

二枚貝ウバガイを指標とした河口沿岸域の漁場環境の評価について

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 ○須藤 賢哉
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 的野 博行
日本データサービス(株) 水工第Ⅱ部 川口 勉

河口沿岸域では河川からの栄養塩や土砂等の供給があり、魚貝類の餌料環境を支える海域の低次生産に影響を及ぼすが、漁場環境における生態系の解明・評価は十分ではない。本稿では二枚貝ウバガイを指標として鶴川河口沿岸域での現地観測により低次生産の季節変化を把握して餌料環境を解明し、生態系モデルにより河口沿岸域の漁場環境の評価を試みた。

キーワード：河口沿岸域、ウバガイ、漁場環境

1. まえがき

河口沿岸域は河川を通じた陸域由来の栄養塩・有機物・土砂等の影響の下で海洋生態系を形成している(図-1)。河川からの栄養塩の供給が魚貝類の餌料を支える低次生産を高めることで¹⁾、漁業生産を支える重要な漁場となっている。本稿の研究フィールドである一級河川鶴川の河口沿岸域では二枚貝ウバガイが最大の漁獲高²⁾であり、良好な漁場環境が保たれる中で持続的な生産が維持されている。漁場の生態系の維持・保全が重要であるが、河口沿岸域の漁場における生態系の解明・評価は必ずしも十分ではない。

こうした中で、我々はウバガイを指標種として、河口沿岸域の漁場における健全な生産基盤の形成に貢献するための研究を継続的に行ってきた³⁾。これにより、ウバガイの生産維持には餌料となる微細藻類(主に珪藻類)の供給が必要不可欠であり、その餌料を支える低次生産(微細藻類の増殖)が最も重要なプロセスであることが分かっている。本稿では、現地観測によりウバガイの餌料環境(低次生産)の季節変化過程を把握し、観測に基づいて簡易な生態系モデルを構築してウバガイの成長特性に与える河川の影響を試算し、これらに基づき漁場環境の評価を試みたので報告する。

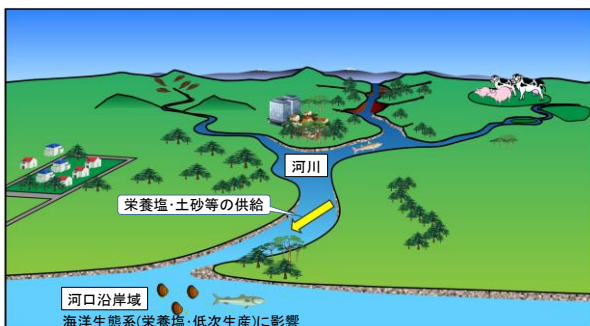


図-1 河口沿岸域の海洋生態系と河川の影響

2. 河口沿岸域での漁場環境の評価手法

(1) 漁場環境評価のための現地観測と生態系モデル

河口沿岸域の漁場環境評価のためには、まずは現地観測(室内実験を含む)により生態系の季節変化等の漁場環境の現状を把握する必要がある。但し現地観測だけで全てを網羅・解明するのは不可能なため、生態系モデル(低次生産等)の導入を検討する。生態系モデルのメリットは、現地観測では不可能な範囲・時刻の漁場環境の再現・予測と、生態系の物質循環における各過程の影響度が把握できることである⁴⁾。これにより観測項目の重点・不足が判明するので効率的な観測計画の立案も可能となる。

漁場環境の現状把握と生態系モデル構築の基礎データ(物理環境、低次生産の指標となるクロロフィル・微細藻類等)を得るための現地観測は以下のとおり整理される。

- ① 定点観測：水温・クロロフィル蛍光強度(以下Chl. flu)・濁度・流速・微細藻類(珪藻類)の沈降速度(以上機器観測)の時系列観測
- ② 多点観測：水温・塩分等の鉛直分布(水質計(CTD))、栄養塩・クロロフィル a(以下 Chl. a)・微細藻類(水中・底泥)等の濃度・密度(採水・採泥による水質・底質分析)、ウバガイの生息密度と胃内容物(餌料である微細藻類の分析)
- ③ 河川・気象データ：河川水位(流量)・L-Q式(SS等の流入負荷量Lと流量Qの関係式)・気温・日射量等
- ④ 室内実験(培養実験)：現地観測で採取した微細藻類を培養し生長特性を定式化して生態系モデルに組込

(2) 生態系モデル構築と漁場環境評価の手順

本稿では、図-2に示すウバガイと餌料(珪藻類)の関係に基づいた簡易な生態系モデル⁵⁾の構築を試みる。モデル構築では現地観測と培養実験のデータを基本とするが、生態系モデル等の既往研究も適宜補足的に用いる。漁場環境の適切な評価のためには浮遊生態系(水中)と底生生態系(底泥)の両面から生態系を捉える必要がある⁶⁾、こ

