



釧路港におけるブルーカーボンに着目した 調査及び考察について

釧路開発建設部 釧路港湾事務所 計画・保全課 ○山本 也実
高野 航
日本データサービス(株) 本松 敬一郎

釧路港では、浚渫土砂を釧路港西港区島防波堤に有効活用し、藻場を創出する取り組みを進めており、海藻が炭素を吸収するブルーカーボンの効果が期待されている。また、浚渫土砂に含まれる炭素を貯留する効果についても期待されているが、現在調査中である。本報告では、ブルーカーボンに着目して行った調査・解析方法及び結果の考察、今後の課題について経過報告するものである。

キーワード：ブルーカーボン、リサイクル、緑化・植生

1. はじめに

日本では、2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにするカーボンニュートラルを目指した取り組みを進めている。港湾域では藻場・浅場等の海洋生態系に貯留された炭素（ブルーカーボン）が二酸化炭素の吸収源¹⁾となるため、カーボンニュートラルを達成する手段の一つとして期待されている。北海道開発局では、北海道の港湾・漁港の技術開発ビジョン～持続可能な北のみなとづくり技術開発宣言～を公表している。本ビジョンでは、水産生物の生息場所を創出する工夫を凝らした港湾・漁港施設をブルーインフラと位置付け、カーボン・ニュートラルに貢献する施設のブルーインフラ化を進めることとしている。例えば、浚渫土砂が発生する港湾・漁港では、防波堤背後での盛土の構築を土砂処分の選択肢として必ず検討することとされている²⁾。

釧路港島防波堤の背後では浚渫土砂を活用した盛土による浅場を造成し、藻場を創出する事業を平成10年より行っており、大気中の二酸化炭素が光合成によって浅海域に生息する海藻に取り込まれ、炭素を有機物として貯留する効果が期待されている。島防波堤背後の盛土部は、計画延長1,100mに対して、平成17年12月に実証試験区間の100mが完成し、平成18年から継続してモニタリング調査を実施しており、種や現存量は異なるが、盛土上に設置したコンクリートブロックには毎年海藻が確認されている。

また、釧路港西港区では漂砂の影響があるため、物流機能を維持するため航路浚渫を継続して行っており、浚渫土砂は、陸上の土砂処分場に仮置きを行なっている。浚渫土砂にはこれまでの調査で強熱減量が最大10.2%含

まれていることが判明しており、有機物が豊富な土砂である。このような有機物が多い土砂を陸上処分すると空気に曝露に伴い、土砂内の有機物の分解が進行して二酸化炭素が放出されることが懸念される。一方で、釧路港島防波堤や函館港西防波堤³⁾の背後盛土のように、海中での利用を図ることで炭素を貯留する効果も期待される⁴⁾。そのため、将来、浚渫土砂に含まれる炭素貯留効果を定量化するために、浚渫土砂に含まれる炭素の初期値調査及び施工時の炭素の変化量に関する現地調査を令和3年度から開始したところである。本報告では、釧路港において令和3年度からブルーカーボンに着目して行っている藻場調査及び浚渫土砂に含まれる炭素貯留量の調査について、現段階での考察及び今後の課題を報告する。

2. 調査方法

(1)島防波堤背後の藻場調査

a)調査内容

島防波堤の盛土実証試験区間100mには、4種類のコンクリートブロックを設置している【写真-1, 2, 図-1】。コンクリートブロックについては、平成18年から毎年実施している藻場調査において、コンクリートブロック部4測線+通路部1測線の計5測線の植生環境を調査、打込部を含む測線100mの連続撮影と定点での目視調査・試料採取を行っている。なお、図-1の観察・採取地点は平成24年以降に位置を統一した地点である。

