

原著論文

神奈川県沿岸域におけるトラフグの漁獲量の急増と種苗放流効果

角田直哉* 1, * 2

Remarkable increase in catch amount and stocking efficiency of tiger puffer
Takifugu rubripes in the coastal area of Kanagawa Prefecture

Naoya KAKUTA

In response to the recent rapid increase in the catch of tiger puffer *Takifugu rubripes* in the coastal area of Kanagawa Prefecture, this study estimated and evaluated the number of fish caught by wild/released by age, as well as the mixing rates and the recapture rates of released fish during the 2007-2020 fishing season based on market survey data. The results showed that the number of wild fish caught was 100-9,300, the number of released fish caught was 400-3,800, the mixing rate of released fish was 5.4-95.6%, and the recapture rate was 0.7-5.6%. The recent rapid increase in catches was due to wild fish. Meanwhile, the number of released fish caught has been on a downward trend, and the recapture rate has also been on a downward trend. One of the factors was considered to be the smaller size of released fish.

キーワード：トラフグ, 放流効果, 栽培漁業, 神奈川県
2023年6月21日受付 2024年9月18日受理

神奈川県におけるトラフグ *Takifugu rubripes* 漁業は1995年頃、三浦半島西岸に位置する長井町漁業協同組合で開始され、当初の漁獲量は年間1トン未満であり、本種の水揚げはほとんどなかったと言われている。しかし、2003年12月～2004年1月に長井漁港で1トンを超えるトラフグが水揚げされたことを受け、その年から、同漁協による自主的な種苗放流が開始された。2004年以降、種苗放流は毎年継続して行われ、2016年以降は10万尾レベルの種苗が放流されており、この間、同県では2～3トンの安定した漁獲が維持されてきた（山崎 2017）。

これまで、同県におけるトラフグ漁業は、種苗放流なしには成り立たないほど漁獲量の大部分を放流魚が占めるとされてきた（櫻井ら 2014）。しかし近年、同県や千葉県で漁獲量が急増するとともに、東京湾奥で天然稚魚

（山崎ら 2019）が、東京湾口部の浦賀水道で卵（山崎ら 2020）が確認されるなど、天然資源の増加を示唆する情報が得られている。特に2017年以降、同県の漁獲量は3トンを大きく超えるようになり、以前とは本種資源を取り巻く状況が異なることも考えられた。

そこで、近年の漁獲量の急増の要因を明らかにするため、天然魚放流魚別・年齢別漁獲尾数の推移を検討するとともに、放流魚の混入率や回収率などのデータから種苗放流の効果を分析した。

材料と方法

年漁期別漁獲データの集計 神奈川県におけるトラフグの主漁期は11月～翌年3月であり、近年、春季に遊漁

*1 神奈川県水産技術センター
〒238-0237 神奈川県三浦市三崎町城ヶ島養老子
Kanagawa Prefectural Fisheries Technology Center, Jogashima, Misaki, Miura, Kanagawa 238-0237, Japan
E-mail: kakuta.p4np@pref.kanagawa.lg.jp

*2 現所属：神奈川県水産技術センター相模湾試験場

船による釣獲が増えているものの(角田 2022), 同漁期以外における漁獲は極めて少ない。また, 同県海域に隣接する伊勢・三河湾系群における産卵期は4~5月と考えられており(白木谷ら 2002, 中島 2001), 東京湾口部においても, 4月に卵が採集されている(山崎ら 2020)。そのため, 漁業の季節性と生活史特性から, 4月~翌年3月を年漁期として, 漁獲量の集計を行った。

集計には神奈川県水産技術センターでデータを収集している県内7つの主要漁港のうち, 魚種名「トラフグ」を抽出可能な5漁港(柴, 間口, 長井, 佐島, 小田原)を対象とした(図1)。なお, これら漁港以外で魚種名「トラフグ」を抽出可能な県内すべての漁港における漁獲量の合計はこれら5漁港の合計の10%未満であり, これら5漁港の漁獲量の推移は県全体を代表すると考えることができる。

同県沿岸域でトラフグを漁獲する主な漁業種類は, 東京湾では小型機船底びき網, 相模湾ではフグはえ縄や定置網である。東京湾の小型機船底びき網は相模湾のフグはえ縄や定置網より小型魚を主に漁獲している。そのため, 漁業種類による体長組成の違いを考慮し, 海域ごとに漁獲量を集計した。なお, 海域の区分は「柴」を東京湾, 「間口」, 「長井」, 「佐島」, 「小田原」を相模湾とした。各漁港のデータ抽出期間はいずれも2004~2020年漁期とした。

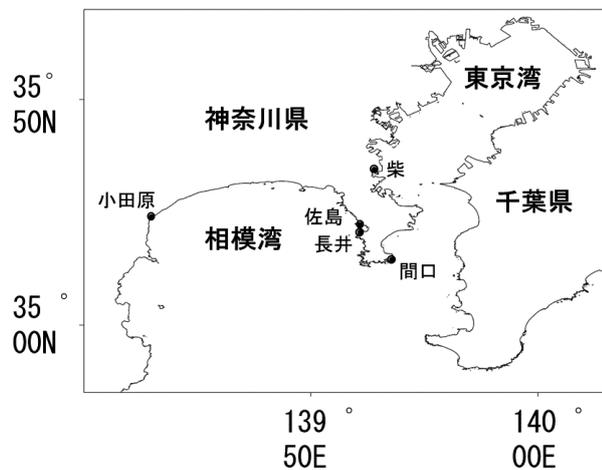


図1. 調査対象市場(●)の位置

種苗放流尾数等の推移 神奈川県におけるトラフグの放流尾数と放流サイズについて, 2014年以前については, 水産庁らにより公開されている栽培漁業種苗生産, 入手・放流実績(全国)(2006~2012)及び水産総合研究センターにより公開されている栽培漁業・海面養殖用種苗の生産・入手・放流実績(全国)(2013~2016)から集計した。2015~2021年については, 神奈川県水産技術センターが調査したデータを基に整理した。

本研究では, 櫻井ら(2014)に従い, 放流魚の一部に

みられる鼻孔隔皮欠損を放流魚判別の標識とした。鼻孔隔皮欠損の状況は, 同じ放流年でも放流群ごとに異なっている。そのため, 2006年以降は可能な限り放流時に放流群ごとの鼻孔隔皮欠損魚の出現割合(以下, 鼻孔隔皮欠損率)を調査し, (1), (2)式により放流年ごとの鼻孔隔皮欠損率(\hat{H}_t)を算出した。

$$\hat{H}_t = \frac{\sum_u h_{tu} r_{tu}}{R_t} \quad (1)$$

$$R_t = \sum_u r_{tu} \quad (2)$$

\hat{H}_t : t 年の鼻孔隔皮欠損率

h_{tu} : t 年に放流した放流群 u の鼻孔隔皮欠損率

R_t : t 年の総放流尾数

r_{tu} : t 年に放流した放流群 u の放流尾数

市場調査による放流魚識別 神奈川県では(図1)に示される5漁港で放流魚の識別のために, 2005年4月から周年定期的に水揚げ物の市場調査を行ってきた。調査は月1~2回以上行い, 調査日に水揚げされた全数を測定した。現在, 2021年3月末までの調査データが集計可能なデータとして蓄積されている。市場調査のデータ項目は「調査日」, 「調査市場」, 「漁業種類」, 「全長」, 「体重」および「鼻孔隔皮欠損の有無」である。「体重」は買い取り個体の測定結果と, 水揚げ場で重量が明示されている個体に限り記録した。

