

北海道日本海沿岸における 磯焼け箇所への藻場回復について

— 寿都漁港の総合的な磯焼け対策施設の検討・実施報告 —

小樽開発建設部 小樽港湾事務所 第一工務課 ○松野 健
今林 弘
(独) 土木研究所 寒地土木研究所 水産土木チーム 佐藤 仁

北海道の日本海沿岸では、栄養塩の乏しい海域特性及び冬季の水温上昇に伴うウニの被害に起因する磯焼けが発生しており磯根漁業に深刻なダメージを与えている。寿都漁港においては、これまで藻場の創出機能を付加した護岸の整備を行ってきた。しかしながら、海域の高水温状態など近年の予想を上回る環境変動により、護岸施設においても磯焼けの影響を受け藻場機能の低下が課題となっている。

本報告は、寿都漁港において平成24年度より着手した上記施設の改良を含む磯焼け対策施設の計画及び整備手法並びに効果の検証方法について検討したものである。

キーワード：磯焼け、嵩上げ、海中林、ウニ侵入防止フェンス

1. はじめに

藻場が大規模に消失するいわゆる磯焼け状態が全国的に発生し問題視されている。藻場は海洋生物の産卵場、摂餌場あるいはそれ自身が基礎生産者としての役割を持つ等、様々な機能が複合的に作用しており、良好な海域環境を創造するための基盤となるものである¹⁾。

これまで北海道内では、磯焼け対策として10年以上前から防波堤や護岸等への藻場造成機能を付加した自然環境調和型沿岸構造物が整備されてきた²⁾。また、これら構造物の初期段階での海藻着生効果については、明田ら³⁾により報告されている。しかしながら、基質の経年劣化や近年の水温上昇等により藻場造成効果の低下が懸念されている中で、長期的な調査事例は少ない。また、熊谷ら⁴⁾は、整備後10年以上経過したこれらの構造物を対象にモニタリング調査を行い、こうした問題点を指摘した。

一方、最近では水産基盤整備事業において、漁港漁場を整備する際の重点的課題として、豊かな生態系を目指した水産環境整備の推進が必要とされている。これにより、構造物への水産生物の生息環境空間の包括的な改善・修復・創出などの機能付加が益々求められている。

本報は、漁港漁場整備事業における施設の機能保全対策とあわせて水産生物の生育環境づくりを推進することを目的とした整備と、寿都町が行うウニの移植等のソフト施策とも連携した磯焼け対策について検討を行い、平成24年度より事業着手した寿都漁港磯焼け対策事業の整備概要及び効果の検証手法について報告を行うもの

である。

2. 寿都漁港磯焼け対策事業の経緯

(1) 水産環境整備

水産庁における新たな水産基盤整備事業においては、以下に示す1)~3)の3本柱を基軸に整備を進めることとしている。

1) 災害に強く安全な地域づくりの推進

- ① 東日本大震災の被災地における漁港漁村の復旧復興
- ② 東日本大震災を踏まえた漁港の緊急防災対策

2) 水産物の安定的な提供・国際化に対応できる力強い水産業づくりの推進

- ① 水産物の流通拠点漁港における衛生管理対策の推進
- ② 既存の漁港施設の長寿命化対策の推進
- ③ 漁村の生活環境等の改善

3) 豊かな生態系を目指した水産環境整備の推進

- ① 水産生物の生活史に対応した藻場・干潟等の良好な生息環境を創出する整備の推進。

この内、3)に示した水産環境整備の推進にあたっては、海洋・沿岸域における水産資源の増大や豊かな生態系を維持・回復する観点から、a)環境を重視する視点から基盤を整備し生態系全体の生産力の底上げをめざす。b)これまでの「点」的な考え方から、対象とする水産生物の動態、生活史を踏まえた生息環境空間として対象範囲を捉え直す。c)資源や環境の変動を踏まえつつ、良好な状

