

伊豆諸島北部海域におけるタカベの資源学的研究^{*1}

亘 真吾^{*2}

A study on the population dynamics of yellowstriped butterfly in the waters around the northern part of the Izu Islands.

Shingo WATARI^{*2}

Abstract The yellowstriped butterflyfish, *Labracoglossa argentiventris*, inhabit shallow waters over rocky bottoms along the Pacific coast from Kyusyu Island to the Boso Peninsula. This stock is important to coastal commercial fisheries in the northern part of the Izu Islands, which use bulk net, gill net, seine and set net to catch this resource. Assessment and management of the stock are necessary for its effective utilization. This thesis focuses on the population dynamics and stock assessment of yellowstriped butterflyfish, such as age and growth, standardization of catch per unit effort (CPUE), and abundance estimation, to provide information for fisheries resource management.

In Chapter 2, a method to determine the age of yellowstriped butterflyfish using from the otolith was studied. The edge of the opaque zones as a ring mark on sectioned sagittal otoliths was used. Monthly changes in the marginal growth rate and proportion of appearance of ring marks on the edge of the otolith were examined. Formation of the first ring was observed during spring or summer, corresponding to one and a half years after hatching. Thereafter, one ring was formed each year in the same season as the previous year.

In Chapter 3, age, growth and maturity were examined using samples collected in the waters around the northern part of the Izu Islands from 1994 to 2003. Age distribution was estimated from the otoliths and scales. Age distribution determined from the scales resulted in an underestimation compared to the values from the otolith analysis. The comparison of multiple age determination indicated that within reader bias of otolith was smaller than that of scale.

Growth was investigated by fitting the von Bertalanffy growth model to the age-length data and the allometric growth model to the length-weight data using maximum likelihood methods. Because the number of small sized fish was insufficient, all parameters could not be estimated by areas (Izu Oshima Island, Toshima Island ~ Shikinejima Island, Kouzushima Island). The selected von Bertalanffy growth model, based on the Akaike Information Criterion (AIC), was the differential asymptotic length and variance by area and sex, and growth coefficient by sex. The growth of yellowstriped butterflyfish was fast until 2 years of age. The estimated asymptotic length of females was larger than that of males. The estimated asymptotic length in the southern part of the study area was larger than that in the northern part of the study area. The effect of the difference of ageing character, otolith or scale, on the growth curve was investigated. Age before 1 year old fish was determined using the large differences in fork length between the older fish, so ageing character was not used. Because

2006年7月24日受理 (Received: July 24, 2006)

^{*1} 東京海洋大学審査学位論文 (掲載に際し投稿規定に沿って一部修正した)

^{*2} 瀬戸内海区水産研究所 〒739-0452 広島県廿日市市丸石2-17-5 (National Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea, 2-7-15, Maruishi, Hatsukaichi, Hiroshima 739-0452, Japan)

the growth speed of large sized fish was slow, age-length relationship was almost same after 4 years of age. For these reasons, difference between the two growth curves was much smaller. The selected allometric growth model, based on the AIC, was multiplicative error structure of differential sex in parameters. The monthly change of the value of Gonadosomatic Index was high from September to December, spawning season, and the peak was October. The maturity rate of 1 year old was 15% and that of after 2 years old was 100%.

In Chapter 4, standardization of CPUE was carried out to improve the reliability of the abundance index. To estimate a year effect, any other factors that may influence CPUE were removed from index by using the generalized linear model. Landing in weight by each operation of gill net of Izu Oshima Island, seine from Toshima Island to Shikinejima Island, and bulk net of Kouzushima Island were obtained from 1991 to 2003 by landing slips. Data of sea surface temperature and current pattern of Kuroshio were also obtained for the same period. Because there was little information about movement in the study area, two hypotheses were considered about the movement after recruitment, the case to move from one island to other islands, and the case that there is no movement among islands. Year, month, area, fishing methods, sea surface temperature, and current pattern of Kuroshio were incorporated as main effects and two-way interactions. For each area, the best model was statistically selected by the AIC from all candidate models. The year effect of standardized CPUE was calculated by least squared mean. The trend of relative abundance of yellowstriped butterflyfish has remained at the same level after 1991.

In Chapter 5, stock size of yellowstriped butterflyfish was estimated by the tuning virtual population analysis based on two hypotheses about the movement among islands using the catch at age and CPUE data. The previous study of rearing experiment showed that probability of agreement of true age by using data from otoliths was higher than that from scales. In addition, previous chapter also indicated that within reader bias for otoliths was lower than that for scales. For these reasons, the otolith ageing was considered to be true for catch at age estimation, and the bias in scale ageing was corrected for the basis for otoliths. The standardized CPUE was used as an abundance index for the tuning. Parameters were estimated by the least squares method and standard error was also estimated by the bootstrap method using resampling data of CPUE and catch at age. The yearly change of stock size of yellowstriped butterflyfish in the northern part of the Izu Islands after 1998 ranged from 600 to 700 metric tons. The catch rate of this stock ranged from 20 to 30%. The estimated standard error of the stock size became larger in recent years. Coefficient of variation of stock size in 2003 was 0.2. The selectivity of older fish was higher than that of younger fish. This result suggests that the target of this fishery is large sized fish which are high priced, and fishing intensity of small sized fish is low. The estimated stock size, fishing mortality, and selectivity, using two hypotheses of the movement shows the same trends. A similar conclusion of the stock management plan was possible. The percent spawning per recruitment was about 50% in 2003 in each area. The results showed that if the fishing effort is increased from the present level, the amount of catch of large sized fish would decrease, although the total amount of catch would increase slightly.

The present level of fishing mortality is close to $F_{0.1}$. Yield per recruit and spawning per recruitment analysis also suggested that the current level of exploitation is not overfishing. For the sustainable use of yellowstriped butterflyfish stock, both the current level of fishing effort and low fishing intensity on younger fish should be maintained.

Key words: yellowstriped butterflyfish, age, growth, otolith, abundance estimation

目 次

第一章 緒 論
 第二章 耳石による年齢査定
 第三章 年齢・成長・成熟
 第四章 単位努力量あたり漁獲量の標準化
 第五章 資源量推定
 第六章 総合考察
 謝 辞
 文 献
 Appendix A

第一章 緒 論

我が国において水産業は食糧を供給し、地域経済を支える産業として重要であるが、資源水準の悪化や漁業者の高齢化など多くの問題を抱えている。資源水準を維持、回復する目的で、全国各地の様々な魚種において資源管理が実施されている。東京都の伊豆諸島においても、水産業は地域の経済を支える持続可能な産業として重要であり、資源管理が積極的に推進されている。平成13年度からハマトビウオ *Cypselurus pinnatibarbatus* について生物学的漁獲許容量に基づく数量管理が実施され、タカベ *Labracoglossa argentiventris* やキンメダイ *Beryx splendens* などについても資源解析の必要性が指摘されている。タカベは、伊豆諸島北部海域において、2003年の水揚げ重量、金額ともに1位の主要漁獲物である。当資源の有効利用を図ることは、地域の水産業においても重要な課題である。資源管理の方策を決定するには、対象となる資源生物の年齢や成長、成熟、漁獲量、努力量など、様々な情報が必要となる (Hilborn and Walters, 1992; Quinn and Deriso, 1999)。タカベに関する調査研究は、東京都水産試験場 (現東京都島しょ農林水産総合センター) による地先・沖合定線調査や、卵稚仔、幼魚期の研究 (服部, 1964; 小達, 1962; 武藤, 1970)、年齢や成長の研究 (有馬, 1984; 安藤ら, 2004)、漁業と海況の関係の研究 (有馬, 1982; 有馬, 1986; 有馬, 1995) などがある。しかしながら、年齢と成長や、漁業と海況の関係については、まだ不明な点も多い上、資源の現状評価も不十分である。タカベ資源の持続的利用を確保するため、資源学的研究を推進する必要がある。

タカベの生物学的特性

タカベは、スズキ目タカベ科タカベ属の1科1属1種の魚種である。生息域は、房総半島から九州にかけ

ての太平洋岸の外洋に面した岩礁地帯で日本沿岸に限られる。伊豆諸島では大島から八丈島周辺の水深50m以浅に分布すると考えられ、利島から神津島がその中心である (Fig. 1.1)。体色は、背部が青緑色がかったり腹部が銀色で、背部から尾部にかけての側線付近に黄色の帯がある。動物性プランクトンを捕食し、コペポータを主食としている。

タカベの産卵期は秋で、生殖腺の熟度指数は9月末から10月にかけて上昇し、11月まで他の時期と比較して高い値を示す (有馬, 1984)。飼育環境下においても、産卵は天然と同じ10~12月に観察され、1月以降観察されていない (有馬, 1999)。仔稚魚は、10月以降伊豆諸島周辺海域において広範囲に分布しており (武藤,

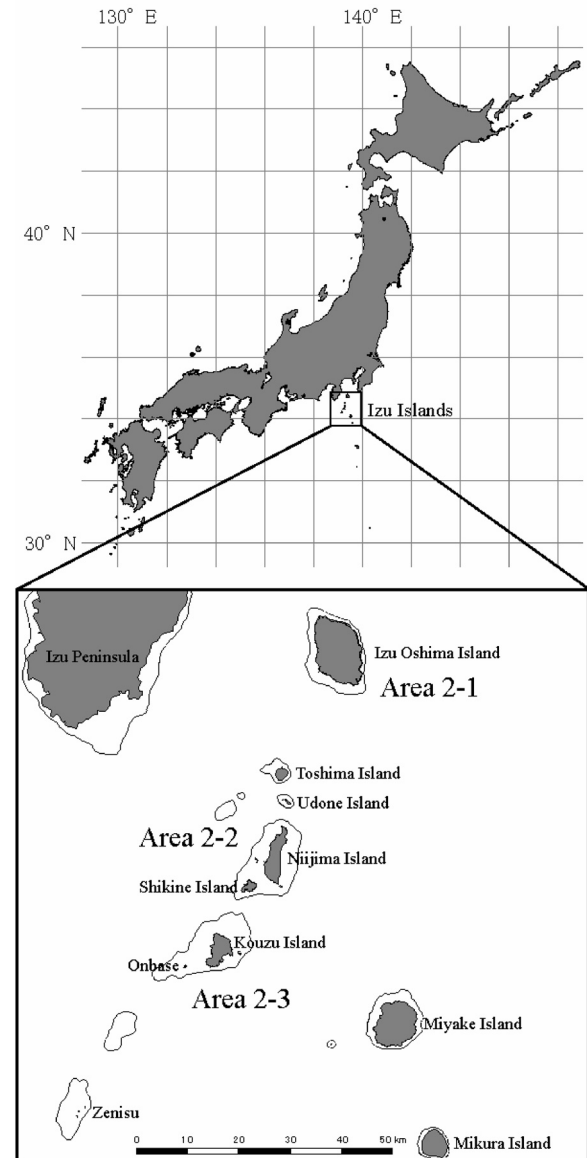


Fig. 1.1. Location of the study area. The depth contour shows 100m in depth.

1970), 翌春から小型魚(通称ムギタオシ)が大島～八丈島周辺の水深40m以浅の岩礁域に出現する。成魚は春から秋にかけて岩礁地帯に群で観察されるが、冬期はより深いところに生息すると考えられている。生息に適した水温は17～25℃で、16℃を下回ると摂餌が不活発となり成長が止まる(有馬, 1984)。

東京都水産試験場資源管理部(2004)によると、大島、新島、式根島、神津島で採集された個体のミトコンドリアDNAのD-roopのハプロタイプの出現頻度を比較したところ、島間で有意な差は検出されなかった。また、仔稚魚が産卵期直後に伊豆諸島周辺海域の広範囲で観察されることから、各島周辺で生まれた個体は混ざり合い、1つの系群であると考えられる。しかし、大島、利島、鷗渡根島、新島、神津島において、1982～2002年の間に実施された標識放流実験では、4,521個体放流され、160個体再捕報告があったが、いずれの再捕報告も放流した島内であり、別の島へ移動した報告はなかった。また、有馬(1990)は島間で成長に差があり、隣の島でも同一年齢の尾叉長の平均値が異なることを報告している。伊豆諸島の各島は、ほとんどが火山島で、各島周辺の水深が急激に深くなる。そのため、岩礁域に生息するタカベが、加入以降の程度、範囲で移動するか十分に解明されていない。

タカベの漁業

タカベは伊豆諸島において古くから利用されており、室町時代には貢租として現物で上納され、また、江戸時代には干物が江戸へ出荷されていた(東京都水産試験場, 1984)。タカベの盛漁期は夏で魚体中に脂が多く含まれるため、冷蔵保存設備が不十分であった戦前戦中まで、鮮魚で島外に出荷されることは少なかった。タカベの漁獲が盛んになったのは戦後で、東京都の漁獲統計資料によると、伊豆諸島海域における年間漁獲重量は、1950年代に200t前後を推移していたが、1960年代と1970年代前半にかけて年間700t前後に増加した。1969年には戦後最高の869tに達した。しかし、1974年以降漁獲量は減少し、1980年代は年間300t台、1990年代からは年間200t前後を推移している。1950～2003年までの伊豆諸島全体の漁獲量(t)の経年変動と島別漁獲割合をFig. 1.2, Fig. 1.3にそれぞれ示す。

伊豆諸島周辺海域では、現在、建切網、寄網、刺網、定置網の4種類の漁法で漁獲されている。以前、4そう張網、2そうまきあぐり巾着網も同海域で操業していたが、現在は行われていない(有馬, 1982)。建切網と寄網は、総勢40～50名ほどの漁業者が十数隻の漁船を使用し、潜水でタカベ魚群を追い込み一気に巻いて漁獲する大規模な漁法である(東京都水産試験場,

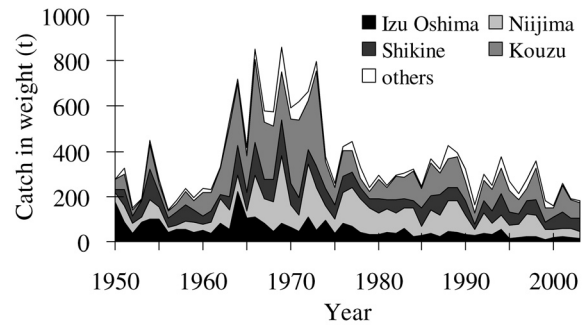


Fig. 1.2. Yield of yellowstriped butterflyfish in the Izu Islands from 1950 to 2003.

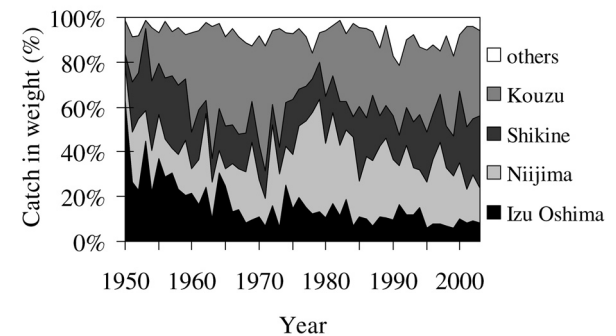


Fig. 1.3. Proportion of yield of yellowstriped butterflyfish in the Izu Islands from 1950 to 2003.

1975; 東京都水産試験場大島分場, 1994)。両者はタカベやイサキを主に漁獲し、他にもカンパチ、シマアジ、ヒラマサ、マダイなども漁獲する。最盛期には建切網が神津島で5カ統、寄網が伊豆諸島全域で8カ統操業していたが、現在、建切網が神津島で1カ統、寄網が新島若郷で1カ統が操業しているのみである。刺網は伊豆諸島北部海域の各島で操業しており、中でも式根島での漁獲量が多く、同島だけで伊豆諸島海域のタカベ漁獲量の4分の1近くを漁獲している。刺網、建切網、寄網漁業は第二種共同漁業権に基づいて行われている。漁業権は大島周辺海域、利島周辺海域、新島と式根島周辺海域、神津島周辺海域にそれぞれ設定されている。また、水産資源の保護を目的として東京都漁業調整規則により全長100mm未満のタカベの採捕が禁止されている。

本研究の目的

本研究は、大島から神津島に至る伊豆諸島北部海域において、タカベ資源の現状評価を行い、資源管理に必要な基礎的情報を得ることを目的とする。同海域の各島から、資源解析の基礎となる年齢や成長、成熟について調査し、漁獲量、努力量の情報を収集した。本論文では、耳石による年齢査定、年齢・成長・成熟、

CPUEの標準化、資源量推定と現状評価について4つの章に分けて議論した。

第二章では、従来年齢査定に使用されていなかった耳石について、年齢形質としての有効性を検証した。伊豆大島周辺海域で収集したタカベの耳石の不透明帯の外縁を輪紋として、縁辺部の輪紋出現割合と縁辺成長率から輪紋形成時期を調べた。

第三章では、年齢、成長、成熟など資源解析および管理の基礎となる生物学的情報について調べた。耳石と鱗を使用して年別地区別漁法別の輪紋数組成を調べるとともに、両者の輪紋数の関係を比較した。輪紋数査定値の信頼性の評価するため、読み取り誤差の評価も行った。また、年齢と成長の関係を把握するため、年齢-尾叉長関係の von Bertalanffy 成長式と、尾叉長-体重関係のアロメトリー式を推定した。さらに、雌雄の年齢別成熟率と成熟サイズについても調べた。

第四章では CPUE に含まれる年変動以外の要因を取り除き、資源量指数としての信頼性を高めるため、一般化線形モデルを使用し標準化を行った。年、月、場所と、黒潮や水温などの環境要因の主効果と、その交互作用に分離し、年変動のみを抽出した。

第五章では、第三章で得られた年齢と、第四章で得られた CPUE、年別地区別の漁獲量を用いて、資源の絶対量をチューニング VPA で推定した。資源量推定結果から漁獲割合や年齢ごとの選択率など、漁獲の現状評価を行った。また、YPR、SPR 解析を行い、現在の漁獲圧とそれが変化させた場合の影響についても評価した。

第二章 耳石による年齢査定

魚類の年齢を調べる方法には年齢形質法、体長組成法、飼育法、標識放流法など様々なものがある(久保、吉原、1969; 能勢ら、1988; DeVries and Frie, 1996)。タカベの年齢査定に関する研究は、鱗を用いた年齢形質法と飼育法が行われている。有馬(1984)は、伊豆諸島周辺海域のタカベの鱗の断切部を輪紋とし、生後1年半の4月ごろに第1輪が形成され、その後1年に1本ずつ輪紋が形成されること示した。この結果をもとにタカベの年齢査定は、従来鱗を使用して行われてきたが、輪紋の読みにくさや、精度の悪さが指摘されている(東京都水産試験場、2000)。安藤ら(2004)は、生後半の小型魚を27ヶ月間飼育した結果から、耳石と鱗の第1輪が生後1年半で形成され、第2輪が翌年の同じ時期に形成されると報告している。しかし、年齢と輪紋数の関係は、耳石の場合完全に一致するものの、鱗の場合若齢であっても輪紋数がばらつくこと

から、輪紋形成が不安定であることを指摘している。このため、天然個体において鱗に変わる年齢形質の使用が検討されている。本章では、伊豆大島周辺海域で収集したタカベの耳石を使用し、年齢形質としての有効性を示す。

試料と方法

試料

耳石の年齢形質としての有効性を調べるため、2000年5月から2003年10月にかけて伊豆大島周辺海域で合計1,357個体を収集した(Group 1)。標本は調査(タモ網(Group 1-A)、釣り(Group 1-D))と、漁業(刺網(Group 1-B)、定置網(Group 1-C))で捕獲した(Table 2.1)。

方法

標本は測定まで冷蔵保存し、尾叉長を定規を使用し1mm単位で計測した。体重と生殖腺重量は電子天秤を使用し、それぞれ1g、0.01g単位で計測した。性別は生殖腺を目視で観察し、雄、雌、性別不明に分類した。精巣はクリーム色で産卵時期に乳白色になり膨らむ。卵巣は表面に血管が見られ赤みがかっており、産卵時期に黄白色の卵が観察できる。魚体測定後、頭部から耳石(偏平石)を摘出した。Group 1-B, C, Dの標本から摘出した耳石は、水道水に数日間浸し、その後99.5%のエチルアルコールに浸し、乾燥させマイクロプレートに保存した。Group 1-Aの標本から摘出した耳石は、70%エチルアルコールに浸して保存した。

耳石の構造が湾曲しており表面から輪紋を適切に観察出来なかったため、切片を作成した。耳石をポリエステル樹脂で包埋し、核をはさむように横断方向にダイヤモンドカッターを用いて切断した。そして、スライドガラスに貼り付け、核が明瞭に見えるまで研磨紙(600-2,000番)で磨いた。切片の厚さは約0.5mmであった。

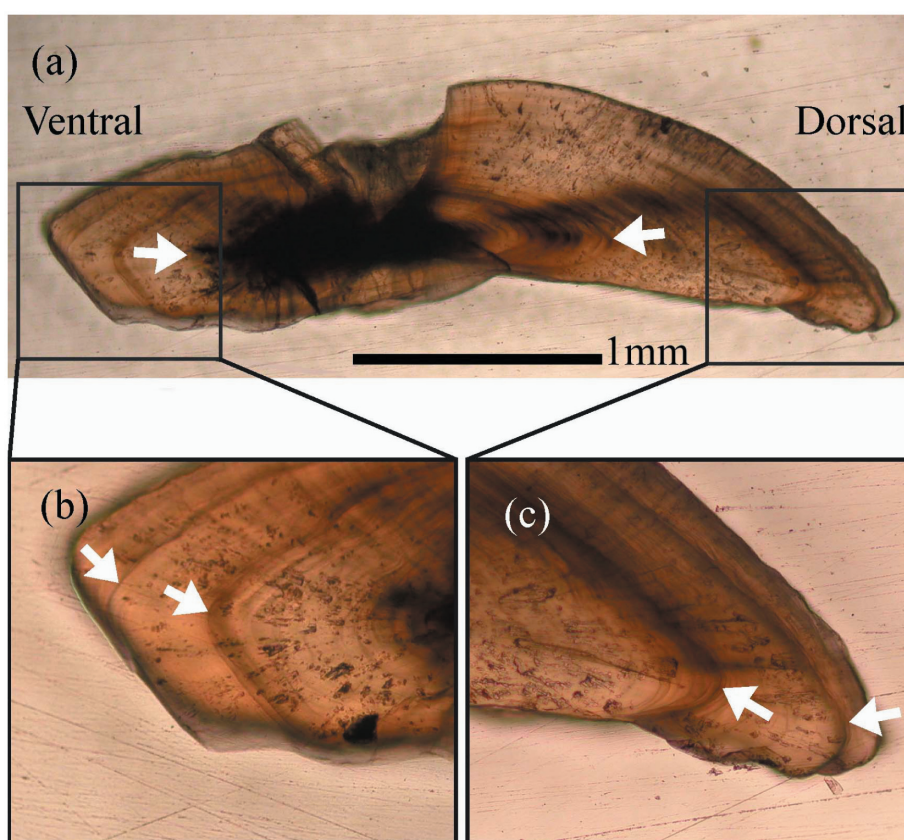
耳石の切片は顕微鏡の透過光を使用し40倍で観察した。切片の表面を見ると、耳石の成長方向が変化する狭い不透明帯が観察できた。この不透明帯の外縁を年輪として使用し、その輪紋数を計測した(Fig. 2.1b, c)。輪紋数を計測する際、査定者には尾叉長、体重など魚体の情報を与えなかった。

耳石の成長方向は、Fig. 2.2のように変化している。耳石長は隣りあう輪紋の距離を腹側から背側まで核を経由して計測した。距離の計測はパソコンで耳石のデジタルカメラ画像を使用した。

輪紋形成時期を特定するため、月ごとの縁辺部の輪

Table 2.1. Samples collected for age validation using otolith from 2000 to 2003 around Izu Oshima island.

Date	Number of samples (male : female : unknown)	Fork length (mm)	Fishing (sampling) gear	Group
2000				
29 May	15(0:0:15)	65-81	brail net	1-A
19 Jun	7(0:0:7)	78-90	brail net	1-A
2001				
25 Jul	158(83:75:0)	167-210	gill net	1-B
19 Oct	121(65:56:0)	162-209	set net	1-C
8 Nov	158(93:65:0)	168-211	gill net	1-B
11 Dec	124(76:48:0)	161-208	set net	1-C
2002				
5 Apr	90(44:46:0)	150-204	set net	1-C
19 May	84(43:41:0)	166-212	gill net	1-B
14 Jun	152(72:80:0)	161-203	gill net	1-B
26 Jul	116(56:53:7)	145-207	gill net	1-B
4 Sep	185(106:79:0)	155-201	gill net	1-B
2003				
15 Oct	117(59:51:7)	111-144	angling	1-D
16 Oct	30(14:10:6)	114-135	angling	1-D

**Fig. 2.1.** A sectioned otolith of butterfish. (a) A typical overlook (x 40) and irregular ring (arrowhead). (b) and (c) Detailed views of both the dorsal and ventral side (x 200). The arrowhead indicates the annual rings.

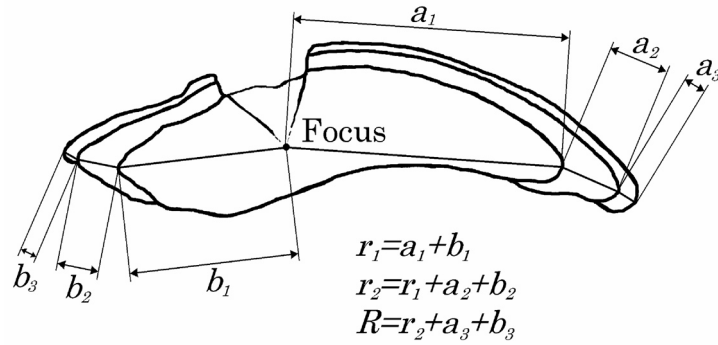


Fig. 2.2. An example of measurement of an otolith. Notations "R" and "r_n (n=1,2)" indicate the whole diameter and diameter at ring formation.

紋出現割合と縁辺成長率を求めた。耳石の縁辺部の状態は以下の3つに分類し、全体のうち(i)の占める割合を縁辺部の輪紋出現割合とした。

- (i) 耳石の縁辺に輪紋が形成した直後
 - (ii) 耳石の縁辺に輪紋が形成していない
 - (iii) 耳石とポリエステル樹脂の接着面の乱反射のため縁辺の状態が観察できない
- 縁辺成長率は、耳石長から以下の式で求めた。

$$\text{縁辺成長率} = \frac{R - r_n}{r_n - r_{n-1}} \quad (2.1)$$

ここで、R (mm) は全径、r_n (mm) は核から外側に数えて n 番目の輪紋までの長さを示す。尾叉長 (FL) と R の関係の対数線形式を最小 2 乗法で求めた。また、その関係式から輪紋形成時の尾叉長の理論値を求めた。第 1 輪形成時期を調べるため、耳石に輪紋が形成されていない小型魚の年齢は、過去に行われた仔稚魚調査結果の月ごとの尾叉長組成データを使用して決定した (小達, 1962; 武藤, 1970; 有馬, 1984)。

結 果

Group 1 の耳石の輪紋は1,357個体中1,351個体を計測することができた (可読率=0.996)。6 個体の耳石は輪紋が不明瞭なため、輪紋数を計測することが出来なかった。耳石の計測可能個体のうち、尾叉長145~212mm の1,182個体には 1~7 本の輪紋が形成されていたが、尾叉長65~144mm の169個体には輪紋が形成されていなかった。輪紋が形成されている個体のうち 3.7% は、耳石の一部が破損しているため、耳石長を計測することが出来なかった。また、耳石の可読個体うち32% には、第 1 輪の内側に偽輪が形成されてい

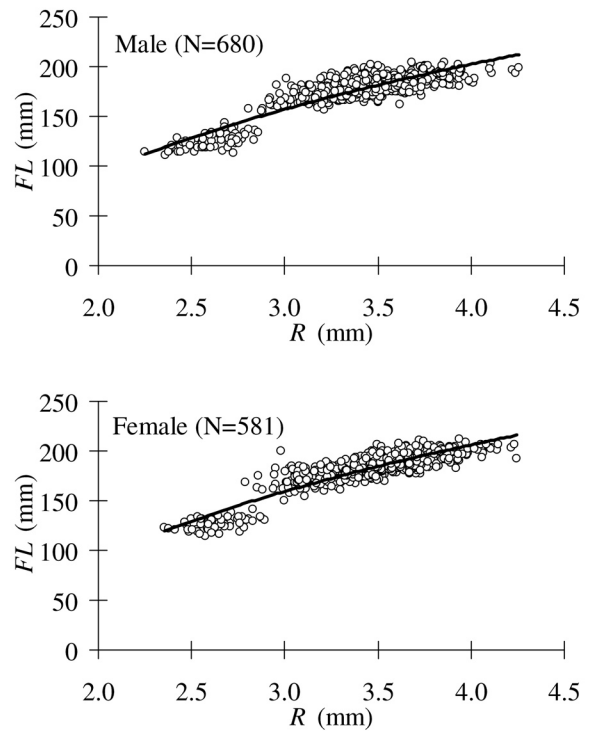


Fig. 2.3. Relationship between whole diameter (R) and fork length (FL). The open circles and curves show the data and estimated ones.

た (Fig. 2.1a)。雌雄は Group 1-B, C, D の1,315個体で判定できた。雄, 雌, 性別不明の個体数はそれぞれ、711, 604, 42個体だった。Group 1-A の性別は生殖腺が小さいため判定できなかった。

Fig. 2.3は耳石長と尾叉長の関係図である。耳石長と尾叉長関係の対数線形式は、

$$FL = 157.73Ln(R) - 16.17 \quad (\text{雄} : R^2 = 0.79) \quad (2.2)$$

$$FL = 163.19Ln(R) - 19.98 \quad (\text{雌} : R^2 = 0.80) \quad (2.3)$$

である。Table 2.2は n 番目の輪紋形成時の尾叉長の推定値である。輪紋形成時の尾叉長の推定値は輪紋数が増加すると、わずかに減少していることを示す。

Table 2.2. Back-calculated fork length (FL_n , mm) at each ring group

Sex	Ring group	Sample size	FL_1	FL_2	FL_3	FL_4	FL_5	FL_6	FL_7
Male	1	96	147						
	2	178	146	169					
	3	207	145	169	178				
	4	96	146	169	178	184			
	5	26	146	167	177	184	189		
	6	7	143	163	174	181	188	193	
	Average			146	169	178	184	189	193
Total		610							
Female	1	113	150						
	2	157	149	172					
	3	144	150	173	183				
	4	80	151	176	185	191			
	5	24	148	169	180	188	194		
	6	3	135	159	170	180	186	192	
	7	1	150	169	176	183	188	193	197
Average			150	173	183	190	193	192	197
Total		522							

n , number of rings

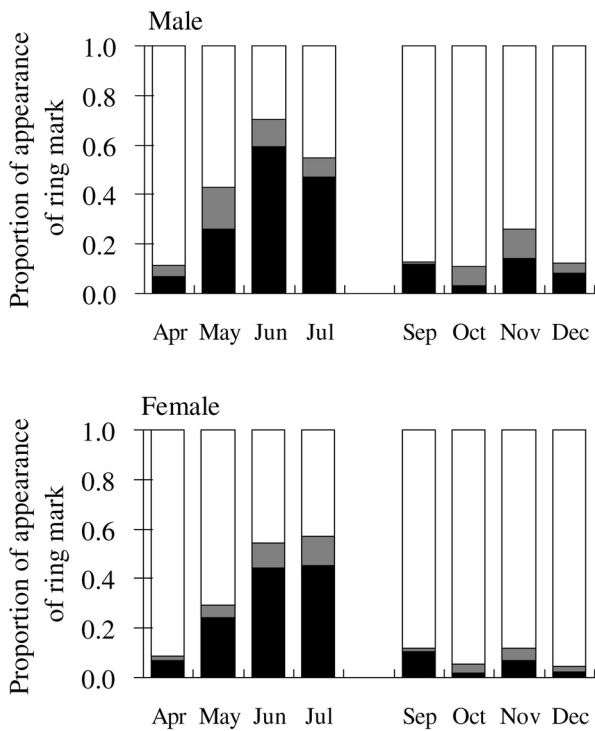


Fig. 2.4. Monthly changes in the proportion of appearance of ring marks on the outer margins of otoliths. The black, white, and gray areas indicate the proportions of ring appearance, no appearance, and unreadable, respectively.

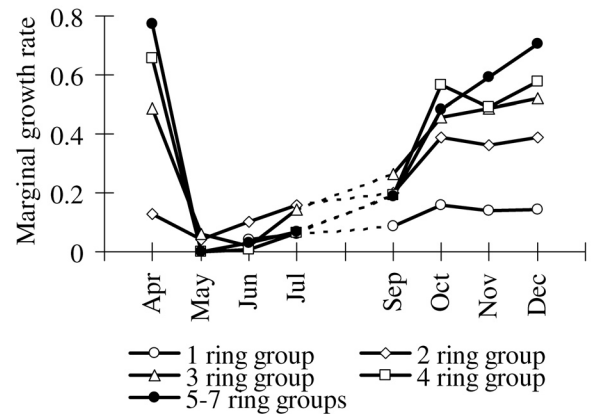


Fig. 2.5. Monthly changes in marginal growth rates of otoliths by ring group

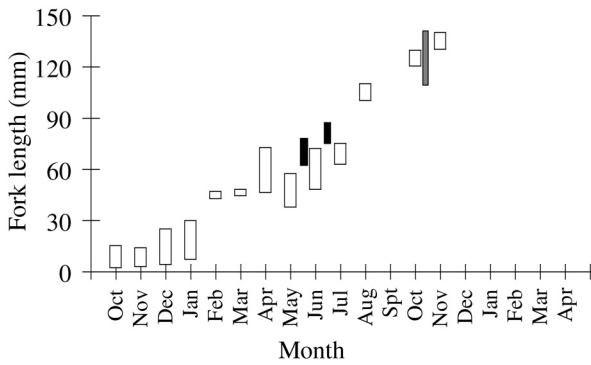


Fig. 2.6. Comparison of monthly changes in fork length frequency distribution. The black, gray, and white bars indicate samples of Group 1-A, Group 1-D, and the past study, respectively.

