

# 人工干潟 (2)

—その機能について—

上北征男\* · 中村 充\*\* · 乃万俊文\* · 木村晴保\*\*\*  
 飯倉敏弘\*\*\* · 萩野静也\*\*\* · 杉浦正悟\*\*\*\* · 大西亮一\*

## 1. はじめに

昨年度、水産生物資源の再生産の場である干潟の再生産機構について、クルマエビを対象に、天然干潟および実験用人工干潟（面積 0.6 ha）を用いて放流実験を行い明らかにした。その結果から実用規模の人工干潟（放流場面積 1.0 ha, 中間育成場面積 1.4 ha）を造成したことを報告し、人工干潟の構造設計法について述べた。

本報告は、この実用規模の人工干潟を用いて、実用化に向けての放流歩留り向上のための実験を行い、

- 1) クルマエビ稚仔の良好な生息環境の再現性
- 2) 人工干潟の機能（主として、人工干潟から天然海域への稚仔の逸散）

について、放流歩留りおよび稚仔の定着尾数の時間的変化から検討したものである。

この実験は、昭和 45 年から昭和 49 年度の 5 か年間のプロジェクト研究「浅海域における増養殖漁場の開発に関する研究」の一環として行われたもので、各データの採取には、農業土木試験場、南西海区水産研究所、東海区水産研究所、山口県内海水産試験場および香川大学が分担して行った。

## 2. 人工干潟の高歩留りの再現性について

### (1) 放流歩留り

クルマエビ稚仔の放流場として、好適な環境因子のうち、干潟標高、粒径、含泥率の 3 因子を与えることによって造成された人工干潟を用いて放流実験を行った結果、表—1 に示すような高い放流歩留りが得られた。

表—1 では、47 年度、48 年度の実験用人工干潟の放流密度および歩留りと、昭和 49 年度の 7, 8, 10 月の放流クルマエビの歩留り、歩留り密度を示した。49 年度歩

表—1 クルマエビ放流密度および歩留り

| 年度 | 47 年度      |                           | 48 年度   |                           |
|----|------------|---------------------------|---------|---------------------------|
|    | 尾数         | 密度                        | 尾数      | 密度                        |
| 上段 | 1,134,400尾 | 63尾/㎡                     | 69,000尾 | 46尾/㎡                     |
| 上段 | 57,500尾    | 歩留り 50.7%<br>歩留まり密度 32尾/㎡ | 22,640尾 | 歩留り 32.8%<br>歩留まり密度 13尾/㎡ |

| 年度月        | 49年7月      |           |       | 49年8月      |           |        | 49年10月     |           |       |
|------------|------------|-----------|-------|------------|-----------|--------|------------|-----------|-------|
|            | 尾数         | 密度        |       | 尾数         | 密度        |        | 尾数         | 密度        |       |
| 放流場        | 2,000,000尾 | 200尾/㎡    |       | 2,000,000尾 | 200尾/㎡    |        | 2,000,000尾 | 200尾/㎡    |       |
| 放流場        | 437,541尾   | 歩留り 21.9% | 44尾/㎡ | 1,014,510尾 | 歩留り 50.7% | 101尾/㎡ | 222,098尾   | 歩留り 11.1% | 22尾/㎡ |
| (中間育成場も含む) | 706,643尾   | 35.3%     |       | 1,121,610尾 | 56.1%     |        | 243,504尾   | 12.2%     |       |

留り欄上の値は、放流場に留まったクルマエビのみを対象として歩留り、歩留り密度を計算したものであり、下の値は中間育成場に分布したクルマエビをも含めて求めた歩留りである。

歩留り密度は、7月、8月、10月でかなりばらつきがある。10月の歩留りは、47年度、48年度の例においても、夏から秋にかけての放流では歩留りが好ましくないということより、季節的な影響および干潟既存エビの影響などがあるのではないとも考えられる。一方、8月の平均歩留り密度では、101尾/㎡ という高歩留りを得、初期の目的を達し、大勢においては、実験用人工干潟で得られた高歩留り性を実証できた。

