

# 寒冷海域漁港における 高波浪からの魚類避難場機能の評価

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 ○梶原 瑠美子  
東海大学 生物学部 大橋 正臣  
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 的野 博行

寒冷域漁港での水産生物への保護育成機能（餌場、避難場機能等）を強化する整備手法の提案を目的とし、保護育成機能の内、魚類を対象とした高波浪からの避難場機能に関して、漁港周辺での魚類のインターバル写真撮影、物理環境観測や波動場解析を行うことにより、波高による魚類行動への影響とともに、機能の評価方法について検討した概要を紹介する。

キーワード：保護育成、機能強化、機能評価

## 1. はじめに

近年の水産資源の低迷を踏まえ日本国内で「水産環境整備」が推進されているなか<sup>1)</sup>、水産土木チームでは、水産生物の保護育成機能（餌場機能や高波浪からの避難場機能など）を副次的に有する漁港において、保護育成機能を強化する整備手法について研究を進めている。

保護育成機能を強化するにあたっては、機能を定量的に把握するとともに、機能を評価する手法が重要である。既往文献では、港外に比べ港内は静穏であり、稚仔魚の現存量や未成魚の占める割合が多かったことから、漁港の有する高波浪からの避難場機能を魚類が利用している可能性が考えられている<sup>2) 3)</sup>。また、室内実験などにより魚類の巡航速度（比較的長時間（30分～数時間）疲労することなく泳ぎ続けられる速度の中で最大のもの）や突進速度（魚の発揮しうる速度の内、最大のもの）に関しては様々な測定が行われている<sup>4) 5)</sup>。一方で、漁港設計を行う際は波高により静穏性を評価するため、魚類の高波浪からの避難場機能も同様に、流速ではなく波高による評価手法が実用的である。

しかし、海域での流速や波高に対する魚類行動に関する知見は乏しく、特に北海道周辺の寒冷海域において波高による魚類行動への影響を現地観測された事例は見られない。加えて、魚類を対象とした港内の高波浪からの避難場機能の評価に関しても、波高に基づいた手法の検討がこれまで行われた事例は確認出来なかった。

そこで本報では、漁港港口でのインターバル写真撮影、漁港周辺での物理環境観測や波動場解析を行うことにより、波高による魚類行動への影響とともに、港内の魚類の高波浪からの避難場機能を評価する手法について検討したこれまでの研究に関して、その概要を紹介する。

## 2. 材料と方法

### (1) 現地調査

調査は、2017年4月から2018年3月までの約1年間、北海道南西部に位置する寿都漁港周辺で行った（図-1）。

#### a) 物理環境

波高計（WAVE HUNTER94、WAVE HUNTER04、アイオーテック）は港内外（St.2、9）の海底に、水温塩分計（INFINITY-CTW、JFEアドバンテック）はSt.8の表層に設置し、2時間間隔で観測した。加えて、計算領域の水深は、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得られた詳細な水深情報と、沖合の水深データ（海底地形デジタルデータ M7006、日本水路協会）とを結合させ用いた（図-2）。



図-1 調査地点

（等深線：海底地形デジタルデータ、日本水路協会）

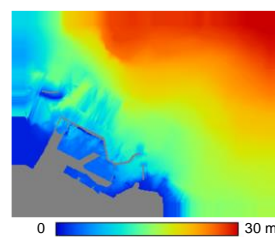


図-2 計算領域の水深分布<sup>9)</sup>

## b) 撮影条件と魚類判定

魚類個体数の観測は、インターバルカメラ（レコロ IR-7、IR-5、キングジム）2台を港口（St8）の根固ブロック上に、港外方向から航路、港内方向の範囲内で、撮影範囲が重ならないように固定設置して行った。撮影間隔は4月から6月までは30分、6月以降は2時間設定とした。データ回収は、天候不良のため実施できなかった12月を除き、2~3ヶ月間隔（6、8、10、3月）で行った。データ回収後、画像から撮影時の魚類の出現個体数を記録し（写真-1）、同時刻の画像2枚の個体数を合計して撮影時刻ごとの個体数とした。加えて、魚類の分類は、不明瞭な写真が多かったため、過年度に実施した刺網やSCUBA調査の結果<sup>3</sup>を参考に、エゾメバルなどのメバル類、リュウグウハゼなどのハゼ類、ウミタナゴ類、アイナメ類、その他の不明種を含めた5分類群とした（写真-2）。カメラの識別範囲は、濁りや光量により変化するが、事前調査より高さ2m程度、幅、奥行き3m程度と考えられる。