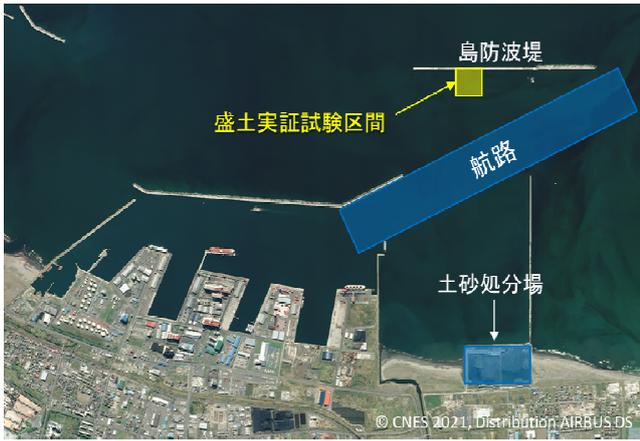


写真-1 現地調査の位置
(島防波堤・航路・土砂処分場)

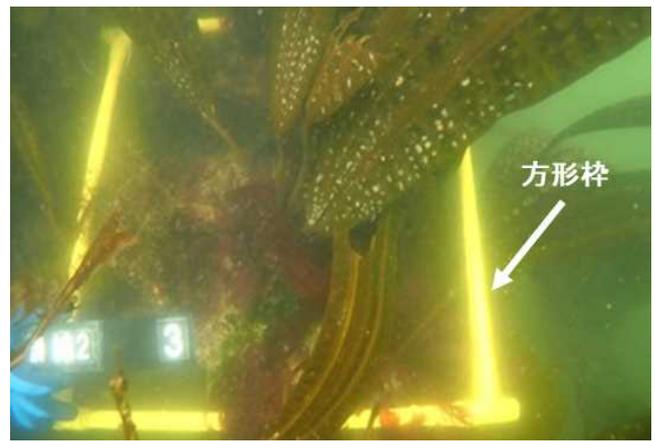


写真-3 方形枠を用いた藻場現存量調査, 写真: スジメ

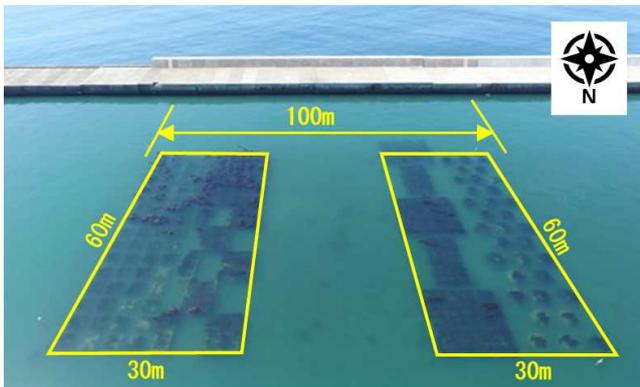


写真-2 盛土実証試験区間 (令和3年時点)

b)調査方法

藻場調査は、潜士により図-1に示した観察・採取地点で写真-3のように方形枠 (50cm×50cm) を設置し、枠内の葉体被度と根回り被度を測定した。葉体被度は、方形枠を上から目視した方形枠面積に対する海藻の占める面積の割合とした。根回り被度は、方形枠面積に対する海藻基部の面積の割合とした。

各観察地点・採取地点の海藻を刈り取り、海藻の出現種の特定制及び各地点1 m²当たりの海藻の湿重量を測定し、湿重量から海藻の現存量の算出を行なった。各コンクリートブロック1基あたりの着生面積は異なるため、上面1/4m²枠内を採取し、採取量を4倍にして単位面積当たりの湿重量を求める計算を行うことで各コンクリートブロックの着生面積を統一して現存量の比較を行った。

(2)航路の炭素初期値および施工調査

a)調査内容

航路の炭素初期値調査における試料の採取地点は、図-2に示す位置とした。T-23、T-24、T-25、T-10 (延長680m, 200m間隔) は、浚渫前の炭素量を把握するため、航路上の地点を選定した。また、T-20は、航路部と港外の土砂傾向を比較するために選定した。

