

長崎県沿岸の近年における大型褐藻群落の
衰退現象に関する研究

Study on Recent Decline of Large Brown Alga Population in
Coastal Waters around Nagasaki Prefecture

長崎大学大学院生産科学研究科

2006年3月

桐山 隆哉

目 次

緒 言	17
第1章 大型褐藻類に認められた衰退現象	18
第1節 クロメ, アラメ, カジメにおける葉状部欠損現象	18
1. 葉状部欠損の特徴と欠損現象の発生状況	18
2. 藻食性魚類によるクロメの摂食並びに摂食痕からみた原因種の推定	23
第2節 ヒジキにおける生育不良現象	31
1. 発生の状況と防護籠設置による生育の改善	32
2. 藻食性魚類による摂食並びに摂食痕からみた原因種の推定	38
第3節 養殖ワカメにおける葉状部欠損現象	50
1. 発生の状況と防護網設置による生育の改善	50
2. 藻食性魚類によるワカメの摂食並びに摂食痕からみた原因種の推定	53
第2章 大型褐藻類にみられた分布と種組成の変化	56
第1節 暖海性ホンダワラ類の分布北上	56
第2節 アントクメの分布北上	61
第3節 ホンダワラ類在来種の種組成の変化	62
第4節 沿岸海水温にみられる近年の変化	64
第3章 総合考察	69
謝 辞	73
参考文献	73
要 約	77

緒言

大型植物が繁茂する場所は“藻場”と呼ばれ、大型褐藻によるコンブ藻場、アラメ藻場、ガラモ場や顕花植物によるアマモ場などがある。藻場は高い一次生産量があり、立体的で複雑な空間を形成することから生物多様性を有する。また、アラメ・カジメ藻場ではそれらを餌として集まるアワビやウニなどの漁場としての利用や大型褐藻類の一部は食用とされるなど産業的価値も高い。一方、大型褐藻類が消失して回復しない“磯焼け”現象は古くから知られ、1900年頃から全国的に観察され問題となり調査研究が行われてきた。磯焼けの発生については、これまで様々な原因が報告されており、谷口・長谷川(1999)によれば、水温や栄養塩、波動などの海況変動、津波や大量の淡水流入、ウニなど藻食性動物の摂食圧、サンゴモによる他の海藻の着生阻害など生物学的な要因と海水汚濁による透明度の減少、浮游性の懸濁物や漂砂、工場等からの排水など人為的な要因があることを報告している。近年の研究では、津軽海峡におけるコンブの豊凶(西田 1999)、静岡県伊豆半島におけるカジメ群落の衰退による磯焼けの発生(谷口・長谷川 1999)などは高水温、低栄養などの海流変動との関係が示されている。また、北海道日本海沿岸(吾妻 1999)や東北地方太平洋沿岸(關 1999)など各地の磯焼け帯では、ウニおよびウニや巻貝の除去によるコンブやアラメ藻場の回復が実証されており、これらの摂食圧が磯焼けの原因と考えられている。海外においても富士(1999)によれば、世界的に大規模な磯焼けで知られるカリフォルニア沿岸とカナダ東部沿岸における Kelp 藻場の衰退は、ウニの摂食圧を共に磯焼けの原因にあげており、カリフォルニア沿岸では、他に高水温・低栄養の海流の影響についても指摘し、ウニの摂食圧、海流の影響、およびこれらの複合要因が磯焼けの原因として考えられている。これら日本や海外の研究事例などから、現在では磯焼けの発生および持続する原因として高水温、低栄養などの海洋条件とウニ、巻貝などの摂食圧であることが共通した認識として考えられている(富士 1999)。この他に、黒潮

の影響域である沖縄(渡辺・山城 1979)、宮崎(神田ら 1984)、鹿児島(新村ら 1984)、および和歌山県(清水 1983)などでは藻場造成において魚の摂食被害が大きいことが報告されている。

近年の全国の藻場の変化については、その面積は1973年以降の約20年間で約1万haが減少したとされる(寺脇 1996)。九州沿岸でも例外ではなく、長崎、宮崎、鹿児島の各県では磯焼けの発生が知られており(四井 1999)、藻場の衰退や消失が問題となっている。また、これまで磯焼けがないとされていた大分県でも、1994年以降にクロメ・カジメ藻場の消失が顕著となっている(尾上 2002)。長崎県では以前から磯焼けの発生は知られており、県内各地にみられる。主な原因は、台風や時化などによる藻場の破壊に続くウニ、巻貝の摂食圧や藻場の減少・消失による海藻の生殖細胞の供給不足が考えられている(四井 1999)。長崎県水産部が1993年に行った調査では、磯焼けした沿岸線の距離は県内沿岸線全体の約20%を占めている。その後、県内全域を対象とした詳細な調査は行われていないが、断片的な調査や聞き取り情報などから藻場の衰退は拡大傾向にあると考えられる。

ところが、1998年以降、長崎県の各地では、これまでみられなかった規模でアラメ類(クロメ *Ecklonia kurome*、アラメ *Eisenia bicyclis*、カジメ *Ecklonia cava*)、ヒジキ *Sargassum fusiforme* などの大型褐藻類の衰退が相次いで観察されるようになった。加えて、時を同じくして有明海島原半島沿岸一帯の養殖ワカメ *Undaria pinnatifida* の幼芽が消失し顕著な場合には生産不能となる現象も発生している。このため、県内各地でアラメ類の藻場の衰退が顕在化し、五島列島北端の宇久や小値賀、壱岐周辺のようにこれまで豊かな藻場に恵まれていた場所でも1、2年の短期間にアラメ、カジメ、およびクロメ藻場がほとんど消失している。また、ヒジキと養殖ワカメでは生産量が半減しており漁家経営に大きい影響を与えている。このような大型褐藻類の衰退は沿岸漁業の不振と合わせて海洋環境の悪化によるものではないかと漁業者などに深刻に受け止

められており、衰退した大型褐藻類の回復が早急に求められている。

今回観察された大型褐藻類の衰退現象については、アラメ類藻場の衰退など、これまで知られている“磯焼け”現象の範ちゅうに入ると思われるが、従来の磯焼けとは幾つかの点で様相を異にしている。まず、従来の磯焼けは、対馬東岸、生月西岸、五島列島沿岸(宇久、小値賀を除く)などに集中していたが(四井1999)、今回の現象は従来の磯焼けがみられなかった宇久、小値賀、壱岐を含めて広く県内全域に及んでいる。宇久や小値賀ではアラメ類藻場がほぼ消失したが、代わってノコギリモク *Sargassum macrocarpum* が優占するガラモ藻場に変化している。また、従来の磯焼けは漸深帯上部の大型褐藻類の衰退現象として考えられてきたが、今回は潮間帯のヒジキやヒジキと同じ場所に生育しているイシゲ *Ishge okamurae* やイワヒゲ *Myelophycus simplex* 等の小型海藻にも同様の現象が認められている。さらに、アラメ類とホンダワラ類 *Sargassum* spp. が共に生育している場所においてはアラメ類のみ本現象が発生し、少なくとも発生初期においてはホンダワラ類などにはほとんど変化がないという点も従来の磯焼けとは様相を異にしている。また、これらの現象を調査する中で、暖海性ホンダワラ類(*Sargassum* 亜属)とアントクメ *Eckloniopsis radicata* の分布情報が県内各地から多数寄せられるようになり、分布域が拡大していることが示唆された。一方、在来のホンダワラ類の種類数が減少し、群落組成の単純化傾向が観察された。当初は大型褐藻類の衰退現象の原因究明を目的にして研究を始めたが、研究を進める中で衰退現象のみではなく大型褐藻群落の構成種の変化を含む規模の大きい一連の変化が進行していることが推察された。暖海性大型褐藻類の分布域の拡大は海水温の上昇を示すものであり、大型褐藻群落にみられたこれらの変化は水温環境の変化を直接あるいは間接に受けて生じた変化と考えられた。そこで、本研究は長崎県沿岸海域における近年の大型褐藻群落の衰退及び種組成の変化の実態を調査し、その原因を明らか

にすると共にその原因を生じる環境要因について考察した。

第1章 大型褐藻類に認められた衰退現象

長崎県沿岸では、1998年にクロメ、アラメ、カジメの葉状部欠損、ヒジキの生育不良、養殖ワカメの葉状部欠損などの大型褐藻類の衰退現象が相次いで発生し大きい問題となった。これらの現象は引き続き発生しており、藻場の衰退や磯焼けが拡大し、ヒジキおよび養殖ワカメでは生産量が減少する被害が出ており、原因究明と対策が求められている。本章では、これら大型褐藻類の衰退現象について、発生状況を調べると共に、衰退現象を示している群落内の藻体に残されている痕跡を手掛かりにその原因について研究を行った。

第1節 クロメ、アラメ、カジメにおける葉状部欠損現象

1. 葉状部欠損の特徴と欠損現象の発生状況

長崎県野母崎町野母地区で1998年9月にクロメの葉状部が欠損し、著しい場合は茎部だけとなった個体が多数観察された。このような現象は、静岡(川尻ら1981)、宮崎(坂本・松本1995)、和歌山(山内ら2000)などの各県では報告があるが、長崎県で

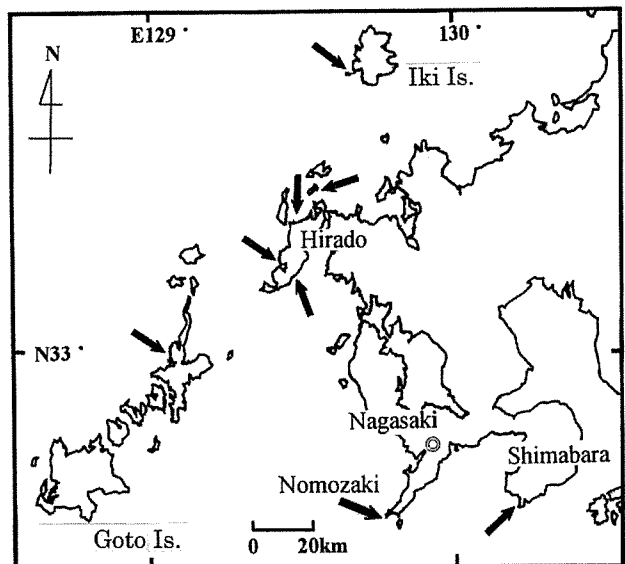


Fig.1 Sites where observations and samplings were conducted by scuba diving to confirm the leaf-lost phenomenon on *Eisenia bicyclis*, *Ecklonia cava*, and *Ecklonia kurime*.

はこのような個体が群落の中に混じって稀に存在する程度の現象は観察されたことはあるが(吉村・清本 1999), 今回のように規模が大きい発生は認められていない。この現象は葉状部が欠損して茎だけになるという特徴から“立ち枯れ現象”と呼ばれているが, 今回の調査から原因は生理的なものではなく, 外部からの物理的干渉であることが分かったので, この報告では生理的原因を思わせる“立ち枯れ現象”ではなく, “葉状部欠損現象”と称することにした。ここでは, 本現象の特徴と発生状況を調査した(桐山ら 1999a)。

方法

(1) クロメ藻体で観察された特徴

野母崎町地先 (Fig.1) で 1998 年 12 月に葉状部欠損現象の発生が最も多かった野母地区において標本を採集した。方法は葉状部欠損個体が多くみられた場所に 50cm × 50cm の枠を置き枠内のクロメを全て採集した。採集は 11 箇所で行い標本は 10% ホルマリン溶液で固定し長崎県総合水産試験場(以下, 長崎水試)に持ち帰って形態等の観察に供した。

(2) 長崎県内における発生状況

県内における本現象の発生状況を把握するため先ず 7 箇所にある水産業普及指導センターを通じて県内の漁業協同組合に対し聞き取り調査を行った。その上で, 本現象が顕著に存在することが分かった壱岐(郷ノ浦町), 平戸(度島, 主師, 獅子, 中津良町), 五島(上五島町), 島原半島(口之津町)の各地先 (Fig. 1) において SCUBA 潜水により 1999 年 1 月に標本を採集して本現象の特徴を確認した。

(3) 葉状部欠損個体の水深別の出現状況

聞き取り調査から, 平戸地先では浅場に比べ深場における発生頻度が高いという回答があったので, 中津良町地先で前述した潜水調査の際にライントランセクトによって正常な個体と葉状部の欠損がみられる個体数を計数し, 水深と出現状況の関係を調べた。

結果

(1) クロメ藻体で観察された特徴

野母崎町地先における葉状部が欠損したクロメ

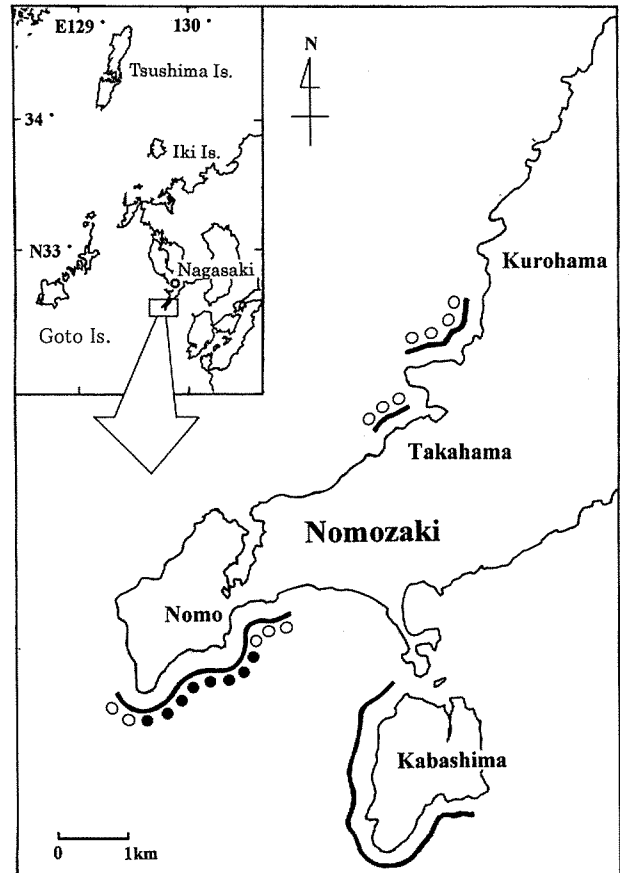


Fig.2 A map showing the distribution (line) of *Ecklonia kurome* around Nomozaki and sites where leaf-lost thalli (open circle, scarce ; solid circle, plentiful) were observed.

の目視観察による分布を Fig. 2 に示す。高浜～黒浜地区では葉状部欠損個体はクロメ群落の中に散在する程度で少なかったが, 野母地区ではクロメが分布している約 3km の海岸線の内約 2km にわたって茎部のみとなった個体や側葉が極めて短くなった個体が多数観察された (Fig. 3)。一方, 対岸の樺島地区では本現象の発生が顕著にみられた野母地区に約 2, 3km の距離であるにもかかわらず, 葉状部欠損個体は認められず, 密生したクロメ群落が形成されていた。また, 発生の状況を見ると, 環境条件が同じような地先において, 発生した場所と発生しなかった場所があったり, 発生した場所でも広い群落の中で一様に発生するのではなくパッチ状に発生がみられ, パッチ状に発生した箇所でもクロメ幼体やホンダワラ類には葉や主枝の欠損, 退色など異常が認められないなどの点も観察された。このように,



Fig.3 Leaf-lost *E. kurome*, only stipes stood on the rock at about 6 m depth in the coastal waters of Nomozaki (Photo-graphed on December 7, 1998). A one size of the quadrat is 50 cm.

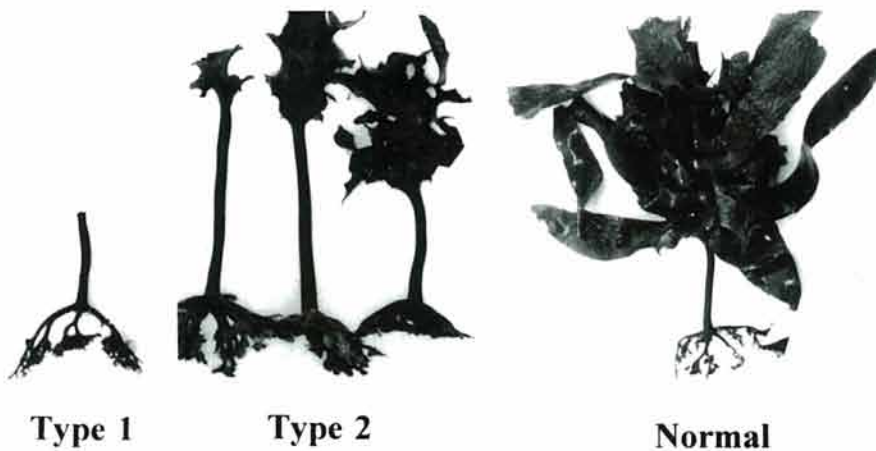


Fig. 4 Various types of leaf-lost thalli of *Ecklonia. Kurome* Type 1; stipe only, Type 2; various degree of leaf-lost degeneration.

葉状部欠損個体の出現は一様ではなく部分的にまとまって発生するなどの特徴を示した。

葉状部が欠損したクロメの形態と分類：野母地区で葉状部欠損個体の出現が多かった場所で採取りにより採集した標本を観察すると、茎部だけになった個体から部分的な欠損に止まる個体、欠損が認められない正常な個体まで種々の状態が観察された。そこで Fig. 4 に示すように、一見して葉状部

の欠損が明らかな個体について、茎部だけの個体を Type 1、中央葉のみかあるいは側葉が短い個体を Type 2 とし、部分的には欠損があっても全体の形に大きい変化がない個体は Normal (正常型) として、11箇所での採取りで採集した標本(139 個体)を整理した。その結果、Type 1 が 37%、Type 2 が 49% で合計 86% に明らかな葉状部欠損現象がみられ、正常型は 14% であった。正常型の内 65% は 1

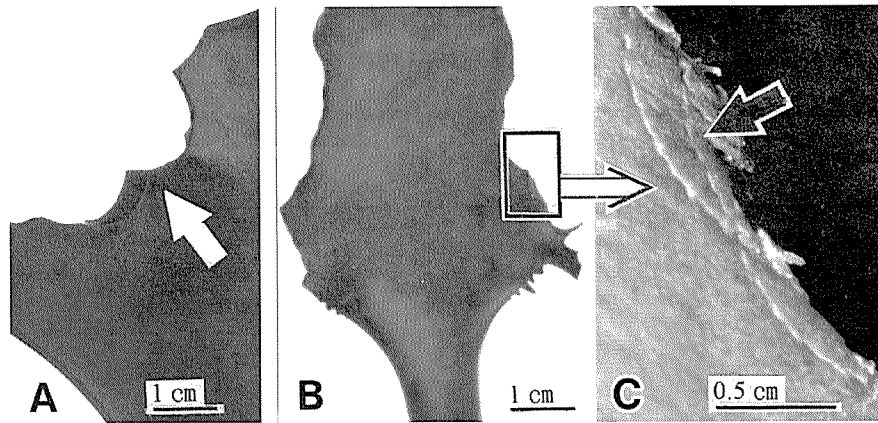


Fig.5 Characteristic arc shapes found on the margin of leaf-lost thalli of *Ecklonia kurome* at Nomozaki. A: arc shaped margin (arrow) of leaf-lost thallus. B,C: traces supposed to be remains of fish teeth. C is enlarged portion of the rectangular in B.

年目の幼体で、幼体においては明らかに本現象の発生が少ない傾向がみられた。また、葉状部欠損個体は浅場で少なく、欠損がみられた個体に退色等の生理的な障害を示すような変化は認められなかった。

葉状部にみられた欠損部の特徴：葉状部が欠損した藻体には切り取られたような明瞭な弧状の痕跡が観察された (Fig. 5A)。個体によっては弧状に欠損した縁辺の内側に欠損部と同形の点線状の傷 (Fig.5B,C) が認められるものや、中央葉の縁辺部など厚みのある部位では、欠損部断面に縦に平行に走る線状の傷が認められるものもあった。採集した標本の中で弧状の痕跡が認められた個体の割合は、Type 1では7%、Type 2では37%、正常型は53%であった。弧状や筋状の痕跡は新しいものでは明瞭であるが、時間が経過した古いものでは欠損部縁辺は丸みを帯びて凹凸が滑らかとなったり、付着物がみられるなど、上述したような弧状の欠損や筋状の痕跡は不明瞭になった。

(2)長崎県内における発生状況

聞き取り調査の結果、本現象は、橘湾と大村湾を除く対馬、壱岐、五島、平戸、西彼半島、島原半島の各沿岸でその場所に分布しているアラメ類 (クロメ、アラメ、カジメ) に発生していることが分かった (Table 1)。そこで、発生が顕著との情報があっ

た壱岐 (郷ノ浦町)、平戸 (度島、主師、獅子、中津良町)、五島 (上五島町)、島原半島 (口之津町) の各地先 (Fig. 1) で1999年1月にSCUBA潜水によって標本を採集し本現象の特徴を確認した結果、いずれの地先でも野母地区のクロメでみられたものと同様の茎部のみが残った個体から側葉が短くなっただけの個体まで多様な葉状部欠損現象と藻体に特徴的な弧状等の痕跡が認められた。なお、平戸地先ではツルアラメ *Ecklonia stolonifera* の分布がみられたが、同一場所に生育するアラメには葉状部の欠損があってもツルアラメには観察されなかった。また、SCUBA潜水調査を行った上記の4地区において葉状部が欠損したアラメ類と同じ場所に生育していたホンダワラ類 (ノコギリモク、トゲモク *Sargassum micracanthum*、アカモク *S. horneri*、ヤツマタモク *S. patens*、ヨレモク *S. siliquastrum*、マメタワラ *S. piluliferum*) には、葉状部の欠損は確認されなかった。平戸中津良町と口之津町地先ではオオバモク *S. ringgoldianum* に茎だけになったものや先端に数枚の葉が残るだけのアラメ類の葉状部欠損に類似した特徴がみられ、残された葉にはアラメ類と同様の弧状の欠損が多数観察された。

(3)葉状部欠損個体の水深別の出現状況

アラメの葉状部欠損個体の発生と水深との関係について平戸中津良町地先において1999年1月に

Table 1. The Site where leaf-lost phenomenon observed on *Ecklonia kurome*, *Eisenia bicyclis*, and *Ecklonia cave* along the coast of Nagasaki Prefecture.

Region	Locality	Site	Species			remarks	
			<i>Eisenia bicyclis</i>	<i>Ecklonia cava</i>	<i>Ecklonia kurome</i>		
Tsushima	Kamitsushima	Waniura~Kin	○			information by hearing	
		Toyotama	○			"	
	Mitsushima	Gaya, Miura Bay	○			"	
		Ofunakoshi, Amikakezaki~ Neo	○	○		"	
	Izuhara	Izuhara	○			"	
		Are	○			"	
		Komoda	○			"	
Iki	Ashibe	Tsutsu Bay	○			"	
		Hakozaki	○			"	
	Gounoura	Oshima	○	○		SCUBA diving information by hearing	
Hokushou	Takashima	Takashimaaoura	○			"	
		Fukushima	○			"	
	Matsuura	Shinhoshika(Shirohama)	○			"	
	Ikitsuki	Obae~Higashimatsumoto	○	○	○	"	
		Hirado	Hirado	○			"
	Uku	Shishi	Shishi	○			"
			Shishiki	○			"
		Takushima (Arasaki,Sakise,Takatsuku)	Takushima (Arasaki,Sakise,Takatsuku)	○		○	SCUBA diving information by hearing
			Shushi (Kaisezaki~Shiraishi)	○		○	"
		Nakatsura (Osakibana~Bishagose)	Nakatsura (Osakibana~Bishagose)	○		○	"
			Tsuyoshi(Mezika~Warise)	○			information by hearing
		Ojika	whole area	○	○		"
			whole area	○	○		"
	Seihi	Shikamachi	Shikamachi			○	"
Kosaza					○	"	
Sasebo		Kuroshima, Tawaragaura, Kashimae			○	"	
		Oshima	whole area			○	"
Sajkito		whole area			○	"	
		Sotome	Kurosaki			○	"
Goto	Nomozaki	Kurohama~Takahama			○	"	
		Nomo			○	"	
	Arikawa	Akase	○		○	"	
Arikake	Kuchinotsu	Tarumi, Hyakkanze, Orishima	○		○	SCUBA diving information by hearing	
		Sezumasaki			○	"	
	Wakamatsu	Sannengaura			○	SCUBA diving information by hearing	
Miiraku	Chijimibana			○	"		

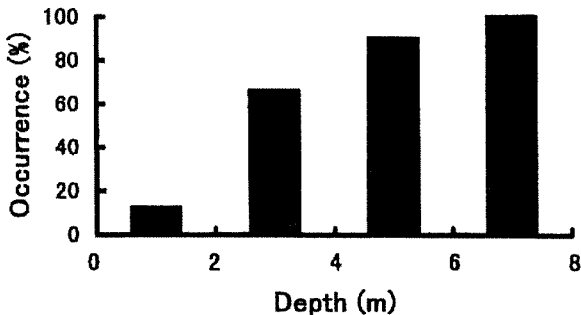


Fig.6 Occurrence of leaf-lost *Eisenia bicyclis* at various depth at the coastal waters of NakatsuraHirado Island.

調査した結果を Fig. 6 に示す。アラメの分布は水深 1~7m の範囲にみられ、2m 以浅では正常個体

が 88% を占めたが、2m 以深では葉状部が欠損した個体の出現率が高くなり、2~4m では 70%、4~6m では 90%、6~8m では全てが欠損した個体となった。浅い場所で葉状部欠損個体の出現率が少ないという傾向は、野母地区のクロメでも認められたが、壱岐郷ノ浦町や上五島町地先では深浅を問わず本現象の発生が著しく、このような傾向は明確ではなかった。

考 察

長崎県内で今回認められたアラメ類の葉状部欠損現象は、著しい場合には葉状部が全てなくなり茎部だけになったものから側葉がわずかに欠損したもので、多様な状態を示した。また、本現象を示したクロメ、アラメ、カジメには全て退色はなく、

欠損部に切り取られたような弧状の特徴的な痕跡が共通して認められた。アラメ類で葉状部がなくなり基部だけになる現象は、これまでも”立ち枯れ現象”として静岡(川尻ら 1981), 宮崎(坂本・松本 1995), 和歌山(山内ら 2000)などの各県で知られ、ニュージーランド(Cole and Babcock 1996)でも報告がある。静岡県では、黒潮の接岸による水温の上昇が原因と推察されている。ニュージーランドでは、水深 10 ~ 18 m に生育していた *Ecklonia radiata* が葉部の退色や衰退が進み、茎部や仮根部のみになり群落が消滅した例が報告されており、日照不足が原因と推察されている。一方、宮崎県や和歌山県では、クロメやカジメ群落は 2, 3 ヶ月の間にほとんど基部だけになる同様な現象がみられ、藻体に残された痕跡から魚類の摂食を原因と推定している。長崎県内で今回認められた現象においては、藻体に特徴的な弧状の欠損があり、宮崎県や和歌山県の例に類似している。また、発生の状況についても、一様ではなく同じような環境において、場所や大型褐藻類の種類、成体や幼体によっても発生状況が異なるという特徴等を総合的に考慮すると、長崎県内で今回発生した本現象の原因は生理的な障害とは考えにくく、宮崎県や和歌山県と同様に魚類の摂食が原因として疑われる。魚類によるクロメの摂食被害は 1984 ~ 1986 年に野母崎町地先の磯焼け帯で実施した藻場造成試験で、人工的に造成したクロメ群落がブダイ *Calotomus japonicus* の摂食によって消滅したことが報告されている(四井・前迫 1985;

小川・四井 1986)。今後、藻体に残されていた弧状等の痕跡を本現象の原因を究明する手掛かりとして利用できると考えられる。

2. 藻食性魚類によるクロメの摂食並びに摂食痕からみた原因種の推定

長崎県沿岸で葉状部欠損現象を示しているアラメ類群落において、残存した藻体の葉状部縁辺に特徴的な弧状の痕跡が残されており、この痕跡は藻食性魚類の摂食痕ではないかと疑われた(桐山ら 1999a: 清本ら 2000b)。そこで、長崎県内で普通にみられ、量的にも多い藻食性魚類 7 種について陸上水槽でクロメを与えて摂食状況を観察し、摂食の有無、摂食痕の特徴などについて調査を行い(桐山ら 2001a), 摂食痕と藻体に残された痕跡との比較から原因種を推定した。

方 法

(1) 藻食性魚類によるクロメの摂食

長崎県沿岸で普通にみられ、藻食性と考えられるメジナ *Girella punctata*, ノトイスズミ *Kyphosus bigibbus*, ブダイ, ニザダイ *Prionurus scalprus*, アイゴ *Siganus fuscescens*, カワハギ *Stephanolepis cirrhifer*, ウマヅラハギ *Thamnaconus modestus*, の 7 種の成魚について水槽内でクロメを与え、摂食の有無、摂食痕、摂食量等について観察した。なお、アイゴとシモフリアイゴ *S. canaliculatus* の分類については混乱がみられるため、ここでは中坊(2000a)に基づいて両種を区別せずにアイゴとして扱った。イスズミ属 *Kyphosus* の分類については、従来イ

Table 2. Times conducted for feeding experiment by seven herbivorous species on *Ecklonia kurome* in the tank. One experiment time was 24 hours.

Species	TL (cm)	Times							
		May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
<i>Girella punctata</i>	28	5	5						
<i>Kyphosus bigibbus</i>	42				14	9	9	8	12
<i>Calotomus japonicus</i>	42	6	5		14	10	8	8	12
<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	19	5	5						
<i>Siganus fuscescens</i>	33	6	5		14	11	8	8	12
<i>Thamnaconus modestus</i>	22	5	5						
<i>Prionurus scalprus</i>	24	5	5						

スズミ *K. lembus* とされていたものは近年イスズミ *K. vaigiensis* とノトイスズミに分けられた(中坊 2000b)。これまでの調査では、長崎県沿岸ではこれら両種が漁獲されるが、そのほとんどがノトイスズミであった。このため、本摂食試験(桐山ら 2001a)および以下に記す全長と口幅の関係に用いた供試魚は、ノトイスズミとして扱うことにする。

これら7種は、西彼杵半島沿岸の幾つかの漁業協同組合を通じて漁業者に依頼して採捕した。供試魚は集まったものから順次長崎水試の陸上水槽(長さ10×幅2×深さ0.75 m, アクリルコンポジット流水式15トン水槽)に設置した小区画(目合2×2 cm, 長さ2×幅1.5×高さ0.6 mの網仕切り)に1個体ずつ収容し、1ヶ月以上馴致した後実験に用いた(Table 2)。馴致期間中は水槽内にクロメを入れ、1週間に1回の割合で配合飼料を与えた。

摂食試験は1999年5月～12月の間に行ったが

(Table 2)、ノトイスズミを除き、先に供試魚が収集できた6種について5月中旬～6月下旬に行った。その後、この試験から、摂食量が多く、特徴的な行動と摂食痕を残したブダイとアイゴに加えて胃内容物調査により大型褐藻類を摂食することが分かっているノトイスズミ成魚について、引き続き8月～12月に試験を行った。供試したブダイとアイゴは5月～6月の実験から引き続き同一の魚体を用い、ノトイスズミは7月から馴致したものをを用いた。なお、ノトイスズミは11月末に斃死したため、同じ体長で、同じく7月から馴致していたものに替えて試験を継続した。また、供試魚の全長(TL)は実験開始時に計測を行った(Table 2)。クロメの投与や試験時以外の管理は馴致期間の取り扱いに準じて行った。ノトイスズミはブダイやアイゴに比べると遊泳行動が活発なため、長さ4.0 m×幅1.5 m×高さ0.6 mに仕切った大きい区画に収容した。クロメの投与は仮根

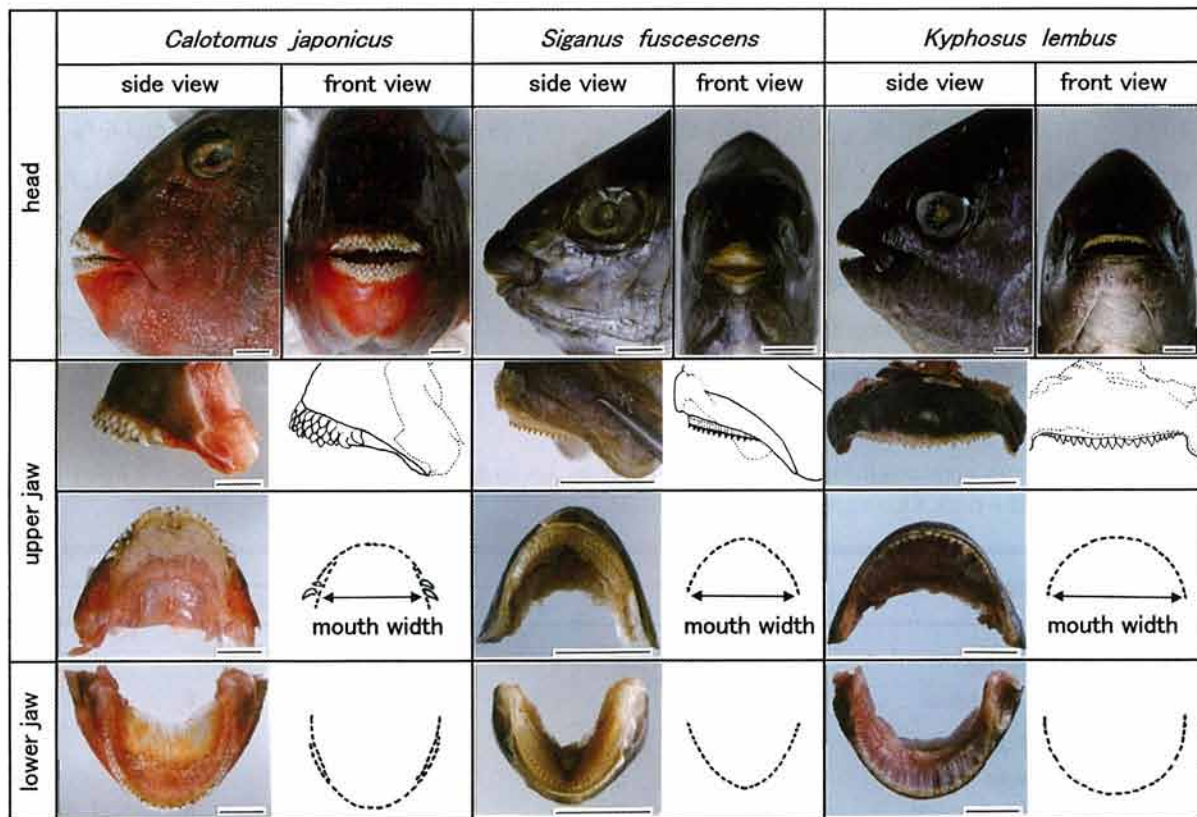


Fig. 7 Photographs and schematic drawings of mouth shape. The dotted lines show the teeth arrangement of each fish. Arrows show the mouth width. The bars are 1 cm long.

