



国立研究開発法人
水産研究・教育機構

令和5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6年3月
国立研究開発法人 水産研究・教育機構



— 目次 —

はじめに

1. 福島県海域における海水の放射性セシウム濃度の状況
2. 海底堆積物に含まれる放射性セシウム
3. 福島県沖で採取した魚類と餌生物のCs-137濃度
4. 海藻類におけるストロンチウム-90濃度
5. 東電福島第一原発専用港湾内の魚類に関する研究
6. 栃木県中禅寺湖に生息する魚類の放射性セシウム濃度
7. 利根川におけるニホンウナギの放射性セシウム濃度
8. 福島県富岡川における放射性物質の挙動に関する調査
9. 福島県産水産物の販売戦略構築のための素材評価
10. 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

はじめに

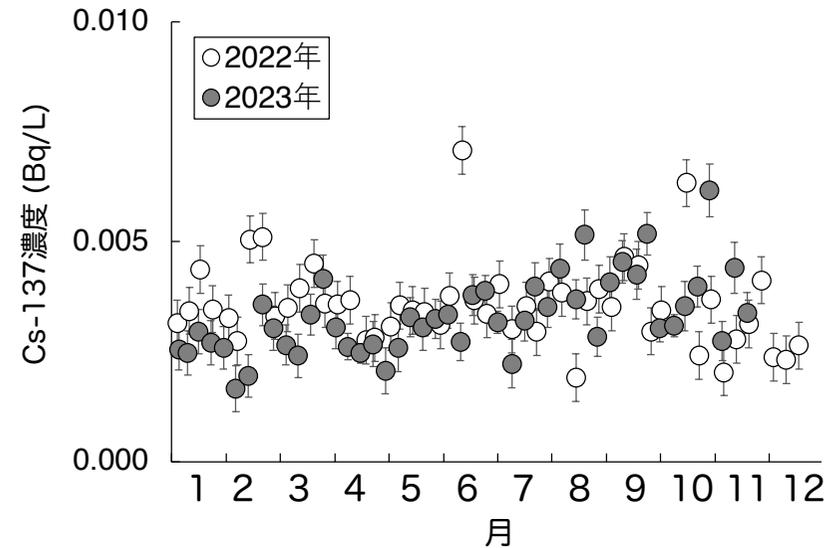
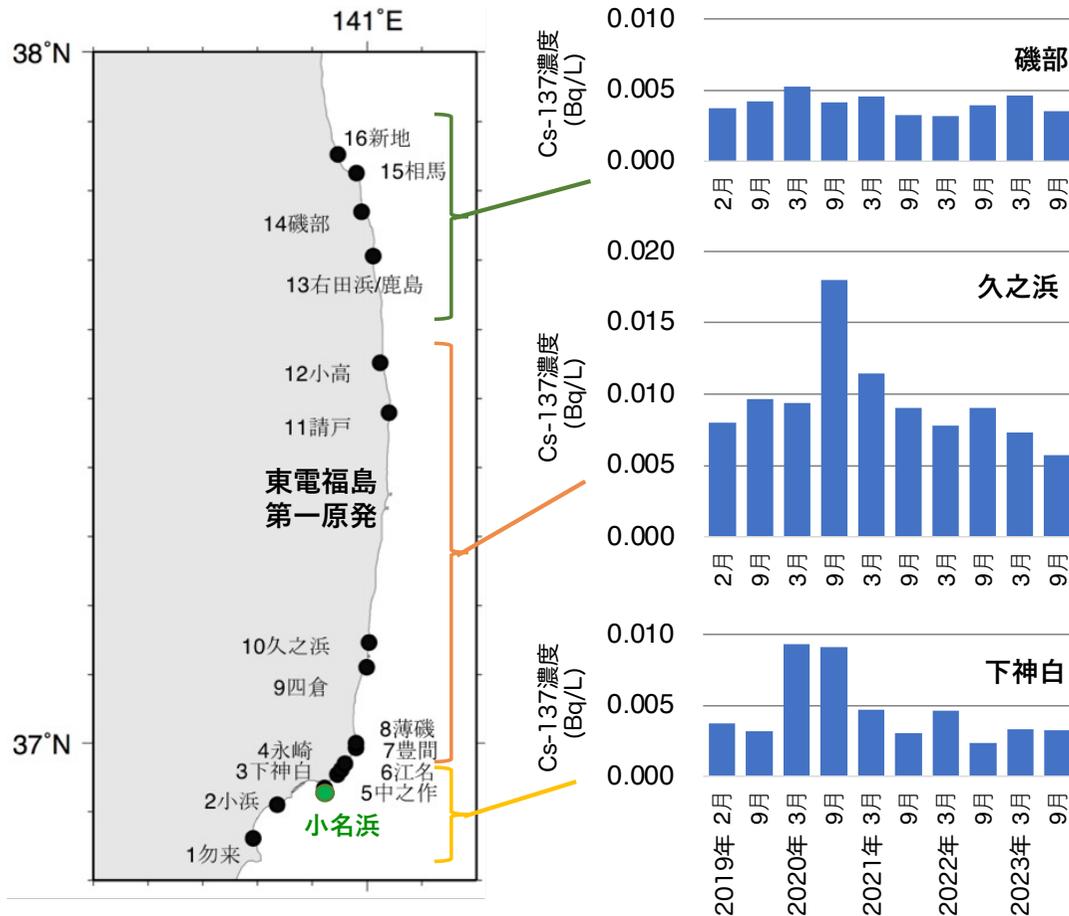
2011年3月に東京電力(株)福島第一原子力発電所（東電福島第一原発）から環境中に放出された放射性物質により、福島県やその近接水域に生息する水生生物が汚染されました。水産研究・教育機構（当時の水産総合研究センター）では、事故直後より水産庁をはじめとする関係機関と連携して科学的に十分なモニタリング体制を構築し、その調査結果を公表してきました。

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年に35%と高い割合でしたが、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たと言えます。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月に海域・魚種を厳しく制限した試験操業を開始、徐々に対象魚種、操業海域を拡大していきました。2021年3月末には試験操業が終了となり、2021年4月より水揚量、流通量の拡大を目指した本格操業への移行期間が始まりました。2012年の水揚量は震災前（2010年）の0.5%であったものの、2024年3月時点で約26%まで回復しました。

2023年8月にはALPS処理水の海洋放出が開始されましたが、水産庁等によるモニタリング結果の迅速公表などの対応もあり国内では冷静に状況が受け止められました。このような状況下、風評を払拭し活気ある東北地方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必須の課題です。水産研究・教育機構では、震災直後から復興交付金による「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5年度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、そして軽減されてきたのか、その過程を科学的に明らかにすることにより、引き続き東北地方の水産業の復興・創生に貢献していきたいと考えています。

