

大規模潜堤における海藻群落の遷移過程と評価

AN EVALUATION OF SUCCESSION IN SEAWEED COMMUNITIES ON HUGE SUBMERGED MOUND

吉村直孝¹・中西敬²・中泉昌光³・長野章⁴・安田淳⁵・渡部弘之⁵

Naotaka YOSHIMURA, Takashi NAKANISHI, Masamitsu NAKAIZUMI, Akira NAGANO,
Jun YASUDA and Hiroyuki WATANABE

¹水産修 (財) 漁港漁村建設技術研究所 (〒101-0047 東京都千代田区内神田1-14-10)

²正会員 博 (工) (財) 漁港漁村建設技術研究所 (〒101-0047 東京都千代田区内神田1-14-10)

³正会員 (財) 漁港漁村建設技術研究所 (〒101-0047 東京都千代田区内神田1-14-10)

⁴正会員 工博 はこだて未来大学教授 (〒041-8655 北海道函館市亀田中野町116-2)

⁵島根県農林水産部漁港漁場整備課 (〒690-8501 島根県松江市殿町1)

In Hamada fishing port of Shimane Prefecture, the improvement works are underway with a campaign of "Development of Fishing Port in Harmony with Nature" in line with "Marinovation Plan". In construction of the huge submerged mound in front of the breakwater and the revetment, the construction method to add the function of seaweed bed has been applied, considering disappearance of a part of better coast due to the improvement works. After completion of a part of the submerged mound, the site investigation was carried out 12 times during 5 years to verify the effect of the works. On the basis of the monitoring survey results for seaweed communities, the effect of function of seaweed bed was verified and evaluated using the change of dominant species and the similarity index of seaweed communities.

Key Words: Evaluation on effect, seaweed community, submerged mound, monitoring survey, succession, dominant species, similarity index

1. はじめに

近年, わが国の漁港整備においては, 一層高まる環境保全及び自然環境との共生等に対応するため, 海水交換及び藻場機能を有する防波堤等の整備を行う「自然調和型漁港づくり」事業が推進されている。

これらの動きに先駆け, 島根県浜田漁港においては, 厳しい水産業の現状に対応するため, 浜田マリノーション構想が策定され, 栽培漁業センター, 活魚出荷センター等の建設計画が進められている。その用地整備(埋立)に伴い, 良好な磯浜の一部が消失することから, 防波堤及び護岸前面に傾斜構造の大規模潜堤を配し, 海藻の生育に適した水深帯を創出するとともに, 溝付き被覆ブロックの採用, 埋立予定地内の自然石の転用等, 藻場機能を付加するための工法が採用されている(図-2, 図-3)。

これらの整備計画を踏まえて, 平成7年度から事前調査を実施し, 平成9年2月に大規模潜堤の一部完成工区に調査測線を設定して以降, 「自然調和型漁港づくり」事業の効果を検証するため, 5か年に

わたってモニタリング調査を実施してきた^{1), 2)}。

本論文では, 大規模潜堤に付加された藻場機能に着目し, 平成7年度から2年間実施した事前調査とその後の5年間の長期的なモニタリング調査の結果から, 大規模潜堤に形成された海藻群落の遷移過程を把握するとともに, 群落構成の類似性から大規模潜堤の藻場機能の評価を試みたものである。

2. 海藻群落の評価方法

(1) 評価の対象

当事業で造成する大規模潜堤は, 自然との調和を目指して導入される要素技術である。藻場機能については, 生育基盤のない海域において, 海藻の生育に適した光条件の水深帯に新たな基盤を創出することから, 当海域の自然海岸を代表するクロメ等の大型褐藻の生育, 藻場(海中林)の形成が期待される。

これらのことを踏まえて, 本論文では, 評価の対象を大型(肉眼で種類が確認できる大きさ)の海藻群落とした(図-1)。

(2) 評価の尺度

大規模潜堤に付加された藻場機能の効果を評価するに当たっては、評価の尺度が必要となる。

本論文では、基盤上に形成される海藻群落の最優占種（群落の代表種）を遷移過程を評価する尺度とし、海藻群落間の類似度指数（重複度： $C\pi$ ）³⁾を海藻群落の状態を評価する尺度とした（図-1）。

