



国立研究開発法人  
水産研究・教育機構

平成29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

平成30年3月  
(研)水産研究・教育機構



## -目次-

0. はじめに
1. 福島県海域の海水中の放射性セシウム濃度の状況
2. 海底土中の放射性セシウム濃度分布と経年変化
3. 海底土中の放射性セシウムの水産物への影響評価
4. 第一原発周辺海域における海産生物の汚染状況
5. 東北海域におけるヒラメの年級別放射性セシウム濃度変化
6. 仙台湾および福島県北部沖合定点における生態系内の移行
7. 海産魚類におけるストロンチウム-90濃度
8. 栃木県中禅寺湖に生息する魚類の放射性セシウム濃度
9. 福島県内河川におけるアユの放射性セシウム濃度
10. 千葉県内湖沼河川における淡水魚の調査結果

## 0. はじめに

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、その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積極的に取り組んできました。福島県の水産物は、2011年4-6月期は基準値の100Bq/kg-wetを超過する割合は52.7%でしたが、2015年10-12月期以降では0.1%まで低下し、水産物の放射能汚染は大幅に改善したと言えます。

科学的に十分な安全対策とモニタリング体制をとっていますが、事故当時の原発の現状や廃炉作業時のトラブルなどがニュースで紹介されるたびに不安が助長され、風評被害が深刻化し、東北の水産業の復興に大きな支障をきたしてきたのも事実です。

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し、現在も試験操業を除き漁業活動が自粛されています。2012年6月に3種を対象として開始された試験操業は対象魚種、漁業種および操業海域を順調に拡大し、2017年3月に福島県下漁業協同組合長会において「すべての魚介類(出荷制限魚種を除く)」を対象とすることになりました。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、日本の水産業発展のために急務となっています。

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、事業で得られた主なモニタリング成果をとりまとめて報告します。私たちは、水産物中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、またその汚染がどのように軽減されていくのかといったプロセス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・創生に貢献していく所存です。

