

振動流中のエゾバフンウニ稚仔の行動と基質形状に関する一考察

Behavioral study of juvenile Sea Urchin *Strongylocentrotus intermedius*
on several substrate in oscillatory flow

町口裕二*・山下卓也**・阿久津孝夫***・山下俊彦****・南村尚昭*****・谷野賢二*****

Yuji Machiguchi Takuya Yamashita Takao Akutsu Toshihiko Yamashita Takaaki Minamimura Kenji Yano

The sea urchin *Strongylocentrotus intermedius* is very important echinoid in Japan. In recent year, 20million urchin seeds are released in sublittoral zone of Hokkaido. Behavior of the juvenile *Strongylocentrotus intermedius* was observed on several substrata in oscillatory flow. The adherence rate of sea urchin rises with a increase in the height of substrate.

Key word: sea urchin, substrate, oscillatory flow

1. はじめに

ウニ類は重要な産業対象種であり、全国各地で人工種苗生産・放流が盛んに行われている。北海道沿岸においてもエゾバフンウニを主体に毎年二千万粒以上の稚ウニが漁場に放流されている。しかし放流数の増加が、必ずしも漁獲量の増加に結びつかない場合もあり、未解決の問題が多く残されている。

これまでのエゾバフンウニ人工種苗に関する研究では、餌料環境と放流種苗の成長や生残との関係、あるいは害敵生物による食害の影響など、生物学的な要因を中心に研究が進められてきた。しかし、ウニ種苗は極浅い沿岸の岩礁域に放流されることが多く、放流後の成長や生残に大きく影響するであろうと考えられる、住み場と波浪との関係についての知見はほとんどない。本邦産ウニ類の波浪環境下における行動の観察例は、キタムラサキウニについて振動流における摂餌活動の観察例があるにすぎず^{1), 2)}、エゾバフンウニについては著者らによって基質の断面形状についての基礎的な研究^{3), 4)}と比較的低流速下における観察例⁵⁾があるのみである。これは、ウニ種苗が放流される岩礁域は、地形、底質、波浪環境等が複雑であり、実海域での定量、定性的な解析が困難なことに起因している。

本研究では波浪環境下におけるウニ稚仔の住み場の条件を明らかにするため、特に微地形を想定した実験をおこなった。実験はウニ種苗の振動流中での行動を観察すると共に、放流適地や適期を探る上での情報を得てウニ漁場の造成や漁場環境保全のための基礎的な知見の収集を目的として行った。今回想定した微地形は、岩盤状の亀裂や起伏と、転石やゴロタに代表される基質相互にできる凹地の2形状とした。

2. 実験方法

実験には北海道開発局開発土木研究所の任意波形振動流発生装置(実験水路:長さ4.0m, 幅0.3m, 高さ0.5m)を使用して波浪を再現した。同水路内に形状の異なるウニの付着基質を設置すると共にエゾバフンウニ稚仔を放流し、以下の条件下においてウニ稚仔の行動及び固着状況を観察した。振動流の周期は7秒、静水圧は0.2kg/cm²とし、設定流速は20, 50, 100, 150cm/secの4段階とした。流速は低流速から高流速へと暫時変化させ、それぞれの実験流速を1時間継続した。

付着基質は、高さ、幅それぞれ10×10mm, 25×25mm, 50×25mm, 75×25mmで、長さ300mmの角材を振動流方向と鉛直の向きに配置した。また20mmの間隔をあけ、それらの基質を3つ並べて溝(深さ=基質の高さ)が2カ所できるようなしたもの(図-1 参照)を高さの異なる4条件でおこなった。また一辺が、50×50mmおよび100×100mm, 高さ75mmの直方体を1つおきに格子状(基質相互の間に凹地)に配置した基質(図-2 参照)についても同条件で実験を行った。

* 水産庁北海道区水産研究所(釧路市桂恋116)	
** 正会員	パブリックコンサルタント(株)
*** 正会員	北海道開発局釧路開発建設部
**** 正会員	北海道大学大学院工学研究科
***** 学生員	北海道大学大学院工学研究科
***** 正会員	北海道東海大学工学部海洋開発工学科

