

瀬戸内海の河口干潟域で確認されたトラフグ稚魚による 刺毒魚アカエイの捕食

重田利拓^{1), 2)}・古満啓介³⁾・山口敦子³⁾・富山 毅²⁾・坂井陽一²⁾・斉藤英俊²⁾

¹⁾ 水産総合研究センター 瀬戸内海区水産研究所, 〒739-0452 広島県廿日市市丸石2-17-5

²⁾ 広島大学大学院生物圏科学研究科, 〒739-8528 広島県東広島市鏡山1-4-4

³⁾ 長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科, 〒852-8521 長崎市文教町1-14

要 旨 瀬戸内海の河口干潟域で、トラフグ *Takifugu rubripes* 稚魚による刺毒魚アカエイ *Dasyatis akajei* の捕食を初めて確認した。2012年9～11月と2014年10月に、山口市樫野川河口で採集したトラフグ27個体 (9.8～14.0cm SL, 11.9～17.5cm TL) の食性を調査し、2012年10月に採集した1個体 (12.1cm SL, 15.1cm TL) の消化管内容物からアカエイ1個体を同定した。アカエイ被食部位は、尾部を含めた体後部で、計40個の断片として検出された。異なる2通りの復元方法により、体盤幅はそれぞれ 11.1 ± 2.4 cm ($\pm 95\%$ 信頼区間), 12.8 ± 3.7 cm (同) と推定された。被食量は、前者ではアカエイ体重の18.6%, 後者では11.8% に及ぶと考えられた。

キーワード : アカエイ, 河口, 食性, トラフグ, 干潟, *Takifugu rubripes*

1. 緒言

日本のトラフグ *Takifugu rubripes* の資源状態は著しく悪化しており、その漁獲量の概ね6割(2008～2011年、農林水産省大臣官房統計部 (2010, 2011, 2012, 2013) および下関市産業経済部水産課 (2013) より算出) が集荷され長期的な漁獲量の指標となる山口県下関市唐戸・南風泊市場における取扱量は、ピーク時の1987年の1,841t (下関市農林水産部水産課, 1988) から、2013年には過去最低水準である111t (下関市農林水産振興部水産課, 2014) にまで激減している。瀬戸内海では、長期の統計のある広島県においても、その漁獲量は1987年の287t をピークに、その後減少を続け、2011年には、過去最低の7t を記録した前年の2010年に次ぐ、僅か10t にまで激減している (中国四国農政局広島統計情報事務所, 2002; 農林水産省大臣官房統計部, 2013)。このような著しい資源状態の悪化を受けて、本種の繁殖場と着底・成育場の一つがある有明海を有する長崎県では、絶滅の恐れのある地域個体群 (LP) として、本種がレッドデータブック (リスト) に掲載された (長崎県レッドデータブック編集委員会・長崎県環境部自然環境課, 2012)。

本種の資源状態は極めて悪化していることから、資源の回復・再生が切望されている。本種の稚魚は、繁殖場周辺の河口干潟を成育場としており、晩秋までそこで生活する (松浦, 1997)。干潟域では本種はベントスを主な餌資源としていること (田北・Intong, 1991; 山口県, 2002; 重田・薄, 2012), 成育場である干潟の餌環境とトラフグ漁獲量には密接な関係が示唆されること (重田, 2012) より、本種の干潟での採食を中心とした生態の把握が極めて重要である。

今回、河口干潟域で採集したトラフグ稚魚の食性を調べたところ、アカエイ *Dasyatis akajei* の捕食が判明した。これまで、河口干潟域において、強い刺毒を持つアカエイ (伍ら, 1999) を捕食する魚類はいないものと考えられてきた。本報では、瀬戸内海の河口干潟域において、トラフグ稚魚によるアカエイの捕食を初めて確認したので、その詳細を報告する。

II. 材料と方法

1. 標本の採集と形態学的分析

第1筆者らは2005年より、瀬戸内海周防灘の山口県山口湾と最大流入河川である山口市樫野川河口において、本種を含む干潟域の魚類の生態調査を実施している。前所はかつてのアサリ漁場で（近年はほとんど獲れない）、後所はヤマトシジミ漁場である。トラフグ標本は、後所において、2012年9～11月と2014年10月の昼間に釣りにより採集した27個体である。定量的に採集するため、1回3時間前後を目安として、1人が竿2本（竿1本に1～2個の針を装着）の使用とし、餌はアオゴカイ *Perinereis aibuhitensis* を用いた。また、開始時刻と終了時刻、採集人数、および採集物の個体数等を記録した。ハリスのナイロン糸がきれいに切断され、トラフグの存在が示唆された場合は、切断防止のため直ちに竿1本をワイヤーハリスに交換した。採集したトラフグ標本は研究室に持ち帰り、以下の分析に供した。

トラフグの計数・計測方法は Hubbs and Lagler (1958) に、アカエイは中坊・中山 (2013) 従った。標本の計測と解剖は生鮮時に行い、長さはデジタルノギスを使用し0.01mm 単位で、体重など重量は電子天秤を使用し0.001g 単位で計測した。トラフグの消化管は重量を計測の後、10% 中性緩衝ホルマリンで固定保存した。後日、食性分析の直前に、固定による重量の変化を補正するため、これら消化管を再計測した。トラフグの口幅は上顎歯最奥の外側の幅とし、デジタルノギスを用いて0.01mm 単位で計測した。トラフグ解剖後の魚体は -40℃ で冷凍保存し、後日、解凍し左右の耳石（扁平石）を摘出した。

