

横浜ブルーカーボン事業におけるカーボン・オフセットの運用及び拡大に関する検討

山田 晃史¹・吉原 哲¹・中田 泰輔²・鈴木 克彦¹・
上田 真紀子²・藤原 雄太¹・石井 彰³・吉田 美緒⁴

¹非会員 八千代エンジニアリング株式会社（〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8 CSタワー）

E-mail: ksh-yamada@yachiyo-eng.co.jp

²正会員 八千代エンジニアリング株式会社（〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8 CSタワー）

E-mail: nakata@yachiyo-eng.co.jp

³非会員 公立大学法人横浜市立大学（〒236-0027 横浜市金沢区瀬戸22-2）

E-mail: a_ishii@yokohama-cu.ac.jp

⁴非会員 横浜市温暖化対策統括本部（〒231-0017 横浜市中区港町1-1）

E-mail: mi11-yoshida@city.yokohama.jp

横浜市では、海洋を起点とした環境・社会・経済の好循環を生み出すため、“ブルーカーボン” “ブルーリソース” “親しみやすい海づくり”を推進する“横浜ブルーカーボン事業”の検討を平成23年度より行っている。

本報では、平成26年度から平成28年度までの取組内容について記す。横浜ブルーカーボン・クレジットの取引量は増加しており、平成28年度は25.1t-CO₂のクレジットが創出され、29.2t-CO₂が活用された。

クレジットの取引量の拡大等により横浜市内のCO₂吸収・削減プロジェクトの活性化を図るため、新たに「LNG燃料タグボートへの代替」, 「アマモ場の再生・維持」, 「海藻類の育成」によるCO₂吸収・削減量の算定に関するケーススタディを実施し、方法論の作成に向けた数式化を行った。

Key Words :blue carbon, blue resources, carbon offset, replacement to LNG-fueled tugboat, regeneration and maintenance of eelgrass forest, cultivation of artificial algal beds

1. はじめに

横浜市は、「横浜市地球温暖化対策実行計画」において温室効果ガス排出量を2005年比で2020年度までに16%、2050年度までに80%削減という目標を掲げ、地球温暖化対策に取り組んでいる。平成23年12月には環境問題や超高齢化への対応等の成功事例の創出・普及展開を目指す「環境未来都市」として選定された。また、気候変動対策に積極的に取り組む都市の国際的なネットワーク「C40」, 「イクレイ」に所属しているほか、平成27年3月には「CNCA (Carbon Neutral Cities Alliance)」のメンバーにアジアで唯一選出される等、先進的な取組や国内外への発信を行っている。

環境未来都市の取組の1つとして、市内臨海部をモデルに環境を切り口とした産業育成と環境教育の充実により温室効果ガスの削減と経済活性化を飛躍的に進める“横浜グリーンバレー構想”を推進している。

本構想で掲げる「海洋を軸とした温暖化対策」を民産

学官が一体となって取り組み、環境・社会・経済の好循環を創出するため、“横浜ブルーカーボン事業”の検討・試行を平成23年度より実施している。^{1) 2) 3)}

ブルーカーボンとは、平成21年に発表された国連環境計画の報告書「Blue Carbon」⁴⁾において命名された、海洋で生息する生物によって吸収・固定される炭素のことである。この報告書では、全世界のCO₂排出量のうち海洋全体の吸収量は約30%（その一部が海洋生物により固定）に及ぶことが示された。

平成28年度の段階で、パリ協定約束草案（INDC）でブルーカーボンあるいは浅海域生態系の活用について具体的に言及している国は、緩和策が151カ国中28カ国（約19%）、適応策が151カ国中59カ国（39%）である。日本はいずれにも言及していないが、平成29年2月に（一財）みなと総合研究財団及び（一財）港湾空港総合技術センターがブルーカーボン研究会を設立する等、ブルーカーボンは地球温暖化対策の新たな可能性として国内外で注目されている。

本稿では、環境システムに関する実践的試行のケーススタディとして、平成26年度から平成28年度における横浜ブルーカーボン事業の取組内容及び事業拡大に向けた新たなCO₂吸収・削減量の定量化検討結果について報告する。

2. 横浜ブルーカーボン事業の取組内容

(1) 横浜ブルーカーボン事業の概要

横浜ブルーカーボン事業は、温暖化対策を軸とした多様な相乗効果（環境面：温暖化対策や水質浄化、生物多様性保全、社会面：アメニティの充実や横浜ブランドの向上、経済面：資源や食料の供給量増加、観光客の増加等）の創出を目指している。

取組方針として、UNEPが提唱する“ブルーカーボン（海洋生物によるCO₂吸収）”に加えて、エネルギー、食料、バイオマス等の豊富な海洋資源を“ブルーリソース”と名付け、ブルーカーボンとブルーリソースが一体となった温暖化対策を推進することとした。さらに、市民協働による海づくりや環境教育・環境啓発を通じた“親しみやすい海づくり”を目指している。

以下の節では、横浜ブルーカーボン事業の取組として、「横浜ブルーカーボン・オフセット制度の運用」、「事業PR及び環境啓発活動」、「ロードマップの作成」、「事業の推進に向けた課題の整理」について報告する。

(2) 横浜ブルーカーボン・オフセット制度の運用

横浜ブルーカーボン事業を推進するため、平成28年度より横浜ブルーカーボン・オフセット制度の本格運用を開始した。

本制度の運用を通じて、ブルーカーボン又はブルーリソースによる温室効果ガスの吸収・削減量をブルーカーボン・クレジットとして認証し、本クレジットの売買によるカーボン・オフセットの促進を図った。

a) クレジットの認証

平成26年度から平成28年度までのクレジット認証実績を表-1に示す。本制度では、わかめ地産地消の推進と海水ヒートポンプの導入の2つの方法論のクレジットを認証している。わかめ地産地消は横浜市漁業協同組合、(株)横浜八景島、NPO法人海辺つくり研究会の3団体、海水ヒートポンプは(株)横浜八景島の1団体がプロジェクトを実施している。

