

平成 22 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）、
西海区水産研究所（塚本洋一）

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、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 1,209 トンから変動しながら減少傾向で 2008 年は 840 トン、2009 年は 911 トンと推定された。人工種苗の添加効率は平均 0.09（0.01～0.15）と推定され、F および放流尾数を変化させた将来予測から資源量を下支えしていると考えられた。資源水準は極めて低位で動向は減少であり、2015 年に 2002 年以降、RPS が高かった 2005 年の SSB401 トンへ回復させることを当面の目標として、ABC 算定のための基本規則 1-3)-(3)を適用し、ABC を算定した。

	2011年ABC	資源管理基準	F値	漁獲割合
ABClimit	155トン	0.70Fcurrent	0.30	22%
ABCtarget	128トン	0.8・0.70Fcurrent	0.24	19%
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
2008	840	210	0.38	25%
2009	911	251	0.43	28%
2010	765			
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）） 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いたことから（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、瀬戸内海の間を交流し、資源として一系群であると判断されている。

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ことが報告されている（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、中村 2007）。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、中村 2007）。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、暦年でまとめられた下関唐戸魚市場（株）における取扱量を用いた（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トンで推移したが、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、2009年は138トンだった（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外海産および瀬戸内海（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2002～2004年に373～263トンに減少後、2006年の316トンまで増加し、2008年の210トンまで減少したが、2009年は251トンだった（表1、図5、2008年の漁獲量は確定値に更新した）。また、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年より把握されており、2005年は0.3トン、2006年は41トン、2007年は0トン、2008年は0.4トン、2009年は0トンだった。

(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2005～2008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、2008年は14百万針だった（表2、図6）。

4. 資源の状態

(1) 資源評価の方法

2002～2009 年の資源量は、日本海、東シナ海、瀬戸内海（太平洋南を含む）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（中村 2007）、田内・田中の方法により求めた 0.25 を用いた（田中 1960）。昨年度の資源評価では、最近年の 0～3 歳の各年齢の F を過去 3 年の平均に等しいと仮定したが、レトロスペクティブ解析で資源量推定値の変化の度合いを検討した結果、最近年の 0～3 歳の各年齢の F は過去 5 年の平均に等しいと仮定した（付図 1）。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 2005～2008 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た（表 2、図 6）。資源量と CPUE には相関関係は認められず（ $r = 0.22$, $p = 0.79$ ）、一部の海域の CPUE で系群全体を評価することは難しいことを示している。

(3) 漁獲物の年齢組成

2002～2009 年の漁獲物の大部分は 0 歳（36～69 %）と 1 歳（9～37 %）で占められていた（表 3、図 7）。

(4) 資源量と漁獲割合の推移

資源量は 2002 年の 1,209 トンから変動しながら減少傾向で 2008 年は 840 トン、2009 年は 911 トンと推定された（表 5、図 8）。漁獲割合は 25～31 %（平均 28 %）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、SSB および 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

長期の漁獲量の指標の推移から資源水準は極めて低位であり（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、2002～2009 年は 0.38～0.49 で変動しながら横ばいで推移し、特に 1 歳の F は大きく変動した（表 6、図 12）。また、1 歳の F と 1 歳の資源量には有意

ではないものの中程度の正の相関があり ($r = 0.55$, $p = 0.16$)、1 歳の資源量が多ければ F が高くなる傾向がある可能性が考えられた。つまり、今後の資源量回復の可能性を 1 歳の高い F が押さえ込んでいる可能性が考えられるため、1 歳の F の削減は他の年齢以上に重要であると考えられる。資源量と全年齢の F の平均値の推移を図 13 に示す。 F_{current} は F_{max} をやや下回り、 $F_{30\%SPR}$ を上回っていた (図 14)。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、0 歳から漁獲する現状の漁獲からは十分な YPR は得られておらず、成長乱獲であることが示唆された (図 15)。

