



天然コンブ漁場におけるブルーカーボン生態系 によるCO₂吸収量の算出方法の確立

北海道開発局 港湾空港部 港湾計画課
えりも町 産業振興課 水産係
株式会社 アルファ水工コンサルタンツ

○水 木 健太郎
伊 藤 圭 輔
酒 向 章 哲

えりも町沿岸域では、天然コンブの生産量向上のため雑海藻の駆除が行われており、全国有数のコンブの産地となっている。本研究では、ブルーカーボン生態系によるCO₂吸収量を増加させる取組の推進を図るため、潜水調査やドローンによる藻場分布調査を実施し、雑海藻駆除により増加するCO₂吸収量を算定し、Jブルークレジットの認証にも繋がった。

キーワード：ブルーカーボン、天然コンブ、Jブルークレジット

1. はじめに

ゼロカーボン北海道推進計画では、温室効果ガス吸収源対策として、「ブルーカーボンに資する取組の推進」が挙げられている。ブルーカーボンとは、海藻等が光合成により吸収したCO₂を、①海藻等自体が有機物として海底土壌や深海に蓄積（以下、海底蓄積）、②海藻等から放出された難分解性の溶存有機物として海水中に蓄積（以下、難分解性成分蓄積）されるものであり、地球温暖化の緩和策として注目されている。

ジャパンプルーエコノミー技術研究組合（以下、JBE）では、このブルーカーボンを定量化し、Jブルークレジットとしてカーボンオフセットの取引に利用する仕組みを構築している。一方、北海道沿岸の天然コンブ漁場では、天然コンブの量を増加させる雑海藻駆除を実施している場合があり、この駆除により増加するCO₂吸収量がクレジット化できれば、水産振興と気候変動対策の同時推進が期待できる。

そこで本研究では、えりも町及びえりも漁業協同組合（以下、えりも漁協）と連携して、雑海藻駆除により増加するCO₂吸収量を算定することを目的として、潜水調査やドローンによる藻場分布調査を実施したものであり、北海道の沿岸域で本取組が拡大するよう、具体的な調査方法やCO₂吸収量の算定方法等を整理する。

業者が多く、また、この良好なコンブ漁場を保全するため、雑海藻駆除が実施されている。

雑海藻駆除とは、コンブ漁場で繁茂している雑多な海藻を、バックホウ等により人為的に除去し、コンブの着生を促すことを目的としたものである。雑海藻駆除後には多くの1年目コンブが生息し、当該年に葉体のほとんどが海中に枯死・流出するものの、その翌年の2年目コンブはより大きく再生・成長し、漁獲の対象となる（写真-1）。

このため、雑海藻駆除により海藻の現存量（単位面積当たりの海藻の湿潤状態の質量）、すなわち海藻内の炭素量が駆除前と比較して増加することから、CO₂吸収量の増加が期待できる。

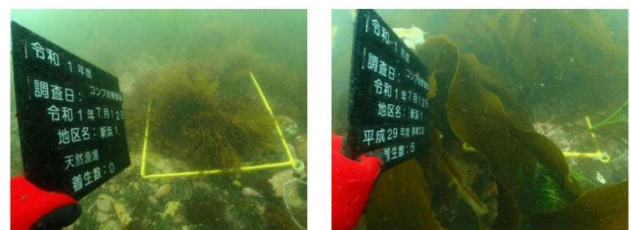


写真-1 雑海藻駆除による天然コンブの増加（えりも町）

（左：駆除未実施箇所、右：駆除実施箇所）

2. 調査の内容

(1) 雑海藻駆除

えりも町の天然コンブ漁獲量は1,542 t（2022年）と全国1位となっており、天然コンブの採取を主業とする漁

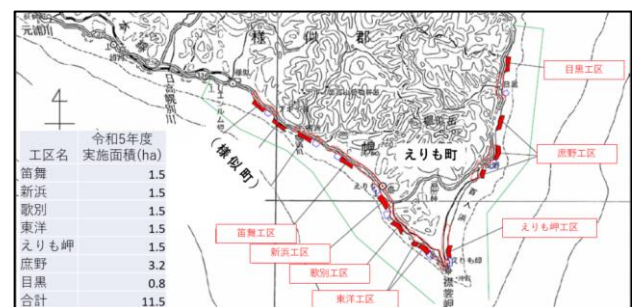


図-1 雑海藻駆除実施箇所

雑海藻駆除は、図-1に示すとおり、えりも漁協により7工区で実施されており、令和5年度の実施面積は、西端の笛舞～えりも岬の5工区で各1.5ha、庶野で3.2ha及び目黒で0.8haの合計11.5haとなっている。

