

海洋深層水をかけ流した磯焼け地帯転石の植生回復

Algal Recovery on Coralline-covered Cobbles Collected
from an Urchin-dominated Barren Ground in Flowing Deep-sea Water

藤田 大介¹

Daisuke FUJITA

Abstract

Algal recovery on coralline-covered cobbles collected from an urchin-dominated barren ground of Southwestern Hokkaido was observed in two outdoor aquariums (35 litters in volume) using running deep-sea water of Toyama Bay (known as macro-nutrient rich sea water pumped from a depth of 321 m and warmed up to 11°C) from June to December in 2000. Top surfaces of cobbles were largely covered with encrusting or protuberant nongeniculate coralline algae (NCA); besides NCA, only tiny spots of an encrusting brown alga *Ralfsia verrucosa* and a few prostrates of red algae including *Gelidium elegans* were visible. In one aquarium, ten grazers of a snail *Omphalius rusticus* were added, while, in the other, the cobbles were kept without animals as a control. In the aquarium containing snails, 16 species of macroalgae appeared on refuges (e.g. underside of cobbles, crevices between NCA crusts or protuberances and surfaces of shells) and diatoms rarely covered the cobbles. The most conspicuous event was the rapid growth and maturation of 'dulse' *Palmaria palmata* and kelp *Laminaria religiosa*, which reached 30cm and 160cm long, respectively. *G. elegans* also grew up to 5cm long. In addition, *R. verrucosa* recovered and recorded ca. 10% coverage of top surface in one cobble. On the other hand, in the control, cobbles were rapidly covered with diatoms and macroalgae never recovered but most of NCA survived after a half year. However, introduce of snails after seven months facilitated the recovery of macroalgae including *G. elegans* and *R. verrucosa* by removing diatoms. These results, combined with the results of previous experiments using surface sea water of natural temperature, suggested the importance of nutrients as well as intermediate disturbance (i.e., grazing by snails, moderate than that of sea urchin) for the macroalgal recovery in the barren ground.

Key Words: Algal recovery, coralline algae, deep-sea water, nutrients, urchin-dominated barren ground

要 旨

北海道南西岸の磯焼け地帯の転石を2基の屋外水槽（小型巻貝区と対照区）に入れ、11°Cに加温した富山湾深層水（取水水深321m）を流して植生変化を調べた。当初、サンゴモが広く覆い、小点状のイソイワタケとマクサなどの匍匐体だけが認められた。小型巻貝区では摂餌により珪藻が除去され、転石の下面、サンゴモの藻体間や突起間および貝殻から計16種の海藻が生えた。ダルスは全長30cm、ホソメコンブは160cmまで成長、成熟し、マクサも5cmまで伸びた。イソイワタケがその被覆面積を広げ、被度約10%に達した石もあった。一方、対照区では珪藻が著しく繁茂し、海藻は殆ど伸びず、サンゴモは半年後も生きていたが、7カ月目に小型巻貝を入れると珪藻が除去され、イソイワタケやマクサが成長を始めた。本試験と既報の表層海水（自然水温）を用いた試験により、この磯焼け地帯の海藻植生回復には栄養塩と中程度の搅乱（小型巻貝の摂餌）が必要と考えられる。

