

神奈川県城ヶ島におけるクロアワビ及びマダカアワビ 人工種苗の死亡率の差違

滝口直之

Difference in mortality between two species of
reseeded abalone *Haliotis discus discus* and
H. madaka, in Johgashima Kanagawa Prefecture

Naoyuki TAKIGUCHI*

Abstract

In this study, the author investigated the suitability of two abalone species, the Japanese black abalone *Haliotis discus discus* and the giant abalone *H. madaka*, for enhancing populations along the Johgashima coast, one of the main abalone fishing areas in Kanagawa prefecture. The two species of abalone were released in June 1999. The author carried out eleven surveys following release to estimate mortality rates in early period (for forty three days from release) and after early period. Mortality rates were estimated using a model based on the method by Tanaka et al.(1991)¹⁾. The Japanese black abalone had higher mortality (estimated daily mortality rate was 0.025/day) than the giant abalone (0.010/day) in early period after release. The high mortality rate of the Japanese black abalone continued (0.023/day) after early period. But the giant abalone's rate decreased(0.000/day). The giant abalone are considered to be more suitable for reseeding programs than the Japanese black abalone within the Johgashima coastal area.

緒 書

クロアワビ *Haliotis discus discus*, マダカアワビ *Haliotis madaka* 及びメガイアワビ *Haliotis gigantea* のアワビ類3種は、神奈川県沿岸の重要な磯根漁業資源である。神奈川県におけるアワビ類の種苗放流は昭和43年(1968年)に始まり、毎年50万個以上の人工稚貝が放流されている。三浦半島主要漁場における漁獲物中の放流個体が占める割合(混獲率)は、80~90%台と高く(神奈川県水産総合研究所²⁾³⁾、漁業協同組合が毎年行っている種苗放流事業によって、神奈川県のアワビ漁業が支えられている。一方、1985年に64トンの水揚げ以降、年々漁獲量は減少し続け、1999年には17トンとなった。神奈川県では上記3種の種苗の量産が可能であるが、近年はクロアワビとメガイアワビ主体の放流が実施されて

いる。しかしながら、放流後の生残率の優劣による放流種の検討はされていない。アワビ類のように、漁獲対象資源として加入するのに数年を要し、さらに漁獲される期間も数年にわたるような場合、市場調査(漁獲物調査)で放流種を検討するためには、相当の年月が必要である。一方、放流した種苗の初期減耗状況を明らかにすることによって、放流種を検討することが可能であれば、短期間の調査ですみ、少なくとも放流後の減耗が大きいものは放流種として適当ではないといえる。本報告では、神奈川県のアワビ主要漁場である三浦市城ヶ島において、標識放流したクロアワビ及びマダカアワビ稚貝の放流初期の減耗状況を比較し、放流種の検討を試みたので報告する。

材料及び方法

標識放流調査

調査は三浦半島南端にある城ヶ島(三浦市)地先の平均水深4mの場所に6m×6mの調査区域を設定して実施した。当該区域を含む海域は城ヶ島漁業協同組合に所属する漁業者によってアワビ漁業が操業されている。底質は岩盤と直径50cm~100cmくらいの転石が点在する場所である。1999年6月21日に放流籠に稚貝を収容し、調査区域の中央に放流した。標識放流に用いた人工種苗は、1997年11月から12月の間に神奈川県栽培漁業センターが採卵し育成したクロアワビ(平均殻長41.3mm)及びマダカアワビ(平均殻長40.9mm)である。放流貝には調査中に種の判別をしやすいように、着色した瞬間接着剤を殻表面に塗布して色分けし、また個体識別番号を記入した耐水紙を貼付した。標識貝の放流数及び大きさなどをTable 1に示す。

潜水による追跡調査は、放流後1ヶ月の間は調査間隔を密にするかたちで、放流後548日の間に計11回の調査を実施した。調査は特定のダイバー2名が1m×1mの枠を用いて行い、1回当たりの調査時間は午前10時頃からおよそ100分間とし、ダイバーの能力及び放流貝の日周行動による発見率の変動を少なくするように努めた。

水中で発見した放流貝は、生残個体については標識番号、殻長及び発見場所を記録した後、同じ場所に戻し、死亡個体については、貝殻を全て回収した。

放流後成長し、殻長11cmを超えて漁獲されたアワビについて、採捕報告をアワビ漁業者に依頼した。

Table 1 Number and mean shell length of released abalone.

