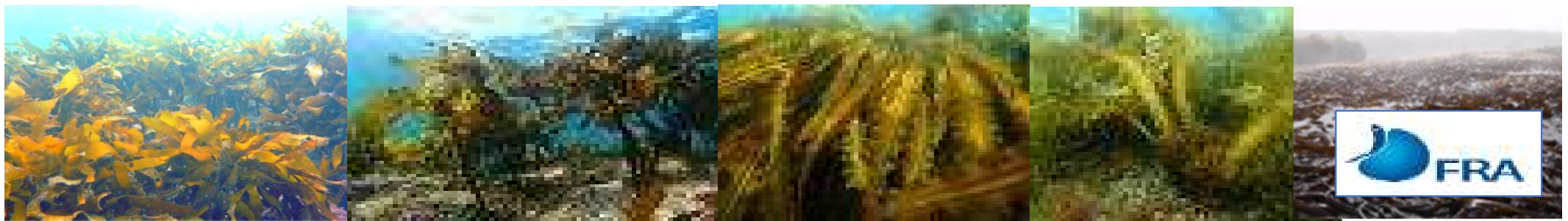




海草・海藻藻場における CO_2 貯留量の 定量算定手法とその実践

堀 正和

国立研究開発法人水産研究・教育機構
水産技術研究所／水産資源研究所



ガイドブック執筆者一覧

編集: 堀 正和・八谷光介・阿保勝之

執筆者一覧:

水産研究・教育機構 堀 正和

八谷光介・ 村岡大祐

長谷川夏樹・渡辺 剛・中川 亨・高木聖実

鬼塚年弘・白藤徳夫・丹羽健太郎・澤山周平

清本節夫・野田 勉・門田 立・邵 花梅・藤野くるみ・吉村 拓・山田秀秋

阿部真比古・村瀬 昇・野田幹雄

島袋寛盛・須藤健二

佐藤允昭・鈴木健吾

港湾空港技術研究所 渡辺謙太・茂木博匡・桑江朝比呂

東京大学 宮島利宏

広島大学 作野裕司・谷口直和

北海道大学 仲岡雅裕

新潟県水産海洋研究所 濱岡秀樹・岸原達也

徳島県水産研究課 吉見圭一郎・石川貴志

京都府海洋センター 瀬田智文・久田哲二・川崎優海

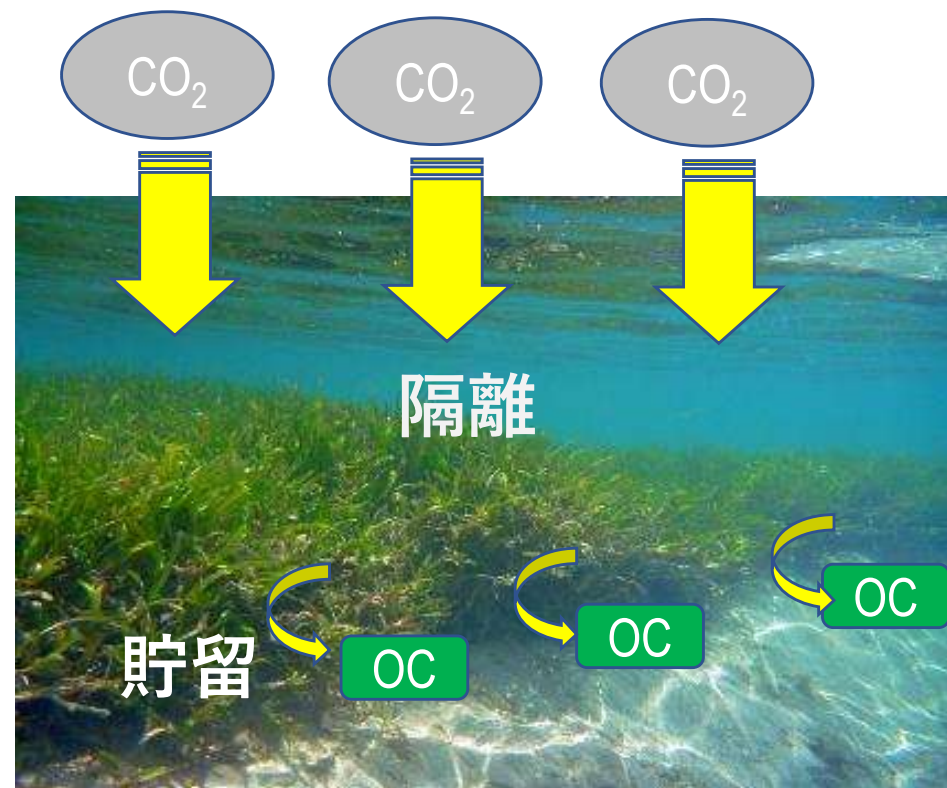
農林水産研究推進事業委託プロジェクト研究
(JPJ008722)

みどりの食料システム戦略
実現技術開発・実証事業「ブルーカーボンの
評価手法及び藻場形成・拡大技術の開発」

水産庁におけるブルーカーボン研究



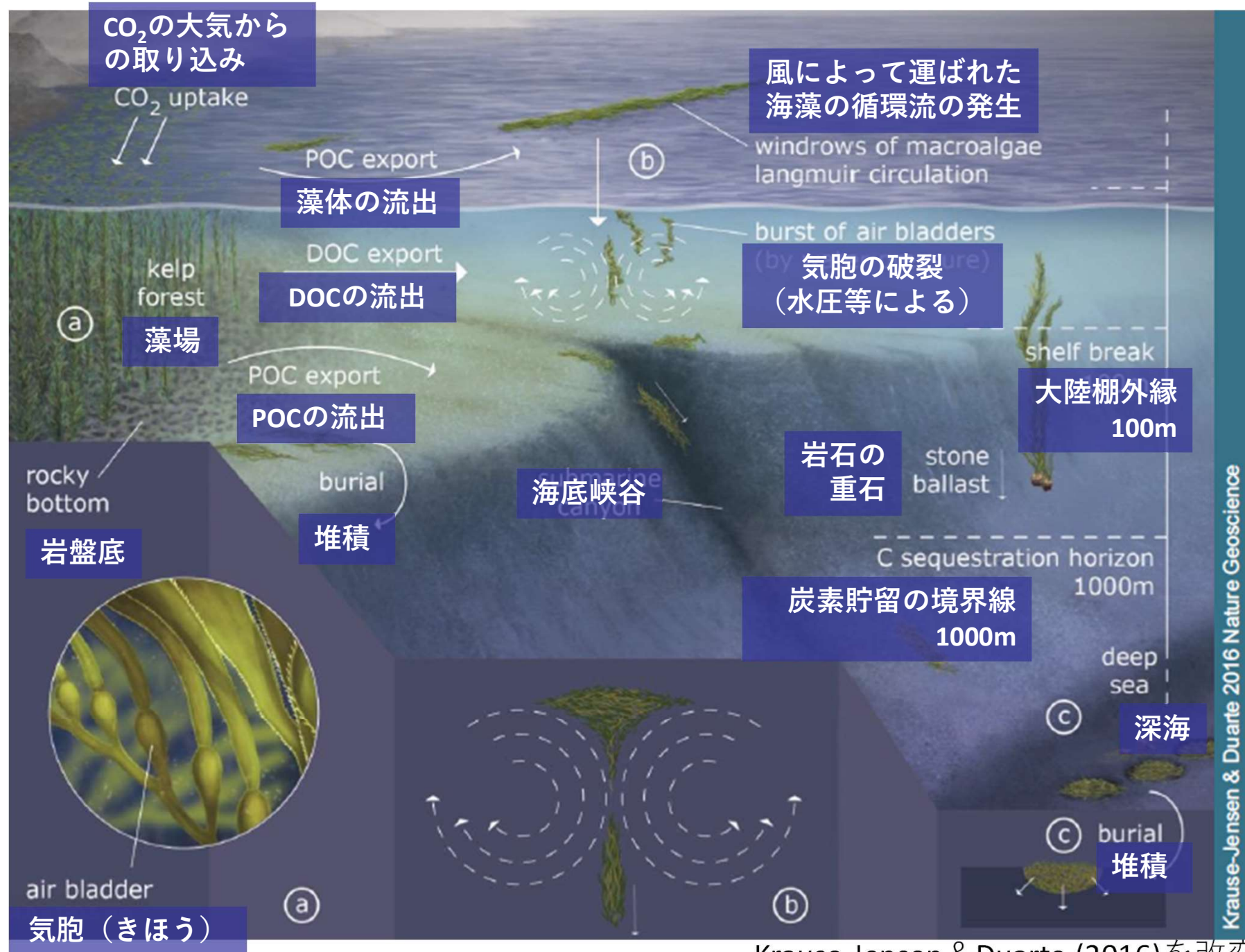
国連環境計画「ブルーカーボンレポート」
Nellemann *et al.* (2009)



