

5 藻場を再建する手法と技術

1) 藻場評価表とその使用方法

中嶋 泰

1 藻場類型：九州沿岸の藻場の現状から、現存する藻場は表 5-1)-1-1 に示すように、四季藻場、春藻場（「3用語について」参照）および一年藻場の 3 つに分類された。一年藻場は、基本的に不定期に形成される点で四季藻場および春藻場と区分された。四季藻場はさらに大型海藻藻場と小型海藻藻場の 2 つに、大型海藻藻場はガラモ場とアラメ場に分類され、計 5 つに類型化された。四季藻場の主な構成種は表の通りであるが、ガラモ場に小型海藻が、また、アラメ場にホンダワラ類や小型海藻が混生することもある。各類型の代表的な景観と季節変化を図 5-1)-1-1 に示す。

表 5-1)-1-1 藻場類型の定義と主な構成種

大分類	中分類	小分類	定義	主な構成種
A 四季藻場	A-1 大型海藻藻場	A-1-I ガラモ場	周年、毎年、形成される藻場	在来ホンダワラ類
		A-1-II アラメ場		アラメ・カジメなどのコンブ類
	A-2 小型海藻藻場			テングサなど多年生小型海藻
B 春藻場			春から初夏に、毎年、形成される藻場	多年生の亜熱帯性と在来ホンダワラ類
C 一年藻場			春から初夏に、基本的に不定期に、形成される藻場	真一年生海藻（アカモク、ワカメ、アントクメなど）

注：本評価では岩礁性の藻場を対象とする

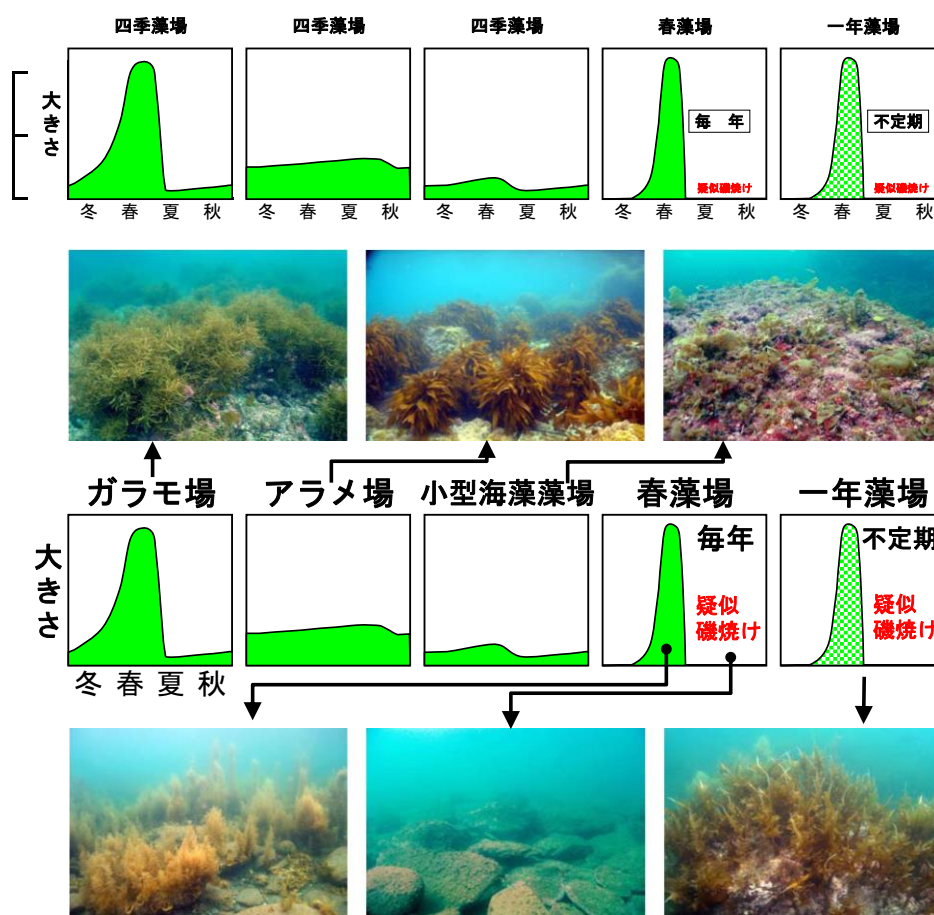


図 5-1)-1-1 藻場類型の景観と季節変化

2 現状の把握：九州沿岸における藻場の衰退・消失の過程と藻場造成や食害防止の試験結果、ならびに環境変化を総合すると、藻場形成の主な阻害要因は、アイゴ・ノトイヌズミ・ブダイ等（以下、魚）の食害、ガンガゼ・ムラサキウニ等（以下、ウニ）の食害、および水温の3つであると推測される。これら3つの要因のうち、複数が同時に作用している場合があり、藻場がおかれている現状を把握・理解することは簡単なことではなかった。そこで、阻害要因の影響度をそれぞれ大・中・小に分け、3次元の27区画に区分し、阻害要因の関係を単純化した（図5-1)-2-1）。

