

平成24年度 科学技術戦略推進費
「重要政策課題への機動的対応」に係るプロジェクト

プロジェクト名

**高濃度に放射性セシウムで汚染された
魚類の汚染源・汚染経路の解明のための
緊急調査研究**

**平成25年6月
水産庁**

(独)水産総合研究センター

(独)森林総合研究所

(独)海上技術安全研究所

(国)東京大学生産技術研究所

(国)東京大学大学院農学生命科学研究科

栃木県水産試験場

水産物(淡水魚を含む)の放射性物質モニタリングは、東京電力福島第一原発(以下「原発」という。)の事故以降継続して行われており、平成25(2013)年3月末までの間に28,140検体の検査が行われています。この間、現行の基準値である放射性セシウム濃度で100ベクレル/kgを超える検体の出現率は約9%(2,569検体)となっていますが、期間毎にみると平成23年3～6月期の24%から、平成25年1～3月期には3.5%へと、事故からの時間の経過に伴い低下しています。

その一方で、平成24年8月には原発からおよそ20km離れた福島県沿岸においてそれまでの最高濃度となる放射性セシウム濃度25,800ベクレル/kgのアイナメが採取されたほか、その後原発の港湾内では最高で74万ベクレル/kgのアイナメの存在が確認されました(平成25年5月末日現在、アイナメは福島県全域で出荷が制限されているほか、

茨城県北部で操業が自粛されています。)

また、仙台湾のクロダイからは500ベクレル/kgを超える複数の個体が採捕されるなど、全体の傾向とは大きく異なる事例が散見されています(平成25年5月末日現在、クロダイは宮城県及び福島県の全域で出荷が制限されているほか、茨城県北部で操業が自粛されています。)

更に、淡水魚では天然のヤマメやイワナで未だに相当高い濃度が検出されています。

これらの事象が生じる原因が未解明のままでは、汚染低減の見通しが立てられず、また流通している水産物に対する信頼性の低下が懸念されます。このため、各機関の協力を得て原因究明のための緊急調査研究を実施しましたので、ここに結果を報告します。

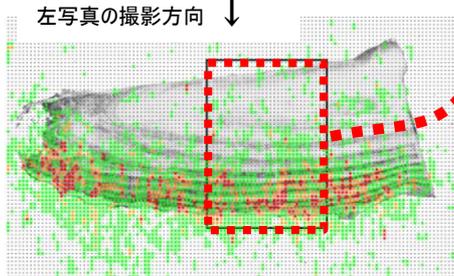
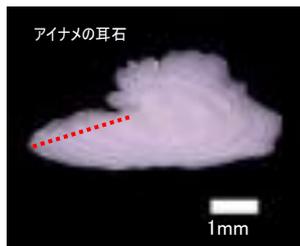
平成24年8月に25,800ベクレル/kgの放射性セシウムが検出されたアイナメの汚染時期と汚染源(1)

1) オートラジオグラフィー実験による汚染時期の把握

- 福島県太田川河口域で平成24年8月に採取され、25,800ベクレル/kgの放射性セシウムが検出されたアイナメの耳石(魚の頭部にある骨状の組織で、成長の痕跡が年輪状に残る。また、成長の過程で放射性物質を取り込む。)から放射されるβ線をIP(イメージングプレート。このプレート上に放射線の照射が写真のように残る)で調べたところ、放射源の中心が、平成23年の春期～夏期を示す位置に存在したため、原発事故初期に集中的に汚染されたと判断されました。



アイナメ: 我が国の沿岸に分布する底魚。沿岸域の底魚類からは現在も放射性セシウムが検出されているが、中でも高い値が検出される魚種の一つ。アイナメの移動に関する知見は少ないものの、過去の標識放流では最大27km移動することが報告されている。



太田川河口沖の高濃度汚染アイナメの耳石断面(左写真の撮影側から裏側に向け、赤線に沿って切断。)のIP画像。赤が最も反応が大きく、以下、橙、緑、黒の順に反応が小さくなることを表す。放射線は一定方向に照射されないため、耳石の外側にも反応が現れる。

