

## MS-Excel を用いた年齢組成推定手法

佐野 二郎  
(研究部)

Method of Estimating the Age Composition by MS-Excel

Jiro SANO  
(Research Department)

海洋生物資源の保存及び管理に関する法律の改正に伴い、漁獲努力量規制による資源回復計画制度が導入され、本県が属する九州西ブロックにおいても現在トラフグを対象とした資源回復計画の策定を行っているところである。この回復計画策定ではコホート解析により現状の資源量、漁獲係数を推定し、その値を元にシミュレーションを行いながら漁獲係数の削減率や削減手法の検討を行うことになる。このコホート解析を行うには、正確な年齢別漁獲尾数が必要である。この年齢別漁獲尾数を求める手法として、中央水産研究所が作成したプログラムがあるが<sup>1)</sup>、このプログラム起動にあたって対象魚種の Bertalanffy 成長式が必要条件であることから、これが未知の魚種については対応できなかった。

更に、同じ魚種であっても成長式は地域によって異なることから、該当地区にどの成長式を適用するかによって年齢組成が異なったり、また該当地区での成長式が既知であっても卓越年級群については全長が全体的に小さくなること<sup>2)</sup>、そのような場合は既知の成長式パラメータを適用して求めた年齢組成は正確性を欠く恐れもあった。

更にこのプログラムは N88BASIC で作成されたものであり、Microsoft-Windows ソフトが普及した近年の環境では非常に使い難くなったのも事実である。

前述のプログラム以外にも、大きさ別の累積百分率を正規確率紙にプロットしその変曲点から年級組成に分解する Cassie の方法<sup>3)</sup>を用いた事例もあるが、この方法は一部手作業の部分があることからプログラム化ができず、しかも1年級ごとの作業が複雑であるため多くの年級に分かれる魚種を大量に処理することは非常に困難であった。

そこで本報告では、汎用性が高い表計算ソフトの Microsoft-Excel (以下「MS-Excel」という)を用い、作業効率が良く、しかも適正な年齢組成分解を行うためのモデルシートを作成することを目的とした。

また、今回作成したモデルシートを用いて求めた年齢組成を実際の年齢形質から分解した年齢組成と比較することにより、MS-Excel モデルシートの信頼性についても検討したので併せて報告する。

### 材料及び方法

#### 1. 年齢組成分解モデルシートの作成

今回のモデルシート作成にあたっては、2002年5月～'03年10月にかけて糸島地区において実施した漁業種類別のシログス全長測定結果を用いた。当地区におけるシログスの加齢月は、図1に示した GSI の変化から7月とした。また、調査期間中において出現した最大個体は全長が29cmで、鱗による年齢査定では5歳魚に該当することから<sup>4)</sup>、分解する年級数を0～5歳までの6年級とした。また、全長区間については9～33cmの範囲を1cm間隔で区切り25区間とした。

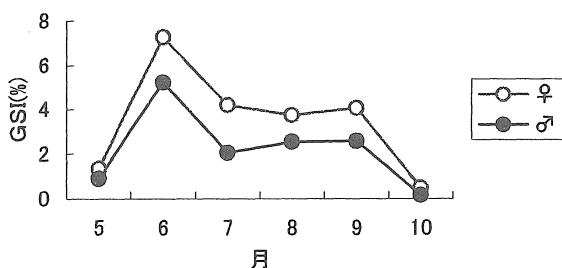


図1 シログス GSI の月別変化

モデルシート及び本文中で用いた記号は以下のとおりである。

- pi ……年齢 i の年齢組成 (推定するパラメータ)
- mi ……年齢 i の平均全長 (推定するパラメータ)
- σi ……年齢 i の標準偏差 (推定するパラメータ)
- Nx ……階級 x (全長 x ~ x+1) の標本数
- g(x) ……階級 x の混合正規分布確率密度
- fi(x) ……階級 x における年齢 i の正規分布確率密度
- C(x) ……階級 x における全長度数分布
- d<sup>2</sup>(x) ……階級 x における fi(x) と Cx の残差平方
- x<sup>2</sup>(x) ……階級 x における fi(x) と Cx の x<sup>2</sup> 値

また、正規確率分布密度関数は、

$$f_j(x) = p_j \times \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}$$

で、MS-Excel 関数では次のように表される。

$$f_i(x) = \text{NORMDIST}(x, m_i, \sigma_i, \text{FALSE})$$

また、理論上の g(x) は次式で表せる。

$$g(x) = \sum_{i=0}^5 f_i(x)$$

一方、実測値を基とした実際の各階級における全長度数分布は次式で表される。

$$C(x) = N(x) / \sum_{x=9}^{33} N(x)$$

理論値である g(x) と実際値である C(x) を全区間で最もあてはまりを良くするパラメータ pi, mi 及び, σi を推定するために、目的関数として表 1 に示す 3 式を設定した。<sup>5)</sup>

パラメータ推定にあたっては MS-Excel アドインツールである Solver を用い、その起動のため、以上の論理式を組み込んだ MS-Excel モデルシートを作成した。

表 1 Solver で測定をおこなった目的関数

目的関数の内容	論理式
① 残差平方和を最小にするようなパラメータ推定	$L(x) = \sum_{x=\text{min}}^{\text{max}} (G(x) - Cx)^2$
② $\chi^2$ を最小化にするようなパラメータ推定	$L(x) = \sum_{x=\text{min}}^{\text{max}} (G(x) - Cx)^2 / G(x)$
③ 最尤推定	$L(x) = \sum_{x=\text{min}}^{\text{max}} P(x) * \ln G(x)$

## 2. 目的関数の検討

目的関数別に適正解収束に必要な精度の最小値を求めるとともに、適正解収束時の A I C を求め解のあてはまりの良さを検討した。Solver による適正解探索は 3 手法とも精度を 10<sup>-8</sup> から開始し、適正解に収束しなかった場合は精度を 1 桁ずつ下げて適正解収束時の精度を求めた。