なお、重複度は0～1の範囲の値を取り、類似性が高いほど1に近づく指数である。

(3) 評価の基準

大規模潜堤に形成される海藻群落を評価するに当たっては、評価の基準を設定する必要がある。

大規模潜堤に付加された藻場機能により期待される効果として、クロメ等の大型褐藻の生育、さらには藻場（海中林）の形成が挙げられていることを踏まえて、事前調査の結果から自然海岸と防波堤の群落特性を把握し、大規模潜堤を評価するための望ましい海藻群落（目標像）を設定した（図-1）。

(4) 評価の方法

評価方法については、事前調査の結果に基づいて、当海域の自然海岸及び防波堤における海藻群落の特性を把握して評価の基準を設定した上で、事後調査の結果から大規模潜堤における海藻群落の遷移過程（時間経過に伴う優占種の変化）及び群落構成の類似性（自然海岸又は防波堤のどちらに類似するか）を尺度に、評価基準（目標像）となる海藻群落の状態に近いかどうかで効果の評価を行った（図-1）。

3. 調査内容及び方法

事前調査及び事後調査、ともに潜水による大型海藻の枠取り採取（30×30cm方形枠）の分析結果（種類、種類別の湿重量）を集計して検討を行った。なお、1枠当たりの湿重量が0.1g未満、並びに計測

不能な種類（紅藻綱サビ亜科及びイワノカワ科等）のデータは集計から除いた。事前調査及び事後調査の時期を表-1に示した。

(1) 事前調査

事前調査の結果については、3つの水深帯（平均水面下5m、10m及び15m）毎に自然海岸及び防波堤の測線平均を集計して各場所を代表させた。

自然海岸（基盤は転石及び岩盤）では、3水深帯別に調査測線①～③の平均値を集計した。なお、調査測線③については、水深13mの調査点を水深15mの調査点と見なした（図-2）。

また、防波堤（基盤は垂直コンクリート壁）では、3水深帯別に調査測線④及び⑥の平均値を集計した（図-2）。

表-1 調査時期

調査区分	季節又は調査回次	調査時期	設置後の経過年数
事前調査	秋季	平成7年10月	—
	冬季	平成7年12月	—
	春季	平成8年3月	—
	夏季	平成8年7月	—
事後調査	第1回	平成9年2月	約9か月
	第2回	平成9年8月	約1年過
	第3回	平成9年12月	約1年半
	第4回	平成10年5月	約2年
	第5回	平成10年9月	約2年過
	第6回	平成10年12月	約2年半
	第7回	平成11年5月	約3年
	第8回	平成11年12月	約3年半
	第9回	平成12年5月	約4年
	第10回	平成12年11月	約4年半
	第11回	平成13年5月	約5年
	第12回	平成13年11月	約5年半

