

サザエの移動・分散と環境収容力

葭矢 護・桑原 昭彦・辻 秀二
内野 憲・田中 雅幸

Movement, Dispersion and Capacity of Habitat of Topshell, *Batillus cornutus*

Mamoru YOSHIYA, Akihiko KUWAHARA, Syuji
TUJI, Ken UCHINO and Masayuki TANAKA

Synopsis

This paper describes the movement and dispersion with the growth of topshells in the coastal area of Kyoto Prefecture and the relationships between the growth and abundant of algae.

The smaller topshells distribute in shallower area less than a depth of 10 m and the larger ones in deeper area, suggesting the topshells disperse to vertical direction with their growth. Horizontal dispersion of topshells smaller than 30 mm in shell height can be estimated by the model of random walk that is expressed by a probability density function ($p(x, t) = 1/2(\pi Dt)^{-1/2} \exp(-x^2/4Dt)$).

On the other hand, the growth of topshells is dependent upon their density and abundant of the algae, and the growth in the releasing area declined when the cover index (cover of algae (%)/density of topshell (No./m²) • shell height (mm)) is less than about 2×10^{-2} .

磯根生物の中でも、カサガイの仲間における行動様式の研究は過去にも行われており(大串, 1955), これらの仲間には 独特の帰巢本能のあることが証明されている。このような行動様式の解明は, 対象となる生物の生態的な一面を解明するだけでなく, 例えば, サザエやアワビなど, 現在種苗放流を通して栽培漁業が進みつつある種にとっては, それらを放流した後, いかに効率よく漁獲に結びつけるかという, 漁業管理の面からも重要なことである。

ここでは, 従来比較的知見の少ないサザエの行動様式, 特に天然海域における移動・分散について天然貝と放流貝を用いて調査を行い, いくつかの新しい知見が得られたので報告する。また, それらの知見から, サザエの放流場所における環境収容力についてもあわせて検討したので報告する。

材料と方法

サザエの移動・分散のうち, 鉛直方向(深み)への移

動・分散調査の方法は, 1986年と1987年の6月と7月に熊野郡久美浜町地先海域で行った水深別(10, 20, 30 m)刺網操業試験と水視漁業で水揚げされた漁獲物(総数1,818個体)の殻高組成を水深別に整理した。また, 10m以浅の浅海域についても, 1985年と1986年の6月と7月に舞鶴市成生および与謝郡伊根町青島地先海域で潜水調査を行い, それによって得られたサザエ(総数275個体)の殻高組成を水深別に整理して, サザエの移動・分散とその成長との関係について調べた。

水平方向の移動・分散と環境収容力については, 1987年5月に, 伊根湾にある舟屋へ平均殻高8.5 mmの人工産サザエ稚貝(総数2,000個体)を放流した。そして, 同年11月まで毎月1回, 舟屋と舟屋の護岸壁に水平方向へ1 m間隔に設定した各調査区内に出現するサザエの個体数を計数するとともに, 各調査区ごとの海藻の被度を, 0.5 m × 0.5 mのコドラートを用いて調査した。

また, サザエの成長を追跡するため, 毎月放流域の舟

屋に分布するサザエの殻高を測定した（測定数は各30～50個体）。各調査区内のサザエは、Fig. 1 のとおり護岸壁に付着するように分布していたため、月ごとの取り上げは行わずに、最終調査日に全数取り上げてその殻高を測定した。

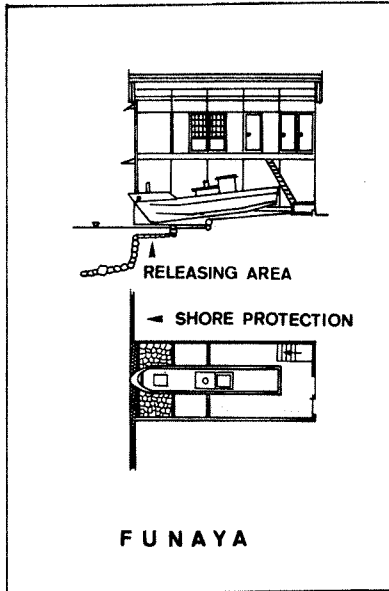


Fig. 1. Experimental site on movement and dispersion of small topshells. Upper and lower are cross section and plane of Funaya, respectively.

