

資料2

佐賀県及び佐賀県嬉野町の提出資料

佐賀県及び佐賀県嬉野町（以下提案者）の提出資料一覧

ページ位置に注意！ ～ 紙面上部の中央 ～

提案者提出資料1	（検討要請日：平成16年7月14日）	1
○佐賀・嬉野温泉ふぐ肝特区構想の提案内容及び想定地域の概要		3
○「フグ」の毒化のメカニズム		7
○「佐賀・嬉野温泉ふぐ肝特区」実施に係る問題点とその対応		8
○「囲い養殖法により養殖されたトラフグの毒性」（文献）		15
○第87回日本食品衛生学会学術講演会講演要旨集（抜粋）		21

提案者提出資料2	（再検討要請日：平成16年8月4日）	25
○囲い養殖法により養殖されたトラフグの毒性（データ編）		27
○特許公報（フグの養殖方法、及びそれを用いたフグの無毒化方法）		28
○科学雑誌「ネイチャー（2004年5月20日号）」（抜粋）		35

提案者提出資料3	（再々検討要請日：平成16年9月6日）	37
○厚生労働省の回答に対する佐賀県及び嬉野町の意見		39
○長崎大学研究者ら意見		42
○参考文献		45

提案者提出資料4-1		111
（内閣官房構造改革特区推進室から同年12月20日付け事務連絡で厚生労働省に提出された資料）		
○食物連鎖によるフグの毒化機構について		115
○フグの無毒化の実証について		125
○フグの毒化機構及びフグの無毒化の実証に係る提案者の見解について		132

提案者提出資料4-2		141
○提案者提出資料4-1に係る参照文献（その1）		
～フグの毒化機構に関するこれまでの研究成果～		

提案者提出資料4-3		235
○提案者提出資料4-1に係る参照文献（その2）		
～フグ毒化機構及びフグの無毒化の実証に係る研究者の見解～		

提案者提出資料４－１

（内閣官房構造改革特区推進室から同年１２月２０日付け事務連絡で厚生労働省に提出された資料）

○食物連鎖によるフグの毒化機構について

○フグの無毒化の実証について

○フグの毒化機構及びフグの無毒化の実証に係る提案者の見解について

事 務 連 絡
平成16年12月20日

厚生労働省構造改革特区担当 御中

内閣官房構造改革特区推進室

佐賀嬉野温泉ふぐ肝特区構想提案に係る資料の提出について

日頃より構造改革特区推進に当たり御協力いただき御礼申し上げます。

さて、第5次提案募集の際、佐賀県及び佐賀県嬉野町から提出された「ふぐ肝(肝臓)の可食化」提案(管理コード 0930810)については、御案内のとおり、貴省からの最終回答で、

- ① フグの毒化機構が底生性生物を介した食物連鎖以外に考えがたいことについて、これまで公表された文献(他の研究者グループのものを含む。)を踏まえて説明した資料
- ② 嬉野温泉で予定されている陸上養殖法と同条件で生産されたフグの無毒化について実証した資料(具体的な養殖条件及びその設定根拠並びに養殖フグの毒性データ)
- ③ それに対する提案者の見解

が提出されれば、食品安全委員会へ諮問をすることとする、と示されたところです。

今般、これらに係る資料が、別添のとおり、佐賀県から当室あて提出されましたので、送付いたします。よろしくお取り計らい願います。

今後、食品安全委員会へ諮問するに当たって、同委員会での議論の状況や結果等につき、適宜、当室あてにも情報提供いただきますよう、よろしくお願い申し上げます。

(当室担当)

内閣官房構造改革特区推進室地域班

大塚 5521-6717

小林 5521-6720

山口 5521-6626

事 務 連 絡

平成16年12月16日

内閣官房構造改革推進室 大塚 様

佐賀県統括本部政策監グループ 武藤

佐賀嬉野温泉ふぐ肝特区構想提案に係る資料の提出について（送付）

標記の構想提案に対する平成16年9月10日付け厚生労働省からの最終回答の中で、食品安全委員会へ諮問するための条件として提示されていた下記の資料を作成しましたので、提出します。

記

- 1 食物連鎖によるフグの毒化機構について
- 2 フグの無毒化の実証について
- 3 フグの毒化機構及びフグの無毒化の実証に係る提案者の見解について

食物連鎖によるフグの毒化機構について

提案者：佐賀県・佐賀県嬉野町

協力者：長崎大学等研究者

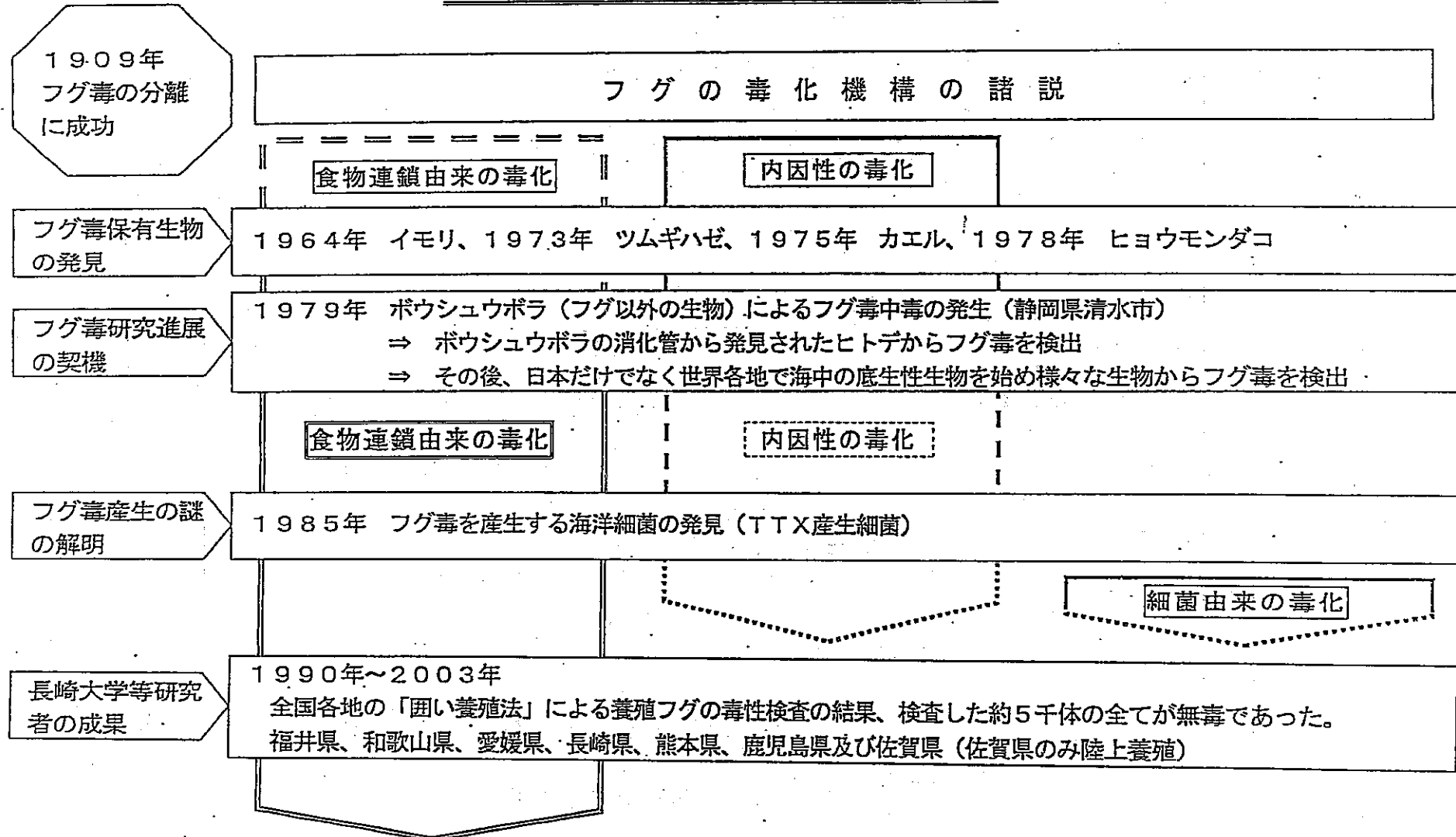
目 次

フグの毒化機構研究の背景・・・・・・・・・・・・・・・・	1
フグの毒化機構に関する研究成果と諸説・・・・・・・・	2
食物連鎖によるフグの毒化機構のイメージ・・・・・・・・	3
フグの毒化機構に関するこれまでの研究成果・・・・・・・・	4