	Number of released abalone	Mean shell length	Standard deviation
<i>H. discus discus</i>	170	41.3mm	4.1mm
<i>H. madaka</i>	199	40.9mm	2.8mm

放流種苗の初期死亡率の推定

放流初期の死亡率の推定は、Tanaka et al.¹⁾の数値モデルをもとに、以下のように改変して行った。Tanaka et al.のモデルでは、潜水調査で発見した生残個体及び死亡個体は、ともに回収しないことを前提としているが、本報告では潜水調査中に発見した貝を回収することもできるようにした。また、特に減耗が激しいと考えられる放流直後の期間と、その後の期間に区切って死亡率を推定することとした。

本報告では、潜水調査で発見した生残個体については回収せず、死亡個体については、全て回収することとした。

本報告で用いた数値計算モデルの概要を示す。放流後*t*日目(この間、潜水調査は行われていない。)の変動状態X1~X4に放流したアワビが存在する確率ベクトル $p_1 \sim p_4$ (Fig. 1)は次式のとおりであり、遷移確率行列と

前日(*t-1*)の確率ベクトルの積で示される。

$$\begin{pmatrix} p_1(t) \\ p_2(t) \\ p_3(t) \\ p_4(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1-r_1-r_5 & r_2 & 0 & 0 \\ r_1 & 1-r_2-r_5 & 0 & 0 \\ r_3 & 0 & 1-r_3 & r_4 \\ 0 & r_3 & 0 & 1-r_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_1(t-1) \\ p_2(t-1) \\ p_3(t-1) \\ p_4(t-1) \end{pmatrix}$$

ここで、 p_1 は生残個体がダイバーによって発見可能な場所に存在する確率、 p_2 は生残個体がダイバーによって発見不可能な場所に存在する確率、 p_3 は死亡個体が発見可能な場所に存在する確率及び p_4 は死亡個体が発見不可能な場所に存在する確率であり、

$$\sum_{i=1}^4 p_i - 1$$

である。また、遷移確率行列中の r_1 は、生残個体が、ダイバーによって発見可能な場所から発見不可能な場所に移動する1日当たりの確率であり、 r_2 は逆に生残個体が、発見不可能な場所から発見可能な場所に移動する1日当たりの確率である。同様に r_3 及び r_4 は、死亡個体が、ダイバーによって発見可能な場所から発見不可能な場所に波浪などによって移動する確率及び発見不可能な場所から発見可能な場所に移動する確率である。 r_5 は放流したアワビが死亡する1日当たりの確率(死亡率)である。

