

伊勢・三河湾のトラフグにみられる肥満度の低下とその要因

荒木克哉・中島廉太郎・阿知波英明・日比野学

(2025年7月14日受付, 2025年11月5日受理)

Long-term decline in condition factor of Ocellate Puffer *Takifugu rubripes* and its factors in Ise and Mikawa Bay

ARAKI Katsuya^{*1}, NAKASHIMA Rentarou^{*1}, ACHIHA Hideaki^{*1}, and HIBINO Manabu^{*2}

Abstract: We investigated the long-term changes in condition factor of Ocellate puffer *Takifugu rubripes* caught in autumn in Ise and Mikawa Bay from 1995 to 2024 and the factors influencing the changes. Condition factor showed a significant decline, and the decline was more pronounced in larger size classes. Multiple regression analysis estimated that the annual changes in condition factor were related to total phosphorus concentration in summer and recruitment amount of Ocellate puffer. The decline in condition factor is suggested to be caused by the decline of the resource of prey organisms of Ocellate puffer due to the decrease in primary production. In recent years, a decline in condition factor has been observed at recruitment levels lower than past levels, suggesting that a decline in prey organisms is decreased the level of density-dependent effects on condition factor.

キーワード; トラフグ, 肥満度, 重回帰分析, 餌料環境, 密度効果, 基礎生産

伊勢・三河湾は我が国を代表する閉鎖的内湾であり、水質の改善を目的とした有機物等の流入負荷削減の施策が取り組まれてきた結果、近年では窒素やリンといった栄養塩類の減少が報告されている。¹⁻³⁾ その結果として、近年では栄養塩類の不足によるノリの色落ち^{2, 4)} や餌不足によるアサリ *Ruditapes philippinarum* のへい死等⁵⁻⁷⁾ がみられている。また、夏を中心とした基礎生産力の低下によって、小型甲殻類やマクロベントスの資源量が減少し、これらを餌とするシャコ *Oratosquilla oratoria* やマアナゴ *Conger myriaster* で肥満度の低下、資源状況の悪化がみられる。^{8, 9)} このように、湾内の栄養塩の減少を起点とした様々な水産資源への影響が近年示唆されつつある。一方で、従前から貧酸素水塊が底生水産資源の

資源形成に与える影響が示唆^{10, 11)} されていることに加え、近年では温暖化等に伴う水温上昇の影響も様々な水産資源で指摘^{12, 13)} されており、改めて漁場環境の変化と水産資源変動の関連について検討することが必要である。

愛知県においてトラフグ *Takifugu rubripes* は、伊勢・三河湾と渥美外海（遠州灘西部）において、前者では主に小型底びき網漁業、後者では主に小型底びき網漁業とはえ縄漁業によって漁獲される (Fig. 1)。¹⁴⁻¹⁶⁾ このうち、伊勢・三河湾での小型底びき網漁業における漁獲の主体は、秋に漁獲加入する当歳魚であり、その漁場は伊勢湾の全体に広がるが、主には知多半島沿岸部及び伊勢湾中南部に形成される。¹⁴⁻¹⁶⁾ この海域で漁獲される

* 1 愛知県水産試験場漁業生産研究所 (Marin Resources Research Center, Aichi Fisheries Research Institute, Toyohama, Minamichita, Aichi 470-3412, Japan)

* 2 愛知県農業水産局水産課 (Fisheries Administration Division, Department of Agriculture, Forestry and Fisheries, Aichi Prefectural Government, Naka-ku, Nagoya, Aichi 460-8501, Japan)

トラフグは伊勢・三河湾系群に属し、卓越年級群が不定期にみられ、加入尾数が3~120万尾と大きく変動することが特徴である。^{17, 18)}

伊勢湾におけるトラフグは、シャコや小型のエビ・カニ類といった小型甲殻類を中心に多毛類、魚類等を捕食する底生生物食である。^{19, 20)} これら餌生物の現存量には経年的な減少傾向が認められているが、^{8, 9, 21)} 餌料環境の悪化によってトラフグの生理状態が資源生態へどのように影響を与えているかは不明である。中でも肥満度は、アサリ、シャコ、マアナゴ及びイカナゴ *Ammodytes japonicus* 等で個体の生存や再生産、資源状況と関連することが示唆されており、^{6-9, 22-24)} 漁獲物の品質に影響する要素でもある。そこで本研究では、秋に伊勢・三河湾で漁獲されたトラフグを対象に肥満度の経年変動を明らかにし、その変動に影響を及ぼす要因を検討した。

材料及び方法

(1) 肥満度の算出

肥満度の経年変動を調べるため、以下の市場調査、買取調査及び漁獲調査を行い、それぞれから得られた計3,314個体 (TL: 13.3~58.0 cm, BW: 59~3,980 g) の測定を行った (Table 1)。まず、市場調査では1996, 1998, 2024年の9~11月に月1~14回行い、伊勢湾で操業する小型底びき網漁船 (地方名称: まめ板網漁業, 以下同様) によって漁獲され、豊浜の産地市場 (Fig. 1) に水揚げされた883個体を対象とした。買取調査では、当歳魚を対象とし、1998~2023年の10~11月に月1~2回、伊勢湾で操業する小型底びき網漁船から買取した2,242個体を供試した。漁獲調査は、1995~2024年の9~11月に年1~2回実施し、伊勢湾と三河湾において小型底びき網漁船の通常操業で用いるまめ板網漁具により採集した189個体を供試した。これらの供試個体について、全長 (TL; cm) 及び体重 (BW; g) を測定し、以下のアロメトリー式を当てはめ、全長-体重の関係式を推定した。