# 1. 福島県海域の海水中の放射性セシウム濃度の状況

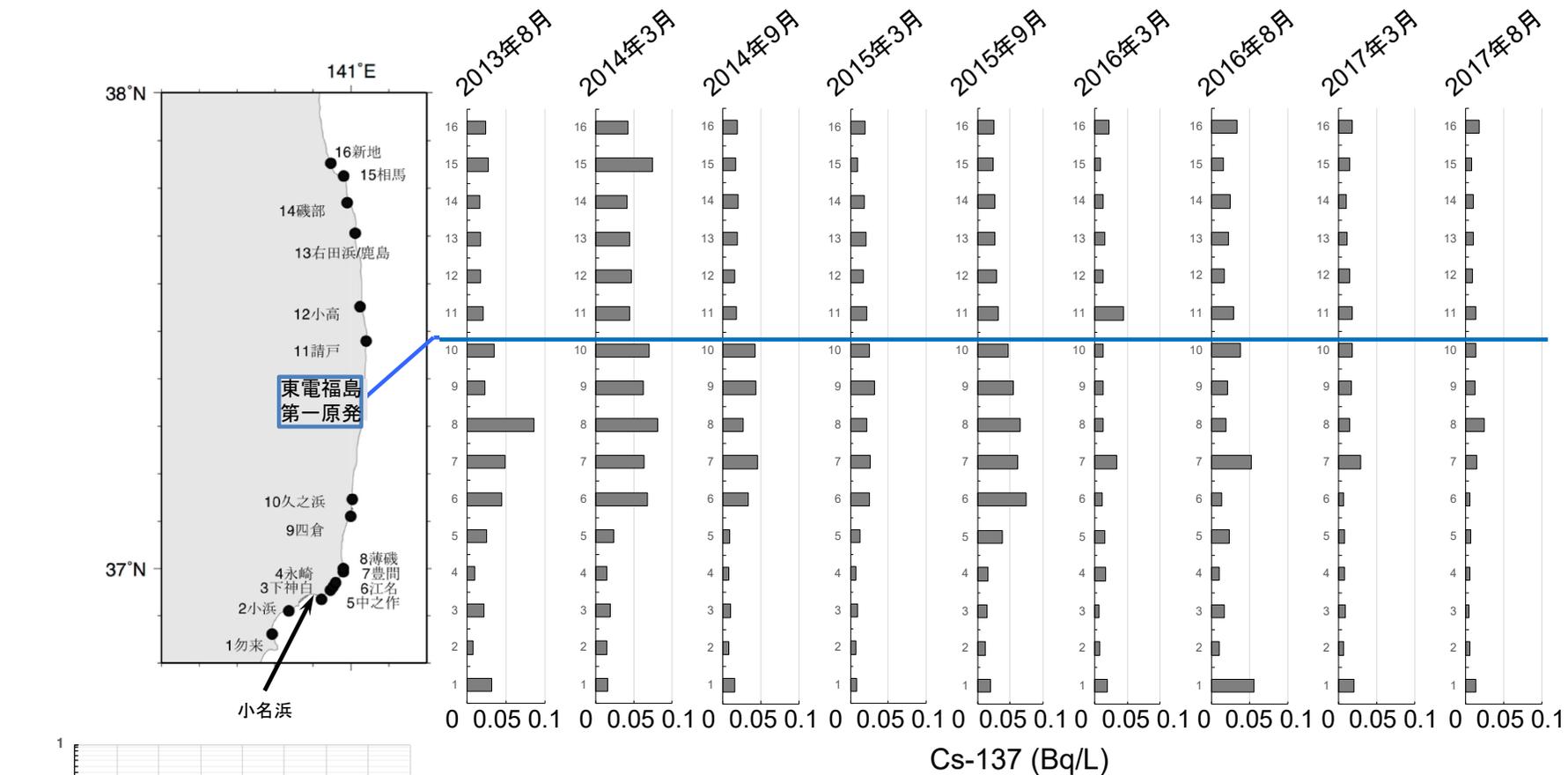


図1. 福島県極沿岸の16地点における海水の放射性セシウム(Cs-137)濃度。左から2013年8月、2014年3月、9月、2015年3月、9月、2016年3月、8月、2017年3月および8月の結果。福島第一原発の位置を青線で示す。

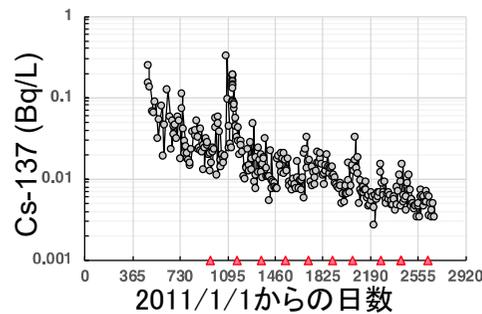


図2. 小名浜地先における海水のCs-137濃度時系列変動。横軸上の三角の凡例は極沿岸水採取日を表す。

- ◇ 福島県の極沿岸における海水の放射性セシウム濃度を調査しました。調査は2013年8月～2017年8月の期間、福島県の北部（新地）～南部（勿来）までの16地点において9回実施しました（図1）。
- ◇ 海水中の放射性セシウム濃度は東電福島第一原発の北側に比べ、南側で濃度が高い傾向にありました。
- ◇ 原発南部における濃度範囲は、我々がこれまでに報告している小名浜地先における値（図2）と同程度（0.003～0.02Bq/L）で推移しています。

