

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—

八谷光介<sup>1,2\*</sup>・桐山隆哉<sup>3</sup>・清本節夫<sup>1</sup>・種子田 雄<sup>1</sup>・吉村 拓<sup>1</sup>

On the deterioration process of *Ecklonia* and *Eisenia* beds observed  
in 2013 at Gounoura, Iki Island, Nagasaki Prefecture, Japan.  
-Initiation of the bed degradation due to high water  
temperature in summer and subsequent cascading effect  
by the grazing of herbivorous fish in autumn-

Kousuke YATSUYA<sup>1,2\*</sup>, Takanari KIRIYAMA<sup>3</sup>, Setuo KIYOMOTO<sup>1</sup>  
Takeshi TANEDA<sup>1</sup> and Taku YOSHIMURA<sup>1</sup>

Abstract: In 2013, summer water temperature off Iki Island was the highest among the eight years from 2006 to 2013. Deterioration of kelp (*Ecklonia* spp. and *Eisenia bicyclis*) beds occurred around Iki Island. Summer water temperature was higher on the western coast than the southern coast of the island, and within the same area it was higher in shallower zone than in deeper zone. In late August and early September, fronds of kelp were lost, and the lower part of the stipe had lost its color and was bent. Deterioration of kelp progressed more rapidly in the areas with relatively higher water temperature. Until October, kelp beds in deeper zones or along the southern coast of the island, where water temperature was relatively low, remained with less damages. But in October to December, the kelp beds in these areas were heavily grazed by herbivorous fish. Juveniles of the kelps appeared in late December and their density was proportional to the amount of fronds that remained at the previous reproductive season (October to November). In this process of the kelp bed deterioration in Iki Island, higher water temperature and grazing by herbivorous fish affected the kelp beds with a time lag and spatial difference, rather than occurring simultaneously.

Keywords: *Ecklonia* spp., *Eisenia bicyclis*, kelp bed, deterioration, high water temperature, grazing by herbivorous fish, Iki Island

緒 言

アラメ *Eisenia bicyclis* やカジメ類 *Ecklonia* spp.

により形成される海中林はアラメ・カジメ場などとも呼ばれ、アワビ・ウニなどの餌料源として、また魚類やイセエビなどの保育場として機能して

<sup>1</sup> (独)水産総合研究センター西海区水産研究所 (Seikai National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, 1551-8 Taira, Nagasaki 851-2213, Japan)

<sup>2</sup> 現住所: (独)水産総合研究センター東北水産研究所 (Tohoku National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, 4-9-1 Sakiyama, Miyako, Iwate 027-0097, Japan)

<sup>3</sup> 長崎県総合水産試験場 (Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries, 1551-4 Taira, Nagasaki 851-2213, Japan)

\*Corresponding author: Tel: 0193-63-8121, fax: 0193-64-0134, e-mail: yatsuya@affrc.go.jp

おり、水産業にとって重要な沿岸生態系となっている(寺脇 1996)。しかし、近年、日本列島の暖温帯に属する九州、四国、本州太平洋岸では、アラメ・カジメ場の衰退やその状態が継続している磯焼け(四井 1999)が、各地から報告されている。長崎県では1998年秋以降にアラメ・カジメ類の葉状部欠損現象が発生し(桐山ら 1999; 清本ら 2000)、土佐湾でも1990年代後半に進行したとみられる大規模なカジメ場の磯焼けが報告されている(芹澤ら 2000)。本州太平洋岸でも、黒潮流路の接岸による伊豆半島での磯焼け(河尻ら 1981)をはじめ、駿河湾(長谷川ら 2003)や伊勢湾(蒲原ら 2007)などでもアラメ・カジメ場の衰退や磯焼けがみられている。また、東北地方の牡鹿半島でもアラメ場の深所からの衰退が報告されている(Muraoka 2008)。

このように磯焼けおよび藻場の衰退の事例は各地にあるものの、これらの発生・拡大する様子を詳細に観察した例はほとんどない。その理由としては、一般に藻場の衰退や磯焼けは、その発生から一定の時間が経過してから感知されることや、潜水による観察は調査範囲や頻度に制約があることがあげられる。また、数年から数十年前の藻場の状況との比較によって磯焼けの発生を認識する場合も、その間に起きた藻場の変化を具体的に把握することは困難である。このような長期的な調査も重要である一方で、藻場衰退のメカニズムを把握するためには、藻場が大きく変貌していく過程をリアルタイムで観察することが有効であるが、一般的にはそのような機会に恵まれることはほとんどない。

日本海南西部の九州北部および山陰西部沿岸は、アラメ・カジメ類やホンダワラ類が周年生育し、「四季藻場」(吉村ら 2009)と呼ばれる藻場の縁辺域にあたる。同海域は、2013年夏季には記録的な高水温にみまわれ(福岡管区気象台 2014)、九州北部から山口県(村瀬ら 2014)にかけての広範囲(直線距離でおよそ200km)にわたり、アラメ・カジメ場の大規模な衰退現象が発生した。著者らは、九州北部の壱岐市郷ノ浦町地先で継続的な藻場調査を行ってきたが、2013年8月下旬に葉状部の欠損や茎状部下部の退色とその部位での折れ曲がり(Fig. 1)、および海底に集積した大量の寄り藻など、例年にはみられない現象を観察した。これらの現象は藻場衰退の兆候と考えられたので、この後、同地先で冬季まで高頻度かつ広域的なモニタリングを実施したところ、その衰退過程を詳細に観察することができたので報告する。

## 材料および方法

### 1. 調査地

壱岐島は九州北部の対馬海峡に位置し、郷ノ浦町地先は島の南西部にあたる(Fig. 2)。本研究では合計12カ所を調査したが、これらは大きく分けて郷ノ浦町地先の西岸域または南岸域に位置する。なお、2013年9月の調査では、地元漁協の調査要望により広域的に現象を把握するため、郷ノ浦町西岸域に隣接する勝本町手長島も調査した。本研究では、手長島の調査地も便宜的に西岸域に含めた。西岸域の調査地点は、手長島、猿岩下、鷹巣、ツイズビーチ(TW: 図表中の略称、以下同様)、

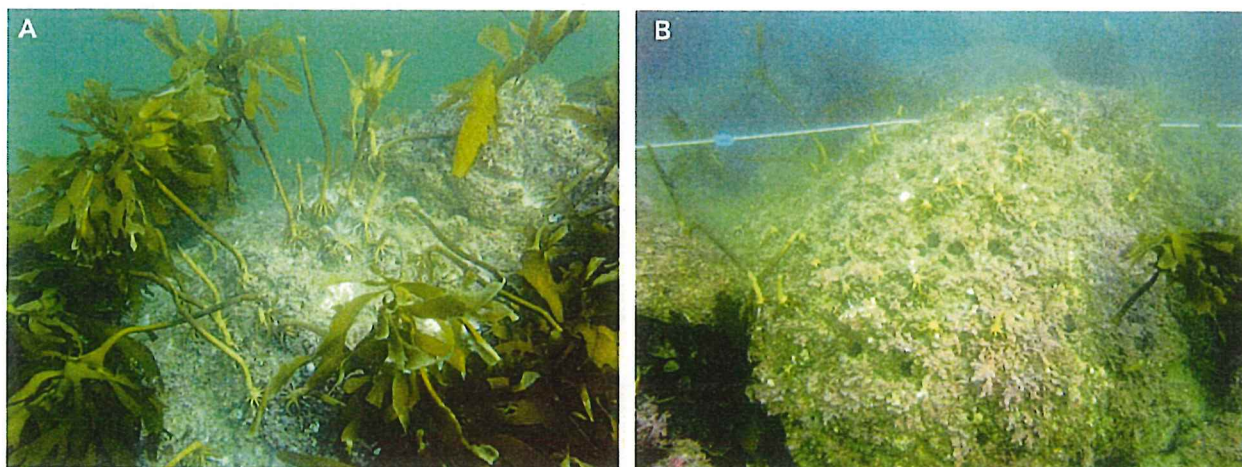


Fig. 1. Photographs showing anomalous characteristics of *Ecklonia* spp. at the same shallow area in Tobise, Iki Island, on 27 August, 2013 (A) and 10 September, 2013 (B). Some stipes were white or had lost its color, and others bent near the holdfast on 27 August (A). Many of thalli with the anomalous stipe had been lost and only the holdfast remains, while a few thalli kept blades but in a deteriorating condition, on 10 September (B).