クレジット認証実績は、平成26年度は3件、CO₂削減量16.7t-CO₂、平成27年度は4件、CO₂削減量18.6t-CO₂、平成28年度は4件、CO₂削減量25.1t-CO₂と推移し、プロジェクト実施者及びクレジット創出量ともに増加傾向となった。

表-1 クレジットの認証実績（H26～H28）

方法論	プロジェクト 実施者	クレジット創出量 (t-CO ₂ /年)		
		H26	H27	H28
わかめの 地産地消	横浜市漁業協同組合	13.7	16.0	22.3
	(株)横浜八景島	2.1	0.7	0.7
	NPO法人海辺つくり研究会		1.0	1.0
海水HP	(株)横浜八景島	0.9	0.9	1.1
合計		16.7	18.6	25.1

b) クレジットの活用

平成26年度から平成28年度までのクレジット活用実績を表-2に示す。平成26年度は1件、クレジット活用量3.2t-CO₂、平成27年度は2件、クレジット活用量22.8t-CO₂、平成28年度は4件、クレジット活用量29.2t-CO₂と推移し、クレジット活用者数及び活用量ともに増加傾向となった。

表-2 クレジットの活用実績（H26～H28）

クレジット活用者	ブルーカーボン・クレジット 活用量 (t-CO ₂ /年)		
	H26	H27	H28
横浜シーサイドトライアスロン大会 実行委員会	3.2	8.3	7.3
世界トライアスロンシリーズ 横浜大会組織委員会		14.5	18.8
タモリカップ実行委員会			2.1
石井造園(株)			1.0
合計	3.2	22.8	29.2

平成28年度のクレジット活用者別のオフセット実施状況を表-3に示す。クレジット活用者のオフセット量103.2t-CO₂に対して、ブルーカーボン・クレジットの創出量が不足したため、他制度のクレジットを74t-CO₂を購入し、補填した。

表-3 クレジット活用者別のオフセット実施状況（H28）

クレジット活用者	クレジット購入量 (tCO ₂)			合計
	ブルーカー ボン・クレ ジット	他制度の クレジット※	他制度 への依 存率	
世界トライアスロンシリーズ横浜大会組織委員会	188	14	42.7%	328
横浜シーサイドトライアスロン大会実行委員会	73		0.0%	73
タモリカップ実行委員会	21	2	48.8%	41
石井造園(株)	10	58	98.3%	590
合計	292	74	71.7%	1032

※他制度のクレジット（FMR、Jクレジット）においては1.0t-CO₂単位で購入するため、不足分の排出量の小数点第1位を切り上げた量をそれぞれ購入した。

(3) 事業PR及び環境啓発活動

横浜ブルーカーボンについて広く普及させるとともに、国内外にこの取組に関する情報を発信するために、事業PR及び環境啓発活動を行った。

a) ブルーカーボン・シンポジウム及びカーボン・オフセット証書授与式の開催

ブルーカーボン・シンポジウムは平成24年度以降5年連続で開催し、平成26年度以降は3年連続でカーボン・オフセット証書授与式を同時開催している。

b) プロジェクト実施者、クレジット活用者等と連携した環境啓発活動

クレジット活用者である横浜シーサイドトライアスロン大会実行委員会、世界トライアスロンシリーズ横浜大会組織委員会と連携し、大会EXPOブース等で環境啓発活動を行った。当日は、海藻おしば協会による「海藻おしば体験」や横浜市立大学や関東学院大学による「横浜産わかめの試食体験」、「競技用自転車による発電体験」等を実施した。その他にも、プロジェクト実施者である(株)横浜八景島の海育塾との連携、横浜・八景島シーパラダイスにおけるグリーンキッズ（東京湾に生息する生きもの観察ツアー）の実施、東京湾大感謝祭でのブース出展等、幅広く環境啓発活動を実施した。環境啓発を目的として作成した主な広報資料は表-4に示すとおりである。

表-4 環境啓発を目的として作成した主な広報資料

広報資料	掲載URL
横浜ブルーカーボン事業の紹介チラシ (図-1参照)	http://www.city.yokohama.lg.jp/onda/n/ygv/bluecarbon/h28ybcchirasi.pdf
横浜産わかめを活用したレシピ (内容は横浜市立大学や関東学院大学が考案)	http://www.city.yokohama.lg.jp/onda/n/ygv/bc-soupbar-shidai-tonyutantan.pdf http://www.city.yokohama.lg.jp/onda/n/ygv/bc-soupbar-kanto-wakatoma.pdf
世界トライアスロンシリーズ横浜大会出場者への取組説明資料	http://www.city.yokohama.lg.jp/onda/n/ygv/bluecarbon/carbonoffset/2017wts.pdf
世界トライアスロンシリーズ横浜大会におけるブース出展結果報告ポスター	http://www.city.yokohama.lg.jp/onda/n/ygv/bluecarbon/s-2016wts.pdf



図-1 横浜ブルーカーボン事業の紹介チラシ

(4) ロードマップの作成

平成26年度及び平成27年度にこれまでの検討結果を踏まえ、横浜ブルーカーボン事業の枠組みを課題解決の視点から再構築し、とくに解決すべき短期的課題を整理した(図-2参照)。整理した結果をもとに、短期(～2017年)、中期(～2020年)、長期(～2050年)のマイルストーンを設定し、項目・時期ごとに目指す姿を検討した

