

元稻府漁港における藻場調査

—北防波堤整備によるブルーカーボン生態系の創出効果の算定に向けて—

網走開発建設部 紋別港湾事務所 工務課

○秋田谷 肇

丸山 修治

株式会社アルファ水工コンサルタンツ

吉田 侑矢

令和4年度に完成した元稻府漁港二重堤間の造成浅場（北防波堤の流速低減部）を対象に、令和5年6月に実施した二重堤間全域の潜水調査結果から、造成浅場と既存浅場との比較を行い、藻場創出機能について考察する。また、潜水調査と同時期に撮影した空撮画像の解析を行い、二重堤間全域のリシリコンブ現存量を推定し、藻場創出効果の1つとして二酸化炭素吸収量を算出した。

キーワード：元稻府漁港、二重堤、リシリコンブ、藻場調査

1. はじめに

北海道オホーツク海に位置している元稻府漁港（第4種）は、ホタテガイ・サケを中心とした沖合沿岸漁業の生産拠点として、また、オホーツク海域で操業する漁船の荒天時における避難港として重要な役割を担っている。

平成14年度に、長周期波による港内副振動の低減等を目的とした港内水域の拡大に着手している。その際、新たに配置する北防波堤には、本体部（直立堤）と消波部（傾斜堤）を分離し、本体部と消波部の間に形成される浅水域の波浪低減効果により防波堤本体の建設コストが縮減される二重堤方式を採用している（平成21年度完成）（図-1）。

本報文では、平成21年度に完成し毎年形成されている既存浅場と令和4年度に完成した造成浅場を対象として、二重堤間全域の潜水調査に加え、潜水調査と同時期に撮影した空撮画像の解析を行い、既存浅場と造成浅場の海藻被度（リシリコンブ含む）の比較結果から、造成浅場の藻場創出機能について考察する。また、潜水調査時に採取したリシリコンブ湿重量と空撮画像の解析結果から、着生している二重堤間全域のリシリコンブ現存量を推定し、藻場創出効果の1つとして二酸化炭素吸収量を算出したので報告する。

2. 二重堤の利用状況と現状

(1) 二重堤間に創出される静穏域

既存浅場は、港内水域拡張の際に発生した浚渫岩を二重堤間に創出される静穏域に投入・有効活用することで、海藻の着生や底生生物の生育環境に適した浅場を造成したものである。既存浅場では、現在、オホーツク海に代表される大型海藻のリシリコンブが繁茂し、毎年7月上旬から中旬にリシリコンブ漁が行われている。また、港内で採取したエゾバフンウニの実入り向上を目的とした

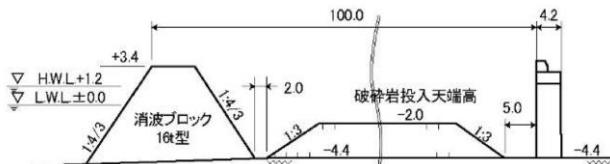


図-1 元稻府漁港 港内水域拡張の伴う二重堤の整備



写真-1 リシリコンブ漁（左）とエゾバフンウニ漁（右）

移植放流も行われ（増殖場として活用）、毎年4～6月にエゾバフンウニ漁も行われている（写真-1）。

このような環境と調和した漁業活動は、二重堤建設後から現在まで継続的に行われ、藻場の創出やエゾバフンウニとの共存に関してこれまでの多くの調査で考察されている¹²⁾。

（2）令和2年度以降の波浪対策

近年、特に秋季において来襲する波浪の波向変化や高波浪の頻度増加により、二重堤間で発生する波浪流が航路側へ卓越し、港口付近では沖からの波浪とぶつかり波高が増大することで、外来船や地元漁船の安全な入出港に大きな支障をきたすようになってきている。