(8) 種苗放流効果

本系群の対象海域では、1993 年以降、128～223 万尾 (平均 165 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) 1995～2010、表 8)。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、瀬戸内海 (豊後水道、紀伊水道、太平洋南を除く)) 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) 1995～2010、表 8)、その他の人工種苗は資源に添加しないと仮定した。標識再捕調査が充実している有明海と瀬戸内海西部を対象に、0 歳の漁獲尾数と標識再捕調査から推定された標識の施された人工種苗 (有明海は胸鰭カットと ALC、瀬戸内海西部は焼印) の総再捕尾数を用いて、2002～2009 年の 0 歳時での混入率を算出した結果 (長崎県 2004～2009、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 2009～2010)、0.09～0.34 (平均 0.20) だった (表 7)。9 月を加入月とし、上記の海域における 0 歳の資源尾数 (系群全体の 0 歳漁獲尾数に占める上記海域の混入率調査期間の 0 歳漁獲尾数の割合を系群全体の 0 歳資源尾数に乗じて推定)、標識の施された人工種苗の混入率および放流尾数から添加効率を算出した結果、0.01～0.15 (平均 0.09) だった (表 8)。上記の海域以外の放流適地に放流された他の標識が施された人工種苗および無標識の人工種苗も上記と同様な添加効率であると仮定した。2011 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 2015 年の資源量を推定した。天然 0 歳資源尾数は産卵親魚量と近年の低い RPS を考慮した 2006～2009 年の RPS の平均値を用いて推定し、添加効率は 2002～2009 年の平均値 0.09 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)。このことから、人工種苗は資源を下支えしていると考えられる。

5. 2011 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、親魚量が減少し、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り、高水準期での再生産関係が把握できなかったため、 B_{limit} は推定できなかった。2011 年以降の将来予測は、現状の F 、1993～2008 年の平均有効放流尾数、2002～2009 年の添加効率の平均値、近年の低い RPS の推移を考慮して、2006～2009 年の RPS の平均値が継続すると仮定し、2015 年まで予測した(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。 B_2 は 2015 年の SSB が 2002 年以降、高い RPS であった 2005 年の SSB_{401} トンに回復する値である 0.70 とし、 α は標準値 0.8 とした。

	2011年ABC	資源管理基準	F値	漁獲割合
ABC _{limit}	155トン	$0.70F_{current}$	0.30	22%
ABC _{target}	128トン	$0.8 \cdot 0.70F_{current}$	0.24	19%

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）						
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
SSBの回復	0.70Fcurrent (0.30)	251	228	155	176	184	190	203
現状の漁獲の継続	Fcurrent(0.43)	251	228	209	210	195	182	176
		資源量（トン）						
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
SSBの回復	0.70Fcurrent (0.30)	911	765	691	787	822	852	912
現状の漁獲の継続	Fcurrent(0.43)	911	765	691	693	645	601	580

F値は2009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	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0.04	0.1Fcurrent	911	765	691	1,013	1,336	1,733	2,328
0.09	0.2Fcurrent	911	765	691	971	1,230	1,535	1,981
0.13	0.3Fcurrent	911	765	691	930	1,133	1,360	1,688
0.17	0.4Fcurrent	911	765	691	891	1,044	1,207	1,441
0.22	0.5Fcurrent	911	765	691	854	962	1,071	1,231
0.26	0.6Fcurrent	911	765	691	819	887	952	1,055
0.30	0.7Fcurrent	911	765	691	785	819	847	905
0.35	0.8Fcurrent	911	765	691	753	756	755	778
0.39	0.9Fcurrent	911	765	691	722	698	673	671
0.43	1.0Fcurrent	911	765	691	693	645	601	580
0.48	1.1Fcurrent	911	765	691	665	596	537	503
0.52	1.2Fcurrent	911	765	691	638	551	481	437

