

4. 藻場生態系

寺田竜太・川井浩史・倉島 彰・坂西芳彦・田中次郎・
村瀬 昇・吉田吾郎・青木優和・太齋彰浩・本村泰三

1) 藻場生態系の概要

海藻藻場は、大型褐藻を中心とした海藻類が高密度に生育する空間である。コンブ類で構成される藻場をコンブ場、ホンダワラ類で構成される藻場をガラモ場、アラメ・カジメ類で構成される藻場を海中林(アラメ・カジメ場)と呼ぶ。

日本列島の沿岸域からは、約 1,500 種の海藻類が知られているが(吉田・吉永 2010)、藻場を構成する種類は地域によって異なる。例えば、亜寒帯から温帯域に位置する北海道や東北地方の太平洋沿岸の一部では主にコンブ類やチガイソ類が、本州の太平洋沿岸ではアラメやカジメ、温帯性のホンダワラ類が主な藻場構成種となっている。温帯域の南限にあたる九州沿岸では、アントクメ、アカモク、フタエモク、キレバモクなどの多様な海藻が生育し、沖縄ではホンダワラ類を中心とした藻場が形成されている。

藻場は沿岸生態系における主要な基礎生産の場として機能している。海藻の葉上にはワレカラ類やヨコエビ類などの小型の甲殻類が、海底にはアワビ、サザエ、ウニなどの磯根動物が多く生息し、藻場は魚類や甲殻類などの水産有用種を含む多種多様な生物の生息場所、採餌場所、繁殖場所となっている。また、海藻などの表面に付着する微小藻類の光合成や化学合成、フィルターフィーダー(ろ過摂食生物: ヒドロ虫、ゴカイ類、コケムシ、ホヤなど)による水中懸濁物の除去作用が水質浄化にも大きく貢

献している。さらに、海藻は沿岸域における炭素循環の中で重要な役割を担い、単位面積あたりの生産力は陸上の熱帯雨林に匹敵するといわれる(Smith 1981)。海藻は、クロロフィル a に加え、分類群によってクロロフィル c 、カロチノイド、フィコキサンチン、フィコビリルンなどの光合成色素や補助色素を持ち、水中透過によって散乱した日光でも効率よく吸収できる性質をもつ(Kirk 1994)。また、藻体全体で光合成できる上に、水中では水流により藻体全体に日光があたりやすいため、陸上植物に比べて光合成効率がきわめて高い。そのため、藻場のバイオマスは陸上の植物群落に比べてはるかに低いにも関わらず、純生産量では陸上植物と同等かそれ以上の値を示す(横浜 2001)。

このような藻場は、かつて日本の沿岸域全域に広がっていた。しかし、1960年代後半からの高度経済成長期には、沿岸域の埋立てや護岸改修による自然海岸の減少、工場排水や生活排水による富栄養化や水質汚濁などによって沿岸環境の劣化が進行し、藻場は急速に減少した。藻場の面積は、1978年からの30年間でその約40%が減少したと見積もられている(水産庁 2011)。そのため、沿岸環境の保全に資する基礎情報の蓄積が急務となっており、各地の主要な海域を代表する藻場のモニタリングはきわめて重要である。

2) 藻場調査の調査サイト

モニタリングサイト1000藻場調査では、わが国を代表する海藻藻場のうち、琉球列島を除いて6サイトを選定し、2008年度から調査を行っている(図2-4-1)。調査開始年度はサイトによって異なり、志津川サイト、淡路由良サイト、

薩摩長島サイトは2008年度から、伊豆下田サイトと竹野サイトは2009年度から、室蘭サイトは2011年度から調査を開始した。毎年調査は、各サイトの種多様性または藻場構成種の繁茂状況が良好な時期に実施しており、室蘭サイトで



図 2-4-1 . 藻場調査のサイト位置図 .

