

長崎県松島周辺の海藻植生に及ぼすガンガゼ類の食圧の影響について

道津光生・太田雅隆・益原寛文

Grazing Effects of *Diadema* spp. on Algal Vegetation in the Sea around Matsushima Island, Nagasaki Pref., western Kyushu

Kosei Dotsu¹, Masataka Ohta² and Hirofumi Masuhara³

要約：実験に先立って実施した潜水観察による生物分布調査の結果より、長崎県松島周辺における「磯焼け」の主な原因を、海域にきわめて多数生息する大型ウニ類のガンガゼ類 *Diadema* spp. の食害と考え、同海域の海藻植生に及ぼすガンガゼの影響に関する野外実験を実施した。海域の小湾内の砂質底（水深約3m）に、ポリエチレン製のネット（目合い1cm）を用いて、2×2×0.5mの実験区（A, B, C, D）を設定した。A, B区にはホンダワラ類の着生していない転石を、C, D区にはホンダワラ類の着生している転石を敷き詰め、A, C区には生物分布調査で得られた磯焼け域における分布密度（5個体/m²）を参考に、殻径約50～90mmのガンガゼをそれぞれ20個体ずつ収容し、各実験区におけるガンガゼの状況、海藻植生の変化を1990年4月から1991年3月にかけて1カ月毎に追跡調査した。また、1990年4月および9月には、実験区の近傍に、同じ材質の1×1×0.5mのガンガゼ摂餌量測定用の籠6個を設置し、各種海藻に対する摂餌量を測定した。その結果、ガンガゼは餌としての海藻類がなくなると、実験区内より逸出する傾向を示したが、ガンガゼの活動力は環境水温との関わり合いをもち、水温が下がると逸出する個体が減少した。また、ガンガゼの摂餌量も水温に大きく影響をうけた。実験区内の海藻植生はガンガゼの有無に影響をうけ、特に、その影響は下草類や大型海藻の幼体期に大きく現れた。

キーワード：ガンガゼ類, 磯焼け, 植生, ホンダワラ類, 水温

Abstract: From the preliminary field observations, we made the hypothesis that the main factor of the "Isoyake" on the coast of Matsushima Island, Nagasaki Pref. was overgrazing of dominant sea urchin *Diadema* spp., and on the hypothesis, we conducted the field experiments on the effects of *Diadema* to the vegetation of the area. On the sandy flat bottom (3 m in water depth) in a small cove, we set 4 experimental cages 2×2×0.5m (A, B, C and D), made up of polyethylene nets (1 cm meshes). Naked boulders were set on cage A and B, and boulders with plants of *Sargassum* spp. were set on C and D. Simultaneously 20 individuals of *Diadema* (50~90 mm in test diameter) were released both into cage A and C. Then, the conditions of *Diadema* and the seasonal changes in vegetation were observed monthly from Apr. 1990 to Mar. 1991. Also, feeding rates of *Diadema* to several algae were examined at Apr. 1990 and Sept. 1990. *Diadema* tended to escape from the cage according to the reduction of algae, but the numbers of escaped individuals decreased with the decreasing of water temperature. Feeding activities of *Diadema* were also affected by water temperature. Vegetation in the experimental cages were affected by the existence of *Diadema*, and the effects were notable especially in the case of the small algae and at the stage of sprout of large algae.

Key words: *Diadema* spp., Isoyake, Vegetation, *Sargassum* spp., Temperature

(2001年7月2日受付, 2001年10月18日受理)

*1 財団法人 海洋生物環境研究所 実証試験場 (〒945-0322 新潟県柏崎市荒浜4-7-17)

E-mail: dotsu@kisnet.or.jp

*2 財団法人 海洋生物環境研究所 中央研究所 (〒299-5105 千葉県夷隅郡御宿町岩和田300)

*3 株式会社 東京久栄 福岡営業所 (〒810-0042 福岡市中央区赤坂1-6-15)

まえがき

長崎県、熊本県等の九州西岸浅海域の比較的透明度が高く、穏やかな場所で潜水を行うと、大型海藻が全くみられず、きわめて高密度でガンガゼが分布する「磯焼け」的な景観にしばしば遭遇する。磯焼けの原因については底生動物や魚類による食害、各種栄養塩の不足、無節サンゴ藻類の繁茂等が報告されているが、海域毎にその原因は異なっている。本邦南方海域の磯焼けの原因については、ムラサキウニの食害（四井ら，1993）等とともに、近年アイゴ等の藻食魚類による食害（桐山ら，1999；中山ら，1999；清水ら，1999）が重要な要因となっていることが明らかにされつつある。ガンガゼ類と海藻との関係については、その摂餌圧が、海藻群落の構造に大きな影響を及ぼすことが古くから知られているが（Dart, 1972, Sammarco *et al.*, 1974；Banayahu and Loya, 1977；Carpenter, 1981；Hay and Taylor, 1985；Kamura and Choonhabandit, 1986 等），我が国においては、ガンガゼ類の海藻植生に及ぼす影響についての知見はほとんど報告されていない。

著者らは、長崎県松島海域にみられる磯焼けの主な原因をこの海域にきわめて多数生息する大型ウニ類のガンガゼ類の食害と仮定し、同海域の海藻植生に及ぼすガンガゼ類の影響に関して野外実験を実施した。ガンガゼは南方海域に多くみられる大型のウニで、棘がきわめて長く、活発な移動力を有するという特徴をもっている。邦産ガンガゼ属は、肛門の色、間歩帯の青い線等によって、ガンガゼ *Diadema setosum* と、アオスジガンガゼ *D. savignyi* の2種に分けられているが（重井，1974），両者は混在して生息することが知られており、当海域では、形態的に両者の中間型も多くみられた。本研究では、生体の目視によっては全ての個体を識別することが困難であったため、生物分布調査では両者を区別せず、ガンガゼ類 *Diadema* spp. として計数し、野外実験では殻径50～90mm程度の形態的に完全なガンガゼタイプのものを用いた。なお、本報告は、資源エネルギー庁委託事業、取放水海域環境最適システム確立調査において実施した課題の一部をとりまとめたものである。

