

# 浅海生態系における 年間二酸化炭素吸収量の全国推計

桑江 朝比呂<sup>1</sup>・吉田 吾郎<sup>2</sup>・堀 正和<sup>3</sup>・渡辺 謙太<sup>4</sup>・  
棚谷 灯子<sup>5</sup>・岡田 知也<sup>6</sup>・梅澤 有<sup>7</sup>・佐々木 淳<sup>8</sup>

<sup>1</sup>正会員 港湾空港技術研究所 沿岸環境研究グループ (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

Email: kuwae@p.mpat.go.jp

<sup>2</sup>水産研究・教育機構 瀬戸内海区水産研究所 (〒739-0452 広島県廿日市市丸石2-17-5)

Email: gorogoro@affrc.go.jp

<sup>3</sup>水産研究・教育機構 瀬戸内海区水産研究所 (〒739-0452 広島県廿日市市丸石2-17-5)

Email: mhorii@affrc.go.jp

<sup>4</sup>港湾空港技術研究所 沿岸環境研究グループ (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

Email: watanabe-ke@p.mpat.go.jp

<sup>5</sup>港湾空港技術研究所 沿岸環境研究グループ (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

Email: tanaya-t@p.mpat.go.jp

<sup>6</sup>正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 沿岸海洋・防災研究部 海洋環境・危機管理研究室  
(〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

Email: okada-t92y2@mlit.go.jp

<sup>7</sup>東京農工大学准教授 大学院 農学研究院 (〒183-8509 東京都府中市幸町3-5-8)

Email: umezawa@me.tuat.ac.jp

<sup>8</sup>正会員 東京大学教授 大学院 新領域創成科学研究科 (〒277-8563 千葉県柏市柏の葉5-1-5)

Email: jsasaki@k.u-tokyo.ac.jp

浅海生態系における気候変動の緩和機能（大気中二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の吸収機能や生態系内への炭素貯留機能）が注目され始めているものの、その全国推計例はない。そこで本研究では、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）のガイドラインに倣い、生態系内の炭素貯留量の増加量を大気中CO<sub>2</sub>の吸収量と定義し、国内外の既往文献をベースにデータ解析した。そして、我が国の浅海生態系（海草藻場、海藻藻場、マングローブ、干潟）における年間CO<sub>2</sub>吸収量の全国推計を試みた。その結果、現状におけるCO<sub>2</sub>吸収量の平均値は132万トンCO<sub>2</sub>/年、上限値は404万トンCO<sub>2</sub>/年と見積もられた。このような現状値あるいは将来値の推計を進めていくことは、地球温暖化対策計画における吸収源対策に浅海生態系を新たに定める検討や、浅海生態系の価値評価において有用であると考えられる。

**Key Words :** blue carbon, CO<sub>2</sub> absorption, seagrass meadows, macroalgal beds, mangroves, tidal flats

## 1. はじめに

浅海域における自然再生の手立てとして、数多くの干潟や藻場が保全、修復、あるいは創造されている。再生される浅海生態系には、水質浄化、食料供給、観光、レクリエーションといった恵み（生態系サービス）が期待される。そのなかでも、二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の吸収という新たな恵みが注目されている。海洋生物によって大気中のCO<sub>2</sub>が取り込まれ、海洋生態系内に貯留された炭素

のことを、国連環境計画（UNEP）は「ブルーカーボン」と名付けた<sup>1)</sup>。

陸域や海洋は、地球表層における炭素の主要な貯蔵庫となっているが、陸域と比較して海洋が炭素貯蔵庫として重要なのは、堆積物中に貯留されたブルーカーボンが長期間（数千年程度）分解無機化されずに貯留される点である<sup>2)</sup>。全球の海底堆積物へは、年間 1.9~2.4 億トンの炭素が新たに埋没し貯留されると推定され、浅海域はそのうちの約 73~79%（1.4~1.9 億トン）を占めるとの

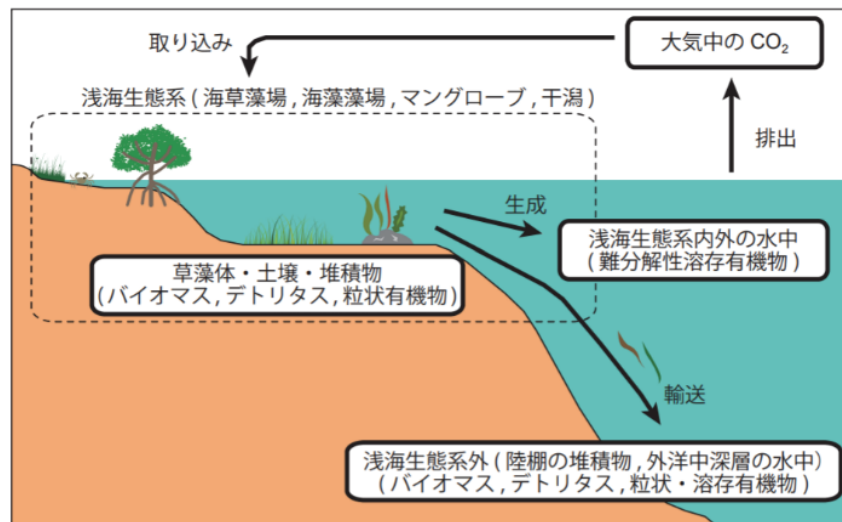


図-1 大気中のCO<sub>2</sub>と生態系内に蓄積されている炭素との関係。太枠内は炭素プール（炭素蓄積場所）を示している。IPCC ガイドライン等では「炭素プール内で増減した炭素量」＝「大気とのCO<sub>2</sub>交換量」とみなされている。

報告がある<sup>13)</sup>。

したがって、温室効果ガスのうちもっとも主要なCO<sub>2</sub>を捕捉し貯留する仕組みが、海洋とりわけ浅海生態系において有効に機能している。UNEPは浅海生態系の保全や再生が気候変動対策の側面においても重要であることを主張している。それは、堆積物中に長期間貯留されるはずのブルーカーボンも、もし人為影響などによって攪乱を受けると酸化分解を受けて無機化され、CO<sub>2</sub>となり大気へ容易に回帰してしまうからである。

このように、浅海生態系による気候変動の緩和機能（大気中CO<sub>2</sub>の吸収機能や生態系内への炭素貯留機能）が認識されているものの、その機能の全国推計例はない。そこで本研究では、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）のガイドライン、すなわち2006IPCCガイドライン<sup>4)</sup>やIPCC湿地ガイドライン<sup>5)</sup>、および日本国温室効果ガスインベントリ報告書<sup>6)</sup>に倣い、生態系内の炭素貯留量の増加量を大気中CO<sub>2</sub>の吸収量と定義し、国内外の既往文献をベースにデータ解析することにより、我が国の浅海生態系における年間CO<sub>2</sub>吸収量の全国推計を試みることを目的とした。