採集場所の東隣の秋穂湾では、2012年から2015年現在までの毎年、山口県がトラフグの種苗放流を実施している。2012年には13.3万個体を放流し（水産総合研究センター, 2014）、4.6万個体の耳石にはアリザリンコンプレクソン（ALC）による標識が施され、さらに、このうち1.5万個体に右胸鰭カットによる二重標識が施されている（山口県, 2012；馬場, 私信）。2014年には18.5万個体を放流し、同じく、4.8万個体の耳石には ALC による標識が、このうち1.5万個体に右胸鰭カットによる二重標識がなされている（山口県, 2014；山口県栽培漁業公社, 2015；金近, 私信）。そこで、天然個体と放流個体を形態学的に可能な限り区別するため、各標本について、1. 左右の胸鰭の標識、2. 尾鰭の形態異常、3. 背部の焼印（山口県では2003～2008年まで標識が施されていた（松野・木村, 2007；木村, 私信））、4. 左右の鼻孔隔皮欠損、5. 他の外部形態異常（背鰭、臀鰭、体型など）、6. 左右の耳石の ALC とテトラサイクリン（TC, 他所では標識として使用）標識、7. 左右の耳石の形態異常の計7形質の有無を調べ、これらのいずれかを有する個体を放流個体とした。摘出した耳石の分析について、実体顕微鏡下でその形態異常の有無を調べるとともに、蛍光顕微鏡下で B 励起フィルターを使用した蛍光観察を行い、ALC や TC 標識の有無を調べた。

2. 食性分析

食性分析にはトラフグ全27標本を用いた。フグ科の本種は胃の発達が悪く、直線状の円筒形を呈する I 型（赤崎, 1987）であるが、本種は捕食した餌生物を一遍に飲み込み、直線状の胃とされる部位を通り越して、消化管第一屈曲に達する（採集時の針が同所にまで達している）こと、実際、新鮮な餌生物の多くがこの第一屈曲を越えて検出されることが判明した。そこで、消化管第二屈曲までの消化管（以降、消化管前半部とする）内容物について、内容物全重量を0.001g 単位で計測するとともに、実体顕微鏡下にて、餌生物の同定を行った。主に、魚類、貝類については種レベルで、アナジャコ類は属レベルで、多毛類、端脚類は科レベルで、その他は綱、目、あるいは下目レベルで同定した。同定は、魚類（アカエイ）は山口ら (2013) と古満・山口 (2010) に、貝類は奥谷 (2000) に、貝類と寄生虫を除く海産無脊椎動物は西村 (1992, 1995) に、寄生虫は江草 (1988) に従った。同定の後、必要な動物について、体サイズを目盛り付シャーレを用いて0.1mm 単位で計測した。全ての消化管内容物について、出現した餌生物はもとより、小石、粘液、高度消化物に至るまで、種、科など分類群毎あるいは必要に応じて個体毎に0.1mg 単位で重量を計測した。

トラフグは門歯状歯を持ち、餌生物の多くが切断された状態で検出された。本種の捕食可能な餌サイズの把握のため、餌断片の最大長を計測するとともに、餌個体の復元を図りその体サイズを計測した。

消化管第二屈曲以降（以降、消化管後半部とする）については、消化管前半部と概ね同様に行ったが、消化が進んでいるため餌生物毎の重量は計測していない。また、甲殻類、貝類など硬い殻を持ち消化の影響が

認められない餌生物のみを、体サイズの計測対象とした。

消化管内容物の重量は、固定による重量変化を求めた係数で補正した。すなわち、1.176を乗ずることにより、固定後の減重を補正した。

消化管前半部内容物重量指数 (SCI) は以下の通り求めた。

$SCI = (SW/BW) \times 100$ ここで、SW：消化管前半部内容物重量 (g)、BW：体重 (g) である。

3. 被食アカエイの体サイズと量の推定

トラフグが捕食していたアカエイの部位から、被食されたアカエイの体サイズの推定を行った。推定は以下の異なる2通りの方法 (1. 尾部から尾棘始部間の距離, 2. 尾棘長) で行った。推定1. 尾部から尾棘始部間の距離による方法では、トラフグが捕食していたアカエイの尾部を復元し、アカエイの背部から見て、尾と腹鰭の会合部から尾棘始部間の距離 (Fig.1A) より、被食されたアカエイの体サイズを推定した。推定の基となるアカエイ標本は、標本写真の画像計測による6標本と、標本の実測値による1標本である。前者は、2006年9月～2008年9月に樫野川河口で釣りにより採集した体盤幅 (DW) 13.8～28.7cmの6個体で、生物学的計測の後、標本写真を撮影したものである。計測にはPCソフトである Adobe Acrobat XI Pro (アドビシステムズ) の画像計測機能を使用した。後者は、2004年7月に広島湾の山口県周防大島町和田において刺網で採集され、ホルマリン固定保存されていた18.7cm DWの1標本である。これら7標本を用いて、計測部位の比率より、体盤幅を推定した。体盤幅は推定値 \pm 95%信頼区間で表した。なお、体盤長 (DL) と体盤幅の比率は、2006年9月～2013年6月に樫野川河口で釣りにより採集した13.8～28.7cm DWの8個体、2009年8月に山口湾で釣りにより採集した13.3cm DW、13.7cm DWの2個体、2009年4月に広島湾大野瀬戸で刺網により採集された19.1cm DWの1個体、および2004年7月に周防大島町和田で刺網により採集された18.7cm DWの1個体の計12個体のデータを用いた。推定2. 尾棘長による方法では、推定の基となるアカエイ標本は、2003年11月～2013年9月にかけて、有明海沿岸や長崎県野母崎半島地先であんこう網、刺網、底曳き網および定置網により採集し30.0cm DW未満であった10.5～29.9cm DWの211標本を用いた。体盤幅と尾棘長 (複数の場合は第1棘) を計測した。年齢が増すに従い、尾棘を損傷し短くなった個体が出現することが考えられ、

