The Japanese Society of Fisheries Science

Nippon Suisan Gakkaishi 68(6), 825–834 (2002)

加入量当たり産卵資源量解析による徳島県伊島周辺のマダイ資源管理

渡辺健一,[1]* 保正竜哉[2]

(2002年1月18日受付, 2002年5月15日受理)

[1]徳島県立農林水産総合技術センター水産研究所, [2]日本エヌ・ユー・エス株式会社

Fisheries management by spawning per recruit analysis for *Pagrus major* around the coastal waters of Ishima Island, Tokushima Prefecture

KEN-ICHI WATANABE[1]* AND TATSUYA HOSHO[2]

[1]*Fisheries Research Institute, Tokushima Agriculture, Forestry and Fisheries Technology Center, Hiwasa, Tokushima 779-2304,* [2]*Japan NUS Co., LTD., Minato, Tokyo 108-0022, Japan*

Fisheries management of Pagrus major around Ishima Island on the Pacific coast of Tokushima Prefecture was examined based on spawning per recruit (SPR) analysis. %SPR of the present stock is 11.97% and the lower limit status for a sustainable yield is 20%. A SPR of 20% can be attained by reducing mainly the fishing coefficient by 20% on small trawls which raise the fishing pressure around Ishima Island and by more than 60%on fish younger than one year old by fixing the minimum size limit to a total length of 14 cm. The ideal status (%SPR=30%) can be attained by reducing the fishing coefficient by 20% on small trawls and by 60% on fish younger than one year old, and 40% on one year old fish by fixing the minimum size limit to a fork length of 20 cm. The fish younger than one year old are caught by small trawl fishery, and one year old fish by pole line and set net fishery. Stock management can be attained by reducing the fishing coefficient of small trawls and releasing the fish caught under the minimum size limit.

キーワード：マダイ，資源管理，SPR解析，漁獲係数削減，体長制限，再放流

マダイ *Pagrus major* は全国的な重要魚種で，経済的価値は高く，各地でその資源の維持と増産のために種苗放流と資源管理型漁業が進められている。瀬戸内海東部海域の和歌山県，大阪府，兵庫県，徳島県，香川県および岡山県でも，1993年度から種苗放流と組み合わせた資源管理型漁業の方策として和歌山，兵庫および徳島3県による人工種苗120万尾の放流と同時に，小型魚の保護のために小型底曳網と小型定置網漁業で漁獲された小型0歳魚（全長130–150 mm，県により対象サイズは異なる）の再放流が漁業者により自主的に実施されている。

徳島県沿岸のマダイの主漁場は鳴門海峡周辺海域と紀伊水道南部の伊島周辺海域である。このうち鳴門海峡周辺のマダイは，沼島周辺を越冬場とする内海東部系群と考えられている。外海に面した伊島周辺のマダイも主に0歳魚を通じて内海系群との交流を行ない，東部系群に含まれると考えられている。しかし，内海のマダイと外海のマダイについては，梶山[1]が漁況や生態的知見から従来あった外海から内海への入り込み説を否定して内海内部のマダイ資源と紀伊水道南部およびこれに接する外海域の資源とは分離して取り扱うことが適当と主張し，阪本ら[2]も紀伊水道の内海と外海の漁況と魚体組成からこの説を支持している。伊島は紀伊水道南端に位置し，徳島県沿岸の漁況からみて，伊島周辺のマダイが，徳島県外海域の回遊群と繋がる可能性が考えられること，[3]対岸の紀伊水道南部和歌山県側のマダイとの交流も少ないこと[4]などから伊島周辺のマダイについては独自の資源の実態把握と資源管理を考慮して良いものと思われる。また，最近鳴門海峡周辺が好漁であるのに対して，この海域のマダイへの漁獲圧が近年非常に強くなり，漁獲量も減少傾向を見せていることからも資源管理の必要性は増していると考えられる。瀬戸内海のマダイの資源

* Tel : 81-0884-77-1251. Fax : 81-0884-77-2744. Email : watanabe_kenichi_1@pref.tokushima.jp

NII-Electronic Library Service

The Japanese Society of Fisheries Science

解析は，コホート解析や土井の迅速解析手法を用いて行われているが，[5-9] マダイの場合，再生産関係は明確ではない。一方，最近種々の魚介類で試みられている加入量当たり産卵資源量解析（SPR 解析）は，再生産関係が分かっていない魚種に対して再生産関係が判明している多くの魚種の MSY 解析から得られた知見，%SPR を 20 以上に保てば資源は崩壊しないという知見，を利用するもので，ここでは，この方法を用いて徳島県伊島周辺のマダイ資源の現状と今後の資源管理について検討した。

材料および方法

供試魚と資源特性値　標本は，紀伊水道徳島県沿岸の伊島周辺海域（Fig. 1）で，1994 年 4 月から 1998 年 3 月までに椿泊漁協の主として小型定置網漁業により漁獲された 2,079 個体を使用した。標本採集は，周年月 3 回（3 旬）を目標に実施した。標本は，生鮮状態で尾叉長，体重，性および生殖腺重量を測定するとともに年齢査定用に鱗を採取した。鱗は，胸鰭の基部から先端までの 3 分の 2 ほどの位置で，側線下 4 列目周辺の鱗数枚を採取し，そのうちの輪紋の明瞭なものを使用した。標本の年齢は，万能投影機で鱗の輪紋を読み取って査定した。成長式は，von Bertalanffy の成長式を適用した。基準月は産卵期である 4 月とし，この成長式を求めるため，各年の 4 月の標本の年齢別平均尾叉長を使用した。尾叉長と体重の関係式は，アロメトリー式で求め，先の成長式から年齢別平均体重を計算した。アロメトリー式を求めるに際し，小型個体への偏りをなくすため，標本において，小型個体は 10 cm 毎に 20 個体のみランダムに抽出した。標本の尾叉長値は 17 cm から 56 cm であった。産卵期は，生殖腺熟度指数（GSI＝生殖腺重量/(体重－生殖腺重量)）の月変化から推定し，基準月，年齢別成熟率も GSI を参考にして求めた。このほか，生殖腺の形状から性比を求めた。

