

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、令和元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の技術開発を行うことにより、機能強化に資する整備技術の開発に繋げ、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。令和元年度は、インターバルカメラによる魚類観察と漁港周辺の波動場解析、二枚貝（アサリ）の室内振動流水槽実験により、魚類およびアサリでの流速項目における機能評価基準や、基準値を用いた評価方法を検討した。魚類に関する高波浪からの避難場機能評価では、インターバルカメラで撮影された魚類の出現個体数と、波動場解析により算出した画像撮影時の底面振幅流速の関係から、魚類行動に影響を与える流速の基準値案として 0.2m/s が考えられた。基準値案により最頻波高や最大波高時で漁港内を仮区分した各領域を評価した場合、寿都漁港では港奥域は常に高波浪からの避難場機能が高く、港口域は高波高時には避難場機能が低いと評価された。今後、基準値とともに、波高条件や領域区分なども詳細な検討が必要であるが、このような機能評価手法は、機能強化の整備につながる有益な情報となることが示唆された。アサリに関しては、漁港構造物の静穏

域創出機能を活用した垂下養殖技術の確立のために、波浪に伴い発生する流速とアサリや基質（砂利、軽石）の移動との関係を把握する必要があり、振動流水槽実験でアサリのサイズ別や基質の違いで移動反転する流速を観察することで、垂下養殖時の流速の評価基準値案を作成した。

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。令和元年度は、餌料培養効果のさらなる基礎データの蓄積とその定量評価手法の基礎的知見を得るため、人工魚礁群における現地観測により魚類と餌料生物の安定同位体比分析を行って食物網を把握した。海洋の食物連鎖における $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ マップでは一定勾配となることが経験的に知られており、その結果、ホッケの食物網は植物プランクトン、動物プランクトン、ホッケという餌料経路が推察され、また、主に海底付近の生態系に属するカレイの食物網は底泥有機物（または底生微細藻類）、底生生物、カレイという餌料経路が推察された。しかし、底生微細藻類と底生生物の $\delta^{15}\text{N}$ の階差が離れていて食物網の繋がりが不明であるため、今後の課題のひとつとなった。

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。令和元年度は、稚ナマコ放流適正密度を検討するため、異なる密度（1000 個体、500 個体、250 個体の 3 実験区）で稚ナマコを放流して追跡調査を行った。その結果、放流密度が一番低かった 250 個体放流区の生残が多かった。体長を指標にした成長については、1000 個体放流区の平均標準体長が高く、次いで 250 個体放流区、最低が 500 個体放流区だった。重量については、1000 個体放流区が高く、次いで 250 個体放流区、500 個体放流区であった。放流した稚ナマコ一頭あたりでの利用可能基質面積が 250 個体で最も広く、餌の競合等、その他生息環境の面からも低密度区で高い生残・定着が維持されたのではないかと考えられた。また、港内に分布するナマコの個体数と平均標準体長では、2019 年が 2017 年よりも大きかったが、平均湿重量では、2017 年の方が高かった。漁港内の分布場所に注目すると、防波堤沿いの根固めブロック上のみにも出現しており、種苗放流を継続している東防波堤沿い（B 地点周辺）に分布していることが認められた。北海道以南では、砂泥地や藻場などにも本種は分布していることが報告されていることから、本漁港に分布するナマコは、足場の安定したブロック上に分布することで寒冷海域特有の冬場の強い波浪等による流出など物理的な悪影響に適応している可能性が示唆された。

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。令和元年度は、勇払川上流と美々川へのサケ遡上数を明らかにする目的で、2018 年度に設置したウトナイ堰に加えて、ウトナイ湖から約 3 km 上流にあるトキサタ堰の魚道にサケカウンターを設置し、魚類遡上数計測システムによって支流ごとの遡上数を計測した。その結果、遡上が見られないと考えられていたトキサタ堰も、多くの個体が遡上していることがわかった。9 月計測から 10 月 5 日までの期間で、ウトナイ堰の遡上数に対するトキサタ堰の遡上数の割合は 81.8%であった。ウトナイ堰の遡上数日変動とトキサタ堰のそれとが数日の遅れで同期していることから、トキサタ堰におけるサケカウンターで計測された遡上数は遡河性魚類のものであると考えられる。これまで勇払川流域では、サケの自然産卵は美々川と改修前の勇払川で報告されており、改修後の勇払川での報告はない。しかし、今回の測定からこの時期のウトナイ湖に遡上したサケの多くが美々川ではなく勇払川に遡上していることが判明した。このほか、荒天時にサケが漁港に迷い込み、帰路ルートへ復帰する影響を検討した。その結果、厚内漁港郊外付近、港口付近および港路付近それぞれで最大 1.33 m/s、最大 0.69 m/s および最大 0.41 m/s であり、サケの巡航速度が 2×体長～6×体長（放流した個体の平均尾叉長は 66 cm）から、最も小さな巡航速度でも約 1.3 m/s 程度となり、厚内漁港ではサケの巡航速度程度未満の流速しか発生しないことから、回遊ルートへの復帰が可能であることがわかった。

(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

沿岸構造物は定性的に水産生物の保護育成機能を有していることが知られている。しかし、詳細な検討を行った事例は乏しく、水産環境整備に繋がる保護育成機能を強化するための整備技術の確立が求められている。本研究は、漁港港湾等の沿岸構造物が有する寒冷海域水産生物種への保護育成機能の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。令和元年度は、簡易な海底創出礁や表面積増加礁の現地試験を行うとともに、アサリの港内垂下養殖試験と北海道内の天然干潟との成長を比較することにより、沿岸構造物上での底生生物が生息可能な海底空間の創出や付着生物が生息可能な表面積の増加手法による餌場機能強化の有効性、また港内静穏域を利用したアサリ垂下養殖の有効性について確認した。簡易な海底創出礁を泊地とともに根固めや被覆ブロック上に設置することで、約1年後ではブロック上でも魚類の餌料となる底生動物が泊地と同程度出現した。また、簡易な表面積増加礁を泊地とともに根固めブロック上に設置することで、約2ヶ月後には表面積増加礁に多くの微細藻類が付着し、礁周辺は魚類の餌料となる動物プランクトンが泊地水柱に比べ約3~15倍多く出現した。これらの結果から、両手法は餌場機能の強化手法として有効であると考えられた。アサリ垂下養殖試験については、約1年間の殻長の増加やアサリ TOC 増加量について、北海道内の天然干潟の成長結果と比較した結果、殻長増加は、北斗市の報告と同程度であった。加えて、単位面積当たりのアサリ TOC 増加量も火散布沼の報告と同程度であった。江良漁港のように日本海沿岸で周辺が岩礁域であっても、垂下試験により干潟と同程度に成長することが明らかとなり、二枚貝垂下養殖による漁港内静穏域活用の有効性が確認できた。

海中の人工構造物には、魚類の「蛸集効果」「保護育成効果」、さらには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「餌料培養効果」が知られ、これら人工構造物が持つ機能・効果は水産有用魚種の資源量回復に期待されている。しかし、潜水調査が難しい沖合域では十分には解明されていない。本研究は、人工魚礁等の人工構造物による魚類蛸集効果や餌料培養効果に基づく増養殖機能強化により、沖合域の漁場環境整備に資する技術の開発を行うものである。令和元年度は、北海道利尻島の沖合約10kmの水深約90mの人工魚礁の魚礁ブロックを対象として、魚類や餌料生物を含む生態系に影響を及ぼすと考えられる魚礁構造物近傍の流れに着目し、海洋分野での適用事例が増えている3次元数値流体解析モデルである OpenFOAM を用いた人工魚礁近傍の流況解析を行った。その結果、魚礁ブロック近傍で流れの滞留による流速低減が生じており、その影響がブロック単体でも20m以上の範囲に及ぶことが示唆された。また、既往観測での人工魚礁周辺の底生生物の高い生息密度は、魚礁ブロックの流速低減により底生生物の餌料となる粒子状有機物質を滞留させている可能性が示唆された。

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。令和元年度は、詳細な餌料環境分析を実施した他、天然環境下における食害生物の影響についての検討を行った。その結果、ホタテの空隙が大きい基質上の単位面積当たりの羽状目珪藻がより高密度で、各基質に分布した稚ナマコの糞中でも同様の傾向を示した事や、糞中の羽状目珪藻の生細胞比率がバイオフィーム中と比べて極端に低いことから、基質の種類、空隙を制御する事で餌料環境を最適化できる可能性が示唆された。また、オオヨツハモガニ及びケブカヒメヨコバサミが周年を通して試験礁内で優占し、両種による稚ナマコの食害による生残への悪影響が示唆された。

河川構造物が母川回帰したサケの遡上を阻害することはよく知られているが、サケをはじめとして魚道等の整備が進んできた。このような構造物の改善手法を考える上で、魚類の遡上数の計測は不可欠な要素である。令和元年度は、河川構造物の改善手法構築に必要な魚道遡上量自動計測システムの精度向上に向け、魚体を反転させる等の不規則な動きの遡上個体を判定するため、システムの計測と魚道内の画像撮影の組み合わせを検討した。その結果、これまでのカウンターだけでは判定できなかった遡上形態を判定することができるよう改善ができた。さらに、河川の上流域に生息するイワナの遡上数の自動計測を可能にし、上流域の河川構造物の評価・改善手法に資するデータ収集を可能とした。

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
HIRAI Yasuyuki

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

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）

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の技術開発を行うことにより、機能強化に資する整備技術の開発に繋げ、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。令和元年度(2019)は、魚類とともに二枚貝（アサリ）での機能評価のための基礎データを継続して収集するとともに、流速での評価基準案や評価方法案を作成した。

キーワード：沿岸構造物、保護育成機能、避難場、餌場、流速

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⁾ (図-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³⁾、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。

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



図-1 水産環境整備のイメージ²⁾

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、機能評価手法の技術開発を行うことにより、機能強化に資する整備技術の開発に繋げ、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し、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)。

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



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)

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	被覆根固ブロック	岩盤岸壁	被覆根固ブロック	被覆根固ブロック	被覆根固ブロック	砂地	消波ブロック	岩礁	
	水温	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
水試料分析	塩分	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	光合成色素(Chl.a)濃度	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
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 ₂ +NO ₃ , 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 ₂ +NO ₃ , NH ₄ , PO ₄)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	粒度組成(表層10m)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
魚類調査【希聖研究】	刺網	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	卵稚仔ネット	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
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	11
連続機器観測	周辺特徴	捨石岸壁	被覆根固ブロック	岩盤岸壁	被覆根固ブロック	被覆根固ブロック	砂地	消波ブロック	岩礁
	水温	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
水試料分析	塩分	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	光合成色素(Chl.a)濃度	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
水試料分析	Chl.a, Phaeo.	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	粒状有機物(POC, PN)	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
水試料分析	栄養塩(NO ₂ +NO ₃ , 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)	○	○	○	○	○	○	○	○
堆積物試料分析	栄養塩(NO ₂ +NO ₃ , NH ₄ , PO ₄)	○	○	○	○	○	○	○	○
	粒度組成(表層10m)	○	○	○	○	○	○	○	○
魚類調査	刺網	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	卵稚仔ネット	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
魚類調査	ダイバー	○	○	○	○	○	○	○	○
	間欠カメラ	○	○	○	○	○	○	○	○

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

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

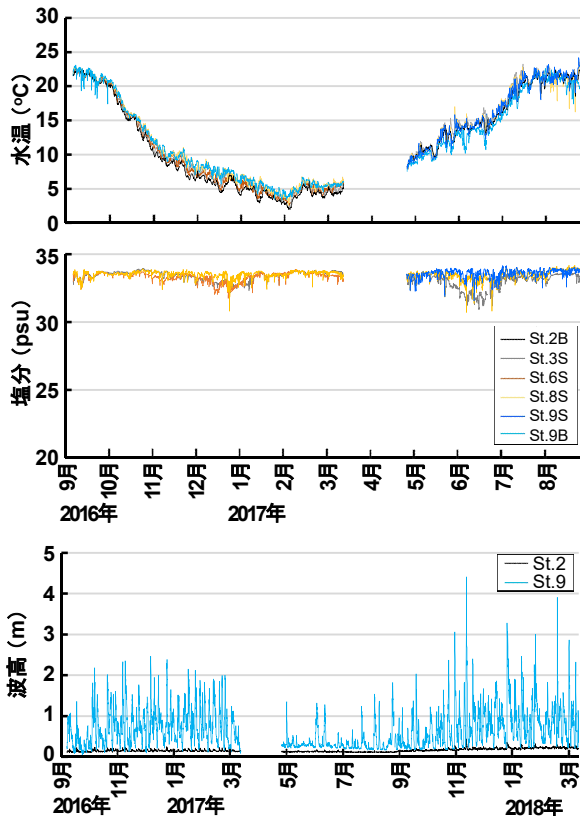


図-3 寿都漁港内外の水温、塩分、有義波高

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St.9とした。また、港内も礫や岩が広がるが、岩上や

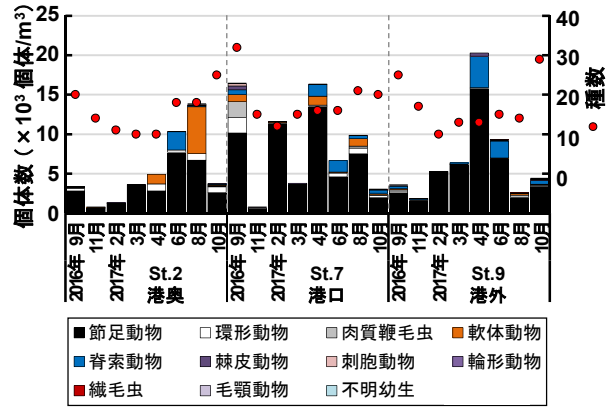


図-4 寿都漁港内外の動物プランクトン時空間分布

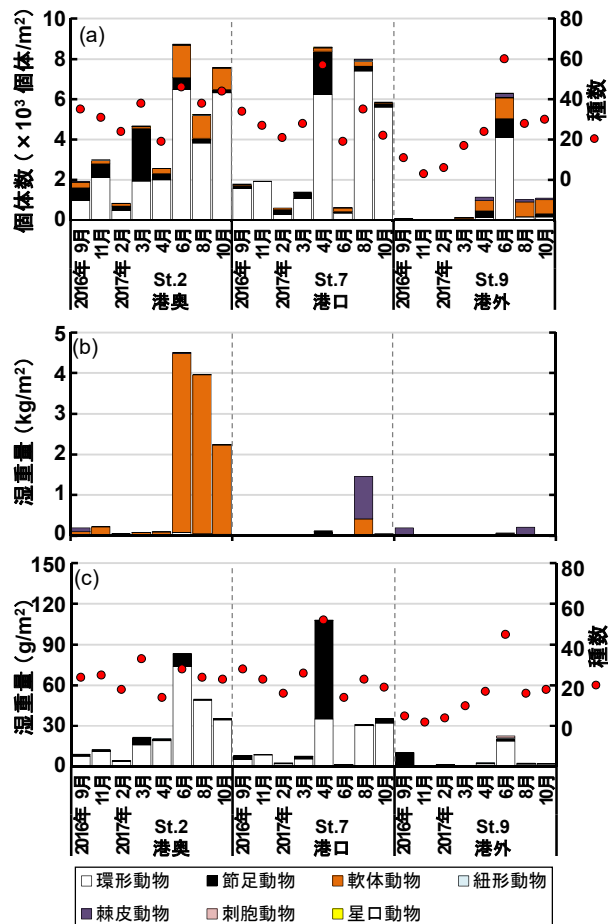


図-5 寿都漁港内外の底生動物の(a)個体数、(b)全湿重量、(c)軟体、棘皮動物を除いた湿重量の時空間分布

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⁴⁾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

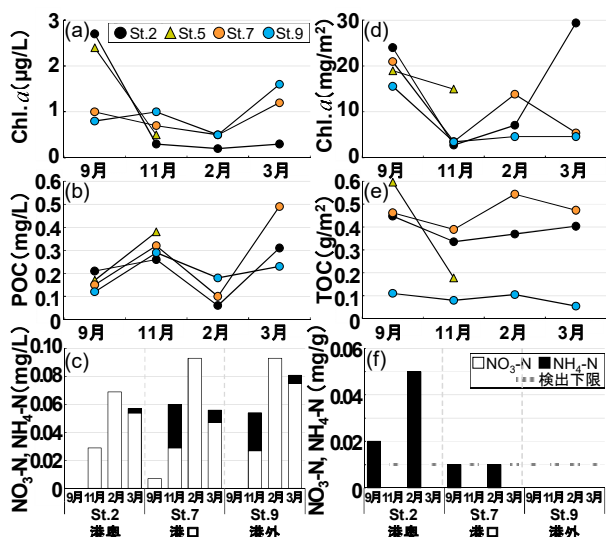


図6 表層水((a)-(c))、堆積物((d)-(f))でのChl.a、有機炭素、硝酸およびアンモニア態窒素の時空間分布

鉛直混合により外海深層から表層に栄養塩が供給され⁵⁾、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⁶⁾、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 µg/L以上と高く、6月に減少後、8月に約5 µg/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