なお、放流場所での環境収容力を検討するため、上記調査の対照区として、舟屋に隣接するコンクリートブロック製の人工礁（6.0 m×3.0 m×0.3 m）にも、同時に平均殻高 3.9 mm の人工産サザエを放流し、その成長や礁上の海藻の生育状況について観察した。

結 果

(1) 鉛直方向への移動・分散

Fig. 2 は1985年と1986年の6月および7月に、成生と青島地先の10 m以浅の浅海域で潜水調査を行い、それによって得られたサザエの殻高組成を水深別に示したものである。その結果は、水深0～2 m域では、殻高20～30 mmのサザエが多く出現しており、水深2～4 m域では、20～80 mmの個体が出現して、特にそのうち40～75 mmのものが多く出現していた。また、水深4～10 m域では35 mm以下のサザエは出現せず、35～90 mmまでのものが多かった。

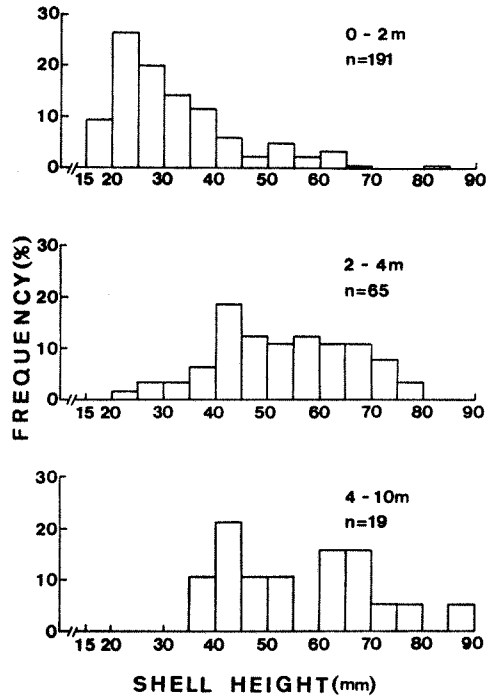


Fig. 2. Frequency distributions of shell height of topshell in shallower area than the depth of 10 m.

次に、1986年に久美浜町地先で行った水深別（10, 20, 30 m）の刺網試験操業と水視漁業で漁獲されたサザエの殻高組成をみている（Fig. 3）。水視漁業で漁獲された水深7 m以浅のサザエの殻高組成から、この水深帯では、殻高45～90 mmの個体が主に出現し、その中で55～70 mmの個体が特に多く出現していることがわかる。水深10 m域では、55 mm以上のサザエが多く、中でも60～80 mmの個体が多かった。水深20 m域では、60 mm以上、特に65～80 mmのサザエが多かった。水深30 m域では、75 mm以上のサザエが主に出現し、特に90～105 mmの個体が多く出現するなど、水深10 m, 20 m域よりさらに大型のサザエが多く分布していた。

なお、1987年に行った水視、刺網の試験操業でも、上述とほぼ同様の結果が得られた。

以上の結果から、10 m以浅の水深帯では主に小型のサザエが分布し、大型サザエはより深い水深帯に分布するという傾向が認められた。つまり、サザエが成長に伴って、分布域を拡大していることがうかがわれた。そこでサザエがどのくらいの大きさの時に、鉛直方向への

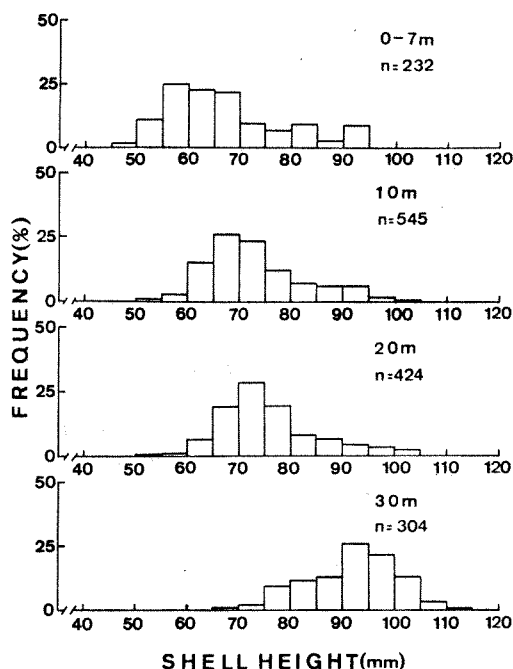


Fig. 3. Frequency distributions of shell height of topshell in shallower area than the depth of 30 m.