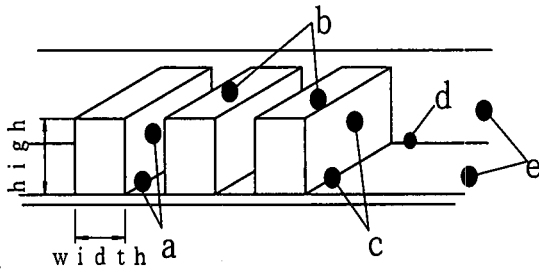


図-1 付着基質の概略とウニ稚仔着生位置の区分

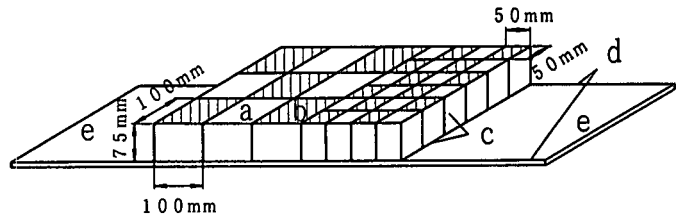


図-2 格子状着生基質の概略

実験に用いたウニは殻径10.0～14.0mm、殻高5.0～5.5mmのエゾバフンウニ人工種苗であり、各実験に50個体ずつ付着基質の溝および周辺に放流した。また実験期間中は水温 $10 \pm 0.5^\circ\text{C}$ に調整し、無給餌とした。

基質に対する、ウニの付着位置並びに個体数の計測は次のとおりである。図-1, 2に示してある場所; 基質間の溝の中に位置するもの(a; 溝), 基質の上面に位置しているもの(b; 上), 基質の側面に接しているもの(c; 前後), 基質から離れているが振動流水槽の側壁と底面の角部分に位置しているもの(d; 角), 水槽の底面、側面に位置しているもの(e; 底、側面)に分けて、各流速下における固着個体数を計測した。なお、計測は当該流速に達した直後、30分後、60分後の3回行い、その平均値を固着数とした。また、それぞれの測定部位における固着数と実験開始時のウニの個体数から、当該流速における固着率を求めた。

3. 実験結果

振動流水槽内に収容したエゾバフンウニ稚仔は、流速を加えない状態では最初に放流された場所から直ちに移動をはじめた。移動方向はほぼランダムであり、放流点を中心に水槽側面や上面まで広く移動した。流速が加わると、ウニは水槽底面あるいは付着基質に向かって移動する傾向が認められたが、50cm/sec を越える流速下では移動する個体は少なかった。流速が増加するとともに、水槽内で固着しているウニの個体数は減少したが、その減少傾向は付着基質の構造によって大きく異なった。

<ケース1>

高さ10mmの基質を幅20mmで配置した場合のウニの基質に対する部位別固着率と流速との関係を図-3に示した。流速を与える直前に供試ウニの占めていた位置と個体数は、溝の中、基質の側面、底面と側面の角、底、側面上に、それぞれ全供試個体の32%、8%、20%、40%が位置しており、水槽の側面や底面に広がって分布していた。

20cm/secの振動流を与えたときのウニの行動は、水槽側面および底面に位置していた個体が下方向あるいは基質の方向に移動するのが認められた。この流速下では供試個体の90%が固着しており、固着部位では溝の中、基質の側面、底面と側面の角、底、側面上に、それぞれ全供試個体の30% (残存個体に対する比率では33.3%)、24% (同26.7%)、24% (同26.7%)、12% (同13.3%) が固着していた。また、同流速下では供試個体の10%が水槽面および基質面から剥離され、剥離された個体のほとんどは、水槽の底、側面に位置していた個体であった。

流速が50cm/secでは、水槽内に固着していた個体数は供試個体の52%と約半減した。部位別に比較すると、溝の中に最も多く固着しており、供試個体の30% (残存個体に対する比率では57.7%) が、ついで基質の側面で14% (同26.9%)、角と側、底面上にそれぞれ4% (同7.7%) の個体が固着していた。

流速100cm/secではさらに固着個体が減少し、供試個体の28%と約1/4近くまで減少した。固着部位では溝の中が最も多く、供試個体の22% (残存個体の78.6%)、ついで基質の側面に4% (同14.3%) が固着していた。

