産卵総量の推定—I. 垂直曳による推定法及びその問題点

田 中 昌 一

(東海区水産研究所)

Estimation of the Abundance of the Eggs of Fish such as Sardine—I.
Method of Estimation by the Vertical Haul of Plankton Net

Syoiti TANAKA

1) A method to estimate the abundance of pelagic eggs is considered in reference to vertical haul of plankton net, from the stand point of sampling survey. The formulae for the estimation of the abundance of fish eggs and for the sampling variances of the estimates are shown in regard to the following two procedures of the sampling of observation points (stations and times); a) random sampling from all spawning grounds and spawning seasons (formulae (5) and (6)), b) random sampling from each stratum which is divided, for instance, by region and month (formulae (8) and (9)).

2) Some problems concerned in the method are briefly discussed. The random sampling of observation points essential for statistical estimation, is hardly possible in practice. Then, devising of another sampling procedure which satisfies the randomness to a certain extent and is available to be carried out on the open sea, is a pressing problem at the present. It is desirous to investigate the ecology of spawning of fish in order to obtain relevant informations, by which we could devise the procedure such as a cruising schedule.

It is necessary to estimate accurately the incubation time and the mortality rate of fish eggs, otherwise, some systematic errors may occur in the result and it can not be measured by the sampling variance.

Some studies from the physical and statistical points of view, to improve the techniques of vertical haul and the structure of plankton net and to estimate the error of vertical haul, are important.

I. ま え が き

産卵量を推定することは、いろいろな意味で重要である。しかし、産卵場が空間的に広大なひろがりをもっているばかりでなく、時間的な変化（たえず産卵され、又孵化しつつあること。海流によつて他の空間に輸送されること等）も加わつて、その推定を著しく困難にしている。

今までに産卵総量を推定した例としては、SETTE & AHLSTROM⁷⁾の Pacific pilchard の場合、これと同じような考えにもとづく中井等⁸⁾のマイワシの例がある。一方、山中、田中¹¹⁾は産卵量と卵分布量との間に

$$F(\xi, \tau) = \int_{A_i} \int_{-\infty}^{\tau} f(\xi - x, \tau - t) e^{-m(\tau - t)} S(x, t) dt dx \dots \dots \dots (1)$$

なる関係を考へている。^{*} $F(\xi, \tau)$ を観測することによつて、この方程式を解いて産卵量 $S(x, t)$ を求めることができるが容易ではない。

1955 年 8 月 23 日受理 (印刷費負担) 東海区水産研究所業績 B 第 219 号

^{*} x から $x+dx$ までの微小面積中で、 t から $t+dt$ の間に $S(x, t) dt dx$ だけ産卵され、これ等の卵が τ なる時刻には $e^{-m(\tau - t)}$ だけ生残つており、又 $f(\xi - x, \tau - t)$ だけ x から ξ に流されるものとする、これ等をかけ合せて全産卵場 A_i 及び τ 以前のすべての時間について積分することによつて、 (ξ, τ) における卵分布量 $F(\xi, \tau)$ が得られる。

今我々の目的を、 $S(x, t)$ ではなく、これを全空間、全時間で積分した産卵総量 S を知ることであるとすれば、必ずしも (1) 式を解かなくてもよい。より単純な考えにもとづいて、標本調査の立場から S を直接推定することができる。

これからいくつかの仮定のもとに導く S の推定式は、近似的に、中井等の用いた式に一致する。この推定式が S を推定するための唯一の式でないことは勿論であつて、これをもとにして、種々の調査設計に対応してそれぞれの推定式を得ることができる。問題は推定の公式よりはむしろそれ等の推定式すべてに通じて基礎になつているいくつかの仮定にある。二三の問題について若干の吟味を試みた。

この研究を行うにあたり、いろいろと御指導をいただいた当研究所資源数理科長栗田晋氏に心から御礼申しあげる。

1. 産卵総量の推定

卵の分布は空間と時間を組合せた 4 次元空間で考えなければならないが、もし観測方法としてプランクトンネットの垂直曳を行うものとし^{*}、これによつて完全に円柱状の水を濾過することができるとすれば、卵の

Fig. 1 Distribution of the eggs in space (sea surface) and time— ξ - τ plane. Short curved lines are the loci of the eggs which move on the ξ - τ plane, and vertical segments indicate the vertical hauls of plankton net with an opening of $\Delta\xi$. When the vertical segment and the locus of an egg intersect, the egg would be collected by the haul. OA and OT are the extents of the space and the time respectively in which the eggs are distributed.

