

## 5.3 寒冷地港内水域の水産生物生息場機能向上と水環境保全技術の開発

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：水産土木チーム、寒地技術推進室

研究担当者：山本潤、関口浩二、福田光男、北原繁志、渡辺光弘、牧田佳巳、佐藤仁、岡本健太郎、佐藤朱美、大井啓司、牧野昌史、前田優、片山勝、山之内順、窪田康一、熊谷直哉、小川渉

### 【要旨】

国内水産物の多くを供給する北海道の港湾・漁港では、周辺海域の水産資源の維持・増大や、蓄養・中間育成のための港内水域環境の保全が重要な課題となっている。本研究では、沿岸域における生物生産性の向上と生物の浄化機能を利用した港内水質・底質環境の改善方法を検討し、港湾・漁港周辺海域における水産生物の生息環境について、立地環境に応じた整備手法を提案するものである。H18、19年度は、寒冷地における港湾漁港水域を環境諸条件ごとに分類し、それぞれの整備・管理手法の検討を行った。H20～22年度は、各環境条件に応じた水域環境の整備手法について、現地実証試験を行った。

キーワード：自然調和型構造物、藻場、磯焼け、ホタテ貝殻礁、ハタハタ産卵

### 1. はじめに

北海道の港湾・漁港は全国の海面漁業生産量の約26.5% (H20年)<sup>1)</sup>を扱っており、国民への水産物供給の上で重要な役割を担っている。しかし、漁場の国際的な規制強化や水産資源状況の悪化、荒天や結氷等の厳しい環境条件が漁業活動への支障となっている状況にあり、将来にわたって安定的に水産物供給を図るには水産資源の増大と漁家経営の健全化が急務となっている。港湾・漁港周辺海域は、水産有用種の生息場として貴重な領域であることが知られており<sup>2)</sup>、それらの機能を高めるとともに、静穏な港内においては中間育成・馴致によって放流種苗の初期減耗率の低下を図り、また、漁獲物の出荷調整や品質保持のため、港内泊地を活魚蓄養のための水面として高度に利用する必要がある。一方、港湾・漁港内の水域は荒天時でも静穏である反面、外海との海水交換が悪く、陸揚げ・荷さばき時の血水や背後集落からの排水が流入し、港内に滞留すること等により、水質・底質が悪化しやすい傾向にある。このため、生物の生息条件を満足する高度な水域環境の維持・改善が重要な課題となっている。

本研究では、北海道の港湾・漁港の高度利用の一環として、周辺海域における生物生産性の向上及び港内水域の環境保全について、立地環境に応じた整備手法を提案するものである。H18、19年度は、寒冷地における港湾漁港水域を環境諸条件ごとに分類

し、それぞれの整備・管理手法の検討を行った。H20～22年度は、各環境条件に応じた水域環境の整備手法を提案し、現地実証試験により効果を検証した。

### 2. 沿岸構造物の多面的機能

港湾・漁港は物流拠点や水産業の基地としての本来の役割を担っているため、沿岸構造物には静穏な水面と所定の水深を有する航路と岸壁を確保するための防波・防砂機能が第一義的に求められている。また、離岸堤や防潮堤等は背後集落の防災機能や国土保全機能を有し、さらには国民の憩いやレクリエーションのための場を供給する機能も有する。一方、港湾・漁港周辺海域は、水産有用種の生息場・産卵場・幼稚仔の保護育成場として貴重な領域である<sup>2)</sup>ため、沿岸構造物にもそれらに寄与する機能が求められる。生物環境の視点から、必要な施設へ構造上の工夫等を施すことにより、浄化機能、藻場造成(藻場の基質となる人工的な岩礁や浅場等)、産卵礁・幼稚仔の保護育成等の機能を強化させることが可能である。以下に示す整備手法は、こうした観点から様々な環境条件に応じて提案し、その効果を評価したものである。

### 3. 港湾・漁港水域の環境諸条件による分類

周辺海域における生物生産性の向上に寄与する港湾・漁港構造物の整備メニューとして、産卵礁と藻

場の造成がある。近年の水産資源の減少の原因の一つに沿岸域の産卵場の喪失が挙げられ<sup>3)</sup>ており、産卵場は生物の再生産の基本となるものである。港湾・漁港構造物の存在する地点の環境条件が対象魚種の産卵場としての条件に適合すれば、構造物に産卵礁としての機能を付加することによって資源回復の可能性が生まれる。藻場については、それ自体が水産有用種であること、ウニ、アワビ等の岩礁性生物の餌料であること、幼稚仔の保護育成、魚礁としての機能や前述の産卵場でもあること、等の理由により藻場の造成は生物生産性の向上に大きく寄与するものである。

港内水域の環境保全に資する整備メニューとして、**a) 静穏な港内に蓄養水面を確保し、海水交換を促進する工法により水質の維持を図ること、b) 底質改善を目的とした汚濁負荷流入防止対策、c) 港内の汚濁物を吸収・摂餌する水産有用種の生息環境を整備し、育成・漁獲を通じて港内の浄化を図る、等がある。**

それぞれの課題、条件と適地、整備手法を分類すると、表-3.1のように整理できる。表中に示す手法以外に構想段階の手法もあるが、ここでは各地の港湾・漁港において実証的な検討を行っているものを中心に扱う。また、表中の産卵礁や磯焼け対策手法の一部については、主な技術開発が完了し、現在、各地に整備された施設の実証試験により、効果の検証や適用限界の把握等を行っている。以下、(1)a「藻場造成・磯焼け対策」、(1)b「産卵礁」及び(2)b「港内底質悪化防止・改善」について、本研究期間に行った現地実証試験を含む研究内容を示す。

表-3.1 立地環境に応じた整備手法

(1) 周辺海域における生物生産性の向上	
<b>a) 藻場造成・磯焼け対策の実施</b>	
周辺に藻場があり、同様の条件を付加すれば、藻場が形成される可能性がある場合。磯焼けの原因が判明し、当該手法によりそれを解決できる可能性がある場合に行う。	
ウニの食害に対し、人工動揺基質を設置。	江良漁港 寿都漁港
栄養塩不足に対し、発酵魚かすを添加。	雄冬漁港
照度不足、浮泥堆積、漂砂による研磨等の複合要因によって、藻場が形成されない場所において、防波堤背後に浚渫土砂を利用した盛土上に藻場を造成。(被覆ブロック改良・効果調査)	釧路港
防波堤背後に周辺の藻場と同様の環境とな	寿都漁港

る小段を設け、藻場を造成(自然調和型施設)	様似漁港等
ウニの食害に対し、防波堤背後小段上の水深を浅く設定し、藻場を造成(自然調和型施設)	雄冬漁港 久遠漁港
越波対策としての二重堤の遊水部や潜堤等に藻場を造成。	元稲府漁港 杵形港
<b>b) 産卵礁としての機能の付加</b>	
周辺で産卵の形跡があるか、抱卵した魚類等が採捕された場合に有効。また、産卵場をやむを得ない事情で移動させる場合に、代替となりうる地点に同様の環境条件を形成する。	
ヤリイカ産卵礁機能を有する消波ブロック、同被覆ブロックを設置。	松前港 江良漁港、 福島漁港、 香深港
ハタハタ産卵用人工海藻を設置。	苫小牧港 雄冬漁港
<b>(2) 港内水域の環境保全(港内水域の高度利用)</b>	
<b>a) 港内蓄養・中間育成用水面の確保</b>	
蓄養等のための静穏水域が周辺に無い場合、港内にそれを確保する。海水交換の促進による水質の保全を行う。	
防波堤一体型生け簀の整備と溶存酸素収支による管理。	温根元漁港
<b>b) 港内底質悪化防止・改善</b>	
底質悪化の原因が判明し、浚渫や覆砂を行わなくても、汚濁負荷の流入抑制と水域内の浄化の促進といった当該手法によって解決できる可能性がある場合に行う。	
流れ藻トラップの設置、防砂堤整備によるゴミ・浮泥等の流入防止を図る。	抜海漁港
ホタテ貝殻礁により、磯間接触だけでなく、蟻集した生物による浄化を行う。	落石漁港 江良漁港
<b>c) 水産有用種保護・育成(生物による水域浄化)</b>	
周辺に対象生物の生息域があり、当手法により対象生物の好適環境を形成でき、漁業活動が期待できる場合に行う。港内の静穏域の一部が利用可能であること。	
* 港内ナマコ増殖の基質を整備、種苗を放流。	追直漁港
ガゴメコンブ栽培の基質(ロープ等)を設置。	福島漁港

\* 注) 水産有用種の育成・漁獲と併せて、生物による水域の浄化を図る。

#### 4. 藻場造成・磯焼け対策

##### 4.1 傾斜堤背後小段を利用した藻場造成

静穏域の確保等を目的として整備された港湾・漁港施設等の沿岸構造物は、図-4.1に示すようにそれ自体が魚礁および産卵礁の機能を有するとともに、その擬似岩盤効果により創出された藻場がさらにその機能の拡大に寄与していることが確認されている。