※ 大規模潜堤の被覆ブロックの設置時期：平成8年春季

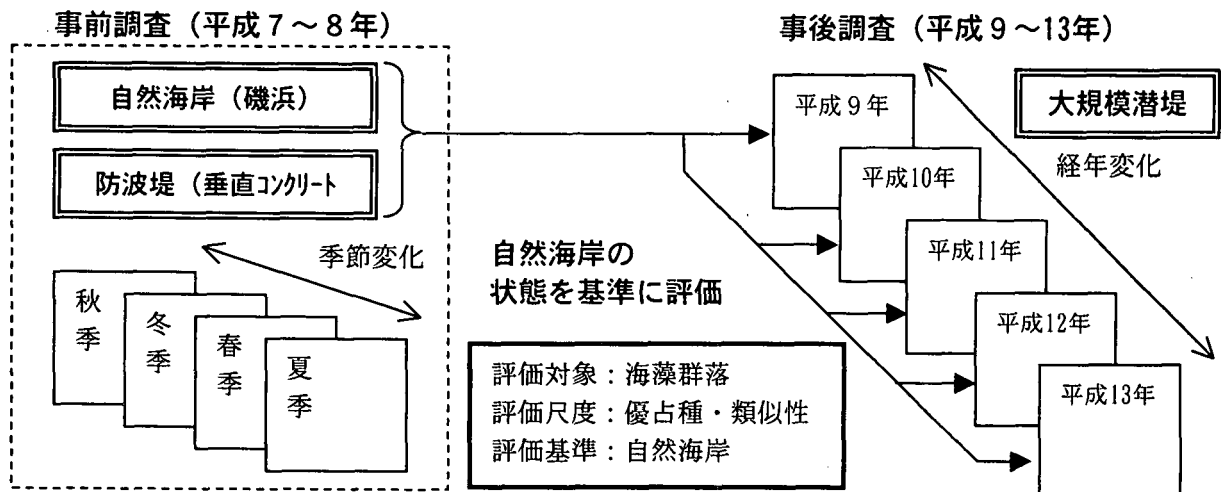


図-1 調査及び評価の考え方

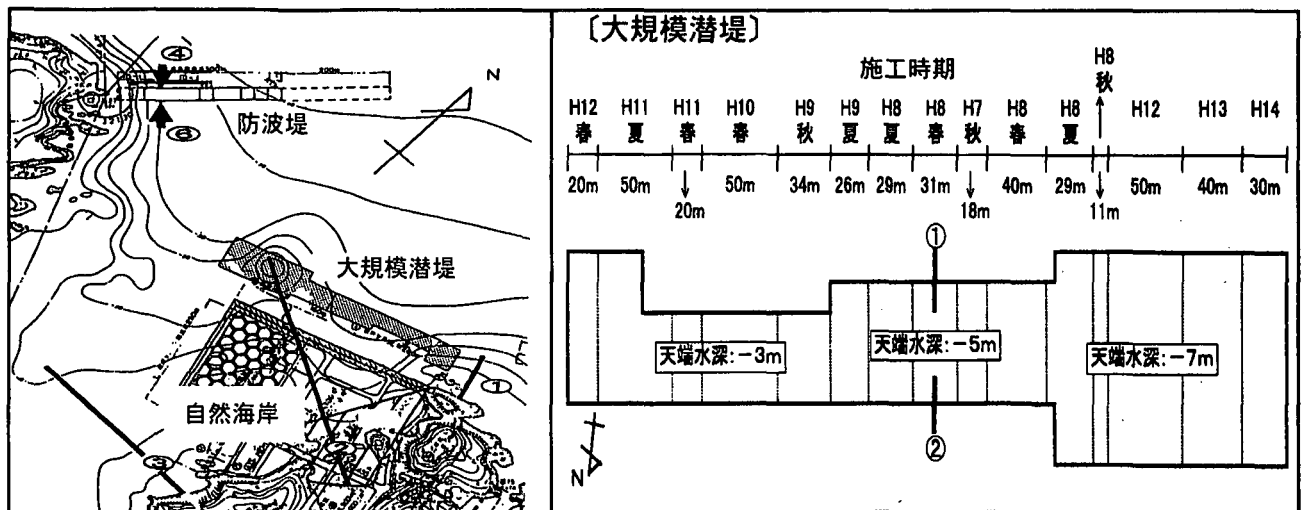


図-2 調査測線位置 (左：事前調査、右：事後調査)

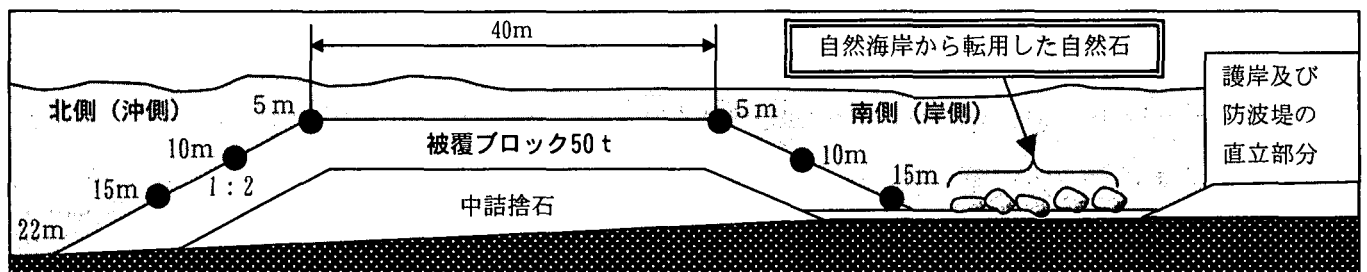


図-3 大規模潜堤の標準断面図 (●：事後調査の調査点位置)

(2) 事後調査

事後調査の結果については、3つの水深帯（平均水面下5m、10m及び15m）毎に大規模潜堤（質質はコンクリート製の被覆ブロック）における調査測線①及び②の平均値を集計して潜堤を代表させた（図-2、図-3）。

