

vol.82

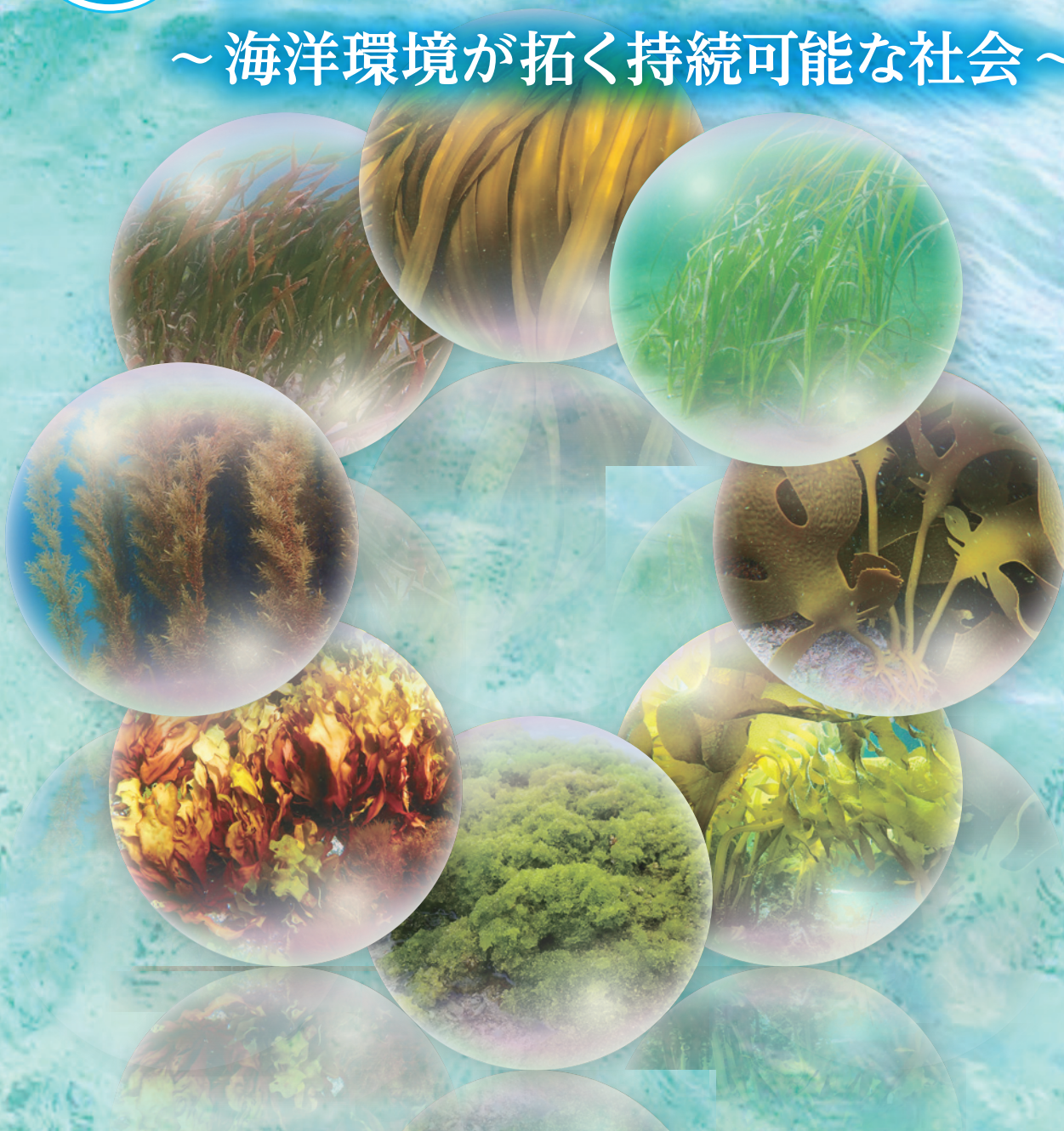
水産業の未来を拓く

FRA NEWS

特集

ブルーカーボン

～海洋環境が拓く持続可能な社会～



● 専門家に聞きました [高橋 洋] 魚類遺伝解析のスペシャリスト 幻の怪魚、アカメの謎を追う！

ブルーカーボン

～海洋環境が拓く持続可能な社会～

はじめに

最近では地球温暖化の影響が顕著になっており、海水温上昇による水産資源への悪影響も懸念されています。地球温暖化対策としては、2015年に国連気候変動枠組条約締約国会議(COP21)においてパリ協定が採択され、気温上昇1.5℃以下の到達目標が設定されました。これを受け、わが国でも2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現をめざすことを宣言しています。

こうした中、地球温暖化の原因物質である二酸化炭素(以下、CO₂)の吸収源として、ブルーカーボン生態系への期待が高まっています。大気中のCO₂が植物プランクトンや海草・海藻などを

中心とした海洋生態系に取り込まれ、その後、海底や深海に貯留される炭素をブルーカーボンと呼び、CO₂貯留機能がある藻場(海草・海藻の群落)などの



水産技術研究所
環境・応用部門
沿岸生態システム部
あ ぼ かつ ゆき
副部長 阿保 勝之

生態系をブルーカーボン生態系と呼びます。四方を海に囲まれるわが国では、ブルーカーボン生態系は、陸上の森林生態系(グリーンカーボン)と並んで重要です。

当機構では、多くの機関と共同で、2020年度から5年間、プロジェクト研究「ブルーカーボンの評価手法及び効率の藻場形成・拡大技術の開発」(※参考)に取り組みました。この研究では、藻場などのブルーカーボン生態系によるCO₂貯留機能を科学的に評価し、

Contents・執筆者

- 2 特集 ブルーカーボン ～海洋環境が拓く持続可能な社会～……………水産技術研究所 環境・応用部門 沿岸生態システム部 副部長 阿保 勝之
- 4 藻場のCO₂貯留量と算定手法……………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 沿岸生態系暖流域グループ グループ長 堀 正和
- 6 海草・海藻タイプについて……………水産技術研究所 環境・応用部門 沿岸生態システム部 漁場生産力グループ 主任研究員 島袋 寛盛
- 8 藻場の全国分布マップの作成……………同グループ 主任研究員 須藤 健二
- 10 バイオマスを調査する……………同部 温帯浅海域第1グループ グループ長 鬼塚 年弘
- 12 藻場の生産量を測る……………水産大学校 生物生産学科 生物環境学講座 教授 村瀬 昇
同講座 准教授 阿部 真比古
- 14 ブルーカーボン増強技術1 フリー配偶体を利用したアラメの種苗生産
……………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 沿岸生態系暖流域グループ 主任研究員 澤山 周平
- 17 ブルーカーボン増強技術2 磯焼け対策におけるカジメ類の早熟株の可能性
……………水産技術研究所 環境・応用部門 沿岸生態システム部 温帯浅海域第2グループ 主任研究員 門田 立
同部 温帯浅海域第1グループ 研究員 藤野 くるみ
- 20 専門家に聞きました [高橋 洋]
魚類遺伝解析のスペシャリスト 幻の怪魚、アカメの謎を追う!……………経営企画部 広報課 飯島 祥子
- 24 コラム 種の定義とは?……………広報誌編集事務局

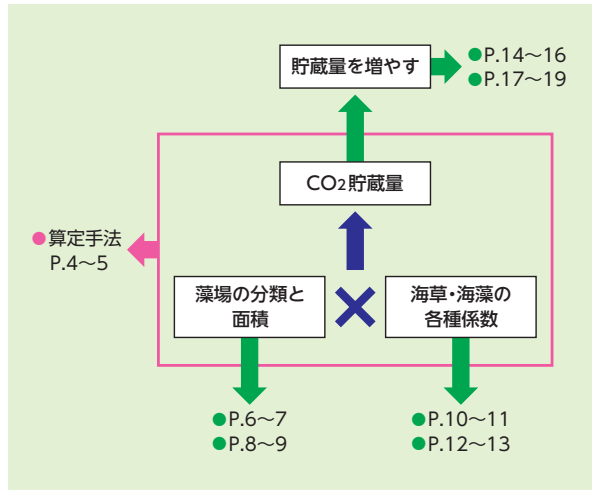


図1 本号で紹介する成果の関係

その算定手法の開発を行い、藻場の炭素貯留量の全国評価を行いました。さらに、ブルーカーボン生態系を増やすため、磯焼け^{※2}などで減少している藻場を維持・拡大するための技術開発や海藻養殖技術の高度化にも取り組みました。今回の特集では、この研究のうち、当機構が中心となり実施した研究成果について紹介します。藻場は、さまざまな機能があり、水産資源を育む場としても重要です。ブルーカーボンの活用を通じて、藻場の保全・拡大が進み、水産振興につながるよう、今後も研究に取り組んでいきたいと考えています。

