

## 紅藻ユカリ *Plocamium telfairiae* アセトン抽出物のエゾアワビ *Haliotis discus hannai* に対する摂食阻害

三枝美穂<sup>1,\*</sup>・蔵多一哉<sup>2</sup>・吾妻行雄<sup>1</sup>・谷口和也<sup>1</sup>

### Feeding-deterrents of the Acetone Extracts from the Red Alga *Plocamium telfairiae* Against the Abalone *Haliotis discus hannai*

Miho SAIGUSA<sup>1,\*</sup>, Kazuya KURATA<sup>2</sup>, Yukio AGATSUMA<sup>1</sup>  
and Kazuya TANIGUCHI<sup>1</sup>

**Abstract:** Feeding-deterrent effects of acetone extracts from the red alga *Plocamium telfairiae* grew in the tanks at the Fukushima Prefectural Cultivation Fishery Association, Fukushima regardless rearing dense abalones and sea urchins juveniles, and in the subtidals in Matsushima Bay, Miyagi and Izu Peninsula, Shizuoka were tested on the abalone *Haliotis discus hannai* by the bioassay with cellulose plate method. The associated benthic fauna was also ascertained in Matsushima Bay and Izu Peninsula. Eight halogenated monoterpenoids with strong feeding-deterrent activity were isolated. The strongest activity was found from the alga grew in tanks in Fukushima, following to that in Matsushima Bay and Izu Peninsula. In the associated fauna with *P. telfairiae*, small gastropods dominated and the dominant species differed between the two localities.

**Key words:** *Plocamium telfairiae*; *Haliotis discus hannai*; Red alga; Feeding-deterrent

海藻が二次代謝産物を生産して甲殻類、軟体類、棘皮類、魚類など様々な植食動物の摂食を阻害する事例は数多く報告されている (Hay and Fenical 1988)。

著者らは、福島県栽培漁業協会のキタムラサキウニ *Strongylocentrotus nudus* およびエゾアワビ *Haliotis discus hannai* の種苗を飼育する屋外水槽中に紅藻ユカリ *Plocamium telfairiae* やハネソゾ *Laurencia pinnata* などがウニやアワビに摂食されずに生育していることを観察した。これらの水槽においては、6月の出荷段階で殻径約20 mmのキタムラサキウニがポリエチレン製の飼育籠 (60×60×40 cm, 目合10 mm) あたり1,200~1,800個体 (丸添・丹 2001), 殻長約30 mm以上のエゾアワビがポリエチレン製の網生簀 (65×65×40 cm, 有効水深25 cm, 目合3 mm) あたり約800個体 (丹ら 2001) と極めて高密度で飼育されている。

ユカリ属紅藻は、二次代謝産物としてモノテルペン化合物を生産することが知られている (Crews and Kho 1974; Mynderse and Faulkner 1975)。Sakata et al. (1991) は、ホソユカリ *P. cartilagineum* から単離したハロゲン化モノテルペンの1種である Aplysiaterpenoid A がサザエ *Turbo cornutus*, クロアワビ *H. discus discus*, バテイラ *Omphalius pfeifferi* ならびにエゾバフンウニ *S. intermedius* の摂食を阻害することを報告している。ユカリも摂食阻害活性をもつ二次代謝産物を生産していると考えられる。

ユカリの表皮細胞には「油体」と考えられるオルガネラがあり、含ハロゲン化合物が局在することが示唆されている (吉田・吉田 1980)。また、神奈川県鎌倉産と宮城県松島湾産のユカリでは、含有する含ハロゲンモノテルペン化合物の化学構造が異なる

2006年3月31日受付：2006年6月17日受理。

<sup>1</sup> 東北大学大学院農学研究科 (Graduate School of Agricultural Science, Tohoku University, Sendai, Miyagi 981-8555, Japan).

<sup>2</sup> 函館工業専門学校 (Department of Industrial Chemistry, Hakodate Technical College, Hakodate, Hokkaido 042-8501, Japan).

\* 現所属 宮城県気仙沼水産試験場 (Kesennuma Miyagi Prefectural Fisheries Experimental Station, Kesennuma, Miyagi 988-0247, Japan).

