

農林水産省・農林水産技術会議事務局委託プロジェクト研究
「脱炭素・環境対応プロジェクト」
「みどりの食料システム戦略実現技術開発・実証事業」

課題名：「ブルーカーボンの評価手法及び効率的藻場形成・拡大技術の開発（R2-R6）」

R5年度の研究開発の検討状況

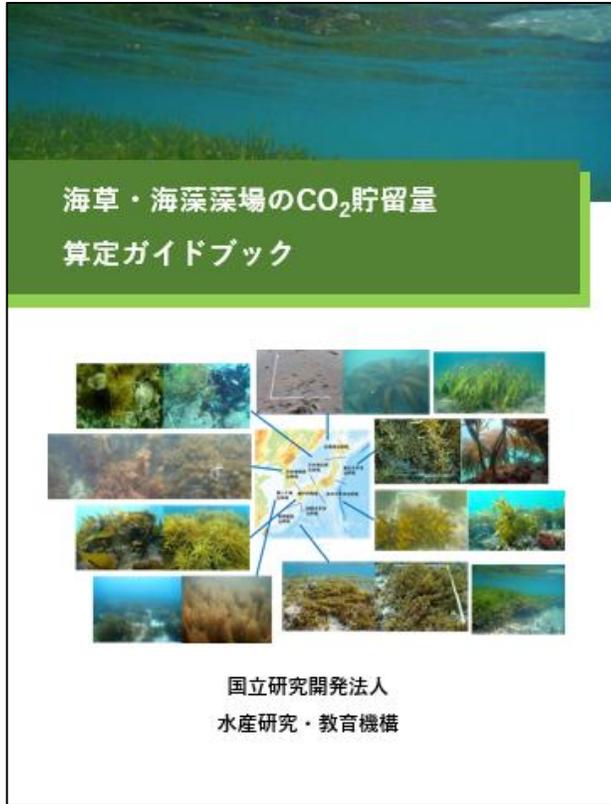
1. 藻場タイプ別の吸収係数評価モデルの開発と二酸化炭素吸収量の全国評価（R2－R4）

海区分別・藻場タイプ別の吸収ポテンシャル（対象とする海草・海藻種の乾燥重量1gあたりのCO₂貯留能力、吸収係数（吸収ポテンシャル×年間最大現存量）、およびその算定手法（天然藻場・海藻養殖）について確立。それらの数値の普及を見据えたガイドブックを公開。全国の藻場タイプ別面積・全国評価値については論文化を進めつつ、本委託プロ研の最終報告書として公開準備中。

2. ブルーカーボンの増強技術の開発（R3－R6）

各海域の藻場の減衰要因に対応した効果的な対策技術、特に各海域で吸収係数の増大と生態系保全機能（+水産業）とを両立可能な技術を中心に研究を推進し、藻場面積や吸収係数を増大させる技術開発を実施。

【小課題1：ガイドブックの公開】



2023年11月

海域別・藻場タイプ別の**吸収ポテンシャル**
 （海草・海藻類の単位重量当たりのCO2貯留量）、**吸収係数**（単位面積当たりのCO2貯留量：吸収ポテンシャル×**年間最大現存量**）とその**算定手法** ⇒ インベントリに活用



