

世界に貢献する港湾空港技術

PARI

VOL.44

JULY 2021

Airport

Technology

Port

2 __ Front Line - 特集 -

2050年カーボンニュートラル
実現のカギは、
ブルーカーボンにあり

6 __ Close Up 現場からの報告

思いがけない出来事から生まれたブルーカーボン素材
石炭灰、銅スラグを用いた
重量ブロックによる藻場造成実験

8 __ Front People 研究者の広場 挑戦する研究者たち

科学的視点で予測する
3つの「ブルー」の将来図

12 __ Focus On 研究活動の最前線へ

浅海生態系による気候変動緩和効果の高精度予測に役立つ研究
世界全体の浅海生態系の
2100年までの面積変化を予測

費用対効果の高いハイブリッド型インフラを追求
生物共生型防波堤を、新たな
サンゴの着生基盤(ブルーインフラ)に

ブルーカーボンの定量的評価のベースとなる研究
現地調査と生物地球化学的手法で
ブルーカーボン生態系の炭素隔離機能を探る

15 __ TOPICS

桑江朝比呂 沿岸環境研究グループ長らが
土木学会論文賞を受賞しました

2050年カーボンニュートラル 実現のカギは、 ブルーカーボン※にあり



国土交通省 港湾局
海洋・環境課長 **松良 精三**さん



港湾空港技術研究所
沿岸環境研究領域 沿岸環境研究グループ
桑江 朝比呂 グループ長
(ジャパンブルーエコノミー技術研究組合 理事長)



NPO法人 海辺づくり研究会
理事・事務局長 **木村 尚**さん

沿岸海域生態系のCO₂吸収・固定能力に着目したブルーカーボン研究。

本誌では16号（2014年7月発行）、27号（2017年4月発行）で

その進展を紹介してきましたが、ここへきて大きなうねりが。

世界が、そして日本が、脱炭素社会の実現に向けて大きく舵を切るなか、

あらためてその重要性にスポットが当てられています。

国交省、NPO、研究所と、それぞれの立場でブルーカーボンに関わる3名に、

近年の取り組みや現状、政策課題としての展望などについて

意見を交わしていただきました。

※ 海域に固定される炭素。海がCO₂を吸収する能力。



ブルーカーボン生態系におけるCO₂吸収のしくみ

降の大きな流れを実感します」
桑江「国の目標が『排出ゼロ』になった瞬間、吸収源の持つ意味ががらりと変わったんですよ。何%削減ということなら、排出抑制を頑張れば達成できる。でもゼロを達成するとすると、絶対に抑えられない残余排出がありますから、その分を最後に吸収源を使って相殺しないと無理なんです。吸収量自体は少なくても、あと一歩どつしても減らせないと、たぶん今後なっていく。2008年にブルーカーボンの研究を始めて13年。ずっと、排出抑制だけやれば

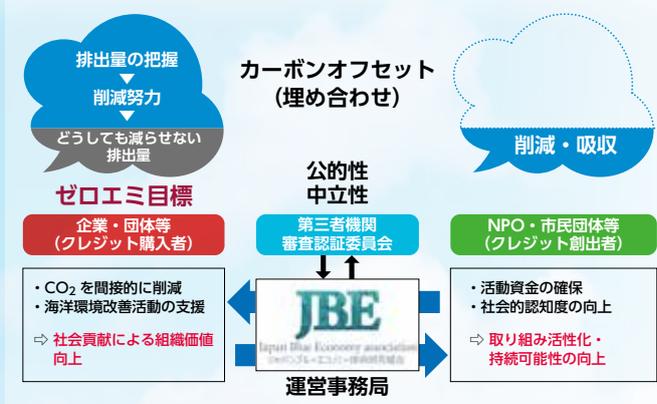
いいって、吸収源には全然意味がないって言われてたんですけど、溜飲が下がりましたね(笑)」
松良「排出抑制+吸収で実質ゼロにするというのがカーボンニュートラルへの転換イメージ。つまりブルーカーボンに対して今後、吸収源としての機能を大きく求められるというわけです。これまでのCO₂削減の流れとは大きく変わりましたね」
桑江「企業の反応も、こういうゲームチェンジが起きた瞬間に一変しました。とにかくカーボンクレジットを買わなければと、そういう企業も多くなっちゃった。本当ならこんな目標が立てられる前からもっと積極的に活動して、削減したり吸収量を増やしたりしてはしかなかったんですけどね」

海辺の環境課題を「自分ごと」にするために
木村「私がアマモの活動を始めた2001年頃。1994年から1998年にかけて

昨2020年10月の臨時国会において、菅総理は「2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」と宣言。これがエポックメイキングに。さらに2021年4月に、2030年度までの温室効果ガス削減目標を2013年度比46%とすることが発表されました。
 また、2020年7月には、海洋の活用による気候変動対策に関する試験開発等を行う国土交通大臣の認可法人「ジャパンブルーエコノミー技術研究組合（JBE）」（所在地は港空研内）の設立も。
 これまで10年以上にわたって積み重ねてきたブルーカーボンの取り組みに、いま新たな光が射しています。

俄然、注目される吸収源
 排出抑制+吸収で実質ゼロへ

松良「行政の流れが環境のほうにくぐって向いてきたという印象ですね。政府全体として、CO₂削減に向けてどうしていくかということが非常に大きな政策課題になりつつある。各府庁が連携しながら検討会などで議論を進めています。ブルーカーボンについても、実は今回、経産省が中心となって策定した『2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略』の中に、CO₂吸収源の一つとしてしっかりと入っているんですね。JBEで進めていただいている定量化も含めた評価手法の確立や、カーボンクレジット化の推進といったことが、国の政策レベルに反映されてきた。まさに、昨年10月以降の大きな流れを実感します」



ブルーカーボン・オフセットクレジット制度のイメージ

木村「海の活動に企業を巻き込もうとしても、1社を口説くのには4〜5年かかりますからね。もともと企業を口説こうと思っただのは、われわれNPOが一般参加者を集めてアマモの活動をやっても限界があるから。せいぜい年間3000人しか動かせない。でも東京湾を本当に良くするには流域人口の3000万人が動くしかないんですよ。3000人を3000万人に近づけようとする、日本の場合には企業の社員に動いてもらうしかない。CSR活動として社員を連れてきてやってくれる企業もあれば、社員の福利厚生に活用してくれる企業もあります。海で社会貢献活動をやりながらリフレッシュして、終わったらバーベキューとか、楽しみながらやってくれている。そういうのが大切かなと思いますね」
松良「多様な主体との連携ということは昔から言われていますが、こと環境の分野ではそれが一番重要で。民間企業、市民、NPOと、いろんなところとつまく連携しないことには動いていけない。われわれ行政側の仕事というのは、ある意味コーディネーターで、プレイヤーは市民の方だったりNPOの方であったりするのか。その場、づくりを行政側でしっかりお手伝いしていくことがポイントなんだろうなと思っています」

行われた横浜港新港地区のシーブルー事業（海域環境創造事業）のあと、せっかく浚渫・覆砂して劇的にきれいになったその場所の環境が元の木阿弥にならないように、市民活動としてアマモ場再生に取り組んだのがスタートです。その後、金沢区の海の公園やベイサイドマリナなどに拡大。極力いろんな方々を巻き込んで、協同してやっていく形をとっています。たくさんの人間が関わって、ちよつとずつお金を出して行うというのが肝。住民が直接動かなければ、環境なんてよくなりませんからね。なんとかそこに向かう方法はないかと、探りながらやってきた」

桑江「そういえば、なぜアマモだったんですか？」

木村「市民でできそつな技術を探った結果、行き着いたのがワカメの活動とアマモの活動だったんです。当時アマモの活動に関しては瀬戸内海で先進的に進んでいましたが、市民が携わってというのは、たぶん横浜が最初だったと思います。並行してやっていたワカメの活動は、マイワカメという格好で1人1株ずつ植えてもらって、育ったら味噌汁にして食べるというイベントにしました。そうすると、自分の食べものがあるところにゴミは捨てないし、環境を守ろうという意識が生まれる。しかも水質浄化につながり生きものも増え、CO₂の固定にもなる。『みんなの胃袋で東京湾をきれいにしましょう』って言いながらやってきたのがよかったのかもしれないですね。うまく、自分ごと、にできた。マニユアル化もして、アマモの活動はもう全国100カ所超えているんじゃないかな」

