

平成 23 年度トラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群の資源評価

責任担当水研：瀬戸内海区水産研究所（片町太輔、石田 実）

参画機関：石川県水産総合センター、福井県水産試験場、京都府農林水産技術センター海洋センター、兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター、鳥取県水産試験場、島根県水産技術センター、山口県水産研究センター、福岡県水産海洋技術センター、佐賀県玄海水産振興センター、長崎県総合水産試験場、熊本県水産研究センター、鹿児島県水産技術開発センター、宮崎県水産試験場、大分県農林水産研究指導センター水産研究部、愛媛県農林水産研究所水産研究センター、広島県立総合技術研究所水産海洋技術センター、岡山県農林水産総合センター水産研究所、香川県水産試験場、徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究所、和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場

要 約

本系群の漁獲量の指標値は、1994 年から急激に減少し、1997 年以降は、1990 年以前の約 10%で推移している（長期の漁獲量データは存在しない）。資源量は 2002 年の 1,296 トンから変動しながらも減少傾向で、2010 年は 973 トンと推定された。漁獲量の指標値、漁獲量および資源量の推移から、資源水準は低位、減少であると判断した。近年の RPS が低水準で推移していることから、資源量は減少することが予測される。2016 年に 2006 年の資源水準に回復させることを管理目標とし、ABC 算定のための基本規則 1-3)-(3)を適用し、ABC を算定した。本種は栽培対象種であり、2010 年には 247 万尾の人工種苗が放流され、放流魚の混入率は 0.78、添加効率は 0.14 と推定された。F および放流尾数を変化させた将来予測から放流を継続しなければ資源量が更に減少すると考えられた。

	2012年ABC	資源管理基準	F値	漁獲割合
ABClimit	131トン	0.5Fcurrent	0.20	16%
ABCtarget	107トン	0.8・0.5Fcurrent	0.16	13%

F値は全年齢の平均値。

年	資源量（トン）	漁獲量（トン）	F値	漁獲割合
2009	1,099	295	0.42	27%
2010	973	250	0.39	26%
2011	866			

F値は全年齢の平均値。

水準：低位 動向：減少

本件資源評価に使用したデータセットは以下のとおり

データセット	基礎情報、関係調査等
年齢別・年別漁獲尾数	府県別漁獲量（石川～和歌山(20)府県、新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業、栽培漁業資源回復等対策事業） 全長組成調査（水研セ、兵庫～香川(9)県、新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業、栽培漁業資源回復等対策事業） 体重組成調査（宮崎県、徳島県） 全長—体重調査（水研セ）
資源量指標	漁獲成績報告書（九州漁業調整事務所） 取扱量（下関唐戸魚市場（株））
自然死亡係数(M)	年当たり $M = 0.25$ を仮定
漁獲努力量指標	漁獲成績報告書（九州漁業調整事務所）
混入率	人工種苗放流尾数（栽培漁業種苗生産、入手・放流実績（全国）、九州・山口北西海域トラフグ資源回復計画に係る行政・研究担当者会議資料） 有明海での0歳魚の放流効果調査（長崎県、新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業） 瀬戸内海西部での0歳魚放流効果調査（栽培漁業資源回復等対策事業）

1. まえがき

トラフグは、魚価が高く、重要な漁業対象種である。主な漁場である日本海、東シナ海、瀬戸内海では、漁獲量が激減しており、資源管理型漁業および栽培漁業の対象魚種として重要視されている。2005年より本系群を対象とした九州・山口北西海域トラフグ資源回復計画が実施されている。天然魚や人工種苗を用いた標識再捕調査から、日本海、東シナ海、黄海の成魚が九州北西岸、若狭湾、瀬戸内海へ産卵のため来遊することや瀬戸内海で発生した0歳が豊後水道、紀伊水道だけでなく、九州北西岸へ移動することが明らかになってきたことから（田川・伊藤 1996、伊藤ら 1998、佐藤ら 1996）、トラフグが日本海、東シナ海、瀬戸内海の間を移動し、資源として一系群と判断されている。本系群の対象海域では、1993年以降、128～223万尾（2002～2009年の平均190万尾）の人工種苗が毎年放流されている（栽培漁業種苗生産、入手・放流実績（全国）1995～2011、表8）。

2. 生態

(1) 分布・回遊

本系群は日本海、東シナ海、黄海、瀬戸内海に分布する（図1）。春に発生した仔稚魚は産卵場周辺を成育場とし、成長に伴って広域に移動する（伊藤 1997）。日本海沿岸や九州北西岸で発生したトラフグは、日本海、東シナ海、黄海へ移動する。瀬戸内海沿岸で発生したトラフグは、豊後水道以南、紀伊水道以南、日本海、東シナ海、黄海へ移動する（伊藤 1997）。また、天然魚や人工種苗を用いた標識再捕調査から、トラフグが産卵回帰して

いる可能性がある」と報告されている（佐藤ら 1999、松村 2006）。

（2）年齢・成長

東シナ海、黄海と瀬戸内海のトラフグは同様な成長を示す（図 2、尾串 1987）。寿命は約 10 年と推定される。2007 年に行った精密測定から全長(L : mm)-体重(W : g)関係式を推定した。

$$W = 1.206 \times 10^{-6} L^{3.105} \quad (\text{全長-体重関係式})$$

（3）成熟・産卵

雄は 2 歳、雌は 3 歳で成熟する（図 3、藤田 1988）。本系群の主な産卵場は、能登島、若狭湾、福岡湾、有明海、八代海、関門海峡周辺、布刈瀬戸、備讃瀬戸とされ、朝鮮半島、中国沿岸にも存在するとされる（図 1、藤田 1996）。産卵期は 3 月下旬に九州南部から始まり、水温の上昇とともに北上し、瀬戸内海での産卵期は 4～5 月とされ、若狭湾、能登島では 4～6 月とされる（藤田 1996、伊藤 1998）。

