

広島湾廿日市市丸石地先における石積み護岸上の海藻植生とその変遷

鳥袋寛盛^{1*}・吉田吾郎¹・三浦俊一²・寺脇利信³

¹ (独) 水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所 (〒739-0452 広島県廿日市市丸石 2-17-5)

² 水圏リサーチ株式会社 (〒730-0052 広島県広島市中区千田町 3-11-7-703)

³ (独) 水産総合研究センター水産工学研究所 (〒314-0408 茨城県神栖市波崎 7620-7)

Hiromori Shimabukuro^{1*}, Goro Yoshida¹, Syunichi Miura² and Toshinobu Terawaki¹: Change of vegetation seaweed beds along the stone-built seawall mound in Hiroshima Bay, Hatsukaichi City, Hiroshima Prefecture, Japan. Jpn. J. Phycol. (Sôru) 63: 1-9, March 10, 2015

In 2009, seaweed vegetation was surveyed along the stone-built seawall mound surrounding a reclaimed land on the coast of Maruishi, Hatsukaichi City, Hiroshima Pref., Japan, and compared with the vegetation surveyed at the identical site in 1994. Totally, 62 species of marine plant were observed in this study area. *Sargassum fusiforme* which had distributed in the intertidal zone of the mound occupied a wider area than that in 1994. However, *S. horneri* and *S. muticum*, which had distributed dominantly in the sub-tidal zone, have decreased during 1994-2009. *Sargassum macrocarpum*, a main component of the vegetation in 1994, also disappeared during the 15 years. A red alga *Gelidium elegans*, which had been dominant in the sub-tidal zone of the mound 15 years ago, have also been replaced by *Chondracanthus teedii*. On the contrary to these seaweeds, *Zostera marina* which made beds on the subtidal sand- muddy sea bottom in front of the mound distributed in a wider area than that in 1994. It was thought that various factors such as rises in water temperature and seawater level affected the biota.

Key Index Words: Hiroshima Bay, flora, Sargassum, seaweed, stone-built mound, succession, *Zostera marina*

¹National Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea, Fisheries Research Agency (Maruishi 2-17-5, Hatsukaichi City, Hiroshima 739-0452, Japan)

²Aquatic Research Inc. (Sendamachi 3-11-7-703, Nakaku, Hiroshima 730-0052, Japan)

³National Research Institute of Fisheries Engineering, Fisheries Research Agency (Hasaki 7620-7, Kamisu City, Ibaraki 314-0408, Japan)

* Author for correspondence: bukuro@affrc.go.jp

緒言

島国である日本の海岸線は3万5千kmにもおよび、国土面積当たりの海岸線延長は諸外国と比べても長い (Factbook C. I. A. 2010, 全国漁港漁場協会 2014)。この海岸線上には、砂浜や磯、干潟などがつらなり、多様な生態系を形成している (加藤 1999)。かつて1960年には日本の全海岸線の78%が自然の海岸によって占められていたが、その後の高度経済成長時代の沿岸開発などにより1993年には55%にまで減少した。特に東京や大阪などの都市部では人工海岸率は100%に近く、自然海岸はほとんど残っていない (敷田・小荒井 1997)。

瀬戸内海は、中国・四国・九州地方に囲まれた日本最大の内海であり、古くよりこの地域には多くの人間が居住している (敷田 1999)。そこでは高度経済成長をさかのぼる400年以上前から、塩田や田畑の開発、宅地や工業用地の造成など、その時代により目的を変えながら多くの経済活動による海岸の改変が行われてきた (松田・堀 2010)。具体的な記録の残る明治から平成18年までに、埋め立てなどにより失われた海域の面積はおよそ455 km²におよぶ。この値は瀬戸内海全体の面積のわずか1.9%であるが、生態的にも重要な水深10 m以浅の浅海域に限定するとその消失面積は20%にも達する (瀬戸内海環境保全協会 2008)。

埋め立てや護岸工事などにより出現した人工海岸には、港湾などでみられるコンクリート壁や、離岸堤や防波堤でみられる消波ブロックや天然石を積み上げたマウンドで形成されたものなどがある。人工海岸はその建設時において浅海底の環境に大きな影響を与え、多くの場合、従来あった生態系が消失してしまう。しかし、構造物が生物に新たな着生面を供給し、周辺環境も変えて生物量の多い人工岩礁域となる場合がある (大野 1988)。特に石積みマウンドを伴った海岸構造物による傾斜や複雑な構造は大型の海藻類の生育に好適な場合が多く、翌年には大型海藻類が繁茂し、数十年から数年という陸域の遷移と比べて極めて速く生態的な極相に達すると考えられている (片田 1963, 大野 1988)。実際に、大阪湾の沖合5 km, 水深16~19 mの砂泥底に造成された関西国際空港の人工島周囲の護岸は緩傾斜護岸が採用され、大型褐藻類の生育やそれに伴う魚介類の増殖が確認されている (中村ら 1997a, 1997b)。

自然海岸が人工海岸に置き換わり、従来の生態系が消失することは一般的には好ましくないが、造成された人工海岸も時間の経過とともにその海域において重要な生態系となりうる場合がある。よってこれら既存の石積みマウンドに成立した海草・海藻植生等の生物相を把握し、その変遷過程を調査することは、造成した構造物の生物生産における機能の評価に資するだけで

なく、海洋環境の変化に伴う生態系の反応を解明するうえでも重要な基礎的知見となる。

本研究の調査海域にある石積み護岸マウンドは1994年に詳細な植生調査が行われ15年が経過した(寺脇ら1998)。本研究では、その後の地形及び底質、海草・海藻植生及び付着動物相を把握し、護岸マウンド上の生物多様性の変遷を把握することを目的とした。

材料と方法

広島県廿日市市丸石の埋め立て地護岸の石積みマウンドを調査地に設定した(Fig. 1: 国土地理院発行の数値地図50 mメッシュ(標高)データから作成)。調査地は瀬戸内海の広島湾奥部にあり、対岸には厳島神社のある厳島が位置することから、潮汐による流動以外は通年を通して比較的穏やかな海域である。調査を行った石積みマウンドは1968年に竣工し、上部がD.L.(基準水面)+2.0 mに設定され(後述の水深はすべてD.L.基準からの水深である。)、傾斜度が30~40度になっている。竣工から25年以上が経過した1994年12月から1995年1月に寺脇ら(1998)によって詳細な海藻相調査が行われた。本研究では、前回の調査(寺脇ら1998)からさらに15年が経過した2009年12月23日と24日に、再度同様の手法を用い、その後の海藻相の変遷を把握するための調査を行った。