2008 水産庁・国土交通省でブルーカーボン研究が開始（水産庁事業を担当）

2017 ブルーカーボンの一般書を公開





Krause-Jensen & Duarte (2016)を改変

海藻藻場も有効なCO₂吸収源と国際的にも認知

Ocean-based climate change mitigation options

(海洋における気候変動緩和策)

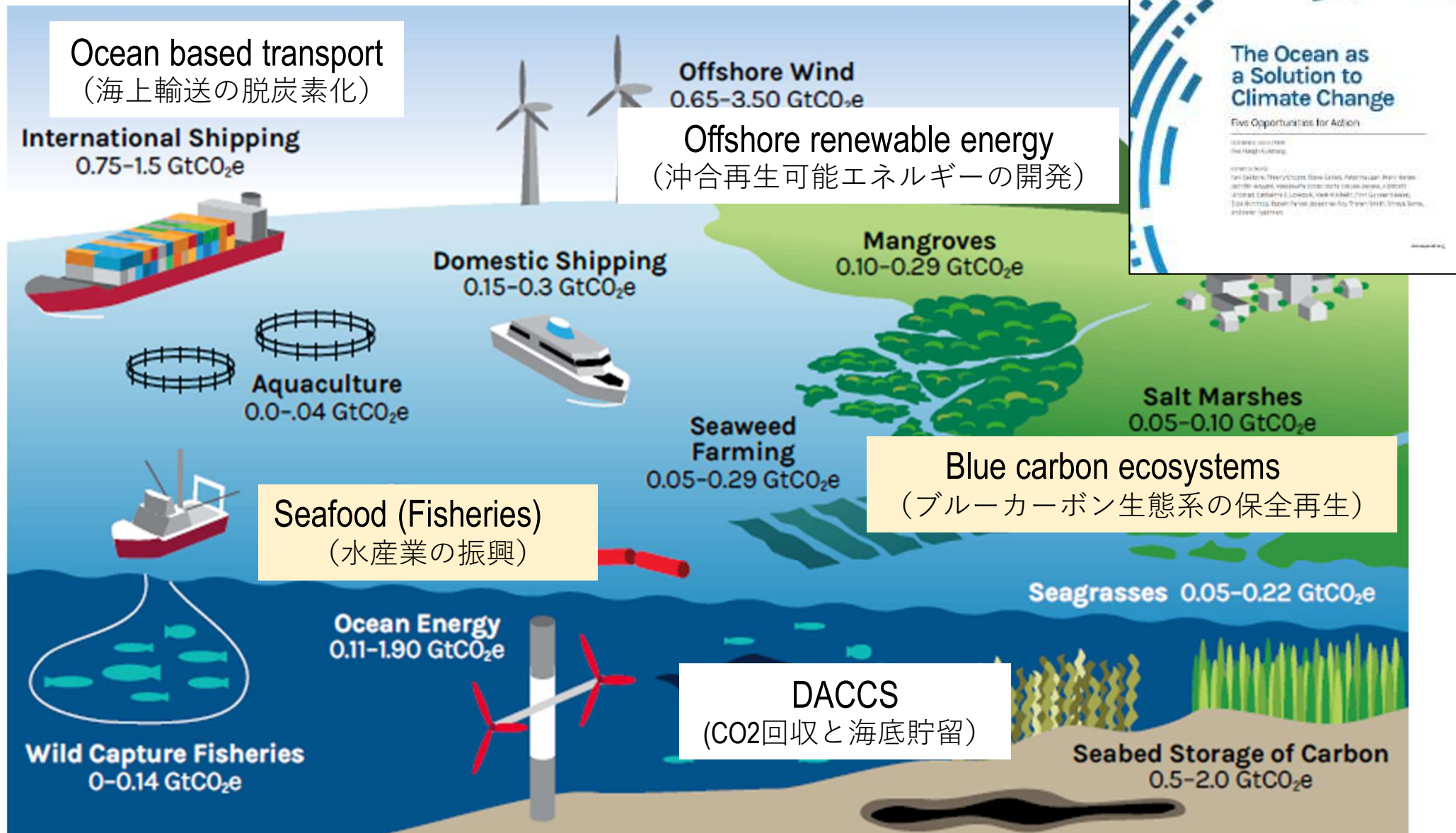
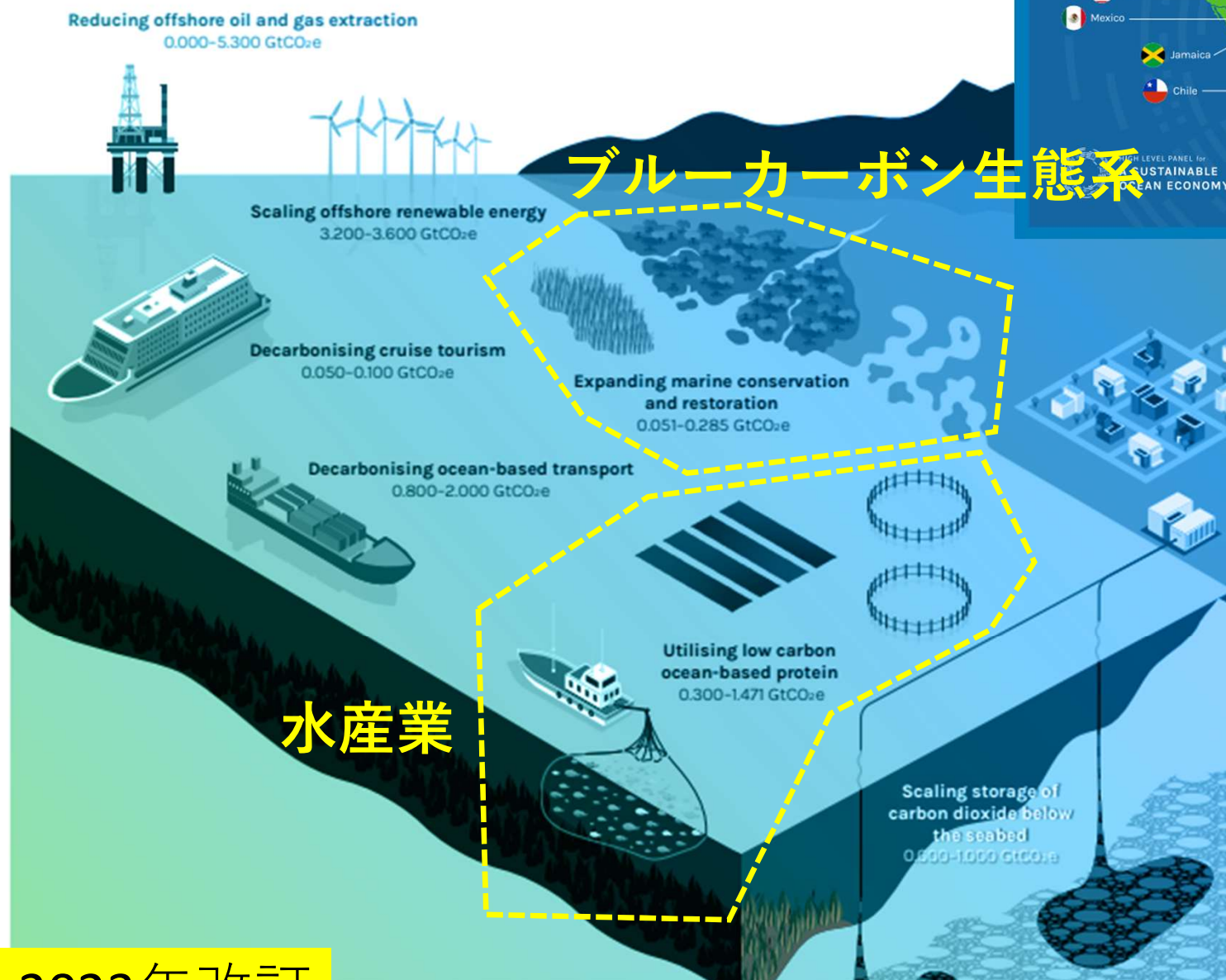