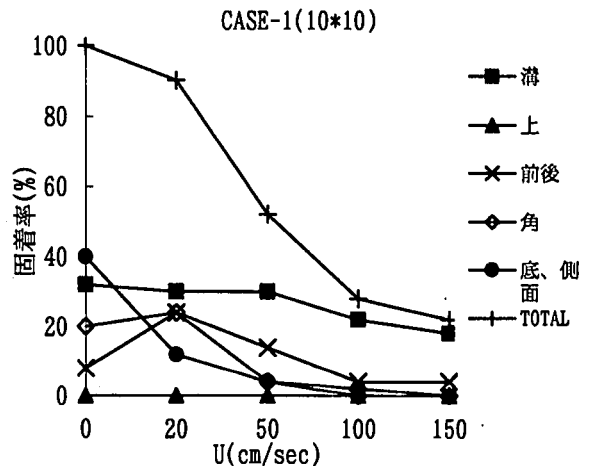


図-3 基質高10mmにおける部位別固着率と流速の関係

流速 150cm/sec では、水槽内に固着できたものは供試個体の 22%にすぎず、溝の中と基質の側面にのみ固着個体が認められた。流速 150cm/sec における水槽内のウニ固着部位は、溝の中に供試個体の 18%（残存個体の 81.8%）、基質側面に 4%（同 18.2%）と、溝の中に多くの個体が残存した。

<ケース 2>

高さ 25mm の基質を幅 20mm で配置した場合の、ウニの基質に対する部位別固着率と流速との関係を図-4に示した。流速を与える直前に供試ウニの占めていた位置と個体数は、溝の中、基質上面、基質の側面、底面と側面の角、底、側面上に、それぞれ全供試個体の 36%、22%、8%、10%、24%が位置していた。20cm/sec の振動流を与えたときのウニの行動は、ケース 1 と同様に水槽側面および底面に位置していた個体が下方向あるいは基質の方向に移動するのが認められた。この流速下では供試個体の 83%が固着しており、固着部位では溝の中、基質上面、基質の側面、底面と側面の角、底、側面上に、それぞれ全供試個体の 40%（残存個体に対する比率では 48.3%）、11%（同 12.3%）、8%（同 9.6%）、13%（同 15.4%）、12%（同 14.4%）が固着していた。また、同流速下では基質面から剥離され個体のほとんどは、基質上面および水槽の底、側面に位置していた個体であった。

流速を 50cm/sec では、水槽内に固着していた個体数は供試個体の 78%とケース 1 に比較してまだ多くの個体が固着していた。固着部位ではケース 1 と同様に溝の中に最も多く固着しており、供試個体の 43%（残存個体に対する比率では 55.6%）が固着していた。

流速 100cm/sec では、水槽内には供試個体の 65.3%が固着していた。固着部位では溝の中が最も多く、供試個体の 38%（残存個体の 58.1%）、ついで基質の底角に 13%（同 19.4%）が固着していた。

流速 150cm/sec においても、水槽内には供試個体の 47.3%と約半数の個体が固着しており、溝の中、基質の側面、底面と側面の角、底、側面上にそれぞれ 29%（残存個体の 61.6%）、3%（同 6.6%）、12%（同 25.7%）、3%（同 6.1%）の固着個体が認められた。

<ケース 3>

高さ 50mm の基質を幅 20mm で配置した場合の、ウニの基質に対する部位別固着率と流速との関係を図-5に示した。流速を与える直前に供試ウニの占めていた位置と個体数は、溝の中、基質上面、基質の側面、底の角、底および側面上に、それぞれ全供試個体の 46%、20%、8%、4%、22%が位置していた。

20cm/sec の振動流を与えたときのウニの行動は、ケース 1 と同様に水槽側面および底面に位置していた個体が下方向あるいは基質の方向に移動するのが認められた。この流速下では供試個体の 97%が固着しており、固着部位では溝の中、基質上面、基質の側面、底の角、底および側面上に、それぞれ全供試個体の 53%（残存個体に対する比率では 55.4%）、7%（同 7.3%）、12%（同 12.6%）、7%（同 7.6%）、17%（同 17.1%）が固着していた。