(図-3参照)。さらに、2017年(短期)の目指す姿の実現に向け、当面実施すべき事項を整理し、目標値を設定した。

平成29年度は、短期の期間の最終年であることから、目標値の達成度の評価を行い、計画の見直しを行う予定である。

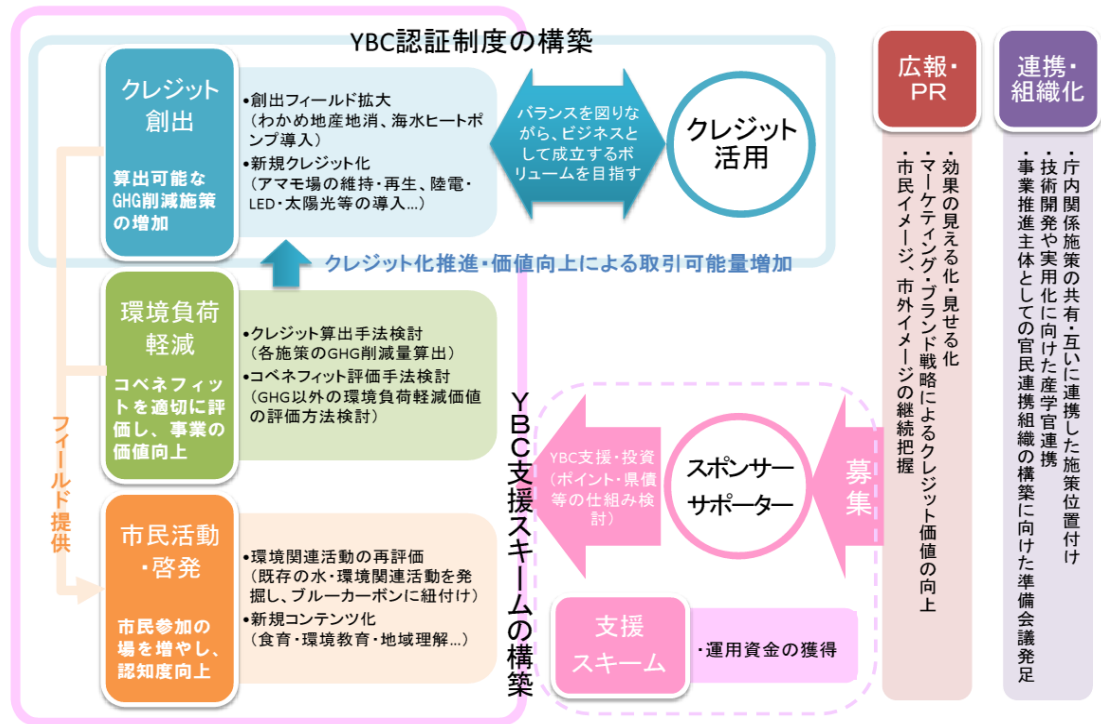
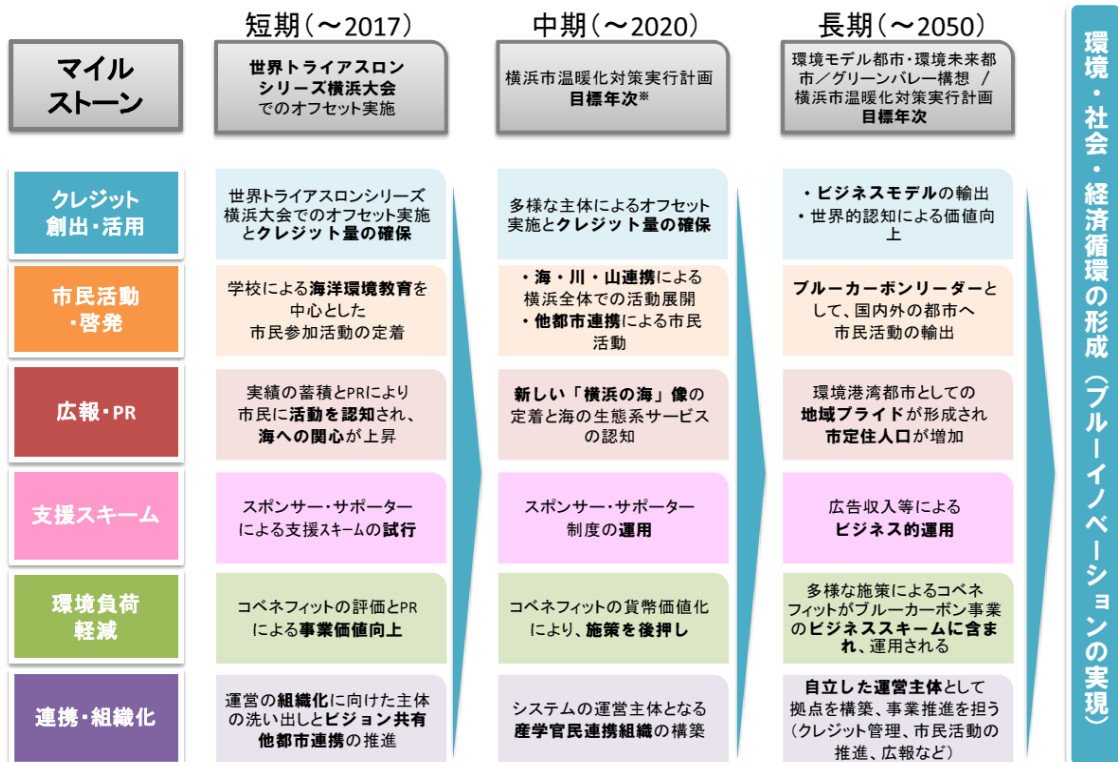


図-2 事業の枠組みと短期的課題



※日本としては、第30回地球温暖化対策推進本部で温室効果ガス排出量を2030年度に2013年度比-26.0%の水準とする約束を決定し、国連気候変動枠組条約(UNFCCC)事務局へ提出している(H27.7)。

