

# 丸ごと食べられる養殖フグ

Unbelievably safe and delicious cultivated pufferfish wholly eaten

野口玉雄<sup>1</sup>, 大貫和恵<sup>2</sup>

Tamao NOGUCHI<sup>1</sup>, Kazue ONUKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>東京医療保健大学大学院、<sup>2</sup>茨城キリスト教大学

<sup>1</sup>〒154-8568世田谷区世田谷3-11-3 TEL:03-5799-3711

<sup>2</sup>〒319-1221 日立市大みか町6-11-1 TEL:0294-52-3215

E-mail:t-noguchi@thcu.ac.jp<sup>1</sup>, k.onuki@icc.ac.jp<sup>2</sup>

## はじめに

フグの肝臓（フグ肝）による多くの死者を伴う食中毒が毎年のように発生した結果、当時の厚生省は、1983年（昭和58年）12月2日の「フグの衛生確保について」衛生局通知により、有毒、無毒にかかわらずいずれの種も肝臓を食用として禁止し、フグによる食中毒発生の防止を目指した。しかし、中毒は、現在もなお、毎年、発生件数が2桁、死者数が1桁を示し、横這いである。

我々の先祖が築いてきたフグ食文化は、多くの犠牲が伴われたが、今日まで受け継がれてきたのは、フグの“おいしさ”によるものである。伝統食品フグ肝を安心、安全に、しかも、嗜好性と栄養価の高い食品として復活させるべく、様々な観点から検証した。

## 1. TTX 毒化機構

### 1-1. 巻貝類ボウシュウボラ、バイ、ヒガンフグ

1979年12月に静岡県で大型の食用巻貝ボウシュウボラの中腸腺による食中毒があり、その中毒原因物質は予想外にもTetrodotoxin (TTX) で、ボウシュウボラが食べるヒトデ、トゲモミジガイが持つTTXであった。この毒化の機構は、TTXを保有するトゲモミジガイを無毒のボウシュウボラに食べさせるモデル実験から解明された。その後、1980年には福井県の坂尻湾産食用巻貝バイに神経毒が含まれている疑いが持たれ、その調査から、このバイにTTXが含まれていること、さらに、そのTTXの来源が餌に用いたクサフグの内臓によることが分かった。

次に、フグの毒化機構究明の一環として東京湾で採取されたヒガンフグの消化管からカクレガニ科のカニ、オリイレヨフバイ科の二枚貝、既にTTXが確認されたハナムシロガイ、アズマニシキまたは近縁種、吸虫類、既にTTXが確認された甲殻綱短尾類ワレカラ、貝殻片、カニの鉗脚などが検出され、ハナムシロガイは、カクレガニ科のカニに次いで出現頻度が高かった。ヒガンフグの消化管からTTX保有生物が発見され、ヒガンフグのTTX毒化も餌によるのではないかと疑われた。

### 1-2. トラフグのTTXによる毒化機構の実証

ヒガンフグがTTXを保有する餌を食べていることが分かり、トラフグの毒化もまた食物連鎖によることが推測され、それを明らかにするための以下の3つの必要条件につき検討した。

- (1) 人工授精後、ふ化させて得られた無毒のトラフグ稚魚を TTX のない餌で養殖すれば、無毒フグが生産される。
- (2) かくして得られた無毒フグに TTX を含む餌を与えれば、毒の用量に依存してフグが毒化する。
- (3) 一般魚は TTX を持たない一方、フグは TTX を持つ理由として、フグは他の一般魚に比して、極めて強いフグ毒抵抗性を持つ。

(1) については、1981～1983 年に福井県、奄美大島、鹿児島県、和歌山県にて囲い網で養殖された当歳魚（1 歳）から 2 年魚 85 尾、1990～1991 年に鹿児島県下で同様に養殖された当歳魚 40 尾、2001～2005 年にトラフグの網いけす養殖で長崎県、熊本県、愛媛県、鹿児島県、和歌山県、静岡県で養殖された 1～3 年魚 4,200 尾、2001～2015 年に佐賀県で陸上養殖（開放系循環水槽）された計約 6,200 尾、2008～2011 年に陸上養殖（閉鎖系循環水槽）された 1～2 年魚 600 尾、合計約 11,000 尾の肝臓と一部の臓器の毒量を食品衛生検査指針のフグ毒検査法に準拠して測定した結果、全てが 10 MU/g 未満であった。20 年以上にわたり、無毒の餌で養殖された 0～3 年魚のトラフグ約 11,000 尾には毒性は認められず、(1) の必要条件は満たされた。