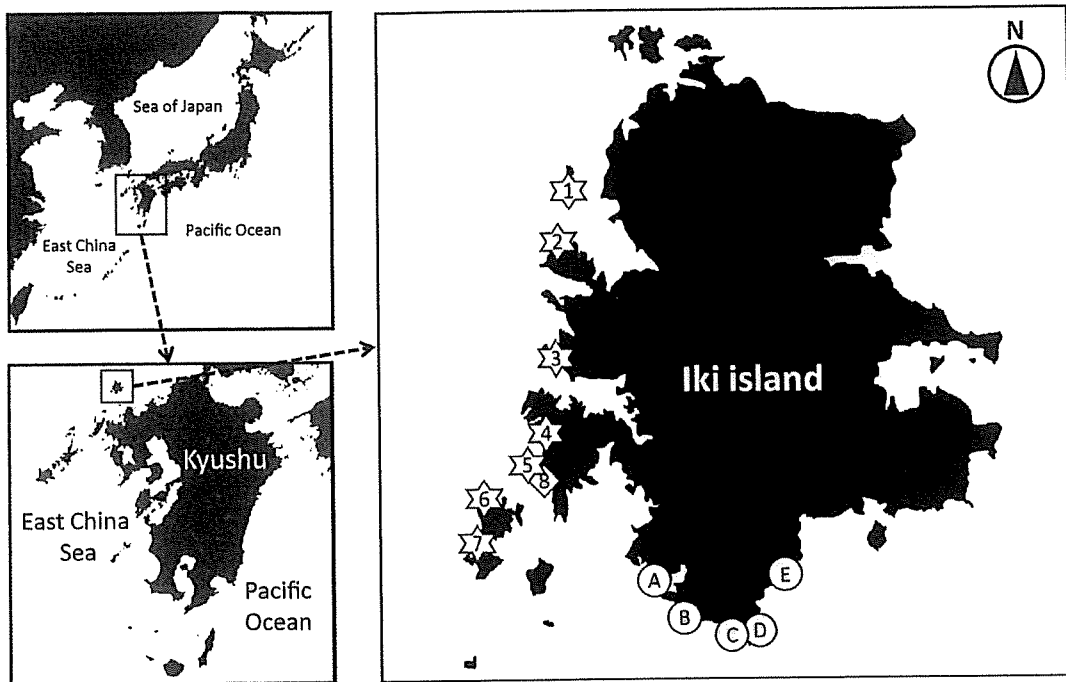


Fig. 2. Maps showing monitoring sites off Gounoura, Iki Island. Stars and a diamond numbered 1-8 and circles termed A-E are located along the western and southern coasts of Gounoura, Iki Island. Stations 1-7 and A-E indicate monitoring sites for *Ecklonia* spp. and *Eisenia bicyclis*. Water temperature was recorded at Waka (Stn. 8) and Tsubo (Stn. A). 1: Tenaga-shima, 2: Saruiwa-shita, 3: Takanosu, 4: Twins-beach, 5: Oh-se, 6: Tobi-se, 7: Sango-zaki, 8: Waka, A: Tsubo, B: Goh-se, C: Man-no-ura, D: Haze, E: Shihara.

Table 1. Monitoring sites in each monitoring date. Deterioration of kelp was investigated on more than 25 thalli of kelp (○), while the deterioration was monitored only by a line survey (L) or an investigation into identified individuals (X). Abbreviations of the monitoring sites in Figures 5 and 6 are also indicated in parenthesis

Monitoring site	2013						2014
	Aug. 27-28	Sep. 10-11	Oct. 14-15	Dec. 2-3	Dec. 17	Dec. 23-24	Jan. 29-30
Tenaga-shima		○					
Saruiwa-shita		○			○		
Takanosu	○	○	○	○		○	
Twins-beach (TW)	○	○	○		○		
Oh-se		○	○	○		○	○
Tobi-se (TB)	○	○	○	○	L		○
Sango-zaki (SZ)	○	○	○	○			
Tsubo (TS)		X	X	○		○	○
Goh-se	○	○			○		
Man-no-ura		L	○	○	L	○	○
Haze	○						
Shihara		○					

大瀬、飛瀬 (TB), サンゴ崎 (SZ) の7カ所であり、南岸域では坪 (TS), 郷瀬, 万ノ浦, 初瀬, 志原の5カ所である (Fig. 2, Table 1)。郷ノ浦町地先は、アラメ・カジメ類の生育する岩礁域が水深10m以深まで広がる場所が多いが、サンゴ崎と郷瀬では水深10m付近を境に砂地となっていた。また、ツイズビーチと坪では、砂地に設置されたコンクリート製ブロックを調査対象とした。各調査地点において浅所帯 (1~5m: 潮位表基準面, 以下同様), 中間帯 (6~10m), 深所帯 (11~14m) の3水深帯の調査を基本としたが、深所帯にあたる水深に岩礁が欠落しているサンゴ崎では浅所帯と中間帯のみを調査した。また、郷瀬は10m以深で砂地となるため、水深9mを深所帯、水深6m (初回のみ4m) を中間帯とした。さらに、コンクリート製ブロックを調査対象とした地点では、浅所帯のみ (ツイズビーチ), 中間帯のみ (坪) で調査を行った。

郷ノ浦町地先では他の海域と同様に (喜田, 前川 1983; 寺脇, 川崎 1990; 寺脇ら 1991), アラメは一般的にカジメ類より浅い水深帯に生育し、両種の境界域では混生していたが、飛瀬では、浅所帯までカジメ類のみが生育していた。なお、郷ノ浦町地先では、カジメ *Ecklonia cava* またはクロメ *Ecklonia kurome* の形態的特徴を明瞭に示すもののほか、中間的な形態を示すものも混生しており、両種を水中で判別することは困難であった。そこで本研究では、カジメ, クロメおよび両種の中間形を含めてカジメ類 *Ecklonia* spp. と表記する。

## 2. 水温環境のモニタリング

郷ノ浦町地先の西岸域の和歌の水深3mおよび南岸域の坪の水深7mに自記式水温計 (和歌: JFEアドバンテック社ADT-HR, 坪: Onset社TidbiT) を設置して2013年2月から2014年1月まで1時間に1回以上の頻度で測定した (Fig. 2)。また、和歌の水深7mにおける同期間の水温データについては、(独) 水産総合研究センター増養殖研究所の林育夫氏より提供を受け、解析に加えた。2013年夏季の水温環境の特徴を把握するために、各地点で水温が28°C以上を記録した累積時間を1°C間隔で積算した。また、年ごとの夏季の水温を比較するため、2006年から水温が観測されている和歌の水深3mで、26°C以上となった累積時間を1°C間隔で積算した。なお、累積時間の積算においては、観測値がその次の観測時まで変化しなかったと仮定し、日単位に換算した。

## 3. アラメ・カジメ類の状況のモニタリング

緒言でも述べたように、2013年8月下旬に郷ノ浦町地先で実施した潜水調査においてカジメ類に異常を認め (Fig. 1), これを契機として冬季までモニタリングを実施した。調査は8月27・28日に続き、9月10・11日, 10月14・15日, 12月2・3日, 12月16日, 12月23・24日, 2014年1月29・30日の合計7回行った。調査地点は調査日によって異なるが、毎回、西岸域と南岸域の地点を含むようにした (Table 1)。調査地点の各水深帯で、アラメ・カジメ類 (幼体を除く) の合計25個体以上が生育する範囲を観察した。ただし、付着器の流失が進んだ2014年1月下旬の飛瀬 (浅所帯) では観察範囲を広げても6個体しか観察できなかった。

まず、各調査地点の各水深帯において観察対象とした25個体以上について、アラメ, カジメ類, また茎状部より先の部位が欠損し種判別できないもののそれぞれの出現頻度を調べた。次に、観察対象としたアラメ・カジメ類の葉状部あるいは茎状部の欠損度合を桐山ら (1999) を参考に以下の5段階に分けた。(I) 付着器のみ残る, (II) 付着器と茎状部のみ残る, (III) 葉状部がごくわずかに残る (アラメの場合はごくわずかな側葉, カジメ類の場合は側葉が欠損し中央葉のみ), (IV) 側葉の半分以下が残る (周囲に残存する欠損のない側葉と比較して、半分以下の長さの側葉しか残っていないとみられるもの), (V) 側葉の半分以上が残る。さらに、アラメまたはカジメ類として判別可能な上記 (III) ~ (V) に該当する個体を対象として、茎状部の退色や折れ曲がりの観察を行い、退色の有無については8月下旬から12月上旬まで、折れ曲がりについては9月上旬から10月中旬まで調査した。なお、調査対象となったアラメもしくはカジメ類が5個体以下の場合は、茎状部の異常についての結果に含めなかった。

最初に異変を感知した8月27・28日は、藻場の海藻を観察するための時間が限られたため、飛瀬およびサンゴ崎ではすべての水深帯を調査しなかった。また、いくつかの地点 (鷹巣, ツイズビーチ, サンゴ崎, 初瀬) においてはアラメ・カジメ類の判別が未実施であるほか、欠損度合を5段階ではなく (I), (II), (III) 以上, の3段階に分けた。

上述の方法以外の調査も補完的に行った (Table 1)。万ノ浦 (9月上旬と12月中旬) と飛瀬 (12月中旬) では、海岸線と垂直に200mの調査ラインを設定し、目視観察を行った (以下, ライン調査と記す)。坪では、生産力調査の一環 (八谷ら 2014) として、個体識別したカジメ類の回収・測定を1~

2カ月毎に繰り返していたので、これらの識別個体の欠損状況を観察した（以下、識別個体の観察と記す）。本報のモニタリングと同時に行なわれた9月上旬および10月中旬に回収されたものを結果に含めた。

2013年12月23・24日および2014年1月29・30日には、アラメ・カジメ類の幼体を対象に、調査地点の各水深帯で50cm方形枠を10カ所に設置し、個体密度と全長を調査した。また、8月下旬から9月上旬に、壱岐島各地の海岸へのアラメ・カジメ類の打ち上げ状況について、長崎県壱岐水産普及指導センターを通じて島内の漁業協同組合などに聞き取り調査を行うとともに、9月6日には郷ノ浦町を除く島内の地先6カ所について踏査による確認を行った。

## 結 果

### 1. 水温

2013年2月から2014年1月までの和歌と坪の水温水温変動と、2006～2012年の和歌の平均水温をFig. 3-Aに示す。2013年7～8月には、全地点で約2℃幅の日周変動を示しながら推移し、2006～2012年の和歌の平均水温より2℃以上高い状況が継続した。水温は9月上旬には低下したが、9月下旬には一時的に平均水温より再び2℃近く高くなった。10月中旬以降は夏季のように平均値を大きく上回る期間はみられなかった。また、夏季の水温は地