		漁獲量 (トン)						
F	基準値	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0.04	0.1Fcurrent	251	228	25	37	48	63	84
0.09	0.2Fcurrent	251	228	49	69	87	109	140
0.13	0.3Fcurrent	251	228	72	97	118	142	175
0.17	0.4Fcurrent	251	228	95	122	142	164	196
0.22	0.5Fcurrent	251	228	116	143	161	179	205
0.26	0.6Fcurrent	251	228	136	161	174	187	207
0.30	0.7Fcurrent	251	228	155	177	184	190	203
0.35	0.8Fcurrent	251	228	174	190	190	190	196
0.39	0.9Fcurrent	251	228	192	201	194	187	187
0.43	1.0Fcurrent	251	228	209	210	195	182	176
0.48	1.1Fcurrent	251	228	225	217	195	176	165
0.52	1.2Fcurrent	251	228	241	223	193	169	154

(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
2008 年漁獲量確定値	2008 年漁獲量の確定、2008 年資源量
2009 年年齢別漁獲尾数	2009 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)
2009年 (当初)	0.8F30%SPR	0.27	721	172	142	
2009年 (2009年再評価)	0.8F30%SPR	0.25	892	166	146	
2009年 (2010年再評価)	0.8F30%SPR	0.26	911	178	147	251
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	

(2009年再評価) および (2010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。

(2009年再評価) および (2010年再評価) は漁期年 (4～3月) を評価期間とした。

(2010年再評価) は0歳を9月加入とした。

6. ABC 以外の管理方策の提言

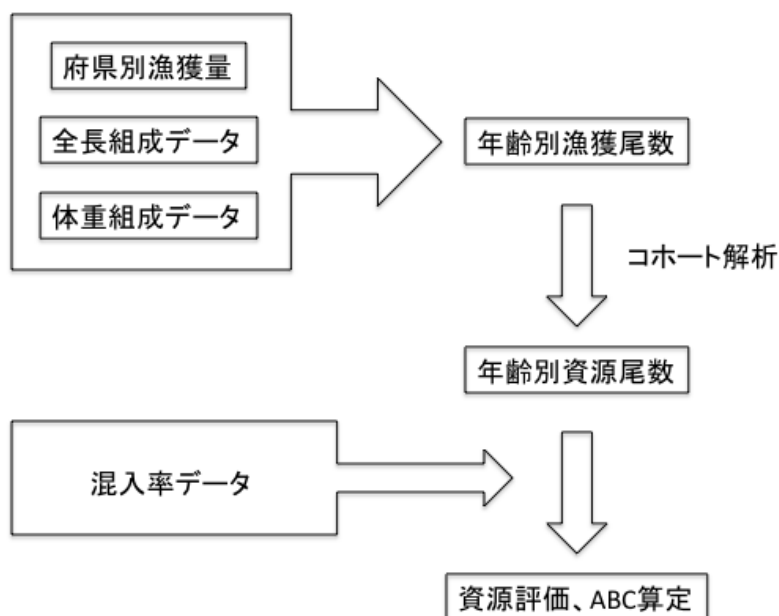
近年、RPS が低い水準で推移し、人工種苗によって資源が下支えされていることを考慮すると、資源回復には放流場所を成育場へ転換することが重要と考えられる。放流場所の天然稚魚の成育場への転換や0歳の保護により、添加効率が向上をはかる必要がある。現状の放流場所を全て成育場に転換すると資源の底上げが期待されるが、全ての年齢でFを削減しなければ資源の回復は期待できない (図 17)。また、人工種苗の放流が天然集団に与える遺伝的な影響などに関する基礎的な知見の収集に努め、遺伝的集団構造、遺伝的多様性に配慮した種苗放流を行うことも重要である。

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）（1995～2010）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（2009～2010）（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（2004～2009）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.
- 中村圭佑（2007） 資源減少時における瀬戸内海産トラフグ *Takifugu rubripes* の年齢と成長に関する研究．広島大学大学院生物圏科学研究科修士論文.
- 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、熊本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、関門内海、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、

$$N_{a,2009} = \frac{C_{a,2009}}{1 - e^{-F_{a,2009}}} e^{\frac{M}{2}}$$

で計算した。2009年の0～3歳の F は各年齢の過去5年間の平均とし（付図1）、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。