## 2. 解析方法

### (1) 大気中CO<sub>2</sub>の吸収量の定義

森林生態系や海洋生態系がどのくらいのCO<sub>2</sub>を大気から吸収しているのかを直接計測する手法として、渦相関法やチャンバー法などが知られている。しかしながら、直接計測する手法は、高度な専門技術が必要でありかつ計測器の費用も高いため、現状では研究レベルでの適用にとどまっている<sup>7)8)9)10)</sup>。したがって、実務用に作成さ

れているIPCCのガイドラインでは、直接計測の代わりに「生態系内で増減した炭素量」＝「大気とのCO<sub>2</sub>交換量」とみなすことによって、生態系内への炭素増減量を計測するよう定めている。すなわち、生態系内への炭素蓄積量が増加すると、その分大気中のCO<sub>2</sub>を吸収したとみなす（図-1）。

IPCCのガイドラインでは、生態系内での炭素増減量を、「活動量」と呼ばれる対象生態系の面積（ha）と、「排出係数」と呼ばれる単位面積当たりの生態系内の年間炭素減少量（トンCO<sub>2</sub>/ha/年）の2つの数値の積で示すこととなっている。本稿においては、「活動量」に該当する「面積」と「排出係数」の逆符号の「吸収係数」（すなわち、単位面積当たりの生態系内の年間炭素増加量）の2つの数値について個別に推計し、両者を掛け合わせることで生態系内における炭素増加量を算出し、大気中CO<sub>2</sub>の吸収量と定義することとした。

### (2) 推計対象海域

推計対象とした浅海生態系として、海草藻場、海藻藻場、マングローブ、そして干潟の4つの生態系を選択した。このうち、IPCC湿地ガイドラインではマングローブと海草藻場が対象海域として含まれており、干潟と海藻藻場は含まれていない。また、サンゴ礁や内湾河口域についても、IPCC湿地ガイドラインには含まれていない。これは、一般にサンゴ礁や内湾河口域の吸収係数が負（すなわちCO<sub>2</sub>排出源）となっているためである<sup>3)</sup>。したがって、気候変動の緩和に寄与する浅海生態系を対象とする本研究からも、これらの生態系を除外している。干潟については、IPCC湿地ガイドラインで算定対象となっている塩性湿地（植生被度10%以上と定義）に含めることが可能と判断した。その理由として、主たる炭

素プール（生態系内の炭素貯蔵場所）（図-1）が塩性湿地と同様に土壌・堆積物であることや、炭素貯留過程やメカニズムが類似していることから、植生被度が必ずしも10%以上とは限らないものの、我が国の浅海生態系における年間CO<sub>2</sub>吸収量を全国推計する観点から推定対象に含めることが合理的であると考えられるからである。また後述のとおり、各浅海生態系の全国面積情報の整理上、本研究においては、塩性湿地は干潟に包含されている。

海藻藻場については、主たる炭素プールが藻場内ではなく藻場外の砂泥性堆積物の海域や深海などであり、藻場内の堆積物が主たる炭素貯蔵場所である海草藻場とは異なっている（図-1）。しかしながら、藻場外への炭素貯留過程やメカニズムに関する科学的知見や、実際の海藻藻場において大気中のCO<sub>2</sub>を正味で吸収している事例が集積しつつある状況から<sup>11,12,13</sup>、近い将来 IPCC 湿地ガイドライン等に追加される可能性を考慮し、今回の推計対象に含めることが妥当であると判断した。

IPCC のガイドラインでは、何らかの人為的な介入（改変や維持管理など）がある区域のみを算定対象と定めている。すなわち、人為的な介入のない自然生態系は対象範囲外となる。しかしながら、我が国において吸収源として既に定められている森林においては、人工林に加え天然林も維持管理が実施されているとみなし、算定対象に含めている<sup>9</sup>。これは、森林経営活動について、施策の対象となっている土地（森林計画対象森林など）を全て算定対象とみなす IPCC Good Practice Guidance<sup>14</sup>における広義の解釈方法（Broad approach）に準拠しているからである。この広義の解釈は、海域にも適用できると考えられる。つまり、保全、再生、創造がなされた海域に加え、自然海域についても施策（例えば、生態系保全や水産資源保護に関連した開発規制や水質管理などの生態系保全措置）の対象となっていれば人為的な介入とみなすことが可能である<sup>15</sup>。いずれにせよ、人為介入の有無にかかわらず、我が国の浅海生態系における年間CO<sub>2</sub>吸収量を全国推計することが本研究の目的であるため、全国の浅海域をすべて推計対象に含めることとした。

### (3) 浅海生態系の面積

浅海生態系の面積の現状値の推計にあたり、入手可能な最新のデータを検索した。藻場については、水産庁が2009～2014年に実施した海草藻場（アマモ場）ならびに海藻藻場（ガラモ場、コンブ場、アラメ場）の全国調査データを用いた<sup>13</sup>。1ha以上かつ水深20m以浅の藻場を対象とし、地球観測衛星ALOSによる2009～2010年撮影の画像、現地調査、そして空中写真での確認により得られた情報が解析されている。なお、対象とした藻場は、生息域のほぼ全域が潮下帯であるが、アマモ場には、潮

間帯にも生息するコアマモも含まれる。しかしながら、衛星画像からの潮間帯のコアマモの検出はほぼ不可能だったことから、後述の干潟面積との重複は無視できると考えられる。

マングローブならびに干潟の面積は、1995～1997年に実施された環境庁の自然環境保全基礎調査<sup>16</sup>以降に全国面積調査が実施されていないため、この報告値を用いた。マングローブは面積1ha以上が対象とされ、干潟は干出域の最大幅が100m以上かつ面積1ha以上、かつ底質は移動性（礫、砂、砂泥、泥）が対象とされている。現地調査、空中写真、地形図、海図等の資料ならびにヒアリングにより得られた情報が解析されている。なお、本調査では植生被度や塩分の調査が実施されていないため、湿地、塩性湿地、マングローブ、干潟の厳密な区別はなされていない。したがって、ヨシ帯などに代表される塩性湿地は、本研究では干潟の面積に含まれていることになる。一方、調査に使用された調査票の様式から、干潟の定義にマングローブも含まれていると判断されたため、本研究における干潟の面積は、マングローブの面積を除外した値とした。

### (4) 吸収係数の算出

本研究では、生態系内で増加した炭素量を大気中CO<sub>2</sub>の正味の吸収量とみなすことから、生態系内の炭素蓄積場所（炭素プール）を定義したうえで吸収係数を算出することになる（図-1）。図-1のプールへ炭素が輸送されると、高い炭素貯留の安定性（大気CO<sub>2</sub>への回帰のしにくさ）が期待できる。いずれの炭素プールにおいても、有機物の分解や、水中や大気へのCO<sub>2</sub>の回帰が数千年の時間尺度といった特徴がある<sup>2,12</sup>。