調査地における環境特性を把握するため、2010年5月中旬から2011年5月までに、水中用温度計測ロガー(onset社Tidvit v2)を海面下1.0 mに設置し、水温を1時間の間隔で記録した。また年間の潮位変化については、国土地理院発行の海岸昇降検知センター潮位年表から(海岸昇降検知センター2010)、調査時および過去45年の潮位変化を求めた。

護岸マウンドは、海面に対し南西方向・南方向・南南東方向に向いた三面に分かれている。本論文ではこれらを簡略化して、それぞれW-area(汀線距離約250 m)、S-area(同約300 m)、E-area(同約80 m)とした(Fig. 2)。調査測線は、それぞれの面においておよそ30 mの間隔でマウンド上の汀線に対し垂直に配置し、Line 1~9(W-area)、Line 10~19(S-area)、Line 20~23(E-area)の計23本を設置した(Fig. 2)。尚、Figure 2は撮影レンズの関係により画像縁辺部がゆがみ、側線ごとの間隔が一定でないように見えるが、実際は先述の通り等間隔で配置されておりスケールも目安として示している。各調査測線では、マウンド上の上縁の稜角部を起点として(Fig. 3)、沖方向に距離0 m、1 m、2 m、3 m、4 m、以後2 mの間隔で20 mまでを調査点とした。スキューバダイビングにより、測線上の調査点ごとに50 cm方形枠を設置し、枠内の底質及び海産植物種とその被度を記録した。また、動物相を把握するため各ライン上に出現する動物類を目視により記録し、瀬戸内海の沿岸域で一般的にみられるマガキ*Crassostrea gigas*とナマコ類については、各枠内における被度(マガキ)と個体数(ナマコ)を記録した。

底質は、巨礫(boulder; 径256 mm以上)・大礫(cobble;

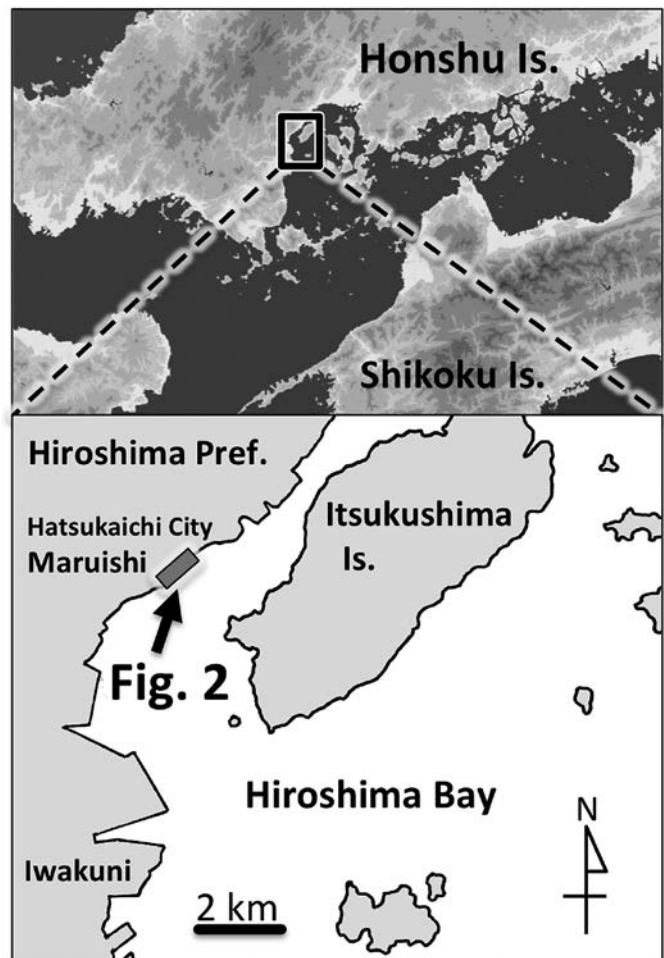


Fig. 1. Location of this study site on the coast of Maruishi, Hiroshima Bay in the western Seto Inland Sea.



Fig. 2. Arrangement of survey lines with the bottom topography along the stone-built seawall mound at the study site. Arrow shows the new seawall mound after first survey in this study.

径256~60 mm)・小礫(gravel; 径60~2 mm)・砂(sand; 径2~0.06 mm)・泥(clay; 径0.06 mm以下)の5段階に分け記録した(日本学術振興会1984)。

また調査地における詳細な出現海藻相を把握するため、上記の調査に加え、海藻類の最盛期にあたる2010年5月28日に再度潜水調査を行い、護岸マウンド上に生育する海藻類を

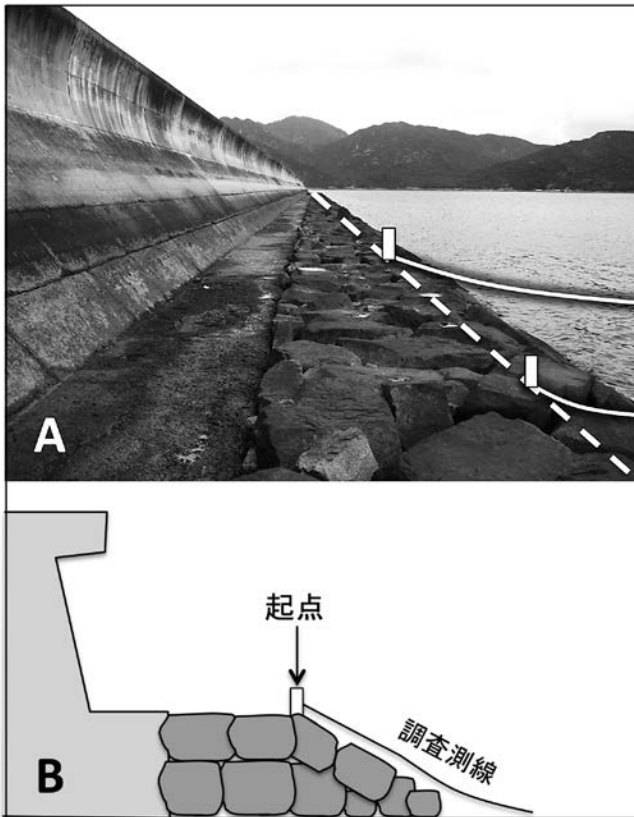


Fig. 3. Positions of the starting point of research lines on the stone-built seawall mound.