このため、特定漁港漁場整備事業計画（令和2年7月2日）において、沖からの波浪対策（島防波堤新設）と二重堤からの流速低減対策（北防波堤改良）の双方を実施する計画を位置づけた。その内、流速低減対策は、既設北防波堤の一部60mを沖側へ移設して、開口部を設けることにより、二重堤間の水位上昇の低減と沖向きへの流れの分散、さらに、二重堤間に捨石マウンドの潜堤を整備（造成浅場）して、二重堤間の流れに対する抵抗性を増大させる計画である（図-2）。



図-2 元稻府漁港 波向変化・高波浪の増加に伴う課題

（3）造成浅場における藻場調査の重要性

既設北防波堤の一部移設は、令和6年度の完成に向けて整備中であるが、潜堤（造成浅場）の整備は令和4年度に完成している。造成浅場においては、既存の二重堤間と同様な藻場の創出に加え、漁場としても活用が可能となるようなブルーカーボン生態系の創出についても期待されている。このため、藻場創出状況の把握と藻場創出効果の1つである二酸化炭素吸収量の算出が重要となっている。

3. 潜水調査

（1）調査内容

Hajime Akitaya, Shuji Maruyama, Yuya Yoshida

調査内容を表-1に示す。潜水調査は、当海域におけるリシリコンブの繁茂期でコンブ漁開始前の6月28、29日に行った。調査測線について、既設二重堤間の測線数は、過去の潜水調査と同様の4測線（L3、L4、L5、L6）とし、既設二重堤間の北側に1測線（L2）、造成浅場に1測線（L7）、二重堤間の北側と南側の違いを把握するために二重堤間の南北に1測線（L1）を追加し合計7測線とした。

表-1 潜水調査の概要

方法	項目	箇所	備考
目視	海藻被度、植食動物、底質性状	7測線、5m間隔、186箇所 (方形枠1.0m×1.0m)	L1=400m、L2=100m、 L3～L6=80m、L7=75m
採取	葉長、葉幅、質重量	4箇所 (リシリコンブ被度20,40,60,80%地点)	-
調査日：令和5年6月28日、29日（2日間）			

調査方法は、起点と終点をGPSで測位して、潜水技師が起終点間の海底にロープを配置した後、ロープ上を潜水移動して5m間隔に方形枠（1m×1m）を設置し、水深を把握した上で、枠内の海藻被度、植食動物の個体数、底質性状の目視観察を行った。さらに、調査地点のうちリシリコンブ被度の異なる4地点（20%、40%、60%、80%）のリシリコンブを採取し、葉長、葉幅、湿重量を計測した（図-3）。

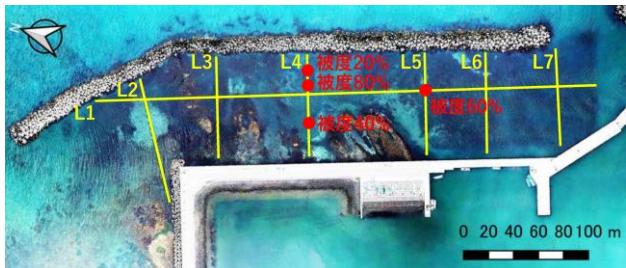


図-3 調査測線とリシリコンブ採取箇所

（2）調査結果

a) 海藻被度、エゾバフンウニ個体数、水深

無節サンゴ藻等の殻状海藻を除く海藻を対象とした測線毎の平均海藻被度と被度組成を図-4に、リシリコンブの着生状況を写真-2に示す。全測線の平均海藻被度は83.4%（63.8%（L4）～98.8%（L7））、その内、既存浅場（L2～6）は76.6%、造成浅場（L7）は98.9%で、造成浅場の方が高い値を示した。海藻被度の内、各海藻種の被度割合を表す被度組成では、大型の水産有用種であるリシリコンブが44～98%を占め、過年度の調査結果²⁾と同様に当海域の最優占種であった。

全調査地点のリシリコンブ被度（%）とエゾバフンウニ個体数（個/m²）との関係を図-5に示す。

エゾバフンウニの個体数は、1地点（L3、SP25）を除くと、0～8個/m²であり、リシリコンブ被度と明確な関係は見られなかった。一般的には植食動物が多い箇所は、その摂餌圧のため繁茂していない場合が多い。しかし、

