

北海道における漁港水域の有効活用

— 魚類の保護育成機能の検討 —

国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所水産土木チーム

須藤 賢 哉
梶原 瑠美子
森 健 二

目 次

1. はじめに	42	3. 結果と考察	44
2. 材料と方法	42	3-1 物理環境	44
2-1 現地観測	42	3-2 餌料環境	45
2-1-1 物理環境	43	3-3 魚類の生息状況	46
2-1-2 餌料環境	43	3-4 漁港の避難場機能の評価手法の検討	47
2-1-3 魚類の生息状況	43	4. まとめ	48
2-2 数値解析と避難場機能評価	44		

1. はじめに

日本の漁業生産量は1984年の1,282万 t をピークに、2021年には417万 t まで減少を続けている¹⁾。水産資源の回復が望まれる中で、水産庁による「水産環境整備」²⁾が推進されており、生態系全体の生産力の底上げを目指すための環境基盤の整備において、魚類等の水産生物の生息場の創出の機能があるとされる漁港等の構造物の有効活用³⁾⁴⁾が重視されている(図-1)。具体的には、魚類のための餌場機能や高波浪からの避難場機能といった漁港の保

護育成機能を水産生物の増養殖へ活用することにより水産資源の増大に貢献できると考えられる。しかし、漁港水域における波浪と魚類行動の関係や避難場機能の評価に関する研究事例⁵⁾は少なく、増養殖に資する漁港の保護育成機能の活用に関する技術の確立は十分ではないのが現状である。

そこで当チームでは、北海道日本海側の寿都漁港において、2016年から現地観測や数値解析(波高分布計算)を実施し、漁港内の餌料環境や魚類生息状況を確認するとともに、波高の魚類行動への影響を把握し、漁港内における魚類の高波浪からの避難場機能の評価手法を構築した⁶⁾⁷⁾。本報は、北海道の漁港水域における魚類の保護育成機能について、当所での既往研究成果に基づきとりまとめて報告するものである。

2. 材料と方法

2-1 現地観測⁶⁾⁷⁾

現地観測は、2016年9月から2018年3月までの期間、北海道南西部に位置する寿都漁港の港内と港外で行った(図-2)。

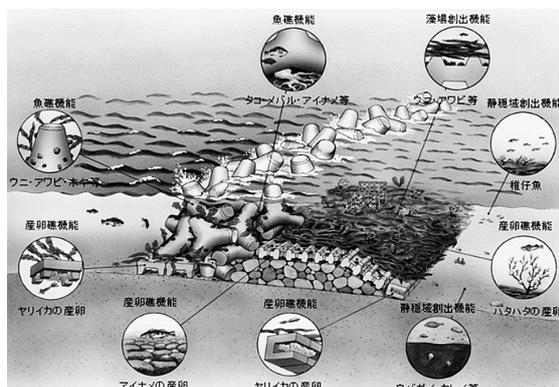


図-1 沿岸構造物における水産生物の生息場の創出の概念³⁾

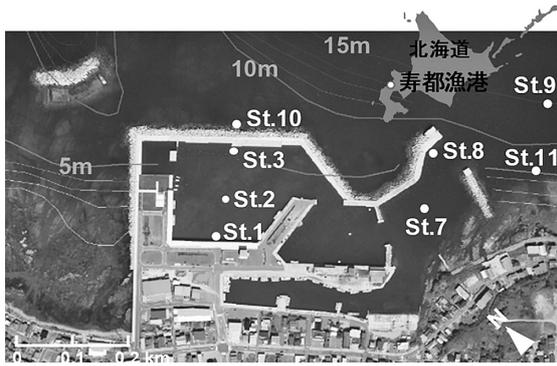


図-2 現地観測位置図(寿都漁港)
(等深線:海底地形デジタルデータ、日本水路協会
航空写真:小樽港湾事務所より提供)