桑江「ワカメは食べられるので、一般人にもアピールしやすい。でも食べられないアマモの場合は難しくして。もちろん緑が揺れて見た目にきれいだし、水もきれいになるんですけど、それを、活動しながら実感してもらいにくいんですよ。一番ネックなのは、水の中の二酸化炭素の濃度が簡単には測れないこと。やっぱり、アマモが繁ると濃度が下がるんだということが目に見えて感じられないと、自分ごととして興味を持ちにくいと思うんですよ。まずは測ることが大事なので、それをいま考えているところです」

ブルーカーボンに実利的なベネフィットの付加を

桑江「国全体の2030年度までの削減目標が引き上げられたことで、次には各セクターがどの程度それを担うのか、港湾はそのうち何%・何十寄与するのか、そういったわれわれの身近なところに目標が下りてくると思うんです。JBEとしても、ポトムアップで大きな目標を掲げていかないと」

松良「いまJBEや検討会でも議論いただいています。できれば2023年度を目標に国際的な認知が得られるブルーカーボンの定量的評価指標を確立し、イベントリ（温室効果ガス排出・吸収目録）登録をしっかりとやっていきたい。それが一つですね。もう一つ、こちらはできれば今年度中に、ブルーカーボンを温対法（地球温暖化対策の推進に関する法律）の中のCO₂吸収源項目として位置づけようと、いま環境省と調整しているところです。明確にどれくらいのCO₂を吸収できるかということが定量化できれば、企業にそれをクレジットとして買ってもらう、その分を企業のCO₂削減量としてカウントしていただく。実現すると、企業がブルーカーボンに対する何らかの行動をした場合はそれがCO₂削減量としてカウントされるので、これも大きな動機づけになる。海辺の活動に関与していただくきっかけになるんじゃないかと思っています」

桑江「イベントリより先にそつちを攻めていくのはすこいです」

松良「ブルーカーボンを拡げていくには民間企業の支援や参画が必要ですが、われわれはみんなB/C（ビーバイシー…費用便益比）の世界で動いていますからね。ベネフィットは何ですか？という話になる。CSR活動ではあるけれど、広報効果だけではない、実利のあるベネフィットを提示してみせることが非常に重要かなと思っています。クレジットも含めた環境ビジネスとしてうまく回していくためにも、そこはしっかり位置づけていきたい」

脱炭素化に配慮した港湾機能の高度化を目指す

松良「いま港湾局では、脱炭素化に配慮した港湾機能を高めて温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする『カーボンニュートラルポート（CNP）』を形成すべく、検討会を開いて議論を進めています。CO₂排出量の約6割を占める産業の多くは港湾・臨海部に立地するので、ここから出るCO₂の削減を港を通じてお手伝いしようというもの。例えば石炭火力発電においてはアンモニアを入れて混焼することでCO₂削減に取り組むことになる。今後、大量のアンモニアや水素の輸入が必要になるため、港湾には国際サプライチェーンとしての機能確保が求められます」

木村「ただ、そのアンモニアをつくるのも電氣を使うでしょう？」

松良「そこが問題なんです。いま考えているのは、オーストラリアなどで再生可能エネルギーを用いて褐炭から製造した水素をアンモニアに変換した、いわゆるCO₂を





洋上風力発電施設を 海の環境に活かす取り組みも

桑江「せっかく洋上風力発電の施設がほとんどできていますので、それにも藻を生やして吸収源としてうまく使えないかということも考えていて。例えば事業者と水産部門の人とJBEや港空研で、何か一つモデル事業みたいなことができるいいなと思っています。あと、漁業や環境への影響というところでは案外まだきちんと調べられていなくて、海中音についてや、魚への影響などもあまりわかっていない。研究面でも面白いところが残っている感じですね。海外が興味を持って調べるのはクジラやイルカについてはかなりなので、例えば海外の事業者がどんどん入札に入ってきたとき日本の漁業や事業そのものをどうやって守るかとなると、そういう配慮や知見を、日

排出していないアンモニアを使うということ。これでカーボンニュートラルを目指したい」

木村「そこをなんとか国内でできるといいんですけどね」

松良「おっしゃるとおりですね。実は環境省の試算では、いま日本にある洋上風力発電のポテンシャルを全部足すと、国内電力供給量の1.5倍くらいの賦存量になるといわれています。もちろんコストの問題は解決しないといけません。今後さらに大規模化・高効率化していくことで、日本はもしかすると、国産でエネルギーを賅える国になるかもしれない。それを目指して、いま取り組みを進めています」

桑江「理論的には可能なんですね？ それ嬉しい話ですよ」

松良「そこにCO₂吸収源であるブルーカーボンをうまくあわせ、環境立国としてやっていくというのが、われわれのこれから目指すべき道だと思っています」



本はやっぱり大事にしないといけないと思います」

松良「いま水産庁でも、音響が魚に与える影響について実験が行われていますね。われわれも地元の水産組合から継続的に漁業影響調査をやってくださいと言われています。運転中に超低周波の振動がどういふふうに周囲に影響を及ぼしているかというの、やっぱり継続的に観測して科学的なデータを集めていかないと。魚だけでなく、藻場などブルーカーボンに絡む生態系の生育がどうなっていくのかも。たぶん基礎部に観測装置をつけることになると思いますが、造ったら終わりではなく、運用しながらいろいろな知見を貯めていくということが、洋上風力発電には求められていると思います」

木村「売電益の一部を市民の環境活動に寄付する動きも出てきたし、そういう意味でも大きな可能性を感じますね」

世界的な脱炭素化の波に乗る ブルーカーボンもその柱に

松良「アメリカも中国もカーボンニュートラル達成という目標を掲げたいま、日本も本気でやらざるを得ない。これからは環境価値を持っている港でないとコンテナ船もクルーズ船も入って来ないような、それが前提になって経済も物流も人流も動くような、そんな世界になっていくでしょう。取り残されないための具体的な施策の一つが先述のCNP。港湾内の物流系の車両をすべて水素に置き換えられないかという取り

組みも、自動車会社と協力して進めようとしています。今回われわれが打ち出している計画は海外と比べてもかなり野心的なものなので、ぜひとも実現していきたい」

桑江「B/CのCが、これからはコストじゃなくてカーボンに変わる。単位排出削減量あたりどれだけの利益が上がるかとか、もう完全にルールが変わるんです。まさにゲームチェンジ」

松良「CO₂が出ないエネルギーでもって、日本の産業なり物流なりを動かしていく。20年後、30年後にはもしかするとそういう時代になっているんじゃないかと」

桑江「正直、2050年という目標を達成するためには、本当の意味でのイノベーションが必要だと思っています。いまネガティブだと思っているものを、反転して完全にポジティブに変えるようなアイデアが必要。そこに多少の投資や時間を割くことも許容するようになっていけばいいなと思います」

木村「僕には東京湾を世界遺産にしたいという目標があるんですよ。これだけ経済的に発展し、高度に利用されているながら海の環境も豊かで、そこで人々が幸せに暮らしていたら、世界の本本にできるじゃないですか。その仕組みの中の一つの柱がブルーカーボンだったりしたらすばらしいなって」

松良「まだブルーカーボンって一般にはあまり知られていないですね。いかに周知活動をしていくかというのも、検討会での課題の一つ。国民のみさんの後押しがないと政策も動けないし、民間企業の協力も得られないので、そのベース部分をどう底上げしていくかが重要だと考えています」

思いがけない出来事から生まれたブルーカーボン素材

石炭灰、銅スラグを用いた 重量ブロックによる藻場造成実験

港空研と電源開発株式会社が共同開発している
“ブルーインフラ”を目指した重量ブロックについて、
開発に至る経緯や調査結果などを取材しました。

電源開発株式会社
技術開発部 茅ヶ崎研究所



所長 鍵本広之さん

港湾空港技術研究所
沿岸環境研究領域 沿岸環境研究グループ



土木技術研究室
野崎渉太さん

港湾空港技術研究所
構造研究領域 構造新技術研究グループ



桑江朝比呂 グループ長



渡辺謙太 主任研究官



川端雄一郎 グループ長



中村 重 研究官

鍵本「2018年から段階的に、石炭灰重量モルタルの強度や耐久性の確認、藻類の付着や促進の特徴を調査する『生物付着性能評価』、メカニズム解明』、そして東海域での『藻場造成、漁場造成効果の評価』を目的に実験・調査を行ってきました」

海洋の構造物には主にコンクリートが使用され、材料として天然資源の砂利や砂の他にCO₂を多量に排出するセメントが使用されます。今回の技術開発は、石炭灰と銅スラグを主原料に少量のセメントを加えて製造したモルタル（石炭灰重量モルタル）を、コンクリートの代替品として使用できないか検討し、CO₂削減を図るとともに機能（重量）の向上を目指すこと。さらに、この石炭灰重量モルタルで製造したブロックに付着した藻類によるCO₂吸収を図る（ブルーカーボン）ことを主な目的としています。