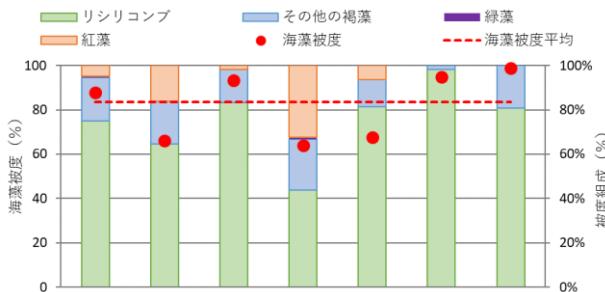


図-4 海藻被度と被度組成



写真-2 リシリコンブ着生状況 (左: L3、右 L7)

潜水調査時はエゾバフンウニ漁の期間中で、船上から箱眼鏡で探しながら漁獲する際、エゾバフンウニの確認が容易な繁茂していない箇所を中心に漁獲していることが多く、このことが両者に明確な関係が見られなかつた要因の1つと考えられる。なお、調査地点（既存浅場）の水深は0.6~2.9mの範囲（平均1.8m）であり、既存浅場の天端高に、施工当時から大きな変化は生じていないと考えられた。

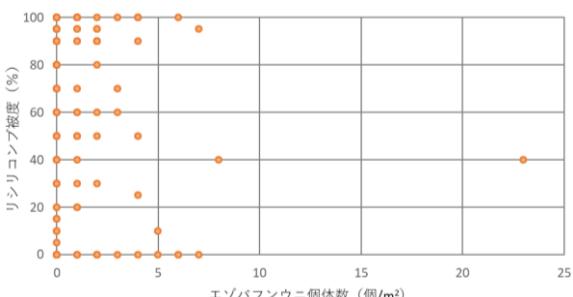


図-5 リシリコンブ被度とエゾバフンウニ個体数との関係

b) リシリコンブ湿重量

調査地点のうちリシリコンブ被度の異なる4地点（20%、40%、60%、80%）を対象に採取した海藻の分析結果を表-2、図-6に示す。

リシリコンブの湿重量は、被度20%は245.0g/m²、40%は1201.0g/m²、60%は1211.7g/m²、80%は3083.5g/m²であり、リシリコンブの被度が高くなると湿重量も大きくなる傾向がある。この関係式を以下に示す。

$$Y=1.7438X^{1.0821} \quad R^2=0.8938 \quad (1a)$$

ここで、Y:リシリコンブ湿重量 (g/m²)、X:リシリコン

ブ被度 (%)、R²:決定係数である。

この関係式を用いて被度100%の湿重量を計算すると4,033.6g/m²となる。しかし、「寒冷地における沿岸構造物の環境調和ガイドブック³⁾」に整理されている平成15年～平成23年の8月期におけるリシリコンブの平均湿重量は13～15kg/m²であり、両者に10kg/m²程度の差がみられた。これは、本調査では被度100%の湿重量は計算しておらず関係式に反映していないことが理由と考えられる。なお、過去の調査では、最繁茂地点（被度100%）を対象に採取しているが、同じ被度100%でも、1m²当たりの生育本数に差があることから、湿重量にも大きな差が生じる場合がある。