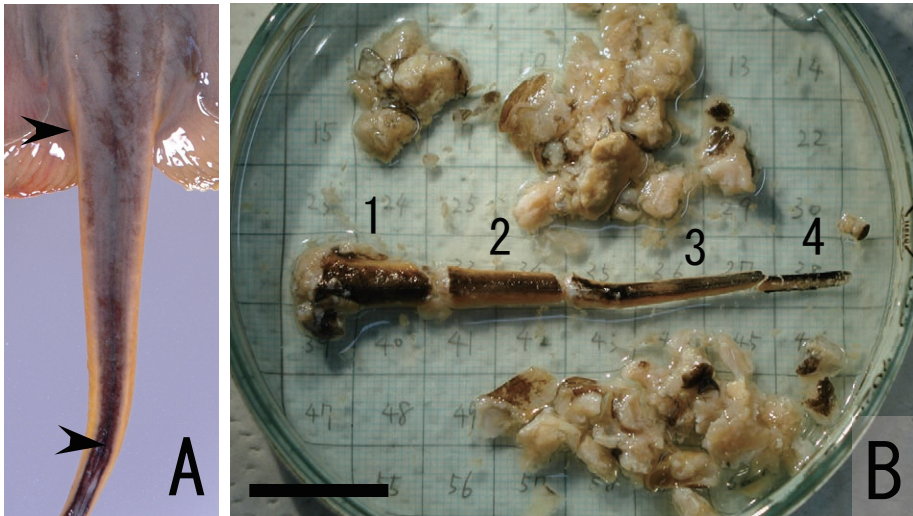


Fig. 1. Photographs of two parts of fishes that were collected from the estuary of Fushino River in Yamaguchi city, western Seto Inland Sea.

A: dorsal view of the posterior part of a Whip stingray, *Dasyatis akajei*, 13.8cm DW collected in September 2006. Two arrows show the measurement portion used for calculating disc width. B: all contents in the anterior part of the gut of a juvenile Tiger pufferfish, *Takifugu rubripes*, 12.1cm SL collected in October 2012. The pieces of No.1-4 which has been restored to the original condition are identified as the caudal portion of *D. akajei*. Scale bar shows 2cm.

事実、19.8cm DW 以上では、そのような個体が出現するようになる（後述）。そこで、できる限りこれらの個体を分析から除くため、以下の処理を行った。まず、尾棘長と体盤幅との関係を一次回帰で表し、その個々の値の95%信頼区間を求めた。ここで、上限区間外となる個体を分析から外した。次に、残った個体について、いずれかの個体が下限区間外となるまで、同様の方法を繰り返した。その結果、3回目まで、正常と考えられる尾棘長73.9mm、25.7cm DW の1個体が初めて下限区間外となった。そこで、2回目までに95%信頼区間に残った190個体を用いて関係式を作成し、体盤幅を推定した。体盤幅は、推定値±個々の値の95%信頼区間で表した。

被食されたアカエイ体部位の量について、推定の基となるアカエイ標本は、既述の体盤長と体盤幅の比率を求めたものと同じ計12個体のデータから、2004年7月の周防大島町和田の1個体を除き、新たに2006年9月と10月に榎野川河口で釣りにより採集したそれぞれ13.6cm DL、16.9cm DL の2個体を加えた計13個体のデータを用いた。これらより体盤長と体重との関係式を求めた。

4. 採集場所におけるトラフグとアカエイの生息状況と環境

榎野川河口の採集場所において、採集時のトラフグとアカエイの生息状況を定量的に把握するため、それぞれの単位努力量あたり採集個体数（CPUE：個体/3時間/人）を求めた。CPUE は平均値±標準偏差で表した。採集場所では、2週間～1ヶ月に1回、大潮前後の昼間の満潮時に、海水温と塩分の計測を実施している。計測は、携帯型水温・塩分・DO 計（YSI, Model 85）を用いた。なお、2012年について、重田ら（2013）の Fig.3 に図示している。

本報で用いた学名と和名について、魚類は中坊（2013）に、貝類は奥谷（2000）に、貝類と寄生虫を除く海産無脊椎動物は西村（1992, 1995）に、寄生虫は江草（1988）に、鳥類は日本野鳥の会広島県支部（1998）に従った。なお、トラフグ消化管内容物のアカエイについて、同定や体サイズ推定の証拠となる尾部の標本（Fig.1B の1, 2, 3および4）が、広島大学総合博物館に保管されている（標本番号；HUM-I-1656）。