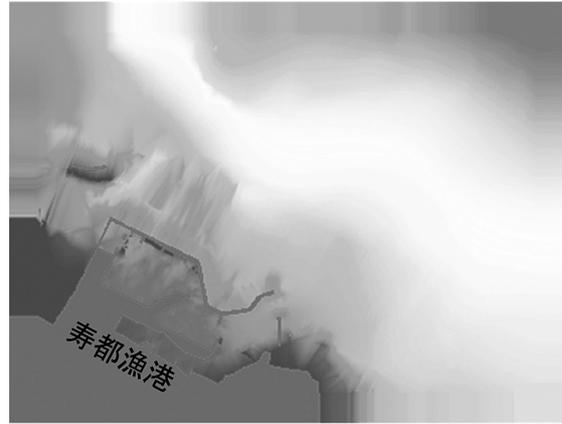


図-3 計算領域の水深分布⁷⁾

2-1-1 物理環境

波浪時系列観測は、波高計 (WAVE HUNTER、
有)アイオーテック) を港奥 (St.2、WAVE HUNTER-
94) と港外 (St.9、WAVE HUNTER-04) の海
底に設置した。

水温塩分時系列観測は、水温塩分計 (INFINITY
-CTW、JFEアドバンテック株) を港奥 (St.3)
と港外 (St.9) の表層に設置した。水温、塩
分、溶存酸素 (DO) の鉛直観測は、港奥 (St.3)
と港外 (St.9) においてCTD (RINKO-Profiler、
JFEアドバンテック株) を垂下した。

数値解析 (後述) に用いる計算領域の水深
については、ストラクチャスキャンソナー
付きGPS魚探 (HDS-10、LOWRANCE) を装
備した小型船舶で漁港周辺を航行して測深し、
得られた詳細な水深情報を海底地形デジタル
データ (M7006、日本水路協会) に結合させ
て水深分布図 (図-3) を作成した。

2-1-2 餌料環境

動物プランクトンは、St.2 (港内)、St.7 (港
口)、St.9 (港外) において、北原式定量ネッ
トを用いて、2017年3月以前は水深の半分よ
り上層、2017年4月以降は海底上から海面ま
での全層を鉛直曳により採取した。底生動物
は動物プランクトンと同じ観測地点 (St.2、7、
9) においてスミス・マッキンタイヤ採泥器 (採
取面積0.05m²) を用いて1地点当り2回採泥
し、1mm目合いのふるい上に残ったものを採
取した。

2-1-3 魚類の生息状況

稚仔魚は、St.1、2、3 (港奥域)、St.7、8 (港
口域)、St.9、10、11 (港外域) の各地点にお
いて稚仔魚採捕用ネット (開口部1.0m×0.5
m、網目合0.335mm) を表層 (海面下約1m)
と底層 (海底面上約1m) にて約2ノット (約
1.3m/s) で水平に50m曳網して採取した。幼
成魚は、St.3 (港奥)、St.8 (港口)、St.11 (港
外) において刺網 (延長20m×網丈1.2m、脚長:
外網9.0cm、中網1.2cm) を表層 (網上端が海
面) と底層 (網下端が海底面) に午後を設置し、
翌日に回収して採捕した。

魚類の出現個体数の観測については、水中
撮影用ハウジングケースを装着したインター
バルカメラ (レコロIR-7、IR-5、株キングジ
ム、以下「水中カメラ」) により港口 (St.8) の
防波堤背後の根固ブロック上にて行った。水
中カメラ2台を、港外から航路、港内方向の
範囲内で撮影範囲が重ならないように設置
した。撮影範囲は濁りや光量により変化すると
考えられるが、事前調査により、概ね高さ2
m、幅3m、奥行3mと考えられた。撮影期
間は2017年4月から2018年3月まで行い、撮
影間隔は4月から6月までは30分、6月以降
は2時間に設定した。カメラの画像データ回
収は12月を除き、2~3ヶ月間隔 (6月、8
月、10月、3月にカメラ設置撤去) で行っ
た。回収された画像から目視して魚類の出現個
体数を計数し、撮影時刻とともに記録した (図
-4)⁷⁾。この際に同時刻の画像2枚の個体数
を合計して撮影時刻毎の魚類の個体数とした。

