

平成 19 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、西海区水産研究所（片町太輔、塚本洋一、永井達樹）

参画機関：秋田県農林水産技術センター水産振興センター、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海洋技術センターおよび同センター但馬水産技術センター、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、愛媛県中予水産試験場および同試験場東予分場、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

日本海・東シナ海および瀬戸内海におけるトラフグの生活史を網羅した資源評価を目的として、これまで別系群であったトラフグ日本海・東シナ海系群とトラフグ瀬戸内海系群を統合して資源評価を行った。コホート解析の結果、トラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群の資源量は1995年の1,720トンから1997年の887トンに半減後、ほぼ横ばいで推移し、2005年は864トン、2006年は910トンであった。漁獲量は日本海・東シナ海では1998年以降、瀬戸内海では1997年以降、漁獲量が高水準であった1990年以前の約10%にまで減少しており、資源水準は極めて低位である。毎年0歳時に約15万尾の放流魚が資源に添加され、資源の底上げに貢献していると考えられる。現状の放流尾数が今後継続して維持される条件で、資源量回復を目標として漁獲圧の削減を提言した。

	2008年ABC	資源管理基準	F値	漁獲割合
ABC _{limit}	136トン	0.8F _{30%SPR}	0.27	21%
ABC _{target}	111トン	0.8・0.8F _{30%SPR}	0.22	17%

年	資源量(トン)	漁獲量(トン)	F値	漁獲割合
2005	864	343	0.60	40%
2006	910	387	0.62	43%
2007	683			

水準：低位、 動向：横ばい

1. まえがき

トラフグは、フグ料理の高級材料であるため魚価が高く、重要な漁業対象種である。主要な漁場である日本海・東シナ海および瀬戸内海において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も重要視され、2005年度より本資源を対象とした九州・山口北西海域トラフグ

資源回復計画が公表、実施されている。

これまで、本系群は、海域および漁業実態が異なるなどの理由から、トラフグ日本海・東シナ海系群（以下、日本海・東シナ海系群）およびトラフグ瀬戸内海系群（以下、瀬戸内海系群）の別系群として資源評価が行われてきた。一方、天然魚や人工種苗による標識放流調査から、日本海・東シナ海・黄海におけるトラフグ成魚が九州北岸、九州西岸、若狭湾および瀬戸内海などへ産卵来遊することや瀬戸内海における0歳魚が豊後水道および紀伊水道だけでなく、九州北岸および九州西岸へ移動することが明らかとなり（田川・伊藤 1996, 伊藤ら 1998, 佐藤ら 1996）、トラフグが日本海・東シナ海と瀬戸内海との間で交流していることが認識されていた。さらに、日本海・東シナ海では主に大型魚、瀬戸内海では主に小型魚が漁獲されていることから、資源として一つではないかと考えられていたが、2002年までは両系群の資源評価が漁獲量にのみ基づいていたこともあり、系群統合の必要性はそれほど認識されなかった。しかし、日本海・東シナ海系群は2003年から、瀬戸内海系群は2005年からコホート解析による資源評価に移行すると、年齢別漁獲尾数は、日本海・東シナ海系群は高齢魚に偏り、瀬戸内海系群は若齢魚に偏り、両系群の年齢構成が歪であることや年齢構成の歪さによって、日本海・東シナ海系群におけるコホート解析が不安定であることが問題となったため、生活史を網羅した資源評価を目指して、系群統合の必要性が認識された。これを受けて、2005年および2006年に両系群の資源評価担当者が系群統合について検討を進め、系群統合を試行したところ、年齢別漁獲尾数およびコホート解析が安定し、得られた結果もこれまでの両系群単独の資源評価結果と矛盾しないことから（塚本・檜山 2006）、系群統合して資源評価をすることが妥当であるとの結論に達した。

2. 生態

(1) 分布・回遊

本系群のトラフグは秋田県以南の日本海・東シナ海・黄海および太平洋南を含む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海域を成育場とし、成長に伴って外海に移動し、広域を回遊する（伊藤 1997）。日本海沿岸、九州北岸および九州西岸において発生したトラフグは日本海・東シナ海・黄海へ回遊し、瀬戸内海において発生したトラフグは日本海・東シナ海・黄海だけでなく、豊後水道以南および紀伊水道以南へも回遊する（伊藤 1997）。また、天然魚や人工種苗による標識放流の結果から、トラフグは産卵回帰すると推測されている（伊藤ら 1999, 佐藤ら 1999, 中島・新田 2005, 松村 2006）。

(2) 年齢・成長

東シナ海・黄海におけるトラフグと瀬戸内海におけるトラフグは同様な成長を示す。東シナ海・黄海におけるトラフグの全長は1歳で29cm（♂30cm, ♀29cm）、2歳で38cm（♂♀38cm）、3歳で45cm（♂44cm, ♀46cm）、4歳で50cm（♂49cm, ♀51cm）、5歳で54cm（♂52cm, ♀56cm）に達する（尾串 1987）（図2）。瀬戸内海におけるトラフグの全長は1歳で26cm（♂26cm, ♀27cm）、2歳で37cm（♂36cm, ♀38cm）、3歳で44cm（♂44cm, ♀44cm）、4歳で48cm（♂49cm, ♀48cm）、5歳で52cm（♂52cm, ♀51cm）に達する（中村 2007）（図2）。

(3) 成熟・産卵

雄は2歳、雌は3歳で成熟を始める（藤田 1988, 中村 2007）（図3）。本系群の日本沿岸における主な産卵場は秋田県天王町沿岸、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

および備讃瀬戸である（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、関門海峡、布刈瀬戸および備讃瀬戸における産卵期は4月下旬～5月上旬とされ、若狭湾、能登島および秋田県天王町沿岸では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、未成魚はイワシ類その他の幼魚およびエビ・カニ類、成魚は魚類およびエビ・カニ類を捕食する（松浦 1997）。

3. 漁業の状況

(1) 漁業の概要

トラフグは30歳魚より漁獲対象となる。秋田県から島根県にかけての日本海沿岸においては、主に定置網により産卵期を中心に産卵親魚が漁獲される（天野・檜山 1997, 伊藤・多部田 2000）。日本海西部から東シナ海の沖合においては、主にふぐ延縄（浮延縄および底延縄）により、沿岸域では定置網、底曳網、釣りおよび刺網等により、産卵親魚や若齢魚が漁獲される。瀬戸内海においては、春に産卵場へ来遊した産卵親魚が定置網、吾智網、釣りおよび敷網等により、夏から秋に産卵場周辺で幼魚が小型底曳網および定置網により漁獲され、秋から冬に水道域で成魚が延縄および釣りによって漁獲される（柴田ら 1997）。

