

17 食料供給力強化に貢献する寒冷海域の水産基盤の整備・保全に関する研究

研究期間：平成 28 年度～令和 3 年度

プログラムリーダー：寒地水圏研究グループ長 平井康幸

研究担当グループ：寒地水圏研究グループ（水環境保全、水産土木）

1. 研究の必要性

世界最大の食料純輸入国である日本において、世界有数の漁場である日本周辺海域での水産資源の持続的利用の確保が重要である一方、我が国周辺の水産資源の 4 割の魚種・系群が、今後の供給に懸念がある低位水準のレベルにある。このため、生態系と調和した水産資源の持続的な利用を支える水産技術の開発が必要であり、とりわけ日本における重要な水産物の生産拠点である北海道では、周辺水域の資源生産力の向上を図るとともに、漁港の水域を増養殖や藻場造成等の場として活用していくことが求められている。

このような社会的な背景や要請を受け、本研究開発プログラムでは、寒冷海域における食料供給力強化に資する水産基盤の整備・保全に関する技術の開発を行うものである。

2. 目標とする研究開発成果

本研究開発プログラムでは、漁港・港湾や河川流域を含む、沿岸域から沖合域が一体となって有用水産生物の持続的利用と海洋構造物の有する増養殖機能の強化に資する整備技術を開発していくことで、生態系全体の生産力の底上げと栽培漁業の支援による漁業地域の振興を図ることを目的として、以下の達成目標を設定した。

- (1) 海洋及び河川・沿岸構造物の有用水産生物の産卵場・生息場としての増養殖機能に関する評価技術の構築
- (2) 生産力向上と漁業振興に向けた海洋及び河川・沿岸構造物の増養殖機能強化のための水産環境整備技術の開発

3. 研究の成果・取組

「2. 目標とする研究開発成果」に示した達成目標に関して、平成 30 年度に実施した研究の成果・取組について要約すると以下のとおりである。

(1) 海洋及び河川・沿岸構造物の有用水産生物の産卵場・生息場としての増養殖機能に関する評価技術の構築

本達成目標に対しては、①沿岸構造物が有する保護育成機能、②餌料培養効果を加味した漁場整備技術、③栽培漁業支援技術、④遡河性魚類行動の四つの視点から研究を行った。

漁港・港湾等の沿岸構造物は、本来機能に加え、自然調和型機能（静穏域創出機能、藻場創出機能、産卵礁機能、魚礁機能）を有し、水産生物の貴重な保護育成場となっているが、これらの機能は定性的な理解にとどまっている。本研究は、保護育成場として機能するメカニズムを解明するとともに、それらの機能評価手法および機能強化に資する沿岸構造物の整備手法の技術開発を行い、水産資源の生産力向上のための技術方策を提案するものである。平成 30 年度は、漁港の有する高波浪からの避難場、餌場機能に関して、それらの機能の評価手法を検討するために、主にバイオテレメトリー手法や基礎生産測定手法の有用性を調べるとともに、保護育成機能の評価に必要な基礎データを収集した。その結果、魚種により異なる遊泳行動が確認され、マツカワ・カワガレイは、5～8 日間かけて港外に移動、カジカは 1～3 日後に速やかに港外に移動、クロソイは 1 個体を除き放流日もしくは 2 日目には速やかに港外に移動し、港外の本来の生息環境に類似した空間へ移動したものと推察できた。マツカワは、高有義波高時には港外に移動せず港内に留まる傾向が見られ、流動環境が魚類行動に影響を与えている可能性が示唆された。また、寿都漁港内外の表層水、底層水、表層堆積物を採取し、水柱および表層堆積物での 1 日当たりの基礎生産量を測定した。加えて、セジメントトラップを港内外に 24 時間設置し、POC の変化量から

一日当たりの沈降粒子量を測定した。その結果、基礎生産、沈降粒子ともに港内で高いことが明らかとなった。

沖合域における水産物の生産力を向上させ、水産物の安定供給の確保を図ることを目的として、これまでに兵庫・鳥取・島根沖の日本海西部地区において直轄漁場整備（フロンティア漁場整備）事業が行われており、日本海北部海域においても資源減少が著しいスケトウダラやホッケなどを対象として事業の実施が望まれている。本研究は、魚礁等の人工構造物の造成によって、水産有用種の餌料となる生物の蛸集効果や人工構造物に付着する生物の餌料効果を解明することで、効果的な漁場整備事業の推進に向けた評価手法の構築および整備手法の開発を行うものである。平成 30 年度は、人工構造物の餌料培養効果についての基礎データを得るため、主に底生生物相について調査し、特に ROV（水中ロボット）による魚礁ブロック近傍の試料採取および試験礁による構造物の付着試料の採取を試みた。その結果、魚礁区では魚類の餌料として重要な多毛類が対照区に比べて概して多く、水深 90m の沖合域において人工構造物が餌料生物の培養に寄与している可能性が示唆された。また、試験礁のテストピースの付着生物ではスピオ科多毛類が多く確認されたことから人工構造物の表面に魚類の餌料生物が多く生息している可能性が示唆された。

漁業者の高齢化に伴い負担軽減の観点から、沖合漁業から沿岸の磯根漁業への転換が進んでいる。これに加え疲弊する日本海漁業の再生と水産物供給の安定化に向け、栽培漁業による漁業振興が重要な課題となっている。本研究は、栽培漁業支援のため種苗放流と連携した漁港港湾の静穏域を活用した増殖機能付加型漁港整備に資する技術開発を行うものである。平成 30 年度は、ナマコを対象に、漁港内の静穏域を活用した種苗放流技術を開発するため、港内の物理環境の連続観測を行うとともに、実証試験として過年度に設置した試験礁の育成場としての効果を評価する目的で稚ナマコを放流し、残存調査及び漁港全体の底質環境についての検討を実施した。その結果、本漁港は北東に隣接する河川や港外からの影響により東部港口周辺の底質に有機物が蓄積し易い傾向にあることが判明した。定着数は堆積傾向の地点において低位であったことから、港内においてナマコの放流、中間育成を行う場合は、生息空間を埋没させるほどの流入堆砂や漂砂移動が大きな場所は適さないことが分かった。また、西部港奥及び港口の底質中から水産生物の生育に望ましくない量の全硫化物が認められ、漁港全体の分布から東部防波堤側にナマコの分布が偏っていることが示された。

北海道におけるサケ来遊数の減少を背景に、自然産卵による遺伝的多様性の高い稚魚の重要性が高まっている。これらの稚魚の生息数増加には、魚道等の親魚の遡上環境や稚魚の生息域保全が必要である。そこで本研究では、サケ親魚遡上数の自動計測や河口緩流域の稚魚生息数調査を行い、それらの結果から魚道や緩流域の効果を検討した。その結果、自動計測により遡上数を 24 時間連続して計測することが可能となり、長期間の遡上数や降下数が明らかになった。また、ウトナイ堰では夜間に遡上する個体が多くいることもわかり、ウトナイ堰の効果が明らかになった。人工的な旧川跡やワンドといった緩流域が、サケ稚魚の降海前の滞留場所として利用されていることや餌場としても機能している可能性が明らかになった。本研究の結果は、遡上数自動計測装置の使用が魚道等の連続長期間の評価に役立つことを示唆している。一方で、人工的なワンドはその機能として生物生態系保全に加えて、サケ資源保全の可能性が示唆された。

(2) 生産力向上と漁業振興に向けた海洋及び河川・沿岸構造物の増養殖機能強化のための水産環境整備技術の開発

遊休化した漁港施設等を水産生物の増養殖場として有効活用するための技術開発が求められている。一方、ナマコの種苗放流では、強い波浪や流れによる稚ナマコの流出による著しい初期減耗が報告されており、防波堤背後等の静穏域を稚ナマコの放流場及び育成場とする利活用が考えられる。このため、ナマコ生息環境上の基質の特性などを検討し、稚ナマコ育成に適した施設整備に関する技術開発を行うものである。平成 30 年度は、材質・空隙の異なる基質に放流した稚ナマコの個体数変化、体成長及び稚ナマコの餌料環境調査を実施した。その結果、材質はホタテ、空隙が 15mm 及び 30mm の基質で稚ナマコの比較的良好な定着が確認された。また、空隙が大きい基質ではクロロフィル a やフェオフィチンが高く、平均標準体長の大きなナマコが多かったことから、体成長と空隙と餌料環境の密接な関係性が示された。

サケの北海道沿岸域での回帰行動には不明な点が多く残されており、湾内や沿岸のサケ回遊行動が調べられてきたが、沿岸構造物による回遊への影響についての報告は少ない。沖合に突堤が伸びる形状の沿岸構造物の漁港

17 食料供給力強化に貢献する寒冷海域の水産基盤の整備・保全に関する研究

はサケの回遊に影響している可能性が考えられた。そこで本研究では、超音波バイオテレメトリーシステムを用いて厚内漁港周辺の定置網回避後の行動と、定置網周辺から十勝川河口までの行動を調査した。その結果、漁港で放流した個体は、いずれも速やかな港外への移動し、サケは港内に迷入した場合でも、本来の回帰ルートに戻れることが示唆された。定置網で放流した多くの個体は、一度沖合に戻り、再び母川を求めて遊泳している可能性が高いことも明らかになった。放流 15 個体の内、6 個体を十勝川河口周辺で確認した。さらに、河川(猿別川)上流まで遡上が確認されたものが 2 個体だった。本研究で得られた結果はサケ資源の管理に向けての沿岸構造物の影響を考える上で基礎的なデータとなる。

STUDY ON THE DEVELOPMENT AND CONSERVATION OF FISHERY INFRASTRUCTURE OF COLD WATERS THAT CONTRIBUTE TO STRENGTHENING FOOD SUPPLY CAPACITY

Research Period : FY2016-2021

Program Leader : Director of Cold-Region Hydraulic and Aquatic Environment Engineering
Research Group
HIRAI Yasuyuki

Research Group : Cold-Region Hydraulic and Aquatic Environment Engineering Research Group
(Watershed Environmental Engineering Research Team,
Fisheries Engineering Research Team)

Abstract : In Japan, a country that relies on food imports, the sustainable use of fisheries resources is required. Hokkaido is one of the fishery production base. Thus, there is a need to increase the productivity of fisheries resources in coastal areas of Hokkaido and to improve the functionality of coastal structures such as fishing ports in terms of their ability to protect and foster aquatic organisms. By realizing these, fishery areas will be vitalized. Additionally, the protection and improvement of an environment for the spawning and regeneration of salmonids in rivers is important.

In view of this, we identified two goals.

- (1) The development of methods for evaluating the ability of structures at seas, rivers or coasts to protect and foster aquatic organisms
- (2) The development of methods for maintenance and construction of these structures to protect and foster aquatic organisms

To this end, we studied ①the ability of coastal structures to protect and nurture aquatic organisms, ② development of methods for effectively constructing fishery ground adding the ability of enhancement of food resource,③methods for supporting cultivation fishery and ④the behaviors of anadromous fish.

Key words : coastal structures, ability to protect and nurture, enhancement of food resources, cultivation fishery, biotelemetry

17.1 海洋及び河川・沿岸構造物の有用水産生物の産卵場・生息場としての増養殖に関する 評価技術の構築

17.1.1 寒冷沿岸施設における水産生物の保護育成機能強化に関する研究

担当チーム：寒地水圏研究グループ（水産土木チーム）

研究担当者：伊藤敏朗、河合浩、丸山修治、須藤賢哉、梶原瑠美子、稲葉信晴

【要旨】

本研究は、漁港港湾等の沿岸構造物が寒冷海域の水産生物の産卵場・生息場などの保護育成場として機能するメカニズムを解明するとともに、それらの機能評価手法および機能強化に資する沿岸構造物の整備手法の技術開発を行い、水産物の生産力向上のための技術方策を提案するものである。

平成 28 年度(2016)は、研究対象漁港内外での各成長段階の魚類分布調査に併せ、波浪などの物理環境とともに、水質、底質、餌料などの水産生物の生息環境調査を実施した。平成 29 年度(2017)は、調査地点や項目、分析方法などを再検討後、調査を継続した。その結果、港内は、港外に比べ静穏でありながら塩分や水温の大きな違いは見られず、底生基礎生産者や底生動物の現存量が多かったことから、漁港が水産生物への高波浪からの避難場および餌場機能を有する可能性が示唆された。また、稚仔魚は港外に比べ港内で多く採取され、幼成魚は年間を通して港内で確認されるとともに、幼成魚の胃内容物に港内で現存量の多い環形動物や節足動物の優占種が確認されたことから、それらの機能を生物が利用している可能性も示唆された。平成 30 年度(2018)は、避難場および餌場機能の評価手法を検討するために、漁港内でのバイオテレメトリーや基礎生産測定手法の有用性を確認した。

キーワード：沿岸構造物、保護育成機能、避難場、餌場

1. はじめに

近年の水産資源の低迷や藻場・干潟の減少を踏まえ、水産資源の回復・増大と豊かな生態系の維持・回復を目指し、生態系全体の生産力の底上げを図るために、水産生物の生活史に対応した生息環境空間を創出する「水産環境整備」が推進されている¹⁾。

沿岸域は水産生物の生活史において重要な空間であり、その中でも漁港・港湾等の沿岸構造物は、本来機能に加え、自然調和型機能（静穏域創出機能、藻場創出機能、産卵礁機能、魚礁機能）を有することが知られており²⁾、水産生物の貴重な保護育成場となっている。しかし、現状ではそれらの機能は定性的に理解されており、諸機能を定量的に定義、評価した上で、効果的に機能を強化、創出するための沿岸構造物の整備技術の確立が求められている（図-1）。

特に、北海道周辺海域は水産物の供給上の拠点であるものの、沿岸構造物との関連性について寒冷海域の生物種を対象に検討を行った事例は少なく、種や季節変化などの地域特性を考慮した寒冷海域沿岸構造物の保護育成機能を評価する手法の構築が必要である。

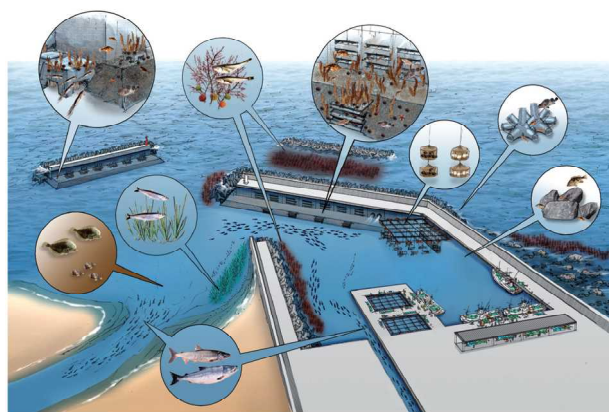


図-1 保護育成機能強化型漁港のイメージ

そこで本研究は、漁港港湾等の沿岸構造物が寒冷海域の水産生物種の産卵場・生息場などの保護育成場として機能するメカニズムを解明するとともに、機能評価手法および、機能強化に資する整備手法の技術開発を行い、水産物の生産力向上のための技術方策を提案するものである。

2. 研究全体の調査概要

はじめに、沿岸構造物周辺における水産生物の生息環境に関する現地調査を実施し、沿岸構造物周辺の環境と水産生物の行動特性の関係から、沿岸構造物が有する水産生物の保護育成機能を明らかにする(平成28～29年度)。次に、保護機能のメカニズムを考慮した評価手法の確立を目指すとともに、機能強化のための沿岸構造物の整備手法を提案するために、現地調査に併せ、現地や室内試験の実施、解析手法の検討を行う(平成30年度以降)。



図-2 寿都漁港調査位置
(水深：海底地形デジタルデータ、日本水路協会)

3. 平成28、29年度(2016、2017)の調査と分析項目

調査は北海道南西部に位置する寿都町寿都漁港周辺で行った(図-2)。本調査対象漁港は、既往の研究において藻場創出機能付加型沿岸構造物に関する定期調査、2015年3月から8月にはSt.3付近で魚類SCUBA観察および卵稚仔魚ネット調査が行われている。平成28年度(2016)は、既往データを参考にしながら今後の調査地点や項目を検討するために、既往の研究(平成28年度(2016)終了)での魚類調査に併せ、環境調査を9月から実施した。主な調査、分析項目を表-1に示す。漁港泊地における静穏域創出機能による水産生物の高波浪からの避難場および餌場機能に着目し、物理環境を連続機器観測するとともに、魚類の餌となる動物プランクトンや底生動物の現存量、またそれらの基盤となる基礎生産者や栄養塩現存量について調査した。平成29年度(2017)の主な調査、分析項目を表-2に示す。前年度までの調査地点や項目、分析方法等を再検討し(港外での刺網やSCUBA観察、港口でのインターバル写真撮影、胃内容物分析、間隙水やChl. a分析方法など)、4月下旬より調査を実施した。

4. 平成28、29年度(2016、2017)の主な調査結果

4.1 物理環境

寿都漁港周辺の2016年9月から2017年8月までの水温、塩分、2016年9月から2018年3月までの有義波高の連続機器観測結果を図-3に示す。表層および底層はそれぞれ海面下、海底上約1mである。2017年4月中は漁港周辺での漁業活動のため観測機器を設置できず、また2017年9月以降は水温塩分計の故障によりデータが得られなかった。

水温は、観測を開始した9月初旬から10月までは時折港外St.9の底層で低い値が観測されたが全地点20℃以上で、定常的な地点間の差は小さかった。しかし、10月以降2月初めまで水温の低下に伴い、地点間

表-1 H28年度(2016)調査および分析項目

項目	地点 区域	港奥			港中央			港口		港外	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
連続機器観測	周辺特徴	捨石岸壁	被覆 治地 根固ブロック	被覆 岸壁 治地 根固ブロック	被覆 治地 根固ブロック	被覆 治地 根固ブロック	被覆 治地 根固ブロック	消波ブロック	消波ブロック	消波ブロック	岩礁
	水温	◎B	◎S	◎S	◎S	◎S	◎S	◎S	◎S	◎B	
水試料分析	塩分	◎S	◎S	◎S	◎S	◎S	◎S	◎S	◎S	◎S	
	光合成色素(Chl.a)濃度	◎	◎S	◎S	◎S	◎S	◎S	◎S	◎S	◎	
水試料分析	Chl.a, Phaeo.	◎△	◎△	◎△	◎△	◎△	◎△	◎△	◎△	◎△	
	粒状有機物(POC, PN, PP)	◎△	◎△	◎△	◎△	◎△	◎△	◎△	◎△	◎△	
水試料分析	栄養塩(NO ₃ +NO ₂ , NH ₄ , PO ₄)	◎△	◎△	◎△	◎△	◎△	◎△	◎△	◎△	◎△	
	動物プランクトン	◎△	◎△	◎△	◎△	◎△	◎△	◎△	◎△	◎△	
堆積物試料分析	Chl.a, Phaeo.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	堆積有機物(TOC, TN, TP)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
堆積物試料分析	栄養塩(NO ₃ +NO ₂ , NH ₄ , PO ₄)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	(表層) 粒度組成	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
魚類調査	刺網	◎S	◎B	◎B	◎S	◎B	◎B	◎S	◎B	◎B	◎B
	卵稚仔魚ネット	◎S	◎B	◎B	◎S	◎B	◎B	◎S	◎B	◎B	◎B
魚類調査	ダイバー	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	間欠カメラ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

◎:9-3月、○:9, 11, 2, 3月実施、△:9, 11月のみ、S:表層、B:底層

表-2 H29年度(2017)調査および分析項目

項目	地点 区域	港奥			港口		港外	
		1	2	3	7	8	9	10
連続機器観測	周辺特徴	捨石岸壁	被覆 治地 根固ブロック	被覆 治地 根固ブロック	被覆 治地 根固ブロック	消波ブロック	消波ブロック	岩礁
	水温	◎B	◎S	◎S	◎S	◎S	◎S	◎S
水試料分析	塩分	◎S	◎S	◎S	◎S	◎S	◎S	◎S
	光合成色素(Chl.a)濃度	◎	◎S	◎S	◎S	◎S	◎S	◎
水試料分析	Chl.a, Phaeo.	◎S	◎B	◎B	◎S	◎B	◎S	◎B
	粒状有機物(POC, PN)	◎S	◎B	◎B	◎S	◎B	◎S	◎B
水試料分析	栄養塩(NO ₃ +NO ₂ , NH ₄ , PO ₄)	◎S	◎B	◎B	◎S	◎B	◎S	◎B
	動物プランクトン	○	○	○	○	○	○	○
堆積物試料分析	Chl.a, Phaeo.	○	○	○	○	○	○	○
	堆積有機物(TOC, TN)	○	○	○	○	○	○	○
堆積物試料分析	栄養塩(NO ₃ +NO ₂ , NH ₄ , PO ₄)	○	○	○	○	○	○	○
	(表層) 粒度組成	○	○	○	○	○	○	○
魚類調査	刺網	◎S	◎B	◎B	◎S	◎B	◎S	◎B
	卵稚仔魚ネット	◎S	◎B	◎B	◎S	◎B	◎S	◎B
魚類調査	ダイバー	○	○	○	○	○	○	○
	間欠カメラ	○	○	○	○	○	○	○

◎:4-3月、○:4, 6, 8, 10, 2月もしくは3月実施、S:表層、B:底層

の差が明確になり、港外に比べ、港内、特に港奥で低く、最低値は港奥St.2で1.9℃であった。水温差はSt.2と9で12月中旬に最大2.7℃となり、その後減少した。また2月中旬から3月中旬までは5℃前後であった。観測を再開した4月下旬では、約8℃で港内外や表層底層に大きな違いが見られなかった。その後は、時折港外St.9の底層で低い値が観測されながらも全地点7月中旬に約22℃まで上昇した。8月は港口St.8表層や港外St.9底層で低い値も時折見られたが、地点間の明確な違いは見られず20℃前後であった。

港内の塩分は、St.7南側や旧港に流れ込む小川の影

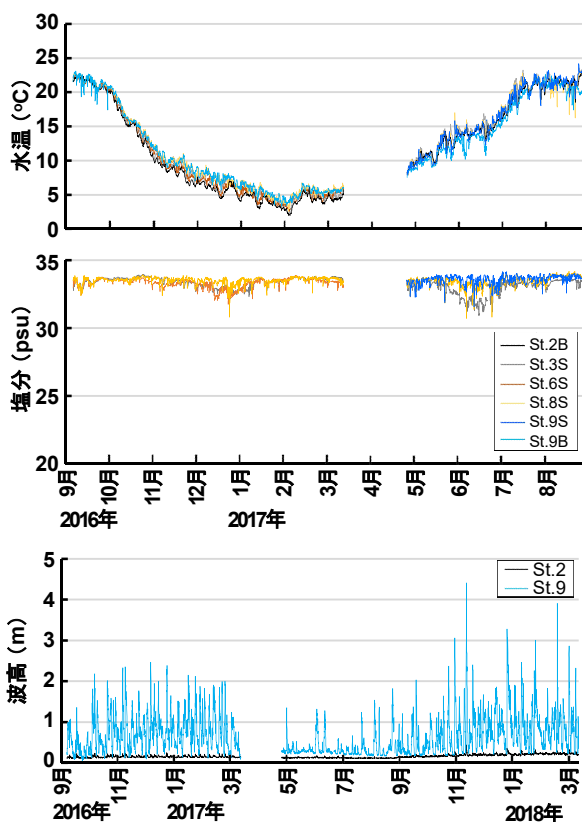


図-3 寿都漁港内外の水温、塩分、有義波高

響が考えられたが、12月や6月にやや低い値が見られたものの、観測期間中は常に30psu以上であった。

有義波高は、2016、2017年ともに10月から3月にかけて港外St.9では2mを超える波高が観測されたが、港内St.2では最大で0.45mであり、2017年10月1日から2018年2月28日の冬期間平均は0.20m（標準偏差±0.03m）と、港外（最大4.41m、0.85±0.54m）に比べ港内はかなり低かった。

また、採水時に行った水質計鉛直観測による溶存酸素濃度は海底付近においても常に6mg/L以上であり、貧酸素が心配される夏期においても水柱は十分な酸素が確認された。

水温や塩分の急激な変化は生物にとって大きなストレスになるが、寿都漁港内の物理環境は、港外に比べ静穏でありながら、水温、塩分は港内外で大きな違いが見られなかった。そのため、漁港が高波浪などからの避難場としての機能を有する可能性が考えられた。

4.2 餌環境

魚類の餌となる動物プランクトンおよび底生動物の港内外での2016年9月から2017年10月までの時空間分布を図-4、5に示す。港外は、港内と同じ水深帯（4-10m）が岩場であったため、水深15mの砂場を定点