$$\text{Predicted BW} = a \times \text{TL}^b$$

ここで a, b は定数であり、MS エクセルのソルバー機能を用いた最小二乗法によりパラメータを推定した。

体重 (BW) と全長-体重の関係式により求めた体重 (Predicted BW) から以下の式により各個体の相対肥満度 (Kn)²⁵⁾ を算出した。

$$\text{Kn} = \text{BW} / (\text{Predicted BW})$$

(2) 相関分析及び重回帰分析

肥満度の変動に及ぼす要因を検討するため、相対肥満度の平均値 (平均相対肥満度) と Table 2 に示した10項

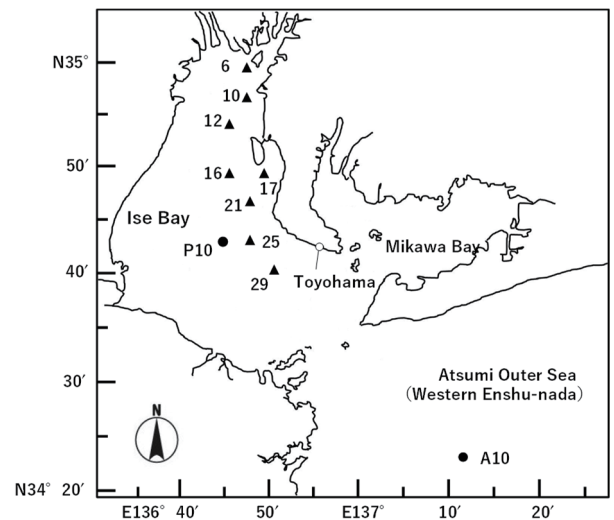


Fig. 1 Location of the study area. Closed circles and triangles show the water quality was surveyed (<https://water-pub.env.go.jp/water-pub/mizu-site/mizu/download/download.asp>, April 30, 2025).

目の環境要因との相関関係を検討した。各要因は1995~2024年におけるデータの季節平均値 (夏: 7~9月, 秋: 10~12月) を標準化して解析に用いた。なお、肥満度のデータは、当歳魚である全長30 cm以下が中心であり、その変動には、当歳魚が内湾の浅海域に着底する時期から漁獲加入するまでの期間が影響すると考えられるため、当解析では夏と秋を対象とした。水温については、内湾の指標として伊勢湾の中央に位置するP10の水深30 m、渥美外海の指標として、黒潮流路を含む海況を反映し、かつ伊勢湾の海況にも影響すると考えられるA10の水深100 mにおける値を使用した (Fig. 1)。貧酸素水塊の規模は、夏の伊勢湾における溶存酸素飽和度30%以下の面積とした。全窒素 (TN)、全リン (TP)、クロロフィル a は、環境省広域総合水質調査結果 (<https://water-pub.env.go.jp/water-pub/mizu-site/mizu/download/download.asp>, 2025年4月30日) において伊勢湾で愛知県が実施する測点 (6, 10, 12, 16, 17, 21, 25, 29) の平均値を用いた (Fig. 1)。

餌生物量の指標として、伊勢湾で操業する小型底びき網漁業 (豊浜産地市場属地データ) における魚種別漁獲量及び出漁隻日数から、シャコ、サルエビ *Trachysalambria curvirostris* 等の小型クルマエビ類、ジンドウイカ *Loliolus japonica* 等の小型イカ類のCPUE (kg/隻・日) を算出した。

トラフグの当歳魚は、秋から冬にかけて伊勢・三河湾で操業する小型底びき網漁業の漁獲対象となり、この漁

Table 1 Number and range of total length (TL) and body weight (BW) examined specimens of *Takifugu rubripes*.

Year	Number of fish	Range of TL (cm)	Range of BW (g)
1995	1	18.0	142
1996	714	14.5~58.0	80 ~ 3,980
1997		N.D.	
1998	369	16.5~37.5	120 ~ 1,100
1999	224	14.0~27.5	66 ~ 500
2000	396	16.5~27.5	101 ~ 420
2001	20	20.0~27.0	100 ~ 320
2002	1	17.3	121
2003		N.D.	
2004	1	23.8	297
2005	193	17.0~29.4	127 ~ 470
2006	417	17.5~40.0	114 ~ 1,235
2007	283	16.2~40.3	94 ~ 1,302
2008	15	21.5~24.3	189 ~ 299
2009		N.D.	
2010		N.D.	
2011	91	13.3~31.2	59 ~ 574
2012	89	17.6~33.5	162 ~ 375
2013	143	16.8~27.4	106 ~ 444
2014	1	25.1	290
2015	7	21.0~26.0	174 ~ 317
2016	32	22.0~27.0	173 ~ 428
2017	38	19.5~36.0	183 ~ 700
2018	180	18.0~30.0	119 ~ 610
2019		N.D.	
2020	7	19.2~24.0	167 ~ 286
2021	2	24.4~28.8	285 ~ 531
2022		N.D.	
2023	65	14.6~28.3	91 ~ 442
2024	25	23.0~41.0	220 ~ 1,060
total	3,314	13.3~58.0	59 ~ 3,980

獲物は当歳魚が多数を占めることから、¹⁴⁻¹⁶⁾ 10~3月の伊勢湾の小型底びき網漁業（豊浜産地市場属地データ）におけるトラフグの漁獲量及び出漁隻日数からCPUE(kg/隻・日)を求め、これをトラフグ加入量の指標とした。なお、2002年から伊勢湾の小型底びき網漁業では、全長25cm以下の再放流を10月末まで実施しているが、¹⁸⁾ 10月をCPUE算出期間に含めるか否かでCPUEに大きな差が見られないことを確認した。また、豊浜産地市場は、県内の小型底びき網漁業の主要水揚げ港であり銘柄区分も細かく、かつ水揚げ漁船は伊勢湾内を操業許可区域としているため、伊勢湾全体の底生生物及びトラフグ現存量を把握する点において代表性が高いと考え、本研究における対象市場とした。

Table 2 Correlation coefficients between average relative condition factor of *Takifugu rubripes* collected in Ise and Mikawa Bay from September to November and each explanatory variable.