Ⅲ. 結果と考察

1. アカエイを捕食したトラフグの特徴と食性

今回、アカエイの捕食が確認されたトラフグは、2012年10月11日に採集した体長（SL）12.1cm、全長（TL）15.1cm、体重72.3g の1個体で、右側に鼻孔隔皮欠損、背鰭に形態異常を有することから放流個体と判定された。本個体の採集日直近の底層水温は23.7℃、塩分は25.0psu であった（2012年9月30日、水深2.2m）。採集されたトラフグ全27個体のうち、アカエイが検出されたのは本個体のみであった。本個体の消化管内容物、特に消化管前半部ではとても多く、SCI は8.8% の高値を示した。Fig.1B に全ての消化管前半部の内容物を示す。Fig.1B の4は膨張囊より検出された唯一の内容物で、消化管前半部内容物として取り扱った（種同定の証拠として、これのみ左側を撮影）。Fig.1B の1, 2, 3および4は復元されたエイ上目の尾部である。これら4個の連続断片は、腹鰭後部から尾棘先端を経てその後方までの部位で、長さは7.9cm、左右両縁が鋸歯状の尾棘1本を有していた。尾部は鞭状で尾棘を持つことからトビエイ目である。さらに、尾部背正中線と腹正中線に皮褶を持ち、後者は外縁を含め一様に黒色を呈すること、瀬戸内海での採集であることより、アカエイ科のアカエイに同定された。アカエイは、29個の肉・内臓片と上記の4個の尾部片の計33個の断片として、概ね大きな1塊として検出された。アカエイの被食部位は、尾部を含めた体後部やその内臓であった。他は、魚類の眼のレンズが1個検出されたのみで、アカエイは全重量の100.0% を占めた。消化管後半部内容物は消化が著しいが、アカエイの肉・内臓片の続き計7個が1塊として（これらは消化が進んでいない）、アナジャコ属の鉗脚、脚、胴体の1塊（1個体）、多毛類のゴカイ科の顎が1対（1個体）と多毛類剛毛が少し、短尾類の鉗脚1個、および腸内寄生性の鉤頭虫1個体が同定され、残りは高度消化物であった。これまで、河口干潟域において、強い刺毒を持つアカエイを捕食する魚類は知られておらず、今回、トラフグ稚魚がアカエイを捕食することが初めて明らかになった。

本個体による1囓みの採食可能な餌サイズを推定するため、消化管前半部内容物のアカエイ断片全33個について、29個の肉・内臓片のうち比較的大小の大きな12個と、尾部を形成する4個の最大長の分布を Fig.2

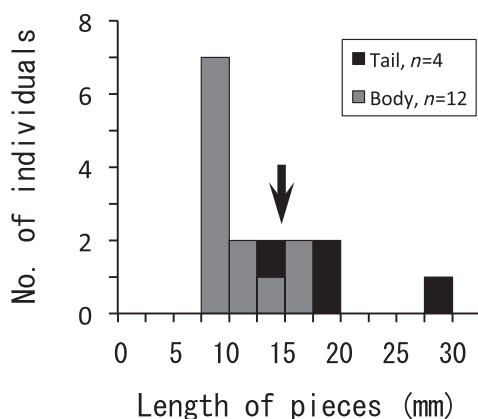


Fig. 2. Size distribution of the large-sized *D. akajei*'s body pieces which were detected in the gut contents of the juvenile Tiger pufferfish, 12.1cm SL. The arrow shows the mouth width of the pufferfish.

に示した。本個体の口幅は14.3mmであった。尾部を除いて、概ね口幅前後以内の大きさであり、口器の門歯で噛み切り採食することが分かる。一方、尾部の4個は、サイズの大きな12個の肉・内蔵片と比べても有意に大きく (t 検定, $t=3.87$, $df=14$, $P<0.01$), 4個のうち, 3個は口幅よりも大きい。しかし, これらは棒状であり, 捕食できたものと考えられる。

採集されたトラフグ全27個体では, 9.8~14.0cm SL, 11.9~17.5cm TLであった。このうち, 放流個体が85%を占めた。山口県ではクルマエビ養殖場(干潟)を利用した中間育成により, より天然個体に近いトラフグ種苗を育成していることから(山口県, 2012; 2014), 標識を施していなければ天然個体との識別が困難になりつつある。従って, 実際の占有率はさらに高いと考えられる。採集場所の樫野川河口では, その東隣の秋穂湾で山口県が本種の種苗放流を開始した2012年以降に, 本種が頻繁に採集されるようになったこと, 27個体中に占める2種類の標識(ALC, 胸鰭カット)個体の割合より, 全て放流個体としても有意に矛盾がないこと(2012年, ALC標識率5/18, χ^2 検定, $\chi^2=0.37$, $df=1$, $P>0.05$, 胸鰭カット率3/18, $\chi^2=0.52$, $df=1$, $P>0.05$; 2014年, ALC標識率1/9, $\chi^2=1.0$, $df=1$, $P>0.05$, 胸鰭カット率1/9, $\chi^2=0.11$, $df=1$, $P>0.05$), 同所における2005年からの調査(2012年以降を除く)および1979年からの第1筆者の魚類採集経験でも本種はほとんど採集されなかったこと, 瀬戸内海西部では関門内海に本種の繁殖場があることが知られ(松浦, 1997), 第1筆者らのこれまでの調査では, 本種稚魚の主要な着底・成育場は繁殖場から20km圏内, 広くとも40km圏内の干潟に限られるようであり(重田・薄, 2012), 同所は40km圏の境界付近となり主要な着底・成育場ではないと考えられることより, 同所で採集される多くは放流個体と考えられる。なお, 中島(2011)は, 伊勢湾では小型底曳き網, 熊野灘では大型定置網で採集された, 成長し干潟域から深所へ移動したやや体サイズの大きなトラフグ未成魚(0才魚, 13~27cm SL)の食性を調べ, 天然個体と放流個体で食性に差は認められなかったとしている。

2. 被食されたアカエイの体サイズと量の推定

次に, このトラフグが捕食したアカエイ個体の体サイズや被食量について検討した。被食部位やその量により, トラフグによるアカエイの採食行動が推定できる。まず, 被食されたアカエイの体サイズを推定した。推定1. 復元したアカエイの尾と腹鰭の会合部から尾棘始部間の距離は36.7mmであった。推定の基とした7標本について, 体盤長は同間距離の2.739 \pm 0.597倍($n=7$)であった。従って, 本個体の体盤長は10.0 \pm 2.2cmと推定された。体盤幅は体盤長の1.11倍($n=12$)なので, 被食されたアカエイの体盤幅は11.1 \pm 2.4cmである。推定2. 本個体の尾棘長は23.2mmであった。推定の基となる尾棘長と体盤幅との関係をFig.3に示す。年齢の増加に伴い, 尾棘を損傷した個体が出現するようになると考えられ, 19.8cm DW以上では体サイズに比べて尾棘長が有意に短い個体が出現している。これら21個体(Fig.3の灰色点)を除いた190個体(Fig.3の黒