Figure ES-1. Annual emission reduction potential in 2050 for solutions that are ready to implement



2023年改訂

Hoegh-Guldberg, O., Northrop, E. et al. 2023. "The ocean as a solution to climate change: Updated opportunities for action." Special Report. Washington, DC: World Resources Institute.



2021年度温室効果ガス排出・吸収量（確報値） 概要

環境省 脱炭素社会移行推進室
国立環境研究所 温室効果ガスインベントリオフィス



環境省がブルーカーボンをGHGインベントリに登録

(参考) ブルーカーボン生態系 (マングローブ林) の新規計上

- 今回の国連への報告では、我が国として初めて、ブルーカーボン生態系の一つであるマングローブ林による吸収量2,300トン进行計上。
- 2013年に作成されたIPCC湿地ガイドラインも踏まえつつ、マングローブ林の他、湿地・干潟、海草藻場・海藻藻場についても、ブルーカーボン生態系の排出・吸収量の算定・計上に向けた検討を進めている。

1. 海草藻場

- ・海草や、その葉に付着する微細な藻類は、光合成でCO₂を吸収して成長する。
- ・海草の藻場の海底では、「ブルーカーボン」としての巨大な炭素貯留庫となる。
- ・瀬戸内海の海底の調査では、3千年前の層からもアマモ由来の炭素が見つかった。



2. 海藻藻場

- ・海藻は、ちぎれると海面を漂う「流れ藻」となる。
- ・根から栄養をとらない海藻は、ちぎれてもすぐには枯れず、一部は寿命を終えて深い海に沈み堆積する。
- ・深海の海底に貯留された海藻由来の炭素も「ブルーカーボン」。



3. 湿地・干潟

- ・湿地・干潟には、ヨシなどが繁り、光合成によってCO₂を吸収する。
- ・海水中や地表の微細な藻類を基盤に、食物連鎖でつながる多様な生き物が生息し、それらの遺骸は海底に溜まり、「ブルーカーボン」として炭素を貯留。



4. マングローブ林

- ・マングローブ林は、成長とともに樹木に炭素を貯留する上、海底の泥の中には、枯れた枝や根が堆積し、炭素を貯留。
- ・日本では、鹿児島県と沖縄県の沿岸に分布。



農林水産省・みどりの食料システム戦略
実現技術開発・実証事業のうち農林水産研究の推進
(委託プロジェクト研究 R2-R6)
個別課題名：「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」

IPCC湿地ガイドラインに記載のある海草だけでなく、海藻も同じ手法でCO₂貯留量を算定できるようにする → インベントリ登録へ貢献



農林水産分野でのゼロエミッション達成に向けた取組

温室効果ガス削減に向けた 技術革新

ゼロエミッション

25



取組・技術

- 水田の水管理によるメタン削減
- 省エネ型施設園芸設備の導入
- 間伐等の適切な森林管理

取組・技術

- 低メタンイネ品種の開発
- バイオ炭による炭素貯留の拡大
- 海藻類によるCO₂固定化（ブルーカーボン）
- 水田の水管理によるメタン削減
- 省エネ型施設園芸設備の導入
- 間伐等の適切な森林管理

取組・技術

- 農山漁村に適した地産地消型エネルギーシステムの構築
- 高層木造建築物の拡大
- 農林業機械・漁船の電化・水素化等
- 低メタンイネ品種の開発
- バイオ炭による炭素貯留の拡大
- 海藻類によるCO₂固定化（ブルーカーボン）
- 水田の水管理によるメタン削減
- 省エネ型施設園芸設備の導入
- 間伐等の適切な森林管理

取組・技術

- 高機能合成樹脂のバイオマス化を拡大
- CO₂吸収能の高いスーパー植物の安定生産
- メタン抑制ウシの活用
- 特殊冷凍・包装技術による食品ロス削減
- 消費者嗜好の分析等による食品ロスの削減
- 農山漁村に適した地産地消型エネルギーシステムの構築
- 高層木造建築物の拡大
- 農林業機械・漁船の電化・水素化等
- 低メタンイネ品種の開発
- バイオ炭による炭素貯留の拡大
- 海藻類によるCO₂固定化（ブルーカーボン）
- 水田の水管理によるメタン削減
- 省エネ型施設園芸設備の導入
- 間伐等の適切な森林管理

