

上天草市における
ブルーカーボン量算定マニュアル

令和6年5月
上天草市企画政策部企画政策課

目次

1	はじめに.....	1
1.1	上天草市のブルーカーボンの取組現況.....	1
1.2	マニュアルの位置付けと活用イメージ.....	1
2.	ブルーカーボンの調査手法.....	2
2.1	一般的な調査方法.....	2
2.2	衛星画像（面積の推定）.....	3
2.3	空中ドローン（面積の推定）.....	6
2.4	刈り取り調査（湿重量調査）.....	12
2.5	その他調査手法.....	15
3.	ブルーカーボン賦存量の推定.....	16
3.1	算定方法の選択.....	16
3.2	吸収係数の設定.....	18
4.	上天草市におけるブルーカーボン量算定方法の検討.....	22
4.1	藻場のタイプ.....	22
4.2	藻場の干潮時の水深.....	22
4.3	調査手法の選択.....	23

1 はじめに

1.1 上天草市のブルーカーボンの取組現況

上天草市は令和4年度にSDGs未来都市に選定され、自治体SDGsモデル事業としても「島々を抱く穏やかな海とともに生き続けるためのプロジェクト」が選定されたことから、その中心として掲げていたブルーカーボン事業として、同年度に「上天草市ブルーカーボン事業可能性検討業務」を実施。その結果、脱炭素と持続可能な漁業振興の観点からブルーカーボン事業の有効性が明らかになり、市内団体がJブルークレジットにプロジェクト申請することで、ブルーカーボンクレジットの販売収益を得ることができ、活動の持続可能性が向上する見込みとなった。

このことにより、上天草市のブルーカーボンに係る取組のクレジット化を見据えて本マニュアルを作成することとした。

1.2 マニュアルの位置付けと活用イメージ

本マニュアルは、上天草市においてブルーカーボンの取組を実施する企業や団体等がJブルークレジットに認証申請等を目的としたブルーカーボン蓄積量調査を実施する上で、調査手法を選択するための一助となることを目指して作成した。

具体的には、衛星画像、空中ドローン、音響測量、水中カメラ等を活用し、ブルーカーボンのベースライン吸収量を、効率的に把握する方法をその費用と共に取りまとめたものである。ブルーカーボンの取組を実施する企業や団体等は各調査方法の効率性や費用を鑑み、どの調査手法を選択し、どのように役割分担をするのかを検討していただくことを推奨する。なお、本マニュアルの調査手法の説明に関しては、各技術の基礎知識を有していることを前提としており、ブルーカーボンの細かい算定方法はジャパンプルーエコノミー技術研究組合（Japan Blue Economy Association: JBE）が発行する「Jブルークレジット認証申請の手引き¹」を参照していただくことが望ましい。

¹ ジャパンプ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 - ブルーカーボンを活用した気候変動対策 - (令和5年8月 ver2.3)」
(https://www.blueeconomy.jp/wp-content/uploads/jbc2023/20230816_J-BlueCredit_Guideline_v2.3.pdf, 最終アクセス: 2024年1月10日)

2. ブルーカーボンの調査手法

2.1 一般的な調査方法

Jブルークレジットの申請にあたって、プロジェクト実施前にブルーカーボンのベースライン吸収量を把握する必要がある。また、プロジェクト実施によってどれだけのブルーカーボン吸収がされたかを確からしい方法で把握する必要がある。ただし、確からしい方法でブルーカーボン量を算定しない場合には、Jブルークレジット審査認証委員会による認証率が低く設定される可能性もあるので注意いただきたい。

ブルーカーボンの吸収量を把握するためには、表1のように様々な調査手法があるが、本マニュアルにおいてはこれらの調査手法のうち、上天草市において有用と考えられる衛星画像、空中ドローン及び水中カメラ等について調査方法を記載している。

表1 調査手法の特徴（海草藻場生態系・海藻藻場生態系）^{2, 3}

視点	調査手法	位置情報取得の留意点	現地調査	藻場の面積		藻場 タイプの 判断
				境界の判断	被度の把握	
上空	衛星画像	画像の位置補正（幾何補正、オルソ補正）が必要		○		
	空中写真			○		
	空中ドローン		○	○		
海上	踏査・SUP	GPSによる位置情報の取得が可能	○	○		
海面	海面目視（箱めがね、水上ドローン等）		○	○	○	○
	音響測量		○	○		
海中	水中カメラ	正確な位置情報の取得には工夫が必要	○		○	○
	水中ドローン		○	○	○	○
	潜水目視（ダイバー）		○	○	○	○
その他	既存調査報告書（測量結果等）	位置情報確認	－	脚注4	－	－

² 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－ブルーカーボンを活用した気候変動対策－（令和5年8月ver2.3）」（https://www.blueeconomy.jp/wp-content/uploads/jbc2023/20230816_J-BlueCredit_Guideline_v2.3.pdf，最終アクセス：2024年1月10日）

³ （注）「○」は比較的精度の良い情報が得られる調査項目に付けていますが、対象生態系の種類や調査箇所の環境条件、使用する機材等によって表中での整理と異なる場合があります。

⁴ 造成箇所の設計図や測量結果等を面積把握の参考資料として活用することも可能です。

2.2 衛星画像（面積の推定）

（1）調査方法の特徴

衛星写真の目視による抽出や機械判読により対象生態系を把握する。広範囲（市町村、都道府県、地方）の面的把握が可能であるが、水中の様子が見える範囲は（当該水域の透明度にもよるが）、水深 0～10 m 程度であるため、深い場所の把握は困難とされている。J ブルークレジット認証申請の手引きによると、藻場有無の判別精度は 60～85 % 程度であるが、精度の良い位置情報を取得可能とされている。一方で被度の粗密は把握が困難な場合が多い。なお、藻場の有無は判別できるが、藻場タイプの判断は困難な場合が多い。

（2）取組企業・団体等を中心に実施する調査方法

衛星画像については、以下のうち、「①藻場情報の整理」は市民団体等で実施することができるが、②以降については専門業者に委託することが現実的である。ただし、市民団体等で行う必要がある場合は以下の手順で行うことを推奨する。

①藻場情報の整理

藻場のタイプと位置情報を整備する。もし干潮時にアクセス可能な領域であれば現地踏査を行い、空中ドローン等で撮影する。同様の調査を実施したことがない場合においては専門家・専門業者等による研修を受けることが望ましい。また過去の情報を取得したい場合や空中ドローンで撮影しきれないような広域での観測を行いたい場合は、後述する衛星画像の取得を検討する。

②衛星データの購入

そもそも、衛星データには無償データ⁵と有償データ⁶があるが、いずれの場合においても、以下の条件に当てはまる最適な画像を選定する。

1. 雲の少ない画像
2. 潮位の低い画像（大潮が望ましい）
3. 波が穏やかで海色が一定

なお、一般的には無償データは空間解像度が荒く（10 m～500 m 程度）撮影頻度が少ないことが多い。一方、有償データは解像度が高い（～数 m）ため、精度が高いブルーカーボンの蓄積量推定を実施するためには衛星データの購入を推奨する。