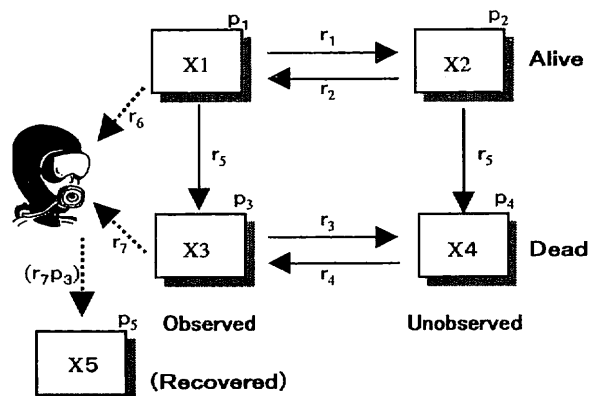


Fig.1 Model of mortality based on Tanaka et al.(1991). Released abalone were classified as : alive or dead, observed or unobserved and recovered. X1 denotes if abalone were alive and observed. X2 denotes if they were alive and not observed. X3 denotes observed dead abalone. X4 denotes unobserved dead abalone. X5 denotes recovered shells of dead abalone. The notations $p_1, p_2, p_3,$ and p_4 are the probabilities of $X_i (i=1, 2, 3, 4)$. The notations $r_i (i=1, 2, 3, 4)$ are transition probabilities from X_i to X_j . The notation r_5 denotes daily mortality. The parameter r_6 is the sighting rate for alive abalone and r_7 was the sighting rate for dead abalone.

放流してから t 日目 ($t=1,2,..$) にアワビが $X_1 \sim X_4$ に存在する確率ベクトルは、確率ベクトルを $P(t)$ 、遷移確率行列を R とすると

$$P(t) = RP(t-1) \\ = R^t P(0)$$

となる。なお、 $P(0)$ は種苗を放流した直後の確率ベクトルであり、種苗を放流籠に收容して放流すれば、全て発見可能な場所に放流したことになるので、

$$P(0) = [1,0,0,0]$$

として扱う。

潜水調査によって、発見した死亡個体を回収した場合、潜水調査直後の X_3 に存在する死亡個体数は、発見したものは回収するので、その分減少する。しかしながら、潜水調査によって、発見可能な場所に存在する生残個体及び死亡個体は、ダイバーによって全て発見されるわけではない。ダイバーが発見可能な場所に存在するそれらを実際に発見する確率を発見率とし、生存個体の発見率を r_6 、及び死亡個体の発見率を r_7 として、放流して t 日目に最初の潜水調査を実施した場合、死亡個体の回収により変化する新しい確率ベクトル $P_{NEW}(t)$ は次式により示される。

$$P_{NEW}(t) = \begin{pmatrix} p_1(t) / (1 - p_3 \times r_7) \\ p_2(t) / (1 - p_3 \times r_7) \\ (1 - r_7) p_3(t) / (1 - p_3 \times r_7) \\ p_4(t) / (1 - p_3 \times r_7) \end{pmatrix}$$

ここで、

$$\sum_{i=1}^4 P_{NEWi} = 1$$

となる。また、2回目以降の潜水調査を実施する直前の

確率ベクトル $P(t_{k+1})$ は次式となる。

$$P(t_{k+1}) = R^{(t_{k+1} - t_k)} P_{NEW}(t_k)$$

ここで t_k は、種苗を放流してから潜水調査を行った時までの日数を表わし、 k ($k=1, 2, 3, \dots, m$) は潜水調査が何番目の調査であるかを表わす。

ダイバーによって生残個体が発見される確率を π_1 及び死亡個体が発見される確率を π_2 とし、それぞれの発見率 (r_6, r_7) が潜水調査毎に変化しないものと仮定すれば、 π_1, π_2 及び発見されない確率 π_3 は次式で表わされる。

$$\pi_1(t_k) = r_6 p_1(t_k) \\ \pi_2(t_k) = r_7 p_3(t_k) \\ \pi_3(t_k) = 1 - \pi_1(t_k) - \pi_2(t_k)$$

1日当たりの放流貝の死亡率をはじめとする遷移確率 ($r_1 \sim r_5$) 及びダイバーによる発見率 (r_6, r_7) の推定は、対数尤度

$$LH = \sum_{k=1}^m [n(t_k) \log \pi_1(t_k) + d(t_k) \log \pi_2(t_k) + \{N(t_k) - n(t_k) - d(t_k)\} \log \pi_3(t_k)]$$

が最大となる値を探索して求める。ここで、 $N(t_k)$ は t_k 時において、調査海域に存在する放流貝の総数 (放流数から累積回収数を引いた数)、 $n(t_k)$ は t_k 時の潜水調査によって発見した生残個体数、 $d(t_k)$ は発見した死亡個体数を示す。