ことが報告されている (吉田ら 1981)。他方, 同属の *P. violaceum* (Crews et al. 1977) や *P. hamatum* (König et al. 1999) では同一の海域であっても場所によって生産するハロゲン化モノテルペン化合物の構造が異なっていることが知られている。

以上の知見にもとづいて, 福島県栽培漁業協会のウニアワビの屋外飼育水槽内に生育するユカリと天然に生育するユカリとでは, 異なった化学構造の二次代謝産物を生産するか, または異なった生産速度によって摂食阻害活性が異なるのではないかと考えた。また, ユカリの摂食阻害活性が生育場所によって異なるとすれば, 同所的に生息する動物群集も異なる可能性がある。

そこで, ユカリの生育条件が大きく異なると考えられる福島県栽培漁業協会の屋外飼育水槽内 (以下, 福島産) と宮城県松島湾 (以下, 松島湾産), 静岡県南伊豆町下流沿岸 (以下, 伊豆半島産) にて採集したユカリからアセトン抽出物を得て, エゾアワビに対する摂食阻害活性を比較し, 活性物質やその生産速度に相違があるか否かを推定した。また, 松島湾と伊豆半島のユカリ群落に生活する底生動物群集を比較した。

## 材料および方法

### 物質の分離精製と生物試験

1999年6月に大熊町の福島県栽培漁業協会 (37°24'N, 141°01'E) の飼育水槽内, 2000年6月に宮城県松島湾 (38°19'N, 141°07'E) ならびに静岡県南伊豆町下流沿岸 (34°37'N, 138°52'E) からそれぞれユカリを採集した。

生鮮なユカリを, アセトンで10日間浸漬抽出後, 抽出液を減圧濃縮した。得られた抽出物をエーテルと水で分配し, エーテル可溶部は5%水酸化ナトリウム水溶液で抽出後, 1 M 塩酸で酸性にし, エーテル抽出して酸性部 (A) を得た。残りのものは, 塩基性部がほとんどないため, 濃縮して中性部 (N) とした。水可溶部は, 活性炭カラムに吸着後, 水, メタノール, メタノール/アンモニア/水 (8:1:1) で逐次溶出し, 順に水溶性活性炭通過部 (WP), 水溶性メタノール溶出部 (WM), 水溶性メタノール/アンモニア溶出部 (WMA) を得た。これら5画分の収量を Table 1 に示した。

生物試験は, エゾアワビを用いてセルロースアルミ板法 (Kurata et al. 1990) で行った。試験に用いたエゾアワビは福島県栽培漁業協会で生産された平均殻長26.0~31.3 mmの個体である。まず結晶セルロースを0.1 mmの厚さに塗布した直径20 cmのセルロースアルミ板 (DC-Alufolien Cellulose, Merck社) の周縁部に直径2 cmの小円を16区画等間隔に描き, 交互に対照区と試験区を配した。対照区にはアワビの摂食刺

激物質であるホスファチジルコリン (Sakata and Ina 1985) (PC, 和光純薬製) 6.8 μg をエタノール15 μl に溶かして吸着させた。試験区には対照区と同量の PC とユカリ抽出画分68 μg をエタノール15 μl に混合して吸着させた。この試験板を20℃の恒温室内に置いた5 lの濾過海水を満した塩化ビニール製の円筒型水槽 (直径30 cm, 高さ14 cm) に沈めた。試験開始1~7日前から絶食させたエゾアワビを水槽あたり5個体入れて15時間の暗条件のもとで試験した。試験は画分あたり6回繰り返して行った。取り上げた試験板は風乾後, 複写機 (Canon iR2800F) で等倍に複写し, 画像解析装置 (Leica Q 600 HR) を用いて, 対照区と試験区に残されたアワビの食み跡面積を測定し, 次式より摂食選択性指数 ( $E_i$ ) を求めた。

$$E_i = (P_i - p_i) / (P_i + p_i)$$

ここで  $P_i$  は対照区の食み跡面積を,  $p_i$  は試験区の食み跡面積をあらわす。 $E_i$  が1の場合は完全な摂食阻害を, 0の場合は阻害も誘引もなく, -1の場合は完全な誘引をあらわす。摂食阻害活性はt検定によって判定した。 $E_i$  の平均値が0.55以上の場合, 危険率5%を,  $E_i$  の平均値が0.85以上の場合, 危険率1%を示す。また, 海藻の採集地間で第1次画分の摂食選択性指数に有意差があるか否かの検定には1 way-ANOVA および多重比較 (LSD) を行った (危険率5%)。