### (2) 造成人工干潟の放流環境と歩留り

造成された人工干潟の放流環境と昨年度報告したクルマエビ稚仔放流場の好適な環境条件を比較対比し、表に示したのが表—2 である。表—2 に明らかなように造成された干潟の環境は、全区画にわたってほぼクルマエビ放流好適環境条件を満足している。I ~ IV 区画についてみると、歩留り尾数は、I から IV と次第に小さくなり、I 区画は IV 区画に比較してほぼ 4 倍となっている。一方環境因子についてみると、地盤高を除いてほとんど変化がない。このことは、干潟における制限因子がすべて除去されたことを示している。また放流場の地盤高は、好適な環境条件を満足し、I 区画から IV 区画方向は、1/200 の勾配に造成されているため、放流場岸側区画

\* 正会員 農林省農業土木試験場  
 \*\* 正会員 農博 農林省農業土木試験場  
 \*\*\* 農林省農業土木試験場  
 \*\*\*\* 水産庁研究部研究課

表-2 人工干潟クルマエビ稚仔放流歩留りと生息環境  
(昭和49年8月放流)

| 区画                             | 環境因子 | 歩留り尾数<br>(匹/m <sup>2</sup> )    | 地盤高                                   | 中央粒径<br>(mm) | シルト分<br>(0.074mm以下)<br>(%) | 間隙率<br>(%) | タイドプール水深<br>(cm) |
|--------------------------------|------|---------------------------------|---------------------------------------|--------------|----------------------------|------------|------------------|
| I                              | 平均   | 203.6                           | 83.1                                  | 0.97         | 4.27                       | 32         | 2.4              |
|                                | 範囲   | 521.4~50.0                      | 94.4~80.8                             | 1.4~0.3      | 7.33~1.27                  | 41~27      | 3.1~1.8          |
| II                             | 平均   | 119.1                           | 75.1                                  | 0.97         | 4.22                       | 30         | 2.0              |
|                                | 範囲   | 157.1~32.1                      | 76.0~73.5                             | 1.1~0.3      | 7.43~2.50                  | 37~17      | 2.9~1.0          |
| III                            | 平均   | 56.2                            | 68.6                                  | 0.77         | 4.72                       | 33         | 3.9              |
|                                | 範囲   | 89.3~32.1                       | 70.4~67.0                             | 1.3~0.3      | 10.21~0.57                 | 36~32      | 4.5~2.9          |
| IV                             | 平均   | 49.5                            | 65.6                                  | 0.75         | 3.68                       | 33         | 6.1              |
|                                | 範囲   | 96.4~17.9                       | 67.6~61.9                             | 1.4~0.3      | 8.51~0.92                  | 38~29      | 8.4~3.3          |
| 40年度実験の測定全平均                   |      | 107.1                           | 73.1                                  | 0.86         | 4.22                       | 32         | 3.6              |
| 46~48年度結果よりみたクルマエビ稚仔の良好な生息環境条件 |      | 平均歩留り尾数<br>100 匹/m <sup>2</sup> | 想定平均高潮位<br>(大海地区の場合)<br>T.P. 55.3cm以上 | 0.1mm 以上     | 5% 以下                      | 35% 以上     | 5.0cm 以下         |

1) 放流尾数 200万尾 (平均 2000尾/m<sup>2</sup>)  
2) 人工干潟放流場面積 1.0 ha

(I区画)と沖側区画(IV区画)との差は、平均 17.5cm しかなく、最高と最低でも、32.5cm 程度の差しか存在しない。この程度の地盤高の差が放流クルマエビの分布に直接的支配因子になると考えるよりも、この標高差に起因する波、流れなどの動的因子による分散、集積が支配的因子となったと考えられる。このことは、図-1 に示すように、クルマエビ稚仔の分布と波の屈折図を対比してみると、おおむね、波峰線と稚仔の等密度線が同じパターンを持っていることがわかる。また波が収束傾向を示す場所において、稚仔の歩留り分布密度が大きくよく合致していることから明らかである。このことは、人工干潟を造成する場合、干潟構造に関連する重要な問題である。

3) 干潟上でのクルマエビ残留尾数と放流歩留り尾数

放流場における既存クルマエビと放流クルマエビ稚仔との関係を示したのが図-2である。横軸に各区画の前回放流されたクルマエビの残留尾数、縦軸にその時放流されたクルマエビの放流歩留り尾数をとって示してある。

