有標識率調査の考え方と必要標本数

栽培技研，15(2)：187-197，1986

有標識率調査の考え方と必要標本数

北　田　修　一*

最近のマダイ，ヒラメ等の回遊種の放流効果調査において，市場に水揚げされた対象種の漁獲物の中にマークの付いた放流魚がどのぐらい混ざっているかを調べるいわゆる有標識率調査の重要性が強く指摘されるようになった。これは，標識魚再捕の報告もれや標識の脱落に対処するために構じられた手法であり，脱落，再生の可能性がないか，あるいは非常に少ない標識法，例えば鰭抜去法でなるべく多くの個体をマークして，試験研究機関が直接市場での調査を行うというものである。

ここで言う有標識率とは，対象種の水揚げ尾数に占める標識魚の割合である。松宮[1]は，これを標識率と呼んだ。現状ではこの用語について必ずしも統一が図られていないが，標識率という用語は，むしろ放流尾数の何％を標識したかという場合にふさわしいように思われる。この種の用語の統一は，松宮の指摘するように必要であり将来関係者のコンセンサスを得て行われるべきものと考えられるが，ここではとりあえず有標識率を用いることにした。

水産資源学の分野におけるこのような比率推定については，田中[2,3]によって検討されている。理論的には，本報で扱う問題は，田中が述べたものと本質的に変るところはない。ここでは，この考え方に基づいて，市場調査を行う者の立場から理論を整理し，データ処理に関連する問題（例えば，全調査海域への引きのばしや標本数）についての考察を行う。また，このことを通じて，小人数の調査員で継続できるような調査方法を提案する。

標本抽出の考え方

マダイ等の回遊種の場合は，市町村や県の範囲を超えて移動するため，放流効果の波及範囲が広い。この効果が波及する海域で，放流魚がどのぐらい獲られたかを推定することが調査の最終目標である。調査海域内では，複数の漁港から出漁した漁船が様々な漁法で対象種を漁獲し，漁獲物は複数の市場に水揚げされる。調査海域から対象種を水揚げする全市場について，毎日，全数調査が行えれば「推定」する必要はない。しかし，これは通常不可能であるので，いくつかの市場を選び出して標本調査を行うことになる。ここでは，標本として選んだ市場を標本市場と呼ぶ。

標本市場でとられる標本すなわち水揚げ物は，調査海域全体の市場の水揚げ物からランダムにとられた標本であることが望まれる。しかし，対象種は前述したように様々な漁法で獲られるため，漁法によって漁獲物の年齢組成が異っている。そして，漁獲物が水揚げされる各々の市場においては，それぞれ漁法の種類やウエイトが異なっているので，水揚げ物の年齢組成は市場によってかなり違うことが普通である。この調査においては，後述するように年齢組成が問題となるので，この偏りをなるべく少なくするような標本抽出が必要となる。この点に配慮すると，次のような条件で，標本市場を選ぶことになろう。

（1）　それらの標本市場が調査海域内の代表的な対象種の水揚げ地であり，水揚げ量も多いこと

（2）　それらの標本市場に対象種を水揚げする漁法が，海域全体で対象種を目的に操業する漁法を網羅していること

このような条件で，調査海域全体として i 個ある市場からいくつかの標本市場を選んだとする。これらの選ばれた標本市場におけるそれぞれの有標識率を推定することが調査の第1目標となる。

＊ 日本栽培漁業協会企画調査室

マダイ等の多年魚では，放流効果が数年間にわたって現われる。また，放流は1年だけではなく継続して行われるのが一般的であるので，1つの市場に複数年級の標識魚が水揚げされることになる。従って，有標識率は年齢別に調査する必要が生じる。マダイの場合，年齢を区分する生まれ月を5月とすれば，0歳魚としては放流月から翌年4月末まで，1歳魚としては続く5月からその翌年4月末までの期間について，調査結果をプールして解析すれば良いだろう。水揚げ物の年齢組成は，季節によって変化するのが普通であるので，抽出された標本の年齢組成の季節による偏りを小さくするため，毎月調査を行うことが望ましい。また，各月の調査回数は多い程良いが，現実には何日かの標本調査日を抽出することになる。最低でも月1回は出かけることが必要と思われる。

栽培対象種は一般に高級魚であるので，1日の水揚げ尾数は，イワシやアジ，サバ等の多獲魚に比べて少ない。そこで，調査日の対象種の水揚げ物は全数調査することを提案したい。もし，全数調査が難しい場合は，抽出がランダムに行えるよう配慮して標本をとれば良い。

個々の標本市場での有標識率の推定

前節のように標本がとられ，ある期間について，それらがプールされているとする。このとき，標本市場 d における母集団と標本の関係を表1のように定める。表1は，母集団としての水揚げ量が銘柄別に集計されており，標本についても銘柄別に年齢と標識の有無が調べられている場合を示している。栽培対象種のような高級魚の場合，銘柄別に水揚げ量が集計されている場合が多い。例えば，マダイでは，大きさによって，カスゴ，小ダイ，中ダイ，大ダイというような呼称で分けられている。しかし，現場では，漁業者個人別に銘柄を分けることはあっても，水揚げ物全体が銘柄別に並べられていることは少ない。このような状況のもとでは，銘柄別の調査は若干煩雑なものとなるが，調査に当って，全標本について，銘柄と年齢と標識の有無を調べることが可能ならば，プールされた標本は，母集団の各銘柄からのランダムサンプルと考えることができる。これは，一般に推定の精度が良いとされている層別抽出である。ここでは，先ず，この場合の推定について検討する。