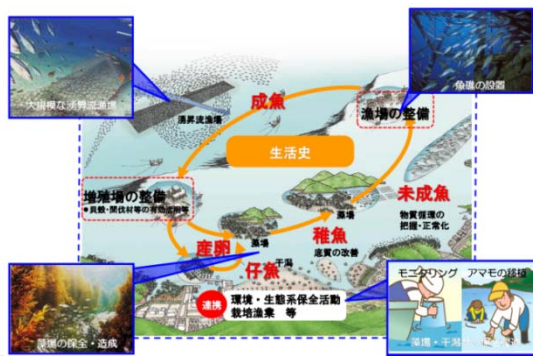


図-1 水産環境整備のイメージ図⁵⁾

態を維持・保全していくための柔軟な整備・管理を行う。ことを目標としている(図-1)。これらの方針を踏まえ、漁港における水産基盤整備事業においては、生育環境に配慮した漁港づくりを積極的に行う必要があると考えられる。よって、北海道日本海沿岸の磯焼け地帯においては、海域の環境を十分調査することで磯焼けの原因を解明し、藻場形成の阻害要因を的確に把握した上で、状況を改善するための手法を検討する必要がある。

(2) 寿都周辺における磯焼けの原因

著者ら⁶⁾は寿都漁港背後小段付傾斜堤における藻場造成機能について、施設完成から現在までの長期的な変遷について検討した。この内、寿都漁港背後小段の既設天端(水深-3.2~-3.9m)に着生したホソメコンブ(*Laminaria religiosa* Miyabe)の現存量を図-2に示す。図の横軸は背後小段整備直後の1998年からモニタリング調査が実施さ

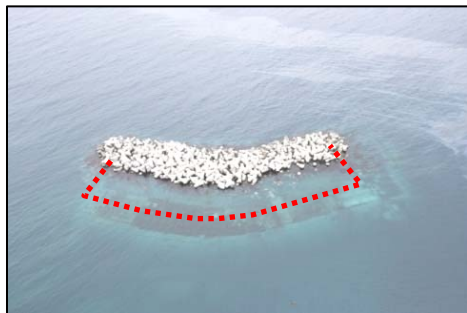


写真-1 背後小段付傾斜堤(赤点線部が背後小段)

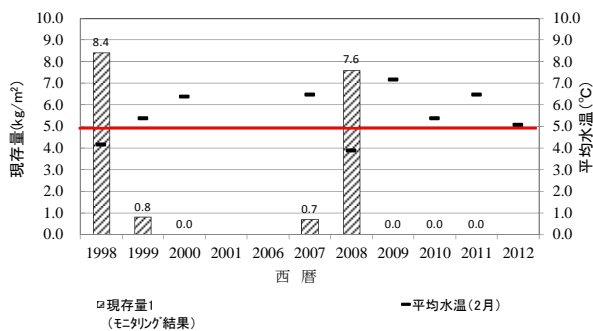


図-2 ホソメコンブの現存量と冬期水温

れた年をとり、縦軸は各年のホソメコンブ繁茂期の現存量とその年の冬季(2月)の平均水温をプロットした。なお、図は直近のモニタリング調査の結果も追加して示している。

背後小段上は天然岩礁以上の藻場造成効果を有しているが、その年の冬季水温(5°Cが境界)に強く依存しており年変動が大きい。この理由として、背後小段上は当該海域の水産有用種でかつ植食動物でもあるキタムラサキウニ(*Strongylocentrotus nudus*)が高密度に生息していること、さらには、冬季の高水温により本来休眠状態であるはずのキタムラサキウニの摂餌が活発となることから、海藻の幼芽・生長期に悪影響を与えているといえる。

近年の北海道日本海沿岸のこうした高水温状態が続く環境下では、天然藻場を含めて海藻の着生が少ない磯焼け状況にあり、背後小段の藻場機能も失われている。従来の構造物では、この予想を上回る水温上昇により、キタムラサキウニの被害が顕著であり、あわせて既存構造物上の流動環境ではウニの摂餌活動の抑制には不十分であることが判明している。

(3) 磯焼け対策の手法選定

北海道日本海沿岸における磯焼け対策の手法について図-3に示す。対策手法は、前述したウニを対象とした植食動物対策や藻場の創出と繁茂促進を積極的に行うための構造形式の工夫、基質の工夫、栄養塩・鉄等の供給が挙げられる。この内、寿都漁港においてこれまで行われてきた背後小段付傾斜堤の整備は、構造形式の工夫による対策として、既に北海道日本海沿岸の磯焼け海域において様々な取り組みが実施されている。

