

平成 21 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、小畑泰弘、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研究部および同センター豊前海研究所、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センター水産試験場および同浅海研究所、愛媛県農林水産研究所水産研究センターおよび同センター栽培資源研究所、広島県立総合技術研究所水産海洋技術センター、岡山県水産試験場、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）。資源評価を漁獲実態と対応させることを目的として、本年より漁期年（4-3 月）で資源量推定を行った。その結果、資源量は 2002 年の 1,277 トンから 2004 年の 1,104 トンへ減少後、2006 年の 1,264 トンまで増加したが、2007 年から減少し、2008 年は 922 トンであった。人工種苗の混入率は平均 0.17（0.08~0.31）、添加効率は平均 0.04（0.02~0.07）と推定された。資源水準は極めて低位で、2006 年以降、産卵親魚量が増加したにも関わらず再生産成功率（RPS）が低いまま推移したことが資源動向減少の大きな要因と考えられる。F、RPS、放流効果が現状のまま推移すると仮定すると 2009 年以降、資源量は更に減少すると予測されたため、資源量の維持を目的として ABC 算定のための基本規則 1-3）（3）を適用し、ABC を算定した。

	2010年ABC	資源管理基準	F値	漁獲割合
ABClimit	147トン	0.6Fcurrent	0.25	19%
ABCtarget	120トン	0.8・0.6Fcurrent	0.20	15%

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
2007	1,065	262	0.49	25%
2008	922	203	0.39	22%
2009	892			

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結果から、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 歳魚が豊後水道、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結果から、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、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歳魚以上が定置網、釣り、敷網によって漁獲され、成育場周辺では、7~1月に0歳魚が定置網、小型底曳網、釣り、延縄によって漁獲され、沖合や水道域では、12~3月に0歳魚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、2008年は168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365~238トンに減少後、2006年の295トンまで増加したが、2007年以降減少傾向で2008年は203トンであった(表1、図5)。

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41.2トン、2007年は0トン、2008年は0.4トンだった。

(3) 漁獲努力量

九州沿岸~日本海西部では、9~3月に延縄(浮延縄、底延縄)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2005~2007年漁期の総針数を代表させた。総針数の推移は、2005年は18百万針、2006年は14百万針、2007年は17百万針だった(表2、図6)。

4. 資源の状況

(1) 資源評価の方法

2002~2008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合算し(表3-5)、コホート解析(Popeの近似式)により推定した(平松 2001)。自然死亡係数(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)。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 2005~2007 年漁期の CPUE (kg/針) を代表させた。CPUE は 2005 年の 0.0049 kg/針から増加傾向で 2007 年は 0.0063 kg/針だった (表2、図 6)。

(3) 漁獲物の年齢組成

2002~2008 年の漁獲物の年齢組成は、0 歳と 1 歳が 7~9 割を占めた (表3~5、図 7)。

(4) 資源量と漁獲割合の推移

資源量は 2002 年の 1,277 トンから 2004 年の 1,104 トンへ減少後、2006 年の 1,264 トンまで増加したが、2007 年の 1,065 トンから減少し、2008 年は 898 トンだった。(表 6~7、図 8)。漁獲割合は 22~29% (平均 24%) で推移した (図 8)。

(5) 再生産関係

下記の (8) に示す混入率に基づいて、0 歳魚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、年変動が大きく、明瞭な関係は認められなかった (図 9)。産卵親魚量は、2002 年の 467 トンから 2004 年の 522 トンに増加後、2006 年の 395 トンまで減少し、2007 年から増加に転じ、2008 年は 566 トンだった (表10、図 10)。RPS (尾/kg) は、2002 年の 1.2 から 2003 年の 0.6 に半減後、2005 年の 1.5 まで回復したが 2007 年の 0.4 まで減少し、2008 年は 0.7 だった (表10、図 10)。2006 年以降、産卵親魚量が増加傾向であるにも関わらず、RPS が低いまま推移したことは憂慮すべきことだが、その原因は不明である。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、2002~2008 年は 0.355~0.488 で変動しながら横ばいで推移した (表 8、図 12)。0 歳の F は、2002~2006 年は 0.468~0.622 で変動しながら横ばいで推移したが、2007 年に 1.031 に急増し、2008 年は 0.545 だった。1 歳の F は、2002 年の 0.469 から 2003 年の 0.635 に増加後、2004 年の 0.240 に大きく減少し、2006 年の 0.611 に大きく増加し、その後減少傾向で 2008 年は 0.473 だった。2 歳の F は、2002~2005 年は 0.307~0.440 で推移し、2006 年に 0.277 に減少後横ばいで推移し、2008 年は 0.343 だった。3 歳以上の F は、2002~2008 年は 0.234~0.324 で変動しながら横ばいで推移した。資源量と全年齢の F の平均値の推移を図 13 に示す。また、 $F_{current}$ は F_{max} を下回り、 $F_{30\%SPR}$ を上回っていることが示された (図)。