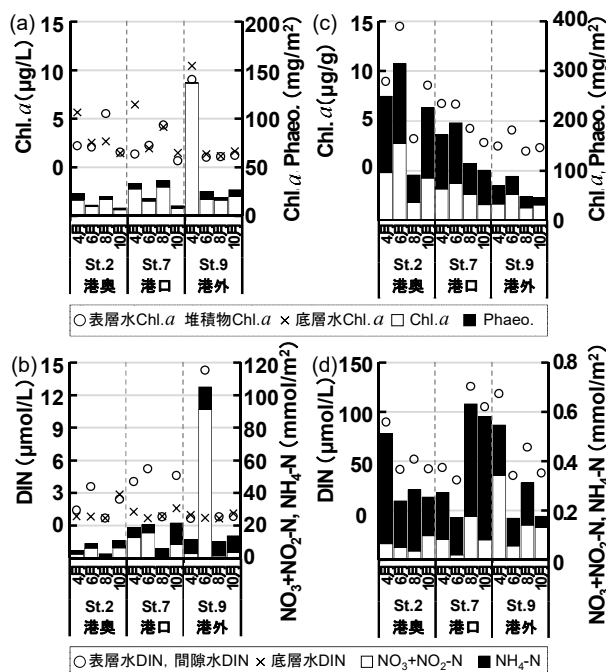


図7 水柱((a)-(b))、堆積物((c)-(d))でのChl.a、Phaeo.、DINの濃度および積算現存量の時空間分布

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。

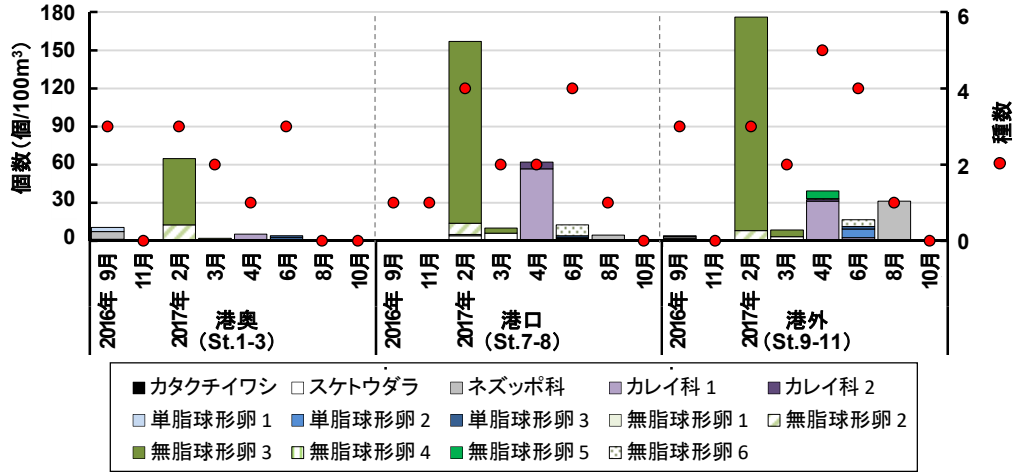


図-8 寿都漁港内外の魚卵の時空間分布

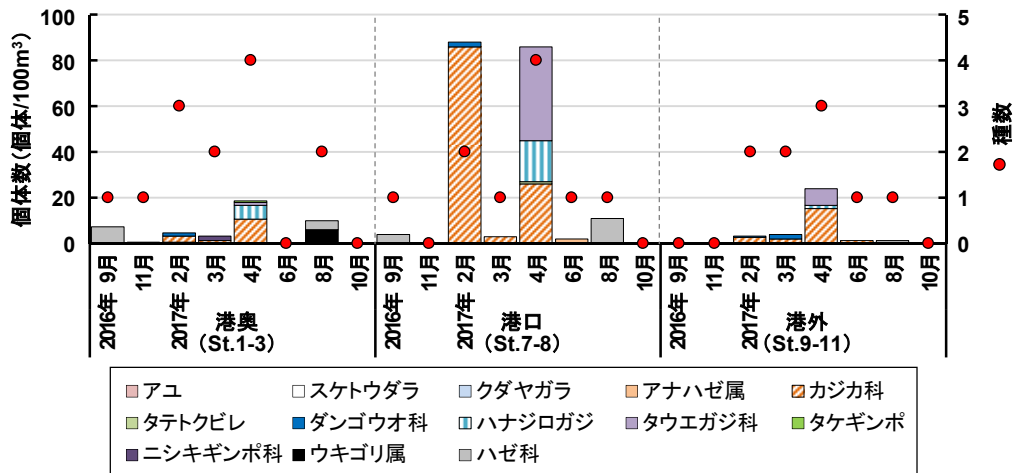


図-9 寿都漁港内外の稚子魚の時空間分布

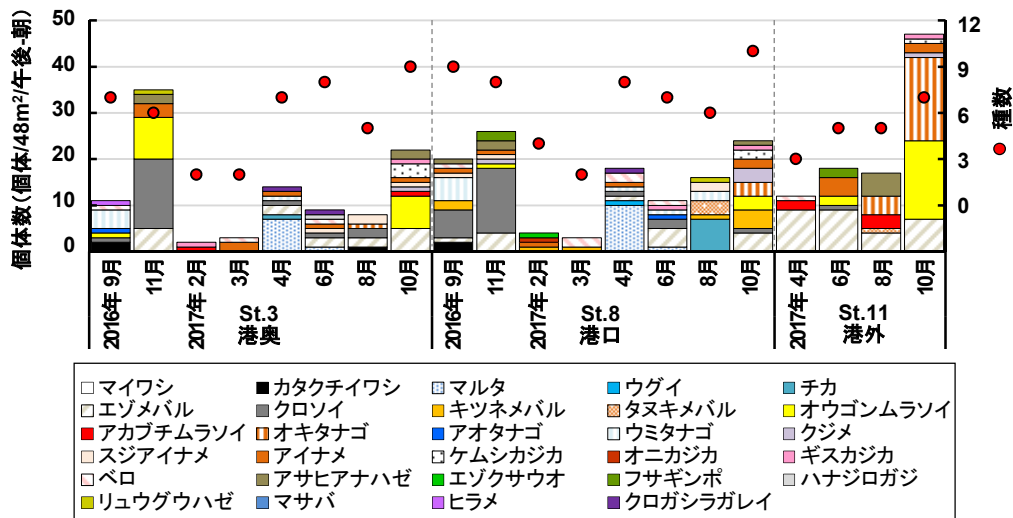


図-10 寿都漁港内外の幼成魚の時空間分布

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⁷⁾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、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)。

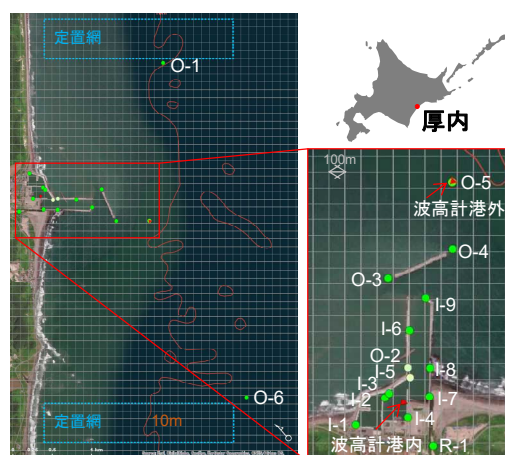


図-11 厚内漁港周辺調査位置
(水深：海底地形デジタルデータ、日本水路協会)

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

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。

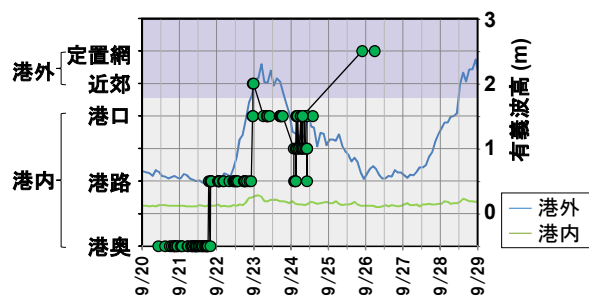


図-12 厚内漁港周辺でのマツカワの行動と有義波高

6. 2 基礎生産測定手法

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*、D0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(2~6 $\mu\text{g/L}$)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、D0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性が検討可能になると示唆された。

7. 令和元年度(2019)の主な調査項目

令和元年度(2019)は、魚類と二枚貝(アサリ)に着目し、引き続き保護育成機能の評価のための基礎データの収集を行うとともに、それらをもとに魚類と二枚貝での流速の評価基準値案を作成することとした。そのため、主に寿都漁港(図-2)において、港内採捕魚でのバイオテレメトリー調査、インターバルカメラ観

察、基礎生産実験、セジメントトラップ、物理環境調査、日本海側 16 漁港夏期水質調査、アサリの垂下養殖試験、室内実験などを実施した。

8. 令和元年度 (2019) の主な調査結果

8.1 魚類への避難場機能における流速評価手法案

魚類に関する高波浪からの避難場機能の評価するためには、魚類行動に影響を与える流速を把握する必要がある。そこで、インターバルカメラを寿都漁港口 (St.8) に、波高計を港内外 (St.2, 9) に 4 月から翌年 3 月まで設置した。インターバルカメラにより 30 分もしくは 2 時間間隔で撮影された画像から魚類の出現個体数を記録した。また、St.9 での通年の波向別波高頻度表より 25 ケースでの非定常緩勾配不規則波動方程式による波動場解析結果をもとに、微小振幅波理論により画像撮影時の底面振幅流速を算出した。

St.8 での魚類出現個体数と流速との関係を図-13 に示す。流速が大きくなるに従い、出現個体数が少なく、0.2m/s より早い流速では、魚類を確認できなかった。9 月以降秋期は魚類の出現数は少なく、11 月以降冬期に 0.3m/s 以上の流速が発生しており、生活史や季節特性、水温の影響も考えられるが、夏期においても 0.2m/s から 0.25m/s までで魚類を確認が出来なかったことから、0.2m/s を超える流速は、魚類行動に影響を与えると考えられた。

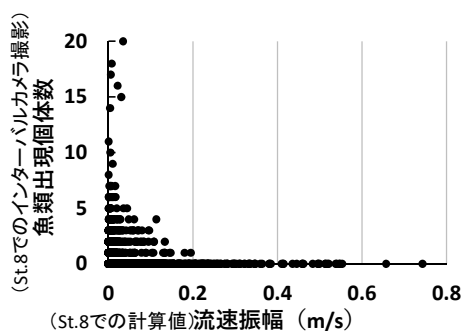


図-13 魚類出現個体数と流速の関係

そこで、基準値設定に関しては今後詳細な検討が必要であるが、今回は魚類行動に影響する流速値案として 0.2m/s を用い、次に、避難場機能の評価する手法を検討することとした。

波高条件は、観測期間内の最頻有義波高とともに、沿岸波浪数値予報モデルによる数値予報 GPV のうち、寿都漁港近隣の点における過去 5 年間の港内に入射する波向で最大の有義波高とした。本海域では常設の波浪観測が行われていないため、GPV を使った。評価領域は、岸壁や防波堤側、同程度の面積になるよう考

慮し、漁港内の区分を 24 領域とした。漁港周辺での波動場解析を行い (図-14)、領域ごとの平均波高を算出後、領域平均水深より平均流速を算出した。

解析の結果、最頻波高では、全領域で平均流速 0.2m/s 以下であったが、最大波高では一部の領域で 0.2m/s を上回ったことから、2つのランクに分け、各領域を評価した (図-15)。今回の場合、青色の港奥では常に高波浪からの避難場機能が高く、赤色の港口では高波浪時には避難場機能が低いと評価された。今後、基準値とともに、波高条件や領域区分なども詳細な検討が必要であるが、このような機能評価手法は、機能強化の整備に向けた有益な情報になると考えられた。

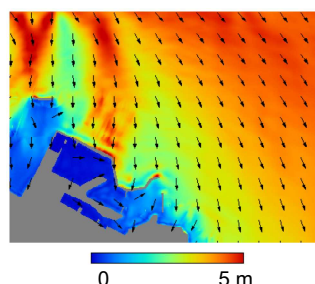


図-14 5年間最大波高時の波高計算値

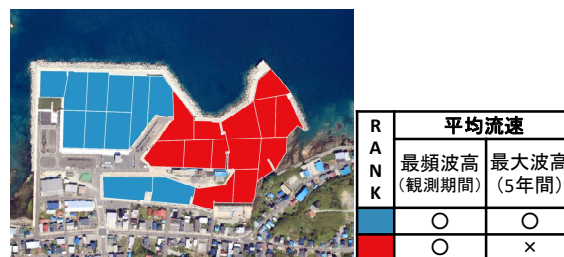


図-15 魚類避難場機能の評価方法案

8.2 アサリでの流速評価基準値案

アサリに関しては、漁港構造物の静穏域創出機能を活用した垂下養殖技術の確立のために、波浪に伴い発生する流速とアサリや基質の移動との関係を把握する必要がある。そこで、振動流水槽実験により、アサリのサイズ別や基質の違いなどでの、アサリや基質が移動や反転する流速を観察することで、垂下養殖時の流速項目での評価基準値案を作成することとした。

試験方法は、振動流水槽に容器として丸籠を想定した模型を設置し、基質なし、基質あり (軽石、砂利) 条件下で振動流を与えて、以下 (i) (ii) に記載の流速についてレーザー流速計を用いて模型前面の位置で計測した。アサリは殻長により 2 サイズ (小: 9.0~11.3 mm、大: 23.3~30.4 mm) に区分し、サイズごとに基準流速値を検討した。

(i) 容器に基質がない場合

サイズごとに、模型内の底面に 12 個体ランダムに配置したアサリが反転した流速。

(ii) 容器に基質がある場合

アサリ小は、表層付近に定位しているため、基質移動の影響を受けると考え、表層の基質が移動した流速。アサリ大は、基質内でのアサリの移動が成長に影響すると考えられるため、丸籠の端部の基質内に水管を上向きに 5 個配置したアサリが移動した流速。

周期は 2、5、8s の 3 周期とし、各周期において、アサリが反転、基質やアサリが移動するまで徐々に流速を大きく変化させた。

主な実験結果を図-16 に示す。(i) 基質がない場合、アサリが反転しはじめた流速は、流速と周期に明確な傾向や、周期間で大差がなく、アサリ小は 2.1 (周期 5 秒) ~ 5.8 cm/s (周期 2 秒)、アサリ大は 10.0 (周期 2 秒) ~ 11.2 cm/s (周期 5、8 秒) であった。

(ii) 基質がある場合は、周期間で大差なく、基質が移動しはじめた流速は、砂利は 25.2 (周期 8 秒) ~ 30.7 cm/s (周期 2 秒)、軽石は 5.8 (周期 2 秒) ~ 13.6 cm/s (周期 5 秒) であり、軽石の方が小さい流速で移動しはじめた。加えて、アサリ大では、表層の基質が移動しはじめるとアサリの周辺に局所的な洗掘が生じ、アサリ自身が移動しはじめた流速は、周期間で大差なく、砂利は 35.2 (周期 2 秒) ~ 45.8 cm/s (周期 8 秒)、軽石は 26.6 (周期 2 秒) ~ 33.4 cm/s (周期 5 秒) であり、「軽石」の方が小さい流速でアサリが移動しはじめた。基準値案としては、上記の結果から、基質がない場合は、危険側を考慮して 3 回の実験のうち 1 個体目が反転した最も小さい流速を、基質がある場合は、基質やアサリが移動した流速を用いた (表-4)。このような基準値を用いることで、漁港構造物の有する静穏域創出機能を評価し、対策となる基質の選定などの養殖技術の確立につながると考えられた。

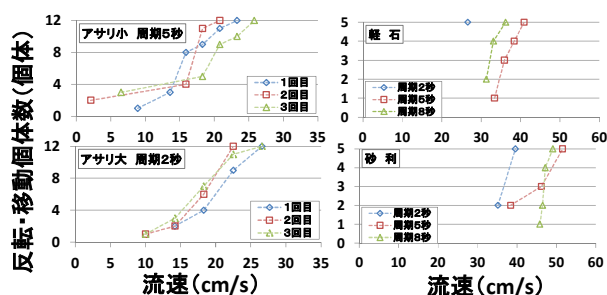


図-16 殻長や基質の違いにおけるアサリの反転・移動個体数と流速の関係

表-4 アサリ垂下養殖時の流速基準値案

アサリ サイズ	水平流速 (cm/s)		
	基質無し	基質有り	
		軽石	砂利
小	2.1	5.8	25.2
大	10.0	26.6	35.2

9. 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。令和元年度(2019)は、港口でのインターバルカメラによる魚類観察と漁港周辺の波動場解析、アサリの室内振動流水槽実験により、魚類およびアサリでの流速項目における機能評価基準や、基準値を用いた評価方法を検討した。今後は、魚類とアサリの保護育成機能評価のためのデータ収集を継続し、解析することで評価基準の値や式、評価手法の開発に取り組む予定である。

参考文献

- 1) 水産庁：漁港漁場整備長期計画、2012、2017。
- 2) 水産庁：水産環境整備の推進
https://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozyo/g_thema/sub40.html (2020年6月23日確認)
- 3) 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。
- 4) 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.
- 5) 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。
- 6) Montani, S., Tsutsumi, H. and Komorita, T. : Workshop of The First Asian Marine Biology Symposium at Phuket, Thailand, pp. 1-3, 2012.
- 7) 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）

研究担当者：石井馨、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。

令和 1 年度(2019)は、餌料培養効果のさらなる基礎データの蓄積とその定量評価手法の基礎的知見を得るため、平成 30 年度と同じ人工魚礁群における現地観測により魚類と餌料生物の安定同位体比分析を行って食物網を把握した。

キーワード：生産性向上、餌料生物、餌料培養効果、食物網

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

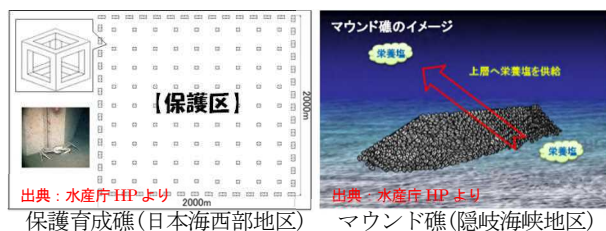


図-1 フロンティア漁場整備の工法別実施例

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。

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蟄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蟄集・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蟄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蟄集・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効果を明らかにして、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。

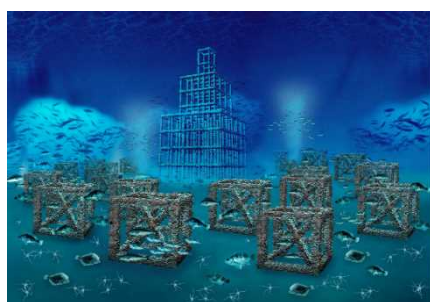


図-2 餌料培養効果のイメージ

3. 現地観測の調査概要

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地点を設定し、測点を魚礁群体の中心から北側にA1・A2・A5(表-1)の3地点を設定した。

表-2に現地観測内容を示す。魚類と餌料生物の食物網を把握するための安定同位体比分析に供する試料採取を2019年の8月～10月に行った。

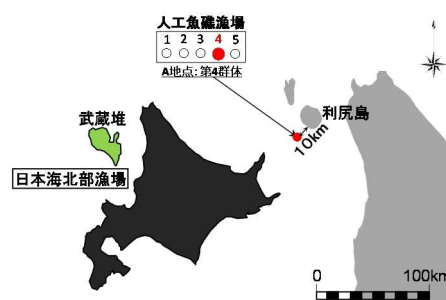


図-3 調査位置図(広域図)

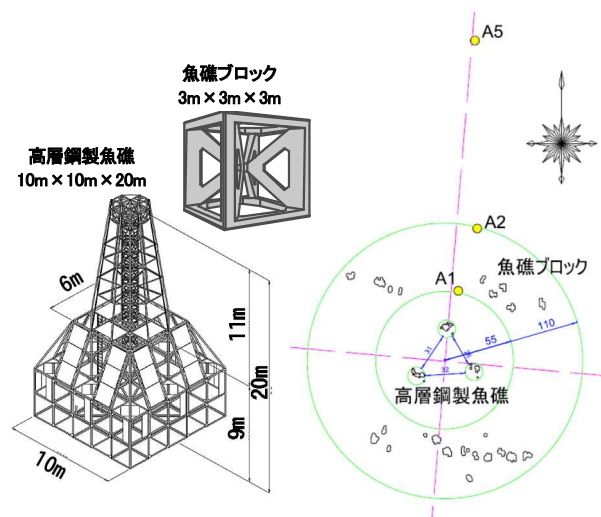


図-4 観測地点位置図(A地点拡大図)と高層鋼製魚礁・魚礁ブロック

表-1 観測地点座標値

観測地点	緯度	経度
A1	45° 02' 32.600"	141° 07' 54.368"
A2	45° 02' 34.220"	141° 07' 55.028"
A5	45° 02' 39.079"	141° 07' 54.848"

表-2 現地観測内容

調査項目	方法	観測内容・分析項目
機器垂下調査	多項目水質計CTD	観測時期: 2019年8月26日・10月20日 分析項目: 海水密度 σ_T
植物プランクトン採取A2・A5	バンドーン採水器、エンジンポンプ 上層(1m)・下層(90m)	観測時期: 2019年10月20日 分析項目: 安定同位体比分析(植物プランクトン)
動物プランクトン採取A2・A5	北原式ネット 上層(0~45m)・下層(45~90m)	観測時期: 2019年8月26日 分析項目: 安定同位体比分析(動物プランクトン)
底生生物採取: A2・A5	スミス・マッキンタイヤ採泥器	観測時期: 2019年8月26日(A2)・10月20日(A5) 分析項目: 安定同位体比分析(底生生物)
魚類採取 A2付近 (人工魚礁の北側)	刺し網(目合72) 漁獲物採取	観測時期: 2019年10月22日 魚体長・湿重量・安定同位体比(ホッケ・カレイ)