施工時の調査 (T-29、T-29'、T-30、T-31) は、土砂処分場へ運搬する工事工程にあわせて試料の採取を行なった。令和3年度には、浚渫 (11月17日) 後に陸上の土砂処分場内の鉛直試料を採取 (11月27日) したが、土砂処分場内に浚渫土砂が堆積している範囲が不明であったため、航路に堆積していた土砂の炭素量と土砂処分場に堆積していた土砂の数値にバラツキがあり、関連した土砂を採取することができなかった。そこで、令和4年度も引き続き施工時の調査を実施することとした。調査地点は、浚渫工事による炭素量の変化を調査するために、浚渫箇所 (T-29)、グラブ浚渫船で浚渫した土砂を土運船に揚泥した土砂 (T-29')、土運船で土砂処分場まで運搬後にバージアンローダ船にて海水で5倍に希釈した土砂 (T-30)、土砂処分場に投入した土砂 (T-31) を選定した【図-

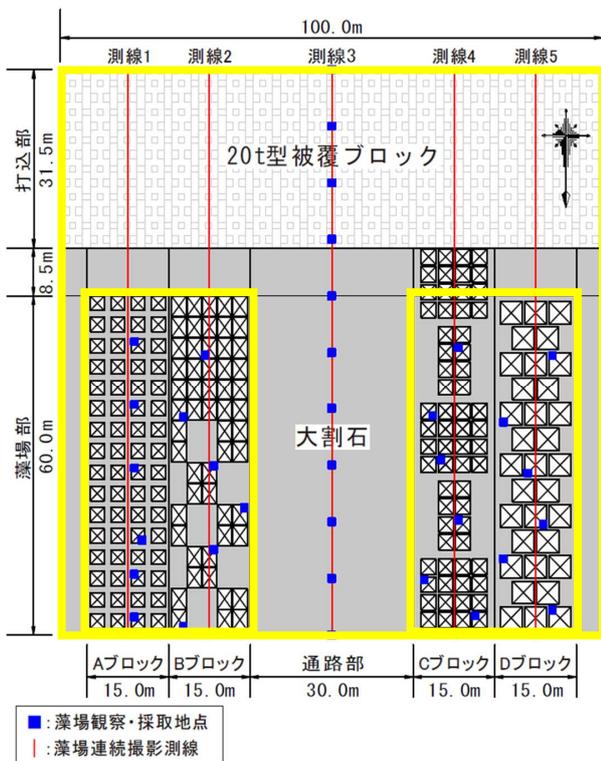


図-1 盛土実証試験区間の
コンクリートブロック平面配置

3]。なお、T-29'、T-30、T-31については、土砂の偏在性により炭素量の変動が懸念されたため採取回数を10回とした。炭素量調査の分析項目は、全調査地点にて全有機態炭素(以降TOC)を分析し、一部地点では炭素量の指標となる強熱減量(IL)についても分析を行った。