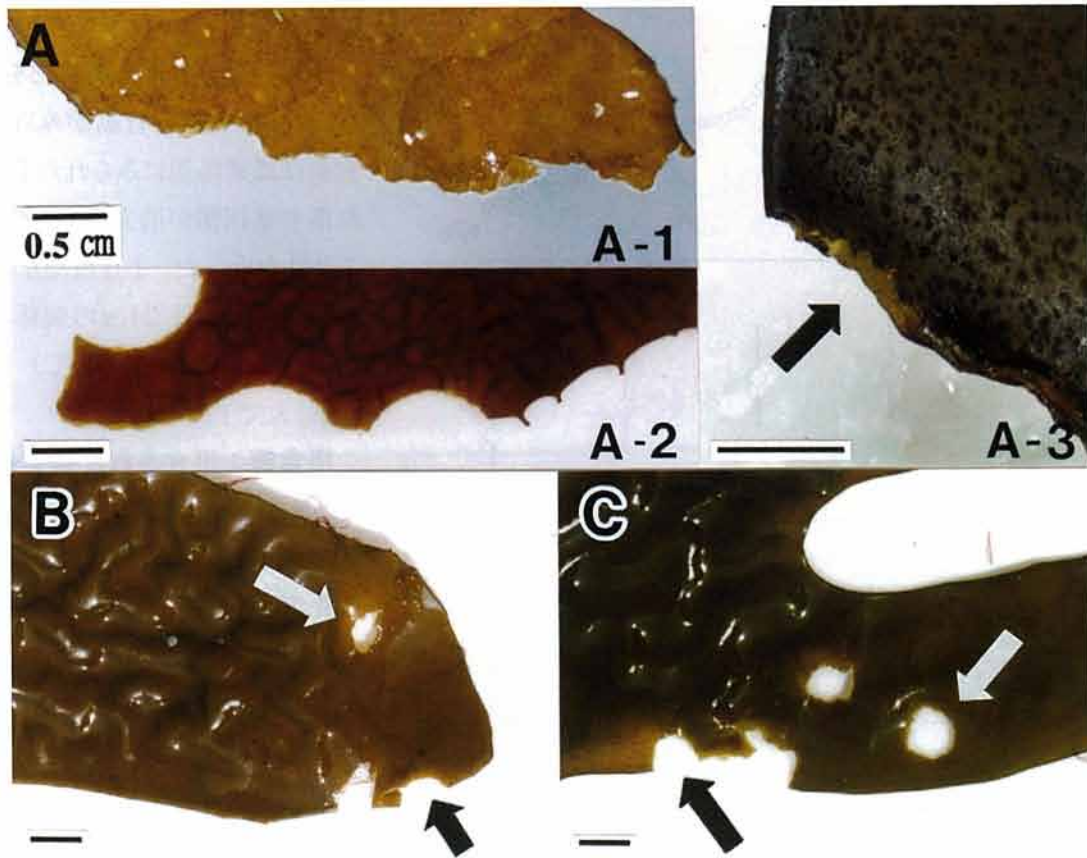


Fig. 8 Bite marks left on the blades of *E. kurome* by *Prionurus scalprus*, *Stephanolepis cirrhifer*, and *Thamnaconus modestus* in the experimental tanks. A: bite marks caused by *P. scalprus*; A-1: a series of obscure arc-shape bite marks; A-2: a series of clear semicircular arc-shape bite marks; A-3: a roughly shaped bite mark on the blade; B: bite marks (arrows) caused by *S. cirrhifer*; C: bite marks (arrows) caused by *T. modestus*. The holes (B and C: open arrows) were caused by pecking behavior. The bars are 0.5 cm long.

部をコンクリートブロックに紐で固定し直立した状態にして小区画に1本ずつ入れ、24時間後に水槽内に残った全てのクロメを回収し、クロメに対する摂食の有無、摂食量、摂食痕について調べた。試験に用いたクロメは平均湿重量 241g (72 ~ 653g) の大型の成体で、摂食行動については昼間に観察を行い、摂食量は、クロメの投与量から24時間後に水槽内から回収した全てのクロメの量を引き1日当たりの摂食量として求めた。魚類6種を用いた試験は5月~6月の間に月当たり5~6回実施した。

次にブダイ、アイゴ、ノトリスズミでは3種とも摂食に伴って大量に食い散らす行動が観察されたので、食い散らしたものを集めて脱落量とし、3種とも摂食量が多かった8月~10月の期間について、脱落率

(=脱落量/投与量)を調べた。なお、1回の試験は24時間とし、8月~12月の間1箇月当たり8~14回の観察を行った。5月~12月の試験期間中の水槽内の水温は午前9時~10時の間に計測した。

(2) ブダイ、アイゴ、ノトリスズミの全長と口幅

投与したクロメには魚種ごとに口部の特徴が痕跡として残ったが、これ以外に痕跡の大きさにも相違がみられた。そこで、西彼杵半島(大島町、外海町、野母崎町)、壱岐(郷ノ浦町)、五島(上五島町)沿岸で1999年4月~2000年1月にかけて漁獲された魚体を集め、全長と口幅の関係を調べた。測定したブダイ、アイゴ、ノトリスズミの個体数は各13、20、23個体である。なお、口幅の計測はブダイについては清本ら(2000a)の計測方法に従い側面に突出し

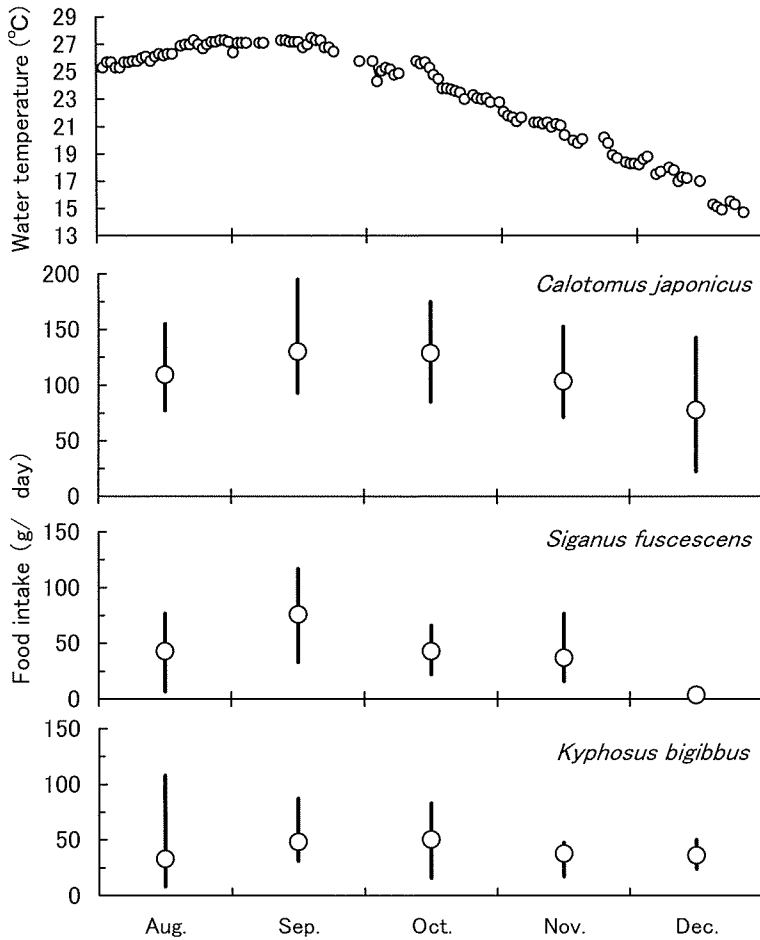


Fig.9 Monthly changes of daily consumption on *Ecklonia kurome* by three species and changes in water temperature from August to December.

た歯の内側基部間の直線距離とし、アイゴ、ノトイズミでは、上顎歯の奥歯基部の左右の直線距離とした (Fig. 7)。

結果

(1) 藻食性魚類によるクロメの摂食

供試魚7種の内、メジナを除く6種がクロメを摂食した。摂食した6種の内、ブダイ、アイゴ、ノトイズミでは摂食量が多かったが、他の3種では極めて少なかった。ブダイ、アイゴ、ノトイズミでは摂食に伴って多数の葉片を散逸させると共に、特徴的な痕跡を残した。以下に魚種ごとの摂食行動と摂食痕について記述する。

①ニザダイ

摂食行動：本種は葉状部をつつくようにしてかみ取る行動がみられた。摂食痕は側葉縁辺にみられたが、葉片の脱落や葉状部が消失し茎部のみとなることはなかった。1日当たりの摂食量は供試した全長24cmの個体で、平均水温21.4°C (19.0～23.6°C) 下で平均3g、最大で12gであった。

摂食痕：摂食された側葉縁辺には Fig. 8A に示すように、弧状に連続し、切断面が溝状を示す痕跡がみられた。摂食痕は不明瞭な場合が多く (Fig. 8A-1)、口部の形状を示す弧状の痕跡が明瞭な場合は、ノトイズミと似た半円形を示した (Fig. 8A-2)。側葉基部の少し厚みのある部位では、Fig. 8A-3 に示すように口部の形状を示すギザギザの弧状の痕跡が認められることもあった。

②カワハギ、ウマツラハギ

摂食行動：ニザダイと同様、葉状部をつつくようにしてかみ取る行動がみられた。摂食痕は側葉縁辺や表面にみられたが、中央葉や茎部の厚みのある部位にはみられなかった。このため脱落や葉状部が消失して茎のみとなるようなことはなかった。カワハギ (全長19cm) とウマツラハギ (全長22cm) の1日当たりの平均摂食量は、ニザダイと同じ水温条件下で共に1g以下、最大でも各2gおよび3gであった。

摂食痕：摂食された側葉の縁辺では小さい楕円から半円形の弧状、側葉の表面では丸く空いた穴となる痕跡がみられた (Fig. 8B,C)。これらは、カワハギとウマツラハギでは酷似し、両者の区別はできなかった。

③ブダイ

摂食行動：本種は、葉状部、特に茎葉移行部を摂食することが多く、頭部を振って引き千切るように

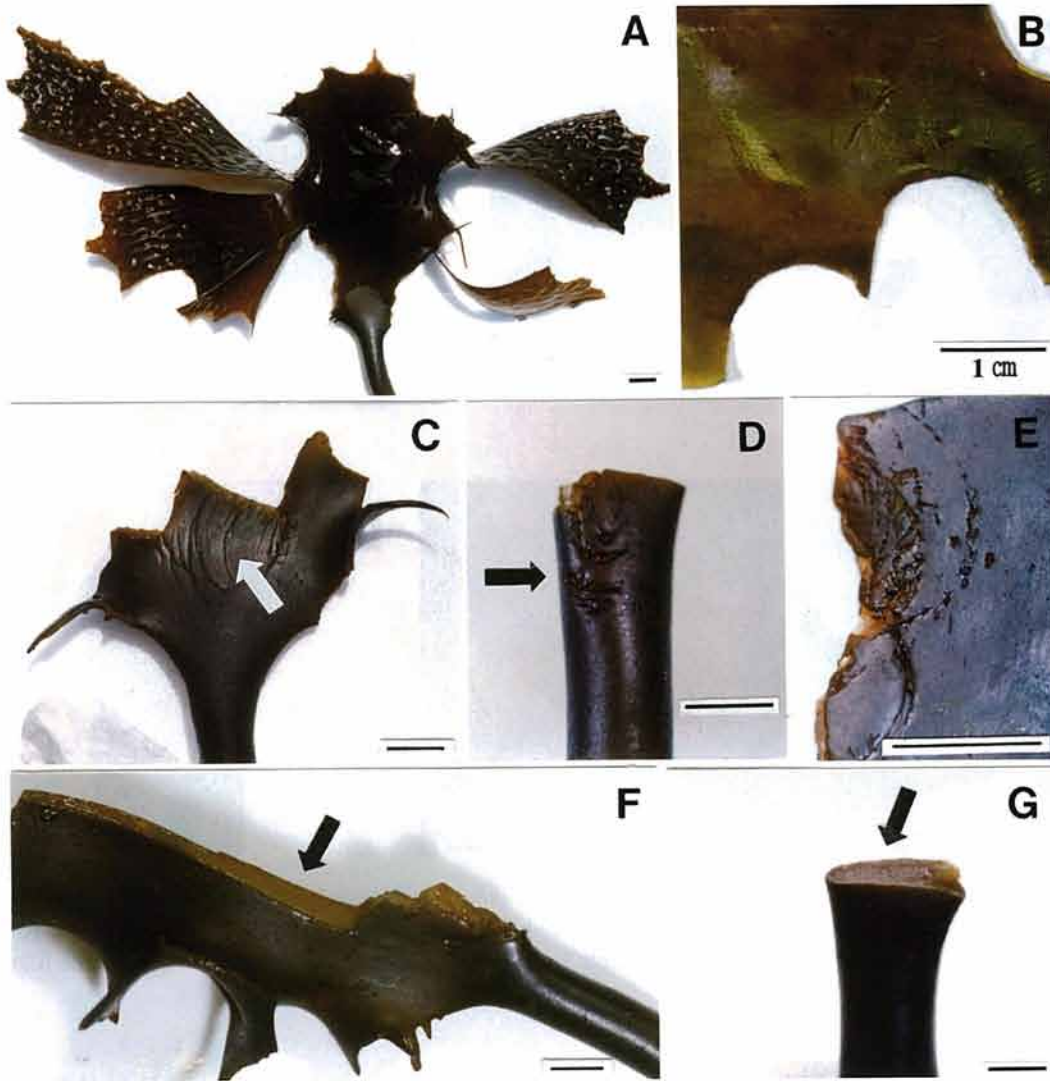


Fig.10 Bite marks left on *Ecklonia kurome* by *Calotomus japonicus* in the Experimental tank. A: arc-shaped bite marks; B: arc-shaped bite marks that resemble the oval mouth shape of this species; C,D: deep and linear bite marks; E: dotted line, bite marks that resemble the teeth arrangement of this species; F,G: a sharply torn central blade and bladeless stipe caused by biting act. The bars are 1 cm long.

してかみ取り、その後、咀嚼を繰り返して口内に取り込む行動がみられた。しかし、咀嚼後直ちに吐き出す場合やかみ千切るだけの場合もあり、水槽の底には脱落により大小様々な葉片が散逸した。この摂食と脱落によって1回の実験終了時には、葉状部のほとんどが消失していた。また、摂食量が多かった8月～10月における脱落率は4割程度であった。投与量から脱落量を引いて求めた1日当たりの摂食量の月別変化を Fig. 9 に示す。水温が 23～28℃の9月と10月は、各131gと129gで、水温が19～14℃になった12月には78gに減少した。

摂食痕：側葉縁辺や中央葉にかみ取った口部の形状を示すやや縦長の楕円状の痕跡がみられた (Fig. 10A,B)。中央葉や茎部などの厚みのある部位では、かみ付きによる筋状および深みのある溝状の不規則な傷がみられ、まれに歯型を示す点線および線状の傷が残っていた (Fig. 10C-E)。また、側葉が複数枚連なったまま中央葉から引き千切られたり、側葉や中央葉がほとんど無傷の状態中央葉基部から鋭く引き千切られ、茎部のみとなる場合もあった (Fig. 10F,G)。引き千切るようにしてかみ取る摂食行動のため、歯型が残らない例が観察したク

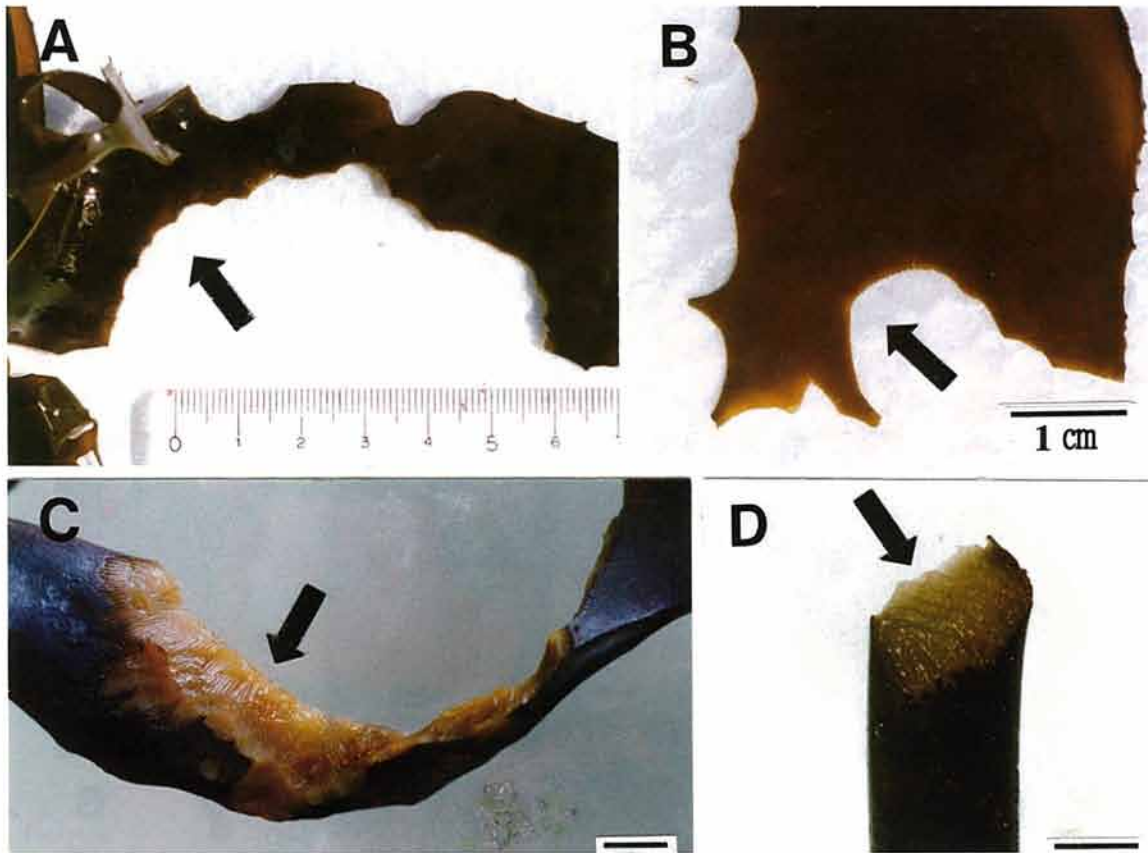


Fig.11 Bite marks left on *Ecklonia kurome* by *Siganus fuscescens* in the Experimental tank. A: a series of arc-shaped bite marks; B: an arc-shaped mark with a characteristic small protrusion at the distal part of the oval bite mark; C,D: fine and linear bite marks left on the blade (C) and stipe (D). The bars are 1 cm long.

ロメの4割程度にみられ、これは後述するアイゴやノトイスズミではみられない特徴であった。

④アイゴ

摂食行動：本種は葉状部を素早くつつくようにしてかみ取る行動を繰り返した。中央葉部や側葉基部など厚みのある部位が摂食される場合が多くみられ、著しい場合には茎部も摂食され仮根部のみが残ることもあった。ブダイと同様に多数の葉体が水槽内に散逸し、この摂食と脱落により、1回の実験終了時にはほとんど葉状部が消失した状態となった。また、クロメをよく摂食した8月～10月における脱落率は7割程度に及び、ブダイや後述のノトイスズミに比べ高かった。1日当たりの摂食量は、水温が約28℃の9月に76gと多く、25～28℃の8月及び26～23℃の10月には共に43g、23～18℃の11月には37g、19～14℃の12月には4gとなり、高水温時に多く、水温の低下と共に減少した(Fig. 9)。

摂食痕：側葉縁辺などの比較的薄い部位では、連続した小さい弧状となり、口部の形状を示す尖頭の楕円状の痕跡が残る場合もあった(Fig. 11A,B)。中央葉縁辺や茎部の厚みのある部位では、歯並びの凹凸を示す細かい平行した筋状の傷がみられ(Fig. 11C,D)、その筋の間隔は0.4～0.6mm、深さは0.1～0.2mmであった。

⑤ノトイスズミ

摂食行動：上述したアイゴに類似した摂食行動を示し、葉状部をつつくようにしてかみ取った。ブダイ、アイゴと同様に、多数の葉片が水槽の底に散逸し、摂食と脱落により1回の実験終了時にはほとんど葉状部が消失した状態となった。また、摂食行動が活発な8月～10月における脱落率は3割程度で、アイゴに比べると少なかった。

1日当たりの摂食量は、9月と10月に各48gと51gと最も多かった(Fig. 9)。その後11月には

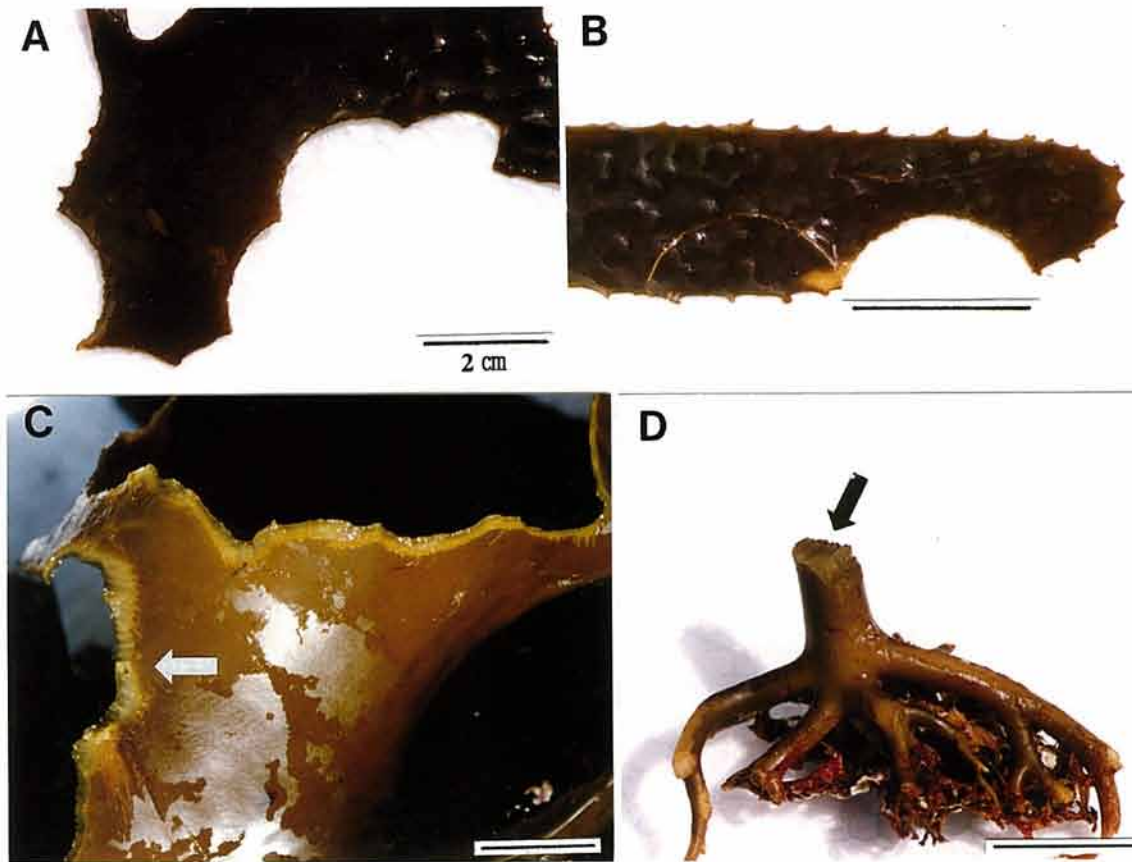


Fig.12 Bite marks left on *Ecklonia kurome* by *Kyphosus bigibbus* in the experimental tank. A,B: a series of large, arc-shaped bite marks that resemble the semicircular mouth of this species; C,D: deep and linear bite marks left on the blade (C) and stipe (D). The bars are 2 cm long.

38g, 12月には36gと水温の低下と共にやや減少したが、ブダイやアイゴに比べて摂食量の減少割合は低かった。

摂食痕：本種はアイゴと同様に連続してクロメをかみ取る行動を繰り返した。側葉縁辺など比較的薄い部位では、連続的な弧状の痕跡を残し、アイゴに比べると大きく、半円形で口部の形状を反映していた(Fig. 12A,B)。また、かみ取られずに側葉縁辺に残された点線状の半円形の歯型もしばしば観察された(Fig. 12B)。中央葉縁辺や茎部の厚みのある部位では、歯並びの凹凸を示す平行した筋状の傷がみられ(Fig. 12C,D)、筋の間隔は1.0～1.2mm、傷の深さは0.4～0.6mmとなり、アイゴに比べて深く大きかった。

(2)ブダイ、アイゴ、ノトイスズミの口幅と全長との関係

ブダイ、アイゴ、ノトイスズミの3種について、全長

と口幅の関係を Fig. 13 に示す。この関係式から、魚種ごとの最大の口幅は、ブダイでは、最大全長とされる約50cm(河尻1975,1976)では2.6cm、アイゴでは、最大全長とされる約40cm(落合・田中1998a)では1.6cm、ノトイスズミでは、最大全長とされる約70cm(荒賀1984)では3.9cmと計算された。このことから、摂食痕が1.6cmを超えればブダイかノトイスズミ、さらに、2.6cmを超えればノトイスズミであることが分かった。

以上の結果、これら3種では、その摂食行動や口部の特徴により、それぞれ異なる摂食痕を残すことが分かった。それらを整理し Fig. 14 に示す。ブダイではかみ付いて引き千切るため摂食痕は不規則となり、口部の形状が残らない場合もあるが、深い溝や線状の不規則な傷が厚みのある縁辺部に残る。一方、アイゴとノトイスズミではブダイのように引き千切ることはなく、素早い咀嚼を繰り返してか

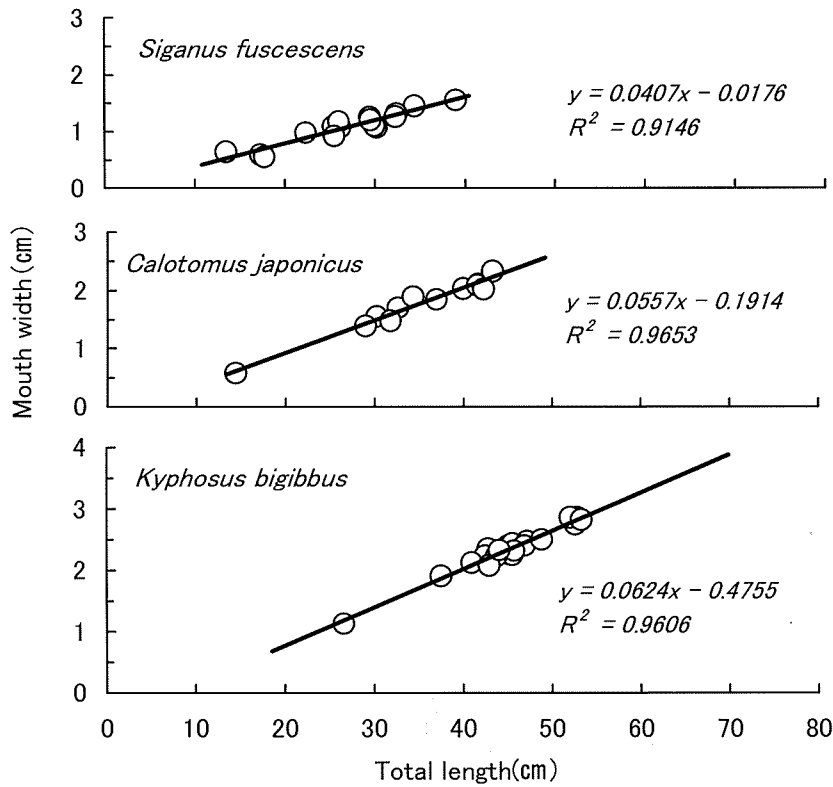


Fig.13 Relationship between mouth width and total length of the three herbivorous species. A: *Siganus fuscescens*, B: *Calotomus japonicus*, C: *Kyphosus bigibbus*.

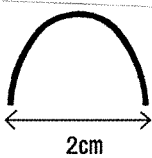
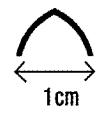
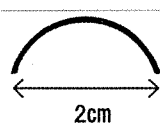
Specise	Shape	Characteristic
<i>C. japonicus</i> (TL=42cm)	Oval 	Chord length : long Arc shape : large and not serial Section view : no line marks
<i>S. fuscescens</i> (TL=30cm)	oval with protrusion 	Chord length : short Arc shape : small and serial Section view : fine line marks
<i>K. bigibbus</i> (TL=42cm)	Semicircular 	Chord length : long Arc shape : large and serial Section view : deep line marks

Fig.14 Characteristics of the bite marks left on *Ecklonia kurome* by three herbivorous species in the experimental tanks.

じり取るため、葉状部には連続した弧状の痕跡や凹凸の平行線状の規則正しい溝状の痕跡が残り、ブダイとは明らかに相違した。また、アイゴでは、溝の深さが浅い細かい線状であるのに対し、ノトリスズミでは溝が明瞭で筋状であり、この特徴から両者を区別することが可能であった。

考察

長崎県沿岸で普通にみられる藻食性魚類であるメジナ、ノトリスズミ、ブダイ、ニザダイ、アイゴ、カワハギ、ウマヅラハギにクロメを投与した結果、メジナを除く6種で摂食が確認された。また、クロメを摂食した6種の内、摂食量はブダイ、アイゴ、ノトリスズミが特に多く、ニザダイ、ウマヅラハギ、カワハギでは、摂食量はわずかであった。これらのことから、アラメ類の衰退に対し摂食によって影響を及ぼし得るのは、ブダイ、アイゴ、ノトリスズミの3種と判断された。ブダイ、アイゴ、ノトリスズミによって摂食された藻体には弧状の摂食痕が共通して残され、弧状の摂食痕そのものがこれら3種によって摂食された証拠となり、加えて摂食痕の大きさによって部分的ながら摂食した魚種の特定が可能と考えられた。すなわち、3種の全長と口幅の関係から、摂食痕が1.6cmを超えればブダイかノトリスズミ、さらに2.6cmを超えるものはノトリスズミと推定できる。

この実験によって得られたブダイ、アイゴ、ノトリスズミの摂食痕の形態を1998年に長崎県内で広範囲に発生した葉状部欠損現象を呈する藻体で観察した弧状の痕跡と比較すると極めて良く一致し、本現象を引き起こした直接の原因はこれらの藻食性魚類による摂食であると判断された。また、1998年の県内各地の現象については残された痕跡が古いなどのためその特徴から摂食した魚種の特定には至らなかったが、今後、本現象の発生直後に観察することができれば摂食痕の特徴により摂食した魚種の特定も可能と考えられる。

第2節 ヒジキにおける生育不良現象

ヒジキの生育不良現象は1998年に長崎県内の全域で発生が認められ、その後も継続している。そのため、かつては3,000～4,000 tで安定していた生産量が2,000 t前後まで低下している（長崎農林水産統計協会 1989～2005）。本現象は最初に対馬巖原町豆酸浦で確認され、これを問題視した巖原町漁業協同組合の要望を受けて原因調査を開始した。豆酸浦では事前調査として生育不良現象の発生過程を追跡する目的で、同島内の北端にありヒジキの生育が良い鰐浦から1998年10月に約3cmのヒジキ幼体を岩と共に剥がし、豆酸浦に移して水中ボンド(福岡スリーボンド株式会社、スリーロジ F185) で接着し移植した。このヒジキは翌日には根だけになった。11月に再度約12cmになったヒジキを移植したところ、翌日には長さが半分以下となり、切断されたような痕跡が認められた。そこで、豆酸浦におけるヒジキの生育不良現象は魚類の食害によるとの仮説のもとに防護籠の設置による実験を開始した。この実験から、防護籠の設置により生育が改善されることが分かったので、県内全域における防護籠設置実験を経て、最終的には室内実験結果を含めて原因を推定した（桐山ら1999b, 2002, 2005a, 2005b）。ここでは本現象の長崎県内における発生の状況と併せて報告する。

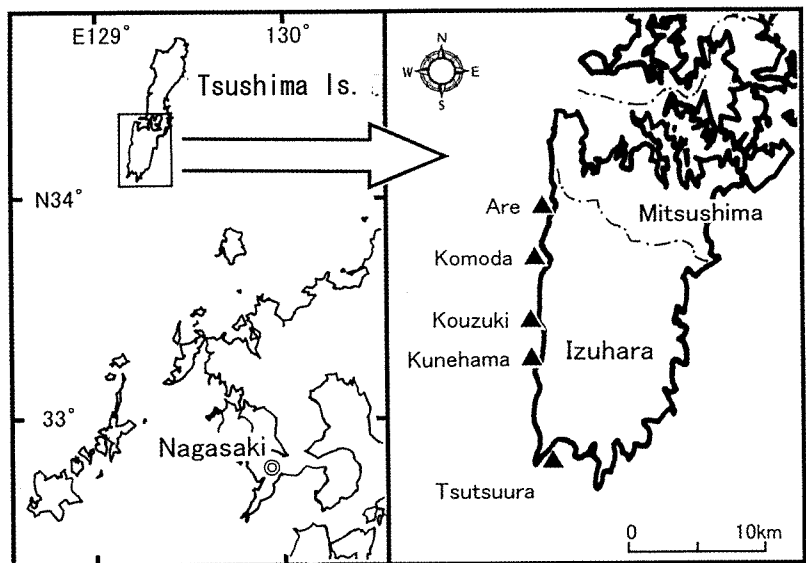


Fig.15 A map showing the experimental sites.