(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 161 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）1995~2009、表 10、図 15）。有明海と瀬戸内海西部海域での標識放流調査結果から得られた漁獲尾数と推移された人工種苗の総再捕尾数を合算して、本系群の 2002~2008 年の 0 歳時での人工種苗（標識魚：有明海は胸鰭カットと ALC、瀬戸内海西部は焼印）の混入率と添加効率を算出した（長崎県、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）。混入率は 0.08~0.31（平均 0.17）、添加効率は 0.02~0.07（平均 0.04）だった（表 9~10）。添加効率の計算にあたり、無標識で放流された人工種苗も上記の海域と同様な混入率であると仮定した。添加効率は 9 月を加入月として算出した。また、天然魚の成育場等の放流に適した場所での放流のみを考慮した添加効率も算出した結果、添加効率は 0.05~0.12（平均 0.08）だった（補足資料 3）。2010 年以降、全年齢の F の平均値と放流尾数をそれぞれ変化させた場合、期待される 2014 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 の推移を考慮して 2006~2008 年の RPS の平均値を用いて推定し、4 月時点の放流魚の生残率は 2002~2008 年の平均値 0.05 を用いた。現状の F を維持したまま、放流尾数を減少させると資源量は減少することから種苗放流は資源を底上げしていると考えられる（図 16）。

5. 2010 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で、資源動向は減少と考えられる。また、2006 年以降 RPS が低いまま推移したことが資源動向減少の大きな要因と考えられ、今後、低い RPS を反映して親魚量が低下することから資源回復が困難な悪循環に陥ることも懸念される。このことから、漁獲量を緊急に削減し、資源回復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、Blimit は推定できなかった。2009 年以降の将来予測は、現状の F、2002~2007 年の平均放流尾数、2002~2008 年における 4 月時点の放流魚の生残率の平均値、近年の低い RPS の推移を考慮して 2006~2008 年の RPS の平均値が継続すると仮定し、2014 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、2010 年以降の資源管理基準は、Fcurrent とした。β2 は 2014 年の資源量が 2008 年と同水準になることを考慮して 0.6、α は標準値 0.8 とした。

	2010年ABC	資源管理基準	F値	漁獲割合
ABClimit	147トン	0.6Fcurrent	0.25	19%
ABCTarget	120トン	0.8・0.6Fcurrent	0.20	15%

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)						
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
資源量の維持	0.6Fcurrent(0.248)	241	243	147	148	157	164	170
現状の漁獲の継続	Fcurrent(0.387)	241	243	214	188	177	165	152
		資源量(トン)						
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
資源量の維持	0.6Fcurrent(0.248)	922	892	790	801	848	888	922
現状の漁獲の継続	Fcurrent(0.387)	922	892	790	699	654	606	560

F値は全年齢の平均値

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

(3) ABClimit の評価

加入量の不確実性を考慮したシミュレーションを各シナリオにつき 1,000 回行い、2014 年の漁獲量と推定値の 95%信頼区間を求めた。天然 0 歳資源尾数は、産卵親魚量とランダムサンプリングした 2002~2008 年の RPS より推定した。放流尾数と 4 月時点の放流魚の生残率は ABClimit 算定と同様に、2002~2007 年の平均放流尾数、2002~2008 年におけるの平均値とした。95%信頼区間はパーセントイル法で推定した。また、2014 年に 2008 年の資源量と漁獲量を上回る確率を求めた。

漁獲シナリオ (管理基準)	F値 (Fcurrentとの比較)	漁獲割合	将来漁獲量		評価		2010年 ABC
			5年後	5年平均	現状資源量を 上回る (5年後)	現状漁獲量を 上回る (5年後)	
基準値での漁獲 (β_2 Fcurrent)	0.25 (0.64Fcurrent)	19%	126~462トン	265トン	87%	43%	147トン
基準値での漁獲 の予防的措置 (α F基準値)	0.20 (0.51Fcurrent)	15%	122~463トン	264トン	86%	44%	120トン
							2010年算 定漁獲量
現状の漁獲圧の 維持 (Fcurrent)	0.39 (1.00Fcurrent)	27%	117~388トン	231トン	43%	43%	214トン
コメント							
・ Fcurrentは2008年の漁獲係数							