1. 福島県海域における海水の放射性セシウム濃度の状況

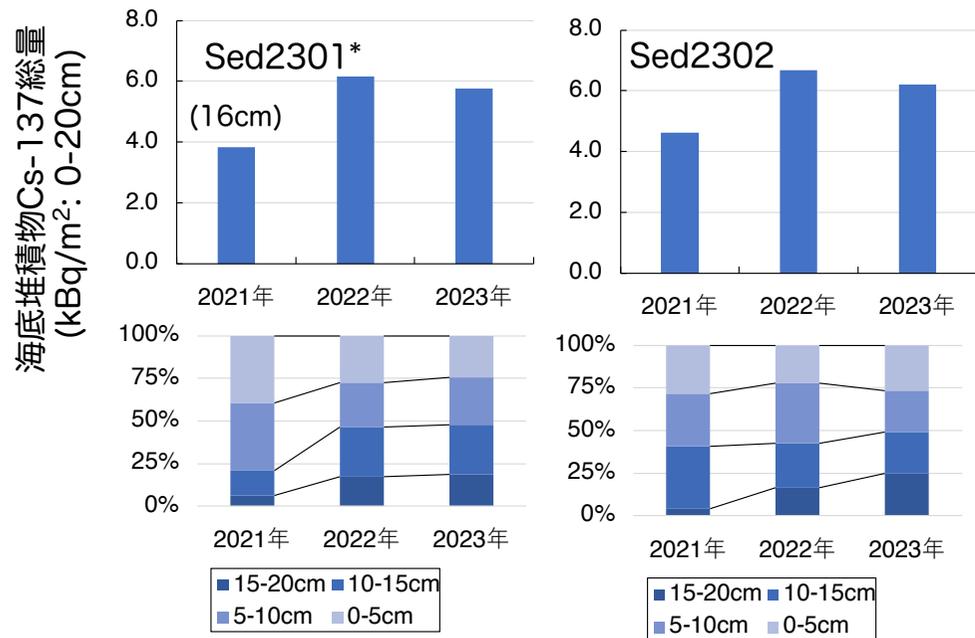
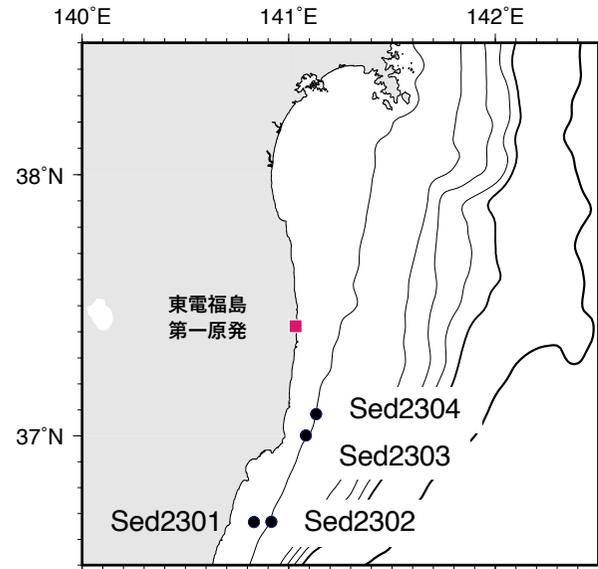


↑ 図2. 週1回の採水を行っている小名浜における2022年（白丸）及び2023年（黒丸）の海水の放射性セシウム(Cs-137)濃度。エラーバーは計数誤差。

← 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か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21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、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近年変動はなく、低水準で推移していることを確認しています。具体的に直近2年間を示すと、0.007 Bq/L以下で推移しています（図2）。

2. 海底堆積物に含まれる放射性セシウム



海底堆積物Cs-137総量
(kBq/m²: 0-20cm)

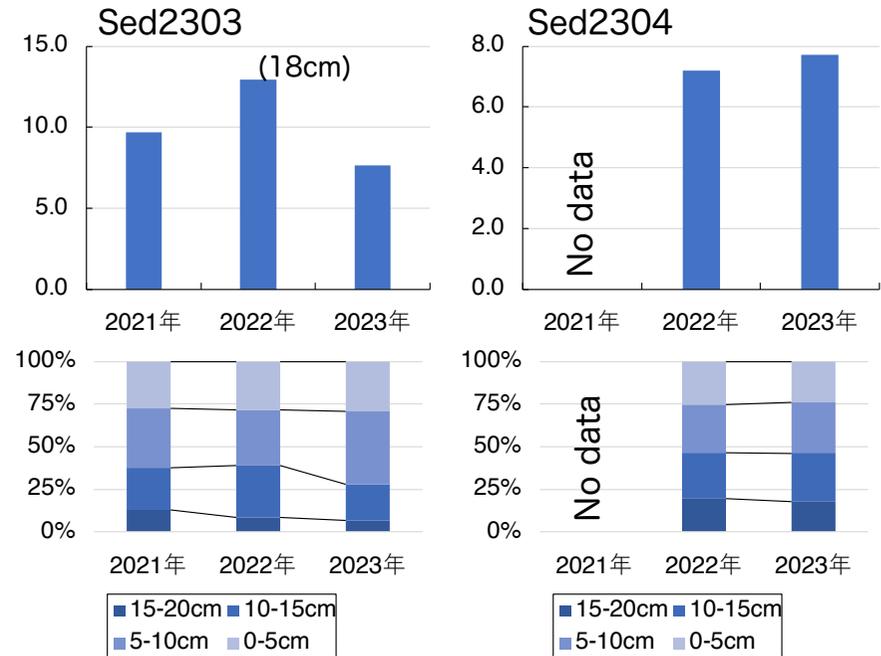


図. 海底堆積物の採取地点位置及び0-20cmのCs-137総量の経年変動ならびに総量に占める層別 (0-5cm, 5-10cm, 10-15cm及び15-20cm) の割合。カッコ内の数字は20cmまで採取できなかったサンプルの最深採取深さを表す。

