

因島におけるグリーンタイドの構成種と季節変化

山岸幸正^{*}、垣本健吾^a

瀬戸内海中央部に位置する因島小浜海岸におけるグリーンタイドの構成種および現存量を明らかにするために、2008年5月から2011年2月まで毎月本海岸からアオサ藻体を採集して形態観察および *rbcL* 塩基配列の比較により種の同定を行い、さらに浮遊アオサの湿重量の測定を行った。その結果、本海岸からアナアオサ、リボンアオサ、ミナミアオサ、*Ulva rigida* およびアミアオサと近縁な *Ulva* sp. 1 の5種の浮遊アオサが確認された。グリーンタイドの現存量は春の時期を中心に多く(最大 1.59 kg w. w./m²) 秋に減少する変動パターンがみられた。2008年および2010年は11月から翌年1月または2月までグリーンタイドが消失したが、2009年は11月以降もグリーンタイドが消失することはなかった。グリーンタイドに占める各種の割合を調べた結果、アナアオサが年間を通して優占(67-100%)していることが明らかとなり、他の種の割合はわずかであったが、*Ulva* sp. 1 は2010年秋に増加し10月には33%を占めた。

キーワード: グリーンタイド、アオサ、現存量、分子系統解析、瀬戸内海、因島

近年、世界各地の内湾や閉鎖的な海域で緑藻類、特にアオサ属 *Ulva* 海藻による大量繁殖が起こっており、この現象は赤潮 red tide に対してグリーンタイド green tide と呼ばれている¹⁾。多くの場合、グリーンタイドは付着器を失った浮遊状態のアオサ属藻体、いわゆる浮遊アオサが増殖して引き起こされる。日本では東京湾、三河湾、博多湾、土佐湾、瀬戸内海の大阪湾、広島湾など各地の内湾域にグリーンタイドが発生している²⁾³⁾。大量のアオサが観光地や海水浴場の景観を損ねることや、堆積したアオサが腐敗して異臭を発するなどの問題が起こり²⁾、さらに腐敗したアオサによる水質悪化や底生生物への悪影響も指摘されている⁴⁾。

現在日本沿岸から報告されている2層細胞で膜状のアオサ属 *Ulva* は以下の13種である⁵⁾：ナガアオサ *U. arasaki* Chihara、*U. californica* Wille、ボタンアオサ *U. conglobata* Kjellman、リボンアオサ *U. fasciata* Delile、チシマアナアオサ *U. fenestrata* Postels et Ruprecht、オオバアオサ *U. lactuca* Linnaeus、ミナミアオサ *U. ohnoi* Hiraoka et Shimada、アナアオサ *U. pertusa* Kjellman、アミアオサ *U. reticulata* Forsskål、*U. rigida* C. Agardh (= アオサリカ *U. armoricana* Dion, de Rivers et Coat、*U. scandinavica* Bliding)、コツブアオサ *U. spinulosa*

〒729-0292 福山市学園町1番地三蔵 福山大学生命工学部海洋生物科学科。

^{*}Tel: +81-84-936-2111, Fax: +81-84-936-2023, E-mail: yamag@ma.fuma.fukuyama-u.ac.jp

^a〒606-8171 京都市左京区一乗寺西水干町17 和研薬株式会社。

Okamura et Segawa、オオアオサ *U. sublittoralis* Segawa、ヒメボタンアオサ *U. tanneri* Hayden et Waaland。本属は体制が簡単で分類形質が少ないことや個体ごとの形態変異が大きいことから、形態による種の区別が困難なグループとされている⁶⁾⁷⁾。そのため日本でグリーンタイドを引き起こすアオサの種は不明瞭であったが、近年分子系統解析の手法がアオサ属の種を区別する簡便なツールとして用いられるようになり、グリーンタイドの実態が明らかになってきた。Shimada et al.³⁾およびHiraoka et al.⁸⁾は、日本各地の基物に付着した各種のアオサと、グリーンタイドを形成する浮遊アオサの *rbcL* (large subunit of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase) 遺伝子およびITS (Internal transcribed spacer1, 2) 領域の塩基配列を比較し、日本においてグリーンタイドを形成する種としてアナアオサ、オオバオサ、ミナミアオサ、リボンアオサ、*U. armoricana* を報告した。さらにKawai et al.⁹⁾はITS2をもとにして愛知県三河湾で上記5種に加えて*U. scandinavica*と*U. californica*のグリーンタイド形成種が存在することを報告した。これらのうち*U. armoricana*および*U. scandinavica*はヨーロッパに分布し¹⁰⁾¹¹⁾、*U. californica*は北アメリカと太平洋岸に分布する種とされ¹²⁾、それまで日本ではみつかっていなかったことから、これらは比較的最近日本に移入した種であると考えられた^{3) 9)}。なお、*U. armoricana*、*U. scandinavica*および*U. rigida*は形態的にも遺伝的にも明確に区別できないとされ、これらを同種とみなすとの見解が示されており¹³⁾、本研究ではこの意見に従い*U. rigida*の種名を用いる。

瀬戸内海ではグリーンタイド形成種として広島湾宮島からアナアオサ、リボンアオサ、*U. rigida* (*U. armoricana*)⁸⁾、大阪湾からはアナアオサ、オオバオサ、ミナミアオサ、リボンアオサ、*U. rigida* (*U. armoricana*、*U. scandinavica*)⁹⁾が報告されている。しかしそれ以外の瀬戸内海各地におけるグリーンタイドの構成種は不明である。グリーンタイドの生態に関する研究としては、広島湾において浮遊アオサの現存量および成長量の測定が行われ、測定されたアオサ現存量から広島湾奥部全体の現存量の推定値が見積もられた¹⁴⁾。広島湾の報告ではアオサの種は明らかにされていないが、各地においてグリーンタイド構成種を明らかにしたうえで各種の現存量を定量的に示すことは、グリーンタイドの特性を把握することやその規模を評価するために重要と考えられる。

