

稚内港港湾区域内における ブルーカーボンによるCO₂吸収量の推定 —画像解析によるブルーカーボン推計—

稚内開発建設部 稚内港湾事務所 第二工務課 ○宮崎 晃良
第二工務課 下山 宗生
第一工務課 本山 賢司

日本最北の重要港湾である稚内港は、我が国のカーボンニュートラルに貢献するため、稚内港港湾脱炭素化推進協議会での協議を踏まえ、令和7年9月に稚内港港湾脱炭素化推進計画を策定し、公表した。本稿は、協議会にも取り上げられたブルーカーボンによるCO₂吸収源としての可能性を検討するために行った、港湾周辺の藻場調査結果、港湾区域内の藻場によるCO₂吸収量及び防波堤背後盛石断面のCO₂吸収量の検討について報告する。

キーワード：カーボンニュートラル、ブルーカーボン、藻場、CO₂吸収量、画像解析

1. はじめに

我が国は、2020年10月に「2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」ことを宣言し、2021年4月に2030年度において温室効果ガスを2013年度から46%削減し、さらに50%の高みを目指し挑戦することを表明したり¹⁾。また、2021年6月に策定された「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」において、温暖化への対応を経済成長の制約やコストではなく成長の機会と捉え、産業構造や社会経済の変革をもたらし、次なる大きな成長に繋げる政策が打ち出され²⁾、成長が期待される14の産業分野の一つである「物流・人流・土木インフラ産業」において、「カーボンニュートラルポート（以下、「CNP」という。）の形成」が示されている³⁾。

港湾は、我が国の輸出入（重量ベース）の99.6%を取り扱う物流拠点であり、かつ我が国のCO₂排出量の約6割を占める産業の多くが立地する産業拠点である。港湾において、脱炭素化に配慮した港湾機能の高度化次世代エネルギーとされる水素・アンモニア等の受け入れ環境の整備等を図り、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにするCNPの形成を推進することとしている⁴⁾。また、国土交通省は、2022年10月に改正港湾法において、CNPの形成を推進する仕組みとして、港湾管理者が、官民の関係者が参加する「港湾脱炭素化推進協議会」を開催し、同協議会における検討を踏まえ、「港湾脱炭素化推進計画」を作成し、各関係者が同計画に基づいてそれぞれの取組を進める体制を構築した⁵⁾。

稚内市は、従来からまちづくりの柱の一つとして再生可能エネルギーの導入拡大を推進する取組を進めてきており、2021年2月に2050年までに二酸化炭素排出量を実

質ゼロにする「ゼロカーボンシティ」を目指すことを表明している。このような情勢を踏まえ、日本最北の重要港湾である稚内港から我が国のカーボンニュートラルに貢献するため、稚内港港湾脱炭素化推進協議会における協議を踏まえて、2025年9月、法定計画である「稚内港港湾脱炭素化指針計画」を策定、公表した⁶⁾。

本検討は、協議会にも取り上げられたブルーカーボンによるCO₂吸収源としての可能性を検討するために行った、港湾周辺の藻場調査結果、港湾区域内の藻場によるCO₂吸収量及び防波堤背後盛石断面のCO₂吸収量の検討について報告する。

2. 調査方法及び検討方法

(1) 藻場調査

稚内港の港湾区域は、ノシャップ岬から声問岬までを引いた線と陸域に囲まれた範囲であり、港湾区域内の海面の面積は1,800haである。稚内港周辺海域における藻場の現況把握を目的として、2022年7月に測線L1（50m）、2024年8月に測線1～測線5（各100m）及び港内地点3箇所において、藻場調査を実施した（図-1）。まず、小型UAV（DJI社、PHANTOM4 PRO）により、測線を含む海面の空中写真を撮影し、オルソ画像を作成した。次に、潜水士により水中カメラで調査測線100mを連続撮影した。その後、10m毎に1m×1m方形枠を設置し、水深の計測、枠内の植物の生育状況の目視観察および写真撮影を行い、海藻の繁茂状況を海藻類の被度階級（図-2）⁷⁾で整理した。港内地点は、潜水士により水中カメラで防

