

港湾施設周辺海域におけるホッキガイ稚貝の分布特性 及び環境要因による稚貝死亡係数の推定法

都 築 進* ・小泉欣也**・大 島 巖***
田 永 軍****・広松和親*****

1. はじめに

ウバガイ *Spisula sachalinensis* は太平洋側で鹿児島灘以北からオホーツク海沿岸までに広く分布し、浅海砂浜域に生息する大型の寒海性の二枚貝である。本種は北海道沿岸から東北沿岸ではホッキガイと呼ばれ、大規模電源立地域となっている福島県沿岸では、近年の年間漁獲量が約1,000トンに達する重要な水産資源である。しかし、1973年頃から漁業者による漁業管理が実施されてきたにもかかわらず、漁獲量の年変動が激しく、生産の安定につながっていない(秋元・五十嵐, 1983; 中村ら, 1990a)。資源変動が大きい背景としては、稚貝発生量が非常に不安定なことが知られている。稚貝発生量が不安定な原因は、産卵後約1カ月間における浮遊幼生期の移流分散及び着底後約半年間における急激な初期減耗であると指摘されており(Sasaki, 1988; 中村, 1991)、前者は主に海域の流動特性に依存する制御しがたい要因であるが、後者はそのメカニズムが解明されれば、人為的に制御することが可能な要因であると考えられる。資源への加入量を左右する着底後稚貝の初期減耗には多くの環境要因が関与していると言われるが(林, 1988; 秋元ら, 1988; 中村ら, 1990b)、環境要因による稚貝死亡係数の推定法として確立されたものはまだない。

そこで本研究では、着底後の稚貝の生残過程に着目し、港湾施設周辺海域におけるホッキガイ稚貝及び底質、波浪調査結果から、稚貝の分布特性を把握するとともに、底質と稚貝の減耗との関係並びに、波浪との関係も加えた稚貝の死亡係数の総合的な解明及び定式化を行う。

2. 稚貝分布調査

(1) 調査方法

福島県沿岸ではホッキガイの産卵期は4～5月であり、約1カ月間の浮遊幼生期を経て着底して底生生活に

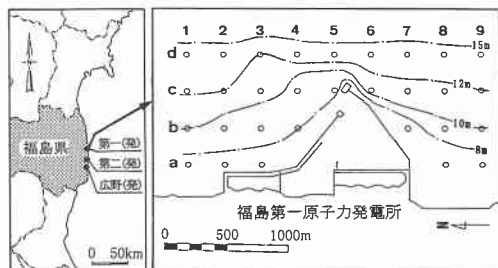


図-1 調査位置図(1994年)

移行するとされている(佐々木, 1993)。また、ホッキガイは11月または12月頃における稚貝の密度が翌年の資源への加入量を大きく左右することが知られている(秋元ら, 1988; 佐々木, 1993)。そこで、東京電力(株)福島第一原子力発電所港湾施設周辺海域を対象に、1993年の5月19日、6月18日、7月31日と11月27日に12測線36地点について、また1994年の6月22日、7月13日、8月31日と11月17日に図-1に示す9測線30測点について、それぞれ稚貝分布に関する調査を実施した。

調査ではスミス・マッキンタイヤ型採掘器(採取面積0.05 m²)を用い、目合0.35 mmのフルイで分別してホッキガイ稚貝を選別して採取し、個体数の計数及び殻長の測定を行うとともに、底泥の粒度組成を調べた。

(2) 調査結果と考察

a) 稚貝の分布と生残特性

1993年と1994年はともに稚貝が大発生し、稚貝の出現及び分布状況には両年ともに概ね同じ傾向が見られており、図-2は1994年の稚貝分布状況を示したものである。同図の示すとおり、5月期調査では稚貝の着底が全く見られないが、6月期ではいくつかの測点で稚貝の着底が見られるようになり、7月期には大部分の測点で着底稚貝が出現する。そして、着底が完了したと考えられる8月期では、稚貝はほぼ全域に分布し、測点によっては出現密度が10,000個体/m²を越え、その平均密度は2,000個体/m²以上にも達したが、11月期では8月期に比べ出現密度が低くなった。このことから、6月と7月が稚貝の着底期で、8月には着底がすべて終了している

