

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

令和4年3月
(研)水産研究・教育機構



-目次-

0. 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

1-2a 海底堆積物中に含まれる間隙水のCs-137濃度

1-2b 福島県周辺海域における魚類の放射性セシウム濃度

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 栃木県中禅寺湖に生息する魚類の放射性セシウム濃度

2-2 福島県河川における放射性セシウム濃度と食性

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種を対象とし開始した試験操業は、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月から水揚げ量、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。水揚げ量は徐々に増加してきていますが、震災事故前の2010年と比べると2021年の水揚げ量は19.2%と未だ低い水準です。

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3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の把握とともに、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

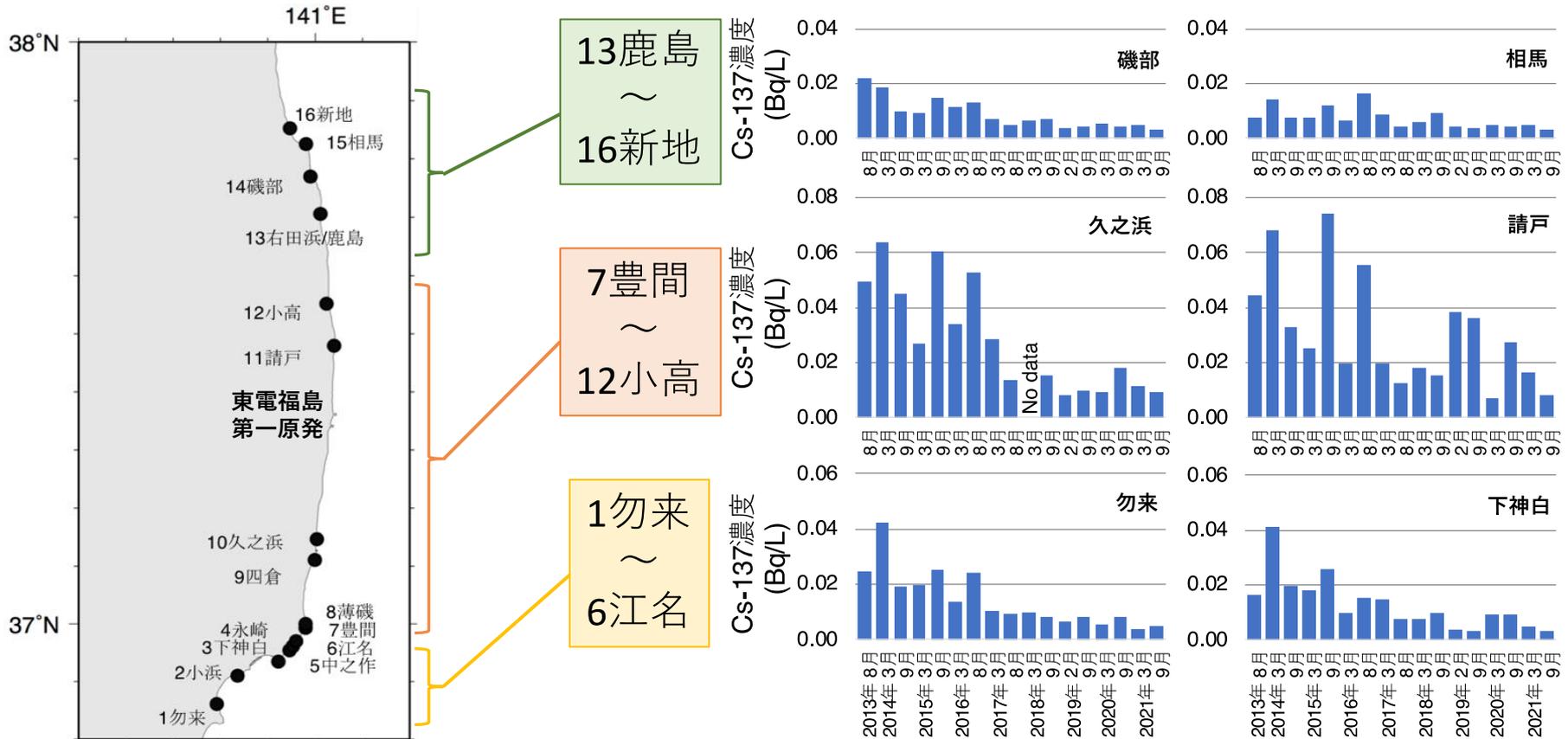


図. 福島県の海岸線近傍における海水の採取位置（全16地点）および代表的な地点における海水の放射性セシウム(Cs-137)濃度。

- ◇ 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）。
- ◇ 調査は2013年8月から2021年9月までの期間、福島県の南部（勿来）から北部（新地）までの16地点において17回実施しました。
- ◇ 事故後数年は原発の北側より南側で高濃度な傾向が見られましたが、その後、データの蓄積によって更に詳細な地理的分布が明らかとなりました。
- ◇ すなわち、原発南側の全域で高濃度なわけではなく、江名より南では2014年3月*を除き、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がわかります。