4. 観測地点毎の水塊構造

図-5は、8月26日と10月20日のA2・A5地点におけるCTD垂下観測による海水密度 σ_T の鉛直分布を示す。

8月26日では、A2・A5の両地点ともに水深20m付近ではっきりとした密度躍層が確認された。水深20~30mで急激に密度が高くなり、海底付近まで緩やかに

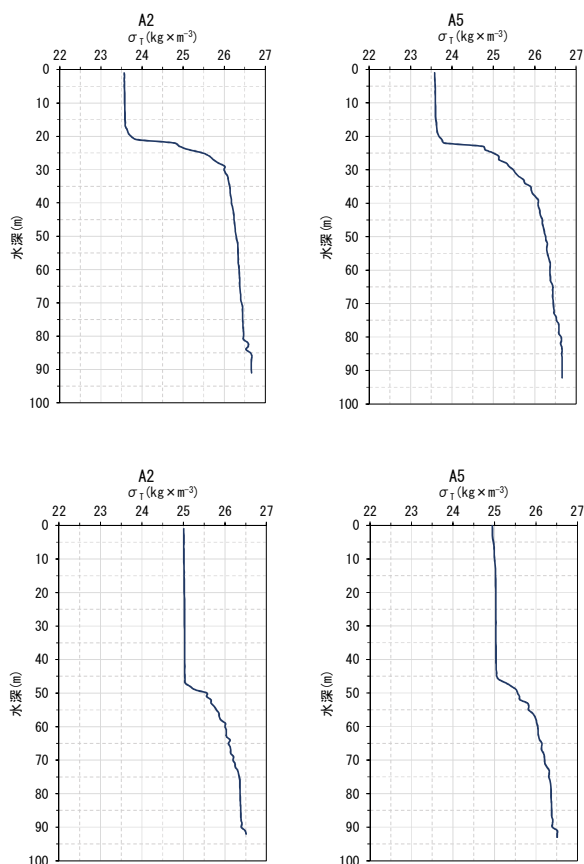


図-5 A2・A5地点の海水密度 σ_T の鉛直分布 (上)8月26日 (下)10月20日

密度が高くなる傾向が見られた。過年度の夏期7月下旬の当海域でも、水深20~30m付近に水温・塩分の躍層が見られたが、今回もこれと同様の夏期の成層化が生じたものと考えられる。

10月20日では、8月26日と同様にA2・A5の両地点とも密度躍層が確認されたが、躍層の水深は45m付近と8月26日よりも深くなっている。また、表層付近の密度が8月26日よりも大きくなっている。海水の密度は水温と塩分により決まるため、8月26日よりも10月20日の方が気温の低下により表層付近の海水温が低下して密度が高くなったものと考えられる。

両日は約2か月間離れているが、密度躍層を境として上層が高水温・低密度、下層が低水温・高密度の2層構造であり、ともに水塊構造としては成層化を示していることにおいては大きな違いは無いものと考えられる。

5. 魚類と餌料生物の食物網

図-6は、A1・A2・A5地点における魚類(10月22日採取)、餌料生物(8月26日・10月20日採取)の採取試料による炭素安定同位体比 $\delta^{13}C$ と窒素安定同位体比 $\delta^{15}N$ の分析結果を $\delta^{13}C$ - $\delta^{15}N$ マップとして示している。分析試料については、魚類はホッケ(体長30.5cm、湿重量0.40kg)およびカレイ(ヒレグロ、体長20.9cm、氏油重量0.10kg)、餌料生物は動物プランクトン、植物プランクトン(POM:粒子状有機物質として捕集・分析)、底生生物(環形動物等)、底生微細藻類を対象とし、他には底泥有機物質(SOM)も対象とした。

魚類と餌料生物の全体的な傾向としては、食物連鎖の上位である魚類(ホッケ・カレイ)の $\delta^{15}N$ が高く、下位である餌料生物が低い。餌料生物の中では、下位の植物プランクトンよりも上位の動物プランクトンの方が $\delta^{15}N$ が高い。食物連鎖の上位に位置する生物は $\delta^{15}N$ が高いことが知られている(Miyake and Wada⁹⁾)、今回の結果はこの傾向と整合する。また、海洋の食物連鎖における $\delta^{13}C$ - $\delta^{15}N$ マップでは一定勾配となることが経験的に知られており¹⁰⁾、一例として道東及び本州東北沖太平洋上の親潮系冷水域(A-Line)での関係式¹⁰⁾を図-6に一点鎖線で示す。これと今回の安定同位体比のプロットと比較すると、概ね傾向が整合する。よって今回の結果に対しても既往の経験則が適用できることを示唆している。

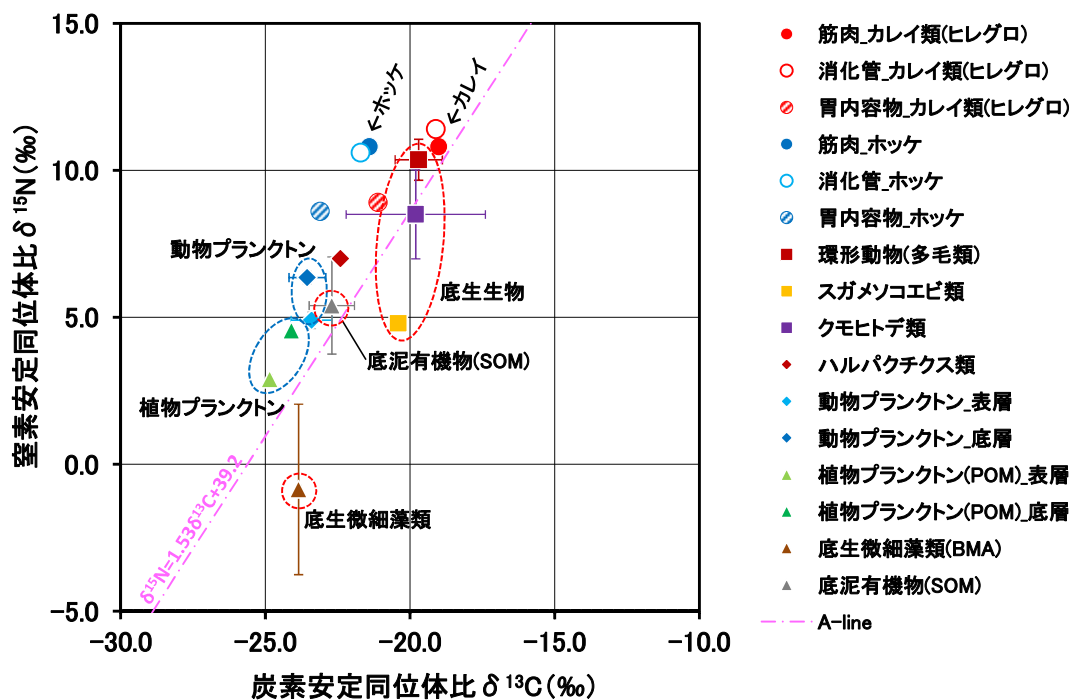


図-6 人工魚礁周辺海域 (A1・A2・A5 地点) の $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ マップ (A-Line 関係式は文献¹⁰⁾による)

この経験則に基づいて、ホッケの食物網は植物プランクトン～動物プランクトン～ホッケという餌料の経路が推察される。また、主に海底付近の生態系に属するカレイの食物網は底泥有機物(または底生微細藻類)～底生生物～カレイという経路が推察される。北海道周辺海域においては、動物プランクトンはホッケの主要な餌料¹¹⁾であり、環形動物(多毛類)はカレイの主要な餌料¹²⁾であることから、今回の安定同位体比による結果とは矛盾しない。しかし、餌料関係にある生物の $\delta^{15}\text{N}$ の階差が3~4‰¹⁰⁾とされることから、今回の結果では餌料関係にあると推察される底生微細藻類と底生生物の $\delta^{15}\text{N}$ の階差が離れていて食物網の繋がりが不明であるため、今後の課題のひとつと考えている。

6. まとめ

今回の現地観測では、夏期～秋季の成層化次期において人工魚礁の周辺海域で採取された魚類と餌料生物の安定同位体比分析により、ホッケとカレイの食物網の一体が解明された。今後は人工魚礁と周辺海域における安定同位体比分析のデータを蓄積することで、さらなる食物網の解明が課題であると考えられる。

参考文献

- 1) 水産庁HIP: 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-、北海道開発技術研究発表会、環3、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、北海道開発技術研究発表会、環24、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。
- 8) 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改変による生物生産性の向上に関する研究、土木研究所平成26年度プロジェクト研究成果報告書12-5、pp. 1-26、2015。
- 9) Miyake and Wada: The abundance ratio of $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ in marine environments, Records of Oceanographic Works in

Japan, Vol.9, No.1, pp.37-53, 1967.

- 10) 杉崎宏哉・児玉真史・市川忠史・山田圭子・和田英太郎・渡邊朝(2013):生安定同位体による新食物網解析法—数値の解釈と基礎生産者の同位体比推定記述モデルの検討—、水産技術、6(1)、pp.57-68、2013.
- 11) 嶋田 宏・坂口健司・森泰雄・渡野邊雅道・板谷和彦・浅見大樹:北海道周辺 4 海域(道東・道南太平洋, 北部日本海および南部オホーツク海)における動物プランクトンバイオマスおよび種組成の季節変化と年変動、日本プランクトン学会報、pp.63-81、2012.
- 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.

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）

研究担当者：石井薫、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により、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や明らかになった。

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し、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や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るなど、港内の放流適地選定における重要な知見を得た。

令和元年度(2019)は、稚ナマコ放流適正密度及び港内のナマコ分布特性についての検討を行う事で、費用対効果の高い放流手法の確立に資する知見を得るとともに港内に分布するナマコが特に防波堤根固めブロック上を生息域として利用している事や、港内ナマコ資源量が2年間で約3倍に増加した事などを明らかにした

キーワード：栽培漁業、種苗放流、稚ナマコ、生息環境、分布特性、放流密度

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)}。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

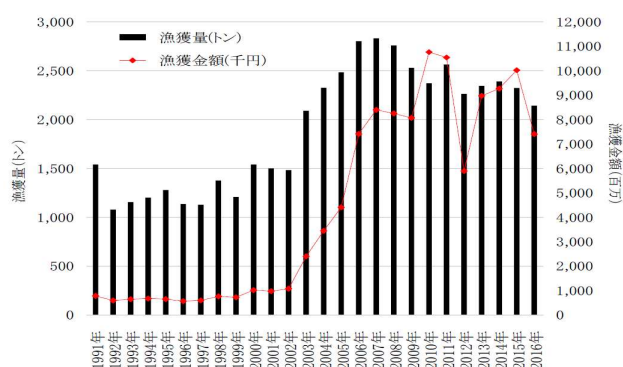


図-1 北海道におけるナマコ漁獲量及び漁獲金額の推移 (1991年～2016年)⁴⁾

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。

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蜻集行動を利用した「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、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実施し、令和元年度(2019)は、稚ナマコ放流適正密度及び港内のナマコ分布特性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)。

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-2 調査対象漁港
(試験礁の設置位置 A、B、C 地点)



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. a, 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. a, 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. a, 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. a 及び濁度 (INFINITY-CLW), 光量子 (COMPACT-LW)	A 地点	2017年9月~11月19日

3.3.2 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。



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

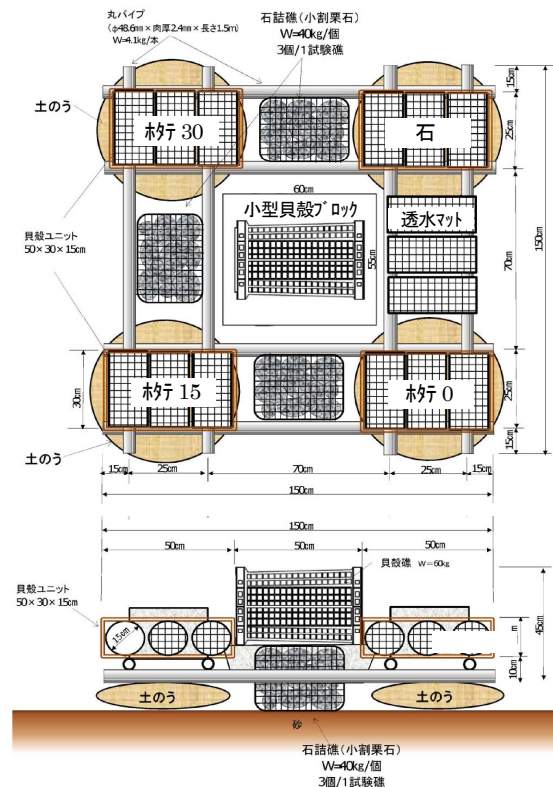


図-5 放流試験礁（全体）

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ニットから稚ナマコを取り分け、メントール麻酔後に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

3.5 異なる密度による放流試験

2018年12月から一年間B地点にてホタテ15のみで構成した放流試験礁を設置し、異なる密度(1000個体、500個体、250個体の3実験区)の稚ナマコを放流する事で、適切な放流密度を把握するための追跡調査を行った(図-6)。3か月に一度の頻度で礁の陸揚げを行い、各実験区から稚ナマコを取り分け、メントール麻酔後に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実験区に再放流した。

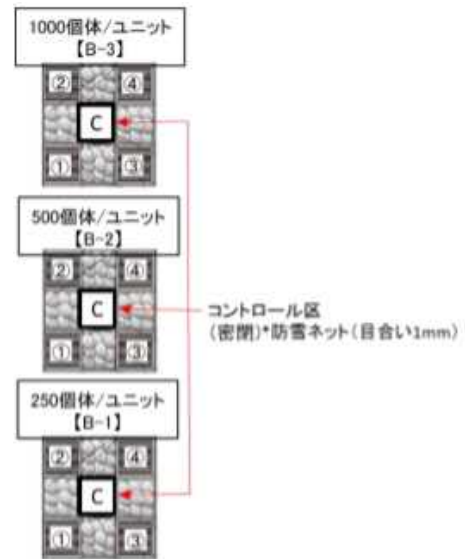


図-6 異なる放流密度の実験区 (B地点)

3.6 港内のナマコ分布

2017年及び2019年の12月の午前9時頃から漁港全域のライン調査を実施し、ナマコの分布状況を把握した。2017年は全39地点、2019年は全25地点について方形枠(1m×1m)内のナマコを採捕し、メントール麻酔後に計数するとともに体長・体幅、湿重量の測定を行った。また測定後のナマコは再放流を行った。

4. 結果と考察

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-7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。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, 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-8に示す。本漁港は冬季に港口周辺A地点であっても有義波高が0.5m以下であり静

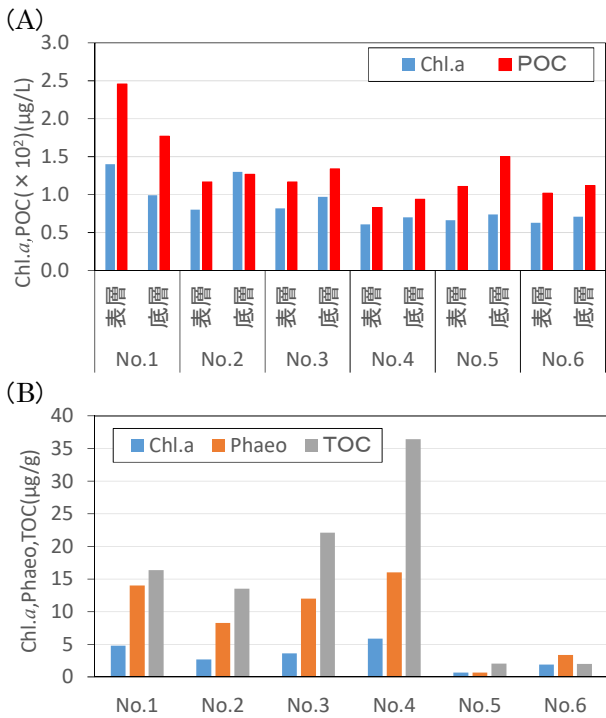


図-7 2016年12月観測、水質・底質分析結果
(A:水質、B:底質)

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-9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°C程度から11月に確認された最低水温10°Cの範囲で変化した(図-9(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-9(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-9(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-9(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-9(D))。これは台風18号の接近によるものであり、台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-10に示す。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-10A)。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-10A)。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

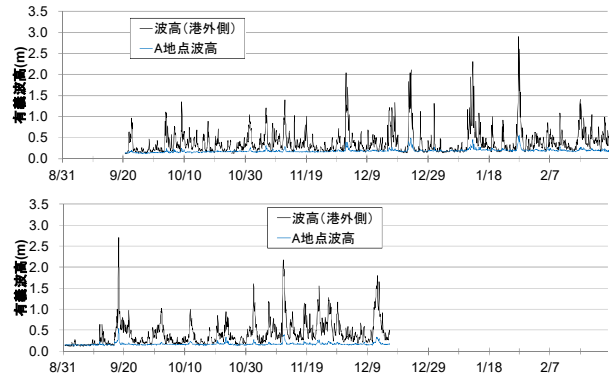
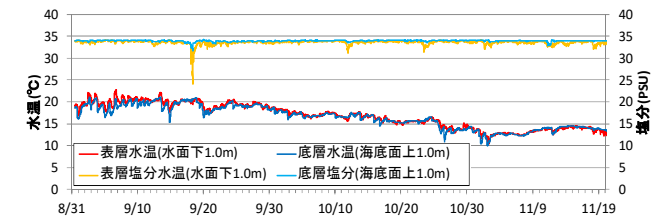
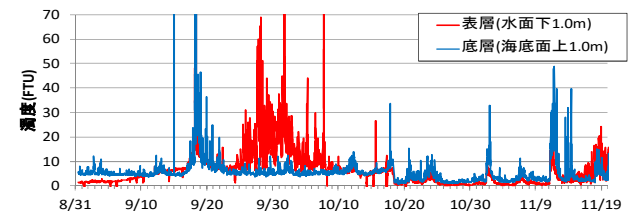


図-8 冬季の波浪(上:2016年冬季,下:2017年冬季)

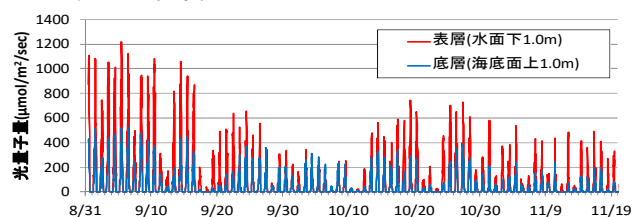
(A) 水温・塩分



(B) 濁度



(C) 光量子密度



(D) 降水量

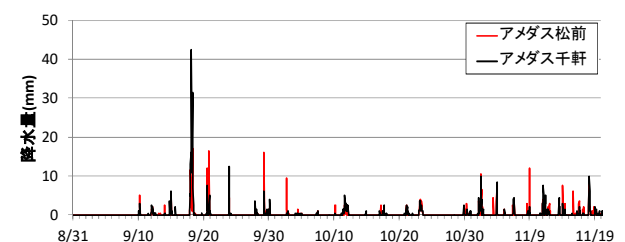


図-9 A地点の連続観測結果(2017年)

量の指標となる COD (図-10 B) や強熱減量 (図-10 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-10 D)。有機物の集積は細菌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⁾されていることから、留意が必要である。図-10(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-10 (G) は、底泥中の粒度分布(中央粒径)を示している。同じ材料・質量で比較した場合、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。

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)の調査結果を図-11 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-11)。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

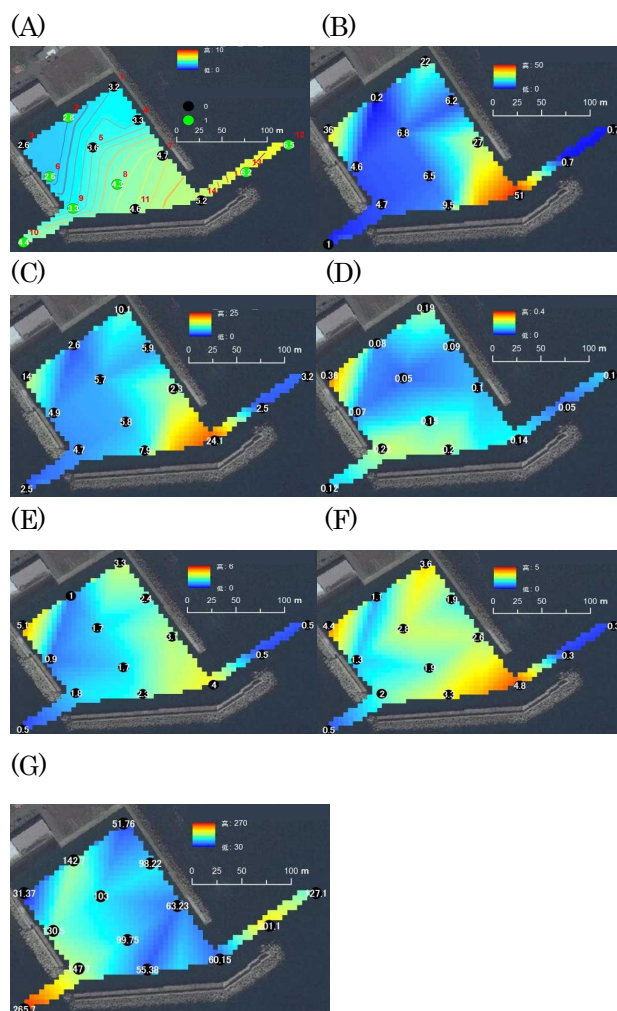


図-10 (A) 水深及びアマモ群落の有無、○内の数字は水深 (m)、アマモ群落の有無は○の色 (●: 無し、●: 有り), (B) 化学的酸素要求量 (COD: mg/g dry weight), (C) 強熱減量 (%), (D) 全硫化物量 (mg/g dry weight), (E) Chl.a 濃度 ($\mu\text{g/g dry weight}$), (F) フェオフィチン濃度 ($\mu\text{g/g dry weight}$), (G) 中央粒径 (μm)