Explanatory variables	Period	r
Water temperature at Ise Bay (water depth 30 m)	Summer	0.09
	Autumn	-0.02
Water temperature at western Ensu-Nada (water depth 100 m)	Summer	-0.13
	Autumn	-0.12
Area of hypoxia (dissolved oxygen saturation below 30%) in Ise Bay	July~	0.04
	September	0.04
Total Nitrogen (TN) in Ise Bay	Summer	0.21
	Autumn	-0.16
Total Phosphorus (TP) in Ise Bay	Summer	0.33
	Autumn	0.42 *
Chlorophyll a in Ise Bay	Summer	0.26
	Autumn	-0.04
CPUE of <i>Oratosquilla oratoria</i> caught by small trawl in Ise Bay	Summer	0.19
	Autumn	0.15
CPUE of small penaeid shrimp caught by small trawl in Ise Bay	Summer	-0.10
	Autumn	0.25
CPUE of loliginid squids caught by small trawl in Ise Bay	Summer	0.24
	Autumn	0.35
CPUE of <i>Takifugu rubripes</i> caught by small trawl in Ise Bay	October~	-0.39
	March	

* : $p < 0.05$

これらの環境要因を説明変数、平均相対肥満度を目的変数として、その関係を重回帰分析により検討した。変数選択は、増減法により行い、説明変数が3以下でAIC（赤池情報量基準）が最小となる組み合わせをベストモデルとした。また得られたベストモデルの説明変数間で相関関係がみられないことを確認して、多重共線性の影響がないことを確認した。解析にはフリー統計ソフト「R」のlm関数を使用した。なお、平均相対肥満度の算出に用いたサンプル数が1個体の1995、2002、2004、2014年については解析から除外した。

結 果

(1) 肥満度の長期変動

全長と体重の関係をFig. 2に示した。全長と体重の関係から、以下の全長-体重の関係式が推定された。

$$BW = 0.0220 \times TL^{2.9861} \quad (n = 3,314, R^2 = 0.91)$$

平均相対肥満度の推移をFig. 3に示した。平均相対肥満度は0.83~1.05の範囲で変動し、長期的に有意な低下傾向（Mann-kendall検定、 $\tau = -0.32, p < 0.05$ ）であった。また、2001年、2024年は平均相対肥満度が0.9を下回り、その他の年と比べて値が大きく低下していた。

平均相対肥満度の推移を10~19.9 cm、20~29.9 cm、30 cm以上で全長階級別に分けたものをFig. 4に示した。長期的な平均相対肥満度の推移は、いずれの全長階級とも統計的に有意ではないが、10~19.9 cmでは横ばい（ $n = 162, \tau = -0.003, p = 0.89$ ）、20~29.9 cmではやや低下傾向（ $n = 2,472, \tau = -0.20, p = 0.20$ ）、30 cm以上では低下傾向（ $n = 681, \tau = -0.43, p = 0.18$ ）であり、全長階級が大きいほど、平均相対肥満度の低下傾向が大きかった。

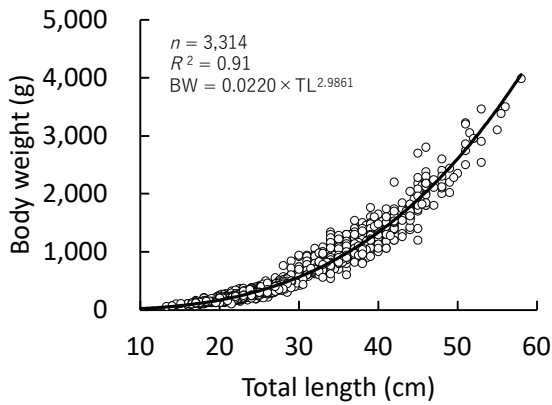


Fig. 2 Relationship between total length (TL) and body weight (BW) of *Takifugu rubripes* collected in Ise and Mikawa Bay from September to November between 1995 and 2024.

(2) 肥満度の変動要因

Table 2 に平均相対肥満度と各説明変数との単相関係数を示した。夏及び秋の水温は、伊勢湾、渥美外海ともに平均相対肥満度との相関関係はみられなかった ($r = -0.13 \sim 0.09$, $p = 0.56 \sim 0.92$)。貧酸素水塊の規模と平均相対肥満度に相関関係はみられなかった ($r = 0.04$, $p = 0.86$)。TN, TP は、秋の TN ($r = -0.16$, $p = 0.46$) を除いて正の相関 ($r = 0.21 \sim 0.42$, $p = 0.04 \sim 0.35$) であった。クロロフィル *a* は、夏に正の相関 ($r = 0.26$, $p = 0.21$) がみられた。餌生物量の指標である CPUE は、シャコでは相関関係はみられず ($r = 0.15 \sim 0.19$, $p = 0.12 \sim 0.43$)、小型クルマエビ類では秋で正の相関 ($r = 0.25$, $p = 0.23$)、小型イカ類では夏と秋で正の相関 ($r = 0.24 \sim 0.35$, $p = 0.25 \sim 0.09$) を示した。トラフグ加入量の指標であるトラフグ CPUE は負の相関 ($r = -0.39$, $p = 0.05$) を示した。

