

## 積雪河口沿岸域の水産生物の生態環境保全に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 28～令 2

担当チーム：水産土木チーム

研究担当者：的野博行、河合浩、伊東公人、  
須藤賢哉、梶原瑠美子、稲葉信晴

### 【要旨】

本研究は、水産有用種である二枚貝(ウバガイ)の生息場として河口沿岸域の生態系の周年および出水等のイベント時の変化過程を把握し、基礎生産構造などの生態系評価手法を提案するものである。研究内容は、陸域からの浮泥や栄養塩の流出が沿岸域の水産生物の生息環境に与える影響を捉え、二枚貝ウバガイの餌料である底生微細藻の生態と増殖特性を把握したうえで生長モデルを定式化し、これにより河口沿岸域に生息するウバガイの餌料である底生微細藻類の生長モデルを定式化し、餌料環境について評価するための生態系評価手法を提案した。

キーワード：ウバガイ、餌料、底生微細藻類、生長モデル

### 1. はじめに

河口沿岸域は陸域由来の栄養塩が加わることで海域の基礎生産が高く、漁業生産を支える豊かな餌料環境の漁場を形成している<sup>1)</sup>。近年では、生態系や生物多様性の保全が重要視される中、「里海(陸域と沿岸域を一体管理することで物質循環機能・生物多様性・自然環境を保全)」(環境省)<sup>2)</sup>あるいは「漁村の多面的機能(都市・河川・漁場の相互補完的な機能により沿岸域の自然環境を保全)」(水産庁)<sup>3)</sup>といった河口沿岸域に関係する政策が推進されている。漁場整備においても、生態系の保全を見据えた事業の展開と研究開発が求められている。しかし、河口沿岸域の生態系は複雑であり、その解明は十分に行われていないのが現状である。

こうした中で、我々は北海道の一级河川である鶴川の河口沿岸域(写真-1)を研究フィールドとして、当該地域の主要な水産物であるウバガイ(通称ホッキガイ)の漁場に着眼し、ウバガイの成長に大きく影響を与えると考えられる河口沿岸域の生態系の季節的な変遷の把握と餌料である微細藻類の生息環境を評価する生態系評価手法の提案を目的とした研究を行うこととした。本報告では、ウバガイの餌料環境として最重要である海域の基礎生産が年間最大となる春季を中心とした現地観測に基づき、本研究の重点である底生生態系(図-1)に着目して、ウバガイの餌料である底生微細藻類の生長モデルを定式化し、餌料環境について評価するための生態系評価手法を提案した。



写真-1 鶴川河口の融雪期の出水状況  
(2012年4月25日撮影)

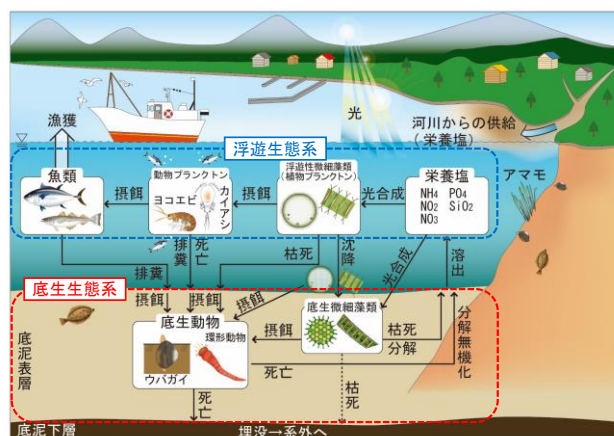


図-1 河口沿岸域における生態系概念

2. 材料と方法

2.1 現地観測

現地観測箇所は北海道の一級河川である鶴川の河口沿岸域の St. 2-a、St. 2-3、St. 3-4、St. 4-1 の4地点とした(図-2)。St. 2-a は水深約7m で河口から2.9km と最も海岸線に近くウバガイの棲息密度が高い地点、St. 2-3 は定点観測の地点、St. 3-4・St. 4-1 は沖合の地点として設定した(表-1)。表-2 に調査内容を示すが、St. 2-3 の表層1.0m に水温塩分計・クロロフィル濁度計、海底(水深13.1m)に水温計・照度計を設置して2019年2月27日~5月31日の期間で時系列観測を実施した。鉛直観測(直読式総合水質計(以下、CTD)垂下・採水)および採泥は、2019年3月8日と5月24日の2回、St. 2-a と St. 3-4 の2地点にて実施した。バンドーン採水器によって採水した試料については、溶存態無機窒素(NH<sub>4</sub>-N・NO<sub>2</sub>-N・NO<sub>3</sub>-N の合計:以下 DIN)・溶存態無機リン(PO<sub>4</sub>-P)・溶存態無機ケイ素(以下 SiO<sub>2</sub>-Si)・クロロフィル a (以下、Chl. a)の分析に供し、底泥については、ダイバー潜水によるアクリルパイプ(内径6.0 cm)での柱状採泥を行い、調査船上でパイプ3本分の底泥コアの表面0.5 cmを切り取って一つの試料に混合して底生微細藻類の顕微鏡観察による計数・種同定に用いた。これとは別に St. 2-1 では、底生微細藻類の培養試験に供するための底泥コア(表面0.5 cm)1試料を確保した。St. 4-1 ではスミス・マッキンタイヤ(S-M)採泥器により採泥後にアクリルパイプによる同様の方法で慎重に底泥試料を採取し、分析に供した。

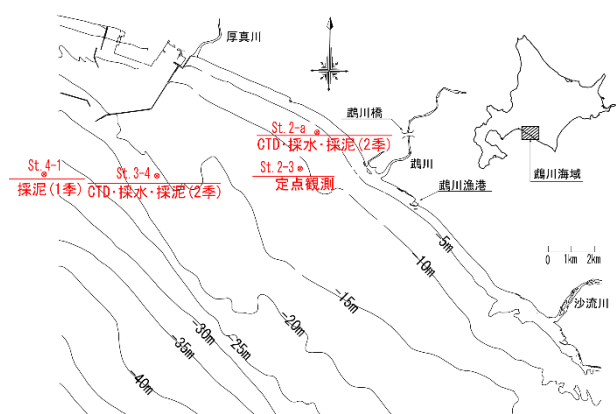


図-2 現地観測位置図

表-1 観測地点の座標値と河口からの距離

St.2-a	St.2-3	St.3-4	St.4-1
座標値(世界測地系) 上段:緯度 下段:経度			
42° 34' 34.53"	42° 33' 37.17"	42° 33' 27.31"	42° 37' 37.22"
141° 53' 13.22"	141° 52' 20.97"	141° 47' 53.78"	141° 44' 02.34"
河口からの距離(km)			
2.9	3.4	9.6	14.6