8月、志津川サイトで6~7月、伊豆下田サイトで9~10月、竹野サイトで5~6月、淡路由良サイトで5~6月、薩摩長島サイトで5~7月(2008年度のみ3月)である。以下に各サイトの概要を示す。

室蘭サイトは、亜寒帯性コンブ目海藻が繁茂する海域に位置し、内浦湾(噴火湾)に南向きに面した岩礁海岸である。海底は緩やかに傾斜しており、沖合100mで水深3m前後、底質は岩盤や岩塊となっている。マコンブ、ミツイシコンブ、ガゴメ、スジメ、アナメ、チガイソ、ワカメが混生するコンブ藻場であり、岩盤、岩塊上に海産顕花植物のスガモが点在する。コンブ群落やスガモ群落より深い場所では、ハケサキノコギリヒバが見られ、潮間帯にはエゾイシゲやウミゾウメン、フクロフノリが、漸深帯上部にはクロハギンナンソウ、アカバ、アナアオサなどが見られる。

志津川サイトは、亜寒帯性と温帯性のコンブ目海藻が混生する海域に位置する。三陸地方の典型的なリアス式海岸の中にあり、調査地は志津川湾内に浮かぶ樁島の外洋に面した岩礁海岸である。調査対象の群落は湾内に位置するが、沖側の湾口部に面していることから海水の流動が活発で、透明度は高い。海岸からの距離と水深で底質が異なり、岸寄りでは岩盤だが、沖合50~80mにかけては小転石、転石が混じる他、転石のみとなる部分もある。沖合90m以遠は

巨礫又は岩盤となる。調査海域には、岸寄りにエゾノネジモク、フシスジモクが混生するが、基本的にアラメが主体となる群落で、アサミドリシオグサ、フクロノリ、アミジグサ、マクサ、ユカリなどが下草として見られる。

伊豆下田サイトは、温帯性海藻が多く生育する海域に位置する。特に温帯性コンブ目海藻のアラメとカジメからなる海中林の面積、被度、現存量は日本有数の規模であり、ガラモ場も隣接して見られるなど多様な生態系が見られる。本サイトは、伊豆半島南東岸にある下田湾の支湾である志太ヶ浦に位置する直径200m程の小さな湾である。外海に開けてはいるが、前面に大きな岩礁があり、波浪などの影響を受けにくい。ただし、海水の流動が活発で、透明度は高い。底質はほぼ岩盤で、一部巨礫、転石が混じる。岸寄りではヒジキ、イソモク、ヤツマタモク、マメダワラなどのホンダワラ類が優占する。水深3~4mにはオオバモク、アラメが優占し、水深3m以深は大規模なカジメ群落となる。下草としてはマクサ、キントキ、エツキイワノカワ、カニノテ、ヘリトリカニノテ、ハイミルなどが見られる。

竹野サイトは、日本海に面した但馬海岸大浦湾の岩礁海岸に位置する。調査地は岩盤と砂地が混じる地形にあり、一部の岩は砂上に乗っている。主要な種類は、ナラサモ、ノコギリモク、ヨレモク、ヤツマタモク、フシスジモク、ノコギリモク、クロメなどであり、さまざまなホン

ダワラ類やクロメが混生する大規模な群落である。下草としてはヒライボなどの無節サンゴモ類が多く、直立するものではフクロノリ、アミジグサ、ヒビロウド、カバノリ、マクサ、カニノテ類などが出現する。

淡路由良サイトは、紀淡海峡（友ヶ島水道）に面した岩礁海岸で、大阪湾湾口部の大規模な藻場として希少性が高い。海底は沖合 100 m で水深約 2.5 m と緩やかに傾斜し、波高の浅水変形が著しい。潮汐による潮流が見られ、大阪湾由来と紀伊水道由来の海水で透明度などが異なる。漸深帯ではカジメ、ヤナギモク、ワカメ、アカモクなどが藻場を構成し、潮間帯ではヒジキが優占する。また、テングサ類、ホソバナミノハナ、ウミウチワ、タマゴバロニア、ウスカワカニノテ、ハイミル、ユカリなどが下草として多く見られ、無節サンゴモ類の被度も高い。

薩摩長島サイトは東シナ海に面した長島西部の岩礁海岸に位置しており、温帯性海藻と亜

熱帯性海藻が混生することから、生物多様性が高い。海底は緩やかに傾斜し、沖合 40 m で水深約 4 m、150 m で約 10 m である。岸寄りの底質は岩盤だが、沖合 50 m 以遠は岩塊、巨礫となる。冬季は北西からの季節風の影響を受け、波浪が高い。アントクメが藻場を形成しており、トサカノリ、シマオオギ、タマイタダキ、ユカリ、ナミイワタケ、カニノテ、ガラガラ、マクサ、オバクサ、ヘラヤハズ、シワヤハズ、ウミウチワなどが下草として生育する。また、周辺にはヤツマタモクやキレバモク、トサカモクなどのガラモ場も見られる。