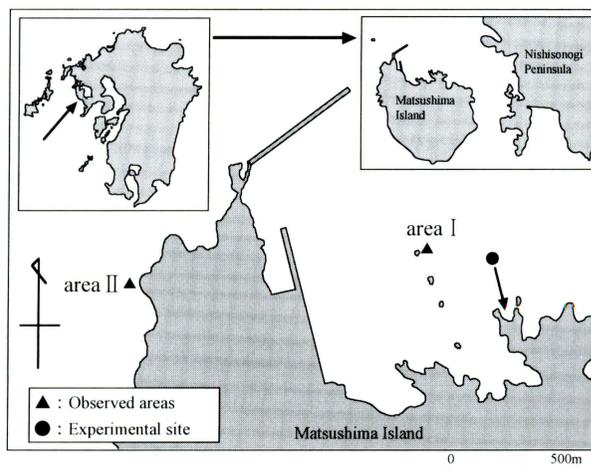


Fig.1 Location of studied area showing observation areas and experimental site.

調査海域

調査は長崎県西彼杵半島西岸の松島沿岸において実施した（Fig. 1）。図の西側の海域は五島灘に面し、開放的な海域，東側は西彼杵半島と松島にはさまれた比較的静穏な海域となっている。野外実験の事前調査として、実験区へのガンガゼの収容密度の設定のために、防波堤を挟んで港内側のエリア I と港外側のエリア II おいてガンガゼ類等の底生生物の分布調査（生物分布調査）を実施し、この結果を基にエリア I の南西側の小湾内において海藻類に及ぼすガンガゼ類の影響に関する野外実験を実施した。

方 法

1. 生物分布調査

後述の植生追跡実験の実施場所を選定するために、1988年7月にFig. 1の範囲内の様々な場所において、潜水による概略的な生物分布の観察を実施した。さらに同年9月に同図の港内側（エリア I：水深0.5～4.3m）と港外側（エリア II：水深0.2～4.0m）の岩礁地帯に、水中セメントによる目印に従い、それぞれ5×10mの観察範囲を設定し、1988年9月，12月，1989年4月および7月の4回，その範囲内の詳細な観察を行った。それぞれの観察範囲内を一辺1mの方形枠を用いて区分し、各方形枠内の地形および出現した動植物の個体数または被度を測定した。なお、本報告における水深は

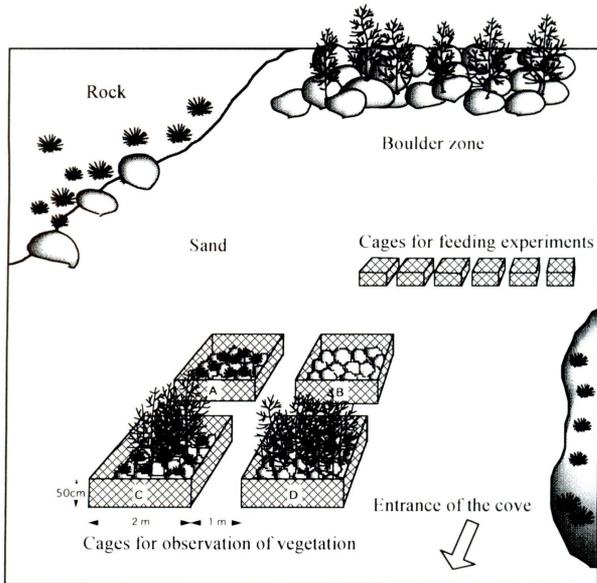


Fig.2 Schematic diagram of the field experimental site.

全て基準水面からの深さであり、平均水面は基準水面の1.73m上方にあった。

2. 植生追跡実験

1) 実験区の設定

Fig.2に植生追跡実験を実施した実験区を模式的に示した。図の上側が湾奥部で、水深が浅く、直径30~50cmの転石帯の上にホンダワラ群落が形成されていた。湾の両側面は岩礁となっており、大型海藻はほとんどみられず、ガンガゼ類が多数生息していた。湾の中央部は砂地となっていた。1990年4月に、この小湾内の水深約3mの砂質底に目合い1cmのポリエチレン製のネットを用いて、2×2×0.5mの実験区を4区（A, B, C, D）設定した。A, B区にはホンダワラ類の着生していない転石を、C, D区にはホンダワラ類の着生している転石を湾奥転石帯より移送して敷き詰め、A, C区には、エリアIの密度（後述）を参考にガンガゼ（殻径50~90mm, 生体湿重量50~200g）をそれぞれ20個体ずつ収容した（Table 1）。

さらに、A, C区は他の食害動物の侵入とガンガゼの逸出を防ぐため、B, D区はガンガゼおよび他の食害動物の侵入を防ぐために、上記と同様のポリエチレンネットを用いて、約50cmの高さで壁面のかさあげを行った（Fig. 3）。

2) 観察

各実験区におけるガンガゼの状況と海藻植生の

Table 1 Disposition of experimental cages for observation of vegetation.

Cage name	<i>Sargassum</i> spp.	<i>Diadema</i> sp.
A	-	○
B	-	-
C	○	○
D	○	-

* ○ : introduced, - : none

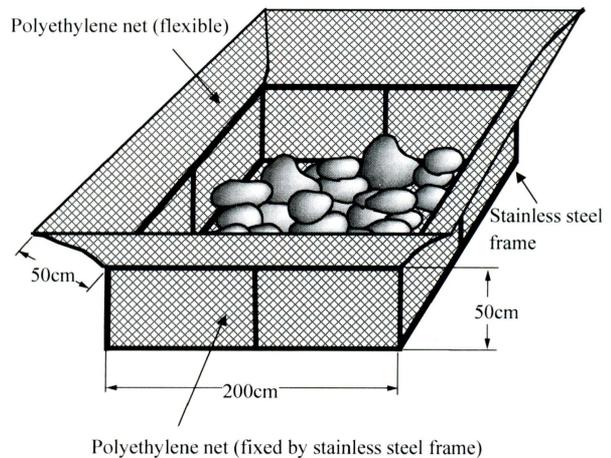


Fig.3 Schematic diagram of the experimental cage for observation of vegetation.

