

令和4年度
東京電力福島第一原子力発電所事故
対応の調査研究における主要成果

令和5年3月
(研)水産研究・教育機構



-目次-

はじめに

- 1-1a 福島県海域の海水の放射性セシウム濃度の状況
- 1-1b 海底堆積物に含まれる放射性セシウムの鉛直分布
- 1-2 福島県沖で採取した浮魚類と動物プランクトンの Cs-137濃度
- 1-3 海産魚類におけるストロンチウム-90濃度
- 1-4 魚類生息環境判別技術の開発
- 2-1 栃木県中禅寺湖における湖水、プランクトン、湖底土の放射性セシウム濃度の推移
- 2-2 千葉県手賀沼における食物網構造と放射性セシウム濃度との関係
- 2-3 福島県富岡川における放射性物質の挙動に関する調査
- 3-1 福島県産水産物の高品質化技術開発
- 3-2 消費者視点を基盤とした福島県産水産物の販売戦略構築

0. はじめに

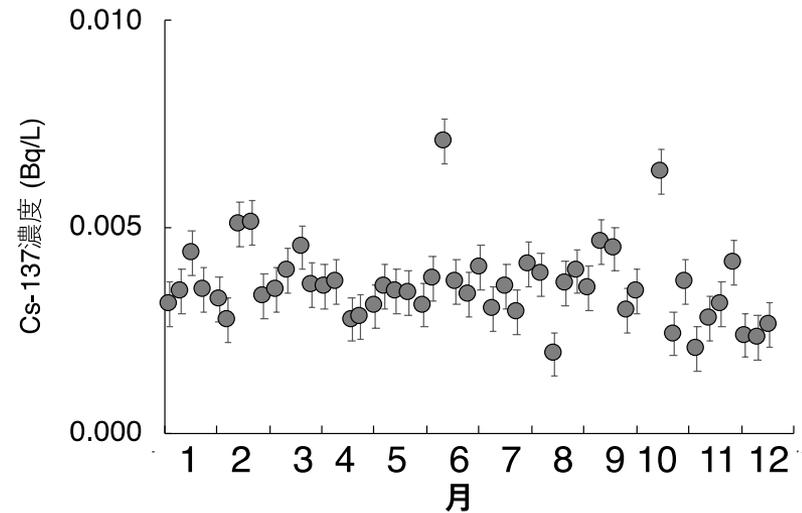
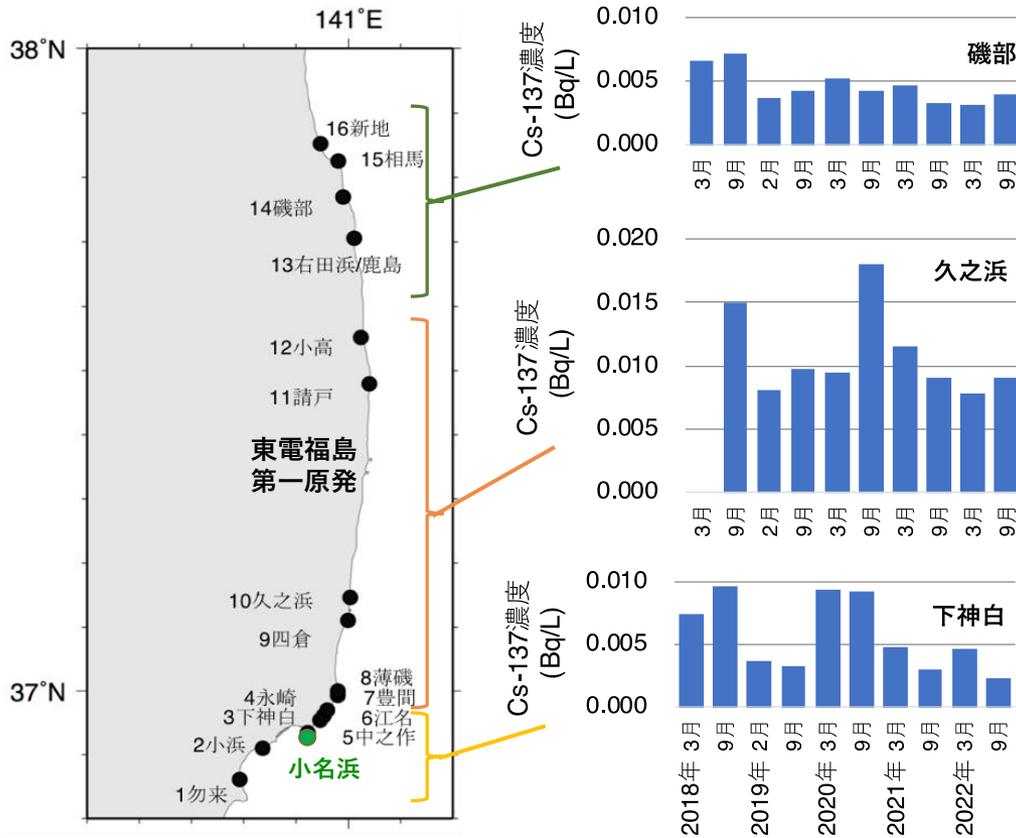
2011年3月に東京電力(株)福島第一原子力発電所(東電福島第一原発)から環境中に放出された放射性物質により、福島県やその近接水域に生息する水生生物が汚染されました。これまでに経験したことのない状況の中で、食品としての安全性が危惧されたことから、水産研究・教育機構(当時の水産総合研究センター)では、事故直後から水産物の放射能調査に取り組んできました。福島県の水産物(海産種)で基準値の100Bq/kg-wetを超える放射性セシウムが検出された割合は2011年は35.0%と大きな割合を示しましたが、2015年以降は現在まで0.1%以下となっており、水産物の放射能汚染は大幅に改善してきていると言えます。水産研究・教育機構では、水産庁を始めとする関係機関と連携して科学的に十分なモニタリング体制をとり、調査結果を公表していますが、引き続き、風評を生じさせないための取組が必要な状況です。

福島県漁業協同組合連合会は、事故直後に県下の沿岸および沖合漁業の操業自粛することを決定、その後、漁業再開に向けた基礎情報を得るため2012年6月に3種を対象とした試験操業を開始し、対象魚種、漁業種および操業海域を徐々に拡大していきました。試験操業は2021年3月末で終了となり、2021年4月から水揚量、流通量の拡大を目指した本格操業への移行期間となっています。水揚量は2012年には震災前2010年の0.5%となったものの、徐々に増加して、2022年には約21%となりました。

