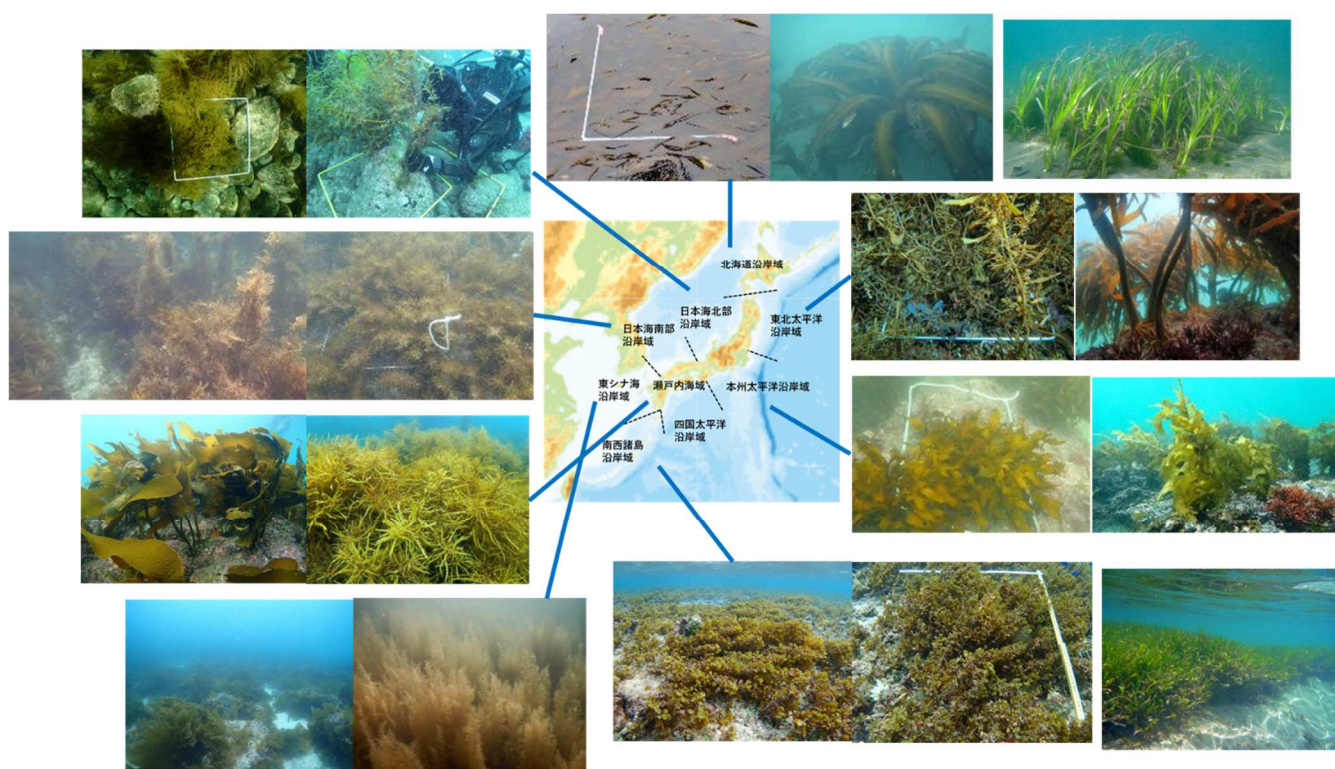


海草・海藻藻場の CO₂ 貯留量 算定ガイドブック <実践編 1>

～海域・藻場タイプ別の現存量調査の手引き～



国立研究開発法人
水産研究・教育機構

【本ガイドブックに関する問合せ先】 bcguidebook@fra.go.jp

【本ガイドブック引用時の記載方法】 水産研究・教育機構（2024）海草・海藻藻場の CO₂ 貯留量算定ガイドブック＜実践編 1＞. 水産研究・教育機構, pp. 51.

【掲載場所 URL】 https://www.fra.go.jp/gijutsu/project/fisheries_ecosystems.html

はじめに

近年、海草・海藻藻場のブルーカーボン研究とその活用策について、国や地方自治体だけでなく、民間セクターでも議論や取り組みが活発化しています。漁場環境として重要な藻場の維持・拡大に携わってきた水産分野でも、藻場のブルーカーボン生態系としての機能を再認識し、持続的な食料生産や健全な生態系保全に関わる機能と両立させるための取り組みが進められています。その中で、水産研究・教育機構が主体となり、農林水産省・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（JPJ008722）」で得られた研究成果に基づき、2023年11月に「海草・海藻藻場のCO₂貯留量算定に向けたガイドブック（以後、ガイドブック本編と記載）」を公開しました。CO₂貯留量算定には、算定対象となる藻場の「面積（活動量）」と、単位面積当たりのCO₂貯留量を表す「吸収係数」の2つの値が必要です。このガイドブック本編で公開された吸収係数を用い、2024年4月には、環境省において我が国の温室効果ガスインベントリに海草・海藻藻場が吸収源として世界で初めて国連に報告されました。

対象とする藻場の吸収係数を正確に求めるためには、藻場で実際に生育している海草・海藻量の単位面積当たりの最大現存量を現地調査で計測する必要があります。しかしながら、藻場を構成する海藻種は多種多様であり、それらの種が複雑に入り混じって藻場群落を形成していることから、どのように現存量調査を実施すればよいか、その手法は専門家以外にはわかりづらい点が多くあります。そこで、現存量に関する調査のノウハウや手法などをわかりやすく解説したガイドブック実践編1を公開することとしました。

ガイドブック本編では、藻場を構成する海草・海藻種のCO₂吸収プロセスの類似性から天然海域の海草・海藻藻場を17のタイプに分類し、さらに全国を9つの海域に区分しています。この海域区分・藻場タイプの吸収係数は全国で91の組み合わせがありますが、実践編1ではそのうち主要な組み合わせとなる約半数の48タイプを対象にしています。調査対象タイプの特徴、調査する地点（藻場）および調査時期の選定、現存量調査の具体的手法、その留意点などを海域別に解説します。本文中には、執筆者が自ら調査で撮影した写真を掲載し、イメージが掴みやすいように工夫しました。この実践編1がガイドブック本編の理解と現場でのCO₂貯留量算定に役立つことを期待しています。

2024年9月 編集者・執筆者一同

目次

はじめに

藻場タイプ別の貯留量算定に向けた現存量調査の解説	1
1) 北海道東部太平洋海域	
ナガコンブ・ガッガラコンブ, オニコンブ, アナアオサ	2
2) 東北太平洋沿岸域	
エゾノネジモク, アラメ	7
マコンブ	10
ワカメ	12
紅藻	14
3) 日本海南部海域	
アラメ, クロメ, 温帯性ホンダワラ類, ワカメ, サンゴモ類, 小型褐藻 (ウミウチワ)	16
4) 太平洋中部海域	
カジメ・ワカメ	20
5) 瀬戸内海海域	
クロメ	25
温帯性ホンダワラ	28
小型緑藻・小型褐藻・小型紅藻	31
6) 九州東シナ海域	
アントクメ, ワカメ, 温帯性ホンダワラ類, 亜熱帯性ホンダワラ類, 小型紅藻, 小型褐藻, 小型緑藻	35
7) 南西諸島海域	
亜熱帯ホンダワラ	38
8) 海草類 (全海域)	
アマモ, タチアマモ, スガモ, 亜熱帯性小型海草類, 亜熱帯性中型海草類, 亜熱帯性大型海草類	42
引用文献	47

藻場タイプ別の貯留量算定に向けた現存量調査の解説

【本ガイドブックで扱う藻場タイプについて】

ガイドブック本編では、海草・海藻藻場の CO₂貯留量算定に用いる吸収係数には9つの海域区分と（下図）、17の天然藻場タイプとの組み合わせがあります（下表）。表中の番号は、この実践編1で取り扱っている現存量調査の章を示しています。ただし、北海道沿岸域では東部海域の事例のみを説明しています。

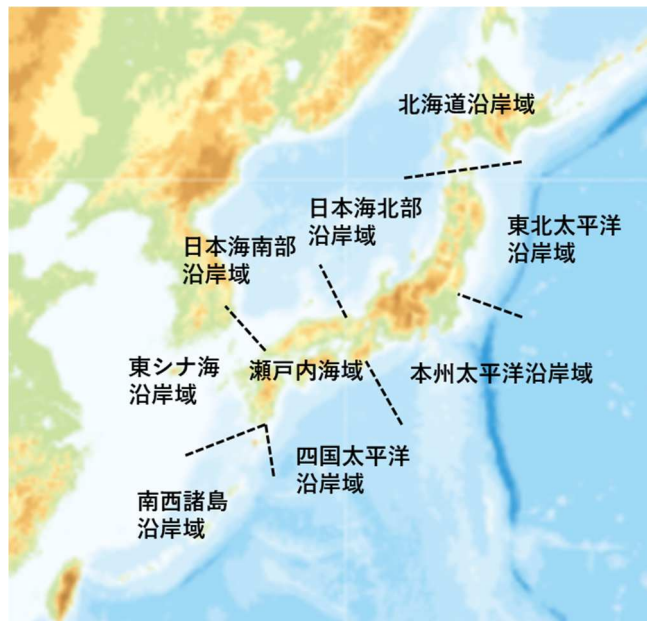


図 海域区分（海草・海藻藻場の CO₂貯留量算定ガイドブック，水産研究・教育機構 2023）

表 海草・海藻藻場の CO₂貯留量算定ガイドブックにおいて吸収係数を算定した海域・タイプと本稿に掲載している項目の対応表。白抜きはガイドブックにおいて吸収係数が示されていないもの

藻場タイプ	北海道	東北太平洋	日本海北部	日本海南部	太平洋中部	瀬戸内海	四国太平洋	九州東シナ海	南西諸島
海草類									
アマモ型	8)	8)	8)	8)	8)	8)	8)	8)	
タチアマモ型	8)	8)	8)	8)	8)				
スガモ型	8)	8)	8)	8)	8)				
亜熱帯性海藻小型									7)
亜熱帯性海藻中型									7)
亜熱帯性海藻大型									7)
海藻類									
マコンブ型	1)	2)	-						
ナガコンブ型	1)								
アラメ型		2)		3)	-		-	-	
カジメ型		-	-	3)	4)	5)	-	6)	
ワカメ型	-	2)	-	3)	4)	-	-	6)	
温帯性ホンダワラ型	-	-	-	3)	-	5)	-	6)	
亜熱帯性ホンダワラ型								6)	7)
小型緑藻型	2)	-	-	-	-	5)	-	6)	-
小型紅藻型	-	2)	-	-	-	5)	-	6)	-
小型褐藻型	-	-	-	3)	-	-	-	6)	-
石灰藻型（サンゴ藻）	-	-	-	3)	-	-	-	-	-

1) 北海道東部太平洋海域

対象種(タイプ): ナガコンブ *Saccharina longissima*・ガツガラコンブ *Saccharina coriacea* (ナガコンブ型), オニコンブ *Saccharina japonica* var. *diabolica* (マコンブ型), アナアオサ *Ulva pertusa* (小型緑藻型)

最大現存量の時期: 6~7月

調査方法: ライトランセクト

方形枠サイズ: 100 cm×100 cm (コンブ類)、20 cm×20 cm (アナアオサ)

留意点: コンブ類は方形枠内の株数・被度の計測および藻体サイズクラス別の重量の計測

【調査対象の特徴と選定の考え方】

北海道周辺の海域はコンブをはじめとする多くの海藻が生育し、コンブ漁やウニ漁が盛んですが、道東海域(釧路や根室)は栄養豊かで冷たい親潮の影響をうけるため、とりわけ海藻が良く繁茂しています。このため、日本のブルーカーボンにとっても重要な海域ですが、主要コンブの漁獲量は減少傾向にあり(佐々木 2017)、温暖化の影響によるコンブの生育不良なども心配されています(Hasegawa *et al.* 2019、 Sudo *et al.* 2020)。そこで、この海域のブルーカーボンの評価や海藻藻場の動向を理解するために、海域の主要なコンブ類である「ナガコンブ」や「ガツガラコンブ」、「オニコンブ」の藻場の現存量調査を行い、これらのコンブ類の特性に応じた現存量推定の留意点を整理しました。なお、コンブ類と比較するために、干潟域に繁茂する小型緑藻のアナアオサについても同様の調査を行いました。

道東海域のコンブ類は、夏季に最も大きく成長することから、調査は6~7月に実施し、調査で得られた現存量を最大現存量(Bmax)であると判断しました。

【調査概要および調査上の留意点】

ナガコンブ・ガツガラコンブ: ナガコンブは釧路以東の波荒い太平洋に面する岩礁域の浅場に生育する多年生コンブで、その葉幅は20 cm未満ですが、葉長は10 mを超えることもある細長く葉厚が薄いコンブです(図 1-1 左、名畑・阿部 2003a)。一方、ガツガラコンブはナガコンブよりもやや深い水深の岩礁域に生育し、ナガコンブより葉幅が広く、葉長は短い一方で葉厚があり硬い特徴を持つコンブです(図 1-1 右、名畑・阿部 2003b)。両種とも道東海域の重要な漁獲対象コンブとなっています(ガツガラコンブは厚葉昆布という名称で流通)。調査は、これらのコンブ漁(図 1-2)も盛んな釧路市桂恋地先において実施しました。調査では、無作為に設置した1 m²枠(一辺1 mのL字)あるいは岸~沖に設置した200



図 1-1. ナガコンブ (左) とガッガラコンブ (右)



図 1-2. 北海道東部海域におけるナガコンブ漁 (左) と干場でのコンブ干し (右) の様子。
干場で作業する人と比べるとコンブが長いことがわかる。



図 1-3. オニコムブ。左が 2 年目コンブ (成コンブ)、右が 1 年目コンブ (水コンブ)



図 1-4. 干潟のアサリ漁場に繁茂するアナアオサ。L 字の 1 m² 枠の被度は 40%、方形の 0.04 m² 枠の被度は 70%と判定

m のトランセクトライン上の 10 m ごとの 1 m² 枠において、その上面観察・撮影によってコンブ類の被度 (0~100%、10%刻み) の把握を行うとともに、枠内のコンブの生育密度 (付着器の数) を種類や年齢別 (若い小型の 1 年目のコンブ〈通称: 水コンブ〉と 2 年目以降の

漁獲対象となる大型コンブ（通称：成コンブ）に計数しました。また、水コンブと成コンブを採集し、それぞれの平均乾燥重量（gDW）を算出、これらの重量に年齢別の生育密度を乗じて1 m²あたりの現存量（gDW/m²）を推定しました。

オニコンブ：オニコンブは釧路から根室半島を経て羅臼まで分布する大型のコンブであり、北海道南西部に分布するマコンブと共通する特徴も多く、マコンブの変種とされています。葉長は3 m程度のもが多く、葉幅は30 cmを超えることもありナガコンブなどにくらべてかなり幅広いコンブです（**図 1-3**、名畑・阿部 2003c）。ナガコンブなどが波荒い外洋に面した岩礁に生育するのに対して、オニコンブは内湾や島影など波の穏やかな岩礁の浅場に生育し、港湾内の人工基質にも生育しています。調査は、オニコンブ漁も行われる厚岸湾の藻場に設定した岸～沖 200 m のトランセクトライン上の1 m² 枠や、釧路市の桂恋漁港のコンクリート斜路に繁茂したオニコンブ群落に無作為に設置した1 m² 枠を用い、ナガコンブなどと同様の手法で実施しました。