記録した。その後、調査地近傍に2013年3月に新たな護岸が建設された (Fig. 2: 矢印)。この護岸設置直後の植生への影響を把握するため、上記護岸の建設作業が行われていない2013年12月28日に、シュノーケリングにより本調査地におけるマウンド上の植生を目視により観察した。

本研究によって採集された海藻類の一部は乾燥押し葉標本とし、独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区研究所の海藻標本庫 (FEIS #, Table 2) に収蔵した。

結果

水温及び生育環境

水温：調査地水温は、8月5日17:00に29.59°Cの最高値を記録し、2月2日05:00に最低値の8.12°Cを記録した。年間を通した平均水温は18.20°Cであった (Fig. 4)。

潮位：調査地のある広島湾の潮位は、年間最高の満潮線が概ね+390 cmで、年間最低の干潮線が-40 cmである。調査を行った2009年における年間平均潮位は+325.7 cmであった (海岸昇降検知センター 2010)。また、継続した記録の残る1960年代からの広島湾の潮位データを解析すると、1970年代から急激に潮位が上昇し、年による増減を繰り返しながらも、1960年代の平均の+304.6±0.8 cmから2000年代は+326.0±0.9 cmと、20 cmほど潮位が上昇していた。また本

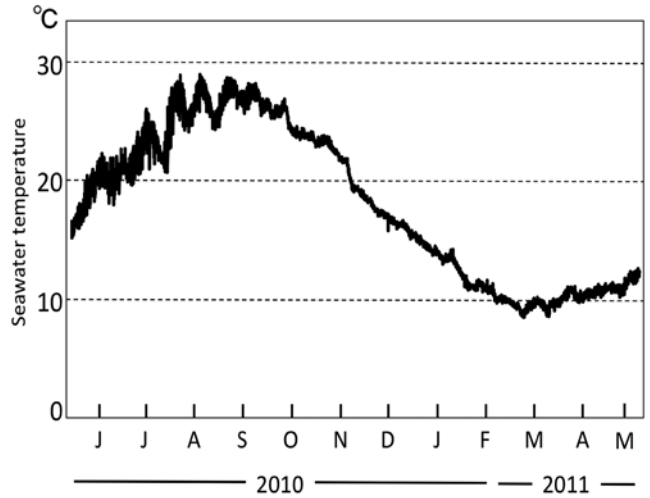


Fig. 4. Surface seawater temperature from May 2010 to May 2011 at Maruishi, Hatsukaichi City, Hiroshima, Japan.

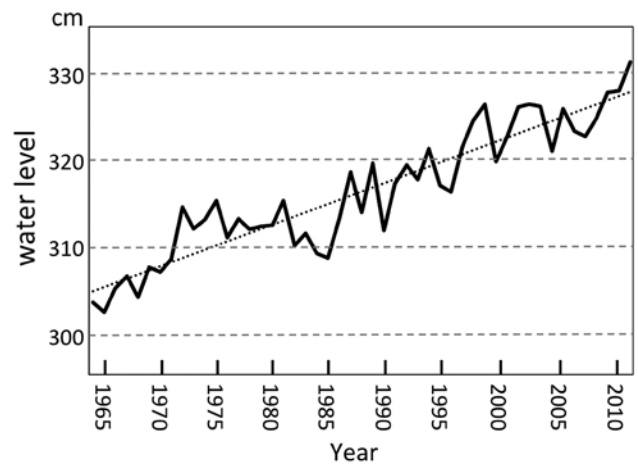


Fig. 5. Succession of seawater level from 1965 to 2010 at Hiroshima Bay, Hiroshima, Japan.

研究による調査が行われた2000年代と前回の調査が行われた1900年代では7 cmほどの潮位差があり、広島湾の潮位は年々増加傾向にあることがわかった (Fig. 5)。

底質：調査地点の底質は、W-areaでは水深-1.5~2.0 mまでマウンド (巨礫) で、一部に小礫が堆積する場所が見られた。また-2.0 m以深ではマウンド上に泥が堆積していた。S-areaでは、-0.5~-1.0 mまでマウンドで、-1.0~-1.5 mの範囲で小礫や砂の堆積が見られた。-1.5 m以深にはマウンド上に泥が堆積していた。E-areaでは、+1.0 m前後の潮間帯はマウンドで、+0.5 m以深では砂泥の堆積が確認された。S-areaとの境界域の+0.5~-1.0 mには礫による基質が形成されていた。調査エリア全体における-2.0 m以深では泥の堆積が見られ、S-areaやE-areaのように東に移動するにつれ、より水深の浅い位置まで泥や砂が堆積している傾向にあった (Fig. 6)。

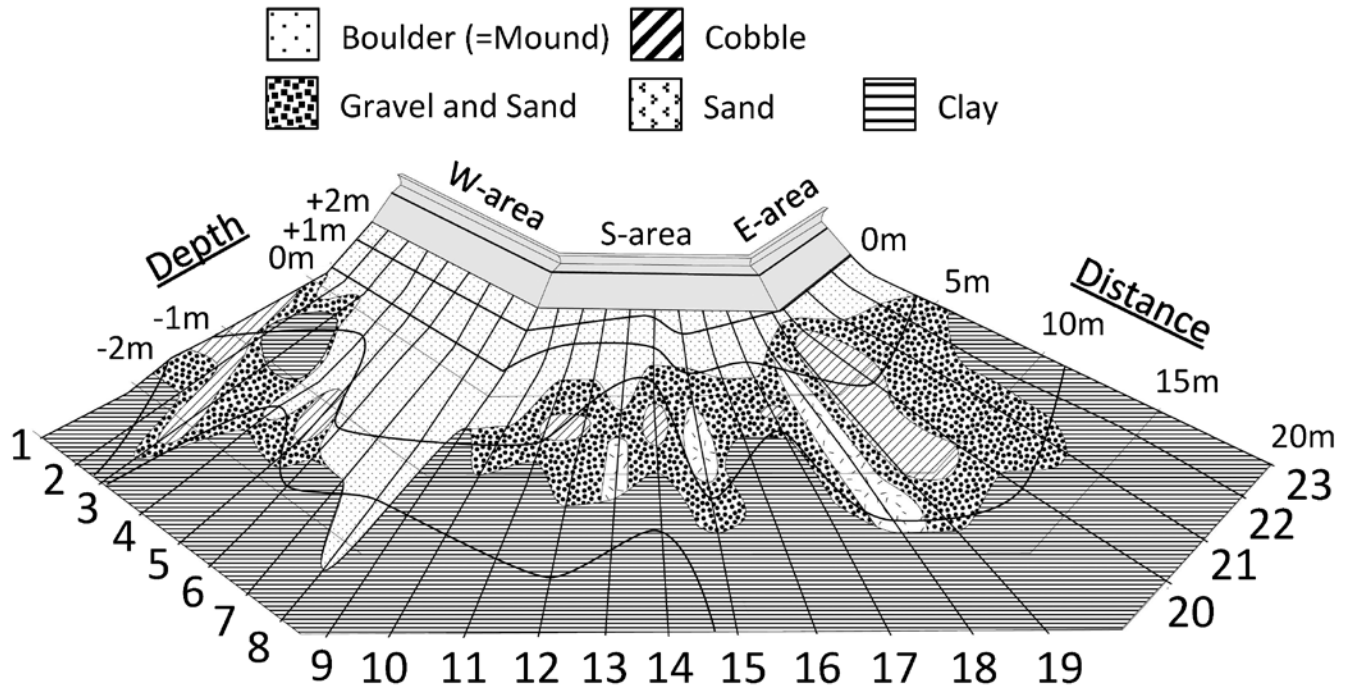


Fig. 6. Topographic feature observed along the stone-built seawall mound in this study site.