2020年

2030年

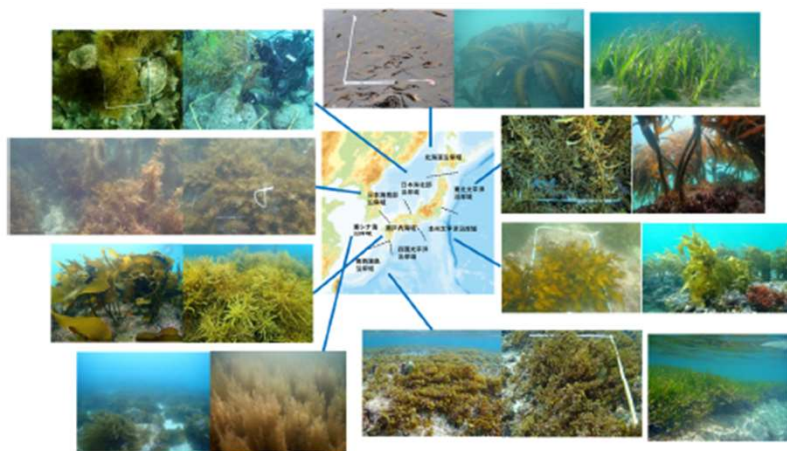
2040年

2050年

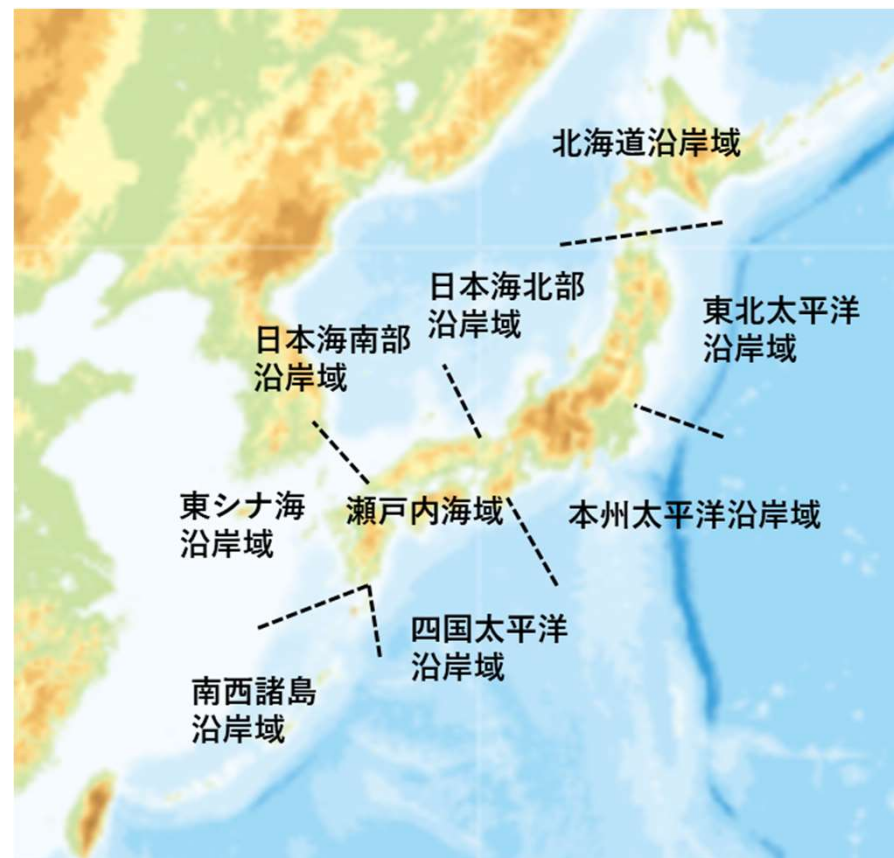
※ 農林水産業における化石燃料起源のCO₂ゼロエミッション化の実現(KPI)とともに、農畜産業からのメタン・N₂O排出削減、農地・森林・木材・海洋における炭素の長期・大量貯蔵等による吸収源対策を推進。

算定ガイドブックの公開

海草・海藻藻場のCO₂貯留量 算定ガイドブック



国立研究開発法人
水産研究・教育機構
令和5年10月

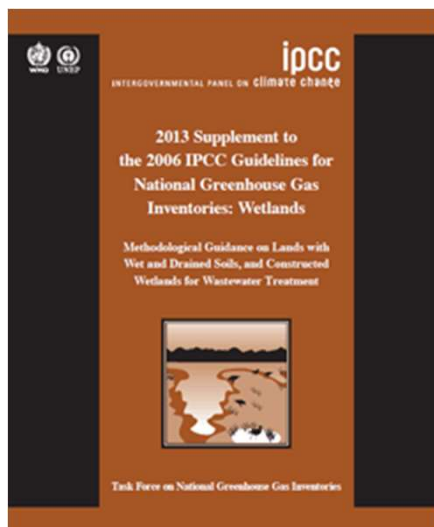


2023年11月1日公開

我が国の沿岸海域で算定する藻場タイプ

藻場タイプ		各藻場タイプに含まれる主要な海草・海藻種
海草類	1. アマモ型	アマモ、スゲアマモ、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	ウミヒルモ類、マツバウミジグサ、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	ウミショウブ
海藻類	7. マコンブ型	マコンブ、ホソメコンブ、ガゴメコンブなど
	8. ナガコンブ型	ナガコンブ、スジメ、アイヌワカメなど
	9. アラメ型	アラメ、サガラメなど
	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	ヒイラギモク、ヒメハモク、ヤバネモクなど
	14. 小型緑藻型	ヒトエグサ、アナアオサ、ミルなど
	15. 小型紅藻型	マクサ、ツノマタ、スサビノリなど
	16. 小型褐藻型	アミジグサ、ヒバマタ、ヤハズグサなど
	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
養殖	18. コンブ類養殖型	マコンブはえ縄方式など
	19. ワカメ類養殖型	ワカメはえ縄方式など
	20. ノリ類養殖型	ノリ網浮き流し式、支柱式など
	21. ホンダワラ類養殖型	アカモクはえ縄式など

IPCC湿地ガイドライン



IPCC湿地ガイドラインにおける算定式（トンC ha⁻¹ year⁻¹）

EQUATION 4.7
CO₂ EMISSIONS FROM REWETTING, REVEGETATION AND CREATION OF COASTAL WETLANDS

$$CO_{2SO-RE} = \sum_{v,s,c} (A_{RE} \cdot EF_{RE})_{v,s,c}$$

式4.7：湿地の再湿化、創造、植生の回復によるCO₂排出量

$$\text{CO}_2 \text{ Emission} = \text{areas (A)} \times \text{Annual Emission Factors (EF)}$$