表1のようにデータが得られているとする。

d 市場における総水揚げ尾数中の，x 歳魚でかつ標識の付いている魚の割合を p_x とすると

$$p_x=\frac{\sum_{l=1}^{R}\dot{N}_{dl}^{(x)}}{N_d} \tag{1}$$

で表わされる。これは，x 歳魚の有標識率（x 歳魚中の標識魚の割合）とは異なるので，以降 x 歳有標識率

表 1　標本として選んだ d 市場における母集団と標本

銘柄	母集団（d 市場における水揚げ総尾数）			標本（d 市場における調査日の標本をプールしたもの）		
	銘柄別尾数	銘柄毎の年齢別尾数	銘柄毎の年齢別の標識魚尾数	銘柄別尾数	銘柄毎の年齢別尾数	銘柄毎の年齢別の標識魚尾数
1	N_{d1}	....	....	n_{d1}	....	....
2	N_{d2}	....	....	n_{d2}	....	....
⋮	⋮	$N_{dl}^{(0)}$	$\dot{N}_{dl}^{(0)}$	⋮	$k_{dl}^{(0)}$	$\dot{k}_{dl}^{(0)}$
		$N_{dl}^{(1)}$	$\dot{N}_{dl}^{(1)}$		$k_{dl}^{(1)}$	$\dot{k}_{dl}^{(1)}$
l	N_{dl}	⋮	⋮	n_{dl}	⋮	⋮
⋮	⋮	$N_{dl}^{(x)}$	$\dot{N}_{dl}^{(x)}$	⋮	$k_{dl}^{(x)}$	$\dot{k}_{dl}^{(x)}$
		⋮	⋮		⋮	⋮
⋮	⋮	$N_{dl}^{(J)}$	$\dot{N}_{dl}^{(J)}$	⋮	$k_{dl}^{(J)}$	$\dot{k}_{dl}^{(J)}$
R	N_{dR}	....	....	n_{dR}	....	....
合計	N_d	N_d		n_d	n_d	

と言う。この p_x を推定しようというのである。

N_{dl} からランダムに抽出された n_{dl} 尾中の x 歳魚の標識魚の尾数 $\dot{k}_{dl}^{(x)}$ *1の分布は超幾何分布となる。N_{dl} が大きいときは，この分布は2項分布で近似される。しかし，この種の調査では N_d そのものが有限の場合も多いと考えられ，その場合には，後述するように，後に問題となる必要標本数が N_d の大きさによってはかなり変化する。従って，ここでは，超幾何分布で取り扱う*2。$\dot{k}_{dl}^{(x)}$ の分布の平均，分散は，

$$E(\dot{K}_{dl}^{(x)})=n_{dl}p_{xl} \tag{2}$$

$$\mathrm{Var}(\dot{K}_{dl}^{(x)})=n_{dl}p_{xl}(1-p_{xl})\frac{N_{dl}-n_{dl}}{N_{dl}-1} \tag{3}$$

である。ここで，$p_{xl}=\dot{N}_{dl}^{(x)}/N_{dl}$ である。

さて，問題となる n_d 尾中の x 歳有標識率を $\hat{p}_x$ とする。銘柄別の標本調査の結果，表2の右側のように，年齢別の標識魚の尾数が得られる。n_d 尾中の x 歳魚の標識魚の尾数は，$\sum_{l=1}^{R}\dot{k}_{dl}^{(x)}$ であるから，$\hat{p}_x$ は

$$\hat{p}_x=\frac{1}{n_d}\sum_{l=1}^{R}\dot{k}_{dl}^{(x)} \tag{4}$$

と表わされる。この $\hat{p}_x$ の分布の平均と分散は，(2) 及び (3) 式の結果を利用して

$$E(\hat{p}_x)=\frac{1}{n_d}\sum_{l=1}^{R}n_{dl}p_{xl} \tag{5}$$

$$\mathrm{Var}(\hat{p}_x)=\frac{1}{n_d^2}\sum_{l=1}^{R}\left\{n_{dl}p_{xl}(1-p_{xl})\frac{N_{dl}-n_{dl}}{N_{dl}-1}\right\}^{*3} \tag{6}$$

となる。

$\hat{p}_x$ は標本平均であるので，n を大きくして行くとき，中心極限定理により，この分布は正規分布に近づく。従って，$Z=(\hat{p}_x-p_x)/\sqrt{\mathrm{Var}(\hat{p}_x)}$ が近似的に正規分布に従う。このことから，p_x の 95% 信頼区間は

$$[\hat{p}_x-1.96\sqrt{\mathrm{Var}(\hat{p}_x)},\ \hat{p}_x+1.96\sqrt{\mathrm{Var}(\hat{p}_x)}] \tag{7}$$