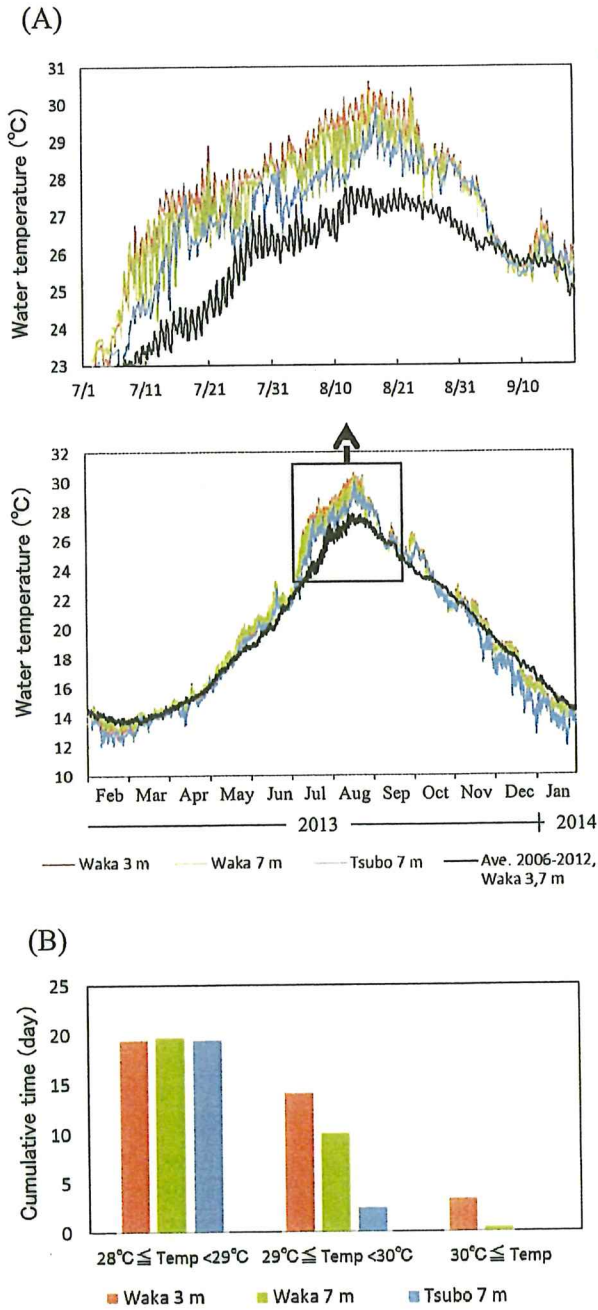


Fig. 3. Water temperature at depths of 3 and 7 m in Waka and 7 m in Tsubo (A). Mean temperature for 2006 to 2012 in Waka is superimposed and the upper panel focuses on summer, 2013 (A). Cumulative time for which water temperature in each plot was  $\geq 30^{\circ}\text{C}$ ,  $30^{\circ}\text{C} > \text{temperature} \geq 29^{\circ}\text{C}$  or  $28^{\circ}\text{C} > \text{temperature} \geq 29^{\circ}\text{C}$  in summer, 2013 (B).

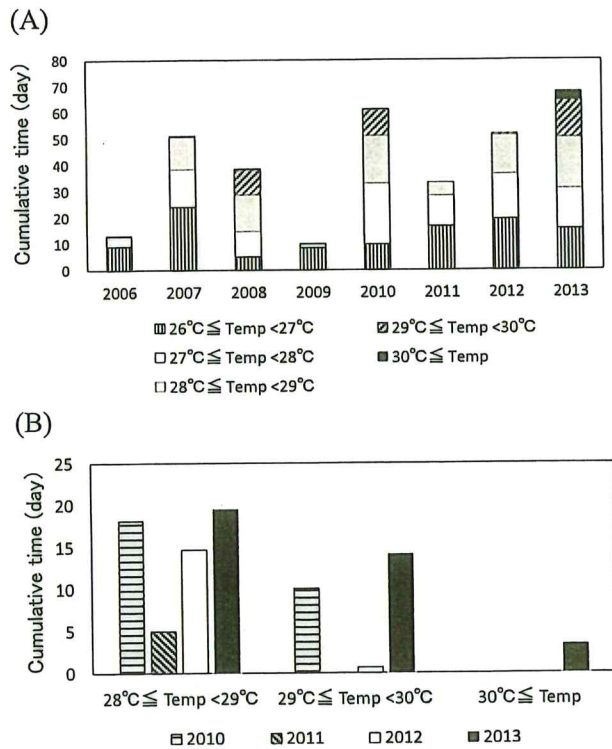


Fig. 4. Cumulative time of water temperature at a depth of 3 m in Waka for summers in 2006 to 2013 (A). Panel (B) shows water temperature more than 28°C from 2010 to 2013 for more close analysis.

点や水深によって異なった。28℃以上29℃未満の累積時間は、地点間でほぼ同様であったが、29℃以上30℃未満および30℃以上の累積時間は地点間で大きく異なり、和歌の水深3mが最も長く、次いで和歌の水深7mとなり、坪の水深7mが最も短かった (Fig. 3-B)。

2006年から2013年の夏季に、和歌の水深3mの水温が26℃以上であった累積期間をFig. 4-Aに示した。水温26℃以上の累積時間が最も長かったのは2013年であった。また、2013年は、それ以外の年にはほぼみられなかった水温30℃以上の累積時間が3.4日になり、29℃以上であった累積時間は17.5

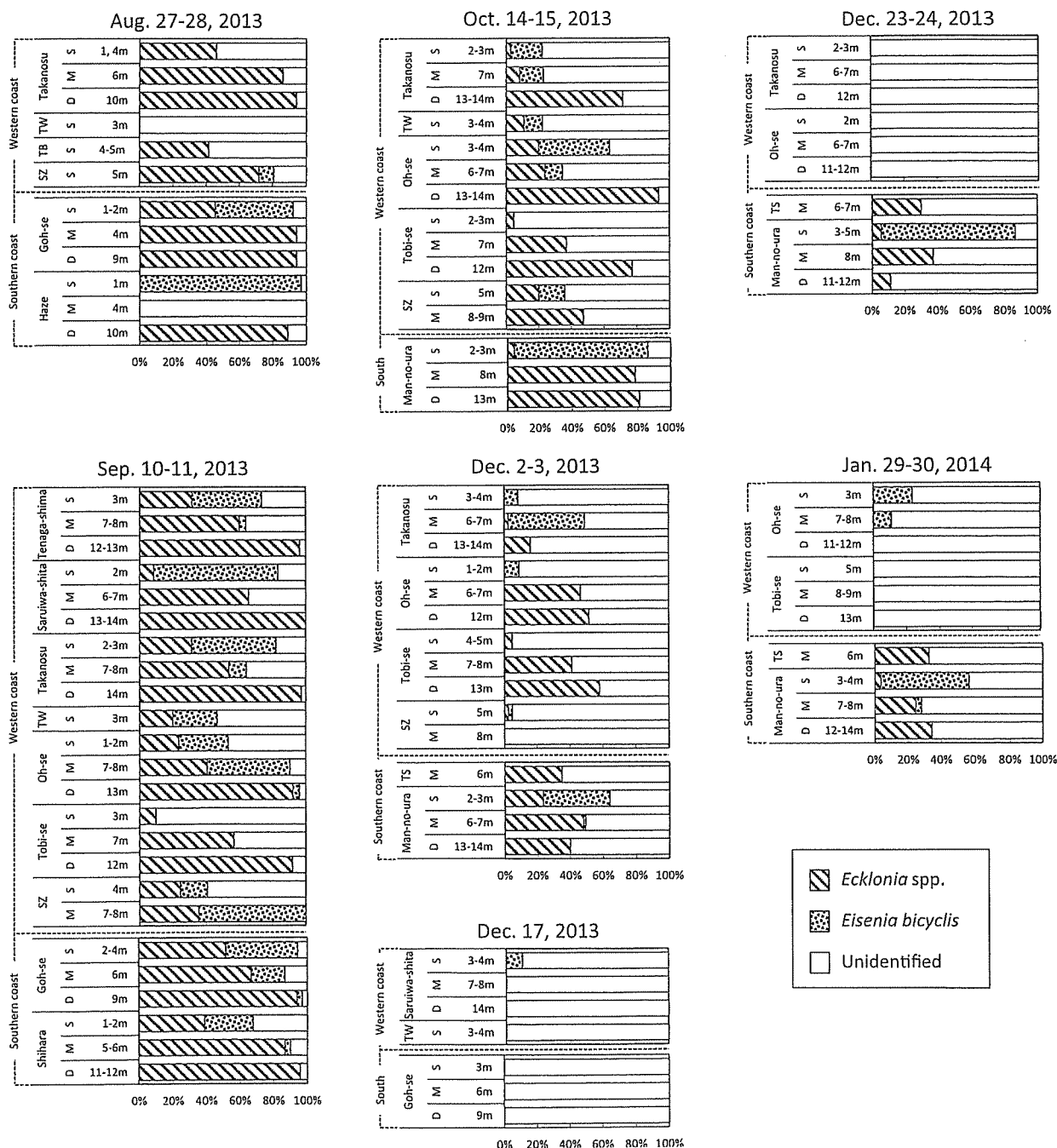


Fig. 5 Composition of *Ecklonia* spp., *Eisenia bicyclis* and unidentified individuals in monitoring sites for each investigation. Unidentified individuals were considered to be *Ecklonia* spp. or *Eisenia bicyclis*, but the absence of fronds prevented from identification. Abbreviations of the monitoring sites; TW: Twins-beach, TB: Tobi-se, SZ: Sango-zaki, TS: Tsubo. Depth zone (S: Shallow, M: Middle, D: Deep) and depth below chart datum level are also indicated on the left side of panels. Monitoring sites along the western coast are located in the upper panel and those along the southern coast are in the lower panel for each date.