温室効果ガス±ゼロ

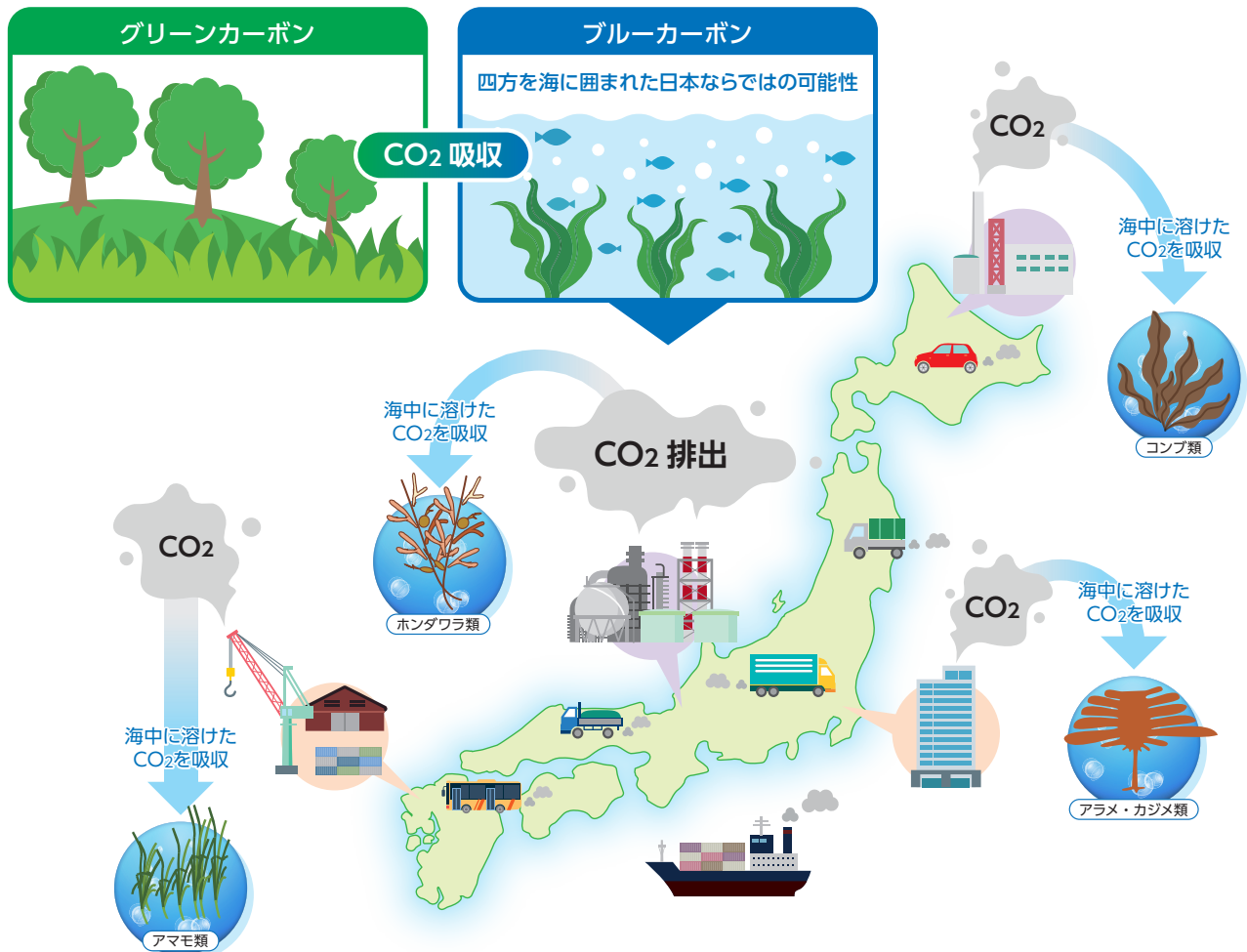


図2 ブルーカーボン生態系のイメージ

CO₂貯蔵機能がある藻場（海草・海藻の群落）などの生態系がブルーカーボン生態系です。日本沿岸には、多種多様な藻場が広がっています

※参考：農林水産技術会議委託プロジェクト研究「ブルーカーボンの評価手法及び効率的藻場形成・拡大技術の開発」（令和2年～6年度）

【参画機関】水産研究・教育機構、東京大学大気海洋研究所、広島大学、港湾空港技術研究所、北海道大学北方生物圏フィールド科学センター、岩手医科大学、鹿児島県水産技術開発センター、山川町漁業協同組合、徳島県、新潟県水産海洋研究所、千葉県、岩手県水産技術センター、神奈川県水産技術センター相模湾試験場、京都府農林水産技術センター、愛媛県農林水産研究所水産研究センター栽培資源研究所、大分県農林水産研究指導センター

※2 磯焼け：海流の変化、植食動物による食害、大量の河川水や砂泥の流入などによって藻場が急激に枯れたり消失したりすること

藻場のCO₂貯留量と算定手法

注目される藻場

海草・海藻藻場のうち、海藻藻場については、2009年に国連から報告書（国連環境計画（United Nations Environment Programme：UNEP）の報告書）が公開された時点では、科学的根拠が不足していました。そのため、ブルーカーボン生態系に含まれていませんでした。その後の研究により、現在はブルーカーボン生態系として扱われています。ここではプロジェクト研究で考案された、海草・海藻藻場のCO₂貯留量算定手法の概要を説明します。

CO₂貯留プロセス

海草・海藻類は海中にいたため、一部の種を除いて大気のCO₂を直接吸収せず、海中に溶けたCO₂を利用して光合成します。その働きで海中のCO₂が減少すると、大気から海中へ新たにCO₂が溶け込みます。そのため、藻場は大気中のCO₂の吸収源と見なされています。

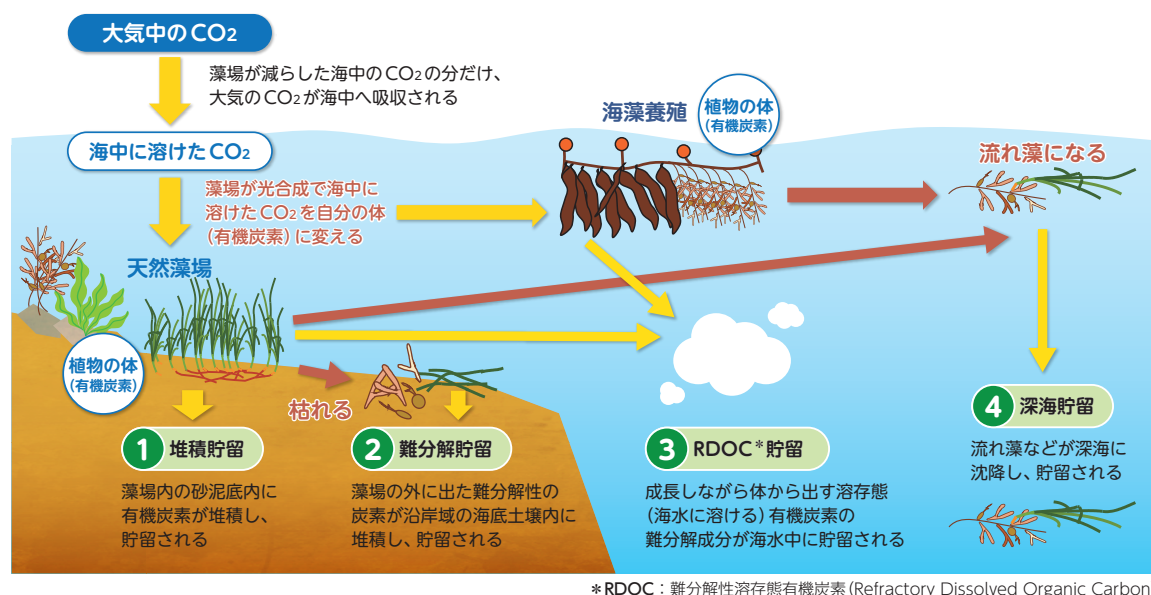


図1 藻場のCO₂貯留プロセス

藻場の植物はCO₂から次々に新しい体を作り、体から出す成分や、枯れても分解されにくい物質が、藻場の内外の海底土壌の中に堆積、あるいは流れ藻となって遠く深海まで到達します。これにより、時には数百年から数千年もの長い間、海中に保存されます。これらの作用を貯留と呼び、4つの貯留プロセスが認められています(図1)。海草・海藻の種類によって機能するプロセスの種類と貯留する炭素量が異なります。

算定手法と算定値の概要

パリ協定など国連が進める気候変動



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
沿岸生態系暖流域グループ
ほり まさ かず
グループ長 堀 正和

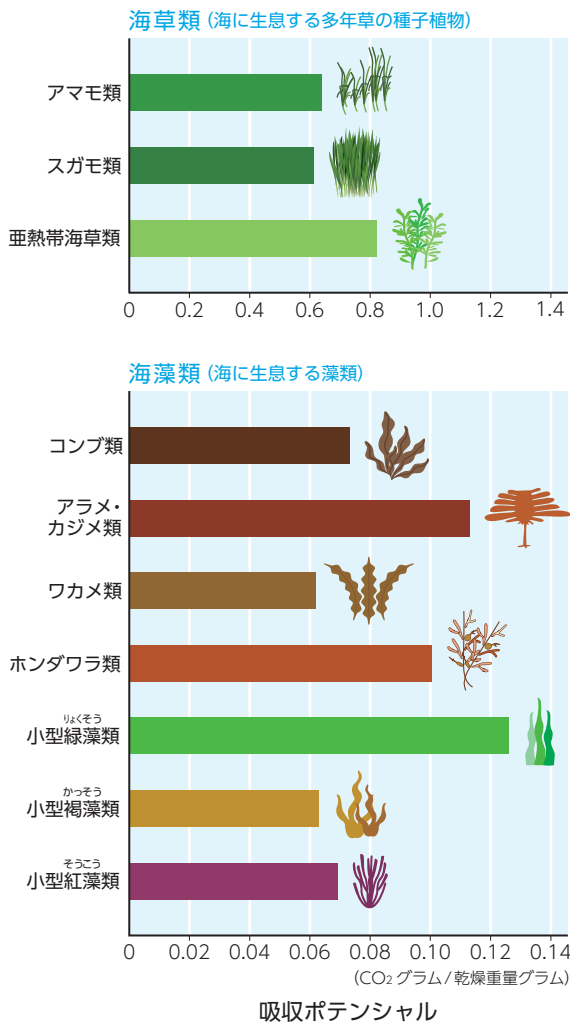


図2 主要な海藻・海藻類の吸収ポテンシャルの全国平均値



図3 海藻・海藻藻場のCO₂貯留量算定ガイドブック
(https://www.fra.go.jp/gijutsu/project/files/bluecarbon_guidebook2023.pdf)

対策の国際的枠組みの中では、CO₂を含む温室効果ガスの排出量・吸収量の算定は気候変動に関する政府間パネル（IPCC）^{※1}が定める方法に則って算定する必要があります。ブルーカーボン生態系に対しては「IPCC湿地ガイドライン」が公開されていますが、あくまで概念的な算定方法の解説だけで、具体的な算定手法は記載されていません。そこで、IPCCの算定方法の範囲内で、藻場の4つの貯留プロセスによって少なくとも100年以上貯留されるCO₂量を算定する手法を本プロジェクト

クトで考案したことにより、日本全国の藻場と海藻養殖を対象としたCO₂貯留量の算定が可能となりました。

主要な海藻・海藻の仲間（P6～7参照）の吸収ポテンシャルの全国平均を比較してみます（図2）。吸収ポテンシャルとは、乾燥重量で1グラムあたりの海藻・海藻が貯留するCO₂量を示す指標値です。例えば、海藻のスガモ類の値は0.6となつていますが、1グラムあたり0.6グラムのCO₂を貯留することを示しています。全体としてみると、4つの貯留プロセスすべてが機能する海

草類が海藻類より1桁高い数値となり、海藻類ではアラム・カジメ類、ホンダワラ類、小型緑藻類が比較的高い数値となりました。対象とする藻場の年間CO₂貯留量は、この吸収ポテンシャルを使って算定することができます。