キーワード：磯焼け、栄養塩、海洋深層水、サンゴモ、植生回復

¹富山県水産試験場（〒936-8536 滑川市高塚364）

北日本の日本海沿岸域には、キタムラサキウニ *Strongylocentrotus nudus* が優占し、海底が石灰藻の無節サンゴモ（紅藻、サンゴモ目）によって被われる生物群集が点在する（Fujita, 1998）。このような生物群集は‘urchin-dominated barren ground’（Lawrence, 1975）または‘urchin barren’（Coyer et al., 1993）と呼ばれ、世界各地の藻場の沖側で比較的ふつうに認められる。北海道南西岸ではコンブ群落の衰退に伴って岸方向に拡大し、持続したと考えられていることから、磯焼けとみなされ、発生・持続機構の解明や回復技術の開発が続けられている（藤田, 1996；吾妻, 1999；飯泉, 2000）。北海道南西岸の磯焼け地帯がキタムラサキウニの摂餌活動によって持続していることは、周年に及ぶ植生観察、コンブの移植試験、ウニの除去試験あるいはブロックや石の投入試験など、多くの実験・観察によって明らかにされてきた（藤田, 1996；吾妻, 1999）。しかし、この沿岸の磯焼けの発生や持続の要因として、海域の温暖化（飯泉, 1997, 2000）、貧栄養化（藤田, 1996）、大型海藻の消失後に海底を覆い続ける無節サンゴモの存在（藤田, 1995; Suzuki et al., 1998; Ichiki et al., 2000）なども、決して無視することはできない。以前、著者は、北海道南西岸の磯焼け地帯で採集した転石（無節サンゴモが被覆）を採集し、キタムラサキウニ、小型巻貝（ヘソアキクボガイ *Chlorostoma turbinatum*）、イトマキヒトデ *Asterina pectinifera* のいずれかが入った水槽と入っていない水槽（対照区）に収容し、現地の表層海水をかけ流しながら植生の変化を調べる実験を行ったところ、イトマキヒトデの水槽および対照区では転石が付着珪藻や小型海藻に被われたが、キタムラサキウニまたは小型巻貝の入った水槽では動物の盛んな摂餌により転石の表面がこれらの藻類に被われることはなかった（藤田, 1997）。海藻の生育を阻害した動物のうち、キタムラサキウニは無節サンゴモも著しく傷つけたのに対して、小型巻貝は無節サンゴモの表面をなめ削り、無節サンゴモを成熟させたことから、今回、動物は小型巻貝に絞り、表層海水と比べて低温で栄養塩濃度が高い海洋深層水を用いることにより水温・栄養塩条件を改善し、同様の

流水培養実験を行って転石上の海藻植生の変化を調べたので報告する。

材料と方法

無節サンゴモが被った転石（以下、単に転石という）、海底から剥離した無節サンゴモの一種エゾイシゴロモ *Lithophyllum yessoense* および小型巻貝は、2000年6月13日に久遠郡大成町長磯の磯焼け地帯（水深3m付近）でSCUBA潜水によって採集し、海水を満たしたクーラーに入れて富山県水産試験場に持ち帰って実験に供した。なお、採集時の水温は14°Cであった。小型巻貝は、先の試験（藤田, 1997）で用いたヘソアキクボガイと形状や大きさが酷似し、多数個体を採集することができたコシダカガンガラ *Omphalius rusticus*（殻高約1.5cm）を用いた。

実験は屋外に2基の長方形アクリル製水槽（35l容、藤田（1997）が用いた水槽と同じ形式）を並べて行いた。各水槽には、転石（長径10~17cm）を3個ずつ入れたほか、紅藻マクサ *Gelidium elegans* の発芽体が着生した無節サンゴモ（長径4cm）を1個体ずつ沈めた。2基の水槽のうち、1基にはコシダカガンガラ10個体を入れて小型巻貝区とし、他の1基には動物を加えず、対照区とした。なお、いずれの転石も上面は殻状もしくは突起を有する無節サンゴモによって広く被われており（目視による被度は80%以上、Fig.-1-2）で、無節サンゴモ以外には、小点状の殻状褐藻イソイワタケ *Ralfsia verrucosa*、マクサおよびコザネモ *Sympyocladia marchantioides* の匍匐体が僅かに認められただけであった。これらの海藻については特に除去せず、成長を観察した。

各水槽は、地下水との熱交換によって11°Cまで加温した富山湾深層水（水深321mから約2°Cで取水）を水槽の上からかけ流し（水の回転率は0.5回転/分）、下から排水した。実験は6月21日始め、原則として週1回、水槽の内部を観察した。

本実験に先立ち、1999年10月に北海道大成町水産種苗センターの表層海水と富山県深層水利用研究施設の深層水を採水し、栄養塩を比較したので、

参考のためにこれを Table-1 に示した。アンモニア態窒素と亜硝酸態窒素では差が認められないが、硝酸態窒素では 16.5 倍、リン酸態リンでは 34.2 倍、ケイ酸態ケイ素では 2.2 倍、富山湾深層水の方が大成町立水産種苗センターで取水している表層海水と富山県深層水利用研究施設で取水している深層水の水温と栄養塩の周年変化については、西浜（1977）と Watanabe *et al.* (2000) がそれぞれ示しており、Table-1 とほぼ同様の傾向を認めることができる。なお、富山湾深層水に含まれる上記以外の成分については表層海水（富山湾）中の濃度との差は殆ど見られない（高柳ら、1999）。

