

11.3 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

研究予算：運営費交付金(一般勘定)

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：水産土木チーム

研究担当者：三上信雄、牧田佳巳、佐藤仁、三森繁昭、
大橋正臣、梶原瑠美子

【要旨】

北海道沿岸域の良好な自然環境の保全・再生が推進されており、陸域と一体となった沿岸域の環境保全が求められている。特に栄養塩が豊富な河口周辺の沿岸海域では、二枚貝などの成育が良い反面、出水後の浮泥の堆積等により大量斃死といった問題が生じることがある。本研究は陸域からの浮遊土砂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調査し、水産生物の生育環境を考慮した沿岸海域の適正管理に資するものである。具体的には夏季出水および融雪出水が周辺海域の水産生物の生息環境に及ぼす影響や基礎生産構造の変化について検討し評価するとともに、水産生物の生息状況の把握や濁水と水産生物の生態特性の関係について明らかにした。また、鶴川沿岸域の海域特性を反映した移流拡散モデルにより濁水の影響範囲の把握、多変量解析を用いた水産生物と水域環境の関係性を評価した。さらに、沿岸域の光環境を精度良く予測するための消散係数の定式化を実施するとともに、他地域への応用する場合の可能性についても考察を行った。これらの積雪寒冷沿岸域に関する水産生物の生息環境特性の分析結果を踏まえ、二枚貝を主体とする漁場環境の適正管理手法の提案を行った。

キーワード：融雪出水、基礎生産、夏季出水、河口、栄養塩、生態系モデル、漁場環境、光環境、消散係数
ウバガイ（ホッキガイ）

1. はじめに

河川流域末端に位置する沿岸域では、一般的に陸域からの豊富な栄養塩と開放性ゆへの好気的な環境により豊かで健全な漁場が形成されている。河川水の流入は栄養塩の供給により水産生物の成育に有利な反面、台風等による出水時には大量の土砂を含む濁水が周辺海域に流れ込んで水域環境を変化させ、魚貝類の大量斃死を招く場合がある。

本研究は鶴川沿岸をモデル地区（図-1）とし、河川等の他チームと連携して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の把握を試みるものである。これまで当海域では、平成 13 年 9 月の台風 15 号に伴う鶴川・沙流川の出水により、二枚貝の漁業被害を受けた事例がある。当海域の出水イベントは、夏季から秋季の台風による出水と春季の融雪出水があり、これらの時期には周辺海域に陸水の影響が現れると考えられる。

平成 23 年度は、台風 12 号に伴う河川出水前後の現地観測を実施した。平成 24 年度は融雪出水を対象に同様の観測を実施し、周辺海域に及ぼす影響について考察を行った。平成 25 年度には底生生物の生息密度、ウバガイ（ホッキガイ）の餌料調査を实

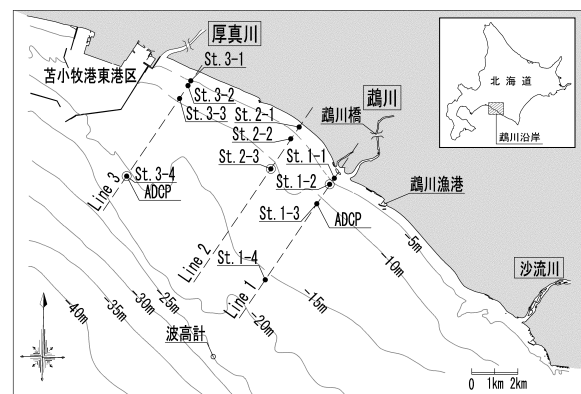


図-1 観測位置

施するとともに、濁水に対するウバガイの生態特性を把握するための室内実験を実施した。平成 26 年度には濁水の影響範囲を把握するための移流拡散モデルによる検討を行った。また、水産生物と水域環境の関係性を評価するための多変量解析および沿岸域の光環境を精度良く予測するための消散係数の定式化、他地域への応用について検討を行った。平成 27 年度には、これらの積雪寒冷沿岸域に関する水産生物の生息環境特性の分析結果を踏まえ、二枚貝を主体とする漁場環境の適正管理手法の提案を行った。

2. 鷓川沿岸の水域環境

2.1 現地観測方法

現地観測は、平水時として平成 23 年 8 月、夏季出水時は平成 23 年の台風 12 号通過後の平成 23 年 9 月、融雪出水時は平成 24 年 5 月、平成 26 年 2

表-1 現地観測内容

| 調査項目 | 方法 | 観測内容 |
|------------|---------------|---|
| 波浪・流況観測 | 波高計, ADCP | 連続観測 |
| 水質 | CTD 垂下 | 水温, 塩分, Chl-a |
| | 光量子計 | 光量子量 |
| 底質 | 採水, 各測点 2~4 層 | SS, T-N, T-P, NH ₄ -N, NO ₃ -N, PO ₄ -P, SiO ₂ -Si, T-Fe, Chl-a |
| | 採泥器 | 粒度, 微細藻類の種毎の個体数 |
| 植物プランクトン | 採水 : 水質と同層 | 種毎の細胞数 |
| 動物プランクトン | 北原式ネット | 種毎の個体数 |
| 底生生物 | 採泥器、桁網 | 種毎の個体数 |
| ウバガイ消化管内容物 | 消化管内容物の採取 | 種の同定, 細胞数 |
| 衛星画像解析 | — | MODIS Chl-a 使用 |

月から 6 月に実施し、比較のため四季の観測を実施した。また、平成 25 年 8 月には底生生物調査を実施した。調査位置は図-1 に示す。ここで測点は出水時の濁水が西向きに拡散しやすいこと、ウバガイの生息水深（約 15m まで）を考慮し設定した。

調査項目は表-1 に示す通り、波浪・流況、水質、底質、動・植物プランクトン、底生生物などである。方法は波浪・流況観測は固定設置型の波高計、流速計を設置し、水質、植物プランクトンはバンドーン採水器による採水、底質と底生生物（マクロベントス）はスミス・マッキンタイヤ型採泥器により採泥、底生生物（メガロベントス）は桁網により採取した。また、融雪出水時において水温・塩分計やクロロフィル濁度計による連続観測を実施した。

2.2 出水時の濁水の挙動

図-2 は観測時の降水量・日平均気温(アメダス鷓川)・日平均河川流量(鷓川橋)の時系列変化を示している。台風 12 号による鷓川の夏季出水時は平成 23 年 9 月 2 日頃から流量が増加し、9 月 4 日に最大流量 642m³/s(時間平均値)を記録した。融雪出水時は日平均気温が 0℃を超える平成 24 年 4 月初旬から出水が始まり、4 月 27 日に最大流量 613m³/s(時間平均値)を記録した。

図-3 には夏季出水時の平成 23 年 9 月 14 日および融雪出水時の平成 24 年 4 月 25 日に撮影された鷓

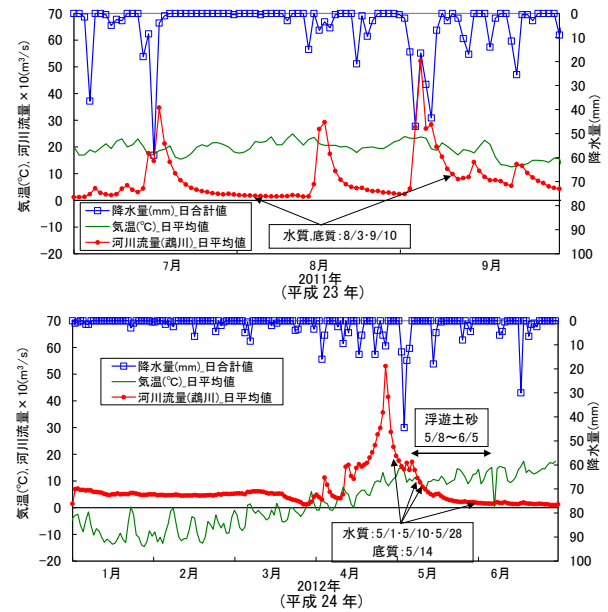


図-2 降水量、気温、河川流量の時系列
(上：夏季出水時 (H23)、下：融雪出水時 (H24))



(1) 夏季出水時 (平成 23 年 9 月 14 日撮影)



(2) 融雪出水時 (平成 24 年 4 月 25 日撮影)

図-3 鷓川 (写真手前) と沙流川 (写真奥) の濁質の流出状況

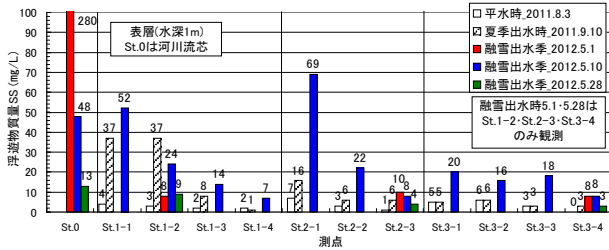


図-4 測点毎のSS濃度

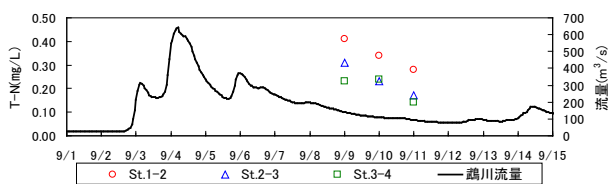
川と沙流川の出水後の濁水の移流拡散状況である。鵜川からの濁水は西方向（写真下方向）に偏向しており、西向きの沿岸流があると考えられる。また、両出水とも濁水が数 km の距離まで広がっていることがわかる。

図-4は表層（水深1m）における浮遊物質（SS）濃度を示している。夏季出水時、融雪出水時ともに河口に近いほどSS濃度が大きく、河口から離ればSS濃度が小さくなり、平水時との差異が小さい。つまり、濁水の影響は河口からの距離に依存することがわかる。

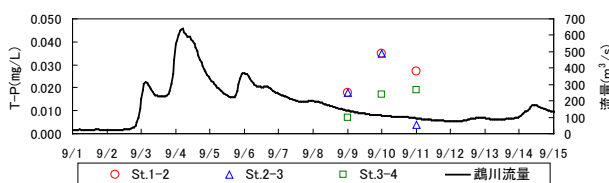
融雪出水時のSt.0(河川内、鵜川橋)は平成24年5月1日のSS濃度が280mg/Lと高く、また、図-2の流量の減少傾向に伴ってSS濃度が減少している。一方、St.1-2のSSは5月1日～28日までの流量の減少傾向と異なり5月10日のSSが大きい。これは海域に流入された濁水は波浪や流況の影響を受けるため、拡散の状況が異なっていると考えられる。

2.3 出水時の栄養塩と基礎生産構造

図-5は夏季出水時における鵜川の流量と全窒素・全リン（水深1m）の時系列変化を示す。全窒



(1) 全窒素



(2) 全リン

図-5 河川流量と全窒素・全リンの変化(夏季出水時)