理想的には、すべての炭素プールを特定しその変化量を計測することが望ましいが、実際には特定や計測が技術的に困難な炭素プールが存在するため、入手可能なデータは限られており、かつ入手可能なデータについても不確実性が高い場合が多い。以上をふまえ、本研究で定義する炭素プールは、藻場については（1）藻場内の草藻体と堆積物、（2）藻場外へ輸送された草藻体、粒状有機物、そして溶存有機物が蓄積する陸棚の堆積物や外洋中深層の水中、そして（3）中深層を除く水中（藻場で生成された難分解性溶存有機物）の3つ、マングローブについては（1）植物体、（2）マングローブ内土壌・堆積物、そして（3）マングローブ生態系内の枯死体（枯死木+リター）の3つ、そして、干潟については土壌・堆積物のみとした。なお吸収係数は、炭素プールに蓄積される炭素量について各生態系の単位面積当たりで示されるため、水深方向に積分された値となる。藻場の炭素プールとして外洋中深層の水中を定義した理由は、そこに運ばれた有機物がたとえ分解を受けてCO<sub>2</sub>に無機

化されたとしても、そのCO<sub>2</sub>が大気中に回帰するには数千年を要することから、今後数百年の時間尺度で対応する気候変動対策の観点からは有効な炭素プールと考えられるからである。

藻場における吸収係数については、生態系全体の純一次生産速度と残存率（純一次生産のうち、炭素プール内に残存し貯留として寄与する有機物の比率）との積により推定した。生態系全体の純一次生産速度や残存率を推定するうえでは、必要となる情報を入手可能な国内外のデータや既往の知見から可能な限り収集した。藻場には、一次生産者として海草類ならびに海藻類だけではなく、植物プランクトン、付着藻類、底生微細藻類といった植物（微細藻類）も生息しているため、藻場生態系全体の純一次生産速度の算出にあたっては、微細藻類による一次生産も考慮する必要がある。したがって、海草類ならびに海藻類の純一次生産速度から藻場生態系全体の純一次生産速度を推定するため、既往文献データを収集し変換係数を求めた。

マングローブの吸収係数を求めるためのプール内炭素変化量については、IPCC 湿地ガイドラインの Table 4.4 に記載されている乾燥重量ベースの地上部植物体の成長速度、Table 4.5 に記載されている地上部植物体と地下部植物体の比、そして Table 4.2 に記載されている乾燥重量から炭素への変換係数の3つのデフォルト値を用いて植物体への炭素蓄積速度を算出した。また、マングローブ土壌・堆積物への炭素蓄積速度については、同ガイドラインの Table 4.12 に記載されているデフォルト値を用いた。さらに、日本国温室効果ガスインベントリ報告書の森林（植林）の値を用いてマングローブ生態系内の枯死体（枯死木+リター）への炭素蓄積速度を算出した。

干潟の吸収係数については、IPCC 湿地ガイドラインの Table 4.12 に記載されている塩性湿地の土壌・堆積物への炭素蓄積速度のデフォルト値を用いた。ただし、植生被度 10%以上の砂泥性場に適用されている塩性湿地の値の平均値を、植生被度がそれより低いと予想される干潟の吸収係数として用いると過大評価する可能性があることから、ここではデフォルト値の平均値ではなく、95%信頼区間の下限値を用いることとした。

マングローブや干潟においても、藻場と同様に生態系外の炭素プールの存在が考えられる。しかしながら、現時点では、生態系外への輸送量が不明であることから、本研究では検討対象外とした。

生態系全体の純一次生産速度、残存率、吸収係数、吸収量の算出にあたっては、解析結果の平均値を示すとともに、不確実性を考慮し、平均値+2SD（SD は標準偏差）を「上限値」（統計的に全データの 95% が入る範囲の上限）として示した。適切な技術介入によって向上させることのできる上記の数値の上限は、本研究のデー

タソースとなっている自然生態系から得られた値の上限程度までと仮定した。したがって、上限値は技術介入する際の目標値という意味合いを持つ。

### 3. 推計結果

#### (1) 藻場における吸収係数

藻場における生態系全体の純一次生産速度の推定結果を表-1に示す。平均値ならびに上限値とともに、コンブ場における生態系全体の純一次生産速度が高い。コンブの純一次生産速度が高いのにもかかわらず、コンブ藻体当たりの純一次生産速度（P/B 比）が低いことから、海草や他の海藻と比較しコンブ場における生態系全体の純一次生産速度が高いのは、単位面積当たりのコンブ藻体量が多いことに起因している。ただし、コンブに関する推定値は SD が大きく、不確実性の高い結果となっている。

残存率の推定結果を表-2に示す。海草藻場の主たる炭素プールは藻場内の草藻体や堆積物であり、海藻藻場の主たる炭素プールは、藻場外の堆積物や外洋中深層の水中となっている。

藻場における生態系全体の純一次生産速度の推定結果（表-1）と残存率の推定結果（表-2）を用いて推定された吸収係数の推定結果を表-3に示す。マングローブならびにコンブ場における吸収係数が、他と比較して大きな値となっている。上限値については、マングローブ、コンブ場に次いでアマモ場も大きな値を示している。

#### (2) 浅海生態系による年間 CO<sub>2</sub> 吸収量の全国推計結果

生態系の面積ならびに吸収係数から求められた、浅海生態系による年間 CO<sub>2</sub> 吸収量の推計結果を表-4に示す。現状における CO<sub>2</sub> 吸収量の平均値は 132 万トン CO<sub>2</sub>/年、上限値は 404 万トン CO<sub>2</sub>/年と見積もられた。CO<sub>2</sub> 吸収量の平均値のうち、海草藻場が 23%、海藻藻場が 54%、マングローブが 14%、そして干潟が 9%を占めた。上限値では海草藻場が 51%、海藻藻場が 41%、マングローブが 5%、そして干潟が 3%を占めた。

### 4. 考察

#### (1) 推計値の不確実性

本節においては、年間 CO<sub>2</sub> 吸収量の推計値の不確実性（ばらつき）について、推計の根拠となっている各推定値について、個別に議論する。

##### a) 藻場における吸収係数

本研究では、海草藻場と海藻藻場における吸収係数を

表-1 藻場における生態系全体の純一次生産速度の推定結果

生態系		海草藻類の純一次生産速度 <sup>*1</sup>		海草藻体当たりの純一次生産速度 (P/B比) <sup>*1</sup>	生態系全体への変換係数 <sup>*2</sup>		生態系全体の純一次生産速度	
		平均値	SD		平均値	SD	平均値 <sup>*3</sup>	上限値 <sup>*4</sup>
		(トンCO <sub>2</sub> /ha/年)					(トンCO <sub>2</sub> /ha/年)	
海草藻場	アマモ場	12.6	8.9	1.26	2.12 <sup>*5</sup>	0.25	26.7	65.0
海藻藻場	ガラモ場	16.0	2.6	1.14	1.50	0.60	24.0	44.7
	コンブ場	60.5	71.8	0.98	1.50	0.60	90.8	318.1
	アラメ場	24.6	4.7	1.17	1.50	0.60	36.9	69.6

