

自然調和型施設における藻場の育成状況とCO2固定効果の検証について

農業水産部 水産課 ○ 安永 健太
木口 輝

本報文では、北海道内の第3種漁港、第4種漁港で整備した礼文西(元地)漁港、他6漁港の自然調和型施設における藻場の生育状況を把握し、藻場のCO2固定効果を検証した。各漁港の藻場の繁茂状況、藻場面積等の生育状況の整理結果とカーボンニュートラルに寄与するブルーカーボンの観点から藻場形成状況に対するCO2固定量の試算結果、及びその考察・評価を報告する。

キーワード：藻場生育状況、自然調和型施設、CO2固定量、ブルーカーボン

1. 背景・目的

水産庁では「漁港漁場整備長期計画（令和4年3月25日閣議決定）」により、「養殖場と漁港の一体的整備」、「資源管理と連携した漁場整備、藻場・干潟の保全・創造」を目指すことを掲げ、漁港内の水域を養殖生産や藻場造成等に積極的に活用していくことを推進している。漁港等の沿岸構造物によって形成される静穏域や構造物自体が水生生物にとって良好な生息空間となっており、これらの構造物に藻場機能等を付加することが、水産資源の増殖、沿岸域の環境保全・創造上極めて有効であると考えられている。このような中、北海道内の第3種及び第4種漁港において、既に「自然環境調和型施設」の整備が進められた事例が存在するものの、有効な構造やその効果等の知見は未だ不十分とされ、検証が続けられているところである¹⁾。

また、水産庁では平成6年度から藻場形成や水質保全に配慮した構造・工法を積極的に取り入れた「自然調和型漁港づくり推進事業」をモデル事業として実施しており¹⁾、現在、道内の第3種漁港及び第4種漁港では9漁港において、その整備事例が存在する。

これらのことから、既存の自然調和型施設を対象に、藻場造成機能の検証の一環として藻場生育状況を把握し、さらに漁港のカーボンニュートラルに向けた炭素吸収源（ブルーカーボン）として期待される藻場のCO2固定効果を検証することを目的に、各漁港の藻場の繁茂状況、藻場面積等の藻場生育状況の整理を行った。

2. 現地調査

(1) 対象漁港（対象施設）

対象漁港（対象施設）を図-1及び表-1に示す。なお、

YASUNAGA Kenta, KIGUCHI Akira

自然調和型施設とは、漁港施設としての機能を確保しつつ、周辺の天然藻場に配慮して構造物に藻場形成機能を付加した施設を指し、藻場が有する多様な機能を通じて、沿岸域の水産資源・生物多様性の維持に寄与することを目的に整備されたものである¹⁾。

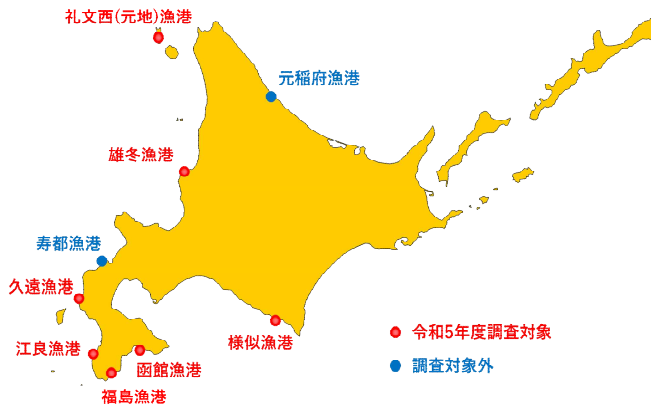


図-1 調査対象漁港位置図

表-1 対象施設の概要

漁港	施設	施設延長
礼文西(元地)漁港	北島防波堤の背後小段傾斜堤	L= 64 m
雄冬漁港	島防波堤の背後小段傾斜堤	L= 120 m
久遠漁港	島防波堤の背後小段傾斜堤	L= 150 m
江良漁港	西外防波堤の背後小段傾斜堤	L= 150 m
福島漁港	外東防波堤の背後小段傾斜堤	L= 360 m
函館漁港	北防波堤の二重堤	L= 130 m
様似漁港	西護岸の背後小段傾斜堤	L= 200 m

調査は、藻場の繁茂期を考慮し、令和5年6月21日～7月10日に実施した。なお、寿都漁港及び元稲府漁港については、令和5年度以前に他の手法で調査・検討が行われていたため、本調査では対象外としている。