平均相対肥満度を目的変数として、重回帰分析を行った結果、3 変数以下で AIC が最小 (AIC = -124.5) である以下の重回帰式を得た ($p < 0.01$)。自由度調整済み決定係数 R^2 は 0.43 であった。

$$Y = 0.0349X_1 - 0.0321X_2 + 0.9715$$

ここで、 Y は平均相対肥満度、 X_1 は夏の TP、 X_2 はトラフグ CPUE である。標準化偏回帰係数は、夏の TP で 0.0349 ($p < 0.01$)、トラフグ CPUE で -0.0321 ($p < 0.01$) であり、その符号は夏の TP では正、トラフグ CPUE では負であった。標準化偏回帰係数の絶対値から目的変数への影響の大きさは同程度であった。

重回帰式による平均相対肥満度の推定値と実測値の推

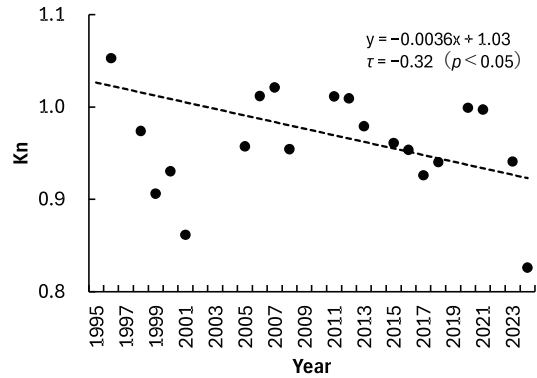


Fig. 3 Annual change in the relative condition factor (Kn) of *Takifugu rubripes* collected in Ise and Mikawa Bay from 1995 to 2023. The τ and p -value in the figure show the result of the Mann-Kendall test. The broken line represents the regression line.

移を Fig. 5 に示した。平均相対肥満度の推定値と実測値を比較すると 2010 年代の変動がやや異なるものの、1999 ~ 2001 年にみられた値の低下や 2000 年代後半の変動が再現された。また、2023 ~ 2024 年にみられた値の低下も重回帰式により再現された。

考 察

伊勢湾のトラフグ当歳魚の食性では、9 月にはシャコ、巻貝類や魚類、²⁰⁾ 11 ~ 3 月にはカニ類、魚類、多毛類、エビ類、シャコ類、イカ類を摂餌¹⁹⁾ していることが報告されており、本海域のトラフグにとって、小型甲殻類や底生魚類等のベントス類が重要な餌生物と考えられる。

伊勢・三河湾において、トラフグの餌生物として重要であるとともに小型底びき網漁業の重要な漁獲対象であるシャコ、サルエビ等の小型クルマエビ類の CPUE は、2000 年頃から減少傾向が続いている。^{8, 21)} また、トラフグやシャコ、マアナゴの餌生物として重要なフタホシイシガニ *Charybdis bimaculata* やケブカエンコウガニ *Carcinoplax vestita* 等の小型カニ類も減少しており、⁹⁾ 伊勢・三河湾におけるトラフグの餌料環境は徐々に悪化していると推測される。曾根ら (2022a, 2022b)^{8, 9)} は、伊勢・三河湾全域の生産性が低下しているなかで、特に夏の伊勢湾南部における基礎生産の低下がシャコとマアナゴの餌料環境の悪化と関連しており、それによって両種の肥満度が長期的に低下した可能性を指摘している。本研究においてトラフグの平均相対肥満度を目的変数とした重回帰分析では、説明変数として夏季の TP が選択され、標準化偏回帰係数は正の値であった。つまり、海域

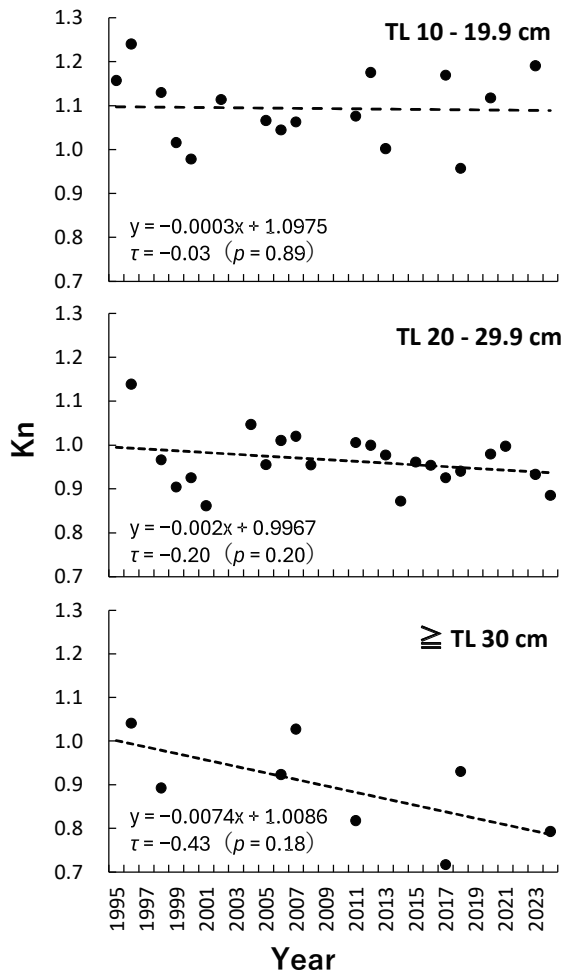


Fig. 4 Annual change in the relative condition factor (Kn) by total length (TL) class of *Takifugu rubripes* collected in Ise and Mikawa Bay from 1995 to 2023. The τ and p -values in the figures show the results of the Mann-Kendall test. The broken lines represent the regression lines.

