

漁港水面の利活用に配慮した施設配置 シミュレーション手法の検討 —落石漁港をモデルケースとして—

釧路開発建設部 根室港湾事務所

○石田 大和
山本 剛
原田 克哉

落石漁港は、北海道東部に位置し、沿岸漁業のほかイカ釣りなどの外来漁船が利用する流通拠点である。港内には自然海浜を有し、採貝漁業など港内水域の利活用が検討されているが、防波堤整備などが予定されており、潮流などが変化することが予想される。

本論文は、落石漁港をモデルに潮流の変化が港内での水産活動に与える影響について、流況シミュレーションなどによる評価方法を提案し、評価を実施したものである。

キーワード：配置検討、シミュレーション、生態調査

1. はじめに

第3種落石漁港は、根室半島の付根にある落石岬に囲まれた天然の地形を利用して整備されており、サケ定置漁や刺網漁などの沿岸漁業、採藻業のほか、周辺海域で操業する道内外のイカ釣り漁船など外来船の陸揚基地として重要な役割を担っている。



写真-1 落石漁港全景（平成27年10月撮影）

地元漁業者はつくり育てる漁業も行っており、安定した水産物供給の実現に向けて水産資源の維持・増大に取り組んでいる。ウニやホッキガイなどは実績があるが、更なる取組としてアサリやナマコなどの蓄養・養殖も行うべく研究開発を進めている。落石漁港は静穏水域と自然海浜が港内にあり、アサリなどの成育に適していると考えられているが、今後も安全な漁船利用を目的に外郭施設などを整備する予定で有り、施設整備による港内環境の変化が増養殖事業にあたる影響を予測することが難しく、漁業者も大規模な投資などが出来ない状況であ

った。

このことから、漁港内の整備にあたり流況シミュレーションなどを活用し水産活動への影響などを予測し、静穏水域の利活用にも資する整備手順などが検討できないか、落石漁港をモデルケースとして実施したものである。

2. 落石漁港での検討条件

(1) 落石漁港での検討モデル

検討にあたり、落石漁港で研究・開発が進められている増養殖事業のうち、漁港内の静穏域及び海浜を活用できるアサリを選定した。現地調査により生息環境を事前に把握し、施設配置前後のシミュレーションを実施して環境変化がどのように影響するのかを評価した。

また、検討モデルを実施するエリアは写真-2の箇所とした。この箇所は自然海浜が含まれ、隣接する漁港施設からもアクセスしやすく、全面には防波堤に遮蔽された静穏水域が確保されているため、地元漁業者からも増養殖での利用要望が高いエリアである。



写真-2 調査水域

(2) シミュレーション対象港形

落石漁港では平成28年に新たな漁港計画が承認され、災害に強く安全な地域づくりの推進を目的として、安全避難水域を確保するための外郭施設整備が規定されている。これら防波堤類の配置計画を将来港形とし、現況港形と比較してシミュレーションによる評価を実施した。

(図-1)