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。

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。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偏って分布している事が確認されている事や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事から、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。

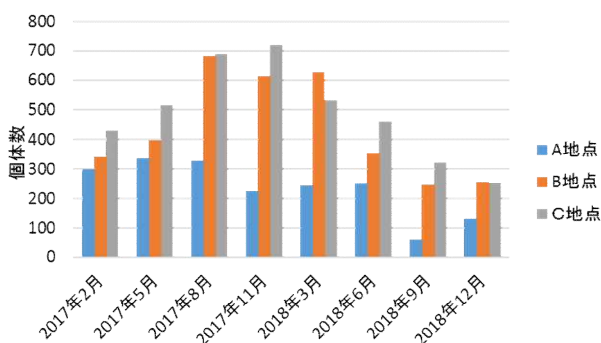


図-11 地点別ナマコ生息個体数
(5種類のユニットの合計)

(A) (B)



写真-6 A地点の堆砂状況((A)堆砂前、(B)堆砂後)



写真-7 C地点の様子(左手側にアマモ場)

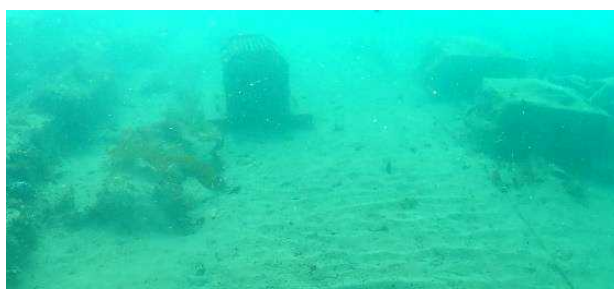


写真-8 B地点の試験礁(右)及び被覆ブロック(左)

本研究の対象魚種であるマナモ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。

4.2.2 異なる放流密度による生残・定着への影響

3つの異なる放流密度の試験区の結果を図-12に示す。個体数の変化については、1000個体放流した区では、放流後3か月には個体数が約60%減少し、1年後には放流した個体数の約7%と最も低く、放流密度が一番低かった250個体放流区では一年後に87個体生残し、放流個体数の約35%と最も多かった。体長を指標にした成長については、1000個体放流区の個体の1年後の標準体長が約2.6倍と高く、次いで250個体放流区の

約 2.3 倍、最低が 500 個体放流区の約 2 倍だった (図-12 A)。重量については、1000 個体放流区で約 10 倍と最高値で、次いで 250 個体放流区の約 8.6 倍、500 個体放流区では重量の増加率についても約 5.1 倍と最低であった (図-12 B)。放流した稚ナマコ一個体当たりの利用可能基質面積が 250 個体では最も広く、餌の競合等、その他生息環境の面からも低密度区で高い生残・定着が維持されたのではないかと考えられる。

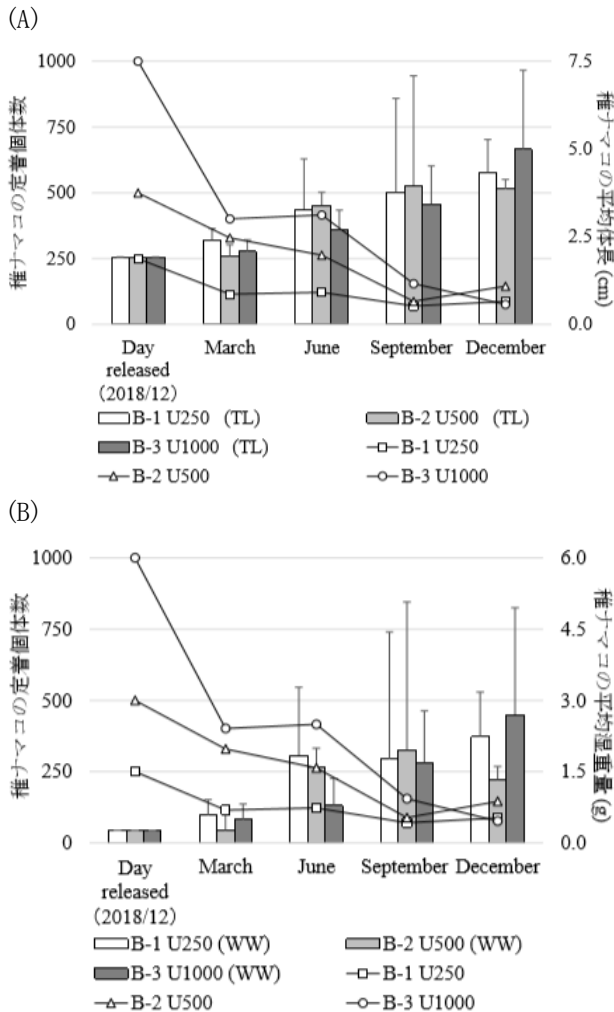


図-12 異なる放流密度試験区における稚ナマコの定着個体数と成長 (A: 平均標準体長、B: 平均湿重量)

4. 3 港内分布調査結果

2017 年及び 2019 年の港内のナマコ分布を図-13 に示すが、港内に分布していたナマコの個体数は 2019 年には 2017 年と比べ 3 倍以上に増加している事が認められた。一方で、分布していた個体は平均標準体長では、2019 年が 14.09±3.3cm と 2017 年 (12.50±4.0cm) よりも大きかったが、平均湿重量では、2017 年の方が高かった。漁港内の分布場所に注目すると、防波堤沿

いの根固めブロック上のみに出現しており、特に 2016 年から種苗放流を継続している東防波堤沿い (B 地点周辺) に分布している事が認められた。北海道以南では、砂泥地や藻場などにも本種は分布している事が報告されている¹³⁾ 事から、本漁港に分布するナマコは、足場の安定したブロック上に分布する事で寒冷海域特有の冬場の強い波浪等による流出など物理的な悪影響に適応している可能性がある。一方で、小型のナマコの分布はほとんど認められなかった。マナマコは一般的に隠れ場所が生息条件に重要で¹⁴⁾、夜行性¹⁵⁾である事から、小型の個体がほとんど確認出来なかったと考えられる。

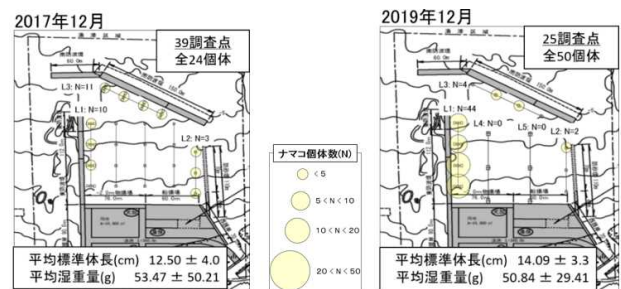


図-13 2017 年及び 2019 年の港内のナマコ分布

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)、平成 30 年度 (2018) 及び令和元年度 (2019) 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。

- ・低密度で放流した試験区で、最も定着率が高く、高成長が認められた。
- ・漁港全体の分布から防波堤根固めブロック上にナマコは分布し、特に2016年から継続的に種苗放流しているB地点周辺に多く分布し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> (2020年6月23日確認)
- 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) 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, Mark 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.
- 14) 五嶋聖次, 藤芳義裕, 井出名誉, Gamboa, U. R., 中尾繁: サロマ湖におけるマナマコの分布、水産増殖、42巻2号、pp. 261-266、1994.
- 15) Sun, J., Zhang, L., Pan, Y., Lin, C., Wang, F., Kan, R., & Yang, H. : Feeding behavior and digestive physiology in sea cucumber *Apostichopus japonicus*. Physiology & behavior, 139, 336-343, 2015.

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】

本研究は水産有用種に対する河川や沿岸構造物の影響評価を行う手法の開発をおこない、自然再生産を目指した水域環境類型化技術の確立を目指すものである。

平成 30（2018）年度は、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。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が明らかになった。令和元年度（2019）年度は、ウトナイ魚道とトキサタ魚道に設置したサケ遡上数自動計測システムにより、支流ごとの遡上数を把握することができた。また、荒天時にサケが漁港に迷入場合の回帰ルートへの復帰に対する漁港影響を検討したところ、厚内漁港ではサケの巡航速度程度未満の流速しか発生しないことから、回遊ルートへの復帰が可能であることがわかった。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、トキサタ堰、厚内漁港

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。

現在の勇払川は支笏湖から数キロ下流に源流を持ちウトナイ湖を経由して、安平川に合流後日本海へ流出している。しかし、かつては勇払川のウトナイ湖より上流は、ウトナイ湖を経由せず苫小牧市内を蛇行しながら貫流していた。その後、治水安全度の向上と有効な土地利用を図るためウトナイ湖を経由する流路に改修された。改修以前の勇払川にはサケ産卵も見られたものの⁵⁾、その後の報告は知られていない。

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。

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。

さけ親魚の回帰ルート上に漁港等沿岸構造物がある場合に、漁港内でサケが確認されている。サケ来遊数が激減している近年、より多くのサケ親魚が河川へ回帰できることが重要である。十勝川河口沿岸に位置する厚内漁港は、流砂の影響を避けるため防波堤が沖方向に 600 m も突き出す形状をしているためか、サケ産卵時期になると港内でサケ個体が確認できる。これらのサケが回帰途中で漁港内に迷入している可能性がある。これらのサケが荒天時にも港外へ移動できるかどうかの検討はこれまでなされていない。

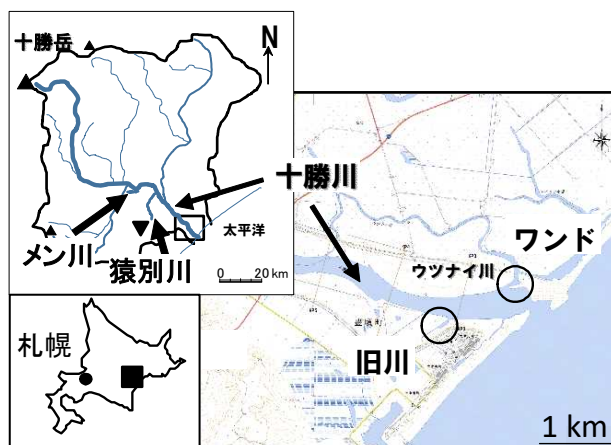


図-1 十勝川河口域の旧川とワンド。国土地理院電子地図改変。

2. 研究全体の概要

流域全体での定量的な魚類行動の把握手法の構築に関する研究を平成 28 (2016) 年から令和 2 (2020) 年度に行う。まずはシロザケの河川遡上行動調査を実施し、さらにサケカウンターを開発することで遡上数を把握するための新手法を検討する。平成 30 (2018) 年度から構造物の評価手法を検討するための基礎データ収集をはじめ、魚類行動の遊泳負荷に着目した河川・沿岸構造物の評価に関する研究を行っていく。

3. 平成 30 (2018) 年度の調査地

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

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)

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⁵⁾11月から遡上が終了する翌年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日から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℃から18.0℃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℃以下で、4月下旬になっても6℃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℃より低かった。

4. 平成30（2018）年度設置のサケカウンター

2018年度は、サケカウンターはウトナイ湖の直下流に位置するトキサタ堰に付帯した魚道に設置した。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

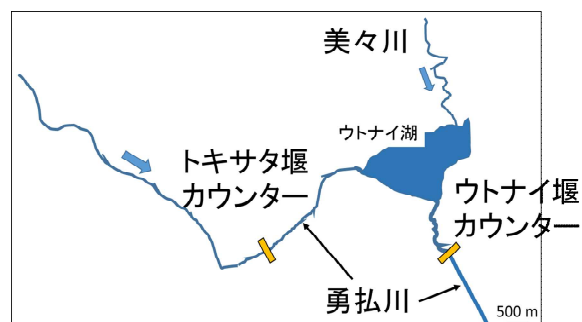


図-2 勇払川流域でのカウンター設置箇所。オレンジ色の■がサケカウンターを示す。

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。

5. 令和元（2019）年度サケカウンターを設置

2019年度は勇払川上流と美々川へのサケ遡上数を明らかにする目的で、2018年度に設置したウトナイ堰に加えて、ウトナイ湖から約3 km上流にあるトキサタ堰（図-2）の魚道にもサケカウンターを設置した。ウトナイ堰と同様に、魚道に1.65 m × 0.9 m（長さ×幅）の木製水路がついた架台を設置した（図-2）。この木製水路にウトナイ堰のセンサーと同様にセンサーを設置して、加印することで遡上数を計測した。センサーからの信号は魚類遡上数計測システム（アンプ分離方式ポータブルデータ収集ユニット）（田村電子工房、高崎市）を用いて記録し、FishCountSystem_Anlyzer03（田村電子工房、高崎市）により判別した。

6. 平成30（2018）年度の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

表-2 評価地点別の平均水深(m)

地点番号	水深 (m)
11	9.41
12	8.47
9	5.56
10	5.6
8	4.63
5	3.01
6	3.08
4	2.24
7	2.37
3	3.39
2	3.01
1	3
13	3.5

どちらの調査地でも7投実施した。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個体は無作為に抽出し、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。

7. 平成30(2018)年度の十勝川における稚魚放流

2018年の春期には、4箇所の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(メソ川および猿別川)から放流される。

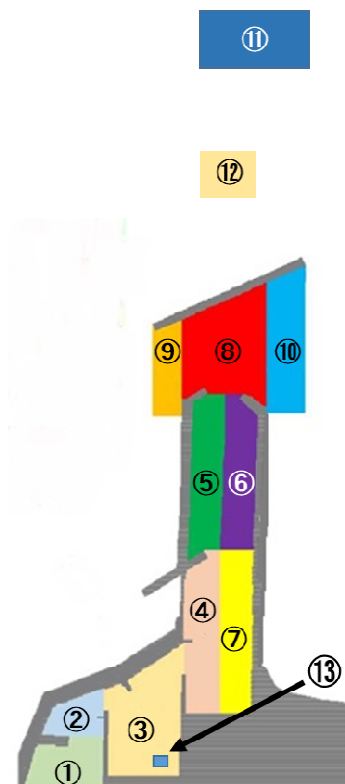


図-3 厚内漁港における物理量評価エリア。図中の番号は評価エリアを13エリアに分割したエリア番号を示す。

8. 令和元(2019)年度の厚内漁港周辺の流速計算

2019年度は2018年度に測定したサケ行動データと厚内漁港(図-3)での流速値との関係进行分析するため、まず波高計を漁港内外に設置し、この観測データを用いて現況再現された波の場の解析モデルにより漁港内外の波高分布を算出した。そして、この波高値から底面流速を算出した。ここで本漁港におけるサケ行動観察した時期は、比較的静穏で周期と波高が小さく、微小振幅波理論が成り立つと考えられたため、以下のとおり微小振幅波の底面流速Uおよびこの振幅uを算出した。

$$U = u \cdot \cos(kx - \omega t)$$

$$u = k \frac{H g \cosh k(z+h)}{2 \omega \cosh kh}$$

$$\omega^2 = gk \tanh kh$$

U: 水平流速

u: 水平流速振幅

ω : 角周波数
 k : 波数
 h : 水深
 g : 重力加速度
 H : 波高

漁港内外の評価エリアとして、図-3のように13のエリアに分けた。これは波の回折や調査地点に配置されている受信機の位置、各エリアの面積を勘案して、沖(11,12)、港口(8,9 および 10)、港路(4,5,6 および 7)、港内(1,2 および 3)、波高計周辺(13)とした。また、これらの領域の平均水深は表-2の通りであった。

計算ケースについては、事前調査から得られた物理データより、調査期間内における高波浪時を5ケース、また波浪の周期が大きい場合の6ケースを選定した。本漁港は比較的海底勾配が緩やかで等深線が汀線にほぼ平行な海底地形をしており、漁港に対して垂直に波が進入するが、防波堤をかわして港内に進入する波向として2ケース(波向:105°~165°)を設定した。よって、合計13ケースの解析を行い、平均波高や最大波高、流速振幅を算出した。

9. 平成30(2018)年度の結果及び考察

9.1 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-4)。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

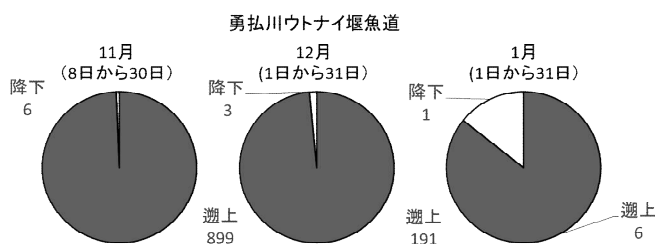


図-4 ウトナイ魚道の遡上数と降下数の割合。2017年11月は8日から30日、12月および1月は1日から31日まで計測した。それぞれの母数に違いがあることに留意。

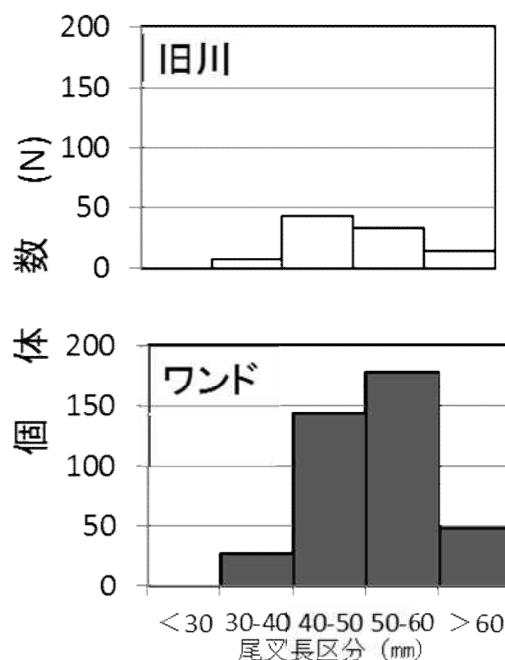


図-5 旧川とワンドで捕獲されたサケ稚魚の尾叉長別の個体数

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。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それ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。

9.2 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-5)。

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 50 mm で、次に捕獲数が多かった5月下旬は 50 から 60 mm 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 50 mm の捕獲数が多かったが、5月上旬以降は尾又長 50 から 60 mm 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月中旬がもっとも多い（7. 平成 30（2018）年度の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、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かとと思われる。

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-6）。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

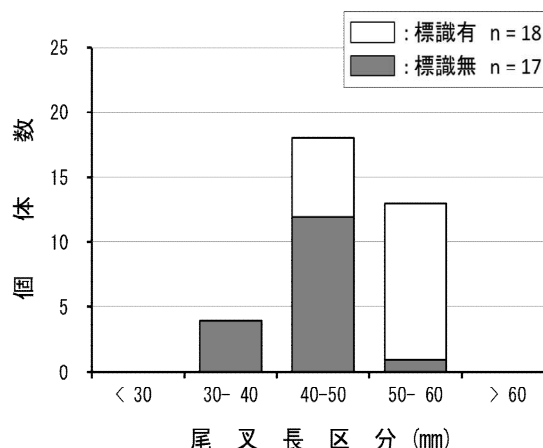


図-6 2018年4月中旬(4月12日)にワンドで捕獲されたサケ個体の尾又長区分ごとの無標識魚と放流魚の割合

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 1 g、尾又長約 5 cm 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、パ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。