素（T-N）に着目すれば、流量の減少とともに全窒素が減少することから、全窒素は河川から供給されていることがわかる。この傾向は河口から離れたSt.3-4（水深15m）でも同様であり、河川出水がウバガイの生息域（概ね水深15m以浅）のほぼ全域に影響を与えていることが判る（図-5(1)）。

一方、全リン（T-P）は、流量の変化傾向と一致せず、海域にリンが存在し、河川から供給の割合が小さいと考えられる（図-5(2)）。

次に出水による海域の栄養塩の変化について示す。

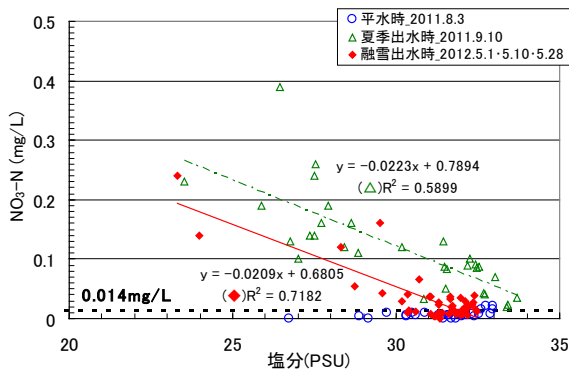
図-6は、出水の影響の指標として横軸を塩分とし、縦軸は栄養塩（硝酸態窒素、リン酸態リン、ケイ酸態ケイ素）とした。ここで一般に植物プランクトンの増殖に必要なとされる閾値（硝酸塩濃度：0.014mg/L、リン酸塩濃度：0.003mg/L、ケイ酸塩濃度：0.056mg/L）²⁾³⁾として破線で示している。

硝酸態窒素（図-6(1)）は、平水時には閾値を下回っているデータが多く、閾値を上回ったのは塩分濃度が大きい箇所（沖側、淡水の影響が小さい）であった。一方、夏季出水時と融雪出水時は硝酸態窒素の濃度が大きく、塩分が低いほど濃度が大きい傾向にある。これは河川出水により栄養塩が供給されたためと考えられる。夏季出水時と融雪出水時の違いは、夏季出水時には硝酸態窒素の枯渇（閾値を下回る）は見られなかったのに対し、融雪出水時の塩分の高い箇所において枯渇が見られた。

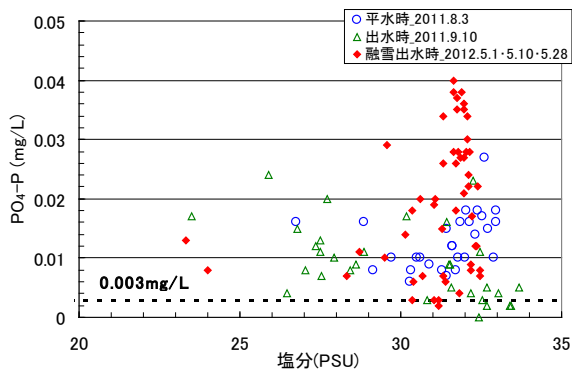
図-6(2)のリン酸態リンについては、平水時、夏季出水時、融雪出水時ともに塩分との相関が無く、濃度のバラツキが大きい。図-5(2)と同様に海域由来のリン酸態リンが多く、河川からの影響が相対的に小さいと考えられる。

図-6(3)のケイ酸態ケイ素では、硝酸態窒素と同様に平水時より夏季出水時、融雪出水時の濃度が大きく塩分が低いほど濃度が大きい傾向にある。平水時についても塩分との相関があることから、河川からの供給が海域に顕著に表れている。また、平水時、夏季出水時はケイ酸態ケイ素の枯渇が見られないが、融雪出水時では塩分の高い沖側の一部で閾値を下回っており枯渇が見られた。

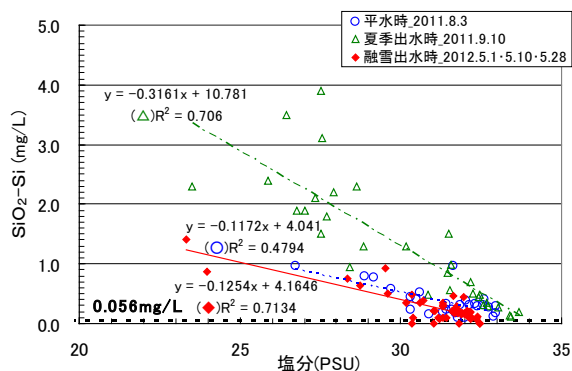
これらのように各栄養塩類によって河川からの供給と海域への影響について異なっている。しかし、総じて当海域は河川由来の栄養塩の影響が大きいと考えられる。



(1) 硝酸態窒素と塩分の関係



(2) リン酸態リンと塩分の関係

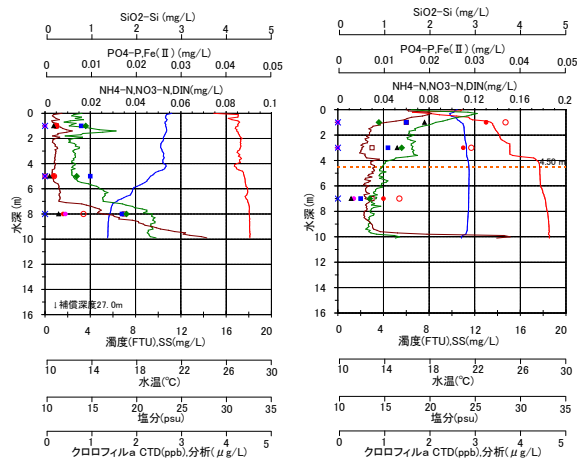


(3) ケイ酸態ケイ素と塩分の関係

図-6 栄養塩と塩分の関係

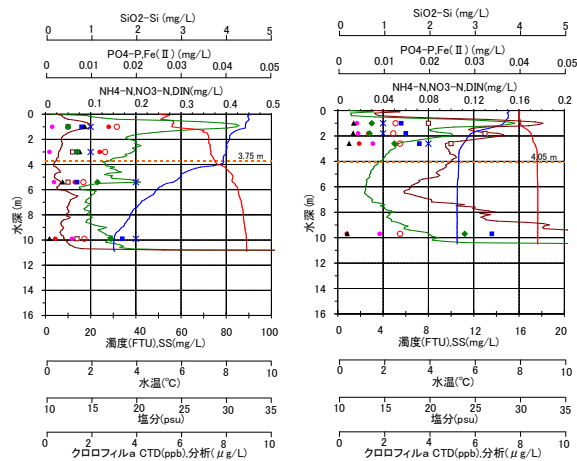
次に出水前後の栄養塩や基礎生産構造について考察する。図-7 は当沿岸の代表的な測点である St.2-3 (水深 10m) の水温、塩分、クロロフィル a と各種栄養塩の鉛直分布である。

平水時 (図-7(1)) は、水深 5m 付近に躍層があり、これより下層でクロロフィル a の濃度が大きく、栄養塩濃度も大きい。一方、河川からの栄養塩の供給量が少ないこともあり、表層 (水深 1m) と中層 (水深 5m) は DIN (溶存態無機窒素) が閾値 0.014mg/L 以下である。また、光環境として補償深度は 27.0m



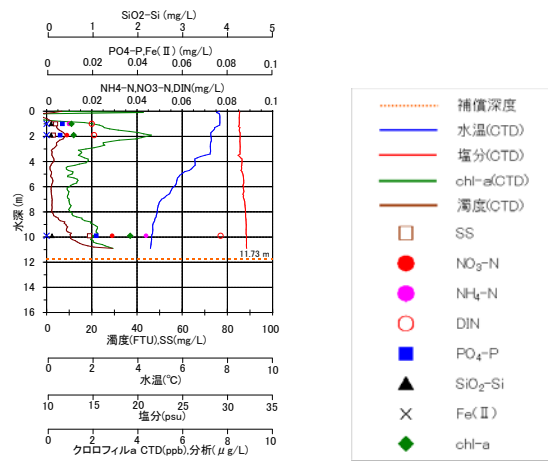
(1) 平水時 H23. 8. 3

(2) 夏季出水時 H23. 9. 10



(3) 融雪出水時 H24. 5. 1

(4) 融雪出水時 H24. 5. 10



(5) 融雪出水時 H24. 5. 28

凡例

図-7 水温・塩分・Chl-a・栄養塩の鉛直分布 (St. 2-3)

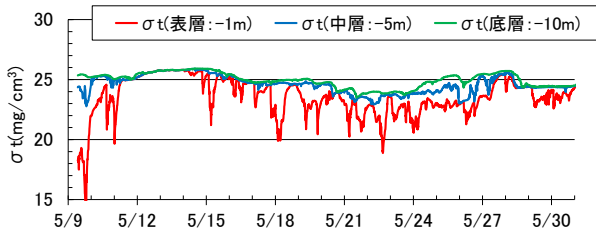


図-8 σ_t の時系列変化 (2012年融雪出水時、St. 2-3)

であり、光量の不足は無い。このことから躍層を境に、下層は栄養塩豊富な水塊があり光量も十分にあることから生産が良好に行われるのに対し、表層は栄養塩の枯渇によりクロロフィル *a* が小さく、窒素が基礎生産の制限要因となっていることがわかる。

夏季出水時は図-7(2)に示すように、表層の塩分が河川水の影響で低く、栄養塩は供給があり全体的に平水時より大きい。しかし、濁水が表層にあるため、平水時より光環境を悪化させ補償深度が 4.5m となっている。このためクロロフィル *a* のピークは表層付近にあり、下層は光量の不足によりクロロフィル *a* が小さくなっている。以上のことから、夏季出水時は陸域からの濁水の供給とこの拡散によって生ずる光環境の悪化が基礎生産の制限要素になっていると考えられる⁴⁾。

次に融雪出水時(図-7(3)(4)(5))は、3日間のうち平成24年5月1日と5月10日は表層付近で河川出水による塩分低下が生じているが、5月28日では河川流量が小さく塩分の低下も見られない。栄養塩のうち溶存態無機窒素 DIN は、河川からの栄養塩供給により濃度が全観測日・全層で閾値を上回っており窒素枯渇は無い。光環境は補償深度が5月1日で3.75m、5月10日で4.05mであり平成23年9月の夏季出水時の観測結果と同程度であった。5月28日は上述したように河川流量が小さくSSも低下したため補償深度は11.73mであり、水深(10m)以上となり光量不足は無かった。融雪出水時のクロロフィル *a* は、5月10日に最大値の5.6 $\mu\text{g/L}$ であり、全体的な傾向としては、全層で高い値を示し、平水時、夏季出水時のような上下層の明確な傾向が現れていない。これは図-8に示すように鉛直混合が要因として考えられる。図-8は表層、中層、底層の σ_t (密度)の時系列変化を示しており、層間の密度差は小さく、表層冷却などにより全層で σ_t が同値となっている場合がある。つまり、融雪出水時は、夏季出水時と同様に栄養塩の供給と共に、濁水による光環境の悪化が生じているが、特に夜間などの表層冷却に伴う鉛