(2) については毒のない養殖トラフグに 2 種の異なる毒力の TTX を添加した餌 (a, b) を 240 日間、イシダイ、マダイ、ボラおよびマアジの一般魚 (c) には前者における高濃度

- |                       |                 |
|-----------------------|-----------------|
| (a) 毒のない養殖トラフグへの毒の投与量 | : 0.5 MU/g 体重/日 |
| (b) 毒のない養殖トラフグへの毒の投与量 | : 4 MU/g 体重/日   |
| (c) 一般魚への毒の投与量        | : 4 MU/g 体重/日   |

の TTX の餌を 139 日間投与した。

(a) では投与日数 100 日以降、肝臓の毒性値が 10 MU/g を超え、日ごとに上昇し、最終的には 240 日で 70 MU/g にも達した。(b) では TTX が (a) に比して濃度が 8 倍高いので、(a) よりも早い 40 日で肝臓が毒化し、6 MU/g となった。飼育日数 60, 120, 140 日と経過するに従って肝臓の毒性値も 90, 140 および 210 MU/g と着実に増加した。(c) では高濃度 (4 MU/g 体重/日) の TTX を一般魚 4 種に 139 日間投与したが、前述のトラフグと異なり、いずれの魚種も毒化は認められず、生残した。これらのことから、フグの毒化が餌として与えた食物に起因して、与えた毒の濃度が高ければ高いほど早く毒化し、TTX を続けて与えれば日ごとに毒性値が増加し、(2) の必要条件は満たされた。

(3) について、何故にフグは毒化して一般魚は毒化しないのか、また、フグは TTX に対してどのくらい抵抗性があるのかを実証するため、各種フグおよび一般魚を使用して TTX に対する抵抗力を MU で表し、致死量（腹腔内投与）を指標にして調べた。その結果、有毒種フグ（クサフグ、ヒガンフグ、トラフグ）の致死量は、300～750 MU/20 g で、一般魚は、1～2 MU/20 g、陸上のマウス 1 MU/20 g に比して 3 桁も抵抗力があり、フグには、TTX を持つ能力があることが分かった。一方、一般魚は、TTX を経口投与する量が腹腔内致死量（約 1～2 MU/20 g）以下の場合、恐らく、体内で分解あるいは排泄して体内に TTX を蓄積しない。しかし、1 桁の致死量を腹腔内投与した場合、体内で排除できずに死亡することから、

自然界では TTX を含む餌を選択的にとらないものと思われる。他方、有毒種フグは、TTX を含む餌料を選択的に取り入れているものと思われる。このような性向は遺伝的要因によるものであろう。フグはフグ毒をもつために TTX に対して大きい抵抗力があるが、一般魚には低い抵抗力しかなく、その能力がないことが説明された。

以上の検証により、フグは食物連鎖で毒化する 3 つの条件を満たし、フグの毒化がフグ毒を持つ餌からくるという仮説が実証された。天然のフグは TTX に誘引され、TTX を保有する生物を選択的に餌として取り入れていると考えられる。また、フグは、外的刺激で TTX を分泌し、自身だけでなく、卵も外敵の捕食から守る防御物質として TTX を蓄積していると考えられる。

## 2. 無毒フグの生産

毒化させるリスクがある TTX 保有生物の侵入を遮断した囲い網（海面養殖）、室内水槽（陸上養殖）にて無毒の餌を与えて養殖すれば、無毒のトラフグを生産することが可能になった。長い年月にわたり、海面（囲い網）および陸上（開放系ならびに閉鎖系循環水槽）で養殖された総数約 11,000 尾の個体が無毒であったことから、無毒のトラフグを生産できることが証明された。