図-3 短期・中期・長期の目指すべき姿

(5) 事業の推進に向けた課題の整理

今後の横浜ブルーカーボン事業を展開していく上での課題と検討事項を表-5に示す。

表-5 今後の課題および検討事項

項目	主な課題	今後検討すべき事項
横浜ブルーカーボン・オフセット制度	・クレジット制度の様式の入力事項が多く、プロジェクト実施者自身での作成が困難	・クレジット制度の申請書類の簡易化等による関係者の負担軽減策の検討
	・カーボン・オフセットを実施した団体へのインセンティブの不足	・優良団体の表彰や関係者と連携した取組PRや広報活動の仕組み検討 ・クレジット売却益の使用用途報告に関する仕組検討
	・カーボン・オフセットの拡大	・ブルーカーボンに関心の強い団体への広報・連携検討
新たな方法論の導入	・クレジット量の不足	・LNG燃料タグボート、陸電供給、海藻類のブルーカーボン等の新たな方法論の導入検討
	・ブルーカーボンを取り巻く社会情勢等の変化に対する対応	・大型海藻類(わかめやコンブ等)のブルーカーボン算定の方法論導入検討
事業PR	・新規クレジット活用者との連携強化	・イベントや広報等における効果的な連携方法について検討
	・周辺の小学校・中学校との連携	・総合学習やイベント、横浜・八景島シーパラダイスとの連携等において、小学校・中学校を対象とした環境教育を検討
	・ブルーカーボン拠点の形成	・横浜・八景島シーパラダイス等の施設やプログラムを活用した拠点形成について検討
その他	・CO ₂ 削減効果以外のコベネフィットの評価	・CO ₂ 削減以外のコベネフィットを含めた総合的な海づくり推進 ・コベネフィットの見える化、伝え方に関する検討

3. 新たなCO₂吸収・削減量の算定方法論検討

前章で示したとおり、本事業においてはクレジット活用者のニーズに対してクレジット創出量が不足している。今後さらに事業を推進していくためにも、新たなCO₂吸収・削減量算定の方法論導入等により、プロジェクト実施者及びクレジット創出量を増加させることが求められている。

以上より、既存の2つの方法論（わかめ地産地消の推進、海水ヒートポンプの導入）に加え、「LNG燃料タグボートへの代替」、「アマモ場の再生・維持」、「海藻類の育成」によるCO₂吸収・削減量の定量化について検討した。

CO₂吸収・削減量の算定方法論策定に当たっては、「信頼性（クレジットの信頼性確保のためにCO₂削減量の算定精度が高いこと）」と「簡便性（クレジット創出者の負担軽減のために極力簡便であること）」が同時に求められる。両者はトレードオフの関係にあるため、両者のバランスのとれた算定方法を策定することとした。

(1) LNG燃料タグボートへの代替

国土交通省港湾局は、平成28年6月から横浜港LNGバンカリング拠点整備方策検討会を開催し、国際コンテナ戦略港湾でありLNG基地が立地する横浜港をモデルケースとし、日本初となるLNGバンカリング拠点の整備方策について検討を進めている。そこで、実際に横浜港で運行しているLNG燃料タグボートを対象としたケーススタデ

ィを行い、LNG燃料タグボートのCO₂吸収・削減量の数式化及び試算を行った。さらに、コベネフィットの定量評価として、大気汚染物質排出抑制量（NO_x, SO_x, PM）の試算を行った。

a) CO₂吸収・削減量の定量化の考え方（LNG燃料タグボートへの代替）

「重油燃料により航行するタグボート（従来式）」から「重油燃料とLNG燃料により航行するタグボート」に代替した場合のCO₂吸収・削減量の数式化を行った（式(1)参照）。CO₂吸収・削減量を算定にあたっての方針は表-6のとおりとした。

$$\begin{aligned}
 & \text{LNG燃料タグボートへの代替による年間CO}_2\text{吸収・削減量 (t-CO}_2\text{/year)} \\
 &= \text{ベースライン排出量 (t-CO}_2\text{/year)} - \text{プロジェクト排出量 (t-CO}_2\text{/year)} \\
 &= \{ (F_{PJ} \times HV_{PJ} \times CR_{BL} \times BU_{BL}) - (F_{PJ} \times HV_{PJ} \times CR_{PJ} \times BU_{PJ}) \} \times 44/12 \\
 &= \{ (F_{PJ}(t) \times 54.6(\text{GJ/t}) \times 0.950 \times 0.0189(\text{tC/GJ})) - \\
 & \quad (F_{PJ}(t) \times 54.6(\text{GJ/t}) \times 0.900 \times 0.0135(\text{tC/GJ})) \} \times 44/12
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

F_{PJ} : LNG使用量(t) HV_{PJ} : 使用量あたりの単位発熱量(GJ/t) (LNG)
 CR_{PJ} : 高位発熱量から低位発熱量への換算率 (LNG)
 CR_{BL} : 高位発熱量から低位発熱量への換算率 (重油)
 BU_{PJ} : 炭素排出係数(t-C/GJ) (LNG)
 BU_{BL} : 炭素排出係数(t-C/GJ) (重油)

表-6 LNG燃料タグボートへの代替によるCO₂吸収・削減量の算定方針

	算定のルール
方針1	以下の理由から、単位作業量の単純比較が難しいため、プロジェクト前後の仕事量（発熱量）は、変化しないものとして計算する ①同一時間の稼働であっても仕事量が変化する ②具体的にタグボートが牽引する対象物が異なる
方針2	プロジェクト実施後の起動時や動力不足時におけるアシスト分の重油使用量については、プロジェクト実施前後で一定であるものとみなし、算定対象外とする（図-4参照）