表-2 採取した海藻の分類結果

番号	門	綱	学名	和名	湿重量(g/m ²)				合計
					L4-10 被度20%	L4-55 被度40%	L1-260 被度60%	L4-25 被度80%	
1	緑色植物	緑藻	<i>Ulva pertusa</i>	アラオサ	46.1		148.1		11.5 0.7%
2	黄色植物	緑藻	<i>Demarettia ligulata</i>	ウルシグサ		9.8		37.0 2.3%	
3			<i>Laminaria ochotensis</i>	リシリコンブ	245.0	1201.0	1211.7	3083.5 1435.3 89.2%	
4			<i>Costaria costata</i>	スジメ			119.3	29.8 1.9%	
5			<i>Cystoseira hakodatensis</i>	ウガサチク	0.8		34.0	8.7 0.5%	
6	紅色植物		<i>Nonarticulated coralline</i>	無筋サンゴ類	*	*	*	0.0 0.0%	
7			<i>Bossiella cretacea</i>	イソカリ		87.4	3.8	5.9 24.3 1.5%	
8			<i>Tichocarpus crinitus</i>	カレシグサ	9.8	223.0		58.2 3.6%	
9			<i>Chondrus vendoi</i>	クロワゼンソウ	0.5			0.1 0.0%	
10			<i>Pilota filicina</i>	クシベニヒバ			2.1	0.5 0.0%	
11			<i>Ceramium kondoi</i>	イギス	9.2		0.6	2.5 0.2%	
12			<i>Laurensia pinnata</i>	ハネソブ	0.1	2.1		0.6 0.0%	
13	被子植物	被子植物	<i>Phyllospadix liebmannii</i>	スガモ		1.2			0.3 0.0%
湿重量(g/m ²)					310.7	1515.5	1364.2	3244.8 1608.8 100%	
種類数合計					7	7	5	6 13	

単位: 湿重量(g/m²)、*: 計量不可です。

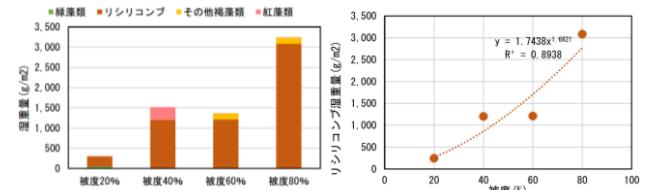


図-6 被度と採取重量 (左)、被度とリシリコンブ重量 (右)

4. 空撮画像解析

(1) 空撮内容、画像

空撮は、潜水調査と同時期の6月23日に、UAVマルチコプター（メーカー:DJI、型式:Phantom4 RTK）を使用して、重複率はオルソ画像作成のため70～90%に設定し、二重堤間全域を撮影した。撮影した写真は、Pix4Dmapperを用いて、つなぎ合わせ等の処理を行った（オルソ画像）。

(2) 画像解析の目的と作業フロー

画像解析の目的は、潜水調査地点の被度とオルソ画像の色 (R,G,B)との関係から、簡易に海藻被度の分布を面的に把握し、既存浅場、造成浅場、二重堤間全域の平均被度を算出するとともに、被度と湿重量との関係式

(1a)を用いて各エリアのリシリコンブ現存量を推定することである。具体的な作業は、「第3版磯焼け対策ガイドライン⁴⁾」で示されている海藻被度区分を参考に被度階級を定め、各階級に属するオルソ画像の色を基に、

画像を作成する（教師付き分類画像）。次に、作成した教師付き分類画像から、各エリアの平均被度と湿重量を算出する（図-7）。



図-7 平均被度算出と海藻現存量推定の作業フロー

（3）画像解析の内容

はじめに、作成したオルソ画像を、海中の海藻を明瞭にするためPhotoshopを用いて色調の平均化を行った。色調を平均化したオルソ画像上に、QJIS（ver3.32.2）を用いて調査地点の座標をプロットし、その座標を中心として1.0m四方（方形枠）の範囲内の平均色調（R,G,B）を抽出した。取得した色調データは、調査地点における被度を色調で表現出来ていることから、被度階級の設定に利用する（図-8）。

