

# ブルーカーボン生態系と そのCO<sub>2</sub>吸収量評価

堀 正和  
国立研究開発法人 水産研究・教育機構



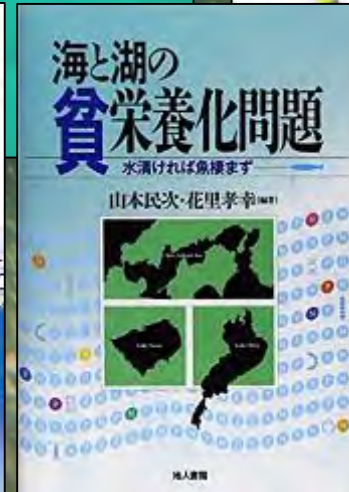
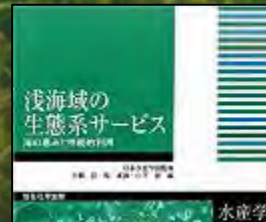
# 堀 正和 博士：水産科学（北海道大学）

国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産資源研究所 水産資源研究センター

社会・生態系システム部 沿岸生態系グループ長

- ・ ジャパンブルーエコノミー技術研究組合 顧問
- ・ 東京海洋大学大学院 海洋生命資源科学専攻 客員教授

専門分野：海洋生態学（沿岸域の大型海洋植物、食物網、生態系研究）  
水産資源学（磯根資源（ウニ・ナマコ・アワビ・海藻）、海草（アマモ）、  
異体類（カレイ類））  
ブルーカーボンに関わる研究と社会実装





# Contents

1. 国内外のブルーカーボンに関連した動き
2. 藻場のCO<sub>2</sub>吸収量の算定手法と今後の展開
3. ブルーカーボン生態系を作り出す海洋植物の特徴

