土木学会論文集G(環境), Vol. 77, No. 2, 31-48, 2021.

博多港におけるブルーカーボンオフセット制度の創設と今後の展望

杉村　佳寿[1]・小林　登茂子[2]・三戸　勇吾[3]・吉原　哲[4]・
岡田　知也[5]・桑江　朝比呂[6]

[1]正会員　九州大学教授　大学院工学研究院（〒113-8656 福岡市西区元岡744）
E-mail: y.sugimura@civil.kyushu-u.ac.jp (Corresponding Author)

[2]非会員　福岡市港湾空港局（〒812-7153 福岡市博多区沖浜町12-1）
E-mail: kobayashi.t01@city.fukuoka.lg.jp

[3]正会員　復建調査設計株式会社（〒101-0032 東京都千代田区岩本町3-8-15）
E-mail: y-mito@fukken.co.jp

[4]非会員　八千代エンジニヤリング株式会社（〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8）
E-mail: yoshihara@yachiyo-eng.co.jp

[5]正会員　国土交通省国土技術政策総合研究所（〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1）
E-mail: okada-t92y2@mlit.go.jp

[6]正会員　国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所港湾空港技術研究所（同上）
E-mail: kuwae@p.mpat.go.jp

博多港では「博多湾 NEXT 会議」が設立され，アマモ場づくりを中心に環境保全創造に取組んでいるが，今般ブルーカーボン（BC）オフセット制度並びに入港料の一部と寄付金を活動の財源として活用し，かつ基金として積立てる制度が創設された．しかし，BC オフセット制度は，BC が我が国の現在の NDC に含まれていない点でパリ協定の枠組みの中の制度ではなく，クレジット創出量や販売額が少なく効果の説明が困難なことから企業の ESG 経営等に対して十分な訴求力はない．寄付金等制度も，寄付者へのインセンティブがなく，寄付へのモチベーションが高まりにくいという課題がある．本稿ではこうした課題の解決策や，アマモ場のコベネフィットを評価する制度への拡充により独立採算での環境保全創造事業の実施も可能となるという今後の展望を示す．

Key Words: *blue carbon offset, seagrass meadow, co-benefit, Hakata port*

1. はじめに

博多港は物流面では年間約 100 万 TEU のコンテナを取扱い [1]，人流面では 2016 年からクルーズ船の寄港回数 4 年連続日本一を誇る [2]など，物流・人流の拠点として九州の経済と市民生活を支えている．一方で，環境への配慮も比較的古い時期から行われている．1972 年の港湾計画改訂において博多湾内の環境保全と自然環境の調和へ配慮した開発が目指され，1989 年の改訂の際には，埋立計画を陸続きから島方式に変更， 埋立地周辺海域を自然と人の共生を目指す「エコパークゾーン」 と位置づけ，様々な環境保全創造の取組みを行っている [3]．コンテナターミナルでも，ハイブリッド型荷役機械の導入等により CO_2削減を達成している [4]．

最近では，市民や市民団体，漁業関係者，企業，教育，行政など多様な主体との連携・共働を促進し，環境・経済・社会の統合的向上に取組みながら豊かな博多湾の環境を未来の世代に引継いでいくことを目的として「博多湾 NEXT 会議」が 2018 年 5 月に設立されている．当会議はアマモ場づくりを中心に博多湾の環境保全・創造・活用に取組んでいる．こうした流れの中で，ブルーカーボン（以下，BC）オフセット制度並びに船舶の入港料の一部と企業等からの寄付金を環境保全創造活動の財源として活用し，かつ基金として積立てる制度（以下，寄付金等制度）が創設された．前者については横浜市に次ぐ全国 2 例目 [5]，後者については全国初の取組みとなっ

ている．

BC とは 2009 年に国連環境計画（UNEP）等により提唱された海洋の生物活動に伴い海洋生態系内に貯留される炭素のことであり，近年，地球温暖化の緩和策として着目されている [6]．地球上の生物が吸収する CO_2のうち半分強は海洋が吸収し，さらに海洋によって吸収される炭素の半分以上が BC 生態系（以下，BCE）と呼ばれる浅海域で吸収されている [7]．BCE としてはマングローブ林，塩性湿地，海藻藻場が該当するが [7]，国内ではアマモ場やガラモ場等の藻場が着目されており [6, 8]，特にアマモ場は国内における主要な BCE として期待されている [9]．

BC や BCE に関する先行研究は UNEP 等による提唱 [7] 以降，急速に蓄積されてきている．貯留メカニズムや CO_2 吸収量の定量化は，Fourqurean et al. (2012)[10]，Krause-Jensen and Duarte (2016)[11]，Ortega et al. (2019)[12]，Queirós et al. (2019)[13]，桑江ら（2019）[8]など多くの既往研究が存在し，こうした BCE の持つ CO_2 吸収能力に対し， Duarte et al. (2017)[14]，Froehlich et al. (2019)[15]，Lovelock and Duarte (2019)[16] などは気候変動緩和策として強調している．しかし Macreadie et al. (2019)[17]が BC に係る未解決の科学的な課題を整理している通り，依然として科学的に未解明な面も多く，例えば Lovelock and Duarte (2019)[16]は炭素貯留量等の科学的根拠が明らかになれば BCE の対象として加えられる生態系があることを指摘している．さらに，Thorhaug et al. (2020)[18]が指摘するように BCE は環境変化に対して脆弱でもある．Waycott et al. (2009) [19]，Short et al. (2011)[20]，Pendleton et al. (2012)[21]，Hamilton and Casey (2016)[22] などにより，沿岸域の人為的な開発により BCE の面積は世界的に年間 1～3%の割合で減少していることが明らかにされており，Pendleton et al. (2012)[21]は貯留機能の損失等による社会的な損失を年間 60 億ドルから 420 億ドルと推計している．Lovelock et al. (2017)[23]が指摘するように BCE 面積の減少自体は気候変動緩和を妨げるが，逆に，Thomas (2014) [24]が主張するように BCE の保全，修復，創出活動は CO_2吸収源対策となるため，クレジット化の可能性にも繋がる．しかし，IPCC が国の温室効果ガスインベントリに BCE を含めることを推奨し [25]，約 50 カ国が NDC 又は気候行動計画の一部として BCE の重要性を認識しているものの [26]，BC は資金調達や気候変動緩和メカニズムから除外され [27]，BCE 管理を通じた CO_2 削減の定量化と資金調達に関する政策的枠組みを持つ国はほとんどない [28]．Wylie et al. (2016) [27]，Needelman et al. (2018)[29]，Macreadie et al. (2019) [17] が指摘するように科学的根拠や実証事例が限られていることも要因となっている．このため，Bell-James and Lovelock (2019) [30]，Sapkota and White (2019)[31]，Vanderklift et al. (2019)[32]，Wu et al. (2020)[33]，Kelleway et al. (2020) [28]など炭素取引や社会実装に向けた研究も増えて来ているが，BC 炭素に関しては独立市場での僅かな取引に留まっており，世界的に見ても社会実装が本格化していないことが実務面でも研究面でも大きな課題となっている．

このような中，アマモ場・海藻藻場に着目した世界初の社会実装事例が横浜市における BC オフセット制度である．Vanderklift et al. (2019) [32]が主張するようにノウハウの移転を通じ，こうした事例がベストプラクティスとして蓄積されていけば BC プロジェクトの推進に繋がるが，そのためには制度の実効性が確保される必要がある．横浜市の制度については，山田ら（2017）[5]，Nobutoki et al. (2018) [34]，末廣ら（2020）[35]で紹介されている．これらの文献では，オフセット制度創設の経緯， CO_2吸収量の算定方法，今後の展望等については述べられているが，算定方法は他地域の参考にするには十分な内容でなく，今後の展望については定性的に触れられている程度である．すなわち，国内外で社会実装に関して課題がある中，アマモ場における BC オフセット制度について内容を詳細に整理し，実効性確保のための具体的な拡充方法を示した先行研究は存在しない．

以上を踏まえ，本稿では，他地域への展開を念頭に博多港での制度創設の経緯と内容について整理するとともに，その政策的意義，課題を明らかにした上で，今後の展望として実効性を高める制度拡充の方向性を提案することを目的とする．そのため，本稿ではクレジット算定の詳細な方法論及び全国初の取組みとなる寄付金等制度について述べるとともに，制度拡充の方向性を示すために，アマモ場を含む沿岸域における環境価値に対しコベネフィットの考え方の導入して定量的評価を行い，その結果を用いた BC プロジェクトの費用便益分析や収益性分析を行う．アマモ場の環境価値の定量的評価やそれを基にした BC プロジェクトの経済評価は既往研究では示されていないため本研究の新規性になるとともに，BC クレジットの詳細な方法論（計算過程，根拠，他地域への展開の際の留意点）が他地域での制度検討時の参考となり，制度拡充に向けた提案が政策に直結する点は本研究の有用性となる．本稿の構成は以下の通りである．第 2 章では，制度創設の経緯と特徴を整理する．第 3 章では，制度の内容について詳細に述べる．第 4 章では，制度の政策的意義や課題と今後の展望について述べ，第 5 章が本稿のまとめである．

2. 制度創設の経緯と制度の特徴

1989 年の博多港港湾計画において，アイランドシティ背後の海域（エコパークゾーン）は快適環境を創造し，市民が水と親しむ場として利用を図ることが位置付けられた．1997 年にはエコパークゾーン整備基本計画が策

定され，憩い空間の形成や野鳥や海生生物の生息環境の保全，水底改善が目指されることとなり，シーブルー事業として御島海域で 2,650m^2 のアマモ場の造成（2005 年～2008 年）が行われた．2013 年度の繁茂期の調査では，当初の造成面積の約 40 倍となる 103,600 m^2 のアマモ場が確認されるに至ったが，8 月の平均水温が例年よりも高かったためほぼ消滅し [36]，一旦振り出しに戻る形となった． 2011 年からはアマモ場の造成を和白海域に移行するとともに，これを契機に 2015 年から市民参加型のアマモ場づくりが開始されている．**図-1** に博多港全体と関係個所（後出の能古島も含む）の位置を示す．

一方，冒頭で述べた通り博多港のコンテナ取扱量は右肩上がりで，クルーズ船の寄港回数も急増していたため，特に近年では港湾活動が環境へ与える影響も市議会で指摘され，それ故に環境行政ではなく港湾行政の一環として博多湾の環境保全創造の実施を期待する声もあった．そこで，港湾行政として博多湾全体の価値の向上が目指され，施策の中心となっていたアマモ場づくりは次のステージへと移ることとなった．以後の福岡市における取組状況を**表-1** に示す．2017 年 11 月には「BC 研究会」で進められていた CO_2 吸収源対策の検討に対する国土交通省港湾局の支援が発表されたことを受け [9]，福岡市ではアマモ場づくりを BC と絡めて推進する検討が開始された．環境施策として取組まれていたものも含めれば市民参加型のアマモ場づくりは湾内複数個所で実施され，天然のアマモ場も存在し漁業関係者等から注目されていたものの関係者が連携・協働する枠組みはなかったこと，アマモ場造成の効果等の認知度が低かったため市民への普及啓発が必要であったこと，それまでのアマモ場づくりには学術的知見が十分に反映されていなかったことを踏まえ，市港湾部局の主催で 2018 年 2 月に情報交換会が開催され [37]，招聘した外部有識者から協議会の設置が提言された．それを受け 5 月には多様な主体が連携・共働する組織として博多湾 NEXT 会議が設置され [38]，その活動の中心にアマモ場づくりが据えられた．

環境保全創造活動は，効果の発現に一定の時間を要し，公共事業としての実施は，予算が確保されなければその活動が止まることを意味する．アマモ場づくり活動の継続性に繋がる活動資金の確保のために検討されたのが，BC オフセット制度と寄付金等制度である．制度の創設自体が市民への普及啓発となり，直接的に活動に参画できない場合でも寄付金という形で間接的に参画するという点で博多湾 NEXT 会議の理念である多様な主体の連携が達成されるという面も期待された．こうした経緯を経て両制度は創設されているが，わずか 2 年程度の本格的な検討で実現したことになる．