(2) 調査手法・機器

現地調査は、藻場の状況を把握するために、表-2に示す仕様のUAVを用いた空中写真撮影を実施し、得られた空撮画像を基にオルソモザイク画像（以降、オルソ画像）を作成した。



図-2 UAV（マルチコプター）

表-2 使用機材の仕様

UAV（マルチコプター）		
メーカー	DJI	
型式	Phantom 4 RTK	
重量	1,391 g（バッテリー・プロペラを含む）	
最大飛行時間	約 30 分	
最大昇降速度	上昇 6 m/s、下降 3 m/s	
最大飛行速度	16 m/s	
適用限界高度	6,000 m	
モーター間の長さ	350 mm	
通信可能距離	7,000 m	
カメラ	センサー	1 インチ CMOS
	FOV	84 度
	焦点距離	判換算 8.8 mm/24 mm f/2.8~f/11
	解像度	3 : 2 (5,472 × 3,648) 4 : 3 (4,864 × 3,648)
【参考値】	【対地高度】	： 【地上分解能】
	30 m	： 約 0.8 cm
	60 m	： 約 1.6 cm
	100 m	： 約 2.7 cm
	150 m	： 約 4.1 cm

撮影は、送信機一体型タブレットにインストールされているアプリケーション DJI GS RTK（DJI 社製）を用いて飛行経路を設定し、自律航行により実施した。飛行実施にあたっては、航空法第132条等の関連法規を遵守した上で、離陸から撮影開始位置及び撮影終了位置から着陸までの飛行は、機体の挙動確認及び周辺の状況変化等へ柔軟に対応するために、手動操縦により行った。

(3) 調査方法

UAVを用いた対象施設周辺の空中写真撮影では、撮影対象施設が水中部分であり、標定点を設置することができないため、RTK測位（VRS方式）により自機位置の情報を取得可能な機体を使用することで、無標定でのオルソ画像作成の精度向上を図った。

UAVによる撮影の1事例として、雄冬漁港の対象施設の飛行範囲、標準断面図を図-3(1)～図-3(3)に示す。

(4) 海水透明度の確認

空撮により水中部の状況を確認するためには、調査実施地区の海水透明度が重要となるため、空撮実施直後に透明度板を用いて海水透明度の確認を実施した。透明度板を垂下する位置は、徒歩にてアクセス可能な防波堤の先端などとした。透明度板を水中に沈めていき、水面から見えなくなったときの深さ（m）が透明度となる。



図-3(1) 雄冬漁港の自然調和型施設 位置図

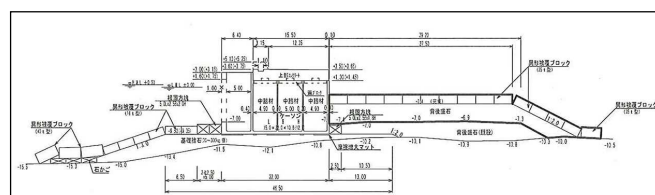


図-3(2) 雄冬漁港 島防波堤および背後小段傾斜堤断面図
（出典：北海道開発局 工事記録より）



図-3(3) 雄冬漁港の飛行範囲（引用：GoogleEarth）

(5) オルソモザイク画像作成

空撮により得た画像データを基に、図4の作業工程によりオルソ画像を作成した。なお、オルソ画像の1事例として、雄冬漁港の結果を図-5に示す。



図4 オルソ画像作成フロー



図5 雄冬漁港 オルソ画像

各対象施設の整備後に実施した調査結果から、当時の藻場分布状況を整理した上で、フリーのリモートセンシング画像処理ソフトウェアであるRSP（青山定敬^{※1} 製作）及びフリーのGISソフトウェアであるQGIS^{※2} を用いて、今回作成したオルソ画像から藻場分布面積を算出し、整備直後の状況と比較することで、自然調和型施設の整備効果を検証した。また、各漁港の藻場形成状況に対するCO₂ 固定効果を検証するため、CO₂ 固定量を試算した。

※1 日本大学生産工学部土木工学科教授

※2 QGIS プロジェクト (<https://www.qgis.org/ja/site/index.html>)

3. 調査結果

(1) 海水透明度の確認結果

各漁港の透明度水深と小段天端水深の比較を表-3に示す。表-3 より、福島漁港及び様似漁港においては、透明度が小段の天端水深より浅い結果となり、空中写真から対象施設を確認することができなかった。そのため、今回は藻場生育状況の確認ができず、今後の調査課題として整理した。