<sup>\*1</sup> 文献値<sup>13)</sup>。生産された炭素量（海草藻体＋体外へ放出される溶存有機物も含む）がCO<sub>2</sub>量に換算されている。

<sup>\*2</sup> 文献値（海草藻場<sup>17), 18)</sup>、海藻藻場<sup>19)</sup>）。微細藻類など、海草藻類以外の植物（一次生産者）を考慮するためこの係数を用いる。

<sup>\*3</sup> 海草藻類の純一次生産速度の平均値×生態系全体への変換係数の平均値

<sup>\*4</sup> 海草藻類の純一次生産速度ならびに生態系全体への変換係数が正規分布と仮定し、両者の積に対する平均値＋2SD（統計的に全データの95%が入る範囲の上限）

<sup>\*5</sup> 国内では6程度に達するという文献<sup>20)</sup>もある

表-2 藻場における純一次生産のうち、炭素プール内に蓄積する有機物の比率（残存率）の推定結果

有機物	炭素プール	海草藻場		海藻藻場	
		平均値	上限値	平均値	上限値
		(%)		(%)	
草藻体・粒状有機物	藻場内（草藻体・堆積物）	11.1 <sup>*1</sup>	40.9 <sup>*2</sup>	0.4 <sup>*3</sup>	0.4 <sup>*3</sup>
草藻体・粒状有機物	藻場外（陸棚の堆積物・外洋の中深層）	5.1 <sup>*4</sup>	8.3 <sup>*2</sup>	3.2 <sup>*3</sup>	3.2 <sup>*3</sup>
易分解性溶存有機物 <sup>*5</sup>	藻場外（外洋の中深層の水中）	2.2 <sup>*6</sup>	2.2 <sup>*6</sup>	7.7 <sup>*3</sup>	7.7 <sup>*3</sup>
難分解性溶存有機物 <sup>*5</sup>	藻場内外の水中（外洋の中深層を除く）	0 <sup>*7</sup>	0 <sup>*7</sup>	0 <sup>*7</sup>	0 <sup>*7</sup>
残存率（上記の合計値）		18.5	51.4	11.3	11.3

<sup>\*1</sup> 表-1の生態系全体への変換係数ならびに蓄積比率の文献値（海草：18%<sup>21)</sup>、海草以外の植物：5%<sup>22)</sup>）から算出

<sup>\*2</sup> 文献値<sup>13)</sup>。海草以外の植物も海草と同様の挙動を示し、すべて蓄積すると仮定

<sup>\*3</sup> 文献値<sup>12)</sup>。海藻以外の植物も海藻と同様の挙動を示すと仮定

<sup>\*4</sup> 海草の藻場外流出率（8.3%、堀・桑江、2017）<sup>13)</sup>ならびに蓄積比率の文献値（海草：18%<sup>21)</sup>、海草以外の植物：5%<sup>22)</sup>）から算出

<sup>\*5</sup> 数百年以上の時間尺度で分解される有機物を難分解性、そうではない有機物を易分解性と定義

<sup>\*6</sup> 文献値<sup>23)</sup>。海草以外の植物も海草と同様の挙動を示すと仮定

<sup>\*7</sup> 現時点では、藻場全体で生産された有機物の分解速度が不明なため0%と仮定

推定するために、生態系全体の純一次生産速度と残存率との積を用いた。IPCC 湿地ガイドラインにおける排出係数（本研究における吸収係数は符号が逆）の算出手順においては、技術レベルに応じて Tier 1（デフォルト値）を用いるのもっとも容易な算出手順から Tier 3（物質循環モデルなど、独自の手法を用いるのもっとも困難な算出

手順）までの3つの方式が示されており、藻場における Tier 1 方式では、藻場内堆積物および草藻体の2つの炭素プールのみを用いることになっている。一方、本研究では残存率を推定するうえで、藻場内の堆積物および草藻体以外に、陸棚の堆積物、外洋中深層（藻場から輸送された草藻体や粒状・溶存有機物）、そして水中（藻場で

表-3 吸収係数（年間の単位面積当たりの炭素増加量）の推定結果

生態系		生態系全体の純一次生産速度 <sup>*1</sup>		残存率 <sup>*2</sup>		吸収係数	
		平均値	上限値	平均値	上限値	平均値	上限値
		(トンCO <sub>2</sub> /ha/年)		(%)		(トンCO <sub>2</sub> /ha/年)	
海草藻場	アマモ場	26.7	65.0	18.5	51.4	4.9 <sup>*3</sup>	33.4 <sup>*3</sup>
海藻藻場	ガラモ場	24.0	44.7	11.3	11.3	2.7 <sup>*3</sup>	5.1 <sup>*3</sup>
	コンブ場	90.8	318.1	11.3	11.3	10.3 <sup>*3</sup>	36.0 <sup>*3</sup>
	アラメ場	36.9	69.6	11.3	11.3	4.2 <sup>*3</sup>	7.9 <sup>*3</sup>
マングローブ		—	—	—	—	68.5 <sup>*4</sup>	68.5 <sup>*4</sup>
干潟		—	—	—	—	2.6 <sup>*5</sup>	2.6 <sup>*5</sup>

<sup>\*1</sup>表-1 参照<sup>\*2</sup>表-2 参照<sup>\*3</sup>生態系全体の純一次生産速度×残存率<sup>\*4</sup>IPCC湿地ガイドライン<sup>5)</sup>のマングローブ生態系における植物体および土壌のデフォルト値と文献値<sup>6)</sup>の森林植林活動における枯死有機物の値の合計から算出<sup>\*5</sup>IPCC湿地ガイドライン<sup>5)</sup>の塩性湿地のデフォルト値の95%信頼区間の下限値を採用