Fig. 2 Definition of the variable $x(\xi, \tau)$ on the ξ - τ plane. Heavy curved lines are the loci of the eggs. If the point P, the centre of the opening of net, falls into a shaded part attached to the locus of egg, u , which has the duration of d_u , the egg would be collected and $x = 1/(d_u \Delta\xi)$ would be observed by the haul.

分布の上下についてはこれを無視し、地球の表面を 2 次元的にみることができる。

図示する都合から空間を 1 次元であらわし、これを ξ とし、又時間を τ であらわして ξ - τ 平面上で考えると、卵の分布は Fig. 1 のようになるであろう。図中曲つた短い曲線は卵が ξ - τ 平面上を動いた軌跡をあらわしている。OA, OT 及びこれ等に平行な直線でかこまれた矩形の部分に卵の分布している全領域であつて、A 及び T でそれぞれ卵の分布する空間及び時間のひろがりをあらわす。垂直曳によつて円柱状の空間を濾過するというを Fig. 1 上で考えると、濾水面積を $\Delta\xi$ であらわし、又垂直曳を行うに要する時間が十分に短いとして、 τ 軸に垂直で長さ $\Delta\xi$ なる線分を ξ - τ 平面上に置くことに相当する。採集される卵数とは ξ - τ 平面上で線分 $\Delta\xi$ が卵の軌跡と交る回数にほかならない。 $\Delta\xi$ の中心を P であらわすと、 $\Delta\xi$ がある卵 u の軌跡と交わるには、P が卵の軌跡の上下にそれぞれ $\Delta\xi/2$ の巾をつけた帯状の領域内におちればよい。この帯状領域の面積は、卵の存在する時間（産卵されてから孵化又は死ぬまでの時間）を d_u であらわすと、軌跡の形にかかわらず $d_u \Delta\xi$ となつている (Fig. 2)。

ここである変数 $x_u(\xi, \tau)$ を考え、これを次のように定義する。

$x_u(\xi, \tau) = 1/d_u \Delta\xi$ (P が卵 u のまわりにつけた帯状領域中にある時)。

$x_u(\xi, \tau) = 0$ (P が上記帯状領域外にある時)。

この様に定義すると、 x 軸を ξ - τ 平面に垂直に立てた時、平面 x_u と ξ - τ 平面でかこまれる部分の体積は

$$x_u d_u \Delta\xi = \frac{d_u \Delta\xi}{d_u \Delta\xi} = 1$$

* 現在水産研究所において都道府県に委託して全国的に行っているイワシ資源調査では一部をのぞき垂直曳を行っている。

となる。したがって、この体積のすべての卵についての総和は産卵総量 S にほかならない。つまり、ある点 (ξ, τ) におけるすべての卵についての x_u の総和 $(\sum_u x_u)$ を $x(\xi, \tau)$ とすると、 $x(\xi, \tau)$ と $\xi-\tau$ 平面でかこまれた部分の体積、即ち $x(\xi, \tau)$ の $\xi-\tau$ 平面上の卵の分布を考えている範囲全体についての積分が S となっている。