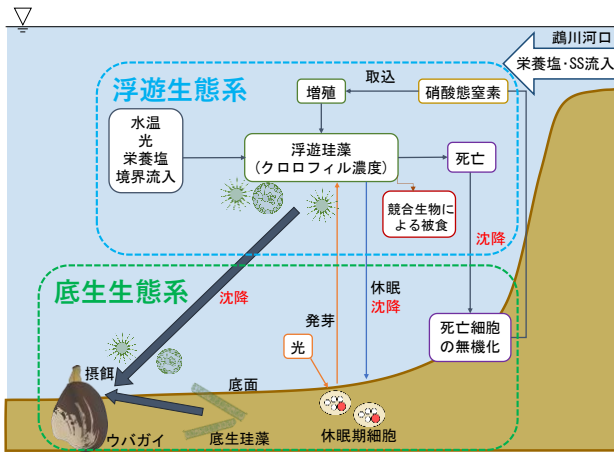


図-2 ウバガイを指標とした河口沿岸域での生態系モデルの概念

これを反映させた現地観測およびモデル構築を行う。まずは現地観測により河口沿岸域の低次生産とウバガイ餌料環境の季節変化を把握する。次に観測結果に基づき低次生産モデルおよびウバガイ成長モデルを構築し、河川流量の影響を試算することで漁場環境の評価を試みる。

3. 現地観測方法

漁場環境の現状把握と生態系モデル構築の基礎データ取得のための現地観測は、図-3に示す鵜川河口沿岸域で2019年と2020年に実施した。本稿では2020年の現地観測について示し、培養実験を含む2019年の詳細については文献(7)8)を参照されたい。また、モデル構築の補足データとして2012～2018年の観測結果³⁾(未発表データを含む)も併せて用いた。

表-1に現地観測内容を示す。観測期間は2020年2月～7月、測点は図-3に示す5地点で行った。St. 1-2・2-a・3-2は水深10m以浅で漁獲実績からウバガイの棲息密度が高い地点、St. 2-3は主に定点観測の地点、St. 3-4は沖合の測点として設定した。定点観測(St. 2-3)は水温計・クロロフィル濁度計を表層(水深1.0m)と底層(水深12.0m)に設置して2月21日～7月1日の期間で時系列観測を行った。鉛直観測(CTD)は2～7月の6回、採水・採泥は3・5・6月の3回

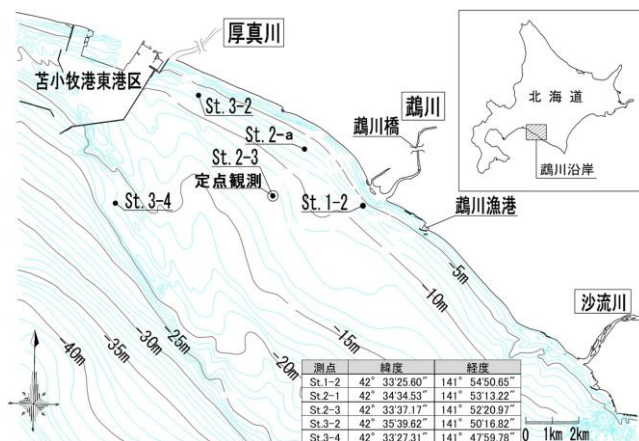


図-3 現地観測位置図

SUDO Kenya, MATONO Hiroyuki, KAWAGUCHI Tsutomu

表-1 現地観測内容(2020年)

	調査方法・機器	観測内容
海域時系列	【方法】定点観測時系列 【機器】水温計、クロロフィル濁度計、時系列式ゼンキトトラップ(生態系モデル構築用)、ADCP(同)	【観測項目】水温、濁度、クロロフィル蛍光強度(Chl.a)、微細藻類沈降速度(モデル用)、流速(同) 【観測期間】2020年2月21日～7月1日 【測点】St.2-3 【機器設置水深】表層1.0m、底層12.0m
海水中鉛直	【方法】機器垂下(鉛直) 【機器】多項目水質計(CID)	【観測項目】水温、塩分 【測点】St.2-3 【観測日】2020年①2月21日②3月7日③4月8日④5月15日⑤6月6日⑥7月8日
海底泥	【方法】採水 表層:海面下1.0m 底層:海底上1.0m 【機器】ハンドポンプ採水器	【分析項目】溶存態無機窒素(DIN: NH ₄ -N・NO ₂ -N・NO ₃ -Nの合計値)、クロロフィル a(Chl.a)、微細藻類(珪藻類)の細胞数・種同定 【調査日】2020年①3月7日②5月15日③6月6日 【測点】St.2-a・3-4
貝採捕	【方法】桁網採捕 【機器】噴流式桁網(幅120cm・網目合75cm)	【分析項目】ウバガイの個体数・殻長・湿重量・胃内容物(微細藻類の細胞数・種同定) 【調査日・測点】2020年①3月16日: St.1-2・2-1・2-3・3-2・3-4②5月22日: St.2-a
河川	【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】2020年2月1日～7月1日 【測点】鵜川水位観測所(鵜川橋)

行った。海水試料は表層(1.0m)・底層(12.0m)の2層で採水し、栄養塩(溶存態無機窒素、以下DIN)・Chl. aの分析と微細藻類の顕微鏡観察(計数・種同定)に供した。底泥試料はダイバー潜水によるアクリルパイプ(内径6.0cm)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0.5cmを切取後に1試料に混合して微細藻類の顕微鏡観察に供した。ウバガイ採捕は3・5月の2回行い、胃内容物(微細藻類)の分析は海水・底泥と同様に行った。

4. 現地観測結果と考察

(1) 物理環境・栄養塩・低次生産の観測値

図-4は、2020年2～7月の水温・Chl. flu・濁度(以上はSt. 2-3の機器観測値)・河川水位・気象データの時系列、海域(表層・底層)にて採水・分析した DIN・Chl. a(以上はSt. 2-a・3-4の平均値)、水温・塩分(CTD値)の鉛直分布をそれぞれ示す。海域の水温・Chl. flu・濁度は20分毎の観測値(Chl. flu・濁度は25時間移動平均値)、河川水位は鵜川水位観測所(鵜川橋)での日別値⁹⁾、気象データは気象庁による鵜川・室蘭の日別値¹⁰⁾を用いた。

