

魚の移動による資源分布の季節変化を考慮した永年禁漁区の評価： 東シナ海・黄海のマダイ *Pagrus major* と キグチ *Larimichthys polyactis* についての検討

白井靖敏,^{a*} 原田泰志

(2001年12月20日受付, 2002年5月7日受理)

三重大学生物資源学部

An evaluation of marine protected areas considering the seasonal migration of fish:
An examination for red sea bream *Pagrus major* and yellow croaker
Larimichthys polyactis in the East China Sea and the Yellow Sea.

YASUTOSHI SHIRAI^{a*} AND YASUSHI HARADA

Faculty of Bioresources, Mie University, Tsu, Mie 514-8507, Japan

To evaluate the effectiveness of marine protected areas (MPAs), we analyzed an age-structured model. We estimated the possible range of migration parameters based on the seasonal change in CPUE distribution during 1954 and 1956, and we obtained the expected range of YPR and SPR as functions of the size of MPA, fishing mortality coefficient and age at first capture. As a result, we concluded that MPA is effective in reducing the decrease of YPR and SPR in a high fishing mortality regime at low age at first capture. The difference of migration rate of fish influences the effectiveness of MPA containing about half of the stock of both species all year round. Thus, the accurate estimation of migration of fish not based only on information of seasonal change in CPUE distribution is required to design an effective MPA.

キーワード：永年禁漁区, YPR, SPR, 数理モデル

永年禁漁区 (MPAs: marine protected areas) が、資源を保護しながら適切な漁獲の得られる資源管理の一つのオプションとして注目されている。永年禁漁区は、漁場の中の特定区域を半永久的に禁漁にするものであり、従来から広く行われてきた産卵期など特定の時期に産卵場所などを禁漁にする一時的な禁漁区とは異なる。その資源管理効果の特徴として次のことがあげられている。¹⁻⁷⁾ (1)資源量や漁獲量、資源の生物学的パラメータなどの不確実性に対して頑健である。(2)複数の種が混獲されている場合に有効である。たとえば、内的自然増加率の大きい種と小さい種が混獲されている場合でも適切に資源の保護管理ができ、また、混獲によって絶滅が危惧される種の保護にも有効である。(3)若齢魚から漁獲されている場合でも、永年禁漁区内に高齢魚を残すことが

でき産卵親魚を確保することができる。その結果、再生産乱獲の回避に有効である。(4)枯渇の激しい資源を回復させられる可能性がある。(5)生息地を保護し、生物多様性の保全が推進できる。(6)海洋生態系への人間の影響を調べる大規模な実験地を提供することができる。

数理モデルによる永年禁漁区の検討は1957年のBeverton and Holt⁸⁾から始まる。その後、時を経てタイセイヨウマダラ *Gadus morhua* 資源の崩壊⁹⁻¹¹⁾等をきっかけに漁獲量および努力量規制の限界が明らかになると、永年禁漁区による資源管理が改めて注目された。それにしたがって禁漁区に関する研究が増加している。最近までの主な研究についてはGuenetteら¹²⁾が整理している。たとえばPolacheck¹³⁾はBeverton and Holt⁸⁾の資源動態の空間モデルを基礎としてGeorges Bankのタイセ

* Tel : 81-52-852-9549. Fax : 81-52-852-7470. Email : shirai@edp.yecc.gr.jp

^a 現所属：名古屋女子大学家政学部生活環境学科 (Division of Human Environment Science, Faculty of Domestic Science, Nagoya Women's University, Nagoya, Aichi 467-8610, Japan)

イヨウマダラにおける永年禁漁区の有効性を YPR (yield per recruitment) と SPR (spawner per recruitment) の観点から評価している。また, DeMartini¹⁴⁾は生物学的特性の異なる3種の熱帯太平洋の珊瑚礁魚に Polacheck¹³⁾のモデルを適用しており, Lauck ら¹⁵⁾は, 漁獲率や資源量推定の不確実性に対する永年禁漁区の効果について離散時間のロジスティック方程式を用いて検討している。永年禁漁区の最適な大きさに関して, Man ら¹⁶⁾は持続的に利用可能な漁獲を最大にする永年禁漁区の漁場に占める割合を検討しており, Li¹⁷⁾は経済的な観点から市場利益を最大にする永年禁漁区の割合を試算している。また, 2000 年の Bulletin of marine science Vol. 66 には禁漁区に関する最新の研究が特集されており具体的な海域や魚種を想定した永年禁漁区のシミュレーション,¹⁸⁾ 南シナ海における具体的な永年禁漁区設定の詳細な検討,¹⁹⁾ Georges Bank における永年禁漁区の効果,²⁰⁾ 永年禁漁区の設計に関する問題点や課題²¹⁾など永年禁漁区による実効ある資源管理に向けた様々な研究がまとめられている。

こうした研究から, 永年禁漁区による管理効果は禁漁区内外での魚の移動率に大きく左右されることが分かってきた。たとえば, 禁漁区外への魚の移動が大きいと, 再生産に寄与する産卵資源の確保が難しく,¹³⁾ 逆に, ほとんど移動しない魚種では漁業区での漁獲量が減少する¹⁴⁾などの点が指摘されている。しかし, 現状では永年禁漁区を設定するために魚の移動率の正確な情報がなく, それを推定する調査もほとんど行われていない。そのため既存の情報から魚の移動率を推定する方法を考えることが必要である。そのような試みにはブリティッシュコロンビア州の多種漁業管理における永年禁漁区の効果についての Walters ら²²⁾の数値シミュレーションや, タイセイヨウマダラについての Guenette ら²³⁾によるシミュレーション, 生態系食物連鎖や捕食-被食関係をシミュレートする Ecopath に時間的要素や空間的要素を取り入れた Ecosim と Ecospace²⁴⁾を用いた Walters ら²⁵⁾の永年禁漁区適用のシミュレーションがある。Walters ら²²⁾は資源量に比例した移動を仮定し, CPUE (catch per unit effort) 分布から推定した資源分布が再現される移動係数を求めることにより移動率を推定している。また, Guenette ら¹⁸⁾は CPUE 分布をできるだけ忠実に再現するように各季節における移動率をシミュレーションによって決めている。しかし, 一般には資源分布を再現する禁漁区内外の魚の移動率は一意ではない。たとえば, 禁漁区内外に分布する個体の割合が変化しなかった場合, 禁漁区内から外へ移動した個体数と等しい個体数が禁漁区外から内へ移動することによって禁漁区内外で個体が交換する場合や, 個体が全く移動せず交換がない場合があり得る。そのため禁漁区の内と外と