第1次画分の生物試験の結果, 高い摂食阻害活性が認められた中性部をシリカゲル (Merck社製, Kieselgel 60) カラムクロマトグラフィーにより1) ヘキサン (N-1), 2) ヘキサン/酢酸エチル (19:1 N-2), 3) (9:1 N-3), 4) (1:1 N-4), 5) 酢酸エチル (N-5), 6) メタノール (N-6) で逐次溶出して第2次画分を得た。得られた第2次画分を同様に生物試験に供し, 活性が高い画分をさらに高速液体クロマトグラフィー (HPLC) により精製して活性物質の単離を行った。HPLCは逆相系 (日本分光 Megapak SIL-C<sub>18</sub>, 溶媒: メタノール/水 85:15) および順相系 (Megapak SIL-CN, 溶媒: ヘキサン) で行った。なお, 福島産ユカリについては採集量が少なかったため, 第2次画分 N-1 は2回, N-3 は4回, N-4 は3回の生物

**Table 1.** Yields of fractions obtained from the acetone extracts of *Plocamium telfairiae* in Fukushima, Izu Peninsula and Matsushima Bay (g/kg wet weight)

	N	A	WP	WM	WMA
Fukushima	1.00	1.96	21.89	0.44	0.90
Izu Peninsula	0.45	0.87	-	1.13	0.85
Matsushima Bay	0.95	0.64	-	-	-

N, neutral part; A, acidic part; WP, fraction eluted with water from charcoal column; WM, fraction eluted with methanol from charcoal column; WMA, fraction eluted with methanol/ammonia from charcoal column.

試験を行った。

### 底生動物群集の調査

宮城県松島湾の寒風沢島周辺水深1~2 mの砂泥が沈殿している海底に多数の不動石 (boulders) が折り重なっており、ユカリを優占種とする小形海藻群落は直径30 cmほどの規模で点在している。ここで、2000年4月、6月、9月の3回、25 cm×25 cmの方形枠を任意に4枠設置し、エアリフト法 (Omori et al. 2000) によって、枠内の動植物を採集した。2000年6月には静岡県南伊豆町下流沿岸の水深5~6 mの岩礁と不動石からなる海底に広範囲に分布しているユカリ、マクサ *Gelidium elegans*, オバクサ *Pterocliadiella capillacea* の混生群落で、松島湾と同様の方法で採集を行った。

採集した試料は研究室に持ち帰り、10%中性ホルマリン海水で固定した後、海藻と動物に分けた。ユカリ以外の海藻は、種の同定を行い、それぞれの湿重量を測定した。動物は方形枠ごとに動物門にわけて、腹足綱は可能な限り種まで同定し、それぞれ個体数を測定した。腹足綱の学名は基本的に奥谷(2000)に準拠した。

## 結 果

### 物質の分離精製と生物試験

福島産、伊豆半島産、松島湾産ユカリのアセトン抽出物の第1次画分と第2次画分で有意な摂食阻害活性を示した中性部の第2次画分のエゾアワビに対する摂食選択性指数の結果を Fig. 1 に示した。

第1次画分においては、どの産地であっても中性部と酸性部に高い摂食阻害活性 (福島産  $p < 0.01$ , 下田産と松島湾産  $p < 0.05$ ) が認められ、水溶性3画分にはまったく認められなかった。中性部と酸性部のそれぞれについて、摂食阻害活性に海藻の採集地間で有意差が認められ (ANOVA,  $p < 0.05$ ), 福島産が下田産、松島湾産より有意に高い摂食阻害活性を示した ( $p < 0.05$ )。

第2次画分において、福島産では2回のみ生物試験であったN-1の摂食選択性指数が0.90と0.92と極めて高く、N-2 ( $p < 0.05$ ) とN-4~6 ( $p < 0.05$ ) の4画分にも有意な摂食阻害活性が認められた。伊豆半島産ではN-1とN-2 ( $p < 0.05$ ) の2画分に、松島湾産ではN-1~3 ( $p < 0.01$ ), N-4とN-5 ( $p < 0.05$ ) の5区画にそれぞれ高い摂食阻害活性が認められた。このように福島産と松島湾産に摂食阻害活性を示す画分が多く、また3産地に共通して、極性の低いN-1部とN-2部が高い摂食阻害活性を示すことがわかった。