表 2 銘柄別調査の結果得られる年齢別の標本と母集団

年齢	母集団 年齢別尾数	母集団 年齢別の標識魚尾数	標本 年齢別尾数	標本 年齢別の標識魚尾数
0	$\sum_{l=1}^{R}N_{dl}^{(0)}$	$\sum_l \dot{N}_{dl}^{(0)}$	$\sum_l k_{dl}^{(0)}$	$\sum_l \dot{k}_{dl}^{(0)}$
1	$\sum_l N_{dl}^{(1)}$	$\sum_l \dot{N}_{dl}^{(1)}$	$\sum_l k_{dl}^{(1)}$	$\sum_l \dot{k}_{dl}^{(1)}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
x	$\sum_l N_{dl}^{(x)}$	$\sum_l \dot{N}_{dl}^{(x)}$	$\sum_l k_{dl}^{(x)}$	$\sum_l \dot{k}_{dl}^{(x)}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
J	$\sum_l N_{dR}^{(J)}$	$\sum_l \dot{N}_{dl}^{(J)}$	$\sum_l k_{dl}^{(J)}$	$\sum_l \dot{k}_{dl}^{(J)}$
合計	N_d		n_d	

表 3 銘柄区分がないランダム抽出の場合の母集団と標本

年齢	母集団 年齢別尾数	母集団 年齢別の標識魚尾数	標本 年齢別尾数	標本 年齢別の標識魚尾数
0	$N_d^{(0)}$	$\dot{N}_d^{(0)}$	$n_d^{(0)}$	$\dot{n}_d^{(0)}$
1	$N_d^{(1)}$	$\dot{N}_d^{(1)}$	$n_d^{(1)}$	$\dot{n}_d^{(1)}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
x	$N_d^{(x)}$	$\dot{N}_d^{(x)}$	$n_d^{(x)}$	$\dot{n}_d^{(x)}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
J	$N_d^{(J)}$	$\dot{N}_d^{(J)}$	$n_d^{(J)}$	$\dot{n}_d^{(J)}$
合計	N_d		n_d	

*1 $\dot{k}_{dl}^{(x)}$ は確率変数 $\dot{K}_{dl}^{(x)}$ の実現値を意味する．

*2 N_d が大きいと直接確率を計算することが困難になるので，超幾何分布はその極限分布である[4] 2 項分布，ポアソン分布，正規分布で近似される。CHAPMAN[5] は，この近似について，標本数と標本比率の範囲に対してどの分布を用いるかを検討し，1つの基準を提示した．ここでは，確率の計算は不要なので，超幾何分布で扱う不便はない．

*3 無限母集団の場合，(6) 式は田中[2] の (4·37) 式と同じである．

となる。計算に当っては，p_{xl} が未知なので，$\hat{p}_{xl}=\dot{k}_{dl}{}^{(x)}/n_{dl}$ を用いて近似すれば良いだろう。

これまでは，調査が銘柄別に行えることを前提に p_x の推定について述べてきたが，銘柄別の調査ができない場合も多いと考えられる。この場合の標本は，調査の結果として，表3のように，年齢別に標識魚が分けられている。この時の x 歳有標識率 p_x は

$$p_x=\frac{\dot{N}_d{}^{(x)}}{N_d} \tag{8}$$

であり，標本 x 歳有標識率 $\hat{p}_x{}'$ は

$$\hat{p}_x{}'=\frac{\dot{n}_d{}^{(x)}}{n_d} \tag{9}$$

である。$\hat{p}_x{}'$ の平均，分散は，

$$E(\hat{p}_x{}')=p_x \tag{10}$$

$$\mathrm{Var}(\hat{p}_x{}')=\frac{p_x(1-p_x)}{n_d}\,\frac{N_d-n_d}{N_d-1} \tag{11}$$

であるから，p_x の 95% 信頼区間は

$$\left[\hat{p}_x{}'-1.96\sqrt{\frac{p_x(1-p_x)}{n_d}\,\frac{N_d-n_d}{N_d-1}}\,,\ \hat{p}_x{}'+1.96\sqrt{\frac{p_x(1-p_x)}{n_d}\,\frac{N_d-n_d}{N_d-1}}\right] \tag{12}$$

となる。この場合も p_x が未知なので，$\hat{p}_x{}'$ を用いて近似すれば良いだろう。

推定に必要な標本数の検討

推定の精度は，標本数 n_d と密接に関係している。一般的には，信頼幅を α 以下にするために必要な最小の標本数が計算される。銘柄分けのある場合は，(7) 式の値が銘柄の数 R や n_{dl}，p_{xl} によって複雑に変化するので，銘柄分けのない場合について検討する。後述するように，銘柄分けのない場合の方が標本の x 歳有標識率の分散が大きくなるので，同じ精度を保障しようとすれば，銘柄分けのある場合より多くの標本数を必要とするだろう。従って，ここでは，銘柄分けのない場合を検討しておけば良いと考える。

信頼幅を α 以下にするという条件では，p_x が小さい程 α/p_x は大きくなり，p_x に対する相対的な推定精度は甘くなる。ここでは，p_x が変化しても信頼幅を一定の基準で評価するために，$L=\alpha/p_x$ として考える。

(12) 式を用いて，95% 信頼幅を Lp_x 以下にするために必要な最小の標本数は

$$n_d=N_d\Big/\left[\left\{\frac{N_d-1}{p_x(1-p_x)}\right\}\left(\frac{Lp_x}{2\times1.96}\right)^2+1\right] \tag{13}$$