* 正会員 工修 東京電力(株)原子力建設部土木建築課副長

** 正会員 東京電力(株)福島第一原子力発電所改良工事事務所 次長

*** 正会員 水修 新日本気象海洋(株)数値解析部室長

**** 正会員 農博 新日本気象海洋(株)数値解析部研究員

***** 農修 東電環境エンジニアリング(株)環境評価部副部長

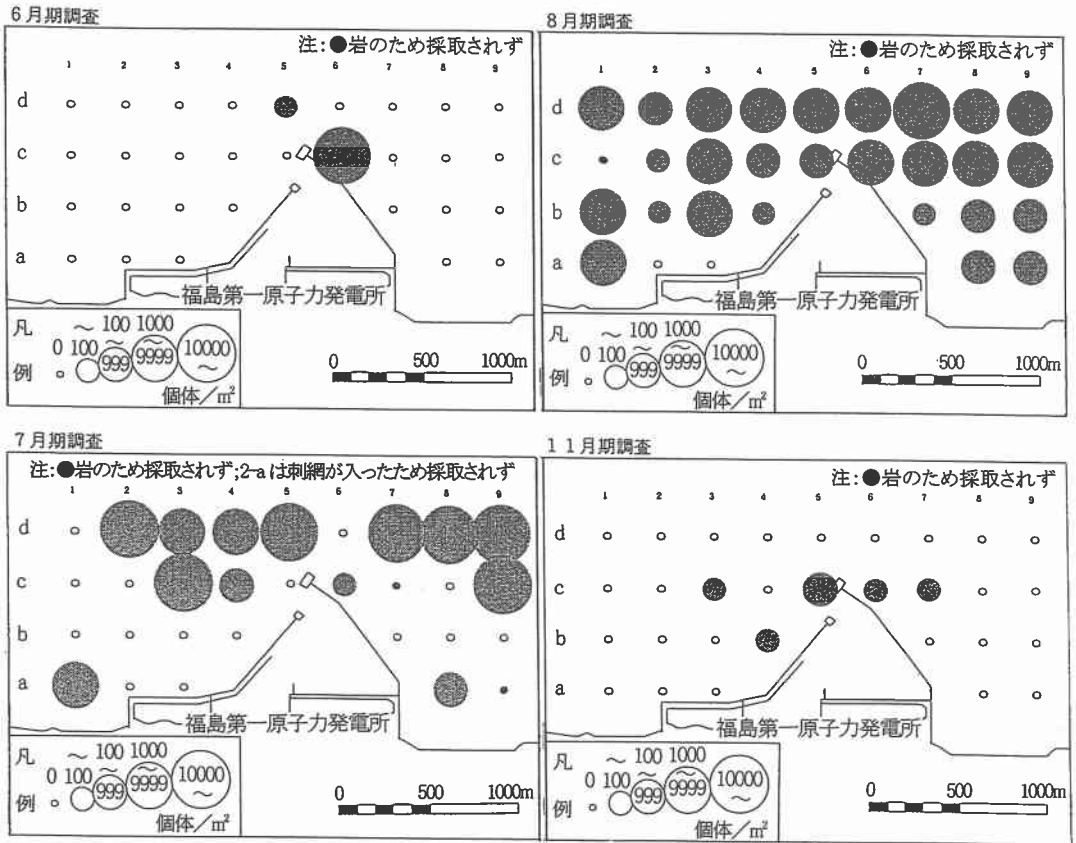


図-2 ホッキガイ稚貝の水平分布 (1994年)