**水際に設置したブロックには
1年程度で海藻がびっしりと付着**

2018年より港空研と電源開発株式会社との共同で、石炭灰と銅スラグを用いた重量ブロックによる藻場造成に向けての技術開発が進められています。これは、グレーインフラ、グリーンインフラ（※）を合わせたブルーインフラの研究で、港空研の沿岸環境研究グループと構造新技術研究グループが携わっています。今回は、電源開発（株）茅ヶ崎研究所が北九州で実施している実証試験の春調査に同行し、開発の経緯や今後の課題などについてお話を伺いました。

鍵本「被災の翌年に1年かけてこの重量ブロックの強度と耐久性試験を行い、2015年に試作品をつくって実際に1個だけ北護岸に置き、さらにその翌年から年間200〜250個つくって補充する工事を始めました。その時

取材時に海中に暴露された重量ブロックと試料を見せていただきましたが、かなりの量の藻が付着しているのが確認できました。水際に設置したブロックでは、設置後1年2ヶ月経過時点で約20年経過したものよりも多くの海藻が見られ、従来のコンクリートブロックより藻類の付着や育成に良好であることがわかりました。

**ブロック開発のきっかけは
瓢箪から駒のようなでぎこと**

石炭灰重量ブロック開発のきっかけは、2013年秋に起きた高波浪被災だったといえます。鍵本「女界灘に面した北側護岸が被災し、消波ブロックも一部ずれ落ちてしまいました。その後、ブロックを補充して入れ込む補修工事の計画を行い、初年度は通常の生コン（生コンクリート）で消波ブロックをつくったのですが、波が当たっても動かない、もっと重いブロックをつくれなかと考えました。その時は藻が付くブロックなんてみじんも考えておらず、骨材の代わりに比重の高い素材の銅スラグにしようと思ったのです」

鍵本「副産物を使った製品は純正品に比べると、品質は落ちるし価格は高いのが一般的です。でも、このブロックは副産物を使っても安くできるし、重量を重くできる。重量は2〜3割増しで、生コン屋さんの単価より2〜3割安いのです。誰もやったことがないことを、とりあえずやってみようよと一歩踏み出したことがよかった」

桑江「材料などのブロック開発側、つまりグレーインフラ側がうまくブルーカーボンに繋がると一石二鳥です。今回は、それが偶然にも理想的なカタチでできました」

**広めるにはCO₂削減の指標や
評価をする仕組みが必要**

鍵本「0は何をかけたも0だけど、0が1になれば1に100かけたら100。0と1の違いはものすごく大

※ グレーインフラ：コンクリート構造物など人工的に整備された社会基盤。グリーンインフラ：マングローブやサンゴ礁など生態系を活用した社会基盤。



大きい。そういう意味で実証試験的にもぜひ使ってほしい。実際に使うとメリット・デメリットがよくわかってきますから、ここは良い、ここは良くない」と評価してもらいたい」

桑江 「例えば関空（関西国際空港）ではいろいろな消波ブロックが使われ、私にとってはショーケースみたいに見えました。これも例えばブルーカーボンブロックとして、どこかモデル的な港か自治体などで一回使ってもらえるといいですね」

川端 「今後、公共工事においてCO₂を削減する必要がありますが、そもそもCO₂をどれだけ排出していて、今後各プロセスでどこまで減らすべきかが明確でない。公共工事でもCO₂削減効果を積極的に評価する仕組みもない。われわれのグループでは、現在、第1ステップとしてCO₂削減効果を評価する仕組みを考えているところです。昨年、菅首相が宣言した2050年カーボンニュートラルに向けての機運が高まれば、例えばこのブロックのコストが高くなったとしても環境負荷などの観点で指標ができて、良いものだということがわかればどんどん広がっていくと思います」

分野を横断することでの相乗効果に期待

川端 「前例のない新しい技術を実際の現場で使ってもらうには、情報発信と各分野の技術者の相互理解がすごく大事。横断研究で相互理解が進めばシナジー効果も出てきます。この技術開発も、グレイインフラに詳しい鍵本さんも、ブロックの藻に興味をもち、ブルーカーボンやグリーンインフラが専門の桑江さんと出会ったことで広がっていった。お互いが理解することで、新しい考え方が生まれ、カーボンニュートラルにまで展開できるポテンシャルを付与できている。横断研究をどんどん広げていくことで大きな声になると思います」

渡辺 「ブルーカーボンは10年くらい前から研究がスタートし、最初の頃は人の手があまり加わっていない生態系での研究を続けてきましたが、ここ数年になつて人の手でいかにCO₂吸収源を増やしていくかということが変わってきました。ですから今回のような実際の構造物を使ってCO₂吸収を促していくような研究はいいタイミングだったし、個人的にも新鮮で面白いですね」

中村 「私は昨年度まで行政の業務に携わっていて、4月から港空研に came しました。研究所に来て、この技術開発にグリーン側とブルー側、両方の視点が必要であるように、多角的な視点で物事を見て考えることの重要性を感じています。行政や研究所など各所と横断的な交流を増やすことが重要だと思います」

野崎 「このブロックの将来は、適用先をどこに広げるかということがポイントだと思います。電源開発だけが

やったところで数が限られますし、他に適用したところで大量に使えるかわからない。他組織などに使ってもらうためにはわれわれだけでは無理なので、港空研さんに協力いただきながら客観性のある評価を得て進めています。また消波ブロック以外の使い方というのも検討していて、川端グループ長にも相談しながら行っているところです」

鍵本 「このブロックは一般的なコンクリートの約60%のCO₂排出量で、技術的にはさらなる削減も可能です。是非ともこの情報誌を港関係の方々たちに読んでもらって、こういう技術があることを知ってもらい、うちでやってもいいというところが手を上げてくれたらいいですね」



石炭灰重量モルタルと生コンクリートを対象とした平板試料を海中に暴露。3種類の異なる試料（生コンクリート、石炭灰重量モルタル、石炭灰重量モルタルの表面を粗くしたものを）、それぞれ3個ずつ異なる水深帯に設置。



4種類のブロック（鉄鋼スラグ水和硬化体、生コンクリート、クリンカコンクリート、石炭灰重量モルタル）を沈設。外洋側と内洋側に各ブロックを3個ずつ異なる水深帯に設置。



藻場造成実験 実施場所



採取した平板試料の一部



重量ブロック藻類付着状況



重量ブロック藻類付着状況

科学的視点で予測する 3つの「ブルー」の将来図

ブルーカーボン、ブルーインフラ、ブルーエコノミー。

これら3つの「ブルー」の現状と、今後の発展の可能性とは？

今回、桑江朝比呂グループ長が声をかけたのは、複数の分野を移動しながら

海の利用や生態系の研究に取り組んできた異色の研究者たち。

日本の海の未来について、語り合っていました。



港湾空港技術研究所

沿岸環境研究領域 沿岸環境研究グループ

桑江朝比呂 グループ長

(ジャパンブルーエコノミー技術研究組合 理事長)

公益財団法人 笹川平和財団

海洋政策研究所 海洋政策研究部

主任研究員 渡邊 敦さん

(ジャパンブルーエコノミー技術研究組合 理事)

東京大学 大気海洋研究所

国際連携研究センター

教授 牧野光琢さん

国立研究開発法人 水産研究・教育機構

水産資源研究所 水産資源研究センター

社会・生態系システム部 沿岸生態系グループ

グループ長 堀 正和さん

消費する側の意識を変え
サステナブルな海へ

堀 海藻・海草の研究つめちやくちや規模が小さくて、漁業と同じく後継者がいないんですよ。ブルーカーボンの分野も、せっかく世の中が大きく動こうとしているのに、実際にそれに対応できる若い人があまり育っていない。これはちょっと問題だと思う。

牧野 一方で、食料としての水産物という意味では、海藻はすごく重要なんですよ。

桑江 肉食から魚や海藻を食べる方向に食生活をシフトさせることで、CO₂排出を減らそうという流れもある。実際、牛のゲップがそれなりに大きな排出になっているらしくて。あと、森林を切り拓いて牧草地にしたりというのも排出になっちゃうから、積み上げるとけっこうなインパクトになるみたいです。

堀 いまは欧米人も海藻を食べるようになってきましたからね。スーパーで売ってますよ。彼らはたぶん海藻を分解する酵素を持っていないから消化できないのに、それでも口にするっていうのは、それだけ世界が変わってきたということ。なのに、もともと海藻文化のある日本で、養殖なんかもどんどん先細りしていくというのには危機感を感じます。例えばワカメなら、いまでは8割が中国産でしょ？日本では欧米ほど環境によいものを選ぶということが浸透していないから、これからブルーカーボンが広まって世界中で養殖しだして、それが食料として出てきたらもっと怖い。

