

岩礁性生物ウニ・海藻への漂砂の影響に関する実験的研究

山下俊彦* ・高橋和寛** ・近藤正隆***
峰 寛明**** ・桑原久実***** ・坪田幸雄*****

1. はじめに

北海道の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と海藻着底基質の更新性が重要であることが指摘されている。著者ら(1997, 1998)は、北海道日本海沿岸の磯焼け地帯で周辺に砂礫がある海域で海藻群落が形成されている場合があることを報告している。この砂礫はウニの移動・摂餌制限と漂砂摩耗による新たな着底基質の露出等への効果が考えられる。また、最近浅海砂浜域の漁場造成として、砂浜域にコンクリート製藻礁等を設置し、海藻繁茂とウニの飼育が考えられている(瀬戸ら, 1997)。その際にも、砂礫によるウニの移動や摂餌等への効果と海藻の剥離への効果を把握しておく必要がある。山下ら(1998 a, 1998 b)は、ウニの移動特性への砂礫の影響を調べているが、定量的には把握されていない。そこで本研究では、振動流装置を用いて、砂床上及び固定床上でのウニの移動特性と摂餌量を調べ、ウニ摂餌への漂砂の効果を明らかにする。次に、海藻の漂砂による摩耗特性を調べ、漂砂摩耗による着底基質露出の効果を検討する。

2. 実験方法

2.1 砂床上でのウニの移動実験

殻径約 30 mm と 50 mm のキタムラサキウニと約 60 mm のエゾバフンウニをそれぞれ 20 個体用いた。実験は耐海水性振動流装置 A を用い、その観測部 (1.8 m 高さ×1.5 m 幅×5 m 長さ) に砂箱を入れ、その中に 4 種類の砂 ($d=0.3, 1.2, 7.0, 20.0$ mm) を敷き、その上にウニを投入した。水温は 15°C で行い、周期 7 秒の種々の流速振幅の振動流を作用させてウニの挙動を調べた。ウニの移動速度を調べる実験では、5 cm/s ごとに流速を増加させて、移動速度の速いウニ 10 個体の平均値として求め

た。また、比較として固定床上での移動速度も求めた。ウニが移動できなくなる移動限界流速、ウニが転がされる転動限界流速を調べる実験では、流速 15 cm/s から 1 cm/s ずつ増加させて求めた。また、固定床から砂床への移動確率を調べる実験では、固定床として 30 cm×30 cm の塩化ビニル板を周辺の砂床と同じ平面になるように敷き、その板上にウニを投入して、振動流を作用させた時のウニの砂床への移動確率を調べた。

2.2 砂床上でのウニの摂餌実験

殻径約 50 mm のキタムラサキウニと殻径約 30 mm のエゾバフンウニを用いた。実験海水温は 10°C と 15°C で行った。底質として粒径 $d=0.15$ mm, 1.2 mm (水温 15°C の時のみ) の砂と、比較のために固定床の 3 種類を用いた。実験は耐海水性任意波形振動流装置 B を用い、その観測部 (0.5 m 高さ×0.3 m 幅×5 m 長さ) に砂層厚 1 cm で砂を敷き、図-1 のように網で約 1 m ずつ 3 部に区切り、第 1 区域にはエゾバフンウニを 13 個体(バフンと略称)、第 2 区域には砂上を通らずに側壁からコンブへ移動できるようにアクリル板(最大厚 2 cm)を 1 部分敷き、そこにキタムラサキウニを 10 個体(キタムラ I)、第 3 区域にはキタムラサキウニを 10 個体(キタムラ II)投入した。それぞれの区域の中央に、100 mm×300 mm の利尻コンブの片端を底面に固定した。周期 $T=7$ 秒、流速振幅 $U=5$ cm/s, 20 cm/s の振動流を作用させ、ウニの摂餌量として実験前と終了後のコンブの減少重量からウニ全体での摂餌量と、ウニ 1 個体当たりの摂餌速度を求めた。今回の実験では、コンブとして身のかたい乾燥利尻コンブを水戻して使用した。水戻しの際、コンブの重量が増加するため、30 分後、9 時間後、24 時間後、46 時間後のコンブ重量を測り、その増加割合から実験終了時のコン

