

論文 Article

# 瀬戸内海西部における褐藻クロメの生態学的特性 I. 現存量と生産量, および形態の多様性

吉田吾郎<sup>1</sup>・島袋寛盛<sup>1</sup>・堀 正和<sup>2</sup>・村瀬 昇<sup>3</sup>・加藤重記<sup>4</sup>

Ecological characteristics of *Ecklonia cava* ssp. *kurome* (Laminariales, Phaeophyceae) in the western Seto Inland Sea I. biomass, production rates and morphological diversity

YOSHIDA Goro<sup>1</sup>, SHIMABUKURO Hiromori<sup>1</sup>  
HORI Masakazu<sup>2</sup>, MURASE Noboru<sup>3</sup> and KATO Aki<sup>4</sup>

**要旨:** クロメは瀬戸内海中央・西部海域に唯一分布するアラメ・カジメ類であり、藻場の構成種として極めて重要である。本報では2012~13年に瀬戸内海西部（平郡島、片島、屋代島）で調査したクロメの現存量、生産量などの諸元を取りまとめた。優占群落における繁茂期（6~7月）の平均現存量は0.7~1.3 kg 乾重 m<sup>2</sup>であり、成体の平均密度はおおむね10~20 個体 m<sup>2</sup>であった。片島と屋代島・松ヶ鼻において、葉状部のマーキング法で測定した生産量は、繁茂期に10.4~15.6 g 乾重 m<sup>2</sup>日<sup>-1</sup>、衰退期（10~11月）に1.8~5.3 g 乾重 m<sup>2</sup>日<sup>-1</sup>、成長期（2~3月）に5.8~12.9 g 乾重 m<sup>2</sup>日<sup>-1</sup>であり、本海域のクロメは太平洋や東シナ海のクロメおよび近縁のカジメと同程度の生産力を有していた。繁茂期の成体の茎長や中央葉の長さとの比、PPNI値等には調査地間で有意な差異があり、クロメの形態にはそれぞれの生育環境を反映すると推測される多様性がみとめられた。

**キーワード:** クロメ, 瀬戸内海, 現存量, 生産量, 形態

**Abstract:** *Ecklonia cava* ssp. *kurome* is the only perennial kelp which is distributed in the central and western areas of the Seto Inland Sea, and is an important component of macroalgal beds in these areas. Biomass and production rates of this species were surveyed at three islands (Heigun-jima Is., Kata-shima Is. and Yashiro-jima Is.) in the western Seto Inland Sea during 2012–13. The mean biomass of dominant stands in the luxuriant season (June–July) ranged from 0.7 to 1.3 kg DW m<sup>2</sup> and the mean adult thallus density was approximately in the range of 10–20 inds. m<sup>2</sup>. Net production was estimated by the leaf-marking method at Kata-shima Is. and Matsu-ga-hana in Yashiro-jima Is. Estimated production rates were 10.4–15.6 g DW m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup> in the luxuriant season, 1.8–5.3 g DW m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup> in the senescent season (October–November), and 5.8–12.9 g DW m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup> in the growth season (February–March). These trends were similar to those for *E. cava* ssp. *kurome* and its closely related *E. cava* ssp. *cava* reported in the Pacific Ocean and East China Sea, respectively. Morphological characteristics, such as stipe length, length/width ratio of the central blade and the primary pinna number index (PPNI) of adult *E. cava* ssp. *kurome* thalli exhibited significant differences in the luxuriant season among the survey sites, which reflected variable environmental conditions in their habitats.

**Keywords:** *Ecklonia cava* ssp. *kurome*, Seto Inland Sea, biomass, production, morphology

## I. 緒言

褐藻コンブ目レソソニア科のアラメ・カジメ類は、日本の温帯の沿岸域に広く分布し、濃密な群落を形成

する。その藻体は分岐した数層の付着器で岩礁性の基質に固着し、円柱状の茎と葉状部を有して全長は1mから数mに達する（吉田, 1998; 寺脇・新井,

1 国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所廿日市庁舎; Hatsukaichi Field Station, Fisheries Technology Institute, Japan Fisheries Research and Education Agency

2 国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産資源研究所水産資源研究センター; Fisheries Stock Assessment Center, Fisheries Resources Institute, Japan Fisheries Research and Education Agency

3 国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産大学校; National Fisheries University, Japan Fisheries Research and Education Agency

4 広島大学大学院統合生命科学研究科附属瀬戸内圏フィールド科学教育研究センター竹原ステーション; Takehara Fisheries Research Station, Setouchi Field Science Center, Graduate School of Integrated Sciences for Life, Hiroshima University

2004)。分子系統解析によるアラメ・カジメ類の分類に関する研究には近年著しい展開がみられており、茎の先端が二分岐して葉状部が形成されるアラメ属 (genus *Eisenia*) と、茎の先端から直接葉状部が生じるカジメ属 (genus *Ecklonia*) は Rothman et al. (2015) によりカジメ属にまとめられたが、最新の研究 (Kawai et al., 2020) ではそれぞれ独立した属であることが再び指示された。現在、日本のアラメ属の海藻としてはアラメ *E. bicyclis*、サガラメ *E. nipponica* の2種があるとされ (Kawai et al., 2020)、カジメ属についてはこれまで別種とされてきたカジメ *E. cava*、クロメ *E. kurome*、ツルアラメ *E. stolonifera* は独立した種としてはみとめられず、亜種 (それぞれ *E. cava* ssp. *cava*、*E. cava* ssp. *kurome* および *E. cava* ssp. *stolonifera*) と位置付けられた (Akita et al., 2020)。したがって、現在日本のカジメ属海藻は、3つの亜種を含むカジメ *E. cava* とアントクメ *E. radicata* (Rothman et al., 2015) により構成されていることになる。

クロメ *E. cava* ssp. *kurome* は形態的には葉状部に皺があることでカジメ *E. cava* ssp. *cava* と区別される。いずれも5～6年程度の寿命をもち (大野・石川, 1982; 成原・大木, 1990; 芹澤ほか, 2001)、カジメは房総半島以南から九州まで断続的に、またクロメは太平洋側では紀伊半島潮岬以西から宮崎県中部まで、日本海・東シナ海側では新潟県南部から天草諸島以北までと、両者の分布域は所々で重複しながらも主に中・西日本にある。瀬戸内海では、クロメは、カジメ、サガラメが分布する播磨灘、紀伊水道等の東部海域を除く中央・西部海域で唯一分布するアラメ・カジメ類であり、これらの海域の植生において極めて重要な位置を占めている (寺脇・新井, 2004)。

アラメ・カジメ類の群落は、同じく褐藻に分類されるヒバマタ目ホンダワラ科のホンダワラ類の群落とともに‘藻場’や‘海中林’とも呼ばれ、光合成による活発な有機物の生産の場であるとともに、多くの生物の生息場でもあり、極めて重要な生態学的・産業的機能を有している。藻場の面積や構成種、その現存量や生産量等の基礎的諸元はこれらの機能を評価するために不可欠であり、沿岸域の環境保全・管理施策を進めるうえでも充実が望まれている。特に近年は人為的な気候変動の緩和に係る施策的な観点から、藻場により生成される有機炭素 (‘ブルーカーボン’) の量的評価とその生態学的挙動の解明が重要な科学的課題となっている (堀・桑江, 2017)。これらを対象とする研究においては、上述の基礎的諸元に対する情報としてのニーズが急速に高まっている。

さらに、藻場は気候変動を抑制するための施策上のアイテムに数えられる一方で、それ自体が沿岸域の水温上昇等の環境変化に対し、極めて脆弱であることも明らかになっている。特に黒潮や対馬暖流の影響のある西日本の外海沿岸域では磯焼けと呼ばれる藻場の衰退・消失の進行が深刻であり (秋本・松村, 2010)、なかでもアラメ・カジメ類の藻場の脆弱性は際だっている。1990年前後に起きた静岡県榛南海域における8,000haにも及ぶカジメ・サガラメ藻場の消失 (長谷川, 2006) や、高知県・土佐湾における1990年代のカジメ藻場の消失 (Serisawa et al., 2004; Tanaka et al., 2012)、また九州西北岸から山口県日本海側に及ぶ2013年夏季の異常高水温によるアラメ・カジメ類藻場の大規模消失 (八谷ほか, 2014a; 村瀬・野田, 2018) 等は、地域の漁業にも多大な影響を与えた顕著な事例として知られている。

このような藻場の異変は、高温に対し脆弱なアラメ・カジメ類の生理的特性のみならず、高水温化を背景とした植食性の魚類やウニ類等の採食活動の活発化、長期化に起因している (村瀬・野田, 2018)。また土佐湾の事例では、カジメ藻場の消失に先立って群落を構成する個体の小型化・若齢化が進む等、異変の予兆ともいえる現象が観察されている (芹澤ほか, 2001, 2002)。前述した事例のみならず、藻場の異変は1990年代以降状況の差こそあれ各地で頻発しており、現状把握やさらなる異変の拡大の察知のための基礎調査・モニタリングの重要性も認識されるようになった (水産庁, 2015; Terada et al., 2019)。