環境の保全再生に要する資金調達制度は，世界中で多くの検討が進められている [17, 39]．Salzman et al. (2018)[40]は，

図-1 博多港と関係個所

表-1 博多港における制度創設までの動き

日時	内容
2017 年度	市議会で博多湾の環境に関する指摘
※2017 年 11 月 29 日	国土交通省報道発表「BC 活用による CO_2 吸収源対策の検討を支援」
2018 年 2 月 6 日	博多湾アマモ場づくり情報交換会
2018 年 5 月 31 日	博多湾 NEXT 会議設立
2018 年 6 月 1 日	BC 研究会第 2 回講演会で講演
2019 年 1 月 22 日	BC 研究会第 3 回講演会で講演
2019 年 2 月 11 日	博多湾シンポジウム　博多湾の魅力発見！
※2019 年 6 月 11 日	地球温暖化防止に貢献する BC の役割に関する検討会の設置(国土交通省港湾局)
※2019 年 9 月 17 日	横浜でアマモ場の BC オフセット制度化
2019 年 11 月 9, 10 日	全国アマモサミット 2019 みやぎ（登壇及び次期開催地として引継式出席）
2019 年 11 月 17 日	博多湾シンポジウム　豊かな博多湾の環境を次世代へ
2020 年 2 月 20 日	博多湾ブルーカーボン・オフセット制度，入港料充当・寄付金制度の発表

※は福岡市以外の動き

環境保全再生に関わる資金調達制度（PES: Payment for Ecosystem Services） の特徴を体系的に整理する中で，制度には大きく，a)公共による資金調達 [41, 42]，b)生態系サービスの直接的な受益者からの資金調達 [43, 44]，c)（主に生態系サービス損失の原因者による）義務的な支払に基づく資金調達 [45, 46]の 3 種類があるとしている．実際の PES 制度の導入にあたっては，PES の供給量や，支出の動機等の条件が地域によって異なるため，地域の現状に合うように，複数の手段を用いて設計する必要がある [47]．博多港で創設した制度のうち，船舶入港料については a)に，寄付金については b)に，BC オフセット制度については c)に分類されると考えられる．つまり，博多港の資金調達制度は，複数の制度の特徴を持ったハイブリッド型の制度となっている．

また，植林活動や湿地の再生等に代表される地球温暖化の緩和策としての PES は，c)に分類される企業による自主的もしくは CSR 的なプロジェクトが増加傾向にあ

る[40]．これらのプロジェクトの多くが炭素貯留のみならず，生物多様性等とのコベネフィットを生んでおり，それを認識することがプロジェクトの持続可能性や効率性に重要となることが指摘されている[48),49)]．

3. 各制度の内容

(1) ブルーカーボンオフセット制度

BC オフセット制度は，博多湾でのアマモ場の造成，天然アマモ場の維持管理，生物共生型護岸整備による海藻藻場の創出（以下，プロジェクト）などによる CO_2の吸収量を BC クレジットとし，CSR 活動や ESG 経営の一環で購入する企業等が，アマモ場づくりを行う博多湾 NEXT 会議の活動等を資金面で支援するという枠組みである．プロジェクト実施者である福岡市が販売したクレジットの売上げは，博多湾 NEXT 会議の活動等の環境保全活動の資金へ還元される．

博多港では，御島海域で造成したアマモ場に関しては先述の通り一旦消滅しており，和白海域で造成中のアマモ場も現時点では十分な繁茂に至っていないため，既往の造成活動はプロジェクトとして登録しなかった．一方，能古島の天然のアマモ場における花枝採取，面積モニタリング及び生物調査等は，維持管理活動としてプロジェクトと見なした．また，アイランドシティにおける生物共生型護岸整備は，海藻藻場が形成されたので創出活動としてプロジェクトと見なした．対象とした能古島の天然のアマモ場は比較的良好な生育環境であったため活動前から生育しており，アイランドシティの海藻藻場は生物共生型護岸整備後に生育が見られるようになった．これらはいずれも季節的な消長を繰り返し何年間も継続して群落を形成している状態であり，2018 年の段階では比較的安定して生育している状況であった．

プロジェクトが行われたアマモ及び海藻による CO_2吸収量は年度毎に式(1)により算定される．

$$C_{Total} = C_{PJ} - C_{BL} \tag{1}$$

アマモについては，

$$C_{PJ} = A_{zm} \cdot WW_{ps,zm} \cdot R_{AVE,zm} \cdot R_{PB,zm} \cdot \left(1 - R_{mc,zm}\right) \cdot R_{CC,zm} \cdot C_{CO_2} \cdot CF_{es,zm} \cdot R_{re,zm} \tag{2}$$

海藻については，

$$C_{PJ} = A_{sw} \cdot WW_{ps,sw} \cdot R_{PB,sw} \cdot \left(1 - R_{mc,sw}\right) \cdot R_{CC,sw} \cdot C_{CO_2} \cdot CF_{es,sw} \cdot R_{re,sw} \tag{3}$$

ただし，C_{Total}：吸収量(tCO_2)，C_{PJ}：プロジェクト実施後吸収量(tCO_2)，C_{BL}：ベースライン吸収量(tCO_2)，A_{zm}：アマモの生育面積(ha)，$WW_{ps,zm}$：アマモの繁茂期の単位面積当たり湿重量(tWW/ha)，$R_{AVE,zm}$：アマモの年平均湿重要への変換比，$R_{PB,zm}$：アマモの P/B_{AVE}比（年平均残存量当たりの純一次生産量の比率），$R_{mc,zm}$：アマモの含水比(tDW/tWW)，$R_{CC,zm}$：アマモの炭素含有比(tC/tDW)，C_{CO_2}：炭素量を二酸化炭素に変換する係数(tCO_2/tC)，$CF_{es,zm}$：アマモ場の生態系全体への変換係数，$R_{re,zm}$：アマモの残存率（アマモ場の生態系全体の純一次生産のうち生態系内の炭素貯留場所に蓄積する有機物の比率）(%)，A_{sw}：海藻の生育面積(ha)，$WW_{ps,sw}$：海藻の繁茂期の単位面積当たり湿重量(tWW/ha)，$R_{PB,sw}$：海藻のP/B_{AVE}比（年平均残存量当たりの純一次生産量の比率），$R_{mc,sw}$：海藻の含水比(tDW/tWW)，$R_{CC,sw}$：海藻の炭素含有比(tC/tDW)，$CF_{es,sw}$：海藻藻場の生態系全体への変換係数，$R_{re,sw}$：海藻藻場の残存率（海藻藻場の生態系全体の純一次生産のうち生態系内の炭素貯留場所に蓄積する有機物の比率）(%)である．C_{BL}はプロジェクトが実施されなかった場合の吸収量であり，維持管理活動等の人為的な活動がなされているアマモ場・海藻藻場のみをクレジットの算定対象とするため，京都議定書の第二約束期間における我が国の森林経営による吸収量算定の考え方[50]を参考に 0 として扱うものとした．また，創出活動の場合でも，新たにアマモ場・藻場が創出されることから$C_{BL} = 0$として取り扱うことになる．これらのプロジェクトの実施にあたっては，実際には小型船の稼働等により新たに CO_2が発生することになるが，上記の「森林経営による吸収量算定の考え方」に倣い，これらの CO_2排出量は対象外とした（なお，この小型船の稼働により排出される CO_2は約 0.1t- CO_2/年であり，後述する吸収量の 0.2%程度とごく僅かであることを確認している）．他の項目の数値，根拠は**表-2** に示す通りであるが，これらは博多湾に生育するアマモ場，海藻藻場に関するデータであり，他海域へそのまま適用できる全国平均値ではないことに留意が必要である．

表-2 のモニタリングは，プロジェクト（2018 年度の花枝採取，面積モニタリング，生物調査等の維持管理活動）を実施した能古島のアマモ場を対象に 2019 年 5 月 16 日に実施した．実施時期は，博多湾では夏季は透明度が下がるため，アマモがある程度生長し，海水の濁りが比較的少ない時期として選定した．マルチコプター（DJI 社製 PHANTOM 4 PRO V2.0，有効画素数：2,000 万画素） により高度 100～140m で撮影した空撮画像を基に合成画像（オルソ画像）を作成し，**図-2** のようにアマモの生息範囲を 20m メッシュで分割した．メッシュごとのアマモの生育状況を，濃生（被度 75%以上；**図-2** の 5），密生（被度 50～75%；**図-2** の 4），疎生（被度 25～50%；**図-2** の 3）の被度階級に目視により区分し，被度ごとの面積を算定し，アマモ場全体の面積を推定した．空撮画像では判読しにくい沖合のアマモの分布範囲や被度は，潜水目視調査により得られた情報により補足，修正を行った．また，アオサや岩礁とアマモを区別するための陸上からの現地確認による補足，修正も行った．

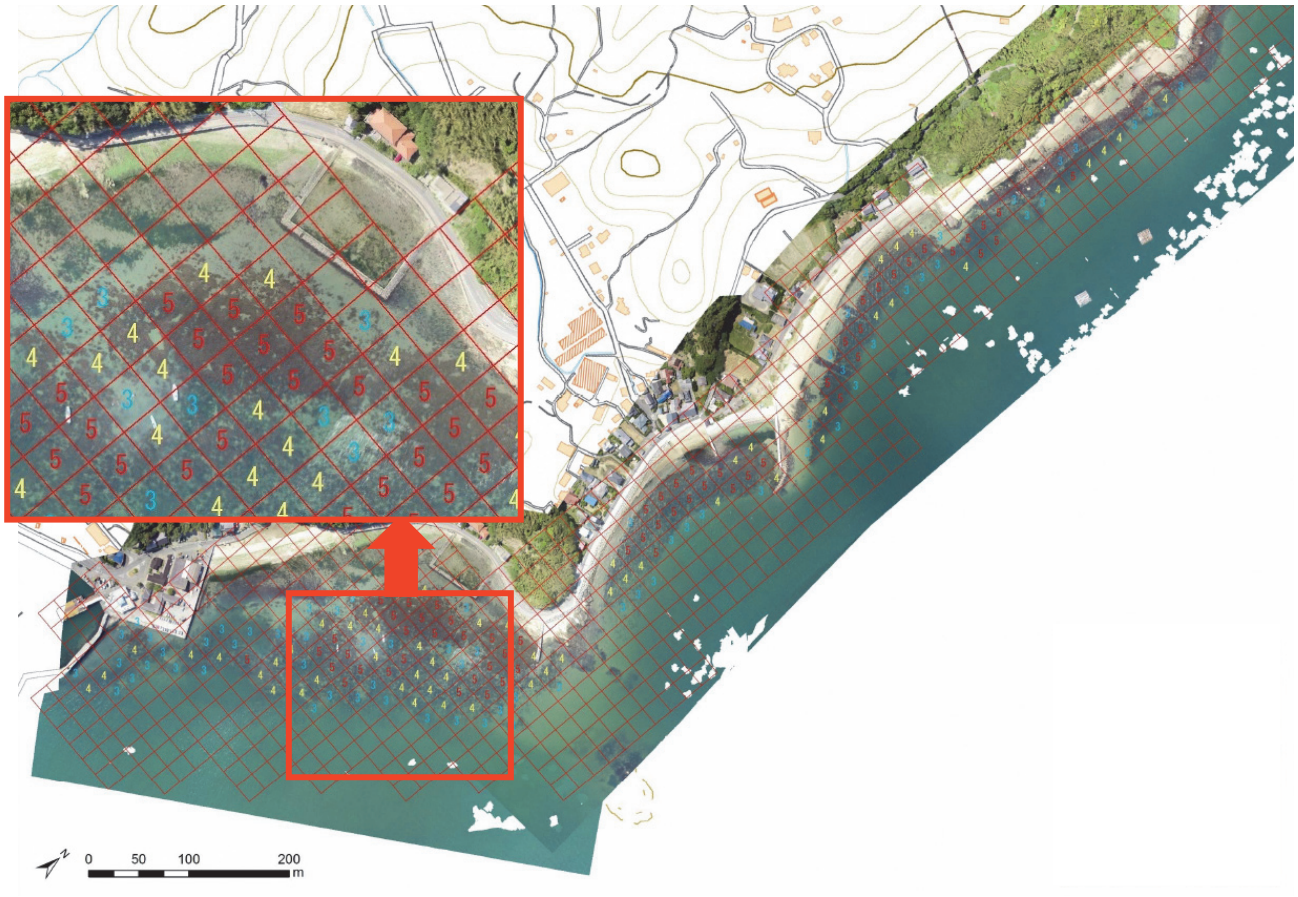

図-2　空撮画像を基にした被度階級区分

表-2　各項目の設定根拠

項目	数値	根拠
$A_{\ni m}$	9.07	モニタリング
$W_{ps,\ni m}$	23.58	モニタリング
$R_{AVE,\ni m}$	0.56	文献 51) ※1
$R_{PB,\ni m}$	4.5	文献 52) ※2
$R_{mc,\ni m}$	0.84	文献 53)-55)の平均
$R_{cc,\ni m}$	0.34	文献 6), 56), 57)の平均
C_{CO2}	3.7	44 (CO_2)/12 (C)
$CF_{es,\ni m}$	2.12	文献 8)
$R_{re,\ni m}$	18.5	文献 8)