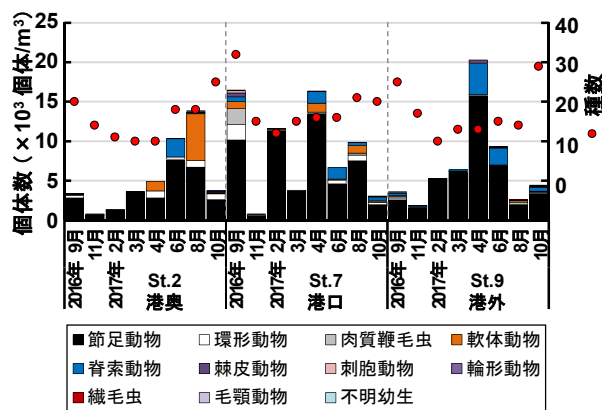


図-4 寿都漁港内外の動物プランクトン時空間分布

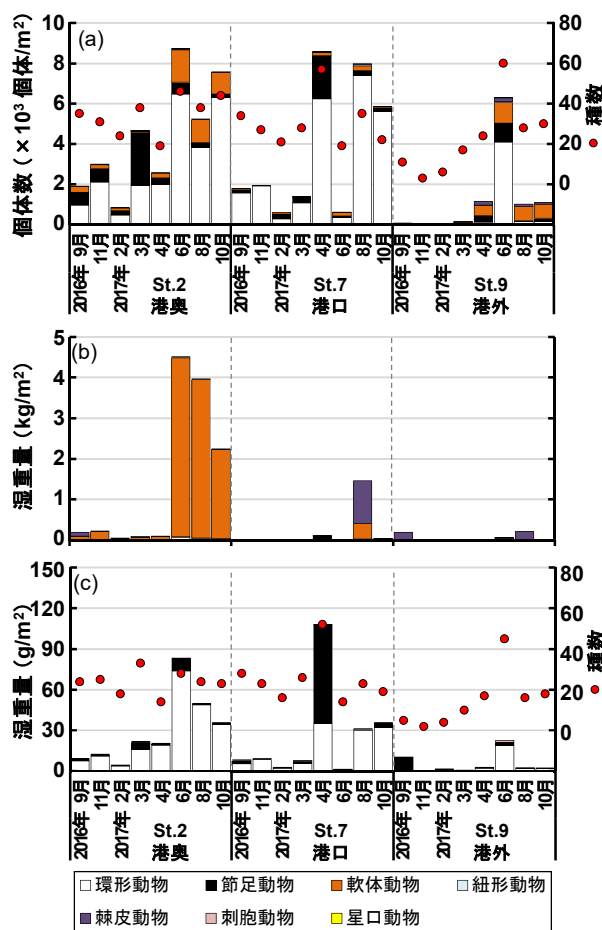


図-5 寿都漁港内外の底生動物の(a)個体数、(b)全湿重量、(c)軟体、棘皮動物を除いた湿重量の時空間分布

St.9とした。また、港内も礫や岩が広がるが、岩上や礫間に確認された堆積物を採取した。

動物プランクトンは、北原式定量ネット（目合い0.1mm）を用い、平成28年度（2016）は水深の半分より上層、平成29年度（2017）は全層の鉛直曳で採取した。動物プランクトンの個体数は、約700から20,000個体/m³の範囲で変化し、港外や港口は4月春期、港内は8月9

月夏期に高い傾向が見られ、全地点ともに2016年11月に最も低かった。また、種数は全地点ともに9月や10月の秋期に20種以上と最も多く、2月には10種類程度と少なかった。全地点において節足動物が各地点の総個体数(8回の調査の合計)の6割以上を占めていたが、港奥St.2では次に二枚貝や多毛類の幼生も多く、St.7や9ではサイズチボヤなどの脊索動物が多かった。調査期間を通しての個体数は、港外St.9と港内2点間に有意な差異は見られなかった(steel's test $p > 0.05$)。

次に、スミス・マッキンタイヤ型採泥機(採泥面積 $0.05 \text{ m}^2 \times$ 各地点2回)で採取され1mm目合いのふるい上に残ったマクロベントスの個体数は、調査期間を通して、港外St.9と港内2点間に有意な差異が見られ、港外は港内よりも少なかった(steel's test $p < 0.05$ 、St.2: 4631 ± 2761 、St.7: 3591 ± 3124 、St.9: 1164 ± 1984 個体/ m^2)。動物門別では、港内2地点の総個体数の内、環形動物が約77%、節足動物が約14%、軟体動物が約9%を占めていた。各動物門の優占種上位3種を表-3に示す。環形動物は、港外では約4,000個体出現した6月を除き常に200個体以下であり、6月に港内と同様種が増加していたため、調査期間を通しての優占種は港内と港外は同様の傾向が見られた。節足動物や軟体動物は港奥と港外で異なる種が採取され、節足動物は港奥では16種であったのに対し、港外では32種と多く確認された。一方、軟体動物は港奥では37種と種数が多く、アサリが最優占種であったが、港外では27種と少なく、港内で生息が確認できていないカガイ属が最も優占していた。加えて、湿重量においては港外St.9と港奥St.2に有意な差異が見られ、港奥が多かった($p < 0.05$ 、St.2: 1413 ± 1887 、St.9: $60.7 \pm 89.3 \text{ g/m}^2$)。港奥では2017年6月に最大 4.5 kg/m^2 を示し、その後も 2 kg 以上と多く、調査期間を通しての港奥の総湿重量の約76%をアサリが占めていた。2017年8月に港口ではトリガイやオカメブンブク、港外でハシノハカシパンが急増し、各地点総湿重量の約19%、約64%、約79%を占めた。魚類の餌になり難い棘皮動物(カシパン、ウニ、ヒトデなど)や軟体動物(アサリなど)を除いた湿重量においても、大型種(キシエビ4個体で約 10 g/m^2)が出現した9月や多毛類が大量発生した2017年6月を除き、港外よりも港内で多かった。

そのため、港内では動物プランクトンだけではなく、港外に比べ底生動物も多く現存することにより、漁港が餌場機能を有する可能性が考えられた。

表-3 環形動物、節足動物、軟体動物の総個体数における上位優占3種

優占種	St.2	St.7	St.9
環形動物 (総個体数)	1 <i>Scoletoma longifolia</i> (9874)	<i>Scoletoma longifolia</i> (8798)	<i>Scoletoma longifolia</i> (1006)
	2 <i>Maldanidae</i> spp. (3934)	<i>Chaetozone</i> sp. (3091)	<i>Nephtys</i> spp. (994)
	3 <i>Mediomastus</i> sp. (2209)	<i>Mediomastus</i> sp. (2913)	<i>Mediomastus</i> sp. (666)
節足動物	1 <i>Grandidierella japonica</i> (3494)	<i>Corophium</i> spp. (550)	<i>Corophium</i> spp. (550)
	2 <i>Byblis japonicus</i> (847)	<i>Pontogeneia rostrata</i> (410)	Cypridinidae sp. (176)
	3 <i>Aoroides</i> sp. (565)	Ampithoidae sp. (290)	<i>Leptochelia</i> sp. (128)
軟体動物	1 <i>Ruditapes philippinarum</i> (2158)	<i>Ruditapes philippinarum</i> (200)	<i>Phacosoma</i> sp. (1152)
	2 <i>Anisocorbula venusta</i> (585)	<i>Nitidotellina hokkaidoensis</i> (110)	<i>Glycymeris</i> sp. (434)
	3 <i>Leionucula tenuis</i> (414)	<i>Macoma incongrua</i> (100)	<i>Macoma</i> sp. (420)

4.3 基礎生産環境

港内での魚類の餌環境を支える基礎生産に関して、平成28年度(2016)の結果を図-6に示す。なお、水柱のクロロフィル a (Chl. a)、フェオ色素(Phaeo.)は海洋観測指針の蛍光法、栄養塩はJIS K0102(2013)、堆積物のChl. a 、Phaeo.は水質汚濁調査指針の吸光法、栄養塩は底質調査方法に従い分析した。

水柱のChl. a 濃度は、9月は港奥で $2.7 \mu\text{g/L}$ と高かったが、その後減少し、3月には港外と港口でやや増加した。表層1cmまでの堆積の積算Chl. a 現存量は、全地点9月に高く、11月には減少し、港内では2月や3月に増加し、常に港奥で港外よりも高かった。

水柱の懸濁態粒状有機炭素量(POC)は、調査期間を通しての港内と港外で地点間の明確な違いが見られなかった。一方、表層堆積物の全有機炭素(TOC)積算量は、常に港内が港外よりも高い値を示していた。また、C/Nモル比では、St.9は約5であったが、St.7は約10、St.2で約8であった。そのため、外海からの供給、漁港内部での生産とともに、海起源有機物よりもモル比の高い陸域からの有機物がSt.7南側より港内にも供給されていると考えられた。

溶存態無機栄養塩は、3月全地点と11月のSt.7を除いて、DIN(溶存態無機窒素:硝酸態窒素 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、亜硝酸態窒素 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、アンモニウム態窒素 $\text{NH}_4\text{-N}$)とDIP(溶存態無機リン:リン酸態リン $\text{PO}_4\text{-P}$)のモル比がレットフィールド比³⁾の16以下であり、窒素が基礎生産の制限要因と考えられることから、DINの濃度を示す。全調査を通して $\text{NO}_2\text{-N}$ は検出下限値以下(0.003 mg/L)であった。水柱DINは、11月と3月に $\text{NH}_4\text{-N}$ が検出された以外は $\text{NO}_3\text{-N}$ が多く、港内外ともに9月に最も低く、2月に最も高い値を示し、特に港外では最大 0.093 mg/L を示した。2月は表層冷却による海水の

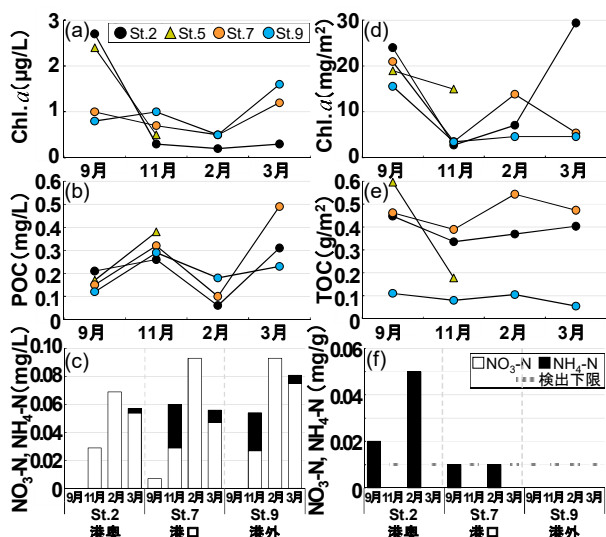


図6 表層水((a)-(c))、堆積物((d)-(f))での Chl. a、有機炭素、硝酸およびアンモニア態窒素の時空間分布

鉛直混合により外海深層から表層に栄養塩が供給され⁴⁾、水温が上昇した3月に水柱 Chl. a が増加し始めたと考えられる。また9月港奥では DIN は検出されなかったが、水柱 Chl. a が高かったことから、夏期に港奥で水柱 DIN が高かった可能性があり、特に、港内の堆積物中では9月に高濃度の NH₄-N が現存したことから、港内の堆積物における有機物分解が、夏期の DIN 供給源になると考えられた。

次に平成 29 年度(2017)の Chl. a や Phaeo.、DIN の濃度、積算現存量の 2016 年 9 月から 2017 年 10 月までの結果を図-7 に示す。堆積物の Chl. a、Phaeo. は直接アセトン抽出後の蛍光法⁵⁾、栄養塩は遠心分離処理(3000rpm、10分)後水試料と同様の分析を行った。

港外の水柱 Chl. a 濃度は、4月に約 10 µg/L まで増加し、その後は約 1 µg/L であった。港内の水柱 Chl. a 濃度は、4月に底層のみ 5 µ/L 以上と高く、6月に減少後、8月に約 5 µ/L に増加し、昨年度同様に夏期の増加が確認された。水柱 Chl. a 濃度の港外は春期、港内は夏期に増加する季節変化は、上記の動物プランクトン個体数と同様の挙動を示していた。水柱積算 Chl. a 現存量は水深の違いに大きく依存するが、港内に比べ港外で高く、St. 2 と 9 では有意な差異が見られた ($p < 0.05$, St. 2 : 11.9 ± 5.1 , St. 7 : 20.0 ± 10.5 , St. 9 : 47.4 ± 59.4 mg/m²)。一方、表層堆積物の積算 Chl. a 現存量では、St. 2 と 9 では有意な差異が見られ港内で港外よりも高かった ($p > 0.05$, St. 2 : 92.9 ± 48.3 , St. 7 : 55.1 ± 18.0 , St. 9 : 35.4 ± 12.2 mg/m²)。港内の堆積物表層 1cm で港外の水柱よりも積算現存量が高

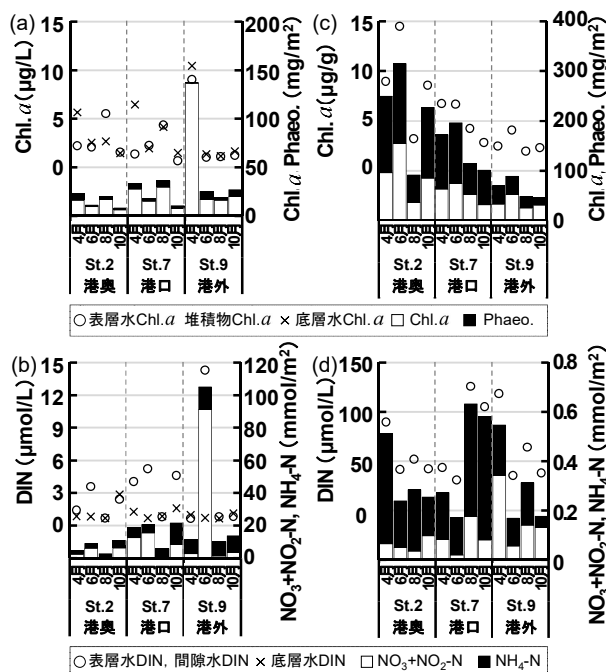


図7 水柱((a)-(b))、堆積物((c)-(d))での Chl. a、Phaeo.、DIN の濃度および積算現存量の時空間分布

かく、底生動物も港内で多かったことから、港内における底生低次生物生産の重要性が確認された。

水柱の DIN 濃度は、全地点ともに6月に表層で高かったが、表層塩分が約 27psu に下がっていたことから、前々日、前日の日合計 10mm 以上の降雨の影響が考えられた。また4月に港内の表層のみで DIN が高い要因も、表層塩分が 32psu 以下であったことから前日の日合計 10mm 以上の降雨の影響が考えられる。一方、間隙水 DIN 濃度は、水柱とは反対に全地点 6月に低い濃度を示し、8月に上昇する傾向が見られた。水柱 DIN 現存量は港奥と港外で有意な差異が見られたが ($p < 0.05$, St. 2 : 6.6 ± 3.6 , St. 7 : 16.7 ± 7.4 , St. 9 : 35.1 ± 46.7 mmol/m²) 間隙水では地点間の差異は見られなかった (St. 2 : 0.3 ± 0.1 , St. 7 : 0.4 ± 0.2 , St. 9 : 0.3 ± 0.2 mmol/m²)。水柱および堆積物ともに Chl. a と DIN 濃度がおおよそ逆の季節変化を示しており、植物プランクトンや底生微細藻類による取り込みを考慮すると、表層堆積物での高い積算 Chl. a 現存量から、港内間隙では DIN が多く再生されていると考えられた。

漁港の有する静穏域創出機能により、有機物が港内へ堆積し、それらの無機化により再生された栄養塩を利用し港内で植物プランクトンや底生微細藻類などが基礎生産を行うことで、上記の港内での餌場機能を支えている可能性が示唆された。

4. 4 魚類

2016年9月から2018年10月までマルチネット（開口部 1m×0.5m、目合い 0.335m）により採取した卵お

よび稚仔魚とともに、刺網（網長 20m、網丈 1.2m、3枚網脚長：外網 9cm、中網 1.2cm）により採取した幼成魚の上下層合計の区間平均結果を図-8から10に示す。

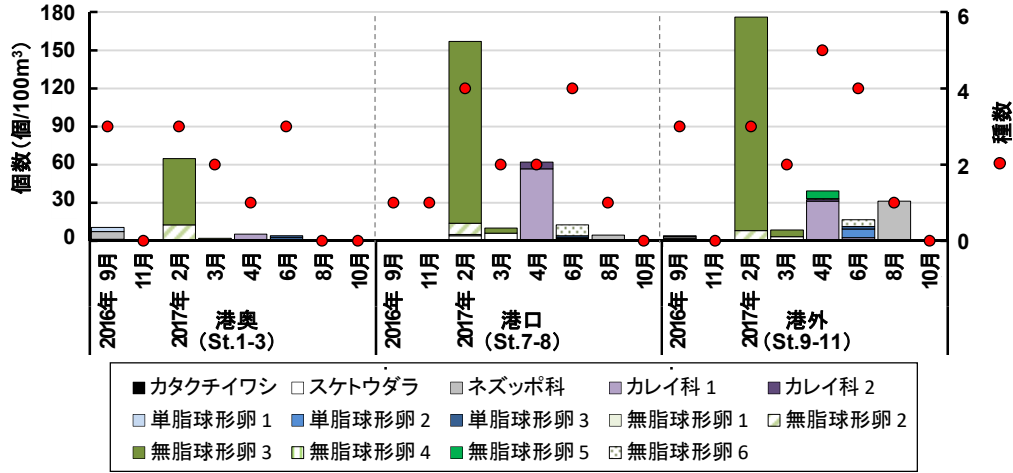


図-8 寿都漁港内外の魚卵の時空間分布

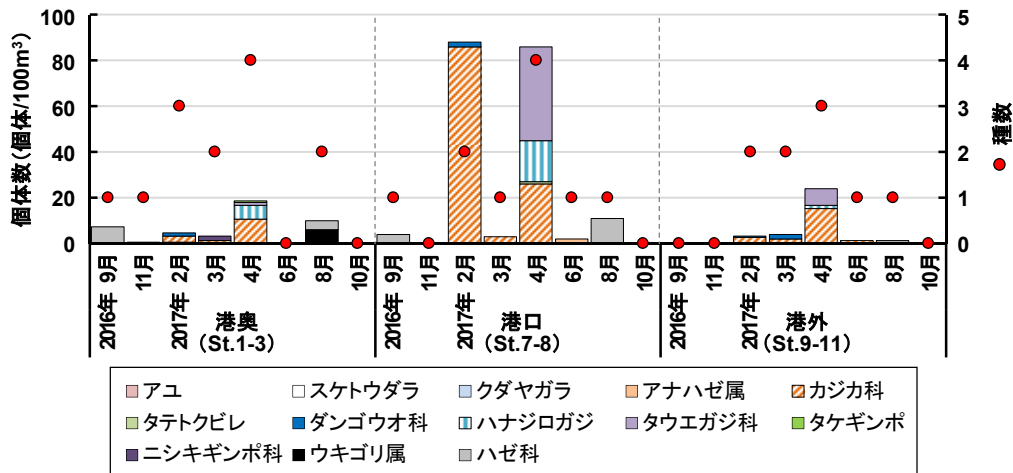


図-9 寿都漁港内外の稚子魚の時空間分布

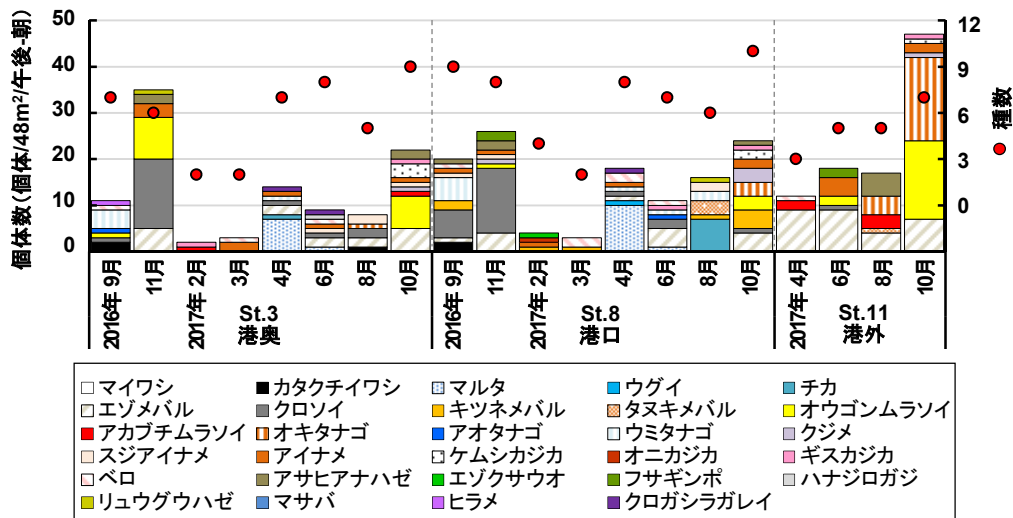


図-10 寿都漁港内外の幼成魚の時空間分布

卵は、全個数の7割が上層で採取され、港外区で2、6、8月に港内に比べ多く、2月に最多176個/100m³であった。カタクチイワシは港内外で9月のみ、スケトウダラは2、3月は港内外、4月は港外区のみで確認された。ネズッコ科は9、11月と8月の夏期中心、カレイ科は4、6月に確認され、4月に港口区で多かった。

稚仔魚は、全個体の8割が下層で採取され、全期間を通して港外よりも港内で個体数の多い地点が確認された。アユは11月、スケトウダラは2月に港奥区のみで確認された。また、個体数の多かった、カジカ科は2~4月、ハナジロガジ、タウエガジ科は4月、ハゼ科は8、9月に港内外で確認され港口区で最も多かった。全長は4月のタテトクビレ(15mm)、ハナジロガジ(21±3mm、n=28)、タウエガジ科(14±4mm、n=33)、タケギンボ(135mm)、6月のアナハゼ属(43±8mm、n=2)、8月のウキゴリ属(37±3mm、n=9)を除き、約5-10mmであった。

幼成魚は、全個体の約7割が下層で採取され、2016年は11月、2017年は10月に最も個体数が多く、10月には種数も多かった。港内では29種が確認され、2地点の総個体数が多かった種は、クロソイ(44個体)、エゾメバル(30個体)、オウゴンムラソイ(21個体)、マルタ(19個体)、ウミタナゴ、アイナメ(14個体)であった。秋から冬にかけて水深50-100mに移動することが知られているクロソイ⁹⁾は冬期に採取されなかったのに対し、アイナメは8月以外出現し、移動性の低い種苗放流対象種のキツネメバルも冬期に港内で確認された。港外はH29年度からの調査であるが、総個体数(4回合計)はエゾメバル(29個体)、オキタナゴ(22個体)、オウゴンムラソイ(19個体)が多く、港内に比べ種数は少なく、個体数は4月以外多かった。

加えて、SCUBA観測(50m×5測線)での魚の分布位置を、①上・中層、②下層・海底面、③岩礫やブロック隙間に分けたところ、全調査で18種確認された内、キツネメバルの約90%は③で確認され、その他、エゾメバル、クロソイ、アイナメ、ベロ、フサギンボ、オキカズナギリウグウハゼも隙間を利用していることが確認され、隙間を含め構造物自体が生物への保護育成機能を有すると考えられた。

また、胃内容物では、消化されやすく種同定は困難であるが、港外に比べ港奥で個体数や湿重量が多く港内餌利用の指標になると考えられる環形動物が、アイナメ、マルタ、エゾメバル、クロガシラガレイ、クロソイで確認され、また港奥の底生動物で優占したユンボソコエビ属もアイナメ、エゾメバル、クロガシラガ

レイ、クロソイ、ベロで確認できたことから、港内の餌場機能を利用している可能性が考えられた。

卵と比較して遊泳力のある稚仔魚の個体数が港内で多かったことから、稚仔魚期は漁港内の波浪からの避難場機能を利用している可能性が考えられた。また、幼成魚では移動性の大きいクロソイなどは季節的、出現頻度の高いアイナメなどは日常的に漁港内を利用していると考えられ、胃内容物からも漁港内の餌場機能利用の可能性も示唆された。