*Sedは海底堆積物(Sediment)の略

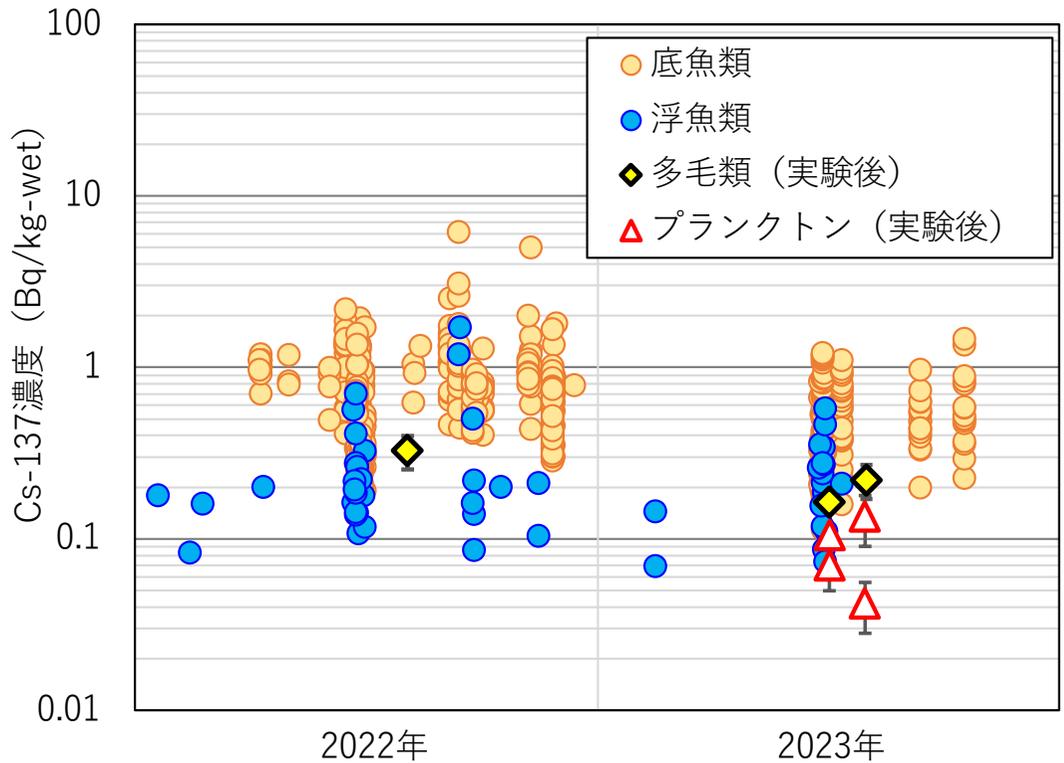
- ◇ 福島県沖の漁場環境の状況を把握するため2011年より海底堆積物の放射性セシウム濃度も調べています。
- ◇ 直近3年間における水深100m付近における海底堆積物の0-20cmのCs-137総量はほぼ変動がないことが確認されました (図)。
- ◇ 底魚類が生息環境として利用可能な深さ10cmより浅い層には、海底堆積物0-20cmに含まれるCs-137総量の約50%以上が存在していることが確認されました (図)。

3. 福島県沖で採取した魚類と餌生物のCs-137濃度

表. リーチング実験前後で比較した餌生物のCs-137濃度

餌生物	採取日	Cs-137濃度(Bq/kg-wet)	
		実験前 (濃度±測定誤差)	実験後 (濃度範囲*)
多毛類	2022/8/4	3.36 ± 0.0615	0.254~0.399
多毛類	2023/7/3	1.55 ± 0.0627	0.119~0.209
多毛類	2023/8/1	3.16 ± 0.0492	0.170~0.269
プランクトン	2023/7/3	1.16 ± 0.0386	0.0853~0.124
プランクトン	2023/7/3	0.205 ± 0.0100	0.0498~0.0902
プランクトン	2023/7/31	0.581 ± 0.0314	0.0902~0.179
プランクトン	2023/7/31	0.160 ± 0.0173	0.0280~0.0558

* 混入物の影響により餌生物の正確な湿重量が分からないため、実験後の残渣が全て混入物に由来する場合と、全て餌生物に由来する場合の湿重量について、それぞれリーチング実験で溶出したCs-137量から濃度を求め、測定誤差を考慮した上で濃度範囲を示しました。



*多毛類とプランクトンのエラーバーは（表）の実験後で示した濃度範囲

図. 福島県沖の魚類とリーチング実験後の餌生物のCs-137濃度

◇ 福島県沖の多毛類（底魚の餌生物）とプランクトン（浮魚の餌生物）の灰化試料を測定したところ、多毛類のCs-137濃度（Bq/kg-wet）は1.55から3.36、プランクトンは0.160から1.16の濃度水準でした（表1）。これらの試料について過酸化水素水による溶出（リーチング）実験を行い、溶出した「生物が利用可能な状態のCs-137量」から餌生物としてのCs-137濃度を求めたところ、多毛類は実験前の約1/10、プランクトンでは1/3から1/10程度の濃度となりました。

◇ リーチング実験により、シルトのような無機懸濁態等の混入物による影響を取り除いた餌生物のCs-137濃度は、それらの捕食魚と比較してやや低い濃度水準でした（図）。福島県沖における餌生物と捕食魚との濃度関係は、東電福島第一原発事故前の状態（捕食魚のCs-137濃度は餌生物の数倍程度）に戻りつつあることが示唆されました。

4. 海藻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物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。