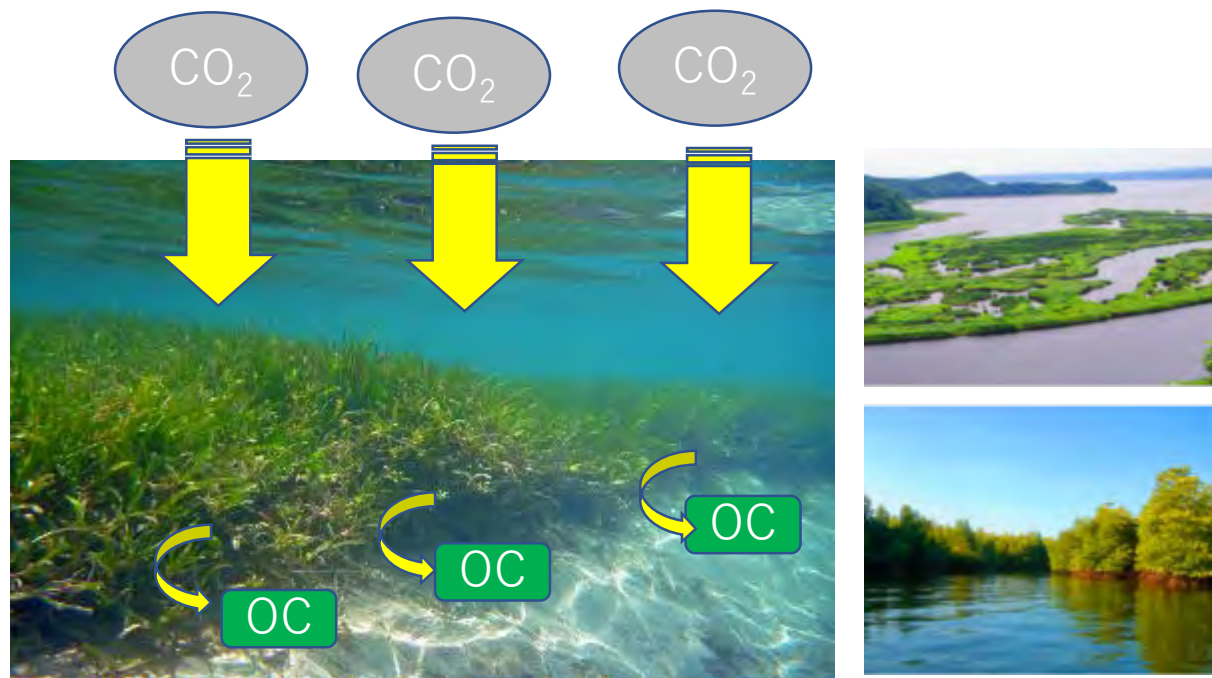
# ブルーカーボンとは

「**ブルーカーボン**」は海洋の「**グリーンカーボン**」 + α

グリーンカーボン：光合成を通じて「植物に吸収されたCO<sub>2</sub>」に由来する炭素

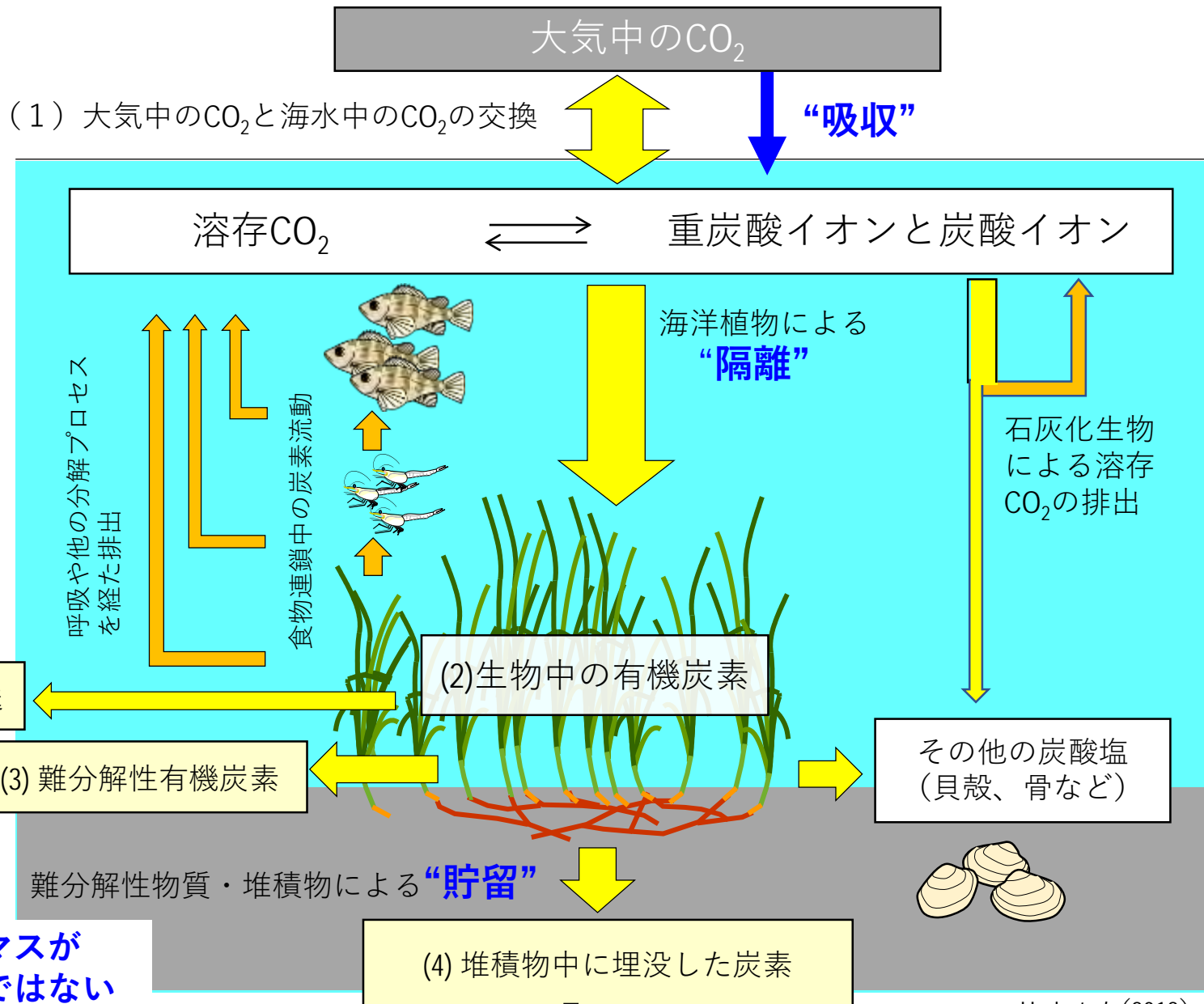


「ブルーカーボン」 Nellemannら (2009)



「**ブルーカーボン生態系**」

海草藻場（アマモ場）、塩生湿地、マングローブ林





# 海藻のブルーカーボン： 深海への輸送

nature  
geoscience

PROGRESS ARTICLE

PUBLISHED ONLINE: 12 SEPTEMBER 2016 | DOI: 10.1038/NATURE12790

## Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration

Dorte Krause-Jensen<sup>1,2\*</sup> and Carlos M. Duarte<sup>2</sup>

Vegetated coastal habitats have been identified as important carbon sinks. In contrast to angiosperm-based habitats such as seagrass meadows, salt marshes and mangroves, marine macroalgae have largely been excluded from discussions of marine carbon sinks. Macroalgae are the dominant primary producers in the coastal zone, but they typically do not grow in habitats that are considered to accumulate large stocks of organic carbon. However, the presence of macroalgal carbon in the deep sea and

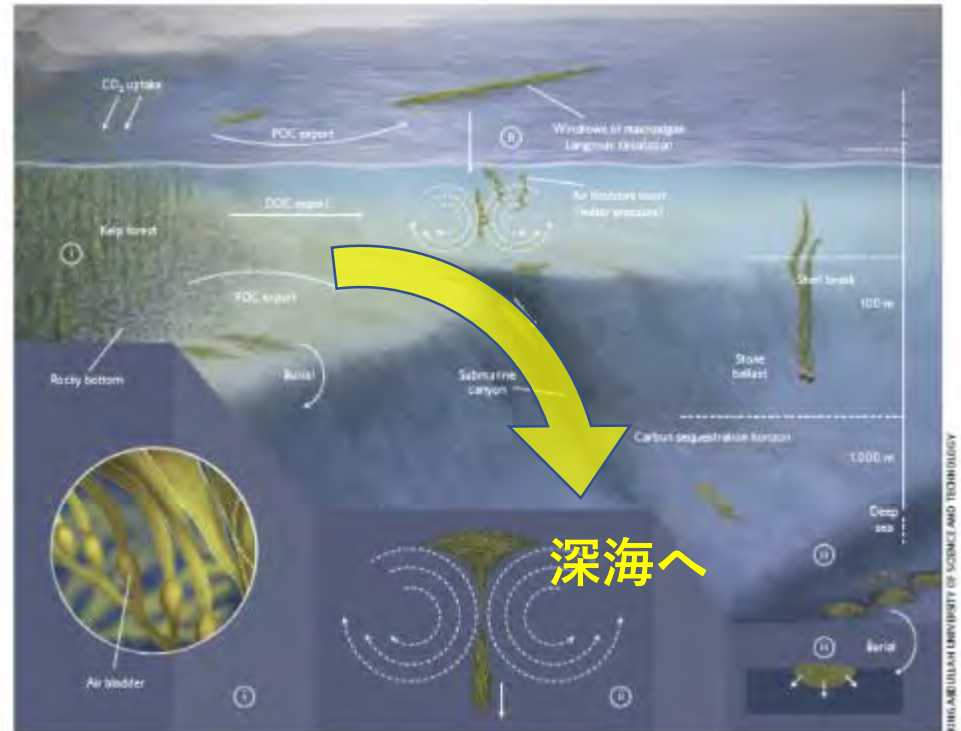
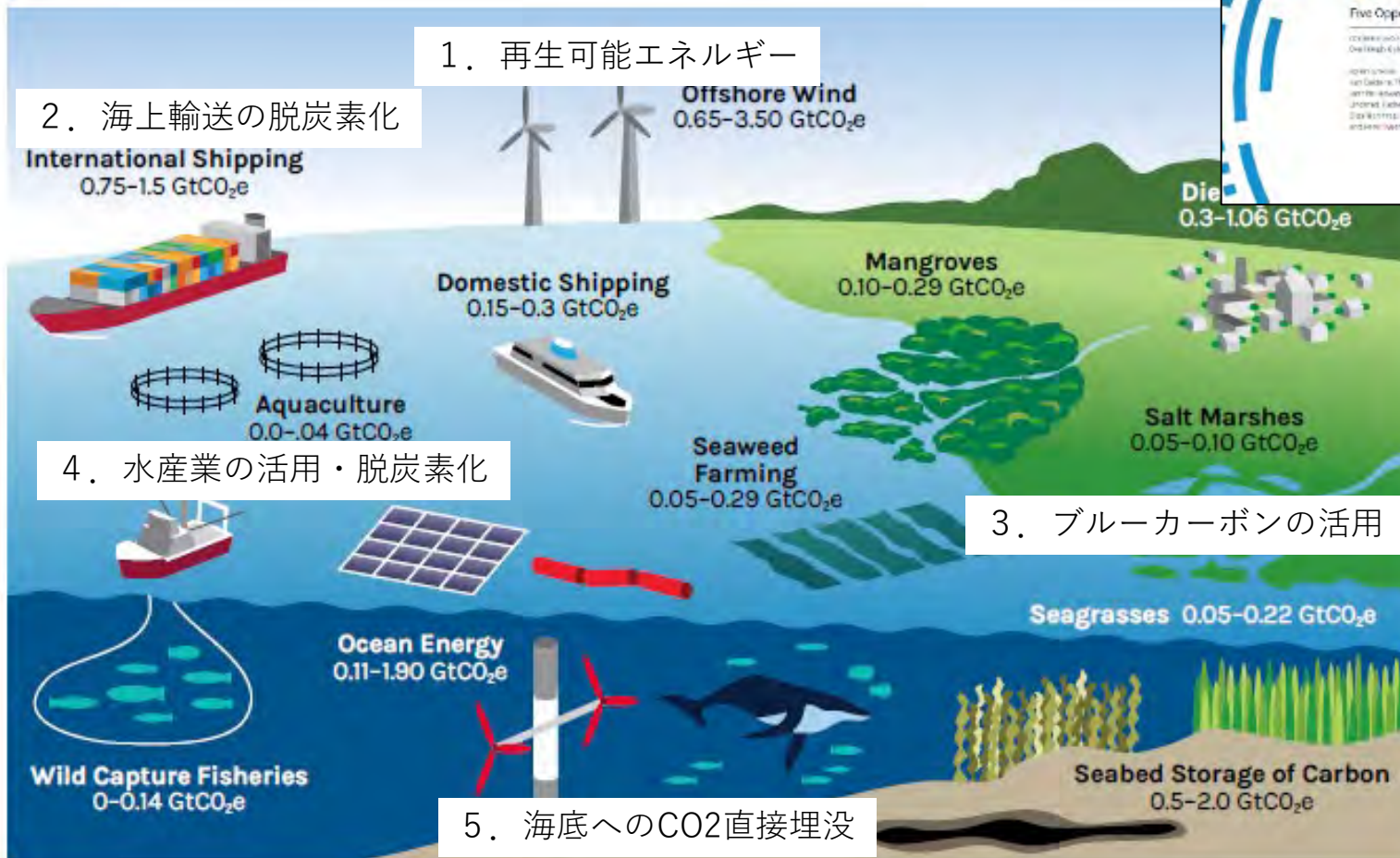