*2014年3月は爆弾低気圧の通過に伴い南下流が強化された影響であることが明らかとなっています。

1-1b. 海底堆積物に含まれる放射性セシウムの鉛直分布

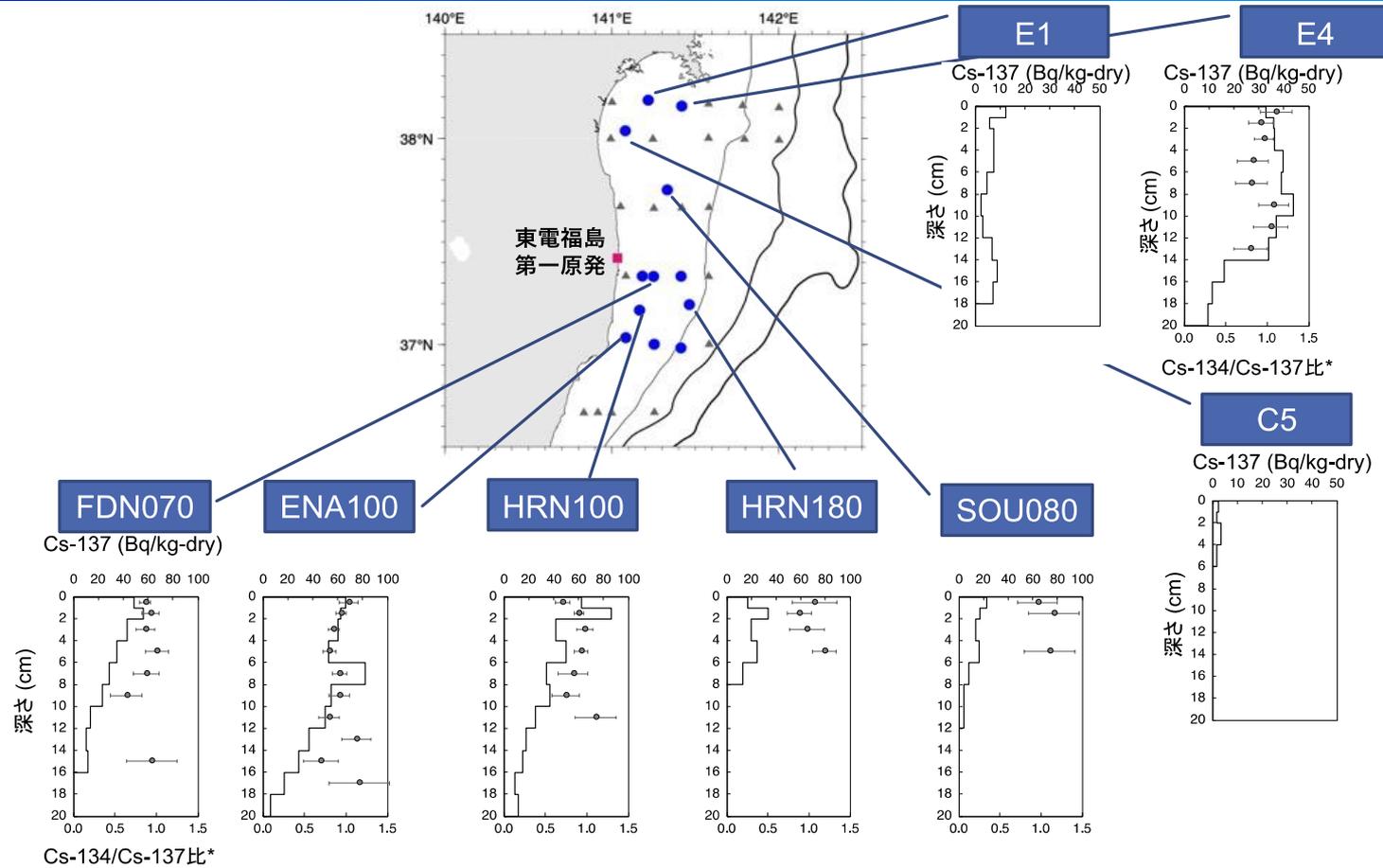


図. 海底堆積物を採取した観測点（青丸は測定済み、三角は未測定）および海産生物調査観測点におけるCs-137濃度（黒線）およびCs-134/Cs-137比（グレー丸）の鉛直分布. *Cs-134/Cs-137比は2011年3月11日に壊変補正した値

- ◇ 福島県沖の底魚類を採取している観測点を中心に海底堆積物の放射性セシウム濃度も調べています（図）。
- ◇ 2021年に採取した海底堆積物の放射性セシウムは表層から2cmまでにピークを示し、深度とともに濃度が低下する傾向を示しました。
- ◇ 2011年3月11日に壊変補正したCs-134/Cs-137比が約1.0と放出時と同じであることから、場所によっては深さ18cmまで福島第一原発事故の影響が見られることが明らかとなりました。