1. 発生の状況と防護籠設置による生育の改善

長崎県内におけるヒジキの生育不良現象の分布、生育不良の特徴等を把握するために調査を行った。事前調査から生育不良現象が魚類の摂食によって誘発されているのではないかと考えられた豆酸浦において防護籠を設置して効果を確かめる予備実験を行った(桐山ら 1999b)。その結果、顕著な生長改善効果がみられたので、引き続き長崎県内で広く防護籠の設置実験を行い、ヒジキの生長改善効果を確かめた(桐山ら 2002)。

方 法

(1) 発生の状況

長崎県内におけるヒジキの生育不良の発生状況について、長崎県漁業協同組合連合会、関係漁業協同組合、県内7箇所の水産業普及指導センターへ1998年に聞き取り調査を行った。加えて、特に本現象の発生が顕著でほとんど生産ができない状態が広がっていた対馬巖原町西岸において、現地調査を行った(Fig. 15)。調査は1998年5月に巖原町西岸の主なヒジキ生産地である阿連、小茂田、上槻、久根浜、豆酸浦の5箇所で行い、ヒジキの生育の多い場所で50cm×50cm枠による枠内のヒジキの生育数を計測し、周辺のヒジキ群落から無作為に20～30個体を採集した。採集したヒジキは外部形態を観察し、藻体長は上位20個体の平均値とした。

(2) 防護籠の設置による生育の改善

① 豆酸浦における予備実験

1998年12月4日に目合いと形状が異なるステンレススチール製の籠を2個設置した。籠の形状は目合い8cm×4cmの円錐形(高さ21cm, 下部直径23cm, Fig. 16)と目合い3cm×3cmで角形(高さ10cm, 下部23cm×18cm)である。また、時期を変えて1999年2月19日に目合い15cm×4cmの円柱形(高さ15cm, 下部直径45cm)の籠を1個設置した。設置方法は、籠をヒジキの生育している岩盤上に被せ、接する部分の岩面をステンレススチール製のスクレイパーとワイヤーブラシで付着物を除去し水中ボンドで固定した。防護籠周辺のヒジキは藻体長0.2～0.3cmで生育数は1㎡当たり約700個体程度で



Fig.16 The cage fixed on the bed of *S. fusiformis*. Growth of the thalli in the cage was clearly improved.



Fig.17 A net cage covering on *S. fusiforme* bed to protect from fish feeding. The cage was made of stainless steel wire and measured 35cm long × 30 cm wide × 18 cm high, with 5 × 4.5 cm mesh length.

均一に着生が認められた。籠の内と外のヒジキの生長は、12月に設置したものについては翌年2月19日と3月18日に、2月に設置したものについては4月16日に調査した。なお、籠内のヒジキは生長の良いものを5個体採集しその平均値を、籠外については周辺で生長の良い5個体を採集しその平均値を各の藻体長とした。

② 県内各地における防護籠の設置実験

西彼杵半島沿岸を中心に対馬、五島を含め合計20調査点で籠を設置した。設置した籠は高さ18cm、下部の最大長35cm×最大幅30cm, 最大目合5cm×

Table 3. Experimental sites, time of cage fixed and observations made

Region	Locality	Site	Set of the cage	Observation	
				Apr. 2000	Oct. or Nov. 2000
Tsushima	Izuhara	T- 1	Dec. 1998		○
	"	T- 2	Oct. 1999		○
	"	T- 3	"		○
	"	T- 4	Apr. 2000		○
	"	T- 5	"		○
Goto	Shinuonome	G- 1	Apr. 2000		○
	"	G- 2	"		○
Nishisonogi	Saikai	N- 1	Feb. 2000	○	○
	Oshima	N- 2	Jan. 2000	○	○
	Oseto	N- 3	Feb. 2000	○	○
	"	N- 4	"	○	○
	Sotome	N- 5	"	○	○
	"	N- 6	"	○	○
	"	N- 7	"	○	○
	Nagasaki	N- 8	Aug. 1999		○
	"	N- 9	"		○
	Nomozaki	N- 10	Feb. 2000	○	○
	"	N- 11	"	○	○
	"	N- 12	Aug. 1999		○
	"	N- 13	"		○

Site: see Fig. 18

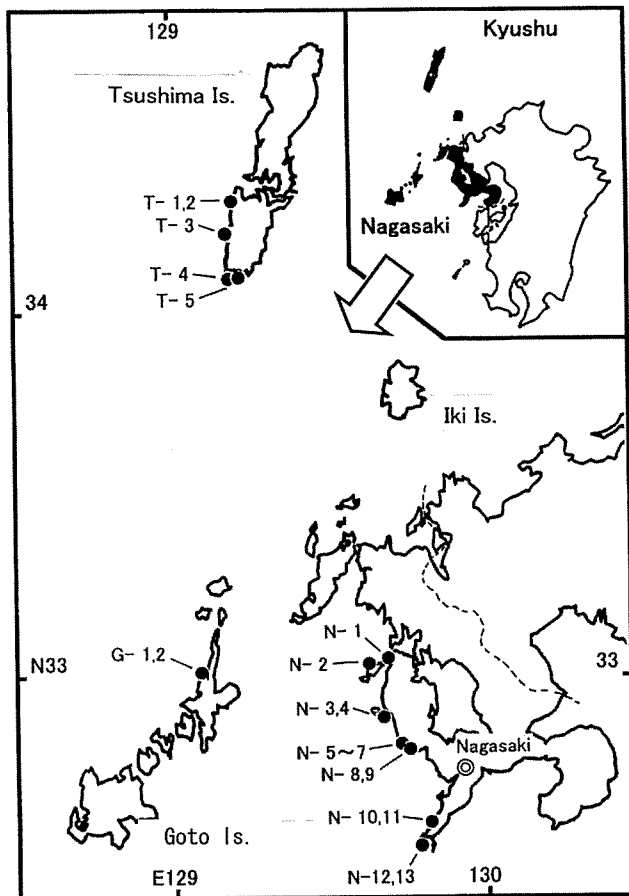


Fig. 18 A map showing the experimental sites

4.5cmで、豆酸浦と同様の方法で設置した(Fig. 17)。防護籠を設置した場所と時期は、西彼杵半島では1999年8月に4調査点、2000年1月～2月に9調査点、対馬では上述した1998年に設置した1調査点を続けて観察すると共に新たに1999年10月に2調査点、2000年4月に2調査点、五島では2000年4月に2調査点である(Table 3, Fig. 18)。

2000年10月～11月に調査を行った結果、全ての調査点で籠の内と外におけるヒジキの生育に相違があったので、12月に西彼杵半島の4調査点で籠を外し、その後の状況を翌年の3月と4月に調査した。調査は、籠の内と外におけるヒジキとその他の海藻の藻体長を計測し、形態についても肉眼と顕微鏡による観察を行った。なお、藻体長は、採集した標本の上位5個体の平均値で示し、標準偏差(SD)を求めた。

結果

(1) 発生状況

長崎県内の発生状況：生育不良現象は、上対馬西岸の一部と下対馬の特に西岸～南岸一帯、壱岐郷ノ浦、五島列島、佐世保市～西彼杵半島一帯など県

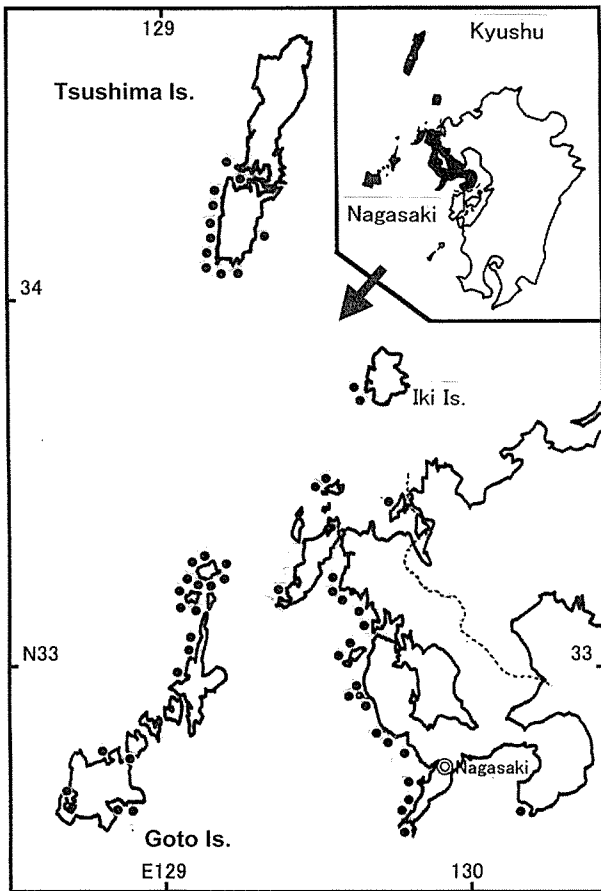


Fig.19 Distribution of poor growth phenomenon of *S. fusiforme* along the coast of Nagasaki Prefecture.

内のヒジキ生産地のほぼ全域で発生していた (Fig. 19)。生育不良の状態は、これまでヒジキが生産されていた場所で、生産はできるが以前より伸びが悪くなったものから下対馬西岸、宇久、小値賀、上五島西岸、佐世保市、西彼杵半島沿岸などのように、藻体長が数cm以下と短く生産できなくなる極端なものまで、多様な状態を示していた。このため、1998年のヒジキの生産量は、地域によって平年の1～5割に

減少した。

対馬厳原町西岸の発生状況：厳原町西岸～南岸なので採集した5月のヒジキの平均藻体長および生育数を Table 4 に示す。藻体長は 0.9～3.2cmと全調査箇所短く、漁場ではヒジキが同じ高さに短く一様に刈り揃えられたような景観を示していた。採集したヒジキを観察すると、主枝や葉先が切れて短くなったものが多く (Fig. 20)、主枝や葉先が切れていないものは、全て刈り揃えられた高さ以下の短いものであった。生育数は1m²当たりで、阿連、小茂田、上槻では 1000～2000 本程度、久根浜、豆酩浦では 200～600 本程度であった。

(2)防護籠の設置による生育の改善

①豆酩浦における予備実験

防護籠を設置した12月4日には藻体長は 0.3cmと短く (Fig. 21A)、ロゼット状からわずかに葉が伸び始めた状態であった。目合い 3cm×3cmの角形の籠は、設置後時間の経過と共にアオノリ類 *Enteromorpha spp.* 等の付着生物に被われ、内部のヒジキは 2月に観察した時には既に消失していた。一方、目合い 8cm×4cmの円錐形の籠では付着生物はあったものの全体を被われることはなく、2月に観察した時には、籠の外では藻体長 2.4cm、内では 8.1cm (最大 10.0cm) と顕著な相違が認められ、さらに3月には外では 2.3cm (Fig. 21B) と2月から生長が認められなかったのに対し、内では 13.6cm (最大 16.0cm) (Fig. 21C) と順調な生長を示した。また、2月に設置した籠では、2ヶ月後の4月16日には藻体長 11.8cm (最大 13.0cm) となったが、外では 2.9cmと、籠の内と外で顕著な相違があった。これらのことから、豆酩浦では防護籠の設置によりヒジキの生長が大きく改

Table 4. Length and number of individuals of *S. fusiformis* at the sampling sites

Sites	Mean length (cm)	Number of individuals / m ²			
		average	A	B	C
Are	3.2	1703	2068	1740	1300
Komoda	1.6	1284	1484	1364	1004
Kouzuki	3.1	1604	1704	1644	1464
Kunehama	1.2	228	280	176	
Tsutsuura	0.9	441	586	428	308



Fig.20 Poor growth of *S. fusiformis* observed on May 14, 1998 at are along the coast of Izuhara. A: *S. fusiformis* bed. A onesize of the quadrate is 50 cm . B: Thalli of *S. fusiformis* sampled at Are.

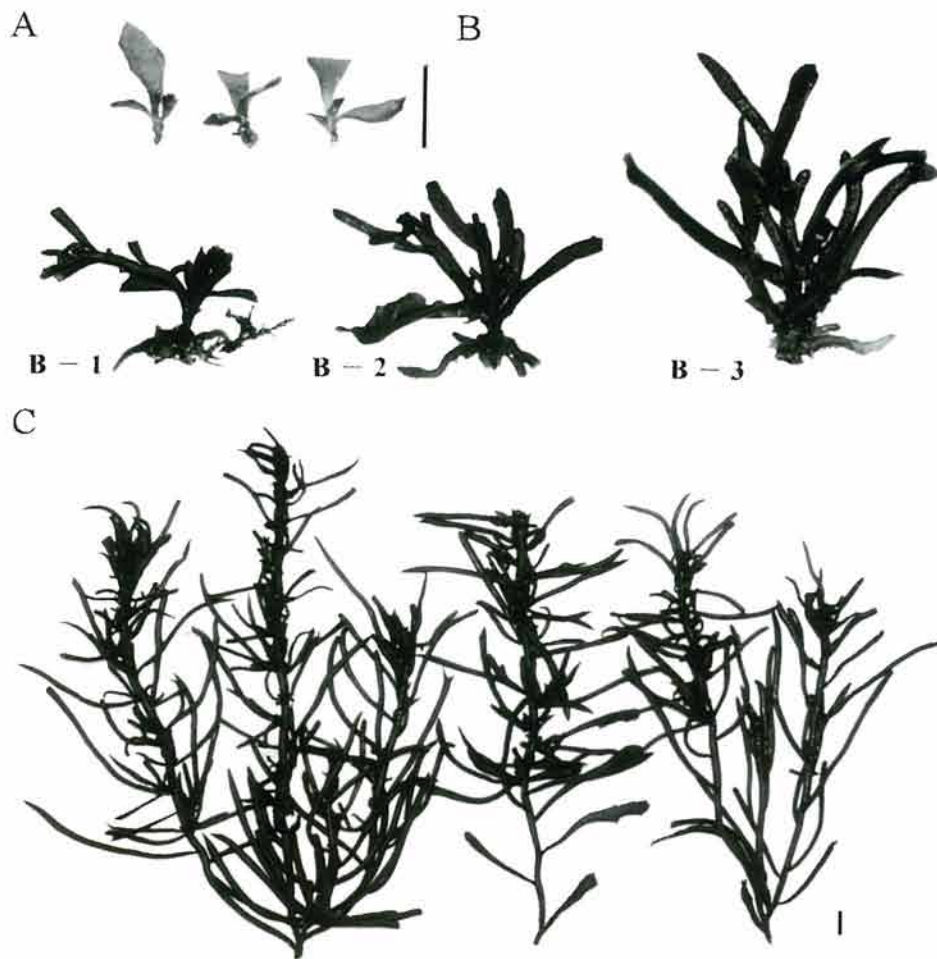


Fig.21 Difference of the growth of *S. fusiformis* observed in site and out site of the cage. The cage was fixed on the bed of *S. fusiformis* on December 4, 1998, and observations were made on March 18, 1999. A: *S. fusiformis* on December 4, 1998, when the cage was fixed. B: poor growth *S. fusiformis* out site of the cage on March 18,1999. C; growth improved *S. fusiformis* in site of the cage on March 18, 1999. All bars are 1 cm long.

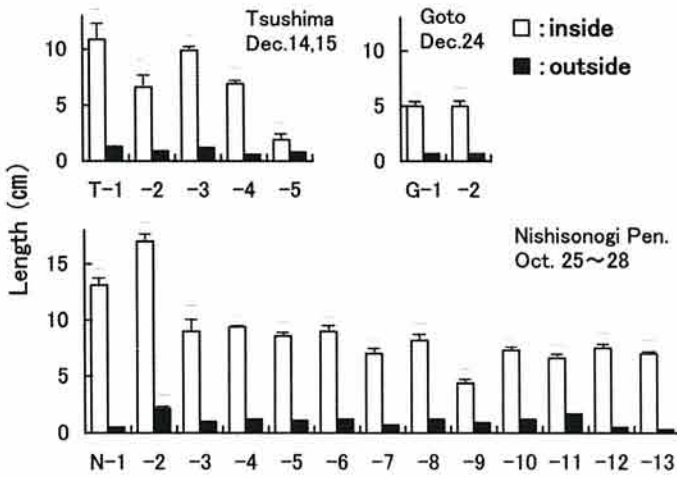


Fig.22 Length of *S. fusiforme* growing inside and outside of the cages in October or November 2000. The cages were set on till April 2000. Length is mean \pm SD (n =5) . Localities of N-1 ~ 13, T-1 ~ 5, and G-1, 2 are shown in Fig. 18.

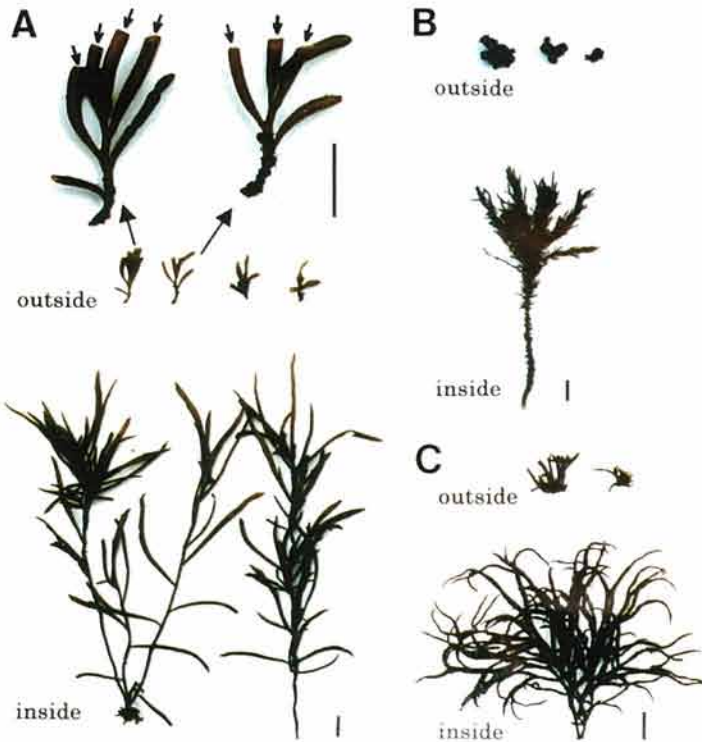


Fig.23 Thalli of *S. fusiforme* (A), *S. thunbergii* (B), and *Ishige okamurae* (C) inside and outside of the cage in October 2000. The cage was set in January or February 2000. Short arrows show the loss parts of the thalli. All bars are 1 cm long.

善されることが分かった。防護籠の内と外におけるヒジキの形態を観察した結果では、籠外の個体では茎や葉は途中から切断され、生長点の消失、葉先の欠損などが目立ったが(Fig. 21B)、籠内ではこのような現象はみられず正常な形態を保っていた(Fig.21C)。

②県内各地における防護籠の設置実験

2000年10月～11月の調査: 西彼杵半島, 対馬, 五島に設置した全20調査点の10月～11月における籠の内と外のヒジキ藻体長を Fig. 22 に示す。全調査点において藻体長は籠の内と外で大きな相違があり, 内では2～17cm, 外では0.3～2.0cmで, 籠の設置により全ての調査点で生育が大きく改善された。籠の設置によって生育の改善が少なかった場所は, 水位が高く生育が抑制されたものである。籠の内と外におけるヒジキの形態をみると, 内では正常であったが, 外では葉先や主枝の先端が欠損し (Fig. 23A), 一様な長さに刈り揃えられたようになっていた。ヒジキ以外の海藻は, 調査点 N-1, -2, -11, -12 ではウミトラノオ *Sargassum thunbergii* が, N-5, -10 ではイシゲが籠の内と外にみられ, 内と外で各の藻体長はウミトラノオでは2～13cmと0.5～0.7cm, イシゲでは6～8cmと0.5～1.0cmとなり, ヒジキと同様に籠の内と外で藻体長に差があった。形態についてもヒジキと同様に籠の内では正常であったが, 外では葉先等に欠損がみられた(Fig. 23B,C)。

2000年12月に防護籠を撤去した後の経過調査: 防護籠を12月に撤去した4調査点におけるヒジキの藻体長の推移を Fig. 24 に示す。籠を撤去した時点では, 籠の内では10～25cm, 外では1～2cmであった。籠を撤去した翌日の観察では, N-5とN-9では既に籠の内にあったヒジキが刈り揃えられたように短くなり, 籠の外のヒジキと同様に短くなっていた。N-11とN-12では共に籠の内と外のヒジキの藻体長の相違がそのまま維持されていた。翌

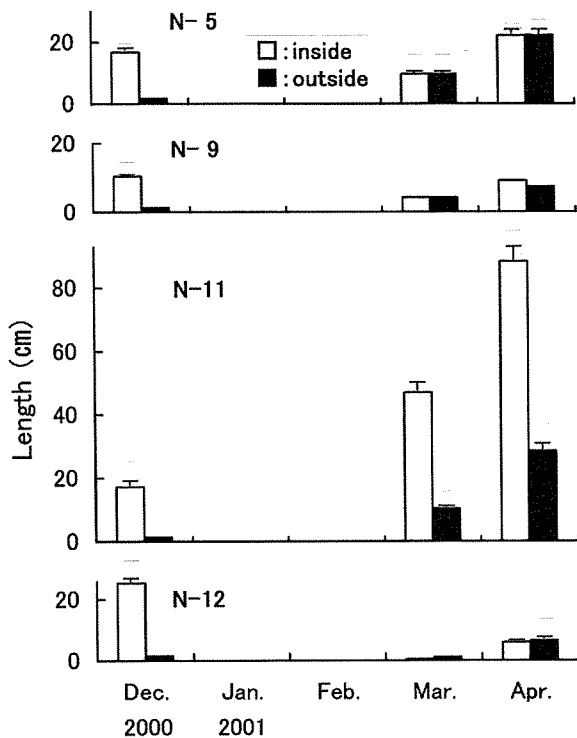


Fig.24 Differences of the growth of *S.fusifforme* after removal of the cages in December, 2000. Length is mean \pm SD (n =5) .Localities of N-5,9,11, and 12 are shown in

年の4月の時点における観察では、ヒジキの藻体長はN-11では籠の内が88cm、外が28cmと両者とも籠の撤去後、順調に伸長していた。一方、N-5では共に22cm、N-9とN-12では共に6~9cmであった。N-5とN-9では籠を撤去した翌日に、N-12では、確認していないがその後に、それぞれ籠があり良く生育していたものが短くなって内と外の藻体長の差がなくなった後、N-5では最も早い時期に、N-9とN-12ではそれより遅れて伸長を始めたことを示していた。

ヒジキ以外の海藻については、N-5とN-9では、籠の撤去時にその内と外での藻体長は、前者ではウミトラノオが13cmと0.8cm、イソモク *Sargassum hemiphyllum* が7cmと0.5cm、後者ではウミトラノオが10cmと0.5cmであったが、撤去翌日には全て短くなっていった。N-11ではヒジキ以外に海藻はなく、N-12では撤去時にはウミトラノオが5cmと1cmで、撤去翌日には変化はなかった。翌年4月にはN-5では、籠の内と外にみられたもので、ウミトラノオが37cmと

30cm、イソモクが15cmと17cm、N-9ではウミトラノオが6cmと7cm、N-12ではウミトラノオが2cm以下であった。ヒジキ以外の海藻についてもヒジキと同様に、4月になってN-5で長く、N-9とN-12で短い傾向が認められた。

考 察

ヒジキの生育不良現象については対馬沿岸における調査から季節風に伴う強い波浪による生長点の損傷が原因で発生することが知られている(四井ら1986)。今回の生育不良現象は県内全域で認められ、地形的にみて季節風に伴う波浪の影響を受けない場所でも発生がみられ、これとは原因を異にすると考えられた。また、場所によって生育不良の程度が大きく異なり、摘採はできるが以前より生育がやや悪くなった程度のもので摘採期でも藻体長が数cm以下に止まる極端に短いものまで多様な状態が観察され、これらを一つの現象として考えて良いかどうかこの時点では判断できなかった。

対馬豆酸浦における予備実験から、この現象の原因として魚類の摂食が疑われたので、県内の代表的な3地域20調査点において防護籠を漁場に設置し、生長の改善効果を調査した。その結果、全ての調査点において籠内のヒジキの生長が顕著に改善され、籠外のヒジキの生長が改善されなかったこと、籠外のヒジキの葉片に残されていた切断されたような痕跡と併せて魚類の摂食が原因として疑われた。また、ヒジキと同一場所に生育していたウミトラノオ、イソモク、イシゲ等もヒジキと同様の防護籠設置による生育の改善がみられ、これらも魚類の摂食により生長を抑制されているものと推察された。また、12月に防護籠を取り外した後の調査から、そのまま順調に生長した場所、一旦短くなりその後再び生長したが生長を始める時期に早晚があり、場所によって到達した藻体長が相違した。ヒジキの生育不良現象は多様な状態を含むが、今回の調査結果から、摘採期における藻体長の大小は魚類による摂食の影響がなくなる時期の早晚に左右されているもので、多様な状態を示すヒジキの生育不良は全て同一の現象と考えて良いことが分かった。

2. 藻食性魚類による摂食並びに摂食痕からみた原因種の推定

長崎県内に広く認められる生育不良現象は上述の調査から、魚類による摂食が原因で発生していると考えられた。そこで、県内各地で普通にみられる藻食性魚類6種に水槽内でヒジキを与え、摂食の有無や摂食痕の特徴を明らかにし、加えて最も摂食強度が高かったアイゴのヒジキに対する摂食選択性を調査した。さらに、この試験で得られた魚種ごとの摂食痕の特徴をもとに、ヒジキの生育不良現象がみられた漁場のヒジキ藻体に残されている摂食痕の特徴から原因種を推定した(桐山ら 2005a,2005b)。

方 法

(1) 藻食性魚類によるヒジキの摂食と摂食痕

ヒジキの生育不良現象は、秋～初冬に幼体が繰り返し藻食性魚類の摂食を受け伸長が妨げられることで発生すると推察されている(桐山ら 1999b, 2002)。そこで、長崎県沿岸で普通にみられる藻食性魚類6種においてヒジキ幼体を摂食するかどうかについて試験を行った。供試魚6種は、メジナ、ノトイズミ、ブダイ、ニザダイ、アイゴ、カワハギで、2003年9月～2004年1月の間に長崎県西彼杵半島沿岸で入手した。なお、本県沿岸ではアイゴとシモフリアイゴが混在する可能性があるが、中坊(2000a)に従って両種を区別せずにアイゴとして扱った。メジナ、カワハギは長崎水試の筏施設で籠および敷網で採捕し、その他の魚種は定置網と刺網で漁獲されたものを野母崎三和漁業協同組合から購入した。入

手した魚類は長崎水試内の陸上水槽へ順次収容し、1週間以上の馴致後全長(TL:cm)と体重(BW:g)を計測して試験に用いた。馴致期間中は配合飼料を与え、試験の前日には餌止めを行った。

摂食試験は供試魚の準備に合わせて2003年9月30日～2004年1月28日の間に行った。使用した水槽は、15t 巡流式水槽(アクリルコンポジット製、長さ10×幅2×深さ0.75m)を長さ1.5mに網で仕切った小区画(長さ1.5×幅2.0×深さ0.6m)並びに流水式にした1t円形水槽で、魚体の大きさによって使い分けた。各々の水槽に供試魚は1尾ずつ収容し、1魚種につき6尾を使用した(Table 5)。投与したヒジキは野母崎町沿岸で2003年9月～2004年1月に採集した。投与は、1回の試験に5個体とし、コンクリートブロックに巻き付けたロープにヒジキの主枝下部を紐で縛って直立させてブロックと共に水槽底面に設置し、24時間後に回収した。ヒジキの投与時に藻体長と湿重量を計測し、回収後に摂食の有無、藻体長、摂食部位、摂食痕の特徴を観察した。また、ブロックのロープ上に残存したヒジキの量(残存量)、摂食に伴って水槽内に散逸したヒジキの量(脱落量)も計測した。摂食量は、設置時と回収時の藻体の湿重量差(摂食量=投与量-残存量-脱落量)とし、比較のため魚体重100g当たり換算して単位重量当たりの摂食量を求めた。摂食量が少ないか摂食が認められなかった魚種についてはさらに6日間継続し、7日後にヒジキを回収した。なお、試験期間中(2003年9月29日～

Table 5. Fish species used for the feeding experiments on *Sargassum fusiforme*. Experimental fishes were contained individually in a tank, and observations were conducted for one day or one week depending on the intake amount. Experiments were conducted from Sep. 2003 to Jan. 2004.

Species	Number	TL (cm)	BW(g)	Period	Duration
<i>Girella punctata</i>	6	11.0 - 26.2	24 - 279	Sep.～Nov.	One week
<i>Kyphosus bigibbus</i>	6	38.4 - 47.0	935 - 1933	Oct.	One day
<i>Prionurus scalprum</i>	6	21.2 - 37.5	174 - 964	Oct.～Dec.	One week
<i>Calotomus japonicus</i>	6	30.2 - 39.4	542 - 1243	Jan.	One day
<i>Siganus fuscescens</i>	6	19.7 - 32.0	78 - 446	Oct.～Dec.	One day
<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	6	10.6 - 14.3	20 - 57	Oct.	One week

Table 6. Length and weight of *Siganus fuscescens* used for food selection experiments

Size	Number	Mean TL ± SD (cm)	Mean BW ± SD (g)
10 cm	10	8.7 ± 1.10	9.0 ± 3.57
20 cm	10	20.6 ± 0.77	110.0 ± 13.07
30 cm	10	30.0 ± 2.27	345.6 ± 89.00

2004年1月18日)の水温は、24.7～15.3℃であった。

(2)アイゴのヒジキに対する摂食選択性

ヒジキを摂食した3種の内アイゴの摂食強度が特に高かったため、アイゴのヒジキに対する摂食選択性について試験を行った。アイゴは成長に伴い動物食から藻類食へと食性が変化するとされているため(落合・田中1998a),体長別に比較した。供試魚は、前述の摂食試験と同様の条件で採集して馴致したもので、試験区を10cm, 20cm, および30cmサイズの3区(以下10cm区, 20cm区, 30cm区)に分け、各区10尾を用いた(Table 6)。使用した水槽は、10cm区では角形水槽(長さ30cm×幅20cm×高さ45cm), 他は1t円形水槽を用い、全て流水にした。比較した海藻は野母崎町沿岸で11月～12月に潮間帯から漸深帯上部で普通にみられるクロメ(単葉の幼体と成体), ホンダワラ類9種(アキヨレモク *Sargassum autumnale*, イソモク, ノコギリモク, トゲモク, ヤツマタモク, マメタワラ, ウスバノコギリモク *S. serratifolium*, ヨレモク, ウミトラノオ), 小型褐藻2種(イシゲ, ウミウチワ *Padina arborescens*)の13種である。

試験は、2003年12月17日～2004年1月7日に行い、ヒジキと上述した13種の内1種を組合せて同時に与え、24時間後の摂食量を調べた。供試海藻の設置は、15cm×15cm(10cm区)と20cm×30cmのコンクリートブロック(20cm, 30cm区)に巻き付けたロープに茎の下部末端を紐で結んで直立するようにした。投与した海藻は、藻体長が数cmのヒジキ幼体から50cm前後のクロメ(成体)まで藻体長差が大きかったが、秋～初冬の潮間帯～漸深帯上部にみられる自然の状態におけるヒジキ幼体の選択性を調べるという目的に合わせて、長さや形態は調整せずそのままの状態での投与した。このため、投与

した海藻の量が及ぼす摂食量の偏りを除く必要があり、次式によって選択性指数(E) (Ivlev 1965)を求めて比較した。値(E)は+1～0では正の選択性を、0～-1では負の選択性を、0では選択性のないことを示す。

$$\text{選択性指数 } E = (ri - pi) / (ri + pi)$$

ri : 投与した2種海藻の合計摂食量に対するその種の摂食量割合

pi : 投与した2種海藻の合計重量に対するその種の重量割合

なお、実験期間中(2003年12月17日～2004年1月7日)の水温は17.5～15.8℃であった。

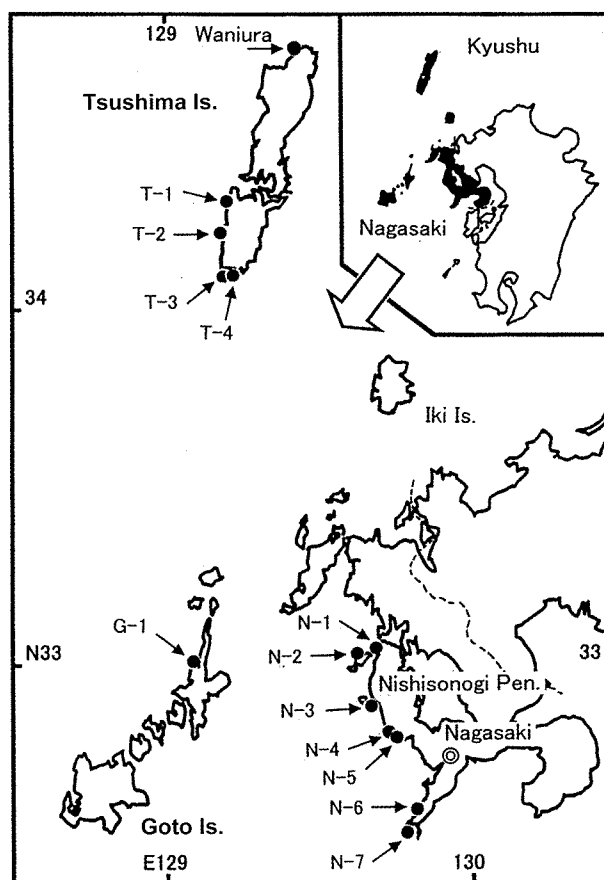


Fig. 25 A map showing sampling sites.

(3) 長崎県沿岸の生育不良現象を示す漁場から採集した藻体上における摂食痕の観察

ヒジキの採集は、これまでの調査(桐山ら 1999b, 2002)から、生育不良現象が魚類の摂食によると推察されている12 調査地区に加えて対照地区として生長が良くこれまで魚類の摂食による生長阻害が認められていなかった対馬鰐浦で行った (Fig.25)。採集を行った時期は、2004 年 11 月で、標本は大潮の最干潮時を中心にヒジキ群落からステンレススチール製のスクレイパーで 50 個体以上を無作為に根元から剥ぎ取った。ヒジキ以外の海藻についても、潮間帯ではウミトラノオ、イシゲ、イワヒゲを、漸深帯上部の浅場では素潜りによってコンブ科 *Laminariaceae* とホンダワラ科 *Sargassaceae* の海藻を中心に観察し、切断等の形態異常があるものと共に変化がないものも種ごとに標本として採集した。標本は研究室に持ち帰った後、藻体長を計測し、切断の有無、部位、および形状を肉眼と顕微鏡により観察した。切断されている藻体については、切断部に口部の形状に基づく特徴的な形態(桐山ら 2005a) が確認できる場合に魚類の摂食によると判断し、その特徴から摂食した魚種を推定した。なお、本県沿岸ではイソズミ属にはノトイソズミ以外にイソズミ、テンジクイサキ *Kyphosus cinerascens*

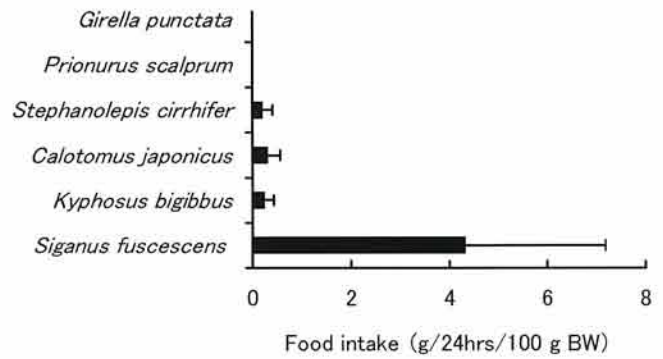


Fig.26 Average intake of *Sargassum fusiforme* by the six fish species per 24 hrs per 100 g BW.