表-3 透明度水深と小段天端水深

	礼文西漁港 (元地地区)	雄冬漁港	久遠漁港	江良漁港	福島漁港	函館漁港	様似漁港
透明度水深 (水面下)	3.63m	7.59m	6.00m	4.20m	3.90m	3.80m	1.65m
小段天端水深	3.50m	1.53m	3.12m	3.72m	5.20m	0.10m	3.90m

(2) 藻場生育状況の整理結果

施設整備後の過去の調査では、面的に網羅した調査が実施されておらず、明確な藻場面積を算出していたものは久遠漁港（平成24年度）及び函館漁港（平成23年度）のみであったため、施設全体に調査点があり、海藻被度を計測している雄冬漁港及び江良漁港については、施設面積を乗じて藻場面積を換算した。礼文西漁港（元地地区）、福島漁港、様似漁港については、局所的な調査だったため、面積算出には至らなかった。

過年度の藻場生育状況の整理結果を表4に示す。

表4 過年度の藻場面積と海藻現存量の整理結果

漁港名	竣工年度 (整備年)	藻場面積 (m ²)	海藻現存量 (kg ww/m ²)
礼文西漁港 (元地地区)	平成11年度 (H7～H11)	— H12.8調査	3.4 H12.8調査
雄冬漁港	平成21年度 (H14～H21)	328.5 H24.7調査	— H24.7調査
久遠漁港	平成23年度 (H14～H23)	457.0 H24.6調査	6.0 H24.6調査
江良漁港	平成13年度 (H7～H13)	370.9 H11.8調査	3.9 H11.8調査
福島漁港	平成12年度 (H6～H12)	— H11.6調査	9.1 H11.6調査
函館漁港	平成23年度 (H21～H23)	624.5 H23.6調査	7.8 H23.6調査
様似漁港	平成7年度 (H5～H7)	— H8.8調査	11.6 H8.8調査

また、今回の調査の結果、対象施設上に海藻の繁茂が確認されたのは、雄冬漁港、江良漁港、函館漁港の3漁港のみであった。雄冬漁港では、海藻刈取り調査が未実施だったため海藻現存量の算出ができなかったが、その他は、刈取り結果から単位面積あたりの海藻現存量を算出した。過年度の藻場面積とオルソ画像により算出した藻場面積の比較を表5に示す。また、オルソ画像による解析結果の1事例として、雄冬漁港の結果を図6に示す。

表-5 過年度と2023年調査の藻場面積比較

漁港名	施設天端高 (m)	天端面 (m ²)	藻場面積 (m ²)		藻場面積率 (対天端面積)	
			過年度	令和5年度	過年度	令和5年度
礼文西漁港 (元地地区)	-3.50	532.0	-	0.0	-	0.0%
雄冬漁港	-1.53	2826.4	328.5	1891.5	11.6%	66.9%
久遠漁港	-3.12	484.0	457.0	0.0	94.4%	0.0%
江良漁港	-3.72	600.0	370.9	11.7	61.8%	2.0%
福島漁港	-5.20	1666.7	-	-	-	-
函館漁港	-0.10	834.5	624.5	80.9	74.8%	9.7%
様似漁港	-3.90	2960.0	-	-	-	-

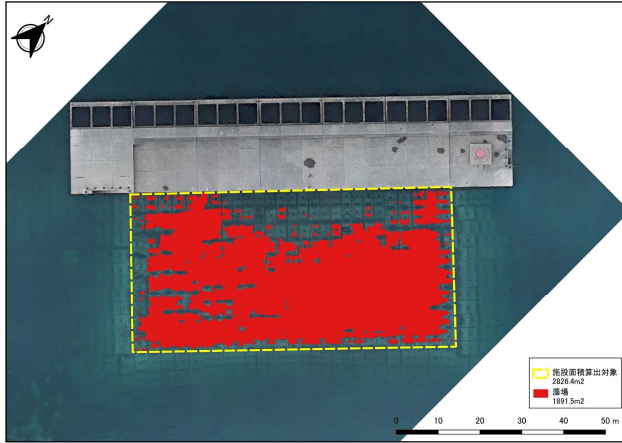


図-6 雄冬漁港 藻場状況

(3) CO₂ 固定量の試算

CO₂ 固定量の試算には、次の(式1)及び(式2)を用いた。(式1)に示される吸収ポテンシャルには、『海草・海藻藻場のCO₂貯留量算定ガイドブック(令和5年11月)』(以降、ガイドブック)に掲載されている藻場タイプ・海域区分別の吸収ポテンシャルの数値を使用し、さらに既往文献から藻場タイプ毎の標準的な湿重乾重比を整理し、単位面積あたりの海藻湿重量を乾燥重量に換算した。なお、本調査では、対象施設に生育する全ての海藻を対象としているため、生態系変換係数は1となる。