くらい分布域を拡大しているのかをもう少し詳細に述べる。

殻高 20 mm 以下のサザエの分布域は、水深 2 m 以浅であり、20~35 mm で鉛直方向に分布域を拡げ始めるが、4 m を越えることはない。35 mm 以上に成長すると、さらに分布域を拡げるが、殻高 60 mm までには主に水深 10 m までに分布していた (Fig. 2)。その後、サザエは成長に伴い、分布水深を徐々に拡げ、殻高 75 mm 以上になると水深 30 m 付近にまで分散するようになっていた (Fig. 3)。

(2) 水平方向への移動・分散

サザエの鉛直方向への移動・分散調査の結果から、殻高 20 mm 以下の小型サザエの場合、鉛直方向への移動・分散は小さいと考えられる。そこで、人工産の小型サザエを用いて、サザエの水平方向への移動・分散について調査した。

まず、青島で平均殻高 20 mm の人工産小型サザエを試験放流し、その後の水平方向への移動・分散状況を調査した結果 (霞矢ほか, 1986) では、放流してから 136 日後においては放流域と放流域から水平方向に 4 m 離れたところまでで、生残個体のうちの 62.0% が分布して

いた。以下 4~8 m で 27.2%, 8~12 m で 10.9%, 放流域から水平方向に 12 m 以上離れたところでは 0% であった。

生物の分散状況を表わす最も基本的なモデルは、1 次元のランダム歩行モデルである。もし、上記の小型サザエが水平方向にランダムに移動している、すなわち、サザエには帰巢本能や個体間の誘因・干渉がないと仮定すると、サザエの分散状況は次式で説明できることになる。

$$P(x, t) = \frac{1}{2\sqrt{\pi Dt}} \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right) \dots \dots \dots (1)$$

そこで、(1)式を使って、上記の小型サザエの水平移動を検討してみる。D は拡散係数で、 $D = \frac{1}{2} C^2 \tau$ (C はサザエの移動速度、 τ は単位時間) として計算できる。な

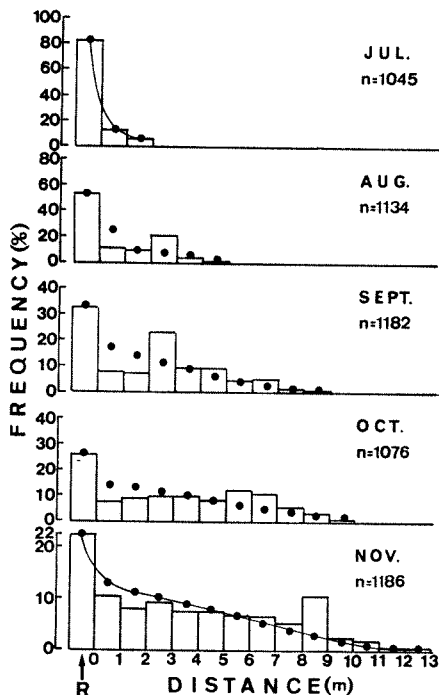


Fig. 4. Movement and dispersion of small topshell after transplantation in the experimental place. R indicates the releasing area. Solid circles indicate the frequency distribution of topshell calculated by the model of random walk that is expressed by a probability density function ($p(x, t) = 1/2(\pi Dt)^{1/2} \exp(-x^2/4Dt)$, D (coefficient of diffusion) = $C^2\tau/2$, C; velocity of topshell (cm/hour), τ ; hour).