図 1 商用衛星画像 PlanetScope の衛星画像（於：熊本県水産試験センター付近）⁷

⁵ 欧州の Sentinel シリーズや米国の Landsat 等

⁶ WorldView や Planet 等

⁷ （参考情報）画像中央右の黒い縦筋がアマモ。空間解像度は 3m。

③衛星データの分析による面積等の算出

衛星データを分析するにあたり、藻場の規模、衛星データの質及び利用可能な現地データ（藻場のタイプと位置情報）の有無等により分析手法を変える必要があることに留意していただく必要がある。

衛星データは処理レベルにもよるが、大気の影響が見られる場合には大気補正を行う。その後、画像処理ソフトなどを用いて藻場を抽出し面積を算出する。画像処理にはいくつかの方法があるが、ここでは例として教師なし学習方法である KMeans（K 平均法）を用いて分類する。まず QGIS (<https://qgis.org>) で対象領域を切り取り保存⁸し、Python 等で KMeans を適用し藻場を抽出⁹し、藻場の面積を抽出する。その後、作成した画像を QGIS で読み込み、藻場に該当するクラス番号を確認する。

算出例：

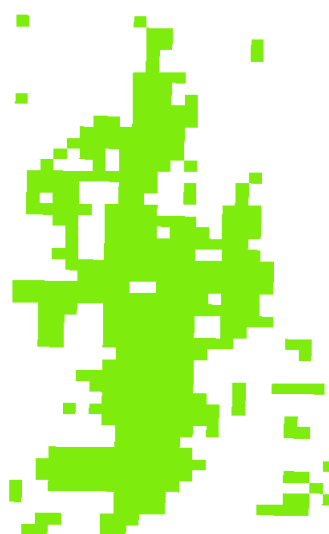
図 2 の上天草市の図を例にとると、空間解像度が 3 m × 3 m であり、藻場のピクセル数が 430 ピクセル¹⁰である。つまり、藻場に該当するクラスは 430 ピクセルであり、これを上天草市の藻場のピクセル数とする。
これらの数字を用いて以下のように藻場面積を算出する。

<計算式>

$$\begin{aligned}\text{藻場面積 (m}^2\text{)} &= 1 \text{ ピクセルの大きさ (m}^2\text{)} \times \text{藻場のピクセル数} \\ &= 3 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 430 \\ &= \underline{\underline{3,870 \text{ m}^2}}\end{aligned}$$



(左) 抽出した藻場の画像



(右) 藻場の該当クラスのみを可視化した画像

図 2 処理した衛星画像

⁸ (参考情報) QGIS「ユーザガイド 27.2.3. ラスタ抽出」
(https://docs.qgis.org/3.28/ja/docs/user_manual/processing_algs/gdal/rasterextraction.html, 最終アクセス：2024 年 1 月 10 日)

⁹ (参考情報) scikit-learn「KMeans」(<https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.cluster.KMeans.html>, 最終アクセス：2024 年 1 月 10 日)

¹⁰ (注) ここで例示したピクセル数は、後述の空中ドローンとは画像の取得時期が異なるため、藻場の分布が異なる可能性が高い。あくまで、算出方法を例示しているに過ぎないことに留意いただきたい。

(3) 外部委託する方法

①藻場情報の整理

既に藻場がどこに分布しているかが分かっている場合、対象藻場領域のおおよその位置情報と藻場のタイプをセットにしてデータを提供する。その際、Google Map の衛星画像からおおよその位置や衛星画像からの見え方を把握しておくが良い。

②衛星データの購入

①をもとに必要な範囲と時期を外部委託者に申請し、衛星データを購入してもらう。

③衛星データの分析による面積等の算出

②で購入した衛星データを元に外部委託者に分析してもらい、面積を算出する。

(4) ブルーカーボン賦存量の算定方法

(2)又は(3)を用いて面積等を算出したら本マニュアル「第3章 ブルーカーボン賦存量の推定」を参照して算定する。

(5) 経費項目

＜取組企業・団体等を中心に実施する方法＞

- ・衛星画像の購入費用：約 100～200 万円（※有償データを活用する場合）
- ・衛星画像の解析費用：約 100～300 万円（※有識者等に委託する場合）

＜外部委託する方法＞

- ・外部委託費一式：200～500 万円（※衛星画像の購入費用含む）

ただし、委託費に関してはあくまで参考であり、面積、海域及びアウトプットの精度等により異なる可能性があることについて留意すること。

(6) 注意点

精度の良い位置情報を取得可能であるが、藻場生態系では、被度や藻場タイプの判断が困難であるため、これらの情報を取得したい場合は、他の手法との組み合わせを検討することが望ましい。

2.3 空中ドローン（面積の推定）

(1) 調査方法の特徴

空中ドローンは空間解像度が高く、藻場タイプの判読がしやすく、小さな藻場の抽出が可能な手法である。

(2) 取組企業・団体等を中心に実施する調査方法

①空中ドローンの準備

必要に応じ、空中ドローンのカメラに偏光板¹¹を取り付け反射光の影響を軽減させる。

②空中ドローンでの撮影

空中ドローンを 120m の高さで飛ばし、2～3 秒間隔で静止画像を撮影する。この時に太陽の反射光を考慮し、太陽の反射光が水面に映り込まないように、角度を調整する。また画像の位置精度を向上および歪みを補正するために、必要に応じて GCP（地上基準点：画像の特徴点に対応する位置座標を測定し、画像と実際の位置を補正するための地点）を設定し緯度経度を記録する。なお空中ドローンの撮影は空中ドローン専用のモバイルアプリ（Pix4D など）を使用して行うことができ、あらかじめルートを設定しておくことによって自動での走行も可能である。また手動・自動ともに画像同士のオーバーラップ率を 60%以上にする。

③画像のオルソモザイク化

ドローンで撮影した画像は斜めから撮影したことによる歪みが生じている。この歪みを補正するため、通常はオルソ補正を行う。補正は QGIS（無償の GIS ツール）等のジオリファレンサツールと GCP を用いて行う¹²。また複数枚撮影した場合はオルソ補正と同時に複数枚の画像を繋ぎ合わせるモザイク処理が必要となる（合わせてオルソモザイク処理と呼ぶ）。以下では 1 枚の場合と複数枚の場合の 2 通りのやり方について説明する。

まず撮影した画像が 1 枚の場合は上述したように GCP を利用してオルソ補正を施すことができるが、ここでは水産庁の「広域藻場モニタリングの手引き¹³」にあるような Google Earth Pro を用いた簡易的な補正を行う例を紹介する。以下では階段などの構造物を背景地図と重ね合わせて画像のサイズ・位置を補正した。

¹¹ 偏光板とは、特定方向に偏光、又は偏波した光だけに限って通過させる板。

¹² 作成したオルソ画像の位置精度が良く歪みが少ない場合においては、GCP による補正は省略しても良い。

¹³ 水産庁「広域藻場モニタリングの手引き（令和 3 年 3 月）」

(https://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozyo/g_guideline/attach/pdf/index-14.pdf, 最終アクセス：2024 年 1 月 10 日)