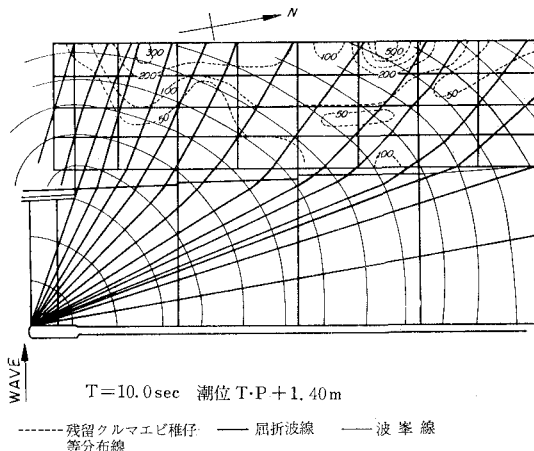


図-1 クルマエビ放流歩留り分布と屈折波図

△印は、8月21日から22日の調査時における放流歩留り密度と7月放流群の残留密度との関係を、○印は、10月2日の調査時における放流歩留り密度と7月、8月放流群の残留密度の関係を示したものである。図-2から残留クルマエビ密度が多くなると放流歩留りが低下し、その包絡線は、ほぼ反比例にあることを示している。このことは人工干潟における残留クルマエビの放流密度に対する限界制限条件を示し、他の条件の良否によって密度の大小が生じるとしても、密度の最大値は、残留クルマエビ数に制約され、図中の包絡線と考えられる。このことは、放流前における生残クルマエビの管理がきわめて重要であることを示唆している。

このことは、放流前における生残クルマエビの管理がきわめて重要であることを示唆している。

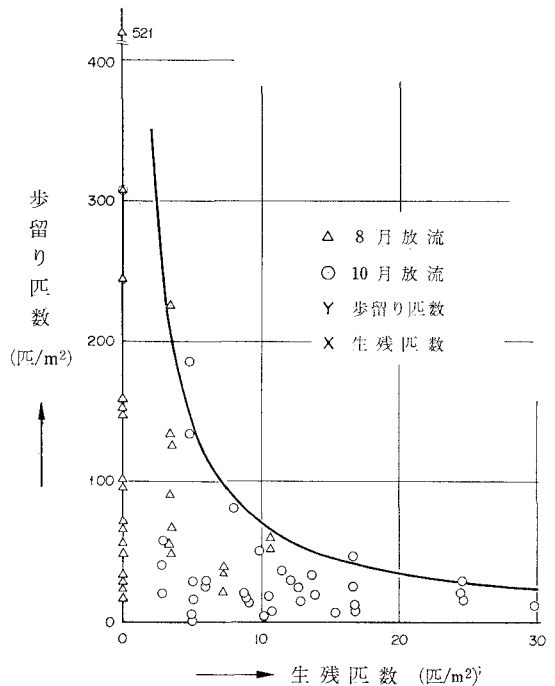


図-2 各区画におけるクルマエビ残留尾数と放流歩留りの関係

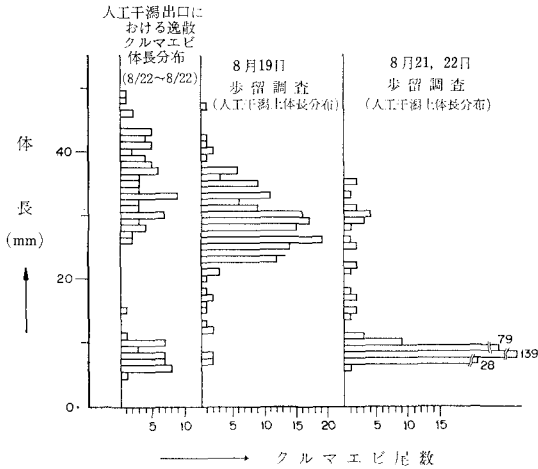
3. 人工干潟の機能 (クルマエビ稚仔の人工干潟から天然海域への逸散量について)

