

厚生労働科学研究費補助金（食の安全確保推進研究事業）  
（分担）研究報告書

自然毒等のリスク管理のための研究  
－雑種ふぐの発生状況及びふぐの流通状況の把握－

研究分担者 高橋 洋 水産大学校 准教授  
辰野竜平 水産大学校 講師

要旨：ふぐ類を食品として流通させるにあたって、その進化的背景より互いに近縁であり、種間交雑による雑種が多く発生するトラフグ属魚類の自然下での雑種の発生状況、およびその流通状況を把握することは食の安全を確保する上で極めて重要である。そこで本研究では、国内の主要な天然ふぐ水揚げ地において、水揚げされた天然ふぐにおける雑種ふぐの混獲率および流通先における流通状況の調査を実施し、それらの知見を得ることを目的とした。今年度は、石川県輪島市、秋田県秋田市・男鹿市、北海道初山別村・神恵内村、宮城県気仙沼市で現地調査を行い、各水揚げ地において 679～4949 個体を調査した結果、雑種混獲率は 0～16.4% だった。昨年度の調査結果と合わせて、国内の主な天然ふぐ水揚げ地における雑種混獲状況が明らかになった。また各水揚げ地において、雑種は漁獲後、純粋なフグと区別されずに水産加工会社等に購入された後、各加工会社等においてふぐ処理者の監督の下で排除されていた。なお、現場で外見より鑑別した雑種は、生鮮状態で毒性試験用に腑分けした後、冷凍して持ち帰り、DNA による雑種判別を行った。その結果、ゴマフグ×シヨウサイフグ、シヨウサイフグ×コモンフグ、トラフグ×マフグ、トラフグ×ゴマフグ、マフグ×ゴマフグの 5 つの組み合わせの雑種が判別された。各雑種個体の 4 部位（皮、筋肉、肝臓、生殖腺）から、食品衛生検査指針理化学編（2015）に準じた方法で毒の抽出を行い、得られた抽出液を毒性評価用に水産技術研究所に送付した。

A. 研究目的

ふぐ類を食品として流通させるにあたって、その進化的背景より互いに近縁であり、種間交雑による雑種が多く発生するトラフグ属魚類の自然下での雑種の発生状況、およびその流通状況を把握することは食の安全を確保する上で極めて重要である。そこで本研究では、国内の主要な天然ふぐ水揚げ地における雑種ふぐの発生や流通状況を明らかに

し、また毒性評価を行い、雑種ふぐによる中毒被害を未然に防ぐための効果的な対策に資する知見を得ることを目的とした。

B. 研究方法

調査地において水揚げされた選別前の天然フグについて外部形態に基づき種・雑種鑑別を行い、種組成および雑種と思われる種類不明フグの個体数を数

える。種類不明フグの一部については、生鮮状態で毒性試験用に皮、筋肉、肝臓、および生殖腺に腑分けし、各組織の重量を測定した後、冷凍で実験室まで持ち帰る。また、水揚げ地市場からふぐを購入した水産加工業者等において聞き取り調査を行い、また購入したふぐの鑑別が可能であれば鑑別を行い、雑種フグの流通状況を調査する。

実験室において、雑種と思われる種類不明フグの DNA 試料（右胸鰭のエタノール固定試料）よりゲノム DNA を磁性ビーズまたはアルカリ法を用いた精製法により抽出する。抽出したゲノム DNA を鋳型として、日本産トラフグ属魚類 11 種の種特異的遺伝マーカーの一塩基多型 (SNPs) を TaqMan アッセイにより遺伝子型決定し、種・雑種判別を行う。種・雑種判別結果に基づき、現地調査における種類不明フグの個体数などから雑種の混獲率を推計する。また、各雑種個体から腑分けされた 4 部位（皮、筋肉、肝臓、生殖腺）の冷凍試料から、食品衛生検査指針理化学編（2015）に準じた方法で毒の抽出を行い、得られた抽出液を毒性評価用に水産技術研究所に送付する。

### C. 研究結果

石川県輪島市における現地調査においては、2022 年 4 月 25 日および 27 日に底曳網で漁獲された計 1002 個体を鑑別した。その結果、各個体は 2 種（マフグ、ショウサイフグ）1001 個体と雑種と思われる種類不明フグ 1 個体に分けられた。種類不明フグについて、DNA マ

ーカーによる種・雑種判別を行ったところ、純粋なマフグと判別された。これらの結果から、輪島市の調査における雑種の混獲率は 0%と推計された。なお、2022 年に石川県において延縄で漁獲され、トラフグとして石川県調理師会会員の店舗に納品された個体の中にトラフグ×マフグの雑種第一世代 (F1) 3 個体が発見されている。

