

有明海佐賀県海域におけるクルマエビ標識種苗の 再捕尾数の推定と誤差評価

山口忠則・伊藤史郎・北田修一*

Estimating Mark Recapture and its Precision from Hatchery-Reared Kuruma Prawn released with Mark in the Innermost Area of Ariake Sound

Tadanori YAMAGUCHI, Shiro ITO, and Shuichi KITADA

Kuruma prawn, *Penaeus japonicus* is so commercially important in Ariake Sound that a lot of hatchery-reared juveniles have been stocked every year. In order to evaluate the stocking effectiveness, we conducted a two-stage sampling survey of genshiki bottom drift net fishing boats and fishing days. We have been able to estimate the number of recaptured prawns with mark and evaluate its precision. It was found that the variances would be reduced if we add not boats but days, because the variance among boats was smaller than the within-variance among days. In late half July, first and late half August and first half September, the adequate number of survey days and boats should be 4, 11, 15 and 3, and 1, 3, 4 and 1, respectively, calculated by the cost function and Neyman allocation.

まえがき

クルマエビ *Marsupenaeus japonicus* は有明海佐賀県海域における重要な漁業資源である。この資源の維持、増大を目的として佐賀県では毎年約6百万尾の人工種苗を、長崎、福岡および熊本県まで含めた有明海沿岸4県では約2千万尾を放流している¹⁾。

近年、栽培漁業においては、放流効果の評価・検討を含めた、より適切な放流方法の確立が求められている。しかし、有明海全域におけるクルマエビ種苗の放流効果については、標識方法が確立されていないことや、地域特有の流通事情のため市場調査が有効でないことから詳しい調査がなされていなかった。伊藤らは、宮島ら²⁻⁶⁾が開発した尾肢切除標識と、標本船から漁獲物を買上げるサンプリング方法の組み合わせで放流種苗の追跡調査を行い、再捕尾数の推定を可能にした^{7,8)}。これは放流効果の評価方法確立へ向けての大きな前進であったが、再捕尾数の誤差評価については重要な課題として残された。

そこで本研究では、上記サンプリング調査を魚類の市場調査などに用いられる2段サンプリング⁹⁻¹¹⁾ととらえ、この定式を利用して再捕尾数の誤差評価を行った。また、推定値の誤差を小さくするための適切な標本船数

と買い上げ日数の検討を行った。

材料および方法

1. 放 流

平均体長約45mmのクルマエビ人工種苗471,000尾を2002年6月7日から19日の間4回に分けて佐賀県早津江川沖合に放流した (Fig. 1, Table 1.)。用いた種苗は民間クルマエビ養殖場で生産され、放流前日または前々日に右側尾肢を切除したものである。当日活魚トラックで漁港まで輸送した後、小型漁船の水槽に積み替えて佐賀県早津江川沖合の放流場所まで運び、直径2インチの

Table 1. Release of hatchery-reared Kuruma Prawn with mark in 2002

Date	Number	Mean value of	
		Body Length (mm)	Body Weight (g)
Jun 9	136,000	45.2	1.35
Jun 12	134,000	43.4	1.21
Jun 16	165,000	46.2	1.56
Jun 19	36,000	47.5	1.57
Total	471,000		

*東京水産大学

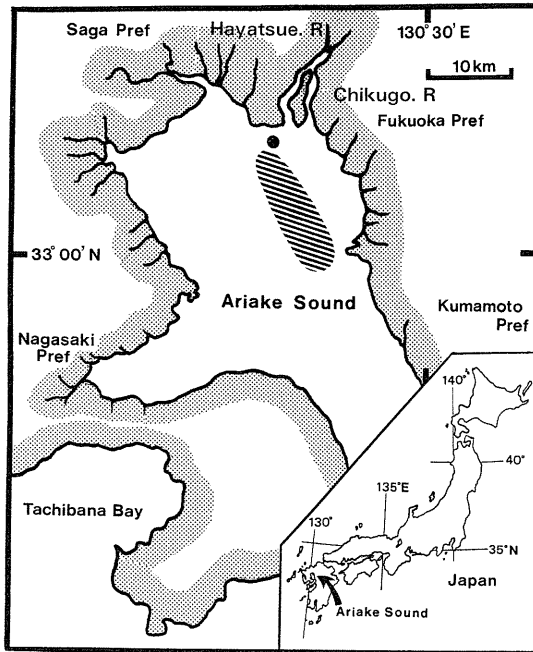


Fig 1. Areas where juveniles with mark of Kuruma Prawn were released and recaptured

●, Location where the juveniles were released;
 ▨, The main fishery grounds in Saga Prefecture.