（4）被補食関係

仔魚後期までは動物性プランクトン、稚魚は底生性の小型甲殻類、未成魚はイワシ類やその他の幼魚、エビ・カニ類、成魚は魚類、エビ・カニ類を捕食する（松浦 1997）。

3. 漁業の状況

（1）漁業の概要

産卵場周辺では、3～6月に2歳以上が定置網、釣り、敷網によって漁獲される。成育場周辺では、7～1月に0歳が定置網、小型底曳網、釣り、延縄によって漁獲される。沖合や水道域では、12～3月に0歳以上が延縄によって漁獲される（天野・檜山 1997、伊藤・多部田 2000、柴田ら 1997）。

（2）漁獲量の推移

本系群の長期の漁獲量データは存在しない。長期的な漁獲量の指標として、下関唐戸魚市場（株）における取扱量（暦年）を用いた（下関唐戸魚市場（株）では1970年から日本海、東シナ海産を外海産、瀬戸内海、三重県、愛知県、静岡県産を内海産として区別して取扱い、統計を整備している）。取扱量は1971～1993年に610～1,727トンで推移後、1994年から急激に減少し、1997年以降106～313トンで推移しており、2010年は112トンであった（図4）。三重～静岡県（伊勢・三河湾系群）の漁獲量の推移を考慮して本系群の漁獲量の推移を推定すると、1997年以降極めて低水準にある。資源量推定では本系群範囲の各府県が把握した2002年以降の漁獲量を府県別漁獲量（漁期年：4～3月）とした。漁獲量は2002年の385トンから変動しながらも減少傾向で、2010年は250トンだった（表1、図5）。我が国の200海里内での韓国漁船によるトラフグの漁獲量は2005～2009年は0～41トンで推移したが、2010年はフグ類として集計されており、不明である。

(3) 漁獲努力量

九州北西岸～日本海西部では、9～3月に延縄により0歳後半以上が漁獲される。漁獲努力量として、九州・山口北西海域トラフグ資源回復計画で得られた2005～2009年漁期の総針数を代表させた。総針数は、2005～2006年は18百万針で推移し、2007年以降は減少傾向で、2009年は11百万針だった（表2、図6）。

4. 資源の状態

(1) 資源評価の方法

2002～2010年の資源量は、日本海、東シナ海、瀬戸内海における年齢別漁獲尾数を算出し（表3～5）、コホート解析（Popeの近似式）により推定した（平松 2001）。Mは最高年齢を10歳として、田内・田中の方法により求めた0.25を用いた（田中 1960）。資源量推定の詳細は補足資料2に示す。

(2) 資源量指標値の推移

資源量指標値として、九州・山口北西海域トラフグ資源回復計画で得られた2005～2009年漁期のCPUE（kg / 千針）を代表させた。CPUEは2005～2006年に4.9～5.0 kg / 千針で推移し、2007年に6.3 kg / 千針に増加し、2008年は3.7 kg / 千針に大きく減少し、2009年は6.4 kg / 千針に増加した（表2、図6）。

(3) 漁獲物の年齢組成

2002～2010年の漁獲物の大部分は0歳(37～67%)と1歳(10～40%)で占められており、若齢魚に漁獲が偏っている（表3、図7）。

(4) 資源量と漁獲割合の推移

資源量は2002年の1,296トンから変動しながら減少傾向で2010年は973トンと推定された（表5、図8）。漁獲割合は22～30%（平均26%）で推移した（図8）。

(5) 再生産関係

下記の(8)に示す添加効率と有効放流尾数に基づいて、0歳の天然魚と人工種苗を分離し、再生産関係を検討したところ、明瞭な関係は認められなかった（図9）。2002年以降、RPS（尾 / kg）は大きく変動を繰り返しつつも減少傾向にある（表8、図10）。感度分析としてMを±0.1変化させた場合、資源量の推移は大きく変化した（図11）。

(6) 資源の水準・動向

資源水準は長期の漁獲量の指標を0～最大値で3等分し、それぞれを低位、中位、高位と区分して決定した。2010年の漁獲量指標は0～最大値の0～1/3に位置することから、低位と判断した（図4）。資源量の推移から資源動向は減少であると考えられる（図8）。

(7) 資源と漁獲の関係

全年齢のFの平均値は、2002～2010年は0.35～0.43で変動しながら横ばいで推移し、特

に1歳のFが大きく変動した（表6、図12）。1歳のFが大きく変動したことや2010年の0歳の資源尾数が少なく推定されたことから、レトロスペクティブ解析を行い0歳および1歳の資源尾数を過小推定している可能性を検討した。その結果、解析年を減らしていくとそれぞれの年齢の資源尾数は大きく振れ、解析年の蓄積が不十分な若齢魚の資源尾数には不確実性が伴うことが示されたが、過小もしくは過大評価していることについて系統的な関係は示されなかった（付図1、2）。最近年の0～3歳の各年齢のFは、補足資料2に示すように過去5年の平均に等しいと仮定した。全年齢のFの平均値はF30%SPRを上回っており、現状の漁獲が加入乱獲であることが懸念される（図13）。漁獲開始年齢と漁獲開始年齢以上のF平均値を変化させた場合のYPRを検討した結果、1歳から漁獲を開始するとYPRの増加することから、0歳で漁獲を開始する現状の漁獲は成長乱獲であることが示唆された（図14）。

（8）種苗放流効果

トラフグは成育場へ放流するとその後の回収率が高いことが報告されているため（阿知波 2004、松村 2005、松村 2007）、成育場（有明海、八代海、福岡湾、瀬戸内海関門海峡周辺、瀬戸内海中央部）や大きく拡散する前の0歳の漁獲実態がある海域（七尾湾、豊後水道、紀伊水道）での放流尾数を有効放流尾数とし（栽培漁業種苗生産、入手・放流実績（全国）1995～2011、表8）、その他の人工種苗は資源に添加しないと仮定した。混入率および添加効率は、標識再捕調査が充実している有明海（胸鰭切除標識とALCによる耳石標識）と瀬戸内海西部（焼印標識）を対象として算出した。混入率は、各海域の0歳の漁獲尾数とその中における放流魚の尾数（長崎県 2004～2010、松村 2005、新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業、栽培漁業資源回復等対策事業報告書 2009～2011）から算出し、各海域の漁獲尾数で加重平均して平均値を算出した。各海域における混入率の平均値は0.07～0.78（平均0.27）であった（表7）。上記の各海域における混入率から添加効率（0歳の混入率×0歳の資源尾数÷放流尾数）を算出し、各海域における0歳の資源尾数（系群全体の0歳の資源尾数×各海域の0歳の漁獲尾数÷系群全体の0歳の漁獲尾数）で加重平均して平均値を算出した。各海域における添加効率の平均値は0.07～0.25（平均0.14）であった（表7）。上記の海域以外の放流適地に放流された人工種苗も上記と同様な添加効率であると仮定した。2012年から全年齢のFの平均値と有効放流尾数をそれぞれ変化させた場合に期待される2016年の資源量を推定した。天然0歳資源尾数はSSBと近年の低いRPSを考慮した2006～2010年のRPSの平均値を用いて推定し、添加効率は2002～2010年の平均値を用いた。その結果、現状のFを維持したまま放流尾数を減少させると将来の資源量は減少すると予測された（図15）。