5. 平成30年度(2018)の主な調査項目

平成30年度は、これまでの調査により明らかになった漁港の有する高波浪からの避難場、餌場機能に関して、それらの機能の評価手法を検討するために、主にバイオテレメトリー手法や基礎生産測定手法の有用性を調べるとともに、保護育成機能の評価に必要な基礎データを収集した。

これまで基礎データを蓄積している寿都漁港周辺(図-2)では、港内での生物育成可能性を制御する植物プランクトンや底生微細藻類による基礎生産量と水温と光量などとの関係を定量的に把握するために、様々な方法で基礎生産の測定を行うとともに、セジメントトラップ、魚類が利用可能な隙間の分布、物理環境調査とともに、3つの隙間間隔の簡易隙間試験礁、砂利と網袋を用いたアサリ稚貝トラップ、丸籠にアサリを入れたアサリ垂下養殖の現地試験を実施した。

加えて、漁港内での魚類行動と流動環境との関係の定量的把握にバイオテレメトリー手法が利用可能であるか確認するために、物理環境観測とともにバイオテレメトリー手法による魚類行動追跡の予備調査を北海道南東部に位置する厚内漁港周辺で実施した(図-11)。

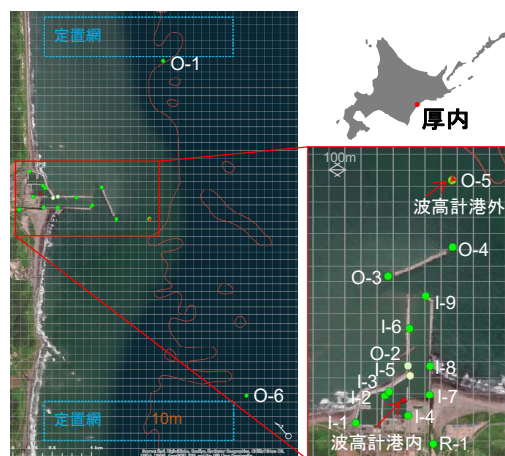


図-11 厚内漁港周辺調査位置
(水深：海底地形デジタルデータ、日本水路協会)

6. 平成 30 年度 (2018) の主な調査結果

6. 1 バイオテレメトリー手法

2019年9月中旬に超音波受信器を厚内漁港内外に、港内9基（港奥：I-1～4、港路：I-5～9）、漁港周辺6基（港口：0-3～4、近郊：0-5、定置網：0-1、0-6、構造物：0-2）を設置し、10月下旬に回収した。但し、0-2、I-5は流出、I-3は機械不良のため、受信データを回収出来なかった。加えて、港内外2地点に波高計、水温塩分計、クロロフィル濁度計を設置した。

魚試料は厚内漁港周辺の定置網で採捕した4魚種（クロソイ7、マツカワ4、カワガレイ1、カジカ3個体）計15個体を用いた。クロソイおよびカジカは外部標識とともに腹腔内に発信器、マツカワおよびカワガレイは体表面に発信器を、麻酔をかけて装着した。装着後、漁協施設内の水槽で馴致し異常が認められないことを確認した後、漁港内（I-1）から放流した。

10月に回収した受信器から全ての個体の行動記録を取得出来、麻酔を用いた発信器の外部装着（マツカワ・カワガレイ）、腹腔内への内部装着（カジカ・クロソイ）のいずれの個体も、発信器装着や麻酔や開腹の顕著な影響は見られなかった。発信器の装着方法も含めてバイオテレメトリー対象個体として問題ないと考えられた。加えて、魚種により異なる遊泳行動が確認され、マツカワ・カワガレイは、5～8日間かけて港外に移動、カジカは1～3日後に速やかに港外に移動、クロソイは1個体を除き放流日もしくは2日目には速やかに港外に移動し、港外の本来の生息環境に類似した空間へ移動したものと推察できた。これら魚種による速度の違いは、遊泳能力、回帰・固執性、環境感受性や適応力などを反映していると考えられる。また、例としてマツカワ1個体に装着した超音波の受信位置、港内外の有義波高の時間変化を図-12に示す。4日以上港内にいた6個体は、高有義波高時には港外に移動せず港内に留まる傾向が見られ、流動環境が魚類行動に影響を与えている可能性が示唆された。

港内構造物による超音波の反射影響が懸念されたが、全個体のデータを取得でき、港内での魚類行動追跡にバイオテレメトリー手法が利用可能であることが確認できた。しかし、受信器自体の流出や通過地で受信が確認できない事例など設置方法に課題が見られた。また、目的に合わせて使用する魚種の採取方法などを検討する必要性が考えられた。これらを改善することにより、漁港内での魚類行動と流動環境との関係の定量的に把握につながると考えられる。

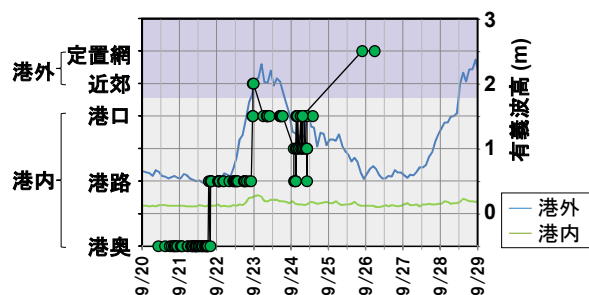


図-12 厚内漁港周辺でのマツカワの行動と有義波高

6. 2 基礎生産測定手法

2019年9月に寿都漁港内外（St. 2、9）で表層水、底層水、表層堆積物（1cm）を採取し、表層水とともに、濾過底層水に表層堆積物を加えた試料をそれぞれの水深を考慮し光量を調整した瓶（光量約100%、30%、10%、0%）に分注し、 ^{13}C 溶液を添加した後、港内表層で約24時間培養した。24時間後のPOCの ^{13}C やChl. a、DOの変化量から、水柱および表層堆積物での1日当たりの基礎生産量を測定した。

例年港内のChl. aが高い傾向（ $2\sim 6\mu\text{g/L}$ ）を示す夏期の基礎生産は、 ^{13}C 法では港内水深約4mで水柱約 $290\text{mgC/m}^2/\text{d}$ 、表層堆積物約 $50\text{mgC/m}^2/\text{d}$ 、港外水深約15mで水柱約 $170\text{mgC/m}^2/\text{d}$ 、表層堆積物約 $5\text{mgC/m}^2/\text{d}$ であった。一方、DOやChl. a法では表層堆積物での基礎生産を十分に検出することが出来なかった。

加えて、濾過海水を満たしたセジメントトラップを港内外の底層に24時間設置し、POCの変化量から一日当たりの沈降粒子量を測定した。沈降粒子は、港内では $420\text{mgC/m}^2/\text{d}$ 、港外では $200\text{mgC/m}^2/\text{d}$ であり、基礎生産、沈降粒子ともに港内で高いことが明らかとなった。沈降粒子は、基礎生産と同程度であったことから、基礎生産を基準に餌場機能を評価することで、最低限の餌場機能を定量的評価につながると考えられた。

今後、生物活性が高くなる夏期を中心に、 ^{13}C 法での基礎生産実験を繰り返すことにより港内でのChl. aと水温、光量での基礎生産モデル式を作成することで、港内での消費者の育成可能量が検討可能になると示唆された。

7. まとめ

平成28年度(2016)は、秋期から春期までの漁港周辺の水産生物の生息環境を調査し、平成29年度(2017)は、港外での刺し網や胃内容物調査を追加するなど、調査地点や調査項目を再検討し、春期以降の調査を実施した。調査の結果、漁港泊地は水産生物への高波浪からの避難場とともに餌場機能を有するとともに、

それらの機能を水産生物が利用している可能性が示唆された。平成 30 年度 (2018) は、主にそれらの機能の評価手法を検討するために、バイオテレメトリー手法や各基礎生産測定手法の有用性を確認した。

参考文献

- 1) 水産庁：漁港漁場整備長期計画、2012、2017.
- 2) 社団法人寒地港湾技術研究センター：寒冷地における自然調和型沿岸構造物の設計マニュアル、1998.
- 3) Redfield, A. C., Ketchum, B. H. and Richards, F. A. : The influence of organisms on the composition of seawater, *The Sea*, Vol. 2, pp. 26-77, New York, 1963.
- 4) 山本潤・渡辺光弘・林田健志・峰寛明・坂本和佳・西田芳則・田中仁：日本海北部漁場における表層冷却期の基礎生産構造に関する現地観測、土木学会論文集B2 (海岸工学)、第67巻、No. 2, pp. 1026-1030、2011.
- 5) Montani, S., Tsutsumi, H. and Komorita, T. : Workshop of The First Asian Marine Biology Symposium at Phuket, Thailand, pp. 1-3, 2012.
- 6) 水島敏博・鳥澤雅監修：漁業生物図鑑 新 北の魚たち、2003

17.1 海洋及び河川・沿岸構造物の有用水産生物の産卵場・生息場としての増養殖に関する 評価技術の構築

17.1.2 北方海域の水産資源動態に対応した生産性向上技術に関する開発

担当チーム：寒地水圏研究グループ（水産土木チーム）

研究担当者：伊藤敏朗、河合浩、丸山修治、須藤賢哉、梶原瑠美子、稲葉信晴

【要旨】

本研究は、沖合域における水産生物の生産性向上を図るための漁場整備に必要な技術開発を行うものである。具体的には、魚礁等の人工構造物の造成によって、水産有用種の餌料となる生物の増集効果や人工構造物に付着する生物の餌料効果を解明することで、効果的な事業推進に向けた評価手法の構築および整備手法の開発を行うものである。

平成 28 年度(2016)は、水産有用種の餌料と付着生物との関係を明らかにするため、付着生物の経年変化を長期的観測するための基質別試験礁を設置するとともに、消波ブロックに付着する生物を採取・分析するなど、餌料効果の解明に向けた調査を行った。

平成 29 年度(2017)は、人工構造物が餌料生物等の漁場環境に及ぼす影響を明らかにするため、沖合域の水深-90m に整備された人工魚礁を対象に、流況、水質、底質などの物理的環境と植物プランクトン、動物プランクトン、底生動物などの空間分布の観測・分析など、餌料培養効果の解明に向けた調査を行った。動物プランクトン調査では、スケトウダラの餌料になる種が優先し、餌料環境の潜在性が示唆された。また、底生生物調査では、カレイ類の主要餌料になる環形動物が人工魚礁に近い地点と底質粒度が細かい地点に多く、人工魚礁と底質の2つの影響の可能性が示唆された。

平成 30 年度(2018)は、人工構造物が魚類の餌料を増殖させる「餌料培養効果」についての基礎データを得るため、平成 29 年度と同様の調査地点において主に底生生物相について調査し、特に ROV(水中ロボット)による魚礁ブロック近傍の試料採取および試験礁による構造物の付着試料の採取を試みた結果、人工構造物の餌料培養効果の可能性が示唆された。

キーワード：生産性向上、餌料生物、餌料培養効果

1. はじめに

沖合域における水産物の生産力を向上させ、水産物の安定供給の確保を図ることを目的として、直轄漁場整備(フロンティア漁場整備)事業¹⁾が行われている。

図-1 に示すとおり、これまでに兵庫・鳥取・島根沖の日本海西部地区において保護育成礁の整備、長崎の五島西方沖地区や鳥取・島根沖の隠岐海峡地区では、マウンド礁の整備が行われており、日本海北部海域にお

いても資源減少が著しいスケトウダラやホッケなどを対象として事業の実施が望まれている。

スケトウダラ日本海北部系群は、1997 年の TAC(漁獲可能量)制度の開始当初より対象魚種として指定されているが、その資源量はピーク時の 1/8 程度(2014 年)まで減少している。また、ホッケ道北系群は TAC 対象魚種には指定されていないものの、近年、資源減少は著しくピーク時の 1/10 程度(2014 年)まで減少しており、TAC 対象魚種の候補として挙げられている。

本研究は、日本海北部海域においてスケトウダラやホッケを対象として、沖合域での大規模な漁場整備を行うにあたり、効果的な事業推進に向けた総合的な評価手法の構築および整備手法の開発を行うものである。

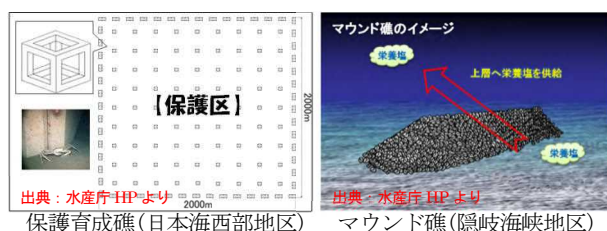


図-1 フロンティア漁場整備の工法別実施例

2. 生物生産性の向上に向けた検討

第 3 期中長期計画では、日本海北部海域において現

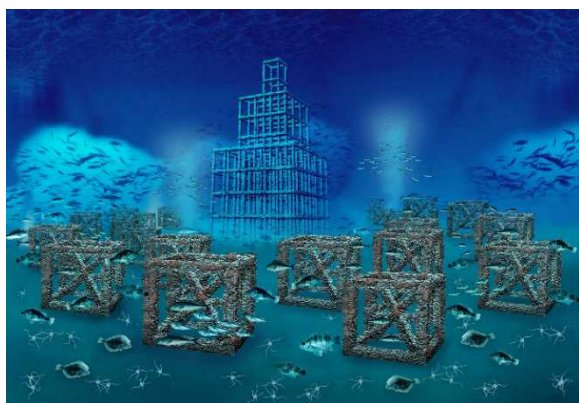


図-2 餌料培養効果のイメージ

地観測結果をもとに四季の基礎生産構造を解明した²⁾。その結果、夏季および秋季は密度成層が発達し躍層以浅の栄養塩が枯渇し、基礎生産が低位となっているため、マウンド礁によって低層の栄養塩を供給した場合の基礎生産量の増加から、海域の漁場としての潜在性³⁾を示すとともに、水産生物の生産性向上に関する評価手法を検証した。また、保護育成礁により幼稚仔魚の隠れ場や保育場等を創造することで、外敵による捕食や漁獲から保護した場合の資源保護効果を検証した⁴⁾。海中の人工構造物には魚類の蛸集や保護育成の効果の他、魚類の餌料となる動物プランクトンや底生生物が蛸集・付着することが知られている⁵⁾⁶⁾。このような人工構造物の「餌料培養効果」は水産有用魚種の増殖促進による資源量の回復が期待できる他、漁獲の増大や漁業者の操業の効率化など、その効果は多岐にわたると考えられている。一方、最近の調査結果より、先行して沖合域で整備している人工構造物に魚類の餌料生物である動物プランクトンが蛸集する現象が報告されている⁷⁾。このため、沖合域に整備した人工構造物に生物が蛸集・付着することによって、水産有用種の餌となる「餌料培養効果」について着目した整備効果の予測手法の検討が求められている(図-2)。

しかし、補償深度以深の光が届かない沖合域では、生物の蛸集、餌料繁殖と対象魚種の増殖機能との関連について不明であり、これらの解明が必要である。

このため、沖合海洋構造物の餌料培養メカニズムを明らかにして、日本海北部海域でこれまで研究してきた「マウンド礁」、「保護育成礁」を含めて、この海域における総合的な大規模漁場整備の評価手法を構築するものである。

3. 調査概要および結果

3.1 調査概要

日本海北部海域でのスケトウダラやホッケを対象とした漁場整備は、漁場が沖合にあるため水深が深いところでの整備が想定される。調査は、図-3に示す北海道利尻島の南西約10kmの沖合にある水深約90mの人

工魚礁漁場を研究対象として選定した。観測箇所は図-4に示すとおり、フロンティア漁場整備の対象である補償深度以深である水深90mのA地点のほかに、比較のため補償深度以浅である水深10mのB地点を設定した。

表-1に調査内容を示す。採泥調査を2018年7月25日～29日、また、試験礁調査を2017年5月25日～2018年8月8日・9日に実施した。採泥調査の測点は、図-5に示す高層鋼製魚礁(高さ20m)と魚礁ブロック(1辺3mの立方体)から成る人工魚礁群(2014～2015年整備)を中心に北側へ約50m間隔でA0～A5の計9測点を設定した。このうち魚礁ブロック近傍の2測点(A1・A2*)をROV採泥箇所とし、他の7測点ではスミス・マッキンタイヤ採泥器(採取面積0.05㎡)にて採泥した。

図-6はROVへの採泥器の装着状況を示す。ROVはMitsui RTV.N-Hyper300EXY(潜行能力水深300m、空中重量56kg)を用い、底面にエクマンバージ採泥器(採取面積0.02㎡、空中重量4.75kg)を固定した。採泥器は、調査地点の海底直上1m程度から降下させ、着底時の衝撃力で開口部が閉じる機構とした。

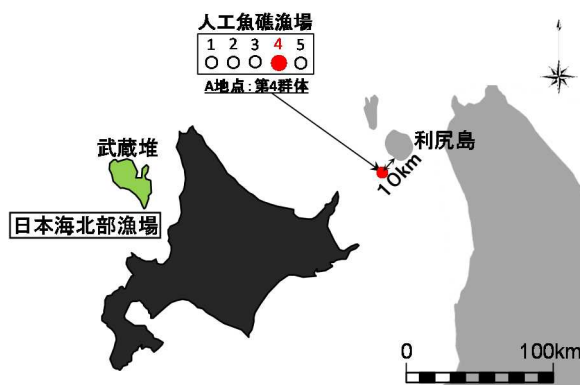


図-3 調査位置図(広域図)

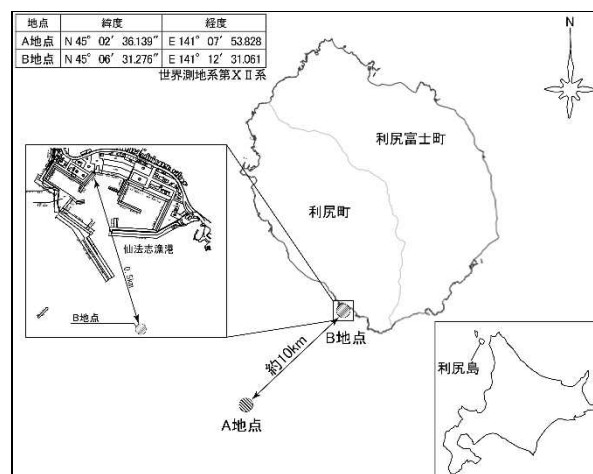


図-4 観測地点位置図(A地点・B地点)

表-1 現地観測内容

調査項目	方法	観測内容・分析項目
採泥調査: 底質粒度7測点、 底生生物9測点	採泥器付き ROV、 スミス・マッキンタイヤ 採泥器	観測時期: 2018年7月25日~ 29日 分析項目: 粒度組成、底生生物 の現存量及び組成
試験礁調査: 付着生物観測 2測点(A2、B)	試験礁 テストピースの種類: モルタル材、鋼材、 木材	設置時期: 2018年5月25日~ 2019年8月8日(A2')9日(B) 分析項目: 付着生物の現存量 及び組成

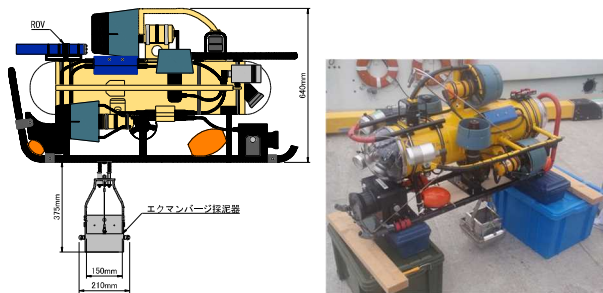
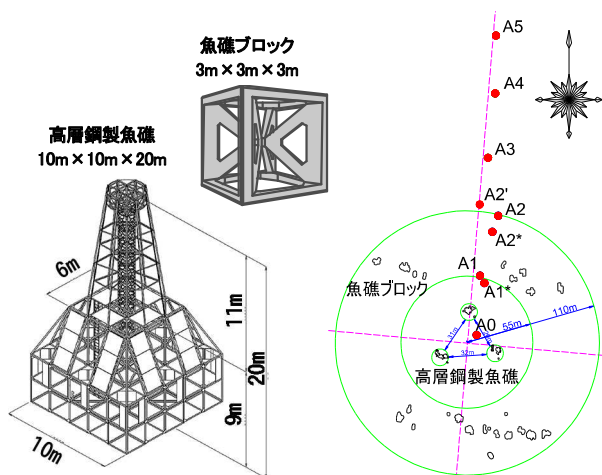


図-6 ROV への採泥器の装着状況



測点	緯度	経度
A0	45° 02' 30.997"	141° 07' 54.267"
A1	45° 02' 32.6"	141° 07' 54.368"
A1*	45° 02' 32.4"	141° 07' 54.54"
A2	45° 02' 34.22"	141° 07' 55.028"
A2'	45° 02' 34.517"	141° 07' 54.318"
A2*	45° 02' 33.786"	141° 07' 54.81"
A3	45° 02' 35.78"	141° 07' 54.608"
A4	45° 02' 37.519"	141° 07' 54.848"
A5	45° 02' 39.079"	141° 07' 54.848"

図-5 観測地点位置図(A地点拡大図)と
高層鋼製魚礁・魚礁ブロック

分析項目のうち、粒度組成については、粒径 0.075mm 以上はふるい分析、0.075mm 未満については沈降分析を行った。また、目合 1mm 篩に残った生物を底生生物試料としてホルマリン固定した。ROV 採泥試料については採泥量が十分でなかったため、底生生物分析を優先し、粒度分析は行わなかった。

写真-1 は試験礁調査で使用した試験礁を示し、図-7 は付着生物の生息・付着基質であるテストピースの配置を示す。試験礁は、DeepWater Buoyancy 社製の抗トロール測流装置(Trawl-Resistant Bottom Mounts:以下 TRBM)⁹⁾を用いた。TRBM の本来の使用目的は潜水作業が困難な水深での超音波ドップラー流向流速計(Acoustic Doppler Current Profiler:ADCP)等の観測



a) A 地点 (TRBM: 1.84m×1.84m×0.51m) b) B 地点 (架台: L=1845mm×B=1843mm×T=507mm) 観測水深:A 地点=-90m、B 地点=-10m

写真-1 基質別付着生物試験礁

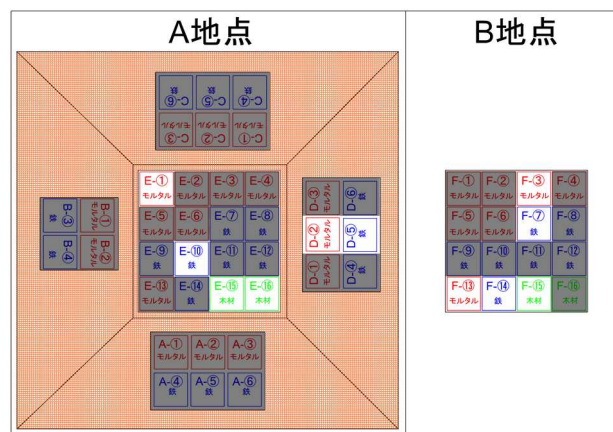


図-7 試験礁のテストピースの配置(A地点・B地点)

機器の海底設置であり、調査船上の音響装置から信号を送ることで浮上し、潜水作業を必要とせずに揚収が可能となっている。潮流や漁網の引っ掛かり等の影響を受け難いように突起物の無い平滑な断面構造となっており、トロール漁等の漁業活動に伴う機器の亡失のリスクが低いことが特徴である。以上の仕様は沖合域で漁業活動が盛んな海域における長期観測に適用性が高いと考えられる。

試験礁は 2017 年 5 月 25 日に図-4、図-5 に示す A2' 地点および B 地点に設置し、A2' 地点は 2018 年 8 月 8

日、B地点は2018年8月9日に揚収し、テストピースを取り外した。テストピースの材質は、人工魚礁に一般的に用いられる材質であるモルタル材・鋼材・木材（10cm 四方）の3種類を用いた。今回の観測で採取したのは図-5(右)に示すとおり A2' 地点はモルタル材2枚(D-2・E-1)・鋼材2枚(D-5・E-10)・木材(E-15・E-16)2枚の計6枚、B地点はモルタル材2枚(F-3・F13)・鋼材2枚(F-7・F-14)・木材1枚(F-15)の計5枚である。回収したテストピースは10%ホルマリンにより固定し、附着生物の種同定・個体数・湿重量の分析に供した。

3. 2 底質粒度と底生生物(2018)