河川観測値については、国土交通省北海道開発局室蘭開発建設部が鶴川河口付近の鶴川水位観測所(以下、鶴川橋)にて観測している河川水位・懸濁物質(以下、SS)・化学的酸素要求量(以下COD)のデータを用いた。ただし河川観測値はとりまとめ前の速報値であることに留意願いたい。

表-2 現地調査の内容(海域は①~③、河川は④)

	調査方法・機器	観測内容
① 時系列	【方法】定置観測 【機器】水温塩分計、クロロフィル濁度計、水温計、照度計	【観測・分析項目】水温、塩分、濁度、クロロフィル蛍光強度(Chl.a)、照度成長モデルに使用 【観測期間】2019年2月27日~5月31日 【測点】St.2-3【設置水深】1.0m、13.1m(水温計・照度計)
② 鉛直	【方法】垂下 【機器】直読式総合水質計(CTD)	【観測項目】水温、塩分、濁度、クロロフィル蛍光強度(Chl.a)、光量子量 【観測日】①2019年3月8日②5月24日 【測点】St.2-a・St.3-4
③ 底泥	【方法】採水 表層:海面下0.5m 底層:海底上0.3m 【機器】バンドーン採水器	【分析項目】溶存態無機窒素(NH <sub>4</sub> -N・NO <sub>2</sub> -N・NO <sub>3</sub> -N)、溶存態無機リン(PO <sub>4</sub> -P)、溶存態無機ケイ素(SiO <sub>2</sub> -Si)、クロロフィル a(Chl.a) 【調査日】①2019年3月8日②5月24日 【測点】St.2-a・St.3-4
④ 河川観測値	【方法】採泥 【機器】ダイバー+アクリルパイプ(内径6.0 cm)(St.2-a・St.3-4)、S-M採泥器+アクリルパイプ(内径6.0 cm)(St.4-1)	【分析項目】底生微細藻類細胞数・種同定、クロロフィル a(Chl.a)、フェオフィチン(Phco.) 【調査日】①2019年3月8日②5月24日 【測点】St.2-a・St.3-4・St.4-1 ※St.4-1は3月8日のみ
	【方法】定点設置 【機器】水位計	【観測項目】水位の時系列 【観測期間】2019年2月1日~5月31日 【測点】鶴川水位観測所(鶴川橋)
	【方法】ボトル採水(表層)	【分析項目】懸濁物質(SS) 【観測日】①2019年4月16日②4月23日③5月7日④5月16日⑤5月22日 【測点】鶴川水位観測所(鶴川橋)

2.2 培養試験と底生微細藻類の生長モデル

底生微細藻類の生長速度を把握するために、St. 2-aで採取された堆積物(底泥コア)を培養試験に供した。既往知見である Couch<sup>4)</sup>を参考に底泥試料(表面0.5mm)から底生微細藻類を培養海水に採取し、6孔のウェルプレート(9.6 cm<sup>2</sup>/孔)に分注後、微細藻類の培養のため光源をインキュベータ内で12時間毎に点灯、消灯を繰り返して静置培養した。

水温、光量各4条件下で水温条件は約5°C、10°C、15°C、20°C(光量100%(97.65 μmol/m<sup>2</sup>/s))、光量条件は約50%、25%、12.5%(水温10°C)とした。ここで培養海水は採取した底層水をろ過し作成した改変ESM培地を使用した。

培養開始から数日間隔でウェル(3孔)内の全てを取り出し、ガラス繊維濾紙(Whatman, GF/F)上にろ過捕集し、濾紙とともに捕集物を90%アセトンに浸出させ、蛍光光度計(Trilogy, Turner Design製)を用いてクロロフィル(Chl. a)を計測した。得られたChl. aから増殖曲線を作成し、その対数分裂期における比生長速度を式(1)から算出した。また、ウェル1孔分は顕微鏡観察用とした。

$$\mu = \{\ln(C_{t2} / C_{t1})\} / (t2 - t1) \quad (1)$$

ここで $\mu$ は比生長速度(1/day)であり、 $C_{t1}$ 、 $C_{t2}$ は実験開始から  $t1$  日および  $t2$  日における Chl.  $a$  値である。

培養試験の結果を生態系モデルに反映させるため、底生微細藻類の生長に関するモデル化および本海域のウバガイ漁場を対象に比生長速度の変化について試算を行った。

### 3. 現地観測結果と考察

#### 3.1 気象・海域環境・河川水位の時系列

図-3は、St. 2-3の2019年2月～6月の気象データ(上)、海域の水温・塩分(中)、海域のクロロフィル蛍光強度(以下、Chl. flu)・濁度・河川水位・河川SS分析値(下)の時系列を示す。このうち、気象データは気象庁の気象観測データ<sup>5)</sup>の鶴川・室蘭の日別値、河川水位は1時間毎の観測値、海域の塩分・水温は20分毎の観測値、海域のChl. flu・濁度は20分毎の観測値から25時間移動平均を算出した値を

用いた。

調査期間中、気温と全天日射量は変動しながら上昇傾向を示し(図-3上)、日平均気温が4.2℃となった4月13日以降河川水位が1.0mを超えて2.0m近くまで急激に上昇していることから(図-3下)、13日を境に融雪出水(陸域由来の雪解け水)が本格化したと見られる。融雪出水による高い水位は大きく変動しながら5月上旬まで続き、その後低下していった。

塩分については4月18日以降30PSUを下回るなど、散発的に急激な塩分低下が見られ、それが5月下旬まで続いた(図-3中)。この塩分低下の期間は図-3(下)の河川水位が高い期間に概ね一致しており、融雪出水の影響と考えられる。水温については、概ね気温の上昇に伴って上昇傾向であるが、4月10日頃から表層(-1.0m)と底層(-13.1m)の水温が乖離する成層化の傾向が見られ、水温躍層の形成が覗かれる。