1-2a. 海底堆積物中に含まれる間隙水のCs-137濃度

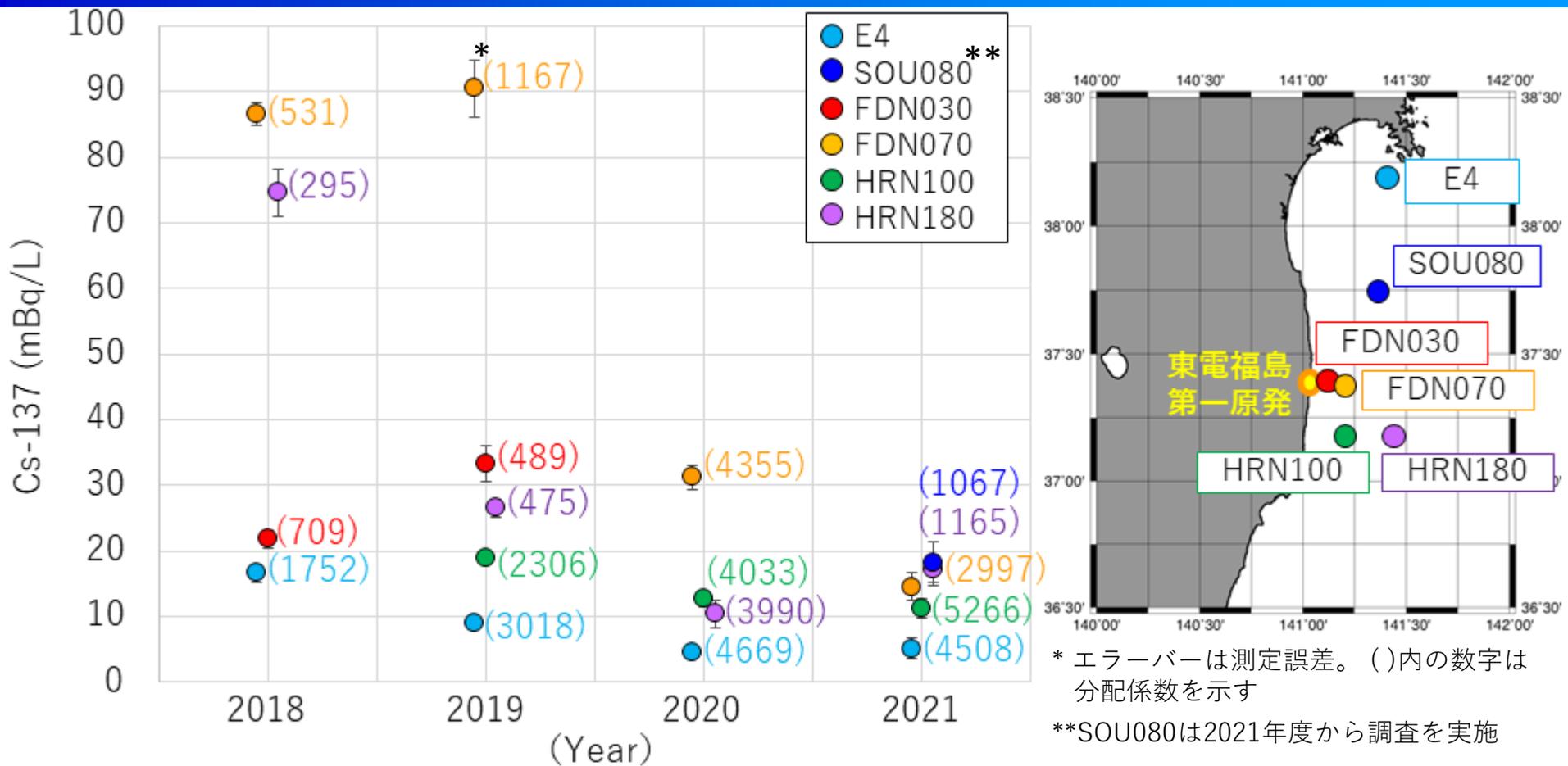
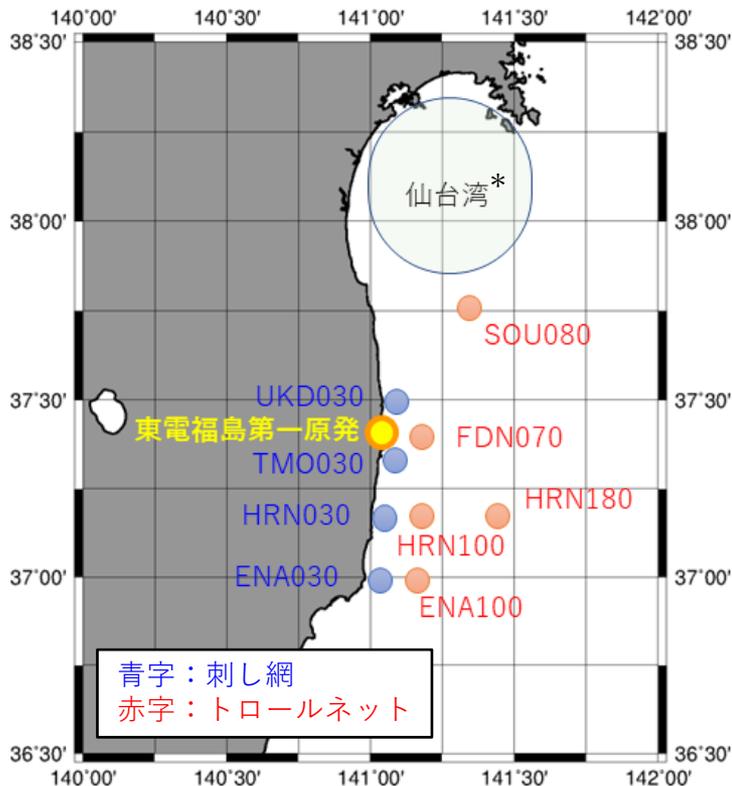


図. 間隙水中に含まれるCs-137濃度(○のプロット)と分配係数(()内の数字)の推移

◇ 2018年から2021年にかけて福島県沖と仙台湾で採取した海底堆積物(0-5 cm層)中に含まれる間隙水のCs-137濃度と分配係数(海底堆積物のCs-137濃度/間隙水のCs-137濃度)の推移を図に示します。間隙水のCs-137濃度は各地点で概ね低下傾向にあり、2021年の調査では全地点で20 mBq/Lを下回る水準でした。

◇ 分配係数の推移は地点によって多少の変動が認められますが、2021年度の各調査地点における分配係数は2018年度、2019年度の値と比較して相対的に高い値を示しています(SOU080を除く)。このことは、海底堆積物中の全Cs-137量に対し、溶出可能な状態で存在するCs-137の割合が減少しつつあることを示唆しています。