(1) 人工干潟から天然海域へのクルマエビ稚仔逸散捕獲実験

人工干潟に放流されたクルマエビ稚仔が天然資源に有効に資源添加しているかをみるため、8月20日~22日に人工干潟の出口に、長さ200cm、高さ50cm、網目目合1mmのまぢ網2基を設置し、出ていくクルマエビを

表一3 放流稚仔の天然海域への逸散捕獲尾数

|                            |         |         |         |
|----------------------------|---------|---------|---------|
| 調査月日                       | 49.8.20 | 49.8.21 | 49.8.22 |
| S. 49. 8. 20<br>放流群        | 3尾      | 4尾      | 0尾      |
| S. 49. 7. 22, 7. 30<br>放流群 | 17尾     | 29尾     | 32尾     |



図一3 逸散クルマエビの体長分布

捕獲した。また、まち網は、1基をミオ筋に、他方をタイドプールになる場所に設置した。設置時間は、干潮時から干潮時までの12時間とし、夕方から朝まで行った。その結果をクルマエビのみについてまとめたのが表一3である。また、図一3には、捕獲されたクルマエビの体長組成を8月19日の残留調査、8月21日~22日の歩留り調査と比較対比した。これより捕獲されたクルマエビは、7月放流群であることがわかる。なお、ミオ筋に設置したものと、タイドプールの場所に設置したものについて比較してみると、ミオ筋に設置した方が、7月放流群については、ほぼ5倍となっている。このことは、クルマエビの移動はミオ筋に添って行われると考えられる。すなわち、流れに乗って移動する。一方、放流クルマエビについてみると放流日両網で31尾捕獲されたが、次の21日には4尾、続いて0尾と少なくなっている。これは、放流稚仔の活力に関係し、活力のない稚仔は最初の引き潮で淘汰されることを意味し、昨年の移動分散の実験結果で放流日翌日からは干潟上で移動分散はあるが減耗をしないという結果を裏づけるものである。

(2) 人工干潟から天然海域へのクルマエビ稚仔逸散数学モデル

a) 逸散数学モデル

人工干潟に放流されたクルマエビ稚仔が、天然海域へ逸散する体長は、図一3に示されるように、25~50mm程度でそのモードは、30mm程度である。したがって、放流稚仔は、人工干潟から成育に応じて順次天然海域へ逸散していくものと考えられる。今放流クルマエビ稚仔

の平均体長を  $\mu$ 、分散を  $\sigma^2$  として、人工干潟から天然海域への逸散する体長を  $L_c$  とすれば、天然海域への逸散尾数  $E$ 、と放流直後の歩留り匹数  $E_0$  の関係は、式(1)で示される。

$$\frac{E}{E_0} = \int_{L_c}^{\infty} N(\mu, \sigma^2) dL = \int_{(L_c - \mu)/\sigma}^{\infty} N(0, 1) dx = \Phi\left(\frac{L_c - \mu}{\sigma}\right) \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $N(\mu_t, \sigma_t^2)$ 、 $N(0, 1)$  はそれぞれ正規分布および標準正規分布を示す。また、放流クルマエビ稚仔の平均体長  $\mu_t$  と標準偏差  $\sigma_t$  との間には、ほぼ式(2)が成り立ち、放流クルマエビ稚仔の体長  $L=10\text{mm}$  から  $L=50\text{mm}$  に成長する間には、ほぼ式(3)が成り立っている。

$$\sigma_t = \mu_t / K \dots\dots\dots (2)$$

$$\mu_t = At + B \dots\dots\dots (3)$$

なお、過去3か年の放流実験の結果より推定すると、ほぼ  $K=3\sim 4$ 、 $A$ : 放流稚仔の成長速度 ( $\approx 1.3\text{mm/day}$ )、 $B$ : 放流稚仔の体長 ( $\approx 10\text{mm}$ )、 $t$ : 放流後の経過日数である。式(2)、(3)を式(1)に代入して、人工干潟から天然干潟への逸散量を求めたのが式(4)である。

$$\frac{E}{E_0} = \Phi\left(\frac{L_c - At - B}{At + B}\right) \dots\dots\dots (4)$$