第2次画分N-1部とN-2部が3産地のユカリに共通

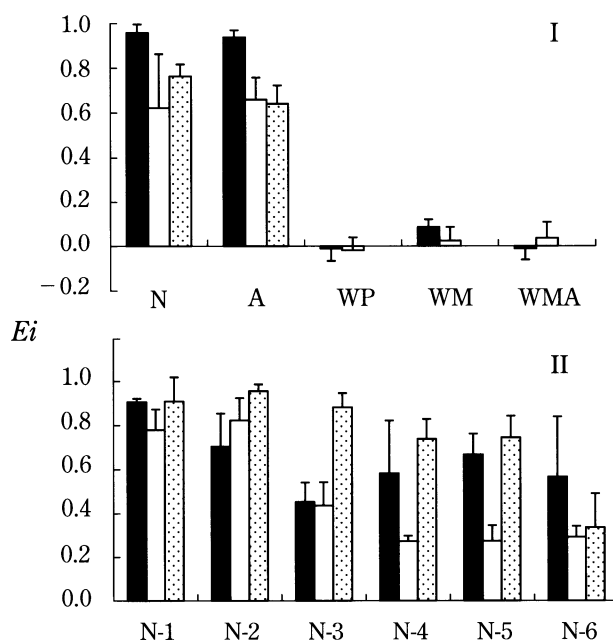


Fig. 1. Electivity index ( $E_i$ ) of the first (I) and second (II) fractions obtained from *Plocamium telfairiae* in Fukushima (dark), Izu Peninsula (white) and Matsushima Bay (dotted) against the abalone *Haliotis discus hannai*. N, neutral part; A, acidic part; WP, fraction eluted with water from charcoal column; WM, fraction eluted with methanol from charcoal column; WMA, fraction eluted with methanol/ammonia from charcoal column.

して高い摂食阻害活性を示したので、量的に多く得られた松島湾産ユカリ中性部について活性物質の単離を行った。中性部2.5 gをシリカゲルカラムクロマトグラフィーにより分画して第2次画分 (N-1 360 mg, N-2 469 mg, N-3 306 mg, N-4 761 mg, N-5 55 mg, N-6 327 mg) を得た。次いで活性の強いN-1部とN-2部をHPLCで精製した。まず、それぞれを順相系カラムでおおまかに分画した後、逆相系カラムでリサイクル法により8種のハロゲン化モノテルペン化合物I~VIIIを得た (Fig. 2)。各化合物の収量を以下に示す; Iは17 mg (N-1部より14 mg, N-2部より3 mg), IIは55 mg (N-1部より5 mg, N-2部より50 mg), IIIはN-1部より15 mg, IVはN-1部より6 mg, Vは22 mg (N-1部より7 mg, N-2部より15 mg), VIは24 mg (N-1部より23 mg, N-2部より1 mg), VIIは26 mg (N-1部より22 mg, N-2部より4 mg), VIIIはN-2部より9 mg。これら8種の化合物を平均殻長27.9 mmのエゾアワビを用いて試験した結果を Fig. 3 に示した。摂食選択性指数  $E_i$  は、最低でも化合物IVの0.88 ( $p < 0.01$ ) で、著しく高い摂食阻害活性を示した。これらの化合物の構造解析は各種のスペクトルデータ (IR, UV,  $^1\text{H-NMR}$ ,  $^{13}\text{C-NMR}$ , EIMS, HREIMS および比旋光度) を測定して行った。その結果, I, II, IIIは

*P. cartilagineum* (Mynderse and Faulkner 1975) から、VIIIは *Gelidium sesquipedale* (Aazizi et al. 1989) から得られたものと一致した。IV, V, VIおよびVIIの化合物は新化合物であり、その詳細については別に報告する。

### 底生動物群集

宮城県松島湾および静岡県南伊豆町下流沿岸のユカリ群落において棘皮動物のウニ綱、ヒトデ綱、クモヒトデ綱、節足動物の甲殻綱アミ目、端脚目、等脚目、クーマ目、十脚目、オキアミ目、ウミグモ綱、環形動物の