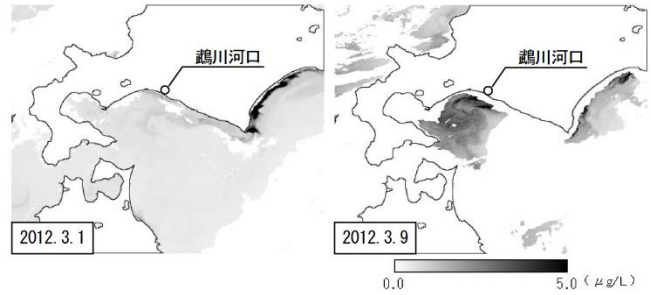


図-9 衛星データによるクロロフィル *a* の平面分布

【宇宙航空研究開発機構(JAXA)/東海大学(TSIC/TRIC)提供】

直混合が生じ、栄養塩や植物プランクトンなどが鉛直混合して基礎生産が高く維持されていることが考えられる⁵⁾。

2.4 春季ブルーム

春季ブルームは、本沿岸の融雪出水前に発生し、比較的広範囲にクロロフィル *a* の増大が考えられるため、衛星データの解析を行った。データは宇宙航空研究開発機構(JAXA)から配信、人工衛星AQUAに搭載されたMODISによるクロロフィル *a* の推定値を用いた。空間分解能は1kmである。

図-9に示すクロロフィル *a* (衛星データ)の平面分布では、3月1日は当海域全体でクロロフィル *a* が小さいが、3月9日は沖合の広範囲でクロロフィル *a* が大きく、この頃に春のブルームがあったと考えられる。春季ブルームのトリガは全天日射量の増大と推察され、この時期に海域全体でクロロフィル *a* 現存量が大きくなる。また、積雪寒冷地の河口部に位置する沿岸域においては春季ブルームで栄養塩が使われた後に、融雪出水で栄養塩が供給されることで高い基礎生産が長期間維持されると考えられる。

2.5 周年の基礎生産構造

当該沿岸域の基礎生産に関する周年のイベントは、図-10に示す通り、台風などの夏季出水、春季ブルーム、融雪出水がある。夏季出水は栄養塩の供給によって表層のクロロフィル *a* が大きいですが、濁水によって補償深度が浅くなるため、一時的にクロロフィル *a* が低下する。春季ブルームは、表層冷却による鉛直混合で栄養塩が表層に十分に存在し、春季に日射量が増加することにより植物プランクトンが増大する。この春季ブルームで栄養塩は消費されるが、融雪出水により栄養塩が沿岸域に供給されることで、クロロフィル *a* の増加傾向が維持される。

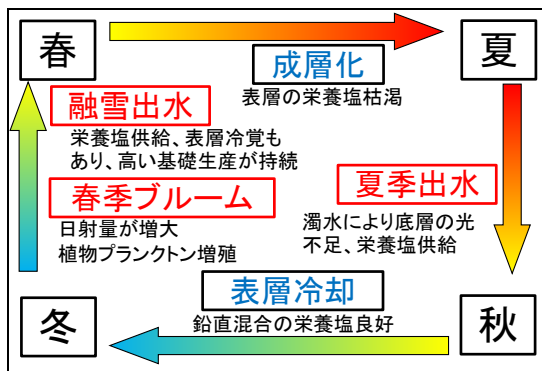
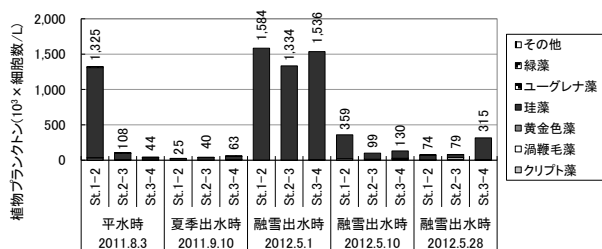


図-10 周年の基礎生産構造の概要⁵⁾

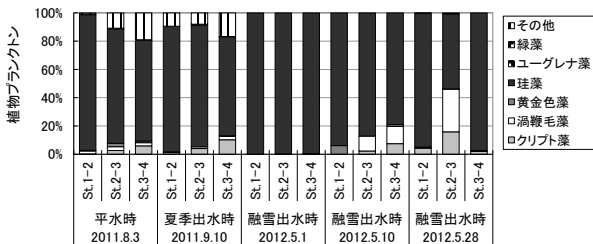
夏季、秋季で出水が無い場合は、密度成層化し表層の栄養塩が枯渇することで、基礎生産は低位となっている。また、冬季は表層冷却による鉛直混合で栄養塩は十分に存在するが、水温の低下等により基礎生産は低位となっている。

2.6 動・植物プランクトンの変化

図-11に St.1-2、St.2-3、St.3-4の植物プランクトンの変化を示す。同図(a)より植物プランクトンの細胞数は平水時には沿岸域の St.1-2に多いが、夏季出水時に減少している。St.2-3、St.3-4はこの差は小さいことがわかる。融雪出水時の平成24年5月1日には沿岸から沖合までのすべての位置で植物プランクトンが増加している。その後の5月10日、28日と減少傾向ではあるが夏季出水時よりも多いこと



(a) 細胞数の変化



(b) 組成比の変化

図-11 植物プランクトンの変化

がわかる。また、当海域は平水時、夏季出水時、融雪出水時のすべてにおいて珪藻類の割合が高いことがわかる (図-11(b))。よって、本沿岸の同時期の動物プランクトンの増殖が示唆される⁶⁾。

調査時の植物プランクトンの優先種を表-2に示す。夏季は *Skeletonema costatum*、春季ブルームは *Chaetoceros sociale*、融雪出水時とその後には *Chaetoceros radicans* に変遷する。その他、比較的基礎生産の小さい秋季や冬季には *Thalassiosira pacifica* が優占する。このように当沿岸域における植物プランクトンの周年の傾向を把握出来た。

表-2 植物プランクトンの調査時期と優占種

| 調査時期 | 優占種 |
|-------------------|-----------------------------------|
| 夏季:2011. 8. 3 | 珪藻綱 <i>Skeletonema costatum</i> |
| 夏季出水時:2011. 9. 10 | 珪藻綱 <i>Skeletonema costatum</i> |
| 融雪出水時:2012. 5. 1 | 珪藻綱 <i>Chaetoceros radicans</i> |
| 融雪出水時:2012. 5. 10 | 珪藻綱 <i>Thalassiosira pacifica</i> |
| 融雪出水時:2012. 5. 28 | 珪藻綱 <i>Chaetoceros compressum</i> |
| 夏季:2013. 8. 22 | 珪藻綱 <i>Skeletonema costatum</i> |
| 冬季:2014. 2. 8 | 珪藻綱 <i>Chaetoceros sociale</i> |
| 冬季:2014. 2. 27 | 珪藻綱 <i>Chaetoceros sociale</i> |
| 春季:2014. 3. 20 | 珪藻綱 <i>Chaetoceros sociale</i> |
| 春季:2014. 4. 7 | 珪藻綱 <i>Chaetoceros sociale</i> |
| 融雪出水時:2014. 4. 29 | 珪藻綱 <i>Chaetoceros radicans</i> |
| 融雪出水後:2014. 6. 16 | クリプト藻綱 <i>Hemiselis</i> sp. |
| 冬季:2014. 11. 28 | 珪藻綱 <i>Thalassiosira pacifica</i> |
| 冬季:2015. 1. 26 | 珪藻綱 <i>Thalassiosira pacifica</i> |
| 春季:2015. 3. 26 | 珪藻綱 <i>Chaetoceros sociale</i> |
| 融雪出水時:2015. 4. 23 | 珪藻綱 <i>Chaetoceros sociale</i> |
| 融雪出水後:2015. 5. 27 | 珪藻綱 <i>Chaetoceros radicans</i> |
| 夏季:2015. 9. 25 | 珪藻綱 <i>Skeletonema costatum</i> |

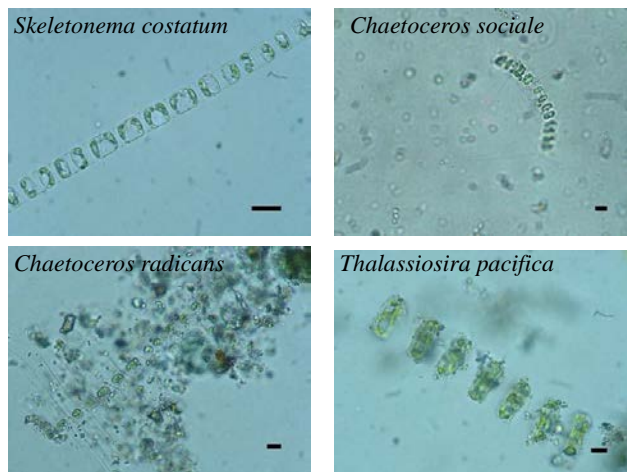


図-12 植物プランクトン写真(スケール:10 μm)

3. 濁水の拡散計算

河川出水の沿岸域への影響を把握するためには、出水に伴う濁水や栄養塩の移流拡散範囲、水域の密度分布、流れ場など物理環境を把握する必要がある。このため海洋モデルを用いた数値計算を行い物理環境の再現結果について考察を行う。

3.1 計算方法

3.1.1 流れ場の計算方法

流れ場の数値計算は海洋循環モデル(POM-08)⁷⁾を使用した。このモデルは σ 座表系で海洋循環や沿岸域の海流、潮流の計算に適している。現在、一般に公開されて多くの研究者が使用しているものである。

POMは σ 座標系で静水圧近似、Boussinesq近似された3次元Navier-Stokes方程式が基礎式であり、以下に連続式(1式)と運動方程式(2)、(3式)を示す。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial Du}{\partial x} + \frac{\partial Dv}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial uD}{\partial t} + \frac{\partial uuD}{\partial x} + \frac{\partial uvD}{\partial y} + \frac{\partial u\omega}{\partial \sigma} - fvD \\ = -gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{gD^2}{\rho_0} \int_{\sigma}^0 \left[\frac{\partial \rho}{\partial x} - \frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial x} \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} \right] d\sigma \\ + \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_M}{D} \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ D \left(2A_M \frac{\partial u}{\partial x} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ D \left(A_M \left(\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) \right\} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial vD}{\partial t} + \frac{\partial uvD}{\partial x} + \frac{\partial vvD}{\partial y} + \frac{\partial v\omega}{\partial \sigma} + fuD \\ = -gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{gD^2}{\rho_0} \int_{\sigma}^0 \left[\frac{\partial \rho}{\partial y} - \frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial y} \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} \right] d\sigma \\ + \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_M}{D} \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ D \left(A_M \left(\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ D \left(2A_M \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