前述したように、クロメは瀬戸内海の藻場の構成種として極めて重要である。しかし、その生態学的な知見は必ずしも多くはなく、既往の報告としては愛媛県中島町殿島における垂直分布と生育制限要因に関するもの (寺脇・川崎, 1990)、また山口県・長島における群落の季節変動に関するもの (村瀬・大貝, 1996) 等があるにすぎない。瀬戸内海ではこれまでのところ磯焼けに類する大規模な藻場の衰退・消失の報告はない。紀伊水道・豊後水道によって外海域と隔てられているため、南方からの暖水輸送に係る黒潮の影響が小さいこと、また冬季の水温低下により植食性の動物の採食活動が制限されること等がその要因としてあげられる (吉田, 2018)。しかし、瀬戸内海でも1980年代以降水温は確実に上昇傾向にあり (独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所, 2015)、近年は植食性魚類アイゴの増加や採食活動の活発化も示唆されている (吉田ほか, 2012)。外海域に繋がる紀伊水道・豊後水道では、すでにアラメ・カジメ類の

藻場の衰退や分布域の縮小が顕著になっており (島袋ほか, 2018; 中西ほか, 2019), 同様の現象が遠からず瀬戸内海にも拡大することが危惧される。

筆者らはこれまで瀬戸内海西部海域の島嶼において藻場の調査を継続して行ってきた。そのうちクロメについては, その群落形成されている水深や海底基質の特性等について, ホンダワラ類や, 同海域の屋代島において局所的に出現するニホンアワサンゴとの関係とともに明らかにした (吉田ほか, 2014; Kato et al., 2018)。本報告では, これらの調査時に取得したクロメの現存量や生産量, 形態的特徴等の諸元をとりまとめるとともに, 他海域との比較から瀬戸内海のクロメ群落の特性を明らかにし, 現状 (2010 年代) の記録とする。

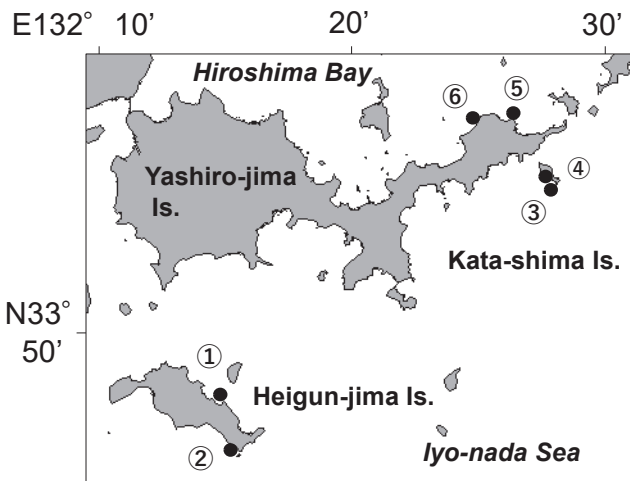


Fig. 1 Location of the survey sites in this study. Kohna (①) and Matsura (②) on Heigun-jima Is., Tokkuri-bana (③) and Hagi-bana (④) on Kata-shima Is., Matsu-ga-hana (⑤) and Hiramatsu (⑥) on Yashiro-jima Is.

図 1 本報における調査地。平郡島の神名 (①) とマツラ (②), 片島のトックリ鼻 (③) とハギ鼻 (④), および屋代島の松ヶ鼻 (⑤) と平松 (⑥)。

## II. 材料と方法

### 1. 調査地

本調査は, 瀬戸内海西部の平郡島 (山口県柳井市), 屋代島 (山口県大島郡周防大島町), および屋代島の南岸に位置する片島 (山口県大島郡周防大島町) で実施した (図 1, 表 1)。瀬戸内海の海域区分においては, 平郡島は伊予灘に位置し, また屋代島の南岸域は伊予灘に, 同島の北岸域は広島湾に面している (吉田ほか, 2010)。前報 (吉田ほか, 2014) では, これらの島嶼の自然岩礁域および投石による人工礁域の計 11 調査地において, ライトランセクト法により調べた水深勾配に沿った海底基質と海藻植生の垂直分布構造を報告した。本報の調査は, 前報の調査地のうちの平郡島北岸の神名① (図 1 の①, 以下同様), 同南岸のマツラ②, 片島のトックリ鼻③とハギ鼻④, および屋代島北岸の松ヶ鼻⑤と平松⑥で実施した。平郡島の神名①, 屋代島の平松⑥の調査地は投石からなる人工礁域であり, それ以外の調査地は岩盤もしくは巨礫を海底基質の主体とする岩礁域である (表 1)。いずれの調査地においてもクロメはホンダワラ類とともに藻場を形成していたが, 優占する水深帯や海底基質はクロメとホンダワラ類とで明瞭に異なっていた (吉田ほか, 2014)。

### 2. 繁茂期の生育密度と現存量

カジメ・クロメの群落は多くの場合 6~8 月に繁茂期を迎え, 現存量も年間最大になる (大野・石川, 1982; 林田, 1985; Maegawa, 1990; 村瀬・大貝, 1996; 芹澤ほか, 2001; 八谷ほか, 2014b)。このことより, 本調査では 2012 年 6 月 8 日 (神名①), 同 22 日 (マツラ②), 同 23 日 (トックリ鼻③・ハギ鼻④), 7 月 10 日 (松ヶ鼻⑤・平松⑥) にコドラート法

Table 1 Survey sites of *Ecklonia cava* ssp. *kurome* in this study. Details are shown in Yoshida et al. (2014)

表 1. 本報におけるクロメの調査場所. 詳細は吉田ほか (2014) を参照

Site	Date of sampling for biomass	Latitude (N)	Longitude (E)	Substrata	C.D.L. Depth (m)	<i>E. kurome</i> coverage(%)
<b>Heigun-jima Is.</b>						
1. Kohna	22. Jun. 2012	33.7959	132.2421	Artificial reef	5.5–6.0	60–80
2. Matsura	8. Jun. 2012	33.7711	132.2547	Rock	1.0–1.5	100
<b>Kata-shima Is.</b>						
3. Tokkuri-bana	23. Jun. 2012	33.9147	132.4650	Rock	0.5–1.5	100
4. Hagi-bana	23. Jun. 2012	33.9180	132.4626	Rock	0.5–1.0	100
<b>Yashiro-jima Is.</b>						
5. Matsu-ga-hana	10. Jul. 2012	33.9517	132.4384	Boulders	2.5–4.0	50–60
6. Hiramatsu	10. Jul. 2012	33.9505	132.4134	Artificial reef	4.5–6.0	5–10

によって各調査地におけるクロメの生育密度、現存量を把握した。

各調査地において、クロメが優占して出現する水深帯において50cm方形枠をランダムに3枠設置し、無節石灰藻等の殻状海藻を除く枠内の直立海藻（クロメを含む）を全て採集した。各調査地におけるクロメの優占帯の水深とその出現被度を表1に示した。平松⑥の人工礁上ではクロメの生育は必ずしも良好ではなく、前報では同所において基質や藻体上に目立つ沈積浮泥がその要因として考察されている（吉田ほか, 2014）。本報では、環境による制限が厳しい場所のクロメ群落の特性を明らかにすべく、参考として平松⑥のクロメ密度・現存量も記載した。

採集した海藻はクロメとその他の海藻に選別し、その他の海藻はさらに種ごとに選別した。クロメについては成体と幼体にかけて個体数を計数し、各個体の重量を求めた。ここで‘幼体’とは、側葉を持たない笹の葉状の形態をした小型個体に加え、中央葉の下部に側葉を形成しはじめた段階の個体を含むものとして定義した。成体については形成された側葉が中央葉の最上部まで到達している個体として定義した。クロメの藻体は60℃下で2日間程度恒量に達するまで乾燥させ、乾燥重量を測定した。

クロメの密度、現存量については、Kruskal-Wallis検定により調査地間の差異を検定した。検定にはIBM SPSS Statistics 20 (IBM社)を用い、5%の棄却率をもって有意な差があると判断した。

### 3. 生産量

トックリ鼻③、ハギ鼻④、および松ヶ鼻⑤のクロメについては、葉状部のマーキング法 (Yokohama et al., 1987; 倉島 2010) により生産量を求めた。この手法はカジメ・クロメの葉状部下部の成長点で形成された側葉と中央葉組織が、成長にともなってベルトコンベアのように順次上部へ移動する特性を利用したものである。下部の側葉を標識して一定期間後に藻体を回収し、標識した側葉の移動から側葉の形成速度をもとめ、葉状部の生産量を推定した。