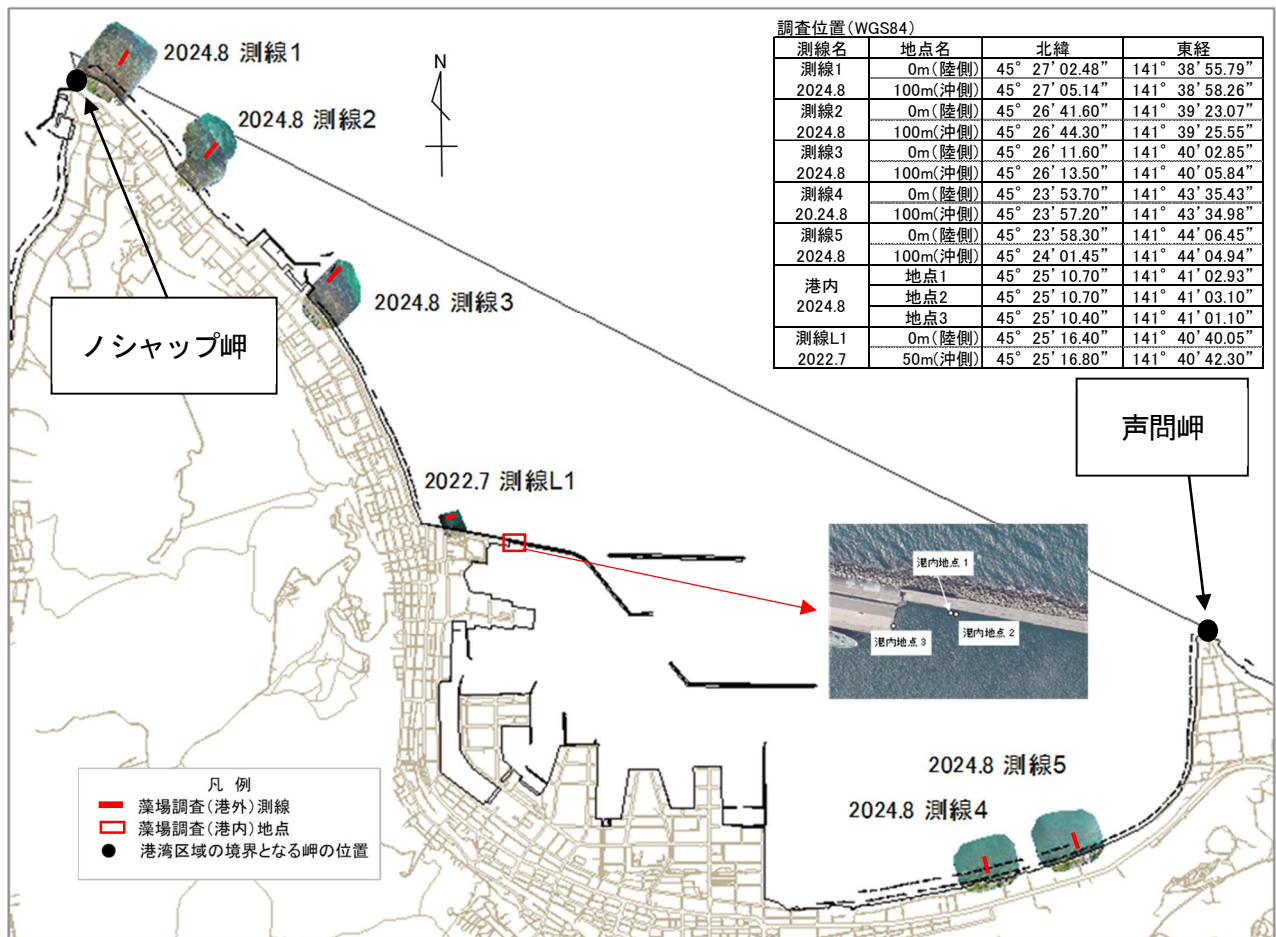


図-1 調査位置図箇所図

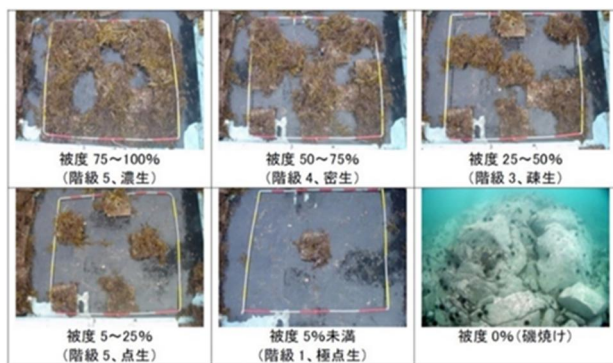


図-2 海藻類の被度階級⁵⁾

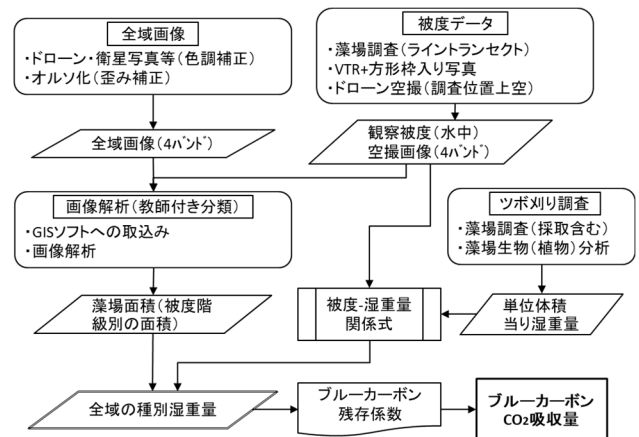


図-3 ブルーカーボンCO₂吸収量算定のフロー

波堤壁面の水深0mから被覆ブロックまで連続撮影した。その後、水深0~5mまで1m毎に方形枠を設置し、港外側測線と同様に調査した。また、各測線および港内地点において最も繁茂する3箇所を対象に、植物試料を採取して海藻の葉長、葉幅、湿重量を測定した。

(2) ブルーカーボンによるCO₂吸収量の算定

図-3は、ブルーカーボンによるCO₂吸収量算定のフローである。CO₂吸収量は、海藻の純一次生産量から推定した吸収係数 (単位面積当たりのCO₂吸収量) に藻場の分布面積を掛けることで求められる⁶⁾ (図-4)。また、

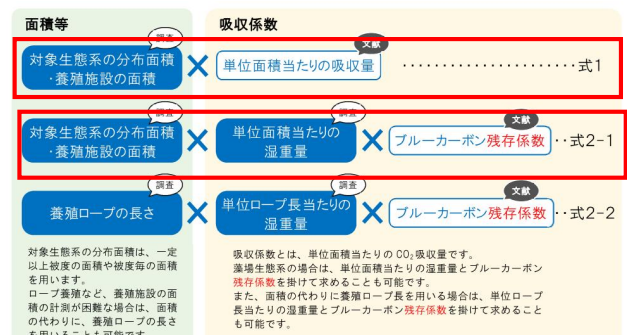


図-4 CO₂吸収量の算定式⁶⁾

残存係数は、海草・海藻藻場のCO₂貯留量算定ガイドブック（2023）⁷⁾や既往の文献値を利用することが可能である。リシリコンブはマコンブの地域変種であり、マコンブの残存係数⁷⁾の利用は可能と考えられるが、より正確なCO₂吸収量を求めるために、藻場調査において繁茂期のリシリコンブの湿重量の計測を行った。また、湿重量以外の吸収係数を求めるパラメータの値は文献による値を用いた。北海道におけるパラメータは、釧路港のコンブ藻場のCO₂吸収係数算定事例⁸⁾を参考に、既往の値の平均値を用いることとし、年間純正生産量と最大現存量の比（P/Bmax比）は2.7、湿重乾重比は0.17、炭素含有率は0.29、生態系変換係数は1.5（コンブ類の平均的な値）、残存率は11.3%（海藻藻場の平均的な値）を適用することとした。なお、リシリコンブは多年藻であるため、経年によるCO₂吸収量の変化が生じると考えられるが、本検討では経年によるCO₂吸収量の変化は考慮しないこととする。

