

アワビの資源量推定におけるPetersen, De Lury, Ketchen, Jolly-Seber法の妥当性

誌名	熊本県水産試験場研究報告
ISSN	03881431
巻/号	5
掲載ページ	p. 1-6
発行年月	1987年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



アワビの資源量推定における Petersen, De Lury, Ketchen, Jolly-Seber 法の妥当性

平 田 満

Validity of Petersen, De Lury, Ketchen and Jolly-Seber Methods for the Estimation of the Abundance of Abalone

Mitsuru HIRATA

栽培漁業や資源管理型漁業の推進気運が高まるなかで、対象となる魚介類の資源量を正確に把握することは最適漁獲量や適正放流量などを決定するうえで重要なことである。これまで、対象とする生物の特性に応じたいろいろな方法を用いて、その群の資源特性値や資源量が推定されている。しかし、それらの手法にはそれぞれに満たすべき条件や仮定があり、その推定値が対象母集団の真の値を表わしているかという点とともに、その条件が充足されているかということも検討する必要がある。筆者¹⁾は先に5つの手法によって黒島保護水面内のアワビの資源量を推定し、それぞれ近似した値が得られたことや、アワビの移出入が少ないことを報告した。今回、Petersen, De Lury, Ketchen, Jolly-Seber 法でアワビ資源量を推定し、その後その資源を多数の漁業者に採捕してもらう機会を得た。そこで、アワビ資源の推定数と採捕値を比較し、これらの手法の妥当性を検討したので報告する。

なお、この報告を取りまとめるにあたり御校閲を賜った西海区水産研究所加藤史彦室長、採捕に協力を願った牛深町漁業協同組合、浜崎義政氏、吉川環氏、船越四生氏に心からお礼申し上げる。

調査方法

調査場所は前報¹⁾で述べた熊本県牛深市の黒島保護水面の南側区域約11,000m²である(図1)。標識放流調査は牛深町漁業協同組合の潜水漁業者3名に依頼し、1時間の潜水で発見されるアワビを全て採捕し推定精度を高めるよう努めた。その際、De Luryの方法が適応できるよう水域全体から採捕するよう努め、またPetersen, Ketchen, Jolly-Seberの方法でも推定できるように放流アワビには調査のたびに異なった色のナイロン釣糸を呼水口に結び再放流した。さらに2回以上再捕されたアワビは前報¹⁾と同様ナイロン釣糸を切って放流した。調査は1983年2月10日から7月21日までに7回行い、1983年9月には牛深町漁業協同組合の潜水漁業者約60名による一斉採捕(約2時間)を実施した。

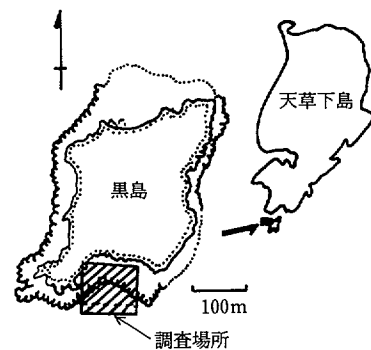


図1 調査地域の概要

結果および考察

日別の放流個体数および採捕個体数を表1に示した。採捕個体数は2月と3月は多く4月以降は少なくなっている。これは4月以降透明度が低くなったことや、アントクメなど大型の海藻が繁茂しアワビの発見率が低下したことによると考えられる。また、採捕個体のうち標識個体は全部で115個体であるが、Petersen法は前回に放流した個体を対象にし、De-Lury法は採捕個体のうちJ=2以降に再捕されたものは既に採捕されたものとして採捕対象としなかった。またKetchen法は2月10日放流群(J=1)を対象にして推定した。

表1 日別の放流個体数および採捕個体数 (1983年)

No.	放流 採捕月日	採捕個体数	放流個体数	放流日別再捕個体数						再捕数
				J = 1	2	3	4	5	6	
1	2. 10		153							
2	2. 24	79	83*	16						16
3	3. 11	103	95	11	7					18
4	4. 9	52	44	9	8	6				23
5	5. 10	60	55	1	8	6	5			20
6	6. 9	45	48*	0	3	3	6	3		15
7	7. 21	58		2	3	8	6	2	2	23
総計		397	478	39	29	23	17	5	2	115

(※飼育中のものを追加放流した)

これらの採捕状況からPetersen法によって各調査日ごとの資源個体数を推定すると表2のとおりである。推定個体数は447個から1,079個と調査日ごとに差がみられるが、信頼区間はそれぞれに重複しているので資源個体数はその範囲内にあると思われる。また調査水域は保護水面であることや、海藻の繁茂時期であることからその間の採捕や移動はないと見なして平均資源個体数を求めると757個となる。