の個体の交換率については, 資源の分布の変化のみからは推定不可能であり, なんらかの仮定が必要となる。そして, この仮定の相違からもたらされる魚の移動率の推定値の違いが永年禁漁区の効果の評価に大きな影響を与えうのか, また与えるとしたらどのような状況でなのかを検討しておくことは重要である。そこで本論文では, これらの問題を東シナ海・黄海の重要種であるマダイとキグチを例に考察・検討する。これら二種について, 禁漁区のもとでの資源動態を記述する年齢構成のあるモデルを構成する。そのパラメータである禁漁区内外の魚の移動率を, 3つの異なる交換率の仮定のもとで CPUE の季節変化から推定し, その推定値を用いて YPR と SPR を試算する。その結果から, 永年禁漁区の効果について交換率の仮定にあまり依存しない結果を抽出するとともに仮定の相違の影響について検討する。二種のうち, マダイは分布域が比較的狭く, CPUE 分布の季節変化が大きい。逆にキグチは分布域が広く, CPUE 分布の季節変化が小さい。これら二種についての結果の比較により魚種の特徴の影響を評価する。また, 東シナ海・黄海は大陸棚が全体の約7割を占め, 600種以上の魚種が生息する重要漁場であるが, 漁業資源の枯渇が問題となっている。また, 漁業実態や資源状態の不確実性が高い海域でもある。²⁶⁻³⁰⁾ そのため, 永年禁漁区の特徴が生かされ, 有効な管理方策となる可能性がある。本研究で得られる永年禁漁区の効果の推定結果は, 当該海域における資源管理方策検討のための基礎的情報となることも期待される。

方 法

漁獲が全く行われない永年禁漁区 x と漁業区 y の2つの領域を考える。1年を4つの季節 ($s=1-4$) に区分して, t 年の季節 s の初めと次の季節 $s+1$ の初めの状態との関係を次の式で表す。

$$\begin{aligned} N_{x,i,s+1}(t) &= a_{i,s} \cdot N_{x,i,s}(t) + b_{i,s} \cdot N_{y,i,s}(t) \\ N_{y,i,s+1}(t) &= c_{i,s} \cdot N_{x,i,s}(t) + d_{i,s} \cdot N_{y,i,s}(t) \end{aligned} \quad (s=1, 2, 3). \quad (1-a)$$

ここで, $N_{x,i,s}(t)$ および $N_{y,i,s}(t)$ は, それぞれ t 年の季節 s における x と y に含まれる i 歳の個体数である。また, t 年の季節4の状態と, $t+1$ 年の季節1の状態との関係を次の式で表す。ただし, 寿命を t_k として $i+1$ は t_k を越えないとする。

$$\begin{aligned} N_{x,i+1,1}(t+1) &= a_{i,4} \cdot N_{x,i,4}(t) + b_{i,4} \cdot N_{y,i,4}(t) \\ N_{y,i+1,1}(t+1) &= c_{i,4} \cdot N_{x,i,4}(t) + d_{i,4} \cdot N_{y,i,4}(t). \end{aligned} \quad (1-b)$$

係数 $a_{i,s}$, $b_{i,s}$, $c_{i,s}$, $d_{i,s}$ は, 季節 s から次の季節の間の x から y への魚の移動率を $T_{yx,s}$, y から x への魚の移動率を $T_{xy,s}$, 自然死亡係数を M , y における i 歳魚の漁獲係数を $F_{y,i}$ とし次の式で表す。

$$\begin{aligned} a_{i,s} &= (1 - T_{yx,s}) \cdot e^{-M/4} \\ b_{i,s} &= T_{xy,s} \cdot e^{-M/4} \cdot e^{-F_{y,i}/4} \\ c_{i,s} &= T_{yx,s} \cdot e^{-M/4} \\ d_{i,s} &= (1 - T_{xy,s}) \cdot e^{-M/4} \cdot e^{-F_{y,i}/4} \end{aligned} \quad (2)$$

永年禁漁区の設定にともない漁場全体にかかっていた漁獲圧が漁業区のみ集中するとする。すなわち漁業区にかかる漁獲係数 $F_{y,i}$ は、漁場全体に占める永年禁漁区の面積割合を p 、永年禁漁区がないときの漁獲係数を F_i として、

$$F_{y,i} = F_i / (1-p)$$

と仮定する。たとえば、漁業区的面積が半分になれば、漁業区にかかる漁獲係数 $F_{y,i}$ は永年禁漁区がないときの2倍になるものとする。

また、漁獲開始年齢を t_c とし、

$$F_i = \begin{cases} F & (i \geq t_c) \\ 0 & (i < t_c) \end{cases}$$

とする。

ある季節 s について

$$A_{i,s} = \begin{pmatrix} a_{i,s} & b_{i,s} \\ c_{i,s} & d_{i,s} \end{pmatrix}$$

としたとき、積 $A_{i,4} A_{i,3} A_{i,2} A_{i,1}$ を計算して得られた行列

$$A_i = \begin{pmatrix} a_i & b_i \\ c_i & d_i \end{pmatrix}$$

の各要素 (a_i, b_i, c_i, d_i) を用いて、 t 年の $s=1$ と $t+1$ 年の $s=1$ における各領域の個体数の関係は次のように表される。

$$\begin{pmatrix} N_{x,1,1}(t+1) \\ N_{x,2,1}(t+1) \\ N_{x,3,1}(t+1) \\ \vdots \\ N_{x,t_0,1}(t+1) \\ N_{y,1,1}(t+1) \\ N_{y,2,1}(t+1) \\ N_{y,3,1}(t+1) \\ \vdots \\ N_{y,t_0,1}(t+1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ a_1 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & b_1 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & a_2 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & b_2 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & a_{t_0-1} & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & b_{t_0-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ c_1 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & d_1 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & c_1 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & d_2 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & c_{t_0-1} & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & d_{t_0-1} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} N_{x,1,1}(t) \\ N_{x,2,1}(t) \\ N_{x,3,1}(t) \\ \vdots \\ N_{x,t_0,1}(t) \\ N_{y,1,1}(t) \\ N_{y,2,1}(t) \\ N_{y,3,1}(t) \\ \vdots \\ N_{y,t_0,1}(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} R_x \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ R_y \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}$$

x と y への加入は一定値 R_x, R_y ($R_x + R_y = 1$) であるとする。 $s=1$ における安定年齢構成 $(N_{x,1,1}^*, \dots, N_{x,t_0,1}^*, N_{y,1,1}^*, \dots, N_{y,t_0,1}^*)$ は、 I を単位行列として以下の式で表される。³¹⁾

$$\begin{pmatrix} N_{x,1,1}^* \\ N_{x,2,1}^* \\ N_{x,3,1}^* \\ \vdots \\ N_{x,t_0,1}^* \\ N_{y,1,1}^* \\ N_{y,2,1}^* \\ N_{y,3,1}^* \\ \vdots \\ N_{y,t_0,1}^* \end{pmatrix} = (I - A)^{-1} \begin{pmatrix} R_x \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ R_y \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$s=2, 3, 4$ における年齢構成 $N_{x,i,s}^*$ および $N_{y,i,s}^*$ は、式(3)で求めた $N_{x,i,1}^*$ および $N_{y,i,1}^*$ に式(1-a)を適用することによって求められる。 W_i を i 歳の個体重量として、YPR は、

$$\text{YPR} = \sum_{s=1}^4 \sum_{i=1}^{t_0} \frac{F_{y,i}}{F_{y,i} + M} W_i N_{y,i,s}^* (1 - e^{-(F_{y,i} + M)/4}) \quad (4)$$

