

函館港西防波堤背後盛土の環境調査

—ブルーカーボン生態系によるCO₂吸収量の試算と変遷—

函館開発建設部 函館港湾事務所 第1工務課 ○飯田 宇喬
高橋 秀則
北日本港湾コンサルタント株式会社 土井 善和

函館港では、浚渫土砂を西防波堤の背後盛土に利用しており、背後盛土によって浅場となった所に藻場が形成されている。本論は、令和4年度から実施している背後盛土の藻場調査での繁茂状況の変遷とブルーカーボン生態系によるCO₂吸収量の試算結果の推移を報告する。併せて、森港高基混成堤を一事例として既設構造物のブルーカーボン効果の可能性を報告する。

キーワード：ブルーカーボン、藻場造成、ブルーインフラ

1. はじめに

函館港の西防波堤では、老朽化対策として防波堤背後に盛土を行った。その際に、浚渫工事で発生した土砂をカルシア改質土として有効活用した(図-1)。その結果、盛土によって造成された浅場に日光が届きやすくなり藻場が形成された。

2009年の国連環境計画の報告書では、藻場・浅場等による海洋生態系に取り込まれた炭素を「ブルーカーボン」と命名し、そのブルーカーボンを隔離・貯蓄する海洋生態系を「ブルーカーボン生態系¹⁾」とされている。また、国土交通省でもブルーカーボン生態系による「命を育むみなとのブルーインフラ拡大プロジェクト²⁾」を2022年度から進めている。函館港西防波堤では、令和4年度から藻場調査を行い繁茂状況を確認しており、ブルーカーボン量の計測を行っている³⁾。

また、森港高基混成堤(図-2)は比較的水深が浅く勾配がゆるい構造になっており、従来の構造に比べて光環境が良好で海藻類にも好適な環境である。そこで、既設構造物でも同様にブルーカーボン効果が期待できるかを確認するため森港高基混成堤でも藻場調査を行った。

本報告は、函館港西防波堤のブルーカーボン量の試算と変遷、森港高基混成堤のブルーカーボン効果について報告する。

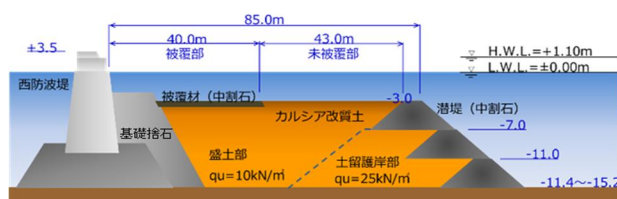


図-1 西防波堤背後盛土の断面

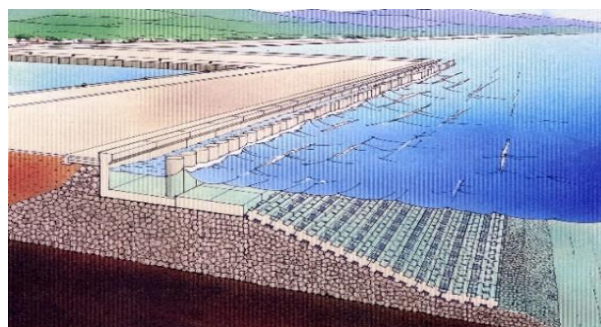


図-2 森港高基混成堤

2. 調査概要

藻場調査は、ブルーカーボン量の試算に必要な藻場面積と被度及び海藻種を把握するために行った。

(1) 藻場調査の実施方法

藻場面積を把握する方法としては、「J ブルークレジット®認証申請の手引き—ブルーカーボンを活用した気候変動対策—Ver. 2.4⁴⁾」(以下：手引き)において上空(空撮等)、海上、海面(箱めがね、水上ドローン等)、海中(潜水、水中カメラ等)の各調査が示されている。藻場面積の把握において、この方法の中では上空からの調査が効率的である。また、被度や海藻種を把握するには海面または海中の調査が必要となる。函館港西防波堤では、透明度が低く上空から藻場面積を把握することができないため、海中(潜水目視)による藻場面積・被度・海藻種の調査を行った。森港高基混成堤では、透明度が高いことから、上空(空中ドローン)による藻場面積の把握と海中(水中カメラ)による被度と海藻種の調査を行った。