カナラインホースで海底に放流した。

2. サンプルング調査

有明海佐賀県海域で水揚げされるクルマエビのほとんどは、源式網という一種の底流し網によって漁獲されている。この漁法は有明海湾奥部特有の速い潮流を利用して、潮流を受けるように張った中網で海底を流し獲物を底部の袋網へ誘い込むものである⁷⁾。このため操業期間は月2回の大潮前後それぞれ7~10日間に限られる。本報告では、この期間を1つの漁期とみなして“7月前期”や“8月後期”などと表す。

標識クルマエビの回収尾数を推定するためのデータは、標本船からの買い上げによって収集した。源式網以外の漁業によるクルマエビの漁獲はごく少量なので、調査対象は源式網漁業のみとした。源式網漁業の知事許可

を受けている漁船から抽出した4隻の標本船について、6月後期から9月後期までの7つの各漁期に予め設定しておいた0~3日の買い上げ日 (Table 2.) を各漁期内に無作為に割当て、その日に漁獲されたクルマエビを全て買い上げた。この調査は、漁船を1次抽出単位、買い上げ日を2次抽出単位とする2段サンプリングとみることができる。漁期毎の買い上げ日数は、推定精度を上げたため、多くの混獲が予測される漁期に多くの日数を設定した。調査計画の策定には、2000、2001年度の放流調査^{1,12)}における標識クルマエビの回収経過と、以下のような佐賀県有明海における天然クルマエビの移動生態調査結果^{7,8)}を参考にした。①干潟域で体長10cm程度に成長した個体は7月頃から漁場へ加入する。②加入量は8月から9月にかけて多く、源式網漁業の操業もそれに応じて増加する。③エビは成長するにつれて南下し、10月から11月頃には佐賀県海域の漁場から離れていく。④したがって、この移動にあわせて人工種苗を放流すれば、漁業者による効率的な再捕が期待できる。

当海域における源式網漁業の操業隻数および操業日数については、当該漁業の知事許可を受けている漁業者に電話等で問い合わせた。

得られた調査結果から後述の定式を用いて各漁期および漁期通算の再捕尾数の点推定値、95%信頼区間、日間分散、船間分散、全分散および標準誤差を求めた。なお、漁期間の漁獲量には相関があるので、漁期通算の分散は該当漁期間をひとつの漁期とみなして算出することにより対処した¹³⁾。

3. 再捕尾数の推定と誤差評価

Kitada *et al.*⁹⁾が提案した2段サンプリングを用いた放流効果の推定方法では第1次抽出単位を市場、第2次抽出単位を水揚げ日としている。ここでは前者を標本船、後者を買い上げ日としてクルマエビのデータを解析することにし、記号を以下のように定める。

Y 総再捕尾数 (推定する)

M_i i 番目の標本船の操業日数 (既知)

Table 2. Number of sampling days at the selected boat

Boat No.	June		July		August		September		Total
	Late	Early	Late	Early	Late	Early	Late		
1	2	2	3	3	3	2	2	17	
2	2	2	3	3	3			13	
3			3	3	2	2	2	12	
4				3			3		
Total	4	4	9	12	8	4	4	45	

m_i i 番目の標本船から買い上げた日数

N 操業船の隻数 (既知)

n 標本船の隻数

y_{ij} i 番目の標本船から j 日目に買い上げた尾数

i 番目の標本船がある漁期に M_i 日間操業し、そのうち m_i 日分を買い上げ、 j 番日に買い上げられた放流尾数を y_{ij} とすると、再捕された放流尾数の不変推定量は、

$$\hat{Y} = \frac{N}{n} \sum_{i=1}^n \frac{M_i}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} y_{ij} \quad (1)$$