アナアオサ：アナアオサは潮が引くと干出する比較的静穏な岩場や砂泥の干潟などに繁茂する小型の緑藻です。日本各地に分布しており、アサリ漁が盛んな北海道東部の汽水湖の干潟のアサリ漁場でも季節的な繁茂が見られます（**図 1-4**）。アナアオサ現存量の把握のため、主要なアサリ産地である厚岸湖の干潟漁場において調査を実施しました。

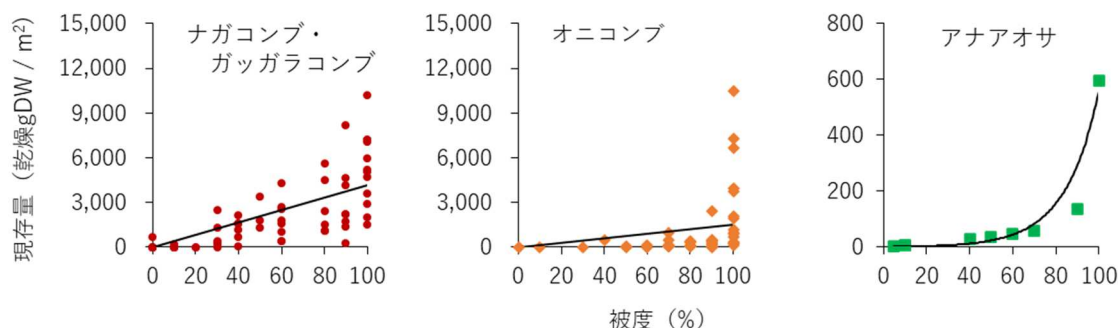


図 1-5. 北海道東部海域におけるナガコンブ・ガッガラコンブ（左）、オニコンブ（中央）、アナアオサ（右）の被度－現存量の関係



図 1-6. ナガコンブ群落の様子。葉が非常に長いいため、被度 100%と判断してもその下にコンブの基部（付着器）がたくさんあるとは限らない

調査は5月、6月および7月の大潮干潮の干潟の干出に併せて実施し、干潟上に無作為に設置した0.04 m² 枠（一辺 0.2 m の方形）で被度を記録するとともに、枠内のアナアオサを採集し乾燥重量（gDW）を求め、枠内の現存量としました。その後、現存量を1m²あたりに換算し、被度－現存量の関係を月別に整理検討しました。

各調査で得られた被度－現存量をプロットしたのが**図 1-5** です。ナガコンブ・ガッガラコンブとオニコンブでは、被度が大きくなると現存量が大きくなる傾向が確認され、直線的な関係が読み取れます（**図 1-5** 右と中央）。しかし、被度が大きかったにもかかわらず現存量が少ない、あるいは現存量がゼロのデータも多数あり、見た目にはたくさんコンブが生えており被度が高いと判定した枠でも、実際にはコンブが少なかった、あるいはコンブが全く生えていなかった枠があったことが読み取れます。なぜでしょうか？

ナガコンブやガッガラコンブ、オニコンブは葉長が数 m もある大型のコンブです。しかも、コンブは海水よりも重く、海の中では岩場に横たわるように生育し、波に揺られています（海中にまっすぐ立ったようにコンブが描いてある絵は、正確ではないのです）。このため、枠を上面から観察し、コンブで覆われて被度を100%と判定しても、その下にコンブが岩礁に付着する基部（付着器）があるとは限らないケースがでてきます（**図 1-6**、**図 1-7**）。また、コンブは他の海藻がはがれて裸地となったような基質に密生し、均等ではなく局在して繁茂しているために、1 m² 程度の枠取り調査では、密度や現存量の変異が生じやすいものと推察されます。ブルーカーボンの評価作業などでは、広域での藻場の現存量を推定するために空撮画像解析なども活用されますが、同様にコンブの被度が高いと判断した箇所でも、実際にはコンブの現存量が少ないケースも含まれています。このため、被度が高いが現存量が低いというデータなどを削除して被度－現存量の関係を整理すると、現存量を過剰に推定する可能性があり不適切です。このような、コンブの被度－現存量関係の特徴は、日本海のホソメコンブの調査でも報告されています（佐藤ら 2010）。

一方、干潟で調査したアナアオサの被度－現存量の関係は、コンブとは異なり被度が高いほど現存量が大きくなる関係が明瞭です（**図 1-5** 右）。これは、コンブとは違い、アナアオ



図 1-7. オニコンブ群落の様子。コンブは中央の岩礁のみに付着しているが、周囲にも葉が広がっており、上面から見ると岩礁周辺でも被度がカウントされる

サが小型であるため被度と現存量が一致しやすいためと考えられます。ただし、被度が100%に近いと現存量が急激に高くなる傾向があり、被度－現存量の関係は直線ではなく指数関数的な関係にありました。このように、アナアオサでは被度と現存量の関係が明瞭であり、被度調査からの現存量の推定精度が高く、ドローン空撮画像からの広範囲の現存量推定も比較的容易と考えられます。ただし、アオサの仲間は生育が非常に早いため、被度－現存量の関係は季節的に大きく変化することも明らかとなりました。このような特徴にも留意して、最も繁茂する時期（ここでは6月）に併せて調査を実施することが大切なこともわかりました。

(担当：長谷川・中川・渡辺・高木・佐藤・鈴木)

2) 東北太平洋沿岸域

対象種 (タイプ) : エゾノネジモク *Sargassum yezoense* (温帯性ホンダワラ型),
アラメ *Eisenia bicyclis* (アラメ型)

最大現存量の時期 : 6~7月 (エゾノネジモク)、8月 (アラメ)

調査方法 : 坪刈り

方形枠サイズ : 25 cm×25 cm (エゾノネジモク)、50 cm×50 cm (アラメ)

留意点 : アラメは方形枠内の株数の計測&形態部位の計測も有効

【調査対象の特徴と選定の考え方】

エゾノネジモクは全長 1 m 程度まで成長する多年生褐藻で、東北太平洋海域での分布域は宮城県牡鹿半島以北です。伸長した主枝が枯れても、瘤状の付着器と小型の主枝が残存するため、複数年にわたり同じ場所に群落が形成される特徴を持ちます (村岡 2003)。干出しない潮下帯以深の浅場に濃密な群落を作ることから、単位面積当りの現存量・生産量が高い海藻です。また、藻体上には小型の巻貝類や甲殻類が生息するとともに、アイナメなどが卵を付着させるためにも利用しています。

一方、アラメは成長すると全長 1 m 以上となる多年生褐藻で、東北太平洋海域での分布域は岩手県大船渡湾以南であり、こちらも単位面積当りの現存量・生産量が高いと考えられます。また、本種は同海域の重要な磯根資源であるウニ類やエゾアワビの餌海藻としての役割も果たしています。

両種の調査地点として、それぞれの藻場が通年にわたって形成されることが東日本大震災以前からの調査で確認されている宮城県牡鹿半島の岩礁域を選定しました。エゾノネジモクについては、同様に安定群落の形成が認められる岩手県南部においても調査を行ないました。

エゾノネジモク : 既往知見 (村岡 2003) から、本種の成長成熟による季節変化は、8月以降の枯死脱落によって現存量が最小となる衰退期、秋季から 6 月にかけて主枝の伸長に伴う現存量の増加が見られる伸長期、6 月から 7 月にかけての成熟期の 3 期に分けられます。このため、調査は最大現存量 (Bmax) が見込まれる 6 月 (宮城県牡鹿半島)、7 月 (岩手県南部) に行いました。

アラメ : 既往知見 (吉田 1970) から、多年生である本種は夏季に最大現存量を示し、9~10 月の成熟期を経て現存量が減少することが分かっています。このため、調査は最大現存量 (Bmax) が見込まれる 8 月と、現存量が最小になるとされる 11 月に行いました。

【調査概要および調査上の留意点】

エゾノネジモクは低潮線付近から水深 3 m くらいに生育し(図 2-1)、特に浅場で濃密で一様な優占群落を形成します。そこで、エゾノネジモクの調査では 25 cm×25 cm 方形枠を 3 箇所を設置し、枠内にある藻体を全て採取する坪刈り調査を行い単位面積 (1 m²) あたりの現存量を算出しました。一方、アラメの分布水深は潮間帯下部から潮下帯上部で、パッチ状に群落を形成します(図 2-2)。アラメでは 50 cm×50 cm 方形枠を群落の代表的な被度を示すと判断した地点 3 箇所に設置し坪刈り調査を行いました(図 2-3)。

岩手県南部と宮城県牡鹿半島のエゾノネジモク群落では、上部からの目視観察で海底面が見えなかったため、それぞれ被度を 100%としました。また、最大現存量は、岩手県沿岸南部で 1,555 gDW/m² (DW:乾燥重量)、宮城県牡鹿半島沿岸では 1,312 g DW/m² となりました。宮城県牡鹿半島のアラメ群落では、上部からの目視観察でわずかに海底面が見えたため被度 80%と判断しました。アラメの現存量は、8月で 2,813 gDW/m²、11月で 730 gDW/m² となりました。



図 2-1. エゾノネジモク群落 (左) と、坪刈り調査の様子 (右)

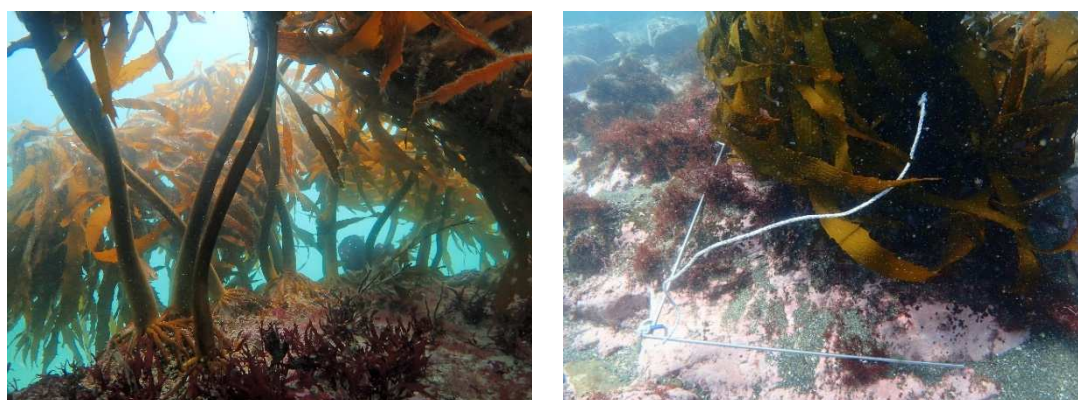


図 2-2. アラメ群落 (左) と、アラメ坪刈り調査の様子 (右)



図 2-3. アラメ群落内での調査の様子

なお、アラメのような大型海藻でパッチ状に群落を形成する場合には、坪刈りだけでなく、1 個体あたりの平均重量を別途調査し、それに調査対象区の個体密度をかけて、調査区の現存量を推定する方法もあります。しかし、アラメは、過密な場所では 1 個体あたりのサイズ（重量）が小さく、逆に疎な場所ではサイズが大きい、といった生育密度による個体サイズの変異も想定されますので、単純に個体重量に密度をかけて現存量を推定すると正確さに欠けることもあります。その対策の一つとしては、密度だけでなくアラメの形態の一部を測定することで、個体サイズの違いも組み入れることがあります。例えば、川俣（2012）は千葉県銚子市の海岸に打ち上げられたアラメ 186 個体を用い、各個体の部位の形態と藻体重量を比較し、茎の太さ（茎径）と個体重量の間に高い相関を認めています。この手法を応用すると、水中でアラメの一部（たとえば茎径）を測定することにより、個体ごとの重量推定が可能となるため、調査精度の向上が期待できると考えられます。

本調査を通じて、東北太平洋海域におけるアラメとエゾノネジモクの最大現存量 (Bmax) を算出することができました。また、アラメについては調査手法のさらなる改良が可能であるとも考えられます。今後、より実態に合った現存量算出方法を模索する必要があると考えます。

（担当：村岡）

対象種 (タイプ)：マコンブ *Saccharina japonica* var. *religiosa* (マコンブ型)

最大現存量の時期：7月

調査方法：坪刈り

方形枠サイズ：50 cm × 25 cm

留意点：点在する被度 100%の群落を選定

【調査対象の特徴と選定の考え方】

東北太平洋海域でのマコンブ藻場分布は宮城県牡鹿半島以北で、現存量・生産量は岩手県以北が高いと想定されます(武蔵ら 1993、中脇ら 2001、Yatsuya *et al.* 2017)。マコンブの生育は冬から春の時期の親潮来遊の有無に強く影響されていて、親潮の来遊した年はマコンブが繁茂しますが、来遊しなかった年にはマコンブは非常に少なくなります(図 2-4)。生育の良い年には波打ち際の浅場から水深 10 m 以上にまで分布しますが、上述のように親潮の強弱によって分布水深帯の年変動はとて大きいです。また、岩手県中部における調査地点では、2016 年以降マコンブの生育が非常に悪く、キタムラサキウニの身入りややエゾアワビ資源量にも影響がみられ(Yatsuya *et al.* 2023)、この現象は東北太平洋北部で共通するものと考えられます。

岩手県のマコンブはほぼ 1 年生であり、春先に芽生え、初夏にかけて急激に伸長し、7 月ごろに単位面積当たりの現存量が最大となり、9 月以降に成熟して子嚢斑を形成し、晩秋～冬季にかけて流失していきます(図 2-5)。そこで最大現存量 (Bmax) の調査は 7 月に行いました。



図 2-4. 同じ場所でもマコンブの生育が全く異なる例。左 2015 年、右 2016 年

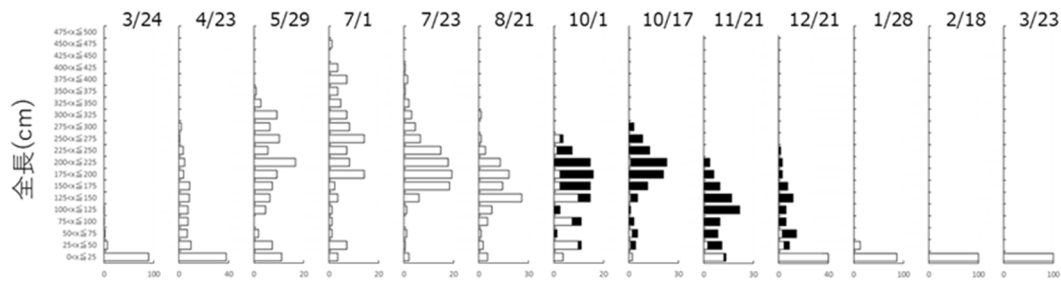


図 2-5. 岩手県中部におけるマコンブ全長組成の月別変化。黒塗りは成熟個体(Yatsuya *et al.* 2017)