1-2b. 福島県周辺海域における魚類の放射性セシウム濃度



2021年7月21日採取 クロソイ
Cs-137濃度：29.3 Bq/kg-wet
全長：297 mm、体重：459g

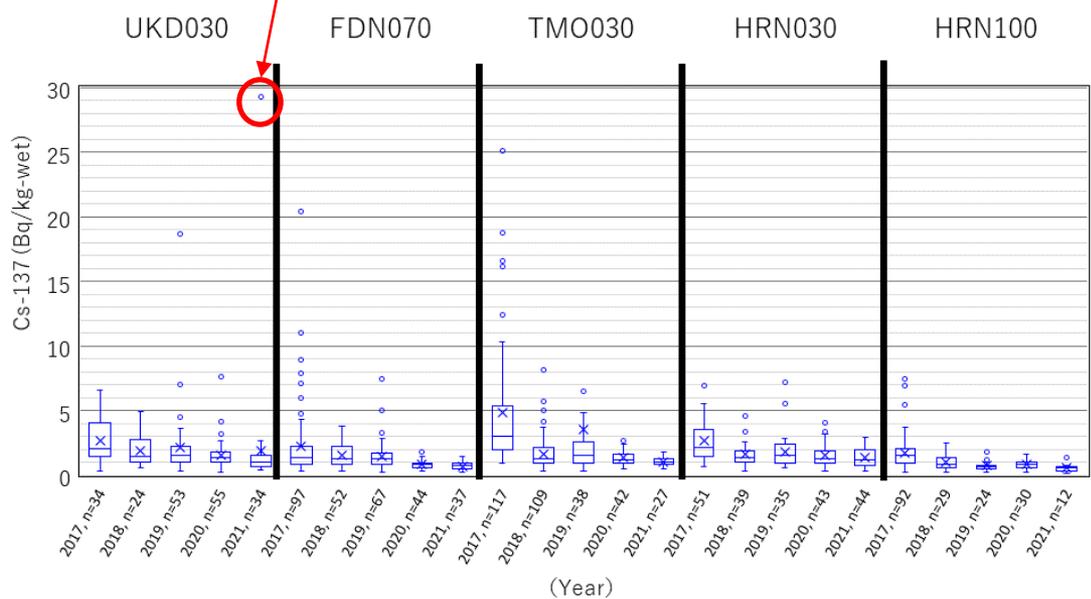
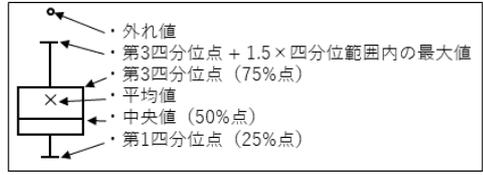


図1. 2021年度の海産生物調査地点
*仙台湾は買付けとトロールネットで試料を採取

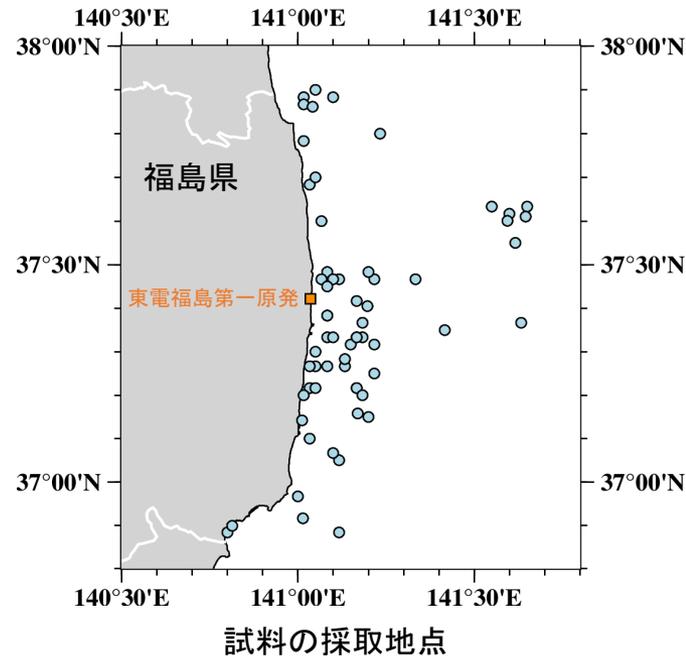
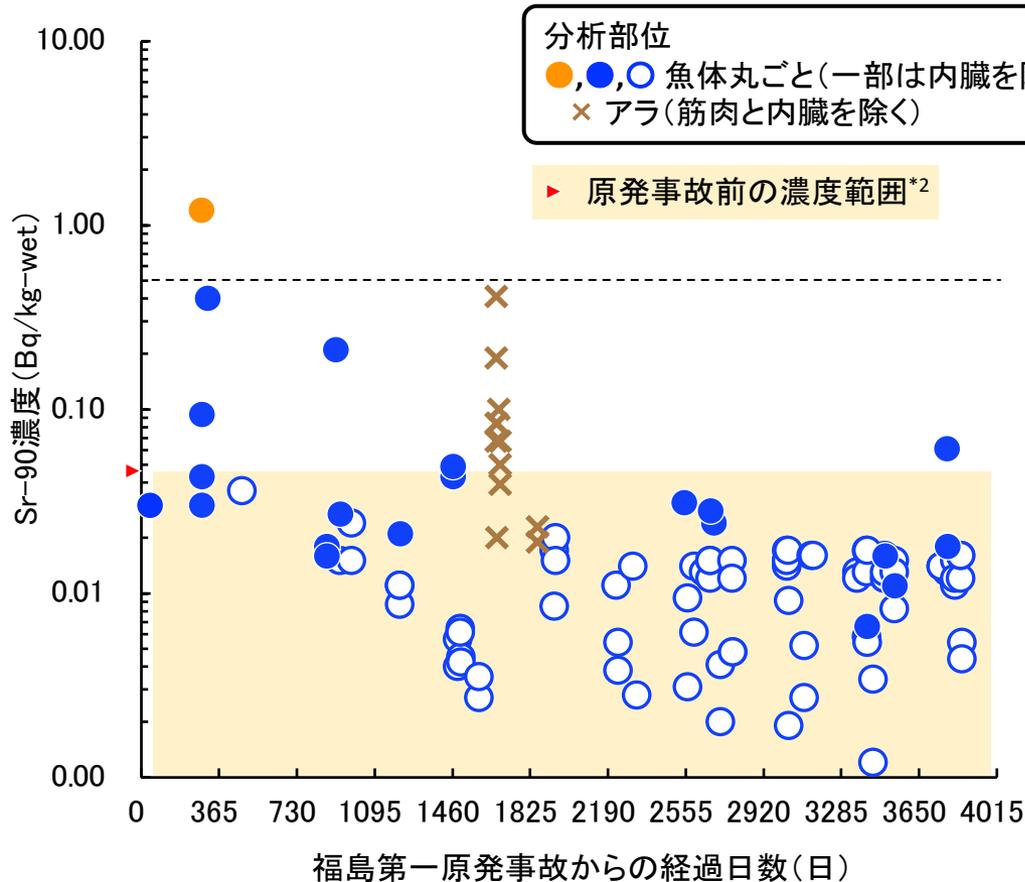
図2. 2017年から2021年にかけて福島県沖の5定点で採取した底魚の筋肉部位におけるCs-137濃度の推移