4. 事前調査結果

事業実施前の自然海岸（磯浜）及び防波堤（垂直コンクリート壁）における海藻群落を概観するため、水深帯別の最優占種を表-2に整理した。

(1) 自然海岸

水深5mでは、季節に関係なく、最優占種はクロメ（褐藻綱コンブ目コンブ科）であり、占有率（海藻全体の湿重量に占める割合）は70～89%と高く、現存量（単位面積当たりの湿重量）は1,421～12,264 g/m²と多かった。水深10mでは、水深5mと同様に、季節に関係なく、最優占種はクロメであり、占有率は72～90%と高く、現存量は1,574～6,097 g/m²と多かった。水深15mでは、上記の2水深帯と同様に、季節に関係なく、最優占種はクロメであり、冬季（平成7年12月）を除けば、占有率は77～92%と高く、現存量は2,203～5,139 g/m²と多かった。

以上のことから、自然海岸における海藻群落は、水深帯に関係なく、年間を通して現存量が多く、クロメを中心とした安定性の高い海藻群落（藻場）が形成されているものと考えられた（図-4）。

(2) 防波堤

水深5mでは、春季（平成8年3月）を除けば、最優占種はノコギリモク（褐藻綱ヒバマタ目ホンダワラ科）であり、占有率は24～67%とやや高く、現存量では69～552 g/m²とやや少なかった。水深10mでは、季節に関係なく、最優占種はカジメ又はクロメ（共に褐藻綱コンブ目コンブ科カジメ属）であり、これらを同類として扱えば、占有率は43～62%とやや高く、現存量は78～690 g/m²とやや少なかった。水深15mでは、最優占種は、秋季（平成7年10月）はカジメ、冬季（平成7年12月）及び春季（平成8年3月）はエツキイワノカワ（紅藻綱スギノリ目イワノカワ科）、夏季（平成8年7月）はコナウミウチワ（褐藻綱アミジグサ目アミジグサ科）であり、占有率は34～78%とやや高かったが、現存量は66～292 g/m²と少なかった。

以上のことから、当地の防波堤における海藻群落は、水深帯に関係なく、自然海岸に比べると、年間を通して現存量が多く、群落の中心となる大型褐藻は見られず、安定性のやや低い海藻群落が形成されているものと考えられた（図-4）。

表-2 事前調査（自然海岸及び防波堤）における最優占種（現存量第1位）

調査場所	調査時期	水深5m		水深10m		水深15m	
		種類名	現存量*	種類名	現存量*	種類名	現存量*
自然海岸 (磯浜)	H 7. 10	クロメ	12,264 (89)	クロメ	6,097 (90)	クロメ	2,270 (77)
	H 7. 12	クロメ	1,421 (70)	クロメ	1,574 (84)	クロメ	196 (23)
	H 8. 3	クロメ	4,070 (78)	クロメ	2,408 (72)	クロメ	2,203 (83)
	H 8. 7	クロメ	5,150 (89)	クロメ	3,009 (72)	クロメ	5,139 (92)
防波堤 (垂直壁)	H 7. 10	ノギリモク	382 (67)	カジメ属	356 (50)	カジメ	66 (34)
	H 7. 12	ノギリモク	69 (24)	カジメ	78 (62)	ヱスキワノカワ	126 (78)
	H 8. 3	ウスカワカニノテ	253 (27)	カジメ	596 (45)	ヱスキワノカワ	68 (45)
	H 8. 7	ノギリモク	552 (49)	クロメ	690 (43)	コナウチワ	292 (66)

