

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19580384

研究課題名（和文）失われた磯環境の回復—護岸壁潮下帯生物群集の再生要因の解明と環境修復

研究課題名（英文）Studies on formation of subtidal biological communities on a quay wall constructed in rocky shore area

研究代表者

加戸 隆介（KADO RYUSUKE）

北里大学・海洋生命科学部・教授

研究者番号：40161137

## 1. 研究成果の概要（和文）：（200字程度）

生物多様性が乏しい三陸沿岸の港護岸壁において、大型付着動物であるアカフジツボの存在がもたらす群集形成効果について検討した。その結果、アカフジツボ存在下では、1）藻類の被覆度が春期に高く、より長く維持される、2）生物多様性が高まる、ことが判明した。しかし、アカフジツボは護岸壁では比較的短命で、1年を超えて生き続けることはなかった。潮下帯の生物多様性を低くしている原因はキタムラサキウニにあり、ウニの高い摂餌圧の抑制が生物群集形成に必須であると判断された。

研究成果の概要（英文）：

*Megabalanus rosa*, a common barnacle in shallow waters in Japan, has been tested to be a key species to form subtidal biological communities on the quay wall in Okkirai Bay, northern Japan. As a results, it enhanced settlement of macro-algae during winter season when water temperature in winter being even or higher than average year, but not on a year with lower temperature. It also enhanced higher biodiversity on the test plates due its greater area and surface contour formed by its shells. But the barnacle did not survive until next year in this experiments. *Strongylocentrotus nudus*, a common seurchin in this area, had significant effects on biological communities of test plates like a rocky-shore denudation. This species showed up-and-down feeding activity, and fed 0.53 g (dry weight) a day at 15 °C in maximum. Elimination or cull for this seurchin seemed to be indispensable to form or recover biological communities in the subtidal zone in this area.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：境界農学・環境農学

キーワード：護岸壁、潮下帯生物群集、アカフジツボ、キタムラサキウニ、生物多様性、凹凸効果

## 1. 研究開始当初の背景

日本では、港湾整備事業として天然の磯を垂直護岸壁に囲まれた漁港整備が行われてきた。その結果、潮間帯から潮下帯にいたる生産性の高かった傾斜岩礁・砂浜域は失われ、底生生物群集や魚介類育成場の喪失や分断を招くこととなった。こうした人工的環境をできるだけ天然に近い環境に近づける取り組みは、関西国際空港の緩傾斜護岸での藻場造成が成果を上げたのを契機に、国も積極的に支援する方向にある（古川, 2006）。しかし、既に存在する垂直護岸をどのように自然に近づけていくかについての具体的な取り組みはほとんどなされてきていない。

申請者は、「護岸壁潮間帯生物群集の再生要因の解明と環境修復」と題する科研費による過去3年間の研究(2004-2006)で、1900年代末の世界的猛暑による環境攪乱で生物量や種数が激減した東北地方の護岸壁潮間帯生物群集について、その再生要因を解明する調査研究を行ってきた（加戸ら, 2005、加戸, 2006）。その結果、1) 潮間帯の優占種であったチシマフジツボが護岸壁潮間帯生物群集再生の鍵を握ること、2) 捕食者であるキタムラサキウニはフジツボやイガイまでも摂餌するが、10mmを超えるフジツボは摂餌できないこと、3) 基質表面起伏が生物群集の維持に重要であること、4) 2年間の追跡調査でウニ捕食圧を抑えた試験区では、チシマフジツボを付着基質とした生物群集が再生し、群集構成種数や生物量が明らかに高くなることを示すことができた。

一方、潮下帯においても生物多様性は乏しい状態であり、この現象は磯焼けによる藻場衰退とも密接に関係していると考えられ、潮下帯における生物群集の再生は沿岸域の生産性や生物多様性の向上のためにも重要な課題となっている。

## 2. 研究の目的

本研究では、以下の4つについて現場および屋内実験を行った。

(1) 潮間帯において生物多様性の向上に重要な役割を果たしていたチシマフジツボにヒントを得て、潮下帯に生息する大型のフジツボであるアカフジツボがチシマフジツボと同様に、潮下帯において生物群集を形成する効果を果たし得るのか現場実験により検証する。