(2) 雑海藻駆除により増加するCO₂吸収量の算定

桑江ら(2019)¹⁾は、CO₂吸収量の算定方法として、単位面積当たりの吸収量を示す「吸収係数」と「藻場面積」との掛け合わせとして式(1)を提案している。

CO₂吸収量(t-CO₂/年)
=CO₂吸収係数(t-CO₂/ha/年)×藻場面積(ha) … 式(1)

また、式(1)の吸収係数は式(2)のとおりであり、各パラメータの概要を表-1に整理している。パラメータの1～5を乗じることにより単位面積当たりの海藻の持つ炭素量を算出し、海底蓄積と難分解成分蓄積として固定される割合を残存率として乗じ、それをCO₂量に換算することで吸収量を算定している。

CO₂吸収係数(t-CO₂/ha/年)
= 現存量(kg wet/m²)
×P/Bmax比
×生態系への変換係数
×湿重乾重比(g dry/g wet)
×炭素含有率(g-C/g dry)
×残存率(%)
×CO₂分子量比 … 式(2)

表-1 CO₂吸収係数の算定に用いたパラメーター一覧

パラメータ項目	パラメータの説明
1.現存量	海藻現存量が最大となる繁茂期の単位面積当たりの湿重量
2.P/Bmax比	年間生産量(生育する間に枯死・流出する生産量)と現存量の比
3.生態系への変換係数	海藻以外の微細藻類を含む植物プランクトン(一次生産者)の考慮
4.湿重乾重比	海藻の湿重量に対する乾燥重量の比
5.炭素含有率	乾燥した海藻に含まれる炭素(C)の含有率
6.残存率	海底蓄積や難分解性海中蓄積による貯留割合
7.CO ₂ 分子量比	CO ₂ とCの分子量比(44/12=3.67)

なお、パラメータ2～7は既往の研究により整理されており、例えば、水木ら(2022)²⁾の研究が参考となる。つまり、潜水調査等により現存量の把握ができれば、CO₂吸収量の算定が可能となる。

雑海藻駆除によりCO₂吸収量の増加を算定するためには、雑海藻駆除前と駆除後の比較が必要となる。本調査では、えりも岬の西側の歌別工区と東側の庶野工区を吸収係数を算定する代表工区とし、令和5年度の雑海藻駆除箇所に加えて、同じ工区で駆除を実施していない箇所(以下、対照箇所)で潜水調査等を実施し、それぞれで吸収係数を算定することとした。

駆除箇所の現存量から算定される吸収係数に7工区の雑海藻駆除箇所(合計11.5ha)でドローンにより把握し

た藻場面積を乗じて吸収量を算定し、また、対照箇所の現存量による吸収係数と前述の藻場面積により算定される吸収量を、雑海藻駆除前の状況(いわゆるベースライン)として差し引くことにより、雑海藻駆除によって増加するCO₂吸収量とすることとした。

(3) 潜水調査と現存量調査

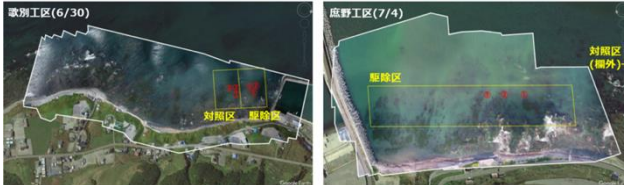


図-2 潜水調査の調査箇所及び調査実施日

潜水調査は、海藻現存量が最大となる繁茂期が望ましいことから、コンブ漁の開始時期(例年は7月上旬)の前後に実施することとした。歌別工区と庶野工区の潜水調査箇所は図-2に示すとおりであり、各工区の雑海藻駆除箇所と対照箇所それぞれ3地点、合計12地点とした。