なお、A I C は赤池が提唱したモデル選択の情報量基準となる数値であり、次式により求めた。<sup>6)</sup>

$$A I C = -2 \times M L H + 2 \times (\text{パラメータ数})$$

## 3. 年齢形質を用いた年齢組成との比較検討

全長測定結果を Solver を用いて分解した正規分布と実際に年齢形質を確認しながら分解した正規分布の比較を行うため、'03年 9 月に小型底びき網で漁獲されたシロギス 92 個体を用いて検討した。

漁獲されたシロギスは全長を測定した後に、耳石を取り出し、平衡石に見られる透明帯の数を計数するとともに、各透明帯、及び平衡石の長径を計測した。この透明帯は年 1 回 3 ~ 4 月に形成されることから<sup>7)</sup>、透明帯の数と年齢を同一と見なし、また透明帯の数別の全長組成は正規分布に従うと仮定して、それぞれの年齢の期待値、標準偏差、標本数を求めた。最後に求めた各年齢の集団が Solver で分類した集団と同一であるか、T 検定により母平均の差の検定を行った。

## 結 果

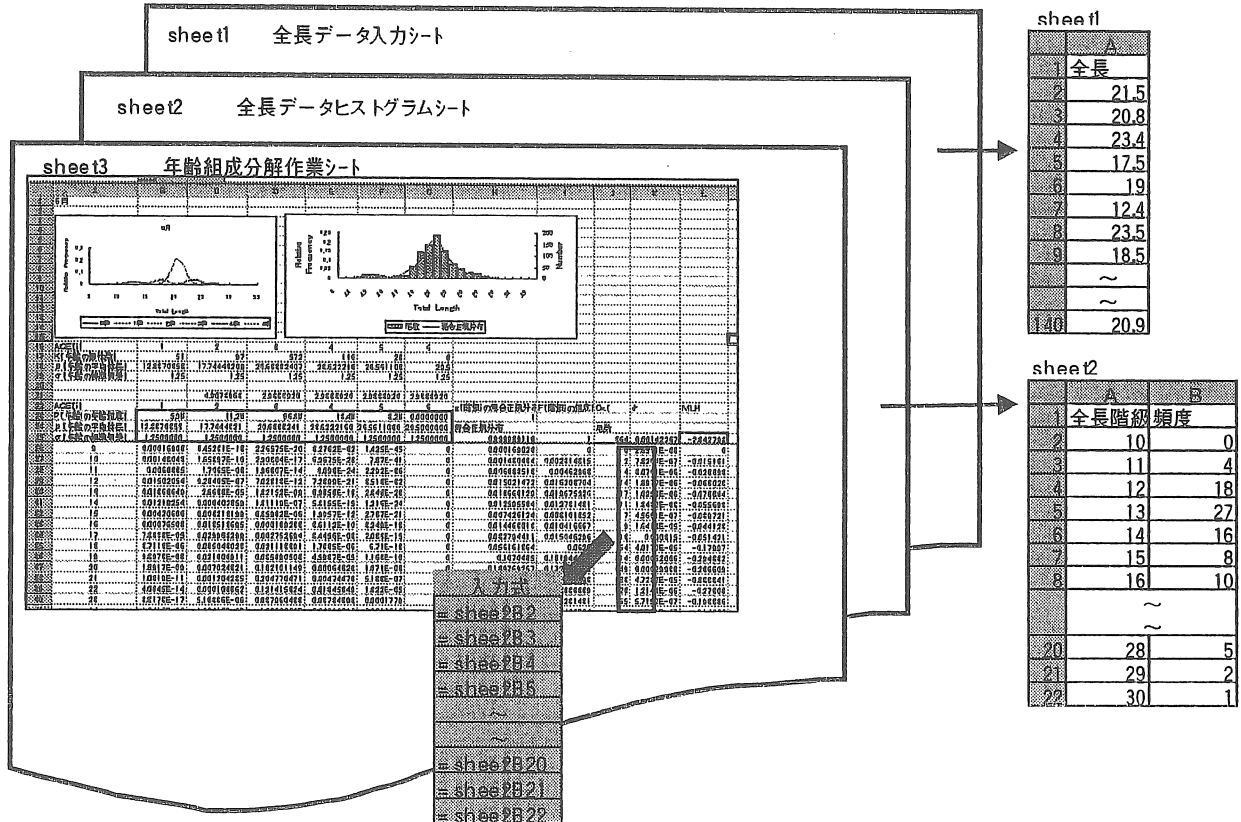
### 1. 年齢組成分解モデルシートの作成

今回検討に用いたシロギスの全長組成を表 2 に示した。

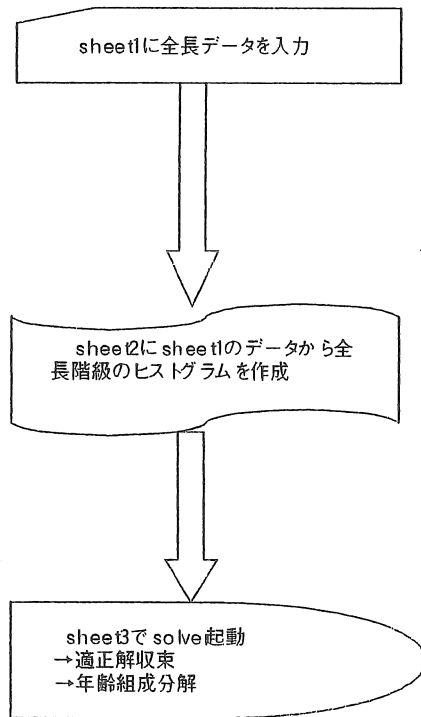
表 2 シロギス全長組成

全長 (cm)	月別測定尾数					
	5月	6月	7月	8月	9月	10月
9	0	0	2	0	0	0
10	0	2	40	1	0	0
11	3	4	91	0	0	0
12	11	14	120	5	2	13
13	2	17	103	7	8	26
14	3	11	105	15	20	12
15	6	7	80	20	43	4
16	1	9	54	19	32	2
17	16	13	34	23	26	1
18	35	54	26	26	19	1
19	104	114	41	46	14	10
20	90	149	92	43	14	22
21	55	188	146	37	28	32
22	46	120	123	13	21	21
23	13	65	45	9	30	13
24	10	41	32	1	13	8
25	5	28	8	0	8	1
26	2	19	8	0	2	1
27	1	5	0	0	6	0
28	1	4	3	0	0	0
29	2	0	0	0	2	0
30	0	0	0	0	0	1
31	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0
計	406	864	1,153	265	288	168