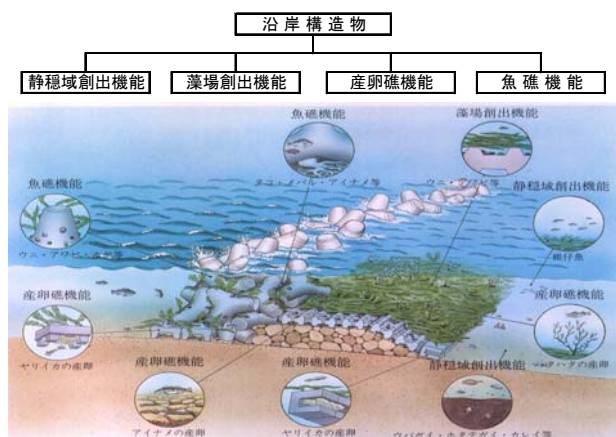


図-4.1 沿岸構造物の自然環境調和機能<sup>4)</sup>

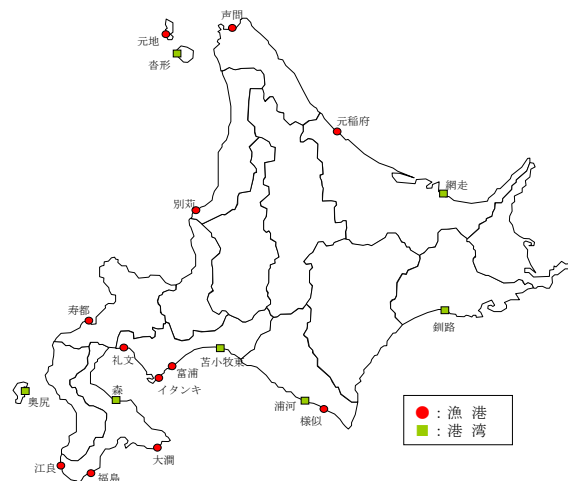


図-4.2 藻場創出機能の施工箇所

近年、限られた沿岸域の水産資源を有効に利用するため、沿岸構造物が本来有する機能に加えて、これらの生物生息場としての機能を積極的に付加することが各地で求められている。

防波堤・護岸等への藻場創出については、北海道開発局監修の下、平成10年度に「寒冷地における自然環境調和型沿岸構造物の設計マニュアル」<sup>4)</sup>が刊行され、北海道ではこれまでに19港(図-4.2)において整備が行なわれている。しかし、一部の構造物では創出された藻場が時間の経過とともにコンブ類から小型雑海藻へと遷移し、日本海側ではウニの摂餌による藻場の消失などが生じた例も見られる。

本研究は、自然調和型構造物の機能向上を図ることを目的に、これまでに整備された背後小段等の藻場の効果・課題を現地調査等によって解析し評価するものである。調査港は日本海南部海域の寿都漁港、えりも以西太平洋海域の様似漁港であるが、ここでは寿都漁港について報告する。モニタリングは、潜水士による目視観察および方形枠を用いた枠取り調査により、小段上と周辺の天然岩礁域における海藻および藻食動物の現存量の把握を行なった。また、物理環境を把握するために波高、流速及び光量子量を観測した。

図-4.3に寿都漁港背後小段上に設置された基質ブロックにおける海藻着生に有利な溝の有無で区分したコンブ現存量の経年変化(海藻繁茂期)を示す。なお、海藻の生育に影響を与える環境因子のうち、調査港の近傍で観測された2月の平均水温も図中に示した。コンブ現存量は、建設初年度は非常に高い値を示していたが、H11年のブロック設置後2年目に急激に減少し、H12年の3年目には背後小段上では海

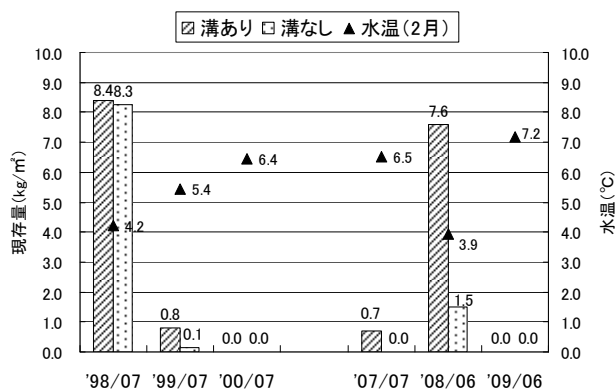


図-4.3 背後小段上のホソメコンブの現存量と冬期水温の経年変化

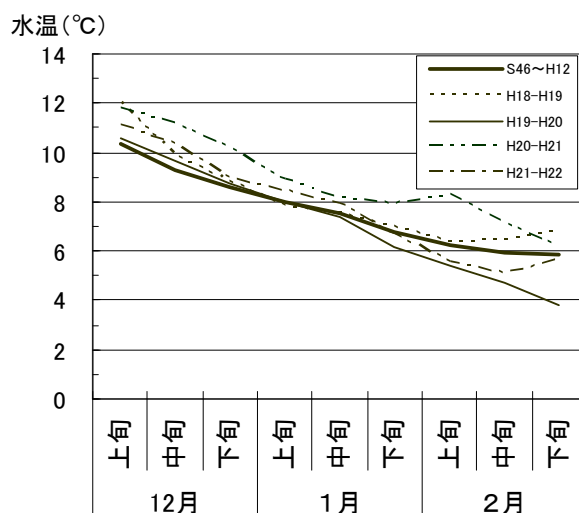


図-4.4 冬季の海水温の年変化

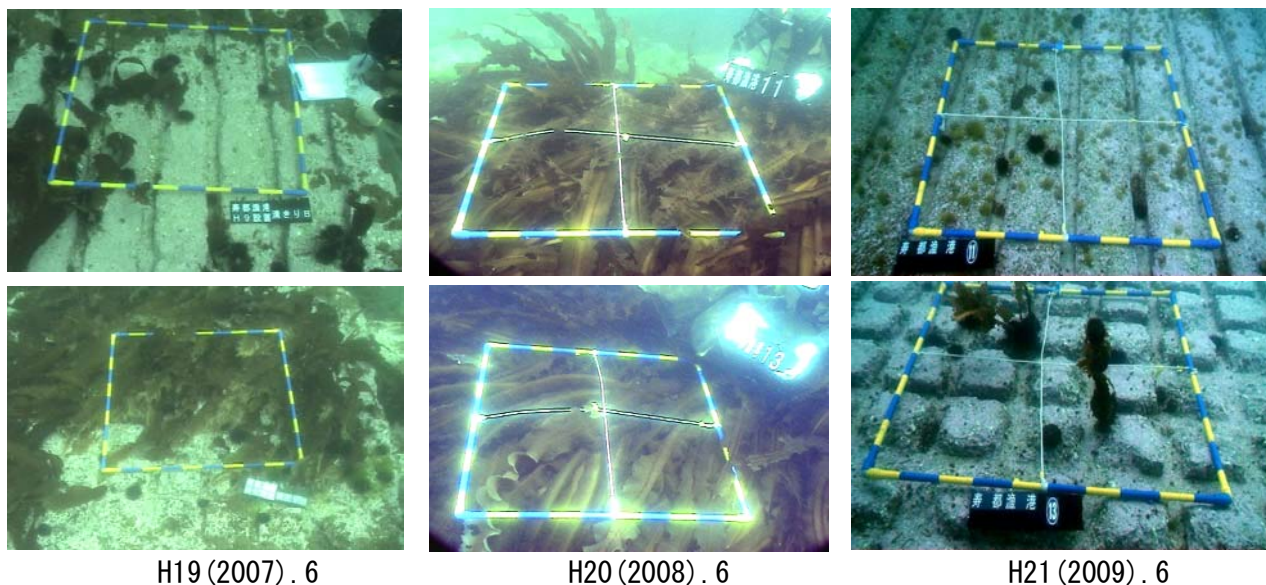


写真-4.1 海藻着生状況（寿都漁港 2007～2009年）

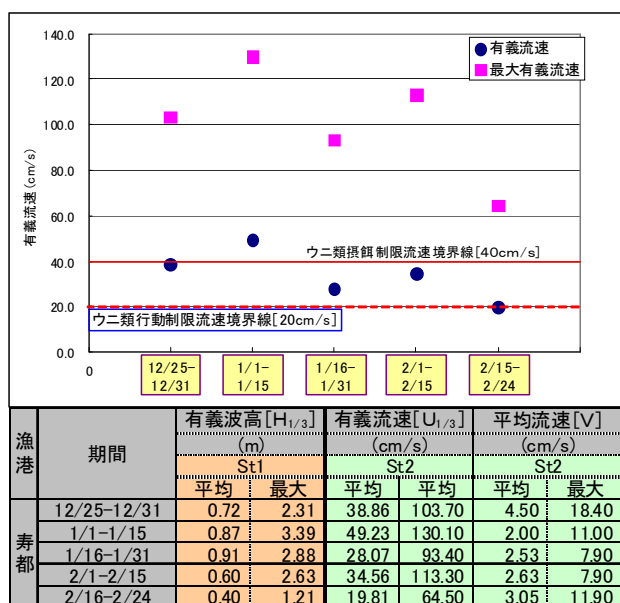


図-4.5 有義波高・有義流速・平均流速（寿都漁港，2008年12月～2009年2月）

藻がほとんど無い状況であった。これに対して、H19は溝きりブロックのみの着生であったものの、H20は8.0kg/m<sup>2</sup>以上の良好なコンブの生育が確認された。しかしながらH21年は再びコンブの着生は確認されていない。このようにコンブの現存量は年変動が顕著であることがわかる。また、谷口<sup>5)</sup>は1～3月の平均水温が低いと天然コンブの生産量が多いと報告している。H19(2007)年2月の平均水温に比較してH20(2008)年2月は約2.5℃低く、コンブ現存量は約10