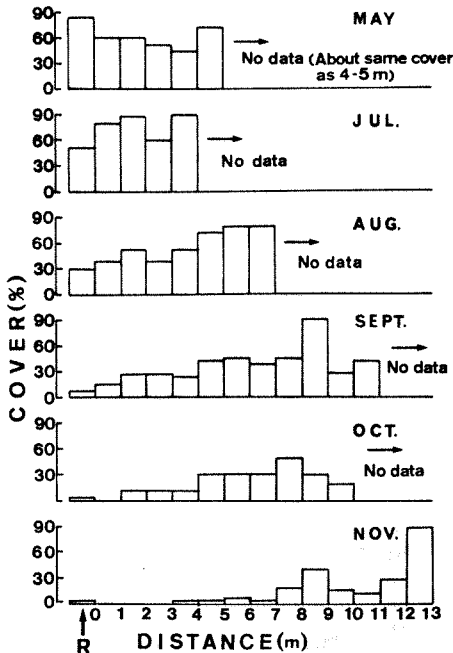


Fig. 5. Percentage cover with algae in the experimental site from May to November, 1987. R indicates the releasing area.

お、サザエは夜間に約6時間くらい活発に活動し、殻高20~30mmサイズのサザエの移動速度が、実測値から0.23 m/h程度であること、また小型サザエでは、その移動速度が殻高に比例することがわかっていて(未発表)。そこで(1)式を使って殻高20~30mmサイズのサザエの分散状況を計算すると、サザエが放流域と放流域から4m離れたところまでに出現する割合の理論値が63.2%、以下同様に4~8mで25.0%、8~12mで9.2%となつて、実測値とかなりよく一致している。つまり、小型サザエの水平移動は、一次元のランダム歩行として一応近似できると考えられる。

次に、平均殻高8.5mmで舟屋に放流したサザエの分散状況について検討してみる。Fig. 4は、放流後におけるサザエの分散状況を、放流域と放流域から水平方向に1m間隔で設けた各調査区内に出現するサザエの割合(調査時ごとのサザエの全出現個数に対する放流域および各調査区ごとの出現個数の割合)を経時的な推移で示したものである。放流サザエは、時間の経過とともに放流域から遠くへ分散していた。7月の調査結果では、サザエの分散は(1)式で推定した値(Fig. 4中の・一・)によく一致していたが、8月以降になると、明

らかに出現率に極大値が認められ、基本的にはランダム歩行モデルにあてはまらなくなっている。

ランダム歩行モデルが成立するためには、サザエの移動速度が周辺の植生などに対して独立変数としてあつかえることが条件となる。そこで、この実験中の周辺の植生がどのような状況であったのかを調べたのがFig. 5である。舟屋周辺の植生は比較的単純で、主としてテングサ類(マクサ*Gelidium amansii*とオパクサ*Pterocladia tenuis*)とアナアオサ*Ulva pertusa*が優占していた。Fig. 5中の被度は放流域および各調査区、主としてテングサ類とアナアオサの被度を経時的にみたものである。

この図から、放流域周辺の植生は、7月まであまり変化がなく、テングサ類とアナアオサが繁茂している状態がわかる。ただし、放流域では、テングサ類とアナアオサの他にフクロノリ*Colpomenia sinuosa*も比較的多く生育しており、それが7月に流失したために7月期のここでの被度はやや低下していた。8月以降になると放流域の海藻は減少し始め、特に11月には放流域から7mまでの海藻が極端に減少していた。つまり、8月以降放流サザエの分散がランダム歩行モデルにあてはまらなくなったのは、以上のような植生の変化によってサザエの移動速度が影響を受けたためと考えられる。このことからサザエの移動速度は、周辺の植生などに対して独立変数としてあつかえない場合もあることがわかった。

なお、Fig. 4の11月の結果と(1)式で推定した出現頻度(図中の・一・)とを比較すると、放流域でのサザエの移動速度と比較して、その速度は1~4m区では速く、6~11m区では遅い。すなわち海藻が減少した調査区ではサザエの移動速度は速く、海藻が繁茂した調査区では遅いという傾向が認められたが、概ね小型サザエの移動・分散については、ランダム歩行モデル式で計算した推定値と実測値とは一致していた。

