

水産学シリーズ

46

日本水産学会監修

水産資源の 解析と評価

その手法と適用例

石井丈夫 編

1983・10

恒星社厚生閣

出版委員

江草周三 小倉通男 鴻巣章二
清水 潮 須山三千三 田中昌一
野村 稔 羽生 功 尾藤方通 松本重一郎

水産学シリーズ[46] 0362-150460-2244 定価1800円

水産資源の解析と評価 その手法と適用例

Population dynamics of fishery resources

昭和58年10月15日発行

編者 石井 丈夫

監修 社団法人 日本水産学会
法人

〒108 東京都港区港南4-5-7

東京水産大学内

発行所 東京都新宿区三栄町8 株式会社 恒星社厚生閣
振替 (東京) 0-59600
Tel (359) 7371~5 会社

©日本水産学会, 1983 興英文化社・風林社塚越製本

ま え が き

漁業の対象となる魚種について、その資源動態を解析し、評価することは、合理的利用などの上からきわめて重要なことであり、これまで多くの手法が開発、適用されてきた。しかし近年コンピューター利用の普及と解析用プログラムの公開・利用が進められた結果、新しい手法が提案され、その応用事例も報告されている。

国際漁業の場合は、複数国間で種々の手法が提案され、資源の解析・評価に用いられている。将来の応用あるいは適用のためにこれらの手法について討議・検討しておくことが必要である。さらに、200カイリ漁業水域の設定に伴い沿岸漁業ならびに地先漁業でも、対象魚種についての解析・評価が数多く実施されてきている。

資源解析・評価の手法の合理的適用法の確立と手法の発展を期するために、種々の手法の特徴をふまえて資源解析・評価に対する問題点の整理・検討を行い、将来これらの手法を適用する際の有効な指針をつくる必要がある。

以上のような背景をもとに、日本水産学会では昭和58年4月5日、春季大会の一行事として「資源の解析・評価の方法の現状と問題点」と題する下記のシンポジウムを東京水産大学において開催し、研究成果を紹介すると共に問題点について総合的に討議した。

資源の解析・評価の方法の現状と問題点

企画者 石井 丈夫(東大海洋研)・能勢 幸雄(東大農)・藪田 洋一(東海水研)

開会の挨拶

石井 丈夫(東大海洋研)

I. 適用例と問題点

座長 河井 智康(東海水研)

1. ベーリング海ズワイガニでの評価

竹下 貢二(西海水研)

2. 瀬戸内海におけるガザミ加入量の推定

石岡 清英(南西水研)

座長 北原 武(京大農)

3. ホッケ道北系統群でのコホート解析

入江 隆彦(北水研)

4. 日本海定置網漁業での評価

加藤 史彦(日本海水研)

座長 平山 信夫(東水大)

5. 沿岸水産生物の資源評価

松宮 義晴(長崎大水)

6. 産卵量情報を用いた解析

上野 正博(京大農)

II. 解析・評価手段の現状

座長 石井 丈夫(東大海洋研)

1. 卵数法

渡部 泰輔(東海水研)

- | | |
|---------------|------------------|
| 2. 生長・生残モデル | 嶋津 靖彦 (東海水研) |
| | 座長 田中 昌一 (東大海洋研) |
| 3. シミュレーション法 | 白木原国雄 (水大校) |
| 4. プロダクションモデル | 鈴木 治郎 (遠洋水研) |
| Ⅲ. 総合討論 | 座長 石井 丈夫 (東大海洋研) |
| | 藪田 洋一 (東海水研) |
| 閉会の挨拶 | 藪田 洋一 (東海水研) |

本書は、当日の講演を中心として質疑応答ならびに総合討論の要旨とシンポジウム出席者が記入提出されたアンケートについて、編集したものである。編集の際、資源解析に用いる主要要因、特性の記号については、栗田(1964)によった。しかし、近年開発された手法については、ここに記載されていない記号を加えた場合もある。参考として付録にさきの報告中の記号一覧表を再掲した。

本書が漁業資源解析研究の発展と解析手法の進歩にいささかなりとも寄与できれば、本シンポジウムを企画し、その記録のとりまとめに当たった者としては望外の喜びである。本書の出版に際しては、日本水産学会の関係者各位ならびに恒星社厚生閣の担当者各位には種々お世話頂いた。ここに深甚なる謝意を表すものである。