ここに変数(u, v)は水平速度成分、 ω は σ 面上の法線方向の速度成分、 D は全水深、 f はコリオリ係数、 g は重力加速度、 A_M 、 K_M は水平、鉛直渦動粘性係数である。

3.1.2 浮遊物質SSの移流拡散の計算方法

流れ場の計算結果を用いて、移流拡散の計算を行った。計算領域は流れ場計算と同様とするが、移流拡散計算はレベルモデルを用いた。支配方程式を(4)に示す。また、沈降速度はRubeyの(5)式を用いた。

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{\partial u\phi}{\partial x} + \frac{\partial v\phi}{\partial y} + \frac{\partial \omega\phi}{\partial \sigma} = A_c \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_c \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) \quad (4)$$

$$\omega = \sqrt{Sgd} \left(\sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36\nu^2}{Sgd^3}} - \sqrt{\frac{36\nu^2}{Sgd^3}} \right) \quad (5)$$

ここに A_c 、 K_c は水平、鉛直渦動拡散係数、 ω は沈降速度、 g は重力加速度、 d は粒径を示す。

3.2 計算条件

計算は図-13に示すように苫小牧港東港区から沙流川河口部、水深約35mまでの12.5km×22.0kmの範囲を計算領域とした。

計算格子は水平方向の格子間隔を100mとし、流れ場計算の場合、鉛直方向は σ 座標系14層とし、移流拡散計算については水深48mの範囲をカバーできるように可変格子とし、鉛直方向に19層(表層から水深12mまでは1.0m格子)とした。

水温・塩分の初期条件は現地観測結果を用いた。境界条件は推算潮位を水位境界条件とし、現地の流況観測結果を調和分解し恒流成分にフィッティングするように側方の流速境界条件を設定した。また、計算にあたっては、河川流量として平水時を仮定し

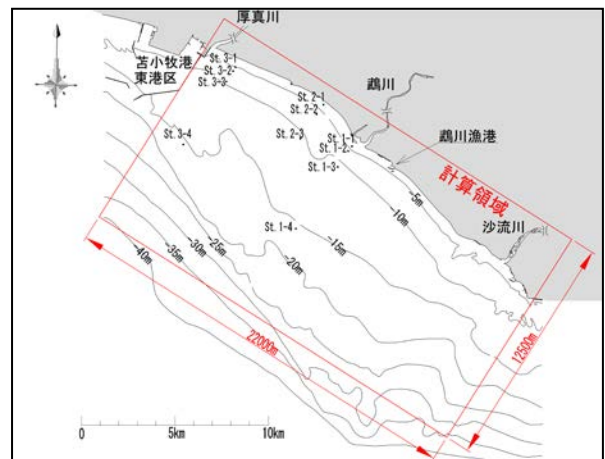


図-13 計算領域

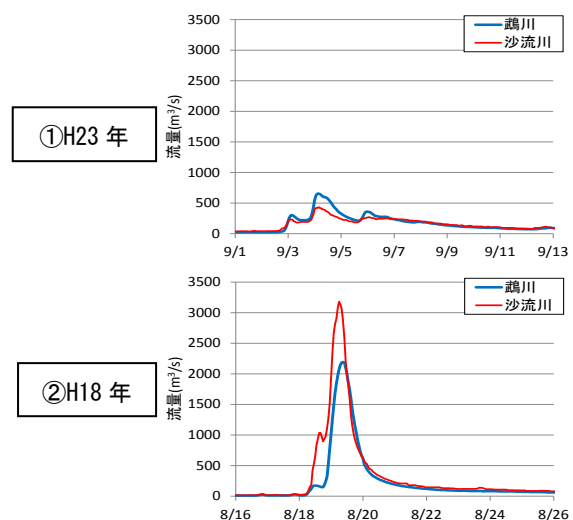


図-14 鶴川、沙流川の河川流量

10 日程度の助走計算を実施し、本計算の初期値と設定した。

計算ケースは次の①、②の2つとした。①は現況再現を目的に平成23年の現地観測結果を用い、②は平成18年の台風10号を想定した。鶴川、沙流川の河川流量を図-14に示す。この流量を与えて流れ場の計算を行うとともにこの流れ場に対する浮遊物質SSの拡散計算を実施した。ここで浮遊物質SSの負荷量はL-Q式により算出した。また、②については現地観測結果が無いため、①の条件に河川流量のみを増大させた計算を行った。

3.3 計算結果

浮遊物質SSの移流拡散計算結果を図-15に示す。これは河川流量の最大値の値を示している。また、図-16は出水ピークから7日後の衛星画像である。

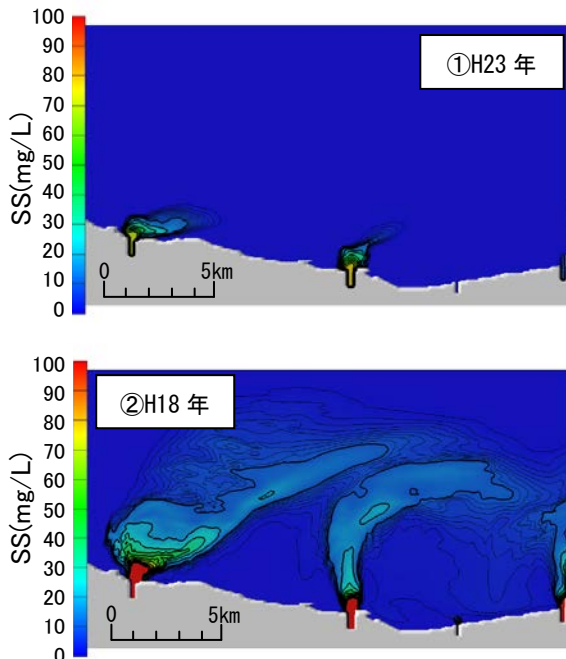


図-15 浮遊物質SSの拡散状況

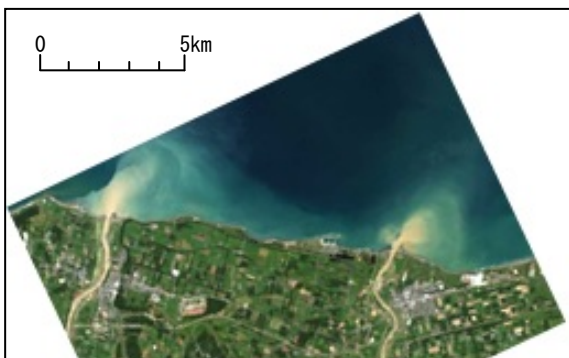


図-16 衛星写真ALOS (H18. 8. 26撮影): JAXA提供

出水流量の大きさにより浮遊物質SSの拡散範囲が異なることがわかる。また、平成18年の出水による浮遊物質SSの拡散は沖合10km付近(水深30m程度)にまで及んでいることがわかる。

4. 河川出水前後の基礎生産の算出

4.1 生態系モデル

生態系モデルとは「海洋環境中の生態系構成要素の関係と動態を単純化した数理モデル」⁸⁾である。生態系を構成する多様な生物や物理環境要因をモデル化している。図-17に生態系モデルの概念を示す⁸⁾。モデルの基本式は(6)式のように拡散方程式である。

$$\frac{\partial B}{\partial t} = -u \frac{\partial B}{\partial x} - v \frac{\partial B}{\partial y} - w \frac{\partial B}{\partial z} + K_h \left(\frac{\partial^2 B}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 B}{\partial y^2} \right) + K_z \frac{\partial^2 B}{\partial z^2} + \left(\frac{\partial B}{\partial t} \right)^* \quad (6)$$

ここでBは生態系構成要素、u、v、wは流速、Kは拡散係数を示す。生態系構成要素Bの内、有機態のものは植物プランクトンPHY、動物プランクトンZOO、懸濁態有機物POM、溶存態有機物DOMである。無機態は、リン酸態リンPO₄-P、溶存態無機窒素DIN(硝酸態窒素、亜硝酸態窒素、アンモニア態窒素)であり、その他として溶存酸素DO、化学的酸素要求量CODがある。

(∂B/∂t)*は生物化学的变化項を示しており、例えばBとして植物プランクトンPHYの場合(7)式となる。

$$\frac{\partial PHY}{\partial t} = B_1 - B_2 - B_3 - B_4 - B_5 - B_6 \quad (7)$$

ここでB₁は光合成による増殖、B₂は細胞外分泌、B₃は呼吸、B₄は動物プランクトンによる摂食、B₅は枯死、B₆は沈降を表している。(7)式のような生物化学的变化項は各構成要素Bの数だけあり、構成要素間の相互作用が計算される。具体的には、B₄の「動物プランクトンによる摂食」は、植物プランクトンPHYは減少され、動物プランクトンZOOは同量増加される。また、B₅の「枯死」の場合は、懸濁態有機物POMが増加される。

このモデルを使用することにより各生態系構成要素Bの時間、空間的な変動を再現・予測することが可能となる。

表-3 基礎生産の計算条件

| Case名 | chl-aの初期値 | 栄養塩 | 濁水対策の有無 | 消散係数 ^{※1} ks | 計算時間 ^{※2} |
|-----------|------------|----------------------|---------|--------------------------|--------------------|
| A1 (現況再現) | 平水時 (8/3) | 出水時(9/10) の栄養塩を供給 | 無し | 1.133 | 9日(9/1~9/10) |
| A2 | 平水時 (8/3) | | 有り | 0.189 | 9日(9/1~9/10) |
| B1 | 出水時 (9/10) | 出水時(9/10) の栄養塩を供給 | 無し | 1.133 | 9日 |
| B2 | 出水時 (9/10) | | 有り | 0.189 | 9日 |

※1：消散係数は透明度(Ds)を用いて算出した。ks=1.7/Ds

※2：9日間の計算を行い初期値からの1日あたりの変化量を基礎生産量として表示

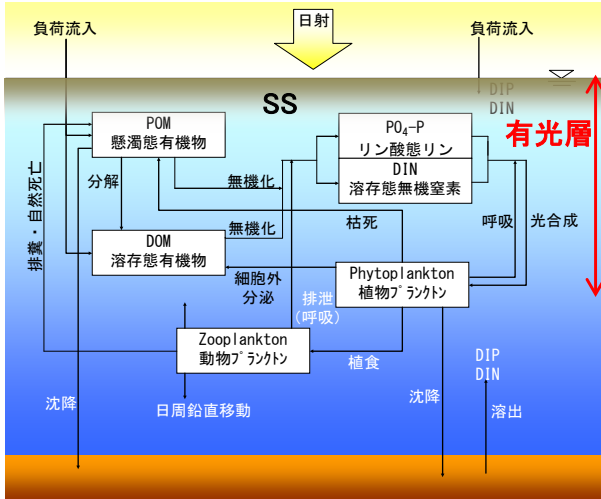


図-17 生態系モデルの概念図⁸⁾

4.2 光合成速度

生態系モデルを用いて基礎生産量を算定する場合、パラメタとして、海域の植物プランクトンに即した光合成速度を使用する必要がある。このため現地培養試験を実施し、光-光合成曲線(図-18)を算出した。鶴川沿岸に対して釧路港では、光の強い位置で比光合成速度のピークがあり、この比光合成速度のピーク値が大きい。これは優占種、水温・塩分など植物プランクトンの生息環境、植物プランクトンの多様性などにより光合成速度が変化すると考えられる。また、北方海域における光合成速度の違いについては林田ら⁹⁾により検討されており、光合成速度など植物プランクトンの成長に関するパラメタ選定には留意が必要である。