表2 Petersen法による推定資源個体数

調査月日	放流個体数 (S)	採捕個体数 (ni)	再捕個体数 (mi)	標識率 (mi/ni)	推定資源個体数 (Ni)
2. 24	153	79	16	20.2	720 ± 295
3. 11	83	103	7	6.8	1,079 ± 677
4. 9	95	52	6	11.5	719 ± 464
5. 10	44	60	5	8.3	447 ± 315
6. 9	55	45	3	6.7	632 ± 529
7. 21	48	58	2	3.4	944 ± 806

なお、この計算は採捕個体数が少ないのでBaileyの補正式により現存量(N_i)は

$$N_i = \frac{S(n_i + 1)}{m_i + 1}$$

95%信頼限界は

$$N_i \pm 1.96 \sqrt{\frac{S^2(n_i+1)(n_i-m_i)}{(m_i+1)^2(m_i+2)}}$$

によって求めた。

ここで N_i は i 時点の総個体数、 S は最初に標識をして放流した数、 n_i は i 時点で採捕した総個体数、 m_i は i 時点で再捕された標識個体数である。

一方、標識と無標識アワビの採捕傾向から De Lury, Ketchen の方法によって初期資源個体数を推定した。表 3 は 6 回の潜水調査ごとに得られたアワビの個体数 ($c(t)$)、CPUE ($C_{(t)}$)、累積採捕個体数 ($K_{(t)}$)、1983 年 2 月 10 日に放流された標識アワビの採捕個体数 ($C'_{(t)}$)、CPUE ($C'_{(t)}$)、累積採捕個体数 ($K'_{(t)}$) を示したものである。また、無標識アワビと標識アワビの CPUE と累積採捕個体数の関係を図 2、3 に示した。

表 3 標識ならびに無標識アワビの採捕個体数と CPUE

調査月日	$c(t)$	$c(t)^*$	$K(t)$	$c'(t)$	$c'(t)^*$	$K'(t)$
2. 24	79	26.3	0	16	5.3	0
3. 11	96	32.0	79	11	3.7	16
4. 9	38	12.7	175	9	3.0	27
5. 10	41	13.7	213	1	0.3	36
6. 9	30	10.0	254	0	0	37
7. 21	37	12.3	284	2	0.7	37

* 漁業者 1 人、1 時間あたりの採捕個体数

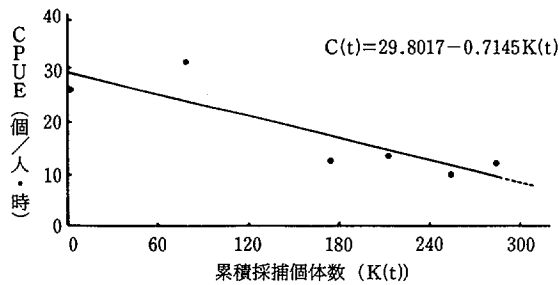


図 2 無標識アワビの CPUE と累積採捕個数の関係

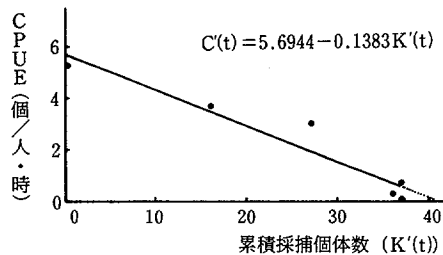


図 3 標識アワビの CPUE と累積採捕数との関係

図 2 から $C(t)$ と $K(t)$ の関係は次式によって表せる。

$$\begin{aligned} C(t) &= \hat{k}\hat{N}_{(0)} - \hat{k}K(t) \\ &= 29.8017 - 0.0715K(t) \cdots \cdots (1) \end{aligned}$$

同様図 3 から

$$\begin{aligned} C'(t) &= \hat{k}'\hat{N}'_{(0)} - \hat{k}'K'(t) \\ &= 5.6944 - 0.1383K'(t) \cdots \cdots (2) \end{aligned}$$

が得られる。

(1)式から $\hat{N}_{(0)} = \hat{k}\hat{N}_{(0)}/k = 29.8017/0.0775 = 417.1$ が得られ、これが De Lury の式による初期資源個体数にあたる。また(2)式から $N'_{(0)} = 41.2$ が得られる。(2)式の $\hat{k}'\hat{N}'_{(0)}$ と有効標識個体数(153)から真の採捕効率 q (1人、1時間あたり採捕率)を求めると

$$\begin{aligned} q &= \hat{k}'\hat{N}'_{(0)}/\text{有効標識個体数} \\ &= 5.6944/153 = 0.0372 \cdots \cdots (3) \end{aligned}$$