流速を 50cm/sec では、水槽内に固着していた個体数は供試個体の 89%とまだ多くの個体が固着していた。固着部位ではケース 1、2 と同様に溝の中に最も多く固着しており、供試個体の 57%（残存個体に対する比率では 64.7%）が固着していた。

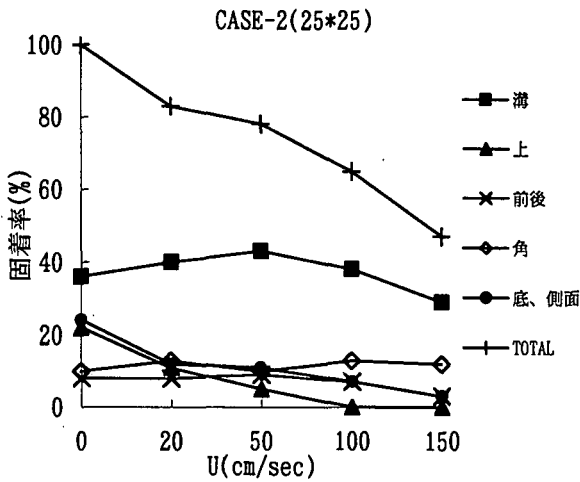


図-4 基質高25mmにおける部位別ウニ着生率と流速の関係

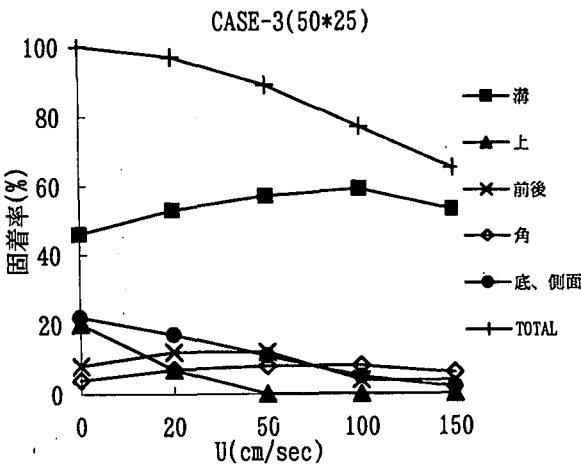


図-5 基質高50mmにおける部位別ウニ着生率と流速の関係

流速 100cm/sec では、水槽内には供試個体の 77%が固着していた。固着部位では溝の中が最も多く、供試個体の 59% (残存個体の 77.6%)、ついで基質の底角に 8% (同 10.5%) が固着していた。

流速 150cm/sec においても、水槽内には供試個体の 65%と約半数以上の個体が固着しており、溝の中、基質の側面、底面と側面の角、底、側面上にそれぞれ 55% (残存個体の 81.6%)、4% (同 6.1%)、6%(同 9.2%)、2%(同 3.1%)の固着個体が認められた。

<ケース 4>

高さ 75mm の基質を幅 20mm で配置した場合の、ウニの基質に対する部位別固着率と流速との関係を図-6 に示した。流速を与える直前に供試ウニの占めていた位置と個体数は、溝の中、基質上面、基質の側面、底の角、底および側面上に、それぞれ全供試個体の 46%、18%、10%、0%、26%が位置していた。

20cm/sec の振動流を与えたときのウニの行動は、ケース 1 と同様に水槽側面および底面に位置していた個体下方向あるいは基質の方向に移動するのが認められた。この流速下では供試個体の 98%が固着しており、固着部位では溝の中、基質上面、基質の側面、底の角、底および側面上に、それぞれ全供試個体の 49% (残存個体に対する比率では 49.7%)、13% (同 13.5%)、14% (同 14.3%)、3% (同 3.5%)、19% (同 18.9%) が固着していた。

流速を 50cm/sec では、水槽内に固着していた個体数は供試個体の 92%とまだ多くの個体が固着していた。固着部位ではケース 1、2 と同様に溝の中に最も多く、供試個体の 49% (残存個体に対する比率では 52.9%) が固着していたが、基質の前後にも 14% (同 15.2%) の個体が固着していた。

流速 100cm/sec でも、水槽内には供試個体の 86%と多数の個体が固着していた。固着部位では溝の中が最も多く、供試個体の 52% (残存個体の 60.6%)、次いで基質側面に 14% (同 16.2%) が固着していた。