生物相及び海産植物の分布

動物相: 2009年12月24日に目視により記録した結果、固着性動物類9種、移動性動物類9種の計18種が観察された (Table 1)。その中でも、カンザシゴカイ科はすべてのエリアのラインにおいて優占的に観察され、ナミマガシワガイ *Anomia chinensis* も多く見られた。本調査地で見られたナマコ類はすべてマナマコ *Apostichopus japonicus* であり、W-area 全体で38個体、S-area 全体で16個体、E-area 全体で0個体であった。マガキは調査地の護岸マウンド上では観察されなかった。

海産植物相: 2009年12月23, 24日及び2010年5月28日に調査した結果、調査地の護岸マウンド上には、緑藻8種、褐藻21種、紅藻32種、海草類1種の計62種の大型海産植物が生育していた。主な藻場構成種であるホンダワラ類は、ヒジキ *Sargassum fusiforme*、アカモク *S. horneri*、タマハハキモク *S. muticum*、マメタワラ *S. piluliferum*、ウミトラノオ *S. thunbergii* の5種、海草類はアマモ *Zostera marina* の1種であった (Table 2)。

海産植物の分布: ここでは、特に被度と分布面積の大きかった9種を中心に、結果を述べる。

ヒジキは、W・S・Eのすべてのエリアにおいて、水深+1.0～0.0 mの範囲において帯状に広く分布していた。タマハハキモクは各エリアの水深+0.5～-1.0 mの範囲に数個体で構成される小さなパッチが点在して分布していた。アカモクは、S-area のみにわずかに数個体が点在していた。アマモは、S-area の東側とE-area の水深-0.5～-2.0 mの範囲におい

て、被度20～90%の割合で広く分布していた (Fig. 7A)。

ワカメ *Undaria pinnatifida* は、S及びE-area の水深-1.0 m以深の泥上の巨礫および大礫上に広く分布していた。アナアオサ *Ulva pertusa* は、調査地及び調査地が位置する広島湾奥部では大量の浮遊性の藻体が海岸線沿いに堆積することが知られている (吉田ら 2010)。調査地においてもアナアオサの浮遊性の藻体は被度5%以下で広く点在していたが、被度5%以上で実際に基質に固着しているアナアオサはW-area のみに分布していた (Fig. 7B)。

シキンノリ *Chondracanthus teedei* は、調査海域のすべてのエリアにおいて、水深+0.5～-1.0 mの範囲に広く分布していた。ミゾオゴノリ *Gracilaria incurvata* は、主にW・S-area の水深+0.5～-2.0 mの範囲に分布していた。カズノイバラ *Hypnea flexicaulis* は、S-area の水深-0.5 m以深において分布していた (Fig. 7C)。瀬戸内海沿岸域で一般的にみられるコンブ目藻類のクロメ *Ecklonia kurome* は、調査測線上には出現せず、護岸マウンド上の巨礫にわずかに生育するのみで極めて稀であった。

調査地東端に新たに護岸 (Fig. 2: 矢印) が設置された後の2013年12月の目視調査では、ヒジキやシキンノリが優占し、アカモクやマメタワラが点在するなど、2009年12月と比較しマウンド上の植生に大きな変化はみられなかった。

考察

広島湾や瀬戸内海における海藻植生については1970年代にホンダワラ科藻類を中心に行われた調査報告があり (佐々

Table 1. Animal list from study site, Maruishi, Hatsukaichi City, Hiroshima Pref., Japan.

	Scientific name	Japanese name
1	sessile <i>Serpularbis imbricatus</i>	オオヘビガイ
2	<i>Barbatia virescens</i>	カリガネエガイ
3	<i>Chama japonica</i>	キクザル
4	<i>Haliplanella lineata</i>	タテジマイソギンチャク
5	<i>Balanus torigonus</i>	サンカクフジツボ
6	<i>Anomia chinensis</i>	ナミマガシワガイ
7	Porifera	海綿動物門 (カイメン類)
8	Asciacea	ホヤ綱
9	Serpulidae	カンザシゴカイ科
10	Ostreidae	イタボガキ科
11	mobile <i>Acanthochitona achates</i>	ヒメケハダヒザラガイ
12	<i>Acanthopleura japonica</i>	ヒザラガイ
13	<i>Thais clavigera</i>	イボニシ
14	<i>Omphalius rusticus</i>	コシダカガンガラ
15	<i>Turbo coreensis</i>	スガイ
16	<i>Patiria pectinifera</i>	イトマキヒトデ
17	<i>Apostichopus japonicus</i>	マナマコ
18	Nacellidae	カサガイ目

田ら 1975, 齊藤 1980), 1991 年には瀬戸内海西部において詳細な海藻相調査が行われている (村瀬ら 1993)。最近では環境省によって行われた第 7 回自然環境保全基礎調査浅海域生態系藻場調査がある (環境省自然環境局 2008)。また本研究の調査地である広島県廿日市市丸石沿岸域では, 1997 年に海底底質の分布と海藻植生の模式図が示され (寺脇 1997), 翌年には 1994 年に行われた植生調査の結果が詳細に報告された (寺脇ら 1998)。本研究において記録された出現海藻 62 種は, 村瀬ら (1993) により記録された 139 種と比較すると少ないが, 本調査地近傍の廿日市市宮島町 (厳島) で記録された 45 種よりも多い (環境省自然環境局 2008)。これらの調査結果は調査した面積や努力量, 天然岩礁や人口護岸など基質の違いもあり, 一概に比較することは難しい。しかし, 瀬戸内海 7 箇所で行われた藻場調査 (環境省自然環境局 2008) での出現種の平均は 50.5 種 (S.E. ±4.8 種) であった。よって調査時における本調査地は, 瀬戸内海の他の海域と同様の海産植物種の多様性を有していたと考えられる。

