

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～33 年度

プログラムリーダー：寒地水圏研究グループ長 船木淳悟

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 29 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 29 年度は、漁港内外での各成長段階の魚類分布調査、波浪などの物理環境調査、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。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。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。これらから、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。

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蝟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 29 年度は、付着生物の経年変化を長期的に観測するための基質別試験礁を設置するとともに、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。

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 29 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、残存調査を行った。その結果、放流して約 1 年後では放流基質内に高い定着が認められ、体成長も確認された。また、体長 3cm~5cm 程度に成長した個体は、試験礁の基質の内、ホタテ貝殻の間隔が 15mm 程度以下の基質に蝟集する傾向が見られた。ただし、落ち葉の堆積や漂砂などの影響を受けた基質で個体数が減少したことから、基質設置の際の留意点が確認された。

シロサケ資源量回復に資する研究が進められている中で、資源維持の観点から遺伝的多様性を持つ自然産卵魚に関する研究が重要視されつつある。シロサケ遡上数の全数計測は、このような研究の基礎的で重要な情報であるが、これまでその計数の難しさからあまり行われてこなかった。本研究は、十勝川新水路の魚道を対象に、遡上数自動計測システム(サケカウンター)を用いて 11 月下旬に遡上するシロサケの遡上数を調査するものである。このサケカウンターの設置によって、24 時間連続計測が可能となって、それによりシロサケの遡上はほぼ終日行われていることが明らかになった。さらに、魚道のシロサケ遡上数は十勝川の水位上昇とともに増加していることが示唆された。

(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

サケ科魚類のなかでもふ化放流による資源増加効果が小さいサクラマスは、資源管理の観点では野生資源に頼らざるを得ない状況が続いている。一方で、河川上流部にダム等による貯水池が造成された場合には、産卵域および生息域と海洋との通路である河川、つまり遡上および降河環境を保全することが重要である。平成 28 年度に続き 29 年度では、スマルト化した個体群ではなく、サクラマス幼魚の生育期個体群を対象に、後志利別川流域に設置された美利河ダムにおいて調査を行った。受信機をダム湖内と流入河川の流入口、ダム下流とつながる魚道が設置されているチュウシベツ川の魚道周辺に設置した。そして発信機付きサクラマス幼魚 20 個体を、チュウシベツ川の分水施設上流で放流して魚道への降下行動を明らかにした。さらには、チュウシベツ川のダム湖流入部でも発信機個体 30 個体を放流することで、洪水等でダム湖へ流入した場合にその後どのような行動をするのかを明らかにした。その結果、分水施設上流から放流された個体は 7 個体が魚道まで、4 個体は分水施設内まで到達していた。また、ダム湖に放流されたサクラマス幼魚は、チュウシベツ川に多く遡上するだけでなく、他の 2 つの流入河川へも遡上している可能性が高かった。また、ダム貯水池に個体が滞在した場合、最低でも 5 日以上滞在し、放流個体数の 47% で 20 日以上も滞在することが明らかになった。このように、長期間ダム湖に生息して流入河川上流へ遡上することによって、流入河川での再生産に寄与するならば、本ダム湖において湖産型サクラマスの生息につながる可能性が考えられた。一方で、チュウシベツ川を遡上した個体の行動から、分水施設までの区間に存在する二基の落差工が遡上の妨げになっている可能性も示唆された。

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
FUNAKI Jungo

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 寒冷海域の水産生物の沿岸構造物周辺における行動特性の解明

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、牧田佳巳、丸山修治、須藤賢哉、大橋正臣、梶原瑠美子

【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。

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。

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

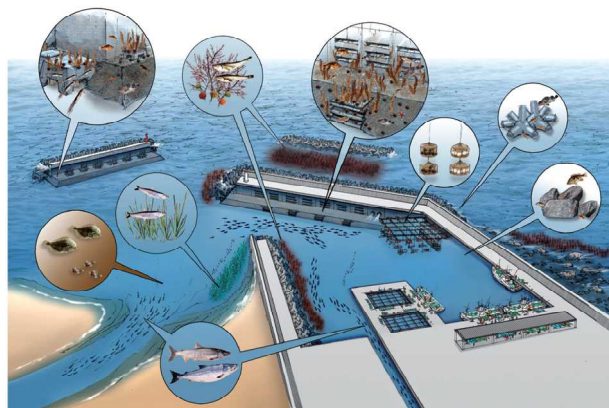


図-1 保護育成機能強化型漁港のイメージ

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、沿岸構造物周辺の水産生物の行動特性を解明するために、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する。次に、水産生

物の保護育成機能のメカニズムを明らかにし、沿岸構造物が有する水産生物の保護育成機能の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。

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



図-2 調査位置
(水深：海底地形デジタルデータ、日本水路協会)

表-1 H28 年度 (2016) 調査および分析項目

項目	地点	港奥			港中央			港口		港外		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
周辺特徴	捨石岸壁											
	被覆根固ブロック											
連続機器観測	水温	◎B	◎S			◎S	◎S	◎S	◎S	◎B		
	塩分		◎S			◎S	◎S	◎S	◎S			
水試料分析	光合成色素 (Chl.a) 波高	◎	◎S			◎S	◎S	◎S	◎S			
	Chl.a, Phaeo.	◎△	◎△			◎△	◎△	◎△	◎△	◎△		
堆積物	粒状有機物 (POC, PN, PP)	◎△	◎△			◎△	◎△	◎△	◎△	◎△		
	栄養塩 (NO ₃ -NO ₂ , NH ₄ , PO ₄)	◎△	◎△			◎△	◎△	◎△	◎△	◎△		
魚類調査	動物プランクトン	◎△	◎△			◎△	◎△	◎△	◎△	◎△		
	刺網	◎△	◎△			◎△	◎△	◎△	◎△	◎△		
卵稚仔魚ネット	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	港奥			港中央			港口		港外	
		1	2	3	7	8	9	10	11		
周辺特徴	捨石岸壁										
	被覆根固ブロック										
連続機器観測	水温		◎B	◎S			◎S	◎S	◎S	◎S	◎B
	塩分			◎S			◎S	◎S	◎S	◎S	
水試料分析	光合成色素 (Chl.a) 波高		◎	◎S			◎S	◎S	◎S	◎S	
	Chl.a, Phaeo.		◎△	◎△			◎△	◎△	◎△	◎△	
堆積物	粒状有機物 (POC, PN)		◎△	◎△			◎△	◎△	◎△	◎△	
	栄養塩 (NO ₃ -NO ₂ , NH ₄ , PO ₄)		◎△	◎△			◎△	◎△	◎△	◎△	
魚類調査	動物プランクトン		◎△	◎△			◎△	◎△	◎△	◎△	
	刺網		◎△	◎△			◎△	◎△	◎△	◎△	
卵稚仔魚ネット	ダイバー		◎△	◎△			◎△	◎△	◎△	◎△	
	間欠カメラ		◎△	◎△			◎△	◎△	◎△	◎△	
胃内容物	胃内容物		◎△	◎△			◎△	◎△	◎△	◎△	
	胃内容物		◎△	◎△			◎△	◎△	◎△	◎△	

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

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

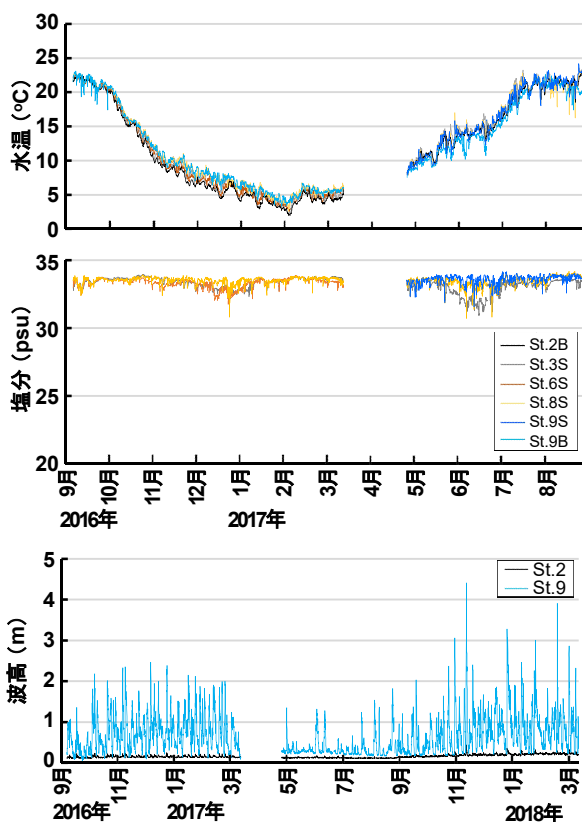


図-3 寿都漁港内外の水温、塩分、有義波高

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

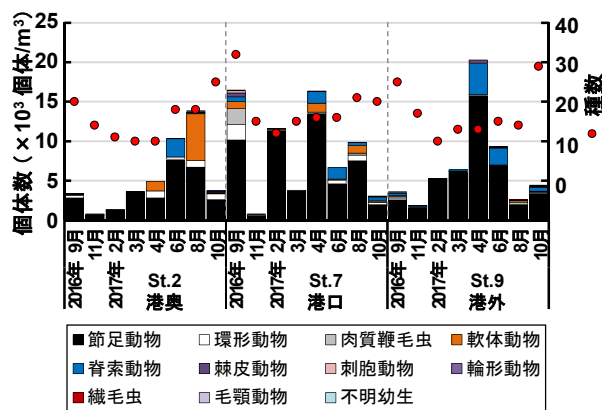


図-4 寿都漁港内外の動物プランクトン時空間分布

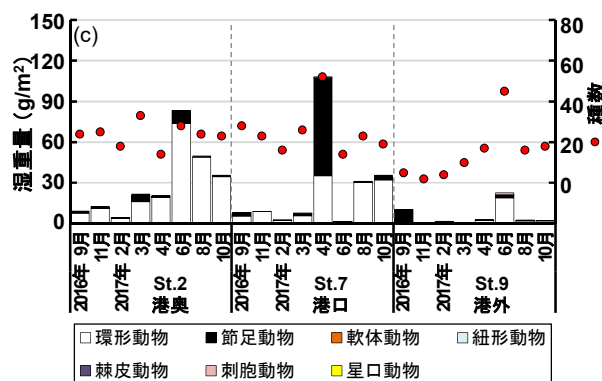
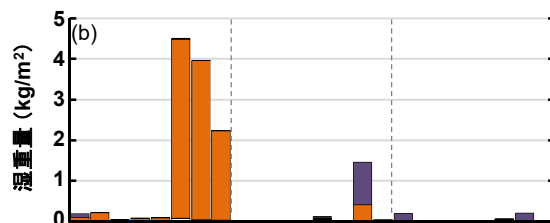
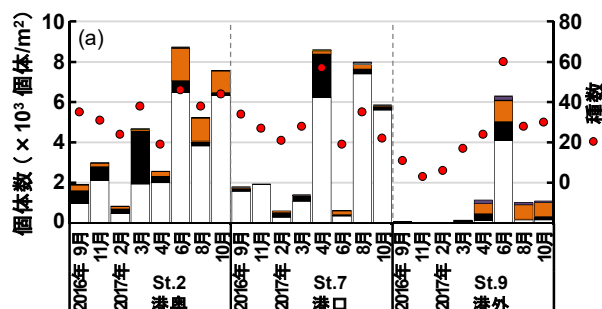


図-5 寿都漁港内外の底生動物の(a)個体数、(b)全湿重量、(c)軟体、棘皮動物を除いた湿重量の時空間分布

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 1 mm 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ミ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、港奥で多かった ($p < 0.05$, 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プク、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。

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 1 cm 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。

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	Maldanidae spp. (3934)	<i>Chaetozoa</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>Granditiverella japonica</i> (3494)	<i>Corophium</i> spp. (550)	<i>Corophium</i> spp. (550)
2	<i>Byblis japonicus</i> (847)	<i>Pontogeneia rostrata</i> (410)	Cypridimidae 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)

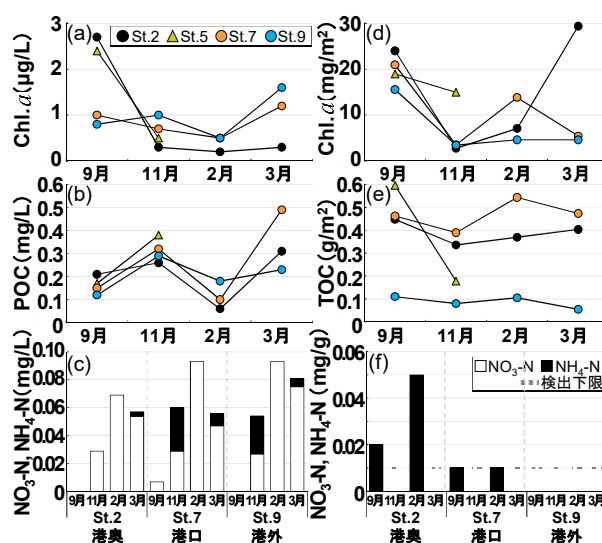


図-6 表層水((a)-(c))、堆積物((d)-(f))での Chl. *a*、有機炭素、硝酸およびアンモニア態窒素の時空間分布

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 $\text{NH}_4\text{-N}$ 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 $\mu\text{g/L}$ まで増加し、その後は約1 $\mu\text{g/L}$ であった。港内の水柱Chl. *a* 濃度は、4月に底層のみ5 $\mu\text{g/L}$ 以上と高く、6月に減少後、8月に約5 $\mu\text{g/L}$ 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: $47.4 \pm 59.4 \text{ mg/m}^2$ ）。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: $35.4 \pm 12.2 \text{ mg/m}^2$ ）。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

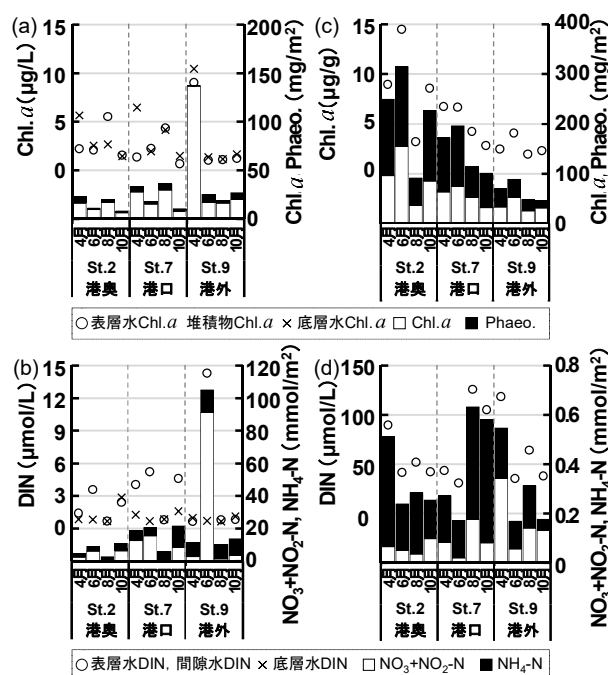


図-7 水柱((a)-(b))、堆積物((c)-(d))でのChl. *a*、Phaeo.、DINの濃度および積算現存量の時空間分布

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: $35.1 \pm 46.7 \text{ mmol/m}^2$ ）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: $0.3 \pm 0.2 \text{ mmol/m}^2$ ）。水柱および堆積物ともにChl. *a*とDIN濃度が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。