(4) ABC の再評価

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)
2008年(当初)	0.8F30%SPR	0.27	640	136	111	
2008年(2008年再評価)	0.8F30%SPR	0.27	751	168	138	
2008年(2009年再評価)	0.8F30%SPR	0.25	922	158	130	203
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) は漁期年 (4-3月) を評価期間とした

6. ABC 以外の管理方策の提言

九州・山口北西海域トラフグ資源回復計画の効果は 2004 年以前の努力量のデータが十分でない

め、努力量削減について比較検証することはできない。しかし、2006 年を境に産卵親魚量が増加傾向にあること（表 10、図 10）や産卵親魚を漁獲している県（福井県、長崎県、熊本県、広島県、香川県）の漁獲量が安定もしくは増加傾向にあることから（表 1）、各産卵場へ移動途中のトラフグを漁獲対象とする海域での漁期規制の効果が認められると考えられる。

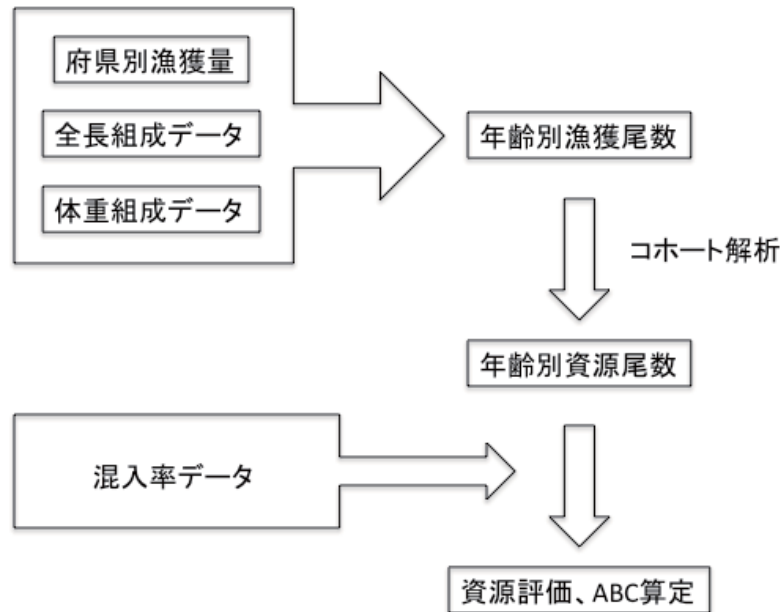
近年、天然 0 歳魚の資源尾数は低い水準で推移し、放流 0 歳魚の資源尾数によって底上げされている（図 17）。加えて、0 歳魚の F も近年高い水準で推移している（表 8、図 12）。これらのことから、資源の維持および回復には 0 歳魚の保護と種苗放流の効率化が重要である。種苗放流の効率化は添加効率の向上を意味し、地先放流から天然魚の成育場に健全種苗を放流する最適放流へ転換する必要がある（松村 2005）、0 歳魚の保護によって、さらに添加効率が向上すると期待される。また、人工種苗の放流が天然集団に与える遺伝的な影響などに関する基礎的な知見の収集に努め、遺伝的集団構造、遺伝的多様性に配慮した種苗放流を行うことが重要である。

7. 引用文献

- 天野千絵 檜山節久 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, 1997; 53 67.
- 藤田矢郎 日本近海のフグ類 (社) 日本水産資源保護協会, 1988; 128.
- 藤田矢郎 さいばい, 1996; 79: 15 18.
- 平成 5 年度~平成 19 年度栽培漁業種苗生産、入手・放流実績 (全国). 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, 1995~2009.
- 平成 20 年度栽培漁業資源回復等対策事業報告書. (社) 全国豊かな海づくり推進協会, 2009; 349 353.
- 平松一彦 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, 2001; 103 128.
- 伊藤正木 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, 1997; 41 52.
- 伊藤正木, 小嶋喜久雄 田川 勝. 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 1998; 64 :435 439.
- 伊藤正木, 多部田 修. 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, 2000; 48: 17 24.
- 松村靖治 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 2005; 71: 805 814.
- 松村靖治. 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, 2006; 72 :1029 1038.
- 松浦修平. 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, 1997; 16 27.
- 中村圭佑. 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, 2007.
- 尾串好隆 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, 1987 ;22: 30 36.
- 佐藤良三, 鈴木伸洋, 柴田玲奈, 山本正直. 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 1999; 65 :689 694.