変化を1990年4月（実験区敷設直後）から1991年3月にかけて1カ月毎に追跡した。なお、各実験区は光量が不足しないように上方を開放していたため、ガンガゼを収容したA, C区では逸出する個体がみられたことから、各観察終了後、逸出した個体数を補充した。各月の調査時には水温の測定を実施した。

3. 摂餌実験

1990年4月および9月の2回、実験区の近傍に、目合い1cmのポリエチレン製ネットを用いた1×1×0.5mの摂餌量測定用の籠6個を設置し（Fig. 2）、それぞれの籠内に5~6個体のガンガゼとともに予め用意した6種類の海藻を1籠あたり1種ずつ投入し、籠と同様のポリエチレン製ネットを蓋をした。そして2~3日後に海藻を取り上げ、各種海藻に対する摂餌量を以下のとおり算定した。

$$\text{日間摂餌量 (mg/g} \cdot \text{day)} = \frac{\text{投入時の海藻湿重量 (mg)} - \text{回収時の海藻湿重量 (mg)}}{\text{ガンガゼの総湿重量 (g)} \cdot \text{測定期間 (day)}}$$

Table 2 Herbivores and algae observed at area I and II in April, 1989.

	Species	(No. of ind.)	observed area	
			I	II
Herbivores	<i>Tectus pyramis</i>	(No. of ind.)	72	3
	<i>Batillus cornutus</i>	(No. of ind.)	-	4
	<i>Haliotis</i> sp.	(No. of ind.)	-	1
	<i>Diadema</i> spp.	(No. of ind.)	277	4
	<i>Toxopneustes pileolus</i>	(No. of ind.)	3	-
	<i>Echinostrephus aciculatus</i>	(No. of ind.)	17	94
	<i>Anthocidaris crassispina</i>	(No. of ind.)	8	691
	<i>Echinometra</i> sp.	(No. of ind.)	27	6
Algae	<i>Sargassum horneri</i>	(cover)	-	13.7%
		(No. of ind.)	-	507
	<i>Undaria pinnatifida</i>	(cover)	-	4.5%
		(No. of ind.)	-	200
	<i>Eckloniopsis radicata</i>	(cover)	-	0.4%
		(No. of ind.)	-	30

*- : not clear

結 果

1. 生物分布調査

1) 調査海域の生物相

1988年7月の予備的な潜水踏査の結果、コンブ科海藻では、防波堤基底部等にアントクメ *Eckloniopsis radicata* が僅かにみられ、港外側等でワカメ *Undaria pinnatifida* が僅かにみられるのみであった。ホンダワラ類については、港外側の所々に単年性のアカモク *Sargassum horneri* がみられた以外はほとんど観察されず、我々が踏査した範囲においては、後に野外実験を実施した小湾内の湾奥部の転石帯にのみ多年生の群落の形成がみられた。また、港内側ではミドリイシ類をはじめとする造礁サンゴの群落が形成され、大型海藻は全くみられないことが特徴的であった。

1989年4月における港内側のエリア I と港外側のエリア II に出現した藻食動物および海藻類の一覧を Table 2 に示した。

藻食動物は、エリア I ではギンタカハマガイ *Tectus pyramis*、ガンガゼ類、ラッパウニ *Toxopneustes pileolus*、タワシウニ *Echinostrephus aciculatus*、ムラサキウニ *Anthocidaris crassispina*、およびナガウニ *Echinometra* sp. の6種、エリア II では上記のうちラッパウニを除く5種およびサザエ *Batillus cornutus*、アワビ類 *Haliotis* sp. (岩の裂け目に潜り込み種の確認できず) の計7種が確認された。エリア I ではガンガゼ類が277個体ときわめて多くみられたが、エリア II では4個体が出現したのみであった。一方、エリア II にはタワシウニとムラサキウニが岩盤に穿孔した状態できわめて多数生息しており、特にムラサキウニは691個体が確認された。

大型海藻はエリア I では全く認められなかったが、エリア II では、アカモク、ワカメおよびアントクメの3種が確認された。特に、単年生のホンダワラ属のアカモクは507個体が観察され、エリア内の観察に支障をきたすほど濃密に繁茂していた(被度は仮根部の被度を測定したため13.7%となっているが、投影被度は100%であった)。

2) ガンガゼ類の生息密度

1988年9月から1989年7月にかけて実施した4回の観察時におけるエリア I、II 内のガンガゼ類の生息密度を Table 3 に示した。ガンガゼ類の密度は港外側のエリア II では0.1個体/m²以下と少なく、港内側のエリア I では約5個体/m²と極めて多く出現した。これらの観察結果から、ガンガゼ類は松島海域のように海水の汚染が進行していない南方海域で、比較的波浪環境の穏やかな場所に多数生息する傾向があると推測された。今回は、この港内側エリア I の密度を目安として実験を実施した。

Table 3 Densities of *Diadema* spp. at area I and area II (ind./m²).

	observed area	
	I	II
Sept. 1988	3.08	0.04
Dec. 1988	4.60	0.04
Apr. 1989	5.54	0.08
Jul. 1989	5.10	0.08

2. 植生追跡実験

1) 水温の季節変化

各月の観察時に測定した小湾内の底上50cmにおける水温の変化を Fig. 4 に示した。海域の水温は、約14℃から27℃の範囲で推移し、9月に最も高く、3月に最も低かった。