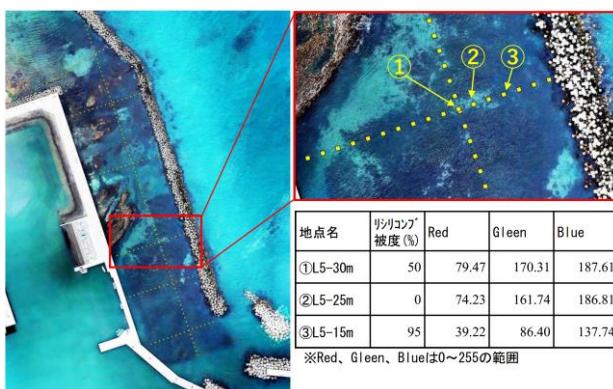


図-8 色調平均化後の画像と色調抽出の一例

次に、各調査地点の平均色調とリシリコンブ被度を基に、被度階級の設定について検討し、教師付き分類画像を作成する。リシリコンブ被度とRGB値との関係を図-9に、被度階級ごとの被度と色調のまとめを表-3に示す。

本画像解析で設定する被度階級は、「第3版磯焼け対策ガイドライン⁴⁾」で示されている被度階級区分の中から、「密生」として区分されている50%と、着生の有無の把握が可能な5%を境界として、0~5%、6~50%、51~100%の3階級に区分し、潜水調査によって得られている地点数、最小・平均・最大被度、RGB値の平均色調を、該当する被度階級として整理した。

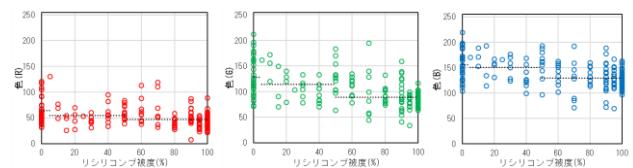


図-9 リシリコンブ被度と空撮写真RGB値との関係

表-3 被度階級ごとの被度と色調のまとめ

被度階級	地点数	被度			平均色調（±標準偏差）		
		最小	平均	最大	R	G	B
0~5%	32	0	0.2	5	64.0(±26.9)	128.6(±38.4)	115.5(±28.5)
6~50%	38	10	34.7	50	54.9(±15.7)	114.2(±29.6)	150.2(±25.1)
51~100%	116	60	90.5	100	47.0(±18.0)	89.2(±23.1)	129.0(±21.5)

多重比較検定（Tukey-Kramer法）の結果を表-4に示す。

R,G,Bの平均色調の有意差の有無を多重比較検定のひとつであるTukey-Kramer法にて検定した。その結果、R,G,Bのいずれにおいても、0~5%と51~100%にはp<0.05で有意差が確認され、また、6~50%と51~100%にはGとBでp<0.05で有意差が、Rではp<0.10で有意差が確認されたことから、分類可能と考え、0~5%、6~50%、51~100%の3階級に区分することとした。

表-4 多重比較検定（Tukey-Kramer法）の結果

R	0~5%	6~50%	51~100%	G	0~5%	6~50%	51~100%	B	0~5%	6~50%	51~100%
0~5%	-	1.33E-01	6.93E-05	0~5%	-	8.40E-02	1.00E-09	6~50%	-	6.25E-01	3.00E-07
6~50%	-	-	8.15E-02	6~50%	-	-	1.03E-05	6~50%	-	-	1.16E-05
51~100%	-	-	-	51~100%	-	-	-	51~100%	-	-	-

有意差なし | p<0.10 | p<0.05

（4）画像解析の結果（平均被度、リシリコンブ現存量）

3階級に区分した被度階級のデータを基に、簡易に空撮写真の画像解析が可能で一般公開されているRSPを用いて、二重堤間全域を3階級の被度に分類した。教師付け前の画像（色調を平均化したオルソ画像：図-8）と教師付き分類画像を図-10に示す。教師付き分類によって、色が濃く海藻が多い箇所と海底が白く海藻が少ない箇所は、概ね表現されている。