2024年9月

海域別・藻場タイプ別の**年間最大現存量**の調査手法とその考え方を解説



吸収ポテンシャル、吸収係数を構成する残存率等の解説を予定



藻場タイプ・海域区分

日本国内には海藻類が約15~20種、海藻類が約1,000種分布しています。

本研究では、各種のCO₂吸収プロセスの類似性から藻場を海藻養殖も含めて21のタイプに分類しました(表2)。

さらに、同じ藻場タイプであっても、藻場を構成する種は海域によって異なるため、図2のように9つの海域に区分しました。

これにより、各藻場タイプ・海域区別に吸収係数を算定しました(p.9, 表4)。

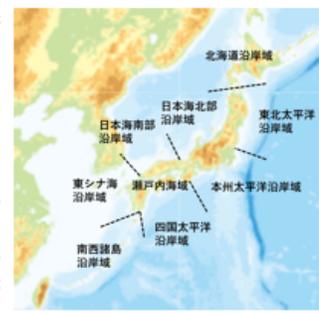


図2 吸収係数を算定した海域区分

表2 吸収係数を算定した藻場タイプ

藻場タイプ	各藻場タイプに含まれる主要な海藻・海草種
海草類	
1. アマモ型	アマモ, スクアマモ, コアマモなど
2. タチアマモ型	タチアマモ
3. スガモ型	スガモ, エビアマモなど
4. 亜熱帯性海草小型	カミヒルホウジュ, マツバケミジクサ, コアマモ(亜熱帯型)など
5. 亜熱帯性海草中型	リュウキュウスガモ, ベニアマモリュウキュウアマモなど
6. 亜熱帯性海草大型	カメシロウサギ
海藻類	
7. マコンブ型	マコンブ, ホソマコンブ, ガゴメコンブなど
8. アガコンブ型	アガコンブ, スジメ, アイスクラゲなど
9. アラモ型	アラモ, サガヒメなど
10. カジメ型	カジメ, クロメなど
11. ワカメ型	ワカメ, ヒロメなど
12. 温帯性ホンダワラ型	アカモク, ホンダワラ, ノコギリモクなど
13. 亜熱帯性ホンダワラ型	ヒメヒメモク, ヒメハモク, ヤバネモクなど
14. 小型緑藻型	ヒトエガサ, アナアナサ, ミルなど
15. 小型紅藻型	マナタ, ツノマタ, スサビノリなど
16. 小型褐藻型	アミジクサ, ヒバマタ, ヤハズガサなど
17. 石灰藻類	無節石灰藻類, 有節石灰藻類など石灰化する藻類
藻類	
18. コブ類藻類型	マコンブはえ縄方式など
19. ワカメ型	ワカメはえ縄方式など
20. ノリ類藻類型	ノリ網浮き流し式, 支柱式など
21. ホンダワラ類藻類型	アカモクはえ縄方式など

天然藻場における算定式

- 天然藻場の場合、CO₂貯留量は吸収係数に対象とする藻場の面積を乗じて算定します。
- 吸収ポテンシャルは、最大現存量 B_{max} 、1gが貯留するCO₂量を表し、以下の図3で示した算定式のうち、最大現存量と生態系変換係数を除いた残りの部分になります。
- 吸収係数は、現場で計測した最大現存量 B_{max} に、生態系変換係数 E と吸収ポテンシャルの2つを乗じることで求めることができます。
- 炭素含有率 C_{cont} は、乾燥重量を有機炭素量に換算するためのパラメータで、平均すると約30%となります。これにCO₂とCの重量比(44/12)を乗じることでCO₂量とします。
- 生態系変換係数 E とは、葉上の付着珪藻や混生する他の海藻の現存量が無視できない場合などに、追加的な補正を行うための係数です。なお、補正がない場合は $E=1$ とします。
- CO₂隔離量は年間純生産量 (P) に等しく、藻場タイプ j の P/B_{max} 比に対象藻場の B_{max} を乗じることにより求めることができます。
- 残存率 (r_1, r_2, r_3, r_4) は、草藻体が隔離したCO₂のうち4つの貯留プロセスで貯留される割合です。

$$\text{藻場タイプの吸収係数 (gCO}_2\text{/m}^2\text{/year)} = \frac{\text{CO}_2\text{隔離量} \times \text{残存率の総和} \times C_{cont} \times (44/12) \times E_j}{B_{max}}$$

$$= \frac{(P/B_{max}) \times B_{max} \times r_1 + (P/B_{max}) \times B_{max} \times r_2 + (P/B_{max}) \times B_{max} \times r_3 \times (1-r_2-r_3) + B_{max} \times r_4}{B_{max}} \times C_{cont} \times (44/12) \times E_j$$

$$= \frac{(P/B_{max}) \times [r_1 + (r_2 + r_3)(1-r_2-r_3) + r_4]}{1} \times C_{cont} \times (44/12) \times E_j$$

吸収係数 = 吸収ポテンシャル × B_{max} × E_j

図3 天然藻場を対象とした吸収係数の算定式。 r_1, r_2, r_3, r_4 は、それぞれ難分解貯留、堆積貯留、深海貯留、RDOC貯留の残存率。ただし、 r_4 はRDOC残存率を計算するための係数が含まれている。

吸収ポテンシャル

- 吸収ポテンシャルは、乾燥重量で求めた海藻・海藻の現存量(天然藻場の B_{max} または海藻養殖の $Y+C$)1g当たりのCO₂貯留量を表します。
- 吸収ポテンシャルの算定には、専門的な観測や分析機器、実験、解析が必要となります。
- 本研究では、藻場タイプ・海域区別の吸収ポテンシャルを算定しました(表3)。