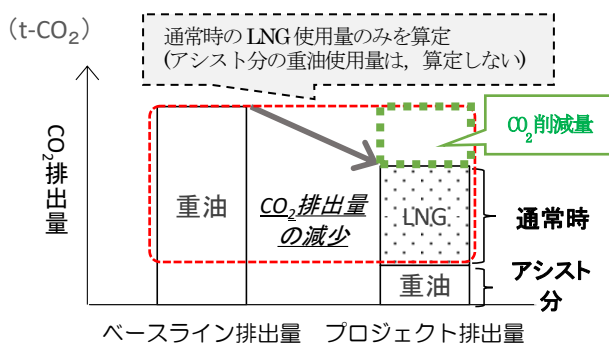


図-4 LNG燃料タグボートへの代替によるCO₂吸収・削減量の算定イメージ

なお、LNG燃料タグボートへ代替する場合であっても、表-7、条件1～3のいずれかに該当する場合には「適用条件」を満たさないこととした。

表-7 LNG燃料タグボートへの代替による方法論の適用除外条件

	本方法論の適用除外の条件
条件1	代替後のLNG燃料タグボートの情報がない場合
条件2	故障若しくは老朽化等により代替前の重油式タグボートを継続利用できない又は継続利用できても導入から法定耐用年数の2倍を超えている場合
条件3	代替後のLNG燃料タグボートによって可能となる作業内容が代替前の重油式タグボートの設備で実現し得ない場合（ただし、タグボートの使用実態に変更が無いことが証明できる場合は省略可能）

b) CO₂吸収・削減量の試算（LNG燃料タグボートへの代替）

平成29年2月、3月の2か月間を算定対象期間としてLNG燃料タグボートのCO₂吸収・削減量の試算を行った。

CO₂吸収・削減量は31.553t-CO₂/2monthとなり、同程度の稼働状況が1年間継続した場合は年間約190t-CO₂/yearが見込まれることがわかった。

表-8 LNG燃料タグボートへの代替によるCO₂吸収・削減量試算結果

項目	単位	ベースライン排出量	プロジェクト排出量	CO ₂ 削減量
LNG使用量※1	t / 2month		27.15	
単位発熱量※2	GJ / t		54.6	
換算係数(高位→低位)※2	-	0.95	0.9	
炭素排出係数※2	t-C/GJ	0.0189	0.0135	
CO ₂ 換算比率	-		3.67	
CO ₂ 排出量	t-CO ₂ /2month	97.593	66.040	31.553

※1 ヒアリング結果

※2 参考文献8)に掲載、参考文献6) 7) をもとに一部単位換算

c) コベネフィットの定量評価（LNG燃料タグボートへの代替）

LNG燃料タグボートへの代替によるコベネフィットとしては、NO_x、SO_x、PMの排出量抑制が想定される。そこで、大気汚染物質排出抑制量（NO_x、SO_x、PM）の試算を行うことを目的として、CO₂吸収・削減量の算定式と同様の考え方を用いて、数式化を行った（式(2)参照）。

LNG燃料タグボートへの代替による年間大気汚染物質排出抑制量(t-X^{*}/year)

$$= \text{ベースライン排出量}(t-X^*/\text{year}) - \text{プロジェクト排出量}(t-X^*/\text{year})$$

$$= \{ (F_{PJ} \times HV_{PJ} \times CR_{LNG} \times BU_{LNG}) - (F_{PJ} \times HV_{PJ} \times CR_{PJ} \times BU_{PJ}) \} \times 1/1000 \quad (2)$$

F_{PJ} : LNG 使用量(t) HV_{PJ} : 使用量あたりの単位発熱量(GJ/t) (LNG)

CR_{PJ} : 高位発熱量から低位発熱量への換算率 (LNG)

CR_{LNG} : 高位発熱量から低位発熱量への換算率 (重油)

BU_{PJ} : 大気汚染物質排出係数(t-X^{*}/GJ) (LNG)

BU_{LNG} : 大気汚染物質排出係数(t-X^{*}/GJ) (重油) X^* : NO_x, SO_x, PM

LNG燃料タグボートの代替による大気汚染物質排出抑制量（NO_x、SO_x、PM）の試算を行った。

大気汚染物質排出抑制量のうち、NO_xは0.927t-NO_x/2month（削減率87.0%）、SO_xは0.240t-SO_x/2month（削減率99.2%）、PMは0.059t-PM/2month（削減率93.7%）となり、年間約5.6t-NO_x/year、約1.4t-SO_x/year、約0.4t-PM/yearの排出抑制量が見込まれることがわかった。

表-9 LNG燃料タグボートへの代替による大気汚染物質排出抑制量 (NO_x, SO_x, PM) 試算結果

項目		単位	ベース ライン 排出量	プロジ ェクト 排出量	削減量
LNG使用量※1		t / 2month	27.15		
単位発熱量 ⁵⁾		GJ/ t	54.6		
換算係数(高位 →低位) ^{6) 7) 8) ※2}		-	0.95	0.9	
NOx	排出係数 ⁹⁾	kg-NOx/GJ	0.756	0.104	
	排出量	t- NOx/2month	1.065	0.138	<i>0.927</i>
SOx	排出係数 ⁹⁾	kg-SOx/GJ	0.172	0.002	
	排出量	t- SOx/2month	0.242	0.002	<i>0.240</i>
PM	排出係数 ⁹⁾	kg-PM/GJ	0.045	0.003	
	排出量	t- PM/2month	0.063	0.004	<i>0.059</i>

※1 ヒアリング結果

※2 参考文献8) に掲載、参考文献6) 7) をもとに一部単位換算

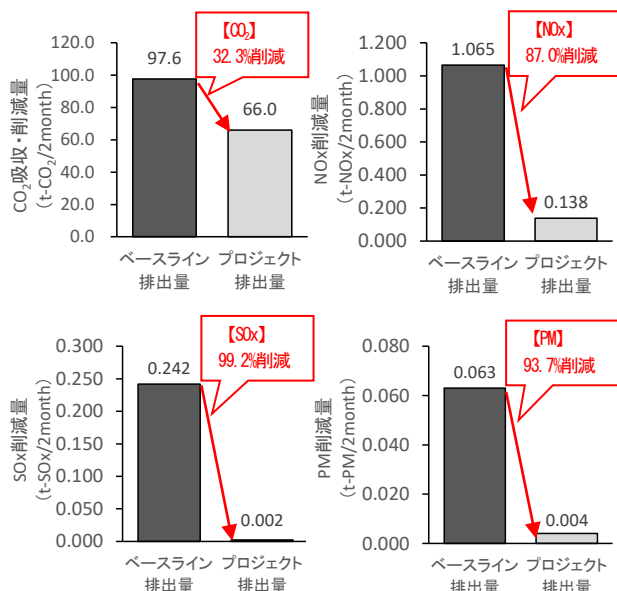


図-5 プロジェクト実施による各指標の削減率(CO₂, NO_x, SO_x, PM)