(3) 環境収容力

Fig. 6には、11月における各調査区ごとのサザエの平均殻高を示した。放流域と放流域から4m離れた調査区までのサザエの平均殻高は24mm以下であったが、放流域からさらに離れるに従って平均殻高は次第に大きくなっていった。そして、10mを越えるところではサザエが29mm以上に成長していた。

次に、Fig. 5で示したように、10月には海藻がほとんど消失していた放流域および放流域から4mまでの調査区、11月にほとんど海藻がなくなっていた4~7mの調査区、および7m以遠の調査区とに分けて、それ

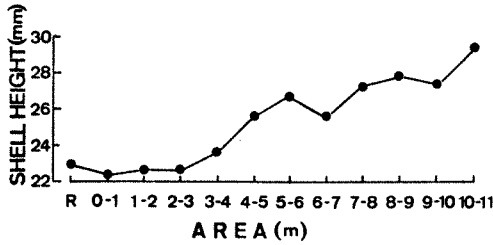


Fig. 6. The shell height of topshell in the experimental place in November, 1987. R indicates the releasing area.

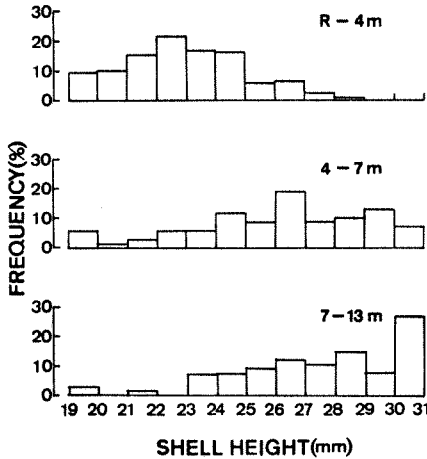


Fig. 7. The frequency distribution of shell height of topshell in the experimental place of November, 1987. R indicates the releasing area.

それぞれの調査区に分布していたサザエの殻高組成を Fig. 7 に示した。放流域および放流域から 4 m までの調査区では、殻高 29 mm を超えるサザエは出現せず、4~7 m の調査区では、20 mm 以下から 30 mm を超えるものまで幅広く出現していた。また、7 m 以上離れた調査区では、大半の個体が殻高 23 mm 以上に成長しており、30 mm を超える個体も出現していた。この結果は、放流したサザエがランダム移動をくり返すうちに、早い時期に遠くへ移動し、常に海藻が繁茂した良好な餌条件のもとで生息していた個体は成長が良く、逆に海藻の生育状態が悪いところに移動した個体の成長は遅れることを示唆している。

それでは、海藻の生育状況とサザエの成長とはどのような関係にあるのかを検討する。Fig. 8 に、放流域における月ごとのサザエの平均殻高と、舟屋に隣接した人工礁に平均殻高 3.9 mm で放流したサザエの成長を示し

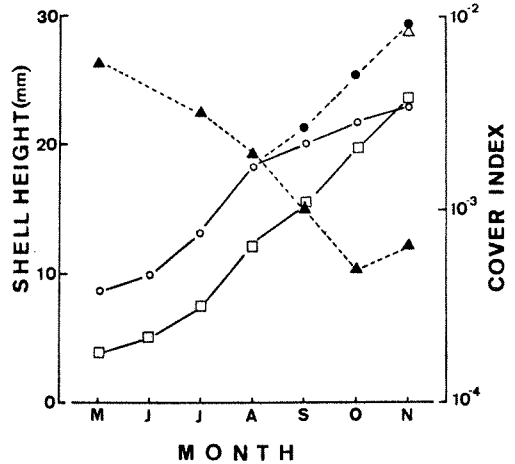


Fig. 8. Relationships between the growth of topshell and the cover of algae from May to November, 1987. Open circles and squares indicate the growth of the topshell in the releasing area and the control area (artificial reef; 6.0 m×3.0 m×0.3 m), respectively. Solid circles indicate the calculated shell height of the topshell in the releasing area which has the same growth rate as the topshell in the control area from August to November, 1987. Solid triangles indicate the change of cover index (cover of algae (%)/density of topshell (No./m²) • shell height (mm)) in the releasing area. Open triangles indicate the shell height of the topshell which moved more than 10 m from the releasing area.