本研究では、瀬戸内海中央部の備後灘に位置する因島のグリーンタイドの現状を明らかにすることを目的とし、グリーンタイドを形成する浮遊アオサの採集・同定および現存量の測定を行い、グリーンタイドの構成種および各種の割合を明らかにし、グリーンタイドの現存量の季節変化パターンを把握することを試みた。

方法

調査地および調査期間 本研究の調査地点である広島県尾道市因島大浜町小浜海岸は、陸側にややくぼんで入江状になった干潟で、大潮の干潮時には縦横 100 m 余りのなだらかな砂泥底が干出する (Figs 1、2a)。干潟の潮間帯最下部から潮下帯上部にかけて海草アマモが広く繁茂している。調査は初回の予備調査を含めて2008年5月から2011年2月まで毎月1回合計34回、大潮の干潮時に行った (Table 1)。

現存量および被度の測定 浮遊アオサの被度および現存量を測定するために、小浜海岸の干潟の潮間帯に海に向かって垂直に50 mのラインを15 m間隔で3本設置し、各ラインに7つずつ合計21の調査定点を設

因島におけるグリーンタイドの構成種と季節変化

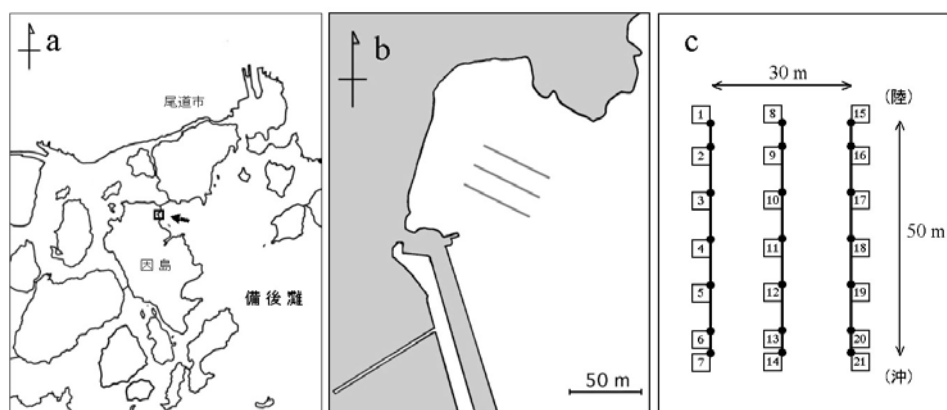


Fig. 1. 本研究の調査地.

a: 因島周辺の地図. b: 因島小浜海岸. 3本の線は本研究の調査ラインの位置を示す. c: 調査ライン上に設定した21の調査定点の位置を示す. 1つのラインに7つの定点(黒点)を設定し、両端の定点と次の定点は5m間隔、それ以外の定点は10m間隔とした. 四角はコドラートを置く位置を示す.

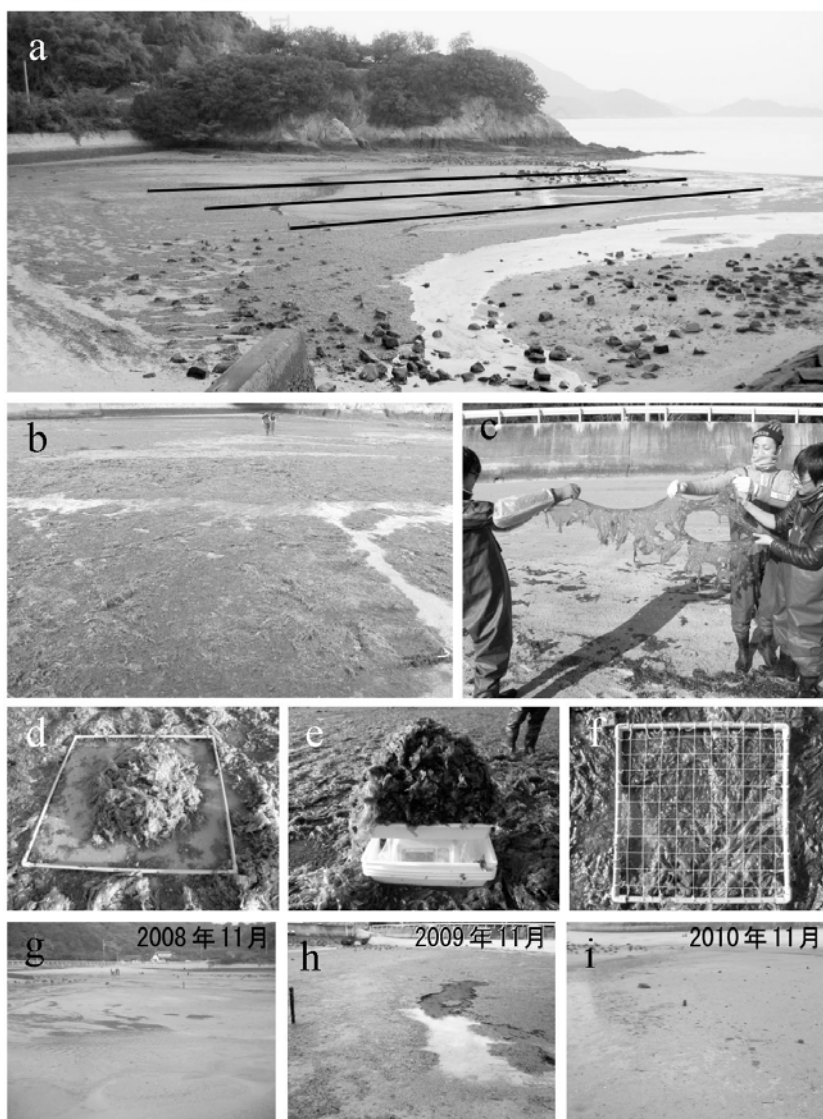


Fig. 2. 因島小浜海岸の様子.