(2) 函館港西防波堤の藻場調査結果

次に各年度の藻場の繁茂状況をまとめた。

a) 令和4年度の藻場調査結果

令和4年度は、海藻の着生の有無や着生箇所の把握を目的として調査した。調査時期は、夏季（8月）と冬季（1月）の2回とした。表-1に藻場調査結果、図-3に海藻着生状況を示した。

調査の結果、夏季に優占した海藻種は、緑藻類のアナアオサであった。また、冬季の海藻種は、優占種のアナアオサに加えて紅藻類のツノマタも増加が確認された。なお、着生箇所は夏季、冬季ともに西防波堤背後の中割石の被覆部のみであった。代表測線での調査であるが、海藻類は中割石被覆部の広い範囲で繁茂していたことから、被覆部の面積を藻場面積とした。

表-1 藻場調査結果（令和4年度）

調査時期	平均被度	藻場面積
夏季	50% (アナアオサ 50%)	28,400m ²
冬季	30% (アナアオサ 20%、ツノマタ 10%)	28,400m ²

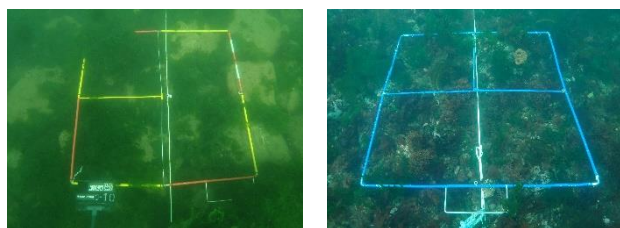


図-3 海藻着生状況（左：夏季、右：冬季）

b) 令和5年度の藻場調査結果

令和5年度からは、背後盛土部をメッシュ状に区切った潜水調査を行い、背後盛土部全体の海藻被度分布を精度良く把握した。表-2に夏季の藻場調査結果、図-4に夏季の海藻着生状況、表-3に冬季の藻場調査結果、図-5に冬季の海藻着生状況を示した。

調査の結果、夏季に優占した海藻種は、昨年度の冬季から増加が確認された紅藻類で主にツノマタであった。一部区間では有用種であるマコンブの着生も確認された。

また、背後盛土部の土留堤である潜堤及びその傾斜部での海藻の着生も確認され、藻場面積が令和4年度に比べて増加した。

冬季に優占した海藻種は、紅藻類のツノマタであるが、褐藻類のホンダワラも高い被度で確認された。

また、冬季には、令和4年度に海藻類の着生が見られなかったカルシア改質土が露出した範囲でも紅藻類を主体とした海藻類の着生が見られるようになった。これにより、夏季に比べてさらに藻場面積が増加した。

表-2 夏季の藻場調査結果（令和5年度）

被度範囲	藻場面積(紅藻類)	藻場面積(マコンブ)
75～100 %	19,200m ²	0m ²
50～ 75 %	8,775m ²	0m ²
25～ 50 %	11,575m ²	1,850m ²
5～ 25 %	10,050m ²	2,125m ²
5 % 未満	1,375m ²	17,250m ²
合計	50,950m ²	21,225m ²
	72,175 m ²	

