

揺動人工海藻のウニに対する摂餌制御効果と藻場創出効果

山下俊彦*・中川将志**・永田晋一郎***・坪田幸雄****

1. はじめに

北海道南西日本海沿岸では、磯焼け現象が深刻な問題となっている。磯焼け現象に関しては多くの研究がなされ、その持続要因としてウニの摂餌圧が重要であることが明らかにされている（例えば、北海道（1994））。磯焼け地帯において、海藻群落を形成するためには、海藻の幼芽期等にウニの侵入・摂餌を防止する必要がある。ウニの侵入を直接防止する方法としては、刺し網フェンス、空気フェンス、電流フェンス等が開発されている。一方、流速増加によるウニの侵入・摂餌制御構造物として、海底面をかき上げる罫礁等がある。これらの方法は、その効果と費用対効果の面でいくつかの問題が指摘されているのが現状である。

そこで山下ら（2000）は、波動によって振動する人工海藻の揺動効果に着目し、冬期から春期に、角の多い人工海藻上に効率的にコンブ胞子を着底させ、その幼芽期はウニの摂餌から守り（図-1(a)）、春期から夏期に、コンブは成長し藻場が形成され、成長したコンブは海底面に倒れ、ウニの摂餌による磯（人工海藻）掃除が行なわれる（図-1(b)）というサイクルを繰り返すことによって、藻場の創出とウニの飼育が両立するような方法を提案している。この方法は、浮泥や細砂がたまり易い場所でも、揺動人工海藻はほぼ鉛直に立つため、人工海藻上には泥等がたまず、コンブ胞子を人工海藻上に効率的に着底することができるという利点もあるため、様々な海域での利用が考えられる。

本研究では、揺動人工海藻のウニの挙動への知見を得るため、キタムラサキウニ（以下キタムラと略称）、エゾバフンウニ（以下バフンと略称）の揺動人工海藻への這い上がりに対する流速振幅、人工海藻の揺動角、人工海藻の剛性、幼芽着生高さ、水温、ウニの種類と殻径との関係を実験的に明らかにする。その結果を基に、実海域において、人工海藻を設置し、人工海藻による藻場創出

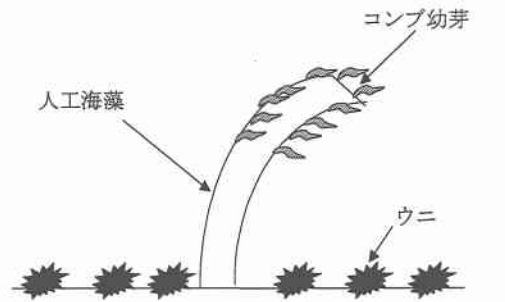
効果の可能性を検討する。

2. 実験方法

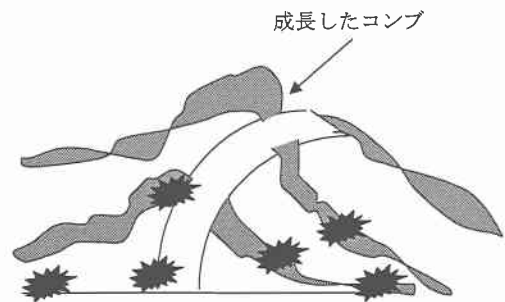
2.1 室内実験 1

実験には、山下ら（2000）と同様の耐海水任意波形振動流装置を用いた。幅 0.3 m、高さ 0.4 m、長さ 5 m の観測部を網で長さ 2 m の 2 部に区切り、それぞれの区域の中央に人工海藻を設置し、殻径 ϕ が約 40 mm のキタムラを 10 個体ずつ投入した。人工海藻としては、板厚 $d=0.3$ mm と 0.5 mm、高さ 30 cm、幅 $b=3$ cm と 7 cm の合成樹脂版を用いた。

揺動している人工海藻へのウニの這い上がり調べ



(a) 揺動人工海藻によるコンブの着生促進とウニからの幼芽保護（冬期～春期）



(b) 成長したコンブとコンブを摂餌するウニ（夏期）

図-1 藻場の創出とウニの飼育の概略図

* 正会員 工博 北海道大学助教授 大学院工学研究科環境資源工学専攻
** 北海道大学大学院工学研究科
*** 北海道開発局
**** 正会員 工修 (独)北海道開発土木研究所

ために、人工海藻には幼芽のかわりに、身の固い乾燥利尻コンブを水戻しして人工海藻上に固定し、ウニがコンブを摂餌しようとして人工海藻に這い上がるようにした。コンブの大きさは高さ方向が5 cmで、幅は人工海藻と同じとし、人工海藻の両面に、底面からコンブの下端までの高さ h が5, 10, 15, 20 cmになるように取り付けた。