(2) 漁獲量の推移

農林水産省統計部による漁獲統計ではトラフグはふぐ類の一部として扱われてきたため、本系群のトラフグを扱った長期間の漁獲データはほとんど存在しない。2002年以降の中四国農政局および関係各府県による本種の漁獲量（暦年集計）は2002年の498トンから2003年の370トンに減少後、400トン未満で推移し、2005年は348トン、2006年は372トンであった（表1）。日本各地で水揚げされたトラフグの多くはフグ類の主要取扱市場である下関唐戸魚市場（株）に集荷されるため、ここでの取扱量の推移は、長期的なトラフグの漁獲量の指標となると考えられる。下関唐戸魚市場（株）では1971年から日本海・東シナ海産を外海産、瀬戸内海、三重県、愛知県および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。外海産の取扱量は1980年代までは400～900トンで推移していたが、1990年代になると急激に減少し、1998～2005年は1989年以前の約10%の100トン前後で推移し、2006年は110トンであった（図4）。瀬戸内海における主な漁場は瀬戸内海西部であることから、広島県の漁獲量および愛媛県と大分県における標本漁協の漁獲量を瀬戸内海における漁獲量の指標としたところ、1992年までは270～800トンで推移していたが、1993～1996年は200トン前後で推移し、1997年以降は漁獲量の多かった1984～1987年の平均値の約15%である100トン前後で推移し、2006年は62トンであった（図5）。1995-2006年における本系群の漁獲量は1995年の900トンから1997年の423トンに半減後、430トン前後で推移し、2005年は343トン、2006年は387トンであった（図6, 表2, 補足資料1）。

また、我が国のEEZ内における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トンであった。年によって大きな差があるものの、2006年は本系群の漁獲量の約10%に相当する漁獲量であり、無視できない。

(3) 漁獲努力量

九州・山口北西海域トラフグ資源回復計画に対応する経年的な漁獲努力量のデータはない。2005年

より漁業成績報告書の集計を始めており、今後、データの収集に努める。

4. 資源の状態

(1) 資源評価の方法

1995～2006 年の日本海・東シナ海における年齢別漁獲尾数と瀬戸内海（太平洋南を含む）における年齢別漁獲尾数を合算することで本系群の年齢別漁獲尾数を推定し、コホート解析（Pope の近似式）を行った（補足資料 1）（平松 2001）。解析年には暦年を用い、4 月を誕生月とした年級で行った。4 歳以上をプラスグループとし、3 歳と 4 歳以上の漁獲係数（F）が等しいと仮定した。2006 年の 1～3 歳の F は過去 3 年の平均と仮定した。自然死亡係数（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（中村 2007, 田中 1960）。3 歳以上を産卵親魚とした。

(2) 資源量指標値の推移

3. (3) と同様に今後データ収集に努める。

(3) 漁獲物の年齢組成

1995 年の総漁獲尾数は約 160 万尾であったが、1997 年には 100 万尾を下回り、2006 年は過去最低の約 52 万尾であった（図 7, 表 3）。年齢組成は 0 歳の割合が最も多く（32～56%）、1 歳（20～51%）、2 歳（5～14%）、3 歳（3～6%）および 4 歳+（2～4%）の順に割合が低かった（表 4）。2006 年の年齢組成は 0～4 歳+が 32%、51%、8%、5%、4%であり、1 歳の割合が 0 歳の割合を大きく上回った（表 4）。日本海・東シナ海と瀬戸内海における年齢別漁獲尾数を表 5, 6 に示す。

(4) 資源量の推移

トラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群の資源量は 1995 年の 1,720 トンから 1997 年の 887 トンに著しく減少し、その後は 880 トン前後で推移しており、2005 年は 864 トン、2006 年は 910 トンであった（図 8, 表 7, 8）。各年齢においても F は高く（表 9）、親魚量は 1995 年の 506 トンから 1998 年の 261 トンに著しく減少し、その後 260 トン前後で推移し、2005 年は 293 トン、2006 年は 297 トンであった（表 11）。

加入する 0 歳魚には天然魚と放流魚が含まれているため、再生産関係を把握するために 0 歳魚の天然魚と放流魚の分離を試みた。日本海・東シナ海・瀬戸内海における 0 歳魚の混獲率は、2001～2004 年の福岡湾、有明海および瀬戸内海西部海域（燧灘、伊予灘、周防灘および豊後水道）における放流モニタリング調査（9～12 月）より算出された混獲率を調査尾数で加重平均して算出したところ、5.3～18.8%で推移した（表 10, 山口県ほか 2002-2005, 山口県水産研究センターほか 2006）。この混獲率および 0 歳魚の資源尾数より添加効率を算出したところ、2001～2004 年は 2.6～16.9%で推移し、平均 9.1%であった（表 10, 添加効率 = 0 歳魚の混獲率 × 0 歳魚の資源尾数 ÷ 放流尾数）。日本海・東シナ海・瀬戸内海では 1993 年以降、約 160 万尾の 0 歳の人工種苗が毎年放流されており（図 9）、上記にて算出した添加効率から毎年 0 歳時に約 15 万尾が資源へ加入していると推定される（表 11）。下関唐戸魚市場（株）では、外海産を形態的特徴から天然物と放流物とで区別して取り扱っており、放流魚の割合を重量比で算出することができる。外海産の漁獲対象が主に 2 歳以上という仮定のもと、上記の計算式で算出した値は 1999、2005 および 2006 年を除いて下関唐戸魚市場（株）における取扱量に占める放流魚の割合とほぼ同様の推移を示した（図 10, 表 12）ため、添加効率は妥当な範囲にあると判断した。

再生産関係は 1995～1998 年までは明瞭な関係が推測されたが、1999 年以降、親魚量が 260 トン前後で推移してから変動が大きい（図 11）。天然発生における再生産成功率は 1.0～5.0（尾/kg）で推移したが、2006 年は 1.0（尾/kg）で、1995 年以降際立って低い値であった（図 12, 表 11）。感度分析として M を ± 0.1 変化させた場合の資源量の推移を図 13 に示す。

(5) 資源の水準・動向

推定された 1995 年以降の資源量の推移と過去に遡った漁獲量の推移から、現在の資源水準は極めて低位だと考えられる。動向については、過去 5 年間の資源量推移から横ばいと考えた。特に、2006 年の漁獲量および資源量に見られる増加傾向については、漁獲量、漁獲尾数、年齢組成、および F の推移からみて、2005 年級の発生が良かったことに起因していると判断し、もう暫く慎重に様子を見る必要があると考えた。

