

琵琶湖アユ沖すくい網漁業の漁船規模に階層性を 考慮した場合の漁業管理に関する理論的研究

劉 穎, 桜本和美,* 北原 武, 鈴木直樹

(2002年10月3日受付, 2003年4月3日受理)

東京水産大学資源管理学科

Theoretical study on fisheries management for three size classes of fishing
boats engaged in scoop net fishery for ayu in Lake Biwa

YING LIU, KAZUMI SAKURAMOTO,* TAKERU KITAHARA AND NAOKI SUZUKI

Department of Fisheries Resource Management, Tokyo University of Fisheries, Minato, Tokyo 108-8477, Japan

We studied the scoop net fishery for ayu in Lake Biwa. We investigated the fishery management problem when the engine power of fishing boats is classified into three classes. The equilibrium net profit was obtained as the solution of a non-cooperative dynamic game. We investigated the behavior of the solution using simulations. When the initial population size was lower, the lowest class was profitable. However, the highest classes became profitable, as the initial population size increased. The total net profit for middle class fishermen over ten years, calculated based on estimated initial population sizes, was the most profitable. The total net profit decreased as the number of fishermen in the higher class increased.

キーワード：非協力動的ゲーム, 機関馬力, アユ, 初期資源尾数, 均衡漁獲量, 均衡純利益, 階層性, 資源管理

琵琶湖は本州中央の滋賀県に位置する日本最大の湖であり漁業も盛んである。滋賀県農林水産統計年報によると1998年度の琵琶湖の総漁獲量は2,390トン、総生産額は21億28万円であった。琵琶湖のアユの漁獲量は1,124トン（アユ苗を含む）、琵琶湖の総漁獲量の47%で、生産額は12億3,723万円（あゆ苗を含む）、琵琶湖の総生産額の58%であった。これらは、アユ *Plecoglossus altivelis* が琵琶湖において極めて重要な漁獲対象種であることを示している。

琵琶湖では、エリ、築、刺網、船曳網、四つ手網および沖すくい網等の多様な漁具を用いてアユ漁業が行われている。アユは6月中旬から7月末まで「マキ」と呼ぶ大きな塊をつくって水面近くに上がってくる。アユ沖すくい網は、走っている漁船から、マキの頭を狙って網を落としマキを網ですくいあげる漁法である。沖すくい網では、「ガチャンコ」と呼ばれる機械式の網を使っている。カチャンコが水中に落ちてアユをすくうと、船のスピードによる水圧の反動で、網がレールの上を滑って元の位置にまでもどってくる。その際、アユの群を出来

るだけ短時間で探せるかどうか（アユの群を探し出す能力）が漁獲量に大きく影響する。漁業者は500m先のアユの群れが分かるので、漁船速度を決定する漁船機関の大きさは重要である。Matuda and Kitahara¹⁾は漁船速度と漁船機関の大きさの関係を調べ、機関が大きくなるにしたがい、漁船速度は凹に増加することを示している。アユ沖すくい網漁業の機関馬力数について、実際に著者らが行った漁業者からの聞き取り調査では、琵琶湖の沖すくい網漁業は、機関馬力により170馬力以下、170~300馬力および300馬力以上の3階層に分類することができた。また、平成12年版滋賀の水産²⁾によると、漁船規模は0.99トン以下、1.00トン~3.20トンおよび3.21トン~5.00トンの3階層に分類可能であった。

これまで日本の沿岸漁業全体を対象として、漁船規模（トン数）による階層分けを行い、階層別の経営体数の推移や経営分析等を行った研究例はあるが、³⁾ 個別の漁業について漁業者間に漁船規模の階層性がある場合を想定し現状分析を行った研究は皆無である。Suzuki and Kitahara^{4,11,12)}はアユ沖すくい網漁業について最適生産

*Tel : 81-3-5463-0565. Fax : 81-3-5463-0563. Email : sakurak@tokyo-u-fish.ac.jp

量を算出し、最適解と実際の漁獲量、漁獲金額、漁獲費用、利益とを比較したうえで、最適生産量を実現する管理制度を検討している。しかし、上記研究では漁船機関の馬力数が漁業者間で異なることについては言及していない。本研究では琵琶湖のアユ沖すくい網漁業において漁船機関の馬力数に階層性が存在することに着目し、非協力動的ゲーム問題として現状分析を行い、階層別の均衡漁業者数と純利益について検討することを目的とした。

材料と方法

漁船機関に低馬力、中馬力および高馬力の3階層が存在する場合について検討する。ここで、機関馬力数の低い方から順にそれぞれ階層1、階層2および階層3と呼ぶことにする。また、同じ階層の漁業者間では漁獲能力に差はないものとし、3階層の漁業者数はそれぞれ階層1から順に k_1 、 k_2 および k_3 とする。ここで、 $k_1+k_2+k_3=170$ 名で一定とする。これは琵琶湖におけるアユ沖すくい網漁業の現在の漁業者数である。

琵琶湖のアユ沖すくい網漁業ではプール制等の制度はなく、漁業者はお互いに競争しながら各々が自己の純利益の最大化を目指して操業していると考えられる。このような状況は非協力動的ゲーム問題として扱うことが可能である。すなわち、各漁業者が得る漁獲量や純利益は非協力動的ゲーム問題の均衡解として求めることができる。本研究では、最初に上記均衡解を求め、それら均衡解の挙動をシミュレーションにより検討する。上記を解析するために必要となる漁具能率、価格関数、費用関数、純利益関数およびアユの生物学的特性値等については以下で説明する。

漁獲能率 一般に、漁獲能率は漁船機関の大きさに対し、凹に増加すると考えられるが、アユの沖すくい網漁業については機関馬力の大きさと漁獲能率との関係は分かっていない。そこで、本研究ではMatuda⁵⁾の研究結果を参考にして漁船の漁獲能率と機関馬力数の関係を導出した。Matuda⁵⁾は若狭湾の漕ぎ刺網漁業について、5年間の漁獲努力量を用い、CPUE ($\text{kg}\cdot\text{boat}\cdot\text{day}^{-1}$)と機関馬力 (h.p.) の関係を調べ、以下の結果を得ている。

$$u = 0.814 + 0.690 \log(P - 3) \quad (1)$$

ここで、 u と P はそれぞれCPUE ($\text{kg}\cdot\text{boat}\cdot\text{day}^{-1}$)と機関馬力 (h.p.) である。この式は概ね3/5乗則に近似できる。