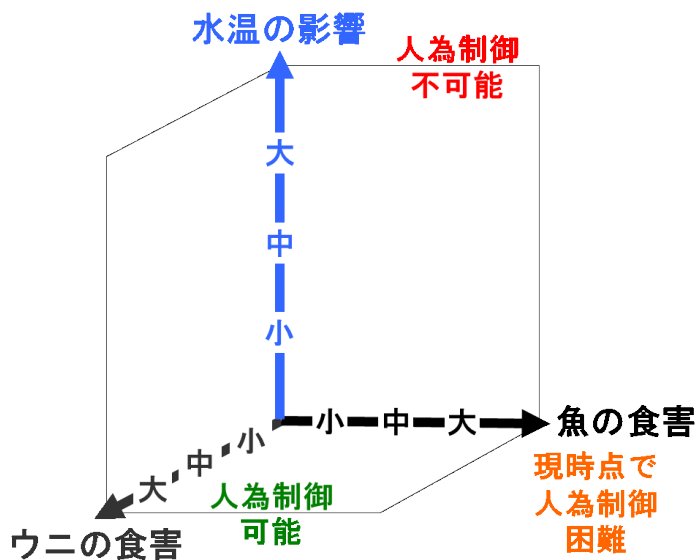


図5-1)-2-1 藻場形成の阻害要因の3次元化

藻場を回復・拡大させるためには、藻場形成を阻害している要因を現地調査等により明らかにし、対象海域がどの区画に位置するのか把握することが重要である。

各区画と藻場類型との関係は図5-1)-2-2のように整理される。アラメ場とガラモ場は「ウニと魚の食害が中・小で水温の影響が小の4区画（図中：茶色）」、ガラモ場は「ウニと魚の食害が中・小で水温の影響が大・中の8区画（黄色）」、小型海藻藻場は「ウニの食害が小、魚の食害が大の3区画（赤色）」、

また、春藻場は「ウニの食害が中、魚の食害が大の3区画（桃色）」に形成される。

「ウニの食害が大の9区画（灰色）」は魚の食害、水温の影響に拘わらずに磯焼けである。

なお、一年藻場は、全ての区角で形成される可能性があるものの、知見が不十分なことから、図化していない。

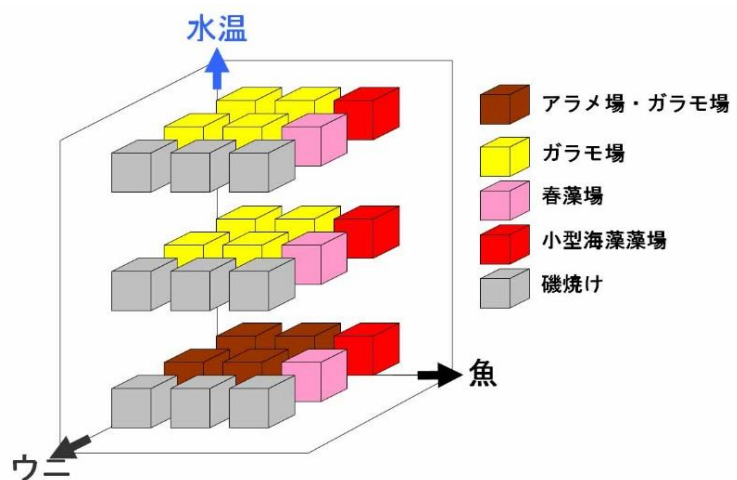


図 5-1)-2-2 藻場類型と藻場形成の阻害要因との関係

【補足①】：藻場形成の阻害要因の影響度の判断基準と評価の考え方は、海域により相違があると考えられる。一例を表5-1)-2-1に示す。水温は、ウニや植食性魚類の摂餌活性に影響を及ぼすことが知られている。そこで、ウニや魚との関連を単純化するために、水温の影響度の判断基準は、海藻の生理活性に及ぼす影響を判断基準とした。アラメ類の南限以南の海域では、アントクメを対象とすることもできる。夏季の水温が30℃前後に達するような場合（水温の影響が大）、一部の在来種と亜熱帯性のホンダワラ類が生残・越冬し、ガラモ場を形成する可能性がある。