このような状況下、風評被害を払拭し活気ある東北の水産業を取り戻し発展させることが、日本の水産業のためには急務の課題です。

水産研究・教育機構では、震災直後から水産庁委託事業「放射性物質影響解明調査事業」(平成28年度で終了)及び復興交付金による「海洋生態系の放射性物質挙動調査事業」を実施してきました。ここでは、令和4年度までに得られた主な成果をとりまとめて報告します。我々は、水産物の放射性物質濃度の動向把握とともに、どのような経路を経て水産物が汚染され、また、その汚染が軽減されていくのかといった過程を科学的に明らかにすることにより、引き続き東北の水産業の復興・創生に貢献していきたいと考えています。

1-1a. 福島県海域の海水の放射性セシウム濃度の状況



↑図2. 週1回の採水を行っている小名浜における2022年の海水の放射性セシウム(Cs-137)濃度。エラーバーは計数誤差。

←図1. 福島県海岸線近傍における海水の採取地点（全16地点）と週1回の採水を行っている小名浜（緑丸）の位置および海岸線近傍の代表的な地点における直近5年の海水の放射性セシウム(Cs-137)濃度。

- ◇ 福島県の海岸線近傍における海水の放射性セシウム(Cs-137)濃度を継続調査しています（図1）。
- ◇ 調査は福島県の南部（勿来）から北部（新地）までの16地点において19回実施しました。
- ◇ 福島県の南北における海水のCs-137濃度分布の特徴は直近4年間に確認されたとおり、原発近傍から豊間までの海域でやや高いものの0.02Bq/L未満であり、江名より南の海域では原発北側（鹿島～新地）と同程度の低濃度で推移していることを確認しています。
- ◇ 週1回の頻度で観測を続けている小名浜地先では年間を通して0.01Bq/L未満の低水準で推移していることを確認しています（図2）。