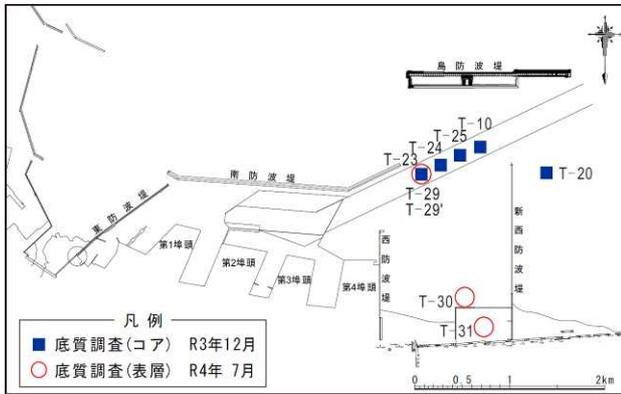


図-2 底質調査地点

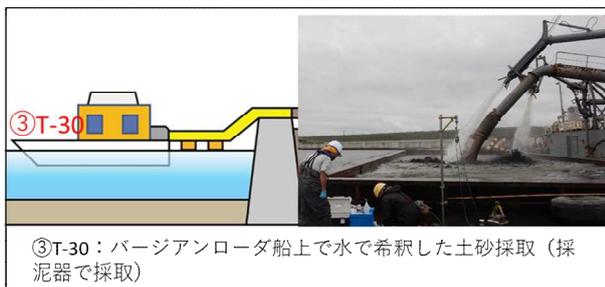
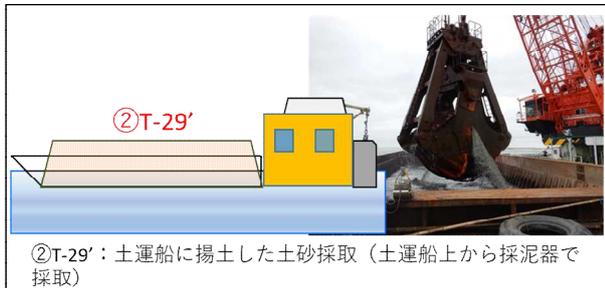
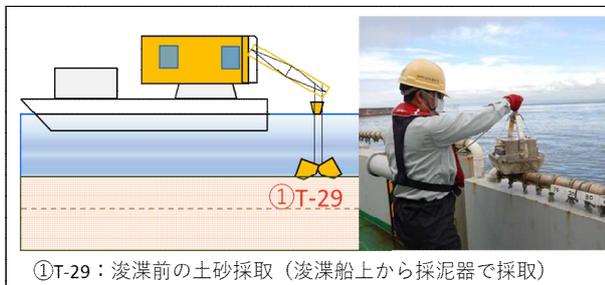


図-3 施工時調査の採取地点

b)調査方法

航路の炭素初期値調査における土砂を採取する際は、土砂が攪拌しないよう、潜水土によるアクリル製のコア（直径11cm、長さ50cm）を用いて採取した。採取試料は、事務所に持ち帰り、表層より5cm（上層）、15cmから20cm（中層）、30cmから30cm（下層）の3層を層切装置で行なった。それらの試料の泥相、酸化還元電位、pHをポータブル式の電極で測定後、試験室まで冷蔵輸送を行った。

施工時の調査では、エクマン式採泥器で航路および土運搬船内の浚渫土砂を採取した。揚泥時には、海水がなくなるとともに硬くなる土相であった。排砂時は採泥機器を直接処分場内に投下が困難なため、柄杓を用いて採取を行なった。なお、揚泥時および排砂時の調査では、安全に採取作業を行うため、10分間隔で排砂作業を停止し、その時間の間に試料を採取した。

化学分析は、TOC、強熱減量を測定した。TOCは、粉碎処理後に酸分解を行ない、約0.5mgの試料をCHNコーダ測定した。燃焼温度は950℃に設定した。強熱減量は、マッフル炉で600℃に燃焼後の重量より算出した。

3. 結果と考察

(1)藻場調査

a)葉体被度と根回り被度

藻場調査を開始した平成18年度からの根回り被度と葉体被度の経年変化を図4、図5に示す。

葉体被度は、年度によって変動が大きく、海藻の生育量の違いのほか、海藻種によって葉体面積が異なることが影響している。しかし、調査開始の平成18年度と比べ、ほとんどのブロックについて葉体被度に大きな差はない。

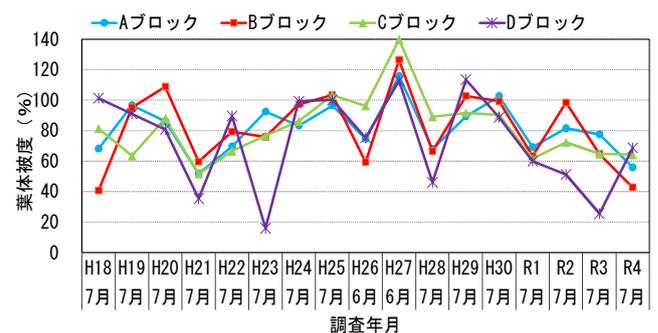


図-4 葉体被度の経年変化

根回り被度についても、葉体被度と同様、年度により変動は大きいですが、平成22年に全てのブロックで被度が高くなった後、平成30年以降一部ブロックでも増加も見られるが減少傾向にある。