秋田県秋田市・男鹿市における現地調査においては、2022 年 5 月 16～19 日に定置網で漁獲された計 679 個体を鑑別した。その結果、各個体は 5 種（ショウサイフグ、ゴマフグ、マフグ、ヒガンフグ、トラフグ）666 個体と雑種と思われる種類不明フグ 13 個体に分けられた。種類不明フグについて、DNA マーカーによる種・雑種判別を行ったところ、6 個体がトラフグ×マフグの F1、1 個体がゴマフグ×ショウサイフグの F1、1 個体がゴマフグ×マフグの F1、1 個体がトラフグ×マフグのトラフグ方向への戻し交雑 (BC)、1 個体がトラフグ×ゴマフグのトラフグ方向への BC、3 個体が純粋なゴマフグと判別された。これらの結果から、秋田県秋田市・男鹿市における雑種の混獲率は 1.47%と推計された。

北海道初山別村・神恵内村における現地調査においては、2022 年 6 月 8～10 日に定置網で漁獲された計 2000 個体を鑑別した。その結果、各個体は 1 種（マフグ）と雑種と思われる種類不明フグ 6 個体に分けられた。種類不明フグについて、DNA マーカーによる種・雑種判別を行ったところ、3 個体が純粋なマフグ、

2 個体がトラフグ×マフグの F1、1 個体がゴマフグ×マフグのマフグ方向への BC と判別された。これらの結果から、北海道初山別村・神恵内村における雑種の混獲率は 0.15%と推計された。なお、2022 年に北海道において定置網で漁獲され、マフグとして稚内市内の水産加工業者に納品された個体の中にトラフグ×マフグの雑種第一世代 (F1) 1 個体が発見されている。

宮城県気仙沼市における現地調査においては、2022 年 7 月 14 日および 15 日に定置網で漁獲された計 4949 個体を鑑別した。その結果、各個体は 7 種 (マフグ、シマフグ、クサフグ、ショウサイフグ、ヒガンフグ、ゴマフグ) と雑種と思われる種類不明フグ 1258 個体に分けられた。種類不明フグについて、DNA マーカーによる種・雑種判別を行ったところ、675 個体がゴマフグ×ショウサイフグの F1、132 個体がゴマフグ×ショウサイフグのショウサイフグ方向への BC、5 個体がゴマフグ×ショウサイフグのゴマフグ方向への BC、2 個体がゴマフグ×ショウサイフグの雑種第二世代 (F2)、3 個体がコモンフグ×ショウサイフグの F1、441 個体が純粋なショウサイフグと判別された。これらの結果から、宮城県気仙沼市における雑種の混獲率は 16.5%と推計された。

石川県輪島市、秋田県秋田市・男鹿市、北海道初山別村・神恵内村、および宮城県気仙沼市における雑種の流通状況の調査では、いずれの市場でも雑種フグは選別されることなく水産加工業者等に購入され、加工施設内でふぐ処理者の監

督下で選別・排除されていた。各施設のふぐ処理者の配置は、1 名から数名とまちまちだった。

各地点で採集された個体、水産加工会社などから提供された個体、および国立医薬品食品衛生研究所より提供された豊洲卸売市場に搬入時に雑種疑いで除外された個体のうち、DNA マーカーにより雑種と判別された計 98 個体の腑分け試料 (皮、筋肉、肝臓、生殖腺) より、食品衛生検査指針理化学編 (2015) に準じた方法で毒の抽出を行い、得られた抽出液を毒性評価用に水産技術研究所に送付した。

#### D. 考察

今年度実施された 4 地点および昨年度実施された 2 地点における調査結果から、漁獲された天然フグの種構成や雑種の混獲状況は地域によって大きく異なることが明らかになった。雑種の混獲率は宮城県気仙沼市において高く (13.35~16.50%)、天然フグの漁獲量の多い石川県や北海道においては低かった (0~0.15%)。また、石川県と北海道の中間的な位置にある秋田県では雑種の混獲率は 0.15%だった。石川県と北海道ではほぼマフグのみの漁獲であり、そのような場所では雑種は極めて少ない傾向があった。一方、ショウサイフグとゴマフグの雑種が多い宮城県では雑種の混獲率が突出して高い。また、石川県、秋田県、および神奈川県水産技術センターより試料の提供があった神奈川県 (浦賀水道) などにおいて、トラフグを主な対象とする漁業の漁獲物に、比較的多く

