

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)

吉田吾郎^{1,5)}・内村真之²⁾・平岡雅規³⁾・寺脇利信¹⁾・新井章吾⁴⁾・井関和夫⁵⁾

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⁾JICA Niger, 523 rue des lacs, PL521, Quartier Plateau, Commune 1, Niamey, Niger

³⁾高知大学総合研究センター海洋生物研究教育施設, 〒781-1164 高知県土佐市宇佐町井尻194

⁴⁾(株)海藻研究所, 〒811-0114 福岡県糟屋郡新宮町湊坂3-9-4

⁵⁾広島大学大学院生物圏科学研究科, 〒739-8528 広島県東広島市鏡山1-4-4

要 旨 広島湾奥部の大野瀬戸周辺の砂泥海底域で、小型底曳き網（ナマコ桁網）と潜水により、アオサ類等をはじめとする海藻類の堆積状況を調査した。38種の海藻・海草類が採集されたが、現存量では底曳き網による採集物の64～100%をアオサ類が占めていた。アオサ類は水深5m以浅で最も多く採集され、砂浜・干潟に連続する海底勾配の緩やかな浅海底がアオサ類の増殖帯になっていると考えられた。

キーワード：アオサ類, グリーンタイド, 現存量, 広島湾, 小型底曳き網

緒 言

富栄養化の進行した静穏な内湾域では、アオサ類やシオグサ類など、緑藻類の異常増殖が頻繁に発生し、赤潮 (red tide) になぞらえて、グリーンタイドと呼ばれている (大野, 1999)。グリーンタイドは、これまでに地中海沿岸や北米、オーストラリア等世界各地から報告されているが、近年では経済発展著しい中国・青島の五輪海洋競技の会場でアオノリ類の1種が大量に増殖し、世界的に報道された (Leliaert *et al.*, 2009)。

我が国においても、主にはアオサ類によるグリーンタイドが、東京湾や三河湾、博多湾などで起こっており (大野, 1999)、瀬戸内海でも沿岸域の開発と富栄養化が進行した1970年代に、山口湾でアオサ類の増殖が報告されている (Uno *et al.*, 1983)。アオサ類は一般的に基質に固着して生育するが、内湾域でグリーンタイドを起こすアオサ類は海底付近を浮遊して成長することから「浮遊性アオサ」とも呼ばれることがあり、吹送流などの影響で干潟や砂浜域に大量に集積し、様々な問題を起こす (大野, 1999)。

広島湾では、1980年代後半以降、湾奥部の沿岸で浮遊性アオサ類の増殖がたびたび話題になった。同地には、日本三景の1つ安芸の宮島の厳島神社があり、神社前面の干潟に大量のアオサ類が打ち寄せることから、景観問題として取り上げられた。一方、広島湾奥部の干潟ではアサリ漁業が営まれており、干潟に堆積したアオサが、アサリなど干潟の生物に多大な影響を与えることも懸念された。

このような背景のもと、1999年から2001年にかけて、広島湾のアオサ類の生態学的な調査が行なわれ、湾内の入り江における浮遊性アオサ類の現存量や成長 (Uchimura *et al.*, 2004)、種組成の季節変化 (平岡ら, 2002)、また人工護岸における固着性アナアオサの現存量、世代比率の変化 (Uchimura *et al.*, 2004; Hiraoka and Yoshida, 2010) 等、多くの知見が得られた。これらを通じて、広島湾におけるアオサ類の増殖特性が明らかとなり、砂浜や干潟などへ集積する機構の理解が進んだ一方で、アオサ類がより深い水深帯へ輸送され、湾内の底生生態系へ影響を及ぼしている可能性も示唆された (Uchimura *et al.*, 2004)。

広島湾奥部では、沿岸の埋立と人工海岸化が進む一方、20m以浅の浅海が広がり、ナマコやエビ類を対

象とした小型底曳き網漁業の好漁場となっている。アオサ類の底生生態系への影響を明らかにするために、2002年から2003年にかけて、広島湾奥部の浅海域を中心に底曳き網によるアオサ類の採集調査を行い、海底に堆積しているアオサ類の現存量とその季節変化について調査を行った。本報では、曳網場所の選定や、曳網距離などの検討を行うため、2002年1月に予備的に行った調査の結果を報告する。