(3) 藻場の分布面積の推定

藻場の分布面積の推定は、水産庁の広域藻場のモニタリングの手引き⁹⁾を参考に、藻場調査結果を踏まえた教師付き分類による画像解析により推定することとした。

人工衛星画像は、Maxar社のアーカイブ画像を検索し、①稚内港の港湾区域（約27km²）が撮影されていること、②リシリコンブの繁茂期である7月～8月に撮影されたものであること、③画像内の雲量が少ないこと、④藻場調査の直近の画像であることを条件として選定した（表-1）。人工衛星画像には、色調補正、幾何補正を行い、画像解析に用いた。

色調補正は、藻場調査を実施した2024年8月の空撮画像の色調に合うように、人工衛星画像及び2022年7月空撮画像の明度とコントラストで調整した。

幾何補正は、国交省の国土数値情報、国土地理院の基盤地図情報のシェープファイルデータを基準にして、港湾区域境界や海岸線地形などのオルソ化した衛星画像が一致するようにGISソフト「QGIS ver.3.38.3」（以下、「QGIS」）を用いアフィン変換を行った。

画像解析は、「QGIS」を用い、プラグイン「SCP：Semi-Automatic Classification Plugin ver.8.5.0」により、教師付き分類を実施して、藻場の分布面積を推計した。分類の対象は、CO₂吸収量が多い海草・海藻を対象にするため、藻場調査結果を踏まえて、最も海藻被度が高いリシリコンブと吸収係数の高いスガモを対象にした。さらに、海藻被度の有無の判別を適切に行うため、海藻が繁茂していない底質として岩礁、砂質も教師データに加えることとした。教師データは、人工衛星画像内のリシリコンブ、スガモ、岩礁および砂質の範囲を指定し、作成した。