放流直後の期間は、特に減耗が激しいものと考えられることから、死亡率などの値が、経過日数で変化するものとする。そこで、死亡率及び生残個体の遷移確率について、放流直後 (r_1, r_2, r_5) とそれ以降 (r_1', r_2', r_5') とに分けて扱うことにする。なお、死亡個体の移動に関する遷移確率 (r_3, r_4) 及びダイバーによる発見率 (r_6, r_7) については一定とする。

解の探索には MS-EXCEL にアドインされている Solver を用いた。なお、 r_i の範囲は $0 \leq r_i \leq 1$ であるが、解の探索中にこの範囲を超えてエラーとなり、Solver が

Table 2 Results of diving investigation.

Number of survey	k	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Survey Date		1999/6/21	1999/6/22	1999/6/23	1999/6/28	1999/7/7	1999/8/3	1999/8/18	1999/9/2	1999/9/28	1999/11/19	2000/6/27	2000/12/20
Days following release	t_k	0	1	2	7	16	43	58	73	99	151	372	548
Time interval	$t_k - t_{k-1}$		1	1	5	9	27	15	15	26	52	221	176
<i>H. discus discus</i>	Number of abalone found alive	$n(t_k)$	170	115	92	37	26	16	18	18	6	4	1
	Number of abalone found dead	$d(t_k)$		1	1	6	11	10	1	10	4	2	0
	Total number of dead abalone	$\sum d(t_k)$		1	2	8	19	29	30	40	44	46	46
<i>H. madaka</i>	Number of abalone found alive	$n(t_k)$	199	77	65	42	32	31	28	30	24	14	9
	Number of abalone found dead	$d(t_k)$		0	0	1	3	5	4	10	5	1	1
	Total number of dead abalone	$\sum d(t_k)$		0	0	1	4	9	13	23	28	29	31

Table 3 Estimated parameters of transition probabilities, mortality rates and sighting rate.

	Parameter r_i	Estimates	Confidence estimates		Period
			-95%	95%	
<i>H. discus discus</i>	r_1	0.217	0.187	0.249	$1 \leq t_k \leq 43$
	r_2	0.081	0.061	0.107	$1 \leq t_k \leq 43$
	r_3	0.021	0.010	0.040	$1 \leq t_k \leq 548$
	r_4	0.000	0.000	0.000	$1 \leq t_k \leq 548$
	r_5	0.025	0.020	0.030	$1 \leq t_k \leq 43$
	r_6	0.878	0.812	0.942	$1 \leq t_k \leq 548$
	r_7	0.580	0.375	0.956	$1 \leq t_k \leq 548$
	r_1'	0.027	0.007	0.053	$44 \leq t_k \leq 548$
	r_2'	0.048	0.028	0.083	$44 \leq t_k \leq 548$
	r_5'	0.023	0.017	0.030	$44 \leq t_k \leq 548$
<i>H. madaka</i>	r_1	0.156	0.129	0.187	$1 \leq t_k \leq 43$
	r_2	0.139	0.112	0.175	$1 \leq t_k \leq 43$
	r_3	0.000	0.000	0.004	$1 \leq t_k \leq 548$
	r_4	0.000	0.000	0.001	$1 \leq t_k \leq 548$
	r_5	0.010	0.007	0.011	$1 \leq t_k \leq 43$
	r_6	0.451	0.411	0.492	$1 \leq t_k \leq 548$
	r_7	0.213	0.126	0.334	$1 \leq t_k \leq 548$
	r_1'	0.003	0.002	0.004	$44 \leq t_k \leq 548$
	r_2'	0.000	0.000	0.030	$44 \leq t_k \leq 548$
	r_5'	0.000	0.000	0.001	$44 \leq t_k \leq 548$