## (2) 魚類行動に影響する波高と漁港避難場機能の評価

### a) 数値計算の計算条件

対象域が北海道日本海側のため潮流の影響は小さく、港内のため吹送流や海浜流も小さいと考えられることから、港内波高のみを数値計算を用いて検討した。計算モデルは、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使用することとした<sup>7</sup>。また、詳細な水深情報を反映させるとともに、日常的な魚類の港内での行



写真-1 インターバルカメラでの撮影画像例<sup>9</sup>

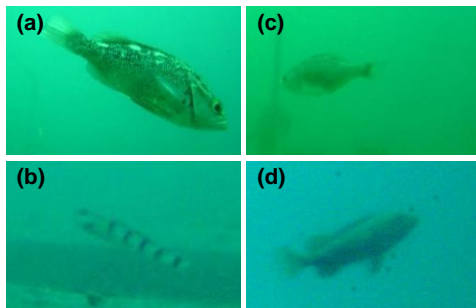


写真-2 (a)メバル類、(b)ハゼ類、(c)ウミタナゴ類、(d)アイナメ類の撮影画像例

動を把握する目的から比較的波高の小さく周期の短い波浪を対象としているため、計算メッシュ間隔は2 mとした。計算ケースは、St9での通年の波向別波高頻度表より、25ケース（有義波高0.5 m未満では波向-10°から80°の10°間隔、有義波高0.5 m以上では0.25 m間隔で波向-10°から30°の10°間隔）の波浪条件とした。これに加え、沿岸波浪数値予報モデルによる数値予報GPV-CWMのうち、寿都漁港近隣の点（45.80° N、140.25° E）における過去5年間で港内に入射する波向で最大の有義波高についても計算した。

### b) 漁港の避難場機能評価

魚類行動に影響を与える波高の閾値を、撮影時の魚類の出現状況と波高の関係から検討した。

次に、その閾値を基に、岸壁や防波堤側で同程度の面積になるよう港内を区分した24領域において、各領域で算出された平均波高から、領域の高波浪からの魚類避難場機能を評価した。評価時の波高条件は、観測期間内の最頻有義波高と上記最大有義波高とした。

## 3. 結果

### (1) 現地調査

#### a) 物理環境

港口St8での表層水温、港外St9での有義波高の時系列変化を図-3に示す。

水温は、約4°Cから24°Cの範囲で変化しており、1月以降は10°C以下であった。また、塩分は常に30 psu以上であった。St9での有義波高は、4月から7月の期間は数回1 mを超えたのみで静穏であったが、8月から、特に10月以降は波高が2 mを超えるような高波浪の頻度が増加していた。また、高波浪時は周期も9秒以上に長くなっていた。

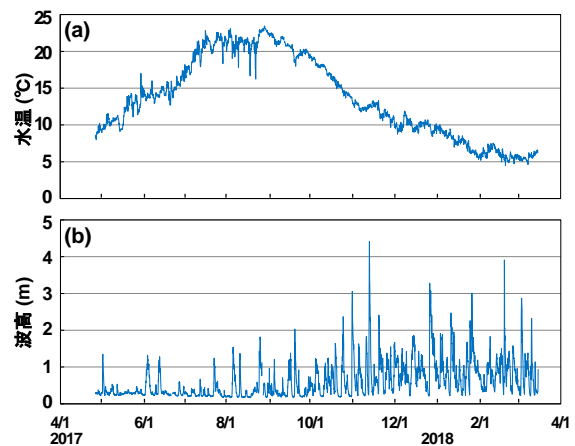


図-3 (a) St8の表層水温、(b) St9の有義波高の時系列変化

## b) 魚類判定

有効観測回数（夜間、レンズ付着物や濁りなどにより観察不可能であった画像を除き、同時刻に2台のカメラで撮影された画像を合計した回数）は、約 3000 回であった。魚類が確認されたのは、そのうち約 36%であった。5 期間（カメラのデータ回収を行った約 2~3 ヶ月間を目安に区分けした 4~6 月、6~8 月、8~10 月、10~12 月、1~3 月）での有効観測回数当たりの魚類出現割合は 4~6 月で最も高く約 49%、6~8 月で約 28%、10~12 月で約 24%、8~10 月、1~3 月は約 18%であった。

分類群としては、全体の約 7 割が分類困難であったが、既往研究<sup>3)</sup>と同様に全体的にはメバル類の出現頻度が最も高く、回数割合ではメバル類約 23%、ハゼ類約 4%、ウミタナゴ類やアイナメ類は 1%未満であった。