牧野 生産過程や流通過程でかかる環境負荷っていうのは価格に反映されていないから、仮に海を傷めて生産したものだとしても、日本が持続可能な形で生産したものに比べてどうしても安くなる。その環境負荷の

分をしっかりと考慮に

入れさすれば、

日本はそんなに

競争力が低い

とは思わない

んですけれどね。

渡邊 消費者

の意識ってい

うのも結構あっ

て。価格の安さと鮮

度の二点を非常に重視し

て、サステナビリティとかは買う際の視点に

入ってこないんですよね。そもそも表示もあ

まりされていない。

桑江 やっぱり意識を変えていかないと

いけないということになりますね。

牧野 消費者側の意識は絶対大事。クオリ

ティに見合う、ちゃんとした値段を払って食

べるということは、ある意味、消費者の責任

だと思えます。でも、例えばその魚が環境破

壊的な漁法で獲られたのか、持続的な漁法

だったのかという情報が、日本のマーケット

で買うときにはないんですよね。意識を変え

ていくには、そういう情報をきちんと伝える

ことも重要です。

堀 SDGsの取り組みが始まってから、

農林水産省のほうでは国産の質のよいもの

を消費者に届けるという活動を始めてい

て。一応その動きには、一部大手の小

売りも乗ってくれている。これから

そちらにシフトしていくと思います

よ。表示シール付きで、50円とか60

円くらい高くなるんですけど。

牧野 そういうプライスプレミアム

の選択を消費者に求めるのは、ちょっと

と難しいと思うんですよね。ただ、値段が

同じなら消費者の多くは環境に優しいほう



を選ぶ。ですから、値段は同じにして環

境によい商品のシェアを上げていく

という戦略のほうか、たぶん現実的

だと思います。

桑江 総量としては小売りより

業務用のほうが多いんじゃないで

すか。外食産業や加工にまわるも

のについては、食べる側は全然わ

からない。

牧野 そういう意味では政策的なルー

ルづくりも大事ですね。ただ私、そんなに

悲観してないんですよ。いまの東京大学の学

生たちは就職活動のとき、企業の大ききより

も、いかにサステナビリティを考えた経営を

しているかといったことのほうをものすこ

く見ている。やっぱり危機感があるんでしょ

ね。優秀な若い子がこういう企業を選んで入

るならば、その企業は必ず伸びるだろうし、

そうしたら案外いけるのかもなと。ちょっと

期待を持っています。

桑江 若い人はなんでそんなに危機感を？

牧野 毎日のように異常気象とか地球温暖

化って聞かされていますし、本当にヤバイなと

思っていると思う。生き残り戦略でしょうね。

堀 なら、この20年の発信や教育はうまく

いったということですかね。2001〜

2005年に

国連の主導で

行われたミ

レニアム生

態系評価の

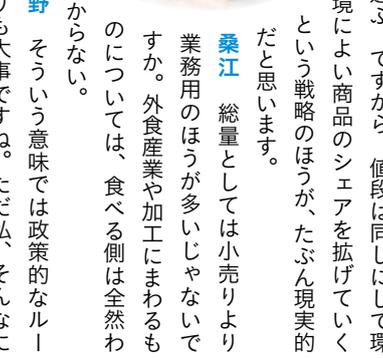
とき、本当

に危ないと

思っている人っ

てほとんどいな

かったと思うから。



牧野 確かにね。1997年の京都議定書

のときも、温暖化ってそんなにイメージでき

る話じゃなかった。あれから25年くらい経っ

て実感するようになりましたし、たぶん人も

育っている。そういう若者がいまのわれわれ

の年代になるのが20年後ですから、その頃ま

でにどういうオプションを準備してやれる

か、そういう土台をつくれるかということ

が、人材育成と同時に重要なのかな。その意

味で、ブルーカーボンの活動は重要な手段の

一つだと思いますね。

環境保全につながる

海洋産業の発展を目指す

桑江 20年後のブ

ルーエコノミーとし

ては、具体的にいま

からどう変化してい

るといいなと思いま

すか？

渡邊 海を守りなが

ら利用することで、

経済や社会全体をサ

ステナブルに発展さ

せていこうという

のが、ブルーエコノ

ミーのベースとなる

考え方ですからね。

例えば魚が獲れば

何をしてもいいわけ

じゃないし、環境保

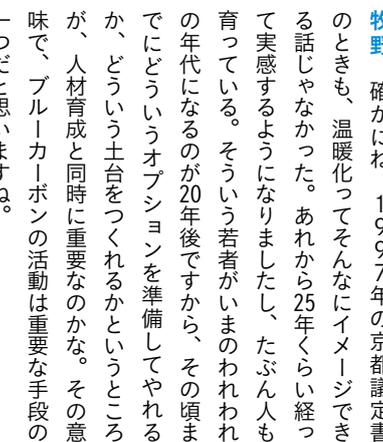
全だけやればいいわ

けでもない。一つひ

とつの要素だけみる

のではなく、総合的

に結び付けなけれ



ば。それこそカーボネフィット。トレードオフ

が生じない、海洋産業を中心に据えたまちづ

くりのようなことがしていきたい。

桑江 まちができるのと面白いですよ。漁村

というのとは違う、新しい海のまちが。

渡邊 横浜とかも可能性はあると思います

よ。備前市なども面白い取り組みをしています、

実際にアマモは増えている。あとはそこに、

いかに経済性を持たせるか。それが経済や社

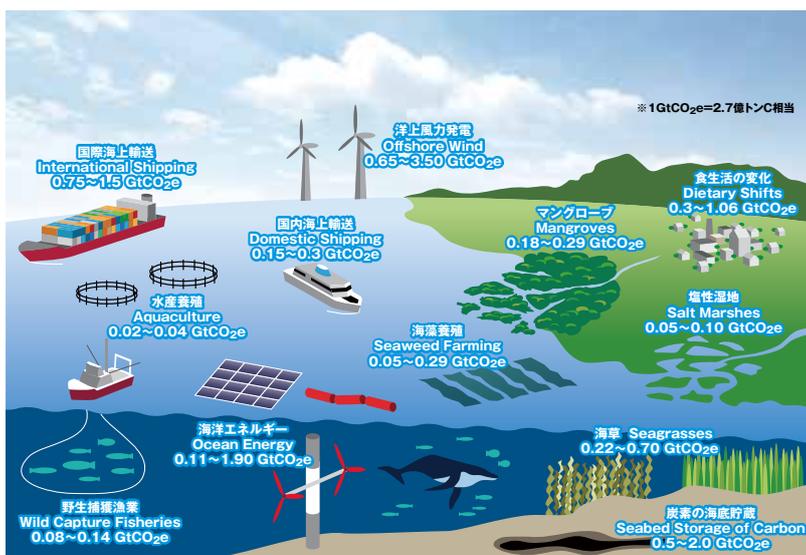
会を元気にしていることを、いかに示してい

けるかどうかだと思います。

桑江 高い機械を使わないとなかなか測れ

ないCO₂の「見える化」も、夢の一つです。

渡邊 海のデータにもっと付加価値をつけ



海洋を活用した気候変動緩和策と2050年の年間緩和ポテンシャル(1GtCO₂e = 2.7億トンC相当) Hoegh-Guldberg et al. (2019) から引用
 海洋を活用した気候変動緩和策には、ブルーカーボンの活用のほかに洋上風力発電等の海洋再生可能エネルギーの推進や海運からの温室効果ガス排出削減、食生活の変化、海藻養殖の推進などがある。数値は年間のCO₂排出削減量。