材料と方法

底曳き網による調査は、2002年1月17日に広島湾奥部の大野瀬戸周辺の砂泥海底域の12カ所 (Fig. 1) において、大野町漁業協同組合所属の正栄丸 (4.9トン)、および同船に備え付けのナマコ桁網を用いて実施した。また、同年2月1日には、SCUBA 潜水による補完調査を行った。

底曳き網による調査で用いた桁網は、網の全長5 m、目合い4 cm、桁の幅4 m、高さ40 cm (Fig. 2a, b) であり、GPS で船の位置を確認しながら、時速4~6 km / hr 程度で200~400 m 曳網した。網の投入・引き上げ位置、曳網場所の平均水深、曳網距離と面積は Table 1 に示す。曳網場所の平均水深は、D.L. 基準で2.6 m から17.0 m までの範囲であった。採集された海藻類を全て回収し、全重量を測定した後、土嚢袋に収容して (独) 水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所に持ち帰った。持ち帰った海藻類は、ただちに出現した海藻ごとに仕分けし、重量 (湿重量) を測定した。採集された海藻類が多量の場合は、全重量を測定後、採集物の1部について種ごとに仕分けし、組成を調べた。

SCUBA による補完調査では、底曳き網調査で多くのアオサ類が採集された St. B, St. E, St. K の曳網場所より岸寄りの、D.L. 基準水深2.0 m の砂泥海底で、50 cm 方形枠 (Fig. 2) により海底に堆積した海藻類を採集した。

Table 1. Locations of the start and finish in trawl-net sampling (by WGS84), mean depth, distance of net-trawling and area of trawling at each station.

St.	Location	Start of trawling	Finish of trawling	Mean depth (m)	Distance (m)	Area (m ²)
A	Otake Oki	N 34° 14' 52.9"	N 34° 14' 43.9"	13.6	400	1600
		E 132° 14' 03.9"	E 132° 13' 58.7"			
B	Yakusyou-bana	N 34° 15' 59.0"	N 34° 15' 48.1"	8.1	400	1600
		E 132° 15' 10.1"	E 132° 14' 56.6"			
C	Narukawa Oki 1	N 34° 15' 38.1"	N 34° 15' 35.6"	12.3	200	800
		E 132° 14' 44.7"	E 132° 14' 39.2"			
D	Narukawa Oki 2	N 34° 15' 12.1"	N 34° 15' 15.3"	16.5	200	800
		E 132° 14' 54.8"	E 132° 15' 1.5"			
E	Nagaura 1	N 34° 14' 58.5"	N 34° 14' 47.3"	3.9	400	1600
		E 132° 15' 53.2"	E 132° 16' 3.9"			
F	Nagaura 2	N 34° 14' 56.6"	N 34° 14' 48.5"	13.3	400	1600
		E 132° 15' 48.4"	E 132° 15' 57.7"			
G	Nagaura 3	N 34° 14' 36.1"	N 34° 14' 48.6"	17	400	1600
		E 132° 15' 47.9"	E 132° 15' 38.9"			
H	Suyaura	N 34° 15' 27.9"	N 34° 15' 31.6"	5	200	800
		E 132° 16' 7.0"	E 132° 16' 11.2"			
I	Ajina Oki 1	N 34° 18' 55.1"	N 34° 18' 59.9"	9.2	300	1200
		E 132° 18' 44.1"	E 132° 18' 51.9"			
J	Ajina Oki 2	N 34° 18' 47.1"	N 34° 18' 51.9"	8.4	200	800
		E 132° 18' 51.1"	E 132° 18' 56.0"			
K	Daikoku 1	N 34° 17' 52.1"	N 34° 17' 50.0"	2.6	200	800
		E 132° 18' 39.9"	E 132° 18' 33.9"			
L	Daikoku 2	N 34° 17' 47.4"	N 34° 17' 50.0"	9.9	200	800
		E 132° 18' 13.2"	E 132° 18' 18.8"			