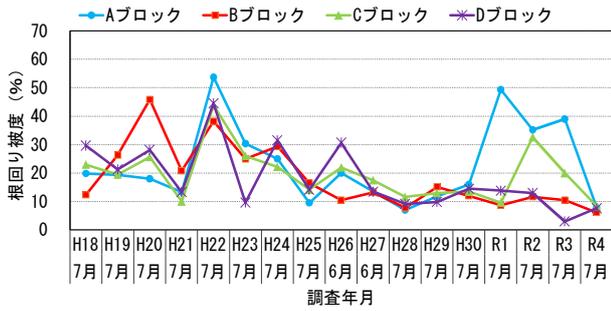


図-5 根回り被度の経年変化

b)海藻の優占種

ブロックに着生した海藻のうち、湿重量比率の最も高い優占種は、表-1のように平成18年から5年ほどは全てのブロックでナガコンブなどのコンブ属であったが、近年はスジメが最優占種となっている。

試験区間施工完了から5年ほどの初期には釧路海域の水産有用種のナガコンブが繁茂するなど、コンブ属が繁殖しやすい環境であったが、徐々に遊走子の着底時期がナガコンブより早いスジメに変遷、スジメ是一年生のため、枯れた後に、他の多年生の海藻（ウガノモクなどの幼体）が遊走子の着底場所を占有して繁殖するスペースや成長に必要な光量が不足し、初期のナガコンブや近年のスジメを主とする大型褐藻の繁茂量が減少したと予想される。

現存量については、図-6、図-7のように全海藻、コンブ類注)ともに変動はあるが、概ね減少傾向である。

注) コンブ属とスジメの合計をコンブ類とした。

表-1 優占種（湿重量比）の経年比較

年度	Aブロック		Bブロック		Cブロック		Dブロック	
	種名	優占率(%)	種名	優占率(%)	種名	優占率(%)	種名	優占率(%)
H18	コンブ属	98.8	コンブ属	98.0	コンブ	98.9	コンブ	96.8
H19	ナガコンブ	98.9	ナガコンブ	94.8	ナガコンブ	79.1	ナガコンブ	53.5
H20	ナガコンブ	34.4	その他コンブ	49.7	その他コンブ	41.9	その他褐藻	45.8
H21	ナガコンブ	42.6	ナガコンブ	42.7	その他褐藻	57.6	ナガコンブ	58.3
H22	ナガコンブ	37.3	その他褐藻	36.4	その他褐藻	52.3	その他褐藻	48.1
H23	スジメ	96.2	スジメ	90.7	スジメ	95.0	スジメ	95.6
H24	スジメ	73.9	スジメ	72.1	スジメ	88.3	スジメ	96.9
H25	スジメ	55.1	ウガノモク	54.6	スジメ	58.5	スジメ	80.9
H26	アナアオサ	53.5	アナアオサ	74.0	アナアオサ	30.9	スジメ	62.3
H27	スジメ	83.8	ウガノモク	51.8	スジメ	85.3	スジメ	98.6
H28	スジメ	38.5	ツカサリ属	25.5	スジメ	66.9	スジメ	64.8
H29	スジメ	66.4	スジメ	65.9	ウルシグサ属	65.5	スジメ	57.3
H30	アナアオサ	33.4	スジメ	51.0	スジメ	97.7	スジメ	89.6
R1	スジメ	85.8	スジメ	54.7	スジメ	76.7	スジメ	88.1
R2	ネトモク	41.1	スジメ	84.0	スジメ	97.9	スジメ	95.2
R3	スジメ	73.0	スジメ	76.8	スジメ	87.1	スジメ	88.2
R4	スジメ	58.1	スジメ	38.1	アナアオサ	75.5	スジメ	65.5

※H18 コンブ属:褐藻綱 緑藻綱 コンブ類 スジメ 褐藻綱 紅藻綱
 ※H20 その他コンブ:ナガコンブ以外のコンブ類
 ※H20~H22 その他褐藻:アイヌワカメ、ナガコンブ、その他コンブ以外の褐藻綱