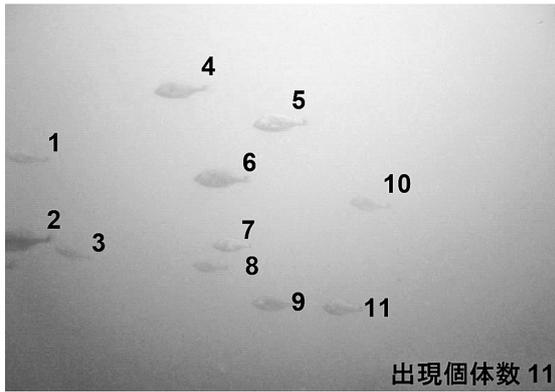


図-4 インターバルカメラ(水中カメラ)での撮影画像例⁷⁾

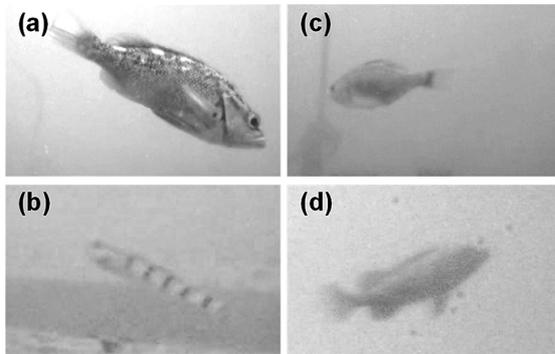


図-5 水中カメラによる魚類の撮影画像⁷⁾
(a)メバル類(b)ハゼ類(c)ウミタナゴ類(d)アイナメ類

計数対象の魚種の分類は、刺網調査と潜水調査の結果⁶⁾を参考に、メバル類(エゾメバル等)、ハゼ類(リュウグウハゼ等)、ウミタナゴ類、アイナメ類、その他の不明種、の5分類群とした(図-5)⁷⁾。

2-2 数値解析と避難場機能評価⁷⁾

魚類に対する漁港の避難場機能を評価するため、海域での波高と魚類行動の関係について、現地観測と数値解析に基づき評価する手法の構築を試みた。

はじめに、水中カメラによる魚類の出現数と数値解析により算出した波高の関係から、魚類が出現する波高の閾値を決定した。次に、漁港内を同程度の面積で24領域に区分し、各領域における平均波高を数値解析により算出した。以上の波高の閾値と漁港内の各領域の平均波高の比較により、領域毎に魚類の避難場としての適否を判定して領域を区分することで漁港の避難場機能を評価した。

数値解析の解析モデルは、対象域が浅海域

の構造物周辺であり、港周辺の出現波高は比較的小さいことから、非定常緩勾配不規則波動方程式を適用した⁸⁾。計算メッシュ間隔は、現地観測で詳細な水深データが得られること、港内の低波高・短周期の波浪を対象とすること、波高と魚類行動の関係を詳細に把握するのが目的であることから2m間隔に設定した。評価時の波高条件は、現地観測の期間内の最頻有義波高およびGPV-CMW⁹⁾の過去5ヶ年の最大有義波高の2ケースとした。なお、数値解析の詳細については文献⁷⁾を参照願いたい。

3. 結果と考察

3-1 物理環境

寿都漁港の港内と港外における2017年8月31日の水温、塩分、DO(溶存酸素)の鉛直分布

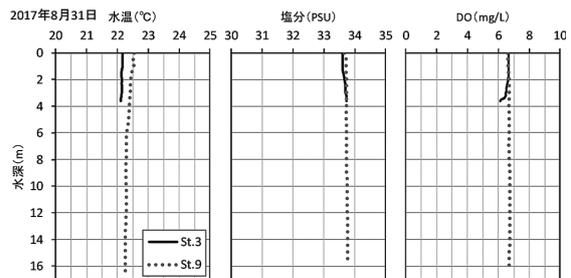


図-6 水温・塩分・DO(溶存酸素)の鉛直分布(2017年8月)

