

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K06181

研究課題名(和文) 厚岸沿岸域における春季・夏季・秋季植物プランクトンブルームの解明

研究課題名(英文) Phytoplankton blooming dynamics in the coastal waters around Akkeshi,

研究代表者

伊佐田 智規 (Isada, Tomonori)

北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・准教授

研究者番号：80725359

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、北海道東部の厚岸沿岸域における海洋環境と植物プランクトン群集組成の季節・経年変化を明らかにした。主に北海道大学厚岸臨海実験所の棧橋前での高頻度観測、船舶による厚岸湾での時系列観測、および栄養塩添加ボトル培養実験を実施し、夏季、秋季に起こる春季よりも大規模な植物プランクトンブルームは、8月の寒流(沿岸親潮)から暖流(宗谷暖流変質水)への水塊交換に加えて、台風などの集中豪雨に伴う河川からの栄養塩供給が夏季ブルーム発生に寄与している可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

厚岸湾を含め道東沿岸域は水産養殖が盛んであり、この海域のSDGsに関連した持続可能な水産業と適切な沿岸域管理に向けて、海洋生態系を支える植物プランクトンの季節変動や増殖発生メカニズムを解明する事は重要である。植物プランクトンの大発生(ブルーム)は、餌資源として重要なイベントであり、本研究ではそのメカニズムを解明した。しかし、種類によっては、赤潮と呼ばれる有害有毒ブルームとなる場合もあり、2021年9月に道東沿岸でKarenia属による赤潮が発生した。本研究ではその赤潮をいち早く発見し、他の研究機関と協力し調査を実施したが、今後、赤潮発生要因の解明やモニタリング体制の強化が必要不可欠である。

研究成果の概要(英文)：We investigated seasonal and annual changes in oceanographic conditions and phytoplankton community structure in the coastal waters of Akkeshi Bay, Japan to clarify the factors controlling summer blooms in this studied area. We also conducted (1) high frequency sampling of Chl a concentration and (2) the nutrient addition bioassay experiments at the pier of Akkeshi Marine Station (AMS). Massive phytoplankton blooms occurred during spring and summer every year, but diatom compositions were totally different between spring and summer because of the water mass exchanges from cold coastal Oyashio water (COW) to Modified- Soya Warm Current Water (M-SWCW). Additionally, we found the significant relationships between the amount of monthly integrated rainfall obtained from AMeDAS at Ohta and the monthly integrated Chl a concentration at the pier of AMS. These results suggest that summer phytoplankton bloom could be triggered by the nutrient supply from the wetland-influenced river discharge.

研究分野：生物海洋学

キーワード：植物プランクトン ブルーム 沿岸域 閉鎖性海域 環境収容力 厚岸湾 湿原

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

植物プランクトンが大増殖する「ブルーム」とよばれるイベントは、有用な餌資源として食物網に大きな貢献を果たす一方、沿岸域では、富栄養化などによる大増殖が、水質の悪化や貝毒など水産業へ深刻な影響を与える場合もある。そのため、季節を通して発生する植物プランクトンブルームの動態や基礎生産力を明らかにすることは、沿岸域の環境収容力を評価する上でも大変重要である。西部北太平洋亜寒帯域の親潮域や沿岸親潮域では、毎春、珪藻類を主体とする植物プランクトンブルームが発生することが知られている。この春季ブルームは、この海域の低次から高次へのエネルギー転送過程や生物生産に大きく寄与し、さらに二酸化炭素分圧を下げる効果も高いことが知られているため、これまでに多くの研究がなされ、知見が蓄積されてきた。しかしながら、春季以外の季節に関する知見は未だ乏しい。冬季から春季に沿岸親潮水が流入する厚岸湾に面した北海道大学北方生物圏フィールド科学センター厚岸臨海実験所の棧橋前では、2016年より週2回のクロロフィル a 濃度の測定を継続して行っている。その結果から、春季よりも大規模なブルームが毎年夏季と秋季に発生していることが分かってきた。厚岸湾ではカキやアサリの水産養殖も盛んであるが、この海域の養殖二枚貝への餌資源、食物網過程や生物生産に関して、夏季・秋季ブルームの寄与が春季より大きい可能性考えられる。しかし、そのブルームを形成する植物プランクトン群集や種組成に関する情報、ブルーム発生メカニズムについては明らかにされていない。この海域の SDGs に関連した持続可能な養殖産業と適切な沿岸域管理に向けて、春季だけでなく、夏季と秋季のブルームを形成する植物プランクトン群集の特定およびその発生メカニズムを解明することが必要不可欠である。