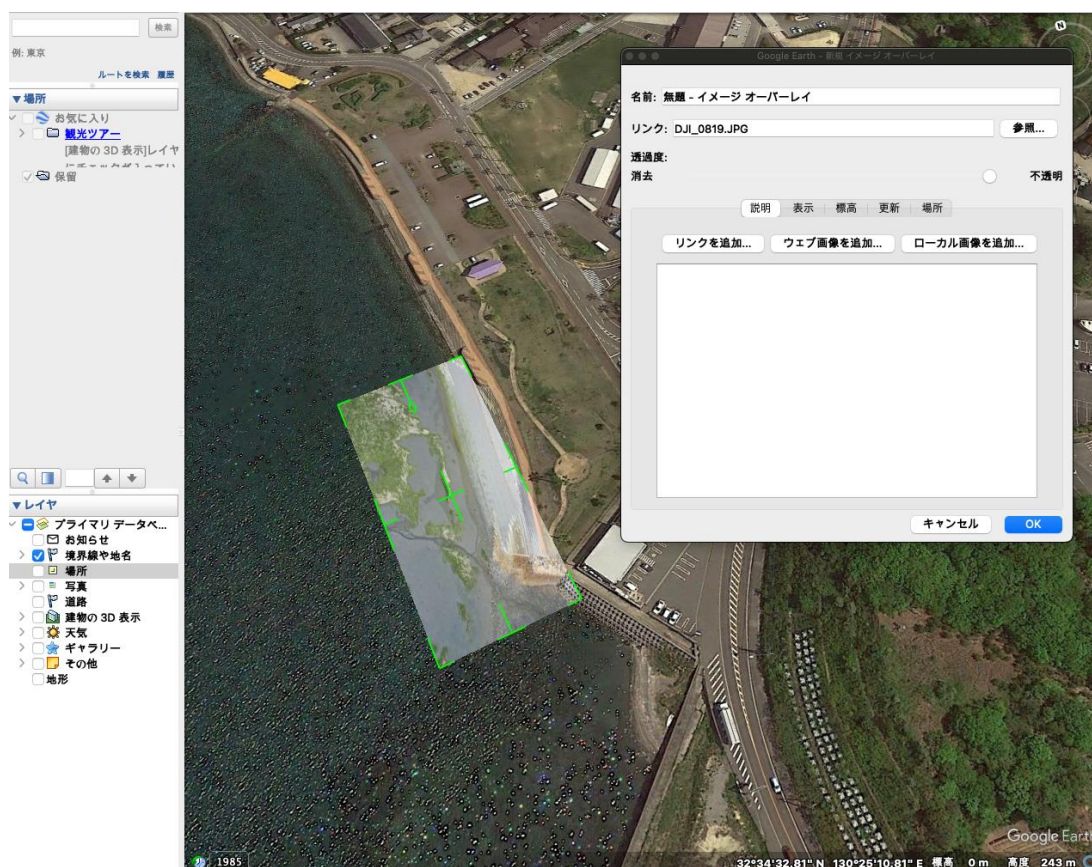


図 3 Google Earth Pro を用いた簡易的な補正例（熊本県上天草市宮津湾）

次に撮影した画像が複数枚の場合は専用のソフトウェアを用いてオルソモザイク処理を行う。処理に使うソフトウェアは有償のものであれば Agisoft の Metashape、無償のものであれば OpenDroneMap (CLI) および WebODM (GUI) 等がある。有償のものはインストールや利用が簡易であるという利点がある。一方で OpenDroneMap や WebODM は無償であるという利点があるが、インストールや各処理にはある程度の知識が必要となる。以下に代表的なソフトウェアとその値段を表示する。なおオルソモザイク処理を外部機関に委託して作成してもらうことも可能である。その際には撮影した画像一式と、(GCP による処理が必要な場合は) GCP を外部機関に提供して作成を依頼する。

表 2 ソフトウェアと価格¹⁴

ソフトウェア	価格	URL
OpenDroneMap /WebODM	無償（自身でインストールする場合）	https://www.opendronemap.org/webodm/
Metashape	- Professional Edition は \$3,499 - Standard Edition は \$179	https://www.agisoft.com/buy/online-store/
Pix4Dmapper	- 買い切りで 865,000 円	https://www.pix4d.com/pricing/pix4dmapper/

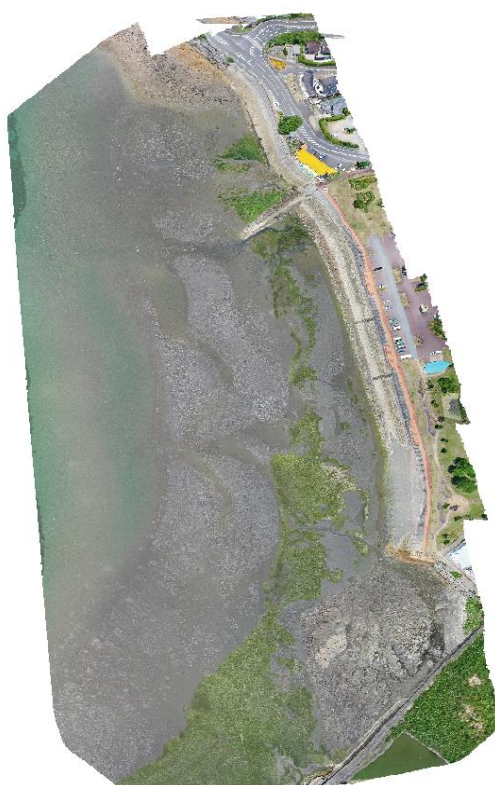


図 4 オルソ画像例（熊本県上天草市宮津湾）

¹⁴ （注）価格は全て 2023 年 11 月 29 日現在。

④撮影画像の分析による面積等の算出

次に、作成したオルソ画像に画像処理を施すことによって藻場の面積を算出する。画像処理にはいくつかの方法があるが、ここでは例として手動で行う方法と、自動で行う方法を紹介する。手動で行う場合は画像処理やプログラミングの知識を必要としない利点があるが、線で囲って面積を求めるため実際の藻場面積より過大に評価してしまう可能性がある。

手動で行う方法は QGIS や Google Earth Pro といった GIS ツールを用いて行う。本マニュアルでは水産庁の「広域藻場モニタリングの手引き¹⁵」にあるように Google Earth Pro を用いて面積を算出する。この手法では藻場面積は 4,185 m² となった。