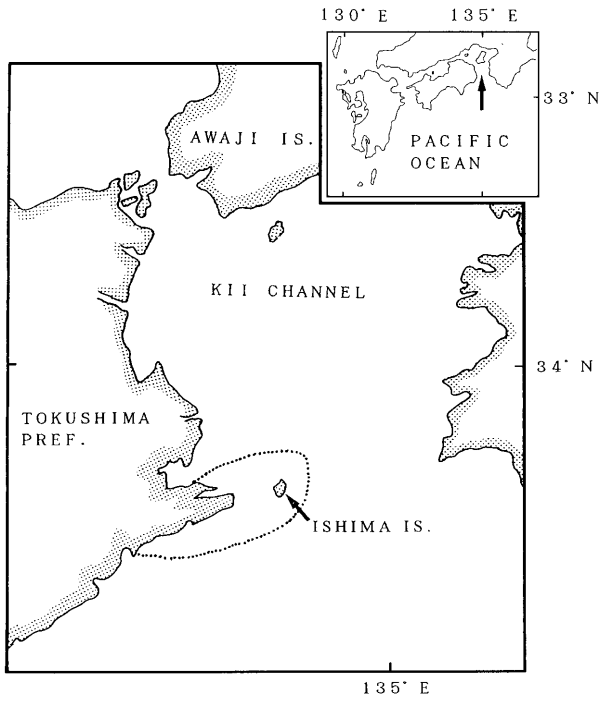

Fig. 1. Sampling locality for *Pagrus major* studied. Fishing grounds of pole and set-net fishery are within the area marked by the dotted line.

年齢別漁獲尾数，VPA による資源尾数と漁獲係数の推定，SPR 解析による資源と資源管理の検討　漁獲量は，伊島周辺で操業する伊島漁協と椿泊漁協の年間漁獲量を参考にした。漁獲物の年齢組成は，伊島周辺の漁獲量の 6 割から 8 割を占める椿泊漁協の 1993 年から 1997 年にかけてのマダイ漁法別銘柄別月別漁獲量と上記の生物測定で得られた月別銘柄別年齢別平均体重から推定し，両漁協と椿泊漁協の漁獲量比から両漁協における年齢別漁獲尾数を計算した。次に遊漁によるマダイ釣獲もかなりの量を占めると考えられるため，1997 年の 4 月から 1998 年 3 月にかけて行われた 2 隻の遊漁船操業日誌調査による操業日当たりマダイ釣獲尾数，付近の漁場で操業した他の遊漁船隻数（記帳者の目視計数）のデータを元に遊漁船によるマダイ釣獲尾数を推定した。また，同標本船によるプレジャーボート数の目視データと 1996 年に行った釣連盟会員へのアンケート調査におけるプレジャーボート使用者のマダイ釣獲の実態データから同マダイ釣獲尾数を推定した。結果として，後に述べるように遊漁の釣獲量は一本釣漁に匹敵し，釣の年齢別漁獲尾数は，一本釣漁業の年齢別漁獲尾数の各年級群を 2 倍して求めた。さらに 1993 年から 1997 年の年齢別漁獲尾数から VPA により年齢別資源尾数と年齢別漁獲係数を求めた。今回用いた VPA は，次のとおりである。

$N_{y,a}, C_{y,a}, F_{y,a}, M_{y,a}, S_{y,a}, Z_{y,a}$ をそれぞれ y 年，a 歳の資源尾数，漁獲尾数，漁獲係数，自然死亡係数，生残率および全減少係数とする。Y, A はそれぞれ最近年（1997 年），最高齢（5 歳）を意味するものとする。今回の解析では，年齢別漁獲尾数以外の漁獲努力量や CPUE の推移は一部漁法で不明であった。したがって，ターミナル F に何らかの値を設定して VPA の計算を行ったとしても最近年の漁獲係数や資源尾数の値は信頼できるものとはいえない。しかし，後退法で漁獲係数や資源尾数を計算すれば，ターミナル F にかなりの誤差があったとしても何年か遡った時点で値が一定の範囲に収束する。そこで今回は 1993 年の漁獲係数の推定値を用いて SPR を計算している。

今回用いた VPA では，まずターミナル $F(F_T)$ を次のように推定した。1996 年の 2 歳魚と 1997 年（最近

NII-Electronic Library Service

The Japanese Society of Fisheries Science

年）の3歳魚の漁獲尾数比率（97年3歳魚/96年2歳魚）がこの年級の年間生残率（S）を反映していると考え，この値を全減少係数（Z）に変換し，さらに自然死亡係数（M）を差し引いて漁獲係数（F）を求める。

$$S_{Y-1,2}=C_{Y,3}/C_{Y-1,2}$$

$$Z_{Y-1,2}=-\log_e S_{Y-1,2}$$

$$F_{Y-1,2}=Z_{Y-1,2}-M_2$$

同様の計算を1996年の3歳魚と翌年の4歳魚，1996年の4歳魚と翌年の5歳魚についても行う。こうして得られた3とおりのFの値を平均した値である1.588をターミナルFとして最近年（1997年）の1～6歳魚に対するFと設定した。

$$F_T=(F_{Y-1,2}+F_{Y-1,3}+F_{Y-1,4})/3$$

ただし，前述のように1996年と1997年で漁獲圧が変わらないかどうかは不明であり，両年で漁獲圧が異なる場合には，漁獲尾数の比率は生残率を反映したものとはならないため，このターミナルFは計算の便宜上用いた仮の値と認識すべきものである。これについては，ターミナルFを推定値より40％増加させた場合と40％減少させた場合について感度解析を行ない，後退法で計算される1993年の漁獲係数が一定の値に収束することを確認した。