となる。

(1)式の $\hat{k}\hat{N}_{(0)} = 29.8017$ 個、(3)式の q の値から Ketchen の式による初期資源個体数 ($N_{(0)}$) は

$$\begin{aligned} N_{(0)} &= \hat{k}\hat{N}_{(0)}/q \\ &= 29.8017/0.0372 = 801.1 \end{aligned}$$

となる。

瞬間移出率および瞬間移入率は

$$\begin{aligned} K' - q &= 0.1383 - 0.0372 = 0.1011 \\ K' - k &= 0.1383 - 0.0715 = 0.0668 \end{aligned}$$

となり、今回の調査では移出率がやや高い値を示した。これは前回の調査が12月～3月で海藻の植生も少なく調査の条件が等しかったのに対して、今回は2月、3月と4月は海藻繁茂状況が異なるなど調査条件の違いによる差ではないかと考えられ、当海域ではこれまでの調査などからアワビの移動は少ないと考えられる。

一方、Jolly-Seber によって推定された推定値を表 4 に示した。資源個体数には大きな差があるが、これは標識アワビの再捕傾向が後になって増加するなど不自然な再捕結果が原因していると考えられる(表 1)。そこで比較的 normally 採捕されたと思われる 1 回目と 2 回目の採捕結果からその平均値を求めると 654 個体となる。

ここで Petersen 法、Ketchen 法、Jolly-Seber 法および De Lury 法による推定値とその誤差の範囲を 50% とした場合の推定個体数を求めると 757 ± 379 個体、 801 ± 401 個体、 654 ± 327 個体、 417 ± 209 個体となり、それ

表 4 Jolly Seber 法によるアワビ個体数の推定値

調査月日	標識率 (pi)	標識個体数 (Mi)	資源個体数 (Ni)	生残率 (fi)	加入(逸散)個体数
2. 24	0.2025	81.83	404.0	1.065	472.2
3. 11	0.1748	158.4	906.6	0.471	-172.7
4. 9	0.4423	111.1	251.0	2.735	418.6
5. 10	0.3333	361.0	1083.0	1.576	173.3
6. 9	0.3333	624.0	1772.0		

それぞれの値は重複していることから比較的類似しているといえる。一方、9月の漁業者による一斉採捕の個体数は229個体であった。これらのアワビは殆どが10cm以上であるから、これら4手法で推定した10cm以上のアワビの混入比率を6～7月の殻長組成(図4)から68%とすると、推定した10cm以上のアワビ個体数は515個体、545個体、445個体および284個体となる。

