

フグの雑種について



高橋 洋
(水産大学校 生物生産学科 准教授)

第2回フグ処理者の認定基準に関する検討会, TKP虎ノ門カンファレンスセンター ホール2A(190521)

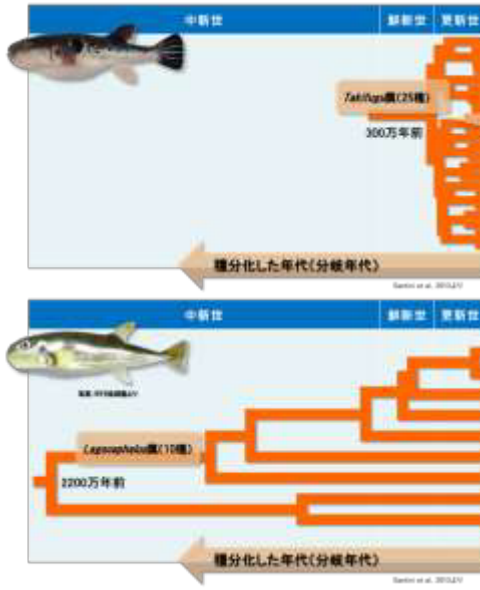
◆ 日常的にみられる“種類不明フグ”

- 種類不明フグには種内変異と雑種が含まれる



◆ なぜトラフグ属魚類には雑種が多いのか？

- **トラフグ属魚類は近縁種の集合体**(Yamanoue et al., 2009; Santini et al., 2013)



ごく短期間に多数の種に分化
爆発的種分化！

適応放散過程にあり、種間交雑が起きやすく、種内変異も大きい
...例えば、適応放散したガラパゴス諸島のフィンチ類
「...交雑は稀ながらも繰り返り起き、嘴の形の多様化をもたらした(Grant and Grant, 2002)」

◆ フグ類の雑種の事例

親種	発生場所, 年, 頻度	根拠	文献
シロサバフグとクロサバフグ	熊本県・鹿児島県, 1980年, 0.3%	タンパク質電気泳動(10座*/16座)	Masuda et al., 1987
シマフグとナシフグ	有明海, 1985-1986年, 0.4%	外部形態(5計数形質と7計測値, 色彩, 棘), タンパク質電気泳動(2座*/20座)	Masuda et al., 1991
ナシフグとコモンフグ	瀬戸内海, 1997年, 0.05%	外部形態(10計数形質と16計測値), タンパク質電気泳動(5座*/26座)	Yokogawa and Urayama, 2000
シロサバフグとドクサバフグ	九州沿岸, 2009年, 不明	外部形態(背棘), mtDNA 16S rRNA	Nagashima et al., 2011
ショウサイフグとゴマフグ	東日本沿岸(岩手県・茨城県), 2012-2014年, 38.5%	外部形態(棘, 尻鰭色), AFLP法(77座*/334座)とmtDNA CR	Takahashi et al., 2017
トラフグとマフグ	山口県・島根県・岩手県, 2017年, 不明(<1%)	外部形態(棘, 色彩), AFLP法(44座*/235座)とmtDNA CR	Tatsuno et al., 2019

※種特異的のアリルをもつ遺伝子座(Diagnostic species-specific loci)

◆ ショウサイフグとゴマフグの大規模な交雑現象

- 2012年秋に茨城県水産試験場より種・雑種鑑定依頼(21個体)



特徴:

ショウサイフグによく似ているが...

- 尻鰭がうっすらと黄色い
- 体表に弱い小棘(トゲ)



- 1日に20kgも獲れる!
(ショウサイフグと合わせた漁獲が38kg)
(154/278尾)

◆ ショウサイフグとゴマフグの大規模な交雑現象

- 2012年秋に茨城県水産試験場より種・雑種鑑定依頼(21個体)
- 2013年秋に下関のフグ加工業者より岩手県産持ち込み(5個体)



特徴:

ショウサイフグによく似ているが...

- 尻鰭がうっすらと黄色い
- 体表に弱い小棘(トゲ)



- 1日に20kgも獲れる!
(ショウサイフグと合わせた漁獲が38kg)
(154/278尾)

◆ ショウサイフグとゴマフグの大規模な交雑現象

■ ショウサイフグ *Takifugu snyderi*

体に小棘(トゲ)はない



黒紋はない

白色

■ ゴマフグ *Takifugu stictonotus*

背面と体側に藍青色の小点が密布する

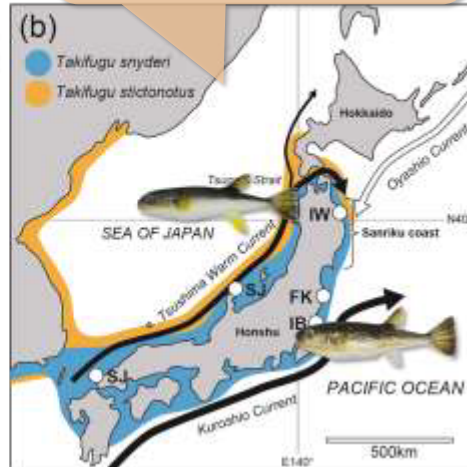


背面と腹面に小棘(トゲ)がある

レモン色

両種の分布

ショウサイフグは主に太平洋側、
ゴマフグは主に日本海側(近年、
漁場が北上、太平洋側にも拡大)