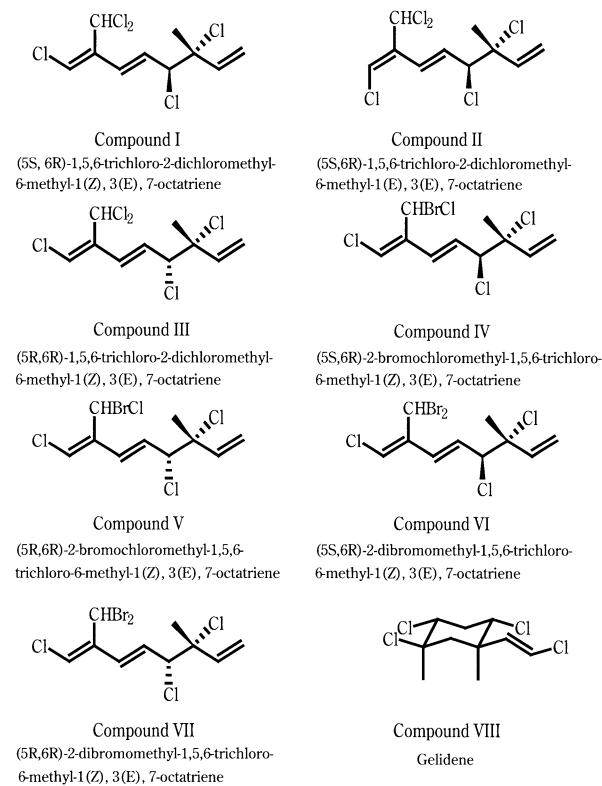


Fig. 2. Electivity index ( $E_i$ ) of the 8 compounds obtained from *Plocamium telfairiae* in Matsushima Bay against the abalone *Haliotis discus hannai*.

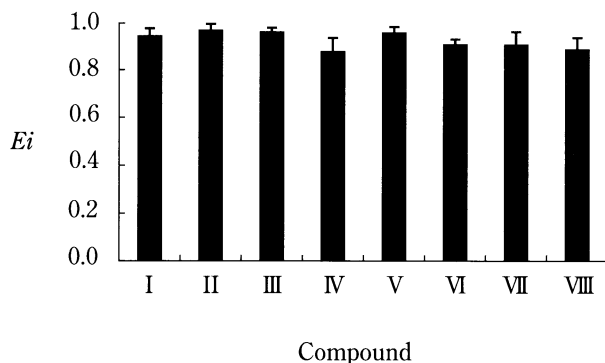


Fig. 3. Chemical structures of halogenated monoterpenoids obtained from *Plocamium telfairiae* in Matsushima Bay.

多毛綱、軟体動物の多板綱、二枚貝綱、腹足綱が採集された。それら底生動物の密度を網別に Fig. 4 に示した。全体のほとんどを占めたのは軟体動物腹足綱と節足動物甲殻綱であった。松島湾における底生動物群集組成は、採集した月によってほとんど変化がみられず、密度は9月にもっとも高かった。6月における底生動物の密度は、伊豆半島の方が松島湾に比べて2倍以上も高かった。また伊豆半島では二枚貝綱は、ほとんど出現しなかった。

どの調査においても高い密度を示した腹足綱の出現種を Table 2 に、密度組成を Fig. 5 に示した。密度組成に示した出現比率の高い10種のうち、チャツボ *Barleeia angustata*, ミスジチャツボ *Barleeia trifasciata*, ヨコミヅボ *Alvania cf. axicostata* の3種が松島湾と伊豆半島に共通して出現し、コムラサキバイ *Tricolia tristis*, ヘソカドタマキビ *Lacuna (Lacuna) smithi*, タマツボ *Alvania (Alvania) concinna*, ミジンツツガイ *Caecum (Brochina) glabella* の4種が松島湾のみに、ベニバイ *Tricolia variabilis*, マキウネツボ *Alvania (Alvania) circinata*, オチョボグチツボ *Amphithalamus (Amphithalamus) fulcra* の3種が伊豆半島のみに出現した。松島湾では、チャツボ・ヘソカドタマキビの出現比率が、伊豆半島ではオチョボグチツボ・ベニバイの出現比率が非常に高いことが特徴的であった。

ユカリとともに採集された海藻の湿重量は、松島湾では有節サンゴモやスジウスバノリ *Acrosorium polyneurum* が多く、伊豆半島では、マクサ、オバクサ、クロトサカモドキ *Callophyllis adhaerens* が多く認められた (Fig. 6)。