1-1b. 海底堆積物に含まれる放射性セシウムの鉛直分布

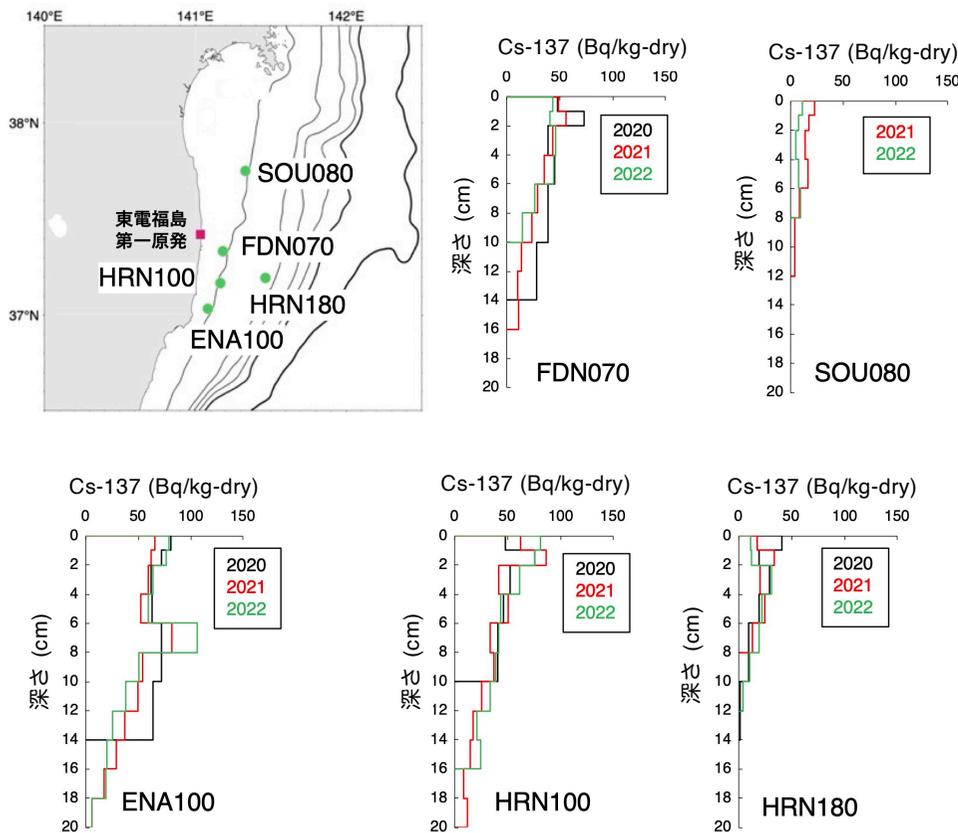


図1. 海産生物調査観測点における海底堆積物のCs-137濃度の経年変動。

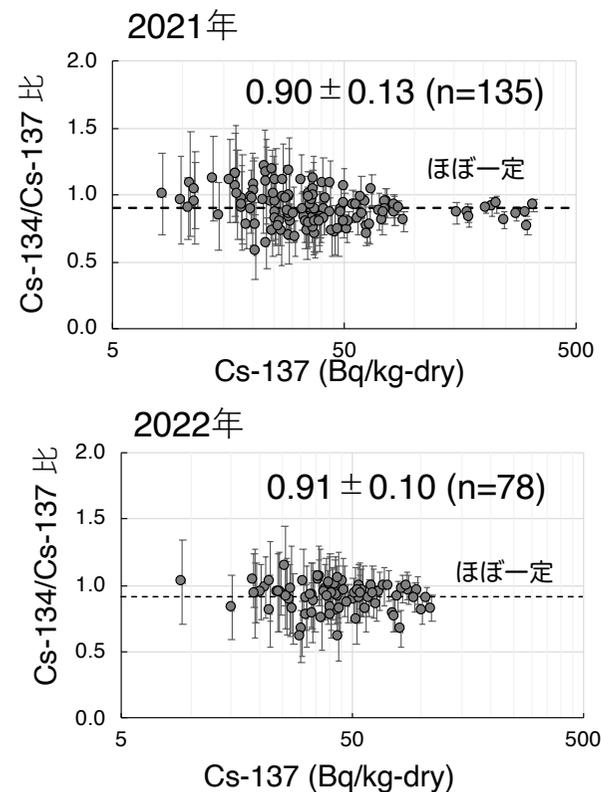
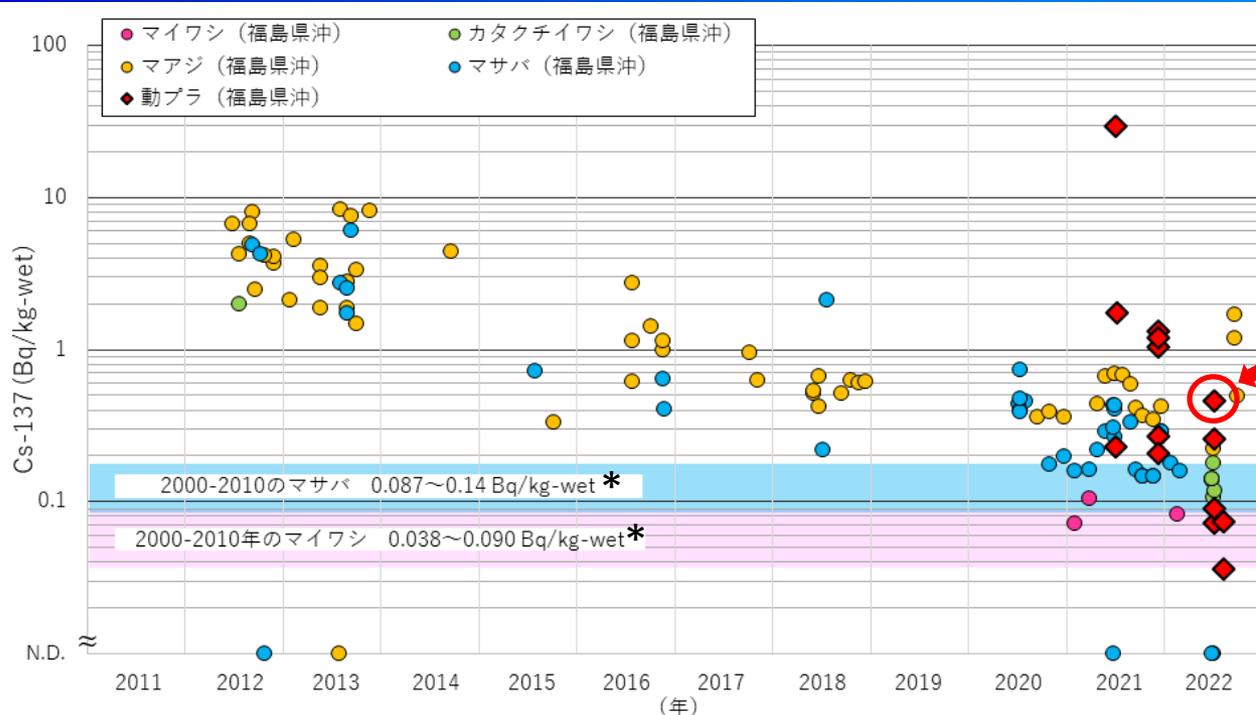


図2. 基準日を2011年3月11日で計算したCs-134/Cs-137比と基準日を試料採取日で計算したCs-137濃度の関係。エラーバーは誤差範囲、点線は平均値をそれぞれ示す。

- ◇ 福島県沖の底魚類を採取している観測点では漁場環境の状況を把握するために2011年より海底堆積物の放射性セシウム濃度も調べています (図1)。
- ◇ 海底堆積物の放射性セシウム濃度の鉛直分布パターンは直近3年間で大きな変動もなく、安定した分布をしていることが確認されました。
- ◇ 基準日を2011年3月11日で計算したCs-134/Cs-137比はCs-137濃度の高低に関わらず約0.9であることから、2021年、2022年に検出されたCs-137のほぼすべてが東京電力福島第一原発事故由来 (基準日を2011年3月11日で計算したCs-134/Cs-137比が1.0) であることがわかります (図2)。

1-2. 福島県沖で採取した浮魚類と動物プランクトンのCs-137濃度



【試料情報】

- 東電福島第一原発沖の水深70m付近で2022年7月3日に採取
- 2022年に採取した動物プランクトン試料でCs-137濃度が最も高い

【リーチング実験の結果】

- Cs-137濃度は0.465 Bq/kg-wet
- 試料中の総Cs-137量は0.0527 Bq
- 生物が体内に取り込める状態のCs-137量は0.0215 Bq (総Cs-137量の40.8%)
- 残りの約6割は動物プランクトンの体表面や体内に付着・混入した無機懸濁態に由来するCs-137と考えられる