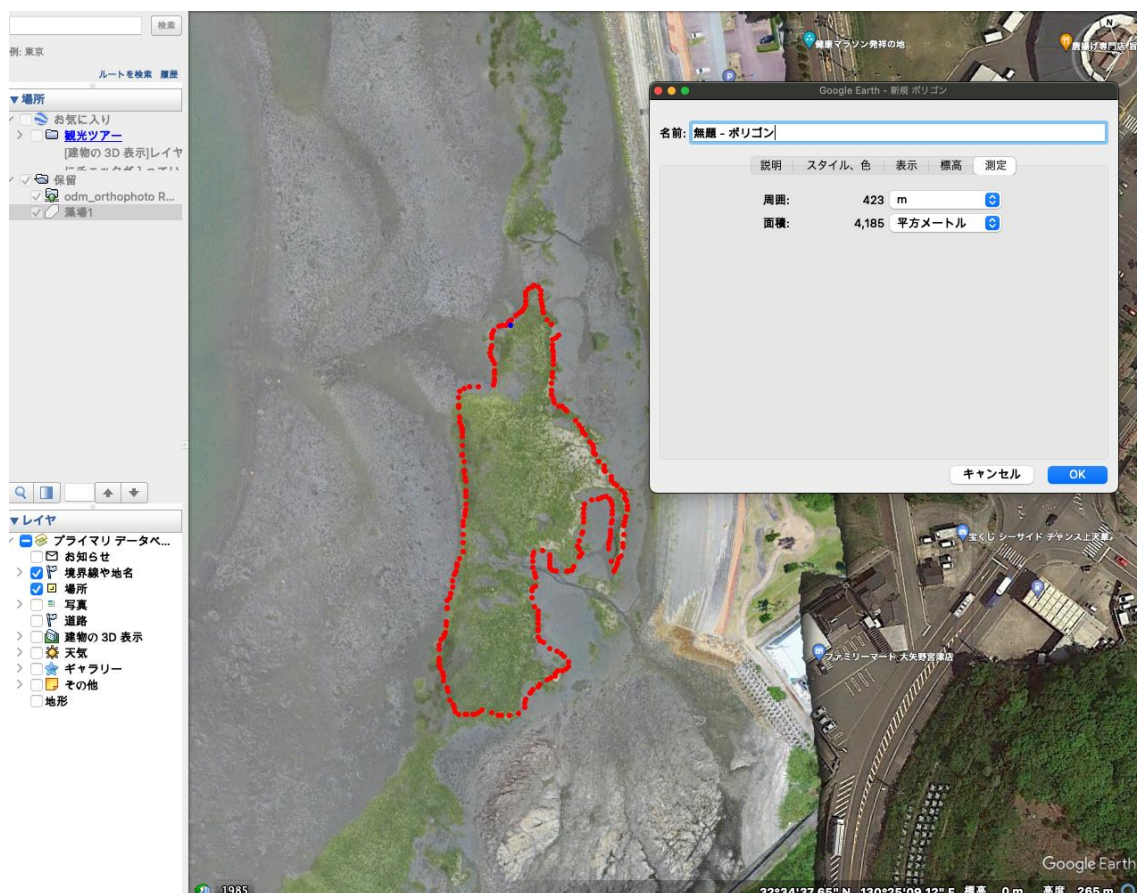


図 5 Google Earth Pro で測定した藻場面積の例（熊本県上天草市宮津湾）

¹⁵ 水産庁「広域藻場モニタリングの手引き（令和 3 年 3 月）」
(https://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozyo/g_guideline/attach/pdf/index-14.pdf, 最終アクセス：2024 年 1 月 10 日)

自動で行う方法の一例として教師なし学習方法である KMeans を用いて分類する。まず QGIS (<https://qgis.org>) で対象領域を切り取り保存¹⁶し、Python 等で KMeans を適用し藻場を抽出¹⁷し、藻場の面積を抽出する。その後、作成した画像を QGIS で読み込み、藻場に該当するクラス番号を確認する。

算出例：

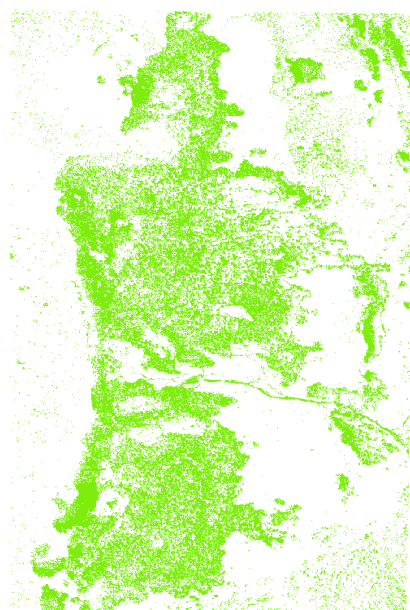
図 6 の上天草市の図を例にとると、空間解像度が $0.1\text{m} \times 0.1\text{m}$ であり、藻場のピクセル数が 275,515 ピクセル¹⁸である。
これらの数字を用いて以下のように藻場面積を算出する。

<計算式>

$$\begin{aligned}\text{藻場面積 (m}^2\text{)} &= 1 \text{ ピクセルの大きさ (m}^2\text{)} \times \text{藻場のピクセル数} \\ &= 0.1\text{m} \times 0.1\text{m} \times 275,515 \\ &= \underline{\underline{2,755 \text{ m}^2}}\end{aligned}$$



(左) 抽出した藻場の画像



(右) 藻場の該当クラスのみを可視化した画像

図 6 処理した衛星画像

¹⁶ (参考情報) QGIS「ユーザガイド 27.2.3. ラスタ抽出」
(https://docs.qgis.org/3.28/ja/docs/user_manual/processing_algs/gdal/rasterextraction.html, 最終アクセス：2024 年 1 月 10 日)

¹⁷ (参考情報) scikit-learn「KMeans」(<https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.cluster.KMeans.html>, 最終アクセス：2024 年 1 月 10 日)

¹⁸ (注) ここで例示したピクセル数は、後述の空中ドローンとは画像の取得時期が異なるため、藻場の分布が異なる可能性が高い。あくまで、算出方法を例示しているに過ぎないことに留意いただきたい。

(3) 外部委託する方法

①空中ドローンの準備

委託事業者が目的達成のために必要なドローンを準備してもらう。

②空中ドローンでの撮影

以下の撮影条件で委託事業者に依頼する。

- 撮影高度は 120 m
- 撮影間隔は 3 秒間隔
- 干潮時で水底の様子がよく見えるタイミング
- 可能であれば大潮の干潮時が望ましい

③撮影画像の分析

＜取組企業・団体等を中心に実施する方法＞で記載の方法を参考に、委託事業者に分析してもらう。

(4) ブルーカーボン賦存量の算定方法

(2)又は(3)を用いて面積等を算出したら本マニュアルの「第3章 ブルーカーボン賦存量の推定」を参照して算定する。

(5) 経費項目

＜外部委託する方法＞

- ・ドローンの飛行・解析費用一式：約 100～200 万円

＜取組企業・団体等を中心に実施する方法＞

- ・ドローン購入費用：約 10～30 万円
- ・ドローン登録費用：実費

(6) 注意点

航空法の規制に抵触しない高度での運行に注意する。空中ドローンには各種規制（機体の登録、飛行可能なエリアなど）があるため、事前にチェックする。

2.4 刈り取り調査（湿重量調査）

（1）調査方法の特徴

刈り取り調査自体は藻場面積を求めるものではなく、単位面積あたりの湿重量を求めるためのものである。ただし、並行して面積の調査を実施することもできるので、当該調査が潜水なしでできる場合には併せて行うことで効率化を図ることが可能。