濁度については融雪出水の期間は概ね河川水位に追随

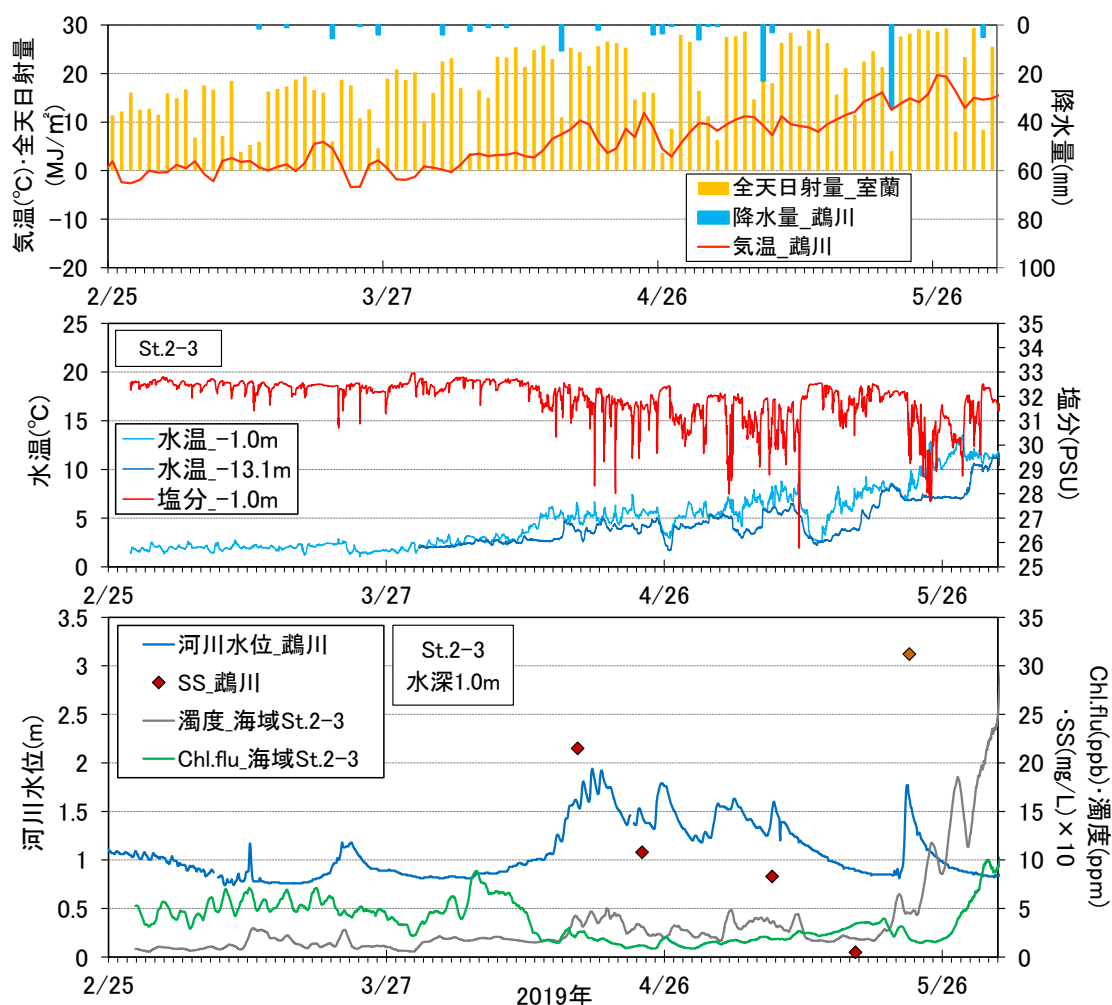


図-3 海域と河川の時系列観測値

(上)気象データ<sup>5)</sup> (中)水温・塩分(St. 2-3) (下)河川水位・SS分析値(鶴川橋)・Chl. flu・濁度(St. 2-3 水深1m)

しているが、5月21日には日合計34mmの降雨による大きな出水があり、5月22日に鶴川橋でSS=312 mg/Lとなり、海域の濁度が上昇傾向を示した(図-3 下)。以上は、融雪後の大雨が融雪出水時よりも海域の濁度に大きく影響することを示唆している。

Chl. fluについては、濁度とは異なり河川水位との明確な関連が認められず、河川水位と濁度が低い3月上旬から4月上旬にかけてChl. fluが5ppb(25時間移動平均値)を超える比較的高い基礎生産が続いたことが分かる(図-3 下)。これは春季ブルームの影響と考えられ、過年度の当海域での観測<sup>6)</sup>でも同時期に発生が確認されている。一方で、融雪出水期の濁度の上昇に伴ってChl. fluの低下が認められ、その傾向は5月下旬まで続いたことが分かる。これは融雪出水による濁度上昇により海中の透明度が低下し、基礎生産が抑制されたためと考えられる。また、5月21日に観測された降雨による大きな出水にやや遅れて5月26日頃からChl. fluの上昇傾向が認められた(図-3 下)。後述の鉛直分布における5月24日の表層の栄養塩濃度が3月8日と比べ大幅に増加していることから、融雪後の大雨による陸域由来の栄養塩流入の増大が要因と推察される。

### 3. 2 水塊の鉛直分布と水質・堆積物の成分分析結果

2019年5月24日の水温、塩分、Chl. a、光量子の鉛直分布を図-4、水質と堆積物の分析結果を表-3に示す。表層水温は10.5°Cで底層では8.5°Cであった。また、塩分は表層で27.2psuと出水の影響を受けており、底層では31.7psuとなっており、Chl. aは表層が1.1µg/L、底層は6.9µg/Lであった。光量子は消散係数が0.97m<sup>-1</sup>であった。

栄養塩については、底層の硝酸態窒素が検出限界以下(<0.003mg/L)であり、アンモニア態、亜硝酸態窒素が存在しているが、溶存態窒素濃度が植物プランクトンの増殖に必要な閾値0.014mg/L<sup>7)</sup>以下であることから窒素不足となっていることがわかる。これに対して表層では硝酸態窒素が0.043mg/Lと十分に存在する。リン酸態リンは表、底層ともに閾値0.003mg/L<sup>7)</sup>を上回っている。本海域の春季の沿岸環境の変化については既往知見<sup>8)</sup>の通り2~3月に春季ブルームがあり3月上旬からの融雪出水期と続くが、今回の調査時は鶴川・沙流川からの融雪出水期の後と考えられる。また、堆積物中のChl. aは15.7 mg/m<sup>2</sup>であった。そして、調査位置であるSt. 2-aの粒度分析結果は、細砂が主であり、砂分(粗砂, 中砂, 細砂)が89.4%、シルトと粘土が10.6%、中央粒径が0.119mmであり、ウバガイの生息に好適な底質粒度<sup>8)</sup>であった。