2) 各月の調査時におけるガンガゼの残存個体数

各月の調査時におけるガンガゼの残存個体数を Table 4 に示した。方法で示したとおり、実験区からのガンガゼの逸出を防ぐことは出来なかったが、その逸出や侵入の状況の解析から、興味深い結果が得られた。

ホンダワラ類が存在せず、ガンガゼを收容した A 区では、5月の段階では、1個体が逸出したのみであったが、翌月からは逸出する個体が激増し、

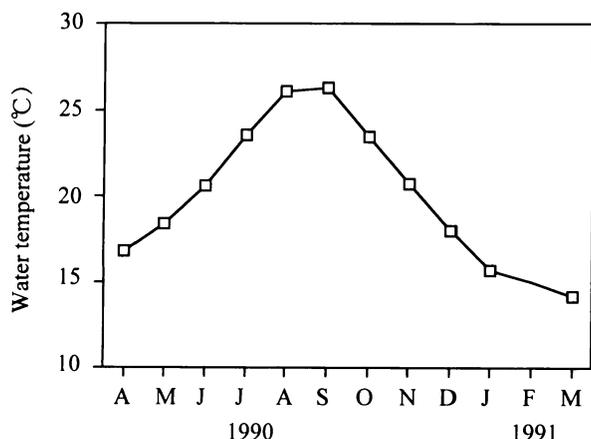


Fig. 4 Seasonal changes in water temperature at 0.5m above the bottom at the experimental site.

Table 4 Numbers of remained *Diadema* sp. at each cage by monthly observation.

Cage	A	B	C	D
May 1990	19	0	20	0
Jun. 1990	3	1	23	0
Jul. 1990	0	0	25	0
Aug. 1990	0	0	20	0
Sep. 1990	0	0	4	0
Oct. 1990	1	0	8	0
Nov. 1990	0	0	10	0
Dec. 1990	1	0	15	0
Jan. 1991	14	0	20	0
Mar. 1991	1	0	15	1

12月まではほとんどの個体が逸出するようになった。しかし、1月調査時には、14個体が実験区内に残留していた。

ホンダワラ類が存在するC区においては、逸出個体は少なく、6、7月には、隣接するA区から侵入してきた個体もみられた。しかし、8~9月には逸出する個体が増加した。その後、逸出個体は減少する傾向にあった。

3) 海藻出現種数の変化

各実験区における海藻出現種数の変化をTable 5に、また、殻状海藻（無節サンゴモ類およびイワノカワ科）を除く海藻の出現種数の変化をFig. 5に示した。

実験を開始した4月には、ホンダワラ類の付着していない石を配置したA、B区で12種、ホンダワラ類の付着した石を配置したC区で20種、D区で29種の海藻がみられた。5月になるとガンガゼ収容区のA区の種数が12種から3種と急激に減少した。6月には、A区は、磯焼け状態の場所に多

Table 5 Seasonal changes in numbers of algal species at each experimental cage.

Cage	A	B	C	D
Apr. 1990	12 (0)	12 (0)	20 (4)	29 (6)
May 1990	3 (0)	10 (0)	19 (4)	25 (6)
Jun. 1990	2 (0)	14 (1)	8 (4)	26 (8)
Jul. 1990	3 (0)	14 (2)	6 (4)	18 (6)
Aug. 1990	2 (0)	6 (2)	2 (1)	17 (7)
Sep. 1990	2 (0)	4 (2)	4 (2)	16 (6)
Oct. 1990	2 (0)	4 (0)	3 (1)	16 (6)
Nov. 1990	4 (1)	5 (1)	4 (1)	18 (5)
Dec. 1990	4 (0)	7 (1)	5 (1)	13 (6)
Jan. 1990	9 (0)	15 (1)	8 (1)	27 (7)
Mar. 1990	16 (0)	17 (0)	8 (0)	24 (5)

*Numbers in each parentheses indicate the numbers of large algal species (*Sargassum* spp. etc).

くみられる殻状のサビ亜科、イワノカワ科の2種のみとなった。また、B区とC区の出現種数が逆転しており、C区ではホンダワラ類の大型個体は残存したが、下草類が激減した。また、B区ではホンダワラ属の幼体（種の同定できず）が観察されるようになった。10月には、全ての区で出現種数が最も少なくなった。B区でいったんみられたホンダワラ属幼体は消失した。

その後、1月から3月にかけて海藻の出現種数が大きく増加した。3月の調査終了時には、C区のホンダワラ類は全て消失しており、海藻出現種数は、D、B、A、Cの順となっていた。また、D

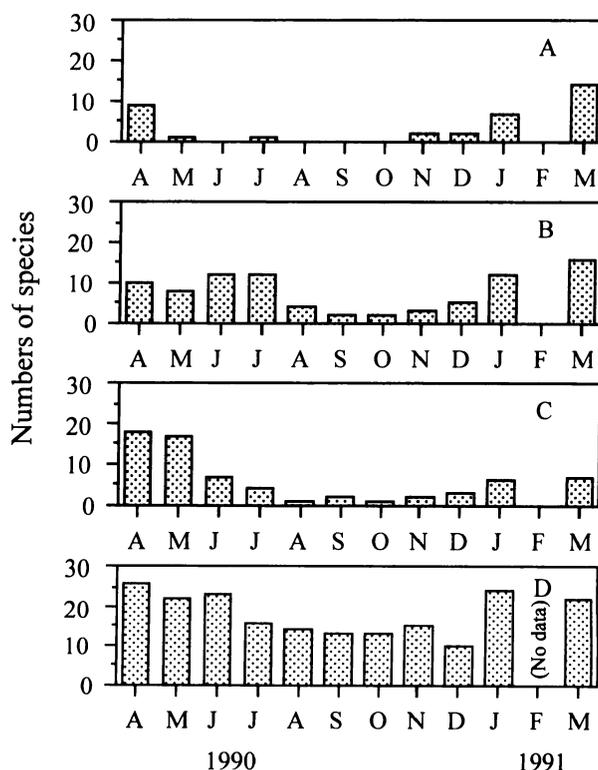


Fig. 5 Seasonal changes in numbers of algal species at each experimental cage (Except crustose algae).