5. 資源管理の方策

(1) 資源と漁獲の関係

F の経年推移を図 14 に示す。 F 、 $\%SPR$ および YPR の関係より現状の F が $F_{30\%SPR}$ および F_{max} を上回っていることが示された（図 15）。資源水準が極めて低位であることや 2006 年の再生産成功率が過去 12 年間で最も低いことを考慮すると資源水準の回復のため、緊急に F を低下させるべきである。

(2) 種苗放流効果

2006 年の F が 2007 年以降も継続し、2007 年以降の再生産成功率が 2002～2006 年の平均 2.6（尾/kg）と仮定し、2008 年以降、現状の年 160 万尾放流を継続した場合と放流を止めた場合を 2012 年まで推定すると、放流を継続した場合、資源量は緩やかに減少するが、放流を止めた場合、資源量は減少の度合いが大きくなる（図 16）。よって、種苗放流による資源への添加が資源の底上げに重要な役割を果たしていると考えられる。

6. 2008 年 ABC の算定

(1) 資源評価のまとめ

コホート解析の結果および漁獲実態の推移からトラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群の資源水準は極めて低位であり、動向は横ばいである。

(2) ABC の算定

コホート解析を行った 1995 年以降は資源水準が極めて低位であり、近年再生産成功率の変動が大きいことに加えて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。資源水準が低位であることから ABC 算定のための基本規則 1-3) - (3) を適応した。 $F_{30\%SPR}$ を基準値として F_{limit} を検討し（松宮 1996）、①2007 年は 2006 年と同様な F で漁獲される、②2006 年以降も年に 160 万尾の放流があり、添加効率率は 9.1%、③2007 年以降の再生産成功率は 2002～2006 年の平均 2.6（尾/kg）と仮定した。資源量回復への不確実性を考慮して α を 0.8 とし、回復の程度が弱いことから β_2 を 0.8 とした。

	2008年ABC	資源管理基準	F値	漁獲割合
ABC_{limit}	136トン	$0.8F_{30\%}$	0.27	21%
ABC_{target}	111トン	$0.8 \cdot 0.8F_{30\%}$	0.22	17%

(3) 漁獲圧と資源動向

現状の放流尾数の継続を条件に $F_{current}$ を中心に F を変化させた場合、2006～2012 年における漁獲量および資源量の推移を以下に示す。 $F_{current}$ 、 $F_{30\%SPR}$ 、 $0.8F_{30\%SPR}$ および $0.8 \cdot 0.8F_{30\%SPR}$ の場合の 2006～2012 年における資源量の推移を図 17 に示す。

漁獲量(単位:トン)									資源量(単位:トン)								
F	基準値	年							F	基準値	年						
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012			2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
0.123	$0.2F_{current}$	387	279	67	110	148	218	331	0.123	$0.2F_{current}$	910	683	640	1,027	1,394	2,094	3,135
0.247	$0.4F_{current}$	387	279	126	183	219	286	388	0.247	$0.4F_{current}$	910	683	640	911	1,098	1,463	1,953
0.370	$0.6F_{current}$	387	279	178	229	245	285	345	0.370	$0.6F_{current}$	910	683	640	810	867	1,028	1,229
0.494	$0.8F_{current}$	387	279	223	255	244	254	277	0.494	$0.8F_{current}$	910	683	640	720	687	728	785
0.617	$1.0F_{current}$	387	279	264	268	229	215	212	0.617	$1.0F_{current}$	910	683	640	640	547	521	511
0.741	$1.2F_{current}$	387	279	299	270	207	177	161	0.741	$1.2F_{current}$	910	683	640	570	437	377	341
0.336	$F_{30\%SPR}$	387	279	164	218	241	289	361	0.336	$F_{30\%SPR}$	910	683	640	837	926	1,134	1,397
0.255	$F_{40\%SPR}$	387	279	129	186	222	288	387	0.255	$F_{40\%SPR}$	910	683	640	904	1,081	1,429	1,895

(4) ABC_{limit} の検証

M の変化が ABC_{limit} に与える影響を検証した。 M を ± 0.1 変化させた場合の ABC_{limit} を図 18 に示す。 M を 0.1 減少させると ABC_{limit} は 26% 増加し、 M を 0.1 増加させると ABC_{limit} は 23% 減少するため、 M の変化が ABC_{limit} に与える影響は大きい。

(5) ABC の再評価

評価対象年 (当初・再評価)	系群名	管理基準	資源量 (トン)	ABC_{limit} (トン)	ABC_{target} (トン)	漁獲量 (トン)
2006年(当初)	日本海・東シナ海系群	F_{rec}	426	44	36	-
	瀬戸内海系群	$0.8C_{ave2-yr}$	-	173	139	-
2006年(2006年再評価)	日本海・東シナ海系群	$0.7F_{current}$	447	73	61	-
	瀬戸内海系群	$0.8F_{30\%}$	464	105	86	-
2006年(2007年再評価)	日本海・東シナ海・瀬戸内海系群	$0.8F_{30\%}$	910	201	165	387
2007年(当初)	日本海・東シナ海系群	$0.7F_{current}$	410	72	59	-
	瀬戸内海系群	$0.8F_{30\%}$	425	92	75	-
2007年(2007年再評価)	日本海・東シナ海・瀬戸内海系群	$0.8F_{30\%}$	683	137	113	-

日本海・東シナ海系群は $M = 0.36$ 、瀬戸内海系群は $M = 0.25$ を用いた。

2006年(当初)の瀬戸内海系群については、資源量の算出は行っていない。

7. ABC 以外の管理方策の提言

トラフグは 0 歳魚から産卵親魚まで様々な漁法で漁獲され、かつ広域を回遊するため、全ての漁法において漁獲圧の削減が必要である。種苗放流は資源の底上げに貢献し、資源の維持、回復になくてはならない。これまでの過剰な漁獲圧によって多くの漁場が消滅していると考えられるため、漁場の復活にも効果が期待されるが、遺伝的攪乱を予防するために種苗生産用の親魚の管理も必要となるだろう。漁獲圧の削減および種苗放流を効果的に進めていくためには、幼魚や産卵親魚に特化した伝統

的漁業を削減することなども想定されるため、広域の資源管理の実現が求められる。

8. 引用文献

- 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.
- 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.
- 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;29:27-38.
- 塚本洋一, 檜山義明. (2006) 平成18年トラフグ日本海・東シナ海系群の資源評価. 「平成18年度我が国周辺水域の漁業資源評価」水産庁, 東京; 1392-1417.
- 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, 安井 港, 津久井文夫, 多部田 修. (1999) 標識放流結果から推定した遠州灘におけるトラフグ成魚の移動・回遊. 日水誌; 65:175-181.
- 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.
- 中島博司, 新田 明. (2005) 標識放流試験から見たトラフグ親魚の伊勢湾口部産卵場への回帰. 日水誌; 71:736-745.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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) さいごい ;79:15-18.
- 伊藤正木. (1998) 標識放流結果から推定した秋田沖漁場のトラフグ成魚の移動・回遊. 日水誌; 64:645-649.
- 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.
- 天野千絵, 檜山節久. (1997) 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.
- 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.
- 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.
- 下関唐戸魚市場(株). (1993-2006) 「下関唐戸魚市場(株) 魚種別取扱高表」
- 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.
- 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.