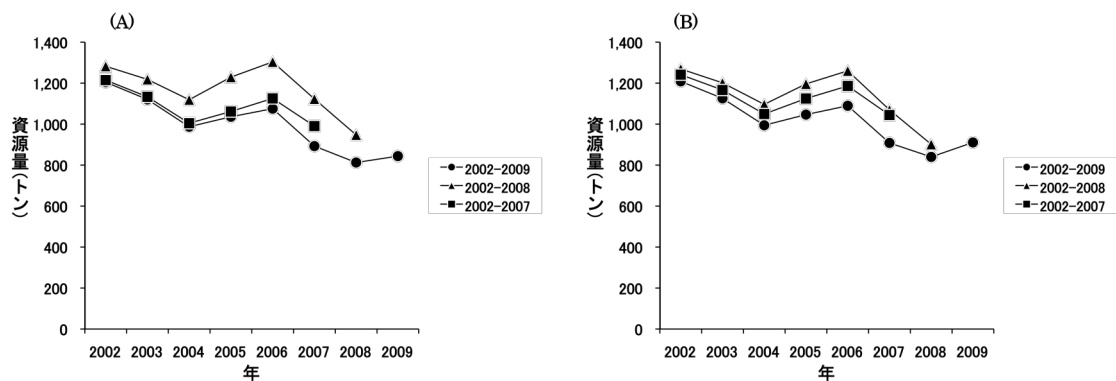
$$C_{a,y} = N_{a,y}(1 - e^{-F_{a,y}})e^{-\frac{M}{2}}$$

年齢別平均体重は、2002～2009年の平均値を用いた。

年齢	0	1	2	3	4+
平均体重 (g)	319	1,128	1,545	2,091	3,185

【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．



付図 1. レトロスペクティブ解析

(A) は最近年の各年齢の F を過去 3 年の平均と仮定。

(B) は最近年の各年齢の F を過去 5 年の平均と仮定。

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		福岡	佐賀	長崎	熊本	鹿児島	有明海 0歳		計	宮崎	大分	愛媛	瀬戸内海		山口	広島	岡山	兵庫	香川		徳島	和歌山	計
						日本海	瀬戸内海																						
2002	6	8	7	4	2	62	55	10	16	3	4	10	186	8	51	22	39	10	16	2	15	18	4	186	373				
2003	5	5	3	3	1	73	51	13	18	5	1	8	186	7	44	22	39	10	9	0.3	11	5	1	148	334				
2004	7	0.5	3	3	1	56*	46	7	10	4	0.4	28	165	2	26	18	22	9	3	0.2	16	1	0.4	98	263				
2005	6	0.4	1	3	4	31*	47	9	24	3	0.2	16	145	4	30	23	33	9	12	2	20	3	0.4	137	281				
2006	8	4	1	2	1	13	57	12	18	5	0.2	21	144	12	48	25	49	7	10	1	17	2	1	172	316				
2007	6	5	2	3	1	9	64	9	26	10	1	12	148	8	33	20	33	4	7	0.5	13	3	1	123	271				
2008	5	9	4	3	2	6	26	3	20	9	1	11	98	2	18	10	17	8	10	0.5	45	1	1	112	210				
2009	4	1	2	4	3	8	49	9	23	8	1	10	120	9	37**	28	26	5	6***	0.1***	17	3	1	131	251				