- 佐藤良三, 東海 正, 柴田玲奈, 小川泰樹, 阪地英男. 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 1996; 29: 27-38.
- 柴田玲奈, 佐藤良三, 東海 正. 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, 1997; 68-83.
- 田川 勝, 伊藤正木. 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, 1996; 74: 73-83.
- 田中昌一. 水産生物のPopulation Dynamics と漁業資源管理 東海水研報 1960; 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（外海）、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、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（五利江 2002）。日本海、東シナ海では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（内海）、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。瀬戸内海では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（埴生漁協、宇部漁協）、瀬戸内海中央部（田尻漁協）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。

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

$N_{a,y}$ 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、

$$N_{a,2008} = \frac{C_{a,2008}}{1 - e^{-F_{a,2008}}} e^{\frac{M}{2}}$$

で計算した。2008年の1~3歳のFは各年齢の過去3年間の平均とし、2008年の0歳のFは2007年のFが過去と比較して際立って高かったため、2005、2006年の平均とした。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。

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

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

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

$f r_a$ 、 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。

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

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

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

R_y は y 年の放流尾数、 A_y は y 年における4月時点の放流魚の生残率

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、2002~2008年の平均値を用いた。

年齢	0	1	2	3	4+
平均体重 (g)	320	1,128	1,551	2,109	3,154

【引用文献】

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

補足資料3 有効な放流効果の検討

トラフグは天然魚の成育場に健全種苗を放流することで高い放流効果が得られることが報告されている(松村 2005)。そこで、本系群の全放流尾数のうち、天然魚の成育場等へ放流された有効放流尾数を検討し、添加効率も算出した。有効放流尾数は、天然魚の成育場(有明海、八代海、福岡湾、関門海峡周辺、布刈瀬戸、備讃瀬戸)に加えて、成育場周辺で9~12月の大きく拡散する前の0歳魚の漁獲実態のある海域(七尾湾、瀬戸内海(豊後水道、紀伊水道、太平洋南を除く))での放流尾数を合算した(栽培漁業種苗生産、入手・放流実績(全国)~資料編-2004~2009)。添加効率の算出は4. (8)に従った。算出された有効放流尾数と添加効率を以下の表に示す。

年	放流尾数	有効放流尾数	添加効率
2002	1,653,000	629,000	0.11
2003	1,384,000	630,000	0.05
2004	1,712,000	1,006,000	0.12
2005	1,625,000	1,050,000	0.05
2006	2,228,000	1,434,000	0.09
2007	2,165,000	1,212,000	0.05
2008	1,610,000	809,000*	0.10

*2008年の有効放流尾数は2002~2007年の平均で推定

【引用文献】

松村靖治 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 2005; 71: 805-814.

平成14年度~平成19年度栽培漁業種苗生産、入手・放流実績(全国)~資料編-. 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, 2004~2009.

表1. 府県別および有明海0歳魚の漁獲量の推移(単位 トン)

年	府県														有明海				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	宮崎	大分	愛媛	広島	岡山	兵庫	香川		徳島	和歌山	0歳
2002	6	8	7	4	2	103	55	10	16	3	4	8	51	22	10	16	2	15	18	4	10	365
2003	5	5	3	3	1	114	51	13	18	5	1	7	44	22	10	9	0.3	11	5	1	8	328
2004	7	0.5	3	3	1	81*	46	7	10	4	0.4	2	26	18	9	3	0.2	16	1	0.4	28	238
2005	6	0.4	1	3	4	68*	47	9	24	3	0.2	4	30	23	9	12	2	20	3	0.4	16	269
2006	8	4	1	2	1	63	57	12	18	5	0.2	12	48	25	7	10	1	17	2	1	21	295
2007	6	5	2	3	1	46	64	9	26	10	1	8	33	20	4	7	0.5	13	3	1	12	262
2008	5	9	4	3	2	26	26	3	20	9	1	2	27**	10	8	3	0.2	45	1	1	11	203

短期年(4-3月)集計

漁期年(4・3月)集計

各府県が把握した(引延し等の推定を含む)漁獲量

*2005年1・12月の漁獲量は農林統計値の前年度比を用いて推定

**1・3月を代表漁協と県の漁獲量比を参考に前年度の漁獲量から推定

表2. 努力量とCPUEの推移

年	総針数			漁獲量(kg)		CPUE (kg/針)
	承認船	届出船	計	承認船	届出船	
2005	11,619,909	6,319,510	17,939,419	63,385	25,398	0.0049
2006	11,355,045	2,336,615	13,691,660	62,336	9,069	0.0052
2007	11,306,832	5,246,799	16,553,631	71,531	32,822	0.0063

表3. 日本海・東シナ海の年齢別漁獲尾数の推移

年	年齢					合計
	0	1	2	3	4+	
2002	76,766	43,021	25,736	4,054	6,418	155,994
2003	80,138	37,234	36,642	14,295	9,723	178,032
2004	157,478	10,443	21,114	16,732	15,269	221,036
2005	111,692	27,059	19,831	9,398	10,893	178,874
2006	128,668	29,938	24,552	7,694	7,819	198,670
2007	82,056	17,480	19,033	20,008	10,919	149,495
2008	78,629	4,947	10,471	12,516	11,192	117,755

