

論文 Article

瀬戸内海で採集されたアルビノのクサフグ *Takifugu niphobles* (フグ科)

重田利拓<sup>1</sup>・小畑泰弘<sup>2</sup>・星野浩一<sup>3</sup>・岡本裕之<sup>4</sup>・正岡哲治<sup>4</sup>・清水則雄<sup>5</sup>

First Record of Albino Grass Puffer, *Takifugu niphobles* (Tetraodontidae), Based on Specimen from Seto Inland Sea in South-Western Japan

Toshihiro SHIGETA<sup>1</sup>, Yasuhiro OBATA<sup>2</sup>, Kouichi HOSHINO<sup>3</sup>, Hiroyuki OKAMOTO<sup>4</sup>, Tetsuji MASAOKA<sup>4</sup> and Norio SHIMIZU<sup>5</sup>

**要旨:** 2011年11月に瀬戸内海の山口県周防灘でアルビノのクサフグ *Takifugu niphobles* 1標本が採集された。全長164.6mm, 体長133.9mm, 雄の成魚で, 体色は淡黄色, 瞳孔は黒色を呈する。肥満度は106.6%, 生殖腺重量指数は0.75%を示した。精巣組織像より, 生殖年周期における精巣の成熟段階は, 後繁殖期から精原細胞増殖期への移行段階であった。本報は標本に基づく, クサフグのみならずフグ科におけるアルビノの初記録である。

**キーワード:** アルビノ, クサフグ, 瀬戸内海, フグ科, *Takifugu niphobles*

**Abstract:** A single albino specimen of the grass puffer, *Takifugu niphobles* (Tetraodontidae), was collected from the Suonada Sea, western Seto Inland Sea, Japan in November 2011. This specimen was an adult male of 164.6 mm TL and 133.9 mm SL. Its body was pale yellow, but the eyes were black. The condition factor and the gonadosomatic index were 106.6% and 0.75%, respectively. Histologically the testis was identified at the post-spawn stage. The specimen represents the first record of an albino in the world not only for *T. niphobles* but also for the family Tetraodontidae.

**Key words:** Albino, grass puffer, Seto Inland Sea, *Takifugu niphobles*, Tetraodontidae

I. 緒言

クサフグ *Takifugu niphobles* は, 日本では青森県から沖縄, 東シナ海に, その他, 朝鮮半島南部の沿岸に分布し, 水深50m以浅に生息する, 全長25cmまで成長する小型のフグ科魚類である(松浦, 1997; Yamada, 2002)。山口県光市室積での本種の産卵は良く知られ(片山ほか, 1963; 片山・藤田, 1967), 1969年に山口県の天然記念物に指定されている(山口県教育庁社会教育・文化財課, 2010)。本種はフグ毒を保有する有毒魚でもあり(橋本・野口, 1991), 一般に利用されることは少ないが, 瀬戸内海の一部地域では昔から肥料や食用とされ(片山ほか, 1963; 片山・藤田, 1967), 現在も瀬戸内海西部の周防灘(以

降, 灘湾区分は農林統計区分に従う。ただし, 広島湾を除く)では食用として各市場でもよく見かける。最近, アサリ *Ruditapes philippinarum* の重要な食害魚種であることが明らかになり, 河口・干潟域の生態系研究からも注目される(重田・薄, 2012)。本州などではよく見かける普通の魚種だが, 分布の南限である沖縄島の本種は, 環境省のレッドリスト(環境省, 2007)と沖縄県版レッドデータブック(吉野, 2005)で, 絶滅の恐れのある地域個体群に評価される。

2011年11月に周防灘沿岸で, 体色が淡黄色を呈する本種のアルビノ1個体が採集された。体の一部の白化を含め, 古くから魚類のアルビノは奇形・形態異常として捉えられ, Dawson (1964; 1966; 1971),

1 水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所; National Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea, Fisheries Research Agency (FRA), Japan

2 水産庁; Fisheries Agency, Japan

3 水産総合研究センター西海区水産研究所; Seikai National Fisheries Research Institute, FRA, Japan

4 水産総合研究センター増養殖研究所; National Research Institute of Aquaculture, FRA, Japan

5 広島大学総合博物館; Hiroshima University Museum

Dawson and Heal (1977) が、魚類の奇形学に関する既往の文献を取りまとめている。この文献集にはアルビノについても多くの既報が収録されているが、フグ科に関する報告は見られない。種内で体色が変化に富むミゾレフグ *Arothron meleagris*, コクテンフグ *A. nigropunctatus* では、体が濃黄色で小褐色斑が散在する個体も存在する (松浦, 1997)。しかし、クサフグは体色の変異に乏しい。クサフグ, さらにフグ科でもアルビノに関する報告は見当たらない。

本報は、標本に基づくクサフグのアルビノの初記録となる。その詳細を報告する。

## II. 材料と方法

### 1. 標本と形態学的分析

標本は、2011年11月25日に山口県宇部魚市場へ水揚げされた1個体である。本個体を採集した山口県山陽小野田市の竹本信正氏より、詳細な採集日、採集場所、採集方法を聞き取った。採集日・採集場所における直近の海水温は、山口県浅海定線調査 (山口県水産研究センター内海研究部, 2011) を使用した。

計数・計測方法は Hubbs and Lagler (1958) に従った。頭長は、最長寸である、吻端から鰓孔下部後端までとした。併せて、吻端から鰓孔上部後端までの長さも計測した。標本の撮影と計測は生鮮時に行い、長さはデジタルノギスを使用し 0.01mm 単位で、体重は電子天秤を使用し 0.001g 単位で計測した。同定と、本報で用いた魚類の学名と和名は Nakabo (2002) に従った。本標本は、魚体全体はホルマリン固定標本とし、生鮮時に摘出した筋肉組織片は冷凍標本として、いずれも水産総合研究センター西海区水産研究所に保管されている (標本番号: SNFR 18549)。また、標本の写真、神奈川県立生命の星・地球博物館の魚類写真資料データベースに登録されている (登録番号: 体側は KPM-NR0044946 A, 背側は KPM-NR0044946 B)。