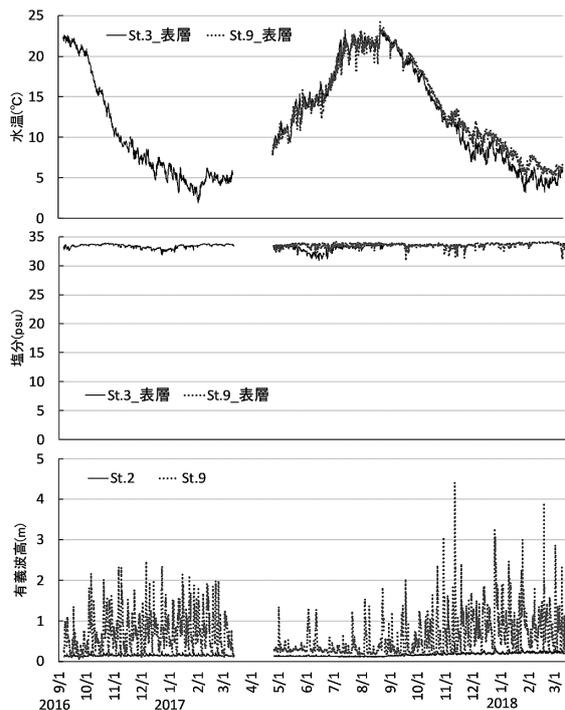


図-7 水温・塩分・有義波高の時系列⁶⁾

布 (図-6) および2016年9月から2018年3月までの水温、塩分、有義波高の時系列 (図-7)⁶⁾ を示す。

鉛直分布 (図-6) については、水温は港内 (St.3) と港外 (St.9) で22.1~22.5℃の範囲であり、表層から底層まで大きな差は無かった。塩分は、港内 (St.3) と港外 (St.9) が30psu以上であり、表層から底層まで大きな差は無かった。DOは6.1~6.7mg/Lの範囲であり、港内と港外の差は小さい。水産用水基準¹⁰⁾ のDO基準値6 mg/L (一般) を上回っており魚類の生息には支障が無いと考えられた。

水温の時系列⁶⁾ については、観測期間中の港内 (St.3) と港外 (St.9) の表層で1.9℃から24.2℃の範囲で変化し、10月から2月まではやや地点差が見られた。

塩分の時系列⁶⁾ については、港内 (St.3) と港外 (St.9) の表層において観測期間中で30.9psuから34.1psuの範囲で変化した。5月から6月に港内 (St.3) の表層の塩分が港外よりもやや低い傾向が見られたが、港内での水産生物の生息への影響は少ないと考えられた。

波高の時系列⁶⁾ については、2017年4月から2018年3月までの港内 (St.2) の有義波高は最大0.45m、期間平均0.17m (標準偏差±0.05m) であった。同期間での港外 (St.9) の有義波高は最大4.41m、期間平均0.61 (標準偏差±0.49m) であり、全観測期間を通じて、港内の波高は港外に比べ小さかった。有義波周期は、港外では高波高時に10秒を超えることもあったが、港内は10秒未満であった。以上より、港内は、港外に比べ通年で静穏度が保たれていると考えられた。

3-2 餌料環境

寿都漁港での餌料環境の評価にあたり、魚類の餌料として重要な指標である動物プランクトン (図-8、9) および底生動物 (図-10、11) の現存量と優先種を示す。

動物プランクトン (図-8) については、個体数は420~20,298個体/m³の範囲であり、港奥 (St.2)、港口 (St.7) とともに港外 (St.9) との有意差は認められなかった ($p>0.05$, steel's test)。分類群別の個体数割合では節足動物が全地点、全時期において最も優占

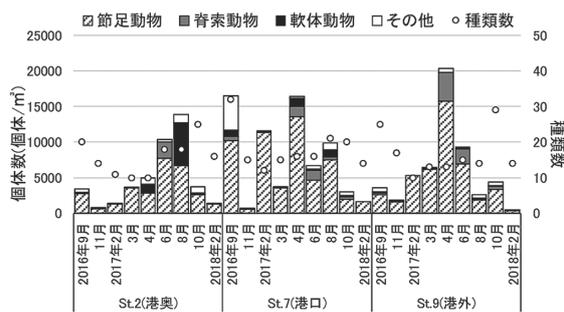


図-8 動物プランクトンの個体数と種類数⁶⁾ (2017年3月以前上層、2017年4月以降全層)

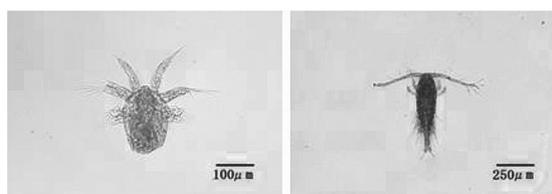


図-9 動物プランクトンの優占種(カイアシ類、2017年4月)
(左)Copepoda (nauplius)
(右)Oithona spp. (copepodite)