流速 150cm/sec においても、水槽内には供試個体の 77%が固着しており、溝の中、基質上面、基質の側面、底の角、底および側面上にそれぞれ 53%(残存個体の 68.2%)、1% (同 1.7%)、13% (同 16.4%)、6%(同 7.7%)、5%(同 6%)の固着個体が認められた。とくに本実験において、溝の中に位置した個体は全実験流速を通じて、固着個体の減少はなかった。ケース 1-4 を通じて流速 150cm/秒時における固着率を図-7 に示した。基質高 10mm、25mm、50mm、75mm おいて、最大流速時における固着率はそれぞれ 22.0%、47.3%、65.3%、77.3%であり、基質高と固着率の間には明らかな相関が認められた。

<ケース 5>

高さ 75mm×100mm×100mm の基質を格子状に配置した場合の、ウニの基質に対する部位別固着率と流速との関係を図-8 に示した。流速を与える直前に供試ウニの占めていた位置と個体数は、格子の中、基

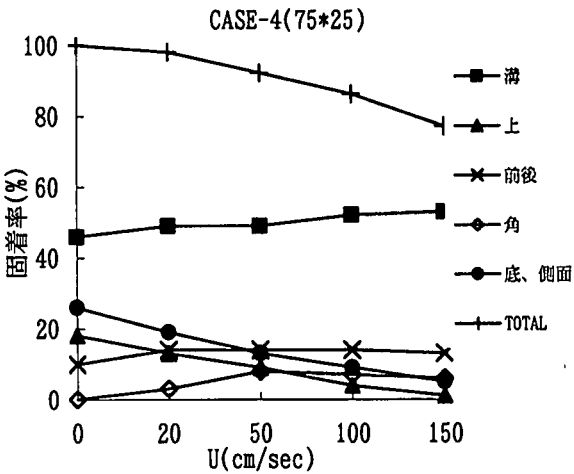


図-6 基質高75mm における部位別ウニ着生率と流速の関係

$$y = 27.254\ln(x) - 40.718$$

$$R^2 = 0.9997$$

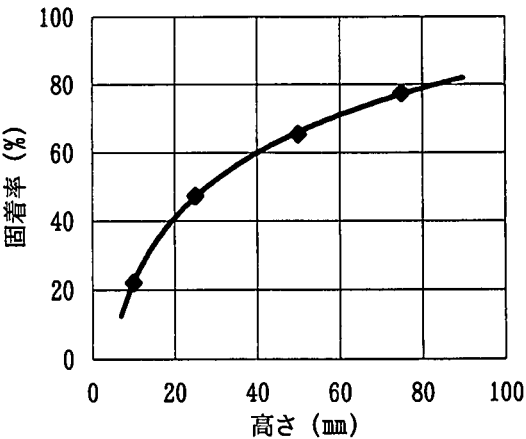


図-7 基質高と固着率の相関関係 (流速150cm/sec)

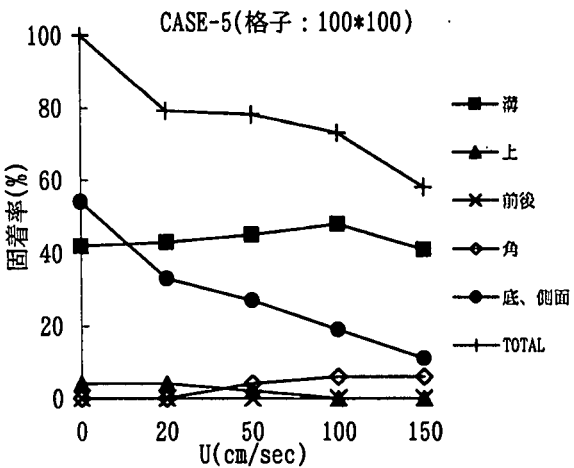


図-8 格子基質 (100mm) における部位別ウニ着生率と流速の関係

質上面、底および側面上に、それぞれ全供試個体の 42%、4%、54%が位置していた。20cm/sec の振動流を与えたときのウニの行動は、ケース 1 と同様に水槽側面に位置していた個体が下方向に移動するのが、また、基質上面に位置していた個体が格子の中へと移動するのが認められた。この流速下では供試個体の 79% が固着しており、固着部位では格子の中、基質上面、底および側面上に、それぞれ全供試個体の 43% (残存個体に対する比率では 53.7%)、4% (同 5.1%)、33% (同 41.2%) が固着していた。