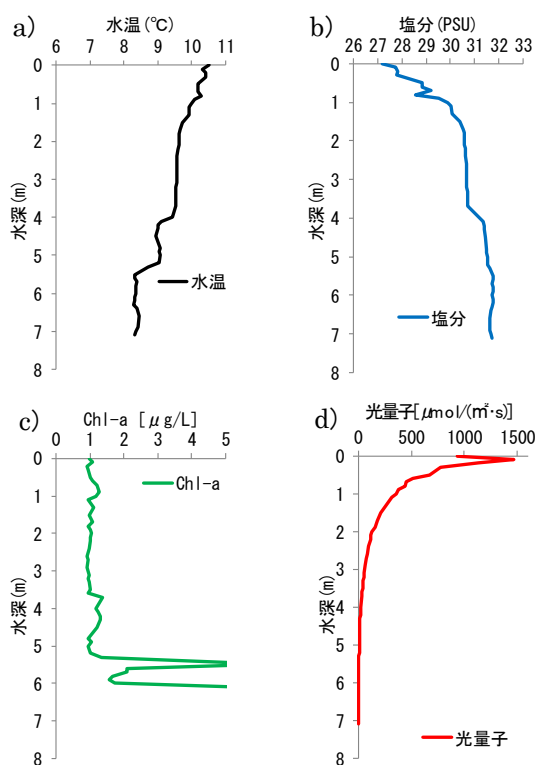


図-4 鉛直分布St. 2-a (2019. 5. 24)

a) 水温, b) 塩分, c) chl-a, d) 光量子

表-3 水質・堆積物分析結果St. 2-a (2019. 5. 24)

分析項目	表層(水面下0.5m)	底層(海底上0.3m)
アンモニア態窒素(mg/L)	0.008	0.007
亜硝酸態窒素(mg/L)	0.007	0.005
硝酸態窒素(mg/L)	0.043	<0.003
オルトリン酸態リン(mg/L)	0.018	0.017
ケイ酸態ケイ素(mg/L)	1.0	0.11
クロロフィル a(µg/L)	1.2	6.9

分析項目	堆積物	
	µg/g	µg/m <sup>2</sup>
クロロフィル a(µg/L)	2.5	15.7
フェオフィチン(µg/L)	0.5	3.2

### 3. 3 底生微細藻類の現存量と種組成

底生微細藻類の現存量と種組成の分析は、今回の調査で細胞数が99%以上を占めた珪藻綱を対象とした。図-5は、底泥表層0.5cmにおける2019年3月8日と5月24日の地点毎(水深を併記)の珪藻の現存量とChl. a・フェオフィチン(Pheo.)の濃度を示す。珪藻の現存量は湿泥cm<sup>2</sup>当たりの細胞数とし、珪藻の生態を浮遊性と付着性に分類<sup>9)10)</sup>して表記した。底泥中の珪藻は、3月8日では水深が深い測点の細胞数の方が多く傾向であり、5月24日では水深の浅いSt. 2-aで細胞数が多かった。水深が30.9mと最も深

いSt. 4-1でPheo. が9.7  $\mu\text{g/g}$ と最大を示し、生藻類比が0.13と最も低かった。

図-6は底泥中の珪藻の細胞数に基づく浮遊性と付着性の構成比を示しているが、比較対象として当海域の過年度の夏季(2013年8月、St. 2-3)における分析値<sup>11)</sup>も記載した。今回の調査では全地点で浮遊性珪藻がほぼ過半を占めており、特に水深の浅いSt. 2-aにおいては、3月8日では89.6%、5月24日では94.5%と浮遊性が圧倒的に優占した。表-4は2019年調査における底泥中の珪藻の優占種と占有率を示すが、*Asterionella kariana*(羽状目、写真-2(a))や*Thalassiosira pacifica*(中心目)等の浮遊性が優占し、付着性では*Melosira sulcata*(中心目、写真-2(b))が優占した。

一方で、2013年夏季の調査では7割以上が付着性であり、今回の結果と異なっていた。本調査期間は通年で最も基礎生産が高い時期であるため、水中で増殖した浮遊性珪藻の沈降後の細胞が底泥から検出されたためと推察される。なお、周防灘<sup>12)</sup>および英虞湾<sup>13)</sup>における観測でも、水中で増殖した浮遊性珪藻が底泥において多く確認されており、本調査においても同様の現象が生じたと考えられる。

今回の調査により、大量の浮遊性珪藻が底泥表面から検出され、底生微細藻類の現存量と種組成が地点・季節によって大幅に異なる可能性が示唆された。今後の河口沿岸域におけるウバガイ資源の維持管理や漁場整備を考える上では、ウバガイの餌料環境に与える季節変化の影響を評価することが重要と考えられる。

表-4 底泥中の珪藻の優先種と占有率

目・生態	種名	cells/cm <sup>3</sup>	占有率
2019年3月8日 St.2-a			
羽状目・浮遊性	<i>Asterionella kariana</i>	1,589	34.1%
中心目・浮遊性	<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>	1,537	33.0%
中心目・浮遊性	<i>Thalassiosira hyalina</i>	321	6.9%
2019年3月8日 St.3-4			
中心目・付着性	<i>Melosira sulcata</i>	1,316	20.0%
中心目・浮遊性	<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>	1,193	18.2%
羽状目・付着性	<i>Bacillaria paxillifera</i>	839	12.8%
2019年3月8日 St.4-1			
中心目・付着性	<i>Melosira sulcata</i>	5,470	39.1%
中心目・浮遊性	<i>Thalassiosira hyalina</i>	4,433	31.6%
中心目・浮遊性	<i>Thalassiosira pacifica</i>	1,037	7.4%
2019年5月24日 St.2-a			
中心目・浮遊性	<i>Thalassiosira pacifica</i>	6,112	74.6%
中心目・浮遊性	<i>Thalassiosira</i> spp.	868	10.6%
中心目・浮遊性	<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>	528	6.4%
2019年5月24日 St.3-4			
中心目・浮遊性	<i>Thalassiosira pacifica</i>	302	26.7%
中心目・浮遊性	<i>Chaetoceros compressum</i>	224	19.8%
中心目・浮遊性	<i>Thalassiosira</i> spp.	134	11.9%