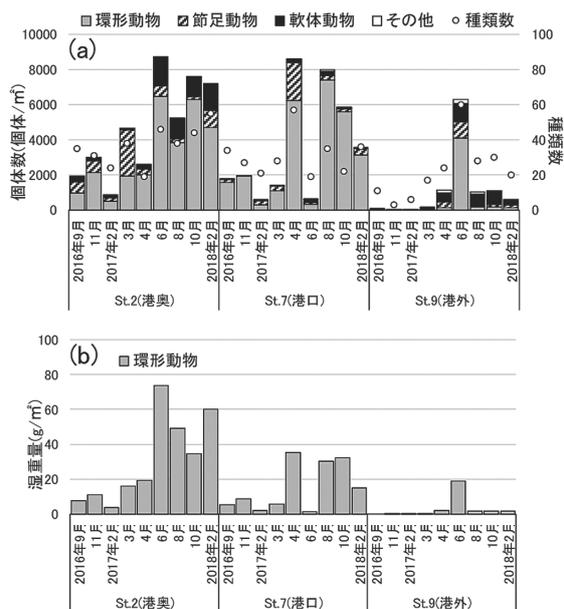


図-10 (a)底生動物の個体数と種類数⁶⁾
(b)環形動物の湿重量⁶⁾

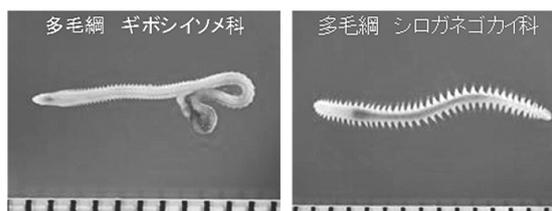


図-11 底生動物の優占種(多毛類、2017年4月)
(左)ギボシイソメ (右)シロガネゴカイ(目盛は1mm)

し、特に図-9に示すようなカイアシ類が全個体数の約65%以上を占めていた。

底生動物(図-10)については、港奥(St.2)と港口(St.7)の個体数は、港外(St.9)と比較して有意に高い値であった(St.2=4,631±2,762個体/m²、St.7=3,591±3,124個体/m²、St.9=1,164±1,984個体/m²、p<0.05、steel's test)。種類数は港奥(St.2) 37±11種、港口(St.7) 31±12種、港外(St.9) 22±17種であり、港奥と港外では有意差があった(p<0.05、steel's test)。分類群別の個体数割合では、港内(St.2、St.7)では全個体数(74,005個体/m²)のうち環形動物が約76%、節足動物が約14%、軟体動物が約10%の順で優占した。港外(St.9)では環形動物が約46%、軟体動物が約32%、節足動物が約16%の順であり、港内とは個体数割合が異なっていた。個体数で最も優占した環形動物は図-11に示すような多毛類が全てを占め、その湿重量(図-10(b))の平均値は港奥(St.2)が31±25g/m²、港口(St.7)が15±14g/m²であり、港外(St.9)の3±6g/m²よりも高く、有意差があった(p<0.05、steel's test)。

カイアシ類は後述の優占魚種エゾメバルやクロソイほかの魚類の餌料として、多毛類は後述の優占魚種アイナメの餌料として重要¹¹⁾であり、今回の結果からは寿都漁港の港内では、港外に比べ良好な餌料環境が形成されていることが示唆された。

3-3 魚類の生息状況

港内と港外における魚類の生息状況について、稚仔魚(図-12)および幼成魚(図-13)の個体数と種類数(表層と底層の合計)を示す。

稚仔魚(図-12)は、観測期間中の各観測地点(港奥3地点・港口2地点・港外3地点)の区域平均での個体数は港奥(St.1-3) 50個体、港口(St.7-8) 198個体、港外(St.9-11) 41個体であり、港内(港奥・港口)が港外よりも多かった。調査期間(全9回)合計の出現種類数は港奥10種、港口7種、港外5種であり、港内(港奥・港口)が港外よりも多種であった。魚体の全長は、港内(港奥、港口) 2~135mm (n=187)、港外 3~21mm (n=45)であった。

幼成魚(図-13)は、観測期間中の合計で362個体・27種が確認され、約8割が底層の刺網で採取された。観測期間2017年4月から2018年3月までの各測点での合計個体数は港奥(St.3) 61個体、港口(St.8) 88個体、港外(St.11) 109個体であった。港内・港外で優占する魚種については、全観測期間での個体数ではエゾメバル(図-14) 78個体、クロソイ 48個体、オウゴンムラソイ 42個体が上位であった。全観測期間・全観測地点での出現頻度では、エゾメバル17回、クロソイ14回、アイナメ(図-14) 13回が上位であった。2017年4月以降での種類数については、港奥(St.3) 18種、港口(St.8) 20種であり、港外(St.11) 14種よ