結 果

各水槽内の付着珪藻の繁茂状況、出現した海藻の種類を Table-2 および Figs.-1-6 と 8~9 にまとめて示し、以下に、時間の経過に従って植生変化の概況を述べる。

対照区 1 週間後から水槽内が薄っすらと珪藻に覆われ、2 週間後には群体性珪藻が繁茂し始めた。3 週間目以降はさらに珪藻の繁茂が著しくなり、水槽の上や側面から中の石や無節サンゴモが確認できなくなった。4 週間後に転石の 1 つを取り出して小型巻貝区の転石と比較したが、対照区では小型巻貝区と比べて付着珪藻の繁茂が著しかった（Fig.-1, 左）。この後、5 週間後には、エゾイシゴロモ上に

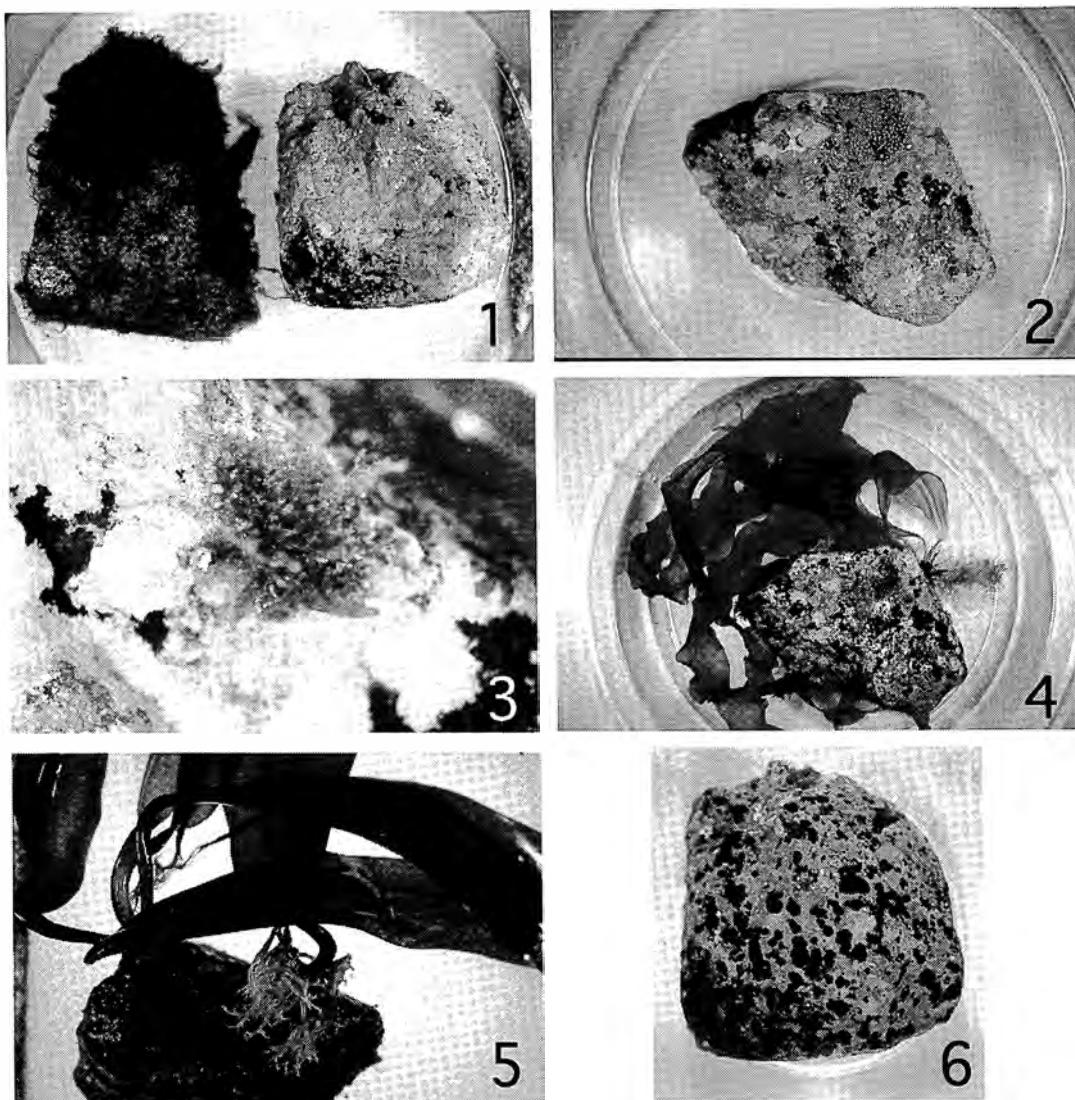
Table-1 Concentrations of nutrients in surface sea water of Taisei (Southwestern Hokkaido) and deep-sea water of Namerikawa (Toyama Bay) sampled in October, 1999.