Figure 2 | Conceptual diagram of the pathways for export and sequestration of macroalgal carbon. Air bladders are common among brown algal taxa and facilitate their long-range transport (I). Langmuir circulation forms windrows of macroalgae (II) and can force the algae to depths where water pressure makes the air bladders burst and the algae then sink. Macroalgal carbon can be sequestered either via burial in the habitat or by transport to the deep sea where it is sequestered whether buried or not (III).

- ホンダワラ属藻類の年間純生産量の10%以上がブルーカーボンとして貯留されると考えられる
- 海藻も吸収源として貢献している

# 国連等における海洋での気候変動対策の骨子



1. 再生可能エネルギー

2. 海上輸送の脱炭素化

4. 水産業の活用・脱炭素化

3. ブルーカーボンの活用

5. 海底へのCO2直接埋没

## 国際動向：海洋で取り組まれる5つの気候変動対策

海洋での気候変動対策の領域	2030年での緩和試算値 (GtCO <sub>2</sub> E/年)	2050年での緩和試算 値GtCO <sub>2</sub> E/年)
1. 再生可能エネルギー	0.18-0.25	0.76-5.40
2. 海上輸送	0.24-0.47	0.9-1.80
3. 沿岸海洋生態系・海藻養殖 (ブルーカーボンによる吸収)	0.32-0.89	0.50-1.38
4. 漁業・養殖・食料源の転換	0.34-0.94	0.48-1.24
5. 炭素の海底埋没	0.25-1.00	0.50-2.00
総計	1.32-3.54	3.14-11.82
1.5°C上昇シナリオへの寄与率	4-12%	6-21%
2°C上昇シナリオへの寄与率	7-19%	7-25%



CLIMATE CHANGE

# Eat less meat: UN climate-change panel tackles diets

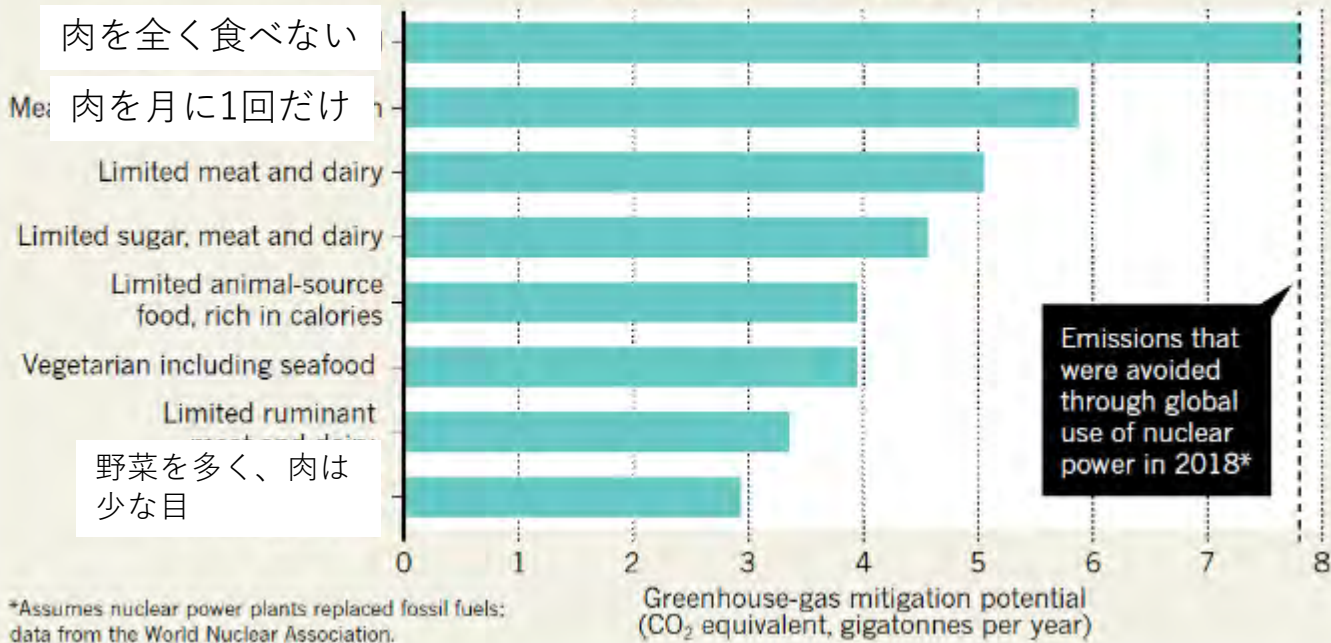
Report on climate change and land comes amid accelerating deforestation in the Amazon.