耳石の縁辺部の輪紋出現割合と縁辺成長率の月変化を Fig. 2.4 と Fig. 2.5 にそれぞれ示す。4 月から 6 月にかけて、縁辺部の輪紋出現割合は増加し、縁辺成長率は減少している。このことから、輪紋は 1 年に 1 本春から夏にかけて形成され、そのピークが 5 月と 6 月であると判断した。この時期の縁辺部の輪紋の計測は、新しい輪紋が形成されていると判断できる個体のみ測定した。ちょうど輪紋が形成されている個体の縁辺成長率は 0 とした。

年齢を求める際に、10 月から 11 月にかけて産卵期であることから、誕生日を 11 月 1 日と仮定した (有馬, 1984)。Fig. 2.6 は、耳石の輪紋が形成されていない Group 1-A と Group 1-D の尾叉長の範囲と、過去の研究で採集された小型魚の各月の尾叉長の範囲を比較した図である。過去の調査の尾叉長組成と比較すると、Group 1-A と Group 1-D の標本は、それぞれ 0.5 歳と 1 歳の範囲と一致する。さらに、月と尾叉長組成の関係から、第 1 輪形成時の推定尾叉長 150 mm (Table 2.2) に達するのは、翌春の 1.5 歳であると判断した。

考 察

耳石による年齢査定には、偏平石の切片を作成する以外にも様々な方法がある (Secor *et al.*, 1992)。本研究に先立ち、礫石と星状石の年齢形質としての使用可能性に加え、偏平石の観察方法についても複数検討した。礫石では、表面、切片の観察のいずれにおいても、年輪や日周輪と考えられる周期輪がみられなかった。星状石では、表面観察で周期輪と考えられる輪紋が観察できなかったが、横断方向に切断後、核が切片表面に現れるまで研磨し、10% HCl でエッチングを行い、表面を走査型電子顕微鏡で観察したところ、核から縁

辺部にかけて 300~500 本ほどの間隔が密な輪紋が確認できた。この輪紋の観察は非常に手間がかかるため、本研究では年齢形質としての有効性の検証を行わなかった。しかし、今後飼育個体を使用した実験などを行い周期輪であることが確認できれば、年や地域による初期成長の違いの検討など、詳細な解析を行えるかもしれない。また、偏平石を表面観察した場合、高齢になるに従い輪紋が湾曲して形成され間隔が密になり判読しにくくなるため、輪紋の観察方法として不適と判断した。表面法による耳石の輪紋数査定結果は、輪紋の形成方向が変化するため、切片による査定と比較して年齢が過小推定になることがある (Beamish, 1979; Newman *et al.*, 2000)。偏平石の構造を考慮すると、横断方向に切片を作成することは、輪紋数をより正確に計測できる方法と考えられる。

輪紋が形成されていない小型魚の年齢は、尾叉長組成の差を用いて他の年齢群と分離し決定した。耳石と鱗の第 1 輪輪紋形成前の年齢については、脊椎骨や棘など他の年齢形質を使用することで、査定可能かもしれない。しかし、漁獲対象サイズと比較し小型魚は成長が早いため、尾叉長組成の比較のみで十分に年齢分解が可能である。

輪紋形成時の尾叉長の理論値は、輪紋数が増加するとわずかに減少する傾向が見られる。この原因について、Lee 現象と年齢査定誤差の 2 つの可能性が考えられる。統計的な検定を行っていないが、輪紋数が 5 本以下のサンプル数は十分にあり、輪紋形成時の推定尾叉長も、各グループ間で非常に近い値であることから、年齢査定誤差とは考えにくい。

耳石を観察した結果 32% の個体で、第 1 輪と核の間に偽輪が形成されていた。この偽輪を誤って輪紋として計測すると、年齢査定において重大な誤差の原因となる。偽輪は通常第 1 輪が形成される長さの半分ほどの位置に出現していた。核からの距離の差を利用することで、偽輪と通常輪を区別することは可能である。

有馬 (1984) によると、鱗の輪紋形成時期は 4 月で、本研究結果の耳石の輪紋形成時期とほぼ一致する。冬場の水温が 16°C 以下になると飼育では成長が停滞することから、鱗の輪紋形成が冬季の成長停滞期から、春季の成長開始期への変化が原因で起こることを示唆している。タカベの耳石の輪紋形成要因も、鱗と共通で、成長の停滞期から開始期への移行によるものと考えられる。

第三章 年齢・成長・成熟

資源生物の年齢、成長、成熟を知ることは資源解析の課題の1つで、成長生残モデルを使用し解析を行うときに必要な情報である（田中，1998；Quinn and Deriso, 1999）。伊豆諸島北部海域において、東京都水産試験場がタカベの生物学的情報を得るため、長期間魚体の収集が行われている。このうち、年齢形質については、近年耳石と鱗両方を収集しているが、2000年以前は鱗の標本しか収集していない。このため、長期間の年齢と成長に関する情報を得るためには、耳石と鱗のデータを併用する必要があるが、天然個体において耳石と鱗の輪紋の関係について十分な把握がなされていない。本章は、耳石と鱗の年齢形質としての関係を把握した上で、年齢、成長、成熟など資源解析に必要な生物学的情報を得ることを目的とする。1994～2003年に伊豆諸島北部海域で収集した標本の耳石と鱗を使用し、年別地区別漁法別の輪紋数組成を調べた。輪紋査定値の信頼性の評価するため、年齢読み取り誤差の評価も行った。また、年齢と成長の関係を把握するため、年齢-尾叉長関係の von Bertalanffy 成長式と、尾叉長-体重関係のアロメトリー式を推定した。さらに、雌雄の年齢別成熟率と成熟サイズについても調べた。

試料と方法

試料

伊豆諸島北部海域のタカベの年齢、成長、成熟を調べるため、1994～2003年に Group 1の標本も含めた16,932個体を収集した。標本は、漁業（定置網、刺網、寄網、建切網）で捕獲したものが15,382個体で、調査（釣り、たも網）で捕獲したものが1,550個体である（Table 3.1）。

標本は第二章と同様に測定まで冷蔵保存し、全個体の尾叉長と体重、15,289個体の生殖腺重量を計測した。性別は生殖腺を摘出時に目視で観察し、雄、雌、不明に分類した。さらに、15,212個体の鱗を採取し、そのうち1,842個体について頭部から耳石も摘出した。ここで、標本は耳石と鱗の摘出に関して以下の4種類に分類できる。

- Group 1 耳石と鱗を摘出し、第二章で耳石の年齢形質としての有効性を調べるために使用した標本（1,357個体）
- Group 2 耳石と鱗を摘出した Group 1以外の標本（485個体）
- Group 3 鱗のみを摘出した標本（13,352個体）
- Group 4 耳石と鱗いずれも摘出していない標本（1,738個体）

輪紋数の計測

1. 耳石と鱗の輪紋数査定

Group 1, 2の全個体と Group 3の9,621個体の鱗の輪紋数を計測した。鱗は魚体測定時に、体側の胸鱗の内側から左右約20枚、合計40枚ほど採取し、水道水に半日浸漬した後、5%水酸化ナトリウム水溶液に浸すか、超音波洗浄器に20～30分間入れる、どちらかの方法で表面に付着した細かい組織片などを除去した。その後、水道水ですすぎ、2枚のスライドガラスの間に鱗をはさみ、セロハンテープで接着した。鱗は顕微鏡の透過光を使用して40倍で観察し、輪紋が明瞭に観察できる個体と不明瞭で観察できない個体に分類した。輪紋が明瞭な個体について、有馬（1984）に従い鱗の断切部の輪紋数を計測した（Fig. 3.1(b)）。輪紋数は、査定者に尾叉長や体重など魚体の情報を与えず計測した。また、Group 2の標本の耳石は、第二章で輪紋数を計測した Group 1と同様の方法で計測した。Group 1, 2の標本を使用し耳石と鱗の輪紋数ごとの出現頻度を比較

Table 3.1. Samples collected for age estimation by fishing gear, area and year.

Year	Area 2-1 Gill net	Area 2-1 Set net	Area 2-2 Seine	Area 2-2 Gill net	Area 2-3 Bulk net	Area 2-1 & 2-3 Survey
1994	167	250	0	220	168	0
1995	580	0	67	79	228	61
1996	141	54	0	0	385	129
1997	357	0	0	147	721	1098
1998	92	43	74	284	517	0
1999	71	412	503	284	353	0
2000	526	518	185	751	845	115
2001	812	594	383	713	794	0
2002	589	115	0	381	466	0
2003	341	184	489	198	319	147

した。輪紋数から年齢への変換は、第二章と同様に11月1日を誕生日と仮定した。

2. 耳石と鱗の輪紋数査定値の信頼性の評価

耳石と鱗の輪紋を同一査定者が計測したときの査定値の信頼性を調べるため、読み取り誤差の評価を行った。Group 2の319個体について耳石と鱗の輪紋数をそれぞれ1ヶ月おきに3回査定した。輪紋数の読み取り誤差の評価には、3回いずれも査定できた個体のみを使用し、真の輪紋数 h 本 ($h = 1, \dots, H$) に対する、輪紋数観測値 ϕ 本 ($1, \dots, \Phi_h$) の出現確率 $p(\phi|h)$ を推定した。 $p(\phi|h)$ は、真の輪紋数が h 本の i 番目 ($i = 1, \dots, I_h$) の個体を合計 $x_{h,i}$ 回の査定したとき、観測値 ϕ 本の出現回数 $x(\phi)_{h,i}$ が多項分布に従うモデルを仮定し推定した。尤度関数は、

$$L = \prod_{h=1}^H \prod_{i=1}^{I_h} x_{h,i}! \prod_{\phi=1}^{\Phi_h} \frac{p(\phi|h)^{x(\phi)_{h,i}}}{x(\phi)_{h,i}!} \quad (3.1)$$

$$\text{但し } x_{h,i} = \sum_{\phi=1}^{\Phi_h} x(\phi)_{h,i}$$

となる。ここで、読み取り誤差の評価において、耳石と鱗それぞれの i 番目の個体の真の輪紋数 h 本は、複数回査定した輪紋数観測値の平均を四捨五入した整数値 h^{oto} 本, h^{scl} 本とした。耳石と鱗の輪紋数観測値をそれぞれ、 ϕ^{oto} 本, ϕ^{scl} 本とし、 $p(\phi^{oto}|h^{oto})$ と $p(\phi^{scl}|h^{scl})$ を推定した。

成長式の推定

1. 年齢-尾叉長の von Bertalanffy 成長式
性別 ($s = m, f, u$), 場所 ($b = 1, 2, 3$) における a

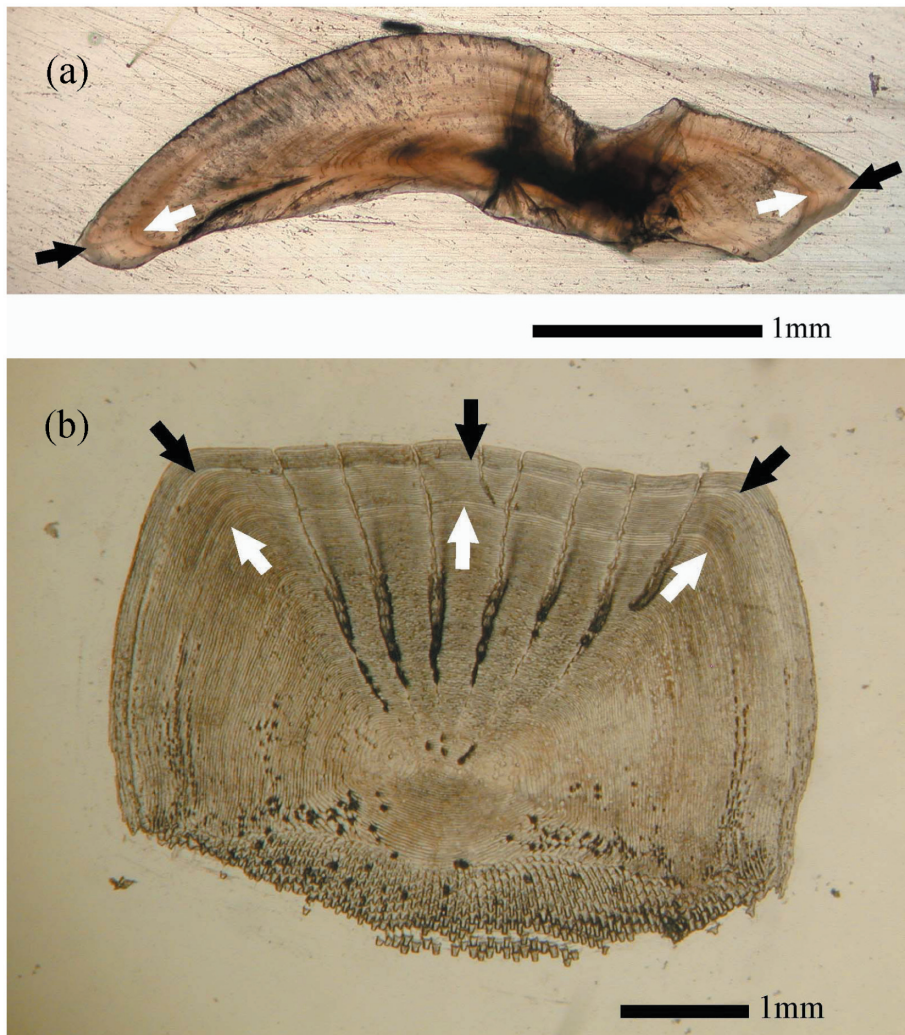


Fig. 3.1. Comparison of the annual rings between otolith (a) and scale (b) of butterfish. The white and black allows indicate first and second rings, respectively.

歳 ($a = 0, \dots, A$) の i 番目 ($i = 1, \dots, I_{s,b,a}$) の個体の尾叉長を $l_{s,b,a,i}$ (mm) とおく。場所は漁業の操業範囲から $b=1, 2, 3$ に分離し, それぞれ大島周辺海域 (Area 2-1), 利島から式根島周辺海域 (Area 2-2), 神津島周辺海域 (Area 2-3) とした (Fig. 1.1)。性別 “ m ”, “ f ”, “ u ” はそれぞれ雄, 雌, 性別不明を表す。実年齢を $t_{s,b,a,i}$ (年) と置き, $l_{s,b,a,i}$ を以下のモデルで示す。

$$l_{s,b,a,i} = \hat{l}_{s,b}(t_{s,b,a,i}) + \varepsilon_{s,b,a,i} \quad (3.2)$$

ここで $\varepsilon_{s,b,a,i}$ は平均 0, 分散 $\sigma_{s,b}^2$ (mm²) の正規分布に従う誤差, $\hat{l}_{s,b}(t_{s,b,a,i})$ は $t_{s,b,a,i}$ 歳における尾叉長の理論値である。 $\hat{l}_{s,b}(t_{s,b,a,i})$ について von Bertalanffy モデルを使用した。

$$\hat{l}_{s,b}(t_{s,b,a,i}) = l_{\infty(s,b)}(1 - \exp(-K_{s,b}(t_{s,b,a,i} - t_{0(s,b)}))) \quad (3.3)$$

ここで $l_{\infty(s,b)}$, $K_{s,b}$, $t_{0(s,b)}$ は, それぞれ極限体長 (mm), 成長係数 (1/年), 尾叉長が 0 となる年齢 (年) を示す。

性別不明個体の尾叉長の理論値 $\hat{l}_{u,b}(t_{u,b,a,i})$ は, $\hat{l}_{m,b}(t_{u,b,a,i})$ と $\hat{l}_{f,b}(t_{u,b,a,i})$ に雌雄それぞれの割合を掛けた加重平均に等しいと仮定した。

$$\hat{l}_{u,b}(t_{u,b,a,i}) = \lambda \hat{l}_{m,b}(t_{u,b,a,i}) + (1 - \lambda) \hat{l}_{f,b}(t_{u,b,a,i}) \quad (3.4)$$

ここで λ ($0 < \lambda < 1$) は, 標本から求めた雄の割合である。尤度関数 (Kimura, 1980) は,

$$L = \prod_s \prod_b \prod_a \prod_i \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{s,b}^2}} \exp\left\{-\frac{(l_{s,b,a,i} - \hat{l}_{s,b}(t_{s,b,a,i}))^2}{2\sigma_{s,b}^2}\right\} \quad (3.5)$$

である。

Group 1~3 のデータを使用し, 年齢-尾叉長の von Bertalanffy 成長式を推定した。成長式のパラメータは, 地区や雌雄による成長差の有無について, 可能な限り考慮した。 l_{∞} は地区, 雌雄について考慮したが, K は地区によって小型魚の標本数が十分でないため, 地区によらず一定とし雌雄のみを考慮した。また, 発生初期段階のサンプルがないことに加え, 産卵期に仔魚が伊豆諸島北部海域で広範囲に分布することから, t_0 は地区, 雌雄によらず一定と仮定した。von Bertalanffy 成長式のパラメータを地区と雌雄について考慮し, 以下の 4 つのケースに分けて推定した。

Case 1 (地区別, 雌雄別)

$$l_{\infty(m,1)}, l_{\infty(f,2)}, l_{\infty(m,3)}, l_{\infty(f,1)}, l_{\infty(m,2)}, l_{\infty(f,3)}, \\ K_{m,1} = K_{m,2} = K_{m,3}, K_{f,1} = K_{f,2} = K_{f,3}, \\ t_{0(m,1)} = t_{0(m,2)} = t_{0(m,3)} = t_{0(f,1)} = t_{0(f,2)} = t_{0(f,3)}, \\ \sigma_{m,1}^2, \sigma_{m,2}^2, \sigma_{m,3}^2, \sigma_{f,1}^2, \sigma_{f,2}^2, \sigma_{f,3}^2, \sigma_{u,1}^2, \sigma_{u,2}^2, \sigma_{u,3}^2.$$

Case 2 (地区込み, 雌雄別)

$$l_{\infty(m,1)} = l_{\infty(m,2)} = l_{\infty(m,3)}, l_{\infty(f,1)} = l_{\infty(f,2)} = l_{\infty(f,3)}, \\ K_{m,1} = K_{m,2} = K_{m,3}, K_{f,1} = K_{f,2} = K_{f,3}, \\ t_{0(m,1)} = t_{0(m,2)} = t_{0(m,3)} = t_{0(f,1)} = t_{0(f,2)} = t_{0(f,3)}, \\ \sigma_{m,1}^2 = \sigma_{m,2}^2 = \sigma_{m,3}^2, \sigma_{f,1}^2 = \sigma_{f,2}^2 = \sigma_{f,3}^2, \sigma_{u,1}^2 = \sigma_{u,2}^2 = \sigma_{u,3}^2.$$

Case 3 (地区別, 雌雄込み)

$$l_{\infty(m,1)} = l_{\infty(f,1)}, l_{\infty(m,2)} = l_{\infty(f,2)}, l_{\infty(m,3)} = l_{\infty(f,3)}, \\ K_{m,1} = K_{m,2} = K_{m,3} = K_{f,1} = K_{f,2} = K_{f,3}, \\ t_{0(m,1)} = t_{0(m,2)} = t_{0(m,3)} = t_{0(f,1)} = t_{0(f,2)} = t_{0(f,3)}, \\ \sigma_{m,1}^2 = \sigma_{f,1}^2 = \sigma_{u,1}^2, \sigma_{m,2}^2 = \sigma_{f,2}^2 = \sigma_{u,2}^2, \sigma_{m,3}^2 = \sigma_{f,3}^2 = \sigma_{u,3}^2.$$

Case 4 (地区込み, 雌雄込み)

$$l_{\infty(m,1)} = l_{\infty(m,2)} = l_{\infty(m,3)} = l_{\infty(f,1)} = l_{\infty(f,2)} = l_{\infty(f,3)}, \\ K_{m,1} = K_{m,2} = K_{m,3} = K_{f,1} = K_{f,2} = K_{f,3}, \\ t_{0(m,1)} = t_{0(m,2)} = t_{0(m,3)} = t_{0(f,1)} = t_{0(f,2)} = t_{0(f,3)}, \\ \sigma_{m,1}^2 = \sigma_{m,2}^2 = \sigma_{m,3}^2 = \sigma_{f,1}^2 = \sigma_{f,2}^2 = \sigma_{f,3}^2 = \sigma_{u,1}^2 = \sigma_{u,2}^2 = \sigma_{u,3}^2.$$

定置網で捕獲されたものは, 定置網導入試験 (東京都水産試験場, 1993) の結果より尾叉長 120mm 以上については十分に漁獲される。また, 寄網と建切網においても, 追い込んだ魚群をすくい上げるとき使用する網の目合いが 8~12 節とタカベの魚体に対して小さいため, 漁獲対象サイズの標本に偏りはないと考えられる。しかし, 刺網については選択性の影響で漁獲対象サイズのサンプルが偏っている可能性がある。そこで, 年齢-尾叉長の成長式の推定には漁業で収集した標本のうち, 定置網と寄網, 建切網のものを使用した。

2. 年齢形質の違いの検討

耳石と鱗それぞれの年齢-尾叉長データの違いが, 成長式の推定に及ぼす影響を調べた。Group 1 の耳石と鱗による年齢の査定値を使用し, 極限体長, 成長係数, 分散を雌雄別に推定したときの von Bertalanffy 成長式のパラメータと満年齢における尾叉長を比較した。

3. 尾叉長-体重のアロメトリー式

性別 s の v 番目の個体 ($v=1, \dots, V_s$) の体重 $w_{s,v}$ (g) とおき, 加法誤差構造と乗法誤差構造の尾叉長-体重関係を以下のモデルで表す。

$$w_{s,v} = \hat{w}_s(l_{s,v}) + \varepsilon_{s,v} \quad (\text{加法誤差構造}) \quad (3.6)$$

$$w_{s,v} = \hat{w}_s(l_{s,v}) e^{\varepsilon_{s,v}} \quad (\text{乗法誤差構造}) \quad (3.7)$$

ここで $\hat{w}_s(l_{s,v})$ は, 尾叉長 $l_{s,v}$ における体重の理論値を示す。 $\hat{w}_s(l_{s,v})$ についてアロメトリー式を使用した。

$$w_s(l_{s,v}) = \alpha_s l_{s,v}^{\beta_s} \quad (3.8)$$

ここで, $\varepsilon_{s,v}$ は, 平均 0, 分散 σ_s^2 (g^2) の正規分布に従う誤差を示す。また, v 番目の性別不明個体の体重の理論値 $\hat{w}_u(l_{u,v})$ は, (3.4) 式と同様に雌雄の体重の理論値の加重平均に等しいと仮定した。

$$\hat{w}_u(l_{u,v}) = \lambda \hat{w}_m(l_{u,v}) + (1-\lambda) \hat{w}_f(l_{u,v}) \quad (3.9)$$

加法誤差構造, 乗法誤差構造における, それぞれの尤度関数は,

(加法誤差構造)

$$L = \prod_s \prod_v \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{s,v}^2}} \exp\left\{-\frac{(w_{s,v} - \hat{w}_s(l_{s,v}))^2}{2\sigma_{s,v}^2}\right\} \quad (3.10)$$

(乗法誤差構造)

$$L = \prod_s \prod_v \frac{1}{w_{s,v} \sqrt{2\pi\sigma_{s,v}^2}} \exp\left\{-\frac{(\log w_{s,v} - \log \hat{w}_s(l_{s,v}))^2}{2\sigma_{s,v}^2}\right\} \quad (3.11)$$

となる。

Group 1~4 のデータを使用しアロメトリー式を推定した。地区によって小型魚の標本数が十分でないため地区間の差は考慮せず, 性別を雌雄込みと雌雄別, 誤差構造を加法誤差と乗法誤差について考慮した。性別と誤差構造の組み合わせで, 合計 4 種類のモデルを推定した。

4. パラメータ推定とモデル選択

未知パラメータは, 統計解析ソフト R (version 2.1.0) (R Development Core Team, 2005) を使用し最尤法で推定した。パラメータ推定値の標準誤差は observed Fisher 情報量の逆行列を使用して求めた

(Seber, 1989)。また, 乗法誤差構造のアロメトリー式において, α の標準誤差はデルタ法を用いて推定した (Seber, 1982)。von Bertalanffy 成長式, アロメトリー式において, 複数の候補としたモデルから, 最適なモデルを赤池情報量規準 (以下, AIC)

$$AIC = -2LL + 2p \quad (3.12)$$

を使用し選択した (Akaike, 1973)。ここで LL と p は, それぞれ最大対数尤度とパラメータ数を示す。

5. 年齢-体重の von Bertalanffy 成長式

年齢-体重の von Bertalanffy 成長式を年齢-尾叉長の von Bertalanffy 成長式とアロメトリー式のパラメータ推定値を使用して求めた。

$$w_{s,b}(t_{s,b,a,i}) = w_{\infty(s,b)} (1 - \exp(-K_s(t_{s,b,a,i} - t_0)))^{\beta_s} \quad (3.13)$$

ここで $w_{\infty(s,b)}$ は極限体重 (g) で $l_{\infty(s,b)}$ のときの体重を示す。

成熟

生殖腺重量と体重から生殖腺指数 (Gonad Somatic Index, 以下 GSI) を求めた (羽生, 小栗, 1991)。

$$GSI = \text{生殖腺重量(g)} \times 100 / \text{体重(g)} \quad (3.14)$$

漁獲対象となっている個体の雌雄別の GSI の月変化を Area 2-1, Area 2-2, Area 2-3 について調べた。また, 産卵期である 10 月の漁獲対象サイズ以下の個体について, 尾叉長と GSI, 成熟状態の関係を調べた。さらに, 雌雄それぞれについて年齢別成熟率を求めた。ここで, 成熟状態は目視で観察し, 雄で精巣が乳白色で膨らんでいるものを, 雌で卵巣内に卵が形成されているものをそれぞれ成熟と判断し, 雌雄とも産卵時期以外と変化がないものを未成熟と判断した。

結果

輪紋数の計測

1. 耳石と鱗の輪紋数査定

Group 2 の耳石の輪紋は 485 個体中 482 個体を計測することができた (可読率 = 0.998)。鱗の輪紋数は 11,467 個体を査定し 11,311 個体計測することができた (可読率 = 0.986)。輪紋を計測することができなかった標本は, 採取した鱗がすべて再生鱗であったものと, 胸鰭周辺の鱗がほとんど剥がれ落ちていたため, 査定に適した鱗が 1 枚もなかったものである。生殖腺を観察した結果, 雄, 雌, 不明の個体数は, それぞれ 7,843,

Table 3.2. The frequency at each ring group from 1994 to 2003 by fishing gear, area and year.

	Area	Fishing gear	Ring group	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
(Scale)	2-1	Gill net	1	18	55	58	141	29	0	57	33	77	55
			2	36	71	39	103	54	15	104	128	184	106
			3	41	72	20	28	8	19	99	171	124	98
			4	21	81	15	26	1	16	23	77	105	52
			5	2	17	6	8	0	11	2	25	26	19
			6	0	1	1	1	0	7	1	6	11	4
			7	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0
			unreadable	1	5	2	1	0	3	2	13	8	7
	2-1	Set net	1	43		18		0	49	45	94	14	54
			2	85		6		5	149	162	140	34	56
			3	80		16		12	59	104	98	43	29
			4	31		6		10	21	23	34	24	25
			5	8		2		4	9	12	3	0	12
			6	0		0		1	3	4	2	0	1
			7	0		0		0	0	0	0	0	0
			unreadable	3		6		1	8	2	4	0	7
	2-2	Seine	1		2			28	104	21	89		35
			2		13			42	240	69	178		133
			3		34			4	107	62	68		91
			4		15			0	16	18	22		27
			5		1			0	17	10	5		6
			6		0			0	6	2	6		2
			7		0			0	0	1	0		0
			unreadable		2			0	3	2	15		2
	2-2	Gill net	1	8	7		17	77	35	179	117	54	22
			2	22	28		37	103	111	232	218	64	52
			3	97	28		7	15	55	178	107	24	38
			4	46	14		10	3	36	76	34	4	24
			5	4	1		5	3	36	53	36	1	9
			6	0	0		2	0	10	23	9	3	4
			7	0	0		0	0	0	3	3	0	0
			unreadable	5	1		1	0	1	7	13	0	2
	2-3	Bulk net	1	15	9	41	104	29	17	121	58	65	36
			2	29	28	75	106	224	166	105	226	143	167
			3	69	82	82	27	28	99	40	42	82	73
			4	43	88	120	36	12	11	16	21	22	32
			5	7	21	44	18	7	6	14	7	4	6
			6	1	0	8	4	2	0	2	1	3	1
			7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			unreadable	4	0	5	2	1	5	3	0	2	4

	Ring group	Area 2-1 Gill net			Area2-1 Set net		Area 2-3 Bulk net
		2001	2002	2003	2001	2002	2003
(Otolith)	1	10	89	26	93	21	26
	2	42	138	41	64	21	153
	3	113	116	31	60	33	88
	4	102	115	28	22	13	41
	5	36	60	28	5	0	5
	6	9	14	8	1	0	4
	7	2	3	1	0	0	1
	8	0	0	1	0	0	0
	unreadable	2	2	2	0	2	1

Table 3.3. Relationship of the number of rings between otolith and scale.

Otolith	Scale							
	1	2	3	4	5	6	7	unreadable
1	166	90	6	2				1
2	33	320	89	9	3			4
3	8	109	228	91	2	1		2
4	6	37	133	118	16	3		7
5	2	5	37	48	31	4		9
6		1	2	13	9	9	2	
7			2		2	2	1	
8						1		
unreadable		4	4	1				

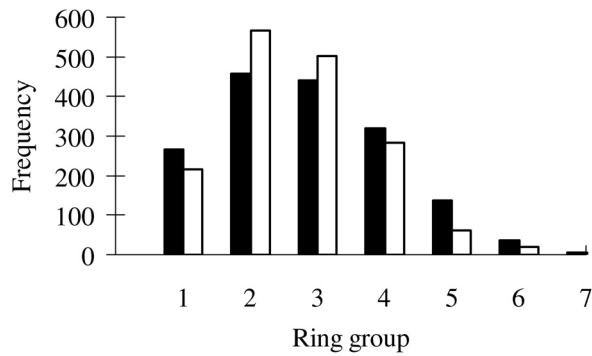


Fig. 3.2. The frequency of each ring group from counts of rings of otolith (black bars) and scale (white bars).

Table 3.4. The frequency of each ring group using otolith and scale for three age determinations.

Ring group	Otolith			Scale		
	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
1	26	23	26	36	26	31
2	153	154	152	167	163	158
3	88	84	88	73	89	97
4	41	44	40	32	30	25
5	5	8	7	6	8	8
6	4	3	4	1	1	0
7	1	2	1	0	0	0
unreadable	1	1	1	4	2	0

Table 3.5. Probability of observed value of number of rings in otolith (ϕ^{oto}) to mean number of rings in otolith (h^{oto}).

ϕ^{oto}	h^{oto}				
	1	2	3	4	5+
1	0.99	0.01	0.00	0.00	0.00
2	0.01	0.98	0.02	0.00	0.00
3	0.00	0.01	0.93	0.14	0.00
4	0.00	0.00	0.05	0.82	0.12
5+	0.00	0.00	0.00	0.05	0.88

7,375, 71個体だった。大島定置網, 大島刺網, 寄網, 建切網, 大島以南刺網により漁獲された標本の耳石と鱗の年別の輪紋数組成を Table 3.2に示す。いずれの漁法による標本も輪紋数が1~3本の個体が多い。また, 調査で捕獲した小型魚は, 耳石, 鱗ともに輪紋は形成されていなかった。これらの標本の年齢は第二章

と同様に体長組成から0.5~1歳と判断した。

2. 耳石と鱗の輪紋値の信頼性の評価

1,673個体の耳石と鱗の輪紋数の関係を比較したところ, 耳石では1,664個体, 鱗では1,650個体査定でき, 共通に査定できたものが1,641個体であった。Table 3.3

Table 3.6. Probability of observed value of number of rings in scale (ϕ^{scl}) to mean number of rings in scale (h^{scl}).

ϕ^{scl}	h^{scl}				
	1	2	3	4	5+
1	0.86	0.05	0.01	0.00	0.00
2	0.14	0.81	0.18	0.03	0.00
3	0.00	0.13	0.70	0.14	0.00
4	0.00	0.02	0.11	0.72	0.09
5+	0.00	0.00	0.00	0.11	0.91

Table 3.7. Point estimates, standard errors and Akaike Information Criterion (AIC) values of the each cases of the von Bertalanffy growth models.

Parameter	Point estimate	SE	Parameter	Point estimate	SE
Case 1 AIC : 55547.2			Case 2 AIC : 56310.4		
$l_{\infty(m,1)}$ (mm)	185.6	0.404	$l_{\infty(m)}$ (mm)	191.0	0.263
$l_{\infty(m,2)}$ (mm)	191.7	0.412	$l_{\infty(f)}$ (mm)	195.0	0.263
$l_{\infty(m,3)}$ (mm)	193.1	0.302	K_m (1/year)	1.58	0.0194
$l_{\infty(f,1)}$ (mm)	188.9	0.386	K_f (1/year)	1.50	0.0169
$l_{\infty(f,2)}$ (mm)	195.7	0.406	t_0 (year)	0.290	0.00355
$l_{\infty(f,3)}$ (mm)	197.7	0.301	σ_m (mm)	10.15	2.68
K_m (1/year)	1.60	0.0195	σ_f (mm)	11.26	3.17
K_f (1/year)	1.51	0.0167	σ_u (mm)	7.06	1.86
t_0 (year)	0.280	0.00362	Case 3 AIC : 55985.5		
$\sigma_{m,1}$ (mm)	11.35	6.23	$l_{\infty(1)}$ (mm)	187.3	0.281
$\sigma_{m,2}$ (mm)	8.78	4.16	$l_{\infty(2)}$ (mm)	193.7	0.295
$\sigma_{m,3}$ (mm)	10.00	3.77	$l_{\infty(3)}$ (mm)	195.4	0.218
$\sigma_{f,1}$ (mm)	11.25	5.93	K (1/year)	1.55	0.0146
$\sigma_{f,2}$ (mm)	9.32	4.39	t_0 (year)	0.280	0.00365
$\sigma_{f,3}$ (mm)	12.15	5.38	σ_1 (mm)	9.67	2.39
$\sigma_{u,1}$ (mm)	6.82	1.83	σ_2 (mm)	9.10	3.05
$\sigma_{u,2}$ (mm)	15.25	147.11	σ_3 (mm)	11.04	3.11
$\sigma_{u,3}$ (mm)	8.50	8.24	Case 4 AIC : 56808.4		
			l_{∞} (mm)	193.1	0.191
			K (1/year)	1.54	0.0147
			t_0 (year)	0.290	0.00358
			σ (mm)	10.14	1.67

に鱗の輪紋数に対する耳石の輪紋数の関係を示す。Fig. 3.1は耳石と鱗の輪紋の比較の写真である。耳石と鱗の輪紋数査定値の一致率は53%で、全体の半分しか一致しなかった。また、両者の輪紋数の出現頻度

は2, 3輪で鱗の査定数の方が多く、4輪以上で耳石の査定数の方が多かった。全体として耳石の輪紋数に対して、鱗の輪紋数が過小に査定される傾向があった(Fig. 3.2)。

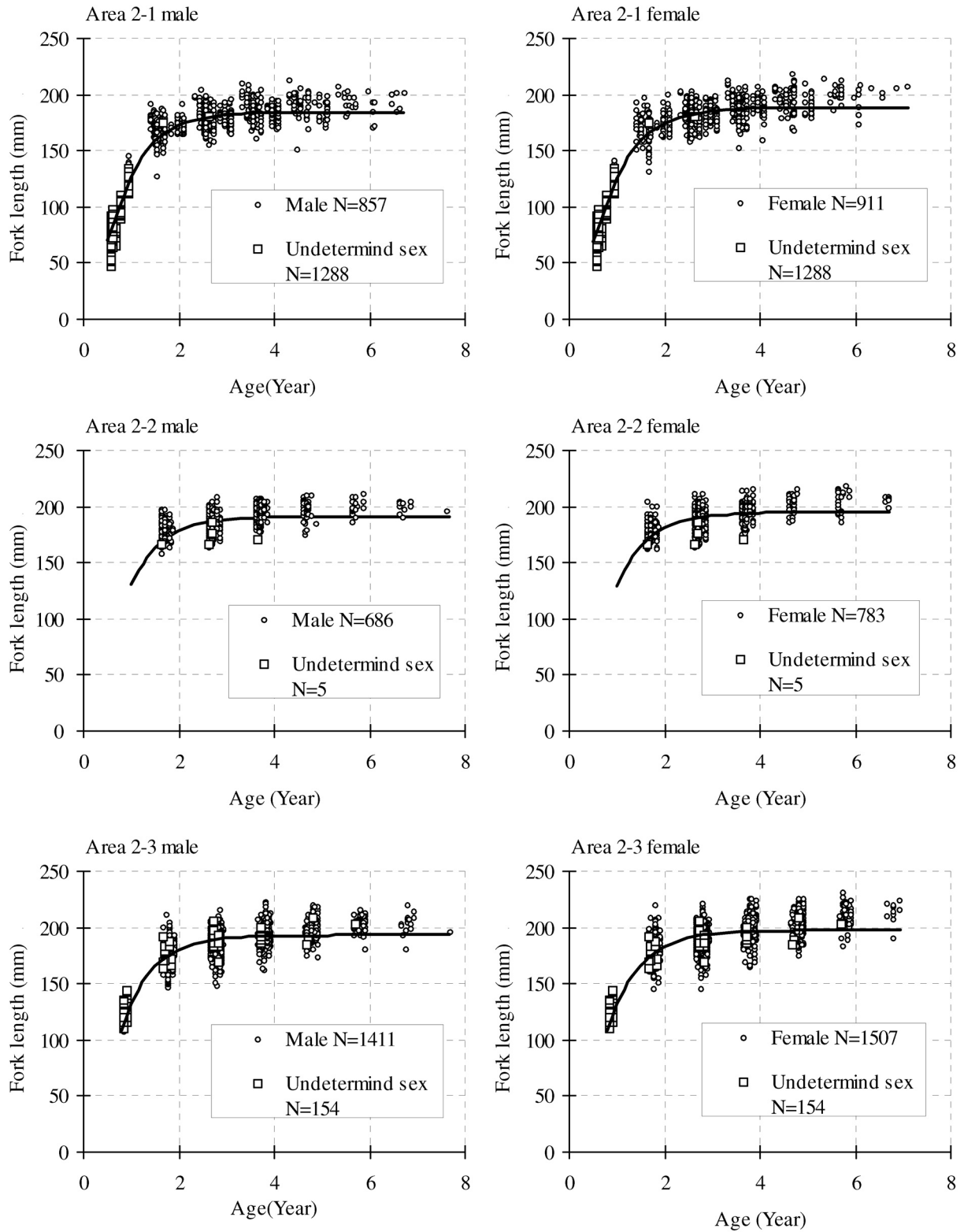


Fig. 3.3. Age-length data and the estimated von Bertalanffy growth curves of case 1.