【調査概要および調査上の留意点】

マコンブは、水深が浅くなるほど単位面積当たりの現存量が高くなりますが、近年はごく浅所にしかマコンブが生育しない状態が継続していました。そこで、マコンブ藻場の数箇所を対象に船上からの目視観察や潜水調査を行ったうえで、最もマコンブの現存量の高いとみられた地点で坪刈り（50 cm×25 cm）を3枠分行いました。

なお、このように浅所に残されたマコンブ藻場は約 10 m 四方の分布範囲となっていました。その範囲内では密生しており上部から海底面が見えなかったため被度を 100%としました。これは、坪刈りの枠内でも同様であったため、採集した藻体の単位面積当たりの現存量をマコンブ分布範囲の単位面積当たりの現存量と考えることができると判断しました。

（担当：八谷）

対象種 (タイプ)：ワカメ *Undaria pinnatifida* (ワカメ型)

最大現存量の時期：5月

調査方法：被度のライン調査+坪刈り

方形枠サイズ：50 cm×25 cm

留意点：ライン調査で調査範囲の平均被度を計測

【調査対象の特徴と選定の考え方】

ワカメはコンブ類の仲間の単年性海藻で、東北太平洋海域の全域に分布し、潮間帯直下から水深5 m ぐらいまでに多く生育することが知られています。同海域で優占するマコンブと同様に冬から春にかけて親潮勢力の強弱によって生育状況が異なりますが、親潮による影響はマコンブほど強くないと考えられ毎年、広い範囲に生育しています。また、春から初夏にかけて急速に生長し、全長2 m にも達するため (図 2-6 左)、この時期に身入りが増大するウニ類の餌としても重要な海藻です。

ワカメの既存情報は養殖のものが多く、天然ワカメの現存量・生産量については限られています。そこで、藻場の分布や季節変化などの既存情報が入手できる岩手県普代村および宮古市を調査対象としました。そこでの観察結果や漁業関係者からの情報などから、5月ごろに現存量が最大に達し、8月ごろには衰退することが把握されたので、両地点において5月に調査を実施し最大現存量 (Bmax) を把握しました。

【調査概要および調査上の留意点】

普代村では、まず海岸から沖側に100 m の調査ラインを設け、潜水にて目視観察することから始めました。その結果、岸から15 m まで (水深<3 m) にワカメをはじめとする大型海藻が分布しており (図 2-6 右)、その分布範囲内では現存量のばらつきは小さいとみら



図 2-6. 生長したワカメ (左) とワカメを中心とする大型褐藻群落 (右)

れたため、ランダムに選んだ3地点で坪刈り（枠の大きさは50 cm×25 cm）を行いました。また、ワカメ群落の分布範囲内の調査ライン（長さ15 m、幅1 m）を対象に目視で被度を求めたところ80%でしたので、枠内被度（93%）との比（80/93=86%）を採集した藻体の重量に乗じて補正し、ワカメ分布域の単位面積当たりの現存量としました。

宮古市では、ワカメの分布は、船上から確認できるほどの浅場に密生しているものに限られていたので、その純群落内部の3地点で坪刈り（枠の大きさは50 cm×50 cm）を行いました。この地点では、坪刈りの枠内およびワカメの分布範囲全体ともに濃密なワカメ群落が形成されており、ともに被度100%でした。そのため、枠取りしたワカメの単位面積当たりの重量を補正せずにその分布域の単位面積当たりの重量としました。

なお、普代村と宮古市の調査地点では、枠の大きさが異なっていますが、必要とする枠の大きさや数は、対象種の個体密度、藻体の大きさやそのばらつきに応じて変えています。一般に、密度が低いほど、また藻体やそのばらつきが大きいほど、枠を大きくしたり数を増やしたりする必要がありますが、そうすると、水中での作業も増加することになります。

ワカメは地理的に広い範囲に分布し、分布水深帯も広いので、それらの現存量・生産量がどのように異なるのかを把握することが重要です。過去あるいは他地点の調査データを利用する場合は、それらが調査対象地点と同様であるのか異なるのかなどを検討することも必要と思われます。

（担当：八谷）

対象種 (タイプ) : フノリ類 *Gloiopeltis* spp.・アカバギンナンソウ *Mazzaella japonica*・アカバ *Neodilsea yendoana*・ウスバノリ類 *Acrosorium* spp.

(小型紅藻型)

最大現存量の時期 : 5月 (フノリ・アカバギンナンソウ)、通年 (アカバ、ウスバノリ類)

調査方法 : 坪刈り

方形枠サイズ : 50 cm × 50 cm

留意点 : 計測時に周囲の被度を計測し、測定した最大現存量を補正する

【調査対象の特徴と選定の考え方】

東北太平洋海域ではさまざまな種の紅藻が分布していると想定され、潮間帯から潮下帯や内湾から外海にかけてなど様々な場所に生育しています。そこで、今回の調査では潮間帯と潮下帯 (水深 6 m) で繁茂する紅藻を対象としました。同海域における紅藻の現存量・生産量がどのように異なるかは既往文献では把握されていなかったために、藻場の分布や季節変化などの既存情報が入手できる岩手県宮古市で調査を実施することとしました。

潮間帯の紅藻 (フノリ、アカバギンナンソウ) は、これまでの野外観察から 5 月ごろに最も繁茂することが知られていたため、この時期に最大現存量の調査を実施しました。また、潮下帯の紅藻 (アカバ、ウスバノリ類) は、現存量が最大となる時期が不明であったため、1 年間にわたり隔月で調査してみました。その結果、現存量の季節変化が明瞭ではなかったため、年複数回の調査で得られたデータの平均値を最大現存量とするのが最も正しいと考え、得られたデータの平均値を最大現存量 Bmax としました。

【調査概要および調査上の留意点】

現存量の把握は、坪刈りによって行いましたが、対象とする群落の分布様式とそれに応じた刈取り地点の選定が重要です。

潮間帯では、紅藻は一様に分布しており、現存量のばらつきが小さかったので (図 2-7)、ランダムに選んだ 3 地点で坪刈りを行いました。また、坪刈り枠の周囲 (長さ 10 m 程度の範囲) を目視で観察して、より広い範囲の被度を求めました。潮間帯の紅藻では、枠内被度は 100% で枠の周囲を含む範囲の被度 (93%) のほうが若干低いので、両者の比 (=93/100) を坪刈りした藻体の重量に乗じて補正しました。

潮下帯の紅藻は、数十 cm 程度のパッチが不規則に分布するように生育していたため (図 2-8 左)、このパッチでの坪刈りを 3 地点で行いました (図 2-8 右)。この方法では、枠内の単位面積当たりの現存量と、枠外も含めた広い範囲を対象とする単位面積当たりの現存量が大きく異なります。そこで、坪刈り枠の周囲でランダムに選んだ 5 箇所、4 m² 程度を

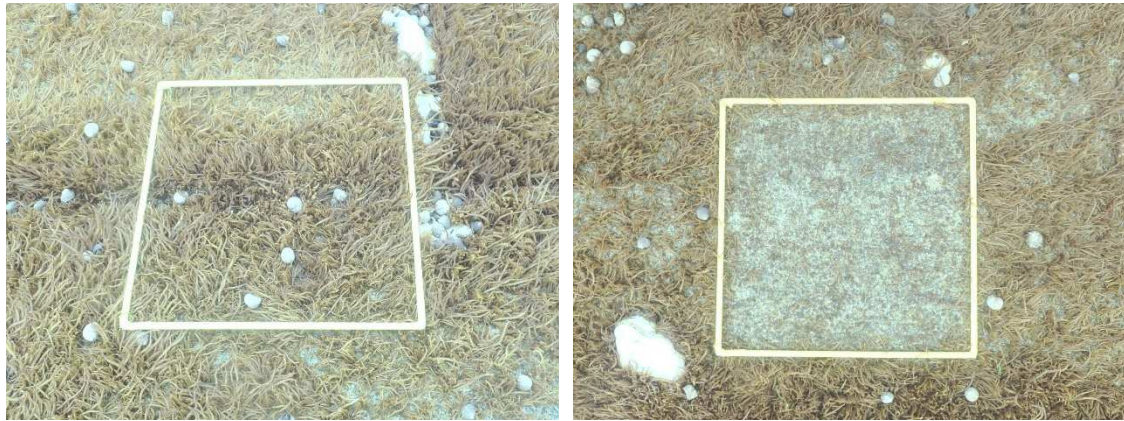


図 2-7. 潮間帯のフノリの刈取前（左）と刈取後（右）。枠の大きさは 25 cm



図 2-8. パッチ状に生育する潮下帯の紅藻群落（左）と枠取りの位置（右）。
枠の大きさは 50 cm

目視で観察し、坪刈り地点周辺の広い範囲の被度を求め、この値を利用して補正しました。潮下帯紅藻の枠内被度は 74% と高いものの、枠外を含めた範囲の被度 (21%) の方がかなり低かったため、その比 (=21/74) を坪刈りした藻体の重量に乗じて補正しました。

このように、一括して扱われる紅藻にも異なった分布様式や生活年周期を持つものが含まれているので、最大現存量を把握する際には注意が必要です。ブルーカーボンの調査としては、記録としての有効性を得るために、どのような調査を行ったのか記載しておくことが重要であると考えられます。

(担当：八谷)

3) 日本海南部海域

対象種 (タイプ): アラメ *Eisenia bicyclis* (アラメ型), クロメ *Ecklonia cava* ssp. *kurome* (カジメ型), ヤツマタモク *Sargassum patens*・ホンダワラ *S. fulvellum*・イソモク *S. hemiphyllum*・ウスバノコギリモク *S. serratifolium*・アカモク *S. horneri* (温帯性ホンダワラ型), ワカメ *Undaria pinnatifida* (ワカメ型), サンゴモ類 (石灰藻型), ウミウチワ *Padina arborescens* (小型褐藻型)

最大現存量の時期: 4~7月

調査方法: 景観被度+坪刈り

方形枠サイズ: 10m×10m (景観被度)、50 cm×50 cm (坪刈り)、25 cm×25 cm (サンゴモ)

留意点: 複数種の混生藻場の場合はその海域の平均的な藻場の被度構成を探す

【調査対象の特徴と選定の考え方】

山口県日本海沿岸では、2013年夏季の海水温の上昇により、藻場を構成するアラメを中心としたコンブ目群落が水深約5m以浅で大規模に衰退しました(村瀬2014、安成2015)。このような藻場の衰退は、長崎県壱岐市(八谷ら2014)や島根県の沿岸(吉田2016)でも報告され、日本海南部海域の広範囲で認められました。その後、2014年から日本海南部(山口県下関市豊北地区、粟野地区)において年1~2回の藻場調査を実施しています。しかし、本事業を開始した2020年においても、アラメ群落が回復している海域はあるものの、アラメ以外のカジメ類やホンダワラ類などの他の藻場構成種に変化した海域、小型海藻群落に変化した海域、イガイ科などの二枚貝類で岩礁が覆われた海域あるいはウニ類などによる食圧が顕著な海域など、様々な藻場の変化が観察されています(村瀬2022)。そこで、現存量調査を行うにあたり、これまでの山口県下関市沿岸での藻場調査において、対象とする海藻類が「現段階で」最も繁茂している調査地点を選択しました。また、植食性動物の食害が顕著になっているため、その影響の少ないと思われる海域を考慮しました。

日本海南部海域における藻場構成種の季節変化に関する文献が少ないことから、近隣海域における対象種の季節消長に関する文献(石田・由木1996、Murase and Kito 1998、木村ら2007、八谷ら2011、八谷ら2014、西垣・道家2015など)から繁茂時期(4~7月、もしくは9~12月)を選びました。

【調査概要および調査上の留意点】

日本海南部海域では、単一種で構成される純群落は少なく、複数種で構成される混生群落

が主です。また、パッチ状に広がる群落も多いです。このため、現存量調査において「平均的」な藻場を選定するために、次のような基準を設けました。

1. 方形枠（50 cm×50 cm）を設置する藻场景観の基準

- 1) 調査海域において、約 10 m×10 m の範囲の藻場構成種（アラメ、ホンダワラ類など）のそれぞれの景観被度を目視により求めました。景観被度は、観察する範囲が方形枠よりも広がるだけで、基本的な考え方は被度と同じです。図 3-1～6 には、10 m×10 m の範囲を撮影したものではありませんが、参考として調査海域での景観被度の例を示します。
- 2) 対象とする海藻種の景観被度が、藻場を構成する海藻類全体の景観被度のうち 50%程度を占めている藻場を選択しました。



図 3-1. 景観被度イメージ（アラメ 30%、ホンダワラ類 40%、裸地 30%）



図 3-2. 景観被度イメージ（ホンダワラ類 70%、クロメ 10%、裸地・石灰藻 20%）



図 3-3. 景観被度イメージ（ホンダワラ類 50%、アラメ 10%、ツルアラメ 5%以下、裸地・石灰藻 30%）



図 3-4. 景観被度イメージ（アラメ 50%、ホンダワラ類 20%、裸地・石灰藻 30%）



図 3-5. 景観被度イメージ（ホンダワラ類 20%、アラメ 10%、ツルアラメ 10%、裸地・石灰藻 60%）



図 3-6. 景観被度イメージ（ホンダワラ類 60%、アラメ 5%以下、裸地・石灰藻 40%）

2. 方形枠（50 cm×50 cm）の設置箇所の基準

上記1の基準により選択された藻場の範囲において、対象とする海藻種の優占する箇所に方形枠を設置しました。この際、枠内における被度を目視により求めた後、坪刈りを行いました。ただし、上記したように群落が回復途上であると考えられることから、坪刈りは50 cm×50 cm 方形枠1箇所としました。また、サンゴモ類については、25 cm×25 cm 方形枠1箇所としました。

坪刈りの事例について、2020年9月16日に山口県下関市豊北町粟野（平瀬）水深1.6 mで実施した調査を、**図 3-7～9**に示しています。

② 景観を調べるため、約10 m×10 mの範囲における景観被度を測定します（**図 3-7**）。

②対象とする海藻種（**図 3-8**：温帯性ホンダワラ類）が優占する場所において、50 cm×50 cm 方形枠を設置し、枠内被度を測定します。

③ 枠内にある藻体を全て採集します（**図 3-9**）。

日本海南部海域におけるアラメの被度－現存量の関係を**図 3-10**に示します。アラメでは、被度が高くなると現存量が大きくなる傾向が確認されました。一方で、2020年から2022年の調査期間中においても、植食性動物による食害が度々確認されました。アラメは、側葉（葉の部分）を繁茂期で20枚程度（**図 3-11**）、衰退期でも10枚程度持っています。しかし、側葉がほぼ消失してしまう海域がありました（**図 3-12**）。側葉には、アイゴと思われる食痕がありましたので、植食性魚類による食害と考えられます。さらに、側葉を消失した個体の多くは、葉と茎の境目にある生長点も損傷しているため、翌年の繁茂期になっても新しい側葉を作ることができなくなっていました。アラメの側葉数の減少は、現存量の低下に直結します。アラメは藻体の上部に側葉を持つため、側葉数が減少していても、被度自体は高く見える場合があります。つまり、植食性動物による食害が観察される海域では、アラメの被度が高いわりに現存量が低くなるケースが多くなると思われます。この場合、**図 3-10**に示した関係から求めた式などを用いて被度から現存量を求めると、過大評価になってしまう可能性があります。したがって、アラメについては、被度だけでなく、側葉数の変動や側葉の状態を気にしておくことが大事になってきます。