* 現存量（湿重量）の単位はg/m²、（ ）内は湿重量合計に対する占有率（%）



図-4 自然海岸（左：H9.2）及び防波堤（右：H8.3）における海藻群落（共に水深10m）

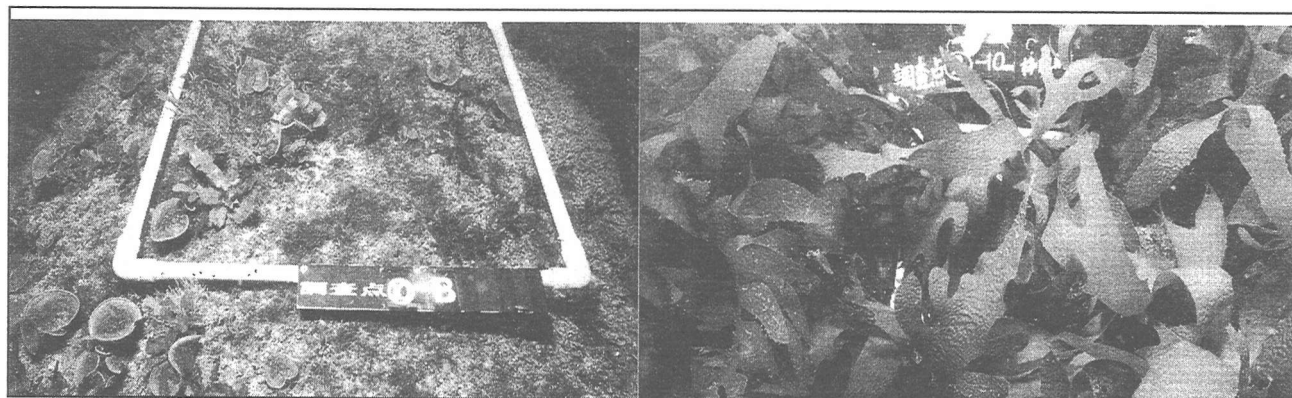


図-5 大規模潜堤の同一地点（左：H9.2、右：H11.5）における海藻群落（水深10m）

5. 事後調査結果

事業実施後の大規模潜堤（コンクリート製の被覆ブロック）における海藻群落を概観するため、水深帯別の最優占種を表-3に整理した。

(1) 水深5m

水深5mにおいては、第2回調査までは、最優占種はウミウチワであり、占有率（海藻全体に占める割合）は42～59%とやや高かったが、現存量（単位面積当たりの湿重量）は328～498g/m²とやや少なかった。第3回調査ではウスカワカニノテ、第4及び8回調査ではクロメ、第5及び6、10回調査で

はノコギリモク、第7及び9回調査ではワカメがそれぞれ最優占種となった。第11及び12回調査では、最優占種はクロメに戻り、占有率は55～84%と高く、現存量では3,030～4,030g/m²と非常に多かった。

(2) 水深10m

水深10mにおいては、第2回調査では、最優占種はウミウチワであり、占有率は92%と高く、現存量は1,367g/m²と多かった。第6回調査までは、クロメとノコギリモクが入れ替わりで最優占種となった。第7回調査以降は、最優占種はクロメとなり、占有率は82～96%と非常に高く、現存量では2,111～7,397g/m²と非常に多かった（図-5）。

(3) 水深15m

水深15mにおいては、第2回調査では、最優占種はウミウチワであり、占有率は42%とやや低く、現存量は112g/m²とやや少なかった。第3回調査以降は、第5及び11回調査を除けば（最優占種はウミウチワ及びカジメ属）、最優占種はクロメであり、占有率は56~98%と非常に高く、現存量は593~5,039g/m²と多かった。

6. 海藻群落の評価

(1) 優占種による評価基準の設定と評価

事前調査では、自然海岸の海藻群落は、水深帯に関係なく、年間を通して現存量が多く、大型褐藻であるクロメを中心とした海藻群落（藻場）を形成していたのに対して、防波堤の海藻群落は、水深帯に関係なく、自然海岸に比べると年間を通して現存

量が少なく、最優占種が入れ替わる不安定な海藻群落を形成していた。これらのことから、自然海岸の海藻群落が良好な状態であり、目指すべき望ましい目標像（評価基準）であると考えられる。

事後調査では、大規模潜堤の海藻群落は、第2回調査（被覆ブロックの設置後1年過）までは、水深帯に関係なく、ウミウチワを中心とした群落を形成し、第6回調査（設置後約2年半）までは、ノコギリモク及びウスカワカニノテ等が一時的に最優占種となる不安定な海藻群落を形成していた。これに対して、第7回調査（設置後約3年）以降は、クロメを中心とした群落を形成しており、潜堤の海藻群落は、自然海岸の状態に近いものと考えられた。

これらの結果から、大規模潜堤の海藻群落の優占種は、評価基準とした自然海岸の状態（優占種がクロメ）に近づいており、藻場機能の付加による効果が発揮されているものと評価できる。