Site (Depth)	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	SiO ₂ -Si
Taisei (10 m)	0.03	0.01	0.32	0.05	21.1
Namerikawa (321 m)	0.03	0.01	5.28	1.71	46.4

Table-2 List of macroalgae which appeared on cobbles, nongeniculate coralline algae (NCA) and snails *Omphalius rusticus* during the culture in deep-sea water.

Species	Snail-aquarium			Control-aquarium	
	Cobbles	NCA	Snails	Cobbles	NCA
Green algae					
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	+		+		
<i>Cladophora opaca</i>			+		
Brown algae					
<i>Ectocarpus siliculosus</i>			+		
<i>Ralfsia verrucosa</i>	++*		+	(+)	
<i>Colpomenia sinuosa</i>	+				
<i>Desmarestia viridis</i>	+				
<i>Laminaria religiosa</i>	++		+		
Red algae					
<i>Stylonema alsidii</i>	+				
<i>Audouinella sp.</i>	+				
<i>Palmaria palmata</i>			+		
<i>Gelidium elegans</i>	++*	+	+	(+)*	+
<i>Chondrus sp.</i>			+	(+)	
<i>Antithamnion densum</i>	+				
<i>Ceramium cimbricum</i>	+				
<i>Ceramium kondoi</i>				(+)	
<i>Sympyocladia marchantiooides</i>	++*			(+)*	

*Visible by naked eye at the beginning of culture. +: Only one erect thallus appeared; ++: More than one erect thalli appeared; (): Erect thalli appeared after introducing snails in the seventh month.



Figs.-1-6 Algal recovery on coralline-covered cobbles kept in snail- and control-aquariums.

Fig. 1. A cobble (left, 14 cm in diam.) which was covered by diatoms in control-aquarium and an un-spoiled cobble (right, 12 cm in diam.) in snail-aquarium (after 4 weeks).

Fig. 2. A coralline-covered cobble (17 cm in diam.) placed in snail aquarium at the beginning.

Fig. 3. Red algae which grew in cavities between protuberances of NCA on the cobble shown in Fig. 2 (after 2 months).

Fig. 4. Growth of *Laminaria religiosa* and other macroalgae on the cobble shown in Fig. 2 (after 3 months).

Fig. 5. Matured thalli of *L. religiosa* shown in Fig. 4 (after 5 months).

Fig. 6. Expansion of crusts of *Ralfsia verrucosa* on the cobble shown in Fig. 1 (right) (after 6 months).

着生していたマクサが全長 1 cm まで伸び、紅藻キヌイトフタツガサネ *Antithamnion densum* が確認された。転石の無節サンゴモ（特に、エゾイシゴロモなど藻体の厚い個体）は半年後に至っても枯死しなかったが、エゾイシゴロモ上のマクサ、転石上のマクサやイソイワタケなどは珪藻に被われ、成長が認められず、他の海藻の生育も認められなかった。

この後、半年後に至るまで水槽内の様子は変化しなかったので、小型巻貝 10 個体を入れて植生変化

を調べた結果、転石やエゾイシゴロモを覆っていた付着珪藻は 1 カ月以内に概ね除去され、マクサが全長 2 cm まで成長したほか、コザネモ、ツノマタ属 1 種 *Chondrus* sp. およびイギス *Ceramium kondoi* の生育が認められた。

小型巻貝区 2 週間後まで水槽内に目立った変化はなく、3 週間後にコシダカガンガラの貝殻（以下、単に貝殻という）の上から群体性珪藻が伸びた。4 週間後には水槽の壁面が僅かに珪藻に被われ始め、