漁期年(4~3月)集計。

*2005年1～12月の漁獲量は農林統計値の前年比を用いて推定。

***1～3月を代表漁協と果の漁獲量の比を参考に前年の漁獲量から推定。

***2010年1～3月の漁獲量が不明なため、前年の漁獲量を使用。

表2. 努力量とCPU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

表3. 年齢別漁獲尾数の推移

年	年齢					合計
	0	1	2	3	4+	
2002	250,550	119,446	35,104	10,370	18,585	434,054
2003	119,136	114,203	52,752	19,067	21,433	326,591
2004	245,860	31,517	32,412	22,108	26,014	357,912
2005	244,546	65,391	32,234	13,868	25,772	381,812
2006	179,652	145,850	40,617	11,255	21,456	398,831
2007	155,359	68,529	36,964	24,248	18,351	303,451
2008	160,795	25,340	21,532	19,247	27,683	254,596
2009	109,589	100,744	21,968	13,380	19,963	265,643

表4. 年齢別資源尾数の推移

年	年齢					合計
	0	1	2	3	4+	
2002	573,881	348,242	142,937	53,283	95,487	1,213,830
2003	305,601	263,076	165,801	80,341	90,309	905,128
2004	590,666	153,373	104,100	82,572	97,161	1,027,873
2005	630,340	281,943	91,634	52,469	97,508	1,153,895
2006	411,291	317,455	161,870	42,918	81,820	1,015,354
2007	310,436	188,461	118,522	90,220	68,279	775,917
2008	558,083	123,876	86,297	59,684	85,845	913,786
2009	267,017	332,864	74,112	48,206	71,924	794,123

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	159	383	224	108	335	1,209
2003	110	289	265	177	283	1,126
2004	186	179	154	155	321	994
2005	175	329	141	108	293	1,046
2006	178	346	237	98	231	1,090
2007	86	218	191	199	214	908
2008	164	139	138	126	272	840
2009	85	375	112	95	244	911

表6. 年齢別Fの推移

年	年齢					平均
	0	1	2	3	4+	
2002	0.63	0.49	0.33	0.25	0.25	0.39
2003	0.54	0.68	0.45	0.31	0.31	0.46
2004	0.59	0.27	0.44	0.36	0.36	0.40
2005	0.54	0.30	0.51	0.36	0.36	0.41
2006	0.63	0.74	0.33	0.35	0.35	0.48
2007	0.77	0.53	0.44	0.36	0.36	0.49
2008	0.37	0.26	0.33	0.45	0.45	0.38
2009	0.58	0.42	0.41	0.38	0.38	0.43

表7. 混入率調査（0歳）

年	有明海			瀬戸内海西部			混入率
	放流尾数	漁獲尾数	推定再捕尾数	放流尾数	漁獲尾数	推定再捕尾数	
2002	36,000	4,550	868	170,556	3,928	119	0.12
2003	27,350	36,500	4,125	168,667	34,513	2,586	0.09
2004	500,000	132,000	36,036	129,896	82,573	4,450	0.19
2005	516,000	100,700	16,414	123,089	117,351	1,796	0.08
2006	550,700	120,200	42,671	266,384	31,256	4,904	0.31
2007	524,160	64,000	25,408	216,937	59,333	3,596	0.24
2008	518,630	72,500	22,403	211,996	36,972	4,546	0.25
2009	666,200	69,900	26,040	75,000	11,534	1,817	0.34

瀬戸内海西部は、愛媛県、大分県、山口県。

有明海9～12月の調査、瀬戸内海西部は2002～2006年は9～3月、2007～2009年は7～12月の調査。

2002年は調査尾数と標識魚尾数。

表8. 添加効率、RPSの推移

年	SSB (トン)	0歳資源尾数	放流尾数	有効放流尾数	添加効率	RPS (尾 / kg)
2002	443	573,881	1,653,000	629,000	0.01	1.3
2003	460	305,601	1,384,000	630,000	0.09	0.5
2004	476	590,666	1,712,000	1,006,000	0.15	0.9
2005	401	630,340	1,625,000	1,050,000	0.07	1.4
2006	329	411,291	2,228,000	1,434,000	0.13	0.7
2007	413	310,436	2,165,000	1,212,000	0.08	0.5
2008	398	558,083	2,207,000	1,264,000	0.11	1.1
2009	339	267,017	1,651,125*	1,032,143*	0.09	0.5