今、各階層の機関馬力を比較するため、階層1の機関馬力に対する階層 j の機関馬力の比を γ_j で表す。すると、階層 j の漁獲能率 ρ_j ($\text{boat}\cdot\text{day}^{-1}$)は階層1の漁獲能率を ρ_1 とすると、次式で表わされる。

$$\rho_j = \rho_1 \gamma_j^{0.6} \quad j = 1, 2, 3 \quad (2)$$

漁獲能率 $\bar{\rho}$ の推定値 $4.6 \times 10^{-5} \text{ boat}\cdot\text{day}^{-1}$ ⁵⁾と次式

$$\bar{\rho} = \frac{\bar{\rho}_1(k_1\gamma_1^{0.6} + k_2\gamma_2^{0.6} + k_3\gamma_3^{0.6})}{k_1 + k_2 + k_3} \quad (3)$$

により、 ρ_1 は $\rho_1 = 3.6 \times 10^{-5} \text{ boat}\cdot\text{day}^{-1}$ となる。

価格関数 本研究では、琵琶湖におけるアユの漁獲量と価格の関係として指数関数を用いる。⁶⁾アユの価格は琵琶湖全体におけるアユの累積漁獲量の増加に伴って指数関数的に低下する (Fig. 1)。さらに、初期資源尾数の増加に伴い、価格は緩やかに低下する。そこで、第 i 日目でのアユの価格 p_i ($\text{yen}\cdot\text{kg}^{-1}$)を琵琶湖全体におけるアユの累積漁獲量と初期資源尾数を変数とする関数とし、以下に表した。

$$p_i = a(N_1) \exp \left[-b \left(\sum_{j=1}^3 \sum_{l=1}^{k_j} Q_{i,j,l} \right) \right] \quad (4)$$

$$a(N_1) = a_1 - a_2 N_1$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, 40, \quad j = 1, 2, 3, \quad l = 1, 2, 3, \dots, k_j$$

ただし、 $Q_{i,j,l}$ は階層 j 、漁業者 l の第 i 日までの累積漁獲量 (kg)、 N_1 は初期資源尾数、 k_j は階層 j の漁業者数をそれぞれ示す。また、琵琶湖におけるアユの沖すくい網漁業は6月10日~7月31日に操業されるが、出漁しない日を除き、実際の操業日数を40日とした。すなわち、 $i=1, 2, \dots, 40$ である。ここで、 a_1 ($\text{yen}\cdot\text{kg}^{-1}$)、 a_2 ($\text{yen}\cdot\text{kg}^{-1}$)および b (kg^{-1})は非負の定数で、Table 1

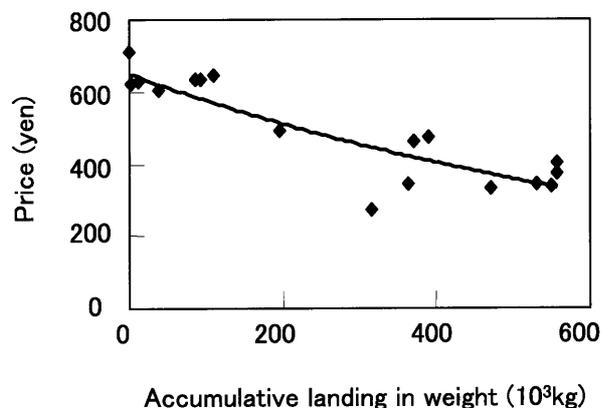


Fig. 1 Relationship between price and accumulative landing of ayu in Lake Biwa in 1988. The line shows the regression line fitted to the data.

Table 1 Parameters employed in this study

$a_1 = 821.67 \text{ yen}\cdot\text{kg}^{-1}$	$M = 0.099 \text{ month}^{-1}$
$a_2 = 66.819 \times 10^8 \text{ yen}\cdot\text{kg}^{-1}$	$W_\infty = 5.08 \times 10^{-3} \text{ kg}$
$b = 10^{-6} \text{ kg}^{-1}$	$\kappa = 0.24 \text{ month}^{-1}$
$\alpha = 6.24 \text{ yen}\cdot\text{kg}^{-1}$	$t_0 = -4.49 \text{ month}^{-1}$
$\beta = 1799 \text{ yen}\cdot\text{boat}\cdot\text{day}^{-1}$	$\rho_1 = 3.6 \times 10^{-5} \text{ boat}\cdot\text{day}^{-1}$
$d = 5314 \text{ yen}\cdot\text{boat}\cdot\text{day}^{-1}$	

The parameters a_1 , a_2 and b were estimated in this study and the others were referred to Suzuki and Kitahara.⁴⁾

にそれぞれの推定値を示す。

費用関数 通常の経済分析においては費用として機会費用, すなわち, 操業費用, 減価償却および漁業者自身の見積り雇用労賃を含めたものを用いる。しかし, 実際の漁業現場ではアユの操業期間中, 適当な代替就労先があるわけではなく, 機会費用を用いた解析が必ずしも現実的であるとは言えない。したがって, 本研究では操業費用と減価償却費のみを考慮して解析を行う。ここで, 燃料費と減価償却をまとめて d (yen・boat-day⁻¹) で表し, 魚を保存する氷の費用と網の費用をそれぞれ α (yen・kg⁻¹) と β (yen・boat-day⁻¹) とする。

ただし, 漁獲努力量のデータはほとんど記録されておらず, 利用することができない。そこで, 本研究では漁獲努力量と比例関係にあると考えられる漁獲量 $q_{i,j,l}$ (kg) を漁獲努力量の代わりに用いることによって費用関数を表した。すなわち, 第 i 日, 階層 j , 漁業者 l の費用関数 $c_{i,j,l}(q_{i,j,l}, N_i, W_i)$ (yen) は次式で表されるものとした。

$$c_{i,j,l}(q_{i,j,l}, N_i, W_i) = \left(\alpha + \frac{\beta + \gamma_j d}{\rho_j(\gamma_j) N_i W_i} \right) q_{i,j,l} \quad (5)$$

ただし, N_i と W_i はそれぞれ第 i 日の資源尾数とアユの平均体重 (kg) であり, それらの値については以下で説明する。

純利益関数 第 i 日, 階層 j , 漁業者 l の純利益 $\pi_{i,j,l}$ (yen) は価格関数と費用関数を用いて次式により決定される。

$$\pi_{i,j,l} = a(N_i) q_{i,j,l} \exp \left\{ -b \left(\sum_{j=1}^3 \sum_{l=1}^{k_j} Q_{i,j,l} \right) \right\} - \left(\alpha + \frac{\beta + \gamma_j d}{\rho_j(\gamma_j) N_i W_i} \right) q_{i,j,l} \quad (6)$$