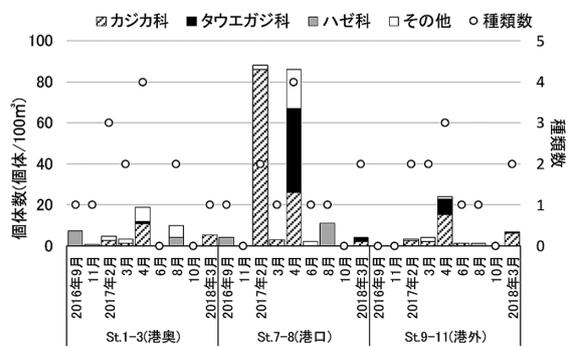


図-12 稚仔魚の個体数と種類数(区域平均、表層と底層の合計)⁶⁾

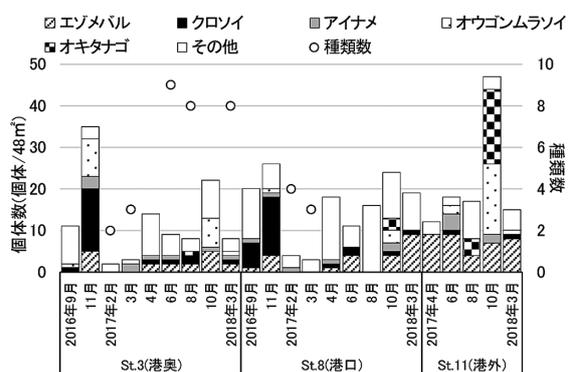


図-13 幼成魚の個体数と種類数(表層と底層の合計)⁶⁾

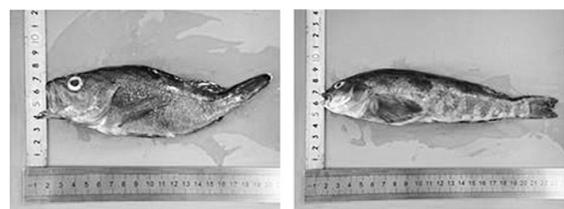


図-14 刺し網による幼成魚の優占種(2017年4月)(左)エゾメバル(右)アイナメ

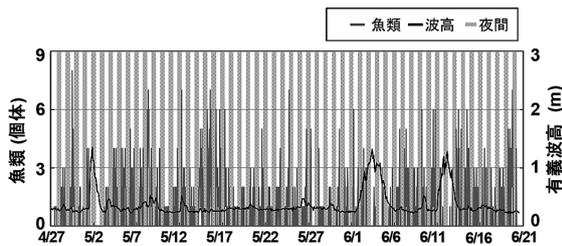


図-15 2017年4～6月のSt.8での魚類出現数とSt.9での観測波高の時系列変化⁷⁾

りも多かった。2017年4月以降に採取された魚類の全長は、港奥・港口では65～369mm (n=149)、港外では80～360mm (n=109)であった。今回の観測での港内と港外の出現頻度による優占種はエゾメバル、クロソイ、アイナメが上位であり、これら魚種は寿都漁港周辺で漁獲¹²⁾されており、日常的に漁港水面を利用していることが示唆された。

St.8の水中カメラでの魚類出現個体数とSt.9で観測された有義波高の関係について、魚類の出現割合が高かった2017年4～6月の時系列を図-15⁷⁾に示す。有義波高が1mを超える時には魚類の出現が確認されず、水中カメラの全観測期間(2017年4月から2018年3月まで)を通して同様の傾向であった。

3-4 漁港の避難場機能の評価手法の検討

次に、魚類観測の全期間でSt.8において数値解析で算出された有義波高と出現した魚類の個体数との関係を図-16⁷⁾に示す。魚類の個体数は波高が大きくなるに従い減少する傾向が見られ、0.8m以上の波高では魚類の出現は確認されなかった。この結果、寿都漁港の周辺海域を利用する魚類は、波高が0.8mを超えると遊泳行動に影響を受けると考えられるた