（2）取組企業・団体等を中心に実施する調査方法

Jブルークレジット認証申請の手引きにしたがって行う。具体的には干潮時にコドラート（四角の枠）を設置し、刈り取り調査を行い海藻又は海草（以下、「海草」とする）を採取する。

①コドラートの作成・設置

アルミパイプなどを用いてコドラートを作成する。コドラートのサイズは対象とする海草によって異なるが、本マニュアルでは1辺が0.25 m × 0.25 mのものを用いている。干潮時に調査地に行き、対象となる海草に対してコドラートを設置する。この時に設置場所がその藻場の代表となるような地点となるように選択する。コドラート設置後、記録のために写真を撮影しておくことを推奨する。



図 7 コドラート設置時の様子

②刈り取り

コドラート設置後に写真を撮り、刈り取りを行う。刈り取りにはスコップやシャベルを用いて底質を掘り起こし、その後対象となる海草から底質を取り除く。この時に地下茎を底質に残さないように注意する。



図 8 刈り取り後の様子

③湿重量推定

採取した海草は底質を海水で洗い流し、記録のためジップロックなどに入れて持ち帰る¹⁹。持ち帰った海草から付着している水分を取り除く。キッチンペーパーや新聞紙で挟むと水分を取り除きやすい。なお、測定するのは湿重量のため、完全に乾燥させる必要はない。水分を取り除いた海草を重量計に載せて湿重量を測定する。当該湿重量を用いて、単位面積あたりの湿重量を算出する。



図 9 水分を拭き取った後のアマモ



図 10 アマモの湿重量測定の様子²⁰

算出例：

図 6 の上天草市の図を例にとると、
湿重量とコドラートの面積から単位面積あたりの湿重量を以下式で計算する。

<計算式>

$$\begin{aligned}\text{単位面積あたりの湿重量 (g/m}^2\text{)} &= \text{湿重量 (g)} / \text{コドラートの面積 (m}^2\text{)} \\ &= 68 \text{ g} / (0.25 \text{ m}^2) \\ &= \underline{\underline{272 \text{ g/m}^2}}\end{aligned}$$

¹⁹ 重量測定後の海草は種の同定をする場合、一部をサンプルとして天日干しし、おし葉標本を作成する。

²⁰ ケースなどを載せた後に重量を 0g にすることを忘れずに行う。

(3) ブルーカーボン賦存量の算定方法

(2)で面積等を算出したら本マニュアル「第3章 ブルーカーボン賦存量の推定」を参照して算定する。

(4) 経費項目

＜取組企業・団体等を中心に実施する方法＞

- ・資材費（スコップ・シャベル、重量計、サンプル保管容器等）：実費

＜外部委託する方法＞

- ・N/A

(5) 注意点

「J ブルークレジット認証申請の手引き²¹」にあるように、地点によって藻場の密度が異なるため複数地点（例：3地点程度）で行い、その平均をとることが望ましい。

²¹ 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 ― ブルーカーボンを活用した気候変動対策 ―（令和5年8月 ver2.3）」
(https://www.blueeconomy.jp/wp-content/uploads/jbc2023/20230816_J-BlueCredit_Guideline_v2.3.pdf, 最終アクセス：2024年1月10日)

2.5 その他調査手法

(1) 水中ドローン

水中ドローンを水中に投下し、水中映像をリアルタイムで確認する調査方法。①藻場面積の算出と②被度把握・藻場タイプの判別の両方に活用することができる。①藻場面積の算出に関しては、水中ドローンはGPS位置情報が取得できないため、SSBL音響測位を使って位置特定が一般的で、水中ドローンに送波器を搭載し、船や陸地に受波器を設置して位置を把握する。

藻場の面積・タイプいずれの把握を目的とする調査であっても、水中ドローンを活用するメリットは、陸地や船上にいながら作業ができるため、ダイバーが海中で実施していた藻場境界の判断、潜水時間を考慮することなく調査することや陸上から操作する場合には船の燃料が不要であること等も利点としてあげられる。

水中ドローンの注意点としては、水中ドローンのケーブルが水中の構造物に絡まらないようにすることに加え、推進器に海藻やゴミが巻き込まれ操縦不能になるケースがあることや、水中ドローンの投入、揚収時に水中ドローンが船のスクリューに巻き込まれ破損するケースがあるため、特に投入揚収時は注意を払う必要がある。

(2) 水中カメラ

船の上から水中カメラを投入することで、水中の状況を把握することができる。調査エリアの藻場の大枠な分布や被度把握・藻場タイプの判別の両方に活用することができる。

水中カメラを用いた調査には①水中カメラを船で引っ張る方法や②船に長い棒等でカメラを固定して水中を観察する方法がある。①の水中カメラを引っ張る方法は藻場を探索するなど広域の水中映像を取得する時に向いているのに対し、②の棒に固定する方法は決まった場所の水中映像を詳細に取得したい場合に向いており、被度の把握や藻場タイプの判断等、詳細に水中映像を確認したいときに用いる。

注意点としては、投下中は船のスクリューに巻き込まれないようにすることや、水中カメラを深くおろしすぎて水底に当たらないようにすることがあげられる。

(3) 音響測量

音響測量では音波を使うことにより、水面から水中の様子を把握することができる。音波を使うため、海中の濁度に影響されず、海面から水深深くの状態を調査することが可能である。音響測量装置の一つであるサイドスキャンソナーは、藻場の有無を平面的に捉えることが可能である。一般的に音響機器は高周波にすればするほど高分解能で海底の様子を捉えることができるが、距離が短くなる特徴があるため、水深によって設定を調整することが望ましい。

注意すべきは、安全観点ではソナーがスクリューに当たらないようにすることや、船の移動中はソナーが外れる可能性があるため、ソナーを水上に上げておく必要がある。計測データの品質観点においては、船の動揺（主に横揺れ）が音響画像の品質に影響するので、できるだけ動揺を少なくして計測することが望ましい。

なお、音響測量についてさらに読みたい場合には、水産庁の「広域藻場モニタリングの手引き²²」等を参考にすると良い。

²² 水産庁「広域藻場モニタリングの手引き（令和3年3月）」（P.13-23）

（https://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozyo/g_gideline/attach/pdf/index-14.pdf，最終アクセス：2024年1月10日）

3. ブルーカーボン賦存量の推定

3.1 算定方法の選択

文献調査で把握した上天草市周辺海域の藻場及び干潟の分布状況を基に、「J ブルークレジット認証申請の手引き²³」に記載されている、図 11 の算定式を用いて、ブルーカーボン賦存量を推計する。