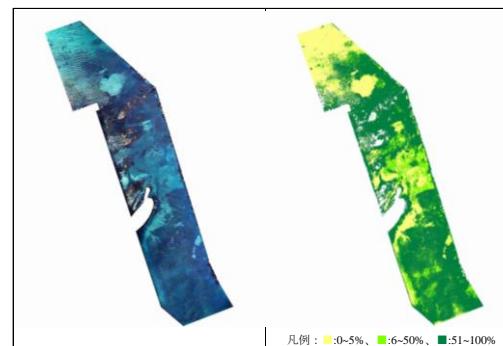


図-10 色調平均オルソ画像（左）と教師付き分類画像（右）

教師付き分類画像を基に各被度階級の面積を算出し、各被度階級の面積とその平均被度から、分類画像全域の平均被度を推定し、潜水調査によって得られているリシリコンブ被度の平均値と比較し評価した（表-5）。潜水調査による平均被度が63.5%、分類画像から推定した平

均被度は 60.6% であり、概ね同程度の値を示した。

全域の平均被度 = $\{(0\sim5\%) \text{の被度階級の平均被度} \times \text{面積} + (6\sim50\%) \text{の被度階級の平均被度} \times \text{面積} + (51\sim100\%) \text{の被度階級の平均被度} \times \text{面積}\} \div \text{全面積}$

表-5 潜水調査と教師付き分類画像との比較

被度階級	潜水調査		教師付き分類画像	
	地点数	リシリコンブ 平均被度 (%)	面積 (m ²)	全域リシリコンブ 平均被度 (%)
0~5%	32	0.2	9,266.1	
6~50%	38	34.7	5,244.1	60.6
51~100%	116	90.5	23,256.3	
計	186	-	37,766.5	-

教師付き分類画像の各被度階級の面積と、被度と湿重量との関係式 (1a) を用いて、二重堤間全域のリシリコンブ現存量を算出した。リシリコンブ現存量の算出にあたっては、各被度階級に幅があることから、被度階級内の最小被度、平均被度、最大被度の 3 つの値に対して計算した (表-6)。

表-6 リシリコンブ現存量の推定結果

被度階級	リシリコンブ現存量 (kg)		
	最小被度	平均被度	最大被度
0~5%	0.0	0.7	242.2
6~50%	439.8	3,572.1	6,591.8
51~100%	39,725.1	79,269.7	93,807.4
計	40,165.0	82,842.5	100,641.4

二重堤間全域のリシリコンブ現存量は、最小被度では 40,165kg、平均被度では 82,842kg、最大被度では 100,641.4kg になると推定され、選択する被度によって約 2.5 倍の差が見られた。また、被度階級 51~100% の現存量が占める割合は、最小・平均・最大被度ともに 90% 以上を占めていることが確認された。

5. 藻場創出機能の考察と二酸化炭素吸収量の算出

(1) 藻場創出機能に関する考察

a) 二重堤間全域を対象とした藻場創出機能の評価

先に述べたように全測線の平均海藻被度は 83.4% (既存浅場 76.6%、造成浅場 98.9%) であり (図-4)、これは「第 3 版磯焼け対策ガイドライン⁴⁾」で示されている被度階級の中で、最も上位階級の「濃生 75~100%」に該当する。よって、二重堤間全域は、非常に良好な藻場が形成されていると評価される。

一方、二重堤間は、コンブ漁場やウニ育成場として利用されているにもかかわらず、毎年、良好な藻場が形成されているが、この要因については、これまで多くの藻場調査が行われ、以下のとおり考察されている。

・冬季の波動流速振幅 $U_{max}=0.25\text{m/s}$ の出現確率 50% 以

上の環境にある¹⁾。 $(U_{max}=0.25\text{m/s} \text{ 以上で、ウニの食害が低減される。})$

- ・夏季のエゾバフンウニ個体数は 8 個/ m^2 以下が望ましい²⁾。 $(\text{ウニ漁によりウニの個体数が減少し、ウニの食害が低減される。} 8 \text{ 個}/\text{m}^2 \text{ 以下では良好な藻場が形成されていることを確認している。})$
- ・水深 2 m 以浅が望ましい³⁾。 $(\text{光合成の促進によりコンブが生育。} \text{流速増大によりウニの食害が低減される。})$