*2009年の放流尾数は1993～2008年の平均で推定。



図1. 分布域と産卵場

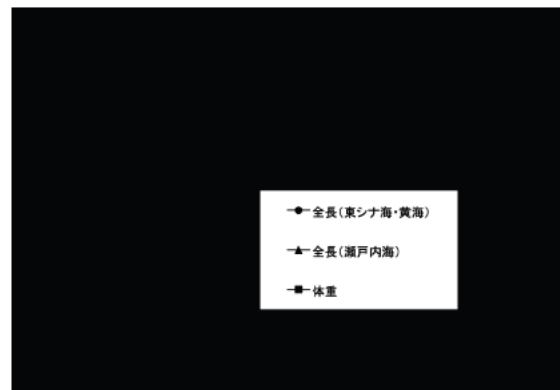


図2. 年齢と成長

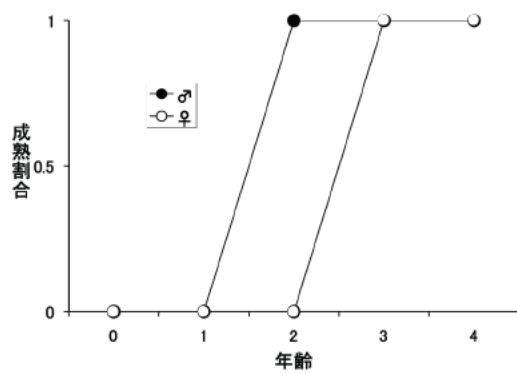


図3. 年齢と成熟

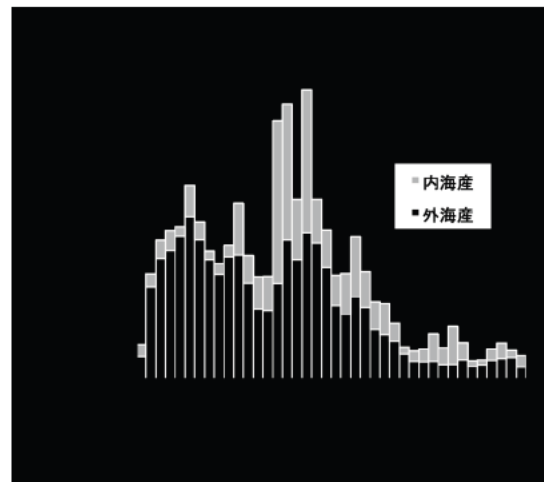


図4. 干支田・荒井市場(内)・豊後(外)の収獲量の推移

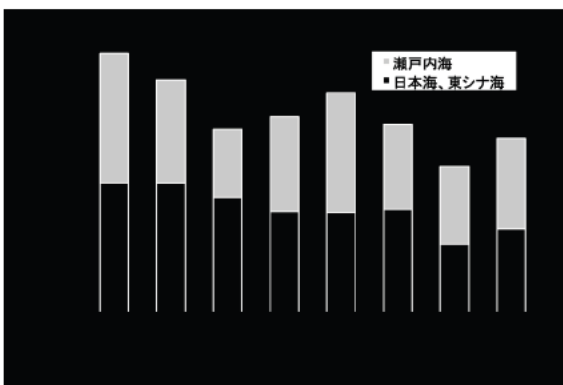


図5. 漁獲量の推移



図6. 九州・山口北西海域における努力量とCPUEの推移

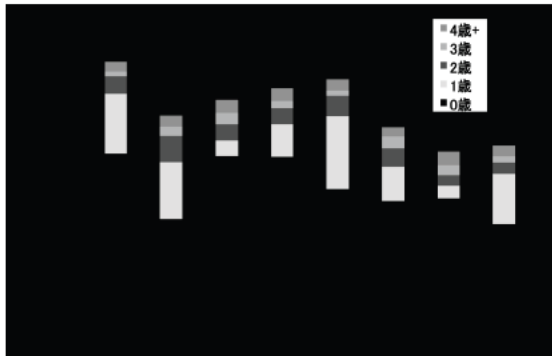