## 2. 海底土中の放射性セシウム濃度分布と経年変化

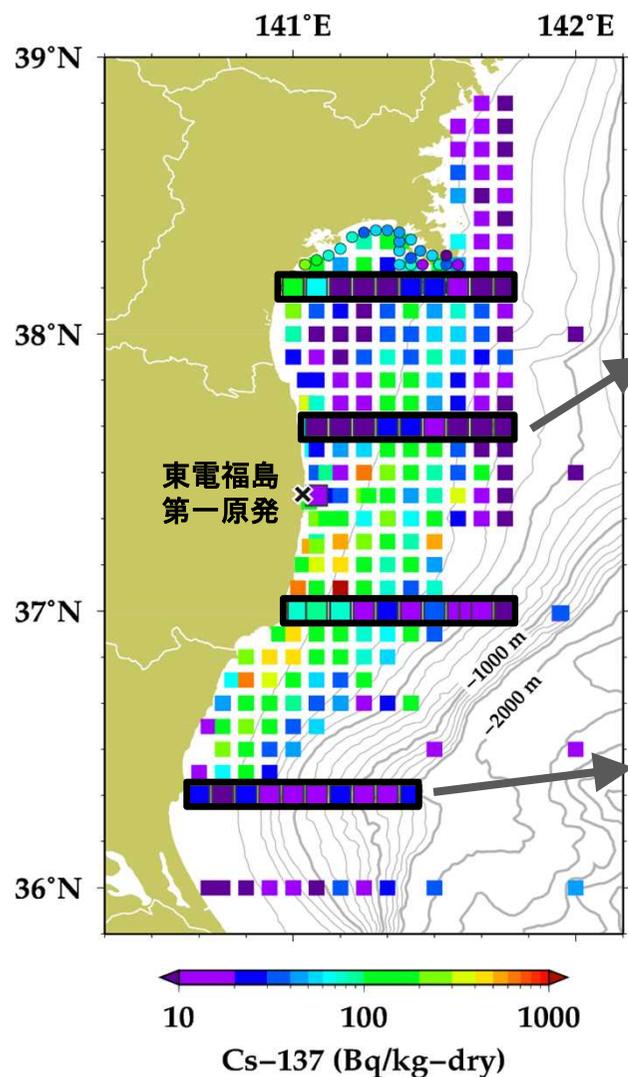


図1. 2012年以降の海底土調査による海底土表層(0-1cm)中のCs-137濃度分布図。太枠で囲んだ四角のタイルが今年度(2017年夏季)実施した調査結果。

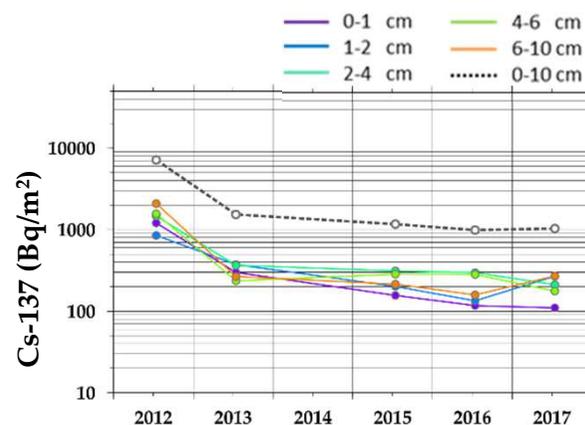
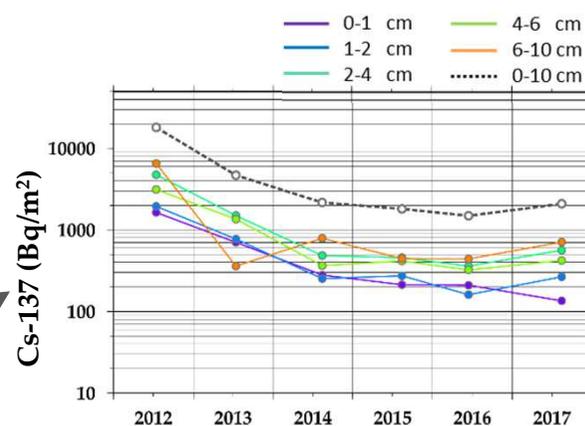


図2. 福島県北部(上)と茨城県中部(下)の定線における海底土(0-10cm)中のCs-137存在量(黒破線)、層別の存在量(カラー)を示す。

◇ 宮城県、福島県、茨城県沖の緯度5分間隔の調査を行い、海底土中の放射性セシウム(Cs)濃度の経年変化を調べました。

◇ 海底土表層(0-1cm)中の放射性Cs濃度の水平分布の特徴は維持されていました(図1)。濃度の全体的な低下傾向は2015年以降鈍化し、下層(10 cm)まで考慮すると2016年に比べて放射性Csの存在量が増加した領域も見られました(図2)。例えば、福島県北部沖の定線では、2012年度に見積もられたCs-137存在量の約8%まで2016年に低下していましたが、2017年には約12%とわずかに増加しています。

◇ 放射性Cs量の増加要因の一つとして、仙台湾北部沿岸域に残存している沖合よりもわずかに濃度の高い放射性Cs濃度である海底土が、南方へ水平輸送されていると示唆されます。

### 3. 海底土中の放射性セシウムの水産物への影響評価

- F1 : (1M酢酸Na)抽出→イオン交換態(表面吸着物)
- F2 : (1M酢酸Na + 酢酸)抽出 →炭酸塩態
- F3 : (0.04M ヒドロキシルアミン)抽出 →Fe-Mn 酸化物態
- F4 : (0.02M 硝酸 + 30%過酸化水素水)抽出→有機物
- F5 : (残渣) →ケイ酸塩態

