

標識放流法による大原地先海域の若齢イセエビの資源量推定

石田 修・田中 種雄

はじめに

大原地先海域には広大な天然礁¹⁾が存在している。すなわち、大原漁港東南東5.5~9.0km沖には官軍出し、黒森などの天然礁があり、大原漁港東、及び東北東9.5~19.0kmにはトンビザキ、焼場、大谷、北ウス、渡し場、森出しなどの天然礁がある。これらの礁はイセエビ、アワビをはじめ、根付魚、回遊魚などの良好な漁場となっている(図1)。

大原町漁業協同組合青年部²⁾は勝浦水産事務所^{*}、及び東京水産大学の高木和徳教授、水口憲哉助教授、大野淳助手の指導により、1975、1976年にこれらのいくつかの漁場に若齢イセエビ(体長15cm以下)を標識放流し、移動、成長の調査を行った。

本報告は1975年の調査資料をもとにして、大原地先海域内における若齢イセエビの資源量、及び諸種のパラメーターを加藤・山田、⁴⁾木曾・松宮、⁵⁾松宮⁶⁾の文献を参考にして、PETERSEN法、^{4), 5), 6)} SCHNABEL法、⁴⁾ BEVERTON-HOLT法、⁴⁾ 能勢法、⁷⁾ JOLLY-SEBER法^{4), 5)}を用いて推定し、今後のイセエビ管理の一助とした。なお、本文をまとめるにあたり、種々御指導をいただいた長崎大学水産学部松宮義晴博士に厚く御礼を申しあげる。

材料と方法

標識放流に用いた若齢イセエビは大原沖の漁場でエビ刺網(網目3寸1分前後)により漁獲されたもので、体長は122.5mmにモードがあった(図2)。

標識^{2), 3)}はイセエビの第2触角の一方に楕円形のプラスチックをエナメル線で巻きつける方法を用いた。

解析には、1975年8月20日から11月21日の間に23回に分けて2,373尾を放流し、132尾分が再捕された資料を用いた。この内、131尾が大原地先海域で、1尾が勝

浦市川津地先で再捕された。PETERSEN法、SCHNABEL法、JOLLY-SEBER法では同期間内で再捕されたものは、放流尾数、再捕尾数から差し引いて解析した。放流場所と再捕場所は図3に示した通りである。

結 果

PETERSEN法、SCHNABEL法による推定

標識が脱落しないこと、標識装着による死亡が起らないこと、出生、死亡や移出入による個体数の変化がないこと、標識個体と未標識個体の漁獲の確率が等しいことなどの仮定のもとに、以下のPETERSEN法とSCHNABEL法の推定式が利用できる。

PETERSENの推定式

$$N_i = n_i M_i / m_i$$

SCHNABELの推定式

$$N_i = \sum_{k=1}^i n_k M_k / \sum_{k=1}^i m_k$$

$$\text{ただし、} M_i = \sum_{k=1}^{i-1} (s_k - m_k)$$

ここで、 n_i : 時間*i*における漁獲尾数 m_i : 再捕尾数
 M_i : 時間*i*-1の終りににおける標識放流個体の総数
 N_i : 推定資源尾数 s_k : 標識放流尾数

これらの方法による9月上中旬から11月中下旬の旬ごとの資源尾数は表1に示した通りで、PETERSEN法では8,473尾~71,378尾、SCHNABEL法では8,966~27,688尾と推定された。