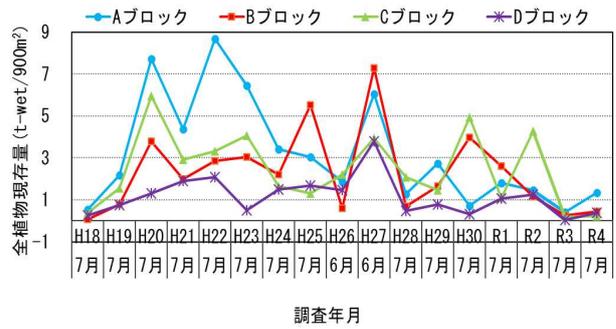


図-6 ブロック毎の全海藻現存量

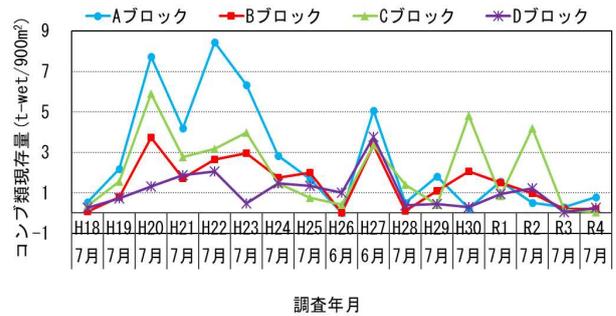


図-7 ブロック毎のコンブ類現存量

(2)炭素量調査

a)底質の炭素指標と土質指標の関係性

航路の炭素初期値調査の結果を図-8に示す。TOCは7.1~25.8 mg/g-dryの範囲であり、平均18.7 mg/g-dryであった。港外T-20に比べて航路地点では炭素が高く、T-23を除くと海底表面の上層より中層あるいは下層で高い傾向がみられた。

全国の港湾域でのTOCの平均値は1.5% (15mg/g-dry)である。全国の港湾域の平均よりは、釧路港の堆積土砂には豊富に有機物由来の炭素が含まれている。本調査の結果のみでは、有機物の起源の推定は困難であるものの、釧路港に流れ込む新釧路川からの堆積土砂の影響も考えられる。

表-2にTOCと密度や中央粒径等の他指標との関係を示す。強熱減量とTOCとの相関が強く、TOC (%)は強熱減量 (%)の33%値となる【図-9】。したがって強熱減量を測定することで釧路港のTOCの値は推測が可能であると考えられる。

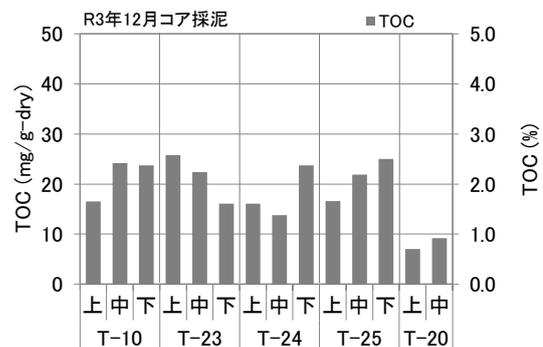


図-8 コア採泥地点の底質有機炭素量

表-2 底質TOCと他指標の相関係数

相関係数	密度	中央粒径	含水比	強熱減量	TOC
密度	1				
中央粒径	0.47	1			
含水比	-0.36	-0.70	1		
強熱減量	-0.29	-0.87	0.84	1	
TOC	-0.11	-0.77	0.74	0.95	1

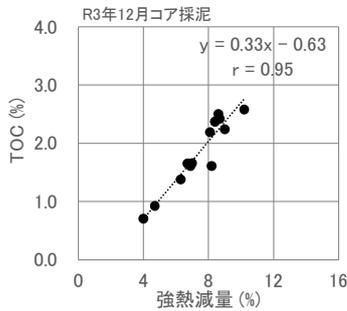


図-9 TOCと強熱減量の関係

b) 航路浚渫土砂の炭素量推計

航路地点のコア採泥試料の上層、中層、下層のTOCを用いて、令和4年度以降の浚渫工事で発生する土砂に含まれる炭素量を以下の手順で推計した⁹⁾。ただし、この推計は床掘りや余掘りを考慮せず、航路幅×調査地点間の区域を計画水深-15mまで浚渫した場合の概算値である