Table 3.8. Comparison of estimated growth parameters and fork length at age of the von Bertalanffy growth model between counts of rings from otolith and scale by sex.

Parameter	Age	Otolith-male	Scale-male	Otolith-female	Scale-female
l_{∞} (mm)	Estimate (SE)	185.8 (0.413)	185.9 (0.450)	190.8 (0.470)	190.0 (0.493)
K (1/year)		1.23 (0.0299)	1.26 (0.0332)	1.20 (0.0285)	1.24 (0.0324)
t_0 (year)		0.09 (0.0184)	0.11 (0.0193)	0.09 (0.0184)	0.11 (0.0193)
Fork length (mm)	1	125.7	125.5	127.4	127.0
	2	168.8	168.2	171.9	171.6
	3	181.1	180.7	184.8	185.0
	4	184.5	184.3	188.5	189.1
	5	185.5	185.4	189.6	190.3
	6	185.8	185.7	189.9	190.7
	7	185.9	185.8	190.0	190.8

Table 3.9. Point estimates, standard errors and Akaike Information Criterion values (AIC) of the each cases of the allometric growth models.

Sex	Error structure	Parameter	Point estimate	SE
Separate	Multiplicative	AIC : 128406		
		$\ln(\alpha_m)$	-11.91	0.07133
		$\ln(\alpha_f)$	-12.70	0.06689
		α_m	0.00000670	0.00000048
		α_f	0.00000305	0.00000020
		β_m	3.191	0.01371
		β_f	3.348	0.01282
		σ_m	0.107	0.00019
		σ_f	0.112	0.00020
		σ_u	0.178	0.00095
Pooled	Multiplicative	AIC : 129834		
		$\ln(\alpha)$	-12.33	0.01938
		α	0.00000442	0.00000009
		β	3.275	0.00376
		σ	0.122	0.00016
Separate	Additive	AIC : 131477		
		α_m	0.00004126	0.000004146
		α_f	0.00001636	0.000001368
		β_m	2.844	0.0192
		β_f	3.028	0.0159
		σ_m	11.844	2.348
		σ_f	13.640	3.022
		σ_u	6.829	1.403
Pooled	Additive	AIC : 133411		
		α	0.00001934	0.000001214
		β	2.993	0.0120
		σ	12.44	1.682

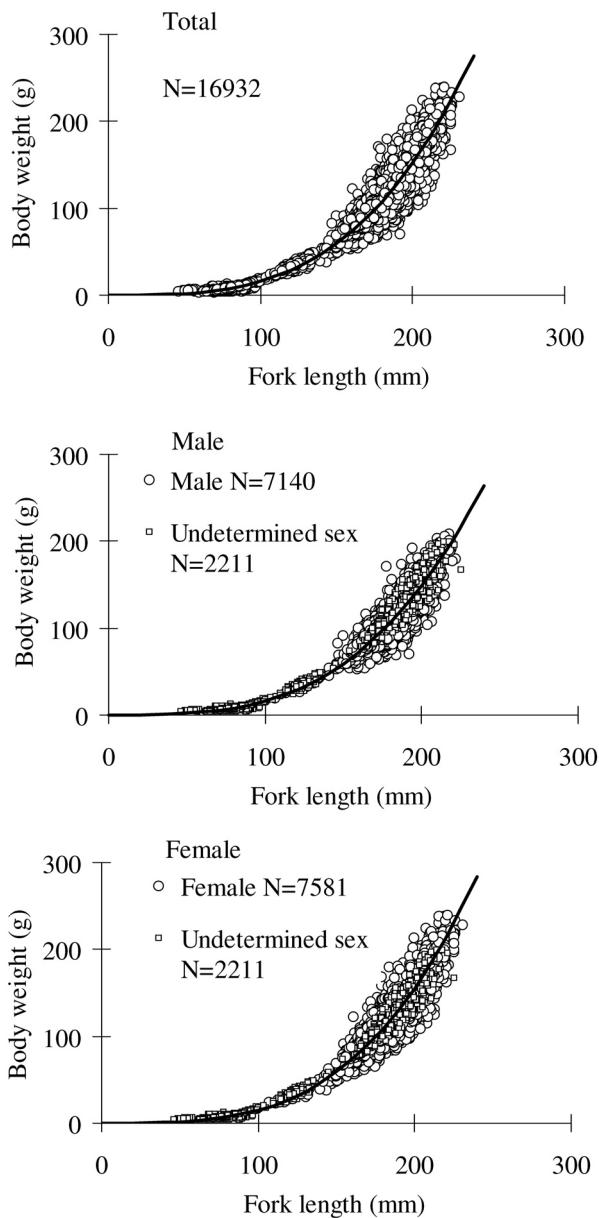


Fig. 3.4. Length-weight data and the estimated multiplicative error structure of the allometric growth model.

査定精度の検証に使用した標本のうち、耳石の輪紋数は319個体中318個体を査定することができた。輪紋が不明瞭なため、3回とも同一の1個体の輪紋数を査定することができなかった。また、鱗は1~3回目でそれぞれ315個体、317個体、319個体の輪紋を査定することができた。輪紋が不明瞭で計測できなかった個体は、1回目と2回目それぞれ4個体、2個体あり、そのうち1個体が同一であった。Table 3.4に耳石と鱗を3回ずつ査定したときの各回の輪紋数別出現個体数を示す。Table 3.5, 3.6は耳石、鱗それ

ぞれ h^{oto} , h^{scl} 本るとき多項分布モデルで推定した $p(\phi^{oto}|h^{oto})$ と $p(\phi^{scl}|h^{scl})$ の確率を示す。ここで、輪紋数が5本以上の個体数が少ないため、1つのグループ(5+本)にまとめた。 h と ϕ の一致率は、耳石の方が高く、読み取り誤差に関して耳石の精度が高いことを示す。

成長式の推定

Table 3.7は case 1~ case 4のパラメータ推定値とAICの値を示す。AICの値はCase 1のモデルが他のモデルと比較して小さかった。極限体長は大島、利島から式根島、神津島と伊豆諸島を南下するほど大きく推定された。また、すべての地区で極限体長は雌のほうが雄より約4mm大きかった。Fig. 3.3はCase 1の年齢-尾叉長関係の成長曲線を示す。タカベの成長は2歳まで急速に進む。Table 3.8に同一個体の耳石と鱗の査定値で推定した成長式のパラメータを示す。耳石と鱗それぞれのパラメータ推定値の標準偏差の範囲は、全て重なりあい、各年齢における尾叉長の推定値の差も1mm以下でほとんど同じであった。年齢形質の違いは成長式のパラメータの推定にほとんど影響していない。

Table 3.9に各モデルのパラメータ推定値とアロメトリー式のAICの値を比較した結果を示す。AICの値は、雌雄別、乗法誤差構造のモデルが最小であった。Fig. 3.4は乗法誤差構造の雌雄込みと雌雄別の尾叉長-体重のアロメトリー式を示す。

Table 3.10はCase 1からCase 4の年齢-尾叉長のvon Bertalanffy成長式と、性別の情報誤差構造のアロメトリー式のパラメータ推定値から求めた、年齢-体重関係のvon Bertalanffy成長式の地区別の満年齢における体重の理論値を示す。

成熟

Fig. 3.5は漁獲対象サイズ以上の標本の、各月の雌雄別地区別のGSIの変化を示す。雌雄とも3~8月までGSIは1.0以下で低い値であるが、9~12月にかけて増加し、10月にピークが見られた。10, 11月に採集した満2歳以上の標本は、雄772個体、雌641個体で、そのうちGSIが産卵期以前と変わらない1.0以下のものは、雄3個体、雌2個体のみであった。このことから、満2歳以上では、雌雄ともほぼ全個体成熟していると考えられる。10月に大島で釣獲した満1歳の漁獲対象サイズ以下の標本147個体の生殖腺を調べた結果、雄、雌、不明の個体数はそれぞれ、73, 61, 13であった。Fig. 3.6に雌雄別の尾叉長階級ごとのGSIと成熟の有無のプロットを示す。成熟率は雄、雌でそれぞれ

Table 3.10. Estimated body weight of the each cases of the age-weight von Bertalanffy growth models.

Case 1						
Age	Body weight (g)					
	Area 2-1		Area 2-2		Area 2-3	
	Male	Female	Male	Female	Male	Female
1	34.3	35.4	38.0	36.8	36.1	38.1
2	93.9	101.8	104.1	111.3	103.6	115.2
3	111.5	122.0	123.6	136.0	125.4	140.8
4	115.4	126.4	127.9	141.9	130.6	146.9
5	116.2	127.3	128.8	143.3	131.8	148.2
6	116.4	127.5	129.0	143.5	132.0	148.5
7	116.4	127.6	129.1	143.6	132.1	148.6

Case 2			Case 3			Case 4
Age	Body weight (g)		Body weight (g)			Body weight(g)
	Male	Female	Area 2-1	Area 2-2	Area 2-3	
1	36.9	35.9	33.5	37.5	38.6	36.5
2	103.0	110.4	96.5	107.8	111.0	107.0
3	122.3	134.7	116.3	129.8	133.7	128.7
4	126.5	140.3	120.8	134.9	138.9	133.6
5	127.4	141.6	121.8	136.0	140.0	134.6
6	127.5	141.8	122.0	136.2	140.2	134.8
7	127.6	141.9	122.0	136.3	140.3	134.9

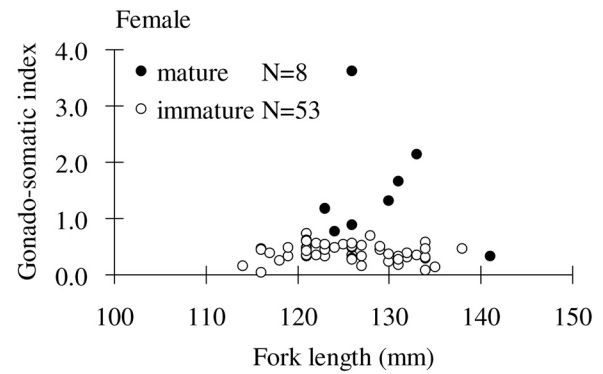
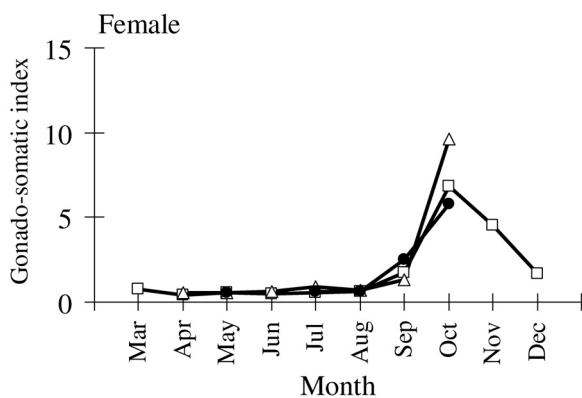
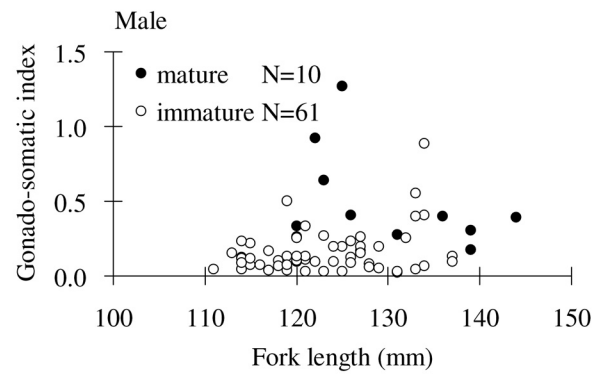
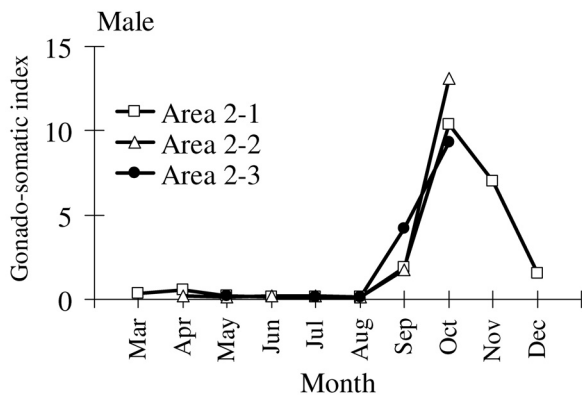


Fig. 3.5. Monthly changes of gonado-somatic index by area and sex.

Fig. 3.6. Relationship between gonado-somatic index and fork length from survey samples in October. The black and open circles indicate mature and immature individuals, respectively.

Table 3.11. Estimated maturity at age by sex.

Age	Male			Female		
	Maturity	SE	Sample size	Maturity	SE	Sample size
1	0.14	0.0413	71	0.13	0.0432	61
2	0.99	0.0086	116	0.99	0.0077	129
3	1.00	—	122	1.00	—	134
4	1.00	—	147	1.00	—	141
5	1.00	—	90	1.00	—	114
6	1.00	—	38	1.00	—	39
7	1.00	—	10	1.00	—	7

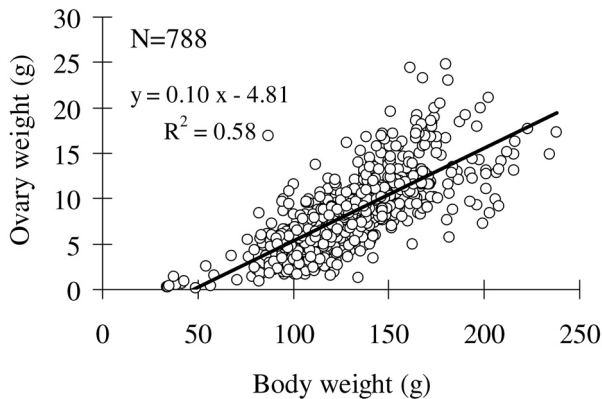


Fig. 3.7. Relationship between matured ovary weight and body weight. The open circles show the data.

14%, 13% で、雌雄ともに尾叉長120mm以上の個体で成熟していた。Table 3.11に年齢別成熟率を示す。また、雌の体重と卵巣重量は比例関係にあった (Fig. 3.7)。

考 察

耳石と鱗それぞれについて、 $p(\phi|h)$ で h と ϕ の一致率は、鱗よりも耳石の方が高く、耳石の輪紋の査定精度が良いことが分かった。査定精度の評価基準としては、Beamish and Fournier (1981) や Chang (1982) など様々な基準が提案されている。これらについても、耳石と鱗の精度の比較を試みたが、いずれにおいても鱗より耳石の査定精度が高いことが示された。安藤ら (2004) は、2年半飼育した標本の耳石と鱗の輪紋を観察した結果、耳石の輪紋数は全て2本であったが、鱗で輪紋数は2本の個体の他に一部1本や3本の個体も出現していることを示している。天然の同一個体の鱗においても、飼育個体のように、鱗の輪紋数にバラツキが生じている可能性がある。鱗の輪紋数は複数の鱗から判断するため、同一個体での輪紋数のバラツキが、耳石より査定精度が劣る原因になると考えられる。

耳石と鱗の輪紋数が一致した個体は全体の半数で

あり、残りの半分は特に高齢部分で耳石の査定値に対して鱗の査定値が過小に推定される傾向があった。Beamish and McFarlane (1987) は、多くの魚種において、高齢になると成長が鈍化し、鱗の輪紋が形成されず、耳石や骨組織など他の年齢形質による査定と比較して過小推定になる傾向があることを指摘している。しかし、タカベの鱗の場合は、大型個体でも断切部と考えられる部位は形成されるものの、輪紋の間隔が非常に密に形成されているものが多かった。輪紋が密になることの読みにくさが原因となり、耳石と比較して鱗の輪紋数が過小に推定されると考えられる。本研究では1万個体以上の鱗の輪紋数を査定しており、査定方法、基準については習熟できていると考えるが、間隔が密な輪紋を判読することは非常に困難である。

Group 1の耳石と鱗による年齢査定結果を使用し von Bertalanffy 成長式を推定したが、どちらのパラメータの点推定値もほとんど同じであった。第1輪形成前の小型魚の年齢は、尾叉長組成から十分査定が可能であり (Fig. 2.6)、年齢形質の違いによる査定誤差が発生しない。また、高齢になると成長が非常に緩やかになるため、輪紋数の読み取り誤差があったとしても、年齢に対する尾叉長の関係がほとんど変化しない。これら二つの要因が重なり、鱗と耳石の違いによる von Bertalanffy 成長モデルのパラメータの推定結果にほとんど差が生じなかったと考えられる。本研究における成長式の推定は、年齢と尾叉長、年齢と体重の関係を把握ことが目的である。このため、耳石と鱗の違いによる影響は小さい。

年齢-尾叉長関係の成長式として、加法誤差構造の von Bertalanffy 成長モデルのみを推定したが、他の成長モデルや誤差構造も候補として考えることができる。成長モデルとしては、von Bertalanffy モデルの他に、Gompertz モデルや Logistic モデルなども候補となる。これらのモデルの当てはめも検討したが、von Bertalanffy モデルの方が AIC の値が小さいうえ、データの範囲内では成長曲線にほとんど変化がなかった。また、年齢に従って分散が増加する乗法誤差や、年齢ごとに分散を分ける (Adachi *et al.*, 2000) など、

加法誤差以外の誤差構造についても検討したが、推定されるパラメータや成長曲線に大きな差はなかった。年齢に対する尾叉長の分散が年齢によらずあまり変化していないため (Fig. 3.4), 加法誤差構造のみの考慮で十分と考えられる。

年齢-尾叉長関係の成長式とアロメトリー式の推定において、小型魚のサンプルが十分でなく、地区間の差の有無について考慮することが出来なかった。von Bertalanffy 成長モデルにおいては、アロメトリー式と同様の理由で成長係数を地区間で共通と仮定したが、生息海域の違いが成長係数の差として検出される可能性が考えられる。生後半年から1歳まで、小型魚の標本数は1,500個体以上で十分にある。しかし、その多くがArea 2-1で収集されたもので、Area 2-2で収集された標本はなかった。小型魚の標本収集に地区間の差があったため、地区ごとの成長係数に関する情報が十分に含まれていないと考えた。ここで、地区間で成長係数を共通と仮定したため、サンプル数の多いArea 2-1の個体の影響を受け、尾叉長の理論値に偏りが生じている可能性がある。そこで、予備的に小型魚の標本が十分にあるArea 2-1とArea 2-3のデータを使用し、成長係数を地区別に推定し年齢ごとの尾叉長を比較した。成長係数はArea 2-3と比較しArea 2-1の方が3%大きく推定され、尾叉長の理論値の差は1歳で約1.7mm、2歳以降で0.5mm以下であった。地区間の成長係数の考慮の有無によらず、年齢と尾叉長がほとんど変化しないことから、地区間の仮定の違いによる影響はわずかであると思われる。

満1歳で約15%の個体が成熟しており、漁獲対象となる前から一部個体が再生産に寄与していることがわかった。満1歳は尾叉長組成から十分に年齢を分離できるため、満2歳以上と混ざることはない。このため、年齢別成熟率の推定には、年齢査定誤差の影響を受けていない。有馬 (1984) は、満1歳の小型魚における成熟割合の記述はないが、雄と雌でそれぞれ尾叉長130mm、120mm以上の一部個体が成熟していることを示している。成熟サイズは本研究結果ともほぼ一致し、最小系が雌雄とも尾叉長120mmであると考えられる。性別は目視で生殖腺を観察したが、漁獲対象となる個体では性別不明個体の割合は0.3%と非常に小さく、この方法で十分性別判定が可能である。しかし、漁獲対象前の満1歳の個体では、不明個体の割合が15%、さらに満1歳未満の個体では、性別判定自体が非常に困難であった。小型魚の性別判定については、今後組織学的方法の開発が必要である。

第四章 単位努力量あたり漁獲量の標準化

CPUEは、資源量に比例していると考えられ、相対的な資源の増減傾向の把握や、VAPにおけるチューニングの指標として有用な情報である。しかし、その観測値には年による資源の変動以外の様々な要因を含んでいる。伊豆諸島北部海域においては、潮流や黒潮流路などの環境要因や、漁場の違いが操業に影響を与えることが指摘されている (有馬, 1982; 有馬, 1995)。タカベの資源解析においてもCPUEに含まれる年変動以外の要因を取り除き、資源量指数としての信頼性を高める必要がある。CPUEから年変動を抽出する方法は様々あり (庄野, 2004; Maunder and Punt, 2004), 一般化線形モデル (McCullagh and Nelder, 1989) が頻繁に用いられる。本章では、CPUEに対数正規誤差を仮定したGavaris (1980) の方法をもとに、漁協から収集した水揚げ伝票と水温、黒潮の情報から、標準化を行ったCPUEのうち年効果を抽出した。また、標準化したモデルに含まれる有意な効果について考察した。

試料と方法

試料

伊豆大島周辺海域で操業する刺網、利島から式根島周辺海域で操業する寄網、神津島周辺海域で操業する建切網の水揚げ伝票をそれぞれ、伊豆大島漁業協同組合波浮事業所 (旧波浮港漁業協同組合)、にいじま漁業協同組合若郷事業所 (旧若郷漁業協同組合)、神津島漁業協同組合から1991~2003年の期間について収集し、操業ごとの水揚げ重量を調べた (1993年の寄網と建切網の水揚げ伝票は欠測)。また、各操業に対応する海洋環境の情報として、東京都水産試験場が伊豆諸島各島で観測している定地水温と一都三県漁海況速報、黒潮流型一覧表 (千葉県水産研究センター、静岡県水産試験場、神奈川県水産総合研究所、東京都水産試験場, 2004) を使用した。

移動に関する仮説

加入以降の資源の変動は、他の島や地区との間で移動がなければ、それぞれの島や地区ごとの変化としてとらえることができる。第三章の成長式の推定結果は、大島、利島から式根島、神津島の地区間で極限体長に差があることを示しており、伊豆諸島北部海域全体での大きな混ざり合いはないと考えられる。しかし、現在のところ加入以降どの程度、範囲で移動するか十分に解明されていない。本研究では、伊豆諸島北部海域

内の移動に関して、2つの仮説を考え解析を行った。伊豆諸島北部海域全体 (Area 1) で小規模な混ざり合いがある場合を仮説1、島間の水深が深い箇所の間での移動は無く、地区内でのみ混ざり合っている仮定した場合を仮説2とした。仮説2において、地区の分割は基本的に島間で水深100m以上あると移動しないと仮定し、第三章の場所と同じ範囲で、大島周辺海域 (Area 2-1)、利島から式根島周辺海域 (Area 2-2)、神津島周辺海域 (Area 2-3) の3地区に分けた。ここで、Area 2-2は利島と鵜渡根島、鵜渡根島と新島の間も水深100m以上あり、これらの島間でも地区を分離すべきであるが、新島若郷で水揚される寄網が新島、式根島周辺海域以外にも、利島、鵜渡根島周辺海域で操業しており、地区ごとの漁獲量や努力量が把握できないため1つの地区とした。

CPUE のモデルと効果

CPUEに含まれる年変動以外の要因を取り除くため、一般化線形モデルを使用し標準化を行った。CPUEに対数正規誤差を仮定し以下のモデルを考えた。

$$\log(\text{CPUE}) = \text{一般平均} + \text{主効果} + \text{交互作用} + \text{誤差} \quad (4.1)$$

ここで一般平均は各主効果の基準値におけるCPUEの理論値を示す。誤差は、平均0、分散 σ^2 の正規分

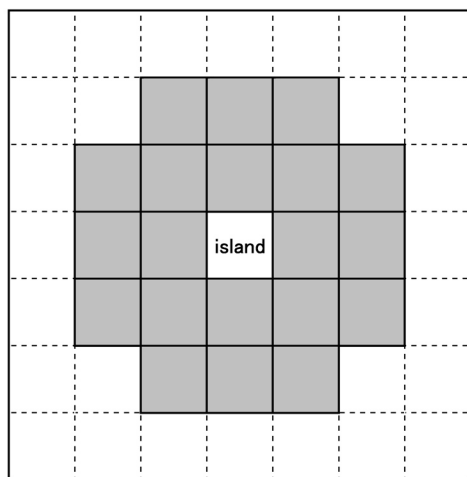


Fig. 4.1. Definition of the approach of the Kuroshio. When the Kuroshio was contained in gray frames of the forecasting of fishing and oceanographic condition of Tokyo, Kanagawa, Chiba and Shizuoka, it was judged that it approached. The frame is width of 10 minutes.

布に従う。主効果には、水揚伝票から直接得られる情報として「年 (Year)」, 「月 (Month)」, 「場所 (Point)」, 「島漁法 (Island, Fish)」と、海洋環境の情報として「水温 (Tmep)」, 「黒潮遠近 (Kuro_1)」, 「黒潮の型 (Kuro_2)」の計7種類のうち各地区において利用可能なものを使用した。また、交互作用は二次的作用を使用した。

「年」と「月」の効果は、水揚伝票に記載されている日付から分類した。利島～新島の寄網の操業期間は5月下旬～10月上旬であるが、5月と10月の操業がいずれも数回ずつしかなかったため、それぞれ6月と9月の操業として扱った。同様に神津島の建切網でも、6月下旬と10月上旬の操業をそれぞれ7月と9月の操業として扱った。

神津島の建切網の水揚伝票には操業場所が記載されており、そこから神津島周辺、恩馳周辺と銭洲に分類し「場所」の効果とした。ここで、銭洲は本研究の対象地域外であるためデータから除外した。また、Area 1においては、大島の刺網、利島から式根島の寄網、神津島の建切網の違いを「島漁法」の効果とした。

黒潮流路は漁場に接近すると、タカベの群れが散らばることや、潮流が早くなり漁業の効率に影響を及ぼすため、CPUEが低下すると考えられる。そこでArea 2-2とArea 2-3について黒潮流路が漁場に接近するか否かを「黒潮遠近」の効果とした。接近の有無は、一都三県漁海況速報の黒潮流路の情報から「接近している」, 「接近していない」の2種類に分類した。同速報には緯度経度10分のマスが記載されており、漁場がある島を含むマスからFig. 4.1の灰色の範囲に、黒潮流路が含まれているかを接近の判断基準とした。また、土、日、祝祭日等の同速報が発行されていない日の黒潮流路は、前後の日の流路の中間に位置すると仮定し接近しているか否かを判断した。しかし、黒潮流路が大島周辺海域に接近することがほとんどないため、同海域では黒潮流路の接近か否かを効果として使用しなかった。Area 1とArea 2-1の標準化には、黒潮の蛇行の有無による周辺海域の環境の違いを「黒潮の型」の効果と考え使用した。黒潮の型の情報は「関東近海のマサバについて」に記載されている黒潮流型一覧表を使用した。「黒潮の型」の効果は、黒潮流路が伊豆諸島付近を通過するN, B, D, W型と、蛇行するC型の2つに分類した。また、本研究期間中に黒潮の特徴的な流型の1つであるA型海況の期間はなかった。

大島と利島から式根島周辺海域について、東京都水産試験場が伊豆諸島ではほぼ毎日計測しているArea 2-1の波浮口 (大島) とArea 2-2の若郷 (新島), 野伏 (式

根島)の定地水温情報を使用し「水温」の効果とした。欠測日の水温は前後の日の平均とした。また、利島から式根島周辺海域の水温は、若郷(新島)と野伏(式根島)の平均水温をこの地区の水温とした。Area 2-3では、神津島周辺と恩馳周辺の操業海域の違いを効果としたが、恩馳周辺海域の定地水温情報がないため、水温の効果を使用できなかった。

各地区の FULL MODEL

伊豆諸島北部海域の移動の仮説1, 2に従い, Area 1, 2-1, 2-2, 2-3のCPUE標準化を行った。Fullモデルを以下に示す。

Area 1 (伊豆諸島北部海域)

$$\begin{aligned} \log(\text{CPUE}) = & \text{Intercept} + \text{Year} + \text{Month} \\ & + \text{Kuro}_2 + \text{Fish, Island} \\ & + (\text{Year} * \text{Fish, Island}) \\ & + (\text{Fish, Island} * \text{Kuro}_2) + \text{Error} \end{aligned} \quad (4.2)$$

Area 2-1 (大島・刺網)

$$\begin{aligned} \log(\text{CPUE}) = & \text{Intercept} + \text{Year} + \text{Month} \\ & + \text{Kuro}_2 + \text{Temp} + (\text{Year} * \text{Temp}) \\ & + (\text{Month} * \text{Kuro}_2) \\ & + (\text{Month} * \text{Temp}) \\ & + (\text{Kuro}_2 * \text{Temp}) + \text{Error} \end{aligned} \quad (4.3)$$

Area 2-2 (利島から式根島・寄網)

$$\begin{aligned} \log(\text{CPUE}) = & \text{Intercept} + \text{Year} + \text{Month} \\ & + \text{Kuro}_1 + \text{Temp} + (\text{Year} * \text{Kuro}_1) \\ & + (\text{Year} * \text{Temp}) + (\text{Month} * \text{Kuro}_1) \\ & + (\text{Month} * \text{Temp}) \\ & + (\text{Kuro}_1 * \text{Temp}) + \text{Error} \end{aligned} \quad (4.4)$$

Area 2-3 (神津島・建切網)

$$\begin{aligned} \log(\text{CPUE}) = & \text{Intercept} + \text{Year} + \text{Month} \\ & + \text{Kuro}_1 + \text{Point} + (\text{Year} * \text{Month}) \\ & + (\text{Year} * \text{Point}) + (\text{Month} * \text{Kuro}_1) \\ & + (\text{Month} * \text{Point}) + (\text{Kuro}_1 * \text{Point}) \\ & + \text{Error} \end{aligned} \quad (4.5)$$

年の主効果を含む全組み合わせのモデルについて、最尤法でパラメータを推定し、AICの値を比較し最適なモデルを選択した。AICの値が最小のモデルの中から各主効果と年を含む交互作用について最小2乗平

均 (Least Squared MEAN 以下, LSMEAN) を計算し、他の要因を平均化した効果を抽出した(高橋ら, 1989)。主効果と年を含む交互作用のLSMEANとその標準誤差の計算は、東京海洋大学品川地区情報処理センターに設置されている研究用計算機のアプリケーションSAS (version 8.02) を使用した。

ゼロキャッチの対応

建切網と寄網では、タカベとイサキが主漁獲対象で漁獲量全体に占める割合は、2003年の建切網でタカベ82%、イサキ11%、寄網でタカベ46%、イサキ51%であった。各回の操業の水揚げされた魚種別の重量を調べると、タカベを漁獲していないケースや、漁獲が数十キロと非常に少なくイサキを大量に漁獲しているケースがあった。本研究で使用するCPUEに対数正規誤差を仮定するモデルでは、タカベの漁獲が0の場合(ゼロキャッチ)、 $\text{Log}(\text{CPUE} = 0) = -\infty$ となってしまう、そのまま取り扱うことが出来ない。そこで、タカベとイサキの漁獲量に対して、タカベの漁獲量の割合が10%以下のものは、イサキのみを主漁獲対象とし、タカベは混獲されたものと考え、標準化のデータには使用しなかった。

結 果

Table 4.1は、仮説1に従い伊豆諸島北部海域で大島刺網、寄網、建切網のCPUEを標準化したモデルの全組み合わせのAICの値を示す。AICの値が最小だったのは年、島、黒潮の型の主効果と、年:島漁法、島漁法:黒潮の型の交互作用を含むモデルであった。Table 4.2は、仮説2に従い、各地区について標準化したモデルの全組み合わせのAICの値を示す。AICの値が最小であったのはそれぞれ、Area 2-1では年、水温、黒潮の型の主効果と年:水温の交互作用を含むモデル、Area 2-2では年、水温、黒潮遠近の主効果と水温:黒潮遠近の交互作用を含むモデル、Area 2-3では年、月、黒潮遠近、場所の主効果と月:場所の交互作用を含むモデルであった。

Table 4.3, 4.4は、仮説1と仮説2のそれぞれの地区におけるAICの値が、最小のモデルのパラメータ推定値と主効果および年を含む交互作用のLSMEANを示す。黒潮の型の効果はArea 1, 2-1とも伊豆諸島付近を通過するN, B, D, W型の方が、蛇行するC型よりCPUEが高かった。黒潮遠近の効果についてArea 2-3では、黒潮が接近するとCPUEが低くなることが示されたが、Area 2-2では黒潮が接近するとCPUEが高く、両地区で逆の傾向が見られた。Table 4.5, 4.6

は、仮説1と仮説2のそれぞれの地区における分散分析の結果を示す。

仮説1における各漁法のCPUE対数値の観測値と、標準化した年：島漁法の交互作用のLSMEANの年変動をFig. 4.2に示す。Fig. 4.3は年効果と、年：島漁法の交互作用における各年のLSMEANの点推定値と95%信頼区間である。信頼区間の幅は年、島漁法によらずほぼ一定であった。各地区のCPUEの年変動は、同様の傾向を示す箇所があるものの必ずしも一致していない。仮説2におけるCPUE対数値の観測値と、標準化した年効果のLSMEANをFig. 4.4に示す。LSMEANの95%信頼区間の幅は、Area 2-2の寄網とArea 2-3の建切網で年による差はあまり無いが、Area 2-1の刺網で他と比較し年変動が大きかった(Fig. 4.5)。

Fig. 4.6, 4.7は、仮説1と仮説2のそれぞれの地区におけるAICの値が最小のモデルの、CPUE対数値の理論値に対する標準化残差プロットを示す。また、Fig. 4.8, 4.9は、仮説1と仮説2のそれぞれの地区における年に対する標準化残差プロットを示す。いずれの仮説、地区においても、残差にシステムティックな傾向はみられなかった。

考 察

伊豆諸島北部海域全体のCPUEの変動は、年による増減があるものの増加、減少傾向は見られない。1991～2003年にかけて、同海域のタカベの資源水準は横ばいで推移している。各地区の変動は、1998年にCPUEが高くなり、その翌年に落ち込む共通の動向は

見られるものの、各地区のCPUEの変動傾向は必ずしも一致していない。

場所による資源変動の違いの有無について、Area 1の年：島漁法の交互作用やArea 2-3の場所の主効果から検討することができる。Area 1の島漁法の効果は島、漁法の両者の違いが関わる複合的な要因であり、本研究で収集した情報からは別々に推定することができない。しかし、この中で年：島漁法の交互作用に注目すると、近年各漁法の操業形態や、使用する漁具に大きな変化がないことから、漁法の影響は小さいと考えられる。それぞれの島で独自の資源変動があり、地区間で大きな交流がない可能性がある。Area 2-3では、場所の主効果が選択されており、神津島と恩馳の間でCPUEに差があることが示された。しかし、年と場所の交互作用が有意でないことから、両地域間で異なる資源変動はなく、加入以降に交流があるものと考えられる。

Area 2-1, 2-2, 2-3では、AICの値のみで最適なモデルを一意に選択することができなかった。モデル間のAICの差が2未満場合、両者に有意な差はなく複数のモデルが候補となる(坂本ら, 1983)。Area 2-1と2-3では、AICの値が最小のモデルのパラメータ数が最も少なかったものの、Area 2-2では、AICの値が2番目に小さい黒潮の効果を含まないモデルのパラメータ数が少なかった(Table 4.2)。黒潮が接近するか否かの効果(Kuro_1)に関して、Area 2-3は黒潮が漁場に接近するとCPUEが低下し、離れるとCPUEが増加するという、当初予想した通りの関係があった。しかし、Area 2-2では黒潮が漁場に接近するとCPUEが増加し、Area 2-3と逆の関係だった。Area 2-2は漁場の範囲がArea 2-3より広く(Fig. 1.1),

Table 4.1. Akaike Information Criterion (AIC) values for each of the models in area 1.