表-4 浅海生態系による年間二酸化炭素吸収量の全国推計結果

生態系		生態系の面積 (活動量) (万ha)	吸収係数 <sup>*1</sup>		吸収量 <sup>*2</sup>	
			平均値	上限値	平均値	上限値
			(トンCO <sub>2</sub> /ha/年)		(万トンCO <sub>2</sub> /年)	
海草藻場	アマモ場	6.2 <sup>*3</sup>	4.9	33.4	30	206
海藻藻場	ガラモ場	8.8 <sup>*3</sup>	2.7	5.1	24	45
	コンブ場	2.0 <sup>*3</sup>	10.3	36.0	21	73
	アラメ場	6.3 <sup>*3</sup>	4.2	7.9	26	50
	計	17.2			71	167
マングローブ		0.3 <sup>*4</sup>	68.5	68.5	18	18
干潟		4.7 <sup>*4</sup>	2.6	2.6	12	12
合計		28.3			132	404

<sup>\*1</sup>表-3 参照<sup>\*2</sup>生態系の面積（活動量）×吸収係数<sup>\*3</sup>文献値<sup>13)</sup>，調査年：2010年<sup>\*4</sup>文献値<sup>16)</sup>，調査年：1995～1997年

生産された難分解性溶存有機物）も炭素プールとして考慮されていることから、物質循環を考慮した Tier 3 方式に準拠した推計となっている。

生態系全体の純一次生産速度の不確実性は、推定に用いたデータの時空間異質性に主に規定されると考えられる。生態系全体の純一次生産速度は、海草藻類ならびにその場の微細藻類の種、密度、食害、そして環境条件（光量、水温、栄養塩、地形）、あるいは、海草藻類と微細藻類との資源をめぐる競争等を通じた相互作用によ

り影響を受け、場所や時期により、数倍～数十倍のレンジで変化する。表-1の既往文献より得られた海草藻類の純一次生産速度は、それぞれの藻場の我が国における地理的分布を考慮し、可能な限り多数の既往値を収集して算出した平均値である。現存量から生産速度を概算できるガラモ場については各地から比較的多くのデータが参照できている一方、アマモ場、アラメ場、コンブ場については生産速度の現地実測に一定の時間と労力がかかるため、利用可能な既往データも少なく、また地理的な偏

りもあることに留意する必要がある<sup>13)</sup>。

以上のことから、生態系全体の純一次生産速度の不確実性を低減するためには、場所や時期の偏りがなるべく生じないようにデータを取得して解析する必要がある。また、取得されたデータを用いて解析をすすめる、生態系全体の純一次生産速度を主要因で説明するモデルを構築することが今後重要になると考えられる。

さらに、生態系全体の純一次生産速度を見積もる際に用いた生態系全体への変換係数（海草藻類と微細藻類の純一次生産速度の比）は海外における事例をもとに算出されているため、今後は国内においても海草藻類と微細藻類の両者の純一次生産速度を実測し、変換係数の不確実性を低減させることが特に重要であろう。

残存率についても、平均値や上限値の推定に様々な仮定が置かれている。海草藻場の残存率全体に大きな影響を及ぼすのは、表-2で示したとおり、草藻体や粒状有機物の藻場堆積物中への貯留と予想される。そして、実際の残存率は、堆積する草藻体や微細藻類等の分解速度に依存するため、分解速度を規定する現場の温度や酸素濃度などの環境条件や、有機物の質を決める草藻体や微細藻類の種などによって変化するだろう。このような観点からは、現場で得られる環境条件や生息する植物の種などのデータと、残存率に関連するデータを実測や実験によって取得して解析をすすめる、残存率を主要因で説明するモデルを構築することが今後重要になると考えられる。

海藻藻場の残存率全体に大きな影響を及ぼすと考えられるのは、藻場外への有機物の輸送である（表-2）<sup>24)</sup>。外洋の中深層に深に運ばれた有機物は、堆積物内部へ運ばれた有機物と同様、数千年の時間尺度の貯留となるため、今後数百年の時間尺度で対応を検討する気候変動対策の観点からは、中深層に深への有機物の輸送は有効なメカニズムとなる。しかしながら、この輸送過程の実測や輸送量の近似値を得るのは現在のところ技術的に困難であるし、輸送量そのものは、藻場外から外洋の中深層に至る流動場や生物化学環境にも大きな影響を受けることは容易に想像できるため、今後のブルーカーボン研究においてももっともブレークスルーが必要な分野と考えられる。流動モデルと生元素循環モデルを組み合わせた数値シミュレーションが、将来この分野を主導するであろう<sup>24),25),26)</sup>。

水中にプールされる難分解性溶存物質についても、現時点では、もっとも科学的知見が不足している分野である。藻場全体で生産された有機物の現場環境における分解速度が不明であり、難分解性溶存物質として残存する比率の推定が不可能であったため、過大評価を防ぐ意味からも、今回は0%とした。この分解速度についても堆積物中での分解と同様、現場の温度や光、酸素濃度、栄養塩濃度などの環境条件や、有機物の質を決める草藻体

や微細藻類の種などによって異なると予想されるため、関連するデータを実測や実験によって合わせて取得し、分解速度を主要因で説明するモデルを構築することが今後重要になると考えられる。

#### b) マングローブと干潟における吸収係数

本研究では、マングローブの吸収係数を推定するうえで考慮した3つの炭素プールのうち、土壌ならびに植物体はIPCC 湿地ガイドラインに記載されているデフォルト値を用いたTier 1方式を用いており、枯死体についてはインベントリ報告書より森林の植林活動による吸収係数を用いている。Simard et al. (2019)<sup>27)</sup>によると、我が国のマングローブの地上部植物体は124Mg C/ha、世界平均は129 Mg C/haと推定されており、両者はほぼ同等の値である。実際、国内においては、103~208 Mg C/haという実測例がある（井上智美ほか、未発表データ）。したがって、実際の国内のマングローブの植物体へ蓄積される炭素は、IPCC 湿地ガイドラインのデフォルト値に近い値を示すかもしれない。

干潟について今回推計対象に含めることにしたのは、IPCC 湿地ガイドラインでは対象とはなっていないものの、算定対象となっている塩性湿地と同様に、主たる炭素プールが土壌・堆積物であることや、炭素貯留過程やメカニズムが類似していることによる。ただし、これは干潟における吸収係数が塩性湿地と同程度ということの意味しない。塩性湿地では、湿地植生がもたらす流動抵抗が懸濁物質の湿地内への堆積を促進し、堆積物粒径が細粒化するとともに有機物量も多くなり嫌気化しやすい環境になる<sup>28)</sup>。したがって、植生被度が小さい干潟よりも、塩性湿地の吸収係数は大きいと考えられる。実際、国外の干潟における吸収係数として、0.1~1.1 トンCO<sub>2</sub>/ha/年という報告事例もある<sup>3)</sup>。また、本研究で用いた干潟の面積には、一部礫や砂で構成された潮間帯も含まれている<sup>9)</sup>。以上のような理由から、本研究ではIPCC 湿地ガイドラインのデフォルト値の下限値を吸収係数として用いることとしたが、国内で実測することが不確実性を低減するために必要であることはいうまでもない。いずれにせよ、マングローブと干潟の両者ともに、今後は、国内の多くの時空間において、偏りのないデータを取得して解析をすすめる、吸収係数を主要因で説明するモデルの構築を進める必要がある。