9.3 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。ワンドではソコミジンコ目 (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）。

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			1		2			1				
軟甲綱	ヨコエビ目			3		37		9		3			
	カゲロウ目		1	1	4		1	11					
昆虫綱	カワゲラ目(幼虫)	1		2		1	1	1	3				
	カワゲラ目(成虫)												
	カメムシ目			1					2	1		3	
	トビケラ目	1							3				
	チョウ目			1		1							
	科 (幼虫)	4	6	6	25	9	23	12	28	55	61	24	
	科 (蛹)	19	13	20	2	25	11	6	112	46	89	55	
	科 (成虫)	17	4	14	1	43	6	1	18	87	11	34	
	ハエ目(幼虫)		3			1	1			1			
	ハエ目(成虫)	1	2		8			1		34	1		
	コウチュウ目				1								
	アリ目												
	その他陸生昆虫				1					4	12		3
	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)。

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と、河川降河時に摂餌したものであると思われる。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。

10. 令和元(2019)年度の調査と結果と考察

10.1 ウトナイ堰とトキサタ堰のサケ遡上数

2019年9月10日からこのウトナイ堰では、サケ遡上数が計測できており、少なくとも1匹以上の遡上が見られ、9月に一日平均では約5匹の遡上が見られた。また、9月23日には14匹の遡上が見られた。こ

この日の日降水量(苫小牧)が59.5mmであり水位が上がったために遡上数も増加したと思われる。

トキサタ堰では、9月18日から計測が始まり、当初は遡上は見られないと考えられていたが、多くの個体が遡上していることがわかった。

9月計測から10月5日までの期間で、ウトナイ堰の遡上数に対するトキサタ堰の遡上数の割合は81.8%であった(表-4)。

ウトナイ堰の遡上数日変動とトキサタ堰のそれとが数日の遅れで同期していることから、トキサタ堰におけるサケカウンターで計測された遡上数は遡河性魚類のものであると考えられ、この時期はその多くがサケだと思われる。これまで勇払川流域では、サケの自然産卵は美々川と改修前の勇払川で報告されており^{5,16)}、改修後の勇払川での報告はない。しかし、今回の測定からこの時期のウトナイ湖に遡上したサケ

表-4 2018年9月のウトナイ堰とトキサタ堰の遡上数と降下数

9月18日-10月4日	ウトナイ堰 トキサタ堰	遡上数(N)	ウトナイ堰遡上数に対するトキサタ堰遡上数割合	
			遡上数(N)	降下数(N)
		99	81.8	2
		81		5

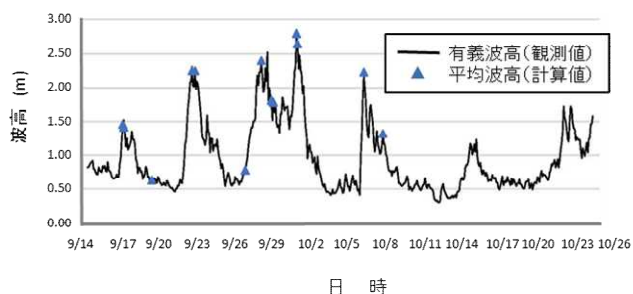


図-7 厚内漁港沖合における波高の観測値(有義波高)と計算値(平均波高)の時系列分布

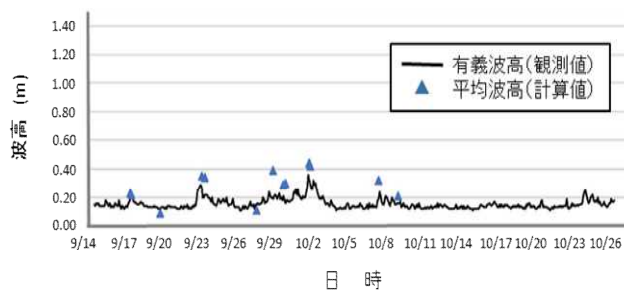


図-8 厚内漁港内における波高の観測値(有義波高)と計算値(平均波高)の時系列分布

表-6 各評価地点における case1 から case6 の流速振幅 (m/s)

case.1			
地点番号	平均波高 (m)	最大波高 (m)	メッシュ数 (2m×2m)
11	1.440	1.486	5940
12	1.408	1.462	2784
9	0.505	1.113	2711
10	0.588	0.975	5443
8	0.343	0.792	8147
5	0.262	0.601	5223
6	0.239	0.641	4913
4	0.116	0.345	5491
7	0.134	0.384	5210
3	0.031	0.132	8033
2	0.014	0.042	2133
1	0.005	0.011	4305
13	0.019	0.022	64

case.2			
地点番号	平均波高 (m)	最大波高 (m)	メッシュ数 (2m×2m)
11	1.440	1.491	5940
12	1.422	1.574	2784
9	0.606	1.167	2711
10	0.522	0.968	5443
8	0.336	0.719	8147
5	0.241	0.549	5223
6	0.228	0.607	4913
4	0.102	0.285	5491
7	0.123	0.380	5210
3	0.031	0.137	8033
2	0.012	0.037	2133
1	0.004	0.009	4305
13	0.019	0.024	64

case.3			
地点番号	平均波高 (m)	最大波高 (m)	メッシュ数 (2m×2m)
11	0.637	0.668	5940
12	0.613	0.643	2784
9	0.154	0.387	2711
10	0.258	0.400	5443
8	0.130	0.370	8147
5	0.109	0.274	5223
6	0.097	0.286	4913
4	0.048	0.121	5491
7	0.058	0.185	5210
3	0.016	0.064	8033
2	0.005	0.015	2133
1	0.002	0.005	4305
13	0.011	0.014	64

case.4			
地点番号	平均波高 (m)	最大波高 (m)	メッシュ数 (2m×2m)
11	2.239	2.355	5940
12	2.252	2.393	2784
9	1.043	1.844	2711
10	0.831	1.566	5443
8	0.551	1.268	8147
5	0.373	0.844	5223
6	0.353	0.975	4913
4	0.157	0.394	5491
7	0.193	0.607	5210
3	0.049	0.217	8033
2	0.019	0.055	2133
1	0.006	0.015	4305
13	0.032	0.036	64

case.5			
地点番号	平均波高 (m)	最大波高 (m)	メッシュ数 (2m×2m)
11	2.249	2.352	5940
12	2.253	2.389	2784
9	0.979	1.845	2711
10	0.843	1.532	5443
8	0.548	1.227	8147
5	0.359	0.803	5223
6	0.342	0.996	4913
4	0.154	0.402	5491
7	0.191	0.643	5210
3	0.051	0.225	8033
2	0.020	0.059	2133
1	0.007	0.015	4305
13	0.033	0.040	64

case.6			
地点番号	平均波高 (m)	最大波高 (m)	メッシュ数 (2m×2m)
11	0.764	0.809	5940
12	0.783	0.865	2784
9	0.431	0.639	2711
10	0.194	0.371	5443
8	0.158	0.609	8147
5	0.110	0.228	5223
6	0.113	0.372	4913
4	0.050	0.131	5491
7	0.054	0.170	5210
3	0.017	0.071	8033
2	0.005	0.013	2133
1	0.002	0.005	4305
13	0.011	0.013	64

表-7 各評価地点における case7 から case12 の流速振幅 (m/s)

case.7			
地点番号	平均波高 (m)	最大波高 (m)	メッシュ数 (2m×2m)
11	2.372	2.495	5940
12	2.409	2.670	2784
9	1.220	2.174	2711
10	0.861	1.634	5443
8	0.618	1.484	8147
5	0.399	0.875	5223
6	0.397	1.058	4913
4	0.174	0.455	5491
7	0.217	0.712	5210
3	0.058	0.266	8033
2	0.025	0.077	2133
1	0.008	0.019	4305
13	0.035	0.041	64

case.8			
地点番号	平均波高 (m)	最大波高 (m)	メッシュ数 (2m×2m)
11	1.774	1.859	5940
12	1.817	2.059	2784
9	0.933	1.711	2711
10	0.602	1.126	5443
8	0.450	1.145	8147
5	0.288	0.606	5223
6	0.294	0.766	4913
4	0.130	0.403	5491
7	0.164	0.454	5210
3	0.034	0.149	8033
2	0.016	0.047	2133
1	0.005	0.011	4305
13	0.020	0.024	64

case.9			
地点番号	平均波高 (m)	最大波高 (m)	メッシュ数 (2m×2m)
11	1.708	1.771	5940
12	1.782	1.969	2784
9	0.925	1.636	2711
10	0.599	1.113	5443
8	0.451	1.147	8147
5	0.298	0.645	5223
6	0.307	0.781	4913
4	0.138	0.408	5491
7	0.166	0.555	5210
3	0.043	0.192	8033
2	0.021	0.067	2133
1	0.006	0.017	4305
13	0.025	0.029	64

case.10			
地点番号	平均波高 (m)	最大波高 (m)	メッシュ数 (2m×2m)
11	2.807	2.906	5940
12	2.718	2.876	2784
9	1.048	2.265	2711
10	1.109	1.941	5443
8	0.681	1.424	8147
5	0.478	1.042	5223
6	0.442	1.202	4913
4	0.214	0.668	5491
7	0.247	0.697	5210
3	0.052	0.216	8033
2	0.024	0.070	2133
1	0.008	0.016	4305
13	0.031	0.037	64

case.11			
地点番号	平均波高 (m)	最大波高 (m)	メッシュ数 (2m×2m)
11	2.656	2.842	5940
12	2.556	2.726	2784
9	0.948	2.103	2711
10	1.075	1.786	5443
8	0.665	1.358	8147
5	0.480	1.053	5223
6	0.423	1.174	4913
4	0.209	0.668	5491
7	0.239	0.692	5210
3	0.053	0.224	8033
2	0.027	0.079	2133
1	0.009	0.018	4305
13	0.032	0.038	64

case.12			
地点番号	平均波高 (m)	最大波高 (m)	メッシュ数 (2m×2m)
11	2.194	2.312	5940
12	2.238	2.479	2784
9	1.230	1.820	2711
10	0.628	1.144	5443
8	0.484	1.734	8147
5	0.323	0.674	5223
6	0.329	1.100	4913
4	0.145	0.387	5491
7	0.160	0.510	5210
3	0.050	0.204	8033
2	0.016	0.042	2133
1	0.006	0.016	4305
13	0.035	0.039	64

表-8 各評価地点における case13 の流速振幅 (m/s)

case.13			
地点番号	平均波高 (m)	最大波高 (m)	メッシュ数 (2m×2m)
11	1.284	1.343	5940
12	1.329	1.466	2784
9	0.650	1.191	2711
10	0.430	0.847	5443
8	0.309	0.783	8147
5	0.210	0.460	5223
6	0.211	0.551	4913
4	0.092	0.264	5491
7	0.114	0.339	5210
3	0.028	0.117	8033
2	0.012	0.037	2133
1	0.004	0.009	4305
13	0.018	0.021	64

ることが分かった。

10.4 厚内漁港からのサケ行動と流速の関係

平成 30 (2018) 年に漁港から発信器を装着して放流したシロサケ 3 個体は放流後直後もしくは翌日に港外へ移動していた。このときの最大流速は、0.269 m/s であり、この時期は平穏な状態であった。そこで、今年度は比較的荒天時の流速を計算により算出したところ、前述したように、厚内漁港郊外付近、港口付近および港路付近それぞれで最大 1.33 m/s、最大 0.69 m/s および最大 0.41 m/s だった。サケが遊泳する速度である巡航速度が 2×体長～6×体長とされていることから、港で放流した個体の平均尾又長が 66 cm であることから、最も小さな巡航速度でも約 1.3 m/s 程度となる。突進速度は巡航速度より遙かに大きく 10×体長とされていることから、荒天時でも港外へ移動することは容易だと推測される。

11. まとめ

平成 30 (2018) 年度はサケカウンターの使用による遡上数や降下数があきらかになり多くの魚道等の構造物評価に役立つと期待される。人工的な旧川跡やワンドといった沿岸構造物による生息場所が、サケ生息域においては生活史上有効であることが明らかになった。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。

令和元 (2019) 年度は、サケカウンターの複数設置により支流ごとの遡上実態を把握した。また、荒天時の漁港にサケ親魚が迷入した場合の港外への移動の可能性を検討した。今後は遡上数の計測を継続して精度向上を目指す予定である。

参考文献

- 1) 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: 1-7. 2004
- 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) ダム水源地環境整備センター 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. Simenstade : 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.

- 16) 森田健太郎：2020 勇払川のサケ, SALMON 情報, 14:
38-39.

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

17.2.1 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）

研究担当者：石井馨、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、寒冷海域の漁港港湾等の沿岸構造物が有する水産生物の保護育成機能に関して、それらの機能強化および有効活用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。

初年度である令和元年度(2019)は、簡易な海底創出礁や表面積増加礁の現地試験を行うとともに、アサリの港内垂下養殖試験と北海道内の天然干潟との成長を比較することにより、沿岸構造物上での底生生物が生息可能な海底空間の創出や付着生物が生息可能な表面積の増加手法による餌場機能強化の有効性、また港内静穏域を利用したアサリ垂下養殖の有効性を確認した。

キーワード：沿岸構造物、保護育成機能、海底生息場創出、付着表面積増加、餌場機能強化、アサリ垂下養殖

1. はじめに

日本国内では、近年の水産資源の低迷や藻場・干潟の減少を踏まえ、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⁾。

従来、漁港・港湾等の沿岸構造物は、定性的ではあるが、水産生物の保護育成機能を有していることが知られている。しかし、北海道周辺海域は水産物供給上の重要な拠点であるものの、寒冷海域の生物種を対象とした沿岸構造物との関連性について検討を行った事例は乏しい。そのため、沿岸構造物においても、水産環境整備に繋がる保護育成機能を強化するための整備技術の確立が求められており、特に、種や季節変化などの地域特性を考慮した、寒冷域での機能強化技術の開発が必要である（図-1）。

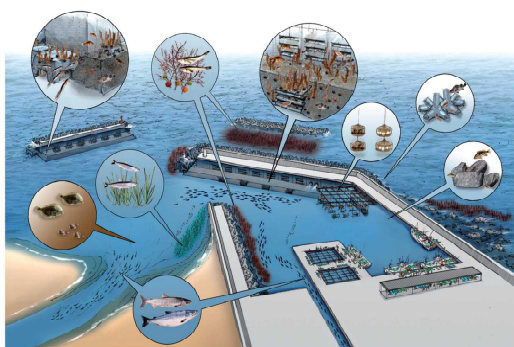


図-1 保護育成機能強化型漁港のイメージ

そこで本研究は、漁港港湾等の沿岸構造物が有する寒冷海域水産生物種への保護育成機能の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。

事前研究（17.1）により、寒冷海域漁港では、保護育成機能の内、静穏域創出や高波浪からの避難場機能、餌場機能を有することが明らかとなった²⁾。そこで、それらの機能を強化する、もしくは有効活用する手法を中心に検討することとした。

2. 研究全体の調査概要

対象生物を魚類と二枚貝（アサリ）に分け、技術開発を検討することとした。初年度の令和元年度（2019年）は、それぞれの機能強化や有効活用に関する簡易な現地試験を実施することにより、手法の有効性を確認する。次年度以降は、有効性が確認された手法に関して改良を行うとともに、他の機能や手法についても順次有効性の検証を行うことにより、手法を取りまとめていく計画である。

そのため、令和元年度（2019年）は、魚類に関しては餌場機能強化としての海底創出や表面積増加、アサリに関しては静穏域活用としての垂下養殖の有効性を確認することとした。

3. 令和元年度（2019）の主な調査項目

3.1 餌場機能強化

調査は北海道南西部に位置する寿都町寿都漁港で行った（図-2）。

本漁港は、既往の研究において、港内では動物プランクトンに加え、港外に比べ底生動物も多く現存することにより、餌場機能を通年有することが示唆されている²⁾。これは、周辺は岩礁域であるが、浅く静穏な港内には有機物や砂粒子などが堆積し、光、堆積有機物から再生産された栄養塩、安定した海底基質により、海底での底生基礎生産や底生動物の生息が可能となり、浮遊生態系に底生生態系が加わることで餌場機能を支えていると考えられた。

そのため、沿岸構造物のブロック上にも、砂粒子などが堆積可能で、底生生物が生息可能な空間を創出する手法で、餌場機能強化の有効性を検討することとした。



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)

そこで簡易な海底創出礁（図-3）として、砂利（粒径5~10mm、4L）を入れた袋（目合い4mm、40cm×60cm）を、St.2の泊地（①）とともに、St.3周辺の被覆ブロック（底面②、斜面③）、根固ブロック（④）上に7月に設置し、約1年後に回収し、底生動物の現存量を測定した。

加えて、付着基質の表面積を増加させ、付着生物が生息可能な空間を創出する手法でも、餌場機能強化の有効性を検討することとした。

そこで表面積増加礁（図-3）として、板（塩化ビニル製、0.56m²/枚）を約50cm間に3、4、10枚連ね、St.2の泊地（①）とともに、St.3周辺の根固ブロック（④）上に6月に設置し、約2ヶ月後に回収し、周囲の動物プランクトン、付着生物の現存量を測定した。

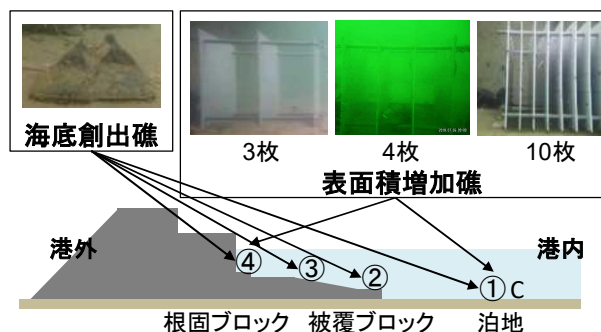


図-3 海底創出礁および表面積増加礁の設置位置

3.2 静穏域活用（アサリ垂下養殖）

アサリ垂下養殖試験は、北海道南西部に位置する松前町江良漁港の-3.5m岸壁（蓄養）L=89mの内、蓄用施設内の先端1区画を活用して実施した（図-4）。1区画の形状は4.0m×4.0m、水深D.L.-3.1m、天端高D.L.+1.5mで、D.L.±0.0mを以て深は周囲が海水交換可能なスリット構造である（図-5）。



図-4 江良漁港調査位置

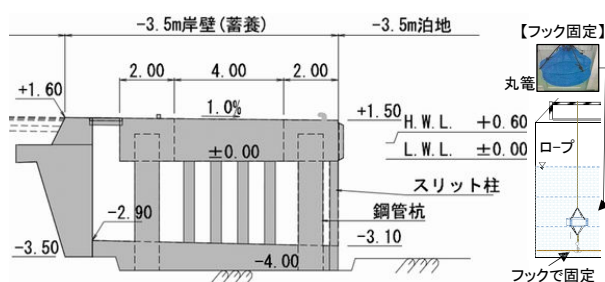


図-5 蓄養施設構造図および垂下方法
(高さはD.L.表示)

垂下条件を表-1に示す。アサリの初期サイズは全平均10.0mmと14.9mm、収容個体数は50、100、150個とし、全6ケースの条件下で垂下試験を行った。収容容器には、丸籠（直径40cm×高さ10cm、底面積1,256cm²、1分目）内に基質材（砂利（粒径5~10mm）と軽石（粒径6~12mm）を1:1混合）を厚さ8cm程敷き詰めたものを用いた。

また、容器（丸籠）の固定方法は、フック固定とし、

施設上部に設置済みの手摺りからロープで丸籠を水深 D.L. -2m の位置に垂下し、丸籠の下面に取り付けたフックで、施設内の海底に配置したロープに固定した。

表-1 垂下条件

ケース	初期サイズ	収容 個体数	容器 固定方法	基質	垂下 水深
1	10.0mm (7.2~12.7mm)	50	丸籠 フック 固定	砂利 1 : 軽石 1	D.L. -2m
2		100			
3		200			
4	14.9mm (11.2~17.9mm)	50			
5		100			
6		200			