倍であった。しかしながら、H21(2009)年2月は再び高水温となり海藻の繁茂は確認されていない。このことは、H19～21年の海藻着生状況写真（写真-3.1）からも明らかである。また、図-4.4に示した冬季（12月～2月）の海水温の変動をみると、1月下旬から2月下旬までの海水温に差があることがわかる。特に、H20年1～2月の水温が低く、冬季、中でも2月の海水温が、その年の繁茂期のコンブ着生に影響を与えるものと推察される。

図-4.5に期間別（15日間毎）の有義波高・有義流速・平均流速を示す。なお、グラフ中にはウニ類の行動制限流速値<sup>6)</sup>（破線）と摂餌制限流速値<sup>7)</sup>（実線）を表示した。有義流速値をみると、観測期間中、行動制限値である20cm/sは上回っているものの、摂餌制限値である40cm/sは、平成22年1月前半しか上回っていない。つまり、背後小段上において、ウニはある程度の行動の制限は受けているものの、周辺海藻類を捕食することは可能と推察される。近年の高水温の状況下において、ウニは冬期間においても摂餌活動が可能となり、コンブ類の幼芽を捕食しつくすことから、コンブの繁茂が阻害されているものと考えられる。以上の調査結果をまとめると、以下の通りとなる。

①平成21年の背後小段は、冬季の海水温が高かったことから、2月のコンブ生育初期からコンブの着生がみられず、6月の海藻繁茂期においても着生が確認できなかった。過年度までの検討結果と同様に冬季の水温が繁茂期のコンブ現存量の環境要因の一つで



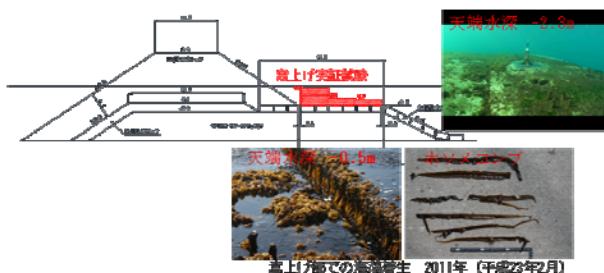


図 - 4.6 寿都漁港嵩上げ実証試験結果<sup>1)</sup>

あることが示唆される。

②平成22年冬季の背後小段上における流速環境下では、ウニはある程度の行動の制限は受けているものの、周辺の海藻類を捕食することは可能である。よって、近年の高水温の状況下において、ウニは冬期間においても摂餌活動が可能となり、コンブ類の幼芽を捕食し尽くすことから、コンブの繁茂が阻害されるものと考えられる。

寿都漁港において、海藻の生長初期段階の背後小段上の藻場状況において検討を行った。天然藻場を含めて海藻の着生が少ない状況にあり、背後小段上においても磯焼けの影響を受けているものと考えられる。特に海域の高水温が顕著に現れる状況において、いわゆるウニの食害を抑制する対策としては、既存背後小段天端を嵩上げし、流速環境を海藻繁茂に適した環境にすることが必要と考えた。

そこで、H22(2010)年秋に寿都漁港背後小段において、根固方塊ブロックを用いた嵩上げ実証試験を実施した。その結果、図-4.6に示すように、2011年2月の時点において、嵩上げにより流動環境を改善した箇所にはホソメコンブの着生が確認された。対策が行われていない、または不十分な箇所にはコンブの着生は見られず、嵩上げの効果が示された。今後は、他のソフト施策も組み合わせながら、効果の持続性について検証していきたい。

#### 4.2 防波堤背後盛土天端を利用した藻場造成

釧路港島防波堤では背後に浚渫で発生する余剰土砂を用いて盛土を行っている。その目的は、①浚渫土砂のリサイクルと土砂陸上処分費の低減を図ること、②本体直立部の押さえ盛土として機能することで本体工のスリム化を図りコストを削減すること、③島防波堤を越えてくる越波のエネルギーを散逸させ港内への伝達波の低減を図ること、などの防波堤に求められる本来機能に加えて、盛土上で藻場の創出を計画している(図-4.7)。防波堤背後盛土上面

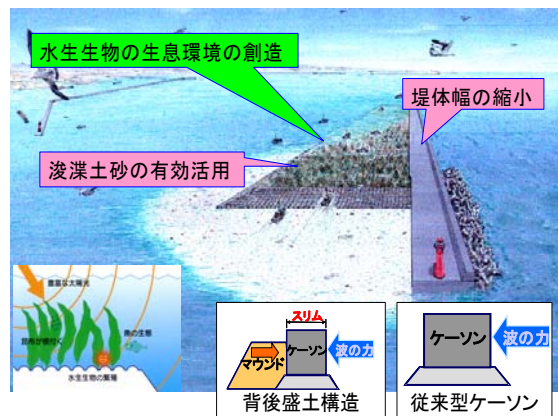


図 - 4.7 釧路港島防波堤イメージパース<sup>8)</sup>

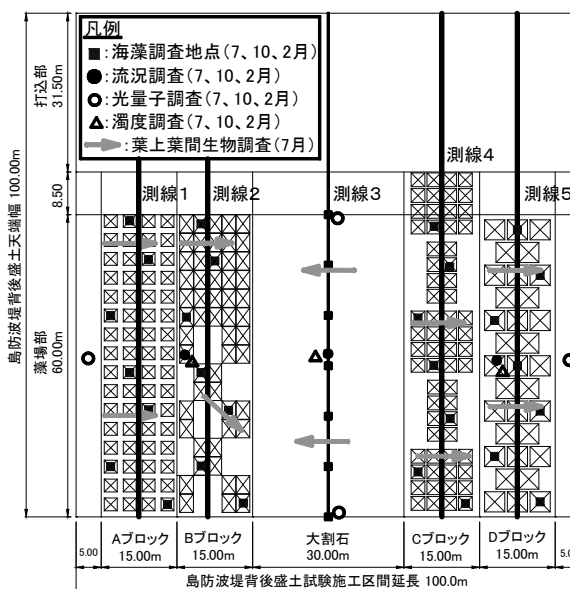


図 - 4.8 背後盛土上の調査箇所

には海藻繁茂効果と伝達波を低減させる機能を持つ起伏ブロックが4種類設置されている。ブロックには浮泥堆積・ウニ食害等防止機能として、天端部傾斜、ウニ対策鉄筋があり、また、海藻着生促進用の表面材として、凹凸を付けたもの、石炭灰、ホタテ貝粉砕材、砕石板が取り付けられたもの等、各種いろいろな工夫が施されている。この様な自然環境と調和する機能を持つ当防波堤は、H10(1998)年6月に旧運輸省から藻場機能を持つ「水生生物との協調型防波堤」として、直轄事業では初めてエコポートモデル事業に認定された。背後盛土部分は H21(2009)年3月の時点において、島防波堤本体工は全体計画延長2,500mのうち1,445mが完成し、背後盛土部分は1,600mのうち試験区間として100mが完成している。

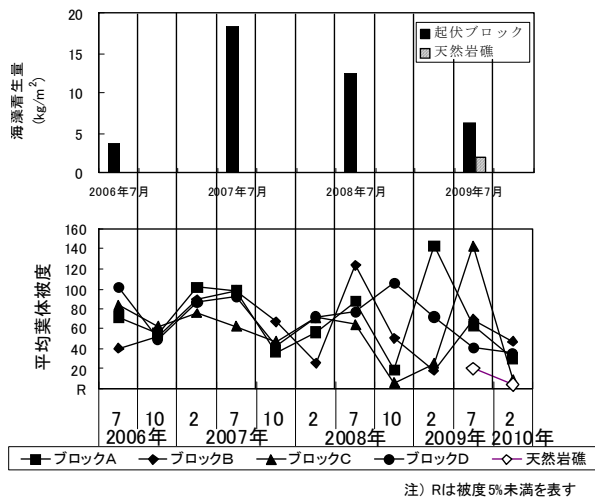


図 - 4.9 平均葉体被度の経年変化



写真 - 4.2 背後盛土上の海藻群落 (2009.7)