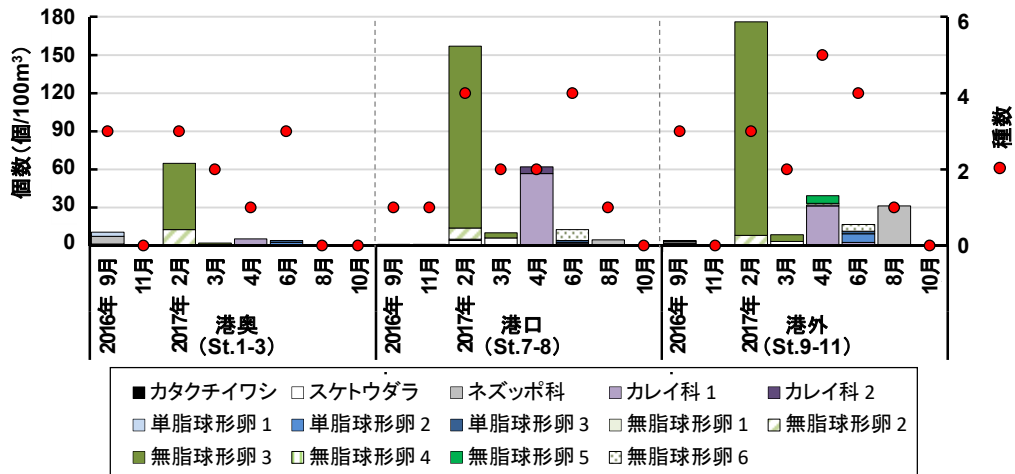


図-8 寿都漁港内外の魚卵の時空間分布

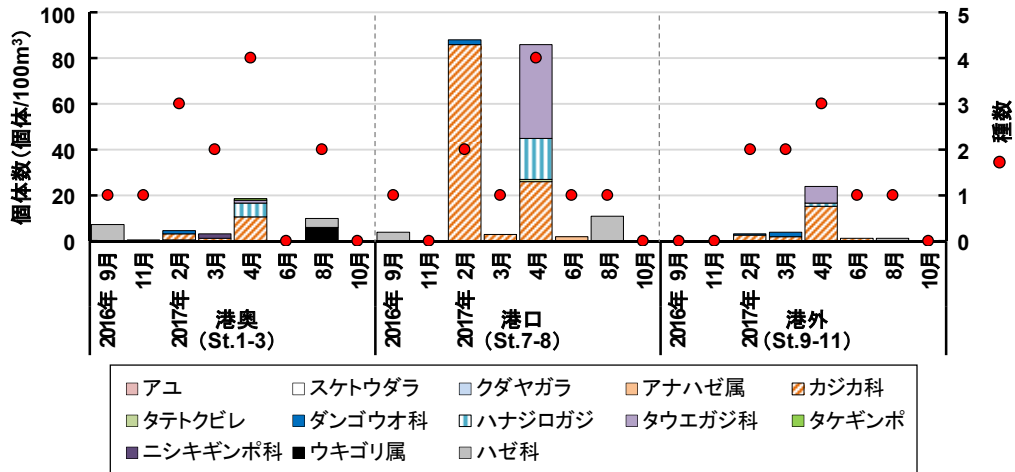


図-9 寿都漁港内外の稚子魚の時空間分布

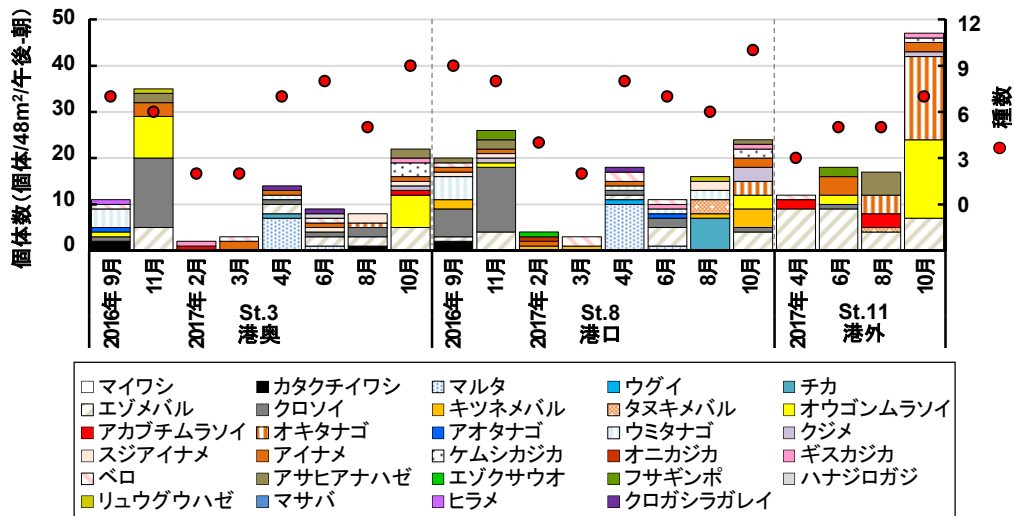


図-10 寿都漁港内外の幼成魚の時空間分布

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月に港奥区でのみで確認された。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、オキカズナギリユ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、港外に比べ港奥で個体数や湿重量が多い環形動物が指標になると考えられる環形動物は消化されやすく、種同定が難しいが、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. 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。今後、構造物自体が有する保護育成機能についても調査を行う予定である。

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、牧田佳巳、丸山修治、須藤賢哉、大橋正臣、梶原瑠美子

【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。

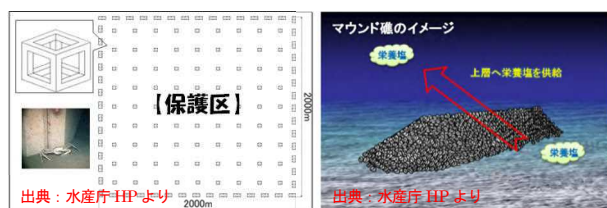
平成 28 年度(2016)は、水産有用種の餌料と付着生物との関係を明らかにするため、付着生物の経年変化を長期的観測するための基質別試験礁を設置するとともに、消波ブロックに付着する生物を採取・分析するなど、餌料効果の解明に向けた調査を行った。

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。

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。



保護育成礁(日本海西部地区) マウンド礁(隠岐海峡地区)

図-1 フロンティア漁場整備の工法別実施例

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。

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が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

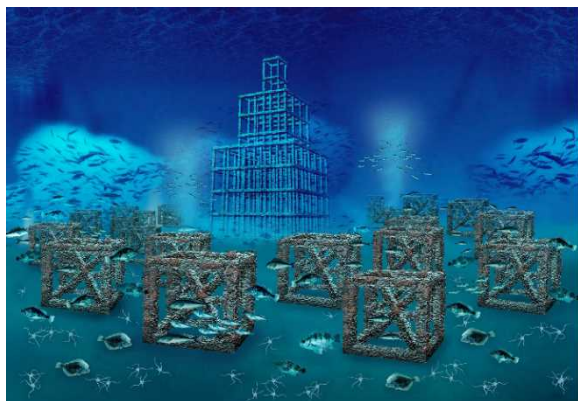


図-2 餌料培養効果のイメージ

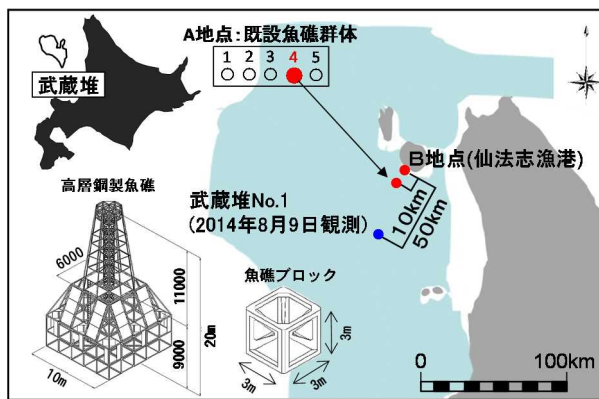


図-3 調査位置図 (広域図)

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⁴⁾した。

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蟄集する現象が報告されている⁵⁾。このため、沖合域に整備した人工構造物に生物が蟄集・附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、生物の蟄集、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。このため、図-3に示すとおり、北海道北部の利尻島にある仙法志漁港より南西へ約 10 km の水深約 90m の人工魚礁漁場を調査箇所 A 地点、仙法志漁港の港口付近の消波ブロック上の水深 10m 地点及び 0.5km 沖合の対照区を B 地点とした。また、武蔵堆 No. 1 は、仙法志漁港の約 50km 沖の水深 150m に位置し、2014 年 8 月 9 日に水塊構造、植物プランクトン、動物プランクトンを観測した地点である。

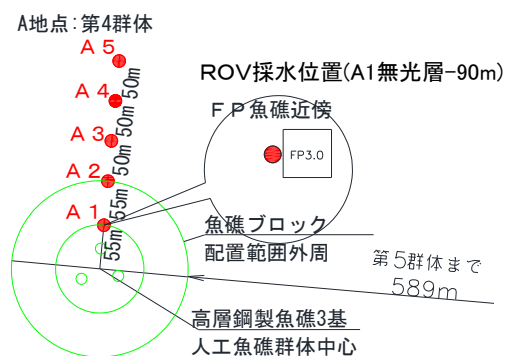
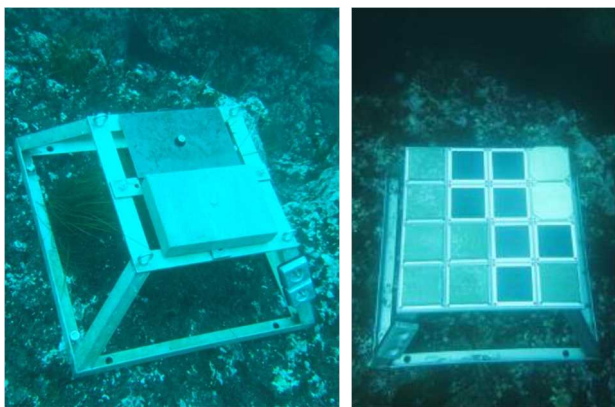


図-4 観測地点位置図

表-1 現地観測内容

調査項目	方法	観測内容・観測時期
マルチビーム測深魚礁群体系(第1~3)	マルチビーム音響測深装置	深度分布、反射強度分布 2016.9.20
附着生物調査: 2地点(A・B)	試験礁(A)、消波ブロック(B)、試験礁(B)	附着生物(種類・数量・湿重量) A地点:2017.5.25(設置のみ) B地点:消波ブロック 2016.11.4 試験礁:2016.11.4 設置、 2017.5.26 回収・調査・再設置
流況観測:1 測点 3層(A-3)	電磁流向流速計 INFINITY-EM	流況連続観測 2017.7.24~7.27
水質調査:5 測点 (A)、各測点2層	CTD・光量子計 垂下	水温、塩分、濁度、Chl.flu、光量子 2017.7.24・26・28
水質分析:5 測点 (A)、各測点 2層	バンドン採水器、 ROV(AI 下層)	NH ₄ -N、NO ₂ -N、NO ₃ -N、PO ₄ -P、 SiO ₂ -Si、Chl.a、Phe、TOC、POC 2017.7.24・26・28
底質粒度: 5 測点(A)	スミス-マッキン タイヤ採泥器	粒度、Chl.a、Phe、TOC 2017.7.24・26・28
植物プランクトン: 5 測点(A)	採水器、各測点 2層(水質と同じ)	種類・細胞数 2017.7.24・26・28
動物プランクトン: 5 測点(A)	北原式ネット、 ノルバックネット	種類・個体数 2017.7.27・28
底生生物: 5 測点(A)	底質と同じ	種類・個体数・湿重量 2017.7.24・26・28

観測水深: A 地点=90m、B 地点=10m



a) 2016年設置・2017年回収 b) 2017年再設置
 写真-1 B地点の基質別付着生物試験礁設置状況



写真-2 A地点に設置した基質別付着生物試験礁

図-4に示す観測地点は、人工魚礁群5群体のうち第4群体(2014~2015年整備)の高層鋼製魚礁を中心として北側に約50m間隔でA1~A5の5測点を設定した。

現地観測内容を表-1に示す。2016年調査では、現存する人工魚礁群の位置の正確な把握や海底の底質を推定するため、マルチビーム測深を行った。有光層にお

ける実構造物の付着生物の種組成等を把握するため、仙法志漁港防波堤先端部の消波ブロックの付着生物調査を行った。水産有用種と人工魚礁(コンクリート製、鋼製)の付着生物との餌料関係を明らかにするため、付着生物の経年変化を把握するための試験礁をB地点(L=750mm×B=750mm×T=300mm、写真-1)に設置した。

2017年には、B地点の試験礁の付着生物調査を行うとともに、無光層の付着生物を把握するための試験礁をA地点(L=1845mm×B=1843mm×T=507mm、写真-2)に設置した。

2017年には、A地点において物理環境、水質、底質、植物プランクトン、動物プランクトン、底生動物を調査した。流況観測は、第4群体の中心から北側に160m離れたA3の近傍に電磁流向流速計(JFEアドバンテック社製 INFINITY-EM)を3層(水深-1m、-40m、-90m)で係留し、2017年7月24日~7月27日の間に10分間隔で連続観測した。水質は、採水前にCTD(JFEアドバンテック社製 COMPACT-LW)をA地点とB地点において垂下して塩分・水温・クロロフィル蛍光量(Chl. flu)・光量子を計測した。採水はバンドーン採水器を用い、水深はA地点ではCTDのChl. fluピーク水深および海底直上(-90m)で各1試料を採水し、B地点では海面-1mおよび海底直上(-10m)で各1試料を採取し、水質分析と植物プランクトン分析に供した。ただし、A1の水深-90mではROV(Mitsui RTV.N-Hyper300EXY)により魚礁ブロックの近傍でポンプ揚水により採水を行った。動物プランクトン採取は、北原式ネット(口径22.5cm、目合0.1mm)によりA地点5層、B地点2層で採取し、ノルパックネット(口径45cm、目合0.335mm)によりA地点2層で採取し、動物プランクトン分析に供した。底質はA・B地点においてスミス・