図-8は、A地点の底泥の粒径加積曲線および粒度組成比を示す。粒度分布は粘土～中礫と粒径幅が幅広く、50%粒径は地点間で最小値 $D_{50}=0.12$ mm(A5)から最大値 $D_{50}=6.2$ mm(A2')であった。粒度組成比のA地点平均では礫分(粒径2 mm以上)44.2%、砂分(0.075～2 mm)26.2%、シルト・粘土分(泥分、0.075 mm未満)29.6%であった。このような粒度が幅広い分布の土砂は土質的には締め固めに良い材料とされ⁹⁾、人工構造物を設置する際の安定性に寄与していると思われる。

底質の粒径分布は後述の底生生物の生息密度と密接な関係があるとされる¹⁰⁾。紀伊水道域の水深20～86mにおける観測によれば、泥分含有率が15～34%の観測域が最も底生生物の現存量が多いと報告¹¹⁾されており、A地点平均の泥分含有率29.6%は底生生物の生息にとって有利な条件の可能性はある。

図-9は、底生生物の1 m²当たりの個体数と湿重量を示す。ここでは、人工魚礁群体の中で魚礁ブロックの

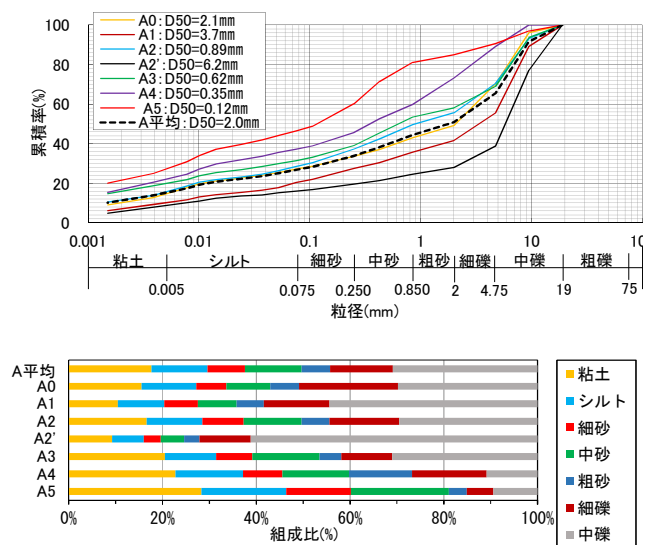


図-8 海底土砂の粒径加積曲線(上)と粒度組成比(下)

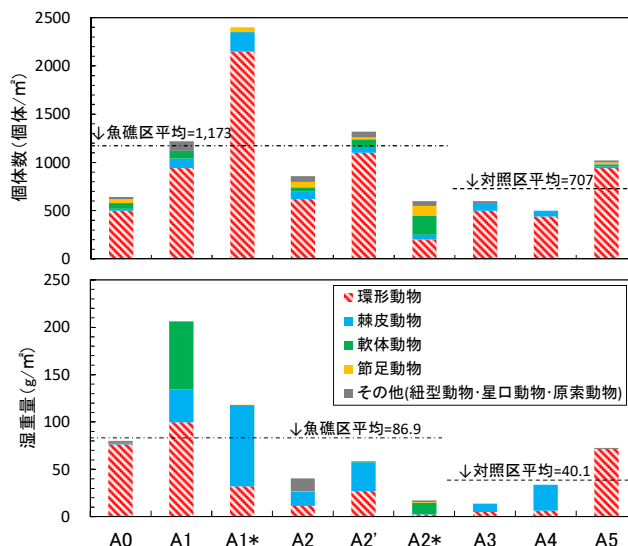


図-9 底生生物の個体数(上)と湿重量(下)

配置範囲の内側にあるA0～A2*を魚礁区、それより北側の魚礁ブロックの範囲外にあるA3～A5を対照区と定義した。魚礁区の平均では個体数1,173個体/m²、湿重量86.9g/m²であり、同様に対照区の平均では707個体/m²、40.1g/m²であった。魚礁区は対照区に比べて底生生物の現存量が高い傾向が窺われる。沿岸域での観測では、人工構造物の近傍で底生生物の現存量が多いとの報告があり⁶⁾、今回の観測でも人工魚礁の影響が現れている可能性がある。ただし、今回は1測点当たり1回の採泥であり、測点の違いによる数値のばらつきがあるため、今後は測点毎の採泥回数を増やす等の補足調査が必要と考えられる。

分類群別の個体数割合では、環形動物(ゴカイ・イソメ等の多毛類)が全地点平均80.7%と最も優占した。表-2は各測点における底生生物の優先種を個体数および測点毎の全個体数を基準とした占有率として示しているが、全測点で環形動物の多毛類が優占した。優占種としてはタケフシゴカイ科の*Notoproctus pacificus*(写真-2(a))が最も優占し、ギボシイソメ科の*Lumbrineris*(写真-2(b))が二番目に多かった。ゴカイ・イソメ等の多毛類はカレイ類の重要餌料であるとされていることから¹²⁾、A地点の魚礁区はカレイ類にとって望ましい餌料環境であることが示唆される。

魚礁ブロック近傍のA1*・A2*の環形動物に着目すると、A1*では2,150個体/m²とA地点で最大値であった。一方、湿重量では32.2g/m²と魚礁区では比較的小さく、1個体当たりのサイズが小さいことを示している。個体サイズが小さいのはA2*も同様であった。Donadi et al.¹³⁾

表-2 底生生物の優占種と個体数

門(綱)	種名	個体数/m ²	占有率
A0			
環形動物多毛類	<i>Notoproctus pacificus</i>	180	28.1%
環形動物多毛類	<i>Lumbrineris</i> spp.	80	12.5%
環形動物多毛類	<i>Onuphis</i> sp.	60	9.4%
A1			
環形動物多毛類	<i>Notoproctus pacificus</i>	200	16.4%
環形動物多毛類	<i>Lumbrineris</i> spp.	140	11.5%
環形動物多毛類	<i>Polydora</i> sp.	140	11.5%
A1*			
環形動物多毛類	<i>Notoproctus pacificus</i>	450	18.8%
環形動物多毛類	<i>Polydora</i> sp.	350	14.6%
環形動物多毛類	<i>Onuphis</i> sp.	200	8.3%
環形動物多毛類	<i>Nicomache</i> sp.	200	8.3%
A2			
環形動物多毛類	<i>Lumbrineris</i> spp.	180	20.9%
環形動物多毛類	<i>Paraonidae</i> spp.	100	11.6%
環形動物多毛類	<i>Notoproctus pacificus</i>	100	11.6%
A2'			
環形動物多毛類	<i>Notoproctus pacificus</i>	400	30.3%
環形動物多毛類	<i>Lumbrineris</i> spp.	160	12.1%
A2*			
環形動物多毛類	<i>Lumbrineris</i> spp.	150	25.0%
前定動物軟甲類	<i>Ampelisca cyclops</i>	100	16.7%
A3			
環形動物多毛類	<i>Notoproctus pacificus</i>	160	26.7%
環形動物多毛類	<i>Lumbrineris</i> spp.	80	13.3%
環形動物多毛類	<i>Harmothoe</i> sp.	60	10.0%
棘連動物(クモヒトデ類)	<i>Amphipholis</i> sp.	60	10.0%
A4			
環形動物多毛類	<i>Lumbrineris</i> spp.	100	20.0%
環形動物多毛類	<i>Notoproctus pacificus</i>	100	20.0%
棘連動物(クモヒトデ類)	<i>Amphira</i> sp.	60	12.0%
A5			
環形動物多毛類	<i>Nicomache</i> sp.	180	17.6%
環形動物多毛類	<i>Lumbrineris</i> spp.	140	13.7%
環形動物多毛類	<i>Onuphis</i> sp.	120	11.8%

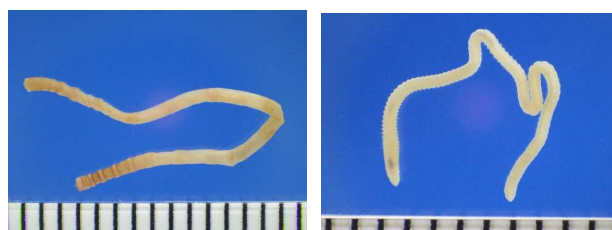
(a) *Notoproctus pacificus* (b) *Lumbrineris* spp.

写真-2 底生生物の優占種(目盛は1mm)

によれば、マクロベントス(多毛類を含む底生生物)の体サイズは生息場所の流体力学的負荷と関係するとしている。また、魚礁構造物近傍の底面付近では局所的に流速低下することが模型実験と数値解析により確認されているため¹⁴⁾A地点の魚礁ブロック近傍に小型の多毛類が多い要因の一つとして、構造物による局所的な流速低減の効果が可能性として挙げられる。ただし、魚礁ブロックの形状が前述の実験・解析とは異なるこ



写真-3 魚礁ブロック近傍の棲管と思われる物体

とや今回の測点がA1*・A2*の2点のみであり統計的誤差の検討が十分ではないため、今後、測点を増やし試料採取を試みるとともに模型実験・数値解析による人工構造物近傍における流況の把握を行うことで、対象とする魚礁(人工構造物)周辺における底生生物の生息密度と流体力学的負荷の関連について説明を進める必要があると考えられる。

写真-3はA1*の魚礁ブロック近傍でのROV撮影画像を示しているが、環形動物の棲管と思われる棒状の物体が海底面から多く立ち上がっている様子が認められる。これは魚礁ブロック近傍に棲管を形成するタイプの環形動物(*Notoproctus pacificus*等)が多く生息することの証左の一つと考えられる。この現象は魚礁ブロックのごく近傍のA1*で採取された環形動物の個体数が全地点中で最大であることと整合する。今後は構造物近傍でのROV撮影画像を活用し、試料採取による生物量と紐付けすることでより合理的に生物量を把握する手法への展開が考えられる。

3.3 付着生物調査(2018)

図-10は、A2'地点の試験礁のテストピース(図-7)から採取された付着生物の1m²当たり換算の個体数と湿重量を示す。

材質の違いについては、個体数・湿重量ともにモルタル材・鋼材・木材の順番で高かった。個体数が最も高かったのはモルタル材E1の14,400個体/m²であり、底生生物の魚礁区平均1,173個体/m²の約12倍であったが、湿重量では平均34.0g/m²と底生生物の対照区の平均40.1g/m²と同程度であった。

分類群別の割合では、環形動物の多毛類が個体数の96.8%、湿重量の89.9%を占めていた。環形動物の中で

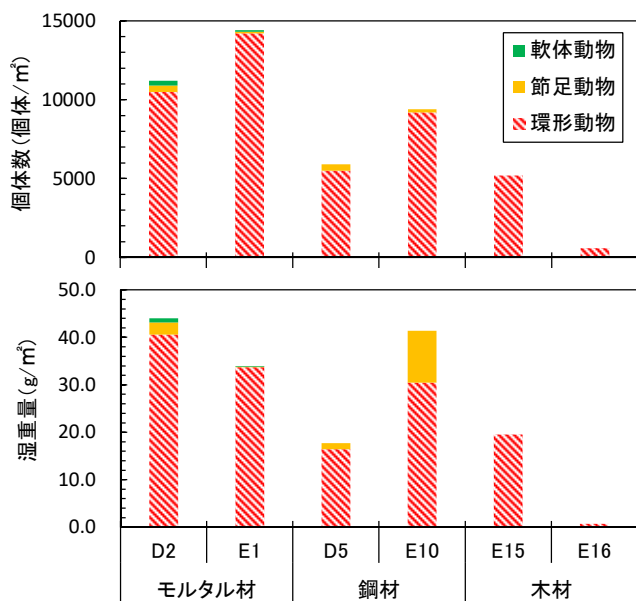


図-10 A2' 地点の付着生物の個体数(上)と湿重量(下)

表-3 テストピース上の付着生物の優占種と個体数

門(綱)	種名	個体数/㎡	占有率
モルタル材_D2			
環形動物多毛類	<i>Polydora</i> sp.	8,700	77.7%
環形動物多毛類	<i>Phyllodoce</i> sp.	1,000	8.9%
環形動物多毛類	<i>Harmothoe</i> sp.	400	3.6%
モルタル材_E1			
環形動物多毛類	<i>Polydora</i> sp.	11,600	80.6%
環形動物多毛類	<i>Prionospio</i> sp.	900	6.3%
環形動物多毛類	<i>Terebellidae</i> sp.	500	3.5%
鋼材_D5			
環形動物多毛類	<i>Polydora</i> sp.	4,500	76.3%
節足動物環脚類	<i>Balanus crenatus</i>	400	6.8%
環形動物多毛類	<i>Prionospio (Minuspio) multibranchiata</i>	300	5.1%
環形動物多毛類	<i>Terebellidae</i> sp.	300	5.1%
鋼材_E10			
環形動物多毛類	<i>Polydora</i> sp.	7,100	75.5%
環形動物多毛類	<i>Prionospio (Minuspio) multibranchiata</i>	1,400	14.9%
環形動物多毛類	<i>Phyllodoce</i> sp.	300	3.2%
環形動物多毛類	<i>Nereis zonata</i>	300	3.2%
木材_E15			
環形動物多毛類	<i>Polydora</i> sp.	2,500	48.1%
環形動物多毛類	<i>Prionospio (Minuspio) multibranchiata</i>	1,800	34.6%
環形動物多毛類	<i>Nereis zonata</i>	700	13.5%
木材_E16			
環形動物多毛類	<i>Polydora</i> sp.	300	50.0%
環形動物多毛類	<i>Eulalia</i> sp.	100	16.7%
環形動物多毛類	<i>Nereis zonata</i>	100	16.7%
環形動物多毛類	<i>Terebellidae</i> sp.	100	16.7%

は1個体当たり重量が0.002g/個体と非常に小さいスピオ科 *Polydora* sp. (写真-4(a))が個体数の74.3%、湿重量の44.9%と最優占していた。表-3は付着生物の優先種を示すが、全てのテストピースで環形動物の多



(a) *Polydora* sp. (b) *Prionospio (Minuspio) multibranchiata*

写真-4 付着生物の優占種(目盛は1mm)

毛類が優占していた。何れの材質でもスピオ科 *Polydora* sp. (写真-4(a))が最も優占し、スピオ科 *Prionospio (Minuspio) multibranchiata* (写真-3(b))が概ねそれに次ぐ。スピオ科 *Polydora* sp. については Fabi et al.¹⁵⁾が人工魚礁に蝟集するタイ科スズキ目の魚類 *Lithognathus mormyrus* の胃内容物の中に *Polydora ciliata* を確認した事例があるものの、魚類の餌料としての研究事例は少なく、今後は本研究で認められた優占種の餌料価値の評価に関する研究を進めていく必要があると考えられる。

写真-5はA2' 地点の試験礁のテストピースの付着物の状況を示す。多毛類の棲管と思われる紐状の物体が多量に基質表面に付着している。スピオ科 *Polydora* sp. は棲管を形成する¹⁶⁾ため、最優占種の *Polydora* sp. の棲管であると推察される。沿岸での観測事例では、スピオ科 *Polydora cornuta* が生態系に移入した後で急速に増殖して生息空間を独占することが報告されている¹⁷⁾。設置時の試験礁のテストピースは未使用の新材であるため、スピオ科が新たな空白の生息場としてのテストピースに移入し、*Polydora cornuta* 同様に生息空間を独占するという生態学的特性が現れたと考えられる。



写真-5 試験礁側面のテストピースの付着物

図-11は、B地点の試験礁のテストピースから採取された付着生物の1㎡当たり換算の個体数と湿重量を示す。

材質の違いについては、個体数では木材>モルタル材>鋼材の順番で高い傾向が見られる。個体数が最も高かったのは木材F15の1,800個体/㎡であり、A地点の底生生物の魚礁区平均1,173個体/㎡の約1.5倍であった。湿重量ではモルタル材>木材>鋼材の順番で高い傾向が見られる。材質の違いによる傾向がA地点とは異なる結果となった。

分類群別の割合では、個体数に基づく割合では軟体動物・節足動物・環形動物の占める割合は材質によってやや異なり、モルタル材と木材では分類群の割合が同程度に近い傾向が見られるが、鋼材では節足動物の割合が高い傾向がある。湿重量に基づく割合では、モルタル材・木材では軟体動物が殆どを占めているが、鋼材では軟体動物は検出されなかった。

内湾域における浮標灯等の付着生物の観測事例によれば、経年による付着生物相の遷移が進むと固着性の二枚貝類やフジツボ類が優占するとされる¹⁸⁾。今回のテストピースではA2'地点ではスピオ科多毛類が占有したのが特徴的ではあったが、両地点ともに固着性の生物は少なかった。これは試験礁の沈設期間が440日間のため、付着生物相が遷移の初期段階にあったためと推察される。A地点で占有したスピオ科の事例では好適な生息環境を求めて短期間で生息地点を移動することが報告されている¹⁷⁾今後、試験礁の生態系が遷移して

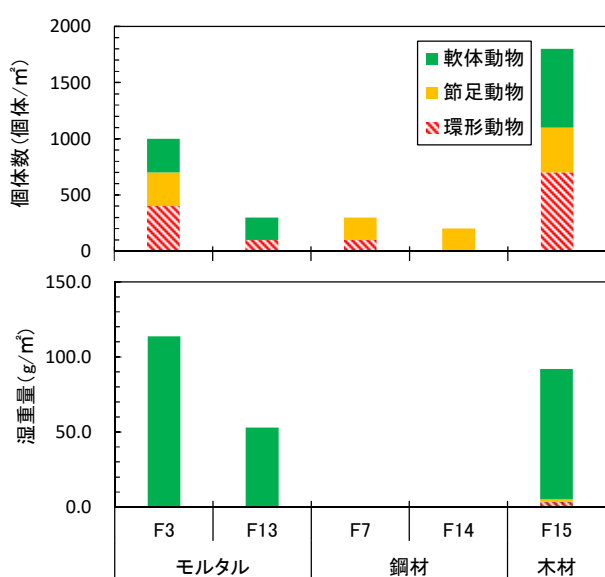


図-11 B地点の付着生物の個体数(上)と湿重量(下)

いくことが予測されるため、試験礁上の付着生物の継続的なモニタリングは、人工構造物の材質や経年変化による餌料培養効果への影響を評価するために重要であると考えられる。

4. まとめ

本報告の主要な結果を以下に示す。

- ① 魚礁区では魚類の餌料として重要な多毛類が対照区に比べて概して多く、水深90mの沖合域において人工構造物が餌料生物の培養に寄与している可能性が示唆された。
- ② 試験礁のテストピースの付着生物ではスピオ科多毛類が多く確認されたことから人工構造物の表面に魚類の餌料生物が多く生息している可能性が示唆された。
- ③ ROV採泥による魚礁ブロックのごく近傍での底生生物の採取及び実構造物を模した試験礁による付着生物の採取手法を確立し、沖合域における人工構造物による餌料培養効果のメカニズム解明に資する貴重な知見を得ることができた。

参考文献

- 1) 水産庁HP：国が施行する特定漁港漁場整備事業計画(漁場)
- 2) 河合浩・山本潤・大橋正臣：北海道開発局管内の漁場整備に資する水域環境のバックグラウンド調査-沖合漁場における物理環境や基礎生産の現状について-、環 3、北海道開発技術研究発表会、2013。
- 3) 山本潤・渡辺光弘・林田健志・峰寛明・坂本和佳・西田芳則・田中仁：日本海北部漁場における表層冷却期の基礎生産構造に関する現地観測、土木学会論文集 B2(海岸工学)、第67巻、No. 2、pp. 1026-1030、2011。
- 4) 河合浩・山本潤・渡辺光弘：北海道開発局管内における保護育成を目的とした漁場整備の効果算定の一例、環 24、北海道開発技術研究発表会、2012。
- 5) 柿元皓、大久保久直、板野英彬、新井健次：魚礁における動物プランクトンの分布様式について、水産土木、V01. 19、No. 2、pp. 21-28、1983。
- 6) 伊藤靖、中野喜央、藤澤真也：人工魚礁およびその周辺における小型動物の分布-漁場施設の魚類増殖効果に関する研究 I-、日本水産工学会誌、45 巻 2号、pp. 101-110、2008。
- 7) 公共事業の事後評価書(水産関係公共事業の期中の評

備) : 特定漁港漁場整備事業 (フロンティア漁場整備事業)
日本海西部地区、2015.

- 8) DeepWater Buoyancy Inc. : Trawl-Resistant Bottom Mounts <https://deepwaterbuoyancy.com/product/rawl-resistant-bottom-mounts/> (2019年7月1日確認)
- 9) 岩田進午、喜田大三 (監修) : 土の環境圏、株式会社フジ・テクノシステム、pp.63、1997.
- 10) Eve C. Southward : The Distribution of Polychaeta in offshore deposits in the Irish sea, *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 36, pp. 49-75, 1957.
- 11) 玉井恭一、永田樹三: 紀伊水道域におけるベントス群集について、*南西海区水産研究所研究報告*、10号、No.2、pp. 17-32、1977.
- 12) 西川潤、園田武、櫻井泉、瀬戸雅文、中尾繁 : 苫小牧沿岸域における底生魚類群集の食性とマクロベントス、*日本水産学会誌*、66 (1)、pp.33-43、2000.
- 13) Serena Donadi, Britas Klemens Eriksson, Karsten Alexander Lettmann, Dorothee Hodapp, Jorg-Olaf Wolff, Helmut Hillebrand: The body-size structure of macrobenthos changes predictably along gradients of hydrodynamic stress and organic enrichment, *Marine Biology*, 162 (3), pp. 675-685, 2015
- 14) Gang Wang, Rong Wan, XinXin Wang, FenFang Zhao, XiaoZheng Lan, Hui Cheng, WeiYao Tang, QingLong Guan: Study on the influence of cut-opening ratio, cut-opening shape, and cut-opening number on the flow field of a cubic artificial reef, *Ocean Engineering* 162, pp. 341-352, 2018.
- 15) Gianna Fabi, Sarine Manoukian, Alessandra Spagnolo: Feeding behavior of three common fishes at an artificial reef in the northern Adriatic Sea, *BULLETIN OF MARINE SCIENCE*, 78 (1), pp. 39-56, 2006.
- 16) 阿部博和、富岡森理、小林元樹、伊藤萌 : 利尻島沿岸のスピオ科多毛類相 (環形動物門)、*利尻研究* (38)、pp. 15-27、2019.
- 17) 高田詔民: 富栄養海域福山港に生息するスピオ科多毛類 *Polydora cornuta* Bosc 1802 の形態と再生産、*Eco-Engineering*、23 (2)、pp. 41-46、2011.
- 18) 梶原武: 海産汚損付着生物の生態学的研究、*長崎大学水産学部研究報告*、Vol. 16, pp. 1-138、1964.