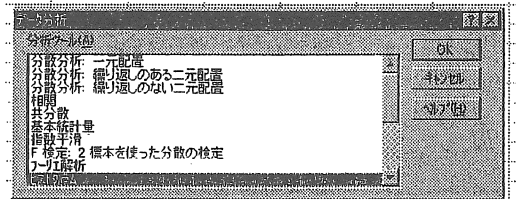
シート構成



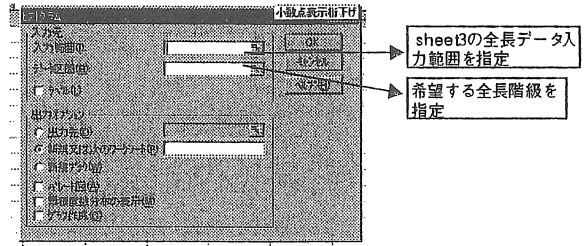
作業フロー



分析ツール選択画面



ヒストグラム作成画面



Solve 起動画面

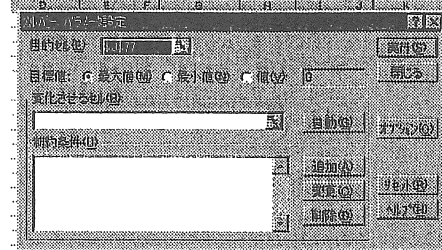


図2 年齢組成分解モデルシートを含む MS-Excel ファイル構成と作業フロー

年齢組成分解モデルシートを含む Excel ファイルの構成及び作業フローを図 2 に示した。

Sheet 1 には全長データを入力する入力シートとし、Sheet 2 は Sheet 1 の入力データを分析ツールを用いてヒストグラムを作成するヒストグラム作成シートとした。更に、Sheet 3 は年齢組成分解を行う解析シートとし、Sheet 3 の構成は次のとおり行った。

- \$A\$5:\$H\$18 ……ヒストグラムと混合正規分布 (図表)  
及び各年級に分解した正規分布 (図表)
- \$A\$31:\$a\$55 ……全長区間 (9~33)
- \$b\$31:\$g\$55 ……各年級の正規分布確率密度  $f_i(x)$
- \$h\$31:\$h\$55 ……各全長区間の混合正規分布確率密度  $g(x)$
- \$i\$31:\$i\$55 ……各階級の全長組成  $C(x)$
- \$j\$31:\$j\$55 ……各全長階級の標本数  $N(x)$
- \$k\$31:\$k\$55 ……論理値と実際値の残差平方 表 1 ①式
- \$i\$22 ……論理値と実際値の残差平方和  
(Solver の目的セル)
- \$l\$31:\$l\$55 ……論理値と実際値の  $x^2$  表 1 ②式
- \$i\$23 ……論理値と実際値の  $x^2$  和 (Solver の目的セル)
- \$m\$31:\$m\$55 ……論理値と実際値の尤度関数 (表 1 ③式)
- \$i\$24 ……論理値と実際値の最大対数尤度  
(Solver の目的セル)
- \$b\$28:\$g\$28 ……各年級の組成  
(Solver の変化させるセル)
- \$b\$29:\$g\$29 ……各年級の正規分布期待値  
(Solver の変化させるセル)

\$b\$30:\$g\$30 ……各年級の正規分布標準偏差  
(Solver の変化させるセル)

制約条件を設定せずに Solver を起動させて、求めた適正解による混合正規分布グラフ出力例を図 3, 4 に示した。図 3 は 5 月の、図 4 は 6 月の測定結果を基に作成したものであり、ともに混合正規分布の形状はヒストグラムに非常に当てはまっている様に見えたが、図 3 については 2 歳の  $\sigma$  のみ極端に大きく 3~5 歳の  $\sigma$  の 3.4~6.0 倍になっていたり、図 4 においては 5 歳の  $\pi_i$  を負にすることで全体の組成をヒストグラムに近づけており、組成が負になるという論理上あり得ないものであった。

シロギスを始め、魚類の成長曲線は年齢が高くなるほど成長速度は遅くなるとともに、全長のばらつきは年齢が高くなるほど大きくなることを加味して、図 3 のような結果出力を防止するために、Solver の制約条件に以下の式を加えた。

$$m_{i+1} - m_i \leq m_i - m_{i-1}$$

$$\sigma_{i-1} \leq \sigma_i$$

また、ある年級の値を負にすることにより適正解収束を行うことを防止するために \$b\$28:\$g\$30 の範囲は 0 以上となるように設定した。

これらの制約条件を新たに設定することにより、再度 Solver により適正解を求め収束時の混合正規分布を図 5, 図 6 に、その時の各年齢の  $\pi_i$ ,  $m_i$ ,  $\sigma_i$  を表 3 に示した。