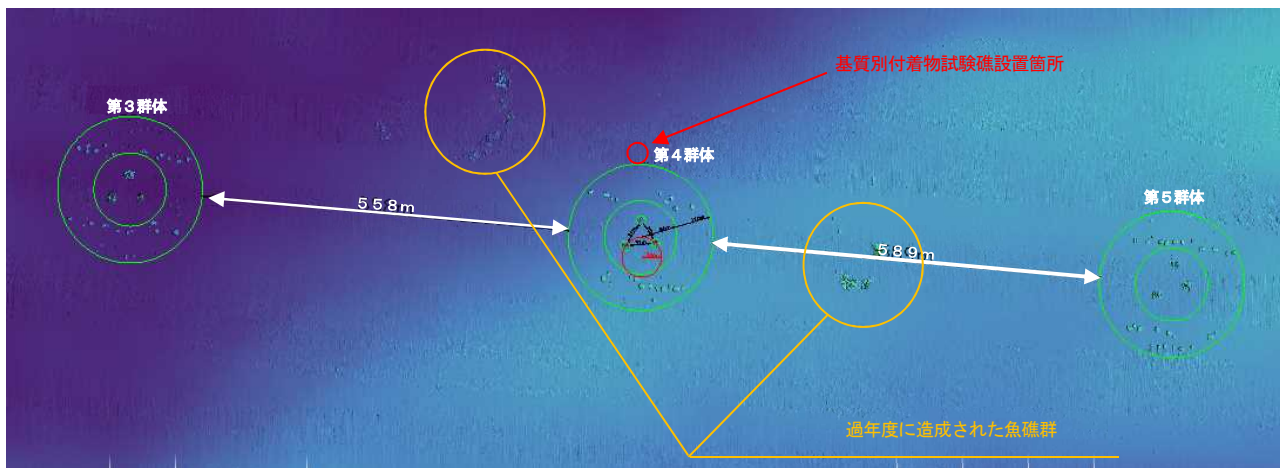


図-5 マルチビーム測深機による既存構造物調査

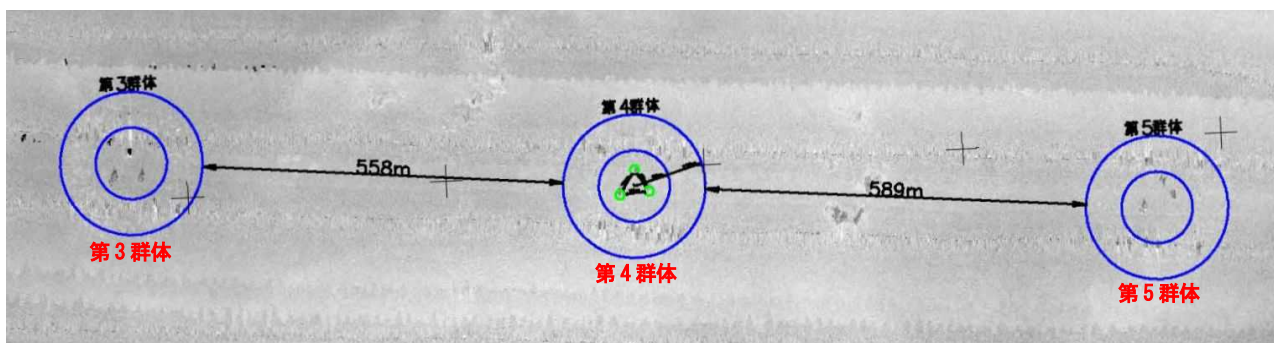


図-6 マルチビーム測深機の音響ビームの反射強度の分布平面図

マッキンタイヤ型採泥器(離合社製、採取面積 0.05 m²)により採泥し、底質粒度分析と底生生物分析に供した。

3.2 マルチビーム測深

2016年9月のマルチビーム測深機による測深結果の平面図を図-5に示す。第4群体を中心としてL=3km×B=1kmの範囲で測深を行い、魚礁群の位置関係を把握するとともに、マルチビーム測深機から送信される音響ビームの反射強度より、海底地盤の底質を推定した。

魚礁群は3群体(第3～第5群体)の他に、過年度に造成された魚礁群を2群体確認した。

マルチビーム測深機の音響ビームの反射強度の分布平面図を図-6に示す。この図において、コンクリートや岩礁は黒色の斑点状に表示され、砂質土・粘性土等は灰色や白色で表示される。全体として灰色と白色が多く、当該海域の底質は多くが砂質土・粘性土と推定される。ただし、詳細な底質の判定については、後述の採泥による底質粒度分析において説明する。

以上の調査結果より、A地点の測点を図-4のとおり砂質土地盤と想定されるA1～A5に配置した。また、基質別付着生物試験礁の設置位置を図-5のとおり第4群体の中心から120m程度離れた地点に設定した。これは、試験礁が設置・撤去時に潮流で動揺した場合、中心部にある高層鋼製魚礁とその周辺のコンクリート製魚礁に接触することを避けるための安全距離を確保したものである。

3.3 付着生物調査(2016)

3.3.1 基質別試験礁の設置と観測

基質別の付着生物試験礁(写真-1,2)については、実際に漁場造成に用いられている2基質(コンクリート、鋼材)に加え2017年は木材を追加した。基質の寸法は、2016年設置のB地点(写真-1(a))がコンクリート板 L=300mm×B=200mm×T=50mm、鋼板 L=300mm×B=200mm×T=3mmとし、2017年はA・B両地点ともコンクリート板(A=18枚、B=7枚)・鋼板(A=18枚、B=7枚)・木

板(A=2枚、B=2枚)L=100mm×B=100mm×T10mm(鋼板T3mm)とし、専用架台(B:写真-1(b)、A:写真-2)に取り付けた。両地点も設置後1年経過以後の2018年7月以降に試験礁を引上げ、付着状況を観測する予定である。

3.3.2 付着生物

有光層で生息する生物を把握するため、仙法志漁港南防波堤先端部の消波ブロックおよびB地点試験礁の付着生物調査を行った。

消波ブロックの採取位置については、上層は水面より1m下がりとし、下層は水深-10mの2層より底生・付着生物を採取した。枠取り範囲は上下層ともL=500mm×B=500mmとした。この時の付着生物の採取状況を写真-3、主な出現種を写真-4、層別および属種別出現結果を図-7、図-8に示す。層別の出現種は、上層20種、下層18種であり有意な差は見られないが、下層の個体数は上層より約4割多く、湿重量では約2倍であった。なお、下層での出現種の割合は *Lacunaturrita* (軟体動物腹足綱) 31.3%、*Cantharidus jessoensis* (軟体動物腹足綱) 20.3%であり、この2種で全体個体数の約半分を占めていた。

重量比による属種別の種組成では、上層は軟体動物が43.5%、次いで節足動物が37.0%であり、この2属種の出現頻度が高かった。また、下層では軟体動物が75.0%を占めていた。

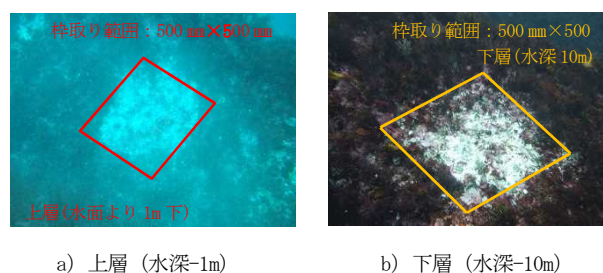
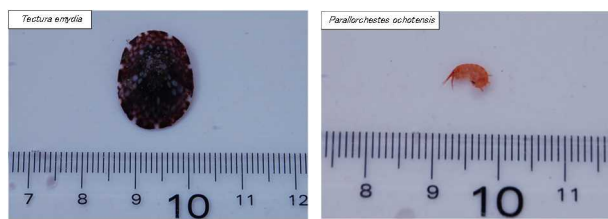


写真-3 底生・付着生物採取状況



a) エゾハバガゼ（軟体動物） b) ヒメヒトデ（棘皮動物）
写真-4 付着生物の主な出現種(消波ブロック)



a) コンクリート：ベッコウシロガイ b) 鋼材：フタアシモクズ
写真-5 付着生物の主な出現種(B地点試験基質)

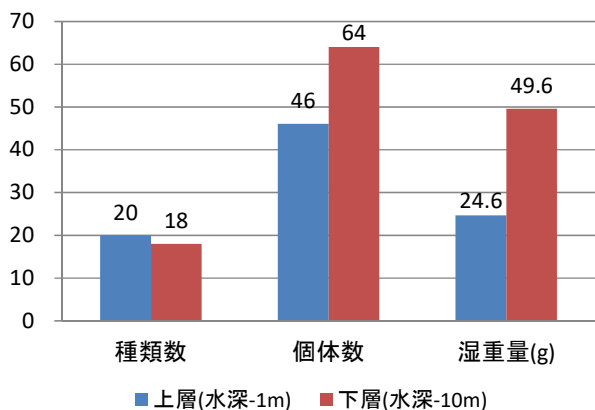


図-7 層別出現状況

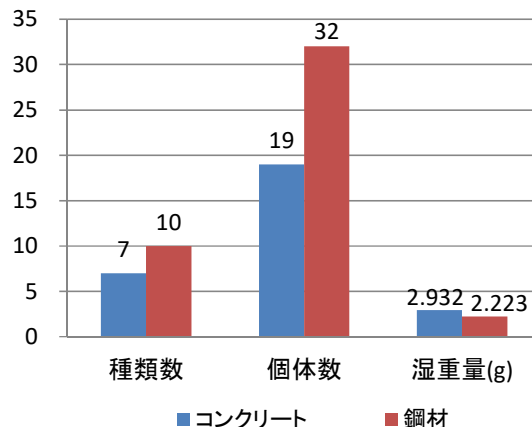


図-9 基質別出現状況

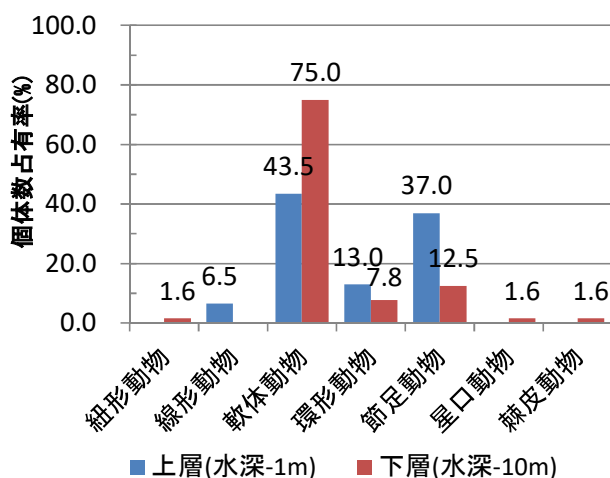


図-8 水深別の付着生物の種組成(個体数比)

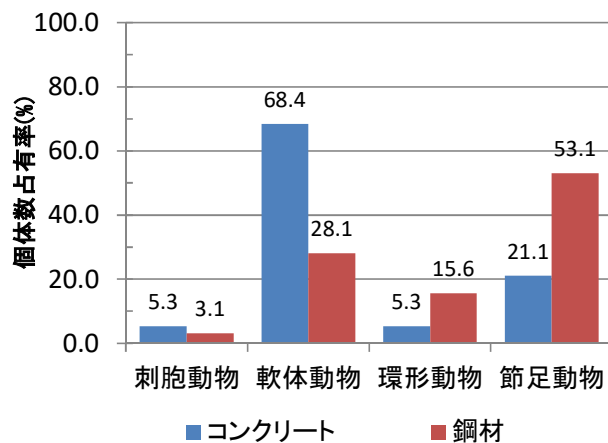


図-10 基質別の付着生物の種組成(個体数比)

試験基質の付着生物の主な出現種を写真-5、基質別出現結果を図-9、図-10に示す。基質別の出現種は、コンクリート7種、鋼材10種であり差は小さい。個体数ではコンクリートが32個体で鋼材19個体よりも多い。湿重量では差は小さい。個体数比による基質別の種組成では、コンクリートは軟体動物が68.4%、次いで節足動物が21.1%であり、この2属種の出現頻度が高かった。また、鋼材では節足動物が53.1%を占めた。

3.4 物理環境・栄養塩・餌料環境(2017)

3.4.1 流況

図-11は、A3から東側に14mの地点での2017年7月24~27日の合成流速(10分間隔120s平均)の連続観測結果を示す。データ表示期間の平均値では、上層(-10m)が25.6cm/s、中層(-40m)が19.7cm/s、下層(-90m)が4.3cm/sであり、海底に向かい流速が小さい傾向にある。

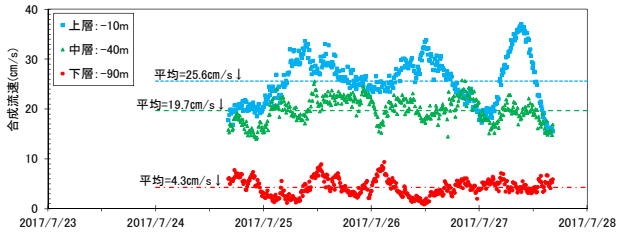


図-11 A3 地点付近での合成流速の時系列

3.4.2 水塊構造と栄養塩

図-12 は、A1 地点と過年度実施した武蔵堆(夏、秋、冬)⁶⁾のCTD観測によるT-S(塩分-水温)ダイアグラムを示す。A1~A5 の T-S の分布はややばらついているが、概ね武蔵堆 2009 年 8 月の夏季に類似した傾向である。図-13 は、A 地点の A1~A5 および武蔵堆 No. 1 の水温・塩分・クロロフィル蛍光量(CTD 計測)・栄養塩(水質分析)の鉛直分布を示す。全地点で水深-40m 付近に塩分・水温の躍層があり、水塊構造として成層化を示している。また、光量子計測から水面の光量の 1%として算定した補償深度は 54.8~67.7m で平均 62.2m であり、ここで補償深度が浅層を有光層、補償深度より深層を無光層と定義する。

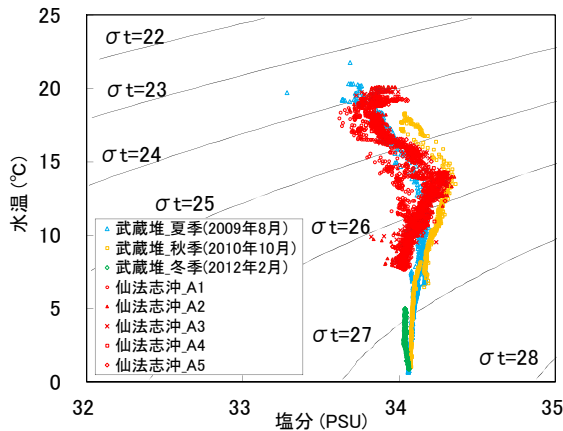


図-12 T-S ダイアグラム

溶存態窒素(DIN)、リン酸態リン($PO_4\text{-P}$)、ケイ酸態ケイ素($SiO_2\text{-Si}$)の各栄養塩は、有光層であるクロロフィル蛍光量 Chl. Flu のピーク位置で濃度が低く、無光層で高い。DIN では A1 有光層=0.003 mg/L で半飽和定数 0.014 mg/L⁷⁾を下回って枯渇状態であり、窒素制限が示唆される。Chl. Flu は躍層直下にピークがあるため、有光層のうち躍層より深い栄養塩を植物プランクトンが光合成に利用して消費したことで栄養塩が枯渇したと思われる。一方で、無光層で栄養塩濃度が高いのは、光量不足による光合成の低下により栄養塩が消費されず