排出量 面積 吸収係数

式1：藻場のCO₂貯留量の算定式

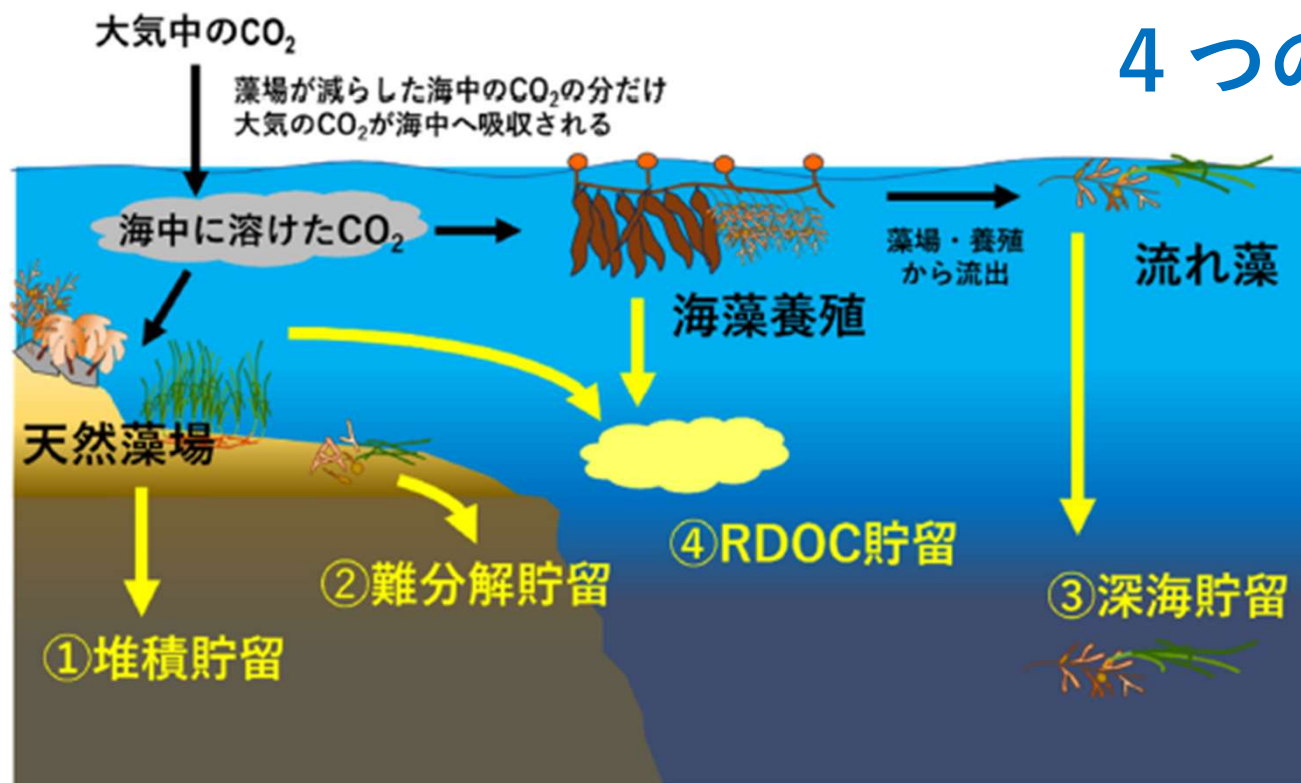
$$\text{CO}_2 \text{ 貯留量 (トンCO}_2\text{/年)} = \text{面積 (活動量)} \times \text{吸収係数 (トンCO}_2\text{/面積/年)}$$

$$\text{吸収係数} = \frac{\text{CO}_2 \text{ 隔離量 (トンCO}_2\text{/面積/年)}}{\text{残存率}}$$

藻場の植物が有機炭素化した大気中CO₂量（対象とする植物の年間純一次生産量をCO₂として算定した値）

藻場の植物によって隔離された大気中CO₂のうち、分解されずに海中に長期間貯留される割合

4つの残存率



- ①**堆積貯留**：枯れた草藻体が藻場内の海底に堆積し，長期間貯留されるプロセス
- ②**難分解貯留**：枯れた草藻体，その細分化された破片が流出し，長期間CO₂に戻らない難分解性の細片（粒子状）となり，藻場外の沿岸域に堆積して長期間貯留されるプロセス
- ③**深海貯留**：波浪等でちぎれた草藻体が流れ藻となって沖合に流出し，浮力を失って深海へ沈降し長期間貯留されるプロセス
- ④ **RDOC貯留**：海草や海藻が排出する難分解性の溶存態有機炭素が長期間にわたり海水中に貯留されるプロセス．難分解性溶存態有機炭素（Refractory Dissolved Organic Carbon）の頭文字からRDOCと呼ぶ

天然藻場（海草・海藻）の算定式

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

$$\begin{aligned} & (P/B_{\text{max}})_j \times B_{\text{max}} \times r_{2j} && \text{: 堆積貯留} \\ + & (P/B_{\text{max}})_j \times B_{\text{max}} \times r_{3j} && \text{: 深海貯留} \\ + & (P/B_{\text{max}})_j \times B_{\text{max}} \times r_{1j} \times (1-r_{2j}-r_{3j}) && \text{: 難分解貯留} \\ + & B_{\text{max}} \times r_{4j} && \text{: RDOC貯留} \end{aligned}$$

$$= B_{\text{max}} \times \left[\frac{(P/B_{\text{max}})_j \times \{r_{1j} + (r_{2j} + r_{3j})(1-r_{1j})\} + r_{4j}}{\text{CO}_2\text{隔離量} \times \text{残存率の総和のうち、現存量以外の項}} \right]$$

最大現存量 (乾燥重量)

現存量をCO₂量に
換算する項

生態系
変換係数

※ 吸収ポテンシャル
対象とする海草・海藻が現存
量1gあたりで貯留するCO₂量

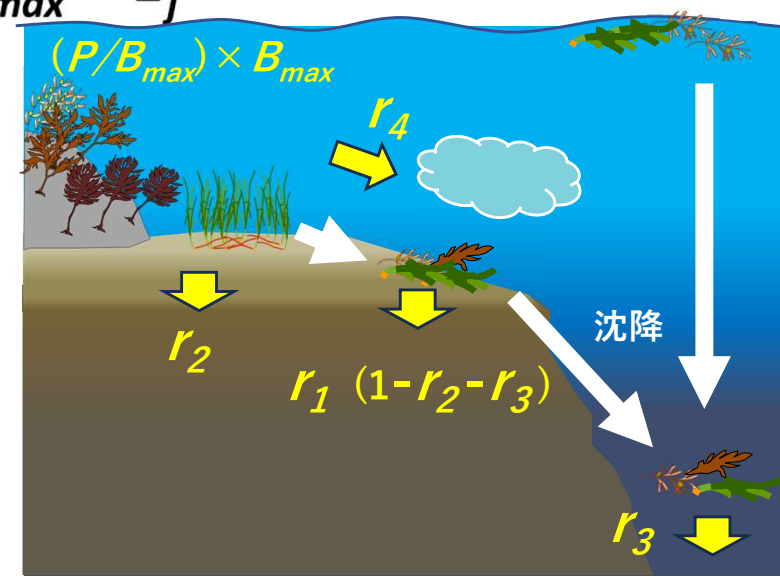
(吸収係数は単位面積当たり
で貯留するCO₂量)

$$\text{吸収係数} = \text{吸収ポテンシャル} \times B_{\text{max}} \times E_j$$

P/B_{max} : 現存量当たりの一次生産量 (隔離する炭素量)
→ 種ごとに決まっている定数

B_{max} : 年間で最も繁茂している時期の最大現存量
→ 現場で実測する変数

E_j : 葉上の付着微細藻類や混生する他の海藻の現存量が
無視できない場合、追加的な補正を行うための係数。
→ 補正がない場合は $E = 1$



海藻養殖の算定式

$$\text{養殖タイプ}j\text{の吸収係数 (gCO}_2\text{/m}^2\text{/year)} = \frac{\text{CO}_2\text{隔離量} \times \text{残存率の総和}}{\text{現存量をCO}_2\text{量に換算する項}} \times C_{\text{cont},j} \times (44/12) \times E_j$$