(3) 防波堤背後盛石上の藻場によるCO₂吸収量の算定

稚内港では、航路・泊地の整備計画があり、約30万m³

表-1 人工衛星画像

人工衛星	WorldView-2
撮影日	2021/8/21
解像度	50cm
補正処理	JSIオルソ、4バンド

表-2 藻場調査における海藻被度と湿重量

調査地点		2022.7 測線L1											
地点 / 測線距離 (m)	調査水深 (m)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
種子植物	スガモ	1.8	1.4	1.5	2.0	1.2	1.1	1.9	1.9	2.2	1.6	1.8	
緑色植物	アオサ属		50										
黄色植物	リシリコンブ	50	3	70	80	80	90	90	80	80	90	90	
その他	その他	33				15			5	5		6	
紅色植物	その他	28	6	9	9	9	32	6	3	6	3	12	
リシリコンブ湿重量 (kgww)		1.079					2.580					1.409	
調査地点		2024.8 測線1											
地点 / 測線距離 (m)	調査水深 (m)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
門	種	1.0	0.8	1.0	0.9	0.8	1.0	1.1	1.2	1.1	1.0	1.0	
種子植物	スガモ												
緑色植物	アオサ属	80	3	5		30	10		10				
黄色植物	リシリコンブ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
その他	その他	3	60	53	15	13	21	6	3	3	3	0	
紅色植物	その他	3	9	0	6	15	15	11	15	22	16	42	
リシリコンブ湿重量 (kgww)							0.477			8.652		8.909	
調査地点		2024.8 測線2											
地点 / 測線距離 (m)	調査水深 (m)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
門	種	1.5	1.2	1.9	2.8	3.1	3.0	2.8	2.0	2.0	1.5	2.0	
種子植物	スガモ												
緑色植物	アオサ属	3											
黄色植物	リシリコンブ	80	50	80	50	80	30	50	100	80	80	80	
その他	その他	0	6	3	19	6	6	9	3	3	3	0	
紅色植物	その他	12	25	21	15	15	12	15	16	12	21	17	
リシリコンブ湿重量 (kgww)				1.869					8.174		6.851		
調査地点		2024.8 測線3											
地点 / 測線距離 (m)	調査水深 (m)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
門	種	2.5	1.0	1.0	1.7	1.9	2.0	2.9	2.1	3.5	1.9	2.0	
種子植物	スガモ	30											
緑色植物	アオサ属												
黄色植物	リシリコンブ	50	100	80	100	100	50	100	10	100	100	100	
その他	その他	3	0	0	0	0	0	6	0	6	0	0	
紅色植物	その他	16	19	48	26	29	26	16	13	60	36	26	
リシリコンブ湿重量 (kgww)					11.056				7.001			6.851	
調査地点		2024.8 測線4											
地点 / 測線距離 (m)	調査水深 (m)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
門	種	1.5	1.8	2.0	2.0	2.0	2.3	2.3	2.3	2.2	2.4	2.4	
種子植物	スガモ					80							
緑色植物	アオサ属	3	3	3		3		3		3	3	3	
黄色植物	リシリコンブ	10	40	30		3		3	3	3	5	5	
その他	その他	0	6	3	0	3	50	20	0	0	0	0	
紅色植物	その他	31	24	18	3	43	3	9	15	21	18	9	
リシリコンブ湿重量 (kgww)		1.325	0.561							0.172			
調査地点		2024.8 測線5											
地点 / 測線距離 (m)	調査水深 (m)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
門	種	1.8	2.0	2.2	2.1	2.0	2.3	2.2	2.3	2.6	2.4	2.2	
種子植物	スガモ							100	50				
緑色植物	アオサ属	3											
黄色植物	リシリコンブ	3	10	3	3	3		3	3	5	3	3	
その他	その他	3	0	3	3	0	0	0	0	3	20	0	
紅色植物	その他	31	3	6	12	26	43	3	3	6	15	39	
リシリコンブ湿重量 (kgww)		0.232	0.18							0.358			
調査地点		2024.8 港内地点1			2024.8 港内地点2			2024.8 港内地点3					
地点 / 水深 (m)	調査水深 (m)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
種子植物	スガモ	1.8	2.0	2.2	2.1	2.0	2.3	2.2	2.3	2.6			
緑色植物	アオサ属	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
黄色植物	リシリコンブ	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
その他	その他	3	3	30	10	5	3	3	3	3			
紅色植物	その他	10	20	10	10	20	30	50	80	80			
リシリコンブ湿重量 (kgww)		0	0	0	0	0	0	3	3	3			
リシリコンブ湿重量 (kgww)		15	15	15	6	3	3	0	3	0			
リシリコンブ湿重量 (kgww)		0.245	2.461	2.305	3.078	3.723	3.897	4.608	5.718	6.531			

表-3 リシリコンブ海藻被度と湿重量

被度 ランク	データ数 n	湿重量 (kgww/㎡)	単位湿重量 (kgww/㎡)
1：0-5%	2	404.0	202
2：5-25%	8	15,030.4	1,878
3：25-50%	3	5,782.4	1,927
4：50-75%	4	23,248.6	5,812
5：75-100%	10	60,502.3	6,050
計	27	104,967.7	3,888

の浚渫岩の発生が見込まれる。この浚渫岩の有効活用方法として、防波堤（北）の背後盛石として利用を検討した場合、付近に生息するリシリコンブが背後盛石上に藻場として形成すると想定されることから、背後盛石上のブルーカーボンによるCO₂吸収量を算定することとした。

防波堤背後の水域は利尻・礼文航路のフェリーや巡視艇が利用していることから、船舶の航行に影響のない形

状として、防波堤背面から背後盛石の天端幅と法面の幅を合わせて30mとした。また、背後盛石の天端水深は、水深1.0mと水深3.0mの2断面を比較することとした。

3. 結果と考察

(1) 藻場調査結果

a) 海藻被度

表-2は、藻場調査における海藻被度である。複数の海藻種で構成され、葉体が多いリシリコンブの下で底質にサンゴモが繁茂する等、被度の合計が100%を超える箇所もある。各地点の最大被度を100%として求めた平均被度は69%、単一のアサギモで最も繁茂していたリシリコンブの平均被度は41%、吸収係数の高いスガモの平均被度は5%であった。