以上のように母集団を想定し、 $\xi-\tau$ 平面上に M 個の点をばらまいてその点における x の値を観測すれば、産卵総量の推定値 S' は

$$S' = \frac{AT}{M} \sum_{r=1}^M x_r' \quad \dots\dots\dots (2)$$

で与えられる。ここで x_r' は r 回目の観測で得られた x の値であつて、この観測で n_r 個の卵が得られ、その個々の卵についての存在時間 d_u がわかつたとすると

$$x_r' = \sum_{u=1}^{n_r} \frac{1}{d_u d\xi} \quad \dots\dots\dots (3)$$

である。したがって (2) 式は

$$S' = \frac{AT}{d\xi} \cdot \frac{1}{M} \sum_{r=1}^M \sum_{u=1}^{n_r} \frac{1}{d_u} \quad \dots\dots\dots (4)$$

となる。1 回の観測で得られる卵はだいたい同じ存在時間 d_r をもっているとする、(4) 式は

$$S' = \frac{AT}{d\xi} \cdot \frac{1}{M} \sum_{r=1}^M \frac{n_r}{d_r} \quad \dots\dots\dots (5)$$

と簡単化することができる。

S' は S の不偏推定である。 S' の分散は M 回の観測がおたがいに独立であるとする

$$V(S') = \left(\frac{AT}{d\xi M} \right)^2 \sum_{r=1}^M V \left(\frac{n_r}{d_r} \right)$$

$V(n_r/d_r)$ は各観測が独立であるから r に無関係に一定で、しかも n/d の値の母集団全体における分散 ($\sigma^2 = E[n/d - E(n/d)]^2$) に等しい。故に

$$V(S') = \left(\frac{AT}{d\xi} \right)^2 \frac{\sigma^2}{M} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$\xi-\tau$ 平面上に立てられた体積を求めるという考えに立てば、この体積をいくつかに分割して、別々に各部分の体積を求め、その和をとるという方法も可能である。このようにして S の層別推定法が考えられる。

区間 OA , OT をそれぞれ長さ A_h , T_i ($h=1, 2, \dots, R_\xi$, $i=1, 2, \dots, R_\tau$) の区間にわけ、おのおののわけ方にしたがって ξ 軸, τ 軸に平行な直線で $\xi-\tau$ 平面を碁盤の目状に分割し、又 $\xi-\tau$ 平面上に立てられた体積 S もこれにしたがつてそれぞれ S_{hi} に分割するものとする。

$$S = \sum_h^{R_\xi} \sum_i^{R_\tau} S_{hi}$$

であり、各 S_{hi} については無層別で全体を推定した時と全く同様な推定が可能である。各層についてそれぞれ M_{hi} 回観測を行つたとすると、層別推定値は次の式で与えられる。

$$S' = \sum_{h=1}^{R_\xi} \sum_{i=1}^{R_\tau} S_{hi}' = \sum_{h=1}^{R_\xi} \sum_{i=1}^{R_\tau} \frac{A_h T_i}{d\xi} \cdot \frac{1}{M_{hi}} \sum_{r=1}^{M_{hi}} \frac{n_r}{d_r} \quad \dots\dots\dots (7)$$

同一層内での d_r の変動が少い時には

$$d_r = d_{hi} + \Delta_{hir}$$

とおいて

$$\sum_r^{M_{hi}} \frac{n_r}{d_r} = \frac{1}{d_{hi}} \sum_r^{M_{hi}} n_r \left(1 - \frac{\Delta_{hir}}{d_{hi}} + O \left(\frac{\Delta_{hir}}{d_{hi}} \right)^2 \right)$$

とあらわされる。ここで

$$d_{hi} = \sum_r n_r d_r / \sum_r n_r$$

である時には

$$\sum_r^{M_{hi}} n_r \Delta_{hir} = 0$$

となるので

$$\sum_r^{M_{hi}} \frac{n_r}{d_r} = \frac{1}{d_{hi}} \sum_r^{M_{hi}} n_r \left(1 + O\left(\frac{\Delta_{hir}}{d_{hi}}\right)^2 \right).$$

Δ_{hir}/d_{hi} の 2 次以上の項を省略すると

$$S' = \sum_h^{R_\xi} \sum_i^{R_\tau} \frac{A_h T_i}{d_{hi} d_\xi} \frac{1}{M_{hi}} \sum_{r=1}^{M_{hi}} n_r, \quad \dots\dots\dots (8)$$