*2000-2010年のマサバとマイワシのCs-137濃度データは農林水産省(2002-2012)農林水産省関係放射能調査研究年報より引用

図. 福島県沖で採取した浮魚類4種(筋肉部位)と動物プランクトンにおけるCs-137濃度の推移

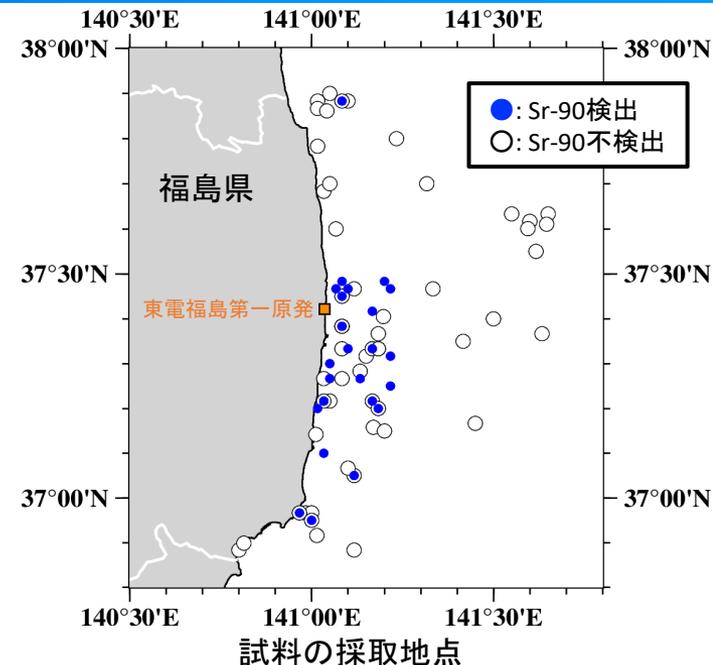
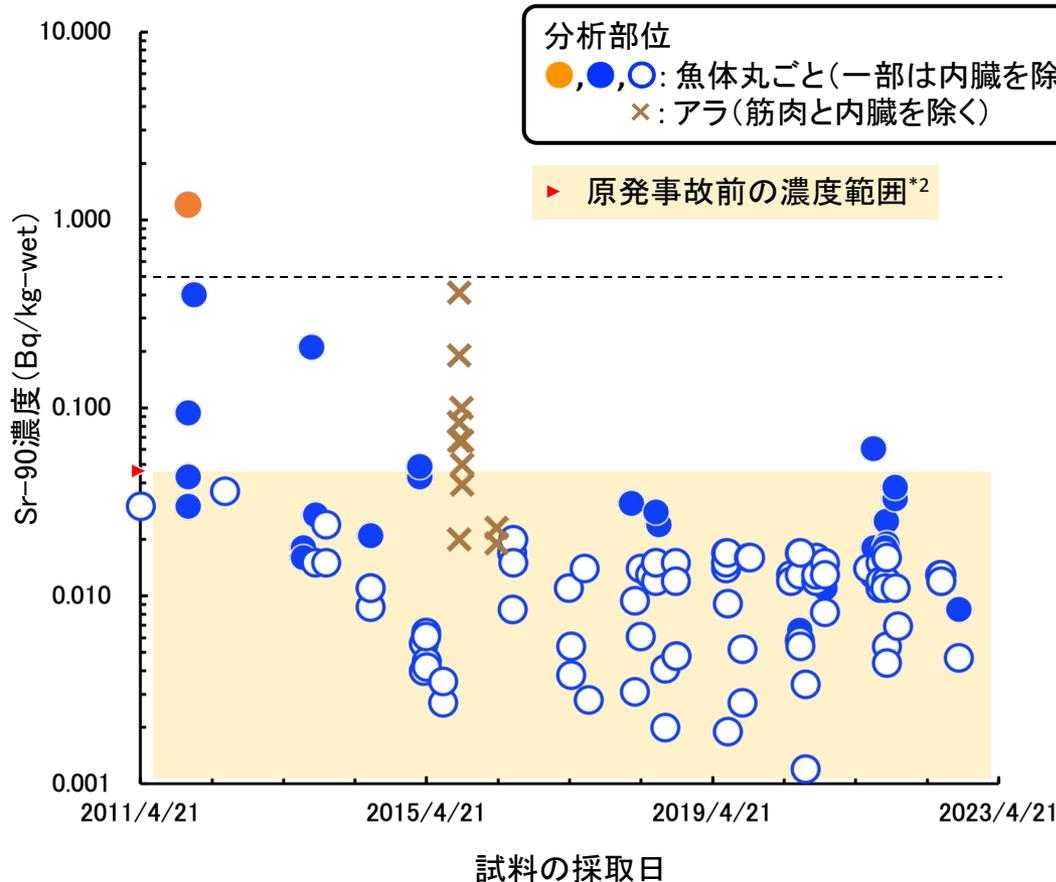
◇ 福島県沖で採取した浮魚類4種(マイワシ、カタクチイワシ、マアジ、マサバ)と、それら浮魚類の餌となる動物プランクトンについて、Cs-137濃度の推移を図に示します。2021年以降、マイワシやマサバの濃度水準は、事故前(2000年~2010年)に本州の太平洋沿岸域で採取された試料の濃度水準に近付きつつあります。

◇ 動物プランクトンでは、浮魚類と比較して濃度が高い試料が散見し、ばらつきが大きい傾向が認められたため、2022年7月3日に東電福島第一原発の沖合で採取した動物プランクトン試料(図中赤矢印)について、試料中に含まれる『生物が体内に取り込める状態のCs-137量』をリーチング実験(過酸化水素水を用いた溶出実験)で確認したところ、その量は総Cs-137量の約4割程度であり、実測値(0.465 Bq/kg-wet)は過大評価になっていることが示唆されました。

◇ 動物プランクトン試料のCs-137濃度は、試料に混入しているシルトなどの無機懸濁態の量や濃度によって大きく影響を受けることから、濃度が高くばらつきが大きい傾向になっていると考えられます。

1-3. 海産魚類におけるストロンチウム-90濃度

水産研究・教育機構では、水産物の安全性を確認するために福島を含む日本周辺で採取された海産魚類中のストロンチウム(Sr)-90濃度とセシウム(Cs)-137濃度を調査しています。



◇ 福島県沖の海産魚類のSr-90濃度は、Cs-137濃度*1よりも大幅に低く、原発事故直後に記録した最高値(1.2 Bq/kg-wet、図中の●)を除くと、0.5 Bq/kg-wet (図中の点線---)以下でした。

◇ 令和4年度に公表した福島県沖の海産魚類19試料の内、6検体からSr-90濃度が検出しましたが、いずれも原発事故前と同水準*2でした。一方、Cs-137濃度は全ての試料から検出し、その濃度は $0.083 \pm 0.014 \sim 1.1 \pm 0.017$ Bq/kg-wet でした。

◇ 福島県沖以外で採取された海産魚類のSr-90濃度は原発事故前の濃度*2と同水準でした*1。

*1 これまでの水産物におけるSr-90およびCs-137濃度の測定結果
<https://www.fra.affrc.go.jp/eq/result.html>

*2 原発事故前20年間の平均Sr-90濃度 0.025 ± 0.021 Bq/kg-wet 以下

図. 福島県沖で採取された海産魚類におけるSr-90濃度
 白抜き青丸○は検出下限値未満(<0.036 Bq/kg-wet)の試料を示す。

(Srは骨組織に多く存在することから、主に骨で構成されるアラの測定も行っています。)

1-4. 魚類生息環境判別技術の開発

表. 2021年2月以降に採取された基準値超過検体（全てクロソイ）のデータ

クロソイ サンプル	採取日	筋肉中の放射性 Cs濃度 (Bq/kg-wet)	ベータ線の強さ (計測数)	試料提供
#1	2021/2/22	500	10.9	福島海洋研
#2	2021/4/1	270	16.2	福島海洋研
#3	2022/1/26	1,400	39.0	福島海洋研