で与えられる。

一般には，簡便のために N_d が大きい (∞) と考えて，(13) 式で $(N_d-n_d)/(N_d-1)=1$ として

$$n_d=\frac{(2\times1.96)^2(1-p_x)}{L^2p_x} \tag{14}$$

がよく使われるが，どの位 N_d が大きいときに，無限母集団と考えて良さそうなのかは p_x や L の値によって変るであろう。そこで，(13) 式と (14) 式で得られる標本数の比 {((13) 式の右辺)/((14) 式の右辺)} を ω として，N_d の種々の値に対して，代表的な L と p_x の値について計算して図1に示した。L が小さい程，また，p_x が小さい程，ω は小さい。$L=0.2$ の場合，N_d が 500000 位であれば無限母集団として扱っても良いと考えられるが，N_d がもっと小さく，p_x も小さいと予想される有標識率調査においては，有限母集団として扱った方が良いだろう。従って，ここでは，有限母集団修正項を含んだ (13) 式を用い，N_d の種々の値に対して，p_x を 0.005 及び 0.01 から 0.3 までの範囲で，必要となる最小標本数を計算して付表に示した。この付表は，利用の便を考慮して，L が 0.1，0.2，0.3 の場合についてそれぞれ計算されている。N_d が ∞ の場合については，(14) 式によって計算した。

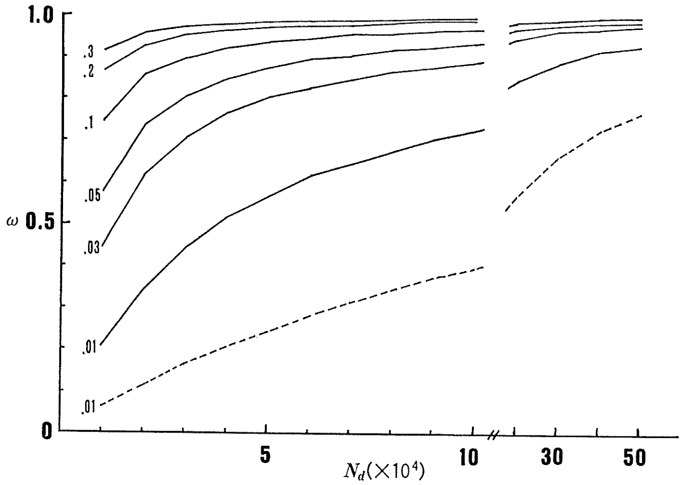

図 1　代表的な L, p_x についての N_d の増加に伴う ω の変化
—— $L=0.2$, ---- $L=0.1$, 図中の数字は p_x

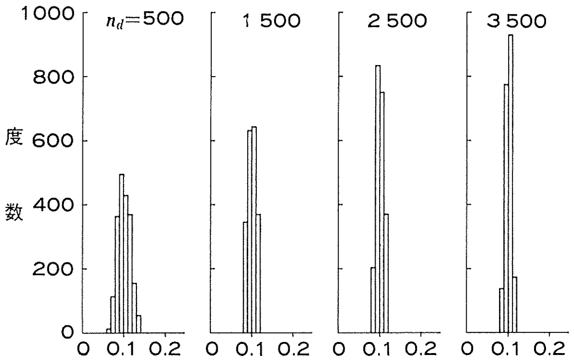

図 2　模擬実験による $\hat{p}_x'$ の分布 ($p_x=0.1$, n_d は標本数, 実験回数 2000)

実際の調査においては，付表で前もって必要な標本数の見当をつけておけば良いが，必ずしも計画通りの標本数が得られるとは限らないし，逆に計画より多くの標本が得られることもあるだろう。従って，実際に得られた標本数がどの程度の信頼幅を保障するものであるかを，付表でおおよそのチェックをすることが現実的な処理であろう。

ここで，付表の意味を具体的に把握するため，$p_x=0.1$ の場合について，無限母集団からの 500, 1500, 2500, 3500 の標本 n_d に対して $\hat{p}_x'=\dot{n}_d^{(x)}/n_d$ の分布を模擬実験により作成した (図 2)。$\dot{n}_d^{(x)}=X_1+\cdots\cdot+X_m{}^*+\cdots\cdot+X_{n_d}$ は 2 項乱数を用い，実験の回数はそれぞれ 2000 回とした。n_d が大きくなると，p_x のまわりに集中した分布になり，推定の精度が良くなることがわかる。付表によれば n_d=3500 は N_d が ∞ の場合に $L=0.2$ を保障する標本数であり，この場合の 95% 信頼幅は $Lp_x=0.2\times0.1=0.02$ である。

* X_m は x 歳魚の標識魚であるとき 1，そうでないとき 0 を値にとる確率変数

図1の n_d=3500 の場合，標本有標識率のほとんどが 0.09 から 0.11 の間に集中しており，95% 信頼幅の具体的なイメージが与えられている。もし，ある市場での x 歳有標識率が 0.05 と予想されるとき，95% 信頼区間を [0.045, 0.055] 以下にしたいなら，$\alpha=0.055-0.045=0.01$ だから，$L=\alpha/p_x=0.01/0.05=0.2$ の頁の $p_x=0.05$ に対応する標本数が必要ということになる。無限母集団なら 7300 尾の標本が必要ということになる。