表4. 瀬戸内海の年齢別漁獲尾数の推移

年	年齢					合計
	0	1	2	3	4+	
2002	173,784	76,424	9,368	6,317	12,167	278,060
2003	38,998	76,969	16,110	4,772	11,710	148,560
2004	88,382	21,074	11,298	5,376	10,745	136,876
2005	132,854	38,332	12,403	4,470	14,879	202,938
2006	50,985	115,912	16,065	3,561	13,638	200,161
2007	73,304	51,049	17,931	4,240	7,432	153,956
2008	95,267	20,317	10,739	6,502	15,409	148,234

表5. 系群全体の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	173,896	25,264	21,211	19,018	26,602	265,989

表6. 資源尾数の推移

年	年齢					合計
	0	1	2	3	4+	
2002	637,252	361,514	150,290	56,243	100,792	1,306,090
2003	350,086	275,183	176,137	86,067	96,746	984,219
2004	694,910	167,510	113,529	90,622	106,634	1,173,205
2005	741,406	324,226	102,643	59,813	111,155	1,339,243
2006	439,700	361,596	194,800	51,492	98,167	1,145,756
2007	273,589	183,896	152,899	115,866	87,687	813,937
2008	469,073	75,967	82,742	86,458	120,934	835,174

表7. 資源量の推移(単位:トン)

年	年齢					合計
	0	1	2	3	4+	
2002	176	398	235	114	354	1,277
2003	127	303	282	190	303	1,204
2004	219	195	168	170	352	1,104
2005	206	379	158	123	334	1,200
2006	190	394	285	118	277	1,264
2007	76	213	247	255	274	1,065
2008	138	85	133	183	384	922

表8. Fの推移

年	年齢					平均
	0	1	2	3	4+	
2002	0.590	0.469	0.307	0.234	0.234	0.367
2003	0.487	0.635	0.415	0.289	0.289	0.423
2004	0.512	0.240	0.391	0.324	0.324	0.358
2005	0.468	0.259	0.440	0.305	0.305	0.355
2006	0.622	0.611	0.270	0.285	0.285	0.414
2007	1.031	0.549	0.320	0.271	0.271	0.488
2008	0.545	0.473	0.343	0.287	0.287	0.387

表9. 混入率調査 (0歳)

年	有明海			瀬戸内海西部海域			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	68,818	3,596	0.22
2008	518,630	72,500	22,403	211,996	74,033	4,983	0.19
混入率の平均値							0.17

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9-3月の調査

2002年は調査尾数と標識魚尾数

表10. 添加効率、RPSの推移

年	産卵親魚量 (トン)	資源尾数 (0歳)	放流尾数	添加効率	0歳資源尾数		RPS (尾/kg)
					天然魚	放流魚	
2002	467	637,252	1,653,000	0.04	563,064	74,188	1.2
2003	493	350,086	1,384,000	0.02	317,005	33,082	0.6
2004	522	694,911	1,712,000	0.07	563,794	131,117	1.1
2005	458	741,406	1,625,000	0.03	679,489	61,917	1.5
2006	395	439,700	2,228,000	0.06	301,582	138,118	0.8
2007	530	273,589	2,165,000	0.03	213,844	59,745	0.4
2008	566	388,743	1,610,000*	0.05	381,408	87,665	0.7