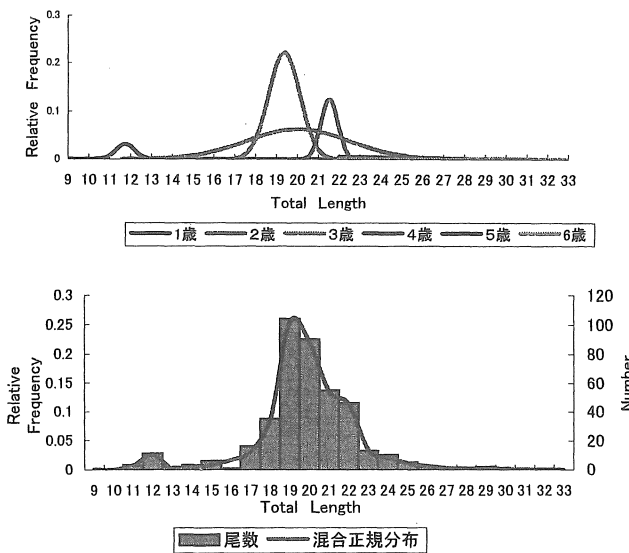


図 3 制約条件なしの出力例 (5 月)

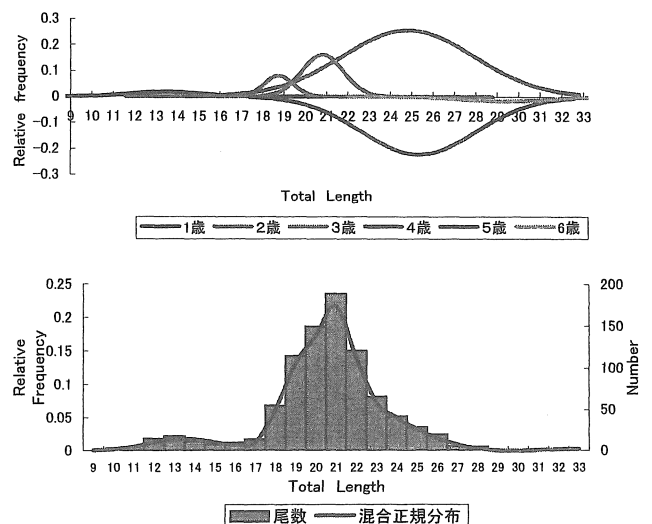


図 4 制約条件なしの出力例 (6 月)

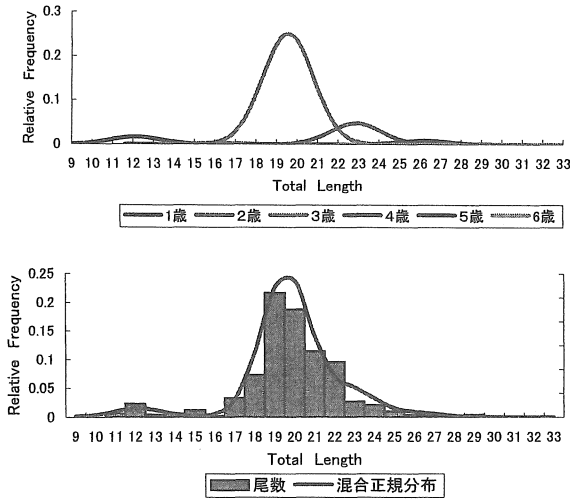


図5 制約条件有りの出力例（5月）

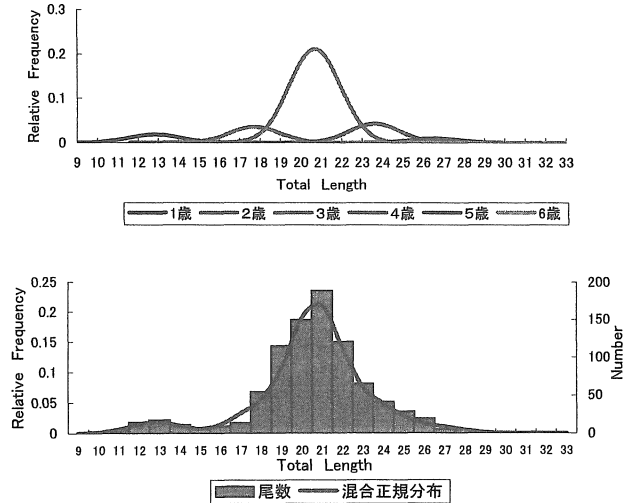


図6 制約条件有りの出力例（6月）

表3 各年齢正規分布の年齢組成, 平均全長, 標準偏差

月	項目	AGE (i)				
		1	2	3	4	5
5月	P (年齢iの年齢組成)	5.0%	0.8%	77.2%	14.5%	2.5%
	$\mu$ (年齢の平均全長)	12.14	16.24	19.56	22.87	26.19
	$\sigma$ (年齢の標準偏差)	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23
6月	P (年齢iの年齢組成)	5.9%	11.2%	66.3%	13.4%	3.2%
	$\mu$ (年齢の平均全長)	12.84	17.74	20.68	23.62	26.56
	$\sigma$ (年齢の標準偏差)	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25

図5, 6とも混合正規分布のグラフは各年級の正規分布の形状, 数値とも条件追加前に比べて明らかに改善され適正の範囲内と考えられた。よって, 今回検討材料としたシロギスの年齢組成分解を Solver を用いて行う場合は, 今回設定した制約条件は最低限必要であると考えられた。

## 2. 目的関数の検討

手法別の標本数に対する適正解収束に必要な精度を図7~9に示した。最小2乗法系の目的関数である残差平方和最小化法,  $\chi^2$  最小化法はすべての場合において適正解収束に必要な精度は同じであった。

標本数が10~441のヒストグラムが視覚的に明瞭な複数年級群に分類可能と判断されたケースでは, 最小2乗法では Solver の基本設定である $10^{-5}$ より高い精度で適正解収束が可能であった。最尤法では標本数35の1点のみ $10^{-2}$ と精度が悪い場合が見られたが, それ以外の点では $10^{-5}$ 以上の高い精度で収束していた。標本数50~126のやや明瞭に分類可能と判断されたケースについても, 最小2乗法では全ての点で $10^{-5}$ 以上の精度で収束し, 最尤法では標本数112の1点で $10^{-3}$ まで精度が落ちた。標本数56~211の視覚的には年級群分類が困難と判断されたケースについては両手法とも標本数が少なくなるにつ