(2) 基板に凹凸を与えることにより、フジ

ツボ殻と同様の効果を期待できるかを現場実験により明らかにする。

(3) 磯焼けの原因のひとつに数えられている潮下帯優占種であるキタムラサキウニの潮下帯生物群集における影響について、現場にて(1)と並行してウニ排除実験区を設けて明らかにするとともに、これまで明らかにされていないキタムラサキウニの摂食量の経日変化を異なる水温条件下において室内実験により明らかにする。

(4) 上記3つの実験からキタムラサキウニの影響が潮下帯護岸壁においても極めて大きいことが明らかになってきたことから、キタムラサキウニの摂餌を阻害する方法のひとつとして基質に杭を設けた場合の摂食阻害効果を現場実験および屋内行動解析により明らかにする。

## 3. 研究の方法

(1) アカフジツボの生物群集形成効果  
アカフジツボを付着させたコンクリート試験板(25×25×4 cm)と対照板、およびそれらを目合い10mmのステンレスの金網で覆ったものを、2007年2月～2009年11月に岩手県大船渡市の越喜来湾崎浜岸壁の平均水面下175 cmに垂下し、1または2ヶ月毎に写真撮影して、生物種数、個体数、被覆度の変化を調べた(図1、2)。

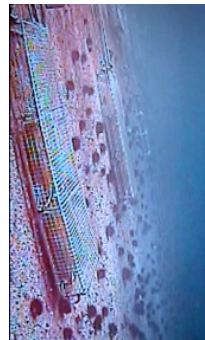


図1. コンクリート試験板の垂下の様子。手前は金網で囲われている状態(左図)



図2. 岩手県越喜来湾崎浜岸壁での実験板垂下状況(上)

(2) 基板の凹凸による潮下帯生物群集の形成効果

コンクリート上にフジツボ殻を鋳型とした凹凸基板(25×25 cm)を作成し、これを上記の実験と同様の水深、同様の環境条件(網の有無)下に設置して、写真撮影による基板表面の生物相の変化を(1)と同様に追跡した。実験期間は(1)と同様である。

(3) 潮下帯の優占種であるキタムラサキウ

ニの摂食と水温、および摂餌量の経日変化  
 殻径が5 cmおよび7 cmのキタムラサキウニ5個体をそれぞれ14Lの小型水槽に收容し、これらを2トンの大型水槽に沈めた。実験開始2日前から人工餌料(うに3号:日本農産工業)を投与し、実験開始後からは同餌料を毎日5g、個々の水槽に投与した。24時間後に残餌を回収して乾燥し、対照水槽における餌の乾重量との差から日間摂餌速度を算出した。この実験を水温10°C、15°C、17°Cの3つの水温条件下で実施した。

(4) キタムラサキウニの摂餌阻害要因としての杭の効果

①コンクリート製基板(25×25 cm、厚さ4 cm)表面に軟質プラスチック製の杭(φ3 mm、長さ15 cm)を3または5 cmの間隔で取り付け、これら3枚ずつをステンレス枠に水平に取り付けた。各板の中央には、およそ30~50 cmに成長したマコンブの藻体が付着した種糸を取り付け、30本の藻体を残して、藻体長を30 cmに切りそろえた。これらを水面下175 cmの水位に垂下した。これら試験板は、2008年5月~8月の期間、越喜来湾崎浜岸壁の平均水面下175 cmの水深に設置した。この間、試験板をおよそ一週間毎に引き上げて、各試験板上の藻体本数、藻体長を調べたのち、再び海中にもどした。  
 ②塩ビ製の段ボール様板(“PP ダンプレート”、(株)コメリ)を30×30 cmに切断し、①で用いたプラスチック製の杭を3 cmの間隔で取り付け、2トン水槽の底面に1列、2列、または3列に並べることにより、水槽底面を障害物帯(30、60、90 cm)で2分する様にした。そして、水槽内に海水を6L/分の割合で通水した。障害物帯を境に下流側に5個体の殻径が5 cmのキタムラサキウニを放ち、上流側には人工餌料(ウニ3号、前出)30 gを置いた。この水槽上部から、ビデオカメラでウニの行動を撮影し、個々のウニについて、移動経路、移動距離、移動時間を調べた。