調査船にはダイバー2名、船長、船上補助者の計4名が乗り込み、GPSにより調査船を潜水箇所まで誘導した。ダイバーは潜水後に座標の記録と50cm四方枠の設置を行い、写真撮影と枠内の全海藻の採取を実施した。なお、JBEが策定したJブルークレジット®認証申請の手引き(以下、「JBE手引き」)では、藻場が海底面で覆う割合である被度の記録を推奨しているが、本調査では海水の濁りの影響で実施できなかった。1工区当たりの作業時間は概ね3時間であり、また、調査船によるCO₂排出量を把握するため、調査船の使用時間についても記録した。

調査船帰港後、海藻を種別に分類し、種毎に計測した湿重量を現存量として整理した。

(4) ドローン空撮調査

藻場面積の把握のためのドローンによる空撮調査については、えりも町が所有するInspire2(DJI社)を使用し、えりも町職員(操縦者1名、補助者2名)で実施した。なお、前述したとおり、ドローンの空撮は全7工区の雑海藻駆除箇所(11.5ha)で実施している。

また、図-3に示すとおり、飛行前にドローン付属ソフトで撮影高度と誘導測線を設定した。測線毎のラップ率は、「UAVを用いた公共測量マニュアル(案)」³⁾の60%以上を参考に60～80%としている。なお、航空法で地表又は水面から150m以上は禁止空域(航空法施行規則第236条の71)とされていることから、飛行高度を150m未満に設定し、実際の飛行時にもドローンの高度も記録した。

実際の空撮日と天候は表-2のとおりである。海面による太陽光反射が強い場合、後述のオルソ化が困難となる

ため、天候としては薄曇り程度が望ましいが、気象条件としては穏やかで安全な撮影飛行が可能な状態を優先した。なお、カメラのピントは、離陸後に所定の飛行高度から地表面で調整し、カメラの露出については飛行中を含めて手動で調整した。

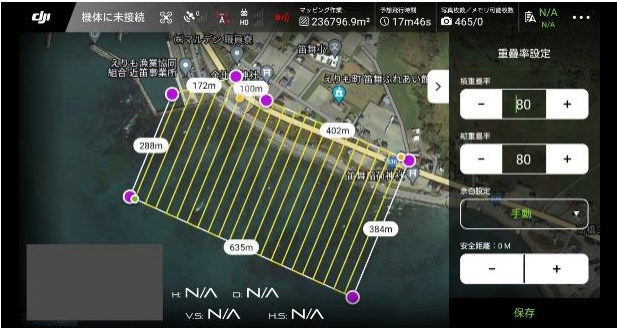


図-3 飛行計画の例（ラップ率80%）

表-2 ドローン空撮調査の調査箇所及び調査実施日

ドローン空撮工区	実施日	天候
新浜工区	6月22日	曇り
目黒工区	7月5日	曇り
庶野工区	7月5日	曇り
笛舞工区	8月23日	曇りのち晴れ
歌別工区	8月23日	曇りのち晴れ
東洋工区	8月23日	曇りのち晴れ
えりも岬工区	8月23日	曇りのち晴れ

(5) ドローン画像のオルソ化

ドローンで撮影した空撮写真は、レンズの中心から対象物までの距離の違いにより、写真上の像に位置ズレが生じる。そのため、正しい大きさと位置座標に表示されるオルソ画像に補正（オルソ化）する必要がある。

オルソ化は、多視点ステレオ写真測量技術によるSfM（Structure from motion）解析を用いることとし、ソフトはMetashape（Agisoft社）を使用した。なお、オルソ化については、WebODM等のフリーソフトでも可能である。

(6) 藻場面積の判定

藻場を確認した潜水箇所でのドローン画像の海面色を、藻場のある海面色と判断することとし、フリーソフトのQGISで、その海面色の箇所をGISソフト上で領域指定し、その面積を集計した。

3. 雑海藻駆除により増加するCO₂吸収量の算定

(1) 海藻現存量

海藻種別に単位面積当たりの海藻現存量（50cm四方枠の採取質量の4倍）について、雑海藻駆除箇所の2工

MIZUKI Kentaro, ITOU Keisuke, SAKOU Akinori

区の6回分を表-3に、同様に未実施の対照箇所を表-4に整理しており、併せて6回分の平均値も示している。なお、ブルーカーボンの評価は人為的に増やした藻場が対象となるため、昨年の駆除の残りの可能性がある小型紅藻類は、駆除箇所の集計から除いている。