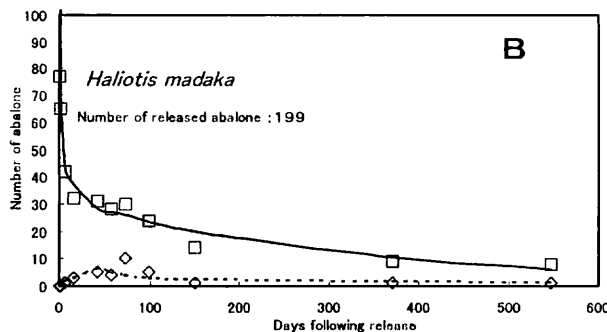
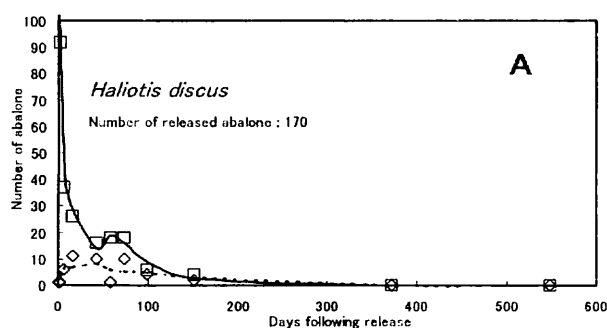


Fig. 2 Result of surveys and estimated number of sighted abalone. Open squares(\square) denote the number of alive abalone found. Open diamonds(\diamond) denote the number of dead abalone found by diving investigation. The solid line indicates the predicted number of alive abalone based on the numerical model. The dashed line indicates the number of dead abalone based on numerical model.

A: *Haliotis discus discus* B: *H. madaka*

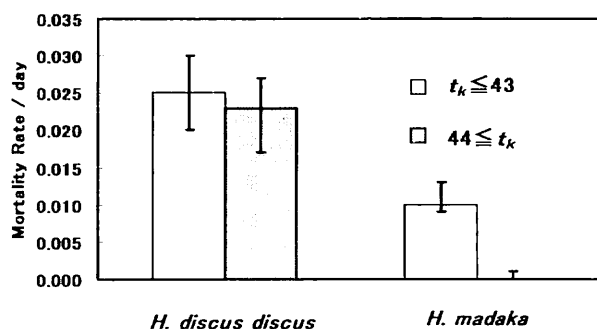


Fig. 3 Estimated daily mortality rates of *Haliotis discus discus* and *H. madaka* following release. Mortality rates show for the early periods ($t_k \leq 43$) and the late periods ($44 \leq t_k$) following release. Bars show the estimated mortality rate and error bars show 95% confidence interval.

停止してしまうことがある。それを防ぐために、

$$r_i = \frac{1}{1 + \theta_i}$$

とし、 θ_i の値 ($-\infty \leq \theta_i \leq \infty$) を動かすようにした。また、推定結果の95%信頼区間の推定については、尤度比検定により求めた (Yamakawa et al.⁴⁾)。

結果

放流貝の生残・死亡別の発見数をTable 2に示す。

生残個体の発見数は、放流1日後及び2日後の2回の調査では、クロアワビがマダカアワビを上回ったが、放流7日後以降では、いずれもマダカアワビのほうが上回った。一方、死亡個体の発見数は、常にクロアワビのほうが

Table 4 Recapture data of tagged abalones (the length of abalone were 110mm or more from March 2001 to August 2001).