#### 4. 研究成果

(1) アカフジツボによる生物群集形成効果とその理由

①大型藻類の試験板への加入は、冬期の水温の下降状況に大きく依存し、水温が平年より低下した年はマコンブの加入量はアカフジツボの存否に関係なく極めて大きかった(図3)。一方、冬期の水温が平年同様または平年より高い年には、マコンブの試験板への付着数は少なく、加入したマコンブ付着数はアカフジツボ付着試験板において多く、その付着位置はフジツボ殻上または周辺であることが明らかとなった(図4)。  
 ②アカフジツボ存在下では、藻類の被覆度は

対照板よりやや高く、より長い期間維持された。また、動物の出現種数もアカフジツボ存在下で多いことが明らかとなった(図5)。

③しかし、アカフジツボは試験板上では比較的短命で、1年を超えて生き残ることはなかった。

④フジツボ殻を模した凹凸をもつ試験板を用いた場合にも、前述とほぼ同様の結果が得られた。

⑤以上のことから、試験板をキタムラサキウニの侵入を防ぐ目的で金網を用いて覆った場合に顕著であったが、金網が無くキタムラサキウニが自由に試験板上にアクセスできる状況下では、いずれの板もキタムラサキウニによる摂食活動により、生物多様性、季節的な生物加入があった後の群集存続時間も明らかに短いことが判明した。

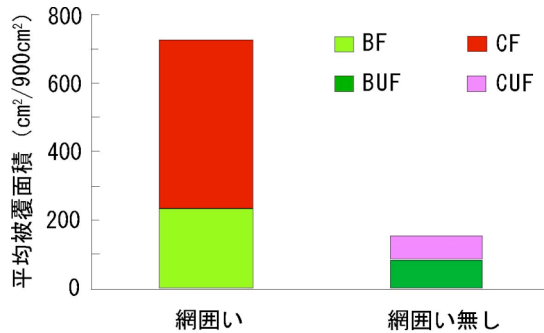


図3. 4条件下における藻類年間平均被覆面積(2008年)(BF:アカフジツボ存在&網有り、BUF:アカフジツボ存在&網無し、CF:対照&網有り、CUF:対照&網無し)

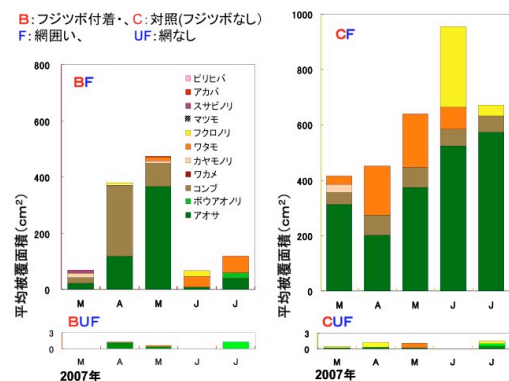


図4. 4条件下における藻類被覆面積の経月変化(2007年3月~7月)(BF:アカフジツボ存在&網有り、BUF:アカフジツボ存在&網無し、CF:対照&網有り、CUF:対照&網無し)

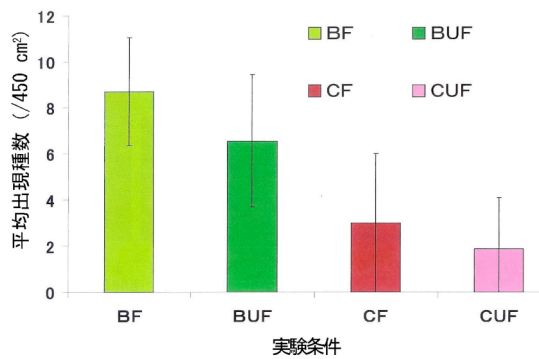


図5. 4実験条件下における動物年間平均出現種数 (BF:アカフジツボ存在&網囲い、BUF:アカフジツボ存在&網囲い無し、CF:対照&網囲い、CUF:対照&網囲い無し)