標本市場で得た推定値の全調査海域への引きのばし

前節で推定された $\hat{p}_x$ あるいは $\hat{p}_x'$ をもとに全体への引きのばしを行うが，前提条件は次の二つが既知であることである。

N_d；各標本市場での総水揚げ尾数

$\sum_i N_i$；海域全体での　〃　〃

しかし，現実にはこれらの値が正確に知られていることはないであろう。従って，実際には，N_d は市場の水揚げ台帳により，$\sum_i N_i$ は農林統計等により，何らかの方法を用いて，重量を尾数に換算する作業が必要になる。ここでは，N_d，$\sum_i N_i$ がそのような作業によって得られているとして議論を進めることにする。

先ず，各標本市場での x 歳魚の標識魚総尾数は，銘柄別調査を実施した場合は

$$\sum_l \widehat{\dot{N}_{dl}{}^{(x)}}=N_d\hat{p}_x \tag{15}$$

そうでない場合は

$$\widehat{\dot{N}_d{}^{(x)}}=N_d\hat{p}_x' \tag{16}$$

と推定される。

海域全体の x 歳有標識率を

$$\hat{P}_x=\sum_d\sum_l \widehat{\dot{N}_{dl}{}^{(x)}}/\sum_d N_d \tag{17}$$

あるいは

$$\hat{P}_x'=\sum_d \widehat{\dot{N}_d{}^{(x)}}/\sum_d N_d \tag{18}$$

と考えると，これらに $\sum_i N_i$ を乗じて，海域全体の x 歳魚の標識魚の全水揚げ尾数が推定できる。そして，それを対象とする全年齢について合計したものが，調査海域内における，ある期間内の標識魚の水揚げ尾数となり，

$$\dot{C}=\sum_{x=0}^{J}\hat{P}_x\sum_i N_i \tag{19}$$

あるいは

$$\dot{C}'=\sum_{x=0}^{J}\hat{P}_x'\sum_i N_i \tag{20}$$

で表わされる。

この推定の精度については不明であるが，推定値をいくつも用いての推定を行うことになるので，推定精度はかなり低くなると考えられる。従って，なるべくこの精度を落とさないようにするためには，各標本市場での有標識率の推定において，できるだけ精度をあげるよう努力すべきであろう。

なお，ここでは，放流魚は全数標識されているとの前提で議論を進めている。海の中の天然資源の量に対して，標識魚の割合が小さすぎる場合は，相当多くの標本数を要求されるので，放流種苗の数量規模と天然資源の多さを勘案すると全数標識が望ましいと考える。

考　　　察

これまで，銘柄別に標本が得られる場合とそうでない場合について見てきた。前述したように，一般に層別抽出の方が層別しない場合に比べて推定精度が良くなるとされている。調査現場で，標本を銘柄別にとることは相当煩雑であるので，銘柄別調査がどの程度精度向上に寄与するかついて検討しておくことは重要と考えられる。

先ず，銘柄分けのある場合とない場合の x 歳有標識率の分散の大きさを比較してみる。$N_{dl}/N_d=n_{dl}/n_d$ つまり比例抽出の場合，(6)，(11) 式から

$$\mathrm{Var}(\hat{p}_x)-\mathrm{Var}(\hat{p}_x')=\frac{1}{n_d}\sum_{l=1}^{R}\frac{n_{dl}}{n_d}p_{xl}(1-p_{xl})-\frac{p_x(1-p_x)}{n_d} \tag{21}$$

一方，母集団分散は

$$p_x(1-p_x)=\frac{1}{N_d}\sum_{l=1}^{R}N_{dl}p_{xl}(1-p_{xl})+\frac{1}{N_d}\sum_{l=1}^{R}n_{dl}(p_{xl}-p_x)^2 \tag{22}$$

である。右辺第1項は層内分散 (σ_w^2)，第2項は層間分散 (σ_b^2) である。

(22) 式を (21) 式に用いると

$$\mathrm{Var}(\hat{p}_x)-\mathrm{Var}(\hat{p}_x')=-\frac{1}{n_d^2}\sum_{l=1}^{R}n_{dl}(p_{xl}-p_x)^2 \tag{23}$$

となる。この値は正になることはないので，比例抽出の場合，銘柄分けを利用する層別抽出の方が効率が良いことがわかる。そして，(23) 式からみて標本数 n_d が大きくなる程，この効率の差が小さくなると考えられる。

現在行われている調査結果をみると，有標識率は 0.05 以下と推定されている場合が多い。このように p_x の小さい場合には，付表でみたように必要標本数は大きくなる。そこで，$0.01 \leqq p_{xl} \leqq 0.05$ の範囲で 0.01 きざみで銘柄別の x 歳有標識率の全ての組合せについて (23) 式で与えられる差を計算して，その絶対値の最大値を表4に示した。ここでは，銘柄数 R は4とし，$n_d=2000$ ($n_{d1}=n_{d2}=n_{d3}=n_{d4}=500$) の場合について計算してみた。表中の h は，この最大値を 95% 信頼幅に書き直した* 値である。表4から，各 p_x の値に対して h の値はそれ程大きなものではないことがわかる。この表4に示した計算値や，(23) 式の形からみて標本数が大きくなる程層別抽出の効果が低下すると考えられること，また，前述した銘柄別の標本抽出の煩雑さを考慮すれば，ここで提案された有標識率調査においては，銘柄別調査の有効性はそれ程大きくないと考えて差しつかえないだろう。