17.1 海洋及び河川・沿岸構造物の有用水産生物の産卵場・生息場としての増養殖に関する 評価技術の構築

17.1.3 漁港港湾の静穏域を活用した栽培漁業支援技術に関する研究

担当チーム：寒地水圏研究グループ（水産土木チーム）

研究担当者：伊藤敏朗、河合浩、丸山修治、須藤賢哉、梶原瑠美子、稲葉信晴

【要旨】

本研究は、栽培漁業支援のため種苗放流と連携した漁港港湾の静穏域を活用した増殖機能付加型漁港整備に資する技術開発として、水域および生息環境の評価技術について検討するものである。これは漁港港湾水域が種苗放流適地と成り得るか否かを検討するものであり、現地実証試験を行うことで適正な環境評価技術や種苗放流手法の確立を目標とするものである。

初年度にあたる平成 28 年度(2016)は対象漁港の環境調査、実証試験における試験礁の設置、種苗放流を実施した。平成 29 年度(2017)は、放流後の稚ナマコの定期的な残存調査及び再度の種苗放流を実施した。

平成 30 年度(2018)は、稚ナマコの継続的な残存調査及び漁港全体の底質環境についての検討を実施した。

キーワード：栽培漁業、種苗放流、稚ナマコ、生息環境、食害生物

1. はじめに

北海道は全国の約 2 割の水産物生産量を占め水産物の安定供給に大きく貢献している。近年、漁業者の高齢化に伴い負担軽減の観点から、沖合漁業から沿岸の磯根漁業への転換が進んでいる。これに加え疲弊する日本海漁業の再生と水産物供給の安定化に向け、栽培漁業による漁業振興が重要な課題となっている¹⁾。

特に浜や地域全体の活性化のために、漁港機能の再編・集約化に伴う港内泊地の有効利用（増養殖機能の付加）等が推進されている。また、水産生物の増殖や生育に配慮した漁港施設整備と種苗放流の連携により、静穏な漁港水域を活用した増養殖による栽培漁業の発展が期待されている^{2),3)}。

栽培魚種の中でも、ナマコは中国において高級食材として需要が高まり、北海道においては、1990 年代には 6 億円前後で推移していた漁獲金額は、2003 年以降中華圏向けの輸出量増大に伴い劇的に増加し、2010 年には 100 億円を超えた（図-1）。輸出金額も水産品輸出総額の内、ホタテに次ぐ第 2 位に至る地域の主力産業となっており、地域漁業を活性化させる魚種として注目されている。しかしながら、ナマコの資源量は頭打ち状態にあり、種苗の生産技術とともに、放流技術の確立による資源保全（維持・増大）等の栽培漁業強化が求められている。

本研究では、栽培漁業支援のため、種苗放流と連携

した漁港港湾の静穏域を活用したナマコの増養殖機能付加型漁港整備に資する技術開発として、環境評価技術について検討することを目的とする。

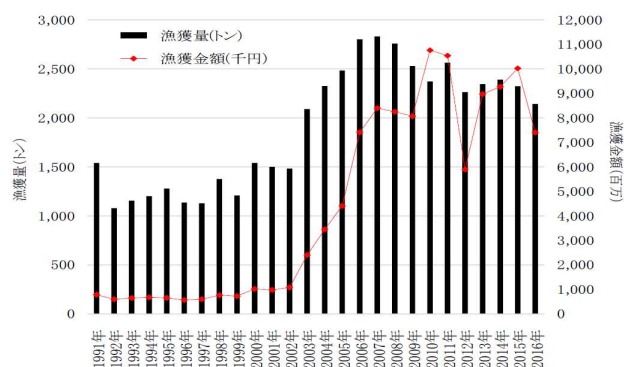


図-1 北海道におけるナマコ漁獲量及び漁獲金額の推移 (1991年～2016年)⁴⁾

2. 検討概要

水産土木チームでは、これまでの研究から生物の蜆集行動を利用した「底質改善に関するナマコ摂餌生態」、「貝殻礁や人工海藻による生息環境創出手法」に関する知見を有している。ナマコの生息環境として、強い波浪は付着力が弱い稚ナマコを流出させるなどの損害を与えることが知られており^{5),6),7)}、減耗の著しい稚ナマコの育成場として漁港等静穏域は重要な役割を果たすと考えられる。しかし、漁港港湾等の静穏域に生

息するナマコの生態に関する調査や稚ナマコ育成に特化した生息環境創出手法の検討事例は少なく、不明な点が多い。このため静穏域（漁港港湾）における、ナマコ生息の底質や基質の特性、餌料環境などの検討を実施し、稚ナマコ育成に適した生息環境を評価することは重要な課題である。

これらのことから「①種苗放流適地としての漁港港湾水域に関する適正環境評価技術の構築」、「②実証試験による効率的な種苗放流手法の確立」の2つの目標を設定し、評価技術の構築を目指すこととした。

平成 28 年度(2016)は対象漁港の環境調査、実証試験における試験礁の設置と種苗放流、平成 29 年度(2017)は試験礁内の稚ナマコ個体数の変化や成長、そして種苗放流前の水温や塩分など物理環境観測による生息環境調査を実施し、平成 30 年度(2018)は稚ナマコの継続的な残存調査、種苗放流及び漁港全体の底質環境についての検討を行った。

3. 調査方法

3.1 調査対象漁港

対象漁港は北海道南部の漁港であり、泊地の底質は主に砂質である。漁港の左右には小規模河川が存在することが特徴的である(図-2)。



図-2 調査対象漁港
(試験礁の設置位置 A、B、C 地点)

3.2 環境調査方法

平成 28 年度(2016)の環境調査では、港内外に河口部を加えた 8 地点 (No. 1~No. 8; 図-3) を設定し、調査項目は表-1 に示すとおりである。港内の静穏度の検討のため、港内外 (港内: No. 4, 港外: No. 9) に波高計を設置し、放流時期である 12 月を含む秋季から冬季の波高

変化について観測を実施した。平成 29 年度(2017)については、港内外の冬季の波高観測に加え、港内の A 地点における水温、塩分、濁度、光量子密度及びクロロフィル *a* 濃度についても観測した (表-1)。平成 30 年度(2018)は、港内全体及び左右に位置する港口部(図-4)の水深やアマモ場などを含めた底質環境(表-1)について検討を行った。



図-3 環境調査の測点 (No. 1~No. 8)



図-4 漁港全体の底質環境調査 (St. 1~St. 14)

3.3 実証試験方法

3.3.1 稚ナマコ放流試験礁の設置

当漁港において実証実験としてナマコ種苗を放流する試験礁を防波堤の近傍 (A 地点、B 地点) と対象地点として港内中央部 (C 地点) に設置することとした (図-2)。防波堤近傍の地点については、放流後の稚ナマコが漁港構造物 (防波堤マウンド等) を利用する可能性があると考えたためである。試験礁の設置は、2016 年 11 月に実施した。

表-1 調査項目

項目	詳細	測点	時期
水質	DO, SS, NH ₄ -N, NO ₂ -N, NO ₃ -N, COD, PO ₄ -P, Chl. <i>a</i> , SiO ₂ -Si, POC, PON	No. 1~8	2016年10月 2016年12月
底質環境	水深, アマモ場, COD, 強熱減量, 全硫化物, Chl. <i>a</i> , フェオフィチン, 粒度	St. 1~14	2016年1月
底質	粒度, 強熱減量, COD, 硫化物, Chl. <i>a</i> , フェオフィチン, TOC, TON	No. 1~8	2016年12月
波高	水圧式波高計, 2時間毎20分観測, Δt:0.5sec	No. 9 No. 4	2016年9月~ 2017年2月 2017年9月~ 12月中旬
生息環境	水温・塩分 (INFINITY-CTW), Chl. <i>a</i> 及び濁度 (INFINITY-CLW), 光量子 (COMPACT-LW)	A地点	2017年9月~11月19日



写真-1 小型貝殻ブロック
(海洋建設株式会社 NETIS 登録 No. CGK-150001-A)



写真-2 放流基質の設置状況

3.3.2 放流試験礁

放流試験礁は、中心に小型貝殻ブロック「貝藻くん」(写真-1、NETIS 登録 No. CGK-150001-A、開発会社: 海洋建設株式会社)を配置し、その周辺に空隙や材質の異なる5種類のユニットを設置したものである(写真-2)。図-5に放流試験礁全体(単位: 1基)を示しており、この試験礁を各地点(図-2 A、B、C地点)に5基ずつ、合計15基を設置した。この試験礁は放流した稚ナマコの初期流出を防止し、中間育成の場としての稚ナマコの利用を目的としている。空隙や材質の違いによる定着や成長の状況、そして長期的にはユニット内に発生する生物の量や種類とナマコ生息との関係については「17.2 生産力向上と漁業振興に向けた海洋及び河川・沿岸構造物の増養殖機能強化のための水産環境整備技術の開発」の報告書に詳細な情報と共にまとめており、本報告書では漁港全体及び試験礁を設置した地点の環境が稚ナマコ放流場、そしてその後の生息環境として適正かどうかの評価に焦点を置いてまとめている。

3.4 ナマコ個体数調査

放流後の稚ナマコ個体数調査は、1回の調査で各地点(A、B、C地点)に5基ずつ設置した放流試験礁のうち1基のみ陸揚げを行い、小型貝殻ブロックと各ユ

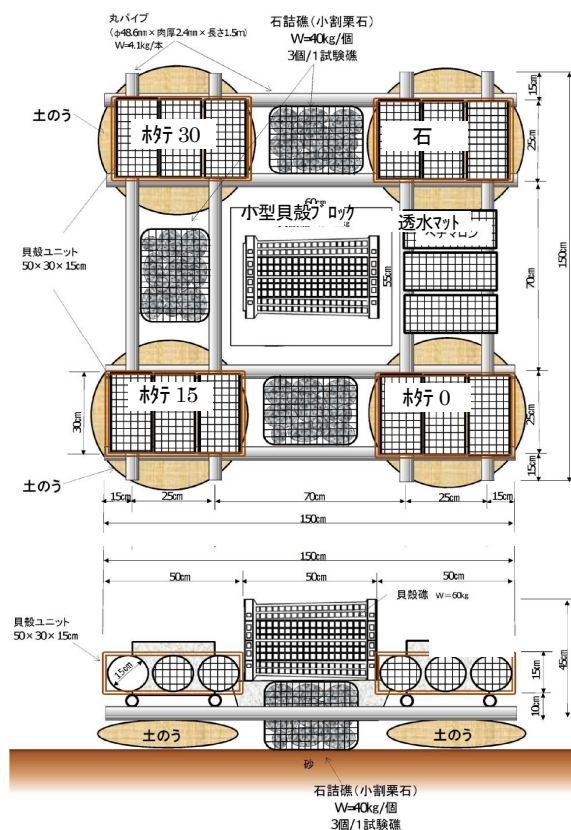


図-5 放流試験礁(全体)

ネットから稚ナマコを取り分け、計数するとともに体長・体幅、湿重量の測定を行った(写真-3)。計測後の稚ナマコは各ユニットに再放流した。放流1年目(2017年)の追跡調査は、2月、4月、6月、8月、10月、12月の計6回、2年目(2018年)は3ヶ月に一度(3月、6月、9月、12月)の計4回実施した。放流数は図-5の中心にある小型貝殻ブロックに約2,000匹/基とした(2,000匹×5基×3地点=合計30,000匹)。また、放流はダイバーが行い、稚ナマコの水中での逸散を防止するため、事前にネットをかけて、ネット内部に放流した(写真-4)。



写真-3 ナマコ個体数調査状況
(左：ナマコ採取、右：計測)



写真-4 放流状況

4. 結果と考察

4.1 生息環境

4.1.1 水質・底質環境について

水質・底質分析結果として、ナマコの餌料環境に係る有機物 (a) 水質: 粒状有機炭素 (POC) 及びクロロフィル *a* (Chl. *a*), (b) 底質: Chl. *a*, フェオフィチン (Pheo.) 及び全有機炭素 (TOC) について 2016年12月の観測結果を図-6に示す。No. 1~No. 4は港内、No. 5, No. 6は港外に位置しており(図-3)、表層および底層水のChl. *a*やPOCは、No. 1のPOCが若干大きいですが、全体的には港内外で大きな違いが見られなかった。これに対し底質(堆積物)のChl. *a*、Pheo.、TOCは、港内側が大きいことが認められた。これは港内堆積物に有機物が多いことを示しており、港内は静穏で堆積傾向となっていると考えられる。港の形状よりNo. 1、

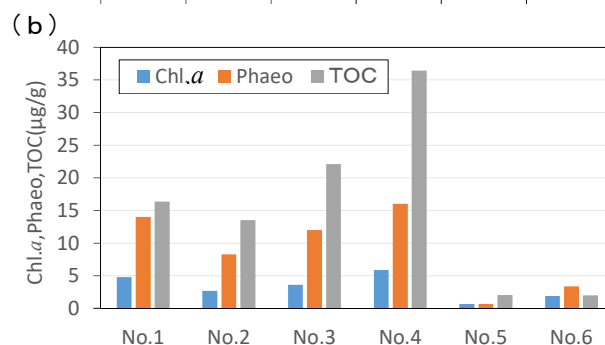
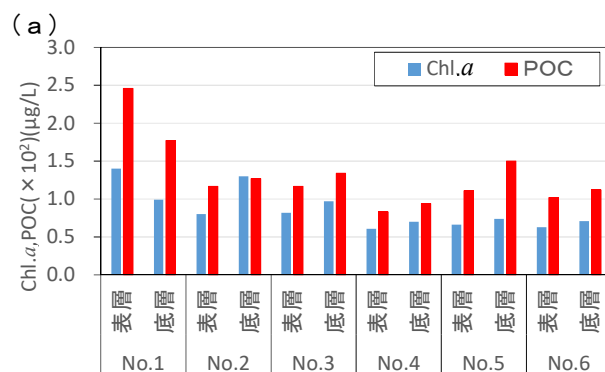


図-6 2016年12月観測、水質・底質分析結果
(a: 水質、b: 底質)

No. 2が港奥、No. 4が港口に近く、底質(堆積物)のChl. *a*、Pheo.、TOCは港口のNo. 4で大きく、港奥のNo. 1、No. 2が小さいことから、堆積傾向として港外からの有機物が港内に入ってすぐに堆積していると考えられる。

4.1.2 物理環境調査

冬季の波高の変化を図-7に示す。本漁港は冬季に港口周辺のA地点であっても有義波高が0.5m以下であり静穏な環境であったといえる。放流時の小さいナマコにとっては、波浪やこれによる流れで放流場所からの離散、流出することが放流後の定着に大きく影響する事が報告されているが^{5), 6), 7)}、本調査の放流時の環境については兩年共に静穏性が保たれており良好であったと考えられる。

図-8に2017年8月31日から11月19日までの連続観測結果を示す。この期間の水温は9月の20℃程度から11月に確認された最低水温10℃の範囲で変化した(図-8(a))。塩分は表層、底層ともにほぼ34PSUで一定であったが、9月18日に表層の塩分低下が生じている(図-8(a))。濁度についても9月18日に表層、底層ともに上昇している。その後も表層は9月24日から10月8日まで高い状態が続いていた(図-8(b))。光量子密度は天候に左右されるがA地点は水深が5m程度のため、底層にまで光が届いていることがわかる(図-8(c))。近隣のアメダスによる降水量については、9月18日に

時間降水量が 40mm 程度と期間の最大値を示した (図-8(d))。これは台風 18 号の接近によるものであり、台

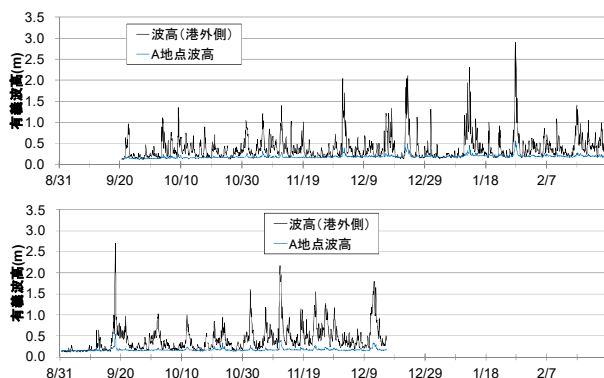


図-7 冬季の波浪(上:2016年冬季,下:2017年冬季)

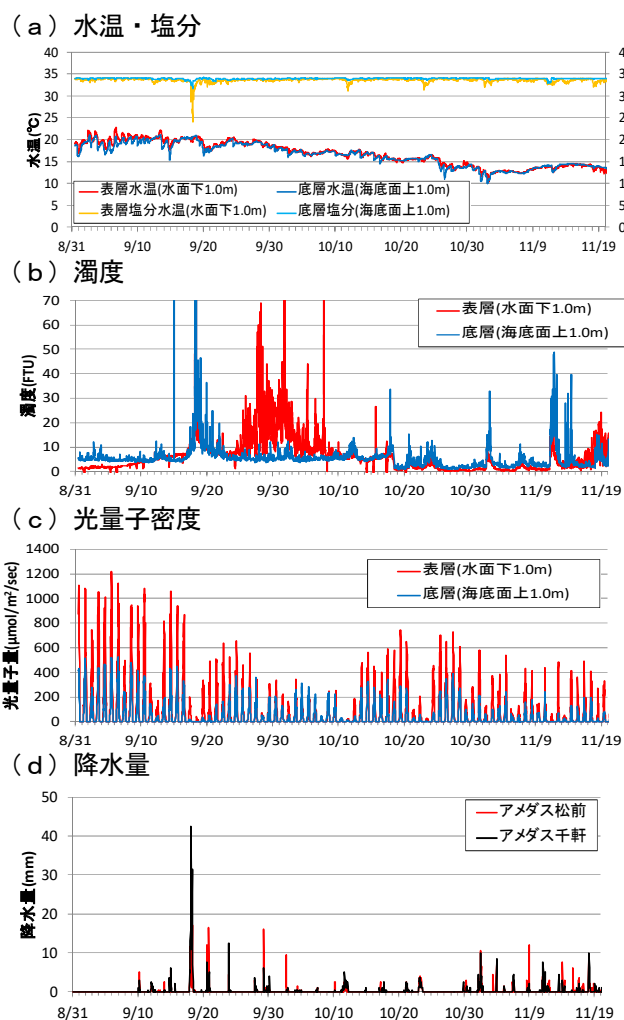


図-8 A地点の連続観測結果(2017年)

風の降水による本漁港の周辺河川の出水、これによる陸域からの土砂の供給が A 地点の堆砂の要因の一つとして考えられる。

4.1.3 漁港全体の底質環境

港内全体及び左右に位置する港口部の水深やアマモ場を含めた底質環境を図-9 に示す(St. については図-4)。水深は、港奥から港口そして港外に向けて深くなっており、港内では 2.6m から 5.2m の範囲であった(図-9 (A))。またアマモの群落は中央部、そして西部防波堤に沿って湾外に向けて分布していた(図-9 (A))。東部港口 (St. 14) 及び港口付近 (St. 7 と 11) の底泥については、有機物量の指標となる COD (図-9 (B)) や強熱減量 (図-9 (C)) の値が高く、本漁港の北東に隣接する河川の影響を大きく受けていると考えられる。水産用水基準では水産生物生育に適している基準値は、COD で 20 mg/g dry weight 以下としている。本漁港においては、東部港奥の St. 1 (22 mg/g dry weight)、港口部付近の観測点 St. 7 (27 mg/g dry weight) 及び St. 14 (51 mg/g dry weight)、そして西部港奥の St. 3 (36 mg/g dry weight) の底泥で基準値を超えており、有機物の底泥への蓄積が進んでいる事が確認された。一方で、全硫化物に関しては水産生物の生育に望ましい基準値 (0.2 mg/g dry weight 以下) を超えた地点は西部港奥の St. 3 (0.36 mg/g dry weight) 及び西部港口の St. 9 (0.22 mg/g dry weight) の 2 地点のみであった(図-9 (D))。有機物の集積はバクテリアに酸化分解される際の酸素消費により貧酸素形成を促進し、それに伴い有機物の嫌気分解による硫化水素の発生が生物の生息環境に悪影響を引き起こす事が知られている。St. 14 や 7 では有機物の集積が確認された一方で、全硫化物に関しては、水産用水基準値を下回っていた。しかし、0.1mg/g 程度でもアサリなどの底生生物の生残に影響を及ぼすという報告⁸⁾されている事から、留意が必要である。図-9 (E), (F) は Chl. a 及び藻類の死細胞量の指標となるフェオフィチン濃度を示している。Chl. a 及びフェオフィチンは COD や強熱減量の多寡と同様の傾向を示し、東部港口と防波堤沿いの測点で特に高い値を示した。これは、底泥中の有機物からの栄養塩類の溶出が、高い Chl. a 及びフェオフィチン濃度と関係していると考えられる。ナマコの種苗生産で着底直後の初期育成の際に餌として底生微細藻類を用いる事やナマコの消化管内容物中から多くの底生珪藻が観察されている事⁹⁾から、Chl. a やフェオフィチンのモニタリングは餌環境を把握する上で重要であると考えられる。図-9 (G) は、底泥中の粒度分布(中央粒径)を示している。同じ材料・質量と比較した場合、粒子が小さくなるほど比表面積が大きくなり有機物の吸着も大きくなる事から、粒度組成は

底泥中の有機物含有量に影響を及ぼすと考えられる。本調査においても、COD や強熱減量の値が高い測点では中央粒径が比較的小さい値を示している。ナマコの成長と砂粒の関係性¹⁰⁾や消化管内容物中の粒子サイズの傾向についての報告¹¹⁾など摂餌選択に関与する事が示唆されているため、稚ナマコ生息に適した環境と底泥粒度の関係性についての検討も重要と考えられる。

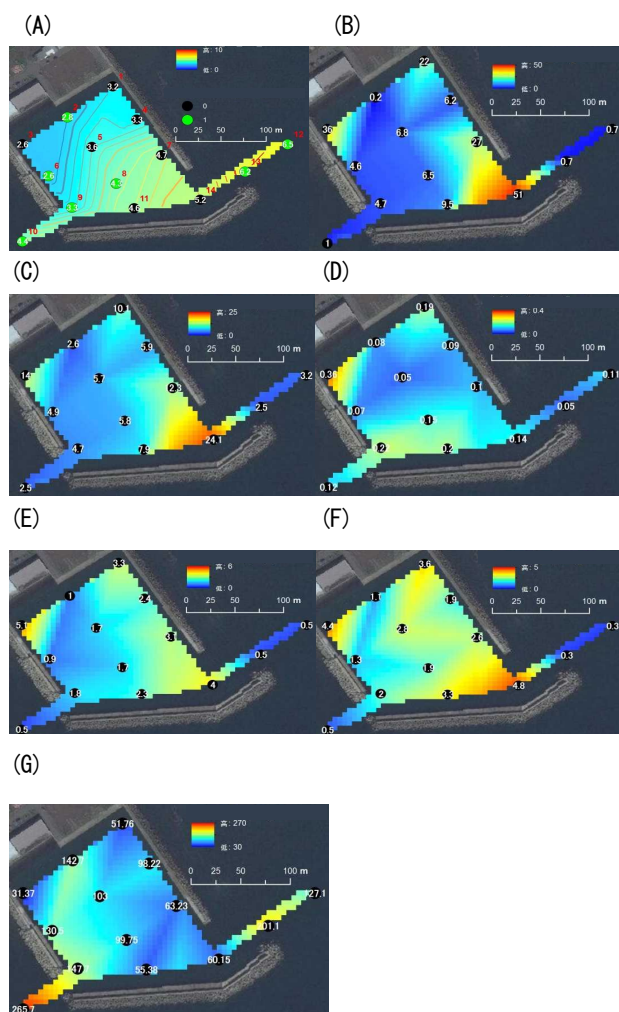


図-9 (A) 水深及びアマモ群落の有無, ○内の数字は水深 (m), アマモ群落の有無は○の色 (●: 無し, ●: 有り), (B) 化学的酸素要求量 (COD: mg/g dry weight), (C) 強熱減量 (%), (D) 全硫化物量 (mg/g dry weight), (E) Chl.a 濃度 (µg/g dry weight), (F) フェオフィチン濃度 (µg/g dry weight), (G) 中央粒径 (µm)

4. 2 実証試験結果

4.2.1 試験礁内のナマコ個体数調査

稚ナマコ放流後の地点生息個体数 (小型貝殻ブロックを除く) の調査結果を図-10 に示す。稚ナマコは試験礁の中心の小型貝殻ブロックに放流後、時間の経過

と共に試験礁全体に移動していくことが認められた (図-10)。一方で、A 地点は個体数の増加の割合が小さく、放流後 342 日後 (2017 年 11 月) では減少に転じ、2 年後の定着数も他の 2 地点と比較し半分程度であった。これは A 地点が河川や港外の影響を受けやすい地点で、写真-6 のように放流基質が堆積物に埋没する事が影響したと考えられる。本漁港は周辺に河川があり、比較的大きな降雨などで陸域からの土砂や落ち葉などの有機物が港内に流入しており、特に A 地点は堆積量が多い事が認められた。このことから港内においてナマコの間育成を行う場合、生息空間を埋没させるほどの流入堆砂や漂砂移動が大きな場所は適さないと考えられる。一方で定着個体数は最小だったものの 2 年後に採捕された稚ナマコの平均標準体長は全地点中最大の 6.3cm と有意に高かった事から、底質中の有機物含有量が成長に有利に働いていた可能性が考えられる。種苗放流適地を検討する上で稚ナマコの定着、そして成長を高めるための様々な視点から適切な環境特性を見極める事が重要になると考えられる。

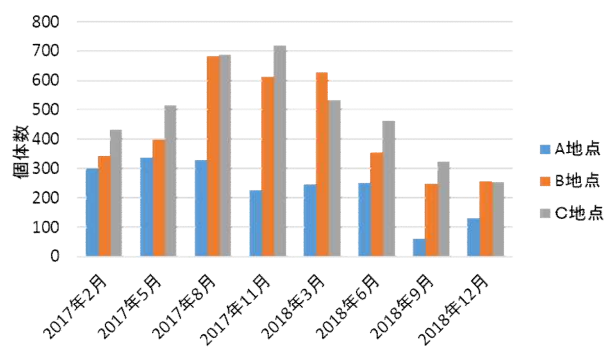


図-10 地点別ナマコ生息個体数 (5 種類のユニットの合計)