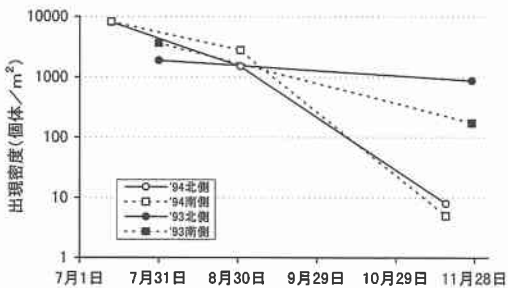


図-3 港湾施設南北側における稚貝平均密度の推移

と考えられた。

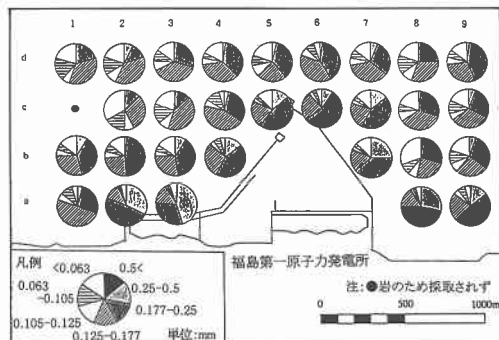
また、稚貝は8月期にほぼ全域に高密度で着底するものの、11月までの生残に以下に述べる生息域及び年による大きな違いが見られた。8月期から11月期までの生残率は測点毎に算出することが難しいが、全域平均では1993年が約21%であるのに対して、1994年は約0.3%と低かった。また、図-3に示すとおり、港湾施設の南側と北側で生残率の明らかな差が認められ、1993年、1994年ともに、港湾施設の北側が南側より生残率が

高くなっていた。このように、この期間の稚貝の減耗は指数関数的減少であり、初期減耗の特徴を示している(秋元ら, 1988; Sasaki, 1988)。

以上の現地調査結果から、8月から11月までの稚貝の初期減耗過程を明らかにすることが、ホッキガイの資源変動を解明する上でかなり重要であることが示唆された。

b) 稚貝分布と底質要因

粒度組成の調査結果は図-4に示すとおりであり、測点によるシルト・粘土(粒径0.063 mm以下)含有量の違いが見られるが、各調査期を通じてほとんどの測点で細砂(粒径0.063~0.42 mm)が主体をなし、この点では測点間の差は見られなかった。中央粒径や淘汰度も港湾施設の北側と南側で類似しており、単に粒度組成から見れば、全測点がホッキガイの生息に適していると言える。しかしながら、a)に示したように、8月にほぼ全域に高い密度で分布した稚貝が11月までに大きく減耗すること及び以下に述べるように水深帯による分布の差が見られたことから、底質や水深などの何らかの環境要因が稚貝の分布と生残に関与していると推察された。そこで、



図一四 粒度組成の水平分布 (1994年8月)

シルト・粘土含有率や水深に着目し、稚貝の出現密度との関係について検討した。

シルト・粘土含有率と稚貝出現密度の関係については、調査時期によって多少の違いは見られるが、図一五に示すように、稚貝の出現密度がシルト・粘土含有率が10%以上では低くなる傾向が見られた。このような関係は北海道や東北沿岸の多くのホッキガイ漁場でも確認されており(秋元ら, 1988; 林, 1988; Sasaki, 1989; 中村ら, 1995), この原因は、ホッキガイの良好な漁場はシルト・粘土含有率及び有機物含有量の少ない細砂域であること(Sasaki, 1989)が条件であり、シルト・粘土含有率の増大が稚貝の減耗に影響したものと考えられた。

また、水深と稚貝出現密度の関係については、図一六に示すように稚貝の出現密度は水深8~12m 辺りで高い傾向を示し、5m 以浅または13m 以深の調査点では出現密度が低いという傾向が見られた。この結果は良い漁場におけるホッキガイの分布水深帯と一致する(秋元ら, 1988; 林, 1988; Sasaki, 1989)。

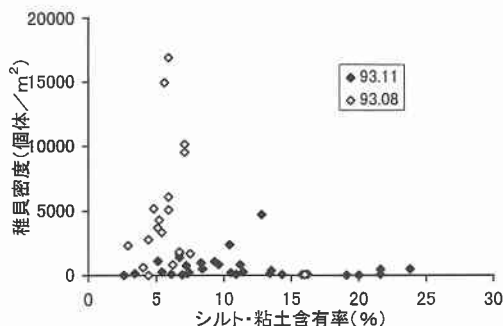
一方、水深とシルト・粘土含有率との間には図一七に示すとおり正の相関関係が認められた。水深が深くなるにつれシルト・粘土含有率が高くなる傾向は、一般的に認められるものであるが(例えば, 林, 1988), これは、水深が深くなれば、波浪による底面攪乱の影響が小さくなることによると考えられる。