生産量の測定は、既報のクロメの季節消長から、繁茂期 (2012年6月23日~7月27日、松ヶ鼻⑤では未実施)、衰退期 (2012年10月15日~11月19日)、および成長期 (トックリ鼻③・ハギ鼻④では2013年2月17日~3月7日、松ヶ鼻⑤では同年2月16日~3月19日) の3期間で実施した。前述した各調査地のクロメ優占水深帯において20個体の成体をランダムに選び、10cm以上の側葉のうち最下段もしくは最

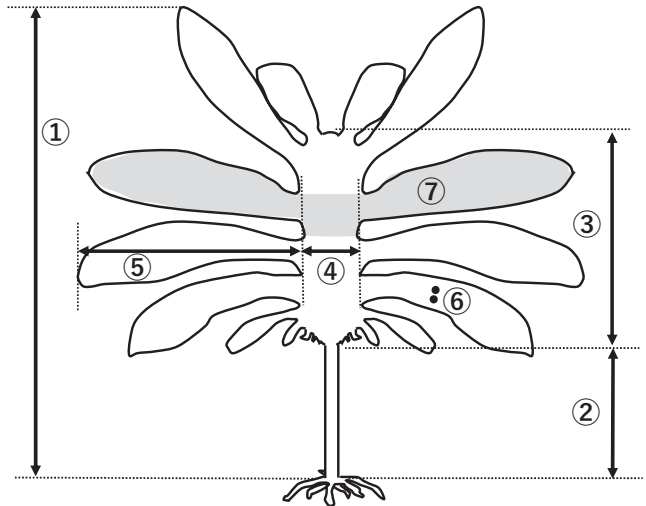


Fig. 2 Parts of an adult *Ecklonia cava* ssp. *kurome* thallus which were measured for the morphological comparison and production rate estimation. ①: total length, ②: stipe length, ③: length of a central blade, ④: width of central blade, ⑤: length of a bladelet, ⑥: punching marks by a cork borer on a bladelet for the bladelet formation rate estimation, ⑦: a pair of bladelets and piece of central blade between the pair used for the production estimation (shaded area; the heaviest section of the thallus was used for the estimation).

図2 形態の比較と生産量算出のために測定されたクロメ藻体の部位。①：全長，②：茎長，③：中央葉長，④：中央葉幅，⑤：側葉長，⑥：側葉の形成速度見積もりのためのコルクボーラーによるマーキング，⑦：生産量算出のために切り分けられた藻体両側の対の側葉とその間の中央葉片（影入り部分；最も重いものを算出に用いる）。

下段から2番目の左右の側葉にコルクボーラーで直径5mmの穴を2つ並べてあけ、標識した（図2の⑥）。標識した個体は茎にテープを結び識別した。また、50cm方形枠を3枠ずつランダムに群落内に設置して成体の密度を求めた。

上記の期間において標識した個体を回収した後、各個体について標識した側葉の上部への移動段数を求めた。また、葉状部を左右一対の側葉とそれに該当する位置の中央葉組織を含む葉片（図2の⑦）に切り分けて乾燥重量を測定し、このうちの最大葉片重量を求めた。前述した Yokohama et al. (1987) および倉島 (2010) に準拠し、側葉の移動段数に最大葉片重量を乗じて期間内の成体1個体あたりの生産量を算出した。各調査地で1個体あたりの平均生産量をもとめ、さらにその数値にそれぞれの時期の成体の密度を乗じて、群落の生産量を算出した。

なお、藻体全体の生産量において茎の生産量が占める割合は極めて小さいこと (Yokohama et al., 1987; 倉島 2010) から、葉状部の生産量をもって群落の

生産量とした。また、各調査地の幼体の密度は成体と比較し小さいこと、また幼体の生産量は群落全体の生産量において量的な寄与が小さい（八谷ら, 2014b）とされることから、本調査では成体の生産量をもって群落の生産量とした。

#### 4. 繁茂期の形態的特徴

クロメは形態の地域変異が極めて大きいことで知られる。また、クロメの地域個体群の示す形態的特徴は、葉状部が発達を遂げた春から初夏に最もよく現れる（筒井・大野, 1992; Tsutsui et al., 1996）。本調査は地理的に近接した場所で行ったが、前述の繁茂期の密度・現存量調査において採集されたクロメの形態には調査地間で相違が認められた。したがってこれらの採集個体を対象とし、筒井・大野（1992）、Tsutsui et al.（1996）に準拠して、藻体のサイズだけでなく形態的な特徴も記録した。具体的には、藻体に破損のみられない全ての成体を対象として、全長（付着器直上部から藻体の最大到達点までの長さ）、茎長、中央葉長と葉幅およびそれらの比、中央葉の片側の側葉数および各側葉長を測定した（図2）。また、Tsutsui et al.（1996）により示された Primary pinna number index (PPNI; 片側の側葉数を中央葉長で除した数値。側葉の中央葉からの発出の疎密を示す) も求めた。なお、新しく形成された葉状部下部の側葉については、長さが10cm以上に達したのものから測定の対象とした。

クロメの形態的特徴を示す数値については、Kruskal-Wallis 検定により調査地間の差異を検定した。検定には IBM SPSS Statistics 20 (IBM 社) を用い、5%の棄却率をもって有意な差があると判断した。

### III. 結果

#### 1. 繁茂期の個体密度と現存量

繁茂期のクロメ成体の平均密度はハギ鼻④で 20.0 個体  $m^{-2}$  と最も高く、平松⑥を除く他の調査地では 8.0~14.7 個体  $m^{-2}$  であった（表2）。平松⑥では成体の密度は最も低く、2.7 個体  $m^{-2}$  であった。一方、幼体の密度は同じ調査地内でもコドラート間の変動が大きかったが、その平均値は成体の密度と逆の傾向を示し、平松⑥で 25.3 個体  $m^{-2}$  と最も高く、ハギ鼻④で 1.3 個体  $m^{-2}$  で最も低かった（表2）。成体の密度には調査地間で有意な差が検出されたが ( $p < 0.05$ , Kruskal-Wallis 検定。以下同)、幼体の密度には有意な差はなかった。

平均現存量はハギ鼻④で 1.32 kg 乾重  $m^{-2}$  と最も大きく、平松⑥を除く他の調査地でも 0.74~1.28 kg 乾重  $m^{-2}$  と 1 kg 乾重  $m^{-2}$  前後であった（表2）。平松⑥は 0.09 kg 乾重  $m^{-2}$  と最も小さかった（表2）。平均現存量にも調査地間で有意な差がみとめられた ( $p < 0.05$ )。

コドラート内から採集されたクロメ以外の直立海藻の平均現存量は、マツラ②、トックリ鼻③、ハギ鼻④において総現存量（クロメ含む）の3%以下であった（表2）。一方、平松⑥ではほぼクロメと同量（55%）であった。採集されたクロメ以外の海藻は、ハギ鼻④が6種と最も少なく、平松⑥では19種と最も多かった（表3）。エチゴカニノテやモサズキ属等の有節石灰藻が各調査地で共通して出現したほか、神名①ではエンドウモク、ヨレモクモドキ等、また松ヶ鼻⑤ではホンダワラやジョロモク等のホンダワラ科海藻の小型個体が混在した。一方、平松⑥ではホンダワラ類は採集されず、ヤハズグサ、カバノリ、フシツナギ等が主な混在海藻であった（表3）。

Table 2 Mean thallus density and biomass ( $\pm$  standard deviations) of *Ecklonia cava* ssp. *kurome* at the six survey sites in the luxuriant season (Jun.-Jul.)

表2 6調査地における繁茂期（6~7月）のクロメの平均密度と現存量（ $\pm$ 標準偏差）

Site	1. Kohna	2. Matsura	3. Tokkuri-bana	4. Hagi-bana	5. Matsuga-hana	6. Hiramatsu
<b>Density (inds. <math>m^{-2}</math>)</b>						
Adult	8.0 $\pm$ 4.0	10.7 $\pm$ 2.3	14.7 $\pm$ 4.6	20.0 $\pm$ 0.0	14.7 $\pm$ 2.3	2.7 $\pm$ 2.3
Juveniles	6.7 $\pm$ 11.5	6.7 $\pm$ 2.3	2.7 $\pm$ 4.6	1.3 $\pm$ 2.3	2.7 $\pm$ 2.3	25.3 $\pm$ 16.2
<b>Biomass (kg DW <math>m^{-2}</math>)</b>						
<i>E. cava</i> ssp. <i>kurome</i>	0.83 $\pm$ 0.59	1.28 $\pm$ 0.45	1.14 $\pm$ 0.43	1.32 $\pm$ 0.25	0.74 $\pm$ 0.14	0.09 $\pm$ 0.03
Other macroalgae	0.10 $\pm$ 0.16	0.04 $\pm$ 0.03	0.02 $\pm$ 0.02	0.01 $\pm$ 0.01	0.07 $\pm$ 0.05	0.11 $\pm$ 0.06