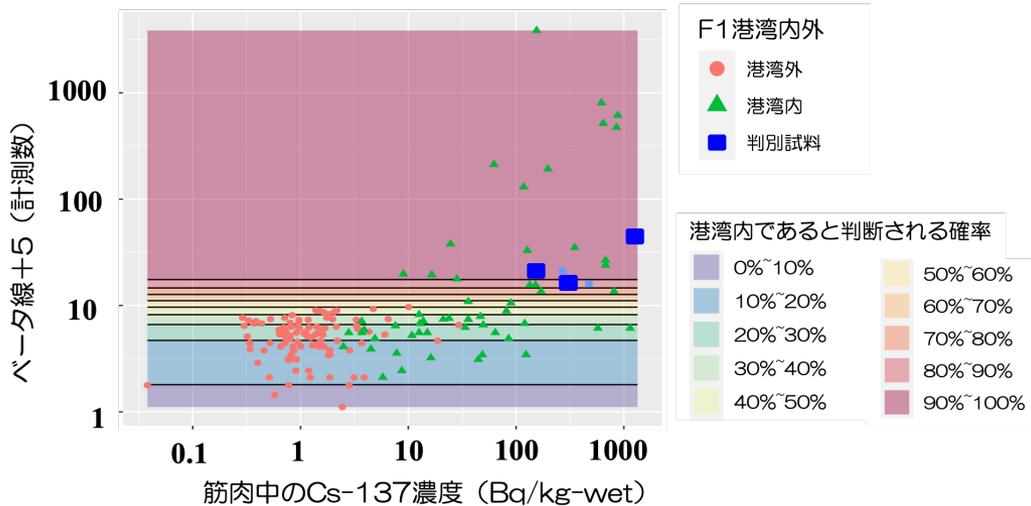


図. 耳石からのベータ線カウントを説明変数に用いたロジスティック回帰分析。ベータ線カウントは、計算上マイナス値になる場合があり、5カウントを足し対数表示で図示。

※本研究では、福島県水産海洋研究センター（福島海洋研）との共同研究において提供された耳石試料を使用しています。試料採取には、福島大学環境放射能研究所の和田准教授らやふくしま海洋科学館の富原氏にも協力していただきました。ここに皆様のご協力に感謝します。

◇ 福島県海域の水産物において、稀に食品衛生法上の基準値100 Bq/kg-wetを超過する検体が採取されます(表)。こうした検体が採取されること自体が風評の原因となると考えられます。

◇ 本研究では、基準値を超過した検体は福島第一原発(F1)港湾内に生息していたという仮説を設定し、F1港湾内での生息履歴の有無を判定することを目的としました。

◇ 昨年度の本課題では、F1港湾内(41検体)とF1港湾外(25検体)で採取された魚類耳石全体のベータ線を測定したところ、ベータ線の強さが5(計測数)以上のものは、F1港湾内で採取された魚類だけであることがわかり、これにより2021年2月以降に採取された基準値超過3検体全てが、F1港湾内で生息していたことがあると推察されました。

◇ 今年度は、検体数を追加しF1港湾内を56検体、F1港湾外を111検体と増加させ、ベータ線カウント数を説明変数に用いたロジスティック回帰分析を行いました。

◇ 検体数を増加させた今年度の解析においても、昨年度と同様に基準値超過3検体全てがF1港湾内で生息していたことがあると推察されました。

◇ F1港湾内の環境が魚類の基準値を超過させる有力な要因であり、F1港湾内での魚類駆除等の対策を強化することが重要であると思われます。

2-1. 栃木県中禅寺湖における湖水、プランクトン、湖底土の放射性セシウム濃度の推移

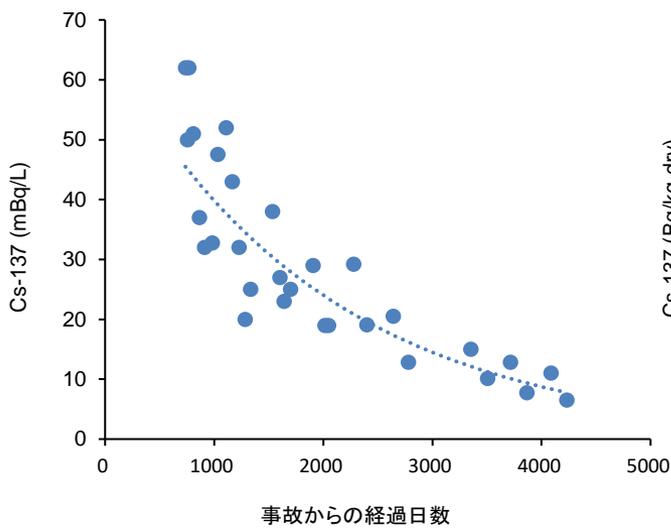


図1 中禅寺湖表層水のCs-137濃度の推移 (図中の曲線は統計学的に有意な低下傾向があることを示す)

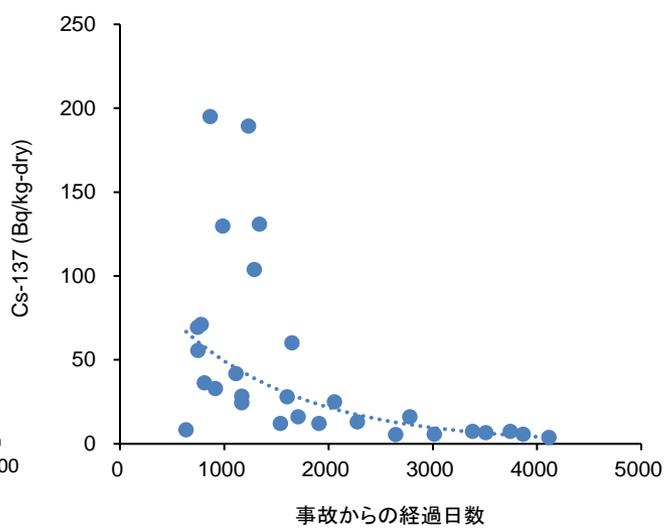


図2 中禅寺湖プランクトン(懸濁物を含む)のCs-137濃度の推移 (図中の曲線は統計学的に有意な低下傾向があることを示す)

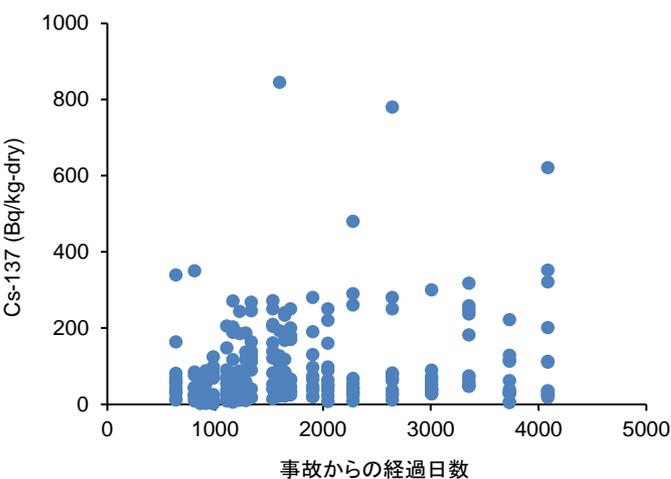


図3 中禅寺湖湖岸近くに設定した11定点における湖底土Cs-137濃度の推移



中禅寺湖

- 水産研究・教育機構は、栃木県中禅寺湖に生息する代表的な魚類、湖水、湖底土、プランクトンについて放射性セシウム(Cs-137)濃度の推移を調べています。
- 湖水、プランクトン(懸濁物を含む)のCs-137濃度は有意に低下していることが確認されました。一方、湖底土の濃度については今のところ明瞭な低下傾向は確認されていません。
- 中禅寺湖に生息するほとんど魚種から、Cs-137濃度の低下傾向が確認されています。
(令和3年度東京電力福島第一原子力発電所事故対応の調査研究における主要成果 https://www.fra.affrc.go.jp/eq/Nuclear_accident_effects/2021seika.pdf)