本事業実施箇所である寿都町を含む北海道後志管内において、地元市町村や漁業協同組合などが実施している主な磯焼け対策の内容を表-1に示す⁷⁾。ウニ対策における除去や防御(フェンス・海中林)、基質の更新や工夫および施肥が多く実施されている。しかしながら、これらの対策は、海域の環境変動により、例えば効果が限定的だったり、持続性が得られなかったりと、地元市町村において事業実施に窮している現状にある。また、防波堤背後小段や嵩上げ礁などが該当す

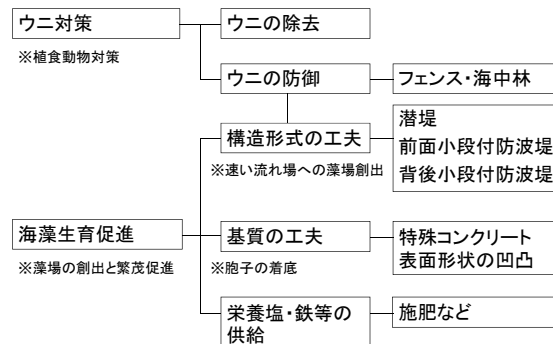


図-3 北海道日本海沿岸における磯焼け対策

表-1 北海道後志管内沿岸の主な磯焼け対策

地区名	実施年度	事業内容	実施主体
小樽市	H16～H18	嵩上げ礁	北海道
	H22～H24	チェーンによる岩壁剥離	小樽市・小樽市漁協
	H22～	鉄製棒による岩壁剥離	小樽市漁協
余市町	S50～	コンブ母藻設置	余市郡漁協
	H22～	ウニ防止フェンス設置、ウニ除去	余市町磯焼け対策協議会
	H22～	海中林(延縄式、エビ籠漁業の廃ロープを利用)	余市郡漁協
古平町	H22～	海中林(延縄式)	東しゃたん漁協
積丹町 美国	H21～H25	環境・生態系保全活動支援事業(ウニ除去、栄養塩供給(①産業土+栄養塩、②シエル+栄養塩)、母藻設置、種苗投入(シエル+コンブ種))	美国・美しい海づくり協議会
積丹町 余別	H22～H26	環境・生態系保全活動支援事業(ウニ密度管理、海中林)	余別・海HUGくみだ
神恵内村	H21～H25	環境・生態系保全活動支援事業(コンブポアバック設置、種苗生産・投入(シエル+コンブ種)、ウニ密度管理)	神恵内の海を守る会
	H21～H22	生分解性素材の藻場再生への利用推進方策に掛かる調査(分解性ブロックによる施肥、遮光シート設置、ウニ除去)	北海道開発局
	H22～H24	藻場LANDプロジェクト(ウニフェンス設置、ウニ移植、コンブポアバック設置、コンブ苗播設置)	神恵内村
	H24～	嵩上げ礁	北海道
泊村	H19～H20	無機塩類供給による磯焼け対策試験(ビール殻りかすによる栄養塩供給、海中林設置、コンブ、スホアバック設置、ウニ除去、新基質(ポーラスコンクリート)設置)	泊地域磯焼け対策推進協議会
	H21～H22	液肥による栄養塩供給、海中林設置、高圧ジェット洗浄機による岩壁剥離	古宇郡漁協(協議会事業を組合で継続)
岩内町	H20～H21	チェーン振りによる岩壁剥離	岩内町
	H21～	海中林(延縄式)	岩内町
寿都町	H16～H17	嵩上げ礁	北海道
	H19～	施肥ユニット(鉄鋼スラグ+腐植土+水産加工残渣)設置	寿都町漁協
	H21～H25	環境・生態系保全活動支援事業(ウニ密度管理、栄養塩供給(鉄鋼スラグ+魚かす+腐植土))	寿都の海を豊かにする会
	H22～	施肥(鉄製棒に麻袋(魚かす+木製チップ)を入れたもの)設置	寿都町
	H24～	寿都漁港における磯焼け対策(ウニ防止フェンス、ウニ密度管理、海中林、背後小段嵩上げ)	北海道開発局
島牧村	H20	施肥ユニット(鉄鋼スラグ+腐植土)設置	島牧漁協
	H23～	施肥(木質腐葉土+再生ガラス材)	(株)ミツウマ