となる。

また、再生産は $s=1$ になされとし、SPR は

$$\text{SPR} = \sum_{i=t_m}^{t_0} W_i N_{x,i,1}^* + \sum_{i=t_m}^{t_0} W_i N_{y,i,1}^* \quad (5)$$

と表わす。ここで、 t_m は成熟年齢である。

YPR および SPR は、漁獲開始年齢 (t_c) が1歳の場合と、永年禁漁区と網目制限による管理の併用を考慮した漁獲開始年齢が3歳の場合について、以下のパラメータを用いて計算する。

マダイ、キグチとも加入年齢 (t_i) を1歳、成熟年齢 (t_m) を3歳、寿命 (t_0) を8歳、自然死亡係数 (M) をマダイ $0.28/\text{year}^{33)}$ と、キグチ $0.2/\text{year}^{34)}$ とする。

マダイの成長式 (単位 g) は

$$W_i = 6640(1 - e^{-0.090(i+1.30)})^{2.814},$$

キグチの成長式 (単位 g) は

$$W_i = 366(1 - e^{-0.435(i+0.251)})^{3.28}$$

を用いる。^{33,34)}

各月の CPUE データをもとに資源分布の季節変化を推定するため、季節区分の起点をマダイおよびキグチの産卵期 (4月から5月) として1年を4分割する。すなわち、4-6月を $s=1$ 、7-9月を $s=2$ 、10-12月を $s=3$ 、

1-3月を $s=4$ とする。次に、漁業の影響のない処女資源分布を得ることは難しいため、豊漁だった1954-1956年における3年間の1網平均漁獲量³⁵⁾が処女資源の分布密度に比例すると仮定する。Fig. 1に黒枠で示す漁場³⁵⁾を経緯度30分方形区画に分けた全245区画について、各季節の資源分布割合を、3年間で平均した月毎の1網平均漁獲量3ヶ月間の合計から算定する (Fig. 1)。マダイ資源については、東シナ海・黄海の主体は渤海付近に発生、生育場をもち成長すると東シナ海全域に分布を広げるという説³⁶⁾と、渤海一帯の群と津島海峡から台湾にかけての大陸棚周辺部の群とは別系統であるという説³⁵⁾がある。各季節の資源分布割合の計算では後者の説を採用して津島海峡から台湾にかけての群を除外する。

永年禁漁区は、資源分布が季節によって変化してもその一部が必ず含まれるようにチンタオ南西 (北緯34.5度, 東経122.5度) の位置に設定し、永年禁漁区の大きさはIからVの5段階を想定する。このときの漁場全体に占める永年禁漁区の面積割合をFig. 2に、そこに含まれるマダイおよびキグチの季節 s における個体数割合の推定値 q_s をTable 1に示す。

加入は $s=1$ における永年禁漁区 x および漁業区 y に含まれる個体数割合に比例するとし、それぞれ

$$R_x = q_1, \quad R_y = 1 - q_1$$

とする。

次に、資源分布の季節変化にともなう禁漁区内外の分布割合が再現できるような移動率 $T_{yx,s}$, $T_{xy,s}$ を決定する。禁漁区内外での個体の交換率が最小の場合 (シナリ

オA) と、大きい場合 (シナリオB), そして最大の場合 (シナリオC) の3つについて以下のように移動率を求める。

シナリオ A

季節 s から次の季節 s' (s' は $s=1, 2, 3$ のとき $s'=s+1$, $s=4$ のとき $s'=1$) になるとき、次の季節の禁漁区に含まれる個体数割合 $q_{s'}$ が前の季節の禁漁区に含まれる個体数割合 q_s より小さい場合、禁漁区からはみ出した個体のみが漁業区へ移動し、漁業区から禁漁区への移動はないとする。逆に、 $q_{s'}$ が q_s より大きい場合には漁業区からはみ出した個体のみが禁漁区へ移動し、禁漁区から漁業区への移動はないとする。すなわち、

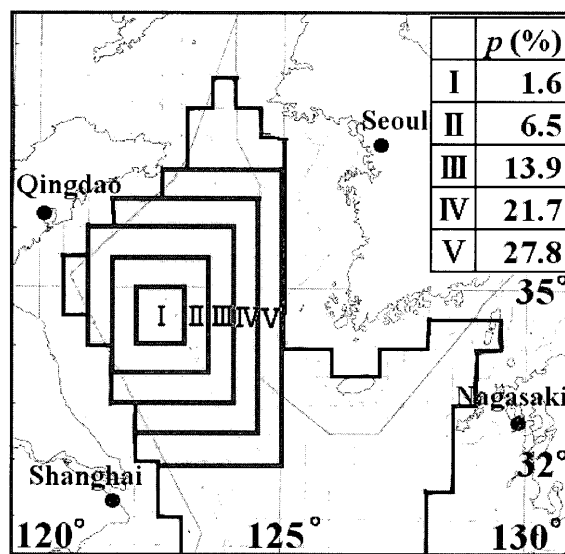


Fig. 2. Location and size of the MPA considered. p is the size of MPA relative to the whole fishing ground.

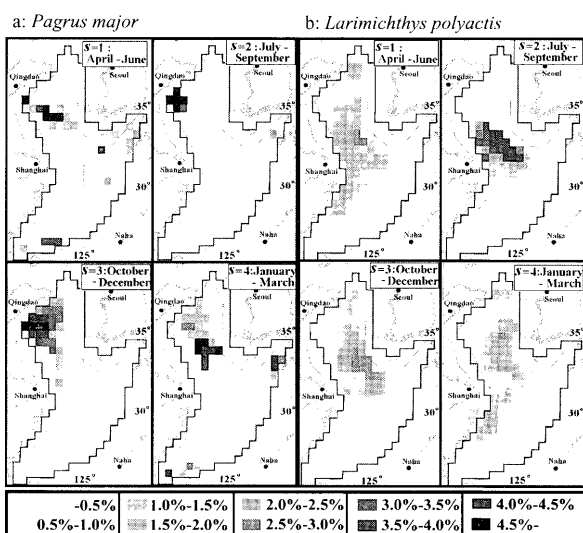


Fig. 1. Seasonal changes in the distributions of red sea bream, *Pagrus major*, **a**, and yellow croaker, *Larimichthys polyactis*, **b**, estimated by CPUE between 1954 and 1956.