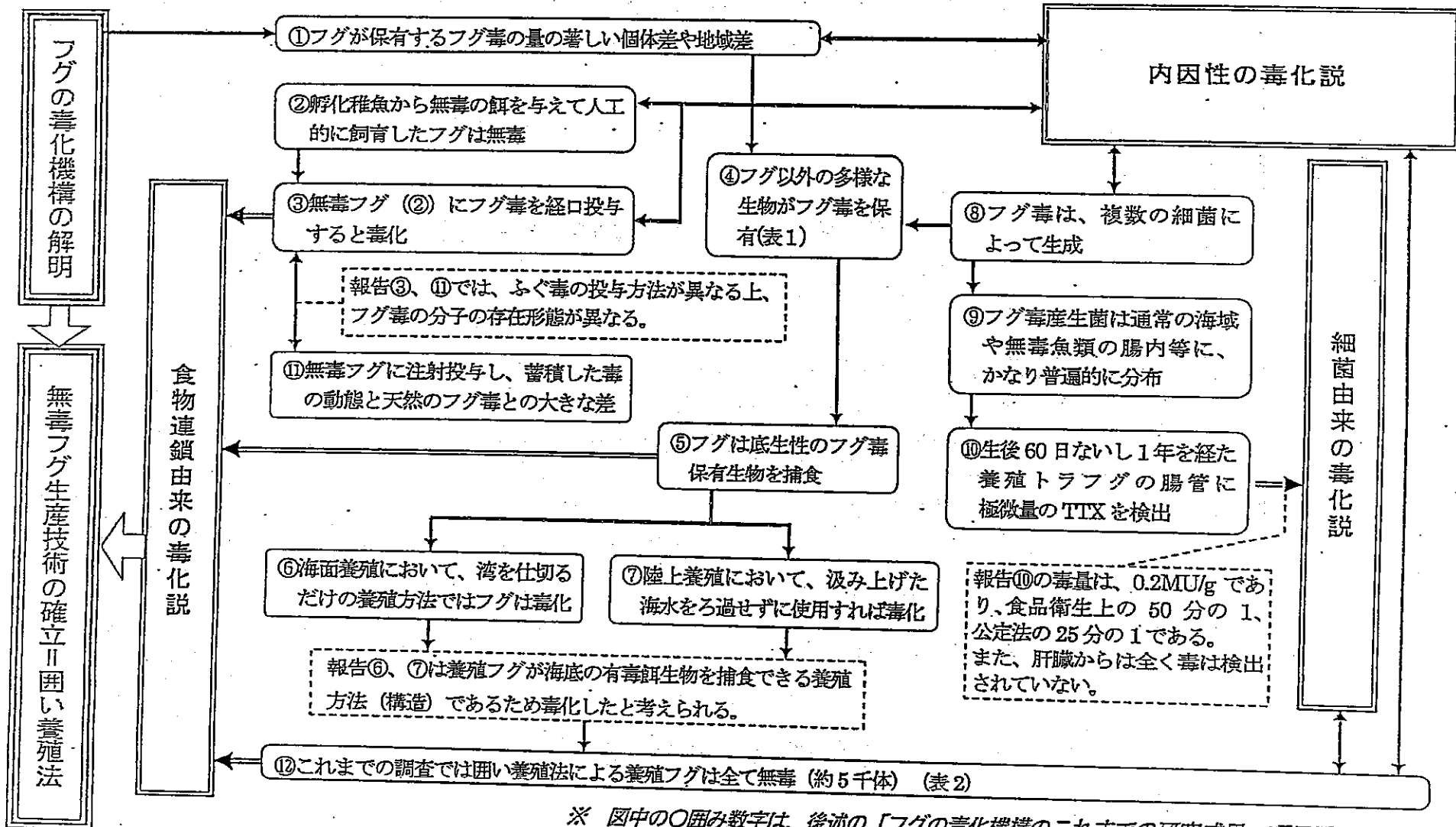
資 料

表1 TTXおよび関連物質のフグ以外の動物における分布・・・・・・・・	7
表2 養殖トラフグ肝臓の毒性・・・・・・・・・・・・・・・・	8

フグの毒化機構研究の背景



フグの毒化機構に関する研究成果と諸説



※ 図中の○囲み数字は、後述の「フグの毒化機構のこれまでの研究成果」項目番号に同じ。
 ※ フグ毒は、食品衛生上10MU/g未満、公定法上5MU/g未満で通常「無毒」とされている。

食物連鎖によるフグの毒化機構のイメージ

◎ 「フグ毒」は、フグ自らの体内で生成されるのではなく、食物連鎖由来の外因性によるものである。

フグ毒 (テトロドトキシン、tetrodotoxin, TTX)

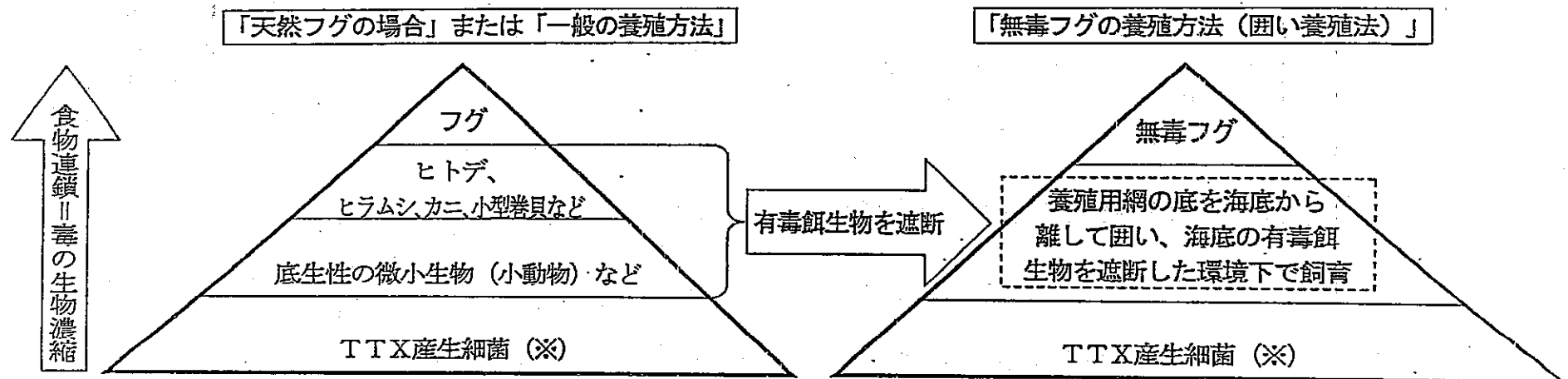
○ フグの毒化原因

フグ毒は、海中の細菌 (TTX産生細菌) から生み出され、底生性の微小生物やそれを餌とする海底に生息するカニやマキガイあるいはヒトデなどを経て、フグの体内に蓄積する。

○ 無毒フグの養殖方法 (囲い養殖法: 「有毒餌生物を摂取させずに無毒の餌を与える」点のみが、一般の養殖法とは異なる。)

養殖用網の底を海底から離して囲い、海底の有毒餌生物を遮断した環境下で飼育されたフグは、筋肉や皮だけでなく肝臓も無毒である。
(陸上養殖の場合は、海水を汲み上げろ過することにより海底の有毒餌生物を遮断する。)

○ フグの毒化機構のイメージ



※ TTX産生細菌は、フグの腸内でも確認されている。

『佐賀・嬉野温泉ふぐ肝特区』構想で想定している養殖法

- ◎ 『佐賀・嬉野温泉ふぐ肝特区』構想で想定している養殖方法は、長崎大学等研究者が「フグの毒化メカニズム」及び「無毒ふぐの養殖法」として研究してきた前述の「囲い養殖法による養殖の実例Ⅱ（陸上養殖の場合）」そのものである。（しかし、同構想において示しているとおり、特区の実現にあたっては、県、町及び長崎大学で設置する安全管理機構において、養殖方法について基準を作成し、この基準を満たす養殖業者を指定する措置を講じることとしている。）

- ◎ 事業者：有限会社 萬坊（マングン・イ・マボリ）
所在地：佐賀県東松浦郡鎮西町大字名護屋52番地

- ◎ 具体的な養殖内容（毒性検査実施分：2000年～2004年）

検査年	1年目（海面養殖）		2年目（陸上養殖）		検体数 （出荷数）	検査結果 （※）
	投与餌（期間）	投与餌（期間）	投与餌（期間）	投与餌（期間）		
2001	人工飼料(6～8月) 冷凍小アミ(6～8月)	人工飼料(9～12月) 冷凍アジ(9～12月)	冷凍沖アミ(4～3月) 冷凍マアジ(4～3月)		114体 (10,000)	<2MU/g
2002	人工飼料(6～12月) 冷凍小アミ(6～12月)		冷凍沖アミ(4～3月) 冷凍マアジ(4～3月) 人工飼料(4～3月)	冷凍メロード(9～3月)	228体 (10,000)	<2MU/g
2003	人工飼料(6～12月)		人工飼料(4～3月) 冷凍沖アミ(4～3月) 冷凍メロード(4～3月)		358体 (10,000)	<2MU/g
2004	人工飼料(6～12月)		人工飼料(4～10月) 冷凍沖アミ(4～10月)	冷凍メロード(9～10月)	71体	<0.1MU/g