図 3-7. 景観被度イメージ：山口県下関市豊北町
粟野 平瀬 水深1.6m 2020年9月16日
(ホンダワラ類60%、裸地・石灰藻40%)



図 3-8. 方形枠設置（枠内被度ヤツマタモク60%、
ホンダワラ20%、イソモク/ウスバノコギリモク/
アカモク各5%以下）



図 3-9. 坪刈り後写真（図 3-8 と同じ場所）

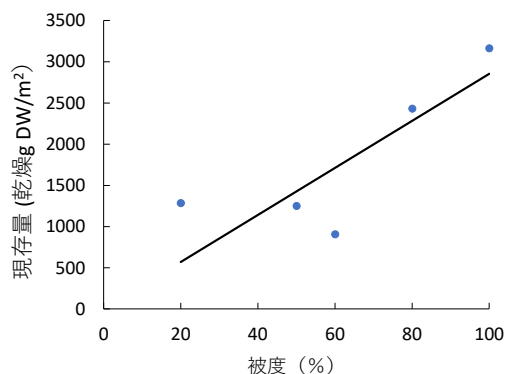


図 3-10. 日本海南部海域におけるアラムの被度－現存量の関係



図 3-11. 2021 年 7 月における日本海南部海域のアラム（山口県下関市蓋井島）。アラムの側葉数が多い



図 3-12. 2021 年 11 月における日本海南部海域のアラム（山口県下関市蓋井島）。アラムの側葉が少なく、茎だけの個体も確認できる

これまでの調査においては、アラムの被度－現存量には相関関係が認められました。日本海南部海域は、2013 年夏季の海水温の上昇で、藻場が大規模に衰退しました。藻場調査をしていると、9 年経過した現在も変動を繰り返しながら回復している過程と考えられます。一方で、環境変動に伴う水温変化や植食性動物の摂餌活動によって各年の現存量変動が大きくなっていることも予想されます。このため、被度－現存量の関係については、定期的に調査を行い、その関係性を確認していくことが重要になってきます。

（担当：阿部・村瀬・野田）

4) 太平洋中部海域

対象種 (タイプ) : カジメ *Ecklonia cava* (カジメ型), ワカメ *Undaria pinnatifida* (ワカメ型)

最大現存量の時期 : 6月 (カジメ)、4月 (ワカメ)

調査方法 : ベルトトランセクト調査 (カジメ)、坪刈り (ワカメ)

方形枠サイズ : 1.5m×5m (カジメ)、50 cm×50 cm (ワカメ)

留意点 : 生息密度が低い場所、食害程度に偏りが見られる場所では広範囲を把握

【調査対象の特徴と選定の考え方】

本州中部太平洋沿岸域には、カジメ、アラメ、ワカメ、ホンダワラ類をはじめとした多くの海藻が生育しています。これらの海藻は、アワビやサザエ、ウニといった磯の生物の重要な餌となります。また、カジメ、ワカメのような大型褐藻類により形成される“海藻群落”は、貝類、甲殻類、魚類などの棲み家としての役割も担っており、生物多様性の維持にも一役買っています。近年、高水温やウニ類 (ガンガゼなど)、植食性魚類 (アイゴ、ブダイなど) による食害などが原因でカジメ等の大型褐藻類が著しく減少しており、多くの場所で海藻群落の衰退・消失 (磯焼け) が続いています (水産庁 2021)。ブルーカーボンとして海藻群落を捉える場合には、対象海域の特性や海藻の特徴を踏まえて現存量や炭素吸収量を推定する必要があります。本州中部太平洋沿岸域において海藻群落を形成する主要な大型褐藻類であるカジメ、ワカメについて、天然の群落の被度、現存量の調査を行い、被度-現存量の関係を推定しました。

カジメは、本州太平洋中南部 (房総半島~九州) の浅海岩礁域に生息する多年生の褐藻類です (図 4-1 左、新井・寺脇 2003)。冬~初夏にかけて成長を続けて春~初夏に最も現存量が大きくなります。夏~秋には成長が停滞して葉の一部が枯れて現存量が減少していき、冬季に最も現存量が小さくなります (Yokohama *et al.* 1987)。そのため、6月に相模湾で調査を実施し、得られた現存量を当海域のカジメの年間最大現存量 B_{max} としました。ワカメは本州の太平洋沿岸に広く分布する単年生の褐藻類です。冬から春にかけて成長し、3~4月に最大の大きさに達します (図 4-1 右、筒井・大野 1993)。そこで4月に相模湾で調査を実施して得られた現存量を本海域のワカメの年間最大現存量 B_{max} としました。

【調査概要および調査上の留意点】

本州中部太平洋沿岸域のカジメでは、近年、高水温や植食動物の食害等による衰退が著しく、坪刈り調査が難しいほどにまばらにしか生えていない、食害等により葉重量が著しく減少しているものとそうでないものが混在しているといった様子が見られます (図 4-2 右)。そのため、カジメが生えている場所に枠を置いて坪刈り調査を行い、得られた単位面積あたり



図 4-1. カジメ (左)、ワカメ (右)

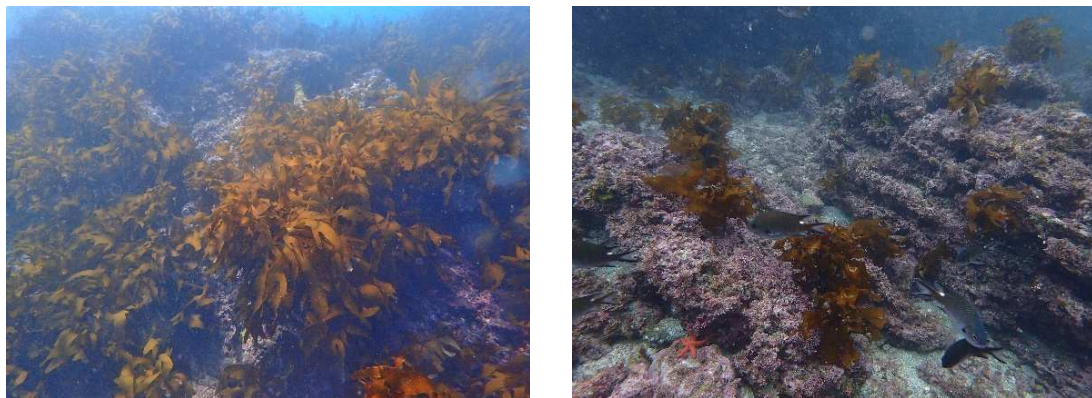


図 4-2. カジメの高密度群落 (左) と低密度群落 (右)



図 4-3. カジメの坪刈り調査 (左) とベルトトランセクト調査 (右) の様子

のカジメの重量を群落全体に広げて計算してしまうと現存量を過大に評価してしまう可能性があります。このように、生息密度が低い場所、食害の程度に偏りが見られる場所では、より広い範囲を把握できるベルトトランセクト調査のほうが現実に近い値を得ることができると考えられます。相模湾において、2021年6月に坪刈り法とベルトトランセクト法の両方を用いて同じカジメ群落の現存量を推定しました。坪刈り調査では、カジメ群落内に方



図 4-4. ワカメ群落（左）と坪刈り調査（右）の様子

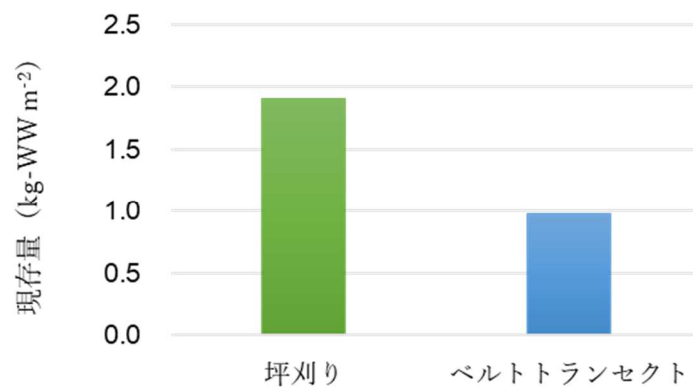


図 4-5. 坪刈り調査、ベルトトランセクト調査により推定されたカジメの現存量

形枠（1 m×1 m）を6枠設置し（図 4-3 左）、枠内のカジメを全て採集して持ち帰り、藻体重量を測定して枠ごとのカジメの現存量を得ました。ベルトトランセクト調査では、カジメ群落内に調査区（幅 1.5 m×長さ 5 m）を6区設定し、この範囲内に生息するカジメの株数を計数しました（図 4-3 右）。得られた株密度に坪刈り調査から得られたカジメ1本あたりの平均重量を乗じて現存量を推定しました。被度－現存量の関係については、坪刈り調査の結果をもとに検討しました。

カジメよりも浅所に生えるワカメでは、波打ち際に生えていることも多いためベルトトランセクト調査が難しい場合があります。一方、カジメにくらべて密集して生えていることも多いため（図 4-4 左）、坪刈り調査により現存量を推定しても過大評価となる可能性は低いと考えられます。相模湾において、2022年4月に坪刈り調査を実施し、ワカメの被度－現存量の関係について検討しました。ワカメ群落内に方形枠（0.5 m×0.5 m）を12個設置し（図 4-4 右）、枠ごとにワカメの被度を測定した後、全てのワカメを採集して重量を測定し、1 m²あたりの現存量を算出するとともに、被度と現存量の関係を推定しました。

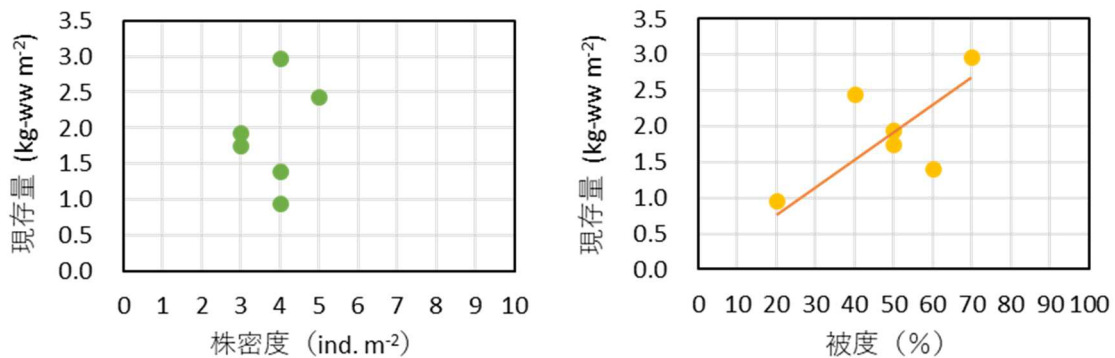


図 4-6. カジメの株密度と現存量の関係（左図）、被度と現存量の関係（右図）

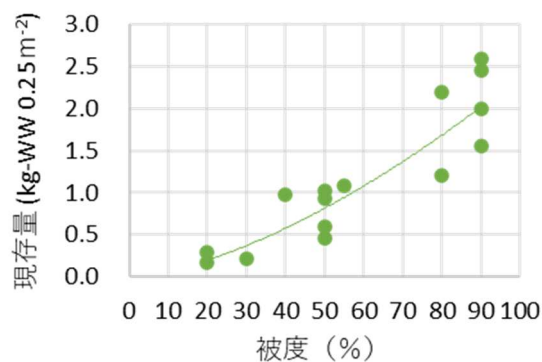


図 4-7. ワカメの被度と現存量の関係

太平洋中部海域における繁茂期のカジメの現存量を坪刈り法とベルトトランセクト法により推定した結果、坪刈り法ではベルトトランセクト法とくらべて現存量を高く見積もってしまうことがわかりました（図 4-5）。坪刈り法ではカジメが生えている場所に枠を設置するため、カジメの密度が低い群落ほど坪刈り法による推定では現存量を過大評価する可能性が高くなると考えられます。

坪刈り調査の結果、カジメの株密度と現存量との間には明瞭な関係性は認められませんでした（図 4-6 左）。これは、カジメ 1 株あたりの重量が個体によって大きく異なっていたことを示しており、複数の年級群が混在した群落であったり、食害や時化などで葉状部を大きく失った株とそうでない株が混在していたりすることなどが原因として考えられます。天然のカジメ群落では、“海藻の株密度が高い場所＝現存量の多い場所”とは必ずしもならないことに留意する必要があります。被度－現存量の関係については、被度が高いほど現存量も多くなる傾向が認められました（図 4-6 右）。

ワカメについて、被度と現存量の間に明瞭な関係が認められました（図 4-7）。これはワカメ 1 株あたりの重量の個体差がカジメとくらべて小さく、被度と現存量が一致しやすいためと考えられます。個体差が小さい理由として、単年生のワカメでは 1 つの年級群により

群落が構成されること、ワカメの成長時期（冬～春）は水温が低いために食害が抑制されるとともに、葉を消失するような大規模な時化が少ないため葉状部の欠損を生じにくいことなどが考えられます。

今回の調査では、カジメ、ワカメともに被度－現存量には明瞭な関係が認められました。このように被度と現存量の関係が明瞭である場所では、衛星画像やドローン空撮画像などの被度調査から比較的高い精度で現存量を推定することができると考えられます。ただし、カジメやワカメの1株当たりの最大現存量は各年の環境によって大きく左右されるため、被度－現存量の関係については定期的に調査を行い確認することが大切です。

（担当：鬼塚・白藤・丹羽・澤山）

5) 瀬戸内海海域

対象種 (タイプ) : クロメ *Ecklonia cava* ssp. *kurome* (カジメ型)

最大現存量の時期 : 5～6月

調査方法 : 坪刈り

方形枠サイズ : 50 cm × 50 cm

留意点 : 混生藻場の場合は方形枠数を増やして枠内の被度も計測

【調査対象の特徴と選定の考え方】

半閉鎖性海域である瀬戸内海は、太平洋沿岸域に比べると波浪等による海水の動きは少ないですが、最大で4m近くにも及ぶ潮汐の干満差がダイナミックな海水の動きをつくり、多種多様な海藻やその藻場に棲む様々な生き物を育んでいます。対象となるクロメは、カジメやアラメと同じ温帯性のコンブの仲間です。現在、クロメは遺伝的にカジメと同種であるとされています (Akita *et al.* 2020)。しかし現在も亜種として残されているため、本コラムでもカジメと区別し、従来の通りクロメとして扱います。