表-3 事後調査（大規模潜堤）での優占種（現存量第1位）

調査回次	調査時期	水深5m		水深10m		水深15m	
		種類名	現存量*	種類名	現存量*	種類名	現存量*
第1回	H 9. 2	ウミウチワ	498 (42)	—	—	—	—
第2回	H 9. 8	ウミウチワ	328 (59)	ウミウチワ	1,367 (92)	ウミウチワ	112 (42)
第3回	H 9. 12	ウスカワカニノテ	378 (36)	クロメ	415 (60)	クロメ	595 (78)
第4回	H10. 5	クロメ	3,600 (44)	ノコギリモク	1,170 (32)	クロメ	1,051 (56)
第5回	H10. 9	ノコギリモク	1,371 (49)	クロメ	1,001 (44)	ウミウチワ	511 (56)
第6回	H10. 12	ノコギリモク	2,186 (86)	ノコギリモク	602 (49)	クロメ	593 (67)
第7回	H11. 5	ワカメ	3,801 (50)	クロメ	7,397 (92)	クロメ	1,051 (67)
第8回	H11. 12	クロメ	782 (38)	クロメ	2,327 (95)	クロメ	5,039 (98)
第9回	H12. 5	ワカメ	8,351 (93)	クロメ	2,111 (82)	クロメ	1,420 (83)
第10回	H12. 11	ノコギリモク	711 (52)	クロメ	3,254 (90)	クロメ	1,982 (85)
第11回	H13. 5	クロメ	4,030 (55)	クロメ	5,312 (93)	カジメ属	305 (40)
第12回	H13. 11	クロメ	3,030 (84)	クロメ	5,395 (96)	クロメ	1,835 (75)

* 現存量（湿重量）の単位はg/m²、（ ）内は湿重量合計に対する占有率（%）

表-4 大規模潜堤における海藻群落の類似性（類似場所及び類似度指数*）

事後調査		事前調査					
潜堤		水深5m		水深10m		水深15m	
調査回次	調査時期	類似場所	類似度指数	類似場所	類似度指数	類似場所	類似度指数
第1回	H 9. 2	防波堤	0.337	—	—	—	—
第2回	H 9. 8	防波堤	0.305	なし	—	なし	—
第3回	H 9. 12	防波堤	0.729	自然海岸	0.879	自然海岸	0.992
第4回	H10. 5	自然海岸	0.752	防波堤	0.674	自然海岸	0.888
第5回	H10. 9	防波堤	0.729	自然海岸	0.739	自然海岸	0.496
第6回	H10. 12	防波堤	0.699	防波堤	0.693	自然海岸	0.935
第7回	H11. 5	自然海岸	0.243	自然海岸	0.988	自然海岸	0.949
第8回	H11. 12	自然海岸	0.649	自然海岸	0.982	自然海岸	0.983
第9回	H12. 5	なし	—	自然海岸	0.989	自然海岸	0.997
第10回	H12. 11	防波堤	0.936	自然海岸	0.992	自然海岸	0.994
第11回	H13. 5	自然海岸	0.871	自然海岸	0.986	自然海岸	0.562
第12回	H13. 11	自然海岸	0.987	自然海岸	0.984	自然海岸	0.967

* 類似度指数にはKimoto (1967) の重複度 (Cπ) を使用

(2) 海藻群落の類似性による評価

大規模潜堤における海藻群落の類似場所及び類似度指数を表-4に示した。

水深5mでは、第4回調査を除けば、第6回調査までは防波堤との類似性(類似度0.305~0.729)を示したが、第9及び10回調査を除けば、第7回調査以降は自然海岸との類似性(0.243~0.987)を示した。水深10mでは、第3及び5回調査を除けば、第6回調査までは防波堤との類似性(0.674~0.693)を示したが、第7回調査以降は自然海岸との非常に高い類似性(0.982~0.992)を示した。水深15mでは、第2回調査においては、特に類似傾向が見られなかったが、その後は継続して自然海岸との類似性(0.496~0.997)を示した。