年齢別漁獲尾数から，1歳魚以上の個体は全てが漁獲対象になっているものと考えられる。ターミナルFを用いて，最近年の1～5歳魚の年級について，資源尾数，漁獲係数を後退法で計算する。例えば，最近年（Y）の最高齢（A）の年級については次のとおりである。

次の漁獲方程式から資源尾数$N_{Y,A}$が計算できる。

$$C_{Y,A}=N_{Y,A}\frac{F_T}{F_T+M_A}(1-S_{Y,A})$$

ただし，$S_{Y,A}=\exp(-F_T-M_A)$

次にA-1歳からA歳への生残

$$N_{Y,A}=N_{Y-1,A-1}S_{Y-1,A-1}$$

ただし，$S_{Y-1,A-1}=\exp(-F_{Y-1,A-1}-M_{A-1})$

およびA-1歳魚の漁獲方程式

$$C_{Y-1,A-1}=N_{Y-1,A-1}\frac{F_{Y-1,A-1}}{F_{Y-1,A-1}+M_{A-1}}(1-S_{Y-1,A-1})$$

から$A-1$歳魚の資源尾数$N_{Y-1,A-1}$および漁獲係数$F_{Y-1,A-1}$が計算できる。このように，高齢から若齢の方向へ，順次さかのぼって資源尾数と漁獲尾数を計算していく。

最近年以外の年の5歳魚（最高齢）に対するFは，計算過程で同じ年の4歳魚に対するFが先に求められるので，その値をそのまま用いた。すなわち，$F_{Y,A}=F_{Y,A-1}$とした。これは4歳，5歳といった高齢魚は，分布や選択性に違いがなく，ほぼ共通の漁獲圧がかかっているはずであるとの考えに基づいている。最近年の0歳魚については，各年の2～4歳魚の平均漁獲係数と0歳魚の漁獲係数との割合の平均値を用いて最近年の1歳魚以降のF（ターミナルF：1.740）から推定した。例えば，1993年の2～4歳魚での漁獲係数の平均値は0.497である。この年の0歳魚の漁獲係数は0.235であり，その比率は0.472（0.235/0.497）となる。このようにして求めた1993～1996年の比率を平均すると0.675になる。1997年の0歳魚の漁獲係数は，この年の1歳魚以降の漁獲係数1.740に比率の平均値0.675を掛けて1.173となる。しかし，ターミナルFの値に信頼が置けない以上，最近年における0歳魚の漁獲係数の値も信頼できるものではないため，参考程度にとどめるべきである（SPR解析では，1993年の漁獲係数を用いているので，最近年の0歳魚における漁獲係数の値はSPR解析とは無関係である）。

現状の％SPRは，漁獲がないときのSPR（$SPR_{F=0}$）に対する現在のSPR（SPR_{now}）の比として求めた。SPRの計算には体重を用いた。SPRの計算は次の式によった。

$$SPR=\sum f_{rt}\cdot N_t\cdot W_t/R \qquad (1)$$

$$N_t=R\exp\{-\sum(F_i+M_i)\} \qquad (2)$$

ここで，Rは加入時の個体数（N_r），N_tはt歳魚の個体数，f_{rt}はt歳魚の成熟雌の割合，W_tはt歳魚の体重，F_i，M_iはi歳魚の漁獲係数，自然死亡係数（年あたり）である。

資源管理方法として，小型魚の保護と漁獲努力量の制限が考えられる。従来この海域では，伊島，椿泊両漁協の小型底曳網，小型定置網，一本釣および刺網によりマダイが漁獲されていたが，最近では両漁協以外の他海域の小型底曳網による漁獲圧（マダイを主対象の一つとするので，従来の小型底曳網の0歳魚主体の漁でなく，全年齢が対象となる）が増大し，マダイ資源に大きな影響を与えていると考えられる。したがって，これら小型底曳網の努力量の削減（減船を含む）をまず第1に考えなければならないと思われる。次に資源の回復のため，両漁協の漁業管理も行っていく必要があると思われる。従来の漁業でのマダイの場合，0歳魚と1，2歳魚では漁場および漁法とも異なっている。紀伊水道周辺を考えると，0歳魚は紀伊水道の幅広い海域で小型底曳網主体に漁獲されているのに対して1，2歳魚は伊島や友が島水道，鳴門海峡および沼島といった特定の海域で一本釣，小型定置網および刺網で漁獲されている。したがって，0歳と1，2歳魚では別々に考える必要がある。今までの管理は，0歳魚のみの管理で，主として小型底曳網における小型魚の再放流であった。しかし，小型底曳網では，長時間曳網されたものや水温の高いときに漁獲されたものは弊死率が高く，また，船上での水揚げ作

NII-Electronic Library Service

The Japanese Society of Fisheries Science

業中の手間から，再放流までに時間が掛かり，多数の0歳魚が再放流されても弊死しているものと考えられる。したがって，小型底曳網における小型魚保護は何らかの工夫が必要である。また，漁獲努力量の削減として休漁日の増加と減船が考えられる。このうち減船は，漁業者人口の減少によって自然減船が進行しており，ある程度の達成が可能となっている。また，遊漁による漁獲圧も増えていると考えられるため，それからのマダイ資源の保護も考えていく必要があると思われる。したがって，ここでは漁獲圧を強めているマダイ対象の小型底曳網を第一に考慮し，その努力量を現状からどの程度削減した場合，0歳魚および1，2歳魚をさらにどの程度保護すれば%SPRを20%，25%および30%SPRに達成できるかを把握して適正な資源管理の方法を検討することとした。また，漁獲物の体長組成から，体長制限（基準以下は再放流）により保護される0, 1, 2歳魚の割合とその時の%SPRを検討した。