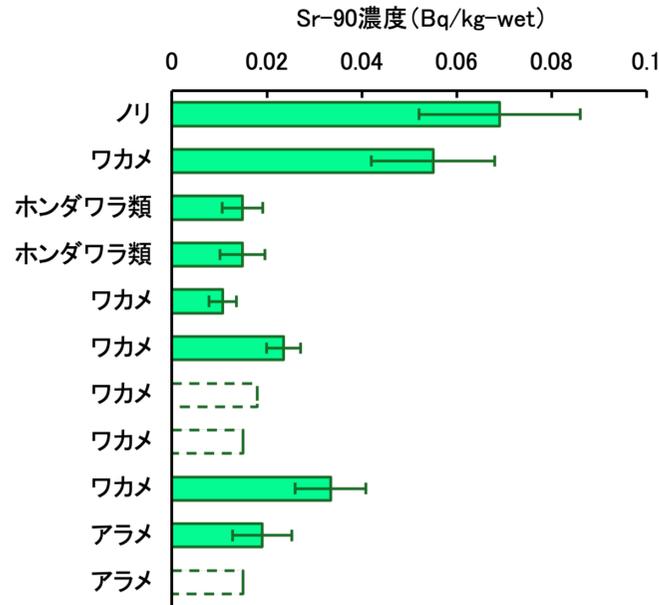


図1. 水産機構が測定した海藻類中のSr-90濃度の測定結果。エラーバーは計数誤差を示す。検出下限値未満の試料は検出下限値を示す。

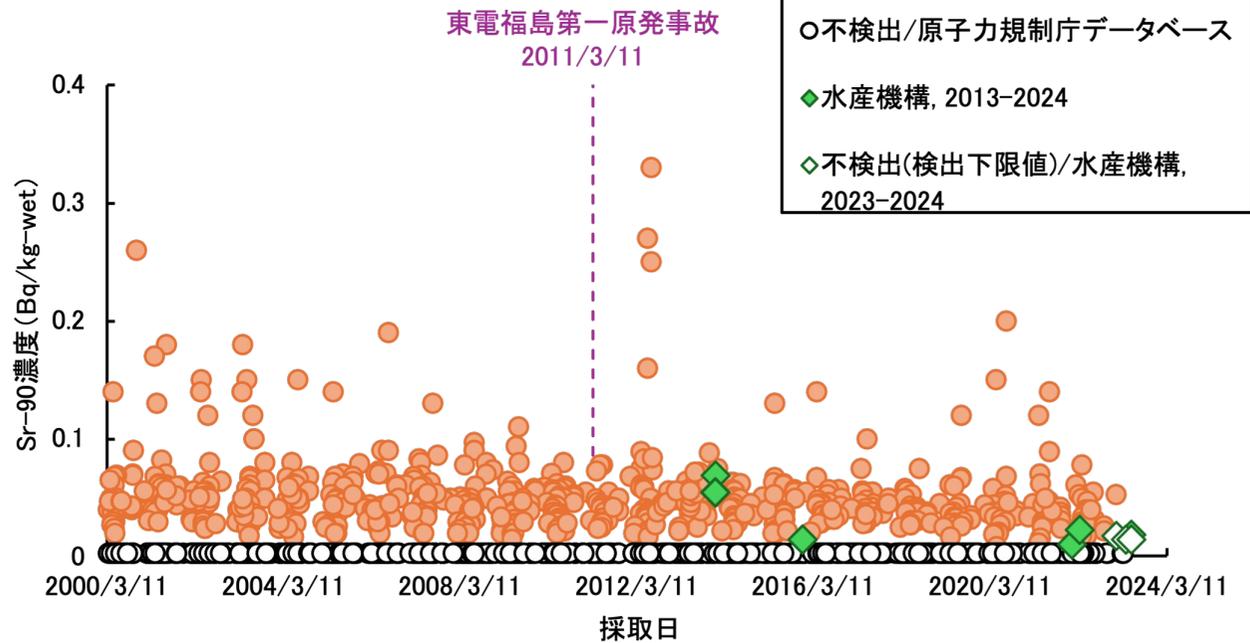


図2. 日本周辺の海藻類中のSr-90濃度

- ◇ 海藻類中のSr-90濃度のデータは2013~2015年に4検体、2023年度は7検体公表しました*1。2022/1/12~2023/4/5に採取された神奈川のワカメ4検体におけるSr-90濃度は検出下限値未満 (<0.018) ~0.033 Bq/kg-wet、2022/3/18に採取された長崎のワカメは0.023 Bq/kg-wet、2023/5/19に採取された福島のアラメ2検体は検出下限値未満 (<0.015) および0.019 Bq/kg-wetでした (図1)。
- ◇ 日本周辺で採取された海藻類におけるSr-90濃度は、2000年3月以降、低い濃度レベルを維持しています (図2)。
- ◇ 海産魚類におけるSr-90濃度は令和5年度に42検体を公表しました*1。10検体からSr-90が検出し、その内の9検体は原発事故前と同水準*2でした。一方Cs-137は全ての試料から検出し、その濃度は0.038~1.6 Bq/kg-wetでした。

*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.go.jp/home/kenkyushokai/great_east_japan_earthquake/housyanou_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

5. 東電福島第一原発専用港湾内の魚類に関する研究

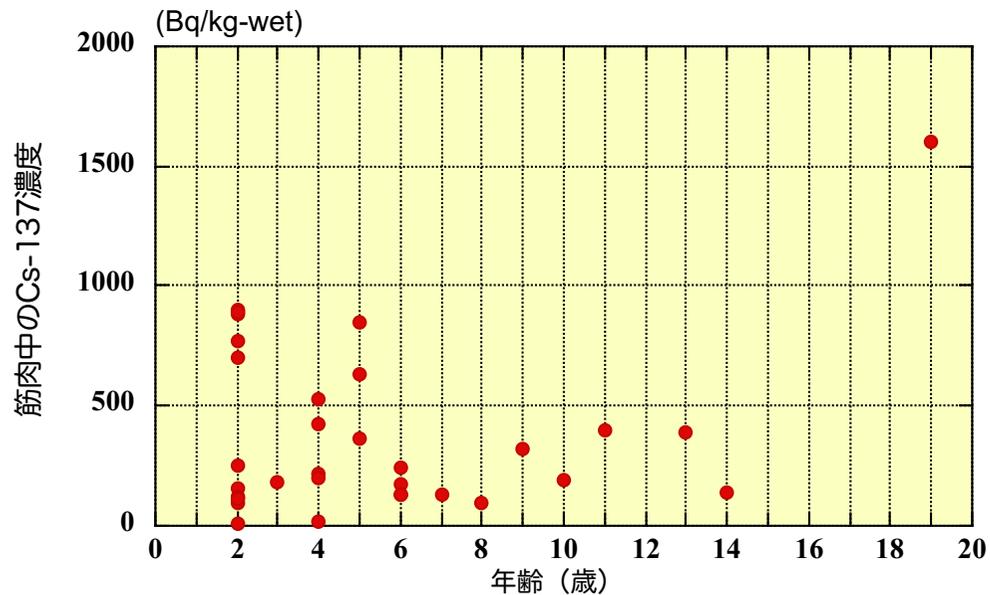


図1. 2022年に港湾内から採取された一部試料の年齢と筋肉中のCs-137濃度の関係。

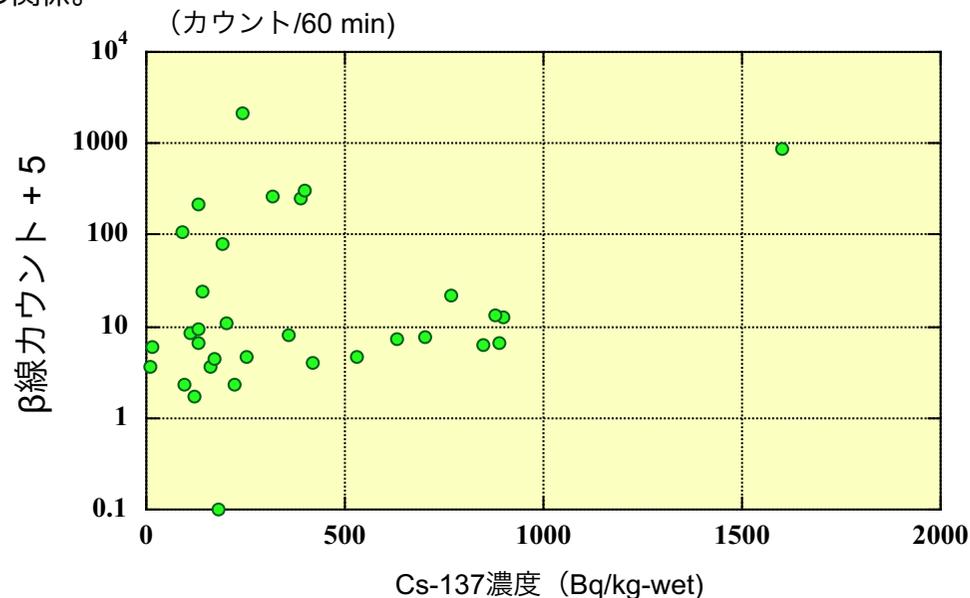
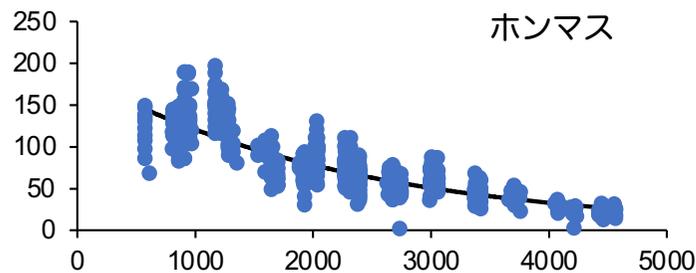
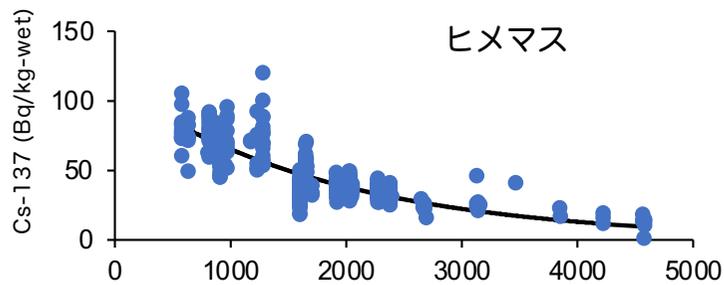