色点)では、 $DW = 0.343 \cdot LS + 4.867$ の1次回帰式で表された ($r=0.935$, $n=190$, $P<0.01$)。ここで、DW: 体盤幅 (cm), LS: 尾棘長 (mm) である。従って、被食されたアカエイの体盤幅は 12.8 ± 3.7 cmと推定された。やや信頼区間が広いが、これは尾棘長の分布幅がやや広いことによるもので、特に尾棘長30mm以上では顕著である。推定1, 2とも推定値は互いの信頼区間内であり、推定は妥当なものと言えよう。強いて言えば、推定1は断片の復元によるため、小さめに推定された可能性がある。アカエイは、5~8月に内湾の浅い砂泥底で体盤幅10cm前後の胎仔を5~10個体出産すること、出産直後の幼魚は体盤背腹両側とも一様に淡褐色であること、出産2~3日後から摂餌を開始すること (西田, 1997)、幼魚はしばらくの間、餌の豊富な干潟・河口域で成育すること (山口, 2009) が知られる。本被食個体の推定体盤幅は11~13cm前後であること、採集は10月であり産仔期の後であることより、採集年 (2012年) に生まれた幼魚である。

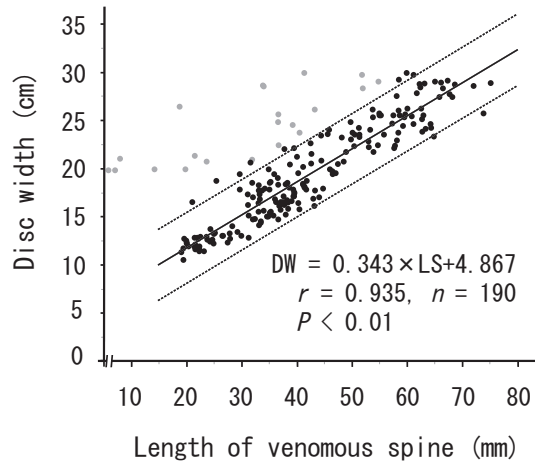


Fig. 3. Correlation between the length of the venomous spine and the disc width of *D. akajei*. The solid line indicates the regression line. The dotted line shows the 95% confidence interval for the value of individuals. Black circles: used individuals for the analysis. Gray circles: unused individuals for the analysis.

次に、このトラフグが捕食したアカエイ個体の被食量について検討した。推定の基となるアカエイ標本について、体盤長と体重との関係は、 $BW=2.574 \times 10^{-2} \cdot DL^{3.209}$ の、べき乗回帰式で表された ($r=0.998$, $n=13$, $P<0.01$)。ここで、BW: 体重 (g), DL: 体盤長 (cm) である。従って、11.1cm DW (推定1) では体重41.6g, 12.8cm DW (推定2) では体重65.8gとなる。トラフグの消化管前半部のみでも、アカエイ個体のそれぞれ15.3%, 9.7%に相当する。アカエイ肉・内臓片は消化管後半部でも7個が検出されたが、これらは個別には重量を計測していない。前半部で検出された部位に先立ち捕食した部位であり、消化の程度、サイズともに前半部のものと大差は無い。ここで、前半部におけるアカエイ肉・内臓片1個あたりの重量を適用すると、このトラフグによる捕食総量は、被食アカエイ個体のそれぞれ18.6%, 11.8%に及ぶと考えられる。

3. 採集場所におけるトラフグとアカエイの生息状況と相互関係

以上の結果を総合すると、トラフグ単独の採食の場合、アカエイへの採食行動は次のように考えることができよう。すなわち、トラフグは自らの体サイズと同じかやや小さなアカエイを捕食対象とする。次に、何らかの方法で被食個体に致命傷を与える。こうして弱ったところを、尾部を含めた体後部を噛み切って捕食すると考えられる。外洋では、シユモクザメ類が、毒棘を持つアカエイ類やトビエイ類の天敵としてよく知られる (Strong *et al.*, 1990)。ヒラシユモクザメ *Sphyrna mokarran* は、特徴的なT字型の頭部でエイを押さえつけ、左右から回り込んでその胸鰭を捕食するという。さらに、有明海では、サメ類とエイ類の漁獲量には、長期にわたり量的な相互関係があることが指摘されている (山口, 2009)。今後、トラフグによるアカ

エイの採食行動を明らかにするためには、より多くの個体を調査する必要があるだろう。さらに、飼育実験等による採食行動の観察も必要である。

今回、調査を行った樫野川河口では、トラフグの CPUE は2012年 2.89 ± 1.69 ($n=8$), 2014年 2.06 ± 2.65 ($n=8$) で比較的高い値を示し、両年で有意な差は認められなかった (t 検定, $t=-0.741$, $df=14$, $P>0.05$)。既往のとおり、2012年以降に、同所で本種が頻繁に採集されるようになった。一方、今回、捕食が初めて明らかになったアカエイは本調査では全く採集されず、CPUE は両年とも0 (2012年, $n=8$; 2014年, $n=8$) であった。トラフグの食性分析では、アカエイの検出は1個体に止まったが、これは2012, 2014両年のアカエイ生息個体数が少なかったことが原因の可能性もある。アカエイは年によっては CPUE が2前後の高い頻度で採集されることから (重田ら, 未発表), アカエイが多い環境下ではトラフグの食性がどのように変化するか興味深いところである。