左図の黄色枠の部分を回転して拡大



濃
耳石画像の濃淡
淡

成長が悪く輪紋が形成される(低水温)時期

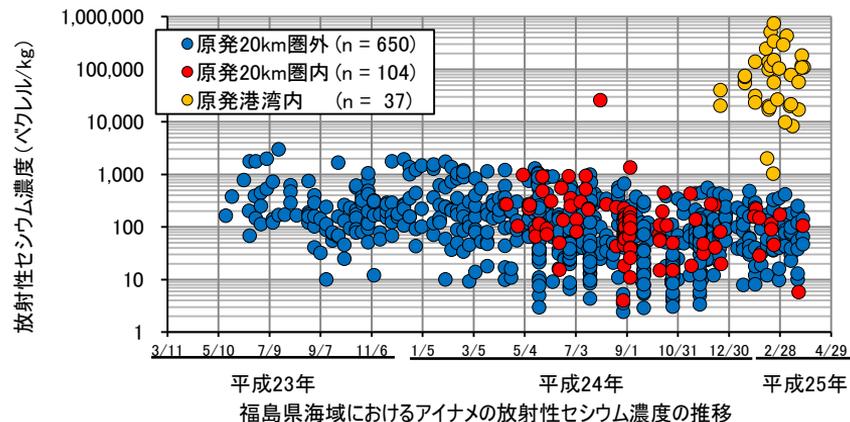
汚染のピーク
(2011年春期～夏期に該当)

高濃度汚染アイナメの耳石画像の濃淡と放射能汚染ピークの関係

平成24年8月に25,800ベクレル/kgの放射性セシウムが検出されたアイナメの汚染時期と汚染源(2)

2) 出現頻度

- 25,800ベクレル/kgの放射性セシウムが検出されたアイナメは、原発港湾外の福島県沖で採取されたアイナメの放射性セシウム濃度の分布から大きく外れ、原発港湾内で採取された個体と同じ水準でした。
- 原発港湾以外で採取されたアイナメの放射性セシウム濃度の対数正規分布から計算すると、同濃度が1万ベクレル/kgを超える個体の出現確率は、5万分の1以下になりました(あくまで確率上の計算結果であり、港湾外で5万尾以上のアイナメを採取すると、そのうち1尾は確実に1万ベクレルを超えるという意味ではありません)。
- 以上のことから、上記高濃度汚染アイナメは、原発港湾外の福島県沖で採取された個体とは異なる環境を経験してきた個体と考えられました。

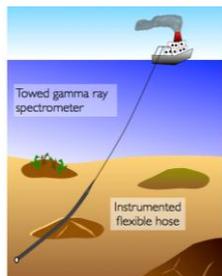


【まとめと今後の課題】

- 平成24年8月に原発の20km圏内の太田川河口域で採取されたアイナメ(放射性セシウム濃度 25,800Bq/kg)は、平成23年の春から夏にかけて原発港湾内か、そのごく近くの海域で、原発から放出された極めて高濃度の汚染水によって40~50万ベクレル/kg程度まで汚染され、その後原発港湾から太田川河口沖合まで、放射性セシウム濃度を低下させつつ移動した可能性が最も高いと考えられます。
- 原発港湾内には、高濃度に汚染された魚が未だに生息しています。現在も汚染魚の港湾外への移動防止対策や、港湾内での魚類駆除が行われていますが、今後もこれらの対策を確実に実施し続ける必要があります。
- また、原発港湾内には高濃度の放射性セシウムを含む海底土が現在も存在していることから、新たな汚染を防ぐため、浚渫・被覆等の抜本的対策を早急に行うことが有効です。

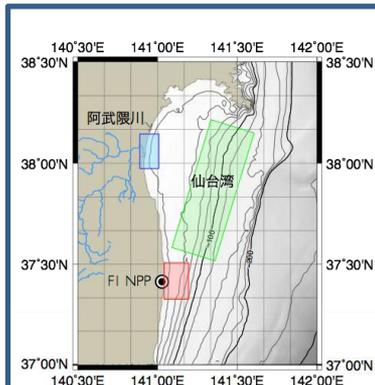
海底土の汚染状況の連続測定(1)