れて明らかに精度が落ちる傾向が見られた。横軸に最尤法で収束したときの精度, 縦軸に最尤法で収束したときの精度と最小2乗法の精度の差をとり両者の関係を図10に示した。最尤法の精度と最小2乗法の精度の差は最尤法の精度が低い場合に顕著であり, 両者には100倍の開きがある。

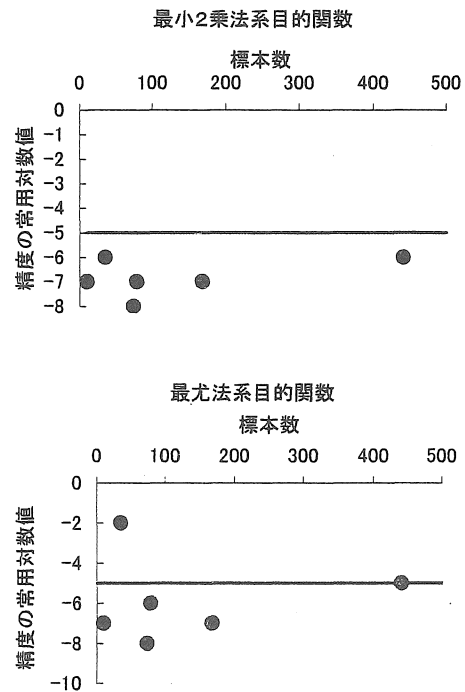


図7 適正解収束に必要な精度 (明瞭に正規分布分解が認められる場合)

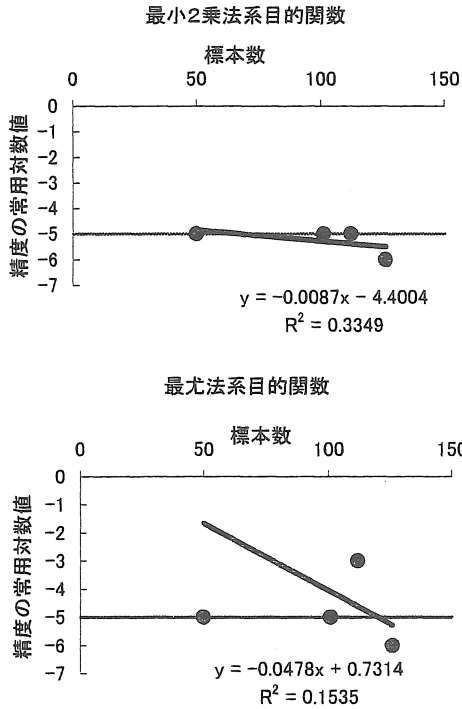


図8 適正解収束に必要な精度 (やや明瞭に正規分布分解が認められる場合)

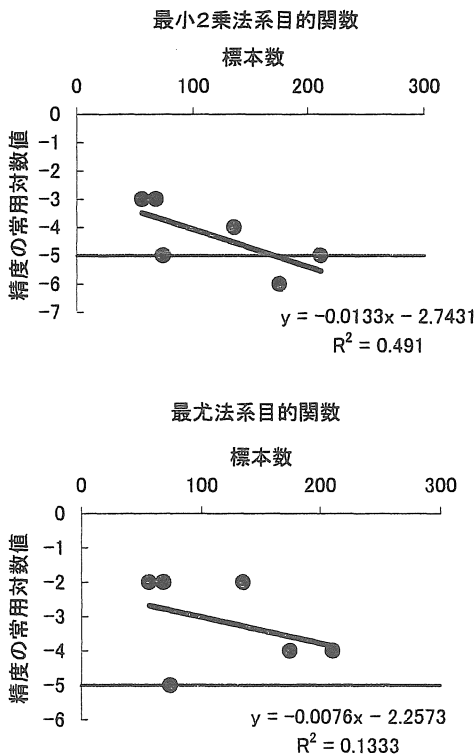


図9 適正解収束に必要な精度 (正規分布分解が不明瞭の場合)

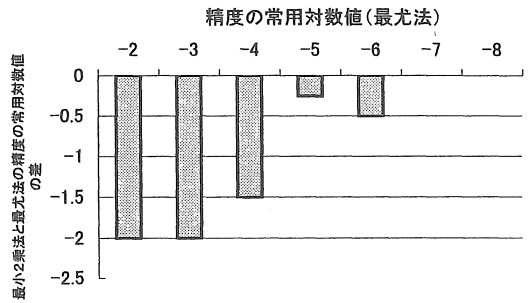


図10 最小2乗法系と最尤法系目的関数の精度差

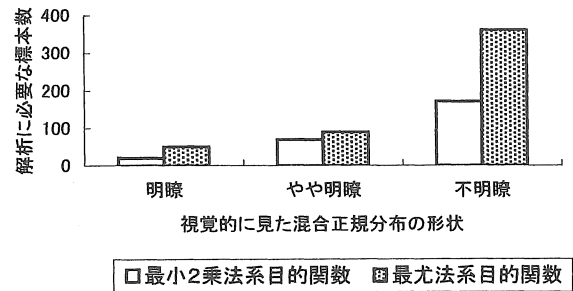


図11  $10^{-5}$  精度で収束するために必要な標本数

図11にそれぞれのケース別に標本数と精度の関係から推定した $10^{-5}$ の精度で適正解収束可能な最小標本数を示した。明瞭若しくはやや明瞭と判断されたケースについては、両手法とも標本数100未満で収束可能であるが、不明瞭と判断されたケースでは最小2乗法では170、最尤法では361と両者に2倍以上の開きがあった。これらの結果から概して最小2乗法の方が高い精度で収束可能であると云えた。