日で、2013年の次に高水温であった2010年の約1.7倍となっていた (Fig. 4-B)。

## 2. アラメ・カジメ類の状況

各調査日に観察したアラメ・カジメ類の種組成をFig. 5に、葉状部や茎状部の欠損度合をFig. 6に、茎状部の退色した個体の割合をFig. 7に、茎状部の折れ曲がりの割合についてはFig. 8に示した。

2013年8月27・28日には、西岸域では鷹巣、ツイズビーチ、飛瀬、サンゴ崎の4地点を調査し、南岸域では郷瀬、初瀬の2地点を調査した (Table 1)。飛瀬の浅所帯では調査した87個体のうち、葉状部の欠損や茎状部の退色や折れ曲がりなどの異常がないものは2個体しかなく、全調査地点で最も損傷が進行していた (Fig. 1-A)。この地点では

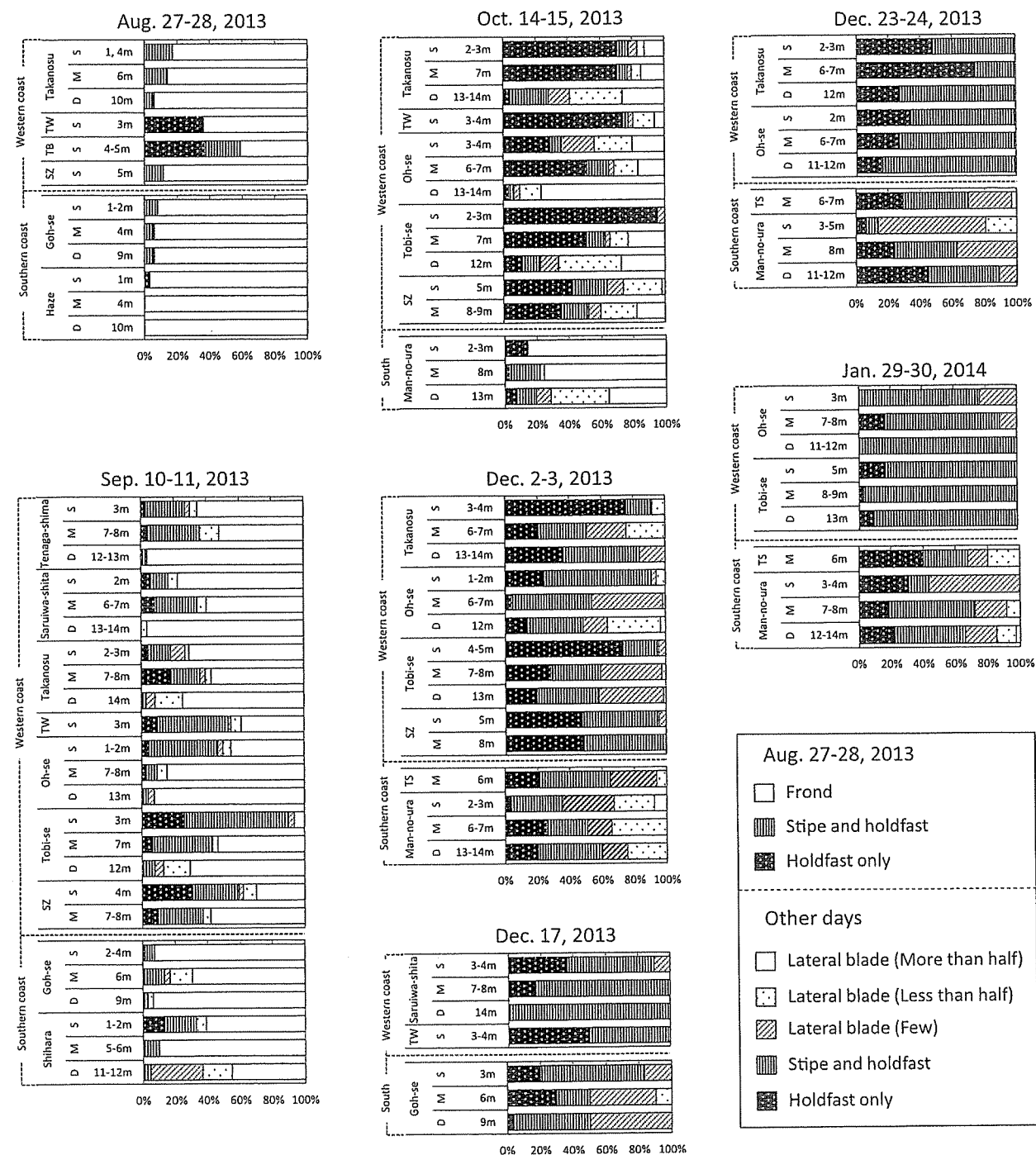


Fig. 6. Changes in compositions of kelp (*Ecklonia* spp., *Eisenia bicyclis* and unidentified) which remained with different parts of the thalli at monitoring sites along the western and southern coasts of Gounora, Iki Island. Note that patterns of horizontal bars in August 27-28, 2013 and these in other days are partly different. Abbreviations and arrangements are the same as in Fig. 5.

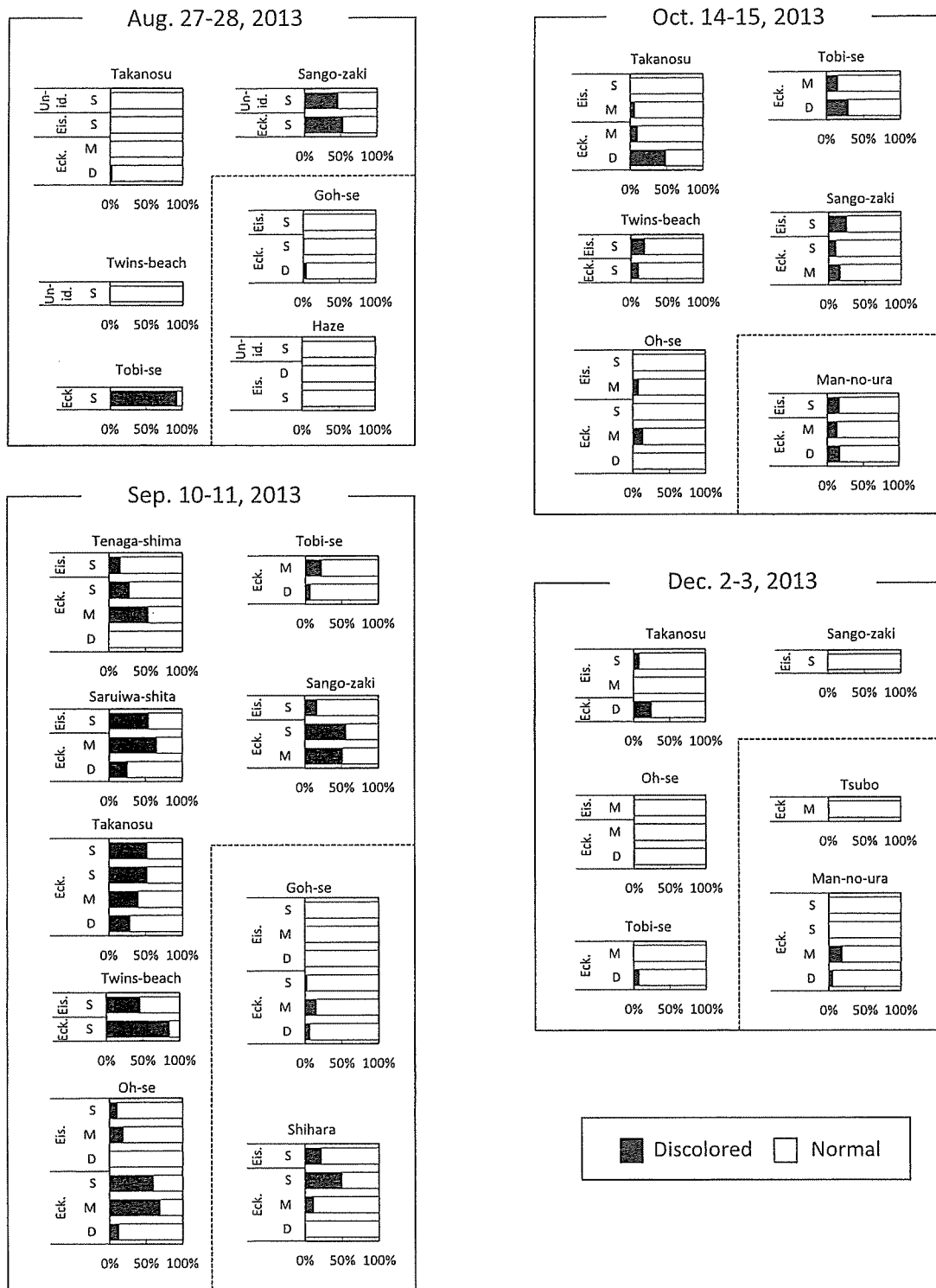


Fig. 7. Changes in composition of discolored or normal stipe of *Ecklonia* spp., *Eisenia bicyclis* and unidentified individuals. Unidentified individuals are as in Fig. 5. Abbreviations of species name; Eck: *Ecklonia* spp., Eis: *Eisenia bicyclis* and un-id.: unidentified individuals. Depth zones (S: Shallow, M: Middle, D: Deep) are also indicated on the left side of the panels. Monitoring sites along the western and southern coast are separated by broken line.