山口県, 福岡県, 長崎県, 三重県, 愛知県, 静岡県, 秋田県.(2002-2005) 「資源増大技術開発事業報告書 回帰性回遊種(トラフグ)」

山口県水産研究センター, 大分県海洋水産研究センター浅海研究所, 愛媛県中予水産試験場.(2006) 計画と実施状況(山口県、大分県、愛媛県)。「平成16年度都道府県連携促進事業報告書(瀬戸内海海域トラフグ共同放流調査報告書)」;1-8.

松宮義晴.(1996) 3-3 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」社団法人日本水産資源保護協会, 東京;57-75.

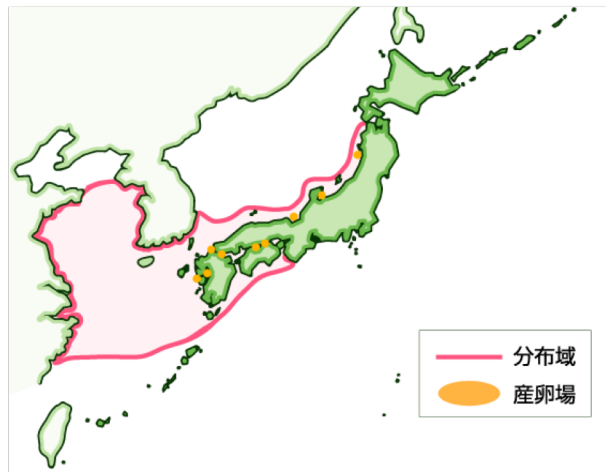


図1. トラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群の分布域、産卵場

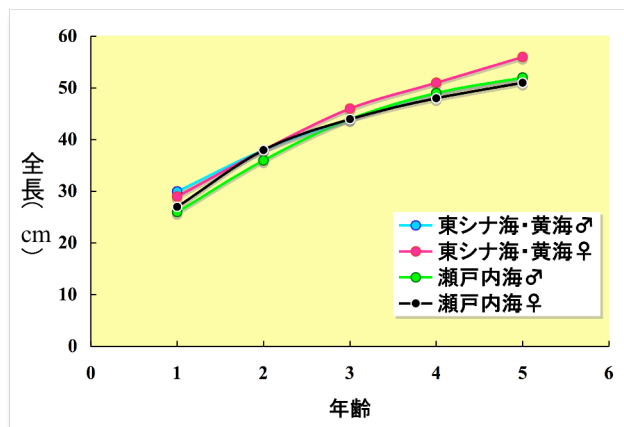


図2. 東シナ海・黄海、瀬戸内海におけるトラフグの雌雄別年齢-全長関係

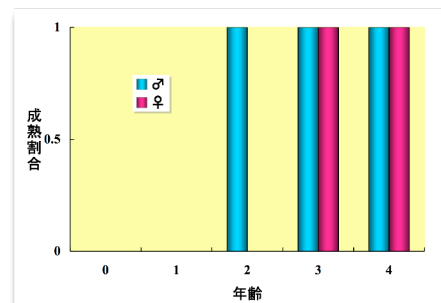


図3. トラフグの雌雄別年齢-成熟関係

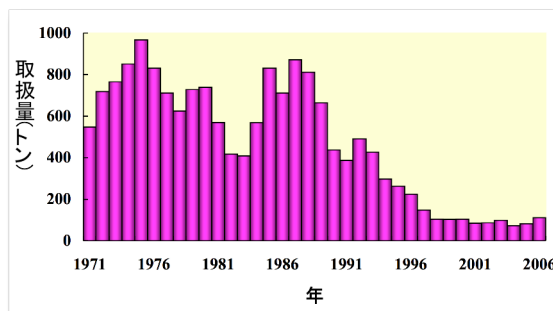


図4. 下関唐戸魚市場(株)における外海産トラフグの取扱量の経年推移

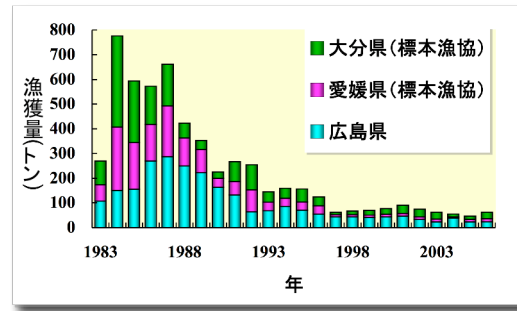


図5. 瀬戸内海西部におけるトラフグの漁獲量指標の経年推移

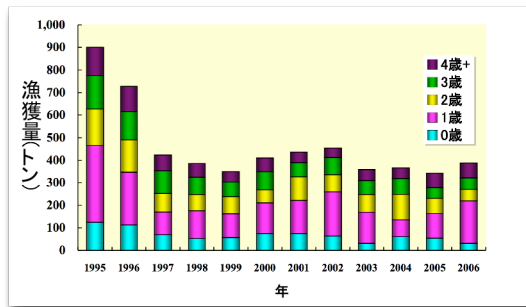


図6. トラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群における漁獲量の経年推移

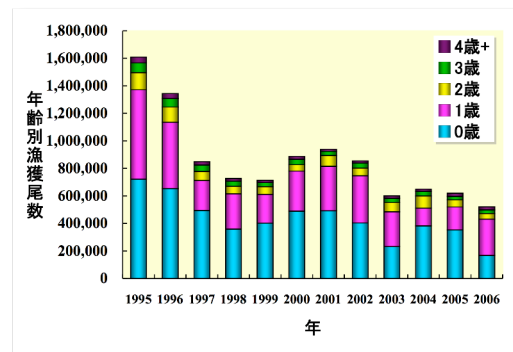


図7. トラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群の年齢別漁獲尾数の経年推移

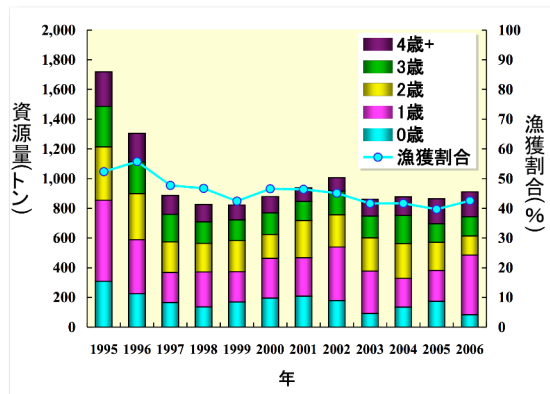


図8. トラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群の資源量、漁獲割合の経年推移

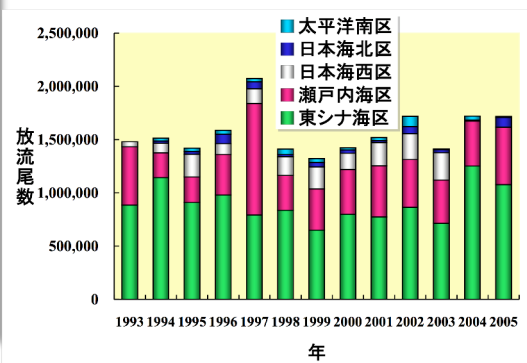


図9. 放流尾数の経年推移

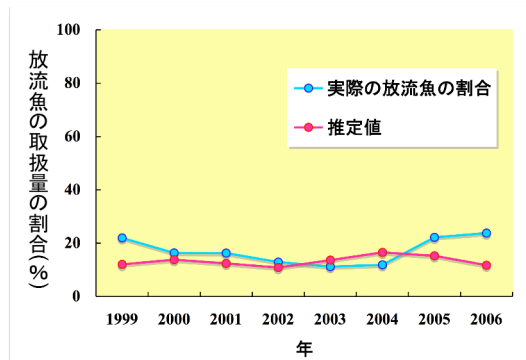


図10. 下関唐戸魚市場(株)での外海産トラフグ(2歳以上)の取扱量に占める放流魚の取扱量の割合およびその推定値

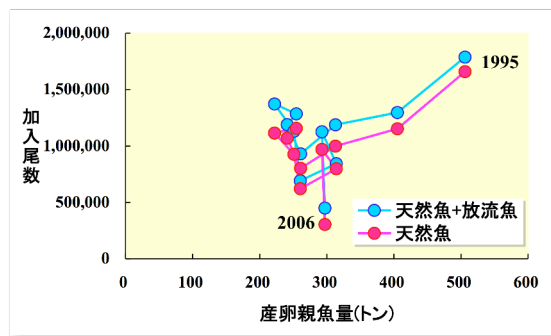


図11. 再生産関係

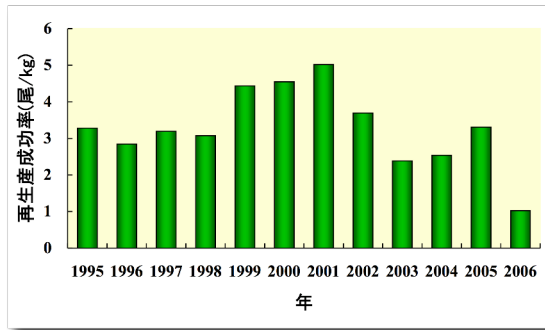


図12. 0歳放流魚を除いた再生産成功率の経年推移

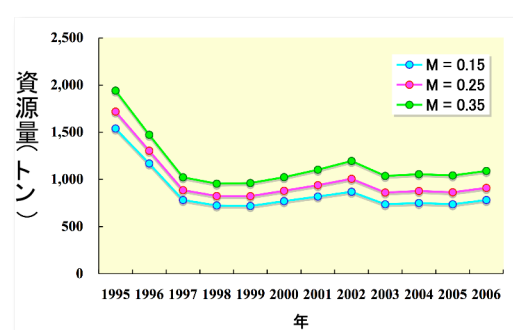


図13. Mの感度分析

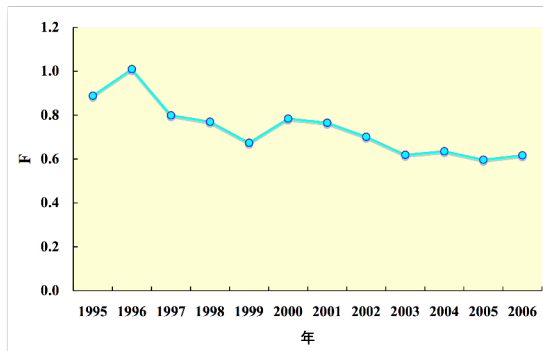


図14. Fの経年推移

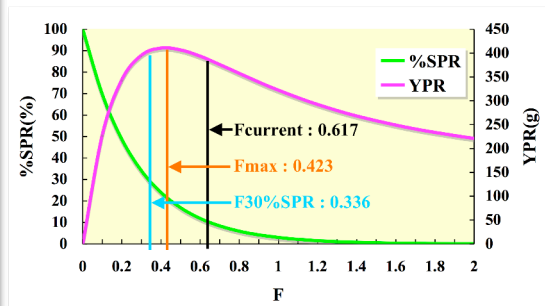


図15. Fと%SPR、YPRの関係

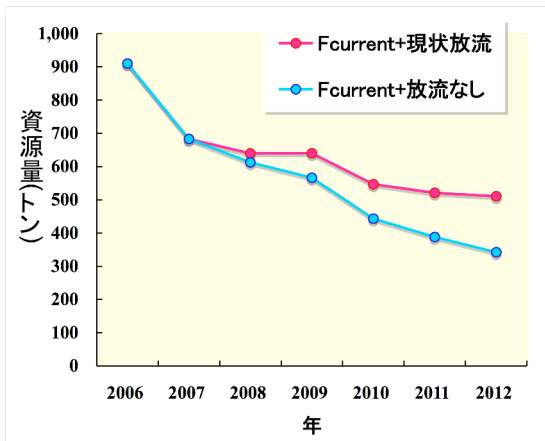