a: 因島小浜海岸の全景. 3本の線は調査ラインの位置を示す. b: 浮遊アオサが堆積した海岸 (2008年9月). c: 大型の浮遊アオサ (2010年2月). d: 湿重量測定に用いた1m角コドラート. e: 電子天秤による湿重量の計測の様子. f: 被度の測定に用いた50cm角コドラート. g-i: 2008年 (g) および2010年 (i) は11月以降グリーンタイドが消失したのに対して、2009年 (h) は11月以降もグリーンタイドは消失しなかった.

定した (Figs 1b, c)。干潮時に各定点に堆積した浮遊アオサの被度および湿重量の測定を行った。被度の測定には、50 cm 角コドラートの枠に縦横 5 cm 間隔で糸を 10 本ずつ張り合計 100 個の交点ができるようにしたものを用い、藻体がコドラートの 1 つの交点と重なった場合を被度 1% とする簡便法によって浮遊アオサの被度を記録した (Fig. 2f)。湿重量の測定には 1 m 角コドラートを用い、各定点でコドラート内の浮遊アオサを集めてよく水を絞り、電子天秤 (最小目盛 0.01 kg) にのせて湿重量を測定した (Figs 2d, e)。藻体が少量のため電子天秤では測定できなかった場合、重量は 0.00 kg とみなした。21 定点における被度および湿重量の平均値を本海岸における浮遊アオサの被度および現存量 (1 m² あたりの湿重量の平均値、kg w. w./m²) とした。2010 年には 2~3 の定点が著しい水の流れの中に入りアオサが堆積できない状況になっていた月があり、この場合その月の測定からその定点を除外した。

藻体の採集 グリーンタイドの構成種を明らかにするために、調査海岸において複数の浮遊アオサを採集し、形態観察および分子系統解析により種の同定を行った。さらに、浮遊状態でみつかると各種が周辺の基物に着生しているかどうかを調べるために、調査海岸周辺の岩やコンクリート壁から付着器を持つ着生アオサの採集・同定を行った。現地で肉眼によりアオサの種を区別することは困難であるが、既知の日本産グリーンタイド形成種ではアナアオサと北方系のオオバアオサのみが体の縁辺に鋸歯を持たず、他の種はすべて鋸歯を持つことや、鋸歯を持つ種のいくつかはアナアオサに比べて体の厚さが薄く破れやすいなどの特徴が報告されており⁸⁾、現地で鋸歯や薄さなどの特徴を手掛かりにして、できるだけ特徴の異なる藻体を含むように採集した。採集した藻体は、葉緑体の位置など死ぬと不明瞭になる特徴を生きた状態で観察し、その後 -20℃ で冷凍保存した。藻体の一部は分子系統解析用サンプルとして、粒状シリカゲルとともにチャック付きポリ袋に入れて乾燥保存した。

グリーンタイドに占める各種の割合 2009 年 3 月から 2011 年 1 月まで毎月調査海岸から無作為に浮遊アオサ藻体を採集し、乱数表を用いてランダムに 30 枚ずつ選び出して種の同定を行い、30 枚のアオサ中の各種の数の割合を調べた。2009 年 3 月から 2010 年 2 月までは毎月 30 枚すべてのサンプルの *rbcL* 部分塩基配列 (遺伝子前半部約 600 塩基) を決定することによって種を同定し、2010 年 3 月以降は生の藻体の表面観の形態観察を行い、葉緑体が細胞の片側に著しく寄る藻体はアナアオサと同定し、形態からアナアオサと判別できない藻体は *rbcL* 部分塩基配列を決定することにより種を同定した。

形態観察 顕微鏡を用いて鋸歯の有無、表面観における細胞の配列、細胞の直径、葉緑体が細胞全体にひろがるか片側に寄るか、細胞の角が丸みをもつか角ばっているか、断面観における藻体の厚さや細胞の高さなどの特徴を観察した。

分子系統解析 湿重量約 40-75 mg または乾重量約 10-20 mg の藻体を乳鉢中で液体窒素とともに破碎し、

Table 1. 因島小浜海岸における調査年月日および調査時の海水温.

調査年月日	水温 (°C)	調査年月日	水温 (°C)
2008年		2010年	
5月20日	no data	1月5日	11.5
6月20日	21.0	2月3日	10.0
7月18日	24.0	3月18日	11.0
8月18日	26.0	4月16日	12.0
9月16日	27.5	5月13日	15.0
10月18日	22.9	6月10日	23.0
11月17日	19.5	7月12日	23.0
12月18日	13.2	8月9日	28.0
2009年		9月7日	29.0
1月15日	11.0	10月12日	24.0
2月28日	11.0	11月11日	17.0
3月13日	11.0	12月11日	14.0
4月10日	12.1	2011年	
5月25日	21.3	1月22日	7.5
6月10日	19.0	2月21日	7.2
7月7日	24.3		
8月5日	28.3		
9月4日	27.2		
10月9日	21.9		
11月5日	20.0		
12月4日	15.1		

DNeasy Plant Mini Kit (QIAGEN 社) を用いて DNA 抽出を行った。抽出した DNA を鋳型として Takara Ex taq (Takara bio 社) を用いて 95°C 1 分間、54°C 1 分間、72°C 2 分間を 30 サイクルの条件で PCR を行った。PCR 産物は精製後 BigDye Terminator v1.1 Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems 社) を用いてサイクルシーケンスを行い、ABI PRISM 3130 Genetic

Table 2. 本研究で使⽤した *rbcL* 遺伝子用プライマー.