が分布しているが、口部の形状が類似しているため摂食痕からこれら魚種の区別はできない。しかし、漁獲されるイソズミ類のほとんどはノトイソズミであり、摂食痕から推定したイソズミ類は全てノトイソズミとして本報では扱った。

結果

(1) 藻食性魚類によるヒジキの摂食と摂食痕

投与 24 時間後の観察では、ヒジキに対する摂食はアイゴ、ノトイソズミ、ブダイ、カワハギの 4 種では明らかであったが、ニザダイ、メジナでは確認できなかった。1 尾当たりの平均摂食量は、アイゴ、ノトイソズミ、ブダイでは、2.3 ~ 2.5g であったが、カワハギでは 0.1g と極めて少なかった。体重 100g 当た

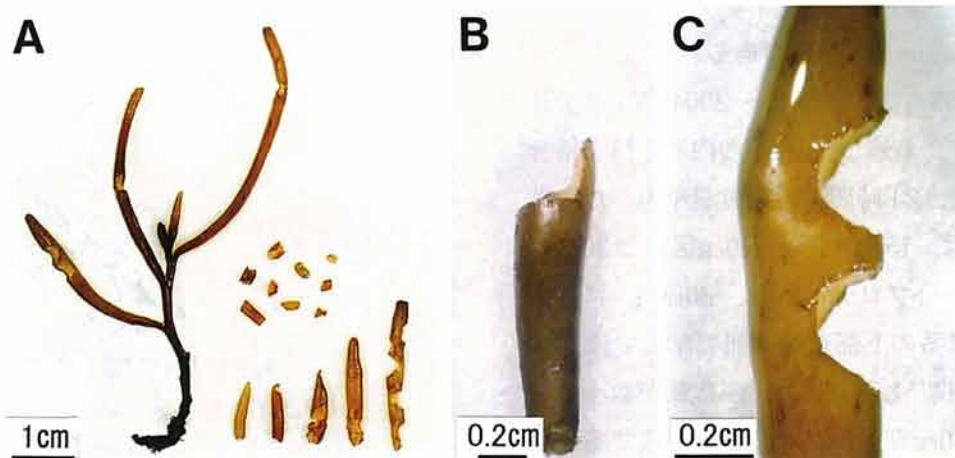


Fig. 27 Bite marks left on juvenile *Sargassum fusiforme* by *Stephanolepis cirrhifer* in the experimental tanks. A, bite marks of *S. cirrhifer* on the thalli and fragments scattered on the bottom; B, shape of the cut off portion; C, arc-shaped bite marks resembling the dental arcade shape.

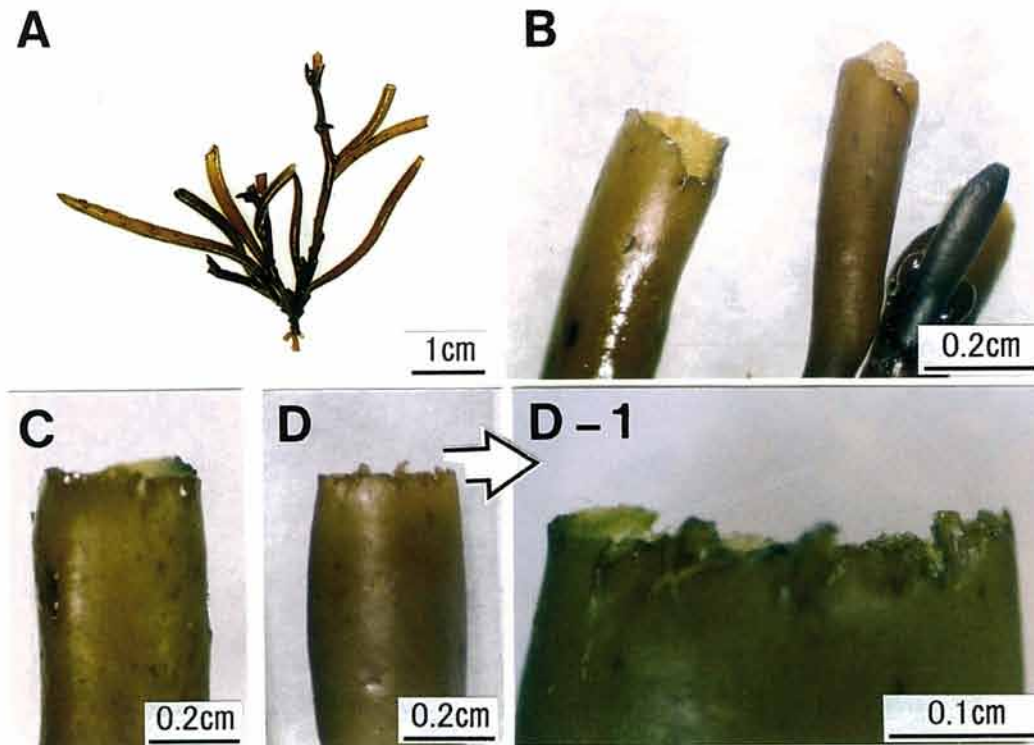


Fig.28 Bite marks left on juvenile *Sargassum fusiforme* by *Prionurus scalprum* and *Girella punctata* in the experimental tanks. A- D , bite marks of *P. scalprum* on the thalli; A, thalli with bite marks; B-D, shapes of the cut off portions; D-1, close-up picture of cut off portion; E, bite marks of *G. punctata* on the thalli; E-1, close-up picture of cut off portion.

りの摂食量では、アイゴが4.3gと他の3種の0.2～0.3gに比べて特に多かった (Fig. 26)。摂食量が極めて少なかったカワハギと摂食を確認できなかったニザダイ、メジナの3種については、引き続き7日後の摂食状況を観察した。その結果、カワハギでは6尾全てがヒジキを摂食し、内1尾はヒジキの主枝や葉に欠損を生じさせたが、他の5尾はヒジキ葉面の一部をかじり取るのみで、生長に影響を及ぼすような損傷は与えなかった (Fig. 27)。ニザダイでは、6尾中4尾がヒジキを摂食し、内1尾はヒジキの主枝の一部と葉の先端を短くしたが、3尾はヒジキの葉先をわずかに欠損させたのみであった (Fig. 28A～D)。メジナでは、6尾中1尾がヒジキを摂食したが、投与した5個体のヒジキの内1個体の1枚の葉先を欠損させたのみで、摂食量は微量であった。以上のように、カワハギ、ニザダイ、メジナはヒジキをわずかに摂食はしたが生長を妨げるような損傷を与えることはなかった。摂食量が多かったアイゴ、ノトイ

ズミ、ブダイについて、摂食の特徴を整理すると以下のようなになる。

①アイゴ

摂食状況：供試した6尾全てがヒジキを摂食し、摂食されたヒジキは主枝や葉が先端の方から切り取られたように欠損し、ひどいものでは茎がわずかに残るのみとなった (Fig. 29A,B)。アイゴ1尾の24時間当たり平均摂食量は $2.5 (\pm 2.2)$ gで、体重100g当たりでは $4.3 (\pm 2.9)$ gであった (Fig. 26)。また、投与したヒジキ重量の約10%が摂食により水槽内に散逸し、クロメの場合に比べると少なかったが、供試藻体の残存に与える影響は摂食量をやや上回った。

摂食痕：摂食によって欠損した主枝や葉の切断部分を表面から観察すると、規則的に並んだ細かい鋸状の凹凸で縁取られた弧状の痕跡が認められた (Fig.29C～F)。鋸歯状の凹凸はかじり取る際の角度によって縦長から横長まで形に変化があったが、

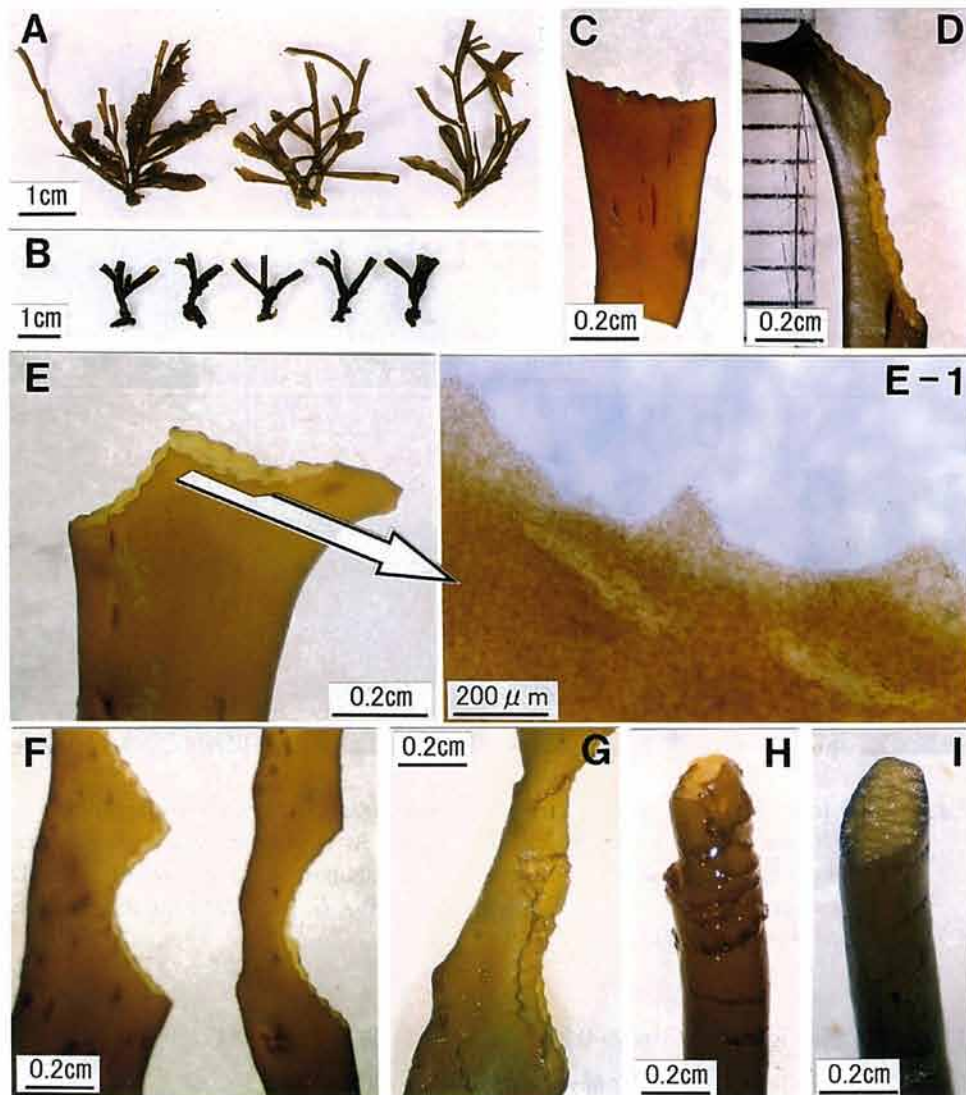


Fig.29 Bite marks left on juvenile *Sargassum fusiforme* by *Siganus Fuscescens* in the experimental tanks. A, B: bite marks of *S. fuscescens* on the thalli; C-F: serrated arc-shape bite marks on cut off portions; E-I: close-up picture of cut off portion; G,H: tooth mark on the leaf and branch ; I: streaky bite marks on the cut off section.

凹凸部のそれぞれの間の間隔は $400 \sim 500 \mu\text{m}$ 前後の等間隔で (Fig. 29E-1), 供試したアイゴの歯の間隔に一致した。また, 主枝や葉の切断面には, 歯の配列を示す凹凸の筋状の痕跡が観察されることもあった。幅広の葉が長軸に平行に摂食された場合には, 切断部には凹凸で縁取られた形状と共に口部の形に似た湾入した弧状の痕跡が残った (Fig. 29F)。加えて, 葉の側面や茎にはかじり取る際に付いたと思われる歯型の痕跡が残ることもあった (Fig. 29G ~ I)。

②ノトイスズミ

摂食状況: 供試した6尾全てがヒジキを摂食した。摂食されたヒジキは主枝や葉が先端の方から切り取られたように欠損し, ひどいものでは茎がわずかに残るのみとなった (Fig. 30A,B)。1尾の24時間当たり平均摂食量は $2.5 (\pm 2.1) \text{g}$ で, アイゴとほぼ同様であったが, 体重 100g 当たりでは, $0.2 (\pm 0.2) \text{g}$ とアイゴの $1/20$ であった (Fig. 26)。なお, ノトイスズミではアイゴでみられたような摂食による藻体の散逸はなかった。

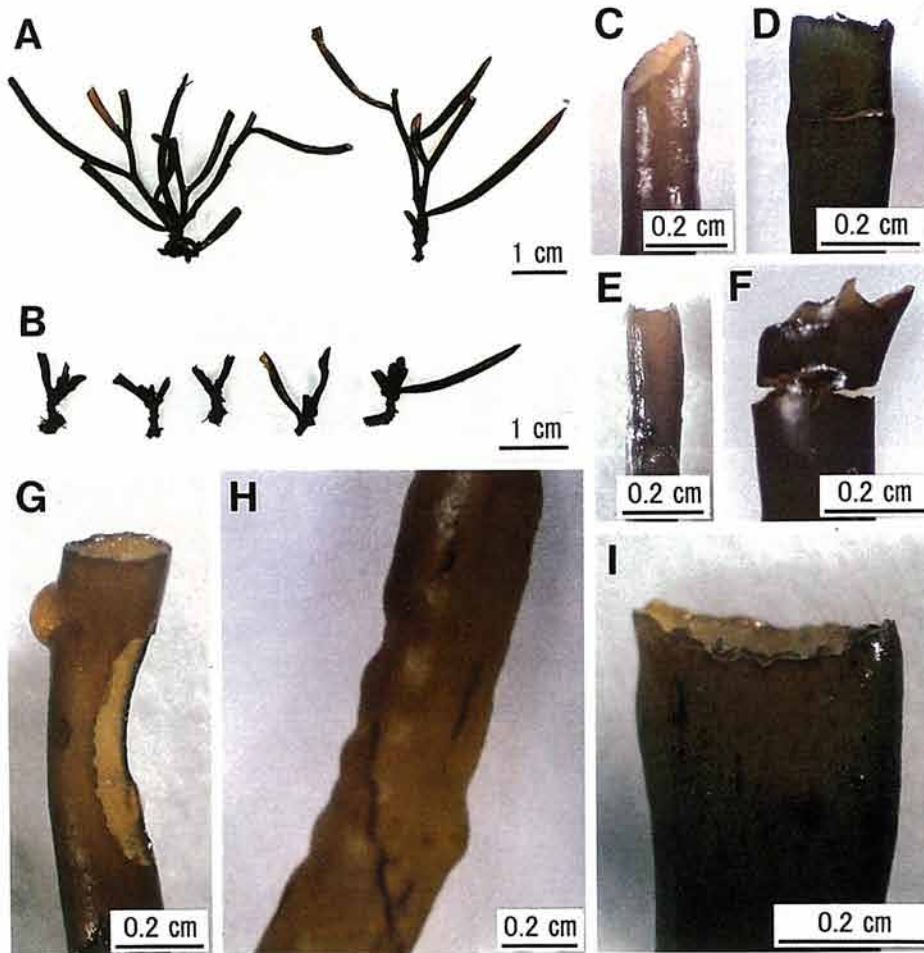


Fig.30 Bite marks left on juvenile *Sargassum fusiforme* by *Kyphosus Bigibbus* in the experimental tanks. A, B: bite marks of *K. bigibbus* on the thalli; C-F, I: bite marks on the cut off portion; G: arc-shaped bite marks on the branch; H: tooth mark on cut off portion the branch.

摂食痕：摂食によって欠損した主枝や葉の切断部分を表面から観察すると不規則な凹凸がみられ、その形状は浅く波打ったものから鋭く深く切れ込んだアイゴに比べ湾入が少ない弧状で、痕跡の縁辺部には不明瞭な凹凸が認められた。葉の側面にはかじり取る際に付いたと思われる歯型の凹凸が残ることもあり、その形状はアイゴに比べて浅く歯型の間隔は広がった。

③ブダイ

摂食状況：供試した6尾中3尾がヒジキを摂食した。摂食されたヒジキはいずれも茎がわずかに残るのみとなった (Fig. 31A)。1尾の24時間当たり平均摂食量は $2.3 (\pm 1.7)$ g で、アイゴ、ノトイスズミと大差はなかったが、体重 100g 当たりでは $0.3 (\pm$

$0.3)$ g と、アイゴの 1/15 であった (Fig. 26)。また、投与した藻体重量の約 4% の葉や茎が摂食により水槽内に散逸したが量的には少なかった。

摂食痕：摂食によって欠損した主枝や葉の切断部分を表面から観察すると、不明瞭ながら凹凸があり (Fig. 31B,C)、痕跡は切断されたというよりは引き千切られたような形状を示すものが多かった (Fig. 31C)。茎や幅広の葉が長軸に平行に摂食された場合は、かじり取る際に付いたと思われる歯型の痕跡が残ることもあり、その形状はアイゴやノトイスズミに比べると不規則であった (Fig. 31D,E)。

以上のように、アイゴ、ノトイスズミ、ブダイによって摂食されたヒジキは、切断部分などに魚種によって異なる痕跡が残されることが分かった。その特徴

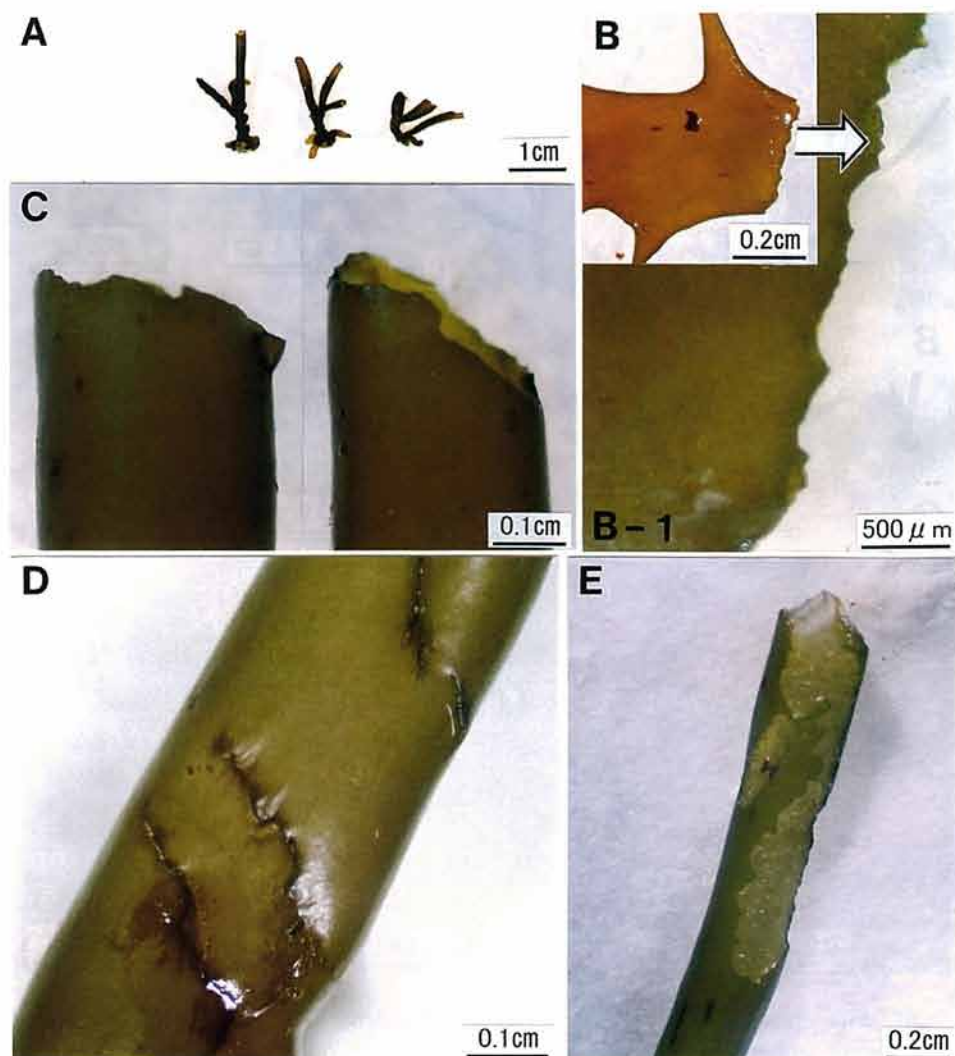


Fig.31 Bite marks left on juvenile *Sargassum fusiforme* by *Calotomus japonicus* in the experimental tanks. A: bite marks of *C. japonicus* on the thalli; B, C, E: bite marks on the cut off portion; B-1: close-up picture of cut off portion; D: tooth mark on the branch.

は、アイゴでは規則正しい細かい凹凸を伴う湾入した弧状の痕跡、ノトイズミではやや凹凸が不明瞭で幅広く、湾入の少ない弧状の痕跡、ブダイではさらに不明瞭な凹凸と引き千切ったような痕跡、と整理することができた。

(2) アイゴのヒジキに対する摂食選択性

体長別に10尾のアイゴが24時間で摂食した海藻の量を全ての種についてまとめた (Tables 7～9)。摂食量は10cm区で0.1～1.2g, 20cm区で3.0～11.0g, 30cm区で0.2～5.4gと各体長区ともばらつきがみられた。体重100g当たり24時間の平均摂食量は10cm区で0.6g, 20cm区で0.5g, 30cm区

で0.1gと小型サイズほど多かった (Fig. 32)。10cm区のヨレモク、イソモク、ノコギリモク、クロメ(幼体)とヒジキとの組合せで投与した時の摂食量は両者共に少なく0.1gに満たなかったため、選択性の判断からは除外した。

ヒジキと他の海藻の摂食量を比較して、ヒジキより摂食量が多かったのは10cm区ではウミトラノオ, 20cm区ではウミトラノオ, イソモク, クロメ(成体), 30cm区ではウミトラノオ, クロメ(成体, 幼体)の4種で, 13種の組み合わせのうちヒジキの摂食量は9種で上回った (Tables 7～9, Fig. 33)。さらに、投与した海藻の藻体長と重量差が及ぼす摂食量の偏りを補

Table 7. Food selection experiments on *S. fusiforme* by *S. fuscescens* 10 cm size

Algal species	TL (cm)		BW (g)		Fragment scattered (g/24 hrs/10 num)	Food intake (g/24 hrs /10 num)	Selection index (E)* ¹
	Start	Finish	Start	Finish			
<i>Padiana arborescens</i>	3.1	3.1	1.11	1.10	0	0.01	-0.93
<i>S. fusiforme</i>	5.2	5.1	1.98	1.19	0	0.79	0.22
<i>Ishige okamurae</i>	2.7	2.6	1.14	0.99	0	0.15	-0.54
<i>S. fusiforme</i>	4.0	2.4	1.57	0.51	0	1.06	0.20
<i>Ecklonia kurome</i> (adult)	34.0	34.0	42.84	42.46	0	0.38	-0.46
<i>S. fusiforme</i>	4.6	2.8	1.32	0.63	0	0.69	0.91
<i>E. kurome</i> (juvinal)	9.9	9.9	2.03	2.01	0	0.02	— ^{*2}
<i>S. fusiforme</i>	1.5	1.5	0.75	0.68	0	0.07	—
<i>Sargassum autumnale</i>	19.0	19.0	3.93	3.79	0	0.14	-0.56
<i>S. fusiforme</i>	3.5	3.4	1.09	0.60	0	0.49	0.56
<i>S. hemiphyllum</i>	8.7	8.7	2.18	2.10	0	0.08	—
<i>S. fusiforme</i>	3.5	3.5	2.28	2.21	0	0.07	—
<i>S. macrocarpum</i>	8.3	8.2	1.75	1.73	0	0.02	—
<i>S. fusiforme</i>	4.8	4.8	1.42	1.37	0	0.05	—
<i>S. micracanthum</i>	12.4	12.4	1.86	1.68	0	0.18	-0.25
<i>S. fusiforme</i>	4.6	3.6	1.26	0.71	0.23	0.32	0.23
<i>S. patens</i>	29.0	28.3	6.50	6.36	0	0.14	-0.62
<i>S. fusiforme</i>	5.4	3.9	1.57	0.96	0	0.61	0.61
<i>S. piluliferum</i>	11.0	11.0	2.32	2.05	0	0.27	-0.20
<i>S. fusiforme</i>	6.0	6.0	2.12	1.62	0	0.50	0.15
<i>S. serratifolium</i>	11.4	11.4	4.80	4.52	0	0.28	-0.27
<i>S. fusiforme</i>	5.2	4.9	1.38	1.03	0	0.35	0.43
<i>S. siiquastrum</i>	18.3	18.3	4.61	4.59	0	0.02	—
<i>S. fusiforme</i>	4.7	4.7	1.11	1.03	0	0.08	—
<i>S. thunbergii</i>	8.6	8.6	1.65	1.34	0	0.31	0.17
<i>S. fusiforme</i>	5.2	5.2	1.21	1.14	0	0.07	-0.39

Experimental period; December 22, 2003 - January 7, 2004.

*¹Selection index (E) = $(ri-pi) / (ri+pi)$; ri , ratio of the intake to total intake of the two algal species; pi , ratio of the given amount to total amount of the two algal species.

*²Selection index was not calculated when both intakes were under 0.1g.

正した選択性指数(E)により、ヒジキと他の種に対する摂食選択性を比較すると、ヒジキのE値が負となったのは、10cm、30cm区ではウミトラノオ、20cm区ではイソモクとウミトラノオのみであり、13種の内11種あるいは12種でヒジキのE値が正となった(Tables 7~9)。これらのことから、アイゴは体長の大小にかかわらずヒジキに対して摂食選択性を示した。

(3) 長崎県沿岸のヒジキ生育不良現象を示す漁場から採集した藻体上における摂食痕の観察

各調査地区で採集したヒジキの観察結果をTable 10に示す。鰐浦の対照地区では、平均藻体長は14.8cmであったが、他の調査地区では0.3~0.4cmと極めて短かった。生育密度は、豆蔵浦のT-3で

1998年12月の調査で900本/m²であったが今回は1本も採集できないほど激減し、他の9調査地区でも50個体程度の標本採集に難渋するほど生育数が疎らとなっており、全体的に生育密度の低下が顕著であった。標本の採集ができた11調査地区では、ヒジキは短く、刈り揃えられたような景観を示していた。これは、ヒジキが上部から一様に切断されているため、このような切断された個体の割合は調査地区により平均92%(82~100%)であった。切断されていない個体は全て刈り揃えられた高さ以下の短い藻体であり、ヒジキはこの切断によって生長を阻害されていることは明らかであった。切断部の観察では、魚類の口部の痕跡があり摂食によって切断されたと判断した個体の割合は平均59%

Table 8. Food selection experiments on *S. fusiforme* by *S. fuscescens* 20 cm size

Algal species	TL (cm)		BW (g)		Fragment scattered (g/24 hrs/10 num)	Food intake (g/24 hrs /10 num)	Selection index (E)
	Start	Finish	Start	Finish			
<i>Padiana arborescens</i>	4.0	1.3	5.05	0.43	0.12	4.50	-0.01
<i>S. fusiforme</i>	7.3	1.6	5.86	0.35	0.10	5.41	0.01
<i>Ishige okamurae</i>	5.0	4.7	2.92	2.70	0	0.22	-0.75
<i>S. fusiforme</i>	4.2	1.7	5.11	1.00	0.02	4.09	0.20
<i>Ecklonia kurome</i> (adult)	47.0	47.0	108.14	100.47	0	7.67	-0.15
<i>S. fusiforme</i>	6.4	4.5	7.25	3.94	0.01	3.30	0.65
<i>E. kurome</i> (juvinail)	22.0	17.3	6.94	5.26	0	1.68	-0.36
<i>S. fusiforme</i>	3.9	1.1	5.06	0.49	0.03	4.54	0.27
<i>Sargassum autumnale</i>	30.4	26.7	7.90	7.47	0	0.43	-0.76
<i>S. fusiforme</i>	3.6	1.6	5.64	0.56	0.06	5.02	0.38
<i>S. hemiphyllym</i>	7.7	5.9	6.25	3.40	0.90	1.95	0.15
<i>S. fusiforme</i>	9.9	9.9	6.70	5.64	— ^{*3}	1.06	-0.19
<i>S. macrocarpum</i>	23.0	22.7	6.57	6.21	0	0.36	-0.76
<i>S. fusiforme</i>	7.2	3.8	6.11	1.37	0.04	4.70	0.32
<i>S. micracanthum</i>	23.8	22.0	6.62	6.08	0.03	0.51	-0.59
<i>S. fusiforme</i>	3.9	3.1	5.74	2.47	0.07	3.20	0.30
<i>S. patens</i>	25.0	25.0	5.45	4.53	0	0.92	-0.51
<i>S. fusiforme</i>	6.2	2.3	4.98	0.38	0.15	4.45	0.27
<i>S. piluliferum</i>	10.5	8.7	2.67	1.61	—	1.06	-0.18
<i>S. fusiforme</i>	5.2	2.9	5.64	1.95	0	3.69	0.07
<i>S. serratifolium</i>	22.0	20.0	8.43	6.31	0.03	2.09	-0.32
<i>S. fusiforme</i>	5.4	2.2	5.06	0.69	0.01	4.36	0.29
<i>S. siiquastrum</i>	31.2	29.8	9.51	8.89	0	0.62	-0.54
<i>S. fusiforme</i>	5.7	3.9	5.05	2.48	0.01	2.56	0.40
<i>S. thunbergii</i>	16.2	8.0	5.09	1.58	—	3.51	0.03
<i>S. fusiforme</i>	4.1	3.1	4.81	1.87	—	2.94	-0.03

Experimental period; see Table 7.

*³Incapable measurement (under 0.01 g).

(49 ~ 83%)であった。これを除く他の41% (17 ~ 51%)の個体は、切断後の時間が経過していること等のため特徴が不明瞭で、魚類の摂食によって切断されたものかどうか判断できなかった。

次に、魚類の摂食によって切断されたヒジキの割合を魚種別にみると、アイゴによるものが平均89% (56 ~ 100%)、ノトリスズミによるものが9% (0 ~ 41%)、アイゴとノトリスズミの両種によるものが2% (0 ~ 7%)となり、ブダイによるものは確認されなかった。ノトリスズミの割合が高かったのは、対馬のT-4で41%、次いで対馬のT-1、西彼杵のN-6とN-7の11 ~ 15%であった。

潮間帯のウミトラノオ、イシゲ、イワヒゲの藻体長を各調査地区で比較した (Table 11)。対照地区と他

の12調査地区は、ウミトラノオでは3.7cmと0.7 ~ 1.5 cm、イシゲでは3.5cmと0.5 ~ 1.3cm、イワヒゲでは4.5 cmと0.6 ~ 1.6cmのように大きな違いがあった。加えてこれら12調査地区では3種とも生育数が疎らであると共に藻体に切断痕が認められたが、葉状部や主枝は細く切断部の顕微鏡観察でも魚類の口部の形状等を示す痕跡を認めることはできなかった。

漸深帯上部の浅場で採集したアラメ、カジメ、クロメ、ホンダワラ類の魚類の摂食による藻体の状況をTable 12に示した。これらの大型褐藻類は、対馬のT-1、T-2、西彼杵のN-6を除き生育数は疎らで、N-2では生育がみられなかった。各調査地区で採集した大型褐藻類には、全ての種において魚類の摂食痕が観察された。アラメ、カジメ、クロメでは葉状

Table 9. Food selection experiments on *S. fusiforme* by *S. fuscescens* 30 cm size

Algae	TL (cm)		BW (g)		Fragment scattered (g/24 hrs/10 num)	Food intake (g/24 hrs /10 num)	Selection index (E)
	Start	Finish	Start	Finish			
<i>Padiana arborescens</i>	3.0	3.0	5.84	5.11	0	0.73	-0.54
<i>S. fusiforme</i>	6.0	2.6	5.89	1.20	0.56	4.13	0.26
<i>Ishige okamurae</i>	3.9	3.6	2.60	2.21	0	0.39	-0.55
<i>S. fusiforme</i>	8.0	1.5	3.50	0.21	0.56	2.73	0.21
<i>Ecklonia kurome</i> (adult)	42.0	42.0	134.52	129.26	1.01	4.25	-0.25
<i>S. fusiforme</i>	8.1	5.0	5.73	2.12	0.44	3.17	0.83
<i>E. kurome</i> (juvinail)	22.9	19.8	9.93	7.88	0.77	1.28	-0.14
<i>S. fusiforme</i>	4.8	4.2	4.02	2.94	0	1.08	0.23
<i>Sargassum autumnale</i>	25.2	23.5	6.72	6.53	0	0.19	-0.61
<i>S. fusiforme</i>	4.4	3.8	5.59	4.35	0	1.24	0.31
<i>S. hemiphyllum</i>	10.4	10.4	6.57	6.47	0	0.10	-0.91
<i>S. fusiforme</i>	8.8	7.1	7.90	3.21	0.30	4.39	0.28
<i>S. macrocarpum</i>	18.8	18.8	3.30	3.22	0	0.08	-0.17
<i>S. fusiforme</i>	12.3	12.3	2.90	2.77	0	0.13	0.14
<i>S. micracanthum</i>	18.2	17.8	5.22	4.88	0	0.34	-0.41
<i>S. fusiforme</i>	9.8	9.0	5.78	4.36	0.04	1.38	0.21
<i>S. patens</i>	24.2	24.2	6.36	6.03	0	0.33	-0.29
<i>S. fusiforme</i>	7.7	7.5	5.42	4.48	0.15	0.79	0.21
<i>S. piluliferum</i>	12.6	9.6	6.13	3.91	0.03	2.22	-0.24
<i>S. fusiforme</i>	7.6	3.9	6.42	0.29	0.96	5.17	0.16
<i>S. serratifolium</i>	24.2	24.2	13.17	13.07	0.07	0.03	-0.93
<i>S. fusiforme</i>	7.3	6.3	6.19	3.92	1	1.27	0.51
<i>S. siiquastrum</i>	31.7	31.7	9.95	9.71	0	0.24	-0.69
<i>S. fusiforme</i>	7.3	6.2	3.98	2.38	0	1.60	0.51
<i>S. thunbergii</i>	17.6	5.8	4.02	0.80	0.37	2.85	0.17
<i>S. fusiforme</i>	5.4	4.9	4.01	2.89	0.35	0.77	-0.39

Experimental period; see Table 7.