CO₂ 吸収量は、プロジェクトの実施によって変動する対象生態系の分布面積に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）を掛けることで求められる。算定の方法は以下に示す方法があり、式 1 はすべての対象生態系に適用可能で、式 2 は海藻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。なお、海藻養殖の場合は、筏や網など面積が計測しやすい場合は養殖施設の面積を、ロープ養殖など面積を計測することが難しい場合は、養殖ロープの長さを用いて算定することができる。養殖ロープの長さを用いる場合は、式 2-2 に示す通り、単位ロープ当たりの湿重量とブルーカーボン残存率を掛けることで CO₂ 吸収量を求めることができる。

また、「対象生態系の分布面積・養殖施設の面積」、「単位面積当たりの湿重量」、「単位ロープの長さ」及び「単位ロープ長当たりの湿重量」は現地調査等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率」は文献値等を使用する。

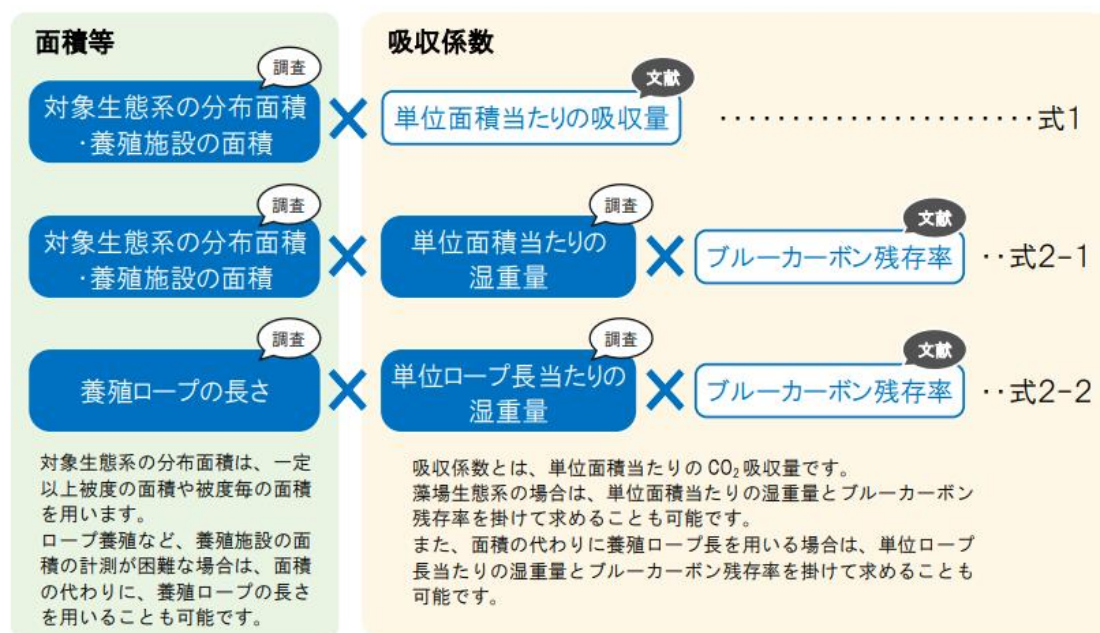


図 11 生産量からの CO₂ 吸収量の算定方法²⁴

²³ 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 - ブルーカーボンを活用した気候変動対策 - (令和 5 年 8 月 ver2.3)」
(https://www.blueeconomy.jp/wp-content/uploads/jbc2023/20230816_J-BlueCredit_Guideline_v2.3.pdf, 最終アクセス: 2024 年 1 月 10 日)

²⁴ 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 - ブルーカーボンを活用した気候変動対策 - (令和 5 年 8 月 ver2.3)」
(https://www.blueeconomy.jp/wp-content/uploads/jbc2023/20230816_J-BlueCredit_Guideline_v2.3.pdf, 最終アクセス: 2024 年 1 月 10 日)

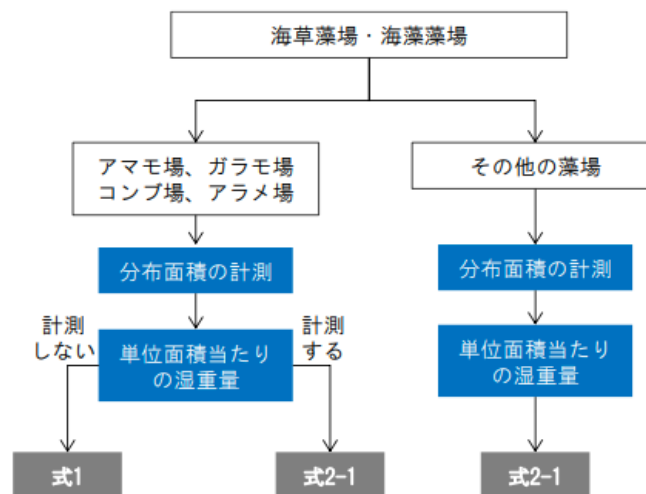


図 12 算定式の選定フロー（養殖海藻藻場以外）²⁵

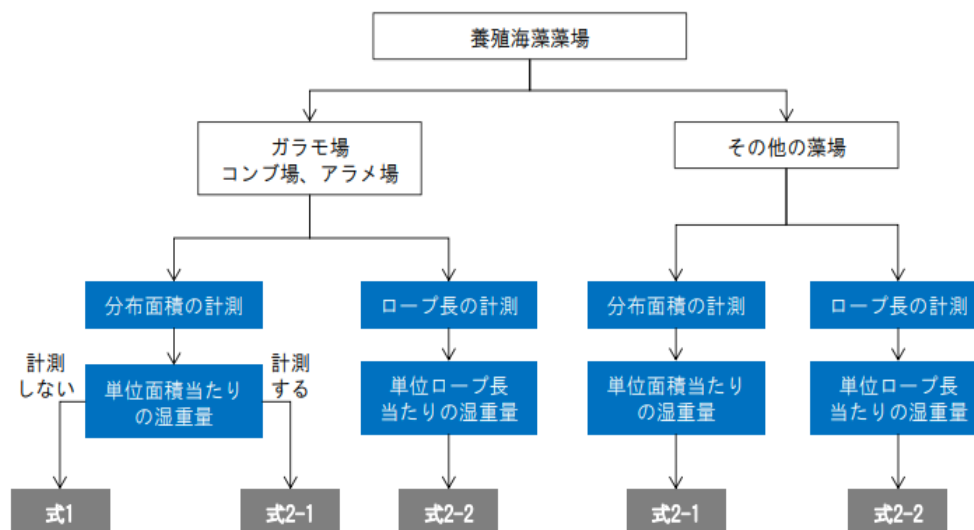


図 13 算定式の選定フロー（養殖海藻藻場）²⁶

²⁵ 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 ― ブルーカーボンを活用した気候変動対策 ―（令和 5 年 8 月 ver2.3）」

(https://www.blueeconomy.jp/wp-content/uploads/jbc2023/20230816_J-BlueCredit_Guideline_v2.3.pdf, 最終アクセス：2024 年 1 月 10 日)

²⁶ 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 ― ブルーカーボンを活用した気候変動対策 ―（令和 5 年 8 月 ver2.3）」