Date of recapture	Species	Tag number	Shell length (mm)
'01.3.16	<i>H. madaka</i>	マ098	111
'01.6.4	<i>H. madaka</i>	マ186	116
'01.6.14	<i>H. madaka</i>	マ145	110
'01.6.14	<i>H. madaka</i>	マ197	113
'01.7.4	<i>H. madaka</i>	マ070	144
'01.7.4	<i>H. madaka</i>	マ173	124
'01.8.23	<i>H. madaka</i>	マ030	141
'01.8.23	<i>H. discus discus</i>	ク002	126
'01.6-'01.8	<i>H. madaka</i> x 10	unknown details	unknown details
Total number of <i>H. madaka</i>			17
Total number of <i>H. discus discus</i>			1

がマダカアワビより多かった。

放流直後の急激な減耗の期間が比較的安定するのに要する期間を1ヶ月程度と仮定し⁹⁾、5回目の調査日に当たる43日目で、死亡率と生残個体の遷移確率を変化させた場合のパラメータ推定結果を、Table 3 及びFig. 2 に示す。

放流初期($t_k \leq 43$)の死亡率(r_0)は、クロアワビが0.025/日、マダカアワビが0.010/日となり、クロアワビの死亡率が2倍以上高い結果となった。また、放流後44日以降($44 \leq t_k$)の死亡率(r'_0)は、クロアワビの場合、0.023/日と放流初期の死亡率と大差なく、一方マダカアワビは大きく減少し、推定死亡率は0.000/日となった。(Fig. 3)。

生残個体が発見可能な場所から発見不可能な場所へ移動する遷移確率 r_1, r'_1 及び発見不可能な場所から発見可能な場所へ移動する遷移確率 r_2, r'_2 はクロアワビ、マダカアワビともに、放流後44日目を以降のほうが低い値であった。

また、アワビ漁業者からの採捕報告については、2001年3月(放流後1年9ヶ月)に最初の報告があり、2001年8月までの間の採捕状況及び同期間内での潜水調査で生残が確認できたものをTable 4 に示す。クロアワビが1個体の採捕報告に対し、マダカアワビは17個体の採捕報告または生残が確認された。

考 察

数値モデルを用いた死亡率の推定について

本報告では、特に減耗の激しい期間を、放流してから

5回目の調査が行われた43日までと仮定した。クロアワビの場合、放流初期($t_k \leq 43$)までとそれ以降($44 \leq t_k$)の推定死亡率は、それぞれ0.025/日と0.023/日と共に高く、また、両者の差はわずかである。したがって、放流後43日の間に放流初期の激しい減耗が終息していないものと推察され、初期減耗の期間をもっと長く設定する必要があるものと考えられる。一方、マダカアワビの放流初期($t_k \leq 43$)における推定死亡率は0.010/日で、それ以降($44 \leq t_k$)の推定死亡率は0.000/日となった。したがって、もっと早い時期に初期減耗が終息したものと考えられ、初期減耗が終息した後の死亡率を過小評価している可能性があり、初期減耗の期間を短く設定する必要があるものと思われる。本報告で、初期減耗期間を放流後43日間と仮定し、その間の死亡率を r_0 それ以降の死亡率を r'_0 に分けて死亡率を推定する場合と、死亡率を分けずに一定とした場合とを、赤池情報量基準(AIC)(山田・田中⁶⁾)で比較すると、それぞれの方法におけるAICの値はTable 5に示す結果となった。期間を分けてパラメータ数を増やしたことによるモデルの向上はマダカアワビ、メガアワビともAICの値は1ないし2減少し有意であるが(平松⁷⁾)、初期減耗期間の設定については今後精査する必要がある。

生残個体が発見可能な場所から不可能な場所へ移動する遷移確率 r_1, r'_1 及び発見不可能な場所から発見可能な場所へ移動する遷移確率 r_2, r'_2 は、クロアワビ、マダカアワビともに放流後44日目を以降のほうが低い。このことから、放流後の経過日数とともに、アワビがあまり移動せず、同じ場所に留まる傾向があるものと推察される。