上式の右辺の第 i 日漁期初の資源尾数 N_i とアユの平均体重 W_i は, 次式より求められる。⁴⁾

$$N_{i+1} = \left\{ N_i - \frac{\sum_{j=1}^3 \sum_{l=1}^{k_j} q_{i,j,l} + \bar{q}}{W_i} \right\} \exp(-M) \quad (7)$$

ここで, $N_1 = N_0$ である。

$$W_i = W_\infty [1 - \exp\{-k(t - t_0)\}]^3, \quad (8)$$

ただし,

$$t = i/30 + 64/30$$

である。

ここで, M は自然死亡係数 (month⁻¹), W_∞ は理論的最大体重 (kg), k は月あたりの成長係数 (month⁻¹), t_0 は補正項 (month) である。また, は沖すくい網以外の漁業によるアユの漁獲量 (kg) で, 滋賀県農林水産統計年報から求めた 9,743 kg を用いる。Table 1 に M , W_∞ , k および t_0 の推定値を示した。^{4,11,12)}

非協力動的ゲーム問題の解 各漁業者は互いに独立に自らの純利益 $\pi_{i,j,l}$ の最大化を目的として操業するもの

とする。このとき各漁業者の1日当り均衡漁獲量は非協力動的ゲーム問題の解として求めることができる。動的ゲーム問題とは, 個々の目的を持つ複数の意思決定者間での繰り返しがある場合の最適化問題で, 意思決定者間に合意が存在しない場合を非協力動的ゲーム問題と呼ぶ。非協力動的ゲーム問題は最適反応原理による均衡点という解の概念に基づき, 意思決定者間の戦略決定について考察する理論である。^{7,8)} 非協力動的ゲーム問題の解 (q_1^*, \dots, q_n^*) は, 以下の条件を満たす。

$$\pi_i(q_1^*, \dots, q_{i-1}^*, q_i^*, q_{i+1}^*, \dots, q_n^*) \geq \pi_i(q_1^*, \dots, q_{i-1}^*, q_i, q_{i+1}^*, \dots, q_n^*) \quad p_i \in Q_i, i \in N$$

第 i 日, 階層 j , 漁業者 l の漁獲量の上限を $\rho_j N_i W_i$, すなわち, 漁獲量の範囲を $0 \leq q_{i,j,l} \leq \rho_j N_i W_i$ と仮定すると, 非協力動的ゲーム問題の解 $q_{i,j,l}$ は

$$q_{i,j,l}^* = \begin{cases} 0 & \text{for } \hat{q}_{i,j,l} < 0 \\ \hat{q}_{i,j,l} & \text{for } 0 \leq \hat{q}_{i,j,l} < \rho_j N_i W_i \\ \rho_j N_i W_i & \text{for } \rho_j N_i W_i \leq \hat{q}_{i,j,l} \end{cases} \quad (9)$$

となる。ただし, $\hat{q}_{i,j,l}$ は $\partial \pi_{i,j,l} / \partial p_{i,j,l} = 0$ の解である。^{9,10)} また, 階層内では各漁業者の漁獲能率は等しいと仮定しているため, 各漁業者の均衡漁獲量と均衡純利益も等しくなる。すなわち,

$$q_{i,j}^* = q_{i,j,l}^* \quad (10)$$

$$\pi_{i,j}^* = \pi_{i,j,l}^* \quad (11)$$

とおくことができる。

沖すくい網漁業の漁期は 40 日であるので, 漁期全体での漁業者 j の総漁獲量 Q_j (kg) と総純利益 Π_j (yen) は

$$Q_j = \sum_{i=1}^{40} q_{i,j} \\ \Pi_j = \sum_{i=1}^{40} \pi_{i,j} \quad (12)$$

となる。

シミュレーションによる検討 非協力動的ゲームの均衡解として求めた漁期全体を通じての漁獲量や純利益について, 以下の条件のもとでシミュレーションを行う。各階層の馬力比率を $\gamma_1 = 1.0$, $\gamma_2 = 1.6$, $\gamma_3 = 2.5$ と仮定する。また, 1978 年~1987 年の初期資源尾数の推定値が 1.5×10^8 尾から 3.4×10^8 尾までであることから, 初期資源尾数の範囲を 0.5×10^8 尾から 4.0×10^8 尾までとしてシミュレーションを行った。シミュレーションのシナリオは以下に示す 5 つである (Table 2)。

[シナリオ 1] 全ての漁業者が階層 1 に属する場合について純利益の大小関係に及ぼす初期資源尾数の影響を調べる。すなわち, $k_1 = 170$, $k_2 = 0$, $k_3 = 0$ の場合について, 漁期全体を通じて階層 1 の漁業者 1 人当たりの漁獲量と純利益を計算する。

[シナリオ 2] 全ての漁業者が階層 1 と階層 2 に属する場合について純利益の大小関係に及ぼす初期資源尾数の影響を調べる。ただし, 階層 2 の漁業者数は現在の階

Table 2 Scenarios of simulations and their conditions

	Number of fishermen			Condition
	k_1	k_2	k_3	
scenario 1	170	0	0	
scenario 2	106	64	0	
scenario 3	63	64	43	
scenario 4	63	$107-k_3$	k_3	$\Pi_1=\Pi_2$ $\Pi_1=\Pi_3$ $\Pi_2=\Pi_3$
scenario 5	63	$107-k_3$	k_3	$N=N_{aver}$

k_1 , k_2 and k_3 indicate the number of fishermen in class 1, 2 and 3, respectively. N_{aver} indicates the average of the estimated initial population size.