- ▶ 平成24年夏に開発された曳航式放射線計測装置を用いて東北沿岸域の連続的な分布を調査しました。



左図：曳航式放射線計測システムのご概念図(曳航速度は1.0m/秒程度)

右図：曳航式放射線計測装置を船尾から降ろす作業

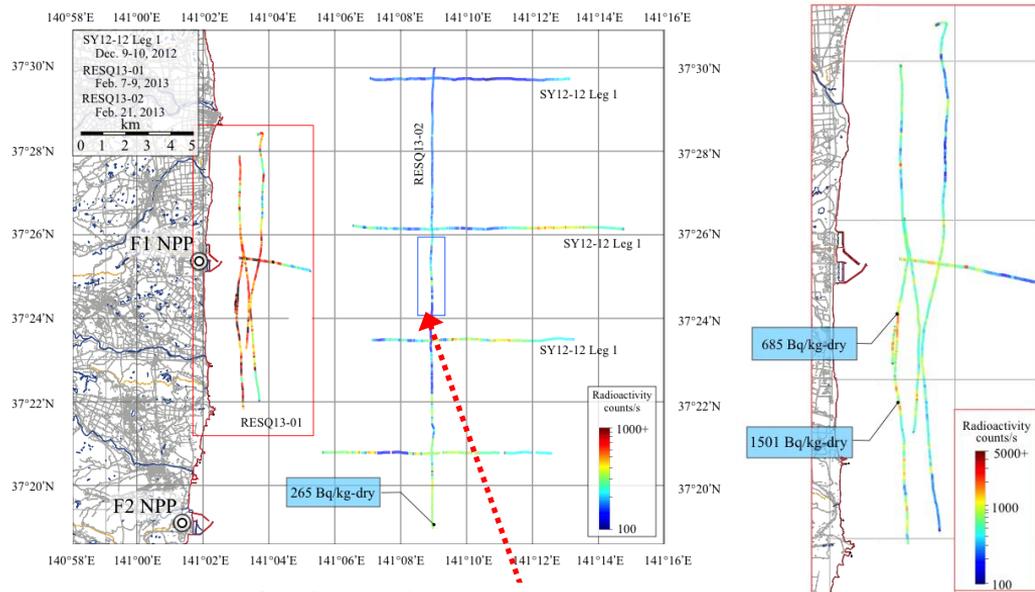


福島第一原子力発電所沖調査
 ▶ 原発20km圏内において8測線のグリッド状曳航調査を5日間にわたって実施。
 ▶ 合計95kmの海底土放射能分布を計測

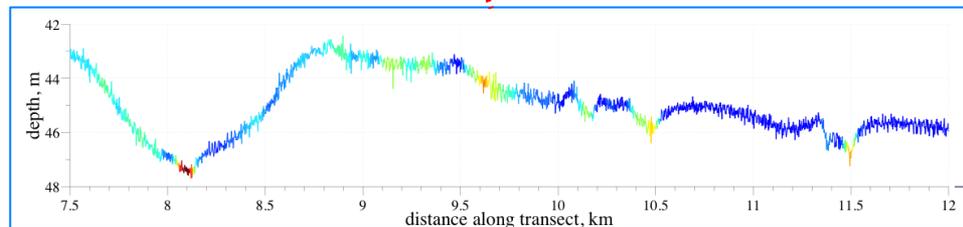
仙台湾調査
 ▶ 60m深度及び120m深度の等深線状曳航調査を5日間にわたって実施
 ▶ 合計142kmの海底土放射能分布を計測

阿武隈川河口域調査
 ▶ 阿武隈川の河口海域において6測線のグリッド状調査を2日間にわたって実施。
 ▶ 合計26kmの海底土放射能分布を計測

- ▶ 原発の5km圏内で高い放射線検知数が観測されました。
- ▶ 地形の凹み・崖の底には、数10mから数100mの距離で放射線検知数が局所的に高くなる場所が複数確認されました。