PCR primers			
FU3	forward	5'- gTATgACTCCTCAACCAggA -3'	
FU4	forward	5'- gCTgCTgAATCATCAACAgg -3'	
RU3	reverse	5'- gCAgCACgAATTACATCACC -3'	
RU2	reverse	5'- ggTgTCCTAATgTACCACCA -3'	
sequencing primers			
FU7	forward	5'- AATgCAACAgCAggTACATg -3'	
RU5	reverse	5'- ATACCATgAggTggACCTTg -3'	

Analyzer (Applied Biosystems 社) を用いて塩基配列を決定した。PCR およびシーケンスに用いたプライマーは Table 2 に示した。

DNA DATA BANK of JAPAN (DDBJ)より既知のアオサ属および近縁属の種の塩基配列データをダウンロードし、本研究により決定したアオサの塩基配列と PAUP* 4.0b10¹⁵⁾を用いてアライメントを行い、塩基配列の比較および系統樹による解析を行った。系統樹は最尤法 (maximum likelihood、ML) により構築し、ブートストラップ値は 100 回繰り返して算出した。

結果および考察

グリーンタイドを形成する浮遊アオサの種

2008 年 5 月から 2010 年 1 月まで因島小浜海岸から採集した 117 個体の浮遊アオサの DNA 抽出を行い、PCR 増幅した *rbcL* 遺伝子 1179 塩基あるいは遺伝子前半部約 600 塩基の配列を決定して、データベースの既知種塩基配列と比較解析を行った結果、本海岸からアナアオサ (24 個体)、リボンアオサ (27 個体)、ミナミアオサ (26 個体)、*Ulva rigida* (17 個体)およびフィリピンのアミアオサと 2 塩基のみ異なる *Ulva* sp. 1 (25 個体)の 5 種が認められた (Figs 3、4)。因島の *Ulva* sp. 1 はアミアオサに特有の藻体に網目状の孔があくという特徴を持たない (Fig. 3h)ため、種の同定は保留にしている。5 種のうち *rbcL* 塩基配列に種内変異がみられたのはアナアオサのみで、その違いは 1 塩基であった。

形態的には、アナアオサは藻体縁辺部に鋸歯がみられず (Fig. 3b)、表面観で細胞の輪郭が丸みをおび、葉緑体が細胞の片側に寄る (Fig. 3c) 場合が多いことに対して、ほかの 4 種では、縁辺部に鋸歯がみられ (Fig. 3e)、表面観で細胞が角張っており、葉緑体が細胞全面にひろがっている (Fig. 3f) という違いがみられた。しかし、アナアオサでも個体や観察箇所によって葉緑体がほとんど寄らない細胞がみられる場合があり、鋸歯を持つ 4 種においてまれに葉緑体が細胞の片側に寄る細胞がみられる場合もあった。形態観察は藻体の複数の箇所で行うべきであろう。表面観における細胞の長径は、リボンアオサが最も大きく平均 25.5 μm (17.5-28.8 μm) であり、*U. rigida* が一番小さく平均 16.2 μm (10.0-21.3 μm)であった。それ以外の 3 種は中間的な大きさであり、アナアオサが平均 25.1 μm (10.0-25.0 μm)、ミナミアオサが平均 23.2 μm (12.5-25.0 μm)、*Ulva* sp. 1 が平均 22.6 μm (10.0-22.5 μm)であった。

小浜海岸から採集した着生アオサ 75 個体の *rbcL* 遺伝子の塩基配列を決定した結果、48 個体がアナアオサ、

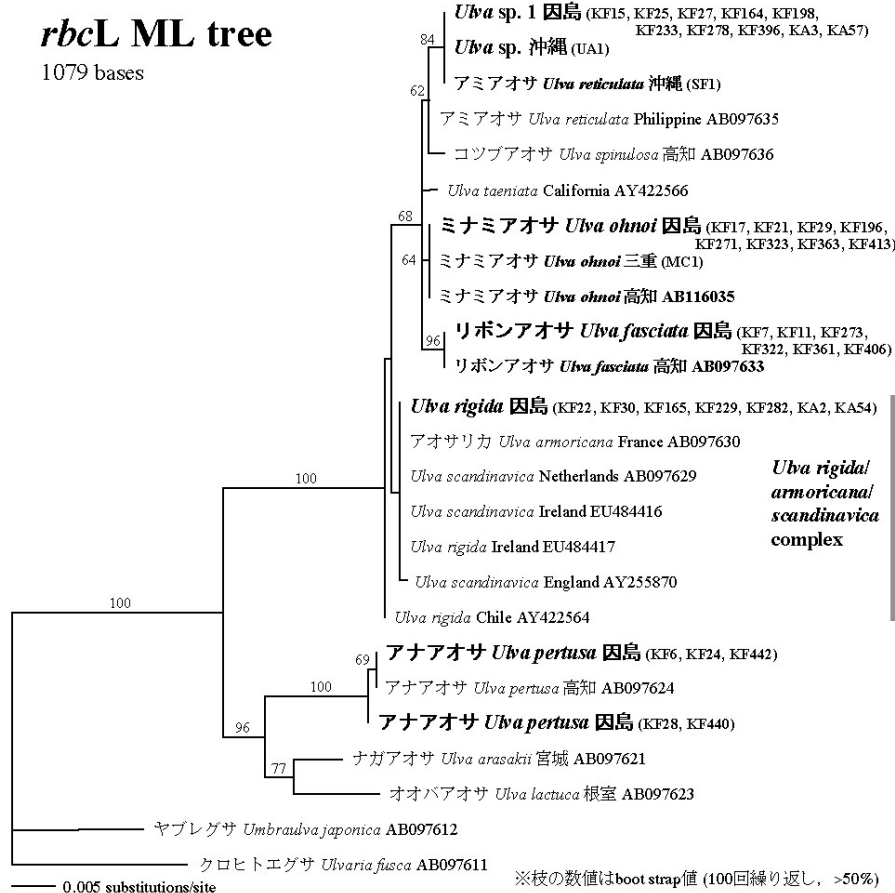


Fig. 4. *rbcL* 遺伝子 1179 塩基の塩基配列をもとに最尤法により構築した分子系統樹。枝の数値はブートストラップ値 (100 回繰り返し、>50%) を示す。