図16. 放流の有無による資源量の将来予測

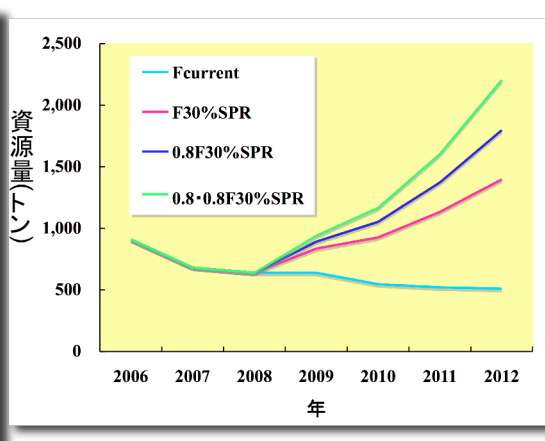


図17. Fを変化させた場合の資源量の将来予測

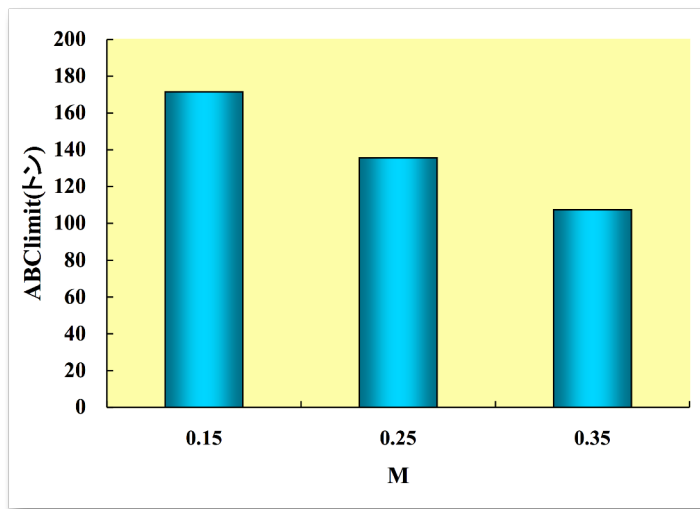


図18. MとABClimit の関係

表1. 関係各府県におけるトラフグの漁獲量(単位:トン)

年	秋田県	石川県	福井県	京都府	鳥取県	島根県	山口県 日本海	福岡県	佐賀県	長崎県	熊本県	鹿児島県	宮崎県	大分県	山口県 瀬戸内海	広島県	岡山県	兵庫県 瀬戸内海	和歌山県	徳島県	香川県	愛媛県	合計
1983																108							108
1984																150							150
1985																155							155
1986																270							270
1987																287							287
1988																250							250
1989																222							222
1990																164							164
1991										9.4						133							142
1992	12.9									17.7						63							94
1993	20.8									29.3						68							118
1994	9.8									23.2						86							119
1995	4.4									28.0				(64)	74	70						(229)	(469)
1996	3.6									19.9				(45)	63	55						(186)	(373)
1997	2.3	8.6		3.3	0.1	2.1	69			14.5		3.0	0.4	(17)	44	43						(88)	(295)
1998	2.4	4.0	4.9	2.7	0.0	1.6	38	42.3	10.9			6.6	0.4	(19)	40	43						(100)	(316)
1999	4.2	3.3	5.0	2.8	0.0	1.2	37	26.7	11.7			9.8	0.1	(27)	36	41						(73)	(279)
2000	6.6	6.3	9.5	1.7	5.0	4.3	39	42.3	10.0			2.9	1.7	(33)	48	43						(90)	(343)
2001	5.6	4.3	7.6	3.2	4.8	1.5	43	35.3	9.0	12.4		2.7	2.1	(43)	57	47						(103)	(382)
2002	2.8	7.5	7.3	7.3	4.5	2.1	47	46.9	8.3	11.6	3.8	2.6	7	39	47	32	21	(19)	4	25	14	139	498
2003	5.7	4.7	5.0	3.1	0.0	1.8	22	48.1	11.7	14.2	4.5	1.3	7	42	48	23	20	(7)	2	15	11	74	370
2004	4.7	7.2	5.2	2.9	4.4	1.2	27	47.0	10.0	18.3	3.6	0.3	6	20	46	38	16	(17)	1	8	14	97	394
2005	3.6	4.5	5.9	3.5	2.9	4.1	14	42.6	6.8	9.1	2.8	0.2	4	37	48	23	31	(13)	1	3	24	65	348