図2. 2022年に港湾内から採取された一部試料の筋肉中のCs-137濃度と耳石のβ線カウント数と関係。

- ◇ 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。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。
- ◇ 昨年度までに本課題で開発した判定技術により、近年基準値を超過した検体は福島第一原発（F1）港湾内に生息履歴があると判定されました。
- ◇ 東京電力HDは、F1港湾内外への魚類の移動防止や港湾内の魚類駆除を行っていますが、未だに港湾内の魚類から高い濃度の放射性セシウムが検出されています。本課題では、2022年度に港湾内で採取された放射性セシウム濃度の高い魚類を東京電力HDから検体入手し、その年齢査定を耳石を用いて行いました。
- ◇ 調べた魚類の中で、もっとも若い検体は2歳でした（図1）。3歳になる寸前の2歳も存在すると仮定すると、2019年以降でも港湾外から魚類が入っているか港湾内で発生していることとなります。
- ◇ 筋肉中のCs-137濃度と耳石にベータ線カウントの関係を図2に示しました。Cs-137濃度が高いがベータ線のカウント数が少ない魚類が存在しており、こうした魚類が港湾外に出てきた場合、昨年度までに開発した判定技術の適用は困難であることから、新たな判定技術の開発が必要です。
- ◇ F1港湾内外への魚類の移動防止だけでなく、F1港湾内で高い濃度の魚類が生じないように環境改善を行う必要があると思われます。

6. 栃木県中禅寺湖に生息する魚類の放射性セシウム濃度



中禅寺湖

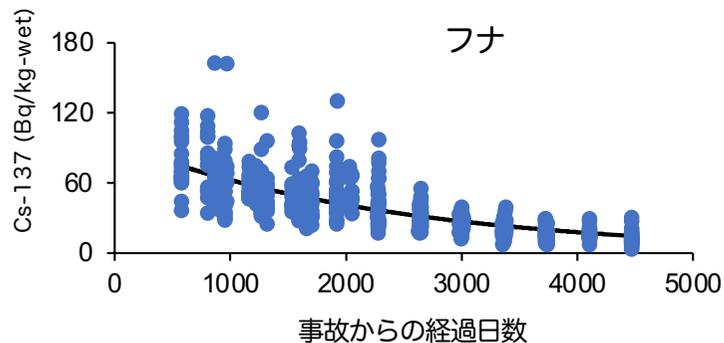
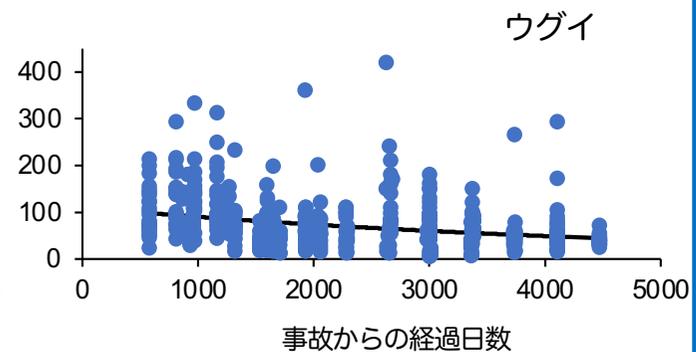
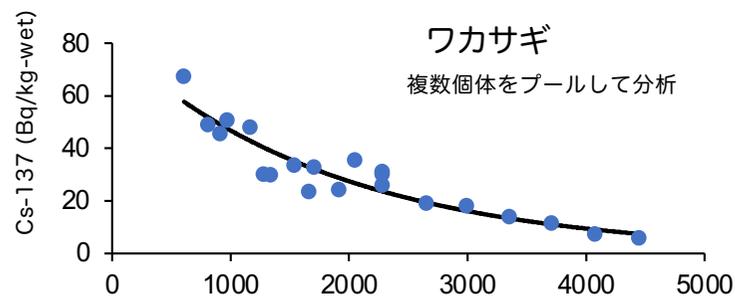
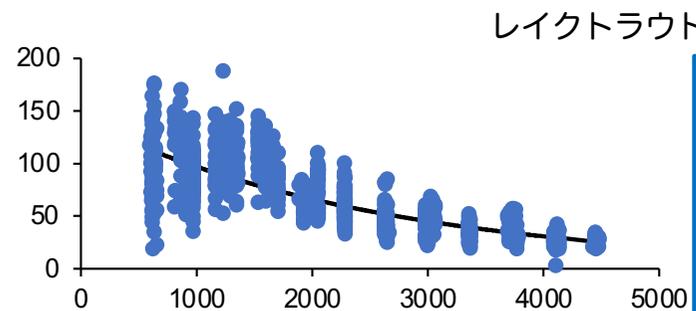
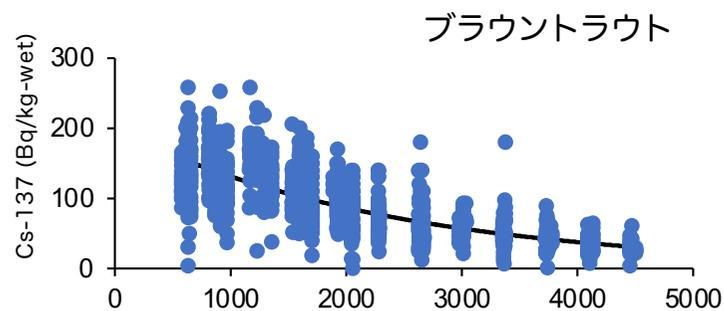