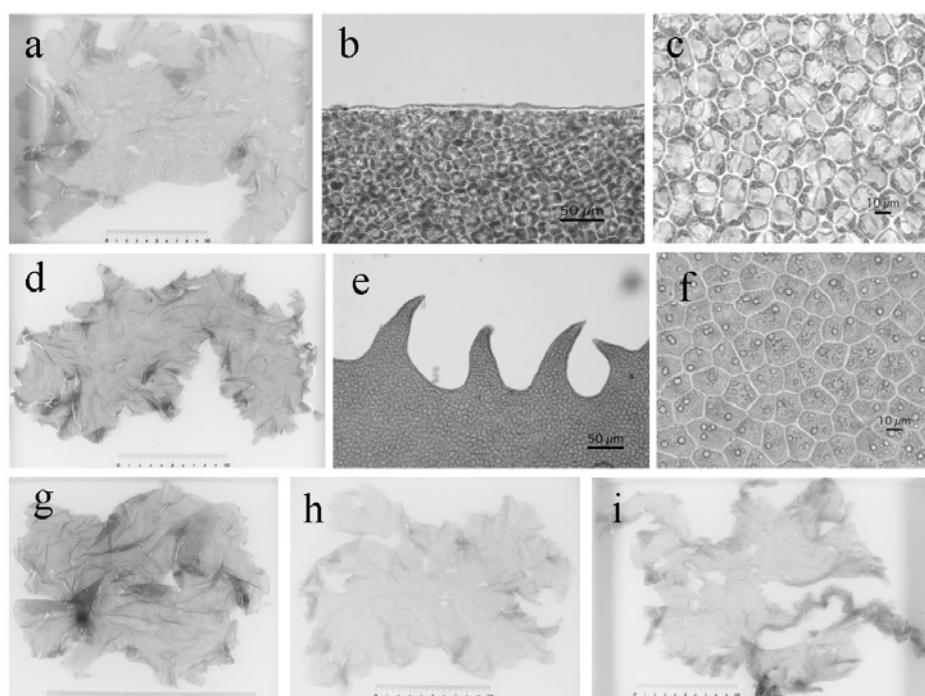


Fig. 3. 因島小浜海岸から採集されたアオサ種 *Ulva* spp. a-c: アアナオサ. a: 浮遊藻体 (2010 年 2 月). b: 藻体縁辺部. 鋸歯はみられない. c: 細胞表面観. 葉緑体は片側に寄り、細胞は輪郭が丸みを持つ. d-f: リボンアオサ. d: 浮遊藻体 (2009 年 11 月). e: 藻体縁辺部. 鋸歯がみられる. f: 細胞表面観. 葉緑体は寄らず、細胞は角がとがる傾向がみられる. g: ミナミアオサ浮遊藻体 (2009 年 9 月). h: *Ulva* sp. 1 浮遊藻体 (2009 年 6 月). i: *U. rigida* 浮遊藻体 (2009 年 6 月).

因島におけるグリーンタイドの構成種と季節変化

20 個体が *Ulva* sp. 1、4 個体がミナミアオサ、3 個体が *Ulva rigida* であった。アナアオサおよび *Ulva* sp. 1 はほぼ年間を通して着生個体が採集されており、本海岸に定着していると考えられる。リボンアオサの着生藻体はみつからなかった。調査海岸の着生アオサは、冬から春にかけて潮間帯の広い範囲で繁茂し、夏の時期に衰退して秋にはほとんどが消失するが、1 月以降再び繁茂する季節的消長パターンがみられた。

グリーンタイドの現存量

浮遊アオサは本調査海岸に広く堆積していたが、アオサが多く堆積している所とあまり堆積していない所がみられ、被度や湿重量は 21 調査定点ごとにばらつきがみられた (Fig. 2h)。1 定点における湿重量が最も大きかったのは 2010 年 2 月の定点 8 で $8.73 \text{ kg w. w./m}^2$ に達した。21 定点の測定値を平均した各月の浮遊アオサの被度、現存量を Fig. 5 および Table 3 に示した。浮遊アオサの現存量は $0.00 \sim 1.59 \text{ kg w. w./m}^2$ の範囲で変動し、おおむね春に多く秋に減少する季節変化の傾向がみられた (Fig. 5)。小浜海岸 (Fig. 1b) の面積を 1 ha ($10,000 \text{ m}^2$) とすると、現存量が $1.59 \text{ kg w. w./m}^2$ であった時期の海岸内の浮遊アオサの総量は 15.9 t と見積もられる。2008 年は 6 月から 10 月まで減少した後、11 月から 2009 年 1 月までグリーンタイドがほとんど消失し現存量はほぼ 0 となった。その後、2 月にはグリーンタイドが再形成された。2009 年は、4 月から 7 月にかけてほぼ安定していた現存量は、9 月に一旦減少したがグリーンタイドは消失せず、10 月以降増加した。2010 年は、2008 年と同様にグリーンタイドが 11 月に消失し、2011 年 2 月ではまだグリーンタイドの再形成