### 2. 形態および DNA 分析による種同定の確認

本標本は、形態学的方法によりクサフグに同定された。同定結果を確認するため、-40℃で保存されていた冷凍標本の組織の一部を用いて、DNA の抽出の後、PCR 法により、ミトコンドリア (mt) DNA の 16S rRNA 遺伝子領域内の約 600bp を増幅し、塩基配列を決定した。分析は、厚生労働省医薬品食品局安全部 (2011) に準拠した。なお、塩基配列の相同性を比較するため、形態学的にクサフグに同定された正常な体色の2個体について、-40℃で冷凍保存していた肝臓組織片を用いて、同様に分析に供した。2個体はそれぞれ、山口市榎野川河口の周防灘産の全長 (TL) 130.7mm の雌、

広島県廿日市市大野瀬戸の広島湾 (以降、重田・薄 (2012) の区分に従う) 産の 126.0mm TL の雌で、2008年6月に釣りで採集したものである。瀬戸内海では、本種を含めてフグ科 18 種の生息の記録がある (清水, 1997)。そこで、全 18 種について、塩基配列の国際データベースである GenBank/EMBL/DBJ に登録されている同遺伝子領域の配列も用いた (種名に続く番号は、データベースにおける塩基配列の Accession No.)。すなわち、トラフグ属のクサフグ AP009526, ヒガンフグ *T. pardalis* AP009528, アカメフグ *T. chrysops* AP009525, ショウサイフグ *T. snyderi* AP009531, ナシフグ *T. vermicularis* AP009532, マフグ *T. porphyreus* AP009529, コモンフグ *T. poecilonotus* AP009539, シマフグ *T. xanthopterus* AP009533, ゴマフグ *T. stictonotus* AP009530 (Yamanoue et al., 2009), トラフグ *T. rubripes* AJ421455 (Elmerot et al., 2002), AP006045 (Yamanoue et al., 2006), キタマクラ属のキタマクラ *Canthigaster rivulata* AP006744, モヨウフグ属のホシフグ *A. firmamentum* AP006742 (Yamanoue et al., 2009), モヨウフグ *A. stellatus* AB194234 (Ishizaki et al., 2006), サザナミフグ *A. hispidus* AP011930 (Yamanoue et al., 2011), サバフグ属のカナフグ *Lagocephalus inermis* GQ461747, クロサバフグ *L. gloveri* GQ461748 (Hsieh and Li, 未発表), ドクサバフグ *L. lunaris* GQ461750 (Hsieh et al., 未発表), シロサバフグ *L. wheeleri* AP009538 (Yamanoue et al., 2009) の計 19 データである。分析に際し、mtDNA の全塩基配列が登録されたものを使用した。ただし、GQ461747, GQ461748, AB194234 は、16S rRNA 遺伝子領域内の部分配列を使用した。塩基配列のアライメントと系統樹の作成は Clustal X ver. 2.1 (Larkin et al., 2007) を用い、系統樹は近隣結合法により作成した。出現した各クレードの信頼性は 1,000 回のブートストラップにより検討した。

### 3. 細胞・組織学的観察による雌雄性と繁殖特性の把握

20% 中性ホルマリン液で標本を固定・常温で保存し、2ヶ月後に、改めて解剖し生殖腺を摘出した。保存による重量の変化を把握するため、解剖に先立ち、体重を再計測した。肉眼および実体顕微鏡下では、雌雄の判別は困難であった。そこで、生殖腺中央部より組織片を切り出し、常法に従いアルコール系列によって脱水し、体軸に対して垂直に、厚さ 4~8 μm の横断連続パラフィン切片を作成した。組織標本は、Mayer の酸性ヘマトキシリン・エオジンの二重染色を施し、生物顕微鏡下で検鏡を行い、雌雄を判別した。

配偶子形成やその異常の有無を把握するには、同季節に同海域(周防灘)で採集した正常な個体との比較が必要である。そこで、山口湾にて釣りで採集した2008年11月15日の雄3個体、雌1個体、12月16日の雄2個体、雌2個体の計8個体について、同様に組織標本を作製し検鏡を行った。卵巣の発達段階は、最も発達の進んだ正常な卵母細胞を指標とした。

#### 4. 生物・生態学的特性の把握

本個体と正常な個体との生物・生態学的特性を比較するため、2004年2月から2012年8月まで、周防灘から備後・芸予瀬戸までの瀬戸内海中・西部海域において、釣りで採集した587個体(広島湾での刺網、たも網の2個体を含む)を用いた。これらのうち、周防灘の448個体が最も多く、広島湾の131個体がそれに次ぐ。ただし、全長は全587個体で計測しているが、体重、生殖腺重量は計測データの無いこともある。全長、肥満度(CF)、および、生殖腺重量指数(GSI)について、比較を行った。CFとGSIは、同季節に同海域で採集した個体との比較が必要である。そこで、10月28日(2008年)、11月8日(2007年)、11月15日(2008年)、12月16日(2008年)に、山口湾～榎野川河口で採集した33個体との比較を行った。

CFの算出にあたり、瀬戸内海中・西部海域の462個体について、全長-体重関係式を求めた。CFは以下の通り求めた。

$CF = BW / (a \cdot TL^b) \times 100$  ここで、BW: 体重(g), TL: 全長(mm),  $a = 3.021 \times 10^{-5}$ ,  $b = 2.897$ , 定数aとbは前述の全長-体重関係式より求めたものである(結果と考察で記述)。