流速を 50cm/sec では、水槽内に固着していた個体数は供試個体の 78%とまだ多くの個体が固着していた。固着部位では格子の中に最も多く、供試個体の 45% (残存個体に対する比率では 58%) が固着していたが、底および側面上にも 27% (同 34.3%) の個体が固着していた。

流速 100cm/sec でも、水槽内には供試個体の 73%と多数の個体が固着していた。固着部位では格子の中が最も多く、供試個体の 48% (残存個体の 65.5%)、ついで底および側面上に 19% (同 26.4%) が固着していた。

流速 150cm/sec において、水槽内の固着個体数は供試個体の 58%まで減少し、格子の中に 41% (残存個体の 71.9%)、底の角に 6% (同 10.6%)、底および側面上に 11%(同 17.4%)の固着個体が認められた。

<ケース 6>

高さ 75mm×50mm×50mm の基質を格子状に配置した場合の、ウニの基質に対する部位別固着率と流速との関係を図-9 に示した。流速を与える直前に供試ウニの占めていた位置と個体数は、格子の中、基質上面、底および側面上に、それぞれ全供試個体の 70%、14%、16% が位置していた。20cm/sec の振動流を与えたときのウニの行動は、ケース 5 と同様に水槽側面に位置していた個体が下方向に移動するのが、また、基質上面に位置していた個体が格子の中へと移動するのが認められた。この流速下では供試個体の 98%が固着しており、固着部位では格子の中、基質上面、底および側面上に、それぞれ全供試個体の 81% (残存個体に対する比率では 82.2%)、7% (同 7.5%)、10% (同 10.2%) が固着していた。流速を 50cm/sec では、水槽内に固着していた個体数は供試個体の 96%とほとんどの個体が固着していた。固着部位では格子の中に最も多く、供試個体の 88% (残存個体に対する比率では 91.7%) が固着しており、底および側面上に 8% (同 8.3%) の個体が固着していた。流速 100cm/sec でも、水槽内には供試個体の 96%と固着個体数、固着部位ともに変化がなかった。流速 150cm/sec において、水槽内の固着個体数は供試個体の 93%とやや低下したものの、ケース 1-5 の場合と比較して高い値を示し、格子の中に 90% (残存個体の 96.5%)、底および側面上に 3%(同 3.5%)の固着個体が認められた。