2.2 室内実験2

実験2では長さ5 mの観測部を網で長さ1.3 mの3部に区切り、区域の中央には板厚 $d=2$ mm、高さ30 cm、幅 $b=7$ cmの剛性の異なるEVA樹脂板(EVA1, EVA2)を人工海藻として設置し、殻径 ϕ ≈約30 mmと70 mmのキタムラとバフンを15個体ずつ投入した。コンブの取り付け位置は $h=5$ cmのところである。

流動条件は、周期を7秒で一定とし、実験1では流速振幅を0~15 cm/sの4種類に変化させ、各々の振動流を6時間作用させた。また、温度変化によるウニの挙動の変化を調べるため、水温 t は7°C, 10°C, 15°Cで行なった。実験2では流速振幅を0~20 cm/sの振動流を48時間作用させた。

2.3 現地試験

図-2に示す江良漁港に2000年11月下旬に人工海藻を設置した。設置位置No.2付近の流速発生頻度の推定を図-3に示す。この位置では、コンブ幼芽期である1月~3月において、流速 $u \leq 25$ cm/sの発生頻度が80%程度であり、磯焼け状態である。2001年3月中旬に人工

海藻への海藻付着状況を調べた。

3. 結果及び考察

3.1 室内実験1

図-4に、静水中($u=0$ cm/s), $h=5$ cm, 水温15°Cの場合のコンブに付着するウニの個体数の時間変化を示す。条件によりコンブに付着したウニの個体数の変化は異なるが、全体的には1時間以内にコンブに付着するウニが現れはじめ、3時間後にはほぼ一定の個数のウニがコンブに付着していることがわかる。

図-5に、水温15°Cで揺動人工海藻によじ登り、コンブに付着したウニの個体数を示す。この図は流速と人工海藻の板厚 d について着目し、人工海藻の幅、コンブの取り付け位置などの条件を合計したものである。ウニは人工海藻の根元から管足を付けて登ろうとするが、流速が大きくなるにつれて、人工海藻の揺動角(図-10参照)が増加するため、管足を付着している基質の角度が変化するのでウニは嫌がり、人工海藻をよじ登るウニは $d=0.3$ mmでは10 cm/s以上で、 $d=0.5$ mmでは15 cm/sで全くいないことがわかる。板厚 d が小さい程、人工海藻は揺動角が大きくなるので、小さい流速でウニは人工海藻をよじ登れなくなると考えられる。一方、流速5 cm/sでは、板厚が小さい方に多くのウニが付着していることがわかる。これは人工海藻の板厚が0.3 mmと薄い場