BEVERTON-HOLT法による推定

標識イセエビが、漁獲、自然死亡、標識の脱落、または、標識による死亡などで減少すると仮定すると、

* 故林包雄、赤塚誠一、吉野佐治元普及員の指導

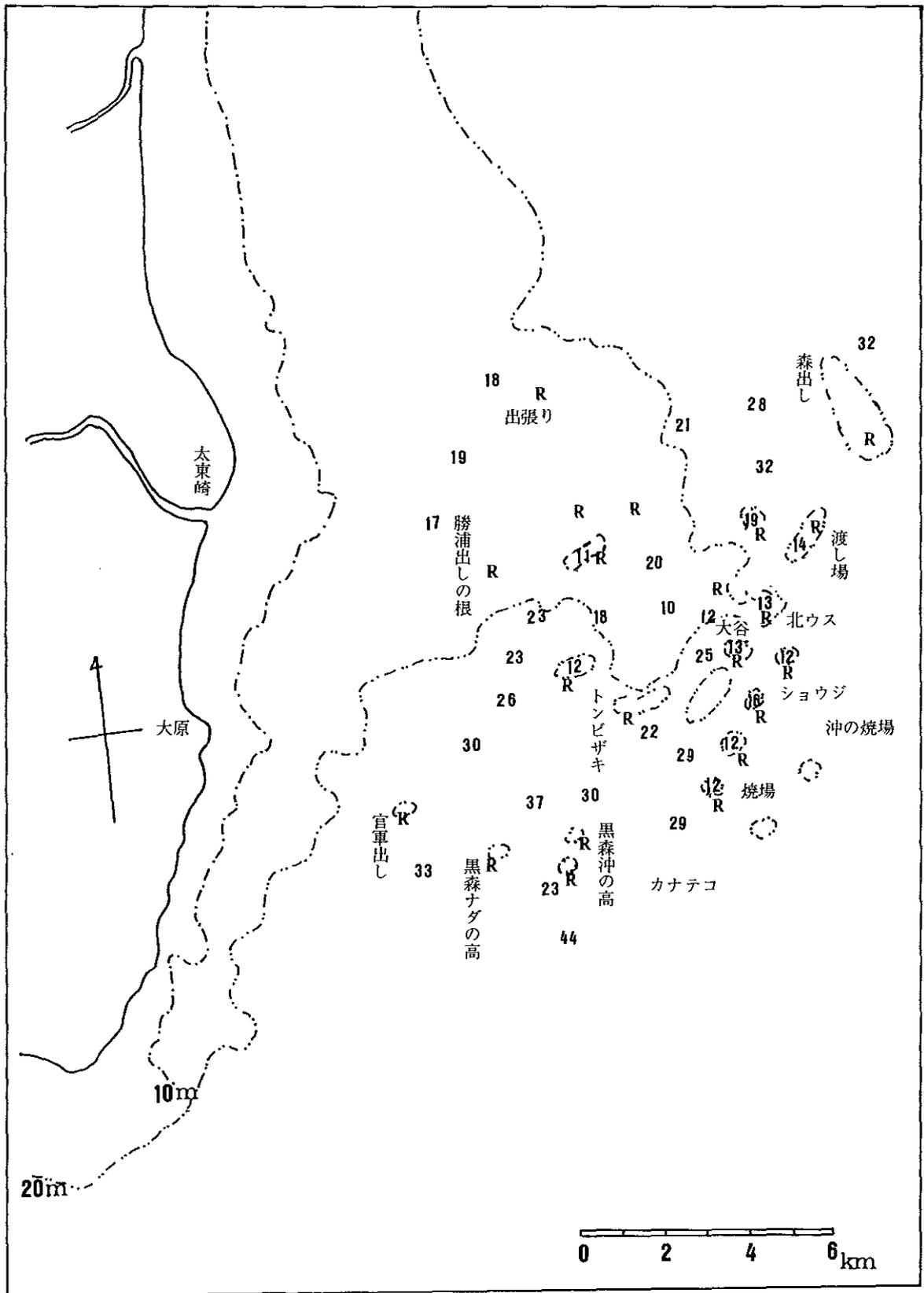


図1 大原地先海域のイセエビ漁場図
 (図中の数字は水深mを示し、Rは天然礁を示す)

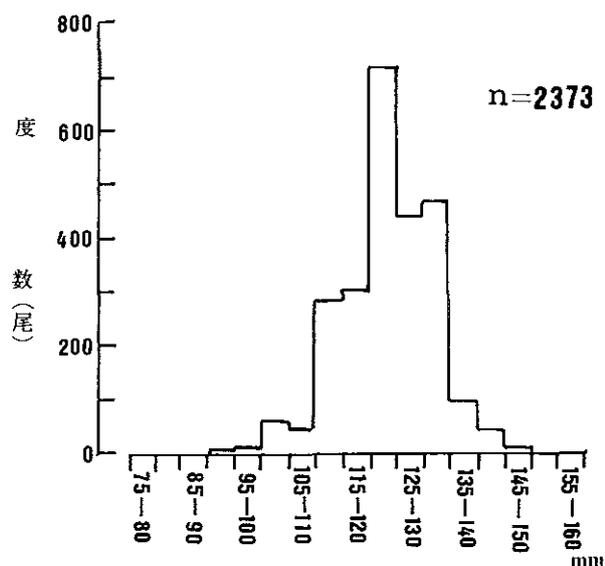


図2 標識放流を行ったイセエビの体長
(1975年8~11月)