◇ 2021年度は福島県沖9地点と仙台湾で採取した海産生物609検体の放射性セシウム濃度 (Cs-134 + Cs-137) を測定しました。その結果、すべての検体で放射性セシウム濃度は基準値の100 Bq/kg-wetを下回りました。最も高い濃度の放射性セシウムが検出されたのは、2021年7月21日にUKD030で採取したクロソイ(全長:297 mm、体重:459 g)の30.2 Bq/kg-wet (Cs-134:0.882 Bq/kg-wet、Cs-137:29.3 Bq/kg-wet)でした。

◇ 図2は福島県沖の5定点で採取した底魚(マコガレイ、アイナメ、シロメバルなど)の筋肉部位に含まれるCs-137濃度の推移を、調査地点ごとに箱ひげ図で示したものです。全5定点において、2021年度におけるCs-137濃度の中央値は、2017年度の中央値よりも有意に低下していました(マン・ホイットニーのU検定:危険率 5%)。また、2021年度におけるCs-137濃度の算術平均値は、全5定点で2 Bq/kg-wet以下の水準でした。

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3年度に公表した福島県沖の海産魚類におけるSr-90濃度は4魚種で検出し、コモンカスベは0.061 Bq/kg-wetでした。その他3魚種のSr-90濃度は、原発事故前と同水準*2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

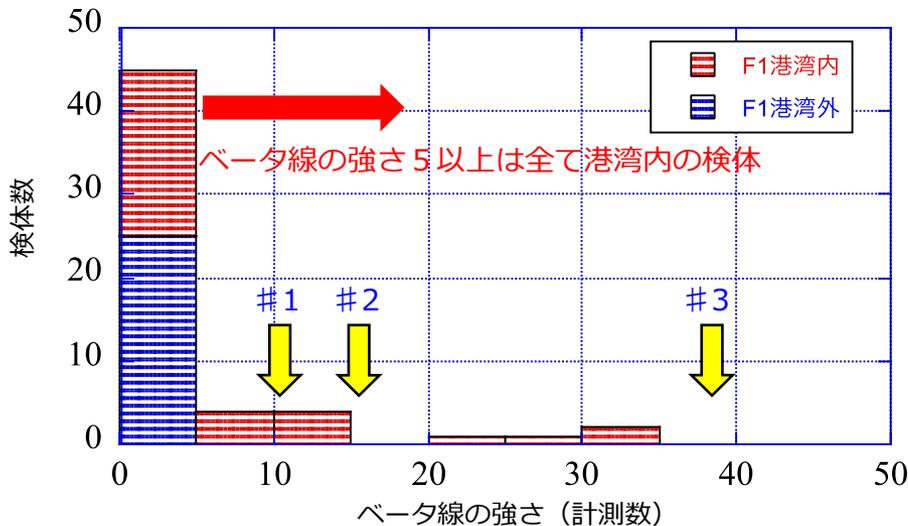


図. 耳石からのベータ線と検体数。計測数50以下のみを図示。ベータ線の強さ（計測数）が5未満の場合には、港湾内と港湾外が混在。黄色の矢印は表の検体のβ線の計測数の位置を示す。

◇ 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ています(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。そこで、本研究では、基準値を超過した検体が生息していた環境を判別する技術を開発しました。

◇ 福島第一原発(F1)港湾内では基準値を超過する検体が現在でも採取されていることから、福島県海域で採取された基準値超過検体はF1港湾で汚染され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としました。

◇ 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β線を測定したところ、β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ました(図)。

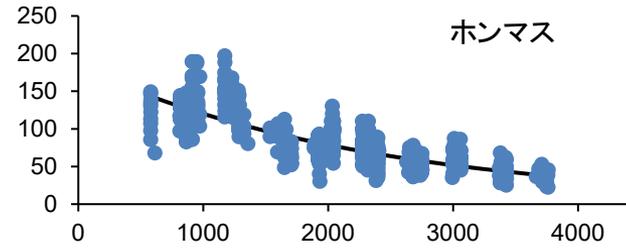
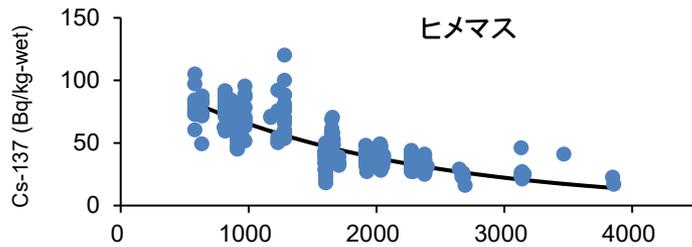
◇ 2021年2月以降に採取された基準値超過検体3検体(全てクロソイ)の耳石全体からも計測数5以上のβ線が検出されました(表)。