また、放流稚仔の天然海域への1日当り逸散速度は、式(4)から式(5)として導かれる。

$$\frac{1}{E_0} \frac{dE}{dt} = - \frac{\dot{\mu}_t \sigma_t + \dot{\sigma}_t (L_c - \mu_t)}{\sigma_t^2} \times \Phi_{(L_c - \mu_t)/\sigma_t} \left(\frac{L_c - \mu_t}{\sigma_t}\right) \dots\dots\dots (5)$$

ここで、 $\dot{\mu}_t = A$ 、 $\dot{\sigma}_t = A/K$

$$\begin{aligned} \therefore \frac{1}{E_0} \frac{dE}{dt} &= \frac{A\mu_t/K + A(L_c - \mu_t)/K}{\mu_t^2/K^2} \\ &\times \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{K^2(L_c - \mu_t)^2}{2\mu_t^2}\right\} \\ &= \frac{KALc}{\sqrt{2\pi}\mu_t^2} \exp\left\{-\frac{K^2}{2}\left(\frac{L_c}{\mu_t} - 1\right)^2\right\} \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

ただし、 $t$  は放流1日後を基準にとった経過日数。

b) 調査結果の解析

昭和49年7月22日に、人工干潟上に200万尾放流し、その後の経時的残留尾数を調査したのが、表一4、図一4である。また、 $A=1.3\text{mm/day}$ 、 $B=10\text{mm}$ 、 $K=3$  を式(4)に代入し、人工干潟上でのクルマエビ稚仔の残

表一4 人工干潟上での残留尾数

|            |  |         |         |         |          |         |
|------------|--|---------|---------|---------|----------|---------|
|            | (S. 49. 7. 22放流, S. 49. 7. 23歩留り, 70.7尾) |         |         |         |          |         |
| 調査月日       | 49.8.5                                   | 49.8.19 | 49.8.22 | 49.9.13 | 49.10.16 | 49.11.7 |
| 残留尾数       | 29.1                                     | 10.9    | 7.7     | 2.1     | 1.1      | 0.3     |
| 残留率(%)     | 41.0                                     | (37.0)  | (26.0)  | (7.0)   | (4.0)    | (1.0)   |
| 放流後経過日数(日) | (0)                                      | (14)    | (17)    | (39)    | (72)     | (94)    |
|            | (3)                                      | 27      | 30      | 52      | 85       | 107     |

( ) 内 S. 49. 8. 5 残留尾数

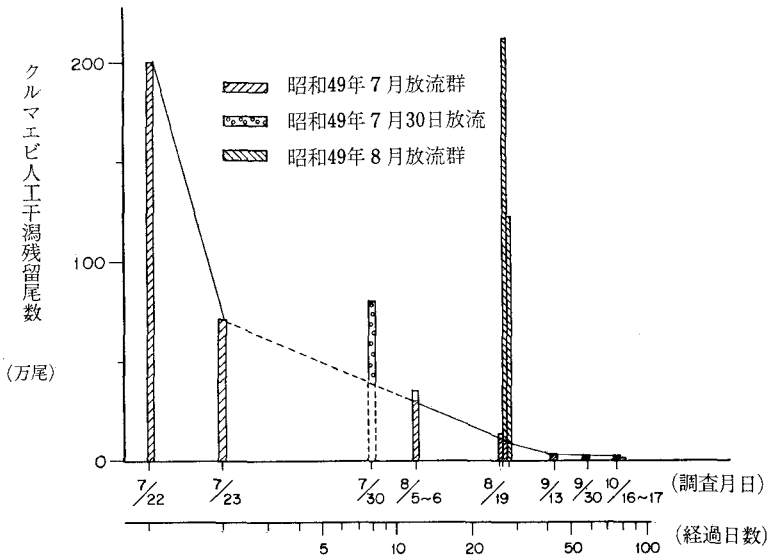


図-4 人工干潟クルマエビ残留個体数変動

留量を計算し、図化すると 図-5 となる。図中の○印は、表-1 で求めた残留率をプロットしたものである。この図は、昨年の干潟上の放流クルマエビ稚仔の残留調査で5日間の減少がなかった事実と今年度人工干潟の放流稚仔の残留調査による残留曲線形をよく説明している。このように体長が  $L_c$  を越えたものから順次いなく