生態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要素があり、これらへのエネルギー配分が重要となる (グロス・前川, 1989)。魚類ではこのエネルギーを採食により獲得している。干潟生活期のトラフグ稚魚では、繁殖努力への投資はほぼ不要であることから、前者へ集中的に投資していると言える。すなわち、競争相手の多い干潟域において、アオギス *Sillago parvisquamis* (キス科) (重田・薄, 2011) と同じく、速く成長する戦略を取ることでより生存してきたものと考えられる。速い成長の実現には、より多くの採食が不可欠である。通常は、活発で目立つ採食行動は捕食リスクを増大させる。ところが、トラフグはフグ毒を持つ有毒魚であることから (橋本・野口, 1991), さらに多くのエネルギーを成長へ向けることが可能である。捕食リスクが低く、かつ、幅広い餌資源を利用できるのであれば、最適採餌理論の視点からは、動物は採食に要したコストに対して最大の利益をもたらすような採食行動を取る (佐原, 1987), 効率よく最大のエネルギーを獲得できる餌生物を捕食するはずである。今回の樫野川河口のトラフグ全27個体のうち、消化管内容物が全く検出されなかった5個体を除くと、59%の個体が魚類を捕食していた (重田ら, 未発表)。口や眼の周辺のみ魚類頭部が検出されるなど、本報の被食アカエイと同じく、トラフグの素早く活発な採食行動が示唆されるものであった。成長に伴い魚類を利用できるのであれば、一般的に魚類は体サイズが大きく獲得エネルギー量が多いので魅力的な餌資源である。さらに、単位重量 (可食部100g) あたりのエネルギー量も、干潟域のベントスである二枚貝 (アサリ) で30kcal, 甲殻類で65kcal (ガザミ), 97kcal (クルマエビ) であるのに対して、魚類は概ね高く、同所的に生息する浮魚のコノシロ *Konosirus punctatus* で160kcal, 底魚のエイ (アカエイ, ガンギエイ等) で84kcal である (文部科学省, 2015)。そこに、トラフグとアカエイ間の知られざる生物間の相互関係が展開される必然性が生ずるのである。

本報の執筆に際し、驚くべきことに、河口干潟域では鳥類もアカエイ幼魚を捕食するとの情報を得た。インターネット上では、バードウォッチャーによって、カワウ *Phalacrocorax carbo* (ウ科) やアオサギ *Ardea cinerea* (サギ科) によるアカエイ幼魚の採食行動が数多く撮影されている。鳥類研究者の間では、カワウではよく知られた事実 (行動, 食性とも) であるが、論文報告は見当たらないようである (市橋, 私信; 福田, 私信; 濱尾, 私信)。東京湾周辺ではカワウによるアカエイの捕食はしばしば観察され、アカエイはカワウの好物の一つとのことである (戸井田, 私信)。アカエイの産仔数は少なく (西田, 1997), 河口干潟域における本種を取りまく生息環境が、個体群 (資源) 動態に影響を与えている可能性がある。

本報では、河口干潟域のトラフグ稚魚の食性調査で明らかになった、トラフグ稚魚によるアカエイの捕食について詳細を記載報告した。瀬戸内海ではトラフグ, カレイ類など生活史の中で河口干潟域を利用するベントス食性魚種の資源の減少が甚だしい (重田, 2008)。これら重要資源の回復・再生のためには、生物間の相互関係を明らかにすることはもとより、それらを踏まえて、河口干潟域の生態系について全体的に捉え直す必要があろう。

謝 辞

トラフグを始め周防灘沿岸の魚類採集に尽力し、調査にご協力頂いた山口市の重田勝利氏, 重田潔子氏に深く感謝するとともに厚くお礼申し上げる。樫野川河口域での調査にご協力・情報提供頂いた山口県樫野川