以上の結果を総合すると、ホッキガイ稚貝の出現密度にはシルト・粘土含有率及び水深による差が見られ、また、シルト・粘土含有率と水深との相関から波浪の影響が示唆された。以下にこれらの要因から稚貝の死亡係数を推定するための手法について検討をした。

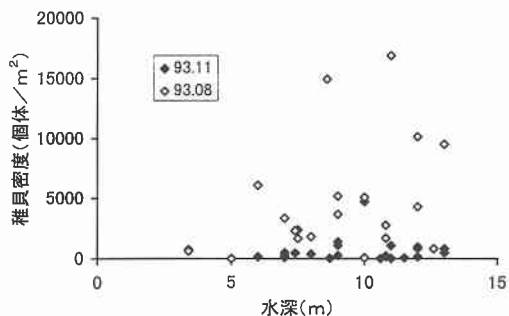
3. 環境要因による稚貝死亡係数の推定法

(1) 稚貝死亡係数の算出

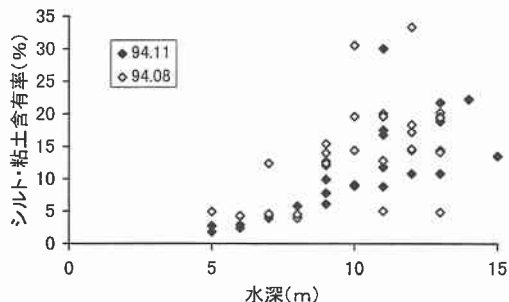
稚貝の着底が完了した8月期と11月期の稚貝密度のデータを用いて死亡係数を求めた。ただし、死亡係数の算出に当たって、その生息特性及び現場調査データの特



図一五 稚貝出現密度とシルト・粘土含有率の関係



図一六 稚貝出現密度と水深の関係



図一七 シルト粘土含有率と水深の関係

徴を考慮し、各測点のデータを5つの水深帯(6m以下, 6~8m, 8~10m, 10~12m, 12m以上)に分けて検討した。稚貝の死亡係数 M (day^{-1})は次式に従って算出した。

$$M = -\frac{1}{D_t} \ln\left(\frac{N_{11}}{N_8}\right) \dots\dots\dots (1)$$

なお、 N_8 と N_{11} はそれぞれ8月期と11月期における各水深帯の稚貝平均密度、 D_t は8月期と11月期調査の間の日数である。

(2) シルト・粘土含有率と稚貝死亡係数との関連

(1)式から算出した日間の稚貝死亡係数 M と11月期の底泥のシルト・粘土含有率 $S(\%)$ との間に、次のよう

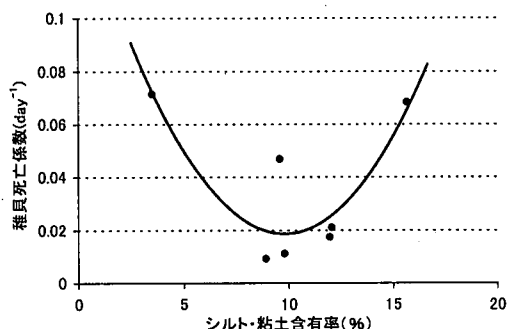


図-8 稚貝死亡係数とシルト・粘土含有率の関係

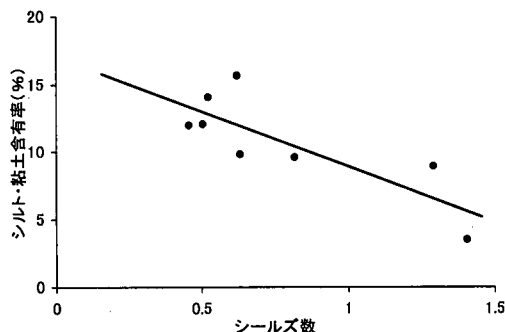


図-9 シルト・粘土含有率とシルズ数の関係

な2次式が得られた (図-8)。

$$M = 0.1492 - 0.0266S + 0.0014S^2 \quad (R^2 = 0.76) \quad \dots\dots\dots (2)$$