Year	Month	Island,Fish	Kuro_2	Year*Island,Fish	Island,Fish*Kuro_2	AIC
○		○	○	○	○	3523.8
○	○	○	○	○	○	3526.8
○		○		○		3536.1
○		○	○	○		3538.1
○	○	○		○		3541.4
○	○	○	○	○		3543.4
○		○	○		○	3609.8
○		○				3610.8
○		○	○			3612.0
○	○	○	○		○	3615.1
○	○	○				3615.5
○	○	○	○			3617.0
○	○					4619.3
○	○		○			4619.8
○			○			4721.3

Table 4.2. Akaike Information Criterion (AIC) values of each of the models in area 2-1, 2-2, and 2-3.

(Area 2-1)

Year	Month	Kuro_2	Temp	Year*Temp	Month*Kuro_2	Month*Temp	Temp*Kuro_2	AIC
○		○	○	○				733.2
○	○	○	○	○				734.0
○		○	○	○			○	735.2
○	○	○	○	○			○	735.5
○			○	○				735.8
○	○		○	○				736.1
○	○	○	○	○		○		736.8
○		○						737.2
○	○		○	○		○		737.9
○	○	○	○	○		○	○	738.6
○		○	○					739.2
○	○	○	○	○	○		○	739.3
○		○	○				○	739.4
○	○	○	○	○	○			739.8
○	○	○	○					741.2
○	○	○			○			741.6
○	○	○	○				○	742.2
○	○	○	○		○			742.8
○	○	○	○	○	○	○		744.0
○	○	○	○		○		○	744.3
○	○	○	○	○	○	○	○	744.8
○	○	○	○			○		746.0
○	○	○	○			○	○	746.8
○			○					748.0
○	○	○	○		○	○		748.7
○	○	○						750.3
○	○							750.3
○	○	○	○		○	○	○	750.6
○	○		○					751.8
○	○		○			○		755.2

Table 4.2. (Continued) (Area 2-2)

Year	Month	Temp	Kuro_1	Year*Temp	Year*Kuro_1	Month*Temp	Month*Kuro_1	Kuro_1*Temp	AIC
○		○	○					○	1350.8
○		○							1351.4
○	○	○				○			1352.1
○		○	○						1353.3
○	○	○	○			○			1354.0
○			○						1354.7
○	○	○	○			○		○	1355.4
○		○		○					1356.1
○	○								1357.8
○	○	○		○		○			1357.9
○		○	○	○					1358.0
○		○	○	○				○	1358.0
○	○	○	○					○	1358.5
○	○	○							1358.6
○	○		○						1359.4
○	○	○	○			○		○	1359.8
○	○	○	○	○		○			1359.8
○	○	○	○						1360.6
○	○	○	○			○		○	1361.2
○	○	○		○					1361.6
○	○	○	○	○		○		○	1361.8
○		○	○		○			○	1362.7
○	○	○	○	○					1363.6
○	○	○	○	○				○	1364.2
○	○		○					○	1364.8
○	○	○	○					○	1365.9
○		○	○		○				1366.1
○	○	○	○					○	1366.9
○	○	○	○		○			○	1367.3
○	○	○	○	○		○		○	1367.4
○	○	○	○		○	○			1367.5
○	○	○	○		○	○		○	1367.5
○			○		○				1367.7
○		○	○	○	○				1368.5
○		○	○	○	○			○	1368.8
○	○	○	○	○		○		○	1369.3
○	○		○		○				1369.5
○	○	○	○	○				○	1371.0
○	○	○	○		○				1371.3
○	○	○	○	○	○	○			1371.7
○	○	○	○	○				○	1372.6
○	○	○	○	○	○			○	1372.7
○	○	○	○	○	○				1372.9
○	○	○	○	○	○	○		○	1373.2
○	○	○	○		○	○		○	1373.5
○	○	○	○		○	○		○	1373.8
○	○		○		○			○	1375.2
○	○	○	○		○			○	1375.6
○	○	○	○		○			○	1377.0
○	○	○	○	○	○	○			1379.4
○	○	○	○	○	○	○		○	1379.9
○	○	○	○	○	○			○	1380.6
○	○	○	○	○	○			○	1380.7

Table 4.2. (Continued) (Area 2-3)

Year	Month	Point	Kuro_1	Year*Month	Year*Point	Month*Point	Month*Kuro_1	Point*Kuro_1	AIC
○	○	○	○			○			1457.2
○	○	○	○		○	○			1457.2
○	○	○	○			○		○	1458.2
○	○	○			○	○			1458.9
○	○	○	○		○	○		○	1458.9
○	○	○				○			1459.3
○	○	○	○			○	○		1460.6
○	○	○	○		○	○	○		1460.8
○	○	○	○			○	○	○	1461.7
○	○	○	○		○	○	○	○	1462.5
○		○	○						1465.3
○		○	○		○				1465.5
○		○	○					○	1466.4
○		○			○				1466.8
○		○	○		○			○	1466.9
○	○	○	○						1467.2
○	○	○	○		○				1468.4
○	○	○	○		○				1468.9
○	○	○	○					○	1469.7
○	○	○							1470.0
○	○	○			○				1470.4
○	○	○	○		○			○	1470.7
○	○	○	○	○		○			1471.5
○	○	○	○				○		1471.5
○	○	○		○		○			1471.8
○	○	○	○	○	○	○			1472.3
○	○	○	○	○		○		○	1472.4
○	○	○	○		○		○		1472.6
○	○	○	○				○	○	1472.9
○	○	○	○	○	○	○		○	1473.3
○	○	○		○	○	○			1473.5
○	○	○	○		○		○	○	1474.4
○	○	○	○	○		○	○		1474.6
○	○	○	○	○	○	○	○		1475.1
○	○	○	○	○		○	○	○	1475.2
○	○	○	○	○	○	○	○	○	1475.8
○	○	○		○					1483.3
○	○	○	○	○					1483.4
○	○	○	○	○				○	1484.7
○	○	○	○	○			○		1484.9
○	○	○	○	○	○				1485.1
○	○	○		○	○				1486.0
○	○	○	○	○			○	○	1486.1
○	○	○	○	○	○			○	1486.3
○	○	○	○	○	○		○		1486.5
○	○	○	○	○	○		○	○	1487.5
○		○							1513.9
○	○	○	○						1517.8
○	○		○				○		1521.5
○	○								1524.9
○	○		○	○			○		1530.7
○	○		○	○					1531.1

黒潮が接近した場合でも、その影響の少ない漁場の選択により、黒潮接近の効果がうまく抜き出せていない可能性がある。Area 2-3では神津島周辺と沖合の恩馳周辺の近接した地域間でも場所の主効果が有意であることから、より範囲が広いArea 2-2においても、場所の違いを効果として検討する必要があると考えられる。寄網の操業場所の情報の蓄積は、今後の課題である。

本研究を行った1991～2003年の期間、黒潮流路は、非大蛇行期のみであった。しかし、1976～1979年、1987年、1990年に断続的に大蛇行のA型の期間があり、漁獲量、CPUEともに減少し、タカベ漁業に対して大きな影響を及ぼしたことが指摘されている(米澤ら、2006)。本研究の対象期間後の2004年夏から、黒潮流路はA型海況になっており、今後のCPUEの解析ではA型海況を考慮する必要がある。黒潮がA型の場合、流路が神津島周辺海域に接近するため、黒潮の接近の効果としてCPUEに与える影響を抽出することは可能かもしれない。しかし、A型海況の情報が特定の年にしか存在しないため、本研究で使用した一般化線形モデルでA型独自の効果を分離することは困難である。CPUEと環境の関わりについては今後精査する必要がある。

漁獲量がゼロのデータの扱いは、一般化線形モデルを用いたCPUEの標準化において、大きな問題となる(庄野、2004)。本研究で用いたタカベの漁獲が少ない操業を単純に削除する方法は、実際に漁業者への目的魚種の聞き取りなどによらない。このため、データから除外した操業の中に、タカベを漁獲対象としていたが漁獲できなかったケースがある場合は、CPUEを過大に推定する危険がある。そこで、ゼロキャッチデータも含む全てのCPUEデータを使用する方法についても複数検討した。CPUEの全データに一定量を足しこむ方法を試したところ、理論値に対する残差プロットがゼロキャッチの影響で歪な傾向を示した。また、Delta型二段階法(Lo, 1992; Stefansson, 1996)についても検討したが、ゼロキャッチが無い年もあり、全ての年でゼロキャッチ率が推定できなかった。さらにゼロキャッチの問題を無くすため、CPUEではなく漁獲に着目したCatchモデル(Reed, 1986)を使用した標準化も検討した。タカベの場合、漁獲量が重量でしか把握できないことと、尾数に変換しても1回の操業で数千から数万尾漁獲されることから、Catchモデルには馴染まないと考えられる。いずれの方法においても、ゼロキャッチを含んだCPUEデータを使用し、標準化を適切に行うことができなかった。

Table 4.3. Point estimates and least square means (LSMEAN) and these standard error of the standardized log CPUE of the selected model in area 1.

Intercept		Point estimate	SE		
		8.486	0.120		
Main effect		Point estimate	SE	LSMEAN	SE
Year	1991	-	-	7.884	0.082
	1992	0.779	0.177	8.218	0.075
	1994	0.875	0.172	8.140	0.069
	1995	0.687	0.178	7.989	0.078
	1996	0.584	0.181	8.073	0.075
	1997	0.359	0.174	8.251	0.077
	1998	1.022	0.152	8.619	0.061
	1999	0.517	0.175	8.116	0.082
	2000	0.060	0.169	8.056	0.076
	2001	0.926	0.155	8.353	0.071
	2002	0.652	0.172	8.243	0.087
	2003	0.745	0.184	8.085	0.077
	Kuro_2	type C	-0.350	0.119	8.145
type B,D,N,W		-	-	8.192	0.028
Island,Fish	Area 2-1,Gill net	-2.465	0.199	6.771	0.056
	Area 2-2,Seine	0.591	0.198	8.825	0.036
	Area 2-3,Bulk net	-	-	8.911	0.039
Error		0.552			

Table 4.3. (Continued)

Two-way interactions		Point estimate	SE	LSMEAN	SE
Year*Island,Fish	1991*Area 2-1,Gill net	-	-	6.235	0.152
	1992*Area 2-1,Gill net	-0.590	0.293	6.424	0.163
	1994*Area 2-1,Gill net	-0.702	0.276	6.408	0.138
	1995*Area 2-1,Gill net	-0.492	0.301	6.430	0.179
	1996*Area 2-1,Gill net	-0.254	0.295	6.565	0.163
	1997*Area 2-1,Gill net	0.213	0.294	6.807	0.173
	1998*Area 2-1,Gill net	-0.022	0.253	7.235	0.125
	1999*Area 2-1,Gill net	0.097	0.306	6.849	0.187
	2000*Area 2-1,Gill net	0.893	0.260	7.187	0.135
	2001*Area 2-1,Gill net	0.101	0.261	7.262	0.147
	2002*Area 2-1,Gill net	0.184	0.314	7.070	0.203
	2003*Area 2-1,Gill net	-0.204	0.289	6.776	0.148
	1991*Area 2-2,Seine	-	-	9.108	0.155
	1992*Area 2-2,Seine	-0.748	0.264	9.139	0.105
	1994*Area 2-2,Seine	-1.158	0.264	8.825	0.111
	1995*Area 2-2,Seine	-1.255	0.259	8.539	0.096
	1996*Area 2-2,Seine	-0.930	0.265	8.761	0.100
	1997*Area 2-2,Seine	-0.190	0.256	9.277	0.097
	1998*Area 2-2,Seine	-0.841	0.239	9.289	0.093
	1999*Area 2-2,Seine	-0.955	0.267	8.670	0.115
	2000*Area 2-2,Seine	-0.556	0.259	8.612	0.127
	2001*Area 2-2,Seine	-1.473	0.244	8.560	0.114
	2002*Area 2-2,Seine	-1.063	0.271	8.696	0.128
	2003*Area 2-2,Seine	-1.430	0.278	8.423	0.128
	1991*Area 2-3,Bulk net	-	-	8.310	0.119
	1992*Area 2-3,Bulk net	-	-	9.090	0.114
	1994*Area 2-3,Bulk net	-	-	9.186	0.107
	1995*Area 2-3,Bulk net	-	-	8.997	0.116
	1996*Area 2-3,Bulk net	-	-	8.894	0.120
	1997*Area 2-3,Bulk net	-	-	8.670	0.119
	1998*Area 2-3,Bulk net	-	-	9.332	0.098
	1999*Area 2-3,Bulk net	-	-	8.827	0.111
	2000*Area 2-3,Bulk net	-	-	8.370	0.131
2001*Area 2-3,Bulk net	-	-	9.236	0.105	
2002*Area 2-3,Bulk net	-	-	8.962	0.107	
2003*Area 2-3,Bulk net	-	-	9.056	0.124	
Island,Fish*Kuro_2	Area 2-1,Gill net* type B,D,N,W	0.780	0.187		
	Area 2-2,Seine* type B,D,N,W	0.412	0.156		
	Area 2-3,Bulk net* type B,D,N,W	-	-		
	Area 2-1,Gill net*type C	-	-		
	Area 2-2,Seine*type C	-	-		
	Area 2-3,Bulk net*type C	-	-		

Table 4.4. Point estimates and least square means (LSMEAN) of the main effect and these standard error of the standardized log CPUE of the selected model in area 2-1, 2-2, and 2-3.

(Area 2-1)

Intercept		Point estimate	SE		
		5.973	1.429		

Main effect		Point estimate	SE	LSMEAN	SE
Year	1991	-2.667	1.991	6.029	0.152
	1992	-2.314	2.103	6.527	0.141
	1993	2.315	1.701	7.014	0.102
	1994	0.310	1.714	6.471	0.124
	1995	-1.784	2.393	6.353	0.173
	1996	0.005	1.845	6.637	0.140
	1997	4.780	2.504	6.635	0.184
	1998	3.203	1.760	7.328	0.114
	1999	0.440	1.974	7.000	0.219
	2000	4.773	1.912	7.224	0.120
	2001	-0.005	1.879	7.286	0.134
	2002	2.152	4.323	7.052	0.471
	2003	-	-	6.819	0.135
Kuro_2	type C	-0.278	0.135	6.659	0.104
	type B,D,N,W	-	-	6.937	0.065
Temp		0.046	0.064		

Two-way interactions		Point estimate	SE
Year*Temp	1991*Temp	0.087	0.087
	1992*Temp	0.094	0.096
	1993*Temp	-0.098	0.077
	1994*Temp	-0.031	0.077
	1995*Temp	0.061	0.106
	1996*Temp	-0.009	0.084
	1997*Temp	-0.231	0.119
	1998*Temp	-0.125	0.079
	1999*Temp	-0.012	0.095
	2000*Temp	-0.203	0.086
	2001*Temp	0.022	0.087
	2002*Temp	-0.089	0.220
	2003*Temp	-	-
Error		0.4153	

Table 4.4. (Continued)

(Area 2-2)		Point estimate	SE		
Intercept		9.743	0.677		
Main effect		Point estimate	SE	LSMEAN	SE
Year	1991	-	-	9.168	0.154
	1992	0.062	0.177	9.230	0.093
	1994	-0.301	0.184	8.867	0.102
	1995	-0.537	0.178	8.630	0.097
	1996	-0.371	0.176	8.797	0.085
	1997	0.226	0.178	9.394	0.101
	1998	0.153	0.178	9.321	0.094
	1999	-0.406	0.188	8.762	0.111
	2000	-0.543	0.191	8.625	0.120
	2001	-0.568	0.184	8.600	0.110
	2002	-0.397	0.193	8.771	0.120
	2003	-0.678	0.196	8.490	0.120
	Kuro_1	approach	-	-	8.931
not approach		-1.600	0.757	8.845	0.038
Temp		-0.023	0.027		
Two-way interactions		Point estimate	SE		
Temp*Kuro_1	temp*approach	-	-		
	temp*not approach	0.066	0.031		
Error		0.5234			

Table 4.4. (Continued)

(Area 2-3)					
Intercept		Point estimate	SE		
		8.286	0.156		
Main effect					
		Point estimate	SE	LSMEAN	SE
Year	1991	-	-	8.554	0.129
	1992	0.443	0.159	8.997	0.105
	1994	0.442	0.171	8.996	0.095
	1995	0.254	0.162	8.808	0.107
	1996	0.109	0.172	8.663	0.108
	1997	0.178	0.171	8.732	0.125
	1998	0.738	0.161	9.292	0.102
	1999	0.187	0.169	8.741	0.099
	2000	0.149	0.171	8.703	0.131
	2001	0.639	0.165	9.193	0.106
	2002	0.419	0.168	8.973	0.097
	2003	0.244	0.189	8.798	0.118
	Month	Jul.	-	-	8.819
Aug.		-0.162	0.099	8.932	0.052
Sep.		-0.020	0.108	8.861	0.056
Kuro_1	approach	-	-	8.789	0.059
	not approach	0.163	0.082	8.953	0.044
Point	Kouzu	-	-	8.624	0.042
	Onbase	0.269	0.113	9.118	0.052
Two-way interactions					
		Point estimate	SE		
Month*Point	Jul.*Kouzu	-	-		
	Aug.*Kouzu	-	-		
	Sep.*Kouzu	-	-		
	Jul.*Onbase	-	-		
	Aug.*Onbase	0.550	0.150		
	Sep.*Onbase	0.122	0.158		
Error	0.5776				

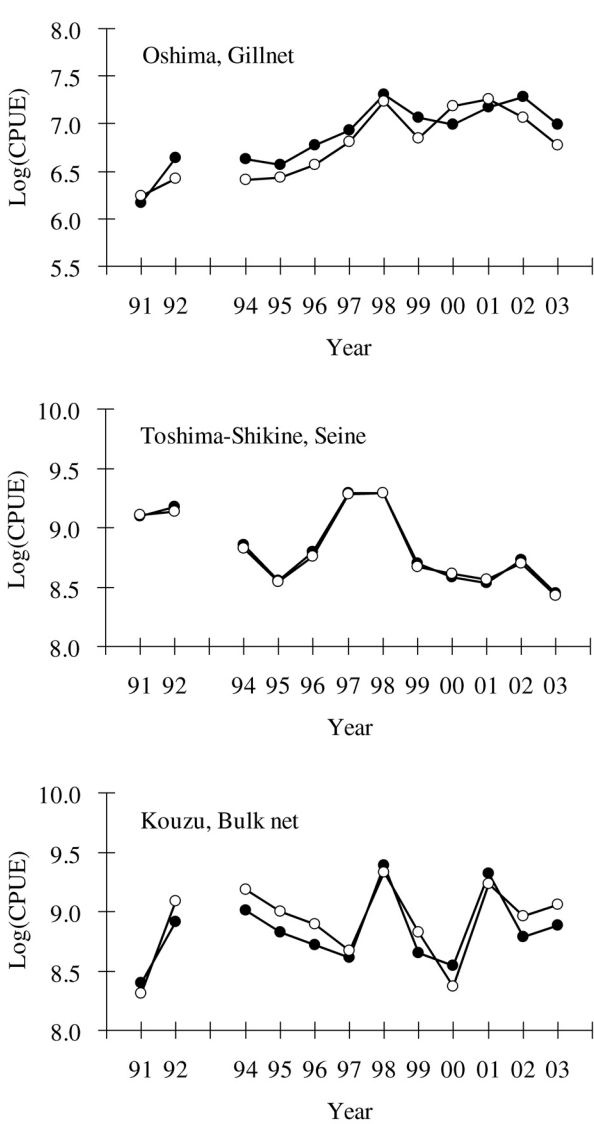


Fig. 4.2. Comparison of the least square means of the standardized log CPUE (open circles) and the nominal one (black ones) in area 1.

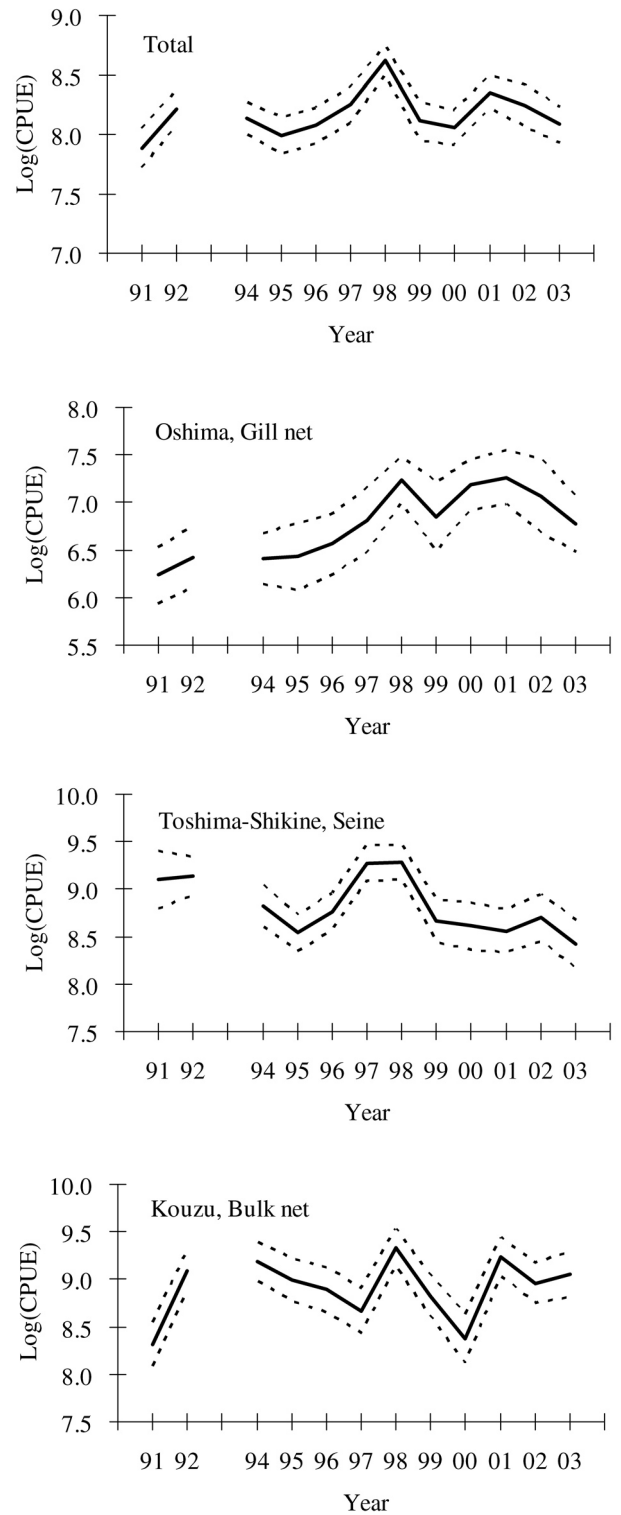


Fig. 4.3. Transition of the least square means of the standardized log CPUE in area 1. Solid and dotted lines indicate point estimates and its 95% confidence interval, respectively.

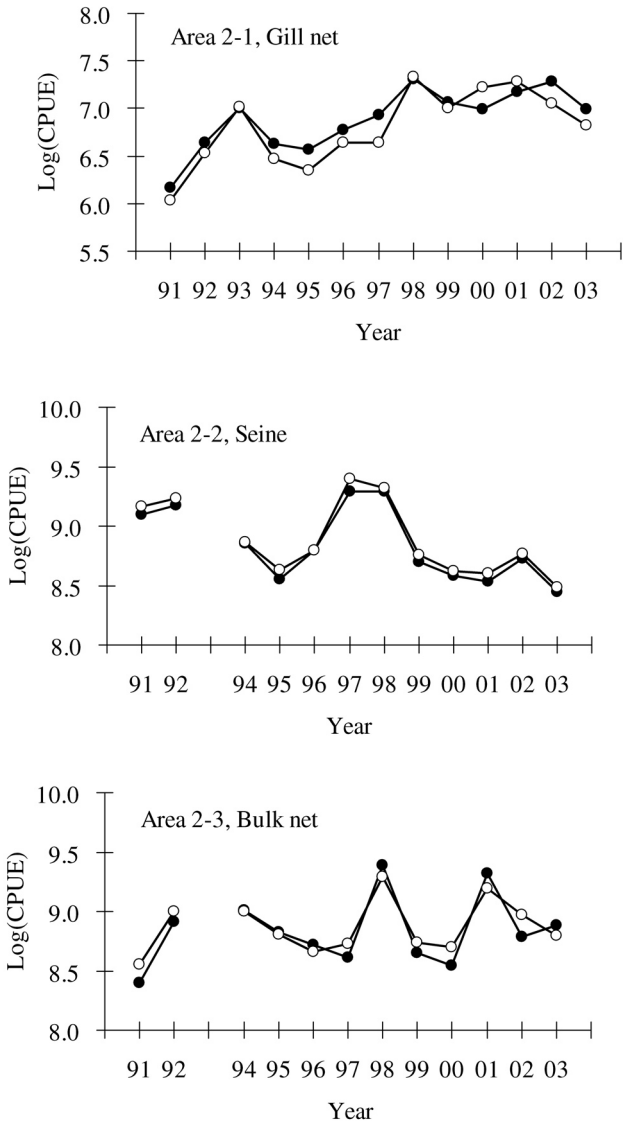


Fig. 4.4. Comparison of the least square means of the standardized log CPUE (open circle) and the nominal one (black circle) in area 2-1, 2-2, and 2-3.

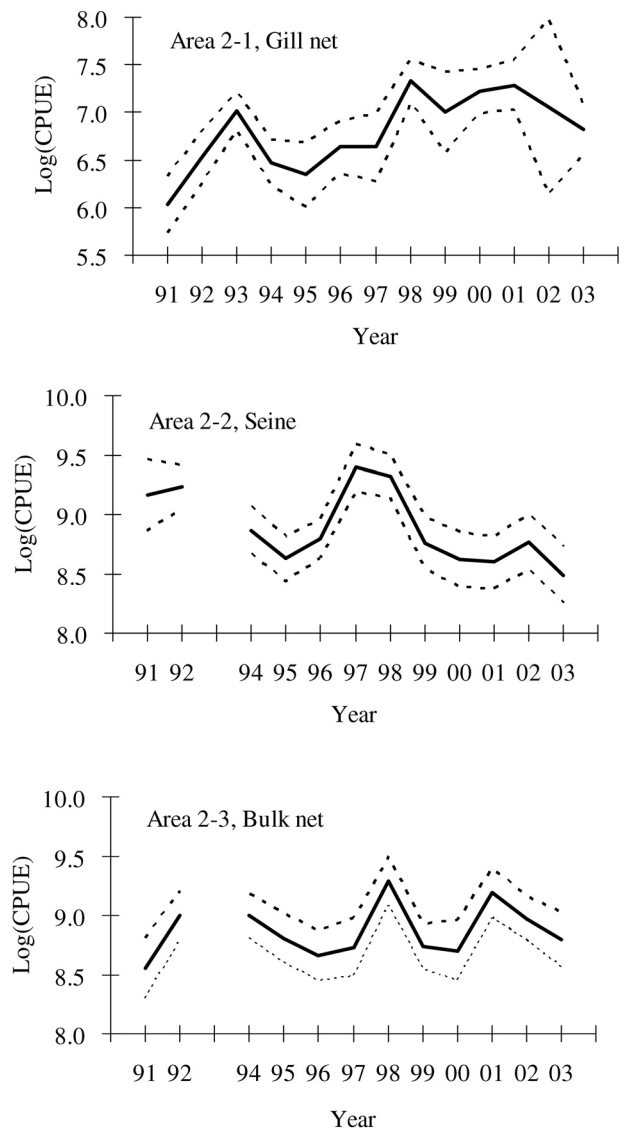


Fig. 4.5. Transition of the least square means of the standardized log CPUE in area 2-1, 2-2, and 2-3. Solid and dotted lines indicate point estimates and its 95% confidence interval, respectively.

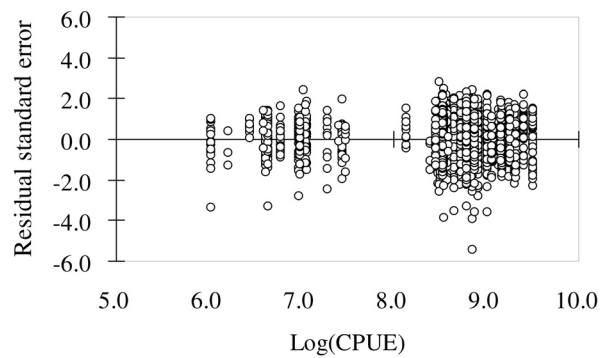


Fig. 4.6. Plot of the residual standard errors against the expected value of log CPUE in area 1.

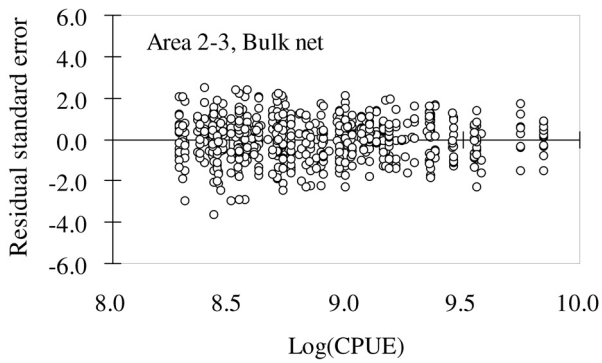
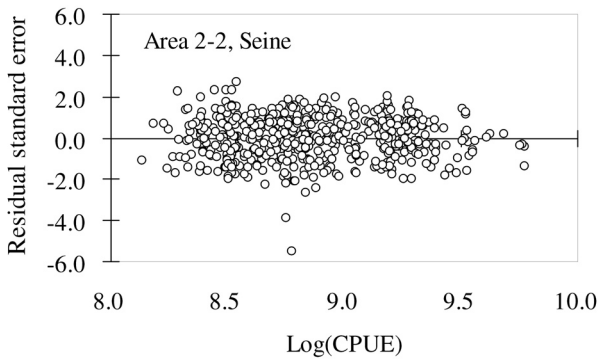
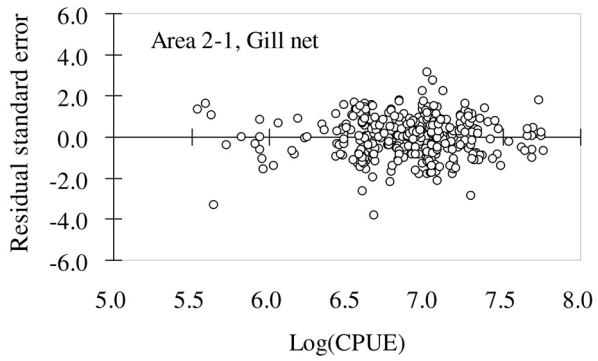


Fig. 4.7. Plot of the residual standard errors against the expected value of the log CPUE in area 2-1, 2-2, and 2-3.