%SPRは値が小さいほど漁獲が次世代の加入を損なっていることを表わすため，加入乱獲を防ぐための資源管理の指標として用いられる。松宮[10]やMace[11]によれば，20%SPR程度が資源管理上の下限（閾値）であり，30～40%SPR程度が望ましい水準とされている。

小型底曳網漁船の減船　漁獲係数を削減するために減船は有力な方法であるが，徳島県における自然減船の実態を把握するため，紀伊水道内徳島県下13漁協の小型底曳網漁船の減船状況を1991年から1999年まで調査した。

結　　果

漁業および遊漁における漁獲実態　伊島周辺におけるマダイは小型底曳網，刺網，一本釣，延縄および小型定置網で漁獲されている。椿泊漁協と伊島漁協の年間漁獲量は，1980年から1996年にかけて7トンから27トンと増大し，それ以降は，17トンから32トンの間で変化している（Fig. 2）。漁業種類では，一本釣による漁獲量が1981年から1996年までは，4トンから12トンの間で変動し，1993年までは全体の3割から4割を占め，最も多い。しかし，1997，1998年は，2.5トン，1割程度に減少した。この一本釣の漁獲減少は顕著である。また，小型定置網の漁獲量は，1980年以降，1トンから1990年の5トンまで徐々に上昇し，漁獲量全体に対する割合も1割から3割に増大している。さらに小型定置網の漁獲量は増大し，1994年以降8トンから12トンで，4割前後の漁獲量になっている。この他，両漁協以外の内海側の小型底曳網では，1980年以降1993年まで0.5トンから7トンの漁獲量であったが，1994年10トン，1995年から1998年までは，17トンから23トンと急激に増大している。従来内海小型底曳網のマダイ漁場は，鳴門海峡周辺海域であったが，最近伊島周辺でも漁獲されているのが認められた。一方，遊漁船による釣獲量ではあるが，遊漁標本船2隻の年間延出漁日数188日で，1,550尾のマダイを釣獲している。標本船による他の遊漁船数の目視回数は，1年間に延367回を数えた。他の遊漁船の出漁日も標本船とほぼ同じと推定した。目視可能な面積を考えたとき，標本船の漁場面積は，全漁場面積の1/3と推定された。したがって，遊漁船によるマダイ釣獲尾数は次のとおり年間およそ10,000尾と推定された。1,550尾＋1,550尾×(367隻×3)/188日＝10,577尾。また，プレジャーボートは，遊漁標本船により延2,101回の操業数が数えられている。操業日数は標本船と同じと仮定し，可視面積が1/3であるので，年間のプレジャーボート出漁回数は延6,303回と計算された。次に釣連盟会員1,000名へのアンケートに対して156名から回答が得られ，このうちプレジャーボート使用者は10名で，さらに伊島周辺での操業者は4名であった。この4名による年間のマダイ釣獲数はおよそ50尾であった。プレジャーボートの年間操業回数は人により変動するが，平均するとおよそ30回程度と考えられるので，プレジャーボートによるマダイ釣獲数は次のとおりおよそ3,000尾と推定された。50尾×6,303回/(4隻×30回)＝2,626尾。したがって，全遊漁船の年間釣獲尾数は13,000尾程度と推定され，1997年を除き，ほぼ10,000尾程度の漁獲尾数である一本釣漁業に匹敵するものと考えられた。

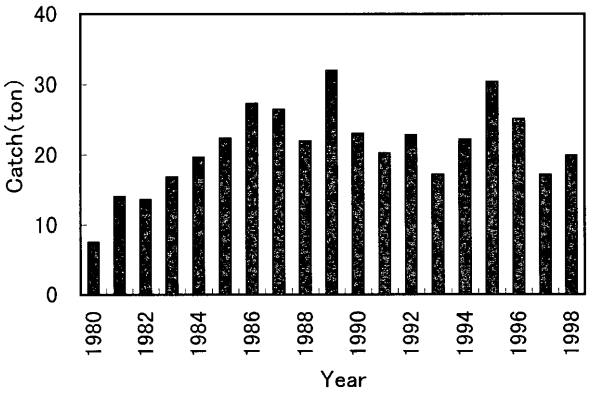

Fig. 2. Annual change of catch of *Pagrus major* around Ishima Island, Tokushima, Japan.

資源特性値　この海域のマダイに対し，次の成長式および尾叉長と体重の関係式が得られた。

$$FL_t = 82.9(1-\exp(-0.105(t+1.435))) \quad (3)$$

$$BW = 0.0000753FL^{2.7768} \quad (4)$$

ただしtは年齢，FL_tはt歳時の尾叉長（mm），BWは体重（g），FLは尾叉長（mm）である。

この結果，この海域のマダイは，満1歳で尾叉長18.7 cm，体重153 gに，3歳でそれぞれ30.9 cm，616

NII-Electronic Library Service

The Japanese Society of Fisheries Science

g，5歳で40.7 cm，1.3 kg，7歳で48.7 cm，2.2 kgに成長するものと推定された。これら関係式から得られた年齢別体重は，SPRの計算に用いた。

3歳以上の雌雄のGSIは，3月になってから急激に高くなり，平均GSIは2以上となり，5月中旬には減少した。また，卵巣腔内に完熟卵を保有する個体は3月から5月に出現した。したがって，産卵期は3月から5月にかけての期間と推測されたので，年齢別漁獲尾数算出の基準月を4月とした。