の TP が低下することで、トラフグの平均相対肥満度が低下することを意味する。伊勢湾の TP は、長期的に減少傾向が続いており、2015 年以降にはほとんどの海域で、環境基準の II 類型基準値 (TP < 0.03 mg/L) を下回っている。²⁾ また、三河湾についても同様に TP が長期的に減少していることが報告されている。^{1, 3)} 伊勢湾、三河湾ともに基本的にはリン制限であることから、^{2, 3)} TP の減少は基礎生産の低下を反映していると考えられる。以上のことから、トラフグにおいても栄養塩類の低下にみられる夏季を中心とした基礎生産の低下が、肥満度の長期的な低下に関与していることが示唆される。加えて、トラフグの平均相対肥満度は、シャコ CPUE、小型クルマエビ類 CPUE、小型イカ類 CPUE とともに概ね正の相関関係がみられ

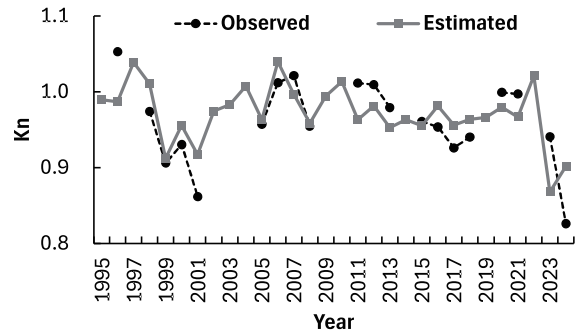


Fig. 5 Comparison between the observed average relative condition factor (Kn) and the estimated Kn using a selected multiple regression model for *Takifugu rubripes* collected in Ise and Mikawa Bays from 1995 to 2023.

(Table 2), これら餌生物の多寡がトラフグの肥満度に影響を及ぼしていると推測される。トラフグは、生息環境に豊富な生物を選択的に摂餌していると考えられており、¹⁹⁾ 重回帰分析では、単一の餌生物 CPUE は説明変数として選択されず、それら餌生物量の増減に関連している栄養塩がより重要な変数として選択されたと考えられる。なお、説明変数の項目間及び季節間の相関関係をみると、夏の TP と餌生物 CPUE の相関係数は概ね正の値であり、餌生物の資源量と栄養塩環境に関連があることも考えられた (Appendix)。

本研究において平均相対肥満度の長期的な変動をサイズ別で検討した結果、全長 20 cm 未満では横ばいであったが、20cm 以上では低下傾向であり、その傾向はより大型の 30 cm 以上で顕著であった (Fig. 4)。基礎生産の低下に伴い餌料環境が悪化している状況において、餌生物との遭遇頻度に体サイズで差がないと仮定すると、餌の要求量は成長に伴い増加するため、²⁶⁾ 大型の個体ほど必要な摂餌量と実際の摂餌量の差の分だけ肥満度が低下すると考えられる。また、サイズによる肥満度の変動傾向の違いは、トラフグの肥満度の長期的な低下傾向が餌料環境の悪化によるものであることを支持しているとも考えられる。特に肥満度の低下が著しい全長 30 cm 以上は、1 歳以上と推測され、当歳の冬以降に渥美外海へ移動し、再び内湾へ来遊している個体も含まれると推測される。外海域の餌料環境は内湾よりも相対的に悪い可能性が指摘されており、²⁷⁾ 1 歳以上では、外海の厳しい餌料環境の影響もを受けていると考えられる。一方で、サイズによる食性の違いに起因する可能性も考えられるが、本研究で取り扱った全長 10~40 cm の間での食性の変化につい

ては不明であり、今後明らかにする必要がある。

重回帰分析の結果から、トラフグ加入量は平均相対肥満度の変動に対して負の影響を与え、標準化偏回帰係数の絶対値から夏の TP と同程度の影響を目的変数に与えていることが明らかになった。伊勢・三河湾系群のトラフグは卓越年級群が不定期に発生することで、加入尾数が 3~120 万尾と大規模に変動し、^{17, 18)} 卓越年級群が発生した際には密度効果により 1 歳時点の全長の小型化がみられる。²⁸⁾ 加入尾数が 100 万尾以上であった 1999 年と 2001 年では平均相対肥満度が大きく低下しており (Fig. 3, Fig. 4), 卓越年級群が加入する年には成長の低下だけではなく、肥満度も低下することが明らかとなった。本研究で対象とした 9~11 月は成長量の大きい時期だが、加入が多い年には平均相対肥満度が大きく低下しており (Fig. 3, Fig. 4), 加入してきた年級群全体で栄養状態が悪かったと推測される。トラフグ養殖における成長は、同じ収容密度の場合、給餌量の多い方が良いと報告されている。²⁹⁾ 従って、卓越年級群が発生した年には、資源密度が高く、種内での餌料を巡る競争が激しくなり、1 歳時点での小型化は、栄養状態の悪化が影響していることが示唆される。

一方、2010 年以降で加入尾数が比較的多い 2023 年 (天然魚加入尾数: 約 12 万尾) の加入尾数は、1999 年及び 2001 年と比べると少ないが、¹⁸⁾ 当歳と推定される 20~29.9 cm の平均相対肥満度が 0.93 と低い (Fig. 4)。Kamimura *et al.* (2022)³⁰⁾ は、マイワシ *Sardinops melanostictus* の資源が高水準だった 1970~1980 年代と 2010 年代での平均体長と成長を比較し、2010 年代では餌の現存量が低下したことで、1970~1980 代より強い密度効果がみられたことを報告している。トラフグにおいても、伊勢・三河湾の餌生物が減少したことで、限られた餌料を巡る種内競争によって密度効果が働く加入量の水準が過去と比べて低下していると考えられる。また、マサバ *Scomber japonicus* では、種内だけでなく、マイワシとの餌料を巡る種間競争も肥満度や成長が低下する要因とされる。³¹⁾ 近年の伊勢・三河湾では、餌生物の分布の湾北部への北偏と外海の餌料の減少によって、これまで外海が主たる分布域だったマダイ *Pagrus major* やヒラメ *Paralichthys olivaceus* 等の大型魚類が湾内へ索餌回遊のため来遊している。²⁷⁾ マダイは、伊勢湾においてシャコやカニ等の小型甲殻類、ヒラメはハゼ類やカタクチイワシ等の魚類を捕食している²⁷⁾ ことから、トラフグと同様の餌生物を利用しており、種内での競争だけでなく、種間での餌料を巡る競争もトラフグの肥満度の低下に影響している可能性がある。今後は、これら大型魚