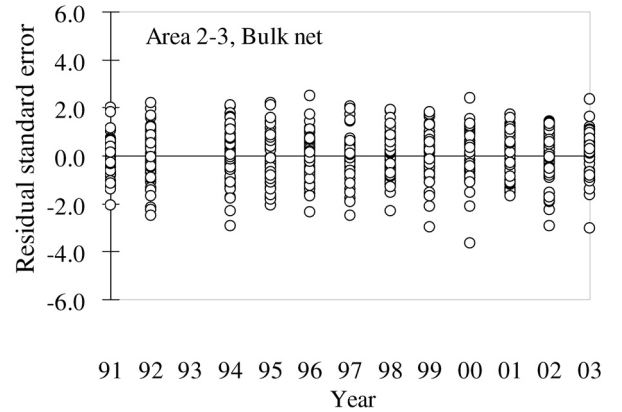
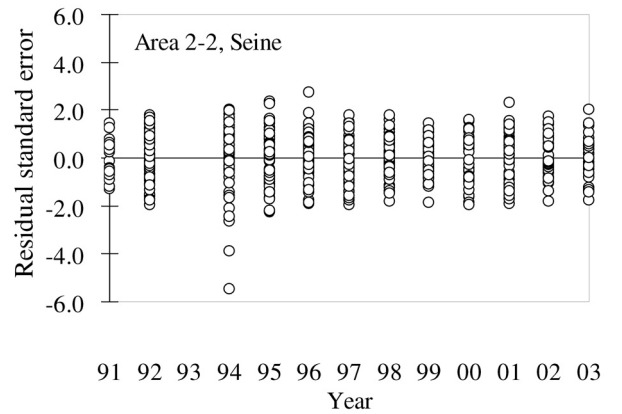
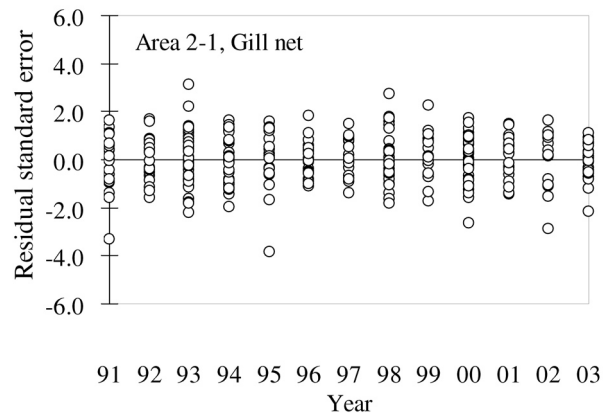


Fig. 4.9. Plot of the residual standard errors against year in area 2-1, 2-2, and 2-3.

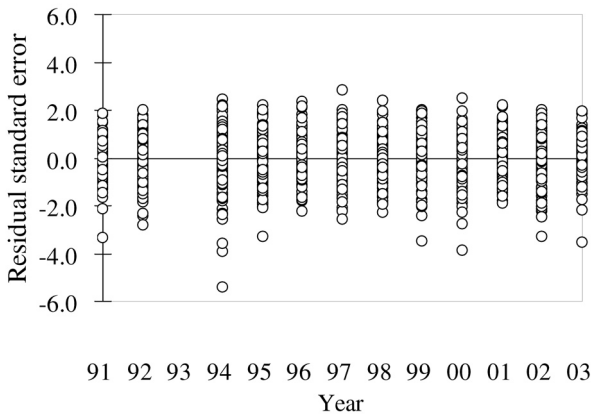


Fig. 4.8. Plot of the residual standard errors against year in area 1.

Table 4.5. ANOVA results for the standardized log CPUE of the selected model in area 1.

Source	DF	Type III SS	Mean square	F value	Pr > F
Year	11	47.05	4.28	7.74	<.0001
Kuro_2	1	0.24	0.24	0.44	0.508
Island,Fish	2	617.56	308.78	558.99	<.0001
Year*Island,Fish	22	73.05	3.32	6.01	<.0001
Kuro_2*Island,Fish	2	9.90	4.95	8.96	0.0001

Table 4.6. ANOVA results for the standardized log CPUE in area 2-1, 2-2, and 2-3 of the selected model.

(Area 2-1)

Source	DF	Type III SS	Mean square	F value	Pr > F
Year	12	15.13	1.26	3.04	0.0005
Kuro_2	1	1.78	1.78	4.28	0.0394
Temp	1	0.02	0.02	0.04	0.8408
Year*Temp	12	12.01	1.00	2.41	0.0053

(Area 2-2)

Source	DF	Type III SS	Mean square	F value	Pr > F
Year	11	54.06	4.91	9.39	<.0001
Kuro_1	1	2.34	2.34	4.46	0.0351
Temp	1	0.21	0.21	0.4	0.5258
Kuro_1*Temp	1	2.29	2.29	4.37	0.0369

(Area 2-3)

Source	DF	Type III SS	Mean square	F value	Pr > F
Year	11	26.56	2.41	4.18	<.0001
Month	2	1.34	0.67	1.16	0.3136
Kuro_1	1	2.30	2.30	3.98	0.0466
Point	1	29.44	29.44	50.97	<.0001
Month*Area	2	8.66	4.33	7.49	0.0006

タカベを混獲されたと考える基準を5%, 15%, 20%に変化させたときの推定結果に与える影響について検討したが、選択される効果は同じで、推定されるCPUEの年トレンドもほぼ同じであった。このことから、タカベが主漁獲対象でないと考える基準の割合は、解析結果に大きな影響を与えないと考えた。

第五章 資源量推定

第三章で得られた輪紋数組成と、第四章で標準化したCPUE、そして漁獲量の情報があるとチューニングVPAで年別年齢別資源尾数を推定することができる。伊豆諸島周辺海域におけるタカベの資源量推定は、過去に数件VPAによるものが実施されている(東京都水産試験場大島分場, 1995; 東京都水産試験場, 2000)。しかし、これらの研究は鱗による年齢組成を使用しているため、年別年齢別漁獲尾数が耳石を

使用して推定した場合と比較し、若齢に偏っているものと考えられる。さらに、2000年以降は資源状態に関する報告がほとんどなされておらず、資源状況について十分な把握がなされていない。本章は、伊豆諸島北部海域において、資源量推定を行い、現状評価と資源管理に必要な情報を得ることを目的とする。CPUEの観測誤差と年齢の読み取り誤差、鱗と耳石の年齢形質の違いなどを考慮し、シミュレーションによりパラメータと資源量推定値に与える影響を調べた。また、YPR, SPR解析を行い、現在の漁獲圧とそれが変化させた場合の影響についても評価した。

試料と方法

試料

年齢別漁獲尾数を推定するため、第三章で査定した耳石と鱗の輪紋数データを使用した。水揚げ票を伊豆

大島漁業協同組合、にいじま漁業協同組合と神津島漁業協同組合から収集し、各年の島別漁法別漁獲重量を調べた。水揚伝票上の記載により、三宅島や銭洲など伊豆諸島北部海域の本研究对象地域以外の場所での操業が確認できる場合は、それらをデータから除外した。また、水揚伝票を収集していない地区のタカベの漁獲重量は、東京都の漁獲統計資料「東京都の水産」の年別漁協別漁獲量を使用した。チューニングに使用するCPUEは、第四章で標準化したCPUEの年効果と、年と島漁法の交互作用のLSMEANを使用した。

年別年齢別漁獲尾数の推定

年別年齢別漁獲尾数の推定にあたり i 番目の漁業 ($i=1, \dots, I$), a 歳 ($a=1, \dots, A$), y 年の標本数を $D_{i,a,y}$ とすると、 i 番目の漁業の a 歳, y 年の年齢割合 $\theta_{i,a,y}$ は、

$$\theta_{i,a,y} = \frac{D_{i,a,y}}{\sum_{k=1}^A D_{i,k,y}} \quad (5.1)$$

となる。漁獲統計が暦年の集計値であるため、1月1日を起算日とし、輪紋数を年齢に変換した。第三章と安藤ら2004の飼育魚の知見から、耳石の方が真の年齢を当てる確率が高く、読み取り誤差が小さい。そこで、年別年齢別漁獲尾数を推定するさい、耳石の査定値が正しいと考え、鱗の年齢組成の偏りを耳石の基準に変換した。鱗で査定した i 番目の漁業の a' 歳, y 年の標本数 $D'_{i,a',y}$ を、鱗の年齢に対する耳石の年齢査定値の出現割合を使用し、以下の式で変換した。

$$D_{i,a,y} = \sum_{a'=1}^A p(a|a') D'_{i,a',y} \quad (5.2)$$

ここで、 $p(a|a')$ は鱗の年齢が a' 歳の時、耳石の年齢が a 歳となる出現割合を示す。

i 番目の漁業の a 歳, y 年の漁法別年齢別漁獲尾数 $C_{i,a,y}$ を、総漁獲重量 $Y_{i,y}$ と、1尾あたりの平均体重 $\bar{W}_{i,y}$ から、以下の式で求めた。

$$C_{i,a,y} = \theta_{i,a,y} Y_{i,y} / \bar{W}_{i,y} \quad (5.3)$$

Area 1で大島刺網、大島定置網、寄網、建切網、大島以南の刺網の5種類、Area 2-1で刺網と定置網の2種類、Area 2-2で寄網と刺網の2種類、Area 2-3で建切網と刺網の2種類の漁法別年齢別漁獲尾数を推定した。資源量推定は、Area 2-3で1994~2003年の10年間について行った。また、大島の定置網 (Area 2-1) と寄網 (Area 2-2) で1997年以前の年齢組成データが不十分であったため (Table 3.2), Area 1, Area 2-1, Area 2-2では、1998~2003年の6年間につ

いてのみ資源量推定を行った。

2002年の寄網の年齢組成データは欠測しているが、寄網と建切網は漁法が類似しており、2001年と2003年の年齢組成を比較すると、いずれも、2輪の割合が最も高く、両者とも1輪、3輪、4輪、5輪以上の順で小さくなっている (Table 3.2)。よって、2002年の寄網の年齢組成は、同年の建切網の年齢組成と等しいと仮定し推定した。また、神津島の刺網漁業の年齢組成は、利島から式根島の刺網漁業のものを使用し、年別年齢別漁獲尾数を推定した。

資源量推定

a 歳, y 年における初期資源尾数と漁獲尾数は、以下の資源動態モデルで表せる。

$$N_{a,y} = N_{a-1,y-1} \exp\{- (F_{a-1,y-1} + M)\} \quad (5.4)$$

$$C_{a,y} = E_{a,y} N_{a,y} \quad (5.5)$$

$$E_{a,y} = \frac{F_{a,y}}{F_{a,y} + M} \{1 - \exp(-F_{a,y} - M)\} \quad (5.6)$$

また、(5.4) 式と (5.5) 式から、

$$C_{a-1,y-1} - N_{a,y} E_{a-1,y-1} \exp(F_{a-1,y-1} + M) = 0 \quad (5.7)$$

と、まとめることができる。ここで $E_{a,y}$, $F_{a,y}$ は、それぞれ a 歳, y 年における漁獲率と漁獲係数を示す。 M は自然死亡係数で加入以後、年、年齢によらず一定と仮定した。 M の推定は田内・田中の方法 (田中, 1960) を使用し、寿命を7歳と仮定し $M=2.5 \div 7=0.357$ とした。 $F_{a,y}$ が与えられたとき、(5.7) 式における未知パラメータは $F_{a-1,y-1}$ のみとなる。 $F_{a-1,y-1}$ の数値解は、ニュートン法を使用して推定した。タカベの漁獲物中の5歳以上の出現割合が少ないことから、これらをプラスグループとしてまとめた。また、高齢で成長が鈍化することから (Fig. 3.5), 4歳と5歳で選択率に差はないと考え、 $F_{4,y} = F_{5,y}$ と仮定し、プラスグループの資源尾数を以下の式で求めた (平松, 2001)。

$$N_{5+,y} = N_{5+,y-1} \exp\{- (F_{5+,y-1} + M)\} + N_{4,y-1} \exp\{- (F_{4,y-1} + M)\} \quad (5.8)$$

最近年2003年の1～4歳のFは、 $F_{4,2003}$ をパラメータとし、最近年の各漁業の選択率が過去3年の選択率の平均であると仮定し推定した。

$$F_{a,2003} = \sum_{i=1}^I \left(\frac{\sum_{b=1}^3 F_{i,a,2003-b}}{\sum_{b=1}^3 F_{i,4,2003-b}} F_{i,4,2003} \right) = \sum_{i=1}^I \left(\frac{\sum_{b=1}^3 F_{i,a,2003-b}}{\sum_{b=1}^3 F_{i,4,2003-b}} \frac{C_{i,4,2003}}{\sum_j C_{j,4,2003}} F_{4,2003} \right) \quad (5.9)$$

y年におけるi番目の漁業の対数変換したCPUEの観測値 $\ln(u_{i,y})$ は、平均0、分散 σ^2 の正規分布に従うと仮定した(田中, 1999)。

$$\ln(u_{i,y}) = \ln q_i \sum_a s_{i,a,y} \bar{N}_{a,y} + \varepsilon_{i,y} \quad (5.10)$$

$$\bar{N}_{a,y} = \frac{1}{F_{a,y} + M} N_{a,y} [1 - \exp\{-(F + M)\}] \quad (5.11)$$

$$s_{i,a,y} = \frac{F_{i,a,y}}{\text{Max}.F_{i,a,y}} \quad (5.12)$$

$$F_{i,a,y} = \frac{C_{i,a,y}}{\sum_j C_{j,a,y}} F_{a,y} \quad (5.13)$$

$$\varepsilon_{i,y} \sim N(0, \sigma^2) \quad (5.14)$$

$s_{i,a,y}$, $u_{i,y}$, q_i はそれぞれ、i番目の漁業、a歳、y年における選択率、i番目の漁業、y年におけるCPUEの観測値、i番目の漁業における漁具能率を示す。未知パラメータはADAPT型VPAを使用し、最小2乗法でCPUEの理論値と実測値の残差が最小になる組み合わせの q_i と $F_{4,2003}$ を推定した(Gavaris, 1988)。目的関数は、

$$\text{RSS} = \sum_{i=1}^I \frac{1}{\omega_i} \sum_{y=1}^Y \left(\ln u_{i,y} - \ln q_i \sum_a s_{i,a,y} \bar{N}_{a,y} \right)^2 \quad (5.15)$$

である。ここで ω_i はi番目の漁業の重み項で、iが2以上の場合、CPUE標準化で求めた島漁法の効果のLSMEANの分散を使用した。CPUEの実測値には、Area 1で建切網、寄網、刺網の3種類の年と島漁法の交互作用のLSMEANを、Area 2-1で刺網、Area 2-2で寄網、Area 2-3で建切網の年効果のLSMEANをそれぞれ使用した。最適解の探索はSimplex法(Nelder and Mead, 1965)を使用した。

誤差評価・感度解析

年別年齢別漁獲尾数とCPUEに含まれる誤差を考慮し、シミュレーションにより誤差評価を行った(Haddon, 2001)。年別年齢別漁獲尾数とCPUEの誤差を含んだリサンプリングデータを作成し、チューニングVPAを1,000回繰り返し、パラメータと資源量推定値の平均と標準誤差を求めた。年別年齢別漁獲尾数のリサンプリングデータは、第三章の輪紋数観測値φ本と真の輪紋数h本を年齢に置き換え、i番目の漁業のa歳、y年の標本数 $\tilde{D}_{i,a,y}$ を、多項乱数 $\delta_{i,y,\phi,h}$ を用いて作成した。標本数 $\tilde{D}_{i,a,y}$ は以下の式で求めた。

$$\tilde{D}_{i,a,y} = \sum_{h=1}^H \delta_{i,y,\phi=a,h} \quad (5.16)$$

ここで、 $\delta_{i,y,\phi,h}$ は $h=1, \dots, A$ について $n=D_{i,h,y}$ $p_1=p(\phi=1|h)$, $p_2=p(\phi=2|h)$, \dots , $p_5=p(\phi=5|h)$ の多項分布から発生させた乱数である。耳石の査定誤差は $\phi=\phi^{oto}$, $h=h^{oto}$ 、鱗の査定誤差は $\phi=\phi^{scl}$, $h=h^{scl}$ として乱数を発生させ、(5.16)式と(5.1)式、(5.3)式を使用し漁法別年齢別漁獲尾数に変換した。CPUE対数値のリサンプリングデータは、チューニングVPAで求めたCPUEの理論値に正規乱数を加え作成した。ここで、正規分布の分散はCPUEの残差から推定した(Efron and Tibshiram, 1993)。また、耳石と鱗それぞれの年齢査定の読み取り誤差に関して、両者の違いがパラメータと資源量推定値の変動係数に与える影響を評価した。

年別年齢別漁獲尾数を推定するさい、耳石に対する鱗の年齢査定値の偏りを考慮し、鱗の年齢組成を耳石の年齢組成に変換した。しかし、本研究以前では、鱗の年齢組成情報しかなかく、耳石による年齢組成と比較して過小推定になっていると考えられる。そこで、耳石の年齢情報を使用した場合と、使用しない場合の年別年齢別漁獲尾数をArea 2-3(神津島)を例として作成し、資源量推定値とパラメータ推定値に与える影響を評価した。

感度解析として、各地区について、自然死亡係数の値を±10, 20%変化させたとき資源量推定値に与え

る影響を評価した。また、10年間の年齢別漁獲尾数データが使用できる Area 2-3についてレトロスペクティブ解析を行い最近年の推定値に偏りがあるかを調べた。

チューニング VPA による資源量推定と誤差評価は Microsoft® Excel のマクロ機能を使用し Visual Basic for Applications (VBA) のプログラムを作成し計算した。計算に使用した VBA プログラムを Appendix A に示す。

資源の現状評価

資源の現状評価を行うため、加入あたり漁獲量 (YPR) と加入あたり産卵親魚量 (SPR) を各地区について求めた (松宮, 1996)。SPR は加入 1 個体の生涯における期待産卵数である。生殖腺重量は親魚体重と比例関係にある (Fig. 3.8)。また、産卵数と生殖腺重量が比例関係にあると考え、期待産卵量は親魚体重に比例すると仮定した。YPR と SPR は、それぞれ、

$$YPR = \sum_{a=1}^7 E_a S_a W_a \quad (5.17)$$

$$SPR = \sum_{a=1}^7 fr_a S_a W_a \quad (5.18)$$

$$S_{a+1} = S_a \exp\{- (F_a + M)\} \quad (\text{ただし } S_1=1) \quad (5.19)$$

$$E_a = \frac{F_a}{F_a + M} \{1 - \exp(-F_a - M)\} \quad (5.20)$$

と定義した (Gabriel *et al.*, 1989)。ここで、 fr_a は a 歳の雌の成熟率で Table 3.12 の値を使用した。YPR 曲線の推定にあたり a 歳における各地区の漁獲係数は、最近年の F の年齢別の選択率を使用した。価格の高い大型魚の期待漁獲重量を調べるため 3 歳以上の YPR についても調べた。生物学的資源管理基準値として $F_{0.1}$ (Gulland and Boerema, 1973) と $F_{x\%SPR}$ ($x=30, 40, 50$) (Mace, 1994) を求め、最近年 2003 年の漁獲係数 $F_{current}$ と比較した。また、各年齢の選択率を変化させ、若齢魚にかかる漁獲圧の違いによる期待漁獲量の変化を調べた。現状の各年齢の選択率を ± 1 歳ずらし、若齢魚の漁獲圧が現状より強まる場合と弱まる場合について、YPR と 3 歳以上の YPR を比較した。

結 果

Table 5.1 に地区別漁法別に推定した年別年齢別漁獲尾数を示す。Table 5.2 はチューニング VPA で求めた、各地区における F と q の最小 2 乗法で求めたパラメータ推定値と、シミュレーション結果の平均、標準誤差、変動係数である。Area 1, 2-2, 2-3 ではパラメータの推定精度が高かったが、Area 2-1 では他と比較して精度が低かった。Area 1, 2-1, 2-2, 2-3 各地区における漁獲割合の平均は、それぞれ重量で 0.30, 0.25, 0.31, 0.33、尾数で 0.20, 0.19, 0.23, 0.23 であった。Fig. 5.1 は、各地区の資源量推定値と、その標準誤差を示す。いずれの地区においても直近 2~3 年の誤差が増大する傾向がみられる。Fig. 5.2 は Area 1 における神津島の建切網、利島から式根島の寄網、大島の刺網の CPUE の理論値と観測値の年変化を示す。また、Fig. 5.3 は Area 2-1~2-3 の各地区における CPUE の理論値と観測値の年変化を示す。伊豆諸島北部海域の 1998~2003 年の資源量は、仮説 1、仮説 2 どちらの場合も 600~700t 台を推移している。Fig. 5.4 は各地域における、CPUE の実測値と理論値の標準化残差プロットを示す。Table 5.3 は各地区における年別年齢別資源尾数、資源重量、漁獲係数の推定値を示す。

Fig. 5.5 は各地区の自然死亡係数 M について、感度解析を行った結果である。 M の値を現状より 20% 増加させると資源量が 1.1~1.2 倍に増加し、20% 減少させると資源量が 0.85~0.88 倍に減少したが、資源の増減傾向は変わらなかった。Fig. 5.6 は、Area 2-3 についてレトロスペクティブ解析を行った結果である。最近年の推定値に一定の傾向は見られなかった。Fig. 5.7 は耳石と鱗の年齢査定を読み取り誤差が資源量推定値に与える影響を、各年の資源重量 (a) と、最近年 2003 年の年齢別資源重量 (b) の変動係数を比較した結果である。資源重量推定値の変動係数は耳石、鱗いずれの読み取り誤差を考慮した場合でも同様の傾向を示すが、耳石を使用した方が推定精度は高いことを示す。また、Fig. 5.8 は鱗の年齢組成の偏りを耳石の基準に変換した場合と、変換しない場合の年齢組成から求めた資源量推定値である。鱗のみの年齢組成情報では、耳石を使用した場合と比較して、資源量が 2 割ほど過小に推定された。

Table 5.4 は各地区における生物学的資源管理基準値での漁獲係数、YPR, SPR, %SPR を示す。Fig. 5.9 に 2003 年の選択率における漁獲係数に対する、%SPR と YPR、3 歳以上 (大型魚) の YPR の変化を示す。 $F_{current}$ は $F_{0.1}$ に近い値であり、各地区の %SPR は 2003 年の漁獲圧で 48.2%~52.1% だった。YPR 解析の結果、

Table 5.1. Catch at age of each area and fishing gear.

Age	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
area / fishing gear										
Area 2-1 / Gill net										
1	87,839	24,209	49,902	78,123	80,481	3,695	28,776	4,669	21,015	16,229
2	135,585	28,444	34,365	53,629	94,749	17,279	40,133	19,609	32,585	25,591
3	144,175	33,139	23,277	29,024	40,176	23,134	34,902	52,758	27,390	19,350
4	99,939	27,698	16,671	19,173	17,897	20,484	20,893	47,623	27,154	17,477
5+	42,872	16,138	9,828	9,954	4,454	17,499	7,525	16,808	14,167	17,477
Area 2-1 / Set net										
1	2,941		5,143		925	1,627	870	11,986	8,472	7,376
2	4,326		3,171		4,964	2,703	1,666	8,249	8,472	6,712
3	3,989		3,811		8,965	1,689	1,242	7,733	13,314	4,998
4	2,634		2,774		7,846	983	729	2,836	5,245	3,761
5+	1,245		1,456		5,506	465	339	644	0	2,512
Area 2-2 / Seine										
1		27,202			298,847	88,067	40,933	89,252	70,443	33,744
2		93,971			304,485	126,733	79,334	116,401	101,469	66,975
3		151,570			116,019	77,175	70,963	69,375	71,204	52,913
4		108,528			48,595	42,379	45,803	38,849	41,084	31,796
5+		45,484			10,934	20,443	24,797	15,142	15,666	13,174
Area 2-2 / Gill net										
1	47,263	91,074	138,942	158,045	254,481	42,037	121,265	147,612	167,932	83,596
2	138,170	198,573	95,684	209,216	245,140	74,323	133,310	190,473	158,067	131,704
3	270,534	203,776	64,810	118,763	102,929	56,066	108,821	125,732	85,998	117,365
4	201,866	137,866	46,416	83,007	49,683	42,363	75,959	79,735	45,128	84,659
5+	89,197	56,643	27,363	56,350	19,492	36,225	49,663	52,579	15,241	49,908
Area 2-3 / Bulk net										
1	81,455	33,106	46,367	109,868	201,628	67,219	126,292	188,342	137,411	42,985
2	153,824	90,215	70,360	93,116	472,885	189,309	98,589	336,914	197,932	252,950
3	243,952	184,223	95,857	55,129	211,294	134,522	55,705	166,823	138,896	145,487
4	189,492	166,508	89,797	40,645	101,818	71,907	35,102	87,911	80,141	66,131
5+	95,885	104,388	66,433	27,967	43,088	27,459	21,593	36,780	30,559	11,573
Area 2-3 / Gill net										
1	1,420	4,367	4,096	10,852	15,472	570	3,476	11,985	12,561	22,116
2	4,152	9,521	2,821	14,365	14,904	1,007	3,822	15,465	11,823	34,844
3	8,130	9,771	1,911	8,155	6,258	760	3,120	10,209	6,433	31,050
4	6,066	6,611	1,368	5,700	3,021	574	2,178	6,474	3,376	22,398
5+	2,680	2,716	807	3,869	1,185	491	1,424	4,269	1,140	13,204

Table 5.2. Point estimate, mean of simulation, standard error and coefficient of variance of the VPA parameters of each area.

		Fishing coefficient ($F_{4,2003}$)	Catchability		
			Gill net	Seine	Bulk net
Area 1	Point estimate	0.626	0.00084	0.00229	0.00281
	Mean of simulation	0.641	0.00079	0.00229	0.00279
	SE	0.139	0.00017	0.00026	0.00043
	CV	0.22	0.22	0.11	0.15
Area 2-1	Point estimate	0.631	0.00497		
	Mean of simulation	0.749	0.00536		
	SE	0.375	0.00132		
	CV	0.50	0.25		
Area 2-2	Point estimate	0.741		0.00490	
	Mean of simulation	0.709		0.00469	
	SE	0.115		0.00040	
	CV	0.16		0.08	
Area 2-3	Point estimate	1.048			0.01011
	Simulation mean	0.966			0.00952
	SE	0.175			0.00073
	CV	0.18			0.08

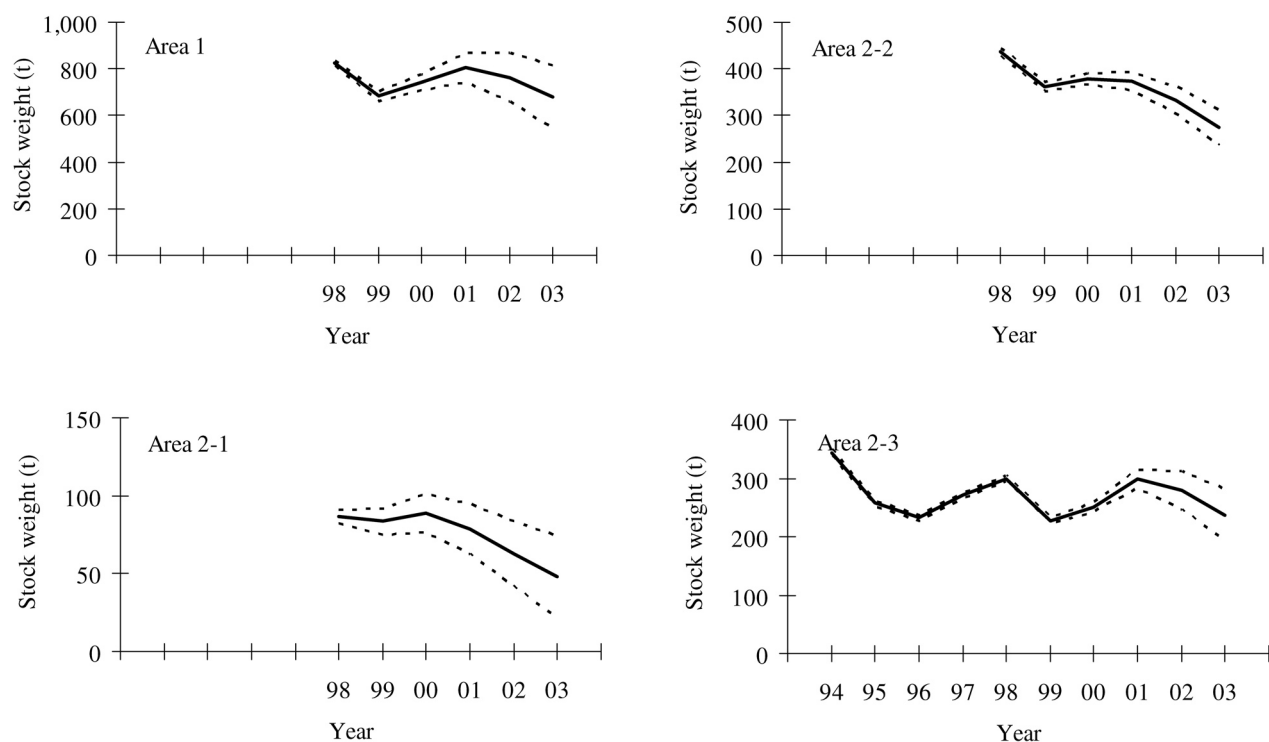


Fig. 5.1. Estimated stock weight of butterfish. Solid and dotted lines indicate point estimate and standard error, respectively.

漁獲圧を現状より高めると、小型魚の漁獲量はわずかに増えるものの、大型魚の漁獲の増加は期待できず、減少する危険があることを示す。Fig. 5.10は、各地区における若齢魚に対する漁獲圧を現状より高めた場合と低下させた場合のYPRと3歳以上の期待漁獲量の比較である。各地区とも現状の漁獲係数のもとでは、若齢魚の漁獲圧を増大させても、全体の漁獲量はほとんど変わらないが、大型魚の漁獲量が減少することが示された。

考 察

最近年の資源量推定値は、資源管理上最も重要な情

報であるが、推定値の誤差が大きかった。しかしながら、レトロスペクティブ解析結果が示すように、最近年の推定値にモデルに起因する偏りは見られない。最近年のターミナル F の推定方法として、1～4歳の F を全て未知パラメータとした場合も試みた。しかし、データに漁獲圧の低い若齢の年級に関する情報が、ほとんど含まれていないと考えられるため、1, 2歳部分の資源量がうまく推定できなかった。各年齢にかかる漁獲圧は、高齢部と比較して1, 2歳が低くなる傾向がいずれの年も共通に見られる。解析期間中に漁獲の形態などが大きく変化していないため、最近年の選択率が過去数年の平均であると仮定する方法を用いても、 F は十分に推定できるものと考えられる。

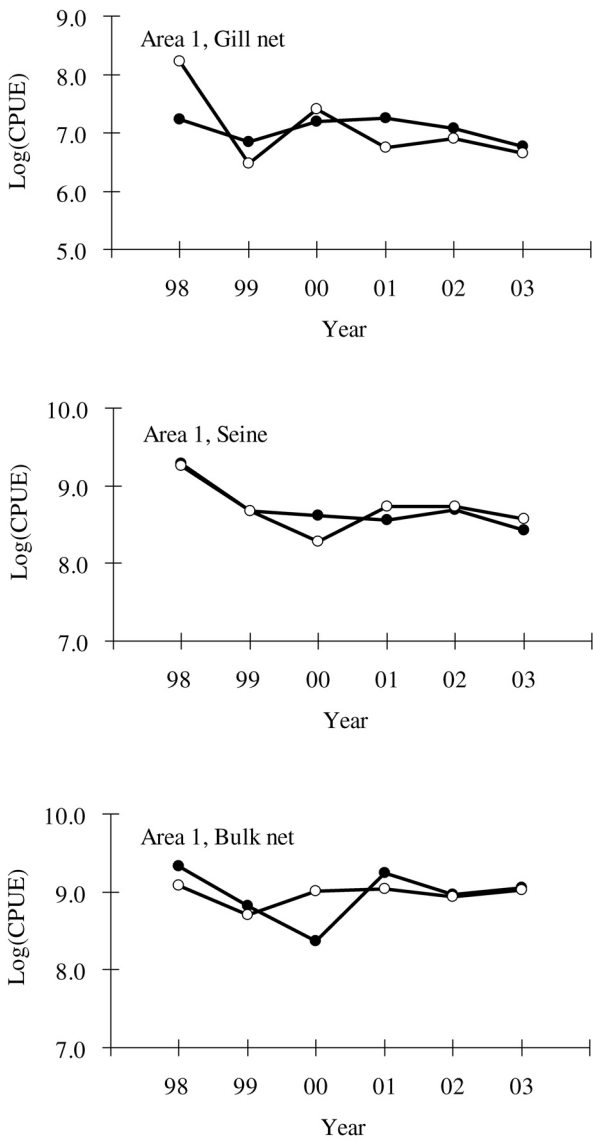


Fig. 5.2. Comparison of the expected value of the log CPUE (open circles) and the observed one (black ones) in area 1.

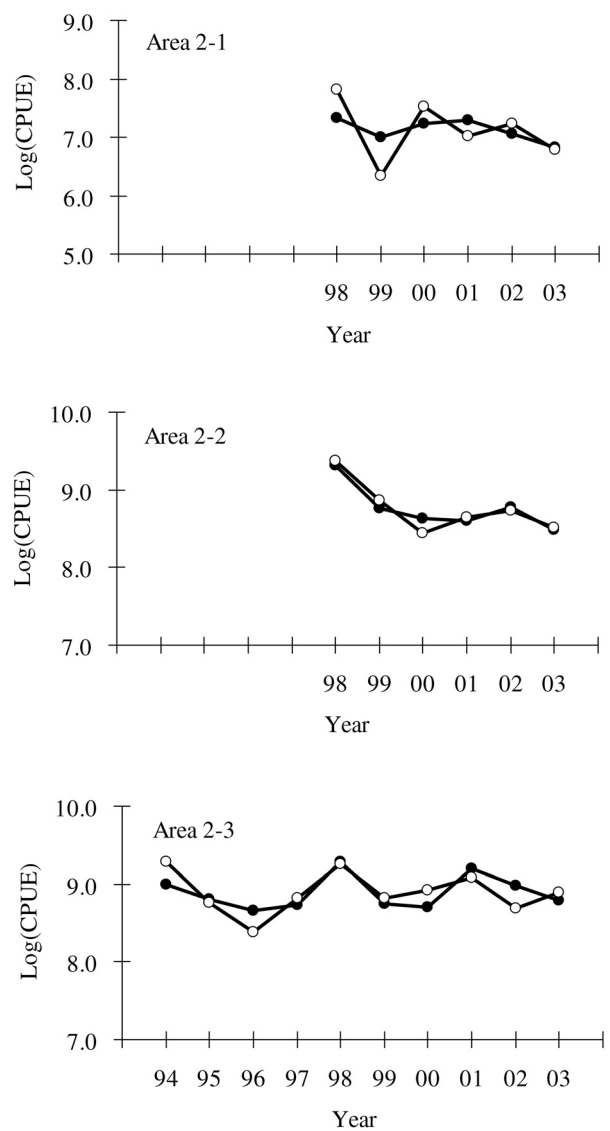


Fig. 5.3. Comparison of the expected value of the log CPUE (open circles) and the observed one (black ones) in area 2-1, 2-2, and 2-3.