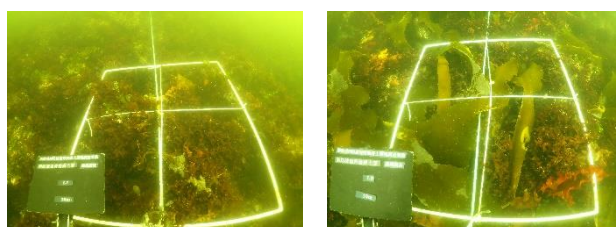


図-4 夏季の海藻着生状況（左：紅藻類、右：マコンブ）

表-3 冬季の藻場調査結果（令和5年度）

被度範囲	藻場面積(紅藻類 6割・ホンダワラ 4割)
75～100 %	14,600m ² (紅藻類 8,760m ² 、ホンダワラ 5,840m ²)
50～ 75 %	15,275m ² (紅藻類 9,165m ² 、ホンダワラ 6,110m ²)
25～ 50 %	6,625m ² (紅藻類 3,975m ² 、ホンダワラ 2,650m ²)
5～ 25 %	12,325m ² (紅藻類 7,395m ² 、ホンダワラ 4,930m ²)
5 % 未満	29,425m ² (紅藻類 17,655m ² 、ホンダワラ 11,770m ²)
合計	78,250m ² (紅藻類 46,950m ² 、ホンダワラ 31,300m ²)

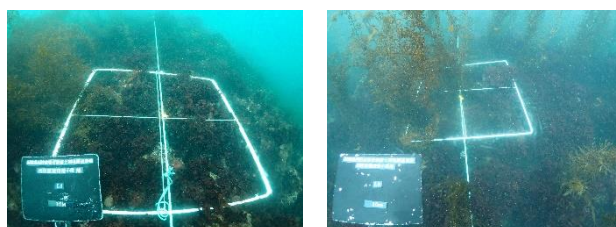


図-5 冬季の海藻着生状況

c) 令和6年度の藻場調査結果（夏季）

令和6年度でも令和5年度と同様の方法で海藻被度分布を把握した。表-4に藻場調査結果、図-6に海藻着生状況を示した。

調査の結果、夏季に優占した海藻種は、昨年度と同様に紅藻類のツノマタであった。また、昨年と比べて紅藻類の藻場面積は増加し、マコンブの出現は僅かとなった。

また、昨年度の冬季に繁茂していたホンダワラ類の藻体が流出した状況も確認された。藻場面積は、カルシア改質土の露出部の海藻類が令和5年度の冬季よりも少なかったことから、令和5年度の夏季と概ね同等であった。

表-4 藻場調査結果（令和6年度）

被度範囲	藻場面積(紅藻類)
75～100 %	14,425m ²
50～ 75 %	9,750m ²
25～ 50 %	4,675m ²
5～ 25 %	11,300m ²
5 % 未満	18,025m ²
合計	58,175m ²



図-6 海藻着生状況（令和6年度）

今回の函館港西防波堤の藻場調査で多く確認された紅藻類は令和4年度の冬季以降で増加が確認されている。ツノマタを例として生活史をみると、2月～7月に生長して8月～11月にかけて大型の藻体が流出し12月～1月にかけて発芽・再生する流れとなっている。ツノマタは、藻体の流出後も茎が残存し再生するため、年中見られることから今後も優占種として定着すると考えられる。

また、西防波堤背後盛土部では、令和4年度から食害動物であるウニ類の出現が少ない状況が継続しているなど、海藻類が繁茂する好適な環境が維持されており、今後も藻場が維持されると考えられる。

(3) 森港高基混成堤の藻場調査結果

森港高基混成堤では、既往調査⁵⁾よりマコンブ群落が恒常的に確認され、良好な藻場環境が維持されていると考えられる。令和6年度の8月に撮影した空撮画像（図-7）から遊水部では、地面が黒く見えていることから海藻が高い密度で着生されていることがわかる。一方で、ブロック上はごく一部で海藻が着生しているのみであった。この要因としては、ブロック上でウニ類の密度が高く食圧が大きい一方で、遊水部内では、干潮時に周辺のブロックが海面から露出するため、ウニ類の侵入が抑制されていると考えられる。

また、着生している海藻種は、空撮での判定が難しいことから水中カメラを使用して海藻種の確認を行った。その結果、緑藻類のアナアオサ、紅藻類のアカバ、褐藻類のマコンブの3種が着生していた。なお、その比率は4:4:2であり、アナアオサ、アカバが多く、マコンブがやや少なかった。表-5に藻場調査結果、図-9に水中カメラでの海藻着生画像を示した。