表-3 雑海藻駆除箇所の現存量

単位: kg/m²

綱	種目	歌別①	歌別②	歌別③	庶野①	庶野②	庶野③	平均
褐藻	ミツイシコンブ	1.3	4.9	4.8	42.4	74.6	82.1	35.0
	スジメ	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	
	ウガノモク	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
紅藻	ハナサキノキリヒバ	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	-
	ダルス	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	
	クシベニヒバ	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	その他紅藻類	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	
	スガモ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
単子葉	スガモ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
合計	全重量	2.6	5.6	4.9	42.4	74.6	82.1	35.0

表-4 駆除未実施箇所（対照箇所）の現存量

単位: kg/m²

綱	種目	歌別①	歌別②	歌別③	庶野①	庶野②	庶野③	平均
褐藻	ミツイシコンブ	0.0	0.0	0.1	7.9	5.1	3.9	2.8
	スジメ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	ウガノモク	0.4	0.0	1.3	3.7	8.4	0.0	
紅藻	ハナサキノキリヒバ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.5
	ダルス	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.2	
	クシベニヒバ	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	
	その他紅藻類	0.1	0.1	0.3	0.0	0.0	0.2	
	スガモ	0.6	18.7	7.3	0.2	0.7	0.1	
単子葉	スガモ	0.6	18.7	7.3	0.2	0.7	0.1	4.6
合計	全重量	1.1	18.8	9.0	11.9	14.6	6.2	10.3

また、図-4は、工区別に駆除箇所と対照箇所における3回分の現存量の平均値を種類別に示したものである。

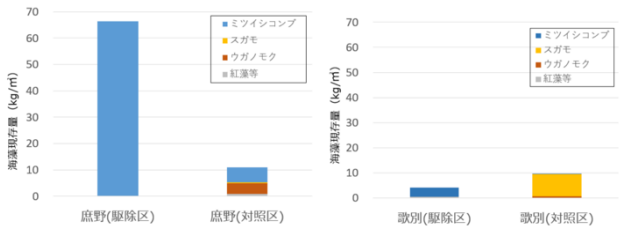


図-4 海藻種別現存量計測結果

雑海藻駆除箇所では両工区ともにミツイシコンブが主要種となっているが、現存量については庶野工区で平均66.4kg/m²と、歌別工区の平均3.7kg/m²と比較して非常に大きくなっている。一方、駆除を実施していない対照箇所については、庶野工区ではミツイシコンブとウガノモク、歌別工区ではスガモが主要種で、現存量については庶野工区で平均10.9kg/m²、歌別工区で9.6kg/m²と両工区で大きな差は見られなかった。なお、2工区のみで、ばらつきを考慮することが困難であることから、吸収係数の計算に使う海藻現存量は、本調査での全体平均、つまり表-3及び表-4の平均値を使用することとした。

(2) 吸収係数

表-5は、吸収係数の算定に用いる現存量以外のパラメ

ータと引用文献等を整理したものである。現存量は表-3及び表-4の平均値を使用し、既往の研究からP/Bmax比、乾燥重量比、炭素含有率を海藻種毎に設定し、生態系への変換係数は共通とした。

これらにより算定される吸収係数は、雑海藻駆除箇所では19.4t-CO₂/ha/年と、駆除未実施の対照箇所では4.3t-CO₂/ha/年の約4.5倍となり、差し引きで求められる雑海藻駆除により増加する単位面積当たりのCO₂吸収量は15.1 t-CO₂/ha/年となった。

表-5 CO₂吸収係数の算定に用いたパラメータ値

項目	駆除区 ミイシヨウ ^{a)}	ミイシヨウ ^{a)}	駆除未実施区 ウガ/モウ 紅藻類等	スガモ	設定係数
海藻現存量 (kg wet/m ²)	35.0	2.8	2.3	0.5	4.6
P/Bmax比	2.7		1.3	1.05	2.1
生態系への 変換係数	1.5				JBE手引き 生態系：海藻類、藻場タイプ：コンブ場
残存率 (①+②)(%)	①4.72 ②2.85	①4.72 ②4.99	①4.72 ②4.84	①4.72 ②1.81	JBE手引き 残存率①海藻類、残存率②海藻類、藻場タイプ：各種
湿重乾重比 (g dry/g wet)	0.17		0.17	0.20	0.15
炭素含有率 (g C/g dry)	0.29		0.30	0.34	0.33
CO ₂ 分子重量比	3.666				測定値
CO ₂ 吸収係数 (t CO ₂ /ha)	19.4	1.8	0.8	0.2	1.7
	4.3(平均)				