図1. Tessierら(1979)の逐次抽出法による分画中(F1~F5)の放射性セシウムの存在形態

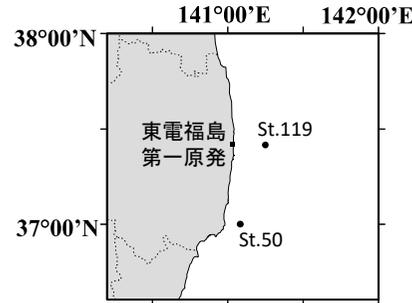


図2. 試料採取地点

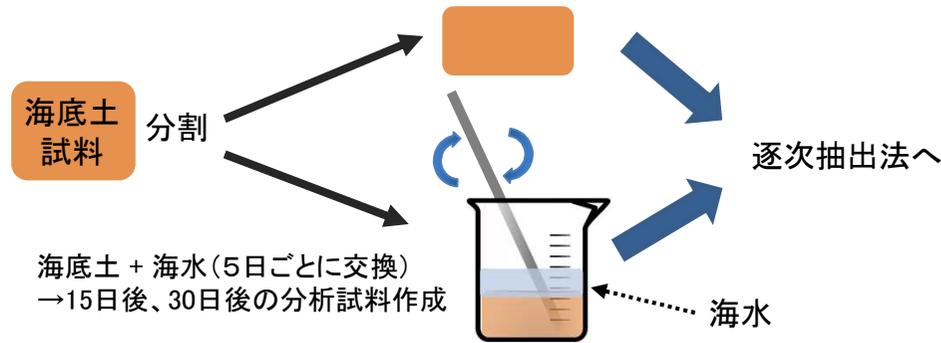


図3. 試料作成方法

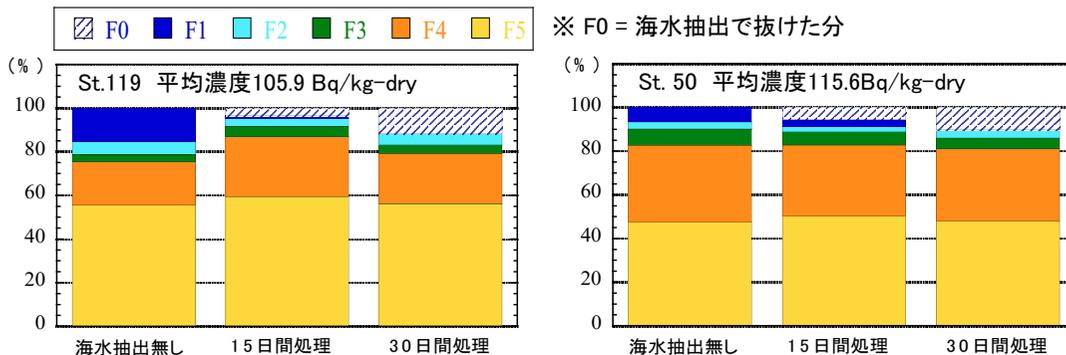


図4. 海水抽出前後のCs-137量の分画毎の割合

◇ 逐次抽出法(図1)により、放射性セシウム(Cs)の存在形態はF1~F5の5つに分画することができます。この中でF5は、水産物をほとんど汚染させない形態、その他の形態(F1-F4)は汚染させる能力がある部分と考えられています。

◇ 海底土中の放射性Csの大部分は、F5に存在していることがこれまでに報告されています。一方、海底土に含まれる放射性Csは、放射性Cs濃度が低い海水に浸漬すると、ある一定量が海水中に溶出されることが、これまでの研究から指摘されています。

◇ 本課題では、この海水中に溶出される放射性Csが、5つの分画のどの分画から溶出しているのかを調べました。

◇ 2012年度に図2に示した地点から採取した海底土を図3の方法により処理し、逐次抽出法後に放射性Cs濃度を測定しました。

◇ 海水中に溶出する放射性Csは、主にF1に存在していること、F5からは溶出がほとんど無いことが示されました(図4)。

◇ モニタリング調査から、福島県産海産物中の放射性Cs濃度は低下し続け、既に非常に低い濃度であることが示されています。このことから、海底土から溶出した放射性Csを含む海水は速やかに拡散・希釈され、水産物中の放射性Cs濃度を上昇させることは無いと考えられます。