湖水の放射性セシウム濃度の低下が、魚類が餌とする水生生物(例えば、プランクトン)の濃度低下をもたらし、ひいては魚類各種の濃度の低下へとつながると考えられました。



地理院地図(国土地理院)をもとに作成

2-2. 千葉県手賀沼における食物網構造と放射性セシウム濃度との関係

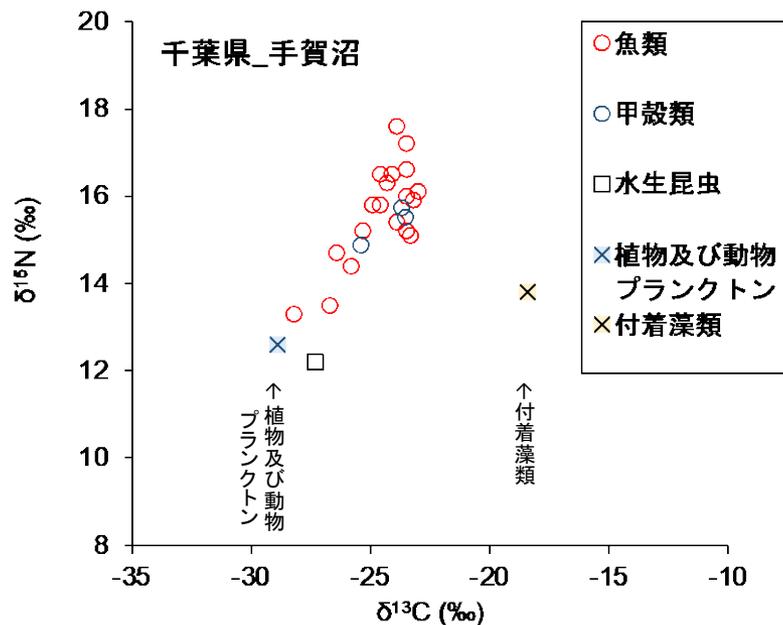


図1 手賀沼におけるδ¹³C-δ¹⁵Nマップ

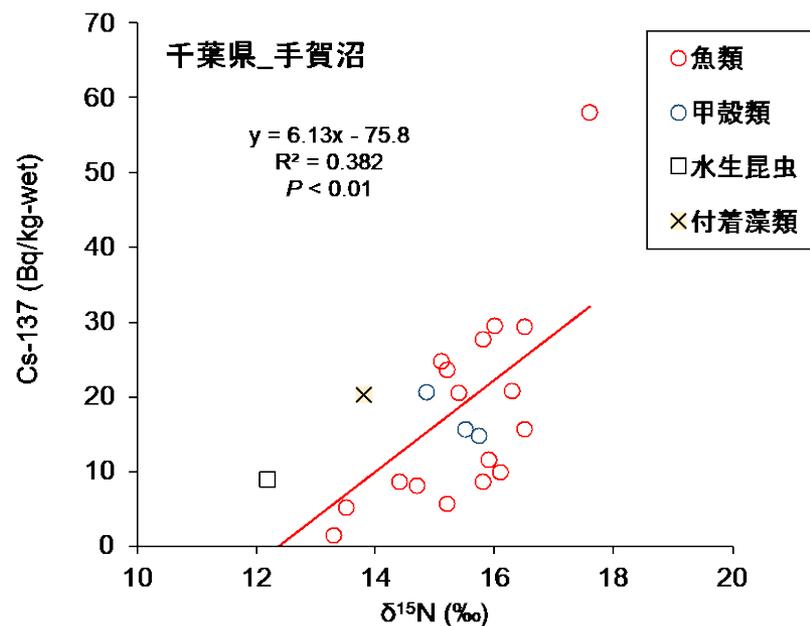


図2 手賀沼におけるδ¹⁵NとCs-137濃度との関係

- 千葉県手賀沼において魚類、甲殻類（スジエビ等）、水生昆虫（ユスリカ幼虫等）、植物及び動物プランクトン、付着藻類を採集し、それらの放射性セシウム濃度を測定するとともに、安定同位体比分析に基づく食物網構造を調べました。
- 安定同位体比分析では、主に炭素（δ¹³C）は餌起源を示し、窒素（δ¹⁵N）は栄養段階を表す指標になります。手賀沼の湖沼生態系では、δ¹³Cが植物及び動物プランクトン（-28.9‰）と付着藻類（-18.4‰）の間に位置することから、それらが主要な餌起源であることが分かります（図1）。また、δ¹⁵Nの高い生物ほど栄養段階は高くなることから、魚類が最上位捕食者であることが分かります。
- 付着藻類、水生昆虫、甲殻類、魚類のプロットδ¹⁵NとCs-137濃度との間に正の相関関係が認められました（図2）。このことから、手賀沼では栄養段階に応じたCs-137の生物濃縮が示唆されました。