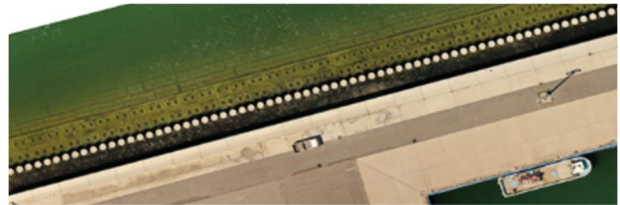


図-7 森港高基混成堤の空撮画像

表-5 藻場調査結果（森港高基混成堤）

被度範囲	藻場面積(緑藻類4:紅藻類4:マコンブ2)
75～100 %	240m ²
50～ 75 %	37m ²
25～ 50 %	41m ²
5～ 25 %	54m ²
5 % 未満	31m ²
合計	403m ²

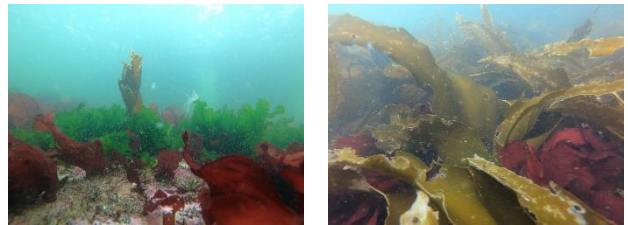


図-9 森港高基混成堤の海藻着生状況（令和6年度）

平成18年度の報告では、マコンブだけでなく紅藻類のカレキグサの着生が確認されていた。今年度もマコンブと紅藻類（その他に緑藻類のアナアオサ）の着生が確認されている。このため、マコンブと紅藻類は、建設から20年近くが経過していることを踏まえると極相状態にあると思われる。このため、森港高基混成堤は、遊水部内に限定されるものの、継続して藻場環境が維持された構造物であるといえる。

3. ブルーカーボン量の試算

(1) ブルーカーボン量の算定方法

藻場調査の結果を踏まえてブルーカーボン量（炭素吸収量）を手引きに準じて試算した。ブルーカーボン量は、対象生体系の分布面積に吸収係数（単位面積当たりのCO₂吸収量）を乗じることで求められる。

算定の方法は、手引きのとおり2港とも藻場生態系を対象にした図-10の算定式を利用する。算定式は、海草藻場生態系と海藻藻場生態系の場合に使用することが可能である。また、「対象生態系の分布面積」と「単位面積当たりの湿重量」は現地調査から計測することを基本とし、「単位面積当たりの吸収量」と「ブルーカーボン残存係数」は文献等を参考に係数を設定し使用するとされている。

CO₂ 吸収量

$$= A \times W_a \times (1-P_w) \times P_c \times R_b \times 44/12 \times (P_{r1} + P_{r2}) \times C_e$$

A : 対象生態系の分布面積 (ha)

W_a : 単位面積当たりの湿重量 (トン/ha)

P_w : 含水比

P_c : 炭素含有比

R_b : P/B 比

P_{r1} : 残存係数①

※残存係数① (藻体残存係数)

P_{r2} : 残存係数②

※残存係数② (DOC[§]/藻体比×RDOC[§])

C_e : 生態系全体への変換係数は、1 を使用 (付着藻類の状況により 1 以上)