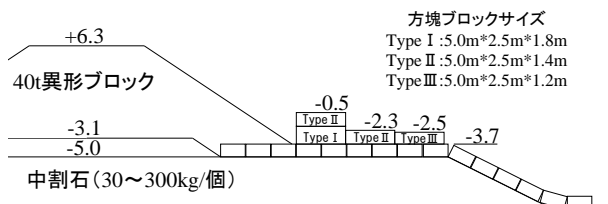


図-4 ブロック設置による実証試験断面



写真-2 嵩上げ施工状況



写真-3 海藻着生状況(2012.5)

る構造形式の工夫は、事業規模が大きいことから市町村単独での実施は非常に困難である。よって、大規模な藻場造成の整備には国や北海道がその役割を担う必要がある。

以上より、既存背後小段天端の嵩上げ改良を行い、流動環境を海藻繁茂に適した環境に改善する整備を行うこととした。さらに、寿都町が行うキタムラサキウニの移植等のソフト施策とも連携した事業も実施する。具体的には、①藻場機能が失われた既存背後小段の嵩上げ改良による施設整備、②ウニ除去、侵入防止フェンス設置による磯焼け地帯の天然岩礁での藻場回復、③海中林による海藻の増殖とウニへの餌料供給の3施策とした。次に各施策の概要について述べる。

3. 総合的な磯焼け対策事業の概要

(1) 既存背後小段の嵩上げ改良による流動促進

水深が浅く、波浪流速が大きい場所では、ウニは海藻を摂餌しにくくなる。流動促進は、近傍にある天然藻場の水深や流動環境を考慮して投石やブロック設置を行い、嵩上げすることによって藻場を回復させる手法である⁸⁾。

実際に寿都漁港背後小段において、嵩上げの効果が発現されるかどうかを事前の実証試験によって確認した。実証試験は、2010年9月に図-4、写真-2に示すとおり、既設背後小段天端上にL 5.0 m×B 2.5 m×H 1.2～1.8 m

の根固方塊ブロックを計8個設置し、-0.5 m、-2.3 m、-2.5 mの異なる天端水深を持つ小段を作った。

続いて、施工後よりホソメコンブの幼芽期にあたる冬季と繁茂期である夏季において海藻着生状況をモニタリングした。結果の一例として、直近の海藻繁茂期にあたる2012年5月における天端水深-0.5mに設置したブロック上面の状況を写真-3に示す。既設天端部は海藻の着生が見られず磯焼け状態のままであるが、天端水深-0.5mではホソメコンブやワカメを始めとする多種類の海藻が着生しており、嵩上げを行うことによる効果を確認することができた。

以上のことから、既存背後小段の嵩上げ整備を施設全

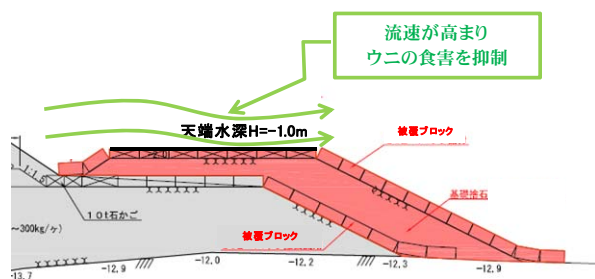


図-5 背後小段部の嵩上げ断面図

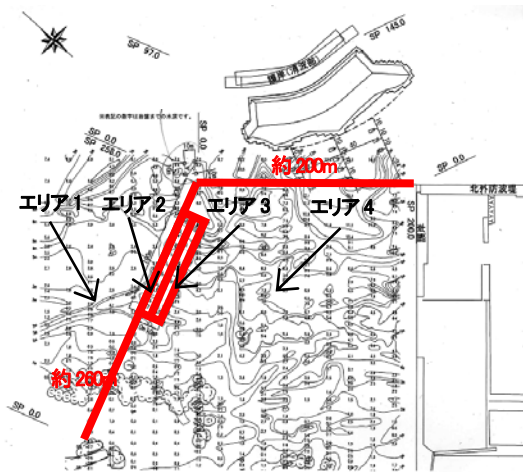


図-6 ウニ防止フェンス配置箇所

体に配置することを計画した。本施設における嵩上げ整備断面図を図-5 に示す。既設構造断面（灰色）に対して赤色で示すとおり、基礎捨石と被覆ブロックを用いた嵩上げを行い、流動環境を改善する構造を設定した。天端水深は-1.0m を基本としているが、天端水深を変化させた部分も設定している。これにより、モニタリングによる海藻着生の特性や持続性を勘案しながら、最終的な構造を決定していくことが重要であると考え。