【図-10】 ※上図が平面、下図が断面を示している

- 航路の調査地点の平面配置からコア採泥地点を境界とする3区域を設定し、各区域の浚渫面積を算定する。
- コア採泥した上層、中層、下層のTOC(g/g-dry)に乾燥泥密度(g-dry/cm³)をかけて炭素密度(g/cm³)を算定する。
- 海底面0-10cm下をコア上層、10-25cm下をコア中層、25cm以深をコア下層の炭素密度とみなし、コア厚さ(cm)をかけてコア各層の炭素量(g/cm²)を算定する。
- 深さ方向に最大1mまでのコア各層の炭素量を積分し、各調査地点の炭素量(g/cm²)を算定する。
- 分割した区域の境界となる2地点の炭素量(×10 kg/m²)を平均し、浚渫面積(m²)をかけて各区域の炭素量(kg)を算定、全ての区域の炭素量を合計する。

以上で推計した炭素量は、浚渫土砂12.6万m³当たり1,564tonとなった。

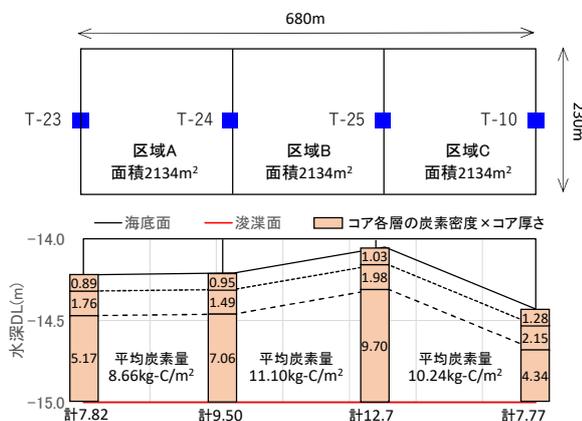


図-10 航路浚渫土砂の炭素量推計イメージ

c) 浚渫工事に伴う炭素量の推移について

令和4年7月に実施した浚渫施工時の炭素量調査結果については、図-11に示すとおり浚渫前T-29より土運船に揚土したT-29'の方がTOCは高くなった。バージアンローダ船で吸い出す直前のT-30では、T-29'に比べてTOCは低く、数値も変動が大きかった。また、土砂処分場への投入時時点T-31では、TOCが最も低い値となった。

数m程度の範囲内を小型採泥器で採取した海底表層のT-29と約400m²の範囲をグラブ浚渫して揚土した土運船内のT-29'では、試料の採取範囲や深度の違い、土運船内での攪乱などによってTOCに差が生じた可能性も考えられる。

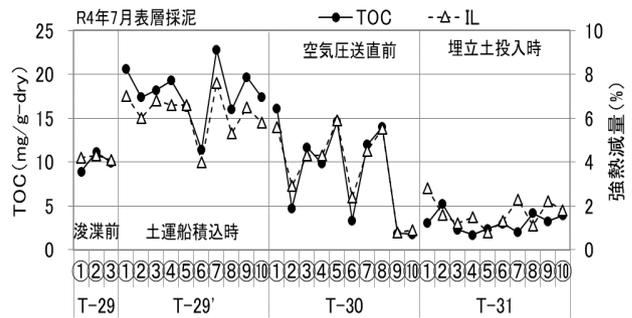


図-11 浚渫土砂のTOCとILの変化 (令和4年7月調査結果)

4. 今後の課題

(1) 藻場調査

今後、島防波堤背後の盛土部の整備を進めた際、新規に設置したコンクリートブロックにはコンブ類が付着する可能性が高いが、平成18年から行っている藻場調査より、その後は徐々に他の種へ置き換わることが分かってきた。今後も試験区間だけでなく、島防波堤全体での観察を継続していく。