産卵期のうち産卵を完了する個体が多くなる5月を除いた3～4月の産卵期の個体について雌の年齢別成熟率を検討した。上記で述べたように産卵期になると卵巣が発達してGSIが2以上の個体が多くなる。また，それらの個体の卵巣は，よく発達して肉眼でも卵粒が認められる個体が多い。したがって，ここでは，GSIが2以上の個体を成熟個体として年齢別成熟率を求めた。3～4月の1歳魚は成熟率0％であるが，2歳魚はわずかであるが5.1％の成熟が認められ，3歳魚は44.1％と半分近くの成熟率であった。4歳魚以上は，成魚と考えられるが，高齢の大型魚でも卵巣が小さくてその年に産卵しないと推定される個体が認められ，成熟率は83.3％であった。

1994年から1997年の標本魚のうち生殖腺観察により性を確認した1,082個体の年齢別性比を調べた。性比（雄/（雄＋雌）×100）は，1歳47.6％，2歳51.2％，3歳44.4％，4歳35.9％および5歳49.3％で，合計では47.6％で，ほぼ1：1と推定された。

自然死亡係数を推定するため，標本魚中の高齢魚を調べた。標本1,589個体中に，高齢魚は9歳魚が10個体，10歳魚が1個体，最高年齢魚として16歳魚が1個体確認された。漁業が行われていなければ，高齢まで生き残る個体の割合は現状よりも多くなるため，15歳前後の個体もまれではないと考えられる。そこで，寿命を15歳と仮定して，田中[12]の方法（年間死亡係数＝2.5/寿命）により年あたりの自然死亡係数を0.170と推定した。マダイの自然死亡係数の推定は，いくつかの方法が試みられている。島本[9]は，0歳魚の生残率が冬季の餌環境の厳しさから低く，生態的地位が安定する2歳以降は高いと推定し，自然死亡係数が加入時と寿命に近い高齢時に高く，中間では低いという仮定の下でBertalanffyの成長式のパラメーターから年齢別に推定する方法[13]を使用して2歳以降の自然死亡係数を0.17，1歳を0.24，0歳を0.39としている。今回，2歳以降については，上記の通り0.170とし，0歳と1歳については，同様の方法[13]を用いて0歳0.346，1歳0.242とした（島本の数値と異なるのは，基準月と0歳魚の加入月が異なるため）。

年齢別漁獲尾数とVPAによる資源尾数と漁獲係数

Table 1に1993年から1997年の1歳から5歳の年別年齢別漁獲尾数および，資源尾数と漁獲係数の計算結果

Table 1. Number of catch, stock and fishing mortality coefficient of *Pagrus major*, around Ishima Island, Tokushima, Japan

	Age	Year				
		1993	1994	1995	1996	1997
Number of catch	0	24,678	78,157	41,489	9,224	51,529
	1	31,323	44,489	51,847	21,247	13,936
	2	6,010	7,018	11,037	11,621	5,127
	3	2,944	3,717	3,990	7,103	3,100
	4	2,305	2,297	2,257	3,915	849
	5	1,890	1,350	900	1,463	399
	Total	69,150	137,028	111,520	54,573	74,940
Number of stock derived from VPA	0	138,596	202,213	92,906	36,821	85,407
	1	59,317	77,562	78,780	31,728	18,412
	2	17,617	19,358	22,337	17,150	6,606
	3	8,651	9,384	9,938	8,827	3,994
	4	5,701	4,615	4,534	4,753	1,094
	5	4,675	2,712	1,809	1,777	514
	Total	234,557	315,844	210,304	101,056	116,027
Fishing mortality coefficient deriver from VPA	0	0.235	0.597	0.729	0.347	1.173
	1	0.878	1.003	1.283	1.327	1.740
	2	0.460	0.497	0.758	1.287	1.740
	3	0.458	0.557	0.568	1.918	1.740
	4	0.573	0.767	0.767	2.054	1.740
	5	0.573	0.767	0.767	2.054	1.740

NII-Electronic Library Service

The Japanese Society of Fisheries Science

を示した。年齢別漁獲尾数は，1996年の54,573尾から1994年の137,028尾の間で推移した。1994年以降漁獲尾数とともに資源尾数も減少傾向にある。一方，1歳魚以上の漁獲係数は1993年以降年々増加し，特に1996，1997年の漁獲係数が高いのが認められた。

現状のSPR解析 Table 2に漁業がない場合（F＝0）と，現状の漁獲が加わった場合での加入1,000尾あたりの生涯の期待産卵バイオマス（加入してから寿命に達するまでに毎年産卵に寄与するバイオマスの合計）を示した。計算は，(1)と(2)式に従い，上記の資源特性値を使用した。今回の解析において，single cohortによる資源量の推定は，年代を遡るほど信頼度を増すのでSPRは1993年の漁獲係数の結果を用いて計算している。

産卵バイオマスは，漁獲が無く，自然死亡だけで減少する場合に421,169，1993年と同じ漁獲が加わった場合には，50,398であった。したがって，%SPRは50,398/421,169×100＝11.97%であった（Table 2）。

また，漁獲係数が変化しているので，相次ぐ年度の年齢別漁獲尾数からターミナルFを求めることは問題と考えられ，信頼性を確かめるためにターミナルFを変化させて1993年のF値について感度解析を行った。結果は，全ての年級群について今回求めたF値に近似し，今回求めた1993年のF値が信頼できるものと認められた（Table 3）。

%SPRを向上させるための管理方策 Table 4に%SPRを20，25，30%に向上させるため，全体のFを0, 10, 15, 20%削減し，次に0歳魚のFを40から100%削減した場合の1，2歳魚のFの削減率を示した。これらは，各%SPRに対応して計算された生涯の期待産卵バイオマスに基づいて算出された数値である。