但し

$$d_{hi} = \sum_r n_r d_r / \sum_r n_r$$

を得る。この式は中井等の用いた式と同じものである。

層別推定における S' の分散は

$$V(S') = \sum_h^{R_\xi} \sum_i^{R_\tau} V(S_{hi}') = \sum_h^{R_\xi} \sum_i^{R_\tau} \left(\frac{A_h T_i}{d_\xi} \right)^2 \frac{1}{M_{hi}} \sigma_{hi}^2 \quad \dots\dots\dots (9)$$

σ_{hi}^2 は hi 層内での n/d の分散である。

分散式中の σ^2 或は σ_{hi}^2 は標本値から推定される。たとえば σ_{hi}^2 の不偏推定値は

$$\begin{aligned} S_{hi}^2 &= \frac{1}{M_{hi}-1} \sum_{r=1}^{M_{hi}} \left(\frac{n_r}{d_r} - \frac{1}{M_{hi}} \sum_{r=1}^{M_{hi}} \frac{n_r}{d_r} \right)^2 \\ &= \frac{1}{M_{hi}-1} \left[\sum_{r=1}^{M_{hi}} \left(\frac{n_r}{d_r} \right)^2 - \frac{1}{M_{hi}} \left(\sum_{r=1}^{M_{hi}} \frac{n_r}{d_r} \right)^2 \right] \quad \dots\dots\dots (10) \end{aligned}$$

となる。ここで $1/d_r = 1/[d_{hi}(1 + \Delta_{hir}/d_{hi})]$ を展開して Δ_{hir}/d_{hi} の 2 次以上の項を省略すると

$$S_{hi}^2 \doteq \frac{1}{d_{hi}^2} \frac{1}{M_{hi}-1} \left(\sum_{r=1}^{M_{hi}} n_r^2 - \frac{1}{M_{hi}} \left(\sum_{r=1}^{M_{hi}} n_r \right)^2 - \frac{2}{d_{hi}} \sum_{r=1}^{M_{hi}} n_r^2 \Delta_{hir} \right) \quad \dots\dots\dots (11)$$

() 内の第 3 項は一般には大きくないであろうから

$$S_{hi}^2 \doteq \frac{1}{d_{hi}^2} \frac{1}{M_{hi}-1} \left(\sum_{r=1}^{M_{hi}} n_r^2 - \frac{1}{M_{hi}} \left(\sum_{r=1}^{M_{hi}} n_r \right)^2 \right) \quad \dots\dots\dots (11')$$

としてもさしつかえなからう。

II. いくつかの問題点

産卵総量推定値の信頼性については SETTE & AHLSTROM が詳細に論じている。ここでは、これ等の意見を参照しつつ若干の考察を進め、問題点を提示したい。

1) 産卵調査定線の問題

産卵調査の定線は、普通、それまでの経験から卵が多く分布していると考えられる海域及び時期をねらって、調査船運航の都合と合せて適当に引かれる。したがって、定線の引き方、調査実施の日程はかなり有意的なものである。又、観測は数日間にわたって次々と場所を移動しつつ続けられるため、一つの点の観測時点と次の定点における観測時点とは $\xi-\tau$ 平面上での独立な 2 つの観測とはみなしがたく、一種の系統抽出となつている。

一方前節で導いた推定法は観測時点がすべて $\xi-\tau$ 平面からの独立な random sample であることを前提としている。 $\xi-\tau$ 平面からの独立な random sampling が容易に実現できるならば、当然定点、観測日時をえらび方を random になるようにして産卵調査を設計すべきである。しかし、現実には船の運航の面から、任意の定点、日時をえらぶということはおそらく不可能であろう。この推定の立場と実際の立場の矛盾を解決することが、産卵調査方法を改善するための緊急の課題である。