5. 2012年ABCの算定

（1）資源評価のまとめ

本系群の資源水準は低位、資源動向は減少と考えられる。2006年以降RPSが減少傾向であることから今後、SSBが減少し、資源回復が困難な悪循環に陥ることも懸念される。これらのことから、漁獲量を緊急に削減し、資源の維持に努める必要がある。

(2) ABC 並びに推定漁獲量の算定

本系群の資源水準は低位であることに加えて、明瞭な再生産関係が認められないことから B_{limit} を推定することはできなかった。2011 年以降の資源量は、天然 0 歳資源尾数を SSB と近年の低い RPS の推移を考慮して、2006～2010 年の RPS の平均値 (0.05) より推定し、人工種苗の 0 歳資源尾数を 2002～2010 年の平均有効放流尾数 (112 万尾) と 2002～2010 年の添加効率の平均値 (0.14) より推定した。1 歳以降はコホート解析の前進法で推定した (補足資料 2)。ABC 算定のための基本規則の 1-3)-(3) を適用し、2011 年以降の資源管理基準は、 $F_{current}$ とした。 $\beta 2$ は九州・山口北西海域トラフグ資源回復計画で回復目標を 2006 年の資源量としていたことを考慮して、2016 年の資源量が 2006 年の 1,304 トンに回復する値である 0.5 とし、 F_{target} の安全率 α は標準値 0.8 とした。

	2012年ABC	資源管理基準	F値	漁獲割合
ABC $_{limit}$	131トン	0.5 $F_{current}$	0.20	16%
ABC $_{target}$	107トン	0.8・0.5 $F_{current}$	0.16	13%

F値は全年齢の平均値。

漁獲シナリオ	管理基準	漁獲量 (トン)						
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
資源の回復	0.5 $F_{current}$ (0.20)	250	243	131	148	164	187	210
現状の漁獲の継続	$F_{current}$ (0.39)	250	243	238	222	212	209	205

		資源量 (トン)						
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
資源の回復	0.5 $F_{current}$ (0.20)	973	866	826	939	1,053	1,202	1,351
現状の漁獲の継続	$F_{current}$ (0.39)	973	866	826	778	743	731	715

F値は2010年の全年齢の平均値。

漁獲量は年齢別漁獲尾数に年齢別の平均体重を乗じて算出した。

資源量 (トン)								
F	基準値	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0.04	0.1 $F_{current}$	973	866	826	1,095	1,405	1,826	2,334
0.08	0.2 $F_{current}$	973	866	826	1,054	1,306	1,643	2,030
0.12	0.3 $F_{current}$	973	866	826	1,014	1,215	1,479	1,769
0.16	0.4 $F_{current}$	973	866	826	976	1,131	1,333	1,545
0.20	0.5 $F_{current}$	973	866	826	939	1,053	1,202	1,351
0.24	0.6 $F_{current}$	973	866	826	904	981	1,086	1,184
0.28	0.7 $F_{current}$	973	866	826	871	914	981	1,040
0.32	0.8 $F_{current}$	973	866	826	839	853	888	916
0.36	0.9 $F_{current}$	973	866	826	808	796	805	808
0.39	1.0 $F_{current}$	973	866	826	778	743	731	715
0.43	1.1 $F_{current}$	973	866	826	750	694	664	635
0.47	1.2 $F_{current}$	973	866	826	723	649	605	565

漁獲量 (トン)								
F	基準値	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0.04	0.1Fcurrent	250	243	28	37	47	61	78
0.08	0.2Fcurrent	250	243	56	70	86	107	133
0.12	0.3Fcurrent	250	243	82	99	117	143	170
0.16	0.4Fcurrent	250	243	107	125	143	168	195
0.20	0.5Fcurrent	250	243	131	148	164	187	210
0.24	0.6Fcurrent	250	243	154	167	180	199	217
0.28	0.7Fcurrent	250	243	177	184	192	206	219
0.32	0.8Fcurrent	250	243	198	199	201	210	216
0.36	0.9Fcurrent	250	243	218	212	208	211	212
0.39	1.0Fcurrent	250	243	238	222	212	209	205
0.43	1.1Fcurrent	250	243	257	231	214	206	197
0.47	1.2Fcurrent	250	243	275	239	215	201	188

(3) ABC の再評価

昨年度評価以降追加されたデータセット	修正・更新された数値
2002～2009 年の漁獲量確定値	2002～2009 年の漁獲量および資源量
2010 年の年齢別漁獲尾数	2010 年資源量

評価対象年 (当初・再評価)	管理基準	F値	資源量 (トン)	ABClimit (トン)	ABCtarget (トン)	漁獲量 (トン)
2010年 (当初)	0.6Fcurrent	0.25	790	147	120	
2010年 (2010年再評価)	0.6Fcurrent	0.26	765	148	123	
2010年 (2011年再評価)	0.6Fcurrent	0.24	973	173	141	250
2011年 (当初)	0.7Fcurrent	0.30	691	155	128	
2011年 (2011年再評価)	0.7Fcurrent	0.28	866	179	147	