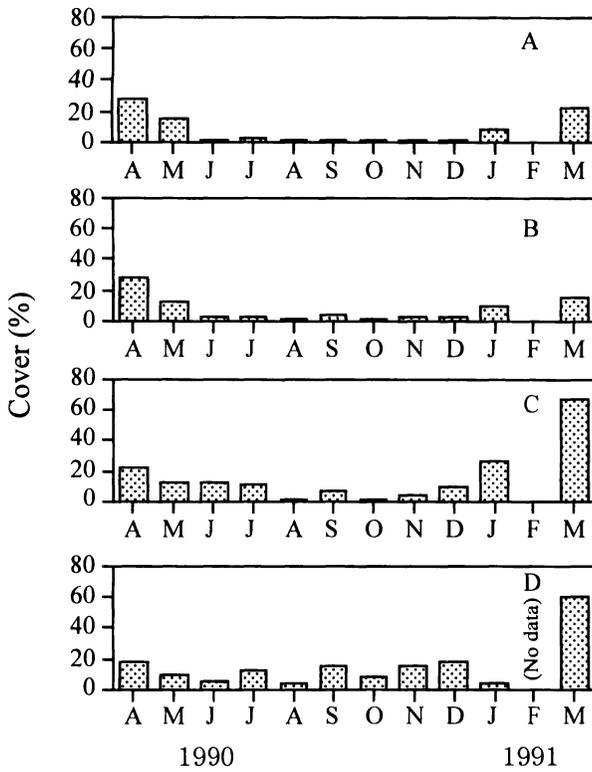


Fig.6 Seasonal changes in percent cover of crustose coralline algae at each experimental cage.

区では区内全体をワカメが覆いつくす状態となっていた。

4) 主要海藻の出現状況

(1) 無節サンゴモ類

各実験区における無節サンゴモ類の被度の季節変化をFig. 6に示した。なお、被度の観察では、各実験区を4つの1 m²の小区画に分け、それぞれについて被度を観察したが、図では、4つの小区画の平均値として示した。なお、その際、被度5%未満 (R) については、1%として平均値を求めた。磯焼け海域の植生を代表する生物群として特徴づけられる無節サンゴモ類は、すべての実験区で周年にわたり観察されたが、ホンダワラ類が着生しない石を配置したA、B区の被度が特に高いという傾向はみられず、むしろその逆であった。また、夏期に被度が減少する傾向を示し、ホンダワラ類を配置しなかったA区とB区、配置したC区とD区について被度の減少傾向を比較すると、ガンガゼ類を收容したA、C区でその傾向は顕著であった。

(2) ホンダワラ類

今回の野外実験における観察の結果、ホンダワ

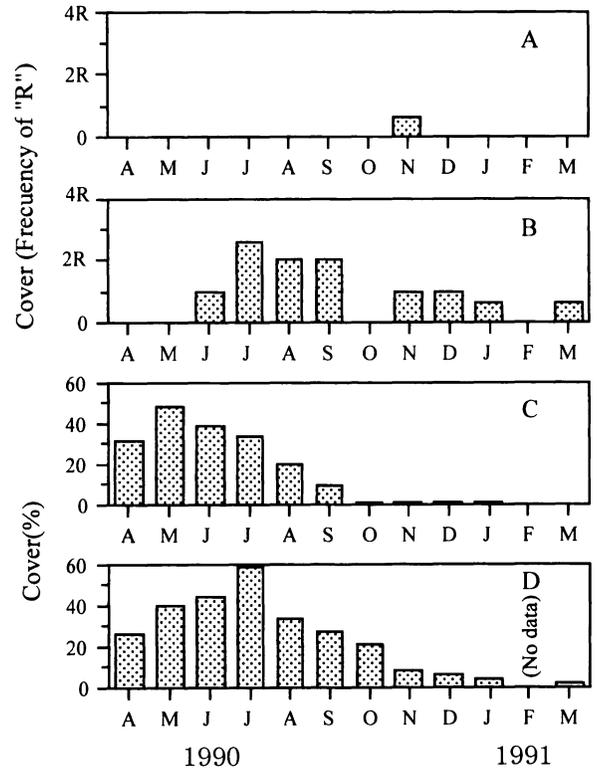


Fig.7 Seasonal changes in cover of *Sargassum* species at each experimental cage. For cage A and B, the frequency of cover "R" in 4 subquadrates was expressed in each cage, because no subquadrates were covered beyond "R" (<5%) during the experimental periods.

ラ *Sargassum fulvellum*, ヤツマタモク *S. patens*, ノコギリモク *S. serratifolium*, ヨレモク *S. tortile*, マメタワラ *S. piluliferum*, アカモク *S. horneri*, イソモク *S. hemiphyllum* の7種および小型のため同定不能な幼体が確認された。各実験区内におけるホンダワラ類の被度の季節変化をFig. 7に示した。なお、被度5%未満の取り扱いについては、無節サンゴモ類と同様であるが、先にホンダワラ類の着生しない石を配置したA、B区の各小区画の被度は全て0または5%未満 (R) であったため、出現状況"R"の頻度で示した。ガンガゼを收容したA区では、11月に1区画のみホンダワラ類の出現がみられたが、收容しなかったB区では、6月より新規加入が認められた。ホンダワラ類の着生した石を配置した実験区では、当初C区の方がD区よりやや高い被度を示したが、C区では5月にピークを示し、それ以降被度は減少した。一方、D区では7月まで被度が増加し、60%近くに達した。その後の被度もC区に比較して高い傾向を示した。