これらの結果から、大規模潜堤の海藻群落は、設置後は防波堤との類似性を示したが、水深5mにおいては第11回調査(設置後約5年)以降、水深10mにおいては第7回調査(設置後約3年)以降、水深15mにおいては、第5及び11回調査を除けば、第3回調査(設置後約1年半)以降は自然海岸との非常に高い類似性(類似度指数が0.8以上)を示した。被覆ブロック設置後5年の時間経過により、防波堤に類似していた海藻群落は、水深帯に関係なく、遷移過程を経て、目標像(評価基準)とした自然海岸との高い類似性を示すようになり、藻場機能の付加による効果が発揮されていると評価できる。

7. 環境条件による遷移過程の変化

事前及び事後調査の結果から、当海域の海藻群落の遷移は、最終的にはクロメを中心とした藻場(海中林)を形成して極相に至るものと考えられる。大規模潜堤の海藻群落は、水深5mでは遷移の進行は遅く、群落構成は不安定であったが、水深15mでは遷移の進行は早く、群落構成は早期に安定していた。この要因について考察する。

当海域の自然海岸では、水深20m付近までクロメが生育していることが確認されており、大規模潜堤の水深15m以浅であれば、水中光量が生育を阻害する要因になることはないと考えられる。基質を競合する付着動物については、大規模潜堤の方が自然海岸に比べて多く、特に浅場では多いことが確認されている。また、自然海岸と大規模潜堤では、波当たりにより大きな差があり、特に潜堤の天端(水深5m)では、緩い傾斜の自然海岸に比べて、海水流動が大きくなることが確認されている。

一方、当海域の代表種であるクロメは、秋季に成熟する岩礁性の多年生大型褐藻であり、一般に海水流動が小さく、比較的深場の基質が安定している場所に分布する、とされている⁴⁾。

以上のことから、大規模潜堤においては、深場(法面)ではクロメの生育に適しているだけではな

く、基質を競合する動物も比較的少ないことから、早期に極相に至るものと考えられる。これに対して、浅場(天端)では基質を競合する動物が比較的多いだけでなく、波当たりが強いこと(海水流動が大きい)等から、クロメが安定して分布することが難しい環境と推測されるため、遷移の進行が遅く、極相に至るまでに時間を要するものと考えられる。

8. おわりに

当海域の自然海岸では、クロメを中心とした安定性の高い大型褐藻群落形成されていた。これに対して、新たに造成した大規模潜堤では、約3~5年の時間を要して、群落組成を変化させながら、防波堤に近い状態から徐々に目標像とした自然海岸に類似する海藻群落が形成されてきた。これらのことから、海藻の生育に適した水深帯を有する大規模潜堤は、長期にわたる遷移過程を経て、良好な自然海岸(磯浜)に近い安定した海藻群落を形成するに至り、藻場機能が発揮されたと評価できた。

一方、大規模潜堤では、クロメを最優占種とする海藻群落が形成されているが、水深5mにおいては、波浪の影響が強く及ぶことから、今後も最優占種が変化する可能性があると考えられるとともに、各水深帯とも、自然海岸で確認されたような現存量の高い水準での安定性はまだ見られていない。

今後は、大規模潜堤前面の防波堤及び護岸が完成することによる環境条件の変化、それに伴うクロメを中心とした安定性の高い海藻群落の形成及び維持について確認する必要がある。また、藻場の形成による磯根資源(サザエ及びアワビ類)の増大、魚介類の蛸集等、他への波及効果を評価するため、継続した事後調査が必要と考えられる。

謝辞：本調査の遂行に当たり、総合科学株式会社及び浜田市漁業協同組合に謝意を表する。

参考文献

- 1) 佐見誠, 三橋宏次, 鹿田正一, 吉村直孝, 勝部昌彦, 寺嶋博: 藻場造成を考慮した防波堤の効果評価, 海岸工学論文集, 46, 1161-1165, 1999.
- 2) 佐見誠, 三橋宏次, 鹿田正一, 中西敬, 勝部昌彦, 寺嶋博: 浜田漁港における藻場造成を考慮した防波堤の効果評価, 海洋開発論文集, 15, 147-152, 1999.
- 3) Kimoto, S.: Some quantitative analysis on the Chrysomelid fauna of the Ryukyu Archipelago, *Esakia*, 6, 27-54, 1967.
- 4) 運輸省港湾局監修, エコポート(海域)技術WG編集: 港湾構造物と海藻草類の共生マニュアル, 財団法人 港湾空間高度化センター 港湾・海域環境研究所, 1998.