図 7. 年齢別漁獲尾数の推移

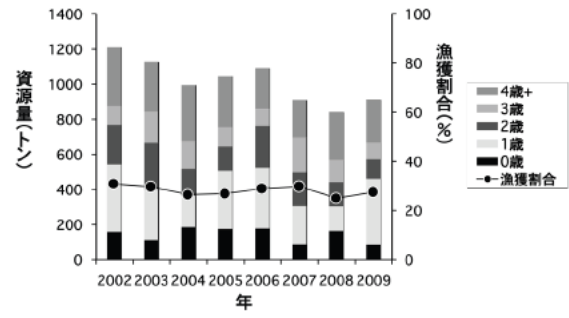


図 8. 資源量と漁獲割合の推移

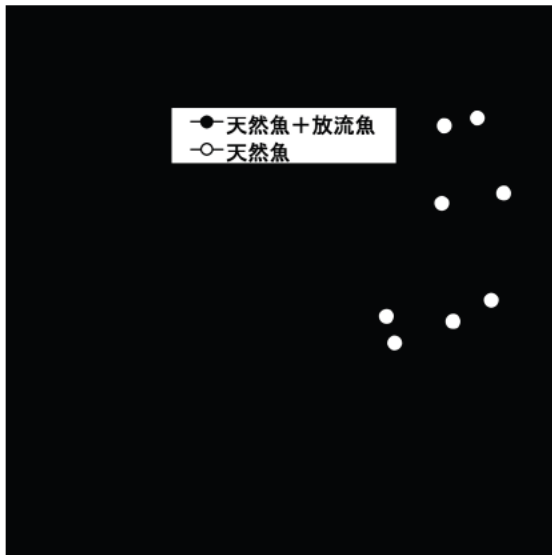


図 9. 再生産関係の推移

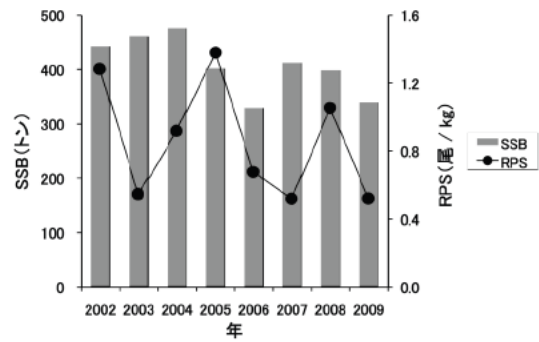


図 10. SSB と RPS の推移

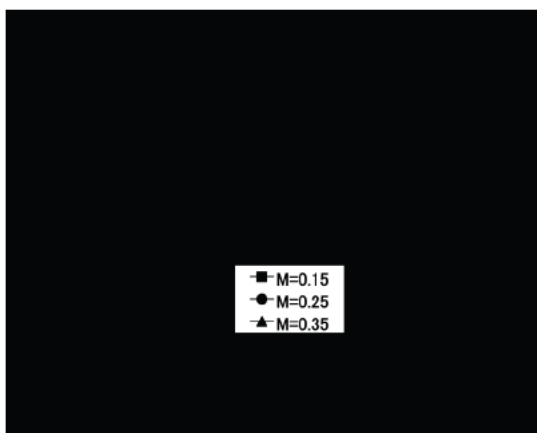


図 11. M の感度分析

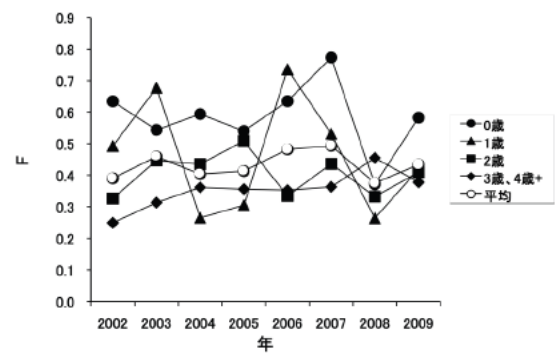


図 12. 年齢別 F の推移