◇ この結果から、これら3検体ともF1港湾内で生息していたことがありと推察されました。

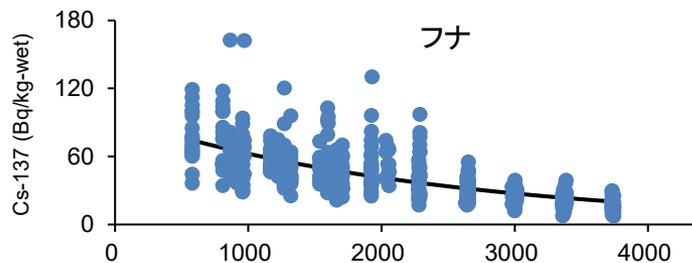
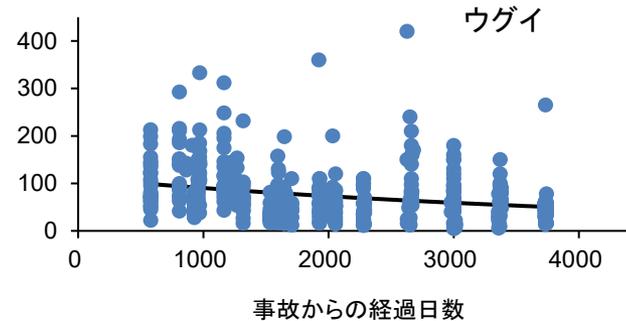
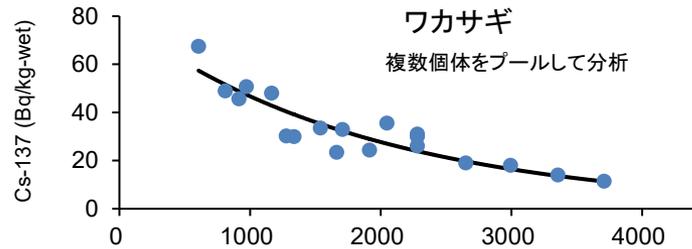
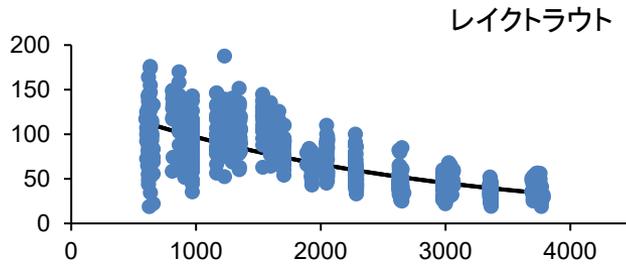
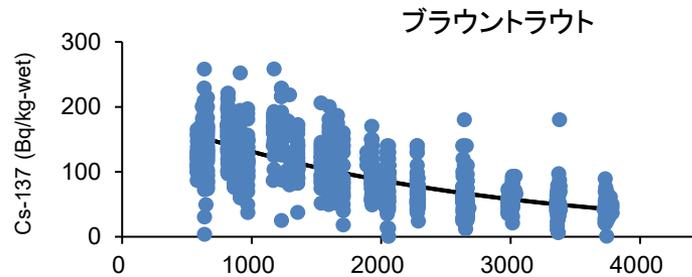
◇ F1港湾内の環境が魚類の基準値を超過させる有力な要因であり、F1港湾内での魚類駆除等の対策を強化することは重要であると思われる。

※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。

2-1. 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



事故からの経過日数

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。

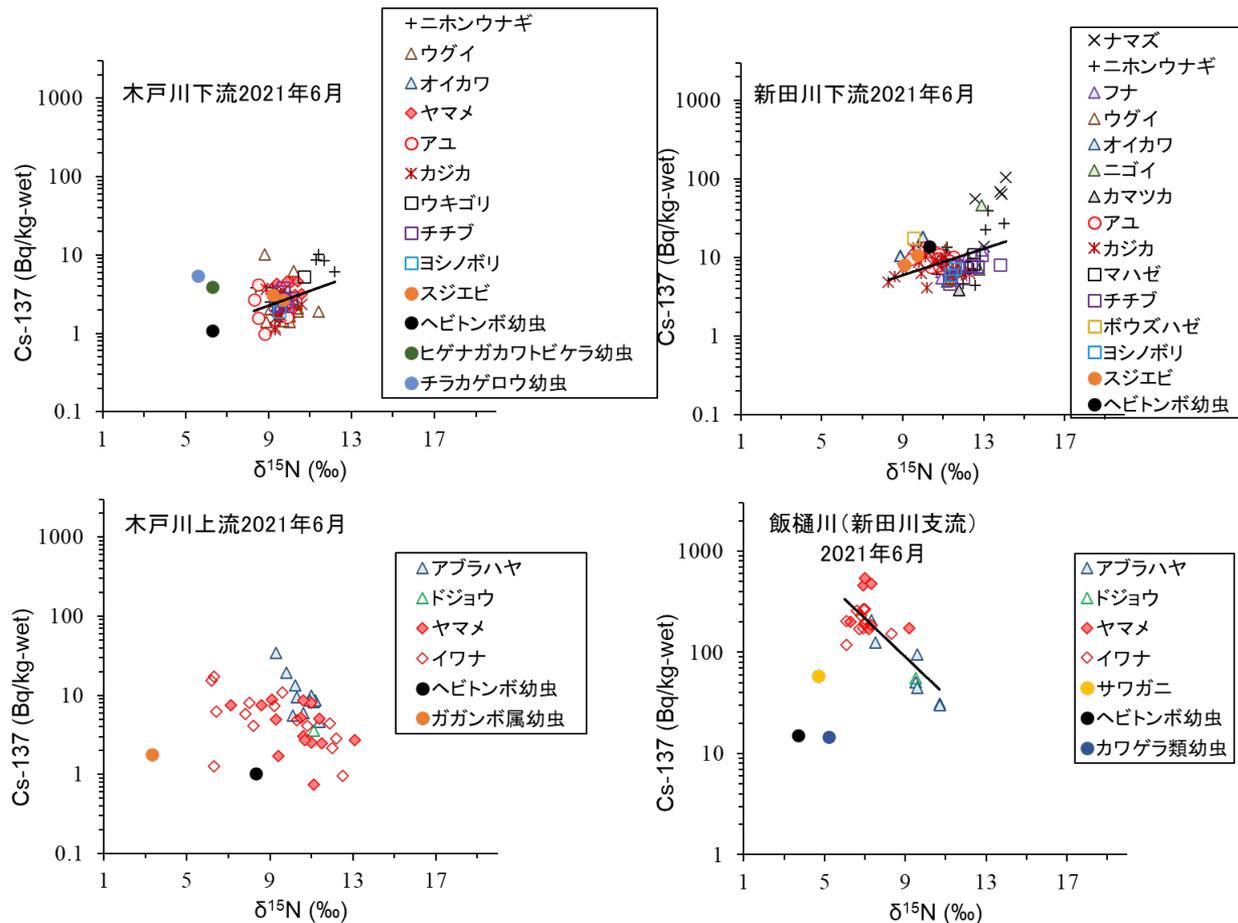
➤ 水産研究・教育機構は、栃木県中禅寺湖に生息する代表的な魚類について放射性セシウム(Cs-137)濃度の推移を調査しています。

➤ 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)。

➤ 2021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1650日、ブラウントラウトで約1690日、レイクトラウトで約1830日、ワカサギで約1330日、ウグイで約3290日、フナで約1800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