もし卵の分布自身が random である場合(細分された各層の中だけでよい)には、観測時点の決定は船

の運航の面のみで決定することができる。しかし、卵の分布は、今までに得られた資料からも明らかなように、細分された層内だけで考えてもけつして一様ではない。せまい海域のその又一部に濃密な卵の分布がみられることはごく普通のことである。産卵直後と思われる卵は極度の集中分布を示すが、これが時間とともに拡散して、より一様な分布へと変化してゆく。このようにごく小範囲をとつても不均質な分布をしているので、有意的に決定された観測時点を random sample とみなし得るといふ保障は全くない。

現実に行し得る確率化の範囲内で確率的抽出法を設計することができるならば、この抽出法に対応した推定法を考案することは可能である*。しかし、実行可能の確率化の範囲はかなり制限されたものであるから確率的抽出を行うには、卵の分布自身のもっている性質を充分に利用することが必要であろう。産卵、卵の分布等に関する生態の調査研究の重要性もここにある。

SETTE & AHLSTROM は定点のえらび方による誤差を interpolation の誤差として論じている。もし定点が random sample であるならば、これは標本誤差であつて、その大きさを見積ることができるし、卵の分布の性質がわかれば、この誤差を少なくするように計画を設計することもできる。

2) 卵の存在時間 d_u の推定

採集された個々の卵についての d_u は産卵量推定の基礎となる観測値である。 d_u の観測誤差はみつもられない誤差として産卵調査の精度に大きな影響をもつ。しかるに、我々は直接的に d_u を知る事は不可能であり、周囲の条件から推定し得るにすぎない。 d_u は、平均的には、卵の孵化時間及び途中での減耗の程度に支配される。孵化時間は主として温度によつて決定され、水温と孵化時間の関係は、ある魚種についてはいくつかの実験、調査によつて示されている¹⁾³⁾⁴⁾。途中での減耗としては悪環境による死滅、親魚その他による被害等があるが、その数量的関係は明らかでない。ただ、採集卵の stage 別の組成から全体の減耗を推定するという試みがなされている⁵⁾⁶⁾。

一定の温度 θ にたもたれた卵の孵化時間 b は平均 b_θ 分散 σ_b^2 をもつて $f(b)$ なる分布をするものとし、又途中での減耗係数 m が発生 stage によらず一定であるとする、産卵されてからの時間 t とともに卵の減つてゆくようすは

$$e^{-mt} \int_t^\infty f(b) db$$

で与えられ、平均存在時間は

$$d_{\theta, m} = \int_0^\infty e^{-mt} \int_t^\infty f(b) db dt, \quad (12)$$

存在時間の分散は

$$\sigma_d^2 = 2 \int_0^\infty t e^{-mt} \int_t^\infty f(b) db dt - d_{\theta, m}^2 \quad (13)$$

となる。 σ_b^2 が 0 の時、即ち温度が与えられると b が函数的に決定される場合には

$$d_{\theta, m} = \int_0^{b_\theta} e^{-mt} dt = \frac{1}{m} (1 - e^{-mb_\theta}) \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \sigma_d^2 &= 2 \int_0^{b_\theta} t e^{-mt} dt - d_{\theta, m}^2 \\ &= \frac{2}{m^2} \{ 1 - (mb_\theta + 1)e^{-mb_\theta} \} - d_{\theta, m}^2, \end{aligned}$$

b_θ から $d_{\theta, m}$ を求めるための係数は

* 漁獲物全体の中から標本魚体をいきなり random sampling することはできない。抽出の段階を船→トロ箱→魚体というようにいくつにもわけて、各段階での抽出法を確率化することによつて、全体としての魚体の確率的抽出が可能になる。そして、このような多段階抽出法のための推定法は容易にもとめられる。これと同様なことが産卵調査についてもいえる。

$$k = \frac{d_{\theta, m}}{b_{\theta}} = -\frac{1}{mb_{\theta}}(1 - e^{-m \cdot b_{\theta}})$$