に滞留するためと思われる。

以上の水塊構造と栄養塩は、成層化して海域全体として基礎生産が低下する武蔵堆の夏季⁶⁾に類似する。

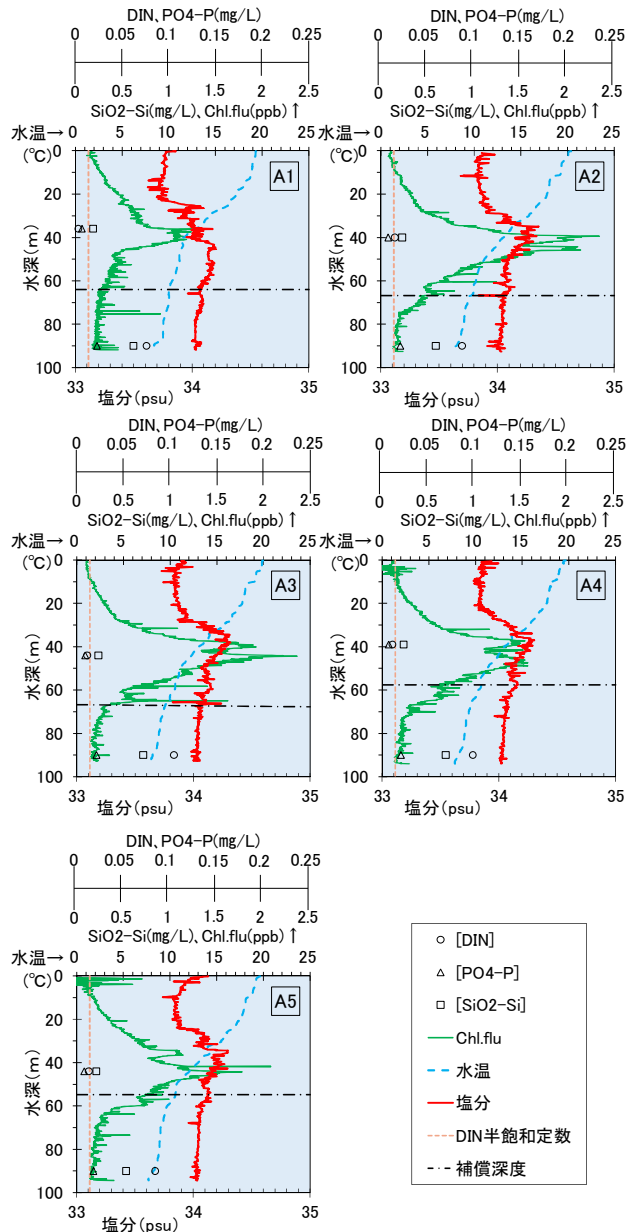


図-13 水温・塩分・Chl. flu・栄養塩の鉛直分布

3.4.3 植物プランクトン

図-14 は、A 地点と武蔵堆 No. 1 地点(図-2)の植物プランクトン細胞数の有光層と無光層での分布を示す。

細胞数では、A1 を除いて有光層よりも無光層で少ないが、これは無光層での光量不足による光合成の低下の影響と思われる。無光層では A1 が最も細胞数が多い。

分類網の構成では、A 地点では概ね渦鞭毛藻、クリプト藻が優先し、珪藻がそれに次ぐ。武蔵堆 No. 1 地点では珪藻が最も優先し、A 地点と構成比率がやや異なる。

表-2 は優占種上位 5 種を A 地点の有光層と無光層の各平均および武蔵堆 No. 1 地点の水柱平均として示す。図-14 の傾向を反映して A 地点は有光層・無光層ともに渦鞭毛藻 *Peridinales*(写真-6(a))とクリプト藻 *Cryptophyceae*(写真-6(b))が優先し、武蔵堆 No. 1 地点では珪藻 *Bacteriastrum delicatulum*、珪藻 *Chaetoceros eibonii* が優先する。

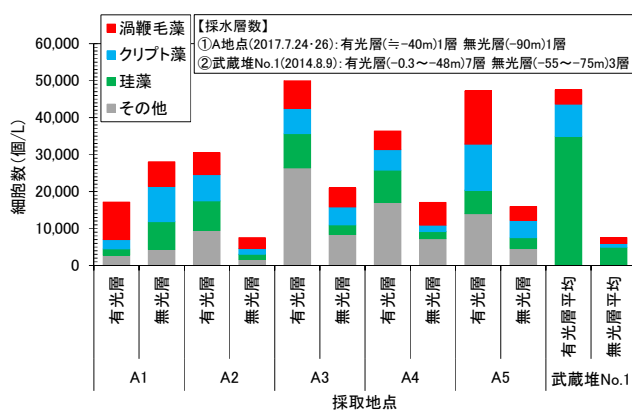
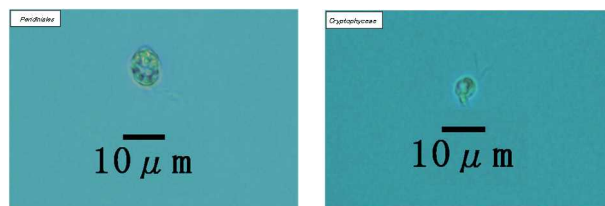


図-14 植物プランクトンの分布

表-2 植物プランクトンの優占種

綱	種名	細胞数/L	占有率
A1~A5 有光層の平均			
クリプト藻	<i>Cryptophyceae</i>	6,912	19.1%
渦鞭毛藻	<i>Peridinales</i>	4,860	13.4%
渦鞭毛藻	<i>Prorocentrum balticum</i>	3,264	9.0%
プラシノ藻	<i>Prasinophyceae</i>	1,776	4.9%
珪藻	<i>Thalassiosiraceae</i>	1,764	4.9%
A1~A5 無光層の平均			
渦鞭毛藻	<i>Peridinales</i>	4,812	26.5%
クリプト藻	<i>Cryptophyceae</i>	3,288	18.1%
プラシノ藻	<i>Prasinophyceae</i>	1,764	9.7%
珪藻	<i>Thalassiosira</i> spp.	720	4.0%
珪藻	<i>Thalassiosiraceae</i>	684	3.8%
武蔵堆 No.1 地点の水柱平均 2014 年 8 月 9 日			
珪藻	<i>Bacteriastrum delicatulum</i>	16,116	45.4%
珪藻	<i>Chaetoceros eibonii</i>	6,246	17.6%
クリプト藻	<i>Plagioselmis</i> sp.	5,762	16.2%
渦鞭毛藻	<i>Heterocapsa</i> sp.	1,310	3.7%
渦鞭毛藻	<i>Prorocentrum balticum</i>	1,288	3.6%



(a) *Peridinales* (b) *Cryptophyceae*

写真-6 植物プランクトンの優占種

武蔵堆では春季に珪藻ブルームが起こり夏季でも珪藻の優先が見られる⁶⁾ことから、武蔵堆 No. 1 地点の網構成・種構成はこれと相反しない。一方で、海域と季節が近い A 地点で珪藻の割合が小さいのは、現時点では原因の詳細は不明である。しかし、優先種の季節的な変遷⁸⁾の過程である可能性が挙げられることから、今後は A 地点において春季の珪藻ブルームから夏季までの一連の観測が必要と思われる。

3.4.4 動物プランクトン

図-15 は、北原式ネットで採取された動物プランクトンの個体数の鉛直分布を A 地点と武蔵堆 No. 1 地点について動物門毎に示す。

水柱平均の個体数では、A 地点平均が 5,500 個体/m³で武蔵堆 No. 1 地点の 3,844 個体/m³よりも多いが、A 地点間での違いと傾向は明確ではない。水深毎の個体数では、武蔵堆 No. 1 地点では浅い水深で個体数が多い傾向がある。一方、A 地点では A1・A2 が浅い水深で個体数が多い傾向があるが、それ以外では傾向は明確ではない。これらの傾向の違いは、試料採取地点の植物プランクトン細胞数や動物プランクトンの日周鉛直移動等の影響と思われる。ただし、動物プランクトンの餌料としての植物プランクトンの細胞数と動物プランクトンの個体数の関係については現時点では不明である。

動物門の組成では、A 地点・武蔵堆 No. 1 地点とも

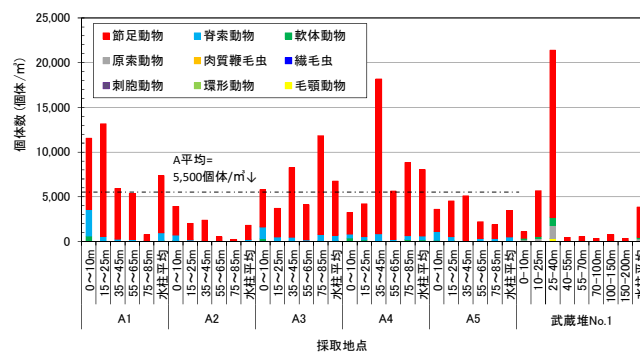


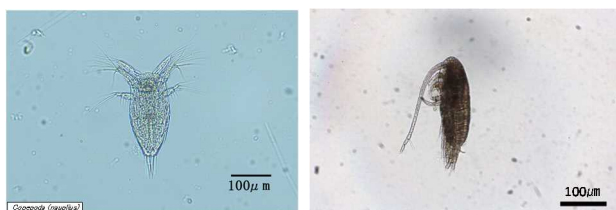
図-15 動物プランクトンの分布(北原式ネット)

に節足動物が最も優占する。表-3 は A1~A5 の各地点および武蔵堆 No.1 地点の水柱平均として優占種上位 3 種を示す。最優先種は A 地点では節足動物 *Copepoda (nauplius)* (写真-7(a)) が全地点で最優先種であり、武蔵堆 No.1 地点では節足動物 *Paracalanus parvus s. l. (copepodite)* (写真-7(b)) が最優先種である。A 地点の *Copepoda (nauplius)* はカイアシ類の孵化直後のノープリウス期の幼生で体長 0.1 mm 程度と小さく、体長 9~14mm のスケトウダラの稚魚の主要な餌料とされる⁹⁾ ことから、餌料環境の好適性を示唆している。

図-16 は、ノルパックネットで採取された A 地点の動物プランクトンの個体数の鉛直分布を動物門毎に示す。

表-3 動物プランクトンの優占種(北原式ネット)

門	種名	個体数/m ³	占有率
A1 の水柱平均			
節足動物	<i>Copepoda (nauplius)</i>	1,573	21.2 %
節足動物	<i>Oithonidae (copepodite)</i>	1,508	20.4 %
節足動物	<i>Paracalanus parvus (copepodite)</i>	1,131	15.3 %
A2 の水柱平均			
節足動物	<i>Copepoda (nauplius)</i>	536	29.3 %
節足動物	<i>Oithonidae (copepodite)</i>	360	19.6 %
節足動物	<i>Paracalanus parvus (copepodite)</i>	201	11.0 %
A3 の水柱平均			
節足動物	<i>Copepoda (nauplius)</i>	2,017	29.9 %
節足動物	<i>Oithonidae (copepodite)</i>	1,569	23.3 %
節足動物	<i>Clausocalanus pergens (copepodite)</i>	833	12.4 %
A4 の水柱平均			
節足動物	<i>Copepoda (nauplius)</i>	2,526	31.4 %
節足動物	<i>Oithonidae (copepodite)</i>	1,906	23.7 %
節足動物	<i>Clausocalanus pergens (copepodite)</i>	1,346	16.8 %
A5 の水柱平均			
節足動物	<i>Copepoda (nauplius)</i>	998	28.7 %
節足動物	<i>Oithonidae (copepodite)</i>	565	16.3 %
節足動物	<i>Microsetella norvegica</i>	475	13.7 %
武蔵堆 No.1 地点の水柱平均 2014 年 8 月 9 日			
節足動物	<i>Paracalanus parvus s. l. (copepodite)</i>	1,861	48.4 %
節足動物	<i>Oithona similis (copepodite)</i>	510	13.3 %
節足動物	<i>Oithona similis(adult)</i>	235	6.1 %



(a) A 地点 *Copepoda (nauplius)* (b) 武蔵堆 No.1 *Paracalanus parvus s. l. (copepodite)*

写真-7 動物プランクトンの優占種(北原式ネット)

動物門では、A1~A5 の水柱平均で節足動物が 125~455 個体/m³ で A 地点平均では最も優先し、脊索動物が 51~264 個体/m³ でそれに次ぐ。表-4 は優占種上位 5 種を A 地点の水柱平均として示す。カイアシ類幼生(節足動物)よりもやや大型のオタマボヤ *Oikopleura* spp. (脊索動物、写真-8(a)) が 129 個体/m³ (35.8%) で最優先種であり、カイアシ類 *Clausocalanus pergens* (節足動物、写真-8(b)) がそれに次ぐ。これは北原式ネットとは傾向が異なるが、ノルパックネットが北原式ネットに比べて大型の動物プランクトンを捕捉する特性が現れていると思われる。最優先種オタマボヤ *Oikopleura* spp. は体長 1~4 mm で、道東海域での観測事例¹⁰⁾ ではカイアシ類に加えてスケトウダラの未成魚(体長 30cm 以下)と成魚(体長 30cm 以上)の餌料として重量比で最大約 70% が確認されている。これは

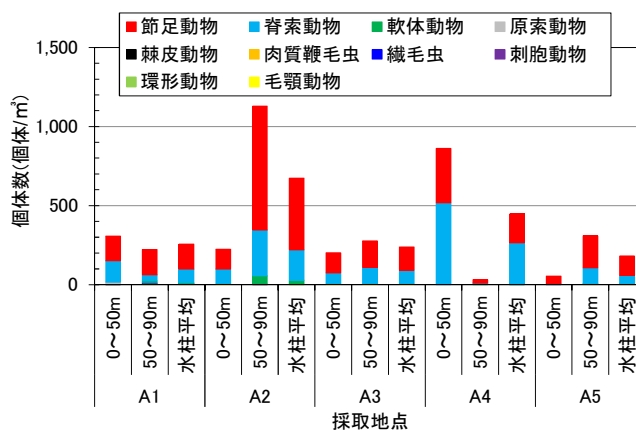
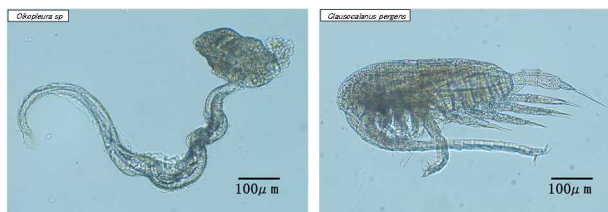


図-16 動物プランクトンの分布(ノルパックネット)

表-4 動物プランクトンの優占種(ノルパックネット)

門	種名	個体数/m ³	占有率
A1~A5 の水柱平均			
脊索動物	<i>Oikopleura</i> spp.	129	35.8 %
節足動物	<i>Clausocalanus pergens</i>	77	21.4 %
節足動物	<i>Metridia pacifica (copepodite)</i>	57	15.8 %
節足動物	<i>Oithona atlantica</i>	14	3.9 %
節足動物	<i>Pseudocalanus newmani</i>	13	3.5 %



(a) *Oikopleura* spp. (b) *Clausocalanus pergens*

写真-8 動物プランクトンの優占種(ノルパックネット)

A地点の餌料環境の好適性を示唆しているが、一方で、上記観測¹⁰⁾では温暖化等の環境変動が餌の種類を変化させた可能性にも言及されており、今後の観測では海水温等の海域環境の変化に留意する必要があると思われる。

3.4.5 底質粒度と底生動物

図-17は、A地点の採泥による海底土砂の粒径加積曲線と粒度組成を示す。A地点平均の粒度組成では、礫分(粒径2mm以上)48.4%、砂分(0.075~2mm)31.8%、シルト・粘土分(0.075mm未満)19.8%である。A地点間では、A5の粒径分布がA地点平均と異なり、粘土・シルト分28.7%、50%粒径0.33mmで他地点よりも細粒成分が多い。