## (2) 魚類行動に影響する波高と漁港避難場機能の評価

### a) 魚類行動に影響する波高

St.8での魚類出現個体数とSt.9で観測された有義波高との時系列変化の例として、魚類の出現割合が高かった4~6月の結果を図4に示す。

4~6月ではSt.9で有義波高が1 mを超すような高波高時には魚類の出現が確認されず、全期間を通して同様の傾向であった。

次に、全期間を通してSt.8で算出された波高と出現した魚類の個体数との関係を図5に示す。また、全期間でのSt.8で算出された各波高区間における魚類出現状況について図6に示す。

魚類の出現個体数は、全観測回数の9割以上が4個体以下であったが、波高が0.5 m以上になると2個体以下になり、0.8 mより高い波高では0個体であった。また、有効観測回数当たりの魚類出現有無の割合においても、魚類の出現割合が高かった4~6月を例にしてみると、波高が大きくなるに従い出現割合が減少する傾向が見られ、全期間を合計した場合でも同様の傾向が見られ、0.8 mより高い波高では魚類の出現は確認されなかった。そのため、本対象域を利用する魚類は、波高が0.8 mを超えると行動に影響を受けると考えられた。

### b) 流速での魚類行動に影響する波高の検討

波高に関する魚類行動への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波高を換算した値（16~36 cm/s）により、上記波高の妥当性を検討した。この時、水深 9 m、周期は波高計の観測結果を参考に 4.3~8.6 秒とし、微小振幅波理論を用いて進行波の水平流速振幅を算出した。流速を求めた位置は、撮影範囲を考慮し海底から 2 mとした。

加えて、本研究では漁港周辺を日常的に利用している魚類に対する流速の影響を評価するために、魚の遊泳能力を評価する際に用いられる速度の内、巡航速度との比較を行うこととした。

また、対象種としては、本対象域の特徴を把握するた

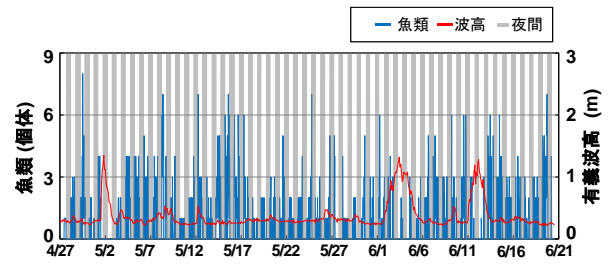


図4 4~6月のSt.8での魚類出現個体数とSt.9での観測波高の時系列変化

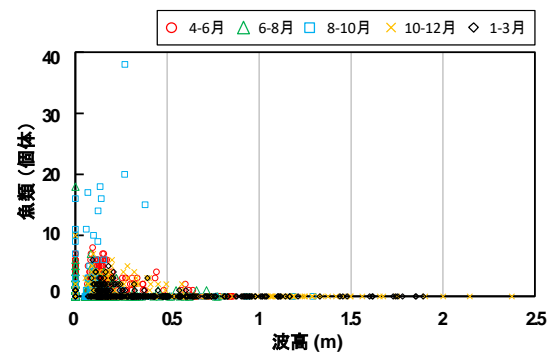


図5 St.8の有義波高と魚類出現個体数

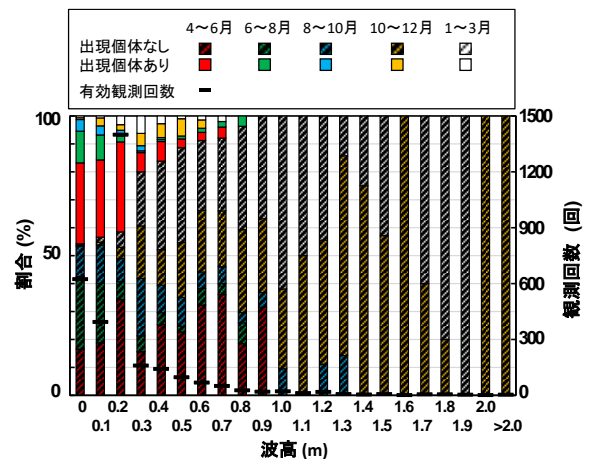


図6 全期間での St.8 の各波高区間における有効観測回数および魚類出現有無割合

めに、波高 0.7~0.8 m の高波高時に唯一底層で観察され、4~10 月に多く出現したリュウグウハゼとともに、既往研究<sup>3)</sup>と同様に最優占種と考えられたエゾメバル、本調査ではほとんど観察されなかったが既往研究では最も出現頻度が高く体長が大きかったアイナメについて検討することとした。魚の巡航速度は、一般的に 2~3 BL/s と言われている（BL は体長を示す）<sup>5)</sup>。そのため、同時期に港内で採取された 3 種の体長から、各種の巡航速度は、リュウグウハゼで 20~39 cm/s、エゾメバルで 12~51 cm/s、アイナメで 28~84 cm/s と推定される。また、巡航速度は、魚種や成長段階、水温によって変化することが知られている<sup>5)</sup>。北海道沿岸に分布する魚類に関する知見は極めて少ないが、エゾメバルと同属のキツネメバルに関しては、巡航速度は 1.6~2.6 BL/s<sup>8)</sup>、17.6 cm/s を超え