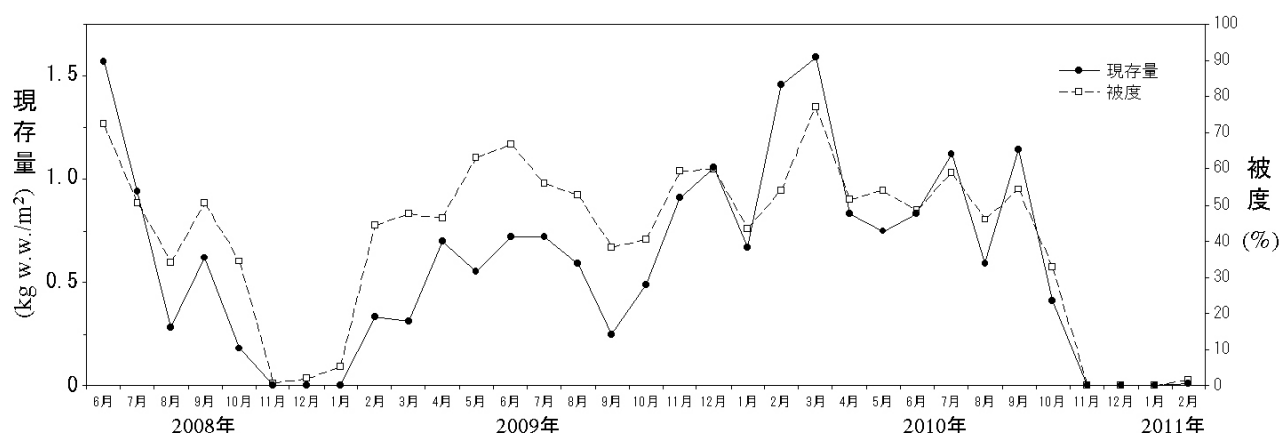


Fig. 5. 因島小浜海岸における浮遊アオサの被度および現存量の季節変化。
各月の被度および現存量は本海岸の 21 調査定点における測定値の平均値として示した。

Table 3. 因島小浜海岸における浮遊アオサの被度および現存量。

各月の被度および現存量は本海岸の 21 調査定点における測定値の平均値として示した。

	2008年							2009年											
	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
被度 (%)	72.2	50.6	34.0	50.6	34.3	0.5	2.0	5.0	44.5	47.6	46.2	63.1	66.9	55.8	52.7	38.3	40.6	59.6	59.8
現存量 (kg w.w./m ²)	1.57	0.94	0.28	0.62	0.18	0.00	0.00	0.00	0.33	0.31	0.70	0.55	0.72	0.72	0.59	0.25	0.49	0.91	1.06

	2010年												2011年	
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
被度 (%)	43.5	54.1	77.2	51.6	54.1	48.6	58.8	46.1	54.3	32.8	0.0	0.0	0.1	1.6
現存量 (kg w.w./m ²)	0.67	1.46	1.59	0.83	0.75	0.83	1.12	0.59	1.14	0.41	0.00	0.00	0.00	0.01

は認められなかった。2011 年 3 月には、目視によりグリーントイドが再形成されていることが確認された。以上のことから、因島小浜海岸では、グリーントイドが秋以降 (11 月～1 月) に一旦消失するパターンと、秋以降も消失せずに存在し続けるパターンという 2 つの季節変化パターンがみられることが明らかとなった。消失したグリーントイドは翌年すみやかに再形成されるが、周囲の基物に多くの着生アオサがみられることから、着生アオサ由来の藻体の加入がグリーントイド形成に大きく貢献している可能性が考えられる。

グリーントイドに占める各種の割合

ランダムに採集した 30 枚の浮遊藻体に占める 5 種の割合を調べた結果、調査期間をとおしてアナアオサは割合が高く (67~100%)、特に 2 月～6 月はすべてアナアオサであった (Fig. 6)。この結果から、アナアオサは小浜のグリーントイドの優占種であり、特に春の時期にはグリーントイドの大部分を占めていると考えられる。グリーントイドの現存量の季節変化は、アナアオサの季節変化が強く反映されていると推測できる。7 月または 8 月以降には、アナアオサ以外の種が割合は少ないもののみつかるようになる。*Ulva* sp. 1 は 2009 年の 8 月以降にみつかったが、2010 年も同様に 8 月からみられるようになり、それ以降 10 月には 3 分の 1 を占めるまで増加した。*Ulva* sp. 1 は小浜において夏以降のグリーントイド形成に寄与する種である可能性が示された。

グリーントイド消失の要因について

秋以降にグリーントイドが消失する要因として、アオサの枯死または成熟による藻体の崩壊、あるいは浮遊藻体が水の流動により流出した可能性などが考えられる。2010 年 11 月には、小浜海岸周辺の潮下帯にも浮遊藻体がほとんど確認できなかったことや、小浜の干潟にアマモ断片は堆積しており浮遊物がすべて流されているわけではないことから、消失の原因が流出であるとは考えにくい。枯死や成熟の可能性については、2010 年 10 月の藻体および 11 月に海岸内にわずかにみつかったアオサ藻体を観察したところ、細胞が枯死して白化しているものが確認されたが、生殖細胞の形成は認められなかった。アオサ藻体にどのような変化が