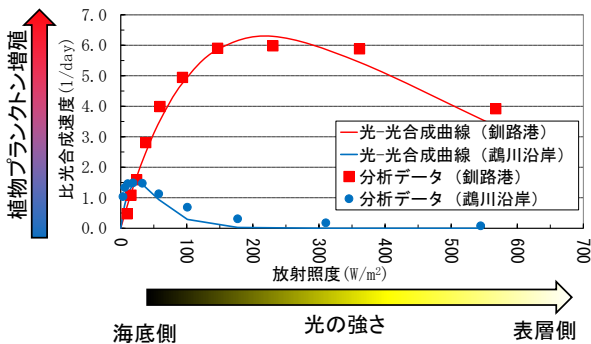


図-18 光-光合成曲線

4.3 出水前後の基礎生産

沿岸域における水産生物の生息環境に大きな影響を与える基礎生産について、平水時と夏季出水時を対象に、表-3の計算条件において低次生態系モデル

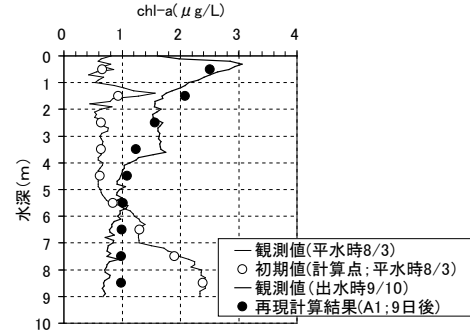
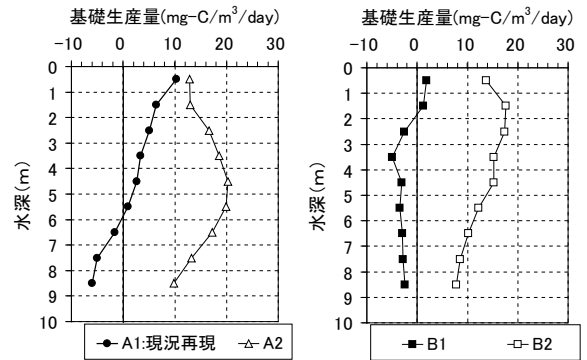


図-19 現況再現計算結果 St.2-3



(a)初期値：平水時

(b)初期値：出水時

図-20 基礎生産量の予測(St.2-3)

を応用して基礎生産量を算出した。

現況の再現は St.2-3 における平水時から夏季出水時へ変化した平成 23 年 9 月 1 日から 10 日までとした(図-2)。ここで初期値として平水時の平成 23 年 8 月 3 日の観測結果を用い、計算条件として夏季出水時の 9 月 10 日に観測した栄養塩および消散係数を用いた。この再現結果を図-19 に示す。躍層のある 5~7m 付近を境に、平水時に上層で窒素制限の影響を受けていたクロロフィル a が、夏季出水時に下層で光制限を受けた状態へと変化する過程を再現しており妥当な再現計算であると考えられる⁴⁾。

次に、河川整備などにより浮遊土砂の流出を制限した場合の効果の検討として、以下のシナリオで算定した基礎生産量を比較する。(A1)現況、(A2)濁水を発生させずに栄養塩のみが出水時と同じ濃度となったと仮定した場合、(B1)現況のまま出水時の状態

がさらに継続した場合、(B2)出水時の状態から消散係数のみを平水時と同等として光制限を改善した場合である。

基礎生産量の計算結果を図-20 に示す。ここで横軸は総基礎生産量を示しており、負の値となる場合は光合成による増殖よりも呼吸や枯死などが大きいことを示す。

図-20(a)より、現況(A1)では水深 6m 以深で基礎生産が負になっているが、対策を講じた場合(A2)はすべての層で正となり、最大で約 20mg-C/m³/day となっている。また、図-20 (b)において現況が継続すれば(B1)、水深 2m 以深から基礎生産が負となっているのに対し、対策時(B2)は全層において大幅に改善している。

以上より、長期的な濁水による光環境の悪化の影響は中・底層で著しく、沿岸域の基礎生産量を低下させていることがわかる。

5. 光環境の変化と定式化

低次生態系モデルにおいて基礎生産量を求める場合、有光層を精度良く算出することが必要である。消散係数の観測値を使用した場合、前述のように再現性が良いことがわかったが、長期的な予測(数値シミュレーション)などを行う場合、消散係数の定式化が必要となる。特に前述のように、河川からの出水に伴う土砂の流入の影響が顕著に現れる河口沿岸域においては、光環境を適切に把握するため、消散係数を精度良く推定することが重要である。本研究では、当沿岸の消散係数と光環境について整理し定式化を行った。

5.1 沿岸域の光環境

消散係数は植物プランクトンに密接に関係し、一般に低次生態系モデルにおいてクロロフィルaの関数である以下のRileyの式¹⁰⁾が用いられる。

$$k = 0.04 + 0.0088 \cdot Chl-a + 0.054 \cdot Chl-a^{2/3} \quad (8)$$

しかし、図-21 に示すように本沿岸は夏季出水時、融雪出水時ともに濁水(浮遊土砂)の影響が大きく、またバラツキもあり、クロロフィルaのみの関数である Riley の式では消散係数を適正に表現できないことがわかった。そこで河口沿岸域の光環境に大きく影響を及ぼす浮遊物質 SS と消散係数の関係を示すこととした。ここで SS は Chl-a を内包している

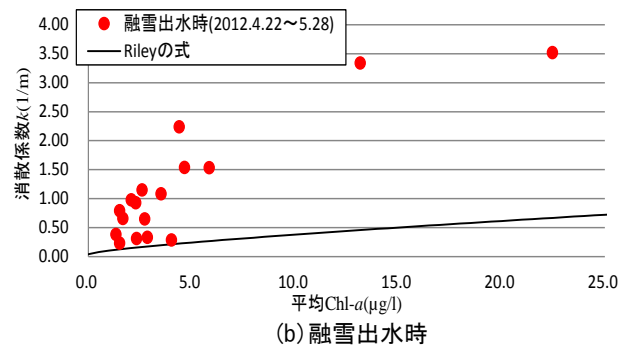
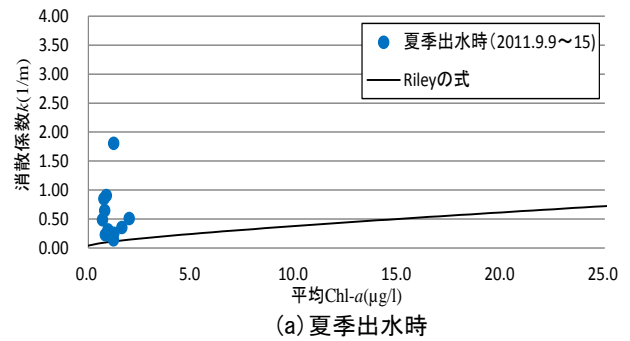


図-21 消散係数とクロロフィル a の関係

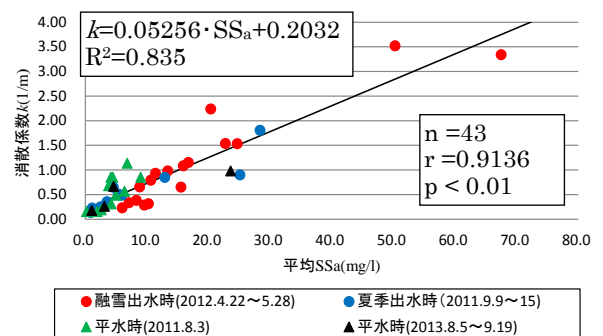


図-22 消散係数と SSa の関係

ことから、SS を植物プランクトン量 PHY (Chl-a より算出) とそれを差し引いた SSa (主に土粒子成分と考えられる) に分離して整理した。図-22 に示すように消散係数と SSa の関係は相関係数 r が 0.9136 であり、当海域の光環境に SSa は大きく寄与し、一次関数で回帰可能と考えられる。

5.2 消散係数kの定式化

当海域の光環境について低次生態系モデルにおける現況の再現や予測計算の精度向上に資するため、浮遊物質の影響を反映した消散係数kについて予測式を導くことを考える。

生物生息環境の評価対象は港湾・漁港水域を含めた沿岸海域であることから、予測式は①空間的に沿

岸から沖合まで連続的に使用できること、②出水時の濁水による影響を考慮できること、そして、③沿岸域における融雪出水前の春季ブルームのような植物プランクトンによる自己遮蔽についても適用できる必要がある。

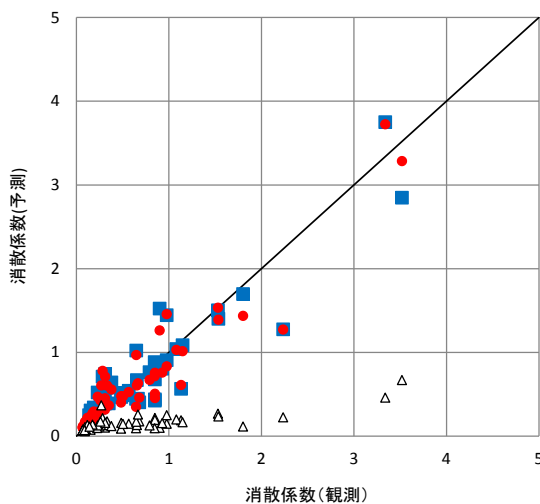
これらのことから(9)式のように変数はSSaとChl-aの2つとし、関数形については図-22よりSSaと消散係数kの相関が良いため線形的に増加する一次関数とし、Chl-aはRileyの式と同様とした。比較として図-21の回帰式(10)式を用いた。(9)式の各係数(C₁~C₄)については、鶴川沿岸および武蔵堆周辺の観測値(計60データ)を用いて、RMSE(二乗平均平方根誤差)が最小となるようトライアル計算を行い設定した。

$$k = C_1 + C_2 \cdot SS_a + C_3 \cdot Chl-a + C_4 \cdot Chl-a^{2/3}$$

$$\begin{aligned} C_1 &= 0.0461 \\ C_2 &= 0.0441 \\ C_3 &= 0.0054 \\ C_4 &= 0.1127 \end{aligned} \quad (9)$$

$$k = 0.05256 \cdot SS_a + 0.2032 \quad (10)$$

図-23は、(8)式(Rileyの式)、(9)式および(10)式の予測精度について観測値と比較したものである。(9)式と(10)式の決定係数R²は0.888と0.835であり、若干ではあるが(9)式がより精度良く予測可能であることが分かった¹¹⁾。



| 予測式 | マーク | サンプル数(n) | 決定係数(R ²) | 二乗平均平方根誤差(RMSE) |
|---------|-----|----------|-----------------------|-----------------|
| Rileyの式 | △ | 60 | 0.020 | 0.777 |
| (9)式 | ● | 60 | 0.888 | 0.236 |
| (10)式 | ■ | 43 | 0.835 | 0.302 |