類と餌生物の被捕食関係、捕食量を定量的に把握し、被捕食関係と資源形成の関連を詳細に検討していく必要がある。

日向灘のマダイでは、水温上昇による代謝の増加が長期的な肥満度の低下要因の一つと考えられている。³²⁾ しかし、本研究の重回帰分析において水温は、説明変数に選択されなかった。本研究では、説明変数を 3 変数とした場合も予備的に検討しており、その場合には本研究の結果で選択された 2 変数に加えて、秋の内湾水温が選択されたが、AIC は -125.0 と 2 変数の場合より高くなり (2 変数では -124.5 が最小)、かつ標準偏回帰係数は -0.0149 ($p = 0.16$) と有意ではないことを確認した。以上の点は、現状では水温は肥満度の変動に大きく寄与していないことを示唆する。高井ら (1959)³³⁾ は、飼育実験から全長 30 cm 前後のトラフグの適水温が 16~23 °C であると報告している。本研究で説明変数に用いた伊勢湾の水深 30 m における平均水温は、18.2~22.5 °C で生息適水温の範囲内であったため、肥満度への影響は限定的であったと考えられる。しかし、伊勢湾及び三河湾の水温は上昇傾向^{34, 35)} にあり、今後も水温上昇が継続すれば、トラフグの基礎代謝の増大によるエネルギー収支の悪化による更なる肥満度の低下、または餌生物への資源減少に作用する可能性もあり注視が必要であると考えられる。

マアナゴやシャコでは、肥満度低下に伴う活力低下が資源の減少に影響している。^{8, 9)} さらに三河湾のアサリにおいても、基礎生産の低下に伴う長期的な肥満度や浮遊幼生密度の低下、また密度効果の激化による再生産への影響が指摘されている。²²⁾ マダイでは、産卵親魚の肥満度が子世代にあたる 1 歳魚の加入量に影響しており、親世代の栄養状態が子世代の生残に影響する。³²⁾ これらのことから、トラフグにおいても肥満度の低下が生残や成熟へ及ぼす影響が懸念される。一方で、本系群における数量的な資源管理においては、リアルタイムでの加入量の把握により順応的な漁獲管理ができる可能性がある。すなわち、適切な漁獲による密度調整は肥満度の増加やその後の成長、生残を高めることができるため、これらについても検討が必要である。また、トラフグ伊勢・三河湾系群では近年、親魚量が増加傾向であるにも関わらず、加入量が低迷している。¹⁸⁾ また、卓越年級群の発生頻度や規模も 1990 年代と比べて低下しており、¹⁸⁾ 成熟や産卵状況を調査し、肥満度の低下による再生産への影響を把握する必要がある。物理環境と加入成否の関連だけでなく、³⁶⁾ 餌資源量や加入量が及ぼす親魚の肥満度が卵質や若齢期における自然死亡率への影響をより詳細に把握していく必要もある。

肥満度は、生物学的な側面だけでなく、水産物としての品質においても重要な要素である。全国的なトラフグを取り巻く環境をみると、トラフグの漁獲量は、主力であった西日本で低迷し、^{3,7)} 東日本太平洋岸で増加傾向^{3,8)} となっている。また、養殖物や輸入物の流通量の増加^{3,9)} に加えて、社会情勢の変化から消費構造が変化し、高級な飲食店等でのトラフグの消費量が減少している。^{4,0)} これら天然トラフグを取り巻く環境が変化する中で肥満度の低下が継続すれば、品質劣化による単価の下落等により漁業者の収入においても負の影響を与えることが懸念される。肥満度が低い個体については、一定期間畜養して太らせた上で出荷する等の水揚げ方法の工夫についても検討が必要であろう。

本研究から内湾の栄養塩類の低下に伴う餌生物量の減少が、これまで明らかとなっていたシャコ⁸⁾ やマアナゴ⁹⁾ だけでなくトラフグにも影響していることが示唆された。これにより、いわゆる貧栄養化はノリの色落ちやアサリ資源の減少といった低次の沿岸生態系のみならず、高次分類群や沖合域までを含めた生態系全体に影響を及ぼしている可能性が強く示唆される。また、摂餌状況と肥満度は密接に関係していると考えますが、本海域における食性については、時期や対象とした体サイズに限られることから、今後は本種の食性に関する情報を経年的に蓄積し、肥満度との関係を明らかにする必要がある。

要 約

伊勢・三河湾で 1995～2024 年の秋に採集された全長 13.3～58.0 cm のトラフグ (n = 3,314) を用いて、肥満度の長期変動と変動に及ぼす要因を検討した。肥満度は長期的に有意な低下傾向で、全長階級が大きいほど低下が顕著であった。重回帰分析から、肥満度の変動には夏の全リンとトラフグ加入量が関与していると推定された。伊勢・三河湾の全リンは長期的に減少しており、夏の基礎生産の低下に伴う餌生物を減少が、肥満度の低下に関連することが示唆される。近年のトラフグ加入量は、過去と比べて少ないが、餌料生物の減少により密度依存的な肥満度への影響がみられる加入量の水準が低下していると推測される。