なお、琉球列島沿岸の藻場は、サンゴ礁リーフ内の礁池にサンゴ礁生態系の一部として存在することから、本調査では単独でサイトを選定しなかったが、ラッパモクやコバモクなどの亜熱帯性海藻が生育している。

3) 各サイトの海藻相と水温との関係

モニタリングサイト 1000 藻場調査では、各サイトの代表的な海藻群落を通るように水深勾配に沿って調査ラインを設定したライン調査と、代表的な群落を長期的に観察する永久方形枠調査を実施している。そこで、各サイトの海藻相の特徴を把握するため、両調査で観察された海藻の目別種数をサイトごとにまとめた（表 2-4-1）。

表 2-4-1. 各サイトで観察された目別の海藻の種数

	室蘭	志津川	伊豆下田	竹野	淡路由良	薩摩長島
緑藻綱	1	2	5	4	9	3
アオサ目	1	-	1	-	3	1
シオグサ目	-	1	1	3	4	1
ミドリゲ目	-	-	-	-	1	-
ミル目	-	1	3	1	1	1
褐藻綱	8	6	12	22	18	14
アミジグサ目	1	1	4	5	8	8
イシゲ目	-	-	-	-	2	-
イソガワラ目	-	-	-	2	-	1
カヤモノリ目	-	1	-	1	1	1
クロガシラ目	-	-	-	-	1	-
コンブ目	6	1	2	2	2	1
ナガマツモ目	-	-	-	1	1	-
ヒバマタ目	1	3	6	11	3	3
紅藻綱	13	14	20	17	39	22
イギス目	4	3	-	2	5	5
ウミノウメン目	-	-	1	-	1	2
オゴノリ目	-	-	1	2	2	1
カギケノリ目	-	-	-	-	-	2
サンゴモ目	2	2	8	4	6	1
スギノリ目	5	7	5	7	19	8
ダルス目	1	-	-	-	-	-
テングサ目	1	2	5	2	4	2
マサゴシバリ目	-	-	-	-	2	1
総計	22	22	37	43	66	39

本調査で確認された種数は、淡路由良サイトで 66 種と最も多く、室蘭、志津川サイトで 22 種と最も少なかった。種数は、淡路由良サイトをピークとして最北の室蘭サイトから南に行くほど増加する傾向を示した。目別の種数について見てみると、室蘭サイトではコンブ目、志津川サイトではスギノリ目、伊豆下田サイトではサンゴモ目、竹野サイトではヒバマタ目、淡路由良サイトではスギノリ目、薩摩長島サイトではアミジグサ目とスギノリ目が最も多かった。

一般に、海藻の分布は水温と海流の影響を強く受けるといわれる。そこで、各サイトの海藻相から LFD 指数（田中 1997）を求め、水温との相関を調べた。LFD 指数とは、褐藻類 3 目（コンブ目、ヒバマタ目、アミジグサ目）の水温帯別の種数を用いて算出する指数で、平均水温と高い相関を示す。

コンブ目、ヒバマタ目、アミジグサ目の褐藻類 3 目の分類群は、特定の分類階級で寒帯性種、温帯性種、熱帯性種の 2~3 グループに分けられる。コンブ目は属の階級で寒帯性と温帯性に、ヒバマタ目は科、属、亜属の階級で寒帯性、温帯性、熱帯性に、アミジグサ目は属の階級で温

表 2-4-2 . 各サイトの LFD 指数

	本調査	田中 (1997)
室蘭	0.25	0.45
志津川	1.20	0.70
伊豆下田	1.27	1.21
竹野	1.06	1.30
淡路由良	1.23	1.36
薩摩長島	1.55	1.35