図-18は、A地点の採泥による底生動物の個体数(左)と湿重量(右)の分布を動物門毎に示す。

図-18(左)の個体数では、A地点平均=1,452個体/m²である。動物門の構成では、A地点平均で環形動物が84.3%で最も優先する。表-5は動物種の優占種上位3種(A4は2種)を地点毎に示す。A4を除きタケフシゴカイ *Notoproctus pacificus*(環形動物, 写真-9(a))が最も優先し、ギボシイソメ *Lumbrineris* spp. (環形動物, 写真-9(b))カナブツイソメ *Onuphis holobranchiata*(環形動物)等がそれに次ぐ。

図-18(右)の湿重量では、棘皮動物(主にヒトデ)がA地点平均で58.9%を占め最も優先し、特にA5では82.4%を占める。地点間の傾向では、A5が計231.8g/m²で最も大きく、これは大型のヒトデが主体である棘皮動物の占有率が高いと思われる。

前述の動物種のうちゴカイ・イソメ等の環形動物は、底魚のカレイ類の重要な餌料とされている¹¹⁾。そこで、

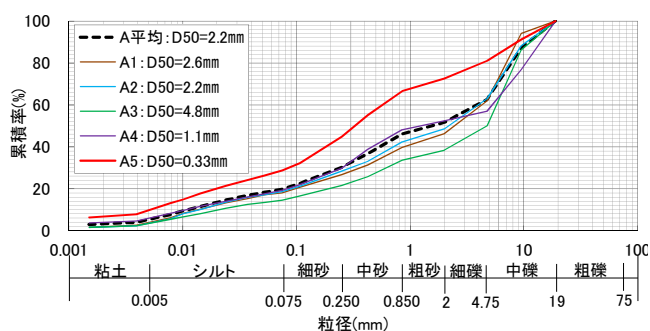


図-17 海底土砂の粒径加積曲線(上)と粒度組成(下)

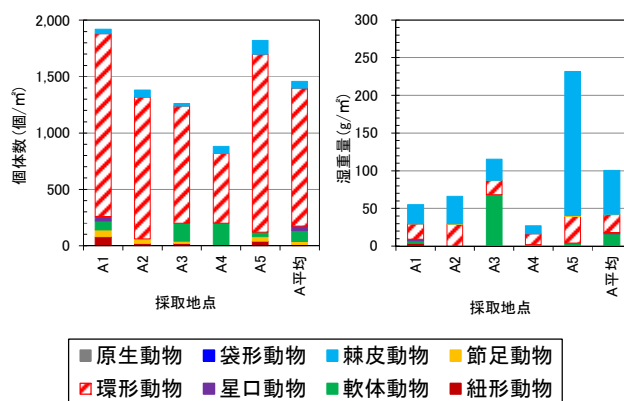
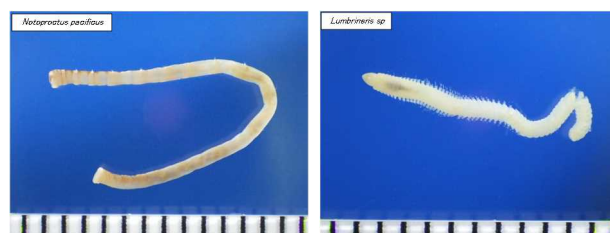


図-18 底生動物の個体数(左)と湿重量(右)の分布

表-5 底生動物の優占種

門	種名	個体数/m ²	占有率
A1			
環形動物	<i>Notoproctus pacificus</i>	860	44.8%
環形動物	<i>Lumbrineris</i> spp.	220	11.5%
環形動物	<i>Onuphis holobranchiata</i>	140	7.3%
A2			
環形動物	<i>Notoproctus pacificus</i>	500	36.2%
環形動物	<i>Nicomache</i> sp.	120	8.7%
環形動物	<i>Lumbrineris</i> spp.	120	8.7%
A3			
環形動物	<i>Notoproctus pacificus</i>	300	23.8%
環形動物	<i>Nicomache</i> sp.	200	15.9%
環形動物	<i>Lumbrineris</i> spp.	160	12.7%
A4			
環形動物	<i>Onuphis holobranchiata</i>	100	11.4%
環形動物	<i>Lumbrineris</i> spp.	100	11.4%
A5			
環形動物	<i>Notoproctus pacificus</i>	520	28.6%
環形動物	<i>Lumbrineris</i> spp.	280	15.4%
環形動物	<i>Onuphis holobranchiata</i>	140	7.7%



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

写真-9 底生動物の優占種

図-19にA地点の環形動物の個体数・湿重量の変化を示す。個体数では、A1=1,620個体/m²が最大で、人工魚礁から離れるに従い減少してA4=620個体/m²で最小となるがA5=1,580個体/m²と増加する。最優先種のタケフシゴカイ *Notoproctus pacificus*でも同様の傾向である。湿重量では、A5=35.3g/m²が最大で、A1=20.2g/m²がA2=28.9g/m²より小さいが全体として概ね個体数と同傾向である。瀬戸内海沿岸域での観測事例¹²⁾では、

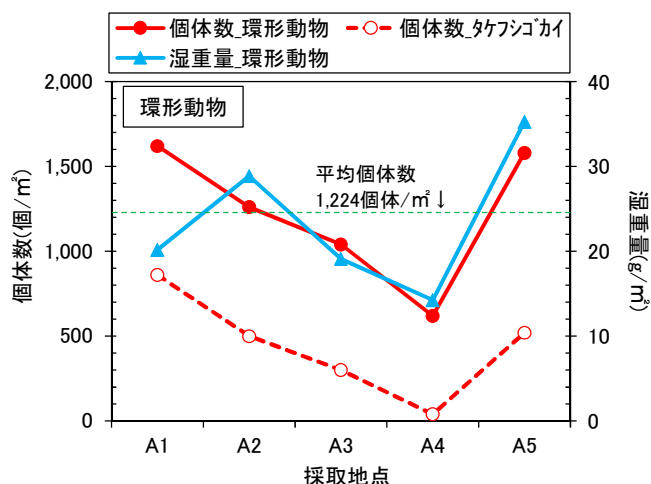


図-19 環形動物の個体数と湿重量の変化(A1~A5)

人工魚礁近傍が他海域に比べて底生動物の個体数・湿重量が多いことが確認されている。ここでは人工魚礁での底生動物の発生・増加が要因の一つとされているが、A地点の人工魚礁でも同様の現象があると仮定すれば、A5を除く地点の個体数・湿重量の傾向には人工魚礁の影響が現れている可能性がある。

一方、人工魚礁から最も離れたA5で環形動物の個体数と湿重量が大きいのは、図-17で他地点と異なるA5の粒度組成の影響が可能性として挙げられる。櫻井ら¹³⁾は、カレイ類未成魚の代表的な餌料でA地点の優占種でもあるカナブツイソメ *Onuphis holobranchiata* の潜砂実験から、底質粒径が細砂～極細砂(粒径0.063～0.125 mm)で潜砂速度が最も早いことを確認している。A地点の底質粒径については、図-17より細砂がA地点平均の10.4%に対してA5が16.1%であり、A地点で細粒成分が最も多い。このためカナブツイソメが潜砂しやすい条件と考えられるため、A5が底質粒度組成として環形動物に好適な生息環境であることが示唆される。

底生動物の個体数による餌料環境の評価事例¹⁴⁾としては、現地観測によるマガレイ稚魚の分布密度に基づきマガレイ育成場の条件として最低1,000個体/m²以上と評価した事例がある。これに照らせば、A地点平均の環形動物の個体数1,224個体/m²はカレイ等の底魚に対しては良好な餌料環境の水準と思われる。

4. まとめ

これまでの現地観測に関する結果を以下に示す。

- ① 利尻南部漁場においてマルチビーム測深を行い、魚

礁群の平面位置と概ねの底質を把握した。これにより、調査区に設置する基質別試験礁の設置予定箇所を設定した。

- ② 仙法志漁港の防波堤の消波ブロックおよび試験基質の付着生物調査を行った。消波ブロックでは上下層で出現種に優位な差は見られなかったが、下層の個体数は上層より約4割多く、湿重量は約2倍であった。試験礁では、個体数で鋼材がコンクリートよりやや多かった。個体数に基づく種組成では、コンクリートは軟体動物が最も多く、鋼材では節足動物が最も多かった。
- ③ 水塊構造と栄養塩については、既往の武蔵堆での夏季の観測結果に概ね一致することが確認された。
- ④ 植物プランクトンについては、渦鞭毛藻とクリプト藻が優先し、既往の武蔵堆での珪藻の優先とは異なる綱構成が確認された。
- ⑤ 動物プランクトンでは、スケトウダラの幼魚の主要餌料であるカイアシ類幼生と同成魚の主要餌料であるオタマボヤが優先種として確認された。
- ⑥ 底生動物では、カレイ等の底魚の重要餌料である環形動物の優先が確認された。また、環形動物の生息個体数に対して人工魚礁と底質粒度組成の二つの異なる影響が可能性として示唆された。

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、北海道開発局技術研究発表会、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、北海道開発局技術研究発表会、2012。
- 5) 公共事業の事後評価書(水産関係公共事業の期中の評価)：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。
- 6) 三上信雄・牧田佳巳・佐藤仁・三森繁昭・大橋正臣・梶原瑠美子：北方海域の物理環境変化による生物生産性の向上に関する研究、平成26年度プロジェクト研究成果報告

書 12-5、pp. 1-26、国研土木研究所寒地土木研究所水産土木チーム、2015.

- 7) 高橋正征・古谷研・石丸隆：生物海洋学 2 「粒状物質の一次生成」、東海大学出版会、p. 61、1996.
- 8) 高橋正征・古谷研・石丸隆：生物海洋学 1 「プランクトンの分布/化学組成」、東海大学出版会、p. 40、1996.
- 9) 前田辰昭・中谷敏邦・高橋豊美・上野元一：スケトウダラ稚仔の沿岸水域での生活、水産海洋研究、7(1)、pp. 23-28、1979.
- 10) 山村織生：環境変化がスケトウダラの餌メニューに影響？、北の海から、第 18 号、北海道区水産研究所編、2013.
- 11) 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.
- 12) 穴口裕司・永松公明・田原実・足立吉宏：人工魚礁における生物多様性に関する研究事例、水産工学、Vol. 50、No. 3、pp. 219-224、2014.
- 13) 櫻井 泉・瀬戸雅文・西川潤・中尾繁：異体類の餌料培養礁造成に関する予備的研究—餌料生物(カナブツイソメ *Onuphis holobranchiata*) の行動に及ぼす底質粒径および流動の影響、北水試研報、57、pp. 23-29、2000.
- 14) 梶原直人・藤井徹生：マガレイ成育場の評価手法の開発、水産基盤整備調査委託事業報告書、0083、一般社団法人マリノフォーラム 21、pp. 137-142、1999.

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、牧田佳巳、丸山修治、三森繁昭、大橋正臣、梶原瑠美子

【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、実証試験における基質設置、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行った。

キーワード：栽培漁業、種苗放流、稚ナマコ、放流基質、生息環境

1. はじめに

北海道は全国の約 3 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。

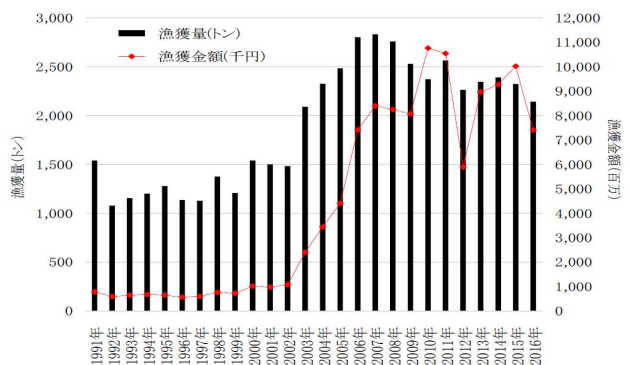


図-1 北海道におけるナマコ漁獲量及び漁獲金額の推移 (1991年～2016年)⁴⁾

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蠕集行動を利用した「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、実証試験における基質設置、種苗放流を実施し、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、そして水温や塩分の変動などの連続観測による生息環境調査を行った。



図-3 環境調査の測点 (No. 1～No. 8)

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
(放流基質の設置位置 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)。

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. a, SiO ₂ -Si, POC, PON	No. 1	2016 年 10 月
		～ No. 8	2016 年 12 月
底質	粒度, 強熱減量, COD, 硫化物, Chl. a, Pheo., TOC, TON	No. 1	2016 年 12 月
		～ No. 8	
波高	水圧式波高計, 2 時間毎 20 分観測, Δt:0.5sec	No. 9	2016 年 9 月
		No. 4	～ 2017 年 2 月
生息環境	水温・塩分 (INFINITY-CTW), Chl. a 及び濁度 (INFINITY-CLW), 光量子 (COMPACT-LW)	A 地点	2017 年 9 月 ～11 月 19 日

3.3 実証試験方法

3.3.1 放流基質の設置

当漁港における実証実験として放流基質位置は、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)。これは稚ナマコ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。基質の設置は、2016 年 11 月に実施した。

3.3.2 放流基質

放流基質は、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 5 種類のユニットを設置したものである (表-2, 写真-2)。図-4 は放流基質全体 (単位: 1 基) を示しており、この放流基質を各地点 (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-2 に示すとおりである。材料としてはホタテ貝殻、

石材、透水マットを用い、円柱状のネットに入れ、3セットを1ユニットとした。これらは空隙の違いによる生息状況を確認するだけでなく、長期的にはユニットに付着する海藻等の付着物の量や種類とナマコ生息との関係を検討するためである。



写真-1 小型貝殻ブロック
(海洋建設株式会社 NETIS 登録 No. CGK-15001-A)

表-2 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



写真-2 放流基質の設置状況

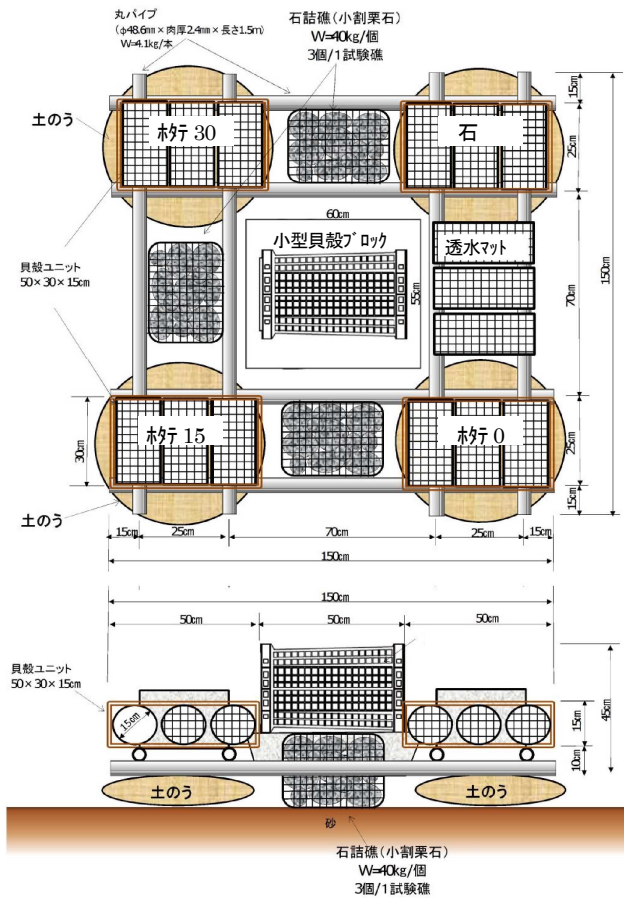


図-4 放流基質 (全体)