※ 2001年～2003年は、マウス試験を行い、2004年の検査のみ液体クロマトグラフィー質量分析（LC/MS）を行った。

《参考：分析方法の解説》

マウス毒性試験	LC/MS分析
食品衛生検査指針 理化学編（旧厚生省生活衛生局 監修）に記載されているフグ毒定量の公定法。 細切した試料に薄い酢酸水溶液を添加・混合後、加熱して得た抽出液を、適宜希釈のうえマウス（ddY 系、雄、体重 20 g）の腹腔内に注射投与し、その致死時間から毒量を算出する方法である。 毒量は通常 MU（マウスユニット）で表す。ここで 1 MU は、前記マウス 1 尾を 30 分で死に至らしめる毒量と定義され、TTX 約 0.2 μg に相当する。 検出限界は、簡便法の場合、試料と酢酸水溶液の混合比によって決まる。 例えば、1：1 で混合した場合、検出限界は 2 MU/g となる。	機器分析の一種で、高速液体クロマトグラフィー（HPLC）と質量分析（MS）を組み合わせた分析法である。 以前は、機器による TTX 分析の主流は HPLC-蛍光法であった。この方法では、カラムから溶出された TTX を蛍光物質に変換したうえ検出するが、蛍光の特異性が低く、夾雑物による妨害を受けやすい。 これに対し、LC/MS では、特定の分子量の物質だけを検出することが可能であるため、夾雑物が多くても対象物質の特定が容易で、かつ感度も非常に高い。 近年、LC/MS 分析装置は急速に普及しつつあり、食品中の微量成分の分析、スポーツ選手のドーピング検査など、種々の分野でなくてはならない分析手法の一つとなっている。 TTX の分析では、マウス毒性試験用の抽出液に限外濾過などの簡単な前処理を施したうえ、その一部（10 μl 程度）を LC/MS 分析装置に導入する。 この場合の検出限界は、0.1 MU/g 程度である。

フグの毒化機構及びフグの無毒化の 実証に係る提案者の見解について

提案者：佐賀県・佐賀県嬉野町

協力者：長崎大学等研究者

目 次

『佐賀・嬉野温泉ふぐ肝特区』構想の提案・	1
フグの毒化機構及びフグの無毒化の実証に係る提案者の見解・	2
フグの毒化機構及びフグの無毒化の実証に係る研究者の意見・	3

参 考

『佐賀・嬉野温泉ふぐ肝特区』構想提案後の動き・	7
-------------------------	---

○長崎大学等研究者

長崎大学水産学部教授

荒川 修 TEL:095-819-2844 FAX:095-819-2844
E-mail:arakawa@net.nagasaki-u.ac.jp

長崎大学水産学部助教授

高谷智裕 TEL:095-819-2846 FAX:095-819-2799
E-mail:taka@net.nagasaki-u.ac.jp

長崎大学客員教授 ((財)日本冷凍食品検査協会技術顧問)

野口玉雄 TEL:03-3438-1411 FAX:03-3438-1980
E-mail:t_noguchi@jffic.or.jp

○養殖事業者

有限会社萬坊代表取締役社長

太田善久 TEL:0955-82-4888 FAX:0955-82-4434

○佐賀県嬉野町総務課副課長

池田幸一 TEL:0954-42-3900 FAX:0954-20-2070
E-mail:soumu@town.saga-ureshino.lg.jp

○佐賀県統括本部政策監グループ政策第二担当係長

武藤秀彰 TEL:0952-25-7541 FAX:0952-25-7263
E-mail:mutou-hideaki@pref.saga.lg.jp

佐賀県統括本部政策監グループ政策第二担当 主査

井田政和 TEL:0952-25-7541 FAX:0952-25-7263
E-mail:ida-masakazu@pref.saga.lg.jp

佐賀・嬉野温泉ふぐ肝特区構想の提案

- ◎ 佐賀県及び佐賀県嬉野町では、長崎大学等研究者らの長年の「フグの毒化機構」及び「無毒フグの養殖方法」に関する研究成果に基づき、平成16年6月に、『佐賀・嬉野温泉ふぐ肝特区』構想を内閣官房構造改革特区推進室へ提案した。
- ◎ 長崎大学等研究者らの研究は、単なる机上の議論だけでなく、実際の養殖業者等と共同したもので、全国8箇所の養殖施設で養殖されているフグの毒性を検査するなど実証を伴うものであり、その研究と実証は、食品衛生学会や水産学会で高い評価を受けている。
- ◎ また、「フグの養殖方法、及びそれを用いたフグの無毒化方法」として特許の取得がなされている。（特許第3535499号）
- ◎ 本県及び嬉野町の提案を受け、構造改革特区推進室から制度を所管する厚生労働省に対して検討要請がなされたが、厚生労働省は、当初、この研究成果そのものについて否定的であったが、最終的には次のような見解を示された。

これまでに、提案者からデータ及び資料が提出されたところであるが、フグの無毒化については、専門家の間でも様々な意見があるところである。

従って、厚生労働省から食品安全委員会へ諮問をするためには、

- 1 フグの毒化機構が底生性生物を介した食物連鎖以外に考えがたいことについて、これまで公表された文献（他の研究者グループのものを含む。）を踏まえて説明した資料
 - 2 嬉野温泉で予定されている陸上養殖法と同条件で生産されたフグの無毒化について実証した資料（具体的な養殖条件及びその設定根拠並びに養殖フグの毒性データ）
- が少なくとも必要であり、これらの資料及びそれに対する提案者の見解が提出されれば、食品安全委員会へ諮問をすることとする。

- ◎ これに対し、提案者である佐賀県及び嬉野町は、

資料：「食物連鎖によるフグの毒化機構について」（「1 フグの毒化機構が底生性生物を介した食物連鎖以外に考えがたいことについて、これまで公表された文献（他の研究者グループのものを含む。）を踏まえて説明した資料」に対応）

資料：「フグの無毒化の実証について」（「2 嬉野温泉で予定されている陸上養殖法と同条件で生産されたフグの無毒化について実証した資料（具体的な養殖条件及びその設定根拠並びに養殖フグの毒性データ）」に対応）

を提出する。また、それに対する見解は以下のとおりである。

フグの毒化機構及びフグの無毒化の実証に係る提案者の見解

資料：「食物連鎖によるフグの毒化機構について」

- ◎ 食の安全に対する国民の関心は、安全だけでなく安心にまで及んでおり、佐賀県及び嬉野町としても食の安全と安心に関しては、特に慎重であるべきとの認識である。
- ◎ 佐賀県及び嬉野町では、
 - ・「フグの毒化機構」が食物連鎖によるものであることを示したこれまでの研究及び実証は食品衛生学会や水産学会で高い評価を受けている
 - ・食物連鎖説に基づいた囲い養殖法は、「フグの養殖方法、及びそれを用いたフグの無毒化方法」として既に特許の取得がなされているだけではなく、長崎大学等研究者らの全国8箇所におけるフグの無毒性の実証において、「1体も毒性が確認されなかった」という事実を高く評価している。
- ◎ 佐賀県及び嬉野町では、仮に何万尾、何十万尾のフグの無毒性のデータを示されても「1体」の毒性が確認されていれば、今回、特区の提案は行っていない。
- ◎ このようなことから、当該資料で示す食物連鎖によるフグの毒化機構について、佐賀県及び嬉野町として評価している。

資料：「フグの無毒化の実証について」

- ◎ 『佐賀・嬉野温泉ふぐ肝特区』構想において、予定しているフグの養殖方法は、既に取得されている特許に基づく養殖方法と同一である。
- ◎ 厚生労働省が求める「具体的な養殖条件」は、当然、前述の食物連鎖説に基づき取得された特許に示されたものであり、同時にその「設定根拠」である。
- ◎ 「毒性データ」については、特許取得後、フォローアップのために、本年、新たに71体のフグ肝について、検査しているが、無毒の結果を得ている。

フグの毒化機構及びフグの無毒化の実証に係る研究者の意見

- 1) 瀬戸内海産のオオツノヒラムシからフグ毒を発見し、¹⁾ その後、中国のある種のフグがこれを食するとあることから、フグの毒化は食物連鎖による可能性が強いと考えた。その後、文部省科学研究費補助金（総合研究 A）「フグ毒保有動物の毒化機構、特にフグ毒の動態に関する研究」²⁾ の研究代表者を務め、フグの毒化機構に関する研究を行った。この中でフグの毒化は実質的には食物から来ること、腸内細菌もごく僅かフグ毒を産生するが、フグの毒化には直接関与しない結果が得られた。その後もフグの毒化に関する研究を行っているが、これらを改めるような報告はなく、むしろ肯定する報告が出ている。
- 17) 1) K. Miyazawa, J.-K. Jeon, J. Maruyama, T. Noguchi, K. Ito and K. Hashimoto: Occurrence of tetrodotoxin in the flatworm *Planocera multitentaculata*. *Toxicon*, 24, 645-650 (1986).
- 18) 2) 宮澤啓輔（研究代表者）：“フグ毒保有動物の毒化機構、とくにフグ毒の動態に関する研究”（課題番号 02304025），平成 2，3 年度科学研究費補助金（総合研究 A）研究成果報告書，95 p. (1992).