昭和58年6月

石井 丈夫

水産資源の解析と評価 目次

—その手法と適用例—

まえがき(石井丈夫)

I. 解析・評価手法の現状

1. 卵数法(渡部 泰輔)..... 9
 §1. 産卵量による資源量の推定(10) §2. 沿岸回遊性魚類の資源評価(20) §3. むすび(26)
2. コホート解析(嶋津 靖彦).....30
 §1. コホートということば(30) §2. シングル・コホート解析(31) §3. マルチ・コホート解析(37) §4. コホート解析の問題点と展望(43)
3. シミュレーション法(白木原国雄).....46
 §1. シミュレーションの実施手順(47) §2. シミュレーション法の検討すべき点(47) §3. 適用例(49) §4. おわりに(56)
4. プロダクションモデル(鈴木 治郎).....59
 §1. モデルの歴史的変遷(59) §2. モデルの一般的な特性(61) §3. モデルのあてはめに関する問題点(62) §4. 事例からみた問題点(64) §5. まとめ(67)

II. 適用例と問題点

5. ベーリング海ズワイガニでの評価(竹下 貢二).....69
 §1. 調査の概要(69) §2. 標識放流に基づく漁獲効率の推定(73) §3. むすび(77)

6.	瀬戸内海におけるガザミ加入量の推定	……………(石岡 清英)……………79
	§ 1. 成長(79) § 2. 自然死亡係数(M)(80) § 3. 成長と生活史のモデル(81)	
	§ 4. その他の資料(81) § 5. 加入量の推定(82)	
	§ 6. 残された問題点(89)	
7.	ホッケ道北系群でのコホート解析	……………(入江 隆彦)……………91
	§ 1. ホッケ道北群の概要(91) § 2. コホート解析による資源量の推定(92)	
	§ 3. コホート解析の適用上の問題点(102)	
8.	日本海定置網漁業での評価	……………(加藤 史彦)…………… 104
	§ 1. 富山湾と湾内定置網漁業の概要(104) § 2. 調査および解析の方法(106)	
	§ 3. 結果(109) § 4. 適用上の問題点(113)	
	§ 5. むすび(114)	
9.	沿岸水産生物の資源評価	……………(松宮 義晴)…………… 115
	§ 1. 手法の特徴(115) § 2. 漁獲統計資料の解析(115)	
	§ 3. 標識放流法(118) § 4. 卵稚仔調査と試験操業(121)	
	§ 5. その他の手法(126)	
10.	卵稚仔定量採集方法の相互検定	……………(上野 正博)…………… 130
	§ 1. 反復採集調査(130) § 2. 反復採集における採集数の変動(131)	
	§ 3. 異なる採集方法の相互検定(137)	
	質疑応答・総合討論	…………… 141