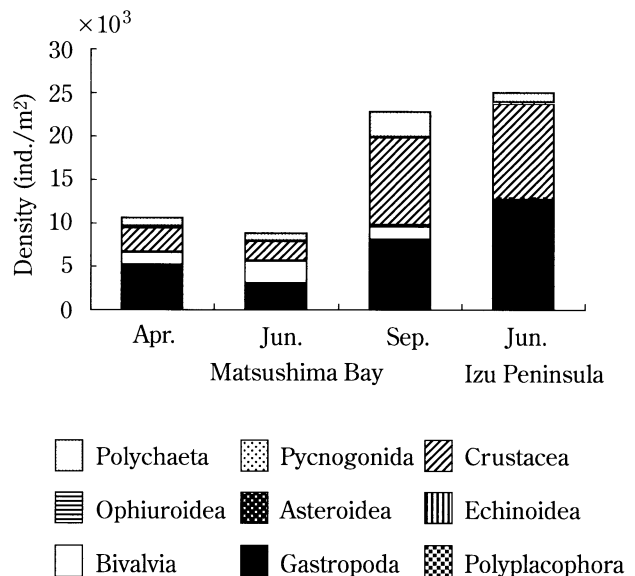
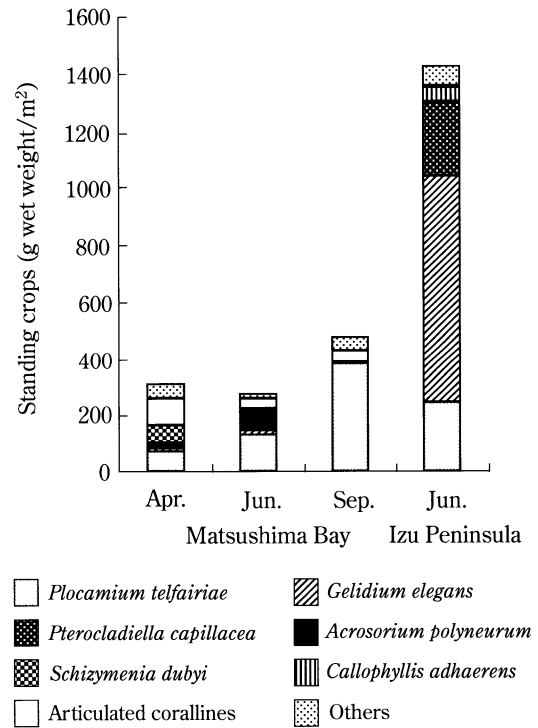


Fig. 4. Average densities of benthic animals collected in the *Plocamium telfairiae* populations in Matsushima Bay and Izu Peninsula.

**Table 2.** List of Gastropoda species collected in the *Plocamium telfairiae* populations in Matsushima Bay and Izu Peninsula

Species	Matsushima Bay		Izu Peninsula	
	Bay	Peninsula	Bay	Peninsula
<i>Scissurella staminea</i>	○		○	
<i>Macroschisma sinense</i>			○	
<i>Diodora</i> sp.	○			
<i>Omphalius rusticus</i>	○			
<i>Cantharidus callichroa</i>	○		○	
<i>Conotalopia minima</i>	○		○	
<i>Conotalopia</i> sp.	○		○	
<i>Turbo (Marmarostoma) stenogyrus</i>			○	
<i>Tricolia variabilis</i>			○	
<i>Tricolia tristis</i>				
<i>Lacuna (Lacuna) smithi</i>	○			
<i>Lacuna (Ephoria) turrita</i>	○			
<i>Barleeia angustata</i>	○		○	
<i>Barleeia trifasciata</i>	○		○	
<i>Amphithalamus (Amphithalamus) fulcra</i>			○	
<i>Alvania (Alvania) concinna</i>	○			
<i>Alvania cf. axicostata</i>	○		○	
<i>Alvania (Alvania) circinata</i>			○	
<i>Caecum (Brochina) glabella</i>	○			
<i>Hipponix conica</i>			○	
<i>Certhiopsis</i> sp.			○	
<i>Epitonium (Nitidiscala) japonicum</i>	○			
<i>Reticunassa multigranosa</i>	○			
<i>Reticunassa fratercula</i>	○			
<i>Rissoella</i> sp.1			○	
<i>Rissoella</i> sp.2			○	
<i>Orinella pulchella</i>			○	
<i>Pyrgiscilla yoritomoi</i>	○			
<i>Cingulina cingulata</i>	○			
<i>Odostomia desimana</i>	○			
<i>Parthenina ultralaeta</i>	○			
<i>Chrysallida</i> sp.	○			
<i>Iolaea scitula</i>	○			