この数値を用いて、日本は世界で初めて、全国の海藻・海藻藻場によるCO₂吸収量を算定して自国の温室効果ガスインベントリに加え、2024年4月に国連へ報告しました。

詳細は公開中のガイドブック（図3）をご覧ください。

※2 温室効果ガスインベントリ：国が1年間に排出・吸収する温室効果ガスの量を取りまとめたデータのこと

海草・海藻タイプについて

タイプ分けの必要性と種類

日本には現在、15〜20種の海草と、1500種ほどの海藻が分布しており、重要な海洋資源です。

多種多様な海草・海藻類は CO_2 貯留プロセスも異なり、海草類・海藻類とひとまとめにして CO_2 貯留量を算出しても、実情と大きくかけ離れてしまいます。また、1500種ごとに CO_2 貯留量を算定することも現実的ではありません。

そこで私たちは、全国的に藻場の CO_2 貯留量を評価するため、まず CO_2 を吸収・貯留するプロセスや生え方(図1)などの生態を考慮し、海草類を6タイプに、海藻類を11タイプに分類しました。また、海藻の海面養殖もブルーカーボンに寄与していることから4タイプに分け、すべての海草・海藻類を合計で21のタイプに分けるとともに、同種であっても分布域によりバイオマス^{※1}の特徴が異なることから、日本沿岸を9つの海

域に区分しました(図2)。

海草・海藻の CO_2 貯留プロセスの一つ「深海貯留」では、波浪でちぎれた体や自然には分解されにくい炭素を含む有機物質が深海へ沈降し貯留されます。砂泥域に生育する海草類は、岩礁域に生育する海藻類より、深海への貯留に加え藻場の底質に堆積貯留する割合も多い特徴があります。また、陸上の植物を起源とする海草は海藻よりも分解されにくいことも大きな違いです。

タイプ分けの活用

日本沿岸は、多種多様な豊かな海草・海藻が成育するすばらしい海域です。このタイプ分けを基準に海草・海藻の CO_2 貯留量を算定します。さらに今後、この生態系を守り育てていく過程で得られる新たな知見も加え、ブルーカーボンの評価手法の研究を進めていきたいと考えています。

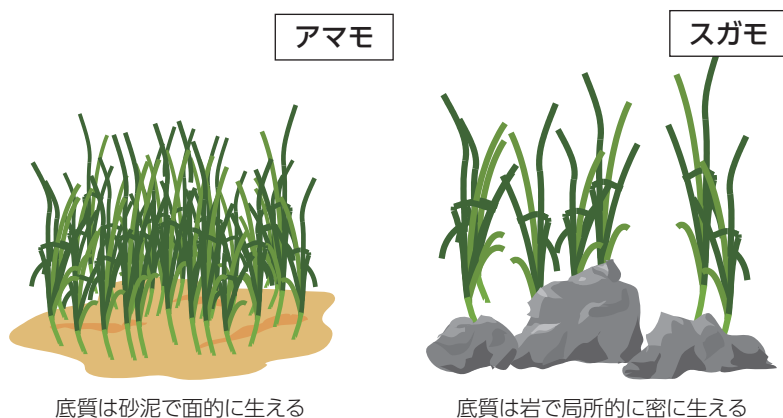


図1 タイプ分けの例ーアマモとスガモの生え方の違い
生態の違いも参考にタイプを分けました



水産技術研究所 環境・応用部門
沿岸生態システム部
漁場生産力グループ

しま ぶくろ ひろ もり
主任研究員 島袋 寛盛

※1 バイオマス(Biomass): 生物(bio)の量(mass)を表す概念で、ここでは現存量(植物のからだをつくる有機物量)を指す

■ 海草類 (6タイプ)

亜熱帯性海草は、生育域、形態、単位面積当たりの現存量や生産量が異なるため、大きさを目安に3つに分類



①アママ型

アママ、コアマモ(温帯型)、スゲアマモ、オオアマモを含む



②タチアマモ型

外部形態や群落の特徴がアマモと大きく異なる



③スガモ型

岩礁に生えた単位面積当たりの現存量がアマモと異なる



④亜熱帯性海草大型

南方域に分布する大型の海草(ウミショウブ)



⑤亜熱帯性海草中型

南方域に分布する中型の海草(リュウキュウスガモ・ベニアママなど)



⑥亜熱帯性海草小型

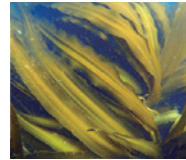
南方域に分布する小型の海草(マツバウミシジサ・ウミヒルモなど)

■ 海藻類 (11タイプ)

褐藻 (体色が褐色)

コンブ目

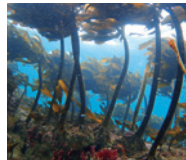
コンブ目は生産量やバイオマスが大きく、分布域、生育する水深、単位面積当たりのバイオマス、CO₂吸収ポテンシャルなどをもとに分類



⑦マコンブ型



⑧ナガコンブ型



⑨アラメ型



⑩カジメ型



⑪ワカメ型

一年生※²でほかのコンブ目と区別



⑫温帯性ホンダワラ類

多くが多年生で親が枯死する頃に次世代が伸長し藻場が通年維持される



⑬亜熱帯性ホンダワラ類

一年生もあり、多年生でも親が枯死して、岩に体を固定する付着器のままで越冬し一時的に藻場が消失

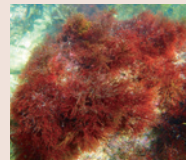


⑭小型褐藻類



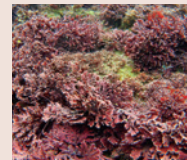
⑮小型緑藻類

緑藻:体色が緑色



⑯小型紅藻類

紅藻:体色が紅色



⑰石灰藻類型

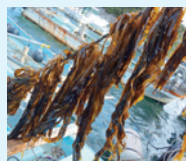
石灰質がある

■ 海藻の海面養殖 (4タイプ)

海藻の種類ごとに分類



⑱コンブ類養殖型



⑲ワカメ類養殖型



⑳ホンダワラ類養殖型



㉑ノリ類養殖型



図2 CO₂貯留量算出のための藻場の21のタイプ分けと海域区分

※2 一年生：遊走子や卵から発生して1年以内に枯死するもの。体の一部が越冬し、そこから再生的に葉や枝が伸長するなど複数年にわたり生存するものを多年生という

藻場の全国分布マップの作成

海草・海藻タイプごとの面積

藻場のCO₂吸収量の評価には、海草・海藻タイプごとの吸収係数と面積情報が必要です。環境省により、衛星を使った藻場の広がりに関する調査は行われていますが、どの種類がどこに生育しているか、日本全体の情報はありませんでした。全国の藻場を潜水や船による調査などでくまなく調査することは膨大な時間を要します。また、高解像度の衛星画像を用いても、画像の中には雲や波、海水の濁りなどさまざまな影響があるほか、褐虫藻という藻類と共生するサンゴは、藻類である褐藻との区別ができません。

タイプ別分布情報の収集

そこで基本に立ち返り、日本全国に散在している藻場分布情報を収集し、

空間情報データベース（以下、データベース）を構築しました。集めたデータから情報を取り出す作業は、各地域の調査報告書や論文などの藻場の分布を示す図などを、地理情報アプリに組み込んで手作業で描く地道な方法で、約二年半かかりました。次にデータベースの情報を可視化して、地域的な欠損を見つけました。情報の欠損した海域については、潮が大きく引き、海藻が海面に露出し

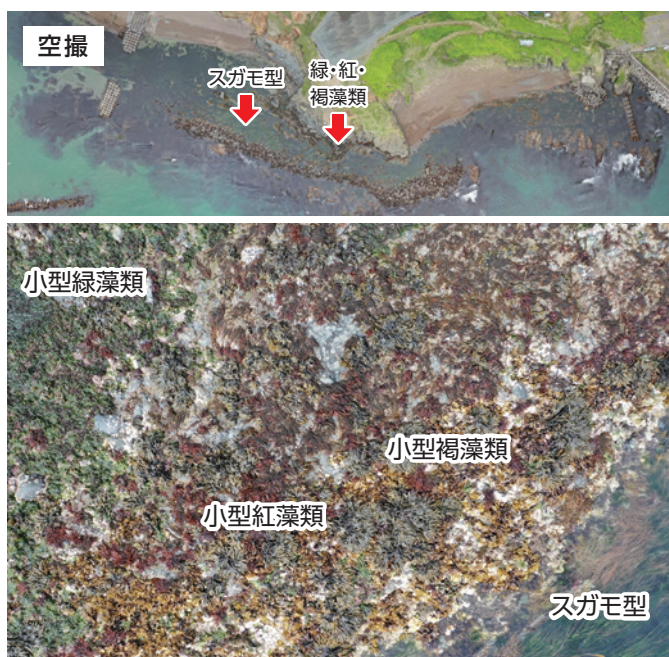


写真1 空撮画像と現地調査による藻場のタイプの判別



写真2 空撮画像と現地調査による藻場のタイプの判別



水産技術研究所 環境・応用部門
沿岸生態システム部
漁場生産カグループ

主任研究員 須藤 健二

判別しやすい新月と満月の前後に日本全国の沿岸の現地調査を行い、潜水や水中ケーブカメラにより種組成を確認し、上空から藻場の広がり調べて分布情報を収集しました（写真1・2）。アマモ類や海藻には季節変動があること

から、できる限り海草・海藻の繁茂期を選んで実施しました。現地調査によって得られた結果を分布図に加えることで、地域的な欠損の少ないデータベースを構築することができました。

このデータベースの情報に加え、水温・水深・海底の底質・波当たり・濁度などの環境のデータを用いて、タイプ別の面積を推定しました。

日本全国で評価する場合、一般的に一边が数キロの格子で計算しますが、より精度を上げるため、一边20メートルまで解像度を上げました。しかしスーパーコンピュータではできない処理が必要となるため、地理情報アプリ上での計算が必要です。そこで、すべての計算項目を厳選しました。数千万桁という途方もない計算量でしたが、地域別かつ海草・海藻タイプ別に計算することで負荷を下げて、ようやく面積を推定することができました。(図1)。