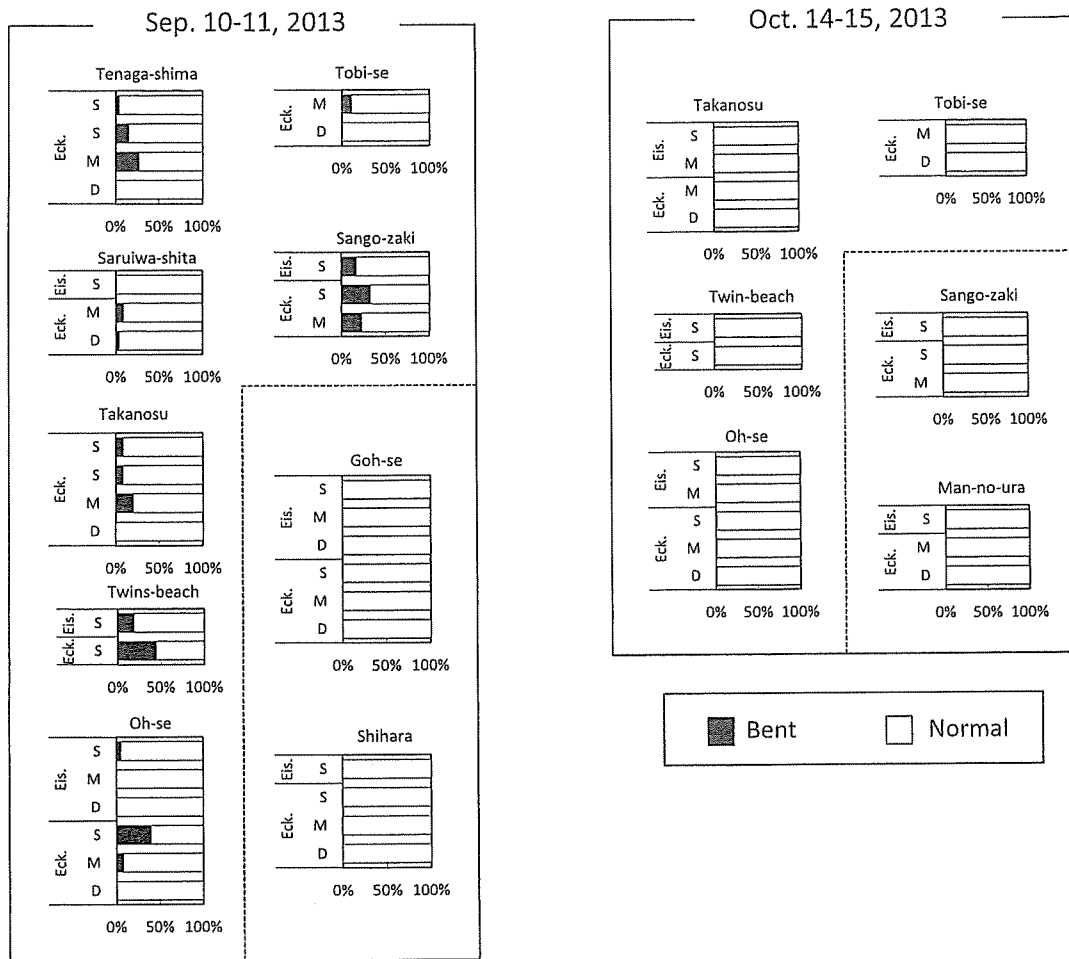


Fig. 8. Changes in composition of bent or normal stipe of *Ecklonia* spp., *Eisenia bicyclis* and unidentified individuals. Unidentified individuals are as in Fig. 5. Monitoring sites along the western and southern coast are separated by broken line. Abbreviations of species name and depth zones are the same as in Fig. 7.

葉状部の完全に欠損した個体が約6割となり (Fig. 6), 葉状部の残る個体でも約9割の個体の莖状部が退色していた (Fig. 7)。ツインズビーチ (浅所帯) では葉状部の完全に欠損した個体が約4割で (Fig. 6), サngo崎 (浅所帯) では葉状部の欠損した個体は少なかったが莖状部の退色したものが約半数であった (Fig. 7)。鷹巣では浅所帯のアラメ, 中間帯・深所帯のカジメ類ともに葉状部の欠損や莖状部の退色といった異常を呈す個体の割合は低かった (Figs. 6, 7)。南岸域では, 郷瀬・初瀬ともに顕著な異常は認められず, 葉状部がすべて欠損した個体あるいは莖状部の退色した個体は1割未満であった (Figs. 6, 7)。

9月10・11日には西岸域では手長島, 猿岩下, 鷹巣, ツインズビーチ, 大瀬, 飛瀬, サngo崎の計7地点を調査し, 南岸域では坪, 郷瀬, 万ノ浦, 志原の4地点を調査した (Table 1)。西岸域では, 葉状部が欠損し付着器や莖状部のみとなった個体

の割合が, 8月下旬よりも増加した。また, 一般に水深が浅くなるほど欠損度合の大きな個体が多くなる傾向があった (Fig. 6)。飛瀬では, 浅所帯で約9割の個体で葉状部が完全に欠損し (Figs. 1-B, 6), 中間帯では約4割, 深所帯では約1割の個体で葉状部が完全に欠損した (Fig. 6)。また, 西岸域の他の地点では, 浅所帯と中間帯で3~5割, 深所帯では1割程度の個体の葉状部が完全に欠損していた (Fig. 6)。莖状部の損傷したアラメ・カジメ類の個体割合は, 浅い地点ほど高くなる傾向があった (Figs. 7, 8)。退色した莖状部は, 手で軽くひねるだけで, ちぎれてしまうような強度であり, 8月下旬から9月上旬の時化でその多くが流失した (Fig. 1-A, B)。このため9月上旬には, 壱岐島各地でアラメ・カジメ類の大量の打ち上げ藻が確認され, その量は例年にない多さであることが聞き取りから把握された。

9月10・11日には, 西岸域で一般に水深が浅く

なるほど葉状部の欠損や茎状部の異常を呈す個体の割合が高くなる傾向があったが、これとは異なる傾向も認められた。手長島、猿岩下および鷹巣では、浅所帯のほうが中間帯よりも葉状部の残る個体割合が高かった (Fig. 6)。これは、これらの地点の浅所帯で中間帯よりもアラメが多く生育しており (Fig. 5)、アラメの葉状部の欠損がカジメ類よりも軽微であったためである。また、茎状部の退色や折れ曲がり呈す個体割合も、アラメのほうがカジメ類よりも低かった (Fig. 7, 8)。

南岸域では志原を除いて浅所帯でも葉状部の欠損した個体の割合は低かった (Fig. 6)。郷瀬では浅所帯と深所帯で9割以上、中間帯で約7割の個体が、葉状部が大きく欠損していない (V) に該当した (Fig. 6)。坪では7月に17個体のカジメ類を標識したが、このうち7割以上の個体で側葉が半分以上残っていた (データは図示せず)。ライン調査を行った万ノ浦では、アラメ・カジメ類の損傷は目立たず、被度はライン全体にわたり25%以上で、多いところでは75%以上であった (データは図示せず)。郷瀬では、茎状部の退色や折れ曲がり呈す個体は多いところで1割程度であった (Figs. 7, 8)。一方、志原では浅所帯で3割の個体で葉状部が完全に欠損し (Fig. 6)、カジメ類の半数において茎状部の退色がみられ (Fig. 7)、南岸域の他の地点よりも藻体の損傷が目立った。

10月14・15日には西岸域では鷹巣、ツインズビーチ、大瀬、飛瀬、サンゴ崎の計5地点を調査し、南岸域では坪、万ノ浦の2地点を調査した (Table 1)。西岸域では浅所帯や中間帯で付着器のみとなる個体の割合が急増した (Fig. 6)。大瀬の浅所帯を除き、西岸域の浅所帯と中間帯では、半数以上の個体で葉状部が完全に欠損し、側葉が半分以上残る個体は約2割以下に減少した。10月の調査時には、葉状部や茎状部の欠損部に植食魚の噛み痕が多くみられた。一方、深所帯では葉状部の残る個体が多く、鷹巣、大瀬、飛瀬の深所帯で7~9割の個体で葉状部が残っていた (Fig. 6)。

9月から10月にかけて茎状部の異常を示す個体が流失し、10月には茎状部の異常を示す個体の割合が減少した (Figs. 7, 8)。茎状部の退色は、鷹巣の深所帯を除いて3割未満となり、茎状部の折れ曲がった個体はみられなかった。

南岸域の万ノ浦では、浅所帯と中間帯で側葉の半分以上が残る個体が7割以上であり、西岸域とは明瞭に異なった (Fig. 6)。一方、深所帯では葉状部の欠損が浅所帯や中間帯よりも進行しており、西岸域と異なる傾向を示した (Fig. 6)。また、万ノ浦で茎状部に退色のある個体は、すべての水深

帯で2割程度であった (Fig. 7)。坪では9月に個体識別した25個体のうち、葉状部が残ったのが6割程度、側葉が半分以上残ったのが4割程度であり (データは図示せず)、万ノ浦の深所帯と同様な状態であった。