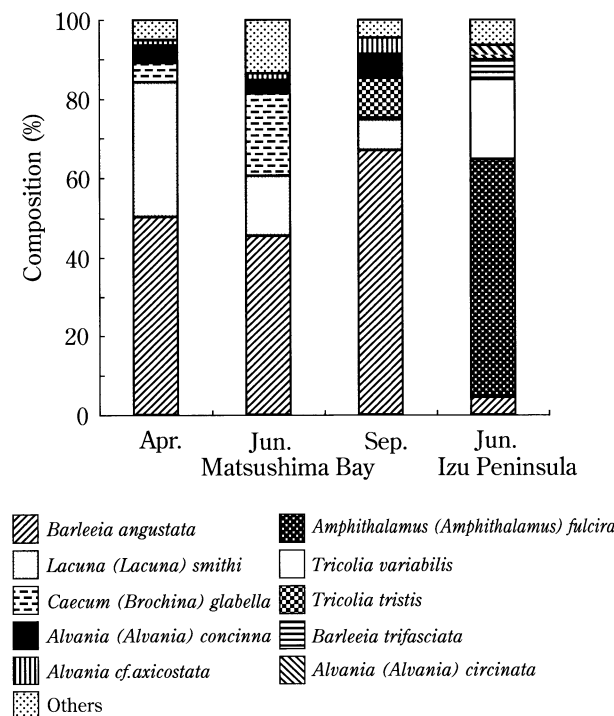


**Fig. 6.** Average algal standing crops (g wet weight/m<sup>2</sup>) in the *Plocamium telfairiae* populations in Matsushima Bay and Izu Peninsula.

考 察

紅藻ユカリのアセトン抽出物は、福島産、松島湾産、伊豆半島産のいずれにおいても脂溶性画分中性部と酸性部に、エゾアワビに対して極めて高い摂食阻害活性を示した (Fig. 1)。松島湾産ユカリ中性部の分離精製と生物試験を繰り返した結果、摂食阻害物質として8種のハロゲン化モノテルペン化合物が単離同定された (Figs. 2, 3)。これらハロゲン化モノテルペン化合物のうち4種はすでに報告されており (Mynderse and Faulkner 1975; Aazizi et al. 1989)、その他の4種は新化合物であった。本研究によって、ユカリは、エゾアワビの摂食を阻害する二次代謝産物ハロゲン化モノテルペン化合物を生産することが初めて明らかになった。

福島産ユカリの第1次画分中性部と酸性部の摂食阻害活性は、松島湾産および伊豆半島産ユカリのそれらと比べて明らかに高かった (Fig. 1)。また、摂食阻害活性を示した中性部と酸性部の画分量は松島湾産および伊豆半島産ユカリと比べて福島産ユカリが多かった (Table 1)。福島県栽培漁業協会の飼育水槽内では、ウニやアワビのような大型植食動物が極めて高密度に飼育されている。一方、天然のユカリ群落においては、松島湾、伊豆半島ともにウニやアワビ等の大型植食動物はほとんど観察されず、数種類の小型の腹足綱が優占していた (Figs. 4, 5)。このことか



**Fig. 5.** Species compositions of Gastropoda in the *Plocamium telfairiae* populations in Matsushima Bay and Izu Peninsula.

ら、大型植食動物が高密度で生息するような環境下において、ユカリが化学的防御物質の生産速度を高めるようになったのであろうと推察された。

松島湾産と伊豆半島産ユカリの生物試験結果を比較すると、第1次画分では大きな相違はなかったが、第2次画分では松島湾産ユカリが明らかに高い活性を示し、さらに活性を示す画分が多かった (Fig. 1)。松島湾産と神奈川県鎌倉産のユカリでは、生産するハロゲン化モノテルペン化合物の構造が異なることが知られている (吉田ら 1981)。本研究で用いた3産地のうち、ハロゲン化モノテルペン化合物の構造決定を行ったのは松島湾産ユカリだけなので、産地による化学構造の相違は明らかではないが、松島湾産と伊豆半島産で摂食阻害活性に相違が認められたのは、生産するハロゲン化モノテルペン化合物の相違によることが考えられる。