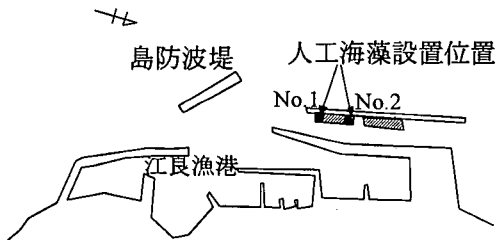


図-2 江良漁港

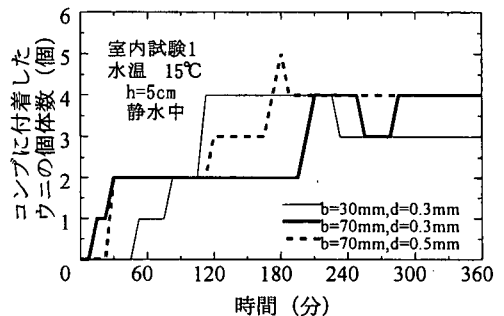


図-4 コンブに付着するウニの個体数

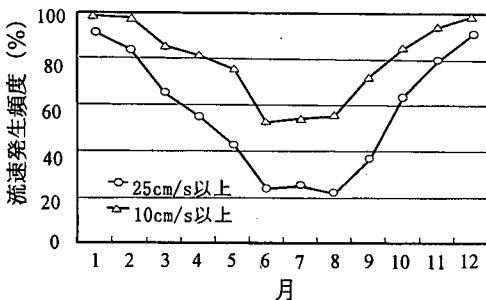


図-3 人工海藻設置位置の流速発生頻度

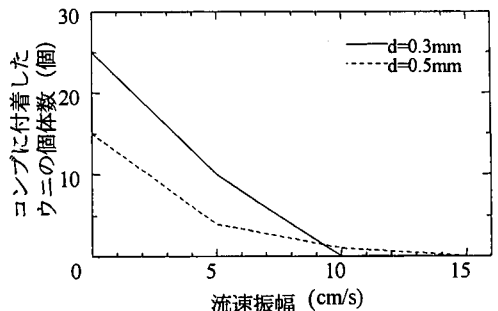


図-5 流速と板厚の影響

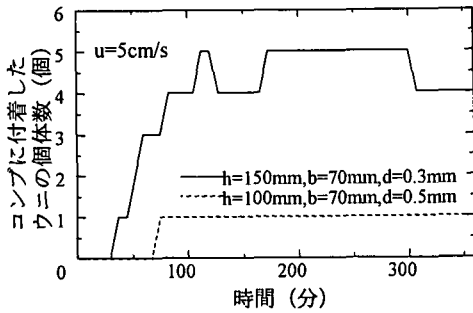


図-6 コンブに付着したウニの個体数

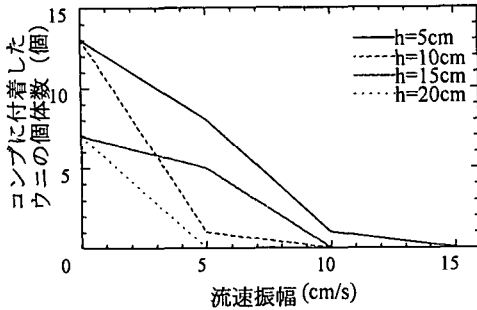


図-7 コンブの高さの影響

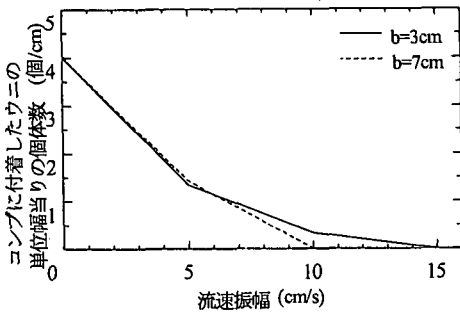


図-8 人工海藻の幅の影響

合に、ウニが1匹付くと人工海藻が倒され、ウニによって人工海藻が床に押えつけられるため、揺動しなくなり、図-6に示す流速5 cm/sの結果からわかるように、コンブに付着できるウニの個体数が急激に増加するためと考えられる。

図-7に、コンブに付着したウニの個体数へのコンブの高さ h の影響を示す。これは高さ以外の人工海藻の幅と板厚の条件を合計したものである。コンブの高さが高いほどコンブに付着するウニの個体数が減少することがわかる。これは、コンブの高さが高いほど、ウニがコンブのおいの元を感知しづらいためと考えられる。

図-8は、ウニの付着状況への人工海藻の幅 b の影響を示したものである。幅 $b=3$ cmと7 cmでウニの単位幅当りの付着状況の差はほとんどないため、今回の実験

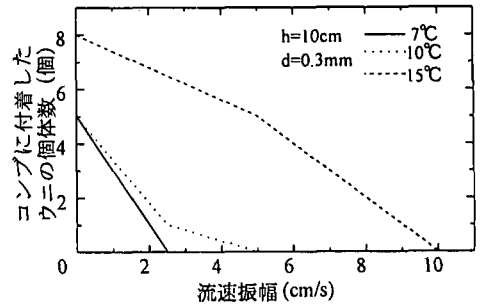


図-9 水温の影響

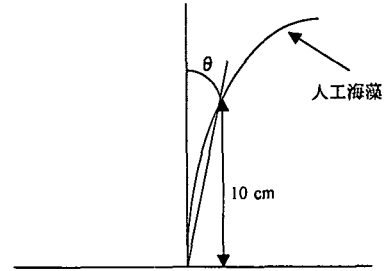


図-10 揺動角

条件の範囲では人工海藻の幅の影響は小さいと考えられる。

図-9にウニの付着状況への水温の影響を示す。実験はコンブの高さ $h=10$ cm, 人工海藻の厚さ0.3 mmで行なった。流速が大きくなり、人工海藻の揺動角が大きくなるにつれて、付着するウニの個体数が減少するという傾向は同じだが、人工海藻に付着できるウニの個体数は低温の場合、より小さい流速で少なくなることを明らかにした。