## 4. 第一原発周辺海域における海産生物の汚染状況

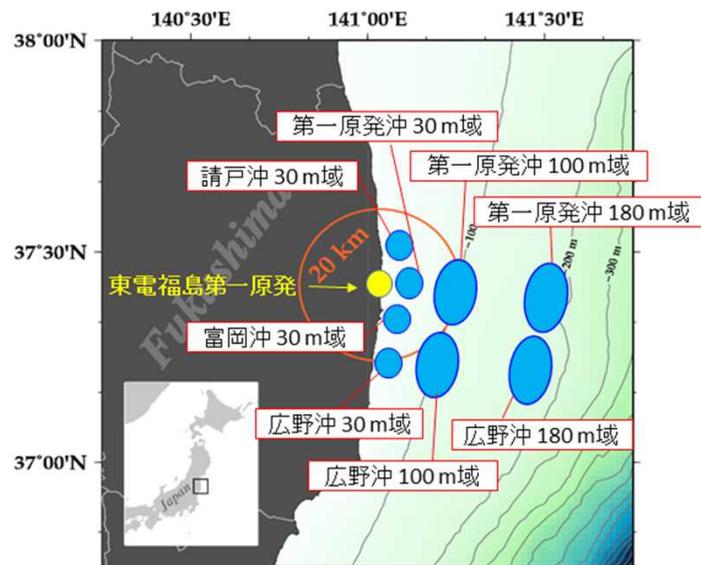


図1. 2017年度の福島県沖海産生物調査地点

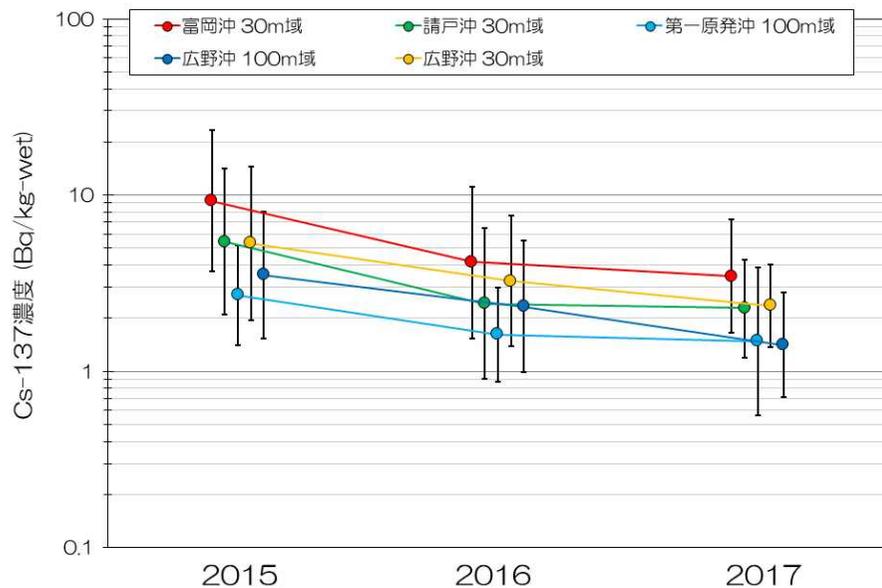


図2. 福島県沖5定点における底魚筋肉部位のCs-137濃度の推移  
プロットは幾何平均値、エラーバーは幾何標準偏差に基づくバラツキ

表1. 底魚筋肉部位におけるCs-137濃度(Bq/kg-wet)の幾何平均値

調査海域(水深)	検体数	幾何平均値	
		(幾何標準偏差に基づくバラツキの範囲)	
請戸沖(30m域)	34	2.28	(1.20 ~ 4.31)
富岡沖(30m域)	117	3.46	(1.66 ~ 7.23)
第一原発沖(30m域)	97	6.50	(2.68 ~ 15.8)
第一原発沖(100m域)	91	1.48	(0.565 ~ 3.88)
第一原発沖(180m域)	9	0.885	(0.513 ~ 1.53)
広野沖(30m域)	51	2.35	(1.37 ~ 4.01)
広野沖(100m域)	90	1.41	(0.709 ~ 2.81)
広野沖(180m域)	23	0.686	(0.392 ~ 1.20)