3.3.3 放流稚ナマコ

稚ナマコは、北海道栽培漁業振興公社 (熊石事業所) で生産された約 30,000 匹の人工種苗を用いた (写真-3)。また、種苗生産に使用した親ナマコは当漁港周辺で採取されたものを用いた。2016年に放流した稚ナマコの平均体長は26mm、平均重量は0.7gであった。放流は2016年12月7日と2017年12月7日の2回行った。

放流数は図-4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 放流した稚ナマコ



写真-4 放流状況

3. 4 残存量調査方法

放流後の稚ナマコ残存量調査は、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基質のうち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(写真-5)。計測後の稚ナマコは各ユニットに再放流した。調査は、放流後1週間、49日、83日、165日、259日、342日後の計6回実施した。



写真-5 残存量調査状況(左: ナマコ採取、右: 計測)

4. 調査結果

4.1.1 水質・底質分析結果

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-5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、全体的には港内外で大きな違いが見られない。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わかる。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, 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。

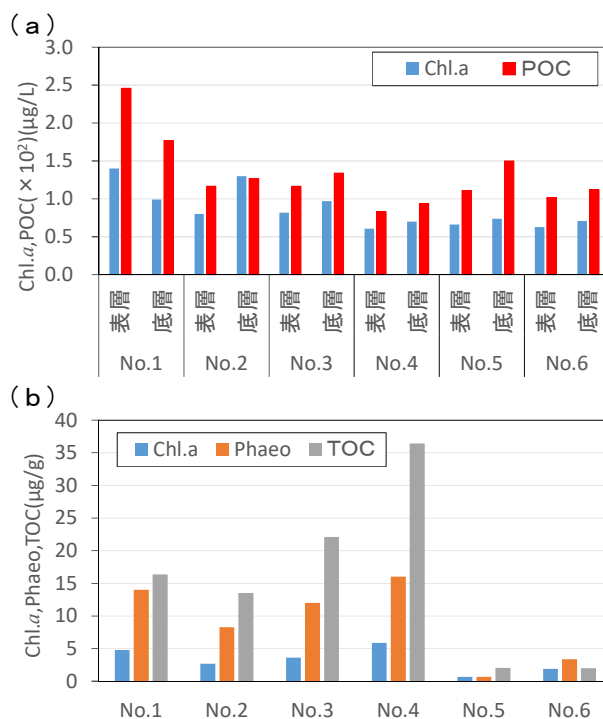


図-5 2016年12月観測、水質・底質分析結果 (a: 水質, b: 底質)

4.1.2 環境調査

冬季の波高の変化を図-6に示す。本漁港は冬季に港口周辺のA地点であつても有義波高が0.5m以下であり静穏な環境といえる。観測期間中の2016年12月に稚ナマコを放流しており、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流出することが少なく、比較的良好な環境であつたと考えられる。

図-7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月には20℃程度から11月は15℃程度と水温低下が見られた(図-7(a))。塩分は表層、底層ともにほぼ34PSUで一定であるが、9月18日に表層の塩分低下が生じている(図-7(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る(図-7(b))。光量子密度は天候に左右されるがA地点は水深が6m程度のため、底層にまで光が届いていることがわかる(図-7(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ており(図-7(d))、

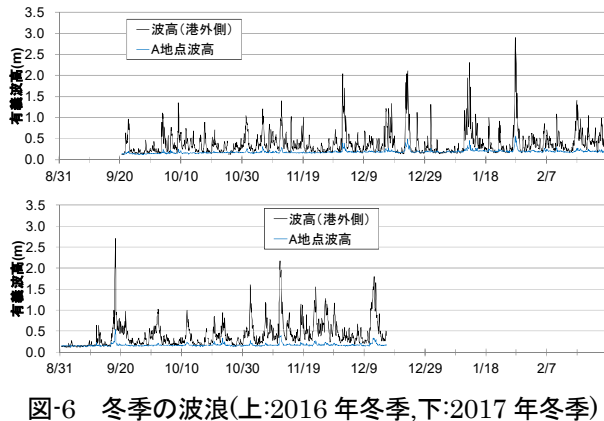


図-6 冬季の波浪(上:2016年冬季,下:2017年冬季)

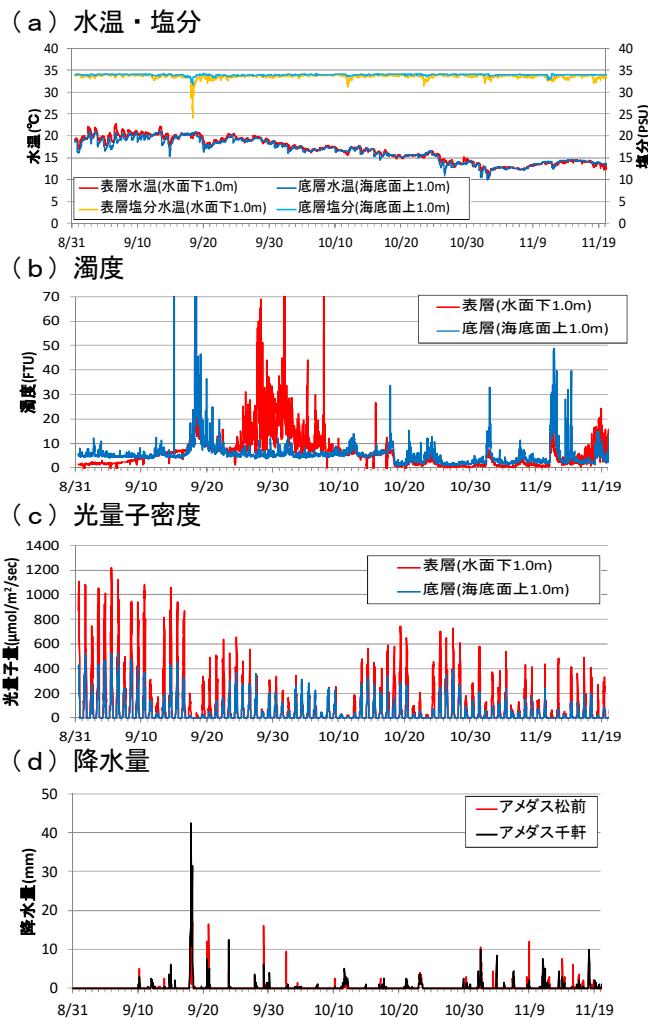


図-7 A地点の連続観測結果(2017年)

これは台風18号の接近によるものである。このことから、台風18号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。

4.2 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別平均生息個体数の調査結果を図-8に示す。稚ナマコは放流基質(図-4)の中心の小型貝殻ブロックに放流後、時間の経過と共に各ユニットに移動していくことがユニット内の個体数の増加から分かる(図-8)。

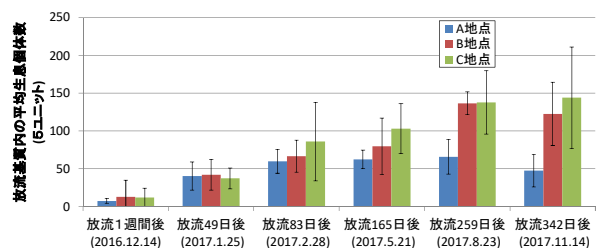


図-8 地点別ナマコ生息個体数(5種類のユニットの合計)

一方で、B、C地点では時間の経過とともに個体数が増加しているのに対し、A地点は増加の割合が小さく、放流後342日後(2017.11.14)では減少に転じている。これはA地点に砂が堆積し、写真-6のように放流基質が埋没したこと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。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。

(a)



(b)



写真-6 A地点の堆砂状況((a)堆砂前、(b)堆砂後)

図-9 では、各ユニット内の個体数と平均標準体長 (cm) の変化を地点別で示す。約 2,000 個体を放流した小型貝殻ブロック内の個体数は、時間の経過とともに減少しているのが分かる (図-9(a))。一方、前述したように A 地点は 259 日、342 日後に減少しているユニットがあるが、B、C 地点については各ユニット内の個体数は調査期間を通して増加傾向を示した。特に、ホタテ 0 (図-9 (b)) とホタテ 15 (図-9 (c)) の個体数変化にその傾向が強く見られた。このとき標準体長は 3cm~5cm 程度であり、このサイズの稚ナマコにとって材料がホタテ貝殻で貝殻の間隔が 15mm 程度以下の基質が生息場所として適している可能性が示唆された。もちろん、基質内の静穏度やナマコの体長なども生息場所を選択する上では重要と考えられるが、ホタテ貝殻の間隔が小さいユニットでは有機物を多くトラップしていたことが観察されたことから、餌供給の観点からも選択されていた可能性がある。今後、付着基質の違いや間隔の違いで稚ナマコの餌環境がどのように異なるかなどについても検討する必要がある。

本調査では、放流基質 1 基に当たり、放流 1 年後も A 地点には 270 個体 (定着率 13.5%)、B、C 地点には放流個体数の 4 割以上の稚ナマコが試験礁内に認められた。一方で、試験礁外の分布調査では稚ナマコが観察されなかったことから、放流基質が良好な定着場となっていたことが確認出来たと言える。なお、本調査では、ユニット内の全てのナマコを計測しているため、天然個体が含まれる可能性があることに留意する。

また、放流してから 342 日後の定着個体数が一番多かった C 地点は、アマモ場が隣接している (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も多く生息していることや⁸⁾、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 (デトライト) が供給されるなど、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、堆積物量が一番大きかった A 地点では、1 年後の定着個体数は最小だったものの採捕された稚ナマコの平均標準体長は最大であった (54.9 ± 13 mm)。堆積物が溜まる過程で大きな個体のみが選択的に生残した可能性のほか、A 地点周辺の底質には、底生物の餌環境の指標となる TOC が他の地点より高かったことから、成長に有利な底質環境であった可能性も考えられる。稚ナマコの定着、そして成長を高めるための環境特性の特定は種苗放流適地を検討する上で非常に重要であると考えられる。

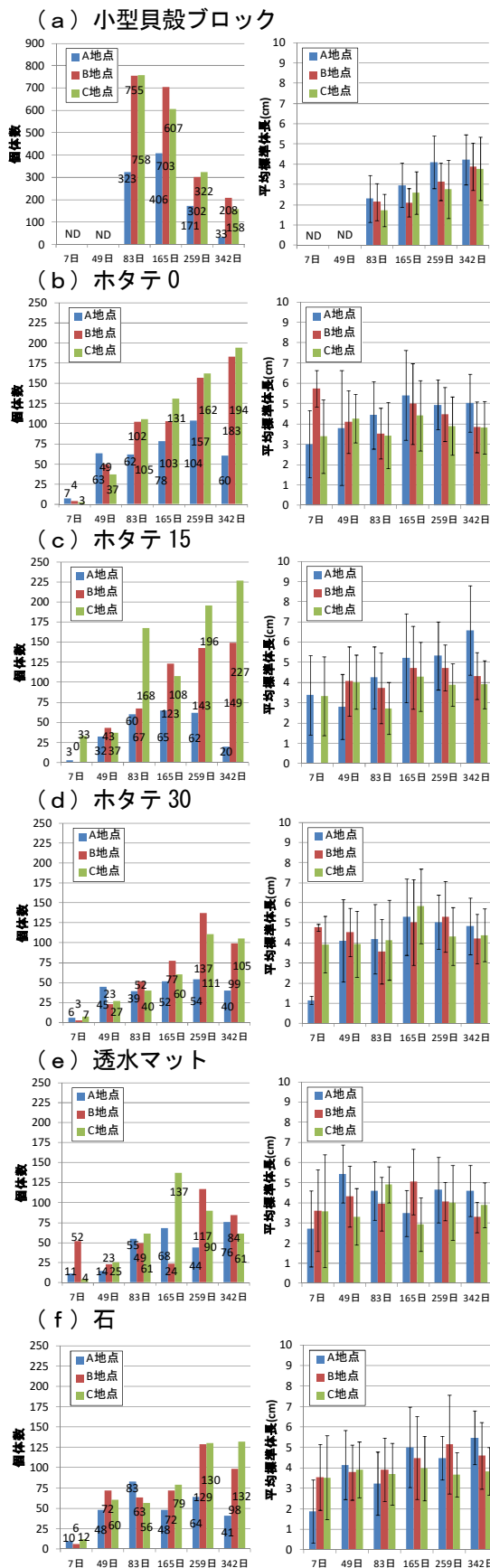


図-9 地点別の個体数及び平均標準体長 (cm) の変化 (ユニット別)

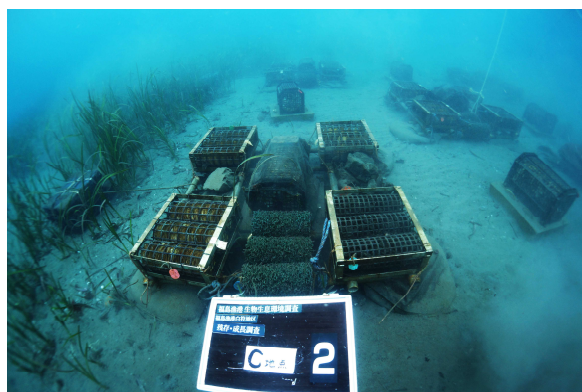


写真-7 C地点の様子(左手側にアマモ場)

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)及び平成 29 年度(2017)の検討結果について以下に取りまとめる。

- ・本漁港は冬季に港口周辺であっても静穏であり、稚ナマコ放流・定着には物理的な環境として比較的良好である。
- ・放流して約1年後に放流基質内に高い定着（B、C地点には放流個体数の4割以上）が認められた。また、各地点でバラツキが大きいながらも年間を通して成長も確認された。
- ・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。
- ・本調査では体長が3cm～5cm程度に成長した段階であり、このサイズのナマコには材料がホタテ貝殻で貝殻の間隔が15mm程度以下が生息基質として適していたと思われる。

今後も上記の調査、解析を継続的に行うことで、港内を用い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：北海道マリンビジョン2 1（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.
- 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) 地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所：ナマコ種苗生産マニュアル、2010.