2006	4.5	7.8	4.4	2.9	1.8	3.5	24	40.8	10.5	12.2	5.8	0.2	8	52	36	(24)	19	(11)	1	4	27	72	372

1) 広島県および山口県は農林水産統計に基づき、大分県、岡山県、和歌山県、徳島県、香川県および愛媛県は中四国農政局の内部資料に基づき、その他は各府県の調査に基づく。

2) 愛媛県および大分県の1995-2001年は、標本漁協からの推定漁獲量と確定漁獲量から得られる拡大係数のうち2002年および2003年の平均値を用いて推定した。

3) 兵庫県はふぐ類に占めるトラフグの割合を岡山県および徳島県の平均値で代用し推定した。

4) 広島県の2006年は標本漁協の漁獲量の前年比を用いて推定した。

5) 2001年以前の合計は、確定、推定も含めた得られた漁獲量の合計。

表2. トラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群
における漁獲量の経年推移(単位:トン)

年	0歳	1歳	2歳	3歳	4歳+	合計
1995	125	340	163	147	125	900
1996	113	233	144	125	112	727
1997	69	101	82	101	70	423
1998	53	123	72	77	61	385
1999	57	105	75	65	46	349
2000	74	137	57	80	61	410
2001	75	147	104	63	46	435
2002	64	195	77	75	43	454
2003	31	139	78	62	49	358
2004	61	75	113	70	47	366
2005	54	110	68	47	64	343
2006	31	189	51	51	66	387

表3. トラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群
における年齢別漁獲尾数の経年推移

年	0歳	1歳	2歳	3歳	4歳+	合計
1995	721,334	650,483	124,575	70,820	42,249	1,609,461
1996	654,276	481,184	110,749	61,149	37,175	1,344,532
1997	495,554	216,074	65,346	47,805	24,060	848,838
1998	360,221	255,549	54,249	36,755	20,792	727,567
1999	402,901	209,313	55,398	30,411	15,794	713,816
2000	489,588	291,055	46,701	39,281	20,533	887,157
2001	491,809	323,463	78,105	30,174	15,379	938,930
2002	403,786	343,435	56,191	36,042	14,977	854,431
2003	232,167	253,536	66,897	31,105	16,825	600,529
2004	382,580	128,506	88,286	33,415	16,913	649,700
2005	352,680	167,159	52,401	24,659	23,104	620,003
2006	167,128	264,873	40,420	26,563	21,961	520,945

表4. トラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群における
漁獲物の年齢組成(単位:%)