クロメを含むアラメ・カジメ類は、比較的波浪の強い海水交換の良い場所に生育しています。そのため太平洋や日本海の外海と比較すると瀬戸内海にはあまり分布していません。それでも外海からの海水が流入する瀬戸内海の東西水道部を中心にカジメやクロメが分布し、特にクロメが優占しています。瀬戸内海でのクロメは、比較的浅く流動が良い場所で純群落を形成します (図 5-1)。また、他の温帯性のホンダワラ類と混生していることも多く (図 5-2)、水深は0～5mほどの岩礁に生育しています。しかし、近年増加している大雨など極



図 5-1. 瀬戸内海におけるクロメ純群落

端現象による影響で陸域から流入する浮泥等が海藻上に堆積することで成長が妨げられ、クロメ藻場が衰退していることが示唆されています（島袋ら 2023）。また、1990 年以降の水温上昇とともに瀬戸内海の入りに当たる豊後水道のクロメ藻場が縮小しています（島袋ら 2018）。今後の環境変動によってその影響が瀬戸内海内部にも及ぶ可能性があり、クロメ群落をブルーカーボンとして活用していくためには、その変化を注意深くモニタリングしていく必要があります。

調査を行った山口県大島郡周防大島町は瀬戸内海の西部に位置しています。周辺の島々の地形により潮汐による流動が活発で、クロメ群落が安定的に維持されているため（吉田ら 2020a）この海域を選びました。クロメが繁茂する時期は、一般的に冬から成長が活発になり春から初夏にかけて現存量が大きくなり、秋には成熟して成長が停滞し、冬には現存量が小さくなります（吉田ら 2020b）。そのため、本調査地では5月と6月に調査を実施し、当海域の年間最大現存量（Bmax）としました。

【調査概要および調査上の留意点】

はじめに周辺の藻場景観を観察し、対象とする海藻種がどのような場所にどのような被度で生育しているかなどの特徴を把握しました。調査地点におけるクロメは大潮の干潮時に限って干出する地点から水深 5 m ほどまでの岩礁に生育していました。調査海域のクロメの生育水深の中心と考えられる水深 1~2 m を調査地点に設定し、さらに本種のほぼ純群落と判断できる地点に 50 cm 四方の方形枠（コドラートとも言います）を設置し坪刈りを行いました。坪刈りは、スクレイパー等を用いてクロメの付着器を岩から丁寧に剥がします。今回はクロメの純群落で坪刈りを行ったので、それぞれの方形枠間の現存量のばらつきは少ないと考えられます。よって近傍で 3 箇所の坪刈りを行い、その 3 枠分の平均値を現存量としました。また枠内の海藻の被度を判断することはとても難しいです。海藻を斜めや横から見るのではなく、枠の真上から観察し、上からの投下面積で枠内に見えている海藻の割

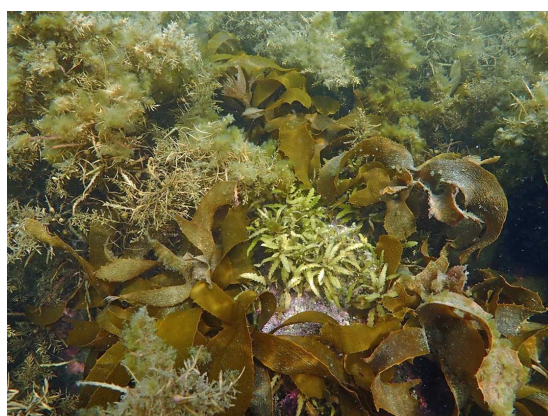


図 5-2. ホンダワラ類と混生するクロメ



図 5-3. クロメの坪刈り調査の様子

合を被度とします。今回の調査では上から見て基質となる岩が確認できなかったため、被度は100%としました(図5-3)。また、クロメとホンダワラ属や他の海藻などが混生している藻場の場合(図5-2)、方形枠内のクロメの現存量はばらつきが大きくなります。その際は、坪刈りを5枠に増やすなど、枠間のばらつきを少なくする工夫が必要です。

クロメを含むカジメ・アラメ類の海藻は、水温上昇やそれに伴う食害等の影響で全国的に著しく減少しています(水産庁 2021)。そのため、クロメ個体がまばらに生えているような場合、クロメが生えている場所に枠を置いて被度の高いクロメの現存量を海域全体に広げて計算することは、藻場全体の現存量を過大に評価してしまうことになります。このような時は、事前にクロメの被度別(20%、50%、80%、100%など)の現存量を把握した上で、ベルトトランセクト法による調査やドローンによる空撮などで、その海域全体の藻場面積や被度等を把握し、場所ごとの被度による単位面積当たりの現存量を計算します。このように、手間は大変かかりますが、対象となる藻場面積全体の現存量を的確に把握できるように工夫する必要があります。

(担当：島袋・須藤)

対象種 (タイプ) : ノコギリモク *Sargassum macrocarpum* (温帯性ホンダワラ型)

最大現存量の時期 : 5月

調査方法 : 坪刈り

方形枠サイズ : 50 cm × 50 cm

留意点 : ホンダワラ類が複数種いる場合は広域優占種の群落を選定、方形枠数を増やして枠内の被度も計測

【調査対象の特徴と選定の考え方】

対象となる温帯性ホンダワラは最も種数の多い大型海藻類であり、日本ではおよそ 60 種、瀬戸内海でもおよそ 30 種の生育が確認されています (吉田 1998)。種の多様な温帯性ホンダワラは、その生育場所も多岐にわたります。波当たりの強い潮間帯にはヒジキやイソモクなどが分布します。潮下帯の水深 1~3m ほどの岩礁域には、ホンダワラの種数、現存量ともに多く、アカモクやノコギリモクなどに代表される多くの温帯性ホンダワラが生育しています (図 5-4)。瀬戸内海の底質は水深が 4~5m 以上になると多くは砂地になります。その砂地にも転石等があるとタマハハキモクなどが生育しています。しかし、1990 年以降の水温上昇とともに瀬戸内海の入り口に当たる豊後水道の藻場構成種が変遷し、その影響は今後瀬戸内海の内部にも及ぶことが示唆されています (島袋ら 2018)。まだ瀬戸内海の温帯性ホンダワラには目に見えた温暖化の影響は少ないと考えられていますが、太平洋沿岸で見られるようなアイゴによる食害も確認されているため、今後も注意深くモニタリングしていく必要があります。

調査地点である山口県大島郡周防大島町は、流動環境も良くホンダワラ群落が安定的に維持されているため選びました。温帯性ホンダワラは種数も多く、かつ瀬戸内海は東西に広いため、その最盛期は種や地域によって異なります。しかし多くの温帯性ホンダワラは冬から成長が活発になり春に現存量が大きくなり、夏には藻体が枯死流失し現存量が小さくなります。そのため、温帯性ホンダワラの最大現存量を把握するためには春に調査するのが良いでしょう。本調査地で坪刈りを行う前に、予備調査としてホンダワラ類の種類や生えている割合等を把握しました。調査地にはノコギリモクが広く優占し、アカモクやヤツマタモクなどのホンダワラが点在していました。坪刈りの場所を選ぶ際に、点在している全長数メートルものアカモクが枠内に入ると、得られた現存量を藻場面積で掛けて海域の現存量とすることは過大評価となります。よって本調査地では広く優占して分布しているノコギリモク群落が調査地の特徴をもっとも反映しているとみなし、その純群落を坪刈り地点としました (図 5-5)。これまでの調査で得られた情報から調査を行った 5 月に得られた現存量を当海域の年間最大現存量 (Bmax) としました。



図 5-4. 潮下帯の多様なホンダワラ類



図 5-5. 瀬戸内海で多く見られるノコギリモク

【調査概要および調査上の留意点】

調査地点におけるノコギリモクは水深 2~3m ほどが分布の中心でしたので、その中でほぼ純群落と判断できる地点に 50 cm 四方の方形枠を設置し坪刈りを行いました。ホンダワラは長さが数十 cm から数 m にもなり、気胞という浮袋によってその長い枝を水中に立ち上げるため、縦に非常に長い海藻なので、枠の置き方にも工夫がいります。藻体の上からのせただけで、枠が海底から浮いていると不正確です。ホンダワラの根に当たる付着器がある岩の上に方形枠を置く必要があります。しかし、一般的な輪っか状(閉じた四角形)の方形枠では、それを長いホンダワラの先端から根元まで通すことが、とても大変です。そこで、コの字型や海中で海藻の根元を通してから組み立てられる方形枠など、海藻の真上から通す必要がなく基質に直接設置できる方形枠を使うと便利です(図 5-6)。坪刈りは、スクレイパー等を用いて枠内に生えているすべてのノコギリモクの付着器を岩から剥がし、1 個体、1 個体を丁寧に採取します。今回はノコギリモクの純群落で被度 100%の地点で坪刈りを行ったので、枠ごとの現存量の誤差は少ないと考え、近傍で 3 箇所坪刈りを行い、その 3 枠分の平均値を現存量としました。

縦に長いホンダワラの枠内の被度を判断するのは難しい作業です。枠を藻体の上ではなく藻体を通して基質の上に置いた上で、できるだけ枠の直上から観察します。上からの投下面積でホンダワラが見えている割合を被度とするのが一般的です(図 5-7)。私たちが調査した際は、枠の真上から観察し基質となる岩や方形枠が確認できないほど繁茂していたため、被度 100%としました(図 5-7-D)。

温帯性ホンダワラの藻場は、多くのホンダワラの種で構成されているため、坪刈りする種類により現存量がばらつく可能性があります。今回の調査のように一つの種類の純群落であれば良いですが、坪刈りする度に構成種が変わるような混生ホンダワラ藻場の場合、枠数を 5 (必要に応じてそれ以上) に増やすなど、現存量の推定値のばらつきを小さくする必要

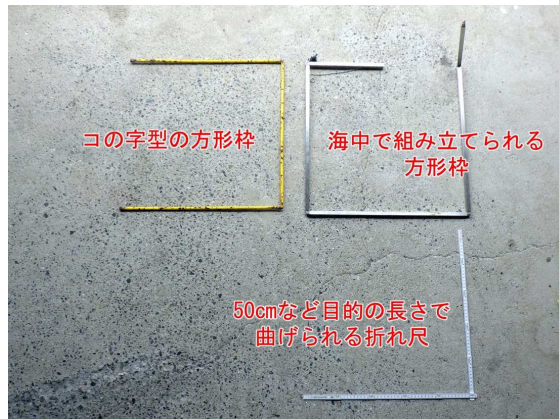


図 5-6. ホンダワラなど大きな海藻の
坪刈りに便利な方形枠

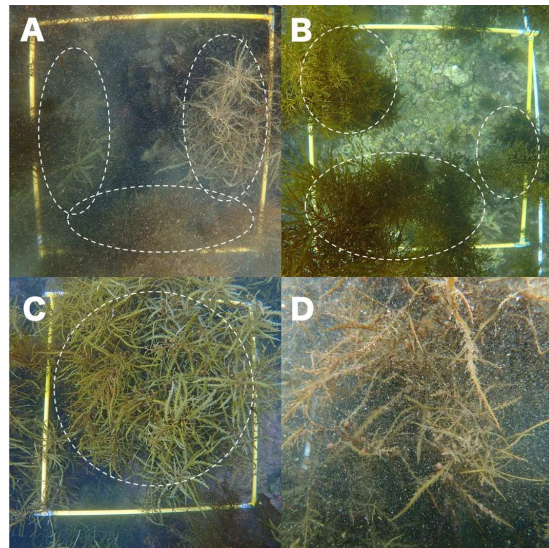


図 5-7. 方形枠内のホンダワラ被度の目安。
A: 40%, B: 50%, C: 90%, D: 100%

があります。また、水温上昇やそれに伴う食害等の影響でホンダワラ藻場は全国的、特に中部太平洋から西日本で、著しく減少しています（水産庁 2021）。そのため、毎年同じ場所に同じ種類の温帯性ホンダワラが藻場を形成しているとは限りません。安定した温帯性ホンダワラ藻場ではなく、衰退過程や種の遷移過程にあるような藻場においては、ベルトトランセクト法等を用いて藻場の構成種やその面積割合、被度等を別途把握し、それらのデータに被度別の現存量を掛け合わせるなどの工夫が必要です。

また多様な種が混生しているホンダワラ藻場であっても、水深や離岸距離によってある程度、構成する種に傾向があります。種ごとに単位面積当たりの現存量を把握した上で、ベルトトランセクト法やドローンによる空撮などによって得られた構成種や面積などの結果と掛け合わせることで、より詳細な地先の藻場の現存量を把握することもできます。手間と労力は非常にがかかりますが、その分、より正確な藻場の現状を把握することができます。

（担当：島袋・須藤）

対象種 (タイプ) : ヒトエグサ *Monostroma nitidum* (小型緑藻型), ウミウチワ
Padina arborescens・フクロノリ *Colpomenia sinuosa*・カゴメノリ
Hydroclathrus clathratus 等 (小型褐藻型), マクサ *Gelidium elegans*
等 (小型紅藻型)

最大現存量の時期 : 3月 (ヒトエグサ)、6月 (小型褐藻類)、5月 (小型紅藻類)

調査方法 : 坪刈り

方形枠サイズ : 20 cm × 20 cm

留意点 : 複数種いる場合方形枠数を増やして枠内の被度も計測

【調査対象の特徴と選定の考え方】

瀬戸内海は、強い波浪こそ少ないものの潮汐の干満差により海水が川のように流れ、時には海底が干上がるなど、そのダイナミックな海水の動きがつくる環境は、多種多様な生態系を育んでいます。基礎生産者である海藻も日本に生育する 1,500 種のうち、およそ 300 種が瀬戸内海に分布していると言われていています。瀬戸内海で真っ先に目につくのは、カジメやクロメ類やホンダワラ類の大型の褐藻類がつくる藻場景観です。しかし藻場にとって重要な構成種はこれらの大型褐藻類だけではありません。岩の表面に目を落とすと、多種多様な小型の海藻類が生育しています (図 5-8)。これらの小型海藻も魚介類や小型甲殻類の棲息場所や餌となり、藻場生態系の重要な要素となっています。特に近年、水温上昇やそれに伴う植食動物の食害等の影響により大型褐藻類で構成される藻場が全国的に減少しています (水産庁 2021)。そのような状況でも小型の海藻は褐藻類を中心に最後まで岩上に残っていることが多く、藻場生態系の維持だけではなく特に藻場の衰退が問題となる海域でのブルーカーボン貯留源としてもその分布を把握し、管理していくことが大切です。

小型緑藻類の調査地点は、広島県廿日市市丸石の人工護岸を選びました。この場所は干潮時に緑藻が生えている基質が干出することと、調査者の職場に近いことから選択しました。海藻の調査は海で行うため、陸上とは異なる困難さがあります。そのため、海藻が生えていることはもちろんのこと、潜水やスノーケリングをしなくても調査できることや、調査者の拠点に近く、地域の方の理解が得やすいことなど、調査のしやすさという点も、継続的に調査を行う上で重要な要素になります。