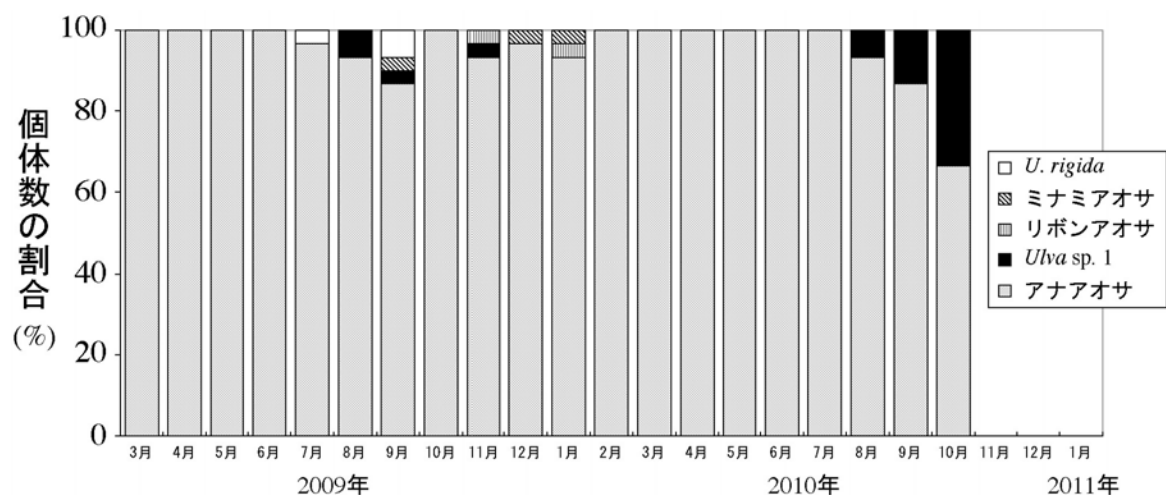


Fig. 6. 因島小浜海岸のグリーントイドに占める各種の個体数の割合。

毎月ランダムに採集した 30 枚の浮遊藻体の種を同定し、個体数の割合を求めた。2010 年 11 月以降は浮遊アオサ消失のため測定できなかった。

因島におけるグリーンタイドの構成種と季節変化

起こったかを知るためには、グリーンタイドが消失していく過程にある時期のアオサ藻体を観察する必要があるが、10月から11月の1ヶ月の間に劇的に変化している可能性があり、短い日数の間隔で調査をする必要がある。

消失に影響を及ぼす要因のひとつとして、夏の高水温が考えられる。香川県水産試験場が公開する燧灘の香川県三豊市大浜の海水温データによると、小浜でグリーンタイドの消失が起こらなかった2009年に比べて、消失が起こった2008年は月平均水温が7月では1.7℃高く(27.8℃)、8月では1.5℃高く(28.6℃)、2010年は8月では1.9℃高く(29.0℃)、9月では2.2℃高い(28.0℃)ことが示されている(Fig. 7)。アナアオサは冬から初夏にかけて繁茂するが25℃を超える高水温では成熟して藻体が流出し大きく生長できないという報告がある⁷⁾。夏にあるレベル以上に海水温が上がった場合に、小浜の優占種であるアナアオサ藻体の消失が引き起こされ、グリーンタイドの消失につながる可能性が考えられる。

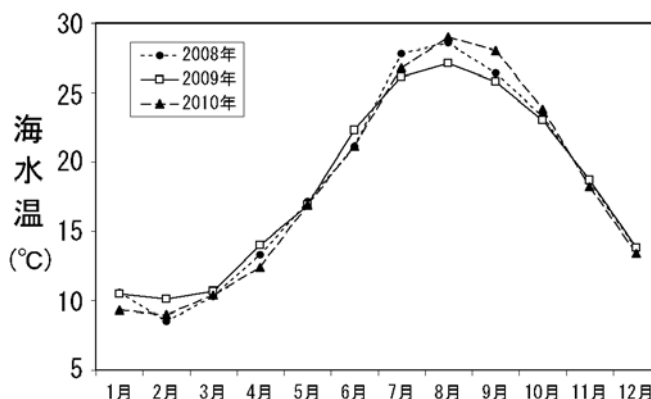


Fig. 7. 香川県三豊市大浜における月平均海水温. 香川県水産試験場 HP (<http://www.pref.kanagawa.lg.jp/suisanshiken/>)のデータをもとに作成.

まとめ

因島ではグリーンタイドが5種で構成されており、優占種はアナアオサであることが明らかとなった。因島からみつかった5種は、1つのシークエンسプライマー (FU 3) による *rbcL* 遺伝子部分配列により識別が可能であり、形態からは表面観で葉緑体が細胞の片側に著しく寄る場合にはアナアオサとして他の4種と区別できる。アミアオサと近縁である *Ulva* sp. 1 はデータベースの既知配列の中で一致するものがなく、日本のグリーンタイドからは未報告の種と考えられる。しかし、*Ulva* sp. 1 はアミアオサの特徴である網目状の孔を持たないという形態の違いがあることや、比較できる近縁種の塩基配列情報が乏しいことから、今後各地から近縁種の材料を集めて本種の分類学的位置を検討する必要がある。

因島小浜のグリーンタイドは現存量が最大で 1.59 kg w. w./m²、海岸全体(約 1 ha)で約 15.9 t と見積もられ、広島湾阿品におけるグリーンタイドの推定現存量が最大 10.1 t w. w./ha であった¹⁴⁾ことから、本海岸のグリーンタイドの現存量が高いレベルであることが示された。一方、本海岸では2008年や2010年のように秋以降に消失する場合があります。現存量は年や季節により大きな変動幅を示した。一旦浮遊アオサが消失しても、冬から春に基物に繁茂する着生アオサが存在し、これが破れたり脱落することで浮遊藻体の再加入がもたらされ、毎年グリーンタイドは維持されていると考えられる。消失の要因については、高水温などの環境要因によりアオサ藻体の消失が引き起こされた可能性が考えられるが、因島のアオサ各種の温度特性や、本海岸

において消失前のアオサ藻体が枯死したのか成熟したのかという状況は不明である。今後、各種の温度などに対する生理特性を明らかにし、消失前の天然藻体の成熟などの状態を観察して消失の要因について検証していく必要がある。