↓

生態系変換係数

$$\begin{aligned} & \{(P/B_{\max})_j \times (Y + C)_j - Y_j\} \times r_{2j} && \text{: 堆積貯留} \\ & + \{(P/B_{\max})_j \times (Y + C)_j - Y_j\} \times r_{3j} && \text{: 深海貯留} \\ & + \{(P/B_{\max})_j \times (Y + C)_j - Y_j\} \times r_{1j} \times (1 - r_{2j} - r_{3j}) && \text{: 難分解貯留} \\ & + (Y + C)_j \times r_{4j} && \text{: RDOC貯留} \end{aligned}$$

$$= (Y + C)_j \times \left[\{(P/B_{\max})_j - D_{j\text{mean}}\} \times \{r_{1j} + (r_{2j} + r_{3j})(1 - r_{1j})\} + r_{4j} \right]$$

水揚げ量 + 取り残し量

CO₂隔離量 × 残存率の総和のうち、現存量以外の項

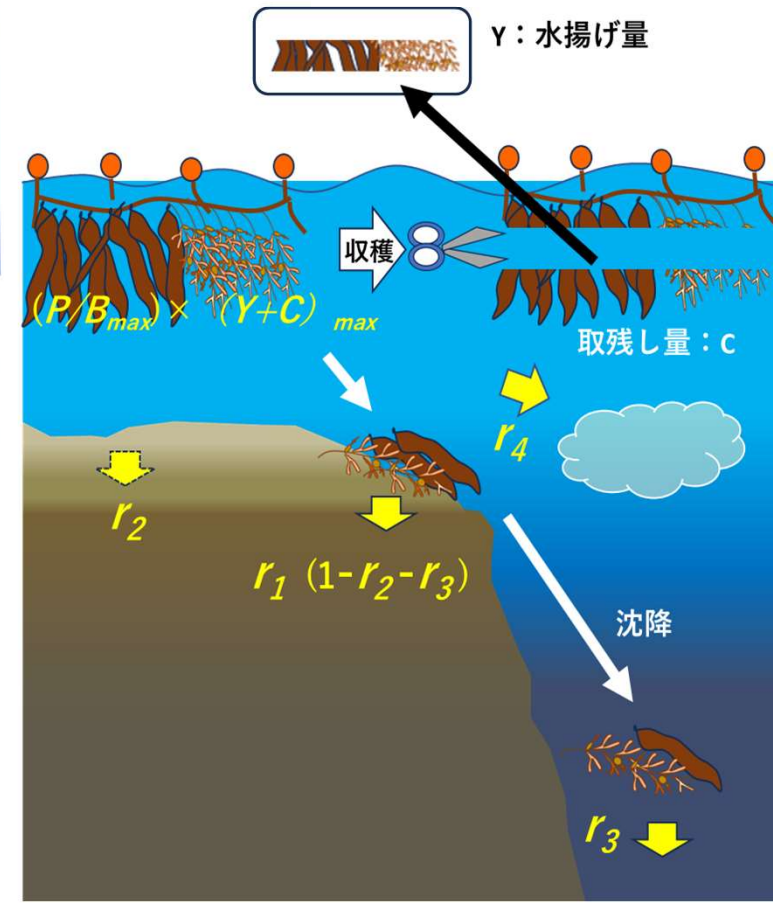
$D_{j\text{mean}}$ は $Y_j/(Y+C)_j$ の標準値

$$\text{吸収係数} = \text{吸収ポテンシャル} \times (Y + C)_j \times E_j$$

※ 吸収ポテンシャル

対象とする海草・海藻が現存量1gあたりで貯留するCO₂量
(吸収係数は単位面積当たりで貯留するCO₂量)

Y : 収穫された水揚げ現存量 (海中から出される現存量)
C : 海中に取り残す現存量 (海中に残る現存量)