12月2・3日には、西岸域の鷹巣、大瀬、飛瀬、サンゴ崎の計4地点を調査し、南岸域では坪、万ノ浦の2地点を調査した (Table 1)。10月から12月の間には西岸域だけでなく、南岸域でも葉状部の大半を失った個体の割合が増加した (Fig. 6)。西岸域では鷹巣 (中間帯) と大瀬 (深所帯) を除き、欠損度合が (I) ~ (III) に該当する個体が9割以上となり、葉状部がほぼ消失した。南岸域では、側葉を残す (IV) と (V) に該当する個体の割合が、万ノ浦は3~4割、坪では1割以下となり (Fig. 6)、両地点とも10月から大きく減少した。10月から12月における南岸域のアラメ・カジメ類の衰退は、10月時点で葉状部の多くが欠損していた西岸域よりも急激であった。10月から12月にかけては茎状部の退色や折れ曲がり呈す個体は少なかったが (Figs. 7, 8)、葉状部や茎状部にイスマミ類のものとみられる噛み痕が多く観察された (Fig. 9)。

12月17日には、西岸域では、猿岩下、ツインズビーチ、飛瀬の3地点を調査し、南岸域では郷瀬、万ノ浦の2地点を調査した (Table 1)。西岸域では葉状部がわずかに残る欠損度合 (III) に該当する個体は、猿岩下 (浅所帯) の1割程度を除き、まったく観察されなかった (Fig. 6)。ライン調査を行った飛瀬でも、茎状部か付着器のみの個体がほとんどであった (データは図示せず)。南岸域の郷瀬では側葉の残存度合が12月上旬の万ノ浦より



Fig. 9. A photograph shows the ongoing deterioration of a kelp bed at Man-no-ura, Iki Island, on 3 December, 2013. Most fronds of *Eisenia bicyclis* are grazed by herbivorous fish.

もさらに減少した。郷瀬では葉状部のわずかに残るものが浅所帯で約2割、中間帯と深所帯で約5割となった (Fig. 6)。ライン調査を行った万ノ浦でも葉状部の残る個体は2割程度とみられ、被度は多くの地点で5%未満であり、多いところでも25%未満であった (データは図示せず)。

12月23・24日には、西岸域の鷹巣、大瀬の2地点を調査し、南岸域では坪、万ノ浦の2地点を調

査した (Table 1)。西岸域では葉状部の残る個体がまったく観察されず、付着器と茎状部のみが残された (Fig. 6)。一方、南岸域では、側葉のわずかに残るアラメ・カジメ類が観察された。葉状部の残る (III) ~ (V) に該当する個体の割合は浅い地点ほど高く、万ノ浦の浅所帯、中間帯、深所帯でそれぞれ9、4、1割程度、坪 (中間帯) では3割程度であった (Fig. 6)。浅所帯で葉状部を有し

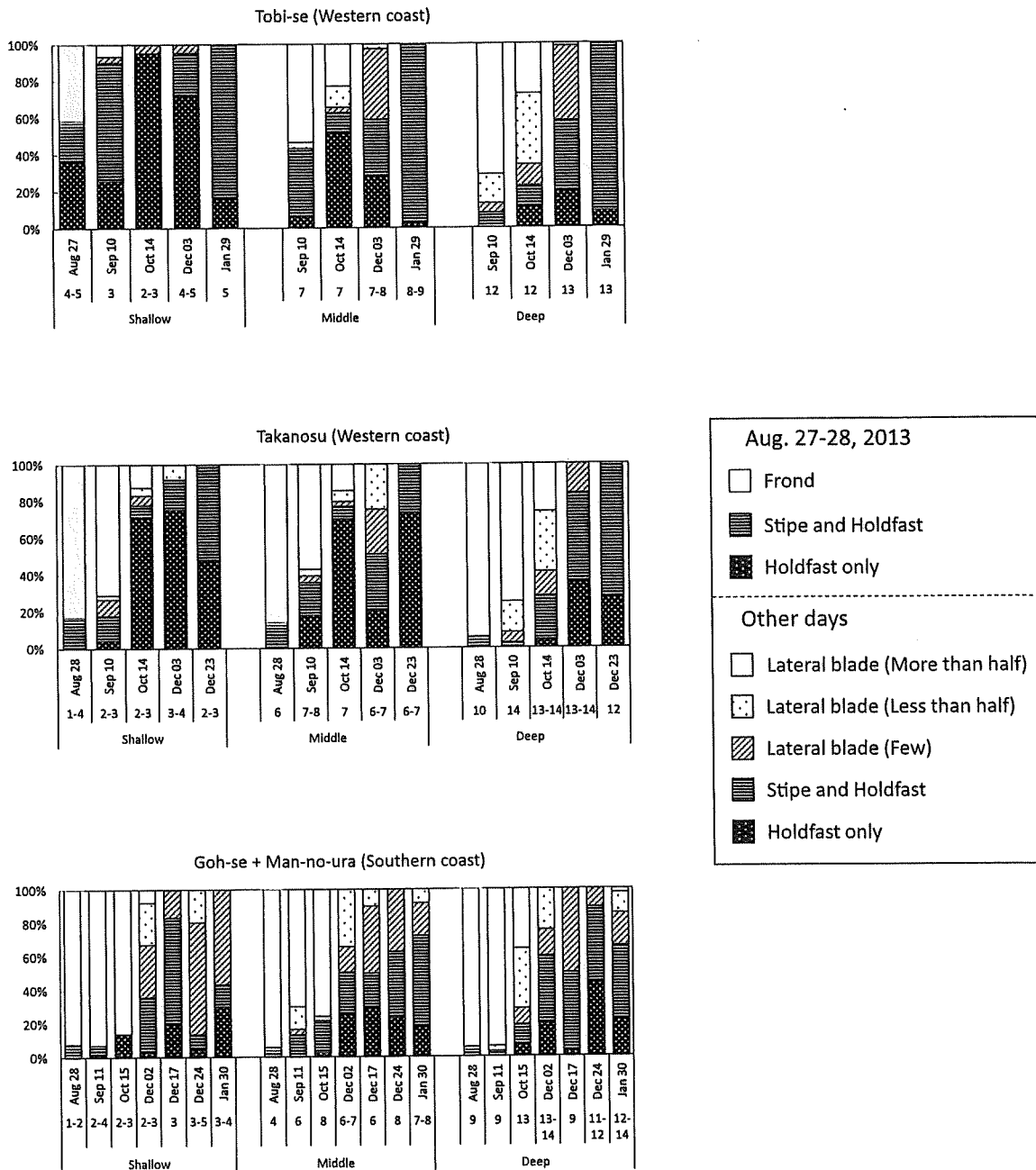


Fig. 10. Changes in composition of kelp (*Ecklonia* spp., *Eisenia bicyclis* and unidentified) which remained with different parts of the thalli at Tobi-se and Takanosu (Western coast) and Goh-se + Man-no-ura (Southern coast). Date of investigation, depth below chart datum level (m), and depth zones are also indicated on the bottom of panels.

ていたのはアラメが中心であり、中間帯と深所帯ではカジメ類であった (Fig. 5)。

2014年1月29・30日には、西岸域では大瀬、飛瀬の2地点を調査し、南岸域では坪、万ノ浦の2地点を調査した (Table 1)。西岸域では、飛瀬で葉状部の残る個体は観察されなかったが、大瀬 (浅所帯・中間帯) では、1~2割の藻体にごく小さな側葉が観察され (Fig. 6)、これらはアラメであった (Fig. 5)。南岸域の状況は12月下旬とほぼ同様であったが、万ノ浦 (中間帯・深所帯) や坪 (中間帯) で側葉の形成が進行した個体がみられた (Fig. 6)。

2013年8月から翌年1月までの藻場の衰退を連続的に示すため、西岸域の飛瀬および大瀬と南岸域の郷瀬・万ノ浦のデータを経時的に並べた (Fig. 10)。なお、南岸域の郷瀬と万ノ浦は近隣に位置しており、アラメ・カジメ類の状況も似ていたので、一連の図に併せて示した (Fig. 10)。アラメ・カジメ類の衰退は、西岸域の飛瀬で最も早く、次いで鷹巣で進行し、南岸域は最も遅かった。また、水深別に比較すると西岸域では浅い場所のほうが早く衰退する傾向があったが、南岸域では、深所帯の衰退が浅所帯と中間帯より先に進行しており、西岸域とは異なる傾向がみられた。各地点でアラメ・カジメ類の葉状部が大幅に衰退した時期を把握するために、葉状部をほぼ失った欠損度合 (I) ~ (III) に該当する個体の出現割合をまとめると以下のようなになった。飛瀬の浅所帯では調査開始時の8月下旬には、葉状部をほぼ失った個体は約6割を占め、9月上旬までには9割を超えた。また、中間帯では9月上旬には約4割であったが、その後12月上旬までには9割を超え、深所帯では10月中旬から12月上旬までに急激に増加した (Fig. 10)。鷹巣では浅所帯と中間帯で9月上旬から10月中旬までに、深所帯では9月上旬から12月上旬までに葉状部をほぼ失った個体の割合が増加した。一方、南岸域のアラメ・カジメ類の衰退は西岸域よりも遅れて進行し、浅所帯と中間帯では10月中旬から12月上・中旬にかけて、深所帯では9月上旬から12月上旬までに葉状部をほぼ失った個体の割合が大幅に増加した (Fig. 10)。南岸域では、12月においても葉状部をわずかに残す欠損度合 (III) に該当する個体の割合が西岸域よりも高く、1月下旬には側葉を回復させたアラメ・カジメ類も観察された。葉状部や茎状部の消失した個体が増加すれば、付着器のみ残る個体の割合が増加するはずであるが、飛瀬では10月以降に付着器のみの個体の割合が減少した (Fig. 10)。これはアラメ・カジメ類が付着器のみとなると、腐敗が進行し時化など