一般的に藻類の生育環境因子は物理的要因、化学的要因、動力学的要因、生物的要因などに分類される<sup>4)</sup>。これらのうち、釧路港島防波堤周辺の海域で藻場の形成に大きな影響を与えると考えられる因子は、①光量子量、②浮泥堆積量である。貧栄養やウニの食害の影響が強い日本海側の磯焼け地帯とは異なり、釧路周辺海域は低温・高栄養塩・低透視度を特徴とする親潮の影響を受けており、光量子量が最も重要な因子である。また、浮泥は一定以上の厚さで海藻の付着基盤に堆積した場合、海藻胞子の着生阻害や着生した胞子も成長が阻害される要因となる。

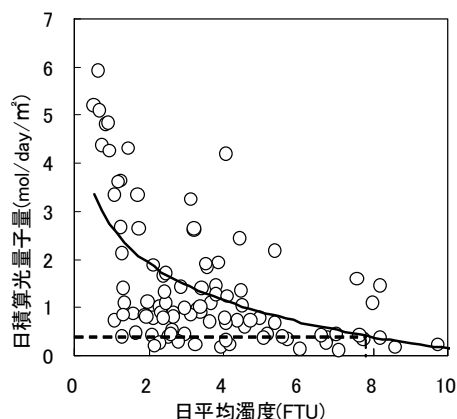


図 - 4.10 濁度と光量子量の関係

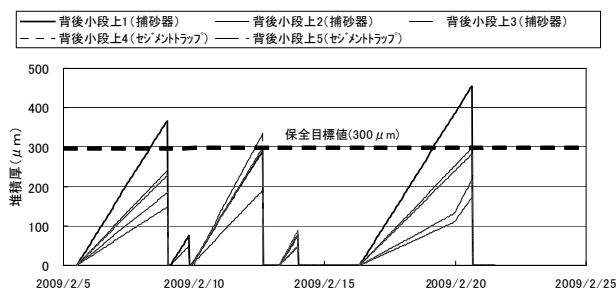


図 - 4.11 浮泥堆積厚と保全目標値

釧路港では、試験区間に隣接する区域において細粒土砂にセメント固化を施した改良土投入による背後盛土工事が予定されており、その場合、改良土に起因する浮泥が背後盛土天端（海藻着生部位）に堆積することも予想される。

本調査は、背後盛土上における藻場の形成について、現地における海藻繁茂状況、生物生息分布状況および藻場の形成に影響を与えると考えられる光量子量、濁度等物理環境に関する各種現地調査を行い、藻場機能の評価を行うものである。背後盛土上における調査箇所を図-4.8に示す。調査は毎年、海藻が最も繁茂している夏季、年間を通じて最も波高が高い秋季、海藻が芽吹く春季の3季に実施している。海藻繁茂調査は、測線1～測線5（1測線長100m）においてダイバーの目視観察によって、緑藻、褐藻、紅藻ごとの葉体被度を把握した。また、夏季においては海藻の着生量を把握するため、各地点（■表記）において調査枠（0.5m×0.5m）を設定して付着生物（植物、動物）を採取し、種の同定、個体数、湿重量の生物分析を行った。さらに、藻場内に生息する動物を採取するため、葉上葉間ネット（全長4.1m）

を用いて曳網距離 10m で試料採取を行い、種の同定、個体数、湿重量の生物分析を行った。物理量調査は、流況観測（●表記の 3 地点、水深-1m または-3m）、光量子量観測（○表記の 4 地点、水深-3m）、濁度観測（△表記の 3 地点、水深-1m または-3m）である。各調査ともメモリー式観測機器を用いて、15 昼夜から 30 昼夜ほどの連続観測を実施してデータを取得した。

背後盛土上に設置している起伏ブロックにおける海藻の着生量（4 ブロック全調査点の合計）および各ブロックの平均葉体被度の推移を図-4.9 に示す。このうち着生量は、海藻繁茂期である毎年 7 月の調査結果である。着生した海藻の湿重量の大半がナガコンブ、ガツカラコンブといったコンブ属であった。調査時期ごとの被度を見ると、7 月が最も多く、10 月に減少し、2 月に増加する傾向にある。これは、コンブ類のうち釧路海域で優占しているナガコンブの生活史から 10 月前後は末枯れの時期に相当しており、流失したのも多かったためと推察される。しかしながら、2 月には新たな個体の生育が確認されており、生活史に沿った更新が行われていると考えられる。即ち、盛土上では、秋季に末枯れ・枯死流失を経ても、冬季に新規加入群が着生し、整備後約 2 年半経過した段階で、葉体被度 90% 以上のナガコンブを中心とする良好な藻場が形成されている。また、ブロック A～D 合計の着生量は、起伏工が完成した翌年の 2006 年 7 月に比べ 2 年目にあたる 2007 年 7 月では約 5 倍に増加している。3 年目の 2008 年 7 月では 2007 年比で約 30% の減少となり、2009 年にも減少しているが、それでも  $5\text{kg}/\text{m}^2$  を超す着生量となっており、写真-4.2 に見られる通り、十分な海藻群落が維持されていることがわかる。このように、ナガコンブの生活史に沿った生長と新規加入群の順調な生育によって継続的に藻場を形成しているものと推察される。

次に、日平均濁度および日積算光量子量の関係を図-4.10 に示す。日平均濁度は、全地点の 10 分間隔で測定した 1 日における濁度の平均値である。日積算光量子量は、10 分間隔で測定した 1 日分の光量子量を積算した値である。なお、ナガコンブが幼体を形成する春季から生育し繁茂する夏季の期間を対象に整理している。さらに、ナガコンブの生存に必要な最低光量子量である日補償光量  $0.52\text{mol}/\text{day}/\text{m}^2$  を示した<sup>4)</sup>。この図から日補償光量  $0.52\text{mol}/\text{day}/\text{m}^2$  を確保するためには、濁度がおよそ  $7.8\text{ppm}$  以下に抑えら

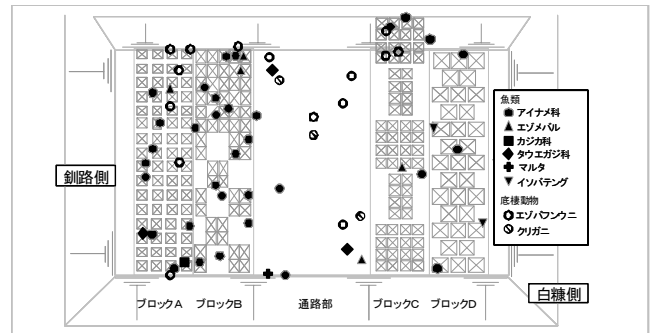


図 - 4.12 目視観察による大型動物の生息



写真 - 4.3 目視観察による大型動物の生息

れることが必要となる。高波浪によって一時的に濁度が上昇することはあるが、観測期間中の濁度の平均値は概ねこの値を下回っており、ナガコンブが生育する場として背後盛土上は良好な環境にあると考えられる。浮泥堆積厚についても、図-4.11 に示すとおり、保全目標値を概ね満足しており、懸念されていた因子である濁度の上昇と浮泥堆積が背後盛土上の海藻群落の維持に悪影響をもたらしていないものと考えられる。

また、背後盛土上の良好な藻場の形成に伴い、写真-4.3 に示す魚類等の蛸集も確認され、藻場が有する産卵場、稚仔魚の保育場、餌場などの多様な機能の発現が確認されている。確認された生物の生息分布を図-4.12 に示す。魚類 6 種、ウニ類 1 種、カニ類 1 種の出現が確認された。個体数は、魚類が 60 個体/区画、ウニ類が 92 個体/区画、カニ類が 4 個体/区画であった。なお、魚類の出現個体数が最も多かった箇所は割石上であった。魚類の中でもアイナメ科は根付きの魚であることから、空隙部を有し魚礁効果を持つブロック B（側線 2）に集中して生息する傾向がみられる。また、生息箇所はブロックの中が最も多い結果となっている。また、エゾバフンウニ



ヤクリガニは通路部や起伏工の区画でもブロックでは無く下部の割石に生息していることが確認された。これは、浅い水深帯での速い流れを嫌って水深の深い通路部やブロックの陰に生息する傾向があるものと推察される。

以上のことから、背後盛土は藻場形成に適した環境にあり、自然環境との共生をめざす自然調和型沿岸構造物として期待されるものといえる。なお、海藻現存量の推移や植物相の遷移過程は周辺環境に応じて変動するものであるため、高波浪や河川出水等に起因する濁度上昇等の藻場の光環境に影響を及ぼす項目については引き続き調査し、藻場機能の持続性について注視していく必要がある。