図-10に揺動角の取り方を示す。人工海藻の揺動角は鉛直からの角度とし、ウニの管足の伸ばせる位置を考慮して高さ10 cmの場所での角度とした。図-5より、流速振幅 $u=10$ cm/sで $d=0.3$ mmの人工海藻に付着するウニはゼロとなり、 $u=15$ cm/sで $d=0.5$ mmの人工海藻に付着するウニはまったくなくなることから、この時の人工海藻の揺動角 θ は約 20° で、水温 15°C までは揺動人工海藻により、コンブをウニの摂餌から守れることがわかった。

川俣(1994)の研究によると、水温 10°C でキタムラは、コンブを流速20 cm/sまでは静水中と同量摂餌でき、流速40 cm/sでは摂餌量はほぼゼロとなることが報告されている。今回用いた揺動人工海藻では、ウニの活動が 10°C よりも活発な水温 15°C でも、ウニは流速10 cm/s($d=0.3$ mm),あるいは15 cm/s($d=0.5$ mm)で人工海藻をよじ登れないことから、ウニのコンブ摂餌限界流速を40 cm/sから10 cm/sあるいは15 cm/sに小さく

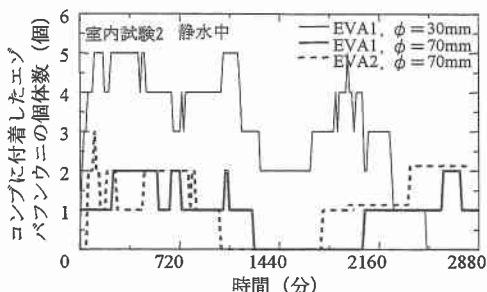


図-11 コンブに付着したエゾバフンウニの個体数

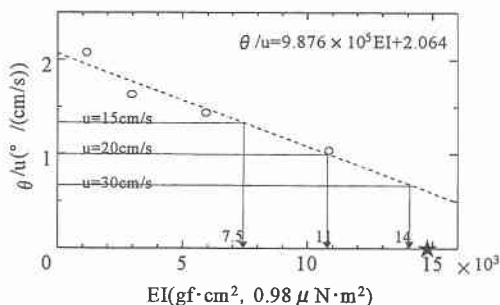


図-14 EI と θ/u の関係

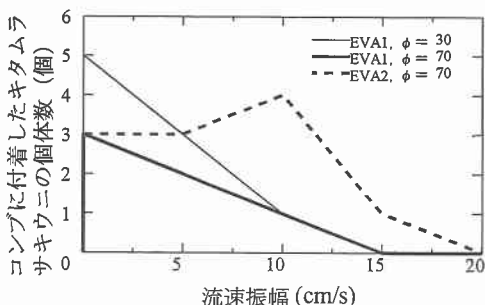


図-12 キタムラサキウニにおける流速の影響



図-15 実海域で人工海藻に付着したコンブ

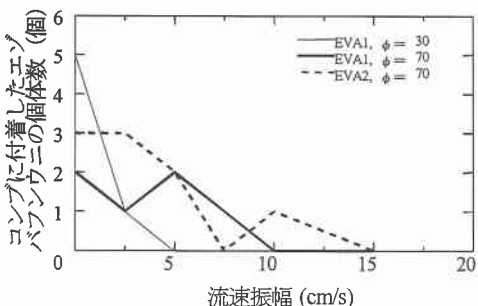


図-13 エゾバフンウニにおける流速の影響

できたと考えられる。

3.2 室内実験 2

室内実験 2 では実験時間を 48 時間とした。図-11 にバフンを例として、コンブに付着するウニの個体数の時間変化の一例を示す。実験 1 と同様に実験開始から約 3 時間後までに最大付着個体数になったことから、室内実験 1 の時間である 6 時間でウニの挙動を把握できることが確認された。

図-12 に、流速振幅と揺動人工海藻をよじ登り、コンブに付着したキタムラの個体数との関係を示す。キタムラは EVA 1 で、 $\phi=30, 70$ mm とともに $u=15$ cm/s の流速振幅で、EVA 2 では $u=20$ cm/s の流速振幅でコンブに付着できないことがわかる。これは、EVA 1 の曲げ剛性 $EI_1=6000$ gf·cm² (5.88×10^{-3} N·m²), EVA 2 の曲げ剛

性 $EI_2=11000$ gf·cm² (10.8×10^{-3} N·m²) であり、EVA 1 の方が EVA 2 よりも小さい流速でも大きく揺動するためである。EVA 1 の $u=15$ cm/s のときの揺動角は 22°, EVA 2 の $u=20$ cm/s のときの揺動角は 18°であることから、キタムラが人工海藻によじ登れなくなる揺動角、すなわち限界揺動角は約 20°であることがわかった。また、今回の実験の範囲では、キタムラ $\phi=30$ と 70 mm の差はみられなかった。