(肉食を減らそう：国連気候変動パネルから食の改善への提言)

15 AUGUST 2019 | VOL 572 | NATURE | 291

## WHAT IF PEOPLE ATE LESS MEAT?

The Intergovernmental Panel on Climate Change examined the estimated impact on greenhouse-gas emissions of the world's population adopting a variety of diets.



\*Assumes nuclear power plants replaced fossil fuels; data from the World Nuclear Association.



CO<sub>2</sub>の排出緩和の程度

## Article

# Environmental performance of blue foods

(ブルーフードの環境配慮の性能)

360 | Nature | Vol 597 | 16 September 2021

<https://doi.org/10.1038/s41586-021-03889-2>

Received: 20 January 2021

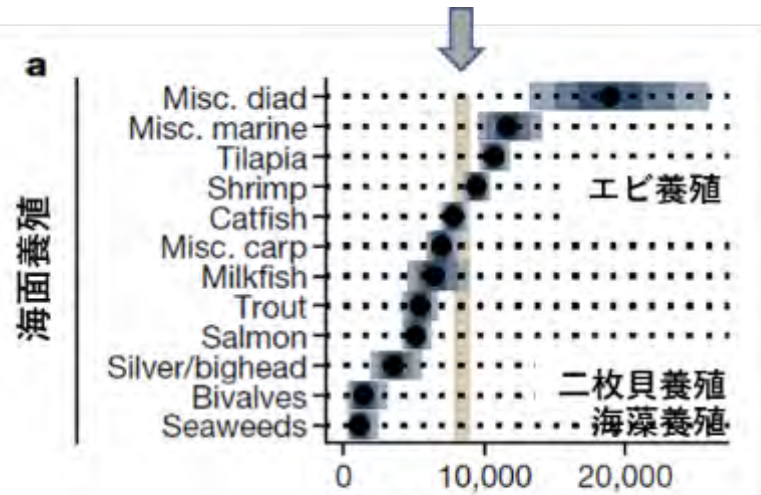
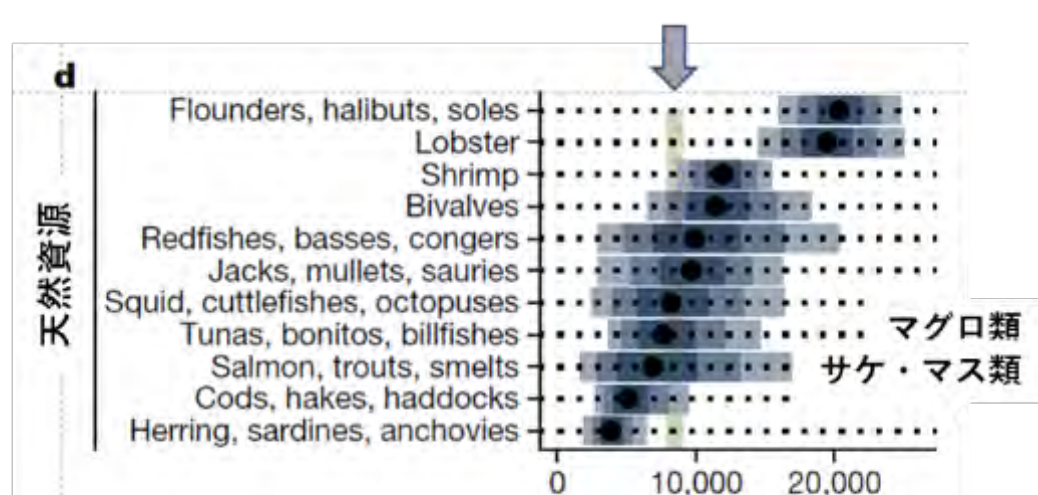
Accepted: 9 August 2021

Published online: 15 September 2021

Check for updates

Jessica A. Gephart<sup>1,20,21</sup>, Patrik J. G. Henriksson<sup>2,3,4,20</sup>, Robert W. R. Parker<sup>5,6,20</sup>,  
 Alon Shepon<sup>7,8,9,20</sup>, Kelvin D. Gorospe<sup>1</sup>, Kristina Bergman<sup>10</sup>, Gidon Eshel<sup>11</sup>,  
 Christopher D. Golden<sup>9,12,13</sup>, Benjamin S. Halpern<sup>14,15</sup>, Sara Hornborg<sup>10</sup>, Malin Jonell<sup>2,4,16</sup>,  
 Marc Metian<sup>17</sup>, Kathleen Mifflin<sup>5</sup>, Richard Newton<sup>18</sup>, Peter Tyedmers<sup>5</sup>, Wenbo Zhang<sup>19</sup>,  
 Friederike Ziegler<sup>10</sup> & Max Troell<sup>2,4</sup>

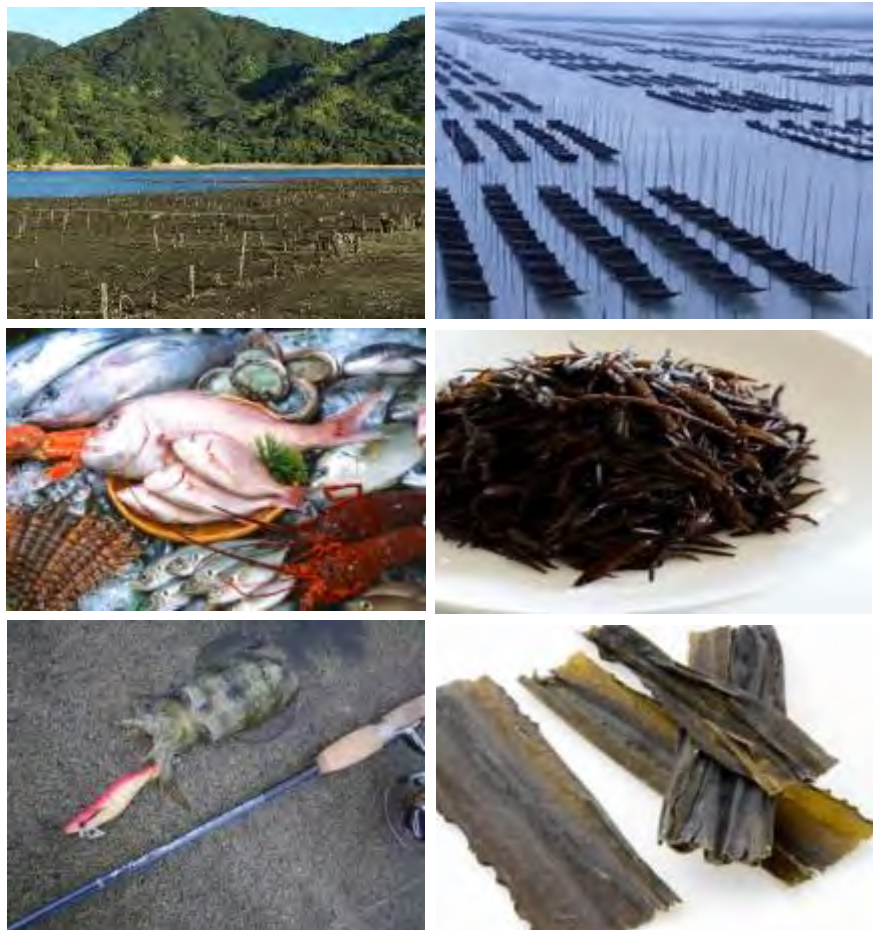
Fish and other aquatic foods (blue foods) present an opportunity for more sustainable diets<sup>1,2</sup>. Yet comprehensive comparison has been limited due to sparse inclusion of blue foods in environmental impact studies<sup>3,4</sup> relative to the vast diversity of production<sup>5</sup>. Here we provide standardized estimates of greenhouse gas, nitrogen,