漁業協同組合の田中 実氏, ならびに関係諸氏, 山口大学名誉教授の浮田正夫博士を始めとする樺野川河口域・干潟自然再生協議会, 山口県環境生活部の関係諸氏, トラフグに関する情報を頂いた山口県漁業協同組合王喜支店, 山口県漁業協同組合厚狭支店の関係諸氏, 山口および大分両県の周防灘沿岸の遊漁者諸氏, 元山口県水産研究センター内海研究部の木村 博氏, 松野 進氏, 山口県水産研究センター内海研究部の馬場俊典氏, 和西昭仁氏, ならびに関係諸氏, 山口県農林水産部水産振興課の金近哲彦氏, アカエイの採集の際にご協力頂いた長崎県島原漁業協同組合の吉田清之介氏, ならびに職員諸氏, 佐賀県有明海漁業協同組合芦刈支所の陣川武彦氏, 京都府舞鶴市の水嶋食料品店の水嶋喜代美氏, アカエイなど魚類の採集にご協力頂いた広島県大野町漁業協同組合の松本博和氏を始めとする関係諸氏, 山口県漁業協同組合東和町支店の伊藤和弘氏, 統計資料についてお世話になった山口県下関市農林水産振興部水産課の関係諸氏, 魚類耳石の処理についてお世話になったマリノリサーチの表 健一郎氏を始めとする関係諸氏, 蛍光顕微鏡の取り扱いについてご教示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坂本節子博士, DNA シーケンスでお世話になった理研ジェネシス(元バイオマトリックス研究所)の天利(渡辺)史恵氏, ならびに関係諸氏, 鳥類と鳥類研究者について情報を頂いた水産総合研究センター中央水産研究所の市橋秀樹博士, カワウの生態について情報を頂いた元東京都葛西臨海水族園の福田道雄氏, カワウの採食行動と食性について情報を頂いた神奈川県水産技術センター内水面試験場の戸井田伸一氏, 鳥類に関する情報を頂いた国立科学博物館の濱尾章二博士, 魚類標本の登録に際し便宜を図って頂いた広島大学総合博物館の清水則雄博士, 研究を支援して頂いたアサリ資源全国協議会を構成する道県・水産総合研究センター等の関係各位, 神奈川県水産技術センターの工藤孝浩氏, データ入力等を手伝ってくれた水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所の田浦かおり氏, 本原稿への意見を頂いた水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所の首藤宏幸博士, 本報の掲載の機会を頂いた広島大学大学院生物圏科学研究科に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 赤崎正人. 1987. 消化器系. 「魚類解剖学」(落合 明編) 緑書房, 東京: 73-100 pp.
- 中国四国農政局広島統計情報事務所. 2002. 「広島県の漁業 漁業地区別累計統計表 昭和50年-平成12年 1975-2000」中国四国農政局広島統計情報事務所, 広島: 3+353 pp.
- 江草周三. 1988. 「魚病学〔感染症・寄生虫病篇〕」(江草周三編) 恒星社厚生閣, 東京: 403 pp.
- 古満啓介・山口敦子. 2010. 日本産アカエイ属魚類1種に対する新和名の提唱. 長崎大学水産学部研究報告, **91**: 61-63.
- グロス, M. R.・前川光司. 1989. 魚類の繁殖戦略の進化. 「魚類の繁殖行動 - その様式と戦略をめぐって」(後藤 晃・前川光司編) 東海大学出版会, 東京: 161-201 pp.
- 橋本周久・野口玉雄. 1991. フグ毒. 「魚類生理学」(板沢靖男・羽生 功編) 恒星社厚生閣, 東京: 519-537 pp.
- Hubbs, C.L., Lagler, K.F., 1958. Fishes of the Great Lakes region. *Bull. Cranbrook Inst. Sci.* **26**: 1-213.
- 松野 進・木村 博. 2007. 関門海峡東側の山口県沿岸におけるトラフグの標識放流試験について. *山口県水産研究センター研究報告*, **5**: 55-61.
- 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 pp.
- 文部科学省. 2015. 五訂増補日本食品標準成分表 [第2章]. 文部科学省ホームページ. http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/toushin/05031802/002.htm (2015年8月17日閲覧)
- 長崎県レッドデータブック編集委員会・長崎県環境部自然環境課. 2012. トラフグ. 「長崎県レッドデータブック2011 ながさきの希少な野生動植物 [普及版]」(長崎県レッドデータブック編集委員会・長崎県環境部自然環境課編) 長崎新聞社, 長崎: 200 pp.
- 中坊徹次. 2013. 「日本産魚類検索 全種の同定 第三版」(中坊徹次編) 東海大学出版会, 神奈川・秦野: 50+2431 pp.
- 中坊徹次・中山耕至. 2013. 魚類概説. 「日本産魚類検索 全種の同定 第三版」(中坊徹次編) 東海大学

- 出版会, 神奈川・秦野: 3-30 pp.
- 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**: 51-58.
- 日本野鳥の会広島県支部. 1998. 「ひろしま野鳥図鑑」(日本野鳥の会広島県支部編) 中国新聞社, 広島: 268 pp.
- 西田清徳. 1997. アカエイ科. 「日本の海水魚」(岡村 収・尼岡邦夫編) 山と溪谷社, 東京: 58-61 pp.
- 西村三郎. 1992. 「原色検索 日本海岸動物図鑑 I.」(西村三郎編) 保育社, 大阪: 106+425 pp.
- 西村三郎. 1995. 「原色検索 日本海岸動物図鑑 II.」(西村三郎編) 保育社, 大阪: 84+663 pp.
- 農林水産省大臣官房統計部. 2010. 平成20年漁業・養殖業生産統計年報 (併載: 漁業生産額): 217 pp.
- 農林水産省大臣官房統計部. 2011. 平成21年漁業・養殖業生産統計年報 (併載: 漁業生産額): 222 pp.
- 農林水産省大臣官房統計部. 2012. 平成22年漁業・養殖業生産統計年報 (併載: 漁業生産額): 222 pp.
- 農林水産省大臣官房統計部. 2013. 平成23年漁業・養殖業生産統計年報 (併載: 漁業生産額): 219 pp.
- 奥谷喬司. 2000. 「日本近海産貝類図鑑」(奥谷喬司編) 東海大学出版会, 東京: 48+1173 pp.
- 佐原雄二. 1987. 「魚類の採餌行動」東京大学出版会, 東京: 122 pp.
- 重田利拓. 2008. 瀬戸内海の魚類に見られる異変と諸問題. *日本水産学会誌*. **74**: 868-872.
- 重田利拓・薄 浩則. 2011. アオギス: 干潟再生のシンボルとして. *魚類学雑誌*. **58**: 104-107.
- 重田利拓. 2012. 干潟の餌環境の指標としてのアサリ資源の変動が瀬戸内海の魚類生産へ及ぼす影響に関する研究. *瀬戸内海*. **63**: 61-64.
- 重田利拓・薄 浩則. 2012. 魚類によるアサリ食害 - 野外標本に基づく食害魚種リスト -. *水産技術*. **5**: 1-19.
- 重田利拓・富山 毅・坂井陽一・斉藤英俊. 2013. 瀬戸内海山口湾で採集された準絶滅危惧種シヨウキハゼ *Tridentiger barbatus* (ハゼ科) の生息と産卵の確認. *生物圏科学: 広島大学大学院生物圏科学研究科紀要*. **52**: 35-43.
- 下関市農林水産部水産課. 1988. 昭和62年 下関市水産統計年報: 151 pp.
- 下関市産業経済部水産課. 2013. 2012年 下関市水産統計年報: 128 pp.
- 下関市農林水産振興部水産課. 2014. 2013年 下関市水産統計年報: 128 pp.
- Strong, W.R., Snelson, F.F., Gruber, S.H., 1990. Hammerhead shark predation on stingrays: An observation of prey handling by *Sphyrna mokarran*. *Copeia*. **1990**: 836-840.
- 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 (全国) ~資料編~: 381 pp.
- 田北 徹・Sumonta Intong. 1991. 有明海におけるトラフグとシマフグの幼期の生態. *日水誌*. **57**: 1883-1889.
- 伍 漢霖・金 鑫波・倪 勇(野口玉雄・阿部宗明・荒川 修・醍醐絹江・高田欣二・橋本周久監訳・訳). 1999. 「中国産有毒魚類および薬用魚類」恒星社厚生閣, 東京: 350 pp.
- 山口敦子. 2009. 有明海が育むサメ・エイ類. 「干潟の海に生きる魚たち - 有明海の豊かさと危機」(田北 徹・山口敦子編) 東海大学出版会, 神奈川・秦野: 33-64 pp.
- 山口敦子・青沼佳方・柳下直己・吉野哲夫. 2013. アカエイ科. 「日本産魚類検索 全種の同定 第三版」(中坊徹次編). 東海大学出版会, 神奈川・秦野: 220-226 pp., 1775-1776 pp.
- 山口県. 2002. 平成13年度 資源増大技術開発事業報告書 回帰型回遊性種 (トラフグ). (山口県・福岡県・長崎県・三重県・愛知県・静岡県・秋田県): 山口1-12 pp.
- 山口県. 2012. 報道発表: トラフグ稚魚に標識を付けて放流します. 2012年7月4日. 山口県ホームページ. <http://webnavi.pref.yamaguchi.lg.jp/press/?m=201207> (2015年6月9日閲覧)
- 山口県. 2014. 報道発表: トラフグ稚魚に標識を付けて放流します. 2014年6月25日. 山口県ホームページ. <http://www.pref.yamaguchi.lg.jp/press/201406/028198.html> (2015年8月17日閲覧)
- 山口県栽培漁業公社. 2015. トラフグ. 内海栽培漁業センター. 種苗生産現場. 山口県栽培漁業公社ホームページ. <http://www.ab.auone-net.jp/~yamasai/genba.html> (2015年8月17日閲覧)