表 5-1)-2-1 藻場形成の阻害要因の判断基準と評価の考え方の一例

藻場形成の阻害要因	程度	判断基準	評価の考え方
ウニの食害	大	小型海藻は、全て食害される。	全ての藻場の形成は困難である。
	中	小型海藻は、食害されるが、一部残る。	春藻場と一年藻場の形成の可能性がある。
	小	小型海藻は、ほとんど食害されない。	全ての藻場の形成は可能である。
魚の食害	大	大型海藻は、過度に食害される。	春藻場の形成の可能性がある。
	中	大型海藻は、食害されるが、一部残る。	ガラモ場等の形成の可能性がある。
	小	大型海藻は、ほとんど食害されない。	全ての藻場の形成は可能である。
水温の影響	大	ホンダワラ類は、一部を除き、生育しない。	特定種のガラモ場の形成は可能である。
	中	ホンダワラ類は生育するが、アラメ類は生育しない。	アラメ場の形成は困難である。
	小	アラメ類が生育する。	全ての藻場の形成は可能である。

藻場形成の阻害要因の影響度と類型別の藻場成立の可能性を表5-1)-2-2に整理した。アラメ場は3つの阻害要因が全て小の場合のみ成立する。ガラモ場はウニの食害が小の場合、魚の食害が中以下であれば成立する。小型海藻藻場は、魚の食害の影響度に関わらず、ウニの食害が小であれば成立する。春藻場は、元来、魚の食害が大で成立（出現）する藻場である。一年藻場は、伸長期が冬季であるため、魚の食害の影響を受けにくい。

表 5-1)-2-2 藻場成立の可能性

藻場類型	魚の食害			ウニの食害			水温の影響		
	小	中	大	小	中	大	小	中	大
アラメ場	○	×	×	○	×	×	○	×	×
ガラモ場	○	△	×	○	×	×	○	○	△
小型海藻藻場	○	○	○	○	×	×	○	○	△
春藻場	×	×	○	○	○	×	○	○	○
一年藻場	○	○	○	○	○	×	○	△	×

注：○は可能、△は一部可能、×は不可

3 回復可能な藻場類型の選定：阻害要因に対する人為的制御は、ウニの食害（Y軸）の場合は除去等により可能であるが、魚の食害（X軸）は現時点では困難であり、また、水温の影響は不可能である。つまり、魚の食害と水温の影響については現状を変えることはできないが、ウニの食害はより影響が少ない方向（原点方向）へ現状を変化させることができる。回復可能な藻場類型の選定の一例を図5-1)-3-1に示す。周辺にアラメ類は生育していないが、ホンダワラ類が生育しており（＝水温の影響が中）、大型海藻は一部を除き生育していない（＝魚の影響が大）海域では、ウニを除去することにより、磯焼けから春藻場または小型海藻藻場が回復可能であると判断できる。なお、一年藻場は造成可能ではあるが、翌年以降に藻場が持続する可能性が低く、藻場として不安定であるので選定対象には含めなかった。

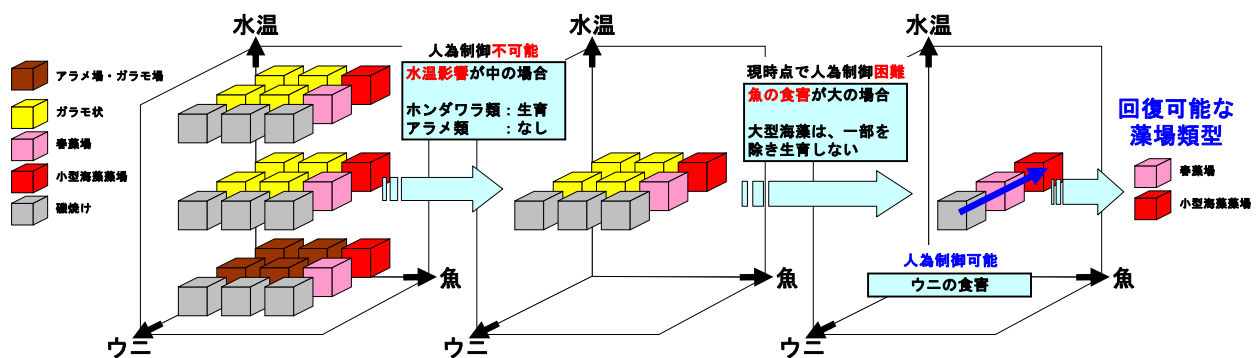


図 5-1)-3-1. 回復可能な藻場類型の選定

4 機能の選定：藻場類型別の期待される機能を表 5-1)-4-1 に示す。機能としては、水産有用種を涵養する漁場としての機能のほかに、水質浄化機能や環境学習の場など多面的機能も含めた。四季藻場はいずれの機能も有するのに対し、春藻場と一年藻場は、周年藻場を形成しないため、アワビ類（特にメガイアワビ）やサザエには餌料供給、また、イセエビ（幼体・稚エビ）には保育場の面で機能が劣っている。