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：新目竜一、谷瀬敦、布川雅典

【要旨】

生態系保全や水産資源維持の観点からシロサケ自然産卵魚個体群の保全を含めた資源管理の必要性が求められている。しかしながら、保全対策上重要なシロサケ親魚の全遡上数が明らかでない流域も少なくない。そこで本研究では、十勝川千代田新水路内階段魚道を遡上するシロサケ親魚の遡上数を自動計測システムにより計測した。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った。それによりシロサケの遡上はほぼ終日行われていることが明らかになった。本研究で得られた結果は今後の産卵環境保全対策にかかる生態系保全対策に利用することができる。

キーワード：サケカウンター、十勝川、遡上数、魚道

1. はじめに

国土のグランドデザイン 2050¹⁾、平成 29 年度国土交通白書²⁾および平成 29 年度水産基本計画³⁾といった異なる行政機関による計画すべてに共通して、魚類の移動経路である河川ネットワークの重要性と保全の必要性が記載されている。このように、河川連続性が保全され魚類が移動しやすい川づくりが重要であるとの社会的認識が高まっているといえるだろう。

海洋と河川を回遊する魚類は、その回遊ルートに設置された構造物等により、河川の連続性が妨げられると、その種の個体群の衰弱、あるいは絶滅を招く可能性が高い。そのため、沿岸一河川上流域の連続性が重要であると考えられる。

サケ科魚類は、北海道において古くから水産資源として利用され⁴⁾、北海道漁業を支える重要な存在である。しかしながら、2000 年代から、そのようなサケ科魚類の来漁獲数が減少している⁵⁾。

サケが魚類のうちシロサケが最も多く漁獲されているが、これらの資源のほとんどが人工孵化放流事業により管理されており、高水準の資源量を維持してきた⁶⁾。一方で近年は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個体群の保全が重要視されている⁷⁾。このような保全を考える上で、最も基礎的であり重要なデータは親魚回帰数である。



写真-1 階段式魚道最上流に設置されたサケカウンター

しかし、シロサケの遡上数は漁業者による採取が行われている河川や時期にはその量が把握できるものの、それ以外については全数を計測するのは難しい。年間約 30 万匹が遡上する北海道東部十勝川⁸⁾においても、漁獲時期以降のシロサケ (*Oncorhynchus keta*) 遡上数は明らかになっていない。シロサケの魚道遡上数の自動計測システム（以下サケカウンターと呼ぶ）はこれまで、新潟県 JR 宮中取水堰での使用や利根大堰での使用¹⁰⁾が見られるが、遡上数が多く低温の北海道においてはサケカウンターを試行した事例はほとんどない。シロサケ生産量が我が国において最も多い北海道においてサケカウンターの開発と試行はシロサケ資源の管

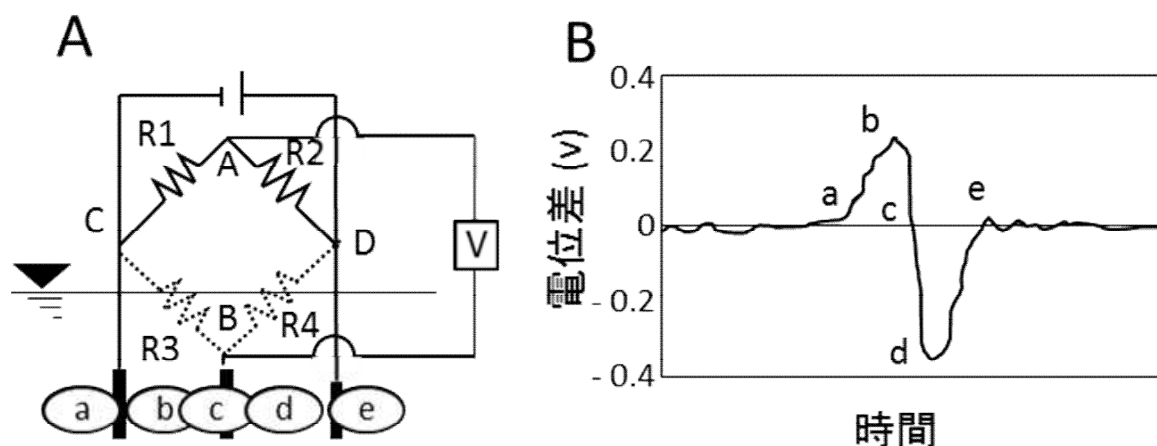


図-1 サケカウンターの回路 (A) と発生するパルス状の電位差 (近藤・権田 2008⁹⁾ を改変)。A の○は魚を意味する。

理を考える上で非常に重要である。そのため、寒冷地である十勝川においてはサケカウンターによる遡上数の計数を行った。

2. シロサケ遡上数調査方法

サケカウンターは、魚を感知する金属板でできたセンサー部と、センサー部を通過した時に出力されるパルス波状の電気信号 (以下パルスという) を計測する解析部からなる⁹⁾。センサー部は金属板を水路と同じ長さで、水路に平行で等間隔に設置されている。センサー部の基本回路は、同じ抵抗値を持つ二つの抵抗 (R1, R2) と水中に設置した3本の電極 (D1, D2, および D3) で作られる回路である (図-1)。回路の CD 間にかけてられた電圧で AB 間の電位差が検出できる。魚が電極を通過すると、水と魚の抵抗が異なることか

ら、この電位差が変化する。例えば、図-1 の a-b-c-d-e と移動した場合、AB 間電位差はパルス状に変化する (図-1)。これを読み取り遡上数として計数するのがサケカウンターの原理である⁹⁾。このサケカウンターの解析部を寒冷地 (-20℃) でも作動するように断熱材に覆われた観測小屋内に設置した。さらに商用電源が利用できない場所の設置を想定して、バッテリーを使って作動させた。

調査地点は北海道東部十勝川の河口から 40 km の地点にある千代田新水路内階段魚道である (図-2)。この魚道の上流端にはプール状の空間がありそこから十勝川本流へはゲートにより締め切られ、ここまで遡上したシロサケは、9月から11月まではここで捕獲される。

ここに、サケカウンターを、11月16日から18日にかけて設置し、遡上数の計数を23日から24日に行っ



図-2 十勝川新水路とサケカウンター設置箇所

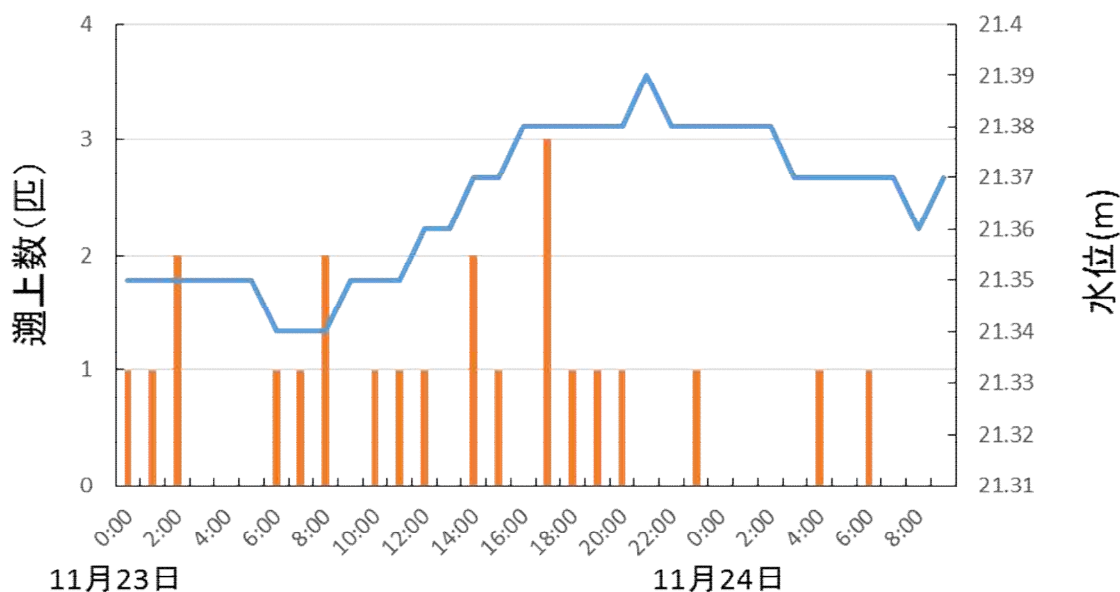


図-3 2017年11月23日から24日にかけての十勝大橋の水位と魚道のシロサケ遡上数

た。サケカウンターは、木製水路とそれを支える架台からなり、架台は魚道の水路幅に合わせて作られている。その架台に木製水路が乗せられて固定されており、その木製魚道には幅4 cm アルミ板が電極（センサー部）として25 cm 間隔で貼り付けられている。架台の幅は200 cm、木製水路の長さは200 cm、幅80 cmである。

これを階段式魚道の最上流部（図-2）にはめ込むように設置した（写真-1）。設置時の木製水路の上流端から1 m の水深は21.3 cm、流速は146.3 cm/sであった。近傍のアメダス（帯広）の2017年1～3月の最低気温は-20.6℃であった。

3. シロザケの遡上数の計数

2017年11月22日から24日の期間では、23日に遡上が多くみられた。23日午前零時から翌24日午前6時までの間に、23匹の遡上が確認された。それらは、およそ1時間に1から2匹の遡上があった。11月23日6時から20時までの間に16匹が遡上していた。11月23日18時には1時間あたり3匹の遡上数を計測した。

また、本カウンター設置地点から上流約3.0 kmの十勝大橋での水位を見ると、11月23日6時から20時までの間に穏やかに水位上昇がみられた。水位変化と遡上数との関係が示唆される（図-3）。

このように本カウンターを用いることにより、24時間連続的に遡上する魚類を計測することが可能である。これまでは、魚道等を遡上する魚類の個体数を計測す

るには、魚道上流側に設置されたトラップ等で捕獲する方法や、遡上行動の映像から計数する方法が用いられてきた。しかし、どちらも調査員の労力がおおきく、かかる経費も小さくない。また、後者であれば夜間や濁水時の計測は難しい。

本カウンターは、設置から撤去の間に、データ収集を行うだけで、任意期間の遡上数を計測できる。本システムの中でシロサケを対象としたものは、道外で2例知られているが、寒冷地かつ電力が入手できない場所における事例は全くない。今回の本データが寒冷地における初めての遡上数自動計測の事例となる。

4. シロザケの遡上行動と河川環境保全

十勝川新水路の魚道を対象に、サケカウンターを用いて11月下旬に遡上するシロザケの遡上数を調査した。このサケカウンターの設置によって、24時間連続計測が可能となって、それによりシロサケの遡上はほぼ終日行われていることが明らかになった。さらに、魚道のシロサケ遡上数は十勝川の水位上昇とともに増加していることが示唆された。このような遡上数の全数調査は、資源維持の観点から遺伝的多様性を持つ自然産卵魚に関する研究に対し、非常に有用な情報であると考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省：国土のグランドデザイン2050～対流促進型国土の形成～、2016。
- 2) 国土交通省：平成28年度国土交通白書、2017。

- 3) 水産庁：水産基本計画、2017.
- 4) 加藤雅博：北太平洋と日本におけるさけます類の資源と増殖、SALMON 情報、11、 pp. 40-41、 2017.
- 5) 渡邊久彌・本多健太郎・鈴木健吾・斎藤寿彦：サケ（シロザケ）日本系、平成 28 年度国際漁業資源の現況、水産庁 水産研究・教育機構、60、 pp. 60-1-60-8、2017.
- 6) 岡本康孝：豊平川におけるシロザケ孵化放流の記録（1979～2000 年）および親魚との卵の形質値について、札幌豊平川さけ科学館、13、 pp. 32-46、 2008.
- 7) 眞山紘：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、 pp. 1-7、 2004.
- 8) 北海道区水産研究所：河川別の捕獲数、採卵数及び放流数、
http://salmon.fra.affrc.go.jp/zousyoku/river/river.htm#1-1cpt_sake、(2017 年 6 月 10 日現在確認)
- 9) 近藤康行・権田豊：砂防堰堤魚道における魚カウンターの研究について、河川技術論文集、14、 pp. 469-472、2008.
- 10) 近藤康行・権田豊：魚カウンターによるサケの遡上数計測に関する研究、土木学会論文集 G (環境)、68、 pp. 1-12、2012.

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：新目竜一、谷瀬敦、布川雅典

【要旨】

生態系保全や水産資源維持の観点から自然産卵魚個体群の保全を含めた資源管理の必要性が求められている。魚類資源の維持増殖には、産卵生息域と海洋との通路である河川の環境保全、とりわけ遡上および降河環境の保全が重要である。しかしながら、貯水ダムがある流域においてはダム上流域から下流へのサクラマス降河行動や、ダム貯水池にサクラマスが流入した場合のその後の行動は十分にはわかっていない。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サクラマス幼魚（非スモルト）の降河行動を調べた。その結果、ダム流入河川においては、貯水池へは降河せず魚道を経由して下流へ移動する個体が確認された。ダム貯水池から流入河川に遡上する個体がいることも明らかになった。また、ダム貯水池では、最低でも5日以上滞在し、放流個体数の15%(2016年)および47%(2017年)で20日以上も滞在することが明らかになった。本研究で得られた結果は今後の産卵環境保全対策やダム管理にかかる生態系保全対策に利用することができる。

キーワード：バイオテレメトリー、美利河ダム貯水池、サクラマス幼魚（ヤマメ）

1. はじめに

国土のグランドデザイン 2050 では水域および河川と海洋とを有機的につなぐ生態系ネットワークや生物多様性の保全と回復への対応が必要である¹⁾とうたわれている。また、平成29年度国土交通白書²⁾では魚介類の遡上・降河環境の改善が重要であると述べられている。一方で、持続的な水産資源の利用が重要であると平成29年度水産基本計画³⁾に記されている。このように、流域内の生物多様性保全に加えて、水産資源の持続的利用の確保の観点から、河川連続性が保全され魚類が移動しやすい川づくりが重要であるとの社会的認識が高まっている。

海洋と河川を往来する魚類にとって、人工構造物により回遊などが妨げられることは、その種の個体群の衰弱あるいは絶滅を招く危険性をはらんでいる。そのため、特に沿岸から河川上流域までの連続性がこれらの種の存続に重要であると考えられる。

サケ科魚類は水産資源として価値が高い。北海道で多く漁獲され⁴⁾、北海道漁業を支える重要な存在でもある。2000年代から、そのようなサケ科魚類の来漁獲数は減少傾向にある⁵⁾。

サケ科魚類のなかでも人工放流による効果が小さいサクラマス(*Onchorynchus masou*)は、その資源管理の観点では野生資源に頼らざるを得ない状況が続いている。そのため、資源の維持増殖には、産卵生息域と海洋との通路である河川の環境保全、とりわけ遡上および降河環境の保全が重要である。しかしながら、貯水ダムがある流域においてはダム上流域から下流へのサクラマス降河行動や、ダム貯水池にサクラマスが流入した場合のその後の行動を明らかにした事例は少ない。この点を明らかにするために、バイオテレメトリー手法を用いて降河行動を調査した。

2. サクラマス幼魚降河行動調査方法

2.1 調査地

調査地は後志利別川に設置された美利河ダムとそれに注ぐ、チュウシベツ川である。後志利別川は北海道せたな町および今金町を流下する流路延長80 km、流域面積720 km²の一級河川である⁶⁾。この後志利別川の河口から51.5 kmの地点に位置する美利河ダムは、洪水調節、灌漑用水の補給および発電を目的として1991年に完成した。2005年にはダム堤体下流の後志



図-1 ピリカダム貯水池およびその流入河川 (A) と分水施設および魚道 (B)

利別川本流から、ダム湛水池に流入するチュウシベツ川の下流部へと魚道が設置された(図-1)。チュウシベツ川から魚道への流水の供給と、魚類の往来が可能とするために分水施設が設置されている(図-1B)。また、この分水施設の下流からダム貯水池までの間に2基の横断構造物(落差工)が設置されている(図-1A)。