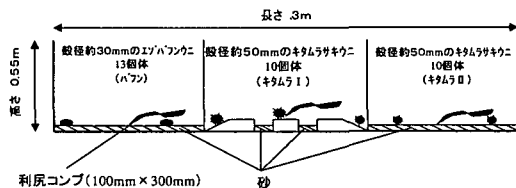


図-1 ウニの摂餌実験状況

* 正会員 北海道大学大学院助教授 工学研究科
** 学生会員 北海道大学大学院工学研究科
*** 大成建設(株)
**** (株)エコニクス
***** 正会員 北海道立中央水産試験場
***** 正会員 北海道開発局 開発土木研究所

ブ重量を予測し、その予測重量と実際に実験で使用した終了時のコンブ重量との差を、ウニの摂餌量として求めた。ウニの摂餌実験はコンブ水戻し後48時間から水温15°Cの時には9時間、水温10°Cの時には18時間行った。水温が10°Cの時には、15°Cの時よりもウニの活性が低いために、実験時間を長くしている。また、ウニの移動状況として実験1時間前、実験開始時(実験開始時までは流速ゼロである)、30分後、1時間後、2時間後、3時間後、5時間後、7時間後、9時間後、水温10°Cの時には18時間後にもそれぞれコンブに付いているウニの個数を調べた。

2.3 海藻の漂砂摩耗実験

実験では楕円球形のコンクリート塊(幅131mm,奥行き112mm,高さ67mm)に海藻(褐藻綱しおみどろ科)を着生させたものを用いた。耐海水性任意波形振動流装置Bを用い、その中央部にコンクリート塊を設置し、粒径 $d=0.3\text{ mm}$, 1.2 mm , 7.0 mm の砂を厚さ5cmで敷き、周期7秒で種々の流速振幅の振動流を作用させ、実験前後におけるコンクリート塊の写真撮影により、底質、流速などの条件による海藻の漂砂摩耗特性を調べた。実験条件を表-1に示す。

表-1 漂砂摩耗実験条件

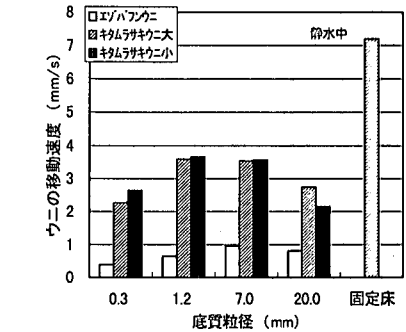
粒径 (mm)	流速 (cm/s)	作用時間 (min)
0.3	140	120
	180	120
	230	120
1.2	110	120
	120	120
	180	120
7	180	20
	270	20

3. 主要な結論

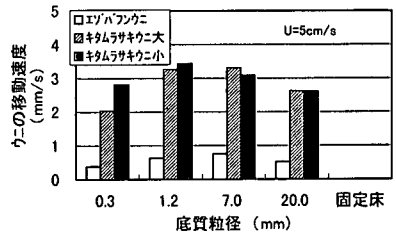
3.1 砂床上でのウニの移動特性

a) ウニの移動速度

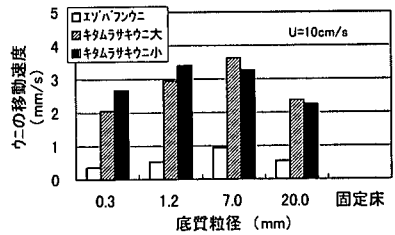
図-2(a)~(d)に、静水中、流速振幅 $U=5\text{ cm/s}$, 10 cm/s , 15 cm/s における各粒径でのウニの移動速度を示す。ウニは固定床よりは遅いが、どの底質においても移動が可能であることがわかる。全てのウニで、どの流速条件においても底質粒径 $d=0.3\text{ mm}$, 20.0 mm の時移動速度が遅くなっている。ウニは、棘と付着器である管足を使って移動を行うが、底質粒径 $d=0.3\text{ mm}$ と小さい時には、管足で底質に付着することが出来ず、棘のみで移動をしなければならない。しかし、その棘を使って移動をしても、砂自体が軽いので、棘と共に砂と一緒に動いてしまい移動しにくく、移動速度が遅くなっているものと考えられる。底質粒径 $d=20.0\text{ mm}$ と大きい時