表 5-1)-4-1 期待される藻場の機能

大分類	アワビ藻場	サザエ藻場	ウニ藻場	イセエビ藻場	魚藻場	多面的機能
A 四季藻場	○	○	○	○	○	○
B 春藻場	△	△	○	△	△	○
C 一年藻場	△	△	○	△	△	○

注：○は「機能あり」、△は「機能は劣る」を示す。

5 適種の選定：回復可能な藻場類型とその機能を選定したら、それらに適した藻場海藻を選定する。九州沿岸の藻場の主要海藻別に、藻場類型、生育地、魚類の食害からの回復力、アワビ類・サザエ・ウニ類・魚類への餌料価値、およびイセエビの成育場機能を表 5-1)-5-1 に示す。魚類に対する餌料価値は、葉上動物の量を意味する。なお、主要海藻は、周辺海域に生育する海藻から選定する。

回復可能な藻場類型が四季藻場のガラモ場と選定され、アワビ類漁場としての機能を期待する場合、ノコギリモク・ヨレモクモドキ・マメタワラ・ヤツマタモクが候補となる。このうち、回復対象域の水深・波浪と考慮し、適種を選定する。

また、小型海藻藻場が回復可能な場合、マクサを対象海藻とすれば、サザエ漁場やイセエビ保育場としての高い機能が期待される。

表 5-1)-5-1 藻場の主要海藻の生態特性

主要海藻	藻場類型 (大分類)			生育地						魚類の食害		
				水深			波浪			回復力		
	四季	春	一年	0~5m	5~10m	10m以深	強	中	弱	高	中	低
アラメ・クロメ類	○			○	○	○	○	○				○
ノコギリモク	○			○	○	○		○				○
ヨレモクモドキ	○			○				○	○		○	
マメタワラ	○	○		○				○	○	○		
ヤツマタモク	○	○		○				○	○	○		
キレバモク		○		○	○			○	○		○	
マジリモク		○			○	○				○	○	
フタエモク		○		○				○	○		○	
フタエヒイラギモク		○		○					○			○
アカモク		○	○	○	○				○	○		○
ワカメ		○	○	○	○			○	○		○	
アントクメ		○	○	○	○	○			○	○		
マクサ	○			○	○				○	○		○

主要海藻	餌料価値									成育場機能								
	アワビ			サザエ			ウニ			魚類			イセエビ着底場			イセエビ保育場		
	高	中	低	高	中	低	高	中	低	多	中	少	高	中	低	高	中	低
アラメ・クロメ類	○					○	○					○	○			○		
ノコギリモク	○	○				○	○			○		○	○			○		
ヨレモクモドキ		○				○	○			○		○	○			○		
マメタワラ			○?			○	○			○		○	○*	○		○*		○
ヤツマタモク			○?			○	○			○		○	○*	○		○*		○
キレバモク		○				○	○			○		○		○				○
マジリモク		○				○	○			○		○		○				○
フタエモク		○				○	○			○		○		○				○
フタエヒイラギモク		○				○	○			○		○		○				○
アカモク		○				○	○			○		○		○				○
ワカメ	○					○	○					○		○				○
アントクメ			○?			○	○					○	○					○
マクサ			○	○						○		○				○		

*：四季藻場形成域

【補足②】：藻場の主要海藻の生態特性の評価基準を表 5-1)-5-2 に示す。魚の食害からの回復力とイセエビの成育場機能については、本事業での検討結果である。餌料価値のうちアワビ類とウニ類についてはアラメ当量を基準とした。サザエに対しては、マクサ等がクロメ等に比べ格段に良い餌料であった。魚類に対する餌料価値は餌料生物量の多少により評価した。