◆ ショウサイフグとゴマフグの大規模な交雑現象

■ ショウサイフグ *Takifugu snyderi*

体に小棘(トゲ)はない



黒紋はない

白色

■ ゴマフグ *Takifugu stictonotus*

背面と体側に藍青色の小点が密布する



背面と腹面に小棘(トゲ)がある

レモン色

両方の特徴をあわせ持つ

体表に弱い小棘(トゲ)



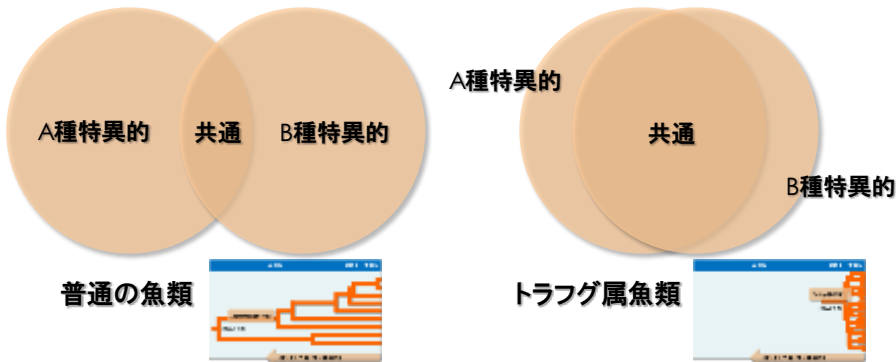
うっすらと黄色い

◆ ショウサイフグとゴマフグの大規模な交雑現象

■ DNAマーカーを用いた雑種判別の実践

- ① 両親種と同時に多数の遺伝マーカーを調べる
...AFLP分析, マイクロサテライト分析, SNPs分析
- ② 用いた遺伝マーカーの雑種判別能力を検証
...遺伝距離, 種特異的座数, シミュレーション
- ③ 雑種判別
...STRUCTURE分析, NewHybrids分析, DAPC分析

意外と見落とされがち... (e.g., Voha and Primmer, 2006; Pujolar et al., 2014)



◆ ショウサイフグとゴマフグの大規模な交雑現象

■ DNAマーカーを用いた雑種判別の実践

- ① 両親種と同時に多数の遺伝マーカーを調べる
...AFLP分析, マイクロサテライト分析, SNPs分析
- ② 用いた遺伝マーカーの雑種判別能力を検証
...遺伝距離, 種特異的座数, シミュレーション
- ③ 雑種判別
...STRUCTURE分析, NewHybrids分析, DAPC分析

意外と見落とされがち... (e.g., Voha and Primmer, 2006; Pujolar et al., 2014)

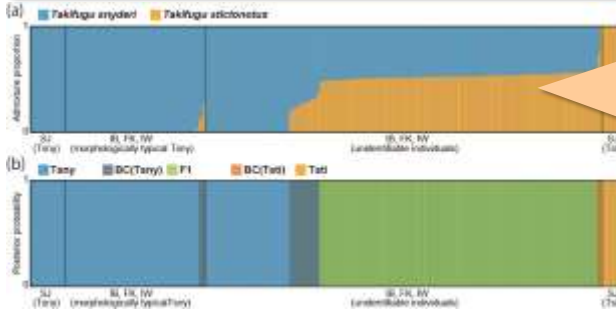
人工交雑魚を用いたAFLP解析(約400座)では...

- 2世代目までの雑種(F1, F2, 戻し交雑第一世代)を検出するだけなら数十座の種特異的座があれば十分
- 2世代目までの雑種クラス(F1, F2, 戻し交雑第一世代)を判別するためには>100座の種特異的座が必要(判別率>99%)
- STRUCTURE分析は両親種の遺伝的多様性の違いの影響を強く受ける(遺伝的多様性の低い種のゲノムの割合が多く推定される)

◆ ショウサイフグとゴマフグの大規模な交雑現象

- F1雑種131個体, 戻し交雑18個体が見つかった(Takahashi et al., 2017)