*2008年の放流尾数は1993-2007年の平均で推定

添加効率は9月を加入月として算出



図 1. 分布域と産卵場

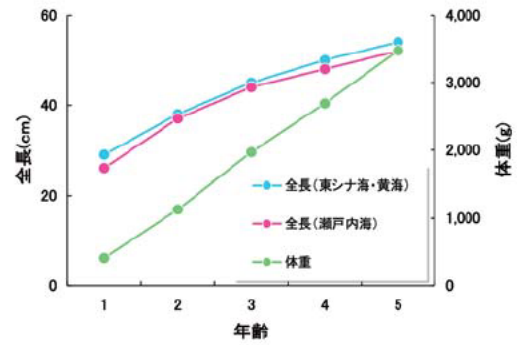


図 2. 年齢と成長

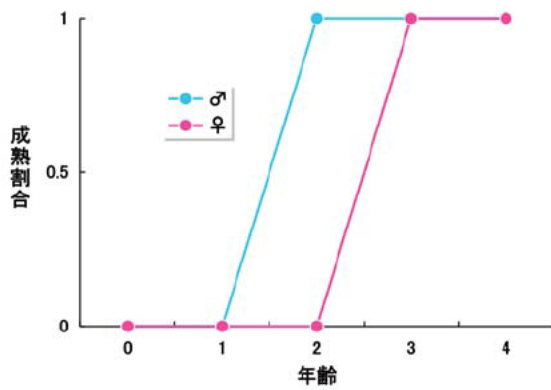


図 3. 年齢と成熟

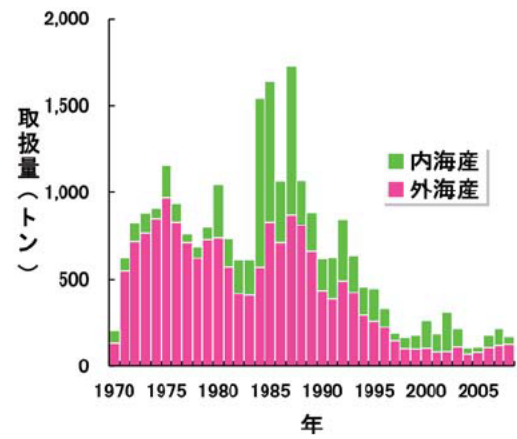


図 4. 下関唐戸魚市場(株)での取扱量の推移

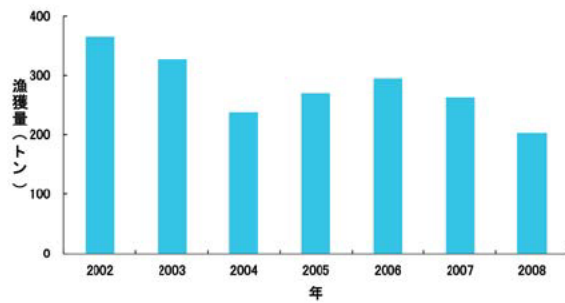


図 5. 各府県合計の漁獲量の推移

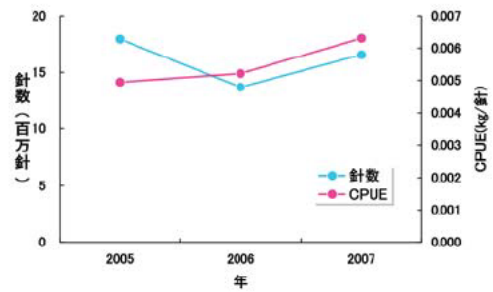


図 6. 延縄の努力量と CPUE の推移

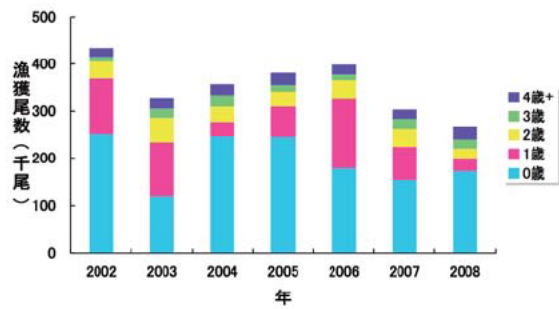


図 7. 年齢別漁獲尾数の推移

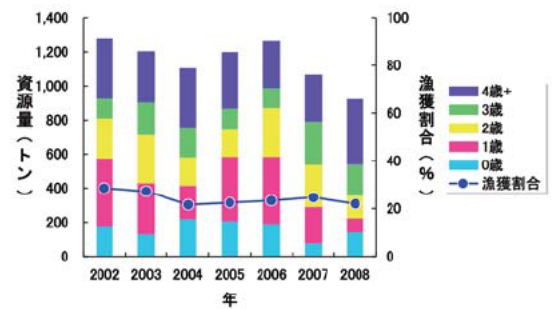


図 8. 資源量と漁獲割合の推移

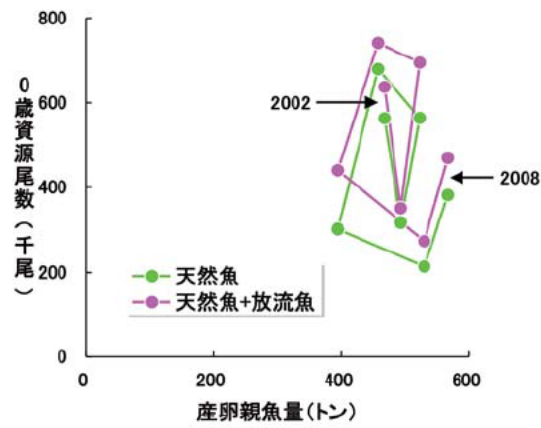


図 9. 再生産関係の推移

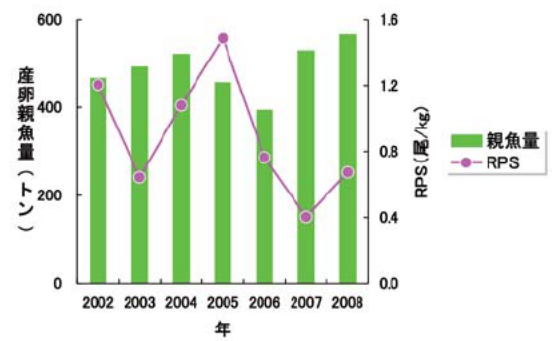


図 10. 産卵親魚量と RPS の推移

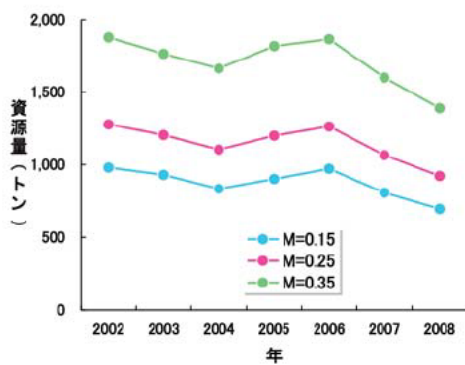


図 11. M の感度分析

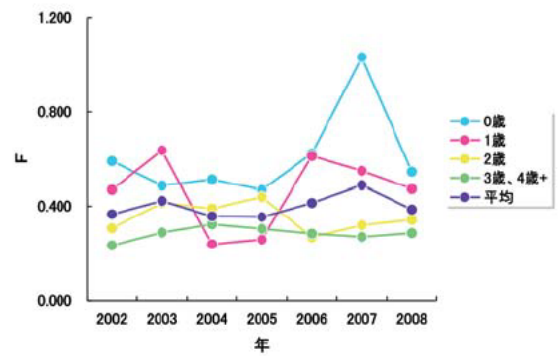


図 12. 年齢別 F の推移

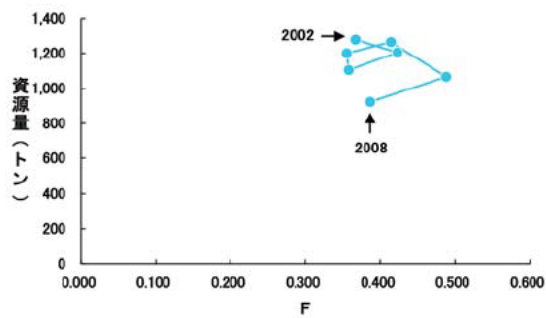


図 13. 全年齢の F の平均値と資源量の推移

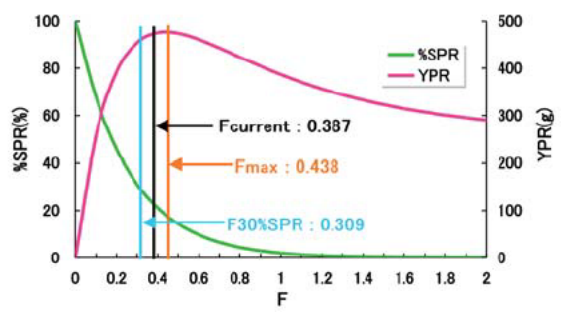


図 14. 全年齢の F の平均値と%SPR、YPR の関係

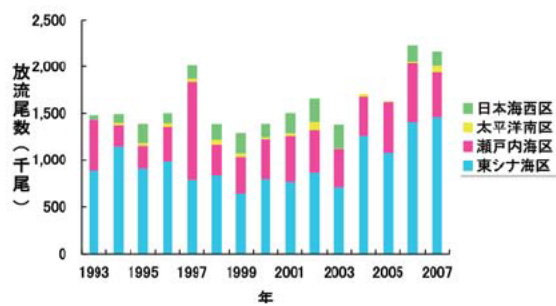


図 15. 放流尾数の推移

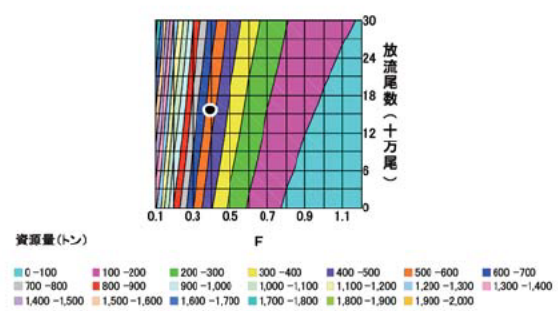


図 16. 2014 年の等資源量線図

ポイントは現状の全年齢の F の平均値と放流尾数を示す

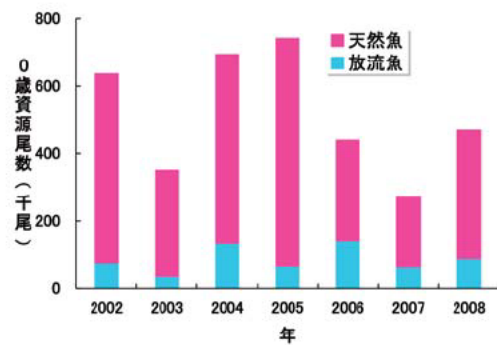


図 17. 0 歳資源尾数の推移

付表1. コホート解析の結果

M 漁獲尾数

0.25 年齢	年						
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
0	250,550	119,136	245,860	244,546	179,652	155,359	173,896
1	119,446	114,203	31,517	65,391	145,850	68,529	25,264
2	35,104	52,752	32,412	32,234	40,617	36,964	21,211
3	10,370	19,067	22,108	13,868	11,255	24,248	19,018