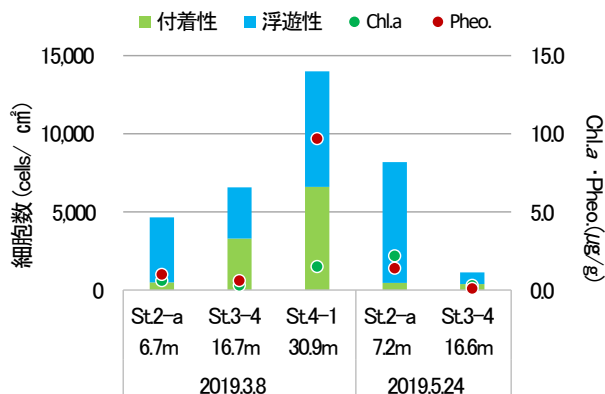


図-5 底泥中の珪藻の現存量とChl. a・Pheo.の濃度

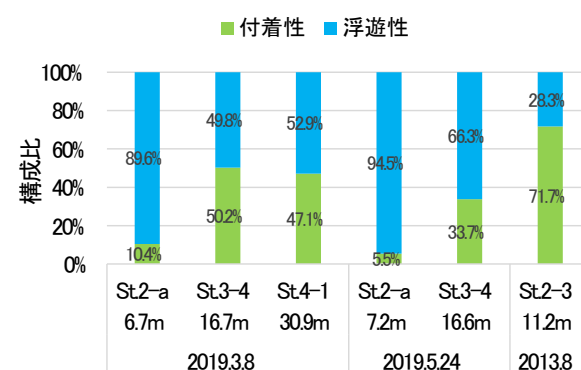
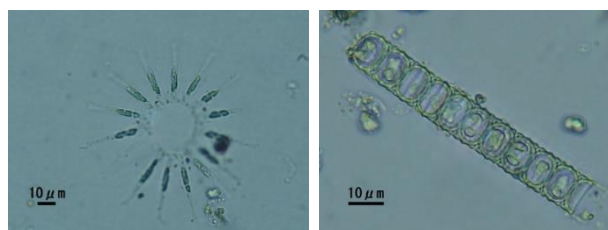


図-6 底泥中の珪藻の構成比(浮遊性・付着性)



(a)*Asterionella kariana*(浮遊性) (b)*Melosira sulcata*(付着性)

写真-2 底生微細藻類の優占種

#### 4. 培養試験の結果と考察

底泥中の出現種および前述した方法において、培養開始時の底生微細藻類の組成を図-7に示す。底生微細藻類は浮遊性の珪藻である*Thalassiosira*属が90%程度であった。これはSt. 2-aは水深7.1mで比較的浅く、碎波帯内であることから水中(浮遊系)で増殖したものが沈降するなどで底生微細藻類となったと考えられる。また、上述したとおり、本海域の春季ブルームおよび鶴川・沙流川からの融雪出水期の後と考えられ、著者らの過去の調査<sup>14)</sup>において同時期に*Thalassiosira*属が本海域の全体の表層水、底層水から採取されており、出現割合は80~90%であったことから、本海域の春季の特徴的な堆積物中の藻類の組成

を示していると考えられる。

培養開始時の試料は、図-7 に示すように *Berkeleya* 属など付着系の藻類が主となった。これは Couch<sup>4)</sup>を参考にガラスビーズを使用して堆積物試料中から主に走行性の付着性微細藻類を採取したためである。

次に水温および光条件下における培養試験結果を図-8、図-9 に示す。水温条件下における培養試験結果 (図-8) から、すべての水温条件下で底生微細藻類の増殖が見られた。時間経過とともに Chl. *a* は増加し最大値を迎えた。高水温ほど早く増加する傾向が見られ、水温依存性が確認できた。培養期間中で最も生長が見られた期間は、10°C、15°C、20°C では培養 2~4 日であったのに対し 5°C では培養 4~7 日の期間であった。これらを比生長速度とした。

光条件下における培養試験結果 (図-9) から、すべての光条件下であっても底生微細藻類の増殖が見られるとともに、光量が大きいほど早く Chl. *a* は増加する傾向が見られた、培養期間中で最も生長が見られた期間は、すべての光量において培養 0~4 日であり、これを比生長速度とした。

水温別、光条件別の比生長速度を図-10、図-11 に示す。水温別の比生長速度 (図-10) から、高水温ほど比生長速度は大きい傾向であり、水温 5°C における比生長速度は 0.611 day<sup>-1</sup>、20°C では 1.236 day<sup>-1</sup> であった。一見ら<sup>15)</sup>の研究では、干潟における底生珪藻の増殖速度は多くが 20°C 前後の温度帯で測定され、0.1~3 day<sup>-1</sup> 程度の増殖速度<sup>16)~21)</sup>となっていることを示している。本試験の 20°C の結果においてもこれらと一致している。図中に近似曲線式 (指数関数) を示しており、決定係数が 0.9958 と高い値となっている。

光条件別の比生長速度 (図-11) から、光量子量が大きいほど比生長速度は大きい傾向であり、光量が 12.5% (12.1 μmol/m<sup>2</sup>/s) における比生長速度は 0.344 day<sup>-1</sup>、光量が 100% (96.75 μmol/m<sup>2</sup>/s) では 0.834 day<sup>-1</sup> であった。光量子量と比生長速度の関係は、植物プランクトンにおいて既往知見があり、代表的な方程式を表-5 に示す。本試験の場合においては最も決定係数が大きい「べき乗則」が現象を表現していると考えられる。

図-12 に培養初期の細胞数と組成の変化を示す。図-8 と同様の時間の経過とともに細胞数が増加している。藻類の種類は、浮遊性の *Asterionella* 属と *Thalassiosira* 属が多い。

これについては培地の栄養塩濃度が大きいことによる応答の差異、付着性藻類を基質から剥がして浮遊させてウェル内で培養していることなどの要因が考えられる。し

かし、St. 2-a のような浮遊性と付着性がブルーム等の環境要因によって変化する場所で、かつ波浪や流れによって再懸濁が生じる可能性が高い場所においては、海底面で浮遊性の藻類が増殖することが考えられる。

表-5 光-比生長速度の方程式と決定係数

方程式	決定係数 R <sup>2</sup>	文献
1 $\mu = \alpha I$	0.3224	Blackman(1905) <sup>22)</sup>
2 $\mu = I / I_{opt} \cdot \exp(1 - I / I_{opt})$	0.7800	Steele(1962) <sup>23)</sup>
3 $\mu = I_{opt} \{1 - \exp(-\alpha I / I_{opt})\}$	0.8841	Webb et al.(1974) <sup>24)</sup>
4 $\mu = I_{opt} \cdot \tanh(\alpha I / I_{opt})$	0.8337	Jassby and Platt(1976) <sup>25)</sup>
5 $\mu = \alpha I^\beta$	0.9748	べき乗則(本報告)

※  $I_{opt}$  : 最適光強度  $\alpha, \beta$  : 係数

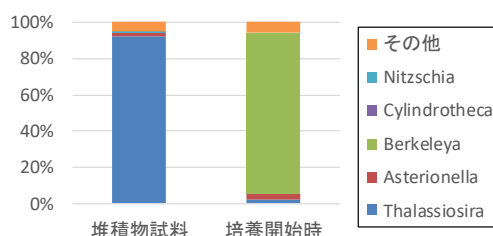


図-7 St. 2-a の底泥試料の出現種と培養試料の組成

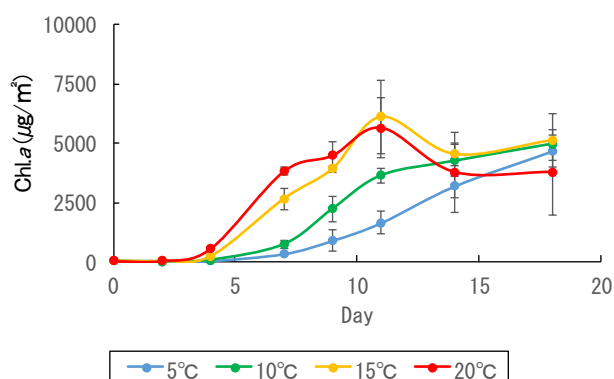


図-8 水温条件下における培養試験結果 (Chl. *a* 変化)