◇ 2017年5月から11月にかけて、福島県の請戸沖30m域、富岡沖30m域、第一原発沖30m域、100m域および180m域、広野沖30m域、100m域および180m域において海産生物調査を実施しました(図1)。採取した海産生物72種について、筋肉や内臓などの部位別に890検体の試料を調製して放射性セシウム濃度を測定しました。その結果、全ての検体が基準値の100Bq/kg-wet以下でした。

◇ 各調査地点で採取した底魚筋肉部位に含まれるCs-137濃度は第一原発沖30m域が6.50Bq/kg-wet、それ以外の調査地点では5.00Bq/kg-wet以下の水準となりました(表1)。2015年より継続的に調査を実施している請戸沖30m域、富岡沖30m域、第一原発沖100m域、広野沖30m域、広野沖100m域の5定点では、いずれの調査海域でも底魚筋肉部位のCs-137濃度が昨年度より低い値を示し、順調に低下している事が確認されました(図2)。

## 5. 東北海域におけるヒラメの年級別放射性セシウム濃度変化

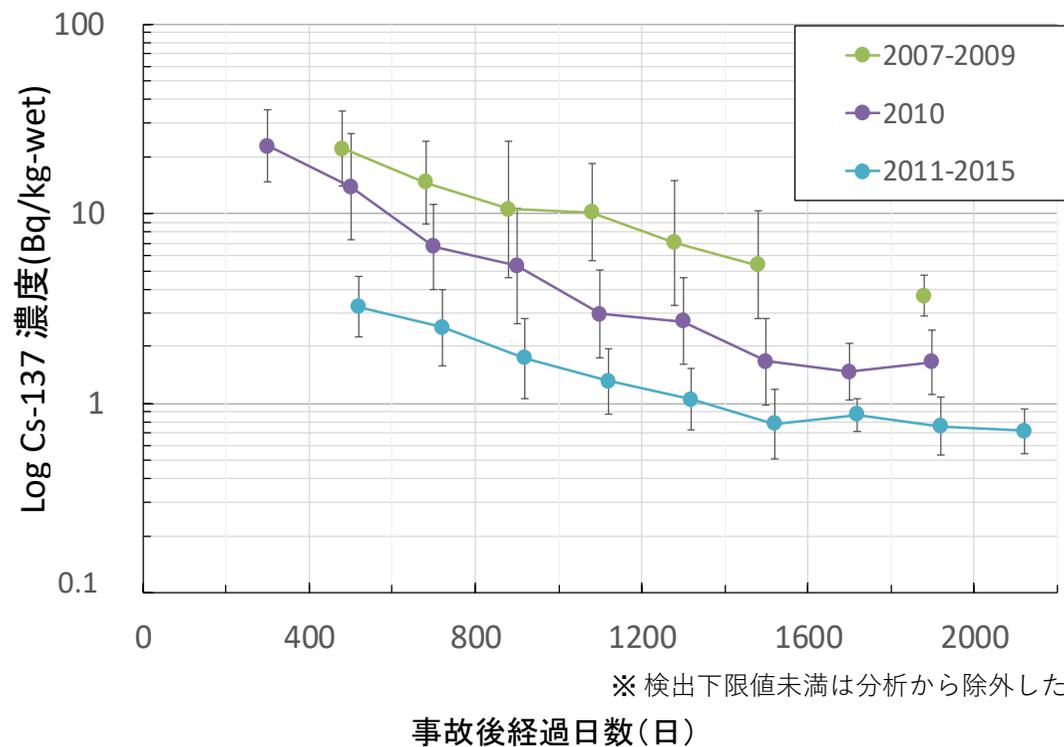


図1. 仙台湾で採取されたヒラメの年級群別 Cs-137濃度の推移。凡例の数字はヒラメの生まれた年(年級)。プロットは幾何平均値、エラーバーは幾何標準偏差に基づくバラツキを表します。

◇ 事故後に仙台湾で採集されたヒラメのCs-137濃度の変化を、生まれた年(年級)別に調べました(図1)。各年級ともに、濃度は経年的に低下し、1500日以降は低いレベルで推移していることが明らかになりました。事故後1800～2000日におけるCs-137濃度は、事故前生まれ(2010年級)が1.6Bq/kg-wet、事故後生まれ(2011～2014年級)が0.75Bq/kg-wetです。また、事故後2000～2200日におけるCs-137濃度は、事故後生まれは0.71Bq/kg-wetです。