(2) ウニ侵入防止フェンスとウニ密度管理

ウニの棲息密度が高く、天然岩礁のごく限られたエリアの藻場をウニの食害から保護するためには、ウニ除去、



写真-4 ウニ侵入防止フェンスの構造



写真-5 ウニ侵入防止フェンス設置状況

侵入防止フェンス設置が有効と考えられている。実際に、伊東ら⁹⁾が道南の江良漁港で行った実証試験においても、ウニ除去の効果が確認されている。図-6 にウニ侵入防止フェンス（赤線）の配置箇所を示す。設置は、寿都漁港西側の背後小段付傾斜堤の背後域の天然岩礁とした。ウニ侵入防止フェンスは、写真-4 に示すとおりチェーンに刺網を取り付けた構造としている。このフェンスを写真-5 に示すとおり海底にアンカーボルトで設置し、藻場回復エリアへのウニの侵入を防止することとする。

また、ウニ侵入防止フェンスを組み合わせ、エリア1～4の4区画を設定した。これは各エリア内のウニを予め除去してウニ密度を調整・管理する目的で設置したものである。これにより、ウニの個体数の違いによる海藻への食害状況を把握することにした。

(3) 海中林

海中林は、海域の中層に海藻育成ロープを設置し、ウニの食害から保護された空間において藻場を造成する手法である。北海道日本海沿岸では、古くからマコンブ (*Laminaria japonica* Areschoug) の養殖として海中林が用いられている。そこで、道南の福島海域で実施されているマコンブ養殖の実態について聞き取り調査を行った。それによると、

- ①海中林は、養殖ロープを平行に配した延縄式を採用している。
- ②1施設の規模（養殖ロープ延長）は約200mで、10m間隔で浮子（ボンデン）を配置している。
- ③養殖ロープの材質は、一般的に石油系のポリプロピレン（PP）またはポリエチレン（PE）であり、ロープの径は約21～24mmである。
- ④施設の設置水深は約10～20mである。
- ⑤確実にコンブを生育させるため、種付きのロープを使用している。

であることが分かった。

これらを踏まえ本事業は、図-7 及び図-8 に示すとおり、背後小段付傾斜堤の背後域において、海中林施工-I～IIIの3タイプの延縄式海中林を設定した。海中林施工-Iは、水深約-10mの位置に、赤線で示した延長10mのロープ（φ21mm）を-1.0m、-3.0m、-5.0m、-7.0m、-9.0mの5水深に配置した（L-1～L-5）。また、海中林施工-IIは水深-1.0mの一定水深において、ロープの径、撚り方、メンテナンス（海藻着生終了後のロープ洗浄の有無）等を変化させた6種類のロープを配置した（L-6～L-11）。さらに、海中林施工-IIIは水深約-5mの位置に、同じく赤線で示した延長10mのロープ（φ21mm）を-1.0m、-3.0m、-5.0mの3水深に配置した（L-12～L-14）。なお、タイプI・IIとタイプIIIは、設置箇所の違いにより波あたりが違う環境になっている。これにより、ロ