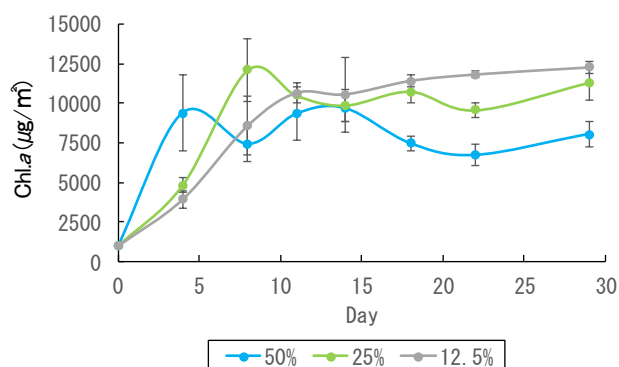


図-9 光条件下における培養試験結果 (Chl. *a* 変化)

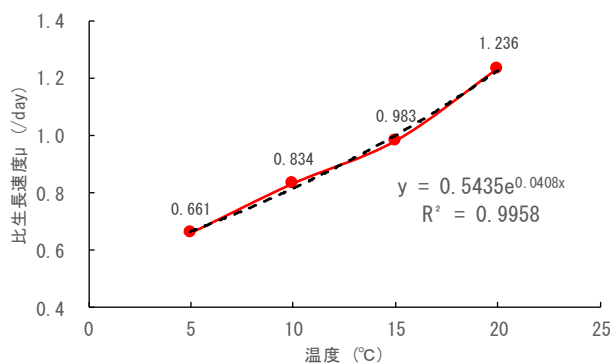


図-10 水温条件別の比生長速度

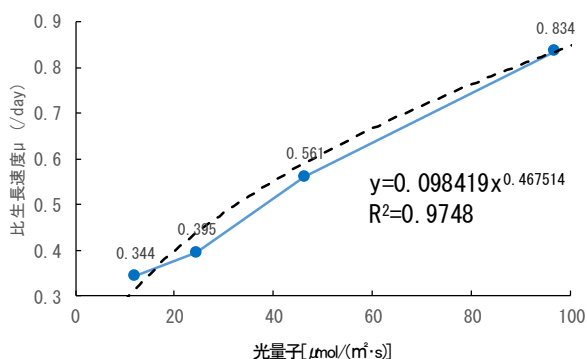


図-11 光条件別の比生長速度

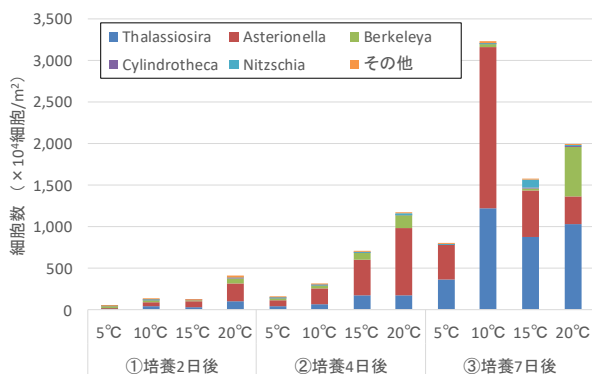


図-12 培養初期の細胞数と組成の変化

## 5. 底生微細藻の生長に関するモデル化

### 5.1 成長モデルの定式化

培養試験結果とその解析結果(図-10・図-11)から生態系評価手法に適用できる底生微細藻類の生長式(2)を算定した。相対光合成速度 (at 0°C) は0.5435(1/day)、温度応答係数は0.0408(°C<sup>-1</sup>)と算定された。また、光量子による影響に関しては、底層を想定しており強光阻害が生じないと考えられるため、光量子を変数とする増加関数として定義することとした。また、光条件別の比生長速度(図-11)を考慮して、べき乗則とし、指数部は0.467514とした。

$$\mu = 0.5435 \cdot \exp(0.0408 \cdot \text{temp}) \cdot \left( \frac{I}{96.75} \right)^{0.467514} \quad (2)$$

ここで  $\mu$  は比生長速度(1/day)、 $\text{temp}$  は水温(°C)、 $I$  は光量子量( $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ )を表す。

生態系モデルにおける底生微細藻類のパラメータは、本海域のような開放的な沿岸域の事例は見られないのが現状で、東京湾や有明海など内湾域や干潟域の事例が多く見られる。他に植物プランクトンと同じパラメータを使用している場合も存在する。東京湾<sup>22)</sup>において底生微細藻類の相対光合成速度 (at 0°C) は0.7(1/day)であり、有明海<sup>23)</sup>の比最大光合成速度 (at 16°C) は1.3(1/day)である。これと比較して鶴川沿岸は小さいことがわかる。

### 5.2 生長モデルによる試算条件

生態系評価手法に適用できるモデルとして定式化された式(2)より、本海域の試算を行った。ここで底生微細藻類の増殖に必要な栄養塩については、堆積物間隙水中の栄養塩は高いことが知られており、本海域においても溶存態窒素 DIN が0.840 mg/L、リン酸態リンが0.098 mg/L(2018年1月調査、未発表)であることから、栄養塩は充分に存在すると仮定して試算を行った。

Case1は堆積物の採取日を対象(0~24時までの24時間)にSt. 2-aの比生長速度を算出した(Case1-1)。また、ウバガイ漁場を想定して漁場の水深(2~10m)に対応した計算を実施した(Case1-2, 3)。これに加え既往調査<sup>24)</sup>より融雪出水により消散係数が最大(3.5 m<sup>-1</sup>)となった場合も試算した(Case1-4)。計算条件を表-6、表層光量子量の時間変化を図-13に示す。

表-6 Case1の計算条件(2019年5月24日を対象)

Case	水深	消散係数(m <sup>-1</sup> )	表層光量子量	水温(一定)
1-1	7.1m	0.97	アメダス室蘭における全天日射量より換算	8.5°C
1-2	2.0m		(図-13)	9.6°C
1-3	10.0m			7.2°C
1-4	7.1m	3.50		8.5°C