GSIは以下の通り求めた。

$GSI = (GW / BW) \times 100$  ここで、GW: 生殖腺重量(g), BW: 体重(g)である。ただし、アルビノ個体の生殖腺重量は、固定による重量変化を前項で求めた係数で補正した。すなわち、0.93735を乗ずることにより、固定後の増重を補正した。

### Ⅲ. 結果と考察

#### 1. クサフグのアルビノ(図1A, 1B)

*Takifugu niphobles* (Jordan and Snyder)

#### 2. 標本

SNFR 18549, 体長133.9mm, 2011年11月24日, 山口県山陽小野田市厚狭川河口(周防灘)

#### 3. 記載

形態学的所見: 背鰭条数12, 臀鰭条数11, 胸鰭条数14。全長164.6mm(図2A, 2B), 体重84.8g。体各部計測値の体長に対する割合は、全長122.9%, 体高



図1 クサフグ *Takifugu niphobles* のアルビノ標本

SNFR 18549, 全長164.6mm, 体長133.9mm。A: 体側(KPM-NR0044946 A), B: 背側(KPM-NR0044946 B)。

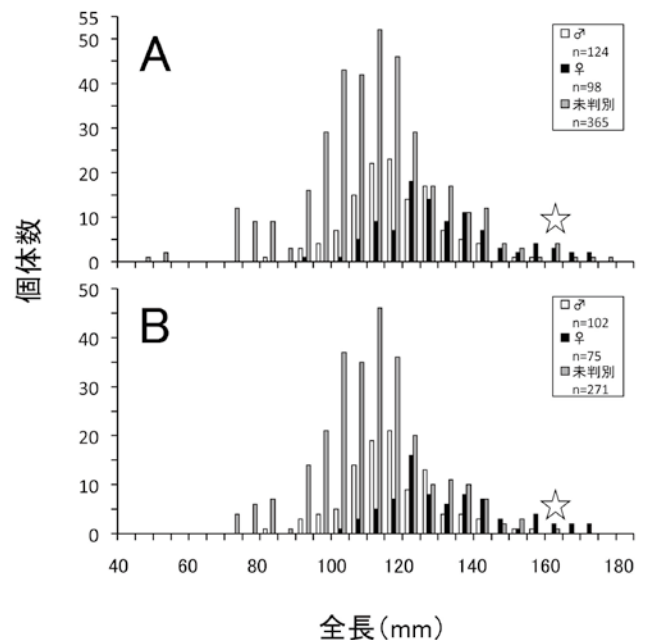


図2 クサフグの全長組成

A: 瀬戸内海中・西部海域 (n=587), B: 周防灘 (n=448)。☆は本アルビノ個体。

27.7%, 頭長34.6%(鰓孔上部後端までの場合は、33.7%), 背鰭前長71.2%, 胸鰭前長34.5%, 肛門前長61.8%, および、臀鰭前長70.2%。

体型は普通のクサフグと同型。体の横断面と尾鰭後縁は円い。吻長の頭長に対する割合は42.6%。眼径の頭長に対する割合は21.0%。左右両鼻ともそれぞれ2孔が開き、鼻孔隔皮欠損など形態異常は認められない。背面と腹面には小棘が密生する。しかし、側面に小棘は無く、背面と腹面の小棘は連続していない。体側と腹側との境界に1本の皮褶がある。

生鮮時、体色の正常な個体では、体幹部は腹部を除

いて大部分が黒緑色であるが、本標本では淡黄色を呈する。背側は淡黄色の下地に、クサフグ特有の小白点が散在する。正常な個体では、胸鰭後方上部に縁取りの無い大きな黒色円斑があるが、本標本ではそこが淡黄色の円斑様となり、従って、小白点は分布しない。体側は淡黄白（銀）色、腹側は正常な個体と同じ白色。体側と腹側との境界の皮褶は淡黄色を呈する。背鰭と胸鰭は淡黄色、尾鰭の前半は淡黄白色、後半は黄色、臀鰭は白色（ただし、縁辺のみが僅かに淡黄白色）。瞳孔は、正常な個体と同じ黒色。

20%中性ホルマリン液に固定後は、黄色が急速に退色し、常温で2ヶ月保存後は既に全体が白色となっていた。ただし、瞳孔は黒色のままであった。

CFは106.6%（図3A）、GSIは0.75%を示した（図3B）。

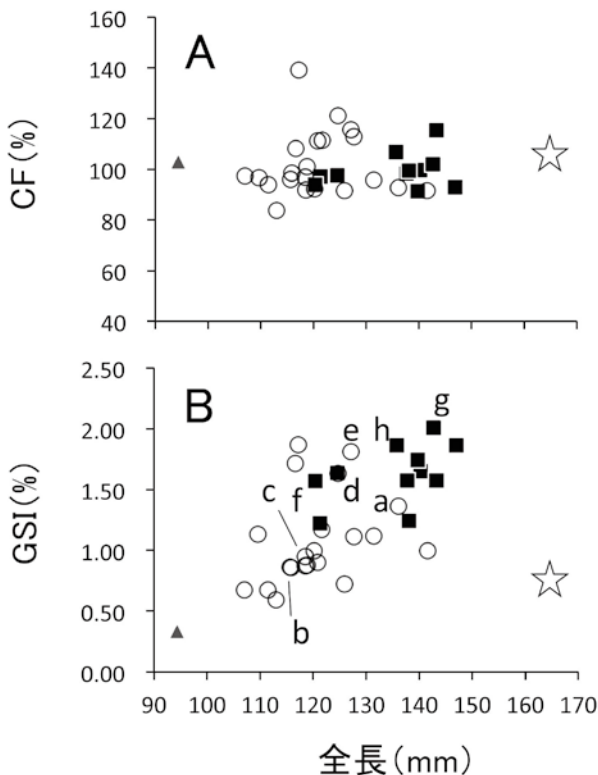


図3 周防灘産クサフグの肥満度 (CF) と生殖腺重量指数 (GSI)