小型褐藻と小型紅藻は海藻群落が安定的に維持されている山口県大島郡周防大島町で調査しました。小型の海藻類は種数も広範に及び、生育する地域や種によっても生態的特徴が異なるため、その厳密な最盛期は種や地域によって異なります。一般的に温帯域に分布する多くの海藻類は冬から成長が活発になり春に現存量が最大になり、夏には藻体が枯死し現存量が小さくなります。しかし、種によっては季節的な変動がほとんどなく、年間を通して一定の現存量を維持しているものもあります。そのため現存量の調査を行う際には、対象と



図 5-8. 大型褐藻の藻場の下にも様々な小型海藻が生育している様子

する海藻種の生態的特徴を把握した上で行う必要があります。本調査地の小型緑藻ではヒトエグサを対象としました。ヒトエグサは 12 月上旬から 5 月までが最盛期であるため（喜田 1966）、本調査では 3 月に坪刈りを行い得られた現存量を B_{max} としました。小型の褐藻、紅藻類は、3 月から 7 月が海藻の最も繁茂する時期と考えられたため（加藤ら 2016）、ウミウチワやフクロノリ、カゴメノリなどを対象にした小型褐藻類は 6 月に、マクサなどを対象とした小型紅藻類は 5 月に調査を行い B_{max} としました。

【調査概要および調査上の留意点】

小型緑藻類の対象種であるヒトエグサは潮間帯に生育しており、干潮時に付着基質が干出しているときに作業しやすいですが、海藻が乾燥して岩に貼り付くと、それを剥がすときに海藻がボロボロになり採集が大変です。このため作業は基質が干出後で海藻が乾く前に行うと効率が良いです（図 5-9）。坪刈り調査をする際の方形枠は 50 cm 四方のものが一般的です。しかし、アラメ・カジメ類やホンダワラ藻場のように、枠の中の藻体が数個体から数十個体の場合は良いですが、海藻の種によっては 100 個体から 1,000 個体をこえるものもあります。対象とする海藻種の生え方や量などを考慮して枠を選択するのが良いでしょう。今回のヒトエグサも岩の全面を覆うように生えており、50 cm 四方のすべてのヒトエグサを丁寧に剥がして採取することは困難です。よって 20 cm 四方の方形枠を使用しました（図 5-9）。

小型褐藻と小型紅藻の調査は潮下帯の岩礁で行い、上述のような理由で、20 cm の方形枠を用いました。今回は褐藻が広く繁茂する群落、紅藻が広く繁茂する群落が確認できたので、設置する方形枠も内部の海藻種が小型褐藻類のみ、小型紅藻類のみになるように設置しました。坪刈りは、スクレイパー等を用いて海藻類の基部を岩から丁寧に剥がします。複雑な



図 5-9. 護岸の石積みに生育する小型緑藻（左）とヒトエグサの坪刈り調査の様子（右）



図 5-10. 小型褐藻類（左）と小型紅藻類（右）の坪刈り調査の様子

形をした岩の表面に生える小型の海藻類は採集も困難ですし、細かな海藻は数も多いです。スノーケリング（素潜り）でも作業をすることは可能ですがかなり大変です。私たちは少しオーバーウエイトでスキューバ潜水をし、海中での体勢を安定させ作業を行いました。また岩を何度もつかんだり、鋭いスクレイパーを扱ったりするので、ケガしないように園芸用のゴム手袋等を使用することも重要です。

今回は、枠を上から置いた海藻の割合（被度）が小型褐藻、小型紅藻がそれぞれ 100%でした（図 5-10）。枠内には同タイプの海藻でいくつかの種が混生していたため、枠間による現存量に多少のばらつきが生じると考え、それぞれのタイプごとに 5 箇所坪刈りを行いその平均値を現存量としました。小型の海藻類は、緑藻、褐藻、紅藻も含めいくつかの種が枠内に混生している場合も多いです。その際は、方形枠内の海藻をタイプごと（緑藻、褐藻、紅藻）に分けて現存量を計測すれば問題ありません。しかし、複数のタイプが混在する場合は、枠によっての各タイプの割合が異なりそれらの現存量のばらつきが大きくなることが予想されます。20 cm 四方の方形枠に同じ海藻タイプで異なる種が混生している場合は 3～

5 枠、同じ枠内に異なる海藻タイプが混生している場合は 5~10 枠取るなど、取り方や海藻種の混生具合のばらつきによる推定誤差をなるべく小さくする工夫が必要です。

(担当：島袋・須藤)

6) 九州東シナ海域

対象種 (タイプ) : アントクメ *Ecklonia radicata* (カジメ型), ワカメ *Undaria pinnatifida* (ワカメ型), アカモク *Sargassum horneri*・マメタワラ *S. piluliferum* 等 (温帯性ホンダワラ型), ウ斯巴モク *S. tenuifolium* (亜熱帯ホンダワラ型), マクサ *Gelidium elegans* (小型紅藻型)、シマオオギ *Zonaria diesingiana*・シワヤハズ *Dictyopteris undulata*・フクロノリ *Colpomenia sinuosa*・アミジグサ *Dictyota dichotoma* 等 (小型褐藻型), ミル *Codium fragile* 等 (小型緑藻型)

最大現存量の時期 : 4~6 月 (温帯性・亜熱帯性ホンダワラ類)、5 月 (アントクメ)、4 月 (ワカメ)、5 月 (マクサ)、4 月 (フクロノリ)、6 月 (フクロノリを除く小型褐藻)、7 月 (ミル類)

調査方法 : 景観被度 + 坪刈り

方形枠サイズ : 50 cm × 50 cm (大型海藻類)、25 cm × 25 cm (小型海藻類)

留意点 : 枠取りの被度も計測し、場合によっては景観被度から現存量を補正

【調査対象の特徴と選定の考え方】

九州西岸域は、海水温の上昇や植食性魚類の被食等により藻場の衰退が進んでいます(吉村ら 2009, 清本ら 2018, 2021, 寺田ら 2021, 門田ら 2023)。かつては、アラメやクロメなどのカジメ類、ノコギリモクやヨレモクなどの温帯性ホンダワラ類から構成される四季藻場(周年維持される藻場)が広がっていました。しかし、長崎県以南の多くの地先でこれらの海藻が消失し、アントクメなどの一年生藻場(春~初夏にのみ形成される単年生海藻の藻場)や、亜熱帯性ホンダワラ類及び一部の温帯性ホンダワラ類から構成される春藻場(春~初夏に形成される多年生海藻の藻場)、シマオオギやシワヤハズなどの小型海藻のみから構成される小型海藻藻場が変わっています。地先によっては、上述の構成種が混在したりパッチ状に分布したりしているところもあります。本調査では九州東シナ海沿岸の代表的な藻場タイプの構成種(アントクメ、ワカメ、温帯性ホンダワラ類、亜熱帯性ホンダワラ類、小型紅藻、小型褐藻、小型緑藻)の現存量を把握するため、過去の調査および関係者からの聞き取りにより、対象種が多い地点を調査地点としました(図 6-1~6)。

【調査概要および調査上の留意点】

1) 調査時期

春藻場を構成する亜熱帯性ホンダワラ類や温帯性ホンダワラ類では、4月下旬から7月上旬に現存量が最大となる種が多く、9月から2月までは藻体が短い状態となります(八谷ら

2011, 村瀬ら 2017)。このため、春藻場を構成する亜熱帯性・温帯性ホンダワラ類については繁茂期の調査を4～6月に実施しました。九州東シナ海沿岸のアントクメは繁茂期を対象とした長期モニタリングの対象となっており（例えば、環境省自然保護局生物多様性センター2020）、寺田ら（2021）などでは5～7月に調査されています。また、本州中部太平洋海域では6～8月頃にアントクメの現存量が最大となり、その後10～11月までにほぼ枯死流失してしまいます（Akita *et al.* 2014, 駒澤ら 2013）。このため、繁茂期の調査を5月下旬に行いました。一方、ワカメ、アカモクはこれまでの調査により12月以降から生長し、5月には凋落することが把握されていたので、繁茂期の調査を4月に実施しました。小型海藻については過去の観察結果から、褐藻のフクロノリは4月に、アミジグサ類は6月に、紅藻のマクサは5月に、緑藻のミル類は7月に、現存量が高いとされたので、これらの時期に調査しました。



図 6-1. アントクメ群落。長崎県小値賀町野崎島（水深 10 m）2021 年 5 月撮影



図 6-2. ワカメ群落。長崎県西海市西海大島太田尾（水深 3 m）2021 年 4 月撮影



図 6-3. マメタワラ（温帯性ホンダワラ）群落。長崎県五島市島山島 2021 年 4 月撮影



図 6-4. ウ斯巴モク（亜熱帯性ホンダワラ）群落。長崎県小値賀町稗崎（水深 8 m）2021 年 5 月撮影



図 6-5. シマオオギを中心とする小型褐藻群落。長崎県長崎市野母町大立 2021 年 5 月撮影

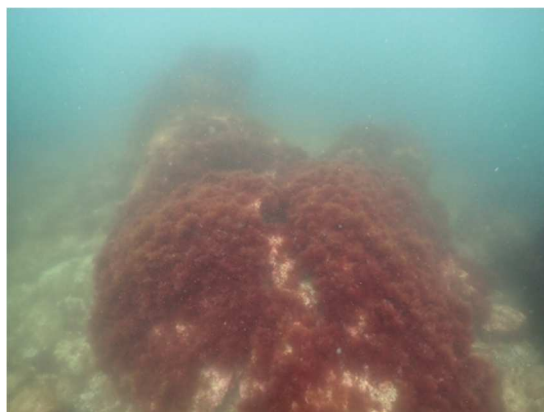


図 6-6. マクサ (小型紅藻) 群落。長崎県長崎市野母町来亀定置横 2021 年 5 月撮影

2) 群落の景観被度と現存量の計測

それぞれの対象種の調査地点において、おおむね 10 m×10 m の範囲に、方形枠 (50 cm×50 cm) を 10 箇所程度ランダムに設置し、対象種およびそれ以外の海藻の景観被度を目視により求めました。この 10 箇所の中で、対象とする海藻種が多い方形枠を 1～3 枠選んで坪刈りを行いました。大型海藻 (アントクメ、ワカメ、温帯性ホンダワラ類、亜熱帯性ホンダワラ類) は枠内の全ての藻体を、小型海藻 (小型紅藻、小型褐藻、小型緑藻) は同じ枠の 1/4 (25 cm×25 cm) の範囲内の藻体をスクレイパーで採集しました。上述の通り、この海域では藻場の消失が著しく、現存する藻場は貴重であるため、採集枠数は最小限にとどめました。採集した海藻は研究所に持ち帰り、可能な限り種まで同定し、自然乾燥させた後、低温乾燥機 70°C で恒量になるまで乾燥させ、乾燥重量を計量しました。

坪刈りを行った枠内の被度は調査地点全体の景観被度 (ランダムに設置した 10 枠分の平均) よりも高いため、それらの比を採集した藻体の重量に乗じて補正し、調査地点の現存量としました。

今回、調査した地点の多くは植食性魚類の採食の影響を強く受けています。このような調査で得られた現存量に P/Bmax 比を掛けて生産量を推定すると、本来の生産量よりも過小評価になると考えられます。植食性動物による海藻の被食量を評価する方法は、今後の課題となっています。また、各年の環境の違いによって海藻自体の生長が変わるとともに、被食の影響も異なるため、海藻の現存量の年変動が大きくなることが予想されます。今後は、これらの年変動の把握も必要になると考えられます。

(担当：清本・門田・邵・藤野・吉村・山田)

7) 南西諸島海域

対象種 (タイプ) : ヒイラギモク *Sargassum ilicifolium* (亜熱帯ホンダワラ型)

最大現存量の時期 : 9月

調査方法 : 坪刈り

方形枠サイズ : 50 cm × 50 cm

留意点 : 枠取りの被度も計測し、混成藻場の場合は枠数を増やす

【調査対象の特徴と選定の考え方】

南西諸島は、九州南部の屋久島や種子島を中心とした大隅諸島から、石垣島や西表島までの八重山列島までのおよそ 1,200 km にわたり点在する島嶼群です。様々な島の複雑な地形がつくる沿岸域の環境は多様な海産植物やそこに生息する動物の豊かな生態系を育んでいます。しかし近年、水温上昇やそれに伴う食害等の影響で、藻場が全国的に著しく減少しており（水産庁 2021）、奄美群島から北部の島々ではホンダワラ類を中心とした藻場の衰退が問題となっています。八重山列島では、ウミシヨウブなどの海草類の衰退は大きな問題となっていますが、ホンダワラ類は、まだ比較的良好に保たれています。沖縄島や八重山列島の藻場が良好に保たれているのは、サンゴ礁で形成された広大なリーフが、強い波浪から海藻を守り、潮汐により水深が浅くなることで一時的にでも植食魚の食害を緩和させていることなどが考えられますが、これらについてはさらなる検証と研究が必要です（図 7-1）。

南西諸島と言えばサンゴの海というイメージが強いかもしれませんが、しかし、亜熱帯性の



図 7-1. ホンダワラ類の発達するサンゴ礁のリーフ

ホンダワラを中心とした広大な藻場もあります。多くのサンゴ礁の魚類はその生活史の一時期を藻場で過ごすなど (Eggertsen *et al.* 2017)、様々な動物が藻場に棲み豊かな生態系を創出しています (図 7-2)。

日本に分布しているおよそ 60 種のホンダワラ類のうち、30 種近い種が南西諸島海域に分布しています (島袋 2017)。その分布範囲や生活環境は多様です。リーフ内に広く分布し優占する種のひとつはヒイラギモクです (図 7-3)。また、干潮時に干出する場所に生えるヒメハモクや (図 7-4)、水深 20 m 近くに群落をつくるマジリモクなど多様な種が生育しています。

サンゴ礁生態系では、サンゴの大規模白化や海草類の衰退など、リーフ内の生態系も大きな変化が生じています。それは水温上昇やそれに伴う動物類による食害、台風の大規模化などの気候変動、赤土の海域への流出などが起因していると言われています。ブルーカーボンの吸収や固定に重要な海藻藻場の変動についても、今後も注意深くモニタリングしていく必要があります。



図 7-2. リーフ内で見られる亜熱帯性ホンダワラの藻場



図 7-3. 南西諸島で優占するヒイラギモク



図 7-4. 岸側の潮間帯やリーフエッジなど干潮時に干出する浅所に生育するヒメハモク



図 7-5. ヒイラギモクの坪刈りの様子

調査地点は石垣島の南部に位置し、サンゴ礁の複雑な地形と水深、潮汐によるダイナミックな海水流動があり、亜熱帯性ホンダワラ属を中心に多様な海藻藻場が安定的に維持されています。一般的に春に最盛期を迎える温帯性の海藻に対し、多くの亜熱帯性海藻は夏から秋に成熟し最盛期を迎えます（島袋 2013）。よって本調査で対象とした亜熱帯性ホンダワラのヒイラギモクは 9 月に調査を行いました。しかし、マジリモクなど春に最盛期を迎える種もあるので、年間最大現存量（Bmax）を求める際には、対象とする種の生態的特徴を理解して調査時期を決定する必要があります。