貝殻上から紅藻ダルス *Palmaria palmata*, マクサ, ツノマタ属 1 種および緑藻ツヤナシシオグサ *Cladophora opaca* が伸び始めた。ただし、ツヤナシシオグサは著しく付着珪藻に覆われた。5 週間後には貝殻上のダルスが全長 15 cm を越え, Fig.-2 に示した転石 1 個には全長約 1 cm のホソメコンブも数本（1 カ所に 5 本, 約 5 cm 離れた所に 1 本）現れた。着生部位は無節サンゴモ間の隙間の石で、後に付着器の一部が無節サンゴモ（サモアイシゴロモ *Hydrolithon samoense*）の上にも着生し、根糸の先端は盤状を呈した。転石の側面や無節サンゴモの突起間にコザネモやキヌイトフタツガサネ、イギス、オージュイネラ属 1 種 *Audouinella* sp. などが多数認められた (Fig.-3)。

7 週間後には、転石上にケウルシグサ *Desmarestia viridis* 1 個体、貝殻上にシオミドロ *Ectocarpus siliculosus* とホソメコンブが各 1 個体出現した。岩から剥離したエゾイシゴロモの破碎面は再生し、その藻体の表面や貝殻に着生していたマクサも全長 4 cm まで伸び、分枝した (Fig.-7)。転石上の無節サンゴモも珪藻による汚損は少なく、枯死した藻体はなかった。ダルスは、光学顕微鏡を用いて藻体の表面を観察した結果、四分胞子が形成されていた。

2 カ月後以降、小型巻貝区では、転石上のホソメコンブ（貝殻上の個体は流失）が急速に成長して全長 60 cm を越え (Fig.-4), 5 カ月後 (11 月下旬) には、6 個体中 4 個体で葉状部の基部に近い部分が成熟し、子囊班の形成が確認された (Fig.-5)。3

カ月後にはフクロノリ *Colpomenia sinuosa* が出現した。また、無節サンゴモに被われていた転石すべてに無数のイソイワタケが認められるようになり、半年後、成長した個体は長径 1 cm に達した。イソイワタケの多くは無節サンゴモ間の隙間に残存していたものであるが、この時期には無節サンゴモの表面をも広く覆うようになり、1 つの転石では被度 10% に達するものもあった (Fig.-6)。この結果、転石全体の印象がピンク (Fig.-1, 右) から褐色 (Fig.-6) へと変化した。

以上の海藻のうち、特に成長の著しかったダルスとホソメコンブについて、空中露出による損傷・切断がなく、最も長く伸びた個体の成長をそれぞれ Fig. 7 に示した。ダルスは 2 カ月後に全長 30 cm に達し (Fig.-8), ホソメコンブは約 4 カ月後に全長 160 cm, 葉幅 12 cm (Fig.-9) に達し、成長が停滞した。

考 察

北海道南西岸で実施した先の研究では、3 回の試験によって周年観察を行い、現地の表層海水を用いた場合、無節サンゴモに被われた磯焼け地帯転石の植生回復（付着珪藻も含む）がキタムラサキウニや小型巻貝によって妨げられることを示した（藤田、1997）。今回の試験は初夏～冬に限ったもので、動物区としては小型巻貝区しか設けていないが、水温や栄養塩の条件が改善されれば、無節サンゴモが被覆した磯焼け地帯の転石の表面にも多くの種類の海