(2010年再評価) および (2011年再評価) は府県別漁獲量の合計を漁獲量として計算した。

(2010年再評価) および (2011年再評価) は漁期年 (4～3月) を評価期間とした。

(2010年再評価) および (2011年再評価) は0歳を9月加入とした。

F値は全年齢の平均値。

6. ABC 以外の管理方策の提言

近年、RPS が低い水準で推移し、人工種苗の放流を継続しなければ資源量が更に減少すると考えられることから、放流場所を成育場へ限定し、添加効率の向上をはかる必要がある (図 16)。加えて、0 歳の保護もしくは再放流も資源回復に重要と考えられる。高い混入率を考慮すると、人工種苗の放流が天然集団に与える遺伝的な影響などに関する基礎的な知見の収集に努め、集団構造や遺伝的多様性に配慮した種苗放流を行うことも重要と考えられる。また、本系群は複数の産卵場および成育場を有し、それらを由来とする個体群が

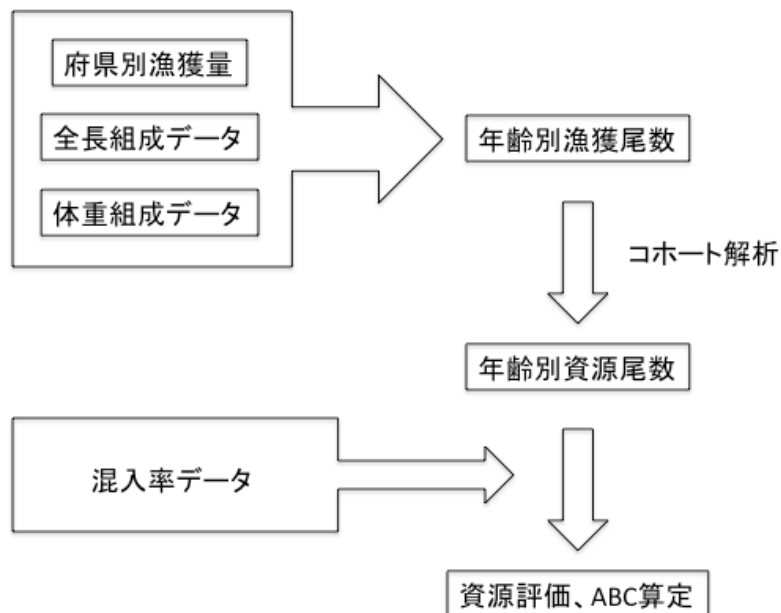
日本海、東シナ海で混合し、産卵回帰していると考えられることから、各産卵場および成育場における資源管理が系群全体にとって重要である。

7. 引用文献

- 阿知波英明(2004)伊勢湾, 三河湾で標識放流したトラフグ人工種苗の分布・移動. 日水誌, 70, 304-312.
- 天野千絵, 檜山節久(1996)東シナ海, 黄海, 日本海. 「トラフグの漁業と資源管理」(多部田 修編) 恒星社厚生閣, 東京, 53-67.
- 藤田矢郎(1988)日本近海のフグ類. (社) 日本水産資源保護協会, 128.
- 藤田矢郎(1996)さいばい, 79, 15-18.
- 平成5～20年度栽培漁業種苗生産、入手・放流実績(全国)(1995～2011)水産庁, (独) 水産総合研究センター, (社) 全国豊かな海づくり推進協会.
- 平成20～21年度栽培漁業資源回復等対策事業報告書(2009～2011)(社) 全国豊かな海づくり推進協会.
- 平成16～21年度長崎県総合水産試験場事業報告(2004～2010)長崎県.
- 平松一彦(2001)VPA(Virtual Population Analysis). 「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 - 」 社団法人日本水産資源保護協会, 103-128.
- 伊藤正木(1997)移動と回遊からみた系群. 「トラフグの漁業と資源管理」(多部田 修編) 恒星社厚生閣, 東京, 41-52.
- 伊藤正木, 小嶋喜久雄, 田川 勝(1998)若狭湾で実施した標識放流実験から推定したトラフグ成魚の回遊. 日水誌, 64, 435-439.
- 伊藤正木, 多部田 修(2000)漁業協同組合へのアンケート調査結果から推定した日本周辺のトラフグの分布. 水産増殖, 48, 17-24.
- 松村靖治(2005)有明海におけるトラフグ人工種苗の当歳時における放流効果と最適放流方法. 日水誌, 71, 805-814.
- 松村靖治(2006)有明海におけるトラフグ*Takifugu rubripes*の人工種苗の産卵回帰時の放流効果. 日水誌, 72, 1029-1038.
- 松村靖治(2007)有明海におけるトラフグ*Takifugu rubripes*人工種苗の漁獲サイズにおよぼす放流条件, 資源量指数および水温の影響. 日水誌, 73, 250-255.
- 松浦修平(1997)生物学的特性. 「トラフグの漁業と資源管理」(多部田 修編) 恒星社厚生閣, 東京, 16-27.
- 尾串好隆(1987)黄海・東シナ海産トラフグの年齢と成長. 山口外海水試研究報告, 22, 30-36.
- 佐藤良三, 鈴木伸洋, 柴田玲奈, 山本正直(1999)トラフグ*Takifugu rubripes*親魚の瀬戸内海・布刈瀬戸の産卵場への回帰性. 日水誌, 65, 689-694.
- 佐藤良三, 東海 正, 柴田玲奈, 小川泰樹, 阪地英男(1996)布刈瀬戸周辺海域からのトラフグ当歳魚の移動. 南西水研研報, 29, 27-38.
- 柴田玲奈, 佐藤良三, 東海 正(1997)瀬戸内海とその周辺水域. 「トラフグの漁業と資源管理」(多部田 修編) 恒星社厚生閣, 東京, 68-83.
- 田川 勝, 伊藤正木(1996)東シナ海・黄海で実施した標識放流結果からみたトラフグの回遊生態. 西水研研報, 74, 73-83.

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.