2. 研究の目的

本研究の目的は下記の通りである。

- (1) 北海道東部の厚岸沿岸域における海洋環境と植物プランクトン群集組成の季節・経年変化を明らかにする。
- (2) 春季、夏季、秋季に起こる植物プランクトンブルームの発生メカニズムを解明すること。

3. 研究の方法

3.1 厚岸臨海実験所棧橋前での時系列観測

2019年から3年間継続して、厚岸湾に面した厚岸臨海実験所の棧橋前で週2回、採水を実施した。採水した海水試料は、濾過し蛍光法を使ったクロロフィル a 濃度の測定に用いた。また、平日には水温の測定を常に行なった。

3.2 船舶による厚岸湾の時系列観測

2019年から3年間継続して、厚岸臨海実験所の実習観測船「みさご丸」および観測ボート「うみあいさ」に乗船して、厚岸湾の海洋環境と植物プランクトン群集組成の調査を月1-2回の頻度で実施した。観測では、CTD センサーによる水温・塩分、透明度版や水中分光放射計による水中の分光特性の観測を行い、その後、10%塩酸洗浄済みのポリカーボネートバケツおよびニスキン X 採水器を用いて、0 m および 10 m の海水を採取した。採取した海水は、実験室に持ち帰り直ちに濾過・分析を行なった。具体的には、栄養塩濃度、クロロフィル a 濃度、サイズ別クロロフィル a 濃度、顕微鏡観察、高速液体クロマトグラフィー (HPLC) を用いた植物プランクトン色素分析、フローサイトメーターを用いた小型植物プランクトン (*Synechococcus*) の細胞数の測定を行なった。

3.3 栄養塩添加ボトル培養実験

2020年の6月と8月に、厚岸湾の海水を採取し、栄養塩添加ボトル培養実験を行なった。一般的に6月は沿岸親潮水、8月は宗谷暖流変質水が湾内に流入するため、異なる水塊を用いた培養実験を行なった。採取した海水ボトルに硝酸塩、リン酸塩、ケイ酸塩、硝酸塩 + リン酸塩を別々に加えて、植物プランクトンの増殖速度や光合成活性の変化を調べた。

4. 研究成果

4.1 棧橋前モニタリング観測と船舶観測の結果

観測結果から、2-3月、9-10月に大規模な植物プランクトンブルームが棧橋前だけでなく、湾全体でも毎年発生していることが分かった(図1)。また、8月を境に寒流の沿岸親潮水から暖流の宗谷暖流変質水へと水塊が入れ替わり、それに伴い植物プランクトン群集組成も大きく異なることも明らかにした。珪藻類の中で寒流水塊が存在している場合は、*Thalassiosira* 属や *Chaetoceros* 属が優占し、暖流水塊では *Skeletonema* 属、*Thalassionema* 属、*Leptocylindrus* 属、*Pseudo-nitzschia* 属が優占していた。水塊交換に伴い植物プランクトン群集組成も大きく入れ替わることから、厚岸湾のカキやアサリといった養殖二枚貝の餌資源は、春季と夏季で大きく異

なることが明らかとなった。また、暖流水塊が流入した際にはシアノバクテリア（藍藻類）の *Synechococcus* の細胞数が急激に増加するため、暖流水塊流入の生物トレーサーとなることも示唆された。また、2021年9月には道東沿岸で大規模な赤潮が発生した。本研究では高頻度観測を実施していたため、この *Karenia* 属による赤潮をいち早く発見し、他の研究機関と協力し優占種などの調査を実施した (Iwataki et al., 2022)。今後、道東沿岸での赤潮発生要因の解明やモニタリング体制の強化が必要不可欠である。