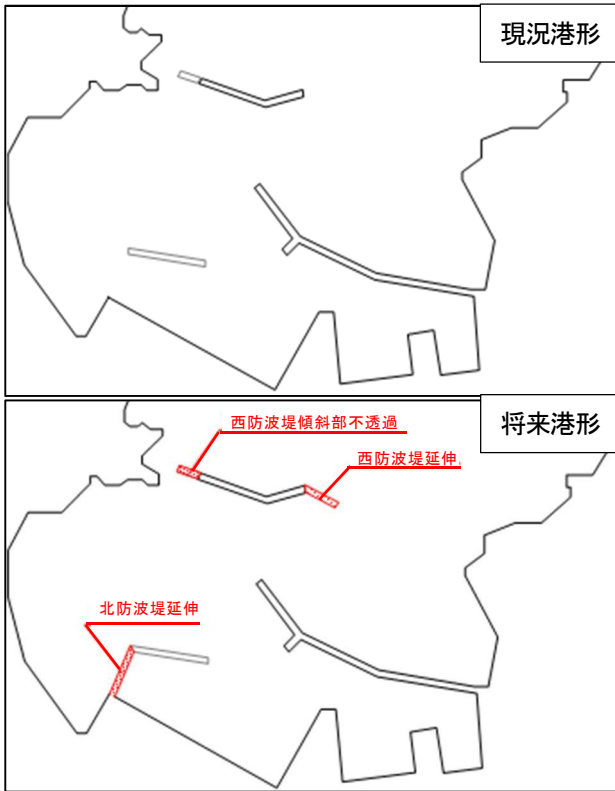


図-1 現況港形と将来港形

3. 検討の内容

施設整備の影響を図るための検討の流れを図-2に示す。大きく分けて現況把握を行う調査パートと、調査結果をもとにシミュレーションを用いた評価を行う解析パートになっている。

(1) 現況把握・基礎調査

対象とした魚種（アサリ）が整備前後で受ける影響を予測するため、アサリ資源の現状や重要な環境項目を把握しておく必要がある。このため既往研究、他地区事例を収集整理するとともに必要となる各種調査を実施した。