A: CF, B: GSI. ☆: 本アルビノ個体, ○: ♂, ■: ♀, ▲: 未判別, a, b, c: ♂ (11月15日), d, e: ♂ (12月16日) (dには、ほぼ同全長、同GSIの♀の別個体が重なっている), f: ♀ (11月15日), g, h: ♀ (12月16日)。

**DNA分析:** mtDNAの16S rRNA遺伝子領域588bpが決定され、本アルビノ標本と周防灘産、広島湾産クサフグの3者の配列は完全に一致した。データベースのクサフグAP009526のmtDNA全塩基配列16,442bpのうち、16S rRNA遺伝子領域は1088~2755番まで

の1,688bpである。AP009526は完全一致の3標本とは1塩基が異なるのみで、前者の2,467番Aと2,468番Tの間に、後者ではAの挿入が認められた。系統樹は、モヨウフグ属とキタマクラ属、トラフグ属、およびサバフグ属でそれぞれ3つの大きなクレードを形成した（図4）。クサフグの4標本は高い確率（96%）で同一のクレードを形成し、本アルビノ標本はそのクレード内であった。

**組織学的所見:** 本個体の生殖腺（精巣）には、特に外部形態に異常は認められなかった。組織像より、本個体は雄と判定された（図5A, 5B）。精巣の外層全体が肥厚しており、精巣内部は全体的に精小囊間の結合組織が目立ち、生殖細胞は目立たない。また、由来は分からないものの、エオジン好性の構造体（卵膜が著しく退行・萎縮した際の構造体様）や、褐色の結合組織塊が多く見られた。精小囊の配列は乱れており、その内腔に沿って1層の精原細胞が所々に認められるのみであった。また、精巣基部側の精小囊内腔が吻合しあった大きな内腔には、残存精子が少量だが認められた。従って、生殖年周期における精巣の成熟段階は、後繁殖期（精巣休止期）から精原細胞増殖期への移行段階であった。

#### 4. 同定

本標本は、体の横断面は円いこと、体表の背面と腹面に小棘が分布し両者は連続しないこと、尾鰭後縁は円いこと、鼻孔は2孔が開くこと、背鰭は12軟条、臀鰭は11軟条であること、体背部に斜走帯の斑紋はなく、胸鰭後方に一つの円斑様領域があることより、クサフグと同定された。mtDNAの分析より、本アルビノ標本、周防灘産クサフグ、広島湾産クサフグ、およびクサフグAP009526は高い確率で同一のクレードを形成し、特に、前3者の塩基配列は完全に一致する。従って、DNAの分析からもクサフグであることが確認された。

本標本は、瞳孔のみ黒色の、他は完全に黒色素が欠如したクサフグの雄のアルビノである。

#### 5. 生息状況・環境

本個体は、山陽小野田市厚狭川河口で小型定置網により採集された。2011年12月5, 7日の採集場所付近（山口県浅海定線調査・周防灘 St.5: 33° 58' 12" N, 131° 09' 28" E）の海水温は、表層で15.8℃、底層で15.6℃であった。