原発20km圏内調査結果(放射線の総検知数) 右図は5km圏内の拡大図(ベクレル/kg-dryのデータは、観測線上で採掘したサンプルのセシウム137濃度の分析結果)



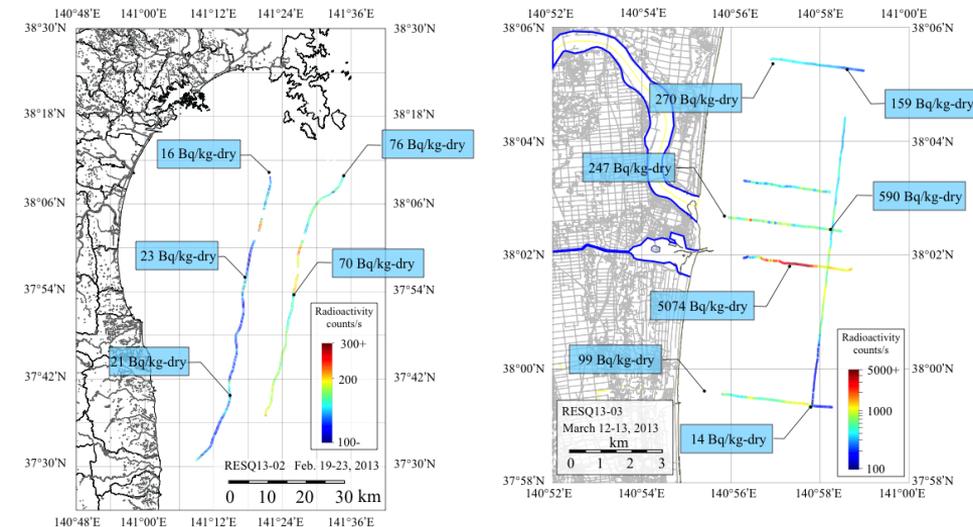
上図の長方形で囲んだ部分の深度と放射線総検知数。凹んだ地形で検知数値が上昇する傾向

海底土の汚染状況の連続測定(2)

- ▶ 仙台湾の海底土の放射線検知数は、水深60mの値の方が水深120mより低くなりました。
- ▶ 阿武隈川河口域の海底土の放射線検知数は、河口から南東方向の陸から2.5～4.0 km離れた場所で上昇しました。
- ▶ 福島沖同様、海底の凹み地形で放射線検知数が高まる傾向がみられました。

【まとめと今後の課題】

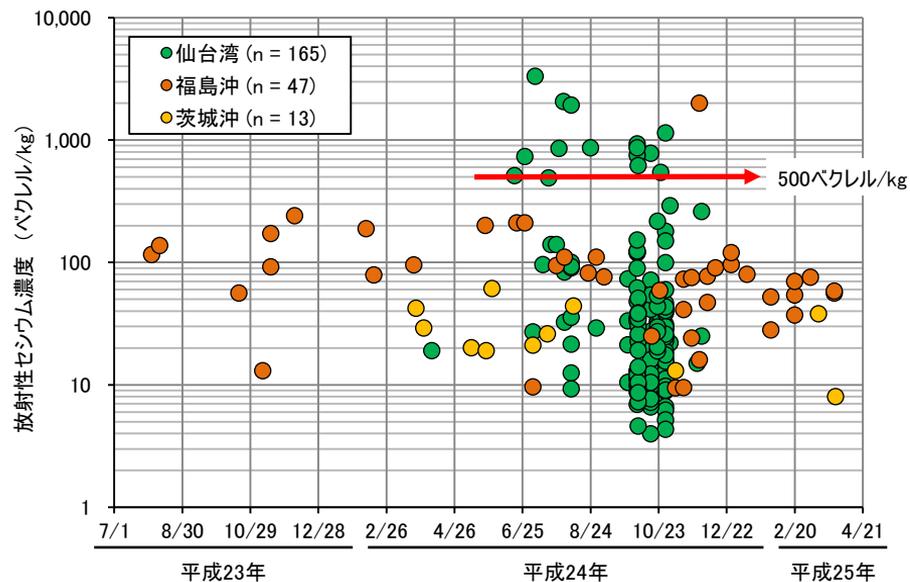
- ▶ 連続測定と同時に採泥した海底土からは、これまでに観測された値を極端に超える濃度は観測されませんでした。
- ▶ これまでは、海底土の放射性物質は比較的均質に分布していると考えられていましたが、連続的な測定の結果、数十メートルという非常に狭い範囲で周囲よりも10倍以上放射線検知数の高い個所が観測されるなど、放射線検知数には大きなバラツキがあり、それは海底の地形に起因することがわかりました。
- ▶ 一方、海底土から高い濃度の放射性セシウムが検出された場合でも、必ずしもその水域で生息している魚類等から高い濃度の放射性セシウムが検出されるとは限りません。
- ▶ この理由の一つとして、放射性セシウムが海底土中の粘土鉱物に強く吸着され、生物の体内に取り込まれにくいことが指摘されていますが、詳しいことは未だ明らかになっていないため、今後も調査研究を進めていきます。
- ▶ 今回用いた曳航式の放射能測定装置により、より詳細な海底の汚染実態の把握が可能となりました。今後、調査の規模を拡大することが、汚染の実態を把握する上で有効です。