※1 アマモの湿重量の季節変化から繁茂期湿重量に対する年平均湿重量の比率を算定

※2 東シナ海域

項目	数値 ワカメ	数値 ガラモ	根拠
A_{sw}	2.82	0.06	モニタリング
$W_{ps,sw}$	※3		モニタリング
$R_{PB,sw}$	1.15	1.32	文献 55), 57), 58)の平均
$R_{mc,sw}$	0.9	0.8	文献 6), 59)-64)の平均
$R_{cc,sw}$	0.32	0.34	文献 6), 55), 57), 58), 59)-64)の平均
$CF_{es,sw}$	1.5		文献 8)
$R_{re,sw}$	11.3		文献 8)

※3 海藻藻場の湿重量を被度毎に算出したため$A_{sw} \cdot WW_{ps,sw}$は以下の最大現存量（tWW）に置換え

ワカメ場：56.01 (tWW)，ガラモ場：1.30 (tWW)

表-3　アマモ場・藻場の CO_2 吸収量

	吸収量 (t)	面積(ha)
能古島アマモ場	42.1	9.07
アイランドシティ藻場	1.3	2.89

※面積は参考であり**表-2** の数値（の合算）を記載

式(1)～(3)に**表-2** の数値を用いて算定したクレジット対象となるアマモ場・藻場の CO_2 吸収量を**表-3** に示す．なお，前述のとおり$C_{BL} = 0$としていることから，C_{PJ}は**表-3** に示すC_{Total}と同量となる．

(2)　寄付金等制度

寄付金等制度は，港湾運営上の収入と企業・個人からの寄付金を博多湾の環境保全・創造に活用する仕組みである．具体的には船舶から徴収する入港料の 5%と個人・法人からの寄付金を博多湾の環境保全創造事業に充てるものであるが，そのうち入港料の 2.5%分については港湾環境整備保全基金に積立てられ，将来の取組みに活用される．入港料の一部を基金に積立て，環境事業に活用することをルール化する取組みは全国初事例となる．

港湾環境整備保全基金とは，博多港における快適で魅力ある環境を整備するとともに，これを将来にわたって適切に保全するため 2004 年に設置されたものである．

積立額は福岡市の歳出予算をもって充てられることとなっているが，実質的には当初の積立額を切崩してきていたため，残額は少額となっていた．新たな基金の創設も検討の選択肢としてはあり得たが，既存の基金の設置目的が今回の目的と合致していたため，受け皿として活用することになった．また，企業等からの寄付金も基金に積立てることも検討されたが，寄付者の目に見える形で用途が特定できるようにするため，積立てずに当該年度の取組みに充当されることとなった．他の自治体でも同様の基金を有しているため，博多港の事例は環境関係の取組みの促進を望む他地域のモデルケースになると考えられる．

2020 年度の福岡市の一般会計歳入予算として博多湾環境保全創造事業費寄付金が 10 万円，一般会計歳出予算として港湾環境整備保全基金積立金が 362.5 万円（入港料の 2.5%相当）計上されている [65]．また，一般会計の歳出予算として博多湾の環境保全創造事業に 3,853.3 万円が計上されているが，その関連歳入として入港料 362.5 万円（基金積立金と同額），博多湾環境保全創造事業費寄付金 10 万円が記載されている．これは入港料のうち 2.5%は基金に積立てられるが，2.5%は当該年度の事業に充てられること，また寄付金も当該年度の事業に充てられることを示している．両制度により環境保全創造事業を支える枠組みを概念的に示すと**図-3** のようになる．この図では，(1)の BC オフセット制度に係る内容を赤色で，(2)の寄付金等制度に係る内容を緑色で示しており，これら両制度の活用により，博多湾 NEXT 会議の活動支援等を通じて，恵み豊かで賑わいのある博多湾を目指すものとしている．

4. 両制度の課題と今後の展望

(1) 制度の政策的意義と課題

アマモ場など BCE は地球温暖化対策としての CO_2 吸収源，また生物多様性の維持の場にもなることから，両制度については主に SDGs の目標 13「気候変動への具体的対策」及び目標 14「海洋資源の保全と持続的利用の達成」に寄与し，これら以外にも水産物の漁獲増を通じた目標 2「食料の安定確保」，環境学習を通じた目標 4「生涯学習の機会の促進」，憩いの場の提供を通じた目標 11「住み続けられるまちづくり」へも一定程度寄与することになるが，直接的には環境保全創造事業財源確保と普及啓発の観点から，枠組みが作られたこと自体に政策的な意義がある．しかし創設目的の達成の程度によっては実効的な意義が生じない可能性が残る．この点，目的達成のためには潜在的なクレジット購入企業や市民による制度に対する理解が重要であることから，マスコミ等からの問合せが多い以下のような観点から課題を考

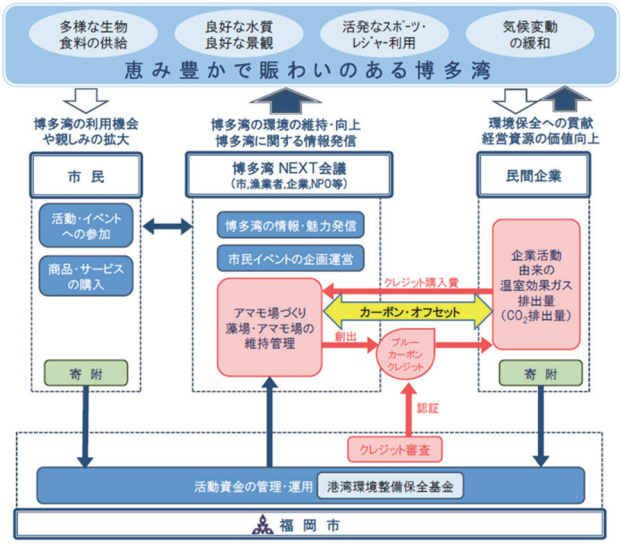

図-3 両制度のイメージ

察するアプローチが効果的であると考えた．

a) アマモ場は BC オフセット制度の有無によらず CO_2 を吸収するので，制度の創設・クレジットの売買で CO_2 は削減されないのではないのか．

b) 気候変動抑制に関する国際的な枠組みの中で，BC クレジットの購入が企業にとっての義務の履行に該当するのか．

c) CO_2 の吸収量もクレジットの額も小さすぎて効果が小さいのではないか．クレジット販売額で環境保全創造事業が実施できるのか．

a)や b)はクレジットを購入する企業側の立場に立てば自らの環境配慮活動に対する説明責任を伴うため，重要な論点となる．a)に関しては，維持管理・再生活動による適切な保全が実施されなければアマモ場面積が減少する可能性があり，クレジット販売額を活用した活動によって CO_2 削減が実現し続けることへの社会的認知が必要となる．このことはクレジット購入費用の使途が明確にされることにもなり，更なる創出活動に充当できれば（あるいは制度の普及啓発により保全活動が活性化されれば），アマモ場の活性量が拡大し，全体としての CO_2 吸収量が拡大することも期待できる．

b)に関しては，クレジット購入モチベーションに係る論点であるが，そもそも企業は国際的な枠組みの中で義務を負っておらず，地球温暖化対策の推進に関する法律（以下，温対法）の枠組みの下でも BC は温室効果ガスインベントリに含まれていない．自治体レベルでの認証クレジットでは購入をメリットと捉えない企業に対しては大きな課題となる．現在，地球温暖化対策は国際的にはパリ協定，国内ではその担保法である温対法に基づいて進められている．日本の INDC（Intended Nationally Determined Contributions；約束草案，2015 年 7 月に国連に提出）で 2030 年度の温室効果ガスの排出を 2013 年度比で

26%削減することが目標として掲げられ，これをもとにNDC が地球温暖化推進対策本部で決定された [66]．この中で温室効果ガス吸収源対策・施策としては，森林吸収源対策，農地土壌炭素吸収源対策，都市緑化等の推進が挙げられているが，BC がインベントリとして算定され，温対法の枠組みの中に置かれればクレジット購入のモチベーションが上がることになる．

c)に関しては，算定対象となるアマモ場・藻場の規模とクレジット単価の両方の論点が存在する．算定対象となりうる十分な被度を有したアマモ場・藻場の造成には一定の時間を要するため，クレジット算定対象を拡張することも必要となる．例えば，福岡市における CO_2 排出量は 687 万 t，そのうち国内船舶は 1.6%を占め約 11 万 t となっている [67]．あるいは急増するクルーズ船の停泊時の CO_2 排出量を既往研究 [68], [69]を基に推計すると約 2.7 万 t（寄港回数がピークであった 2016 年）となり，BC に直感的に結びつきやすい海事関係部門からの CO_2 排出量に対して現状のクレジット創出量は極めて小さく，効果の程度を疑問視される可能性が残る．クレジット単価に関しては，CO_2 吸収効果に限定すればその単価には限界がある．アマモ場・藻場に関しては CO_2 吸収効果以外の価値も存在するので，それをいかに制度に反映させていくかが課題となる．実際に，海外の事例においても BC によるクレジット創出のみでは，継続的な事業の実施が困難であり，コベネフィットを考慮した制度とすることの重要性が強調されている [39]．

一方，寄付金等制度はオフセット制度と比較すればクレジットの認証や単価の設定などが必要なく，緩やかな枠組みとなっている．そのため，寄付者のメリットと効果を明確にする必要がある．この点，現状の枠組みでは寄付者へのインセンティブの面で課題が残る．また，現状の枠組みでは当該年度の事業にのみ充当されることになるため，額が大きくなった場合に充当先事業がなくなる可能性もある．

以上のように，BC オフセット制度に関しては，BC が我が国の現在の NDC に含まれていない点で，パリ協定の枠組みの中の制度とはなっておらず，クレジット創出量や販売額が少ないため説得力のある効果の説明が困難なことから，企業の CSR 活動や ESG 経営に対して十分な訴求力がなく，実効性を伴う形での運用・継続には課題が残る．また，寄付金等制度に関しては，寄付者へのインセンティブがなく，寄付へのモチベーションが高まりにくい．このように CO_2 吸収効果及び寄付だけに依拠した枠組みでは，環境保全創造事業に対する十分な財源とはならず，発展的な制度拡充が必要となる．