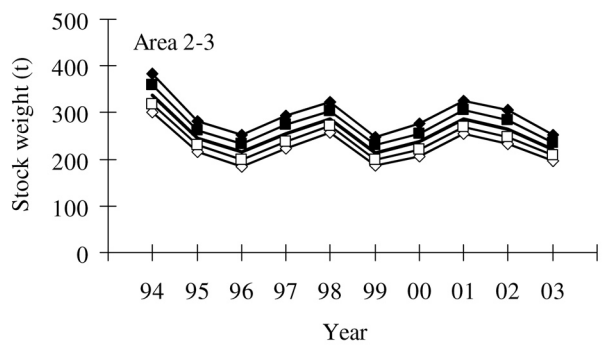
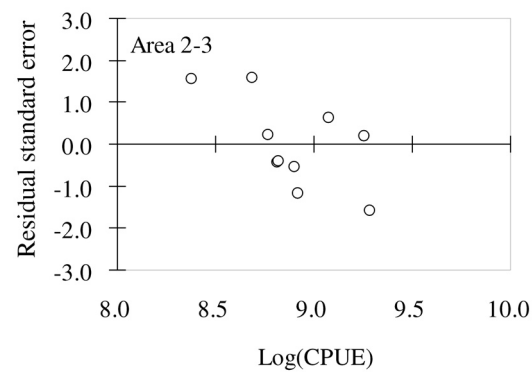
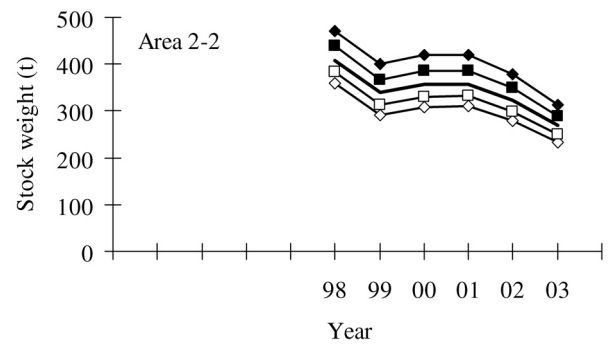
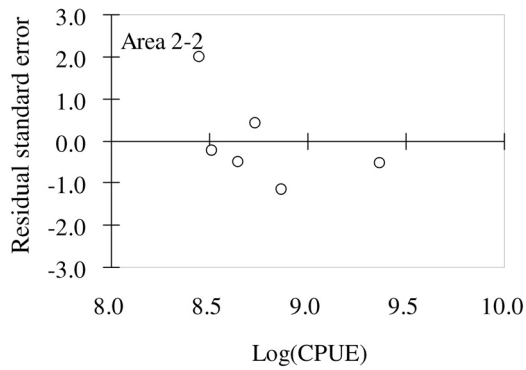
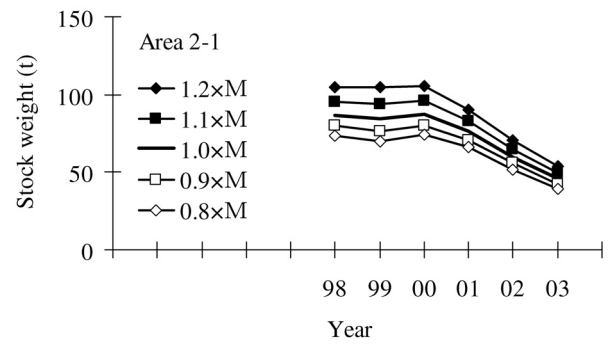
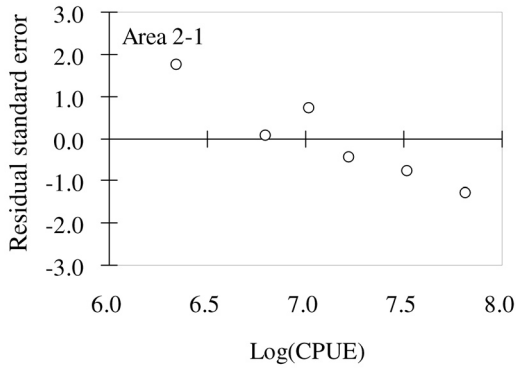
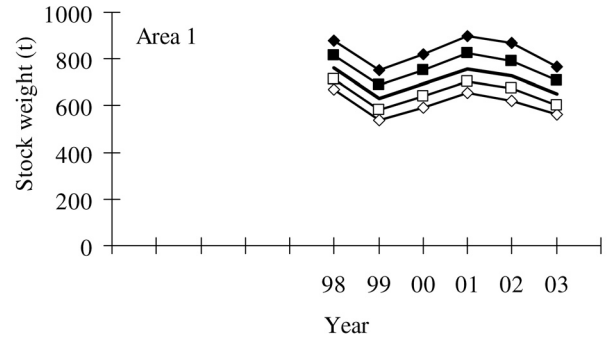
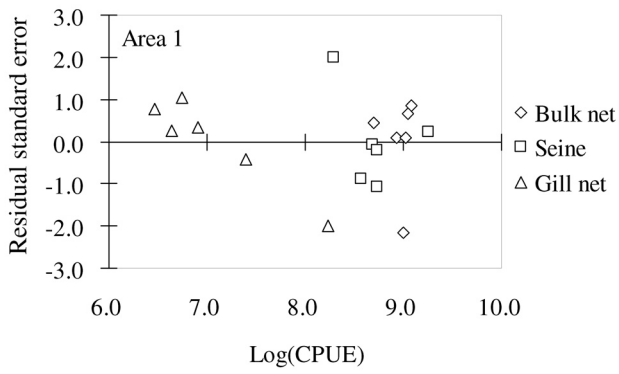


Fig. 5.5. Results of the sensitivity tests of the values for natural mortality coefficient of each area.

Fig. 5.4. Plot of the residual standard error against the log CPUE of each area.

Table 5.3. The estimated stock number and weight at age, total fishing mortality and fishing mortality of the each fishery and area.

Area 1	Age	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Stock number at age	1	3,996,197	3,547,251	4,056,777	4,166,768	3,901,505	2,135,355
	2	2,805,903	2,093,316	2,313,185	2,571,604	2,540,370	2,383,830
	3	1,263,796	1,034,009	1,123,393	1,321,611	1,232,508	1,355,134
	4	581,411	487,084	481,880	559,206	570,375	582,525
	5+	220,969	299,752	303,636	297,338	259,857	332,263
Stock weight at age (t)	1	207	184	210	216	202	111
	2	317	237	261	291	287	269
	3	164	135	146	172	160	176
	4	78	65	65	75	76	78
	5+	30	40	41	40	35	45
Fishing coefficient (total)	1	0.289	0.070	0.099	0.138	0.136	0.121
	2	0.641	0.265	0.203	0.378	0.271	0.297
	3	0.596	0.406	0.340	0.483	0.392	0.389
	4	0.627	0.595	0.614	0.836	0.559	0.626
	5+	0.627	0.595	0.614	0.836	0.559	0.626
Fishing coefficient (bulk net)	1	0.069	0.023	0.039	0.057	0.045	0.025
	2	0.267	0.122	0.056	0.185	0.105	0.145
	3	0.260	0.186	0.069	0.187	0.160	0.152
	4	0.282	0.230	0.117	0.273	0.219	0.178
	5+	0.332	0.140	0.115	0.217	0.199	0.094
Fishing coefficient (seine)	1	0.102	0.031	0.013	0.027	0.023	0.020
	2	0.172	0.082	0.045	0.064	0.054	0.038
	3	0.142	0.107	0.088	0.078	0.082	0.055
	4	0.131	0.140	0.154	0.124	0.112	0.087
	5+	0.078	0.118	0.139	0.107	0.102	0.066
Fishing coefficient (gill net : Oshima island)	1	0.027	0.001	0.009	0.001	0.007	0.010
	2	0.053	0.011	0.023	0.011	0.017	0.015
	3	0.049	0.032	0.043	0.059	0.032	0.020
	4	0.048	0.074	0.068	0.146	0.073	0.047
	5+	0.032	0.120	0.040	0.126	0.107	0.112
Fishing coefficient (set net)	1	0.000	0.001	0.000	0.003	0.003	0.004
	2	0.003	0.002	0.001	0.004	0.005	0.004
	3	0.011	0.002	0.002	0.007	0.011	0.005
	4	0.022	0.003	0.002	0.013	0.018	0.010
	5+	0.042	0.003	0.002	0.011	0.014	0.012
Fishing coefficient (gill net : others)	1	0.092	0.015	0.038	0.049	0.059	0.062
	2	0.147	0.049	0.078	0.114	0.090	0.096
	3	0.134	0.079	0.139	0.152	0.107	0.156
	4	0.143	0.148	0.272	0.280	0.137	0.303
	5+	0.144	0.215	0.317	0.374	0.136	0.342

Table 5.3. (Continued)

Area 2-1	Age	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Stock number at age	1	565,503	504,423	326,362	249,279	248,454	165,609
	2	328,015	328,308	348,504	203,763	161,664	149,722
	3	129,964	147,539	212,586	209,186	119,673	79,141
	4	80,891	50,727	82,502	118,856	97,613	53,228
	5+	32,273	49,226	30,912	54,702	59,608	65,507
Stock weight at age (t)	1	27	24	15	12	12	8
	2	33	33	36	21	16	15
	3	15	17	25	25	14	9
	4	10	6	10	14	12	6
	5+	4	6	4	7	7	8
Fishing coefficient (total)	1	0.187	0.013	0.114	0.076	0.149	0.185
	2	0.442	0.077	0.153	0.175	0.357	0.294
	3	0.584	0.224	0.224	0.405	0.453	0.448
	4	0.475	0.816	0.372	0.712	0.518	0.631
	5+	0.475	0.816	0.372	0.712	0.518	0.631
Fishing coefficient (gill net)	1	0.184	0.009	0.111	0.023	0.108	0.127
	2	0.419	0.067	0.147	0.124	0.282	0.233
	3	0.477	0.209	0.217	0.360	0.334	0.356
	4	0.326	0.783	0.359	0.652	0.418	0.517
	5+	0.203	0.799	0.355	0.653	0.458	0.570
Fishing coefficient (set net)	1	0.002	0.004	0.003	0.053	0.042	0.058
	2	0.022	0.010	0.006	0.051	0.075	0.061
	3	0.107	0.015	0.008	0.045	0.119	0.092
	4	0.149	0.034	0.013	0.059	0.101	0.114
	5+	0.272	0.017	0.017	0.059	0.061	0.061

Area 2-2	Age	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Stock number at age	1	2,139,338	1,750,968	1,875,423	1,834,601	1,488,460	892,535
	2	1,442,640	1,041,356	1,117,149	1,177,660	1,087,507	844,327
	3	633,316	559,814	561,593	604,651	570,160	546,494
	4	321,252	263,727	281,663	244,969	262,600	269,328
	5+	97,730	187,543	189,932	154,149	114,088	158,197
Stock weight at age (t)	1	113	92	99	97	78	47
	2	164	119	127	134	124	96
	3	83	74	74	79	75	72
	4	43	36	38	33	36	36
	5+	13	26	26	21	16	22
Fishing coefficient (total)	1	0.363	0.092	0.108	0.166	0.210	0.169
	2	0.589	0.260	0.257	0.368	0.331	0.327
	3	0.519	0.330	0.473	0.477	0.393	0.456
	4	0.447	0.508	0.761	0.895	0.510	0.741
	5+	0.447	0.508	0.761	0.895	0.510	0.741
Fishing coefficient (seine)	1	0.196	0.062	0.027	0.062	0.062	0.049
	2	0.326	0.164	0.095	0.139	0.129	0.110
	3	0.275	0.191	0.186	0.170	0.178	0.142
	4	0.220	0.249	0.280	0.289	0.239	0.197
	5+	0.163	0.182	0.237	0.211	0.228	0.145
Fishing coefficient (gill net)	1	0.167	0.030	0.081	0.103	0.148	0.120
	2	0.263	0.097	0.161	0.229	0.202	0.217
	3	0.244	0.139	0.286	0.307	0.215	0.315
	4	0.227	0.259	0.482	0.606	0.272	0.544
	5+	0.284	0.326	0.524	0.684	0.282	0.596

Table 5.3. (Continued)

Area 2-3	Age	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Stock number at age	1	845,884	844,895	1,201,216	1,583,862	1,191,436	1,088,584	1,549,558	1,557,038	1,668,843	564,957
	2	862,050	523,139	560,021	798,534	1,008,024	654,271	705,378	976,545	923,551	1,043,278
	3	741,398	472,657	283,665	331,245	469,743	309,075	301,367	408,798	394,762	473,259
	4	410,642	312,108	172,350	118,355	179,505	151,698	106,016	162,292	141,726	157,271
	5+	206,973	193,092	127,119	81,304	75,804	58,496	65,455	70,582	53,793	44,016
Stock weight at age (t)	1	46	46	65	86	65	59	84	85	91	31
	2	101	61	66	94	118	77	83	114	108	122
	3	100	64	38	45	63	42	41	55	53	64
	4	57	43	24	16	25	21	15	23	20	22
	5+	29	27	18	11	11	8	9	10	8	6
Fishing coefficient (total)	1	0.123	0.054	0.051	0.095	0.242	0.077	0.105	0.165	0.113	0.147
	2	0.244	0.255	0.168	0.173	0.825	0.418	0.188	0.549	0.311	0.392
	3	0.508	0.652	0.517	0.256	0.773	0.713	0.262	0.702	0.563	0.573
	4	0.806	1.023	0.947	0.611	1.116	0.810	0.530	1.108	1.134	1.048
	5+	0.806	1.023	0.947	0.611	1.116	0.810	0.530	1.108	1.134	1.048
Fishing coefficient (bulk net)	1	0.121	0.048	0.047	0.086	0.225	0.076	0.102	0.155	0.103	0.097
	2	0.237	0.231	0.161	0.150	0.800	0.416	0.181	0.525	0.294	0.345
	3	0.492	0.619	0.507	0.223	0.751	0.709	0.248	0.662	0.538	0.472
	4	0.781	0.984	0.932	0.536	1.084	0.803	0.500	1.032	1.088	0.783
	5+	0.784	0.997	0.935	0.537	1.086	0.795	0.498	0.993	1.093	0.490
Fishing coefficient (gill net)	1	0.002	0.006	0.004	0.009	0.017	0.001	0.003	0.010	0.009	0.050
	2	0.006	0.024	0.006	0.023	0.025	0.002	0.007	0.024	0.018	0.047
	3	0.016	0.033	0.010	0.033	0.022	0.004	0.014	0.040	0.025	0.101
	4	0.025	0.039	0.014	0.075	0.032	0.006	0.031	0.076	0.046	0.265
	5+	0.022	0.026	0.011	0.074	0.030	0.014	0.033	0.115	0.041	0.559

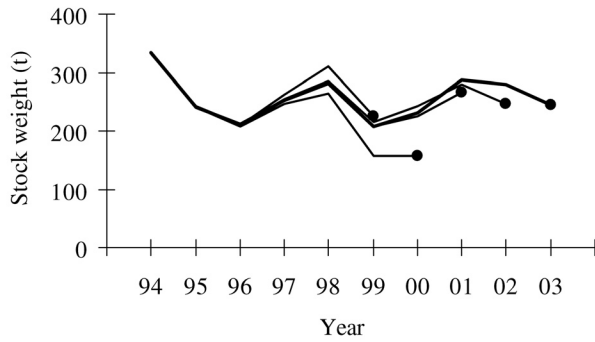


Fig. 5.6. Result of the retrospective analysis in area 2-3.

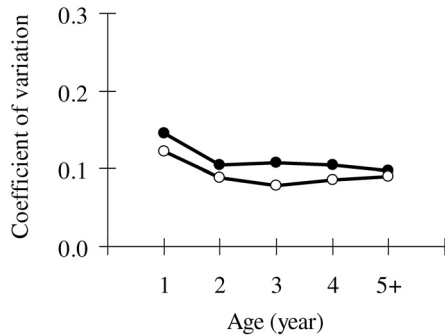
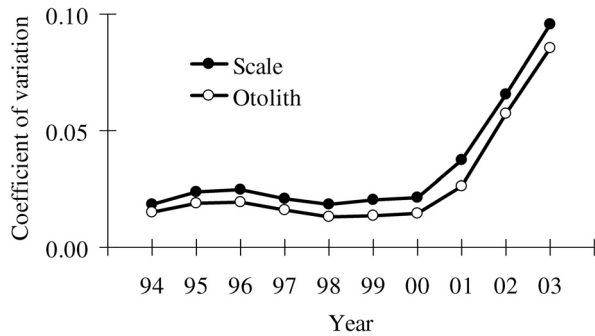


Fig. 5.7. Comparison of coefficient of variation from within ageing error of otolith and scale in area 2-3. (a) CV of stock weight from 1994 to 2003, (b) CV of stock weight at age in 2003.

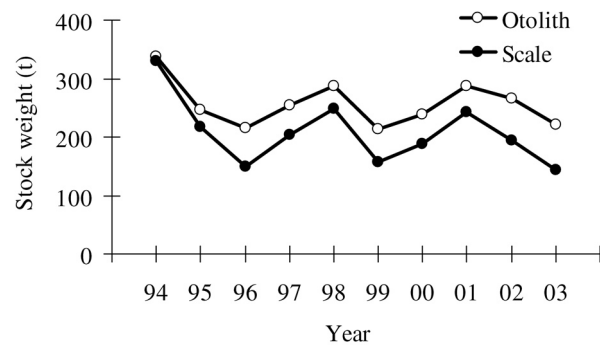


Fig. 5.8. Comparison of stock weight which estimated from age composition of otolith and scale in area 2-3.

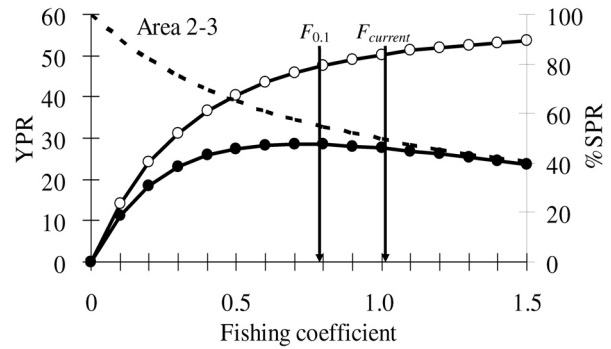
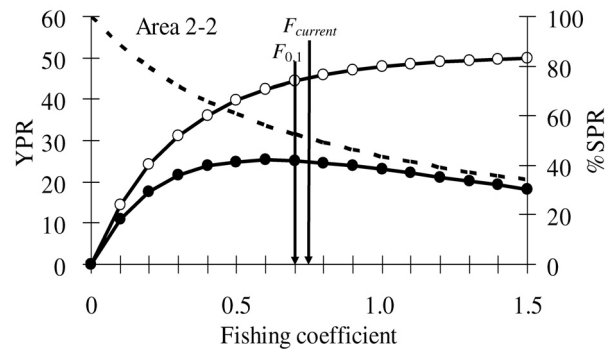
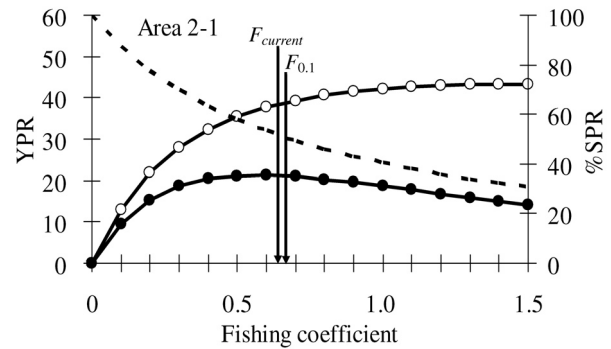
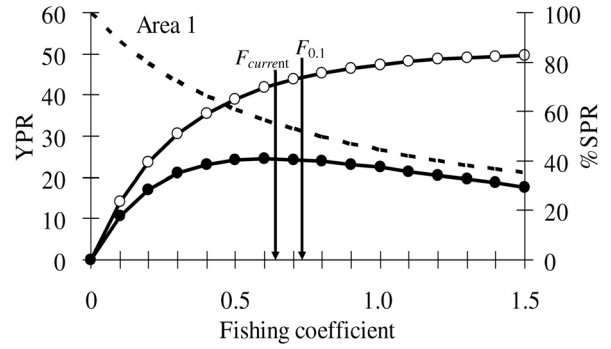


Fig. 5.9. YPR and %SPR at fishing coefficient of each area. Dotted lines, lines with open circle, and lines with black circle indicate %SPR, YPR, and YPR at age of 7 from 3, respectively.

Table 5.4. Results of fishing mortality, yield per recruitment and spawning biomass per recruit for biological reference points in area 1, 2-1, 2-2, and 2-3.

		$F_{current}$	$F_{0.1}$	$F_{50\%SPR}$	$F_{40\%SPR}$	$F_{30\%SPR}$
Area 1	F	0.63	0.72	0.79	1.20	1.90
	YPR	42.3	44.0	45.1	48.7	49.8
	SPR	144.6	136.3	130.4	104.3	78.2
	%SPR	55.5	52.3	50.0	40.0	30.0
Area2-1	F	0.63	0.66	0.68	1.01	1.54
	YPR	38.3	38.7	39.1	42.2	43.3
	SPR	121.7	119.4	117.2	93.8	70.3
	%SPR	51.9	50.9	50.0	40.0	30.0
Area2-2	F	0.74	0.70	0.77	1.16	1.79
	YPR	45.1	44.4	45.4	48.9	50.0
	SPR	136.8	140.5	134.6	107.6	80.7
	%SPR	50.8	52.2	50.0	40.0	30.0
Area2-3	F	1.05	0.79	0.97	1.52	2.48
	YPR	50.8	47.4	49.9	53.6	54.7
	SPR	135.4	153.8	140.4	112.3	84.3
	%SPR	48.2	54.8	50.0	40.0	30.0

資源量推定は、Area 2-3で10年間のデータを用いて解析を行ったが、他の地区では6年間の解析しか実施しておらず、解析期間の短さが資源量推定結果に影響を与えている可能性がある。レトロスペクティブ解析の結果は、1994～1999年など期間が短くても、資源量の推定値や変動に偏りが生じていないことを示している (Fig. 5.6)。Area 2-3以外は短期間の解析であるが、近年の漁獲量や F 、漁獲率など漁業の現状評価について利用可能な情報をもたらす。

年別年齢別漁獲尾数の推定において、資源量推定値の偏りをなくし、推定精度を維持する両面から、鱗より耳石を使用する方が良いと考えられる。しかし、耳石標本を大量に処理することは、費用と時間の両面から実施が困難な場合も考えられる。このため、一部個体を耳石と鱗両方査定し、残りを鱗のみ年齢査定を行い、耳石の査定基準に変換する方法も有効である。また、簡便な方法として、体長組成を計測した標本から一部を抽出し年齢査定を行う、二段サンプリング (田中, 1960; Lai, 1987) や、Age-length key による年齢割合の推定についても検討した。しかし、二段サンプリングの場合、体長階級内の分散と体長階級間の分散を比較すると、体長階級内の分散が大きく、体長の層別の効果がほとんど無かった。漁獲対象サイズ前の小型魚は、成長が速いため体長組成から十分年齢査定

可能である (Fig. 2.6)。しかし、漁獲対象となつてからは、成長が緩やかなため体長が持つ年齢の情報は少ない。

本研究では、年齢査定を1人の査定者が実施したため、資源量推定値に与える年齢査定に関わる誤差として、同一査定者による輪紋読み取り誤差のみを考慮したが、今後複数の査定者により年齢査定が行われる場合、査定者間の誤差も考慮する必要が生じると予想される (Kimura and Lyons, 1991; Eklund, 2000)。査定者間の輪紋数査定値の偏りが大きい場合、年齢組成に偏りが生じ、耳石と鱗の間の偏りと同様に、資源量推定値にも影響を及ぼす可能性がある。今後新たな査定者により輪紋数の計測が実施される場合、輪紋の判定基準の維持と統一に努めるとともに、査定者間の偏りの有無の評価 (Richards *et al.*, 1992) も実施する必要がある。

資源量や漁獲率、選択率などの解析結果は、移動の仮説によらず、同様の傾向を示した。漁獲の多いArea 2-2と2-3で、漁獲対象としているサイズや、操業の形態や期間などに類似点が多いため、北部海域全体で解析を行っても、地区ごとに解析を行っても、あまり差が生じないと思われる。このため同海域における、タカベ資源の現状評価や管理方策の検討にあたっては、移動の仮説に関わらず同様の判断が可能と考

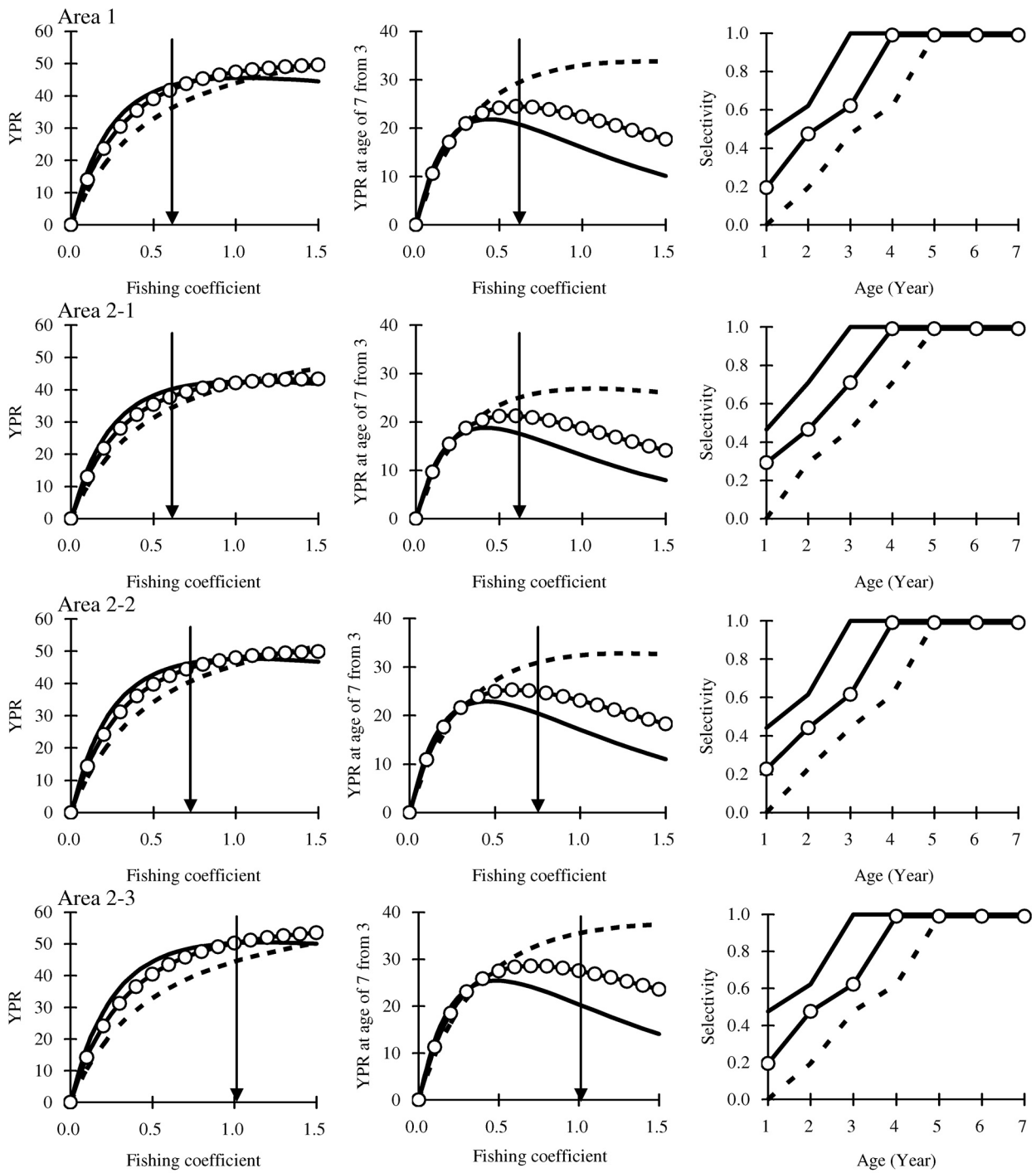


Fig. 5.10. Comparison of YPR and YPR at age of 7 from 3 by three patterns of selectivity of each area. Open circle indicate current case. The allows indicate $F_{current}$.

えられる。

$F\%SPR$ は加入乱獲の閾値として用いられ、20～30%の値が提唱されている (Goodyear, 1993; Mace and Sissenwine, 1993)。同海域においては、いずれの地区でも $\%SPR$ の値が50程度であることから、加入乱獲で危険な状態になっていない。また、現状の漁獲係数 $F_{current}$ と $F_{0.1}$ が近い値であり、当地域のタカベ漁業の漁獲圧は過剰ではないと考えられる。年齢別漁獲係数の推定結果は、ほとんどの年、地区において、若齢の漁獲圧が高齢と比較して低いことを示している。このことは、伊豆諸島北部海域において、高齢のタカベが中心に漁獲されていることを意味する。しかし、操業実態が変化し若齢の漁獲圧が高まった場合、大型魚の期待漁獲量、 SPR ともに減少することが示唆されている。このため、タカベの管理においては生物学的資源管理基準と現状の F との比較だけでなく、年齢やサイズと漁獲の関係についても、同時に注目する必要がある。特に漁獲物に占める小型魚の割合が増加した場合、それが卓越年級群の出現によるのか、若齢魚に対する漁獲圧の増大によるのか的確に把握することは、タカベ資源の持続的利用の確保にとって重要な課題である。

資源量推定を行った期間が短いことと、この期間に資源水準が大きく変動していないため、本研究結果から再生産関係を把握することができなかった。神津島周辺海域では、1998年の資源量が多く、その中で2歳魚の割合が高いことから、1996年生まれの加入量が多かったと考えられる。また、1998年は他の地区においても2歳魚の漁獲割合が高いことから、1996年生まれば伊豆諸島北部海域全体で加入が良かったものと推測できる。しかし、神津島において1996年の産卵親魚となる2歳以降の資源量は、他年と比較して多いわけではない (Table 5.3)。小達1962は、伊豆諸島周辺海域で孵化したタカベの仔稚魚が、黒潮により東北海区常磐沖まで拡散することを報告している。また、タカベの仔稚魚が伊豆諸島より西部の和歌山県沖で採取されている (堀木, 1975) ことに加え、伊豆諸島北部海域のタカベと愛媛で捕獲されたタカベの集団間に遺伝的差異がない (東京都水産試験場資源管理部, 2004) ことが示している。これらの点から、伊豆諸島で生まれたタカベが、他の海域へ流出することや、他の海域で生まれたタカベが、伊豆諸島海域へ流入することが考えられる。伊豆諸島海域での加入量は、単純に同海域の親子関係のみで決定できず、黒潮流路や潮流などの海洋環境との関わりもあると考えられる。資源と環境要因の関係や再生産関係の把握は今後の課題としたい。

第六章 総合考察

本研究により、伊豆諸島北部海域におけるタカベ資源の年齢と成長の把握や CPUE 標準化、資源量推定を行い、資源の現状評価と管理に関する情報を得ることができた。同海域での推定資源量は、近年600～700t 台で推移しているが、1960年代に現状の資源量を上回る700t 以上の漁獲が続いた。当時の操業は、大島から神津島の周辺海域に加え、銭洲周辺海域でも頻繁に行われており、漁場の範囲が現在より広がったことが要因の1つであるが、伊豆諸島周辺海域においてタカベ資源が現在より高位水準で存在していたものと考えられる。1960年代と比較すると、近年の資源は低位水準であるが、1991年以降 CPUE に増減傾向は見られず横ばいであることが示された。また、 $F_{current}$ と $F_{0.1}$ が近い値であることと、YPR、 SPR 解析の結果を踏まえると、現在のタカベ資源の漁獲圧は過剰でないと考えられる。同海域のタカベ資源が比較的安定している要因として、小型魚の漁獲が抑えられていることが挙げられる。

漁獲開始年齢は1歳半で、ある程度成長したタカベが漁獲されていることがわかった。また、資源解析で得られた年齢と選択率の関係から、漁獲開始年齢以降しばらくの間は、高齢魚と比較して漁獲圧が低いことも示された。市場では大型のタカベの方が高値で取引されるため、建切網や寄網では、人為的な選択により小型魚の獲り控えが行われていると考えられる。同海域の天然のタカベ資源において、小型魚の獲り残しを可能にする背景として、現在タカベを中心に漁獲する経営体が、伊豆諸島各島でそれぞれ1～3程度しかないことが挙げられる。加入資源に対して、先取り競争に陥らず、有効的な利用が行われているものと考えられる。

YPR 解析の結果、漁獲圧を現状より低下させても、漁獲量の増加は期待できないことを示している。また、現状より漁獲圧を高めた場合、期待漁獲量が大幅に増加しないことに加え、資源に与える影響が小さいという十分な証拠も得られていない。現在の加入量水準のもとで、タカベ資源の持続的利用のためには、現状の努力量と若齢魚に対する低い漁獲圧の両方を維持する必要がある。

謝 辞

本研究にあたり、丁寧なご指導を賜った東京海洋大学海洋科学部山田作太郎教授、田中栄次助教授、北門利英助手に心より感謝申し上げます。論文のご指導な

らびにご校閲を頂いた北田修一教授、桜本和美教授に厚く御礼申し上げます。多くのご助言、ご協力ならびに熱意あるご指導を賜った東京都島しょ農林水産総合センター八丈事業所米澤純爾所長、東京都島しょ農林水産総合センター振興企画室米山純夫副参事研究員に深謝申し上げます。貴重な研究の機会を提供して下さった東京都水産試験場岩田光正前場長に御礼申し上げます。タカベに関する様々な知見をご教授頂いた東京都島しょ農林水産総合センター有馬多恵子主任研究員、データ収集にご協力頂いた有馬孝和課長補佐、向山常比古船長、安藤和人主任研究員、床枝真吉主任、橋本浩主事に厚く御礼申し上げます。研究の過程において有益なご助言、ご協力を頂いた村井衛博士、青木雄二副参事研究員、工藤真弘主任研究員、澤崎昌子主任、東京都小笠原水産センター山口邦久研究員に感謝申し上げます。タカベ漁業についての貴重な話をお聞かせ頂いた大島の植松勝蔵氏、神津島の石田康一氏に心より御礼申し上げます。CPUE 標準化や資源量推定法について数々のご助言を頂いた独立行政法人水産総合研究センター遠洋水産研究所庄野宏研究員に感謝申し上げます。また、本研究をまとめるにあたり、ご理解を頂き見守って下さった瀬戸内海区水産研究所生産環境部時村宗春部長、沿岸資源研究室銭谷弘室長に感謝申し上げます。

文 献

- Akaike H., 1973: Information theory and extension of the maximum likelihood principle, in "International Symposium on Information Theory" (ed. by Petrov B. N. and Caski F.), 2nd ed., Akademiai Kiado, Budapest, pp. 267-281.
- Adachi K., Takagi K., Tanaka E., Yamada S., and Kitakado T., 2000: Age and growth of alfoncino *Beryx splendens* in the waters around the Izu Islands. *Fish. Sci.*, **66**, 232-240.
- 安藤和人, 亙 真吾, 米沢純爾, 橋本 浩, 妹尾浩太郎, 2004: タカベ飼育魚の成長および鱗・耳石の輪紋形成. 東京水試調査研究報告, **213**, 77-86.
- 有馬多恵子, 1982: 伊豆諸島のタカベ漁業と漁獲量の変化. 昭和56年度沿岸重要資源委託調査成果報告書, 9-15.
- 有馬多恵子, 1984: 伊豆諸島海域におけるタカベの資源生態について (概要). 昭和59年度沿岸重要資源委託調査成果報告書, 49-59.
- 有馬多恵子, 1986: タカベの資源調査から "小型年" の特徴について. 昭和60,61年度沿岸重要資源委託調査成果報告書, 10-21.
- 有馬多恵子, 1990: タカベの資源調査から 寄網漁況と魚体組成および移動について. 昭和62, 63年度沿岸重要資源委託調査成果報告書, 50-66.
- 有馬多恵子, 1995: 伊豆諸島のタカベ漁獲量の経年変動. 水産海洋研究, **59**, 338-341.
- 有馬多恵子, 1999: タカベの卵発生と仔魚の発達過程. 水産増殖, **47**, 505-510.
- Beamish R. J., 1979: Differences in the age of Pacific Hake (*Merluccius productus*) using whole otolith and sections of otolith. *J. Fish. Res. Board Can.*, **36**, 141-151.
- Beamish R. J. and Fournier D. A., 1981: A method for comparing the precision of a set of age determination. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **38**, 982-983.
- Beamish R. J. and McFarlane C. A., 1987: Current trends in age determination methodology, in "The Age and Growth of Fish" (ed. by Summerfelt R. C. and Hall G. E.), Iowa State University Press, Iowa, pp. 15-42.
- Chang W. Y. B., 1982: A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **39**, 1208-1210.
- 千葉県水産研究センター, 静岡県水産試験場, 神奈川県水産総合研究所, 東京都水産試験場, 2004: 関東近海のマサバについて - 平成16年の調査および研究成果 -, p9.
- DeVries D. R. and Frie R. V., 1996: Determination of age and growth, in "Fisheries Techniques" (ed. by Murphy B. R. and Willis D. W.), 2nd edition, American Fisheries society, Maryland, pp. 483-512.
- Efron B. and Tibshirani R. J., 1993: An Introduction to the Bootstrap, Chapman and Hall, New York, 436pp.
- Gavaris S., 1980: Use of a multiplicative model to estimate catch rate and effort from commercial data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **37**, 2272-2275.
- Gavaris S., 1988: An adaptive framework for the estimation of population size. *Can. Atl. Fish. Sci. Adv. Comm. (CAFSAC) Research Doc.*, 88/29.
- Gabriel W. L., Sissenwine M. P., and Overholtz W. J., 1989: Analysis of spawning stock biomass per recruit: an example for Georges Bank haddock. *N. Amer. J. Fish. Manage.*, **9**, 383-391.