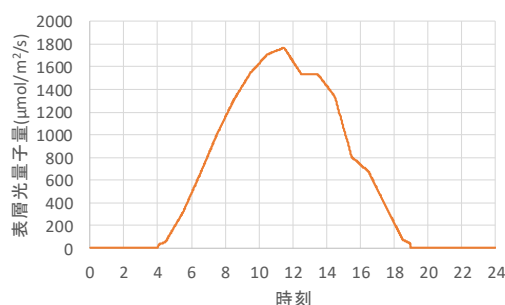


図-13 表層光量子量の時間変化(2019年5月24日)

Case2 は、St. 2-3 において照度計を 2019 年 3 月 31 日から 6 月 7 日まで計測していたことから、この期間の試算を行った。ここで Thimijan and Heins (1983)<sup>25)</sup> に従って照度から光量子量への換算を行った。

### 5.3 生長モデルによる試算結果

表-7 に Case1 の結果を示す。底泥を採取した St. 2-a での比生長速度は 0.106 (1/day) であった。ウバガイ漁場の水深に対応した Case1-1~3 において、水深 2m の比生長速度は水深 10m の約 40 倍と試算された。また、融雪出水による陸域からの濁水の影響を想定した Case1-4 では比生長速度がほぼ 0 となることが試算された。

Case2 では、2019 年の春季の St. 2-3 (水深 13.1m) における底生微細藻類の比成長速度の時系列の変化を示す(図-14)。比生長速度は水温と光量子量の変化に追従し、この期間の最大 0.47 (1/day) であり本期間の平均は 0.15 (1/day) と試算された。ここで光量子量が 5 月 20 日から 5 日間減少しており、比生長速度も低下していることがわかる。同時期の全天日射量(アメダス室蘭, 観測所番号 21323, 北緯 42.31°、東経 140.98°)、降水量(アメダス鶴川, 観測所番号 21276, 北緯 42.59°、東経 141.93°)を図-15、NOWPHAS 苫小牧(北緯 42.54°、東経 141.45°)と GPV データ(GPV-CWM, 北緯 42.55°、東経 141.90°、初期値)の有義波高の変化を図-16 に示す。この時期は 5 月 21 日に 4.5mm の降水量があったものの一時的な降水であり、全天日射量も低下していない(図-15)。一方、本海域に來襲する波浪については、5 月 20 日から数日の間、高波浪となっ

表-7 Case1の試算結果

Case	水深	比生長速度 (1/day)
1-1	7.1m	0.106
1-2	2.0m	1.117
1-3	10.0m	0.027
1-4	7.1m	$2.38 \times 10^{-5}$

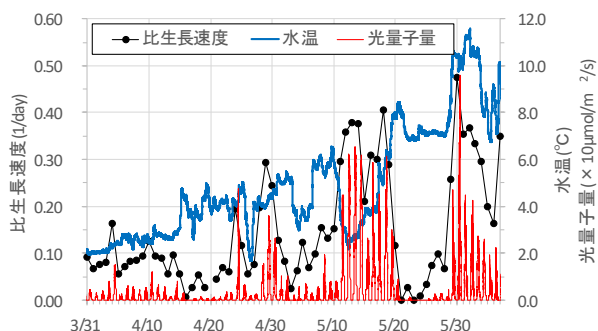


図-14 Case2 試算結果 (St. 2-3)

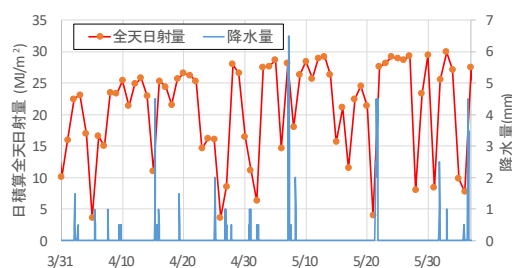


図-15 全天日射量および降水量の変化

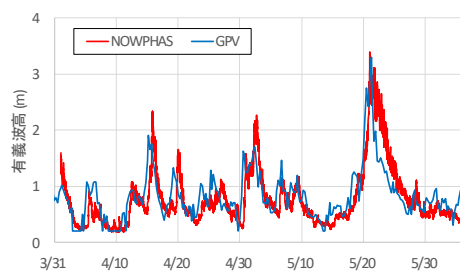


図-16 沿岸の波高変化

ている(図-16)。このことから波浪による海底の土砂の巻き上がりなどにより光量が散乱することで、底生微細藻の比生長速度が低下する可能性が示唆された。

## 6. まとめ

鶴川沿岸において春季ブルームおよび融雪出水期の後の現地調査を行うとともに底生微細藻類の培養試験を実施した結果、当海域の二枚貝ウバガイの餌資源となる底生微細藻類の生息環境や生長に関する多くの有用な結果が得られた。これに基づいて餌料である底生微細藻類の生長モデルを定式化し、それによる試算により生態系評価手法として提案した。以下に主要な結論を述べる。

- ① 4 月上旬までの春季ブルーム期には基礎生産は高めなのに対し、融雪出水期には河川から栄養塩が供給されるものの同時に濁水の影響で基礎生産が抑制される傾向にある。
- ② 底泥表面において浮遊性珪藻が優占したことから、春期(融雪出水前後)には浮遊性珪藻がウバガイの重要な餌料であることが示唆された。培養試験では附着性珪藻よりも浮遊性珪藻が早期に増殖したため、この時期の底生微細藻類の現存量の維持に浮遊性珪藻が重要と考えられる。
- ③ 底生微細藻類の増殖には水温依存性が見られ、水温 5°C でも 20°C の比生長速度の約 50% と高い。また、光量が多いほど早く成長し、本海域の場合はべき乗則で近似できる。
- ④ 寒冷海域の河口沿岸域を対象として底生微細藻類の



生長モデルを定式化し、これによる試算により生態系評価を行った。試算の結果、水深2mの底生微細藻類の比生長速度は水深10mの約40倍となり、生息場所による餌環境の差異が大きい可能性が考えられた。春季の時々刻々の比成長速度を試算したところ、水温変化とともに出水や波浪による巻き上げなど光環境の変化も重要と考えられた。以上によりウバガイ餌料である底生微細藻類の水深帯毎の基礎生産を計算できることが分かり、生態系評価手法として提案した。