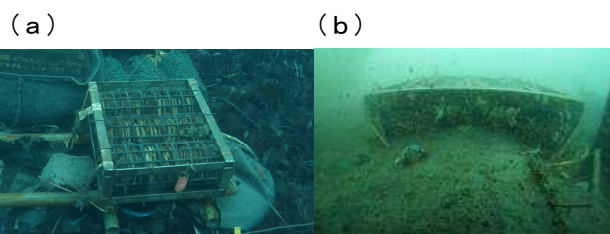


写真-6 A 地点の堆砂状況(a)堆砂前、(b)堆砂後

また、放流してから約 1 年後及び 2 年目についても 2018 年 3 月と 12 月を除いては、C 地点において定着個体数が一番高かった。C 地点はアマモ場に隣接しており (写真-7)、アマモ葉体上には稚ナマコの餌として重要な羽状目珪藻などの付着藻類が多く生息し、秋から

冬にかけてアマモの落葉が周辺に堆積し、バクテリアなどの微生物によって細かな有機物片（デトライタス）が供給される¹²⁾など、餌環境も含め定着環境として良好であった可能性が考えられる。一方で、試験礁以外の周辺環境からは全くナマコの分布が確認出来なかった事から漁港中央部に位置している事による物理的な生息域の分断による影響と捉えることも出来る。



写真-7 C地点の様子（左手側にアマモ場）

2年後（2018年12月）の定着個体数について若干ではあるが最も高い値を示したB地点は、東部防波堤沿いの被覆ブロックに隣接している（写真-8）。2年後の平均標準体長についてもC地点より高い傾向（B地点：4.68cm, C地点：4.34cm）が認められた。漁港全体のナマコ分布調査でもB地点が隣接する東部防波堤側に漁港全体の75%以上が偏って分布している事が認められた事やB地点の試験礁内から明らかに放流個体では無い標準体長が20cmを超える個体も見つかったことから、ナマコが外部（漁港水中コンクリート構造物）と試験礁を移動している可能性が示唆された。

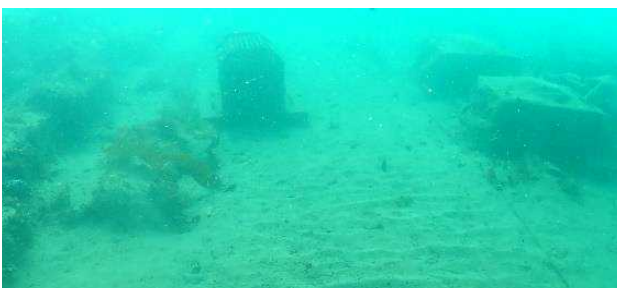


写真-8 B地点の試験礁(右)及び被覆ブロック(左)

本研究の対象魚種であるマナマコは成長と共に分布域が変わる事も報告されている¹³⁾。本研究における稚ナマコの放流適地の選定は放流して定着した個体が成長し効果的に地域のナマコ資源増大に寄与するための評価技術である必要がある。従って、B地点のように成

長した個体が周辺に分布域を拡大できるような環境を放流の時点で考慮する事も重要であると考えられる。

5. まとめ

「漁港港湾の静穏域を活用した栽培漁業支援技術に関する研究」における評価技術に関する平成28年度（2016）、平成29年度（2017）及び平成30年度（2018）の検討結果について以下に取りまとめる。

- ・本漁港は北東に隣接する河川や港外からの影響により東部港口周辺の底質に有機物が蓄積し易い傾向にある事が判明した。
- ・西部港奥及び港口の底質中から水産生物の生育に望ましくない量の全硫化物が認められた。
- ・本漁港は冬季に港口周辺であっても静穏であり、水温や塩分、光量子量等の環境についても、稚ナマコ放流・定着には比較的良好であった。
- ・A地点>B地点>C地点の順で2年後の平均標準体長が大きく、2年後の標準体長がA地点で有意に高かった（ $p<0.01$ ）。一方で、約2年後の定着数はB地点>C地点>A地点の順で堆積傾向があったA地点において低位であった。
- ・港内においてナマコの放流、中間育成を行う場合、生息空間を埋没させるほどの流入堆砂や漂砂移動が大きな場所は適さない事が分かった。
- ・漁港全体の分布から東部防波堤側にナマコの分布が偏っている事が示された。

今後は放流稚ナマコの追跡調査及び生息環境調査を継続的に行う事に加え、これまでの調査結果を踏まえた調査計画の立案と実施、また一般化に向けた取り組みの推進により、漁港港内の静穏域を活用した栽培漁業支援のための評価技術の開発を進める予定である。

参考文献

- 1) 北海道水産林務部：日本海振興基本方針、2014.
- 2) 農林水産省：水産動物の種苗の生産及び放流並びに水産動物の育成に関する基本方針、2015.
- 3) 北海道開発局：北海道マリナビジョン21（改訂版）北海道漁港漁村の将来像、2013.
- 4) 地方独立行政法人北海道立総合研究機構水産研究部：“マリンネット北海道”
<http://www.hro.or.jp/list/fisheries/marine/index.html>
- 5) 光永直樹, 松村靖治: サイズ別に放流した人工稚ナマコの

- 成長と生残、長崎水産試験場研究報告書、第 30 号、
pp. 7-13、2004.
- 6) 桑村勝土, 有江康章, 小林信, 上妻智行: 人工増殖場に放流したマナマコ (アカナマコ) の移動、生存および成長、福岡水研報、第 5 号、pp. 9-14、1996.
- 7) Masataka Tanaka: Diminution of Sea Cucumber *Stichopus japonicus* juveniles released on artificial reefs, Bull. Ishikawa Pref. Fish. Res. Center, pp. 19-29, 2000.
- 8) 平澤充成, 善功企, 寺崎英一, 的野一郎, 森崎真, 田中信夫: 底質中の硫化物に着目した人工干潟のアサリ生息場への適用性に関する研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 72(2), pp. 1399-1404, 2016.
- 9) 近田靖子, 酒井勇一: 稚ナマコの摂餌珪藻観察手法の検討、北水試験報、第 68 号、pp. 71-74、2005.
- 10) 木原稔, 田本淳一, 星貴敬: 水槽内でのマナマコの摂餌行動におよぼす砂粒の影響, 水産技術, 2(1), pp. 39-43, 2009.
- 11) Zhao, P., Yang, H.S. : Selectivity of particle size by sea cucumber *Apostichopus japonicus* in different culture systems, Mar. Sci., 34, pp. 11-16, 2010.
- 12) Xujia, L., Yi, Z., Hongsheng, Y., Shaoguo R. : Eelgrass Detritus as a Food Source for the Sea Cucumber *Apostichopus japonicus* Selenka (Echinodermata: Holothuroidea) in Coastal Waters of North China: An Experimental Study in Flow-Through Systems, PLOS one, 8 (3), e58293, 2013.
- 13) 篠原義昭, 西垣友和, 瀬田智文, 道家章生: 宮津湾におけるマナマコ *Apostichopus japonicus* の成長、京都府農林水産技術センター研究報告、第 39 号、pp. 17-22、2017

17.1 海洋及び河川・沿岸構造物の有用水産生物の産卵場・生息場としての増養殖に関する 評価技術の構築

17.1.4 自然再生産を目指した水産有用種の行動に着目した河川・沿岸構造物の評価・改善 手法に関する研究

担当チーム：寒地水圏研究グループ（水環境保全）
研究担当者：村山雅昭、谷瀬敦、布川雅典

【要旨】

北海道におけるサケ来遊数の減少を背景に、近年遺伝的多様性を持つ自然産卵魚による資源管理の必要性が高まっている。そのためには河川の縦断的な連続性とともに流域全体の産卵域や稚魚生息域の保全が必要である。そこで本研究では、勇払川ウトナイ魚道を遡上するサケ親魚の遡上数を自動計測システムにより計測とともに稚魚の降河時期に必要な河口緩流域の生息数調査を行った。その結果、遡上数を 24 時間連続して計測することが可能となり、長期間の遡上数や降下数が明らかになった。また、夜間に遡上する個体がかかなりいることもわかった。人工的な旧川跡やワンドといった緩流域が、サケ稚魚の降海前の滞留場所として利用されていることや餌場としても機能している可能性も明らかになった。本研究の結果は、カウンターの使用により構造物に付帯する魚道等の評価に役立つと期待される。一方で、サケ稚魚が生息する河川においては、人工的なワンドでも、その機能として生物生態系保全に加えてサケ資源保全の可能性も示唆され、今後のワンドの評価に新しい項目を提供した。
キーワード：サケカウンター、勇払川、十勝川、遡上数、魚道、ワンド、サケ稚魚、緩流域

1. はじめに

北海道における 2017 年秋期のサケ来遊数（沿岸と河川での捕獲数の合計値）は 1989 年以降最低となった。2018 年秋期の来遊数も平年比 53%と依然低い水準が続いている。このような事態をうけて、自然産卵魚（野生魚）への関心が高まっている。以前からも生態系保全や水産資源維持の観点から、遺伝的多様性を持つ自然産卵魚による資源管理の必要性が求められてきた¹⁾。このような野生魚個体群の保全と維持には産卵場までの遡上経路の確保と、稚魚の降河時に必要な緩流域の保全が必要である。

河川構造物にはこれまで多くの魚道等の整備により流水の縦断的な連続性が確保されてきた。河川法の改正を受けて、これらに加えてより多くの構造物に魚道等が整備されるようになった。このような魚道の効果は、魚類の遡上数を計測することで評価される²⁾。この評価を行うために、従来からよく用いられているその計測方法は目視およびカメラ調査である³⁾。サケなどの遡上期間は秋期から冬期の数ヶ月に渡り、さらにサケの遡上は 1 日の 24 時間中任意の時間に行われ、夜間の遡上も多いと思われる。長期間計測や夜間計測

を行うためには、手間と費用を考えた場合難しい。自動計測装置による計測がこれらの調査に取って代わる一つの方法である⁴⁾。

北海道中央部に位置するウトナイ湖には北西から美々川、北東からは勇払川が流入しており、勇払川流域の主な河川はこれらの二つの河川である。美々川で約 45 年前にサケ稚魚放流が中止されたが、現在でも親魚遡上が確認されている⁵⁾。しかし、夜間の遡上数や数ヶ月にわたる長期間の遡上数はわかっていない。遡上数の解明は自然再生産を考えた上で重要な資料となる。

一方で、サケ稚魚はふ化後海へ降下し、海水温が低い間は沿岸で過ごす。しかし、この時期の沿岸域での稚魚数減耗がおおきい^{6,7)}といわれ、沿岸域での減耗抑制が重要と考えられている⁸⁾。北海道東部十勝川の河口域では治水目的の構造物により支流流入部付近にワンド状地形が作られている（以下ワンドとする）。また、右岸には十勝川本川の短絡による旧河川跡が（以下旧川とする）緩流域として残され、小型漁船の停泊地として利用されている。

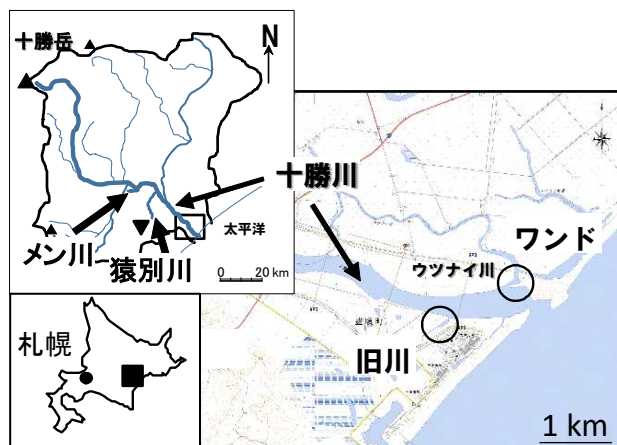


図-1 十勝川河口域の旧川とワンド。国土地理院電子地図改変。

この十勝川では約 6000 万尾のサケ(*Oncorhynchus keta*)稚魚が毎年放流されているにもかかわらず近 5 年の来遊数の減少は深刻である。サケ稚魚がワンドや旧川などの人工的な緩流域を利用するならば、治水目的等による人工構造物の設置により形成された緩流域がサケ幼稚魚の減耗防止に貢献できる可能性が考えられる。北米では、湿地再生ではあるものの、河口部に緩流域の復元が行われ、復元後数年でキングサーモン (*O. tshawytscha*) 稚魚が利用していること⁹⁾、¹⁰⁾や、サケ稚魚の滞在日数が数日間であることが明らかにされている¹¹⁾。しかし、道内外で河川内の緩流域においてサケ稚魚が利用していることを明らかにした事例はほとんど知られていない。

本稿では、魚類遡上量自動計測装置（以下サケカウンター）を用いた魚道のサケ遡上数計数の試みと河口域に人工的に造成された緩流域の利用実態を報告する。

2. 調査地

調査地は北海道中央部安平川水系勇払川（流域面積

219 km²）のウトナイ堰と北海道東部十勝川（流域面積 9,010 km²）の河口域である。

勇払川流域では勇払川以外に大きな支流として美々川があり、この美々川では 1971 年まで人工ふ化放流が行われていたが現在は行われていない⁵⁾。しかし、毎年 10 月になるとサケ親魚が勇払川を遡上し美々川流域で産卵しているのが知られている。

勇払川中流に位置するウトナイ湖から流れ出た勇払川には、ウトナイ湖の水位を維持するためのウトナイ堰があり、左岸側に魚道が設置されている。サケカウンターは、この魚道に設置した。勇払川ウトナイ堰魚道（以下ウトナイ魚道）では遡上が活発になる⁶⁾ 11 月から遡上終了する翌年 1 月まで（2018 年 11 月 8 日 10 時から 2019 年 1 月 31 日 24 時）までサケの遡上・降下数を計測した。調査地の魚道を移動する個体が夜間に移動しているのかを調べるために、ウトナイ魚道では 2018 年 11 月 9 から 11 日の調査期間中に記録されたデータから、夜間に移動した個体数も計数した。

サケ稚魚の緩流域の利用実態を明らかにするために、稚魚捕獲調査を行った。調査は十勝川河口の右岸の旧川と左岸のワンドで（図-1）行った。この旧川は 45 年ほど前には分流した十勝川の最下流の一部であったが、現在は水際が整備され人工的な湛水面のような形状を呈している。旧川の面積は 0.008 km² であり、水深は 3 m 未満で、水温は調査期間の 4 月上旬から 6 月上旬の間で 8.0°C から 18.0°C に上昇していた（表-1）。また DO と EC はそれぞれ、6.2 mg/l から 7.8 mg/l、14.4 mS/m から 20.2 mS/m の範囲だった（表-1）。気象庁ホームページによると、4 月上旬から 4 月中旬までの十勝沖の海面水温は 3°C 以下で、4 月下旬になっても 6°C 程度しか上がらなかった。この水温はサケ稚魚が降下して海洋生活初期に適温とされる 8 から 13°C よ

表-1 十勝川河口域旧川とワンドの物理環境の概要

調査項目	調査日 (2018年)					
	4月中旬 (4月12日)	4月下旬 (4月13日)	5月上旬 (5月9日)	5月中旬 (5月16日)	5月下旬 (5月24日)	6月上旬 (6月7日)
旧川						
水深 (m)			1.0- 3.0			
水温 (標準偏差) (°C)	8.0 (0.30)	8.9 (0.00)	10.5 (0.46)	14.5 (0.85)	15.3 (0.72)	18.0 (0.06)
DO (標準偏差) (mg/L)	6.3 (0.37)	6.3 (0.00)	7.4 (1.12)	7.8 (0.82)	7.6 (0.13)	6.2 (0.63)
EC (標準偏差) (mS/m)	20.2 (0.00)	14.9 (0.00)	18.2 (0.08)	16.0 (3.65)	16.2 (0.18)	14.4 (2.67)
ワンド						
水深 (m)			0.5- 1.0			
水温 (標準偏差) (°C)	11.4 (0.21)	11.0 (0.00)	9.3 (0.12)	16.2 (0.23)	18.4 (0.75)	19.6 (0.32)
DO (標準偏差) (mg/L)	6.1 (0.04)	5.6 (0.00)	10.5 (0.50)	8.4 (0.46)	8.4 (0.51)	10.3 (2.54)
EC (標準偏差) (mS/m)	18.3 (0.31)	14.2 (0.00)	18.8 (1.22)	20.2 (0.00)	17.7 (2.21)	20.2 (0.00)

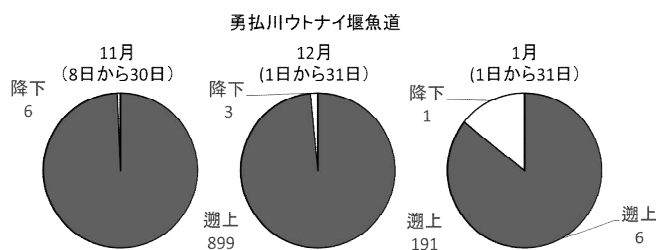


図-2 ウトナイ魚道の遡上数と降下数の割合 11月は8日から30日、12月および1月は1日から31日まで計測した。それぞれの母数に違いがあることに留意。

り低かった。

3. サケカウンターの特長

両河川魚道に設置したサケカウンターは、鉄骨製の架台に2.0 m × 0.8 m (長さ×幅)の木製水路がついている。この木道魚道に3本のセンサー電極を流下方向に上流端から30 cm間隔で設置し、両端に5.0 Vの電圧を印加している。この木製水路を魚道の隔壁間に設置し、センサー上の流水の電気抵抗を計測する。センサー上を対象魚が通過した際に、流水の電気抵抗が変化し、センサーから出力される電圧信号がパルス状の波形を描く。パルス波の形状により遡上・降下を判定して遡上数を計数する¹²⁾。

カウンターセンサからの信号の読み取りはFishCountSystem_Anlyzer03 (田村電子工房、高崎市)を使用した。これは、遡上個体を作る波形だけではなく、遡上か降下を自動判別する能力があり、そのほかに判定不能なものも計数する。また、閾値を設定することで、サケではない小型魚を一定の精度で判別することも可能である。今回はこの閾値を1000 mVに設定して、遡上と降下と判断されたものを研究対象とした。なお、設置時の各カウンター木製魚道の流速と水深は、162.2 cm/s および 20.2 cm だった。

4. 十勝川における稚魚放流

2018年の春期には、4箇所的一般社団法人十勝釧路管内さけ・ます増殖事業協会の事業所と北海道区水産研究所(北水研)のふ化場1箇所から、約4,500万尾の放流が行われた。4月上旬から始まり、5月中旬に最も多くなり、6月に終了した。また、4月中の放流はほとんど北水研の事業所から放流されていた。なお、サケ稚魚はおもに事業所およびふ化場付近の河川(メシ川および猿別川)から放流される。

5. 稚魚捕獲と捕獲個体の胃内容物および耳石標識分析

旧川およびワンドで魚類捕獲調査を実施し、緩流域を利用するサケ稚魚の個体数を明らかにした。捕獲調査は、4月中旬から1から2週間程度の間隔をおき合計6回実施した。調査は平成28年4月中旬(12日)、下旬(26日)、5月上旬(9日および10日)、中旬(16日および17日)、下旬(24日)、および6月上旬(7日)である。旧川およびワンドは潮位の影響を受けるが、すべての調査日で概ね水位が一致する日中の時間帯に合わせて実施した。

サケ稚魚の捕獲は引き網と投網を用いた。引網は旧川では4回、ワンドでは3回実施した。一方、投網はどちらの調査地でも7回実施した。捕獲した面積は旧川およびワンドでそれぞれ、0.003 km²と0.006 km²である。捕獲したサケ稚魚は、それぞれの調査回ごとに個体数と尾叉長を記録した。捕獲した個体は胃内容物および耳石分析用の標本を除き速やかに放流した。

旧川およびワンドにおけるサケ稚魚の摂餌の有無を明らかにするため胃内容物を分析した。各回、各地点無作為に5個体程度以上の標本を選び、捕獲数が多かった場合は標本数を増やした。持ち帰った標本は、実体顕微鏡下で胃内容物を可能な限りの分類レベルで同定した。

本調査の第1回(4月中旬:4月12日)のサケ稚魚捕獲時には、ふ化場からの放流は本格的には行われていない。そこで、第1回の捕獲個体に野生魚が含まれているかどうかを知るために第1回調査時にワンドで捕獲された個体から、35個体を無作為に抽出し、耳石分析をおこなった。耳石分析は北海道区水産研究所で行った。

6. 結果及び考察

6.1 計測期間中のシロザケの行動

ウトナイ魚道では11月の3日間(9、10および11日)に多くの遡上があったことから、11月遡上数(899個体)で測定期間中の遡上全個体数(1,096個体)の82%を越えていた。12月までは一定量の遡上があるが、1月はほとんど遡上していない。また、降下はほとんどみられなかった(図-2)。特定の日に遡上が多くなったのは、降雨により水位が上昇したためだと考えられる。

遡上数の多かった11月9日から11日では96%が夜間に遡上していた。12月もこの傾向は変わらず、遡上の62%、降下の79%が夜間に行われていた(表-2)。

表-2 ウトナイ堰魚道(ウトナイ魚道)と千代田新水路階段魚道(新水路魚道)の夜間における遡上数および降下数。

対象観測日	ウトナイ魚道	
	遡上	降下
11月(9-11日)	593(617)	1(1)

Note: ウトナイ魚道のデータは遡上数が多かった11月9日から11日を用いた。()内に昼間を含めた全移動数を示す。

サケ科は目で見て採餌するため夜間は睡眠するといわれているが、産卵時期の移動は産卵行動のためのものがほとんどであることから、一般的に知られているサケ科魚類の行動とは関係なく夜間にも移動していると考えられた。

6.2 稚魚捕獲数と放流数の変動

本研究により調査期間中に十勝川河口の旧川とワンドにおいてサケ稚魚が確認された。採取したサケ稚魚は旧川が98個体、ワンドが399個体で合計495個体だった。河口域の旧川とワンドの両箇所でもサケ稚魚を捕獲することができ、サケ稚魚によるこれら緩流域の利用を確認できた。どちらの調査地でも40から50mmおよび50から60mmの階級での捕獲数が多かった(図-3)。

旧川における捕獲時期別捕獲数を比べると、4月下旬が最も多く、全捕獲数(98個体)の約60%を占めていた(表-3)。次に5月下旬の22個体、続いて5月上旬の10個体が多かった。この3回で全捕獲数の90%以上を占めており、それ以外の捕獲日では0個体と捕獲数が調査日によりばらついた。捕獲数の多かった4月下旬は個体又長40から50mmで、次に捕獲数が多かった5月下旬は50から60mmの個体が多かった。

ワンドにおける捕獲時期別捕獲数は、旧川とは異なり、4月中旬(4月12日)が168個体と最も多く、次いで5月下旬(5月24日)が102個体とこの2時期で多く捕獲されていた(表-3)。6回目捕獲(6月7日)の11個体(全捕獲数の3%以下)を除けば、4月下旬から5月下旬まで、全捕獲数の10%前後の捕獲数で安定して捕獲されている。捕獲数の多かった4月中旬は尾又長40から50mmの捕獲数が多かったが、5月上旬以降は尾又長50から60mmが多かった。これは旧川とワンド量調査地点で同様な傾向だった。

十勝川におけるサケ稚魚の放流数は5月中旬が最も多い(4. 十勝川における稚魚放流参照)。一方で、旧川とワンドの捕獲数のピークは、それぞれ、4月下旬と4月中旬(表-3)。このように今回の調査によるサ

表-3 各調査日毎の十勝川河口域における旧川とワンドで捕獲されたサケの胃内容物

調査日	2018年 4月12-13日		2018年 4月26-27日		2018年 5月9-11日		2018年 5月16-18日		2018年 5月23-24日		2018年 6月6-7日	
	旧川	ワンド	旧川	ワンド	旧川	ワンド	旧川	ワンド	旧川	ワンド	旧川	ワンド
調査箇所												
捕獲個体数	5	168	57	26	10	49	4	43	22	102	0	11
分析個体数	3	20	12	16	8	13	4	14	15	15	0	11
平均尾又長(mm)	45.0	49.8	47.8	46.6	53.0	51.7	53.0	50.6	50.5	55.7	-	48.9
網	個体数 ^{※1}											
顎脚綱	ソコムジコ目 ^{※2} +++++											
クモ綱	ダニ目 1											
	クモ目 2											
軟甲綱	ヨコエビ目 9											
	カゲロウ目 11											
	カワゲラ目(幼虫) 3											
	カワゲラ目(成虫) 1											
	カメムシ目 2											
	トビケラ目 3											
	チョウ目 1											
	科(幼虫) 24											
昆虫綱	科(蛹) 55											
	科(成虫) 34											
	ハエ目(幼虫) 1											
	ハエ目(成虫) 34											
	コウチュウ目 1											
	アリ目 4											
	その他陸生昆虫 12											
硬骨魚綱	その他魚類 13											