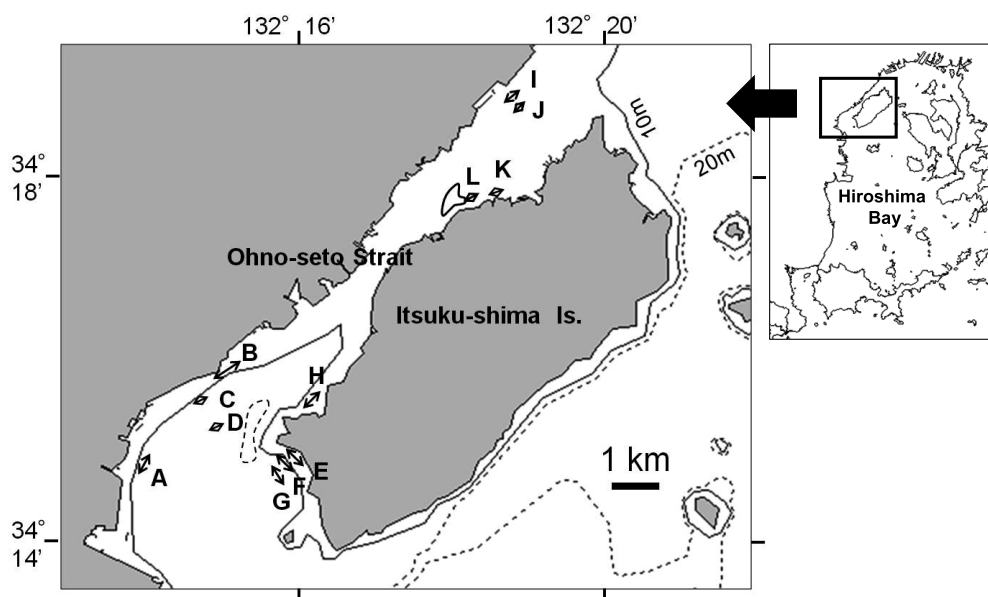


Fig. 1. Stations of trawl-net survey in inner area of Hiroshima Bay.

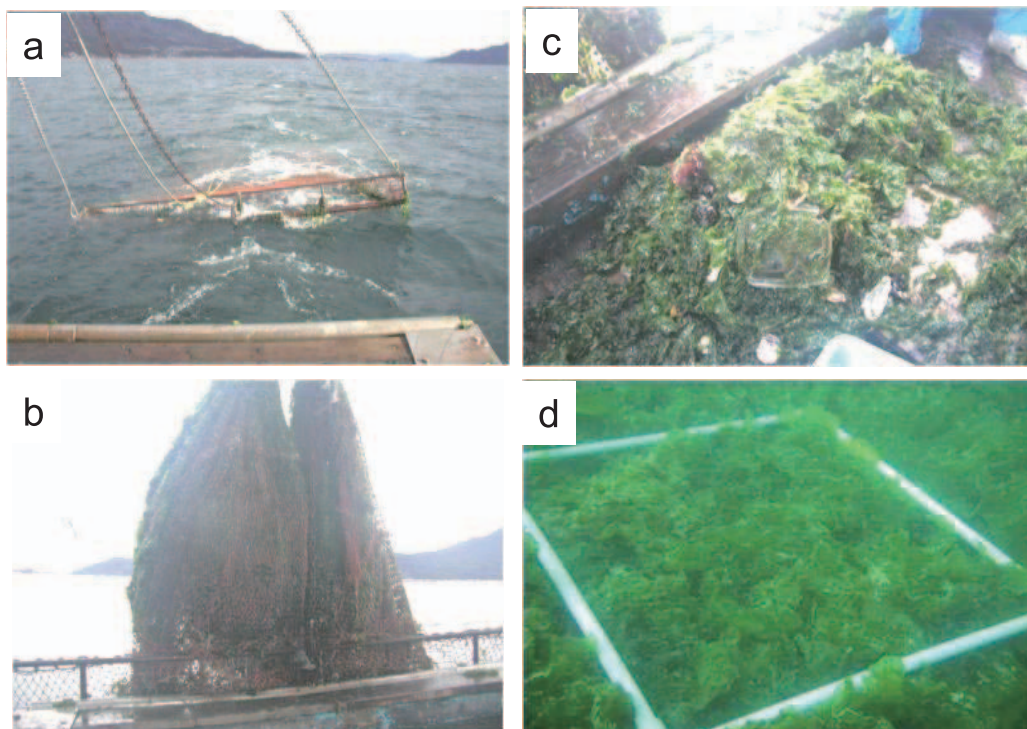


Fig. 2. Sampling by a trawl net (a, b), *Ulva* and other seaweeds sampled by a trawl net (c) and quadrat sampling by SCUBA at St.E (d).