補足資料 1 データと資源評価の関係を示すフロー



補足資料 2 資源計算方法

【資源量推定】

(1) 年齢別漁獲尾数の算出

年齢別漁獲尾数は漁期年（4～3月）で算出した。日本海、東シナ海は山口県、福岡県、佐賀県、長崎県で得られた月別全長組成データを集積し、混合正規分布群に分解することで年齢混合比を算出し（五利江 2002）、全長—体重関係から算出した重量を日本海、東シナ海側の府県別月別漁獲量で引き延ばすことで年齢別漁獲尾数を算出した。日本海、東シナ海は4～6月、7～9月、10～12月、1～3月で月をまとめた。瀬戸内海は大分県、愛媛県、山口県、広島県、兵庫県、香川県で得られた月別全長組成データを集積し、日本海、東シナ海と同様な手法で年齢別漁獲尾数を算出した。瀬戸内海は4～6月、7～8月、9月、10月、11月、12月、1～3月で月をまとめた。宮崎県と徳島県は体重組成データを上記にある瀬戸内海の月のまとまり毎の全長の年齢別度数分布と全長—体重関係から算出される年齢別体重区分を用いて年齢分解した。また、主要な0歳の成育場である有明海、八代海、福岡湾、瀬戸内海中央部については、9～12月の月別漁獲量を月別平均体重で除す方法と調査尾数を調査率で引き延ばす方法で0歳の漁獲尾数を算出した。これらを合算して本系群の年齢別漁獲尾数とした。

(2) コホート解析

解析年を漁期年、4月を誕生月、 $M = 0.25$ として、Popeの近似式により資源尾数を推定した。0歳は9月加入とし、 M に7/12を乗じた。

$$N_{a,y} = N_{a+1,y+1}e^M + C_{a,y}e^{\frac{M}{2}}$$

$N_{a,y}$ は y 年における a 歳の資源尾数で、 $C_{a,y}$ は y 年における a 歳の漁獲尾数。

a 歳、 y 年の F は、

$$F_{a,y} = -\ln\left(1 - \frac{C_{a,y}e^{\frac{M}{2}}}{N_{a,y}}\right)$$

で計算した。

4歳以上をプラスグループとして3歳と4歳以上の F が等しいと仮定し、3歳と4歳以上の資源尾数は以下の式で計算した。

$$N_{3,y} = \frac{C_{3,y}}{C_{4+,y} + C_{3,y}} N_{4+,y+1}e^M + C_{3,y}e^{\frac{M}{2}}$$

$$N_{4+,y} = \frac{C_{4+,y}}{C_{3,y}} N_{3,y}$$

最近年の資源尾数は、

$$N_{a,2010} = \frac{C_{a,2010}}{1 - e^{-F_{a,2010}}} e^{\frac{M}{2}}$$

で計算した。2010年の0～3歳の F は各年齢の過去5年間の平均とし、4歳+の F は3歳の F と等しくなるように探索的に求めた。

【SPR、YPRの解析】

SPR、YPRを以下の式で求めた。

$$SPR = \sum_{a=1}^4 fr_a S_a W_a$$

$$S_{a+1} = S_a e^{(-F_a - M)} \quad (S_0 = 1)$$

$$YPR = \sum_{a=0}^4 \frac{F_a}{F_a + M} (1 - e^{(-F_a - M)}) S_a W_a$$

fr_a 、 W_a は a 歳の雌の成熟率および漁獲物の平均体重。

【将来予測】

各年齢の資源尾数は以下の式で求めた。

$$N_{0,y} = \sum_{a=3}^{4+} N_{a,y} fr_a W_a \times RPS + R_y \times A_y$$

$$N_{a,y} = N_{a-1,y-1}e^{-M} - C_{a-1,y-1}e^{-\frac{M}{2}} \quad (a=1 \sim 4+)$$

$$N_{4+,y} = N_{3,y-1}e^{-M} - C_{3,y-1}e^{-\frac{M}{2}} + N_{4+,y-1}e^{-M} - C_{4+,y-1}e^{-\frac{M}{2}}$$

R_y はy年の有効放流尾数、 A_y はy年における添加効率。1歳の資源尾数推定はMに7 / 12を乗じた。

各年齢の漁獲尾数は以下の式で求めた。

$$C_{a,y} = N_{a,y}(1 - e^{-F_{a,y}})e^{-\frac{M}{2}}$$

年齢別平均体重は、2002～2010年の平均値を用いた。

年齢	0	1	2	3	4+
平均体重(g)	319	1,124	1,545	2,089	3,252

【引用文献】

五利江重昭(2002)MS-Excelを用いた混合正規分布のパラメータ推定．水産増殖，50，243-249．

表1. 府県別および有明海0歳の漁獲量の推移（単位：トン）

年	日本海、東シナ海										瀬戸内海													合計	
	石川	福井	京都	鳥取	島根	山口 (日本海)	福岡	佐賀	長崎	熊本	鹿児島	有明海 0歳	計	宮崎	大分	愛媛	山口 (瀬戸内海)	広島	岡山	兵庫	香川	徳島	和歌山		計
2002	6	8	7	4	2	56	55	10	16	3	4	10	180	8	41	22	39	10	16	31	15	18	4	205	385
2003	5	5	3	3	1	32	51	13	18	5	1	8	145	7	36	22	39	10	9	32	11	5	1	172	317
2004	7	0.5	3	3	1	43	46	7	10	4	0.4	28	152	2	19	18	22	9	3	26	16	1	0.4	117	269
2005	6	0.4	1	3	4	51	47	9	24	3	0.2	16	164	4	22	23	33	9	12	16	20	3	0.4	142	307
2006	8	4	1	2	1	40	57	12	18	5	0.2	21	170	12	43	25	49	7	10	19	17	2	1	185	355
2007	6	5	2	3	1	44	64	9	26	10	1	12	182	8	28	20	33	4	7	23	13	3	1	140	323
2008	5	9	4	3	2	38	26	3	20	9	1	11	130	2	13	10	17	8	10	17	45	1	1	124	254
2009	4	1	2	4	3	34	49	9	23	8	1	10	146	9	33	28	26	5	6	21	18	3	1	149	295
2010	4	4	2	3	5	39	62	28	21	7	1	7	183	3	13*	12*	19	5	6	1*	7	1	0	67	250