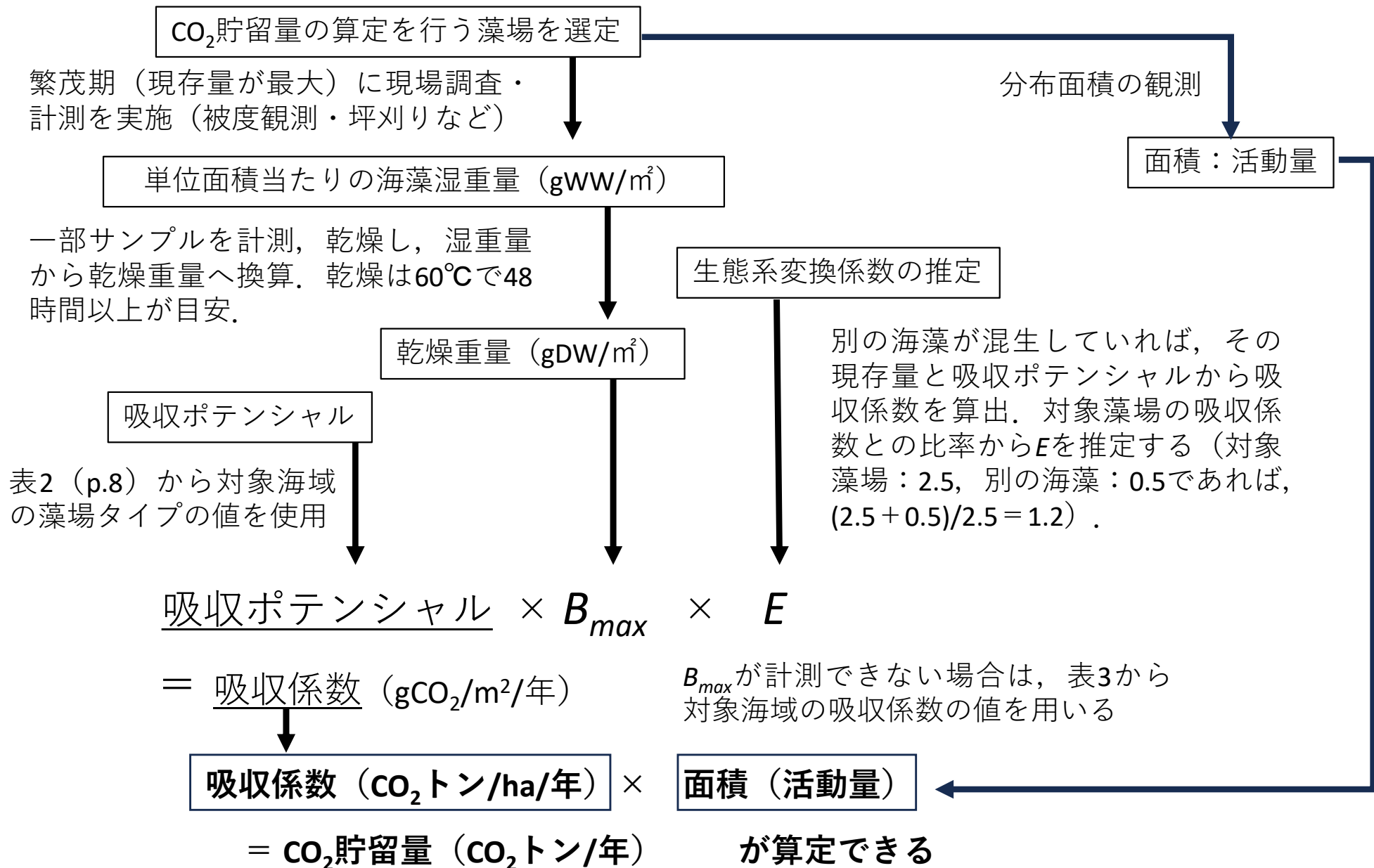


藻場タイプ・海域区分別の吸収ポテンシャル

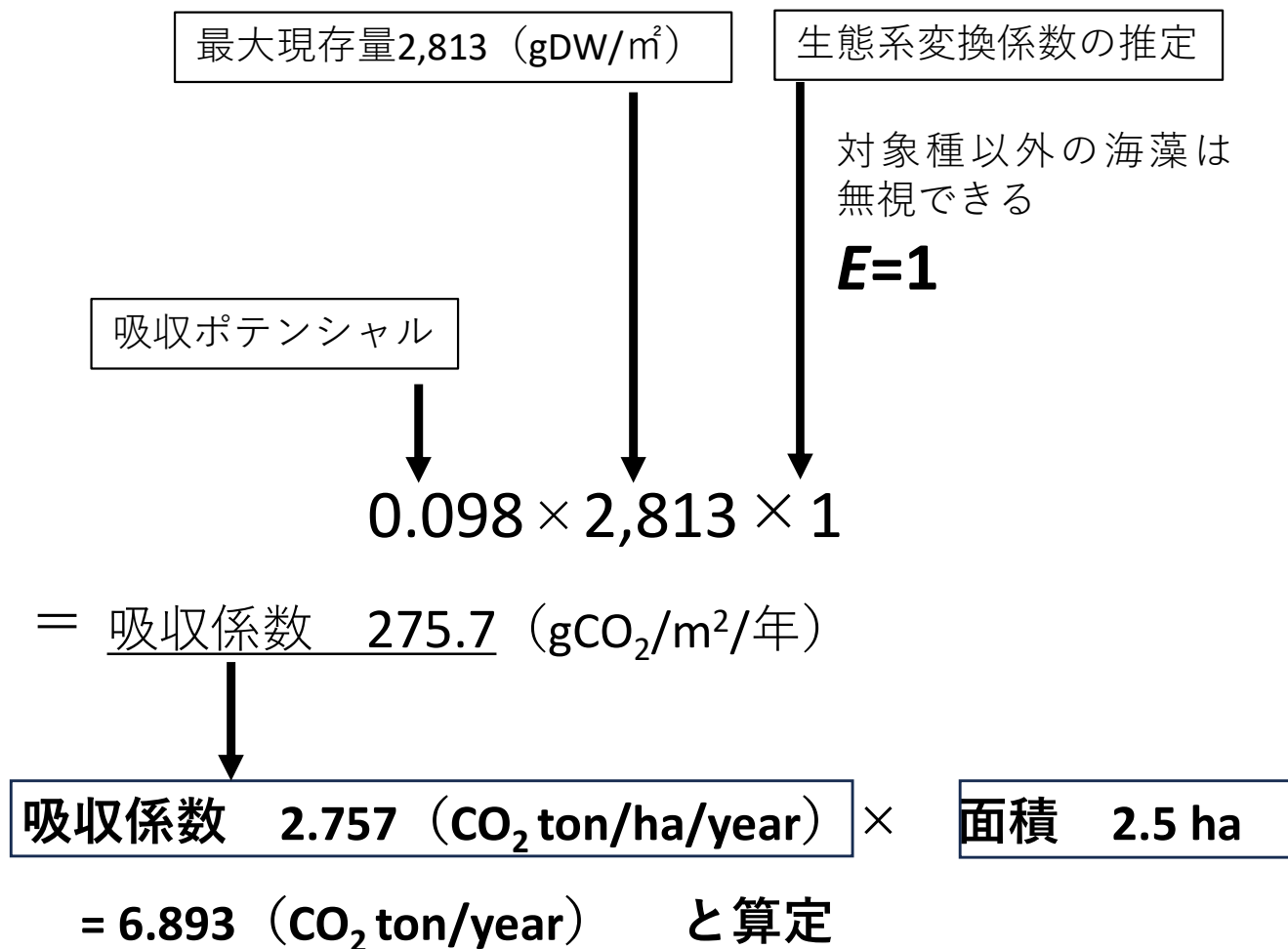
[illegible]

CO₂貯留量算定フローチャート

・藻場のCO₂貯留量は以下のフローにしたがって算定することができます。



東北太平洋のアラメの事例



北海道のスガモ（海草）の事例

繁茂期8月に50×50cm方形枠で5か所の
坪刈り調査を実施，1m²あたりに換算

最大現存量12,252 (gDW/m²)

一部サンプルを計測，乾燥し，
湿重量から乾燥重量へ換算

吸収ポテンシャル

生態系変換係数の推定

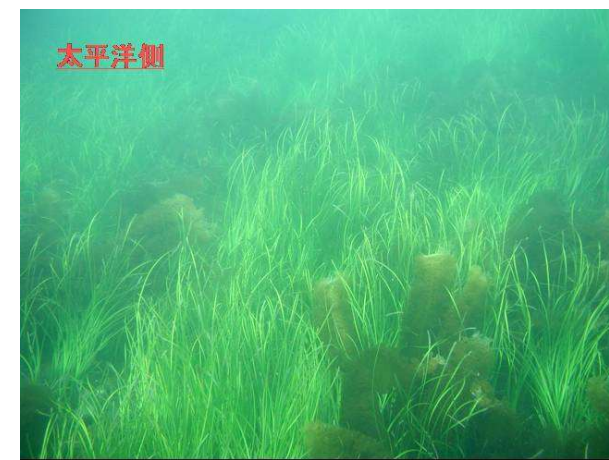
温帯性ホンダワラ類が混生，乾燥重量
2,100g/m²であった．北海道・温帯性ホンダ
ワラの吸収ポテンシャル0.098から，吸収係
数は205.8となる．したがって，スガモの吸
収係数1,878との比率から1.1とした．

$$0.613 \times 3,063 \times 1.1$$

$$= \text{吸収係数 } 2,065.4 \text{ (gCO}_2\text{/m}^2\text{/年)}$$

$$\text{吸収係数 } 20.654 \text{ (CO}_2\text{トン/ha/年)} \times \text{面積 } 6.8 \text{ ha}$$

$$= 140.447 \text{ (CO}_2\text{トン/年)} \quad \text{と算定}$$



徳島ワカメ（海藻養殖）の事例

単位面積当たりの水揚げ湿重量15,000 (gWW/m²)

一部サンプルを計測，乾燥し，
湿重量から乾燥重量へ換算

収穫時にロープ1本当たりの水揚げ量を計測，1m²あたりに換算

最大現存量1,500 (gDW/m²)