①資源調査

アサリの港内分布を生活段階毎に把握するため、浮遊幼生を対象としたプランクトン調査、稚貝・成貝の分布を対象とした底生生物調査を実施した。

②生息環境調査

アサリ生息に関わる項目として水質・底質調査を行った。また測深を行い、湾内の水深や海藻の繁茂状況を確認した。また底質調査とあわせ、アサリの生息に適した

環境を確認するため小型の試験礁による着底調査も実施した。

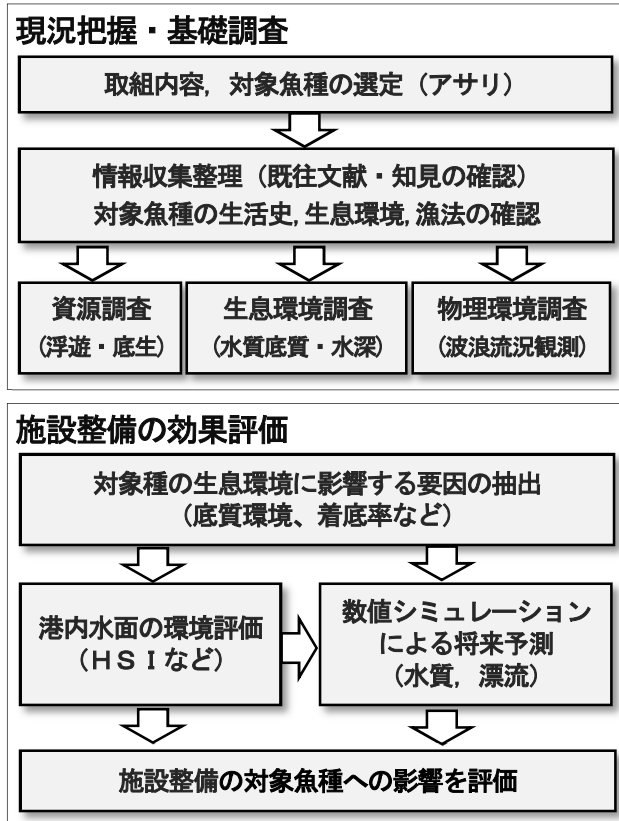


図-2 港内水面活用への影響検討フロー

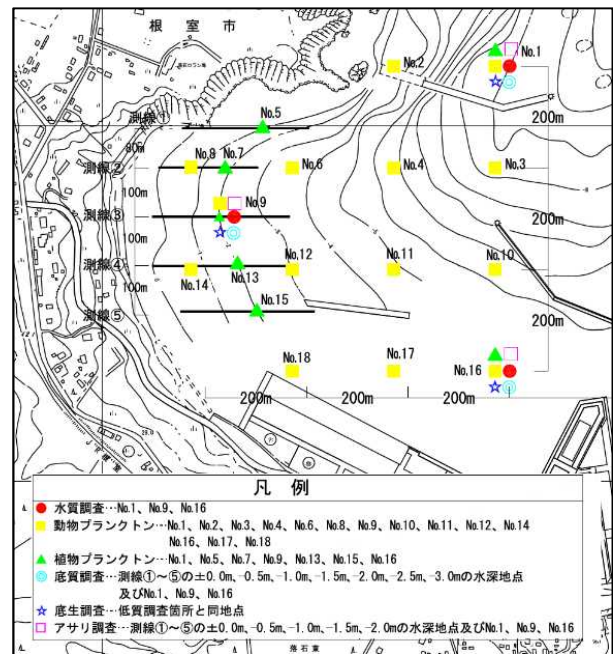


図-3 資源調査・生息環境調査 位置図

③物理環境調査

数値シミュレーションの基礎資料として、生物の生息環境に大きく影響する波や流れの現況を把握するため、港内3地点、港外1地点の波高・流況観測を行った。調査位置は図-4のとおりである。港外測点は十分な水深

が確保される地点とし、港内は港口付近に1箇所設けて内外の流れを観測できるように配慮した。また波浪については港内外での相関をとるため港外1点、港内1点にて調査を行った。なお流況観測は生物の生息高さに応じて観測層を設定することが重要になるが、対象魚種がアサリ（稚貝・成貝および浮遊幼生）であることより、底層単層での観測とした。

また潮位変化による潮流の影響を考慮するため、検討する水域の近傍で簡易潮位観測を行った。

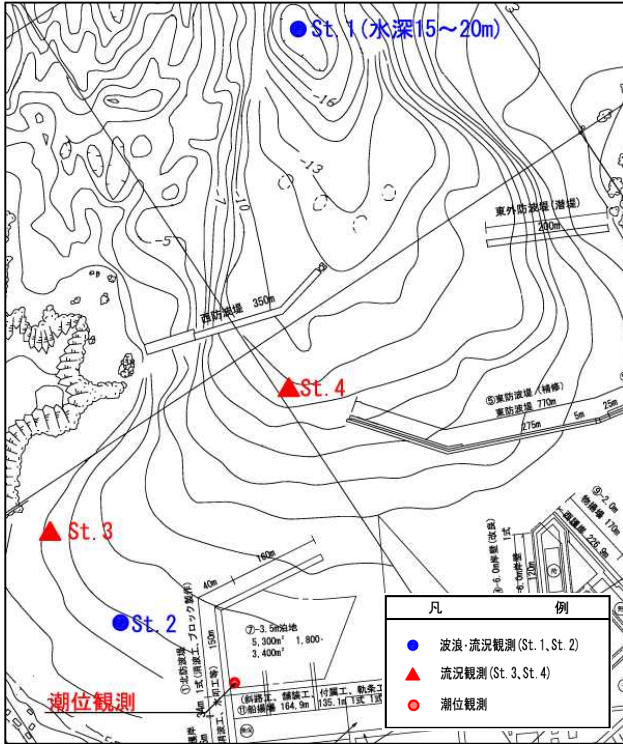


図-4 波浪・流況調査 位置図

(2) 施設整備の効果調査

① 漁港内水面の環境評価

対象魚種の生息環境としての適性に影響を与える環境要因で重要と考えられる項目を求め、外郭施設整備後の静穏性などが重要な影響を与えるかを探るため、アサリを対象としたHSIモデルを構築した。HSIモデルは事前環境アセスメントを評価する際によく用いられている手法で、対象生物の生育に関連する物理的な各環境要素との関係性を数値化し適性を測る手法である。各種観測データから落石漁港のHSIモデルを構築した結果、水質底質項目に加え、底質の動きやすさの指標とされるシルズ数や港内のアマモ場の重要性が判明した。