Population dynamics of fishery resources

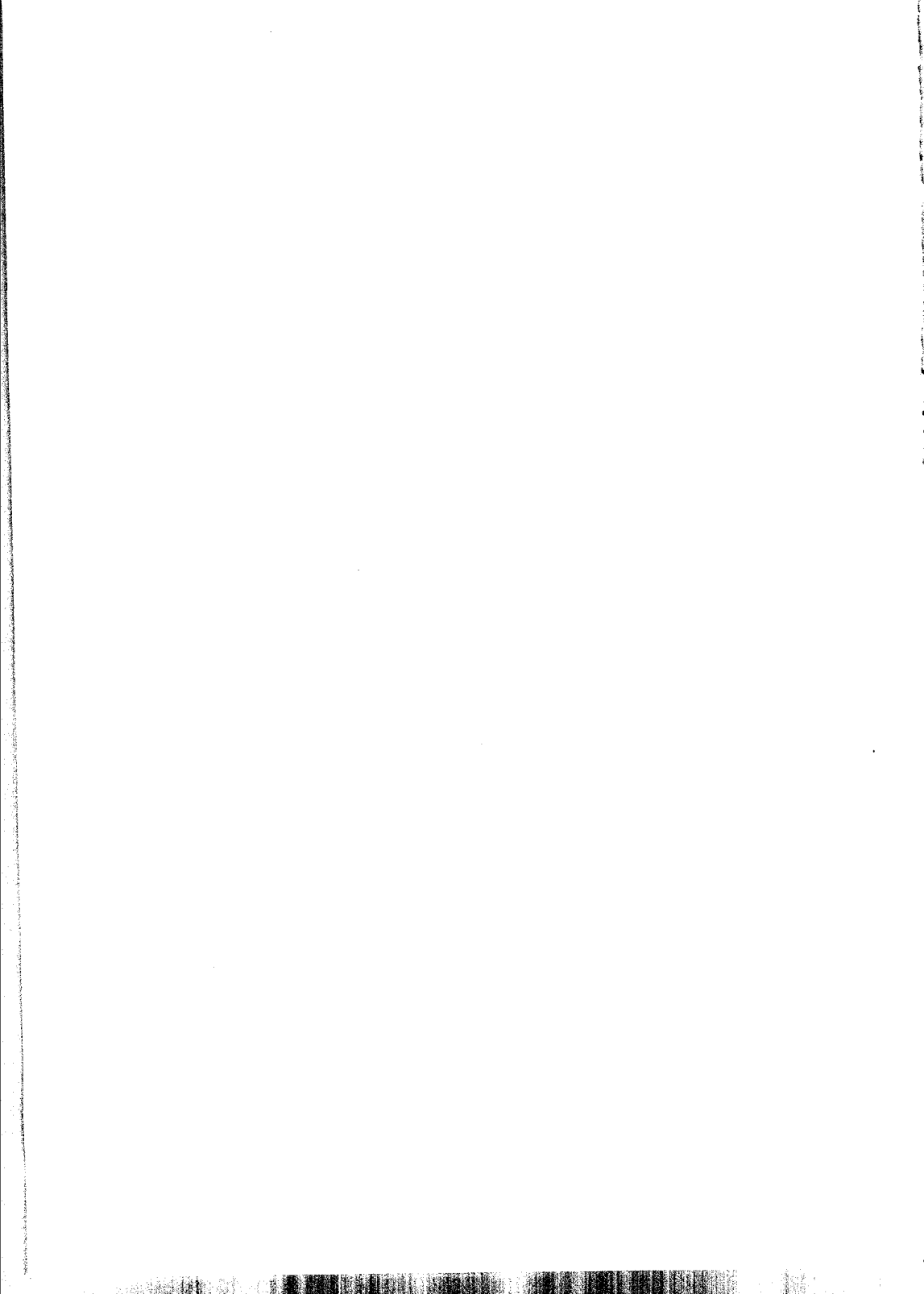
Edited by TAKEO ISHII

I. Estimation methods of fish population parameters

- | | |
|---------------------------|-------------------|
| 1. Spawning survey method | TAISUKE WATANABE |
| 2. Cohort analysis | YASUHIKO SHIMAZU |
| 3. Simulation method | KUNIO SHIRAKIHARA |
| 4. Production model | JIRO SUZUKI |

II. Case studies and problems

- | | |
|---|---------------------|
| 5. Abundance of tanner crab in the Bering Sea | KOJI TAKESHITA |
| 6. Recruitment size of blue crab in The Seto Inland Sea | KIYOHIDE ISHIOKA |
| 7. Cohort analysis of the Northern Subpopulation of Hokke | TAKAHIKO IRIE |
| 8. Yellowtail caught by set net in Japan Sea | FUMIHIKO KATO |
| 9. Fishery resources in coastal waters of Japan | YOSHIHARU MATSUMIYA |
| 10. Variability of catches by ichthyoplankton net and intercalibration of quantitative nets | MASAHIRO UENO |



I. 解析・評価手法の現状

1. 卵数法

渡部 泰輔*

卵・稚仔期の分布様式や分布量を知るための調査は、一般に産卵調査と呼ばれており、わが国では戦後、イワシ資源調査の一環として、1949年以降、全国的規模で開始され¹⁾、その後、イワシ類・サバ類・アジ類・スルメイカなどの