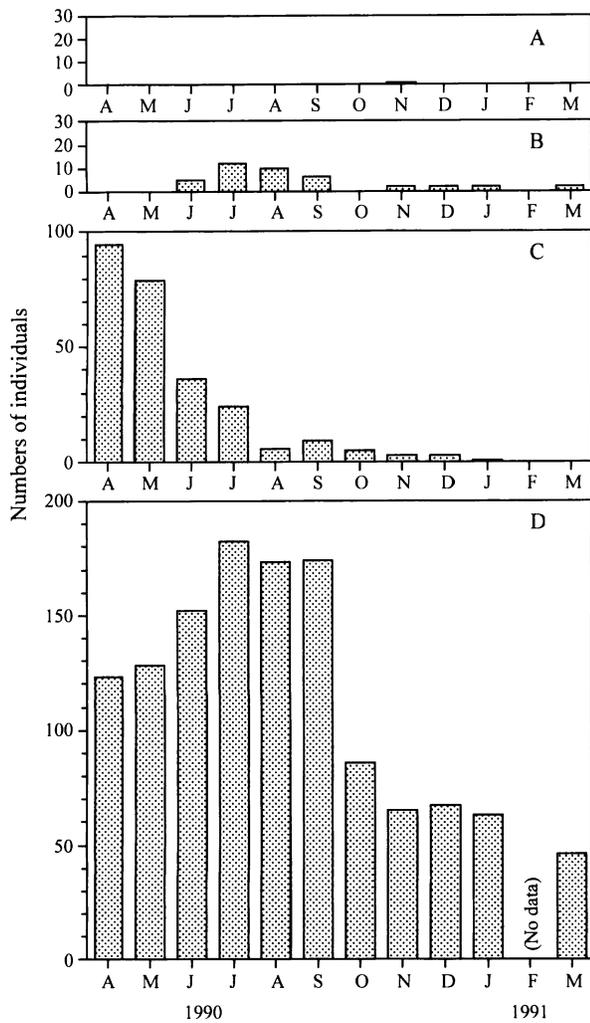


Fig.8 Seasonal changes in numbers of individuals of *Sargassum* species at each experimental cage. No observation at February.

各実験区内におけるホンダワラ類の出現個体数の変化をFig. 8に示した。当初よりホンダワラ類の存在しないA区においては、その後もほとんど新規の加入は認められず、11月に1個体出現したのみで、翌月には消失した。B区もA区と同様に当初はホンダワラ類は存在しなかったが、6月より新規加入がみられた。B区のホンダワラ類は7月をピークに減少し、10月には一旦消失したが、11月にわずかながら再度の加入が認められ、以降3月まで残った（2月は欠測）。C区では当初3種95個体が確認されたが、その後は減少傾向を示し、8月には6個体のみとなり、B区を下回った。D区では当初5種123個体が確認され、その後新規加入により個体数が増加し、7月には182個体となった。その後、個体数は減少傾向を示したが、調査終了時の3月においても46個体が残存した。

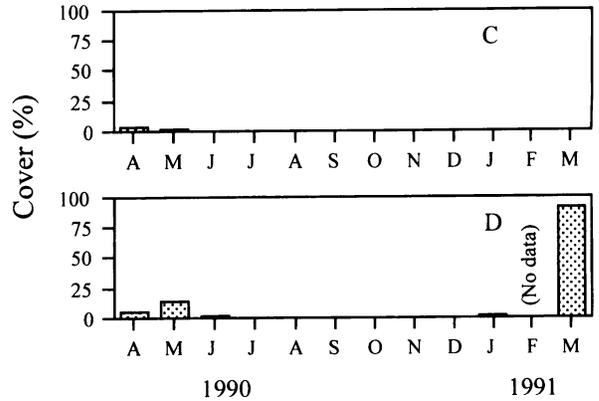


Fig.9 Seasonal changes in percent cover of *Undaria pinnatifida* at each experimental cage (*U. pinnatifida* was not observed at cages A and B).

(3) ワカメ

各実験区内におけるワカメの被度の季節変化をFig. 9に示した。なお、A、B区ではワカメは周年観察されなかった。C、D区では、4月および5月にそれぞれの4つの小区画において0~25%の被度で観察されたが、6月にはD区の3区画に5%未満の出現が認められたのみで、7月には全て消失した。その後、1月にD区において被度では5%未満であったが、きわめて多数の幼体が観察され、3月にはD区の全面を被うほどに繁茂した。この時A、B、C区では全く観察されなかった。

Table 6 Feeding experiment of *Diadema* sp. to several algae (Apr.1990).

No.	Fed algae	Feeding rate (mg/g · day)	ranking
1	<i>Ulva</i> sp.	17.7	3
2	<i>Padina arborescens</i>	17.0	4
3	<i>Eckloniopsis radicata</i>	33.0	1
4	<i>Undaria pinnatifida</i>	11.6	6
5	<i>Sargassum horneri</i>	20.5	2
6	<i>S. serratifolium</i>	12.7	5

*Starting time 14:00,10.Apr., Ending time 12:00,13.Apr.,
*Water temp. : 16.5°C

Table 7 Feeding experiment of *Diadema* sp. to several algae (Sept.1990).