られるといいですよ

ね。データが売

れるようにな

れば、もっと

データをと

る行為にも

見通しがで

きるし、そう

したら、CO₂を

測ることもどん

ん容易になるかもし

れない。あとは、個人の行動で

出るCO₂が計算できるアプリなんかもあり

ますよね。自分がどれくらい排出していて、

海はどれくらい吸収していて、組み合わせる

とオフセットできるとか。こういうスマホで

できるようなことを拡げていくのも結構「見

える化」のゾーンの二つだと思えます。

桑江 そうですね。自分の普段の暮らし方で

CO₂がどれだけ出ているか個人単位でわか

れば、もしかすると勝手に解決するのかな？

堀 いや、意識の高い人はやってくれるで

しょうけど、全員がそうではないですすか

ね。「知らないうちに実はもう貢献している

という状態をつくらないと。いま水産研究・

教育機構では、漁業者が使う漁具そのものに

センサをつけてもらって環境デー

タをとるといことを始めていま

す。魚に出れば出るほど、漁業者

が知らないうちに、海のデータ

が集まってくる。それが環境保

全にも、彼らの漁そのものに

も活かされる。いまの技術でそ

れが可能になってきたので、そ

ういう方向に舵を切りつつあり

ます。

牧野 海に出れば出るほど海がよく

なるとい

なるような産業にできたら、若い人たちも

もっとたくさん漁師になりたいと思う

でしょうね。食料も生産できるわけ

だし。

桑江 サステナビリティ完璧！

それは夢がありますね。

堀 データが売れるようになれば、

安定した収入源にもなりますか

らね。

桑江 漁業者の経験がデータ化される

ことにもなるわけだから、過去のデータをも

とに漁の効率化が図れたりも？

堀 水産庁のCO₂削減には入ってますよ。

漁場を最初から選んで行くと、使用燃料が減

らせる。排出源の削減になります。

発想の転換で探る

ブルーインフラの可能性

渡邊 そういう意味では活用しきれていな

いプラットフォームって、水産業以外でもい

ろいろあるでしょうね。船もそうだし、たぶ

んこれから洋上風力発電施設も。

桑江 そうそう、もう一つのキーワード、

ブルーインフラ。いま洋上風力発電施設をう

まく漁業に使ったり、ブルー

カーボンの対策に使う

といった試みはある

んですが、それ以

外で何か面白い

のはないかなと

思っています。

渡邊 船はす

ごく大きいと思

いますよ。船の脱

炭素化についてはそ

れはそれで進むと思

います。ほかに、例えばマイクロプラスチック

ク量など付加価値的なデータをとるプラット

フォームとして使おうと、いま大手海運会社

と話しているところですよ。それから、いま単

一の目的に使っている、例えば地震のための

センサとかで、もし他のものを測れば、そ

れだけでも、貴重なプラットフォームにな

る。制度的なものが必要になると思いますが、

どんな可能性があるか議論したほうがいいで

すよね。

桑江 海底に張りめぐらされているケーブ

ルなんかもそうですね。

堀 インフラだけじゃなく、データもそう。

いまは一つのためのデータはそ

の目的にしか使わないけど、これがビッグ

データになったらちよつと変わってくるかな

と思います。

牧野 海と陸の接点という意味で、港とか海

岸というの重要な場ですよ。そこででき

ることもたくさんあると思う。CO₂の吸収

源にもできるし、EcoDRR（※）にも使

える。人間の暮らしが一番近いところだし、

陸から出るゴミをとることもできるでしょう

し、教育の場としても大事。生物多様性や生

産性も高い。やはり沿岸というところは、プ

ラットフォームとして重要だと思いますよ。

桑江 土木は基本コンクリートの世界です

けど、それを真つ向から否定するのではなく、

コンクリートをグリーン化するか、そ

うことは考えなきゃいけない。新しいアイデ

ア、発想の転換が必要になります。

牧野 今年の1月から「持続可能な開発のた

めの国連海洋科学の10年」というのが始まり

しましたが、そのなかで重視されているのが

「Transformative Ocean Science」という概

念です。日本語では「変革的海洋科学」。好奇

心駆動型の、知識を生み出すことに価値を置

いた従来の学術からアップグレードし、これ

からの海洋科学は、現場の実業家たちと一緒

にデザインするものになる。自動的に社会実

装され、すぐにクレームを含めた反応が返っ

てくるので、われわれサイエンス側としても、

そこからさまざまなイノベーションの種が見

つかるはずだと。そういうアプローチに変わ

りつつあります。

桑江 海のことを一括でやる「海洋省」みた

いなのはできないですかね。この先20年の間

に、一つの組織にしてしまおうか。

牧野 内閣府の総合海洋政策本部は、まさに

それを目指しているんですけどね。まだ設立

して14年なのでこれからですが、徐々にその

方向に動いていて、よい兆しは見えてきてい

ると思います。各省庁個別の施策ではできな

いことを、総合海洋政策本部の首頭取りで、

複数の省庁が一緒になってやり始めている。

時間はかかると思いますが、今後その効果が

科学的に評価できれば、だんだん普及してく

るはず。われわれ科学者が、自然科学も社会

科学も一緒になって、そういう視点から総合

海洋政策をやったほうが得なんだということ

をちゃんと示すことができたなら、そういう

ふうに動かざるを得ないでしょう。

大阪万博は大きなチャンス

めざせ海藻の産業利用

桑江 CO₂吸収を狙って横浜の八景島で進

められていたコンブ栽培のプロジェクトが、

収穫後の買い手がなかなかつかずに難航して

いるんですけど、いっそコンクリートに混ぜ

るしかないかな(笑)。そうしたら本当のハイ

ブリッド。可能かどうかはともかく、原材

料とか建材として海のものを使うっていうの

は悪くないアイデアですよ。

※ Ecosystem-based disaster risk reduction : 生態系を活用した防災・減災。



堀 しっかり吸収源になりますしね。
渡邊 ちょうどいま、2025年の大阪万博の話をしていて。建てたパビリオンは開催から半年以内に撤去しないといけないので、それをサステナブルなもので造りたいという話が出てくるんです。そこで提案できるかもしりませんね。全部は無理でも「この壁はコン

プで造りました！」というようなものを、そこで世界に見せられれば。
桑江 それ、見たいですね。万博は本気で夢を追いかけていかなければいいですね。
渡邊 たぶん森林由来のもので造るんですけど、そこにコンブを入れていきたい。JB E(ジャパンブルーエコノミー技術研究組合)の中でも、一つの方向性として、海藻の産業利用というの重要なテーマになると考えています。

堀 いま大きな流れが来ていますが、次々と新しいことをやっていかないと、飽きられてしまいかねない。
桑江 やっぱり一つはゲームの開発なんじゃないかと思うんですね。スマホで漁業に参加できたら面白いし、「自分ごと」になりますから。
堀 いま水産業界の世界って、IT産業がどんどん入ってすごく進んで。例えばノルウェーでは、養殖魚の体表に付いた寄生虫を自動的にAIで判別して、駆除しているんですよ。
桑江 ゲーム感覚で自分のスマホから狙い撃ちして、リアルで寄生虫が撃たれて、養殖業が助かるポイントが付与されるとか(笑)。もしそんなのができたら、みんなやるんじゃないかなあ。

牧野 そうやって守った魚を、後で自分が買えるとかね(笑)
桑江 磯焼け対策のウニ撃ちゲームなんてよさそう。海藻をバリバリ食ってるウニをスマホから撃って退治して、マイ海藻にできて、そこで1本分CO₂を吸収させてオフセットをかけるとか。そういうのが20年後くらいにはできるんじゃないですかね。

国境を超えた「仲間」を目指すゴールは一つ

牧野 観光とかレクリエーションとうまく繋げるのは大事だと思いますね。
桑江 革新的なのはいいですか？
牧野 ヨーロッパあたりだと、プラスチックゴミを拾う観光ツアーっていうのがすごく流行っているみたいです。ガイドさんの話を聴きながら、普通の観光客が行かないような場所に船で行って、それこそゲームみたいな感じでゴミを拾う。参加者同士がすごく仲良くなるんだそうです。
堀 面白いですよ。感覚としてはビーチコーミングに近い。
牧野 ツアーを体験すると購買行動も変わるらしくて。楽しみながらゴミも減って、教育効果もあって、地域のお金も回っていくというのは良い仕組みだなと思います。
渡邊 観光客が喜んでやるなんて思ってもみませんでした。そんな可能性があるんじゃない！
牧野 海ゴミって、グローバルコモンズの典型だと思っんですよ。みんなで出していて、みんなで汚しているわけで。流れ着いたゴミを見ると、ハンブルグが書いてあったり中国語が書いてあったりするから、本当に世界は目の前の海でつながっているんだ、海って一つ

なんだとわかりやすい。
堀 見えるって大事ですよ。見えないですからね、CO₂の濃度は。

桑江 悩ましいですよ。
牧野 でも異常気象が多くなったとか熱波が増えたとか、貧酸素化が進んだとか、そういうのも合わせると、明らかに海が変わっているというのは間違いない。それは、もう結構目に見える形で出てきていますからね。

堀 地球全体ではそうなんですけど、それだと過去としか比較できない。この場所は大丈夫だけど、ここはダメになってきているとか、比較できるようなものがあれば、もっと伝わりやすいんですけどね。