図. 栃木県中禅寺湖に生息する代表的な魚類の放射性セシウム(Cs-137)濃度の推移。図中の曲線は統計学的に有意な減少傾向があることを示す。

◇ 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について放射性セシウム(Cs-137)濃度の推移を調査しています。

◇ 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(図)。

◇ 2023年までのデータによるCs-137の実効生態学的半減期は、ヒメマスで約1290日、ホンマスで約1600日、ブラウントラウトで約1660日、レイクトラウトで約1810日、ワカサギで約1300日、ウグイで約3410日、フナで約1660日と推定されました。

※水産研究・教育機構と栃木県水産試験場による共同調査

7. 利根川におけるニホンウナギの放射性セシウム濃度

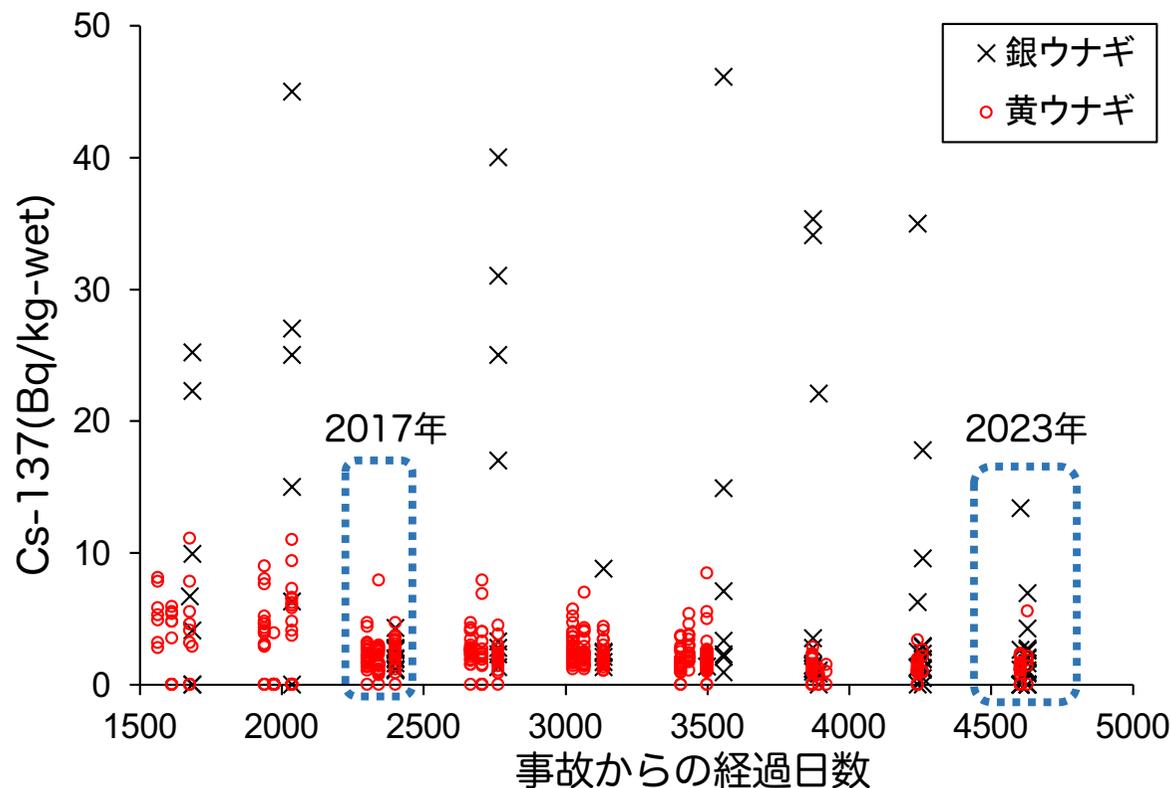


図 利根川（千葉県香取市から東庄町に至る水域）におけるニホンウナギのCs-137濃度の推移。なお、検出下限値未満のデータは0 Bq/kg-wetのところに表記した。

◇ 利根川に生息するニホンウナギは、2023年3月8日に国からの出荷制限指示が解除されました。

◇ 黄ウナギでは2017年以降、10 Bq/kg-wetを超える個体は確認されていません。

◇ 銀ウナギについては一部の個体で10 Bq/kg-wetを超えるものが確認されましたが、最高値でも基準値を大きく下回っていました。

◇ 2023年に利根川（千葉県香取市から東庄町に至る水域）にて採捕したニホンウナギの放射性セシウム濃度は平均2.2 Bq/kg-wetであり、すべての個体で基準値以下であることを確認しました。

※水産研究・教育機構と千葉県水産総合研究センターによる共同調査

8. 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

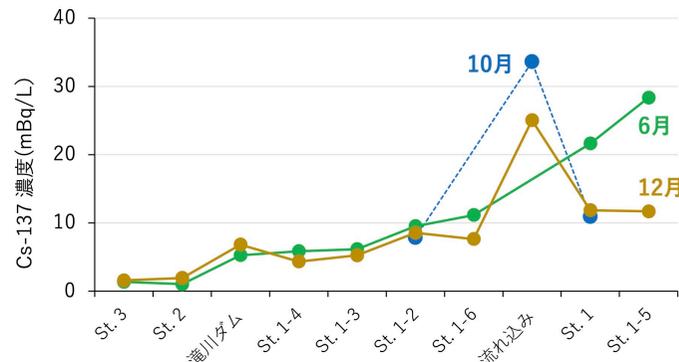


図2. 2023年6月、10月、12月の河川水中mの溶存態Cs-137濃度

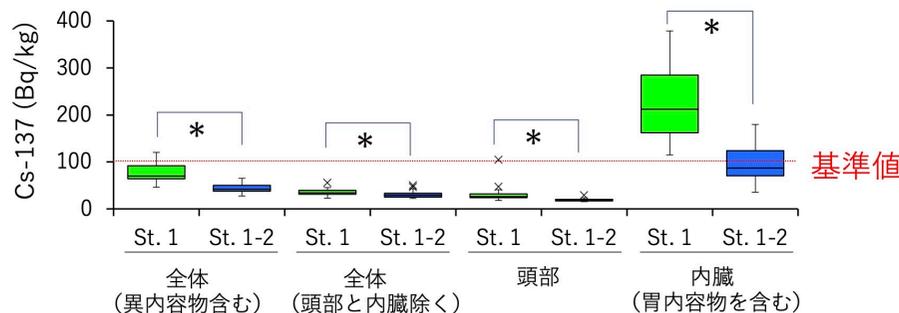


図3. St. 1及びSt. 1-2において10月に採取されたアユの部位別Cs-137濃度。全体（胃内容物含む）の濃度は他の部位の加重平均より算出。*はU検定での有意差有 ($p < 0.01$)。