気温と全日射量(図-4右下)は変動しながら上昇傾向を示した。3月10日に日合計37mmの降水があり河川水位(図-4右下)が2.84mのピークを記録したが、それ以後に日平均気温が約5°Cを超える3月下旬頃から融雪出水が開始されたと思われる。融雪出水による高い水位は変動しながら5月下旬まで続き、その後低下していった。

水温の時系列(図-4右中)は概ね気温の上昇に伴って上昇傾向であるが、4月上旬から表層と底層の水温が乖離して成層化の傾向が見られた。一方で散発的に両層の水温の接近が見られ鉛直混合も覗かれた。

3～7月の水温・塩分の鉛直分布(図-4左)は2・3月で変化が少なく鉛直混合が窺われるが、4月以降は水深2～

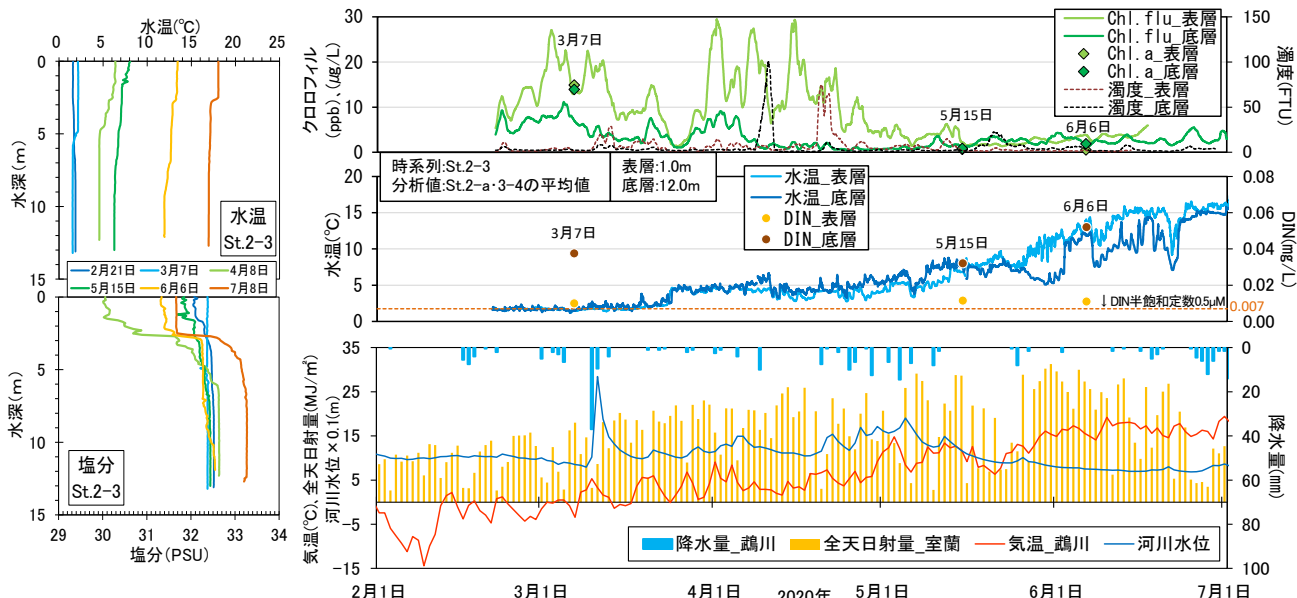


図-4 鉛直観測(海域)と時系列観測(海域・河川・気象データ) (左)水温・塩分の鉛直分布(CTD)

(右上)Chl. flu.・濁度の時系列と Chl. a 分析値 (右中)水温・塩分の時系列と DIN 分析値 (右下)河川水位・気象データ¹⁰⁾の時系列

6mに躍層があり成層化の傾向が見られた。

Chl. flu.の時系列(図-4 右上)は2月下旬から既に高い値(表層=約10~30ppb、底層=約5~10ppb)であるが、これは当海域での既往観測¹¹⁾で確認されている春季ブルーム(微細藻類の大増殖)であると考えられる。融雪出水開始後にいちど値が低下するが、その後に表層では3月下旬~5月中旬まで高い値が続いた。これは融雪出水期の河川からの栄養塩供給¹⁰⁾によると考えられる。以上のChl. flu.時系列をChl. a分析値(図-4 右上、St. 2-a・3-4の平均値)と比較すると、何れの観測日でも概ね一致した。

濁度の時系列(図-4 右上)は融雪出水後にやや高い値となり、4月上旬(底層)と4月下旬(表層)でそれぞれ50FTUを超えるピークが記録されている。これの要因としては河川からの浮遊土砂等の影響が推察される。

DIN分析値(図-4 右中、St. 2-a・3-4の平均値)では表層0.01~0.0115 mg/Lで半飽和定数 $0.5 \mu\text{M} = 0.007 \text{ mg/L}$ (既往研究¹²⁾より設定)に近く窒素制限が推察される。要因は表層の高い低次生産による栄養塩の消費と考えられる。