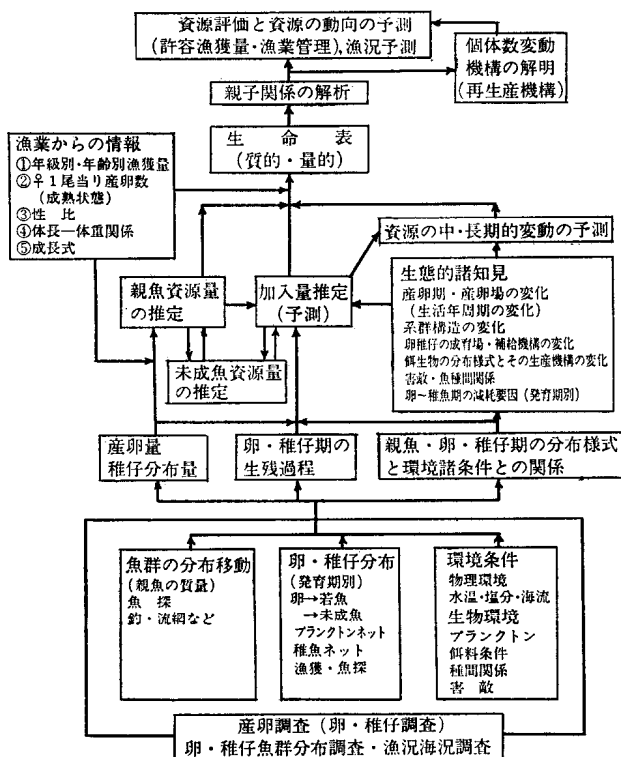


図 1-1 産卵調査による資源評価までの流れ図

* 東海区水産研究所

沿岸重要資源調査，漁海況予報調査へとひきつがれ，200カイリ時代に入り，卵・稚仔分布量調査へと発展してきている。

産卵調査による産卵量や親魚資源量の推定は，日本とアメリカで1940年代から50年代始めにかけて，それぞれにイワシ類・サバ類などを対象に行われたのが嚆矢とされる（中井ら¹⁾，田中^{2,3)}，NAKAI & HATTORI⁴⁾，NAKAI⁵⁾，SETTE⁶⁾，SETTE & AHLSTROM⁷⁾）。

産卵調査の目的は，漁業とは独立に，科学的な調査計画に基づき，漁業では得ることのできない産卵期・産卵場，卵・稚仔期の分布様式や生残り，親魚の質・量，無機的・生物的環境条件などの知見を得ることである。そして1) 総産卵量（稚仔量）を求め，資源の絶対量，資源の諸特性値さらに資源を望ましい状態に維持するための許容漁獲量を推定すること，2) 卵・稚仔期の生残りと環境諸条件との関係を明らかにし，年々の加入量を予測すること，3) さらに年によって変動する加入量の変動要因をつかみ，個体数の変動機構を解明して，資源の評価，資源の動向および漁況の予測に寄与することである（図1・1）。

産卵調査は戦後の多くの困難の下に各都道府県水産試験場の協力を得て継続され，多くの知見が得られている。そしてこれには東海区水産研究所の初代資源部長中井甚二郎博士はじめ水研・水試の諸先輩の努力に負うところが大きく，これを継承し，今後さらに発展させていくことが必要である。

ここでは，これまでに確立された産卵量による資源量および許容漁獲量の推定方法について述べ，これに基づきマサバ・マイワシの各太平洋系群の資源変動について，ふれることとする。

§1. 産卵量による資源量の推定

イワシ類・サバ類・アジ類などの沿岸回遊性の浮魚類は産卵期には親魚が産卵場に集まって浮遊性の卵を産出し，卵・稚仔期には海の流れにしたがって表層近くを次第に分散・漂流しながら発育していく。スルメイカ・サンマなども稚仔期には浮遊性の時期を経過する。したがって，卵・稚仔はプランクトンネットや稚魚ネットによって，定量的に採集することができる。

プランクトンネットにより海中に分布する卵を採集し，産卵期中に産み出された総産卵量を推定して，これを雌1尾が産み出す産卵数および親魚中の雌の占める割合（性比）で除すと，親魚資源尾数が推定され，資源の諸特性値を求めることができる（NAKAI⁵⁾，田中^{3,8)}，渡部^{9,10,11)}，松浦¹²⁾，小西¹³⁾，服部¹⁴⁾，

佐野¹⁵⁾).

1.1 産 卵 量

わが国における沿岸重要資源の産卵調査は各都道府県の水産試験場による月1回の沿岸定線調査, および国が実施する主要産卵期を中心とした沿岸・沖合の調査があり, 主産卵期・産卵場には観測点を集中的に配している. 卵・稚仔の定量採集には, 口径45 cmまたは60 cmのプランクトンネット(網目0.33 mm, NGG 54)の鉛直曳(0←150 m, 海深150 m以浅では底)が用いられている.