下記のB EVERTON - H OLT の推定式が利用できる。

$$\log_e m_i = \log_e \frac{F \cdot S_0}{F + T + M_0} \{1 - e^{-(F+T+M_0)}\} - (F+T+M_0)(i-1)$$

$$1 - \phi = 1 - e^{-(F+T+M_0)}$$

$$N_i = \frac{F+T+M_0}{F} \cdot \frac{1}{1-\phi} \cdot n_i$$

m_i : 再捕尾数 F : 漁獲死亡係数 T : 標識減耗係数

M_0 : 自然死亡係数 S_0 : 放流尾数 n_i : 漁獲尾数

$1 - \phi$: 全死亡率 N_i : 推定資源尾数

ただし, $F, T, M_0, 1 - \phi$ は旬, すなわち, 10日間あたり

これらの式は, 時間 i に対する各期の再捕尾数の対数 $\log_e m_i$ の回帰関係から F と $T + M_0$ が推定でき, これらと各期の漁獲尾数から資源尾数を推定できることを示している。

1975年の8月20日から11月21日に放流した合計2,373尾の再捕系列のデータを用いて, 放流後から10日間ごとに再捕尾数をそれぞれ加え合せて一つの再捕系列とみなし, 10日を単位とした諸係数, 資源尾数を求めた。

時間と再捕尾数の関係は図4に示した通りで, $\log_e m_i = 4.332 - 0.769(i-1)$ と求められた。この式から, $F + T + M_0 = 0.769$ と求められ, $F = 0.046$, $T + M_0 = 0.723$, $1 - \phi = 0.537$ となった。

旬ごとの資源尾数は表2に示した通りで, 9月上旬から10月下旬の間で4,563~13,844尾と推定された。

能勢法による推定

能勢⁷⁾は時間 i に対する各期の標識率の逆数の対数 $\log_e n_i / m_i$ の回帰関係から, T と標識率 α が推定でき, それらと標識放流尾数とから初期資源尾数が推定できるとして, 下記の式を与えている。

$$\log_e \left(\frac{n_i}{m_i} \right) = \log_e \left(\frac{1}{\alpha} \right) \left(1 + \frac{T}{2} \right) + T(i-1)$$

$$N_0 = S_0 / \alpha$$

n_i : 漁獲尾数 m_i : 再捕尾数 S_0 : 初期標識放流尾数

T : 標識減耗係数 N_0 : 初期資源尾数

1975年の8月20日~8月31日に471尾の標識放流を行った結果を用いて, 若齢エビの放流を終了した時点,

表1 PETERSEN 法, SCHNABEL 法による資源量の推定

月 旬	i	標識放流尾数 S_i	漁獲尾数 n_i	再捕尾数 m_i	時間 $i-1$ の終りにおける標識放流個体の総数 $N_i = \sum_{k=1}^{i-1} (S_k - m_k)$	$n_i m_i$	PETERSEN 法の推定値 $n_i N_i / m_i$	$\sum n_k m_k$	$\sum m_k$	SCHNABEL 法の推定値 $\frac{\sum n_k m_k}{\sum m_k}$
8月下旬	1	471								
9月上旬	2	427	514	27	471	242,094	8,966	242,094	27	8,966
9月下旬	3	143	146	5	871	127,166	25,433	369,260	32	11,539
10月上旬	4	292	299	12	1,009	301,691	25,141	670,951	44	15,249
10月中旬	5	440	443	8	1,289	571,027	71,378	1241,978	52	23,884
10月下旬	6	338	338	11	1,721	502,374	45,670	1744,352	63	27,688
11月上旬	7	62	62	15	2,050	127,100	8,473	1871,452	78	23,993
11月中下旬	8	94	94	12	2,097	197,118	16,427	2068,570	90	22,984