(2) 水中と底泥における微細藻類の生息状況

図-5はSt. 2-a(水深6.1m)における2020年3・5・6月の水中の微細藻類(珪藻類)の細胞密度と組成比を示す。細胞密度は顕微鏡観察で種同定された珪藻細胞の総数、組成比は種同定された珪藻を生態毎に浮遊珪藻(浮遊性)と底生珪藻(底生性)に分類して細胞数に基づき算出した。

春季ブルーム期の3月7日では、細胞密度が表層3,312,000 cells/L・底層2,599,800 cells/Lと観測日の中で最も高く、浮遊珪藻の割合が99%以上と圧倒的であった。融雪出水期の5月15日では、細胞密度が表層31,650 cells/L・底層102,000 cells/L、浮遊珪藻の割合が表層77.3%・底層71.8%と3月7日よりも低かった。融雪出水後の6月6日では、細胞密度が表層115,500 cells/L・底層249,000 cells/L、浮遊珪藻の割合が表層95.1%・底層93.3%と5月15日より

は高い。以上より、鶴川河口沿岸域での春季の浮遊生態系においては水中の珪藻類の細胞密度が高いほど浮遊珪藻の占める割合が高く、低次生産においては浮遊珪藻の影響が大きいことが示唆される。

図-6はSt. 2-a(水深6.1m)における2020年3・5・6月の底泥の微細藻類(珪藻類)の細胞密度と組成比を示す。分析手法は水中同様で細胞密度は底泥 cm^2 当たりである。比較対照として2013年8月(St. 2-3)の分析結果も示す。2020年では細胞密度が69,660~158,940 cells/ cm^2 で浮遊珪藻

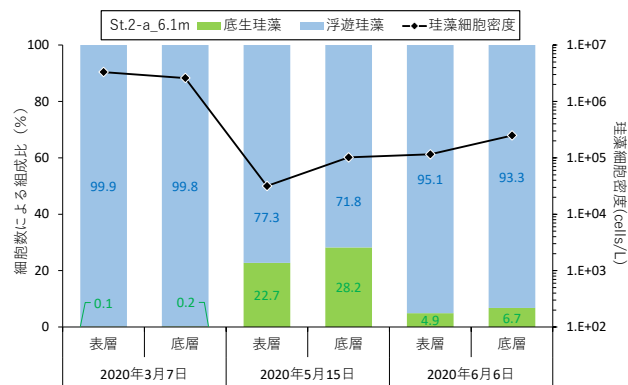


図-5 水中の微細藻類の細胞密度と組成比

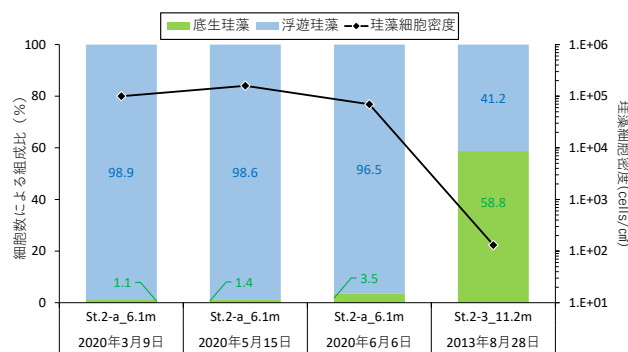


図-6 底泥の微細藻類の細胞密度と組成比

藻の割合が 96%を超えて高く、水中から沈降した浮遊珪藻が底泥表面に多く堆積していることが示唆された。2013 年では細胞密度が 131cells/cm²で浮遊珪藻の割合が 41.2%と低く、2020 年春季に比べて水中からの浮遊珪藻の沈降が少ないことが推察された。以上より、鵠川河口沿岸域での春季の底生生態系においては、水中から沈降した浮遊珪藻が多く底泥に堆積しており、それがウバガイの餌料環境にも影響を及ぼしていることが推察される。

(3) ウバガイの生息密度と胃内容物

図-7 は 2020 年 3 月 16 日に採捕されたウバガイの生息密度および 2020 年 3 月 16 日・5 月 22 日に採捕されたウバガイの殻長・湿重量の関係を示す。10m 以浅の測点 (St.1-2・2-a・3-2) ではウバガイが採捕されたが、10m 以深では未採捕であった。この傾向は既往観測結果³⁾と概ね整合する。また、個体密度は水深 10m 以浅では平均 7.3 個体/m²である。既往研究¹³⁾では 0.2~1.0 個体/m²の観測事例(苫小牧沿岸)があり、1~5 個体/m²を「非常に良い漁場」と評価している。今回の観測結果はそれよりも高く、鵠川河口沿岸域では良好なウバガイ漁場が形成されていると考えられる。殻長・湿重量の関係では、図中に示す回帰式が既往研究¹⁴⁾とほぼ一致しており、一般的な成長特性の範囲内であると考えられる。

図-8 は 2020 年 3 月 16 日・5 月 22 日に採捕されたウバガイの胃内容物中の珪藻の組成比と細胞密度を示す。比較対照として 2013 年 9 月に鵠川沿岸で漁獲されたウバガイの分析結果も示す。分析手法は水中・底泥と同様であり、細胞密度はウバガイ胃内容物の湿重量当たりである(但し 2013 年は胃内容物湿重量が不明につき細胞密度は未記載)。3 月で細胞密度と浮遊珪藻の割合が最も高