総産卵量の推定方法は中井ら¹⁾, NAKAI & HATTORI⁴⁾, 田中^{2,3,16)}の報告があり, 標本調査の手法が用いられる. ここでは, NAKAI & HATTORI⁴⁾の方法にしたがい, その計算方法を述べることにする.

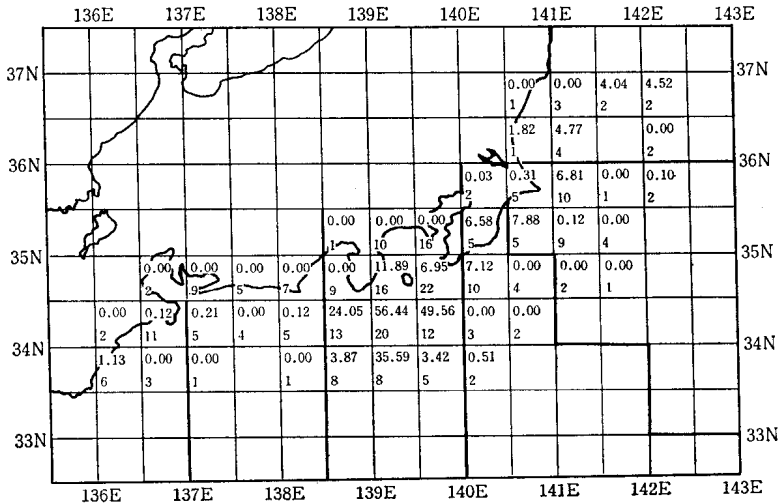


図 1-2 産卵調査によるマサバ太平洋系群の小海区(緯度経度30' 柵目) 別産卵量の一例(1980年4月).

柵目内 上段:産卵量, 下段:採集地点数, 平均生残率 $\bar{S}=0.571$

4月の産卵量: 237.96×10^{12} , 4月の採集地点数: 283

マサバ太平洋系群の1980年4月の小海区別の産卵量を例として図1-2に示した. なお NAKAI & HATTORI⁴⁾ はマイワン・カタクテイワシの卵分布が沿岸域に分布密度が高いことから, 200 m 等深線沿いに10カイリ毎の帯状の小海区に区分している. ここでは緯度・経度30' 柵目の小海区(i)に区分し, 小海区を幾つか含む中海区(i)に階層分けした.

全産卵期にわたる総産卵量 (\hat{E}) および \hat{E} の分散 ($V(\hat{E})$), 精度 (CV) は次式により求められる。

$$\begin{aligned}\hat{E} &= \sum_t E_t = \sum_t \sum_i E_{it} = \sum_t \sum_i \sum_j E_{ijt} \\ &= \sum_t \sum_i \sum_j \left(\frac{1}{\bar{s}} \cdot \frac{D_t}{d_{ijt}} \right) \bar{X}_{ijt} \cdot A_{ij} \dots \dots \dots (1.1)\end{aligned}$$

$$V(\hat{E}) = \sum_t \sum_i \sum_j \left(\frac{A_{ij}}{\bar{s}} \cdot \frac{D_t}{d_{ijt}} \right)^2 V_{ijt} \dots \dots \dots (1.2)$$

$$CV = \frac{\sqrt{V(\hat{E})}}{\hat{E}} \times 100\% \dots \dots \dots (1.3)$$

ここで

E_t : t 月の全海区産卵量

E_{it} : t 月の i 中海区の産卵量, $E_t = \sum_i E_{it}$

E_{ijt} : t 月の i 中海区内 j 小海区の産卵量, $E_{it} = \sum_j E_{ijt}$

V_{ijt} : t 月の i 中海区内 j 小海区の X_{ijt} の分散

\bar{X}_{ijt} : t 月の i 中海区内 j 小海区の 1m^2 当り平均卵数

A_{ij} : i 中海区内 j 小海区の海面面積

\bar{s} : 全産卵期間・全海区における卵時代平均生残率

d_{ijt} : t 月の i 中海区内 j 小海区の平均ふ化日数

D_t : t 月の日数

(1) \bar{X}_{ijt} および V_{ijt} の求め方:

$$\bar{X}_{ijt} = \frac{\sum_{k=1}^n X_k}{n}$$

$$V_{ijt} = \frac{\sum_{k=1}^n X_k^2 - \left(\sum_{k=1}^n X_k \right)^2 / n}{n(n-1)}$$