桑江 でも、世界全体で一つのゴールを目指すなんて珍しいことですよ。それこそ地球防衛軍的な感じで。

牧野 このまま進むととんでもないことになる、ある程度の科学的な確度を持って言えるようになってきましたからね。でもそんなネガティブなことばかりじゃなくて、人類が生き残るとしたら、いまマーケットをとってしまえばものすごいビジネスチャンスになる。だからアメリカのバイデン政権も、気候変動対策に桁外れの予算をつけるわけです。ビジネスとしての可能性を、ブルーエコノミーに見ているんだと思いますよ。

桑江 ブルーカーボンは、研究から政策までポトムアップで持っていった超レアなケース。われわれ研究者としては、今後も自由に、できる限りのことをしていきたいですよ。

牧野 勝手な思い込みかもしれないですけど、海のことをやっている連中って、それだけで「仲間」なんです。海洋の世界には、組織も国も関係ないですからね。そういうオーブネさが特長であり、魅力なんだと思います。

浅海生態系による気候変動緩和効果の高精度予測に役立つ研究

世界全体の浅海生態系の2100年までの面積変化を予測

今後の気候変動によって、これまでは全球的に縮小の一途をたどると考えられていた沿岸浅海の生態系。ところが、藻場や塩性湿地、マングローブ林などは、気候変動に順応し、現状維持、あるいは現状より拡大する可能性があることが明らかに。より正確なブルーカーボン量の評価も見据え、予測計算に取り組む茂木博匡主任研究官に取材しました。



沿岸環境研究領域 沿岸環境研究グループ
茂木博匡 主任研究官

「そこで現在、生態系モデルを用いて、将来的に浅海域の生態系がどのように変化するか、減ってしまうのか、拡大してくれるのか、それが世界でも場所によって変わるのかといったことの予測を進めているところです」

新たに見えてきた生態系の面積拡大の可能性

実は、ごく最近まで、浅海生態系（海草藻場・海藻藻場・塩性湿地・マングローブ林・サンゴ生息域）がどのように分布し、どのくらいの面積があるのかというグローバルなデータは存在しなかったのだとか。

陸域生態系と比べてもCO₂の吸収速度が非常に高く、ブルーカーボンとして、気候変動緩和の役割が期待される沿岸域の生態系。また、気候変動適応という面でも、今後懸念される大型低気圧の頻発化などに対し、EcoDRRと呼ばれる防災・減災効果が期待されています。「防御力に関していえば人工護岸や堤防といったグレーインフラのほうが格段に強いのですが、維持管理に大きなコストがかかります。生態系を使うグリーンインフラなら、維持管理費が非常に安く抑えられ、なおかつ景観もよいものになる。グレーとグリーンのベストミックスを探ることで、効率よく守れるのではないかと考えています」と、茂木博匡主任研究官。

とはいえ、緩和にせよ適応にせよ、沿岸浅海域の生態系が豊かであればこそ得られる効果。例えば気候変動によって大幅に失われていくとしたら、そもそも期待できなくなってしまう。

「人工衛星やUAV（ドローンなどの無人機）などを用いたりリモートセンシングの発達によって、ここ数年でようやくそれがまとめられ、しかも、誰でも使える形で公表されてきたんです。私のほうでは、それをまず初期データとして将来予測モデルに与え、これまでの現地観測から得たパラメータを入れ込んで計算する、という方法をとっています」

気候変動対策を講じる最良シナリオと、講じない最悪シナリオを設定し、それぞれ2100年までの浅海生態系



の面積変化率を算出。すると、大幅に消失する可能性があるのは水温の上昇に弱いサンゴ生息域のみで、その他の浅海生態系は、海面上昇の影響を受けても、現状維持か、むしろ拡大する可能性があるという予測結果が出たのです。なので、すべての浅海生態系を合計すると、ほぼ現状維持という予測に。これには「海面上昇」と「地形の傾き」が関係しているといいます。

「海面が上昇すると、海側の潮間帯（満潮時に冠水し干潮時に干出する、高い生態系機能を有する一帯）は水没しますが、一方で、陸側にも新たな潮間帯が形成されます。海側よりも陸側の地形勾配が緩やかな場合、新たにできる潮間帯の幅のほうが水没する幅より大きくなるため、結果として、浅海生態系の面積の拡大」が起こる。逆に、海側より

も陸側の地形勾配が急峻だと、新たにできる潮間帯の幅のほうが小さくなるため、浅海生態系の面積の縮小、ということに。世界の沿岸域では、陸側の地形勾配の緩やかならなくなって、場所が多く、消失面積を拡大面積が相殺することから、将来の浅海生態系の面積は現状維持となる可能性があるわけです」

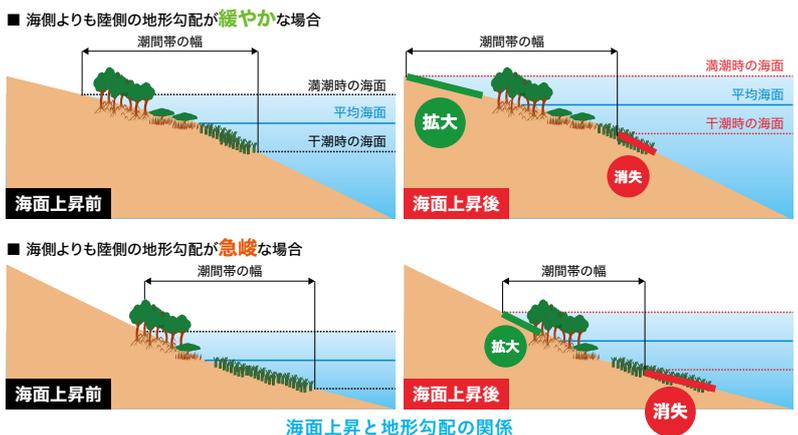
IPCC（気候変動に関する政府間パネル）が2019年に取りまとめた気候変動予測の報告書（通称…SRROC）では、塩性湿地やマングローブ林、海草藻場などの沿岸湿地帯は、2100年までに20〜80%消失すると予測されています。しかし、SRROCが引用している既往の研究では、前述のような「生態系の面積拡大」等が十分に考慮されていません。

「この研究によって、世界全体の浅海生態系の面積変化を考慮したうえでブルーカーボン量の予測が可能になり、浅海生態系による気候変動緩和効果のより高精度な予測に貢献できるのではないかと考えています。EcoDRRの効果の将来予測においても同様に役立つはず」

まだ考慮できない影響評価など課題への取り組みも着々と

一方で、残されている重要な課題も。「世界の沿岸域では、今後も埋め立てなどの沿岸開発が続くことが予想されますが、開発は社会経済の動向に左右されるため、将来の定量的な予測が非常に難しい。なので、その影響を、浅海生態系の面積変化などの予測で十分に考慮することができないんです」

「現在、国立環境研究所や九州大学、茨城大学などが、これらの課題に精力的に取り組んでいるところ。これからの浅海生態系の面積変化等の予測では、徐々にそういった新たなデータを取り入れていくことが可能になると期待しています」



また、海面上昇に適応して浅海生態系の面積が拡大する一方で、水没して消失するエリアも。東南アジアなどではそういった場所に多くの人が住んでいるため、その被害なども考慮する必要があります。

ほかに、堤防や護岸といった既存のグレーインフラが、海面上昇に伴う浅海生態系の移動や拡大を妨げる可能性も考慮すべき点。ところが、世界のグレーインフラの分布状況は未だ整理されていないのが現状です。

費用対効果の高いハイブリッド型インフラを追求

生物共生型防波堤を、新たなサンゴの着生基盤(ブルーインフラ)に

グレー(人工物)が有する高い防災・減災機能を維持しつつ
グリーン(自然資本)の機能を付加できるとして
近年注目されているハイブリッド型インフラ。

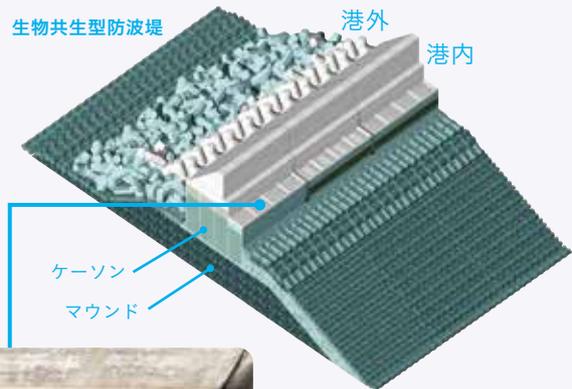
サンゴの着生に配慮した沖縄・那覇港の生物共生型防波堤をモデルに、
その費用対効果の試算や、有効な手法の検討など
実証的な研究に取り組む棚谷灯子主任研究官に取材しました。