なお, 市場調査開始当初(2005および2006年漁期)は年間の測定尾数が数十尾と少なく, 2004および2005年は放流時の種苗の鼻孔隔皮欠損率の調査も行われていなかった。そのため, 市場調査データの集計は, 鼻孔隔皮欠損率の調査が初めて行われた2006年放流群が1歳になり漁獲加入する2007年漁期以降を対象とした。

全長・体重関係式およびAge-length keyの作成 市場で測定した各調査個体の体重を全長・体重関係式を用いて推定した。

全長・体重関係式は, 全長 L (cm)と体重 W (g)の記録がある2010~2019年漁期の全個体のデータ($n=861$)を用いて, アロメトリー式(3)に当てはめ, 最小二乗法により変数 a , β を推定して導き出した。

$$W = a L^\beta \quad (3)$$

年齢分解に用いたAge-length keyは上田ら(2010)が東シナ海, 日本海および瀬戸内海産トラフグについて報告したものを改変することで作成した。上田ら(2010)では12~3月と4月のAge-length keyが雌雄別に報告されているが, 同県における4月の漁獲量はこれまで多くなかったため, 本報告では同県の漁獲盛期である12~3月のAge-length keyを基にした。また, 上田ら(2010)

のAge-length keyは全長階級を1cm刻みとしていたが、サンプル数が少ないことから年齢とサイズの違いが生じていた。そのため、これを平準化するため、上田ら(2010)のAge-length keyを(4)、(5)式により全長階級が2cm刻みになるよう修正した。

$$M_{kq} = m_{kp} + m_{kp+1} \quad (4)$$

$$F_{kq} = f_{kp} + f_{kp+1} \quad (5)$$

M_{kq} : 全長階級 q , k 歳における雄の個体数

m_{kp} : 全長階級 p , k 歳における雄の個体数

F_{kq} : 全長階級 q , k 歳における雌の個体数

f_{kp} : 全長階級 p , k 歳における雌の個体数

また、本調査では雌雄別の測定が行われていなかったため、(6)式により雌雄を加重平均した。最後に(7)式により各全長階級の度数の合計値が1になるように標準化することで、本報告の年齢分解に用いるAge-length keyとした。ただし、全長階級 q における k 歳の割合(G_{kq})について、4歳以上はサンプル数が少ないため、プラスグループとして扱った(表1)。

$$g_{kq} = \frac{M_{kq} \sum_{k=0}^7 M_{kq} + F_{kq} \sum_{k=0}^7 F_{kq}}{\sum_{k=0}^7 M_{kq} + \sum_{k=0}^7 F_{kq}} \quad (6)$$

$$G_{kq} = \frac{g_{kq}}{\sum_{k=0}^7 g_{kq}} \quad (7)$$

G_{kq} : 全長階級 q における k 歳の割合

g_{kq} : 全長階級 q における k 歳の個体数

表1. 年齢分解に用いたAge-length key

全長 (cm)	年齢				
	0	1	2	3	4+
26-	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
28-	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
32-	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
34-	0.000	0.925	0.075	0.000	0.000
36-	0.000	0.940	0.060	0.000	0.000
38-	0.000	0.811	0.189	0.000	0.000
40-	0.000	0.480	0.516	0.004	0.000
42-	0.000	0.222	0.756	0.022	0.000
44-	0.000	0.040	0.842	0.118	0.000
46-	0.000	0.026	0.434	0.540	0.000
48-	0.000	0.000	0.151	0.712	0.137
50-	0.000	0.000	0.077	0.359	0.564
52-	0.000	0.000	0.000	0.156	0.844
54-	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
56-	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
58-	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
60-	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000

上田ら(2010)12~3月のAge-length keyを改変

年齢別漁獲重量および漁獲尾数の推定 市場で測定した全長組成データを全長階級ごとに振り分け、(8)式により測定重量と漁獲量の比(以下、重量化係数)から引き延ばし、先のAge-length keyにより年齢分解することで年齢別漁獲尾数(\hat{Y}_{ijk})を推定した。また、各全長階級の中央値の推定体重を(3)式を改変した(11)式から算出し、(9)式によりこれを各全長階級に当てはめることで、年齢別漁獲重量(\hat{Z}_{ijk})を推定した。

$$\hat{Y}_{ijk} = \sum_{q=26}^{60} y_{ijq} G_{kq}^A \quad (8)$$

$$\hat{Z}_{ijk} = \sum_{q=26}^{60} y_{ijq} G_{kq}^{AB_q} \quad (9)$$

$$A = \frac{\sum_{q=26}^{60} y_{ijq} B_q}{C_{ij}} \quad (10)$$

$$B_q = \alpha(q+1)^\beta \quad (11)$$

\hat{Y}_{ijk} : i 年, j 海域, k 歳の漁獲尾数

y_{ijq} : i 年, j 海域, 全長階級 q の調査尾数

\hat{Z}_{ijk} : i 年, j 海域, k 歳の漁獲重量

A : 重量化係数

B_q : 階級 q の平均体重

C_{ij} : i 年, j 海域の漁獲量

なお、漁獲時期ごとの全長組成の違いを考慮し、当歳魚加入前(4~7月)、成長期(8~11月)、成長停滞期(12~3月)の3季に分けて解析を行った。ただし、4~7月は当歳魚の漁獲加入前であるため、この期間に0歳魚と判定された個体は1歳魚として扱った。