(3) 藻場面積

表-6は、ドローン空撮画像から算出した各工区の雑海藻駆除箇所の藻場面積であり、7工区の合計は約4.69haとなった。

表-6 ドローン空撮調査による藻場面積算出結果

工区名	雑海藻駆除 実施面積(ha)	ドローンによる 藻場面積(ha)	比率
笛舞工区	1.5	1.297	86.5%
新浜工区	1.5	0.455	30.3%
歌別工区	1.5	0.213	14.2%
東洋工区	1.5	0.448	29.9%
えりも岬工区	1.5	0.548	36.5%
庶野工区	3.2	1.635	51.1%
目黒工区	0.8	0.097	12.1%
合計	11.5	4.693	40.8%

(4) CO₂吸収増加量

前述した吸収係数と藻場面積からCO₂吸収量を算出すると、雑海藻駆除を行った7工区の吸収量は91.0 t-CO₂/年 (=19.4×4.69)、駆除前に想定される吸収量は20.2 t-CO₂/年 (=4.3×4.69) と算定され、雑海藻駆除により増加するCO₂吸収量は70.8t-CO₂と算定される。

なお、Jブルークレジットの認証の申請を行う場合は、調査で発生したCO₂排出量を差し引く必要があり、潜水調査や船上観察の実施による調査船のCO₂排出量の算定方法は、JBE手引きにおいて次式が示されている。

CO₂排出量 (t-CO₂)
= 稼働時間 (h)
×出力 (kW)
×燃料消費率 (ℓ/kWh)
×1/1000
×排出係数 (t-CO₂/kℓ) … 式(3)

調査を実施した船舶は60馬力で可動時間は11時間であり、JBE手引きから燃焼消費率0.209ℓ/kWh、排出量係数2.32t-CO₂/kℓを用いると0.2 t-CO₂/年と算定され、それを差し引くと、雑海藻駆除により増加するCO₂吸収量は70.6 t-CO₂/年となる。この量をJブルークレジットの認証申請を行ったところ、面積は95%、吸収係数は90%の確実性と評価され、Jブルークレジットとして60.4 t-CO₂が認証された。

なお、コンブを漁獲する場合、その分を控除する必要がある。この場合、JBE手引きの養殖の場合の考え方に準じ、現存量の調査を1年目コンブと2年目コンブに仕分けて行い、2年目コンブについては、表-1のパラメータの内、P/Bmax比を1.0、残存率を海底蓄積分のみとして控除することでCO₂吸収量を算定することができる。

さらに、環境省の生物多様性センターが公表している藻場分布図を用いると、えりも町沿岸域の全体の天然藻場の面積は1,328haとなる。海藻駆除を実施していない対照箇所の吸収係数は4.3t CO₂/ha/年であることから、えりも町沿岸全体のCO₂吸収量は、少なくとも約6,000tCO₂/年であると試算される。これは、日本人一人あたりの家庭部門のCO₂排出量1.8t CO₂/年/人で換算すると約3,200人分、えりも町の人口4,500人の約7割に相当する。

4. 今後の改善点

今回の調査により海藻の現存量が調査工区で大きく異なることが明らかとなった。今後、調査工区を増やして調査毎のばらつきを把握することが望ましい。

また、コンブ漁開始後にも潜水調査及びドローン空撮調査を行なったため、調査の実施が調査日の作業後に制限されたことから、漁期前に調査を終了させるスケジュールが必要である。

さらに、空撮画像のオルソ化を行う際に建物や構造物が少ないと画像の合成が困難であることから、2～3測線は広めの陸域を含めた飛行とする必要がある。

5. まとめ

天然コンブの生産量確保のために実施されている雑海藻駆除により、CO₂吸収量増加の可能性があるので、

潜水調査とドローンによる空撮調査により、その増加量を定量化し、Jブルークレジットの認証も受けることができた。

また、本研究により他地域での新たな取組の推進が期待されるが、潜水調査やドローン空撮調査は専門業者に依頼すると高額となるため、本取組のように漁業者の協力を得ることが重要なポイントになる。加えて、ドローンの空撮画像からの藻場面積の特定には、労力と経験が必要となる。現在、北海道大学情報科学研究院と連携して、今回の調査結果を学習データとし、AIにより自動で面積を算出する研究を行っており、このシステムの構築も重要である。