両手法で適正解に収束したときのAICについて月別漁業種別毎に検討した結果を表4に示した。また最小2乗法で収束したときのAIC (以下「最小2乗法AIC」と略)と最尤法で収束したときのAIC (以下「最尤法AIC」と略)の差と最小2乗法AICの比をRとし ( $R = (\text{最小2乗法AIC} - \text{最尤法AIC}) / \text{最小2乗法AIC}$ )、標本数Nとの関係を図12に示した。

表4 適正解収束時のAIC

年	月	測定データ 漁業種類	測定尾数	ヒストグラ ムの形状	AIC		判定
					最小2乗法	最尤法	
2002	5	キス流し刺し網	211	やや不明瞭	33.812	33.812	○
2002	6	1 とうごち網	35	やや明瞭	34.498	34.505	○
2002	6	キス流し刺し網	126	やや明瞭	34.097	34.078	×
2002	7	1 とうごち網	68	不明瞭	33.977	34.024	○
2002	7	キス流し刺し網	175	不明瞭	33.984	34.024	○
2002	8	1 とうごち網	74	やや不明瞭	34.803	34.920	○
2002	9	小型底びき網	10	やや明瞭	34.093	34.117	○
2002	10	小型底びき網	168	明瞭	34.808	35.293	○
2003	5	キス流し刺し網	56	やや不明瞭	33.607	33.710	○
2003	6	1 とうごち網	112	やや明瞭	35.122	35.180	○
2003	6	キス流し刺し網	135	やや不明瞭	33.483	33.483	○
2003	6	小型底びき網	50	明瞭	34.343	34.550	○
2003	7	1 とうごち網	441	明瞭	34.744	34.623	×
2003	7	小型底びき網	101	明瞭	35.192	35.153	×
2003	8	小型底びき網	74	明瞭	34.669	34.664	×

※判定基準は最小2乗法AIC < 最尤法AIC、すなわち最小2乗法が最尤法よりあてはまりが良くなる場合を○とした。

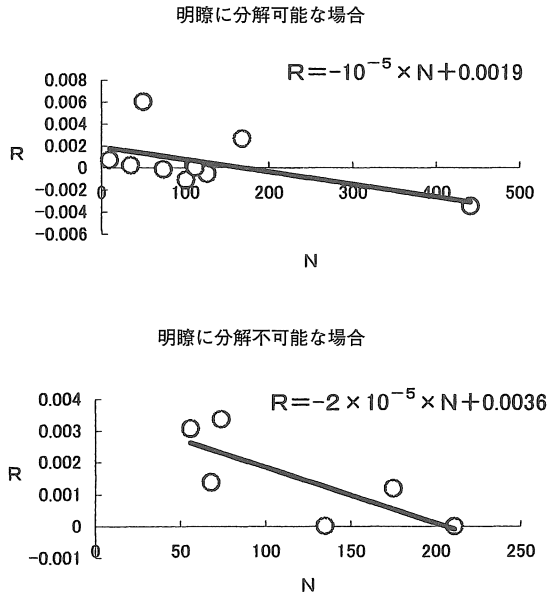


図12 標本数とRの関係

NとRには次のような関係が見られた。  
 $R = -10^{-5} \times N + 0.0019$  (明瞭に分解可能な場合)  
 $R = -2 \times 10^{-5} \times N + 0.0036$  (明瞭に分解不可能な場合)  
 それぞれの関係式のx切片の値は、最小2乗法より最尤法があたりが良くなる時の標本数の数を表している。それぞれの関係式のx切片の値は、明瞭に分解可能な場合がN=190、明瞭に分解不可能な場合がN=180であり、1回の解析に用いる標本数が180~190までは最小2乗法が、それ以上の標本数の場合は最尤法が適していると言えた。

### 3. 年齢形質を用いた年齢組成との比較検討

シロギスの平衡石を図13に示した。全長145mmの個体では平衡石中心部の不透明な楕円形の周囲に1本の透明帯が形成されている。全長190mmの個体では全長145mmの個体に見られた透明帯の外側に不透明帯、透明帯のリングが1本ずつ形成されている。平衡石の長径と全長との間には強い正の相関が見られ(図14)、各々のリングナンバーと透明帯の長径にも強い正の相関が見られる(図15)。

図16に平衡石に見られたリングの数と全長の関係を示した。各リング数の全長組成は正規分布に従うこととし、それぞれの年級群別に平均値( $m_1$ )、標準偏差( $\sigma_1$ )、標本数( $n_1$ )を求めた。更に同月に市場で魚体測定をおこなったデータを用い、MS-Excelモデルシートにより求めた各年齢の平均値( $m_2$ )、標準偏差( $\sigma_2$ )、標本数( $n_2$ )を求め、帰無仮説「 $m_1 = m_2$ 」のT検定を行った

結果を表5に示した。検定の結果、 $n = 1$ のため検定ができなかった6歳を除きすべての年級で同一の集団と推定された。

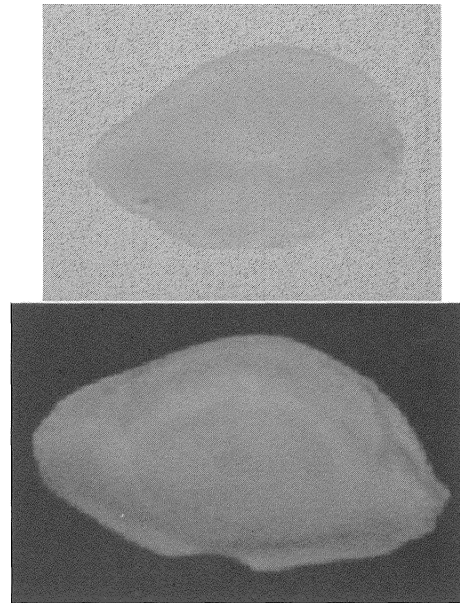


図13 シロギス平衡石  
(上段：全長145mm, 下段：全長190mm)