(2) 博多湾におけるコベネフィットの評価

BC オフセット制度および寄付金等制度の課題を解決する上で，コベネフィットを評価しクレジット単価を向上させること，アマモ場・藻場以外の生態系も対象とし，事業規模を持続可能なものにすることが重要となる．このためには，CO_2 吸収以外の価値も含んだ包括的な評価を行う必要がある．アマモ場における CO_2 吸収以外の価値については，生態系サービスの概念が参考になる．生態系サービスは，2005 年に実施されたプレミアム生態系評価 [70]以降急速に広まり，その経済価値についても多くの研究が行われている．生態系サービスには，供給サービス，調整サービス，文化的サービス，基盤サービスの 4 つのカテゴリーがある．供給サービスは食料や木材等の資源を供給する価値，調整サービスは水質や大気質等の調整を行う価値，文化的サービスは環境教育やエコツーリズム等，環境から得られる文化的な価値である．基盤サービスは 3 つのサービスの根幹をなすものであり，栄養塩循環や生息場の提供等がある．

環境の価値の多くが市場価格を持たない非市場財であり，その経済価値を決定するという行為には，何らかの仮定が必要になる．よって，どのような価値をどういう手法で評価しているのかが重要となる．環境の経済価値の定義については，2010 年に発表された TEEB 報告書 [71]において，体系的な整理がなされている．まず，環境の経済価値は，利用価値と非利用価値に分かれ，前者はさらに直接利用価値と間接利用価値に分かれる．直接利用価値は，人間が自然を直接利用できる価値であり，市場価格を有することが多い．アマモ場で言えば水産資源等の供給サービスが該当する [72]．間接利用価値は，BC に代表されるような調整サービスにより得られる価値である．間接利用価値は，本来市場価格を有さないが，温暖化ガスの排出権取引のように，何等かの不利益が顕在化し，社会的なコンセンサスが得られた状況では，税等の形で市場価格が与えられる [73]．また，直接的には市場価格は付かないものの，顕示選好法等によって経済価値を決定できるものが多い [74]．非利用価値は，自然の利用を伴わない価値であり，自然の存在そのものに対して人々が感じる存在価値や，将来世代に渡って価値が得られることを望む遺産価値等がある．文化的サービスのほとんどが非利用価値である．利用価値の多くが，市場価格法や顕示選好法により経済価値を決定できるのに対し，非利用価値の経済価値は，表明選好法により求めることが主流である [74]．

コベネフィットを含んだ包括的評価を行うには，可能な限り全ての生態系サービスを対象に，非利用価値も含んだ経済価値を求める必要がある．井芹ら（2016）[75]，岡田ら（2019）[76]で提示されている沿岸域における環境価値の統合的評価手法（IMCES: Integrated evaluation Method for Coastal Ecosystem Services）は，環境保全・再生事業の価値を“見える化”することを目的としており，この要

請に合致した手法である．本稿では博多湾内の代表的な親水空間を対象に，IMCES を用いた試験的な評価を実施した．IMCES は干潟やアマモ場・藻場等を含む浅海域から得られる 10 の環境価値を包括的に評価することが可能であり [77]，環境価値の状態を 0-100 点で示す“得点化”と，得点あたりの経済価値を求め，経済評価を行う“貨幣価値化”の 2 つのプロセスからなる．“得点化”では，各環境価値の状態を示すのに適切な指標を計測し，評価対象とした海域内で，評価対象年度から過去 5 年間で最も良好な値（基準値）を 100 点とし得点化を行う．“貨幣価値化”では，IMCES のために開発された表明選好法である比較評価法を用いる．比較評価法は，対象海域の流域圏の住民等を対象にアンケート調査を実施し，当該海域における 100 点の状態の各環境価値に対する公共事業として許容できる経済価値（許容評価額）を，市場価格法やトラベルコスト法等で経済価値を求めることができる環境価値と比較して求める．100 点に対する経済価値を許容評価額とし，得点と経済価値の間に比例関係を仮定（経済価値＝許容評価額×得点／100）することで，各環境価値の経済価値が算定される．

CVM による評価額はアンケートのシナリオ設計によりバイアスが生じやすく，適切な評価額を得るには熟練を要する [78]．また，年収等の個人属性に強く依存することがあり [79]，個人の支払いに基づくため，人々と地域の関係性等を含む社会的価値の評価には不向きであることも指摘されている [80]．比較評価法はこのような CVM の問題点を解決し，複数の環境価値を同時に計測可能とすることを目的に開発された [77]．比較評価法では，予め市場価格法や顕示選好法で求めた経済価値が既知の環境価値と，経済価値が未知の環境価値を比較し，より社会にとって重要だと思う価値（社会的価値）を二枝選択方式で回答してもらうことで許容評価額を得る．これにより，アンケートのシナリオを詳細に作り込む必要がなくなり，バイアスを最小限にした，安定した評価額が得られる．

比較評価法の特徴の一つは，CVM で用いられている個人の支払意思額ではなく，許容評価額を直接問うところにある．一方で，既往の CVM 研究で示されているとおり，人々には，倫理的に素晴らしいことや正しいことに対して過大に評価することがあり，Warm-grow effect や温情効果として知られている [77, 81]．個人の家計を気にしなくてよい許容評価額は，支払意思額よりも過大な評価がされやすいことが予想され，実際に東京湾における研究事例では，全回答を単純に集計すると一つの環境価値に対して 1 億円/ha/年程度の非常に高い評価額が得られている [77]．個人によって Warm-grow effect に対する感度は異なり，個人の性向を定量化し，補正を行うことで，過大評価を避けたスコープ反応性を持つ支払意思額が得られるため [82]，比較評価法では評価の回答理由として「税金の適切な支出を考慮して回答した」と答えたグループの評価額を採用している．このグループは，他の回答理由のグループより，Warm-grow effect を抑えた現実的な評価をする傾向にあるためである [77]．

博多湾における IMCES の評価は，2017 年を評価対象年度とし，今津湾，御島，和白，海浜公園，今津干潟の 5 海域を対象として実施した（**図-4**）．評価対象海域のうち，今津湾は広大なアマモ場を含み，2017 年時点では，評価対象面積の約 25%にあたる 15ha のアマモ場が存在している．御島の一部と海浜公園は人工海浜であり，和白海域，今津干潟は博多湾を代表する自然干潟を有する．御島，和白海域では藻場造成事業が行われている．

評価対象とした環境価値は，**表-4** に示すとおりである．BC 以外の環境価値は生態系サービスのカテゴリーに参照し，評価対象海域で発現している価値を設定した．BC は，IMCES の枠組みの中では，温暖化抑制という一つの環境価値として評価されている．なお，本来 IMCES には**表-4** に示す 9 つの環境価値に加え，海岸防御という効果が評価対象となっているが，静穏な博多湾ではその効果を計測することが困難であったため，評価対象から除外している．

博多湾へ IMCES を適用するにあたり，これまでの IMCES では評価されて来なかったアマモ場の価値を考慮することとし，まず，アマモによる CO_2吸収量を温暖化抑制に加味することとした．アマモによる CO_2吸収量の算定方法は，第 3 章に記載した通りである．また，アマモ場で生育した稚仔魚が成魚となり，沖合で漁獲される価値を食料供給として評価した．アマモ場由来の漁獲量は VPA (Virtual Population Analysis) モデルを用いて推計した [83]．

$$Y_M = \sum_{t=t_c}^{L} W_t N_t [1 - \exp(-F)] \qquad (4)$$

ここで，Y_Mはアマモ場由来の漁獲量，W_tは t 齢における個体重量(t)，N_tは t 齢における水産資源の個体数，Fは漁獲係数であり，市場に出荷されている水産資源の

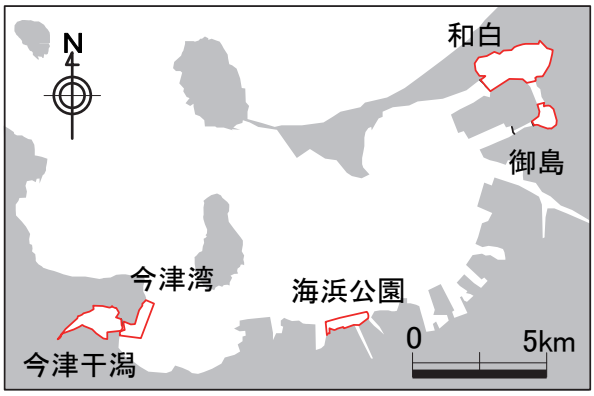

図-4　博多湾におけるコベネフィットの評価対象海域

表-4 IMCESにおける環境価値の指標と博多湾における基準値及び許容評価額

サービス	環境価値	主要な指標値	単位	基準値(100点の状態) 値	海域	年	許容評価額[1)] (万円/ha/年)
供給	食料供給	水産物の漁獲量	ton/ha/年	1	今津湾	2017	3,300
調整	水質浄化	COD浄化量	ton-COD/ha/年	1	今津干潟	2016	4,800
	炭素貯留	炭素の貯留速度(アマモ, 堆積物)	ton-C/ha/年	1	今津干潟	2016	3,700
文化	観光・レクリエーション	観光・レクによる年間の来場者数	人/ha/年	17,000	海浜公園	2017	3,000
	教育	環境教育への年間の参加者数	人/年	1,500	和白	2015	2,500
	研究	年間の論文・報告書の発刊数	報/年	7	和白・今津干潟	2016	2,000
	昔からの特別な場	年間の神事・祭事の開催回数 和歌・俳句に詠まれた回数	回/年 句	1 4	御島	2017	1,700
	日々の憩いの場	憩いによる年間の来場者数	人/ha/年	9,400	海浜公園	2017	500
基盤	種の保全	年間確認種数(底生生物・鳥類)	種数/年	87	御島	2017	2,900

1) 比較評価法によって求められた基準値に対する経済価値であり，アンケート回答者が公共事業して許容できる経済価値を示す.

表-5 博多湾におけるIMCESによる評価結果の概要

項目[1)]	単位	今津湾	御島	和白	海浜公園	今津干潟
評価対象範囲 面積	ha	65	55	300	25	135
アマモ場 面積	ha	15	0.005	0.068	0	0
総経済価値	万円/ha/年	8,109	9,902	11,986	8,571	12,723
食料供給	万円/ha/年(得点)	2,400 (73)	12 (0)	142 (4)	NA[2)]	NA[2)]
水質浄化		1,238 (26)	3,198 (67)	3,242 (68)	3,835 (80)	4,800 (100)
温暖化抑制		664 (18)	894 (24)	2,688 (73)	ND[2)]	3,230 (87)
観光・レクリエーション		8 (0)	46 (2)	7 (0)	3,000 (100)	0 (0)
教育*		104 (4)	136 (5)	2,451 (98)	719 (29)	408 (16)
研究*		1,429 (71)	857 (43)	775 (39)	240 (12)	1,702 (85)
昔からの特別な場*		0 (0)	1,700 (100)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
日々の憩いの場		1 (0)	158 (32)	3 (1)	500 (100)	0 (0)
種の保全*		2,267 (78)	2,900 (100)	2,678 (92)	277 (10)	2,582 (89)

1) ＊は面積と水準および経済価値の間に比例関係が想定できない環境価値を示す.

2) NAは規制等により環境価値が発現しないことを，NDはデータ不足で評価ができなかったことを示す.