ることが明らかに。さらに、複数の防波堤断面の費用対サンゴ着生効果を比較すると、港内部に設けられた人工タイドプール(ATP)の効果が高く、より有効な手法であることが示されたといえます。

人工基盤の活用がサンゴ礁生態系再生の一手に

ATPはケーソンの上部を切り欠いて造った枡状の構造物。普段は水中に没しており、大潮の干潮時に縁の部分が完全に干出して潮溜まりになります。「構造的にはサンプルですが、これを設けることで増えるサンゴ面積は、生物共生型防波堤の整備による約20%の増加分のうち約40%を占めるんです。一番の要因と考えられるのは水深です。かなり浅い場所に設けられているので、サンゴの生育・生長に欠かせない水中に光がよく届く。ATPを造らなければ大潮のとき干上がり、本来ならサンゴが棲めない場所ということもあって、効果は非常に高くなっています」

その費用対効果は、天然のサンゴ礁で行われる移植によるサンゴ生息場再生のそれに匹敵。つまりATPは、サンゴ生息場の創出手法としても有効だといえます。



生物生息状況



人工タイドプール(ATP)

人工構造物を利用してサンゴの着生基盤にするという取り組み自体は世界でも行われていますが、那覇港のように長期間にわたって人工基盤上のサンゴを記録し続けたという例は他にないのだとか。

「あと、特筆すべきは規模ですね。サンゴ用に新たに基盤を造るとなると、そんなに大規模なものはない。防波堤はサンゴのために造られたものではないですが、結果として大規模な着生基盤にできた。水深20m以浅に設置されている浦添第一防波堤の場合、延長1mあたり、サンゴが棲める水深20〜0mのところは100㎡くらいあるんです。なので、延長100mあれば、もうその面積は1haになります。那覇港ですとかなり防波堤も長いので、そういう規模でサンゴが着生し、それに関するデータが蓄積されている。たいへん貴重な場所だと思います」

経済的価値にまで落とし込む研究を

今回の研究で算出しているのはサンゴ面積ベースの費用対効果。

「このあとの課題として、単位費用あたりどれくらいサンゴが増えたか、これを経済的価値に換算することです。まずやっていかなければと思っています。サンゴの面積をベースに、その観光的価値や、水産資源が集まってくることに伴う漁業的価値などを全部試算して、生物共生型防波堤を整備するのにかけたコストに対してどのくらいの便益を得られたのかというのは出していきたい」

生物共生型防波堤の整備には、やはりどうしてもプラスチックの費用がかかってしまいます。事業化していくためには、まだ、越えなければならぬハードルが。

「やっぱりきちんと便益を示せないと、訴えかける材料として弱い。あと、問題になるのはサンゴ着生の不確実性ですね。これから整備する防波堤については、このくらいの費用をかけたなら、多少の幅はあるかもしれませんが、このくらいサンゴが着きますよ」ということを明示できないと、事業化に漕ぎつけるのは難しいでしょう。やるべきことはまだまだたくさんありますね」

これまでのきれいな自然のサンゴ礁を守るにはどうしたらいいかという考え方から、より人間が介入してサンゴを再生させ、増やしていくという方向へ。

「防波堤に着くサンゴというのは、この流れにすぐマッチしていると思います。人間が造った構造物に、ATPをつけたり部材表面を凹凸に加工したり、ケーソンとケーソンの隙間を広げて通水型にしたりといった工夫を施すことで、より多くのサンゴを着けられるようになり、防波堤の付加価値の向上も期待できる。このテーマは非常に面白い、やりがいがありますね」



沿岸環境研究領域 沿岸環境研究グループ
棚谷灯子 主任研究官

「サンゴ礁は多種多様な生物のすみか。漁業・観光資源の創出や沿岸の侵食抑制といったサンゴ礁生態系が持つさまざまな機能の経済的価値は、陸域も含めたあらゆる生態系の中で最も高いとされています。他方で、サンゴは高温に弱く、気候変動に伴う水温の上昇によって頻りに白化が起るなど、生態系の劣化は深刻。サンゴ礁生態系の再生に向けたさまざまな取り組みが世界各地で行われるなか、この研究で、防波堤などの人工基盤の活用が再生手法として有効であるということを示せたわけです」

ブルーカーボンの定量的評価のベースとなる研究 現地調査と生物地球化学的手法で ブルーカーボン生態系の 炭素隔離機能を探る

CO₂ 吸収源の一つとしてブルーカーボンを位置づけ、気候変動対策に役立てようという仕組みづくりが始まるなか、生きてくるのは、これまでの現地調査を主体とした研究の成果。多様な側面からブルーカーボン生態系による炭素隔離機能を明らかにすべく研究に取り組む渡辺謙太主任研究官に、近年アップデートされた3つの研究成果を紹介してもらいました。



沿岸環境研究領域 沿岸環境研究グループ
渡辺謙太 主任研究官

テーマ1 海面上昇とブルーカーボン生態系

「沿岸浅海域にはブルーカーボン生態系と総称される多様な生態系があり、大気中のCO₂を吸収して、海底の泥の中に炭素を貯留していく。この貯まってく速度や、どういうメカニズムでたくさん貯まったり貯まらなかつたりするのか調べようというのが研究の発端でした」と渡辺謙太主任研究官。

北海道東部にある風蓮湖と火散布沼のアマモ場で、長さ約2mの筒状の底泥サンプル(堆積物コア)を採取。長い年月をかけて堆積した泥の層なので、細かく化学



北海道・風蓮湖のアマモ場

分析していくと、いつ何が起こり、それによって炭素貯留速度がどう変化してきたかみえてきます。

「最初に立てていた仮説は、50年ほど前にこの地域で酪農が始まったことでガラツと変わったのではないかと。炭素が貯まる速度に影響するのではな

いかと考えたわけです。ところが実際に分析してみると、その影響はあまり見て取れず、もっと昔に起きた海面上昇の影響で大きく変わっていることがわかりました」

北海道東部の海域は地殻変動の影響が大きく、数百年周期で巨大地震が発生しています。地震で地盤が隆起することで、もともと海だった場所が塩性湿地となり、湿地植物が光合成してたくさん炭素を貯留。その後、地盤が沈降すると、沈んだ地表と海面との間にスペースができて泥が溜まり、アマモ場として、さらに多くの炭素が蓄えられていったという変化の経緯が明らかに。「これは地震に起因する相対的な海面上昇で

テーマ2 大型海藻のブルーカーボン効果

すが、将来、温暖化によって海面が上昇したとしても同じことが起こると考えられます。一般的な認識としては、塩性湿地が水没して炭素貯留機能がなくなるのではないかとされています。ブルーカーボン生態系には、海面上昇に適応して炭素を蓄えていく力があるに違いないということ、この研究成果は示しています」

これまでブルーカーボン生態系とされてきたのは、アマモをはじめとする底泥を基質とし、泥の中に炭素を蓄えていく生態系。岩礁や港湾構造物に着生するコンブやガラモなど大型海藻の生態系には、炭素を吸収・貯留する機能はあまりないと思われていました。

「でも最近の研究で、大型海藻は枯れたあと横流れ、そのまま深海まで運ばれて、藻場ではない場所ですべて蓄えられていることがわかってきました。こと日本においては年間CO₂吸収量が最も多いブルーカーボン生態系は海藻藻場だと考えられる。これをきちんと評価しないと、日本は大損することになってしまいますね。どれくらい横方向に炭素輸送が行われ、CO₂を吸収しているのか、その答えを求めて研究しています」

瀬戸内海・平郡島のガラモ場で2019年に調査を実施。その手法は、海藻に袋をかぶせて袋の中の炭素濃度の変化をみる「フィールドバッグ法」という実験や、藻場の内外で海水をすくって行う溶存有機炭素量の計測など。これを日本全国に展開し、現在はいろいろな場所で測っているのだとか。「こういった現地調査と、そのデータ

をもとにした数値計算の結果、大型海藻はたくさんCO₂を吸収、それが有機炭素となって藻場の外に輸送されていることが明らかになりました。つまりきちんと横方向に測ることで、岩礁に生えるような生態系は評価できる。もう一つ大事なポイントは、難分解性炭素の存在です。海藻から出るネバネバ成分のようなものですが、これが長い間分解されずに海中を漂う可能性が示されたことは大きい。これまでに算出されている国のCO₂吸収量に、これはカウントされていません。今後、科学的に証明し、認められた方法で測れば上乗せできる。日本として計上するCO₂吸収量が増えるということ」