全体のFをそのままで%SPRを20%にするには，再放流の比率を0歳魚で40～100%とした場合，1，2歳魚は31.7～21.1%とすれば達成される。さらに1，2歳魚を62.3～51.7とすれば%SPRを30%にすることができる（Table 4）。全体のFを10%削減した場合，再放流の比率を0歳魚で40～100%とし，1，2歳魚で18.8～8.2%と52.8～42.2%にすればそれぞれ20%と30%SPRにすることができる。また，全体のFを20%削減した場合，再放流の比率を0歳魚で40と50%にし，1，2歳魚で2.6と0.8%にすれば20%SPRに，0歳魚で40～100%とし，1，2歳魚で40.8～30.2%にすれば30%に達することができる。

体長に基づく0歳魚と1，2歳魚の保護 Table 5に1993年から1995年における10，11月の0歳魚の全長組成を示した。10，11月はマダイ0歳魚が多獲される時期である。サイズの累積百分率は，管理上最小サイズの12 cm以下は28.7%，13 cm以下は55.2%，徳島県の管理サイズ14 cm以下は78.4%が，15 cm以下は93.3%であった。したがって，それぞれの体長を基準とした保護（再放流）は，上記の割合の0歳魚を保護することになる。

Table 6に1994年から1997年の1，2歳魚の尾叉長組成を示した。この尾叉長組成では18 cm以下は16.3%，19 cm以下は32.0%，20 cm以下は47.2%，21 cm以下は58.1%，22 cm以下は67.7%であった。それぞれの体長を基準とした保護は，上記の割合の1，2歳魚を保護することによって実現することになる。

現状の%SPRは11.97%である。今，全体のFをそのままで，%SPRを20%にするには，0歳魚でのFの80%削減の場合，1，2歳魚でのFの24.6%の削減が必要である（Table 4）が，0歳魚全長14 cm以下（Table 5），1，2歳魚尾叉長19 cm以下（Table 6）の

Table 2. %SPR of the present fishing coefficient of *Pagrus major* around Ishima Island, Tokushima, Japan

	Age	Number	Mortality coefficient	Fishing coefficient (F)	Spawning stock biomass	%SPR
SPR (F＝0)	0	1000	0.346	0	0	
	1	708	0.242	0	0	
	2	556	0.170	0	5057	
	3	469	0.170	0	65478	
	4	395	0.170	0	160610	
	5	334	0.170	0	190024	
	Total				421169	
SPR (F of 1993)	0	1000	0.346	0.235	0	50398/421169＝11.97%
	1	560	0.242	0.878	0	
	2	183	0.170	0.460	1663	
	3	97	0.170	0.458	13591	
	4	52	0.170	0.573	21082	
	5	25	0.170	0.573	14062	
	Total				50398	

NII-Electronic Library Service

The Japanese Society of Fisheries Science

Table 3. Change of fishing coefficient calculated by sensitivity analyses

	Age	Fishing coefficient				
		1993	1994	1995	1996	1997
Terminal F = 1.740 (The value applied to VPA)	0	0.235	0.597	0.729	0.347	1.173
	1	0.878	1.003	1.283	1.327	1.740
	2	0.460	0.497	0.758	1.287	1.740
	3	0.458	0.557	0.568	1.918	1.740
	4	0.573	0.767	0.767	2.054	1.740
	5	0.573	0.767	0.767	2.054	1.740
Terminal F = 1.044 (−40% of the above value)	0	0.233	0.587	0.691	0.280	0.692
	1	0.870	0.990	1.228	1.152	1.044
	2	0.456	0.488	0.736	1.114	1.044
	3	0.455	0.550	0.551	1.711	1.044
	4	0.569	0.757	0.747	1.842	1.044
	5	0.569	0.757	0.747	1.842	1.044
Terminal F = 2.436 (+40%)	0	0.235	0.601	0.743	0.381	1.655
	1	0.881	1.008	1.304	1.408	2.436
	2	0.461	0.500	0.767	1.367	2.436
	3	0.459	0.560	0.574	2.011	2.436
	4	0.574	0.770	0.775	2.149	2.436
	5	0.574	0.770	0.775	2.149	2.436

保護で，0歳魚78.4%，1，2歳魚31.96%のFの削減が実現し，20%SPRを達成することができる。25%，30%にするには，0歳魚の同様の保護と20 cm，21 cm以下の1，2歳魚の保護で実現する。さらに，全体のFを10%削減して%SPRを20%にするには，0歳魚は同様の，1，2歳魚は18 cm以下の保護で実現する。25，30%SPRにするには，0歳魚の同様の保護とともにそれぞれ19 cm，20 cm以下の1，2歳魚の保護が必要となる。全体のFを15%削減して%SPRを20%にするには，0歳魚の同様の保護とともに17 cm以下の1，2歳魚を保護すれば良いことになる。25，30%にするには，19 cm，20 cm以下の1，2歳魚の保護が必要となる。全体のFを20%削減して%SPRを20%にするには，0歳魚での同様のFの削減，保護を行った場合，1，2歳魚の保護は必要なく，25，30%SPRにするためには18 cm，19 cm以下の1，2歳魚の保護により達成できると推定された。

紀伊水道内徳島県13漁協の減船実態　1991年から1999年までの9年間における1年間の減船は，0隻から8隻の範囲で，合計は32隻であった。したがって，1990年の漁船隻数は284隻あるので，10年間の減船率は，$32/284 \times 10/9 \times 100 = 12.6\%$である。また，徳島県紀伊水道においては，20%の減船が計画されている。