図-23 消散係数の予測

5.3 予測式の港湾・漁港水域への応用と検証

上述した予測式について、沿岸域において閉鎖性が強く、特に濁水が流入した場合に光環境に大きく影響を及ぼすと考えられる港湾・漁港水域へ応用し、その汎用性および妥当性の検証を行った。

5.3.1 観測内容および方法

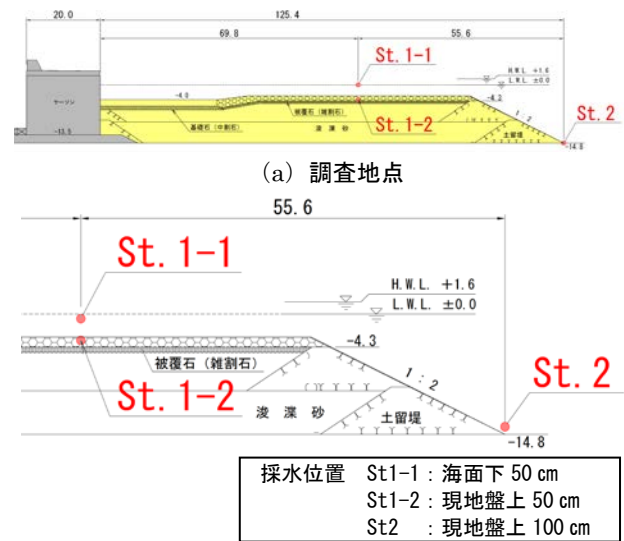
港湾・漁港水域への応用として、河川に近接し、出水時には濁水の影響が想定される釧路港(西港)の島防波堤背後の小段(図-24)において調査を行うこととした。

この防波堤はエコポート事業により島防波堤背後に水深の浅い背後盛土の造成し、藻場の創出を図ることで自然環境調和機能を付加させており、光環境が悪化した場合には、この機能低下が懸念される。

観測地点は、図-25に示すとおり、小段上(St.1-1、St.1-2)と法尻部(St.2)の3地点で調査を行った。



図-24 調査位置図



(b) 調査地点拡大図

図-25 標準断面図

| | |
|------|--------------------|
| 採水位置 | St1-1 : 海面下 50 cm |
| | St1-2 : 現地盤上 50 cm |
| | St2 : 現地盤上 100 cm |

表-4 主な調査項目

| 調査項目 | 方法 | 観測内容 |
|----------|---------------|--|
| 水質(2 測点) | CTD 垂下 | 水温,塩分,濁度,Chl-a |
| | 採水 各測点1~2層 | SS, COD, NH ₄ -N, NO ₂ -N NO ₃ -N, PO ₄ -P, SiO ₂ -Si, Chl-a |
| 光量子 | 光量子計 | 光量子量 |

観測は平成26年10月31日に行った。主な調査項目は表-4に示すとおり、水質（栄養塩など）、動植物プランクトン、光量子、波浪・流況観測とした。観測方法は船上より多項目水質計を垂下し、水温・塩分、Chl-a等の鉛直観測の他に、小型メモリ光量子計による測定、バンドーン型採水器を用いた採水により水質分析を行った。

5.3.2 釧路港の現地観測結果

釧路港における水質分析結果を表-5に示す。St.2のSSは13 mg/lであり、St.1-1、St.1-2より大きい。これは底層の浮泥を採取したことによると考えられる。一方、Chl-aは測点間で大きな差はないと考えられる。次にSt.1、St.2における光量子量の鉛直分布を図-26に示す。◆のプロットは光量子計で測定された観測値である。また、実線は(11)式（Lambert-Beerの法則）を用いた回帰式を示している。

表-5 SS, Chl-aの観測結果

| 項目 | St.1-1 | St.1-2 | St.2 |
|-------------|--------|--------|------|
| SS(mg/l) | 5 | 4 | 13 |
| Chl-a(μg/l) | 2.3 | 3.5 | 2.6 |

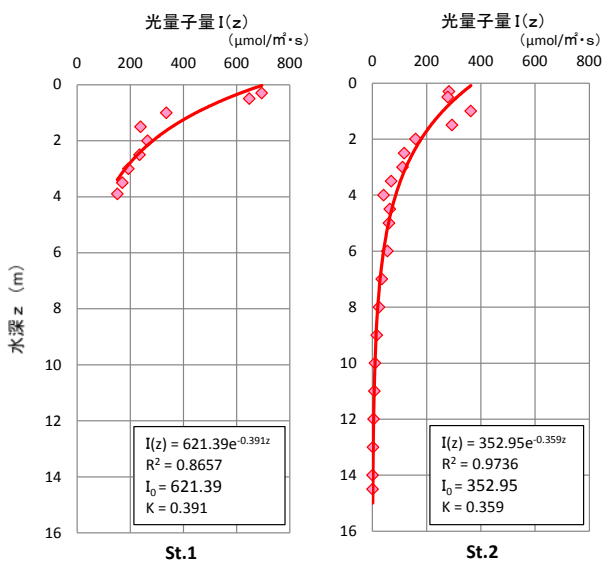


図-26 光量子量と消散係数の実測値

$$I(z) = I_0 \cdot \exp(-k \cdot z) \quad (11)$$

ここでLambert-Beerの法則は一般的な水中での光減衰を表すものである。結果はSt.1、St.2の消散係数は0.391、0.359であり、補償深度は11.8 m、12.8 mであった。

5.3.3 実測値と予測式の比較

現地観測結果を予測式に適用する場合、補償深度以浅の平均SS、Chl-aが必要であるため、観測結果を用いて測点別に荷重平均を行った（表-6）。St.1はSt.1-1、St.1-2の観測結果を荷重平均した。St.2については底層のみの観測であるため表層はSt.1-1、St.1-2のデータで補完した。

これら平均SS、Chl-aを予測式（9式）に代入することで消散係数k、補償深度Dおよび光量子量Iを算出した。結果を表-7、表-8、図-27に示す。なお、比較のためにRileyの式（8式）も記載している。図-27は光量子量Iを海表面光量子量I₀で無次元化している。

Rileyの式（8式）により算出された消散係数kは実測値に対して小さい。特にSt.1、St.2ともに0.17 m⁻¹であるのは、Chl-aのみを変数としたことに起因する。これにより補償深度Dは実測値に対して約2倍大きい。これらのことから、Rileyの式を河口沿岸域における光環境を解析に用いた場合、特に浮遊土砂を多く含んだ水域では有光層を大きく見積もることを意味しており、生態系モデルで基礎生産量を算出すれば過大評価することが懸念される。

一方、予測式（9式）で算出された消散係数kは実測値よりも大きい。測点間の違いとしては、St.1がSt.2に対して消散係数kおよび補償深度Dともに実測値に近い値となっている。このことは図-27からもわかるようにSt.1の予測式は、実測値より光量子量を小さく算出されるものの、観測値のバラツキを勘案すれば概ね再現できているものと考えられる。しかし、St.2の予測式では、光量子量の減衰が大きく実測値との差が大きくなるのがわかる。これは予測式（9式）に使用するパラメータとして、平均されたChl-aは、St.1とSt.2でほぼ同値であるのに対し、平均SSはSt.2が約3 mg/l大きい（表-6）ことが要因であると考えられる。換言すれば、St.2で底層の浮泥を採取したため、水域の平均値が大きくなり、結果的に光環境の解析に誤差を生じさせたと考えられる。Rileyの式と比較すれば予測式はSt.1、St.2のどちらも実測値に近く予測式は妥当であり、かつ、広く開

表-6 地点別荷重平均結果

| 項目 | St.1 | St.2 |
|-----------------------------|------|------|
| 平均 SS(mg/l) | 4.5 | 7.4 |
| 平均 Chl-a($\mu\text{g/l}$) | 2.9 | 3.0 |

表-7 予測値との比較結果 (St.1)

| 水深 | 実測値 | 予測式 | Riley 式 |
|------------------------------|-------|-------|---------|
| 消散係数 k (m^{-1}) | 0.391 | 0.477 | 0.175 |
| 補償深度 D (m) | 11.8 | 9.7 | 26.3 |

表-8 予測値との比較結果 (St.2)

| 水深 | 実測値 | 予測式 | Riley 式 |
|------------------------------|-------|-------|---------|
| 消散係数 k (m^{-1}) | 0.359 | 0.609 | 0.178 |
| 補償深度 D (m) | 12.8 | 7.6 | 25.9 |