n : t 月の i 中海区内 j 小海区の採集地点数

X_k : t 月の i 中海区内 j 小海区の k 採集地点における 1m^2 当り卵数
なお 1m^2 当り卵数 (X_k) は次式により求められる。

$$X_k = \frac{x_k}{f_k \cdot \Delta s} = x_k \cdot \frac{R}{r_k} \cdot \frac{1}{\Delta s}$$

$$f_k = \frac{r_k}{R}$$

x_k : k 地点におけるネット1曳網当り採集個体数

f : 汙水率

R : 汙水計をネットに装着しないで曳行したときの1m当り平均回転数

r_k : k 採集地点における本採集(ネットを装着)時の汙水計の1m当り回転数

Δs : ネットの口面積

口径 45 cm (⊙B ネット) ……0.1590 m²

口径 60 cm (⊕A' ネット) ……0.2827 m²

ここでいう汙水率はワイヤー延長距離に対し求められたものであり、実際には、曳網中の風・流れによりワイヤーに傾角がつき曳網距離はワイヤー延長距離を上回っている。したがって採集卵数をこの汙水率で除すと、ネットの口面積とワイヤー延長距離に相当する水柱内に分布する卵数が推定される。ここでは傾角(θ)による補正は行っていないが、実際の曳網深度は $\cos \theta$ を乗じた値より若干大きい場合が多い。採集方法には、このような鉛直採集のほか傾斜採集による方法があるが、前者は採集が簡単で、多数の観測点で採集できる点ですぐれ、後者は1観測点で、水平的により広い範囲の平均値が得られ稚仔の採集能力も高いが、調査船に特別の曳網装備を必要とし、小型船では困難であること、採集量が多く事後の処理に手間がかかるなど、一長一短が認められる。

(2) d_{jt} の求め方: 卵の発育速度は温度により影響を受け、温度が高まるほど、ふ化所要時間は短縮される。

NAKAI & HATTORI¹⁾ は ARRHENIUS の式を用いて、 d_{jt} を次式であらわされる。

$$\frac{1}{H} = a \cdot \exp \left\{ -\frac{\mu}{2} \cdot \frac{1}{T+273.16} \right\}$$

H : 受精後、ある発育期に達するまでの所要時間

$T+273.16$: 絶対温度

μ : 温度常数

a : 常数

t 月の j 小海区の平均ふ化日数 (d_{jt})

$$d_{jt} = \frac{1}{24} \cdot \frac{1}{a} \exp \left\{ \frac{\mu}{2} \cdot \frac{1}{\bar{T}_{ijt} + 273.16} \right\}$$

ここで、 \bar{T}_{ijt} : t 月 i 中海内 j 小海区の卵数加重平均水温(°C)

$$\bar{T}_{ijt} = \frac{\sum_{k=1}^n (T_k X_k)}{\sum_{k=1}^n X_k}$$

X_k : k 採集地点の 1 m^2 当り卵数

T_k : k 採集地点の水溫 (分布層の平均水溫が望ましい. ここでは表面または 10 m 深水溫で代表させている).

n : 採集地点数

(例) マイワシの受精後, A-stage 末 (原口閉鎖まで), B-stage 末 (尾芽の先端が卵黄を離れるまで), C-stage 末 (ふ化まで) までの所要日数は次式で求められる (渡部: 未発表)

$$d_{\sim A\text{末}} = 3.1087 \times 10^{-17} \exp\left\{\frac{21915}{2} \cdot \frac{1}{(\bar{T} + 273.16)}\right\}$$

$$d_{\sim B\text{末}} = 5.4393 \times 10^{-17} \exp\left\{\frac{21915}{2} \cdot \frac{1}{(\bar{T} + 273.16)}\right\}$$

$$d_{\sim C\text{末}} = 9.8619 \times 10^{-17} \exp\left\{\frac{21915}{2} \cdot \frac{1}{(\bar{T} + 273.16)}\right\}$$

(3) \bar{s} の求め方: 産卵時刻は種によってはほぼ定まっており (イワシ類・サバ類などは前夜半), 一般に産卵日時 (發育期) の異なる卵が同時に採集される. しかし夏季や熱帯水域では高水溫のため24時間以内にふ化したり, 寒冷水域ではふ化に長日時を要し, その間に調査海域外へ分散されるなど, \bar{s} の推定に工夫を要する場合もある. また卵時代の生殘曲線を推定するには, 發育期別の採集個体数が十分大きい必要があり, 全産卵期にわたる, あるいは数年をまとめた合計個体数を用いることもある.