表3 藻場タイプ・海域区別の吸収ポテンシャル

藻場タイプ	北海道	東北太平洋	日本海北部	日本海南部	中部太平洋	瀬戸内海	西日本太平洋
アマモ	0.663	0.715	0.656	0.675	0.656	0.712	0.675
タチアマモ	0.591	0.610	0.591	0.591	0.591	0.591	0.591
スガモ	0.613	0.613	0.613	0.613	0.613	0.613	0.613
藻類等小型							
マコンブ	0.068	0.068	0.068				
ナガコンブ	0.078						
アラモ		0.098	0.098	0.098	0.129	0.124	0.129
カジメ		0.124	0.124	0.124	0.100	0.124	0.100
ワカメ		0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062
温帯性ホンダワラ		0.098	0.101	0.109	0.099	0.125	0.101
藻類等ホンダワラ							
小型緑藻		0.126	0.126	0.126	0.126	0.126	0.126
小型紅藻		0.063	0.063	0.063	0.063	0.063	0.063
小型褐藻		0.069	0.069	0.069	0.069	0.069	0.069
サンゴ藻		0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014
コンブ類		0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049
ワカメ類		0.051	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051
ノリ類		0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059

吸収係数

- 吸収係数は、単位面積当たりの藻場のCO₂貯留量を表し、特に最大現存量 (B_{max}) と生態系変換係数 (E) を乗じられる。
- 本研究では、藻場タイプ・海域区別に吸収係数を求めました。
- この吸収係数に藻場面積を乗じることで、簡易的にCO₂貯留量が求まります。
- より正確な貯留量を求めるためには、p.8のように現存量(または海藻養殖の $Y+C$) を計測して吸収ポテンシャルを求する必要があります。
- 海藻養殖の場合、取り残し量 c が不明な場合には、標準値を使用することが可能です(表5)。

表4 藻場タイプ・海域区別の吸収係数

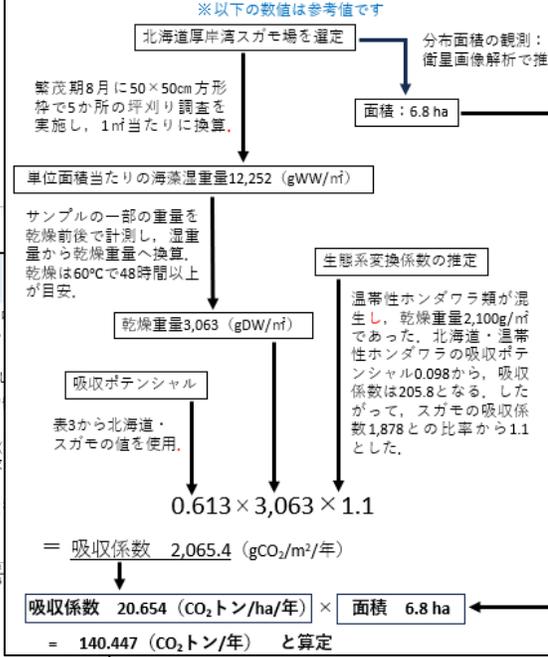
藻場タイプ	北海道	東北太平洋	日本海北部	日本海南部	中部太平洋	瀬戸内海	西日本太平洋
アマモ	490.39	224.11	593.20	381.56	593.20	232.10	381.56
タチアマモ	847.77	212.74	847.77	847.77	847.77		
スガモ	2039.74	1780.41	713.21	713.21	535.52		
藻類等小型							
マコンブ	164.18	468.66	468.66				
ナガコンブ	110.70						
アラモ		274.72	127.16	423.02		162.69	127.16
カジメ		61.55	15.54	151.57	49.39	126.08	25.24
ワカメ		58.48	116.28	58.48	25.70	23.71	47.49
温帯性ホンダワラ		312.03	158.86	60.50	219.24	31.56	155.21
藻類等ホンダワラ							
小型緑藻		4.16	9.95	5.54	7.05	6.05	9.70
小型紅藻		112.89	7.91	11.68	63.91	1.19	19.90
小型褐藻		92.38	22.90	95.94	17.97	1.52	30.24
サンゴ藻		15.14	6.76	0.57	6.76	6.76	9.71
コンブ類							
ワカメ類							
ノリ類							
カラモ類							