謝 辞

本研究を行うにあたり、豊浜漁業協同組合及び大井漁業協同組合の底びき網漁業者の方々には調査やサンプルの収集にご協力いただいた。また、愛知県水産試験場漁業生産研究所の歴代の研究員の皆様にはトラフグの測定に御尽力いただいた。以上の皆様方に深く感謝いたしま

す。なお、本研究の一部は水産庁委託事業により実施された。

文 献

- 1) 蒲原聡・高須雄二・湯口真実・美馬紀子・天野禎也 (2018) 三河湾における栄養塩の低下. 愛知水試研報, 23, 30-32.
- 2) 国分秀樹 (2019) 伊勢湾における栄養塩類と水産資源の長期変動. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 75 (2), I_1123-I_1128.
- 3) 柘植朝太郎・二ノ方圭介・河住大雅・大澤博・石田俊朗 (2024) 三河湾における窒素・リン濃度および相互比の長期的変化とアサリ、ノリ漁業との関係. 愛知水試研報, 29, 30-46.
- 4) 蒲原聡・高須雄二・湯口真実・美馬紀子・天野禎也 (2020) 2018 年度ノリ漁期において伊勢・三河湾で生産された乾海苔の黒み度への漁場の栄養塩類の影響. 愛知水試研報, 25, 1-8.
- 5) 芝修一・姫野天領・吉田司・蒲原聡・田中義人・鈴木輝明 (2020) 個体成長モデルを用いた伊勢湾東部沿岸域におけるアサリ *Ruditapes philippinarum* 資源の減耗要因の検討. 水産海洋研究, 84 (1), 11-26.
- 6) 服部宏勇・松村貴晴・長谷川拓也・鈴木智博・黒田拓男・和久光靖・田中健太郎・岩田靖宏・日比野学 (2021) 愛知県内アサリ漁場における秋冬季のアサリ肥満度の変動と減耗. 愛知水試研報, 26, 1-16.
- 7) 日比野学 (2023) 三河湾一色干潟におけるアサリの資源変動要因. 黒潮の資源海洋研究, 24, 115-120.
- 8) 曾根亮太・日比野学・下村友季・鶴寄直文・澤山周平 (2022a) 伊勢・三河湾におけるシャコの資源動態と肥満度の変化及び加入・生残過程. 愛知水試研報, 27, 22-30.
- 9) 曾根亮太・日比野学・下村友季・鶴寄直文・横内一樹 (2022b) 伊勢・三河湾におけるマアナゴの資源動態と肥満度、胃内容物組成及び餌料環境の変化. 愛知水試研報, 27, 10-21.
- 10) 日比野学・中村元彦 (2014) 伊勢湾におけるシャコの資源変動要因と 2012 年秋以降の不漁. 黒潮の資源海洋研究, 15, 87-93.
- 11) 長谷川拓也・宮川泰輝・服部宏勇・松井紀子・二ノ方圭介・日比野学 (2022) 三河湾における貧酸素水塊とトリガイ資源の動態. 水産海洋研究, 86 (3), 97-109.
- 12) Watari S, Takemura S, Oyaizu H (2024) Charting and analyzing the catch distribution of Japan's coastal fisheries resources based on centennial

- statistics. *Frontiers in Marine Science*, 11, 1265907.
- 13) Kakehi S, Narimatsu Y, Okamura Y, Yagura A, Ito S (2021) Bottom temperature warming and its impact on demersal fish off the Pacific coast of northeastern Japan. *Marine Ecology Progress Series*, 677, 177-196.
 - 14) 愛知県 (1999) 平成 11 年度複合的資源管理型漁業促進対策事業報告書, pp77.
 - 15) 愛知県 (2000) 平成 12 年度複合的資源管理型漁業促進対策事業報告書, pp86.
 - 16) 愛知県 (2001) 平成 13 年度複合的資源管理型漁業促進対策事業報告書, pp87.
 - 17) 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.
 - 18) 片町太輔・真鍋明弘・澤山周平 (2025) 令和 6 (2024) 年度トラフグ伊勢・三河湾系群の資源評価. *水産庁・水産研究・教育機構*, 東京, pp 56.
 - 19) 中島博司 (2011) 伊勢湾, 熊野灘に生息するトラフグ未成魚の移動, 成長および食性. *水産増殖*, 59 (1), 51-58.
 - 20) 船越茂雄 (1993) 伊勢湾, 三河湾周辺海域の主要魚類の食性-とくに夏秋季の食性-. *愛知水試研報*, 1, 1-18.
 - 21) 荒木克哉・下村友季子・中村元彦 (2017) 伊勢・三河湾におけるサルエビ *Trachysalambria curvirostris* とアカエビ *Metapenaeopsis barbata* の生態と漁獲動向. *黒潮の資源海洋研究*, 18, 53-60.
 - 22) Shindo A, Hibino M (2025) Review of the decline in Asari (Manila) clam (*Ruditapes philippinarum*) stocks and contributing factors in Mikawa Bay, Japan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 317, 109207.
 - 23) 中村元彦・植村宗彦・林茂幸・山田大貴・山本敏博 (2017) 伊勢湾におけるイカナゴの生態と漁業資源. *黒潮の資源海洋研究*, 18, 3-15.
 - 24) 橋口晴穂 (2024) 伊勢湾・三河湾の漁業と貧栄養化問題の総括-いかなご船びき網漁業-. *名城大学・中部電力産学連携活動資料*, 4, 11-17.
 - 25) 赤井紀子・岡本繁好 (2019) 瀬戸内海産イカナゴ 1 歳魚以上の死亡に及ぼす夏眠期における水温の影響. *香水土試研報*, 18, 1-4.
 - 26) 山口県 (2012) トラフグ. 栽培てびき (改訂版), 山口県, 1-11.
 - 27) 曾根亮太・鶴寄直文・中野哲規 (2023) 伊勢・三河湾における漁獲物組成の変化-マダイ・ヒラメを事例とした大型魚類の分布変化-. *黒潮の資源海洋研究*, 24, 23-32.
 - 28) 鯉江秀亮・大沢博・福嶋万寿夫・長尾成人 (1998) 伊勢湾・遠州灘におけるトラフグの資源動向について-II- 年級群別の資源尾数及び成長と密度の関係-. *愛知水試研報*, 5, 25-33.
 - 29) 鈴木聖子・池田茂則 (2001) 若狭ふぐ養殖技術確立対策事業 (海面養殖業高度化推進対策事業). *福井県水産試験場報告平成 12 年度*, 88-98.
 - 30) Kamimura Y, Tadokoro K, Furuichi S, Yukami R (2022) Stronger density-dependent growth of Japanese sardine with lower food availability: Comparison of growth and zooplankton biomass between a historical and current stock-increase period in the western North Pacific. *Fisheries Research*, 255, 106461.
 - 31) Kamimura Y, Taga M, Yukami R, Watanabe C, Furuichi S (2022) Intra- and inter-specific density dependence of body condition, growth, and habitat temperature in chub mackerel (*Scomber japonicus*). *ICES journal of Marine Science*, 78 (9), 3254-3264.
 - 32) 長野昌子・片山知史 (2015) 日向灘におけるマダイ *Pagrus major* の生活史特性と肥満度の経年変化. *日本水産学会誌*, 81 (2), 219-226.
 - 33) 高井徹・溝上昭男・松井魁 (1959) トラフグの漁業生物学的並びに養成に関する研究-I. 池中養成について. *水産講習所研究業績*, 265, 91-99.
 - 34) 神戸浩伸 (2020) 愛知県内の海域, 河川及び湖沼の水温変動傾向と水質データの解析~地球温暖化の影響に関する考察~. *愛知県環境調査センター所報*, 48, 37-44.
 - 35) ニノ方圭介・高須雄二・湯口真実・天野禎也 (2017) 海況自動観測ブイデータを利用した三河湾東部 (渥美湾) における水温, 塩分, 溶存酸素の変動の解析. *愛知水試研報*, 22, 22-28.
 - 36) 青木一弘・児玉真史・黒木洋明・鈴木重則・津本欣吾・岡田誠・久野正博・横山文彬・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.
 - 37) 平井慈恵・八木佑太 (2025) 令和 6 (2024) 年度トラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群の資源評価. *水産庁・水産研究・教育機構*, 東京, pp 145.
 - 38) 水産研究・教育機構水産資源研究所水産資源研究センター・地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所・岩手県水産技術センター・宮城県水産