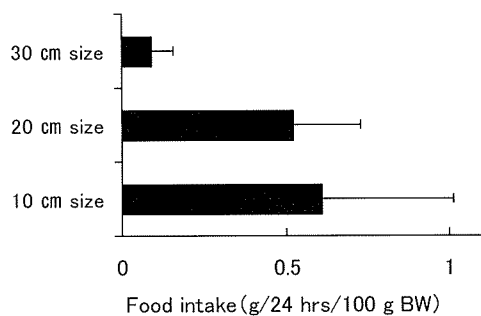


Fig.32 Average intake amount of fourteen marine algae by different body length size of *Siganus fuscescens* 24 hrs. per 100 g BW.

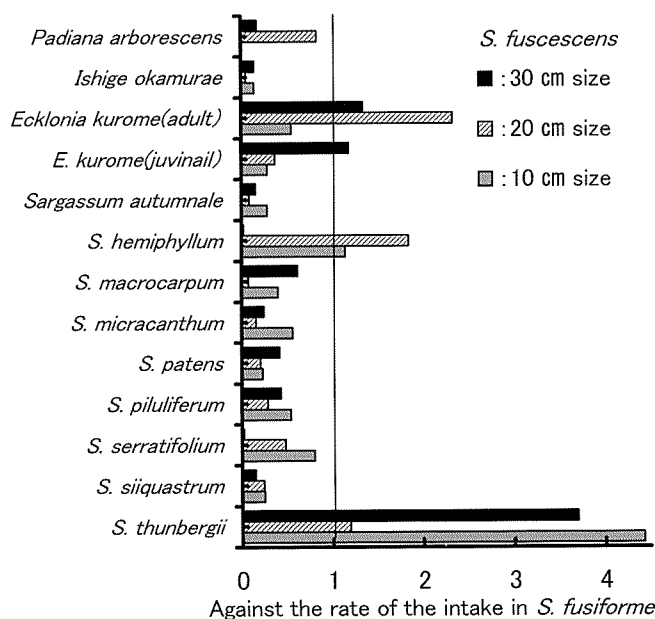


Fig.33 Intake ratio of thirteen species of marine algae to *Sargassum fusiforme* by *Siganus fuscescens*.

Table 10. Ratio of *Sargassum fusiforme* with cut marks by fish feeding on the distal portions causing species estimated by bite marks

Site	Mean length	Cut marks		Cause of cut marks		Rate of thalli with bite marks of the fish			
		With	Without	Fish feeding	Unknown	<i>Siganus fuscescens</i>	<i>Kyphosus bigibbus</i>	Both of <i>S. fuscescens</i> and <i>K. bigibbus</i>	<i>Calotomus japonicus</i>
Waniura	14.7 cm	0 %	100 %						
T-1	0.3	90	10	52 %	48 %	82 %	15 %	3 %	0 %
T-2	0.4	82	18	53	47	91	5	4	0
T-3		0	0						
T-4	0.3	94	6	51	49	56	41	3	0
G-1	0.4	96	4	66	34	93	3	4	0
N-1	0.4	92	8	49	51	100	0	0	0
N-2	0.4	100	0	63	37	93	5	2	0
N-3	0.4	93	7	63	37	99	0	1	0
N-4	0.4	92	8	55	45	100	0	0	0
N-5	0.3	82	18	54	46	96	2	2	0
N-6	0.4	94	6	83	17	87	12	1	0
N-7	0.4	92	8	64	36	83	11	7	0

Table 11. Comparison of mean length of three intertidal algae

Site	<i>Sargassum thunbergii</i>	<i>Ishige okamurae</i>	<i>Myelophycus simplex</i>
Waniura	3.7 cm	3.5 cm	4.5 cm
T-1		1.3	
T-2			1.2
T-3		0.7	1.5
T-4			1.0
G-1	1.5	0.8	1.6
N-1	1.4	0.7	1.4
N-2	1.0	0.8	0.9
N-3	0.8	0.7	-
N-4	0.7	0.5	0.6
N-5	1.4	0.6	-
N-6	1.1	0.5	0.8
N-7	0.8	0.9	1.0

Table 12. Morphological deterioration caused by fish feeding on Laminariaceous and Sargassaceous algae in upper subtidal zone at the sampling sites

Algal species	T-1	T-2	T-3	T-4	G-1	N-1	N-2	N-3	N-4	N-5	N-6	N-7
<i>Eisenia bicyclis</i>	●	●										
<i>Ecklonia cava</i>				●								
<i>Ecklonia kurome</i>												●
<i>Sargassum hemiphyllum</i>		●		●	●	●		●	●	●	●	●
<i>S. siliquastrum</i>	●	●		●	○					●	○	○
<i>S. patens</i>		●			●	●		●			●	
<i>S. macrocarpum</i>	●	●	●	○	○							
<i>S. piluliferum</i>		●									●	●
<i>S. micracanthum</i>	●											●
<i>S. horneri</i>					●			●				

● : heavy morphological deterioration, ○ : light morphological deterioration

部が欠損し葉の縁辺には弧状の摂食痕が多数観察され、莖をわずかに残すのみのものもあった。ホンダワラ類では、T-4 のノコギリモク、G-1 のノギリモクとヨレモク、N-6、N-7 のヨレモクでは外観上の異常はほとんどみられず藻体長は 10 ~ 50cm 程度に伸長していたが、これら以外の種では主枝の上部が切れて 1 ~ 20cm 程度に短くなり、中には側枝や葉が消失し主枝のみになった個体もあった。摂食した魚種は T-3 のノコギリモク、N-3 のヨレモク、N-6 のイソモク等では不明であったが、T-3 を除く全調査地区でアイゴの摂食痕が観察され、対馬の 3 調査地区と西彼杵の 2 調査地区ではノトイスズミの摂食痕も確認された。

考 察

クロメ、アラム、カジメ等が藻食性魚類により摂食された場合には、残存した個体の葉状部に摂食した魚類の口部の痕跡が残るため（坂本・松本 1995：桐山ら 1999a：清水ら 1999：中山・新井 1999：山内ら 2000：長谷川ら 2003）、その特徴から摂食した魚種を特定することができる（中山・新井 1999：桐山ら 2001a）。一方、ヒジキは主枝や葉が細いため、仮に魚類に摂食されても口部の特徴が残りにくいと考えられ、これまで意識的な調査は行われなかった。しかし、残される痕跡は少ないとしても、もしわづかでも確認できれば生育不良現象を誘発している魚種の特定は大きく前進することになる。そこで、ヒジキを摂食する可能性がある 6 種の魚類を用いて室内実験を行った結果、アイゴ、ノトイスズミ、ブダイの 3 種がヒジキを良く摂食し、摂食時の角度によっては種によって特徴ある摂食痕を藻体に残すことが分かった。アイゴでは規則正しい細かい凹凸を伴う湾入した弧状の痕跡、ノトイスズミではやや凹凸が不明瞭で幅広く、湾入の少ない弧状の痕跡、ブダイではさらに不明瞭な凹凸と引き千切ったような痕跡となり、この摂食痕の観察から、摂食した魚種の推定が可能と考えられた。

そこで、これまでの調査から魚類の摂食によってヒジキの生育不良現象が発生していると思われる 12 地区の漁場でヒジキを採集し、摂食痕の観察に

より原因種の特定を試みた。今回の調査でも各漁場における生育不良現象は継続して認められ、ほとんどの調査地区でヒジキの生育密度は大きく低下していた。対照地区に選んだ鰐浦では 2001 年までは生育不良現象は確認されていなかったが（桐山ら 2001b）、今回の調査では一部の場所で上部から切断されて短くなった個体が認められ、生育不良現象がこの地域にも及んだことを示し、この現象は現在も拡大していると考えられた。

調査地区の内、1 調査地区ではヒジキをみつかることができなかつたので、採集できたのは 11 調査地区であったが、ヒジキは藻体の上部から切断されて短くなっており、この切断によって生長が阻害されていた。切断部の観察から、調査地区によって 49 ~ 83% の個体の切断部に魚類の摂食痕が認められ、これらが魚類の摂食によって切断されていることが分かった。ヒジキでは藻体が細いため摂食の角度や摂食後の時間の経過によって痕跡が不明瞭になる等の問題があるが、このような問題を持ちながらも 49 ~ 83% の高い割合で魚類の摂食が確認されたことは、防護籠の設置により生長が改善するという実験結果（桐山ら 1999b, 2002）とも併せて考えれば、ヒジキの生育不良の原因が魚類による摂食であるという推察の妥当性を強く支持している。また、ヒジキを摂食している魚種は痕跡の特徴からアイゴが主で、ノトイスズミも加わり、これら 2 種の摂食で長崎県内沿岸において広くヒジキの生育不良現象が引き起こされていると判断された。

ヒジキ以外の海藻についても、漸深帯上部の浅場で採集したアラム、カジメ、クロメ、ホンダワラ類等の藻体にはアイゴとノトイスズミの摂食痕が観察され、加えて、ほとんどの調査地区でこれらの生育数は疎らであった。潮間帯においてもウミトラノオ、イシゲ、イワヒゲ等の本調査で確認された海藻種は全て藻体長が短く上部から切断された痕跡を持っており、加えて、生育は疎らであった。ウミトラノオ、イシゲ、イワヒゲ等では摂食痕を確認できなかったので原因魚種の特定はできなかったが、周辺に生育する多くの海藻にはアイゴやノトイスズミの摂食痕が多数

観察されたことから、これらもまたアイゴやノトイズズミによって摂食されている可能性が高いと推察された。このように本調査から分かった範囲では長崎県内沿岸の潮間帯～漸深帯上部の浅場における多くの海藻において、広い範囲でアイゴを主としてノトイズズミも加わった摂食が原因と思われる生育障害があり、生育量も大幅に減少していると考えられた。

第3節 養殖ワカメにおける葉状部欠損現象

長崎県島原半島沿岸では、養殖によって年間約3000tのワカメが生産され、これは県内における養殖ワカメ生産量の8割以上を占めている(長崎農林水産統計協会 1989～2005)。養殖中のワカメに異常が発生したのは、1998年10月～11月の養殖開始時期で、ほとんどの漁場で幼芽が短期間の内に消失する現象が発生した。このような現象は約40年の当地域のワカメ養殖の歴史の中で始めてのこと

であり、当時は諫早湾干拓工事による排水の影響が疑われて大問題となった。ここでは、本現象の特徴と発生場所、発生原因についての調査結果を整理した。

1. 発生の状況と防護網設置による生育の改善

島原半島有明海沿岸のワカメ養殖が行われている島原市三会～南有馬町にかけての全域において1998年秋に養殖ワカメの幼芽が消失する現象が発生した。このため、原因究明の要望が地元関係漁業協同組合からあり現地調査を行った。しかし、1998年は調査開始時期が遅かったため原因究明はできず、状況把握に止まった。そこで、1999年度は養殖開始時期から情報を収集しながら待機していたところ、11月に現象発生との連絡があり直ちに経過の追跡を行った。その結果、本現象は魚類の食害が原因として疑われたので防護網の設置実験を行った(桐山ら 2000)。

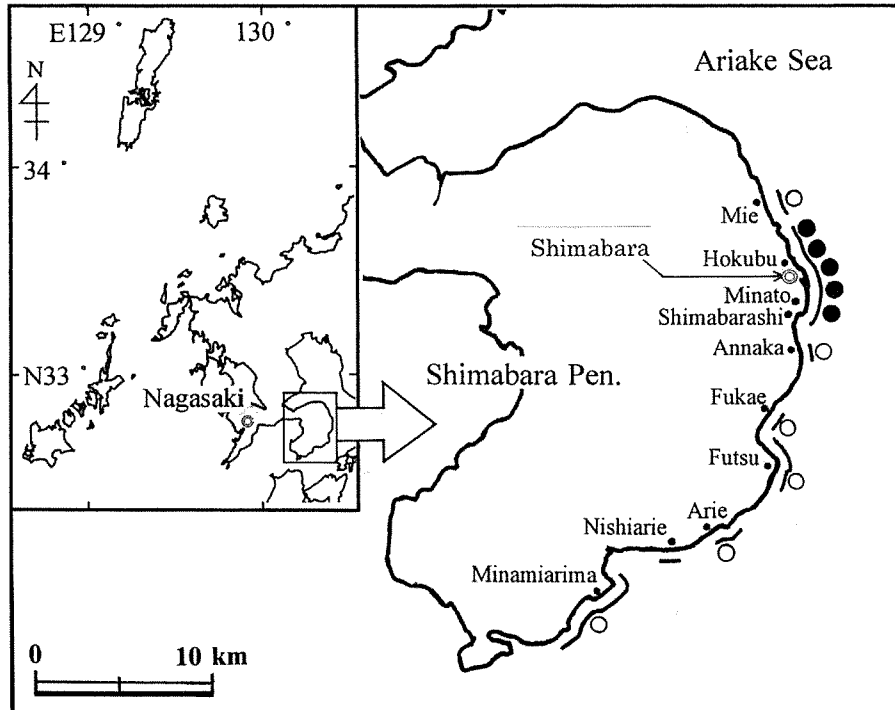


Fig. 34 A map showing the *Undaria pinnatifida* cultivation grounds (line) along the Shimabara Peninsula. Areas where the leaf-lost phenomenon was observed are shown in solid (heavy) and open (light) circles. Small solid circles indicate the locations of fisheries cooperative associations.

方法

(1) 発生の状況

調査は、1999年度のワカメ養殖開始時期の10月から島原市北部漁業協同組合（現島原漁業協同組合北部支所市）所属の養殖業者有志2名と連絡を取り合いながら本現象の発生に備えた。その結果、同漁業協同組合管内で11月18日に本現象の発生が認められたので、翌19日に発生状況や幼芽の特徴等を調査した。その後、当漁場では翌年1月までの間10日ごとに観察を続けて本現象の推移を追跡した。また、島原半島沿岸の他の9漁業協同組合についても11月19日～12月8日にかけて聞き取り調査を行い、本現象の発生が報告された島原市三会、島原市湊、布津町、南有馬町の各漁業協同組合の漁場で発生状況を調査した。

(2) 防護網の設置による生育の改善

本現象がみられた親縄に防護網を装着し網の内と外におけるワカメの生育状況を比較した。実験は島原市北部漁業協同組合の漁場で、本現象の発生によって藻体長が短くなったワカメ幼芽が着生している親縄に1999年11月30日と12月9日に装着した。防護網は目合い1×1cm、目合い幅2cmの硬いポリエチレン製で、これを長さ1m、直径約20cmの円筒状にし、その両側に同じ材料で蓋をしたものである。装着後のワカメの生長は、それぞれ生長の良い個体を選び、防護網の内では2～3個体を、外では周辺の5個体について藻体長を計測した。測定は1回目に装着したものでは、12月9日（装着9日後）、21日（21日後）、翌年1月15日（46日後）の3回行った。2回目に装着したものでは、防護網の外における幼芽の消失が著しく、漁業者によって生産不能と判断されたため12月下旬に親縄が撤去され、測定は12月21日（12日後）の1回のみとなった。

結果

(1) 発生の状況

本現象を調査した11月19日のワカメの状態は、親縄上の幼芽数の減少が目立ち、着生していた幼芽は全て先端部が切れて短くなっていた。本現象が発生した親縄は、10月上旬に試験的に海入れした

種苗を10月下旬に親縄に巻き付けたもので、正常な幼芽は藻体長3cm程度に生長しており、同漁業協同組合全体で養殖中の総親縄数25本中の20本でこのような現象がみられた。一方、養殖の主体となる種苗が海入れされたのは10月下旬以降で、これらは11月中旬頃から本巻きが始まり、11月19日の時点では1cm程度に生長していたが、これらには本現象は認められなかった。しかし、これら親縄上でも養殖時期が経過しワカメが大きくなると共に本現象が発生し、12月下旬の時点では全親縄数の約70%で発生が認められた。また、発生の状

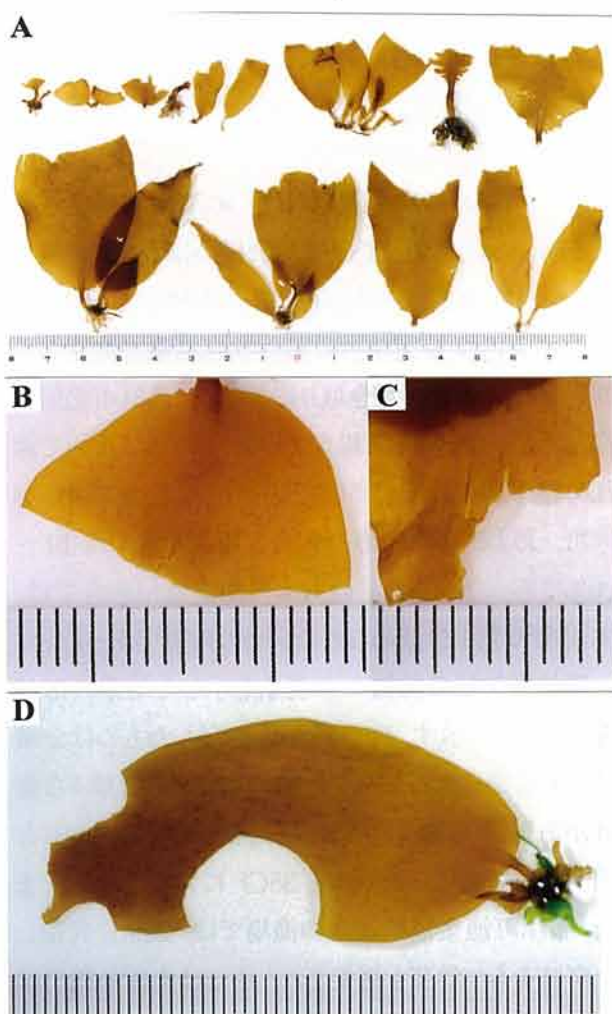


Fig. 35 Various leaf-lost thalli of cultivated *Undaria pinnatifida*. A-C, Thalli collected at Shimabara on Dec. 9, 1999. Similar thalli were widely observed in almost all the cultivation grounds along the Shimabara Peninsula. D, Leaf-lost thallus collected at Futsu on Dec. 9, 1999. The characteristic marks left on the thallus suggest that it was grazed on by *Signanus fuscescens*.

態を詳しくみると本現象が発生した親縄でも、フポート周辺では異常なく生育しており、20～40本の親縄を1組にして17の養殖施設が漁場内に設置されているが、同じ漁場内でも4施設では本現象の発生がないなど、吊り下げの状態や場所によって発生状況に相違が認められた。加えて、本現象が発生した施設では、道縄に付着していたアナアオサ *Ulva pertusa*, リボンアオサ *U. fasciata*, セイヨウハバノリ *Petalonia fascia*, ムカデノリ *Gratelouppia filicina*, フダラク *Gratelouppia lanceolata*, ツルシラモ *Gracilaria chorda*, カバノリ *G. textorii* などにも同様の葉状部の欠損が観察された。なお、10日ごとの追跡調査では、12月21日までは新たな幼芽の欠損の発生を認めたが、翌年1月11日以降にはほとんど認められなかった。

次に、島原半島沿岸における本現象の発生状況を Fig. 34 に示す。島原半島沿岸のほとんどの漁場で、本現象は11月中旬頃～12月下旬頃まで認められた。各漁業協同組合における本現象が発生した親縄数の割合は、聞き取りによると、島原市北部～島原市安中漁業協同組合で70～90%、次いで深江町漁業協同組合で50%、島原市三会、布津町、有家町、および南有家町の各漁業協同組合では10～20%であった。また、西有家町漁業協同組合では、本現象の発生は認められないとの回答であった。

葉状部欠損の特徴：本現象を示した幼芽の形状を Fig. 35 に示す。Fig. 35A-C に示したものは全域で最も普通にみられたもので、欠損部には様々な傷跡があり、欠損の形状は直線的なもの (Fig. 35B) と凹凸状の複雑なもの (Fig. 35C) に大別された。また、布津町漁業協同組合の漁場では、弧状に欠損した痕跡をもつ幼芽も採集され、中には尖頭の楕円状を示す特徴のある形状 (Fig. 35D) もみられた。なお、これらの肉眼的および顕微鏡的観察では変色や細胞の形態的異常や壊死などは認められなかった。

(2)防護網の設置による生育の改善

11月30日に親縄に装着した防護網 (Fig. 36A) の内と外におけるワカメの生育状況の経過を Fig.

36B,C に示す。藻体長は当初1cm程度であったが、9日後の12月9日には網の外では生長はみられなかったのに対し、内では3cmとなり、21日後の12月21日には、外では2cm程度であったが、内では13cmとなり大差が生じた。なお、この間、内では欠損現象はなく、外でも12月21日には欠損現象は認められなくなった。防護網を装着して46日後の翌年1月15日には、網の内で38cm、外でも12cm程度に生長した。この時には外でも欠損現象は認められず、12月21日頃には本現象の発生が終息していたことが分かった。12月9日に装着した防護網の内と外

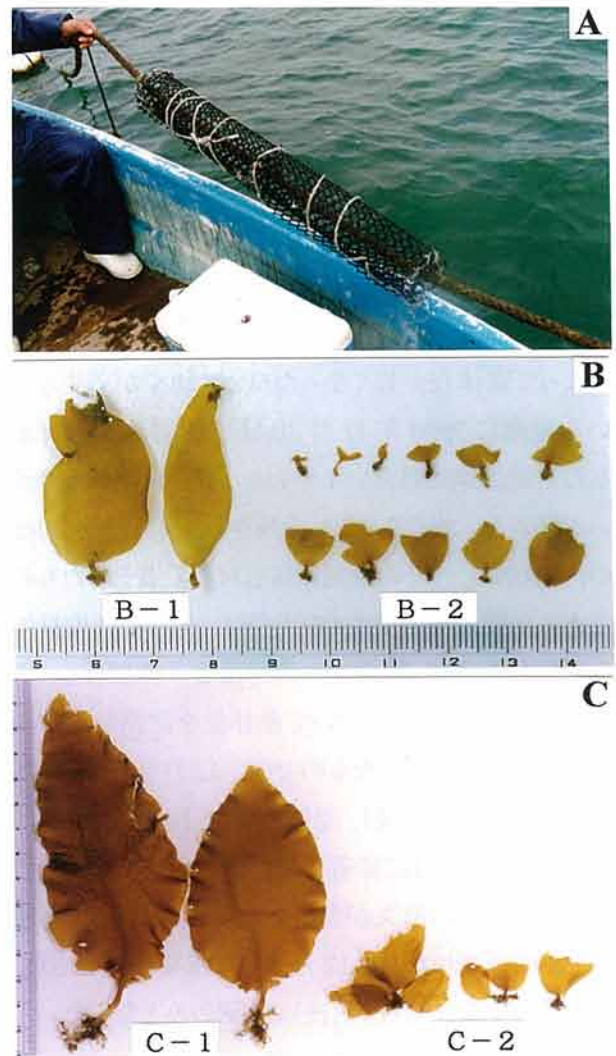


Fig. 36 A hard cylindrical net made of Polyethylene was used to cover the *Undaria pinnatifida* cultivation rope experimentally. A, The polyethylene net was attached to the rope on Nov.30,1999. B, thalli inside (B-1) and outside (B-2) the cover on Dec.9,1999. C, thalli inside (C-1) and outside (C-2) the cover on Dec. 21, 1999.

でも、12日後の12月21日には、内では5cm、外では2cm前後と生長差が生じたが、前述の結果と同様に、この時点で内と外ではいずれも新しくできた欠損部分は認められなかった。

考 察

有明海島原半島沿岸のワカメにおいては、これまでも幾つかの異常現象によって減産につながった事例がある。例えば1955年には島原市沿岸で、投石によって造られたワカメ漁場において、ヨコエビ類 *Caprella spp.* が大量に発生し、棲管に被われてワカメ幼芽が消失している (Irie 1955)。1988年には、同じく島原市沿岸においてアマクサアメフラシ *Aplysia juliana* が大量発生し、養殖ワカメを食害して被害を与えた例もある (朝日新聞 1988.2.7)。しかし、前年と本年のように幼芽が先端から切れて短くなり、ひどい場合には消失するような現象は、これまでにみられたことはなかった。

本現象は島原市～南有馬町沿岸一帯で発生したが、被害は島原市沿岸で顕著であった。また、同じ漁場内でも場所によって発生状況に差があったり、養殖縄のフロート付近は葉部の欠損が軽い等、本現象の発生が均一ではないという特徴があった。加えて、発生時期は11月～12月で、1月以降はみられなくなり、時期的に限定されていた。発生原因については先ず生理的なものが考えられるが、葉状部が欠損した個体には変色や細胞の異常がないことからその可能性は少なく、葉縁の傷や防護網によって生長が改善することから、魚類による摂食がこの原因であると考えられる。原因種については、欠損個体の一部でみられた尖頭で楕円状の傷跡は、クロメに残されるアイゴの摂食痕と類似しており (桐山ら 1999a)、アイゴが原因種の1つと考えられたが、他の大部分の傷跡についてはこれまでアラメ類やヒジキで観察されたものとは異なり、これ以外の魚種によるものと考えられ、この時点では原因魚種の推定はできなかった。ワカメ養殖漁場にはアイゴ以外にもカマキリヨコエビ *Jassa falcate* やクロダイ *Acanthopagrus schlegelii* 等が多いことから、これらによる可能性を含めて今後、検討する必要がある。

2. 藻食性魚類によるワカメの摂食並びに摂食痕からみた原因種の推定

有明海島原半島沿岸一帯で1998年秋から発生がみられる養殖ワカメの葉状部欠損現象は藻食性動物による摂食が原因と推察された。疑われた藻食性動物は親縄上に多数みられたカマキリヨコエビやクロメに残されている痕跡から推定されたアイゴ、周辺海域に多いクロダイ等であった。この中で、防護網ではヨコエビ類の浸入を防げないのでカマキリヨコエビは除外される。その後の調査で、漁業者の目撃情報やビデオ撮影等によりアイゴとクロダイの関与が最も疑われた。そこで、水槽内でアイゴとクロダイにワカメを与え、摂食の有無と摂食痕の特徴を調べた。

方 法

(1) アイゴに投与した養殖ワカメに残された摂食痕の特徴

供試魚は、長崎水試の筏施設で1999年11月に籠によって漁獲し、室内陸上水槽で配合飼料を与えて馴致したものである。実験は2001年1月27日～1月29日の間毎日に行い、アイゴ5個体(平均全長16.7cm(15.2～18.2cm))を野外の1t円形に收容し、島原市北部漁業協同組合から購入した養殖ワカメ幼体を投与して、ワカメに残された摂食痕の特徴を調べた。養殖ワカメの投与は仮根部をコンクリートブロックに紐で固定し直立した状態にして、コンクリートブロックごと水槽底面に設置して行った。実験期間中の水温は平均14.3℃(14.2～14.5℃)であった。

(2) クロダイに投与した養殖ワカメに残された摂食痕の特徴

供試魚は島原市沿岸で2003年5月に採集されたものを島原市漁業協同組合から購入し、長崎水試の室内陸上水槽で配合飼料を与えて馴致したものである。実験は2004年1月31日～2月7日の間毎日に行い、クロダイ1個体(全長52cm)を野外陸上水槽(長さ2.3m×幅1.0m×深さ0.7m)に收容し、島原市北部漁業協同組合から購入した養殖ワカメ幼体を投与して、ワカメに残された摂食痕の特徴を調

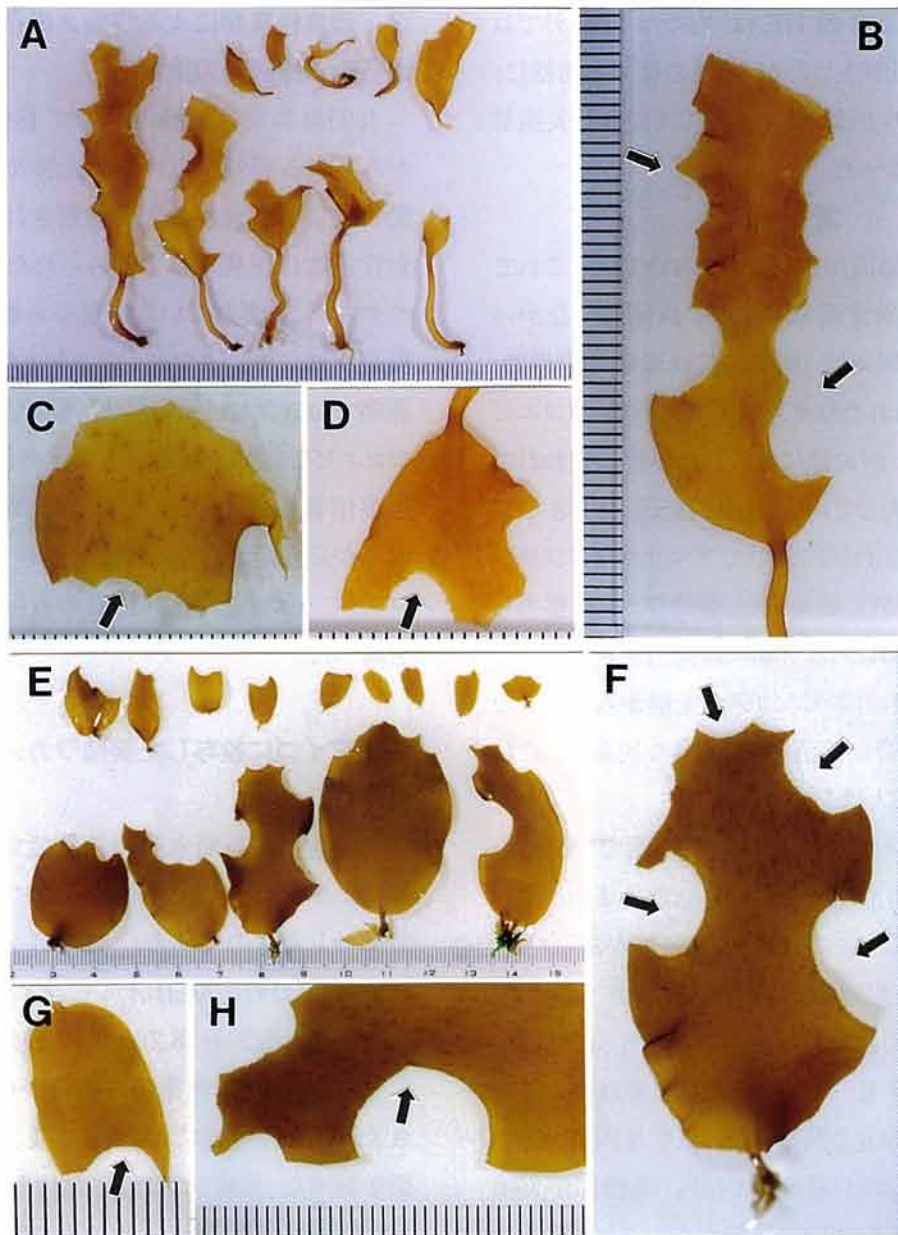


Fig.37 Characteristic bite marks observed on the *Undaria pinnatifida*. A-D: bite marks(allows) left on *U. pinnatifida* by *Siganus fuscescens* in experimental feeding Jan.29,2000. E-H: leaf-lost thallus of the cultivated *U. pinnatifida* observed at Futsu on Dec. 9, 1999.

べた。投与はアイゴの場合と同様に行った。実験期間中の水温は平均 14.6℃ (14.2～15.2℃)であった。

結果

(1) アイゴに投与した養殖ワカメに残された摂食痕の特徴

本種はワカメの葉の縁辺を素早くつつくようにしてかみ取る行動が繰り返し観察された。このため葉の縁辺は連続した弧状の欠損が多数みられ、

顕著な場合には茎部をわずかに残すのみとなった (Fig. 37A)。弧状の欠損は、浅く湾入したものから深く湾入したものまで様々で (Fig. 37B)、中には円弧状の欠損が連続するもの (Fig. 37C) や尖頭の弧状で、アイゴの口部の形状を反映したものが観察された (Fig. 37D)。これらアイゴの摂食痕の特徴は、布津町地先の養殖ワカメにみられた傷跡の特徴 (Fig. 37E-H) と一致した。

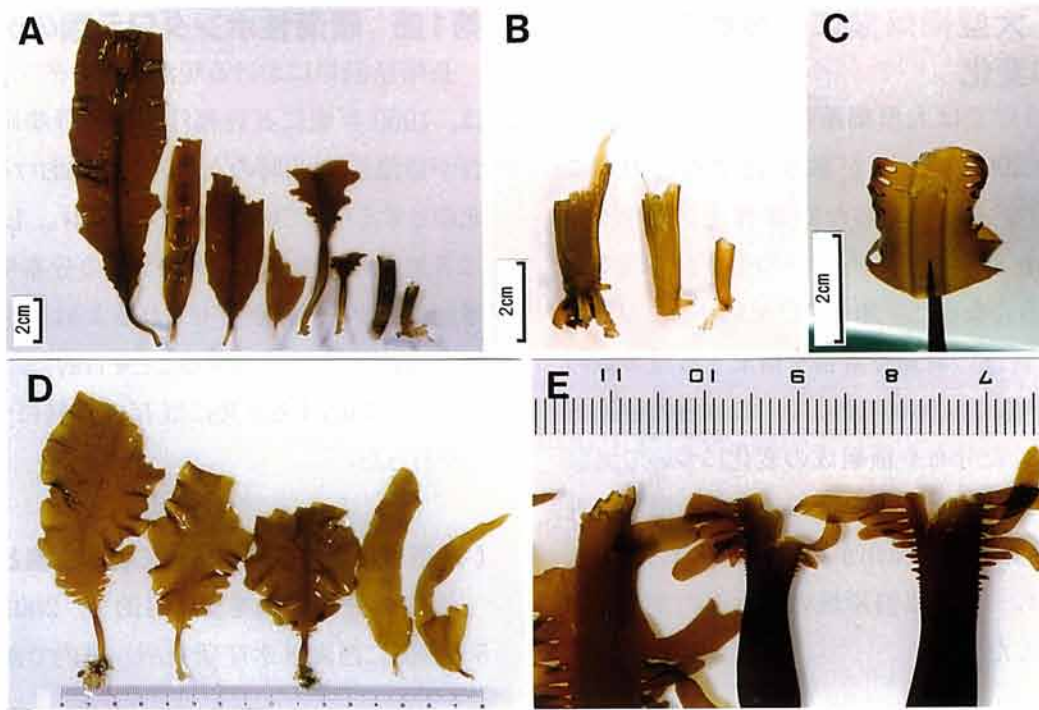


Fig.38 Characteristic marks observed on the *Undaria pinnatifida*. A~C: Bite marks left on *U. pinnatifida* by *Acanthopagrus schlegelii* in experimental feeding on Jan 15, 2001. D,E: leaf-lost thallus of the cultivated *U. pinnatifida* observed at Shimabara on Dec. 9, 1999.