- ◇ 福島県では、水産物の安全性が確認された河川で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、途中にダム湖（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)。
- ◇ 富岡川下流では、遅沢川が合流しています (図1のSt.1流れ込みの地点)。河川水中の溶存態Cs-137濃度は、St.1流れ込みの地点で高く、その影響が下流にも及んでいると考えられます (図2)。
- ◇ St.1流れ込み地点より上流 (St. 1-2)と下流 (St. 1)で採取されたアユのCs-137濃度は、下流のほうが高い傾向にあります (図3)。
- ◇ 今後、St.1流れ込み地点の溶存態Cs-137濃度が高い原因や河川水中のCs-137濃度とアユの各部位のCs-137濃度の関係を調査していく予定です。

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及び富岡町役場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。

9. 福島県産水産物の販売戦略構築のための素材評価

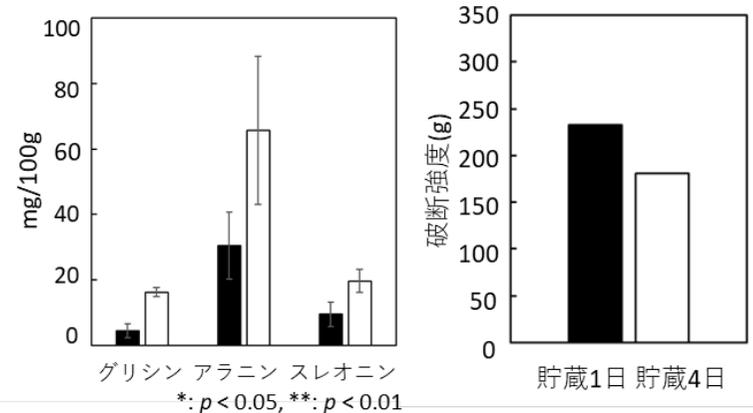
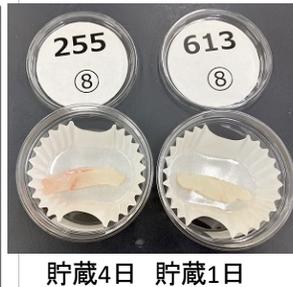
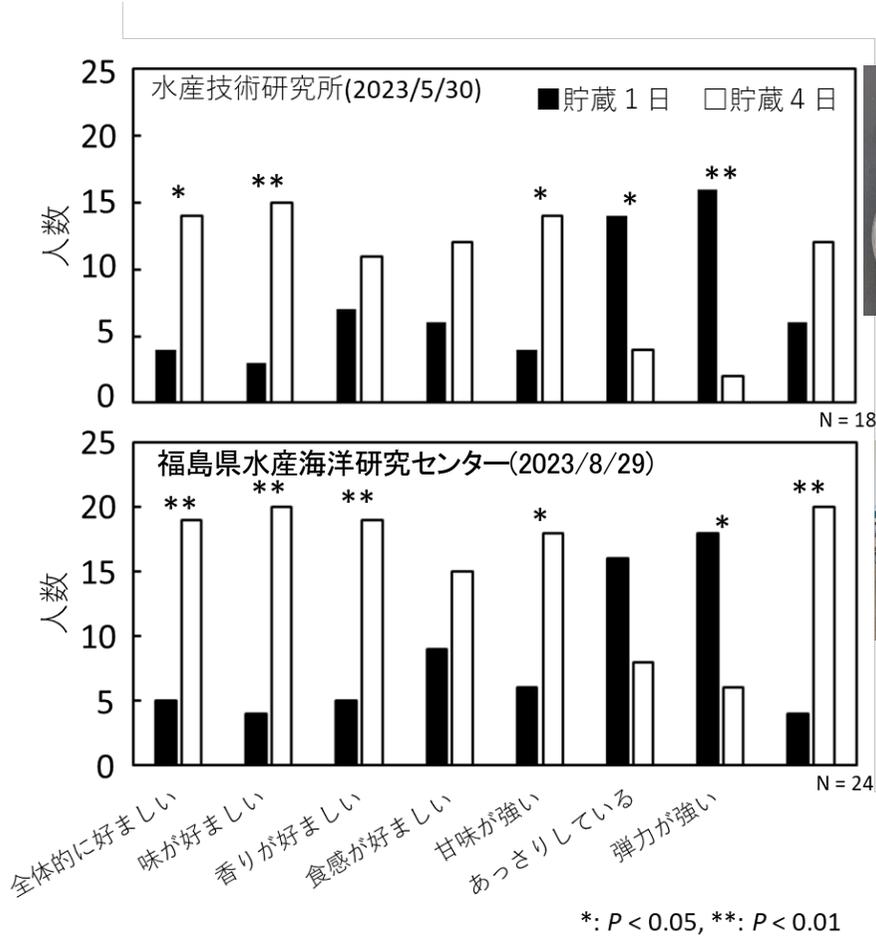


図2. 貯蔵期間が異なるヒラメの甘味を呈する遊離アミノ酸 (左) と破断強度 (右) の比較

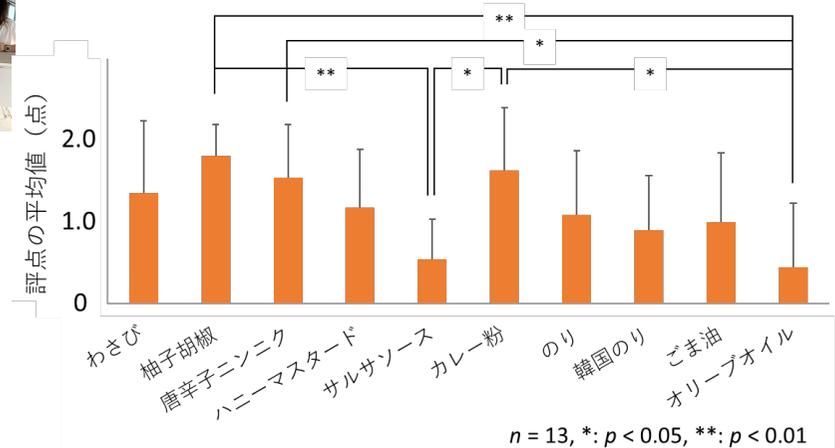


図3. マアナゴの白焼きと各種調味料との相性評価

- ◇ 消費者に提供しうる、福島県水産物のおいしさに関する情報を取得し、新たな販売戦略を構築する事は、福島県水産業の復興に貢献すると考えられます。そこで、主要な水産物であるヒラメとマアナゴのおいしさを調べました。
- ◇ 貯蔵（熟成）期間が異なるヒラメ刺身の官能評価手法を検討し、その手法を用いて水産技術研究所と福島県水産海洋研究センターで官能評価を行った結果、貯蔵1日の方が弾力が強い、貯蔵4日の方が全体的に好ましい、味が好ましい、甘味が強いという評価が得られました（図1）。ヒラメの甘味を呈する遊離アミノ酸は貯蔵4日の方が多く、筋肉の硬さの指標の破断強度は貯蔵1日の方が高く筋肉が硬くなっており（図2）、成分及び物性の分析結果からも官能評価の結果が妥当であることが裏付けられました。
- ◇ 東京家政大学において、マアナゴの白焼きと相性が良い調味料を官能評価により調べたところ、柚子胡椒、赤唐辛子ニンニク、カレー粉と相性が良く（図3）、マアナゴの白焼きは辛味のある調味料との相性が良いことが示唆されました。