となる。 k 及び d の変動係数 C_d はともに (mb_{θ}) の値だけで決定される。Table 1 には種々の (mb_{θ}) の値について k 及び C_d の値を示してある。

m , b_{θ} の値がわかっているならば Table 1 を用いて $k \cdot b_{\theta}$ として $d_{\theta, m}$ を計算し、これを平均存在時間 d_u として (5) 式、或は (7) 式によつて産卵総量を推定することができる*。 b_{θ} は水温から推定される。た

Table 1. Values of $e^{-m \cdot b_{\theta}}$, k and C_d for various mb_{θ} . m ; mortality coefficient of eggs. b_{θ} ; incubation time. $e^{-m \cdot b_{\theta}}$; rate of survived eggs at the time of hatching. k ; rate of d_{θ} to b_{θ} , where d_{θ} is mean duration from spawning to death or hatching under the effect of mortality. C_d ; coefficient of variation of d_{θ} .

mb_{θ}	$e^{-m \cdot b_{\theta}}$	k	C_d
0.0	1.000	1.000	0.000
0.1	0.905	0.952	0.183
0.2	0.819	0.906	0.257
0.35	0.705	0.844	0.341
0.5	0.607	0.787	0.407
0.7	0.497	0.719	0.479
0.9	0.407	0.659	0.540
1.2	0.301	0.582	0.618
1.6	0.202	0.500	0.701
2.3	0.100	0.391	0.808

例えばマイワシについては小林²⁾が水温 20°C で 24 時間 40 分で孵化したことを報告しており、村上、早野³⁾は 14.5°C で 74~82 時間と推定している。中井⁴⁾は一はらの卵を人工受精させていろいろの温度について孵化させ、温度と孵化時間の関係をしらべている。一方 AHLSTROM²⁾は pilchard について、産卵時刻及び発生 stage から温度と孵化直前までの時間の関係を求めている。AHLSTROM の結果では、stage XI (孵化直前) に達するまでの時間は、対数をとった時、温度に対して直線回帰を示し、個々の点は回帰直線のまわりにだいたい ± 0.07 (対数で、真数になおすと約 $\pm 20\%$) の巾をもつて分布している。AHLSTROM はこの点のちらばりの原因をいろいろあげているが、我々の場合問題になるのはそれ等のうちで、個体差によるもの、ある地点の代表水温と実際に卵の分布していた場所の水温の差によるもの、採集時の水温とその時まで経過してきた水温の差によるものの 3 つであろう。観測された水温

から孵化時間を推定する場合には以上の外的原因は考えなくてもよいから、点のばらつきは AHLSTROM の得た結果よりさらに小さくなっていると考えられる。変動係数でいつて 10% をこえることはないであろう。したがって AHLSTROM の方法を利用するならば** 卵の採集(調査地点の抽出ではない)が random であるかぎり、観測された水温を用いてかなり正確に b_{θ} を推定することができると思われる。

減耗係数 m は個々の卵について考えることはできない。ある海区、ある時期について平均的意味において存在する。いいかえるならば、特定の海区時期における個々の卵の死ぬ確率に関係している。もしその海区、時期内において m が一定で、かつ卵の採集が random に行われているならば、平均としての意味において m を用いて個々の卵の存在時間を推定してさしつかえないであろう。SETTE & AHLSTROM は減耗の影響は他の要因による誤差にくらべると無視し得るとのべている。しかしこれは、卵を各 stage 別に推定したために mb_{θ} に相当する量が小さくなった結果であつて、すべての卵を用いる場合には減耗の影響も無視し得ないであろう。現在までの所、 m の値について満足すべき結果はほとんど発表されておらず、さらに海区別、時期別又水温別*** に正しく m を推定することは多くの困難をとまうであろう。しかし、 d_u

* Table 1 で (mb_{θ}) が大きくなるにしたがつて C_d が大きくなること、即ち θ が一定であつても d_u の変動が大きくなることは、一回の観測によつて得られる卵の個々の d_u がかなり変動し、したがつて (5) 式で用いた近似が悪くなり、かたよりのはいるおそれのあることを示している。