表 5-1)-5-2 主要海藻の生態特性の評価基準

項 目		評価	種 類	文献
魚類の食害	回復力	高	マメタワラ、ヤツマタモク、亜熱帯性ホンダワラ類、ワカメ、アントクメ	
		中	アカモク、ヨレモクモドキ、ヨレモク、マクサ、	
		低	アラメ・カジメ類、ノコギリモク、ヤナギモク	
餌料価値	アワビ	高	アラメ当量1.0以上：コンブ類、ワカメ、イロロ、ハバモドキ、オゴノリ	吉田ほか(1969) 菊地ほか(1967) 土屋ほか(1980) Uki et. al (1986) 内場(1985) 蒲原ほか(2009) ※
		中	アラメ当量0.5～1.0未満：アラメ・カジメ類、ジョロモク、亜熱帯性ホンダワラ類（キレバモク・フタエヒイラギモク）、ヤツマタモク、アカモク、アオサ、カヤモノリ、ツルアラメ、ノコギリモク、マクサ、ウスバアオイ、オキツノリ、ワカメ	
		低	アラメ当量0.5未満相当：マクサ、ヤナギモク、オオバモク、ヒジキ、フシスジモク、ウミトラノオ、タマハハキモク、マクサ、ヒジキ、ヤツマタモク、クロメ、ヨレモク、ミル、タオヤギソウ、フシスジモク、トゲモク、マメタワラ、	
	サザエ	高	マクサ、オバクサ、アオサ類	西岡ほか(1977) 藤井ほか(1986) 葭矢ほか(1987a) 葭矢ほか(1987b) 岡部ほか(1989) 対馬チーム(1991) ※
		中	不明	
		低	クロメ、ワカメ、ヤツマタモク、ヨレモク、オオバモク、ホンダワラ類、有節サンゴモ類	
	ウニ	高	アラメ当量1.0以上：ヒジキ、ワカメ	内場(1985) 山口県(1993) ※
		中	アラメ当量0.5～1.0未満：アラメ・カジメ類、亜熱帯性ホンダワラ類（キレバモク・フタエヒイラギモク）、ノコギリモク、アカモク、ヤナギモク、ツルアラメ、ワカメ、オオバモク、ウミウチワ、アナアオサ、ヒジキ、ヤツマタモク、アカモク、マメタワラ、ヤツマタモク、マクサ	
		低	アラメ当量0.5未満相当：ミル、アミジグサ、マクサ、タオヤギソウ、シワヤハズ	
	魚 類	多	葉上動物10,000個体/m ² 以上：ホンダワラ類	南西水研ほか(1979) ※
		中	葉上動物5,000～10,000個体/m ² ：テングサ	
		少	葉上動物5,000個体/m ² 未満：アラメ・カジメ類	
成育場機能	イセエビ着底	高	ポストラーバ着底期に藻場がある	
		中	ポストラーバ着底期の一部しか藻場がない	
		低	ポストラーバ着底期に藻場がない	
	イセエビ保育	高	稚エビ生育期に藻場がある	
		中	稚エビ生育期の一部しか藻場がない	
		低	稚エビ生育期に藻場がない	