 可食部 1 トンあたりのCO<sub>2</sub>排出量 (kgCO<sub>2</sub>et<sup>-1</sup>)

 可食部 1 トンあたりのCO<sub>2</sub>排出量 (kgCO<sub>2</sub>et<sup>-1</sup>)



# BCの強み：藻場のコベネフィット

食糧生産・レクリエーションの機能



CO<sub>2</sub>吸収源としての機能



生物多様性保全



トレードオフなく、淡水を使わず、食料生産可能

AQUACULTURE

# Seaweed Aquaculture

Seaweed farming, the fastest-growing aquaculture sector, can benefit farmers, communities, and the environment.

National



\* Status:  
Active

Release Date:  
09/19/2017

## Program Description:

The projects that comprise ARPA-E's MARINER (Macroalgae Research Inspiring Novel) are focused on making the United States a global leader in the production of marine biomass. Presently, macroalgae, or seaweed

Seaweeds also gobble up nitrogen and phosphorus. In large quantities, these nutrients cause algal blooms that deplete the ocean of oxygen when they decompose. Excess nitrogen and phosphorus from stormwater runoff and point-sources are behind the dead zones that form in the Gulf of Mexico and Chesapeake Bay. Seaweed farms can help lower nutrient levels in nearby waters.

[Benefits of seaweed farming >](#)



*Fisherman pulling up sugar kelp. Credit: GreenWave/Ron Gautreau.*

## Seaweed Restoration Aquaculture

Kelp forests are a valuable coastal habitat in temperate areas throughout the world. In Puget Sound, kelp forests are being restored through aquaculture. ARPA-E estimates the United States has suitable conditions and geography to



# 成長する世界の海藻市場



<https://www.alliedmarketresearch.com/seaweed-market>

# ブルーカーボンをめぐる国内の動向

## V. 農林水産業・吸収源

農林

### 最先端のバイオ技術等を活用した資源利用及び農地・森林・海洋へのCO<sub>2</sub>吸収・固定

#### ③⑤ ブルーカーボン（海洋生態系による炭素貯留）の追求

##### 【目標】

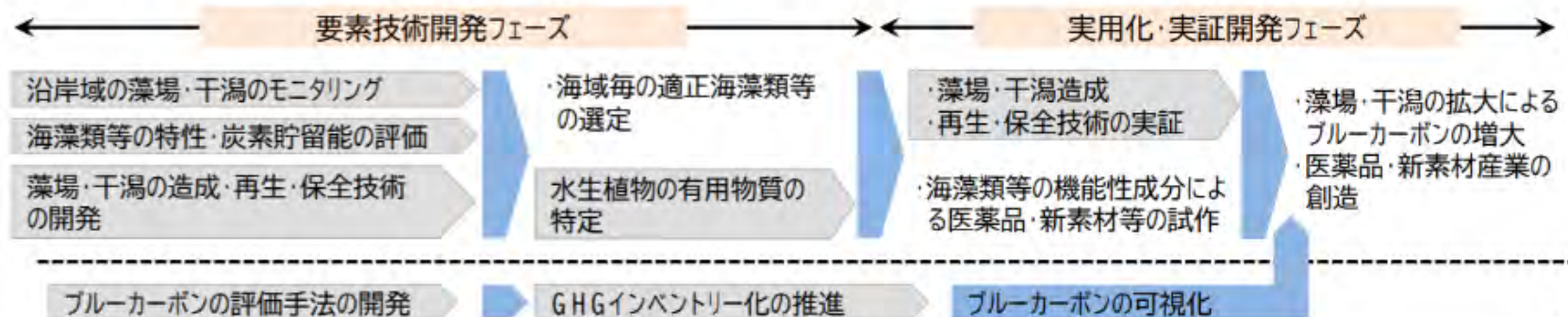
- ・ 2050年までに、海洋（藻場・干潟）に大気中のCO<sub>2</sub>の炭素を有機物として隔離・貯留する藻場・干潟等による炭素貯留技術（ブルーカーボン）を確立し、産業持続可能なコストでの実用化を目指す。世界全体のCO<sub>2</sub>吸収量は約9億トン～。<sup>1)</sup>

##### 【技術開発】

- ・ バイオ技術の活用等により、効率良く海中のCO<sub>2</sub>を吸収する海藻類等の探索と高度な増養殖技術の開発を進める。
- ・ 海藻類等を新素材・資材として活用するための技術開発を民間主導でナショナルプロジェクトの下に行う。
- ・ 藻場・干潟等におけるCO<sub>2</sub>吸収量推計手法の開発を行う。
- ・ 藻場・干潟造成・再生・保全技術の開発・実証を進める。

##### （実施体制）

- ・ 高度な増養殖技術や新素材の開発には、ベンチャー企業等も巻き込みつつ、国外での大規模実証、ビジネス展開も踏まえ、大学、メーカー、企業が共同した実施体制を構築する。
- ・ 藻場・干潟の整備は、NPOや漁業協同組合等の取組と連携しつつ、地方自治体、民間企業等で実施する。
- ・ CO<sub>2</sub>吸収量の推計手法は、学識経験者、関係省庁等により検討する。
- ・ 藻場・干潟造成・再生・保全技術の開発・実証は、民間企業等が実施する。





# みどりの食料システム戦略：農林水産省（令和3年5月）

農林水産分野でのゼロエミッション達成と持続的発展に向けた取組





図-2 ブルーカーボンの推進(工程表)

田村(2021)