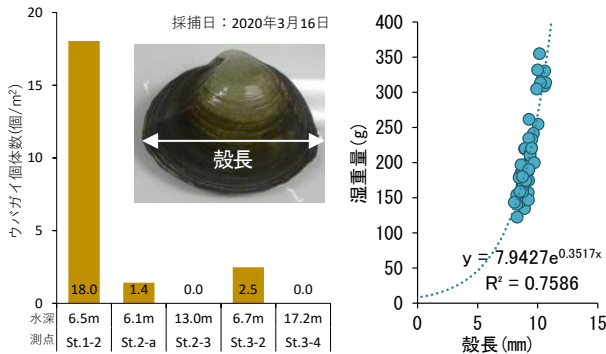


図-7 ウバガイの生息密度(左)と殻長・湿重量の関係(右)

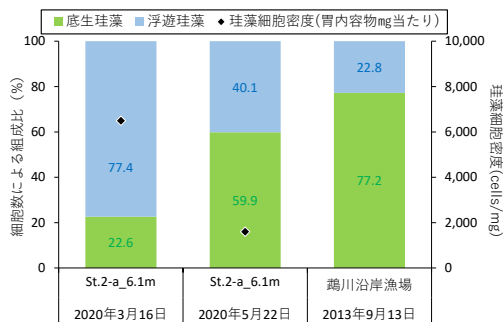


図-8 ウバガイ胃内容物中の珪藻類の細胞密度と組成比

SUDO Kenya, MATONO Hiroyuki, KAWAGUCHI Tsutomu

く、2013 年 9 月は 3・5 月よりも浮遊珪藻の割合が低い。この傾向は水中・底泥の結果と類似しており、水中の低次生産が高いほど餌料に占める浮遊珪藻の割合が高く、かつ餌料が豊富であることが示唆された。以上より鵠川河口沿岸域での春季のウバガイの餌料環境においては、水中の低次生産の影響が大きいと考えられる。

5. 生態系モデルによる河口沿岸域の漁場環境評価

(1) 生態系モデルの構築

現地観測結果に基づき、浮遊生態系と底生生態系の両面からウバガイの餌料(浮遊珪藻・底生珪藻)を計算する低次生産モデルと、その餌料を入力値として計算するウバガイ成長モデルから成る、ワンボックス型生態系モデル⁵⁾の構築を試みた(図-9)。浮遊生態系(水中)は現地観測による躍層(図-4)に基づき水深 3m を境界に表層・底層の 2 層とした。ボックス領域は、鵠川からの濁質の影響範囲³⁾と現地観測の測点範囲から図-9 に示す鵠川河口周辺の 14km×6.5km×13m(平均水深)の範囲とした。ボックス系内に流入する河川からの栄養塩・濁質の量は L-Q 系外との栄養塩の交流は実測の流速により考慮した。

a) 浮遊生態系の低次生産モデル

ウバガイ餌料のうち水中の低次生産を担う浮遊珪藻の時間変動の基礎式は平野¹⁵⁾を参考に次式を用いた。

$$\frac{\partial P}{\partial t} = B_1(\text{増殖}) - B_2(\text{休眠化}) - B_3(\text{枯死・被食}) + B_4(\text{休眠期細胞発芽})$$

ここで $B_1 \sim B_4$ の各項の内訳は以下のとおりである。
①増殖 B_1 : 水温・光・栄養塩の制限条件から次式とした。

$$B_1(\text{増殖率}) = B_{11} \cdot B_{12} \cdot B_{13}$$

ここで B_{11} =水温制限係数(Eppley 式)、 B_{12} =光制限係数(Steele 式)、 B_{13} =栄養塩制限係数(Michaelis-Menten 式)である(以上は文献¹⁵⁾を参照)。なお、栄養塩は現地観測により窒素制限が推察されたことから硝酸態窒素のみを考慮した。

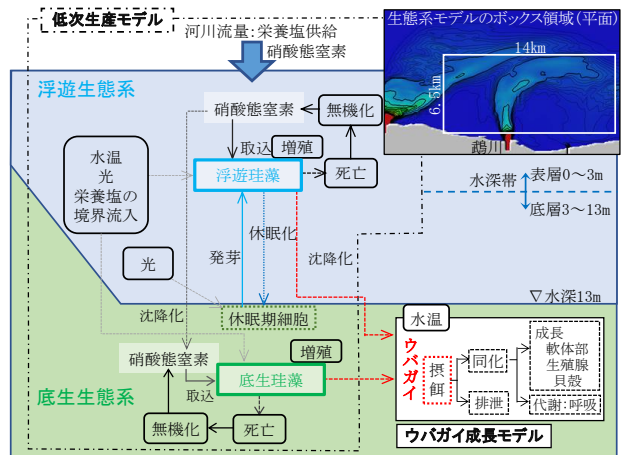


図-9 生態系モデル構築の概念とボックス領域

②休眠化 B_2 :板倉¹⁶⁾による休眠化率と硝酸態窒素の関係に基づき双曲線関数で定式化した。

$$B_2(\text{休眠化率}) = a/\sinh(b \cdot N)$$

ここで N =硝酸態窒素($\mu\text{ mol/L}$)、係数は $a=0.4, b=4$ とした。

②枯死・被食 B_3 :横山¹⁷⁾に基づき枯死速度を次式とした。

$$B_{21}(\text{枯死速度}(\text{mgC}/\text{m}^3/\text{day})) = c \cdot P^d$$

ここで P =珪藻細胞数(mgC/m^3)、係数は $c=0.0085, d=1.51$ とした。枯死と被食の割合は鶴川漁場の主要魚種(シヤモモ等)の食圧をEcopathモデル¹⁸⁾で試算して1:1とした。