- Goodyear C. P., 1993: Spawning stock biomass per recruit in fisheries management: foundation and current use. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, **120**, 67-81.
- Gulland J. A. and Boerema L. K., 1973: Scientific advice on catch levels. *Fish. Bull.*, **71**, 325-335.
- Haddon M., 2001: Modeling and Quantitative Methods in Fisheries, Chapman and Hall, London, 406pp.
- 羽生 功, 小栗幹朗, 1991: 生殖, 「魚類生理学概論」(田村 保編), 新版, 恒星社厚生閣, 東京, pp. 162-163.
- 服部茂昌, 1964: 黒潮ならびに隣接海域における稚魚の研究. 東海水研報, **40**, 1-158.
- Hilborn R. and Walters C. J., 1992: Quantitative Fisheries Stock Assessment. Chapman and Hall, New York, 570pp.
- 堀木信男, 1975: 紀伊水道及び紀南沿岸海域に出現する魚卵・稚仔魚の研究 - IV. 昭和49年度和歌山県水産試験場事業報告, 219-243.
- 平松一彦, 1996: 国際会議で用いられる資源評価手法について. 水産資源管理談話会報, **15**, 3-24.
- 平松一彦, 2001: 平成12年度資源評価体制確立推進事業報告書 - 資源解析手法教科書 -. 水産資源保護協会, 104-127.
- Kimura D. K., 1980: Likelihood methods for the von Bertalanffy growth curve. *Fish. Bull. (Seattle)*, **77**, 765-776.
- Kimura D. K. and Lyons J. J., 1991: Between-reader bias and variability in the age-determination process. *Fish. Bull. (Seattle)*, **89**, 53-60.
- 久保伊津男, 吉原友吉, 1969: 水産資源学, 改訂版, 共立出版, 東京, 438pp.
- Lai H. L., 1987: Optimum allocation for estimating age composition using age-length key. *Fish. Bull. (Seattle)*, **85**, 179-185.
- Lo N. C., Jacobson L. D., and Squire J. L., 1992: Indices of relative abundance from fish spotter data based on delta-lognormal models. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **49**, 2515-2526.
- Mace P. M. and Sissenwine M. P., 1993: How much spawning per recruit is enough? *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, **120**, 101-118.
- Mace P. M., 1994: Relationships between common biological reference points used as thresholds and targets of fisheries management strategies. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **51**, 110-122.
- 松宮義晴, 1996: 水産資源管理概論, 日本水産資源保護協会, 東京, 77pp.
- Maunder M. N. and Punt A. E., 2004: Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches. *Fish. Res.*, **70**, 141-159.
- McCullagh P. and Nelder J. A., 1989: Generalized Linear Models, 2nd ed., Chapman and Hall, London, 511pp.
- 武藤修一, 1970: 伊豆諸島におけるタカベの漁業生物学的研究. 東京水産大学修士学位論文, 1-69.
- Nelder J. A. and Mead R., 1965: A simplex method for function minimization. *Comput. J.*, **7**, 308-313.
- Newman S. J., Cappo M., and Williams D., 2000: Age, growth, mortality rates and corresponding yield estimates using otoliths of the tropical red snappers, *Lutjanus erythropterus*, *L. malabaricus* and *L. sebae*, from the central Great Barrier Reef. *Fish. Res.*, **48**, 1-14.
- 能勢幸雄, 石井丈夫, 清水 誠, 1988: 水産資源学, 東京大学出版会, 東京, pp. 37-58.
- 小達 繁, 1962: 東北海区における稚魚の研究Ⅲ. タカベ *Labpracoglossa argenriventris*. PETERS. 東北水研報, **21**, 63-70.
- Quinn T. J. II and Deriso R. B., 1999: Quantitative Fish Dynamics, Oxford University Press, New York, 542pp.
- R Development Core Team, 2005: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, URL <http://www.R-project.org>.
- Richards L. J., Schnute J. T., Kronlund A. R., and Beamish R. J., 1992: Statistical models for the analysis of ageing error. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **49**, 1801-1815.
- 坂元慶行, 石黒真木夫, 北川源四郎, 1983: 情報量統計学, 共立出版, 東京, 236pp.
- Seber G. A. F., 1982: The Estimate of Animal Abundance, Griffin, London, 500pp.
- Seber G. A. F. and Wild C. J., 1989: Nonlinear Regression, Wiley, New York, 768pp.
- Secor D. H., Dean J. M., and Laban E. H., 1992: Otolith removal and preparation for microstructural examination. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, **117**, 19-57.
- 庄野 宏, 2004: CPUE 標準化に用いられる統計学的アプローチに関する総説. 水産海洋研究, **68**, 106-120.

- Stefansson G., 1996: Analysis of groundfish survey abundance data: combining the GLM and delta approaches. *ICES J. Mar. Sci.*, **53**, 577-588.
- 高橋行雄, 大橋靖雄, 芳賀敏郎, 1989: SASによる実験データの解析, 東京大学出版会, 東京, 367pp.
- 田中栄次, 1999: 国際会議で用いられている資源評価の手法について. 南西外海の資源・海洋研究, **15**, 95-113.
- 田中昌一, 1960: 水産生物の Population Dynamics と漁業資源管理. 東海水研報, **28**, 1-200.
- 田中昌一, 1998: 水産資源学総論, 増補改訂版, 恒星社厚生閣, 東京, 406pp.
- 東京都水産試験場, 1975: 伊豆諸島の漁具・漁法, 24-27.
- 東京都水産試験場, 1984: 伊豆大島漁業史料. 東京都水産試験場調査研究要報, **174**, 1-29.
- 東京都水産試験場, 1993: 小型定置網導入試験報告書. 東京都水産試験場調査研究要報, **205**, 1-58.
- 東京都水産試験場, 2000: タカベの資源評価. 平成11年度資源評価体制確立推進事業報告書-事例集-, 水産資源保護協会, 59-65.
- 東京都水産試験場大島分場, 1995: タカベ資源動向調査. 平成5年度東京都水産試験場事業報告, 20-21.
- 東京都水産試験場大島分場, 1994: 神津島の巾着網漁. 大島分場漁撈業績, **6**, 1-13.
- 東京都水産試験場資源管理部, 2004: タカベの島間における遺伝的変異の解析. 平成14年度東京都水産試験場事業報告, **8**.
- 米澤純爾, 橋本 浩, 堀井善弘, 森下浩司, 青木雄二, 2006: 黒潮大蛇行と伊豆諸島海域の漁況変動. 月刊海洋, **38**, 39-45.

Appendix A

Program of Visual Basic for Applications (VBA) used for the tuning VPA.

Sub VPA()

Randomize

Worksheets("data input").Activate

Dim C() As Double
Dim Csum() As Double
Dim Cse() As Double
Dim N() As Double
Dim Na() As Double
Dim Nave() As Double
Dim q() As Double
Dim F() As Double
Dim Fa() As Double
Dim Fb() As Double
Dim Fans() As Double
Dim Feach() As Double
Dim LnCPUE() As Double
Dim CPUEcv() As Double
Dim cpueORG() As Double
Dim aveW() As Double

Dim YrSSQ() As Double
Dim Yr As Integer
Dim Ag As Integer
Dim Series As Integer
Dim i As Integer
Dim j As Integer
Dim k As Integer

Dim x() As Double
Dim Fssq() As Double
Dim x0() As Double
Dim Xhigh() As Double
Dim xSecond() As Double
Dim Xsmall() As Double
Dim xr() As Double
Dim xe() As Double
Dim xc() As Double

Dim fHigh As Double
Dim fSecond As Double
Dim fSmall As Double
Dim fr As Double
Dim fe As Double
Dim fc As Double
Dim fAve1 As Double
Dim fAve2 As Double

Dim aa As Double
Dim paraNum As Integer
Dim fBefore As Double
Dim Fseries() As Double

```
Dim paraMeter() As Double
Dim CatchNum As Integer
Dim CdataNum As Double
```

```
Dim qCons As Double
Dim FaMax() As Double
Dim S() As Double
Dim SN() As Double
Dim Fgroup() As Integer
Dim d As Double
Dim CPUeresid() As Double
Dim se() As Double
```

```
Worksheets("model_info").Activate
CPUWeight = ActiveSheet.Cells(10, 2)
terminalF = ActiveSheet.Cells(13, 2)
alpha = ActiveSheet.Cells(15, 2)
selectivityPattern = ActiveSheet.Cells(18, 2)
backYr = ActiveSheet.Cells(20, 2)
bootmode = ActiveSheet.Cells(22, 2)
bootNum = ActiveSheet.Cells(24, 2)
```

```
Worksheets("data input").Activate
AgeNum = ActiveSheet.Cells(6, 4)
YrNum = ActiveSheet.Cells(4, 4)
CatchNum = ActiveSheet.Cells(8, 2)
qNum = ActiveSheet.Cells(8, 3)
paraNum = 1 + qNum
```

```
ReDim C(AgeNum, YrNum, CatchNum) As Double
ReDim Csum(AgeNum, YrNum) As Double
ReDim Cse(AgeNum, YrNum, CatchNum) As Double
ReDim N(AgeNum, YrNum) As Double
ReDim Na(AgeNum, YrNum) As Double
ReDim Nave(AgeNum, YrNum) As Double
ReDim q(CatchNum) As Double
ReDim F(AgeNum, YrNum) As Double
ReDim Fa(AgeNum, YrNum) As Double
ReDim Fb(AgeNum, YrNum) As Double
ReDim Fans(AgeNum, YrNum) As Double
ReDim Feach(AgeNum, YrNum, CatchNum) As Double
ReDim LnCPUe(YrNum, CatchNum) As Double
ReDim CPUecv(YrNum, CatchNum) As Double
ReDim YrSSQ(YrNum) As Double
ReDim aveW(AgeNum) As Double
```

```
ReDim paraMeter(paraNum) As Double
ReDim x(paraNum + 1, paraNum) As Double
ReDim Fssq(paraNum + 1) As Double
ReDim x0(paraNum) As Double
ReDim Xhigh(paraNum) As Double
ReDim xSecond(paraNum) As Double
ReDim Xsmall(paraNum) As Double
ReDim xr(paraNum) As Double
ReDim xe(paraNum) As Double
ReDim xc(paraNum) As Double
```

```
ReDim FaMax(YrNum, CatchNum) As Double
ReDim S(AgeNum, YrNum, CatchNum) As Double
```



```

ReDim SN(YrNum, CatchNum) As Double
ReDim CPUEresid(Yr, CatchNum)
ReDim CPUEse(CatchNum)

Select Case bootmode
Case Is = 0      'VPA パラメータ点推定
  GoSub DataSet          'データ入力
  GoSub Simplex          'パラメータ最適化
  GoSub VPA1
  GoSub OutPut          'データ出力

Case Is = 1      'Bootstarp CPUE
  GoSub DataSet

  For bt = 1 To bootNum
    GoSub BootDataInput_CPUE 'ブートストラップデータ入力 (CPUE)
    GoSub Simplex          'パラメータ最適化
    GoSub VPA1
    GoSub BootOutPut      'データ出力
  Next bt

Case Is = 2      'VPA で資源量推定→CPUE で bootstrap
  GoSub DataSet          'データ入力
  GoSub Simplex          'パラメータ最適化
  GoSub VPA1
  GoSub OutPut          'データ出力
  GoSub BootSample_CPUE 'ブートストラップサンプル(CPUE)作成

  For bt = 1 To bootNum
    GoSub BootDataInput_CPUE 'ブートストラップデータ入力 (CPUE)
    GoSub Simplex          'パラメータ最適化
    GoSub VPA1
    GoSub BootOutPut      'データ出力
  Next bt

Case Is = 3      'Catch の bootstrap Catch データは外部入力
  GoSub DataSet          'データ入力

  For bt = 1 To bootNum
    GoSub BootDataInput_Catch 'ブートストラップデータ入力 (Catch)
    GoSub Simplex          'パラメータ最適化
    GoSub VPA1
    GoSub BootOutPut      'データ出力
  Next bt

Case Is = 4      'VPA で資源量推定→CPUE と Catch で bootstrap Catch データは外部入力
  GoSub DataSet          'データ入力
  GoSub Simplex          'パラメータ最適化
  GoSub VPA1
  GoSub OutPut          'データ出力
  GoSub BootSample_CPUE 'ブートストラップサンプル(CPUE)作成

  For bt = 1 To bootNum
    GoSub BootDataInput_CPUE 'ブートストラップデータ入力 (CPUE)
    GoSub BootDataInput_Catch 'ブートストラップデータ入力 (Catch)
    GoSub Simplex          'パラメータ最適化
    GoSub VPA1
    GoSub BootOutPut      'データ出力
  Next bt

```

```

Case Is = 5      'VPA パラメータ点 推定
For retro = 1 To 5
  GoSub DataSet      'データ入力
  GoSub Simplex      'パラメータ最適化
  GoSub VPA1
  GoSub OutPut      'データ出力
  GoSub Retros      'レトロスペクティブ解析の結果表示
Next retro
End Select

Exit Sub

VPA1:
  If terminalF = 1 Then GoSub VPA_Fmax_year_const
  If terminalF = 2 Then GoSub VPA_Fmax_age_const
Return

'#MENU#
' ↓
'VPA データ入力
'Simplex 法(非線形最適化)
'VPA, 目的関数の計算
'結果出力
' ↓
'ブートストラップ関係

'ここから下は全てサブルーチン

DataSet:
Worksheets("data input").Activate

'VPA 用の F の初期値
For CdataNum = 1 To CatchNum
  For Ag = 1 To AgeNum
    For Yr = 1 To AgeNum
      F(Ag, YrNum - Yr) = 0.5
      Feach(Ag, YrNum - Yr, CdataNum) = 0.5
    Next Yr
  Next Ag
Next CdataNum

'*****
'*          *
'*      DATA INPUT      *
'*          *
'*****
M = ActiveSheet.Cells(4, 6)

For Yr = 1 To YrNum
  For Ag = 1 To AgeNum
    Csum(Ag, Yr) = 0
  Next Ag
Next Yr

RecruitmentAge = ActiveSheet.Cells(6, 2)
StartYear = ActiveSheet.Cells(4, 2)

```

```

For CdataNum = 1 To CatchNum
  For Yr = 1 To YrNum
    For Ag = 1 To AgeNum
      C(Ag, Yr, CdataNum) = ActiveSheet.Cells(10 + (AgeNum + 3 + 1) * CdataNum + Ag, Yr + 1)
      Csum(Ag, Yr) = Csum(Ag, Yr) + C(Ag, Yr, CdataNum) 'Catch Sum
      aveW(Ag) = ActiveSheet.Cells(10 + Ag, 6)
      aveW(Ag) = aveW(Ag) / 1000000 '平均体重(g→t)
    Next Ag
  Next Yr
Next CdataNum

For CdataNum = 1 To qNum
  For Yr = 1 To YrNum
    LnCPUE(Yr, CdataNum) = ActiveSheet.Cells(10 + (AgeNum + 3 + 1) * CdataNum + AgeNum + 1, Yr + 1)
    If CPUEweight = 2 Then CPUEcv(Yr, CdataNum) = ActiveSheet.Cells(10 + (AgeNum + 3 + 1) * CdataNum + AgeNum + 2, Yr + 1)
  Next Yr
Next CdataNum

'*****
'*          *
'*   パラメータ初期値入力   *
'*          *
'*****
F(AgeNum, YrNum) = ActiveSheet.Cells(11, 3)
For CdataNum = 1 To qNum
  'q data input
  q(CdataNum) = ActiveSheet.Cells(11 + CdataNum, 3)
Next CdataNum

Worksheets("calculation").Activate
ActiveSheet.Cells(8, 1) = "SSQ"

'F を Simplex 用の変数に変換
x(1, 1) = F(AgeNum, YrNum)

'q を Simplex 用の変数に変換
For CdataNum = 1 To qNum
  x(1, 1 + CdataNum) = q(CdataNum)
Next CdataNum
Return

'*****
'*          *
'*   Simplex START   *
'*          *
'*****
Simplex:
Worksheets("calculation").Activate
fBefore = 1000
ActiveSheet.Cells(7, 1) = "Repeat: " & bt

retry:
For i = 2 To paraNum + 1
  For j = 1 To paraNum
    x(i, j) = x(1, j) * (1 + (Rnd - 0.5) * 0.05) 'Simplex のデータセット作成
    ActiveSheet.Cells(11, 1 + j) = x(1, j)
  
```

```

        ActiveSheet.Cells(10 + i, 1 + j) = x(i, j)
    Next j
Next i

For k = 1 To paraNum + 1
    For Ag = 1 To paraNum
        x(k, Ag) = Log(x(k, Ag))
    Next Ag
Next k

For k = 1 To paraNum + 1
    For i = 1 To paraNum
        paraMeter(i) = x(k, i)
    Next i
GoSub VPA1

ActiveSheet.Cells(10 + k, 1) = ssq
    Fssq(k) = ssq
Next k

For i = 1 To paraNum
    For j = i + 1 To paraNum + 1

        If Fssq(i) < Fssq(j) Then
            d = Fssq(i)
            Fssq(i) = Fssq(j)
            Fssq(j) = d

            For L = 1 To paraNum
                d = x(i, L)
                x(i, L) = x(j, L)
                x(j, L) = d
            Next L
        End If
    Next j
Next i

fHigh = Fssq(1): fSecond = Fssq(2): fSmall = Fssq(paraNum + 1)
For i = 1 To paraNum
    Xhigh(i) = x(1, i): xSecond(i) = x(2, i): Xsmall(i) = x(paraNum + 1, i)
Next i

For i = 1 To paraNum
    For j = 2 To paraNum + 1
        x0(i) = x0(i) + x(j, i)
    Next j
Next i

aa = 1

Do Until aa < 0.0000000001
    fr = 0: fc = 0: fe = 0
    For i = 1 To paraNum
        xr(i) = 0: xe(i) = 0: xc(i) = 0
    Next i

    For i = 1 To paraNum
        xr(i) = 2 / (paraNum) * x0(i) - Xhigh(i)
        paraMeter(i) = xr(i)
    
```

```
Next i
GoSub VPA1

fr = ssq

Select Case fr
Case Is <= fSecond

  If fr >= fSmall Then
    Fssq(1) = fr
    For i = 1 To paraNum
      x(1, i) = xr(i)
    Next i
  ElseIf fr < fSmall Then

    For i = 1 To paraNum
      xe(i) = 2 * xr(i) - x0(i) / (paraNum)
      paraMeter(i) = xe(i)
    Next i
    GoSub VPA1
    fe = ssq
  End If

  If fr >= fSmall Then
    Fssq(1) = fr
    For i = 1 To paraNum
      x(1, i) = xr(i)
    Next i
  ElseIf fe >= fr Then
    Fssq(1) = fr
    For i = 1 To paraNum
      x(1, i) = xr(i)
    Next i
  ElseIf fe < fr Then
    Fssq(1) = fe
    For i = 1 To paraNum
      x(1, i) = xe(i)
    Next i
  End If

Case Is > fSecond

  If fr < fHigh Then
    For i = 1 To paraNum
      Xhigh(i) = xr(i)
    Next i
  End If

  For i = 1 To paraNum
    xc(i) = 0.5 * Xhigh(i) + 0.5 / (paraNum) * x0(i)
    paraMeter(i) = xc(i)
  Next i
  GoSub VPA1

fc = ssq

If fc < fHigh Then
Fssq(1) = fc
  For i = 1 To paraNum
```

```

        x(1, i) = xc(i)
    Next i

Elseif fc >= fHigh Then
    For i = 1 To paraNum + 1
        For j = 1 To paraNum
            x(i, j) = 1 / 2 * (x(i, j) + Xsmall(j))
        Next j
    Next i

    For k = 1 To paraNum + 1
        For i = 1 To paraNum
            paraMeter(i) = x(k, i)
        Next i
    GoSub VPA1

    Fssq(k) = ssq
    Next k

End If
End Select

    For i = 1 To paraNum
        For j = i + 1 To paraNum + 1
            If Fssq(i) < Fssq(j) Then
                d = Fssq(i)
                Fssq(i) = Fssq(j)
                Fssq(j) = d

                For L = 1 To paraNum
                    d = x(i, L)
                    x(i, L) = x(j, L)
                    x(j, L) = d
                Next L
            End If
        Next j
    Next i

fHigh = Fssq(1): fSecond = Fssq(2): fSmall = Fssq(paraNum + 1)
For i = 1 To paraNum
    Xhigh(i) = x(1, i): xSecond(i) = x(2, i): Xsmall(i) = x(paraNum + 1, i)
Next i

For i = 1 To paraNum
    x0(i) = 0
    For j = 2 To paraNum + 1
        x0(i) = x0(i) + x(j, i)
    Next j
Next i

aa = 0
fAve1 = 0
fAve2 = 0
For i = 1 To paraNum + 1
    fAve1 = fAve1 + Fssq(i)
Next i
fAve1 = 1 / (paraNum + 1) * fAve1
For i = 1 To paraNum + 1
    fAve2 = fAve2 + (Fssq(i) - fAve1) ^ 2

```

```

Next i
aa = (1 / (paraNum + 1) * fAve2) ^ 0.5

ActiveSheet.Cells(9, 1) = ssq

Loop
For i = 1 To paraNum + 1
  For j = 1 To paraNum
    ActiveSheet.Cells(10 + i, 1) = Fssq(i)
    ActiveSheet.Cells(10 + i, 1 + j) = Exp(x(i, j))
  Next j
Next i
If fBefore > fHigh + 0.000000001 Then
fBefore = fHigh
  For i = 1 To paraNum
    x(1, i) = Exp(x(1, i))
  Next i

GoTo retry:
End If

For i = 1 To paraNum
  x(1, i) = Exp(x(1, i))
Next i
Return

'*****
'*
'*   VPA Sub Routine   *最高齢の F は最高齢-1 歳の F の α 倍
'*
'******
VPA_Fmax_age_const:
  ssq = 0

  For CdataNum = 1 To CatchNum
    For Yr = 1 To YrNum
      SN(Yr, CdataNum) = 0
    Next Yr
  Next CdataNum
'Simplex のパラメータ q を目的関数のパラメータ名に変換

  For CdataNum = 1 To qNum
    q(CdataNum) = Exp(paraMeter(1 + CdataNum))
  Next CdataNum

'Simplex のパラメータ F を目的関数のパラメータ名に変換
paraAg = 4      '最近年何歳が未知パラメータか指定
  F(paraAg, YrNum) = Exp(paraMeter(1))

If selectivityPattern = 2 Then GoTo sepa2
'Simplex のパラメータ F を目的関数のパラメータ名に変換
'全体の選択率から最近年推定
For Ag = 1 To 4
  Select Case backYr
  Case Is = 1      '前年の比と同じ
    F(Ag, YrNum) = (F(Ag, YrNum - 1)) / (F(paraAg, YrNum - 1)) * F(paraAg, YrNum)
    ActiveSheet.Cells(1, 1) = "2-1-1"
  Case Is = 2      '過去 2 年の比と同じ

```

```

F(Ag, YrNum) = (F(Ag, YrNum - 1) + F(Ag, YrNum - 2)) / (F(paraAg, YrNum - 1) + F(paraAg, YrNum - 2)) * F(paraAg, YrNum)
ActiveSheet.Cells(1, 1) = "2-1-2"
Case Is = 3      '過去 3 年の比と同じ
F(Ag, YrNum) = (F(Ag, YrNum - 1) + F(Ag, YrNum - 2) + F(Ag, YrNum - 3)) / (F(paraAg, YrNum - 1) + F(paraAg, YrNum - 2) + F(paraAg, YrNum - 3)) * F(paraAg, YrNum)
ActiveSheet.Cells(1, 1) = "2-1-3"
Case Is = 4      '過去 4 年の比と同じ
F(Ag, YrNum) = (F(Ag, YrNum - 1) + F(Ag, YrNum - 2) + F(Ag, YrNum - 3) + F(Ag, YrNum - 4)) / (F(paraAg, YrNum - 1) + F(paraAg, YrNum - 2) + F(paraAg, YrNum - 3) + F(paraAg, YrNum - 4)) * F(paraAg, YrNum)
ActiveSheet.Cells(1, 1) = "2-1-4"
Case Is = 5      '過去 5 年の比と同じ
F(Ag, YrNum) = (F(Ag, YrNum - 1) + F(Ag, YrNum - 2) + F(Ag, YrNum - 3) + F(Ag, YrNum - 4) + F(Ag, YrNum - 5)) / (F(paraAg, YrNum - 1) + F(paraAg, YrNum - 2) + F(paraAg, YrNum - 3) + F(paraAg, YrNum - 4) + F(paraAg, YrNum - 5)) * F(paraAg, YrNum)
ActiveSheet.Cells(1, 1) = "2-1-5"
End Select

Next Ag
GoTo sepa1

```

sepa2:

```

'各漁業の選択率から最近年推定
For Ag = 1 To 4
  For CdataNum = 1 To CatchNum
    Select Case backYr
    Case Is = 1      '前年の比と同じ
      Fay = Fay + (Feach(Ag, YrNum - 1, CdataNum)) / (Feach(paraAg, YrNum - 1, CdataNum)) * C(Ag, YrNum, CdataNum) / Csum(Ag, YrNum) * F(paraAg, YrNum)
      ActiveSheet.Cells(1, 1) = "2-2-1"
    Case Is = 2      '過去 2 年の比と同じ
      Fay = Fay + (Feach(Ag, YrNum - 1, CdataNum) + Feach(Ag, YrNum - 2, CdataNum)) / (Feach(paraAg, YrNum - 1, CdataNum) + Feach(paraAg, YrNum - 2, CdataNum)) * C(Ag, YrNum, CdataNum) / Csum(Ag, YrNum) * F(paraAg, YrNum)
      ActiveSheet.Cells(1, 1) = "2-2-2"
    Case Is = 3      '過去 3 年の比と同じ
      Fay = Fay + (Feach(Ag, YrNum - 1, CdataNum) + Feach(Ag, YrNum - 2, CdataNum) + Feach(Ag, YrNum - 3, CdataNum)) / (Feach(paraAg, YrNum - 1, CdataNum) + Feach(paraAg, YrNum - 2, CdataNum) + Feach(paraAg, YrNum - 3, CdataNum)) * C(Ag, YrNum, CdataNum) / Csum(Ag, YrNum) * F(paraAg, YrNum)
      ActiveSheet.Cells(1, 1) = "2-2-3"
    Case Is = 4      '過去 4 年の比と同じ
      Fay = Fay + (Feach(Ag, YrNum - 1, CdataNum) + Feach(Ag, YrNum - 2, CdataNum) + Feach(Ag, YrNum - 3, CdataNum) + Feach(Ag, YrNum - 4, CdataNum)) / (Feach(paraAg, YrNum - 1, CdataNum) + Feach(paraAg, YrNum - 2, CdataNum) + Feach(paraAg, YrNum - 3, CdataNum) + Feach(paraAg, YrNum - 4, CdataNum)) * C(Ag, YrNum, CdataNum) / Csum(Ag, YrNum) * F(paraAg, YrNum)
      ActiveSheet.Cells(1, 1) = "2-2-4"
    Case Is = 5      '過去 5 年の比と同じ
      Fay = Fay + (Feach(Ag, YrNum - 1, CdataNum) + Feach(Ag, YrNum - 2, CdataNum) + Feach(Ag, YrNum - 3, CdataNum) + Feach(Ag, YrNum - 4, CdataNum) + Feach(Ag, YrNum - 5, CdataNum)) / (Feach(paraAg, YrNum - 1, CdataNum) + Feach(paraAg, YrNum - 2, CdataNum) + Feach(paraAg, YrNum - 3, CdataNum) + Feach(paraAg, YrNum - 4, CdataNum) + Feach(paraAg, YrNum - 5, CdataNum)) * C(Ag, YrNum, CdataNum) / Csum(Ag, YrNum) * F(paraAg, YrNum)
      ActiveSheet.Cells(1, 1) = "2-2-5"
    End Select
    Next CdataNum
    F(Ag, YrNum) = Fay
    Fay = 0
  Next Ag

```


Next Ag

sepa1:

'最高年齢の F(ターミナル F)の仮定 Ftmax=alpha*Ftmax-1

F(AgeNum, YrNum) = alpha * F(AgeNum - 1, YrNum)

For Ag = 1 To AgeNum

Fans(Ag, YrNum) = F(Ag, YrNum)

Next Ag

Select Case alpha

Case Is = 1 '最高齢の資源尾数計算 alpha=1 のとき

For Yr = YrNum To 2 Step -1

N(AgeNum, Yr) = Csum(AgeNum, Yr) / (F(AgeNum, Yr) / (F(AgeNum, Yr) + M) * (1 - Exp(-F(AgeNum, Yr) - M)))

Do

Fa(AgeNum, Yr) = F(AgeNum, Yr)

Fb(AgeNum - 1, Yr - 1) = F(AgeNum, Yr) - (Csum(AgeNum, Yr - 1) + Csum(AgeNum - 1, Yr - 1) - N(AgeNum, Yr) * F(AgeNum, Yr) / (F(AgeNum, Yr) + M) * (1 - Exp(-F(AgeNum, Yr) - M)) * (Exp(F(AgeNum, Yr) + M))) / ((-N(AgeNum, Yr) * M * Exp(F(AgeNum, Yr) + M) + (N(AgeNum, Yr) * M) - N(AgeNum, Yr) * F(AgeNum, Yr) * (F(AgeNum, Yr) + M) * Exp(F(AgeNum, Yr) + M)) / (F(AgeNum, Yr) + M) ^ 2)

F(AgeNum, Yr) = Fb(AgeNum - 1, Yr - 1)

Loop Until (Fa(AgeNum, Yr) / Fb(AgeNum - 1, Yr - 1) - 1) ^ 2 <= 0.000000000000001

F(AgeNum - 1, Yr - 1) = Fb(AgeNum - 1, Yr - 1)

F(AgeNum, Yr - 1) = Fb(AgeNum - 1, Yr - 1)

Fans(AgeNum - 1, Yr - 1) = Fb(AgeNum - 1, Yr - 1)

Fans(AgeNum, Yr - 1) = Fb(AgeNum - 1, Yr - 1)

Next Yr

Case Else '最高齢の資源尾数計算 alpha1 以外のとき

ActiveSheet.Cells(5, 2) = "alpha1 以外"

For Yr = YrNum To 2 Step -1

N(AgeNum, Yr) = Csum(AgeNum, Yr) / (F(AgeNum, Yr) / (F(AgeNum, Yr) + M) * (1 - Exp(-F(AgeNum, Yr) - M)))

Do

Fa(AgeNum, Yr) = F(AgeNum, Yr)

sa = sa + 1

Fb(AgeNum - 1, Yr - 1) = F(AgeNum, Yr) - (Csum(AgeNum - 1, Yr - 1) * (F(AgeNum, Yr) + M) / F(AgeNum, Yr) * Exp(-F(AgeNum, Yr) - M) / (1 - Exp(-F(AgeNum, Yr) - M)) + Csum(AgeNum, Yr - 1) * (alpha * F(AgeNum, Yr) + M) / (alpha * F(AgeNum, Yr)) * Exp(-alpha * F(AgeNum, Yr) - M) / (1 - Exp(-alpha * F(AgeNum, Yr) - M)) - N(AgeNum, Yr) / (Csum(AgeNum - 1, Yr - 1) * (-M / (F(AgeNum, Yr) * F(AgeNum, Yr)) * Exp(-F(AgeNum, Yr) - M) / (1 - Exp(-F(AgeNum, Yr) - M)) + (F(AgeNum, Yr) + M) / F(AgeNum, Yr) * (-Exp(-F(AgeNum, Yr) - M)) / ((1 - Exp(-F(AgeNum, Yr) - M)) ^ 2)) + Csum(AgeNum, Yr - 1) * (-M / (alpha * F(AgeNum, Yr) ^ 2) * Exp(-alpha * F(AgeNum, Yr) - M) / (1 - Exp(-alpha * F(AgeNum, Yr) - M)) + (alpha * F(AgeNum, Yr) + M) / (alpha * F(AgeNum, Yr)) * (-alpha * Exp(-alpha * F(AgeNum, Yr) - M)) / ((1 - Exp(-alpha * F(AgeNum, Yr) - M)) ^ 2)))

F(AgeNum, Yr) = Fb(AgeNum - 1, Yr - 1)

Loop Until (Fa(AgeNum, Yr) / Fb(AgeNum - 1, Yr - 1) - 1) ^ 2 <= 0.000000000000001

