

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 教授
辰野竜平 水産大学校 講師
刀禰一幸 水産大学校 助教

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、神奈川県横須賀市、宮城県気仙沼市、福島県相馬市で現地調査を行い、各水揚げ地において402～6198個体を調査した結果、雑種混獲率は8.0～8.8%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×ショウサイフグ、トラフグ×マフグ、コモンフグ×ショウサイフグ、マフグ×ゴマフグ、クサフグ×ショウサイフグの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。また、雑種の多く出現する組み合わせについては、ddRAD-seq 法によりゲノムワイドの検出された多数の SNPs に基づく種・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

神奈川県横須賀市における現地調査においては、2023 年 3 月~4 月に東京湾

口の浦賀水道において釣獲された計 402 個体を鑑別した。その結果、各個体は 3 種（トラフグ、マフグ、シマフグ）370 個体と雑種と思われる種類不明フグ 32 個体に分けられた。種類不明フグについて、TaqMan アッセイによる種・雑種判別を行ったところ、16 個体がトラフグ×マフグの雑種第一世代 (F1)、16 個体がトラフグ×マフグのトラフグ方向への戻し交雑 (BC) と判別された。これらの結果から、神奈川県横須賀市における雑種の混獲率は 7.96%と推計された。

宮城県気仙沼市における現地調査においては、2023 年 7 月 5 日および 6 日に定置網で漁獲された計 6198 個体を鑑別した。その結果、各個体は 8 種（ショウサイフグ、コモンフグ、ゴマフグ、マフグ、ヒガンフグ、クサフグ、シマフグ、トラフグ）5653 個体と雑種と思われる種類不明フグ 545 個体に分けられた。種類不明フグについて TaqMan アッセイによる種・雑種判別を行ったところ、~~282~~ゴマフグ×ショウサイフグの F1、257 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、4 個体がコモンフグ×ショウサイフグの F1、1 個体がマフグ×ゴマフグの F1、1 個体がクサフグ×ショウサイフグの F1 に分けられた。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 8.79%と推計された。また、前年度の調査において雑種が多く出現したショウサイフグとゴマフグの組み合わせについて、前年度得られた 4551 個体について、ddRAD-seq 法により検出されたゲノム

ワイドな SNPs による種・雑種判別を行ったところ、3395 個体が遺伝的に純粋なショウサイフグ、675 個体がゴマフグ×ショウサイフグの F1、347 個体が遺伝的に純粋なゴマフグ、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、2 個体がゴマフグ×ショウサイフグの雑種第二世代 (F2) と判別された。

福島県相馬市における現地調査においては、2023 年 11 月 16 日にフグ延縄漁で漁獲された計 96 個体を鑑別した。なお、同市の相馬双葉漁業協同組合では漁獲時に雑種フグの排除が漁業者によって行われており、正確な混獲率の推定はできなかったが、漁獲日誌等により 1 割前後の雑種混獲率が推測された。漁業者により雑種フグが排除されたあと水揚げされ、競りにトラフグとして供された 96 個体について TaqMan アッセイによる種・雑種判別を行ったところ、1 個体がトラフグ×マフグの F1、2 個体がトラフグ×マフグのトラフグ方向への BC と判別された。これらの結果から、福島県相馬市においてトラフグとして競りに供された個体における雑種混獲率は 3.13% と推計されるが、上述のとおり、これらは漁業者による雑種フグの排除後の割合であり、過小評価の可能性が高い。

神奈川県横須賀市、宮城県気仙沼市、および福島県相馬市における雑種の流通状況の調査では、それぞれ流通状況が異なっていた。まず、横須賀市においては、遊漁船による釣獲物であり、遊漁船業者により雑種フグが排除されていた。

つぎに、気仙沼市においては、市場において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。最後に、相馬市においては、雑種フグは漁業者によってある程度排除されたあと、一部がトラフグとして競りにかけられていた。購入業者等の調査はできなかった。