フグの毒化について研究している

広島大学大学院生物圏科学研究科 教授 農学博士 宮澤啓輔

- 2) 福井県下，奄美大島，鹿児島県下，和歌山県下で囲い網により養殖されたトラフグ 1-2 歳魚 85 個体につき，毒性を肝臓，生殖巣，筋肉に分けて試験したが毒性が認められなかった。¹⁾ 有毒種トラフグ，クサフグおよびヒガンフグは，フグ毒に対する抵抗力が一般魚に比して 300 倍以上強く，フグ毒を保有する構造をもっており，またフグ毒に強く誘引されることが分かった。²⁾ このことは，フグの毒化が食物連鎖由来であることを強く支持する。

- 19) 1) 齊藤俊郎，丸山純一，加納碩雄，銭重均，野口玉雄，原田輝雄，村田 修，橋本周久：養殖トラフグの毒性とテトロドトキシン抵抗性。日水誌，50，1573-1575 (1984).
- 20) 2) 齊藤俊郎，影由清正，後藤浩之，村上 健，野口玉雄：トラフグ若魚に対するフグ毒の誘引効果。東海大学海洋研究所研究報告第 21 号，pp. 93-97 (2000).

フグの毒化について研究している

東海大学海洋学部 助教授 農学博士 齊藤俊郎

- 3) 人工的に孵化，飼育したクサフグは継代飼育によっても毒化しない。人工飼育フグの無毒性の証明は，フグ毒の外部起源を示す特に重要な証拠と考えられる。クサフグの毒化は食物連鎖由来の可能性が最も高い。¹⁾ 天然クサフグから採卵して得られた孵化仔魚を 1 年間実験水槽で養殖した無毒のものに，既定量の結晶フグ毒を添加した飼料を 30 日間経口投与後，さらに無毒飼料で 170 日間飼育したところ，30-60 日目までの総毒量は投与量の約 50%，80 日目には約 30%と減少したが，その後 200 日目まではほとんど変化しなかった。他方，毒を投与しないコントロール群は全く毒化しなかった。²⁾ これらの事実は，現時点ではクサフグ稚魚以降の毒化が食物連鎖によることを強く示唆している。

- 21) 1) 清水千秋，松居 隆，佐藤英雄，山森邦夫：フグの毒。海洋科学，16，560-565 (1984).
- 22) 2) 山森邦夫，河野迪子，古川 清，松居 隆：結晶テトロドトキシン経口投与による養殖クサフグ稚魚の毒化，食衛誌，45，73-75 (2004).

クサフグの毒化について研究した

前東京大学大学院農学生命科学研究科 講師 農学博士 松居 隆

- 4) 1979年12月に静岡県清水市で発生した食用大型巻貝ボウシュウボラによる食中毒の原因物質が意外にもフグ毒であることが分かり、¹⁾ その消化管からトゲモジガイの断片が検出され、そのものにもフグ毒が検出された。²⁾ ボウシュウボラはヒトデを好餌としており、ボウシュウボラのフグ毒による毒化がヒトデによること、すなわち食物によることが明らかとなった。これは、その後のフグ毒研究、特にフグを初めとするフグ毒保有生物の毒化機構が食物連鎖で説明できる一連の結果に大きな影響を与えた。
- 天然フグの毒性が地域や個体により著しく異なることや、これらフグ類が底生性のフグ毒保有生物を食べることからも、天然フグ類の毒化は食物によると考えられる。天然フグが実際に食べるヒトデ類³⁻⁵⁾ やハナムシロガイ、⁶⁾ アラレガイ⁷⁾ がフグ毒をもつこともフグの毒化が食物連鎖によることを支持している。なおフグ毒をもつヒトデは日本各地に分布している。³⁻⁵⁾ ハナムシロガイやアラレガイがフグ毒をもつことは、日本ばかりでなく台湾^{8,9)} および中国¹⁰⁾ でも知られているし、中毒もあり、中国では死者も出している。
- 23) 1) H. Narita, T. Noguchi, J. Maruyama, Y. Ueda, K. Hashimoto, Y. Watanabe and K. Hida: Occurrence of tetrodotoxin in a trumpet shell, "boshubora" *Charonia sauliae*. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 47, 935-941 (1981).
- 24) 2) T. Noguchi, H. Narita, J. Maruyama and K. Hashimoto: Tetrodotoxin in the starfish *Astropecten polyacanthus*, in association with toxification of a trumpet shell, "bosyubora" *Charonia sauliae*. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 48, 1173-1177 (1982).
- 33)-1 3) 野口玉雄: 東海地方などの有毒巻貝ならびにヒトデの分布調査。"重要貝類の毒化機構とその有毒成分に関する研究" (課題番号 58360020), 昭和 58, 59 年度科学研究費補助金 (総合研究 A) 研究成果報告書 (研究代表者橋本周久), pp. 17-23 (1985).
- 24) 野田浩之: 伊勢湾における有毒巻貝調査。"重要貝類の毒化機構とその有毒成分に関する研究" (課題番号 58360020), 昭和 58, 59 年度科学研究費補助金 (総合研究 A) 研究成果報告書 (研究代表者橋本周久), pp. 88-95 (1985).
- 境 正: 東九州産肉食性巻貝の毒性。"重要貝類の毒化機構とその有毒成分に関する研究" (課題番号 58360020), 昭和 58, 59 年度科学研究費補助金 (総合研究 A) 研究成果報告書 (研究代表者橋本周久), pp. 120-127 (1985).
- 25) 6) H. Narita, T. Noguchi, J. Maruyama, K. Hashimoto: Occurrence of a tetrodotoxin-associated substance in a gastropod, "hanamushirogai" *Zeuxis siquijorensis*. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 50, 85-88 (1984).
- 26) 7) J.-K. Jeon, H. Narita, M. Nara, T. Noguchi, J. Maruyama and K. Hashimoto: Occurrence of tetrodotoxin in a gastropod mollusk, "araregai" *Niotha clathrata*. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 50, 2099-2102 (1984).
- 27) 8) D. F. Hwang, C. A. Cheng, H. T. Tsai, D. Y. Shin, H. C. Ko, R. Z. Yang and S. S. Jeng: Identification of tetrodotoxin and paralytic shellfish toxins in marine gastropod implicated in food poisoning. Fish. Sci., 61, 675-679 (1995).
- 28) 9) D. F. Hwang, Y. A. Hwang, Y. H. Lu: Tetrodotoxin in gastropods (snails) implicated in food poisoning in northern Taiwan. J. Food Protection, 65, 1341-1344 (2002).
- 29) 10) L. M. Sui, K. Chen, P. A. Hwang, D. F. Hwang: Identification of TTX in marine gastropods implicated in food poisoning. J. Natural Toxins, 11, 213-220 (2002).
- フグの毒化機構解明に寄与した
前日本大学短期大学部 教授 薬学博士 成田弘子

5) 東京大学農学部水産利用学(水産学第三)講座の教授を1977年以降1989年まで担当し、その後も名誉教授として、フグの毒化機構の究明を含めマリントキシンの研究を直接間接指導してきた。その間、1979年12月に発生した大型巻貝ボウシュウボラ中毒の原因究明で、中毒原因物質がフグ毒であることが明らかとなり、その毒化が餌のトゲモミジガイにあることが分かり、また福井県坂尻湾産バイが、餌に使われるクサフグの内臓を食して、フグ毒により毒化していることをモデル実験で確認し、ここにフグ毒保有生物のフグ毒起源が外因性である可能性が強まった。¹⁾ その後、生物界におけるフグ毒保有生物がこの食物連鎖に関連して広がりを見せたことから、フグ毒保有生物の毒化が食物連鎖によることが強く支持された。