によって流失して計数されなかったためである。

アラメ・カジメ類の幼体は、南岸域の万ノ浦と坪のほうが、西岸域の鷹巣、大瀬、飛瀬よりも高密度で出現した (Fig. 11)。12月下旬には、万ノ浦ではすべての水深帯で幼体が出現し深所帯のほうが高密度であったが、鷹巣と大瀬では深所帯のみで幼体が出現した。各地点の幼体の平均全長は10 mm未満であった。1月下旬にはアラメ・カジメ類の幼体は、形態による判別が困難であったワカメの幼体と混生しておりその密度は過大評価になっている可能性があるが、最も高密度であった深所帯間で比較すると、西岸域の飛瀬・大瀬は数十個体 $m^{-2}$ であったのに対し、万ノ浦では約200個体 $m^{-2}$ であった (Fig. 11)。アラメ・カジメ類の幼体の全長は1月下旬には1~5 cm程度であった。

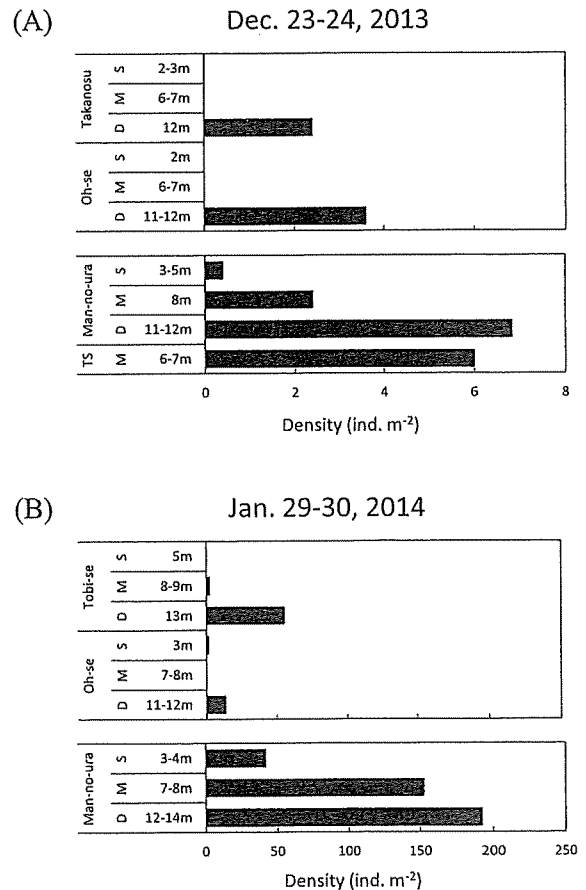


Fig. 11. Density of juvenile *Ecklonia* spp. and *Eisenia bicyclis* on 23-24 December, 2013 (A) and 29-30 January, 2014 (B). In January juvenile thalli of *Unidaria pinnatifida*, with similar morphology to juvenile *Ecklonia* spp. and *E. bicyclis*, grew densely, and therefore the density of *Ecklonia* spp. and *E. bicyclis* may have been overestimated. Note the difference in scale of the horizontal bar in panel (A) and (B).

## 考 察

本研究では、壱岐島におけるアラメ・カジメ類の衰退をいち早く感知し、その直後から広域的かつ高頻度のモニタリングを実施し、この現象が発生・拡大する過程を詳細に記録することができた。2013年夏季にアラメ・カジメ類の衰退が最初に始まったのは、水温の高い島の西岸域の浅所帯であり、この時点では相対的に水温の低い南岸域では顕著ではなかった (Fig. 6)。2013年夏季は、和歌の水深3mにおいて水温26°C以上の累積時間が2006年以降で最も長く (Fig. 4)、アラメとクロメの生育上限水温 (それぞれ29°Cと28°C, 村瀬ら 2005) を超える時間も長期化し (Fig. 3)、8月下旬~9月上旬には、葉状部の欠損および茎状部下部の退色や折れ曲がりが見られた (Fig. 1-A)。今回観察された茎状部の損傷は、水温の高い地点ほど症状が激しく、茎状部を摂食する植食動物が観察されなかったため、食害ではなく高水温による生理的障害であると考えられる。

浅場からの藻場の衰退は、北アメリカ大陸西岸カリフォルニア州の *Macrocystis pyrifera* でも観察され (Dayton and Tegner 1984; Zimmerman and Robertson 1985; Tegner and Dayton 1987)、ここでは冬季の嵐と El Niño による高水温・貧栄養水塊の影響が浅い地点で大きかったとされている (Zimmerman and Robertson 1985)。カリフォルニア州の事例では、*M. pyrifera* の生育域で海水中の栄養塩がほぼ枯渇する16°C以上の水温が継続しているが (Zimmerman and Robertson 1985)、*M. pyrifera* は比較的高い水温 (20~25°C) にも耐性があることから、栄養塩枯渇の影響がより大きいと考えられている (Dayton and Tegner 1984)。一方、壱岐島の位置する玄界灘は、夏季には成層が形成され表層は貧栄養になるが (池内ら 1998)、栄養塩濃度には場所による違いや経年変化が示されている (江崎, 江藤 2011)。今回観察したアラメ・カジメ類の衰退に対して、例年にない高水温の他に、栄養塩環境がどのような影響を与えたかについては、今後、海洋環境データと照らし合わせて検討する必要がある。

本報の事例とは異なり、深い場所からカジメ類が衰退した例もある。ニュージーランド北東部では1992/93年の夏季に水深15m以深から *Ecklonia radiata* の藻体が退色しながら大量死し、光量不足によるものと推察された (Cole and Babcock 1996)。また、その後の調査によってウィルス様粒子の感染が確認された (Easton et al. 1997)。長崎県平戸市地先で1998年秋に発生した、アラメの葉状部欠

損個体の割合は水深2m以深の深場ほど高く、この葉状部欠損は植食性魚類の摂食によると考えられている (桐山ら 1999)。このように、水深別に藻場の衰退状況を把握することは、その発生原因の推定につながるため、有効な調査方法であると考えられる。

打ち上げられた藻体の破壊部位を観察することによって、脱落要因を推定することも可能で、アラメでは付着器からの剥離や付着器と茎状部の接合部での破断などが報告されている (川俣 2012)。一方、海中で、アラメ・カジメ類の茎状部の退色や折れ曲がりを観察した事例は、著者らが知る限りではほとんどない。アラメ・カジメ類の茎状部下部は波力によって最大の応力が作用する部位 (川俣 2012) であるが、今回の事例では特にこの部位が退色したり折れ曲がったりしていた。よって、2013年の壱岐では、アラメ・カジメ類の茎状部下部に、物理的なストレスと高温によるストレスの両者が作用した可能性が示唆される。また、茎状部の損傷部位が拡大する過程には、病原体も関与した可能性も考えられる (Easton et al. 1997)。

アラメ・カジメ類が混生している地点では、アラメよりもカジメ類のほうが茎状部の損傷や葉状部の欠損がより進行していた。アラメとカジメの同じ長さの茎状部で基質への固着力を比較したところ、アラメ固着力のほうが強く (寺脇ら 1991)、その茎状部の頑健さを示唆している。また、アラメとクロメの生育上限温度はそれぞれ29°C、28°Cとされているが (村瀬ら 2005)、このような違いが葉状部や茎状部の耐性に何らかの関連があるかどうか、両者の高水温に対する応答を比較する必要がある。

2013年は和歌の水深3mにおいて、30°C以上となった累積時間が3.4日、29°C以上の累積時間は17.5日であった。アラメ・カジメ類の生存を高水温の持続時間と関連させて調べた事例は多くないが、幼体や成体の一部の組織を用いて培養条件を操作した実験は行われている。カジメ幼体を高水温で培養した成田ら (2008) によると、強光・栄養塩欠乏条件下においては、30°Cで3~5日、28°Cでは5~8日ですべてのカジメ幼体が死亡している。一方で、海中での藻体の生存については、成体の個体全体を対象とした評価も必要である。しかし、アラメ・カジメ類の成体を個体ごと培養実験するのは至難 (横浜 2001) なため、本報のように、水温環境が異なる地点でアラメ・カジメ類の衰退過程の違いを把握したことには価値がある。他海域に適用するにはさらに検討が必要だが、2013年に和歌の水深3mで観測された水温は、アラメ・カジ

メ類の生育上限水温の目安となる可能性がある。一方で、和歌や坪の水深7mで観測されたような水温条件において、アラム・カジメ類の生存が可能かどうかについては、秋季以降に魚類の食害が発生したために検証できなかった。今後も水温と海藻群落の消長をモニタリングし、両者の関連を検討することで、海藻群落に及ぼす水温の影響をより正確に把握することが可能になると考えられる。このような海中での生育状況の観察により、海藻の生育限界となる水温条件を推定する試みとしては、横浜(2001)が伊豆半島鍋田湾での観察をもとに「カジメの胞子体は26~27°C近くの水温がひと月続いたら生きてゆけないと言えそう」と述べていることが参考になる。