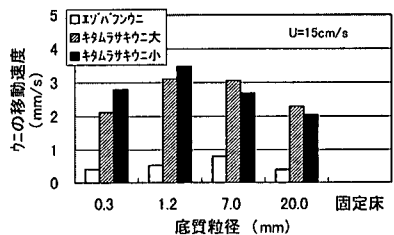
(a) 静水中



(b) U=5cm/s



(c) U=10cm/s



(d) U=15cm/s

図-2 ウニの移動速度

には、管足と棘の両方を使えるが、殻径と底質粒径の比から、相対的に底面がでこぼこで棘が引っかかり使いづらくなるために、移動速度が遅くなったものと考えられる。底質粒径 $d=1.2\text{ mm}$ の時には、管足で砂に付着することが出来るが、砂が細かく小さいため移動の支えにならず、棘に頼った移動になるが、 $d=0.3\text{ mm}$ の時とは違い、棘を上手く使うことが出来る分だけ移動速度が速くなっている。底質粒径 $d=7.0\text{ mm}$ の時には、棘と管足の

両方が使え、底面も平坦なため移動速度が速くなっている。全体的にエゾバフンウニはキタムラサキウニよりも棘が短かく、移動を管足に頼るため、砂礫によって移動速度が遅くなっている。また、今回の実験した範囲では移動速度への流速の影響は小さいことがわかった。

b) ウニの移動・転動限界流速

図-3にウニの移動・転動限界流速を示す。粒径20mmの転動限界流速のところの矢印は50cm/sでも転動しなかったことを示す。底質粒径が大きくなるほど管足によって安定した砂礫に付着できるため、底質粒径が大きくなるほど、両ウニとも移動・転動限界流速が大きくなる。また、底質粒径 $d=20$ mmでは砂が重たいため、砂をつけたままのウニが転がりにくくなるため、急激に転動限界流速が増加する。

c) 固定床から砂床への移動確率

図-4に固定床から砂床への移動確率を示す。キタムラサキウニは底質粒径が小さくなるにつれて、固定床から砂床へ下りる流速が小さくなり、この流速は図-3で示した移動限界流速にほぼ対応している。エゾバフンウニについても同じ傾向を示すが、キタムラサキウニより

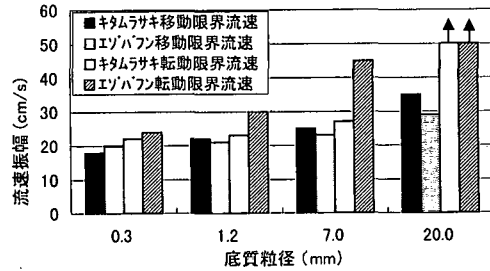
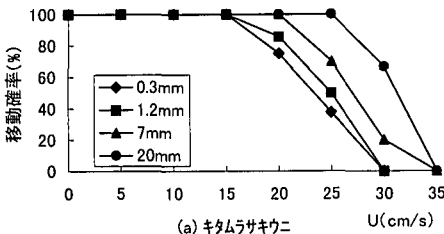
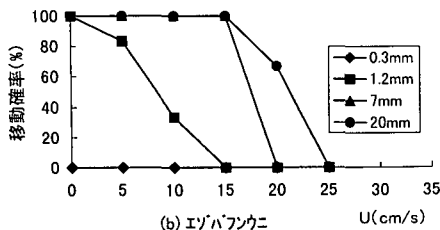


図-3 ウニの移動・転動限界流速



(a) キタムラサキウニ



(b) エゾバフンウニ

図-4 固定床から砂床への移動確率

も砂床を嫌い、移動可能な流速以下でも固定床から下りず、特に粒径0.3mmでは静水中でも砂床に下りるウニはいないことがわかった。

3.2 砂床上でのウニの摂餌特性

図-5に水温15°Cの時の全ウニの摂餌量を示す。エゾバフンウニは流速が大きく、底質粒径が細くなるほど摂餌量が減少する。バフンの $d=0.15$ mmでの $U=5$ cm/s, 20 cm/s と, $d=1.2$ mmでの $U=20$ cm/sの時はウニがコンブについていないためにゼロとなっている。キタムラ I は流速の増大により摂餌量が約半分になっているが、底質による違いは見られなかった。キタムラ II は流速 $U=5$ cm/sの時には、底質による違いはないが、流速 $U=20$ cm/sの時には底質が細くなるほど摂餌量が減少する傾向が見られた。