稚内港の北側である2022年7月測線L1と2024年8月測線1～測線3の底質は泥岩であり、平均被度は83%、半数以上の地点でリシリコンブが濃生（被度75～100%）している状況であった。また、稚内港の東側である2024年8月測線4と測線5の底質は泥岩上の一部に砂礫が堆積し、平均被度は40%、約9割の地点でリシリコンブの被度が25%未満であった。海藻類は少ない中で、一部に種子植物であるスガモが濃生している地点の存在が確認された。このように、稚内港の北側と東側で、藻場の状況が大きく異なることが確認された。

b) リシリコンブの被度と湿重量の関係について

植物試料の採取は、表-2のリシリコンブ湿重量を記載した地点で行った。表-3は、採取したリシリコンブの湿重量について、被度階級別に整理したものである。また、図-5は、採取地点のリシリコンブの被度と湿重量の関係を示している。採取地点により、プロットが不均一となっているが、データからリシリコンブの湿重量(gww/m²)の回帰式として、次の式(1)（決定係数R²=0.763）が得られた。

湿重量(gww/m²) = 被度(%)×74.1 (1)

(2) 藻場の分布面積の推定とブルーカーボンによるCO₂吸収量の算定

a) 教師付き分類による藻場の分布面積

図-6は、教師付き分類による画像解析結果である。解析の対象を水色のエリアで示しており、黒い点が藻場を表している。衛星画像の画像解析から抽出された藻場の分布面積は75haであった。この藻場の分布面積に、藻場調査による平均被度を乗じて、リシリコンブは31ha（表-4(a)）、スガモは3ha（表-4(b)）と求められた。