Table 3 Macroalgae collected together with *Ecklonia cava* ssp. *kurome* in the quadrat sampling for biomass estimation in the luxuriant season (except for crustose macroalgae)

表 3 繁茂期の現存量測定時にクロメとともに方形枠採集で得られた海藻（殻状海藻は除く）

Scientific name	Japanese name	1. Kohna	2. Matsura	3. Tokkuri-bana	4. Hagi-bana	5. Matsuga-hana	6. Hiramatsu
<b>Chlorophyta</b>							
<i>Ulva pertusa</i>	アノアオサ		○				
<i>Ulva</i> spp.	アノノリ類		○				
<i>Codium arabicum</i>	ナンバンハイミル			○	○		
<i>C. fragile</i>	ミル					○	○
<b>Phaeophyta</b>							
<i>Dictyopteria latiuscula</i>	ヤハズグサ					○	○
<i>Dictyota dichotoma</i>	アミジグサ				○		
<i>Rugulopteryx okamurae</i>	フクリンアミジ		○	○			
<i>Padina arborescens</i>	ウミウチワ	○					○
<i>Pachydictyon coriaceum</i>	サナダグサ					○	
<i>Colpomenia sinuosa</i>	フクロノリ						○
<i>Sporochnus radiceformis</i>	ケヤリ						○
<i>Desmarestia dudresnayi</i>	タバコグサ			○			
<i>Undaria pinnatifida</i>	ワカメ			○			
<i>Myagropsis myagroides</i>	ジョロモク					○	
<i>Sargassum fulvellum</i>	ホンダワラ	○				○	
<i>S. macrocarpum</i>	ノコギリモク		○	○	○	○	
<i>S. micracanthum</i>	トゲモク					○	
<i>S. yamamotoi</i>	ヨレモクモドキ	○					
<i>S. yendoi</i>	エンドウモク	○					
<b>Rhodophyta</b>							
<i>Amphiroa anceps</i>	カニノテ		○	○		○	
<i>A. beauvoisii</i>	エチゴカニノテ	○	○	○	○	○	○
<i>Corallina crassissimum</i>	ヘリトリカニノテ		○				
<i>C. pilulifera</i>	ビリヒバ		○	○	○	○	
<i>Jania</i> sp.	モサズキ属の1種	○	○		○	○	○
<i>Gelidium elegans</i>	マクサ	○	○			○	○
<i>Halarachnion latissimum</i>	ススカケベニ	○					
<i>Chondracanthus chamissoi</i>	シキンノリ						○
<i>Chondrus ocellatus</i>	ツノマタ		○				
<i>Grateloupia lanceolata</i>	フダラク						○
<i>Hypnea flexicaulis</i>	カズノイバラ	○					○
<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>	オキツノリ	○					○
<i>Plocamium telfairiae</i>	ユカリ		○				○
<i>Solieria pacifica</i>	ミリン						○
<i>Gracilaria incurvata</i>	ミゾオゴノリ	○				○	○
<i>G. textorii</i>	カバノリ						○
<i>Fushitsunagia catenata</i>	フシツナギ					○	○
<i>Botryocladia wrightii</i>	タオヤギソウ	○					○
<i>Laurencia</i> sp.	ソゾ属の1種						○

2. 生産量

生産量測定のため標識した20個体のうち、それぞれの調査地および時期において14~19個体が回収され、測定に供された(表4)。

表4に、トックリ鼻③、ハギ鼻④、松ヶ鼻⑤のクロメの繁茂期、衰退期、成長期の成体1個体あたり(d)と群落(e)の日間生産量、およびその算出のもととなったそれぞれの期間における側葉形成速度(a:藻体の片側のみ)、最大葉片重量(b)および成体の密度(c)を示す。

側葉形成速度は、冬季の成長期で最も大きく、3調査地の平均は0.051~0.066枚・日<sup>-1</sup>であり、同時期の群落の日間生産量は5.8~12.9g乾重m<sup>2</sup>日<sup>-1</sup>と算出さ

れた(表4)。また秋の衰退期には回収された個体のうち、トックリ鼻③で13個体(72%)、ハギ鼻④で9個体(60%)、松ヶ鼻⑤で6個体(43%)が新たな側葉を形成して、これらの個体の期間中の生産量は0と算出され、個体あたり生産量における大きな標準偏差の要因となった(表4)。同時期の群落の日間生産量は1.8~5.3g乾重m<sup>2</sup>日<sup>-1</sup>であった。衰退期の松ヶ鼻⑤の回収藻体では、葉状部の上部に魚類による食痕がみとめられた。繁茂期におけるトックリ鼻③、ハギ鼻④の平均側葉形成速度は、それぞれ0.034、0.054枚日<sup>-1</sup>と成長期より小さかったが、同時期には最大葉片重量が大きいため、個体あたりで算出された平均日間生産量は、それぞれ0.71、0.78g乾重個体<sup>-1</sup>日<sup>-1</sup>

Table 4 Production rates (*d*, *e*) and parameters (*a-c*) used for the production estimation of *Ecklonia cava* ssp. *kurome* at the three sites.  $\pm$  S.D.  $d=axb$ ,  $e=dx$ . \*<sup>1</sup> for one side of thalli. \*<sup>2</sup> including a pair of bladelets and piece of central blade between the pair (see Fig. 2)

表 4 3 調査地におけるクロメの生産量 (*d*, *e*) とその算出に用いたパラメータ (*a-c*).  $\pm$  標準偏差.  $d=axb$ ,  $e=dx$ . \*<sup>1</sup> 葉状部片側の側葉形成速度 (枚・日<sup>-1</sup>). \*<sup>2</sup> 葉状部両側のペアの側葉とその間の中央葉組織の最大重量 (図 2 参照)

Site	Thallus number used	(a)Rate of bladelet formation* <sup>1</sup> (d <sup>-1</sup> )	(b)Maximum weight of blade pieces* <sup>2</sup> (g DW)	(c)Density of adult thalli (inds m <sup>-2</sup> )	(d) Production per individual thallus (g DW ind. <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )	(e) Production per area (g DW m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )
<b>Luxuriant season (Jun.-Jul)</b>						
3. Tokkuri-bana	19	0.034 $\pm$ 0.015	20.9 $\pm$ 6.8	14.7 $\pm$ 4.6	0.71 $\pm$ 0.43	10.4
4. Hagi-bana	17	0.054 $\pm$ 0.026	14.2 $\pm$ 4.6	20.0 $\pm$ 0.0	0.78 $\pm$ 0.43	15.6
5. Matsuga-hana	—	—	—	—	—	—
<b>Senescent season (Oct.-Nov.)</b>						
3. Tokkuri-bana	18	0.011 $\pm$ 0.019	9.6 $\pm$ 4.8	22.7 $\pm$ 2.3	0.08 $\pm$ 0.15	1.8
4. Hagi-bana	15	0.011 $\pm$ 0.014	9.6 $\pm$ 4.9	44.0 $\pm$ 16.0	0.12 $\pm$ 0.18	5.3
5. Matsuga-hana	14	0.020 $\pm$ 0.020	14.4 $\pm$ 5.8	18.7 $\pm$ 6.1	0.27 $\pm$ 0.35	5.0
<b>Growth season (Feb.-Mar.)</b>						
3. Tokkuri-bana	18	0.056 $\pm$ 0.031	5.0 $\pm$ 1.4	20.0 $\pm$ 4.0	0.29 $\pm$ 0.20	5.8
4. Hagi-bana	16	0.066 $\pm$ 0.030	7.6 $\pm$ 3.5	25.3 $\pm$ 9.2	0.51 $\pm$ 0.37	12.9
5. Matsuga-hana	17	0.051 $\pm$ 0.016	7.6 $\pm$ 3.2	29.3 $\pm$ 4.6	0.39 $\pm$ 0.20	11.4

Table 5 Mean size and morphological features of adult *Ecklonia cava* ssp. *kurome* thalli sampled for biomass estimation in the luxuriant season (Jun.-Jul. 2012). \*PPNI; Primary pinna number index (Primary pinna number/ Central blade length) by Tsutsui et al. (1996). Data for Hiramatsu are excluded as few adult thalli were sampled. Range of each measurement item is shown in parentheses

表 5 繁茂期のクロメ成体の平均サイズと形態的特徴. \*PPNI (=片側側葉数/中央葉長) は Tsutsui et al. (1996) による. 平松では成体がわずしか採集されなかったため除外した. 括弧内の数値は範囲を示す