以上の実験結果は、フジツボの存在は試験板上に生物多様性向上効果をもたらすと判断できる。その理由としては、基板表面に凹凸を生み出すことによる表面積増加効果、キタムラサキウニの摂餌に対する障害物効果が考えられた。しかし、アカフジツボは比較的短命で、越年して群集が維持・発達することが無かったため、継続的な生物多様性向上効果をアカフジツボに期待することは出来なかった。ただし、アカフジツボが多層に付着した群集であった場合の効果については本研究では明らかに出来ておらず、今後の課題である。

一方、キタムラサキウニ存在下では、アカフジツボの存在効果は小さく、キタムラサキウニの摂餌圧が高い条件下では、生物群集形成は極めて困難であると結論された。

## (2) キタムラサキウニの摂食と水温、および日間摂餌量の経日変化

キタムラサキウニの24時間の間に摂食する量(日間摂餌量)は一定ではなく、一度多量(最大乾重量でおよそ0.5 g/個体/日)に摂食した後減少し、再び摂餌量が増加するまでおよそ2~4日かかった。この現象は実験を行った10℃、15℃、17℃の水温条件下で概ね共通していたことから、摂餌量は周期的に変動するものと考えられた(図6)。

1週間の実験から算出された1日の平均摂餌速度(乾重量)を以下の表1に示す。摂餌速度は15℃のときに最大で、10℃と17℃ではいずれも降下した。

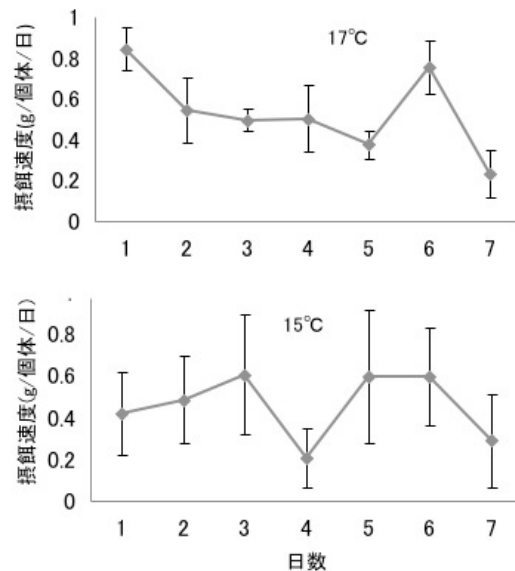


図6. 水温15℃と17℃の条件下における殻径5cmのキタムラサキウニによる日間平均摂餌速度の変化

表1 殻径の異なるキタムラサキウニの3つの異なる水温条件下における日間平均摂餌速度 (g/個体/日)

水温(℃)	殻径(cm)	
	5	7
10	0.32	0.46
15	0.45	0.53
17	0.38	0.3

## (3) キタムラサキウニの摂餌阻害要因としての杭の効果

①基板に杭を設けることによるキタムラサキウニのマコンブ摂餌行動に対する影響を杭間隔が3 cmと5 cmに設定した場合について比較した。その結果、マコンブの葉長において、杭間隔が3 cm間隔の試験板と他のふたつの試験板(対照板、5 cm板)との間に有意な差が認められた(図7)

②屋内水槽で行った杭間隔3 cmの杭帯の通過に要する時間は、障害物としての杭帯の幅に比例して増加した(杭帯幅90cmの場合、対照は30分、杭帯はおよそ4時間)(図8上)。一方、通過までの平均移動距離は杭帯の幅に概ね比例したが、長期間になると多少学習効果による移動距離の短縮化があり得ると考えられた(図8下)。

以上のことから、杭の存在下でもキタムラサキウニには餌の存在場所を認識し、道程を大きく外れることなしに通過を試みていると考えられた。その動きを止めるためには、より小さな間隔で杭を設置することが必要といえる。