松島湾と伊豆半島に生育するユカリと同所的に生息する動物群集には、ウニやアワビ、あるいはバテイラなど大型植食動物はほとんど認められなかった (Fig. 4, 5)。植食動物が含まれる小型腹足類の組成を比較すると (Table 2, Fig. 5)、松島湾ではチャツボとヘソコダタマキビ、伊豆半島ではオチョボグチツボとベニバイがそれぞれ優占した。オチョボグチツボは、太平洋沿岸では房総半島、日本海沿岸では佐渡島を北限とする (奥谷 2000)。したがって、両産地の動物群集組成の相違は、ユカリが生産するハロゲン化モノテルペン化合物の相違であるか否かは明らかにできなかったが、本研究の結果から、エゾアワビなどの大型植食動物は、食物としての選択性が低いユカリ群落にはほとんどとどまらなないと考えられる。

## 要 約

福島県栽培漁業協会のウニ、アワビ飼育水槽内で紅藻ユカリが摂食されずに生育していた。そこで、同飼育水槽内、宮城県松島湾ならびに静岡県伊豆半島に生育するユカリのエゾアワビに対する摂食阻害活性とユカリ群落に生息する底生動物群集組成を調べた。ユカリのアセトン抽出物から摂食阻害物質として8種のハロゲン化モノテルペン化合物が単離同定された。アセトン抽出物の阻害活性は福島産がもっとも高く、松島湾産、伊豆半島産の順であった。底生動物群集は、小型腹足綱が多く、松島湾と伊豆半島では優占する種が異なっていた。

## 謝 辞

軟体動物の同定に協力をいただいた北海道立網走水産試験場資源増殖部栽培技術科 栗原康裕科長、標本

採集に多大なご協力をいただいた福島県栽培漁業協会の丸添隆義氏と静岡県水産試験場伊豆分場の長谷川雅俊氏に厚く御礼申し上げる。

## 文 献

- Aazizi, M. A., G. M. Assef and R. Faure (1989) Gelidene, a new polyhalogenated monocyclic monoterpene from the red marine alga *Gelidium sesquipedale*. *J. Nat. Prod.*, **52**, 829-831.
- Crews, P. and E. Kho (1974) Cartilageneal. An unusual monoterpene aldehyde from marine alga. *J. Org. Chem.*, **39**, 3303-3304.
- Crews, P., L. Campbell and E. Heron (1977) Different chemical types of *Plocamium violaceum* (Rhodophyta) from the Monterey Bay region, California. *J. Phycol.*, **13**, 297-301.
- Hay, M. E. and W. Fenical (1988) Marine plant-herbivore interactions: The ecology of chemical defense. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, **19**, 111-145.
- König, G. M., A. D. Wright and A. Linden (1999) *Plocamium hamatum* and its monoterpenes: chemical and biological investigations of the tropical marine alga. *Phytochemistry*, **52**, 1047-1053.
- Kurata, K., K. Taniguchi, K. Shiraishi and M. Suzuki (1990) Feeding-deterrent diterpenes from the brown alga *Dilophus okamurai*. *Phytochemistry*, **29**, 3453-3455.
- 丸添隆義・丹明信 (2001) III種苗生産事業 2. キタムラサキウニ. 平成11年度福島県栽培漁業協会事業報告書, 20-26.
- Mynderse, J. S. and D. J. Faulkner (1975) Polyhalogenated monoterpenes from the red alga *Plocamium cartilagineum*. *Tetrahedron*, **31**, 1963-1967.
- 奥谷喬司 (2000) 日本近海産貝類図鑑. 東海大学出版, 東京, pp. 147.
- Omori, M., K. Taniguchi, K. Shiraishi and T. Seki (2000) Distribution of benthic invertebrates in relation to zonal structure of algal communities in a rocky sublittoral area, Tomari-hama, Oshika Peninsula, northern Japan. *Benthos Research*, **55**, 69-83.
- Sakata, K. and K. Ina (1985) Digalactosyldiacylglycerols and phosphatidylcholines isolated from a brown alga as effective phagostimulants for a young abalone. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **51**, 659-665.
- Sakata, K., Y. Iwase, K. Ina and D. Fujita (1991) Halogenated terpenes isolated from the red alga *Plocamium leptophyllum* as feeding inhibitors for marine herbivores. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **57**, 743-746.
- 丹明信・中野公一・丸添隆義 (2001) III種苗生産事業 1. エゾアワビ. 平成11年度福島県栽培漁業協会事業報告書, 11-19.
- 吉田忠生・吉田明子 (1980) ユカリの表皮細胞に含まれる「油体」について. *藻類*, **28**, 218.
- 吉田忠生・松江英樹・福沢晃夫 (1981) 紅藻ユカリに含まれる含ハロゲンモノテルペノイドについて. *藻類*, **29**, 282.