漁期年（4～3月）集計。

*概数値。

山口県（日本海）、兵庫県の2002～2009年の漁獲量を平成22年度の資源評価票から更新。

表2. 努力量とCPUEの推移

年	漁獲量(kg)	総針数	CPUE (kg / 千針)
2005	88,479	17,647,521	5.0
2006	89,065	18,063,367	4.9
2007	104,353	16,554,741	6.3
2008	52,034	13,972,456	3.7
2009	69,792	10,988,266	6.4

表3. 年齢別漁獲尾数の推移

年	年齢					合計
	0	1	2	3	4+	
2002	242,161	130,681	39,203	14,497	25,264	451,807
2003	121,483	120,443	46,091	16,092	20,131	324,240
2004	234,036	35,005	32,484	22,621	25,010	349,156
2005	221,199	72,735	35,833	15,552	27,802	373,122
2006	178,278	160,578	46,950	12,842	23,361	422,010
2007	148,558	82,618	43,067	30,007	21,569	325,819
2008	162,785	33,344	26,805	23,099	33,405	279,437
2009	109,908	117,666	27,462	15,464	22,742	293,241
2010	84,255	46,012	21,399	28,533	27,371	207,570

表4. 年齢別資源尾数の推移

年	年齢					合計
	0	1	2	3	4+	
2002	591,641	369,123	143,468	61,601	107,353	1,273,187
2003	338,276	286,224	172,147	77,136	96,493	970,277
2004	651,033	179,433	116,621	93,394	103,256	1,143,735
2005	669,085	345,111	108,850	62,158	111,117	1,296,320
2006	472,411	372,647	204,584	53,150	96,686	1,199,479
2007	470,314	242,565	148,508	117,896	84,743	1,064,026
2008	451,259	268,382	115,999	77,652	112,300	1,025,592
2009	298,643	238,687	179,591	66,685	98,070	881,676
2010	248,276	155,939	82,049	115,630	94,595	696,490

表5. 年齢別資源量の推移 (単位：トン)

年	年齢					合計
	0	1	2	3	4+	
2002	164	406	225	124	377	1,296
2003	122	315	276	170	302	1,185
2004	205	209	172	175	341	1,103
2005	186	403	167	128	334	1,218
2006	204	406	299	121	273	1,304
2007	131	280	240	260	265	1,176
2008	133	301	186	164	356	1,140
2009	95	269	271	131	333	1,099
2010	78	170	127	239	359	973

表6. 年齢別Fの推移

年	年齢					平均
	0	1	2	3	4+	
2002	0.58	0.51	0.37	0.31	0.31	0.42
2003	0.49	0.65	0.36	0.27	0.27	0.41
2004	0.49	0.25	0.38	0.32	0.32	0.35
2005	0.44	0.27	0.47	0.33	0.33	0.37
2006	0.52	0.67	0.30	0.32	0.32	0.43
2007	0.42	0.49	0.40	0.34	0.34	0.40
2008	0.49	0.15	0.30	0.41	0.41	0.35
2009	0.50	0.82	0.19	0.30	0.30	0.42
2010	0.47	0.48	0.33	0.34	0.34	0.39

表7 有明海、瀬戸内海西部の海域別の0歳漁獲尾数、0歳資源尾数、混入率、添加効率

年	有明海				瀬戸内海西部				混入率 (平均)	添加効率 (平均)
	0歳漁獲尾数	0歳資源尾数	混入率	添加効率	0歳漁獲尾数	0歳資源尾数	混入率	添加効率		
2002	39,700	96,994	0.19	0.51	119,892	170,556	0.03	0.05	0.07	0.17
2003	36,500	101,636	0.11	0.42	29,134	168,667	0.09	0.04	0.10	0.25
2004	132,000	367,193	0.27	0.20	68,885	129,896	0.06	0.10	0.20	0.16
2005	100,700	304,598	0.16	0.10	100,725	123,089	0.02	0.04	0.09	0.07
2006	120,200	318,512	0.36	0.21	28,199	266,384	0.17	0.05	0.32	0.18
2007	64,000	202,615	0.40	0.15	51,436	216,937	0.07	0.05	0.25	0.11
2008	72,500	200,979	0.31	0.12	32,306	211,996	0.14	0.06	0.26	0.10
2009	69,900	189,934	0.37	0.11	9,824	75,000	0.18	0.07	0.35	0.10
2010	44,600	131,424	0.79	0.16	5,025	167,787	0.66	0.06	0.78	0.15

瀬戸内海西部は、愛媛県、大分県、福岡県、山口県。

有明海は9～12月の調査、瀬戸内海西部は2002～2006年は9～3月、2007～2010年は7～12月の調査。

2002年は調査尾数と標識魚尾数から混入率を算出。

表8. SSB、0歳資源尾数、放流尾数、有効放流尾数、RPSの推移

年	SSB (トン)	0歳資源尾数		放流尾数	有効放流尾数	RPS (尾/kg)
		天然魚	放流魚			
2002	501	508,272	83,369	1,653,000	629,000	1.17
2003	473	278,220	60,056	1,384,000	630,000	0.59
2004	516	471,164	179,868	1,712,000	1,006,000	0.91
2005	462	578,587	90,498	1,625,000	1,050,000	1.25
2006	394	251,162	221,250	2,228,000	1,434,000	0.64
2007	525	320,146	150,168	2,165,000	1,212,000	0.61
2008	520	322,019	129,240	2,207,000	1,264,000	0.62
2009	464	163,024	135,620	2,470,000	1,328,000	0.35
2010	598	31,866	216,410	2,528,000	1,556,000	0.05

2010年の放流尾数は山口県、福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県は確定値を用い、その他の県は2009年と同様の放流尾数を仮定した。