天然フグ類は底生性生物を餌としており、その中から水産利用学研究室の研究によりフグ毒保有生物が次から次へと発見され、フグの消化管からフグ毒を保有することが報告されている小型巻貝類や甲殻類が検出され、無毒の養殖トラフグにフグ毒を含む餌を与えるとフグが毒化することが分かり、フグの毒化が食物連鎖によることが強く示唆された。¹⁾

1981年から83年にかけて日本の4カ所で囲い網によるトラフグ養殖場から採取した1-2歳魚85個体の各組織には毒性がないことから、²⁾ これまでの研究成果を勘案すると、フグ毒保有生物を網で遮断したことによりトラフグが毒化しなかったことが結論される。フグの腸内細菌を分離後、培養して、その菌体からフグ毒産生能は認められたが、毒は僅かで、フグの毒化を説明できなかった。長崎大学の報告³⁾のように、日本の8カ所で、実際に囲い網で養殖された1-3歳のトラフグ約5千匹からは毒が検出されないことから、細菌はフグの毒化に実質的な関与がないと結論されよう。

その後、斉藤らのモデル実験⁴⁾からフグはフグ毒に誘引される報告がされていることを踏まえて、フグの食物連鎖による毒化の可

能性はさらに支持できよう。これまでにこの食物連鎖説に矛盾する報告はみあたらない。フグがフグ毒をどのような形で摂取して蓄積するかについては不明なところがあるが、フグ毒抗体を使用して明らかになりつつある。⁵⁾ なお、関連した課題「重要貝類の毒化機構とその有毒成分に関する研究」⁶⁾ [文部省科学研究費補助金(総合研究A)]において橋本は代表者を務めた。

- 30) 1) 橋本周久編: “フグ毒研究の最近の進歩”, 水産学シリーズ 70 (日本水産学会監修), 恒星社厚生閣, 117 p. (1988).
- 19) 2) 斉藤俊郎, 丸山純一, 加納碩雄, 銭重均, 野口玉雄, 原田輝雄, 村田 修, 橋本周久: 養殖トラフグの毒性とテトロドトキシン抵抗性. 日水誌, 50, 1573-1575 (1984).
- 31) 3) 野口玉雄, 高谷智裕, 荒川 修: 囲い養殖法により養殖されたトラフグの毒性. 食衛誌, 45, 146-149 (2004).
- 20) 4) 斉藤俊郎, 影由清正, 後藤浩之, 村上 健, 野口玉雄: トラフグ若魚に対するフグ毒の誘引効果. 東海大学海洋研究所研究報告 第21号, pp. 93-97 (2000).
- 32) 5) 野口玉雄: マリントキシン. 日水誌, 69, 895-909 (2003).
- 33) 6) 橋本周久(研究代表者): “重要貝類の毒化機構とその有毒成分に関する研究”(課題番号 58360020), 昭和 58, 59 年度科学研究費補助金(総合研究A) 研究成果報告書, 129 p. (1985).

フグの毒化機構研究を東京大学農学部水産利用学講座で指導した
東京大学 名誉教授 農学博士 橋本周久

National Taiwan Ocean University
Department of Food Science

Address: 2 Pei-Ning Road, Keelung, Taiwan, ROC Tel: +886-2-2462-2192 ext. 5103

Fax: +886-2-2462-6602 E-mail: dfhwang@mail.ntou.edu.tw

Japan Frozen Foods Inspection Corporation

August 23, 2004

Shuwa Dai-2 Shiba Park Bld.

2-12-7 Shiba-Daimon Minato-ku, Tokyo 105-0012 Japan

Dear Concerned Sir:

Thank you very much for comments on "Toxicity of the puffer, *Takifugu rubripes* cultured in northern Taiwan". The explanation for intoxication of cultured puffers in coastal ponds of Taipei seawater areas and not in inland ponds of Ilan area is as follows:

1. The culture ponds in Taipei were built along the coastline, and the water was directly pumped from an adjacent sea without any treatment.
2. The culture ponds in Ilan area were located inland, and the water was filtered through sea sands, stored in a reservoir, and then pumped into each pond.
3. Toxic flatworm, *Stylochus orientalis* was collected from the ponds in Taipei area, whereas neither flatworm nor the other TTX-bearing animals were found in the ponds in Ilan area.
4. The above (1-3) facts suggest that the puffers from Taipei area were intoxicated by ingesting the TTX-bearing flatworm which had slipped into the ponds with the pumped seawater. In case of Ilan area, the invasion of toxic animals was blocked by the filtration, and the puffers could not accumulate TTX from the food organisms.
5. As a conclusion, puffer fishes are thought to be intoxicated through food chain, and they can be non-toxic, if cultured in the net cages or separated seawaters where the invasion of toxic animals is completely blocked.

I hope these answers could elucidate the variation in TTX accumulation when puffers are cultured in different environments.

With my best regards,

Deng-Fwu Hwang

Ph.D., Professor and Dean of Research and Development Affairs

台湾研究者 黄氏の意見の概要和訳

「台湾北部で養殖されたトラフグ (*Takifugu rubripes*) の毒性」に関するコメントをいただきまして、どうもありがとうございます。台北臨海地区沿岸の養殖池においては養殖フグの毒化が認められたが、宜蘭地区内陸の養殖池ではそれが認められなかったことに対する説明は以下のとおりです。

1. 台北の養殖池は海岸線に沿って設置されており、池の水は隣接した海から未処理のまま直接ポンプで汲み入れられていました。
2. 宜蘭地区の養殖池は内陸に位置しており、池の水は海砂でろ過後、貯水槽に備蓄され、そのうえで各養殖池に汲み入れられていました。
3. 台北地区の養殖池からは有毒ヒラムシ (*Stylochus orientalis*) が採取されたのに対し、宜蘭地区の養殖池ではヒラムシも他のTTX保有生物もまったく見られませんでした。
4. 上記1～3の事実は、台北地区の養殖フグは汲み入れられた海水とともに養殖池に紛れ込んだTTX保有ヒラムシを摂取して毒化したことを示唆しています。宜蘭地区の場合には、有毒動物の侵入がろ過によって阻止され、養殖フグは餌生物からTTXを蓄積することができなかったと考えられます。
5. 結論として、フグは食物連鎖によって毒化すると考えられ、したがって、有毒生物の進入が完全に遮断されている網生け簀や（陸上養殖のように）隔離された海水中で養殖した場合、フグは無毒になり得ると判断されます。

以上の回答により、異なる環境で養殖されたフグにおいてTTX蓄積に差異がみられた理由について、十分ご理解いただけたものと思います。

《参考：『佐賀・嬉野温泉ふぐ肝特区』構想提案後の動き》

◎ 学会・シンポジウムについて

1) 10月2日 シンポジウム

九州における水産技術研究の最先端

主催：日本水産学会九州支部

場所：九州大学中央図書館（福岡県）

講演：安心して食べられる無毒フグの生産と肝の利用

2) 10月14日 アグリビジネス創出フェア

～15日 主催：農林水産省（他、関係の独立行政法人）

場所：東京国際フォーラム（東京都）

講演・展示：囲い養殖による無毒トラフグの生産と肝の利用

3) 11月3日 国際シンポジウム（平成16年度 東大シンポジウム）

～6日 Functional Genomics of Pufferfish-Recent Advances and Perspective（フグ・ゲノミクス研究の現状と展望）

主催：フグ・ゲノミクス国際シンポジウム実行委員会

場所：東京大学弥生講堂（東京都）

講演：Mechanism of Tetrodotoxin Infestation to Pufferfish（フグのテトロドトキシン蓄積機構）

ポスターセッション：Production of Non-toxic Pufferfish by Netcage or Land Culture in Japan
（囲い養殖による無毒フグの生産）

4) 11月18日 国際シンポジウム

International Symposium on Marine Biotoxins:Thailand-Taiwan-Japan
（魚介毒に関する国際シンポジウム：タイー台湾ー日本）

主催：Laboratory Center for Food and Agricultural Products Co, Ltd.（食品・農産品分析センター（タイ））

場所：Ambassador Hotel, Bangkok, Thailand

講演：Production of non-toxic pufferfish by netcage or land culture in Japan（囲い養殖による無毒フグの生産）

フグの毒化機構に関するこれまでの研究成果

フグの毒化機構を考察する際に必要な「科学的根拠」として、以下のような研究成果を挙げることができる（関連の学術論文、もしくはそれらを取りまとめた総説・解説等を併記する）。

① フグが保有するフグ毒(TTX)の量には、著しい個体差や地域差がみられる。

これらの差は、内因性の要因、すなわち各個体の生理的状態の違いに起因すると考えるには大き過ぎる。

1) 1)加納碩雄:脊椎動物におけるフグ毒の分布。“フグ毒研究の最近の進歩”,恒星社厚生閣,東京,pp.32-44(1988).