(注) 放流後同期間内で再捕されたものは標識放流尾数, 再捕尾数から除いてある

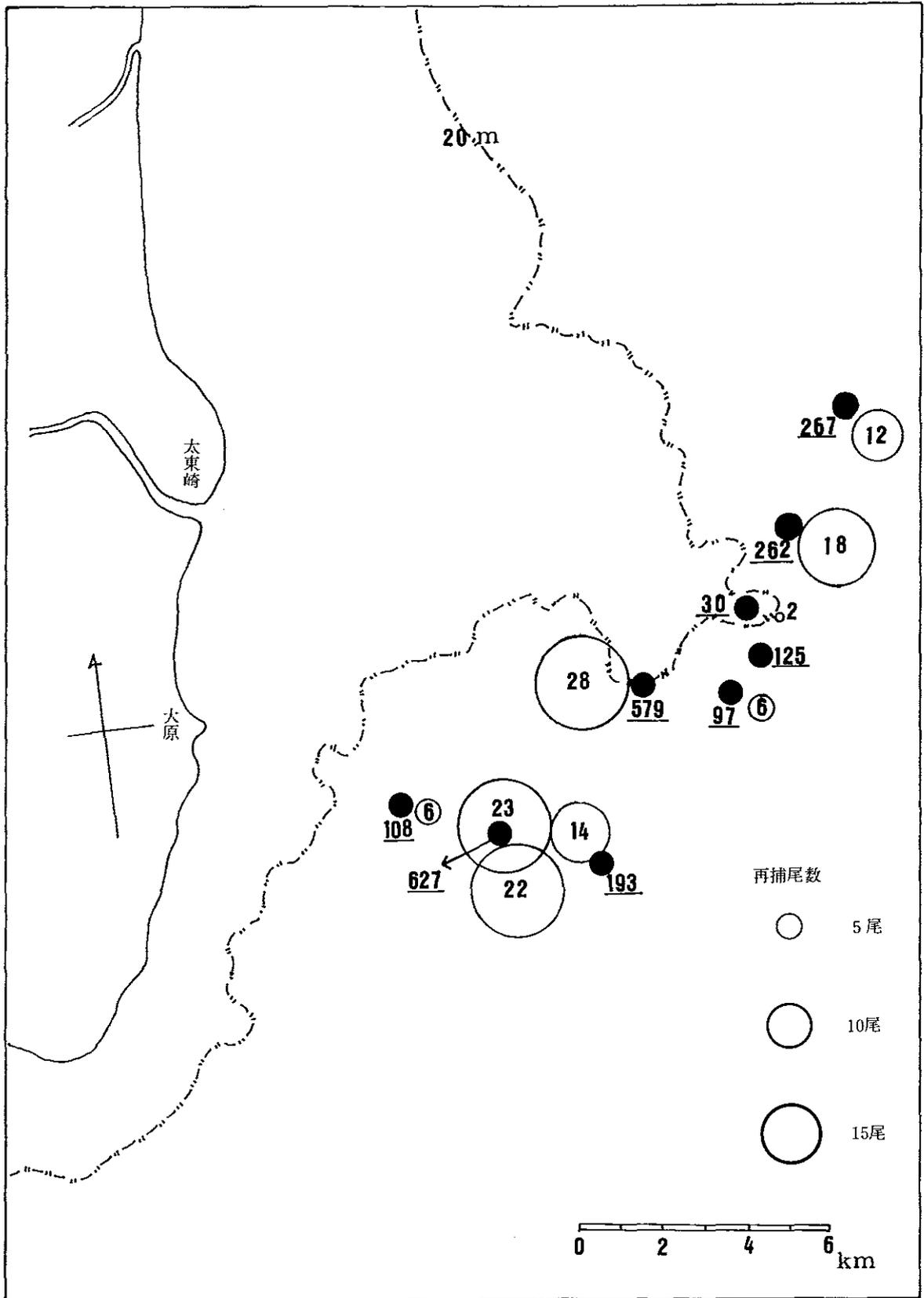


図3 イセエビの放流場所と再捕場所

●印は放流場所を示し、○印は再捕場所を示す。
他に放流場所不明分85尾が放流されている。数字は放流尾数を示す

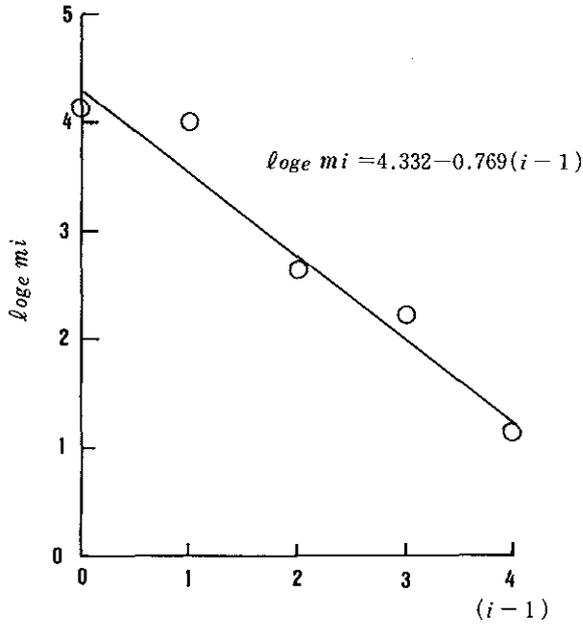


図4 時間と再捕尾数の関係

表2 BEVERTON-HOLT法による資源量推定 (漁獲死亡率0.032)

月 旬	漁獲尾数	資源尾数
9 月上中旬	514	8,032
9 月下旬	146	4,563
10 月上旬	299	9,344
10 月中旬	443	13,844
10 月下旬	338	10,563

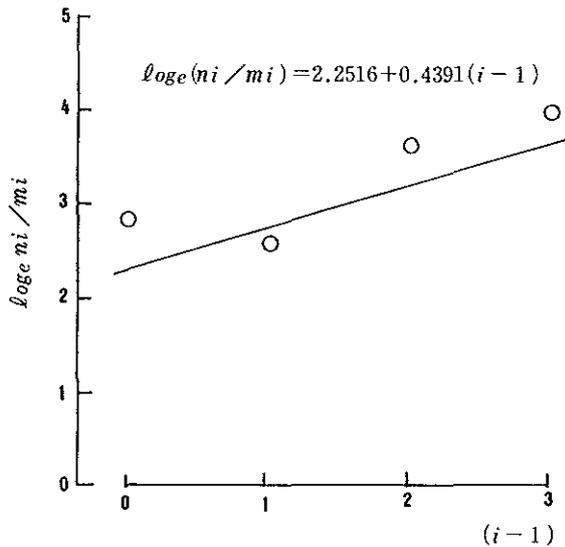


図5 時間と標識率の逆数の関係

すなわち、8月下旬の資源尾数と標識減耗係数 T を推定した。なお、放流は、すべて8月31日に実施したものとみなし、それ以前に再捕されたものは放流尾数から差し引いて計算した。

10月上旬までの時間と標識率の逆数の関係は図5に示した通りで、 $\log_e(n_i/m_i) = 2.2516 + 0.4391(i-1)$ と求められた。よって、 $T = 0.4391$ 、 $\alpha = 0.1283$ と求められ、8月下旬の資源尾数は3,671尾と推定された。

BEVERTON-HOLT法、能勢法によって求められた、10日を単位とした全死亡係数、自然死亡係数、漁獲死亡係数、標識減耗係数、及び、それぞれの率を表3に示した。

表3 BEVERTON-HOLT法、能勢法による10日を単位とした諸係数の推定

BEVERTON-HOLT 法	
全死亡係数 $F+T+M_0$	0.769
全死亡率 $1-\phi$	0.537
漁獲死亡係数 F	0.046
漁獲死亡率	0.032
標識減耗係数, 自然死亡係数 $T+M_0$	0.723
標識減耗率, 自然死亡率	0.505
能 勢 法	
標識減耗係数 T	0.439
標識減耗率	0.307
自然死亡係数 M_0	0.284
自然死亡率	0.198
生残率(自然死亡のみ考慮)	0.802