田中 (1997) のデータは、必ずしも本調査のサイトと同じ場所で算出された数値ではない。調査サイト近傍の数値を引用した。

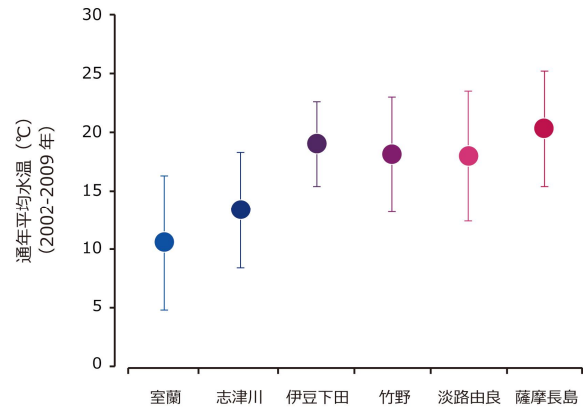


図 2-4-2 . 各サイト近傍における通年平均水温。バーは標準偏差を示す。日本海洋データセンターで公開されている 2002～2009 年のデータを用いて平均値を算出した。

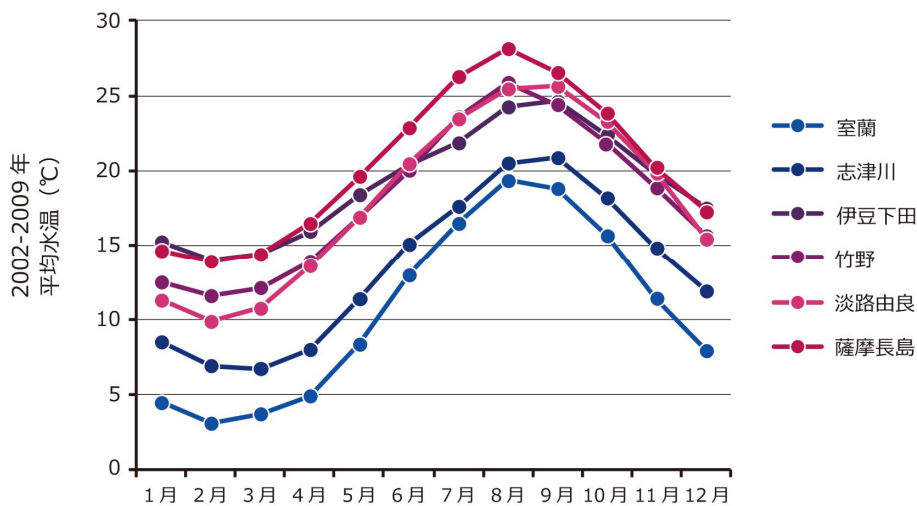


図 2-4-3 . 各サイト近傍における月平均水温の年変化。日本海洋データセンターで公開されている 2002～2009 年のデータを用いて平均値を算出した。室蘭サイトは北海道室蘭、志津川サイトは宮城県気仙沼、伊豆下田サイトは静岡県下田、竹野サイトは鳥取県泊村、淡路由良サイトは大阪府岬町、薩摩長島サイトは長崎県新長崎漁港のデータを用いた。

帯性、熱帯性にグループ分けできる。各サイトの LFD 指数は、これらのグループ別の種数を算出し、以下の式に基づいて計算した値である。すべてが寒帯性種であれば 0、温帯性種であれば 1、熱帯性種であれば 2 をとる。

$$LFD = (C \times 0 + W \times 1 + H \times 2) / (C + W + H)$$

$$(0 \leq LFD \leq 2)$$

C: 寒帯性種数

W: 温帯性種数

H: 熱帯性種数

サイトごとに算出した LFD 指数は、室蘭サイトで 0.25 と低く、薩摩長島サイトでは 1.55 と最も高い値を示した(表 2-4-2)。田中(1997)の日本全国の LFD 指数と比較すると、概ね 0.1～0.2 程度の差が見られたが、志津川サイトの差異は 0.5 と大きく異なった。志津川サイトの LFD 指数は、評価対象とした種が少なく(5 種)、また熱帯性種に区分されるアミジグサが含まれていたため、想定される値よりも大きくなったと考えられる。

各サイトの通年平均水温は、日本海洋データセンター (Japan Oceanographic Data Center:

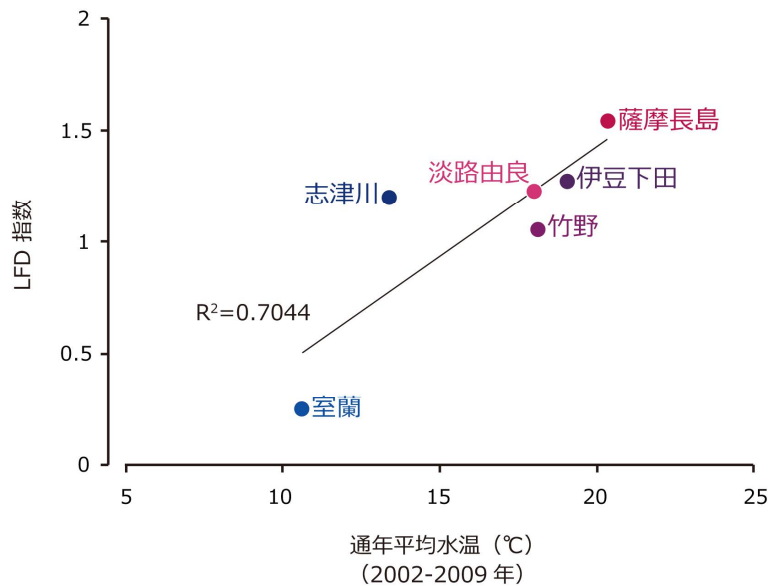


図 2-4-4 . 各サイトにおける LFD 指数と通年平均水温との関係 . 日本海洋データセンターで公開されている 2002 ~ 2009 年のデータを用いて平均値を算出した .

JODC) で公開されているサイト近傍のデータ (2002 ~ 2009 年) を用いて算出した (日本海洋データセンター http://www.jodc.go.jp/index_j.html, 2013 年 3 月 29 日確認)。室蘭サイトは北海道室蘭、志津川サイトは宮城県気仙沼、伊豆下田サイトは静岡県下田、竹野サイトは鳥取県泊村、淡路由良サイトは大阪府岬町、薩摩長島サイトは長崎県新長崎漁港のデータである。最も北に位置する室蘭サイトの通年平均水温は 11、最も南の薩摩長島サイトでは 20 で、概ね緯度勾配に沿って変化する傾向が見られた (図 2-4-2)。ただし、伊豆下田サイトの通年平均水温は 19 で、薩摩長島サイトに次いで高く、標準偏差も他のサイトに比べて小さかった。このことは、伊豆下田サイトが年間を通じて温暖で、冬季の水温低下が小さいことに起因すると思われる (図 2-4-3)。

次に、各サイトで 2008 ~ 2011 年度に確認された海藻相のデータから算出した LFD 指数と通年平均水温との関係性を調べた結果、有意な正

の相関を示した ($r = 0.84, p < 0.05$) (図 2-4-4)。また、LFD 指数と月平均水温との相関を調べた結果、月ごとの決定係数は冬季に高く、夏季に低い値を示した。このことは、LFD 指数は冬季の月平均水温と良く相関することを示しており、各サイトのコンブ目、ヒバマタ目、アマジグサ目の種構成は冬季水温の違いに関連することを示唆している。しかし、決定係数の季節的な変化は、サイト間の水温差が夏季よりも冬季に顕著であることに起因しているとも捉えられる。

本調査では、各サイトに生育する種を網羅的に調べることはできないが、定量調査によって得られた海藻相のデータから算出した LFD 指数を比べることで、沿岸域の水温変化を捉えることができる可能性が示唆された。今後も長期的に調査を続けてデータを充実させることで、中期・長期的な環境変化を捉えるための、より詳細な解析が実施できるものと期待される。

4) サイト間の海藻群落の類似性

藻場調査では、2 m 四方の方形枠 (3 ~ 6 個) を用いた永久方形枠調査と、50 cm 四方の方形

枠 (10 個程度) を用いたライン調査を実施しており、これまで両調査で確認された海藻の種

数は前述のとおりである(表 2-4-1)。サイト間に共通して出現した種数をサイトごとにまとめると、最も確認種数が多かった淡路由良サイトでサイト間共通種が多く、特に淡路由良と竹野サイト間で高い値を示した(表 2-4-3)。一方、室蘭と志津川サイトは、地理的には比較的近いものの、共通して確認された種はマクサ 1 種のみであった。