図1. 分布域と産卵場

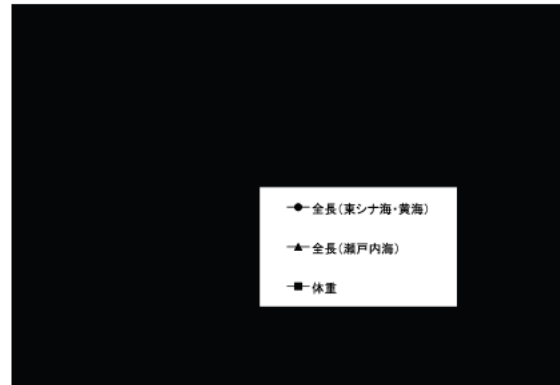


図2. 年齢と成長

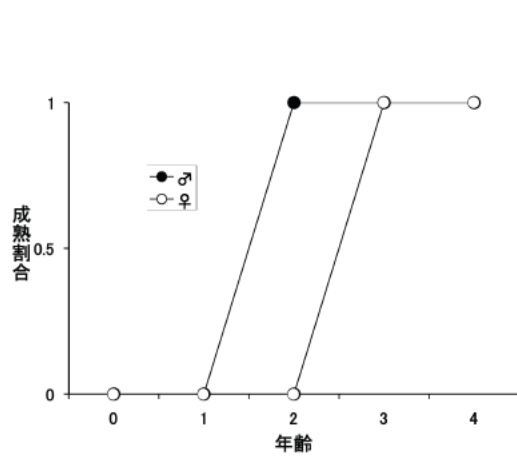


図3. 年齢と成熟

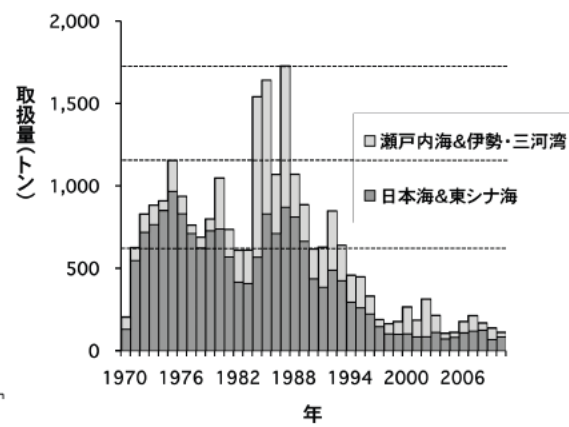


図4. 下関唐戸魚市場(株)における取扱量の推移

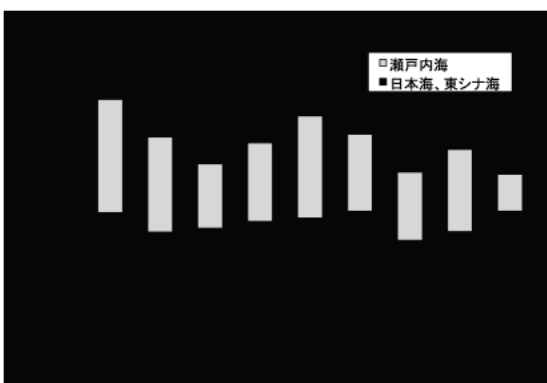


図5. 漁獲量の推移

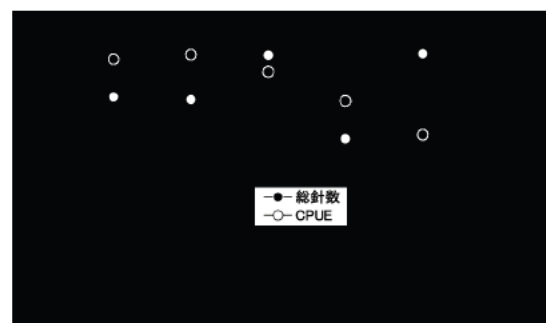


図6. 九州・山口北西海域における努力量とCPUEの推移

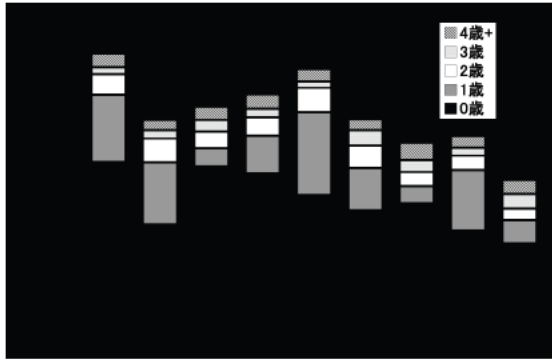


図7. 年齢別漁獲尾数の推移

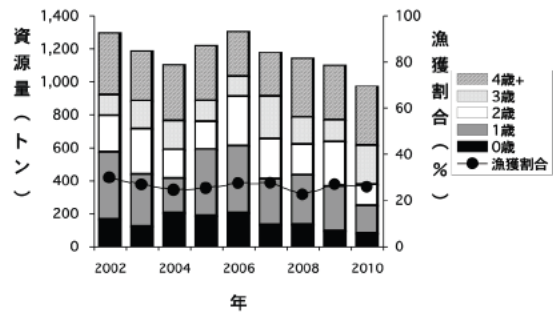


図8. 資源量と漁獲割合の推移

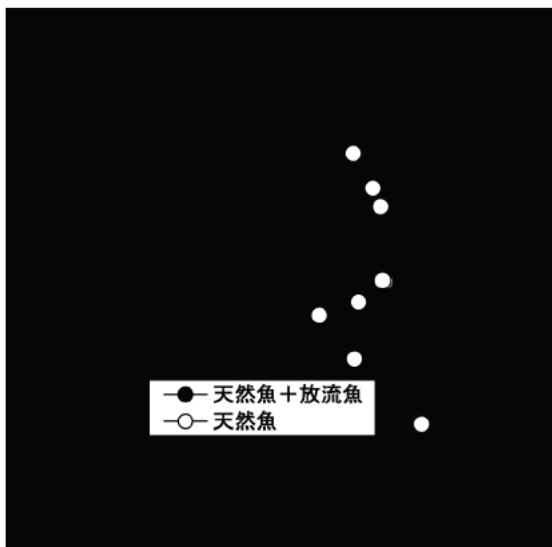


図9. 再生産関係の推移

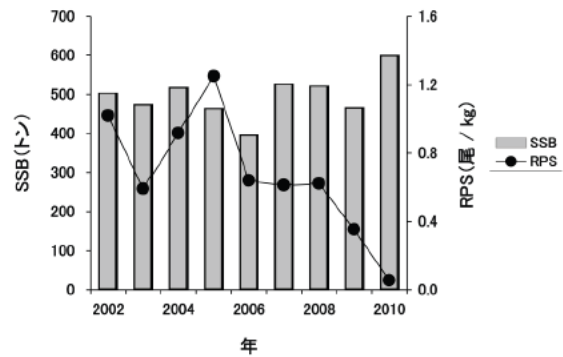


図10. SSBとRPSの推移