となる。

分散は各段の抽出が繰り返しを許さないとき、

$$V(\hat{Y}) = \frac{N}{n} \sum_{i=1}^n M_i^2 \frac{m_i - m_i}{M_i - 1} \frac{\sigma_i^2}{m_i} + N^2 \frac{N - n}{N - 1} \frac{\sigma_b^2}{n}$$

で与えられる。ここで、 $\sigma_i^2 = \frac{1}{M_i} \sum_{j=1}^{m_i} (y_{ij} - \mu_i)^2$,

$\sigma_b^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2$ であり、 $\mu_i = \frac{1}{M_i} \sum_{j=1}^{m_i} y_{ij}$, $\bar{Y} = \frac{Y}{N}$ である。

\hat{Y} の分散は、

$$\hat{V}(\hat{Y}) = \left(\frac{N}{n}\right)^2 \sum_{i=1}^n M_i^2 \frac{m_i - m_i}{m_i - 1} \frac{\hat{\sigma}_i^2}{m_i} + N^2 \frac{N - n}{N - 1} \frac{\hat{\sigma}_b^2}{n} \quad (2)$$

で推定される。ここで、 $\hat{\sigma}_i^2$ は日間分散 σ_i^2 の不偏推定量で

あり、 $\hat{\sigma}_i^2 = \frac{1}{m_i - 1} \sum_{j=1}^{m_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2$ で推定する。ここで、

$\bar{y}_i = \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} y_{ij}$ である。

また、 $\hat{\sigma}_b^2$ は標識個体の再捕数における船間の不偏推定量であり、

$$\hat{\sigma}_b^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\hat{Y}_i - \bar{\hat{Y}} \right)^2 - \frac{n-1}{n^2} \sum_{i=1}^n M_i^2 \frac{m_i - m_i}{M_i - 1} \frac{\hat{\sigma}_i^2}{m_i} \quad (3)$$

で与えられる。ここで、 $\hat{Y}_i = M_i \bar{y}_i$, $\bar{\hat{Y}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i$ である。

結 果

標識個体が確認されたのは7月後期から9月前期までの4つの漁期であった。7月22日に初認された後は顕著に増加し、8月前期には今回調査した1隻の最多再捕32尾（この時の混獲率は12.7%）が認められた。8月後期から徐々に減少し、最後に確認されたのは9月6日の1尾だった。

得られたデータを2段サンプリングの定式に当てはめたとところTable 3のようになった。推定再捕尾数はこれまでの追跡調査とほぼ同じように凸型で推移した。これは再捕ピーク時が操業最盛期と一致するように放流時期を設定しているためであるが、一方、放流種苗の移動生態がほぼ一定していることを裏付けている。

4漁期通算の推定再捕尾数は3,796尾で、それを放流尾数で割った推定回収率は0.81%となった。

考 察

Table 2.に示したとおり、8月後期、9月前期と漁期通算における95%信頼区間の下側限界は負になった。これは、式(1)による推定再捕尾数が少なく、式(2)による分散が大きいためである。4つの漁期すべてにおいて、日間分散が船間分散より大きいという特徴がみられた。これは、漁獲量が日々の天候や海況に大きく影響を受けるため、日間分散は大きくなりやすい一方、どの船にも漁期中の操業日数に上限があるため、船間分散は小さくなったからである。8月前期の船間分散ではこの現象が極端にあらわれ、式(3)においては分散が負の値になった。また、漁期通算は船間分散が日間分散より大きくなっている。これは、標本船の1隻が最盛期だけの抽出だった

Table 3. Estimates of Y and their variances for each period and total four periods

	July	August		September	Total periods
	Late	Early	Late	Early	
Estimate	573	2451	713	59	3796
95% C.I.	[24, 1123]	[1616, 3285]	[-134, 1559]	[-69, 186]	[-1444, 9035]
W.Var. ^a	40635.1	243180.2	121214.5	2994.5	260792.3
B.Var. ^b	18425.5	-107083.9	18886.0	205.3	2744290.5
Total Var.	59060.5	136097.3	140100.5	3199.8	5365082.8
SD	243.0	368.9	374.3	56.6	2316.3

^aFirst term of variance equations related to within-variance.

^bSecond term of variance equations related to between-variance.