Site (Number of specimens)	1. Kohna (6)	2. Matsura (8)	3. Tokkuri-bana (11)	4. Hagi-bana (15)	5. Matsuga-hana (11)
Total length (cm)	75.6 (56.5-104.5)	72.7 (61-84)	78.9 (44-103)	77.4 (19-103)	67.0 (47-80)
Stipe length (cm)	19.8 (5-29)	7.7 (5.8-9)	18.1(11-34)	18.5 (8.5-29.5)	9.7 (5.5-16)
Central blade length (cm)	45.8 (30-56)	28.9 (22.5-35.5)	31.1 (23.5-40)	—	40.5 (26-60)
Central blade width (cm)	33.3 (24-40)	7.9 (5.7-10.5)	13.9 (9-18.5)	—	15.3 (10.5-20)
Length/Width of central blade	1.42 (0.89-2.29)	3.86 (2.32-5.61)	2.37 (1.46-4.44)	—	2.8 (1.53-5.14)
Number of bladelets (one side)	6.5 (3-8)	14.1 (8-23)	7.9 (3-15)	8.1 (3-16)	7.1 (4-12)
Length of the longest bladelet (cm)	29.9 (21-40)	53.9 (37.5-63.5)	52.9 (28-66.5)	—	39.3 (22-50)
PPNI*	0.15 (0.09-0.27)	0.52 (0.23-0.88)	0.28 (0.15-0.48)	—	0.19 (0.07-0.31)
Individual weight (g DW)	103.6 (39.3-205.5)	119.1(42.5-218.5)	77.2 (9.4-192.9)	67.9 (15.2-122.1)	49.6 (19.1-90.9)

と年間で最も大きく, さらに成体密度を乗じた単位面積あたり平均日間生産量もそれぞれ 10.4, 15.6g 乾重 m<sup>-2</sup> 日<sup>-1</sup> と年間で最も大きかった (表 4)。

### 3. 繁茂期の形態的特徴

各調査地で採集されたクロメ成体の各部位のサイズおよび形態的特徴を示す数値を表 5 に示す。採集さ

れたクロメ成体は, 年齢の異なる個体が混在していると思われ, そのためいずれの数値も変動が大きかった。したがって, 表 5 には各調査地の平均値とともに最小値, 最大値も示した。なお, 平松⑥では得られた成体の個体数が極めて少なかったため表 5 からは除外した。

各調査地の全長および個体重量においては平均値に

有意な差は無かったが、茎長、中央葉長と幅の比、側葉数と最大側葉長、PPNI 値には有意な差が検出された。図3に示すように各調査地間のクロメの形態から受ける印象は異なっていた。特に、平郡島の神名①のクロメは特徴的な形態を有しており(図3a)、その中央葉は大きく特に幅が広いために、長さとの比は他の調査地のクロメと比較して顕著に小さかった(表5)。また、その側葉も短い一方で幅が広く、小さいPPNI 値に特徴づけられるように中央葉から発出する数は相対的に少なかった(表5)。一方、同じく平郡島のマツラ②のクロメは茎が短く、相対的に細い中央葉から側葉を密に発出しており、中央葉の長さとの比は顕著に大きく、PPNI 値も大きかった(図3b, 表5)。松ヶ鼻⑤のクロメは、全長、重量、茎長とも、他の調査地と比較し平均値は小さく、藻体は全体的に小型である印象を与えた。また平松⑥の人工礁でわずかに採集されたクロメ成体も小型で側葉が少なく、明ら

かに若齢個体であると考えられた(図3e)。

#### IV. 考察

本調査により明らかとなった瀬戸内海西部のクロメ群落の成体密度、現存量、生産量における特性を要約すると以下のとおりである。

- (1) 優占群落の繁茂期の成体密度はほぼ10~20個体  $m^{-2}$  程度である。幼体の密度は成体の密度に影響を受ける。
- (2) ほぼ純群落(被度100%)とみなせる優占群落(マツラ②, トックリ鼻③, ハギ鼻④の群落が該当)の繁茂期の現存量は1.1~1.3kg乾重  $m^{-2}$ 、クロメの被度が60~80%程度の優占群落(神名①, 松ヶ鼻⑤の群落が該当)では0.7~0.8kg乾重  $m^{-2}$  程度で、総じておおよそ1kg乾重  $m^{-2}$  前後である。
- (3) 純群落においてマーキング法で見積もった単

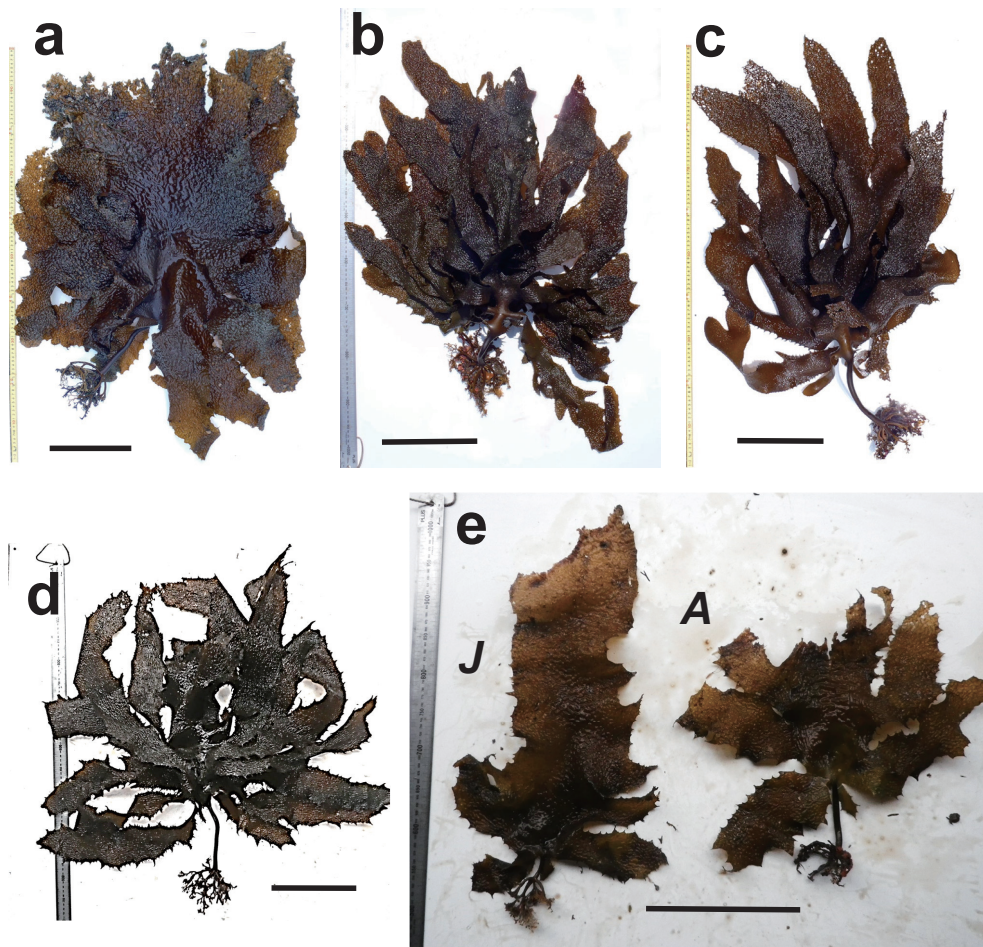


Fig. 3 Morphology of adult *E. cava* ssp. *kurome* thalli in the luxuriant season at Kohna (a), Matsura (b), Tokkuri-bana (c), Matsu-ga-hana (d), and an adult (A) and juvenile beginning bladelet formation (J) at Hiramatsu (e). Scale bars = 20cm.

図3 繁茂期のクロメ成体の形態。神名(a), マツラ(b), トックリ鼻(c), 松ヶ鼻(d)。平松(e)については成体(A)と側葉の形成を開始した幼体(J)を示した。



Table 6 Adult density, annual maximum biomass and annual production of *Ecklonia cava* ssp. *kurome* and *E. cava* ssp. *cava* in the previous literatures. a.r.: annual range, max.: annual maximum, a.m.: annual mean. \*:Converted from the wet weight in the original literatures to dry weight assuming dry/wet biomass ratio is 0.15 (Terawaki and Arai, 2004)

表 6 既往文献によるクロメ, カジメの成体密度, 最大現存量および年間生産量. a.r.: 年間変動範囲, max.: 年間最大値, s.m.: 年間平均値. \*: 原典では湿重表示. 乾重/湿重比を 0.15 (寺脇・新井, 2004) として乾燥重量に変換