採集者によると、このような個体の採集は初めてのことであった。

#### 6. 備考

**体色:** 魚類に限らず、全ての動物の体色や模様には、

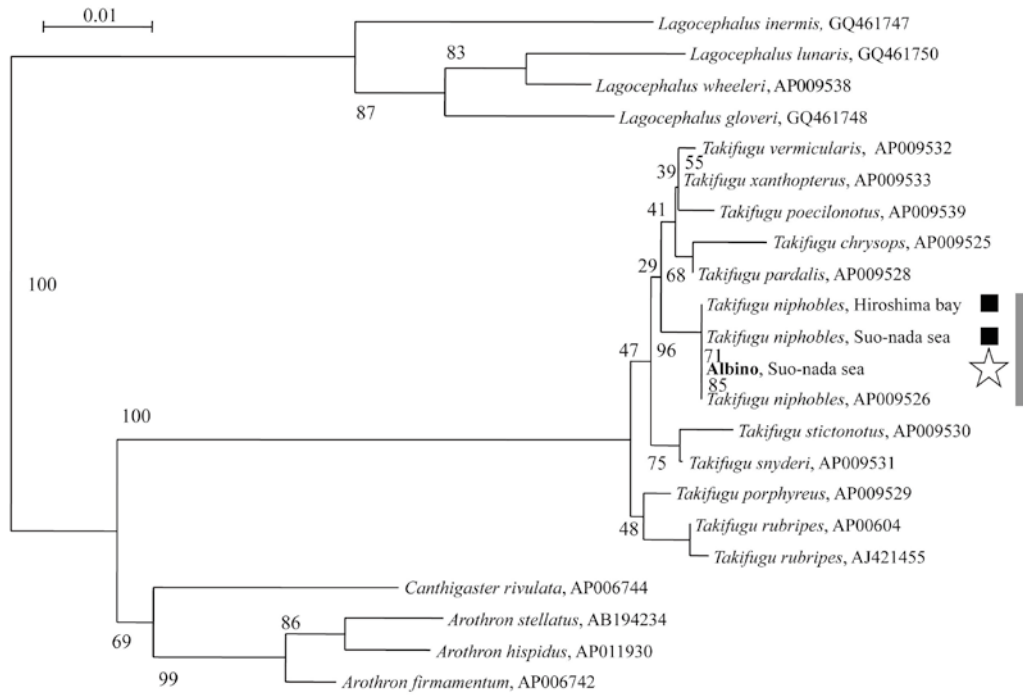


図4 本アルビノ標本, 周防灘と広島湾産クサフグ標本, およびフグ科18種の16S rDNA遺伝子の部分塩基配列(588bp)に基づく近隣結合法による系統樹

☆: アルビノ標本, ■: 周防灘と広島湾産クサフグ標本。数値はブートストラップ確率。

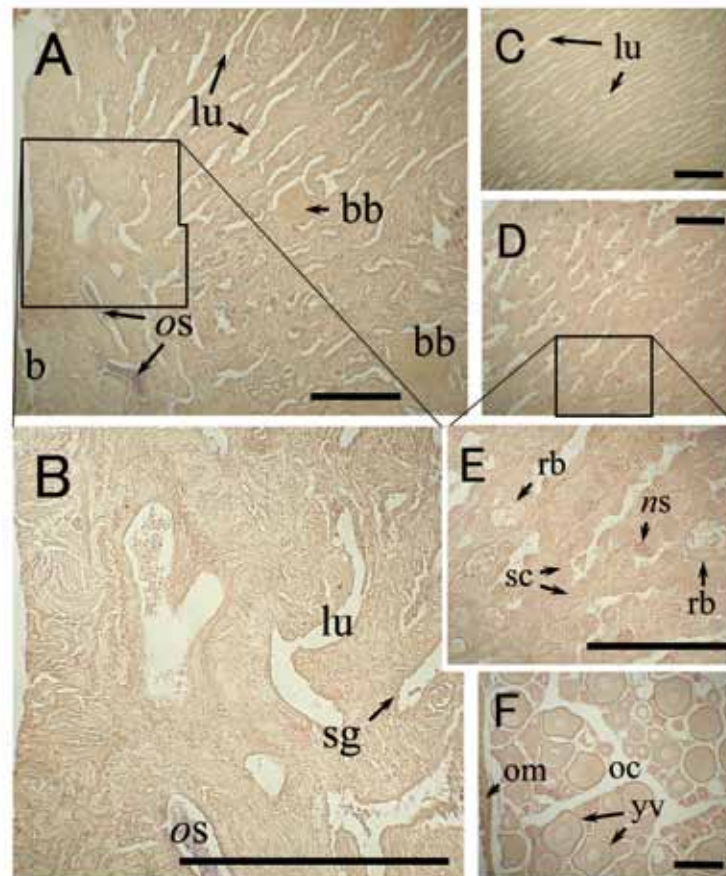


図5 クサフグの生殖腺組織像

A: アルビノ標本の精巣組織像, B: Aを拡大, C: 図3のbの精巣組織像, D: 図3のeの精巣組織像, E: Dを拡大, F: 図3のhの卵巣組織像。b: 精巣基部, bb: 褐色の結合組織塊, lu: 精小嚢内腔, ns: 精子(新しく形成されたもの), oc: 卵巣腔, om: 卵巣膜, os: 残存精子, rb: エオジン好性の構造体, sc: 精母細胞, sg: 精原細胞, yv: 卵黄胞期卵母細胞。HE染色。スケールバーは300 $\mu$ m。

隠蔽色と標識色という二つの相反する生態学的な機能がある(日高, 1998)。前者は, その動物の存在を置かれた環境の中に埋没させてしまう効果がある色や模様で, 後者は, 自分の存在を誇示するような色である。魚類の体色は主として真皮中に並ぶ5種の色素胞(Yokote et al., 1982; 岩井, 1985; 落合, 1987)と, 1985年に熱帯性のネズヅボ科2種で発見された青色色素胞の計6種の色素胞によって発現する(藤井, 1998)。アルビノは, 一般には単純劣性形質とされ, チロシナーゼの欠損を起こす遺伝子変異によるもので, チロシンからのメラニン形成が行われない(山田ほか, 1983; 落合, 1987)。しかし, 魚類での白化は多くは完全ではなく, 眼は黒く, これはチロシナーゼの欠損ではなく, この酵素の作用が著しく抑制されることによるとされる(山田ほか, 1983)。今回のクサフグのアルビノも瞳孔は黒色であり, 後者のタイプの可能性が考えられる。黒色素が正常に発現すれば, 通常のクサフグの体色が復元されると考えられる。

フグ科(瀬能, 私信)のみならず, カワハギ科などを含めたフグ目としても, アルビノは知られていないようであり(松浦, 私信), クサフグ, フグ科, あるいはフグ目におけるアルビノの出現は極めて稀な現象であることが推察される。本種の体色異常について, 著者ほか, 瀬戸内海中・西部海域で採集した627個体(既出の587個体と全長データの欠測のため分析に使用しなかった40個体), および光市室積の産卵場に2009年6月20日に来遊した2,000個体(光市教育委員会, 2009), 同じく2012年6月17日の423個体の計約3,000個体では観察されていない(重田ほか, 未発表)。また, 著者ほかによる, これまでの周防灘の各市場での調査, 瀬戸内海での魚類採集調査のいずれでも, 本種の体色異常個体を観察したことはなく, これらも, 出現頻度のさらなる低さを示唆している。強いフグ毒を保有するクサフグであっても, アルビノ形質は生存にとって有利には働かないのであろう。