さらに、例えばマングローブから流出する葉、それから両生態系から流出する粒状態や溶存態の有機物の一部は、藻場での議論と同様に、陸棚の堆積物や外洋の中深層に輸送されるであろう。あるいは両生態系で生産される有機物の一部は難分解性の溶存物質であると考えられる。このことから、マングローブや干潟での吸収係数を推定するうえで考慮する炭素プールは、藻場と同様に、陸棚堆積物、外洋中深層、そして水中へも拡張が可能と



思われる。すなわち、マングローブや干潟での吸収係数は、炭素プールの拡張と物質循環を考慮した Tier 3 方式の推計をすることにより、本研究での推定値よりも大きくなるかもしれない。あるいは、各生態系の炭素プールに関するデータを国内で今後収集することにより、少なくとも IPCC 湿地ガイドラインの Tier 2 方式での吸収係数の推定が可能になる。そうすれば、同ガイドラインのデフォルト値を用いた Tier 1 方式での吸収係数と比較可能になる。このように各 Tier 方式での推定もすすめれば、我が国としてどの Tier 方式で計測・報告・検証していくのが確実で合理的で効果的なのが検討可能となる。

## (2) 生態系面積

現況の生態系面積に関する全国推計データを検索したものの、マングローブと干潟については 1997 年以降、藻場についても 2011 年以降の推計値は見あたらなかった。したがって、本研究で推計した現状の吸収量は、少なくとも生態系面積に関しては、実際は約 10 年以上前のデータがベースとなっており、時間解像度が低いことに留意する必要がある。2018 年より、環境省が藻場面積に関する全国推計事業を開始しているため、近い将来、藻場面積の最新情報や本研究で用いた 2010 年との比較が可能になると思われる。特に、アマモ場の面積については、近年増加しているとの報告がある<sup>19)</sup>。一方で、海藻藻場、特に暖流の影響のある本州南部、四国、九州沿岸のガラモ場、アラメ場については高水温化とそれを背景とした植食動物の採食圧の増加により、1990 年代後半以降急速に消失・衰退が進んでいる<sup>19)</sup>。

本研究で対象としなかった藻場生態系としては、南西諸島以外の海域においては、アマモ以外の海草場や、ガラモ場、コンブ場、アラメ場以外の小型もしくは単年生の海藻による藻場（ワカメ場、テングサ場、アオサ・アオノリ場、その他）なども存在しているため、藻場生態系全体の面積やその CO<sub>2</sub> 吸収量は過小評価となっていると考えられる。

さらに、今回の推計では、藻類の養殖場が含まれていないため、その吸収量が過小評価されている。養殖による CO<sub>2</sub> 吸収が人為的な介入であることは明白なため、IPCC 湿地ガイドラインの要件も満たすと考えられる。

藻場の広域把握では、人工衛星画像等を用いた画像解析が現状で最も有効な手段であり、かつ不確実性を生む要素にもなっている。衛星画像による沿岸生態系の面積把握の精度はおおよそ 60~80% 程度であり<sup>29)</sup>、現在は衛星画像の解像度向上などで若干改善されているものの、大幅な精度向上には至っていない。現状で精度を向上させる唯一の方法は、現場での局所的な分布データをシートゥールズとしてできる限り多く取得することにある。そのため今後も現地観測を増やしていく必要がある。

過去における浅海生態系の保全、修復、創造の事業面積規模は、数 ha~数百 ha のレベルであることから、今後の事業も同様の面積規模と予想される。この規模の事業箇所の特特定や面積変化を衛星画像で捉えるには、解像度の観点から限界がある。したがって、今後は、現地でのドローン撮影や GPS 付きスマートフォンによる撮影などと組み合わせ、小規模面積事業に対する技術開発や精度向上が重要となると考えられる。関係者の連携やコスト削減のうえからも、ドローンやスマートフォン等など産官学民のすべてが実行可能なモニタリング手法が推奨される。

## (3) 技術介入による吸収量拡大の可能性

### a) 吸収係数の向上

本研究で推計した吸収係数は、自然生態系から得られた既往データがベースとなっている。ここで上限値が、自然状態であり得る吸収速度の最大値と仮定するならば、適切な技術介入によって向上させることのできる吸収係数も、この上限値までと想定できる。したがって、適切な技術介入によっては、平均値から上限値の範囲内にまで吸収係数を向上させることが可能であると考えられる。特に、海藻藻場と海草藻場は全吸収量に対する寄与が大きく、さらに吸収係数の上限値も高いことから、吸収源としてのポテンシャルが高いだけでなく、人為介入による上振れ余地も多く残されていると考えられる。

一般的に、海草藻場外縁は環境条件が良好なため、海草の純一次生産速度は藻場内部のそれよりも高いことがある。例えば、瀬戸内海での測定では海草藻場外縁の草体の純一次生産速度は藻場内部の草体の純一次生産速度の 1.9 倍と報告されている<sup>30)</sup>。このような知見は、海草藻場外縁と類似した環境条件（例えば、流動条件や適切な株密度調整など）を積極的に作り出すことにより、自然状態よりも吸収係数を向上させられる可能性を示唆している。あるいは、自然平均よりも好適な場の創造（例えば最適水深帯や最適粒度組成にするなど）や、既存生態系の適切かつ積極的な維持管理、流入栄養調整、覆砂などの努力によっても、吸収係数を向上させることができるかもしれない。

### b) 生態系面積の拡大

浅海生態系の分布面積を拡大させるための技術には、流入負荷調整等を通じた水質の好適化、藻礁等の生息基盤設置、そして底質環境改善（嵩上げ・粒径調整等）などが挙げられる<sup>31),32)</sup>。例えば、藻場の創造に必要な藻礁等や岩礁性基盤の材料、あるいはマングローブや干潟の再生に必要な砂泥の材料として、浚渫土砂、スラグや石炭灰などのリサイクル材、あるいは陸上からの建設発生土などを用いることが可能である<sup>31)</sup>。このような技術導入により、パリ協定における約束草案の目標年である