(2) アマモ場の再生・維持

山田ら (2015) ³⁾ のアマモ場の再生・維持によるCO₂吸収・削減量の算定式を活用し、海の公園 (横浜市金沢区) におけるアマモ場を対象としたCO₂吸収・削減量の算定を試行した。

a) CO₂吸収・削減量の定量化の考え方(アマモ場の再生・維持)

沿岸域に生育するアマモ場から枯死または流出した一部の個体が、難分解性の有機物として海底に堆積する量をCO₂吸収・削減量 (=ブルーカーボン) と見なした。¹⁾

アマモ起源の炭素の一部は海底に堆積するが、海底への堆積量のモニタリングは困難である。そこで、現地観

測したアマモの現存量に、文献値⁷⁾ をもとに設定した炭素固定係数等に乗じることにより、アマモ場によるCO₂吸収・削減量を算定した (式(3)参照)。

算定対象は、現地での面積把握における判断が比較的容易であり、かつ、CO₂吸収・削減量の差がわずかであったことから³⁾、「密生域のみ」とした。

年間CO₂吸収・削減量(t-CO₂/year)

$$\begin{aligned}
 &= \text{アマモ場密生域のアマモ現存量 (kgWW)} \times (1 - \text{含水率}) \\
 &\quad \times \text{炭素含有量 (kg-C/kgDW)} \times \text{炭素固定係数 (/年)} \\
 &\quad \times 44/12 \times 1/1000 \\
 &= (\text{面積 (m}^2\text{)} \times \text{単位面積当たりの湿重量 (kgWW/m}^2\text{)}) \times \\
 &\quad (1 - 0.842) \times 0.323 \times 0.115 \times 44/12 \times 1/1000 \quad (3)
 \end{aligned}$$

b) CO₂吸収・削減量の試算(アマモ場の再生・維持)

海の公園に生育するアマモ場密生域のアマモ現存量の把握を目的として、海の公園の管理区域内で平成27年度から平成29年度のアマモの繁茂期 (6月) に面積調査と単位面積当たりの湿重量調査を実施した。

面積調査は、平成27年度は(株)横浜八景島及び市民と連携して実施し³⁾、平成28年度、平成29年度は海の公園の維持管理受託者と連携して実施した。湿重量調査はすべての年において横浜市が実施した。現地調査の概要を表-10に示す。

表-10 アマモ場現地調査の概要

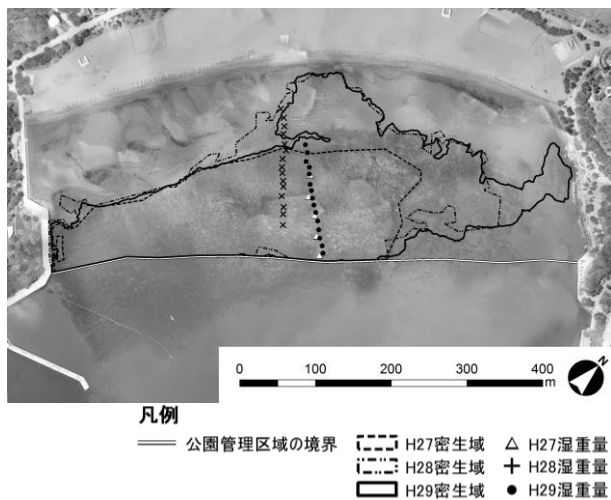
	面積調査	湿重量調査
日時	平成27年6月20日 (土) 平成28年6月21日 (火) 平成29年6月26日 (月)	平成27年7月2日 (木) 平成28年6月21日 (火) 平成29年6月26日 (月)
場所	海の公園 (公園区域内のアマモ場密生域周辺)	同左 ^{※1}
実施者	海の公園の維持管理受託者 (金沢臨海サービス(株)、横浜市 (H27は横浜市、(株)横浜八景島、市民))	横浜市
手法	・アマモの密生域の外縁を移動し、簡易GPSロガーを用いて位置情報を記録 ・密生域外縁のラインデータより面積を算出 (H27はポイントデータから算出)	・アマモ場密生域15箇所程度 ^{※2} において、アマモの刈り取り ^{※3} を実施 (陸から沖にかけて一定間隔で地点を設定) ・刈り取った個体は、地点別に湿重量・草丈・株数を測定

※1 アマモの刈り取りは、アマモ場への調査影響を考慮し、航路確保のためのアマモ刈り取り区域内で実施

※2 平成27年度は6箇所、平成28年度は15箇所、平成29年度は15箇所を実施

※3 各箇所で50cm×50cmのコドラート枠内のアマモ刈り取りを実施

平成27年度から平成29年度までの海の公園におけるアマモ場密生域の面積調査結果を図-6に示す。平成29年度の面積は82,448㎡となり、平成28年度に比べて北側に生育範囲が拡大したことにより、約2,411㎡増加した。



※空中写真(1)H26撮影

図-6 アマモ場密生域の面積調査結果(海の公園, H27~H29)

平成27年度から平成29年度までの海の公園におけるアマモ場密生域の湿重量測定結果を表-11に示す。

CO₂吸収・削減量の算定においては、サンプル数の蓄積により原単位としての信頼性を向上させるため、累積平均値を使用することとし、平成27年度から平成29年度までの累積平均値は3,335g/㎡(サンプル数=36)となった。