※1) 個体数は、標本ごとに確認した昆虫類の数の合計を示す。「昆虫類の全体の形状が概ね確認できる」、「頭部のみ」は1個体としてカウントし、それ以外(例えば「足の一部」等)は不明昆虫片としている。

※2) ソコムジコ目は、最大数を記載した(+:0~10個体, ++:11~100個体, +++:101~500個体, ++++:501~1000個体)。

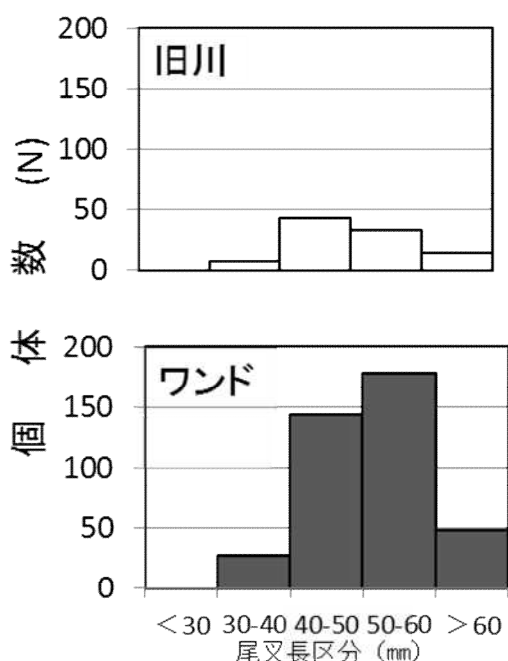


図-3 旧川とワンドで捕獲されたサケ稚魚の尾叉長別の個体数

サケ稚魚の捕獲ピークは、上述の十勝川におけるサケ稚魚の放流数のピーク(5月中旬)と合致していない。

捕獲数のピークがみられた4月中旬から下旬の海水温は3℃から6℃で、サケ稚魚の生息にとって適温ではないことから、旧川やワンドが沿岸生活できる時期を待つ場所である可能性が考えられる。このため、海水温の低い4月に上流から降下してきたサケ稚魚が緩流域に進入し、海水温より高い水温のワンドや旧川で滞留することで、一時的にその場の個体数が増加していたのかもしれない。このことから、捕獲数と放流数のピークとが異なるという結果がみられたのではないと思われる。

ワンドでは4月中旬に耳石に標識が認められない無標識個体が多く確認された(図-4)。耳石への標識は、放流個体に対し、発眼卵の段階で水温調整により耳石に一定の標識を付ける技術である。これにより耳石の標識を読み取ることで、放流時期と場所(事業所)が判明する。しかし、十勝川においてこの耳石への標識を行っているのは、水産研究所十勝さけます事業所のみで、増殖事業協会の放流魚には標識がついていない。したがって、無標識の個体が必ずしも野生魚であるとは限らない。

しかし、この時期の増殖事業協会の放流個体はわずかであること(全体の11%)、放流魚(通常は重量1g、尾叉長約5cm程度で放流される)に比べて、一般に野生魚は小さい。このことから、今回捕獲された無標

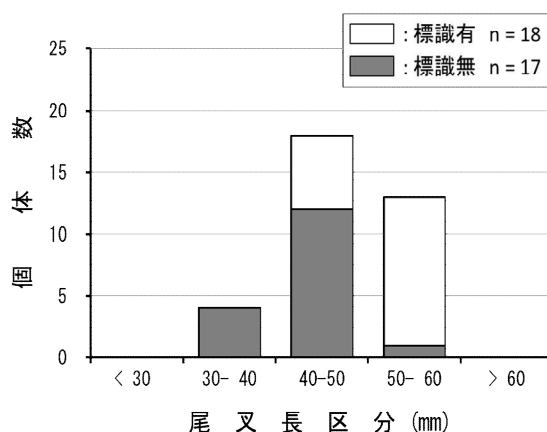


図-4 4月中旬(4月12日)にワンドで捕獲されたサケ個体の尾叉長区分ごとの無標識魚と放流魚の割合

識個体の多くが自然産卵による野生魚である可能性がある。これまで流域内における親魚による自然産卵の有無は、バイオテレメトリーといわれる行動計測手法により調査可能となってきた¹³⁾。十勝川でも放流河川以外でも複数河川で自然産卵が行われている。また、産卵床環境を満たす河川区間も多く存在していることから¹⁴⁾、自然産卵による野生魚が生息している。4月捕獲の個体には多くの野生魚が含まれていた可能性が高い。このことから捕獲数と放流数のピークが異なる結果がみられた可能性が考えられる。

6.3 胃内容物分析結果と河口部緩急域の機能

旧川とワンドいずれの調査地においても多くのサケ稚魚の胃内容物に昆虫等の餌生物が確認された。また、いずれの調査地の個体にもユスリカ科(Chironomidae spp.)が多く含まれていた。旧川ではカワゲラ目(Plecoptera spp.)やトビケラ目(Trichoptera spp.)など流水性底生動物が胃内容物に多く含まれていた。ワンドではソコムジンコ目(Harpacticoida spp.)やヨコエビ目(Amphipoda spp.)などの止水性大型無脊椎動物が多く含まれていた(表-3)。

止水域である旧川では流水性底生動物が生息している可能性は低いため、河川降河時に摂餌したものと思われる。一方、ワンド内はほぼ止水であることから、ワンドにおけるサケ稚魚の胃内容物に見られた止水性底生動物は、ワンドで採餌されたものであると考えられる。また、4月中旬のワンドの水温は海洋でプランクトンなどの採餌を行う水温¹⁵⁾程度はあることから、これらの緩流域が水温上昇までの滞留場所に加えて、採餌場として機能している可能性が考えられる。

7. まとめ

サケカウンターを使用することにより、トラップ調査等ではわかりにくかった長期間の遡上数や降下数が明らかになった。また、今回の調査から夜間に遡上する個体がかかりいることもわかった。このようなカウンターの使用により長期間 24 時間計測による遡上数や降下数があきらかになり多くの構造物に付帯する魚道等の評価に役立つと期待される。

本研究の結果により、人工的な旧川跡やワンドといった緩流域が、サケ生息域においては、サケ稚魚の降河そして降海する時期に利用されていることが明らかになった。また、十勝川の旧川跡やワンドがサケ稚魚の降海前の滞留場所として利用されていることや、サケ稚魚の採餌が確認され、十勝川の旧川跡やワンドは餌場としても機能している可能性も明らかになった。この事実はこれまで整備されたあるいは、今後整備されるワンドにおいて、注目する魚類としてサケ稚魚を検討する必要があることを意味している。さらに、本研究によって、サケ稚魚が生息する河川においては、人工的なワンドでも、その機能として生物生態系保全に加えてサケ資源保全の可能性が示唆された。このような地域では、緩流域造成や現在存在している緩流域の機能としてサケ科魚類の保全の視点も考慮に入れる必要がある。

参考文献

- 1) 眞山紘 (2004) さけ・ます類の河川遡上生態と魚道, さけ・ます資源管理センターニュース 13: 1-7.
- 2) Noonan M. J., Grant, J. W. A. and Jackson C. D. (2012) A quantitative assessment of fish passage efficiency. *Fish and Fisheries* 13: 450-464.
- 3) ダム水源環境整備センター ダム水源環境整備センター (199 1998) : 最新魚道の設計—魚道と関連施設, 信山社サイテック, 581p
- 4) Welsh S. A and Aldinger J. L. (2014) A Semi-Automated Method for Monitoring Dam Passage of Upstream Migrant Yellow-Phase American Eels. *North American Journal of Fisheries Management* 34: 702-709.
- 5) 帰山雅秀・眞山紘(1996)野生産サケの復活をめざして, 魚と卵 165: 41-52.
- 6) Bax, N. J. (1983) Early marine mortality of marked juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) released into Hood Canal, Puget Sound, Washington, in 1980. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 40: 426-435.
- 7) Healey, M. C.(1982) Timing and relative intensity of size-selective mortality of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) during early sea life. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*39: 952-957.
- 8) 関 二郎(2005) 北海道太平洋沿岸域におけるサケ幼稚魚の摂餌特性と餌料環境に関する研究, さけ・ます資源管理センター研究報告 7:1-104.
- 9) Bottom, D., K. Jonesb, T. Cornwellb, A. Grayc and C. Simenstadc(2005)Patterns of Chinook salmon migration and residency in the Salmon River estuary (Oregon), *Estuarine, Coastal and Shelf Science*64:79-93.
- 10) Shreffler, D., C. Simenstad and R. Thom(1990)Temporary Residence by Juvenile Salmon in a Restored Estuarine Wetland, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*47:2079-2084.
- 11) Gray, A., C. Simenstad, D. Bottom and T. Cornwell(2002) Contrasting Functional Performance of Juvenile Salmon Habitat in Recovering Wetlands of the Salmon River Estuary, Oregon, U.S.A., *Restoration Ecology*10:514-526.
- 12) 近藤康行・権田豊(2012)魚カウンターによるサケの遡上計測に関する研究, 土木学会論文集 G (環境) 68(1): 1-12.
- 13) 有賀 誠・津田 裕一・藤岡 紘・本多 健太郎・光永 靖・三原 孝二・宮下 和士(2009)石狩川におけるシロザケ *Oncorhynchus keta* の遡上行動—テレメトリーシステムの利用—, 応用生態工学 12:119-130.
- 14) 卜部浩一(2015)十勝川水系札内川における二次流路の環境特性.北水試研報 88:33-42.
- 15) Nagata, M., Y. Miyakoshi, D. Ando, M. Fujiwara, M. Sawada, H. Shimada and H. Asami(2007) Influence of coastal seawater temperature on the distribution and growth of juvenile chum salmon,with recommendations for altered release strategies. *North Pacific Anadromous Fish Commission Bulletin* 4:223 -235.

17.2 生産力向上と漁業振興に向けた海洋及び河川・沿岸構造物の増養殖機能強化のための水産環境整備技術の開発

17.2.3 漁港港湾の静穏域を活用した栽培漁業支援技術に関する研究

担当チーム：寒地水圏研究グループ（水産土木チーム）

研究担当者：伊藤敏朗、河合浩、丸山修治、須藤賢哉、梶原瑠美子、稲葉信晴

【要旨】

本研究は、漁港港湾における構造物の水産生物に対する増養殖機能強化に資する技術開発として、漁港港湾の有効活用手法及び整備技術について検討するものであり、漁港港湾の泊地や遊休化した施設等を水産生物の増養殖場として有効活用するために必要となる手法及び技術の開発による増殖機能付加型漁港の整備に資する技術の確立を目標としている。

初年度にあたる平成 30 年度 (2018) は対象漁港にて材質・空隙の異なる基質に放流した稚ナマコの個体数変化、体成長及び稚ナマコの餌料環境調査を実施した。

キーワード：栽培漁業、種苗放流、稚ナマコ、生息基質、空隙、餌料環境

1. はじめに

北海道は水産物の生産量、生産額共に日本一であり、全国の約 2 割程度を占め我が国における水産物の安定的な供給に貢献している。一方で、漁業者の高齢化や就業者数の減少、燃料費の高騰などの様々な問題に伴い、沖合漁業から沿岸の磯根漁業への転換が急速に進んでいる。近年、スケトウダラやスルメイカ、ホッケなどの漁獲不振等により疲弊する日本海漁業の再生と水産生産の安定化は喫緊の課題である¹⁾。

我が国では漁港漁場整備法(昭和 25 年法律第 137 号)に基づき、漁港漁場整備長期計画 (H29-H33) を定め、「漁港ストックの最大限の活用と漁村のこぎわいの創出」を重点課題として位置付け、浜や漁業地域全体の活性化を目指し、漁港機能の再編・集約化に伴う港内泊地の有効利用についての取り組みが精力的に進められている。具体的な港内泊地の有効活用策として、高い静穏性を生かした水産有用種の増殖や生育場をなる施設整備が検討されている^{2),3)}。

近年、世界的な漁食需要の高まりを背景に北海道においても水産物の輸出金額が増加傾向で推移している(図-1 A)。特に中華圏向けの輸出量増大に伴い北海道産のマナマコの需要が高まっており、1990 年代には 6 億円前後で推移していた漁獲金額は、2003 年以降劇的に増加し、2010 年には 100 億円を超えた⁵⁾。輸出金額においても、水産品輸出総額の内、ホタテに次ぐ第 2

位の地域の主力産業となっており、地域漁業を活性化させる魚種として注目されている(図-1 B)。

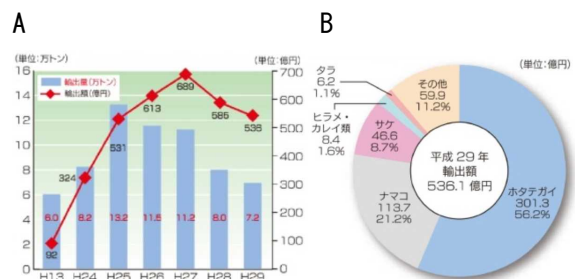


図-1 北海道における水産物輸出量及び金額の推移とその内訳⁴⁾

一方で、高まる需要を背景に資源量は減少し、体サイズの小型化など乱獲の兆候を示す漁場も多く見られている。現在、道全域でナマコ資源の回復を目指した種苗放流が精力的に実施されているが、未だ効果は限定的あるいは低位である。強い波浪や流れによる稚ナマコの流出による著しい初期減耗が報告されており^{6),7)}、漁港港湾等の静穏域を稚ナマコの放流場及び育成場として利活用する事が有効であると考えられる。一方で、漁港港湾等に生息するナマコの生態に関する調査や稚ナマコ育成に特化した生息環境創出手法の検討事例は少なく、不明な点が多い。このため静穏域における、ナマコ生息環境として適切な基質の特性(材質や空隙

等) や餌料環境などの検討を実施し、稚ナマコ育成に適した漁港港湾施設の有効活用手法及び整備技術の開発は重要な課題である。そこで、当チームは、漁港港湾構造物の水産生物増養殖機能強化に資する技術開発の一環として、ナマコを対象生物とした漁港港湾の有効活用手法および整備技術の構築を目指し調査・研究を進めている。

平成 30 年度(2018)は対象漁港に設置したナマコ種苗放流・中間育成場としての試験礁内の稚ナマコ個体数の経時変化及び成長が基質や空隙によってどう変化するか、また基質や空隙、環境の違いが稚ナマコの餌環境に与える影響について検討を行った。

2. 調査方法

2.1 調査対象漁港

対象漁港は北海道南部の漁港であり、泊地の底質は主に砂質である。漁港の左右には小規模河川が存在することが特徴的である(図-2)。



図-2 調査対象漁港
(試験礁の設置位置 A, B, C 地点)

2.2 実証試験方法

2.2.1 試験礁の設置

当漁港における実証実験として種苗放流・中間育成場としての試験礁を、防波堤の近傍(A地点、B地点)と対象地点として港内中央部(C地点)に設置することとした(図-2)。これは、放流した稚ナマコが漁港構造物(防波堤マウンド等)への移動など利用する事を考慮したためである。試験礁の設置は、放流約一ヶ月前の2016年11月に実施した。

2.2.2 放流試験礁

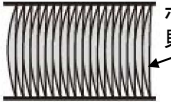
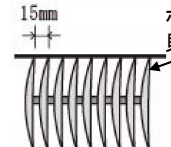
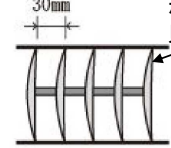

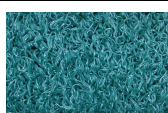
放流試験礁は、中心に小型貝殻ブロック「貝藻くん」(写真-1、NETIS登録No. CGK-150001-A、開発会社: 海洋建設株式会社)を配置し、その周辺に空隙の異なる



写真-1 小型貝殻ブロック
(海洋建設株式会社 NETIS 登録 No. CGK-150001-A)

5種類のユニットを設置したものである(表-1)。図-3は放流試験礁全体(単位: 1基)を示しており、この試験礁を各地点(図-2 A, B, C 地点)に5基ずつ、合計15基を設置した。ユニットの種類、空隙は、表-1に示している。材料としてはホタテ貝殻、石材、透水マットを用い、それらを円柱状高密度ポリプロピレンメッシュパイプに入れ、3セットを1ユニットとした。ホタテ貝殻を用いた基質については任意の空隙(0mm, 15mm, 30mm)を再現するためにスペーサーを用いた。この試験礁は放流した稚ナマコの初期流出を防止し、中間育成の場としての稚ナマコの利用を目的とし、更に空隙や材質の違いによる定着や成長、餌環境の差異について検討するための設計となっている。

表-1 基質(ユニット)

ユニット名	構造	材料等
ホタテ 0	 ホタテ貝殻	材料: ホタテ貝殻 ※スペーサー無し
ホタテ 15	 15mm ホタテ貝殻	材料: ホタテ貝殻 ※15mm スペーサー
ホタテ 30	 30mm ホタテ貝殻	材料: ホタテ貝殻 ※30mm スペーサー
石		材料: 割石 ※代表径 2cm~4cm
透水マット		材料: ポリプロピレン ※プラスチック立体網状形成品 ※NETIS登録No. KT-140118-A

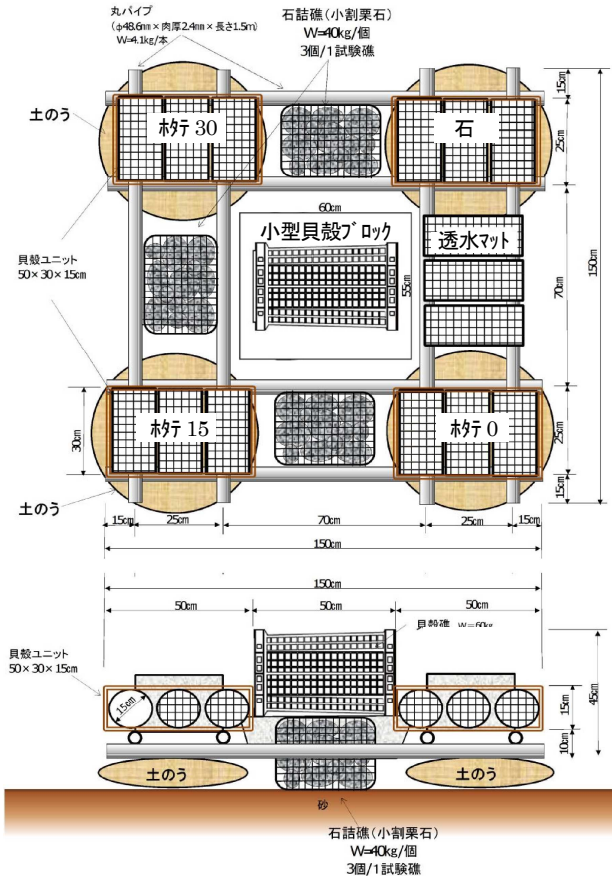


図-3 放流試験礁（全体）

2.2.3 ナマコ個体数調査

放流後の稚ナマコ個体数調査は、1回の調査で各地点（A、B、C地点）に5基ずつ設置した放流試験礁のうち1基のみ陸揚げを行い、小型貝殻ブロックと各ユニットから稚ナマコを取り分け、計数するとともに体長・体幅、湿重量の測定を行った。計測後の稚ナマコは各ユニットに再放流した。放流1年目（2017年）の追跡調査は、2月、4月、6月、8月、10月、12月の計6回、2年目（2018年）は3ヶ月に一度（3月、6月、9月、12月）の計4回実施した。放流数は図-3の中心にある小型貝殻ブロックに約2,000匹/基とした（2,000匹×5基×3地点=合計30,000匹）。また、放流はダイバーが行い、稚ナマコの水中での逸散を防止するため、事



写真-2 放流状況

前にネットをかけて、ネット内部に放流した（写真-2）。

2.2.4 基質バイオフィルムのクロロフィル a 及びフェオフィチン測定

試験礁内に配置している各基質（表-1）の表面に形成されるバイオフィルム中のクロロフィル a 及びフェオフィチン量について 2018年6月、9月、12月の3回調査を実施した。基質上のバイオフィルムはハブラシを用いて良く剥離させた後、予め一定量の滅菌人工海水で満たした遠沈管に懸濁させ、GF/F フィルターを用いて濾過した。濾過試料はその場で 90%アセトンに浸出させクロロフィル a の抽出を行い、蛍光法にてクロロフィル a の蛍光値を測定した。また、酸処理をしたものをフェオフィチン量とし測定した。

3. 調査結果と考察

3.1 実証試験結果

3.1.1 試験礁内のナマコ個体数調査

稚ナマコ放流後の地点生息個体数（小型貝殻ブロックを除く）の調査結果を図-4に示す。稚ナマコは小型貝殻ブロックに放流後、時間の経過と共に試験礁全体に移動していくことが認められた（図-4）。一方で、A地点は個体数の増加の度合いが小さく、放流後342日後（2017年11月）では減少に転じ、2年後の定着数も他の2地点と比較し半分程度であった。これはA地点が河川や港外の影響を受けやすい地点で、写真-3のように放流試験礁の基質ユニットが堆積物に埋没する事が大きく影響したと考えられる。図-5は調査期間中の基質別のナマコ個体数割合の変化を示している。2年後の基質毎の個体数はA地点についてはホタテ15及び30が一番高く、次ぎに石が多かったが、試験礁の埋没などの影響もあり、全体の個体数は低位であった。B及びC地点については、両地点ともホタテ15>ホタテ30>ホタテ0>石>透水マットの順で個体数の違いが認められた。放流1年目はホタテ0の個体数が高い傾向が確認されたが、2年目以降からホタテの空隙が大きいユニット中の個体数の全体に占める割合が増加傾向を示した。図-6に2年後の地点別試験礁内のナマコの平均標準体長を示したが、空隙が大きくなるに従い平均標準体長が高い事が分かる。以上の事は、稚ナマコが成長に伴い利用する空隙を変化させている事を示唆している。一方で、2年後の個体数が一番低かったA地点では平均標準体長が最も高かった事から、埋没を逃れた大きな個体が選択的に生残した可能性が考えられるが、基質毎の大きな違いは見られなかった。

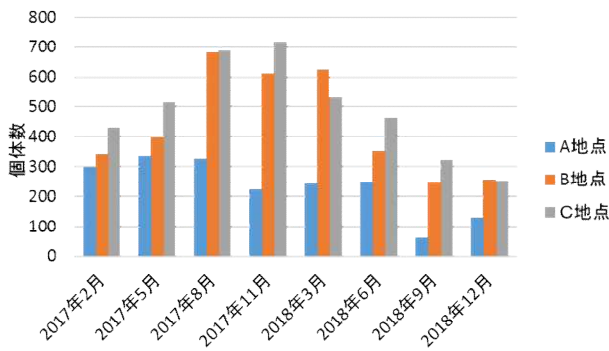


図-4 地点別の生息個体数(5種類のユニットの合計)

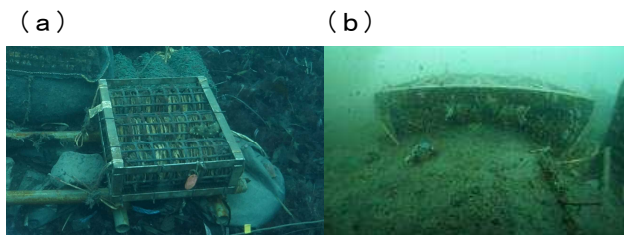


写真-3 A地点の堆砂状況((a)堆砂前、(b)堆砂後)