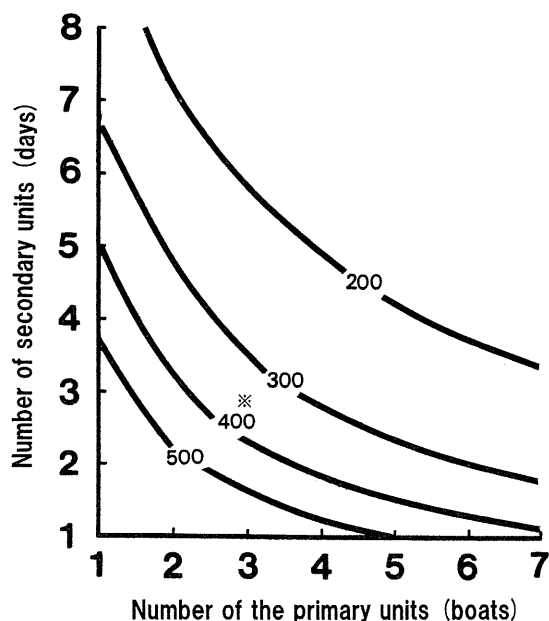


Fig. 2. Relation between the number of primary and secondary units for the estimate of $SD(\hat{Y})$
 ※, the present value of the estimate of SD.

ため、他の標本船に比べて漁期通算平均再捕尾数が突出して大きくなり、全漁期をひとつの漁期とみなして算出する漁期通算の分散においては、船間分散を大きくしたからである。

再捕尾数や分散を高い精度で推定するためには、全ての漁期からできるだけ多くサンプリングする必要がある。しかし、予算や労働量などの制限がある場合、その範囲で効率的な調査計画をたてなければならない。そこで、標本船数、買い上げ日数および再捕尾数の推定精度の関係をみるため、調査から得られた日間分散と標本船間分散の値を使って、様々な標本船数(第1次抽出単位)と買い上げ日数(第2次抽出単位)に対する再捕尾数の推定精度(標準誤差)を計算し、その等高線を求めた^{10,11)}

(Fig. 2)。図中の※印は現状の値を示している。魚類の市場調査などでは市場間分散が大きいと、精度向上にはできるだけ調査市場数(第1次抽出単位)を増やす必要がある⁹⁾とされているが、今回の調査では上述のように標本船間分散の方が小さいため、標本船数を増やす必要は特になく、むしろ買い上げ日数を増やせばよいことが明らかになった。

m を標本船当たりの平均買い上げ日数、 c_1 を標本船の隻数 n に比例する費用、 c_2 を総買い上げ日数 mn に比例する費用として、単純な費用関数 $C=c_1n+c_2mn$ のもとで m が最小になる買い上げ日数を求めると、

Table 4. The optimum number of sampling days about different cost ratios

c_1/c_2	5	4	3	2	1	0.5
m	7.2	6.4	5.6	4.6	3.2	2.3

$$m = \sqrt{\frac{c_1 \hat{\sigma}_w^2}{c_2 \hat{\sigma}_b^2}}$$

となる⁹⁾。ここで、 $\hat{\sigma}_w^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_i^2 \hat{\sigma}_i^2$ である。日間分散の合計と標本船間分散の比は調査データから10.4となるが、 c_1/c_2 の値は分からない。この調査の需用費(買い上げ金額)は漁獲量に依存し、標本船数とは無関係である。このことだけ考えると c_1 はかなり小さいが、標本船が増えると連絡や日程調整、受け取り等の労働量も増えるので、 c_1 はその分大きくなる。ここでは最低限必要とおもわれる日数を求めるため、仮に $c_1/c_2=1$ とすると $m=3.2$ となり、3日または4日の買い上げが必要ということになる(Table 4.)。