結 果

Table 2に、底曳き網および潜水調査で採集された海藻・海草類のリストを示す。海藻については、緑藻類はアオサ類以外にフサイワズタ等3種、褐藻類はアカモクやノコギリモクなどのホンダワラ類を含む13種、また紅藻類についてはミゾオゴノリやツノマタ等20種、計37種が採集された。また、少量ではあったが、海草類（海産顕花植物）のアマモも採集された。なお、広島湾の浮遊性アオサ類については、我が国で極めて一般的に見られるアナアサだけでなく、藻体の縁辺部に鋸歯のある *Ulva armoricana* 型やリボンアオサ型のアオサ類など、形態的に識別しにくい複数種が混在している（平岡ら、2002）。したがって、本報告ではこれらを‘アオサ類’として一括して表現した。

Table 2. List of seaweed and seagrass species sampled by the trawl-net and SCUBA survey.

		Trawling	SCUBA			Trawling	SCUBA
Chlorophyta	緑藻類			Rhodophyta	紅藻類		
<i>Ulva</i> spp.	アオサ属 spp.	○	○	<i>Gelidium elegans</i>	マクサ	○	○
<i>Chaetomorpha</i> sp.	ジュズモ属 sp.	○		<i>Chondracanthus tenellus</i>	スギノリ	○	
<i>Caulerpa okamurae</i>	フサイワズタ	○	○	<i>Chondrus ocellatus</i>	ツノマタ	○	
<i>Codium fragile</i>	ミル	○		<i>Grateloupia filicina</i>	ムカデノリ	○	
				<i>G. lanceolata</i>	フダラク	○	
Phaeophyta	褐藻類			<i>Hypnea charoides</i>	イバラノリ	○	○
<i>Dilophus okamurae</i>	フクリンアミジ	○	○	<i>Kalymenia</i> sp.	ツカサノリ属 sp.	○	
<i>Dictyopteris latiuscula</i>	ヤハズグサ	○		<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>	オキツノリ	○	
<i>Hydroclathrus clathratus</i>	カゴメノリ	○		<i>Stenogramma interrupta</i>	ハスジグサ	○	
<i>Petalonia fascia</i>	セイヨウハバノリ		○	<i>Schizymenia dubyi</i>	ベニスナゴ	○	
<i>Scytosiphon gracilis</i>	カヤモノリ		○	<i>Gracilaria chorda</i>	ツルシラモ	○	○
<i>Undaria pinnatifida</i>	ワカメ	○		<i>G. incurvata</i>	ミゾオゴノリ	○	○
<i>Ecklonia kurome</i>	クロメ	○		<i>G. textorii</i>	カバノリ	○	○
<i>Sargassum fusiforme</i>	ヒジキ		○	<i>Lomentaria catenata</i>	フシツナギ	○	
<i>S. hemiphyllum</i>	イソモク	○		<i>Ceramium</i> sp.	イギス属 sp.		○
<i>S. horneri</i>	アカモク	○		<i>Pterothamnion yezoense</i>	ヨツガサネ		○
<i>S. macrocarpum</i>	ノコギリモク	○		<i>Dasya</i> sp.	ダジア属 sp.		○
<i>S. muticum</i>	タマハハキモク	○		<i>Acrosorium venulosum</i>	カギウスパノリ	○	○
<i>S. piluliferum</i>	マメタワラ	○		<i>Hypoglossum barbatum</i>	ヒゲベニハノリ		○
				<i>Martensia fragilis</i>	アヤニシキ	○	
				Seagrass	海草類		
				<i>Zostera marina</i>	アマモ	○	○

底曳き網による海藻類の採集量は曳網場所により大きく異なっており、厳島西岸の長浦地先1 (St. E) では、最も多い53.9 kg (湿重量) が採集され、宮島北岸の大黒地先1 (St. K) では42.5 kg、また役生鼻地先 (St. B)、須屋浦地先 (St. H) でも採集量が20 kg を越えた。一方で、鳴川沖1, 2 (St. C, D)、阿品沖1 (St. I) では、採集量は1kg に満たなかった (Fig. 3)。