平均個体重量を再現できるよう最小二乗誤差法により推定する[83)]．評価では，各対象海域において福岡市のモニタリングデータ，漁協，NPOへのヒアリングにより**表-4**に示す指標値のデータを得た後，データをもとに**表-5**に示す得点評価を行った．次いで，比較評価法のためのアンケート調査を実施した．アンケートは2019年1月に実施し，博多湾流域圏に居住している15,000人からインターネット調査を用いて回答を得た．得られた回答をもとに，個々の環境価値の100点の状態における経済価値を求めた（**表-5**）．比較評価法により求めた個々の環境価値の100点の状態における経済価値を，各海域の得点に比例させて割引くことで，個々の環境価値の経済価値を求めた．アンケートの内容は付録資料に示す（**表-A1**）．

博多湾におけるIMCESの評価結果を**表-6**に示す．総経済価値は，8,109万円/ha/年から1億2,723万円/ha/年となった．東京湾におけるIMCESによる総経済価値は5,340万円/ha/年から8,024万円/ha/年であることから，博多湾における環境価値は，東京湾よりも5割程度高いと言える．東京湾と博多湾の環境価値の基準値は5割も変わらないことから，東京湾流域圏の住民と比較し，博多湾流域圏の住民は，藻場・干潟の価値を高く認識していると言える．また，環境省が日本国内の干潟の価値をCVMで評価した事例では，総経済価値は平均で11億5,000万円/haと評価されている[84)]．干潟・藻場の価値が有効な期間を50年，社会的割引率を4%と仮定すれば，博多湾の藻場・干潟の価値は18億円/haから28億円/haとなる．環境省のCVMの値が，日本全国を対象に行った回答の平均値であることを考慮すれば，博多湾の総経済価値は，妥当な水準にあると考えられる．

博多湾における温暖化抑制の環境価値は，藻場を有する今津湾で664万円/ha/年であった．今津湾の温暖化抑

制の 7 割程度が 15ha の藻場から得られており，評価対象範囲全体の炭素吸収量は 0.2 トン-C/ha/年となっている．横浜市における BC の取引価格が 8,000 円/t-CO_2[34]程度，限界削減費用 [85]や社会的損害費用 [86]でも 20,000 円/t-CO_2 を超えないことを考慮すれば，IMCES で評価される温暖化抑制の環境価値は非常に高い．IMCES で評価される環境価値には非利用価値を含むことから，博多湾流域圏の人々は温暖化抑制に対して非常に高い非利用価値を感じていると考えられる．また，温暖化抑制では，堆積物に貯留される炭素量も経時変化法 [87]により計測・評価しており，アマモ場を有する今津湾よりも，堆積物中への炭素貯留速度の大きい今津干潟や和白の方が 4-5 倍程度高い値を示している．このことは，BC の事業規模を拡大する上で，アマモ場・藻場以外の生態系を視野に入れることの重要性を示すものである．

また，各海域における全体の環境価値は温暖化抑制の環境価値の 4-12 倍程度に相当している．コベネフィットを考慮することは，事業価値を最大で 10 倍程度向上させる可能性があると言える．また，内訳について見てみると，各海域で特徴が大きく異なることが分かる．例えば，今津湾は食料供給の価値が高く，これはアマモ場で水産有用種の稚仔魚が生育するためである．また，人工海浜である海浜公園は，種の保全が他の海域より低いものの，観光・レクリエーションが群を抜いて高くなっている．自然干潟を含む御島，和白干潟，今津干潟は，水質浄化や種の保全等の生態系活動から得られる価値に加え，教育や昔からの特別な場等の文化的な価値も高い．各海域の環境価値を高めようと思えば，これらの得点が高い環境価値を伸ばすとともに，得点が低い環境価値を向上する施策を考えればよい．このように，コベネフィットを評価することは，事業価値を向上させるだけではなく，各海域の特徴を明確にし，施策の方向性を導くという効果もある．コベネフィットの評価から得られるこれらの情報は，BC オフセット制度および寄付金等制度の課題を解決する糸口となる．

なお，本稿では，議論を簡便にするため，環境価値を単位 ha あたりの値として示したが，**表-5** に示す環境価値のうち，価値の名称に＊があるものは，面積と経済価値に比例関係が想定できないため，面積を増加させても環境価値は変化しないことに留意が必要である．

(3) コベネフィットの評価による制度の拡充

(1)で述べた課題及び前節の評価を踏まえ，本節ではコベネフィットの評価による制度の拡充の方向性について検証する．なお，本節での検証は，博多港だけでなく，今後制度創設を検討する自治体等でも適用可能となるよう一般性を有した内容としている．

アマモ場・藻場の効果に CO_2 吸収以外の効果や価値評価に非利用価値も含ませることで，クレジットの取引額が大幅に増加し，実効性を高め持続可能な制度にすることが期待できる．また，多様な環境価値を評価し，クレジット化することで，ESG 経営や SDGs の取組の一環として，企業のインセンティブに繋がる可能性がある．コベネフィットの導入は，博多港の場合は BC オフセット制度と寄付金等制度を統合し，新たなクレジット制度への拡充に繋がる．第 2 章で述べた通り，BC オフセット制度は義務的な支払に基づく資金調達に分類されるが，コベネフィットを導入した新たなクレジット制度は受益者からの資金調達の性格も加わるととなり，コベネフィットの価値に賛同する企業が自らを受益者として捉え，ESG 経営や CSR 活動としてクレジットを購入することが想定される．

ここでは，前節の結果を基に，アマモ場・藻場の CO_2 吸収効果を中心とした環境保全創造事業を持続的に実施していくために，IMCES による非利用価値を加味した評価及びコベネフィットの制度への組込みがどの程度のインパクトを持つのかについて定量的に試算を行う．具体的には，以下の 2 つのシナリオで，現状のクレジット価格を用いた場合の収益性指数（PI：キャッシュインフローの現在価値/キャッシュアウトフローの現在価値），IMCES によるアマモ場の温暖化抑制の環境価値を用いた費用便益比（B/C），温暖化抑制以外のコベネフィットも含んだ場合の B/C，創出クレジットが全て売れることを前提とし PI を 1 とするためのクレジットの価格等を試算した．なお，コベネフィットは，主にアマモ場で得られる環境価値として，食料供給，種の保全を用いた．その他の環境価値は，干潟や浅場等の他の生息場で主に得られる価値であるため，本計算からは除外した．収益性指数は独立採算で BC プロジェクトが実施できるかの判断，費用便益比はプロジェクトの実施の可否の判断をする指標となる．

【シナリオ 1（造成＋維持管理）】

- アマモ場を 10 年間で 1ha（0.1ha×10 年）造成し，造成後は適切に維持管理．
- 博多港の過去のアマモ場造成事業を参考に，適切に管理することで，各年度の造成面積は 10 年間で 40 倍に拡大（各年に造成する 0.1ha が定率で拡大し 10 年後には 4ha）し，以後は一定の面積（40ha）を維持するものとする．

【シナリオ 2（維持管理のみ）】

- 天然を含む既存のアマモ場 20ha を適切に維持管理し面積を維持するものとする．

計算に用いる各指標は**表-6** に示し，結果を**表-7** に示す．ただし，**表-6** に示す値のうち，造成単価および維持管理単価は，博多港の事例を参考に設定したものであり，実際は地域や場所により大きく異なる．特に，維持

管理費は変動幅が広いことが想定され，博多港の事例は必要最低限のモニタリング費用であることに留意が必要となる．そのため，感度分析として**表-7** の括弧内の数字は維持管理単価が 3 倍（手が掛かる場合を想定）になった際の結果を示している．

まず，**表-7** に示す通り，現状のクレジット価格を使用した場合の収益性指数は 1 を大きく下回り，クレジットの販売のみを財源としたプロジェクトの実施には採算性はない．採算性を確保するためには，現在想定するクレジット価格の，シナリオ 1 で 10.3 倍，シナリオ 2 で 2.7 倍が必要となる．一方で，BCE が持つ非利用価値も含んだ B/C については，シナリオ 1 で 17，シナリオ 2 で 66 と 1 を大きく上回っている．さらにコベネフィットを考慮した場合の B/C は，シナリオ 1 で 20，82，シナリオ 2 で 68，318 と，特に食料供給効果まで考慮すれば非常に高くなる．これらは，プロジェクト実施の妥当性を示している．これらの試算結果から，現在想定する BC のクレジット単価では，シナリオ 2 の維持管理費用でさえ賄えないが，購入者が BCE の持つ非利用価値や，コベネフィットを理解し，**表-7** に示すような採算性を確保できる価格以上でのクレジット購入や寄付を希望すれば，公的資金に依存せずとも維持管理ひいては造成費用まで賄える可能性があることが分かる．

ただし，造成の場合，イニシャルコストを考慮すると，単年度で収支をバランスさせることは不可能で，販売クレジットの基金化が必要となる．こうした場合，公共側がインセンティブを付与すれば，制度の実効性をより高めることができる．例えば，クルーズ船社がクレジット購入を行う場合，購入額に応じて入港料や岸壁使用料を減免するといったインセンティブが考えられる．アマモ場は公共財であるので，公共側の実質的負担が生じるインセンティブの設定は市民からの理解も得られやすい．

以上の議論を踏まえると，制度の拡充，すなわち新たなクレジット制度の検討の方向性としては，全ての環境価値を IMCES で算定された経済価値に基づき一定の換算率でクレジット化する，クレジットの購入（寄付）企業には，クレジット購入が地域へ与えたベネフィット（IMCES で求めた環境価値）を証明する証書を発行し，統合報告書等へ記載できるようにする，購入したクレジット額に比例し，先に述べたような行政的なインセンティブを受けられるようにする，一方で，カーボンオフセットを望む企業には従来通りの単価で BC クレジットを切り売りできるような柔軟性を担保する，といった内容が考えられる．これらにより，クレジットが ESG 経営に直結するだけのブランド力を持ち，複数の企業が購入するようになれば，制度の自律的な運用可能性が高まると考えられる．

表-6 PI 及び B/C 算出の計算条件

項目	値	根拠
造成単価	1.7 億円/ha	博多港の最近 10 年平均
維持管理単価	10 万円/ha/年	福岡市ヒアリング
温暖化抑制の環境価値	664 万円/ha/年	**表-5** の今津湾の値
コベネフィット（種の保全）	2,267 万円/ha/年	**表-5** の今津湾の値
コベネフィット（食料供給）	2,400 万円/ha/年	**表-5** の今津湾の値
クレジット価格（現状）	8,000 円/t	福岡市の事例
CO_2 吸収原単位	4.64t/ha/年	**表-3**
計算期間	50 年	－
社会的割引率	4%	－

表-7 非利用価値やコベネフィットを考慮した試算結果

	シナリオ 1	シナリオ 2
現状クレジット価格での PI	0.10（0.06）	0.37（0.12）
非利用価値を含む B/C	17 (11)	66 (22)
コベネフィット（種の保全）を考慮した B/C	20 (13)	68 (23)
コベネフィット（種の保全，食料供給）を考慮した B/C	82 (54)	318 (106)
PI=1 とする クレジット価格（円）	82,986 (126,002)	21,544 (64,632)

注）括弧内の数字は維持管理単価が 3 倍となった際の結果

(4) 今後の展望

現状の博多港の制度は，クレジットを購入する企業の立場から見れば，地球温暖化対策に係る国際的な枠組みの下の制度となっていないことが課題であり，購入や寄付のインセンティブも小さい．また，特に BC オフセット制度は「アマモ場・藻場」の「CO_2 吸収効果」に限定して対象としている．CO_2 吸収効果の対象はアマモ場・藻場だけではなく，アマモ場・藻場の価値は CO_2 吸収効果だけではないため，制度の改善と拡充という両方の展望がある．

制度改善に関する点では，技術研究組合法に基づきジャパンブルーエコノミー技術研究組合（JBE）が令和 2 年 7 月に設立された [88]．当組合の活動により CO_2 吸収量の算定方法が科学的に評価され，クレジット認証法人が誕生していけば，企業のクレジット購入モチベーションは大きく高まることになる．さらに，BCE による CO_2 吸収量が国連気候変動枠組条約 に基づくインベントリへ登録され，パリ協定に基づく NDC へ反映された上で，ブルーカーボンをクレジットとして認証・取引する枠組みとなれば企業の立場からは参加しやすくなる．

制度の拡充としては，BC の対象を拡張する方向性がある．この点に関しては，(2)で述べた通り，アマモ場・藻場以外の生態系を視野に入れることが考えられる．しかし，インベントリとして登録されるためには十分な