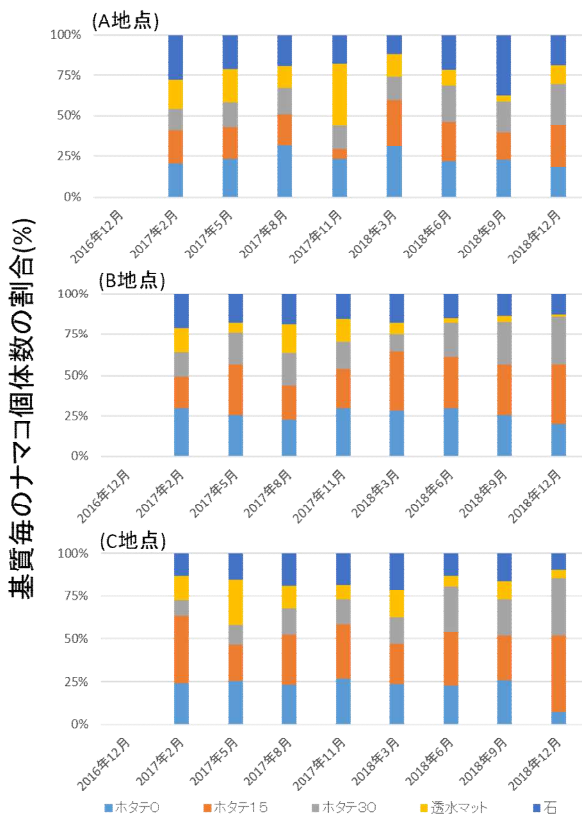


図-5 ナマコ個体数の基質別の割合

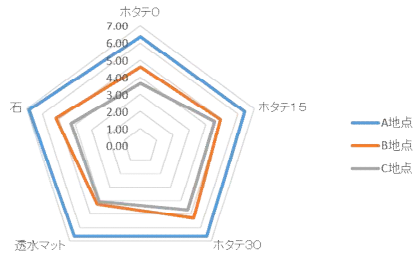


図-6 2年後の平均標準体長 (cm)

3.1.2 基質毎のクロロフィルa及びフェオフィチン量

基質毎の餌環境の指標としてのクロロフィルa及びフェオフィチン量及び割合について図-7に示した。両色素量の合計を基質間で比較するとホタテ 30>15>透水マット>石>ホタテ0であった事が認められた。特に基質ホタテで比べると空隙が大きくなればなるほど色素の総量は増え、特にクロロフィルa量の全体に占める割合が高まることを示している。前述で試験礁内のナマコの平均標準体長が、ホタテの空隙が大きくなるに従い高い傾向が認められている事から、クロロフィル及びフェオフィチン量(餌環境)と体成長が密接に関係している事が考えられる。

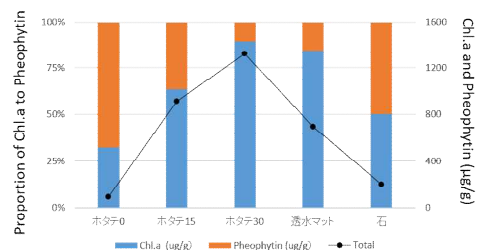


図-7 基質毎のクロロフィルa及びフェオフィチン量と割合

4. まとめ

「栽培漁業支援強化のための漁港港湾の有効活用手法および整備技術に関する研究」における平成30年度(2018)の検討結果について以下に取りまとめる。

- ・材質はホタテ、空隙が15mm及び30mmの基質で稚ナマコの比較的良好的な定着が確認された。
- ・空隙が大きい基質ではクロロフィルaやフェオフィチンが高く、平均標準体長の大きなナマコが多かった事から、体成長と空隙と餌料環境の密接な関係性が示された。
- ・生息空間を埋没させるほどの流入堆砂や漂砂移動が大きな堆積傾向の強い環境は、ナマコ中間育成を行う場所として適さないと考えられる。

今後も上記の調査、解析を継続的に行うことで、栽培漁業支援強化のための漁港港湾の有効活用手法および整備技術の開発を進める予定である。

参考文献

- 1) 北海道水産林務部：日本海振興基本方針、2014.
- 2) 農林水産省：水産動物の種苗の生産及び放流並びに水産動物の育成に関する基本方針、2015.
- 3) 北海道開発局：北海道マリンビジョン2 1（改訂版）北海道漁港漁村の将来像、2013.
- 4) 北海道開発局：知る・学ぶ - 北海道の漁業 -
<https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/ns/suisan/ud49g7000000q5ut.html>
- 5) 地方独立行政法人北海道立総合研究機構水産研究部：“マリンネット北海道”
<http://www.hro.or.jp/list/fisheries/marine/index.html>
- 6) 光永直樹，松村靖治：サイズ別に放流した人工稚ナマコの成長と生残，長崎水産試験場研究報告書，第30号，pp.7-13，2004.
- 7) 桑村勝士，有江康章，小林信，上妻智行：人工増殖場に放流したマナマコ（アカナマコ）の移動生存および成長，福岡水研報，第5号，pp.9-14，1996.

17.2 生産力向上と漁業振興に向けた海洋及び河川・沿岸構造物の増養殖機能強化のための水産環境整備技術の開発

17.2.4 自然再生産を目指した水産有用種の行動に着目した河川・沿岸構造物の評価・改善手法に関する研究

担当チーム：寒地水圏研究グループ（水環境保全）
研究担当者：村山雅昭、谷瀬敦、布川雅典

【要旨】

サケの北海道沿岸域での回帰行動には不明な点が多く残されており、湾内や沿岸のサケ回遊行動が調べられてきたが、沿岸構造物による回遊への影響についての報告は少ない。十勝川周辺の沿岸に設置されている漁港等の形状は、沖合に突堤が伸びる形状となっており、サケの回遊にこのような構造物が影響している可能性が考えられた。そこで本研究では、超音波バイオテレメトリーシステムを用いて厚内漁港周辺の定置網周り定置網回避後の行動と、定置網周辺から十勝川河口までの行動を調査した。その結果、漁港で放流した個体は、いずれも速やかな港外への移動し、サケは港内に迷入した場合でも、本来の回帰ルートに戻れることが示唆された。定置網で放流した多くの個体は、一度沖合に戻り、再び母川を求めて遊泳している可能性が高いことも明らかになった。さらには放流 15 個体の内、6 個体を十勝川河口周辺で確認した。さらに、河川(猿別川)上流まで遡上が確認されたもの 2 個体だった。本研究で得られた結果はサケ資源の管理に向けての沿岸構造物の影響を考える上で基礎的なデータとなる。

キーワード：沿岸回遊、バイオテレメトリー、漁港、サケ

1. はじめに

北海道のサケは河川から降海した後、沿岸域で数週間過ごす。さらに、オホーツク海および西部亜寒帯ジャイアを経て、ベーリング海・アラスカ湾で成熟して北海道にもどってくることが明らかとなっている¹⁾。また、河川等の淡水域での遡上動態はその研究例も多く、過年度の寒地土木研究所の研究においても数多くなされている。それに対して、回帰中の北海道沿岸域での行動には不明な点が多く残されている。

サケは食糧資源として重要視されてきた。日本では、1929 年にサケ・マス流し網漁法が開発され、沖合域での漁獲が可能となった。第二次世界大戦後はマッカーサーラインによる制限を受けていたが、1952 年のサンフランシスコ講和条約発効により、マッカーサーラインが撤廃され、沖合でのサケ・マスの漁獲が盛んとなった。その後、排他的経済水域の概念発達や、1993 年に発効した北太平洋における溯河性魚類の系群の保存のための条約 (NPAFC 条約) による公海上での漁獲の禁止等から、沖合でのサケ・マスの漁獲は激減している。

北海道におけるサケ・マス類の捕獲はそのほとんどが定置網を用いる。つまり近海で捕獲されている。一方で、沖合における漁獲は、平成 24 年から 26 年までは流し網によるものが全体漁獲のわずかに約 5%程度であった。しかし、平成 27 年以降は、ロシアによる流し網漁禁止法の成立の影響を受けて激減している。このため近年では、沿岸域におけるサケの捕獲は重要度を増してきている^{2,3,4,5,6)}。

このようにサケ資源量の重要性から、これまで湾内や沿岸のサケ回遊行動についてはよく調べられてきた。それらは、生理学的あるいは行動学的興味で注目されることが多く、沿岸構造物による回遊への影響についての報告は少ない。

十勝川周辺の沿岸は、北東からの流砂が多く、この地域に設置されている漁港等の形状は、設置当時から改良され、現在、大津港や厚内漁港などは沖合に突堤が伸びる形状となっており、厚内漁港の長さは沿岸から 600 m にもなる。これらの漁港周辺の定置網の設置位置が沿岸から 2.5 km であることを考えると、サケの母川への回遊にこのような構造の施設が影響して



図 1 厚内漁港位置図（国土地理院電子国土 web site より）

いる可能性が考えられる。

そこで、バイオテレメトリー手法を用いて、厚内漁港周辺の定置網周り定置網回避後の行動と、定置網周辺から十勝川河口までの行動を調査した。

2. サケ行動調査方法

2.1 調査地

調査地点は、漁港周辺域を「漁港内」「漁港外」、河川域を「十勝川」および「厚内川」に区分し、それぞれで調査地点を 1 点以上設定した。各区域の概要を以下に示す。

(1) 漁港周辺

厚内漁港は北海道十勝郡浦幌町厚内に位置し、太平洋に面している（図-1）。北海道太平洋側の沿岸は、親潮の影響範囲であり、親潮系水塊は栄養塩が豊富で漁獲が多い。このため、多くの漁港が設置されている。厚内漁港は、湾構造を持たず外洋に直接接する位置にある。そのため、比較的波が高く、長さ 600m 程度の大規模な堤防が配備されている（図-1）。また、堤防の東西にはサケ定置網が存在している。

サケは、漁港内に年間約 300 万尾、隣接する厚内川には 150 万尾放流されており⁷⁾、漁獲されたサケの一定割合は放流魚体であることが推察される。

(2) 河川域

1) 厚内川

厚内川は浦幌町にあり、その河口は厚内漁港の西に

隣接する。厚内川では、サケが年間 150 万尾放流されている⁷⁾。

2) 十勝川

十勝川は、その源を大雪山系の十勝岳（標高 2,077 m）に発し、山間峡谷を流れて十勝ダムを經由して十勝平野に入り、畑作地帯を流下しながら佐幌川、芽室川、美生川、然別川等多くの支川を合わせて、流域最大の市街地である帯広市に入る。その後、急勾配である音更川および札内川、利別川等を合わせ、低平野に広がる畑作地帯を流下し、豊頃町において太平洋に注ぐ、幹線流路延長 156 km（全国 17 位）、流域面積 9,010 km²（全国 6 位）の一級河川である。十勝田和の河床勾配は、然別川合流点付近までの上流部が約 1/200～1/450、然別川合流点付近から利別川合流点付近までの中流部が約 1/600～1/1,200、利別川合流点付近から河口までの下流部が約 1/3,000～1/5,000 である。

十勝川流域には、サケ捕獲場が千代田堰堤（十勝川）と猿別川うらいの 2 箇所あり、平成 30 年度は 117,300 尾捕獲の計画である。また、ふ化施設は 5 カ所あり、計 60,500 千尾の稚魚を放流する計画である⁷⁾。

2.2 供試魚の準備、発信器の装着

供試魚を準備し、陸上で発信器を装着後、厚内漁港内または浦幌町定置 1 号周辺で放流した。これらの作業は 9 月 20 日および 21 日に行った。

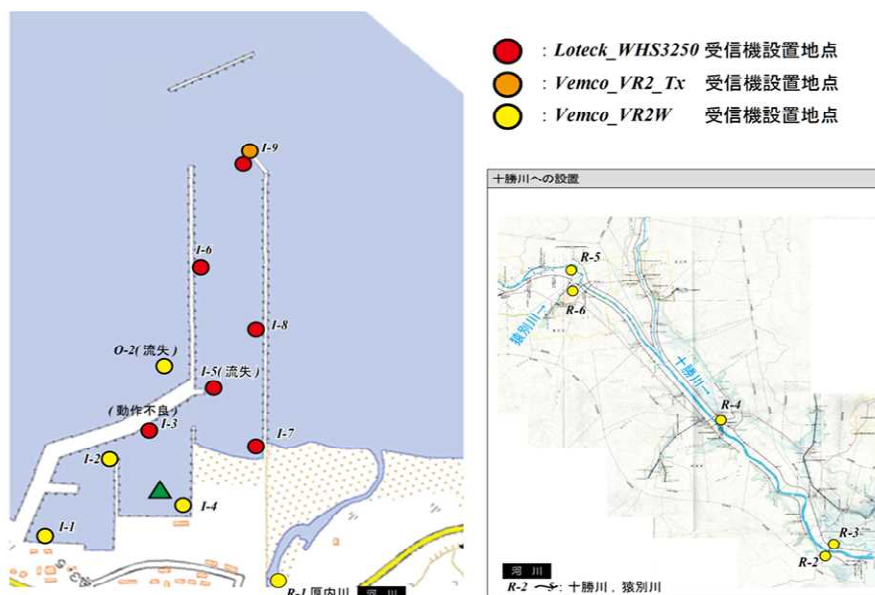


図-2 漁港内および河川での超音波受信機設置位置（国土地理院電子国土 website を一部使用）



図-3 漁港外の超音波受信機設置位置

サケ 15 尾は、浦幌鮭定置 1 号で採捕し直ちに船上にて、体重と尾叉長を測定後、無麻酔で超音波発信器を装着した。12 尾には Lotek Wireless 社製 MM-MR-11-45 を装着し、3 尾には Lotek Wireless 社製 MM-MR-11-45TP（温度塩分センサー付き）を装着した。

サケは船上にて発信器装着後、船上の水槽内に馴致し異常が認められないことを確認した後、浦幌定置網 1 号で 12 尾放流した。また Lotek Wireless 社製 MM-MR-11-45TP（温度塩分センサー付き）を装着したサケ 3 尾は、漁港まで持ち帰り、漁港内で放流した。

2.3 超音波受信機の設置

超音波受信機は、厚内漁港内 10 基、河川 6 基（厚内川 1 基および十勝川 5 基）、厚内漁港外 6 基合計 22 基設置した(図-2 および 3)。使用した受信機は、Vemco 社製 VR2Tx、Lotek Wirekess 社製 WHS3250 および Lotek Wirekess 社製 WHS3250L である。

漁港内の超音波受信機は、超音波発信器および陸上構造物をロープで接続し、堤防等での擦れ防止のため、ロープはホースで養生した。超音波受信機は海底から 30～50cm の高度で設置した。河川への設置は漁港内のそれと同様と、可能な限り川底近くに設置した。

漁港外の超音波受信機は O-1 と O-6 では、超音波受



図-4 超音波受信機設置位置と観測区分（広域図）

信機は上部に赤白測量旗とフラッシャーを付け、その下にフロート、受信機および土嚢がロープで接続される系で設置した。O-2 では、漁港内のそれと同様に堤防から漁港外に向けて設置した。O-3 と O-4 では、管理者である北海道帯広建設管理部に許可をもらい航路標識下部のチェーンに結束バンドとロープを用いて設置した。O-5 では、物理観測機器と一緒に設置した。

超音波受信器は設置前に作動確認を行い、作動が良好であることを確認しているが、漁港内 I-3 に設置したそれは、観測終了後データ回収を試みたところ、データを回収することができなかった。I-5 および O-2 に設置した超音波受信機は、流失し回収することができなかった。

3. サケの遊泳行動結果と考察

サケの行動を把握するために設置した超音波受信機は、設置位置によって、漁港内、漁港外（近傍）、漁港外（浦幌定置 2 号）、漁港外（浦幌定置 1 号）および河川域に分類した（図-4）。

発信器が装着されたサケは、放流後の動きで大きく A 個体群から D 個体群の 4 つに分類することが出来た。A 個体群は漁港内で放流したのち、漁港外に移動した（3 尾）。B 個体群は漁港外（浦幌定置 1 号）で放流されたのち、定置網で捕獲された（4 尾）。C 個体群は漁港外（浦幌定置 1 号）で放流されたのち、浦幌定置 2 号近傍を通過した（4 尾）。D 個体群は漁港外（浦幌定置 1 号）で放流されたのち、漁港外近傍を通過し、さ

らに浦幌定置 2 号近傍を通過した（3 尾）。以下では各個体群の行動を詳細に記述する。

3.1 A 個体群

A 個体群は放流直後もしくは翌日には 3 個体全てが漁港外へと移動した（図-5）。漁港放流直後は放流地点である漁港内の奥側で数時間から 1 日留まるものの、一旦移動すると漁港内の奥から沖防波堤の北側を通過し、直ちに漁港外へ移動した。3 個体中 1 個体は浦幌定置網 3 号の南箱で捕獲されたが、漁業者の協力により、再放流された。その後の超音波発信器の受信は認められなかった。本結果はサケは漁港内に迷入した場合でも、本来の回帰ルートに戻りうることを示唆している。

漁港内に放流したサケには、深度と温度が測定出来る超音波発信器を装着した。3 匹のデータはすべて約 0.5 m～2.1 m の範囲の深度であった。このことから、ほぼ一定の深度にサケがいたことが分かる。温度センサーについても同様で、ほぼ全てのデータが一定であり、12.5 °C～15 °C の範囲を遊泳していたことが示された。

3.2 B 個体群

B 個体群は漁港外（浦幌定置 1 号：図-4参照）で放流後、漁港外（浦幌定置 1 号）でのみ超音波が受信され、その後定置網に捕獲された 4 尾である。

No. S7（オス）、No. S9（オス）そして No. S14（メ

ス)は9月20日放流後東に進み、放流から2日後の9

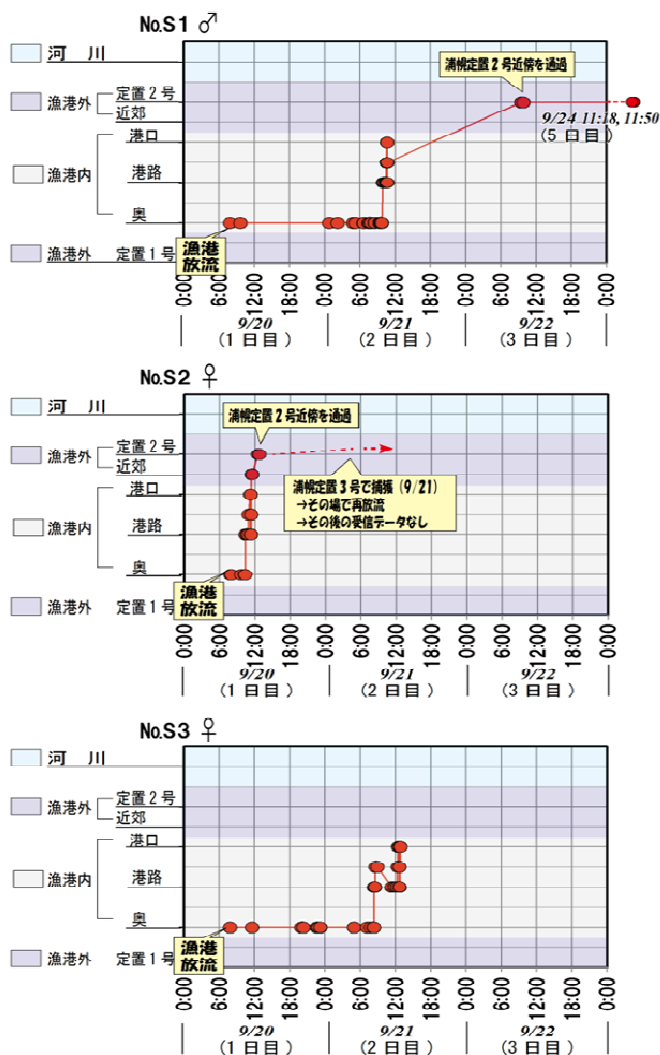


図-5 A 個体群の行動

月22日にはそれぞれ、浦幌定置1号から北東方向約15kmの音別定置1号、約10kmの2号そして約4kmの4号で捕獲された。

サケはベーリング海やアラスカ湾で成長し、南西方向に移動し北海道に来る。そのため、捕獲後の東への最大15km程度の移動は、想定されていなかった。

No. S11 (メス) は放流から4日後の9月24日に豊頃定置3号で捕獲された。豊頃定置3号は十勝川河口より西側に位置している。このためこの個体はさらに西へ回帰する個体の可能性も考えられる。

3.2 C 個体群

C 個体群は浦幌定置1号で放流された後、漁港外近傍(図-4)を通過せずに、浦幌定置2号(図-4)周辺を通過した個体群である。C 個体群は浦幌定置網1号の中間地点付近、つまり沿岸からの距離おおよそ1.5

kmで放流されている。その後、沿岸からの約1.5kmの距離の港外(近傍:図-4)を通過せず、約2km沖合の漁港外(浦幌定置2号:図-4)周辺の通過が確認されている。また、上述した通り、B 個体群も漁港外(浦幌定置2号)を通過していないことから、浦幌定置1号で放流した12個体のうち8個体が漁港外(浦幌定置2号)を通過していないこととなる。このことは、一度沿岸に(浦幌定置1号)に接近したサケはある程度の範囲で、より沖合に移動することを示唆している。

3.3 D 個体群

D 個体群は浦幌定置1号近傍で放流された後、漁港外近傍(図-4)を通過して移動していた。この個体群の行動は、C 個体群の行動と似ているものの、漁港外浦幌定置2号(図-4)周辺を通過している点で異なっている。

No.S5とNo.S15は漁港外(近傍)を通過後、漁港外(浦幌定置2号)を通過した。それに対し、No.S13は漁港外(浦幌定置2号)での受信記録はないものの十勝川河口での受信記録は存在する。厚内漁港から、十勝川河口までは数百メートル単位で定置網が配置されており、放流した地点と同程度もしくはより沿岸を通過して十勝川河口まで移動したとは考え難い。またB 個体群とC 個体群が沖合に出て行っていることから、サケは母川回帰の途中で陸に近づいたり遠ざかったりを繰り返しながら移動していると考えられた。厚内漁港から十勝川河口までの定置網の先端に超音波受信機を設置する等の、面的に広範囲な観測をさらに行うことで、このような仮説が明らかになるかもしれない。

3.4 十勝川に到達した個体

放流した15個体中、6個体が十勝川河口周辺に到達していたことが、十勝河口橋上流約4km上流に設置した受信機の受信状態から確認された。このうち河川(猿別川)で捕獲されたものは2個体だった。これ以外の個体は、十勝川本川での産卵や捕獲場以外での捕獲、死亡等が考えられた。また、河口周辺まで到達したにもかかわらず別の河川に遡上している可能性もある。

発信器を装着して放流したサケ15個体のうち、6個体の超音波を十勝川河口から約4km上流の十勝河口橋に設置した超音波受信機で検出した。このうち十勝川水系で捕獲されたものは2個体のみであった。この原因として、下記3点が考えられたが、本調査では

原因の特定は出来なかった。

pp. 97、2019.

①十勝河口橋周辺まで到達したが、再び降海し、別の河川に遡上した

②十勝川流域で獲場以外で捕獲された

③十勝川流式内の超音波受信機の受信エリア外で死亡した

これらの仮説の検証には、河口域周辺への受信機の複数設置が必要である。

4. まとめ

発信器装着個体について

放流した 15 個体の内、10 個体(約 7 割)が定置網または河川で捕獲された。残りは、周辺域外への遡上、一連の作業影響による死亡、発信器の脱落等が考えられる。

漁港放流の 3 個体は、いずれも速やかな港外(沖合)への移動を確認した。サケは仮に港内に迷入した場合でも、支障なく本来の回帰ルートに戻れることが示唆された。

定置網(浦幌 1 号定置)で放流した 12 個体のうち、漁港外(近傍)を経由したサケは 3 個体のみだった。多くの個体は、一度沖合に戻り、再び母川を求めて遊泳している可能性が高い。

放流 15 個体の内、6 個体(4 割)を十勝川河口周辺で受信確認した。このうち河川(猿別川)で捕獲されたものは 2 個体のみだった。「河口周辺まで到達したにもかかわらず別の河川に遡上している」可能性もある。河川内での自然産卵や捕獲場以外での捕獲、死亡等々も考えられる。

参考文献

- 1) 浦和茂彦：日本系サケの回遊系と今後の研究課題：さけ・ます資源管理センターニュース、No. 5、pp. 3-7、2000.
- 2) 農林水産省：北海道農林水産統計年報(平成 24 年)、北海道農政事務所、2012.
- 3) 農林水産省：北海道農林水産統計年報(平成 25 年)、北海道農政事務所、2013.
- 4) 農林水産省：北海道農林水産統計年報(平成 26 年)、北海道農政事務所、2014.
- 5) 農林水産省：北海道農林水産統計年報(平成 27 年)、北海道農政事務所、2015.
- 6) 林水産省：北海道農林水産統計年報(平成 28 年)、北海道農政事務所、2016.
- 7) 国立研究開発法人 水産研究・教育機構 北海道区水産研究所：平成 30 年度さけます人口ふ化放流計画集録、