この調査の特徴は，前述したように，年齢査定と標識の有無を，得られる全標本について行うというところにある。従って，標本数が相当大きくなることが予想される。しかし，この標本数は，調査日毎の各々の標本数をある期間について合計したものである。従って，調査日1日で扱う標本数は適当に小さくできる。また，前述したようにマダイやヒラメのような高級魚では1日に1つの市場に水揚げされる数量もそれ程多くないので，調査日の水揚げ尾数を全数調査することは不可能ではないと考えた。

この調査において，最も問題となる点は年齢査定であろう。若齢魚では比較的年齢査定は容易であるが，高齢魚になると体長組成の中での年齢の重なりが大きくなったり，鱗紋の判別も難しくなると言わ

表 4　層別抽出とランダム抽出の場合の x 歳有標識率の分散の差の最大値

p_x	$-\{\mathrm{Var}(\hat{p}_x)-\mathrm{Var}(\hat{p}_x')\}$	h
0.015	0.0000000375	0.000759
0.020	0.0000001500	0.001518
0.030	0.0000002000	0.001753
0.040	0.0000001500	0.001518
0.045	0.0000000375	0.000759

注）1) $R=4$，$n_d=2000(n_{d1}=n_{d2}=n_{d3}=n_{d4})$

2) $p_x=(\sum_{l=1}^{4}n_{dl}p_{xl})/n_d$，$0.01 \leqq p_{xl} \leqq 0.05$

* $h=\sqrt{-\{\mathrm{Var}(\hat{p}_x)-\mathrm{Var}(\hat{p}_x')\}}\times1.96\times2$

れており，査定の精度は悪くなると考えられる。このようなことから，有標識率調査においては，体長や鱗紋から容易に年齢査定が可能と考えられる若齢魚に限って行い，その後の高年齢群に及ぶ効果については，他の手法を用いて類推するのが現実的であると考える。

しかし，アワビのように，漁獲サイズでは年齢による殻長の重なりが既に大きくなっており，また，貝殻の輪紋からの年齢査定が短時間でできない種類もある。このような大量に効率良い年齢査定が容易でない種類や場合については，age-length key 法[2] によって，あらかじめ年齢-体(殻)長相関表を作成しておき，全標本の体長を測定した後，体長級毎に標本を整理し，年齢比率で配分する等の工夫が必要となろう。age-length key 法においては，年齢査定の労力を軽減するため全標本の体長を測定し，これを体長階級に層別して更に各々の層から2次標本をとって，その年齢を査定する。この場合の年齢比率の推定精度については，TANAKA[3] によって検討されている。この age-length key を有標識率調査に利用する場合は，体長級毎に整理された標本を年齢比率で年齢別に配分する際の誤差の影響を受ける。前述したように有標識率調査においては，調査海域全体への引きのばしを考慮すれば，各標本市場での推定精度をできるだけあげることが望ましい。推定精度をあげ，データ処理上の操作を単純にするという見地から，調査現場での労力は多少かかるが，全標本についての年齢と標識の有無を調べることを提案してみた。

本報では，漁獲物が市場に水揚げされることを前提に議論を進めてきた。しかし，市場を通さずに活魚で流通する瀬戸内海のマダイなどについては，魚を手にとってみることができないので，買いあげによる有標識率調査が実施されており，費用面からもここで提案された標本数を満足することは難しい場合があるだろう。今後，これらの問題についても検討する必要があるが，基礎となる理論は同様であり，本報の考え方を応用することができよう。

謝　　辞

種々議論していただいた統計数理研究所平野勝臣助教授，調査の考え方について助言いただいた日本栽培漁業協会須田　明常務理事及び全国漁業協同組合連合会待場　純氏に感謝する。

文　　献

1) 松宮義晴 (1984) 栽培漁業における資源学的用語の統一について．西海区ブロック浅海開発会議魚類研究会報第2号：37-38.
2) 田中昌一 (1985) 水産資源学総論．恒星社厚生閣，東京：138-175 pp.
3) TANAKA, S. (1953) Precision of age-composition of fish estimated by double sampling method using the length for stratification. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **19** (5): 657-670.
4) 竹内　啓・藤野和建 (1981) 2項分布とポアソン分布．UP 応用数学選書 2，東京大学出版会，東京：262 pp.
5) CHAPMAN, D.G. (1948) *Bull. int. Pacif. Salm. Fish Commn.*, **2**: 69-84.（(6)より孫引き）
6) CORMACK, R.M. (1968) The statistics of capture-recapture methods. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, **6**: 455-506.