図-13 に、バフンの流速振幅とコンブに付着した個体数の関係を示す。バフンにおいて、コンブに付着できなくなる流速振幅は、EVA 1 での $\phi=30$ mm は $u=5$ cm/s, $\phi=70$ mm では $u=10$ cm/s, EVA 2 における $\phi=70$ mm で、 $u=15$ cm/s であり、 $\phi=70$ mm の限界揺動角は $\phi=30$ mm の限界揺動角よりも大きいことがわかった。

実験 1, 2 より、実海域に人工海藻を設置する際には、最もよじ登り能力のあるキタムラを対象とし、限界揺動角は 20°を用いれば良いことがわかった。実験 1 で使用した剛性樹脂板と実験 2 で使用した EVA 樹脂板の曲げ剛性 EI と θ/u (揺動角と流速振幅の比) の関係を求めた (図-14)。この図より、 θ/u と EI にはほぼ線形の関係があることがわかる。限界揺動角 $\theta=20^\circ$ を $u=15, 20, 30$ cm/s で確保できる剛性を図中に矢印で示した。これらの剛性の人工海藻を用いれば、川俣 (1994) の報告によるウニの限界摂餌流速を 40 cm/s から各々 15, 20, 30 cm/s に低下させることができ、海域特性によって使い

分けることが可能である。

3.3 現地試験

コンブ幼芽期の流速発生頻度を考慮して、図-14に、★で示す曲げ剛性 $EI = 14800 \text{ gf} \cdot \text{cm}^2$ ($14.5 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^2$) の EVA 樹脂板 ($u = 25 \text{ cm/s}$ に対応) を 2000 年 11 月に設置した。2001 年 3 月中旬の調査で、人工海藻にウニは付着せず、コンブ幼芽が着生しているのを確認した(図-15)。今後、継続的に調査を実施し、水温上昇、波高減少となる春～夏期の海藻、ウニの摂餌の状況を把握する予定である。

4. 結 論

本研究で得られた主な結果は次の様である。

(1) コンブ(幼芽)の高さが高いほどウニがコンブのにおいの元を感知しづらいため、コンブに付着するウニの個体数が減少することがわかった。

(2) 板厚が薄い方が人工海藻の揺動角(鉛直からの揺れ角)が大きくなるが、剛性が小さいため、1匹のウニがコンブに付く際に人工海藻は倒れてしまい、揺動しなくなるため、その後、コンブに付着するウニの個数が急増する。すなわち、曲げ剛性 $1000 \text{ gf} \cdot \text{cm}^2$ ($0.98 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^2$) 以下では必要な揺動角を得ることができても、剛性が小さすぎる可能性があることがわかった。

(3) 水温が低い程、ウニの活性が低くなるため、小さい流速で人工海藻によじ登れなくなることを定量的に

明らかにした。

(4) 人工海藻の揺動角に対するよじ登り能力は、キタムラでは $\phi = 30, 40, 70 \text{ mm}$ で同じで、パフンでは $\phi = 70 \text{ mm}$ の方が 30 mm よりも大きかった。

(5) 実海域に人工海藻を設置する際には、最もよじ登り能力のある $\phi = 30 \text{ mm}$ 以上のキタムラを対象とし、限界揺動角は 20° を用いれば良いことがわかった。

(6) 限界揺動角 $\theta = 20^\circ$ を $u = 15, 20, 30 \text{ cm/s}$ で確保できる剛性は $7500 \text{ gf} \cdot \text{cm}^2$ ($7.35 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^2$), $11000 \text{ gf} \cdot \text{cm}^2$ ($10.8 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^2$), $14000 \text{ gf} \cdot \text{cm}^2$ ($13.7 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^2$) で、これらの剛性の人工海藻を用いれば、ウニのコンブ摂餌限界流速を 40 cm/s から各々 $15, 20, 30 \text{ cm/s}$ に低下させることができ、海域特性によって使い分ければ良い。

(7) 現地に 11 月下旬に人工海藻を設置し、3 月中旬では、人工海藻にウニは付着せず、コンブが着生していることを確認した。

参 考 文 献

- 川俣 茂 (1994): 磯根漁場造成における物理的攪乱の重要性, 水産工学, Vol. 31, 2, pp. 103-110.
- 北海道 (1994): 海域特性総合利用技術開発調査報告書(磯焼けグループ), 68 p.
- 山下俊彦・中川将志・坪田幸雄 (2000): 人工海藻によるキタムラサキウニの移動・摂餌制御に関する実験, 水産工学, pp. 121-124.