謝辞

本研究に対して有益なご助言をいただきました福山大学生命工学部海洋植物科学研究室の三輪泰彦教授に深く感謝いたします。また、本調査および分類学的解析において多大なご協力をいただきました海洋植物科学研究室の卒業生である谷也堯俊氏、真鍋克志氏、岡勇輔氏、郷力慶浩氏、松田祥明氏、谷崎蛍子氏に御礼申し上げます。

文献

- 1) Fletcher, R. T., The occurrence of 'green tide' In W. Schramm and P. H. Nienhuis (Eds), *Marine Benthic Vegetation - Recent Changes and the Effects of Eutrophication*. Springer Verlag, Berlin, pp. 7-43 (1996)
- 2) 大野正夫, アオサと大繁殖. 能登谷正浩 (編) *アオサの利用と環境修復*. 成山堂書店, 東京, pp. 1-15 (1999)
- 3) Shimada, S., Hiraoka, M., Nabata, S., Iima, M., and Masuda, M., Molecular phylogenetic analyses of the Japanese *Ulva* and *Enteromorpha* (Ulvales, Ulvophyceae), with special reference to the free-floating *Ulva*. *Phycol. Res.* **51**, 99-108 (2003)
- 4) 工藤孝浩, 横浜市海の公園では. 能登谷正浩 (編) *アオサの利用と環境修復*. 成山堂書店, 東京, pp. 55-70 (1999)
- 5) 吉田忠生・吉永一男, 日本産海藻目録 (2010 年改訂版) . *藻類*, **58**, 69-122 (2010)
- 6) 吉田忠生, 新日本海藻誌. 内田老鶴圃, 東京 (1998)
- 7) 平岡 正規・畠田 智・吉田 五郎, グリーンタイド. 堀 輝三・大野 正夫・堀口 健雄 (編) *21 世紀初頭の藻学の現況*. 日本藻類学会, 山形, pp. 98-101 (2002)
- 8) Hiraoka, M., Shimada, S., Uenosono, M., and Masuda, M., A new green-tide-forming alga, *Ulva ohnoi* Hiraoka et Shimada sp. nov. (Ulvales, Ulvophyceae) from Japan. *Phycol. Res.* **51**, 17-29 (2003)
- 9) Kawai, H., Shimada, S., Hanyuda, T., Suzuki, T., and Gamagori City Office., Species Diversity and Seasonal Changes of Dominant *Ulva* Species (Ulvales, Ulvophyceae) in Mikawa Bay, Japan, Deduced from ITS2 rDNA Region Sequences. *Algae* **22**, 1-10 (2007)
- 10) Dion, P., Reviers, B. de and Coat, G., *Ulva armoricana* sp. nov. (Ulvales, Chlorophyta) from the coasts of Brittany (France). I. Morphological identification. *Eur. J. Phycol.* **33**, 73-80 (1998)
- 11) Malta E. J., Draisma, S. G. A. and Kamermans P., Free-floating *Ulva* in the southwest Netherlands: species or morphotypes? A morphological, molecular and ecological comparison. *J. Phycol.* **34**, 443-454 (1999)
- 12) Scagel, R. F., Gabrielson, P. W., Garbary, D. J., Golden, L., Hawkes, M. W., Lidstrom, S. C., Oliveira, J. C. and Widdowson, T. B., A synopsis of the benthic marine algae of British Columbia, southeast Alaska, Washington and

Oregon. *Phycol. Contr., Univ. British Columbia* **3**, pp. 532 (1989)

- 13) Brodie, J., Maggs, C. A. and John, D. M., Green Seaweeds of Britain and Ireland. Dataplus Print & Design, Dunmurry, Northern Ireland, pp 242 (2007)
- 14) Uchimura, M., Yoshida, G., Hiraoka, M., Komatsu, T., Arai, S. and Terawaki, T., Ecological studies of green tide, *Ulva* spp. (Chlorophyta) in Hiroshima Bay, the Seto Inland Sea. *J. Phycol.* **52** (Supplement), 17-22 (2004)
- 15) Swofford, D. L., PAUP*. Phylogenetic Analysis Using Parsimony (*and Other Methods). Version 4. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts (2002)

Annu. Rep. Fac. Life Sci. Biotechnol., Fukuyama Univ. (10), 41-51 (2011)

Species and seasonal changes in biomass of green tide in Innoshima, Seto Inland Sea

Yukimasa Yamagishi* and Kengo Kakimoto**

*Department of Marine Bioscience, Faculty of Life Science and Biotechnology,
Fukuyama University, Fukuyama, Hiroshima 729-0292, Japan

**Wakenyaku, Co., Ltd., Kyoto 606-8171, Japan

To clarify *Ulva* species forming green tide and seasonal changes of the biomass at the coast of Innoshima, Hiroshima prefecture, situated in the central Seto Inland Sea, we identified species of collected *Ulva* samples using molecular phylogenetic analyses and calculated wet weight of floating *Ulva* in this area every month from May 2008 to February 2011. The *rbcL* sequence analyses showed the green tide in Innoshima consists of five species; (1) *Ulva pertusa*, (2) *U. fasciata*, (3) *U. ohnoi*, (4) *U. rigida* and (5) *Ulva* sp. 1 which is closely related to *U. reticulata*. The monthly biomass of the green tide were ranged from 0.00 to 1.59 kg w. w./m². In 2008 and 2010 the green tide was disappeared from November to next January or February, on the other hand, it existed throughout the year in 2009. The ratio of the number of each species forming green tide was also investigated. The results show that *Ulva pertusa* is dominant in this area (67-100%) and other species were only few except the plants of *Ulva* sp. 1 were increased (33%) on September 2010.

Key words: green tide, *Ulva* species, biomass, molecular phylogenetic analyses, Seto Inland Sea, Innoshima