付表　95% 信頼幅を Lp_x 以下にするために必要な最小の標本数 n_d

$L=0.1$

p_x	母集団の大きさ N_d															
	5000	10000	20000	30000	40000	50000	60000	70000	80000	90000	100000	200000	300000	400000	500000	∞
0.005	4919	9683	18772	27319	35373	42973	50158	56961	63410	69534	75357	120916	151434	173304	189746	305791
0.01	4840	9383	17676	25058	31672	37631	43029	47940	52429	56546	60337	86405	100941	110212	116640	152127
2	4688	8827	15802	21452	26122	30047	33391	36275	38788	40997	42953	54701	60189	63367	65440	75295
3	4542	8324	14260	18705	22160	24921	27178	29059	30649	32012	33193	39798	42625	44195	45193	49684
4	4403	7867	12967	16543	19188	21224	22840	24154	25242	26160	26943	31137	32842	33766	34346	36879
5	4269	7448	11869	14796	16877	18433	19639	20603	21390	22045	22598	25477	26606	27210	27585	29196
6	4140	7065	10924	13356	15029	16250	17180	17913	18505	18993	19403	21487	22285	22707	22968	24074
7	4016	6712	10103	12148	13516	14496	15232	15805	16264	16640	16954	18524	19114	19424	19614	20415
8	3897	6386	9382	11121	12256	13057	13651	14109	14474	14771	15017	16236	16688	16923	17068	17671
9	3782	6084	8744	10236	11190	11853	12341	12715	13010	13249	13447	14417	14772	14956	15068	15537
0.10	3672	5803	8176	9466	10276	10833	11239	11548	11791	11987	12149	12935	13220	13367	13457	13829
1	3566	5542	7667	8790	9484	9957	10298	10557	10760	10923	11058	11705	11938	12058	12131	12432
2	3463	5298	7207	8191	8792	9196	9487	9706	9877	10014	10127	10667	10860	10960	11020	11268
3	3364	5070	6791	7658	8180	8529	8779	8966	9112	9229	9324	9780	9942	10026	10076	10283
4	3268	4856	6412	7180	7637	7940	8156	8317	8443	8543	8625	9013	9151	9221	9264	9439
5	3176	4654	6066	6748	7151	7416	7604	7744	7852	7939	8010	8344	8462	8522	8558	8707
6	3087	4465	5748	6357	6713	6946	7111	7233	7328	7403	7465	7754	7856	7907	7939	8067
7	3000	4286	5456	6001	6317	6523	6668	6776	6859	6925	6978	7231	7319	7364	7391	7502
8	2916	4117	5185	5676	5957	6140	6268	6363	6437	6495	6542	6763	6840	6879	6903	7000
9	2835	3958	4934	5376	5629	5792	5906	5990	6055	6106	6148	6343	6410	6445	6466	6550
0.20	2757	3806	4701	5101	5327	5473	5575	5650	5708	5753	5790	5963	6023	6053	6071	6146
1	2681	3663	4484	4846	5050	5181	5272	5339	5391	5431	5464	5618	5671	5698	5714	5780
2	2607	3526	4281	4610	4795	4912	4994	5054	5100	5137	5166	5303	5350	5374	5389	5448
3	2535	3397	4092	4391	4558	4664	4738	4792	4833	4866	4892	5015	5057	5079	5092	5144
4	2466	3273	3913	4187	4338	4434	4501	4549	4587	4616	4640	4750	4788	4807	4819	4866
5	2398	3155	3746	3996	4133	4220	4281	4325	4358	4385	4406	4506	4540	4557	4567	4609
6	2333	3042	3588	3817	3942	4021	4076	4116	4146	4170	4190	4279	4310	4326	4335	4373
7	2269	2935	3440	3649	3763	3835	3885	3921	3949	3971	3988	4070	4097	4111	4120	4154
8	2207	2832	3299	3491	3596	3662	3707	3740	3765	3785	3801	3874	3900	3912	3920	3951
9	2147	2733	3166	3343	3438	3498	3540	3570	3593	3611	3625	3692	3715	3727	3734	3762
0.30	2088	2639	3040	3202	3290	3345	3383	3410	3431	3448	3461	3522	3543	3553	3559	3585

小数点以下切り捨て

$L=0.2$

p_x	母集団の大きさ N_d														
	5000	10000	20000	30000	40000	50000	60000	70000	80000	90000	100000	200000	300000	400000	500000	∞
0.005	4693	8843	15852	21545	26260	30229	33616	36541	39092	41336	43326	55307	60923	64181	66309	76447
0.01	4419	7918	13107	16771	19495	21601	23277	24643	25777	26734	27553	31955	33753	34729	35343	38031
2	3950	6530	9697	11566	12800	13675	14328	14834	15238	15567	15842	17204	17712	17977	18140	18823
3	3565	5540	7662	8784	9478	9949	10290	10549	10751	10914	11048	11694	11927	12047	12120	12421
4	3242	4797	6310	7052	7492	7784	7991	8146	8267	8363	8441	8813	8944	9012	9052	9219
5	2967	4219	5347	5870	6172	6369	6507	6609	6688	6751	6802	7042	7125	7168	7194	7299
6	2731	3757	4626	5012	5231	5371	5469	5542	5597	5641	5676	5842	5900	5929	5946	6018
7	2525	3379	4066	4361	4526	4631	4703	4757	4797	4829	4856	4976	5018	5039	5052	5103
8	2345	3064	3618	3850	3978	4059	4114	4155	4186	4211	4230	4322	4353	4369	4379	4417
9	2186	2797	3252	3439	3540	3604	3648	3680	3704	3723	3739	3810	3834	3846	3854	3884
0.10	2044	2569	2947	3100	3182	3233	3269	3294	3314	3329	3341	3398	3418	3427	3433	3457
1	1916	2371	2690	2816	2884	2926	2955	2976	2992	3004	3014	3060	3076	3084	3089	3108
2	1802	2198	2469	2575	2631	2666	2690	2708	2721	2731	2740	2778	2790	2797	2801	2817
3	1698	2045	2278	2368	2415	2445	2465	2479	2490	2499	2506	2538	2549	2554	2557	2570
4	1603	1909	2110	2187	2228	2253	2270	2282	2292	2299	2305	2332	2341	2346	2348	2359
5	1516	1787	1963	2029	2064	2086	2100	2111	2119	2125	2130	2153	2161	2165	2167	2176
6	1437	1678	1832	1889	1920	1938	1951	1960	1967	1972	1976	1996	2003	2006	2008	2016
7	1364	1579	1714	1765	1791	1807	1818	1826	1832	1837	1841	1858	1863	1866	1868	1875
8	1296	1489	1609	1653	1676	1690	1700	1707	1712	1716	1719	1734	1739	1742	1743	1750
9	1233	1407	1513	1553	1573	1585	1594	1600	1604	1608	1611	1624	1628	1631	1632	1637
0.20	1175	1332	1427	1461	1479	1490	1498	1503	1507	1510	1513	1524	1528	1530	1531	1536
1	1121	1262	1347	1378	1394	1404	1411	1415	1419	1422	1424	1434	1438	1439	1441	1445
2	1070	1198	1275	1302	1317	1325	1331	1336	1339	1341	1343	1352	1355	1357	1358	1362
3	1023	1139	1208	1233	1246	1253	1259	1262	1265	1268	1269	1277	1280	1281	1282	1286
4	978	1084	1146	1169	1180	1187	1192	1195	1198	1200	1201	1209	1211	1212	1213	1216
5	936	1033	1089	1109	1120	1126	1130	1133	1136	1137	1139	1145	1148	1149	1149	1152
6	897	985	1036	1054	1064	1070	1073	1076	1078	1080	1081	1087	1089	1090	1091	1093
7	860	941	987	1003	1012	1017	1021	1023	1025	1026	1027	1033	1035	1035	1036	1038
8	825	899	941	956	964	968	971	974	975	977	978	982	984	985	985	987
9	791	859	898	911	918	923	926	928	929	930	931	936	937	938	938	940
0.30	760	822	857	870	876	880	883	885	886	887	888	892	893	894	894	896