** AHLSTROM の関係式は観測水温と孵化時間の関係として与えられるので、正しい水温と観測された水温が異なつていたとしても、それは回帰直線からのばらつきを増すだけで問題はない。中井の方法は正しい水温と孵化時間の関係を与えるので、観測された水温が正しい水温とちがつている時はその誤差が問題となる。勿論 AHLSTROM の回帰直線の数値は個々の条件のもとで求めなければならない。

*** 卵の減耗が時間の軸に固定された要因で起る時は、孵化時間の長短と m の値は無関係であるが、発生段階に結びついたものであるならば、孵化時間の長短により孵化までの減耗の割合は変わらないが、 m が変ると考えられる。これ等の組合さつた場合には状況は複雑である。

の見積りちがいは直接結果にかたよりを与える点で重要であり、今後の一そうの研究が望まれる。

3) 垂直曳の誤差

プランクトンネットによる採集の誤差に関しては、WINSOR & WALFORD⁹⁾、WINSOR & CLARKE¹⁰⁾ によつて統計的に吟味されている。SILLIMAN⁸⁾ 及び SETTE & AHLSTROM⁷⁾ は同様な考えで pilchard の卵について論議している。これ等は、いずれもプランクトンや卵の採集量を通じての考察であつて、水中におけるネットの物理的性質からの吟味は少いようである。

垂直曳の誤差はネットが正しく断面積 4π の円柱状の水を濾過したかどうかということにかゝっている*。誤差の原因の一つは、 4π がつねに一定であつたかということである。 4π はネットの口面積よりかなり小さいものであり、さらに WINSOR & CLARKE によれば必ずしも口面積に比例しないものようである。別の実験によつて正しく求めなければならない。しかもネットの古さによつて影響をうけ**、その時のプランクトン採集量によつても左右される。さらに重要な点は、下層からひきあげられるにしたがつてネットの網目がふさがれ、次第に 4π が小さくなるであろうことである。卵は一般にごく上層に濃密に分布しているとみられるが、下層に多量のプランクトンが浮游している時には、上層での濾過面積ははじめの 4π よりはるかに小さくなっている可能性がある。今一つの誤差は、ネットが正しく垂直に引上げられないことによる。ネットをおろすワイヤーの長さは正しく一定に保つても、風や海流によつて流されて、曳く角度が傾いた時には、ネットの達する深さはワイヤーの長さより浅くなり、しかも濾過する水柱の長さはワイヤーの長さより長くなる。SILLIMAN や SETTE & AHLSTROM もみとめているように、濾水計を用いてもほとんどこの状態は改善されない。物理的な面からの観測器具、技術の改善の要がある。

従来、統計的に観測誤差を吟味するには、同一地点、時刻における何回かの繰返し間の差をもとにしている。勿論この差のある部分は観測誤差であろうが、他の部分は、微小な地点、時刻の差による当然の差である。微小な空間、時間の範囲内における海洋条件の一樣性、その中で卵の分布の任意性を仮定するならば微小空間、時間内での観測値は、誤差がなければ、Poisson 分布をすると考えられる。したがつて、卵の密度（期待される採集卵数）の高い所では、微小な地点、時刻の差による必然的な差（標本誤差）は変動係数であらわすとあまり高くないとみてよい*** が、卵の密度が低い時にはかなり高くなるので、繰返し間の差の中の大きな部分は当然の差であつて、観測誤差ではない。Poisson 分布を仮定できない時には、観測誤差と地点、時刻間の差が交絡しているので分離することは困難である。

観測誤差がある時は推定値の誤差は標本誤差だけよりも大きくなるが、観測値とその誤差が独立で、誤差の期待値が 0 であるならば、推定値はやはり不偏であり、その分散公式中の母分散の値は、誤差を含んだ観測値そのものによつて正しく推定される。これに対して、観測誤差が観測値と独立でなく、しかも一定の方向性をもっている時には、かたよりがはいる。卵採集量の場合、WINSOR & WALFORD や SILLIMAN によれば、観測値と繰返し間の差が比例関係にあるので、上記の都合のよい方の状態にはない。観測誤差を小さくすることが重要である。