さらに、えりも町では、ブルーカーボンに関する町職員による授業や、子ども議会での質疑も行われた。ブルーカーボンの取組は、地球規模の環境問題の教材としても効果的であり、加えて、このような取組はJブルークレジットの価値の向上の観点でも重要である。

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) 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, 2022
- 3) 国土交通省国土地理院: UAVを用いた公共測量マニュアル(案), 2016
- 4) 水産土木建設技術センターほか: 『藻場等の沿岸海域保全機能の解明調査』, 2004, pp1-94.
- 5) 津田藤典・赤池章一: 北海道積丹半島西岸におけるフシスジモク群落の生活年周期と生産力, 水産増殖, 2001, 49, 143-149.
- 6) 八谷光介・西垣友和・道家章生・井谷匡志・和田洋蔵: 京都府沿岸域の環境特性の異なる生育地でのホンダワラ科海藻の年間純生産量とその比較, 日本水産学会誌, 2007, 73, 880-890.
- 7) Yukio AGATSUMA, Kaoru NARITA, and Kazuya TANIGUCHI: Annual life cycle and productivity of the brown alga *Sargassum yezoense* off the coast of the Oshima Peninsula, Japan, SUISANZOSHOKU, 2002, 50, 25-30.
- 8) 水産庁『磯焼け対策ガイドライン 第3版』2003, p247
- 9) 谷口和也・山田秀秋: 松島湾におけるアカモク群落の周年変化と生産力, 東北区水産研究所研究報告, 1988, 50, 59-65.
- 10) 中林信康・谷口和也: 男鹿半島沿岸におけるスギモク群落の季節変化と生産力, 日本水産学会誌, 2002, 68, 659-665.
- 11) 谷口和也・山田悦正: 能登飯田湾の漸深帯における褐藻ヤツマタモクとノコギリモクの生態, 日本海区水産研究所研究報告, 1978, 29, 239-253.
- 12) Noboru MURASE, Hitoshi KITO, Yuzuru MIZUKAMI and Miyuki MAEGAWA: Productivity of a *Sargassum macrocarpum* (Fucales, Phaeophyta) population in Fukawa Bay, Sea of Japan, Fish Sci, 2000, 66, 270-277.
- 13) 村瀬昇・野田幹雄・阿部真比古・吉村拓・清本節夫・樽谷賢治・吉田吾郎・島袋寛盛・八谷光介: 長崎県見崎町沿岸におけるキレバモク群落の生産力, 水産大学校研究報告, 2017, 65, 239-244.
- 14) 村岡大祐. 『三陸沿岸の藻場における炭素吸収量把握の試み』, 東北水研ニュース, 2003, vol.65, pp2-4.
- 15) 国分・山田, 伊勢湾内のアマモ場における炭素固定量の検討, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 2015, Vol.71, No.2, I_1381-I_1386.
- 16) 池原宏二・佐野修: 佐渡海峡における流れ藻の出現種と分布, 日本海区水産研究所研究報告, 1986, 29, 239-253.
- 17) 秋元ら, 港湾構造物における炭素量を用いた生物現存量の定量評価の試み, Journal of Advanced Marine Science and Technology Society, 2017, Vol.23, no.1 pp37-45.
- 18) 内村ら, 広島湾の岩礁性藻場をつくる海藻の現存量とその季節変化, 藻類 Jpn. J. Phycol. 2003, 51:123-129.
- 19) 藤井ら, クロアワビ稚貝に対する各種海藻の餌料効果, 長崎県水産試験場研究報告, 1986, 第12号, p19-25
- 20) 環境省, 平成28年度モニタリングサイト1000 アマモ場・藻場調査報告書, 2017, p246
- 21) 寺脇ら, 広島湾におけるアマモ草体中の炭素および窒素総量, 水産総合研究センター研究報告, 2002, 4号 p25-32.
- 22) 環境省生物多様性センター. 『浅海域生態系調査(藻場調査) 報告書』, 環境省自然環境局生物多様性センター, 2008, p428.
- 23) 吉田ら, 広島湾に生育する海藻類の炭素・窒素含量とその季節変化, 瀬戸内海区水産研究所研究報告, 2001, 3号, p53-61.