(2) 式では、日間の稚貝死亡係数はシルト・粘土含有率が約9.64%で最小となり、シルト・粘土含有率がそれより大きくても小さくても死亡係数が大きくなる。シルト含有率があるしきい値以上になると、稚貝死亡係数が大きくなることはこれまでも指摘されているが (Sasaki, 1988; 中村ら, 1995), 上記のように、シルト・粘土含有率が小さくても稚貝死亡係数が大きくなることはこの点とは一見矛盾している。しかし、この点は以下のように解釈できる。シルト・粘土含有率が小さいのは図-7に示すようにいわゆる水深の浅い海域であり、この海域では波浪の影響を強く受けることから、シルト・粘土含有率は小さくなるものの、波浪による減耗で稚貝死亡係数が大きくなる。従って、波浪とシルト・粘土含有率との関係を明らかにできれば、(2)式で見られる関係をメカニズムとして理解することが可能であろう。また、稚貝死亡係数とシルト含有率の定式化を行った中村ら (1995) は、水深の深い沖合ではシルトと稚貝死亡の間に正の関係が得られ、水深の浅い沿岸の測点について、シルトより波浪や食害などが稚貝死亡の要因となると指摘している。

(3) シルズ数とシルト・粘土含有率との関連

ホッキガイは海底の砂中に生息することから、ここでは、波浪が底質砂粒子の移動に与える影響を表す無次元指標としてシルズ数 (Shields number) を導入し、底泥のシルト・粘土含有率との関連について検討を行った。その結果、シルズ数 Ψ_m とシルト・粘土含有率 S (%) との間に良好な相関が見られ、(3) 式が得られた (図-9)。

$$S = 17.084 - 8.183\Psi_m \quad (R^2 = 0.66) \quad \dots\dots\dots (3)$$

なお、シルズ数 Ψ_m は次のように定義した。

$$\Psi_m = \frac{1}{2} \frac{f_w u_b^{*2}}{sgd} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$f_w = \exp\{-5.977 + 5.213(a/r)^{-0.194}\}$$

$$a = H / \{2 \sinh(2\pi h/L)\}$$

$$u_b^* = \pi H / \{T \sinh(2\pi h/L)\}$$

ここで、 f_w は Jonsson の波による摩擦係数、 u_b^* は境界層外縁の流速 u_b の振幅、 s は底質の水中比重 (1.65)、 g は重力加速度、 d は底質粒径 (0.22 mm)、 H は波高 (m)、 h は水深 (m)、 L は波長 (m)、 T は波の周期 (秒)、 r は粗度 (0.01 m) を表す。

なお、各水深帯のシルズ数は8月から11月までの平均値で、その各月のシルズ数の算出に用いた波浪の月別代表波高と代表周期の値は、有義波高の毎日観測値から加重平均して求めた。

(3) 式は、シルズ数とシルト・粘土含有率の間には負の相関関係、つまり水深が浅く、シルト含有率が低いところは、シルズ数が高く、波浪による影響が大きいことを示している。

(4) シルズ数による稚貝死亡係数の推定法及びその意義

以上の結果から、水深が深く、シルト・粘土含有率が高い沖合では、シルト含有率が死亡係数を決定し、水深が浅く、波浪による底質の移動が大きい沿岸域では、波浪による減耗が死亡係数を決定していると考えられ、(2) と (3) 式を用いて、底質や波浪等の環境要因による稚貝の死亡係数を推定することができる。

また、(2) と (3) 式から死亡係数を最小にするシルト含有率約9.64%に相当するシルズ数を求めると0.91となる。福島県沿岸における平均的な波高条件 (有義波高1.3 m) では、シルズ数が0.91に相当するところは水深が10~11 mに相当する海域で、ホッキガイが分布する最適水深と一致する。