④休眠期細胞発芽 B_4 : 2019年観測の海底面日平均光量子束密度 I_d ($\mu\text{ mol}/\text{m}^2/\text{s}$)と発芽基準値 $15\mu\text{ mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (文献16)にて設定から発芽適合率 G_1 を計算し、 I_d と G_1 の関係にロジスティック型関数を適用して発芽速度を定式化した。

$$B_4(\text{発芽速度}) = P \cdot G_1 \cdot 0.45 / (1 + 50 \exp(-0.4) I_d)$$

ここで P =休眠期細胞数(mgC/m^3)である。

b) 底生生態系の低次生産モデル

底生珪藻の増殖速度 μ (1/day)は2019年観測の水温・光量条件による培養実験⁸⁾により定式化した次式を用いた。

$$\mu = 0.5435 \exp(0.0408 \text{tmp}) \left[\frac{I}{96.75} \right]^{0.4675}$$

ここで、 tmp : 水温($^{\circ}\text{C}$)、 I : 光量子密度($\mu\text{ mol}/\text{m}^2/\text{s}$)である。

c) ウバガイ成長モデル

ウバガイの成長速度は中村ら¹⁹⁾のモデルを参考に、低次生産モデルで計算される餌料(浮遊珪藻・底生珪藻)を炭素換算してウバガイ軟体部の同化量に反映し、呼吸速度と生殖腺成長速度を差し引いて軟体部の炭素換算重量を計算する成長式として次式を用いた。

$$\frac{\partial Dwc}{\partial t} = A(\text{同化量}) - R(\text{呼吸速度}) - G(\text{生殖腺への配分})$$

ここで Dwc : 軟体部の炭素重量(mgC)、 A : 同化量(mgC/day)

表-2 生態系モデルのパラメータ・境界条件等

項目	値	単位	出典		
Chl.a/C比	0.021	ppb/($\text{mgC} \cdot \text{m}^{-3}$)	横山(1993)[文献17]		
植物プランクトンのN/Cp比	0.01171	-	横山(1993)[文献17]		
低次生産パラメータ	増殖速度(浮遊珪藻)	水温増減の定数(F0, k)	$F0=0.4, k=0.09$	$F0, d^{-1}$	2019・2020年現地観測データより設定
	増殖速度(底生珪藻)	硝酸態窒素半飽和定数	0.5	$\mu\text{ M}$	Fasham et al.(1990)[文献20]
	増殖速度(底生珪藻)	最適光量Iopt	273	$\mu\text{ mol}/\text{m}^2/\text{s}$	水産土木チーム(2015)[文献3]の実験式
	休眠化	係数a,b	$a=0.3, b=3$	-	板倉(2000)[文献16]に基づき定式化
	休眠化	光量条件	15	$\mu\text{ mol}/\text{m}^2/\text{s}$	-
	発芽率	最大値Ymax	1.0	-	2019年現地観測データと板倉(2000)[文献16]に基づき定式化
	発芽率	半飽和定数Yc	50	$\mu\text{ mol}/\text{m}^2/\text{s}$	2019年現地観測データと板倉(2000)[文献16]に基づき定式化
	発芽率	立ち上がり勾配k	0.4	-	2019年現地観測データと板倉(2000)[文献16]に基づき定式化
	死亡率	定数m, べき乗k	$m=0.0085, k=1.51$	$(\text{mgC}/\text{m}^3)^{1.51} \cdot d^{-1}$	横山(1993)[文献17]に基づき設定
	死亡率	水温増減の定数(F0, k)	$F0=0.5435, k=0.0408$	$F0, d^{-1}$	2019年の培養実験[文献8]による実験式
境界条件	ウバガイ餌料競合者の捕食率	枯死率の1.0倍	-	Ecopathモデル[文献18]の試算に基づき設定	
	水温・光量子束密度		$^{\circ}\text{C}, \mu\text{ mol}/\text{m}^2/\text{s}$	2020年現地観測に基づき設定	
	河川負荷量	河川流量	該当年の流量	m^3/d	国土交通省水門データベース[文献9]
	河川負荷量	栄養塩濃度	河川流量との関数	mg/L	大橋ら(2012)[文献21]
初期条件	無機態窒素	SS濃度	mg/L	水垣ら(2013)[文献22]、山下ら(1998)[文献23]	
	無機態窒素	流速(東西方向成分)	mg/L	2020年現地観測の流速時系列データ	
沈降速度	珪藻	上層:120, 下層:60	mgC/m^3	2020年現地観測の分析値に基づき設定	
	硝酸態窒素	上層:120, 下層:115	mg/L	2012~2018年現地観測の分析値に基づき設定	
沈降速度	珪藻	0.5	m/d	2020年現地観測のセジメントラップ分析値とA.Miklasz et al.(2010)[文献24]に基づき設定	
	硝酸態窒素	0.1	m/d	2020年現地観測のセジメントラップ分析値とA.Miklasz et al.(2010)[文献24]に基づき設定	

$=C \cdot F = C \cdot AE$, C : 摂餌速度(mgC/day)、 AE : 同化効率 $=1.5/(1.5+\text{Chl}a)$ 、 F : 排泄速度(mgC/day) $=C(1-AE)$ 、 R : 呼吸速度(mgC/day) である。