## 3. フグ肝の特性（嗜好性、理化学的および生理学的特性）

### 3-1. フグ肝の嗜好性

安全性を脅かしていたフグ肝が安心・安全な食品として利用できる兆しが見えてきたことから、フグ肝の嗜好的特性を官能評価により検討した。フグ肝の生は、総合的（外観、味、脂っぽさ等）に嗜好性が非常に高く、味噌を使用した加工品も好まれた。また、フグ肝加工品は、あん肝加工品に比べ、有意に高い嗜好性が得られた ( $p < 0.05$ )。

### 3-2. フグ肝（生）の栄養成分

現在、フグは、主に筋肉を食用とし、日本食品標準成分表に成分値が掲載されているが、肝は、食用として認められていない未知成分のため、その栄養成分を分析した。

開放系循環水槽にて養殖されたフグ肝は、約 70%が脂質、約 20%が水分、残りが炭水化物、たんぱく質、灰分などが微量に含まれていた。フグ肝の大半を占める脂質は、約 25%が飽和脂肪酸、約 70%が不飽和脂肪酸で、魚油に多く含まれている高度不飽和脂肪酸のイコサペンタエン酸（IPA, 20:5）が約 5%、ドコサヘキサエン酸（DHA, 22:6）が約 12%含まれていた。フグ肝可食部 100 g あたりでは、DHA が約 7g、IPA が約 3 g を示し、他の肝食材と比較すると、あんこうの肝臓（あん肝）（生）では、2.3 g（IPA）、3.6 g（DHA）、フォアグラ（ゆで）は、両成分とも 0 g で、フグ肝の方が明らかに高い値であった。あん肝には、IPA や DHA が多く含まれていると一般的に言われ、それがキャッチフレーズとして実際に市場で多くの商品が販売されているが、実際は、フグ肝の方がこれら成分が多い。

### 3-3. フグ肝の機能性成分の効果（血清脂質濃度上昇の抑制および記憶学習の維持向上）

機能性成分 DHA および IPA には、様々な効果が報告されていることから、フグ肝に豊富に含まれているこれら成分の記憶学習の維持向上等の効果について、マウスにフグ肝を摂餌させ、その血液分析や受動回避試験により検証した。

マウスの飼料は、脂質源がフグ肝を混合したもの（フグ肝投与群）、あん肝を混合したもの（あん肝投与群）、DHA を混合したもの（DHA 投与群）、比較対照のコントロール群に分けて、3 週間自由摂取させた後、血清を抽出し、トリグリセリド (TG) や総コレステロール (TC) 濃度を測定した。TG 濃度は、コントロール群  $211 \pm 46$  mg/dl, フグ肝投与群  $110 \pm 21$  mg/dl, あん肝投与群  $154 \pm 51$  mg/dl, DHA 投与群  $134 \pm 28$  mg/dl を示し、フグ肝投与群は、コントロール群よりも低値であった ( $p < 0.05$ )。フグ肝投与群は、他の 3 群に対して、TG 濃度だけでなく TC 濃度においても上昇が抑制され、フグ肝は、血清脂質濃度の上昇を抑制する効果が示された。

次に、IPA や DHA の記憶学習の維持向上効果を受動回避試験により証明した。受動回避とは、行動を起こした際に嫌忌する刺激が与えられる場合、行動を起こさないことで、その刺激を回避することをいう。マウスの場合、本来狭くて暗い場所を好む習性があるが、明るい場所に置いたマウスが暗い場所に入るという行動を起こした時に、電気刺激などの嫌忌する刺激を与えると、以後、このマウスはこれを避けるために明るい場所に留まろうとする本能的な行動を起こす。この原理を利用し、この本能的な行動を指標として受動回避試験を行った。マウスの飼料は、フグ肝投与群とコントロール群に分けて与え、記憶学習能力の向上効果を検証した。電気ショック後、フグ肝投与群は、コントロール群より電気刺激を受けた暗室への移動を躊躇し、暗室が嫌悪である行動を起こす効果がみられた。この行動は、電気刺激の 1 週間後でも変化がなかった。このことから、マウスが嫌悪刺激を記憶学習したこと、さらに、維持していたことにより、フグ肝は、記憶学習の維持向上の効果が示された。