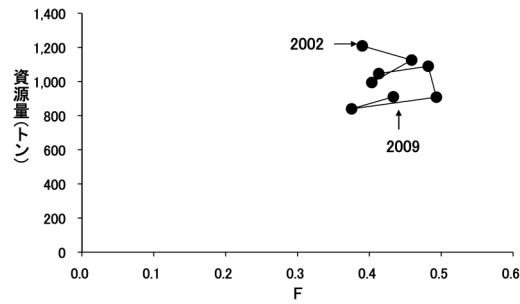


図 13. 全年齢の F の平均値と資源量の推移

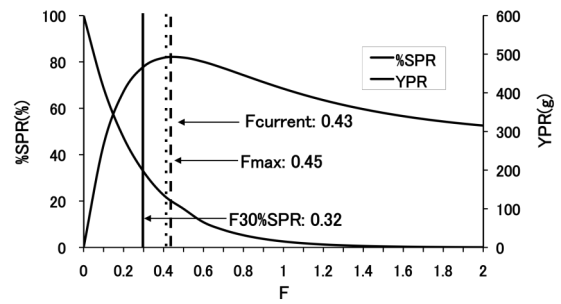


図 14. 全年齢の F の平均値と%SPR、YPR の関係

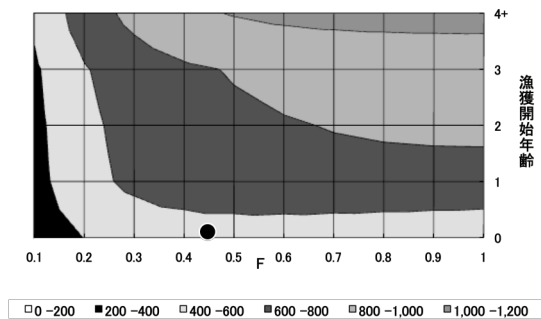


図 15. 等 YPR 線図

ポイントは現状の漁獲を示す。

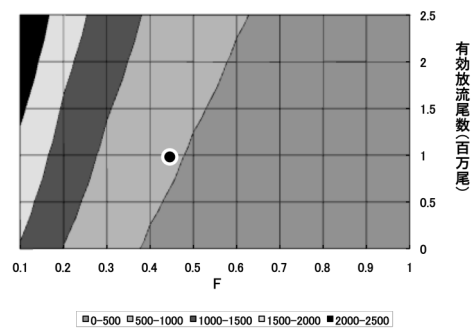


図 16. 2015 年の等資源量線図

ポイントは現状の漁獲を示す。

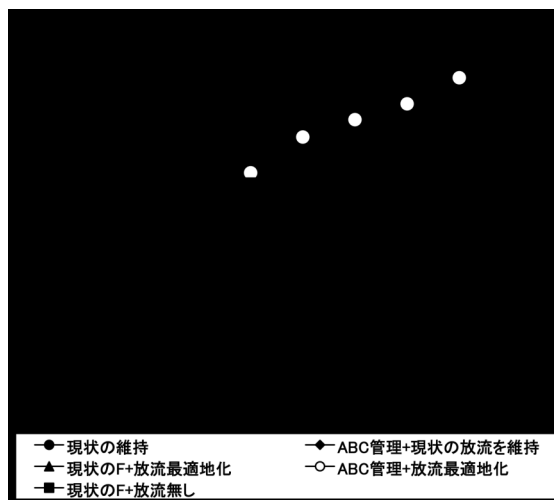


図 17. F と放流の各種条件による将来予測