4+	18,585	21,433	26,014	25,772	21,456	18,351	26,602
合計	434,054	326,591	357,912	381,812	398,831	303,451	265,989

F

年齢	年						
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
0	0.590	0.487	0.512	0.468	0.622	1.031	0.545
1	0.469	0.635	0.240	0.259	0.611	0.549	0.473
2	0.307	0.415	0.391	0.440	0.270	0.320	0.343
3	0.234	0.289	0.324	0.305	0.285	0.271	0.287
4+	0.234	0.289	0.324	0.305	0.285	0.271	0.287
平均	0.367	0.423	0.358	0.355	0.414	0.488	0.387

資源尾数

年齢	年						
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
0	637,252	350,086	694,910	741,406	439,700	273,589	469,073
1	361,514	275,183	167,510	324,226	361,596	183,896	75,967
2	150,290	176,137	113,529	102,643	194,800	152,899	82,742
3	56,243	86,067	90,622	59,813	51,492	115,866	86,458
4+	100,792	96,746	106,634	111,155	98,167	87,687	120,934
合計	1,306,090	984,219	1,173,205	1,339,243	1,145,756	813,937	835,174

平均体重 (g)

年齢	年						
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
0	277	362	315	278	433	279	294
1	1,101	1,100	1,164	1,168	1,090	1,156	1,120
2	1,565	1,601	1,476	1,535	1,461	1,615	1,604
3	2,018	2,208	1,874	2,062	2,286	2,203	2,111
4+	3,511	3,132	3,305	3,006	2,823	3,130	3,172

付表2. ABClimitの算定結果

M	0.25
RPS (尾/kg)	0.6
放流尾数	1,610,000
4月時点における 放流魚の生残率	0.05
年齢	平均体重 (g)
0	320
1	1,128
2	1,551
3	2,109
4+	3,154

資源尾数							
年齢	年						
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
0	469,073	367,087	288,540	280,270	273,116	251,988	234,769