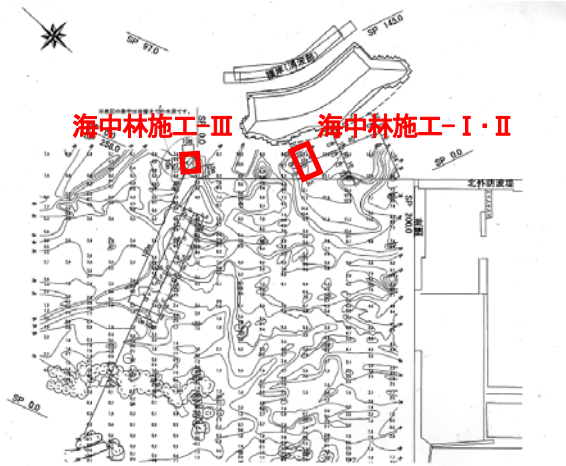


図-7 海中林の設置箇所

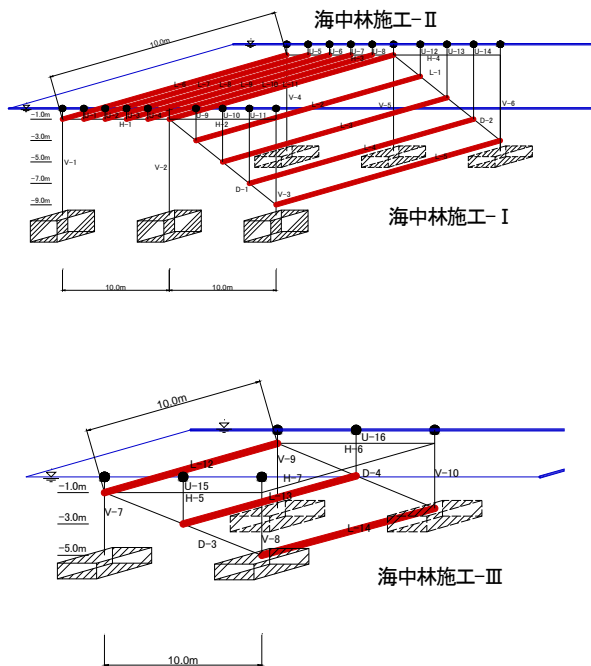


図-8 海中林の構造

ロープの設置水深や性状等の違いによる海藻着生状況を把握し、最適な海中林の設置・構造条件を把握することとする。最後にロープの設定条件一覧を表-2に示す。

表-2 海中林（ロープ）の設定条件

施工区	ロープ番号	水深	環境条件							
			波当たり強弱	ウニ多寡	光量子量多寡	撾り方	径	ロープ形状	メンテナンス	その他
海中林施工-1	L-1	-1.0m	○	○	○	三つ打ち	21mm	あり		
	L-2	-3.0m	○	○	○	〃	〃	〃		
	L-3	-5.0m	○	○	△	〃	〃	〃		
	L-4	-7.0m	○	○	△	〃	〃	〃		
	L-5	-9.0m	○	○	△	〃	〃	〃		
海中林施工-2	L-6	-1.0m	○	○	○	三つ打ち	21mm	あり		
	L-7	-1.0m	○	○	○	〃	〃	なし		
	L-8	-1.0m	○	○	○	八つ打ち	〃	〃		
	L-9	-1.0m	○	○	○	〃	〃	あり		
	L-10	-1.0m	○	○	○	三つ打ち	24mm	〃		
	L-11	-1.0m	○	○	○	〃	21mm	〃	種付き	
海中林施工-3	L-12	-1.0m	○	○	○	三つ打ち	21mm	あり		
	L-13	-3.0m	○	○	○	〃	〃	〃		
	L-14	-5.0m	○	○	○	〃	〃	〃		

表-3 モニタリング調査

調査名	調査項目
海藻繁茂調査	海藻種、被度、現存量、ビデオ撮影等
ウニ密度調査	地点別、水深別等
物理環境調査	波高、流速、照度等
水質調査	水温、塩分、栄養塩等

(4) モニタリング調査による海藻着生効果の評価

以上述べてきた磯焼け対策施設について、その海藻着生効果の評価を行うために、海藻の最初の発芽期である2013年1月より表-3に示す内容のモニタリング調査を実施する。

今後、これらの調査結果を用いて、①背後小段天端の嵩上げ効果、②ウニ密度の違いによる海藻繁茂の特性、③水深別の海藻着生量の特性、④水温、水質、流動環境による藻場造成効果について検討する予定である。なお、上記の②～④の検討結果は、最終的に①の背後小段整備における藻場機能の回復手法の確立（嵩上げ天端の設定や基質の選定等）に繋がるものである。

4. 磯焼け対策事業の進め方

これまで様々な磯焼け対策が各地で実施されてきた。しかしながら、寿都漁港の背後小段でも見られるように、海藻の着生量は海域の環境によって年変動が大きい状態である。また、当初予想できなかった大規模な環境変動も相まって、対策効果の持続性が維持できない環境にある。さらに、対策効果の検証には長期的なモニタリング（監視）が必要とされるが、費用等から対策の成否を確認することが不可能な面もある。