② 数値シミュレーションによる将来予測

現況港形と将来港形における波高や流況、水質変化を数値解析で予測し、その結果から港内水面に生息する検討対象魚種への施設整備の影響を定量的に評価した。

本検討の対象種はアサリである。よってその生活史を踏まえ、浮遊幼生の着底率を予測するための漂流シミュレーション、着底後の生長に影響する酸素量や餌料の指

標となる水質シミュレーションを行った。またHSIモデル構築過程で重要性が示されたシルズ数を算定した。

漂流シミュレーションでは、波浪流況観測で時化時の海浜流が卓越した結果を踏まえ、波浪変形計算により代表的な沖波諸元（波高等を変えた30パターン）に対する波高分布とラディエーションストレス分布を計算し、浮遊幼生の漂流する夏季二週間程度の時々刻々の流況（潮流+海浜流）を計算する物理モデルを構築した。落石漁港では湾内の藻場が港内流れに影響することから、流況計算ではドローン空撮で推定した藻場範囲を対象に藻類による波高減衰効果を反映した。以上の流れ場を用いて、漁港内のアサリ自生域および湾口部を初期位置として、粒子追跡法により浮遊幼生を対象とした漂流シミュレーションを行った。

水質シミュレーションは低次生態系モデルによる物質循環と食物連鎖の過程をシミュレーションするものである。落石漁港では既往の解析事例が無かったため、内湾の物質循環・生態系モデルとして代表的な中田喜三郎のモデル⁽¹⁾を採用した。このモデルでは変数としてCODやDO、アサリの餌料となる有機物（POC）や植物プランクトン量も解析可能である。生物生産は海水温や日射量など気象条件の影響を大きく受けるため、松梨順三郎による著書⁽²⁾を参考に水表面の熱交換についてモデル化した。解析にあたっては気温、風速、日照時間、雲量が必要となるため、これらデータは落石漁港に近く太平洋に面しているアメダス（榊町）のものを採用した。またプランクトン成長速度など一部パラメータは東京湾など温暖な海域で研究された値であるため、寒冷な道東海域には適用できない可能性が高い。このため寒地土木研究所で平成19年～21年に開発された、近隣の風蓮湖の水質予測モデル⁽³⁾を参考に再現性向上を図った。

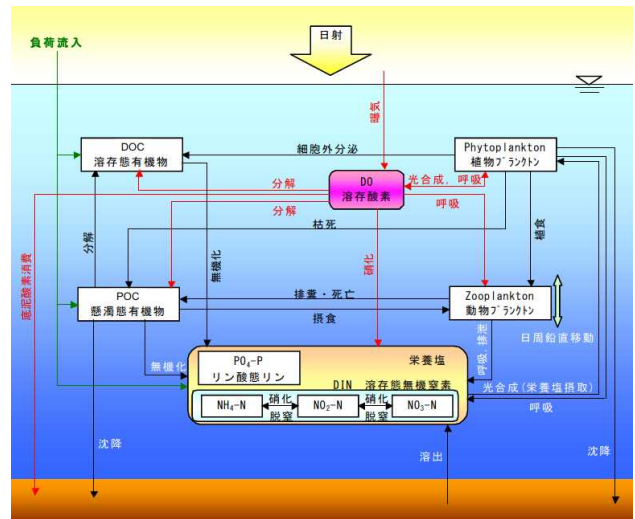


図-5 低次生態系モデルの概要

初期条件・境界条件は、現地観測や近隣海域の公共用水域の水質測定結果をもとに表-1のとおり設定した。上記以外のモデルパラメータは、低次生態系モデルで用

いられる一般値を採用した。

表-1 生態系パラメータの初期設定

項目	単位	初期値	境界値
植物プランクトン	mgC/m ³	175.0	150.0
動物プランクトン	mgC/m ³	17.5	15.0
POC (デトリタス)	mgC/m ³	264.0	264.0
DOC	mgC/m ³	1620.0	1620.0
NH ₄ -N (アンモニア態窒素)	mmol/ m ³	1.79	4.29
NO ₂ -N (亜硝酸態窒素)	mmol/ m ³	1.79	1.79
NO ₃ -N (硝酸態窒素)	mmol/ m ³	1.79	1.79
PO ₄ -P (=DIP) (オホリ酸態リン)	mmol/ m ³	0.87	0.58
COD	mg/L	2.1	2.1
DO	mg/L	8.25	9.00