ホッキガイ稚貝の漁場形成について、中村ら (1990a) はシルト含有率の大きい海底及び漂砂量の激しい砕波帯付近で稚貝の減耗が大きく、海底勾配の緩やかな水深帯

が稚貝の生息場になると報告している。また、Sasaki (1988, 1989)もホッキガイの分布水深が岸側の碎波帯とシルト含有率が高い沖側の間に相当すると述べている。本調査で得られた結論もこれらの結果と一致している。

一方、稚貝の死亡係数を決定することは、稚貝の資源への加入量を推定する上で重要である。現場海域では、シルト含有率が調査時期によって大きく異なることが予想されることから、稚貝の死亡係数を推定するには、波浪データから得られるシールズ数を用いて、(3)式からシルト含有率を推定し、(2)式に代入して求めることが望ましいと考えられる。この関係を利用すれば、ある海域における波高分布を出して、シールズ数を計算できれば、稚貝死亡係数を推定することができる。

4. おわりに

ホッキガイ稚貝の発生量は年及び海域による差が大きい。港湾施設の南北側での生残の大きい差や年による死亡係数の大きな違いについては、波浪及びシルト含有率のみでは完全に説明できない。以上に示したシールズ数による稚貝死亡係数を推定する手法は新しい試みではあるが、その手法を確実に応用できるようにするには、今後さらにデータを積み重ねて、精度向上をはかる必要がある。また、稚貝の減耗と分布に影響する環境要因について、他海域でも概ね同様な傾向が見られるので、他海域の調査データを当海域で得られた結果と比較検討することが望ましいと考えられる。

以下に本研究で得られた結論をまとめる。

(1) 福島第一発電所周辺海域では6～7月は稚貝の着底期で、8月には着底が終了する。

(2) 稚貝の分布特性には水深、底質による差が見られる。

(3) 底質等の物理的要因を総合的に表すシールズ数によって、稚貝死亡係数を推定する手法を提案した。

(4) 当海域では死亡係数の最小値に対応するシールズ数の最適値が存在していることが確認され、その最適値以上では波浪による減耗で死亡し、それ以下ではシルト含有率で死亡が決定されるという結果が得られた。

(5) 以上の経過から、死亡係数を軽減するために、いかなる施策を講じたら良いかを検討することができる。

謝辞：本調査を進めるあたり、平野禮次郎東京大学名誉教授をはじめとする学識経験者並びに福島県水産試験場から助言を受けた。この場をかりて感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- 秋元義正・五十嵐敏 (1983): ホッキガイの漁獲量変動について、福島水試研報, 第6号, pp. 31-48.
- 秋元義正・鈴木 馨・中村義治 (1988): ウバガイの生態特性と生残りの環境について、水産土木, 第24巻, 2号, pp. 79-88.
- 佐々木浩一 (1993): ウバガイ (ホッキガイ) の生態と資源, (社)日本水産資源保護協会, 84 p.
- 中村義治・三村信男・秋元義正 (1990a): 波による二枚貝の輸送モデルと漁場形成機構, 海岸工学論文集, 第37巻, pp. 818-822.
- 中村義治・秋元義正・奥谷喬司 (1990b): ウバガイ飼育現場の底面環境特性, 水産増殖, 第38巻, 2号, pp. 259-267.
- 中村義治 (1991): 沿岸域の水理環境とウバガイの漁場形成機構に関する研究, 福島水試研報, 第7号, pp. 1-118.
- 中村義治・田口 哲・飯泉 仁・三村信男・村井克詞 (1995): 二枚貝の餌量環境と資源変動モデルに関する一考察, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 1121-1125.
- 林 忠彦 (1988): 天然漁場におけるホッキガイ稚貝の発生, 分布, 減耗, 水産土木, 第24巻, 2号, pp. 45-52.
- Sasaki, K. (1988): Mortality of the Sahalin surf clam in Sendai Bay in the early benthic stage, Nippon Suisan Gakkaishi, Vol. 54, pp. 193-196.
- Sasaki, K. (1989): Characteristics of the bottom sediments inhabited by the surf clam *Spisula sachalinensis* in Sendai Bay, Nippon Suisan Gakkaishi, Vol. 55, pp. 1127-1131.