層2の漁業者数64人とした。すなわち、 $k_1=106$, $k_2=64$, $k_3=0$ の場合について、階層1と階層2に属する漁期全体を通じての漁業者1人当たりの均衡漁獲量と純利益をそれぞれ計算する。

[シナリオ3] 3つの階層がある場合について純利益の大小関係に及ぼす初期資源尾数の影響を調べる。各階層の漁業者数は現在の琵琶湖におけるそれぞれの漁業者数、すなわち、 $k_1=63$, $k_2=64$, $k_3=43$ とし、階層1、階層2および階層3に属する漁期全体を通じての漁業者1人当たりの均衡漁獲量と純利益をそれぞれ計算する。

[シナリオ4] 操業者人数の閾値を調べる。階層1、階層2および階層3の3階層があり、階層1の漁業者数は現状の漁業者数63人で一定であるとする。このとき、残りの漁業者107人が階層2および階層3にどのように配分されるかを3つの条件のもとで計算する。すなわち、条件1：階層1と階層2の2階層間で漁期全体を通じての漁業者1人当たりの純利益が等しくなる場合、条件2：階層1と階層3の2階層間で漁期全体を通じての漁業者1人当たりの純利益が等しくなる場合、条件3：階層2と階層3の2階層間で漁期全体を通じての漁業者1人当たりの純利益が等しくなる場合、のそれぞれの条件のもとで階層3の漁業者数 K_3 を計算する。階層2の漁業者数は $107-K_3$ である。

[シナリオ5] 階層3の漁業者数が増えることにより各階層の漁業者1人当たりの純利益がどのように変化するかを調べる。シナリオ5でも階層1の漁業者数は現状の漁業者数63人で一定であるとした。階層2の漁業者数は $107-K_3$ である。また、初期資源尾数は推定された初期資源尾数の平均値(2.8×10^8)を用いた。

結 果

シミュレーションによる検討結果 前節では漁業者の純利益を各漁業者の漁獲量、初期資源尾数、各階層の漁

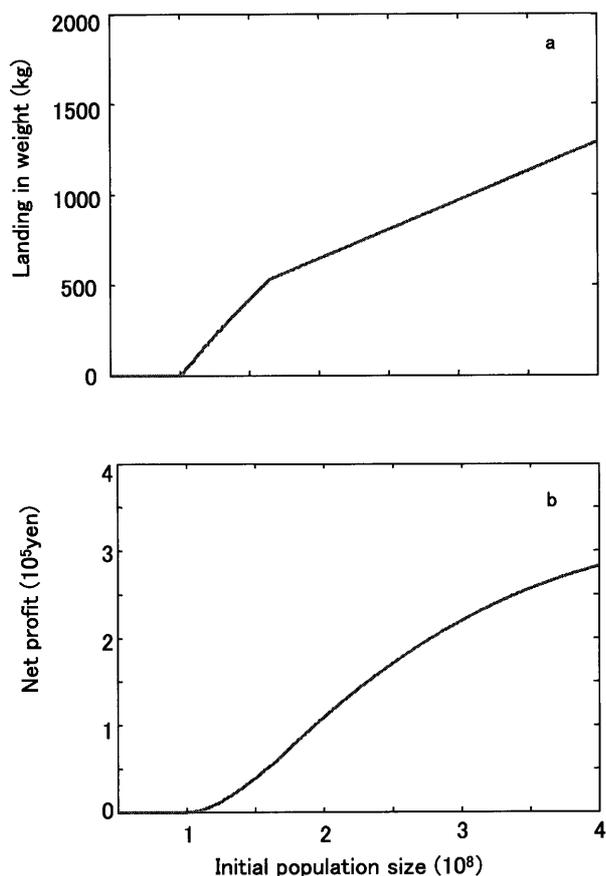


Fig. 2 Equilibrium landing in weight (a) and equilibrium net profit per fisherman (b) to the initial population size when all the fishermen belong to class 1, that is, $k_1=170$, $k_2=0$ and $k_3=0$.

業者数および漁船機関の馬力比率の関数を用いてモデル化した。また、上記モデルを用い、各漁業者が得る漁獲量や純利益を非協力動的ゲームの均衡解として求めた。ただし、本研究では上記の変数のうち各漁業者が戦略として変更することができるのは漁獲量のみであると仮定した。ここで求めた均衡解をもとに各シナリオについてシミュレーションを行い、以下の結果を得た。

シナリオ1 ($k_1=170$, $k_2=0$, $k_3=0$)の結果について、漁期全体を通じての漁業者一人当たりの均衡漁獲量と純利益を Fig. 2 に示した。Fig. 2 からわかるように、初期資源尾数が 1.05×10^8 以下では、漁期全体を通じての漁業者1人当たりの均衡漁獲量は0となった。初期資源尾数が $1.05 \times 10^8 \sim 1.70 \times 10^8$ の場合、初期資源尾数の増加に対し、1日1人当たりの均衡漁獲量が $q^* > 0$ となる日数が増加し、それに伴い漁期全体を通じての1人当たりの均衡漁獲量も急激に増加した。しかし、初期資源尾数が 1.70×10^8 を超えると、ほぼ毎日 $q^* > 0$ となり、漁期全体を通じての1人当たりの均衡漁獲量は緩やかに増加した。漁期全体を通じての1人当たりの純

利益は、Fig. 2bに示すように、初期資源尾数の増加に伴い単調に増大した。

シナリオ2 ($k_1=63$, $k_2=107$, $k_3=0$)の結果について、漁期全体を通じての漁業者1人当り均衡漁獲量と純利益をFig. 3に示した。漁期初めでは、1日1人当たりの均衡漁獲量はその上限の $\rho_2 N_i W_i$ となり、漁獲により資源尾数が減少すると、1日1人当たりの均衡漁獲量は $\hat{q}_{1,2,1}$ となった。資源尾数がさらに減少すると、1日1人当たりの均衡漁獲量は0となった。階層1では階層2より低い初期資源尾数から漁獲が始まり、初期資源尾数の増加とともに漁期全体を通じての漁業者1人当り均衡漁獲量は増大した(Fig. 3a)。また、初期資源尾数が 1.70×10^8 を超えると漁業者1人当り均衡漁獲量は緩やかな増加に転じた。これに対し、階層2の漁業者は階層1より大きな初期資源尾数で漁獲を開始し、初期資源尾数の増加とともに漁期全体を通じての漁業者1人当り均衡漁獲量は急激に増加した。初期資源尾数が 2.05×10^8 を超えると漁業者1人当り均衡漁獲量は緩やかな増加に転じた。初期資源尾数が 1.60×10^8 以下のと