シールズ数は、アサリの生息・生育環境としての底質環境を評価することを目的に算出した。落石漁港では平成28年度に牧田・大橋による研究成果⁽⁴⁾が公表されているため、これを参考に漂流シミュレーションで求めた波浪場等よりシールズ数分布をもとめ評価した。

4. 検討の結果

(1) 漂流シミュレーションによる影響の評価

漂流シミュレーションの結果、落石漁港で発生したアサリ浮遊幼生は、港内を漂流した後に一部は沿岸部に着底し、残りは港外に流出した。得られた流出経路と流出数より、以下の通り評価をおこなった。

① 現況港形

現況シミュレーションによる代表的な漂流経路は図-6のとおりである。この計算に基づいて着底率を予測した結果、図-7のような結果となった。落石漁港で自然発生する浮遊幼生の98.5%が港外に流出しており、検討エリアでの残留率は1.21%であった。

② 将来港形

現況港形と同様に漂流経路を計算し着底率を予測した(図-8、図-9)。将来港形では西防波堤背後域で発生する循環流に浮遊幼生が拘束されるため、残留率が7.4%と現況港形の約6倍に向上する結果となった。湾奥の成貝生息域でも多くの着底がみられた。

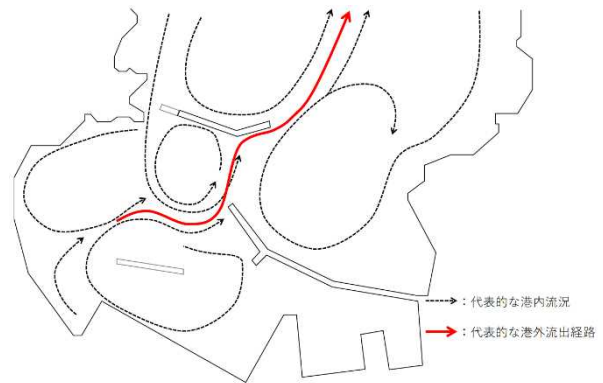


図-6 現況港形における代表的な漂流経路

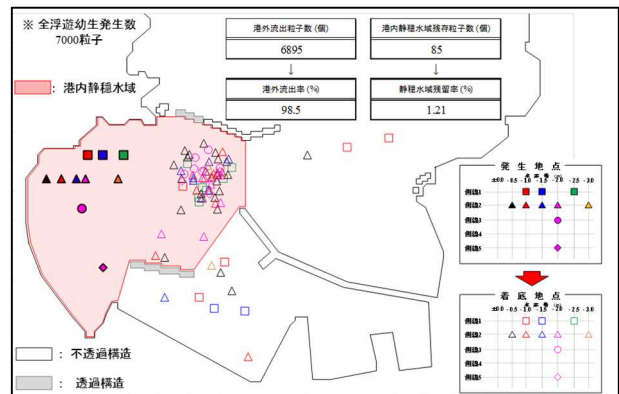


図-7 現況港形における浮遊幼生の着底状況

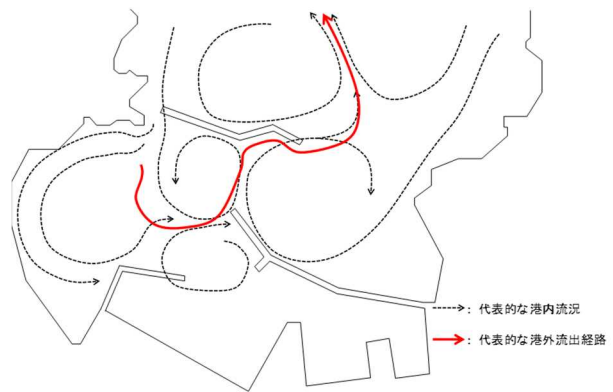


図-8 将来港形における代表的な漂流経路

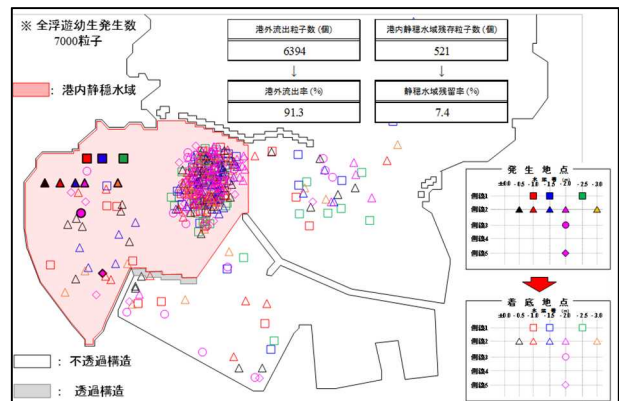


図-9 将来港形における浮遊幼生の着底状況

(2) 水質シミュレーションによる影響の評価

①水温の変化