天然魚および放流魚漁獲尾数の推定 市場で測定した鼻孔隔皮状態別(正常または異常)の全長組成データを全長階級ごとに振り分け、先に作成したAge-length keyにより年齢分解することで、年齢別鼻孔正常個体調査尾数(Ny_{ijk})および鼻孔異常個体調査尾数(Dy_{ijk})を求め、市場調査データにおける年齢別鼻孔異常率(v_{ijk})を算出した。

$$Ny_{ijk} = \sum_{q=26}^{60} Ny_{ijq} G_{kq} \quad (12)$$

$$Dy_{ijk} = \sum_{q=26}^{60} Dy_{ijq} G_{kq} \quad (13)$$

$$v_{ijk} = \frac{Dy_{ijk}}{Ny_{ijk} + Dy_{ijk}} \quad (14)$$

Ny_{ijk} : i 年, j 海域, k 歳の鼻孔正常個体調査尾数

Ny_{ijq} : i 年, j 海域, 全長階級 q の鼻孔正常個体調査尾数

Dy_{ijk} : i 年, j 海域, k 歳の鼻孔異常個体調査尾数

Dy_{ijq} : i 年, j 海域, 全長階級 q の鼻孔異常個体調査尾数

v_{ijk} : 市場調査データにおける i 年, j 海域, k 歳の鼻孔異常率

さらに、(15)式、(16)式により年齢別鼻孔正常個体調査重量 (Nz_{ijk}) および鼻孔異常個体調査重量 (Dz_{ijk}) を算出した。

$$Nz_{ijk} = \sum_{q=26}^{60} Ny_{ijq} G_{kq} B_q \quad (15)$$

$$Dz_{ijk} = \sum_{q=26}^{60} Dy_{ijq} G_{kq} B_q \quad (16)$$

Nz_{ijk} : i 年, j 海域, k 歳の鼻孔正常個体調査重量
 Dz_{ijk} : i 年, j 海域, k 歳の鼻孔異常個体調査重量

(17)、(18)式により、年齢別鼻孔正常個体平均体重 (Nx_{ijk}) および鼻孔異常個体平均体重 (Dx_{ijk}) を算出した。なお、鼻孔正常個体にも放流魚は混じっていると考えられるが³、区別不能なため、鼻孔正常個体の年齢別平均体重 (Nx_{ijk}) を天然魚の年齢別平均体重として扱うこととした。

$$Nx_{ijk} = \frac{Nz_{ijk}}{Ny_{ijk}} \quad (17)$$

$$Dx_{ijk} = \frac{Dz_{ijk}}{Dy_{ijk}} \quad (18)$$

Nx_{ijk} : i 年, j 海域, k 歳の鼻孔正常個体平均体重
 Dx_{ijk} : i 年, j 海域, k 歳の鼻孔異常個体平均体重

(19)式により、年齢別鼻孔異常個体漁獲尾数 ($D\hat{Y}_{ijk}$) を求めた。(20)式により、放流魚漁獲尾数 ($R\hat{Y}_{ijk}$) を算出した。ただし、市場調査結果による年齢別鼻孔異常率 (v_{ijk}) が t 年放流時の鼻孔隔皮欠損率 (\hat{H}_t) を上回る場合は、放流魚だけの集団として扱った。また、天然魚漁獲尾数 ($\hat{W}Y_{ijk}$) は(21)式により求めた。なお、 t 年は(22)式により表される。

$$D\hat{Y}_{ijk} = \hat{Y}_{ijk} v_{ijk} \quad (19)$$

$$R\hat{Y}_{ijk} = \frac{D\hat{Y}_{ijk}}{\hat{H}_t} \quad (20)$$

$$\hat{W}Y_{ijk} = \hat{Y}_{ijk} - R\hat{Y}_{ijk} \quad (21)$$

$$t = i - k \quad (22)$$

$D\hat{Y}_{ijk}$: i 年, j 海域, k 歳の鼻孔異常個体漁獲尾数
 $R\hat{Y}_{ijk}$: i 年, j 海域, k 歳の放流魚漁獲尾数
 $\hat{W}Y_{ijk}$: i 年, j 海域, k 歳の天然魚漁獲尾数

(23)式により年齢別天然魚漁獲重量 ($\hat{W}Z_{ijk}$) を求めた。
(24)式により年齢別放流魚漁獲重量 ($\hat{R}Z_{ijk}$) を求めた。
(25)式により放流魚の平均体重 (Rx_{ijk}) を求めた。

$$\hat{W}Z_{ijk} = \hat{W}Y_{ijk} Nx_{ijk} \quad (23)$$

$$\hat{R}Z_{ijk} = \hat{Z}_{ijk} - \hat{W}Z_{ijk} \quad (24)$$

$$Rx_{ijk} = \frac{\hat{R}Z_{ijk}}{R\hat{Y}_{ijk}} \quad (25)$$

$\hat{W}Z_{ijk}$: i 年, j 海域, k 歳の天然魚漁獲重量

$\hat{R}Z_{ijk}$: i 年, j 海域, k 歳の放流魚漁獲重量

Rx_{ijk} : i 年, j 海域, k 歳の放流魚平均体重

放流魚の全年齢総混入率および回収率の推定 放流魚の全年齢総混入率 (\hat{O}_i) は(26)式により求めた。 t 年に放流した個体の回収率 (\hat{E}_t) は(27)式で示される。なお、 t 年に放流した個体を $t+k$ 年後、 k 歳で回収した漁獲尾数 ($R\hat{Y}_{t+k,k}$) は(28)式で示される。

$$\hat{O}_i = \frac{\sum_j \sum_{k=0}^{4+} R\hat{Y}_{ijk}}{\sum_j \sum_{k=0}^{4+} \hat{Y}_{ijk}} \quad (26)$$

$$\hat{E}_t = \frac{\sum_{k=0}^{4+} R\hat{Y}_{t+k,k}}{R_t} \quad (27)$$

$$R\hat{Y}_{t+k,k} = \sum_j R\hat{Y}_{ijk} \quad (28)$$

\hat{O}_i : i 年の放流魚の全年齢総混入率

\hat{E}_t : t 年に放流された個体の回収率

$R\hat{Y}_{t+k,k}$: t 年に放流され、 k 歳で漁獲された尾数

結 果

漁獲量の動向 5漁港の漁獲量は2004年漁期には0.6トンであったが、2008年漁期には2.2トンと初めて2トンを超えた。その後、2~3トン前後で推移していたが、2017年漁期に4.7トンと急増し、2019年漁期には9.7トンと過去最高を記録した(図2)。

海域別にみると、同県における漁獲の大部分は相模湾が占めており、2017および2019年漁期の漁獲の急増は相模湾での漁獲増加によるものであった。一方、東京湾においても2016年漁期に初めて0.5トンを超え、2017年漁期は0.5トンに満たなかったものの、2018年漁期以降は毎年0.5トンを超えた。

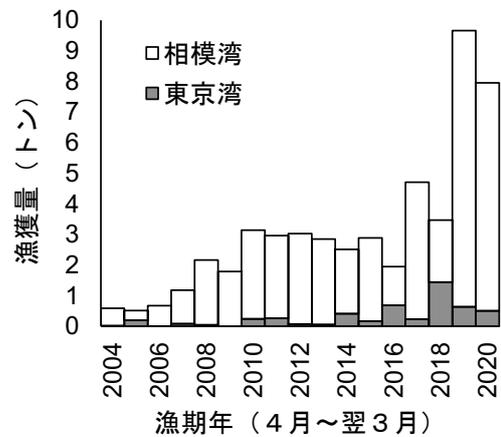


図2. 湾別漁獲量の推移

種苗放流尾数等の推移 2004～2021年の放流尾数は11～168千尾、各放流群の平均全長は30～100mmであった。年別種苗放流尾数は、2015年以前に100千尾を上回ったのは2007、2013年のみであったが、2016年以降は2017年を除く全ての年で100千尾を上回った(図3)。一方、種苗の平均全長は、2016年以前は2005、2013年を除く全ての年で50mmを上回っていたが、2017年以降は全ての年で50mmを下回った(図4)。