2-3. 福島県富岡川における放射性物質の挙動に関する調査



図1. 調査地点。

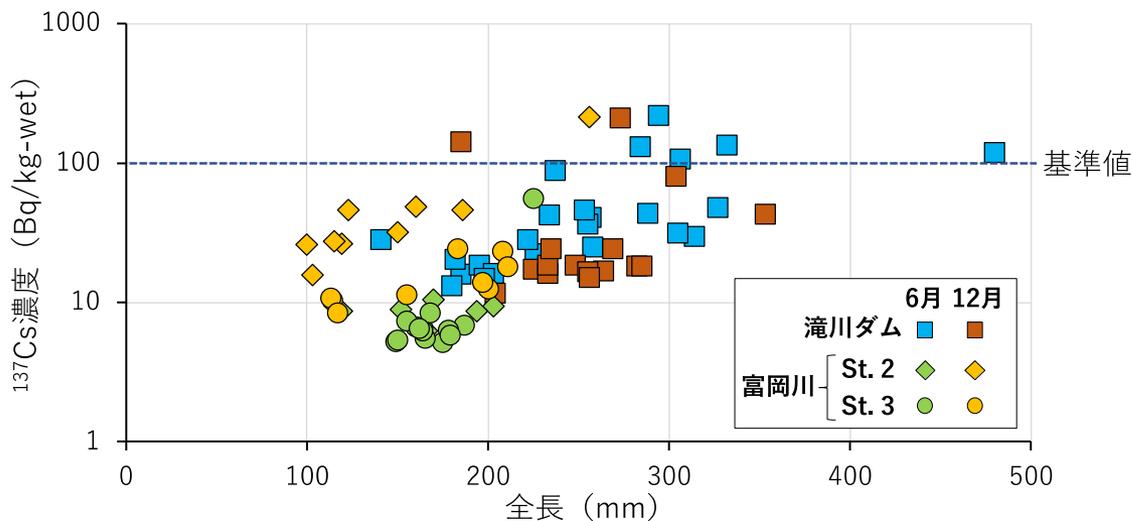


図2. イワナのサイズと各調査地点の筋肉中のCs-137濃度 (Bq/kg-wet)。河川では6月採取個体より12月採取個体のほうが濃度が高い傾向 ($p < 0.05$)。滝川ダム湖では6月と12月で有意差はない。サイズ効果 $*$ は、河川の6月 ($r = 0.60$, $p < 0.01$)、12月 ($r = 0.53$, $p < 0.05$) と滝川ダム湖の6月 ($r = 0.57$, $p < 0.01$) に見られた。

$*$ サイズ効果: サイズの大きい個体のほうが濃度が高くなる。

謝辞: 本調査は福島大学環境放射能研究所への委託事業「福島県富岡川における放射性物質の挙動に関する調査」によって行われている。本課題の調査は、富岡川漁業協同組合の了承の下で行われており、関係者のご理解に感謝します。

◇ 福島県では、水産物の安全性が確認された河川では漁業が再開されていますが、一部の河川では漁業の自粛が継続しています。こうした河川では、魚類の放射性セシウム (Cs) 濃度にバラツキがあり漁業再開の判断が困難です。

◇ そのため、こうした河川では漁業再開に向けて、汚染源の特定やそのバラツキの要因解明が望まれています。本研究課題では、地元からの要望もあり漁業が再開されていない河川の一つである富岡川で調査研究を実施しました。

◇ 富岡川は、福島県双葉郡川内村から同郡富岡町に至り太平洋に注ぐ河川で、途中でダム湖 (滝川ダム) があります。河川とダム湖において同種の魚類が採取できることから、その比較が容易であり、調査フィールドとして大変優れています (図1)。

◇ 数種類の魚類、餌生物、水、泥の調査を行いました。ここでは富岡川の代表的な漁業権対象種であるイワナの測定結果を示します (図2)。

◇ 昨年度調査 (R3年度主要成果参照) では滝川ダム湖で基準値を超過する個体は全て全長300mm以下でしたが、今年度調査では185~480mmと幅があり、基準値超過検体とサイズの関係は明確ではありませんでした。

◇ 今後、河川と滝川ダム湖のサイズ効果の有無、濃度が異なる理由や濃度バラツキの要因を調査していく予定です。

3-1福島県産水産物の高品質化技術開発

血液置換処理による高品質化

福島県（沼之内市場）の大型ヒラメ（約4kg）に対して処理を実施したところ、高い脱血効率が得られ、肉質軟化の抑制、魚臭低減に効果があることを確認した。血液置換処理は福島県産大型ヒラメの高品質化に貢献が期待される。

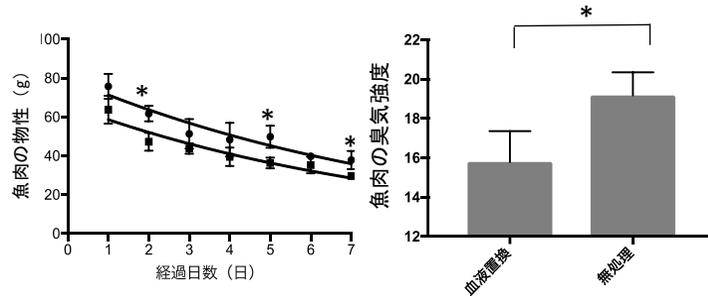


血液置換処理

無処理 エラ膜切断 血液置換



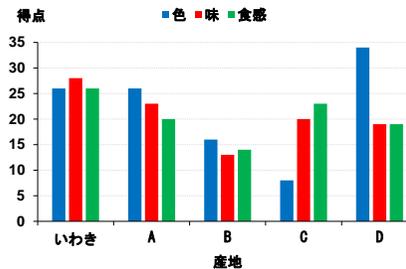
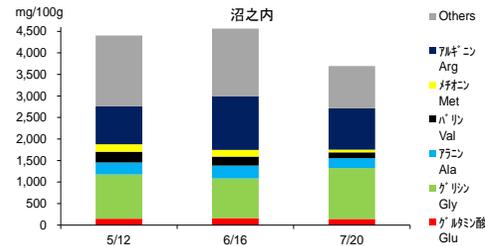
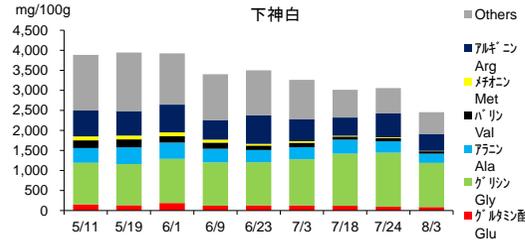
血液置換処理によって高い脱血効率が得られた。



血液置換処理による肉質軟化が抑制され、魚臭が低減された。

科学的データを活用したウニ貝焼きの市場差別化

・ウニの美味しさに関与しているGlu, Gly, Ala, Val, Metの総量は漁期中、いずれの地区でほぼ一定であった。
 ・甘味を有するGly、Alaの含量がそれぞれ、100g中に900mg、250mg以上含まれ、甘味が強いウニであることが示された。



・貝焼きの官能評価の結果、いわき産は、味と食感が他産地よりも評価が高い

沖合底びき網漁で漁獲される小型サバの利用

相馬地区の沖合底びき網で10月に漁獲されたマサバは小型で脂が少なかったが、一夜干し、漬け丼にすることにより、食味の評価が高い製品となることが示唆された。

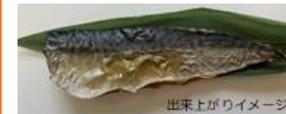
今後、関係者と連携し、サバ資源の有効活用、販路拡大を目指す。

調査対象マサバの一般成分(%)