Table 1. Ratios of red sea bream, *Pagrus major*, and yellow croaker, *Larimichthys polyactis*, in MPA in each season as a function of the location and the size of MPA

| Size of MPA | April-June q_1 | July-September q_2 | October-December q_3 | January-March q_4 | Average |
|-------------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|---------|
| <i>Pagrus major</i> | | | | | |
| I | 0.39 | 0.00 | 0.11 | 0.26 | 0.19 |
| II | 0.59 | 0.20 | 0.42 | 0.64 | 0.46 |
| III | 0.63 | 0.66 | 0.72 | 0.83 | 0.71 |
| IV | 0.92 | 0.95 | 0.90 | 0.98 | 0.94 |
| V | 0.92 | 0.95 | 0.94 | 1.00 | 0.95 |
| <i>Larimichthys polyactis</i> | | | | | |
| I | 0.04 | 0.00 | 0.02 | 0.03 | 0.02 |
| II | 0.11 | 0.08 | 0.14 | 0.13 | 0.11 |
| III | 0.27 | 0.22 | 0.32 | 0.28 | 0.27 |
| IV | 0.41 | 0.41 | 0.52 | 0.47 | 0.45 |
| V | 0.51 | 0.59 | 0.65 | 0.57 | 0.58 |

$$q_s \geq q_{s'} \text{ のとき } T_{yx,s} = \frac{q_s - q_{s'}}{q_s}, \quad T_{xy,s} = 0$$

$$q_s < q_{s'} \text{ のとき } T_{yx,s} = 0, \quad T_{xy,s} = \frac{q_{s'} - q_s}{1 - q_s} \quad (6)$$

とする。したがって、季節によって q_s に変化がなければ禁漁区内外の個体の移動は起こらないと想定している。

シナリオ B

季節 s から次の季節 s' になるとき、 s' の資源分布に応じて再分配されるとする。

$$T_{yx,s} = 1 - q_{s'}, \quad T_{xy,s} = q_{s'} \quad (7)$$

したがって、季節によって q_s に変化がなくても個体の移動が起こっていると想定している。

シナリオ C

魚の移動が最大となる場合である。次の季節 s' に漁業区に含まれる個体数割合 $1 - q_{s'}$ が前の季節 s に禁漁区に含まれる個体数割合 q_s より小さい場合には、漁業区にいた個体は全て禁漁区へ移動し、禁漁区にいた個体の一部が禁漁区にとどまる。逆に、 $1 - q_{s'}$ が q_s より大きい場合には、禁漁区にいた個体は全て漁業区へ移動し、漁業区にいた個体の一部が漁業区にとどまる。

$$q_s \geq 1 - q_{s'} \text{ のとき } T_{yx,s} = \frac{1 - q_{s'}}{q_s}, \quad T_{xy,s} = 1$$

$$q_s < 1 - q_{s'} \text{ のとき } T_{yx,s} = 1, \quad T_{xy,s} = \frac{q_{s'}}{1 - q_s} \quad (8)$$

季節回遊などで永年禁漁区を通過する場合を想定している。

マダイおよびキグチについて、シナリオ A, B, C から計算される季節毎の移動率 $T_{yx,s}$, $T_{xy,s}$ を Fig. 3 に示す。

結 果

永年禁漁区を設定したときの漁獲係数 F に対する YPR および %SPR の関係をそれぞれ Fig. 4 (マダイ) と Fig. 5 (キグチ) に示す。

漁獲開始年齢を 1 歳としたとき、シナリオ A, B, C いずれの場合でも、両魚種とも F が小さい間は F が大きくなるにしたがって YPR は増加し、最大の YPR に達したのち減少する。永年禁漁区が大きくなるにつれて YPR を最大にする F 値は増加するとともに、高漁獲係数時の YPR の減少が抑えられる (Fig. 4a, b, c, Fig. 5a, b, c)。これは Beverton and Holt⁸⁾ と同様の結果である。また、永年禁漁区がないとき、SPR は F の増加にともなって急速に減少するが、永年禁漁区を設定するとその減少は抑えられる。永年禁漁区が大きいくほど、高漁獲係数時の SPR の減少は抑えられ、高い漁獲圧であっても再生産に寄与する産卵親魚をより多く残すことができる (Fig. 4d, e, f, Fig. 5d, e, f)。一方、漁獲開始年齢を 3 歳とした場合を考えると、漁獲開始年齢が 1 歳のときと比べて、両魚種とも YPR は全体として増加する。し

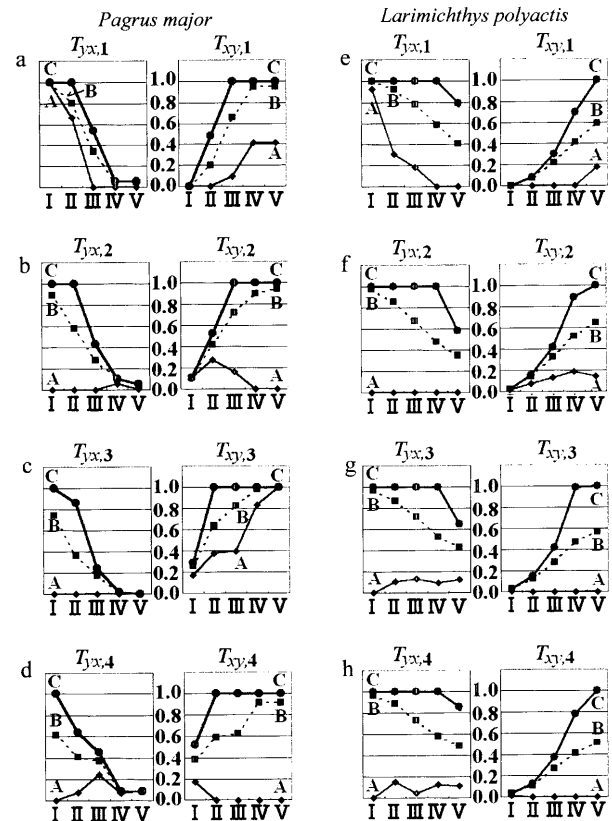


Fig. 3. Estimated migration rates of fish in scenarios A, B and C as a function of the size of MPA. a, b, c and d: for red sea bream. a: migration rate between $s=1$ and 2. b: migration rate between $s=2$ and 3. c: migration rate between $s=3$ and 4. d: migration rate between $s=4$ and $s=1$ of the next year. e, f, g and h: for yellow croaker. e: migration rate between $s=1$ and 2. f: migration rate between $s=2$ and 3. g: migration rate between $s=3$ and 4. h: migration rate between $s=4$ and $s=1$ of the next year.