図-10 ブルーカーボン量の算定式

(2) 函館港西防波堤のブルーカーボン量の算定

a) 分布面積

分布面積は、各年度の夏季、冬季調査で把握した藻場面積の合計値をそれぞれ用いた。

b) 単位面積当たりの湿重量

単位面積当たりの湿重量は、藻場調査で海藻の刈り取りを行って湿重量を測定した結果等を用いた。

緑藻類は、繁茂が確認された令和4年度の夏期に図-11に示す背後盛土部の4地点 (平均被度50%) で刈り取った湿重量の平均値 (705.29g/m²) とした。

紅藻類とマコンブは、令和5年度 (紅藻類は令和5年度と令和6年度) に被度別の刈り取りを行った図-12と図-13に示す推定式を用いた。なお、ホンダワラ類については、手引きに掲載されているガラモ場 (ホンダワラ科) の推定式 { (kgWW/m²) = 0.0279 × e^(1.2032 × 被度階級) } を用いた。表-6に夏季の現存量 (単位面積当たりの湿重量 × 藻場面積)、表-7に冬季の現存量を示した。

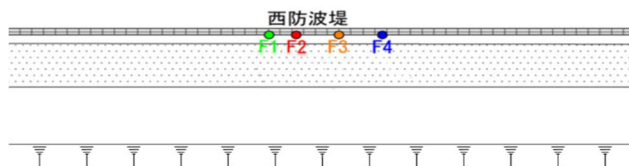


図-11 背後盛土部の中割石の被覆部4地点

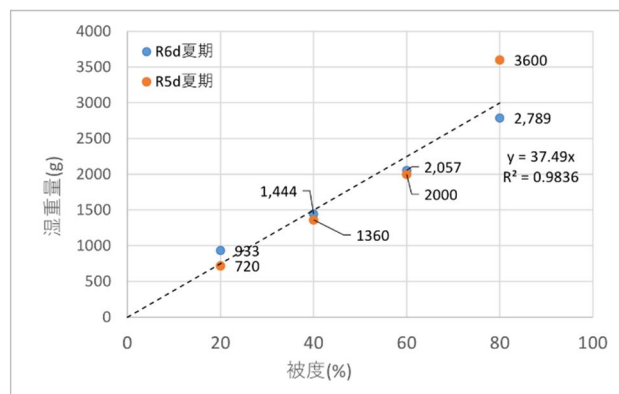


図-12 被度別湿重量 (紅藻類)

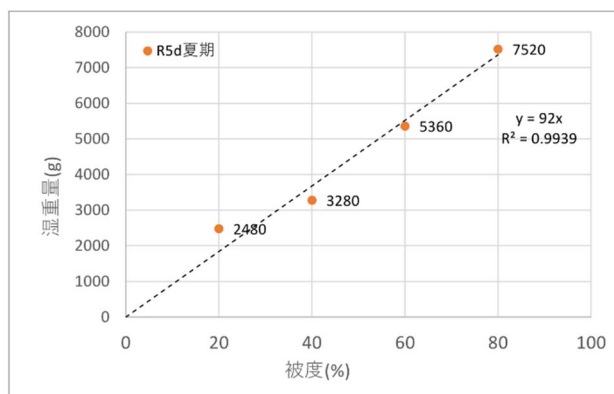


図-13 被度別湿重量 (マコンブ)

表-6 夏季の現存量

夏季	令和4年	令和5年	令和6年
緑藻類	20.0t	-	-
紅藻類	-	105.7t	84.8t
マコンブ	-	13.3t	-

表-7 冬季の現存量

冬季	令和4年	令和5年	令和6年
緑藻類	8.0t	-	-
紅藻類	10.6t	61.7t	-
ホンダワラ	-	93.1t	-

c) 含水率・P/B 比・炭素含有率

含水率・P/B 比・炭素含有率は、手引きにおいて各地での調査・研究文献または実測によって設定するとされている。

「含水率」は、「発酵原料としての利用を視野とした海藻草類の収集と成分調査⁶⁾」に掲載された緑藻類・紅藻類・褐藻類の平均値を用いることとした。

「P/B 比」「炭素含有率」は、「第3版磯焼け対策ガイドライン⁷⁾」に掲載されているのでその値を用いた。それぞれの採用値を表-8に示した。

表-8 「P/B 比」「炭素含有率」採用値

海藻種	含水率 (%)	P/B 比	炭素含有率
緑藻類 (アサリ)	89.2	1.0	29.5
紅藻類 (ツノマダ等)	88.2	1.1	39.4
褐藻類 (マコンブ)	85.5	1.5	30.0
褐藻類 (ホンダワラ)	85.5	1.1	32.0

d) ブルーカーボン残存係数

ブルーカーボン残存係数は、手引きを参照した。残存係数①は対象種が全て海藻であるため、海藻藻場の残存係数① 0.0472 を用いた。また、残存係数②は、海藻藻場をタイプ別に分けた係数を用いた。採用した残存係数②を表-9に示した。