(2) クロダイに投与した養殖ワカメに残された摂食痕の特徴

本種はワカメ幼体の葉先や茎を引き千切るようにしてかじり取る行動が観察された。このため、葉部は先端部から切断され、その切断部は直線的 (Fig. 38A) なものと不規則な凹凸の傷跡がみられた (Fig. 38B)。茎部では切断部の形状は不規則な凸凹や引き千切られて裂けたようになるものが観察された。茎や中央葉の切断部周辺にはかみ付きによる歯形が観察される場合もあった (Fig. 38C)。これらクロダイの摂食痕の特徴は島原半島沿岸の養殖ワカメで多くにみられた傷跡の特徴と一致した。

考 察

有明海島原半島沿岸の養殖ワカメにみられた葉状部欠損現象は、幼芽の先端が欠損するなど葉の縁辺に傷があることや養殖繩に防護網を被せると生長が改善することから、魚類の摂食が原因と考えられた。本現象を呈した養殖ワカメの一部でアイゴ

がクロメを摂食した際に葉状部に残された摂食痕と同じものが認められ、あらためてアイゴにワカメを与えて確認した結果、アイゴが原因種の1種であることが分かった。また、養殖ワカメに残されたアイゴの摂食痕以外の不明の傷跡は全てクロダイの摂食痕の特徴と一致した。クロダイは沿岸性が強く、雑食性とされ動物性餌生物を多食すると共に多くの種類の海藻を摂食することが知られている (落合・田中 1998b)。瀬戸内海では養殖ノリの食害種とされており (草加 1997)、ノリにみられたクロダイの摂食痕の特徴は、本現象のみられたワカメに残された傷跡とも酷似した。有明海ではクロダイは 15 ~ 20 t が毎年漁獲されており (長崎農林水産統計協会 1989 ~ 2005)、かなりの個体数が生息していると考えられる。以上のことから、島原半島沿岸一帯でみられた養殖ワカメの葉状部欠損現象はクロダイを主としこれにアイゴが加わった両種の摂食によって引き起こされていると判断された。

第2章 大型褐藻類にみられた分布と種組成の変化

長崎県沿岸では大型褐藻群落の衰退現象(桐山ら 1999a,2000,2002)が顕在化する一方,これまで生育がみられなかった暖海性ホンダワラ類(*Sargassum* 亜属)やアントクメの生育が各地で認められるようになった。加えて在来のホンダワラ類においては群落の衰退や群落を構成する種類数の減少傾向が認められる。そこで,これら大型褐藻群落にみられた分布や種組成の変化について実態調査を行った。また,暖海性種の生育の増加は近年の冬期の高水温化傾向が影響していることが考えられるため,長崎県沿岸域の海水温の変化についても検討した。

第1節 暖海性ホンダワラ類の分布北上

長崎県沿岸における暖海性ホンダワラ類の分布は,1960年頃に五島福江市と野母崎町沿岸で生育が確認され,当時の九州西岸域における分布域の北限と考えられていた(瀬川ら 1961)。しかし,近年は各地から暖海性ホンダワラ類の分布や生育量の増加に関する情報が寄せられるようになった。そこで,分布の実態を把握することを目的に,2003年から調査を開始すると共に既存の資料についても整理を行った。

方法

(1) 西彼杵半島沿岸における標本採集と種の同定

近年の分布情報を得る目的で,2003年1月~5月の間に西海区水産研究所,県内で藻場調査を

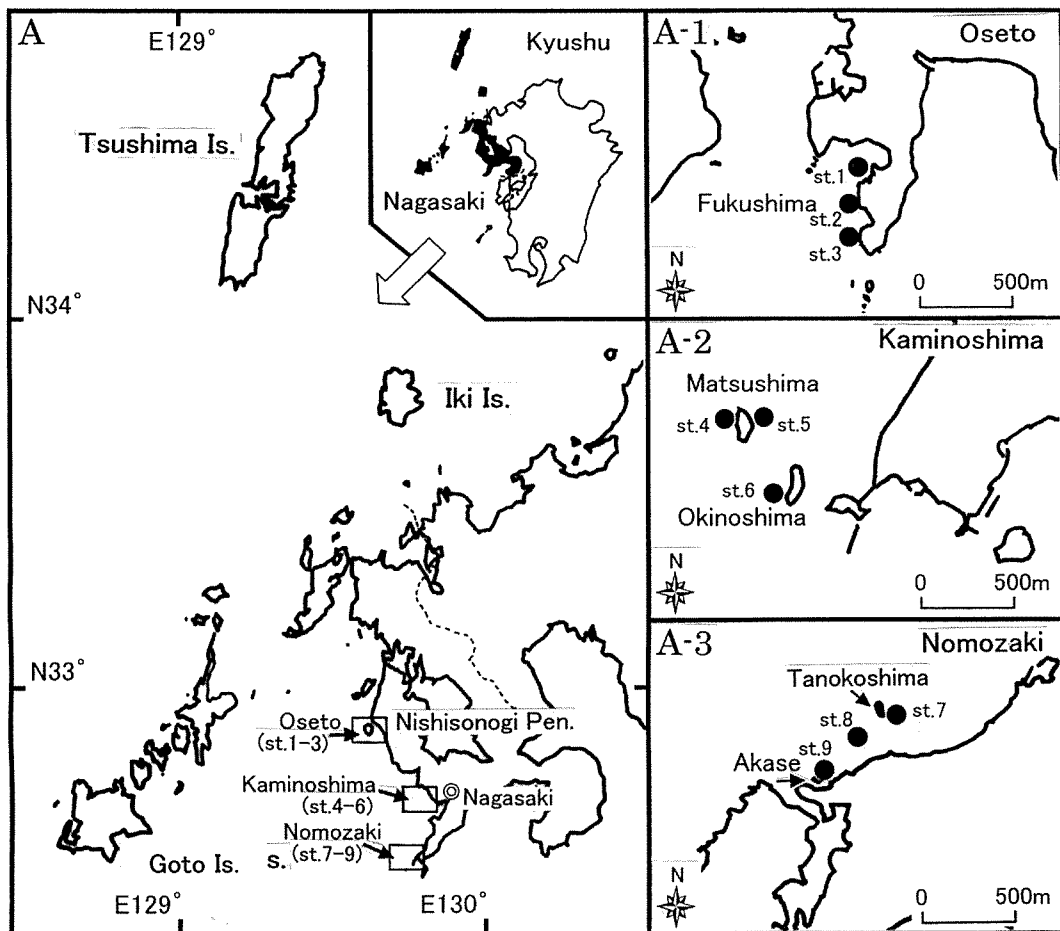


Fig.39 A map showing the experimental sites. □; sampling sites on Jun. 2003, ▲; sampling sites from Jun. 2003 to Jun. 2005. A-1; close-up picture of Oseto(□), st.1-3 ●; sampling site. A-2; close-up picture of Kaminoshima(□), st.4-6 ●; sampling site. A-3; close-up picture of Nomozaki(□), st.7-9 ●; sampling site.

行っている主な潜水会社（(社)長崎県水産開発協会、(有)崎陽潜水、(株)ベントス）に聞き取り調査を行った。その結果、西彼杵半島沿岸では最も分布情報が多かったため、予備調査を2003年2月20日～6月15日に行い、素潜りやSCUBA潜水によって暖海性ホンダワラ類の分布を確認し、この調査で生育が多いことが分かった大瀬戸町、長崎市神ノ島、野母崎町の各地先の3地区(Fig. 39)で調査を行った。調査は2003年6月25日～27日にSCUBA潜水によって行った。方法は先ず各調査地区の沿岸一帯で暖海性ホンダワラ類の生育状況を観察し、生育が多かった3箇所で(3調査地区×3調査点, Fig. 39st.1～9)水深別の生育状況を調査すると共に生育数が多かった場所で50×50cmの枠取りによって枠内の全ての大型褐藻類を採集した。採集した標本は研究室に持ち帰り、種類、本数、藻体長、成熟状況を観察した。暖海性ホンダワラ類についてはさく葉標本を作製し、北海道大学理学部の登録標本をもとに、葉や生殖器床などの外部形態の特徴から種の同定を行った。また、今回の調査で確認されたウスバモク *Sargassum tenuifolium* は *Bactrophyucus* 亜属に属するが、その分布は伊豆諸島～本州南岸、奄美大島とされるため(吉田 1998)、ここでは、暖海性種として取り扱うこととする。

(2) 長崎県内における暖海性ホンダワラ類の分布状況

調査は、先に述べた西彼杵半島での調査の際に聞き取りを行った機関に加えて、壱岐郷ノ浦町アワビ種苗センター、上五島町あわび中間育成センター、関係市町、県内の水産業普及指導センター等に対して2003年1月～2005年8月に聞き取り調査を行い、一部では標本の提供を受けた。分布情報の多かった五島の福江市下崎山町、岐宿町、三井楽町地先の3地区では2004年6月にSCUBA潜水によって標本を採集した。また、長崎水試実施の大瀬戸町地先(2004年9月～2005年6月)、壱岐市郷ノ浦町大島地先(2003年6月)、野母崎町地先(2003年6月～2005年6月)の藻場調査関連事業で得られた標本についても資料に加えた。これらの標本は全てさ

く葉標本とし、北海道大学理学部の登録標本をもとに、その外部形態の特徴から種の同定を行った。

結果と考察

(1) 西彼杵半島沿岸における標本採集と種の同定

大瀬戸町、長崎市神ノ島町、野母崎町地先の3調査地区で採集した暖海性ホンダワラ類は、キレバモク *Sargassum alternato-pinnatum*、マジリモク *S. carpophyllum*、フタエモク *S. duplicatum*、ウスバモクの4種(Fig. 40)と不明種数種(Fig. 41A-D)であった。不明種はいずれも生殖器床が分枝しその上に気胞がみられ、*Sargassum* 亜属の1種と考えられた。Fig.41Aはキレバモクに似るが、主枝のトゲや葉の分枝がほとんどみられない。Fig. 41B,Cはフタエモクに似るが、葉の先端は杯状にならず、葉の厚みがあり堅いものから厚みが薄く柔らかいもの、葉形が卵形からササの葉状のまで変化に富む。Fig.41Dはマジリモクに似るが、マジリモクに比べ葉は厚みがあり堅く、大型で波打つ。これらの特徴により、それぞれキレバモク、フタエモク、マジリモクの登録標本とは形態的特徴が異なると考え、ここでは不明種として扱った。

3調査地区で確認された大型褐藻類の出現状況を Table 13 に示す。キレバモク、マジリモク、フタエモク、不明種(Fig. 41A-D)は3調査地区で共にみられ、ウスバモクは大瀬戸地区では確認されなかった。暖海性ホンダワラ類の分布は、ワカメ、アントクメやマメタワラ、ヤツマタモク等のホンダワラ類在来種と混生しており、野母崎地区の赤瀬(Fig. 39A-3)ではフタエモクとキレバモクの混生群落の密生した場所がみられた。暖海性ホンダワラ類の生育密度は4～444個体/m²で、種別の最大生育密度では、キレバモク、フタエモク、ウスバモク、不明種で204～244個体/m²と差はなかったが、マジリモクでは他のものに比べて72個体/m²と少なかった。分布水深は、キレバモクでは1～18m前後、マジリモクでは3～20m前後、フタエモクでは1～4m前後、ウスバモクは2～8m前後で、特にフタエモクでは1～2mの浅場に多く、マジリモクでは浅場に少なく10m前後の水深に多い傾向がみられた。不明種はこれ

ら4種の分布水深範囲にあった。採集した暖海性ホンダワラ類は、長いもので藻体長1 m前後に生長し、ウスバモクを除き6月下旬に生殖器床の形成が認められた。

(2) 長崎県内における暖海性ホンダワラ類の分布状況

採集標本および聞き取りで確認された県内の暖

海性ホンダワラ類の分布を Fig.42 に示す。分布は小佐々町から野母崎町に至る本土側西岸域一帯に多く、次いで、五島列島、橘湾沿岸に多く、平戸周辺、壱岐、および対馬沿岸の一部でも認められた。種類は、キレバモク、マジリモク、フタエモク、ウスバモクの4種の他に、先に大瀬戸町、長崎市神ノ島町、野母崎町地先で採集された不明種 (Fig. 41A-D) とは

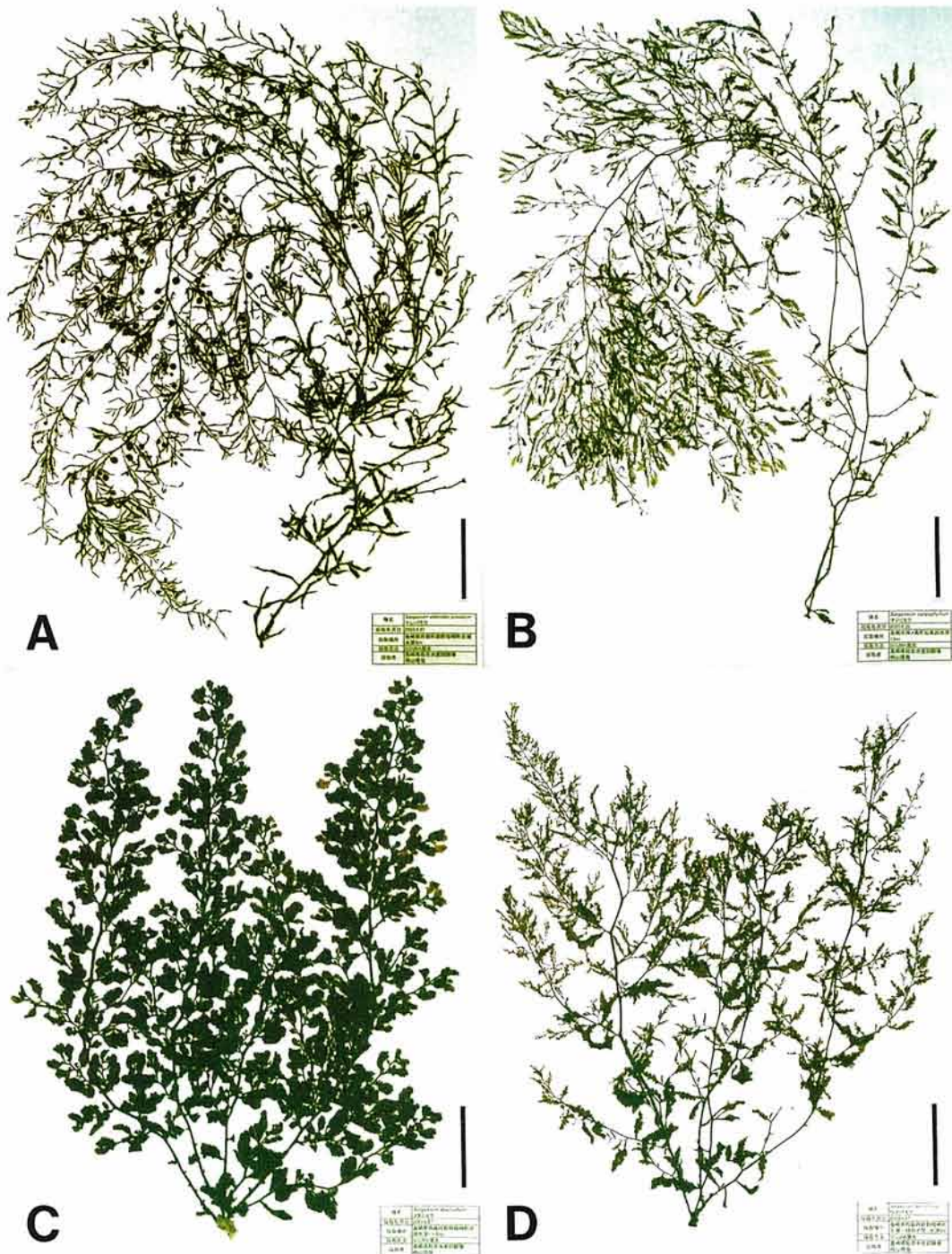


Fig.40 Herbarium of four warm water Sargassaceous species sampled from three sites along the coast of Nishisonogi Peninsula on June, 2003. A; *Sargassum alternato-pinnatum*, B; *S. carpophyllum*, C; *S. duplicatum*, D; *S. tenuifolium*. All bars are 5 cm long.

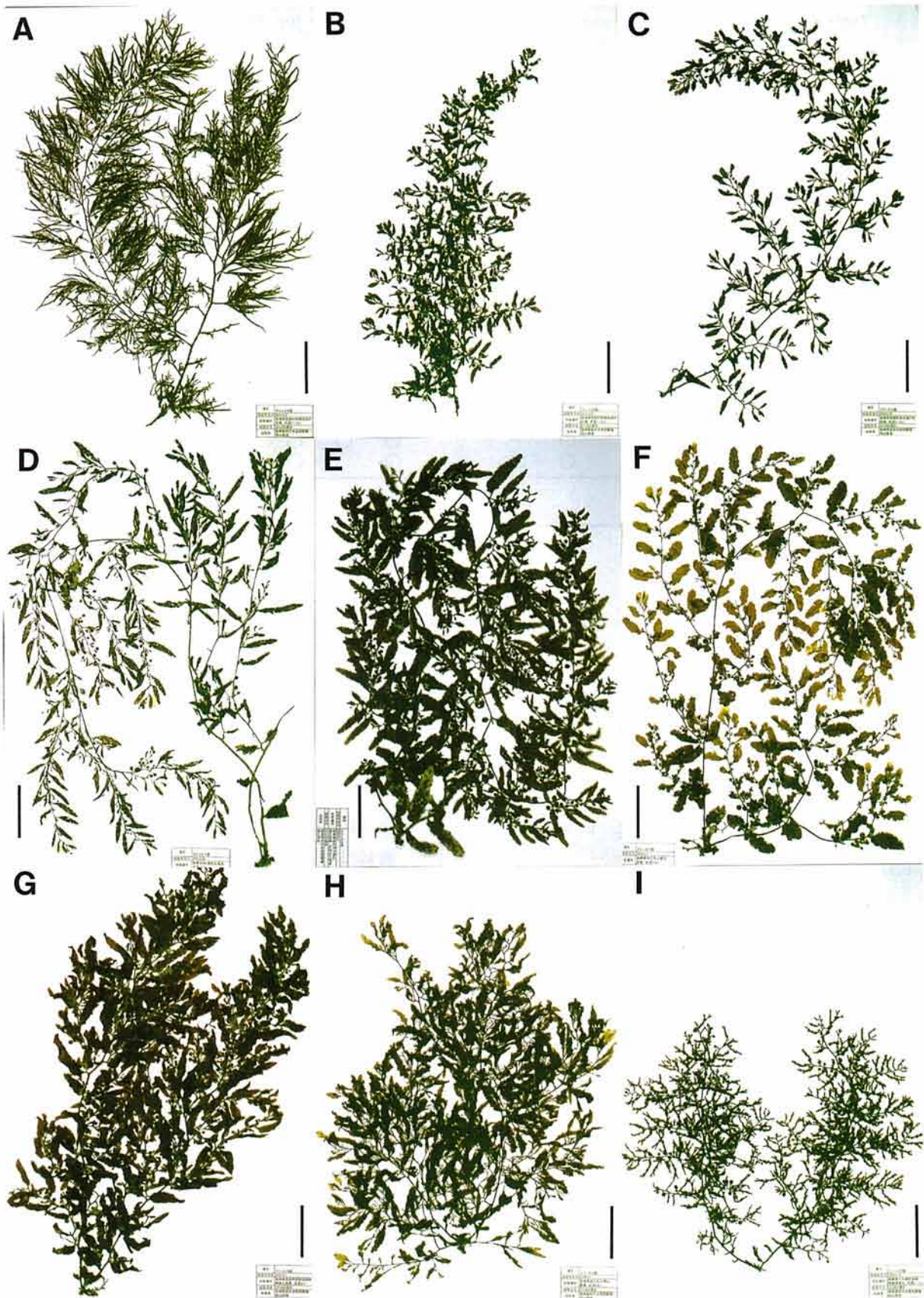


Fig.41 Herbarium of warm water Sargassaceae species sampled at Oseto, Nagasaki, Nomozaki, Fukue, Nagasaki Prefecture from 2003 to 2004. A-I; Unknown species (Sargassum Subgenus). All bars are 5 cm long.

Table 13 Species of Laminariaceaus and Sargassaceous collected on Jun. 2003 along the coast of Nishisonogi Peninsula, Nagasaki Prefecture

Species	Sampling sites								
	Oseto			Kaminoshima			Nomozaki		
	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St.8	St.9
<i>Sargassum alternate-pinnatum</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>S. carpophyllum</i>			○	○	○	○	○		○
<i>S. duplicatum</i>	○	○						○	
<i>S. tenuifolium</i>				○				○	○
<i>Sargassum</i> Subge.	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>Eckloniopsis radicata</i>	○	○	○	○	○		○	○	○
<i>Undaria pinnatifida</i>		○	○			○			
<i>Sargassum hemiphyllum</i>	○	○		○	○	○			○
<i>S. thunbergii</i>	○			○	○	○	○		
<i>S. macrocarpus</i>							○	○	
<i>S. fusiforme</i>	○			○	○	○		○	
<i>S. piluliferum</i>	○			○	○	○	○	○	
<i>S. patens</i>	○	○		○		○	○	○	

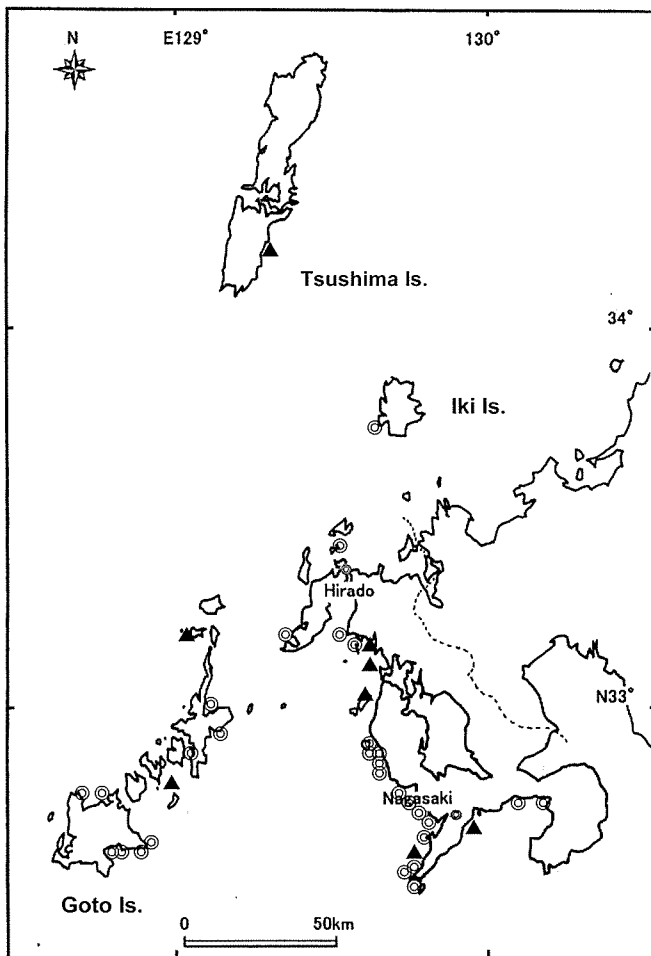


Fig.42 The sites where the warm water Sargassaceous species were sampled from 2003 to 2005 along the coast of Nagasaki Prefecture.
 ○ :sampled specimen were identified,
 ▲ :information from hearing.

形態的に異なると考えられた新たな不明種数種(*Sargassum* 亜属)がみられた (Fig. 41E-I)。キレバモクは県内各地で最も普通にみられ、分布域は本県南端の野母崎町や五島福江市沿岸から北は対馬厳原町沿岸まで県内全域に及んだ。ウスバモクは野母崎町から大瀬戸町に至る西彼杵半島沿岸に多く、一部は上五島若松町、壱岐郷ノ浦町沿岸で確認された。マジリモクは本土側西岸域一带と平戸度島沿岸でみられ、西彼杵半島沿岸の野母崎町～長崎市三重にかけて多かった。フタエモクは西彼杵半島沿岸一带と五島福江市や上五島若松町沿岸でみられ、野母崎町赤瀬周辺 (Fig. 39A-3) では密生した場所があった。不明種 (*Sargassum* 亜属) は、Fig. 41A では西彼杵半島一带で、Fig. 41B,C,E,F では、西彼杵半島沿岸一带、五島列島沿岸で、Fig. 41D では西彼杵半島沿岸一带、五島福江市、壱岐郷ノ浦町、平戸志々伎町沿岸で、Fig. 41G,H では五島福江市、野母崎町沿岸で、Fig. 41I では五島福江市、橋湾千々石町沿岸で確認された。

暖海性ホンダワラ類の生長は、長崎水試が行った藻場調査関連事業の結果から、1月頃から幼芽が観察され始め、その後急激に伸長して夏には藻体長1m前後となり、マジリモクで

は3 m以上のものがみられた。成熟期は、2003～2005年の調査では、マジリモクが最も早く5月下旬から卵放出が観察され、多くの暖海性ホンダワラ類は6月下旬～8月中旬で、盛期は7月であった。成熟後、葉や莖状部は全て流出し、残存した付着器から冬に再び新芽が生長するのが確認された。

長崎県における暖海性ホンダワラ類の分布は、1960年頃に五島福江市と野母崎町沿岸で知られている(瀬川ら1961)。その後、1978、1979年に伊万里湾(長崎県1980;西川ら1981)での生育情報があるが、その後の情報はなため、定着し再生産を行っているとは考えにくい。暖海性ホンダワラ類の分布情報が多数寄せられるようになったのは1992年以降で、1996年には野母崎町地先で始めてウスバモク(*Bactrophyucus* 亜属)が採集されるなど県内各地から分布情報や標本が毎年得られるようになった。このことは、少なくとも1992年以前からの増加が推察される。このように暖海性ホンダワラ類は、1960年頃では本県南端の野母崎町や福江市沿岸に分布が限られていたが、現在では本土側西岸域では極普通にみられ平戸、壱岐、対馬の県北部海域にも分布を拡大しており、明らかな分布域の北上が認められる。

九州西岸域におけるホンダワラ類の分布調査については、1978、1979年に西海区水産研究所と九州西岸域の各県水産試験場が行った九州西岸海域藻場・干潟分布調査がある。これらの調査からみると、暖海性ホンダワラ類は、鹿児島県ではほぼ全域で(新村ら1981)、熊本県では天草周辺で(南部ら1981)、長崎県(西川ら1981)では、本土側沿岸のみの調査であったが前述したように伊万里湾で、佐賀県では玄海町地先でそれぞれ確認されている(山田ら1981)。このことから、九州西岸域における暖海性ホンダワラ類の分布は、1960～1980年頃には熊本県天草から牛深周辺、長崎県福江市、野母崎町辺りまでが北限域であり、一部では伊万里湾や玄海町地先など九州北部海域で分布していた可能性が考えられた。その後、長崎県では1992年以降に県内各地から分布情報が増加し、2005年現在で

は県内各地にみられるようになったことから、1980～1992年の間に分布域の北進が起こり、少なくとも1992～2005年の間に生育数の増加と共に分布範囲が大きく拡大したと考えられた。

第2節 アントクメの分布北上

アントクメは、本州太平洋岸中・南部、四国、九州、本州日本海岸南部に分布し(吉田1998)、一部の地域では食用として利用される(大野2004)。長崎県沿岸では五島福江島を除き生育は確認されていなかったが、近年は暖海性ホンダワラ類と同様に、分布域が拡大していると考えられた。そこで、2003年から調査を開始し、アントクメの県内における分布実態を明らかにした。

方 法

分布情報については、暖海性ホンダワラ類の聞き取り調査の際に並行して2003年1月～2005年8月の間に行い、一部からは標本の提供を受けた。また、SCUBA潜水による暖海性ホンダワラ類の分布調査(西彼杵半島:大瀬戸町、長崎市神ノ島町、野母崎町地先、五島:福江市、岐宿町、三井楽町地先)の際に、同時にアントクメについても分布状況の把握と標本の採集を行った。

結果と考察

確認されたアントクメの分布状況をFig. 43に示す。分布は、野母崎町～大瀬戸町に至る西彼半島沿岸一帯、橘湾、五島列島、平戸度島沿岸等で確認された。2003年6月25日～27日の大瀬戸町、長崎市神ノ島町、野母崎町沿岸の調査では、アントクメは3調査地区とも確認され(Table 13)、ワカメ、暖海性ホンダワラ類、ホンダワラ類在来種等と混生しており、生育水深は1～17 mであった。

長崎県におけるアントクメの採集記録は、1942年と1943年に五島の各福江市崎山と富江におけるものがある。1950～1960年頃の調査では、熊本県富岡(瀬川・吉田1961)と熊本県牛深で標本が採集されており、九州西岸域においては、1940～1960年頃には五島の富江と福江市、熊本県富岡を結ぶラインが分布の北限と考えられた。長崎県本土側では1978、1979年の九州西岸海域藻場・干潟分布

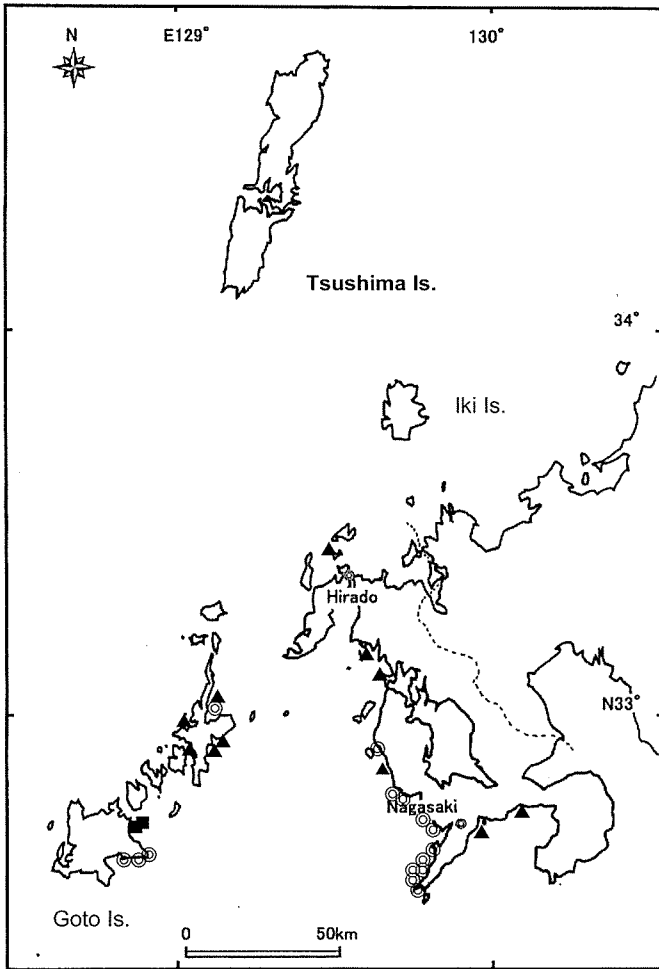


Fig.43 The Marks show the sites where *Eckloniopsis radicata* sampled along the coast of Nagasaki Prefecture from 2003 to 2005.
 ◎; sampled specimen were identified,
 ▲; information by hearing, ■; Kitayama (1998).

調査(西川ら1981)までは、アントクメの分布は確認されていなかったが、1983年に初めて大瀬戸町で確認された(大瀬戸町1981a,1981b)。このことは、西彼杵半島の現在アントクメが分布している箇所についても1980年前後に大瀬戸町と同様にアントクメが生育していた可能性が大きい。

アントクメの分布について行った本調査から、新たに上五島有川町沿岸、橘湾、野母崎町～大瀬戸町に至る西彼杵半島沿岸一帯、平戸度島沿岸で確認された。また、西彼杵半島南端の野母崎町や高島沿岸では刺網に大量にかかったり上五島では魚類の養殖網に大量に発生して苦情が出たり、野母崎町では時化などの後にはアントクメが大量に打ち上げられるなど、分布域の拡大と共に現存量が大幅に増

加していることが推察される。以上を整理すると、アントクメの分布は1980年前後には北上を初め、1996年頃以降に現存量が増加すると共に分布域がさらに大きく拡大したと考えられた。

第3節 ホンダワラ類在来種の種組成の変化

長崎県沿岸では、近年暖海性ホンダワラ類が増加する一方、在来のホンダワラ類については種類数の減少が目立つようになっている。そこで、在来のホンダワラ類群落における種組成の変化を明らかにするため、これまで県内各地で関係市町や長崎県が事業主体となつて行われた藻場調査関係資料をもとにそれらの調査結果を整理し、種類数や種の変化について調べた。

方法

ホンダワラ類の生育種について同一場所で間隔をおいて科学的に調査した研究は長崎県内では見受けられない。そこで、次善の策として、各種事業に伴って行われている多くの行政目的の調査結果を整理したところ、同じ場所で1980年代と2000年以降に調査した3例の資料が見出された。それは、西彼杵半島沿岸の大瀬戸町地先における1981年(大瀬戸町1981a,1981b)と2003年(大瀬戸町2004)、北松浦群生月町地先における1987年(生月町1987)と2001年(生月町2002)、五島列島北端の宇久町における1988年(宇久町1988)と2001年(宇久町2001)の3箇所であった。そこで、これらの結果をもとにホンダワラ類在来種の出現状況を比較した。出現状況は各調査地区で行われた測線調査において、全測線数に対する特定種のホンダワラ類が出現した測線数の割合(出現率(%))を算出し、5段階に分けて整理した(●:75%以上, ◎:50~75%, ○:25~50%, △:0~25%, ×:0%)。暖海性ホンダワラ類はここでは種の区別を行わず一まとめにして扱った。

結果と考察

長崎県内で行われたこれまでの調査を整理すると、20種以上のホンダワラ類が出現し、ノコギリモク、ヨレモク、アカモク、ヤツマタモク、マメタワラ、ヒ

Table 14 Change of occurrence on Sargassum species at the coast of Oseto.