4. 平成 31 年度 (2019) の主な調査結果

4. 1 餌場機能強化

設置 1 年後の海底創出礁に現存していた底生生物の個体数、種組成を、St. 2 の泊地堆積物での結果とともに図-6 に示す。

簡易な海底創出礁を泊地とともに根固めや被覆ブロック上に設置することで、底生生物の生息空間が創出され、ブロック上でも魚類の餌料となる底生動物が泊地と同程度の 6000 個体/m² 前後出現した。種組成も泊地と大きく変わらず、魚類の餌となりやすい環形動物が最優占していた。また、軟体動物では全礁でアサリの生息が確認された。

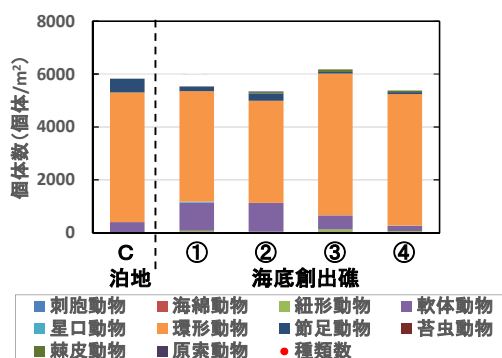


図-6 泊地と海底創出礁での底生動物

次に、設置 2 ヶ月後の表面積増加礁周辺の動物プランクトンの個体数、種組成を、St. 2 の泊地水柱の結果とともに図-7 に示す。

簡易な表面積増加礁を泊地とともに根固めブロック上に設置することで、魚類の餌料となる動物プランクトンが泊地水柱に比べ、約 3~15 倍多く出現した。

種組成は、泊地と同様に魚類の餌となりやすい節足動物が最優占していた。表面積増加礁には、ばらつきが大きい多くの微細藻類が付着しており、泊地水柱のみでは Chl. a は 3.8mg/m³ であったが、表面積増加礁内は 0.1~112.6mg/m³ の Chl. a の増加が確認された。そのため、付着生物の生息空間が付加されたことによる、付着性の基礎生産者の増加に伴い、動物プランクトンが増加したと考えられた。

これらの結果から、両手法は餌場機能の強化手法として有効であると考えられた。

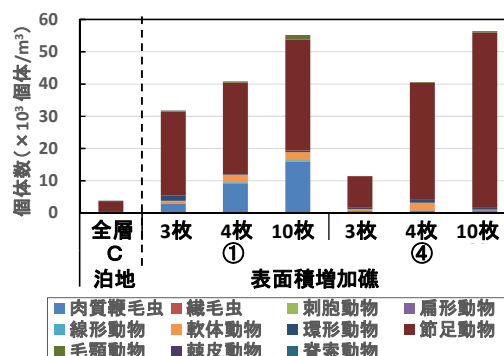


図-7 泊地と表面積礁での動物プランクトン

4. 2 アサリ垂下養殖

約 1 年間の殻長の増加やアサリ TOC 増加量について、北海道内の干潟で報告のある成長結果 (北斗市³⁾、火散布沼⁴⁾) と比較した。アサリ TOC 増加量の比較は単位面積当たりとし、6 月の試験開始時と約 1 年後 (353 日後) の殻長から、以下に示す関係式を基に算出した。

$$\text{「個体湿重量」} = 0.0002 \times \text{「殻長」}^2 \cdot 9835$$

$$\text{「軟体部湿重量」} = 0.2236 \times \text{「個体湿重量」}^1 \cdot 1.0262$$

$$\text{「TOC」} = 353.4 \text{ mgC/gww (軟体部湿重量当たり)}$$

結果を表-2 に示す。本研究での殻長増加は、収容個体数を考慮しない全体の初期平均殻長 10.0mm では約一年後の平均殻長が 25.3mm、14.9mm では 27.3mm と、北斗市の報告と同程度であった。加えて、単位面積当たりのアサリ TOC 増加量も、全ケースで 111~306 gC/m²/yr と計算され、火散布沼の報告と同程度であった。江良漁港のように日本海沿岸で周辺が岩礁域であっても、垂下試験により干潟と同程度に成長することが明らかとなり、二枚貝垂下養殖による漁港内静穏域活用の有効性が確認できた。

表-2 垂下試験と北海道内の天然干潟との成長比較
(約1年間)

	江良漁港 (垂下)	北斗市 ³⁾ (干潟)	火散布沼 ⁴⁾ (干潟)
殻長 (mm/yr)	10.0→25.3 14.9→27.3	12.9→26.4	—
アサリTOC (gC/m ² /yr)	111~306	—	130

5. まとめ

初年度である令和元年度(2019)は、簡易な海底創出礁や表面積増加礁の現地試験を行うとともに、アサリの港内垂下養殖試験と北海道内の天然干潟との成長を比較することにより、沿岸構造物上での底生生物が生息可能な海底空間の創出や付着生物が生息可能な表面積の増加手法による餌場機能強化の有効性、また港内静穏域を利用したアサリ垂下養殖の有効性を確認することができた。今後、有効性が確認された本手法に関して継続的な観察や改良などを行うとともに、他の機能や手法についても順次有効性の検証を行う予定である。

参考文献

- 1) 水産庁：漁港漁場整備長期計画、2012、2017。
- 2) 梶原瑠美子, 丸山修治, 伊藤敏朗, 大橋正臣, 門谷茂：寒冷海域漁港における通年の水産生物の保護育成機能, 土木学会論文集B3(海洋開発), Vol. 75(2), pp. 1_1019-1_1024, 2019.
- 3) 田村亮輔, 中川宙飛, 五嶋聖治：北海道函館湾におけるアサリの成長, 北海道大学水産科学研究彙報, 64(2), pp. 37-44, 2014.
- 4) Komorita, T., Kajihara, R., Tsutsumi, H., Shibamura, S., Yamada, T. and Montani, S.: Food sources for *Ruditapes philippinarum* in a coastal lagoon determined by mass balance and stable isotope approaches, PLOS ONE, Vol.9 (1), 1-11, 2014. 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.

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

17.2.2 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）

研究担当者：石井馨、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、沖合域における魚礁等の人工構造物の造成による餌料培養効果に基づいて、水産生物の生産性向上を図るための漁場環境整備に必要な技術開発(水産環境整備技術の開発)を行うものである。

令和1年度(2019)は、数値モデルによる魚礁ブロック近傍の流況解析により、魚礁ブロック近傍における滞留域が把握され、既往の底生生物の生物量分布との整合から、餌料培養効果に基づく沖合域での水産環境整備技術確立に向けた基礎的知見を得た。

キーワード：流況解析、餌料生物、粒子状物質

1. はじめに

日本の漁業生産量は1984年の1282万tをピークに減少を続け、特に生産量の多くを占めている沖合漁業ではピーク時の696万t(1984年)から205万t(2017年)まで激減している(図-1)¹⁾。日本有数の天然礁である武蔵堆を擁する北海道の日本海北部漁場においても、スケトウダラ・ホッケ・マガレイ等の漁獲量が減少しており²⁾、資源の枯渇が危惧されている。我が国では近年、国土面積の約12倍にも相当する広大な排他的経済水域を有効活用することで水産資源を回復させようという取り組みが推進され、水産有用魚種を対象とした魚礁ブロック等人工構造物を用いた保護育成場の造成など沖合域の水産環境整備が進められている³⁾。

海中の人工構造物には、魚類の「蛸集効果」「保護育成効果」、さらには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「餌料培養効果」が知られている⁴⁾⁵⁾。このような人工構造物が持っている

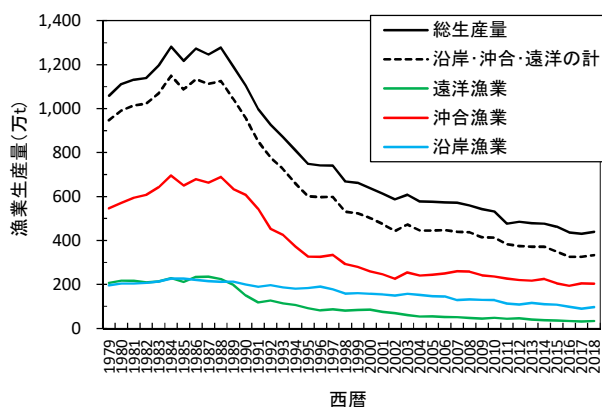


図-1 漁業生産量の推移(2018年は概算値)¹⁾

る機能・効果は水産有用魚種の増養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、水産環境整備における効果は多岐にわたると考えられている。しかしながら、沿岸域においては人工構造物の効果について人工魚礁の観測事例^{4)~8)}がある一方で、潜水作業による調査が難しい沖合域における魚礁ブロック等の人工構造物が周辺の流動等の物理環境を含めた漁場環境に与える影響は十分に解明されていないのが現状である。

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、人工魚礁等の人工構造物による魚類蛸集効果や餌料培養効果に基づく増養殖機能強化により漁場環境整備に資する技術の開発を行うものである。

2. 流動モデルを用いた流況解析による検討の概要

本研究では、北海道利尻島の沖合約10kmの水深約90mの人工魚礁の魚礁ブロックを対象として、魚類や餌料生物を含む生態系に影響を及ぼすと考えられる魚礁構造物近傍の流れに着目し、海洋分野での適用事例が増えている3次元数値流体解析モデルであるOpenFOAM⁹⁾¹⁰⁾を用いた人工魚礁近傍の流況解析を行った。

本解析では、実際の人工魚礁¹¹⁾に設置されている魚礁ブロック(図-2(上))を対象に後述の3次元数値流体解析を実施した。当該ブロックは、非構造格子(図-2(下))の構造部材で構成される複雑な形状であり、方塊等の単純な形状に比べて擾乱等の発生による複雑な流況の発現が予測される。よって、海洋分野の構造物に対する3次元数値流体解析のうち、非構造格子の計

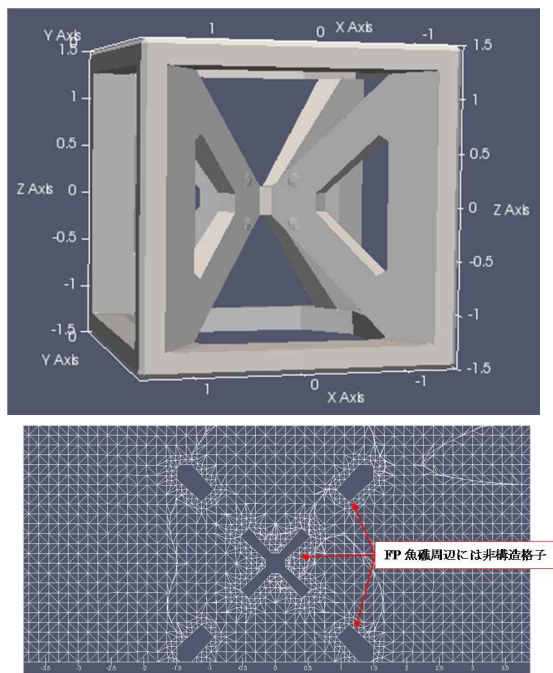


図-2 解析対象の魚礁ブロック(上)と非構造格子(下)

算格子設定が可能で計算自由度が高く、今回対象とする比較的複雑な形状の魚礁ブロックによる流況の再現精度が高いと考えられる OpenFOAM を採用した。

計算モデルの作成では、OpenFOAM の利点を活かして、流況の再現性向上のため構造体部材の極近傍の空間は非構造格子を採用し、それ以外の空間には計算負荷低減のため構造格子を採用した(図-2(下))。

3. 検証計算

OpenFOAM の計算再現精度の検証のため、既往研究の方塊の水理模型実験結果¹²⁾との比較を行った。既往模型実験と今回の計算条件を表-1に示す。

表-1 検証計算の条件(模型縮尺)

項目	条件_水理模型実験(既往研究) ¹⁶⁾	
水槽諸元	幅 0.8m×高さ 1.0m×長さ 40m、水深 30 cm	
模型	矩形(方塊):縦 5 cm×横 5 cm×高さ 5 cm	
流入条件	流速 37 cm/s	
項目	条件_数値流体解析 (OpenFOAM)	
ソルバ	interFoam(VOF :Volume Of Fluid)不混和流体・	
離散化法	有限体積法	
計算領域	幅 0.8m×高さ 1.0m×長さ 1.2m、水深 30 cm	
計算格子	格子サイズ:0.25 cm(最小)~2.0 cm(最大)	
境界条件	流入	流速 37 cm/s 相当流量
	底面・構造物	境界流速=0 (noSlip)
	壁面	Slip
	流出	自由流出境界(ノイマン境界)

図-3 は、既往模型実験結果¹²⁾と OpenFOAM 計算結果(△)の比較を示す。y=0.05m が矩形模型(5 cm立方体)の上端であり、結果は水平流速の時間平均値である。OpenFOAM 計算結果(△)は、模型近傍の流速分布の実験結果(実線)を良好に再現している。y=0.06~0.07 mm付近の流速が大きく変化する傾向もほぼ合致する。

以上の結果から、OpenFOAM が構造物近傍の流況解析に必要な精度と再現性を有すると判断し、魚礁ブロックを対象とした数値解析を実施した。

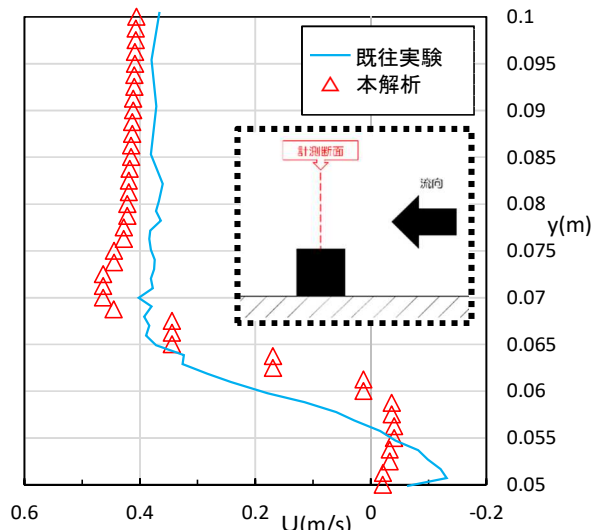


図-3 既往模型実験結果¹²⁾と OpenFOAM 計算結果の比較

4. 魚礁ブロックの流況解析計算結果

表-2 に魚礁ブロックの流況解析計算の条件、図-4 に計算領域を示す。流入境界の流速は過年度の当該人工魚礁周辺での現地観測¹¹⁾による海底近傍の最大流速 0.16m/s に設定した。

図-5、図-6 は、計算で流況が最も発達した計算時間 300sec 時点での魚礁ブロック近傍の断面水平流速と底面水平流速の分布を示す。

表-2 魚礁ブロックの流況解析計算の条件(実縮尺)

項目	条件_数値流体解析 (OpenFOAM)	
ソルバ	interFoam(VOF)※検証計算と同じ	
離散化法	有限体積法	
計算領域	幅 24m×高さ 48m×長さ 96m、水深 18m	
計算格子	格子サイズ 0.15m(最小)~1.2m(最大)	
構造物	魚礁ブロック:縦 3m×横 3m×高さ 3m	
境界条件	流入	流速 0.16m/s 相当流量
	底面・構造物	境界流速=0 (noSlip)
	壁面	Slip
	流出	自由流出境界(ノイマン境界)
計算時間	5min (300sec)	

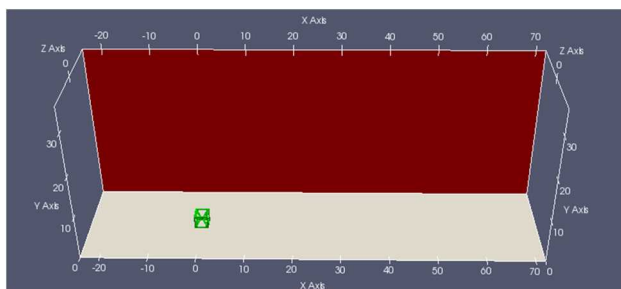


図-4 魚礁ブロックの流況解析の計算領域

断面水平流速分布(図-5)では、流入に対して構造物の直背後では特に流速が小さく、20m以上に渡り流速低減の影響範囲が見られる。図中に示した流速ベクトルから構造物背後では流入の方向とは異なる鉛直や逆方向への流れが見られることから渦流と流れの滞留が発生していると考えられる。

底面水平流速分布(図-6)では、断面流速の分布と同様に構造物背後で流速が小さく、構造物内部でも外側と比較して流速の低減が認められた。

以上より、魚礁ブロックの内部および近傍では流れの遮蔽・擾乱の効果による流速低減や渦流・滞留が生じ

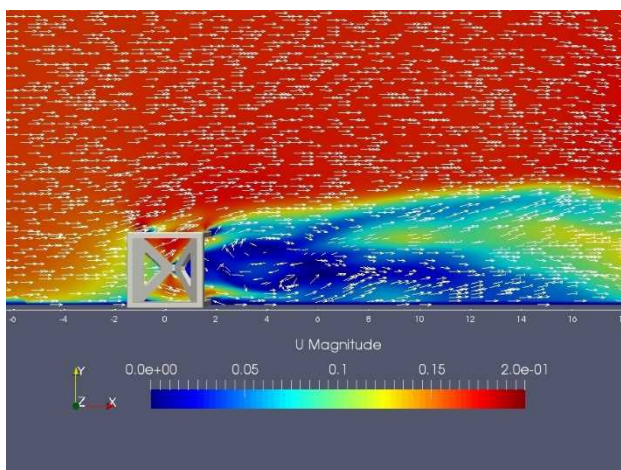


図-5 魚礁ブロックの断面水平流速分布とベクトル

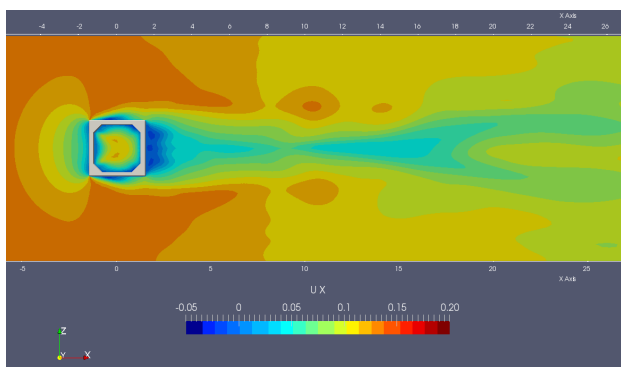


図-6 魚礁ブロックの底面水平流速分布

ていることが示唆され、OpenFOAMの結果は魚礁ブロック設置による近傍の流況への影響を精度良く再現していると考えられる。

海底の流速は底生生物相に影響を与える重要な要因とされ¹³⁾¹⁴⁾、流速低減が堆積物食者(多毛類等)を優占させることも報告されている¹⁵⁾。当該人工魚礁の過年度の観測でも人工魚礁近傍で多毛類の生息密度が魚礁区外と比較して高い傾向が確認されており¹¹⁾、また、魚礁ブロック近傍に粒子状有機物質の滞留が確認されている¹⁶⁾。以上の魚礁ブロックによる流速低減は、魚類の餌料生物である底生生物の良好な生息環境を創出し、さらに底生生物の餌料となる粒子状有機物質を滞留させている可能性を示唆している。

5. まとめ

本報告の主要な結果を以下に示す。

- ① 数値モデルを用いた人工魚礁周辺の流況解析により、魚礁ブロック近傍において流れの滞留による流速低減が生じており、その影響がブロック単体でも20m以上の範囲に及ぶことが示唆された。
- ② 今回の解析結果による魚礁ブロックの流速低減は既往観測による人工魚礁周辺での底生生物の高い生息密度や粒子状有機物質の滞留を生じる要因である可能性がある。

今後の課題としては、人工構造物の設置が水産有用魚種の餌料環境へ及ぼす影響について流況解析と現地観測の生物データの関連付けから定量的に解明することが挙げられ、それによって沖合域における水産環境整備技術の開発に繋げることが期待される。

参考文献

- 1) 農林水産省:海面漁業生産統計調査、長期累年統計表一覧 http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaimen_gyosei/、漁業生産に関する統計 <http://www.maff.go.jp/j/tokei/sihyo/data/17.html> (2019年7月10日確認)
- 2) 国立研究開発法人水産研究・教育機構:わが国周辺の水産資源の現状を知るためにー平成29年度魚種別系群別資源評価 <http://abchan.fra.go.jp/digests2017/index.html> (2018年7月10日確認)
- 3) 中村隆・岡貞行・山本竜太郎・柳瀬知之・浅川典敬・中川良文:沖合漁場整備の政策的意義と技術的課題、平成19年度日本水産工学会秋季シンポジウム講演集、講演9、2007。
- 4) 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、Vol.19、No.2、pp.21-28、1983.