ウバガイの殻長と重量の関係は、殻長8cm以上は2020年観測結果(図-7)の回帰式、8cm未満は須川ら¹⁴⁾の観測による回帰式を用いた。

d) 生態系モデルのパラメータ・境界条件等の整理

生態系モデル構築に用いた計算式のパラメータおよび諸条件の一覧を表-2に示す。これらは今回の現地観測・培養実験(2019年)⁸⁾のほか既往研究を参考とした。なお、既往研究の詳細は出典の文献を参照されたい。

(2) 低次生産モデルによる海域の栄養塩と餌料の試算

図-10は海域の硝酸態窒素(栄養塩)についての観測値とモデルによる計算値の比較を示す。観測値は2012~2019年の全測点・全層の平均値としている。計算値は鶴川河川流量は5ヵ年平均日別値による。計算値は観測値の偏差の範囲内であり、栄養塩の時系列の変化傾向を概ね再現していると考えられる。

図-11は海域の低次生産(ウバガイ餌料)について、2020年のChl. fluの観測値(St. 2-3表層)と浮遊珪藻細胞密度の計算値(表層)の比較を示す。計算値は観測値の時系列の変化傾向を概ね捉えており、春季ブルーム期・融雪出水期での低次生産の高い傾向も再現されていると考えられる。低次生産に与える河川流量の影響については、3月中旬~4月中旬の融雪出水で栄養塩の高い時期(図-10)に細胞数が高い傾向があり、河川からの栄養塩供給が海域の低次生産に影響を与えていることが推察される。

(3) ウバガイ成長モデルによる河川流量の影響の試算

低次生産モデルによる再現性の確認に基づき、ウバガイ成長モデルによる再現性の検証と河川流量の影響の試算を行った。図-12は通年の鶴川河川流量に基づく河川から供給される硝酸態窒素の時系列入力値を示す。赤色線が鶴川河川流量の5ヵ年平均日別値による値、青色線が河川から供給される硝酸態窒素を582 kg/dayを上限とした流量制限値として設定している。この栄養塩入力条件により低次生産モデルで珪藻類細胞数(ウバガイ餌料)

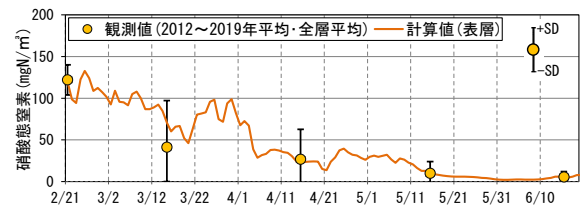


図-10 硝酸態窒素(栄養塩)の観測値と計算値の比較

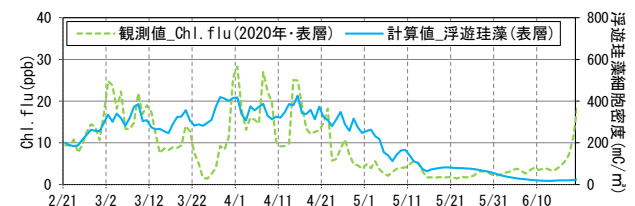


図-11 Chl. flu(観測値)と浮遊珪藻(計算値)の比較

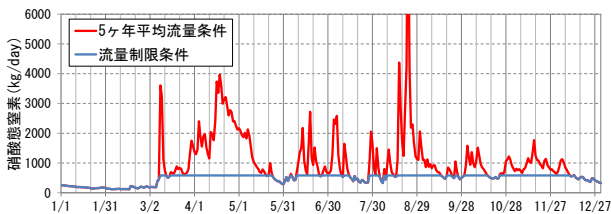


図-12 鶴川から供給される硝酸態窒素の時系列入力値

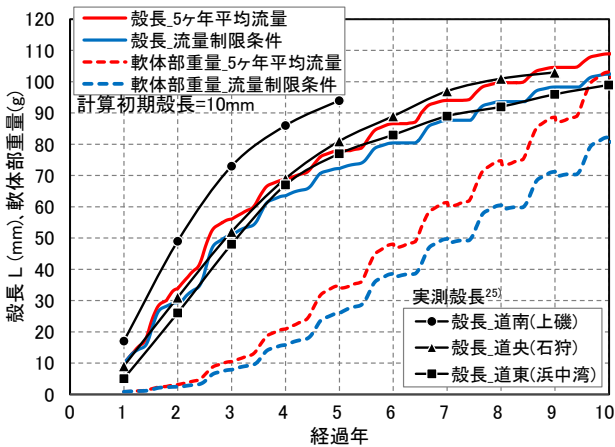


図-13 ウバガイ成長曲線の比較(実測値と計算値)

を炭素量換算で算出し、ウバガイ成長モデルに入力した。

図-13 はウバガイ成長モデルで計算したウバガイの殻長と軟体部湿重量の成長曲線を示す。図中には既往研究²⁹⁾による北海道内のウバガイ殻長の実測値も示す。5 年平均の河川流量による殻長の計算値(赤色実線)は実測値(黒色実線)の傾向に概ね合致している。流量制限条件での計算値では、5 年平均流量に比べて10年経過時点で殻長が6%、軟体部湿重量が20%小さい結果となった。以上より、河川から供給される栄養塩はウバガイ成長に寄与しており、漁場の持続的な生産の維持に貢献していると推察される。