**成長・生存:** 生態学的に魚類の生活史戦略の視点からは, 成長し生存を高める体組織に関わる努力と, 繁殖の成功度を増加させる繁殖努力という二つの大きな成分があり, これらへのエネルギー配分が重要となる(グロス・前川, 1989)。成長について, 瀬戸内海中・西部海域, 周防灘ともに, クサフグの全長は雌が雄より有意に大きく(図2A, 2B; 瀬戸内海中・西部海域,  $t$ 検定,  $t=-5.34$ ,  $df=584$ ,  $P<0.01$ ; 周防灘,  $t$ 検定,  $t=-6.46$ ,  $df=445$ ,  $P<0.01$ )。片山ほか(1963)の光市室積の産卵場での結果と同様であった。瀬戸内海中・西部海域, 周防灘ともに, 雄では156.2cm TLが

最大であり, 本アルビノ個体はそれを大きく超えている。雌雄全体でも, 瀬戸内海中・西部海域では本アルビノの全長以上の個体, あるいは165mm TL以上の個体は7個体のみ, 周防灘では同様に4個体のみであり, それぞれ僅か1.19%, 0.89%を占めるに過ぎない。雌雄は未判別だが, 瀬戸内海中・西部海域, 周防灘ともに最大全長は177.1mm TLである。片山ほか(1963)の光市室積の産卵場での結果では, 体長を調べた5月21日の706個体, 6月3日の416個体のうち, 僅かながら, 本アルビノ個体と同体サイズ(体長13~14cm)の雄が出現している。本アルビノは雄としては特に大きく, 成長あるいは生残が良好であったことを示している。オニイトマキエイ *Manta birostris* やコモンカスベ *Okamejei kenojei* でも長期の生存を示唆する大型のアルビノ個体が報告されている(石原ほか, 2001)。

一般的に, 隠蔽色である体色調節の機能の消失は, 捕食のリスクを増大させることが予想される。ところが, 野外での生残率についての研究例はほとんどみられない。数少ない事例として, 捕食者の鳥類は野生で, 被捕食者の魚類は飼育条件下ではあるが, 養殖のアマゴ *Oncorhynchus masou ishikawae* のアルビノでは, 同体サイズのアマゴのアルビノと正常な体色の個体を屋外飼育池に混合して収容していたところ, アルビノだけが鳥害によって減耗したという(山本ほか, 1999)。この報告では, 概ね, 飼育下の形態, 成長, 成熟においては正常個体との差は認められなかったとの結論に達している。従って, 体色による隠蔽効果が失われたことにより, 捕食のリスクが増大した可能性が高い。別の事例として, 飼育下ではあるが, トノサマガエル *Rana nigromaculata* のアルビノ個体と正常個体を, 近縁種で捕食者のダルマガエル *R. porsa brevipoda* と同居させたところ, アルビノ個体は優先的に捕食され, 生存率の低さが示唆されている(土井, 2005)。併せて, アルビノ個体の体色以外の性質の影響は不明であり, さらなる検討が必要としている。

全長と体重との関係は,  $BW=3.021 \times 10^{-5} \cdot TL^{2.897}$  の, べき乗回帰式で表された( $r=0.975$ ,  $n=462$ ,  $P<0.01$ )。ここで, BW: 体重(g), TL: 全長(mm)である。CFは個体の栄養状態を表し, 瀬戸内海中・西部海域での標準的な状態の個体を100%とし, 各個体の全長に対して, 標準的な体重との相違の程度を表すものである。山口湾~樫野川河口の対象個体は, 一部雄で高値を示したものの, 雄, 雌ともに概ね80~120%に収まっている(図3A)。本アルビノ個体は, 標準的なか, やや良好な栄養状態を示し, 同時期の他個

体と比較して同程度の状態であった。

**繁殖：**GSI は、生理学的には配偶子形成量や生殖腺の発達程度を表す。生殖腺に何らかの異常があれば、正常な個体と比較して低値を示すことが多い。他方、生態学的には、繁殖努力のうち、個体の配偶子形成努力への投資配分を表す。クサフグは、卵や仔の保護をしないこと、大きな群れで繁殖を行い、番い形成努力への投資は少ないと考えられることより、繁殖努力の大部分を配偶子形成努力へ投資していると言える。図 3B より、低値ではあるが、雄では 0.50~2.00% の比較的広い範囲の値を、雌では 1.50% 前後の狭い範囲の値を示し、本アルビノ個体は雄の中でも低値のグループに属している。雄が広い範囲の値となるのは、この時期に精巣内では、排精後に形態を乱した精小囊の再構築を終えて休止状態にあるものと、そこから翌年の繁殖に向けて精子形成活動を再開した個体とが混在するためである。詳しくみると、12月16日に採集した7個体は、10月28日~11月15日の残る14個体と比べても有意にGSIが高い ( $t$ 検定,  $t=5.15$ ,  $df=19$ ,  $P<0.01$ )。前者では全ての個体が1.00%を超え1.50%を超えるものも4個体いるが、後者では12個体は1.00%以下のままである。ただし、精巣組織像(図5A-E)は、eを除いて、GSIによって成熟段階に大きな違いがない。a, b, dの精巣では、全体的に精小囊間の結合組織が目立ち、生殖細胞は目立たず、精小囊内腔に沿って1層の精原細胞が所々に認められる程度である。既に、精小囊内腔には残存精子は認められない。従って、生殖年周期における精巣の成熟段階は、後繁殖期(精巣休止期)から精原細胞増殖期への移行段階であった。Cでは、より発達が進み精小囊の配列が整い、最も成熟が進んだ精母細胞の包囊が所々に散見された。さらにeでは、精小囊の大部分が精母細胞の包囊で占められ、少ないがいくつかの包囊では精子が形成されていた。従って、生殖年周期における成熟初期に相当し、活発な精子形成活動の開始を示している。一方、卵巣の組織像(図5F)は、3個体のいずれも最も発達した正常な卵母細胞は卵黄胞期であり、未だ細胞質にエオジン好性の卵黄球は認められず、卵黄形成を開始していない未発達な状態であった。