- 5) 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 1—、日本水産工学会誌、45 巻 2 号、pp.101-110、2008.
- 6) 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.
- 7) Xinyuan Yanga, Chenggang Lina, Xiaoyue Songa, Min Xua, Hongsheng Yang: Effects of artificial reefs on the meiofaunal community and benthic environment—A case study in Bohai Sea, China, Marine Pollution Bulletin, 140, pp.179-187, 2019.
- 8) Emily Higgins, Robert E. Scheibling, Kelsey M. Desilets, Anna Metaxas: Benthic community succession on artificial and natural coral reefs in the northern Gulf of Aqaba, Red Sea, PLoS ONE, 14(2), 2019.
- 9) 川崎浩司・松浦翔・坂谷太基: 3次元数値流体力学ツール OpenFOAM における自由表面解析手法の妥当性に関する検討、土木学会論文集 B3(海洋開発)、Vol.69、No.2、pp.748-753、2013.
- 10) 遠藤次郎・磯崎由行・大村智宏・小林学・古市尚基・杉松宏一: 直杭式栈橋に作用する津波波力特性に関する数値解析、土木学会論文集 B2(海岸工学)、Vol.74、No.2、pp.253-258、2018.
- 11) 須藤賢哉・稲葉信晴・石井馨: 沖合域の人工構造物周辺における底生生物相、寒地土木研究所月報、No.796、pp.11-17、2019.
- 12) 林健二郎・大井邦昭・前田稔・斉藤良: 開水路中に水没設置された立方体および直方体の流体力、土木学会論文集 B1(水工学)、Vol.67、No.4、pp.1141-1146、2011.
- 13) 松政正俊: 海草による環境変化と底生生物、海洋と生物、Vol.22、No.6、pp.550-556、2000.
- 14) Serena Donadi・Britas Klemens Eriksson・Karsten Alexander Lettmann・Dorothee Hodapp・Jörg-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.
- 15) 菊池泰二: 砂泥底の生態系とベントス、水産土木、Vol.22、No.1、pp.25-33、1985.
- 16) 須藤賢哉・稲葉信晴・石井馨: 沖合人工魚礁の整備評価手法に関する研究、産総研北海道センターワークショップ in 函館、ポスターセッション—漁業—03、2019.

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 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

担当チーム：寒地水圏研究グループ（水産土木）

研究担当者：石井薫、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、種苗放流基質の材質はホタテ、空隙が15mm及び30mmの基質で種苗稚ナマコの比較的良好な定着が確認され、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、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明らかにした。

令和元年度(2019)は、詳細な餌料環境分析の他、食害生物の影響についての検討を行い、ホタテの空隙が大きい基質上の単位面積当たりの羽状目珪藻がより高密度で、各基質に分布した稚ナマコの糞中でも同様の傾向を示した事や、糞中の羽状目珪藻の生細胞比率がバイオフィーム中と比べて極端に低い事から、基質の種類、空隙を制御する事で餌料環境を最適化できる可能性についての知見を得るとともに、周年を通して試験礁内でオオヨツハマゴニ及びケブカヒメヨコバサミが優占し、両種による稚ナマコの食害による生残への悪影響が明らかにした。
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にぎわいの創出」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す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

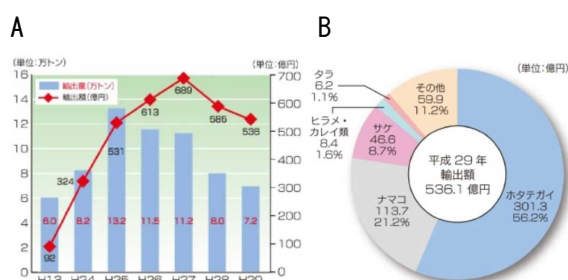


図-1 北海道における水産物輸出品目別の輸出品数及び金額の推移とその内訳⁴⁾

させる魚種として注目されている(図-1 B)。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的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。令和元年度(2019)は、追加的なより詳細な餌料環境分析を実施した他、天然環境下における食害生物の影響についての検討を行った。

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

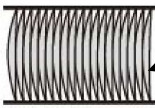
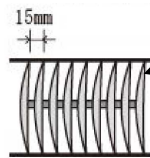
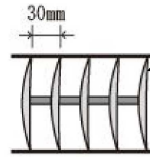

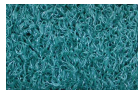
2.2.1 試験礁の設置

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」(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(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スペーサーを用いて任意の空隙(0mm, 15mm, 30mm)を設定した。この試験礁は稚ナマコの放流中間育成場として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

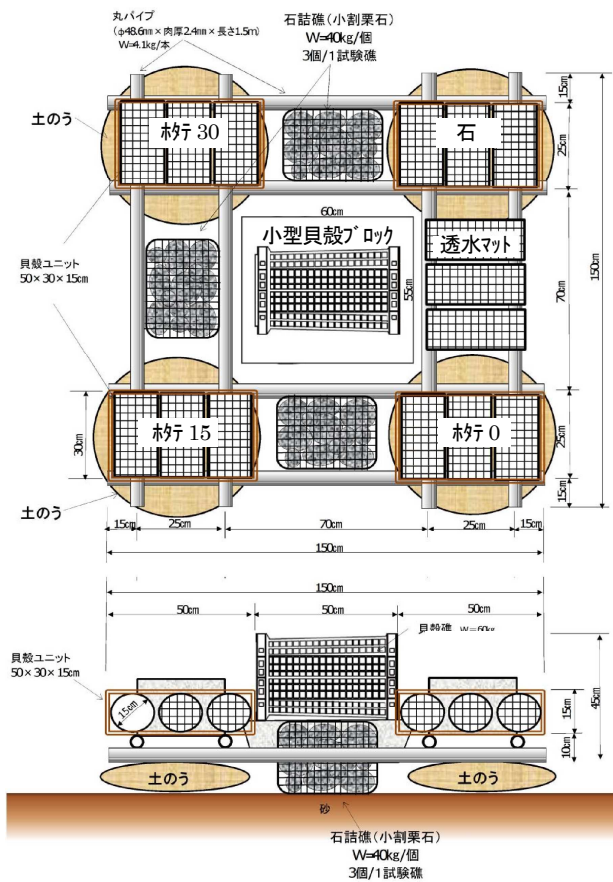


図-3 放流試験礁 (全体)

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-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



写真-1 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-1)。

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。

2.2.5 バイオフィルム及び糞粒中の微細藻類の計数

各基質上のバイオフィルムを2.3×2.3cm四方の範囲から滅菌歯ブラシを用いて剥離し、採取した。採取試料は滅菌人工海水 (MARINE ART SF-1, 富田製薬株式会社) に懸濁させ、ボルテックスで良く攪拌後に、一部をGF/Fで濾過しバイオフィルム乾重量 (BDW) とし、残りはグルタルアルデヒド (終濃度1%) にて固定し微生物計数用の試料とした。BDW 試料は濾過後速やかに冷凍し、室内にて十分乾燥させた後、乾重量を計測した。更に、各基質から稚ナマコを無作為に10個体抽出し、滅菌人工海水にて体壁等を良く洗浄後、滅菌人工海水で満たされた滅菌容器に稚ナマコを収容し、糞粒を採取した。糞粒は基質毎にまとめて一つ試料とし、微生物計数用の固定試料を得た。バイオフィルム及び糞試料は、サンプル水中に均等に分布させるため、ボルテックスを用いて十分に攪拌した後、倒立顕微鏡を用いて珪藻及びその他の微細藻類を同定・計数した。計数の際には、微細藻類の細胞質の有無によって個別に計数を行い、全サンプルについて3回ずつ計数を行った。

2.2.5 カニ及びヤドカリ組成及び胃内容物の観察

調査時に各ユニット内に出現したカニ及びヤドカリを99.5%エタノールにて固定し、計数及び種同定を行った。また、一部の試料について、胃内容物の顕微鏡観察を行い、ナマコの捕食状況を確認した。また、調査水域からカニ及びヤドカリを採捕し、一時的に飼育し、ナマコの室内捕食試験を実施した。

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-2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。

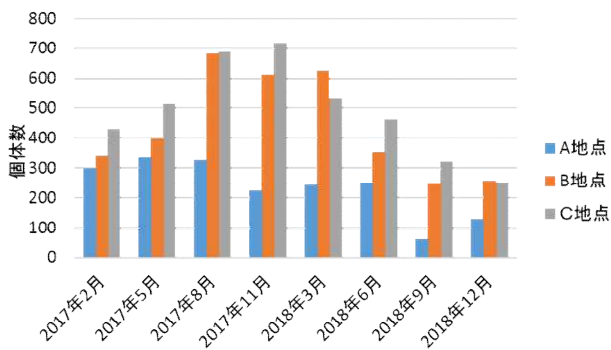


図-4 地点別の生息個体数(5種類のユニットの合計)

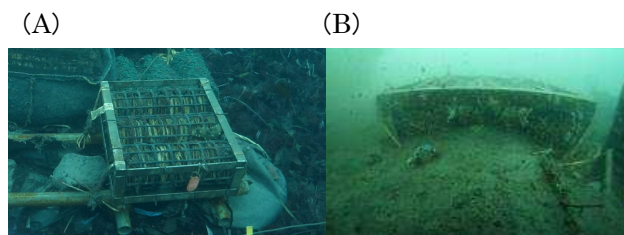


写真-2 A地点の堆砂状況((A)堆砂前、(B)堆砂後)

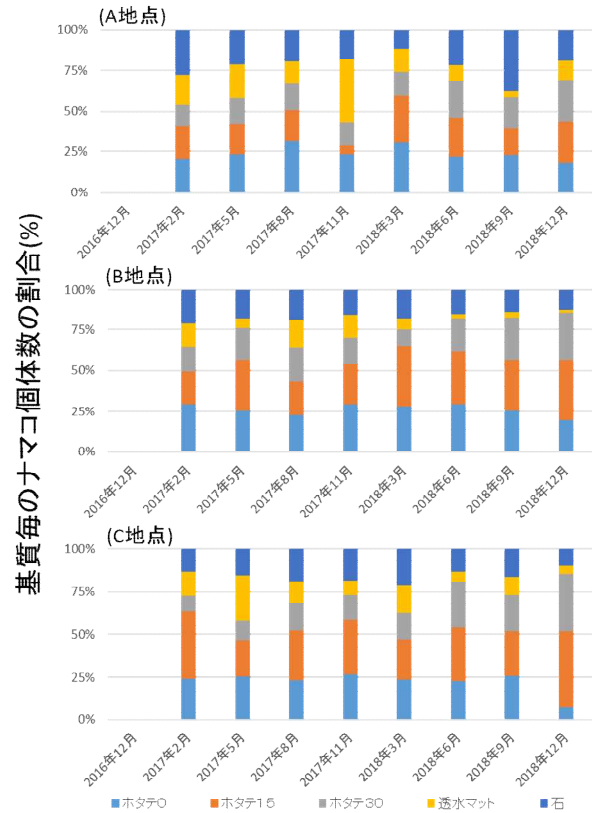


図-5 ナマコ個体数の基質別の割合

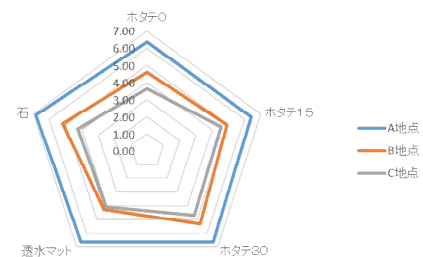


図-6 2年後の平均標準体長 (cm)

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 a 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。

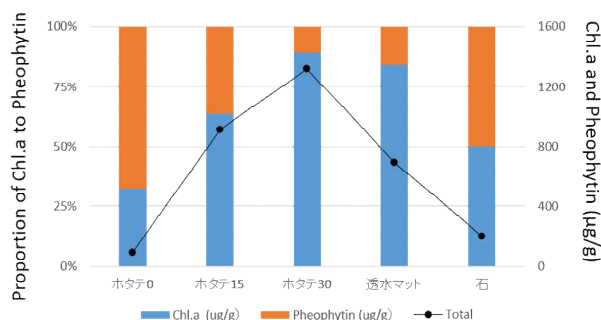


図-7 基質毎のクロロフィルa及びフェオフィチン量と割合

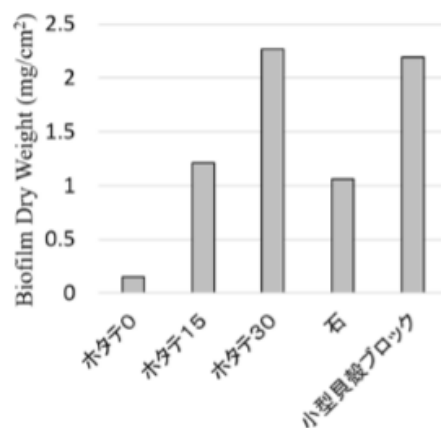


図-8 基質毎のバイオフィーム乾重量(mg/cm²)

3.1.3 バイオフィーム及び糞粒の微細藻類密度と組成

各基質に形成されたバイオフィーム乾重量(BDW)の分析結果を図-8に示す。バイオフィーム乾重量(BDW)は基質ホタテでは空隙が大きくなるに従い増加し、空隙が0mmと30mmでは約14倍もの違いが認められた。また、小型貝殻ブロックでも同様に高い値(2.19mg dry weight/cm²)が確認された。バイオフィーム中の微細藻類密度及び組成を図-9で示す。全細胞数で各基質を比較すると、Chl. aと一致し、ホタテ30で最大で 1.54×10^4 cells/cm²であった。小型貝殻ブロック中から中心目珪藻が低密度で観察されたが、どの基質中においても羽状目珪藻が優占した。また、バイオフィーム中の生細胞比率(=細胞数(細胞質有り)/全細胞数)は、ホタテ15及び30で高く70%程度であった。透水マットに関しては、基質の構造上、単位面積あたりの正確な値が得られなかったため除いている。

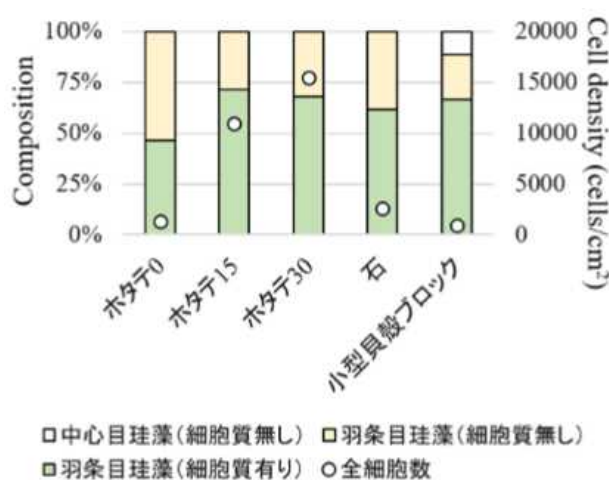


図-9 基質バイオフィーム中の微細藻類密度及び組成

図-10には稚ナマコの糞粒中の微細藻類密度と組成を示した。糞粒中の微細藻類の細胞密度についても、バイオフィーム中と一致し、ホタテ30で 2.4×10^4 cells/mg dry weightと最も高く、小型貝殻ブロックで最小を示した。糞粒中では羽状目珪藻が優占したが、全て糞粒から中心目珪藻やシアノバクテリアなどが観察された。また、糞粒中の羽状目珪藻の生細胞比率は8~26%と低く、ホタテ30で8%と最も低かった。

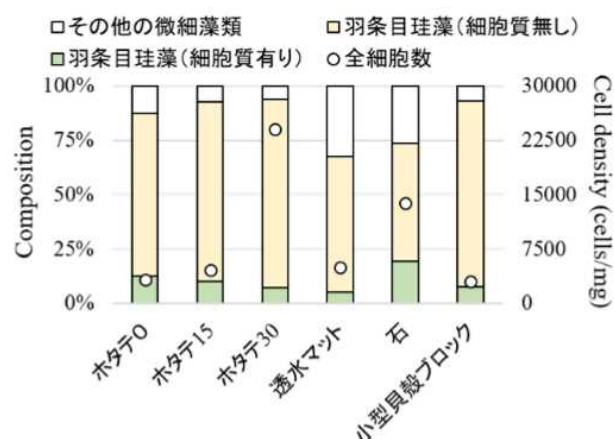


図-10 稚ナマコ糞粒中の微細藻類密度及び組成

以上の結果から、空隙が基質上に形成されるバイオフィーム中の微生物組成や密度に大きな影響を及ぼしている可能性が高い。また、ホタテの空隙が大きい基質上の単位面積当たりの羽状目珪藻がより高密度で、各基質に分布した稚ナマコの糞中でも同様の傾向を示した事や、糞中の羽状目珪藻の生細胞比率がバイオフィーム中と比べて極端に低い事から、人工的に生息空間としての基質、空隙を制御する事で餌料環境を最適化できる可能性が示唆された。

3.1.4 出現したカニ及びヤドカリ組成と胃内容物

図-11に St. C の礁内に出現したカニ及びヤドカリの個体数及び種組成の変化を示す。カニ・ヤドカリ類は2017年では8月にピーク(110個体)を示した後、減少したがまた2018年の6月から9月にかけて急増し、

2018 年は 12 月に最大値(138 個体)を示した。中でも、北方系のモガニ類最大の種であるオオヨツハモガニ⁸⁾及びヤドカリ科ヒメヨコバサミ属のケブカヒメヨコバサミ(写真-3 A, B) が周年を通して優占した。また、上記 2 種の胃内容物の顕微鏡観察の結果、両種からマナマコの骨片が検出され(写真-3 C, D)、また、室内飼育試験の結果、両種による稚ナマコの捕食が確認されたことから、両種が稚ナマコの食害生物である可能性が高く、放流した種苗ナマコの生残に悪影響を及ぼしている可能性が示唆された。

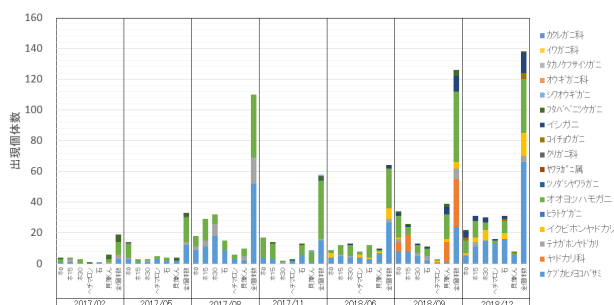


図-11 出現したカニ及びヤドカリ個体数と組成(St. C)

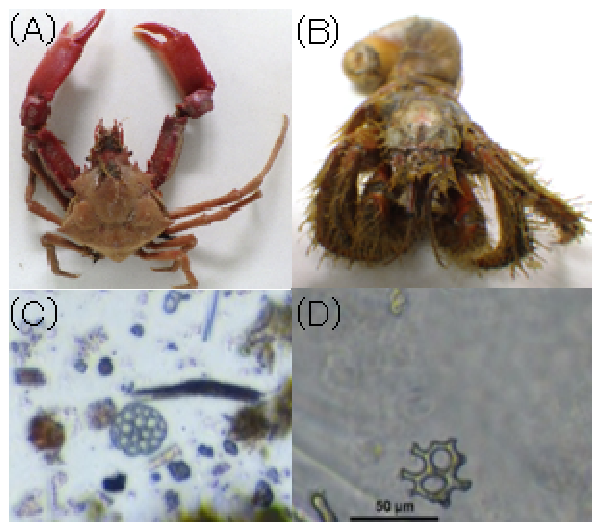


写真-3 オオヨツハモガニ(A)、ケブカヒメヨコバサミ(B)、オオヨツハモガニ胃内容物(C)及びケブカヒメヨコバサミ胃内容物(D)から検出されたナマコ骨片

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。

- ・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。

- ・材質はホタテ、空隙が 15mm 及び 30mm の基質で種苗稚ナマコの比較的良好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、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。
- ・ホタテの空隙が大きい基質上の単位面積当たりの羽状目珪藻がより高密度で、各基質に分布した稚ナマコの糞中でも同様の傾向を示した事や、糞中の羽状目珪藻の生細胞比率がバイオフィーム中と比べて極端に低いことから、基質の種類、空隙を制御する事で餌料環境を最適化できる可能性が示唆された。
- ・オオヨツハモガニ及びケブカヒメヨコバサミが周年を通して、試験礁内で優占し、両種による稚ナマコの食害による生残への悪影響が示唆された。

今後はこれまで得られたデータに基づき、新規のナマコ種苗放流礁の開発など一般化に向けた取り組みを実施し、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> (2020年6月23日確認)
- 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> (2020年6月23日確認)
- 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.
- 8) 大土直哉：モガニ属をめぐる分類学的・生態学的研究から見えてきた沿岸岩礁域生態系の多様性，Cancer 28，pp. 57-63，2019.