科学的な評価が必要となるため，JBE 等における今後の研究に注目する必要がある．また，前節で試算した通り，アマモ場・藻場のコベネフィットをクレジット単価に反映する方向性もある．アマモ場・藻場のコベネフィットについては，一定の学術的知見も蓄積されてきているため実現可能性は十分にある．ただし，生態系サービス間にはトレードオフの関係（例えば，生態系の保全と人の利用）があることが知られている[89)-91)]．温暖化抑制とのトレードオフ関係にある環境価値はまだ明らかになっていないが，BC は主にアマモや海草の現存量に依存することから，生態系の保全と温暖化抑制は両立関係にあることが期待できる．一方で，人の利用とは競合する可能性がある．コベネフィットを採用する場合には，温暖化抑制と他の環境価値との競合・両立関係を明らかにするとともに，そのアマモ場・藻場に関連する多様な主体の合意に基づいたコベネフィットを発揮できる利活用を検討する必要があるだろう．

以上のように，パリ協定の枠組みの下での地球温暖化対策を含み，かつコベネフィットをクレジット化することで SDGs への貢献を明確にするといった購入企業や市民に理解されやすい制度となり，環境保全創造活事業の財源としての観点でも十分な実効性を確保することが可能となる．ただし，制度自体の信頼性を担保するためにもクレジットに関しては公正な第三者機関による認証が必要となり，JBE の活用が検討されるべきであろう．公共側でも購入者に対する認証以外のインセンティブの付与（クレジットの行政サービスに対するクーポン的利用）を行えば，実効性は更に高まることが期待できる．

5. おわりに

本稿では，博多港での BC オフセット制度と寄付金等制度の創設の経緯やその具体的な中身を整理するとともに，その政策的意義と課題，そして今後の展望として制度拡充の方向性を示した．

世界共通の目標である SDGs とも関連するため，理念的には賛同されやすいとはいえ，株主に対する説明等を踏まえれば，購入する企業側の立場からは依然課題は残る．現状の BC オフセット制度は，BC が我が国の現在の NDC に含まれていない点でパリ協定の枠組みの中の制度とはなっていないため，企業から見ればクレジットの購入メリットが小さく，「アマモ場・藻場」の「CO_2 吸収効果」に限定して対象としているため，CO_2 吸収量やクレジット価格の絶対量も小さい．こうした課題は制度の持続性や実効性において課題となる．このため本研究では，パリ協定の枠組みの下での認証とコベネフィットのクレジット化を将来的に行うことで購入・寄付のモチベーションを高めつつ，環境保全創造活動の規模を維持・拡大することで，制度の実効性・持続可能性を確保することを提案した．併せて，公共側でのインセンティブの付与の必要性についても示唆している．

本研究では，博多湾内の代表的な親水空間を対象に IMCES を用いて実施したコベネフィットの評価結果，結果に対する考察，コベネフィットの評価結果を用いたシナリオ別の B/C や収益性指数，独立採算的に環境保全創造事業を実施するためのクレジット価格が示されているが，これらは本研究で初めて得られた学術的知見である．博多港での制度は始まったばかりであり，今後他の自治体でも同様な取組みが期待されるが，制度の創設・拡充に当たっては，本稿で述べた課題に留意が必要となり，今後の展望で述べたような方向性に拡充されることが重要となる．

今後の研究の方向性としては，視野に入れるべきアマモ場・藻場以外の生態系とその評価，コベネフィットの評価の精緻化，公共側が与えるインセンティブの詳細な制度設計等が挙げられる．更には，パリ協定の枠組みの下での認証に関しては今後の研究による科学的評価が必要となるため，その材料となる事例を蓄積することも必要となる．

謝辞：博多湾における環境価値の定量化においては，九州大学の川口栄男名誉教授および矢野真一郎教授，九州共立大学の小島治幸名誉教授，福岡大学の山崎惟義名誉教授および伊豫岡宏樹助教，NPO 法人ふくおか湿地保全研究会の服部卓朗理事長，一般社団法人ふくおか FUN の大神 弘太朗代表理事にご協力を頂いた．記して御礼を申し上げる．

付録：IMCES の経済評価で用いたアンケート票を**表-A1** に示した．

表-A1（1）　アンケート票の設問

No	設問	回答の選択肢
Q1	以下の環境問題を解決することは，今後の社会にとって重要でしょうか？ あなたの考えと最も近い箇所をそれぞれ一つだけ選択してください． 「地球温暖化」，「オゾン層の破壊」，「熱帯雨林の減少」，「水域の富栄養化」，「砂漠化」，「酸性雨」，「野生生物の減少」	○1：重要ではない，○2，○3：どちらともいえない，○4，○5：重要である
Q2	次の単語のうち，あなたがその意味を知っているものを全て選択してください．	○生態系サービス，○赤潮，○人工干潟・藻場，○生物多様性，○青潮，○貧酸素，○グリーンインフラ，○海洋酸性化，○グリーンタイド，○IPBES，○消費者余剰，○知っている単語はない
Q3	ここからは，干潟・藻場とその生態系が持つ機能に関する質問となります．説明をよく読んでから設問に回答して頂けますようお願いします． 「干潟」とは，潮の満ち引きによって，海になったり，陸地になったりを繰り返す，海と陸の境目にある場所のことです．「藻場」とは，海辺の浅い場所で，海草や海藻が生えている場所のことです．これらは，潮干狩りなどでわたくしたちの生活の身近にある（あった）海です．博多湾内では，和白干潟や今津干潟などが天然の干潟として有名です．また，シーサイドももち浜海浜公園のように人工的に作られた親水空間もあります． あなたは，上記のような親水空間を普段の生活のなかで，身近に感じていますか．あてはまるものを一つだけ選択してください．	○1：感じない，○2，○3：どちらでもない，○4，○5：感じる
Q4 から Q6	干潟・藻場は，食料の生産や水質浄化などの様々な公共の機能を私たちの社会に提供しています．普段の生活では感じにくいのですが，干潟・藻場は様々な機能を通じて，多くの経済的価値を私たちの社会に提供してくれていることが，近年の研究で明らかになってきています．次に，これまでに明らかになってきている三つの干潟・藻場の価値の内容について説明しますので，説明を読んでから設問に回答してください． －観光・レクリエーションに関する説明文－ 以下の文に対して，あなたが該当する箇所を一つだけ選択してください． 「わたしは，干潟・藻場に『観光・レクリエーション』という価値があることを知っていた．」 ―以下，日々の憩いの場，水質浄化について同じ形式の設問－	○1：あてはまらない，○2，○3：どちらとも言えない，○4，○5：あてはまる
Q7	近年，博多湾の環境をよりよくするために，海浜公園の整備や干潟・藻場の保全・再生に関する事業が，博多湾内で行われています．これらの海浜公園の整備や干潟・藻場の保全・再生事業では，整備後の海浜公園や干潟・藻場から得られる価値を予測し，その価値に見合った規模の事業が計画されます．例えば，先に示した三つの干潟・藻場の価値の経済評価額が，観光・レクリエーション（年間 2,200 万円/ha），日々の憩いの場（年間 1,200 万円/ha），水質浄化（年間 210 万円/ha）である場合は，三つの干潟・藻場の価値総額は，年間約 3,610 万円/ha となります．一般に，造成干潟・藻場等の公共事業の価値については，50 年程度は継続すると考えられているため，三つの干潟・藻場の価値の資産価値は，3,610 万円/ha/年×50 年＝18 億円/ha となります． ここでは，干潟・藻場の保全・再生事業において，投資した事業費の少なくとも 2 倍の価値（利益）が得られるように事業費が調整されると仮定します．よって，上の三つの干潟・藻場の価値総額が 18 億円の場合，これら三つの干潟・藻場の価値を有したサッカーコート程度の大きさ（1 ヘクタール）の干潟・藻場のために，総額 9 億円分の公共事業費を投入しようといった検討がなされることになります．ちなみに，一般的な造成干潟の規模は 10ha 程度です． では，干潟・藻場の価値が年間で 5,000 万円/ha，資産価値が 25 億円/ha（5,000 万円/ha×50 年）と予測された場合，1ha の大きさの干潟・藻場に投入できる公共事業費は最大で幾らになるでしょうか？投入する公共事業費は，干潟・藻場の価値の 1/2 倍とします．以下の選択肢から一つだけ選択してください．	○1,250 万円，○5,000 万円， ○2.5 億円，○12.5 億円，○25 億円

表-A1（2） アンケート票の設問

No	設問	回答の選択肢
Q8	以上のように，干潟・藻場の保全・再生事業の公共事業費は，干潟・藻場の資産価値が基準となり決定されます．先に説明した三つの干潟・藻場の価値は，計算によって貨幣換算することができます．一方で，干潟・藻場には計算から簡単に求められない価値も存在します．これらの価値については，市民の方々の意見を基にして，その価値を貨幣換算します． ここからの設問では，簡単に価値を貨幣換算ができない六つの干潟・藻場の価値を，計算により貨幣換算が可能な三つの干潟・藻場の価値と比較し，評価してもらいます． 干潟・藻場の価値を高く評価すれば，干潟・藻場の造成事業は進めやすくなりますが，その分，他の公共事業（防災や道路建設，上下水道整備等）に投入できる事業費を減らさなければならない，もしくは，増税を行わなければいけないことに留意して慎重に評価を行ってください． まず，『教育』について評価してもらいます．以下の説明文をよく読んでから，回答ください． －教育に関する説明文－ サッカーコート程度の大きさの干潟・藻場において，『観光・レクリエーション』と『教育』の二つの干潟・藻場の価値を比較した時，どちらの価値が高いと思いますか？下表の選択肢より一つだけ選択してください． （公共事業としてより価値が高いと思う干潟・藻場の価値を選択してください．）	○1 年間で延べ 1 万 7 千人程度の人々が観光・レクリエーションで訪れる ○1 年間で延べ 1,500 人程度の人々が環境教育活動のために訪れる ○←わからない場合はこちらを選択してください
Q9	上記で比較した価値のうち『観光・レクリエーション』は，以下のようにして価値を貨幣換算することができます． 【価値の貨幣換算方法】 ・干潟・藻場が有する『観光・レクリエーション』の価値は，観光・レクリエーションの目的で干潟・藻場へ訪れる人々が使った旅費から貨幣換算します． 【価値の評価額】 ・サッカーコート程度（約 1ha）の広さで，年間で 1 万 7 千人程度が潮干狩りや釣りに利用する価値は，年間 2,200 万円と評価されました． この評価結果を踏まえ，干潟・藻場が持つ『教育』という価値について貨幣単位で評価してください． 『教育』には，以下に示された金額以上の価値があると思えますか？ 年間で 1,500 人程度が環境教育活動を行う価値＝年間 2,500 万円以上 なお，この年間の価値を資産価値に換算すると 12.5 億円以上となります．これは 6.2 億円以上の税金をサッカーコート程度の大きさの干潟・藻場における『教育』のために支出する価値があること意味します． 干潟・藻場造成事業の支出が増えた分，他の公共事業費は減る，もしくは，増税になることに留意して慎重に評価を行ってください．	○はい，○いいえ，○分からない
Q10	前の設問で『教育』には，以下に示された金額以上の価値があると思える（あると思えない）と回答した理由として，最もあてはまるものを以下から一つだけ選択してください．また，空欄に具体的な理由を記載してください．	○提示されたサービスの数量や規模から計算し，価値を判断した． ○社会的・公共的な効果を考慮し，価値を判断した． ○私個人にとっては重要なサービスであることを考慮し，価値を判断した． ○税金の無駄使いを避けることを考慮し，経済的価値を判断した． ○設問の意味がよくわからなかった．

表-A1（3） アンケート票の設問

No	設問	回答の選択肢
Q11 から Q25	ーQ8 から Q10 の要領で，以下の環境価値の評価を実施した．比較対象となる環境価値，提示される経済価値，および評価を行う環境価値の順番はアンケート票毎にランダムに変更したー Q11 から Q13：研究 Q14 から Q16：昔からの特別な場 Q17 から Q19：種の保全 Q20 から Q22：炭素貯留 Q23 から Q25：食料供給	Q8 から Q10 と同様の選択肢
Q26 から Q30	ー個人の規範意識や属性に関する設問ー Q26：規範意識 Q27：職業 Q28：世帯年収 Q29：学歴 Q30：回答時間	ー