No.	Fed algae	Feeding rate (mg/g · day)	ranking
1	<i>Codium cylindricum</i>	359.7	1
2	<i>Dictyopteris undulata</i>	56.9	6
3	<i>Ecklonia kurome</i>	64.0	5
4	<i>Sargassum patens</i>	99.8	3
5	<i>S. tortile</i>	160.9	2
6	<i>S. serratifolium</i>	76.1	4

*Starting time 09:00,15.Sep., Ending time 13:00,17.Sep.
*Water temp. : 26.9°C

3. 摂餌実験

4月と9月に実施したガンガゼの摂餌実験の結果をTable 6およびTable 7に示した。両実験時の水温は約10℃異なっていた。実験に用いた海藻の種類は異なるが、日間摂餌量には明らかな差がみられ、4月が11.6~33.0mg/g・day、9月が56.9~359.7mg/g・dayであった。4、9月の両時期に共通に用いたノコギリモクの結果を比較すると、4月が12.7mg/g・day、9月が76mg/g・dayと大きく異なっていた。

考 察

比較的静穏な港内側のエリアⅠと波浪環境の厳しい港外側のエリアⅡに10×5mのコドラートを設け、藻食動物と海藻の出現状況を観察した。その結果、エリアⅡには、タワシウニおよびムラサキウニが岩盤に穿孔した状態で極めて高密度で生息しているにもかかわらず、アカモク等の単年生の海藻の繁茂がみられることが明らかになった。エリアⅡにおけるタワシウニとムラサキウニをあわせた密度は15個体/m²以上となり、このような高密度でウニが生息しているにもかかわらず、海藻の繁茂がみられたことは、極めて興味深い。この点について西村(1974)は、岩礁面のくぼみに入り込んで密集し、いわゆる“ウニのアパート”を形成しているウニを陰孔群集に属する動物と位置づけ、従来は夜間に穴から抜け出して海藻類を摂食し、朝になると巣穴へ戻ると考えられていたが、実際は窪みに落ち込んだデトライタス破片(流失海藻)を餌としており、海藻が繁茂しない時期はほとんど絶食状態で経過すると述べており、エリアⅡ内のウニも同様な状況にあったものと考えられる。

一方、港内側のエリアⅠにはこのような穿孔性のウニは少なかったが、その一方でガンガゼ類が高密度に生息しており、大型海藻が全く認められなかったことから、海藻植生に及ぼすガンガゼ類の影響が示唆された。

上記の結果をうけて、松島海域、特に静穏な港内側にみられる磯焼け状態の主な原因を、海域にきわめて多数生息する大型ウニ類のガンガゼ類の食害と仮定し、同海域の海藻植生に及ぼすガンガゼ類の影響に関して野外実験を実施した。

ガンガゼ類は他のウニと比較すると付着力が弱

く、防波堤壁面等の垂直面に付着した個体は、潜水者の足ひれ等にあおられると容易に剥離し、落下する。キタムラサキウニ等のウニ類の食圧は、波浪環境に左右されることが知られているが(道津ら, 1999他)、ガンガゼ類の付着力の弱さや形態等から、他のウニ以上に本種の行動は波浪環境の影響を受けやすいものと考えられる。事実、ガンガゼ類は比較的穏やかな海域に多くみられ、本調査においても、内湾側のエリアⅠにおけるガンガゼ類の密度(3.08~5.54個体/m²)は外海側のエリアⅡ(0.04~0.08個体/m²)よりもかなり高かった。

一方で、ガンガゼ類は高い移動能力をもっており、海底面を活発に動き回る。今回の調査においても潜水者の影を感知すると顕著な逃避行動を示し、観察記録作業を行っている間に枠内から姿を消してしまうこともしばしばであった。この大きな移動力は、ガンガゼ類の個体あたりの摂餌量には直接的には関与しないが、一定時間内の海藻との遭遇頻度の増大をもたらし、新規加入時のような海藻の現存量が小さい時期には、重大な影響を及ぼす可能性が考えられる。

今回の野外実験においても、ガンガゼはその活発な移動能力により、しばしばA、Cの実験区内から逸出した。ホンダワラ類を収容しなかったA区では特にその傾向が顕著で、5月の段階では1個体が逸出したのみであったが、その後は12月まではほとんどの個体が実験区内から網を乗り越えて逸出した。このことについては、ガンガゼが当初は、配置した転石上の僅かな下草を餌として利用していたものの、それを食いつくし、餌を求めて逸出するようになったため、1月には水温の低下とともに活動がにぶり、実験区内に留まる個体が出てきたものと解釈された。

一方、ホンダワラ類が存在するC区の逸出個体はきわめて少なく、6、7月には隣接するA区から侵入してきた個体もみられたが、8~9月には逸出する個体が増加した。これは、水温が上昇するにつれウニの活動が活発になるとともに、餌となる海藻が減少してきたことによるものと解釈される。その後、水温の低下とともに逸出個体は減少する傾向にあった。

このように、ガンガゼの逃避行動には季節変化が認められ、水温との関係が示唆された。さらに、この点を裏付けるように、4月(16.5℃)と9月(26.9℃)に実施したガンガゼの摂餌実験では、

餌料とした海藻の種類は異なるが、全体的に9月に摂餌量が多かった。4、9月とも試験を実施したノコギリモクの結果を比較すると、4月が12.7mg/g・day、9月が76mg/g・dayと大きく異なっており、ガンガゼの摂餌量が水温に大きく影響をうけることが示された。

実験区内の海藻植生はガンガゼの有無に影響をうけ、その影響は特に、下草類や大型海藻の幼体期に大きく現れた。海藻の出現種類数は、当初(4月) D>C>B≧Aの順であったが、6月にはCとBが逆転し、8月以降1月までのA区では、殻状海藻を除く海藻はほとんどみられなくなり、ガンガゼの食圧の影響が示された。

その後、1月から3月にかけて、全体的に海藻の出現種数が増加したが、これは、水温の低下に伴うガンガゼの活動力の低下と関係していると考えられた。

ホンダワラ類の個体数もガンガゼを收容しないD区では7月までは増加したのに対し、ガンガゼを收容したC区では直ちに減少し、8月にはB区と逆転しており、ガンガゼの影響が示唆された。なお、B区において、6月から9月にかけて一旦みられたホンダワラ属の幼体は10月に消失したが、これは、実験区内の石の上に薄く砂が被る状態になったため、この砂の影響が考えられた。