【調査概要および調査上の留意点】

対象とするヒイラギモクのほぼ純群落と判断できる地点に 50 cm 四方の方形枠を設置し坪刈りを行いました（図 7-5）。本来、坪刈りを行う際の方形枠は、海藻の上へのせるのではなく、海藻が生えている基質（岩など）に枠を直接置く必要があります。しかし、本調査地のサンゴ礁の基質は凹凸が大きく、基質にはうように枠を設置することができませんでした。その場合は枠を海藻の上に置きます（図 7-5）。その後、上から見た枠内の海藻被度を記録し、丁寧に海藻の根元を手で探りホンダワラの生えている位置を確認しながら坪刈りを行います。スクレイパー等を用いて枠内の基質に固着しているヒイラギモクの付着器から丁寧に剥がします。5 箇所で行い、その 5 枠分の平均値を現存量としました。

亜熱帯域のホンダワラ藻場は複雑なサンゴ礁地形に生えているため、生えている場所により純群落を形成している場合や（図 7-6）、サンゴ礁地形のくぼみに砂がたまり砂から突出した岩に複数の種が点在して生育している場合もあります（図 7-7）。特に枠内に複数種のホンダワラが混生する場合や、枠内の被度が 100%に満たない場合などは、5~10 枠など複数の坪刈りを行うことで、枠間のばらつきを少しでも抑える工夫が必要です。

亜熱帯域で藻場の現存量を調査する場合は、まずは事前にライントランセクト調査かドローンによる空撮調査を行い、調査地のおおよその藻場の位置や面積、被度等を把握して



図 7-6. ヒイラギモクの純群落



図 7-7. 複数種が点在する亜熱帯ホンダワラ

おく必要があります。しかしライントランセクト調査は、一般的に岸から沖合に向けて水深が深くなり、その水深ごとに海藻の植性が変化することを前提としています。しかしサンゴ礁のリーフ内は離岸距離による水深の変化が複雑なので、ライントランセクト調査で地先の藻場の面積や被度等を把握するためには、複数のラインを設置して調査をする必要があります。その点、予算や技術的な制限はありますがドローンを用いることで、藻場の位置や面積などは比較的容易に把握することができます。その上で、実際に坪刈りを行った現存量とおおよその藻場面積を掛け合わせることで、調査地全体の藻場現存量を推定することができます。

サンゴ礁のリーフ内は潮汐による海水流動がとても激しい場所です。また川のように流れる場所を好むホンダワラの種類も多く、調査時間によっては海水の動きによって作業ができないどころか、事故になる危険性もあります。調査の前には潮汐の時間を把握し、干潮で水深が浅く作業がしやすい時か、満潮でも海水の動きが緩くなっているときに作業をするように計画を立てましょう。

(担当：島袋・須藤)

8) 海草類 (全海域)

対象 (タイプ): アマモ *Zostera marina*・コアマモ *Z. Japonica*・スゲアマモ *Z. caespitosa*・オオアマモ *Z. asiatica* (アマモ型)、タチアマモ *Z. caulescens* (タチアマモ型)、スガモ *Phyllospadix iwatensis*・エビアマモ *P. japonicus* (スガモ型)、ウミヒルモ類 *Halophila* spp.・マツバウミジグサ *Halodule pinforlia*・亜熱帯型コアマモ *Z. japonica* (亜熱帯性海藻小型)、ベニアマモ *Cymodocea rotundata*・リュウキュウアマモ *C. serrulata*・リュウキュウスガモ *Thalassia hemprichii*・ウミジグサ *Halodule uninervis*・ボウバアマモ *Syringodium isoetifolium* (亜熱帯性海藻中型)、ウミショウブ *Enhalus acoroides* (亜熱帯性海藻大型)

最大現存量の時期: アマモ型 (九州・東シナ海: 4~5月、瀬戸内海・四国太平洋・本州太平洋・日本海南部: 6月、日本海北部・東北太平洋: 7月、北海道: 8月)、タチアマモ型 (本州太平洋: 6月、東北太平洋: 7月)、スガモ型: 8月、亜熱帯性海草類: 9月

調査方法: 坪刈り

方形枠サイズ: 50 cm×50 cm、円形コア (直径 15 cm)

留意点: 枠取りの被度も計測、可能であれば被度-現存量の関係式を作成

【調査対象の特徴と選定の考え方】

地球上の海草類は、進化の過程で海から陸に上がった植物が約 1 億年前に再び陸上から海に戻ってきた被子植物の仲間です (Orth *et al.* 2006)。このため海草類の体には根・茎・葉の区別があり、花を咲かせて種子を作ります (種子繁殖)。また、ササやタケの仲間のように地下茎があるので、浅い砂泥底に地下茎を伸ばして株を増やし、植生を拡大させる特徴も有しています (栄養繁殖)。同じ浅い海で藻場を形成する海藻類が 1 万種以上存在すると言われるのに対し、海草の仲間は種数が少なく、地球上で約 60 種程度と言われていています (Hemminga and Duarte 2000、Larkum *et al.* 2006)。そのため、海草は海藻のように多様な種が集まって藻場を作ることは少なく、種数が少ないながらも複数種が混生する亜熱帯・熱帯域を除き、単一種~数種が浅い砂泥域に一様な藻場を作ることが特徴です。

日本沿岸に分布する海草藻場は海藻藻場と同様、沿岸浅海域の生物多様性にとって重要な生態系であり、さまざまな重要な機能を発揮しています。本ガイドブックが焦点を当てている CO₂ 吸収源の機能もその一つです。このような海草藻場が持つ機能を評価するために

は、その海域の環境特性に反映された現存量の調査が不可欠です。海草の現存量は、環境省が実施している重要生態系監視モニタリング事業（通称：モニタリングサイト 1000）の沿岸域調査において、全国の各海域に設定された調査サイトで定期的に把握されており、その数値も公開されています。本ガイドブックの海草の最大現存量（Bmax）は、この公開されている値を用いて算定しています。

【調査概要および調査上の留意点】

モニタリングサイト 1000 の沿岸域調査では、全国 6 つの海域（北から北海道東部、東北太平洋、本州太平洋、瀬戸内海、九州東シナ海、南西諸島）に海草藻場の調査サイトが設定され、各海域で繁茂期に毎年 1 回の調査が実施されています。この調査では繁茂期の最大被度が計測され、一方で 5 年に 1 回の調査で繁茂期の最大現存量が計測されています。これら被度と現存量の調査手法は、環境省のモニタリングサイト 1000 事業のホームページ上で公開されている沿岸域調査の調査マニュアルで詳しく説明されています（環境省自然保護局生物多様性センター 2020）。単一種～数種で植生を広げることの多い海草の場合、まっすぐに葉を伸ばした海草の地上部形態の単純さも相まって、分布被度と現存量との間には当てはまりの良い相関関係が得られることが多いです。したがってこの相関関係を調査対象の海域で一度作成していれば、毎年の最大被度を計測するだけで、その年の最大現存量を算定することができます（環境省生物多様性センター 2013）。

ただし、海水温などの生息環境の変化に伴って海草の地上部の草丈が変化している場合や、対象としている海草の生活史が変化している場合は注意が必要です。日本の沿岸域で北海道から鹿児島まで最も広く分布しているアマモ（*Zostera marina*）を例に説明します。アマモは日本だけでなく、北は北極海から太平洋は鹿児島湾（西岸）、バハ・カリフォルニア（東岸）まで、大西洋は地中海までと北半球の温帯域～亜寒帯域に広がる地球上でもっとも分布が広い植物です（Yu *et al.* 2023）。さまざまな生息環境に適応することで草体の形状に変異が大きく、地下茎を伸ばして栄養繁殖を行う葉を中心とした多年生の栄養株と、花をつけて種子繁殖する一年生の花株（花枝ともいう）の 2 つの生活史型があります。成育に適した環境ほど多年生の生活史になり栄養繁殖が優占する一方、成育環境が悪くなると一年生の生活史が優占するようになり花株が大部分となって種子を出した後は枯れて地上部がなくなる種子繁殖が主体となります。また、流れの強い場所では草丈が短く葉が細くなる一方で株密度（単位面積当たりの株の本数）が多くなる傾向があります（吉田ら 2013）。その一方で流れの穏やかな場所では草丈が長く葉が幅広くなり、株密度は少なくなる傾向があります。つまり、生息環境が変化している場合は地上部の形態や生活史が変わることで、被度と現存量との相関関係が変化することになります。そのため、モニタリングサイト 1000 の調査では、5 年に 1 度は現存量調査を行い、相関関係が変化していないか検証しています。

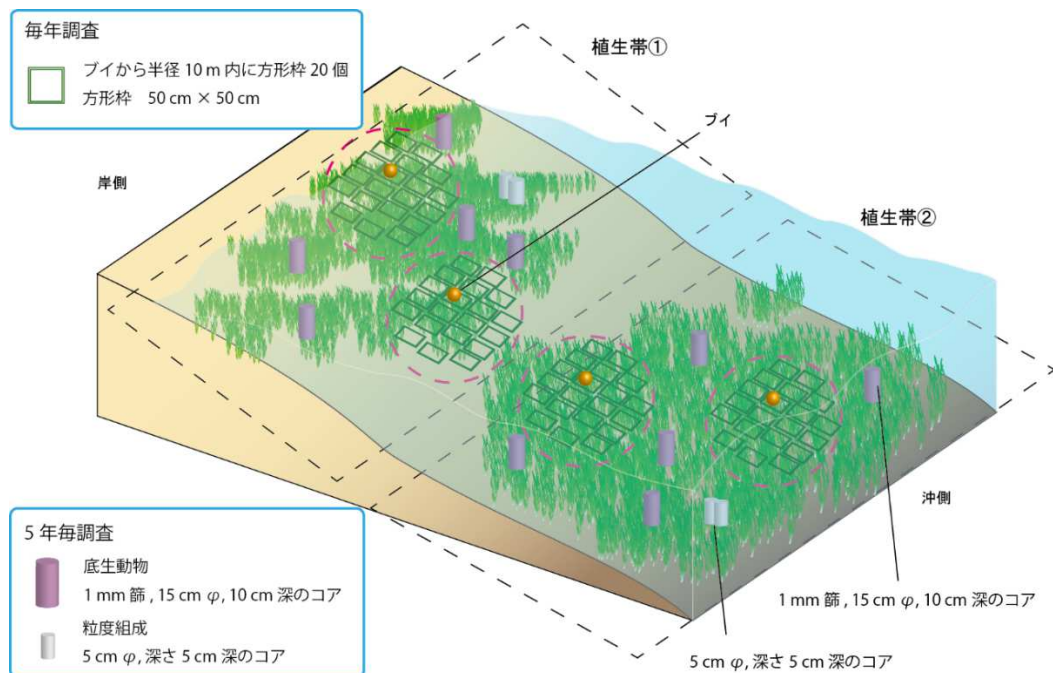


図 8-1. 海草藻場の調査イメージ図。環境省・モニタリングサイト 1000 沿岸域調査（磯・干潟・アマモ場・藻場）マニュアル第 10 版から転載。（環境省自然保護局生物多様性センター 2020）

大型種 標準被度写真

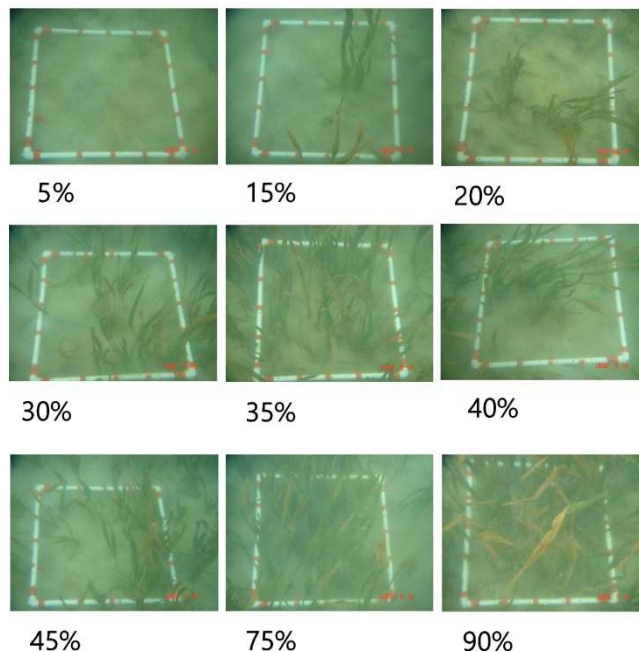


図 8-2. 海草藻場の標準被度写真。環境省自然保護局生物多様性センター（2020）から転載。写真は亜熱帯性大型種のウミショウブ

日本沿岸の海草藻場では、本州以北と南西諸島の間で藻場を構成する種類が異なります。亜熱帯性の南西諸島は熱帯～亜熱帯に分布する海草類9種が生息しており、その草丈の違いから3つのタイプ（小型、中型、大型）に大別できます（環境省生物多様性センター 2020 参照）。被度と現存量との関係もこの3つの海草タイプに分けて算定することができます。その一方、本州以北は温帯性の海草類が中心となり、本ガイドブックではアマモタイプ、タチアマモタイプ、海藻と同じ岩礁域に生息するスガモタイプとしています。南西諸島の亜熱帯性海草類は8～9月頃に繁茂期をむかえ、本州以北の温帯性海草類は順に南から4月（鹿児島湾）、6月（瀬戸内海、東京湾）、7月（東北地方）、8月（北海道）に繁茂期となります。これら繁茂期に調査を行えば、最大現存量を算定することができます。

上述のモニタリングサイト 1000 沿岸域調査マニュアルでは、図説（**図 8-1**）や被度の事例写真等を使い（**図 8-2**）、詳細に説明がなされていますので、ここでは概要のみ説明します。まず、水深に沿って海草藻場の分布の中心部と縁辺部の少なくとも2点の調査点を設定します。これは海草類の最大現存量は中心部で大きく、縁辺部ほど小さくなるので、対象とする藻場の平均的な最大現存量の値を得るためです。理想的には、水深が浅い方の縁辺部、中心部、深い方の縁辺部の3つの調査点を設定できれば、より精緻な値を得ることができます。

最大被度を計測する場合、海草藻場では、50 cm×50 cmの方形枠を使ったコドラート調査が一般的です（**図 8-2**）。対象とする藻場の大きさにもよりますが、設定した調査地点の中心から半径数メートルから10メートル程度の範囲において計測を行います。海草藻場の分布域全体に偏りなくランダムに配置した方形枠で被度を計測し、被度と現存量との相関関係から現存量に換算します。環境省の調査マニュアルでは、1つの調査地点につき20個の方形枠内で被度を計測しています。南西諸島では小型、中型、大型の海草タイプが水深に沿ってそれぞれ帯状に分布している様子が確認できますので、この水深帯ごとに調査地点を設定し、コドラート調査を行うこととなります。本州以北でも、潮間帯から浅い潮下帯にかけてコアマモ（*Zostera japonica*）が、それより深い水深帯にアマモが分布しますので、コアマモ帯とアマモ帯それぞれでコドラート調査を行います。