現況港形と将来港形との水温変化分布を図-10に示す。現況港形に対して将来港形の方が港奥部および西防波堤延伸部付近で高水温となり、その差は最大で0.2℃程度となった。一方、アサリの生息する静穏水面では同程度の水温低下が生じた。

落石漁港の水質シミュレーションでは、日射や外気の影響により、総じて閉塞性の強い箇所が高水温、外海ほど低水温であった。したがって施設整備による漁港全体での水温上昇は、港内の閉塞性が強まることの影響と考えられる。また静穏水面での水温低下は、施設整備による潮流の変化により、低水温の港外水が静穏水面により長く滞留するようになった影響と考えられる。

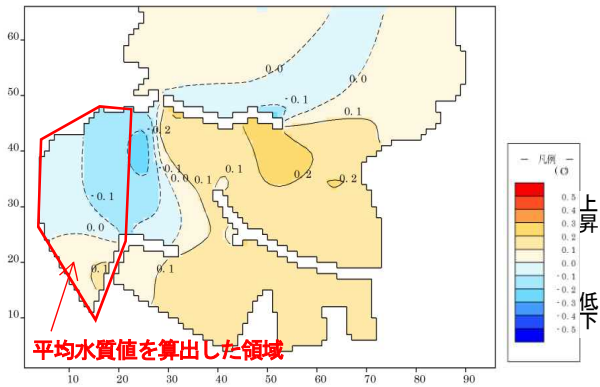


図-10 水温予測計算結果

②各項目の変化

各港形の領域内平均水質値を表-2に整理した。

表-2 アサリ生息水域における整備前後の水質値

水質項目	単位	現況	将来	変化量
水温	℃	17.01	16.98	-0.03
植物プランクトン	mgC/m ³	137.0	136.9	-0.1
動物プランクトン	mgC/m ³	13.8	14.0	0.2
POC (デトリタス)	mgC/m ³	170.3	181.8	11.5
DOC	mgC/m ³	1423.6	1455.6	32.0
リン酸塩 (DIP)	mmol/m ³	1.19	1.14	-0.05
無機態窒素 (DIN)	mmol/m ³	13.9	13.2	-0.7
溶存酸素 (DO)	mg/l	7.49	7.56	0.07
COD	mg/l	1.67	1.73	0.06

施設整備による潮流変化によって冷涼な港外水の流入・滞在増が見込まれたため、評価領域全体の平均水温も僅かに低下した。同様に港外水はDO濃度も高いため将来港形では現況より高DOとなった。餌料環境に関連