考　察

瀬戸内海東部海域のマダイは，1918年から1925年の間は1,500トンの漁獲量であったが，以後，1933年の800トンにまで急激に減少し，その後実態の不明な戦時中を除き，1960年代も減少傾向を示して1971年に731トンと最低になったが，これ以降増加傾向を見せ，1983年以降加入群主体の年齢組成であるが，1,000トン前後で安定している。[9] また，鳴門海峡では，1991年以降一本釣漁獲量が増加して好漁となっており，内海域の資源の安定傾向を示している。一方，伊島周辺海域では，漁獲量が増加して漁獲圧力が強くなっていると考えられ，1歳魚以上の漁獲係数が1993年以降年々高くなっているのが認められる。今回対象とした2漁協以外の内海の小型底曳網漁業により，近年マダイの漁獲量の大幅な増加が認められている。従来は，底曳漁場に回遊してくる0歳魚主体の混獲であったものが，マダイを対象にした小型底曳網が増加したことによると考えられる。漁場は，鳴門海峡周辺の紀伊水道側と伊島周辺が考えられ，その実態は把握できないが，最近の増加量の半分が伊島周辺で漁獲されたと仮定すると7トン前後の漁獲量になり，これは2漁協の漁獲量（遊漁も含める）を含めた総漁獲量の20%程度になる。これら小型底曳網漁獲量の増大と漁獲係数の増加の時期がほぼ一致しており，近年では内海小型底曳網による漁獲圧力が高まり，伊島周辺のマダイの漁獲係数は増加してきているものと考えられる。

SPR解析結果から，現在のマダイ資源は，%SPRが11.97%と計算され，松宮[10]，Mace[11]が資源管理上の

NII-Electronic Library Service

The Japanese Society of Fisheries Science

Table 4. Change of %SPR in case of reducing fishing coefficient for *Pagrus major* around Ishima Island, Tokushima, Japan

Reduction rate (%) from the total present fishing coefficient	Reduction rate (%) from the present fishing coefficient under one year old	Reduction rate (%) fron the present fishing coefficient of one and two years old		
		20%SPR	25%SPR	30%SPR
0	40	31.7	48.6	62.3
	50	29.9	46.8	60.5
	60	28.2	45.0	58.8
	70	26.4	43.2	57.0
	80	24.6	41.5	55.2
	90	22.9	39.7	53.5
	100	21.1	37.9	51.7
10	40	18.8	37.6	52.8
	50	17.1	35.8	51.1
	60	15.3	34.0	49.3
	70	13.5	32.2	47.5
	80	11.8	30.5	45.8
	90	10.0	28.7	44.0
	100	8.2	26.9	42.2
15	40	11.2	31.0	47.2
	50	9.4	29.3	45.4
	60	7.7	27.5	43.7
	70	5.9	25.7	41.9
	80	4.1	24.0	40.1
	90	2.4	22.2	38.4
	100	0.6	20.4	36.6
20	40	2.6	23.7	40.8
	50	0.8	21.9	39.1
	60	0.0	20.1	37.3
	70	0.0	18.3	35.5
	80	0.0	16.6	33.8
	90	0.0	14.8	32.0
	100	0.0	13.0	30.2

* %SPR of the present fishing coefficient = 11.97%

Table 5. Total length composition of *Pagrus major* under one year old in Oct. and Nov. around Ishima Island, Tokushima, Japan

Total lenght (cm)	No.	Cumulative total	Cumulative %
9	1	1	0.23
10	13	14	3.22
11	28	42	9.66
12	83	125	28.74
13	115	240	55.17
14	101	341	78.39
15	65	406	93.33
16	20	426	97.93
17	9	435	100.00

下限と考えている20%を下回っている状況と考えられた。また，マダイの場合は，再生産関係が必ずしも明らかにされておらず，MSY解析は使用できない。こうしたときに利用されるようになってきているのが，SPR解析であるが，松宮[10]，Mace[11]が述べているように再生産関係が得られている多くの魚種のデータをもとに管理基準を定めており，かつ，広く用いられているものでもあり，一つの目安として使用してよいものと思われる。内海のマダイは，加入群主体に安定した漁獲動向を示していたが，最近では鳴門海峡周辺において1，2歳の若齢魚主体に増加が認められる。一方，伊島周辺のマダイには，内海マダイに比べて明らかに高い漁獲圧が掛かり乱獲に近い状態になっていると考えられ，20%を下回る今回の結果も十分納得できる数値と思われる。今後，資源の安定化と漁業生産の増大を図っていくためには，一層の資源管理の強化が必要と考えられる。

NII-Electronic Library Service

The Japanese Society of Fisheries Science

Table 6. Fork lenght composition of *Pagrus major* of one and two years old around Ishima Island, Tokushima, Japan

Rork length (cm)	Age 1	Age 2	Total	Cumulative total	Cumulative %
14	2		2	2	0.17
15	3		3	5	0.43
16	16		16	21	1.81
17	56		56	77	6.63
18	111	1	112	189	16.28
19	176	6	182	371	31.96
20	175	2	177	548	47.20
21	120	7	127	675	58.14
22	74	37	111	786	67.70
23	51	48	99	885	76.23
24	29	40	69	954	82.17
25	19	29	48	1002	86.30
26	11	40	51	1053	90.70
27	2	33	35	1088	93.71
28	1	26	27	1115	96.04
29		19	19	1134	97.67
30		13	13	1147	98.79
31		9	9	1156	99.57
32		2	2	1158	99.74
33		1	1	1159	99.83
34		1	1	1160	99.91
35			0	1160	99.91
36		1	1	1161	100.00