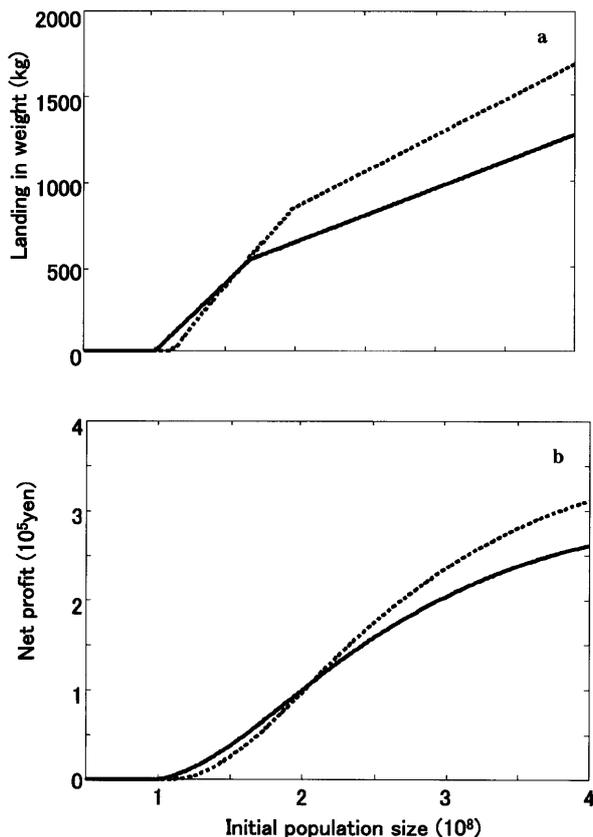


Fig. 3 Equilibrium landing in weight (a) and equilibrium net profit per fisherman (b) to the initial population size when all the fishermen belong to classes 1 and 2, that is, $k_1=106$, $k_2=64$ and $k_3=0$. Solid and dotted lines indicate 1 and 2 classes, respectively.

きは階層1の漁業者1人当りの均衡漁獲量は階層2のそれより大きい、初期資源尾数が 1.60×10^8 を超えると、階層2の漁業者1人当りの均衡漁獲量の方が大きくなった。これを純利益でみると(Fig. 3b)、初期資源尾数が 2.05×10^8 以下では階層1の漁業者1人当りの純利益が階層2のそれよりも多く、均衡漁獲量で比較した場合より高い初期資源尾数レベルで階層2の利益が多くなった。

シナリオ3 ($k_1=63$, $k_2=64$, $k_3=43$)の結果について、漁期全体を通じての漁業者1人当りの均衡漁獲量と純利益をFig. 4に示した。各階層の均衡漁獲量と純利益の初期資源尾数に対する変化は3階層の場合も基本的には2階層の場合と同様であった。すなわち、初期資源尾数の増加につれて、階層1、階層2、階層3の順に漁獲が開始された。また、初期資源尾数が少ない段階では階層1、階層2、階層3の順に漁業者1人当りの

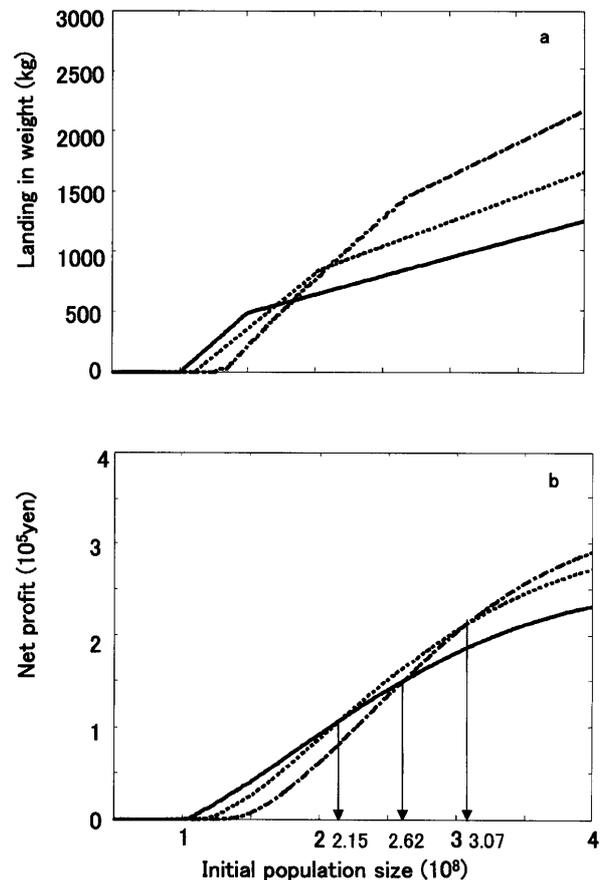


Fig. 4 Equilibrium landing in weight (a) and equilibrium net profit per fisherman (b) to the initial population size when the fishermen belong to three classes, that is, $k_1=63$, $k_2=64$ and $k_3=43$. Solid, dotted and dash-dotted lines indicate classes 1, 2 and 3, respectively. Arrows indicate the switching initial population size when the net profit of the higher class exceeds that of the lower one.

均衡漁獲量は大きい、初期資源尾数が多くなるに従って、階層1から階層2、階層2から階層3へと、階層による漁業者1人当り均衡漁獲量の大きさが逆転した。

階層1と階層2の漁業者1人当り均衡漁獲量が等しくなる初期資源尾数は 1.65×10^8 となり、また、階層1と階層3、階層2と階層3の漁業者1人当り均衡漁獲量が等しくなる初期資源尾数は、それぞれ 1.85×10^8 と 2.10×10^8 となった。これを純利益で比較した場合について示したものが Fig. 4b である。Fig. 3b 同様、初期資源尾数が少ないときには漁期全体を通じての漁業者1人当り純利益は階層1が一番大きく、階層2、階層3の順に漁業者1人当り純利益が低くなった。

シナリオ4の結果を Fig. 5 に示した。すなわち、階層1、階層2および階層3の3つの階層があり、階層1の漁業者数が63人で一定とした場合である。このとき、階層1と階層2の漁期全体を通じての漁業者1人当り純利益が等しくなる階層3の漁業者数を一点鎖線で、階層1と階層3の漁業者1人当り純利益が等しくなる階層3の漁業者数を中央の実線で、階層2と階層3の漁業者1人当り純利益が等しくなる階層3の漁業者数を破線で表した。また、階層3の漁業者数が43人で x 軸に平行に引いた直線（漁業者数が実際の琵琶湖における各階層の漁業者数に等しい場合に相当する）と上記3つの曲線の交点は、階層1と階層2、階層1と階層3および階層2と階層3の漁業者1人当り純利益が等しくなる初期資源尾数をそれぞれ示す。すなわち、上記の x 軸上の初期資源尾数は Fig. 4b の x 軸上の初期資源尾数に対応している。