今調査で再捕が確認された4漁期の買い上げ日数はそれぞれ9, 12, 8, 4日(当初9, 12, 9, 4日の予定が、荒天のため8月後期の買い上げが1日減)の計33日であった。これは多くの再捕が見込める漁期へ感覚的に多くの日を割り当てたものであった。ここでは適切な買い上げ日数を検討するためネイマン配分を用いる。ネイマン配分は母集団を層別し、各層内分散の加重和のうちその層の加重分散が占める割合で標本を割り当てる方法で、分散を最小にすることで知られている^{10,14,15)}。ただし実際は、各層の分散が不明なため、あまり用いられない。上述のとおり有明海湾奥部のクルマエビ放流においては、放流条件が同じであれば似た再捕パターンが期待できることから、次回も同じ条件で放流すれば、今調査から得られた分散を利用できることになる。 K 期に分けた k 漁期における買い上げ日数 m_k の単純ランダム抽出とみなし、分散を V_k として今回の結果(ウェイトはのべ操業日 M_k)を用いると、ネイマン配分 m'_k は、

$$m'_k = \frac{R_k \sqrt{V_k}}{\sum_{k=1}^K R_k \sqrt{V_k}} m$$

と定まる。ここで、 $m = \sum_{k=1}^K m_k$, $R_k = \frac{M_k}{M}$, $M = \sum_{k=1}^K M_k$ である。単純に数値だけ求めると7月後期、8月前期、8月後期、9月前期の配分はそれぞれ4.3, 10.8, 15.7, 2.3であるが、費用関数から求めた買い上げ日数を考慮すると、33日の適切な配分は4, 11, 15, 3日となり、さら

に上述した標本船数、買い上げ日数および再捕尾数の推定精度の関係から、適当な標本船はそれぞれ1, 3, 4, 1隻と思われる。

今調査により、2段サンプリングの定式は有明海におけるクルマエビ放流効果の推定にも有効であることが確認された。また、今後の調査ではネイマン配分の有効性について検討するとともに、放流効果の評価方法について更に精度を高くする努力をしなければならない。

文 献

- 1) 福岡・佐賀・長崎・熊本県(2002)：平成13年度資源増大技術開発事業報告書。有1-有20
- 2) 宮島俊明・豊田幸嗣・浜中雄一・小牧博信(1996)：クルマエビ標識放流における尾肢切除法の有効性について。栽培技研, **25**, 41-46.
- 3) 豊田幸嗣・宮島俊明・上家俊文・松田裕二・大槻直也(1997)：クルマエビ標識放流における尾肢切除法の有効性について-II。栽培技研, **25**, 95-100.
- 4) 豊田幸嗣・宮島俊明・吉田啓一・藤田義彦・境谷季之(1998)：クルマエビ標識放流における尾肢切除法の有効性について-III。栽培技研, **26**, 85-90.
- 5) 宮島俊明 (1997)：クルマエビの尾肢切断判断マニュアル。さいばい, **91**, 23-27.
- 6) T.Miyazima, Y.Hamanaka and K.Toyota (1999) : A marking method for kuruma prawn *Penaeus japonicus*. *Fisheries Sci.*, **65**, 31-35.
- 7) 伊藤史郎・江口泰蔵・中島久則・北田修一 (2001)：有明海におけるクルマエビ人工種苗の放流効果の検討。栽培技研, **29**, 35-43.
- 8) 森川晃・伊藤史郎・山口忠則・金澤孝弘・内川純一・皆川恵・北田修一 (2003)：有明海におけるクルマエビの放流効果。栽培技研, **30**, 61-73.
- 9) S.Kitada, Y.Tagu and H.Kishno (1992) : Effectiveness of a stock enhancement program evaluated by a two-stage sampling survey of commercial landings. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **49**, 1573-1582.
- 10) 北田修一・山田作太郎 (1997)：生物資源統計学。156-188, 成山堂, 東京.
- 11) 北田修一(2001)：栽培漁業と統計モデル分析。171-206, 共立出版, 東京.
- 12) 福岡・佐賀・長崎・熊本県 (2001)：平成12年度資源増大技術開発事業報告書。有1-有26.
- 13) S.Kitada and T.Kiyoshi (2001) : Longitudinal logbook survey designs for estimating recreational fishery catch, with application to ayu (*Plecoglossus altivelis*). *Fish. Bull.* **100**, 228-243.
- 14) 鈴木義一郎(1992)：1を調べて10を知る科学。161-180, 講談社, 東京.
- 15) Cochran, W.G. (1977) : Sampling Techniques, third ed., Wiley, New York, NY.