参考文献

1) 福岡市港湾空港局：博多港 2019 年の物流，令和 2 年 1 月 30 日報道発表資料，2020，https://www.city. fukuoka.lg.jp/data/open/cnt/3/72297/1/kokusaikaizyoukontenakosuukakosaikou.pdf?20200131154314
2) 福岡市港湾空港局：博多港平成 30 年の人流，平成 31 年 1 月 18 日報道発表資料，2019，http://www.city.fukuoka.lg.jp/data/open/cnt/3/66508/1/hakatacruise2018.pdf?20190118170329
3) エコパークゾーン環境保全創造委員会：エコパークゾーン環境保全創造計画，2010，http://port-of-hakata.city.fukuoka.lg.jp/ecology/ecopark/pdf/honpen.pdf
4) 博多港ホームページ：世界最高水準のアイランドシティコンテナターミナルの実現，http://port-of-hakata.city.fukuoka.lg.jp/ecology/lowcarbon/transfercrane.html
5) 山田晃史，吉原哲，中田泰輔，鈴木克彦，上田真紀子，藤原雄太，石井彰，吉田美緒：横浜ブルーカーボン事業におけるオフセットの運用及び拡大に関する検討，第 45 回環境システム研究論文発表会講演集，pp. 103-122, 2017.
6) 堀正和，桑江朝比呂：ブルーカーボンー浅海域における CO_2 隔離・貯留とその活用ー，地人書館，254p., 2017.
7) Nellemann, C., Corcoran, E., Durate, C. M., Valdes, L., De Young, C., Fonseca, L. and Grimsditch, G.: Blue Carbon – A Rapid Response Assessment, United Nations Environmental Programme, GRID-Arendal, Brikeland Trykkeri AS, Birkeland, 2009.
8) 桑江朝比呂，吉田吾郎，堀正和，渡辺謙太，棚谷灯子，岡田知也，梅澤有，佐々木淳：浅海生態系における年間二酸化炭素吸収量の全国推計，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol. 75, No. 1, pp. 10-20, 2019.
9) 国土交通省港湾局：ブルーカーボン活用による CO_2 吸収源対策の検討を支援，平成 29 年 11 月 29 日報道発表資料，https://www.mlit.go.jp/common/001209693.pdf
10) Fourqurean, J. W., Duarte, C. M., Kennedy, H., Marbà, N., Holmer, M., Mateo, M. A., Apostolaki, E. T., Kendrick, G. A., Krause-Jensen, D. and McGlathery, K. J.: Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock, *Nature Geoscience*, Vol. 5, pp. 505-509, 2012.
11) Krause-Jensen, D. and Duarte, C. M.: Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration, *Nature Geoscience*, Vol. 9, pp. 737–742, 2016.
12) Ortega, A., Geraldi, N. R., Alam, I., Kamau, A. A., Acinas, S. G., Logares, R., Gasol, J. M., Massana, R., Krause-Jensen, D. and Duarte, C. M.: Important contribution of macroalgae to oceanic carbon sequestration, *Nature Geoscience*, Vol. 12, pp. 748-754, 2019.
13) Queirós, A. M., Stephens, N., Widdicombe, S., Tait, K., McCoy, S. J., Ingels, J., Rühl, S., Airs, R., Beesley, A., Carnovale, G. and Cazenave, P.: Connected macroalgal-sediment systems: blue carbon and food webs in the deep coastal ocean, *Ecological Monographs*, Vol. 89, 2019.
14) Duarte, C. M., Wu, J. P., Xiao, X., Bruhn, A. and Krause-Jensen, D. : Can seaweed farming play a role in climate change mitigation and adaptation?, *Frontiers in Marine Science*, Vol. 4, 2017.
15) Froehlich, H. E., Afflerbach, J. C., Frazier, M. and Halpern, B. S.: Blue growth potential to mitigate climate change through seaweed offsetting, *Current Biology*, Vol. 29, pp. 3087-3093, 2019.
16) Lovelock, C. E. and Duarte, C. M.: Dimensions of blue carbon and emerging perspectives, *Biology Letters*, Vol. 15, 2019.
17) Macreadie, P. I., Anton, A., Raven, J. A., Beaumont, N., Connolly, R. M., Friess, D. A., Kelleway, J. J., Kennedy, H., Kuwae, T., Lavery, P. S., Lovelock, C. E., Smale, D. A., Apostolaki, E. T., Atwood, T. B., Baldock, J., Bianchi, T. S., Chmura, G. L., Eyre, B. D., Fourqurean, J. W., Hall-Spencer, J. M., Huxham, M., Hendriks, I. E., Krause-Jensen, D., Laffoley, D., Luisetti, T., Marbà, N., Masque, P., McGlathery, K. J., Megonigal, J. P., Murdiyarso, D., Russell, B. D., Santos, R., Serrano, O., Silliman, B. R., Watanabe, K. and Duarte, C. M.: The future of Blue Carbon science, *Nature Communications*, Vol. 10(1), 2019.
18) Thorhaug, A., Gallagher, J. B., Kiswara, W., Prathep, A., Huang, X., Yap, T-K., Dorward, S. and Berlyna, G.: Coastal and estuarine blue carbon stocks in the greater Southeast Asia region: Seagrasses and mangroves per nation and sum of total, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 160, 2020.
19) Waycott, M., Duarte, C. M., Carruthers, T. J. B., Orth, R. J., Dennison, W. C., Olyarnik, S., Calladine, A., Fourqure-

an, J. W., Heck, K. L., Hughes, A. R., Kendrick, G. A., Kenworthy, W. J., Short, F. T. and Williams, S. L.: Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, pp. 12377-12381, 2009.

20) Short, F. T., Polidoro, B., Livingstone, S. R., Carpenter, K. E., Bandeira, S., Sidik, J., Calumpong, H. P., Carruthers, T. J. B., Coles, R. G., Dennison, W. C., Erftemeijer, P. L. A., Fortes, M. D., Freeman, A. S., Jagtap, T. G., Hena, A., Kamal, M., Kendrick, G. A., Kenworthy, W. J., La, Y. A., Nasution, I. M., Orth, R. J., Prathep, A., Sanciangco, J. C., Tussenbroek, B. V., Vergara, S. G., Waycott, M. and Zieman, J. C.: Extinction risk assessment of the world's seagrass species, *Biological Conservation*, Vol. 144, pp. 1961-1971, 2011.

21) Pendleton, L., Donato, D. C., Murray, B. C., Crooks, S., Jenkins, W. A., Sifleet, S., Craft, C., Fourqurean, J. W., Kauffman, J. B., Marbà, N., Megonigal, P., Pidgeon, E., Herr, D., Gordon, D. and Baldera, A.: Estimating global "blue carbon" emissions from conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems, *PloS One*, Vol. 7, 2012.

22) Hamilton, S. E. and Casey, D.: Creation of a high spatio-temporal resolution global database of continuous mangrove forest cover for the 21st century (CGMFC-21), *Global Ecology and Biogeography*, Vol. 25, pp. 729-738, 2016.

23) Lovelock, C. E., Atwood, T., Baldock, J., Duarte, C. M., Hickey, S., Lavery, P. S., Masque, P., Macreadie, P. I., Ricart, A. M., Serrano, O. and Steven, A.: Assessing the risk of carbon dioxide emissions from blue carbon ecosystems, *Frontiers in Ecology and the Environment*, Vol. 15, pp. 257-265, 2017.

24) Thomas, S.: Blue carbon: knowledge gaps, critical issues, and novel approaches, *Ecological Economics*, Vol. 107, pp. 22-38, 2014.

25) Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.: IPCC 2014, 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands, The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Switzerland (2013), 2014.

26) International Partnership for Blue Carbon: Blue carbon and the partnership, 2017.

27) Wylie, L., Sutton-Grier, A. E. and Moore, A.: Keys to successful blue carbon projects: lessons learned from global case studies, *Marine Policy*, Vol. 65, pp. 76-84, 2016.

28) Kelleway, J. J., Serrano, O., Baldock, J. A., Burgess, R., Cannard, T., Lavery, P. S., Lovelock, C. E., Macreadie, P. I., Masqué, P., Newnham, M., Saintilan, N. and Steven, A. D. L.: A national approach to greenhouse gas abatement through blue carbon management, *Global Environmental Change*, Vol. 63, 2020.

29) Needelman, B. A., Emmer, I. M., Emmett-Mattox, S., Crooks, S., Megonigal, J. P., Myers, D., Oreska, M. P. J. and McGlathery, K.: The science and policy of the verified carbon standard methodology for tidal wetland and seagrass restoration, *Estuaries and Coasts*, Vol. 41, pp. 2159-2171, 2018.

30) Bell-James, J. and Lovelock, C. E.: Legal barriers and enablers for reintroducing tides: an Australian case study in reconverting ponded pasture for climate change mitigation, *Land Use Policy*, Vol. 88, 2019.

31) Sapkota, Y. and White, J. R.: Carbon offset market methodologies applicable for coastal wetland restoration and conservation in the United States: a review, *Science of the Total Environment*, Vol. 701, 2020.

32) Vanderklift, M. A., Marcos-Martinez, R., Butler, J. R. A., Coleman, M., Lawrence, A., Prislan, H., Steven, A. and Thomas, S.: Constraints and opportunities for market-based finance for the restoration and protection of blue Carbon ecosystems, *Marine Policy*, Vol. 107, 2019.

33) Wu, J., Zhang, H., Pan, H., Krause-Jensen, D., He, Z., Fan, W., Xiao, X., Chung, I., Marbà, N., Serrano, O., Rivkin, R. B., Zheng, Y., Gu, J., Zhang, X., Zhang, Z., Zhao, P., Qiu, W., Chen, G. and Duarte, C. M.: Opportunities for blue carbon strategies in China, *Ocean & Coastal Management*, Vol. 194, 2020.

34) Nobutoki, M., Yoshihara, S. and Kuwae, T.: Carbon Offset Utilizing Coastal Waters: Yokohama Blue Carbon Project, In: *Blue Carbon in Shallow Coastal Ecosystems*, Springer, pp. 321-346, 2018.

35) 末廣富士代，鈴木広美，吉原哲，岡崎修司：横浜市におけるアマモ場のブルーカーボンを対象とした世界初のクレジット認証等に関する検討，第 48 回環境システム研究論文発表会講演集，pp. 49-54, 2020.

36) 馬場聡，於保剛，馬場愛，小林登茂子，宝満剛，杉村佳寿：博多湾東部海域におけるアマモ場の再生に向けた検討，平成 29 年度土木学会西部支部研究発表会，2018.

37) 福岡市港湾空港局：「博多湾アマモ場づくり情報交換会」開催，平成 30 年 1 月 31 日報道発表資料，2018.

38) 福岡市ホームページ：博多湾 NEXT 会議設立総会を開催しました（平成 31 年 5 月 31 日），https://www.city.fukuoka.lg.jp/kowan/kankyotaisaku/opinion/hakatawan_next_2018soukai.html

39) AGEDI: Building Blue Carbon Projects - An Introductory Guide. AGEDI/EAD. Published by AGEDI. Produced by GRID-Arendal, A Centre Collaborating with UNEP, Norway, 2014.

40) Salzman, J., Bennett, G., Carroll, N., Goldstein, A. and Jenkins, M.: The global status and trends of Payment for Ecosystem Services, *Nature Sustainability*, Vol. 1, 2018.

41) Miranda, M., Porras, I. and Moreno, M. L.: The Social Impacts of Payments for Environmental Services in Costa Rica: A Quantitative Field Survey and Analysis of the Virilla Watershed, IIED, London, 2003.

42) Muñoz-Piña, C., Guevara, A., Torres, J. M. and Braña, J.: Paying for the hydrological services of Mexico's forests: analysis, negotiations and results, *Ecological Economics*, Vol. 65, pp. 725–736, 2008.