注：アラメ当量は重量基準とした。※は本報告書を示す。

6 適地の選定： 残存藻場の維持機構やバイオテレメトリーの成果を活用して、藻場回復・拡大の適地を選定する。

7 藻場の回復・拡大： 波浪流動や砂を利用する方法、ウニ類の除去、幼胚の添加などの手法を選択し、藻場の回復・拡大を図る。

8 藻場評価表の活用フロー： 以上に述べた、藻場評価表の活用フローを図 5-1)-8-1 に示す。

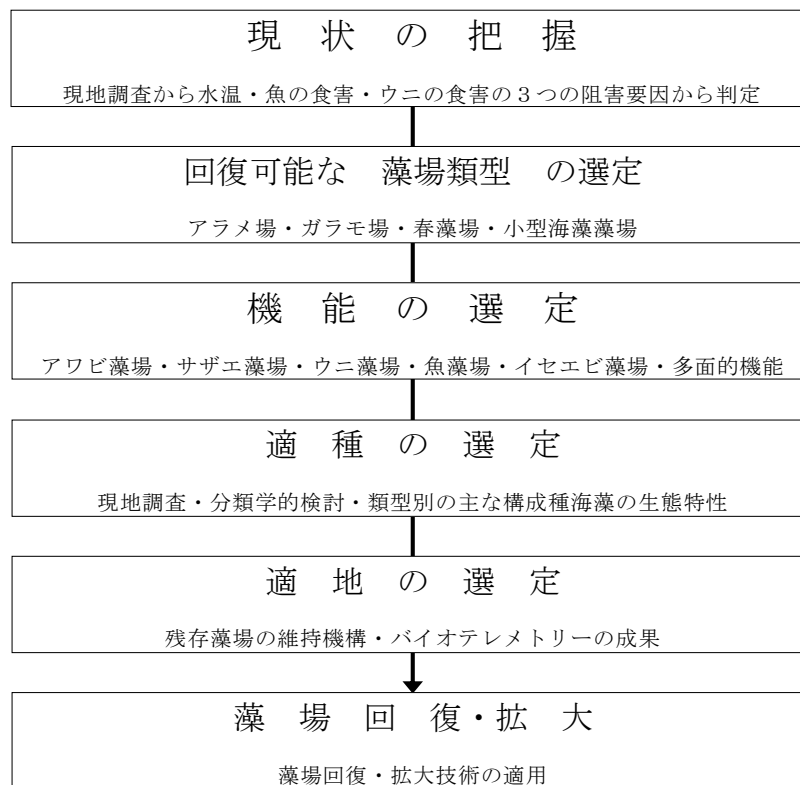


図 5-1)-8-1 藻場評価表の活用フロー

5-2) 造成に有効な技術

1 「投げ込み式中層網」と「ウニハードル」

荒武久道・中嶋泰

ここでは、ウニ類除去範囲等に効率的にホンダワラ類幼胚を添加するために有効な「投げ込み式中層網」と、ウニ類除去域へのウニ類再進入を起こりにくくする「ウニハードル」について紹介する。

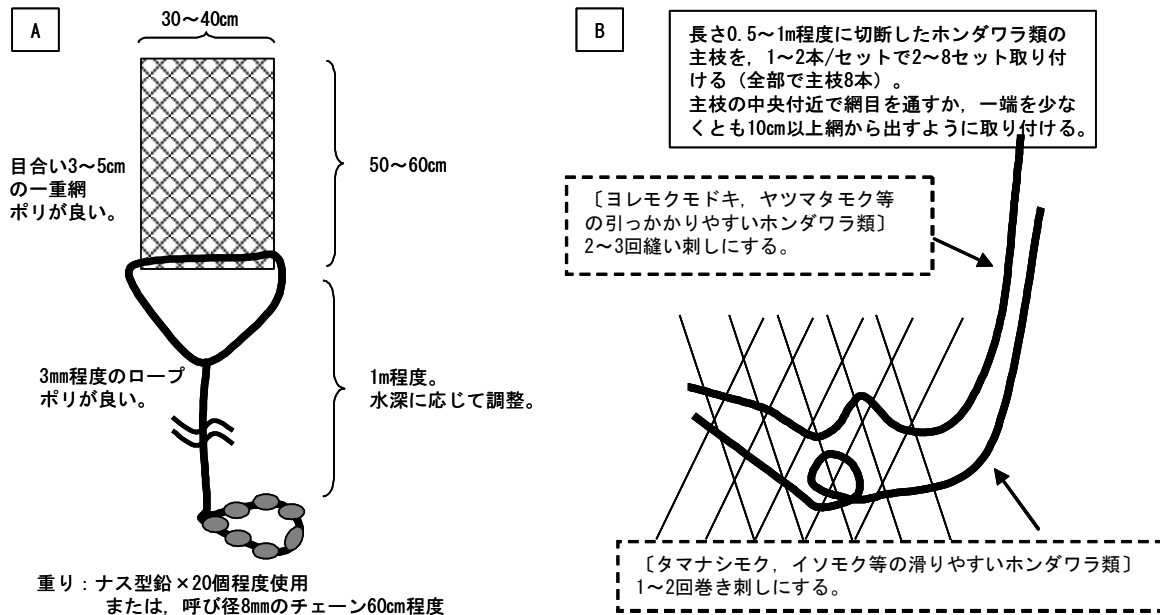


図 5-2)-1-1 投げ込み式中層網の構造模式図と母藻の取り付け方

投げ込み式中層網：鹿児島県指宿市岩本での藻場造成に使用された、①母藻を健全な状態で長期間維持でき、②母藻の成熟に関係なく早期に設置でき、③陸上作業が可能であり、④広範囲に幼胚を添加することが可能な中層網（田中，2008）を改良、小型化したものである。投げ込み式中層網の特徴は、中層網（田中，2008）の利点をそのまま活かし、かつ、小型化したことにより、1人でも作成から投入まで行い、投入に際して潜水作業が一切必要ないことである。

構造は、30×50cm程度の、目合い3～5cmのポリ網を主体とし、網を海底に保持するための沈子（チェーン等）と1m程度のポリロープで連結したものである（図5-2)-1-1A）。連結するロープの長さや、重りの重さは、投入する場所の水深や波浪流動、底質を考慮して調整する。

取り付けるホンダワラ類母藻は、0.5～1m長に切断した主枝である。主枝1～4本を1セットとし、投げ込み式中層網1つにつき2～8セット、ポリ網の目を縫い刺しして取り付ける（図5-2)-1-1B）。この際、ヨレモクモドキやヤツマタモク、フタエモク等のように網目にかかりやすいホンダワラ類は2～3回縫い刺しにすれば良いが、タマナ

シモク、イソモク等の滑りやすいものは1度縫い刺しした後に折り返し、同じ網目を再度縫い刺しにして、網糸に巻き付けるようにすると抜けにくくなる。投入は、微速航行する船上から投げ込むことによる。この際、投入間隔は3～5mを目安とする。