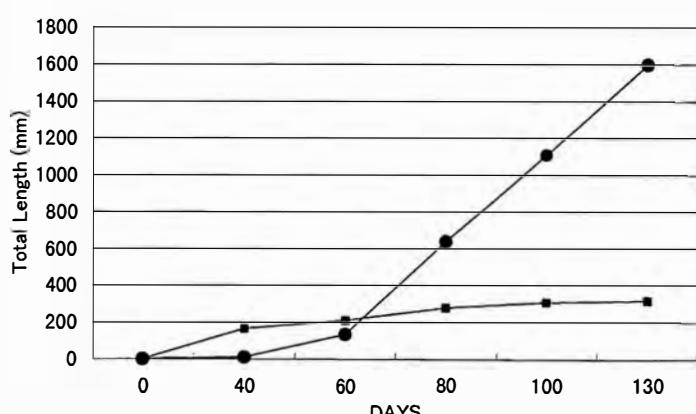
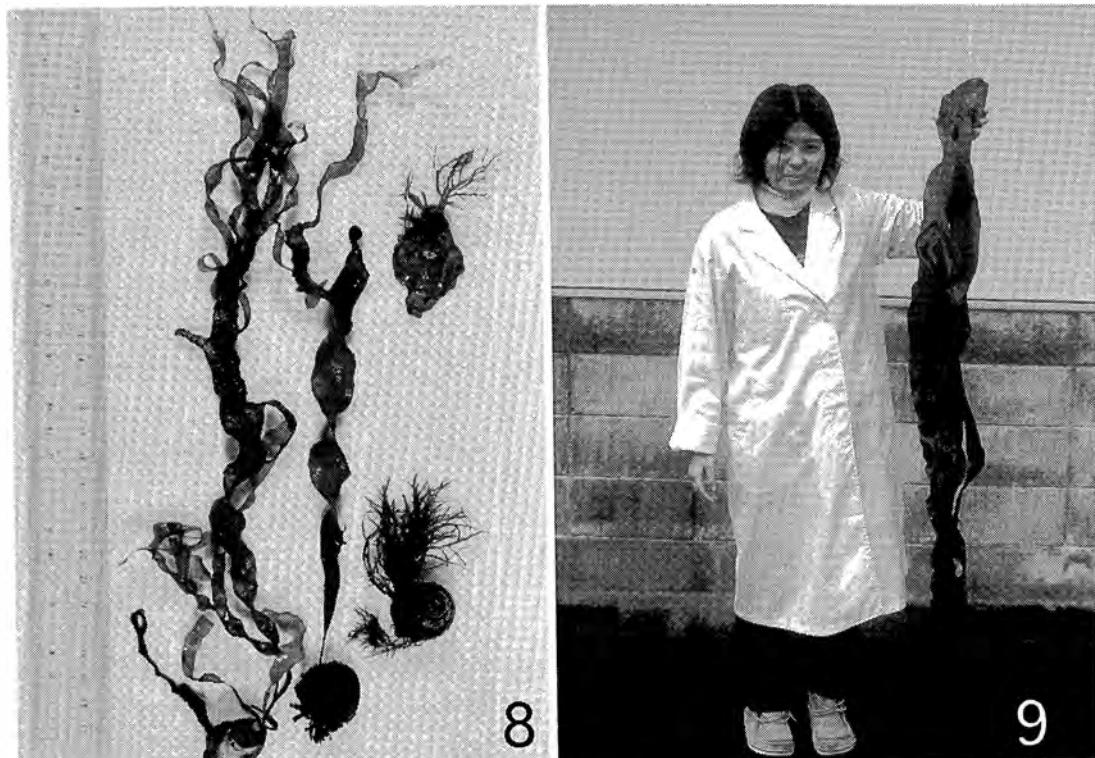


Fig.-7 Growth of the longest thalli (undamaged by exposure) of *Palmaria palmata* (■) and *Laminaria religiosa* (●) in snail-aquarium.



Figs.-8-9 Prominent growth of macroalgae in the snail-aquarium.

Fig. 8. *Palmaria palmata* (left and middle) and *Gelidium elegans* (right below) which grew on the shells of a snail *Omphalius rusticus* and *G. elegans* (right above) growing on nongeniculate coralline-algae (after 2 months).

Fig. 9. *Laminaria religiosa* (see also Figs. 4 and 5) reaching 160 cm long after 5 months.

藻が生えること、そして、これらの海藻が一見不毛に見える海底においても顕微鏡的サイズ（胞子または微小世代）で存在していることを実験下で確かめることができた。

動物の入っていない水槽では、付着珪藻の繁茂が著しく、予め入れておいたテングサの発芽体も伸びなかつたが、これは珪藻の付着がテングサなどの海藻の生育を妨げたことが原因と考えられる。なお、対照区の転石にも、小型巻貝区と同じように多少とも海藻が着生していたことは、後で行った小型巻貝導入試験により確かめられている。したがって、小型巻貝区では適度の摂餌により付着珪藻が除去され、海藻の種の多様性が増したものであり、中程度の搅乱が起こる際に種の多様性が最も高くなるとする「中程度搅乱仮説（intermediate disturbance hypothesis）」（Connell, 1978）を支持する結果といえる。