## 5. 産卵礁としての機能を付加

### 5.1 ハタハタ産卵用人工海藻の設置

北海道でのハタハタの漁獲量は、近年 1,500t 前後で推移しており、その漁獲割合は全国の 10~20%で、安定した割合を占めている<sup>9)</sup>。しかしその漁獲は胆振支庁等太平洋側に集中しており、日本海側は資源が急激に減少し(図-5.1)<sup>10)</sup>、産卵場も積丹半島周辺では痕跡を残す程度で、現在は厚田沿岸だけ<sup>11)</sup>との報告がある。ハタハタの資源増殖・維持の取り組みは日本海側の各地で行なわれており、ハタハタの産卵場所となるホンダワラ等、海藻群落の人為的拡大が求められている。太平洋側の苫小牧東港の防波堤にホンダワラ類が着生し、ハタハタの産卵が行われるようになったとの事例<sup>9)</sup>も報告されており、雄冬漁港においても同様の効果が期待されている。

本研究では、雄冬漁港周辺におけるハタハタの産卵状況を調査するとともに、ハタハタの安定的・持続的な自然再生産に資する技術を目指し開発された人工海藻(写真-5.1、図-5.2)を漁港施設へ設置したので、それらの調査結果を報告する。

まず、ハタハタの産卵に必要な環境条件として、以下の知見<sup>12),13)</sup>が知られている。

- ・ハタハタは水深-5~-0.5m の範囲で特に-2m 前後の藻場に多く産卵する。
- ・ハタハタの稚魚はふ化後から水温が上昇する 6 月下旬まで浅海の砂浜域を生息場とする特性がある。
- ・河口付近は栄養塩流出によりプランクトンが発生するため、動物プランクトンを餌料とするハタハタ稚魚の生息場として適している。
- ・卵塊に酸素を供給するため、産卵場の周辺には流れが必要である。

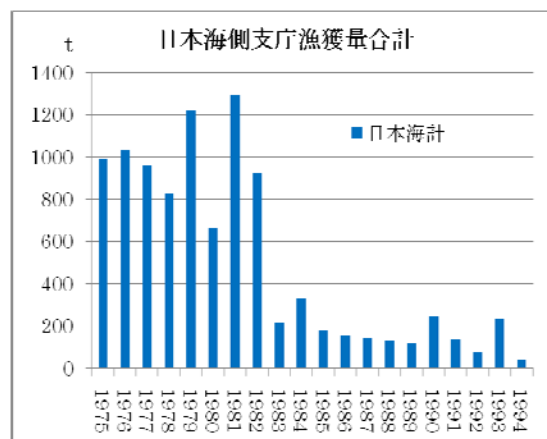


図-5.1 日本海側ハタハタ漁獲量の推移<sup>10)</sup>



写真-5.1 人工海藻の設置状況 2009年11月

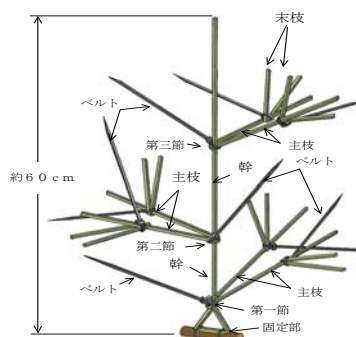


図-5.2 人工海藻概念図

- 一方、雄冬漁港周辺は、
  - ・漁港周辺の底質分布としては、島防波堤周辺及び背後に砂質の場所が存在している。
  - ・産卵時期の日本海は、冬季風浪により静穏な日が少なく、卵塊への酸素供給も問題は無い。
  - ・雄冬漁港南北にそれぞれ小河川の存在がしている。また、本漁港は岬の先端にあり、湧昇流の影響を受けやすく、それにより栄養塩も供給されていると推定される。
  - ・この海域は図-5.3 のように沖合のハタハタ分布域



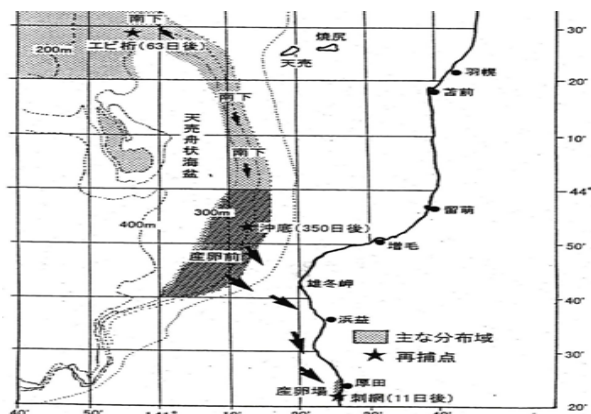


図-5.3 沖合域での分布と移動<sup>13)</sup>

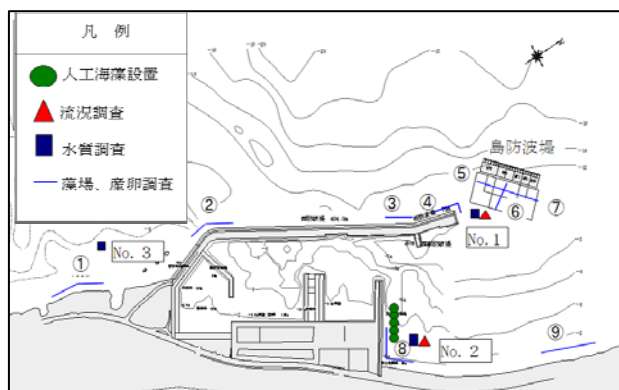


図-5.4 雄冬漁港調査箇所図

に近く、石狩群の主要産卵場にも隣接しており、ハタハタが産卵のため来遊するルートにある。等、ハタハタの産卵のための条件を満たしている。

調査は図-5.4 に示す漁港周辺の①～⑨のライン上について探索を行った。海藻の繁茂状況、底質の状況の調査を行い、ハタハタの産卵塊を発見した時点で調査枠を設け、調査枠内の産卵塊の個数、産卵基質、固着部位、水深帯の目視観測を行った。調査時期は、藻場調査を11月末に行い、基質となる海藻が確認された場所について12月末から翌年1月にかけて産卵状況の調査を行った。ハタハタ産卵状況については、H21年に加え、H22年にも測線8,9について行った。また、流況が産卵に与える影響を調査するため、島防波堤背後(No.1)と、側線8付近(No.2)について流況調査を行うこととした。その他、栄養塩の状況についても把握するため、上記2点に漁港南側のNo.3を加えた3点について水質調査を行う事とした。調査はハタハタ産卵塊の探索とともに、人工海藻設置箇所近傍へ自記式波高流速計を各1台設置し、ハタハタの産卵場環境に関する水温・流速に注目し、H21年とH22年の冬季に連続観測を行った。

表-5.1 天然海藻への産卵状況

地点番号	種類	本数	卵塊数	卵塊固着水深(m)
1	イソムラサキ	1	1	4.0
2	フジマツモ	1	1	2.0
	フジマツモ	1	3	2.0
3	フジマツモ	1	2	4.0
	フジマツモ	1	2	4.0
4	フジマツモ	1	1	3.5
5	フジマツモ	1	1	4.0
		1本あたりの卵塊数	卵塊合計数	卵塊固着平均水深(m)
		1.571	11	3.4

表-5.2 人工海藻への産卵状況

ブロック番号	種類	本数	卵塊数	卵塊合計数	卵塊固着水深(m)
1	人工海藻1	1	7	46	3.8
	人工海藻2	1	8		
	人工海藻3	1	21		
	人工海藻4	1	4		
	人工海藻5	1	6		
2	人工海藻1	1	17	21	3.8
	人工海藻2	1	4		
3	人工海藻1	1	14	21	3.6
	人工海藻2	1	4		
	人工海藻3	1	3		
4	人工海藻1	1	8	26	3.5
	人工海藻2	1	8		
	人工海藻3	1	6		
	人工海藻4	1	4		
5	人工海藻1	1	4	17	3.4
	人工海藻2	1	8		
	人工海藻3	1	5		
		1本あたりの卵塊数	卵塊合計数	卵塊固着平均水深(m)	
		7.706	131	3.62	

H22年にはハタハタ魚群の産卵行動の把握と産卵日時の特定のため、水中ビデオ撮影を行った。

観測の結果、ハタハタの卵塊は測線8の自然海岸部(写真-5.2)及び人工海藻(写真-5.3)で確認された。自然海岸での産卵状況について表-5.1に示す。それによると、産卵基質はほとんどがフジマツモで、体長5.0cm程度かそれ未満の種類となっていた。また、1本あたりの産卵数は1~3個、平均産卵数は1.6個で、固着水深は-2m~-4mとなっていた。