表5 水揚げ量に対する取り残し量 c の比率(標準値)

海藻養殖タイプ	コンブ類	ワカメ類	ノリ類	ガサモ類
c の標準値	0.8	1.33	0	0.25

CO₂貯留量算定フローチャート: 海草藻場の事例

算定事例2: 北海道スガモ場の場合



- 海域別・藻場タイプの説明
- 天然藻場・海藻養殖の算定式の説明
- 吸収ポテンシャル・吸収係数の数値、算定フローチャート図の解説

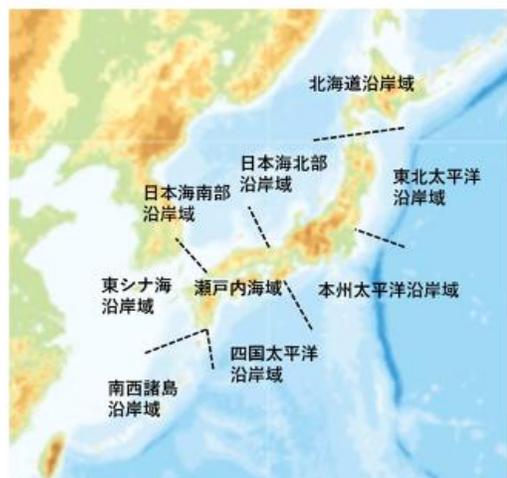


図 海域区分 (海草・海藻藻場のCO₂貯留量算定ガイドブック, 水産研究・教育機構 2023)

表 海草・海藻藻場のCO₂貯留量算定ガイドブックにおいて吸収係数を算定した海域・タイプと本稿に掲載している項目の対応表。白抜きはガイドブックにおいて吸収係数が示されていないもの

藻場タイプ	北海道	東北太平洋	日本海北部	日本海南部	太平洋中部	瀬戸内海	四国太平洋	九州東シナ海	南西諸
海藻類									
アマモ型	8)	8)	8)	8)	8)	8)	8)	8)	
タチアマモ型	8)	8)	8)	8)	8)				
スガモ型	8)	8)	8)	8)	8)				
亜熱帯性海藻小型									7)
亜熱帯性海藻中型									7)
亜熱帯性海藻大型									7)
海藻類									
マコンブ型	1)	2)	-						
ナガコンブ型	1)								
アラメ型		2)		3)	-		-	-	
カジメ型				3)	4)	5)		6)	
ワカメ型		2)		3)	4)			6)	
温帯性ホンダワラ型				3)		5)		6)	
亜熱帯性ホンダワラ型								6)	7)
小型緑藻型	2)					5)		6)	
小型紅藻型		2)				5)		6)	
小型褐藻型				3)				6)	
石灰藻型 (サンゴ藻)				5)					

海域別・藻場タイプ別の説明

調査手法、留意点などを解説

各海域の特徴的な藻場の写真で説明

対象種(タイプ):ナガコンブ *Saccharina longissima*・ガッガラコンブ *Saccharina coriacea* (ナガコンブ型), オニコンブ *Saccharina japonica* var. *diabolica* (マコンブ型), アナアオサ *Ulva pertusa* (小型緑藻型)

最大現存量の時期: 6~7月

調査方法: ライントランセクト

方形枠サイズ: 100 cm×100 cm (コンブ類)、20 cm×20 cm (アナアオサ)

留意点: コンブ類は方形枠内の株数・被度の計測および藻体サイズクラス別の重量の計測

【調査対象の特徴と選定の考え方】

北海道周辺の海域はコンブをはじめとする多くの海藻が生育し、コンブですが、道東海域(釧路や根室)は栄養豊かで冷たい親潮の影響をうけ海藻が良く繁茂しています。このため、日本のブルーカーボンにとっても主要コンブの漁獲量は減少傾向にあり(佐々木 2017)、温暖化の影響に不良なども心配されています(Hasegawa *et al.* 2019、Sudo *et al.* 2020)。のブルーカーボンの評価や海藻藻場の動向を理解するために、海域の主要な「ナガコンブ」や「ガッガラコンブ」、「オニコンブ」の藻場の現存量調査のコンブ類の特性に応じた現存量推定の留意点を整理しました。なお、このために、干潟域に繁茂する小型緑藻のアナアオサについても同様の調査道東海域のコンブ類は、夏季に最も大きく成長することから、調査は調査で得られた現存量を最大現存量 (Bmax) であると判断しました。