Species	1981	2003
<i>Myagropsis myagroides</i>	△* ¹	×
<i>Sargassum filicium</i>	△	×
<i>S. fulvellum</i>	◎	×
<i>S. fusiforme</i>	◎	●
<i>S. hemiphyllum</i>	○	◎
<i>S. horneri</i>	○	○
<i>S. macrocarpus</i>	◎	×
<i>S. micracanthum</i>	○	×
<i>S. patens</i>	◎	×
<i>S. piluliferum</i>	○	○
<i>S. ringgoldianum</i>	○	×
<i>S. siliquastrum</i>	◎	×
<i>S. thunbergii</i>	△	○
warm water Sargassaceous species	×	○
Total number of species	13	6

*¹Percent of transects on which the species occurred.
 (● > 75%, 50% < ◎ ≤ 75%, 25% < ○ ≤ 50%, 0% < △ ≤ 25%, × = 0%)

Table 15 Change of occurrence on Sargassum species at the coast of Uku.

Species	1988	2001
<i>Myagropsis myagroides</i>	△* ²	×
<i>Sargassum fulvellum</i>	○	×
<i>S. hemiphyllum</i>	△	△
<i>S. horneri</i>	◎	×
<i>S. macrocarpus</i>	●	●
<i>S. micracanthum</i>	○	△
<i>S. patens</i>	○	△
<i>S. piluliferum</i>	○	×
<i>S. ringgoldianum</i>	△	×
<i>S. serratifolium</i>	×	△
<i>S. siliquastrum</i>	◎	△
<i>S. yendoii</i>	△	△
Total number of species	11	7

*²Percent of transects on which the species occurred.
 (● > 75%, 50% < ◎ ≤ 75%, 25% < ○ ≤ 50%, 0% < △ ≤ 25%, × = 0%)

ジキ, イソモク, オオバモク, ホンダワラ *Sargassum fulvellum*, ジョロモク *Myagropsis myagroides*, ウミトラノオ, エンドウモク *S. yendoii* などが一般的な種類であった。この他に五島, 対馬海区でエゾノネジモク *S. yezoense*, 平戸, 壱岐, 対馬海区でナラサモ *S. nigrifolium* も認められている。希少種として平戸~伊万里湾など北松海域ではタマナシモク *S. nipponicum*, コブクロモク *S. crispifolium*, ツクシモク *S. assimile* の報告もあった (Migita and

Kambara 1961: 長崎県 1980)。

次にホンダワラ類群落における種組成の変化をみるため, 大瀬戸町, 生月町, 宇久町における 1980 年代と 2000 年代に行われた測線調査の結果を比較した。

大瀬戸町地先: 大瀬戸町地先の江切漁港~塚堂漁港沿岸及び松島沿岸における 9 箇所の測線調査で 1981 年と 2003 年に確認されたホンダワラ類の出現状況を Table 14 に示す。1981 年の出現種類数は 13 種で, ヨレモク, ヒジキ, ホンダワラ, ノコギリモク, ヤツマタモクの 5 種が出現率 50% 以上で多かった。2003 年には出現種類数は 6 種に減少し, その内の 1 種は暖海性種のため, 在来種は 13 種から 5 種に減少した。出現率 50% 以上であったのはヒジキとイソモクの潮間帯およびその直下の浅場に生育する 2 種のみで, 種類数の減少と共に出現率の低下が目立った。また, 生育がみられなくなった種類はヨレモク, ホンダワラ, ノコギリモク, トゲモク, オオバモク, ジョロモク, シダモク *Sargassum filicinum* の 7 種であった。

宇久町地先: 宇久島全域の 12 箇所の測線調査で 1988 年と 2003 年に確認されたホンダワラ類の出現状況を Table 15 に示す。宇久町地先では, 1988 年の出現種類数は 11 種で, ノコギリモクが全測線で出現し, 次いでヨレモクとアカモクが

出現率 50% 以上で多かった。2001 年には 7 種に減少したが, その内の 1 種は新たに確認されたウスバノコギリモクであった。ノコギリモクは全測線で出現し 1988 年と変わらなかったが, 他の 6 種はいずれも出現率が 0 ~ 25% と少なく, ホンダワラ類群落の構成種はノコギリモク 1 種が優占先した。また, 生育がみられなくなった種類は, アカモク, ホンダワラ, マメタワラ, ジョロモク, オオババモクの 5 種であった。

Table 16 Change of occurrence on Sargassum species at the coast of Ikitsuki.

Species	1987	2001
<i>Myagropsis myagroides</i>	○ ^{*3}	×
<i>Sargassum fulvellum</i>	△	×
<i>S. hemiphyllum</i>	○	×
<i>S. horneri</i>	○	×
<i>S. macrocarpus</i>	●	●
<i>S. micracanthum</i>	×	○
<i>S. patens</i>	○	×
<i>S. ringgoldianum</i>	△	×
<i>S. serratifolium</i>	△	○
<i>S. yezoense</i>	×	△
Total number of species	8	4

*3Percent of transects on which the species occurred.
(● > 75%, 50% < ○ ≤ 75%, 25% < △ ≤ 50%, 0% < × ≤ 25%, × = 0%)

生月町地先：生月島北部の北岸，北西岸，北東岸の5箇所の測線調査で1987年と2001年に確認されたホンダワラ類の出現率をTable 16に示す。1987年の出現種類数は8種で，ノコギリモクがほぼ全測線でみられ，他の7種は出現率が50%以下であった。2001年では4種に減少したが，内，2種は新たに出現したエゾノネジモクとトゲモクであった。ノコギリモクは1987年と同様にほぼ全測線でみられ，他の3種は出現率が50%以下であった。また，生育がみられなくなった種類は，アカモク，イソモク，ヤツマタモク，ジョロモク，ホンダワラ，オオバモクの6種であった。

以上のように，ホンダワラ類の種類数は，1980年代と2000年以降の調査結果を比べると8～13種認められた場所では4～7種になっており，生育している種類に明らかな減少が認められる。また，現存量については情報が無いものの，生育が認められた測線数が減少していることから考えると現存量も減少していると推察される。3箇所で共通して減少している種はホンダワラ，オオバモク，ジョロモクであるが，これに意味があるかどうかは現状では不明である。この整理に用いた資料は科学的調査として行われていないという制約はあるが，近年長崎県の各地でみられる在来のホンダワラ類群落の種組成の単純化傾向と良く一致している。

第4節 沿岸海水温にみられる近年の変化

近年，長崎県内では藻食性魚類の摂食による大型褐藻群落の衰退現象（桐山ら1999a,2000,2002）や暖海性大型褐藻類の分布域の北上等がみられており，その背景には沿岸水温の上昇が考えられる。そこで，長崎県沿岸域の海水温の変化について検討した。

方法

水温観測資料として，20年以上の観測がある外洋域と内湾域における観測値を用いた。外洋域では，五島福江島の南西約80kmに位置する女島の50年間の旬別水温（長崎海洋气象台1955～2004）を，内湾域では長崎県真珠養殖漁業協同組合の県内各地の事業所における1982～2004年の23年間の旬別の観測結果の中で，比較的資料が整っている壱岐郷ノ浦町，福江市玉ノ浦，鹿町町鹿町，小佐々町楠泊，佐世保市相浦，西海町瀬川の6箇所の資料をもとに，各月別，年別，平年差について検討した。また，前述した暖海性ホンダワラ類の九州西岸の分布域の北限が1960年頃の熊本県天草・牛深辺りから近年では対馬巖原まで北上していることから，観測値のある牛深の1957～1995年の39年間と巖原の1955～1995年の41年間の旬別および年別水温（長崎海洋气象台1955～1995）を用いて，両地区の月別水温変化を比較した。これらの水温資料は，月毎の旬別水温の平均値をその月の平均水温とし，月別および年別平均水温を算出した。なお，欠測があった場合には，その月と年の平均水温値は除外した。平年値は，外洋域では1974～2003年の30年間，内湾域では，1982～2004年の23年間の平均値とし，月別，年別の偏差を調べた。

結果と考察

外洋域の水温変化：1955～2003年の年間平均水温の推移をFig. 44に示す。水温は年によって20.0～22.6℃の範囲であったが，その変動には有意な水温上昇傾向がみられた($p < 0.001$)。この回帰直線から年間平均水温は50年間で約0.9℃上昇し，

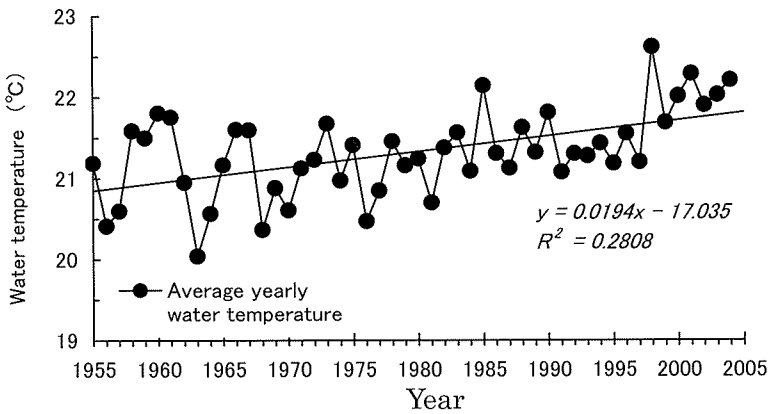


Fig.44 Change of Average yearly water temperature at the coastal water of Meshima, Nagasaki Prefecture.

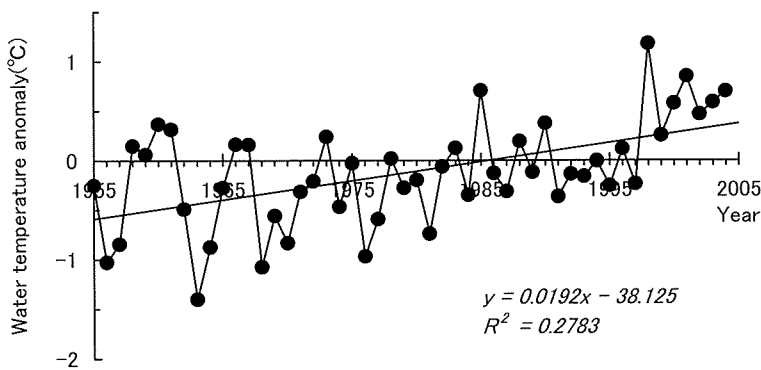


Fig.45 Deviation of average yearly temperature to average 30 years temperature at the coastal water of Meshima, Nagasaki Prefecture.

1998年は22.6℃と1955年以来の最高値を示した。

次に年間平均水温の平年値との偏差を Fig. 45 に示す。1955～1984年の間では、偏差がマイナスの年が多く全体の70%を占め、偏差の幅は-1℃前後であった。一方、プラスの年は偏差の幅も小さく0.5℃以下であった。1985～2004年ではプラスの年が55%と多くなり、偏差の幅はプラスの年では1℃前後に大きくなり、一方、マイナスの年の場合には偏差の幅は-0.5℃以下と小さくなった。回帰直線からみると偏差は1985～1986年間でマイナスからプラスに転じており、この頃から年平均水温は平年値より高くなったと考えられた。特に、過去最高水温であった1998年以降では偏差はプラスの状態が継続している。

次に月別平均水温の推移を Fig. 46 に示す。各月の水温と経年との関係を見ると、4月、7月、8月、9月を除く8ヶ月で正の相関がみられた($p < 0.05$)。

水温上昇が最も顕著であった月は6月で、次いで5月、10月、12月、1月の順に高く、これらの月の1955～2004年の間の水温上昇は1.09～1.25℃であった。このように水温上昇は、春～夏と秋～冬に認められ、冬の高水温化と春以降の水温上昇が早くなる傾向が示唆された。また、定置観測ではないが、長崎水試と福岡県水産海洋技術センターが実施している五島灘、五島西海区、対馬海区(対馬東岸から福岡県沿岸に至る海域)における沿岸および沖合定線の観測結果では、過去37年間(1967～2005年)の水深10mにおける2月の水温は、1～2℃上昇し、1986年以降12～13℃の低水温が観測されなくなっている(高木 2005)。このような近年の高水温化傾向については大分県では豊後水道で1987～1990年間に、佐伯湾奥で1988～1993年間に起こっており(木村 2004,2005)、本県沿岸水温の上昇時期の結果とほぼ一致している。また、

山口県周防灘では過去30年間(1973～2002年)の表層、底層水温でそれぞれ0.71℃、0.69℃(和西 2004)、大分県豊後水道の過去36年間(1967～2002年)の表層水温で1.1℃(木村 2004)、大分県佐伯湾奥における過去27年間(1977～2003年)の表層水温で1.1℃(木村 2005)、瀬戸内海中央部における過去37年間(1966～2002年)の水深10m層水温で、1.9℃(山本 2003a)、静岡県相模湾における2月の過去30年間(1968～1999年)の表層水温で1.4℃(三谷 2000)の水温上昇が示されている。このように、近年沿岸域で1～2℃の水温上昇が認められるようになり、高水温化傾向は広範囲に及んでいることが分かる。

内湾域の県内6箇所水温変化：壱岐郷ノ浦町、福江市玉之浦、鹿町町鹿町、小佐々町楠泊、佐世保市相浦、西海町瀬川の真珠養殖場における水深2m層の1982～2004年の年間平均水温の推

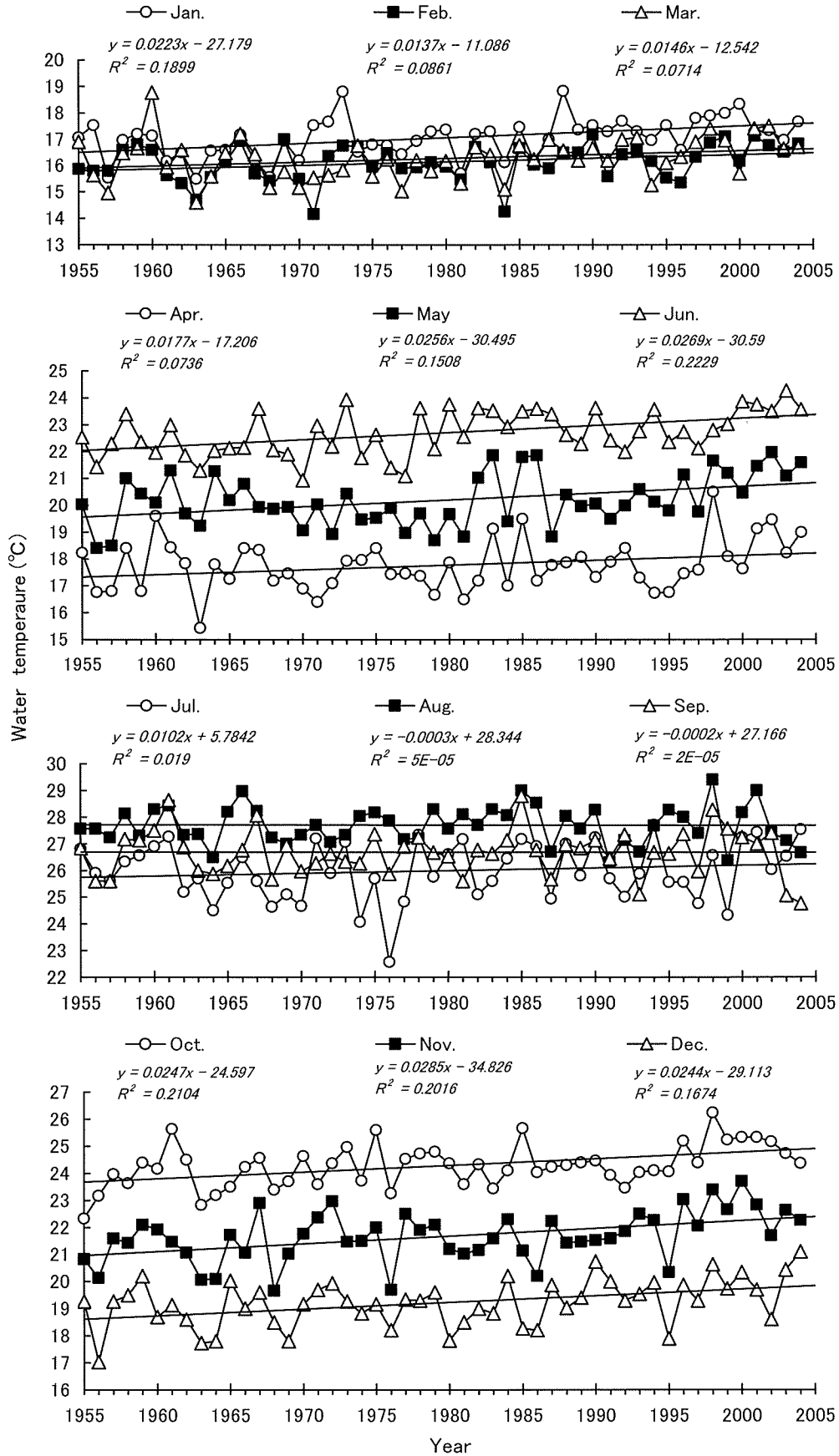


Fig.46 Monthly change of water temperature at the coastal water of Meshima, Nagasaki Prefecture.

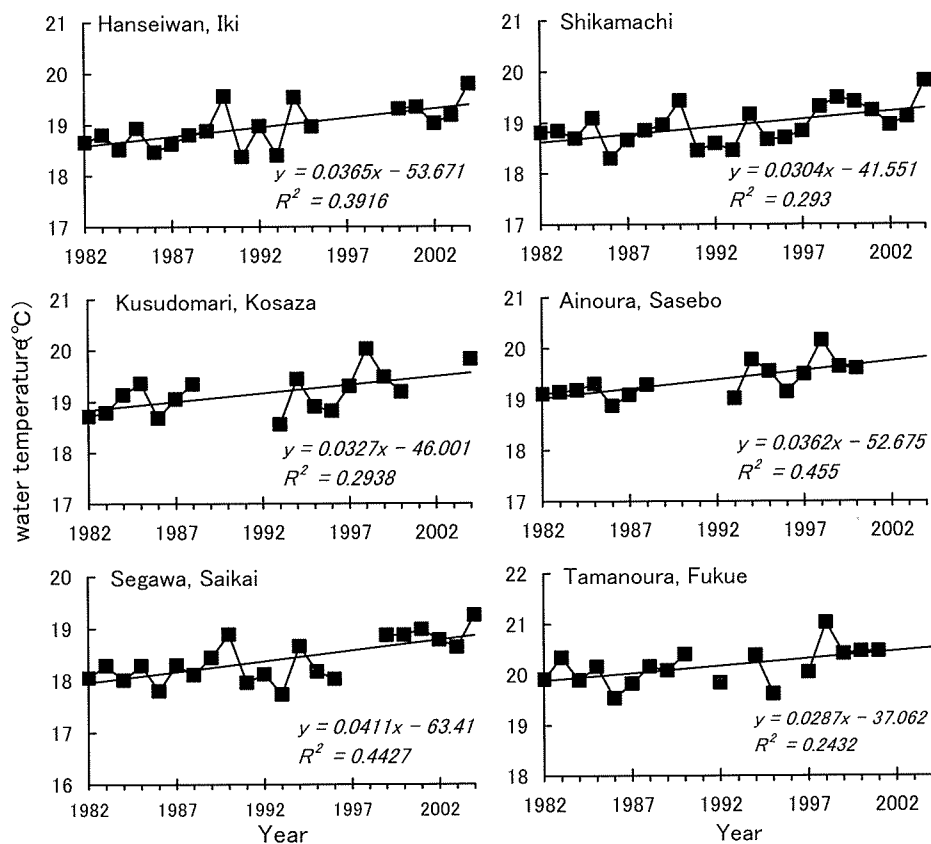


Fig.47 Change of Average yearly water temperature at several sites along the coast of Nagasaki Prefecture.

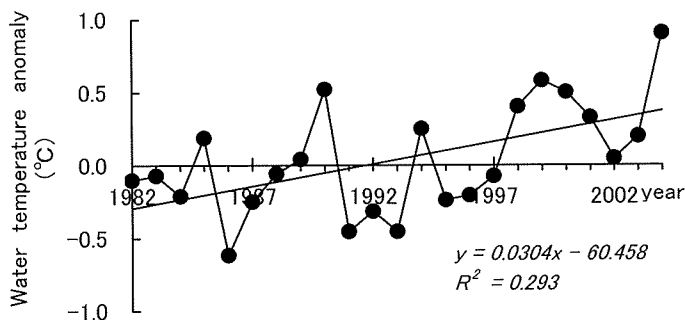


Fig.48 Deviation of average monthly temperature to average 22 years temperature at the coastal water of Shikamachi, Nagasaki Prefecture.

移を Fig.47 に示す。場所によっては欠測のため資料がない年もあるが、年間平均水温は 18 ~ 20℃、変動幅は ± 1.20 ~ 1.52℃であった。しかし、いずれも経年での水温変動には正の相関がみられ ($p < 0.001$)、水温上昇傾向がみられた。それぞれの回帰直線から年間平均水温を計算すると、1982 ~ 2004 年の 23 年間で 0.51 ~ 0.92℃の上昇となった。

前述した女島における 1982 ~ 2004 年の 23 年間の年平均水温をみると、経年での水温変動は正の相関がみられ ($p < 0.001$)、同様に水温上昇傾向を示していると共に回帰直線からこの 23 年間の上昇値は 0.75℃であった。このことから、内湾域と外洋域の水温はこの 20 年余りの間に共に年平均水温で 0.5 ~ 0.9℃上昇していることが示唆された。

次に内湾域における年間平均水温の平年値との偏差および月別の平均水温の推移をみるため、水温資料が整っていた鹿町について調べた(Fig.48, 49)。年間平均水温の平年値との偏差をみると、回帰直線から偏差は 1992 年にマイナスからプラスに転じており、1999 年、2004 年では過去最高水温を更新し、2004 年、1999 年、1991 年の順に高かった。先述した女島の 1982 ~ 2004 年の間の各年の平均水温では、1998 年、2001 年、1985 年の順に高く、鹿町の観測結果と異なったが、1998 年以降の偏差についてプラスの状

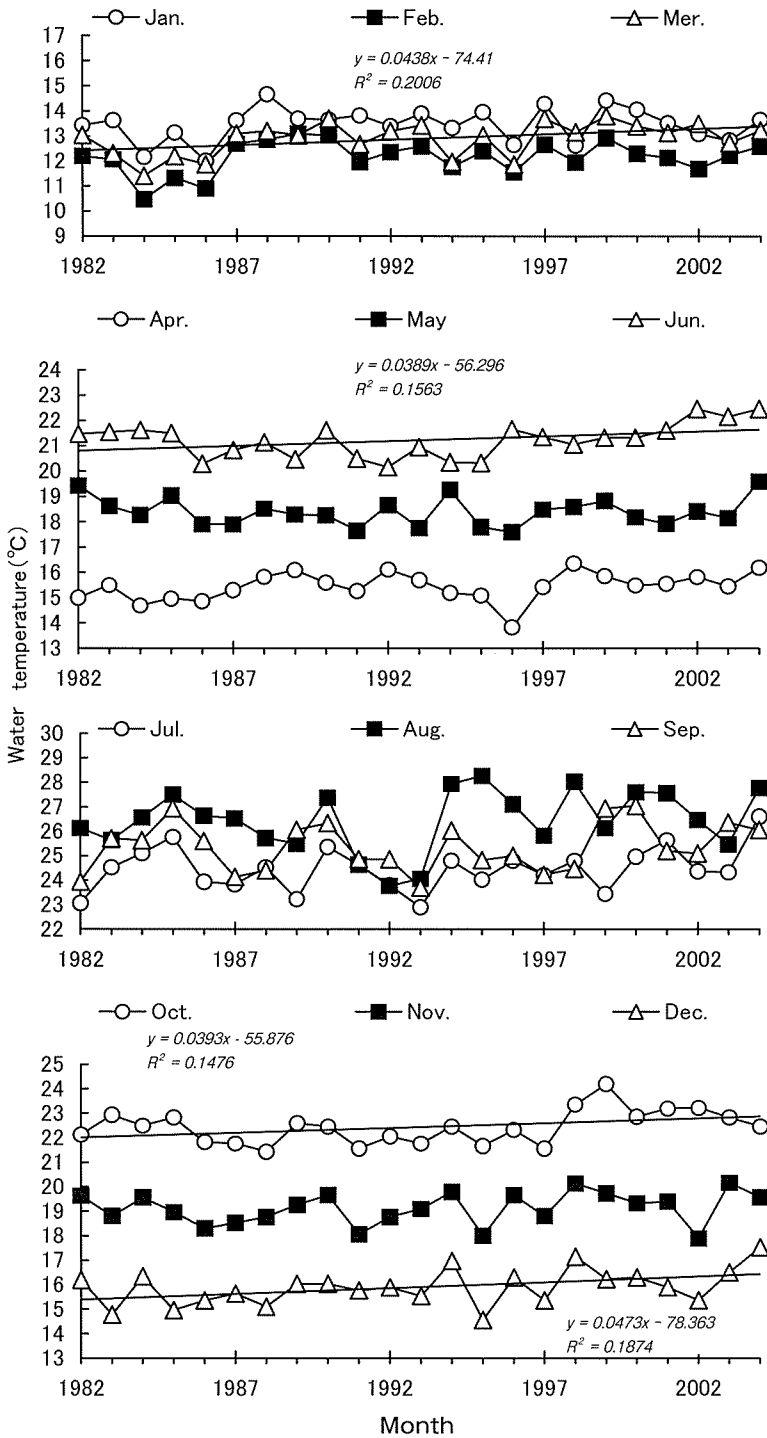


Fig.49 Monthly change of water temperature at the coastal water of Shikamachi, Nagasaki Prefecture.

態が継続し、水温が高目に推移している点では一致した。また、月別の水温変動と経年との関係を見ると、3月、6月、10月、12月に正相関がみられた($p < 0.05$, 10月のみ $p < 0.1$)。水温上昇が最も顕著であったのは12月で、次いで3月、10月、6月の順に高く、0.86～1.04℃の上昇であった。このように鹿町における月別の水温変化は春～夏と秋～冬に

上昇傾向がみられ、これは女島の水温変化の傾向と同様の結果であった。

長崎県対馬巖原と熊本県牛深の水温比較：巖原と牛深の月別平均水温について、10年毎の平均を求め、観測資料のある1960～1969年(I期)、1970～1979年(II期)、1980～1989年(III期)、1990～1995年(IV期)の4期に分けて比較した(Fig. 50)。各I～IV期の月別平均水温は巖原では、8月に25.3～26.5℃と最も高く、2月に12.8～13.7℃と最も低くなった。月別変化では、1～3月、8月、12月に期による違いがみられた。8月を除くと1990～1995年(IV期)が1～3月、12月とも最も高かった。牛深では8月に25.9～26.6℃と最も高く、2月に14.0～15.3℃と最も低かった。これは巖原と比べて、最高水温に差はないが、最低水温では2℃程度高かった。このように月別変化をみると、両地区とも1～4月に期による違いが大きく、1990～1995年(IV期)が最も高く、共通して1～3月の水温が1990年以降上昇していた。

次に年間最低水温を示す2月(1957～1995年)の巖原と牛深の水温変化を Fig.51 示す。巖原では1957～1960年には14～15℃であったが、1961年から1987年までは

12～13℃台で推移しており、11℃前後の年もみられた。1987年以降では1991年を除けば、14℃台に上昇しており、15℃を越える過去最高値もみられた。牛深では、1957～1987年までは約14～15℃台で推移しており、最低で約14℃、最高では16℃台であった。1987年以降では約16～17℃台と上昇した。このように、巖原においては1987年以降の2

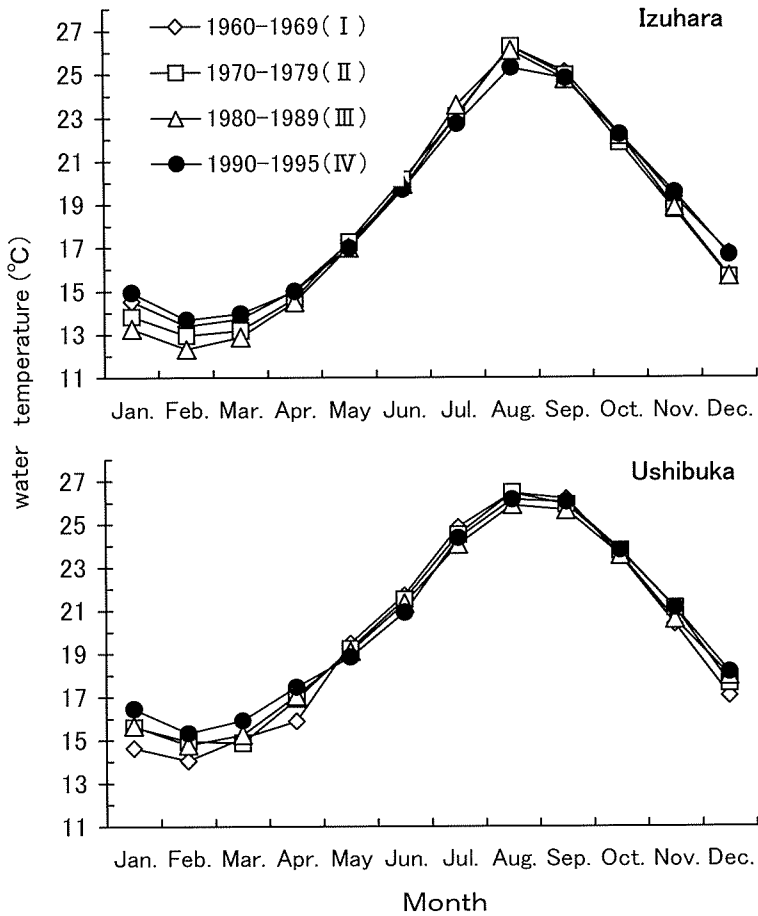


Fig.50 Monthly change of water temperature from 1987 to 1995 at the coastal water of Ushibuka, Kumamoto Prefecture and Izuhara, Nagasaki Prefecture.

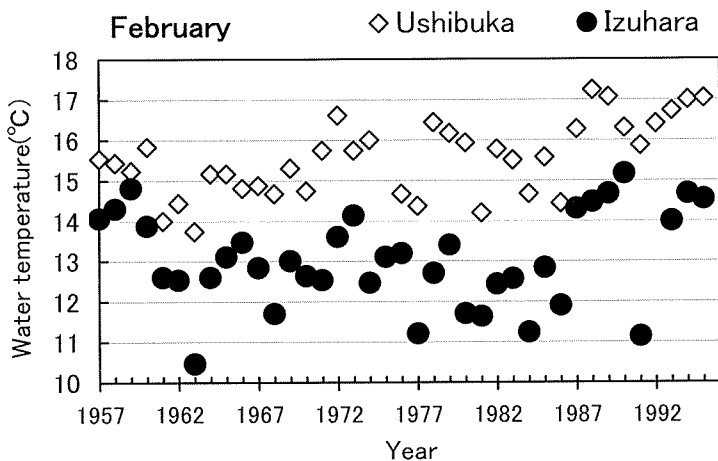


Fig.51 Change of water temperature on February from 1987 to 1995 at the coastal water of Ushibuka, Kumamoto Prefecture and Izuhara, Nagasaki Prefecture.