b) ブルーカーボンによるCO₂吸収量の算定

CO₂吸収量の算定式は、リシリコンブは現地調査で湿重量を計測しているため、算定式2-1を適用することと

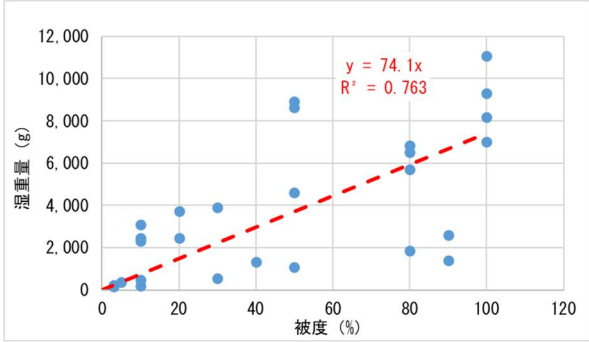


図-5 リシリコンブの被度と湿重量の関係

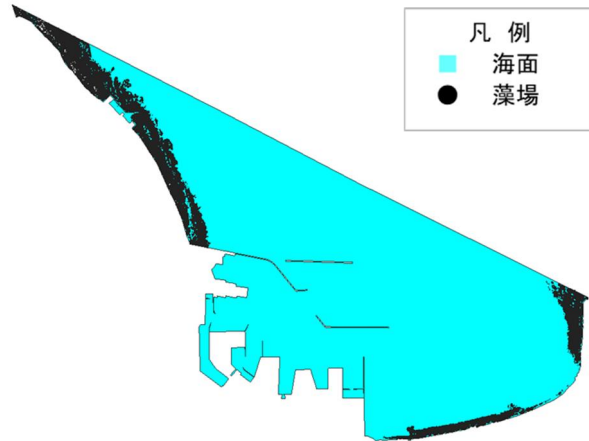


図-6 稚内港港湾区域内の教師付き分類による藻場抽出画像

表-4 稚内港港湾区域の藻場によるCO₂の吸収量の算定結果
(a) リシリコンブ藻場のCO₂の吸収量

項目	数量	単位	備考
藻場			一部ガラモ場・スガモ場等含む 衛星画像解析結果より
抽出面積	759,946	m ²	
〃	75	ha	
リシリコンブ藻場			抽出面積×被度全平均
推計面積	311,578	m ²	
〃	31	ha	
リシリコンブ被度			現地調査結果R6、R4より
全平均	41	%	海藻なし地点含む
ランク別被度			
8	%	被度 0%以上 5%未満	
8	%	被度 5%以上 25%未満	
3	%	被度 25%以上 50%未満	
5	%	被度 50%以上 75%未満	
14	%	被度 75%以上100%以下	
リシリコンブの			現地調査結果R6、R4より
単位面積当り湿重量			
被度別			
0.202	kgWW/m ²	被度 0%以上 5%未満	
1.878	kgWW/m ²	被度 5%以上 25%未満	
1.927	kgWW/m ²	被度 25%以上 50%未満	
5.812	kgWW/m ²	被度 50%以上 75%未満	
6.050	kgWW/m ²	被度 75%以上100%以下	
リシリコンブ湿重量			現地調査結果R6、R4より
被度別			
		推計面積m ² ×被度別面積比%×平均湿重量/m ²	
5.161	kg	被度 0%以上 5%未満	
44,783	kg	被度 5%以上 25%未満	
16,411	kg	被度 25%以上 50%未満	
98,995	kg	被度 50%以上 75%未満	
257,623	kg	被度 75%以上 100%以下	
423	t	合計	
17	%	水産統計データより	
72	t	9月以降の推計漁獲量	
351	t	コンブ漁獲後の湿重量合計	
残存係数/パラメータ			
文獻※3より			
2.7	—	P/Bmax	
1.5	—	生態系への換算係数	
11.3	%	残存率	
0.17	—	湿重乾重比	
0.29	—	炭素含有率	
3.67	—	CO ₂ 分子量(44)/C分子量(12)	
港湾区域全体	29.1	t-CO ₂ /年	リシリコンブ漁獲後351t×残存係数/パラメータ

(b) スガモ藻場のCO₂の吸収量

項目	数量	単位	備考
藻場			一部ガラモ場・スガモ場等含む 衛星画像解析結果より
抽出面積	759,946	m ²	
〃	75	ha	
スガモ藻場			抽出面積×被度全平均
推計面積	37,997	m ²	
〃	3	ha	
スガモ被度			現地調査結果R6、R4より
全平均	5	%	海藻なし地点含む
スガモ藻場	20.3	t-CO ₂ /ha/年	吸収係数(ガイドブックより北海道のスガモ)
推計吸収量	60	t-CO ₂ /年	推計面積×吸収係数
港湾区域全体	60.0	t-CO ₂ /年	スガモ藻場3ha×吸収係数

し、スガモは現地調査において湿重量の計測を行っていないため、算定式1を適用することとした⁹⁾ (図-4)。

表-4(a)及び(b)は、稚内港港湾区域の藻場によるCO₂吸収量の算定結果である。リシリコンブ藻場の吸収量は8月下旬時点で35.1t-CO₂/年であるが、9～10月分の吸収量17%¹⁰⁾を差し引いて29.1t-CO₂/年とした。また、スガモ藻場の吸収量は60.0t-CO₂/年であった。この結果港湾区域内の吸収量は、89.1t-CO₂/年と求められた。

(3) 防波堤背後盛石によるブルーカーボンによるCO₂吸収量の算定

防波堤の背後に盛石を設置可能な延長は、周辺を航行する船舶利用者への聞き取りから887.3mとした (図-7)。現地水深は既設の構造図から水深10.5mと想定し、水深1.0mの天端幅は11m (図-8(a))、水深3.0mの天端幅は15m (図-8(b))とした。

背後盛石整備後にはリシリコンブが繁茂すると仮定し、水深1.0mの海藻被度は、藻場調査結果における水深0.5m～水深1.5mのリシリコンブの海藻被度の平均値から70%と想定した (図-9)。藻場の分布面積は天端面積に海藻被度を乗じて6,832m²、湿重量は式(1)より、5.187kgww/m²と求めた。水深3.0mも同様に、海藻被度は水深2.5m～水深3.5mの海藻被度の平均値から46%と想定し、藻場の分布面積6,122m²、湿重量3.409kgww/m²と求めた。

表-5は、背後盛石上面にリシリコンブ藻場が繁茂した場合のCO₂の吸収量の算定結果である。水深1.0mの場合2.9t-CO₂/年、水深3.0mの場合1.7t-CO₂/年となり、1.2t-CO₂/年の差が生じるとの結果が得られた。