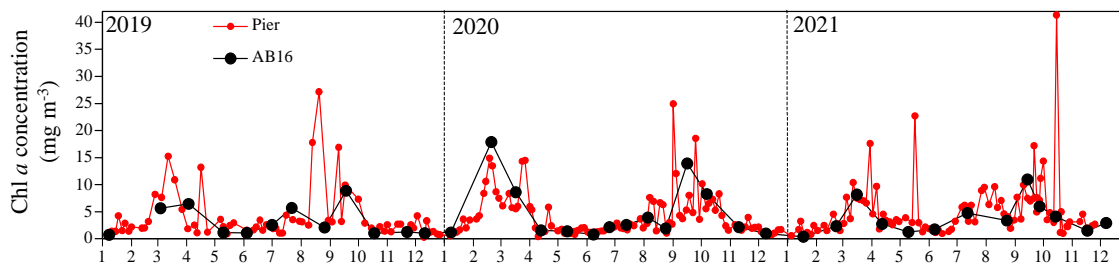


図1. 実験所棧橋前 (Pier、赤丸と赤線) と厚岸湾 AB16 観測点 (AB16、黒丸と黒線) における、クロロフィル a 濃度の季節および経年変化。

4.2 栄養塩添加ボトル培養実験の結果

9~10月にかけての夏季は、一般的に成層化が発達し下層からの栄養塩供給が少なくなるため、表層の栄養塩は枯渇する時期である。夏季は日射量は十分にあり、水温も高いため、水柱の鉛直混合以外の栄養塩供給が考えられる。そこで、降雨後の河川流入の増加に伴う栄養塩供給の可能性を調べるため、実験所棧橋前のクロロフィル a 濃度とアメダス (太田) の降水量の関係を調査した。その結果、両者の間に有意な正の相関が得られた。特に台風などの影響で降水量が増加する、8月以降で強い正の相関が得られた。これは降水に伴う河川流量の増加が、厚岸湾へ栄養塩を運び、ブルームを形成していることを示唆する。

この河川からの栄養塩供給の仮説を検証するため、6月と8月に栄養塩添加ボトル培養実験を行なった。その結果では、硝酸塩および硝酸塩+リン酸塩を加えた実験区で珪藻類の大きな増加が見られたため、主要な制限因子は硝酸塩であることがわかった。また、6月と8月では栄養塩に反応する珪藻群集が異なっていた。植物プランクトンの増殖が確認された硝酸塩添加区、硝酸塩+リン酸塩添加区では、6月は *Chaetoceros* 属が優占し、8月は *Leptocylindrus* 属が優占した。降雨に伴う河川水が供給源である可能性が考えられるが、湿原河川からの栄養塩供給とさらに水塊交換が夏季ブルームの形成へ寄与している可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Hooker Stanford B., Houskeeper Henry F., Kudela Raphael M., Matsuoka Atsushi, Suzuki Koji, Isada Tomonori	4. 巻 219
2. 論文標題 Spectral modes of radiometric measurements in optically complex waters	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Continental Shelf Research	6. 最初と最後の頁 104357 ~ 104357
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.csr.2021.104357	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 Kulk Gemma, Platt Trevor, Dingle James, Jackson Thomas, Jonsson Bror, Bouman Heather, Babin Marcel, Brewin Robert, Doblin Martina, Estrada Marta, Figueiras Francisco, Furuya Ken, Gonzalez-Benitez Natalia, Gudfinnsson Hafsteinn, Gudmundsson Kristinn, Huang Bangqin, Isada Tomonori, Kovac Zarko, Lutz Vivian, et al	4. 巻 12
2. 論文標題 Primary Production, an Index of Climate Change in the Ocean: Satellite-Based Estimates over Two Decades	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 826 ~ 826
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs12050826	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 該当する
1. 著者名 Isada Tomonori, Abe Hiroya, Kasai Hiromi, Nakaoka Masahiro	4. 巻 8
2. 論文標題 Dynamics of Nutrients and Colored Dissolved Organic Matter Absorption in a Wetland-Influenced Subarctic Coastal Region of Northeastern Japan: Contributions From Mariculture and Eelgrass Meadows	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Marine Science	6. 最初と最後の頁 711832
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fmars.2021.711832	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 Matsuoka Atsushi、Campbell Janet W.、Hooker Stanford B.、Steinmetz Francois、Ogata Kazunori、Hirata Takafumi、Higa Hiroto、Kawahara Victor S.、Isada Tomonori、Suzuki Koji、Hirawake Toru、Ishizaka Joji、Murakami Hiroshi	4. 巻 special section
2. 論文標題 Performance of JAXA 's SGLI standard ocean color products for oceanic to coastal waters: chlorophyll a concentration and light absorption coefficients of colored dissolved organic matter	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Oceanography	6. 最初と最後の頁 1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10872-021-00617-2	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 Isada Tomonori、Hooker Stanford B.、Taniuchi Yukiko、Suzuki Koji	4. 巻 special section
2. 論文標題 Evaluation of retrieving chlorophyll a concentration and colored dissolved organic matter absorption from satellite ocean color remote sensing in the coastal waters of Hokkaido, Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Oceanography	6. 最初と最後の頁 1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10872-022-00633-w	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 Iwataki Mitsunori、Lum Wai Mun、Kuwata Koyo、Takahashi Kazuya、Arima Daichi、Kuribayashi Takanori、Kosaka Yuki、Hasegawa Natsuki、Watanabe Tsuyoshi、Shikata Tomoyuki、Isada Tomonori、Orlova Tatiana Yu.、Sakamoto Setsuko	4. 巻 114
2. 論文標題 Morphological variation and phylogeny of <i>Karenia selliformis</i> (Gymnodiniales, Dinophyceae) in an intensive cold-water algal bloom in eastern Hokkaido, Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Harmful Algae	6. 最初と最後の頁 102204 ~ 102204
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.hal.2022.102204	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 該当する