採集された海藻類の中では、どの調査点においても、アオサ類が重量の64~100 % とほとんどを占めた。大量の海藻類が採集された St. B, St. E, St. H, St. K で、採集総量におけるアオサ類の割合は、それぞれ98.5, 74.2, 69.5, 97.9 % であった。St. E では、緑藻類のフサイワズタが総重量の17.9 %、St. H では紅藻類のミゾオゴノリが16.6 % 混在した。単位曳網面積あたりのアオサ類の採集量は、St. B, St. E, St. H, St. K で、それぞれ13.5, 25.0, 18.5, 52.0 g w.w. / m² であった (Fig. 3)。

12カ所の曳網場所を、水深により、5 m 以浅 (St. E, St. H, St. K)、5~10 m (St. B, St. I, St. J, St. L)、10 m 以深 (St. A, St. C, St. D, St. F, St. G) にわけ、それぞれの単位曳網面積当たりのアオサ類の採集量の平均を求

めた。5 m 以浅, 5~10 m, 10 m 以深の平均採集量は, それぞれ31.8, 5.3, 0.81 g/m²であった (Fig. 4)。

なお, St. B, St. E, St. K の岸よりの水深 2 m 地点で, 潜水による方形枠採集で調べたアオサ類の平均現存量 (各地点3枠分の平均) は, 751.2 (± 122.4), 1097.7 (± 195.3), 514.0 (± 72.6) g / m²であった。各地点の採集物のうち, アオサ類の占める割合はそれぞれ96.3, 99.2, 100 %であった。

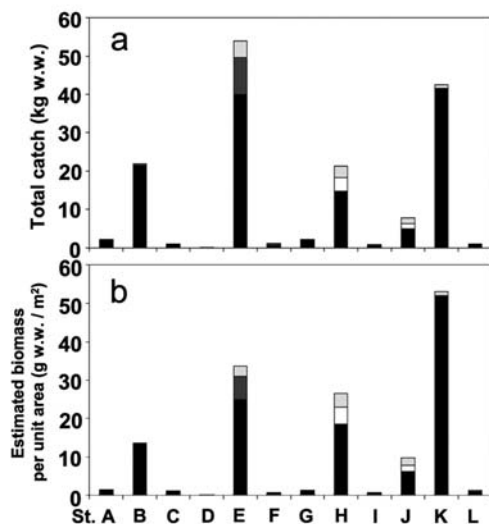


Fig. 3. Total amount of sampled seaweed (a) and estimated biomass per unit area (b) at each trawling station. ■: *Ulva* spp.; ■: *Caulerpa okamurae*; □: *Gracilaria incurvata*; ■: others.

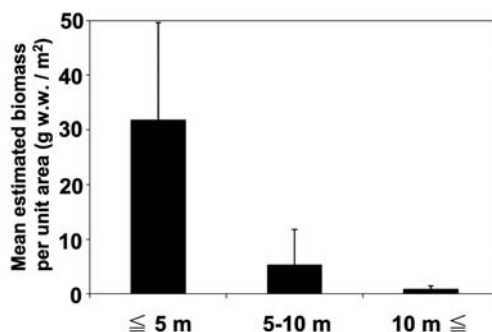


Fig. 4. Mean biomass per unit area estimated by trawl-net surveys in three depth zones (≤ 5 m, 5 - 10 m, 10m ≤).

考 察

広島湾奥部の大野瀬戸周辺の人工護岸や天然の岩礁には, 固着性のアナアオサや, マクサなどの紅藻類, ヒジキやアカモクなどのホンダワラ類の生育が見られる (寺脇ら, 1998; 寺脇ら, 2001)。本調査で混獲されたアオサ類以外の海藻類は, ほとんどが周辺の人工護岸や岩礁から流失してきたものと考えられるが, St. H で多く採集された紅藻類のミゾゴノリなど, 1部の種はアオサ類同様に '浮遊' 状態で成長しているものと推測される。また, St. E で多く採集されたフサイワスタは, 同じく広島湾内の阿多田島において, 砂泥海底上に匍匐して生育し群落を形成しており (内村ら, 2001), 類似した環境の厳島周辺でも比較的多く生育しているものと思われる。しかし, いずれにせよ広島湾奥部ではアオサ類が優占種であり, 生態的に最も重要な位置を占める海藻であることが, 本調査結果からも示唆された。