2-2. 福島県河川における放射性セシウム濃度と食性



- 新田川、木戸川とも、魚類の $Cs-137$ 濃度は下流域よりも上流域の方が高く、また木戸川よりも新田川の方が高い傾向がありました。
- 下流域では、両河川共に $\delta^{15}N$ の値が高いニホンウナギやナマズ等の食物網上位の魚種において、 $Cs-137$ 濃度が高いものが見られました。全体的な傾向として、 $\delta^{15}N$ と $Cs-137$ 濃度との間には有意な正の相関が認められました。
- 新田川上流域の支流飯樋川では下流域の傾向とは逆に、 $\delta^{15}N$ の値が低いヤマメやイワナで $Cs-137$ 濃度が高い傾向が認められました。全魚種では $\delta^{15}N$ と $Cs-137$ 濃度との間に有意な負の相関が認められました。胃内容物分析や安定同位体比分析の結果から、飯樋川における魚類の $Cs-137$ 濃度には、餌料のうち陸生昆虫の $Cs-137$ が影響していると考えられます。

図 福島県内河川における、窒素安定同位体比濃度 ($\delta^{15}N$) と放射性セシウム ($Cs-137$) 濃度との関係。回帰直線は全魚種に対するものを示した。

※ 水産研究・教育機構と福島県内水面水産試験場による共同調査

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。

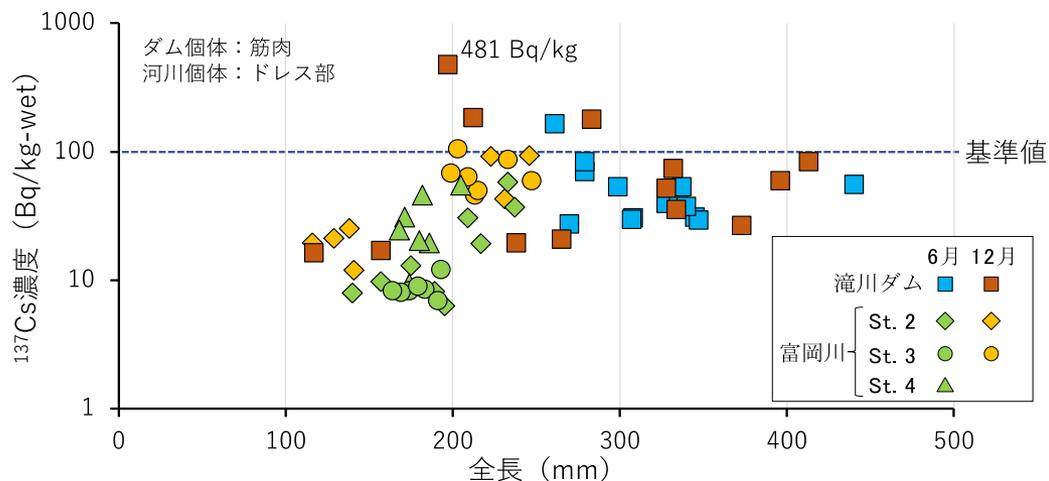


図2. イワナのサイズと各調査地点の6月と12月の筋肉中（河川個体はドレス部）のCs-137濃度（Bq/kg-wet）。St.4の12月の試料は採取していない。河川個体ではサイズの大きい個体のほうが濃度が高くなるサイズ効果が見られる（6月： $r=0.58$ 、 $p < 0.05$ 。12月： $r=0.75$ 、 $p < 0.01$ ）。

※ 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漁業が再開された河川もありますが、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、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す。滝川ダムによるダム湖が存在しており、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ると考えられます（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。

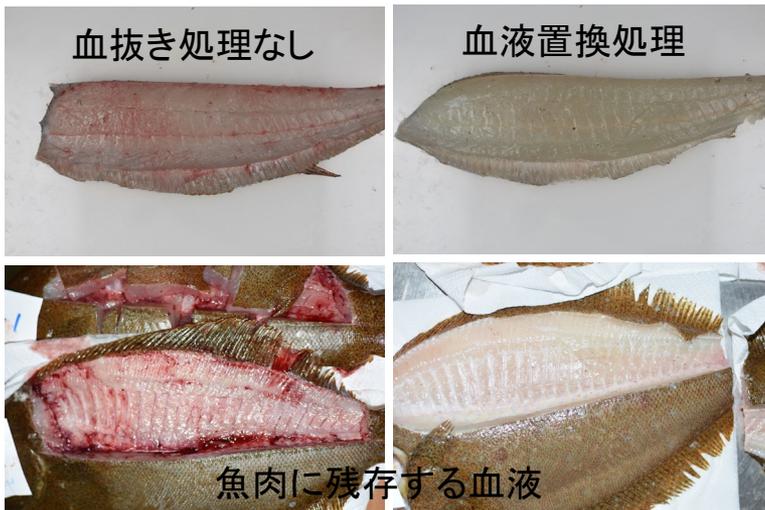
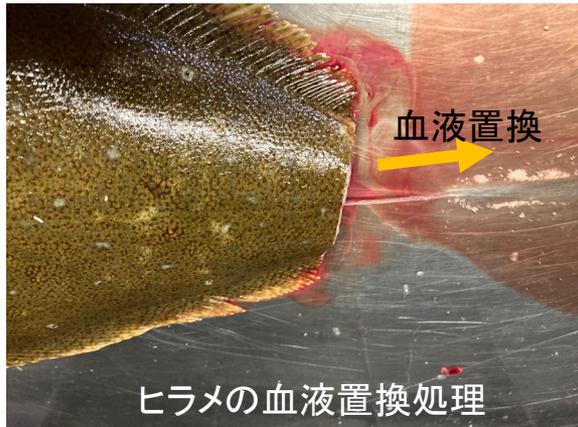
◇ 河川個体ではサイズ効果（魚体サイズが大きくなると放射性Cs濃度が高くなる）が見られましたが、滝川ダム湖ではこうした傾向は見られていません。滝川ダムでは基準値を超過している個体が複数検出されていますが、これらは全て全長300mm以下でした。