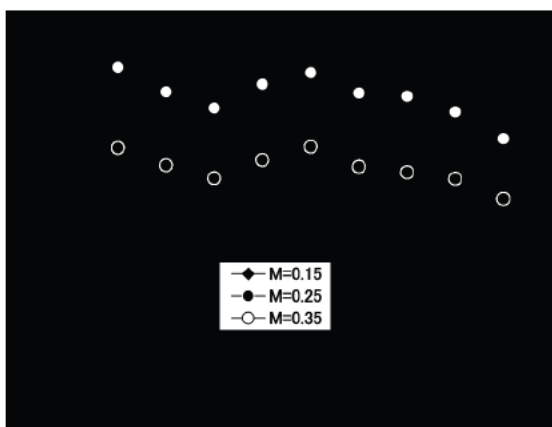


図11. Mの感度分析

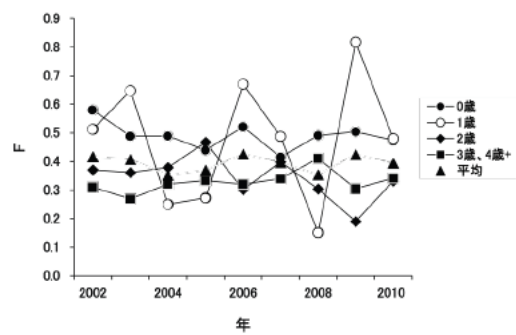


図12. 年齢別Fの推移

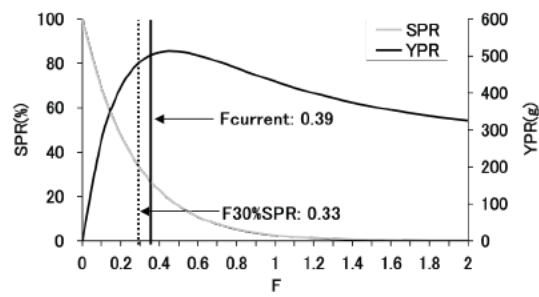


図 13. 全年齢の F の平均値と%SPR、YPR の関係

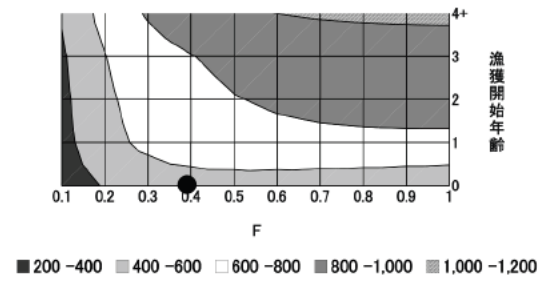


図 14. YPR の等量線図 (ポイントは現状の漁獲実態)

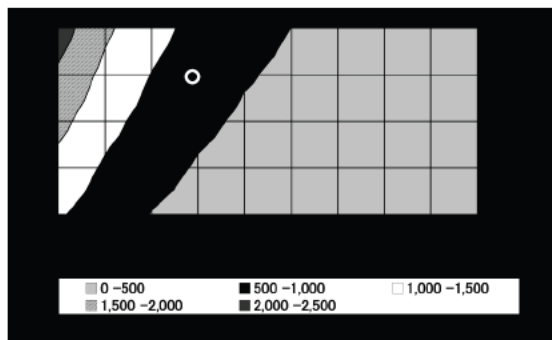


図 15. 2016 年の資源量の等量線図 (ポイントは現状の漁獲実態)

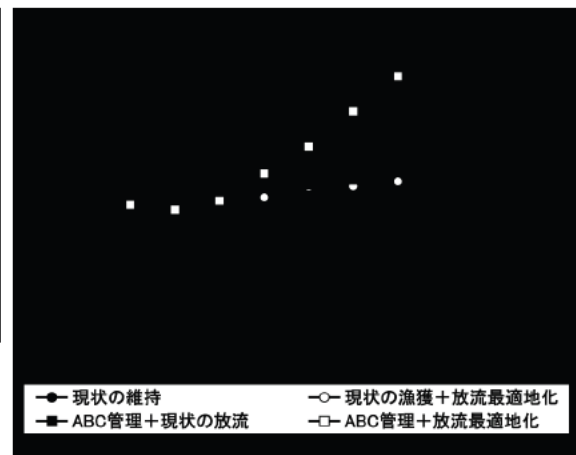
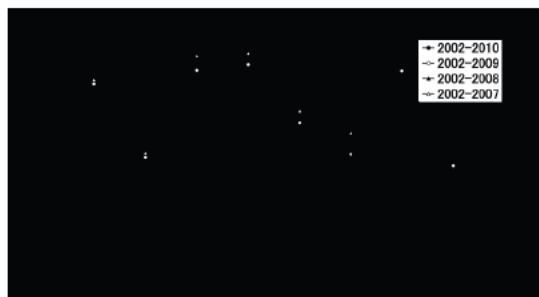
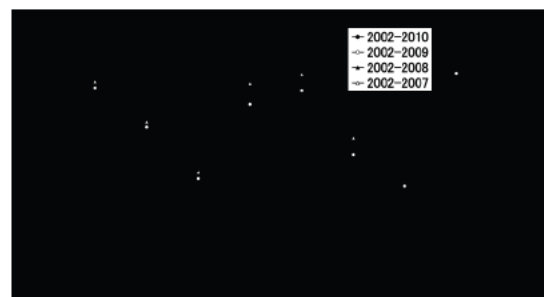


図 16. F と放流の各種条件での資源量の将来予測



付図1. 0歳の資源尾数におけるレトロスペクティブ解析



付図2. 1歳の資源尾数におけるレトロスペクティブ解析