$$\begin{aligned} & (\text{吸収ポテンシャル}) \times (\text{海藻乾燥重量}) \\ & \times (\text{生態系変換係数}^{※3}) = \text{吸収係数} \quad (\text{式1}) \\ & (\text{吸収係数}) \times (\text{面積}) = \text{CO}_2 \text{ 固定量} \quad (\text{式2}) \end{aligned}$$

※3「生態系変換係数」：藻場によって付着藻類等タイプに含まれない他の藻類が多く含まれる場合、その藻類による吸収量を加味して補正するパラメータ。

CO₂ 固定量の試算に必要な藻場面積は、前述の藻場面積の算定結果より、雄冬漁港、江良漁港、函館漁港の3漁港において試算をした。雄冬漁港については、整備直後の調査で刈取り調査を行っていないため、ガイドブックに掲載されている藻場タイプ・海域区分別に標準化された吸収係数を用い、被度調査結果からワカメと紅藻類が1:1で生育していることを踏まえて、それぞれの吸収係数の1/2を合算したものを吸収係数とした。また、今回調査の藻場における試算でも、過年度と同じ吸収係数を用いることとした。試算したCO₂ 固定量を表-6及び

表-7に示す。

表-6 過年度の藻場面積におけるCO₂ 固定量試算結果

漁港名	乾燥重量 (g DW / m ²)	吸収ポテンシャル (g CO ₂ / m ² / 年)	吸収係数 (g CO ₂ / m ² / 年)	藻場面積 (m ²)	CO ₂ 固定量 (kg CO ₂ / 年)
雄冬漁港	-	標準化された 吸収係数を使用	55.4	328.5	18.2
久遠漁港	ホソメコンブ：605.7 ワカメ：412.5	マコンブ：0.068 ワカメ：0.062	65.6	457.0	30.0
江良漁港	ホソメコンブ：1043.5 ワカメ：30.4	マコンブ：0.068 ワカメ：0.062	47.2	370.9	17.5
函館漁港	マコンブ：261.6 ワカメ：187.0 アナアオサ：273.3 アカモク：451.2 ウミトラノオ：56.3 その他褐藻：173.6	マコンブ：0.068 ワカメ：0.062 小型緑藻：0.126 小型褐藻：0.063	102.1	624.5	63.8

表-7 令和5年度調査の藻場面積におけるCO₂ 固定量試算結果

漁港名	吸収係数 (g CO ₂ / m ² / 年)	藻場面積 (m ²)	CO ₂ 固定量 (kg CO ₂ / 年)
雄冬漁港	55.4	1891.5	104.8
江良漁港	47.2	11.7	0.6
函館漁港	102.1	80.9	8.3

4. 考察

調査結果から、雄冬漁港を除く6漁港の自然調和型施設で藻場の生育に適していない可能性が示唆された。その内、函館漁港を除く5漁港の自然調和型施設の天端水深は3m以深と深いため、光量不足や植食性動物による食圧によって海藻が十分に生育できず、藻場が形成されていないと考えられる。函館漁港においては、天端水深が0.1m程度であり、天端が干出する時間があることで、海藻の生育に影響を与えていると推察する。いずれの漁港においても、施設周辺の消波ブロックや岩礁帯には海藻が繁茂している状況が確認されていることから、水深が藻場の衰退に大きく影響していることが窺える。

唯一、藻場面積が増加している雄冬漁港については、整備直後に行われた調査時には遊走子の加入が十分でなかったことが考えられ、完成から時間が経過したことで遊走子の加入が進み、植食性動物の食圧を上回る成長と繁殖に成功した結果であると考えられる。