2006～2021年放流群の鼻孔隔皮欠損率は17～90%、平均±標準偏差は60±20%であった(図5)。

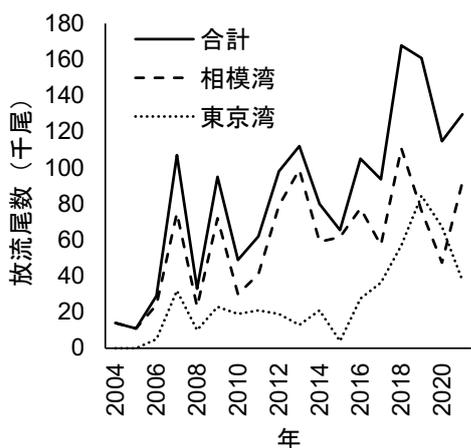


図3. 湾別種苗放流尾数の推移

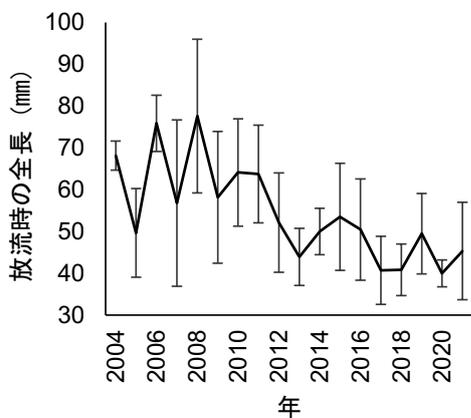


図4. 平均放流サイズの推移

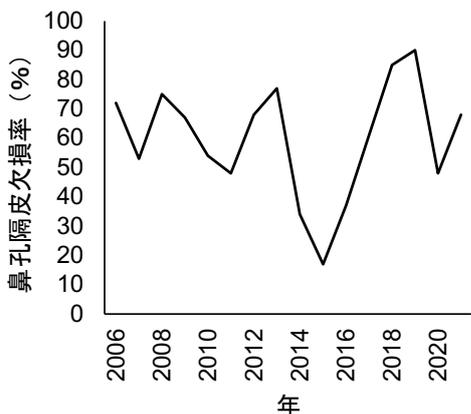


図5. 鼻孔隔皮欠損率の推移

全長-体重関係の推定 全長-体重関係式は以下のように示された(図6)。

$$W = 9.665 \times 10^{-3} L^{3.151}$$

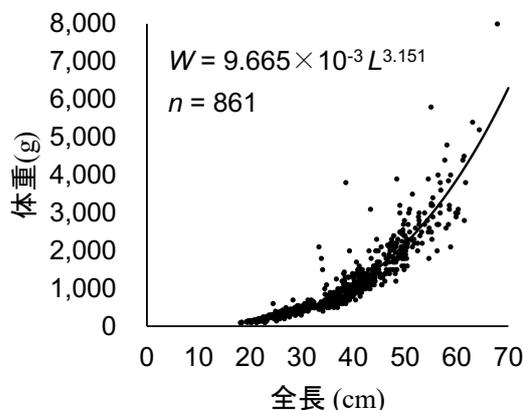


図6. 全長・体重関係式

漁獲尾数, 放流魚混入率の推移 漁獲量, 市場調査結果から推定したトラフグの年別漁獲尾数をみると、2007～2017年漁期は1.9～4.8千尾で推移したが、2018年漁期に初めて6.0千尾を超え、2019年漁期には10.2千尾に急増した。2020年漁期はやや減少し、8.3千尾であった(図7)。

このうち、放流魚の漁獲尾数は2007～2015年漁期は1.1～3.8千尾であったが、2016～2020年漁期は0.4～1.0千尾と推定された。それら推移を漁獲尾数に占める放流魚の混入率でみると、2007、2008年漁期は60%前後であったが、2009年漁期は39%まで低下した。2010～2013年漁期は79～96%で推移したが、2014、2015年漁期は48～63%まで低下した。その後、2016、2017年漁期は16～21%までさらに低下し、2018年漁期以降は10%以下にまで低下した(図7)。さらに年齢別にみると、2016年漁期以降の0歳放流魚で顕著な減少が見られた(図8)。

一方、天然魚漁獲尾数については、2007年漁期の0.7千尾から2009年漁期には1.8千尾まで増加したが、2011～2013年漁期は0.1～0.5千尾まで減少した。2014年漁

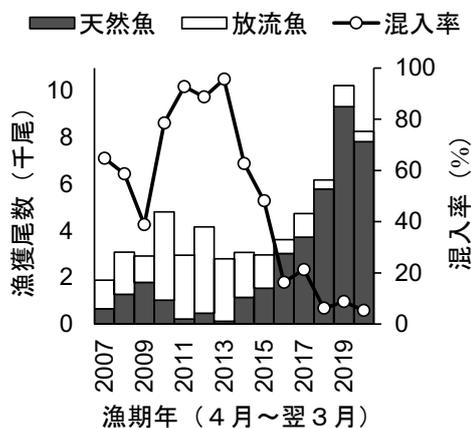


図7. 天然魚放流魚別漁獲尾数と放流魚混入率の推移

期以降は再び増加し始め、2019年漁期には9.4千尾に達した。天然0歳魚に着目すると、2008、2014、2016、2018年漁期に前年より顕著な増加が見られた（図8）。

なお、年齢別平均体重は、天然魚について、0歳で163～287g、1歳で429～1,000g、2歳で1,172～1,860g、3歳で1,774～2,087g、4+歳で2,321～4,386g、放流魚について、0歳で177～294g、1歳で672～1,055g、2歳で1,125～1,458g、3歳で1,752～2,059g、4+歳で2,325～3,020gと推定された（表2）。

放流魚の回収状況 4+歳までの回収尾数が算出可能な2007～2016年放流群について集計を行ったところ、回収率は0.7～5.6%と推定された。2007～2012年放流群の回収率は2.1～5.6%であったが、2013～2015年放流群は1.3～1.7%に低下し、2016年放流群は0.7%とさらに低下した。回収中の2017年放流群についても、3歳までの回収率が0.5%と低迷していた（表3）。