する項目をみると、植物プランクトンの港形による差は微小であったが、POCについては6.8%の増加傾向がみられ、将来港形では餌料環境も向上したといえる。

以上を踏まえると、施設整備による落石湾内の水質環境変化は、アサリ資源に有利な影響を与えることが予測される。

(3) シールズ数分布による底面条件の評価

シールズ数 Ψ は主に波浪条件と底質条件とで決定し、値が大きいほど底面が擾乱し易いことを意味する。アサリ生息環境としては $\Psi < 0.2$ が指標とされる。

そこで漂流シミュレーションで得られた波浪場計算結果を用い、各港形における静穏水面内の生息適地 ($\Psi < 0.2$ を満たす水面) を求め、その面積を比較して港形の評価を行った。対象波高は牧田ら⁽⁴⁾にならい港口付近で $H=3.0m$ とした。

結果を図-11に示す。現況港形では $\Psi < 0.2$ となる範囲は21%となっているが、将来港形では対象水面の9割以上で該当範囲となっており、大幅な生息範囲の拡大が見られることが分かった。

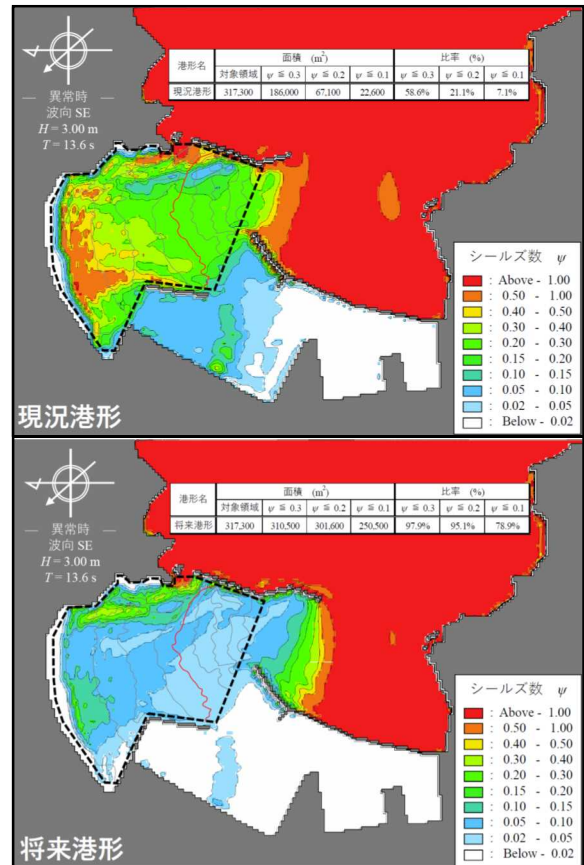


図-11 シールズ数で評価したアサリ生息適地

表-3 生息区域におけるシールズ数の面積比

港形	$\Psi < 0.3$	$\Psi < 0.2$	$\Psi < 0.1$
現況港形	58.6%	21.1%	7.1%
将来港形	97.9%	95.1%	78.9%

(4) 現況港形と将来港形の効果評価

シミュレーションにより得られた予測結果から、アサリ生息に関して影響をあたえると考えられる項目(表-4)に対し、現況港形と将来港形を比較した。結果を表-5にまとめる。

比較した結果、浮遊期及び稚貝期において将来港形が優位になる予測結果となった。稚貝～成貝の段階でも将来港形がやや優位であり、総じて将来港形のほうが育成に有利になると予測される。

表-4 評価基準

	評価指標	港形比較の考え方
浮遊期(漂流)	漂流シミュレーション結果	アサリ浮遊幼生の港内着底率から港形変化の影響を評価
稚貝期(底質環境、波による減耗)	港内のシールズ数分布	アサリ生息域のシールズ数分布変化から港形変化の影響を評価
稚貝～成貝(餌料環境、貧酸素)	水質シミュレーション結果	溶存酸素量や餌料供給(植物プランクトン、デトリタス)より港形変化を評価