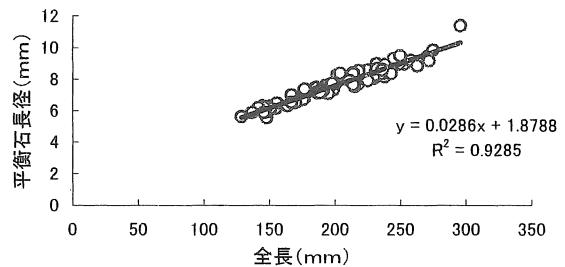


図14 全長—平衡石長径関係

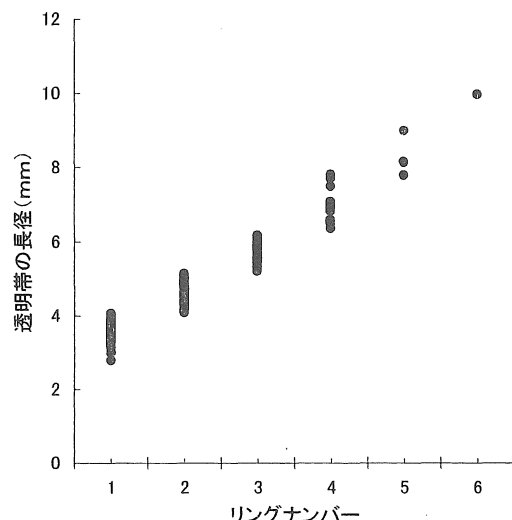


図15 各透明帯リング長径

考 察

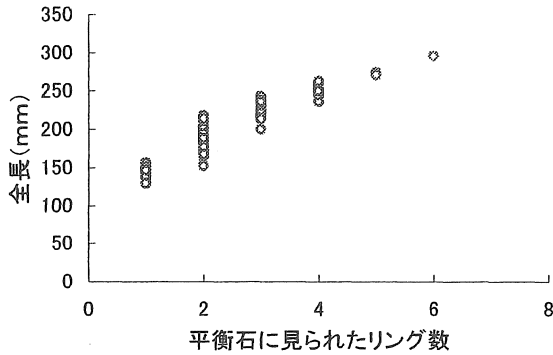


図16 平衡石に見られた透明帯リング数と全長の関係

表5 平衡石及び Solver で推定した2標本の検定結果 (T検定による母平均の検定)

Sagittaに見られたリング数から推定した各年級のm、σ						
	1歳	2歳	3歳	4歳	5歳	6歳
m	146.62	190.76	229.88	249.80	272.67	296.00
σ	7.54	17.42	9.42	7.28	2.08	13.73
n	13	33	32	10	3	1
solverで求めた混合正規分布のm、σ						
	1歳	2歳	3歳	4歳	5歳	6歳
m	153.78	187.68	222.58	246.05	270.53	295.00
σ	13.73	13.73	13.73	13.73	13.73	13.73
n	42	13	29	13	7	1
統計量	2.41	0.63	2.40	0.84	0.40	0.05
自由度 (f)	37.63	27.85	48.94	19.00	6.60	
TINV (1%)	2.43	2.47	2.41	2.55	3.14	
TINV-T	+	+	+	+	+	
検定結果	同一	同一	同一	同一	同一	

1. 年齢組成分解モデルシートの作成

表6に既存のプログラムと今回作成したMS-Excelモデルシートを項目別に比較して示した。通常、魚体測定作業後に行うデータ整理はMS-Excelなどの表計算ソフトを用いて行うが、既存のプログラムはN88BASICで書かれているため、年齢組成分解を行う場合は、データを再入力しなければならないなど作業効率は非常に悪かった。しかも、いくつかの正規分布に分解するかを事前に決定する必要があることから任意に分解したとは言えず、また Bertalanffy 成長式が既知である必要があるなど制約も多かった。一方、MS-Excelモデルシートを使用した年齢組成分解手法は、同一ファイルの別シートに測定データや測定データのヒストグラムを組み込むことによってデータの再入力作業が省ける等、作業性は格段に改善されたと考える。しかも、その正規分布分解も任意であることから、シロギスに限らず他の魚類等にも応用できると考えられた。

更に、グラフ作図を設定することにより、Solverによる適正解収束とともに結果を視覚的にも判断することができ、再計算や結果打ち出しが迅速に行うことができるようになった。

年齢組成分解は各年齢における全長の分布が正規分布に従うことを前提として行うため、Solverにより探索を行う未知のパラメータ数は年級数の3倍と非常に多くなるため、実際にSolverを起動させる時は何らかの制約条件を設ける必要がある。

表6 既存プログラムと Solver を用いた手法の比較

	既存解析プログラム	MS-excelアドインソフトsolver
プログラムの種類	使用言語：MS-DOS版 N88BASIC	MS-excel
手法	Hasselblad法による最尤推定	Hasselblad法による最尤推定 最小2乗法 χ <sup>2</sup> 最小化法 その他各種
解を求めるにあたって必要なパラメータ	Bertalanffyの成長係数 (K) 年級数	なし
入力する初期値	最小年齢魚の平均体長 最小年齢魚の分散 最高年齢魚の平均体長 最初年齢魚の分散	各年級の平均体長 各年級の分散 各年級正規分布割合
操作上の問題点等	Bertalanffyの成長式が既知であること 年級数が固定 →解析をおこなうものが任意に年級を決定 解は一意ではなく、初期値に依存 →種々の初期値を使って繰り返し解析 最適化はHasselblad法のみ	解は一意ではなく、初期値に依存 →種々の初期値を使って繰り返し解析 最適化はHasselblad法その他、最小2乗法、 χ <sup>2</sup> 最小化法等操作者が任意に設定可能。
その他 (図形描写)	グラフ作成は可能であるが、資料として用いにくい	グラフ作成に優れている。