また、釧路港海域において、ブルーカーボンに最も効果の高い海藻種を絞り込み、その海藻種の生育を維持できる藻場の管理手法について、地元水産関係者等と連携して検討していく必要がある。

(2) 炭素量調査

炭素量調査の取得データ数が少ないため、調査・分析手法を統一して、更にデータを蓄積することが重要である。

施工調査では、各採取地点の土砂条件に違いがあったことからTOCの変動が大きかったと予測されるため、今後、室内試験を行い検討していく予定である。

また、炭素量調査を引き続き行い、釧路港における浚渫土砂のさらなる活用方法についても検討していく。

5. まとめ

本報告における主な結論は以下のとおり。

- ①大型褐藻の現存量は、減少傾向となっている。今後も藻場の調査を行い、大型褐藻の生育を維持できる藻場の管理手法について地元水産関係者等と連携して検討していく。
- ②航路堆積土砂のTOC値は、平均18.7mg/g-dryで全国平均の15mg/g-dryに比べ豊富に炭素が含まれていることが判明した。
- ③TOCと強熱減量の相関が強く、強熱減量を測定することで釧路港のTOCの値を推測することが可能であると考えられる。
- ④施工調査の結果、土砂の採取範囲の違いや深度の違い、土砂の攪乱の影響でTOCに変動が生じたため、今後、室内試験を行い検討していく。

謝辞：最後に、本論文をまとめるにあたり、多くの関係者より多数のご助言及びご協力を頂きました。深く感謝を申し上げ、謝意を表します。

参考文献

- 1) 桑江朝比呂, 吉田吾郎, 堀正和, 渡辺謙太, 棚谷灯子, 岡田知也, 梅澤有, 佐々木淳: 浅海生態系における年間二酸化炭素吸収量の全国推計, 土木学会論文集B2 (海岸工学), Vol. 75, No. 1, pp. 10-20, 2019.
- 2) 北海道の港湾・漁港の技術開発ビジョン～持続可能な北のみなとづくり技術開発宣言～, p20, 令和3年3月, 北海道開発局
- 3) 林 誉命, 水口 陽介, 佐々木 実歩, 早川 哲也, 寺島 貴志, 緒方 修, 山崎 啓介, 赤司 有三: 浚渫土砂を活用した防波堤背後盛土の築造, 土木学会論文集B3 (海洋開発) 2020年 76巻 2号 p. I_546-I_551

4) Sugimura, Y., Okada, T., Kuwae, T., Mito, Y., Naito, R., Nakagawa, Y. : New possibilities for climate change countermeasures in ports: Organic carbon containment and creation of blue carbon ecosystems through beneficial utilization of dredged soil, Marine Policy, 141, 105072, 2022.

5) 名畑進一: ナガコンブ漁場での雑海藻駆除の重要性, 北水試だより, 第13号, 6-12, 1991

6) 内藤了二, 中村由行, 浦瀬太郎: 港湾域の底泥中化学物質濃度と底生生物叢の関係, 港湾空港技術研究所資料, No1174, pp1-32, 2008.

7) 平澤充成, 金田充, 松本浩史, 川口勉, 佐藤寿彦, 山下俊彦: 釧路港周辺における細粒底質移動現象に関する現地調査, 土木学会海岸工学論文集, 第52巻, pp. 461-465, 2005.

8) 内藤 了二, 岡田 知也, 秋山 吉寛, 三戸 勇吾, 大西 晃輝, 桑江 朝比呂: 干潟造成に活用した浚渫土砂に含まれる有機物の残存についての基礎調査, 土木学会論文集B2 (海岸工学), Vol. 78, No. 2, pp. I_913-I_918

9) 所立樹, 渡辺謙太, 田多一史, 桑江朝比呂: 港湾におけるブルーカーボン (CO₂吸収と炭素隔離) の計測手法ガイドライン, 港湾空港技術研究所資料, No. 1309, 2015