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】

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（平成 30 年度）。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。令和元（2019）年度は勇払川に設置されている魚類遡上数自動計測システムでは、ほとんどのサケの遡上数を判定できるものの、魚体を反転させる遡上を行う等の不規則な動きの遡上個体は判定できない。これをカウンター計測と同時に画像撮影を行いその遡上数の精度を向上させる方法を検討した。また、河川の上流域に生息するイワナを対象とした遡上数自動計測システムを開発し、これにより中型魚の移動実態を明らかにして上流域の河川構造物の評価・改善手法に資するデータ収集を可能とした。

キーワード：沿岸回遊、バイオテレメトリー、漁港、サケ、画像解析、イワナ、河川上流域

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



図-1 厚内漁港位置図（国土地理院電子国土 web site より）

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。

河川構造物が母川回帰したサケの遡上を阻害することはよく知られているが、それぞれの構造物の機能は我が国の社会基盤として非常に重要である。近年は、社会基盤の機能を保ちつつ、サケをはじめとして河川生態系の保全を担保するものとして魚道等の整備が進んできた。このような構造物の改善手法を考える上で、魚類の遡上数の計測は不可欠な要素であるが、その手法や精度向上は難しく研究は少ない。

河川上流部にはサケ科魚類が生息するが、例えばイワナは我が国の山地溪流に生息し、数年間の寿命を持ち生涯複数回の産卵を行う。その産卵行動では、本流から産卵場のある支流への移動を行う。しかし、河川構造物はその移動を阻害する。現在では多くの構造物に魚道等の整備が進むが、その評価を行うための基礎データとして遡上数は必要不可欠である。魚道等の遡上数の自動計測はサケ等で行われている⁷が、イワナ用の自動計測システム（以下イワナカウンター）はこれまで開発されていない。

2. 研究全体の概要

構造物周辺の魚類行動追跡に関する現地調査を河川と沿岸構造物を対象として実施し、河川・沿岸構造物の回遊魚に与える影響に対する基礎データを明らかにする（平成 28（2016）年から令和 3（2021）年度）。次に、河川・沿岸構造物の改善手法の構築を目指し、現地調査の実施とデータ解析手法の検討を行っていく（令和元（2019）年以降）。

3. 調査方法

3.1 平成 30（2018）年度調査地

調査地点は、厚内漁港周辺域を「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高が多い。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⁸、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⁸。

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⁸。

3.2 平成 30（2018）年度調査方法

3.2.1 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鮭定置 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。

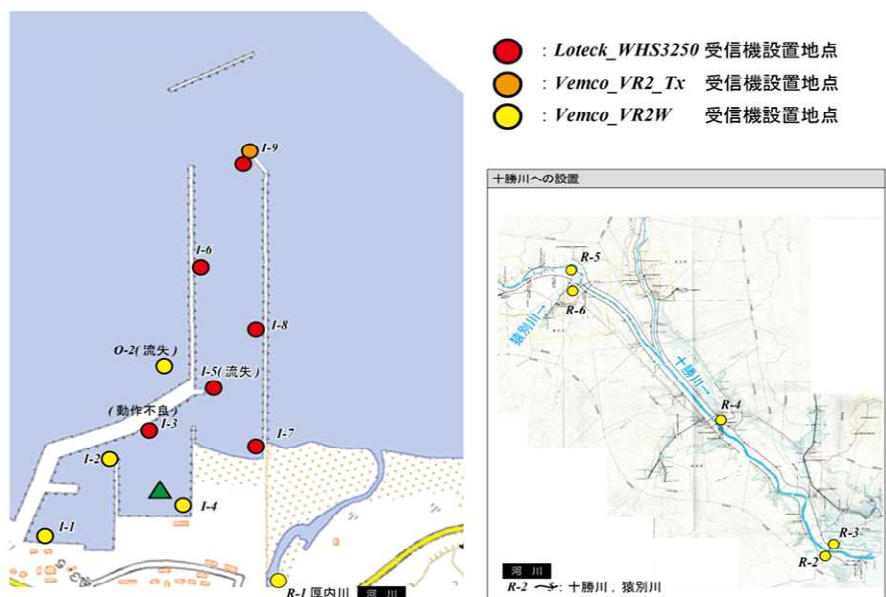


図-2 漁港内および河川での超音波受信機設置位置（国土地理院電子国土 web site を一部使用）



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。

3.2.2 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 Wireless 社製 WHS3250 および Lotek Wireless 社製 WHS3250L である。



図-4 超音波受信機設置位置と観測区分 (広域図)

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。

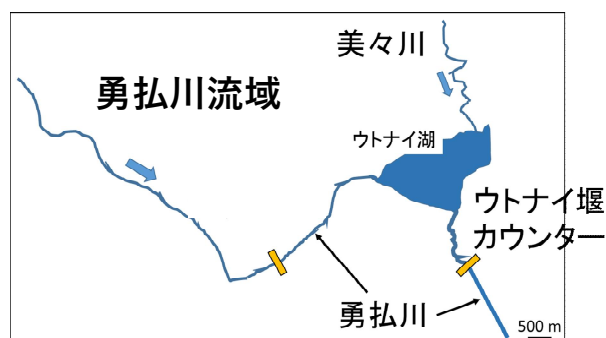


図-5 勇払川とウトナイ堰

3.3 令和元(2019)年度調査地

3.3.1 勇払川ウトナイ堰

2019年度は、サケの遡上数の計測精度を改善する手法を検討するために、従来から苫小牧市勇払川(図-5)に設置されている魚類遡上数自動計測システム(以下サケカウンターと呼ぶ)を用いた。

3.3.2 九頭竜川水系峠川桂清水

イワナカウンターは、岐阜県郡上市石徹白を流れる石徹白川水系峠川(図-6)に流入する桂清水に設置した。石徹白は標高700m、冬期は平均累積積雪深(1981-2010年)が約3.5mにもなる積雪寒冷地である。桂清水は湧水から本流へ流れる平均水面幅2.3m、流量が26l/sの細流である。

3.4 令和元(2019)年度調査方法

3.4.1 サケカウンターによる計測とタイムラプスカメラ撮影

サケカウンターはウトナイ湖流出口に位置するウトナイ堰魚道に設置した。木製魚道(2.0m×0.8m(長さ×幅))上の3本のセンサー電極に対象魚が通過すると、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左右対称状のパルス波形を描く。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⁾。ただし、対象魚が水面近くや魚体を反転させてセンサー上を移動した場合は左右対称のパルス状波形にはならず、後述するシステムでも判定が難しい。サケの遡上数の計測は2018年8月から2020年2月まで行ったが、比較的遡上数の多かった9月から12月のデータを今回使用する。

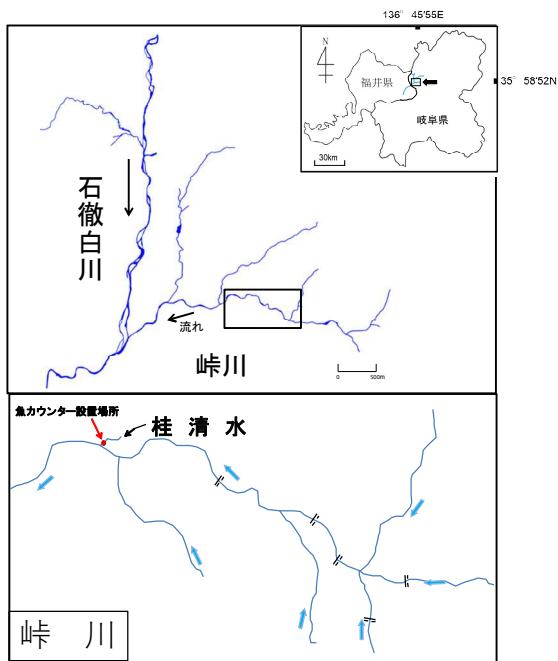


図-6 イワナカウンターの設置場所位置図

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

このようなシステムで判別できない遡上を確認するために、木製魚道の側面にアクリル板を貼り付け、そこからタイムラプスカメラ (TLC200pro、Brinno 社製、台湾) を用いて画像を撮影した。サケカウンターの計測期間の中で濁りや夜間等を除いて条件のよい時を選んで撮影した映像を今回の報告では使用する。

3.4.2 イワナ遡上数計測装置 (イワナカウンター)

峠川支流の1つの桂清水と峠川本流の合流地点において2019年9月30日から12月18日の期間にイワナカウンターを設置した。イワナカウンターにはセンサー部とデータ記録解析部からなる。センサー部には木製の水路に3本のセンサー電極を10cm間隔で取り付け、両端に5.0Vの電圧を印加した。センサーの信号の読み取りには FishCountSystem_Anlyzer03 (田村電子工房、高崎市) を用い、木製水路を通過した魚の遡上数、降下数を計数した。本研究では閾値を1000mVに設定して遡上、降下と判別されたものを研究対象とした。ただし、魚カウンターが稼働せずデータ欠測期間が存在した。

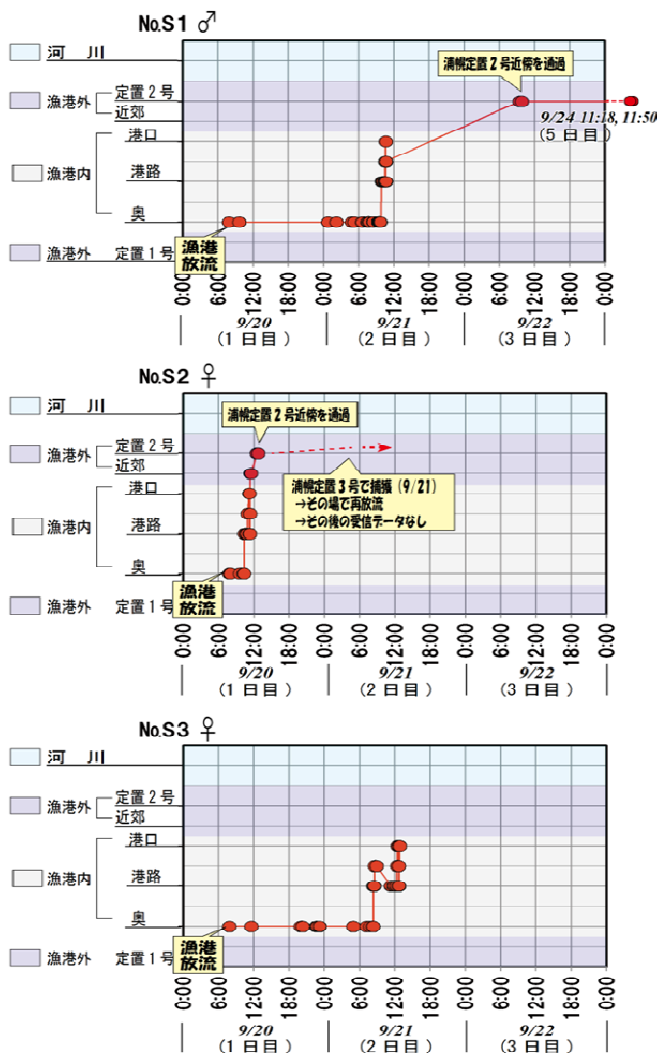


図-7 A 個体群の行動

4. 平成 30 (2018) 年度の結果と考察 (サケの遊泳行動)

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。

4.1 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-7)。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℃~15℃の範囲を遊泳していたことが示された。

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

4.3 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1.5 kmの距離の港外(近傍:図-4)を通過せず、約2 km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。

4.4 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。

4.5 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4 km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

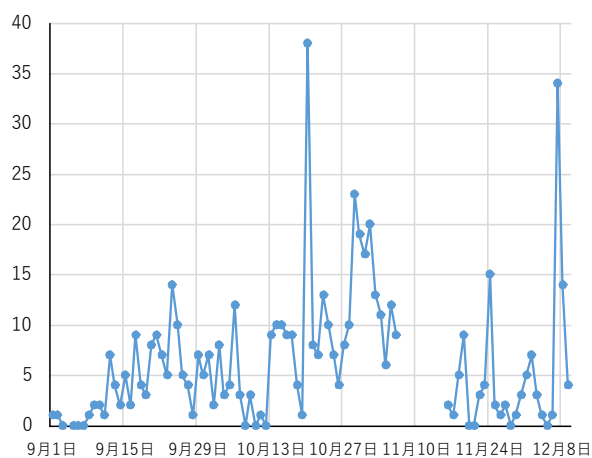


図-8 勇払川のサケ遡上数。データがない部分はシステム不具合によるデータ欠損を示す。

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。

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。

5 令和元（2018）年の結果と考察

5.1 サケカウンターシステムの遡上判定に対するカメラ画像による補正

調査期間中のサケカウンターによるサケと思われる遡上数を図-8 に示した。日による変動が多いものの、9 月および 10 月は一定量のサケと思われる個体が遡上しているのが計測された。12 月に入って多くの個体（37 個体）が遡上した。さらに、システムにより判定外に分類された波形が 3 個体分あった。

この日（12 月 7 日）の日中はタイムラプスによる画像撮影も同時に行っており、37 個体午前 7 時から 17 時までのサケカウンターにより遡上と判定されたケース（27 個体）すべてでサケの画像が撮影されていた。つまり、誤判定の確率は 0 %であった。

しかし、システムにより、判定外となった 7 つの波形のうち 1 つ（図-9）に対応する時間 12 時 38 分に撮

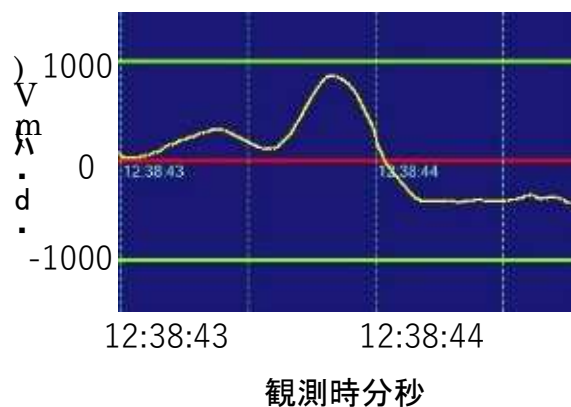


図-9 サケカウンターによる判定外に判定された波形。



図-10 サケカウンターのセンサーを通過するサケ。魚体を反転させていることがわかる。

影された画像にもサケの遡上シーンが撮影されていた（図-10）。

ここでの波形（図-9）は最大値が±1000 mV を超えていなかった。このときの判定基準が±1000 mV に設定されていたために判定外に判定されてしまったと考えられる。また、画像からこの個体は遡上時に魚体を反転させ水面近くを通過して遡上していることがわかる（図-10）。そのため、十分な体長があったにもかかわらず、センサーを通ったときに 1000 mV の電位に達しなかったと思われる。

このようにカウンターだけでは遡上と判定できなかった遡上形態を画像撮影することで遡上と判定することができた。精度の高い遡上数の把握にはこの画像との組み合わせを用いることが有効だと考えられた。

5.2 イワナカウンターによるイワナの遡上実態

桂清水では、9 月 30 日から 12 月 18 日の期間に延べ遡上数 383 個体、降下数 341 個体が確認された。遡上数が最も多かったのは 11 月 11 日であった（図-11）。

サケを対象としたサケカウンター⁷⁾では、受信したパルス派の大小からサケと小型魚を判別できることがある。しかし、この桂清水に生息するイワナ、アマゴ

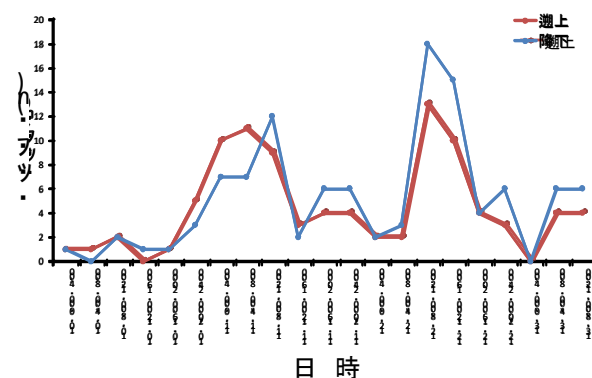


図-11 ピーク時の 4 時間ごとの本流と桂清水間のイワナ遡上数

およびカジカの体長の違いはサケと小型魚ほど大きくなく、この方法により本カウンターを通過した魚類の種類は判別できない。そのため、本結果がイワナによるかどうかは判別できない。しかし、桂清水で同時期に行われた調査では、イワナ、アマゴおよびカジカの捕獲数はそれぞれ、85 個体、3 個体および 0 個体であった。よって、今回計測された移動数はイワナによるものだと考えられた。

4 時間ごとの遡上数と降下数を解析すると、11 日 0 時～12 時の時間帯に同日の全遡上数の 73.2%、降下数の 65.0%がみとめられた。12 日には 8 時～16 時の時間帯に同日の全遡上数の 67.6%、降下数の 68.8%が認められた(図-11)。一般的にサケ・マス類の産卵遡上は日中に活発化し、夜間に停滞する日周変化を示すことが知られ⁹⁾、本研究の結果を支持している。

イワナの遡上数・降下数のピークが認められた 11 月 11 および 12 日の前には 1 週間以上降雨が観測されなかったが、11 月 11 日午後 12 時から 12 日午前 2 時までの 14 時間に計 23 mm の降水があった(最高 3 mm/h)。眞山⁹⁾は、サケ・マス類の遡上に影響を与える重要因子として河川流量の増加を指摘している。本研究でみられた結果も降雨後の流量増加とともに遡上数が増加したと推測される。

6 まとめ

平成 30 (2018) 年度は、水産有用種の行動を構造物としての漁港周辺で調査し、沿岸構造物の回遊魚に与える基礎データを追加して、河川・沿岸構造物の改善手法構築に資するデータ蓄積を行った。

令和元 (2019) 年は、河川構造物の改善手法構築に必要な魚道遡上量の精度向上に向け、魚類遡上数自動計測システムの計測と同時に魚道内の画像撮影を試み、新たな方法を検討した。さらに、上流域での産卵環境改善手法構築に向けて、中型水産有用種の移動数自動計測装置の開発を行った。今後は、上流域の定量的な魚類行動把握手法の構築に向けて継続的にデータ収集解析を行っていく。

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) 農林水産省：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) 布川雅典・権田豊・中村繁人：サケカウンターによるサケ(*Oncorhynchus keta*)移動数計測：SALMON 情報、No. 14、pp. 34-37、2020.
- 8) 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、p.97、2019.
- 9) 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 号、pp.1-7、2004.