ホンダワラ類の分布: 今回, 最大水深で -3 m ほどまである護岸マウンド上 (離岸距離最大 20 m) の潮間帯及び潮下帯に生育する藻場を構成する大型褐藻類は, ヒジキ, アカモク, タマハハキモク, マメタワラ, ウミトラノオのホンダワラ類が 5 種と, ワカメ, クロメを加えた 7 種であった。海草類はアマモの 1 種であった。15 年前の 1994 年に本研究と同じ場所で行われた調査では, 瀬戸内海に広く分布しているノコギリモク *Sargassum macrocarpum* を含む 3 種のホンダワラ類が確認された (寺脇ら 1998)。その後, ノコギリモクは 1996 年にも生育が確認されていたが (吉田ら 1997), 本調査時には確認できなかった。また, 1994 年の調査時に護岸マウンドに沿って広く分布していたアカモクとタマハハキモクも大幅にその分布域を縮小していた。一方, ヒジキは, 1994 年の調査では W-area の中央部と S-area の

Table 2. Macrophyte list from study site, Maruishi, Hatsukaichi City, Hiroshima Pref., Japan.

class	Scientific name	Japanese name	FEIS No.
1	Chlorophyceae <i>Blidingia minima</i>	ヒメアオノリ	
2	<i>Ulva intestinalis</i>	ボウアオノリ	
3	<i>Ulva pertusa</i>	アナアオサ	
4	<i>Ulva</i> spp.	アオノリ類	299
5	<i>Cladophora</i> spp.	シオグサ類	
6	<i>Caulerpa okamurae</i>	フサイワズタ	
7	<i>Codium fragile</i>	ミル	
8	<i>Codium subtubulosum</i>	クロミル	297
9	Phaeophyceae <i>Dictyopteris latiuscula</i>	ヤハズグサ	
10	<i>Dictyota dichotoma</i>	アミジグサ	351
11	<i>Dictyota linearis</i>	イトアミジ	354
12	<i>Ruglopteryx okamurae</i>	フクリンアミジ	352
13	<i>Papenfussiella kuromo</i>	クロモ	349, 350
14	<i>Leathesia difformis</i>	ネバリモ	
15	<i>Colpomenia sinuosa</i>	フクロノリ	
16	<i>Hydroclathrus clathratus</i>	カゴメノリ	
17	<i>Petalonia fascia</i>	セイヨウハバノリ	369
18	<i>Scytosiphon gracilis</i>	ウスカヤモ	
19	<i>Scytosiphon lomentaria</i>	カヤモノリ	
20	<i>Cutleria multifida</i>	ヒラムチモ	343
21	<i>Undaria pinnatifida</i>	ワカメ	
22	<i>Chorda asiatica</i>	ツルモ	
23	<i>Ecklonia kurome</i>	クロメ	
24	<i>Ishige sinicola</i>	イロロ	
25	<i>Sargassum fusiforme</i>	ヒジキ	
26	<i>Sargassum horneri</i>	アカモク	
27	<i>Sargassum muticum</i>	タマハハキモク	
28	<i>Sargassum piluliferum</i>	マメタワラ	
29	<i>Sargassum thunbergii</i>	ウミトラノオ	
30	Rhodophyceae <i>Porphyra suborbiculata</i>	マルバアマノリ	
31	<i>Gelidium elegans</i>	マクサ	
32	<i>Caulacanthus ustulatus</i>	イソダンツウ	
33	<i>Hyalosiphonia caespitosa</i>	イソウメモドキ	346, 348
34	<i>Halarachnion latissimum</i>	ススカケベニ	
35	<i>Chondracanthus intermedius</i>	カイノリ	
36	<i>Chondracanthus teedii</i>	シキンノリ	
37	<i>Chondrus giganteus</i>	オオバツノマタ	335, 337
38	<i>Chondrus ocellatus</i>	ツノマタ	336, 337
39	<i>Grateloupia asiatica</i>	ムカデノリ	
40	<i>Grateloupia imbricata</i>	サクランノリ	
41	<i>Grateloupia lanceolata</i>	フダラク	305, 307
42	<i>Hypnea flexicaulis</i>	カズノイバラ	
43	<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>	オキツノリ	
44	<i>Plocamium cartilagineum</i>	ホソユカリ	
45	<i>Schizymenia dubyi</i>	ベニスナゴ	347
46	<i>Gracilaria incurvata</i>	ミゾオゴノリ	
47	<i>Gracilaria parvispora</i>	シラモ	340, 341
48	<i>Gracilaria textorii</i>	カバノリ	
49	<i>Gracilaria vermiculophylla</i>	オゴノリ	
50	<i>Gracilariopsis chorda</i>	ツルシラモ	
51	<i>Lomentaria catenata</i>	フシツナギ	
52	<i>Lomentaria hakodatensis</i>	コスジフシツナギ	
53	<i>Chrysmenia wrightii</i>	タオヤギソウ	301, 303
54	<i>Dasya scoparia</i>	モサダジア	361
55	<i>Heterosiphonia pulchra</i>	シマダジア	355, 357
56	<i>Acrosorium yendoi</i>	ハイウスバノリ	338
57	<i>Hypoglossum</i> spp.	ベニハノリ類	
58	<i>Martensia fragilis</i>	アヤニシキ	
59	<i>Chondria dasyphylla</i>	ヤナギノリ	363
60	<i>Laurencia okamurae</i>	ミツデソソ	
61	<i>Leveillea jungermannioides</i>	ジャバラノリ	
62	Zosteraceae <i>Zostera marina</i>	アマモ	