成分	平均	±	標準偏差	漁獲日	2022年10月31日
水分	76.7	± 0.8		分析尾数	20尾
タンパク質	21.3	± 0.5		尾叉長	平均24.6cm (20.4~30.5cm)
脂質	0.8	± 0.6		体重	平均136.6g (76.8~255.0g)
灰分	1.5	± 0.1		魚種	マサバ

漁獲物は平均24.6cm、136.6gであり、小型のマサバであった。脂質は0.8%であり、少ない傾向にあった。

【試作した加工品】



一夜干し



漬け丼

一夜干しは塩水、漬け丼は砂糖と醤油の調味液に漬けることにより脂質が少ない小型のサバでも食味が良くなり、冷凍中の品質劣化を防止できるような加工を施した。

3-2 消費者視点を基盤とした福島県産水産物の販売戦略構築

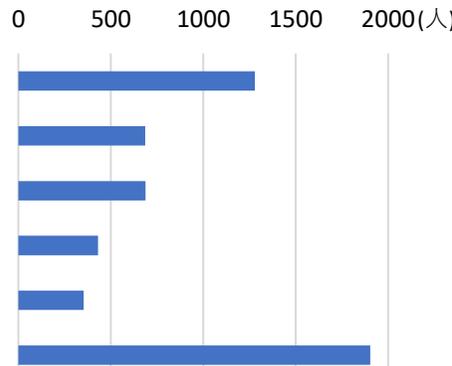
福島県産水産物の販路開拓を目指し、水産物に対する消費者ニーズの解明を目的としたアンケート調査を実施し、さらにマアナゴとカレイの官能特性（味や食感）の評価を行いました。

①ALPS処理水に関する消費者認知の把握

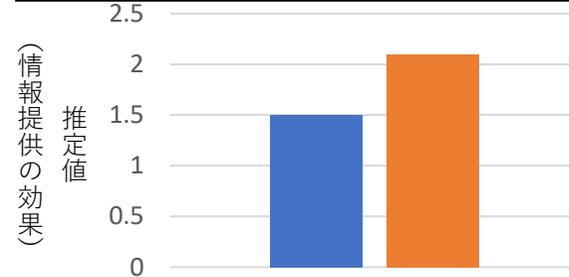
以下の福島第一原子力発電所に関する情報のうち、あなたが知っていることはどれですか。複数ある場合は全て選んでください。(複数選択)

※関東・宮城・福島の消費者3,500人の回答。
※令和4年11月時点の結果

福島第一原子力発電所ではALPS(アルプス)処理水を海洋放出する方針が政府により決定されています	
ALPS処理水とは、トリチウム以外の放射性物質が基準値を確実に下回るまで除去された水です	
ALPS処理水からトリチウムを取り除くことが難しいため、100倍以上に大幅に薄めてから海洋放出されます	
薄められたALPS処理水のトリチウム濃度は、WHO(世界保健機関)が定める飲料水基準の1/7程度となります	
ALPS処理水放出後の海水中のトリチウム濃度は普段利用している水道水と同じくらいになると見込まれます	
どれも知らない	



②アナゴの脂質分析結果の情報提供が消費者評価に及ぼす効果の分析



- 関東の消費者3000名の選択実験データを潜在クラスモデルで分析
- 消費者は4グループに分類され、そのうち1グループ(Class C; 37.6%)で情報提供はプラスの効果(左図 Class Cの推定値。推定値>0だとプラスの効果がある)

この記事は福島県産水産物振興局が提供するニュースの内容です。

「福島県産の水産物には放射性物質が検出されたため、ファンクショナルな価値、それらによる効果も多く、より価値が高まっています。その価値を物販で、アナゴの味にも活かす。大型アナゴは刺身でも美味しく食べているので、小さいアナゴに比べて刺身も美味しく食べてほしい。」

ストーリー情報

次の記事は分析結果期間から提供された情報です。

「福島県産の産地で調達されたマアナゴの脂質含量を分析しました。」

その結果、大型のマアナゴでは小型のマアナゴに比べて脂質の含有率が約2倍であることが明らかになった。

分析結果の情報

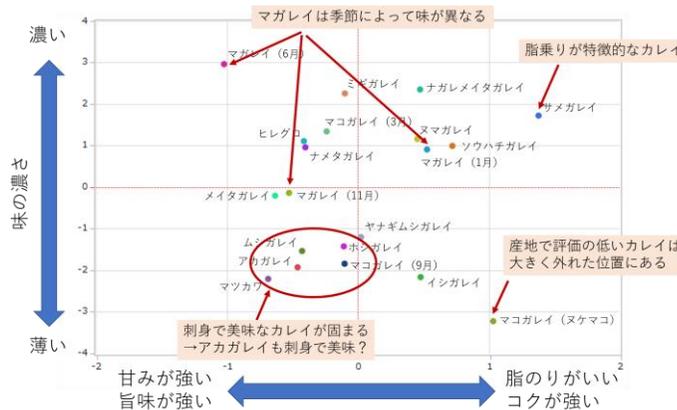
図 マアナゴの脂質含量のサイズ別比較

③サイズの異なるマアナゴの調理法による味や食感の違い

	焼きアナゴ		アナゴ天ぷら		煮アナゴ	
	小	大	小	大	小	大
肉厚感		++		+++		+
うま味		+++		++		++
脂の濃厚感	-	+++	/	/	/	/
ジューシーさ	-	+++		+		(+)
身のほぐれやすさ		/	/	/	/	/
弾力		/		/		+
小骨		/		/		/
生臭さ		/		(-)		/
香ばしさ		/		++		/
塩味		/		/		/
味の強さ		/		+		(+)
ふんわり感		/		(+)		/

斜線部は評価なし。+++ p<0.001, ++ p<0.01, +/- p<0.05, (+/-) p<0.1

④官能評価によるカレイ類のテイストマップ作成



- 54%の消費者が「どれも知らない」と回答(令和4年11月時点)。令和3年度(62%)より少し普及。
- 脂乗りに関する分析結果の情報提供は一部の消費者において評価を有意に高めることが明らかとなった。
- マアナゴの官能評価から、大型のマアナゴはうま味、ジューシーさを強く感じられ、小型のマアナゴは生臭さが弱く、あっさりとした味であることが明らかとなった。
- カレイ類は種や漁獲月によって味の濃さに大きな変動があることが明らかとなった。