今回の野外実験で仮説を支持する結果としては、ガンガゼを收容しなかったB、D区にホンダワラ類が繁茂し、ガンガゼ類を收容したA、C区が磯焼け状態となるというものであったが、現実には、D区にのみ、ワカメが一面に繁茂し、他の区では大型海藻の被度が5%未満という結果となった。この原因については、10月頃から砂が基質の転石を被覆する状態が生じ、新規に加入した幼体が生存できなかったことが考えられる。ウニ等の藻食動物の食圧を少なくすることにより海藻を生育させることは、過去の様々な研究によって可能であることが実証されているが(吾妻ら, 1997 他)、そこに目的とした特定の海藻群落を形成させることはきわめて難しい。任意の場所にどのような海藻が主体となった群落が形成されるかを予測するためには、様々な種類の海藻の生活史や生態的特性を考慮し、藻食動物の食圧や無機環境条件の変化を詳細に把握することが重要と考えられる。

本報告の冒頭で述べたように、近年、南方海域の磯焼けについては、アイゴ等の魚類による食害が主因とされる考え方が趨勢を占めるようになって

きているが、本研究はその考え方に異論を示すものではない。魚類による食害はかなり短時間のうちに景観を一変するような急激な影響を与えるようであるが(新井, 2000)、魚類の資源量には大きな年変動があり、常に植生に圧力を与えるものとは考えにくい。三本菅(1996)は、磯焼けの原因については発生要因と持続要因に区別して考えるべきであり、また、これらには、異なる機構が作用している可能性があることを指摘している。本邦の北方海域においては、前者については急激な気候変動等、後者についてはキタムラサキウニ等の藻食動物による食害であることが示されつつあるが、同様な考え方に立つならば、魚類による食害は発生要因、ガンガゼ類を始めとするウニ類による食害を持続要因と位置づけることが出来るかもしれない。ガンガゼ類は、餌となる海藻類のきわめて少ない海域にも多数生息しており、本研究における今回の潜水観察の状況からもその傾向が強くうかがえた。Kamura *et al.* (1986)は、海藻類の少ない海域では珪藻や同定不能な有機物(unidentified organic matter)がガンガゼ類の重要な餌となっていることを指摘している。従って、餌不足によるガンガゼ個体群の減少は起こりにくいことから、恒久的な磯焼け状態を継続させることになると考えられる。さらにガンガゼ類は非常に活発な移動能力を持つことから、海藻の幼体に対する影響はきわめて強いと考えられる。

謝 辞

本報告に対して、御校閲をいただいた審査委員各位に深謝する。また、現地調査でご協力いただいた電源開発株式会社および大瀬戸漁業協同組合の各位に感謝する。なお、この調査を進めるに当たっては、故鈴木洋一、和田俊一の両氏とは共に議論し、さらに実験施設の設置および現地観察については中心となって作業を遂行して頂いた。本報告をとりまとめることができたことについては両氏のご尽力によるところが極めて大きい。本報告は鈴木、和田両氏に捧げるものとする。

引用文献

吾妻行雄・松山恵二・中多章文・川井唯史・西川信良

- (1997). 北海道日本海沿岸のサンゴモ平原におけるウニ除去後の海藻群落の遷移. 日水誌, **63** : 67-2-680.
- 新井章吾 (2000). 南日本における藻食魚による藻場崩壊の機構について. 藻類, **48** : 76-77.
- Banayahu, I., and Loya, Y. (1977). Seasonal occurrence of benthic-algal communities and grazing regulation by sea urchins at the coral reefs of Eilat, Red Sea. *Proc. 3rd Int. Coral Reef Symp.*, 383-389.
- Carpenter, R. C. (1981). Grazing by *Diadema antillarum* (Philippi) and its effects on the benthic algal community. *J. Mar. Res.*, **39** : 749-767.
- Dart, J. K. G. (1972). Echinoids, algal lawn and coral recolonization. *Nature*, **239** : 50-51.
- 道津光生・野村浩貴・太田雅隆・岩倉祐二 (1999). 北海道南西部沿岸の磯焼け海域におけるホソメコンブ群落の形成要因について. 日水誌, **65** : 216-222.
- Hay, M. E. and Taylor, P. R. (1985). Competition between herbivorous fishes and urchins on Caribbean reefs. *Oecologia*, **65** : 591-598.
- Kamura, S. and S. Choonhabandit (1986). Algal communities within territories of the damselfish *Stegastes apicalis* and the effects of grazing by the sea urchin *Diadema* spp. in the Gulf of Thailand. *Galaxea*, **5** : 175-193.
- 桐山隆哉・藤井明彦・吉村 拓・清水節夫・四井敏雄 (1999). 長崎県下で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** : 319-323.
- 中山恭彦・新井章吾 (1999). 南伊豆・中木における藻食魚類3種によるカジメの採食. 藻類, **47** : 105-112.
- 西村三郎 (1974). 潮間帯における二次生産者. 「海の生態学」(沼田真監修), 生態学研究シリーズ-3, 築地書館, 東京, pp. 267-272.
- Sammarco, P. W., Levinton, J. S. and Ogden, J. C. (1974). Grazing and control of coral reef community structure by *Diadema antillarum* Philippi (Echinodermata : Echinoidea) : a preliminary study. *J. Mar. Res.*, **32** : 47-53.
- 三本菅善昭 (1996). 磯焼けの生態. 水産業関係試験研究推進会議 資源増殖部会テーマ別研究のレビュー 3, 水産庁中央水産研究所, 神奈川県, 164pp.
- 重井睦夫 (1974). 第2目 ガンガゼ類. 「動物系統分類学, 8 (中) 棘皮動物」(内田 亨監修), 中山書店, 東京, pp. 298-300.
- 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, **No.7** : 29-41.
- 四井敏雄・前迫信彦 (1993). 対馬東岸の磯焼け帯における藻場回復実験. 水産増殖, **41** : 67-70.