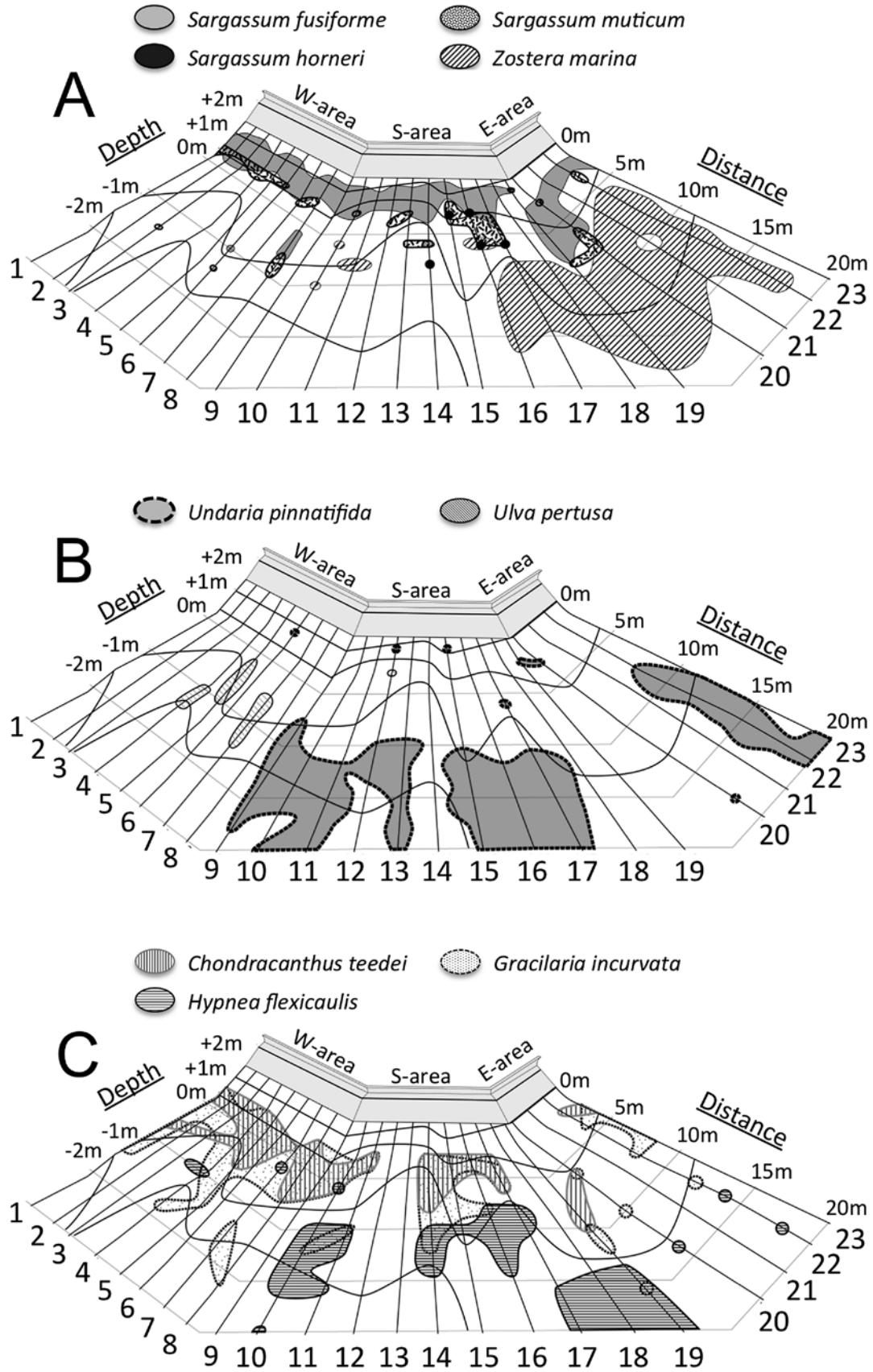


Fig. 7. Occurrence of marine plants along the stone-built seawall mound in this study site. A: *Sargassum* species and *Zostera marina*, B: *Undaria pinnatifida* and *Ulva pertusa*, C: Red algae.

西側一部に分布するのみであったが(寺脇ら 1998), 本研究時にはすべてのエリアの水深 +1.0 ~ 0.0 m の範囲に分布が広がっていた。

ノコギリモクは瀬戸内海を中心とした温帯域で一般的にみられる藻場構成種であり, 調査地においても 1994 年は生育していたが(寺脇ら 1998), 本調査時には確認することができなかった。また, 1994 年には報告がなかったマメタワラとウミトラノオの生育が確認された。海藻類の生育や分布に影響を与える要因として水温の上昇が考えられる。しかしノコギリモクの生育適正温度は 25°C, 生育上限温度は 31°C と, 今回新たに確認されたマメタワラやウミトラノオも含めた他の温帯性ホンダワラ類よりも高水温に耐性があることがわかっている(原口ら 2005, 藤田ら 2010)。さらに今後の温度上昇予測の結果からも, 現在から 50 年先ほどの短・中期的にはノコギリモクの藻場は維持されることが示唆されている(桑原ら 2006)。同様の温度傾向にあると思われる調査地近傍の広島湾南部に位置する山口県大島郡の屋代島や同県柳井市の平郡島では, 現在もノコギリモクの藻場が維持されていることが確認されており(吉田ら 2014), 本調査地におけるノコギリモクの消滅は, 水温の上昇が最大の要因ではないと考えられる。

潮間帯の海藻類の分布は潮汐の影響を大きく受けることが知られている(谷口 1961)。本調査地は対岸に厳島が近接して位置することもあり, 比較的波浪が穏やかである一方干満差が大きく, 藻類の分布はその影響も強く受けていると思われる。広島湾の平均潮位は年々上昇する傾向にあり, マウンドにおいてヒジキの生育に適したゾーンが拡大傾向にあると推測することもできる。ヒジキは日本における重要な水産有用種でもあるため(大野 2004), 分布拡大の要因についてはさらに慎重な検証が必要である。

瀬戸内海でこれまでに記載されているホンダワラ類はおよそ 30 種であり(吉田 1998), 1970 年代に実施された調査では 20 種ほどが報告されている(佐々田ら 1975, 齊藤 1980)。また, 2002 年から 2007 年に瀬戸内海の 7 か所で行われた環境省による藻場調査では, 瀬戸内海全体で 13 種のホンダワラ類が報告されている(環境省自然環境局 2008)。本調査地において, 寺脇ら(1998)は 3 種のホンダワラ類を確認し, 広島湾口で確認された 8 種(寺脇ら 1996)と比較し本調査地におけるホンダワラ類は少ないと判断している。本研究における調査時には 5 種のホンダワラ類が確認された。前述の環境省の藻場調査において, 調査地 1 か所あたりで確認されたホンダワラ類の種数は 1~7 種(平均 3.8±0.7 S.E.)であった。よって本研究時における調査地は, 瀬戸内海の他のホンダワラ類藻場と比較して極端に種数が少ないわけではない。瀬戸内海は大きささまざまな離島や多くの入り江などによって海岸線が複雑で, 波浪などの物理環境や, 水温やリンや窒素などの水質環境が海域によって多様であり(広島県環境県民局環境部 2008, 瀬戸内海環境保全協会 2008), 分布するホンダワラ類の種も海域による特異性が高いものと