人工海藻への産卵状況を表-5.2に示す。人工海藻の設置基数は40基で、そのうち17基で産卵が確認されており、42.5%の産卵率となっていた。また、平均固着水深は-3.6mで自然海藻とほぼ同様であった。人工海藻1基あたりの産卵数は0~21個となっており、その平均産卵数は、産卵されているもののみで7.7個、産卵されていないものも含めると3.3個となった。自然海藻より人工海藻の方が1基あたり平均産卵数が多くなっているが、その要因としては、この海域に自然に残存する海藻が小さく産卵可能な部位が少ない事及び、人工海藻には産卵に適した節部がより多いためであると考えられる。

雄冬漁港周辺は磯焼けが進行しており、ハタハタ

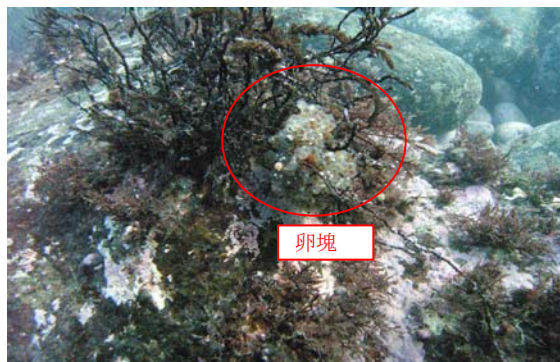


写真-5.2 自然海藻への産卵状況 H21年1月



写真-5.4 人工海藻に産卵する魚群  
H23年12月11日 AM01:53~02:15



写真-5.3 人工海藻への産卵状況 H21年1月

産卵期である12月には産卵基質となる海藻はほとんど残っていなかった。特に西防波堤の南外側は、サンゴ藻が優先し、基質となる海藻がほとんど残っておらず、ハタハタが産卵する可能性は非常に少ないと思われる。漁港北外側自然海岸部は、やはりサンゴ藻が優先しているものの、産卵基質となり得るフジマツモやイソムラサキが点在しており、産卵が行われる可能性が高いと思われる。

今回産卵が確認された漁港北側付近では、ハタハタ漁も行われており、また、ハタハタが漁港内を回遊している状況も目撃されており、産卵に適した海藻を増やす事が出来れば、産卵数もより増加すると思われる。その際、産卵に適した自然の海藻を増やす事が望ましいが、漁港周辺は磯焼けが進んでおり、自然の海藻が増加するまで、人工海藻を産卵基質として使用する事はハタハタ資源保護のためにも有効と思われる。

水質調査の結果、冬季にもかかわらず、すべての地点で低い値となっており、栄養塩による優位性はそれほどないことがわかった。また、懸濁物量も少なく、濁りによる影響は少ないことが確認された。河川水の影響については、漁港の東側では水温・塩分濃度とも、表層で低い値となっており、多少の影

響が考えられるが、西側については、ほとんど河川の影響を受けていないと思われる。

ハタハタ産卵のビデオ映像を写真-5.4に示す。12月11日2:00前後に2回の産卵シーンが撮影され、ハタハタの産卵状況および産卵日時が初めて確認された。また、水中カメラ撮影により、ハタハタの産卵箇所だけでなく、産卵調査日間の産卵量(卵塊の付着・脱落)も確認された。卵塊付着量は12月10日が21個と最も多く、その後は、数個付着し数個脱落することが繰り返された。

産卵特性としては、次のことが取り上げられる。  
①産卵調査結果によると、産卵は夜間に行われ、産卵量は産卵期の初期に多い。  
②水深-1.5m~-2.5mに設置した人工海藻に多く産卵する。  
③卵塊付着後であっても、波浪等の原因により、全体量の2割程度が脱落する。

ハタハタの産卵期間は、①厚田海域の産卵実績では水温7~8℃になる頃に産卵を開始すること、②漁業関係者ヒアリングによると12月中旬には産卵を終了すること、から12月上旬~下旬と予測していた。ハタハタ産卵期間中である12月9日から17日までの観測地点No.1における水温観測値は6.2~9.6℃、平均値は8.3℃であった。水温観測結果によると、ハタハタの産卵は水温が8℃台に下がった頃に開始しており、雄冬漁港では、厚田海域の産卵実績である産卵開始水温(7~8℃)よりも1℃程度高いことが確認された。

今回の調査により、雄冬漁港周辺の産卵状況の詳細が判明した。今後は他地域への当技術の普及を図っていきたい。



## 6. 港内底質悪化防止・改善手法の検討

### 6.1 ホタテ貝殻礁の設置

港湾・漁港では、泊地等を利用した水産物の蓄養が行われており、蓄養物の排泄物や残餌などの有機物が海底に堆積し、底質悪化が問題となっている。一方、北海道では年間約 20 万 t のホタテ貝殻が水産廃棄物として発生しており、その対処法に苦慮している。そこで、当チームでは、ホタテ貝殻を有効利用した港内の水質・底質浄化策として「ホタテ貝殻礁」を提案している。ホタテ貝殻礁とは、金属カゴにホタテ貝殻を充填させたものである。泊地内にホタテ貝殻礁を設置することで、貝殻の間隙部分に新たな生物が蛸集することが期待される。これらの蛸集生物が蓄養で発生した排泄物や残餌などの懸濁態有機物を摂餌することで、海底に堆積する有機物が除去され、底質へのドロの進行を防ぎ、最終的には水質・底質浄化効果を図るものである。当チームでは、ホタテ貝殻礁の水質・底質浄化効果を試験用の小規模な試験礁を用いた現地調査で検証してきた。さらに、その知見を基に、大規模に施工しても同様の水質・底質浄化効果が期待でき、製作・据付を考慮した実用的なホタテ貝殻礁を開発し、現地実験を開始した。

落石漁港に設置した試験礁では、海底より上層ではコノハエビ（写真-6.1 左側）など、懸濁物食者である節足動物の蛸集が多数確認された。蛸集個体数・種類数は試験礁の設置期間が長期になるにつれて増加する傾向である。特に、高水温の時期では数万匹の節足動物の蛸集が確認され、2007 年 6 月はコノハエビが、2008 年 9 月、2009 年 9 月はミナソコミジンコが大量に蛸集し、貝殻礁が産卵・孵化の基質として機能したと考えられる。海底より下層では、ゴカイの仲間であるスピオ科の 1 種（写真-6.1 右側）など堆積物食者である環形動物の蛸集が多数確認された。蛸集個体数・種類数は節足動物と同様に増加傾向である。また、蛸集生物にはクリガニやエゾバフンウニなどの水産有用種も確認され、試験礁には多種多様の生物が蛸集するのが確認された。

試験礁に蛸集する節足・環形動物は、堆積物及び懸濁物に含まれる有機物を摂餌することで底質浄化が期待されている。節足動物については、佐藤ら<sup>14)</sup>が行った室内試験と同様の方法により、優占種であるヨコエビ類の 1 g 当たりの浄化能力として、炭素 25.75mg/day、窒素 2.49mg/day が得られた。環形動物については、優占種であるスピオ科の 1 種を対象に、



写真-6.1 試験礁に蛸集した蛸集動物

左側：コノハエビ（節足動物）

右側：スピオ科の 1 種（環形動物）

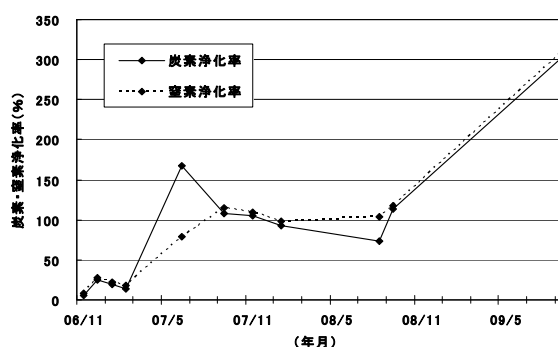


図-6.1 蛸集生物による炭素・窒素浄化率

1 g あたりの浄化能力として、炭素 4.07mg/day、窒素 1.13mg/day が得られた。有機物浄化能力の算出は、蛸集生物の優占種であるヨコエビ類（節足動物）、スピオ科の 1 種（環形動物）の浄化能力と、試験礁に蛸集した節足・環形動物の蛸集量を乗じた値で算出した。また、試験礁近傍での有機物負荷量はセジメントラップによる測定より、炭素 0.351mg/cm<sup>2</sup>/day、窒素 6.66×10<sup>-2</sup>mg/cm<sup>2</sup>/day であることが確認された。そこで、蛸集生物の摂餌行動による浄化能力と有機物負荷量の割合を浄化率として図-6.1 に示す。浄化率は、炭素では 2007 年 6 月以降で 100% を超え、窒素では 2007 年 9 月以降でほぼ 100% に達することが確認された。その後も浄化率が概ね 100% を上回り安定した浄化能力を示しており、試験礁設置から約 3 年が経過しても、蛸集生物の摂餌行動による浄化効果が持続的に機能することがわかった。