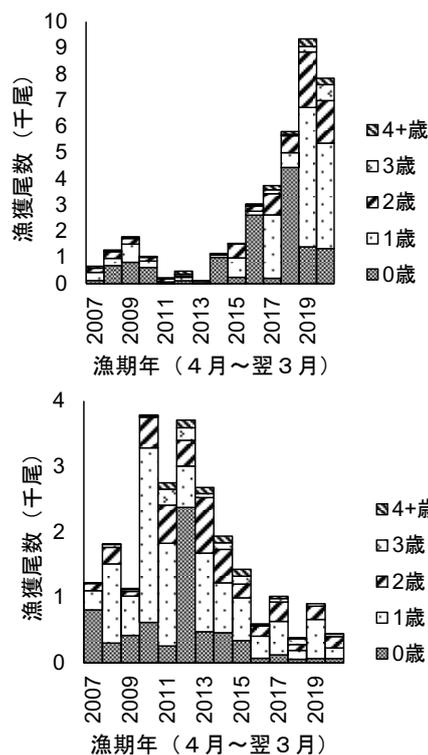


図8. 天然魚（上）と放流魚（下）の年齢別漁獲尾数の推移

表2. 天然魚放流魚別平均体重

年漁期	天然魚					放流魚				
	0歳	1歳	2歳	3歳	4+歳	0歳	1歳	2歳	3歳	4+歳
2007	163	777	1,274	1,880	3,640	197	672	1,270	1,752	-
2008	191	1,000	1,208	1,994	3,429	195	674	1,255	1,918	2,687
2009	178	743	1,220	1,946	4,386	179	720	1,225	2,035	2,389
2010	272	822	1,172	1,774	2,321	287	701	1,125	2,048	2,451
2011	189	429	1,293	2,062	2,501	245	743	1,351	1,948	2,403
2012	171	888	1,383	2,001	3,239	200	753	1,458	1,995	2,818
2013	280	568	1,860	1,943	2,738	177	886	1,289	1,906	2,836
2014	287	882	1,451	2,087	2,849	265	948	1,278	1,948	3,020
2015	268	771	1,234	2,002	3,061	217	946	1,378	1,930	3,015
2016	270	924	1,323	1,913	3,516	220	888	1,359	1,881	2,488
2017	263	801	1,249	1,988	2,674	190	803	1,238	2,059	2,502
2018	273	921	1,383	1,921	3,528	228	912	1,292	1,774	2,898
2019	280	863	1,226	1,970	2,811	240	843	1,212	1,849	-
2020	270	776	1,343	1,940	2,536	294	1,055	1,339	1,862	2,325

- : 記録なし

表3. 年級群別放流魚回収状況

年級群	年齢					種苗放流尾数	回収尾数	回収率 (%)
	0	1	2	3	4+			
2007	810	1,209	71	14	94	1007,000	2,198	2.1
2008	303	601	471	244	119	33,000	1,737	5.3
2009	418	2,661	583	191	97	95,000	3,951	4.2
2010	619	1,569	391	60	104	49,000	2,742	5.6
2011	258	631	846	99	107	62,000	1,940	3.1
2012	2,375	1,202	513	119	17	98,000	4,226	4.3
2013	475	762	210	17	35	112,000	1,499	1.3
2014	459	652	154	52	19	80,000	1,335	1.7
2015	342	335	294	84	0	65,600	1,054	1.6
2016	72	510	92	38	5	105,000	717	0.7
2017	125	132	204	39	-	93,600	500	0.5*
2018	57	598	173	-	-	167,800	828	0.5*
2019	65	160	-	-	-	160,800	225	-
2020	67	-	-	-	-	114,800	67	-
全体 (2007-2016)	-	-	-	-	-	806,600	21,339	2.7

*2017年級群以降は回収中

考 察

漁獲量の増加要因 2017年漁期以降、神奈川県沿岸域（以下、同県沿岸域）において漁獲量の急増が確認された。ただし、その大部分は天然魚であり、天然魚の増加により漁獲量が押し上げられたことが明らかとなった。天然魚が急増した要因としては、他海域からの流入や同県沿岸域における再生産による天然資源の増大が考えられる。

まず、他海域からの流入について、これまで伊勢・三河湾系群から関東周辺海域に集団で移入した事例は報告されていないが、個体レベルで相模湾や千葉県九十九里沖などに移動回遊した事例は複数報告されている（安井・濱田 1996, 中島・新田 2005, 櫻井 2013）。同県沿岸域における漁獲量の増加は、2017年漁期以前の2003年漁期にも確認されている。特にその前年の2002年は、隣接する伊勢・三河湾系群の漁獲量が550トン記録し、資源量も862トンと推定され、同系群における資源量のピークに達していた（鈴木ら 2015）。神奈川県では、それ以前数年間の漁獲量は皆無に近く、種苗放流も行われていなかったことから、2003年漁期の漁獲量の増加は他海域からの来遊によるものであったかもしれない。中島・新田（2005）は遠州灘、熊野灘に生息するトラフグは、卓越年級群発生時に分布域が拡大し紀伊水道等隣接海域で瀬戸内海産トラフグと分布が重なると指摘しており、資源量が多い場合には海域が隣接する神奈川県沿岸域にも来遊する可能性があると考えられた。一方、同県で漁獲量が急増した2017年漁期前後について、2010～2019年漁期の伊勢・三河湾系群の資源水準は低位と評価されている（鈴木ら 2021）。そのため2017年漁期以降の漁獲量急増は、伊勢・三河湾系群からの来遊資源である可能性は低いかもしれない。

次に、神奈川県沿岸域における再生産による天然資源の増大についての可能性であるが、このことを示唆する事象が複数確認されている。稚魚の育成場に関しては、2014年6月に東京湾奥で天然稚魚が初めて確認され（山崎ら 2019）、その後も2016～2021年に毎年採集されている（角田、未発表）。産卵場に関しては、2018年4月に東京湾口部の浦賀水道で卵が初めて確認された（山崎ら 2020）。これらのことから、2014年頃より東京湾でトラフグ資源の再生産による天然資源が増大し始めたと考えられる。

漁獲尾数の推移をみると、2007～2010年漁期にも天然魚は漁獲されていたが、2011～2013年漁期にはほとんど見られなくなった。天然0歳魚漁獲尾数の推移をみると、2009年漁期は0.8千尾と2014年漁期の1.0千尾に少し劣る程度であったが、翌年2010年漁期の天然1歳魚の漁獲尾数は0.2千尾と2015年漁期の3分の1未満であった。その後の2011～2013年漁期は天然魚の漁獲尾数は0.5千尾未満と低迷した。2007～2010年にも再生

産が行われていた可能性はあるが、天然資源の増大まではいかなかったようである。

一方2014年以降は、2014, 2016, 2018年漁期の0歳魚漁獲尾数が2年毎で増加し、それら各翌年の2015, 2017, 2019年漁期には1歳魚漁獲尾数が前年よりも大幅に増加した。

また、湾別の漁獲量をみると、2014, 2016, 2018年漁期は東京湾の漁獲量が前年から大きく増加していた。一方、2009年漁期の東京湾の漁獲量は僅かであり、このときの0歳魚のほとんどは相模湾で漁獲されていた。

これらのことから、2017年漁期以降の天然魚の漁獲急増の要因としては、東京湾周辺域における再生産による天然資源の増大が考えられた。2014年以降東京湾近辺での再生産と天然加入の成功で0歳魚資源が増加しはじめ、それが翌年に1歳魚として漁獲加入するとともに、2歳以降、成熟して再生産に寄与することで、資源が増大したと考えられた。