上段:STRUCTURE分析(K = 2モデル)
 ... ショウサイフグのゲノムとゴマフグのゲノムの混じり具合
 ■ ショウサイフグ, ■ ゴマフグ



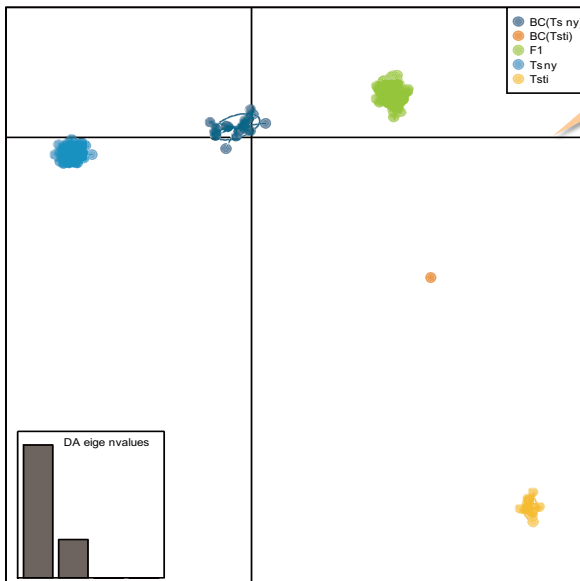
たくさんのF1雑種に加えて, 戻し交雑第一世代(BC)もいた!



下段:NewHybrids分析(6雑種クラスモデル)
 ... 各雑種クラスへの当てはまり具合
 ■ P1 (Tsny), ■ P2 (Tsti), ■ F1, ■ F2, ■ BC1 (Tsny), ■ BC1 (Tsti)

◆ DNAマーカーによる種・雑種判別結果

- DNA(AFLP法)を用いた主成分判別分析(DAPC)(Takahashi et al., 2017)



判別確率:
 すべて100%!

◆ フグの雑種に関する留意点

- 各種の分布域が大きく変化する中で、いつどこで大規模な交雑現象が発生するかは予測できない
- 2世代目以降の雑種をDNAで判別するためには大量の遺伝マーカーが必要(ただし、今のところF1以外の雑種は極めて稀)
- 2世代目以降の雑種を外部形態から判別することは現実的には困難(すでに流通・消費されたケースもあったと考えるべき)

→それでも、現行法規制の下で有資格者によって処理されたフグによる事故はほぼ起きていない

...以上を踏まえて、取得しておくべき魚種鑑別の知識・技術(実技)の内容・程度を考える必要がある

◆ 取得しておくべき知識・技術について—雑種鑑別の観点から

どの種とも鑑別がつかない種類不明フグについての留意事項:

→種類不明フグは確実に排除すること、また市場等で種類不明フグが発見された場合は、**発見地と水揚地の食品衛生担当部局間**で連絡を密にし、流通防止に努めること

別表1, 注6:

→フグは、トラフグとカラスの**中間種**のような個体が出現することがあるので、これらのフグについては、**両種ともOの部位のみを可食部位**とする。

- フグ類、特にトラフグ属魚類には雑種が多く見られることを認識すること。
- 雑種の両親種を外見から判別することは、一部の組み合わせを除き困難であり、雑種は種類不明フグとして確実に排除すること。
- 雑種を含む種類不明フグの発生状況について常に注意を払い、最新の情報に基づいて鑑別すること。

◆ 取得しておくべき知識・技術について—雑種鑑別の観点から

どの種とも鑑別がつかない種類不明フグについての留意事項:

→種類不明フグは確実に排除すること, また市場等で種類不明フグが発見された場合は, **発見地と水揚地の食品衛生担当部局間**で連絡を密にし, **流通防止に努めること**

別表1, 注6:

→フグは, トラフグとカラスの**中間種**のような個体が出現することがあるので, これらのフグについては, **両種ともOの部位のみを可食部位**とする。

現時点で徹底されていない。また, 発見地と水揚地だけではなく, 全国で情報が共有されるようにすべき

中間種という言葉は少なくとも水産学や遺伝学の分野では一般的ではない定義が曖昧な言葉

よく見られること

有毒部位の遺伝様式はほぼ未解明なので, 流通する可能性の高い種間については早急に調査すべき

- 雑種の両親種を外見から判別できず, 雑種は種類不明フグとして確実に排除すること。
- 雑種を含む種類不明フグの発生状況について常に注意を払い, 最新の情報に基づいて鑑別すること。

雑種を含む種類不明フグの発生状況を全国の有資格者が把握することのできるネットワーク作りが必要

Acknowledgements

共同研究者: 吉川廣幸・辰野竜平・豊田愛莉・山崎 拓・狭間陽太・成田周作・酒井治己(水大校)・益子 剛・山崎幸夫(茨城県水試)

ご協力: 土井啓行・池口新一郎・早乙女忠弘・佐久間 徹・栗本和彦・伊東尚登・酒井治己・松浦啓一・西田 睦(敬称略)

研究資金: 科研費(Nos. 19580229 and 25440227), NARO革新的技術開発・緊急展開事業(うち地域戦略プロジェクト, No. 16822337)