表-9 残存係数②

生態系	藻場タイプ	残存係数②
海藻藻場 係数① (0.0472)	ガラモ場(ホンダワラ型)	0.0499
	コンブ場(コンブ型)	0.0285
	テングサ場(紅藻型)	0.0484
	緑藻型	0.0699

e) 生態系全体への変換係数

生態系全体への変換係数は、手引きを参照した。海藻藻場の変換係数は全て同一であるため、1.5 を用いた。

f) ブルーカーボン量

a)～e)の各設定値により、ブルーカーボン量を試算し、その結果を表-10、11に示した。また、函館港西防波堤のブルーカーボン量の推移を図-14に示した。

表-10 夏季のブルーカーボン量

夏季	令和4年	令和5年	令和6年
緑藻類	0.410	-	-
紅藻類	-	2.842	2.280
マコンブ	-	0.361	-
計	0.410	3.204	2.280

(単位：tCO₂/年)

表-11 冬季のブルーカーボン量

冬季	令和4年	令和5年	令和6年
緑藻類	0.164	-	-
紅藻類	0.285	1.659	-
ホンダワラ	-	2.538	-
計	0.449	4.197	-

(単位：tCO₂/年)

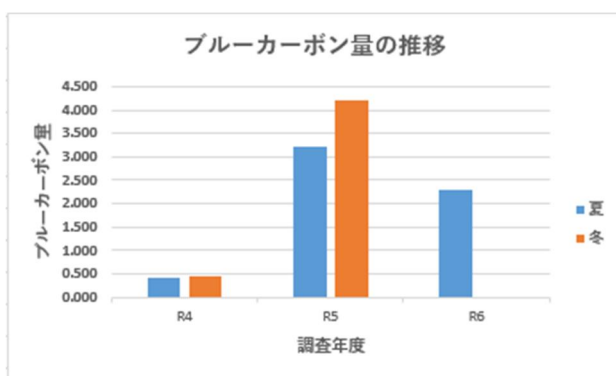


図-14 函館港西防波堤のブルーカーボン量の推移

図-14 のとおり函館港西防波堤では、冬季のブルーカーボン量が夏季のブルーカーボン量より多い傾向にあることがわかった。これは、冬季に大型海藻のホンダワラが多く確認されたためである。ホンダワラは、流動の小さい環境に多く出現する海藻種であり、函館港西防波堤

の背後盛土部の環境と適合しているものと考えられる。生活史をみると、5月～2月にかけて生長し、その後の3月～6月にかけて藻体が徐々に流出する。

図-15 に流出期である5月のホンダワラの状況を示したが、赤枠の中を見ると水面まで生長する大型種であることから、空中からも繁茂している状況が確認できる。また、ホンダワラは1年生であるため、CO₂を長く吸収・貯蓄する効果が期待できる。



図-15 5月のホンダワラ

(3) 森港高基混成堤のブルーカーボン量の算定

森港高基混成堤でも令和6年度の調査結果を函館港西防波堤と同様の方法でブルーカーボン量を算定した。表-12に現存量、表-13にブルーカーボン量を示した。

表-12 森港高基混成堤の現存量

夏季	森港高基混成堤
緑藻類	182kg
紅藻類	386kg
マコンブ	473kg

表-13 森港高基混成堤のブルーカーボン量

夏季	森港高基混成堤
緑藻類	0.004 tCO ₂ /年
紅藻類	0.010 tCO ₂ /年
マコンブ	0.013 tCO ₂ /年
計	0.027 tCO ₂ /年