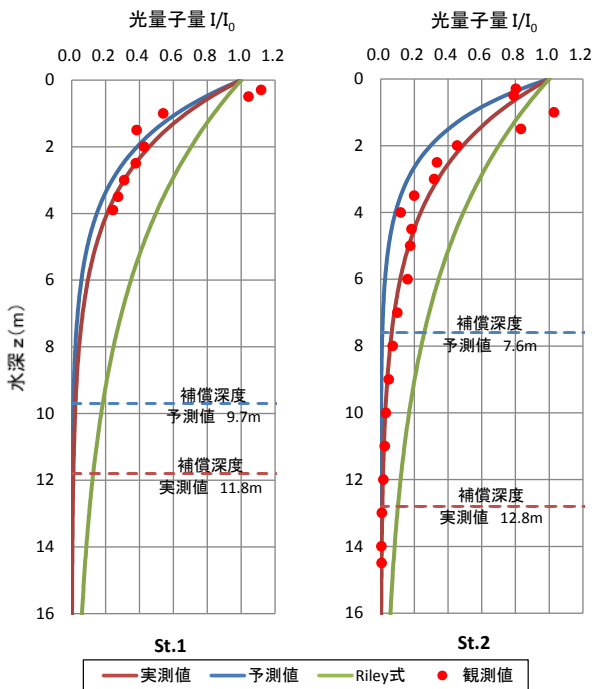


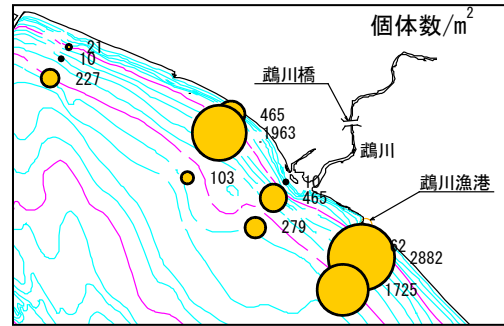
図-27 消散係数 k の比較

放性のある沿岸域だけでなく、閉鎖環境である漁港・港湾水域においても予測式が適用可能であるなど、その汎用性も確認できた¹²⁾。

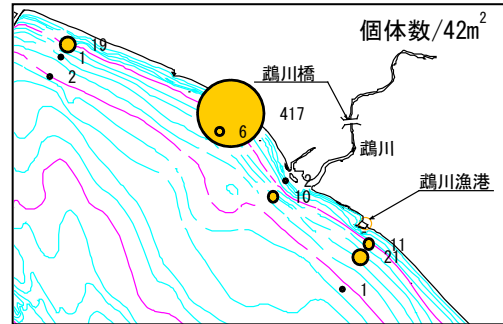
6. 鵜川沿岸の水産生物と漁場環境の適正管理手法

前述しているが鵜川沿岸の水産有用種としてウバガイがある。この生息密度、底質粒径、濁水に対する濾水速度の変化について調査、実験を行った。

また、水質・底質分析結果とウバガイの生息密度との関係について多成分分析を行った。



(a) ウバガイ稚貝



(b) ウバガイ成貝

図-28 底生生物の生息密度

6.1 ウバガイの生息密度

図-28 に底生生物の生息密度を示す。これはウバガイの浮遊幼生が着底したと考えられる平成 25 年 8 月後半に調査を実施した。ここで生息密度の調査は、鵜川河口より東側に側線 Line4 (St.4-1, St.4-2, St.4-3) を追加した。

スミス・マッキンタイヤ型採泥器によるマクロベントス調査では、ウバガイ稚貝は全地点で確認され、個体数は 10~2,882 個体/ m^2 の範囲であり、個体数では St.4-2 で最も多かった。また、桁網によるメガロベントス調査においてウバガイ成貝は St.1-1, St.2-1, St.2-2, St.3-1, St.3-2, St.4-1, St.4-2, St.4-3 の 8 地点で優占していた。ウバガイが優占していない St.1-3 では、腔腸動物イソギンチャク目、環形動物のチマキゴカイ、カザリゴカイ科の 1 種 (*Ampharete acutifrons*) が、St.2-3 は節足動物のエビジャコが優占していた。

6.2 ウバガイと底質粒径

図-29 にはウバガイ成貝 (平成 23 年 8 月調査) の個体密度と底質の 50% 粒径の関係を示している。50% 粒径が 0.1~0.2mm の粒径の範囲で個体密度が大きい。粒径 0.1~0.2mm は粒度試験の分類では細砂に相当する。谷野ら¹³⁾は、北海道胆振海岸におい

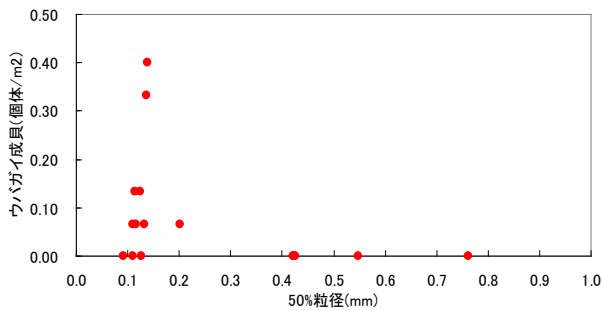


図-29 ウバガイ成貝の個体密度と底質50%粒径の関係

て、底質の50%粒径が0.2mmで二枚貝（ウバガイ等）の個体数が最大となることを指摘しており、この結果は粒径0.1~0.2mmの細砂がウバガイ成貝の生息に好適な条件であることを示唆している¹⁴⁾。

6.3 ウバガイの濾水速度

当海域は前述したように出水に伴う濁水の流入があり、濁水が水域環境に与える影響については前述のように調査、考察を行っている。ここではウバガイの直接的な濁水耐性の有無について以下の実験を行ったため、結果を述べる¹⁵⁾。

実験方法としては、水温を15°Cとし、殻長75~100mmの鵜川産ウバガイを用いて以下の実験を行った。濾過海水5Lを注入した4つの容器にベントナイトを各々50, 100, 500および1000mg/Lの濃度で懸濁させ、エアレーションとスターラーによる攪拌を施した（図-30）。この状態で貝を1個体入れた網カゴを容器に垂下し、貝の濾水に伴う濁度の減

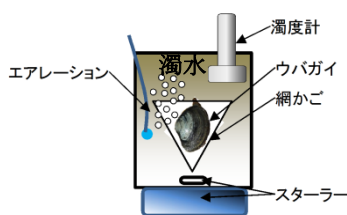


図-30 実験概要

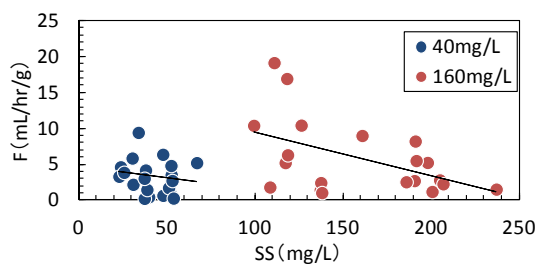


図-31 浮遊物質SSと濾水速度(6時間計測)

少量を濁度計により30分間隔で最大6時間計測した。以上の操作を10回反復し、得られたデータを基に濾水速度を算出した。

この結果としてウバガイの濾水速度Fは、99~237mg/Lの範囲ではSS（浮遊物質）の上昇に伴って低下することが示唆された（図-31）。また、SSが高濃度の場合、濾水をストップし無気呼吸となっていることが確認された。この状態が長時間継続すれば死に至ることが懸念された。

6.4 ウバガイ資源と水域環境

底質調査および水質調査の結果を用いて、クラスター解析によりウバガイ生息環境を類型化し、個体密度データと比較することでウバガイ生息状況の把握を行った。

6.4.1 クラスタ解析の方法

ベントス群集の生態的分布は、過去の知見において、生息水域の底質環境に支配されていることが報告されている¹⁶⁾。このためベントスであるウバガイの生息環境を知るためには、ウバガイの生息環境と底質環境が有する特徴と関連付けて解明することが必要である。環境には多種多様な環境要因が含まれることから、ウバガイが生息する環境の特徴を相対的に把握するため、底質調査および水質調査の結果を用いてクラスター解析、環境の類型化を行い、ウバガイ生息環境との比較を行った。

クラスター解析には類似度指数としてWhittaker百分率（Bray-Curtis）を用い、クラスタリング手法はUPGMA群平均法を使用した。

ウバガイの生息環境を類型化するため、底質分析項目および水質分析項目の中からウバガイの生息に寄与していると考えられる以下の環境要因（底質：5項目、水質：3項目）を選択し、解析に用いた。

底質分析項目の変数には、①COD、②強熱減量、③T-P、④鉄、⑤粒度分布（うち粗砂、中砂、細砂、シルト）を解析に用いた。水質分析項目の変数には、海底上の環境に影響を及ぼすと考えられる底層の①DO、②SS、③クロロフィルaを解析に用いた。また、定量下限値未満は底質分析項目および水質分析項目いずれも定量下限値として扱った。

6.4.2 クラスタ解析結果

クラスター解析で得られたデンドログラムを図-32に示す。得られたデンドログラムを概観し、大

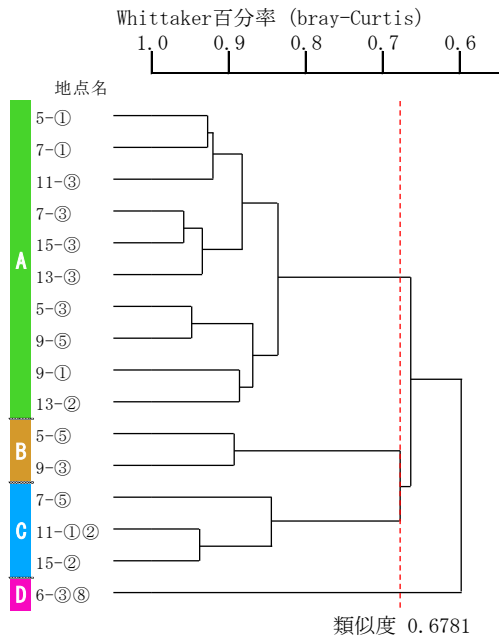


図-32 クラスタ分析結果

表-9 各クラスターの特徴

| 分析項目 | | クラスター番号 | | | | |
|---------|----------------|---------|-------|-------|-------|-------|
| | | A | B | C | D | |
| 水質 | DO (mg/L) | 6.55 | 5.90 | 6.50 | 6.30 | |
| | SS (mg/L) | 14.10 | 77.50 | 17.33 | 48.00 | |
| | クロロフィルa (μg/L) | 3.24 | 3.40 | 2.63 | 6.80 | |
| 平均値 | COD (mg/g-乾泥) | 0.84 | 1.00 | 0.27 | 0.40 | |
| | 強熱減量 (%) | 2.28 | 2.20 | 1.97 | 1.70 | |
| | T-P (mg/g-乾泥) | 0.36 | 0.40 | 0.23 | 0.40 | |
| | 鉄 (mg/g-乾泥) | 41.50 | 31.50 | 20.00 | 80.00 | |
| | 底質 粒度分布 | 粗砂 (%) | 0.34 | 2.08 | 2.58 | 6.20 |
| | | 中砂 (%) | 12.18 | 19.02 | 51.16 | 28.48 |
| | | 細砂 (%) | 81.56 | 68.93 | 41.23 | 25.06 |
| シルト (%) | | 5.76 | 7.55 | 2.22 | 1.17 | |

別して 4 群から成る構成であると判断できたため、4 群でクラスターを打ち切り(閾値 0.6781)、クラスター毎の特徴を調べた。図より、B 群と C 群の類似性は高く、D 群 (1 地点のみ) は他の群との類似性が低い傾向が見られた。

各クラスターの底質分析値および水質分析値の平均値を表-9 に示す。A 群は全クラスターの中で強熱減量や細砂分が高い。B 群は SS、シルト分が高い。C 群は中砂分が高い。また、D 群は粗砂分が高く、比較的粒度が粗く、鉄分が高いクラスターであった。概観すると群分けのプロセスには粒度分布が大きく関与していると考えられ、A 群および B 群は総体的に底質が細かい粒子の堆積物で構成される傾向がみられ、一方、C 群および D 群は粗い粒子の堆積物で構成される傾向が窺えた。