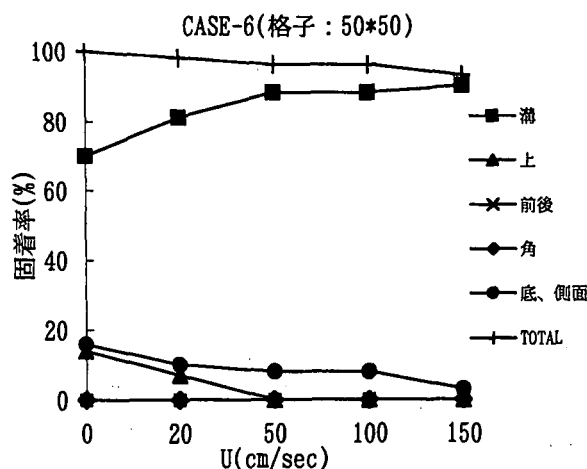


図-9 格子状基質 (50mm) における部位別ウニ着生率と流速の関係

4. 考察

ケース 1 から 4 において、ウニは流速が加わると下方向や基質の方向に移動し、また、流速が増大するとともに固着面より剥離された。このとき最も剥離されやすいのは、水槽の底面および側面に位置した個体であり、付着基質の周囲と溝の中の個体は、より速い流速下でも固着することが出来た。また、流速 20cm/sec では水槽内を移動する個体が多く認められたが、50cm/sec 以上の流速では移動している個体は僅かであった。このことは、本実験で用いたサイズのエゾバフンウニ稚仔の振動流中での移動限界流速は 50cm/sec 以下であることを示唆している。しかし、流速の増大に伴う付着率の変化は、基質の高さによって大きく異なり、基質の高さが高いほど固着率が高かった。また、基質間にできる溝に入った個体では固着率に対する基質の高さの影響は顕著に現れた。基質高 10mm の溝では流速の増大とともに固着率が低下したが、基質高 25mm 以上の溝では基質高が高い溝 (言い換えれば深い溝) ほど高流速まで固着率の減少が少なくなり、基質高 75mm の溝の中に位置した個体では流速 150cm/sec でも固着率は低下しなかった。これらの結果は、基質高、言い換えれば深さが高流速下での固着率に大きく影響していることを示している。

振動流中においてウニが剥離される様子は、ウニ自身に直接水流があたってその抵抗により流速方向に剥離される場合もあるが、基質の周囲や溝の中では水流によって生ずる渦流によって流速方向と直角の上

方に持ち上げられるように剥離されることが本実験から観察されている。また、図-7に示したとおり、基質の高さと最大流速時の水槽内のウニ固着率は一定の相関が認められ、振動流中においてウニ種苗が安定して固着できる基質の高さには一定の値で飽和する傾向がうかがえた。これらの結果は、基質の周囲や基質間に形成される溝の中が、ウニの住み場あるいは隠れ場として有効に機能しているかどうかを判断する上で重要な要素となろう。また、ケース5、6において、直方体を格子状（基質相互の間に凹地）に配置した場合その効果は顕著に現れ、流速 150cm/sec において 一辺 100mm×深さ 75mm のものでは、固着率が 58.0%であったが、一辺 50mm×深さ 75mm のものでは流速 150cm/sec でも固着率 93.3%と極めて高い値を示し、基質の高さ（深さ）とともにその形状が大きく影響していることが明らかとなった。実海域において、転石やゴロタの連続する地形はウニ種苗の放流場所としてよく利用されるところである。本実験の結果は、このような底質の基質相互間に出来る凹地の大きさや深さに対して、ウニ種苗放流場所としての一定の評価を与えるものと考えられる。

まとめ

- ・流速が与えられると、ウニ稚仔は下方向や基質へ向かう傾向がある。
- ・エソバフンウニ稚仔の振動流中における移動限界流速は 50cm/sec 以下である（基質がない状態）。
- ・振動流中におけるウニ稚仔の固着限界流速は、基質の形状に大きく影響され、最大流速（150cm/sec）におけるウニの固着率と基質の高さには相関が見られた。
- ・基質を格子状に配置してできた凹地では、高流速の振動流中でもウニ稚仔は高い固着率を示した。

今後の課題

本研究では、一定流速の振動流中におけるエソバフンウニ種苗の基質に対する行動を観察してきたが、基質周辺およびウニ種苗周囲の実流速の解析がまだ済んでおらず、今後解析結果をもとにさらに検討を加えるとともに、このような実験解析を続ける予定である。またこのような研究を進めるにあたっては、微地形における流動環境の解析、実海域における微地形の表現方法の検討を進める必要がある。

引用文献

- 1) 川俣茂・足立久美子・山本正昭 (1994) : キタムラサキに及ぼす波浪の影響、平成6年度日本水産工学会学術講演会論文集、pp.85-88
- 2) 谷野賢二・明田定光・佐藤仁・松山恵二・吾妻行雄・中多章文(1994) : ウニの摂餌活動におよぼす物理環境要因について、テクノオーシャン '94 国際シンポジウム、VOLUME1, pp195-198
- 3) 町口裕二・阿久津孝夫・山下卓也・山本明・谷野賢二・山下俊彦 (1996) : 振動流中のエソバフンウニ稚仔の行動、平成8年度日本水産学会北海道支部例会 講演論文集、pp30
- 4) 町口裕二・山下卓也・谷野賢二・山下俊彦 (1997) : 沿岸構造物の魚礁機能に関する一考察、平成8年度土木学会北海道支部論文報告集(第II, IV, VII部門), pp142-147
- 5) 高谷義幸・今井義弘 (1997) : エソバフンウニの行動に対する流速の影響、平成9年度日本水産学会春期大会 講演要旨集