本モデルの課題としては観測値の再現性の向上や他海域への応用・展開等が挙げられるが、そのためには継続的な現地観測が重要と考えている。

6. まとめ

本稿の主な結論を以下に示す。

- ①春季の鶴川河口沿岸域の漁場環境においては生態系に占める浮遊珪藻の割合が大きく、水中の低次生産がウバガイ餌料に大きく影響していることが示唆された。
- ②構築した生態系モデルにより低次生産とウバガイ成長を試算し、観測値を概ね再現できることを確認した。今後の課題としては、継続的な現地観測によるモデルの再現性向上と他海域への応用・展開が挙げられる。

謝辞: 現地観測においてはむかわ町・鶴川漁業協同組合の関係各位に多大なるご協力を頂いたことに謝意を表す。

参考文献

- 1) 中山哲哉・齊藤肇・新井雅之・足立久美子・奥西武・八木宏(2005): 鹿島灘北部海域の一次生産に及ぼす那珂川の影響, 海岸工学論文集, 第52巻, pp.1051-1055.
- 2) 北海道水産林務部(2019): 北海道水産現勢, 令和元年確報, pp.29-34
- 3) 寒地土木研究所水産土木チーム(2015): 積雪寒冷沿岸域の水産生物の生息環境保全に関する研究, 平成27年度土木研究所プロジェクト成果報告書, No.11-3
- 4) 重光雅仁・山中康裕(2011): 生態系モデルを用いた海洋における物質循環解析, 地球化学, 45, pp.1-28
- 5) 井芹晴香・原田昌佳・平松和昭・森牧人・丸居篤(2010): フンボックス型低次生態系モデルを用いた富栄養貯水池の水環境評価, 九州大学大学院農学研究院学芸雑誌, 63巻2号, pp.147-160
- 6) 山本裕規・山本民次・高田宏忠・三戸勇吾・高橋俊之(2011): 浮遊系-底生系カップリング・モデルによる広島湾北部海域の貧酸素水塊形成に関する動態解析, 水環境学会誌 Vol.34, No.2, pp.19-28
- 7) 須藤賢哉・稲葉信晴・渡邊浩二(2019): 河口沿岸域における二枚貝ウバガイの餌料環境に関する現地調査, 寒地土木研究所月報, No.808, pp.26-32
- 8) 大橋正臣・高屋 辰人・梶原 瑠美子・須藤賢哉・門谷 茂(2020): 鶴川沿岸における二枚貝餌料としての底生微細藻類の増殖特性, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.76, No.2, pp.816-821
- 9) 国土交通省(2021): 水文水質データベース <http://www1.river.go.jp/> (2022年1月12日確認)
- 10) 気象庁(2021): 各種データ・資料-気象観測データ <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2022年1月12日確認)
- 11) 大橋正臣・三森繁昭・三上信雄・水垣滋・山本潤・門谷茂(2015): 鶴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 B3(海洋工学), Vol.71, No.2, pp.1429-1434
- 12) R.W. Eppley, J. N. Rogers, J. J. McCarthy (1969): Half-saturation constants for uptake of nitrate and ammonium by marine phytoplankton I, *Limnology and Oceanography*, 14(6), pp.912-920
- 13) 中尾繁(1977): ホッキガイ漁場の底生動物群集と底質環境, 北海道大学水産学部研究彙報, 28(3), pp.95-105
- 14) 須川人志・川村要(1985): 三沢漁港内に標識放流したホッキガイの成長, 青水増事業報告, 第14号, pp.327-331
- 15) 平野敏行(1998): 沿岸の環境圏, 榊フジ・テクノシステム, pp.669-798
- 16) 板倉(2000): 沿岸性浮遊珪藻類の休眠期細胞に関する生理生態学的研究, 瀬戸内水研報, No.2, pp.67-130
- 17) 横山長之(1993): 海洋環境シミュレーション, 白亜書房, pp.122
- 18) 清田雅史・米崎史郎・亘真吾(2016): 水産関連データを活用した Ecospat with Ecosim 生態系モデルの構築方法, 水産海洋研究, 80(1), pp.35-47
- 19) 中村義治・金網紀久恵・磯野良介・三村信男(2001): 生活史に沿った二枚貝個体群の生物効果評価, 海岸工学論文集, 第48巻, pp.1231-1235
- 20) M. J. R. Fasham, H. W. Ducklow, S. M. McKelvie. (1990): A nitrogen based model of plankton dynamics in the oceanic mixed layer, *Journal of Marine Research*, 48(3), pp.591-639
- 21) 大橋正臣・山本潤・須藤賢哉・水垣滋・門谷 茂・田中仁(2012): 鶴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(海洋工学), Vol.68, No.2, pp.1121-1125
- 22) 水垣 滋・吉川 契太郎・旭峰雄(2013): 鶴川・沙流川流域における融雪期の土砂・物質流出特性, 第56回(平成24年度)北海道開発技術研究発表会, 環境 08
- 23) 山下俊彦・宮下将典・山崎真一・渡邊康玄(2000): 河川から供給された物質の河口沿岸域での挙動, 海岸工学論文集, 第47巻, pp.1026-1030.
- 24) A. Miksz, M. W. Denny(2010): Diatom sinking speeds: Improved predictions and insight from a modified Stokes' law Kevin, *Limnol. Oceanogr.*, 55(6), pp.2513-2525
- 25) 高丸禮好(1984): 北海道におけるホッキガイ(ウバガイ)の増殖研究の現状, 水産土木, Vol.21, No.1, pp.43-47