Fig. 5 より、初期資源水準によって各階層の漁期全体を通じての漁業者1人当り純利益が他の階層のそれより大きくなる領域が4つに分かれることがわかった。すなわち、Fig. 5 の一点鎖線より左側では階層1の漁業者1人当り純利益が階層2のそれより多く、その右側では階層2の漁業者1人当り純利益が階層1のそれより多かった。

同様に、Fig. 5 の中央の実線より左側では階層1の漁業者1人当り純利益が階層3のそれより多く、その右側では階層3の漁業者1人当り純利益が階層1のそれより多いことを示す。同様に、Fig. 5 の破線より左側では階層2の漁業者1人当り純利益が階層3のそれより多く、その右側では階層3の漁期全体を通じての漁業者1人当り純利益が階層2のそれより多いことを示す。すなわち、これらの4つの領域は以下の3つの領域に整理することができる。Fig. 5 の一点鎖線より左側では階層1の漁業者1人当り純利益が最も多く、右端の破線より右側では階層3の漁業者1人当り純利益が最も多く、一点鎖線より右側と破線より左側の領域では階層2の漁業者1人当り純利益が最も多いことを示し

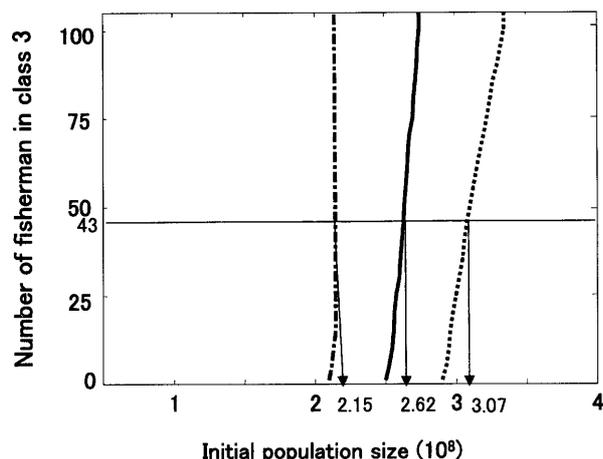


Fig. 5 Number of fishermen of class 3 against the initial population size when the net profit of each fishermen in class 1 equals that of class 2 (dash-dotted), the net profit of fishermen in class 1 equals that of class 3 (solid) and the net profit of fishermen in class 2 equals that of class 3 (dotted), respectively. Allows show the initial population size that gives the net profit between the fishermen in class 1 and 2, class 1 and 3, and class 2 and 3 when the number of fishermen in class 3 is 43, respectively.

ている。

シナリオ4から階層1の漁業者数が63名の場合には、階層1と階層2の漁期全体を通じての漁業者1人当り純利益が等しくなる初期資源尾数がほぼ 2.15×10^8 であることがわかる。したがって、初期資源尾数が 2.15×10^8 以下では上記63名の階層1の漁業者が他の階層に移動しようとする動機付けは生じないことが予想される。また、初期資源尾数が $2.15 \times 10^8 \sim 2.62 \times 10^8$ にある場合には、64名の階層2の漁業者が他の階層に移動しようとする動機付けは生じないと予想される。同様に、初期資源尾数が 3.07×10^8 以上になると43名の階層3の漁業者が他の階層に移動しようとする動機付けは生じないことが予想される。

シナリオ5の結果を Fig. 6 に図示した。すなわち、各階層の漁期全体を通じての漁業者1人当り純利益を階層3の漁業者数に対して図示した。階層3の漁業者数の増加にともない、各階層の漁業者1人当り純利益が減少し、漁業者全体の純利益も減少した。また、すでに述べたように初期資源尾数として推定初期資源尾数の平均値を用いた場合には階層2の漁業者1人当り純利益が一番大きくなった。また、階層3の漁業者数が少ない時には階層3と階層2の漁業者1人当り純利益はほぼ等しいが、階層3の漁業者数が増大するに従って、階層3の漁業者1人当り純利益は階層1の漁業者1人当り純利益に近い水準まで減少した。

推定初期資源尾数に対する純利益 各階層の漁業者数

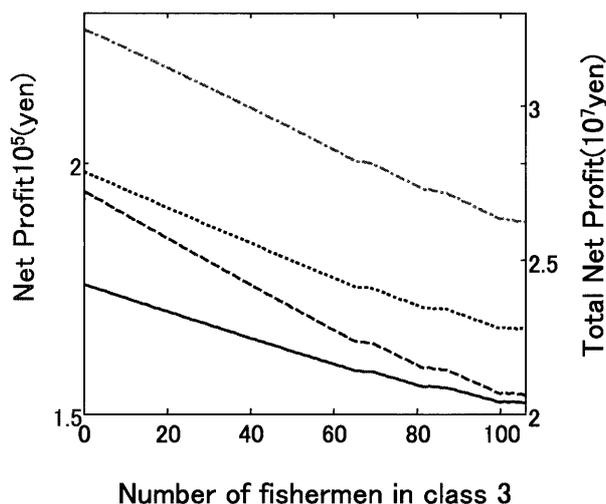


Fig. 6 Relation of net profit of each class and total net profit to number of fishermen in class 3. Solid, dotted and broken lines indicate the net profit of fishermen in class 1, 2, and 3, respectively. The upper line (dash-dotted) indicates the total net profit of all 170 fishermen.

を現状の人数とし、推定された初期資源尾数に対する各階層別の純利益を計算し、Table 3に示した。Table 3を見ると、初期資源尾数が小さい1980年、1981年、1984年の3年間は階層1の純利益が、初期資源尾数が大きい1979年、1987年の2年間は階層3の純利益が、それ以外の5年間は階層2の純利益がもっとも大きくなった。また、10年間の総純利益（計算した各年の純利益の合計）を見ると、階層1、階層2および階層3はそれぞれ143.11万円、155.38万円および143.91万円となり、総純利益でみても階層2がもっとも有利であると結論された。

感度テスト 式(2)において、漁船の機関馬力数と漁獲効率との関係を表すべき乗を0.6で近似した。この値が結果におよぼす影響について感度テストを行った結果をTable 4に示す。Table 4はべき乗を0.4から0.8まで0.1きざみで変化させたとき、階層2の純利益が階層1の純利益と等しくなる初期資源尾数、階層3の純利益が階層1の純利益と等しくなる初期資源尾数、階層3の純利益が階層2の純利益と等しくなる初期資源尾数をそれぞれ示している。べき乗が0.4の時には、このような階層間のスイッチングはおこらない。べき乗が0.6以上になると3階層間でスイッチングがおこり、べき乗の値が1に近づくほど、より小さい初期資源尾数でスイッチングが起こることがわかる。