2030年において、政府の計画に沿って浅海生態系の面積拡大が進んだことを仮定した場合の吸収量について、以下に試算してみる。

例えば、水産庁が公表している「藻場・干潟ビジョン」では、失われた藻場の回復が目標とされている<sup>32)</sup>。実際、1989～1991年から2009～2010年にかけて、コンブ場が1.5万ha、アラム場が0.14万ha減少したとの報告がある<sup>33)</sup>。したがって、これらの減少面積を2030年までに回復することを仮定してみる。その際、コンブ場やアラム場の回復に必要な藻礁等の材料となる浚渫土砂やリサイクル材等が必要となるが、その調達可能性について、2030年までに発生する予想量(約31,900万m<sup>3</sup>)のほか、造成に必要な材料の量、発生場所、藻場回復場所、運搬コスト等の制約も勘案した上で、藻礁設置に活用可能な量を試算したところ、コンブ場については1.1万ha(約700万m<sup>3</sup>)、アラム場については0.14万ha(約100万m<sup>3</sup>)となった(ブルーカーボン研究会、未発表データ)。活用可能な材料の残りを海草藻場の基盤材に用いるとすると、2.1万ha(約6,200万m<sup>3</sup>)と試算された。マングローブと干潟については、地球温暖化対策計画<sup>34)</sup>における森林吸収源の面積拡大計画(8%増)および都市緑化等の計画(13%増)を参考に、面積10%(マングローブ:267ha、干潟:4938ha)の拡大が見込めると仮定した。

2030年における浅海生態系の面積拡大について、以上のような様々な仮定をし、さらに吸収係数については現状から不変と仮定して吸収量を試算した結果、海草藻場について平均値で41万トンCO<sub>2</sub>/ha/年、上限値で276万トンCO<sub>2</sub>/ha/年、海藻藻場について平均値で83万トンCO<sub>2</sub>/ha/年、上限値で208万トンCO<sub>2</sub>/ha/年、マングローブについて平均値と上限値ともに20万トンCO<sub>2</sub>/ha/年、そして干潟について平均値と上限値ともに13万トンCO<sub>2</sub>/ha/年と試算され、合計値では、平均値で157万トンCO<sub>2</sub>/ha/年、上限値で518万トンCO<sub>2</sub>/ha/年と試算された。

#### (4) 他の吸収源との比較

本研究で推計された浅海生態系におけるCO<sub>2</sub>吸収量について、地球温暖化対策計画に定められている森林、農地土壌炭素、都市緑化等の3つの吸収源対策と比較した結果を図-2に示す。浅海生態系が吸収源として地球温暖化対策計画に定められると仮定すると、現在の全吸収源による吸収量に対し、浅海生態系は平均値で約2%、上限値で約6%の寄与が見込まれることになる。我が国の現在のもっとも大きな吸収源は森林であるが、高齢化に伴い2030年までには大幅な減少が予想されている。それに伴い、上述の2030年における浅海生態系の試算を仮に用いると、全吸収源による吸収量に対して平均値で約4%、上限値で約12%と現在よりも大きな寄与が見込まれることになる。この2030年における浅海生態系

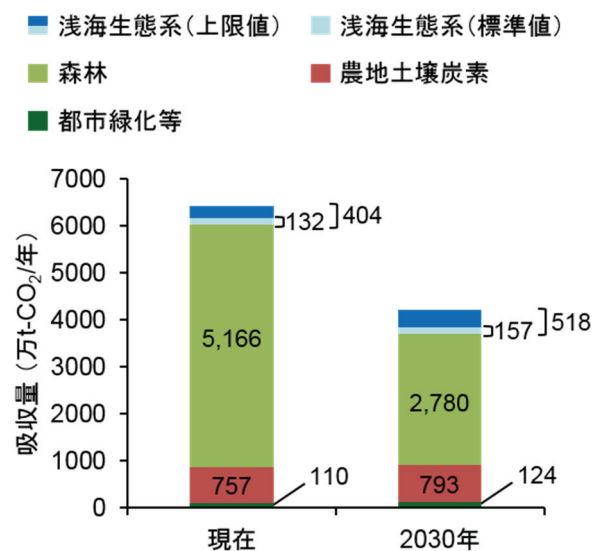


図-2 浅海生態系(マングローブ、海草藻場、海藻藻場、干潟)におけるCO<sub>2</sub>吸収量の全国推計値と我が国の他の吸収源の値(温暖化対策計画参照)との比較。現在と2030年における平均値(自然生態系を対象とした既往文献から得られた吸収係数の平均値)と上限値(不確実性を考慮し、統計的に全データの95%が入る範囲の上限である平均値+2SD(SDは標準偏差))を示している。2030年の試算は、浅海生態系の保全・再生が進捗した場合の面積増加を仮定している(本文参照)。

の寄与は、パリ協定で我が国が約束草案として提出している2030年に2013年比26%削減目標ベースに換算すると、平均値で約0.1%分、上限値で約0.4%分の削減量となる。

謝辞：本研究は、ブルーカーボン研究会(事務局：一般財団法人みなと総合研究財団・一般財団法人港湾空港総合技術センター)における検討をもとにとりまとめた。とりまとめにあたり多大なご協力をいただいた、ブルーカーボン研究会の各検討委員ならびに国土交通省港湾局の奥田健、坂本拳吾、奥谷丈の各氏に深く感謝する。本研究の一部は、科研費(18H04156)ならびに環境省環境研究総合推進費(S-14, S-15)の助成を受けた。

#### 参考文献

- 1) Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte, C. M., Valdes, L., DeYoung, C., Fonseca, L. and Grimsditch, G.: Blue Carbon - A Rapid Response Assessment, United Nations Environmental Programme, GRID-Arendal, Birkeland Trykkeri AS, Birkeland, 2009.
- 2) Mateo, M. A., Romero, J., Pérez, M., Littler, M. M. and Littler, D. S.: Dynamics of millenary organic deposits resulting from the growth of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 44, pp. 103-110, 1997.