森港高基混成堤の藻場面積は、函館港西防波堤と比べるとかなり狭い範囲(概ね1/100)となっているのでブルーカーボン量が少なく感じるが、面積比で考えると函館港西防波堤(令和6年度の夏季で2.28tCO₂/年)と同等(令和6年度の夏季で0.027tCO₂/年×100=2.7tCO₂/年)の効果があるといえる。

4. おわりに

函館港西防波堤は緑藻類のアナアオサが優占していたが徐々に紅藻類が増加して現在では紅藻類のツノマタが優占している。

西防波堤背後盛土部周辺は、海底面が水深 15m 程度の砂泥質であり、泥質は食害動物であるウニ類の行動を抑制することができるため、今後もウニ類の侵入の抑制が期待できる。また、大型海藻が繁茂する夏季にブルーカーボン量が大きくなる地域が多いが、函館港西防波堤では、ホンダワラ類の繁茂により、冬季も夏季と同等以上のブルーカーボンの効果を期待することができる。

「日本国温室効果ガスインベントリ報告書 2024 年⁸⁾」より森林の CO₂ 吸収係数は 2.4t-CO₂/ha/年とされている。函館港西防波堤背後盛土部で海藻の着生が多い中割石の被腹部の面積は 2.84ha であり、これまでの調査で最大のブルーカーボン量であった令和 5 年度の冬季で、1.5t-CO₂/ha/年となっている。これは、森林の 60%以上の CO₂ 吸収量が得られている。森港高基混成堤では、0.6t-CO₂/ha/年となりこちらも森林の CO₂ 吸収量と比較すると 25%の CO₂ 吸収量を得られている。また、釧路港島防波堤では森林の 2.4 倍の効果があると推計しているが、函館港との違いとして、函館港は水深 3m に対して釧路港は、起伏工による起伏ブロックを設置して水深が 1m になっていることや、起伏ブロックに海藻を生えやすくする工夫を行っていることが違いを生み出していると推測される。

なお、釧路港島防波堤⁹⁾では 10 年間における環境調査で、藻場の繁茂状況が周期的に変遷していることが確認されている。函館港西防波堤においても同様に藻場の繁茂状況が変遷する可能性があり、ブルーカーボン量の考察を行うために必要に応じて適切な時期に藻場の変遷を確認することが望ましいと思われる。

参考文献

- 1) ブルーカーボンとは：ブルーカーボン〈PDF〉，国土交通省 HP
- 2) 「命を育むみなとのブルーインフラ拡大プロジェクト」について：地球温暖化に貢献するブルーカーボンの役割に関する検討会，令和 4 年度第 1 回資料，国土交通省 HP
- 3) 大高敬介，工藤博文，土井善和：防波堤背後盛土の有効性－ブルーインフラ化の推進－，令和 4 年度北海道開発技術研究発表会
- 4) J ブルークレジット[®]認証申請の手引き－ブルーカーボンを活用した気候変動対策－Ver. 2.4，令和 6 年 3 月，ジャパンブルーエコノミー技術研究組合
- 5) 松谷明典，浅見能章，千葉不二夫：高基混成堤における環境調和機能について(第 3 報)，平成 18 年度北海道開発技術研究発表会
- 6) 三好達夫，内田基晴，金庭正樹，吉田吾郎：発酵原料としての利用を視野とした海藻草類の収集と成分調査，水産総合研究センター
- 7) 第 3 版磯焼け対策ガイドライン：令和 3 年 3 月，水産庁
- 8) 日本国温室効果ガスインベントリ報告書：2024 年，温室効果ガスインベントリオフィス (GIO) 編，環境省地球環境局総務課脱炭素社会移行推進室 監修
- 9) 鈴木一輝，時田恵生，山口圭太：釧路港島防波堤におけるエコポート事業について－整備後 10 年間における藻場の繁茂状況等に関する一考察－，平成 27 年度北海道開発技術研究発表会