表-11 アマモ場の湿重量調査結果(海の公園, H27~H29)

	サンプル数 (地点)	湿重量 (g/㎡)	標準偏差
H27	6	1,807	879
H28	15	2,717	1,341
H29	15	4,564	1,277
累積平均		3,335	1,927

平成27年度から平成29年度までの海の公園におけるアマモ場密生域のCO₂吸収・削減量を表-12に示す。

平成29年度のCO₂吸収・削減量は5.917t-CO₂/yearとなり、平成27年度及び平成28年度と比較すると、面積の増加に伴い約0.2~2.2t-CO₂/year増加した。

表-12 アマモ場密生域のCO₂吸収・削減量試算結果

項目		単位	調査結果		
			H27	H28	H29
面積		㎡	51, 289	80, 037	82, 448
湿重量	当該年	kgWW/㎡	1. 807	2. 717	4. 564
	使用値 ^{※1}	kgWW/㎡	3. 335		
密生域の湿重量		kgWW	92, 679	196, 651	274, 973
含水率 ^{※2}		－	0. 842		
炭素含有量割合 ^{※1)}		kg-C/kgDW	0. 323		
炭素固定係数 ^{※3}		－	0. 115		
CO ₂ 換算比率		－	3. 667		
アマモ場密生域のCO ₂ 吸収・削減量		t-CO ₂ /year	3. 681	5. 744	5. 917

※1 H27~H29までの累積平均値

※2 参考文献12) 13) をもとに算定

※3 参考文献10) をもとに算定

(3) 海藻類の育成

Dorte Krause-Jensenら(2016)²⁰⁾により大型藻類の炭素固定量が定量化されるとともに、平成29年2月には(一財)みなと総合研究財団及び(一財)港湾空港総合技術センターによりブルーカーボン研究会が設立され、ブルーカーボンによるCO₂削減効果に着目した、藻場の分布等の現状把握や藻場等の拡大に向けた社会的な枠組みの構築等の検討が進められている。

そこで、実際に横浜市沿岸域で養殖されている海藻類を対象としたケーススタディを行い、海藻類の育成によるCO₂吸収・削減量の数式化及び試算を行った。

a) CO₂吸収・削減量の定量化の考え方(海藻類の育成)

本報では、横浜市漁業協同組合金沢支所が養殖するコンブを対象として検討を行った。なお、検討にあたっては、アマモ場の再生・維持によるCO₂吸収・削減量の考え方を踏襲し、CO₂吸収・削減量の数式化を行った(式(4)参照)。算定式に用いた係数について、含水率及び炭素含有量は既往の知見をもとにコンブの個別値を設定し、炭素固定係数はDorte Krause-Jensenら(2016)²⁰⁾による大型藻類全般の数値(深層へ隔離される溶存有機物・粒状有機物の割合)を設定した。

年間CO₂吸収・削減量(t-CO₂/year)

$$\begin{aligned}
 &= \text{コンブの生産量(kgWW)} \times (1 - \text{含水率}) \times \text{炭素含有量(kg-C/kgDW)} \times \text{炭素固定係数(/年)} \times 44/12 \times 1/1000 \\
 &= (\text{面積(㎡)} \times \text{単位面積当たりの湿重量(kgWW/㎡)}) \times \\
 &\quad (1 - 0.8089) \times 0.3 \times 0.113 \times 44/12 \times 1/1000 \quad (4)
 \end{aligned}$$

b) CO₂吸収・削減量の試算(海藻類の育成)

平成27年度における横浜市漁業協同組合金沢支所のコンブ養殖によるCO₂吸収・削減量の試算を行った。CO₂吸収・削減量は、生コンブが0.064t-CO₂/year、乾燥コンブが1.666t-CO₂/yearとなり、その合計は1.700t-CO₂/yearとなった。

表-13 海藻類の育成によるCO₂吸収・削減量試算結果

項目	単位	生コンブ	乾燥コンブ
生産量※1	kgWW	2,700	13,400
含水率※2	-	0.8089	
炭素含有量割合 ¹⁹⁾	kg-C/kgDW		0.3
炭素固定係数 ²⁰⁾	/year		0.113
CO ₂ 換算比率	-		3.667
CO ₂ 固定量(製品別)	t-CO ₂ /year	0.064	1.666
CO ₂ 固定量(全体)	t-CO ₂ /year		1.700

※1 H27横浜市漁業協同組合金沢支所生産実績

※2 参考文献14) 15) 16) 17) 18) の含水率の平均値を使用

4. 今後の展望

横浜ブルーカーボン事業は、横浜市内の沿岸域において実施されているCO₂吸収・削減プロジェクトの効果を定量評価し、カーボン・オフセット等のスキームを通じた資金調達や広報等による支援により、活動が活性化することを目指している。

資金調達のスキームとしては、平成28年度に横浜ブルーカーボン・オフセット制度の本格運用を実施した。クレジット創出量・プロジェクト数、クレジット活用量・活用者数は徐々に増加しているものの、現在では「わかめ地産地消の推進」及び「海水ヒートポンプの導入」の2つの方法論を活用した4つのプロジェクトによる年間25.1t-CO₂（平成28年度実績）のクレジット認証にとどまっている。クレジット活用のニーズは高まっており（他制度を含めたクレジット活用量103.2 t-CO₂、平成28年度実績）、新たなCO₂吸収・削減量算定の方法論導入等により、プロジェクト実施者及びクレジット創出量を増加させることが求められている。

今後横浜市内におけるCO₂吸収・削減プロジェクトのさらなる活性化を図るためにも、平成29年度中の「LNG燃料タグボートへの代替」によるCO₂吸収・削減量のクレジット化や、平成30年度前後を目途にした「アマモ場の再生・維持」、「海藻類の育成」、「ハイブリッドタグボートへの代替」、「停泊船舶への陸電供給」等によるCO₂吸収・削減量のクレジット化を目指し、新たな算定方法論の作成や関係者調整等を進めている。