考 察

本研究では琵琶湖におけるアユ沖すくい網漁業に見られるような漁船規模に階層性がある場合について、現状

Table 3 Equilibrium net profit calculated for class 1, class 2 and class 3 in 1978–1987 when the estimated initial population size are used

Year	Estimated initial population size (10^8)	Net profit (yen)		
		class 1	class 2	class 3
1978	2.778	163,500	181,930	173,000
1979	3.150	190,860	218,190	220,410
1980	1.967	88,480	82,580	56,560
1981	2.119	103,640	102,550	77,190
1982	2.823	166,770	185,260	175,850
1983	2.637	151,990	166,670	153,130
1984	1.542	43,890	29,120	9,240
1985	2.590	147,990	161,350	146,300
1986	2.833	167,570	187,320	180,050
1987	3.414	206,390	238,790	247,320
Total		1,431,080	1,553,760	1,439,050

Table 4 Initial population size when the net profits of higher-class fishermen exceed that of lower ones for power value = 0.4 to 0.8

Power value	Class 1 and 2	Class 1 and 3	Class 2 and 3
0.4	—	—	—
0.5	—	—	3.12×10^8
0.6	2.15×10^8	2.62×10^8	3.07×10^8
0.7	1.48×10^8	1.72×10^8	1.98×10^8
0.8	1.03×10^8	1.09×10^8	1.22×10^8

分析を行った。上記を非協力的ゲーム問題として定式化し、その均衡解を求めた結果、以下のことがわかった；(1)初期資源尾数が多くなるとともに、各階層の漁期全体を通じての漁業者1人当たりの均衡漁獲量と純利益は各階層とも増加する；(2)階層1では費用があまりかからないので、初期資源尾数の少ない段階から、操業が行われる。しかし、初期資源尾数が多くなるにともない階層2が参入し、さらに初期資源尾数が多くなると階層3が参入する；(3)漁期全体を通じての漁業者1人当たりの純利益をみると、初期資源尾数が少ないときは階層1の純利益が多く、初期資源尾数が多くなるにしたがい階層2の純利益が多くなる。さらに初期資源尾数が多くなると階層3の純利益が多くなる；(4)1978年から1987年までの10年間の推定初期資源尾数をもとに各階層の漁業者1人当たりの純利益を計算すると、階層1が有利となるのは3年間、階層2が有利となるのは5年間、階層3が有利となるのは2年間であった。また、10年間の総純利益も、階層2がもっとも有利であった。

本研究では漁獲能率は機関馬力数の凹関数で表されるものとし、機関馬力数の3/5乗に比例すると仮定し

た。しかし、感度テストで示したように漁獲能率が機関馬力数の何乗に比例するかによって結果は異なる。すなわち、この値が大きいほどつまり機関馬力と漁獲能率の関係が直線関係に近いほどより高い階層の漁船が有利になり、より低い初期資源尾数から、より規模の大きい階層の漁業者の参入が可能になる。したがって、漁獲能率が機関馬力数の3/5乗以上であれば、定性的には本論文で示した結果と同じであるといえる。

実際に漁業者が階層1から階層2への移行や、階層3から階層2への移行を行おうとしても、移行するために必要な一時的投資費用が大きい場合は移行への動機は大きくても移行できないことになる。したがって、本研究では各階層とも漁獲量のみを制御変数として最適化を計ると仮定し、各階層の漁業者数は所与のものとしてシミュレーションを行った。

琵琶湖のアユ沖すくい網漁業の純利益について調査したデータはない。したがって、本研究の計算結果がどの程度現状を反映しているかを現時点で検証することはできない。実際の純利益と計算結果との間に相違があるとすれば、その理由として以下のことが考えられる。琵琶湖のアユの生産額が琵琶湖漁業全体に占める割合が大きいことは既に述べた。しかし、アユの沖すくい漁の期間は1ヶ月と極めて短く、ここで対象とした漁船のほとんどはアユの沖すくい網漁業以外の他の漁業でも利用されている。したがって、ある階層の漁船がアユ沖すくい網漁業では不利であっても、他の漁業種では有利である可能性は十分に考えられる。より現実的な解析結果を得るためには全体での漁業収益を考慮した解析を行う必要があるが、必要なデータが入手できれば、本論文で提示した動的ゲーム問題として分析することが可能である。

謝 辞

本研究を実行するにあたり、滋賀県水産試験場場長 中 賢治氏、同資源係長前河孝志氏、同主査西森克浩氏、同技官片岡佳孝氏はじめ、滋賀県水産試験場の皆様には大変お世話になった。ここに感謝の意を表したい。また、匿名の2名の査読者からは数多くの極めて有益なコメントをいただいた。ここに深謝の意を表したい。

文 献

- 1) Matuda K, Kitahara T. On the estimation of sweep area of sweeping trammel net (Kogisiasiami) *Nippon Suisan Gakkaishi*. 1967; **33**: 524-530.
- 2) 滋賀県水産課. 滋賀の水産平成12年版, 滋賀県, 2001; 1-21.
- 3) 長谷川健二. 沿岸漁船漁業の存立構造. *漁業経済誌* 1990; **35**: 1-21.
- 4) Suzuki N, Kitahara T. Net profit and marginal net profit in the scoop net fishery of ayu population in Lake Biwa. *Fish. Sci.* 1998; **64**: 939-943.
- 5) Matuda K. On matching the gear size to the engine power of boats and its operation in the sweeping trammel net fishery *Mem. Coll. Agri. Kyoto Univ.* 1972; **103**: 54-67.
- 6) 山口由二, 山田作太郎, 平山信夫. 福島県北部海域におけるイシガレイ漁業の価格関数を用いた管理について. *日水誌* 1992; **58**: 1219-1227.
- 7) 鈴木光男, 武藤滋夫. 非協力ゲーム理論の解. 「協力ゲームの理論」東京大学出版会, 東京. 1985; 4-6.
- 8) 鈴木光男. ゲームの動学化. 「ゲーム理論の世界」勁草書房, 東京. 1999; 116-118.
- 9) 北原 武. ゲームの理論の漁業・資源管理への応用. *月刊海洋* 1997; **29**: 281-284.
- 10) 北原 武. ゲームの理論と資源管理. *個体群生態学会報* 1996; **53**: 75-80.
- 11) Suzuki N, Kitahara T. A management policy for the scoop nets fish of ayu population in Lake Biwa. *Fish. Sci.* 1996; **62**: 683-689.
- 12) Suzuki N, Kitahara T. Relation of recruitment to the number of caught juveniles in the ayu population of Lake Biwa. *Fish. Sci.* 1996; **62**: 15-20.