ここに紹介した投げ込み式中層網は、ほとんどが石油製品から成っているため、海中で分解されることなく残存するため、幼胚の添加が終わった後には回収する必要がある。回収したものは、付着物等を取り除いたり、破損部分を補修したりすることにより繰り返し使用可能である。石油製品の代わりに、シュロ縄等の天然素材や、生分解性素材を、鉛やチェーンの代わりに自然石を利用することにより回収不要なものとすることも可能である。

浮子ロープ（商品名：ワンライン20号等）

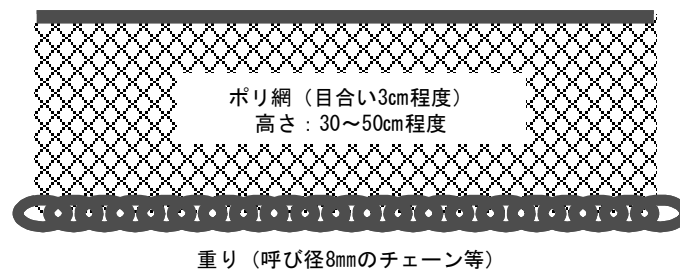


図 5-2)-1-2 ウニハードルの構造模式図

使用条件に応じて必要な長さを作成する。重りを石などの隙間に挟み込んで固定し易くするために、必要な長さの1割程度長く作成することが望ましい。

ウニハードル：ウニ類進入防止構造物としては、ナイロン製の漁網を束ねたウニフェンス（「ウニ・アワビ・ツブの行動制御用装置とその使用方法」：特許第2805612号）が広く知られているが、九州沿岸で使用した場合、イセエビ等の有用甲殻類の意図しない羅網が起こってしまう問題がある。そこで、一重のポリ網を用いて魚貝類の羅網が起こりにくいウニ類進入防止構造物（ウニハードル）を作成した。この構造物は、例えば、米田ら（2007）の海域におけるウニ類の密度を管理する実験で使用されたものと基本的には同じものである。

構造は、目合い3cm程度、高さ30～50cmのポリ網を主体とし、上部には浮子（商品名ワンラインフロート20号等）を、下部には沈子（チェーン等）を取り付けたものである（図5-2)-1-2）。網の高さは、底質によって調整する。転石帯の場合、転石の比高よりも低いとウニ類が容易に乗り越えることがあるため、それよりも高くしておく必要があるが、高すぎると水の抵抗が大きくなって破損したり、倒れたりする場合があるので留意する必要がある。

ウニ除去範囲を取り囲むようにするか、岸から沖方向へ展開した2枚のウニハード

ルでウニ除去範囲を挟むように設置（瀬切り）する。前者はウニ類高密度域の中の特定の範囲のウニ類除去を行う場合に、後者は沖側が砂地で沖側からのウニ類進入がほとんど起こらない場合に有効である。いずれの場合も、設置に際しては、微速航行する船上から、ウニハードルの一端から順次投入していく。投入後は潜水作業により、ウニハードル下部に隙間ができないよう、海底の地形に応じて位置を修正する。転石の間隙や、岩礁の割れ目等に沈子が挟み込まれるようにできれば、相当な波浪でもずれることがない。

長期間設置しておく、ウニハードルに様々な付着生物が付き、水の抵抗が増して破損の原因になったり、浮力が足りなくなり網が倒れたりするため、補修や付着物除去等のメンテナンスが必要である。また、移動能力の高いガンガゼや、発達した管足を持つシラヒゲウニ（5-3）-4参照）に対して進入防止効果は弱いので留意する必要がある。

ウニハードルは、ウニ類の進入を完全に防ぐことを目的とするのではなく、あくまでも進入が起こりにくくするものである。このため、ウニハードルが良好な状態にあっても、適時観察を行い、除去範囲のウニ類が増加していれば再除去する等の管理が必要である。

5-2)-2 ウニ管理手法

荒武久道・中嶋泰

ウニ類除去が藻場の造成や再建に有効であることは経験的によく知られているが、ムラサキウニ、ナガウニ属、ガンガゼ属、シラヒゲウニ、アカウニ、バフンウニ等多様なウニ類が出現する九州沿岸において、いつ、どのくらいの規模で、どの位の密度にまで減らす除去を行えば良いか等、具体的な数値で示したウニ類除去手法の確立には未だ至っていない。当面は、藻場の再建を試みる場所と条件がよく似た既知の事例を参照することが現実的な対処と言える。その際に役立つ、重要な知見が本研究から得られているため、関連するその他の研究事例と併せてここに紹介する。また、ウニ類除去範囲におけるウニ類生息密度の変化は、除去範囲へのウニ類の再進入だけでなく、ウニ類の幼体の加入も起こるため、適時、再除去を行うなどの管理が必要である場合も考えられるので、除去後のウニ類の管理手法についても紹介する。