考えられる。

広島湾湾口部の山口県周防大島伊保田地先に設置された人工基質上のアカモク及びタマハハキモクは, 1 m² あたり数十~数百個体の密度で生育しているのに対し(吉川・月舘 1985), 本研究の調査地における護岸マウンド上の両種は低密度で, 1 m² あたり数個体生育するのみだった。1994 年の調査時にも他の海域に比べてホンダワラ類の生育密度が低いことが示され, 寺脇ら(1998)は, 湾口部に比べ夏期の水温が高く, 塩分が低く, COD が 2 倍ほど高く有機汚濁が進んでいるなどの水質条件の違いが影響を与えていることを示唆している。また, ホンダワラ類幼体の成長には水温だけではなく光量や照度など光の強さも大きく影響している(吉田ら 1995, 吉田ら 1997)。しかし, 水温や塩分, 光量などの環境条件だけが, 生育密度に大きな影響を与えているとは考えにくい。瀬戸内海は藻体に浮泥が堆積しやすい静穏な環境であり, 特に海水の流動などの物理的な条件が海藻類の生育密度に与える影響の方が大きいと考えられる。実際に波浪が大型海藻の分布に影響を与えることが報告されており(今野ら 1985), 対岸の厳島に挟まれた静穏な本調査地では, 往来する船舶による波なども護岸マウンド上の海藻植生に影響を与えていることが示唆される。調査地近傍では海面の上昇傾向が確認され, 波浪に伴う流動の変化が直接海藻類の生長に影響を与える場合や, “やすり効果”として, 巻き上げられた堆積砂泥が基質面を擦るなど間接的な影響を与える場合もあり(吉田ら 1997), 今後, ホンダワラ類の分布や藻場の維持機構を解明するうえで, 波浪や流動などの物理環境やそれに伴う泥の堆積の影響も把握していく必要があると考えている。

アマモの分布: 1994 年の調査では, S-area と E-area の境界域にアマモの生育が確認され(寺脇ら 1998), 本調査時にはさらにアマモの分布域が東側に広がっていた。本調査地を航行する船舶の大多数は S-area と平行な航路をとる。よって船舶による波は S-area に対して直角方向に打ち寄せるため, S-area 及びその両側の境界域は波による底質の攪乱が起きやすく, 波が直角に当たらない W-area の西側と E-area の東側は S-area に比べ相対的に静穏になりやすいと考えられる。さらに E-area には(独)水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所の取水設備や調査船の浮棧橋があり, W・S-area に比べてより静穏な環境にあると考えられ, アマモの生育に適した安定した底質基盤が広がったと考えられた。

その他の付着生物: 1994 年の調査時には, 広域的に出現する種として, 水深 +1.5 ~ 0.5 m に緑藻のアナアオサが, 水深 +1.0 ~ -0.5 m に紅藻のマクサ *Gelidium elegans* がマウンド上のすべてのエリアで帯状に分布し, またマウンド上縁から水深 +1.0 m までにマガキが同じように全エリアに分布していた(寺脇ら 1998)。調査地のある広島湾はマガキの養殖が盛んであり, 天然の岩礁や護岸にもマガキの付着がいたるところで観察される。しかし本研究を行った 2009 年には, 護岸マウンド上にはマガキの付着が全く観察されなかつ

た。調査地地先は広島湾内でもカキ幼生の分布が比較的小さい場所ではあるが(平田 2008), 全く幼生が分布しないわけではない。マガキの付着量は, ヒラムシ類やイボニシなどの肉食性無脊椎動物による食害や, イガイ類, フジツボ類などの付着生物との基質をめぐる競合によって, 低下することが古くから知られている(木村・兼保 2003)。また基質に付着した後も, クロダイ *Acanthopagrus schlegelii* などの魚類によって捕食される(齊藤ら 2008, 若野 2009)。本調査時にはウズマキゴカイ類やカンザシゴカイ類が岩上を広く覆っているのが観察され, 競合等他生物との相互作用や環境変化など様々な要因によりマガキの付着量も大きく変動するものと考えられる。

1994年にマウンド上に広く分布していた紅藻のマクサは本調査時にはほとんど見られず, その分布域はシキンノリにより占められていた。また藻場を形成するホンダワラ類も, ノコギリモクがなくなり他の種類も分布域が小さくなるなど大きな変化が見られた。ノコギリモクの消失との関連は定かではないが, 九州から中国地方にかけて甚大な被害をもたらした1999年9月の台風18号により(光永ら 2003, 河合ら 2006), ノコギリモクが分布していた本調査地のWとS-areaの境界域の護岸が一部崩壊し, 翌2000年に補修工事が行われている。海藻類をはじめとする岩上の固着生物は, わずかな岩の傾斜度や基面の高さ, 水温や光量などさまざまな環境要因によって分布が制限されている(今野 1985, 寺脇ら 1996)。また近年, 瀬戸内海は水温や透明度などが上昇するなど, 環境の変化が指摘されており(高橋・清水 2004, 樽谷 2007), 本調査地においても護岸工事等の人為的な環境改変や, 海洋環境の変化が海藻類や動物類の生物相に影響を与えていると考えられる。

防波堤や護岸設置などの事業は, 防災上の緊急性から行われることも多く, その海岸改変の生態系への影響が十分考慮されないまま進められてきた事例も多い(鳥居ら 2000)。また逆に, 強い波浪が生物の生育を阻害している環境下に消波ブロックや離岸堤が設置されることにより, 生物にとっての付着基質が作られるとともに物理的な攪乱が緩和され, 新たな生態系が創出される場合もある(大野 1988)。さらに人工基盤の構造によっては天然の岩礁よりも海藻類の着生やアワビやウニなど動物類の棲みかとして有効に機能する場所があることが知られている(町口・飯泉 1997)。調査海域の護岸マウンドも, 海藻類や固着性の動物に新たな基質を与えるだけでなく, 安定的に組まれた石と石の間には多数の空隙が存在し, 多くの魚類や甲殻類などの姿も確認されている。しかし, それぞれの環境条件がどの生物にどのような影響を与えるかは不明な点が多く, 今後さらなる研究や検証が必要である。調査海域においても引き続き生物相のモニタリングを行い, 基礎的な知見の積み上げを行っていきたいと考えている。

謝辞

本調査を遂行するに当たり, 広島県廿日市市の大野町漁業協同組合の皆さんには多大なご協力をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。また図表の作成に際し, 空撮写真を提供していただきました, (独)水産総合研究センターの堀正和博士に感謝いたします。