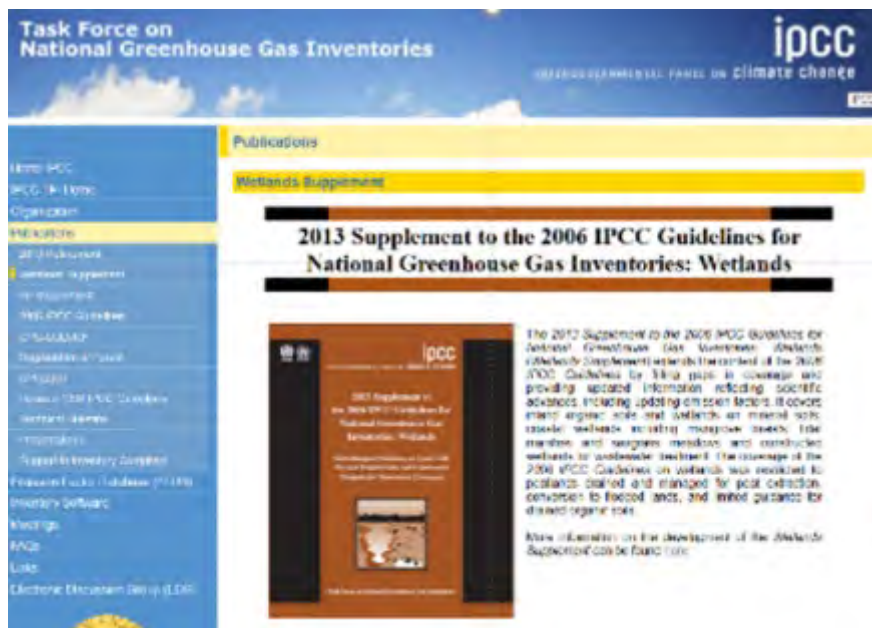


# Contents

1. 国内外のブルーカーボンに関連した動き
2. 藻場のCO<sub>2</sub>吸収量の算定手法
3. ブルーカーボン生態系を作り出す  
海洋植物の特徴、今後の展開

# IPCCガイドラインに基づく暫定的な計算値

$$\text{吸収量} = \text{“CO}_2\text{吸収係数”} \times \text{“活動量”}$$



IPCC湿地ガイドライン（2013）

	吸収係数 (t-CO <sub>2</sub> / ha / 年)	
	平均値	最大値
海草（アマモ）	4.9	33.4
ガラモ場	2.7	5.1
コンブ場	10.3	36.0
アラメ場	4.2	7.9
マングローブ	68.5	68.5
湿地・干潟	2.6	2.6

国内を対象とした文献からの試算値  
(桑江ほか2019)





【令和2年度 農林水産研究推進事業委託プロジェクト研究】

農林水産技術会議事務局：

「脱炭素・環境対応プロジェクト」

大課題名：「農林水産分野における炭素吸収源  
(農・林・水) 対策技術の開発」

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

研究代表者：堀 正和

水産研究・教育機構 水産資源研究所

参画機関：水産研究・教育機構 水産資源研究所/水産技術研究所  
港湾空港技術研究所、北海道大学、東京大学、広島大学、  
岩手医科大学、鹿児島県、徳島県、千葉県、新潟県、山川  
町漁業協同組合、京都府、神奈川県、愛媛県、岩手県

## 研究実施期間：令和2年度～令和6年度

## 研究開発の内容



図-2 ブルーカーボンの推進（工程表）

### 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

全国の藻場分布を構成種タイプ別に分類し、ブルーカーボン貯留量の算定に必須な藻場タイプ別の精緻な吸収係数評価モデルを開発する。この評価モデルと面積評価手法を用い、ブルーカーボン貯留量の全国評価を実施

### 2. ブルーカーボンの増強技術の開発

各海域の藻場の減衰要因に対応した効果的な対策技術を開発し、藻場面積の活動量を増加させる技術開発を行う。各海域でブルーカーボン生態系を拡大させて、二酸化炭素吸収機能と生態系保全機能を両立させる技術開発

吸収源評価手法の構築、藻場の維持・拡大技術、海藻養殖技術の高度化

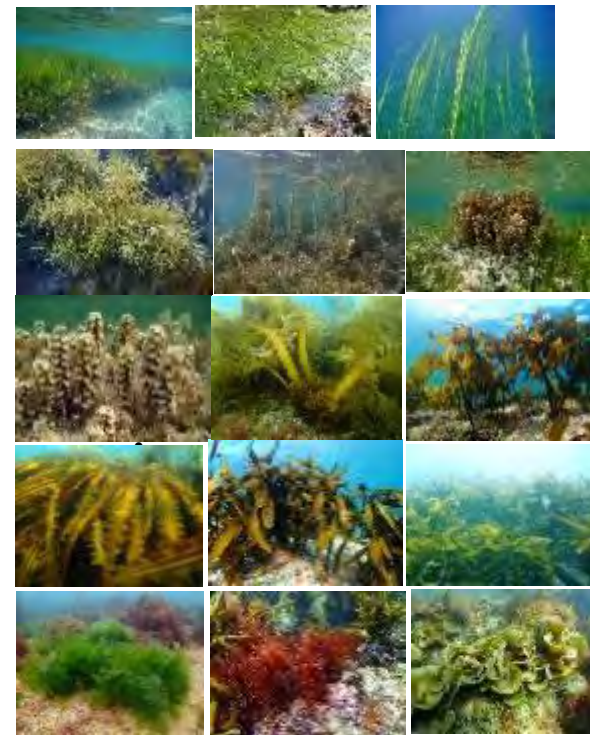
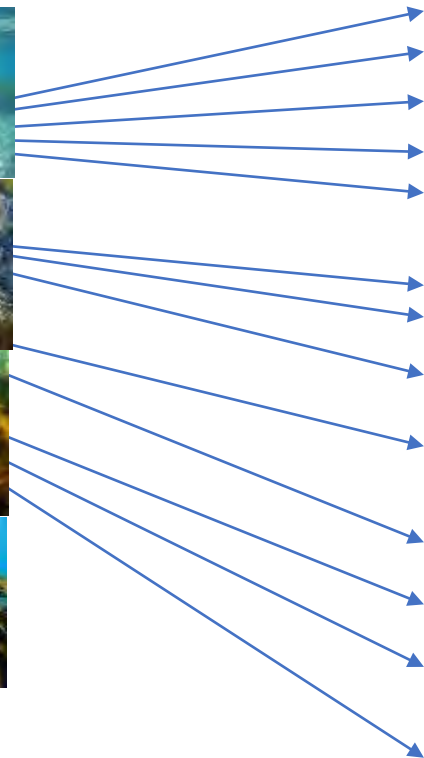


# プロジェクトの課題：評価値の精緻化かつ簡便化

## 現在のBC生態系の分類

## 機能・地域別藻場タイプ

- ・ 海草藻場(アマモ場)
- ・ 海藻藻場 (ガラモ場)  
(コンブ場)  
(アラメ場)
- ・ マングローブ
- ・ 干潟 (塩生湿地)