かし、永年禁漁区を設けると、設けないときに比べて YPR は減少し、永年禁漁区が大きくなるにしたがってさらに減少する (Fig. 4g, h, i, Fig. 5g, h, i)。SPR は漁獲開始年齢が 1 歳のときと比べて高漁獲係数時の減少が小さく、永年禁漁区がなくても約 15% SPR が確保できる (Fig. 4j, k, l, Fig. 5j, k, l)。このことから、網目制限によって漁獲開始年齢の引き上げが可能であれば永年禁漁区による管理効果は小さいことがわかる。

次に交換率の仮定の相違による差を、シナリオ A とシナリオ B, C との比較によって詳しく見る。YPR と SPR のそれぞれについて、シナリオ A のもとの値と B, C のもとの値の比 (YPR_A/YPR_B , YPR_A/YPR_C , SPR_A/SPR_B , SPR_A/SPR_C) を示したのが Fig. 6 (マダイ) および Fig. 7 (キグチ) である。

漁獲開始年齢が 1 歳のとき、YPR についてはマダイとキグチともに永年禁漁区が大きさが III, IV, V の場合

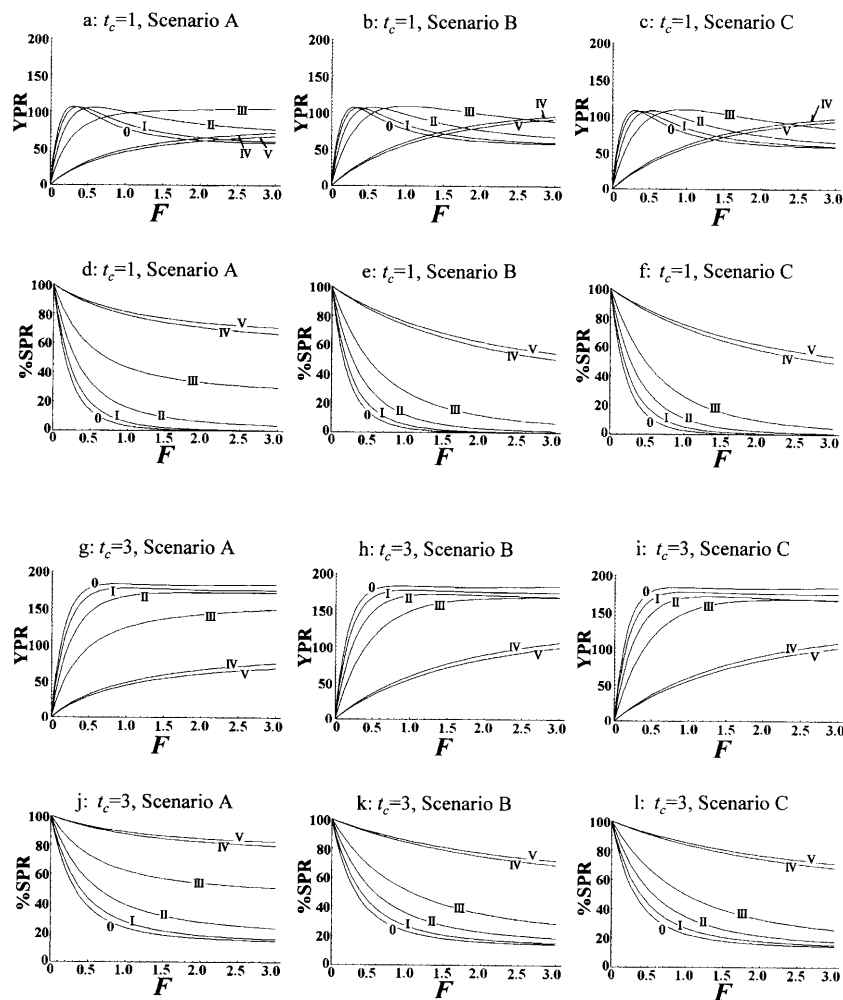


Fig. 4. YPR (yield (gr.) per recruitment) and %SPR (%spawner biomass per recruitment) of red sea bream as a function of the fishing mortality coefficient, F . The numbers correspond to the location and the size of MPA in Fig. 2. 0 represents no MPA. **a, b, c, d, e** and **f**: when $t_c = 1$. **a, b** and **c**: YPR for scenarios A, B and C, respectively. **d, e** and **f**: %SPR for scenarios A, B and C, respectively. **g, h, i, j, k** and **l**: when $t_c = 3$. **g, h** and **i**: YPR for scenarios A, B and C, respectively. **j, k** and **l**: %SPR for scenarios A, B and C, respectively.

に、SPR についてはマダイではⅡ、Ⅲの場合に、キグチではⅡ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴの場合に、シナリオ A と B、C の値の比が大きい (Fig. 6, Fig. 7)。キグチはⅡ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴでマダイより比が大きく、特に SPR で大きい (Fig. 6c, d, Fig. 7c, d)。

永年禁漁区が小さいうち (マダイ、キグチともⅠの場合) はシナリオ A と B、C の値の比が小さい。これは永年禁漁区による管理効果そのものが小さいことが原因であると考えられる。逆に、永年禁漁区が非常に大きい場合 (マダイのⅣ、Ⅴの場合) にも比が SPR で小さいことは、シナリオ A、B、C の設定のもとでも禁漁区内から外への移動率が小さくなることが原因ではないかと考えられる。たとえば、ある季節とその次の季節で同じ割合の個体が永年禁漁区に入っている場合を想定すると、その割合が 50% の場合には、禁漁区内から外への移動率

はシナリオ A のもとでは 0 であるのに対し、B では 50%、C では 100% となり大差があるが、永年禁漁区に入っている割合が 90% の場合を想定すると、シナリオ A では 0、B で 10%、C で 11% となり、禁漁区内にとどまる個体の割合の差は小さくなる。漁獲開始年齢が 3 歳のときには、いずれの魚種でも YPR、SPR すべての場合でシナリオ A と B、C の値の比が漁獲開始年齢 1 歳の場合より小さい (Fig. 6e, f, g, h, Fig. 7e, f, g, h)。これは、そもそも漁獲開始年齢を 3 歳にしたことによる効果が大いことが原因だと考えられる。

魚種別にみた場合、マダイではⅠやⅡのように永年禁漁区が小さいと、禁漁区内部に含まれる個体の割合が少ない季節があり (Table 1)、シナリオ A、B、C のいずれの場合でも高漁獲係数時の YPR と SPR の減少抑制効果は小さい (Fig. 4a, b, c, d, e, f)。永年禁漁区をⅢの大