發育期別1日当り存在個体数 (y) と産出後の経過日数 (x) との間に $y = a \cdot \exp(-zx)$ の関係式が成り立つものとするれば, 各發育期に達するまでの生殘率 $s = \exp(-zx)$ が推定される.

採集された卵には受精直後のものからふ化直前のものまで種々の發育期が含まれているので, 卵時代の平均存在日数 (\bar{d}) を推定し, その時点における生殘率を卵時代の平均生殘率 (\bar{s}) とした.

$$\bar{d} = \frac{\sum xy}{\sum y} = \frac{x_A y_A + x_B y_B + x_C y_C}{y_A + y_B + y_C}$$

$$\bar{s} = \exp(-z\bar{d})$$

ここで, x_A, x_B, x_C : 受精後, A, B, C 各発育期の中点までの所要日数
 y_A, y_B, y_C : A, B, C 各発育期の存在個体数をそれぞれの所要
 日数で除した値 (1日当り存在個体数)

(例) マイワシの1978~80年の3か年の卵数加重平均水温は 16.61°C , 受精
 後, A, B, C 各発育期中点までの所要日数はそれぞれ, 0.411, 1.131,
 2.024日, A, B, C 各発育期の1日当り存在個体数はそれぞれ 36.28×10^{12} ,
 17.87×10^{12} , 13.38×10^{12} である.

$$s = \exp(-0.6068x)$$

$$\bar{d} = \frac{36.28 \times 0.411 + 17.87 \times 1.131 + 13.38 \times 2.024}{36.28 + 17.87 + 13.38} = 0.921$$

$$\bar{s} = \exp(-0.6068 \times 0.921) = 0.572$$

(4) CV(精度): 卵は集中型の分布を示すため, 分散の大きい小海区がある
 が, 全産卵期・全海区のCVはマイワシでは10~19%, マサバで12~25%の範
 囲に入ることが多い.

1・2 親魚資源量および資源特性値

漁獲物より推定された年齢組成および年齢別雌1尾当り産卵数を用いて, 産
 卵量 (E) を年齢別産卵量に分離する.

$$N_{Ei} = E \cdot \frac{C_i n_i}{\sum_i C_i n_i} \dots\dots\dots(1.4)$$

ここで

N_{Ei} : i 年魚の産卵量

C_i : 親魚の年齢組成の中で i 年魚の占める比率

n_i : i 年魚の雌1尾当り産卵数

i 年魚の親魚資源尾数 (N_{Ai}) は雌1尾当り産卵数及び性比 (r) より

$$N_{Ai} = \frac{1}{r} \cdot \frac{N_{Ei}}{n_i} \dots\dots\dots(1.5)$$

親魚の総資源尾数 (N_A) は

$$N_A = \sum_i N_{Ai}$$

i 年魚の親魚の資源重量 (P_{Ai}) および親魚の総資源重量 (P_A) は,

$$P_{Ai} = N_{Ai} \cdot W_i \dots\dots\dots(1.6)$$

$$P_A = \sum_i P_{Ai}$$

ここで W_i : i 年魚の平均体重
 もし親魚の総漁獲尾数 (C_A) が推定されておれば親魚の漁獲率 (CR_A) は

$$CR_A = \frac{C_A}{N_A} = \frac{F_A}{F_A + M_A} (1 - S_A) \dots\dots\dots (1.7)$$

ここで

C_A : 親魚の総漁獲尾数

F_A : 親魚の漁獲係数

M_A : 親魚の自然死亡係数

S_A : 親魚の生残率

親魚の生残率 (S_A) はひき続く2年 (t 年および $t+1$ 年) の年齢別 (i 年魚から j 年魚まで) 親魚資源尾数より, 次式により求まる.

$$S_A = (N_{At+1, t+1} + N_{At+2, t+1} + \dots + N_{Aj, t+1}) / (N_{At, t} + \dots + N_{Aj-1, t})$$

親魚の全死亡係数 ($Z_A = F_A + M_A$) は $S_A = \exp(-Z_A)$ より求められ, F_A , M_A は(1.7)式により推定される.