F(AgeNum, Yr - 1) = alpha * Fb(AgeNum - 1, Yr - 1)

F(AgeNum - 1, Yr - 1) = Fb(AgeNum - 1, Yr - 1)

Fans(AgeNum, Yr - 1) = alpha * Fb(AgeNum - 1, Yr - 1)

Fans(AgeNum - 1, Yr - 1) = Fb(AgeNum - 1, Yr - 1)

Next Yr

End Select

'最高齢-1 歳から加入の翌年までの資源尾数計算

```

For Yr = YrNum To 2 Step -1
For Ag = AgeNum - 1 To 2 Step -1
If Csum(Ag, Yr) > 0 Then N(Ag, Yr) = Csum(Ag, Yr) / (F(Ag, Yr) / (F(Ag, Yr) + M) * (1 - Exp(-F(Ag, Yr) - M)))
Else N(Ag, Yr) = N(Ag + 1, Yr + 1) * Exp(M)
If Csum(Ag - 1, Yr - 1) = 0 Then GoTo 1000:
  Do
    Fa(Ag, Yr) = F(Ag, Yr)
    Fb(Ag - 1, Yr - 1) = F(Ag, Yr) - (Csum(Ag - 1, Yr - 1) - N(Ag, Yr) * F(Ag, Yr) / (F(Ag, Yr) + M) * (1 - Exp(-F(Ag, Yr) - M)) * (Exp(F(Ag, Yr) + M))) / ((-N(Ag, Yr) * M * Exp(F(Ag, Yr) + M) + (N(Ag, Yr) * M) - N(Ag, Yr) * F(Ag, Yr) * (F(Ag, Yr) + M) * Exp(F(Ag, Yr) + M)) / (F(Ag, Yr) + M) ^ 2)
    F(Ag, Yr) = Fb(Ag - 1, Yr - 1)
  Loop Until (Fa(Ag, Yr) / Fb(Ag - 1, Yr - 1) - 1) ^ 2 <= 0.000000000000001
    F(Ag - 1, Yr - 1) = Fb(Ag - 1, Yr - 1)
    Fans(Ag - 1, Yr - 1) = Fb(Ag - 1, Yr - 1)
  GoTo 1100:
1000:
  F(Ag - 1, Yr - 1) = 0
  Fans(Ag - 1, Yr - 1) = 0
1100:
  Next Ag
Next Yr

For Yr = YrNum To 1 Step -1
  If Csum(1, Yr) = 0 Then GoTo 2000:
  N(1, Yr) = Csum(1, Yr) / (Fans(1, Yr) / (Fans(1, Yr) + M) * (1 - Exp(-Fans(1, Yr) - M)))
  GoTo 2100:
2000:
  N(1, Yr) = N(2, Yr + 1) * Exp(M)
2100:
  Next Yr

For Ag = AgeNum To 1 Step -1
  If Csum(Ag, 1) = 0 Then GoTo 3000:
  N(Ag, 1) = Csum(Ag, 1) / (Fans(Ag, 1) / (Fans(Ag, 1) + M) * (1 - Exp(-Fans(Ag, 1) - M)))
  GoTo 3100:
3000:
  N(Ag, 1) = N(Ag + 1, 2) * Exp(M)
3100:
  Next Ag

'***選択率計算

For CdataNum = 1 To CatchNum
  '漁法別 F の推定
  For Ag = 1 To AgeNum
    For Yr = 1 To YrNum
      If Csum(Ag, Yr) = 0 Then GoTo 4000:
      Feach(Ag, Yr, CdataNum) = C(Ag, Yr, CdataNum) / Csum(Ag, Yr) * Fans(Ag, Yr)
    GoTo 4100:
4000:
    Feach(Ag, Yr, CdataNum) = 0
4100:
    Next Yr
  Next Ag
Next CdataNum

'ある年の F の最大値
For CdataNum = 1 To CatchNum
  For Yr = 1 To YrNum

```

```

FaMax(Yr, CdataNum) = Feach(1, Yr, CdataNum)
For Ag = 2 To AgeNum
  If FaMax(Yr, CdataNum) < Feach(Ag, Yr, CdataNum) Then
    FaMax(Yr, CdataNum) = Feach(Ag, Yr, CdataNum)
  End If
Next Ag
Next Yr
Next CdataNum

'選択率計算
For CdataNum = 1 To qNum
  For Ag = 1 To AgeNum
    For Yr = 1 To YrNum
      S(Ag, Yr, CdataNum) = Feach(Ag, Yr, CdataNum) / FaMax(Yr, CdataNum)
    Next Yr
  Next Ag
Next CdataNum

'平均資源量の計算
For Yr = 1 To YrNum
  For Ag = 1 To AgeNum
    Nave(Ag, Yr) = N(Ag, Yr) / (Fans(Ag, Yr) + M) * (1 - Exp(-Fans(Ag, Yr) - M))
  Next Ag
Next Yr

For CdataNum = 1 To CatchNum
  For Yr = 1 To YrNum
    For Ag = 1 To AgeNum
      SN(Yr, CdataNum) = SN(Yr, CdataNum) + Nave(Ag, Yr) * S(Ag, Yr, CdataNum)
    Next Ag
  Next Yr
Next CdataNum

For CdataNum = 1 To qNum
  For Yr = 1 To YrNum
    If CPUweight = 1 Then ssq = ssq + ((LnCPUE(Yr, CdataNum)) - Log(q(CdataNum) * SN(Yr,
      CdataNum))) ^ 2
    If CPUweight = 2 Then ssq = ssq + ((LnCPUE(Yr, CdataNum)) - Log(q(CdataNum) * SN(Yr,
      CdataNum))) ^ 2 / CPUecv(Yr, CdataNum)
  Next Yr
Next CdataNum

For Ag = 1 To 4
  For Yr = 1 To 4
    F(Ag, YrNum - Yr) = Fans(Ag, YrNum - Yr)
  Next Yr
Next Ag
Return

'*****
'*
'*   VPA Sub Routine   *最高齢の F は一定と仮定
'*
'*
'*****
VPA_Fmax_year_const:
  ssq = 0

  For CdataNum = 1 To CatchNum

```

```

    For Yr = 1 To YrNum
        SN(Yr, CdataNum) = 0
    Next Yr
Next CdataNum
'Simplex のパラメータ q を目的関数のパラメータ名に変換

For CdataNum = 1 To qNum
    q(CdataNum) = Exp(paraMeter(1 + CdataNum))
Next CdataNum

'最近年の F の仮定
'Simplex のパラメータ F を目的関数のパラメータ名に変換

paraAg = AgeNum '最近年何歳が未知パラメータか指定
F(AgeNum, YrNum) = Exp(paraMeter(1))
Fans(AgeNum, YrNum) = Exp(paraMeter(1))

If selectivityPattern = 2 Then GoTo sepa02
'全体の選択率から最近年推定
For Ag = 1 To AgeNum - 1
    Select Case backYr
    Case Is = 1 '前年の比と同じ
        F(Ag, YrNum) = (F(Ag, YrNum - 1)) / (F(paraAg, YrNum - 1)) * F(paraAg, YrNum)
        ActiveSheet.Cells(1, 1) = "1-1-1"
    Case Is = 2 '過去 2 年の比と同じ
        F(Ag, YrNum) = (F(Ag, YrNum - 1) + F(Ag, YrNum - 2)) / (F(paraAg, YrNum - 1) + F(paraAg, YrNum - 2)) * F(paraAg, YrNum)
        ActiveSheet.Cells(1, 1) = "1-1-2"
    Case Is = 3 '過去 3 年の比と同じ
        F(Ag, YrNum) = (F(Ag, YrNum - 1) + F(Ag, YrNum - 2) + F(Ag, YrNum - 3)) / (F(paraAg, YrNum - 1) + F(paraAg, YrNum - 2) + F(paraAg, YrNum - 3)) * F(paraAg, YrNum)
        ActiveSheet.Cells(1, 1) = "1-1-3"
    Case Is = 4 '過去 4 年の比と同じ
        F(Ag, YrNum) = (F(Ag, YrNum - 1) + F(Ag, YrNum - 2) + F(Ag, YrNum - 3) + F(Ag, YrNum - 4)) / (F(paraAg, YrNum - 1) + F(paraAg, YrNum - 2) + F(paraAg, YrNum - 3) + F(paraAg, YrNum - 4)) * F(paraAg, YrNum)
        ActiveSheet.Cells(1, 1) = "1-1-4"

    End Select
Next Ag
GoTo sepa01

sepa02:
'各漁業の選択率から最近年推定
For Ag = 1 To AgeNum - 1
    For CdataNum = 1 To CatchNum
        Select Case backYr
        Case Is = 1 '前年の比と同じ
            Fay = Fay + (Feach(Ag, YrNum - 1, CdataNum)) / (Feach(paraAg, YrNum - 1, CdataNum)) * C(Ag, YrNum, CdataNum) / Csum(Ag, YrNum) * F(paraAg, YrNum)
            ActiveSheet.Cells(1, 1) = "1-2-1"
        Case Is = 2 '過去 2 年の比と同じ
            Fay = Fay + (Feach(Ag, YrNum - 1, CdataNum) + Feach(Ag, YrNum - 2, CdataNum)) / (Feach(paraAg, YrNum - 1, CdataNum) + Feach(paraAg, YrNum - 2, CdataNum)) * C(Ag, YrNum, CdataNum) / Csum(Ag, YrNum) * F(paraAg, YrNum)
            ActiveSheet.Cells(1, 1) = "1-2-2"
        Case Is = 3 '過去 3 年の比と同じ
            Fay = Fay + (Feach(Ag, YrNum - 1, CdataNum) + Feach(Ag, YrNum - 2, CdataNum) + Feach(Ag, YrNum - 3, CdataNum)) / (Feach(paraAg, YrNum - 1, CdataNum) + Feach(paraAg, YrNum - 2, CdataNum) +

```

```

    Feach(paraAg, YrNum - 3, CdataNum)) * C(Ag, YrNum, CdataNum) / Csum(Ag, YrNum) * F(paraAg,
    YrNum)
    ActiveSheet.Cells(1, 1) = "1-2-3"
Case Is = 4      '過去4年の比と同じ
    Fay = Fay + (Feach(Ag, YrNum - 1, CdataNum) + Feach(Ag, YrNum - 2, CdataNum) + Feach(Ag, YrNum
    - 3, CdataNum) + Feach(Ag, YrNum - 4, CdataNum)) / (Feach(paraAg, YrNum - 1, CdataNum) +
    Feach(paraAg, YrNum - 2, CdataNum) + Feach(paraAg, YrNum - 3, CdataNum) + Feach(paraAg, YrNum
    - 4, CdataNum)) * C(Ag, YrNum, CdataNum) / Csum(Ag, YrNum) * F(paraAg, YrNum)
    ActiveSheet.Cells(1, 1) = "1-2-4"

End Select
Next CdataNum
F(Ag, YrNum) = Fay
Fay = 0
Next Ag
sepa01:

'最高年齢のF(ターミナルF)の仮定 Fa+=一定
For Yr = 1 To YrNum
    F(AgeNum, Yr) = F(AgeNum, YrNum)
    Fans(AgeNum, Yr) = F(AgeNum, YrNum)
Next Yr

For Ag = 1 To AgeNum
    Fans(Ag, YrNum) = F(Ag, YrNum)
Next Ag

'最高齢の資源尾数計算
For Yr = YrNum To 2 Step -1
    N(AgeNum, Yr) = Csum(AgeNum, Yr) / (F(AgeNum, Yr) / (F(AgeNum, Yr) + M) * (1 - Exp(-F(AgeNum,
    Yr) - M)))
    Na(AgeNum, Yr) = N(AgeNum, Yr) - Csum(AgeNum, Yr - 1) / (F(AgeNum, Yr - 1) / (F(AgeNum, Yr - 1)
    + M) * (1 - Exp(-F(AgeNum, Yr - 1) - M))) * Exp(-F(AgeNum, Yr - 1) - M)
    Do
        Fa(AgeNum, Yr) = F(AgeNum, Yr)
        Fb(AgeNum - 1, Yr - 1) = F(AgeNum, Yr) - (Csum(AgeNum - 1, Yr - 1) - Na(AgeNum, Yr) *
        F(AgeNum, Yr) / (F(AgeNum, Yr) + M) * (1 - Exp(-F(AgeNum, Yr) - M)) * (Exp(F(AgeNum, Yr) + M)))
        / ((-N(AgeNum, Yr) * M * Exp(F(AgeNum, Yr) + M) + (Na(AgeNum, Yr) * M) - N(AgeNum, Yr) *
        F(AgeNum, Yr) * (F(AgeNum, Yr) + M) * Exp(F(AgeNum, Yr) + M)) / (F(AgeNum, Yr) + M) ^ 2)
        F(AgeNum, Yr) = Fb(AgeNum - 1, Yr - 1)
    Loop Until (Fa(AgeNum, Yr) / Fb(AgeNum - 1, Yr - 1) - 1) ^ 2 <= 0.00000000000001

    F(AgeNum, Yr) = Fans(AgeNum, Yr)

    F(AgeNum - 1, Yr - 1) = Fb(AgeNum - 1, Yr - 1)
    Fans(AgeNum - 1, Yr - 1) = Fb(AgeNum - 1, Yr - 1)
Next Yr

'最高齢-1歳から加入の翌年までの資源尾数計算
For Yr = YrNum To 2 Step -1
    For Ag = AgeNum - 1 To 2 Step -1
        If Csum(Ag, Yr) > 0 Then N(Ag, Yr) = Csum(Ag, Yr) / (F(Ag, Yr) / (F(Ag, Yr) + M) * (1 - Exp(-F(Ag,
        Yr) - M))) Else N(Ag, Yr) = N(Ag + 1, Yr + 1) * Exp(M)
        If Csum(Ag - 1, Yr - 1) = 0 Then GoTo 11000:
        Do
            Fa(Ag, Yr) = F(Ag, Yr)
            Fb(Ag - 1, Yr - 1) = F(Ag, Yr) - (Csum(Ag - 1, Yr - 1) - N(Ag, Yr) * F(Ag, Yr) / (F(Ag, Yr) + M) * (1
            - Exp(-F(Ag, Yr) - M)) * (Exp(F(Ag, Yr) + M))) / ((-N(Ag, Yr) * M * Exp(F(Ag, Yr) + M) + (N(Ag, Yr)
            * M) - N(Ag, Yr) * F(Ag, Yr) * (F(Ag, Yr) + M) * Exp(F(Ag, Yr) + M)) / (F(Ag, Yr) + M) ^ 2)
        Loop Until (Fa(Ag, Yr) / Fb(Ag - 1, Yr - 1) - 1) ^ 2 <= 0.00000000000001
    Next Ag
Next Yr

```

```

F(Ag, Yr) = Fb(Ag - 1, Yr - 1)
Loop Until (Fa(Ag, Yr) / Fb(Ag - 1, Yr - 1) - 1) ^ 2 <= 0.000000000000001
F(Ag - 1, Yr - 1) = Fb(Ag - 1, Yr - 1)
Fans(Ag - 1, Yr - 1) = Fb(Ag - 1, Yr - 1)
GoTo 11100:
11000:
  F(Ag - 1, Yr - 1) = 0
  Fans(Ag - 1, Yr - 1) = 0
11100:
  Next Ag
  Next Yr

  For Yr = YrNum To 1 Step -1
  If Csum(1, Yr) = 0 Then GoTo 12000:
  N(1, Yr) = Csum(1, Yr) / (Fans(1, Yr) / (Fans(1, Yr) + M) * (1 - Exp(-Fans(1, Yr) - M)))
  GoTo 12100:
12000:
  N(1, Yr) = N(2, Yr + 1) * Exp(M)
12100:
  Next Yr

  For Ag = AgeNum To 1 Step -1
  If Csum(Ag, 1) = 0 Then GoTo 13000:
  N(Ag, 1) = Csum(Ag, 1) / (Fans(Ag, 1) / (Fans(Ag, 1) + M) * (1 - Exp(-Fans(Ag, 1) - M)))
  GoTo 13100:
13000:
  N(Ag, 1) = N(Ag + 1, 2) * Exp(M)
13100:
  Next Ag

  For CdataNum = 1 To CatchNum
  '漁法別 F の推定
  For Ag = 1 To AgeNum
  For Yr = 1 To YrNum
  If Csum(Ag, Yr) = 0 Then GoTo 14000:
  Feach(Ag, Yr, CdataNum) = C(Ag, Yr, CdataNum) / Csum(Ag, Yr) * Fans(Ag, Yr)
  GoTo 14100:
14000:
  Feach(Ag, Yr, CdataNum) = 0
14100:
  Next Yr
  Next Ag
  Next CdataNum

  'ある年の F の最大値
  For CdataNum = 1 To CatchNum
  For Yr = 1 To YrNum
  FaMax(Yr, CdataNum) = Feach(1, Yr, CdataNum)
  For Ag = 2 To AgeNum
  If FaMax(Yr, CdataNum) < Feach(Ag, Yr, CdataNum) Then
  FaMax(Yr, CdataNum) = Feach(Ag, Yr, CdataNum)
  End If
  Next Ag
  Next Yr
  Next CdataNum

  '選択率計算
  For CdataNum = 1 To qNum
  For Ag = 1 To AgeNum

```

```

    For Yr = 1 To YrNum
      S(Ag, Yr, CdataNum) = Feach(Ag, Yr, CdataNum) / FaMax(Yr, CdataNum)
    Next Yr
  Next Ag
Next CdataNum

'平均資源量の計算
For Yr = 1 To YrNum
  For Ag = 1 To AgeNum
    Nave(Ag, Yr) = N(Ag, Yr) / (Fans(Ag, Yr) + M) * (1 - Exp(-Fans(Ag, Yr) - M))
  Next Ag
Next Yr

For CdataNum = 1 To CatchNum
  For Yr = 1 To YrNum
    For Ag = 1 To AgeNum
      SN(Yr, CdataNum) = SN(Yr, CdataNum) + Nave(Ag, Yr) * S(Ag, Yr, CdataNum)
    Next Ag
  Next Yr
Next CdataNum

For CdataNum = 1 To qNum
  For Yr = 1 To YrNum
    If CPUEweight = 1 Then ssq = ssq + ((LnCPUE(Yr, CdataNum)) - Log(q(CdataNum) * SN(Yr, CdataNum))) ^ 2
    If CPUEweight = 2 Then ssq = ssq + ((LnCPUE(Yr, CdataNum)) - Log(q(CdataNum) * SN(Yr, CdataNum))) ^ 2 / CPUEcv(Yr, CdataNum)
  Next Yr
Next CdataNum

For Ag = 1 To 4
  For Yr = 1 To 4
    F(Ag, YrNum - Yr) = Fans(Ag, YrNum - Yr)
  Next Yr
Next Ag
Return

OutPut:
Worksheets("VPA").Activate
'*****
'*           *
'*   Frame & OutPut   *
'*           *
'*****

For CdataNum = 1 To CatchNum

  ActiveSheet.Cells(10, 1) = "N(尾数)"
  ActiveSheet.Cells(10 + AgeNum + 2, 1) = "N(重量)(t)"
  ActiveSheet.Cells(10 + 7 + AgeNum * 2, 1) = "F total"
  ActiveSheet.Cells(10 + (7 + AgeNum * 2) * (1 + CdataNum), 1) = "F-" & CdataNum

  For Ag = 1 To AgeNum
    ActiveSheet.Cells(10 + Ag, 1) = RecruitmentAge + Ag - 1      'Nの年齢の行出力(尾数)
    ActiveSheet.Cells(10 + AgeNum + 2 + Ag, 1) = RecruitmentAge + Ag - 1      'Nの年齢の行出力(重量)
    ActiveSheet.Cells(10 + 7 + AgeNum * 2 + Ag, 1) = RecruitmentAge + Ag - 1      '全体のFの行出力(年齢)
  Next Ag
Next CdataNum

```

```

'全体の F の行出力(年齢)
ActiveSheet.Cells(10 + (7 + AgeNum * 2) * (CdataNum + 1) + Ag, 1) = RecruitmentAge + Ag - 1
Next Ag

For Yr = 1 To YrNum
  ActiveSheet.Cells(10, 1 + Yr) = StartYear + Yr - 1      'N の年の列出力(尾数)
  ActiveSheet.Cells(10 + AgeNum + 2, 1 + Yr) = StartYear + Yr - 1      'N の年の列出力(重量)
  ActiveSheet.Cells(10 + 7 + AgeNum * 2, 1 + Yr) = StartYear + Yr - 1      '全体の F の列出力(年)
  '各漁業の F の列出力(年)
  ActiveSheet.Cells(10 + (7 + AgeNum * 2) * (CdataNum + 1), 1 + Yr) = StartYear + Yr - 1
Next Yr
ActiveSheet.Cells(10, 1 + YrNum + 1) = StartYear + YrNum      '翌年の N の年表示(尾数)
ActiveSheet.Cells(10 + AgeNum + 2, 1 + YrNum + 1) = StartYear + YrNum      '翌年の N の年表示(重量)

For Ag = 1 To AgeNum
  For Yr = 1 To YrNum
    ActiveSheet.Cells(10 + Ag, 1 + Yr) = N(Ag, Yr) 'N の出力(尾数)
    ActiveSheet.Cells(10 + AgeNum + 2 + Ag, 1 + Yr) = N(Ag, Yr) * aveW(Ag)      'N の出力(重量(t))
    '全体の F の出力
    ActiveSheet.Cells(10 + 7 + AgeNum * 2 + Ag, 1 + Yr) = Fans(Ag, Yr)      '各漁業の F の出力
    ActiveSheet.Cells(10 + (7 + AgeNum * 2) * (CdataNum + 1) + Ag, 1 + Yr) = Feach(Ag, Yr, CdataNum)
  Next Yr
Next Ag
Next CdataNum

'翌年の加入尾数
For Ag = 2 To AgeNum - 1
  ActiveSheet.Cells(10 + Ag, 1 + YrNum + 1) = N(Ag - 1, YrNum) * Exp(-Fans(Ag, YrNum) - M)
Next Ag
ActiveSheet.Cells(10 + AgeNum, 1 + YrNum + 1) = N(AgeNum, YrNum) * Exp(-Fans(AgeNum, YrNum) - M)
+ N(AgeNum - 1, YrNum) * Exp(-Fans(AgeNum - 1, YrNum) - M)

'翌年の加入重量(t)
For Ag = 2 To AgeNum - 1
  ActiveSheet.Cells(10 + AgeNum + 2 + Ag, 1 + YrNum + 1) = N(Ag - 1, YrNum) * Exp(-Fans(Ag, YrNum) - M)
  * aveW(Ag)
Next Ag
ActiveSheet.Cells(10 + AgeNum + 2 + AgeNum, 1 + YrNum + 1) = (N(AgeNum, YrNum) * Exp(-Fans(AgeNum, YrNum) - M)
+ N(AgeNum - 1, YrNum) * Exp(-Fans(AgeNum - 1, YrNum) - M)) * aveW(AgeNum)

For CdataNum = 1 To qNum
  ActiveSheet.Cells(9 + (7 + AgeNum * 2) * (1 + CdataNum), 1) = "q-" & CdataNum
  ActiveSheet.Cells(9 + (7 + AgeNum * 2) * (1 + CdataNum), 2) = q(CdataNum)
  For Yr = 1 To YrNum
    'CPUE 表示
    ActiveSheet.Cells(12 + AgeNum + (7 + AgeNum * 2) * (1 + CdataNum), Yr + 1) = LnCPUE(Yr, CdataNum)
    ActiveSheet.Cells(12 + AgeNum + (7 + AgeNum * 2) * (1 + CdataNum), 1) = "LnCPUE Obs."
    ActiveSheet.Cells(13 + AgeNum + (7 + AgeNum * 2) * (1 + CdataNum), Yr + 1) = Log(q(CdataNum) * SN(Yr, CdataNum))
    ActiveSheet.Cells(13 + AgeNum + (7 + AgeNum * 2) * (1 + CdataNum), 1) = "LnCPUE Est."
  Next Yr
  ActiveSheet.Cells(7, 1 + CdataNum) = "q-" & CdataNum
  ActiveSheet.Cells(8, 1 + CdataNum) = q(CdataNum)
Next CdataNum

```



```

ActiveSheet.Cells(7, 1) = "SSQ"
ActiveSheet.Cells(8, 1) = ssq
Return

Retros:
For Yr = 1 To YrNum
  For Ag = 1 To AgeNum
    nsum = nsum + N(Ag, Yr) * aveW(Ag) 'N の出力(重量(t))
    ActiveSheet.Cells(33 + retro, 1 + Yr) = nsum
  Next Ag
  nsum = 0
Next Yr

YrNum = YrNum - 1 'レトロスペクティブ解析で年をさかのぼるので、ここで年数を減らす
Return

'#MENU#

'ブートストラップ リサンプリング データ作成 cpue
'ブートストラップデータ入力 catch
'ブートストラップデータ入力 cpue
'ブートストラップ計算結果出力

'*****
'*
'* Bootstrap サンプル作成 CPUE data *
'*
'*****
BootSample_CPUE:
Worksheets("bootstrap_data").Activate

For CdataNum = 1 To qNum
  For Yr = 1 To YrNum
    '漁法別標準偏差計算 パラメトリック法
    CPUese(CdataNum) = CPUese(CdataNum) + (LnCPUE(Yr, CdataNum) - Log(q(CdataNum) * SN(Yr,
    CdataNum))) ^ 2
  Next Yr
  CPUese(CdataNum) = (CPUese(CdataNum) / YrNum) ^ 0.5
Next CdataNum

For bt = 1 To bootNum
  For CdataNum = 1 To qNum
    For Yr = 1 To YrNum
      ActiveSheet.Cells(1, 1 + Yr + (YrNum + 1) * (CdataNum - 1)) = StartYear + Yr - 1 '年の
      出力
      'LnCPUE の Bootstrap sample(理論値 + 標準偏差 * 正規乱数)
      ActiveSheet.Cells(1 + bt, 1 + Yr + (YrNum + 1) * (CdataNum - 1)) = Log(q(CdataNum) * SN(Yr,
      CdataNum)) + CPUese(CdataNum) * (-2 * Log(Rnd)) ^ 0.5 * Cos(2 * 3.1415926535 * Rnd)
      ActiveSheet.Cells(1 + bt, 1 + (YrNum + 1) * (CdataNum - 1)) = "LnCPUE-" & CdataNum & "-"
      & bt 'LnCPUE 出力
    Next Yr
  Next CdataNum
Next bt

For Ag = 1 To AgeNum
  For Yr = 1 To YrNum
    For CdataNum = 1 To CatchNum

```

```

'行ラベル表示
ActiveSheet.Cells(1, (YrNum + 1) * CatchNum + 5 + (CdataNum - 1) * (YrNum * AgeNum + 1) + Yr
 * AgeNum + Ag) = StartYear + Yr - 1 & "-" & Ag & " Catch-" & CdataNum
Next CdataNum
Next Yr
Next Ag
Return

'*****
'*
'*   Bootstrap DATA INPUT (Catch)   *
'*
'*
'******
BootDataInput_Catch:
Worksheets("bootstrap_data").Activate

For Yr = 1 To YrNum
  For Ag = 1 To AgeNum
    Csum(Ag, Yr) = 0
  Next Ag
Next Yr

For CdataNum = 1 To CatchNum
  For Yr = 1 To YrNum
    For Ag = 1 To AgeNum
      'Catch data input
      C(Ag, Yr, CdataNum) = ActiveSheet.Cells(1 + bt, (YrNum + 1) * CatchNum + 5 + (CdataNum -
      1) * (YrNum * AgeNum + 1) + Yr * AgeNum + Ag)
      Csum(Ag, Yr) = Csum(Ag, Yr) + C(Ag, Yr, CdataNum)
    Next Ag
  Next Yr
Next CdataNum

'ブートストラップ CATCH データ入力
Return

'*****
'*
'*   Bootstrap DATA INPUT (CPUE)   *
'*
'*
'******
BootDataInput_CPUE:

Worksheets("bootstrap_data").Activate
'ブートストラップ CPUE データ入力
For CdataNum = 1 To qNum
  For Yr = 1 To YrNum
    LnCPUE(Yr, CdataNum) = ActiveSheet.Cells(1 + bt, 1 + Yr + (YrNum + 1) * (CdataNum - 1))
  Next Yr
Next CdataNum
'ブートストラップ CPUE データ入力
Return

'*****
'*
'*   ブートストラップ結果表示   *

```

```

'*
*
'*****
BootOutPut:
Worksheets("BootstrapResult").Activate

ActiveSheet.Cells(10 + bt, 1) = bt
ActiveSheet.Cells(10 + bt, 2) = ssq

For i = 1 To paraNum
    ActiveSheet.Cells(10 + bt, 2 + i) = (x(1, i))
Next i

'資源尾数(尾)・(年)の出力
For Yr = 1 To YrNum
    For Ag = 1 To AgeNum
        Nyear = Nyear + N(Ag, Yr)
    Next Ag
    ActiveSheet.Cells(10, (4 + CatchNum) + Yr) = StartYear + Yr - 1 & "(尾)" '年の出力 資源尾数
    ActiveSheet.Cells(10 + bt, (4 + CatchNum) + Yr) = Nyear
    Nyear = 0
Next Yr
'YrNum(最終年)の資源尾数(尾)
For Ag = 1 To AgeNum
    ActiveSheet.Cells(10, (4 + CatchNum) + (YrNum + 2) + Ag) = StartYear + YrNum - 1 & "-" & Ag & "(尾)"
    ActiveSheet.Cells(10 + bt, (4 + CatchNum) + (YrNum + 2) + Ag) = N(Ag, YrNum)
Next Ag

'翌年の加入尾数
For Ag = 2 To AgeNum - 1 '2歳から最高齢-1歳まで
    ActiveSheet.Cells(10, (4 + CatchNum) + (YrNum + 2) + (AgeNum + 2) + (Ag - 1)) = StartYear + YrNum
    & "-" & Ag & "(尾)"
    ActiveSheet.Cells(10 + bt, (4 + CatchNum) + (YrNum + 2) + (AgeNum + 2) + (Ag - 1)) = N(Ag - 1,
    YrNum) * Exp(-Fans(Ag, YrNum) - M)
    Nyear = Nyear + N(Ag - 1, YrNum) * Exp(-Fans(Ag, YrNum) - M)
Next Ag
'翌年 最高年齢 資源尾数計算
ActiveSheet.Cells(10, (4 + CatchNum) + (YrNum + 2) + (AgeNum + 2) + (AgeNum - 1)) = StartYear + YrNum
& "-" & AgeNum & "(尾)"
ActiveSheet.Cells(10 + bt, (4 + CatchNum) + (YrNum + 2) + (AgeNum + 2) + (AgeNum - 1)) = N(AgeNum,
YrNum) * Exp(-Fans(AgeNum, YrNum) - M) + N(AgeNum - 1, YrNum) * Exp(-Fans(AgeNum - 1, YrNum) -
M)
'翌年 総資源尾数
ActiveSheet.Cells(10, (4 + CatchNum) + (YrNum + 2) + (AgeNum + 2) + AgeNum) = StartYear + YrNum &
"-Sum" & "(尾)"
ActiveSheet.Cells(10 + bt, (4 + CatchNum) + (YrNum + 2) + (AgeNum + 2) + AgeNum) = Nyear + N(AgeNum,
YrNum) * Exp(-Fans(AgeNum, YrNum) - M) + N(AgeNum - 1, YrNum) * Exp(-Fans(AgeNum - 1, YrNum) -
M)
Nyear = 0

'資源重量(t)・(年)の出力
For Yr = 1 To YrNum
    For Ag = 1 To AgeNum
        Nyear = Nyear + N(Ag, Yr) * aveW(Ag)
    Next Ag
    ActiveSheet.Cells(10, (4 + CatchNum) + (YrNum + 2) + (AgeNum + 2) + (AgeNum + 2) + Yr) = StartYear
+ Yr - 1 & "(t)" '年の出力 資源重量
    ActiveSheet.Cells(10 + bt, (4 + CatchNum) + (YrNum + 2) + (AgeNum + 2) + (AgeNum + 2) + Yr) = Nyear
    Nyear = 0

```

Next Yr

For Ag = 1 To AgeNum

ActiveSheet.Cells(10, (4 + CatchNum) + (YrNum + 2) + (AgeNum + 2) + (AgeNum + 2) + (YrNum + 2) + Ag) = StartYear + YrNum - 1 & "-" & Ag & "(t)"

ActiveSheet.Cells(10 + bt, (4 + CatchNum) + (YrNum + 2) + (AgeNum + 2) + (AgeNum + 2) + (YrNum + 2) + Ag) = N(Ag, YrNum) * aveW(Ag)

Next Ag

'翌年の加入重量

For Ag = 2 To AgeNum - 1 '2歳から最高齢-1歳まで

ActiveSheet.Cells(10, (4 + CatchNum) + (YrNum + 2) + (AgeNum + 2) + (AgeNum + 2) + (YrNum + 2) + (AgeNum + 2) + (Ag - 1)) = StartYear + YrNum & "-" & Ag & "(t)"

ActiveSheet.Cells(10 + bt, (4 + CatchNum) + (YrNum + 2) + (AgeNum + 2) + (AgeNum + 2) + (YrNum + 2) + (AgeNum + 2) + (Ag - 1)) = N(Ag - 1, YrNum) * Exp(-Fans(Ag, YrNum) - M) * aveW(Ag)

Nyear = Nyear + N(Ag - 1, YrNum) * Exp(-Fans(Ag, YrNum) - M) * aveW(Ag)

Next Ag

'翌年 最高年齢 資源重量(t)計算

ActiveSheet.Cells(10, (4 + CatchNum) + (YrNum + 2) + (AgeNum + 2) + (AgeNum + 2) + (YrNum + 2) + (AgeNum + 2) + (AgeNum - 1)) = StartYear + YrNum & "-" & AgeNum & "(t)"

ActiveSheet.Cells(10 + bt, (4 + CatchNum) + (YrNum + 2) + (AgeNum + 2) + (AgeNum + 2) + (YrNum + 2) + (AgeNum + 2) + (AgeNum - 1)) = (N(AgeNum, YrNum) * Exp(-Fans(AgeNum, YrNum) - M) + N(AgeNum - 1, YrNum) * Exp(-Fans(AgeNum - 1, YrNum) - M)) * aveW(Ag)

'翌年 総資源重量(t)計算

ActiveSheet.Cells(10, (4 + CatchNum) + (YrNum + 2) + (AgeNum + 2) + (AgeNum + 2) + (YrNum + 2) + (AgeNum + 2) + AgeNum) = StartYear + YrNum & "-Sum" & "(t)"

ActiveSheet.Cells(10 + bt, (4 + CatchNum) + (YrNum + 2) + (AgeNum + 2) + (AgeNum + 2) + (YrNum + 2) + (AgeNum + 2) + AgeNum) = Nyear + (N(AgeNum, YrNum) * Exp(-Fans(AgeNum, YrNum) - M) + N(AgeNum - 1, YrNum) * Exp(-Fans(AgeNum - 1, YrNum) - M)) * aveW(Ag)

Nyear = 0

Return

End Sub