(例) 漁獲死亡率 = 全死亡率 \times $\frac{\text{漁獲死亡係数}}{\text{全死亡係数}}$

JOLLY-SEBER法による推定

死亡, 出生, 移入, 移出がある開放個体群には, JOLLY-SEBER法が適用でき, 下記の式により, 各パラメーターの推定ができる。

$$\hat{\alpha}_i = m_i / n_i \quad (i = 2, 3, \dots, T)$$

$$\hat{M}_i = (S_i z_i) / r_i + m_i \quad (i = 2, 3, \dots, T-1)$$

$$\hat{N}_i = \hat{M}_i / \hat{\alpha}_i \quad (i = 2, 3, \dots, T-1)$$

$$\hat{\phi}_i = \hat{M}_{i+1} / (\hat{M}_i - m_i + S_i) \quad (i = 1, 2, \dots, T-2)$$

$$\hat{B}_i = \hat{N}_{i+1} - \hat{\phi}_i (N_i - n_i + S_i) \quad (i = 2, 3, \dots, T-2)$$

表4 イセエビの放流時期別再捕結果

月 旬	i	n _i	s _i	m _{ji}								
				j=1	2	3	4	5	6	7	m _i	
8月下旬	1	477	471	—								0
9月上中旬	2	514	427	27								27
9月下旬	3	146	143	4	1							5
10月上旬	※4	299	292	3	1	8						12
10月中旬	5	443	440	0	0	2	6					8
10月下旬	6	338	338	0	0	1	1	9				11
11月上旬	7	62	62	0	0	0	0	2	13			15
11月中下旬	8	94	94	0	0	0	0	0	4	8		12
計		2,288	2,267	34	2	11	7	11	17	8		90

※ i 4 では292尾放流され, i = 1 で放流されたもの3尾, i = 2 で1尾, i = 3 で放流されたもの8尾が漁獲されている。同期間内で再捕されたものは放流数から差し引いてある。

数式の記述に用いる下記の記号は巖⁹⁾を参考にした。

- N_i : i 時点のサンプリング直前の資源尾数
 M_i : i 時点のサンプリング直前の標識放流総尾数
 B_i : 時点 i から (i + 1) の間に出生, 移入により新たに加入し, 時点 (i + 1) で生存していた尾数
 n_i : i 時点におけるサンプルの漁獲尾数
 m_i : i 時点におけるサンプル中の再捕尾数
 m_{ji} : 時点 j で最後に再捕され, 時点 i で再捕された数 $1 \leq j \leq i - 1$
 s_i : i 時点における標識放流尾数
 ϕ_i : i ~ i + 1 の間の生残率
 α_i : i 時点における標識率
 $\rho_i = n_i / N_i$: i 時点における漁獲死亡率

ここに,

$$a_{ji} = \sum_{k=1}^j m_{ki} : j \text{ またはそれ以前に最後に再捕されたもの}$$

$$r_i = \sum_{k=i+1}^T m_{ik} : \text{時点 } i \text{ で標識放流され, その後再捕された合計数}$$

$$Z_i = \sum_{k=i+1}^T \alpha_i - 1, k : \text{時点 } i \text{ 以前に標識放流され, } i \text{ で再捕されず, } i \text{ 以後に再捕された合計数}$$

JOLLY-S EBER法に用いた放流時期別再捕結果を表4に, a_{ji} を表5に示した。これらを用いて, 推定した資源尾数は, 表6に示した通りで, 9月下旬から, 10月下旬の間で, 1,545~4,889尾であった。また, 漁獲死亡率は0.087~0.091, 生残率は0.650~1.045 (平均値0.799) と求められた。

以上の4つの方法によって推定された資源尾数を表

表5 i における再捕数のうち j またはそれ以前に放流されたもの, a_{ji} の表

i \ j	1	2	3	4	5	6	7
1							
2	27						
3	4	5					
4	3	4	12				
5	0	0	2	8			
6	0	0	1	2	11		
7	0	0	0	0	2	15	
8	0	0	0	0	0	4	12
Z _{j+1}	7	4	3	2	2	4	

7にまとめて示した。

論 議

大原地先海域の標識放流を実施した漁場における1975年の若齢エビの資源尾数を各方法により推定することを試みたが, 方法によって資源尾数に差がみられた。すなわち, PETERSEN法では, 9月上旬~10月下旬の間で8,966~71,378尾, SCHNABEL法では8,966~27,688尾, BEVERTON-HOLT法では4,563~13,844尾と推定され, また, JOLLY-S EBER法では9月下旬~10月下旬で1,545~4,889尾と推定された。今回用いた標識では1回の脱皮で標識が消失すること, 及び標識作業により死亡が高まりやすくなることなどを考え合わせると, 標識減耗の存在を考慮しない, PETERSEN