- 3) Kuwae, T. and Hori, M.: *Blue Carbon in Shallow Coastal Ecosystems: Carbon Dynamics, Policy, and Implementation*, Springer Nature, 373 p., 2019.
- 4) IPCC (2006): IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006g>
- 5) Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T. G.: 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands, IPCC, Switzerland, 2014.
- 6) 環境省：日本国温室効果ガスインベントリ報告書, 2018. [http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/2018/NIR-JPN-2018-v4.1\\_J\\_web.pdf](http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/2018/NIR-JPN-2018-v4.1_J_web.pdf)
- 7) 国分秀樹, 山田浩且：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), Vol. 71, No. 2, pp. I\_1381-I\_1386, 2015.
- 8) 所立樹, 渡辺謙太, 田多一史, 桑江朝比呂：港湾におけるブルーカーボン (CO<sub>2</sub>吸収と炭素隔離) の計測手法のガイドライン, 港湾空港技術研究所資料, No. 1309, pp. 1-29, 2015.
- 9) 田中俊行, 遠藤徹, 筏紀晶, 矢持進：大阪南港野鳥園北池塩性湿地における高水温期の CO<sub>2</sub> 吸排出特性, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 72, No. 1, pp. 1-11, 2016.
- 10) 大谷壮介, 安原汰唯我, 辻大地：淀川河口干潟の一次生産者による炭素固定機能の評価, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 74, No. 2, pp. I\_1207-I\_1212, 2018.
- 11) Ikawa, H. and Oechel, W. C.: Temporal variations in air-water CO<sub>2</sub> exchange near large kelp beds near San Diego, California, *Journal of Geophysical Research Oceans*, Vol. 120, pp. 50-63, 2014.
- 12) Krause-Jensen, D. and Duarte, C. M.: Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration, *Nature Geoscience*, Vol. 9, pp. 737-742, 2016.
- 13) 堀正和, 桑江朝比呂：ブルーカーボン—浅海における CO<sub>2</sub> 隔離・貯留とその活用—, 地人書館, 254 p., 2017.
- 14) Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. and Wagner F.: IPCC Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry, IPCC, 2003.
- 15) 牧野光琢：我が国の海洋保護区と持続可能な漁業, 水産振興, No. 591, 75 p., 2017.
- 16) 環境庁自然保護局：第 5 回自然環境保全基礎調査 海辺調査 総合報告書, 1998. <http://www.biodic.go.jp/reports/umibe/umibe1.pdf>
- 17) Hemminga, M. A. and Duarte, C. M.: *Seagrass Ecology*, Cambridge University Press, 2000.
- 18) Moncreiff, C. A., Sullivan, M. J. and Daehnick, A. E.: Primary production dynamics in seagrass beds of Mississippi Sound: the contributions of seagrass, epiphytic algae, sand microflora, and phytoplankton, *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 87, pp. 161-171, 1992.
- 19) Miller, R. J., Reed, D. C. and Brzezinski, M. A.: Partitioning of primary production among giant kelp (*Macrocystis pyrifera*), understory macroalgae, and phytoplankton on a temperate reef, *Limnology and Oceanography*, Vol. 56, pp. 119-132, 2011.
- 20) Hasegawa, N., Hori, M. and Mukai, H.: Seasonal shifts in seagrass bed primary producers in a cold-temperate estuary: dynamics of eelgrass *Zostera marina* and associated epiphytic algae, *Aquatic Botany*, Vol. 86, pp. 337-345, 2007.
- 21) Larkum A. W. D., Orth, R. J. and Duarte, C. M.: *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*, Springer, 691 p., 2006.
- 22) Duarte, C. M. and Cebrián, J.: The fate of marine autotrophic production, *Limnology and Oceanography*, Vol. 41, pp. 1758-1766, 1996.
- 23) Duarte, C. M. and Krause-Jensen, D.: Export from seagrass meadows contributes to marine carbon sequestration, *Frontiers in Marine Science*, Vol. 4, 13, 2017.
- 24) 杉松宏一, 八木宏, 阿保勝之, 樽谷賢治, 堀正和, 吉田吾郎, 島袋寛盛, 中山哲殿：粒子追跡 - 物質循環結合モデルを用いた瀬戸内海における漂流アマモの炭素堆積量推定, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 71, No. 2, pp. I\_1387-I\_1392, 2015.
- 25) 佐藤文也, 佐々木淳, Amunugama, A. A. W. R. R. M. K.: 水底質統合モデルを用いた東京湾における炭素収支の推算と気候変動に伴う将来予測, 土木学会論文集, B2 (海岸工学), Vol. 73, No. 2, pp. I\_1441-I\_1446, 2017.
- 26) Sohma, A., Shibuki, H., Nakajima, F., Kubo, A. and Kuwae, T.: Modeling a coastal ecosystem to estimate climate change mitigation and a model demonstration in Tokyo Bay, *Ecological Modelling*, Vol. 384, pp. 261-289, 2018.
- 27) Simard, M., Fatoyinbo, L., Smetanka, C., Rivera-Monroy, V. H., Castañeda-Moya, E., Thomas, N. and Van der Stocken, T.: Mangrove canopy height globally related to precipitation, temperature and cyclone frequency, *Nature Geoscience*, Vol. 12, pp. 40-45, 2019.
- 28) Duarte, C. M., Losada, I. J., Hendriks, I. E., Mazarrasa, I. and Marbà, N.: The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation, *Nature Climate Change*, Vol. 3, pp. 961-968, 2013.
- 29) Mumby, P. J., Green, E. P., Edward, A. J. and Clark, C. D.: The cost-effectiveness of remote sensing for tropical coastal resources assessment and management, *Journal of Environmental Management*, Vol. 55, pp. 157-166, 1999.
- 30) Yoshida, G., Hori, M., Shimabukuro, H., Hamaoka, H. and Iwasaki S.: Production of *Zostera marina* with different shoot size and stand structures in the Seto Inland Sea, Japan – production in the luxuriant season in 2012, *Biosphere Science*, Vol. 54, pp. 29-44, 2015.
- 31) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説 (上・中・下), 日本港湾協会, 4423 p., 2018.
- 32) 藻場・干潟ビジョン検討会：藻場・干潟ビジョン検討会最終とりまとめ, 2016. [http://www.jfa.maff.go.jp/j/study/keikaku/pdf/saisyuu\\_torimatome.pdf](http://www.jfa.maff.go.jp/j/study/keikaku/pdf/saisyuu_torimatome.pdf)
- 33) 水産庁：藻場・干潟の炭素吸収源評価と吸収機能向上技術の開発委託事業報告書, 2014.
- 34) 地球温暖化対策計画 (平成 28 年 5 月閣議決定), <https://www.env.go.jp/press/files/jp/102816.pdf>

(Received February 5, 2019)

(Accepted May 9, 2019)

## NATIONWIDE ESTIMATE OF THE ANNUAL UPTAKE OF ATMOSPHERIC CARBON DIOXIDE BY SHALLOW COASTAL ECOSYSTEMS IN JAPAN

Tomohiro KUWAE, Goro YOSHIDA, Masakazu HORI, Kenta WATANABE,  
Toko TANAYA, Tomonari OKADA, Yu UMEZAWA and Jun SASAKI

The role of shallow coastal ecosystems in climate change mitigation is drawing the attention of researchers, policy makers, and citizens. However, to date there has been no nationwide estimate of atmospheric carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) uptake and carbon storage by shallow coastal ecosystems in Japan. In this study, in accordance with Intergovernmental Panel on Climate Change guidelines, we defined an ecosystem's absorption/emission rate of atmospheric CO<sub>2</sub> as its carbon stock change rate, and then estimated the CO<sub>2</sub> sink potential of shallow coastal ecosystems throughout Japan. We estimated the present nationwide carbon sink potential to be 132 million tonnes CO<sub>2</sub>/year, with an upper limit of 404 million tonnes CO<sub>2</sub>/year. On the basis of this estimate, it may be possible to include shallow coastal ecosystems as a new CO<sub>2</sub> sink under Japanese law and to incorporate them into existing marine environmental policies and frameworks.