また、カーボンニュートラルに寄与するブルーカーボンの観点から、福島漁港は天端水深が極めて深く、様似漁港は濁度の高い地域であることから、UAVによる空中写真から藻場面積を得ることができないため、CO₂ 固定量を算出することが困難であった。CO₂ 固定効果の評価最小単位を上回るのは雄冬漁港のみであった。しかしながら、試算したCO₂ 固定量は104.8 kg - CO₂ / 年と評価最小単位である100 kg - CO₂ / 年を僅かに上回る程度であった。ブルーカーボンの評価最小単位は100 kg - CO₂ / 年が一般的であることから、令和5年度調査で対象とした自然調和型施設に繁茂する藻場面積では、カーボンニュートラルに対する効果はごく僅かであると考ええる。

各漁港に対する考察は、以下のとおりである。

(1) 礼文西（元地地区）

平成12年度調査と比較し、ウニによる磯焼けが確認されていたことから、ウニの食圧が大きい地域であると考えられる。周辺の消波ブロックや岩礁部にはコンブの生育が確認されていることから、周辺よりも天端水深が深い（DL-3.5 m）ことが海藻の生育に影響（光量、温度又は栄養の不足が発生）していると推察される。

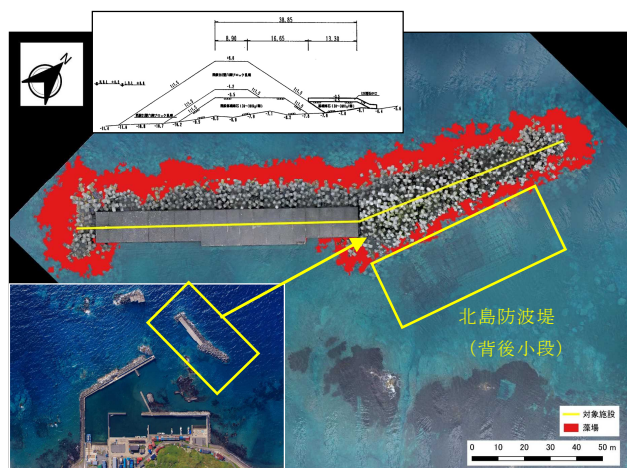


図-7 礼文西（元地）漁港 対象施設周辺の藻場状況

(2) 雄冬漁港

平成24年度調査時には海藻の遊走子の加入が不十分であったが、竣工から時間が経過し、遊走子の加入が進んだことで海藻の生育が進み、広く藻場が形成されたものと推察される。天端水深がDL-1.53 m と他漁港と比較しても浅いことが、海藻の生育を進めた要因の1つと考えられる。また、CO2固定量の試算では、現地調査の結果に基づく吸収係数の設定ではなく、ガイドブックに基づく吸収係数を用いていたが、今後、適切な評価を行う際には、潜水調査による海藻種の確認及び試料採取後の湿重量・乾燥重量の計測を行う必要がある。

(3) 久遠漁港

平成24年度調査との比較で、藻場の消失が確認されたが、周辺の消波ブロックや岩礁部にはコンブの生育が確認されていることから、周辺よりも天端水深が深い（DL-3.12 m）ことで光量等の不足が生じ、海藻の生育に影響していると推察される。また、堤頭部が巨大であり、自然調和型施設周辺の静穏性が非常に高いことから、外部から海藻遊走子が加入できないことが推察される。

(4) 江良漁港

平成11年度調査と比較し、ウニによる磯焼けが懸念され、ウニ駆除試験が実施された実績もあることから、ウニの食圧が大きい地域といえる。周辺の消波ブロックや岩礁部にはコンブの生育が確認されていることから、周辺よりも天端水深が深い（DL-3.72 m）ことで光量等の不足が発生し、海藻生育に影響していると推察される。