9月から10月中旬には、アラム・カジメ類の茎状部の損傷した個体が時化などで流失し、西岸域では藻場の衰退が浅所帯から顕著になった(Figs. 1-B, 6, 10)。一方、水温の比較的低かった西岸域の深所帯や南岸域では、10月中旬までは葉状部の欠損は軽度であった(Figs. 6, 10)。しかし、これらの地点でも、10月中旬から12月上旬に水温が平年並みに戻ったにもかかわらず、葉状部や茎状部が急激に欠損した。この期間には、藻体にイズミ類のものとみられる噛み痕が多く残されていたこと(Fig. 9)や夏季にみられた茎状部下部の損傷がほとんど見られなかったこと(Figs. 7, 8)から、アラム・カジメ類の衰退を進行させたのは、主に植食魚の食害によるものと考えられる。現時点では、2013年の植食魚の資源量や摂食活動が例年と異なるかどうかは不明であり、また、西岸域の植食魚が餌不足となって南岸域に來遊したという直接的な証拠は得られていない。よって今後は、バイオテレメトリーなどの手法を用いて植食魚の行動範囲などを把握する必要がある。

坪のクロメでは、藻体の欠損度合の異なる個体を経過観察することにより、葉状部がわずかでも残れば個体として生残・回復が可能であるとの示唆を得た(八谷ら 未発表)。このような回復する可能性のある個体の割合は、西岸域の浅所帯・中間帯では8月下旬から10月中旬にかけて大幅に減少したのに対し、西岸域の深所帯や南岸域では10月中旬から12月上旬にかけて大幅に減少した(Figs. 6, 10)。そして、南岸域では葉状部のわずかに残る藻体が残ったために、1月下旬にはこれらの側葉が再生した(Figs. 6, 10)。成体の生残・回復の有無に加えて、成熟期に放出された胞子数も地点によって異なった可能性がある。坪のクロメでは、10~11月が成熟盛期とされているが(八谷ら 2014)、この時期まで維持されたアラム・カジメ類の葉状

部の量は、南岸域のほうが西岸域よりも多く、深所帯のほうが浅所帯よりも多かった。そしてこの違いは、幼体の発生密度の多少と一致していた。このように、成体群落の衰退後にアラム・カジメ類の成体あるいは幼体による群落の回復が可能かどうか検討するためにも、成熟期における食害の進行度合いは重要な意味を持つと考えられる。

一般に、モニタリング頻度が低いかモニタリングしていない地点で藻場衰退現象が発生した場合は、その後に調査を開始しても、衰退現象の発生、進行、終息する過程を詳細に把握することは困難である。本研究では、対象海域において以前より継続的な調査を実施していたために、藻場衰退現象の感知や、発生直後からのモニタリングが可能となった。また、水温環境の異なる西岸域と南岸域において複数の調査地点で水深別にモニタリングしたことにより、高水温による障害と魚類による食害が同時並行的ではなく、時間的・空間的な差異をもって発生することにより広域的にアラム・カジメ場に影響を与えていく過程を推測することができた。2013年夏季の藻場衰退現象は、九州北部から山陰西部の広範囲で発生したが、今後は他海域でも発生する可能性があり、より広域に藻場の現状を把握しておくことが重要であると考えられる。

## 謝 辞

本研究の野外調査では、壱岐栽培センターの山仲洋紀所長に、アラム・カジメ類の打ち上げ藻の状況把握では、長崎県壱岐水産業普及指導センターの蛭子亮制所長および畑島秀仁技師にそれぞれご協力いただいた。また、壱岐市郷ノ浦町漁協には調査海域として漁場を提供していただいた。(独)水産総合研究センター増養殖研究所の林 育夫氏には水温データを提供していただいた。ここに記して謝意を表します。本研究の一部は、水産庁委託「藻場・干潟の炭素吸収源評価と吸収機能向上技術の開発 藻場・干潟の炭素吸収量の全国評価手法の開発 九州の藻場面積の情報収集並びに生産量、現存量調査」、農林水産技術会議委託「農林水産分野における地球温暖化対策のための緩和及び適応技術の開発 地球温暖化が水産分野に与える影響評価と適応技術の開発 本邦南西水域の藻場生態系への温暖化の影響評価と適応技術の開発」によって行われたものである。

引用文献

- Cole RG, Babcock RC. Mass mortality of a dominant kelp (Laminariales) at Goat Island, north-eastern New Zealand. *Mar. Freshwater Res.* 1996; **47**: 907-911.
- Dayton PK, Tegner MJ. Catastrophic storms, El Niño, and patch stability in a southern California kelp community. *Science* 1984; **224**: 283-285.
- Easton LM, Lewis GD, Pearson MN. Virus-like particles associated with dieback symptoms in the brown alga *Ecklonia radiata*. *Dis. Aquat. Org.* 1997; **30**: 217-222.
- 江崎恭志, 江藤拓也. 筑前海沿岸環境の経年変動傾向とその要因について. *福岡水海技セ研報* 2011; **21**: 41-45.
- 藤田大介. 磯焼けの現状と問題点. *月刊海洋* 2009; **41**: 611-616.
- 福岡管区気象台. 九州・山口県における夏の高水温「九州・山口県の気候変動監視レポート2013, 第1部九州・山口県における2013年の天候の特徴」, 2014; 6-7.
- 長谷川雅俊, 小泉康二, 小長谷輝夫, 野田幹夫. 静岡県榛南海域における磯焼けの持続要因としての魚類の食害. *静岡水試研報* 2003; **38**: 19-25.
- 池内仁, 神菌真人, 杉野浩二郎. 玄界灘並びに対馬東水道における栄養塩類及びプランクトンの分布. *福岡水海技セ研報* 1998; **8**: 97-106.
- 蒲原聡, 原田靖子, 服部克也. 小型定置網の漁獲物から推察した伊勢湾東部沿岸及び三河湾沿岸におけるアイゴ *Siganus fuscescens* の分布とサガラメ *Eisenia arborea* 藻場の消失との関係. *水産工学* 2007; **44**: 139-145.
- 河尻正博, 佐々木正, 影山佳之. 下田市田牛地先における磯焼け現象とアワビ資源の変動. *静岡水試研報* 1981; **15**: 19-30.
- 川俣茂. 寄り藻調査による大型褐藻アラムのアロメトリー. *藻類* 2012; **60**: 127-133.
- 喜田和四郎, 前川行幸. アラム・カジメ群落に関する生態学的研究-II. 熊野灘沿岸各地域における群落の分布と構造. *三重大水産研報* 1983; **10**: 57-69.
- 桐山隆哉, 藤井明彦, 吉村拓, 清本節夫, 四井敏雄. 長崎県下で1998年秋に発生したアラム類の葉状部欠損現象. *水産増殖* 1999; **47**: 319-323.
- 清本節夫, 吉村拓, 新井章吾, 桐山隆哉, 藤井明彦, 四井敏雄. 長崎県野母崎において1998年秋に発生したクロメ葉状部欠損現象の経過観察. *西水研研報* 2000; **78**: 57-65.
- Muraoka D. *Eisenia bicyclis* bed coverage off Oshika Peninsula, Japan, in relation to sporophyte survival and *Strongylocentrotus nudus* abundance. *J. Appl. Phycol.* 2008; **20**: 845-851.
- 村瀬昇, 原口展子, 水上譲, 野田幹雄, 吉田吾郎, 寺脇利信. 山口県沿岸に生育するアラムおよびクロメの培養による生育上限温度. *藻類* 2005; **53**: 102.
- 村瀬昇, 阿部真比古, 野田幹雄, 安成淳. 山口県日本海沿岸における2013年の藻場衰退現象. *藻類* 2014; **62**: 45.
- 成田美智子, 吾妻行雄, 荒川久幸. 海中林の形成に及ぼす環境の影響. 「水産学シリーズ160 磯焼けの科学と修復技術」(谷口和也, 吾妻行雄, 嵯峨直恆編). 恒星社厚生閣, 東京. 2008; 34-48.
- 芹澤如比古, 井本善次, 大野正夫. 土佐湾, 手結地先における大規模な磯焼けの発生. *Bull. Mar. Sci. Fish. Kochi Univ.* 2000; **20**: 29-33.
- Tegner MJ, Dayton PK. El Niño effects on southern California kelp forest communities. *Adv. Ecol. Res.* 1987; **17**: 243-279. (藤田大介訳カリフォルニア南部の海中林群集に対するエルニーニョの影響. 富山県水産試験場, 1992)
- 寺脇利信. 藻場. 「21世紀の海藻資源—生態機構と利用の可能性—」(大野正夫編). 緑書房, 東京. 1996; 1-30.
- 寺脇利信, 川崎保夫. 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. *電中研研報* 1990; **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. 海中造林技術の実証 第2報 三浦半島西部でのアラムおよびカジメの生態と生育特性. *電中研研報* 1991; **U91022**: 1-69.
- 八谷光介, 清本節夫, 吉村拓. 九州北部海域の長崎県壱岐市郷ノ浦町地先におけるクロメの現存量および生産量の季節変化. *Algal resources* 2014; **7**: 67-77.
- 横浜康継. 第9章 磯焼け「海の森の物語」新潮社, 東京. 2001; 143-172.
- 吉村拓, 清本節夫, 八谷光介, 中嶋泰. 長崎市沿岸に広がる“春藻場”とは—その実態と今後の課題について—. *月刊海洋* 2009; **41**: 629-636.
- 四井敏雄. 九州沿岸における藻場修復. 「水産学シリーズ120 磯焼けの機構と藻場修復」(谷口和也編) 恒星社厚生閣, 東京. 1999; 111-120.
- Zimmerman RC, Robertson RL. Effects of El Niño on local hydrography and growth of

八谷光介・桐山隆哉・清本節夫・種子田 雄・吉村 拓

the giant kelp, *Macrocystis pyrifera*, at  
Santa Catalina Island, California. *Limnol.*  
*Oceanogr.* 1985; 30: 1298-1302.

2014年9月4日受付

2014年11月30日受理