表-5 比較結果

生活段階	現況港形	将来港形
浮遊期	浮遊幼生数も着底率も低い	現況と比べ着底率は約6倍に増加する
稚貝期	好適環境 $\Psi < 0.2$ となる水面面積比は約21%	対象水面の90%以上でアサリ生息環境 $\Psi < 0.2$ を満足
稚貝～成貝	DO、餌料等が豊富な水域環境	良好な環境維持、餌料環境はやや向上

(5) 施設別の影響比較

今回の検討では施設延伸による潮流の変化が大きく関わっているため、対象となっている3施設(北防波堤延伸、西防波堤延伸、西防波堤傾斜堤部不透過改良)が与える影響の度合いについて、港形変化の影響が大きい浮遊期(浮遊幼生の発生等に関する漂流シミュレーション結果)と稚貝期(好適シールズ数の面積で評価)の2期を対象として個別に比較した(表-6)。

浮遊幼生の漂流・着底においては、北防波堤を延伸した場合に起こる港内潮流の制限(防波堤が出来ることで流れが遮られる)が大きく影響を与えており、着底率が大幅に改善すると予測された。西防波堤の延伸による港内側潮流の滞留効果は北防波堤が整備されないと十分な効果が発揮されず、単体では逆に港外から入ってくる浮遊幼生を遮ることになると予測されており、これは西防波堤の不透過改良でも同様の結果となった。

底質環境に影響されるシールズ数分布による比較では、単体の施設整備としては西防波堤延伸による波高軽減効果による恩恵が大きいことがわかった。ただし効果が一

番発揮されるのは西防波堤の不透過改良との組み合わせ時となっている。

このため、3施設すべてが整備され効果が反映される将来港形において、港内利活用の効果が一番高く発揮されるとの予測結果となった。

表-6 施設ごとの評価結果

	浮遊期	稚貝期
西防波堤延伸	着底率は微増	波高を軽減するため $\Psi < 0.2$ を満たす水面の形成に大きく寄与
西防波堤(消波)不透過化	着底率は微増	効果は少ない
北防波堤延伸	着底率が大きく増加	施設が港奥にあるため効果少

5. まとめ

落石漁港では防波堤の延伸整備が進むことでアサリ浮遊幼生の残留率や餌料環境が向上するという予測となっており、漁船係留における安全性確保を主目的とした漁港整備が水面の利活用に対しても効果を発揮することを示唆する結果となった。

また、施設整備過程における影響についてもシミュレーションの設定条件を変えて予測することは可能であるため、例えば落石漁港の場合であれば整備期間が比較的短期となる北防波堤の延伸を早期に実施し、漁獲量増大の早期発現を事業効果として位置付けるなどといった工夫が出来るのではないかと考えている。

6. おわりに

水産資源量により漁獲が左右される沿岸漁業と比べ、港内水面を利活用する漁業は管理しやすく、安定した水産物提供をおこなう上で今後も重要視されていくと思われる。本検討により、施設整備による直接的な効果とあわせ、環境への影響も把握することが水産振興の一助となり、かつ漁港整備事業の効果として新たに計上されることを期待する。

参考文献

- 1) 中田喜三郎(1993)：生態系モデル-定式化と未知のパラメータの推定法，海洋工学コンファレンス論文集8
- 2) 松梨順三郎ら(1993)：環境流体汚染，森北出版
- 3) 山本潤，渡辺光弘，牧田佳巳(2009)：低次生態系モデルを北方の閉鎖性海域に適用する際の留意点，寒地土木研究所月報第670号
- 4) 牧田佳巳，大橋正臣(2017)：漁港整備によるアサリ生息場の創出効果について，第60回(平成28年度)北海道開発技術研究発表会