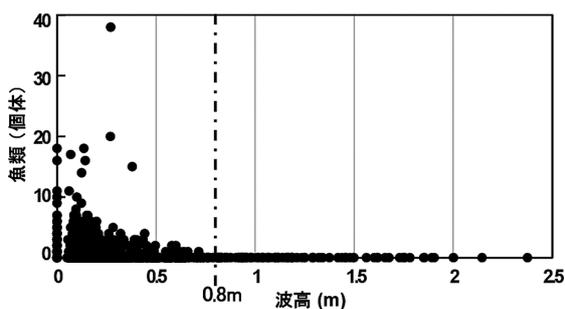


図-16 St.8での有義波高(数値解析)と魚類出現数⁷⁾

め、0.8mを閾値として以下に魚類行動への影響を評価する。

波高が魚類行動に与える影響については知見が乏しいことから、一般的に魚の遊泳能力を評価する際に用いられる流速に基づき、以下に閾値の妥当性を検討する。検討のための流速は、閾値の波高0.8m、撮影範囲を海底から2m程度(St.8、水深9m)、周期4.3～8.6秒と仮定して、微小振幅波理論の進行波についてこの場の水平流速振幅を算出した16～36cm/sを用いた。

今回の刺し網による観測で出現頻度が優占した魚種であるエゾメバルと体長が大きいアイナメについて遊泳能力を表す巡航速度¹³⁾を算出した。魚の巡航速度は一般的に2～3BL/s (BL:体長)である¹³⁾。これに基づき今回の観測での魚の体長により求めた巡航速度は、エゾメバルで12～51cm/s、アイナメで28～84cm/sとなる。なお、エゾメバルと同属のキツネメバルでは回流水槽を用いた実験による巡航速度1.6～2.6BL/s¹⁴⁾の報告があり、これを今回出現したエゾメバルに適用すると10～44cm/sとなる。

魚類が観察されない閾値の波高0.8m以上に相当するSt.8での流速16～36cm/sは、今回観測のエゾメバルとアイナメの巡航速度と比較すると同程度かやや小さい流速であった。水中カメラ設置個所(港口)の水域では魚類が振動流の影響を受けており、回流水槽実験での一様流により算出される巡航速度¹⁴⁾よりも魚類行動に影響する流速が遅い可能性がある。加えて港口付近では被覆ブロック等構造物の隙間への魚類の回避が容易な環境であるため、実験よりも遅い流速で魚類出現が確認されなくなることを推察される。

以上より、魚類行動に影響を与える波高の閾値0.8mは、今回の現地観測結果および既往研究を併せて考慮すると妥当な値と考えられた。

この検討結果に基づき、漁港周辺の波高分布に基づく漁港の避難場機能の評価手法について以下に検討する。

数値解析による漁港周辺の波高分布について、最頻有義波高(現地観測値)時の計算結果を図-17(a)⁷⁾、過去5年間での最大有義

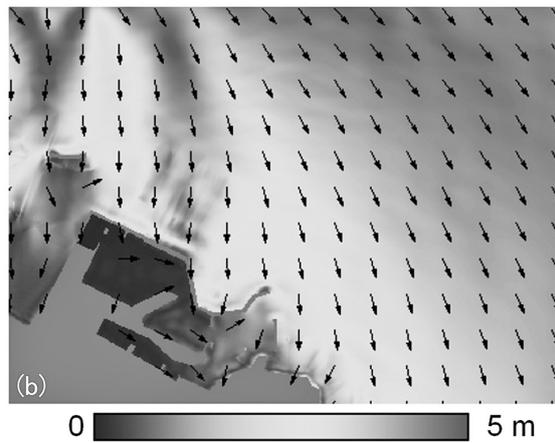
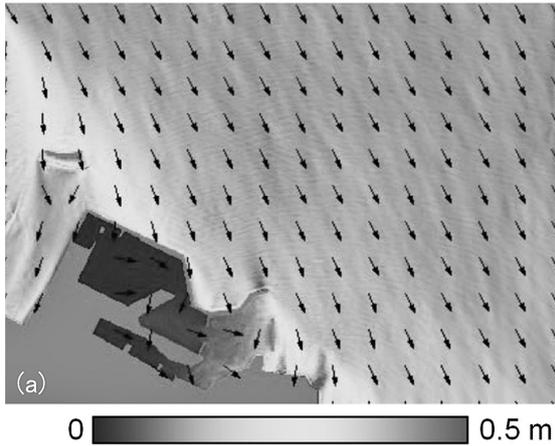


図-17 数値解析による波高分布⁷⁾
 (a) 最頻有義波高
 (b) 過去5年間での有義波高の最大値



図-18 寿都漁港の避難場機能の判定結果⁷⁾

波高 (GPV値) 時の結果を図-17 (b)⁷⁾に示す。最頻有義波高では漁港周辺も含め計算領域内で0.8mを超える波高は算出されなかった。一方、最大有義波高では港外は波高1m以上であり、港口部でも0.8mを上回っていたが、港奥の波高は0.8mより低い値であった。