本来，伊島周辺では，天然と人工の磯で小型定置網，一本釣および刺網によりマダイが漁獲されていた。小型底曳網によっても近海の底曳漁場においてある程度漁獲されていたが，最近ではマダイを対象にした内海小型底曳網により伊島周辺でかなりの量の漁獲がなされるようになり，漁獲圧が高くなって現状では乱獲といって良いところまでに至っていると考えられる。したがって，この漁獲圧を減じて伊島周辺のマダイを保護する必要がある。また，徳島県では，自然減船とともに小型底曳網漁船の減船計画が進められており，減船と伊島周辺近くでの小型底曳網漁の自粛により20％の漁獲係数の削減は可能と考えられる。0歳魚については，全長14 cm以下の小型魚の保護で8割，15 cm以下で9割が保護できる。また，これらの保護は再放流によることになるが，小型底曳網で漁獲された0歳魚は，かなり斃死する事が考えられ，この点に対する対策が必要である。小型底曳網漁獲物の生残を図るには，曳網時間の短縮，曳網速度の軽減，船上分別作業時間の短縮および同作業における流水式選別水槽[14]の利用などが有効である。いずれも大型マダイの生残率の向上も含め，マダイ以外の活魚も増加させることにもなり，経済的な利点は高い。したがって，こうした対策が十分打ち立てられれば，0歳魚の保護は，かなり高い割合で達成できると思われる。しかし，0歳魚の漁獲係数を減じても1，2歳魚の漁獲係数の削減は考慮していく必要がある（Table 4）。1，2歳魚については，尾叉長20 cm以下で47.2％，19 cm以下で31.96，18 cm以下で16.28，17 cm以下で6.63％の保護が出来る（Table 6）。したがって，小型底曳網を主体として全体のFを20％削減し，％SPRを20％程度に保つには0歳魚の60％の保護で良く，1，2歳魚は必要ないが，％SPRを25，30％にするのには18–20 cm以下の1，2歳魚の保護が必要となる。全体のFを10，15％減少すると，1，2歳魚のそれぞれ18 cm，17 cm以下の保護で％SPRを20％に保つことが出来ると考えられ，％SPRを25％に保つのにはいずれも19 cm以下，同じく30％に保つには20 cm以下の1，2歳魚の保護が必要であると考えられた。また，この程度の保護の場合，2歳魚は対象にならず主として1歳魚が対象になると考えられる（Table 6）。

以上のことから，調査時点（1993年）における最も望ましい資源管理の方法としては，伊島周辺におけるマダイを保護するため，これを対照とする小型底曳網を制限し，計画されている減船（小型底曳網漁船）とともにこの漁獲係数を20％程度に削減し，％SPRを20％にするには0歳魚の60％の保護でよく，それには全長14 cm以下の小型魚の再放流によって可能となり，さらに理想的な状態に近いと考えられる30％SPRにするには，同様の0歳魚の保護と尾叉長20 cm以下の主として1歳魚の保護をしてやれば良いと考えられた。このように小型底曳網によるFの削減と0歳魚の保護，一本釣，遊漁および小型定置網による1歳小型魚の保護により十分な管理が可能と考えられた。

しかし，1993年以降マダイ対象の小型底曳網の漁獲圧が更に増加する傾向にあり，今後の漁獲と資源の動向を把握していくことが必要である。

謝　辞

本論文のとりまとめにあたり，ご助言を頂いた東京大学農学部岸野洋久博士と兵庫県水産試験場島本信夫博士に深謝の意を表する。また，標本と漁獲データの収集にご協力を頂いた椿泊漁協と伊島漁協の職員の方々に感謝する。

文　献

1) 梶山英二.「鯛」杉山書店，東京．1937; pp143.
2) 阪本俊雄，矢野　実．紀伊水道におけるマダイ漁況．水産海洋研究 1974; **24**: 17–28.
3) 日野淑美，谷本尚則，中村和夫，小島博，湯浅明彦，成田　尭．回遊性魚類共同放流実験調査．徳島水試事報 1984; 22–33.

NII-Electronic Library Service

The Japanese Society of Fisheries Science

4) 阪本俊雄．紀伊水道外域マダイの標識放流結果からみた分布と移動．日水誌 1984; **50**: 1835–1842.
5) 土井長之．瀬戸内海におけるマダイ資源について．日水誌 1955; **21**: 320–334.
6) 永井達樹．瀬戸内海産マダイの資源動向．日水誌 1995; **61**: 679–683.
7) 阪本俊雄，土井長之，岩井昌三，石岡清英．瀬戸内海東部海域におけるマダイの生物情報と資源診断．東海区水研報 1981; **106**: 59–113.
8) 島本信夫．淡路島南東部海域におけるマダイの資源増殖に関する研究—Ⅱ 漁業と資源．東海区水研報 1984; **114**: 151–167.
9) 島本信夫．瀬戸内海東部海域におけるマダイの資源変動および栽培漁業に関する研究．兵庫水試研報 1999; **35**: 43–114.
10) 松宮義晴．加入量あたり産卵資源量モデルによる管理（SPR 型）．「水産資源管理概論」（松宮義晴著）日本水産資源保護協会，東京．1996; 57–75.
11) Mace P. M. Relationships between common biological reference points used as thresholds and targets of fisheries management strategies. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1994; **51**: 110–122.
12) 田中昌一．自然死亡係数と寿命の関係．水産生物の Population Dynamics と漁業管理．東海水研報 1960; **28**: 162–168.
13) Chen S., Watanabe S. Age dependence of natural mortality coefficient in fish population dynamics. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1989; **55**: 205–208.
14) 大谷徹也，反田 實，西川哲也，佐藤泰弘．小型底曳網「混獲幼稚魚の生残率を高めるための流水式選別水槽の使用例とその効果．総特集—再放流と投棄魚の科学」（松宮義晴編）．月刊海洋 1997; **29**: 380–384.

NII-Electronic Library Service