た。なお人工礁上の植生は、フンスジモク *Sargassum confusum* やヤツマタモク *S. patens* などのホンダワラ類が生育していた他は、主としてテングサ類とアナオサが優占しており、舟屋周辺と同様であった。また、舟屋周辺のような顕著な海藻の減少は認められなかった。

舟屋の放流域のサザエと対照区である人工礁上のサザエの成長を比較すると、8月まではほぼ同様の成長を続けていたが、8月以降は放流域のサザエの成長が対照区のそれより悪くなる傾向が認められた。ここで、放流域のサザエの成長がどの程度悪くなったのかをみるため、8月以降の成長量が対照区の場合と同じであると仮定して、月ごとの平均殻高の推定値を図中に●で示した。これから、放流域の海藻が減少せずにサザエがそのまま成長を続けたとしたら、平均殻高で 29.6 mm になってい

たことになる。この値は、Fig. 6 中の放流域から 10 m 以遠に分散していたサザエの平均殻高 (29.4 mm) とほぼ同じであり、先に述べた、放流域における 8 月以降の成長の推定値は妥当であると考えられる。つまり、海藻が減少することによって、9 月に約 1.2 mm, 10 月には約 3.5 mm, そして 11 月には約 6.5 mm サザエの成長が悪くなっていたことになる。

一方、生息しているサザエの摂餌量は、個体の生息密度とサザエの大きさによって決まるものと考えられる。そこで、サザエの餌料環境をそこに生育する海藻の被度割合 (被度%) / サザエの生息密度 (個/m²) ・ 殻高 (mm) で表わして、放流域における被度割合がどのくらいの時にサザエの成長が悪くなったのか、すなわち環境収容力を計算すると、Fig. 8 中の 8 月以降、被度割合が 2×10^{-3} 程度以下になるとサザエの成長が悪くなっていたことになる。

考 察

今回の調査で、サザエの鉛直方向への移動・分散を検討した結果、浅場には主として小型サザエが分布し、大型サザエはより深場に分布するという一般的な分布形態が明らかになった。この分布形態から、サザエは成長に伴って浅場から深場へ方向性を持って移動しているという推論も成り立つわけであるが、井上ほか (1972) が「アワビのすみ場と水深」の中で報告しているように、サザエやアワビに対する漁獲努力は、一般に浅場の漁場の方が高くなる。さらに、結果で述べたような、小型貝が浅場にしか分布できないという特徴を考えあわせると、上述のサザエの分布形態は、大部分のサザエが成長に伴って深場へ移動したのではなく、サザエが時間の経過や成長に伴って、深場の方へも分布域を拡大していった結果であると考えた方が妥当であろう。

次に、小型サザエの移動・分散についてももう少し詳細に検討する。前述したように、小型サザエの移動・分散は、拡散理論の基本型である一次元のランダム歩行モデルでかなり正確に説明できるようだ。しかし、一方ではサザエの移動速度が、海藻の繁茂状況によって変化することにより、サザエの出現率に極大値がみられるなど、ランダム歩行モデルで単純に近似できなかった期間もあった。このような現象は、たとえばサザエの分布密度に対して十分な餌料海藻の現存量があったならば、サザエの移動速度は、周囲の海藻に対して独立変数として扱えて、より正確にランダム歩行モデルで説明できたのかもしれない。なお、11 月の時点における出現頻度をみて

みると、放流域から離れた調査区 (6 m 以遠) でのサザエの出現率 (密度) が、理論値 (・一・) よりも高くなっている。Dobzhansky and Wright (1943) は、昆虫個体群の分散の仕方では、一般に分散の中心付近と外縁での分布密度が高くなること報告しており、サザエの場合でも、昆虫の場合とほぼ同様の傾向がうかがわれた。

次上の結果から、サザエの分散の状況は、一部ランダム歩行モデルに合わない時期もあったが、概ね推定値と実測値とは一致していた。つまり、サザエの移動・分散の仕方は、基本的にはランダムであり、平均的なサザエの移動速度は、周辺の繁茂状況によっても変化するが、変化の程度は、サザエの分散域の拡がり方から考えて、それ程大きくはないと考えられる。今後は、サザエの成長に伴う移動速度を把握し、鉛直方向への移動・分散も考慮に入れた 2 次元のモデルを使えば、放流サザエが漁獲サイズに達した時に、どの範囲に主に分布しているかを比較的正確に推測することが可能になると推察される。