生態系変換係数の推定

取残し量を水揚げ量の1.33倍
(標準値) とする (表4)，
Y + C = 3,495

吸収ポテンシャル

表2 (p.8) から瀬戸
内海・ワカメ養殖
の値を使用

温帯性ホンダワラ類と微細藻類が養殖施設
に繁茂，乾燥重量は1,100g/m²であった．瀬
戸内海・温帯性ホンダワラの吸収ポテン
シャル0.101から，吸収係数は111.1となる．
したがって，ワカメ養殖の吸収係数178と
の比率から1.6とした．

$$0.613 \times 3,495 \times 1.6$$

$$= \text{吸収係数 } 285.2 \text{ (gCO}_2\text{/m}^2\text{/年)}$$

$$\text{吸収係数 } 2,852 \text{ (CO}_2\text{トン/ha/年)} \times$$

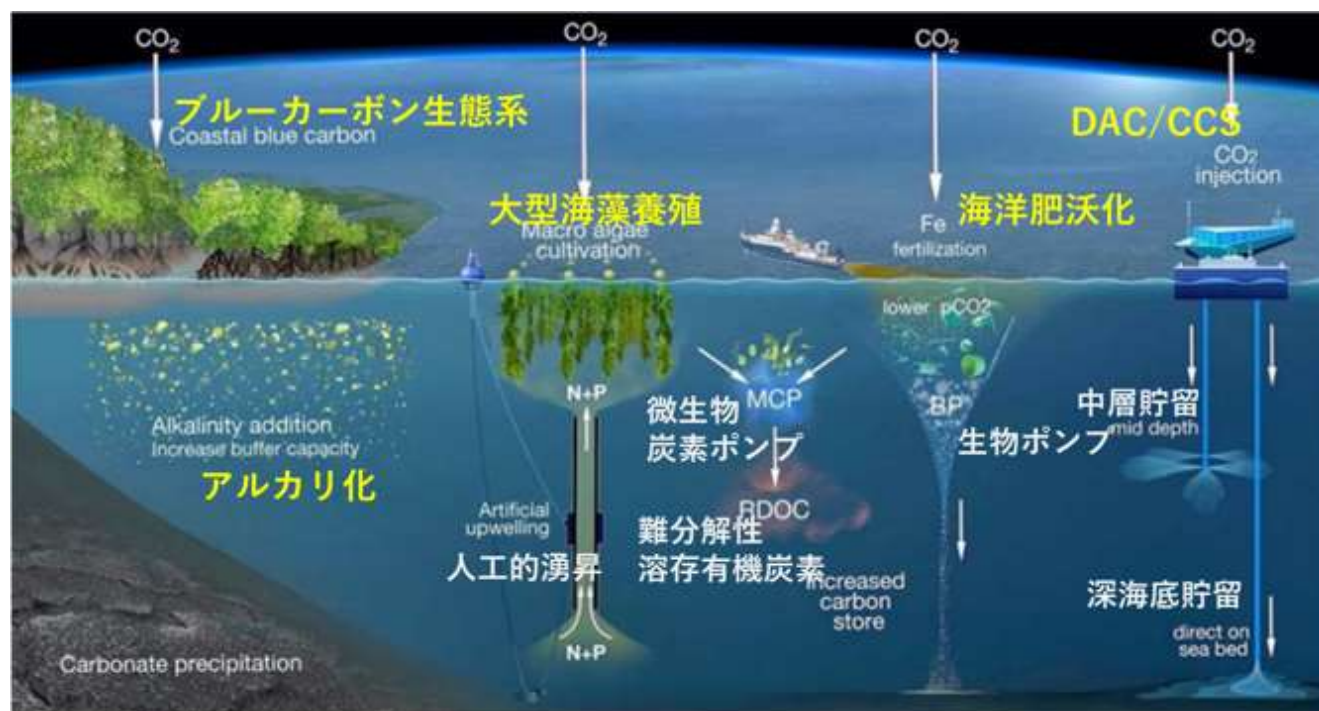
$$\text{面積 } 2.0 \text{ ha}$$

$$= 5,704 \text{ (CO}_2\text{トン/年)} \quad \text{と算定}$$



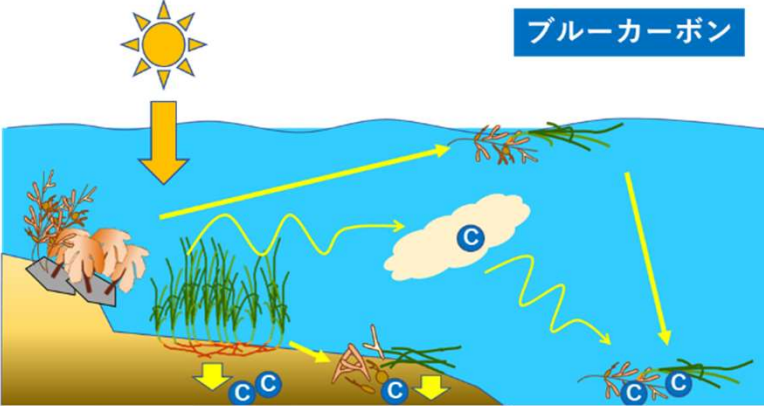
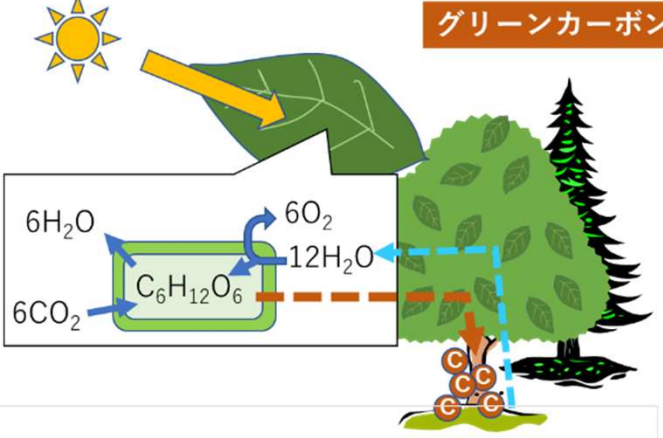
まとめにかえて

- ・国連がブルーカーボンの重要性を2009年に発表した時点では藻場のうち海草藻場のみが対象 ⇒ 近年は科学的根拠の蓄積が進んでおり、天然の海藻藻場や養殖海藻も効果的なCO₂吸収源とみなす事例が増えています。国連では現在、海洋で有効な5つのCO₂吸収技術にブルーカーボン生態系に加えて海藻養殖も含めています
- ・海草や海藻は、海中のCO₂や炭酸イオンを光合成により吸収して自分の体にする（有機炭素にする）ことで海中のCO₂を減らし、その減らした分のCO₂が大気から海中に取り込まれることから、ブルーカーボン生態系がCO₂吸収源とみなされています



このガイドブックは、農林水産省 委託プロジェクト研究「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 (JPJ008722)」で得られた研究成果に基づいて、海草・海藻類によるCO₂貯留量算定手法とその考え方を紹介したものです

まとめにかえて

	ブルーカーボン	グリーンカーボン
		
	藻場	森林
植物の寿命	海藻：1～10年スケール 海草：10～1000年スケール	100～1000年スケール
我が国周辺の面積	海岸線に沿って水深30m程度までの区域に分布	陸上に広く分布
炭素貯留庫（場所）	浅海域の堆積物内～深海まで	樹木のバイオマス
バイオマスの安定性	成長の年変動が激しい	一定の速度で成長
炭素貯留庫の安定性	土壌、海水中、深海いずれも100年～数1000年スケール	80年程度で成長が鈍化、植林の針葉樹は主伐されるが、天然林は100～1000年スケール
生態系機能/生物多様性の価値	沿岸生態系と多様性を支える基盤種	特に広葉樹林は森林生態系と多様性を支える基盤種
食料生産との同期性	持続的食料生産（漁業）対策とCO ₂ 吸収源対策が同時進行	広葉樹林を中心に狩猟・採集等が可能
維持・再生・拡大の困難さ	磯焼け対策が各地域で実施中だが技術的革新が必要	精緻な植林・管理技術が林業として確立