図-6に水温15°Cの時の1個体当たりのウニの摂餌速度を示す。キタムラサキウニとエゾバフンウニという種類による摂餌速度の差は見られるが、どのウニに関しても底質や流速によらずほぼ同じ値を示している。このことから、今回の底質粒径、流速条件では、ウニがコンブにつくことが出来さえすればウニの摂餌速度への砂礫による影響はないものと考えられる。

図-7(a)~(f)に水温15°Cの時のコンブについているウニの個数の時間変化を示す。コンブ、ウニをセットしてから実験開始まで水入れ等の準備のため約1時間か

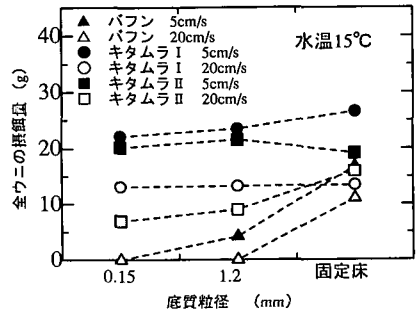


図-5 全ウニの摂餌量

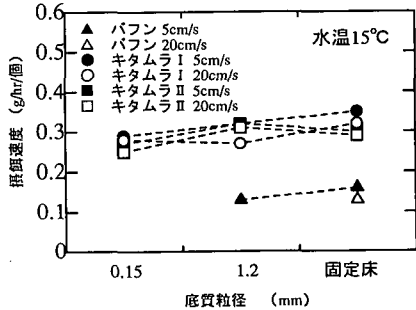


図-6 1個体当たりのウニの摂餌速度

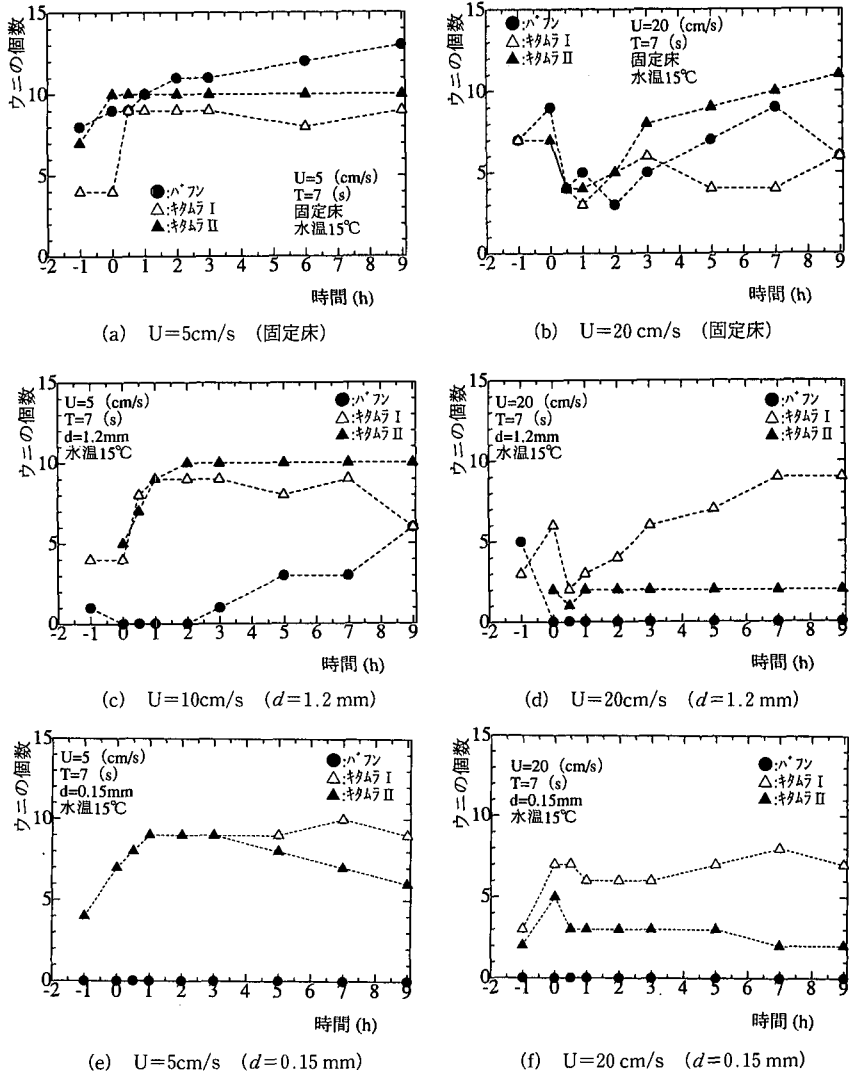


図-7 コンプについているウニの個数の時間変化 (水温 15°C)

かるため、静水状態のこの時間帯のウニの個数も調べた。(a)に示す固定床で流速 $U=5\text{ cm/s}$ の時には、どのウニに関しても実験前からコンプに付いていたウニは振動流を作用させてからもそのままコンプに付き、実験前にコンプに付いていなかったウニも、流れには関係なくコンプに付いて来ているが、(b)の固定床で流速 $U=20\text{ cm/s}$ の時を見ると、実験前にコンプに付いていたウニが流れを受けることによって、一旦離れることが分かる。しかし時間の経過に伴い流れに慣れることで、再びコンプにウニが戻ってきていることが3種類すべてのウニで見られる。

次に(c)の底質粒径 $d=1.2\text{ mm}$ で流速 $U=5\text{ cm/s}$ の時には、キタムラサキウニに関してはどちらも実験前の早い段階からコンプに付くことが出来き、流れを受