本調査の結果、エゾバフンウニ個体数と水深は、概ね満たされていた (図-11)。

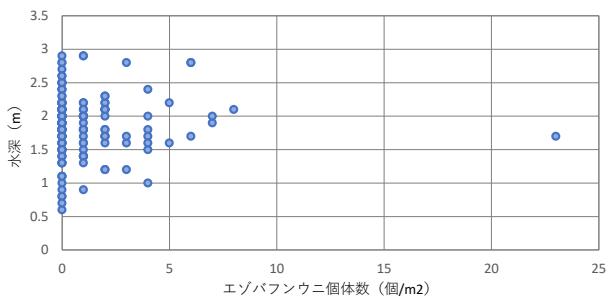


図-11 水深とエゾバフンウニ個体数との関係

b) 既存浅場と造成浅場の藻場創出機能に関する比較

既存浅場と造成浅場の藻場創出機能の比較について、潜水調査結果と画像解析結果を図-12、表-7 に示す。

潜水調査結果において、リシリコンブ被度 90~100% の全体に占める割合は、既存浅場が 29% に対し、造成浅場は 77% であった。また、画像解析結果においても、リシリコンブ被度は、既存浅場が 57.3% に対し、造成浅場は 77.2% であり、造成浅場には良好な藻場が創出されていると考えられた。

c) 今後の調査に向けて

近年、気候変動に伴う海水温上昇などの影響により、海藻草類の衰退、藻場構成種の変化、分布域の北上が懸念され⁵⁾、また、基質面の優占種交代による多年生海藻の長期間育成など海藻群落の遷移も散見されている。このような中、当該箇所も、リシリコンブ藻場の継続性をモニタリングしていくことが重要である。

(2) 二酸化炭素吸収量の算出

a) 算出方法と結果

リシリコンブ被度と湿重量との関係式 (1a) を用いて算出した二重堤間全域のリシリコンブ現存量から、J ブルークレジット認証申請の手引き Ver.2.3(ジャパンブルーエコノミー技術研究組合 令和 5 年 8 月) (以下、JBE 手引き)に基づき、二酸化炭素吸収量を算出した。算出方法を図-13 に、算出結果を表-8 に示す。

二重堤間全域における二酸化炭素吸収量は 2.23~5.58t $\text{CO}_2/\text{年}$ と算出された。これは、環境省の統計調査 (確報

値)によると、北海道の1世帯が1年間に排出する量(4.24t-CO₂/年⁶⁾と同程度の値であった。

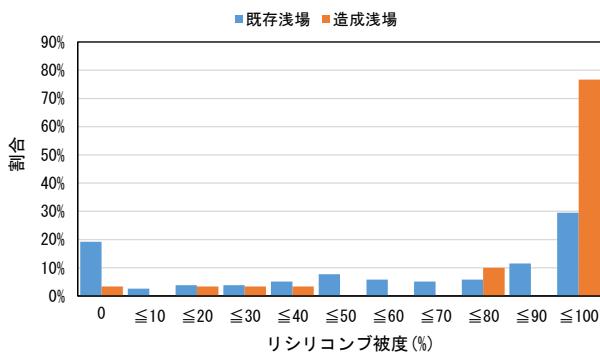


図-12 既存浅場と造成浅場との比較（潜水調査）

表-7 既存浅場と造成浅場との比較（画像解析）

（上段：既存浅場、下段：造成浅場）

被度階級	潜水調査		教師付き分類画像	
	地点数	リシリコンブ 平均被度（%）	面積（m ² ）	全域リシリコンブ 平均被度（%）
0～5%	31	0.2	60.0	8,927.4
6～50%	35	34.7		4,300.8
51～100%	90	90.5		18,290.8
計	156	-	-	31,519.0

被度階級	潜水調査		教師付き分類画像	
	地点数	リシリコンブ 平均被度（%）	面積（m ² ）	全域リシリコンブ 平均被度（%）
0～5%	1	0.2	81.9	338.7
6～50%	3	34.7		943.2
51～100%	26	90.5		4,965.5
計	30	-	-	6,247.5