年	0歳	1歳	2歳	3歳	4歳+	合計
1995	45	40	8	4	3	100
1996	49	36	8	5	3	100
1997	58	25	8	6	3	100
1998	50	35	7	5	3	100
1999	56	29	8	4	2	100
2000	55	33	5	4	2	100
2001	52	34	8	3	2	100
2002	47	40	7	4	2	100
2003	39	42	11	5	3	100
2004	59	20	14	5	3	100
2005	57	27	8	4	4	100
2006	32	51	8	5	4	100

表5. 日本海・東シナ海におけるトラフグの
年齢別漁獲尾数の経年推移

年	0歳	1歳	2歳	3歳	4歳+	合計
1995	74,043	87,206	63,780	40,237	26,027	291,292
1996	39,803	33,415	63,443	39,512	22,255	198,427
1997	34,243	13,240	36,726	25,675	18,151	128,035
1998	32,510	16,953	22,755	18,115	12,810	103,143
1999	35,022	15,081	25,135	18,207	11,364	104,809
2000	83,016	8,279	22,187	19,341	13,726	146,548
2001	33,010	5,503	23,023	16,145	9,257	86,939
2002	40,008	5,500	18,429	16,998	10,815	91,750
2003	36,009	4,797	23,674	20,936	10,577	95,992
2004	132,007	1,991	18,069	16,047	7,680	175,793
2005	70,217	4,487	13,221	15,106	11,755	114,786
2006	95,682	12,302	22,440	19,722	14,776	164,923

表6. 瀬戸内海におけるトラフグの年齢別漁獲
尾数の経年推移

年	0歳	1歳	2歳	3歳	4歳+	合計
1995	647,292	563,278	60,796	30,582	16,222	1,318,169
1996	614,473	447,769	47,306	21,637	14,920	1,146,105
1997	461,311	202,834	28,619	22,130	5,909	720,803
1998	327,711	238,596	31,495	18,640	7,982	624,424
1999	367,879	194,231	30,263	12,205	4,430	609,007
2000	406,572	282,776	24,514	19,940	6,807	740,609
2001	458,799	317,960	55,082	14,029	6,122	851,991
2002	363,778	337,935	37,762	19,044	4,161	762,680
2003	196,158	248,739	43,223	10,168	6,248	504,537
2004	250,573	126,515	70,217	17,369	9,234	473,907
2005	282,463	162,672	39,180	9,553	11,349	505,217
2006	71,445	252,571	17,980	6,840	7,186	356,022

表7. トラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群
における資源量の経年推移(単位:トン)

年	0歳	1歳	2歳	3歳	4歳+	合計
1995	309	545	360	273	233	1,720
1996	225	365	309	214	191	1,304
1997	166	202	206	185	128	887
1998	137	235	192	145	116	825
1999	169	204	208	140	100	823
2000	195	268	162	145	109	879
2001	209	259	250	129	93	939
2002	180	360	216	160	91	1,006
2003	92	286	224	146	115	862
2004	134	194	235	188	126	877
2005	173	210	189	125	168	864
2006	83	403	127	129	168	910

表8. トラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群
における年齢別資源尾数の経年推移

年	0歳	1歳	2歳	3歳	4歳+	合計
1995	1,787,045	1,043,035	275,458	131,387	78,381	3,315,305
1996	1,296,348	755,177	238,267	104,589	63,585	2,457,966
1997	1,186,861	432,201	163,489	87,827	44,204	1,914,582
1998	929,761	487,004	145,914	69,658	39,405	1,671,743
1999	1,188,354	406,205	153,758	65,763	34,153	1,848,232
2000	1,285,170	569,932	131,635	70,858	37,039	2,094,634
2001	1,372,030	568,831	187,008	61,304	31,245	2,220,419
2002	1,128,975	634,518	157,551	76,715	31,877	2,029,636
2003	691,067	522,907	191,083	73,113	39,548	1,517,716
2004	843,128	333,317	183,496	89,779	45,442	1,495,162
2005	1,125,237	319,003	146,182	64,994	60,895	1,716,312
2006	449,741	565,097	100,923	67,603	55,892	1,239,255

表9. トラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群
における年齢別Fの経年推移

年	0歳	1歳	2歳	3歳	4歳+
1995	0.611	1.226	0.718	0.944	0.944
1996	0.848	1.280	0.748	1.086	1.086
1997	0.641	0.836	0.603	0.959	0.959
1998	0.578	0.903	0.547	0.911	0.911
1999	0.485	0.877	0.525	0.742	0.742
2000	0.565	0.864	0.514	0.989	0.989
2001	0.521	1.034	0.641	0.816	0.816
2002	0.520	0.950	0.518	0.760	0.760
2003	0.479	0.797	0.505	0.658	0.658
2004	0.722	0.574	0.788	0.548	0.548
2005	0.439	0.901	0.521	0.562	0.562
2006	0.547	0.757	0.605	0.589	0.589

表10. 福岡湾、有明海、瀬戸内海西部海域
での放流モニタリング調査から得られた
混獲率、添加効率

年	混獲率(%)				添加効率 (%)
	福岡湾	有明海	瀬戸内海 西部海域	加重平均	
2001	11.6	19.6	6.7	18.8	16.9
2002	36.1	19.1	3.1	17.9	11.8
2003	7.8	10.4	9.4	10.1	5.0
2004	37.5	2.4	12.1	5.3	2.6
平均					9.1

表11. トラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群における漁獲量、資源量、親魚量、放流尾数、添加効率、0歳資源尾数(天然魚、放流魚)、再生産成功率の経年推移

年	漁獲量 (トン)	資源量 (トン)	親魚量 (トン)	放流尾数	添加効率 (%)	0歳資源尾数 (天然魚)	0歳資源尾数 (放流魚)	再生産成功率 (尾/kg)
1995	900	1,720	506	1,420,000	9.1	1,658,265	128,779	3.3
1996	727	1,304	405	1,588,000	9.1	1,152,333	144,015	2.8
1997	423	887	313	2,075,000	9.1	998,680	188,181	3.2
1998	385	825	261	1,411,000	9.1	801,798	127,963	3.1
1999	349	823	241	1,323,000	9.1	1,068,371	119,982	4.4
2000	410	879	254	1,423,000	9.1	1,156,118	129,051	4.5
2001	435	939	222	1,520,000	16.9	1,114,756	257,274	5.0
2002	454	1,006	251	1,720,000	11.8	926,515	202,460	3.7
2003	358	862	260	1,412,000	5.0	620,999	70,068	2.4
2004	366	877	314	1,722,000	2.6	798,069	45,060	2.5
2005	343	864	293	1,717,000	9.1	969,523	155,714	3.3
2006	387	910	297	1,600,000	9.1	304,638	145,103	1.0