これにより、地域ごとのタイプ別の吸収係数から、日本全国の海草・海藻藻場のCO₂吸収量を算出できるようになりました。

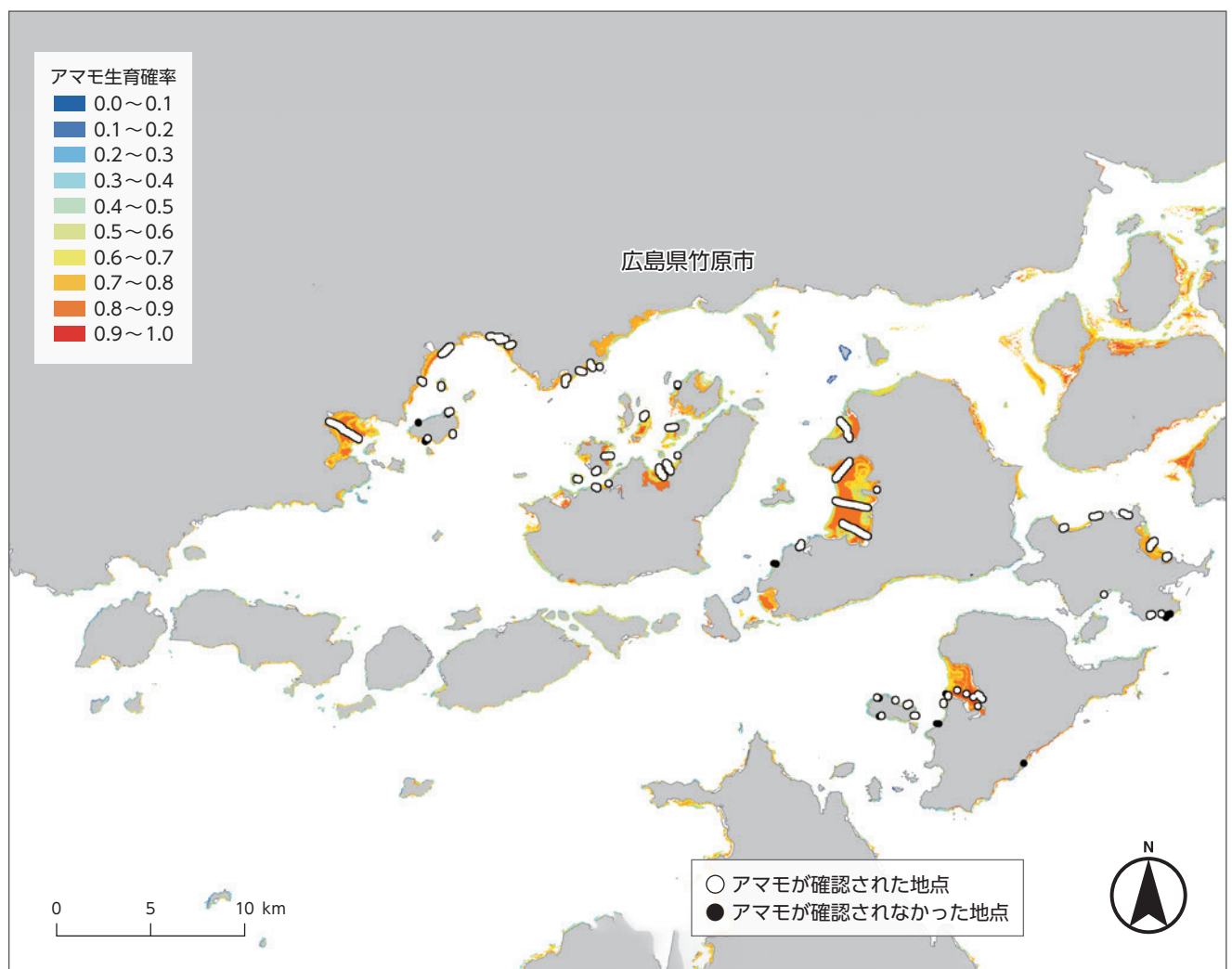


図1 アママの種分布推定モデルの例

出典：「国土数値情報(行政区域データ)」(国土交通省) (<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N03-2024.html>) (令和7年2月3日取得)
「国土数値情報(行政区域データ)」(国土交通省) (<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N03-2024.html>) を加工して作成

バイオマスを調査する

海藻とバイオマス

ブルーカーボン生態系として藻場がどれくらいのCO₂吸収量があるのかを評価するには、海藻のバイオマスを調べる必要があります。多くの海藻が季節により変化するため、バイオマスも大きく変動します。また、ウニ類、植食性魚類による食害や高水温の影響で藻場が失われ、バイオマスも減っています。バイオマスの推定には、対象とする海域、海藻の特性を考慮する必要があります。ここでは、藻場を形成する代表的な大型褐藻類である多年生のカジメ類と、一年生のワカメの事例を紹介します。

調査事例1 カジメ(多年生)

相模湾ではカジメ藻場の衰退が著しく、まばらに生え、食害で葉が欠けた株が混在しているようすが見られました。そこで、カジメの繁茂期(6月)に、広範囲を把握できるベルトトランセクト調査と坪刈り調査を同時に行いました。その

結果、坪刈り調査ではベルトトランセクト調査と比べてバイオマスを過大評価してしまうことがわかりました(図1)。坪刈り調査ではカジメが生えている場所に枠を設置するため、まばらな藻場ほど過大評価する可能性が高くなると考えられます。また、繁茂している面積である被度^{※3}が高くなるほどバイオマスも多くなることが明らかになりました(図2上)。しかし、株密度とバイオマス

との間には明瞭な関係性は見られませんでした(図2下)。この結果から、カジメでは1株あたりの重量の差が大きく、必ずしも海藻密度の高い場所≠バイオマスの多い場所とはならないことが

(1平方メートル当たりの湿重量キログラム)

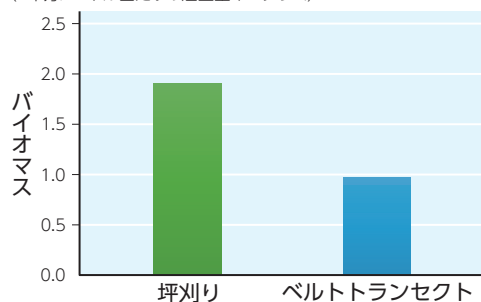
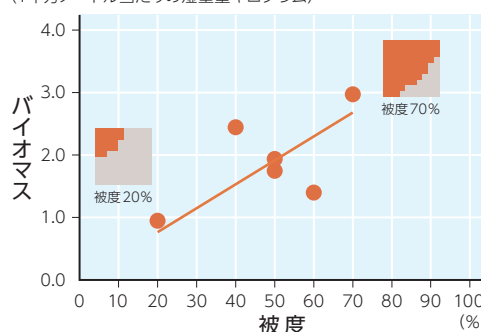


図1 坪刈り調査、ベルトトランセクト調査により推定されたカジメのバイオマス

(1平方メートル当たりの湿重量キログラム)



(1平方メートル当たりの湿重量キログラム)

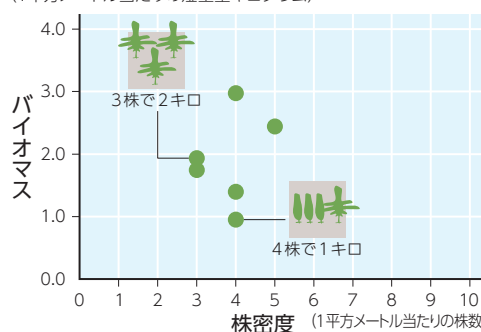
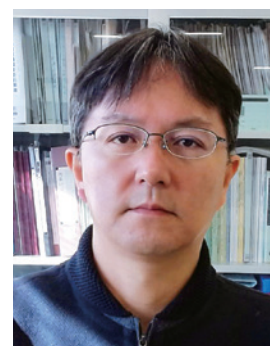


図2 カジメの被度とバイオマスの関係(上図)、株密度とバイオマスの関係(下図)



水産技術研究所 環境・応用部門
沿岸生態システム部
温帯浅海域第1グループ
グループ長 鬼塚 年弘
おに つか とし ひろ

※1 ベルトトランセクト調査：海底にメジャーなどを伸ばして一定面積内の海藻や生物の数、被度などを測定する調査

※2 坪刈り調査：方形枠を置いて枠内の海藻や生物の計数、被度の測定、標本の採集をする調査



写真1 ワカメ群落のようす

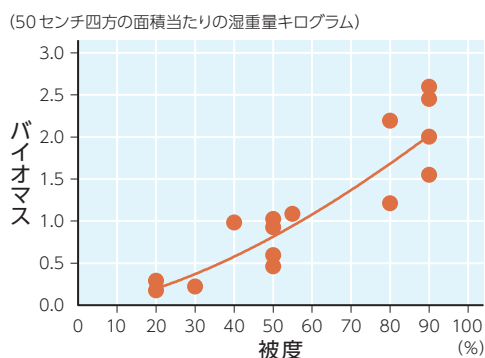
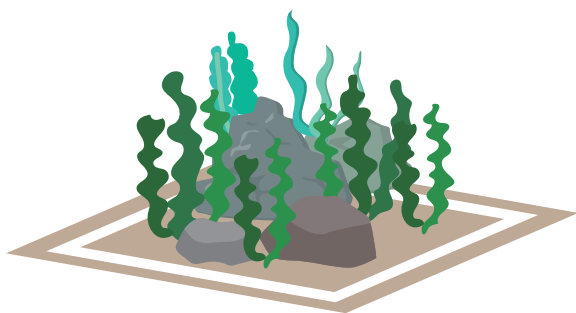


図3 ワカメの被度とバイオマスの関係

個体差が少なく、欠損が起きにくい



- 生まれた年ごとの集団で藻場が構成されているので、成長の度合いが近い
- 成長期である冬季から春季は食害が抑制され、時化が少なく、葉状部の欠損も起きにくい

図4 ワカメの被度とバイオマスが一致しやすい理由

調査事例2 ワカメ(一年生)

ワカメは波当たり(流れ)の強い浅い場所に生えていることが多く、調査用ラインの設置・維持が難しいため、ベルトランセクト調査を行えない場合があります。比較的密集して生えていること(写真1)、その年に芽生えた株しか存在しないことから、重量の差は小さい

と考え、坪刈り調査を行いました。繁茂期(4月)のワカメの被度とバイオマスの間には明瞭な関係があることがわかりました(図3)。これは1株あたりの重量の差が小さく、被度とバイオマスが一致しやすいためと考えられます。差が小さい理由として、一年生のワカメでは1つの年級群^{※4}により藻場が構成されること、ワカメの成長時期である冬季から春季は水温が低く食害が抑制されるとともに、葉が消失するような大規模な時化が少なく、葉状部の欠損が起きにくいことが考えられます(図4)。

バイオマス調査のこれから

前述のカジメ、ワカメのように、海藻の被度とバイオマスに明瞭な関係が見られる海域では、被度のデータから比較的高い精度で藻場のバイオマスを推定できるようになります。ただし、海藻の生育は各年の環境により変動するため、被度とバイオマスの関係は定期的な調査・確認が必要です。衛星や水中ドローンなどを駆使した調査技術の向上にともない、今後は海藻のバイオマスを簡便かつ高精度に推定できるようになることが期待されています。