***Takifugu rubripes* predation on the venomous stingray *Dasyatis akajei*: gut content evidence from an estuary in the western Seto Inland Sea, Japan**

Toshihiro SHIGETA^{1),2)}, Keisuke FURUMITSU³⁾, Atsuko YAMAGUCHI³⁾, Takeshi TOMIYAMA²⁾,
Yoichi SAKAI²⁾, and Hidetoshi SAITO²⁾

¹⁾National Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea, Fisheries Research Agency,
Hatsukaichi Hiroshima 739-0452, Japan

²⁾Graduate School of Biosphere Science, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima
Hiroshima 739-8528, Japan

³⁾Graduate School of Fisheries Science and Environmental Studies, Nagasaki University,
Nagasaki 852-8521, Japan

Summary

Tiger pufferfish, *Takifugu rubripes* (Family: Tetraodontidae), is an important commercial fish in Japan. Landings of Tiger pufferfish at the Shimonoseki fish market, Yamaguchi Prefecture, where ca. 60% of the pufferfish caught in Japan is landed has decreased remarkably from 1,841 metric tons at the peak of catch in 1987 to 111 metric tons in 2013. This reduction in stock indicates the pufferfish population of Japan has reached a critical condition. As a result, the local population in Ariake Bay, East China Sea has been evaluated as an endangered local population by the Nagasaki Prefectural local government (Red List 2011, category: LP). Necessarily, it is desired that the resources should recover from the present state. It is known that juvenile tiger pufferfish grow in estuaries until late fall. They forage on small benthic animals there. Therefore, it is necessary to clarify the feeding habits of the juvenile pufferfish in the intertidal area in detail.

In this report, we clarified the predation on the Whip stingray, *Dasyatis akajei* by juvenile Tiger pufferfish in the estuary area. Because the stingray is well-known as a venomous species, it has been considered that no fish species could prey on stingrays in this area. In September–November 2012 and October 2014, 27 individuals of *T. rubripes* (9.8–14.0cm SL, 11.9–17.5cm TL) were collected in the Fushino River estuary in Yamaguchi Prefecture, western Seto Inland Sea to examine their feeding habits. A *D. akajei* was identified from the gut contents of the juvenile *T. rubripes*, 12.1cm SL (15.1cm TL), which was collected in October 2012. The prey, the stingray's body was detected as a total of 40 only partially digested pieces including 4 distinct pieces of the tail being the posterior portions of the stingray's body. By two different restoring methods, the disc width of the stingray was estimated to be 11.1 ± 2.4 cm ($\pm 95\%$ confidence interval) and as 12.8 ± 3.7 cm. The amount of stingray body tissue consumed to total stingray body weight was estimated to be 18.6% of the former restoring method and 11.8% by the latter.

In the Seto Inland Sea of Japan, resources of benthophilic fish species, such as flatfishes and pufferfishes, which use the estuary in their early life history, have decreased remarkably. For recovery and regeneration of these critical resources, it is necessary to clarify the relationships between organisms and the estuarine ecosystem.

Key words: *Dasyatis akajei*, estuary, feeding habit, predation, *Takifugu rubripes*, Tiger pufferfish