今後は餌料環境によるウバガイの成長特性を評価できるモデルへと発展させることが課題であると考えられる。

### 参考文献

- 1) 水産庁漁港漁場整備部・林野庁森林整備部・国土交通省河川局：森・川・海のつながりを重視した豊かな漁場海域環境創出方策検討調査報告書、2004。
- 2) 環境省：里海ネット-里海と物質循環  
<https://www.env.go.jp/water/heisa/satoumi/03.html> (2021年6月18日確認)
- 3) 水産庁：分野別情報-水産業・漁村の多面的機能  
<https://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/tamenteki/> (2021年6月18日確認)
- 4) Couch: Carbon and nitrogen stable isotopes of meiobenthos and their food resources resources. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 28, pp. 433-441, 1989.
- 5) 気象庁：各種データ-資料-過去の気象データ検索  
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2021年6月18日確認)
- 6) 大橋正臣・三森繁昭・三上信雄・水垣滋・山本潤・門谷茂：鵜川沿岸の現地観測によるブルーム初期から融雪出水期までの基礎生産の変化について、土木学会論文集 B2(海岸工学)、Vol. 71、No. 2、pp. 1429-1434、2015。
- 7) 高橋正征・古谷研・石丸隆：生物海洋学2「粒状物質の一次生成」、東海大学出版会、174p、1996。
- 8) 大橋正臣・山本潤・須藤賢哉・水垣滋・門谷茂・田中仁：鵜川沿岸の漁場環境に及ぼす河川出水の影響、土木学会論文集 B2 (海岸工学)、Vol. 68、No. 2、pp. I\_1121-I\_1125、2012。
- 9) 河村知彦：海産付着珪藻の分類と生態、付着生物研究、10(2)、pp. 7-25、1994。
- 10) 国立科学博物館：研究と標本-資料-標本-資料データベース-微細藻類標本庫  
<https://www.kahaku.go.jp/research/db/botany/herbarium/index.html> (2021年6月18日確認)
- 11) 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所水産土木チーム：平成25年度鵜川沿岸域底生生物他調査業務報告書、pp. 1-116、2013。
- 12) MD. Jahangir Sarker, Tamiji Yamamoto, Toshiya Hashimoto: Contribution of benthic microalgae to the whole water algal biomass and primary production in Suo Nada, the Seto Inland Sea, Japan, *Journal of Oceanography*, Vol. 65, pp. 311-323, 2009.
- 13) 石井健一郎：沿岸域における珪藻類の生活史戦略と個体群動態に関する研究、京都大学博士論文、甲第16931号、pp. 1-111、2012。
- 14) 大橋正臣・山本潤・須藤賢哉・水垣滋・門谷茂：鵜川沿岸の基礎生産に対する融雪出水の効果について、土木学会論文集 B2 (海岸工学)、Vol. 69、No. 2、pp. I\_1191-I\_1195、2013。
- 15) 一見和彦・山下裕明・澤山稔・多田邦尚・門谷茂：新川・春日川河口干潟域(瀬戸内海播磨灘)に生息する底生微細藻類の増殖ポテンシャル、日本プランクトン学会報、55(1)、pp. 1-8、2008。
- 16) Admiraal, W.: Influence of light and temperature on the growth rate of estuarine benthic diatoms in culture, *Mar. Biol.*, 39, pp. 1-9, 1977.
- 17) Admiraal W.: Influence of various concentrations of orthophosphate on the division rate of an estuarine benthic diatoms, *Navicula arenaria*, *Mar. Biol.*, 42, pp. 1-8, 1977.
- 18) Admiraal W., Peletier H.: Influence of seasonal variations of temperature and light on the growth rate of cultures and natural populations of intertidal diatoms, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 2, pp. 35-43, 1980.
- 19) Mizuno M.: Influence of salinity on the growth of marine and estuarine benthic diatoms, *Jpn. J. Phycol. (sorui)*, 40, pp. 33-37, 1992.
- 20) Montani S., Magni P., Abe N.: Seasonal and interannual patterns of intertidal microphytobenthos in combination with laboratory and areal production estimates, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 249, pp. 79-91, 2003.
- 21) Williams R. B.: Division rate of salt marsh diatoms in relation to salinity and cell size, *Ecology*, 45, pp. 877-886, 1964.
- 22) Blackman F. F.: Optima and limiting factors, *Ann. Bot.*, 19, pp. 281-295, 1905.
- 23) Steele J. H.: Environmental control of photosynthesis in the sea., *Limnol Oceanogr*, 7, pp. 137-150, 1962.
- 24) Webb W. L., M. Newton and D. Starr: Carbon dioxide exchange of *Alnus rubra*, A mathematical model, *Oecologia*, 17, pp. 281-291, 1974.
- 25) Jassby A. D. and T. Platt: Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton, *Limnol Oceanogr*, 21, pp. 540-547, 1976.
- 26) 佐々木直美、多部田茂、北澤大輔：負荷や地形の変化を考慮した東京湾生態系の長期連続シミュレーション、沿岸域学会誌、Vol. 21、No. 4、pp. 27-38、2009。
- 27) 安岡澄人・畑恭子・芳川忍・中野拓治・白谷栄作・中田喜三郎：有明海の泥質干潟・浅海域での窒素循環の定量化-泥質干潟域の浮遊系-底生系結合生態系モデルの開発-、海洋理工学会誌、11(1)、pp. 21-33、2005。
- 28) 大橋正臣・河合浩・三上信雄・水垣滋・大村智宏・山本潤・門谷茂：鵜川沿岸の基礎生産に及ぼす光環境の

影響に関する研究、土木学会論文集 B3 (海洋開発)、  
Vol. 70、No. 2、pp. I\_1032-I\_1037、2014.

- 29) Richard W. Thimijan and Royal D. Heins:  
Photometric, radiometric, and quantum light unit  
of measure: a review of procedures for  
interconversion, Hortscience, Vol. 18(6),  
pp. 818-822, 1983.

## RESEARCH ON ECOLOGICAL ENVIRONMENT CONSERVATION OF AQUATIC PRODUCTS IN THE COASTAL AREA OF THE SNOWY ESTUARY

**Research Period** : FY2016-2020

**Research Team** : Cold Region Hydraulic and Aquatic Environment  
Engineering Research Group  
( Fisheries Engineering )

**Author** : MATONO Hiroyuki

KAWAI Hiroshi,

ITO Kimihito

SUDO Kenya

KAJIHARA Rumiko

INABA Nobuharu

**Abstract** : This study grasps the anniversary of the ecosystem in the coastal area of the river mouth and the change process at the time of events such as flooding as a habitat for bivalves (surf clams), which are useful marine products, and proposes an ecosystem evaluation method such as primary production structure. The research content is to grasp the effect of floating mud and nutrient outflow from land on the habitat of aquatic products in the coastal area, and to understand the ecology and growth characteristics of bottom microalgae, which are the food for bivalve molluscs. We formulated a growth model and constructed and proposed an ecological evaluation method for evaluating the feeding environment of bivalves inhabiting the coastal area of the river mouth.

**Key words** : surf clam, feed, benthic microalgae, growth model