次に、サイト・年度別の群集構造の違いを調べるため、在不在データ(在: 1、不在: 0)を用いてサンプル間の群集類似度(Jaccard 指数)を求め、非計量多次元尺度構成法(nMDS)により各サンプルを二次元平面上にプロットし

た。解析には未同定種や複数種を含む種群(合計 157 taxa)もすべて用いた。

その結果、各年度のプロットは、いずれもサイトごとに一つのグループを形成し、サイト間で重複することはなかった(図 2-4-5)。年度およびサイトの違いについて、1-way Analysis of Similarity(ANOSIM)により解析したところ、年度を要因とした解析では有意差は認められず(Global R = -0.156, p = 0.94)、サイトを要因とした場合には有意差が確認された(Global R = 1, p = 0.001)。このことから、本調査でモニタリングの対象としている海藻群落は、構成種の観点では経年変動が小さく、それぞれのサ

表 2-4-3 . 4 年間の総出現種数と各サイト間の共通出現種数(未同定種は除く)

サイト名	室蘭	志津川	伊豆下田	竹野	淡路由良	薩摩長島
全種数	22	22	37	43	66	39
志津川	1					
伊豆下田	2	7				
竹野	3	8	12			
淡路由良	7	8	17	20		
薩摩長島	1	5	11	9	14	

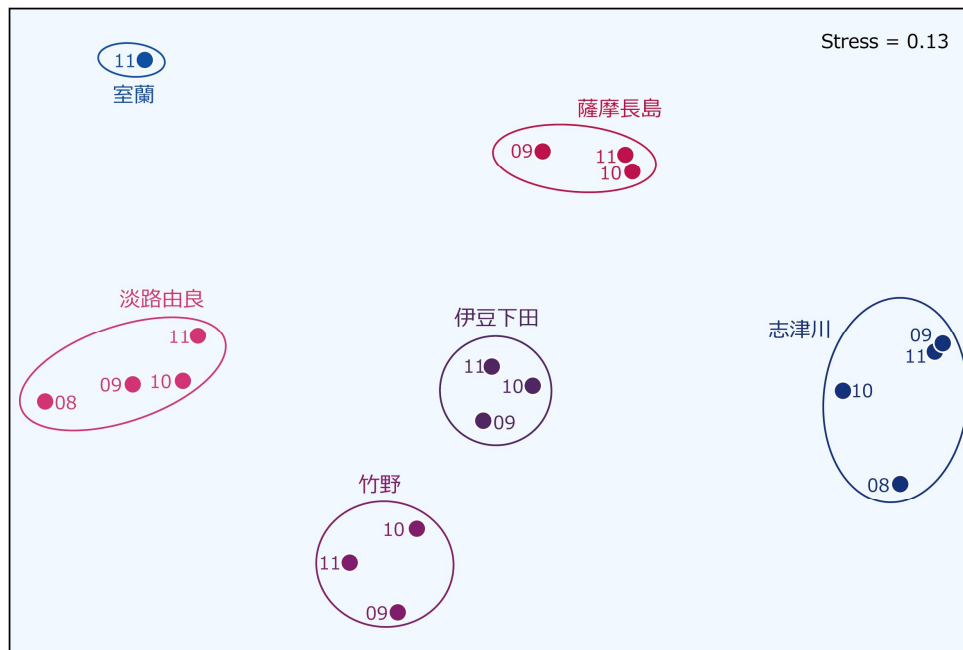


図 2-4-5 . 在不在データに基づいた nMDS プロット . 6 サイト・4 年間の 18 サンプル間で Jaccard の類似度指数を求め、二次元の nMDS プロットを作成した . シンボル脇の数字は調査年度(08: 2008 年, 09: 2009 年, 10: 2010 年, 11: 2011 年)を示す .