【調査概要および調査上の留意点】

ナガコンブ・ガッガラコンブ: ナガコンブは釧路以東の波荒い太平洋に面して生育する多年生コンブで、その葉幅は20 cm未満ですが、葉長は10 mを超える細長く葉厚が薄いコンブです(図1-1左、名畑・阿部 2003a)。一方、

引用文献

1) 北海道東部太平洋海域

Hasegawa N., Onitsuka T., Ito S., Azumaya T. (2019) Growth variation in long blade kelp *Saccharina longissima* in eastern Hokkaido, Japan. *Bulletin of Japan Fisheries Research and Education Agency* 49:65-72.

名畑進一, 阿部英治 (2003a) 103. ナガコンブ. 上田吉幸, 前田圭司, 嶋田宏, 鷹見達也 編. 漁業生物図鑑 新 北のさかなたち. 北海道新聞社, 札幌. pp. 420-423.

名畑進一, 阿部英治 (2003b) 107. ガッガラコンブ. 上田吉幸, 前田圭司, 嶋田宏, 鷹見達也 編. 漁業生物図鑑 新 北のさかなたち. 北海道新聞社, 札幌. pp. 434-437.

海域別の参考文献



図 3-1. 景観被度イメージ (アラメ 30%、ホンダワラ類 40%、裸地 30%)



図 3-2. 景観被度イメージ (ホンダワラ類 70%、クロメ 10%、裸地・石灰藻 20%)



図 3-3. 景観被度イメージ (ホンダワラ類 50%、アラメ 10%、ツルアラメ 5%以下、裸地・石灰藻 30%)



図 3-4. 景観被度イメージ (アラメ 50%、ホンダワラ類 20%、裸地・石灰藻 30%)



図 3-5. 景観被度イメージ (ホンダワラ類 20%、アラメ 10%、ツルアラメ 10%、裸地・石灰藻 60%)



図 3-6. 景観被度イメージ (ホンダワラ類 60%、アラメ 5%以下、裸地・石灰藻 40%)

【小課題2：ブルーカーボン生態系の増強技術の開発】

種苗生産

×

中間育成

×

藻場展開/本養殖



各要素で新技術を開発、単位面積当たりの最大現存量を増大させる

具体的な増強技術の効果（年間CO₂貯留量の増大効果）

- ・ アマモ場再生・CO₂吸収機能拡大技術の開発：
 - 藻場無し→1.4トンCO₂/ha/年へ再生、従来の藻場（藻場あり）は最大3.1倍/年に増大
- ・ 海藻藻場を対象とした増強技術を開発
 - 最大で6.5倍/年に増大
- ・ 海藻養殖を対象にした増強技術の開発
 - 最大で3.8倍/年に増大
- ・ 水産資源の観点からホンダワラ類の藻場増強技術を開発

農林水産省・農林水産技術会議事務局委託プロジェクト研究
「脱炭素・環境対応プロジェクト」
「みどりの食料システム戦略実現技術開発・実証事業」

課題名：「ブルーカーボンの評価手法及び効率的藻場形成・拡大技術の開発（R2-R6）」

R5年度の研究開発の検討状況

1. 藻場タイプ別の吸収係数評価モデルの開発と二酸化炭素吸収量の全国評価（R2－R4）

海区分・藻場タイプ別の吸収ポテンシャル（対象とする海草・海藻種の乾燥重量1gあたりのCO₂貯留能力、吸収係数（吸収ポテンシャル×年間最大現存量）、およびその算定手法（天然藻場・海藻養殖）について確立。それらの数値の普及を見据えたガイドブックを公開。全国の藻場タイプ別面積・全国評価値については論文化を進めつつ、本委託プロ研の最終報告書として公開準備中。

2. ブルーカーボンの増強技術の開発（R3－R6）

各海域の藻場の減衰要因に対応した効果的な対策技術、特に各海域で吸収係数の増大と生態系保全機能（+水産業）とを両立可能な技術を中心に研究を推進し、藻場面積や吸収係数を増大させる技術開発を実施。最終年度のR6年は9つの増強技術開発が終了、すべての技術においてCO₂貯留能力（吸収係数）増強効果が得られた。最も効果が高くなった技術では、年間CO₂貯留量 17倍 を達成。