けてからも変わらずにそのままコンプに付いているが、エゾパファンウニは底質の砂を嫌い、なかなか側壁からコンプのある砂床へは下りず、流れに慣れてきてから砂床上を通り、コンプに付いていることがわかる。(d)のように底質粒径 $d=1.2\text{ mm}$ で流速 $U=20\text{ cm/s}$ となると、固定床の時と同様に流れを受けると一旦離れるが、砂床を通らずにコンプへ移動できるキタムラ I は、流れの慣れに伴い再びコンプに戻るが、砂床を通らなければならないキタムラ II やパファンに関してはコンプへの戻りや、付着が見られなかった。ウニは棘だけでも移動が出来るが、流速が大きくなると、管足の底質への付着力によって自身を転がらないように支えなければならない。底質粒径が小さく、流速が大きい場合には管足に付着した砂が動いてしまうので、パファンだけでなく、キタムラ

表-2 漂砂摩耗実験結果

粒径 (mm)	時間 (mm)	流速				
		110	140	180	230	270
0.3	120		△	△	△	
1.2	120	△	○	×		
7	20			◎		◎

空欄：実験

×：摩耗はほとんどなし ○：基質の露出がある摩耗

△：基質の露出がない摩耗 ◎：全面で基質が露出する摩耗

IIでも砂床上での移動が困難になったものと考えられる。

(e)のように底質粒径 $d=0.15$ mm で流速 $U=5$ cm/s となると、キタムラサキウニでは他の粒径と同様にコンブに付くことが出来るが、エゾバフンウニは今回の実験時間内では最後までコンブに付くことはなかった。

(f)の底質粒径 $d=0.15$ mm で流速 $U=20$ cm/s となると、エゾバフンウニは流速 $U=5$ cm/s の時と同じように今回の実験時間内でのコンブへの附着は見られなかった。またこの粒径でも砂上を通らずにコンブに付くことの出来るキタムラ I と、砂上を通らなければコンブに付くことの出来ないキタムラ II では、底質粒径 $d=1.2$ mm の時と同様に、流れを受けて一旦離れてから再びコンブへの戻りの有無に違いが見られる。

この移動状況は図-4で示したキタムラサキウニでは移動限界流速に近づくとき砂床にはなかなか下りてこなくなり、エゾバフンウニでは粒径が細くなると移動限界流速以下でも砂床に下りてこないという結果とほぼ一致しており、ウニの摂餌に対しても、ウニの固定床から砂床への移動制限への砂礫の効果が重要であることがわかった。