4. おわりに

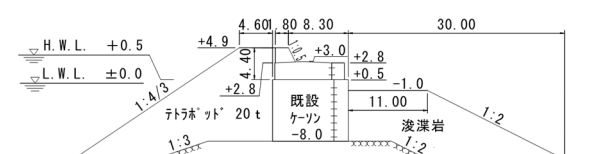
本稿による主要な結論は以下のとおり。

- ・稚内港港湾区域内におけるブルーカーボンによるCO₂吸収量は、リシリコンブ藻場は29.1t-CO₂/年、スガモ藻場は60.0t-CO₂/年、合計89.1t-CO₂/年と推計された。
- ・稚内港の航路・泊地の整備により発生する浚渫岩を防波堤(北)の背後盛石に活用する場合の天端水深は、水深1.0mと水深3.0mの2断面を比較したところ、水深1.0mのCO₂の吸収量は2.9t-CO₂/年となり、水深3.0mの場合に比べて、1.2t-CO₂/年多いとの結果が得られた。

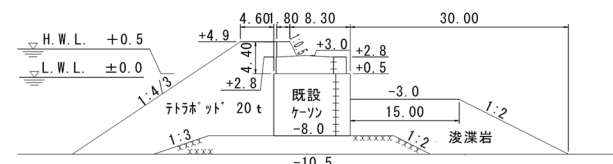
なお、今後の課題として、多年藻であるリシリコンブの経年変化の影響に関する検討、藻場調査を必要としないCO₂吸収量推計方法の検討、スガモ藻場の変化の把握がある。また、ブルーカーボンによるCO₂吸収量の拡大に向けて、施設整備に合わせた藻場を造成する工夫の実施、藻場の分布面積の拡大方法の検討が必要である。



図-7 北防波堤平面図



(a) 背後盛石天端水深1.0m



(b) 背後盛石天端水深3.0m

図-8 北防波堤断面図

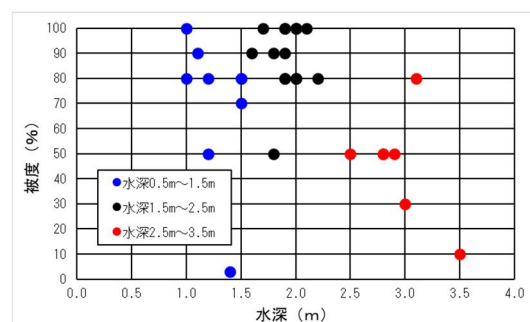


図-9 現地水深とリシリコンブの海藻被度の関係 (港内地点を除く)

表-5 背後盛石上面の藻場によるCO₂の吸収量の算定結果

項目	単位	水深1.0m	水深3.0m
藻場			
抽出面積	m ²	9,760	13,310
リシリコンブ被度			
全平均	%	70	46
リシリコンブ藻場			
推計面積	m ²	6,832	6,122
リシリコンブの			
単位面積当り湿重量	kgww/m ²	5.187	3.409
残存係数パラメータ	-	2.7	2.7
文献※3より	-	1.5	1.5
	%	11.3	11.3
	-	0.17	0.17
	-	0.29	0.29
	-	3.67	3.67
背後盛石上面	t-CO ₂ /年	2.9	1.7

参考文献

- 1) 内閣官房ほか：「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」、p1、2021.
- 2) 内閣官房ほか：「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」、p79、2021.
- 3) 国土交通省：「港湾法の一部を改正する法律案」を閣議決定～カーボンニュートラルポートの形成・港湾の安定的な機能維持、管理の効率化を図ります！～
https://www.mlit.go.jp/report/press/port01_hh_000250.html
(2025 年 1 月 4 日確認)
- 4) 稚内市：稚内港港湾脱炭素化推進計画、2025.
- 5) 水産庁：第 3 版磯焼け対策ガイドライン、p92、令和 3 年 3 月.
- 6) ジャパンブルーエコノミー技術研究組合：J ブルークレジット®認証申請の手引きーブルーカーボンを活用した気候変動対策ーVer.2.4、p21、令和 6 年 3 月.
- 7) 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、p9、令和 5 年 11 月.
- 8) 水木健太郎、阿部寿、酒向章哲：コンブ漁場におけるブルーカーボン貯留評価の試み、第 66 回(2022 年度)北海道開発技術研究発表会論文.
- 9) 地方独立行政法人北海道立総合研究機構、魚種指定月別漁獲量（こんぶ、稚内市）、2018～2022.
- 10) 水産庁：広域藻場モニタリングの手引き、pp24-30、令和 3 年 3 月.