転石の上に生えた海藻のうち、褐藻イソイワタケと紅藻マクサおよびコザネモ以外は、実験当初に肉眼で認められておらず、微小世代もしくは発芽体の

まま、転石の裏側（他の石との間隙）、無節サンゴモの突起間、小型巻貝の貝殻など、植食動物のグレージングから保護された避難領域（refuge）で過ごしていたと考えられた。これまで、北海道南西岸の磯焼け地帯ではウニ類の除去によって海藻群落の回復に成功している（吾妻, 1997, 1999）が、海藻の着生基質の詳細は明らかにされていなかった。本研究により、磯焼け地帯においても、海藻の微小世代または発芽体が利用できる様々な避難領域が存在することを明らかにすることができた。

なお、これまで、磯焼け地帯の無節サンゴモ（主に調べられているのは優占種エゾイシゴロモ）の上にはコンブが生えにくいうことが指摘され（正置ら, 1981）、表層剥離（Masaki et al., 1984）やアレロパシー（Suzuki et al., 1998）による着生阻害作用がその原因と考えられている。しかし、これまでにも、無節サンゴモの藻体にはテングサなどが着生したり、付着珪藻が覆ったりすることが示されており（藤田, 1995, 1997），今回の試験においても、無節サンゴモが覆った石の上に海藻や付着珪藻が生え

ることが確かめられたことから、海藻に適した水温・栄養塩条件では、上述した着生阻害作用の生態学的役割はかなり限定されたものと考えられる。

転石の上に出現した海藻のうち、北海道南西岸の海藻群落でしばしば優占種となるホソメコンブは、1年生で、秋～冬を微小世代（配偶体）で過ごし、冬～春に胞子体（いわゆるコンブ体）が伸び、秋に成熟して冬には枯れる（阿部ら、1982）。したがって、本実験期間（6～11月）は、ホソメコンブ胞子体の伸長期（6月）～成熟・枯死期（11月）に相当する。今回、実験開始時には、肉眼でコンブが全く認められなかったことから、顕微鏡的サイズの胞子体または配偶体で過ごしていたと考えられる。6月はキタムラサキウニの摂餌活動が最も盛んな時期であり（吾妻、1997），この時期まで発育可能な状態にあったことは注目に値する。

ダルスも1年生で、12月から海域で認められ（ただし、四分胞子体と雄性体のみ、雌は矮小体）、1～5月に成熟・繁茂し、6月には枯死する（館脇、1993）。今回、ダルスは貝殻から伸びたが、実験開始時には肉眼で認められていなかったことから、十分に伸びていない顕微鏡的サイズの四分胞子体で過ごしていたと考えられる。海域では生育が認められない時期（8～11月）にダルスが成長し、成熟したことにより、本種の成長を促す要因が、日長ではなく栄養塩の多寡もしくは低水温（11°C）であることが示唆された。

イソイワタケは、ホソメコンブやダルスのように大きな直立体は形成しないが、磯焼けの景観との関連で最も興味深い。北海道南西岸（大成町）の漁業者に対して実施した磯焼けに関する聞き取り調査では、磯焼け発生以前の浅海底は無節サンゴモの色（ピンクや白）ではなく褐色を呈していたという証言が得られており、これはイソガワラ類（イソイワタケなど）や付着珪藻が海底基質を覆っていたためと考えられている（藤田、1996）。また、本種は、北海道南西岸の磯焼け地帯で実施した付着板設置試験によって、無節サンゴモと競合関係にあることが指摘されている（藤田、1997）。今回、栄養塩濃度が高い条件でイソイワタケが繁茂したことは、無節

サンゴモが貧栄養に適しているとする見解（Ichiki *et al.*, 2000）と対照的で、非常に興味深い。

飯泉（1997, 2000）は、培養中のホソメコンブに対する加温と栄養塩添加の効果を比較することにより、栄養塩よりも水温上昇の方が生育に大きな影響を及ぼすとしているが、今回の試験では、比較的高い水温（11°C）でも栄養塩濃度が高ければ種々の海藻が生育することが判明した。また、著者は、本実験終了後、先の3回目の試験（藤田、1997）と同様に、磯焼け地帯の転石にホソメコンブ遊走子を播種して深層水中で保持した結果、上記の避難領域を中心に幼体が密生することも確かめている（藤田、未発表）。以上のことから、北海道南西岸の磯焼け地帯では、植食動物のグレージング以外の要因として、水温よりも栄養塩条件が重要と考えられる。貧栄養海域といわれる北海道南西岸（飯泉、2000）においても、磯焼けが顕著になる前には種々の栄養塩添加・維持機構があったと推察されており（藤田、1996），今後、さらに検討を進めたい。