水温 15°C の時と比べて、水温 10°C の時には全体的にウニの活性が低いため、ウニ 1 個体当たりの摂餌速度も小さく、固定床より底質粒径 $d=0.15$ mm の方が、また流速が大きい方がコンブに付くウニの個数が少なくなるという傾向が顕著に見られる。そのためにウニ全体での摂餌量が、水温 15°C の時と比べると、 10°C では 3 分の 1 以下に減少している。

3.3 海藻の漂砂摩耗特性

表-2に海藻の摩耗結果を示す。粒径 $d=0.3$ mm では、すべての流速においてコンクリート塊の近くの砂はなくなり、両側に砂澁が形成され、浮遊砂による薄い摩耗が見られた。浮遊砂による摩耗では、その効果はコンクリート塊のほぼ全面に影響し、近くに砂澁が形成されなくても摩耗が見られた。場所的には摩耗は流れ方向に対して正面が最も大きく、次に側面が大きく、上面が小さかった。摩耗の程度は弱く、コンクリート表面が見え

るほどの海藻摩耗は見られなかった。摩耗の程度は流速の増大に伴い大きくなった。着生した海藻が薄く摩耗されるということは、着生した海藻のうち付着力の弱い種、あるいは成長段階の悪いものだけを剥ぎ取る効果をもたらしていると考えられる。粒径 $d=1.2$ mm の時には、流速 $U=110$ cm/s, 140 cm/s では、コンクリート塊の近くに砂澁が出来、主に掃流砂がコンクリート塊に衝突した。流速 $U=140$ cm/s では、砂澁の頂点部がコンクリート塊の側面を沿うように 1 周期ごとに移動し、コンクリート塊の側面は完全に摩耗され、上面も薄く摩耗していた。流速 $U=110$ cm/s では砂澁の中にコンクリート塊が埋没したため、摩耗の程度は弱かった。このように掃流砂による摩耗の効果は砂澁の形成状況に大きく左右されることがわかった。流速 $U=180$ cm/s ではコンクリート塊から離れた位置に砂澁が形成されたため、海藻の摩耗、剥離はほとんど見られなかった。粒径 $d=7.0$ mm ではコンクリート塊の周辺に砂澁が形成され、掃流砂がコンクリート塊に作用し、全ての流速において実験開始 20 分後にはコンクリート塊全面において完全に摩耗され、コンクリート自体も摩耗していた。

4. おわりに

岩礁性生物ウニ・海藻への漂砂の影響について耐海水振動流装置を用いて系統の実験を行った。粒径の小さい砂浜および漂砂は、ウニの移動抑制に大きな効果を持つことがわかった。コンブに附着したウニの摂餌速度への漂砂の影響は今回の実験の範囲では見られなかったが、コンブへの移動抑制という点で大きな効果を持っていることがわかった。海藻に関しては漂砂摩耗によって新しい着底基質の露出というプラスの効果と海藻の剥ぎ取りというマイナスの効果があることがわかった。

参考文献

- 桑原久実・赤池章一・林久 哲・山下俊彦 (1997): 磯焼け地帯における海藻群落の生育要因に関する研究, 海岸工学論文集, 第 44 巻, pp. 1181-1185.
- 桑原久実・川畑勝嗣・山下俊彦 (1998): 航空写真による北海道南西部磯焼け海域の海藻分布特性, 海岸工学論文集, 第 45 巻, pp. 1106-1110.
- 瀬戸雅文・水野武司・山下俊彦・梨本勝昭 (1997): 縦スット型藻礁の水理特性に関する研究, 海岸工学論文集, 第 44 巻, pp. 971-975.
- 山下俊彦・高橋和寛・金子寛次・桑原久実・竹田義則 (1998 a): キタムラサキウニの挙動への砂礫の影響に関する一実験, 平成 10 年度日本水産工学会講演論文集, pp. 31-32.
- 山下俊彦・桑原久実・竹田義則・近藤正隆・高橋和寛 (1998 b): ウニの挙動への砂礫の影響に関する実験, 寒地技術論文・報告書, Vol. 14, pp. 345-348.