最も単純な評価

様々な活動量を詳細に評価

すべての海藻・海草を対象に

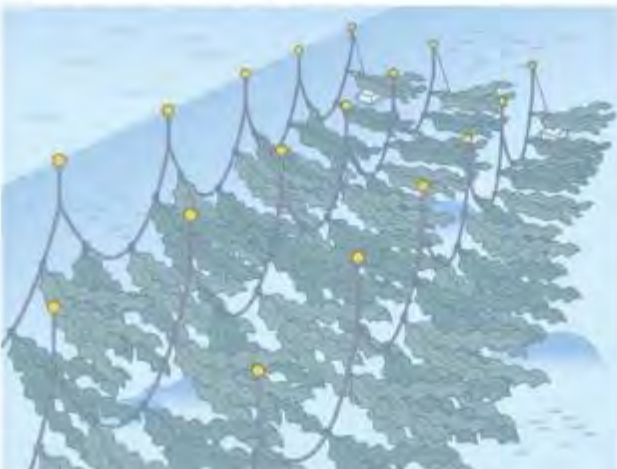
# 海藻養殖を気候変動の緩和及び適応策に

## 養殖対象種

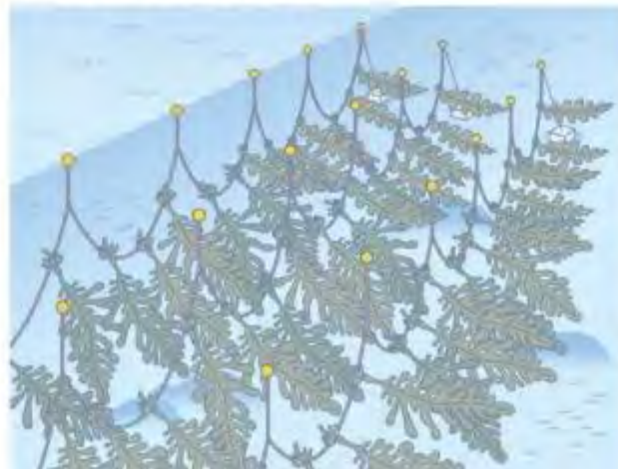
- 18: コンブ類養殖
- 19: ワカメ類養殖
- 20: ノリ類養殖
- 21: ガラモ類養殖



こんぶ類養殖



わかめ類養殖



のり類養殖



インベントリだけでなく、地先での活動や漁業活動・産業活動の算定も想定



# IPCCガイドラインに準拠した日本独自の算定手法 (Tier 3)

## 【モデルの概要】

各藻場タイプによるCO<sub>2</sub>吸収量  
(貯留量)

=

吸収係数

×

面積  
(活動量)

吸収係数

=

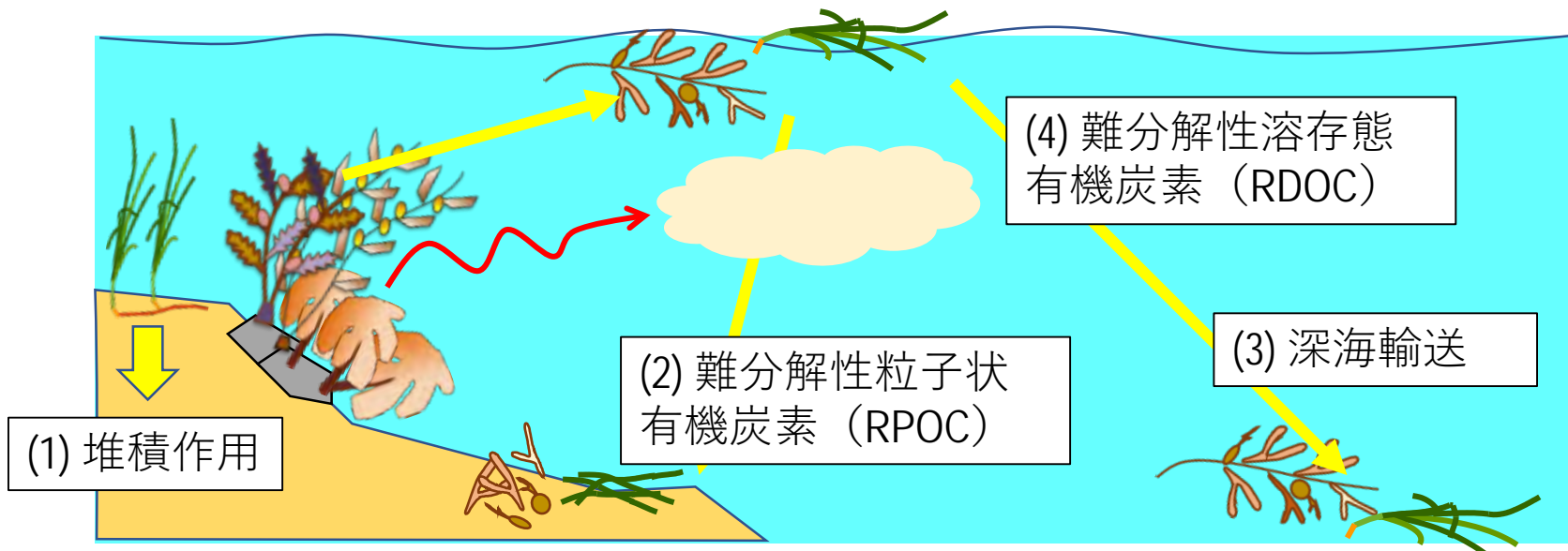
CO<sub>2</sub>隔離量

×

残存率

藻場の植物が、一次生産として有機炭素化した大気中CO<sub>2</sub>量

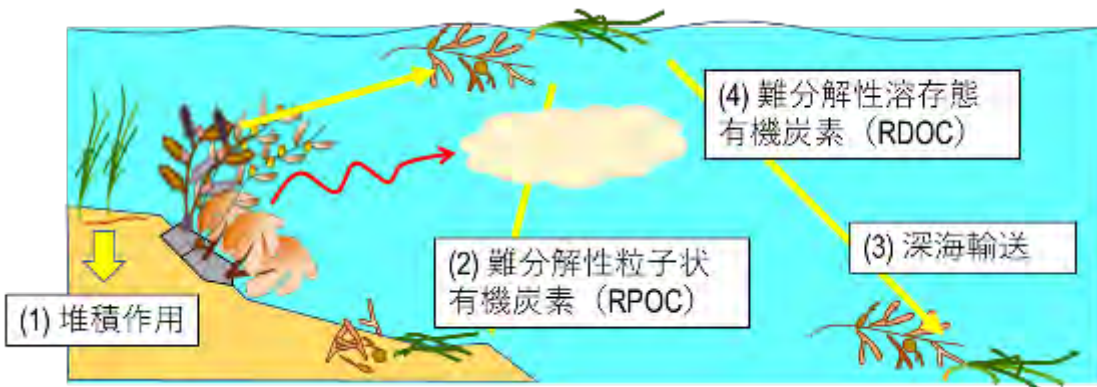
藻場の植物によって隔離された大気中CO<sub>2</sub>のうち、分解されずに貯留される割合