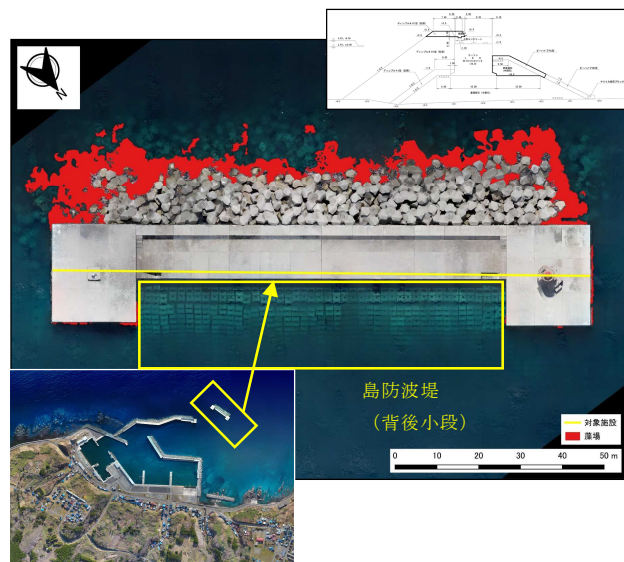


図-8 久遠漁港 対象施設周辺の藻場状況

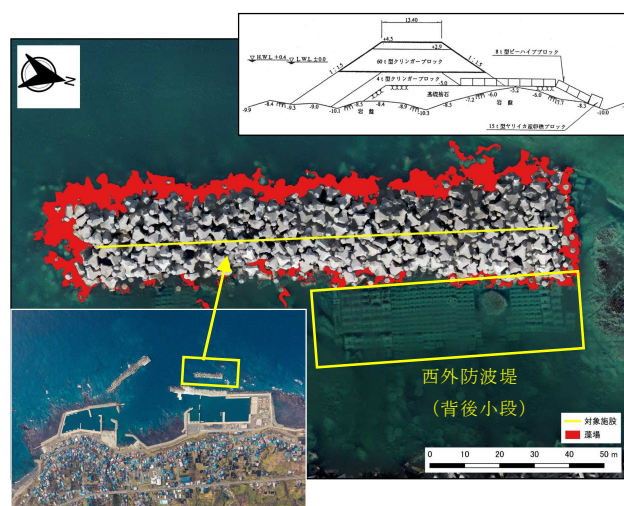


図-9 江良漁港 対象施設周辺の藻場状況

(5) 福島漁港

平成10年度から浮泥が懸念されており、令和5年度の透明度調査の結果でも、透明度の換算水深が天端水深よりも浅かったことから、透明度不足が海藻の生育に影響している可能性がある。また、天端水深が深く、UAV調査では藻場面積を得ることができなかったため、CO2固定量によるブルーカーボン評価には、潜水調査等に基づく検証が必要である。

周辺の消波ブロックや岩礁部にはコンブの生育が確認されていることから、周辺よりも天端水深が深い（DL-5.20 m）ことで光量等の不足が生じていると推察される。

(6) 函館漁港

平成22年度調査で施設の干出が確認されている。周辺の消波ブロックや岩礁部にはコンブの生育が確認されていることから、周辺よりも天端水深が浅く（DL-0.10 m）、海面の干満で干出するため、乾燥や直射日光により、海藻の生育が阻害されていると推察される。

(7) 様似漁港

令和5年度の透明度調査の結果からも透明度が不十分であり、濁度が高い地域であることから、自然調和型施設まで十分な光量が届いていない懸念がある。濁度が高く、UAV調査では藻場面積を得ることができなかったため、潜水調査等に基づく検証が必要である。また、周辺の消波ブロックや岩礁部にはコンブの生育が確認されていることから、周辺よりも天端水深が深い（DL-3.90 m）ことで光量等の不足が生じていると推察される。