6.4.3 ウバガイ成員分布と生息環境の比較

ウバガイ成員の資源は鵜川河口付近を除く沿岸域に広く分布する。これとクラスター分析結果より大略の環境分布を示したものを図-33 に示す(資源量データ提供: 鵜川漁業協同組合)。ウバガイ成員はいずれも大部分がクラスター分析で A 群に分類された環境に分布していた。各群の空間分布と特徴と併せて考えると、鵜川河口近傍や沖合等、海水による攪乱が激しいと考えられる地点は比較的粒子の粗い底質環境、沿岸からやや沖合にかけての範囲は、細砂を中心とした粒子の細かい底質環境であることが窺えた。

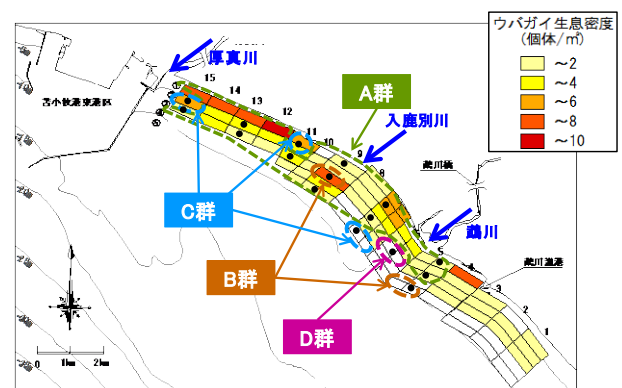


図-33 クラスタ分析結果とウバガイ資源量

6.5 二枚貝を主体とする漁場環境の適正管理手法

鵜川沿岸のウバガイ漁場における上記の検討結果を踏まえ、表-10 に二枚貝を主体とする漁場環境の適正管理項目を示す。検討項目としては、(1)濁水の影響、(2)基礎生産の算定、(3)底質・水質等の環境因子の評価を行う。表-10 の管理項目に基づき評価を実施することで効率的な漁獲対象区の設定や稚貝放流適正区の設定などを行う必要がある。

ウバガイは漁獲サイズに成長するためには長期間(4~5年以上)を要することや卓越年級群の発生により資源量は大きく年変動することから、上記評価手法の信頼性を向上させるためにも長期的なモニタリングによる検証と改善が必要であると考えられる。

表-10 漁場環境の適正管理項目

| 項目 | 詳細 |
|-----------------------|--|
| (1) 濁水の影響 | <ul style="list-style-type: none"> ・出水時の航空写真等を用いた濁水の拡散範囲の把握 ・流れ場、SSの移流拡散計算による濁水の拡散範囲と時系列的な変動の把握 ・二枚貝等の生態特性（濾水速度など）と濁水の関係性から評価 |
| (2) 基礎生産の算定 | <ul style="list-style-type: none"> ・現地観測や上記の数値計算によりSSの鉛直分布を把握 ・本研究の消散係数の算定式により光環境の把握 ・対象沿岸域、季節変化に即した光合成速度の算出（培養試験など） ・生態系モデルによる基礎生産量の把握（濁水の有無などを考慮） ・二枚貝等の生息生物の資源量、漁獲量と基礎生産量の関係について評価 |
| (3) 底質・水質等の環境因子の評価 | <ul style="list-style-type: none"> ・出水などのイベント時および季節的な現地観測による底質・水質、粒度分布等の変化を把握 ・漁獲調査などにより、二枚貝等の資源量の空間（平面）分布の把握 ・水質・底質データを用いたクラスター分析を実施し、資源量分布と比較、評価 ・上記により、水質・底質、粒度分布等の漁場環境に対する問題点抽出、対策案の検討 |

7. まとめ

鵜川沿岸における現地観測により、夏季出水と融雪出水に伴う水質・底質・生物環境の変化と水産生物の生息環境に及ぼす影響について評価することが出来た。この他にウバガイの生態特性、濁水の拡散範囲、沿岸域の光環境の変化、ウバガイと水域環境との関係について把握することができた。主な結果は以下の通りである。

- ①平水時では上層で窒素が枯渇することで基礎生産の制限要因となっている。夏季出水時では陸域からの栄養塩の供給で窒素不足が解消されるが、濁水により底層で光量が不足することで基礎生産の制限要因となっている。一方、融雪出水時は高い基礎生産を維持しており、春季ブルームと表層冷却にともなう鉛直混合が要因と考えられた。
- ②沿岸域における水産生物の生息環境に大きな影響を与える基礎生産について、平水時と夏季出水時を対象に低次生態系モデルにより基礎生産量を算出した。これにより現況の基礎生産の再現が可

能となった。また、試算として対策を講じて濁水の影響を緩和した場合について計算すると、基礎生産量が大幅に改善することがわかった。

- ③鵜川沿岸の光環境は、一般に用いられる Chl-*a* を変数とする Riley の式では出水時の光環境を表現することが出来ない。一方、浮遊物質中の植物プランクトンを除いた SSa（主に土粒子成分）と消散係数に相関があることがわかった。
- ④当沿岸のウバガイの生息密度、生息域の底質粒径を把握した。底質粒径は一般にいわれる細砂に多くのウバガイが生息する。また、ウバガイの濁水の耐性実験においては、浮遊物質の増加に伴い濾水速度が低下するとともに、特に高濃度の場合は濾水が止まり、無気呼吸となっており、この状態が長期間継続すれば死に至ることが懸念された。
- ⑤濁水（浮遊物質 SS）の拡散範囲は、河川出水の流量の大きさよりの拡散範囲が異なり、河川流量が最大で 3000m³/s 程度（2006 年の出水）があれば、浮遊物質 SS の拡散は沖合 10km 付近（水深 30m 程度）にまで及ぶ可能性が示唆された。
- ⑥陸域からの濁水の影響が大きい沿岸域では、濁水に起因する土粒子成分を多く含んでおり、消散係数を精度に問題があったため、沿岸域に適した消散係数の予測式を提案した。予測式の作成は、「空間的に沿岸から沖合まで連続的に使用できること」、「出水時の濁水による影響を考慮できること」、「植物プランクトンによる自己遮蔽についても適用できること」である。これを河口沿岸に位置する釧路港に応用した結果、比較的良好に光環境を再現できることがわかった。汎用性の高い予測式と考えられる。
- ⑦水質・底質調査結果をクラスター分析し、ウバガイ成貝の生息分布と比較検討することで、ウバガイの生息と水域環境の関係の解明を試みた。C 群（細砂が中心）がウバガイ資源の大きい位置と一致することがわかった。
- ⑧鵜川沿岸におけるウバガイ漁場は、上記の検討結果を踏まえ、漁場環境の適正管理手法として(1)濁水の影響、(2)基礎生産の算定、(3)底質・水質等の環境因子の評価を行い、効率的な漁獲対象区の設定や稚貝放流適正区の設定などを実施することで漁場管理に活用できると考える。

参考文献

- 1) 須藤賢哉・大橋正臣・山本潤(2012): 鶴川の融雪出水に伴う沿岸域の水質動態, 第49回環境工学フォーラム講演集, pp.154-156
- 2) 高橋正征・古谷 研・石丸 隆 (1996): 生物海洋学 2「粒状物質の一次生成」, 東海大学出版会, 90p.
- 3) J.k.Egge,D.L.Aksnes(1992): Silicate as regulating nutrient in phytoplankton competition,MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES,vol.83
- 4) 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(海岸工学), Vol.68, No.2, pp.1121-1125
- 5) 大橋正臣・三森繁昭・梶原瑠美子・三上信雄・山本潤(2016): 現地観測による鶴川・沙流川沿岸の周年の水域環境について, 平成28年度日本水産工学会学術講演会, pp.65-68
- 6) 大橋正臣・山本潤・須藤賢哉・水垣 滋・門谷 茂(2013): 鶴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.1191-1195
- 7) Mellor,G.L.(2004) : Users guide for a three-dimensional, primitive equation, numerical ocean model, <http://www.ccpo.odu.edu/POMWEB/index.html>
- 8) 中田喜三郎(1993): 生態系モデル—定式化と未知パラメータの推定法—, Journal of Advanced Marine Technology Conference, Vol.8, pp.99-138
- 9) 林田建志・山本潤・大橋正臣・河合浩・坂本知佳・村上俊哉・工藤勲(2013): 北方海域に適用する低次生態系モデルのための生物パラメータの取得, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.69, No.2, pp.1126-1131
- 10) Riley, G. A.(1956) : Oceanography of long Island Sound 1952-54., I. Physical Oceanography. Bull. Bing. Oceanogr. Coll. 15, pp.15-46
- 11) 大橋正臣・河合浩・三上信雄・水垣滋・大村智宏・山本潤・門谷茂(2014): 鶴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, pp.1032-1037
- 12) 三森繁昭・大橋正臣・三上信雄(2015): 沿岸域の基礎生産に着目した光環境に関する研究, 北海道開発局技術研究発表会
- 13) 谷野賢二・山本泰司・明田定満・綿貫 啓・長谷川厚・田中則男(1997): 高天端潜堤の建設と周辺の生物相の変化、海洋開発論文集、Vol.13、pp.13-18
- 14) 須藤賢哉・大橋正臣・山本潤(2012): 鶴川・沙流川の夏季出水が周辺海域に及ぼす影響を把握する試み, 平成24年度日本水産工学会学術講演会、pp.221-224
- 15) 櫻井泉・今英雄・大橋正臣(2014): ウバガイの瀘水活動に影響を及ぼす濁度の影響, 平成26年度日本水産学会春季大会
- 16) Sanders, H. L. (1958): Benthic studies in Buzzards Bay. I. Animalsediment relationships. Limnology and Oceanography, Vol.3, pp.245-258.

RESEARCH ON MANAGEMENT TECHNOLOGIES TO MAINTAIN HABITAT ENVIRONMENTS FOR AQUATIC ORGANISMS IN SNOWY AND COLD COASTAL REGIONS

Budgeted : Grants for operating expenses
General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Fisheries Engineering
Research Team

Author : MIKAMI Nobuo
MAKITA Yoshimi
SATO Jin
MIMORI Shigeaki
OHASHI Masami
KAJIHARA Rumiko

Abstract : This research tries to develop best management techniques for habitat environments of aquatic organisms in snowy and cold coastal regions. Places near the mouth of a river are good fishing spots because of the abundance of nutrient salts, but, on the other hand, flooding from the river poses a big issue as massive numbers of useful marine species can perish. In this research, investigate the impact of outflow of floating mud and nutrient salts from the land on the habitat environment, and conduct research contributing to proper management methods in coastal areas. Between 2011 and 2012, field observations have executed four seasons to elucidate the influence that the flood and seasons change exerts on habitat environment in a coastal region. Between 2013 and 2014, the diffusion of the mud was calculated in Mukawa coast. And, proposed a model of extinction coefficient to apply between the coast and offshore. The relation between the bottom sediment and Japanese surf clam (*Pseudocardium sachalinensis*) was found. In 2015, proposed on better management techniques for habitat environment of fishery grounds in snowy and cold coastal regions

Key words : river flood, primary productivity, estuary, nutrient salts, ecosystem model, environment of fishery ground, optical environment, dissipative coefficient