引用文献

- Factbook, C. I. A. 2010. The world factbook. See also; <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook>.
- 藤田大介・村瀬昇・桑原久実 2010. 藻場を見守り育てる知恵と技術, 成山堂書店, 東京.
- 原口展子・村瀬昇・水上譲・野田幹雄・吉田吾郎・寺脇利信 2005. 山口県沿岸のホンダワラ類の生育適温と上限温度, 藻類 53: 7-13.
- 平田靖 2008. 広島湾におけるかき幼生の分布, 水産と海洋 11: 3-4.
- 広島県環境県民局環境部 2008. 平成 20 (2008 年度版) 環境白書, 広島県環境県民局環境部, 広島.
- 海岸昇降検知センター (国土地理院) 2010. 海岸昇降検知センター潮位年報. 国土交通省国土地理院, 茨城.
- 環境省自然環境局 2008. 第 7 回自然環境保全基礎調査 浅海域生態系調査 (藻場調査) 報告書, 環境省自然環境局生物多様性センター, 山梨.
- 片田実 1963. 海藻の生活形と遷移, 日本水産学会誌 29: 798-808.
- 加藤真 1999. 日本の渚 失われゆく海辺の自然, 岩波書店, 東京.
- 河合弘泰・橋本典明・松浦邦明 2006. 確率台風モデルを用いた地球温暖化後の瀬戸内海における高潮の出現確率分布の推定, 海岸工学論文集 53: 1271-1275.
- 木村知博・兼保忠之 2003. 広島かきの養殖一主として昭和の発展と問題一, 広島かき生産者協同組合, 広島.
- 今野敏徳 1985. 漸深帯固着生物の分布に及ぼす岩面傾斜度の影響, 東京水産大学研究報告 72: 99-109.
- 今野敏徳・泉伸一・竹内慎太郎 1985. 漸深帯大型海藻の帯状分布に及ぼす波浪の影響, 東京水産大学研究報告 72: 85-97.
- 桑原久実・明田定満・小林聡・竹下彰・山下洋・城戸勝利 2006. 温暖化による我が国水産生物の分布域の変化予測, 地球環境 11: 49-57.
- 町口祐二・飯泉仁 1997. 造成藻場における海藻現存量と植食動物との関係, 月刊海洋 29: 450-455.
- 松田裕之・堀正和 2010. 海洋・沿岸域の生物多様性, 日本の科学者 45: 10-15.
- 光永臣秀・平石哲也・宇都宮好博・三原正裕・大川郁夫・中川浩二 2003. 台風 9918 号による周防灘での高潮高波被害の特性, 土木学会論文集 726: 131-143.
- 村瀬昇・松井敏夫・大貝政治 1993. 山口県瀬戸内海沿岸域東部海域の海藻相, 水産大学校研究業績 41: 237-249.
- 中村充・加藤久晶・吉田和久・芳我幸雄 1997a. 関西国際空港護岸における藻場造成事例とその生物学的効果について (その 1), 瀬戸内海 9: 77-85.
- 中村充・加藤久晶・吉田和久・芳我幸雄 1997b. 関西国際空港護岸における藻場造成事例とその生物学的効果について (その 2), 瀬戸内海 10: 35-40.
- 日本学術振興会 1984. 学術用語集: 地学編 / 文部省 [編], 東京.
- 大野正夫 1988. 概論: 海岸構造物と水産資源増殖, 月刊海洋科学 20: 350-354.
- 大野正夫 2004. 有用海藻誌, 内田老鶴圃, 東京.
- 齊藤英俊・中西夕佳里・重田利拓・海野徹也・河合幸一郎・今林博道 2008. 広島湾におけるマガキ種苗に及ぼす魚類の捕食の影響, 日本水産学会誌 74: 809-815.
- 齊藤雄之助 1980. 瀬戸内海およびその周辺海域におけるホンダワ

- う科藻類の分布について, 南西海区水産研究所研究報告 12: 51-68.
- 佐々田憲・藤山虎也・犬丸啓 1975. 瀬戸内海産ホンダワラ科藻類の分布について, 広島大学水畜産学部紀要 14: 89-100.
- 瀬戸内海環境保全協会 2008. 瀬戸内海の環境保全資料集 (平成 19 年度), 社団法人瀬戸内海環境保全協会, 兵庫.
- 敷田麻美 1999. 自然海岸率による瀬戸内海の改変モニタリング, 日本沿岸域学会論文集 11: 65-72.
- 敷田麻実・小荒井衛 1997. 1960 年以降の日本の自然海岸の改変の統計学的分析, 日本沿岸域学会論文集 9: 17-25.
- 高橋暁・清水祥平 2004. 瀬戸内海の長期水温変動, 海と空 80: 69-74.
- 谷口森俊 1961. 日本の海藻群落学的研究, 井上書店, 東京.
- 樽谷賢治 2007. 瀬戸内海の環境の 30 年間の変化—水産の環境モニタリング 浅海定線観測調査のとりまとめ—, 日本ベントス学会誌 62: 52-56.
- 寺脇利信 1997. 藻類採集地案内 広島湾の大野瀬戸・宮島周辺, 藻類 45: 185-188.
- 寺脇利信・吉田吾郎・吉川浩二・有馬郷司 1996. 瀬戸内海西部における基面の高さ別のホンダワラ植生の観察, 南西海区水産研究所研究報告 29: 49-58.
- 寺脇利信・吉田吾郎・玉置仁・薄浩則 1998. 広島湾の石積み護岸マウンド沿いに成立した海草・海藻植生, 南西海区水産研究所研究報告 31: 13-18.
- 鳥居謙一・加藤史訓・宇多高明 2000. 生態系保全の観点から見た海岸事業の現状と今後の展開, 応用生態工学 3: 29-36.
- 若野真 2009. マガキ種苗の質の低下と食害, 水産と海洋 15: 1-2.
- 吉川浩二・月館潤一 1985. 人工基質投入による藻場の拡大, 近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究 (マリーナランディング計画) 研究成績報告書, pp. 69-86. 水産庁南西海区水産研究所, 広島.
- 吉田吾郎・新井章吾・寺脇利信 1997. 広島湾大野瀬戸産ノコギリモク幼体の成長に及ぼす光量・水温の影響, 南西海区水産研究所研究報告 30: 137-145.
- 吉田吾郎・有馬郷司・内田卓志 1995. 褐藻アカモクの初期生長に及ぼす日長, 照度, 水温の影響, 南西海区水産研究所研究報告 28: 21-32.
- 吉田吾郎・内村真之・平岡雅規・寺脇利信・新井章吾・井関和夫 2010. 広島湾奥部の海底におけるアオサ等海藻類の堆積状況 (予報), 生物圏科学 49: 31-38.
- 吉田吾郎・島袋寛盛・森口朗彦・堀正和・濱岡秀樹・高田茂弘・田井中剛・加藤亜記 2014. 瀬戸内海西部の屋代島, 平郡島における海藻藻場の特性—特にホンダワラ類とクロメの垂直分布について—, 生物圏科学 53: 1-22.
- 吉田忠生 1998. 新日本海藻誌, 内田老鶴圃, 東京.
- 全国漁港漁場協会 2014. 漁況漁場漁村ポケットブック, 全国漁港漁場協会, 東京.

(Received Jan. 5, 2015; Accepted Feb 16, 2015)