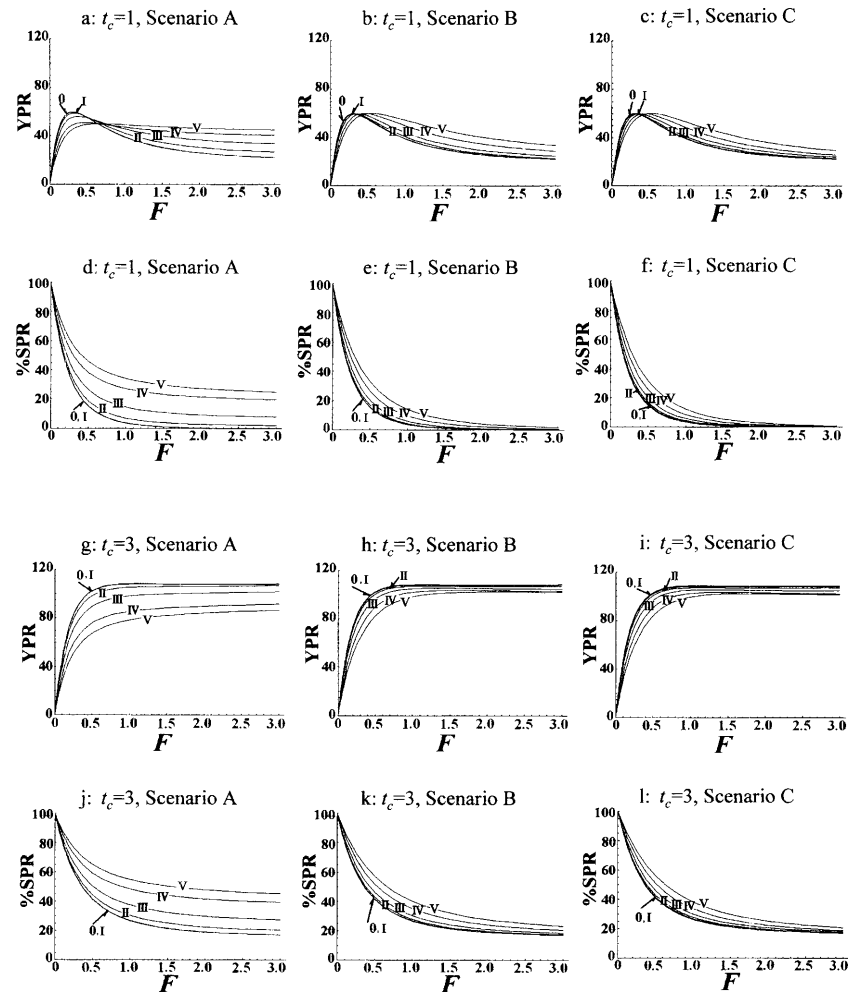


Fig. 5. YPR and %SPR of yellow croaker as a function of the fishing mortality coefficient, F . The numbers correspond to the location and the size of MPA in Fig. 2. 0 represents no MPA. a, b, c, d, e and f: when $t_c = 1$. a, b and c: YPR for scenarios A, B and C, respectively. d, e and f: %SPR for scenarios A, B and C, respectively. g, h, i, j, k and l: when $t_c = 3$. g, h and i: YPR for scenarios A, B and C, respectively. j, k and l: %SPR for scenarios A, B and C, respectively.

きさにすると、年平均70%以上の個体が禁漁区内部に含まれ、高漁獲係数時のYPRとSPRの減少抑制効果は大きくなる。シナリオAの場合はこの効果がさらに大きく、東シナ海・黄海における1958–1968年当時の推定値 $F > 3^{33)}$ の高い漁獲係数に対しても、大きい永年禁漁区を設定すればYPRとSPRの減少が抑えられ有効であったと思われる。さらに30%SPRを上まわる(Fig. 4d)。資源の90%以上が含まれるIV、Vの大きさではSPRが非常に大きい。しかし、シナリオAの場合のYPRは小さい(Fig. 4a)。

キグチはマダイより広く分布し、7月から9月にチンタオ南西部に集まる傾向はあるが、分布の季節変化はマダイより小さい(Fig. 1, Table 1)。キグチもマダイと同じように、永年禁漁区が大きくなるにしたがって高漁獲係数時のYPRとSPRの減少抑制効果が大きくなる。シナリオAの場合は、さらにこの効果は大きい

(Fig. 5a, b, c, d, e, f)。しかし、シナリオB, Cの場合、永年禁漁区をVの大きさにしても高漁獲係数時のYPRとSPRの減少抑制効果はマダイのIIIの場合より小さい(Fig. 4e, f, Fig. 5e, f)。これは、キグチがマダイに比べ広域に分布するので永年禁漁区に含まれる個体の割合がVでも年平均58%程度にすぎないためであると考えられる(Table 1)。シナリオA, B, Cのいずれの場合でもSPRの減少抑制効果がマダイより小さいため、マダイと同じ大きさの永年禁漁区では不十分であり、さらに広大な永年禁漁区を設定しないと十分な産卵親魚が確保できない。

考 察

資源分布の季節変化を考慮したシミュレーション結果から、シナリオA, B, Cいずれの場合でも、永年禁漁区は若齢から高い漁獲係数で漁獲されている状況において

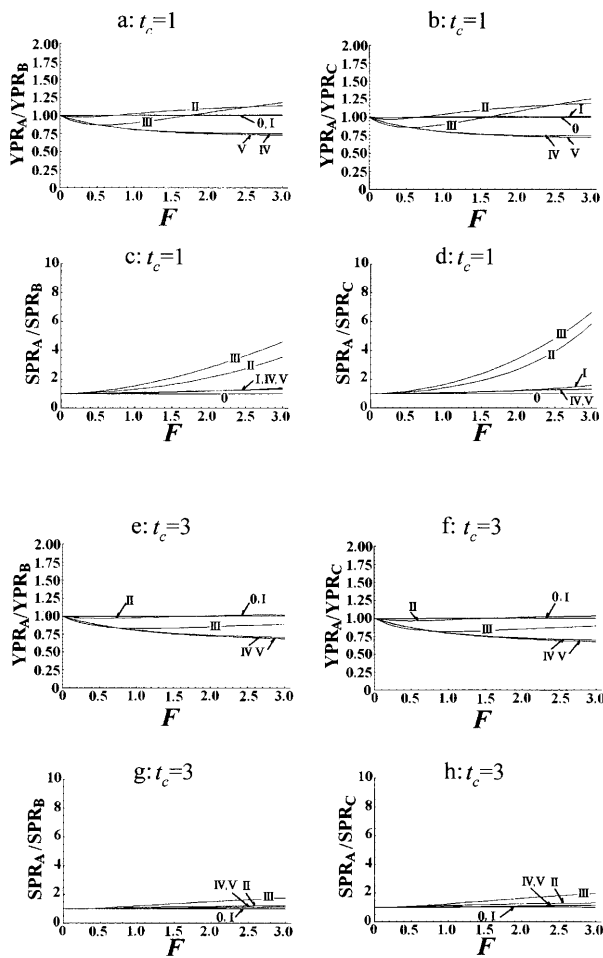


Fig. 6. YPR_A/YPR_B , YPR_A/YPR_C , SPR_A/SPR_B and SPR_A/SPR_C for red sea bream as a function of the fishing mortality coefficient, F . The numbers correspond to the location and the size of MPA in Fig. 2. 0 represents no MPA. **a, b, c** and **d**: when $t_c = 1$. **e, f, g** and **h**: when $t_c = 3$.