1) 2006年の放流尾数は1995-2005年の平均で推定

2) 1995-2001年、2005-2006年の添加効率は2001-2004年の平均で推定

表12. トラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群における放流尾数、0歳資源尾数、放流魚の割合、漁獲量、2歳以上の取扱量、2歳以上の放流魚の取扱量、漁獲量に占める放流魚の割合(推定値)、取扱量に占める放流魚の割合

年	放流尾数	添加効率 (%)	0歳魚の 資源尾数	放流魚の割合					漁獲量(トン)					2歳以上の 取扱量(トン)	2歳以上の放流魚 の取扱量(トン)	漁獲量に占める放流魚 の割合(推定値)(%)	取扱量に占める 放流魚の割合(%)
				0歳	1歳	2歳	3歳	4歳+	0歳	1歳	2歳	3歳	4歳+				
1995	1,420,000	9.1	1,787,045	0.07					125	340	163	147	125				3.1
1996	1,588,000	9.1	1,296,348	0.11	0.07				113	233	144	125	112				14.3
1997	2,075,000	9.1	1,186,861	0.16	0.11	0.07			69	101	82	101	70				18.5
1998	1,411,000	9.1	929,761	0.14	0.16	0.11	0.07		53	123	72	77	61				26.0
1999	1,323,000	9.1	1,188,354	0.10	0.14	0.16	0.11	0.07	57	105	75	65	46	186	22	12.0	22.0
2000	1,423,000	9.1	1,285,170	0.10	0.10	0.14	0.16	0.11	74	137	57	80	61	198	27	13.8	16.4
2001	1,520,000	16.9	1,372,030	0.19	0.10	0.10	0.14	0.16	75	147	104	63	46	214	27	12.4	16.3
2002	1,720,000	11.8	1,128,975	0.18	0.19	0.10	0.10	0.14	64	195	77	75	43	195	21	10.9	12.9
2003	1,412,000	5.0	691,067	0.10	0.18	0.19	0.10	0.10	31	139	78	62	49	189	26	13.7	11.2
2004	1,722,000	2.6	843,128	0.05	0.10	0.18	0.19	0.10	61	75	113	70	47	230	38	16.6	11.9
2005	1,717,000	9.1	1,125,237	0.14	0.05	0.10	0.18	0.19	54	110	68	47	64	179	27	15.3	22.2
2006	1,600,000	9.1	449,741	0.32	0.14	0.05	0.10	0.18	31	189	51	51	66	168	20	11.7	23.8

1) 2006年の放流尾数は1995-2005年の平均で推定

2) 1995-2000年、2005-2006年の添加効率は2001-2004年の平均で推定

補足資料1

資源計算方法

(1) 日本海・東シナ海における年齢別漁獲尾数の推定

1977～1983年に漁獲された東シナ海・黄海産トラフグ542個体の全長と年齢のセットデータ（尾串1987）、②2003年12月から2004年3月に（独）水産総合センター開発調査部が東シナ海および玄界灘で採集した標本650個体、および③福岡県水産海洋技術センターが鐘崎漁協より入手した東シナ海および玄界灘産トラフグ92個体の全長・年齢セットデータを用いてAge-Length Keyを作成した。②、③の年齢解析については①に準拠し、テトラサイクリンおよびアリザリン・コンプレクソンによる耳石標識により再捕された放流魚の情報（ $n=49$ ）を参考に脊椎骨第17椎体に形成される年輪に基づいて年齢査定解析を実施した。1995～1998年に山口県水産研究センターが下関唐戸魚市場（株）において調査した入り数別全長組成とAge-Length Keyを用いて下関唐戸魚市場（株）の入り数別年齢組成を求めた。1995～2003年は下関唐戸魚市場（株）のトラフグの月別入り数別取扱箱数データと月別入り数別年齢組成を用いて、2003～2005年は山口県水産センターが実施した南風泊市場の全長組成測定結果をAge-Length Keyを用いて、それぞれの年齢別漁獲尾数を求めた。さらに、長崎県総合水産試験場が福岡中央魚市場（株）において調べた2001～2002年の全長組成データと福岡中央魚市場（株）の1999～2002年の月別取扱量データを用いて1999～2002年の年齢別漁獲尾数を求めた。下関唐戸魚市場（株）および福岡中央魚市場（株）の年級群別年齢別漁獲尾数を合わせて日本海および東シナ海における1995～2006年の年齢別漁獲尾数（表6）とした。資源計算に使用した漁獲量は下関唐戸魚市場（株）および福岡中央魚市場（株）の年級別取扱量を用いた。計算に用いた年別の年齢別体重は成長式（尾串1987）と全長・体重関係式（尾串1980）に従い、漁獲の中心月となる1月時（0.7～5.7歳）の雌雄の平均体重を用いた。

(2) 瀬戸内海における年齢別漁獲尾数の推定

瀬戸内海西部の各県（愛媛県、広島県、大分県および山口県）における灘別および漁法別に対応した標準漁協における月別全長組成の相対度数分布を混合正規分布群に分解し、各年齢の混合比を求めた後、全長・体重関係（瀬戸内海区水産研究所 2007 未発表）、灘別および漁法別の漁獲量を用いて県別に1995～2006年の年齢別漁獲尾数を推定した。次に2002～2006年の瀬戸内海東部（香川県、岡山県、徳島県および和歌山県）および宮崎県の漁獲量を用いて瀬戸内海西部の年齢別漁獲尾数を瀬戸内海全体に引き延ばした。1995～2001年は2002～2004年の引き延ばし係数の平均を用いた。

(3) コホート解析

解析年を暦年、4月を誕生月、 $M=0.25$ としてPopeの近似式により a 歳、 y 年の資源尾数 $N_{a,y}$ を推定した。 $C_{a,y}$ は a 歳、 y 年の漁獲尾数。

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

a 歳、 y 年の漁獲係数は

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

で算出し、4歳以上をプラスグループとして3歳と4歳+のFが等しいと仮定した。

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

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

最近年の資源尾数は

$$N_{a,2006} = \frac{C_{a,2006}}{1 - e^{-F_{a,2006}}} e^{\frac{M}{2}}$$

で推定した。

0〜3歳のターミナルFは各年齢の過去3年間の平均とした。4歳+のターミナルFは3歳のターミナルFと等しくなるようにエクセルのソルバーを用いて探索的に求めた。

SPR、YPRの計算

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

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

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

fr_a 、 W_a は a 歳の雌の成熟率および漁獲物の平均体重