Location	Adult density (inds. m <sup>-2</sup> )	Annual maximum biomass (kg DW m <sup>-2</sup> )	Month of max. biomass	Production (kg DW m <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup> )	Remark	Source
<b><i>Ecklonia cava</i> ssp. <i>kurome</i></b>						
Tono-shima Is., Ehime Pref.		*1.5	Jun.		Max. biomass observed at 8m depth.	Terawaki and Kawasaki (1990)
Kawaminami, Miyazaki Pref.		*1.49	Jul.		Max. biomass observed on boulders with relative height of 0.5m at 4-5m depth.	Terawaki and Kawasaki (1990)
Yawatahama, Ehime Pref.	20	*1.98	Jul.		2.8m depth	Terawaki (1991)
Nagashima Is., Yamaguchi Pref.	24-36 (a.r.)	0.89	Aug.		Juveniles were included in density.	Murase and Ohgai (1996)
Gounoura, Iki, Nagasaki Pref.	17.6-40.8 (a.r.)	1.53	Jul.	2.79-2.88		Yatsuya et al. (2014)
<b><i>Ecklonia cava</i> ssp. <i>cava</i></b>						
Miura Pen., Kanagawa Pref.		*0.62(5m), *1.52(10m), *0.99(15m), *0.30 (20m)	Jul.	*1.37(5m), *1.43(10m), *0.59(15m), *0.20(20m)	Biomass in1987, production in 1988.	Terawaki et al. (1991)
Suzaki, Izu Pen., Shizuoka Pref.	6.6	*1.38(5m), *0.65(7m), *0.53(10m)	Jul.-Aug.			Iwahashi (1968)
Shitaru, Izu Pen., Shizuoka Pref.	11(a.m.)	*1.95	Jun.-Aug.			Hayashida (1985)
Nabeta Bay, Shizuoka Pref.	13-25 (a.r.)	3	Aug.	2.9	Surveyed in 1980-81.	Yokohama et al. (1987)
Nabeta Bay, Shizuoka Pref.	12-17 (a.r.)	*1.61	Jul.		Surveyed in 1996-97.	Serisawa et al. (2001)
Shima Pen., Mie Pref.	14 (max.)	0.8			Maximum in the monitoring in 1982-87. Biomass was estimated by allometry.	Maegawa (1990)
Tei, Tosa Bay, Kochi Pref.	10.8-19.8 (3-5m), 20.6-26.9(7-10m) (a.r.)	*1.5(3-5m), *0.96(7-10m)	Aug.		Surveyed in 1981-82.	Ohno and Ishikawa (1982)
Tei, Tosa Bay, Kochi Pref.	16-54(a.r.)	2.57	Oct.	2.73	Surveyed in 1993-94.	Tominaga et al. (2004)
Tei, Tosa Bay, Kochi Pref.	10-19 (a.r.)	*0.65	Apr., Jul.		Surveyed in 1995-96.	Serisawa et al. (2001)

位面積あたり日間生産量は調査地により異なるが, 繁茂期 (6~7月) が 10~15g 乾重 m<sup>-2</sup> 日<sup>-1</sup> 程度でもっとも大きい。ただし, 成長期 (2~3月) でも調査地によっては 10 g 乾重 m<sup>-2</sup> 日<sup>-1</sup> 以上の繁茂期と同等の生産量を示す。

既往文献による他海域のクロメと, 極めて近縁のカジメの成体の生育密度, 年間最大現存量および年間生産量を表 6 に整理した。現存量が湿重量で表示されている場合は, 乾重量をその 15% (寺脇・新井, 2004) として換算した。

クロメの密度や年間最大現存量に関する情報は, カジメと比較して少ない。密度については, 瀬戸内海の山口県長島 (村瀬・大貝, 1996) では年間で 24~36 個体 m<sup>-2</sup> の範囲で変動 (幼体も含んで計数), 外海域では長崎県壱岐市郷ノ浦の成体密度 17.6~40.8 個体 m<sup>-2</sup> (平均 29.3 個体 m<sup>-2</sup>) (八谷ほか, 2014b), また分布南限に近い宮崎県川南町の成体密度 6~24 個体 m<sup>-2</sup> (成原・大木, 1990) が報告されている。年間の最大現存量については, 瀬戸内海域で愛媛県・殿島の報告があり, 水深 8 m で 1.5kg 乾重 m<sup>-2</sup> であり, それより浅くても深くても現存量は減少している (寺脇・川崎, 1990)。同じく瀬戸内海域では, 山口県・長島で 0.89kg 乾重 m<sup>-2</sup> (村瀬・大貝, 1996), 豊後水道では

愛媛県八幡浜市山王島地先で 1.98kg 乾重 m<sup>-2</sup> (寺脇, 1991), また外海域では長崎県壱岐市で 1.53kg 乾重 m<sup>-2</sup> (八谷ほか, 2014b), 宮崎県川南町で最大 1.49kg 乾重 m<sup>-2</sup> (寺脇・川崎, 1990) が, いずれも夏季 (6~8月) のものとして報告されている (表 6)。

カジメについては, 三浦半島や伊豆半島, 土佐湾で多くの報告があるが, 現存量は生育水深により異なっている (表 6)。三浦半島では水深 10 m, 伊豆半島や土佐湾では水深 3~5 m で現存量は大きい, いずれも 1.4~1.5kg 乾重 m<sup>-2</sup> 程度である (岩橋, 1968; 大野・石川, 1982; 寺脇ほか, 1991)。総じてカジメの成体密度は 10 個体 m<sup>-2</sup> 前後から 20 個体 m<sup>-2</sup> 前後, また最大現存量についてもおおむね 1kg 乾重 m<sup>-2</sup> 前後から 2kg 乾重 m<sup>-2</sup> の範囲に入っている。例外的に, 1980 年代の鍋田湾 (Yokohama et al., 1987) や 1990 年代初頭の土佐湾 (富永ほか, 2004) ではそれぞれ 2.57, 3 kg 乾重 m<sup>-2</sup> と突出して大きな現存量が報告されているが, その要因については後で考察したい。いずれにせよ本報における瀬戸内海西部のクロメの現存量は, 既報のクロメ・カジメの現存量の範囲内に入り, 外海域のものと比較しほぼ同等か若干小さめであると考えられる。

カジメ・クロメは冬季から春季に年間で最も盛んに

側葉を形成して成長し、夏季に現存量のピークを迎え、夏から秋には成熟して子囊班を形成し、それとともに葉状部は‘末枯れ’が著しく進行して縮小する (Yokohama et al., 1987; 小島・谷口, 1994; 寺脇・新井, 2004; 八谷ら, 2014b)。マーキング法でカジメ・クロメの生産量を評価した事例では、日間生産量のピークは現存量のピークに先立つ冬季から春季にみられており、伊豆・鍋田湾のカジメで 12.4~14.3 g 乾重  $m^2日^{-1}$  (4月: Yokohama et al., 1987), 土佐湾のカジメで 9.96 g 乾重  $m^2日^{-1}$  (12月: 富永ほか, 2004), 長崎・壱岐のクロメで 14.9 g 乾重  $m^2日^{-1}$  (2~4月: 八谷ほか, 2014b) であった。本報の生産量測定は年 3 回しか行っていないが、成長期 (2~3月), 繁茂期 (6~7月) の生産量はほぼこれらと同等の数値であった。一方、既往研究では日間生産量が最も小さくなるのは夏季であり、鍋田湾で 1.1~2.3 g 乾重  $m^2日^{-1}$  (8月: Yokohama et al., 1987), 土佐湾で 0.12 g 乾重  $m^2日^{-1}$  (9月: 富永ほか, 2004), 壱岐で 1.0~1.5 g 乾重  $m^2日^{-1}$  (7~9月: 八谷ほか, 2014b) であった。本報の調査では夏季の測定を行っておらず、衰退期とみなした秋季の生産量 1.8~5.3 g 乾重  $m^2日^{-1}$  はこれらより高かった。本調査では調査地によりクロメの生産量に若干の差異がみとめられたが、結果を総合的にみれば、瀬戸内海西部のクロメは外海域のカジメ・クロメとほぼ同等の生産力を有していると判断できる。

鍋田湾, 土佐湾, 長崎・壱岐のカジメ・クロメ群落では年間生産量が算出されており、いずれも 2.7~2.9 kg 乾重  $m^2年^{-1}$  と類似している (表 6)。このうち長崎・壱岐では、年間生産量と年間最大現存量の比 (P/B 比) は 1.8~1.9 であるが (八谷ほか, 2014b), 鍋田湾, 土佐湾では P/B 比は 1~1.1 程度であった。前述のとおり、鍋田湾 (Yokohama et al., 1987), 土佐湾 (富永ほか, 2004) の報告における最大現存量は他の報告と比較して突出して大きく、年間の生産量とほぼ等しい (表 6)。カジメ・クロメの葉状部の流失量は秋季が最も大きい、年間を通じて古い側葉や中央葉組織の流失である‘末枯れ’は少しずつ起こっており (Yokohama et al., 1987; 小島・谷口, 1994; 八谷ほか, 2014b), 年間の生産量は最大現存量を上回るのが一般的であると考えられる。したがって、前述の P/B 比が 1 に近い値をとる事例では、カジメの古い葉状部組織が流失せず、長期にわたり藻体上に残存していたことを想定しないと説明が困難である。波浪等の海況条件によっては特異的に末枯れが進行せず、現存量が多めに見積もられることもあるものと推測される。八谷ほか (2014b) は壱岐をはじめ各地のカジ