(https://www.blueeconomy.jp/wp-content/uploads/jbc2023/20230816_J-BlueCredit_Guideline_v2.3.pdf, 最終アクセス：2024 年 1 月 10 日)

3.2 吸収係数の設定

吸収係数は、現地観測と文献値利用の 2 つの方法で調べることが可能。吸収係数の設定にあたっては、両方を実施する場合（①及び②）と文献値のみ利用する場合（③及び④）がある。なお、この時、対象生態系を考慮することが重要であり、特に、藻場生態系を対象とする場合は、地域性や構成種を考慮した係数を用いることで、吸収係数の確からしさが向上する。

①現地観測 + 文献収集（地域性・構成種を考慮している）	設定の容易さ 吸収係数の確からしさ
②現地観測 + 文献収集（地域性・構成種を考慮していない）	
③文献値利用（地域性・構成種を考慮している）	
④文献値利用（地域性・構成種を考慮していない）	

図 14 吸収係数の区分と確からしさ²⁷

なお、「J ブルークレジット認証申請の手引き²⁷」によると、地域性を考慮した範囲は当該海域～海域区分を対象とすることが推奨されている。上天草市であれば、九州・四国外海沿岸域のものを活用することとなる。また、対象生態系については、種によって吸収係数が異なることがあるため、対象生態系の主要な構成種もしくは類似の種の数値を利用することが推奨されている。



出典：堀正和,桑江朝比呂：ブルーカーボン 浅海における CO₂ 隔離・貯留とその利用,2017 年,地人書館

CO₂ 吸収量は、図 12 又は図 13 を参考に、取組内容を考慮したうえで実施可能な算定方法を選択し、必要な調査等を検討した上で、次のページの式で算定が可能²⁷。なお、記載されているページ数（斜体 部分）は、「J ブルークレジット認証申請の手引き²⁷」のページであることに留意すること。

²⁷ 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 ― ブルーカーボンを活用した気候変動対策 ―（令和 5 年 8 月 ver2.3）」
https://www.blueeconomy.jp/wp-content/uploads/jbc2023/20230816_J-BlueCredit_Guideline_v2.3.pdf, 最終アクセス：2024 年 1 月 10 日)

(1) 藻場生態系を対象に算定する場合

【式1】

C02 吸収量 = 対象生態系の分布面積 × 単位面積当たりの吸収量

⇒ 「対象生態系の分布面積」は、4.2.2 分布面積の把握方法 参照 (p. 25)

⇒ 「単位面積当たりの吸収量」は、4.3.1 (3) 単位面積当たりの吸収量 参照 (p. 40)

【式2】

C02 吸収量

= 対象生態系の分布面積 × 単位面積当たりの湿重量 × 藻場の C02 換算ブルーカーボン残存率

**= 対象生態系の分布面積 × 単位面積当たりの湿重量 × (1- 含水率) × P/B 比 § × 炭素含有率
× 44/12 × (残存率①※ + 残存率②※) × 生態系全体への変換係数**

「対象生態系の分布面積」は、4.2.2 分布面積の把握方法 参照 (p. 25)

「単位面積当たりの湿重量」は、4.2.3 単位面積当たりの湿重量の把握方法 参照 (p. 33)

「含水率・P/B 比 § × 炭素含有率」は、4.3.1 (2) 含水率・P/B 比・参照 (p. 39)

「残存率」は、4.3.1 (4) 残存率参照 (p. 41) ※残存率① (藻体残存率)、残存率② (DOC §/藻体比×RDOC §)

「生態系全体への変換係数」は、4.3.1 (5) 生態系全体への変換係数 参照 (p. 41)

(2) 養殖藻場²⁸を対象に算定する場合

【式 2-1】 養殖面積で算定する場合

C02 吸収量

= 養殖面積 × 単位面積当たりの湿重量 × 藻場の C02 換算ブルーカーボン残存率

= 養殖面積 × (((水揚量+残置面積×単位面積当たりの残置量) / 養殖面積) × (1-含水率)
×炭素含有率 × P/B 比 § × 44/12 × (残存率①※+残存率②※) - (水揚量/養殖面積)
× (1-含水率) × 炭素含有率 × 44/12 × 残存率①※) × 生態系全体への変換係数※

「単位面積当たりの湿重量」は、4.2.3 単位面積当たりの湿重量の把握方法 参照 (p. 33)

「含水率・P/B 比 §・炭素含有率」は、4.3.1 (2) 含水率・P/B 比・参照 (p. 39)

「残存率」は、4.3.1 (4) 残存率参照 (p. 41) ※残存率①(藻体残存率)、残存率②(DOC §/藻体比×RDOC §)

「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)

【式 2-2】 ロープ養殖施設のロープ長で算定する場合

C02 吸収量

= 養殖ロープの長さ × 単位ロープ長当たりの湿重量 × 藻場の C02 換算ブルーカーボン残存率

= 養殖ロープの長さ × (((水揚量+残置ロープの長さ×単位ロープ長当たりの残置量) / 養殖ロープ
の長さ) × (1-含水率) × 炭素含有率 × P/B 比 § × 44/12 × (残存率①※+残存率②※) -
(水揚量/養殖ロープの長さ) × (1-含水率) × 炭素含有率 × 44/12 × 残存率①※) × 生態系
全体への変換係数※

「単位ロープ長当たりの湿重量」は、4.2.3 単位面積当たりの湿重量の把握方法 参照 (p. 33)

「含水率・P/B 比 §・炭素含有率」は、4.3.1 (2) 含水率・P/B 比・参照 (p. 39)

「残存率」は、4.3.1 (4) 残存率参照 (p. 41) ※残存率①(藻体残存率)、残存率②(DOC §/藻体比×RDOC §)

「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)

²⁸ 養殖藻場のうち、p. 8 に示す対象プロジェクトの実施範囲が対象となります。

ここで、以下の前提を用いて、クレジット申請をすると仮定すると以下のように算出することができる。なお本マニュアルでの空中ドローンで算出した範囲は非常に狭いことに加え、コドラートのアマモの生育密度も低いため、算出した CO2 吸収量の値も小さいことに留意する。

前提：

対象生態系の分布面積（空中ドローンより算出）： $2,755 \text{ m}^2 = 2,755 \times 10^{-4} \text{ ha}$
単位面積当たりの湿重量（刈り取り調査より算出）： $272 \text{ g/m}^2 = 272 \times 10^{-2} \text{ t/ha}$
アマモの含水率（文献値²⁹）：0.842

アマモの P/B 比（文献値³⁰）：4.5
アマモの炭素含有比（文献値³¹）：0.323
海草藻場の CO2 換算ブルーカーボン残存率①（文献値³²）：0.1620
アマモ場の CO2 換算ブルーカーボン残存率②（文献値³⁵）：0.0181
生態系全体への変換係数（文献値³⁵）：2.12

算出例：

CO2 吸収量 t-CO2/年

= 対象生態系の分布面積（ha）× 単位面積当たりの湿重量（t/ha）× 藻場の CO2 換算ブルーカーボン残存率

= 対象生態系の分布面積 × 単位面積当たりの湿重量 × (1 - 含水率) × P/B 比 × 炭素含有率 × 44/12 × (残存率① + 残存率②) × 生態系全体への変換係数