② 孵化稚魚から無毒の餌を与えて人工的に飼育したトラフグやクサフグは毒をもたない。

2) 2)Matsui, T., Sato, H., Hamada, S., Shimizu, C.: Comparison of toxicity of the cultured and wild puffer fish *Fugu niphobles*. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 48, 253 (1982).

3) 3)斎藤俊郎, 丸山純一, 加納碩雄, 銭重均, 野口玉雄, 原田輝雄, 村田 修, 橋本周久: 養殖トラフグの毒性とテトロドトキシン抵抗性. 日水誌, 50, 1573-1575 (1984).

③ ②のような無毒のフグにフグ毒を経口投与すると毒化する。

4) 4)Matsui, T., Hamada, S., Konosu, S.: Difference in accumulation of puffer fish toxin and crystalline tetrodotoxin in the puffer fish, *Fugu rubripes rubripes*. Bull. Japan. Soc. Sci. fish., 47, 535-537 (1981).

5) 5)荒川 修: フグ毒を用いるフグ養殖—免疫力上昇と魚病予防. 日水誌, 68, 918-919 (2002).

6) 6)山森邦夫, 河野迪子, 古川 清, 松居 隆: 結晶テトロドトキシン経口投与による養殖クサフグ稚魚の毒化, 食衛誌, 45, 73-75 (2004).

④ フグの他、分類学的に類縁関係のない多様な生物がフグ毒を保有する。(表1)

7) 7)Miyazawa, K., Noguchi, T.: Distribution and origin of tetrodotoxin. J. Toxicol. Toxin Reviews, 20, 11-33 (2001).

⑤ 天然トラフグは、ハナムシロガイ等の小型巻貝、ヒトデ、ヒラムシ、ワレカラといった底生性のフグ毒保有生物を捕食していると考えられる。

トラフグの食性については、「海底に生息する肉食性魚で、主に貝類、甲殻類、小魚などを餌とする」とされている⁸⁾。また、トラフグの生態に詳しい長崎大学水産学部名誉教授 多部田 修博士によれば、「トラフグはヒトデを食べる」という。さらに、ヒガンフグの消化管からはハナムシロガイやワレカラが検出されており⁹⁾、文献には「モヨウフグは大型ヒラムシを餌とする」という記述もみられる¹⁰⁾。

8) 8)野口玉雄, 橋本周久 監訳: “中国産有毒魚類および薬用魚類”, 恒星社厚生閣, p.71 (1999).

9) 9)桑原 連, 加納碩雄, 野口玉雄, 橋本周久: ヒガンフグの消化管内容物の検索. 昭和 58 年度日本水産学会春季大会講演要旨集 p. 221 (1983).

10) 10)野口玉雄, 橋本周久 監訳: “中国産有毒魚類および薬用魚類”, 恒星社厚生閣, p.87 (1999).

- ⑥ 海面養殖において、湾を仕切るだけの養殖方法では天然トラフグと同様に養殖トラフグ肝臓に毒性が認められた。

湾を仕切る粗放的な養殖を行う山口県仙崎湾では、天然トラフグと同様に養殖トラフグ肝臓に毒性が認められた。

- ii) 11) 遠藤隆二, 松村健道, 田中一成: 天然トラフグと養殖トラフグの毒力について. 山口県衛研年報, 24, 64-65 (1981).

- ⑦ 台湾で行われている陸上養殖において、汲み上げた海水をろ過せず、直接使用した養殖場で毒化が認められた。

台湾のトラフグ陸上養殖において、養殖池に海水をろ過せず直接汲み入れていた養殖場の場合は、肝臓と卵巣に毒性が認められた。

一方、同じ台湾でろ過海水を使用した養殖場では、まったく毒化が起こっていなかった。

問題の（ろ過していない）養殖池からは有毒ヒラムシが採取されており、養殖フグが海水とともに紛れ込んだ有毒餌生物により毒化したのは間違いないと考えられる。

- 12) 12) Lin, S.-J., Chai, T.-J., Jeng, S.-S., Hwang, D.-F.: Toxicity of the puffer *Takifugu rubripes* cultured in northern Taiwan. Fish. Sci., 64, 766-770 (1998).

- ⑧ フグ毒は、複数の細菌によって生成される。

Virio fischeri 類縁種や *V. alginolyticus*, *Alteromonas* sp. など、フグ毒保有生物の腸内細菌や海洋細菌には、フグ毒産生能を示すものがある。

- 7) 7) Miyazawa, K., Noguchi, T.: Distribution and origin of tetrodotoxin. J. Toxicol. Toxin Reviews, 20, 11-33 (2001).

- ⑨ フグ毒産生菌は、通常の海域や無毒魚類の腸内などに、かなり普遍的に分布している。

- 13) 13) 杉田治男, 出口吉昭: フグ毒保有生物の腸内細菌相とフグ毒産生菌. “フグ毒研究の最近の進歩”, 恒星社厚生閣, 東京, pp. 65-75 (1988).

- ⑩ Sato らは、生後 60 日ないし 1 年を経た養殖トラフグの腸管に極微量の TTX を検出しその由来が腸内細菌であると推定している。

腸管に検出された毒量は極微量（0.2 MU/g）であり、加えて肝臓からはまったく毒が検出されていない。（マウス試験で 0.1 MU/g 未満、HPLC 分析では 0.005 MU/g 未満）

- 14) 14) Sato, S., Komaru, K., Ogata, T., Kodama, M.: Occurrence of tetrodotoxin in cultured puffer. Nippon Suisan Gakkaishi, 56, 1129-1131 (1990).

- ⑪ 無毒フグにフグ毒を注射投与した場合、その蓄積した毒の動態は、天然のフグ毒と大きな差が認められる。

無毒フグに毒を投与すると毒化が起こるが、「フグに蓄積した毒の動態は天然のフグの場合と大きな差が認められる」ことなどから、「フグの毒化が現在考えられている食物連鎖による毒の蓄積ではなく、未知のより複雑な機構で起こる」ことを示唆している報告がある。

- 15) 15) 児玉正昭: 魚介類の外因性物質の蓄積と生理的異議の解明. 岩手県研究報告書,

<http://www.pref.iwate.jp/~hp020901/report/text/r06/r06.html>.

- ⑫ これまで、囲い養殖による養殖フグに毒化は確認されていない。

野口らは、日本各地から様々な時期に様々な年齢（当歳～3 年魚）の養殖トラフグ〔網生け養殖もしくはろ過海水などを使用した陸上養殖により、有毒餌生物を遮断した状態で、無毒の餌で養殖したもの（以下、このような養殖を‘囲い養殖’という）〕を集め、毒性調査を行った。その数は、文献 16 以降の調査も含めると計約 5,000 個体に及ぶものであるが、1 個体たりとも毒性は検出されなかった。（表 2）

- 16) 16) 野口玉雄, 高谷智裕, 荒川 修: 囲い養殖法により養殖されたトラフグの毒性. 食衛誌, 45, 146-149 (2004).

フグの毒化機構に関しては、食物連鎖により生物濃縮された毒を餌生物から摂取・蓄積する“食物連鎖由来の毒化”、フグ自身が毒を合成する“内因性の毒化”、腸内細菌等の寄生・共生細菌が産生した毒を直接体内に蓄積する“細菌由来の毒化”などが考えられる。

まず、前述の①～⑦および⑫は、“食物連鎖由来の毒化”を非常に強く支持している。また、これらにより、“内因性の毒化”はほぼ否定することができよう。②や⑫において、網生け簀で養殖されたトラフグからは、まったく毒が検出されなかったのに対し、⑥のように湾を仕切った養殖では毒化が認められた。前者と後者の最も大きな違いは、養殖魚が海底の生物を捕食できるか否かであり、③、⑤、⑦も考慮すれば、「仙崎湾の場合、フグは海底に棲むフグ毒保有生物を摂取することにより毒を保有するようになった」との考察は、単なる推論の域に留まるものではない。陸上養殖についても、同様のことが言える（⑦、⑫）。

一方、④、⑧～⑩は“細菌由来の毒化”の可能性を示唆している。しかしながら、⑩（文献 14）で腸管に検出された毒量は極微量（0.2 MU/g）であり、加えて肝臓からはまったく毒が検出されていない（マウス試験で 0.1 MU/g 未満、HPLC 分析では 0.005 MU/g 未満）。