メ・クロメの側葉の年間の形成枚数と最大枚数との比を算出し、多くの場合 1.5~1.8 の間に収まるとしている。本報の調査についても、3 回測定した側葉形成速度の平均値をほぼ年間の平均値とみなし、年間の形成側葉枚数を計算した場合、トックリ鼻③で 12.3 枚年<sup>-1</sup>, ハギ鼻④で 15.9 枚年<sup>-1</sup> (いずれも片側) となる。さらに繁茂期の側葉数 (表 5) を年間の最大値とみなすと、年間形成枚数 / 最大側葉数の比はそれぞれの調査地で 1.5 および 2 となり、八谷らの提示した数値範囲に近い。この比は実質上藻体組織の年間の回転率であり、P/B 比とみなすことが可能であるので、一般的にはカジメ・クロメの P/B 比は海域を問わず 1.5~2 程度の範囲に収まるものと考えられる。

本報においてクロメの生産量は場所間で異なっており、ハギ鼻④で大きかった。ハギ鼻④とトックリ鼻③の調査地は同じ片島沿岸にあり距離も近いが、環境は大きく異なっている。ハギ鼻④の調査地が南西方向に開けた海面に面している一方で、トックリ鼻③の調査地は島の南端に突き出した弧状に湾曲した暗礁の内側にあり、沖側からの波浪からは遮蔽されている。したがって、ハギ鼻④ではトックリ鼻③と比較してクロメの生産においてより良好な流動条件にあるものと考察できる。適度な流動により藻体がゆらぎ、個体間の光等をめぐり競争をやわらげ高密度・高生産の群落が維持される可能性がヒジキ等でも提示されている (Yoshida and Shimabukuro, 2017)。一方でマーキング法による生産量の見積もりにおいては藻体の葉片重量や群落密度等がその算出の基礎となっており、これらは一般的に現場で取得できるデータ数も限られる。したがって、算出した生産量が群落を代表する妥当なものかどうか、何らかの手法による検証が必要と思われる。

クロメの形態には大きな地理的変異があることが知られ、生育場所の波浪流動の影響が大きいとされている (寺脇・新井, 2004; Tsutsui et al., 1996)。本報における比較的近接した調査地間でもクロメの形態には多様性がみとめられた。神名①のクロメの大きくて幅の広い中央葉、また短い同様に幅の広い側葉等の葉状部の形態は、寺脇・新井 (2004) により報告された広島湾奥部・大野瀬戸のクロメの形態に類似している。大野瀬戸では波浪よりも一方向に流れる潮汐流の影響の方が大きく、クロメの形態もそのような特殊な環境と関連すると考察されている。本報の神名①のクロメは水深 6 m の海底に設置された人工礁上に生育しており、波浪の直接的な影響を受けることは少なく、その生育環境は上述の大野瀬戸と類似すると推測

される。同じく平郡島のマツラ②のクロメは、相対的に細長い中央葉を有し、側葉の枚数が多い等、神名①のクロメとは対照的な形態を有していた。この形態的な特徴は高知県・室戸や宮崎県・都農等の外洋に面し、波浪の強い場所に生育するクロメ (Tsutsui et al., 1996) に類似している。マツラ②の調査地は、伊予灘に面して広く海面が開けた平郡島の南岸にあり、またクロメ群落の水深も浅いことから、波浪の影響が比較的大きい環境であると考えられる。

伊豆・鍋田湾産カジメと土佐湾産カジメとを比較すると、前者が1 mを超える長い茎を有するのに対し、後者の茎は長くても50 cm程度であり、形態が明瞭に異なっている。両者の幼体を鍋田湾で育成したところ茎長の違いが保持されたことから、少なくとも土佐湾産カジメの相対的に短い茎は遺伝的に安定した形質であるとされている (Serisawa et al., 2002ab)。南半球に分布する *E. radiata* では、様々な地理的スケールで分布する個体群について調べられ、地理的に離れた調査地 (location) 間で形態の多様性がみられる一方で、同じ調査地内の波浪の影響の異なる場所 (site) 間でも形態の違いが明瞭であった (Wernberg and Thomsen, 2005)。本報の近接した調査地間でみられた形態の違いが、それぞれ生育環境に応じて可塑的に生じたものなのかどうかは極めて興味深い。

群落内の幼体の密度には、林冠を形成して群落下床部の光環境を左右する成体の密度が影響を及ぼす (林田, 1986; Maegawa, 1990) ことが報告されているが、同様の成体・幼体密度の関係が本報の調査地間でもみとめられた。アラメ・カジメ類の群落は、何らかの要因により成体がまとまって枯死流出し、その後幼体が大量に入植する‘ギャップ更新’により維持されている (Maegawa, 1990)。一方で、生育環境が悪化して群落全体が危機にさらされた場合、群落の年齢組成が若齢個体を中心としたものに変化することも報告されている。土佐湾のカジメ群落では1980年代初頭には3~4歳の個体を中心に構成されていたが、1990年代中頃には0~1歳群が中心となって現存量も大幅に低下し、その後消失した (芹澤ほか, 2001, 2002)。また、宮崎県のクロメ群落は魚類の食害による消失と、幼体の入植による再生を短い間隔で繰り返している (荒武, 2006)。もともとカジメ・クロメ分布の南限にあり、近年水温上昇により生育環境が厳しくなっているこれらの場所では個体の‘短命化’が進み、群落の年齢組成に反映されているものと考えられる。

本報の調査場所においてはクロメの成体、幼体のい

ずれも採集された。群落の年齢組成は不明であるが、測定された成体の藻体サイズや形態を表す数値の幅から、群落は多様な年齢の個体により構成されているものと考えられた。しかし、広島湾側の調査地である平松⑥では群落はほとんど幼体により占められ、現存量も極めて小さかった。平松⑥の人工礁をはじめ、水深の比較的深い場所や静穏な場所の海底基質上では浮泥が沈積し、クロメをはじめとする海藻の入植・生育が阻害されるのが本海域の特性である (吉田, 2010; 吉田ほか, 2014; Kato et al., 2018)。外海域におけるカジメ・クロメ群落の衰退は地球規模の環境変動に起因しているが、本調査地でみられる局所的な負の環境要因に対しても、群落は見かけ上同様の反応を示すものと考えられる。

瀬戸内海においてアラメ・カジメ類は、外海域に近いもしくは直接繋がる伊予灘や紀伊水道の主要な藻場海藻である (吉田ほか, 2010)。伊予灘は豊後水道を介して太平洋に繋がっているが、冒頭に述べたとおり豊後水道や紀伊水道ではアラメ・カジメ類の藻場の消失・衰退が進行している。したがって、現在広域で起こっている環境変動が今後も継続した場合、伊予灘にある本報の主要な調査地のクロメ群落ではいちはやくその影響が現われるものと予想される。伊予灘は瀬戸内海への‘気候変動の影響の入り口’ともみなすことができ、藻場のみならず暖海性の生物の侵入 (Kato et al., 2018) やその生態系への影響も含め、今後重点的にモニタリングを行っていくことが必要と考える。

## 【謝辞】

本研究は、水産庁「地球温暖化対策推進費委託事業」のうち「藻場・干潟の炭素吸収源評価と吸収機能向上技術の開発」(平成23, 24年度)の一環として実施し、とりまとめにあたってはJSPS科研費18H02268(代表者:吉田吾郎)の助成を受けた。ここに御礼申し上げる。

## 【引用文献】

- 秋本泰・松村知明 (2010) : 2.2 日本沿岸の藻場分布資料と藻場面積の変化. 藤田大介・村瀬昇・桑原久実編著:『藻場を見守り育てる知恵と技術』成山堂書店, 17-29.
- 荒武久道 (2006) : 3.2 食われても平気な藻場. 藤田大介・野田幹雄・桑原久実編著:『海藻を食べる魚たち - 生態から利用まで -』成山堂書店, 52-62.
- 岩橋義人 (1968) : 伊豆半島沿岸のアラメ・カジメの生態的研究 - II カジメの生育量の季節変化. 静岡県水産試験場研究報告, 1, 33-36.