漁港における魚類の避難場機能を評価するため、数値解析による最大有義波高での計算

結果 (図-17 (b)) に基づき、前述の魚類行動の観測結果から波高0.8mを閾値とし、漁港内24領域を波高0.8m以下と0.8mを超える領域に区分した結果を図-18⁷⁾に示す。港外が高波浪でも常に平均波高が0.8m以下となる港奥の領域は、高波高からの避難場機能が高く、0.8mを超える港口周辺の領域は避難場機能が低いと判断された。以上により、波高に基づいて漁港での魚類の避難場機能を評価することができた。

4. まとめ

本報での結果をまとめると以下のとおりである。

- ① 寿都漁港の港内では魚類を育成するための餌料生物が生息しており、特に底生動物は港外よりも港内で現存量が多かった。よって漁港内では良好な餌料環境が形成されていると考えられた。
- ② 有義波高0.8m以下では魚類が確認されたが、それを超える波高では魚類は確認されなかった。これに基づき、有義波高と魚類出現数の関係から漁港の避難場機能を評価することができた。
- ③ 以上の結果から、漁港には魚類の餌場および高波浪時の避難場となる保護育成機能があると考えられた。漁港の保護育成機能は漁港水域における魚類の増養殖への有効活用が期待される。

今後は他海域の漁港における現地観測により保護育成機能の評価手法の一般化について検証しつつ、餌場機能や水産有用種の稚仔魚や幼魚を保護する機能を強化させる技術の開発など、漁港水域での増養殖に貢献できる技術開発を進めていく予定である。

謝辞

北海道後志総合振興局、寿都町役場、寿都町漁業協同組合、日本データサービス(株)の各位には現地観測において多大なるご協力を頂いた。ここに記して謝意を表する。

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> (2022年9月1日確認)
- 2) 水産庁：新たな「漁港漁場整備長期計画」について、<https://www.jfa.maff.go.jp/j/press/keikaku/220325.html> (2022年9月1日確認)
- 3) 北海道開発局・北海道(監修)：寒冷地における沿岸構造物の環境調和ガイドブック、pp. 3-4、2017.
- 4) 水産庁：漁港水域等を活用した増養殖の手引き、pp. 1-150、2020.
- 5) 伊藤靖、川合信也、押谷美由紀、間辺本文、古村振一、小畑泰弘、三浦浩：漁港水域を利用した水産資源増殖機能強化に関する考察、海岸工学論文集、Vol. 52、pp. 1056-1060、2005.
- 6) 梶原瑠美子、丸山修治、伊藤敏朗、大橋正臣、門谷茂：寒冷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.
- 7) 梶原瑠美子、大橋正臣、打田拓真、的野博行、門谷茂：寒冷海域漁港に生息する魚類における高波浪時の避難場機能の評価手法、土木学会論文集B3(海洋開発)、Vol. 77(2)、pp. I_583-I_588、2021.
- 8) 石井敏雅、磯部雅彦、渡辺晃：有理式近似に基づく緩勾配不規則波動方程式を用いた平面2次元波浪場計算、海岸工学論文集、Vol. 41、pp. 6-10、1994.
- 9) 気象庁：数値波浪資料-沿岸波浪数値予報モデルGPV https://www.data.jma.go.jp/add/suishin/cgi-bin/catalogue/make_product_page.cgi?id=SuchiHar (2022年9月1日確認)
- 10) 公益社団法人日本水産資源保護協会：水産用水基準第8版(2018年版)、p. 26、2018.
- 11) 櫻井泉、金田友紀、中山威尉、福田裕毅、金子友美：北海道石狩沿岸のガラモ場における魚類群集の食性、日本水産学会誌、75巻3号、pp. 365-375、2009.
- 12) 水島敏博・鳥澤雅(監修)：新北のさかなたち、北海道新聞社、2003.
- 13) 塚本勝巳：魚類の遊泳運動：水中への応用、比較生理生化学、Vol. 10(4)、pp. 249-262、1993.
- 14) 今井義弘：ホッケ、キツネメバルの遊泳速度(短報)、北水試研報、Vol. 53、pp. 25-27、1998.