表6 JOLLY-SEBER法による資源量の推定

月 旬	i	n _i 漁獲尾数	N _i 資源尾数	ρ _i 漁獲死亡率	φ _i 生残率
9月上中旬	2	514	*28,990	0.018	0.030
9月下旬	3	146	1,676	0.087	0.703
10月上旬	4	299	3,425	0.087	1.045
10月中旬	5	443	4,889	0.091	0.650
10月下旬	6	338	1,545	—	—

※ r₂ = 2尾と再捕尾数が少なかった

表7 各方法による資源量の推定

推定法 月 旬	PETERSEN 法	SCHNABEL 法	BEVERTON -HOLT法	JOLLY- SEBER法
9月上中旬	8,966	8,966	8,032	28,990
9月下旬	25,433	11,539	4,563	1,676
10月上旬	25,141	15,249	9,344	3,425
10月中旬	71,378	23,884	13,844	4,889
10月下旬	45,670	27,688	10,563	1,545

法, SCHNABEL法では標識減耗を考慮したBEVERTON-HOLT法やJOLLY-SEBER法より資源尾数が大きくなることは当然と思われる。そこで, BEVERTON-HOLT法とJOLLY-SEBERの方法による資源尾数

が妥当であるかどうかを検討してみた。

若齢エビが成長し, 翌年の同時期に l_{n+2} 歳⁹⁾ となって漁獲されると仮定して, 1976年の l_{n+2} 歳の漁獲尾数と資源尾数との関連をみてみると, JOLLY-SEBER法では再捕尾数の少ない ($r_2 = 2$) ことによる推定のかたよりと考えられる9月上中旬の28,990尾を除いては, 漁獲尾数の方が資源尾数より大きいと同程度になっていた(表8)。よって, JOLLY-SEBER法では資源尾数は小さく見積られていると推定される。BEVERTON-HOLT法では漁獲尾数より資源尾数の方が大きく, また, SCHNABEL法とJOLLY-SEBER法による資源尾数の中間的な値を示している。このことから, 今回用いた方法の中ではBEVERTON-HOLT法による資源尾数が実際の資源尾数に近い値を示しているのではないと思われる。

表8 各方法による若齢エビの資源尾数と翌年の親エビの漁獲尾数と重量

	PETERSEN法	SCHNABEL法	BEVERTON -HOLT法	JOLLY- SEBER法	1976年の l_{n+2} 歳の 漁獲尾数と漁獲重量()内
9月上中旬	8,966	8,966	8,032	28,990	3,475(483kg)
9月下旬	25,433	11,539	4,563	1,676	3,377(469kg)
10月上旬	25,141	15,249	9,344	3,425	3,338(464kg)
10月中旬	71,378	23,884	13,844	4,889	3,304(459kg)
10月下旬	45,670	27,688	10,563	1,545	3,121(434kg)

(注) 1979年の年齢組成のデータでは l_{n+2} 歳の漁獲割合は49.7%であった⁹⁾

表9 若齢エビの漁獲尾数の経年変化

(上段は西歴年数)

1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
3,128	4,003	1,648	2,761	4,563	12,316	8,459	8,790

1975～1982年の若齢エビの漁獲尾数は表9に示した通りで、その内、1979～1982年の若齢エビの漁獲尾数は4,536～12,316尾で、BEVERTON-HOLT法による1975年の10日間あたりの資源尾数4,563～13,844尾に近い値(4,563尾は少ないと思われるが)を漁獲していることから、若齢エビを徹底して再放流することにより漁獲の増加に結びつくと考えられる(再放流は継続して実施されている)。

BEVERTON-HOLT法によると、若齢イセエビの自然死亡と標識減耗を混みにした10日間の減耗率は0.505と求められ、これから能勢法により推定した10日間の脱皮の減耗を含む標識の脱落、標識による死亡などを含む標識減耗率0.307を差し引くと、自然死亡率0.198と求められる。よって、漁獲死亡、標識減耗などを除いた自然死亡のみを考慮した場合の10日間の生残率は0.802であった。今回用いた標識方法の調査では自然死亡より標識減耗の方が大きいことが示された。