YPR および SPR の減少を抑制する効果が大いことが示された。交換率の仮定の相違についての検討からは、永年禁漁区が小さかったり、他の管理方策の効果がすでに高いために永年禁漁区による効果が小さい場合や、非常に大きな永年禁漁区が設定された場合を除くと、仮定の違いの影響が大いことが示された。永年禁漁区が大きくなればなるほど、禁漁区設定の困難さは増し、その管理コストも大きくなるであろうことを考えると、できるだけ小さく、しかし有効な永年禁漁区を設定することが現実的であるが、そのためには、禁漁区内外での個体の交換率について、精度の高い情報を必要とすることが示唆された。

魚の移動率推定のために現在利用可能な情報は CPUE 分布の季節変化のみであるが、理想的には設計する永年禁漁区の位置や大きさに応じた正確な魚の移動

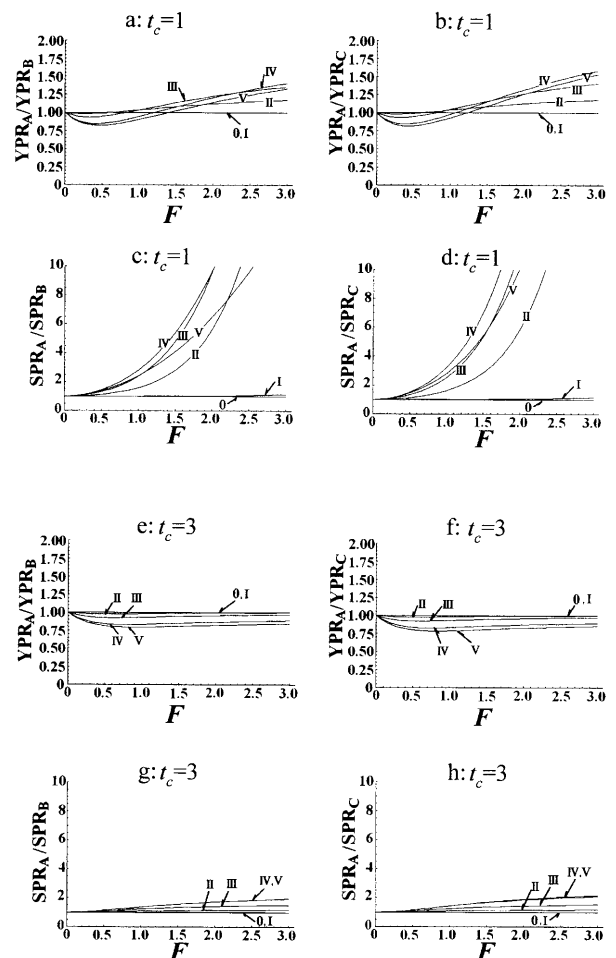


Fig. 7. YPR_A/YPR_B , YPR_A/YPR_C , SPR_A/SPR_B and SPR_A/SPR_C for yellow croaker as a function of the fishing mortality coefficient, F . The numbers correspond to the location and the size of MPA in Fig. 2. 0 represents no MPA. **a, b, c** and **d**: when $t_c = 1$. **e, f, g** and **h**: when $t_c = 3$.

データの収集が必要である。たとえば、標識再捕法を用いた調査が考えられるが、そのためのコストも莫大なものになることが予想されるため、本論文で利用した CPUE データのような既存の情報を有効に活用したうえで、それを補強し正確な移動率の推定方法を研究することが重要であろう。

一方、他の管理手段を補足する意味で補助的に小規模な永年禁漁区を設定する場合には、禁漁区内に必ず資源の一部が含まれるように設計することが望ましい。そのためには資源分布の季節変化に関する正確な情報を得ることができれば効果が大いと考えられる。また、産卵場や幼魚が集中する海域、source となっている海域^{37,38)}が含まれるように永年禁漁区を設計するとさらに効果が大いと予想されるので、これらに関する情報が得られればさらによいと考えられる。

魚種別にみると、マダイで永年禁漁区の管理効果を大きくするには、年平均して資源の半分以上が含まれるほどの大きい禁漁区(Ⅲ以上)を設定する必要がある。キグチではマダイより、さらに大きい永年禁漁区が必要であり、シナリオ B, C の場合には本論文で設定した最大の禁漁区でも十分ではない。このことから東シナ海・黄海のように多魚種が混獲されている状況では、魚種毎に永年禁漁区の最適な位置や大きさが異なり、すべての魚種に共通に効果をもつ永年禁漁区を設定することが困難であることが示唆される。網目制限によって漁獲開始年齢を3歳に引き上げることができるならば、マダイやキグチの場合、永年禁漁区を設定しなくても約15%のSPRが保持でき、YPRも増加する。そのため、操業違反対策などのコスト面を考えると網目制限は永年禁漁区より望ましい可能性がある。しかし、魚種間での形態や成長率、自然死亡係数などの違いのせいで、すべての魚種に共通する最適な網目が設定できない³⁹⁾などの弱点があることには注意する必要がある。また、永年禁漁区を設定しないときの漁獲係数 F に対するYPRおよび%SPRの関係から、単純に漁獲努力量を削減することによってもYPRとSPRの増加が期待できることがわかる(Fig. 4, 5)。しかし、内的増加率の違う魚種が混獲されている状況では漁獲努力量を削減する効果は魚種毎に異なり、内的増加率の高い魚種に対する最適な漁獲努力量は内的増加率の低い魚種に対しては高すぎ、この逆も言える。また、漁獲量削減においては減船等が必要になるが、これは永年禁漁区による管理では必要ないものであり、このことが永年禁漁区の一つのメリットとなる可能性がある。永年禁漁区と努力量の削減、網目制限の得失についてはさらに詳しい比較検討が必要であると考える。

網目制限や単純な漁獲努力量の削減にそれぞれ弱点があるように、永年禁漁区による管理にも弱点があるが、高い生物多様性を誇る東シナ海・黄海では、海洋生態系の保全等の観点から永年禁漁区に利点があると考えられる。永年禁漁区だけによる管理は難しいとしても、たとえば、TAC設定等による量的管理と永年禁漁区の併用が考えられるかも知れない。TACによる資源管理の成否は資源量推定の精度に大きく左右され精度が低いと資源崩壊の危機につながる。⁴⁰⁾ 一方、永年禁漁区は資源量や漁獲量の不確実性には強いと考えられる¹⁵⁾ので、TACによる管理の欠点を補うものとしての意義が期待されるが、この点についてさらに検討される余地がある。