ダイバーによる生残個体及び死亡個体の発見率(γ_0, γ'_0)は、ダイバーのスキル、海底地形の複雑さや透明度によって決定されるものであれば、本報告のように同じ場所に放流した場合、種間による差はないはずである。しかしながら、今回の推定結果では、クロアワビとマダカアワビで発見率の値が大きく異なっていた。同じ地点に放流した場合でも、転石の裏などに集中して分布するような種では、一度にまとまって発見できるため、発見率は大きくなると考えられる。逆に小さなウニ穴や岩盤の表面に分散する傾向がある場合、あるいは岩盤の亀裂の奥に集中しているような場合では、限られた潜水時間内で発見できる数は少なくなることが考えられ、発見率が小さくなるものと考えられる。今後、それぞれの

Table 5 Comparison of AIC results. (A) with changing transition probability matrix R and (B) with no changing transition probability matrix R for initial period following release.

	Changing transition probability matrix R		No-changing transition probability matrix R		
	Number of parameters	AIC (A)	Number of parameters	AIC (B)	(B)-(A)
<i>H. discus discus</i>	10	1,562	7	1,563	1
<i>H. madaka</i>	10	2,080	7	2,082	2

種における発見場所や個体識別の記録から、発見率の差違について検討する必要がある。

初期減耗状況からみた放流種の検討

今回の調査で推定したクロアワビ及びマダカアワビの1日当たりの死亡率から求めた年間生残率は、クロアワビは0%となり、マダカアワビは65%となる。井上⁹⁾は、城ヶ島地先のアワビ礁で、40mm以上のマダカアワビの年間生残率を、70%~80%と推定しており、今回の結果でもマダカアワビについては同程度の結果となった。一方、クロアワビの年間生残率は0%と推計された。今回の調査で放流したクロアワビ及びマダカアワビと同じロットの種苗は、放流後も継続して飼育を行ったが、両種とも疾病の発生はなかった。このことから、放流したクロアワビが疾病によって大量へい死したとは考えづらい。小島⁹⁾は、食害動物を除去し、また、進入を防ぐ囲い網を設置した漁場でのクロアワビの生残率が高いことを示している。また、1989年に神奈川県水産試験場¹⁰⁾が実施した放流試験では、夏期における捕食による減耗は、冬季より大きいと報告している。したがって、本調査においてもクロアワビの減耗が大きい原因は、食害によるものと考えられる。なお、種苗放流と同時に同じ調査区域で神奈川県水産総合研究所¹¹⁾が実施した食害生物の分布調査では、ベニツケガニ、ショウジンガニ、ヤツデヒトデ及びマダコが確認されている。

同時に放流したマダカアワビが、なぜクロアワビと比べて捕食から免れているのか理由は明らかではないが、初期生残率で評価した調査区域周辺での放流種としては、マダカアワビの方がクロアワビより適しているといえる。また、標識放流具の採捕報告でも、マダカアワビの採捕記録がクロアワビのそれより大幅に上回り、マダカアワビのほうが、放流種として適しているという初期生残率で評価した結果を裏付けるかたちとなった。クロアワビとマダカアワビでは成長に差があり（神奈川県水産試験場^{10, 12)}）、さらに、クロアワビには夏季は洞穴や亀裂の奥に多く棲み、冬季に岩の表面に移動する出貝と呼ばれる現象（千葉県水産試験場¹³⁾）が知られていることから、今後クロアワビの採捕報告が増えることも考えられるが、マダカアワビの回収状況にはおよばないものと思われる。

本調査では、種苗の放流を夏季に行ったが、城ヶ島漁業協同組合が行う種苗放流は、通常食害による減耗が少ない冬季に実施している。したがって、今回のクロアワビの結果より、生残率は高いものと考えられる。しかしながら、過去の放流実績と漁獲量の関係から城ヶ島周辺海域における放流効果の検討結果においても、マダカアワビがクロアワビより優れている（神奈川県水産総合研究所¹²⁾）。クロアワビは洞穴や岩の隙間の奥に隠れ、採捕しにくいといわれており、このことがクロアワビの回収率がマダカアワビと比べて低い一因であると考えられるが、今回の調査結果から、クロアワビの放流初期の食害による減耗が、マダカアワビと比べて大きいことも、クロアワビの回収率が劣る要因の一つと推察される。