いつ除去すべきか：造成目標とする大型海藻の成熟、幼体の加入及び生長のタイミング、特に幼体の時期に着生基盤や光において競合する小型海藻類の発生のタイミングを考慮する必要がある。まずは、造成対象とする大型海藻の成熟時期直前にウニ類除去を終えることを基準に考えるべきであろう（5-3)-1、2参照）。その上で、ホンダワラ類幼体が、モサズキ属やカイメンソウ等の小型海藻と混生することによって、魚類からの致命的な採食を受けにくくなる可能性（4-3)-4参照）を期待するのであれば、小型海藻が繁茂するのに要する期間を考慮し、ホンダワラ類の成熟期よりも少し前に除去を完了するというような調整を行うのが良いと考えられる。

どの位の規模で除去すべきか：ウニ類除去を行なった範囲に、造成目標とする大型海藻の生殖細胞が添加され、藻場が形成されるまでに要する期間を考慮すると、おおよそ1年間、ウニ類除去の効果が持続している必要があると考えられる。開けた転石帯においては、100×40m規模の除去が行われた鹿児島県笠沙町地先（5-3)-2参照）、50×50m規模の除去が行われた宮崎県串間市地先の事例（荒武・佐島，2009）が示すように、50×50m以上の規模であることが一つの目安となる。沖側の底質が砂地の、入り江の様な形の内部でウニ類除去を行う場合は、ウニ類の進入が起こりにくいことから、これより小規模であっても有効であることも示されている（5-3)-1参照）。

どの位の密度にまで減らすか：ウニ類の食圧を海藻の生産力が上回れば、藻場は形成、維持される。この量的関係は、ウニ類の種や、その地先の波浪流動条件、底質によって大きく異なり、一般的な指標を示すことは極めて難しい。波浪流動がそれほど大きくない転石帯に形成される藻場では、ムラサキウニ、ナガウニ属、ガンガゼ属を合計した密度は、概ね2個体/m²未満である一方で、波浪流動の大きい浅所では10個体/m²以上であってもフタエモク等の藻場が形成されることもある（4-3)-4参照）。本

研究において構築された九州各地の藻場のデータベースから、藻場再建を試みる場所から近い藻場の情報を参照すれば、目標とするウニ類密度の設定が可能である。

ウニ類除去後の密度管理：除去後に起こるウニ類の進入や加入により、ウニ類生息密度は経時的に変化するため、適時再除去等の密度管理が必要である。ウニ類の進入の程度は、ウニ類の種や波浪流動、底質などによって異なるため、再除去のタイミングを逃さないためにも定期的なモニタリングを実施することが望ましい。

ムラサキウニでは、除去範囲の縁辺側において密度が増加した後、高密度範囲が徐々に内側へと拡大していく傾向も見られるので、特に縁辺側に集中した再除去により除去区全体の生息密度を低く保てる可能性も示唆されている（荒武・佐島，2007）。

ウニ類除去範囲へ進入してきた、あるいは、除去時に取り残されたムラサキウニの生殖巣は、漁獲対象となり得る程に発達していることもある（図5-2)-2-1及び5-3)-1参照）ため、除去区の再除去が漁業生産活動の一環として実施できる可能性もある。

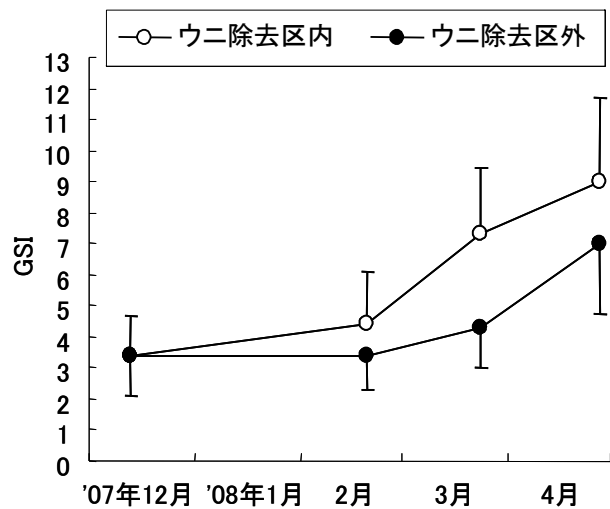


図 5-2)-2-1 宮崎県串間市宮ノ浦地先におけるウニ類除去区内外のムラサキウニのGSIの変化。

GSI = 生殖腺重量 / 体重 × 100