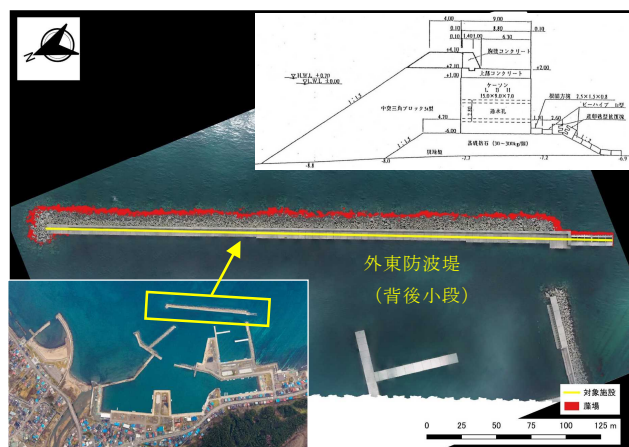


図-10 福島漁港 対象施設周辺の藻場状況

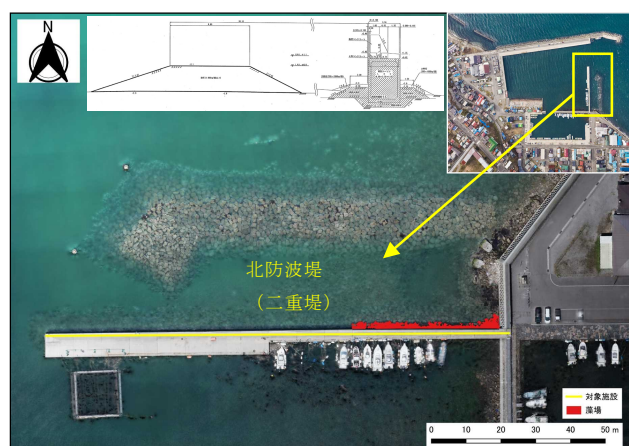


図-11 函館漁港 対象施設周辺の藻場状況

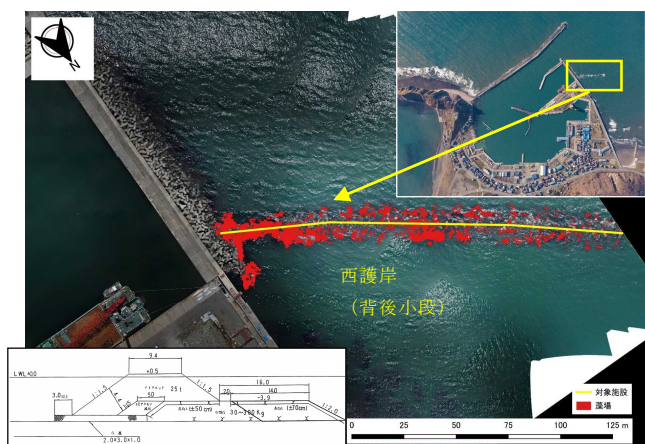


図-12 様似漁港 対象施設周辺の藻場状況

(8) 周辺藻場の育成状況

今後の施設整備検討の参考資料として、自然調和型施設に隣接する漁港施設上に繁茂する海藻の面積（図-7～図-12）を算出した。また、藻場タイプは全てマコンブとし、ガイドブック掲載の標準化された吸収係数を用いてCO2固定量を試算した（表-8）。

試算の結果から、ブルーカーボンにかかるポテンシャルは低くないため、漁港内でも十分にカーボンニュートラルとしてCO2固定効果が期待できる。また、地元漁業者が維持管理することでカーボンクレジットとして収益に繋がるのが期待できる。

表-8 周辺藻場面積及びCO2固定量の試算結果

漁港名	藻場面積 (m ²)	藻場タイプ	吸収係数 (g CO ₂ /m ² /年)	CO ₂ 固定量 (kg CO ₂ /年)
礼文西漁港 (元地地区)	2548.40	マコンブ	164.18	418.4
雄冬漁港	0.0			0.0
久遠漁港	1003.99			164.8
江良漁港	1097.90			180.2
福島漁港	1275.94			209.5
函館漁港	65.35			10.7
様似漁港	1061.26			174.2

5. まとめ

第3種漁港及び第4種漁港の計7漁港の自然調和型施設を対象として、藻場の育成状況を把握し、藻場のCO2固定効果を検証した。空撮によって藻場を確認できたのは雄冬漁港、江良漁港、函館漁港の3漁港のみであった。雄冬漁港に関しては、今後、潜水調査による海藻種の確認および試料採取後の湿重量・乾燥重量計測を行い、詳細な調査データに基づいた評価を行う必要がある。また、自然調和型施設周辺の消波ブロックや岩礁帯には海藻が繁茂している状況が確認され、藻場衰退の主な要因は天端水深であると考えられる。

自然調和型施設の天端水深は、前提として、漁業活動に支障が生じないように、漁船が満載喫水で航行可能とする水深で設計されていたが、これまでの知見から、生育に必要な光量、水温、栄養分が不足する等、天端水深が深いことが藻場生育に影響しているといえる。

今後は、藻場生育に不足している要因を究明し、これらの課題解決に向けた方策等を検討するとともに、地元によるブルーカーボンの取組や藻場の維持管理に繋がる方策等を検討することが重要であると考え。

参考文献

- 1) 一般社団法人 水産土木建設技術センター『漁港漁場施設の設計手法の高度化に関する検討会』資料 令和5年9月
- 2) 公益社団法人 全国漁港漁場協会『藻場造成型漁港構造物調査・設計ガイドライン』平成15年8月
- 3) 国立研究開発法人 水産研究・教育機構『海草・海藻藻場のCo2貯留量算定ガイドブック』令和5年11月