次に、実用化に向けて規模を拡大したホタテ貝殻礁（以下、貝殻礁）（写真-6.2）を 2007 年 11 月に設置した。設置規模は底面積 2.5×3.5m、高さ 0.5m とし、港湾工事で使用される石カゴを想定した規模とした。本調査では、貝殻礁の蛸集状況を確認するためのサンプル回収が可能である、底面積 0.5×0.5



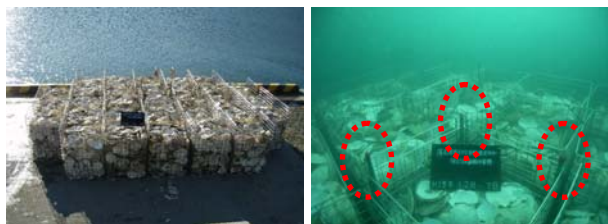


写真-6.2 実用に向けて規模を拡大した貝殻礁

左側：貝殻礁全景  
右側：設置状況（丸印が採水パイプ）

m、高さ 0.5mの金属カゴを隙間無く並べて設置した。ホタテ貝殻は施工性を考慮し、粉碎せずに原貝を充填することにした。調査では、貝殻礁の蛸集生物の同定、種別個体数の計数および湿重量の測定を行った。また、貝殻礁の間隙部分において懸濁態有機物の目詰まりによる水質変化が予測されたので、貝殻礁内の海水を採水し、礁内の海水を分析した。分析の結果、試験礁と同様に礁内での貧酸素などの影響がなく、蛸集生物の致死要因とはなりえないことを確認した。設置した貝殻礁は、海水と接する面積で見ると内部（側面が海水と接しない）と外部（隅角部で側面2面が海水と接する）に分けられる。まず、海面と接する面が少ない内部の貝殻礁の蛸集状況を検討した。貝殻礁には、礁内に沈降する懸濁態有機物を餌とするスピオ科の1種などの環形動物やコノハエビなどの節足動物の蛸集が確認された。さらに礁内には、これらを餌とするカジカ・チジミボラなどが確認され、貝殻礁内での食物連鎖の形成が伺える。しかし、貝殻礁の1基当たりの蛸集生物は環形動物で数百個体、節足動物で数千個体であり試験礁と比較すると蛸集量が少量であった。そこで、浄化能力をもつ環形動物と節足動物について平均蛸集量・平均密度について着目した。平均蛸集量の算定は、貝殻礁では直近の調査である設置後 23 ヶ月（2009年10月）まで、試験礁では設置後 22 ヶ月（2008年9月）までの蛸集量を対象とし、礁1基当たりの平均蛸集量の値を算出した。算出の結果、表-6.1に示すように貝殻礁の平均密度は、試験礁と比べ平均蛸集数では約3.5分の1、平均密度では約20分の1であると算出された。理由としては、回収した貝殻礁が中心部分であり、海水に接する側面がないことから、貝殻礁の内部まで生物蛸集が進んでいないと思われた。そこで、貝殻礁の内側と外側で蛸集状況に差があると考えられたので、2009年の現地調査で内側・外側3基ずつ貝殻礁を回収し、環形動

表-6.1 貝殻礁の生物蛸集数と蛸集密度

	貝殻礁 (平均蛸集数)	試験礁 (平均蛸集数)	比率
節足	2,829 個体/礁	9,930 個体/礁	1 : 3.51
環形	308 個体/礁	1,029 個体/礁	1 : 3.34
	貝殻礁 (平均密度)	試験礁 (平均密度)	比率
節足	1.13 個体/cm <sup>2</sup>	24.82 個体/cm <sup>2</sup>	1 : 21.93
環形	0.12 個体/cm <sup>2</sup>	2.57 個体/cm <sup>2</sup>	1 : 20.90

表-6.2 貝殻礁の内・外側での生物蛸集状況

	貝殻礁 (内部) (平均蛸集数)	貝殻礁 (外部) (平均蛸集数)	比率
節足	554 個体/礁	1,105 個体/礁	1 : 2.00
環形	501 個体/礁	1,497 個体/礁	1 : 2.99
	貝殻礁 (内部) (平均湿重量)	貝殻礁 (外部) (平均湿重量)	比率
節足	18.03g/礁	92.51g/礁	1 : 5.13
環形	19.80g/礁	53.62g/礁	1 : 2.71

物と節足動物について貝殻礁1基当たりの平均蛸集数・平均湿重量を算出した。その結果、表-6.2に示すように海水に接する面が多い外側の貝殻礁で蛸集生物は、内側の貝殻礁と比較して、節足動物では約2倍、環形動物では約3倍と多いことが確認された。また、湿重量では節足動物で約5倍の蛸集量が確認され、蛸集数よりも差が拡大している。これは、カラフトシマモエビ等の比較的大型の節足動物が蛸集したことによる。

これらの結果では、大型の貝殻礁の内部では蛸集生物の進入が遅く、蛸集量が少量であるので、炭素・窒素浄化率が低くなる。一方、貝殻礁の外部では蛸集生物の進入がみられ、炭素・窒素浄化率が高くなる。このため、側面が全て海水に接する小型の試験礁と比較すると、単位面積当たりの蛸集量が少なく浄化率も低い状況である。よって、今後の実用化に向けた貝殻礁の製作に関しては、海水に接する表面積を増やす対策が必要である。

そこで、これらの欠点を補うよう改良を加えた実用型の貝殻礁を提案した。実証試験は、北海道日本海側の江良漁港において行った。既製の石カゴ(2.0m×3.0m×0.5m)を用い、網目からの貝殻の流出を防止するために、内側に目合い5cmのネットを取り付



写真-6.3 実用型の貝殻礁の製作・据付状況

けた。さらに、貝殻礁は海水と接する表面積を大きくすることが重要であることから、その工夫として貝殻を詰めない通水孔(直径 0.3m の筒)を配置した。通水孔の配置は 0.5m 間隔に 2m 幅に 3 列(4 分割)、3m 幅に 5 列(6 分割)の計 15 孔を配置した。また、通水孔の効果を検証するため、2m 幅に通水孔を連続した「通水路型」と、通水孔 2 孔の貝殻礁も製作した。貝殻礁製作の一連の作業は、①工場目合い 5cm ネットを取り付けた本体金網にネット付通水孔をコイル鉄線で固定、②ホタテ貝殻の投入、③本体金網の上蓋をコイル鉄線で取り付け、上蓋と通水孔をコイル鉄線で連結し、貝殻礁が完成した。これらの工夫により、貝殻礁 6 個製作が 1 日の作業で全て終了できた。その後、④石カゴの据付と同様に作業船を使用し、つり杵を用いることで容易に貝殻礁の据付が完了した(写真-6.3)。

設置から約 2 ヶ月経過した 2009 年 9 月 30 日と 3 ヶ月経過した 11 月 6 日に蛸集生物調査を行った。また、9 月から 11 月の期間に貝殻礁設置箇所においてセジメントトラップによる有機物負荷の調査を行った。その結果、江良漁港での蛸集生物量は、環形動物(湿重量)では設置後 2 ヶ月が  $1.71\text{mg}/\text{cm}^2$ 、設置後 3 ヶ月が  $19.1\text{mg}/\text{cm}^2$  と約 11 倍に増加した。優占種は、ウロコムシやミズヒキゴカイであった。節足動物(乾燥重量)では、設置後 2 ヶ月で  $1.64\text{mg}/\text{cm}^2$ 、設置後 3 ヶ月が  $2.43\text{mg}/\text{cm}^2$  と約 1.4 倍に増加した。優占種は、ヤマトモエビやコソボソコエビであった。設置から 3 ヶ月経過した江良漁港の蛸集生物量は、落石漁港の同期間(07 年 2 月)と比べ環形動物では

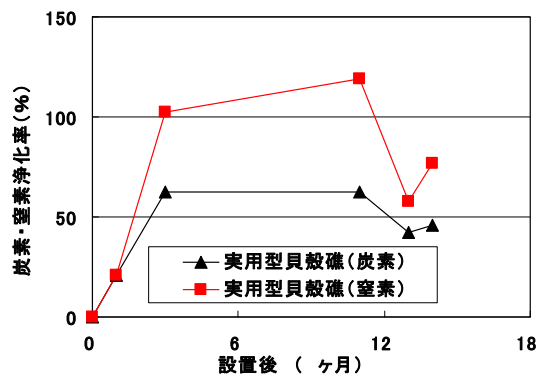


図-6.2 実用型貝殻礁の浄化率

$10.7\text{mg}/\text{cm}^2$  の 1.8 倍、節足動物では  $0.2\text{mg}/\text{cm}^2$  の約 12 倍と大きい値となった。

蛸集した環形・節足動物の浄化能力と負荷量の比を浄化率として図-6.2 に示した。負荷量は、漁港内に設置したセジメントトラップにより測定し、炭素  $0.225\text{mg}/\text{cm}^2/\text{day}$ 、窒素  $0.027\text{mg}/\text{cm}^2/\text{day}$  であった。図より、炭素で 50%、窒素では 100%を超える浄化率が確認された。