- 大野正夫・石川美樹 (1982) : 土佐湾産カジメ類の生理生態学的研究 I. 群落の周年変化. 高知大学海洋生物教育研究センター研究報告, 4, 59-73.
- 倉島彰 (2010) : 5.3 アラメ・カジメ海中林の生産力. 藤田大介・村瀬昇・桑原久実編著:『藻場を見守り育てる知恵と技術』成山堂書店, 115-120.
- 小島博・谷口和也 (1994) : 徳島県牟岐町沿岸における褐藻クロメの成長周期. 日本水産学会誌, 60, 365-369.
- 島袋寛盛・吉田吾郎・加藤亜記・郭新宇 (2018) : 今後 100 年間に生じる水温と藻場生態系の変遷を予測する. 海洋と生物, 236, 233-242.
- 水産庁 (2015) : 『改訂 磯焼け対策ガイドライン』水産庁.
- 芹澤如比古・秋野秀樹・松山和世・大野正夫・田中次郎・横浜康継 (2001) : 水温環境の異なる 2 つの生育地のカジメ群落における現存量, 密度, 年齢組成の比較. 水産増殖, 49, 9-14.
- 芹澤如比古・上島寿之・松山和世・田井野清也・井本善次・大野正夫 (2002) : 高知県手結地先に生育するカジメ (褐藻, コンブ目) の年齢と形態の関係. 水産増殖, 50, 163-169.
- 筒井功・大野正夫 (1992) : 和歌山県白浜産クロメの成長・成熟と形態の季節変化. 藻類, 40, 39-46.
- 寺脇利信 (1991) : 海中砂漠緑化技術の開発 第 4 報 砂地海底に設置したコンクリートブロック上でのアラメ・カジメ類の生育. 電力中央研究所・研究報告, U91024, 1-31.
- 寺脇利信・新井章吾 (2004) : 9 アラメ・カジメ類. 大野正夫編著:『有用海藻誌 海藻の資源開発と利用に向けて』内田老鶴圃, 133-158.
- 寺脇利信・川崎保夫 (1990) : 海中砂漠緑化技術の開発 第 3 報 クロメの成長と生育制限要因. 電力中央研究所・研究報告, U90044, 1-25.
- 寺脇利信・川崎保夫・本多正樹・山田貞夫・丸山康樹・五十嵐由雄 (1991) : 海中林造成技術の実証 第 2 報 三浦半島西部でのアラメおよびカジメの生態と生育特性. 電力中央研究所・研究報告, U91022, 1-69.
- 独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所 (2015) : 『瀬戸内海ブロック浅海定線調査観測 40 年成果 (海況の長期変動)』独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所.
- 富永春江・芹澤如比古・大野正夫 (2004) : 高知県土佐湾産カジメにおける葉状部の生産量と葉状部基部の大きさの季節変化. 藻類, 52, 13-19.
- 中西達也・棚田教生・北野慎容・蓑田仁美・安芸浩資 (2019) : 徳島県南部海部郡沿岸の 2007 年から 2017 年における藻場の変遷. 徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究課研究報告, 13, 1-34.
- 成原淳一・大木雅彦 (1990) : 宮崎県川南地先のクロメ群落について. 栽培漁業技術開発研究, 19, 1-8.
- 長谷川雅俊 (2006) : 3.4 日本最大の磯焼けは魚の影響? 藤田大介・野田幹雄・桑原久実編著:『海藻を食べる魚たち - 生態から利用まで -』成山堂書店, 76-89.
- 林田文郎 (1985) : カジメ群落の生産動態. 月刊海洋科学, 186, 746-750.
- 林田文郎 (1986) : カジメの群落生態学的研究 - III カジメ群落の構造について. 東海大学紀要海洋学部, 22, 159-169.
- 堀正和・桑江朝比呂 (2017) : 『ブルーカーボン - 浅海における CO<sub>2</sub> 隔離・貯留とその活用 -』地人書館.
- 村瀬昇・大貝政治 (1996) : 瀬戸内海の長島沿岸に生育するクロメの生長と成熟. 水産増殖, 44, 59-65.
- 村瀬昇・野田幹雄 (2018) : 水温の変動が藻場構成種および植食性魚類に与える影響. 海洋と生物, 236, 226-232.
- 八谷光介・桐山隆哉・清本節夫・種子田雄・吉村拓 (2014a) : 2013 年に発生した長崎県壱岐市郷ノ浦町地先におけるアラメ・カジメ場の衰退過程について - 夏季の高水温による発生と秋季の食害による拡大 -. Algal Resources, 7, 79-94.
- 八谷光介・清本節夫・吉村拓 (2014b) : 長崎県壱岐市郷ノ浦町地先におけるクロメ群落の現存量および生産量の季節変化. Algal Resources, 7, 67-77.
- 吉田吾郎 (2010) : 3.7 浮泥の堆積. 藤田大介・村瀬昇・桑原久実編著:『藻場を見守り育てる知恵と技術』成山堂書店, 63-68.
- 吉田吾郎 (2018) : 気候変動とその藻場への影響 - 瀬戸内海からみた“迫りくる脅威” -. 海洋と生物, 236, 203-209.
- 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の関係. 水産工学, 47, 19-29.
- 吉田吾郎・堀正和・島袋寛盛・浜口昌巳・寺脇利信・森口朗彦・元谷剛・藤原宗弘・相田聡・平田伸治 (2012) : 2011 年秋季の瀬戸内海におけるアイゴによる藻場への食害状況 - 特にアマモ場について, 食害の程度と群落衰退の関係 -. 平成 24 年度日本水産工学会学術講演会学術講演論文集, 79-80.
- 吉田忠生 (1998) : 『新日本海藻誌』内田老鶴圃.
- Akita, S., Hashimoto, K., Hanyuda, T., Kawai, H. (2020): Molecular phylogeny and biogeography of *Ecklonia* spp. (Laminariales, Phaeophyceae) in Japan revealed taxonomic revision of *E. kurome* and *E. stolonifera*. *Phycologia*, 59,

- 330-339.
- Kato, A., Shima, T., Fujimoto, M., Shimabukuro, H. and Yoshida, G. (2018): Seaweed community structures in the temperate zooxanthellate scleractinian coral *Alveopora japonica* bed in the western Seto Inland Sea, Japan. *Algal Resources*, 11, 11-23.
- Kawai, H., Akita, S., Hashimoto, K., Hanyuda, T. (2020): A multigene molecular phylogeny of *Eisenia* reveals evidence for a new species, *Eisenia nipponica* (Laminariales), from Japan. *European Journal of Phycology*, 55, 234-241.
- Maegawa, M. (1990): Ecological studies of *Eisenia bicyclis* (Kjellman) Setchell and *Ecklonia cava* Kjellman. *The Bulletin of the Faculty of Bioresources Mie University*, 4, 73-145.
- Rothman, M.D., Mattio, L., Wernberg, T., Anderson, R.J., Uwai, S., Mohring, M.B. and Bolton, J.(2015): A molecular investigation of the genus *Ecklonia* (Phaeophyceae, Laminariales) with special focus on the southern hemisphere. *Journal of Phycology*, 51, 236-246.
- Serisawa, Y., Akino, H., Matsuyama, K., Ohno, M., Tanaka, J. and Yokohama, Y. (2002a): Morphometric study of *Ecklonia cava* (Laminariales, Phaeophyta) sporophytes in two localities with different temperature conditions. *Phycological Research*, 50, 193-199.
- Serisawa, Y., Imoto, Z., Ishikawa, T. and Ohno, M. (2004): Decline of the *Ecklonia cava* population associated with increased seawater temperatures in Tosa Bay, southern Japan. *Fisheries Science*, 70, 189-191.
- Serisawa, Y., Yokohama, Y., Aruga, Y. and Tanaka, J. (2002b): Growth of *Ecklonia cava* (Laminariales, Phaeophyta) sporophytes transplanted to a locality with different temperature conditions. *Phycological Research*, 50, 201-207.
- Tanaka, K., Taino, S., Haraguchi, H., Prendergast, G. and Hiraoka, M. (2012): Warming off southwestern Japan linked to distributional shifts of subtidal canopy-forming seaweeds. *Ecology and Evolution*, 2, 2854-2865.
- Terada, R., Abe, M., Abe, T., Aoki, M., Dazai, A., Endo, H., Kamiya, M., Kawai, H., Kurashima, A., Motomura, T., Murase, N., Sakanishi, Y., Shimabukuro, H., Tanaka, J., Yoshida, G. and Aoki, M. (2019): Japan's nationwide long-term monitoring survey of seaweed communities known as the "Monitoring Sites 1000": Ten-year overview and future perspectives. *Phycological Research*, doi:10.1111/pre.12395.
- Tsutsui, I., Arai, S., Terawaki, T. and Ohno, M. (1996): A morphometric comparison of *Ecklonia kurome* (Laminariales, Phaeophyta) from Japan. *Phycological Research*, 44, 215-222.
- Wernberg, T. and Thomsen, M.D.(2005): The effect of wave exposure on the morphology of *Ecklonia radiata*. *Aquatic Botany*, 83, 61-70.
- Yokohama, Y., Tanaka, J. and Chihara, M.(1987): Productivity of the *Ecklonia cava* community in a bay of Izu Peninsula on the Pacific coast of Japan. *The Botanical Magazine, Tokyo*, 100, 129-141.
- Yoshida, G. and Shimabukuro, H. (2017) : Seasonal population dynamics of *Sargassum fusiforme* (Fucales, Phaeophyta), Suo-Oshima Is., Seto Inland Sea, Japan - development processes of a stand characterized by high density and productivity. *Journal of Applied Phycology*, 29, 639-648.

(2020年 8月31日受付)

(2020年 12月16日受理)