る流速では非流動時より尾鰭振動数が増加していくこと<sup>9)</sup>などが報告されている。加えて、アイナメに関しては、流速に関わらず移動範囲が狭く、滞留することが多く、走流性はキツネメバルよりも弱いとされている<sup>9)</sup>。

魚類が観察されなくなった 16~36 cm/s は、一般的な巡航速度の範囲では遅い方であったが、キツネメバルやアイナメに関する知見と比較すると同程度であった。現地は振動流であり、港口はブロックの隙間など構造物による回避が容易な環境である。一様流での回流水槽実験により算出される巡航速度よりも、魚類行動に影響する流速が遅い可能性は高い。そのため、本対象域での魚類行動に影響を与える流速や波高の値は、既往研究や現地の環境を考慮すると、妥当な値と考えられた。

### c) 漁港の避難場機能評価

最頻有義波高で計算した漁港周辺の波高分布を図-7に、過去5年間での最大有義波高での波高分布を図-8に示す。加えて、上記の結果から、波高 0.8 m を閾値とし、空間的に漁港内の各領域区分の高波浪からの魚類の避難場機能を評価した結果を図-8に示す。

最頻有義波高時は、漁港周辺も含め計算領域内で 0.8 m 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 1 m 以上であり、港口部でも 0.8 m を上回っていたが、港奥の波高は 0.8 m より低い値であった。そのため、漁港内の避難場機能を最頻と最大有義

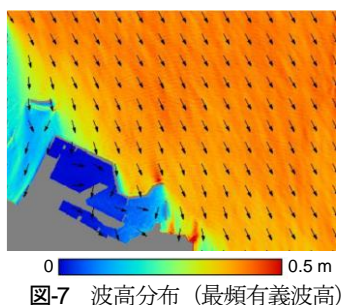


図-7 波高分布 (最頻有義波高)

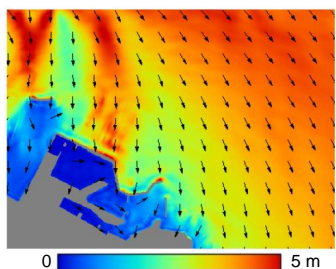


図-8 波高分布 (過去5年間での有義波高の最大値)<sup>9)</sup>



図-9 寿都漁港内の避難場機能<sup>9)</sup>

波高により評価した場合、港内は2つのランクに分かれ、常に領域の平均波高が 0.8 m 以下となる港奥の青色の領域は高波浪時の避難場機能が強く、最大有義波高時に 0.8 m より波高が高くなる港口周辺の赤色の領域は、機能が低いと評価することができた。

## 4. まとめ

本報では、寒冷海域の寿都漁港において波高の魚類行動への影響とともに、波高を用いて漁港の有する高波浪からの避難場機能を評価する方法について検討した概要を紹介した。インターバルカメラによる水中観察では 0.8 m を超える波高で魚類の出現が確認されなかったことから、その値を閾値とし漁港内の各区分領域を評価する手法により、漁港の避難場機能を評価することが出来た。この機能評価手法は、高波浪からの避難場機能を定量評価できるため、機能強化の整備に向けた有益な情報と考えられる。しかし今後、他の海域でも利用可能な手法としていくためには、多様な場所での調査や振動流水槽での実験を行い、閾値とともに、魚種とその行動特性、波高条件や領域区分など詳細な検討が必要と考えられる。

謝辞：本調査にご協力頂いた寿都漁業協同組合、小樽港湾事務所、日本データサービス株式会社をはじめとする関係者の皆様に心よりお礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 水産庁：漁港漁場整備長期計画、2012、2017
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 井上実：魚の行動と漁法、恒星社厚生閣、1978
- 5) 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
- 6) 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.1\_583-1\_588、2021
- 7) 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
- 8) 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
- 9) 今井義弘、高谷義幸：回流水槽による北海道南西沿岸の魚類の行動観察、北水試研報、Vol.52、pp.9-16、1998