ここまで神奈川県沿岸域の漁獲について論じてきたが、東京湾では同県と千葉県が漁場を共用しており、資源の動向を正確に捉えるためには、隣県の情報が欠かせない。東京湾千葉県側では主に、内湾で小型機船底びき網及びまき網、内房ではえ縄及び定置網により、本種が漁獲されている（高草木 2020）。千葉県における漁獲量は2001～2016年漁期には約2～7トンで推移したが、2017年漁期以降に増加し、2020年漁期には25.8トン記録している（千葉県 2023）。漁獲の動向は神奈川県と類似しており、同じ資源を漁獲している可能性が高いと考えられる。また、東京湾では本種をターゲットとした遊漁船業も行われており、多い年では標本船2隻で約1.3トンが釣獲されたと推定されている（角田 2022）。これらの情報も含めて検討することで、より高い精度で資源の動向を捉えることができると考えられ、さらなる調査が期待される。

再生産の活発化と天然資源増大の要因 神奈川県に隣接する伊勢・三河湾系群では、再生産成功率に影響を及ぼす海洋環境要因が検討され、特定の月の水温偏差や塩分が選択されている（青木ら 2016）。同県沿岸域でもこれら環境要因の変動により再生産が活発化した可能性も考えられる。

本種の産卵水温については、九州から伊勢湾口では14～18℃とされている（鈴木 2001）。一方、卵が確認された東京外湾の4月の水温（水深10m）の中央値（1963-2018年）は13℃台であるが、4月の年別温度変化率は有意に上昇していることが報告されている（Akada *et al.* 2023）。これまでも4月に産卵可能な水温帯が存在した可能性は考えられるものの、他海域の産卵水温よりやや低く、安定して大規模な再生産を行える環境ではなかったのかもしれない。一方、本種の産卵期は3月下旬～6月であり、南から北に行くに従い産卵期が遅くなる

傾向があるとされている（藤田 1988, 伊藤・多部田 2000）。東京湾口においても、5月以降、適水温になってからの産卵は以前から可能であったと考えられた。

本種の漁獲が急増した近年について、2010～2021年に東京湾口を運航するフェリーで観測された久里浜沖及び金谷沖の4月の水温（水深3.4m）の中央値は、久里浜沖で14℃を、金谷沖では15℃を超えている（Hosokawa and Okura 2022）。これまでも再生産が可能な環境が存在していたと考えられるが、4月に産卵に適した水温帯が広く形成されるようになったことで再生産が活発化した可能性も考えられた。

産卵場の形成には成育場の存在が欠かせないが、当歳魚の多くが漁獲される東京内湾において、水温（水深10m）が最も低くなる2月の中央値（1963-2018年）は10.0℃である（Akada *et al.* 2023）。しかし、近年は10℃を下回る期間が短縮または消失しており（石井ら 2008）、2015年12月から2016年1月にかけては、高水温がノリやワカメの養殖生産不調に影響を与えたことなど、冬季の高水温による直接的な被害が報告された（岡部 2017, 石井 2017）。

本種の生息水温について、飼育環境下での成長は18℃以上で盛んで、15～16℃で鈍化し、13～14℃では僅かに成長するか停滞、10℃以下では体重の減少が起こるとされている（藤田 1988）。一方、布刈瀬戸海域で親魚を対象とした漁期が始まる4月上旬から中旬の水温は水深10m層で12℃前後と報告されている（鈴木 2001）。本種の漁獲が見られる水温は12℃前後からとみられ、10℃以下は生息に適さない可能性が考えられる。

これまで冬季の東京内湾は水温が低いため、生息に適した環境が限られていたと考えられたが、冬季の昇温傾向と近年の記録的な高水温により、冬季にも生息に適した水温帯が形成されるようになった可能性が考えられた。実際、東京湾柴漁港の2月の漁獲量は2014年以前には10kgに満たなかったが、2015年以降には10kgを下回る年はほとんど見られなくなり、2019年には200kgを上回っている。このことから、東京湾内に留まる当歳魚が越冬することにより、翌年の漁獲増に結び付いた可能性も考えられた。

一方、一色・鈴木（2012）は本種人工種苗の標識放流試験の結果から、東京内湾放流群は放流直後に岸近くの浅場に滞留し、秋以降は成長に伴って内湾に広く分散し、放流後1年以上経過すると湾外へ移動していく傾向があると報告している。また、伊勢・三河湾系群においても、幼魚は伊勢湾の浅所に広く分布するが、水温の降下にもなって伊勢湾の湾口部に移動し、冬季は外海に移動分散するとされている（中島 1991）。本種の移動生態を考慮すると、冬季まで内湾に留まる当歳魚がいる一方で、外海へ移動している個体もいると推察される。冬季の東京内湾における当歳魚の増加が資源の増大にどの程度寄与したかについては、東京湾周辺海域における移動生態

を明らかにしたうえで、改めて検討する必要がある。

神奈川県沿岸域においても、これら環境要因の変動により再生産の活発化や資源の増大が起こった可能性が考えられた。一方、2007～2010年のように一旦天然魚が増大し始めたが、その後大きく減少したこともあり、同県沿岸域における資源の増加傾向が今後も継続していくかどうか、経過をモニタリングしていく必要がある。

放流効果の低下とその要因 放流魚の全年齢総混入率は、2016年漁期以降、急激に低下していた。これは天然魚漁獲尾数の増加により相対的に低下したことも一因と考えられるが、同時に放流魚漁獲尾数も減少しており、放流効果そのものの低下が示唆された。

種苗放流尾数は2016年以降、100千尾レベルを維持しており、2015年以前より多い量の種苗放流が行われていた。そのため、2016年以降の種苗放流はそれ以前に比べ、放流魚の漁獲増に結びついていなかったといえる。こうした放流効果の低下の要因としては、種苗放流後における天然稚魚との競合や放流方法の問題が考えられることから、それらを検討した。

東京湾奥では2016年以降、天然稚魚が毎年採集されているが、東京湾口から湾内に位置する神奈川県沿岸域では、これまでのところ天然稚魚の採集記録はない。そのため、現時点では同県沿岸域で漁獲される天然魚の成育場は東京湾奥と推察される。一方、同県の種苗放流場所は三浦半島沿岸域であり、東京湾奥とは地理的に大きく離れている。また、放流直後にサーフネットを用いた種苗の追跡調査を実施しているが、天然稚魚の採捕はみられていない。そのため、天然稚魚と放流種苗がお互いの稚魚期に同じ海域で混生し、餌料や生活空間等をめぐって競合している可能性は低いと考えられる。

次に、種苗放流方法について考察する。一般的に放流技術の高度化には、放流サイズ、放流時期、放流場所といった技術要素の最適化が必要であると考えられている（大河内 2006）。ここでは放流尾数と放流サイズを技術要素として、それぞれ回収率との関係について検討した。