## 6.2 港内物質循環のモデル化と定量的評価

前節では、港内の水質底質浄化対策であるホタテ貝殻礁の現地実証試験を行い、その浄化効果を検証した。この効果を定量的に評価するため、港内の食物連鎖網の解明を行い、ホタテ貝殻礁をとりまく港内水域の窒素・炭素循環を数値モデル化した。これを現地に適用し、港内の物質循環を解明した。

貝殻礁の生物蛸集等による炭素・窒素の物質循環構造について、一般の生態系モデルにホタテ貝殻礁のサブモデルを追加する構成で検証した。サブモデルでは貝殻礁の負荷として、系外からの流入・沈降、蛸集生物の排泄・自然死亡があり、貝殻礁での消費として蛸集生物・高次生物の摂餌行動を考慮した。消費量と負荷量の差異が少ない場合、物質循環がうまく機能して炭素・窒素を効率的に浄化し、不要な炭素・窒素の滞留を抑えることができるといえる。一方、消費量と負荷量の差異が大きい場合、物質循環機能が次第に低下し、周辺環境の底質悪化が懸念される。

物質循環の算出方法について、系外からの流入は貝殻礁近傍にセジメントトラップを設置し、堆積物の湿重量と炭素・窒素の含有量を分析して懸濁物の負荷量を算出した。蛸集生物の自然死亡については

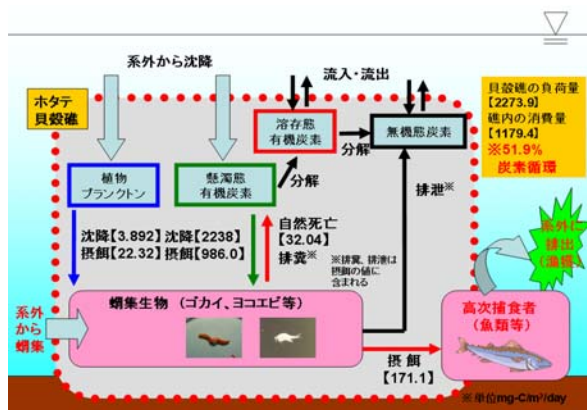


図-6.3 貝殻礁を設置した場合の炭素循環

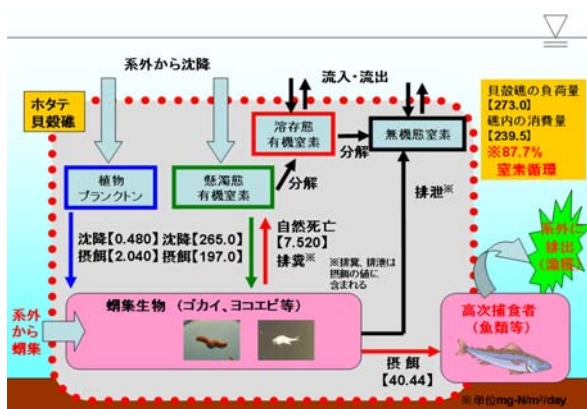


図-6.4 貝殻礁を設置した場合の窒素循環

蛸集生物の優占種のゴカイとヨコエビの寿命を1年5)とし、斃死した生物は全て懸濁物になるとした。また、ゴカイのTOC値は384.8mg-C/g(d)、T-N値は87.8mg-N/g(d)、ヨコエビのTOC値は303.5mg-C/g(d)、T-N値は73.3mg-N/g(d)で、死亡生物の乾燥重量と分析値を乗じた値とした。

一方、消費要因である蛸集生物の摂餌行動は、貝殻礁の優占種であるゴカイとヨコエビの室内試験で得た浄化能力と蛸集量を乗じた値とした。高次生物の摂餌行動は、安定同位体比分析で概ねゴカイやヨコエビを摂餌している魚類を対象とし、摂餌量は文献から魚類の湿重量の8.71%/dayとし、これにゴカイとヨコエビの分析値を乗じた値とした。

以上から貝殻礁を設置した場合、図-6.3、6.4に示すように負荷量について炭素は2,273.9mg-C/m<sup>2</sup>/day、窒素は273.0mg-N/m<sup>2</sup>/dayと算出された。一方、消費量については蛸集生物の摂餌行動と魚類の摂餌行動で、炭素は1,179.4mg-C/m<sup>2</sup>/day、窒素は

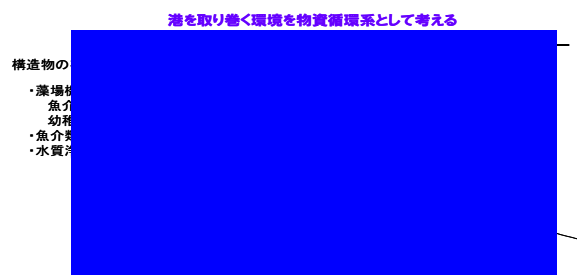


図-7.1 立地環境条件に適した港湾・漁港の総合的な水域環境整備

239.5mg-N/m<sup>2</sup>/dayと算出された。これは、貝殻礁に負荷される炭素の51.9%、窒素の87.7%が貝殻礁内で消費されることを示しており、貝殻礁の設置で炭素・窒素の物質循環が機能して効率的に炭素・窒素が浄化されることが定量的に示されたといえる。

### 7. まとめ

北海道に位置する港湾・漁港では、その立地環境や利用形態に応じて様々な問題点、課題が生じており、それぞれ個別に対策を講じることになる。第3章では、寒冷地における港湾漁港水域を環境諸条件ごとに分類し、適正で効率的な整備・管理方策について整理した。第4章以降では、分類された各整備・管理方策について、それぞれ現地実証試験に基づく効果の検証を行なった。これらの成果は、港湾・漁港周辺海域の生産性の向上及び港内水環境保全に配慮した各種構造物の整備(図-7.1)を行う上で、その計画、設計等に寄与するものである。

なお、本研究は海の生物や自然環境を対象としており、不確定要素も多く、また、制御不可能な現象が生じやすい。藻場についても、数年を経過して種が遷移するため、今後は長期的な環境変動下における効果の持続性について検討する必要がある。その際には、順応的な管理<sup>16)</sup>の考えに基づいて、事業と連携して長期的にモニタリングを行うことが有効である。さらに、港湾・漁港周辺海域の生物の動態や自然現象に関するデータを蓄積するとともに、適正で効率的な管理方策についても検討を深める必要がある、次期計画において実施する予定である。

### 参考文献

- 1) 北海道庁水産林務部：平成21年北海道水産現勢、pp.1-56、2009.
- 2) 水産庁：平成17年度水産の動向及び平成18年度水産



### 5.3 寒冷地港内水域の水産生物生息場機能向上と水環境保全技術の開発

- 施策、2006.
- 3) 日本水産資源保護協会：漁業影響評価指針、pp. 1-35、2005.
  - 4) (社) 寒地港湾技術研究センター：寒冷地における自然環境調和型沿岸構造物の設計マニュアルー藻場・産卵機能編一、1998. 11.
  - 5) 谷口和也(1999)：磯焼けの機構と藻場修復、恒星社厚生閣、pp59-60
  - 6) 竹田義則、坪田幸雄、永田晋一郎、袖野宏樹(1999)：自然環境調和型構造物における藻場の流速とウニの食害に関する研究、海岸工学論文集、第 46 巻、pp. 1221-1225.
  - 7) 社団法人全国漁港漁場協会(2007)：磯焼け対策ガイドライン、pp112.
  - 8) 丸山修治、酒井和彦(2007)：釧路港エコポートモデル事業について、協会報「海洋調査」2007年1月号、(社)海洋調査協会.
  - 9) 伊東公人、永田晋一郎(1997)：北海道におけるハタハタ産卵の実態、開発土木研究所月報、No. 531, pp36-40.
  - 10) 渡辺安廣(1995)：1.5 ハタハタ、北海道中央水産試験場事業報告書、pp21-27.
  - 11) 福田敏光(1995)：雄冬岬で再補されたハタハタ、試験研究は今、No. 087.
  - 12) 杉山秀樹(1995)：日本の希少な野生水産生物に関する基礎資料(Ⅱ)、日本水産資源保護協会、pp. 247-256.
  - 13) 渡辺安廣(1996)：道西日本海におけるハタハタの資源管理について、育てる漁業 No. 282, pp2-9.
  - 14) 佐藤朱美、足立久美子(2005)：貝殻礁に蝸集したヨコエビ群による有機物除去能力の試算、平成 17 年度日本水産工学会、pp. 107-108.
  - 15) 岡本健太郎・山本潤・三森繁昭(2008)：ホタテ貝殻礁に蝸集した生物による有機物除去能力の検討、平成 20 年度土木学会全国大会、2008
  - 16) 東京大学 21 世紀 COE プログラム「生物多様性・生態系再生研究拠点」：順応的管理の理論と実践、東京大学海洋研究所共同利用シンポジウム、pp. 1-16、2004.