技術総合センター・福島県水産資源研究所・茨城県水産試験場・千葉県水産総合研究センター・神奈川県水産技術センター・公益社団法人全国豊かな海づくり推進協会(2025)トラフグ太平洋中北部(青森～神奈川). 令和6(2024)年度資源評価調査報告書. 水産庁・水産研究・教育機構, 東京, pp 22. https://abchan.fra.go.jp/wpt/wp-content/uploads/2025/03/trends_2024_

271.pdf

39) 青木義雄(2003)ふぐの文化. 成山堂書店, 東京, pp 204.

40) 濱田英嗣・横山博司(2017)トラフグの消費者評価とトラフグ市場. 漁業経済研究, 61(2), 31-46.

Appendix Correlation coefficient between explanatory variables

Explanatory variables	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	
Water temperature at Ise Bay summer	A																		
autumn	0.04	B																	
Water temperature summer	0.49*	-0.07	C																
at western Ensyu - Nada autumn	0.20	0.35	0.36	D															
Area of hypoxia in Ise Bay summer	-0.47*	-0.07	-0.28	-0.12	E														
summer	-0.10	0.26	-0.22	-0.21	0.14	F													
autumn	-0.16	0.26	-0.26	0.09	0.19	0.19	G												
TN in Ise Bay summer	-0.25	0.24	-0.28	-0.08	0.48*	0.7*	0.12	H											
autumn	0.00	-0.18	-0.11	-0.20	0.03	0.03	0.32	0.06	I										
summer	0.24	-0.07	0.30	0.28	-0.26	0.13	-0.09	0.06	0.22	J									
autumn	-0.04	0.37*	-0.36	-0.07	0.02	0.32	0.38*	0.30	-0.08	0.06	K								
Chlorophyll a in Ise Bay summer	0.02	0.13	-0.20	-0.14	0.21	0.07	0.02	0.08	0.00	-0.27	0.28	L							
autumn	-0.11	0.15	-0.56*	-0.36	0.22	0.03	0.15	0.12	0.13	-0.29	-0.02	0.36	M						
CPUE of <i>Oratosquilla oratoria</i> summer	-0.15	0.18	0.10	0.19	-0.02	-0.04	-0.26	-0.14	-0.20	0.08	-0.33	-0.22	-0.10	N					
autumn	-0.06	0.27	-0.44*	-0.15	0.19	0.21	0.01	0.16	0.12	-0.21	0.02	0.24	0.49*	0.30	O				
CPUE of small penaeid shrimp summer	0.11	-0.04	0.20	-0.07	0.06	0.07	-0.27	0.13	0.21	0.22	-0.26	-0.19	-0.23	0.37*	-0.09	P			
autumn	-0.24	0.24	-0.37*	-0.18	0.26	0.36	0.30	0.58*	0.35	0.02	0.39*	0.34	0.33	-0.26	0.25	0.00	Q		
CPUE of <i>Takifugu rubripes</i> October~March	0.06	0.06	0.13	-0.02	0.16	0.32	0.09	0.35	0.10	0.08	0.01	-0.14	-0.20	0.11	0.00	0.36	0.08	R	

* : $p < 0.05$