謝 辞

実験材料の採集にあたり、ひやま漁業協同組合貝取澗支所と大成町立水産種苗センターの皆様にはご理解とご協力を賜った。この場を借りて厚くお礼申し上げる。

参考文献

- 阿部英治・松山恵二・辻寧昭（1982）：忍路湾におけるホソメコンブの群落形成。道水試報, 24, 41-52。
- 吾妻行雄（1997）：キタムラサキウニの個体群動態に関する生態学的研究。道水試報, 51, 1-66。
- 吾妻行雄（1999）：北海道日本海沿岸における藻場修復。84-97頁、磯焼けの機構と藻場修復、谷口和也編、恒星社厚生閣、東京。
- Connell, J. H. (1978): Diversity in tropical rain forests and coral reefs. Science, 199, 1302-1310.
- Coyer, J. A., R.F. Ambrose, J. M. Engle and J. C. Carroll (1993): Interactions between corals and algae on a temperate zone rocky reef: mediation by sea urchins. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 24, 205-307.
- 藤田大介（1995）：磯焼け地帯に生育する無節サンゴモ。月刊海洋, 27(1), 60-65。
- 藤田大介（1996）：磯焼け。51-86頁、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。
- 藤田大介（1997）：無節石灰藻と有用海藻との競合関係の解明。農林水産技術会議事務局研究成果 317, 34-48.
- Fujita, D. (1998): Strongylocentrotid sea urchin-dominated barren grounds on the Sea of Japan coast of northern Japan. p. 659-664. In Echinoderms: San Francisco, ed. by R. Mooi and M. Telford, A. A. Balkema, Rotterdam.
- Ichiki, S., H.Mizuta and H.Yamamoto (2000). Effects of irradiance, water temperature and nutrients on the growth of sporelings of the crustose coralline algae *Lithophyllum yessoense* Foslie (Corallinales, Rhodophyceae). Phycol. Res., 48, 115-120.
- 飯泉仁（1997）：環境条件と植食動物量からみた磯焼け予測技術。農林水産技術会議事務局研究成果, 317, 90-97.
- 飯泉仁（2000）：北海道日本海沿岸の磯焼け。27-48 頁，水産業の再生戦略，橋高二郎・出口吉昭・平田八郎・山崎文雄編，恒星社厚生閣，東京。
- Lawrence, J. M. (1975): On the relationships between marine plants and sea urchins. Oceangr. Mar. Biol. Ann. Rev., 13, 213-286.
- 正置富太郎・藤田大介・秋岡英承（1981）：エゾイシゴロモ（紅藻サンゴモ科）上におけるマコンブの発芽について。北大水産彙報, 32, 349-356.
- Masaki, T., D. Fujita and T. Hagen (1984) : The surface ultrastructure and epithallium shedding of crustose coralline algae in an 'Isoyake' area of southwestern Hokkaido, Japan. Hydrobiologia, 116/117, 218-223.
- 西浜雄二（1977）：大成町の水質の季節変化。昭和 51 年度北海道立栽培漁業総合センター事業報告書, 79-81.
- Suzuki, Y., T. Takabayashi, T. Kawaguchi and K. Matsunaga (1998): Isolation of an allelopathic substance from the crustose coralline algae, *Lithophyllum* spp., and its effect on the brown alga, *Laminaria religiosa* Miyabe (Phaeophyta). J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 225: 69-77.
- 高柳信孝・大浦敞・斎藤行雄・山本敦・小玉修嗣・健名智子・大戸幹也・松永明信（2000）：富山湾の深層水の成分調査。富山県衛生研年報, 22, 209-214.
- 館脇正和（1993）：*Palmaria palmata* (Linnaeus) O. Kuntze (ダルス). 290-291 頁, 藻類の生活史集成第 2 卷 褐藻・紅藻類, 堀輝三編, 内田老鶴園, 東京.
- Watanabe, M., J. Ohtsu and A. Otsuki (2000): Daily variations in nutrient concentrations of seawater at 321 m depth in Toyama Bay, Japan Sea. J. Oceanogr., 56, 553-558.

(2001. 3. 13 受付, 2001. 5. 16 受理)