漁獲死亡率は、BEVERTON-HOLT法によると10日間あたりで0.032と求められ、自然死亡率0.198より小さい値となった。イセエビの漁獲尾数に対する若齢イセエビの占める割合は、表10に示したように3.4～10.0%で、平均5.8%と低かった。このことから、現在も用いられている網目3寸1分前後(極く沿岸の他地先の漁場では2寸5分～2寸9分)の刺網は若齢イセエビの保護には有効であると考えられる。

本報告では各方法により資源尾数、及び諸種のパラメーターの推定を試みたが、推定には更に改良する余地がある。すなわち、標識が1回の脱皮で消失してしまうこと、そのため、長期間にわたる再捕尾数が得られないこと、資源尾数1万尾、再捕尾数100尾位では標識放流尾数が8,000尾¹⁰⁾位必要であることなどである。

表10 若齢エビの占める割合

月 旬	若齢エビ漁獲尾数 A	親エビ漁獲尾数 B	$A/A+B \times 100\%$
8 月下旬	477	6,840	6.5
9 月上旬	514	13,299	3.7
9 月下旬	146	3,232	4.3
10 月上旬	299	5,850	4.9
10 月中旬	443	3,988	10.0
10 月下旬	338	4,074	7.7
11 月上旬	62	1,744	3.4
計	2,279	39,027	5.8

また、親イセエビの資源尾数との関連において若齢イセエビの資源尾数を検討する必要がある。

要 約

- 1) 大原町漁業協同組合青年部が実施した若齢イセエビの標識放流結果の資料から大原地先海域における若齢イセエビの資源量、及び諸種のパラメーターを推定した。
- 2) 解析には、1975年8月20日から11月21日の間に2,373尾を放流し、132尾が再捕された資料を用いた。
- 3) PETERSEN法により推定した資源尾数は、BEVERTON-HOLT法、JOLLY-SEBER法に比べて大きくなった。
- 4) JOLLY-SEBER法による資源尾数は、翌年の漁獲尾数より小さくなった。
- 5) BEVERTON-HOLT法による資源尾数は、JOLLY-SEBER法とSCHNABEL法による資源尾数の中間的な値を示し、9月上旬8,032尾、9月下旬4,563尾、10月上旬9,344尾、10月中旬13,844尾、10月下旬10,563尾と推定された。
- 6) BEVERTON-HOLT法と能勢法を併用した10日間の自然死亡率は0.198、生残率は0.802と求められた。
- 7) BEVERTON-HOLT法による10日間の漁獲死亡率は、0.032と求められ、また若齢イセエビの平均混獲率は5.9%と低いことから、現在も使用されている網目3寸1分前後の刺網は若齢イセエビの保護には有効と思われる。
- 8) 漁獲された若齢イセエビを再放流することにより、翌年の漁獲量増加に結びつくと考えられる。

文 献

- 1) 大場俊雄(1972)：千葉県器械根におけるアワビ潜水漁業について。昭和47年度指定調査研究総合助成事業、アワビ増殖技術漁場環境調査、1～14。
- 2) 松本芳之(1977)：イセエビ資源の増殖をめざして。第23回千葉県水産業青壮年婦人活動実績発表大会資料、16～27。
- 3) 諸岡繁男(1978)：いせえびの標識放流について。第24回千葉県水産業青壮年婦人活動実績発表大会資料、36～47。
- 4) 加藤史彦・山田悦正(1975)：標識放流法による飯田湾のマダイ1才魚の資源量の推定。日水研報告、(26)、1～16。

- 5) 木曾克裕・松宮義晴(1980)：平戸島志々伎湾における資源量推定のためのマダイ当歳魚の標識放流. 西水研研報, (54) 307~314.
- 6) 松宮義晴(1983)：栽培漁業における数量的取扱い. 西海区ブロック浅海開発会議, 魚類研究会報,(1), 81~88.
- 7) 能勢幸雄(1961)：標識率法による東京湾北部のマハゼ資源量の推定. 日水誌, 27(8), 793~800.
- 8) 巖俊一(1971)：標識再捕による動物個体数の推定(1). 生物科学, 23(1), 14~22.
- 9) 石田修・田中種雄(1985)：大原地先海域におけるイセエビの移動・成長及び放流効果. 千水試研報, 43, 41~50.
- 10) 土井長之(1975)：水産資源力学入門. 66P P., 日本水産資源保護協会