の雑種が含まれている可能性が示唆された。以上のように、昨年度および今年度の調査により、天然フグの主な水揚げ地における雑種フグの混獲率が明らかになった。

今回、宮城県気仙沼市の調査結果から、ショウサイフグとゴマフグの雑種の中に、F1 よりもさらに進んだ雑種 (F2 や BC) 個体が相当数混じっていることが明らかになった。このことは、2012 年から 2014 年にかけて、茨城県や福島県沖で両種の雑種が大量発生した際の、雑種のほとんどは F1 であるという結果とは大きく異なる。従って、気仙沼市における調査個体数を増やし、F2 や BC といった雑種後代の出現状況および毒性を明らかにすると共に、多数の遺伝子座を用いてそれらの正確な判別クラス判別を実施する必要があると考えられる。

雑種フグの流通状況の調査では、混獲された雑種フグは、市場において純粋なフグに混じって選別されずに販売され、水産加工業者等に購入されていた。水産加工業者等では、ふぐ処理者の監督下で雑種フグが排除されていたことから、調査した範囲では、雑種フグが処理された状態で食品として流通することは無いと思われる。一方、今回調査したのは底曳網や定置網の漁獲物であり、高級魚であるトラフグを除くマフグ等のフグが中心であったことから、トラフグを主な対象とする延縄漁などで、雑種がどれだけ混獲されているかは不明である。なお、今年度の調査では、少なくとも石川県や北海道では、トラフグとマフグの雑種が水産加工業者などに搬入され、排除され

ていることが明らかになっている。トラフグを主な対象とする延縄漁では、市場等に水揚げする前に漁業者が雑種を排除する場合も多く、またトラフグは高価なため定量的に買い取って調査する事はできない。そのため、雑種の漁獲・流通状況を把握するためには、鑑別能力の優れた延縄漁の漁業者の協力を得て混獲率を調査するなど、何らかの手立てを講じる必要がある。

## E. 結論

雑種フグの発生状況には地域差があり、その原因として主な漁獲対象種や漁法の違いがあげられる。漁獲物の大半をマフグが占める天然フグの主な水揚げ地では雑種の混獲率が低く、それ以外の種を対象とする水揚げ地での雑種の発生が高い傾向がある。従って、次年度はマフグ以外の種の水揚げ地における調査を行っていく必要がある。また、雑種後代 (F2 や BC) の増加が示唆されたゴマフグ×ショウサイフグの組み合わせについては、その割合や毒性をより詳細に明らかにしていく必要がある。

## F. 研究発表

### 1. 論文発表

- 1) Qiushi Li, Dorothea Lindtke, Carlos Rodríguez-Ramírez, Ryo Kakioka, Hiroshi Takahashi, Atsushi Toyoda, Jun Kitano, Rachel L. Ehrlich, Joshua Chang Mell and Sam Yeaman. 2022. Local adaptation and the evolution of genome architecture in threespine stickleback. *Genome Biology and Evolution*. DOI: 10.1093/gbe/evac075

- 2) Yoshiyasu Machida, Hiroshi Takahashi, Tetsuya Tsuruta and Akira Goto. 2022. Effect of salinity on nest building behaviour in the nine-spined stickleback *Pungitius sinensis*. Journal of Fish Biology. DOI: 10.1111/jfb.15264
- 3) 辰野竜平, 吉川廣幸, 井野靖子, 福田翼, 古下学, 岸本謙太, 木下政人:トラフグ *Takifugu rubripes* 成熟個体におけるテトロドトキシン蓄積の雌雄差. 日本水産学会誌, 88(4), 294-299. DOI: 10.2331/suisan.22-00007

## 2. 学会発表

- 1) Yo Yamasaki, Tomoyuki Kokita, Koki Kato, Asato Irifune, Mitsuki Kuroda, Hiroshi Takahashi, Yoshiyasu Machida, Asano Ishikawa, Mikiko Tanaka, Seiichi Mori, Atsushi Toyoda, Jun Kitano. Determinism and contingency in the genetic basis of parallel armor plate evolution of sticklebacks. Congress of the European Society for Evolutionary Biology. Prague Congress Centre, Prague, Czech Republic. August, 2022.
- 2) 梁田椋也・楠永 楓・高橋 洋. キタノトミヨにおける卵サイズの遺伝基盤の解明. 日本魚類学会年会. 大阪公立大学杉本キャンパス, 2022年9月.
- 3) 高橋 洋・柿岡 諒. 日本産トラフグ属魚類全11種 (*Takifugu spp.*) の種・雑種判別マーカーの開発. 日本魚類学会年会. 大阪公立大学杉本キャンパス, 2022年9月.

## 3. 著書

なし

## 4. その他

- 1) 高橋 洋. トラフグ属魚類の種・雑種判別技術. 水産界 1659号(2023年4月号) : 36-37 (2023)

## G. 知的財産の出願・登録状況

なし