※3 被度(ひど)：一定範囲内において植物が地表をおおっている面積の割合

※4 年級群：生まれた年ごとの年齢集団

藻場の生産量を測る

生産量とは

バイオマス（現存量）がある時点[※]で一定区画に生存する生物体の総重量を表すのに対して、生産量とは一定期間[※]に一定区画で生産される有機物の重さのことで、1年当たり[※]や1日当たり[※]などの生産の速度を表します。

生産量を測るためには、定期的なモニタリングが必要です。また、測定対象となる海藻・海草類の成長のしかたにより、測定方法や考え方が少し異なります。

生産量を求める方法

生産量を求めるには、成長量、脱落量、被食量の情報が必要です。成長量とは一定の期間内に増えた量、脱落量とは一定の期間内で葉などが枯れたり失われたりした量、被食量とは一定の期間内で動物などによって食べられた量をそれぞれ表します。ただし、海中の藻場は長期の連続した詳しい観察ができないなどの理由から、現時点では正確な

被食量を求めることが難しく、動物による被食はほとんどないという前提で生産量が求められています。

生産量を求める方法は、藻場の調査地点を定めて行う方法と、海藻・海藻類の葉だけを使い実験室内で行う方法があります。

● 標識法

一つ目は、調査地点を定めて行う標識法（マーキング法）です。これは成長[※]点が下部にあるアマモやコアマモなどの海藻類やマコンブ、アラメ、カジメなどのコンブ類で採用されます（図1）。成長点を押し上げるように新しい器官が生産されていき、体の下部に新しい組織が、上部に古い組織が存在します。測定開始時に葉の一部に標識となる穴を空け、一定期間（コンブ類では1か月程度）後に上に押し上げられた穴の移動量から成長量が求められます。成長している部分だけを観察していくため、脱落量はほとんどないと考えられています。

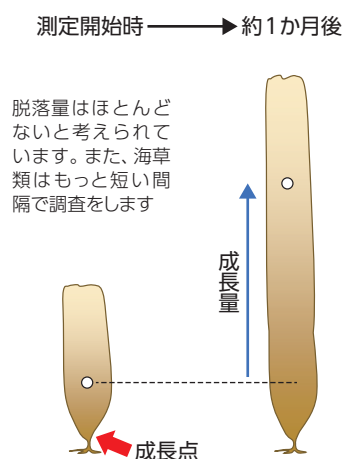


図1 標識法によるコンブの仲間の生産量測定の例

ます。また、アマモの仲間は短い期間に葉が生え替わることがあり、もっと短期間で測定をする必要があります。



同講座
あべ ま ひ こ
准教授 阿部 真比古



水産大学校 生物生産学科
生物環境学講座
むら せ のぼる
教授 村瀬 昇

※1 成長点：陸上植物では、一般的に根や茎の先端部にあり、とくに細胞分裂が活発なところ。海藻や海草では、藻体・草体の先端や茎と葉の境目、藻体全体などさまざまな箇所に成長点がある

●現存量法

二つ目は、調査地点を定めて行う現存量法です。これは一般的な植物群落の密度、被度、高さ、現存量などを測定する方法で、植物を上から等間隔で刈り取り、高さごとに葉の重量と葉以外の重量を測定します。この方法は、成長点が上部にあり成長点より下に作られた組織を残しながら上へ上へと成長する種で使われます。つまり、上部が新しい組織、下部が古い組織で、海藻では、ノコギリモク、ヤツマタモクなどのホンダワラ類の仲間が当てはまります(図2)。海藻では、調査地点を定めて測定開始時の情報を得るために一定区画内の藻体を1株ずつ、高さ、重さ、年齢、成熟の有無などを調べ、約10～20センチ間隔に切断して各層の部位(葉や茎など)ごとに乾燥重量を測定します。一定期間(約1か月)ごとに同じ海域の藻場の別の区画でこの測定を行い、海藻の高さと現存量を示す生産構造図を作成(図3)し、各層で増えている重さの成長量、減っている重さの脱落量を推定できます。

●光合成法

三つ目は、実験室で行う光合成法です。群落^{※2}光合成理論に基づいた海藻・海草類の光合成と光との関係から、群落内の葉の量と付き方や群落内に入る光の量とを結びつけた数理モデルで生産量を

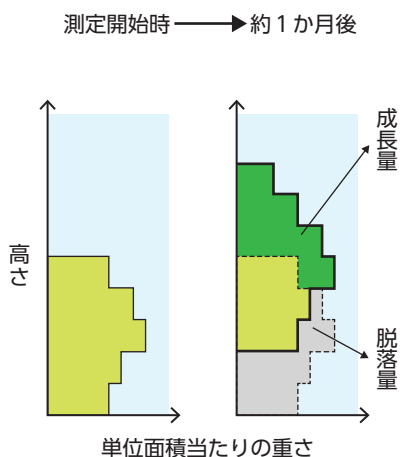


図3 現存量法による生産構造図の変化
現時点では、被食量の正確な把握ができていません

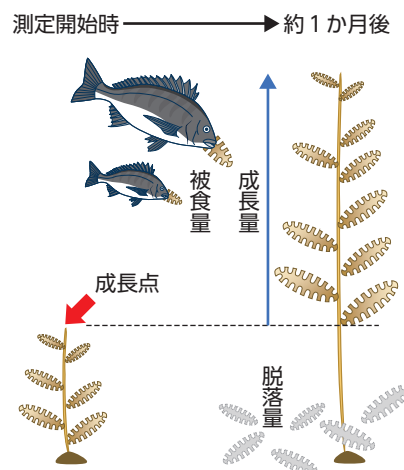


図2 ホンダワラ類の成長のイメージ

推定します。標識法や現存量法は、一定期間ごとに藻場の一定区画の海藻・海草類を調査をしますが、この方法は体の一部を使い、実験室内で非破壊的に実施できます。一方で、この方法だけに頼ると、実際の藻場の成長量と大きな誤差が出る可能性があり、標識法や現存量法による検証も必要です。

正確な生産量を求めるために

これまでの研究は、動物による被食はほとんどないという前提で行われてきました。しかし、近年ではウニ類や植食性魚類などの被食圧が高まり、藻場の生産量に大きな影響を及ぼしています。藻場の年間生産量の約60%が被食されている報告もあり、標識法や現存量法から正確な生産量を求めるには、被食量の推定方法を早急に確立しなければなりません。藻場の維持には、生産量が被食量を上回る必要があります。光合成法を利用した数理モデルに、室内実験などで求めた被食量を反映させた生産量シミュレーションモデルの構築も重要になってくると思われます。

※2 群落光合成理論：植物が集まっている場所(群落)全体でどれだけ光合成を行っているかを考える理論のこと

フリー配偶体を利用したアラメの種苗生産

藻場をつくるという課題

コンブ目の褐藻の一種であるアラメは、何年にもわたって生育する多年生の大型海藻の代表種で、日本の温帯沿岸に広く分布しています。アラメなどが生い茂る藻場は、陸上の森林と同じように多様な生き物が共存する生態系の基盤となり、アワビなどの水産生物の生息場としても重要です。また、一部の地域ではアラメを食材として利用する伝統的な食文化も根付いています。しかし、近年、水温上昇などの影響で藻場が減少する磯焼けが日本各地で急速に広がっています。一方で、最近ではブルーカーボンの視点から藻場に大きな価値があることが社会的に広く認識されてきました。アラメなどの海藻の藻場を回復する・つくり出すという目標は、地域固有の課題を

超え、気候変動対策という地球規模の社会課題になりつつあります。

環境変化に強い種苗生産

藻場をつくる取り組みの中で、海藻の種苗を生産する技術は、屋台骨とも言えるものです。これまでのコンブ目褐藻の種苗生産では、海藻本来の季節的な生活史サイクル(図1)に従って育てる方法が一般的でした。しかし、このような方法では、気温や水温の上昇といった環境変化に弱く、安定した種苗生産ができないという欠点がありました。そこで、私たちは近年、ワカメ養殖などで実用化が進んでいる「フリー配偶体」の技術に注目し、環境変化に左右されないアラメの種苗生産方法の開発をめざしました。

フリー配偶体とは、細胞分裂を繰り返して増殖できる特性を持つ配偶体を、フラスコなどで浮遊させた状態(フリー)で効率的に培養したものです(図2)。配偶体にはメスとオスがあり、それぞれが成熟して作った卵と精子が受精して胞子体^{※2}が芽生えますが(図1)、フリー配偶体ではメスとオスを分けて長期間保存できます。このため、フリー配偶体をうまく使えば、自然環境の影響を受けずに、いつでも何度でも種苗を生産することが可能になるのです。



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
沿岸生態系暖流域グループ
主任研究員 澤山 周平 (さわ やま しゅう へい)