図-13 CO₂吸収量の算出方法

b) 今後の調査に向けて

今回、リシリコンブの湿重量を算出するにあたって、被度20%、40%、60%、80%の地点で枠取りを実施し、100%の地点での採取を実施しなかったことから、被度100%のリシリコンブ湿重量を正確に評価できておらず、過小評価となっている可能性が考えられる。先に述べたように、リシリコンブは葉体が大きく、同じ被度100%の地点で採取したとしても1m²当たりの生育本数に差が生じる可能性があることから、被度100%の地点を数地点採取し、被度100%の現存量を評価する必要がある。このことが、より精度の高い二酸化炭素吸収量の把握に繋がるものと考えられる。

表-8 CO₂吸収係数の算定に用いたパラメータと算出結果

パラメータ項目	パラメータ値	備考
現存量 (t-wet)	40.2(最小被度) 82.8(平均被度) 100.6(最大被度)	現存量の推定結果より
P/B _{max} 比	2.7	文献調査より
生態系への変換係数	1.5	JBE手引きより
残存率 (%)	7.57% (4.72%+2.85%)	JBE手引きより
湿重乾重比	0.17(±0.05)	16文献の平均値より
炭素含有率	0.29(±0.02)	8文献の平均値より
CO ₂ 分子量比	3.67	CO ₂ (分子量:44)-C(分子量:12)より
CO ₂ 吸収量 (t-CO ₂ /年)	2.23(最小被度) 4.59(平均被度) 5.58(最大被度)	
CO ₂ 吸収係数 (t-CO ₂ /ha/年)	0.59(最小被度) 1.22(平均被度) 1.48(最大被度)	CO ₂ 吸収量÷藻場面積(3.78ha)

6. おわりに

令和4年度に完成した造成浅場の藻場創出機能の把握を目的に、令和5年6月に元稲府漁港二重堤間全域を対象とした藻場調査と空撮画像解析を行った。その結果、造成浅場にも既存浅場と同様に、非常に良好なリシリコンブ藻場が形成されていることがわかった。また、採取したリシリコンブ湿重量から二重堤間全域のリシリコンブ現存量を推定して、藻場創出効果の1つである二酸化炭素吸収量も算出できた。同時に、被度100%のリシリコンブ湿重量の正確な評価といった課題も得られた。

近年、海藻群落の変遷など様々な観点から継続的なモニタリング調査の重要性が指摘されている中、潜水調査は多大な調査労力・費用・時間を要することから、現在、寒地土木研究所水産土木チームにおいて、藻場の分布状況を効率的に調査する手法の研究として、水中音響計測機器・ROVを活用した藻場分布状況の把握と、取得した画像データの3次元合成画像処理による現存量の算定の検討が進められている⁷⁾。

今後は、この研究成果を活用してブルーカーボン生態系の創出効果の算定に取り組んでいきたい。

参考文献

- 酒向章哲、青井晃樹、藤井良昭、秋田雄大、鳴海日出人：二重堤および破碎岩を再利用したマウンドによる藻場創出に関する研究－北海道元稲府漁港の自然調和型漁港構造物の事例－、土木学会論文集B2（海岸工学），Vol.68, No.2, pp.1181-1185, 2012.
- 丸山修治、伊藤敏朗、田村友行：元稲府漁港二重堤間の藻場に関する考察、第61回北海道開発技術研究発表会、2017.
- 一般社団法人寒地港湾技術研究センター：寒冷地における沿岸構造物の環境調和ガイドブック、pp.143, 2017.5
- 水産庁：第3版磯焼け対策ガイドライン、pp.92, 2020.3
- 水産庁漁港整備部：気候変動に対応した漁場整備方策に関するガイドライン、pp.70, 2017.
- 環境省：令和3年度家庭部門のCO₂排出実態統計調査結果の概要（確報値）、pp.3, 2023.3
- 寒地土木研究所水産土木チーム：寒地土木研究所月報、No.849, pp.52-55, 2023.10