期における高次生態系の頂点に存在する鯨類の分布

本課題では、鯨類の分布を明らかにするため、アッパーブリッジもしくはブリッジから目視調査を実施する。調査は日出1時間後から日没1時間前まで、船の航走中に行う。鯨類が発見された場合、発見位置、種、頭数、行動などを記録する。また、計量魚群探知機を使用し、プランクトンや魚類など、餌生物の生物分布量調査を行う。得られたデータを水温、塩分、クロロフィル濃度、水深、海底傾斜、陸からの距離などの環境情報と併せて解析することにより、鯨類の分布を決定する環境条件を明らかにする。

【航海日数】航走距離 388 マイル(計 39 時間)、CTD 61 測点(平均水深 1, 100m: 計 85 時間)、CTD 採水 20 測点(計 30 時間)、採泥(計 6 時間)、潮汐観測 3 回(計 75 時間)、係留系回収・設置(計 5 時間)により、10 日となる。

### ●他航海への応募 最近の航海採択・不採択状況

代表者の中村は、2020 年度新青丸(代替航海 KH-20-12: 代表: 三寺史夫、主席: 中村知裕・北大低温研)および2021 年度新青丸(KS-21-6: 代表: 西岡純・北大低温研)の分担者として採択、他航海への応募はない。分担者の西岡は白鳳丸航海3ヶ年計画(代表: 小畑元・東大)、分担者の宮崎は新青丸(代表: 川合義美・JAMSTEC)、分担者の山下は新青丸(代表: 川口慎介・JAMSTEC)に、それぞれ分担者として応募予定。

### ●研究業績

①Nakanowatari, T., T. Nakamura, H. Mitsudera, J. Nishioka, H. Kuroda, K. Uchimoto, Interannual to decadal variability of phosphate in the Oyashio region: Roles of wind-driven ocean current and tidally induced vertical mixing in the Sea of Okhotsk, *Progress in Oceanography*, 197, 102615, doi.org/10.1016/j.pocan.2021.102615. (2021). ②Shu, H.-W., H. Mitsudera, K. Yamazaki, T. Nakamura, T. Kawasaki, T. Nakanowatari, H. Nishikawa, H. Sasaki, Tidally-modified western boundary current drives interbasin exchange between the Sea of Okhotsk and the North Pacific, *Scientific Reports*, 11, 12037, doi.org/10.1038/s41598-021-91412-y, (2021). ③Nishioka, J., H. Obata, H. Ogawa, K. Ono, Y. Yamashita, K. Lee, S. Takeda, I. Yasuda, Sub-polar marginal seas fuel the North Pacific through the intermediate water at the termination of the global ocean circulation, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117 (23) 12665-12673, doi.10.1073/pnas.2000658117, (2020). (H03, H08, H09, H12, S13, H15, H17). ④Mitsudera H., T. Miyama, H. Nishigaki, T. Nakanowatari, H. Nishikawa, T. Nakamura, T. Wagawa, R. Furue, Y. Fujii, S. Ito, Low ocean-floor rises regulate subpolar sea surface temperature by forming baroclinic jets. *Nature Communications*. 9, 1190 (2018). ⑤Yan, D, K. Yoshida, J. Nishioka, M. Ito, T. Toyota, K. Suzuki, Response to sea ice melt indicates high seeding potential of the ice diatom *Thalassiosira* to spring phytoplankton bloom: A laboratory study on an ice algal community from the Sea of Okhotsk, *Front. Mar. Sci.*, 7, 613, doi: 10.3389/fmars.2020.00613, (2020). ⑥Yamashita, Y., J. Nishioka, H. Obata, and H. Ogawa, Shelf humic substances as carriers for basin-scale iron transport in the North Pacific, *Scientific Reports*, 10, 4505, doi.org/10.1038/s41598-020-61375-7, (2020). (H12). ⑦Miyazaki, Y., K. Suzuki, E. Tachibana, Y. Yamashita, A. Müller, K. Kawana, J. Nishioka, New index of organic mass enrichment in sea spray aerosols linked with senescent status in marine phytoplankton, *Scientific Reports*, 10, 17042 (2020). (H15). ⑧Yanagimoto, D., K. Tanaka, S. Fujio, H. Nishigaki, M. Ishizu, Observation of Near-Bottom Current on the Continental Shelf Off Sanriku. In: Komatsu T., Ceccaldi HJ., Yoshida J., Prouzet P., Henocque Y. (eds) *Oceanography Challenges to Future Earth*. Springer, Cham. doi.org/10.1007/978-3-030-00138-4\_13. (2019). ⑨Miyamoto, M., E. Oka, D. Yanagimoto, S. Fujio, M. Nagasawa, G. Mizuta, S. Imawaki, M. Kurogi, H. Hasumi, Topographic Rossby Waves at Two Different Periods in the Northwest Pacific Basin, *Journal of Physical Oceanography*, 50, 3123-3139, doi.org/10.1175/JPO-D-19-0314.1, (2020). ⑩Iwahara, Y., H. Shirakawa, K. Miyashita, Y. Mitani, Spatial niche partitioning among three small cetaceans in the eastern coastal area of Hokkaido, Japan, *Marine Ecology Progress Series* 209 - 223, (2020).