採集された11月は非繁殖期であったことから、配偶子形成努力(≒繁殖努力)に問題があるかどうかは判断できない。少なくとも、本アルビノ雄のGSIは、10月28日~11月15日の0.50~1.00%と同程度であり、採集時点では、他個体との差は見られないようである。本アルビノの精巣組織像は、精巣の外層全体が

肥厚しており、精小囊の配列は乱れ、その内腔に沿って1層の精原細胞が所々に認められるのみである。また、精小囊内腔が吻合しあった大きな内腔には、少ないものの未だ残存精子が認められる。従って、今繁殖期の繁殖活動に参加したものと考えられ、その後、他個体と同様に、体力(栄養状態)を回復させて、精巣の回復はやや遅れ気味ではあるものの、次期の繁殖活動に向けて精巣内の再構築を進めていたものと推察される。

今回、クサフグで初めてアルビノ個体が採集された。遺伝・育種研究において、淡水魚ではアルビノ形質は可視化遺伝マーカーとしてよく利用される(山本ほか, 1999; 島田・嶋, 2002)。養殖が盛んに行われる同属のトラフグ *T. rubripes* の育種に役立つ遺伝マーカーの開発に、本標本は新たな知見をもたらす可能性がある。トラフグなど海産魚についても、今後の研究の進展を期待したい。

#### 【謝辞】

アルビノのクサフグ標本を提供いただき、採集状況等の聞き取りにご協力いただいた山口県漁業協同組合厚狭支店の竹本信正氏、市場調査にご協力いただいた山口県宇部魚市場の村上俊則氏、渡辺祐章氏をはじめとする同市場諸氏、宇部市福田鮮魚店の福田泰三氏、大分県中津魚市場の角晴義氏、角和久氏をはじめとする同市場諸氏、本種をはじめ周防灘沿岸の魚類採集に尽力し、計測を手伝ってくれた山口市の重田勝利氏、重田潔子氏、産卵場での観察と標本の計測を手伝ってくれた広島市の重田莉穂氏、重田恭子氏、標本採集にご協力いただいた水産総合研究センター北海道区水産研究所の薄浩則博士、広島県大野町漁業協同組合の松本博和氏をはじめとする同漁協諸氏、本種を採集させていただいた広島県浜毛保漁業協同組合、同県尾道東部漁業協同組合山波支所、同県福山市漁業協同組合田尻支所、産卵観察会で案内いただいた山口県光市教育委員会、標本の登録に際し便宜を図っていただいた水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所の時村宗春博士、寺脇利信博士、標本写真の魚類写真資料データベースへの登録と、フグ科のアルビノについてご教示いただいた神奈川県立生命の星・地球博物館の瀬能宏博士、フグ目のアルビノについてご教示いただいた国立科学博物館の松浦啓一博士、および、データ入力を手伝ってくれた瀬戸内水研の田浦かおり氏に厚くお礼申し上げます。