瀬戸内海・平郡島のガラモ場



フィールドバッグ法による実験

テーマ3 インドでのマングローブ研究

本誌27号(2017年4月発行)のCROSS LINEで紹介した、インド人研究者のアニルバン・アカンドさん(2020年度で港空研での任期満了)。彼を中心に取り組んでいたのがマングローブのブルーカーボンについての研究です。世界最大のマングローブ林があるインドのマングローブというエリアをフィールドに、継続的にマングローブ海域のCO₂吸収・排出量を測定しました。

「マングローブは大気からCO₂を吸収し、泥に炭素を落としていきますが、分解された炭素が出てくるため、普通であればマングローブ周辺海域はCO₂を排出します。ですが、この研究によって、マングローブのマングローブ周辺海域は世界の他のマングローブ海域と比べてCO₂排出量がとても少なく、場合によっては吸収してさえいるとわかったんです」

原因は、マングローブが面しているベンガル湾が、もともと(その理由は解明されていないのですが)CO₂吸収源だったということ。CO₂を大量に吸収する水塊がマングローブ林に入ってきて、炭素が排出されても抑え込んでいることがわかってきたといえます。

水産系出身で、本来の興味は魚にあるという渡辺主任研究官。「ブルーカーボンを一つの足がかりにして、より広範囲に生態系をとらえた研究をしていきたい。ここ数年、ブルーカーボン研究もそちらの方面につながりを広げつつあるので、これから楽しみですね」

桑江朝比呂 沿岸環境研究グループ長らが 土木学会論文賞を受賞しました



受賞者(敬称略、写真上段左から)

桑江朝比呂(港湾空港技術研究所)、吉田吾郎(水産研究・教育機構)、堀 正和(水産研究・教育機構)
渡辺謙太(港湾空港技術研究所)、棚谷灯子(港湾空港技術研究所)、
岡田知也(国土技術政策総合研究所)、梅澤 有(東京農工大学)、佐々木 淳(東京大学)

港空研の沿岸環境研究グループ 桑江朝比呂グループ長らが、「浅海生態系における年間二酸化炭素吸収量の全国推計」において令和2年度土木学会論文賞を受賞しました。

近年、ブルーカーボン生態系(海草藻場、塩性湿地、マングローブなどの植生を有する浅海域)は、大気中のCO₂吸収機能などが気候変動の緩和につながるものとして期待され始めています。受賞した論文は、国内外の情報や知見を収集し、浅海域における年間CO₂吸収量を初めて全国推計したものです。

受賞理由としては主に以下のことがあげられています。

- ① ばらつきや偏りなどがある解析データや推計値に対しての不確実性分析が詳細にされており、不確実性低減にむけた指針と今後の研究課題を提案している。
- ② 浅海域におけるCO₂吸収量の推計値を、日本で最も大きな吸収源である森林など他の吸収源の値と比較している。(この結果は次ページの図2に掲載しています)
- ③ 論文において初めて示された吸収係数(原単位)が、今後の他海域における事業実施にも適用できる。また、技術介入による吸収源拡大の可能性を示している。

さらに将来の地球温暖化対策計画にブルーカーボン生態系を吸収源として定めるための検討や、浅海域における自然再生事業の推進など、国や自治体レベルでの政策を立てる上でも有用なものと認められたことが、今回の受賞につながりました。



大気と海水の間のCO₂交換量の観測の様子

桑江グループ長のコメント

この特集号でも登場する所内外のブルーカーボン研究者と先行して国内の浅い海によるCO₂吸収量の全国推計をしたことを、土木の学術分野でも評価していただき大変光栄に思います。ブルーカーボンという言葉が作られる前の2008年から「このテーマは将来化ける」ことを信じて、逆境時にも諦めることなく、しぶとく研究を続けたことに対する激励と受け止めています。ブルーカーボンという研究を、特に予算面から長年支えてくださっている国交省港湾局の皆様にご心より感謝いたします。

土木学会論文賞は、土木学会誌、土木学会論文集、その他土木学会刊行物に発表された論文のうち、独創的な業績をあげ、土木学会における学術・技術の進歩や発展に貢献した論文に授与されるものです。

もっとよく知る
港湾空港
海や空の豆知識

研究者が解説します！

カーボンニュートラルポートとブルーカーボン

沿岸環境研究領域
沿岸環境研究グループ
茂木博匡 主任研究官



気候変動対策として、政府は2050年までに温室効果ガス（GHG）の排出量の実質0を目指す、「2050年ネットゼロ」を2020年に表明しました。そして国交省はこの方針を受け、「カーボンニュートラルポート（CNP）」に取り組むことを発表しました（図1）。この取り組みは産業拠点でもある港湾に着目し、次世代エネルギーの大量輸入・活用等を通してカーボンニュートラル（GHGの排出量と吸収量の差が0）な港湾運用を目指すものです。港湾・臨海部は、国内でCO₂排出量が最大の事業所が集積しているため、この取り組みによるGHG削減効果は非常に大きいことが期待されています。なお、現段階では6カ所（※）の港湾が対象となり、実現に向けて進められています。

われわれの研究所ではこれらの実現に貢献するための一つの取り組みとして、ブルーカーボン（海洋生態系により蓄積される炭素）の研究を行っています。現在は、陸域生態系である森林と比べてブルーカーボン（BC）生態系（海藻・海藻藻場、干潟等）によるCO₂吸収量は少ないですが、BC生態系の吸収量は将来増加する

可能性があることがこれまでの研究でわかってきました（図2）。また適切な造成手法を確立すれば、BC生態系による吸収量をさらに増やせることも期待できます。特に、コンブ・ワカメなどの海藻生態系は海岸構造物に付着して生息するので、CNP実現においても重要な役割を果たす可能性があります。しかし、吸収量の数字の幅が非常に大きいことから、適切な観測手法が確立していないことやBC生態系の面積が十分に把握されていない等の課題が残っています。引き続き観測や数値シミュレーションを通して、気候変動対策におけるブルーカーボンの効果を明らかにするため、研究を続けていきます。

※ 小名浜港、横浜港・川崎港、新潟港、名古屋港、神戸港、徳山下松港

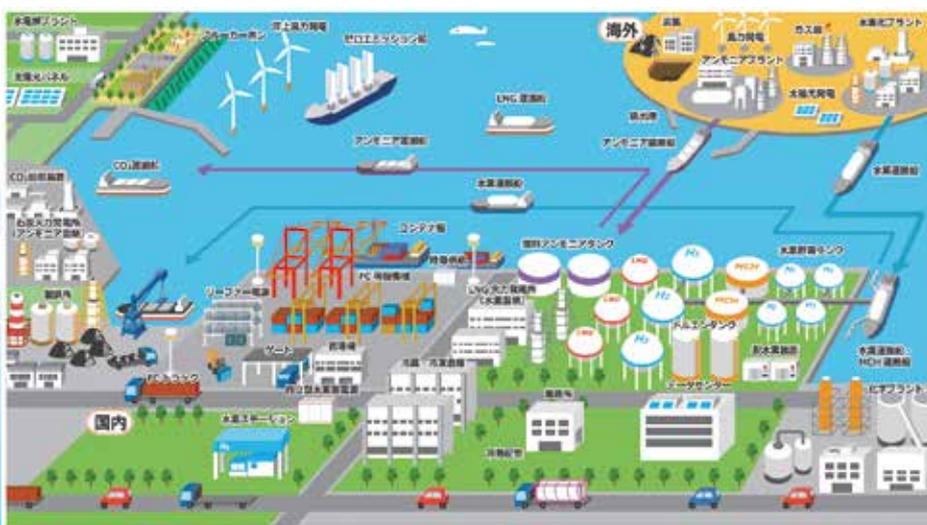


図1 カーボンニュートラルポートのイメージ（バルクターミナル等）

出典：国土交通省

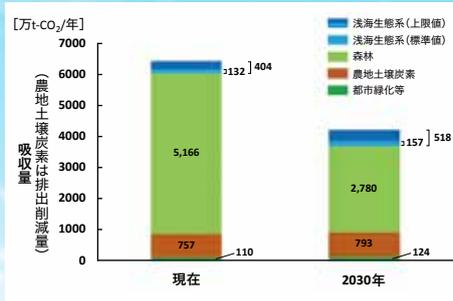


図2 2030年度のCO₂吸収量見込み

出典：桑江ほか（土木学会論文集 2019）

本誌の定期送付・送付中止・送付先変更のご依頼、ご意見・ご感想などはこちらまで



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

Port and Airport Research Institute (PARI)

〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1 TEL:046(844)5040 FAX:046(844)5072 URL:https://www.pari.go.jp



グリーン購入法に基づいた
用紙を使用しています。