仙台湾(左図)及び阿武隈川河口(右図)調査結果(放射能の総検知数)
(ベクレル/kg-dryのデータは、観測線上で採泥したサンプルのセシウム137濃度の分析結果)

汽水域生息魚であるクロダイの放射能汚染

- 水産物全体の放射性セシウム濃度が低下傾向にあるなか、仙台湾のクロダイからは500ベクレル/kgを超える放射性セシウムが検出されました。平成24年夏期から平成25年春期までの期間に仙台湾で採取されたクロダイから放射性セシウム濃度別の出現頻度を計算したところ、100ベクレル/kg未満の個体の出現頻度が89%であった一方で、500ベクレル/kgを超える個体の出現頻度は6%となりました。



福島沖、仙台湾及び茨城沖におけるクロダイの放射性セシウム濃度の推移

- 海水魚と淡水魚では、放射性セシウムの取り込みと排出の仕組みが大きく異なりますが、クロダイのように幅広い塩分に適応できる魚種の仕組みはよく分かっていないため、クロダイと同じ幅広い塩分に対応できるテラピアを用いてカリウム（魚類は放射性セシウムと生命維持に必要な不可欠なカリウムとを区別できず、両方一緒に体内に取り込んでしまいます。）の排出機構を調べました。
- 実験の結果、テラピアは、淡水中ではカリウムを排出する機能が低下し、海水中では逆にカリウムを排出する機能が高まることが分かりました。
- 以上のことから、我々は、クロダイの生息環境の塩分濃度の違いが放射性セシウム濃度に影響を与えているのではないかと考え、異なる放射性セシウム濃度のクロダイ間で、生息してきた環境の塩分濃度の履歴を比較しましたが、塩分濃度の履歴には大きな差はありませんでした。

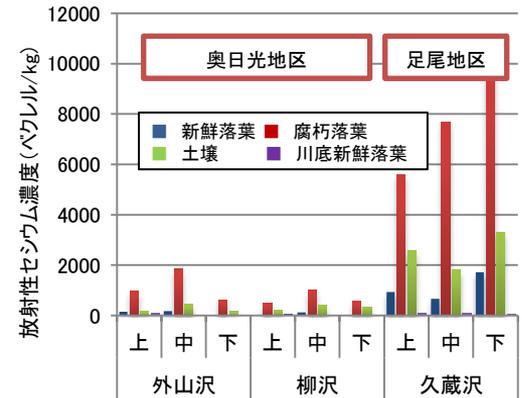
【まとめと今後の課題】

- クロダイで放射性セシウム濃度が高まるケースが発生する原因としては、①事故後間もなく高濃度の汚染水が沿岸域に広がり集中的に汚染された、②河口域で陸域起源の濃度の高い餌を摂餌した、③汽水魚であることによる排出の遅延、これらの複合的な影響が考えられましたが、はっきりとした理由はわかりませんでした。今後も汚染メカニズムの解明に向け、調査研究を続けていく必要があります。