謝 辞

本研究について、資料の提供および細かなアドバイスをいただいた独立行政法人水産総合研究センター中央水産研究所の時村宗春博士に深く感謝する。

参考文献

- 1) Johannes RE. The case of data-less marine resource management: examples from tropical nearshore finfisheries. *Trends Ecol. Eval.* 1998; **13**: 243-246.
- 2) Roberts CM. Ecological advice for the global fisheries crisis. *Trends Ecol. Eval.* 1997; **12**: 35-38.
- 3) Agardy TS. *Marine protected areas and ocean conservation*. Academic Press and R.G. Landes Company, Texas. 1997; 79-96.
- 4) Clark CW. Marine reserves and the precautionary management of fisheries. *Ecol. Appl.* 1996; **6**: 369-370.
- 5) Novaczek I. Possible roles for marine protected areas in establishing sustainable fisheries in Canada. Marine protected areas and sustainable fisheries, Centre for Wildlife and Conservation Biology, Acadia University, Wolfville, Nova Scotia, 1995; 31-36.
- 6) Bohnsack JA. Marine reserves, zoning, and the future of fishery management. *Fish.* 1996; **21**: 14-16.
- 7) Bohnsack JA. The potential of marine fishery reserves for reef fish management in the US southern Atlantic. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFC-261, 1990; 40.
- 8) Beverton RJH, Holt SJ. *On the dynamics of exploited fish populations*. Fish and Fisheries series 11, Chapman and Hall (Facsimile reprint 1993), London. 1957; 136-148, 365-368.
- 9) Preikshot D. Fisheries center marine reserves workshop. Fish Bytes, Fisheries Center of The University of British Columbia, 1997; **6**: 3-5.
- 10) Hutchings JA, Myers RA. What can be learned from the collapse of a renewable resource? Atlantic cod, *Gadus morhua*, of Newfoundland and Labrador. *Can. J. Fish. Aquar. Sci.* 1993; **50**: 2029-2042.
- 11) Walters C, Maguire J. Lessons for stock assessment from the northern cod collapse. *Rev. Fish Biol. Fish.* 1996; **6**: 125-137.
- 12) Guenette S, Lauck T, Clark C. Marine reserves: from Beverton and Holt to the present. *Rev. Fish. Biol. Fish.* 1998; **8**: 251-272.
- 13) Polacheck T. Year around closed areas as a management tool. *Nat. Resour. Model.* 1990; **4**: 327-354.
- 14) DeMartini EE. Modeling the potential of fishery reserves for managing Pacific coral reef fishes. *Fish. Bull.* 1993; **91**: 414-427.
- 15) Lauck T, Clark CW, Mangel M, Munro GR. Implementing the precautionary principle in fisheries management through marine reserves. *Ecol. Appl.* 1998; **8** Supplement: 72-78.
- 16) Man A, Law R, Polunin NVC. Role of marine reserves in recruitment to reef fisheries: a metapopulation model. *Biol. Conserv.* 1995; **71**: 197-204.
- 17) Li EAL. Optimum harvesting with marine reserves. *N. Am. J. Fish. Manag.* 2000; **20**: 882-896.
- 18) Guenette S, Pitcher TJ, Walters CJ. The potential of marine reserves for the management of northern cod in Newfoundland. *Bull. Mar. Sci.* 2000; **66**: 831-852.
- 19) Pitcher TJ, Watson R, Haggan N, Guenette S, Kennish R, Sumaila R, Cook D, Wilson K, Leung A. Marine reserves and the restoration of fisheries and marine ecosystems in the South China Sea. *Bull. Mar. Sci.* 2000; **66**: 534-566.
- 20) Murawski SA, Brown R, Lai HL, Rago PJ, Hendrickson L. Large-scale closed areas as a fishery-management tool in temperate marine systems: The Georges Bank ex-

- perience. *Bull. Mar. Sci.* 2000; **66**: 775-798.
- 21) David OC, Travis J, Coleman FC. Essential fish habitat and marine reserves: An introduction to the second mote symposium in fisheries ecology. *Bull. Mar. Sci.* 2000; **66**: 527-534.
 - 22) Walters CJ, Bonfil R. Multispecies spatial assessment models for the British Columbia groundfish trawl fishery. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1999; **56**: 601-628.
 - 23) Guenette S, Pitcher TJ. An age-structured model showing the benefits of marine reserves in controlling overexploitation. *Fish. Res.* 1999; **39**: 295-303.
 - 24) Pauly D, Christensen V, Walters C. Ecopath, ecosim, and ecospace as tools for evaluating ecosystem impact of fisheries. *Jour. Mar. Sci.* 2000; **57**: 679-706.
 - 25) Walters CJ. Impacts of dispersal, ecological interactions, and fishing effort dynamics on efficacy of marine protected areas: how large should protected areas be? *Bull. Mar. Sci.* 2000; **66**: 745-757.
 - 26) 村田 守. 東シナ海の漁業と資源利用の今昔, そしてこれから. 西海水研ニュース 1998; **94**: 2.
 - 27) 村田 守. 東シナ海漁業管理部. 西海水研ニュース 1998; **95**: 5.
 - 28) 時村宗春. 東シナ海・黄海における日本の漁業. 月刊海洋 1999; **31**: 637-644.
 - 29) 姜 龍柱. 東シナ海・黄海における韓国の漁業. 月刊海洋 1999; **31**: 645-652.
 - 30) 梁 振林. 中国の漁業と資源管理の現状. 月刊海洋 1999; **31**: 653-658.
 - 31) 寺本 英. 「数理生態学」朝倉書店, 東京. 1997; 62-71.
 - 32) Doi T. A rapid method to estimate the optimum coefficient of fishing mortality of *Chrysophrys Major* in the East China sea and the Yellow Sea. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1973; **39**: 1-5.
 - 33) 能勢幸夫, 石井丈夫, 清水 誠. 「水産資源学」東京大学出版会, 東京. 1988; 92-112.
 - 34) 池田郁夫. 東海・黄海におけるキグチの漁業生物学的研究. 西海水研報 1964; **31**: 1-81.
 - 35) 木部崎修. 東海・黄海漁場の底魚資源構造とその管理のための基礎的研究. 東海・黄海における底魚資源の研究 (5). 西海水研業績 1960; **125**: 26-34.
 - 36) 大滝英夫. 「新水産学全集 10 底魚資源」(青山恒雄編) 恒星社厚生閣, 東京. 1980; 126-165.
 - 37) Warner RR, Swearer SE, Caselle JE. Larval accumulation and retention: implications for the design of marine reserves and essential fish habitat. *Bull. Mar. Sci.* 2000; **66**: 821-830.
 - 38) Crowder LB, Lyman SJ, Figueira WF, Priddy J. Source-sink population dynamics and the problem of siting marine reserves. *Bull. Mar. Sci.* 2000; **66**: 799-820.
 - 39) 梁 振林, 堀川博史, 時村宗春, 東海 正. 底曳網の網目選択性に及ぼす魚体横断面形状の影響. 日水誌 1999; **65**: 441-447.
 - 40) 原田泰志. 資源崩壊からの教訓. 月刊海洋 1997; **29**: 300-303.