放流尾数と回収率の関係をみると、最も回収率が高かったのが49千尾を放流した2010年級群の5.4%で、最も低かったのが105千尾を放流した2016年級群の0.7%であった。種苗放流尾数の増加に従い、回収率は低下しているようであるが、明らかな傾向は見られなかった（ $r=-0.62$, $p>0.05$ ）。放流尾数が50千尾未満の年級群では回収率が5.0%を上回る高い値を示したが、50千尾以上の年級群では回収率が1.0%を下回る低い値も見られた。ただし、100千尾前後（95～105千尾）の年級群では回収率が0.7～4.3%とばらつきが大きく、放流尾数が多くても一概に低い結果ではなかった。ただ、回収中である94千尾を放流した2017年級群についても、3歳時点での回収率が0.5%と低く、放流魚の漁獲尾数が2016年漁期以降減少したことを考えると、放流効果の減少要因は

放流尾数ではなく、この2ヵ年（2016年および2017年）にみられた放流サイズ等の他の要因と考えられた。

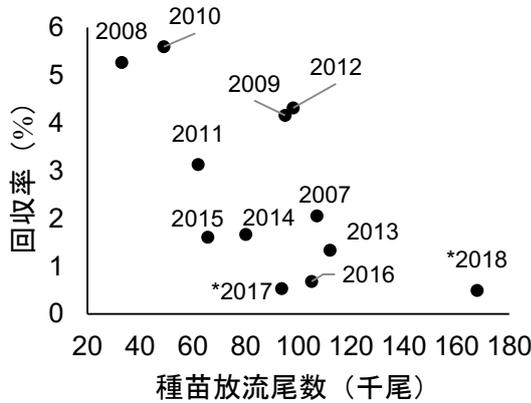


図9. 放流尾数と回収率の関係

*2017, 2018年放流群は暫定値

放流サイズ（全長）と回収率の関係を見ると、放流サイズが大きいくほど、回収率が高くなる傾向がみられた ($r=0.74$, $p<0.05$)。放流サイズについて、他海域の事例をみると、静岡県遠州灘では全長45mmあれば十分に放流効果が得られるとしている（静岡県2008）。一方、有明海では利益率が最も高い放流サイズは全長75mmと報告されており（松村2005, 2007）、放流に適したサイズは海域によって異なるようである。神奈川県で放流された種苗の平均全長について、過去最高の回収率5.6%を記録した2010年級群は64.1mmと2番目に大きく、過去最低の回収率0.7%を記録した2016年級群は50.4mmであり、回収中の2017年級群は40.7mmであったが、こちらも3歳までの回収率が0.5%と低い値を示している。

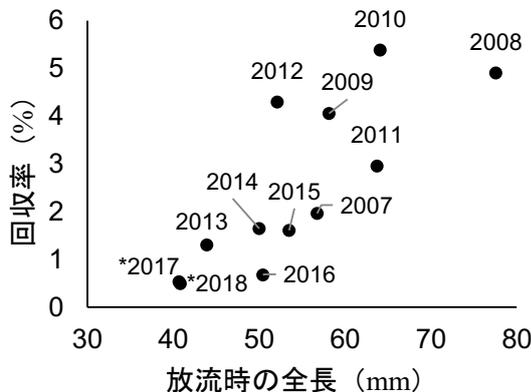


図10. 放流サイズと回収率の関係

*2017, 2018年放流群は暫定値

神奈川県における近年の放流効果の低下には、放流サイズの小型化が一つの要因になっていると考えられた。松村（2005）は、本種は全長50～70mmへと成長する過程で飢餓耐性や捕食者からの逃避能力など環境への適応力が高まることを示唆している。同県では全長60mm以上での放流実績が少なく、明瞭な結果は得られていないが、放流サイズが全長60mm以上の年級群では回収率がすべて3.1%以上となった。これは計算や集計方法の違いはあるが、静岡県の1歳時点回収率0.26～0.50%（小泉・田中2007）、三重県の0.93～1.53%（中島2008）、福岡県の外海域回収率0.34～2.54%及び湾内回収率1.64～5.14%（的場ら2006、宮内ら2014）と比較しても、十分に高い回収率と考えられる。また、有明海の事例では全長50mm以上で回収率が5.1～22.3%と大幅に上昇したことが報告されている（松村2005）。そのため、今後はデータが不足している、かつ、より高い回収率が見込まれる全長60mm以上での放流効果を検討することが必要である。

また、現在、神奈川県では東京湾と相模湾という性質の異なる海域への放流を実施しており、放流海域による回収率の違いを検討することも必要と考えられ、そのうえで、必要な放流尾数を見積もることが重要である。

同県のトラフグ資源は、2016年漁期以前は種苗放流によって漁獲が支えられていたが、2017年漁期以降の漁獲量増加は、2014年以降にみられた天然資源の再生産による加入量の増加が寄与したものと考えられた。これらの元となる親魚資源は、2011～2013年漁期に天然魚の漁獲がほとんどみられなかったことから、他海域からの来遊資源であったことは考え難い。一方で、この間も一定の漁獲がみられた放流魚が産卵親魚となった可能性が高いと思われる。ただ、同県ではこれまで3歳以上の産卵親魚の漁獲が少なかったことから、産卵親魚を対象とした漁場形成が行われてこなかった可能性も考慮する必要がある。

2014年以降の再生産による資源増大には、2007～2010年漁期にも漁獲増加がみられることから、当時の天然魚および放流魚加入資源が寄与した可能性があるが、漁獲動向をもとにした資源動向の把握には、この間のトラフグ漁業着業隻数や出漁の増減などの努力量の変化も踏まえて、さらに詳細に検討する必要がある。また、同時に天然個体と過去の放流種苗との血縁関係を解析することで、放流魚の再生産への寄与についても、明らかになると考えられ、これら調査の実施が期待される。

謝 辞

市場調査にご理解とご協力を賜った漁業者、漁業協同組合及び市場の関係者の皆様に御礼申し上げます。また、調査にご協力いただいた水産技術センター栽培推進部の部員の皆様、市場測定データ収集に尽力された歴代担当者の皆様に敬意を表するとともに、市場調査データ及び統計データの入力等、助力いただいた山口利恵氏始めとする多くの方々に御礼申し上げます。本報告を取りまとめる機会を与えていただき、有益なご助言を賜った一色竜也企画研究部長に深謝の意を表する。