なお、殻高 30 mm までの小型サザエに限れば、その分散の仕方や環境収容力など、今回の調査で得られた知見と、殻高 10 mm 以下のサザエを放流した場合の生残率を調べた過去の知見 (霞矢ほか, 1987) とを用いて、適正放流数を割り出すことも可能であると思われる。

最後に、サザエが成長に伴って、特に鉛直方向への分布域を拡大していくことは明らかなので、今後サザエの栽培漁業化に向けて、この結果の資源管理技術への応用面について検討してみる。

京都府沿岸域で行われるサザエ漁業は、舞鶴、久美浜地区の一部地域を除いて、大半が水視漁法で操業されている。水視漁業の操業水深は、漁業者への聞き取り結果から、7 m 以浅の浅海域であると考えられる。一方、結果の中でも述べたように、サザエは殻高 60 mm 以上に成長するころには、水深 10 m 以深にまで分散していく。これらのことから、現在のような水視漁法を主体とした漁業形態の中では、種苗放流したサザエを殻高 60 mm 位に成長するまでに漁獲することが、最も効率的に放流貝を利用する方法である。また、漁業調整上の問題が整理されれば、比較的浅場に生息する放流貝は水視または潜水漁法で、そして水深 10 m 以深の深場の放流貝は刺網漁法で漁獲すれば、より一層効率的にサザエを利用することが可能になると考えられる。

要 約

熊野郡久美浜町、舞鶴市成生および与謝郡伊根町青島

地先水域で水深別刺網操業試験や潜水調査などを行いそれによって得られたサザエの殻高組成を水深別に整理して、サザエの鉛直方向への移動・分散について調べた。

また、伊根町の舟屋に平均殻高 8.5 mm の人工産のサザエ稚貝 (2,000 個体) を放流し、サザエの水平方向への移動・分散や、サザエの成長と海藻の生育状況の関係などから環境収容力について調べた。これらの調査結果は次のとおりである。

- (1) 10 m 以浅の水深帯では主に小型のサザエが分布し、大型サザエはより深い水深帯に分布する傾向が認められ、サザエが成長に伴って分布域を拡大していることがわかった。
- (2) 海藻の生育状況の不均一さによる例外は一部あるものの、小型サザエにおける水平方向の移動・分散は、一次元のランダム歩行モデルでかなり正確に説明できた。
- (3) サザエの餌料環境をそこに生育する海藻の被度割合 (被度(%)/サザエの生息密度(個/m²)・殻高(mm)) で表わして、放流域における被度割合がどのくらいの時にサザエの成長が悪くなったかを計算すると、被度割合が

2×10^{-3} 程度以下になると、成長が悪くなっていた。

- (4) 以上から、殻高 30 mm 程度までのサザエの“環境収容力”はサザエの生息水域における海藻の繁茂状況 (被度) がわかれば試算できることがわかった。

文 献

- DOBZHANSKY, T. and S. WRIGHT. 1943. Genetics of natural populations. X. Dispersion rates in *Drosophila pseudoobscura*. *Genetics*, **28**: 304-340.
- 大串龍一. 1955. 潮間帯にすむ笠貝の習生 II. 2種の笠貝の帰家行動の解析. *日生態会誌*, **5**(1): 31-35.
- 都道府県水産試験場磯根資源調査研究グループ (井上正昭・野中 忠・山田静男), 1972. 磯根資源とその増殖 1. —アワビ—. 水産増養殖叢書, **24**: 1-208.
- 葭矢 護・和田洋藏・桑原昭彦・浜中雄一. 1986. 放流サザエの成長と生残. *日本誌*, **52**(1): 41-47.
- 葭矢 護・桑原昭彦・浜中雄一. 1987. サザエ稚貝の成長と生残に及ぼす生息環境条件の影響. *日本誌*, **53**(2): 239-247.