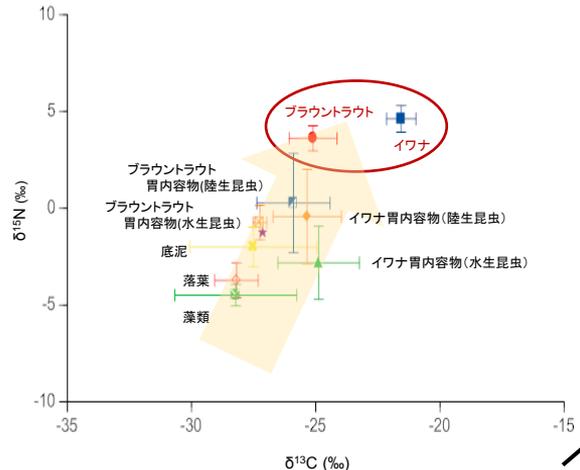
河川・湖沼における汚染魚の発生メカニズム(河川-1)

淡水魚は、放射性セシウムを取り込みやすく、かつ排出しにくい生理的特性を持っており、東日本の広い範囲で未だに基準値を超える放射性セシウムが検出されています。
 今回、汚染が生じている地域の湖沼で最も水深が深く、湖水の交換に時間がかかる中禅寺湖と、その周辺に位置する河川において、汚染魚の発生メカニズムに関する調査研究を行いました。

- ▶ 栃木県日光地区及び足尾地区の3河川で、藻類や陸生植物の落葉から、水生昆虫(水生昆虫には落葉を餌とするものが多くいます)、魚類へとつながる食物連鎖系列が確認されました。
- ▶ 河岸の落葉の放射性セシウム濃度を調べたところ、平成23年に落葉した古い葉が高い値を示した一方で、平成24年の落葉では低下しました。また、川底の新鮮な落葉はさらに低濃度でした。
- ▶ 環境中の落葉及び土壌ならびに溪流中の付着藻類及び水生昆虫のセシウム137の濃度は、空間放射線量率とほぼ同じ傾向を示していると考えられました。



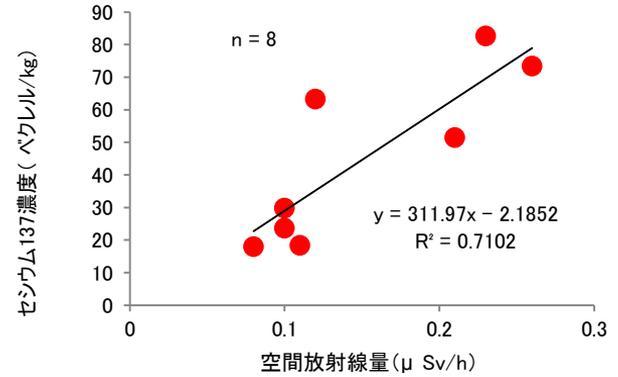
流域の上流部、中流部、下流部における森林の新鮮落葉、腐朽落葉、土壌、川底の落葉の放射性セシウム濃度の比較