# 吸収係数

・全国の海草・海藻藻場を評価するための藻場タイプすべてのパラメータが確定、計算可能に

海草類：6タイプ	アマモ型、タチアマモ型、スガモ型、亜熱帯小型、亜熱帯中型、亜熱帯大型
冷温帯性コンブ類：2タイプ	マコンブ型、ナガコンブ型
暖温帯性コンブ類：3タイプ	アラメ型、カジメ型、ワカメ型
ガラモ類：2タイプ	温帯性ホンダワラ型、亜熱帯性ホンダワラ型
小型海藻類：4タイプ	緑藻類、紅藻類、褐藻類、サンゴ藻類
海藻養殖：4タイプ	コンブ類養殖、ガラモ類養殖、ノリ養殖、ワカメ養殖



21タイプ×9海域の吸収係数  
(2022年度末に藻場タイプ別面積と併せて、公開予定)



# IPCCガイドラインに準拠した日本独自の算定手法 (Tier 3)

場所*i*における藻場タイプ*j*の海域*k*における吸収係数 (gCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/year)

$$= \frac{\text{CO}_2\text{隔離量} \times \text{残存率}}{\text{CO}_2\text{隔離量} \times \text{残存率}} \times E_{jk} \times Ccont_{jk} \times (44/12)$$



天然藻場

$$P_{jk}/B_{jkmax} \times B_{ijkmax} \times r2_{jk} \quad \text{: 堆積貯留}$$

$$+ P_{jk}/B_{jkmax} \times B_{ijkmax} \times r3_{jk} \quad \text{: 深海貯留}$$

$$+ P_{jk}/B_{jkmax} \times B_{ijkmax} \times r1_{jk} \times (1-r2_{jk}-r3_{jk}) \quad \text{: 難分解貯留}$$

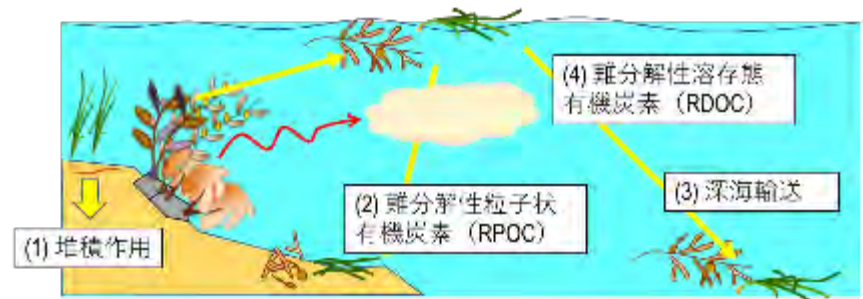
$$+ B_{ijkmax} \times r4_{jk} \quad \text{: RDOC貯留}$$

$$= P_{jk}/B_{jkmax} \times B_{ijkmax} \times \{r1_{jk} + (r2_{jk} + r3_{jk})(1 - r1_{jk})\} + r4_{jk} \times B_{ijkmax}$$

$P_{jk}$ : 一次生産量の単位面積当たり標準値,  $B_{jkmax}$ : 最大現存量の単位面積当たり標準値,  
 $B_{ijkmax}$ : 場所*i*での単位面積当たり最大現存量 (gDW/m<sup>2</sup>),  $r2_{jk}$ : 堆積貯留の残存率,  
 $r3_{jk}$ : 深海貯留の残存率,  $r1_{jk}$ : 難分解貯留の残存率,  $r4_{jk}$ : RDOC貯留の残存率,  
 $E_{jk}$ : 生態系換算係数,  $Ccont_{jk}$ : 炭素含有量

堀 (2022)

⇒ Jブルークレジットにも反映









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®(試行)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 -

Ver.2.1

令和4年9月

**■藻場生態系を対象に算定する場合**
**【式1】**
**ブルーカーボン量 = 対象生態系の面積 × 単位面積当たりの吸収量**

- ⇒ 「対象生態系の面積」は、3.2.2 分布面積の把握方法 参照 (p.23)
- ⇒ 「単位面積当たりの吸収量」は、3.3.1 (3) 単位面積当たりの吸収量 参照 (p.37)

**【式2】**
**ブルーカーボン量**
**= 対象生態系の面積 × 単位面積当たりの湿重量 × 藻場のCO<sub>2</sub>換算ブルーカーボン残存率**

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

- ⇒ 「対象生態系の面積」は、3.2.2 分布面積の把握方法 参照 (p.23)
- ⇒ 「単位面積当たりの湿重量」は、3.2.3 単位面積当たりの湿重量の把握方法 参照 (p.31)
- ⇒ 「含水率・P/B比<sup>§</sup>・炭素含有率」は、3.3.1 (2) 含水率・P/B比・ 参照 (p.37)
- ⇒ 「残存率」は、3.3.1 (4) 残存率参照 (p.39) ※残存率①(藻体残存率)、残存率②(DOC<sup>§</sup>/藻体比×RDOC<sup>§</sup>)
- ⇒ 「生態系全体への変換係数」は、3.3.1 (5) 生態系全体への変換係数 参照 (p.39)

**■養殖藻場<sup>※</sup>を対象に算定する場合**
**【式2】**
**ブルーカーボン量**
**= 対象生態系の面積 × 単位面積当たりの湿重量 × 藻場のCO<sub>2</sub>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<sup>§</sup> × 44/12 × (残存率①<sup>※</sup> + 残存率②<sup>※</sup>)  
 - (水揚量 / 養殖面積) × (1-含水率) × 炭素含有率 × 44/12 × 残存率①<sup>※</sup> ]  
 × 生態系全体への変換係数<sup>\*</sup>

- ⇒ 「単位面積当たりの湿重量」は、3.2.3 単位面積当たりの湿重量の把握方法 参照 (p.31)
- ⇒ 「含水率・P/B比<sup>§</sup>・炭素含有率」は、3.3.1 (2) 含水率・P/B比・ 参照 (p.37)
- ⇒ 「残存率」は、3.3.1 (4) 残存率参照 (p.39) ※残存率①(藻体残存率)、残存率②(DOC<sup>§</sup>/藻体比×RDOC<sup>§</sup>)
- ⇒ 「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)

※養殖藻場のうち、p.6に示す対象プロジェクトの実施範囲が対象となります。