## 【文献】

- 石原 元・本間公也・中村良成 (2001): 西太平洋で発見されたオニイトマキエイとコモンカスベの白化個体, *I.O.P. Diving News*, 12(7), 2-5.
- 岩井 保 (1985): 水産脊椎動物Ⅱ 魚類, 恒星社厚生閣
- 落合 明 (1987): Ⅱ 皮膚系. 落合 明編著『魚類解剖学』緑書房, 7-21.
- 片山正夫・藤田茂信・藤岡 豊 (1963): クサフグの生態学的研究Ⅰ. クサフグの産卵習性について, 山口大学教育学部研究論叢, 13(2), 35-44.
- 片山正夫・藤田茂信 (1967): クサフグの生態学的研究Ⅲ. ー山口県瀬戸内海側におけるクサフグの産卵場と産卵時刻について, 山口大学教育学部研究論叢, 16(2), 55-61.
- 環境省 (2007): 汽水・淡水魚類のレッドリスト. 哺乳類, 汽水・淡水魚類, 昆虫類, 貝類, 植物Ⅰ及び植物Ⅱのレッドリスト見直しについて. 環境省ホームページ, <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=8648> (2012年8月17日閲覧).
- グロス, M. R.・前川光司 (1989): 魚類の繁殖戦略の進化. 後藤 晃・前川光司編:『魚類の繁殖行動 ーその様式と戦略をめぐって』東海大学出版会, 161-201.
- 厚生労働省医薬品食品局安全部 (2011): 輸入魚類加工品のフグ種鑑別検査法について, 厚生労働省医薬品食品局食品安全部監視安全課輸入食品安全対策室長通知, 食安輸発 0906 第1号 平成23年9月6日.
- 重田利拓・薄 浩則 (2012): 魚類によるアサリ食害 ー野外標本に基づく食害魚種リスト, 水産技術, 5(1), 1-19.
- 島田敦子・嶋 昭紘 (2002): メダカにおける自然および誘発生殖細胞突然変異率とその系統差. 武田洋幸・岡本 仁・成瀬 清・堀 寛編『小型魚類研究の新展開 ー脊椎動物の発生・遺伝・進化の理解をめざして』共立出版, 2886-2892.
- 清水孝昭 (1997): 瀬戸内海産魚類目録. 瀬戸内海水産開発協議会編『瀬戸内海のさかな』ドブコ, 87-94.
- 土井敏男 (2005): 優先的に捕食されたトノサマガエルのアルビノ個体, 動物園水族館雑誌, 46(2), 55-58.
- 橋本周久・野口玉雄 (1991): フグ毒. 板沢靖男・羽生 功編:『魚類生理学』恒星社厚生閣, 519-537.
- 光市教育委員会 (2009): 平成21年度クサフグ監視・観察活動の結果について. 光市教育委員会, <http://www.city.hikari.lg.jp/kyouiku/syougai/> (2009年10月21日閲覧)
- 日高敏隆 (1998): 魚の色と模様 ーその機能, 魚の色と模様, 海洋と生物, 20(6), 451-456.
- 藤井良三 (1998): 魚類皮膚の色彩発現のメカニズム, 魚の色と模様, 海洋と生物, 20(6), 457-465.
- 松浦啓一 (1997): フグ目. 岡村 収・尼岡邦夫編:『日本の海水魚』山と溪谷社, 685-720.
- 山口県教育庁社会教育・文化財課 (2010): 光のクサフグ産卵地, 県指定天然記念物. 山口県の文化財, [http://bunkazai.ysn21.jp/bunkazai/detail.asp?mid=30075&pid=gs\\_tu2](http://bunkazai.ysn21.jp/bunkazai/detail.asp?mid=30075&pid=gs_tu2) (2012年8月17日閲覧).
- 山口県水産研究センター内海研究部 (2011): 海洋観測結果速報(周防灘定線調査)平成23年12月5・7日調査. 山口県水産情報システム 海鳴りネットワーク, [http://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/a16500/suisan-s/suo/apd1\\_98\\_2012020105171430.pdf](http://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/a16500/suisan-s/suo/apd1_98_2012020105171430.pdf) (2012年8月17日閲覧).
- 山田常雄・前川文夫・江上不二夫・八杉竜一・小関治男・古谷雅樹・日高敏隆編 (1983): 白化現象. 『岩波生物学事典第3版』岩波書店, 1009.
- 山本 淳・名倉 盾・大森洋治・芳賀 稔 (1999): 養殖アマゴに出現したアルビノ個体について, 水産増殖, 47(1), 43-47.
- 吉野哲夫 (2005): 絶滅のおそれのある地域個体群 (LP): 沖縄島のクサフグ. 沖縄県文化環境部自然保護課編『改訂・沖縄県の絶滅のおそれのある野生生物 (動物編) ーレッドデータおきなわー』沖縄県, 186. <http://www3.pref.okinawa.jp/site/view/contview.jsp?cateid=70&id=9962&page=1> (2012年8月17日閲覧).
- Dawson, C. E. (1964): A bibliography of anomalies of fishes, *Gulf Research Reports*, 1(6), 308-399.
- Dawson, C. E. (1966): A bibliography of anomalies of fishes: supplement 1, *Gulf Research Reports*, 2(2), 169-176.
- Dawson, C. E. (1971): A bibliography of anomalies of fishes: supplement 2, *Gulf Research Reports*, 3(2), 215-239.
- Dawson, C. E. and E. Heal(1977): A bibliography of anomalies of fishes: supplement 3, *Gulf Research Reports*, 5(2), 35-41.
- Elmerot, C, U. Arnason, T. Gojobori, and A. Janke(2002):The mitochondrial genome of the pufferfish, *Fugu rubripes*, and ordinal teleostean relationships, *Gene*, 295(2), 163-172.
- Hubbs, C. L. and K. F. Lagler (1958): Fishes of the Great Lakes region. *Bull. Cranbrook Inst. Sci.*, 26, 1-213.
- Ishizaki, S., Y. Yokoyama., N. Oshiro., N. Teruya, Y. Nagashima, K. Shiomi and S. Watabe(2006): Molecular identification of pufferfish species using PCR amplification and restriction analysis of a segment of the 16S rRNA gene, *Comp. Biochem. Physiol. Part D Genomics Proteomics*, 1(1), 139-144.
- Larkin M. A., Blackshields G., Brown N. P., Chenna R., McGettigan P. A., McWilliam H., Valentin F., Wallace I. M., Wilm A., Lopez R., Thompson J. D., Gibson T. J. and Higgins D. G. (2007): ClustalW and ClustalX version 2.0., *Bioinformatics*, 23(21): 2947-2948.
- Nakabo, T. (2002): Nakabo, T. ed. : *Fishes of Japan with pictorial*



- keys to the species*. Tokai Univ. Press, Tokyo, 1371-1379, 1628-1629.
- Yamada, U. (2002): Tetraodontidae puffers. Nakabo, T. ed. : *Fishes of Japan with pictorial keys to the species*. Tokai Univ. Press, Tokyo, 1418-1431, 1632.
- Yamanoue Y, M. Miya, JG. Inoue, K. Matsuura, M. Nishida(2006): The mitochondrial genome of spotted green pufferfish *Tetraodon nigroviridis*(Teleostei: Tetraodontiformes) and divergence time estimation among model organisms in fishes, *Genes Genet. Syst.*, 81(1), 29-39.
- Yamanoue Y, M. Miya, K. Matsuura, S. Miyazawa, N. Tsukamoto, H. Doi, H. Takahashi, K. Mabuchi, M. Nishida and H. Sakai(2009): Explosive speciation of *Takifugu*: another use of fugu as a model system for evolutionary biology. *Mol. Biol. Evol.*, 26(3), 623-629.
- Yamanoue, Y., M. Miya, H. Doi, K. Mabuchi, H. Sakai. and M. Nishida(2011): Multiple invasions into freshwater by pufferfishes (teleostei: tetraodontidae): a mitogenomic perspective, *PLoS ONE*, 6 (2), E17410.
- Yokote, M., Takashima. F. and Aida, K. (1982):I. Skin, Hibiya, T. ed.: *An atlas of fish histology*. Kodansha, Tokyo, 8-15.

(2012年8月31日受付)

(2012年11月27日受理)