1	75,967	211,852	165,791	130,316	126,581	123,350	113,808
2	82,742	36,868	102,815	80,461	63,245	61,432	59,864
3	86,458	45,721	20,372	56,813	44,461	34,947	33,946
4+	120,934	121,258	97,629	68,993	73,557	69,002	60,777

漁獲尾数							
年齢	年						
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
0	173,896	136,087	106,968	103,902	101,250	93,417	87,034
1	25,264	70,454	55,136	43,338	42,096	41,021	37,848
2	21,211	9,451	26,356	20,626	16,212	15,748	15,346
3	19,018	10,057	4,481	12,497	9,780	7,687	7,467
4+	26,602	26,673	21,475	15,176	16,180	15,178	13,369

F							
年齢	年						
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
0	0.545	0.545	0.545	0.545	0.545	0.545	0.545
1	0.473	0.473	0.473	0.473	0.473	0.473	0.473
2	0.343	0.343	0.343	0.343	0.343	0.343	0.343
3	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287
4+	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287
係数			1.00	0			
全年齢のFの平均値			0.387				

資源量 (トン)							
年齢	年						
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
0	138	117	92	90	87	81	75
1	85	239	187	147	143	139	128
2	133	57	159	125	98	95	93
3	183	96	43	120	94	74	72
4+	384	382	308	218	232	218	192
合計	922	892	790	699	654	606	560

漁獲量 (トン)							
年齢	年						
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
0	56	43	34	33	32	30	28
1	29	80	62	49	48	46	43
2	33	15	41	32	25	24	24
3	40	21	9	26	21	16	16
4+	84	84	68	48	51	48	42
合計	241	243	214	188	177	165	152

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