イトが独立した群落構造を示し、安定した群落を形成しているものと思われた。ただし、室蘭サイトは2011年度から調査を開始したため、データ数が他のサイトに比べて少なく、今回の

解析では1サンプルのみであった。よって、今後もデータを蓄積し、将来的により詳細な解析を実施することが望まれる。

5) 藻場モニタリングの今後の展望

全国6サイトにおける4年間の藻場調査の結果から、出現種数や種組成の違い、褐藻を指標としたLFD指数と水温との関係、サイト間の海藻相の類似性と経年変動の解析を行い、各サイトの藻場の特徴を把握することができた。本調査で対象としている海藻群落に限ってみれば、中緯度地域で出現種数が多く、北に行くほど少なくなった。各サイトで確認されたコンブ目、ヒバマタ目、アミジグサ目の種数から求めたLFD指数と水温との相関を調べた結果、有意な正の相関を示し、その傾向は全国的にLFD指数を調べた既往の知見(田中1997)と概ね一致した。ただし、志津川サイトでは、指数の算出に用いた種数が少なく、既往の知見(田中1997)よりも高いLFD指数を示したことから、適切に評価するためにはさらなるデータの蓄積が必要と考えられた。サイト・年度別の海藻相の類似性を解析したところ、各サイトが独立した群落構造を示し、藻場構成種の有意な経年変動は認められなかった。

本調査では、各サイトの代表的な藻場構成種の経年変動を追跡する永久方形枠調査と、水深勾配に沿った海藻相の帯状分布を把握するためのライン調査を組み合わせる調査を実施してきた。これまでの調査結果からも、モニタリングマニュアルは概ね妥当な設計になっていると思われるが、水温の詳細なモニタリングは重要な課題である。海藻は生残や分布に水温の影響を強く受けており、データ解析にも水温のデータが不可欠である。本稿で用いた日本海洋データセンターの定点水温データは、2009年以降のデータが公開されておらず、近年のデータを利用することができなかった。長期的に藻場構成種の消長をモニタリングし、その変化を解析していくためには、より詳細な水温データの取得が必要である。今後は、各サイトに温度データロガーを設置するなどの取り組みが求められる。

藻場調査では、これまで各海域を代表する藻場を選定し6箇所の調査サイトを配置してきた。今回のとりまとめ結果を見てみると、各サイトの海藻群落はそれぞれが特徴的で、広く日本沿岸の藻場をモニタリングするという点では、妥当なサイト配置であると考えられる。しかし、事業の趣旨を鑑みれば、サイト数は多いことが望ましい。特に、温帯性種の分布の南限が多く集中する九州地方により多くのサイトを配置することが重要と思われる。また、大阪湾に位置する淡路由良サイトのように、都市近郊の東京湾や博多湾、伊勢湾などの藻場を調査サイトに指定すれば、陸域由来の影響をモニタリングすることも可能である。さらに、ラッパモクやコバモクなどの亜熱帯性海藻が生育する南西諸島でのサイト配置も課題である。ただし、南西諸島の藻場は、サンゴ礁リーフ内の礁池にサンゴ礁生態系の一部として存在し、温帯域の藻場のようにそれ自体でひとつの藻場生態系を形成しないため、同一の調査設計ではモニタリングが難しい。そのため、南西諸島の藻場をモニタリングするためには、独自の調査手法を検討する必要がある。

以上のように、調査サイトの拡充は、今後の藻場モニタリングにおいて重要な課題であるが、一方で、調査を実施する体制が十分とはいえないのが現状である。藻場調査を実施するためには、海藻種の同定能力に加えて、潜水技術が必要である。そのため、安全管理とデータ精度が担保できるシステムの構築や、調査協力者の人材育成などの対応が藻場モニタリングの喫緊の課題である。

引用文献

Kirk JTO (1994) Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems. Cambridge University Press, England

- Smith SV (1981) Marine macrophyte as a global carbon sink. *Science*, 211:838-840
- 水産庁 (編) (2011) 水産白書 平成 23 年度版. 農林統計協会, 東京
- 田中 次郎 (1997) 褐藻 (コンブ目, ヒバマタ目, アミジグサ目) の分布にもとづく海藻相解析. *藻類*, 45:5-13
- 横浜 康継 (2001) 海の森の物語. 新潮社, 東京
- 吉田 忠生, 吉永 一男 (2010) 日本産海藻目録 (2010 年改訂版). *藻類*, 58:69-122