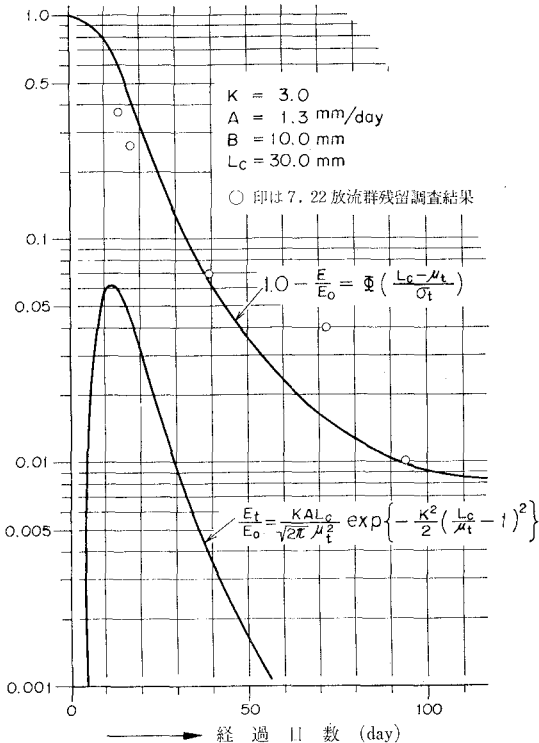


図-5 人工干潟クルマエビ放流稚仔の残留曲線および逸散速度曲線

なるとして、よく現象を説明し得ることは、いなくなった稚仔は、死亡したのではなく、天然海域へ逸散したものと考えるのが妥当であろう。人工干潟の目的は、放流クルマエビ稚仔を  $L_c$  まで育成し、天然に資源添加することが目的であるから、人工干潟の資源添加の効率化は、放流歩留りの向上によって果たされる。次に式(5)に式(4)同様に  $A, B, L_c, E_0=70.7$  万尾(7/22 放流群の放流歩留り)を与え計算すると 図-5 に示すような人工干潟から天然海域への逸散(添加)速度が得られる。これによれば放流されたクルマエビは、平均体長  $\mu_t$  が逸散体長  $L_c$  に近づく時期、つまり放流後 10~15 日に逸散率(添加率)は最大となり、放流歩留り尾数の6%近くが逸散することがわかる。平均体長  $\mu_t$  が  $L_c$  を越えた後は、逸散率は徐々に減少してゆくが、放流後 30 日以降では、1日の逸散量は、放流歩留り尾数の1%となり、この時期干潟に残留しているクルマエビ尾数は、図-5 より放流歩留り尾数の1割以下となる。

放流後 40 日以後においても残留している 1~2 万尾のクルマエビは、人工干潟が天然添加へ寄与したうちの数パーセントにすぎず、それ自体はあまり重要ではないが、その残留が次の放流歩留りに影響することは重要である(図-2 参照)。したがって、これを放流歩留りに影響を与えないために追出すか、殺すか等の方策は、経済性を考慮して対処すべきであろう。

#### 4. 結 語

本研究は、自然環境下における生物再生産機構の解明から始まり、その再生産機構を利用し、自然環境下での最も弱点となる部分を人為的に管理することにより、生物生産性が高められることが判明した特異な例である。

クルマエビ栽培漁業にとって、不完全ながらも人為的に管理された人工干潟が放流場としての有効性について、放流歩留り、資源添加両面から確認されたことは、水産生物資源培養技術の分野に土木工学技術が導入出来る1つの方向を示していると思われる。この研究を遂行するにあたり、地元町、漁協その地の多数の援助を賜ったことを付記します。

## 参 考 文 献

- 1) 備後灘周辺漁場開発プロジェクトチーム：浅海域における増養殖漁場の開発に関する総合研究（備後灘周辺実験漁場），第1～4号，昭和46年～49年。
- 2) 上北征男他：人工干潟（1），第21回海岸工学講演会論文集，pp. 465～470，昭和49年11月。
- 3) 農林水産技術会議事務局：農林水産試験研究における数理統計的手法の理論と応用，昭和46年1月。