流域名	空間線量率 (μ Sv/h)	Cs沈着量 (kBq/m ²)
外山沢	0.11	11
柳沢	0.10	11
久蔵沢	0.25	54

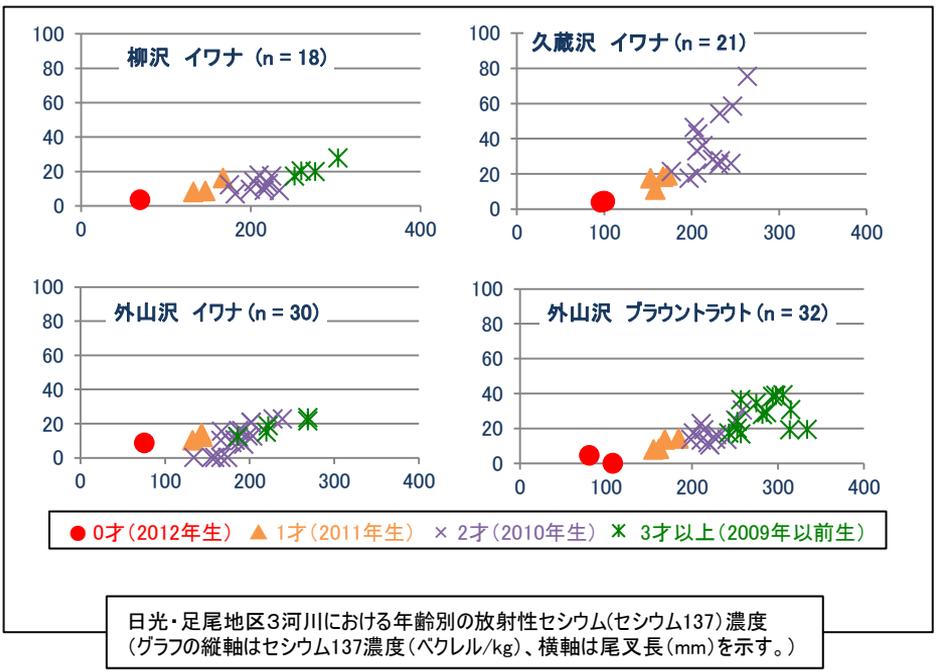
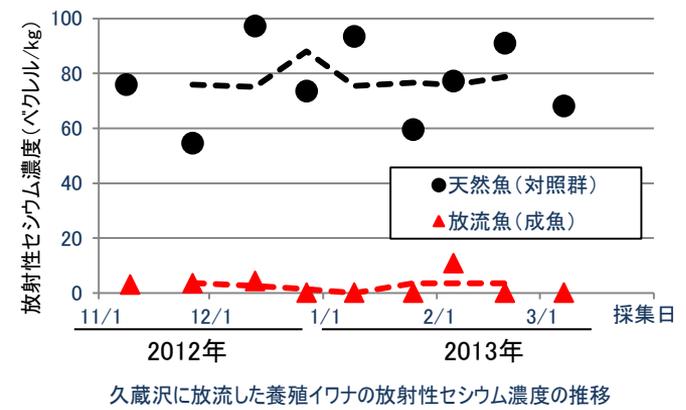
調査流域の汚染程度の違い

※: 安定同位体比は生態系の中での食物連鎖の関係を調べる時に用いられ、餌生物から捕食者へ栄養段階が一つ上がると炭素安定同位体比(δ¹³C)が約1‰、窒素安定同位体比(δ¹⁵N)は約3.3‰ずつ上昇することが知られています。



川底の落葉のセシウム137濃度と空間放射線量率の関係

- 各魚種ともに、年齢が高く放射性物質降下を経験した魚で放射性物質濃度が高い傾向がみられ、最も高い値を示した魚が採取された河川は空間線量率の高い場所に位置していました。
- また、河川に放射能汚染されていないイワナを放流し、放射性物質濃度を測定したところ、濃度は低いレベルで推移しました。



- 【まとめと今後の課題】**
- 福島県及びその周辺の内水面では、空間線量率の高い所でイワナやヤマメ等の放射性セシウム濃度が高いことが確認できました。
 - 水生昆虫及び付着藻類の放射性セシウム濃度は、空間線量率が高い河川で高い傾向があり、魚類へとつながる主要な食物連鎖構成生物の放射性セシウム濃度はいずれも空間線量率と相関を持つことが示唆されました。
 - 水の交換が速い河川域では魚類の主たる汚染時期が原発事故直後であり継続的な汚染の影響は小さいと考えられました。そのため、事故直後の放射性物質降下を経験した高齢魚の減少とともに汚染が低減されていくものと考えられます。