文 献

- Akada H, Kodama T, Yamaguchi T (2023) Eutrophication trends in the coastal region of the Great Tokyo area based on long-term trends of Secchi depth. *PeerJ*, **11**, e15764.
- 青木一弘・児玉真史・黒木洋明・鈴木重則・津本欣吾・岡田 誠・加藤毅士 (2016) トラフグ伊勢・三河湾系群の再生産に関わる海洋環境変動. *水産海洋研究*, **80**, 20-26.
- 千葉県 (2023) 漁海況旬報ちば, **16**, 3-4.
- 藤田矢郎 (1988) 日本近海のフグ類. *水産研究叢書*, **39**, 日本水産資源保護協会, 東京, 1-128.
- Hosokawa S, Okura S (2022) Long-term observation of current at the mouth of Tokyo Bay. *Coastal Engineering Journal*, **64**, 648-659.
- 石井光廣 (2017) 2015 年末の高水温現象と長期的な傾向および水産生物への影響. *東京湾の漁業と環境*, **8**, 33-34.
- 石井光廣・長谷川健一・柿野 純 (2008) 千葉県データセットから見た東京湾における水質の長期変動. *水産海洋研究*, **72**, 189-199.
- 一色竜也・鈴木重則 (2012) 神奈川県沿岸で標識放流したトラフグ人工種苗の移動と成長. *神奈川水技セ研報*, **5**, 33-39.
- 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.
- 角田直哉 (2022) 東京湾神奈川県沿岸におけるトラフグ捕獲実態. *東京湾の漁業と環境*, **12**, 15.
- 小泉康二・田中寿臣 (2007) イラストマー標識放流により推定した静岡県沿岸におけるトラフグ人工種苗の放流効果. *静岡水試研報*, **42**, 9-16.
- 的場達人・宮内正幸・片山貴士・松村靖治 (2006) 福岡湾におけるトラフグ人工種苗の放流効果. *福岡水海技セ研報*, **16**, 1-8.
- 松村靖治 (2005) 有明海におけるトラフグ *Takifugu rubripes* 人工種苗の当歳時の放流効果と最適放流方法. *日本水産学会誌*, **71**, 805-814.
- 松村靖治 (2007) 有明海におけるトラフグの放流技術と放流効果に関する研究. 京都大学博士論文.
- 宮内正幸・的場達人・松村靖治・山本健也・山口 忠則・大隈 齊 (2014) 福岡湾に放流したトラフグ人工種苗の放流効果. *福岡水海技セ研報*, **24**, 1-6.

- 中島博司 (1991) 熊野灘、遠州灘のトラフグ資源について. *水産海洋研究*, **55**, 246-251.
- 中島博司 (2001) 伊勢湾口部トラフグ産卵場の規模と産着卵の分布について. *三重水技研報*, **9**, 1-8.
- 中島博司 (2008) 熊野灘南部海域新鹿海岸に放流されたトラフグ人工種苗の放流効果について. *三重水研研報*, **16**, 23-35.
- 中島博司・新田 朗 (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. *日本水産学会誌*, **71**, 736-745.
- 岡部 久 (2017) 神奈川県沿岸における最近の高水温現象. *東京湾の漁業と環境*, **8**, 17-18.
- 大河内裕之 (2006) 放流効果の調査手法と標識技術. *日本水産学会誌*, **72**, 450-453.
- 櫻井 繁 (2013) 横須賀市佐島沖で漁獲されたトラフグ標識放流魚. *神奈川水技セ研報*, **6**, 1-3.
- 櫻井 繁・一色竜也・鈴木重則 (2014) 神奈川県におけるトラフグ種苗放流効果について. *神奈川水技セ研報*, **7**, 41-47.
- 白木谷卓哉・田中健二・岩田靖宏・家田喜一・石川雅章 (2002) 伊勢湾口部におけるトラフグの産卵場及び産卵時期. *愛知水試研報*, **9**, 27-31.
- 静岡県 (2008) トラフグの放流技術, あたらしい水産技術. 514.
- 水産庁・水産総合研究センター・全国豊かな海づくり推進協会 (2006) 平成 16 年度栽培漁業種苗生産、入手・放流実績, 412p.
- 水産庁・水産総合研究センター・全国豊かな海づくり推進協会 (2007) 平成 17 年度栽培漁業種苗生産、入手・放流実績, 402p.
- 水産庁・水産総合研究センター・全国豊かな海づくり推進協会 (2008) 平成 18 年度栽培漁業種苗生産、入手・放流実績, 414p.
- 水産庁・水産総合研究センター・全国豊かな海づくり推進協会 (2009) 平成 19 年度栽培漁業種苗生産、入手・放流実績, 404p.
- 水産庁・水産総合研究センター・全国豊かな海づくり推進協会 (2010) 平成 20 年度栽培漁業種苗生産、入手・放流実績, 403p.
- 水産庁・水産総合研究センター・全国豊かな海づくり推進協会 (2011) 平成 21 年度栽培漁業種苗生産、入手・放流実績, 411p.
- 水産庁・水産総合研究センター・全国豊かな海づくり推進協会 (2012) 平成 22 年度栽培漁業種苗生産、入手・放流実績, 400p.
- 水産総合研究センター (2013) 平成 23 年度栽培漁業・海面養殖用種苗の生産・入手・放流実績, 381p.
- 水産総合研究センター (2014) 平成 24 年度栽培漁業・海面養殖用種苗の生産・入手・放流実績, 381p.
- 水産総合研究センター (2015) 平成 25 年度栽培漁業・海面養殖用種苗の生産・入手・放流実績, 385p.
- 水産総合研究センター (2016) 平成 26 年度栽培漁業・海面養殖用種苗の生産・入手・放流実績, 399p.
- 鈴木伸洋 (2001) 中回遊型魚類の産卵場形成要因の解明. 中回遊型魚類の回帰特性の解明と資源管理技術の開発, 研究成果 369, 農林水産技術会議事務局, 44-55.
- 鈴木重則・山本俊博・澤山周平・西嶋翔太 (2021) 令和 2 (2020) 年度トラフグ伊勢・三河湾系群の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価. *水産庁・水産研究・教育機構*, 東京, 44p. <https://abchan.fra.go.jp/digests2020/index.html>.

- 鈴木重則・山内 悟・横山文彬・岡田 誠（2015）トラフグ伊勢・三河湾系群の生活史および資源変動の特徴. 黒潮の資源海洋研究, **16**, 131-135.
- 高草木将人（2020）千葉県沿岸におけるトラフグの漁獲状況と放流効果調査について. 東京湾の漁業と環境, **11**, 25.
- 上田幸男・佐野二郎・内田秀和・天野千絵・松村靖治・片山貴士（2010）東シナ海, 日本海および瀬戸内海産トラフグの成長とAge-length key. 日本水産学会誌, **76**, 803-811.
- 山崎哲也（2017）神奈川県におけるトラフグ放流種苗の追跡調査と東京湾内における再生産の可能性. 豊かな海, **41**, 6-9.
- 山崎哲也・鈴木重則・市川啓介（2019）放流トラフグによる再生産の可能性と東京湾奥で採集された稚魚について. 東京湾の漁業と環境, **10**, 39.
- 山崎哲也・柳本 卓・鈴木重則・太田智優・市川啓介・幅 祥太・佐藤真心・君島裕介（2020）東京湾におけるトラフグ産卵場および放流トラフグによる再生産について. 東京湾の漁業と環境, **11**, 23.
- 安井 港・濱田貴史（1996）遠州灘・駿河湾海域におけるトラフグの標識放流結果からみた移動. 静岡水試研報, **31**, 1-6.