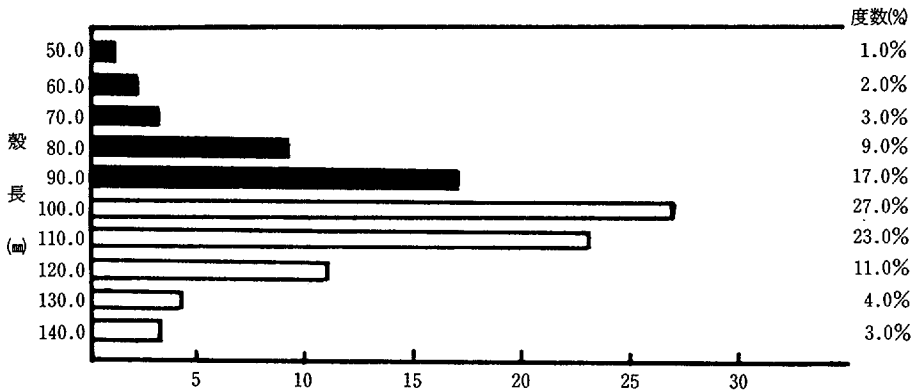


図4 6月・7月調査におけるアワビの殻長組成と10cm以上のアワビの出現頻度

一斉採捕時の資源個体数(N)を類推する場合、漁獲率が問題となる。松宮*は長崎県小値賀島において極めて強度の漁獲努力がなされた場合のクロアワビの漁獲率は39～68%とし、神奈川水試²⁾でのスキューバ潜水による漁獲率は30～40%と推定されている。これから一斉再捕の漁獲率を40～70%と仮定し、それぞれの漁獲率に対する資源個体数と4手法による推定個体数の比率を求めると表5のように0.5～1.7倍となる。また一斉採捕時の漁獲率を漁場の探索率と発見率などから求めてみた。今回の調査では約60名が2時間潜水している。筆者らが測定した潜水漁業者の1回あたり潜水時間(潜水開始から次の潜水まで)から1時間あたりの潜水回数を推測すると約20回であった。また漁業者の話によると1時間当たり20回～30回程度であろうという。そこで1時間当たり潜水回数を25回とし、さらに1回当たり探索面積を2m²(漁業者からの聞き取りにより推定)と仮定し探索場所が重複しないとすると、漁業者60人の2時間の合計探索面積は6000m²(25回/h×2m×2h×60人)となり漁場の探索率は55%程度となる。なお筆者ら(未発表)が小型アワビ(殻長20～25mm)を放流し、それを翌日スキューバ潜水により丹念に調査した場合の発見率は80%程度であった。また、宮本²⁾は狭い面積での採捕率(発見率×採捕率と考えられる)を90%としている。勿論、小型アワビと大型アワビでの発見率は異なるし、またスキューバ潜水と素潜りの探索率も異なるなど多くの課題はあるが、これらを考慮して発見率を85%と仮定し、それが全て採捕されたとすると漁獲率は47%(50%)となる。この値は短時間にアワビ、ウニ、その他の生物等を採捕するという当日の採捕実態や松宮*、神奈川水試²⁾の結果から想定して妥当な値ではないかと考えられる。すなわち4手法の推定値は一斉採捕から求めた資源個体数(N)の

表5 一斉採捕の漁獲率を変えた場合の個体数と4手法による推定値との比率

方 法	個体数	漁獲率			
		0.4	0.5	0.6	0.7
Petersen	(515)	0.9	1.1	1.3	1.6
Ketchen	(545)	1.0	1.2	1.4	1.7
Jolly-Seber	(445)	0.8	1.0	1.2	1.4
De Lury	(284)	0.5	0.6	0.7	0.9

* 私信

0.6~1.2倍程度となり、比較的近似した値となる。

したがって、事前に標識放流および採捕調査を行い、その結果に4つの手法を適用して推定した資源個体数は、その後に行った一斉採捕による個体数から推定した値と比較的良く一致しているといえ、アワビの場合これら4手法は資源量推定に十分利用できると考えられる。このような結果が生じた原因として、Jolly-Seber法のように放流アワビの再捕傾向が不自然な面もあり天然アワビと放流アワビが完全に一様に混ざり合っていたか、両者の採捕率が等しかったかなどの問題や、De Lury法のように2月、3月の採捕率と4月、5月の採捕率が異なるなど問題はあるが、標識放流後20日から1か月経過して採捕調査を行ったため、標識アワビと天然アワビとが比較的一様に混ざり、両者の採捕確率も等しく、かつアワビの移出入も少ないなど、標識放流調査を行う際の基本的な前提条件が比較的満たされていたことなどがあげられる。

しかし、今後資源管理型漁業を進めて行くなかで、資源の現状を把握して適正漁獲量を決めたり、資源管理型漁業を推進するうえで環境収容力にみあった放流量を決定する場合、De Lury法、Ketchen法は資源が減少するまで採捕する必要があるため、その後の適正採捕量等を推定する方法としては問題がある。一方Petersen法は前2手法のような問題はないが、今回の調査程度の標識放流個数や採捕率では推定精度に問題がある。また、Jolly-Seber法は再放流や再再放流など手間や時間がかかるなど問題があり、実際には検討すべき多くの課題が残っており、今後は手軽で容易にできる推定方法の開発が望まれる。

要 約

- 1) Petersen, De Lury, Ketchen法, Jolly-Seber法で推定したアワビの推定資源量が真の母集団を表わしているか検討するため漁業者による一斉採捕を行い、その妥当性を検討した。
- 2) Petersen, De Lury, Ketchen法, Jolly-Seber法によって推定した黒島保護水面(11,000m²)の10cm以上アワビの資源個体数は、それぞれ515個体, 284個体, 545個体, 445個体であり一斉採捕による漁獲率0.4~0.7の推定個体数327~572個体に近い値を示し、これら4手法はアワビの資源量推定に十分利用できると考えられる。

文 献

- 1) 平田 満・石原 勝・尾脇満雄：5つの手法で推定した熊本県黒島保護水面のアワビ現存量，熊水試研報，第3号(1983)。
- 2) 宮本建樹・斉藤勝男・元谷 恰・西川信良・門間春博・川村一広：忍路湾におけるエゾアワビ人工種苗放流試験，北水試報第24号(1982)。
- 3) 神奈川県水産試験場：栽培漁場試験調査，昭和48年度業務概要，神水試資料No.223, 63, (1974)。
- 4) 井上政昭：アワビ類の生態と放流の問題点「種苗の放流事業効果」(日本水産学会編)東京9~24, (1972)。