※1 配偶体：藻類の生活史において卵や精子を作る世代のこと
※2 胞子体：藻類の生活史において胞子(遊走子)を作る世代のこと

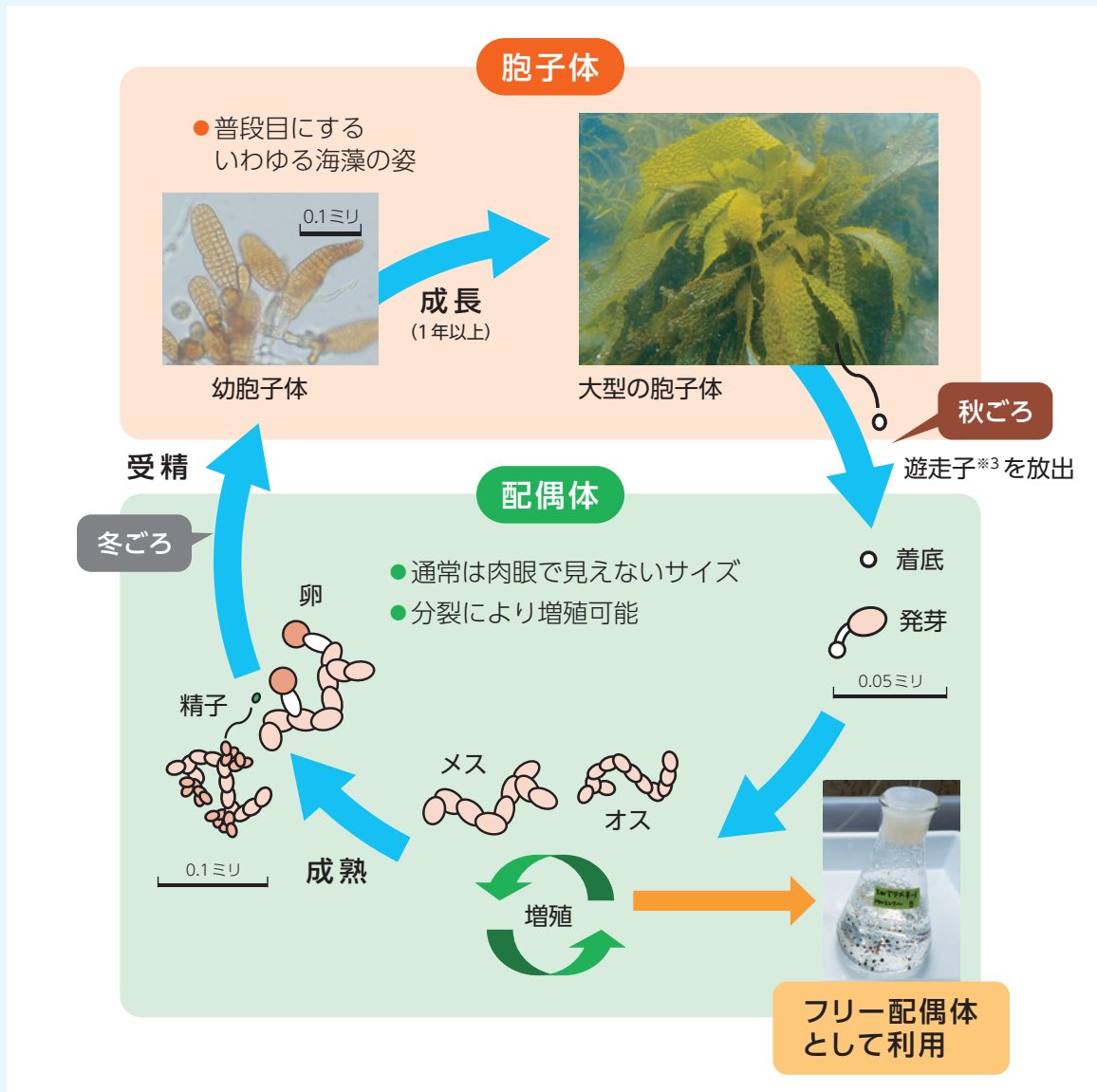


図1 アラメの生活史サイクルとフリー配偶体のイメージ

成功のカギは「成熟のスイッチ」

多くの利点があるフリー配偶体ですが、ワカメなどの種苗生産で使われる方法をアラメに適用したところ、健全な種苗が安定的に得られない問題に直面しました。この問題の根本的な原因として、多年生のコンブ目褐藻の配偶体の成熟のタイミングを制御する

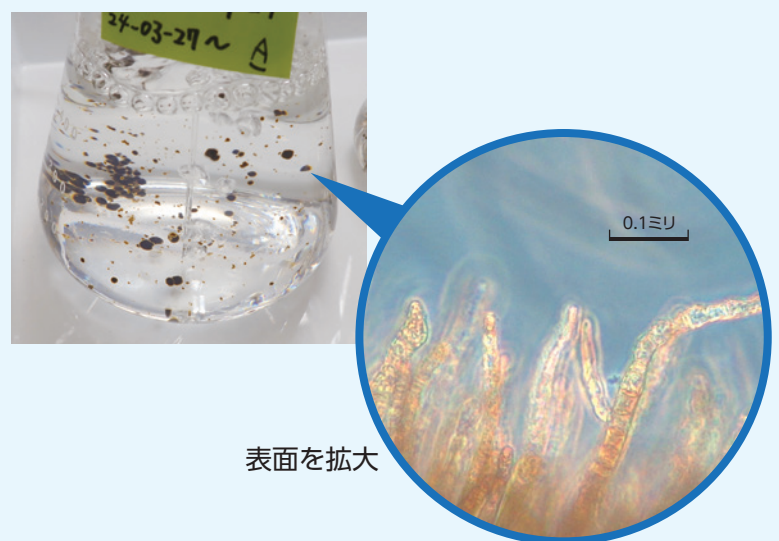


図2 培養中のアラメのフリー配偶体(メス)

※3 遊走子: 孢子体による無性生殖で作られる孢子の一種で、べん毛をもって水中を泳ぐもの

のが難しいことが考えられました。ワカメの配偶体では、培養する温度や光の管理によって成熟を制御しますが、アラメの配偶体の場合、それだけでは成熟を完全に制御できなかったのです。試行錯誤の結果、この問題を解決するカギは、「キレート鉄(図3※参照)」による成熟のスイッチの切り替えにあると考えました。鉄は配偶体が成熟するうえで必須の成分であり、それが不足した環境に置かれた配偶体においては、細胞分裂が優先されます。そこで、配偶体の培養中はあえて鉄が欠乏した状態(成熟のスイッチ・OFF)にしておき、種苗生産を開始するときにキレート鉄成分を与えるなどの刺激を一気に加える(成熟のスイッチ・ON)という方法を導入しました(図3)。これにより、課題だった配偶体の成熟のタイミングをそろえることに成功し、安定したアラメの種苗生産が可能になりました(写真1)。

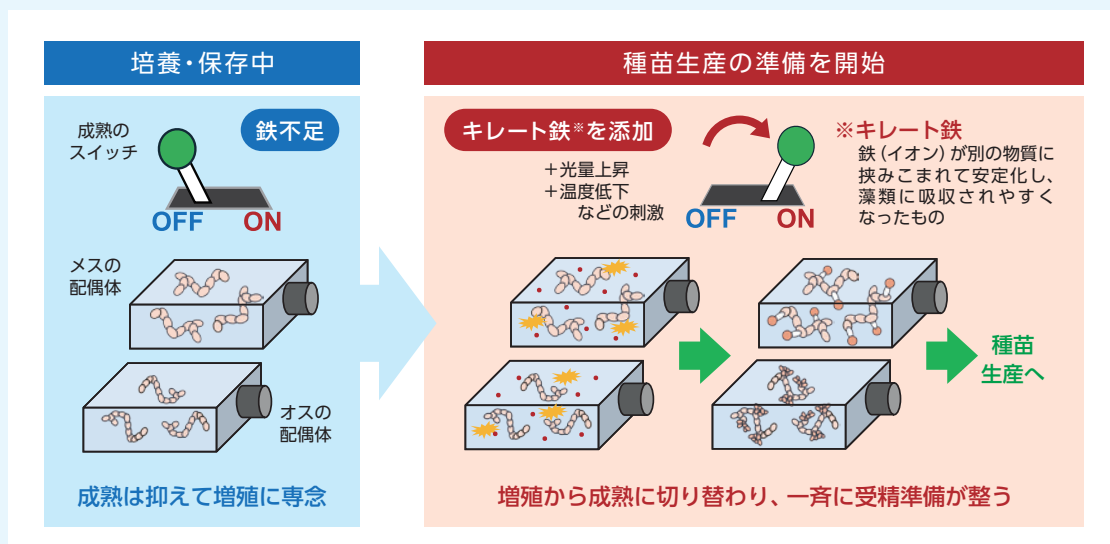


図3 フリー配偶体の成熟のスイッチ切り替えのイメージ

前述の成熟の制御方法を含め、フリー配偶体によるアラメの種苗生産のための具体的な材料や詳細な手順に関する技術報告をまとめました(※参考)。この方法は、カジメやクロメなど、アラメ以外の多年生褐藻の種苗生産にも有効と考えられます。本技術が広く普及し、年々変化している海洋環境に柔軟に適応しながら、各地でブルーカーボンの創出が進むことを期待しています。



写真1 生産したアラメの種苗

磯焼け対策におけるカジメ類の早熟株の可能性

カジメ類とは

みなさんは、カジメという海藻をご存知でしょうか？カジメは、わが国周辺の温帯域に分布するコンブの仲間です。カジメを含め3つの亜種（カジメ・クロメ・ツルアラメ）に分けられています（写真1・図1）。大分県や長崎県

などの一部の地域では食べられますが、一般の方には、ワカメやコンブのようになじみのある海藻ではないと思います。しかし、このカジメ類は、アワビやイセエビなどの磯根[※]資源の生息場所や餌料として重要な海藻です。加えて、



写真1 カジメ

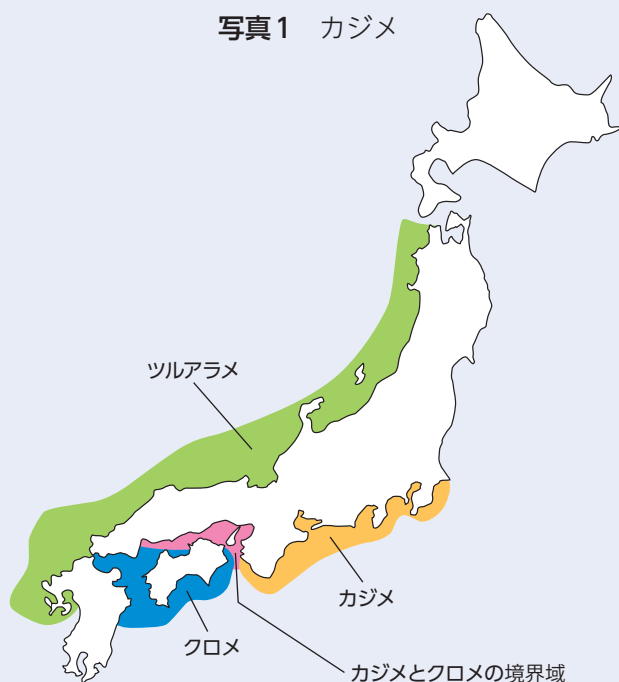


図1 カジメ類3亜種の分布

秋田晋吾(2020). カジメ類の分類学的再検討. 海藻資源, 45, 33-34. の図2をもとに作成



同部
温帯浅海域第1グループ
研究員 藤野 くるみ



水産技術研究所 環境・応用部門
沿岸生態システム部
温帯浅海域第2グループ
主任研究員 門田 立



※磯根(いそね)資源: 沿岸の岩礁域を磯根。アワビやサザエ、イセエビなど、磯根で漁獲される魚介類

近年、ブルーカーボンに関心のある研究者や漁業者の間で注目が高まっています。それは、カジメ類が温帯域に分布する海藻の中でCO₂の吸収量が高いグループの一つであるからです（P5参照）。