43) Bremer, L. L., Auerbach, D. A., Goldstein, J. H., Vogl, A. L., Shemie, D., Kroeger, T., Nelson, J. L., Benítez, S. P., Calvache, A., Guimarães, J., Herron, C., Higgins, J., Klemz, C., León, J., Lozano, J. S., Moreno, P. H., Nuñez, F., Veiga, F. and Tiepolo, G.: One size does not fit all: natural infrastructure investments within the Latin American Water Funds Partnership, *Ecosystem Services*, Vol. 17, pp.

217–236, 2016.
44) Perrot-Maître, D.: The Vittel payments for ecosystem services: a “perfect” PES case?, International Institute for Environment and Development, London, UK, 2006.
45) Burritt, R. L., Schaltegger, S. and Zvezdov, D.: Carbon Management Accounting: Explaining Practice in Leading German Companies, *Australian Accounting Review*, Vol. 21 (1), pp. 80-98, 2011.
46) Nobutoki, M., Yoshihara, S. and Kuwae, T.: Carbon Offset Utilizing Coastal Waters: Yokohama Blue Carbon Project, In: *Blue Carbon in Shallow Coastal Ecosystems*, Springer, pp. 321-346, 2018.
47) Engel, S., Pagiola, S. and Wunder, S.: Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of the issues, *Ecological Economics*, Vol. 65(4), pp. 663–674, 2008.
48) Feng, H. and Kling, C. L.: The Consequences of Co-benefits for the Efficient Design of Carbon Sequestration Programs The Consequences of Co-benefits for the Efficient Design of Carbon, *Canadian Journal of Agricultural Economics*, Vol. 53(4), pp. 461-476, 2005.
49) Gosnell, H., Charnley, S., Stanley, P. and Gosnell, H.: Climate change mitigation as a co-benefit of regenerative ranching : insights from Australia and the United States, *Interface Focus*, Vol. 10(5), 20200027, 2020.
50) J-クレジット制度：J-クレジット方法論 FO-001「森林経営活動」ver 2.4（2019.2.28 更新），https:// japan-credit.go.jp/pdf/methodology/FO-001_v2.4.pdf
51) 緒方郁夫，鶴田幸成，川口栄男：福岡市周辺の海産生物調査．II 能古島南部におけるアマモ *Zostera marina L.*の季節的変動，九大農学芸誌，第 70 巻 1 号，2015.
52) 独立行政法人水産総合研究センター，国立大学法人東京大学大気，海洋研究所，国立大学法人北海道大学，北方圏生物フィールドセンター：「藻場・干潟の炭素吸収源評価と吸収機能向上技術の開発」委託事業報告書平成 25 年 3 月号，pp. 1-6, 2013.
53) 川端豊喜，茅田弘荘，乾政秀：柳井湾における春期から夏期のアマモ *Zostera matarina* の純生産量の推定，日本水産学会誌，第 59 巻 3 号，pp. 455-459, 1993.
54) 環境省：第 7 回自然環境保全基礎調査浅海域生態系調査（藻場調査）報告書，2008.
55) (独)森林総合研究所：森林，海洋等における CO_2収支の評価の高度化，森林総合研究所交付金プロジェクト研究成果集 3，pp. 97-107, 2004.
56) 寺脇利信，玉置仁，西村真樹，吉川浩二，吉田吾郎：広島湾におけるアマモ草体中の炭素および窒素総量，水産総合研究センター研究報告，第 4 号，pp. 25-32, 2002.
57) 伊藤靖，中野喜央，松下訓，三上信雄，横山純，桐原慎二，能登谷正浩：藻場による炭素固定量の試算，水産工学，Vol. 46, No. 2, pp. 135-146, 2009.
58) 水産庁：改訂磯焼け対策ガイドライン，2015.
59) 芳村碧，矢持進：大阪南港野鳥園北池におけるグリーンタイドの季節的変遷と原因海藻ミナミアオサの低塩分・干出耐性に関する研究，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol. 67, No. 2, pp. I_1136-I_1140, 2011.
60) 行本正雄：海洋バイオマスを製鉄プロセスで利用する炭素循環プロセスの開発，公益財団法人 JFE21 世紀財団 2009 年度技術報告書，pp. 263-271, 2009.
61) 米田佳弘，藤田種美，中原紘之，豊原哲彦：大阪湾の人口護岸上に形成された海藻群落の維持と高密度に生息するウニ類の摂食活動，日本水産学会誌，73 巻 3 号，pp. 443-453, 2007.
62) 三浦浩，伊藤靖，吉田司：漁港の生態系構造と生物現存量の推定，土木学会論文集 B2（海洋工学），69 巻 2 号，pp. I_1211-I_1215, 2013.
63) 金丸彦一郎，大津安夫，古川泰久：南方系ホンダワラ類と在来海藻の植食生ベントス 4 種に対する餌料価値の比較，佐賀県玄海水産振興センター研究報告 6 号，pp. 89-94, 2013.
64) 柴田竜馬，堀田建治，岡本強一：大型海藻類による環境修復効果に関する研究－コンブによる CNP 固定効果に関して－，平成 22 年度日本大学理工学部学術講演会論文集，pp. 663-664, 2010.
65) 福岡市港湾空港局：令和 2 年度当初予算案等説明資料，2020，https://www.city.fukuoka.lg.jp/data/open/cnt/3/71033/1/020313-kouwan-yosan.pdf?20200331161850
66) 地球温暖化対策推進本部決定：日本の NDC（国が決定する貢献），https://www.env.go.jp/press/files/jp/113664.pdf
67) 福岡市：温室効果ガス排出量について，https://www.city.fukuoka.lg.jp/data/open/cnt/3/33237/1/2017onshitsukoukagasu.pdf?2019122417395
68) 鈴木祐介，酒井祐規，湧口清隆：クルーズ船による大気汚染の影響－博多港のケース－，交通学研究，Vol. 61, pp. 77-84, 2018.
69) Cooper, D.: Representative Emission Factors for Use in Quantification of Emissions from Ships Associated with Ship Movements between Ports in the European Community (ENV.C.1/ETU/2001/0090). Prepared by IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd for Entec UK Limited, Norwich, UK, 2002.
70) 国連ミレニアムエコシステム評価：生態系サービスと人類の将来，訳 横浜国立大学 21 世紀 COE 翻訳委員会，オーム社，241 pp., 2007.
71) Gowdy, J. H., Howarth, R. and Tisdell, C. : The Economics of Ecosystems and Biodiversity Ecological and Economic Foundations, Edited by Pushpam Kumar. Earthscan, London and Washington, 2010.
72) Bertelli, C. M. and Unsworth, R. K. F.: Protecting the hand that feeds us: Seagrass (Zostera marina) serves as commercial juvenile fish habitat, *Mar. Pollut. Bull.*, Vol. 83, pp. 425–429, 2014. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.08.011
73) Gómez-Baggethun, E., de Groot, R., Lomas, P. L. and Montes, C.: The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes, *Ecological Economics*, Vol. 69, pp. 1209–1218, 2010.
74) de Groot, R., Brander, L., van der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F., Braat, L., Christie, M., Crossman, N., Ghermandi, A., Hein, L., Hussain, S., Kumar, P., McVittie, A., Portela, R., Rodriguez, L. C., ten Brink, P. and van Beukering, P.: Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units, *Ecosystem Services*, Vol. 1, pp. 50–61, 2012.
75) 井芹絵里奈，岡田知也，秋山吉寛，渡辺謙太，桑江

朝比呂：干潟および干潟の生態系が有するサービスの定量化手法の考案，国土技術政策総合研究所資料，No. 890, 2016.
76) 岡田知也，秋山吉寛，黒岩寛，内藤了二，渡辺謙太，棚谷灯子，桑江朝比呂：干潟の環境価値の得点化とその活用，国土技術政策総合研究所資料，No. 1077, 2019.
77) 岡田知也，三戸勇吾，桑江朝比呂 編著：沿岸域における環境価値の定量化ハンドブック，生物研究社，p. 292, 2020.
78) Arrow, K., Solow, R., Portney, P. R., Leamer, E. E., Radner, R. and Schuman, H.: Report of the NOAA Panel on Contingent Valuation, *Federal Register*, Vol. 58, pp. 4601–4614, 1993.
79) Blackburn, M., Harrison, G. W. and Rutstrom, E. E.: Statistical bias functions and informative hypothetical surveys, *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 76, pp. 1084-1088, 1994.
80) Kenter, J. O., Brien, L. O., Hockley, N., Ravenscroft, N., Fazey, I., Irvine, K. N., Reed, M. S., Christie, M., Brady, E., Bryce, R., Church, A., Cooper, N., Davies, A., Evely, A., Everard, M., Fish, R., Fisher, J. A., Jobstvogt, N., Molloy, C., Orchard-Webb, J., Ranger, S., Ryan, M., Watson, V. and Williams, S.: What are shared and social values of ecosystems ?, *Ecological Economics*, Vol. 111, pp. 86–99, 2015.
81) Chilton, S. M. and Hutchinson, W. G.: A note on the warm glow of giving and scope sensitivity in contingent valuation studies, *Journal of Economic Psychology*, Vol. 21, pp. 343–349, 2000.
82) Nunes, P. A. L. D. and Schokkaert, E.: Identifying the warm glow effect in contingent valuation, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 45, pp. 231–245, 2003.
83) 岡田知也，三戸勇吾，秋山吉寛，増田孝文，村岡大祐，山北剛久，桑江朝比呂：干潟・アマモ場における食料供給の環境価値の推定方法，土木学会論文集B2（海岸工学），Vol. 76, No. 2, pp. I_973-I_978, 2020.
84) 環境省自然環境局：CVM による生物多様性の価値評価結果，http://www.env.go.jp/press/files/jp/24501.pdf, 参照 2020-12-20.
85) 永田豊，森裕子：日本の中期 CO_2 削減費用とモデル分析の課題，社会経済研究，Vol. 58, pp. 3-13, 2010.
86) Nordhaus, W. D.: Revisiting the social cost of carbon, *PNAS*, Vol. 114, pp. 1518-1523, 2017.
87) 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_2 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, 2015.
88) 国土交通省港湾局：ジャパンブルーエコノミー（JBE）技術研究組合の認可について～我が国初となるブルーカーボンに関する技術研究組合～，令和 2 年 7 月 10 日報道発表資料，https://www.mlit.go.jp/report/press/port06_hh_000200.html
89) Bennett, E. M., Peterson, G. D. and Gordon, L. J.: Understanding Relationships among Multiple Ecosystem Services, *Ecology Letters*, Vol. 12, pp. 1394–1404, 2009.
90) Ruijs, A., Wossink, A., Kortelainen, M., Alkemade, R. and Schulp, C. J. E.: Trade-off Analysis of Ecosystem Services in Eastern Europe, *Ecosystem Services*, Vol. 4, pp. 82–94, 2013.
91) Deng, X., Li, Z. and Gibson, J.: A Review on Trade-off Analysis of Ecosystem Services for Sustainable Land-use Management, *Journal of Geographical Sciences*, Vol. 26, pp. 953–968, 2016.

(Received September 9, 2020)
(Accepted March 19, 2021)

THE ESTABLISHMENT AND FUTURE PROSPECTS OF BLUE CARBON OFFSET SYSTEM AT HAKATA PORT

Yoshihisa SUGIMURA, Tomoko KOBAYASHI, Yugo MITO, Satoru YOSHIHARA, Tomonari OKADA and Tomohiro KUWAE

A blue carbon offset system and a system in which a part of the entrance fee and donations from companies and others are used as financial mechanisms for environmental activities at Hakata Port were established. However, the blue carbon offsetting system is not sufficiently appealing to the ESG management of companies because it is difficult to convincingly explain the effects of the system since it is not placed under the framework of the Paris Agreement and the amount of credit generated and sold is small. It is difficult to motivate companies to donate as there is no incentive for donors. In this paper, we present solutions to these problems and the future prospect of expanding the system to evaluate the co-benefits of seagrass meadows to enable the implementation of environment conservation and creation projects on a self-financing basis.