現存量を直接測定する場合は、調査マニュアルでは海底の底泥と一緒に海草を採取するコアサンプリングが奨励されています。各調査地点において5個以上のサンプル収集を行います。サンプル数が多いほど精緻な値が得られますが、藻場を破壊する調査なので、藻場の成育状況を鑑みながら、藻場を衰退させないサンプル数を検討します。直径15～数十cmのコアサンプラーを用い、地上部の葉・葉鞘部分だけでなく、砂泥の中にある地下茎・根も砂泥ごと採取します。単位面積当たりの地上部、地下部の採取ができるのであれば、一辺15 cm～20 cm程度の方形枠などでも問題ありません。ここで重要なのは、現存量を採取するための調査枠を海草の被度が100%に近い場所（少なくとも被度75%以上）に置くことです。その一方で被度と現存量との相関関係式を求めるための現存量調査では、坪刈り法を用いるほうが確実です。ランダムに10～20個程度のコドラート内の被度を計測し、その後之地

上部・地下部すべてを採取・測定します。この際、低い被度から高い被度まで、幅広く被度が計測できていることが重要です。岩礁に生息するスガモも、海藻と同様に坪刈り法を用います。

(担当：堀・仲岡)

引用文献

1) 北海道東部太平洋海域

- Hasegawa N., Onitsuka T., Ito S., Azumaya T. (2019) Growth variation in long blade kelp *Saccharina longissima* in eastern Hokkaido, Japan. *Bulletin of Japan Fisheries Research and Education Agency* 49:65–72.
- 名畑進一, 阿部英治 (2003a) 103. ナガコンブ. 上田吉幸, 前田圭司, 嶋田宏, 鷹見達也 編. 漁業生物図鑑 新 北のさかなたち. 北海道新聞社, 札幌. pp. 420–423.
- 名畑進一, 阿部英治 (2003b) 107. ガツガラコンブ. 上田吉幸, 前田圭司, 嶋田宏, 鷹見達也 編. 漁業生物図鑑 新 北のさかなたち. 北海道新聞社, 札幌. pp. 434–437.
- 名畑進一, 阿部英治 (2003c) 104. オニコンブ. 上田吉幸, 前田圭司, 嶋田宏, 鷹見達也 編. 漁業生物図鑑 新 北のさかなたち. 北海道新聞社, 札幌. pp. 426–427.
- 佐藤仁, 渡辺光弘, 山本潤 (2010) 画像解析による海藻現存量の経年変化算定の試み 寒地土木研究所月報 690:23-28.
- 佐々木正義 (2017) 北海道のコンブ漁業の現状. 北水試だより 94:5-9.
- Sudo K., Watanabe K., Yotsukura N., Nakaoka M. (2020) Predictions of kelp distribution shifts along the northern coast of Japan. *Ecological Research* 35:47–60.

2) 東北太平洋沿岸域

- 川俣茂 (2012) 寄り藻調査による大型褐藻アラメのアロメトリー, 脱落原因および寿命の解析. 藻類 60:127-133.
- 村岡大祐 (2003) エゾノネジモク. 藻場の海藻と造成技術, 能登谷正浩編著, 成山堂書店, pp.75-81.
- 吉田忠生 (1970) アラメの物質生産に関する 2,3 の知見. 東北水研研究報告 30:107-112.
- 武蔵達也, 坂下薫, 中井一広, 井ノ口信幸, 西洞孝広, 内田務 (1993) コンブの生活様式と生産量に関する研究. 平成4年度岩手県南部 栽培漁業センター事業報告書:75-79.
- 中脇利枝, 吾妻行雄, 谷口和也 (2001) 女川湾における褐藻マコンブ群落の生活年周期と生産力. 水産増殖 49 :439-444.
- Yatsuya K., Matsumoto Y., Sasaki K., Shirafuji N., Muraoka D. (2017) Phenology of the kelp *Saccharina japonica* and its effect on the gonad index of the sea urchin *Mesocentrotus nudus* across a depth gradient on the Sanriku coast, northeastern Japan. *Fisheries Science* 83:939-946.
- Yatsuya K., Matsumoto Y. (2023) Deterioration of an annual kelp *Saccharina japonica* forest and its effects on dominant herbivores, sea urchin *Mesocentrotus nudus* and abalone *Haliotis discus hannai*, in northeast Japan. *Regional Studies in Marine Science* 57:102739.

3) 日本海南部海域

- 石田健次, 由木雄一 (1996) 島根県鹿島沿岸におけるクロメの季節変化. 水産増殖 44:241-247.
- 木村太郎, 上田京子, 黒田理恵子, 赤尾哲之, 篠原直哉, 後川龍男, 深川敦平, 秋元恒基 (2007) 福岡県大島産アカモク *Sargassum horneri* 中に含まれる多糖類の季節変動. 日本水産学会誌 73:739-744.
- 村瀬 昇 (2014) 藻場が消えた?!~2013年, 夏から秋にかけての山口県日本海沿岸の藻場の異変~. 豊かな海 32:67-70.
- 村瀬 昇 (2022) 暑さに強い海藻を調べる. 水産海洋エンジニアリング 162:50-61.
- Murase N., Kito H. (1998) Growth and maturation of *Sargassum macrocarpum* C. Agardh in Fukawa Bay, the Sea of Japan. *Fisheries Science* 64: 393-396.
- 西垣友和, 道家章生 (2015) 若狭湾西部海域における褐藻クロメの分布特性および季節的消長. 京都府農林水産技術センター海洋センター研究報告 37:1-6.
- 安成 淳 (2015) 山口県の藻場の現状と対策について. 月刊海洋 47:281-283
- 八谷光介, 桐山隆哉, 清本節夫, 種子田 雄, 吉村 拓 (2014) 2013年に発生した長崎県壱岐市郷ノ浦町地先におけるアラメ・カジメ場の衰退過程についてー夏季の高水温による発生と秋季の食害による拡大ー. *Algal Resources* 7:79-94.
- 八谷光介, 清本節夫, 吉村 拓 (2011) 長崎県西彼杵半島西岸におけるホンダワラ属 3種の季節的消長. 藻類 59:139-144.
- 八谷光介, 清本節夫, 吉村 拓 (2014) 長崎県壱岐市郷ノ浦町地先におけるクロメ群落の現存量および生産量の季節変化. *Algal Resources* 7:67-77.
- 吉田太輔 (2016) 島根県沿岸における藻場の状況と磯焼けに関する聞き取り調査. 島根県水産技術センター研究報告 9:37-42.

4) 太平洋中部海域

- 新井章吾, 寺脇利信 (2003) II.2.2.アラメとカジメ. 藻場の海藻と造成技術, 能登谷正浩編著, 成山堂書店, pp.100-112
- 水産庁(2021) 第5章 我が国沿岸の磯焼けの現状, 第3版 磯焼け対策ガイドライン, pp.60-73
- 筒井功, 大野正夫 (1993) 高知県須崎湾に生育するワカメ, ヒロメ, アントクメの成長と成熟. 水産増殖 41:55-60
- Yokohama, Y., Tanaka, J., Chihara, M. (1987) Productivity of the *Ecklonia cava* community in a bay of Izu Peninsula on the Pacific coast of Japan. *Bot. Mag. Tokyo* 100:129-141.

5) 瀬戸内海海域

- Akita, S., Hashimoto, K., Hanyuda, T., Kawai, H. (2020) Molecular phylogeny and biogeography of *Ecklonia* spp. (Laminariales, Phaeophyceae) in Japan revealed taxonomic revision of *E. kurome* and *E. stolonifera*. *Phycologia* 59:330-339.
- 加藤亜記, 城内辰享 (2016) 瀬戸内海中西部の広島県竹原市周辺における海藻相と季節的消長. *藻類* 64:1-9.
- 喜田和四郎 (1966) 伊勢湾及び近傍産ヒトエグサ属の形態並びに生態に関する研究. 三重県立大学水産学部紀要 8:81-164.
- 島袋寛盛, 三浦俊一, 真鍋康司, 吉田吾郎 (2023) 広島県廿日市市地先における石積み護岸ブロック上の海藻植生と環境の変遷. *藻類* 71:81-91.
- 島袋寛盛, 吉田吾郎, 加藤亜記, 郭 新宇 (2018) 今後 100 年間に生じる水温と藻場生態系の変遷を予測する. *海洋と生物* 236:85-88.
- 水産庁 (2021) : 第 5 章 我が国沿岸の磯焼けの現状, 第 3 版 磯焼け対策ガイドライン, pp.60-73.
- 吉田吾郎, 島袋寛盛, 加藤亜記, 梶田 淳, 三浦俊一, 村瀬 昇(2020a) : 瀬戸内海西部における褐藻クロメの生態学的特性 II. 裸地化後の群落再生過程. *Algal Resources* 13:151-162.
- 吉田吾郎, 島袋寛盛・堀 正和, 村瀬 昇, 加藤亜記(2020b)瀬戸内海西部における褐藻クロメの生態学的特性 I. 現存量と生産量、及び形態の多様性. 広島大学博物館研究報告 12:87-99.
- 吉田忠生 (1998) : 新日本海藻誌. 内田老鶴圃. 東京. 1,222 pp.

6) 九州東シナ海域

- Akita S., Yamada H., Ito M., Kobayashi M., Fujita D. (2014) Phenology of annual kelp *Eckloniopsis* (Phaeophyceae, Laminariales) forest on a *Diadema* barren in Uchiura Bay, Central Pacific Coast of Honshu, Japan. *J. Appl. Phycol.* 26:1141-1148.
- 門田 立, 八谷光介, 吉村 拓, 邵 花梅, 清本節夫 (2023) 2010 年代の 10 年間にわたる長崎県野母町地先の藻場の変化. *日本水産学会誌* 89:330-337.
- 環境省自然保護局生物多様性センター (2020) モニタリングサイト 1000 沿岸域調査 (磯・干潟・アマモ場・藻場) マニュアル 第 10 版.
http://www.biodic.go.jp/moni1000/manual/coast_manual_10.pdf
- 清本節夫, 門田 立, 種子田 雄, 吉村 拓 (2018) 九州西岸域における藻場の変遷. *海洋と生物* 236:210-219.
- 清本節夫, 山仲洋紀, 吉村 拓, 八谷光介, 邵 花梅, 門田 立, 玉置昭夫 (2021) 九州北西部壱岐島和歌地先におけるカジメ科海藻藻場の消失までの長期変動. *日本水産学会誌* 87: 642-651.

- 駒澤一郎, 安藤和人, 滝尾健二, 川辺勝俊, 坂西芳彦 (2013) 伊豆大島における暖海性コンブ目アントクメの生活年周期. 水産増殖 61:73-80.
- 村瀬 昇, 野田幹雄, 阿部真比古, 吉村 拓, 清本節夫, 樽谷賢治, 吉田吾郎, 島袋寛盛, 八谷光介 (2017) 長崎県見崎町沿岸におけるキレバモク群落の生産力. 水産大学校研究報告 65:239-244.
- 寺田竜太, 進藤蒼, 田中美和, 江崎 聡 (2021) 鹿児島県長島における藻場の長期変化, 特に東シナ海に面した沿岸からの藻場の消失. 日本水産学会誌 87:631-641.
- 八谷光介, 清本節夫, 吉村拓 (2011) 長崎県西彼杵半島西岸におけるホンダワラ属3種の季節的消長. 藻類 59:139-144.
- 吉村 拓, 清本節夫, 八谷光介, 中嶋 泰 (2009) 長崎市沿岸に広がる"春藻場"とは? -その実態と今後の課題について-. 月刊海洋 41:629-636.

7) 南西諸島海域

- Eggertsen L., Ferreira C. E., Fontoura L., Kautsky N., Gullström M., Berkström C. (2017) Seaweed beds support more juvenile reef fish than seagrass beds in a south-western Atlantic tropical seascape. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 196:97-108.
- 水産庁 (2021) 第5章 我が国沿岸の磯焼けの現状, 第3版 磯焼け対策ガイドライン, pp.60-73.
- 島袋寛盛 (2017) 日本産南方系ホンダワラ属【26】日本沿岸に分布するヤバネモク. 海洋と生物 228:83-88.
- 島袋寛盛 (2013) 日本産南方系ホンダワラ属【1】南方系ホンダワラ属の形態. 海洋と生物 204:76-83.

8) 全海域の海草類

- Hemminga, M. A., Duarte, C. M. (2000) *Seagrass Ecology*, Cambridge University Press, Cambridge, 298 pp.
- 環境省 生物多様性センター(2013)モニタリングサイト 1000 沿岸域調査 (磯・干潟・アマモ場・藻場調査) 2008-2012年度とりまとめ報告書.
<https://www.env.go.jp/press/files/jp/23164.pdf>
- 環境省 生物多様性センター (2020) モニタリングサイト 1000 沿岸域調査 (磯・干潟・アマモ場・藻場) マニュアル第10版.
https://www.biodic.go.jp/moni1000/manual/coast_manual_10.pdf
- Larkum, A. W. D., Orth, R. J., Duarte, C. M. (2006) *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*. Springer, Dordrecht, 676 pp.
- Orth, R. J., Carruthers, T. J. B., Dennison, W. C., Duarte, C. M., Fourqurean, J. W., Heck, K. L., Hughes, A. R., Kendrick, G. A., Kenworthy, W. J., Olyarnik, S., Short, F. T., Waycott,

- M., Williams, S. L. (2006) A global crisis for seagrass ecosystems. *Bioscience* 56: 987-996.
- 吉田吾郎・谷本照己・相田 聡・梶田 淳・水谷 浩・大本茂之・斉藤憲治・森口朗彦・堀
正和・浜口昌己・寺脇利信 (2013) 広島湾とその周辺海域におけるアマモの生態的特性
とその多様性. *生物圏科学* 52: 71-86
- Yu, L., Khachatryan, M., Matschiner, M., Healey A., Bauer, D., Cameron, B., Cusson, M.,
Duffy, J. E., Fodrie, F. J., Gill, D., Grimwood, J., Hori, M., Hovel, K., Hughes, A. R., Jahnke,
M., Jenkins, J., Keymanesh, K., Krushel, C., Mamidi, S., Menning, D. M., Moksnes, P.,
Nakaoka, M., Pennacchio, C., Reiss, K., Rossi, F., Ruesink, J. L., Schultz, S. T., Talbot, S.,
Unsworth, R., Ward, D. H., Dagan, T., Schmutz, J., Eisen, J. A., Stachowicz, J. J., Van de
Peer, Y., Olsen, J. L., Reusch, T. B. H. (2023) Ocean current patterns drive the worldwide
colonization of eelgrass (*Zostera marina*). *Nature Plants* 9: 1207-1220.

編集者：堀 正和・阿保勝之・児玉真史

執筆者：長谷川夏樹・中川 亨・渡辺 剛・高木聖実・佐藤允昭・鈴木健吾

村岡大祐・八谷光介

阿部真比古・村瀬 昇・野田幹雄

鬼塚年弘・白藤徳夫・丹羽健太郎・澤山周平

島袋寛盛・須藤健二

清本節夫・門田 立・邵 花梅・藤野くるみ・吉村 拓・山田秀秋

堀 正和（以上、水産研究・教育機構）

仲岡雅裕（北海道大学）

（所属は令和5年3月時点）