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 82 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 3 地点および昨年度までに実施された 6 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 (8.79~16.50%)、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く、またR3～5年度の3年間の調査で、それぞれ13.35%、16.50%、8.79%と、同じ地域においても年度ごとに混獲率が大きく変動することが明らかになった。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、トラフグとマフグの雑種が多く含まれており、さらにその中にはトラフグ方向のBCが含まれていることが明らかになった。以上のように、R3～5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、宮城県気仙沼市におけるゴマフグとショウサイフグの詳細な調査結果から、両種間の雑種の中に、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り、交雑現象が二世代目以降まで進んでいることが示唆された。一方、近年新たに漁場が形成されつつある東京湾口においては、トラフグ×マフグのF1とトラフグ×マフグのトラフグ方向へのBCが16個体ずつ判別され、ここでも交雑現象が二世代目以降まで進んでいることが示唆された。

雑種フグの流通状況の調査では、多くの場合において、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、福島県相馬市のように、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。さらに、同じ地域でも、雑種の発生状況には年変動がある。漁獲物の大半をマフグが占める日本海沿岸の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太平洋沿岸の水揚げ地での雑種の発生が高い傾向がある。ゴマフグ×

ショウサイフグやトラフグ×マフグなど、雑種が多く発生する組み合わせにおいては、また、二世代目以降の雑種 (F2 や BC) の増加が示唆された。これらについては、F2 や BC 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) Takahashi, H., R. Kakioka, A. Nagano. 2023. Development and validation of novel SNP markers for the rapid identification of natural hybrids of the 11 closely related pufferfish species (*Takifugu* spp.) distributed in Japan. *Aquaculture Reports*, 31:101650. DOI: 10.1016/j.aqrep.2023.101650
- 2) 辰野竜平・山崎 亮・溝上 魁・林 源基・福田 翼・古下 学・高橋 洋・園山貴之・堀 成夫. 2023. 海産小型巻貝ヨフバイのテトロドトキシン含量. *食品衛生学雑誌*. 64:236-239.
- 3) Naito T, Nakayama K, Takeshima H, Hashiguchi Y, Akita T, Yamasaki YY, Mishina T, Takeshita N, Takahashi H. 2023. The detailed population genetic structure of the rare endangered latid fish akame *Lates japonicus* with extremely low genetic diversity revealed from single-nucleotide polymorphisms. *Conservation Genetics*, 24:523-535.
- 4) Kitanishi S, Kondou T, Takahashi H, Takeshita N, Nagata S, Edo K. 2023. Recent reduction of genetic diversity in markless form of the red-spotted masu salmon *Oncorhynchus masou ishikawae* in

the Ono River, Kyushu, Japan. *Conservation Genetics*, 24:489-499.

- 5) Muto N, Kawasaki T, Kakioka R, Nagano AJ, Shimizu Y, Inose S, Shimizu Y, Takahashi H. 2023. Genetic architectures of postmating isolation and morphology of two highly diverged rockfishes (genus *Sebastes*). *Journal of Heredity*, 114:231-245.

2. 学会発表

- 1) 沼野 聡・糸田将太・渡邊龍一・内田肇・小澤眞由・松嶋良次・辰野竜平・刀禰一幸・高橋 洋・山下まり・鈴木敏之. 雑種フグにおける TTX および TTX 類縁体の分析. 令和 6 年度公益社団法人日本水産学会春季大会. 東京海洋大学品川キャンパス, 2024 年 3 月.
- 2) 高橋 洋・伊藤結花・菅原舞人・沖村未和子・永野 惇・柿岡 諒. 自然下でのゴマフグとショウサイフグの 2 世代目以降の雑種の出現. 日本魚類学会年会. 長崎大学文教キャンパス, 2023 年 9 月.
- 3) 菅原舞人・梁田椋也・吉川廣幸・永野惇・柿岡 諒・高橋 洋. トラフグ属魚類種間の模様の違いを生み出す遺伝基盤の解明. 日本魚類学会年会. 長崎大学文教キャンパス, 2023 年 9 月.

3. 著書

なし

4. その他

なし

G. 知的財産の出願・登録状況

なし