また、関係者の満足度向上を目指し、クレジット制度の申請書類等の簡易化による関係者の負担軽減策の検討や、優良団体の表彰や関係者と連携した取組PRや広報活動の仕組み検討、地球温暖化対策以外のコベネフィットの見える化（算定、伝え方等）等について検討を実施する計画である。

平成27年9月の国連サミットで採択された「持続可能な開発のための2030アジェンダ」にて、「SDGs」が2016年から2030年までの国際目標として記載された。「環境

未来都市」の概念はSDGsの「ゴール11（持続可能な都市）」に通じており、横浜ブルーカーボン事業はSDGsの「ゴール4（教育）」、「ゴール7（エネルギー）」、「ゴール9（技術革新）」、「ゴール13（気候変動）」、「ゴール14（海の豊かさ）」に関連する取組である。横浜ブルーカーボン事業としては、今後SDGsとの関係性の見える化等により取組の場や関係者の拡大を図り、環境・社会・経済の好循環を生み出すことを目指して、今後も継続して検討を行う予定である。

謝辞：本事業の検討に当たっては、横浜市漁業協同組合や(株)横浜八景島、NPO法人海辺つくり研究会、世界トリアスロンシリーズ横浜大会組織委員会、横浜シーサイドトリアスロン大会実行委員会、タモリカップ実行委員会、石井造園(株)、横浜市立大学、関東学院大学、海藻おしば協会、横浜ブルーカーボン検討委員の皆様にご多大なるご協力をいただきました。この場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 信時正人，本田裕一，中田泰輔，吉原哲，岩本淳：横浜ブルーカーボンの取り組みについて，第41回環境システム研究論文発表会講演集，2013.
- 2) 山田晃史，吉原哲，中田泰輔，岩本淳，石井彰，鈴木克彦，檀智之，大島貴至，信時正人：横浜ブルーカーボン事業における社会実験の計画立案に関する検討，第42回環境システム研究論文発表会講演集，2014.
- 3) 山田晃史，吉原哲，中田泰輔，岩本淳，石井彰，鈴木克彦，檀智之，大島貴至，信時正人：横浜ブルーカーボン事業におけるカーボン・オフセットの実践，第43回環境システム研究論文発表会講演集，2015.
- 4) UNEP：Blue Carbon, 2009.
- 5) 温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル(Ver.4.3)，2017
- 6) 経済産業省資源エネルギー庁：総合エネルギー統計，2015.
- 7) 経済産業省資源エネルギー庁：総合エネルギー統計，2016.
- 8) 国内における地球温暖化対策のための排出削減・吸収量認証制度（J-クレジット制度）モニタリング・算定規程（排出削減プロジェクト用）Ver.2.8，2017.
- 9) 南斉規介，森口祐一：固定発生源 NO_x, SO_x, PM 排出係数データベース（EF-JASS, ver.2），地球環境研究センター，独立行政法人国立環境研究所，2012.
- 10) （独）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：平成23年度地球温暖化対策推進費委託事業「藻場・干潟の炭素吸収源評価と吸収機能向上技術の開発」報告書，2012.
- 11) 寺脇利信，玉置仁，西村真樹：広島湾におけるアマモ草体中の炭素および窒素総量，水研センター研報，第4号,25-32，2002.

- 12) 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.
- 13) 川端豊喜，茅田弘莊，乾政秀，平山和次：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，59(3)，455-459，1993.
- 14) 横屋敬七：リシリコンブの乾燥に関する研究，農化第 50 巻，第 4 号，p.151-156，1976.
- 15) 横屋敬七：リシリコンブの乾燥収縮について，農化第 51 巻，第 5 号，p.281-286，1977.
- 16) 横屋敬七：養殖マコンブの復水特性とテクスチャーについて，Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries，47(12)，1637-1641，1981.
- 17) 木幡進，墨利久，種村公平，坂本卓，下田誠，浅川牧夫：八代海で養殖された海藻の特質と素材化に向けた酵素処理の検討，J. Technology and Education，Vol.15，No.1，pp.1-10，2008.
- 18) 飯田訓之：コンブの機械乾燥における注意点～平成 16 年度釧路昆布製品改善品質向上講習会から～，試験研究は今 NO.529，北水試だより 67，2005.
- 19) 堀正和・桑江朝比呂（編著）：ブルーカーボン-浅海における CO₂ 隔離・貯留とその活用-，2017.
- 20) Dorte Krause-Jensen and Carlos M.Duarte：Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration，nature geoscience 9，737-742，2016

(2017. 8. 25受付)

Study on Application and Expansion of Carbon Offset in the "Yokohama Blue Carbon Project"

Koshi YAMADA, Satoru YOSHIHARA, Yasusuke NAKATA,
Katsuhiko SUZUKI, Makiko UEDA, Yuta FUJIWARA,
Akira ISHII, Mio YOSHIDA

In Yokohama, we have been carrying out “Yokohama Blue Carbon Project” since 2013. This aims to promote “Implementation of Blue Carbon project”, “Implementation of Blue Resources project” and “making the sea more friendly and accessible” to produce the virtuous circle of environment, society and economy, starting from the ocean.

In this paper, we describe the contents of our efforts from 2014 to 2016 fiscal year. The amount of transaction of blue carbon credits has been increasing, as credits equivalent to 25.1 ton of carbon dioxide (CO₂) were created and 29.2 ton were utilized in 2016. In order to achieve further expansion of blue carbon credit transaction in Yokohama to promote CO₂ fixation and reduction projects, we newly conducted a case study related to the calculation of the amount of CO₂ fixation and reduction by “replacement to LNG-fueled tugboat”, “regeneration and maintenance of eelgrass forest” and “cultivation of artificial algal beds”, and developed mathematical formulas for creating methodologies.