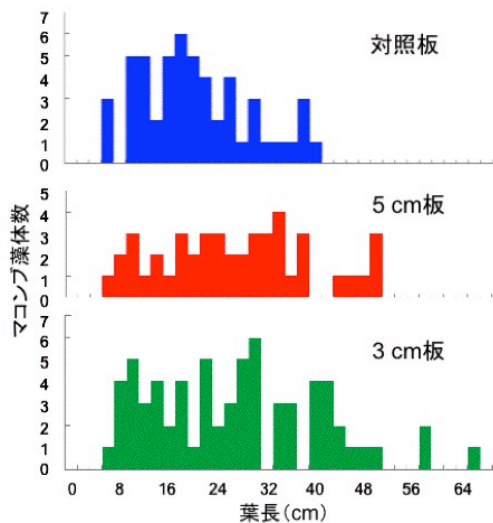


図7. キタムラサキウニに対する障害物として異なる間隔で埋設した杭のある試験板におけるマコンブの藻体数と葉長の頻度分布 (2008年8月1日における状態、凡例の数値は杭間隔を示す)

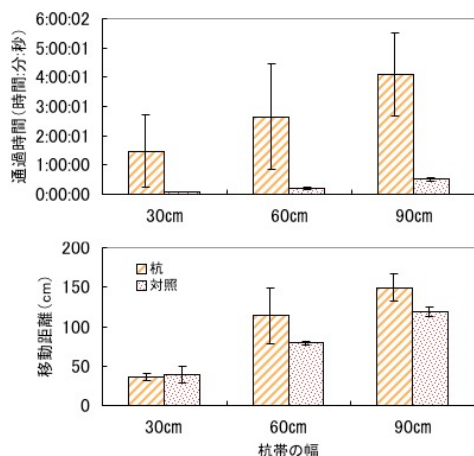


図8. 異なる杭帯幅を通過するのに要する時間および通過距離

#### 総括

以上の研究を通じて明らかになった点を以下に記す。

護岸壁の潮下帯において生物多様性を向上させるためには、まず第一にキタムラサキウニの生息密度の低下または排除が不可欠である。ウニの行動を制御する方法として、行動の妨げになる杭の埋設効果を検討した結果、杭間隔が3cmではウニの移動を妨げることができなかった。ウニの移動を大幅に制限するためには、杭間隔を3cm未満にすることが必要と考えられる。

護岸壁面の生物多様性の向上を助長するた

めに有効と考えられる壁面の表面起伏の多様化法として、石灰質の殻をもつアカフジツボによる多様性助長効果を調べた。その結果、生物多様性指標のひとつである動植物種数の増加効果が認められた。また、人為的に基質に凹凸を与えることも効果的と判断された。ただし、基質に凹凸を人為的に与える場合には、一般に殻をもつ附着動物が窪地を選択して附着する傾向にあることから、これらの動物の継続した附着による凹凸度の減少が進行するため、与える凹凸程度はできるだけ大きい方が望ましいと判断された。

水産資源として重要な大型藻類であるマコンブの加入量は、その年の水温と密接に関連しており、低水温年にはおびたしい附着が観察され、その場合には、基質の凹凸に無関係に多数附着した。マコンブの加入が少ない年には、フジツボや人為的凹凸が附着を助長する効果が認められた。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

①加戸隆介・鈴木潤也・難波信由・小河久朗：越喜来湾に移植したミネフジツボの再生産・成長および食性と養殖への課題, *Sessile Organisms*, 査読有, 26, 2009, 1-10

[学会発表] (計2件)

①古茂田真幸・加戸隆介・難波信由：キタムラサキウニの発生に及ぼす海藻抽出液の影響, 日本附着生物学会, 2010年4月1日, 東京海洋大学

②加戸隆介・難波信由・本島健太郎・本橋啓太郎・鳥越禎永・吉川 遼：杭を用いたウニに対するマコンブ摂餌阻害効果, 日本水産学会, 2008年3月30日, 東京海洋大学

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

加戸 隆介 (KADO RYUSUKE)

北里大学・海洋生命科学部・教授

研究者番号：40161137

##### (2) 研究分担者

難波 信由 (NANBA NOBUYOSHI)

北里大学・海洋生命科学部・准教授

研究者番号：20296429