月の水温は1957～1987年頃の牛深の水温と同等になっていた。

総合考察

長崎県では1998年以降、県内各地でアサメ類、ヒジキ、養殖ワカメなどの大型褐藻類にこれまでみられなかった藻食性魚類の摂食による衰退現象が相次いで発生したが、魚類の摂食被害については、これまで藻場造成における主な阻害要因として沖縄県(渡辺・山城1979)、鹿児島県(山口ら1973)、和歌山県(清水1983)などの黒潮の影響域に限られていた。また、海外でも温帯域において大型褐藻類を摂食する魚種はオーストラリアやニュージーランドの*Otax*属(Andrew and Jones 1990; Choat and Clements 1992)など数種に限られ、魚類の摂食による藻場の衰退は一般的な現象とはされていない。しかし、近年ではアサメ類などの天然藻場や造成藻場においても魚類の摂食によって衰退する事例が宮崎県(坂本・松本1995; 清水ら1999)、大分県(尾上ら2002)、静岡県(中山・新井1999; 増田ら2000; 長谷川ら2003)など南西日本の各地から報告されるようになってきた。長崎県の近隣海域である熊本県では詳細な藻場調査が行われていないが、1998年の聞き取りではワカメの減少、アントクメではここ2～3年で激減、クロメ、ヒジキでは生育不良が報告されており(安藤ら1999)、魚類の摂食被害との関連が疑われる。九州北部の佐賀県や福岡県沿岸ではアサメ類の藻場が維持されており、現在のところ磯焼けの発生はないとされる。原因魚種については、これまでダイバーによる出現した魚種や摂食状況の目視による確認や漁獲調査などによる推察が主

であり、魚類の摂食被害を認識することは容易ではなかった。本研究により藻食性魚類の摂食痕の特徴から原因種を特定することが可能となり、直接魚が海藻を摂食している状況を観察しなくても魚類による摂食被害の把握や原因種の解明が容易となった。その結果、西日本の各地ではアイゴとブダイの2種が原因種として認められている。長崎県ではこの他にも海藻に残された摂食痕からノトリスズミの摂食被害が大きいことを明らかにした。ノトリスズミは潜水調査では目撃する機会が少ないが、本州中部以南に分布することから(中坊 2000b)、藻場に対する摂食被害は各地でも発生している可能性が高いと考えられ、ノトリスズミの摂食被害の発生状況についても今後注意していく必要がある。

魚類の摂食被害の拡大については、近年の水温上昇により活動が活発化し摂食圧が増加したことが推察される。藻食性魚類の摂食と水温の関係についてみると、アイゴでは水槽内で水温が20℃以下になると摂食量が減少し、17.5℃で摂食しなくなる(木村 1994)。長崎県野母崎地先において、ブダイではビデオ撮影によると17～18℃で摂食活動が活発であるが、15℃ではほとんど摂食しなくなり(吉村・清本 2003)、ノトリスズミでは発信機を付けた行動追跡調査によると17～16℃を下回ると活動が鈍り、15℃を下回ると受信回数が著しく減少する(山口ら未発表¹⁾)。伊豆半島先端域では、カジメに観察される摂食痕は水温が20℃を下回る10月以降にはアイゴでは減少し、ブダイでは増加する(中山・新井 1999)。静岡県浜岡町地先では、カジメに観察される摂食痕は、アイゴでは2月～5月には認められず、ブダイでは12月～1月に認められる(増田ら 2000)。このようにこれら3種の魚類の摂食活動は秋～冬の水温の低下に伴って鈍り、ほとんど摂食しなくなる水温はアイゴでは18℃以下、ブダイとノトリスズミでは15℃以下と推察される。近年、沿岸域の水温は、山口県(和西 2004)、大分県(木村 2004,2005)、

静岡県(三谷 2000)など各地でも上昇傾向が報告されており、秋～冬に1～2℃の上昇がみられる。長崎県でも同様に近年水温上昇が認められ、大型褐藻類の衰退現象が相次いで観察された1998年の水温は過去最高値を示し、その後も高い状態が続いている。アイゴは近年冬でも釣られるようになってきているとの情報もある(朝日新聞 2002.5.30)。これらのことから、近年の秋～冬の高温化が魚類の摂食活動を活発化し、水温低下の遅れは摂食期間の長期化をもたらし、魚類の摂食圧の増加を引き起こしていると考えられる。しかし、魚類の摂食圧の増加を裏付ける漁獲資料など具体的な事実を知る手がかりがないのが実情である。これは、藻食性魚類は漁獲対象になっておらず、資源量や個体数変動に関する漁獲からの知見が得られないためである。また、摂食生態、移動など生態的知見も乏しい。海藻に及ぼす摂食被害の程度や摂食によって海藻群落が衰退していくメカニズム、水温上昇による藻食性魚類の生長、繁殖、冬期の生残率などに及ぼす影響など不明な点が多く残されている。

一方、水温上昇に起因すると考えられる暖海性ホンダワラ類とアントクメの分布域の北上が確認された。暖海性ホンダワラ類の分布の北限域の年間最低の2月の水温をみると、対馬巖原ではかつての暖海性ホンダワラ類の分布域の北限であった熊本県牛深と同値の14～15℃になっており、年間最低水温の上昇が暖海性ホンダワラ類の分布北上に関連していることが示唆される。しかし、暖海性大型褐藻類の分布の北上時期と水温との関係、暖海性大型褐藻類の生育の制限および適水温、多くの大型褐藻類が魚類の摂食によって群落の衰退が進行しているなかで、分布域を拡大しているメカニズムなど不明点が多く残されている。また、暖海性大型褐藻類は1～2 mから20 m以上の水深帯まで分布が確認され、在来種と生育場所を競合する。このため、今後海藻群落の種構成に及ぼす影響など注意して

¹ 山口敦子・井上慶一・古満啓介・小井土隆(長大水)、桐山隆哉(長崎水試)、吉村 拓(西海水研)バイオテレメトリー手法によるアイゴとノトリスズミの行動解析(未発表)。

観察していく必要がある。

在来のホンダワラ類の種類数の減少については、原口ら(2005)は、ホンダワラ類数種の生長に及ぼす水温の影響について述べており、生育適水温の違いで低温型(15～20℃)、高温型(20～25℃)、広温型(10～25℃、または15～25℃)に分類し、水温上昇は低温型の種の衰退をまねき、高温型の種に交代することを推察している。しかし、長崎県で衰退がみられたホンダワラ、ジョロモク、オオバモクについてみると、オオバモクでは調査されていないが、ホンダワラでは高温型に、ジョロモクでは広温型に分類されている。また、低温型に分類されたアカモク、マメタワラ、イソモク、トゲモクについては長崎県では顕著な衰退は観察されていない。一方、アイゴやブダイでは摂食選択性があり、特定種を選択的に摂食する(桐山ら 2005a 清本ら 2000a)。アイゴではホンダワラ、ジョロモク、オオバモクをよく摂食することが知られており(和田 2003²；桐山ら 2001c；長谷川ら 2003)、在来のホンダワラ類の種類数の減少の原因は魚類の摂食選択性にもとづく摂食被害による可能性が考えられる。また、在来のホンダワラ類の構成種の減少については、土佐湾でもみられ、1990年以降の水温上昇に伴い、在来種であるナラサモ、トゲモク、ヒラネジモク *Sargassum okamurae* などが衰退しており、長崎県と同様にカジメ群落も衰退し、フタエモクなどの暖海性種の分布域の拡大が観察されている(平岡ら 2005)。このことから、水温上昇に伴って観察されるアラメ類の衰退、暖海性大型褐藻類の分布拡大、在来種の種類数の減少は、大型褐藻群落にみられる共通した一連の変化過程と考えられる。このため、今後水温上昇が進めば、従来の藻場の構成種が大きく変化する可能性がある。

長崎県沿岸でみられた近年の大型褐藻における衰退現象と構成種の変化は水温の上昇傾向が直接的あるいは間接的となって基本的な原因となっていることは確かであるが、これらの変化に至った経過

等についてはほとんど分かっておらず、暖海性大型褐藻類の分布北上や在来のホンダワラ類の構成種の減少については、変化に気付いた時点では既に経過をたどれないほど時間が過ぎていたというのが実情である。このように調査のタイミングを逸した原因は、水温を含めて年変動はあるが永い目でみれば元の状態に復帰するという安定に対する思い込みにあったと考えられる。もし、変化があり得るという認識をもっていれば1980年代に暖海性大型褐藻類の北上が認められた時点で調査を始め、これまでの経過を把握できていた可能性もある。このような反省に基づいて、今後は環境に変化があり得るという認識の基に状況をみていくことが必要である。この研究から分かるように、水温の上昇傾向が未だ明らかでなかった1980年代に暖海性種は既に北上を始めており、十分な注意を払えば生物をチェックしていくことで変化を早期に把握できると考えられる。海において生物をチェックする際、変化に目を配る研究機関の役割と共に自然と常に向き合っている漁業者の現場の目を生かすことが大切である。この点については、現状は高齢化や漁業経営の悪化から熱意の低下が見られるので漁業者の中に理解者を増やしていく努力が必要である。現在、このような大型褐藻類の衰退や構成種の変化は、南西日本で目立ち始めているが、これら以北の地域では観察されていない。また、海外においても著者の知る限りでは報告はない。しかし、水温上昇が今後も継続すれば同様の大型褐藻群落の変化は温帯域から冷帯域へと拡大する恐れがあり、本研究の反省が今後の調査に活かされることを期待したい。

今回の大型褐藻群落の衰退でアラメ類は藻場の維持に、ヒジキや養殖ワカメは漁家経済に大きい影響を及ぼしているため、藻場造成や増殖あるいは対策等について要望がある。藻場造成については、衰退の直接原因が藻食性魚類の摂食であることを先ず考慮する必要がある。藻食性魚類の個体数

² 和田洋蔵(2003) 京都府におけるホンダワラ養殖試験結果およびアイゴによる食害. 平成14年度水産業特定研究開発促進事業年度末報告会資料(水産庁補助事業).

や摂食生態など摂食圧の程度を把握できていない現状においては安易な実施では成功は難しく、仮に実施する場合には造成対象種はアラメ類ではなくホンダワラ類を、また摂食圧が高い場所ではホンダワラ類の中でも摂食されにくいノコギリモク(桐山ら2001c)や現在の環境下で分布域を拡大している暖海性など環境変化に適応した種を選別して対象にするべきである。ヒジキについては、摂食する原因魚種と考えられるアイゴとノトイズズミを防ぐ以外に方法がない。藻食性魚類による摂食を防ぎながら藻場造成を行った事例として囲い網による海藻の防護がカリフォルニア(North 1974)や鹿児島県垂水(山口ら 1977,1978)などこれまで各地で行われてきた。しかし、囲い網は波浪による破断、着生物による目詰まり、防護範囲が限られるなど実用には課題が残されている。藻場造成やヒジキの増殖がどうしても必要な場所においては、現在摂食によって被害を与えている藻食性魚類を漁業によって漁獲して許容できる水準まで資源量を減らし、その状態を維持するという方法が生態学的にも産業的にも最も正しく、漁獲や利用方法も含めて今後の検討が望まれる。養殖ワカメについては、摂食している主な種類であるクロダイは漁業対象種であり、ワカメ養殖場周辺におけるこの漁業を盛んにすると共にそれでも被害が軽減しない場合は摂食被害が多い時期を避け、養殖時期を遅らせるのも現実的な対策の一つである。

今回、大型褐藻類にみられた変化を中心に述べてきたが、この変化は明らかに小型海藻にも及んでおり、西彼杵半島沿岸の潮間帯下部では小型海藻が激減し、ヒバリガイモドキ *Hormomya mutabilis* の増加が目立つようになってきている。また、オニヒトデ *Acanthaster planci* の生育が福江市で初認され、大村湾や有明海ではスギ *Rachycentron*

canadum が、西彼杵半島沿岸ではツキチョウチョウウオ *Chaetodon wiebeli*, アオチビキ *Aprion virescens*, タカサゴ *Pterocaesio diagramma*, ウメイロ *Paracaesio xanthura* が漁獲されるなど県内各地から南方系魚類の漁獲情報が多数寄せられるようになり、男女群島における潜水調査ではこの32年間でニセタカサゴ *Pterocaesio marri* やサザナミヤッコ *Ponmacanthus semicirculatus* など亜熱帯性魚類の種類数が増加しているとの情報もある(長崎新聞 2006.1.26)。さらに、ヨコワ *Thunnus thynnus* の回遊変化(山本 2003b)や有明海におけるナルトビエイ *Aetobatus flagellum* の食害の発生(Yamaguchi et. al 2005)など漁業への影響も出てきている。全国をみると、福岡県(西田・中園 2005³⁾や山口県(小林・齋藤 2004⁴⁾)における定置網等の漁獲物組成の変化や岩手、静岡、和歌山、山形の各県などでは魚類、巻貝類、カニ類、ウニ類、ヒトデ類などの南方系生物の新たな分布情報が多数あり(朝日新聞 2004.9.12, 2005.10.5)、海洋生物にみられる変化は多方面に及んでいる。また、世界の熱帯域ではサンゴの白化現象が発生し、サンゴ自体が枯死する問題だけでなくそこに生息する生物への影響も懸念されている。このような変化は全て近年の水温上昇傾向が原因となって生起していると考えられる現象である。

世界の海洋の表面水温は、10年以上の規模の変動がみられるが、長期的には上昇傾向にあるとされ、1970年代半ば以降顕著となっている(気象庁 1999)。海洋の水温は場所や時間・季節によって2~30℃程度の間を変化しており、このような水温の変化で生物の働きは10倍程度も変化するとされる(高橋 1997)。水温上昇は一般的に生物の活動を活発化させるが、生物による適水温の違いや生活史の時期によって受ける影響の程度は異なるなど、

³ 西田高志・中園昭信(2005) 北部九州沿岸の地理的分布と魚類層からみた温暖化。水産学会九州支部大会、講演要旨集。

⁴ 小林知吉・齋藤秀郎(2004) 日本海南西海域で得られた海洋生物に関する特記の情報。対馬暖流域における海洋変動と漁業生産-現象の把握と作業仮説を巡って-。西海区水研主催シンポジウム要旨。

生物の受け方は様々である。また、水温上昇による生物の増減は、生態系における種の構成にも変化を及ぼす可能性がある。一方で、水温上昇は間接的であるが、海面の上昇による沿岸域の地形の変化や、沈降物、栄養物質の物資循環の変化などにより生物の生息環境を大きく変える可能性がある(高橋1997)。このような生態系及び環境の変化によって、今後漁業へも大きな影響があらわれる懸念がある。このため、海藻だけではなく海洋生物全体の問題として、水温上昇が生態系及び環境に及ぼす影響について明らかにしていく必要があり、早急な取り組みが実施されることを期待する。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、当初から終始ご指導およびご校閲を頂いた長崎大学水産学部教授藤田雄二博士、およびご校閲を頂いた同大学水産学部中田英昭教授、同北村等教授に深謝する。また、研究に関する調査、実験、取りまとめに対し全般にわたるご指導を頂いた前長崎県総合水産試験場長四井敏雄博士に心より厚くお礼申し上げます。海藻の同定、調査の実施、取りまとめについて、ご指導、ご協力を頂いた北海道大学名誉教授吉田忠生博士、海藻の分布に関する情報および海藻標本を頂いた長崎大学水産学部桑野可知助教授、同大学環境科学部飯間雅文助教授、西海区水産研究所吉村拓室長、同清本節夫研究員、有限会社崎陽潜水、株式会社ベントス、長崎県水産開発協会の職員の皆様、壱岐郷ノ浦町アワビ種苗センター末永丈右所長、同山中洋紀氏、上五島水産業普及指導センター久保久美子技師、県北水産業普及指導センター(現水産部水産振興課)鈴木正昭技師、長崎県総合水産試験場渡辺庄一専門研究員、ヨコエビ類の種の同定を頂いた筑波大学下田臨海実験センター青木優和助教授に心から感謝の意を表す。調査を進めるにあたり労を惜しまずご協力を頂いた県内の関係漁業協同組合、市町、および県内の水産業普及指導センターの職員の皆様、実験魚の収集にご協力頂いた野母崎三和漁業協同組合組合員柴原正彦氏に心から厚くお礼申し上げます。

本研究の機会を与えて頂くと共に終始ご指導を下さった長崎県総合水産試験小坂安廣場長、同種苗量産技術開発センター池田義弘所長、同介藻類科藤井明彦科長、研究を進めるにあたりご協力を頂いた同介藻類科大橋智志研究員、岩永俊介研究員、および松田正彦研究員に心からお礼申し上げます。

参考文献

- 安藤典幸・石田宏一・板崎 清・吉田好一郎・南部豊揮(1999) 藻類増殖試験Ⅲ. 熊水研センター事報, 75-76.
- Andrew, N.L. and G.P. Jones (1990) Patch formation by herbivorous fish in a temperate Australian kelp forest. *Oecologia*, **85**, 57-68.
- 荒賀忠一(1984) メジナ科. 日本産魚類大図鑑(解説)(益田一・尼岡邦夫・荒賀忠一・上野輝彌・吉野哲夫編). 東海大学出版会, 東京, pp.161.
- 吾妻行雄(1999) 北海道日本海沿岸における藻場修復. 磯焼けの機構と藻場修復(谷口和也編). 恒星社厚生閣, 東京, pp84-97.
- Choat, J.H. and K.D. Clements (1992) Diet in odacid and aplodactylid fishes from Australian and New Zealand. *Mar. Freshwater Res.*, **43**, 1451-1459.
- Cole, R. G. and R. C. Babcock (1996) Mass Mortality of a Dominant Kelp (Laminariales) at Goat Island, North-eastern New Zealand. *Mar. Freshwater Res.*, **47**, 907-911.
- 富士 昭(1999) 磯焼け研究の現状. 磯焼けの機構と藻場修復(谷口和也編). 恒星社厚生閣, 東京, pp9-24.
- 原口展子・村瀬 昇・水上 譲・野田幹雄・吉田吾郎・寺脇利信(2005) 山口県沿岸のホンダワラ類の生育温度と上限温度. *藻類*, **53**, 7-13.
- 長谷川雅俊・小泉康二・小長谷輝夫・野田幹雄(2003) 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*, **38**, 19-25.

- 平岡雅規・浦 吉徳・原口展子(2005) 土佐湾沿岸における水温上昇と藻場の変化. 海洋と生物, **27**, 485-493.
- 生月町(1987)生月地区漁場台帳作成事業報告書.
- 生月町(2002)平成13年度磯焼け回復支援事業調査業務委託報告書.
- Irie H.(1955) Tube-building Amphipods occurring at the "wakame" grounds of Simabara, Nagasaki Prefecture, Bull. Fish. Nagasaki Univ., **4**, 1-6.
- Ivlev V. S. (1965) 魚類の栄養生態学(児玉康雄・吉原友吉訳). たたら書房, 米子, pp.26-76.
- 河尻正博(1975)静岡県沿岸の重要魚類資源の研究 -II. ブダイの年齢と成長. 静岡水試研報, **9**, 17-26.
- 河尻正博(1976)静岡県沿岸の重要魚類資源の研究 -III. 田牛地先のブダイ資源量の推定. 静岡水試研報, **10**, 11-22.
- 河尻正博, 佐々木 正, 影山佳之(1981)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, **15**, 19-30.
- 神田美喜夫・小金丸 隆・那須 司・児玉康則・山田卓郎・安本潤一(1984)ヤツマタモクの藻場造成試験. 宮崎水試事報, 192-197.
- 木村 創(1994)養殖ヒロメにおける魚類の補食. 平成6年度南西海ブロック藻類研究会誌, 43-47.
- 木村聡一郎(2004)1967~2002年における豊後水道域の水温の長期変動. 大分海水研調研報, **5**, 1-10.
- 木村聡一郎(2005)佐伯湾奥における表面水温の長期変動. 大分海水研調研報, **6**, 1-7.
- 桐山隆哉・藤井明彦・吉村 拓・清本節夫・四井敏雄(1999a)長崎県内で1998年秋に発生したアラメ類の葉状部欠損現象. 水産増殖, **47**(3), 319-323.
- 桐山隆哉・光永直樹・安元 進・藤井明彦・四井敏雄(1999b)対馬豆酸浦でみられた食害が疑われるヒジキの生育不良現象. 長崎水試研報, **25**, 27-30.
- 桐山隆哉・永谷 浩・藤井明彦(2000)島原半島沿岸の養殖ワカメに発生した魚類の食害が疑われる葉状部欠損現象. 長崎水試研報, **26**, 17-22.
- 桐山隆哉・野田幹雄・藤井明彦(2001a)藻食性魚類7種によるクロメの摂食と摂食痕. 水産増殖, **49**, 431-438.
- 桐山隆哉・舛田大作・金子仁志・森 洋治・藤井明彦(2001b)藻類増養殖開発研究事業III. 長崎県内でみられたヒジキの生育不良現象と藻食性魚類の食害との関係. 長崎水試事報, **82**-86.
- 桐山隆哉・舛田大作・金子仁志・森 洋治・藤井明彦(2001c)藻類増養殖開発研究事業V. 魚類の食害対策を考慮したホンダワラ類の移植試験. 長崎水試事報, **86**-89.
- 桐山隆哉・藤井明彦・四井敏雄(2002)長崎県内で広く認められたヒジキの生長阻害の原因. 水産増殖, **50**(3), 295-300.
- 桐山隆哉・藤井明彦・藤田雄二(2005a)藻食性魚類によるヒジキの摂食と摂食痕の特徴. 水産増殖, **53**(4), 355-365.
- 桐山隆哉・藤井明彦・藤田雄二(2005b)長崎県沿岸におけるヒジキ生育不良現象を摂食によって誘発している原因魚種. 水産増殖, **53**(4), 419-423.
- 気象庁(1999)異常気象と気候変動の実態(気象庁編). 大蔵省印刷局, pp.5-34.
- Kitayama T. (1998) : Brown Algae from Fukue Island, Nagasaki Pref., Japan. Mem. Natn. Sci. Mus., Tokyo, **31**, 104-105.
- 清本節夫・吉村 拓・新井章吾(2000a) : 長崎県野母崎の潮下帯に生育する大型褐藻5種に対する藻食性魚類の採食選択性. 西水研報, **78**, 67-75.
- 清本節夫・吉村 拓・新井章吾・桐山隆哉・藤井明彦・四井敏雄(2000b)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, 78, 57-65.
- 草加耕司 (1997) ノリ養殖における魚類の食害試験. 平成9年度南西海ブロック藻類研究会誌, 17, 5-8.
- 増田博幸・角田利晴・林 義次・西尾四良・水井悠・堀内俊助・中山恭彦(2000) 藻食性魚類アイゴの食害による造成藻場の衰退. 水産工学, 37, 135-142.
- Migita S. and S. Kambara (1961) A List of The Marine Algae from Hirado Island and Its Vicinity. Bull. Fish. Nagasaki Univ., 10, 174-186.
- 三谷 勇 (2000) 相模湾の温暖化に関する一見解. 神水研研報, 5, 71-75.
- 長崎海洋気象台 (1955 ~ 2004) 女島. 西日本海況旬報, 第 253 ~ 2052 号.
- 長崎海洋気象台 (1957 ~ 1995) 牛深. 西日本海況旬報, 第 325 ~ 1729 号.
- 長崎海洋気象台 (1955 ~ 1995) 厳原. 西日本海況旬報, 第 253 ~ 1729 号.
- 長崎県 (1980) 第7章海生生物. 松浦火力発電所計画に係る伊万里湾海域環境調査総合報告書, VII, 20-24.
- 中坊徹次 (2000a) 日本産魚類検索 全種の同定 第二版. 東海大学出版会, 東京, pp.1315-1316,1628.
- 中坊徹次 (2000b) 日本産魚類検索 全種の同定 第二版. 東海大学出版会, 東京, pp.957-958,1578-1579.
- 中山恭彦・新井章吾 (1999) 南伊豆・中木における藻食性魚類3種によるカジメの採食. 藻類, 47, 105-112.
- 南部豊揮・坂崎 清・吉田好一郎・河辺 博・中村郁也・手島仁夫 (1981) 熊本県沿岸海域の藻場・干潟分布調査. 沿岸海域藻場調査九州西岸海域藻場・干潟分布調査報告. 西海区水産研究所, 175-241.
- 新村 巖・中間健一郎・瀬戸口 勇・九万田一巳・福留巳樹夫・神野芳久・茂利敦雄・田畑陸雄・中村俊郎・松本 幹・佐野悦郎・若松清・瀬戸山公義・加塩 昇・本高義治・松元利夫・井上慶幸・志摩彦之丞・下窪 諭・宮内昭吾・前田和宏・酒井理生・岡田 正・山口厚人・古賀吾一 (1981) 鹿児島県沿岸域の藻場・干潟分布調査. 沿岸海域藻場調査九州西岸海域藻場・干潟分布調査報告. 西海区水産研究所, 243-327.
- 新村 巖・九万田一巳・瀬戸口 満・宮内昭吾・平原 隆・高橋 宏 (1984) 藻場造成推進事業-I. 鹿児島水試事報, 18-42.
- 西川 博・吉田範秋・四井敏雄・楠田研造 (1981) 長崎県本土側沿岸海域の藻場・干潟分布調査. 沿岸海域藻場調査九州西岸海域藻場・干潟分布調査報告. 西海区水産研究所, 113-173.
- 西田芳則 (1999) 海況条件とコンブの豊凶変動. 磯焼けの機構と藻場修復(谷口和也編). 恒星社厚生閣, 東京, pp50-61.
- 野田幹雄・北山和仁・新井章吾 (2002) 響灘蓋井島の秋季と春季における成魚期のアイゴの食性. 水産工学, 39, 5-13.
- North W. J. (1974) Kelp Habitat Improvement Project Annual Report 1973-1974, 72-94.
- 落合 明・田中 克 (1998a) アイゴ. 魚類学(下). 恒星社厚生閣, 東京, pp.780-782.
- 落合 明・田中 克 (1998b) クロダイ. 魚類学(下). 恒星社厚生閣, 東京, pp.725-732.
- 小川七朗・四井敏雄 (1986) アラメ場造成実証試験. 昭和60年度長崎水試事報, 290-291.
- 大野正夫 (2004) 地方特産の食用海藻. 有用海藻誌 (大野正夫編). 内田老鶴圃, 東京, pp.283-296.
- 大瀬戸町 (1981a) 松島火力発電所周辺海域における漁場環境調査(夏期)報告書.
- 大瀬戸町 (1981b) 松島火力発電所周辺海域における漁場環境調査(冬期)報告書.
- 大瀬戸町 (2004) 平成15年度海藻礁実証試験に伴う魚礁及び漁場調査業務報告書.

- 尾上静夫・内海訓弘・三浦慎一・日高悦久・高野英利・壽久文(2002)藻場再生緊急対策事業. 大分水試事報, 173-183.
- 坂本龍一・松本正勝(1995)都農・川南地先のクロメ群落衰退原因調査. 宮崎水試試験報 144, 1-72.
- 瀬川宗吉・沢田武男・檜垣正浩・吉田忠生・香村正徳(1961)流れ藻の海藻学的研究-VI 九州西海域の流れ藻, 九大農学芸雑誌, 18(4), 411-417.
- 瀬川宗吉・吉田忠生(1961)天草臨海実験所近海の生物相 第3集海藻類, 九州大学理学部付属天草臨海実験所, 1-24.
- 關哲夫(1999)東北地方太平洋岸における藻場修復. 磯焼けの機構と藻場修復(谷口和也編). 恒星社厚生閣, 東京, pp98-110.
- 清水昭治(1983)アラメ等藻場造成試試験-V. 和歌山水産増殖試験場報告, 101-109.
- 清水博・渡辺耕平・新井章吾・寺脇利信(1999)日向灘沿岸におけるクロメ場の立地環境条件について. 宮崎水試研報, 7, 29-41.
- 高橋正征(1997)温暖化に追われる生き物たち. 海の生物はどうなる. 堂本暁子・岩槻邦夫編, 築地書館, 東京, pp. 205-223.
- 高木信夫(2005)長崎県沿岸における水温変動について. 漁連だより, 124, pp11-13.
- 谷口和也・長谷川雅俊(1999)磯焼け対策と課題. 磯焼けの機構と藻場修復(谷口和也編). 恒星社厚生閣, 東京, pp25-37.
- 寺脇利信(1996)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, pp3-49.
- 宇久町(1988)宇久地区漁場台帳.
- 宇久町(2001)平成12年度漁場台帳整備調査. 和西昭仁(2004)山口県周防灘海域における最近30年間の水温変動. 山口水研センター研報, 2, 1-6.
- 渡辺利明・山城甚英(1979)藻場調査及び藻場造成. 沖縄水試事報, 71-83.
- 山田徹・平野哲美・野口弘三・力丸喬之(1981)佐賀県玄海沿岸海域の藻場・干潟分布調査. 沿岸海域藻場調査 九州西岸海域藻場・干潟分布調査報告. 西海区水産研究所, 39-76.
- 山口昭宣・藤田征作・野村俊文・高野瀬和治・神野芳久(1977)トコブシ増殖技術研究II藻場造成試験. 鹿児島水試垂水増殖センター試験研究報告書, 3, 101-108.
- 山口昭宣・高野瀬和治・神野芳久・松原中(1978)トコブシ増殖基礎研究-VI II藻場造成試験. 鹿児島水試垂水増殖センター試験研究報告書, 4, 105-110.
- 山口昭宣・椎原久幸・藤田征作・野村俊文・高野瀬和治・神野芳久(1973)海中造林技術開発試験. 鹿児島水試垂水増殖センター研報, 1, 47-55.
- Yamaguchi A., I. Kawamura, and S. Ito (2005) Occurrence, growth and food of longheaded eagle ray, *Aetobatus flagellum*, in Ari Sound, Kyushu, Japan. Environmental Biology of Fish, 74, 229-238.
- 山本昌幸(2003a)瀬戸内海中央部の備讃瀬戸における水温と塩分の長期変動. 水産海洋研究 67, 163-167.
- 山本憲一(2003b)長崎県沿岸における水温および漁獲量の経年変化について. 水産開発, 85, 1-7.
- 山内信・上出貴士・堀木信男・加来靖弘・小川満也・翠川忠康(2000)太平洋中部域のカジメ藻場(和歌山県). 水産業関係特定研究開発促進事業 藻場の変動要因の解明に関する研究総括報告書. 北海道・青森県・京都府・和歌山県, 和歌山 1-27.
- 吉田忠生(1998)こんぶ目, ひばまた目. 新日本海藻誌, 内田老鶴圃, 東京, pp329-416.
- 吉村拓・清本節夫(1999)コンブ目海藻の葉状部消失現象, 各地で発生の模様. 西海区水研ニュース, 96.6.

吉村 拓・清本節夫(2003) 藻場の消長における藻食性魚類の影響. 西海区水研ニュース, 107.14-15.

四井敏雄(1999) 九州沿岸における藻場修復. 磯焼けの機構と藻場修復(谷口和也編). 恒星社厚生閣, 東京, pp111-120.

四井敏雄・前迫信彦(1985) アラメ場造成実証試験. 昭和 59 年度長崎水試事報, 330-331.

四井敏雄・前迫信彦・高屋雅生・松村靖治(1986) 対馬沿岸でみられたヒジキの生育不良現象について. 長崎水試研報, 12, 15-18.

要 約

長崎県沿岸では近年, アラメ類(クロメ, アラメ, カジメ)の葉状部欠損, ヒジキの生育不良, 養殖ワカメの葉状部欠損など大型褐藻類の衰退現象が相次いで発生し, アラメ類では藻場の衰退が顕著となり, ヒジキや養殖ワカメでは生産量が減少し大きな問題となっている。加えてこの調査を進めるなかで暖海性ホンダワラ類やアントクメの分布域の北上, ホンダワラ類在来種の種類数の減少などが観察され, 大型褐藻類に一連の大きな変化が起きていることが分かった。本研究はこれらの現象の実態を把握すると共に原因究明及びその原因を生じる環境要因について考察した。

1. 大型褐藻群落に認められた衰退現象

(1) アラメ類における葉状部欠損現象

1998 年の秋～冬に県内の広範囲でアラメ類の葉状部欠損現象の発生が初めてみられた。本現象は藻体に退色等の生理障害はなく, 弧状等の特徴的な痕跡が多数認められたこと等から, 魚類の摂食によるもので, 藻体に残された痕跡が原因種の特定に利用できると考えられた。そこで, 水槽内で藻食性魚類 7 種にクロメを投与し摂食状況を観察したところ, ブダイ, アイゴ, ノトリスズミの 3 種がよく摂食し, 各異なる弧状等の摂食痕を残すことが分かり, これら摂食痕は天然のアラメ類に残された痕跡と一致したので, 本現象はこれら魚類の摂食が原因であると判断された。

(2) ヒジキにおける生育不良現象

1998 年に県内各地で生育不良が発生し, 摘採はできるが以前より生育がやや悪くなった程度のもから摘採期でも藻体長が数cm以下に止まる極端に短いものまで多様な状態が認められた。長崎県内 20 箇所の生育不良現象のみられる場所で防護籠を被せる実験を行った結果, 全箇所で生育が大きく改善され, この原因が藻食性魚類の摂食であることが分かった。そこで, 水槽内で藻食性魚類 6 種にヒジキを投与し, 摂食状況を観察したところ, アイゴ, ノトリスズミ, ブダイの 3 種がヒジキを良く摂食し, それぞれ異なる摂食痕を残した。この摂食痕の特徴を基に県内 12 箇所の生育不良現象のみられる場所でヒジキを採集し, 藻体に残された痕跡を観察したところ, アイゴ, ノトリスズミの摂食痕と一致し, ヒジキの生育不良現象はこれら魚類による摂食が主な原因であると判断された。

(3) 養殖ワカメにおける葉状部欠損現象

島原半島沿岸の養殖ワカメで 1998 年秋に本現象が初めて確認され, 翌 1999 年漁期から調査を開始した。本現象は養殖初期の幼芽が途中から切れて短くなり, 顕著な場合は消失し生産不能となる。欠損個体には生理障害はみられず, 欠損部分には直線的又は凹凸の痕があり, 一部の漁場では弧状の痕跡がみられた。このため, 藻食動物の被害によるものと考えられ欠損現象が発生した養殖縄に防護網を被せたところ生長が改善された。そこで, 魚類が原因種と考えられ, 目撃証言等からクロダイとアイゴが最も疑われたので, 水槽内でこれら 2 種にワカメを投与し, 摂食痕の特徴を調べた結果, これら 2 種の摂食痕と養殖ワカメに観察された痕跡が一致し, 本現象はクロダイを主としアイゴが加わった摂食が原因であると判断された。

2. 大型褐藻群落にみられた分布と種組成の変化

(1) 暖海性ホンダワラ類の分布北上

長崎県内で確認された暖海性ホンダワラ類はキレバモク, マジリモク, フタエモク, ウスバモクの 4 種と不明種数種で, これらの分布は, 本県南端の野母崎町, 五島福江市から対馬厳原町に至る県内全域に広

くみられた。暖海性ホンダワラ類の九州西岸域における分布域の北限は、1960年頃の五島福江市、野母崎町、熊本県牛深市を結ぶラインから、対馬巖原町まで北上していることが分かった。

(2) アントクメの分布北上

本種の分布は、本県南端の野母崎町、五島福江市から西彼杵半島沿岸、平戸市度島沿岸までの県内各地に広くみられた。九州西岸域における分布域の北限は、1940～1960年頃では、福江市及び熊本県天草周辺域であったが、平戸市度島まで北上していることが分かった。

(3) ホンダワラ類在来種の種組成の変化

県内各地で行われた藻場調査の資料を基に海藻種の変化を調べた。資料が整っていた大瀬戸町、宇久町、生月町沿岸の3地区における1980年代と2000年以降の比較では、出現種類数は8～13種から4～7種に減少し、3地区で共通してホンダワラ、オオバモク、ジョロモクが消失していた。このようなホンダワラ類の種類数の減少傾向は県内各地でもみられ、在来のホンダワラ類群落の種組成の単純化傾向が起きていることが分かった。

(4) 沿岸海水温にみられた近年の変化

20年以上の長期連続観測資料のある外洋域の女島(1955～2004)と内湾域5箇所(真珠養殖漁場(1982～2004))の水温変化を調べた。年間平均水温は外洋域ではこの50年間で0.9℃、内湾域では23年間で0.5～0.9℃上昇し、月別平均水温では、共に春～夏と秋～冬に上昇傾向がみられた。

暖海性ホンダワラ類の分布域の北限周辺の水温について、1960年頃の熊本県牛深と近年の対馬巖原の年間最低水温(2月の水温)(1957～1995)を比べると、巖原では1960年頃は12～13℃で牛深より2℃前後低くかったが、1990年頃からは14～15℃に上昇し、1960年頃の牛深と同等の水温になっていることが分かった。