= $(2755 \times 10^{-4}) \times (272 \times 10^{-2}) \times (1 - 0.842 \times 4.5 \times 0.323 \times 44/12 \times (0.1620 + 0.0181) \times 2.12 \text{ t-CO2/年}$

= 0.241 t-CO2/年

²⁹ Yamada *et. al* 「横浜ブルーカーボン事業におけるカーボン・オフセットの運用および拡大に関する検討」
(https://www.yachiyo-eng.co.jp/papers/2017_28_yamada.pdf, 最終アクセス：2024 年 1 月 10 日)

³⁰ 農林水産省「平成 24 年度漁場温暖化対策推進費 藻場・干潟等の炭素吸収源評価と吸収機能向上技術の開発委託事業 (2) 九州の藻場面積の情報収集並びに生産量、現存量の調査」
(https://www.maff.go.jp/j/budget/yosan_kansi/sikkou/tokutei_keihi/seika_h24/suisan_ippan/pdf/60100434_11.pdf, 最終アクセス：2024 年 1 月 10 日)

³¹ Yamada *et. al* 「横浜ブルーカーボン事業におけるカーボン・オフセットの運用および拡大に関する検討」
(https://www.yachiyo-eng.co.jp/papers/2017_28_yamada.pdf, 最終アクセス：2024 年 1 月 10 日)

³² 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 - ブルーカーボンを活用した気候変動対策 - (令和 5 年 8 月 ver2.3)」
(https://www.blueeconomy.jp/wp-content/uploads/jbc2023/20230816_J-BlueCredit_Guideline_v2.3.pdf, 最終アクセス：2024 年 1 月 10 日)

4. 上天草市におけるブルーカーボン量算定方法の検討

4.1 藻場のタイプ

J ブルークレジットの対象となるブルーカーボン生態系の種類は、海草藻場、海藻藻場、マングローブ及び干潟があるが、上天草市周辺では主に海草藻場と海藻藻場があげられる。海草藻場は、一般的にアマモ場であり、アマモやコアマモといった種を主とする。これらの種は波の静かな内海の、平坦な砂泥底に生息している。一方、海藻藻場はホンダワラ（ヒジキ等）やアカモク等が属するガラモ場、コンブ場、アラメ場等があげられる。アマモ場と異なり、波が荒い海岸近くや岩場などに多く繁殖することが知られている。

生育する海域や底質により実施できる調査も異なる場合がある。例えば種によって生育限界が異なるために衛星画像で分析するに当たって精度が異なったり、浅瀬の岩場であれば船での調査ができなかったりすることもある。本マニュアルで紹介している調査方法のうち衛星画像を活用した調査方法は、波の影響を受けにくい海域と相性が良いため、アマモ場が適している。

また、生育する底質以外に、調査の適期が異なることにも注意する必要がある。例えば、アマモであれば、熊本県では7月以降を目処に枯れていくため、初夏が調査適期とされているが、ガラモ場（ヒジキ等）であればさらに早い春季が調査適期とされている。

表 3 J ブルークレジットの対象となる主な生態系と調査適期³³

生態系	藻場タイプ	主な構成種	調査適期 ³⁴
海草藻場	アマモ場	アマモ、コアマモ、スガモ、リュウキュウスガモ 等	初夏
海藻藻場	ガラモ場	アカモク、ノコギリモク、ヨレモク、ホンダワラ 等	春季
	コンブ場	マコンブ、ホソメコンブ、チガイソ、アナメ、スジメ 等	夏季
	アラメ場	アラメ、サガラメ、カジメ、クロメ、ツルアラメ 等	秋季
	ワカメ場	ワカメ、ヒロメ 等	春-初夏
	テングサ場	マクサ、オオボサ、オバクサ 等	春-夏季
	その他	ノリ、サンゴモ、緑藻、小型褐藻類	-
マングローブ	-	マングローブ	通年
干潟	-	-	干潮時

4.2 藻場の干潮時の水深

もう一つ環境の観点から考慮すべき点としては干潮時の水深が挙げられる。そもそも、干潮時に海草や海藻が目視できるのであれば、本マニュアルで紹介している刈り取り調査において面積及び湿重量調査を並行して行うことが可能である。工数はかかる可能性があるものの、コストは安価である。

一方、水深が深いと船を用いた調査やダイバー調査を実施する必要がある。調査方法を選定するに当たって、また、調査時期を決定するに当たっては藻場が位置する海域の水深及び潮位に留意しながら選定することが望ましい。

³³ 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 ― ブルーカーボンを活用した気候変動対策 ―（令和5年8月 ver2.3）」
https://www.blueeconomy.jp/wp-content/uploads/jbc2023/20230816_J-BlueCredit_Guideline_v2.3.pdf, 最終アクセス：2024年1月10日

³⁴ 調査適期は海域によって異なりますので、対象地域の藻場の繁茂期等調査適期をご確認ください。

4.3 調査手法の選択

以上のことから、アマモ場に関しては、一般的な藻場における干潮時の水深が浅く、干潮時に藻場まで徒歩で到達できる場合は直接「対象生態系の分布面積」を計測しつつ、「単位面積当たりの湿重量」を刈り取り調査調査にて計測することが最も費用対効果が良い手法であると考えられる。

干潮時であっても藻場まで途方で到達できない場合においても、アマモ場の多くは空中ドローン又は衛星画像により「対象生態系の分布面積」を計測することができる。ただし、吸収係数算出のために、予算に応じて「単位面積当たりの湿重量」をダイバーによる潜水調査で取得するか、文献値の「単位面積当たりの吸収量」及び「ブルーカーボン残存率」を利用して算出することとなる。

一方、ガラモ場（ヒジキ等）等に関してはアマモ場よりも水深が深い又は波の影響を受けやすい海域が敵地であることが多い。そのため、「対象生態系の分布面積」は干潮時に徒歩で踏査できる又は徒歩で踏査できないものの上空から見える場合は空中ドローンで計測できるが、それ以外の場合は音響計測及び水中の画像（水中カメラ又は水中ドローン）で計測することが望ましいと考えられる。また、吸収係数算出においては、予算に応じて「単位面積当たりの湿重量」をダイバーによる潜水調査で取得するか、文献値の「単位面積当たりの吸収量」及び「ブルーカーボン残存率」を利用して算出することとなる。

本マニュアルは、令和５年度に上天草市が実施した上天草市ブルーカーボンのクレジット算定実証事業委託業務（受託者：ウミトロン株式会社）において作成した「ブルーカーボン量算定マニュアル」の一部を修正して作成したものです。

ご指摘およびご意見がありましたら、下記までご連絡ください。

上天草市 企画政策部企画政策課地方創生係
電話 0964-26-5539

上天草市におけるブルーカーボン量算定マニュアル

発行： 令和６年５月

発行者： 上天草市企画政策部企画政策課