IV. 要 約

1) 垂直曳による卵採集の資料を用いて、産卵総量を推定する方法を標本調査の立場から考え、推定公式及び推定値の分散公式を得た。公式は観測時点が卵の分布する全空間、時間からの random sample である

* プランクトンの場合は、それ自身の游泳力による逃避も考えられるが、卵の場合は濾過水柱の形のみよると考えてよからう。WINSOR & WALFORD は濾過する水量の変動によつて観測誤差が生ずると仮定して観測卵数とその変動の間の直線関係を導いている。しかし、卵の垂直分布を考えると、水量のみでは誤差はあらわせないであろう。

** 文献 12) 120 頁参照。

*** Poisson 分布の場合の変動係数は、平均を m とすると $1/\sqrt{m}$ である。 $m=100$ の時には $1/10$ であるが、 $m=10$ 程度では 0.32 とかなり高くなる。WINSOR & WALFORD の導いた式 $\sigma_n^2 = m + K^2 m^2$ で考えるならば、 K^2 の大小（誤差の大小）及び m の大小によつて全体の分散 σ_n^2 中で誤差による部分の比率がかわる。

場合及び空間、時間を階層にわけ、層別に random sampling を行つた場合について示した。

2) 推定方法に関する二三の問題点について吟味した。現実に行われる産卵調査定線は有意的なもので、random sample ではない。したがつて、従来の資料を機械的に公式にあてはめても正しい結果は得られない。調査時点の抽出法を確率化するために、産卵の生態、卵の分布様式についての研究が必要である。推定の基礎となる観測値、即ち個々の卵の存在時間を正しく見積るために、卵の減耗の程度、水温と孵化時間の関係についてさらに研究をすることが必要である。垂直曳の技術、ネットの構造等、採集方法の誤差及びその改善についての物理的、統計的面からの研究が重要である。

V. 文 献

- 1) E. H. AHLSTROM : "Influence of temperature on the rate of development of pilchard eggs in nature", *Spec. Sci. Rep. Fish.* **15**, 132—167, (1943).
- 2) 小林久雄 : "真鯛卵人工孵化の研究", 海洋の科学, **4** (7), 33—38, (1944).
- 3) 村上子郎, 早野孝教 : "昭和 27 年鯷資源協同研究経過報告", 西海区水産研究所, (1955).
- 4) 中井甚二郎 : 日本水産学会年会講演, (1950).
- 5) ——— その他 : "昭和 24—26 年鯷資源協同研究経過報告", 東海区水産研究所, (1955).
- 6) O. E. SETTE : "Biology of the Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) of North America. Part I. Early life history", *Bull. Fish. Wild. Serv., U. S. Dept. Inter.*, **50**, 149—237, (1943).
- 7) ———, and E. H. AHLSTROM : "Estimations of abundance of the eggs of the Pacific pilchard (*Sardinops caerulea*) off southern California during 1940 and 1941", *Jour. Mar. Res.*, **7**, 511—542, (1948).
- 8) R. P. SILLIMAN "A study of variability in plankton tow-net catches of Pacific pilchard (*Sardinops caerulea*) eggs", *Jour. Mar. Res.*, **6**, 74—83, (1946).
- 9) C. P. WINSOR and L. A. WALFORD : "Sampling variations in the use of plankton nets", *Jour. Cons. Int. Explor. Mer*, **11**, 190—204, (1936).
- 10) ——— and G. L. CLARKE : "A statistical study of variation in the catch of plankton nets", *Jour. Mar. Res.*, **3**, 1—34, (1940).
- 11) 山中一郎, 田中昌一 : "産卵調査に関する一つの検討" いわし資源調査担当官会議資料, **5**, 日本海区水産研究所, 20—25, (1953).
- 12) 横田滝雄 : "日向灘・豊後水道のイワシ類の研究' 南海区水産研究所報告, **2**, (1953).