食害による大ピンチ

ところが、このカジメ類は、この数十年の間に急激に減少しています。とくに、九州でその傾向は顕著で、長崎県の野母町^のや壱岐^いなどでは、地先^じ（陸から近い範囲の海）からカジメ類がほぼなくなっていました。この原因として、海水温の上昇と、それともなう植食性魚類の食害の増加が指摘されています。このため、カジメ類を増やし守るために、漁業者が中心となって植食性魚類の除去が実施されていますが、藻場が回復する水準まで植食性魚類を除去することは難しいのが現状です。現在、当機構では、植食性魚類の生態を利用した効率的な

除去手法の開発（※参考）を進めています。その手法を確立するには、まだ時間がかかりそうです。

早熟株の発見

このような状況の中、神奈川県水産技術センターが大変興味深いカジメ（早熟株）を発見しました。通常、カジメ類は秋に種（厳密には遊走子）を出し、それが成長し、2年目の秋（1歳）に成熟します。ところが、早熟株は1年目の秋（0歳）に成熟するのです（図2）。秋は海水温が高く、植食性魚類の摂餌量が多くなり、さらに海藻の現存量が少ないため、魚類の摂餌の影響が強く現れることで、カジメ類の群落は衰退・消失する現象が観察されています。1年で種を出すことのできる早熟株は、成熟に2年かかる通常のカジメ類に比べ、次世代を残すチャンスが大きいと考えられます。このため、早熟株は植食性魚類の食害がある環境でカジメ群落を回復させるための最初

のステップに利用する株としてとくに有効と考えられます。フリー配偶体技術を使ってこの株を増やせば（P14参照）、カジメ群落を回復させるための大きな武器になります。

ほかの亜種の早熟株の探索

当機構では、大分県農林水産研究指導センターと共同で、カジメの亜種であるクロメについても、0歳で成熟する早熟株を大分県地先で発見し、そのフリー配偶体の取り出しを進めています（図3）。早熟株はとても小さくても成熟します。まだ詳細な研究が必要な状況ではありますが、クロメでも早熟株が利用できるかと期待しています。植食性魚類の食害が注目されはじめて20年以上経ちますが、食害が原因で磯焼けとなった場所をカジメ類群落へ回復させた事例はほとんどありません。しかし、私たちは、早熟株とフリー配偶体技術を、植食性魚類の効率的除去技術と組み合わせることで、

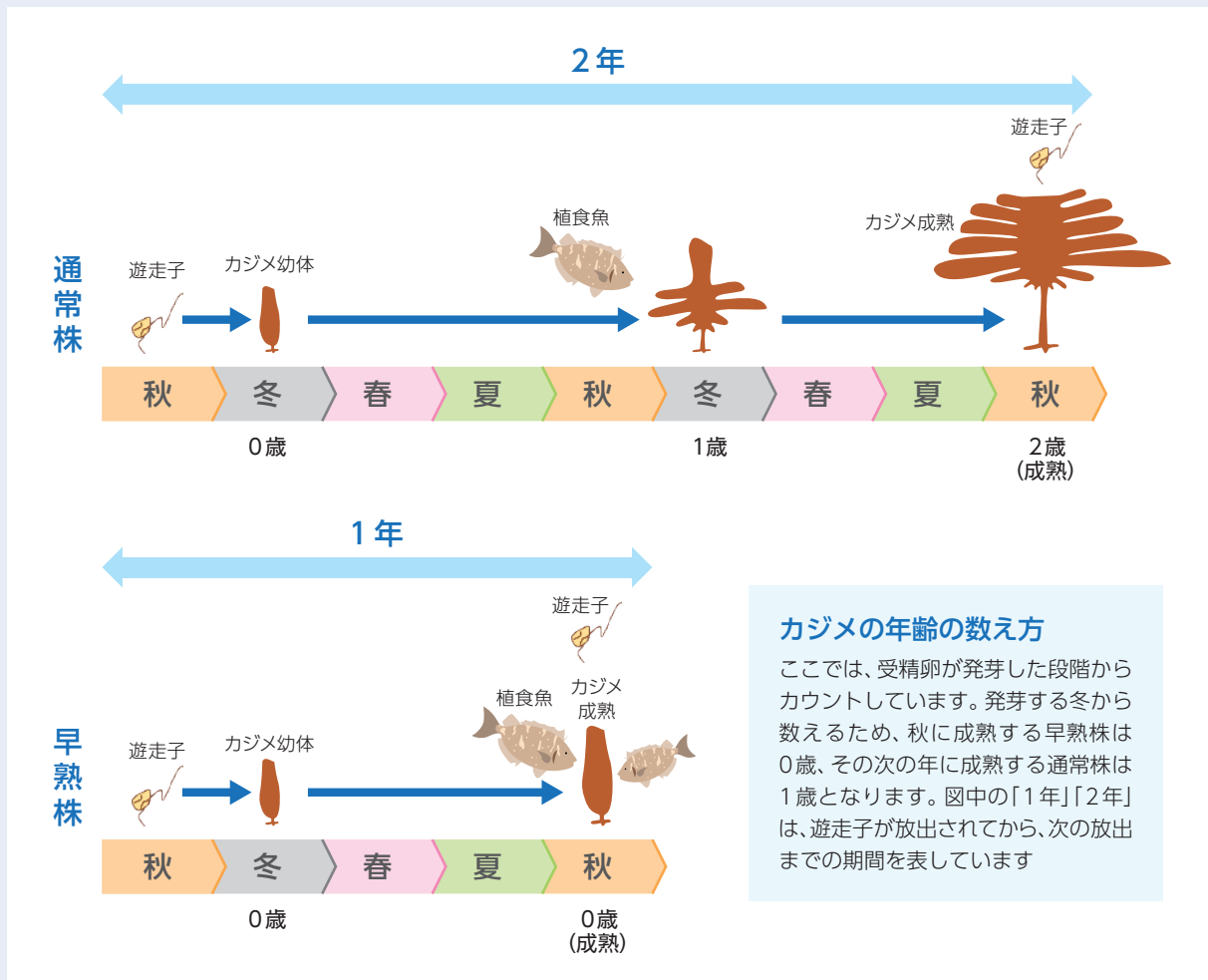


図2 通常株と早熟株が成熟するまでの過程



図3 発見したクロメの早熟株

これまで困難とされてきた海域での藻場回復に挑戦していきたいと考えています。

魚類遺伝解析のスペシャリスト

幻の怪魚、アカメの謎を追う！

さまざまな分野で活躍する専門家に、研究者になったきっかけや現在取り組んでいる研究内容などについてインタビュー!!
今回は「魚類遺伝解析のスペシャリスト」の高橋洋先生に話を聞きました。

インタビュー! 広報課 飯島祥子



全長約1.5センチのアカメ稚魚(0歳魚)

アカメ稚魚の生育場であるコアマモ群落

―研究者を志したきっかけは？

もともと子どもの頃から魚が好きで、よく海や川に出かけて魚とりや魚釣りを楽しんでいました。そのような中で、魚の図鑑を見るようになり、たくさん種がいることに興味を持ちました。

本格的に研究者を志したのは、大学に入ってからです。卒業研究で、トゲウオの仲間の進化過程を調べている中、これまでの仮説からは考えられないような結果が見えてきました。当時の指導教員も、最初はこの結果に対して「そんなわけないだろう」と首をかしげていたほどでした。

そこで、どうしてこのようなことが起きたのかを調べていくうちに、遺伝子の異種間浸透^{※1}が起きていることがわかりました。それまで、図鑑に載っている種は、ほかの種から明確に区別できるものだと思っていたのですが、この発見から、種と種の境界が意外にもあいまいな場合があることに気



水産大学校 水産学研究所

たか はし ひろし

教授 高橋 洋

学生時代から一貫して魚類の自然種間交雑^{※2}現象および、それを通じた多様性進化に焦点を当てて研究している。当校では、生物学・遺伝学を中心とした教育の傍ら、下関名産のふく(フグ)をはじめ、さまざまな魚類について、飼育実験や遺伝解析を行っている。パイプは「フィンチの嘴 ガラパゴスで起きている種の変貌(ハヤカワ文庫)」

※1 自然種間交雑：自然下で起きる生物学的に異なる種の間での交配を指す

※2 異種間浸透：交雑を介して特定の遺伝子がある種から別の種へ移ってしまう現象

づきました。また、他種から異種間浸透によって遺伝子を取り込んだ集団が、そうでない集団よりも個体数を増やしていることが示されたことから、この現象が「生物の多様性進化において重要な役割を果たしているのではないか?」^{※3} と思い、自然種間交雑現象への興味が深まり、次第に研究にのめりこむようになりました。

—今取り組んでいる研究は?

水産^{※3}遺伝資源の保全・管理・利用について研究しています。生命の設計図ともいえるDNA(デオキシリボ核酸)の塩基配列に含まれるゲノム^{※4}情報を解析することで、種や集団の持つ遺伝的多様性を詳細に調べ、それらが失われないような、適切な保全・管理方法を考えています。また、水産育種や品種改良に役立つ変異を遺伝的多様性の中から見つけ出す研究も行っています。

—ゲノム解析の手法を選んだ理由はなんで すか?

種や集団の保全・管理にゲノム情報を用いる利点は、見える情報に惑わされずに、本質を捉えられることです。通常、生物の保全や管理は見た目の特徴などで分類された種[※]を基準に行われています。例えば、よく

耳にする絶滅危惧種というのも、基本的にそうして分けられた種を単位として保全・管理が行われています。しかし、そういった情報だけを軸に考えると「大きくて目立つ↓目撃情報が増える↓数が多いと感じやすい↓保全の優先度が低い」とか「美しい・珍しい・高名な研究者が研究している↓(他種よりも)昔に比べて減ったと感じやすい↓保全の優先度が高い」などと、人の意識に影響を受けてしまいがちです。ゲノム情報を基準にすれば、そういった意識にとらわれることなく考えることができます。

—ゲノム情報はどのように調べるのですか?

ゲノム情報を調べるには、まずゲノムを構成するDNAの塩基配列を解読します。DNAは4種類の物質が長く連なってできています。この物質の並び順は、それぞれを構成する塩基の頭文字A、T、G、Cで表した「文字列」で表すことができます。この文字列(塩基配列)は、生物の進化の過程で、配列中のある場所のAがTに変化するなど、ゲノム領域ごとに特徴的な変化を蓄積していきます。この特徴をさまざまな統計学的手法を使って解析することによって、種や集団の進化過程や、集団を構成する個体数の歴史的な変化、さらには上述

の異種間浸透やそれが生物の進化に及ぼした影響などを知ることができるのです。

—ゲノム解析という難しいイメージがありますが、実際にはどのような作業をするのでしょうか?