本調査で, 大量のアオサ類が採集された曳網場所は, 水深8.1 m の St. B を除くと, いずれも水深5 m 以浅の水深帯であり, 水深5 m より深くなると採集されるアオサ類は大きく減少した。本調査の St. I, St. J の前面にある広島県廿日市市阿品の入り江では, 潮間帯からのライトランセクトによるアオサ類の現存量調査が行われている (Uchimura *et al.* 2004)。そこでは, アオサ類の現存量は潮間帯から水深4 m までの間で増減しており, この水深範囲がアオサ類の主要な増殖帯と結論づけられている。本結果から, 本調査海域の他の場所でも, 同様の水深帯がアオサ類の増殖帯となっているものと思われる。

また, 本調査でアオサ類が大量に採集された場所には, いずれもその前面に砂浜や干潟が存在している。一般的に, 砂浜や干潟の沖合には勾配の緩やかな浅い砂泥海底が広がっており, このような場所は近接する岩礁域よりも相対的に流動環境が穏やかで, 潮流もゆるく, 海底付近を漂って成長するアオサ類の藻体が長期間滞留しやすい環境と推測される。広島湾奥部の広島市から大竹市沿岸にかけての本州側沿岸は, ほぼ全

域が埋立を伴う人工海岸となっているが、同沿岸にわずかに残存する自然の海岸や、厳島で豊富に残る砂浜・干潟地先の海底が、現状ではアオサ類の増殖「適地」になっているものと考えられる。

藻場・干潟を含む浅海域は、多くの水産生物の稚仔の成育場として極めて重要であるとされており、瀬戸内海では各灘の10 m以浅の浅海域面積と、カレイ類やクロダイ、エビ・カニ類やナマコ類等の水産動物、貝類の漁獲量との間に正の相関が認められている（吉田ら、2010）。海底を覆うアオサ類が多量の場合、干潟域と同様に底生生物に何らかの影響を及ぼすことが懸念されるが、今回の調査では5 mより深い水深帯にはアオサ類は極めて少なく、また底曳きの操業にも支障をきたすほどの採集量では無かった。しかし、広島湾奥部の浮遊性アオサ類は冬季から春季にかけて現存量が大きく増加する（Uchimura *et al.* 2004）。春季以降に、浅所で増殖したアオサ類の沖方向の流出量が増加し、より深い水深帯に影響を与えるかどうかを把握するため、季節的な調査を行う必要がある。

また、5 m以浅の場所で、底曳き網採集で推定したアオサ類の、平均で30 g / m²程度の現存量は、数値だけで見れば海底を覆い尽くすほどの量では無いと考えられた。しかし、潜水で調査した水深2.0 m付近の海底は、ほぼアオサ類で覆い尽くされ（Fig. 2d）、単位面積当たりの現存量も底曳き網による結果の20~30倍以上と見積もられた。底曳き網漁船ではより浅い水深帯での採集が難しく、曳網場所がアオサ類の分布の中心からずれていた可能性に加え、網の目詰まりによる採集量の過小評価等の可能性も考えられた。したがって、アオサ類の主な増殖水深帯である5 m以浅で、分布・現存量を正確に把握するためには、潜水によるライントランセクト調査等の方が望ましいと考えられる。本調査海域では、時節によっては底曳き漁船の操業が盛んであるため、5 mより深い水深帯での潜水には危険が伴い、底曳き網による代替調査が不可欠である。本研究では、網の目詰まりによる採集量への影響は評価できなかったが、曳網距離をなるべく短くすることにより、目詰まりの影響を軽減する必要もあると考えられた。

本調査により、広島湾奥部におけるアオサ類の増殖場所の地形的特徴について示唆が得られたが、勾配の緩やかな水深の浅い海底は、本来アマモ場が形成される場所である。沿岸開発が進行する以前の広島湾奥部では、広大なアマモ場や干潟が広がっていたとされる。現在も小さなアマモ場が局所的に見られるが、同じ場所には例外なくアオサ類も見られ、両者は場所を巡る競合の関係にあるものと考えられる。アマモ場はその立体構造ゆえに多くの生物の成育場となるが、沿岸の主要な一次生産者がアマモからアオサ類に変化したことにより、海域の生物生産にどのような影響が生じるのか、今後明らかにしていく必要があるだろう。