本調査を行った城ヶ島地先では、クロアワビ主体の放流を近年行っていたが、1999年以降マダカアワビ主体の種苗放流に切り替えている。同地先のアワビ漁獲量の増加が期待されることから、引き続き市場調査などのモニタリングを継続していきたい。

摘 要

本県アワビ漁業の主要漁場の一つである城ヶ島地先において、放流種の選定を目的として、標識放流具の潜水による追跡調査を行った。Tanaka et al.の方法を参考にした数値モデルで放流初期の死亡率を推定した結果、クロアワビの死亡率はマダカアワビと比べて高く、また、初期減耗の期間についてもクロアワビのほうがマダカアワビと比べて長かった。城ヶ島地先においては、クロアワビ主体の種苗放流より、マダカアワビ主体の放流にすることのほうが、より適しているものと考えられた。

謝 辞

本報告をとりまとめるにあたって、有益なご助言及びご校閲をいただいた東京水産大学資源管理学科助教授の田中栄次博士に深く感謝いたします。潜水調査で多大なご協力とご議論をいただいた神奈川県水産総合研究所栽培技術部の相澤康主任研究員に感謝します。また、金子栄一技能技師には潜水調査で御協力を、神奈川県栽培漁業センターの皆様からは、放流種苗の提供を、栽培技術部八田美華さんには標識装着作業のご協力をいただきました。厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 1) E. TANAKA, H. YAMAKAWA, M. NONAKA and A. HASEGAWA(1991): A method for estimating mortality rate and diver's sighting rate for tagged abalones, *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57(2), 189-194.
- 2) 神奈川県水産総合研究所 (1999): 平成10年度浅海域複数種放流技術開発事業報告書 (アワビ類・サザエ), 神水研資料 21, 1-20.
- 3) 神奈川県水産総合研究所 (2001): 平成12年度浅海域複数種放流技術開発事業報告書 (アワビ類・サザエ), 神水研資料 31, 1-20.
- 4) T. YAMAKAWA, Y. MATSUMIYA, M. NISHIMURA and S. OHNISHI (1994): Expanded DeLury's method with variable catchability and its application to catch-effort data from spiny lobster gillnet fishery, *Fisheries Sci.*, 60(1), 59-63.
- 5) 日本栽培漁業協会 (1992): アワビ類放流種苗の初期減耗原因解明調査報告書, 協会研究資料 48, 1-58.
- 6) 山田作太郎・田中栄次 (1999): 水産資源解析学, 成山堂書店, 東京, 1-151.
- 7) 平松一彦 (1992): 最尤法による水産資源の統計学的研究 -パラメータ推定とモデル選択-, 遠洋水研報 29, 57-114.

- 8) 井上正昭 (1976) : アワビの種苗法流とその効果 (種苗の放流効果—アワビ・クルマエビ・マダイ), 日本水産学会編, 恒星社厚生閣, 東京, 9-25.
- 9) 小島博 (1981) : クロアワビ放流稚貝の死亡について, *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 47(2), 151-159.
- 10) 神奈川県水産試験場 (1990) : 平成元年度放流技術開発事業報告書 放流漁場高度利用技術開発事業 (アワビ・ウニ類), 神水試資料 359, 1-77.
- 11) 神奈川県水産総合研究所 (2000) : 平成11年度浅海域複数種放流技術開発事業報告書 (アワビ類・サザエ), 神水研資料 27, 1-33.
- 12) 神奈川県水産試験場 (1989) : 昭和63年度放流技術開発事業報告書 放流漁場高度利用技術開発事業 (アワビ・ウニ類), 神水試資料 352, 1-57.
- 13) 千葉県水産試験場 (1980) : 昭和52・53年度大規模増殖場開発事業調査結果報告書 (安房地区: クロアワビ), 1-182.