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 阿部 稜、木田 新一郎、伊佐田 智規、田中 潔、中村 知裕、三寺 史夫
2. 発表標題 ドローン空撮による河川水の流出速度の推定
3. 学会等名 JPGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 阿部 稜、木田 新一郎、伊佐田 智規、田中 潔、中村 知裕、三寺 史夫
2. 発表標題 画像相関法による河川フロント上の速度場の推定
3. 学会等名 日本海洋学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤寛己・芳村毅・伊佐田智規・黒田寛・白岩孝行・長尾誠也・西岡純・村山愛子・山下洋平
2. 発表標題 湿原起源の鉄の海洋への輸送プロセスの解明
3. 学会等名 日本海洋学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮川和夫、長尾誠也、芳村毅、岩井久典、加藤寛己、伊佐田智規
2. 発表標題 河川・汽水湖・沿岸域における溶存態有機物の特性変化
3. 学会等名 第67回日本地球化学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊佐田智規、齊藤宏明、西岡純、鈴木光次
2. 発表標題 親潮生態系における植物プランクトンブルームの解明を目指して
3. 学会等名 第33回海洋生物活性談話会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊佐田智規
2. 発表標題 親潮域の植物プランクトンと鉄の関係 - 森は海の恋人? -
3. 学会等名 大黒自然研究会主催シンポジウム「身近な海の世界 -厚岸の海洋生態系について考える-」（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomonori Isada, Toru Hirawake, Koji Suzuki, Jun Nishioka, Hiromi Kasai
2. 発表標題 Changes in phytoplankton photophysiology during pre- bloom and bloom phases in the coastal Oyashio waters
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Satoshi Nakada, Tomonori Isada
2. 発表標題 Long river plume around Akkeshi Bay formed by snowmelt runoff
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩滝光儀、Lum Wai Mun、桑田向陽、高橋和也、有馬大地、栗林貴範、長谷川夏樹、渡辺剛、坂本節子、伊佐田智規
2. 発表標題 2021年秋季に北海道東部太平洋岸で発生した赤潮に観察された 無殻渦鞭毛藻Karenia 3種の形態と系統
3. 学会等名 東日本貝毒分科会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂本節子、北辻さほ、紫加田知幸、中山奈津子、湯浅光貴、長谷川夏樹、渡辺剛、黒田寛、伊佐田智規、有馬大地、栗林貴範、岩滝光儀
2. 発表標題 2021年秋季に発生した北海道東部太平洋岸Karenia属赤潮の発生状況と漁業被害の概要
3. 学会等名 東日本貝毒分科会
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
研究協力者	鈴木 光次 (Suzuki koji) (40283452)	北海道大学 (10101)	
研究協力者	谷内 由貴子 (Taniuchi Yukiko) (60770493)	国立研究開発法人水産研究・教育機構 (82708)	

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			
米国	アメリカ航空宇宙局(NASA)			
英国	プリマス海洋研究所			