まずは野外調査に行き、研究対象の魚のヒレの端や粘膜(DNA試料)などを採取して、研究室に持ち帰ります。あるいは、当校の施設で飼育されている魚からDNA試料を採取します。次に、このDNA試料から薬品を使って、細胞を構成するタンパク質、脂質、核酸(DNA)のうち、前2者を取り除いてDNAを精製します。精製されたDNAの質や量を検査して、DNAの塩基配列を解読する解析機器(シーケンサー)にかける準備をすれば、あとは解析を担う会社に送るだけです。解読が終わり、データが送り返されてきたら、コンピューターを使ってそこからさまざまな情報を読み取っていきます。

昔は実験手法がもっと複雑で、シーケンサーの処理速度も遅く、全てのゲノム情報を調べるのは非常に難しいことでしたが、今は技術が進歩し、それを比較的容易に調べられるようになっていきます。

※3 遺伝資源：人間にとって有用な遺伝子や遺伝的特徴を持つ生物のこと

※4 ゲノム：生物がもつDNAの塩基配列に含まれる全ての遺伝情報のこと

—今行っている研究で一番注目している種は？

プレスリリース(※参考)も出しましたが、幻の怪魚と呼ばれる『アカメ』です。西日本の太平洋沿岸だけに分布している日本固有の大型肉食魚で目が赤く光るのが特徴です。

—なぜアカメを？

きっかけは、当校に着任してすぐに、アカメの稚魚の生態を研究している先生の野外調査について行ったことです。アカメという魚は、魚好き・釣り好きの人たちからするとあこがれのような存在で、私が調査に同行



アカメの稚魚

したのもまさにそのような気持ちからでした(笑)。調査では、アカメのヒレのすじ(鰭条^{きじょう})を切つてしるしをつけるのですが、その手伝いをするかたわら、切られたヒレの破片を個体ごとにDNA試料として集めました。

アカメは日本固有種ですが、長い間インド太平洋地域の熱帯域に生息するバラマンデイ(シーパーチとも呼ばれます)と近縁だと思われていました。1984年に初めて別種とされたくらい、見た目もよく似ています。そこで、これら2種の間にどのような進化的関係があるのか、交雑や異種間浸透が起きているのか、という視点で研究を始めたのです。

—その結果は？

予想とは全く違っていました。アカメはるか昔、中新世(500万年以上前)にほかの種から分かれ、それ以来、他種と交雑することなく独自の進化を遂げていたのです。さらに驚いたのは、個体間で遺伝的違いがほとんどない(種内の遺伝的多様性が低い)ことでした。一般的に、大型の海水魚は種内の遺伝的多様性が高いことが知られています。しかし、アカメはほかの魚類どころか、すべての脊椎動物と比べても、種レベルの



調査が終わってアカメ稚魚を逃がすところ



アカメ稚魚からDNA試料を採取しているところ

遺伝的多様性をもっとも低かったのです。

保全遺伝学^{※5}の教科書には「遺伝的多様性が低いと、環境の変化に耐えられず、絶滅しやすい」と書かれています。ところがアカメは、種内の遺伝的多様性がきわめて低いにもかかわらず、長期間絶滅せずに生き延びてきたことになります。そこで、その謎を解き明かすために、アカメのすべてのゲノム情報を詳細に解析しました。その結果、アカメは少なくとも3万年前から、繁殖に関わる個体数がわずか1000個体程度と、きわめて少ない数で細々と生き延びてきたことがわかりました。また、それでも長い間存続できた理由の一つとして、ゲノムの一部の領域、例えば免疫に関わる領域の多様性が維持されてきた可能性が示されました。

―ほかに得られた成果はありますか？

絶滅危惧種の保全の優先度は、過去と現在で個体数を比較して、どれぐらい減っているかを知る必要があります。しかし、アカメは幻の魚と言われるとおり、めったに漁獲されないため、ほかの魚種のように漁獲データから現在の個体数を推定できません。そのため、アカメの主要な生息地である高知県では、個体数が増えているか減っているかの情報がないにもかかわらず、

2017年にアカメがレッドリスト^{※6}から除外されてしまいました。

先にお話したとおり、アカメの歴史的な個体数はそのゲノムを解析することで推定できました。一方、現在の個体数がそれに比べて増えているのか、減っているのかは、漁獲情報によらない新しいゲノム解析手法で明らかにする必要があります。この新しい手法によって、アカメが歴史的な個体数より大幅に減少していることが明らかになりつつあります。まさに、人の目につきやすい大型魚であるアカメは、〝幻の〟と言われるわりには、たくさんいるじゃないか、と誤解されていたのです。

現在はこの手法を、漁獲量によらない新しい資源評価方法として、フグなどほかの水産重要種に活用できないか、研究を続けています。

―最後に、研究者をめざす人にメッセージをお願いします。

私の場合は、取り組んだ研究で予想外の結果が出て、そのことを深く掘り下げて研究していくうちに、気がついたら研究者になっていった感じです。予想外の結果やその重要性に気がつくこと、そのような結果に〝運良く〝巡り会えたときに、「さて、面白くなってきやがった」とポジティブ変換できる

こと、そういった人が研究者になっていくのだらうと思います。また同時に、それが教科書から外れたことだと気づき、興味を持つためにも、既存の知識や研究結果などを体系的に整理して、きちんと理解しておくことが大事だと思います。いつもそのことを胸に、当校での教育にあたっています。

―ありがとうございました。



高知県浦戸湾での調査風景

ゲノム解析についての詳しい説明はFRANEWS Vol.29にも掲載しています

[URL] <https://www.fra.go.jp/home/kenkyushokai/book/franews/files/fnews29.pdf>

※5 保全遺伝学：ゲノム情報などを絶滅危惧種の保全に活かす学問分野

※6 レッドリスト：絶滅のおそれのある野生生物の種のリスト



コラム

種の定義とは？

図鑑にはいろいろな生物の種が載っています。種とは、生物を分類する際の基本単位です。種の定義として代表的なものに、種はほかの生物から生殖的に隔離される、というものがあります。これを「ほかの種と交雑が起きない」あるいは「交雑が起きても雑種は子孫を残せない」と考える人が多いです。しかし、交雑は動物や植物において普遍的に見られる現象で、私たちヒトも昔ネアンデルタール人やデニソワ人などの近縁種と交雑し、遺伝子の一部を受け取った痕跡が見られます。

ではなぜ、図鑑に載っている一部の種の間で、「子孫を残せる雑種」がいるのに、その両親種は別々の種とみなされるのでしょうか？ その理由は、雑種やその子孫のように両親種の中間的な遺伝子の組み合わせをもつ個体が、いずれ自然選択により排除される雑種崩壊という生殖隔離のメカニズムがあるからです。今では、種の境界は明瞭であるというイメージも変わりつつあります。

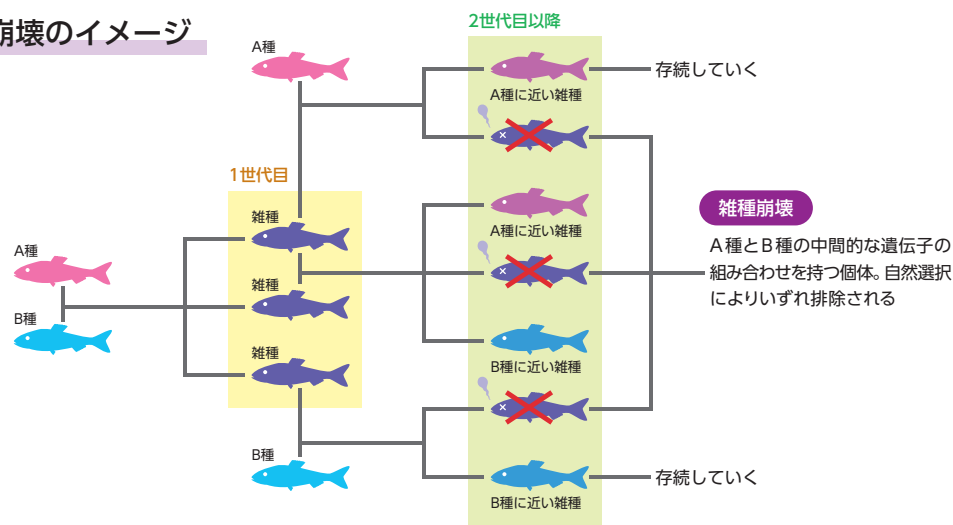
近年、気候変動によって自然での種間交雑が起こりやすくなっています。令和6年度の成果発表会でその話題に触れていますので、是非ご覧ください。

第21回成果発表会 講演③
「海水魚の分布域変化と自然雑種の増加」
(高橋 洋)

<https://www.youtube.com/watch?v=fwkBTlyOOrc>



雑種崩壊のイメージ



刊行物報告



水産研究・教育機構 NEWS LETTER おさかな瓦版

発行時期 No.124：2025年3月

問い合わせ先 経営企画部 広報課

ウェブサイト <https://www.fra.go.jp/home/kenkyushokai/book/kawaraban.html>

そのほか刊行物、バックナンバーはウェブサイトに掲載しています。

ウェブサイト <https://www.fra.go.jp/home/kenkyushokai/book/kankobutsu.html>



編集後記

暖冬だった昨年に比べて、大雪に見舞われるなど寒い冬でした。わが家の猫は暑がりでも寒がりのくせに、冷房も暖房も苦手。でも、コタツはお気に入り、冬はコタツの中を本拠地としています。

ただ、スイッチを入ると暑くなるらしく出て行ってしまうので、猫ファーストのわが家のコタツは猫がいなくてススイッチを入れることが許されるという、人間には厳しい制限が。

どうせ寝ているだけなんだから布団の中で丸くなっていればいいものを、どういわけか人のぬくもりも必要らしく、猫はこたつで母(猫の一番のお気に入り)の足に必ず自分の体のどこかをくっつけています。家の中なのに厚着を余儀なくされ、なんかなあと思いつつも、この物価高の時世に、わが家の光熱費は猫様のおかげで多少安く済んでいるのかなと。春遠からじ。

広報課 藍原 章子

ウェブサイト



<https://www.fra.go.jp/>



Facebook

【アカウント名】
水産研究・教育機構

<https://www.facebook.com/fra.go.jp>



YouTube

【アカウント名】
FRA 水産研究・教育機構

<https://www.youtube.com/@frachannel>



<https://www.youtube.com/@fralabo>



X

【アカウント名】
FRA 水産研究・教育機構

https://x.com/fra_go_jp