従って、文献 14 の内容は「フグ体内における細菌による毒の生産はあるとしてもごく僅かで、これにより肝臓は毒化しない」というものであり、むしろ“食物連鎖由来の毒化”を支持していると考ええる。食品衛生上は 10 MU/g 未満、公定法では 5 MU/g 未満を通常‘無毒’とみなすので、問題の腸管も食品衛生上は‘無毒’ということになる。

さらに、もし細菌により食品衛生上問題となるレベルの毒化が起こるのであれば、⑫のような広範な調査では、必ず有毒個体の出現が認められるはずである。「フグ体内において、細菌が TTX を産生する可能性はあるが、食品衛生上問題になるレベルの毒化はほぼ 100%食物連鎖を介するものであり、細菌が産生した毒の寄与はほとんどない」というのが、現時点で最も妥当と考えられる見解であり、それを‘実証’したのが⑫と言えよう。⑨で述べたように、フグ毒産生菌は通常の海域にかなり普遍的に存在しているにもかかわらず、⑫の調査を含め、これまで‘囲い養殖’されたフグが毒化した例は1個体もない。

他方、⑪のように、未知の要素による毒化の可能性について言及した例もある。しかしながら、⑪の場合、無毒フグに純度の高い TTX 溶液を経口ではなく注射投与している。天然フグは、おそらく高分子物質と結合した状態で餌生物の体内に存在する TTX を経口で摂取しており、それにより蓄積した TTX の動態が、遊離の TTX 分子を注射投与した場合とは根本的に異なっている、まったく不思議ではないと考える。関連して、文献 4 では、無毒フグは、有毒フグ卵巣やその粗抽出液を経口投与した場合、肝臓などに著量の毒を蓄積したが、結晶 TTX を同様に投与しても、ほとんど毒化しなかったとされている。

以上、繰り返しになるが、現時点で「食品衛生上問題になるレベルのフグの毒化は、ほぼ 100%食物連鎖由来である」との見解に疑う余地はない。細菌や未知の要因による毒化の可能性を示唆することは容易であるが、食物連鎖以外の要因により‘囲い養殖’されたトラフグが実際に毒化した例を示す報告は1つもない。

『佐賀・嬉野温泉ふぐ肝特区』構想（フグの毒化機構）

表 1 TTXおよび関連物質のフグ以外の動物における分布

動物名		毒の存在部位	有毒個体の採取地域
1)	扁形動物：渦虫類 多岐腸目	オオツノヒラムシ <i>Planocera multitentaculata</i>	神奈川県下，瀬戸内海
		ツノヒラムシ <i>P. reticulata</i>	神奈川県下，瀬戸内海
2)	紐形動物：	ミドリヒモムシ <i>Lineus fuscoviridis</i>	瀬戸内海，静岡県下
		クリゲヒモムシ <i>Tubulanus punctatus</i>	静岡県下
		ホソヒモムシ <i>Cephalothrix linearis</i>	広島湾
		<i>Procephalothrix</i> sp.	静岡県，和歌山，三重，宮崎県下
3)	軟体動物： 腹足類	ボウシュウボラ <i>Charonia sauliae</i>	福岡県下
		バイ <i>Babylonia japonica</i>	静岡県，和歌山，三重，宮崎県下
		オオナルトボラ <i>Tutufa lissostoma</i>	福岡県下
		ハナムシロガイ <i>Zeuxis siquijorensis</i>	静岡県下，Zeuxis 属については中国，台湾
		カコボラ <i>Cymatium echo</i>	
		テングニシ <i>Pugilina ternotona</i>	
		アラレガイ <i>Niotha clathrata</i> など	駿河湾，遠州灘，中国，台湾
		トラダマガイ <i>Natica tumidus</i> など近縁種	全体
	頭足類	ヒョウモンダコ <i>Hapalochlaena maculosa</i>	後部唾液腺
4)	環形動物：	エラコ <i>Pseudopatamilla ocellate</i>	全体
5)	節足動物： 十脚類	スベスベマンジュウガニ <i>Atergatis floridus</i>	全体
	剣尾類	カブトガニ <i>Carcinoscorpius rotundicauda</i>	卵巣
	端脚類	ワレカラ <i>Caprella</i> sp.	全体
6)	毛顎動物： ヤムシ類	<i>Parasagitta</i> sp.	頭部
		<i>Flaccibagirta</i> sp.	北洋ほか
7)	棘皮動物：	トゲモミジガイ <i>Astropecten polyacanthus</i>	静岡県，和歌山，三重，広島，宮崎県下
		ヒラモミジガイ <i>A. latespinosus</i>	福岡県下
		モミジガイ <i>A. scoparius</i>	静岡県，福岡，広島県下
8)	脊椎動物： 魚類	ツムギハゼ <i>Yongeichthys criniger</i>	皮膚，内臓，生殖巣，筋肉
	両生類	<i>Taricha</i> , <i>Notophthalmus</i> , <i>Cynops</i> , <i>Triturus</i> 各属のイモリ	皮膚，卵，血液
	イモリ科	<i>Atelopus</i> , <i>Colostethus</i> 属のカエル	卵巣，筋肉
	アテロバス科	<i>Polypedates</i> sp. (ベンガラデシュのカエル)	皮膚
	アオガエル科		コスタリカ，パナマ ベンガラデシュ

表 2 養殖トラフグ肝臓の毒性

養殖形態	養殖地	採取年	年 齢	個 体 数	毒性(MU/g)
網生け簀養殖	長崎県下	2001～2003	1	26	<2
			2	1,345	<2
			3	65	<2
			不明	319	<2
	熊本県下	2001～2003	1	10	<2
			2	246	<2
			不明	1,305	<2
	鹿児島県下	2002	2	46	<2
		1990～1991	1～2	40	<5
	愛媛県下	2001～2002	2	519	<2
	和歌山県下	2002	2	81	<2
	静岡県下	2003	2	70	<2
	不明	2001	2	101	<2
計				4,173	
陸上養殖	佐賀県下	2001～2003	2	700	<2
計				700	
総計				4,873	

フグの無毒化の実証について

提案者：佐賀県・佐賀県嬉野町

協力者：長崎大学等研究者

目 次

養殖方法について・・・・・・・・・・・・・・・・	1
囲い養殖法による養殖の実例Ⅰ（網生け簀養殖の場合）・・・・・	2
囲い養殖法による養殖の実例Ⅰ（陸上養殖の場合）・・・・・	3
『佐賀・嬉野温泉ふぐ肝特区』構想で想定している養殖方法・・・・・	4
参 考	
分析方法の解説・・・・・・・・・・・・・・・・	5

養 殖 方 法 に つ い て

- ◎ 『佐賀・嬉野温泉ふぐ肝特区』構想で想定している養殖方法は、長崎大学研究者らが長年にわたり研究し、全国各地で毒性検査を行った結果（約5千尾）から得られた成果に基づき取得した特許と同じ内容のものである。（特許第3535499号）

《参考：特許（発明）の内容》

- ・発明の名称：フグの養殖方法、及びそれを用いたフグの無毒化方法
- ・養殖の方法：囲い養殖法（以下で説明する網生け簀養殖及び陸上養殖のこと）
 網生け簀養殖—養殖用網の底を海底から離して囲い、海底の有毒餌生物を遮断する養殖方法
 陸上養殖—濾過装置を用いて濾過した海水を使用することで底生性生物を除去する養殖方法
- ・網生け簀養殖：網生け簀の底網を海底から好ましくは10m以上離すことで底生性生物を遮断する。（20m以上がより好ましい。）
 網目サイズは、フグが逃げ出さない程度であれば、特に限定されない。（網が海底に近い場合の例を以下に示す。）

フグの大きさ (重量)	5~12cm (50g)	12~20cm (50~200g)	20~30cm (200~600g)	30~50cm (1,000~1,500g)
網目サイズ	4~20mm	8~20mm	18~40mm	35~60mm