1.3 未成魚の資源尾数

未成魚の年齢別 ($i-1, i-2, \dots$) 漁獲尾数 ($C_{A, i-1}, C_{A, i-2}, \dots$) が求められておれば, 未成魚の年級毎の年齢別資源尾数は親魚資源尾数から逆算することができる. ここで, 未成魚の自然死亡係数 (M) が成魚のそれ (M_A) とほぼ等しいとすると,

$$\frac{C_{At-1}}{N_{At}} = \frac{F_{t-1}}{F_{t-1} + M} \{ \exp(F_{t-1} + M) \} \dots\dots\dots (1.8)$$

ここで N_{At} : 最若年親魚 (i 年魚) の資源尾数,

$Z_{t-1} = F_{t-1} + M$, $S_{t-1} = \exp(-Z_{t-1})$ である.

最若年親魚の1年前の未成魚期の資源尾数 ($N_{j, t-1}$) は次式により求められる.

$$N_{j, t-1} = \frac{N_{At}}{S_{t-1}} \dots\dots\dots (1.9)$$

S_{t-1} が漁獲による年齢組成から推定できれば, 資源尾数は (1.9) 式より求められる.

$i-2, i-3$ 年魚の未成魚の資源尾数も同様にして求めることができる.

1.4 許容漁獲量

将来の資源量を好適な水準に維持するために必要な産卵量の水準が確保されるよう許容漁獲量を決定する必要がある. ある年の親の産卵量 (N_{Et}) とそれが成

魚となって何年かにわたり産卵した子の累積産卵量 (P) との間には密度従属的關係が認められ、RICKER 型の再生産曲線に適合する。

$$P = A \cdot N_{Et} \exp(-B \cdot N_{Et}) \dots \dots \dots (1.10)$$

A, B : 常数

そして親の産卵量 (N_{Et}) がある水準で子の累積産卵量 (P) が最大となることが期待される。しかし産卵量がある水準以上に達すると、子の累積産卵量は親の産卵量を大きく下回るようになる。資源の減少期には、好適な産卵量の水準を維持できなくなるが、再生産関係からみて、少なくとも資源を維持し得る最低限度の産卵量を確保し、早期に資源を増加期へ移行させる必要がある。

翌年 ($t+1$) の産卵量を望しい水準 ($N_{E,t+1}$) に維持するための t 年に保つべき生残率 (S_t) は次式により求められる。

$$S_t = N_{E,t+1} / (N_{A,t-1,t} \cdot n_t + N_{A,t,t} \cdot n_{t+1} + N_{A,t+1,t} \cdot n_{t+2} + \dots) r \dots \dots \dots (1.11)$$

ここで、

$N_{A,t-1,t}$: 翌年 ($t+1$ 年) には i 年魚として、初めて産卵に加わる。

n_t : i 年魚の雌 1 尾当り産卵数

r : 雌の性比

翌年 ($t+1$ 年) の産卵量を $N_{E,t+1}$ に維持するための同年に必要とする親魚資源尾数 ($N_{A,t+1}$) は

$$N_{A,t+1} = (N_{A,t-1,t} + N_{A,t,t} + N_{A,t+1,t} + \dots) S_t \dots \dots \dots (1.12)$$

自然死亡係数 (M) を年齢によらず一定 (既知) とすると、漁獲率 (CR_t) は t 年に保つべき生残率 (S_t) を用いて推定することができる。

$$CR_t = \frac{F_t}{Z_t} (1 - S_t) \dots \dots \dots (1.13)$$

翌年 ($t+1$ 年) の産卵量を $N_{E,t+1}$ に維持するための t 年の $i-1$ 年魚以上の許容漁獲尾数 ($TAC_{N,t}$) は

$$TAC_{N,t} = (N_{A,t-1,t} + N_{A,t,t} + N_{A,t+1,t} + \dots) CR_t \dots \dots \dots (1.14)$$

同じく許容漁獲重量 ($TAC_{P,t}$) は

$$TAC_{P,t} = (P_{A,t-1,t} + P_{A,t,t} + P_{A,t+1,t} + \dots) CR_t \dots \dots \dots (1.15)$$

ここに $P_{A,t-1,t} = N_{A,t-1,t} \cdot W_{t-1,t}$

$P_{A,t,t} = N_{A,t,t} \cdot W_{t,t}$

$P_{A,t+1,t} = N_{A,t+1,t} \cdot W_{t+1,t}$