10. 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

ウニ貝焼き

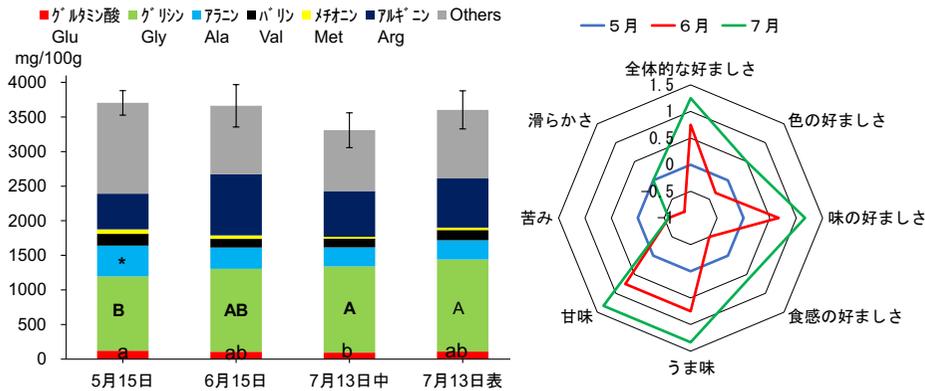


図1. ウニ貝焼の遊離アミノ酸組成（左）と官能評価結果（右）
遊離アミノ酸組成は下からうま味（赤）、甘味（緑、青）に
関与するアミノ酸。異なる符号間および*に有意差あり($P < 0.05$)

カナガシラ

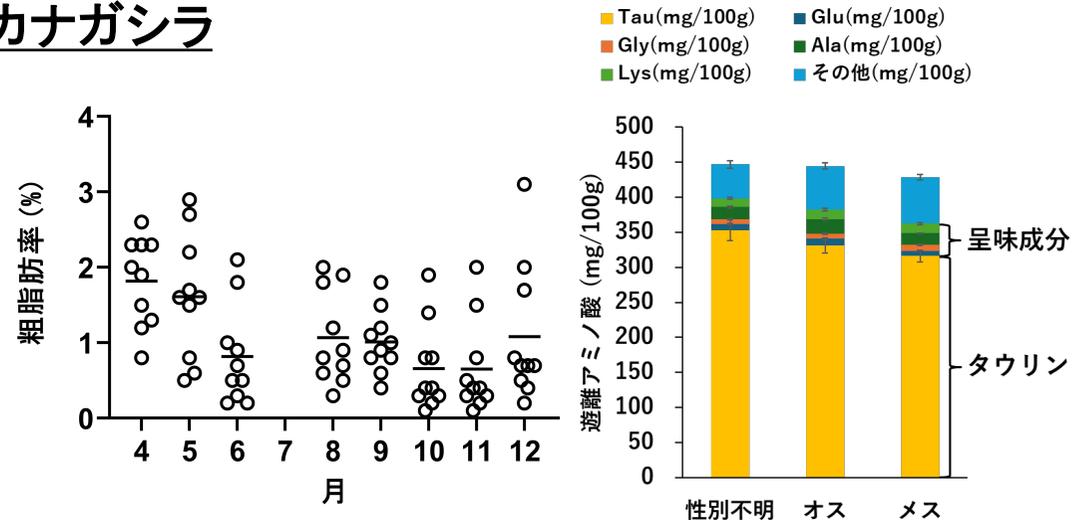


図2. カナガシラ筋肉の粗脂肪率（左；○は各個体を示す）と遊離アミノ酸組成（右；性別不明 n=17, オス n=17, メス n=45）

水産缶詰に関する消費者調査

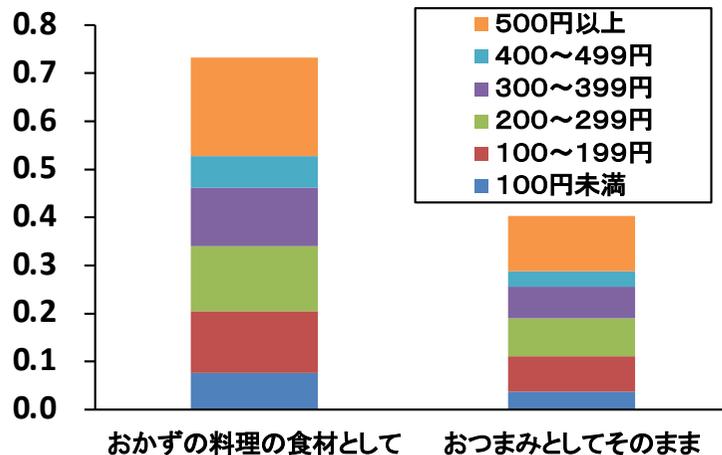


図3. 魚介類の缶詰の各用途について「よくある」または「時々ある」と回答した消費者の月平均缶詰購入金額別回答比率（全国5,710名へのウェブアンケート結果）

- ◇ ウニ貝焼のうま味、甘味に関わるアミノ酸は成熟が進行してもほぼ一定でした（図1 左）。成熟が進行したウニは一般的に食用に不向きですが、官能評価では7月の成熟が進行したウニの貝焼の評価が高いことから（図1 右）、貝焼による成熟ウニの有効利用が期待できます。
- ◇ カナガシラの粗脂肪率に季節変動は認められず、年間を通じて品質変化が小さいという加工品用途としての利点を有することが明らかとなりました。今後、カナガシラ加工品の開発によりカナガシラの利用促進が期待できます（図2 左）。
- ◇ カナガシラに含まれる遊離アミノ酸の大部分は健康機能が報告されているタウリンであり、販売の強い訴求力になります（図2 右）。
- ◇ アンケートの結果、水産缶詰を「おかず」として利用する人が多く、購入金額の大きい人も多い傾向が示されました。水産缶詰では、おかずの料理の材料というマーケットが依然大きく、レシピの紹介などが販売促進に効果的と考えられました（図3）。