$L=0.3$

p_x	母集団の大きさ N_d															
	5000	10000	20000	30000	40000	50000	60000	70000	80000	90000	100000	200000	300000	400000	500000	∞
0.005	4358	7726	12589	15932	18371	20230	21692	22874	23848	24665	25360	29043	30520	31316	31815	33976
0.01	3858	6283	9161	10811	11882	12632	13188	13615	13954	14230	14459	15585	16001	16217	16350	16903
2	3129	4555	5898	6541	6919	7167	7342	7473	7574	7654	7720	8030	8139	8194	8228	8366
3	2623	3557	4326	4662	4851	4971	5055	5117	5164	5201	5231	5372	5420	5445	5460	5520
4	2252	2906	3401	3605	3717	3787	3835	3871	3898	3919	3936	4015	4042	4056	4064	4097
5	1967	2449	2791	2927	3000	3046	3077	3100	3117	3131	3142	3192	3209	3217	3223	3244
6	1742	2110	2359	2455	2507	2539	2560	2576	2588	2597	2605	2639	2651	2657	2660	2674
7	1560	1849	2037	2108	2146	2169	2185	2197	2205	2212	2218	2242	2251	2255	2258	2268
8	1410	1641	1788	1842	1871	1889	1901	1909	1916	1921	1925	1944	1950	1953	1955	1963
9	1283	1472	1589	1632	1654	1668	1678	1684	1689	1693	1697	1711	1716	1718	1720	1726
0.10	1175	1332	1427	1461	1479	1490	1498	1503	1507	1510	1513	1524	1528	1530	1531	1536
1	1082	1213	1292	1320	1335	1344	1350	1354	1357	1360	1362	1371	1375	1376	1377	1381
2	1001	1112	1178	1201	1214	1221	1226	1230	1232	1234	1236	1244	1246	1248	1248	1252
3	930	1025	1080	1100	1110	1117	1121	1124	1126	1128	1129	1136	1138	1139	1140	1142
4	867	949	996	1013	1022	1027	1030	1033	1035	1036	1037	1043	1045	1046	1046	1048
5	810	882	922	937	944	949	952	954	955	957	958	962	964	965	965	967
6	760	822	857	870	876	880	883	885	886	887	888	892	893	894	894	896
7	714	769	800	811	816	819	822	823	825	825	826	830	831	831	832	833
8	673	721	748	758	762	765	767	769	770	771	771	774	775	776	776	777
9	635	678	702	710	714	717	719	720	721	722	722	725	726	726	726	727
0.20	600	639	660	667	671	673	675	676	677	677	678	680	681	681	682	682
1	569	603	622	628	632	634	635	636	637	637	638	640	640	641	641	642
2	540	570	587	593	596	598	599	600	600	601	601	603	604	604	604	605
3	513	540	555	560	563	565	566	566	567	568	568	569	570	570	570	571
4	487	512	526	531	533	534	535	536	537	537	537	539	539	539	540	540
5	464	487	499	503	505	507	507	508	508	509	509	510	511	511	511	512
6	442	463	474	478	480	481	482	482	483	483	483	484	485	485	485	485
7	422	441	451	454	456	457	458	458	458	459	459	460	460	461	461	461
8	403	420	429	432	434	435	435	436	436	436	437	438	438	438	438	439
9	385	401	409	412	413	414	415	415	415	416	416	417	417	417	417	418
0.30	369	383	390	393	394	395	395	396	396	396	396	397	397	397	398	398