日本水産学会誌掲載報文要旨

鹿児島湾産アカカマスの年齢、成長および年級群組成

増田育司, 酒匂貴文, 松下 剛, 白石哲朗,
切通淳一郎, 神村祐司, 小澤貴和 (鹿大水)

鹿児島湾産アカカマス 1631 尾の耳石横断薄層切片をもとに、本種の年齢と成長を検討した結果、縁辺成長率の経月変化および優勢ないし劣勢年級群の経年出現状況から、用いた耳石輪紋（不透明帯内縁）は年輪であることが立証された。6月1日を誕生日と仮定して、輪紋数に応じて個体毎に年齢を割り振り、Bertalanffy の成長式を当てはめた結果、雄は $L_t = 304.6\{1 - \exp[-0.433(t + 3.385)]\}$ 、雌は $L_t = 337.5\{1 - \exp[-0.421(t + 2.972)]\}$ で表された。両式は有意に異なり、いずれの年齢においても雌は雄より大きい体サイズを示した。最高年齢は雄で 11 歳、雌で 8 歳であった。

日水誌, 69(5), 709-716 (2003)

同一環境下で継代飼育されたアユ *Plecoglossus altivelis* 3 品種間における温度適応力の差異

岡部正也 (高知内水漁セ), 関 伸吾 (高知大農),
西山 勝 (高知宿毛漁指), 桑原秀俊 (高知水試),
佐伯 昭 (高知内水漁セ), 山岡耕作 (高知大農)

由来の異なるアユ 3 品種 205~220 日齢魚を用い、異なる馴致温度に対する耐性温度を指標として温度適応力を比較した。耐性温度には品種間で明らかな差異が認められ、15~23°C に馴致した場合の臨界最高・最低温度の平均値は、海系 29.7~32.2°C, 2.5~6.0°C, 琵琶湖系 28.7~31.7°C, 2.3~5.3°C, 瀬戸川産人工陸封型 29.7~33.0°C, 1.7~5.0°C および初期致死温度から算出した温度耐忍領域は海系 481°C², 琵琶湖系 415°C², 瀬戸川産人工陸封型 517°C² となった。これら 3 品種は、孵化後同一環境下で飼育してきたことから、アユの温度適応力には品種差が存在することが示唆された。

日水誌, 69(5), 717-725 (2003)

日本産アイナメ科魚類 7 種の mtDNA の PCR-RFLP 分析による種判別

柳本 卓 (北水研)

日本周辺に分布するアイナメ科 7 種 (アイナメ, クジメ, スジアイナメ, ウサギアイナメ, エゾアイナメ, ホッケ, 及びキタノホッケ) の PCR-RFLP 分析による種判別法を検討した。成魚筋肉から DNA を抽出し、PCR 法にてミトコンドリア DNA の 12S rRNA-16Sr RNA コード領域を増幅して塩基配列分析を行った。7 種を判別できる制限酵素を検索し、PCR 産物を制限酵素消化し電気泳動を行った。*DdeI*, *DpnII*, *MspI* の 3 種類の酵素の切断型から得られたハプロタイプの違いから、7 魚種を遺伝子レベルで判別できることが示唆された。

日水誌, 69(5), 726-732 (2003)

実験水槽におけるブルーギルによるモツゴの捕食

片野 修, 中村智幸, 山本祥一郎 (中央水研)

水槽内でブルーギルに捕食されるモツゴの個体数および最大体長を調べた。初期標準体長が 2.5~7.9 cm の生きたモツゴ 15 個体と、標準体長 5.7~14.3 cm のブルーギル 1 個体を水槽に収容し、ブルーギルによるモツゴの捕食を 10 日間調べた。体長 5.7 cm の 1 個体を除くすべてのブルーギルがモツゴを捕食した。ブルーギルに捕食されたモツゴの最大体長および総重量はブルーギルの体長と相関し、1 個体のブルーギルは最大で 1 日あたり 5.8 g (ブルーギルの体重の 5.6%) のモツゴを捕食した。

日水誌, 69(5), 733-737 (2003)

第一卵割阻止処理によるサクラマスの四倍体誘起に伴う発生異常

阪尾寿々, 藤本貴史, 田中 稔 (北大院水),

山羽悦郎 (北大フィールド科セ), 荒井克俊 (北大院水)

染色体操作において第一卵割阻止処理胚の生残率は極端に低いことが知られている。本研究では四倍体誘起個体が死亡する原因を細胞学的に解明することを目的とした。通常受精後 10°C の水温条件下で培養し、第一卵割を阻止する目的で受精後 5 時間から 7 時間に、700 kg/cm², 7 分間の圧力処理を施した。処理胚では、初期卵割期に分裂異常、胞胚期に無核細胞、発眼期に異数体およびモザイク個体の出現が認められた。これらの異常胚出現が四倍体誘起胚の生残率を低下させる原因であると考えられた。

日水誌, 69(5), 728-748 (2003)

琵琶湖アユ沖すくい網漁業の漁船規模に階層性を考慮した場合の漁業管理に関する理論的研究

劉 穎, 桜本和美, 北原 武, 鈴木直樹 (東水大)

琵琶湖のアユ沖すくい網漁業を例とし、漁船規模に関し、馬力数の低い方から順に階層 1, 階層 2 および階層 3 の 3 階層が存在する場合の漁業管理問題を理論的に検討し、純利益を非協力動的ゲーム問題の解として求めた。シミュレーションにより上記解の挙動を調べた結果、①初期資源尾数が低いときは階層 1 の純利益が多く、初期資源尾数の増加に伴いより高い階層の純利益が増加する、②推定された 10 年間の初期資源尾数に対する総純利益は階層 2 が最も多い、③階層 3 の漁業者数が増加するにしたがい、全体の純利益は減少する、等がわかった。

日水誌, 69(5), 749-756 (2003)

人工種苗生産ブリ仔稚魚におけるタウリン含量の変化および天然稚魚との比較

松成宏之, 竹内俊郎 (東水大), 村田裕子 (中央水研),

高橋 誠, 石橋矩久 (日裁協),

中田 久, 荒川敏久 (長崎水試)

異なる餌料系列を用いた種苗生産過程におけるブリ仔稚魚お