謝 辞

本調査の実施にあたり、御協力いただいた大野町漁業協同組合および同漁協所属の正栄丸船長、畑野利男氏に深く感謝いたします。

引用文献

- 平岡雅規・葛田智・吉田吾郎、2002. グリーンタイド。「21世紀初頭の藻学の現状」(堀輝三・大野正夫・堀口健雄編)日本藻類学会：98-101.
- Hiraoka, M., Yoshida, G., 2010. Temporal variation in isomorphic phase and sex ratios of a natural population of *Ulva pertusa* (Chlorophyta). *J. Phycol.* **46**. DOI: 10.1111/j.1529-8817.2010.00873.x
- Leliaert, F., Zhang, X., Ye, N., Malta, E., Engelen, A. H., Mineur, F., Verbruggen, H., De Clerck, O., 2009. Identity of the Quindao algal bloom. *Phycol. Res.* **57**: 147-151.
- 大野正夫、1999. アオサと大繁殖。「アオサの利用と環境修復」(能登谷正浩編著)成山堂書店、東京：1-15.
- 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・藻類植生。 *南西水研報* **31**：13-18.
- 寺脇利信・吉川浩二・吉田吾郎・内村真之・新井章吾、2001. 広島湾における大型海藻類の水平・垂直分布様式。 *瀬戸内水研報* **3**：73-81.
- Uchimura, M., Yoshida, G., Hiraoka, M., Komatsu, T., Arai, S., Terawaki, T., 2004. Ecological studies of green

- tide, *Ulva spp.* (Chlorophyta) in Hiroshima Bay, the Seto Inland Sea. *Jap. J. Phycol.* **52** (Supplement):17-22.
- 内村真之・吉田吾郎・吉川浩二・新井章吾・寺脇利信. 2001. 広島湾阿多田島南東岸に生育するフサイワズタ (*Caulerpa okamurae* Weber-van-Bosse in Okamura) 群落の台風による消失. *瀬戸内水研報.* **3**: 63-71.
- Uno, S., Sakai, Y., Yoshikawa, K., 1983. Distribution of *Ulva pertusa* and amount of nitrogen in Yamaguchi Bay. *Jap.J.Phycol.* **31**:148-155.
- 吉田吾郎・堀正和・崎山一孝・浜口昌巳・梶田淳・西村和雄・小路淳. 2010. 瀬戸内海の各灘における藻場・干潟分布特性と主要魚種漁獲量との関係. *水産工学.* **47**: 19-29.

Accumulation of *Ulva* spp. (Chlorophyta) and other seaweed thalli on the shallow sea bottom of Hiroshima Bay (A preliminary survey)

Goro YOSHIDA^{1,5)}, Masayuki UCHIMURA²⁾, Masanori HIRAOKA³⁾,
Toshinobu TERAWAKI¹⁾, Shogo ARAI⁴⁾ and Kazuo ISEKI⁵⁾

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

²⁾ JICA Niger, 523 rue des lacs, PL521, Quartier Plateau, Commune 1, Niamey, Niger

³⁾ Usa Marine Biological Institute, Kochi University, 194 Inoshiri, Usa, Tosa, Kochi 781-1164, Japan

⁴⁾ Marine Algae Research Co., Ltd, 3-9-4 Minatozaka, Shingu, Kasuya, Fukuoka 811-0114, Japan

⁵⁾ Graduate School of Biosphere Science, Hiroshima University, 1-4-4 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, Hiroshima 739-8528, Japan

Abstract Biomass of *Ulva* spp. (Chlorophyta) causing 'green tide' and other seaweeds accumulated on shallow sea bottom in inner area of Hiroshima Bay was estimated by trawl-net and SCUBA surveys. Thirty-eight species of seaweed and seagrass was sampled, but *Ulva* spp. was dominant occupying 64-100 % in biomass of all samples. *Ulva* spp. was sampled most abundantly at the stations shallower than 5 m, and it was indicated that sea bottom with a gentle slope, and located offshore of sandy beaches or tidal-flats offers a suitable condition for *Ulva* growth.

Key words: biomass, green tide, Hiroshima Bay, trawl net, *Ulva* spp.