◇ 今後、河川と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。

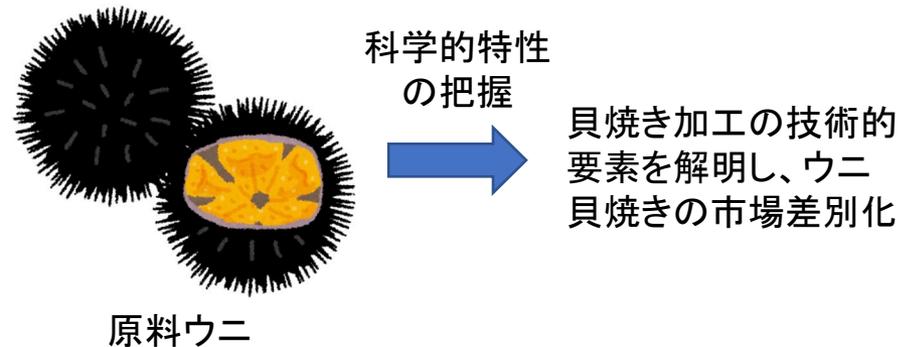
3-1 福島県産水産物の高品質化技術開発

福島県産品の付加価値を高めるため、「ヒラメ高鮮度維持による高品質化」および「福島県ウニの科学的な特性・貝焼き加工の技術的要素解明」に関する研究を行いました。

ヒラメの効率的な血抜き方法の検討



福島県ウニの特性把握による貝焼きの差別化



- ▶ 血液置換処理*1によってヒラメ筋肉に残存する血液を除去できた。効率的な血抜きの品質への効果を検証中。
- ▶ 貝焼きの原料となるキタムラサキウニの漁場のうち下神白地区においては、漁期中のウニの主な成熟ステージは、成長期であった。ウニの美味しさに関与している遊離アミノ酸の総量は漁期中、ほぼ一定であった。特に甘味アミノ酸が多く含まれていた。グリコーゲン含量は、変動はあるものの8%以上であった。

*1: 血液置換処理とは血管内に水道水を通し、血液を効率的に除去する処理である。貯蔵中の魚臭を軽減し、賞味期限を延長させる効果が期待される。

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

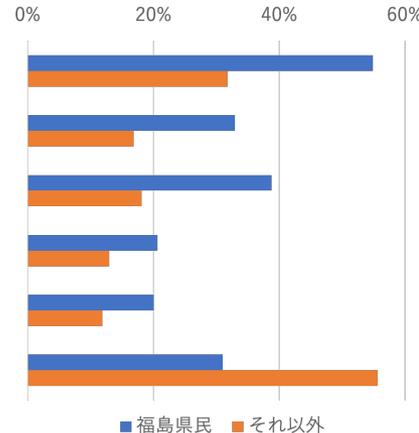
福島県産水産物の販路開拓を目指し、水産物に対する消費者ニーズの解明を目的としたアンケート調査を実施し、さらにヒラメとマアナゴの食品成分分析を行いました。

ALPS処理水に関する消費者認知の把握

ALPS処理水に関する知識（複数回答） 福島県民／それ以外
(n=155) (n=3,845)

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。

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。	約45%
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。	約35%
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。	約35%
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。	約25%
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。	約20%
どれも知らない	約10%



消費者ニーズに影響する情報の調査

鮮度

- 「朝締め」：「朝」という語から新鮮さを連想
- 「活締め」：こだわりを感じる ※「よく分からない」も多い

うま味

- お薦めと受け止める
- 人工の添加物を連想する

レシピ情報

- 親切で買いやすい
- ムニエル：低鮮度を連想

価格

- 刺身用なら1,000円弱まで出せる
- 加熱用途なら600円でも高い

生産方法

- 養殖よりも天然がいい

産地

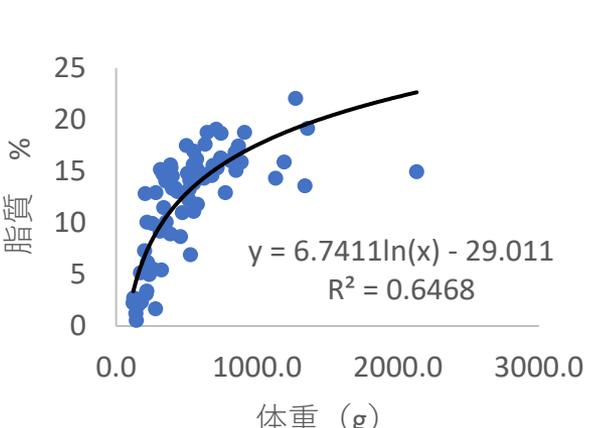
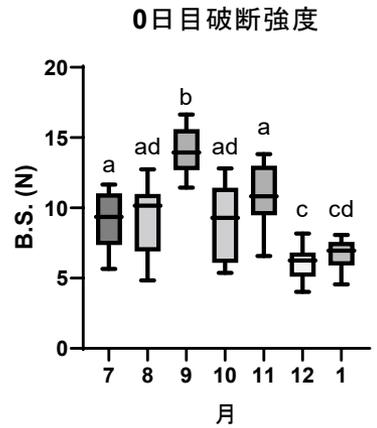
- 寒い産地がよさそう
- 福島は不安

ウェブ調査データによる 刺身用ヒラメ（100g）への支払意思額の統計解析結果

プラス評価：朝締め>活締め>うまい！
マイナス評価：ムニエル
非有意：カルパッチョ

ヒラメの歯応えの季節変動

マアナゴの体重と脂質の関係



- ALPS処理水の認知度は福島県民で高く、それ以外の都道府県では低かった。
- 消費者の購買意欲を喚起する情報は朝締めや活締めといった鮮度に関する情報であり、加熱調理するレシピの提示は支払意思額を低下させることが明らかになった。
- 福島県産のヒラメの歯応えは9月に最もあった（破断強度の値が最も高かった）。福島県産マアナゴの脂質含量は重量の増加に比例して上昇することが明らかになった。