つまり、一事業主体だけで複雑かつ広範囲な磯焼けを解消することは困難である。よって、本事業においては図-9に示すとおり、主体的に実施する機関のみならず多様な実施主体と連携しながら情報共有を図り、あらゆる経験や知見をもとに事業を進める必要がある。また、同時に藻場回復といった自然環境の再生だけでなく、住民の生活と海辺の関わりも含めた対策も必要である。このように、地元市町村との合意形成を図りつつ、総合的な磯焼け対策を進めることが必要と考えられる。

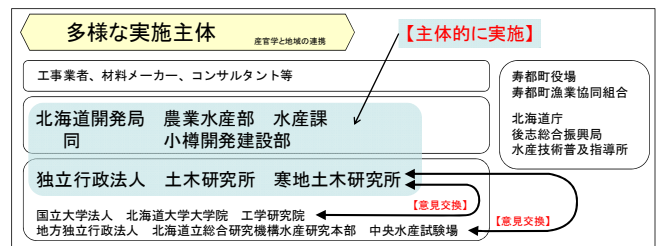


図-9 磯焼け対策事業の多様な実施主体

5. まとめと今後の課題

本報告では、藻場機能を有する背後小段付防波堤および周辺の天然藻場において、大規模な環境変動による同機能の低下を回復するための手法について検討し、磯焼け対策事業の構築を図った。近年の北海道日本海沿岸の高水温状態が続く環境下では、天然藻場を含めて海藻の着生が少ない磯焼け状況にあり、背後小段の藻場機能も失われている。この海域においては、磯焼けの持続要因であるいわゆる高密に分布するウニの食害が顕著であることから、高水温状態が継続されると藻場の回復が進展しないものと考えられる。

この対策として今回、既存背後小段天端の嵩上げ整備、周辺海域におけるウニ侵入防止フェンス、海中林の整備を立案し、磯焼け対策事業の実施に至った。

今後は、事業効果の確認及び持続性の検証を行うことはもとより、海域の条件（水温・栄養塩・流動等）の違いや大規模な変動による環境機能を検討し、他地域へも応用できる沿岸構造物の事前の施設整備計画や事後の維持管理計画および順応的管理¹⁰⁾に資する方策を確立する予定である。

参考文献

1) 向井 宏 (1996) : 藻場の生物群集(11)-沿岸環境と藻場-, 海洋と生物 107, 生物研究社, pp. 470-475.

2) (社) 寒地港湾技術研究センター (1998) : 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-藻場・産卵機能編-, pp.13-37.

3) 明田定満, 山本泰司, 小野寺利治, 鳴海日出人, 斉藤二郎, 谷野賢二 (1997) : 複断面構造を有する港湾構造物への海藻群落形成について, 海岸工学論文集, 第 44 巻, pp. 1131-1135.

4) 熊谷直哉, 佐藤 仁, 福田光男, 吉田 徹, 黄金崎清人 (2009) : 防波堤背後小段の藻場環境について, 平成 21 年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, pp. 63-66.

5) 水産庁、海洋・沿岸域における水産環境整備の技術検討会 (2010) : 水産環境整備の推進に向けて より抜粋.

6) 佐藤 仁, 山本 潤, 黄金崎清人, 鳴海日出人, 清野克徳, 山下俊彦 (2011) : 背後小段部を有する防波堤構造物における藻場回復手法の検討, 土木学会論文集 B2 (海岸工学) Vol. 67, pp. 1106-1110.

7) 北海道後志総合振興局 (2011) : 平成 23 年度後志管内磯焼け対策連絡会議資料.

8) 水産庁 (2007) : 磯焼け対策ガイドライン, (社) 全国漁港漁場協会, pp. 111.

9) 伊東公人, 坪田幸雄, 竹田義則 (1999) : 傾斜堤背後小段の海藻場へのウニの侵入状況について, 第 43 回北海道開発局技術研究発表会講演概要集, pp. 261-266.

10) (独) 寒地土木研究所水産土木チーム (2010) : 順応的管理手法による沿岸域の自然再生について, (独) 寒地土木研究所月報 No. 685, pp. 56-57.