※その他、天候等による潮位・潮流の変化により、底生性生物が進入できない構造（アンカーでの固定等）が必要である。

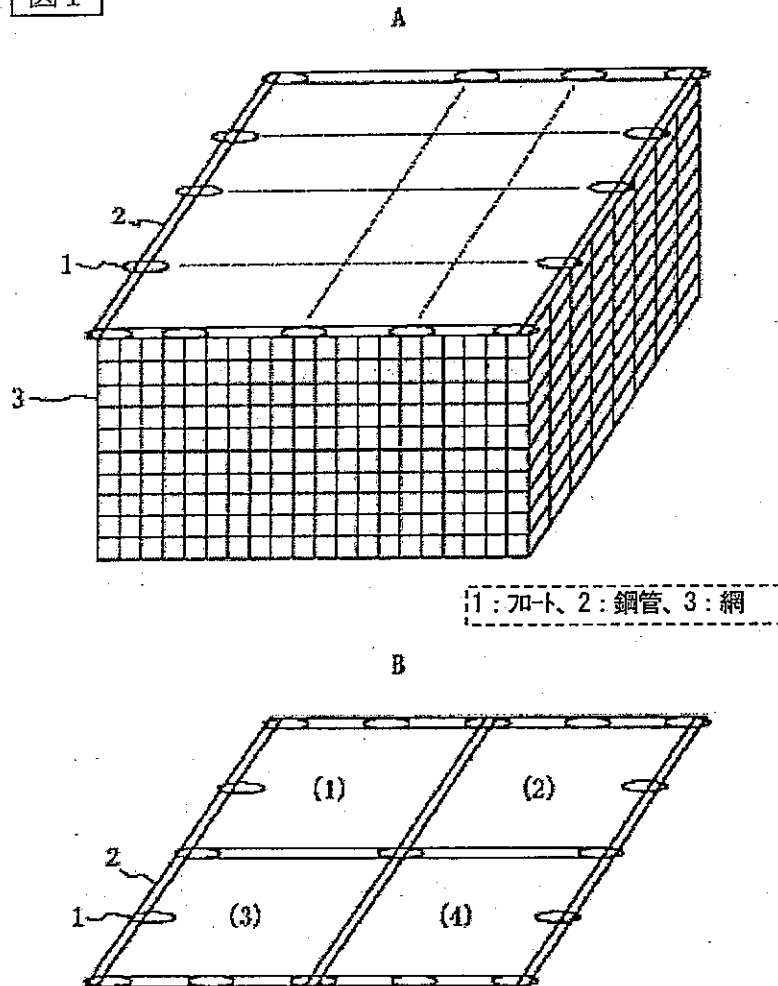
- ・陸上養殖：海水の取水時に濾過装置を用いて濾過し、殺菌、滅菌処理を行い、養殖槽に導入する。
 さらに、飼育時においても海水を循環させて殺菌、滅菌処理を行う。
 このことにより、当初（海水取水時）に底生性生物の卵、幼生等が混入されていたとしても底生性生物が成長、増殖することを防ぐことができる。

《参考：長崎大学研究者らが解明したフグの毒化メカニズム》

- ・フグ毒は、フグ自らの体内で生成されるのではなく、食物連鎖由来の外因性によるものである。
- ・フグ毒は、海中の細菌（TTX産生細菌）から生み出され、底生性の微小生物やそれを餌とする海底に生息するカニやマキガイあるいはヒトデなどを経て、フグの体内に蓄積する。
- ・養殖用網の底を海底から離して囲い、海底の有毒餌生物を遮断した環境下で飼育されたフグは、筋肉や皮だけでなく肝臓も無毒である。
 （陸上養殖の場合は、海水を汲み上げろ過することにより海底の有毒餌生物を遮断する。）

囲い養殖法による養殖の実例Ⅰ（網生け簀養殖の場合）

図1



○ 稚魚について

体重3kgの天然及び養殖の雌から採卵
養殖の雄の精子をかけて人工授精させ、ふ化

○ 陸上飼育期間

10～11週、屋内でアルテミアやミジンコなどの飼料を投与し、人工飼料
やミンチ肉を与えて飼育できるようになると屋外へ移す。

その後（9～11日後）海面施設へ移す。

○ 海面養殖期間（図1）

網生け簀の規模：縦10m×横10m×深さ4m（4分割して、養殖）

海底からの距離：10m以上

網目のサイズ：

・4～10mm—5～10週間養殖（稚魚サイズ12cm以下まで）

↓（移動させる）

・8～37mm—6～14ヶ月養殖（最終的には1～3年間養殖）

投与した餌：市販の魚粉飼料（イワシ、サバ、アジなど）を

1日2～5回投与

○ 毒性検査結果（マウス試験）

2,295尾に対し以下の毒性検査を実施、全て2MU/g未満であった。

内訳	2,245尾	肝臓のみ	<2MU/g
	25尾	卵巣のみ	
	25尾	筋肉、肝臓、皮膚、生殖巣及びその他の内臓	

囲い養殖法による養殖の実例Ⅱ（陸上養殖の場合）

図2 飼育用海水の殺菌、濾過のフロー

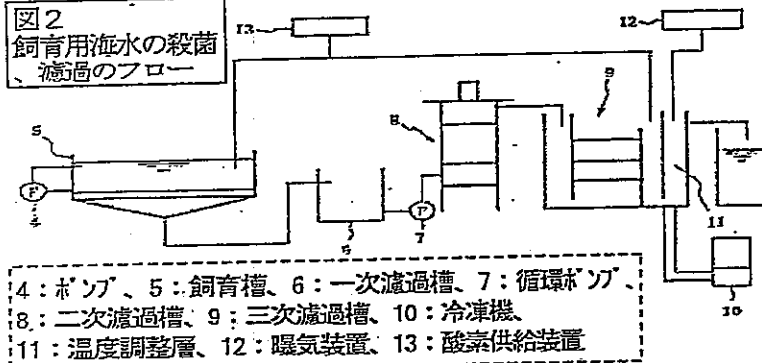


図3 廃水処理のフロー

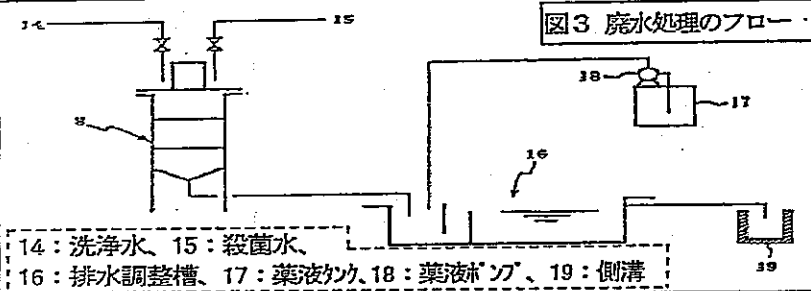
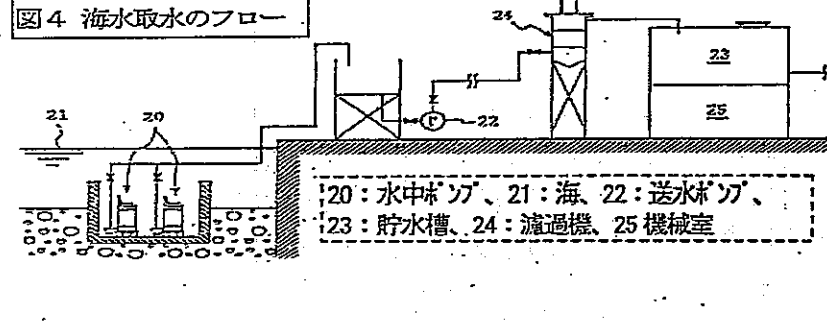


図4 海水取水のフロー



○ 稚魚等について

前述の囲い養殖法による養殖の実例Ⅰ（網生け簀養殖の場合）と同様の方法により飼育した稚魚を用いる。

その後、1年間実例Ⅰにより海面で養殖した後、後述の陸上養殖施設に移す。

○ 養殖に係る海水の処理手順

①図2-5の飼育槽（100ト、直径10m）の底に砂を敷詰め、海水を循環

②海水は、海岸から1km以上離れた場所の水深3m程度の中層からポンプアップにより、図4のシステムを通じ取水

③上記の海水は、濾過機（図4-24）を通し、高架貯水タンク（図4-23）に一時貯水（飼育槽の補充用と緊急用） ※逆洗や機材の洗浄水は、水道水を使用

④飼育槽の海水は、SS（浮遊物質）を除去、生物濾過、酸素溶入をし、循環再利用（蒸発分と餌の脂肪分を表面から取り除いた分は図4-23の貯水タンクから補充）

・各濾過槽の役割

第一次濾過槽（図2-6）：SS除去

第二次濾過槽（図2-8）：海水を電気分解して得た塩素で殺菌、滅菌

第三次濾過槽（図2-9）：生物濾過（好気性細菌による濾過）

⑤排水は、SS除去後、生物濾過槽（第三次濾過槽）を経由し、塩素で殺菌

○ 餌の投与

市販の魚粉飼料（イワシ、サバ、アジなど）を1日2～5回投与

○ 毒性検査結果（マウス試験）

114尾に対し、筋肉、肝臓、皮膚、生殖巣及びその他の内臓について毒性検査を実施、全て2MU/gであった。