今回は比較的それぞれの年級のモード間が大きいシロギスを検討材料として用いたため、生物的に見て最小の条件である①「高齢になるに従い成長スピードは遅くなる。」、②「高齢になるに従い全長のばらつきは大きくなる。」の2条件のみで良好な結果が得られた。

しかし、各年級の全長組成頻度分布の重なりが大きい魚種についてはCassie法<sup>3)</sup>を用い若齢魚の正規分布解析を行い、求めた若齢魚の $\sigma$ をSolver制約条件に加えるなど、個々の魚種について改良する必要があると考えられる。

## 2. 目的関数の検討

一般にパラメータ推定には最小2乗法若しくは最尤法の2手法が用いられており、網目選択性曲線Logistic式パラメータには最尤法による推定のほうがあてはまりの良い解が得られている<sup>8)</sup>。よって、当初のモデルではHasselblad法で用いられている尤度関数を用いた最尤法によるシートを作成した。しかし、適正解収束に必要な精度がSolver基本設定精度である $10^{-5}$ 及び既存プログラムの精度である $10^{-4}$ よりも悪く、最小2乗法系目的関数と比較しても $10^{-10}$ のオーダーで精度が悪い結果となった。また、適正解収束時におけるAICも標本数が200以下の場合もしくは全長組成頻度分布の重なりが大きい場合は最尤法では高い値を示し、あてはまりが悪い結果となった。

この原因としては、最尤法目的関数が最小2乗法系目的関数と比較して複雑であること、求めるパラメータ数が非常に多いことの2つが考えられる。堤らもプログラムの検定手法として $\chi^2$ 検定を採用しており<sup>9)</sup>、年齢組成分解については最小2乗法を用いた適正解探索が適していると考えられた。

## 3. 年齢形質を用いた年齢組成との比較検討

シロギスについては、MS-ExcelアドインツールSolverを用いて数的に求めた年齢組成と年齢形質を用いた年齢組成が一致し、MS-Excelモデルシートにより分解した年齢組成はその後の資源解析作業を行う上で信頼性が高いことがわかった。

シロギスは比較的全長組成頻度分布の重なりが小さく、0~2歳の若齢魚については視覚的に見てもヒストグラムから各年齢の期待値、標準偏差を推定することが可能な魚種である。資源解析を行う必要がある魚種は比較的寿命が長く、高齢部分については全長組成頻度分布の重なりが大きいと予想される。これらの魚種について資源解析に用いる年齢組成分解を、tayrer法により若齢

部分の正規分布から順次推定していくか、年齢形質を用いて求めた各年齢の期待値、標準偏差等を事前に確認した上で、それらのデータを初期値として解析を行うなど、モデルシート起動にあたって個々にチューニングを行う必要があると考える。

## 要 約

- 1) 資源回復計画策定作業で行うコホート解析に必要な不可欠である正確かつ迅速簡易な年齢組成分解手法を開発することを目的として検討を行った。
- 2) MS-ExcelアドインツールSolverを用いて年齢組成分解を行うモデルシートを作成した。
- 3) MS-Excelモデルシートは同一ファイルにデータ入力、ヒストグラム作成のシートを組み込むことにより、作業性が飛躍的に向上した。
- 4) MS-Excelモデルシートはこれまでのプログラムと異なり、起動にあたっての制約が少なく多くの魚種について年齢組成分解が可能であると考えられた。
- 5) 適正な正規分布分解のため、Solver起動の制約条件として、①求めるパラメータを0以上、② $\sigma_n \geq \sigma_{n-1}$ 、③ $m_{n+1} - m_n \leq m_n - m_{n-1}$ の3つが必要であると考えた。
- 6) Solverの目的関数は、標本数が多く正規分布の重なりが小さい場合を除き、Hasselblad法で用いられる尤度関数より最小2乗法系の関数の方が適正解収束の精度も高くAICも小さいことがわかった。
- 7) 実際の年齢形質で分解した正規分布とMS-Excelモデルシートで分解した正規分布は、T検定の結果同一であると判断され、MS-Excelモデルシートによる年齢組成分解の信頼性は高いと考える。
- 8) 正規分布の重なりが大きい魚種について年齢組成分解を行うには、必要最小限の制約条件の他に、Tayler法により求めた若齢魚の $\sigma$ を設定するなど、個々の魚種についてチューニングする必要があると考える。

## 文 献

- 1) 田中栄次：体長組成解析 (LEFRANver.1.3)、資源解析プログラム集 (II)、中央水産研究所数理生態研究室編、69-82 (1990)
- 2) 静岡県：平成14年度資源増大技術開発事業報告書帰型回遊性種 (トラフグ)、1-11 (2003)
- 3) 水野信彦、御勢久右衛門：河川の生態学、増訂版、

- 築地書館，東京，1993，pp.150-162
- 4) 伊藤正博，内田秀和：筑前海におけるシロギスの年齢と成長，西海区ブロック魚類研究会報NO7
  - 5) 赤峰達郎：混合正規分布のパラメータ推定におけるHasseblad法の収束，中央水研研報第14号，49-56 (1999)
  - 6) 日本水産資源保護協会：資源評価体制確立推進事業報告書－資源解析手法教科書－，90-91 (2001)
  - 7) Sulistiono, Masashi Yokota, Shuichi Kitada, and Seiichi Watanabe : Age and Growth of Whiting *Sillago japonica* in Tateyama Bay, Fisheries Science 65, 117-122 (1999)
  - 8) 佐野二郎：小型底びき網の網目選択性曲線推定モデル，福岡水技研報第13号，47-53(2003)
  - 9) 堤裕昭：体長の計測，体長頻度分布図の作成及び世代解析，資源解析プログラム集（Ⅱ），中央水産研究所数理生態研究室編，54-68 (1990)