2. 2 超音波発信機の装着と供試魚の放流

サクラマス幼魚(以下ヤマメ)の遡上や降河行動を把握するために、超音波バイオテレメトリーシステムを用いた。このシステムは、超音波発信機と受信機からなる。行動を調べたい個体に超音波発信機を装着し、それらが通過すると思われる箇所に受信機を設置する。こうして、発信機からの信号を受信し魚類行動を明らかにするシステムである。

本研究ではこのシステムで使われる発信機を、ヤマメに飲み込ますことにより胃部に装着した。使用した発信機は装着可能な小型発信機(Vemco社製、V7-69 kHz: 7×22.5 mm, 0.7 g, 寿命約70日間)である。

このような発信機付きヤマメを分水施設本堤の上流で2016年8月9日と、2017年5月26日にそれぞれ

20個体放流した。さらに、チュウシベツ川のダム流入部(St. 3付近: 図-2)において、2016年は20個体を8月10日に、2017年には30個体を5月26日と6月8日に分けて放流した。放流個体はすべて、魚道から採捕されたスマルト化していない2歳魚であり、体サイズ(全長平均値と標準誤差)は、152.7 ± 19.6 mm(2016年)、144.7 ± 18.8 mm(2017年)だった。

2. 3 超音波受信機の設定

チュウシベツ川から分水施設および魚道へのヤマメの降河行動を明らかにするために、分水施設導水路上流と魚道に受信機(Vemco社製、VR2-Tx-69 kHz)を設置した。これらの受信機の位置をSt. 1およびSt. 2とする(図-1B)。なお、副堤(図-1B)から、下流のチュウシベツ川流入部までの区間と本堤より上流は、受信機を設置しなかったことから、その区間での行動は明らかにできない。

美利河ダム貯水池でのヤマメの滞在期間を明らかにするために、貯水池中央部に受信機(上記同型)を5基(2016年)と10基(2017年)配置した。これらの受信機の位置はそれぞれSt. 4からSt. 8(図-2A)

と St. 4 から St. 14 (図-2B) である。2017 年はダム貯水池の取水口からの流水の出口であるダム下流の放水口 (St.15: 図-2B) にも設置した。上記の他、美利河ダム貯水池から流入河川への移動行動も受信するために、チュウシベツ川、後志利別川およびピリカベツ川の流入部に配置した。これらの受信機の位置を兩年ともそれぞれ St. 3、St. 9 および St. 10 とする (図-2)。

受信機は、2016 年は 8 月 8 日から 10 月 2 日、2017 年は 5 月 26 日から 8 月 30 日まで設置した。各地点の受信機は、いずれもロープに固定し、アンカー (約 20kg) および浮子・旗を用いて、各地点の中層に取り付けた。さらには、2017 年 6 月 28 日と 7 月 25 日には可搬型受信機 (Vemco 社製、VR-100) を用いて、チュウシベツ川流入部から分水施設周辺までの淵状の地形で発信機装着個体の探索を行った。

3. ヤマメの降河行動結果と考察

3.1 チュウシベツ川本堤上流からの放流魚

チュウシベツ川本堤上流から放流した個体が、最後に受信された場所の個体数は 2016 年と 2017 年の順にそれぞれ、魚道が 8 個体 (2016 年) と 7 個体 (2017 年)、分水施設周辺が 1 個体 (2016 年) と 4 個体 (2017 年) であった。11 個体 (2016 年) と 9 個体 (2017 年) は行き先が不明であった (図-3A)。スマルト化したヤマメ個体を対象とした既存の調査では、放流魚のほとんどが魚道まで達しており、今回の調査も同様な傾向が認められた。不明個体は、超音波受信可能範囲以外となる本堤上流からチュウシベツ川流入部の区間あるいは本堤より上流区間に分布したと推測される。なお、

不明個体の副堤からの落下状況は明確ではないものの、ダム貯水池まで降下した個体は記録されなかった。

3.2 チュウシベツ川流入部からの放流魚

チュウシベツ川流入部において放流した個体は、2016 年と 2017 年ともに 1 個体がチュウシベツ川 (分水施設) に遡上していた (図-3B)。ただし、2016 年に 7 個体、2017 年には 13 個体もがチュウシベツ川流入部で滞留していた (図-3B)。2017 年にのみ受信機を設置した取水塔 (St. 12: 図-2B) や放水口 (St. 15: 図-2B) において、一度も個体が受信されなかったことから、放流魚は取水口に取込まれて下流の放水口まで移動している事実はなかったと解釈される。また、2017 年にはチュウシベツ川に設置されている 2 基の落差工 (図-1A) 間に存在する淵状の河川地形において、可搬型受信機により放流魚を発見できた。

ダム貯水池からチュウシベツ川に遡上するヤマメ個体は、チュウシベツ川の流量が変動しているときに遡上行動を起こしている傾向が認められた (図-4)。今回使用した個体は 2 歳魚個体であり、スマルト化個体の移動パターンと本研究で使用した個体の移動パターンとは異なると考えられる。しかしながら、スマルト化個体のように下流への移動行動が旺盛な個体でなくとも、下流への降河個体の移動に対して、この分水施設と魚道は機能していることが明らかになった。

3.3 美利河ダム貯水池における滞在時間

美利河ダム貯水池でのヤマメの滞在時間は 2016 年では 6 分から 71 日の範囲で、放流個体の半数は、放流後一日以内に各流入河川方向へ移動している。一方で 2017 年では、これと異なり、貯水池での滞在時間

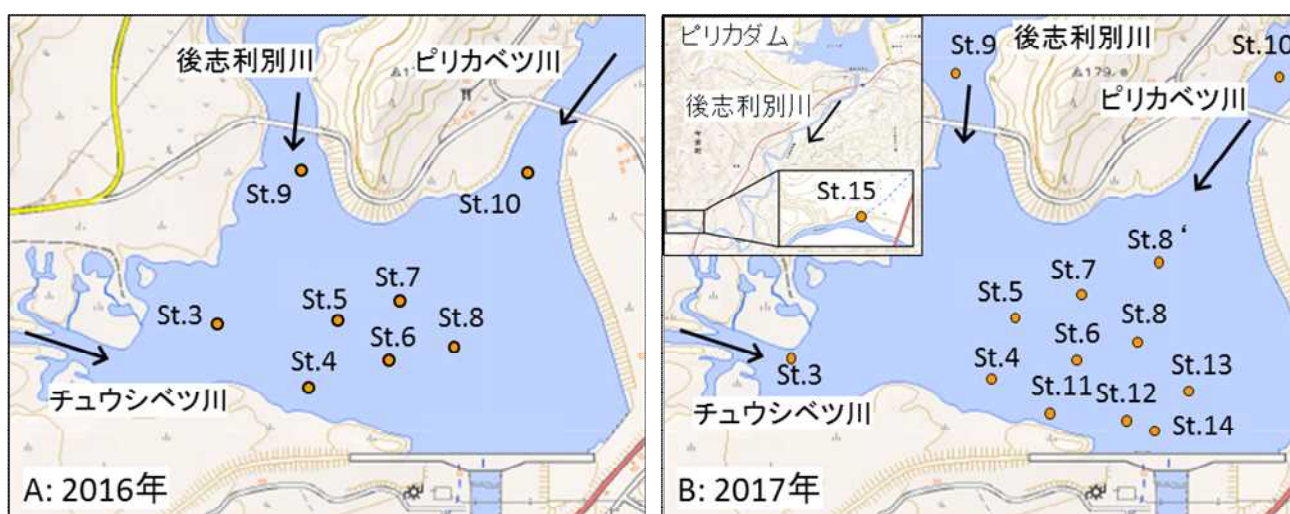


図-2 美利河ダム貯水池における超音波受信機の設置地点。オレンジ丸点は受信機の位置を示す。2016 年 (A) と 2017 年 (B) とでは受信の設置場所と設置数が異なる。

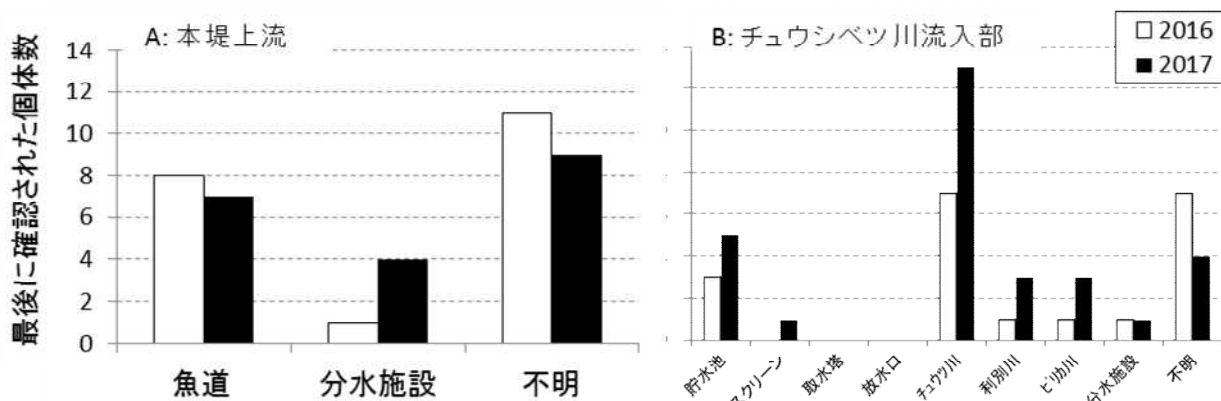


図-3 2016年(□)と2017年(■)のチュウシベツ川本堤上流(A)とチュウシベツ川流入部(B)から放流された発信器装着個体の最終確認場所別の個体数。2016年調査ではスクリーン(St. 11および13: 図-4B)、取水塔(St. 12: 図-4B)および放水口(St. 15: 図-4B)のデータはない。2017年の取水塔および放水口で確認された個体は0尾だった。また、Bの横軸タイトルにかかっている略称の詳細は以下の通り。スクリーン: ダムサイトのスクリーン付近、放水口: ダム下流北電放水路出口付近、チウ川: チウシベツ川流入部、利別川: 後志利別川流入部、ピリカ川: ピリカベツ川流入部。

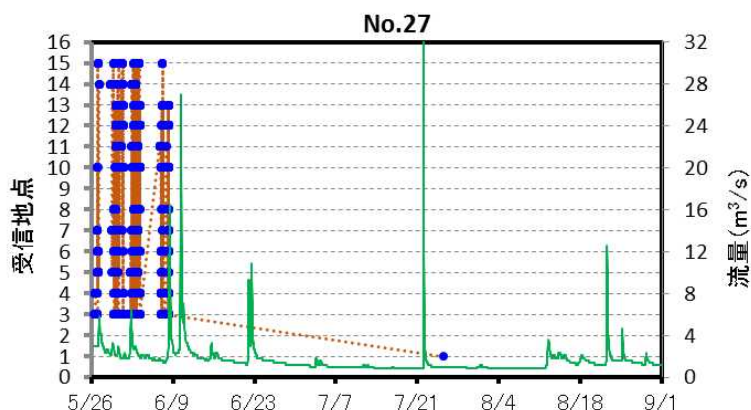


図-4 2017年に放流されチュウシベツ川を遡上する個体(no. 27)の行動とチュウシベツ川の流量。受信地点の場所(図-2B)は以下の通り、0: チュウシベツ副堤上流、1: 分水施設導水路(St. 1)、2: 魚道(St. 2)、3: チュウシベツ川流入部(St. 3)、4-9: ダム湖中心部(St. 4-8'), 10-11: スクリーン付近(St. 11-と13)、12-13: 取水塔付近(St. 12-14)、14: 後志利別川流入部(St. 9)、15: ピリカベツ川流入部(St. 10)、16: 北電放水口(St. 15)。

は5日から90日の範囲であった。最低の滞在時間でも5日間は滞在しており、約半数の14匹が20日以上滞在していた。2017年は5月26日(10匹)と6月8日(20匹)に放流されている。この放流後はヤマメの発育期であるため摂食量が最大を迎える時期と重なり、生息密度が高くなると移動するものの^{7,8,9,10)}、少なくとも8月までは同じ箇所ですべて採餌をおこなう¹¹⁾ことが考えられる。

また、2016年に放流された個体は秋季の行動をする個体群と考えられ、9月を中心としたこの時期は、低流速の摂食場を求めて移動が引き起こされると考えら

れている¹¹⁾。2016年と2017年とで、ダム貯水池における滞在時間分布に違いがあったのは、このような行動様式の違いが反映されたためだともおられる。

本研究で示されたように、長期間ダム貯水池に生息して流入河川上流へ遡上することは、何らかの理由で貯水池に流入した個体も流入河川での再生産に寄与できる可能性を示している。

4. まとめ

分水施設上流から放流された個体は15個体が魚道まで、5個体は分水施設内まで到達していた。また、

ダム湖に放流されたヤマメは、チュウシベツ川に多く遡上するだけでなく、他の2つの流入河川へも遡上している可能性が考えられた。ダム貯水池に個体が滞在した場合、放流個体数の15%（2016年）および47%（2017年）で20日以上も滞在することが明らかになる一方で、2016年放流の約半数は放流後一日以内に各流入河川方向へ移動していた。このように、貯水池から流入河川上流へ遡上することによって、本ダム湖において湖産型サクラマスの子息につながる可能性が考えられた。一方で、チュウシベツ川を分水施設まで遡上できた個体はほとんどおらず、二基の落差工周辺で観測された1個体も大きな流量を利用して遡上したことが考えられる。このことから、現在設置されている落差工を改良することで、貯水池に流下した個体の遡上可能性が高まることが期待される。

参考文献

- 1) 国土交通省：国土のグランドデザイン2050～対流促進型国土の形成～、2016.
- 2) 国土交通省：平成28年度国土交通白書、2017.
- 3) 水産庁：水産基本計画、2017.
- 4) 加藤雅博：北太平洋と日本におけるさけます類の資源と増殖、SALMON情報、11、pp.40-41、2017.
- 5) 渡邊久彌・本多健太郎・鈴木健吾・斎藤寿彦：サケ（シロザケ）日本系、平成28年度国際漁業資源の現況、水産庁 水産研究・教育機構、60、pp.60-1-60-8、2017.
- 6) 北海道開発局：後志利別川水系河川整備計画、2007
- 7) 田中哲彦・石田昭夫・松川洋・石川嘉郎・薫田道：人工ふ化サクラマス稚魚の放流に関する研究—1報 目名川とその立川における分散と定着についての観察、さけ・ますふ所報、25、pp.1-17、1971.
- 8) 松川洋・長原幸吉・石田昭夫・石城謙吉・稲垣和：人工ふ化サクラマス稚魚の河川放流に関する研究—3報 天塩川支流パンケナイ川における分散と定着についての観察、さけ・ますふ研報、26、pp.1-9、1972.
- 9) 久保達郎・他魚類班：魚類生産に関する1969年度の調査結果、JIBP-PF ユーラップ川群集生産研究経過報告、2、pp.9-20、1971.
- 10) 小島博・杉若圭一：厚田川におけるサクラマス幼魚の成長と生息密度および現存量の季節変化、道立水産孵化場研報、34、pp.7-16、1979.
- 11) 真山紘：サクラマス *Oncorhynchus masou* (Brevo0rt) の淡水域の生活および資源培養に関する研究、北海道さけ・ますふ化場研究報告第46、pp.1-156、1992.