◇ 事故前生まれ(2007～2009年級、2010年級)に比べ、事故後生まれ(2011～2014年級)のCs-137濃度が低いことは、事故直後の汚染レベルの高い環境の経験の有無を反映していると考えられます。

◇ とともに事故前生まれの2007～2009年級と2010年級の違いは、セシウムの取込と排出の関係が魚体の大きさによって異なることを示唆しています。

◇ 年級による濃度や低下速度の違いの原因を明らかにするためには、海水からの取込係数、節摂餌量、生物学的半減期(排出速度)など生理学的な情報を明確にする必要があります。

## 6. 仙台湾および福島県北部沖合定点における生態系内の移行

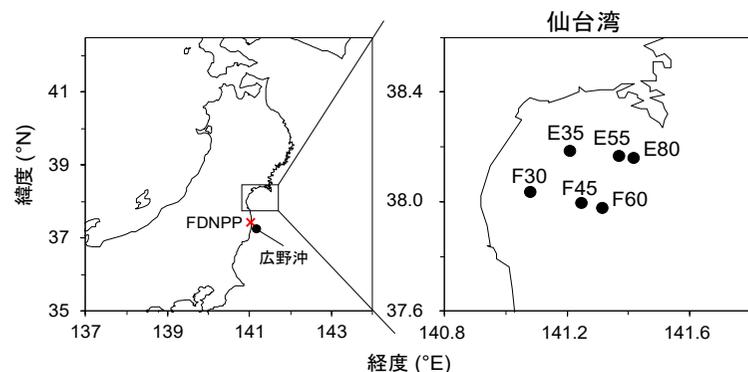


図1. 福島県広野沖および仙台湾の調査点  
図内のFDNPPは、東京電力福島第一原子力発電所を表す。

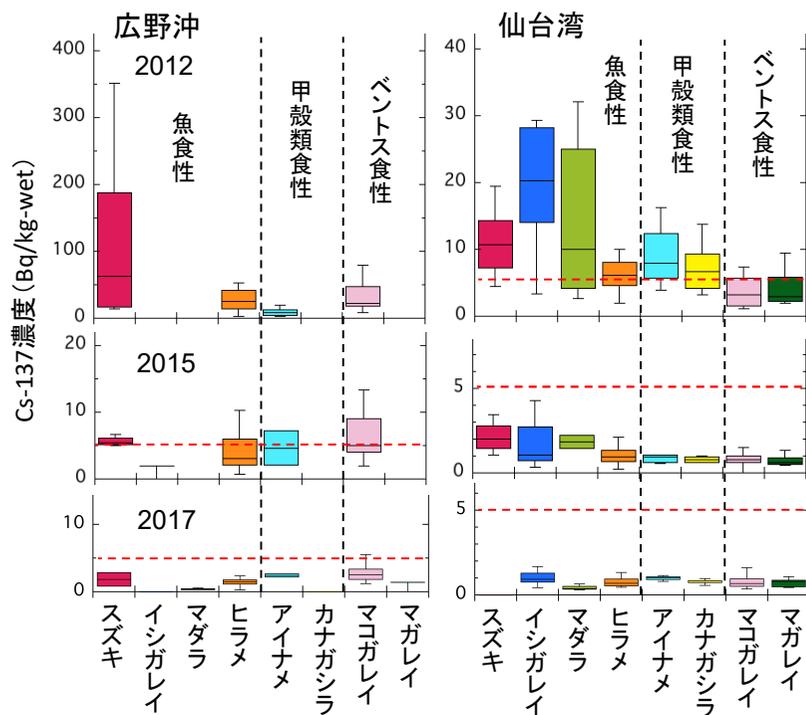


図2. 広野沖および仙台湾におけるCs-137濃度の魚種(食性グループ)間比較  
各箱ひげ図の縦線は最大値と最小値を表し、赤点線は5 Bq/kg-wetを示す。

◇ 福島県広野沖および仙台湾の水深30-80mに設定した6定点を対象に(図1)、2011年11月から年3-4回の頻度で、若鷹丸、蒼鷹丸および小型の刺し網・底びき網漁船等により魚類および餌生物を採集し、放射性セシウム濃度と魚類食性との関係を調べています。

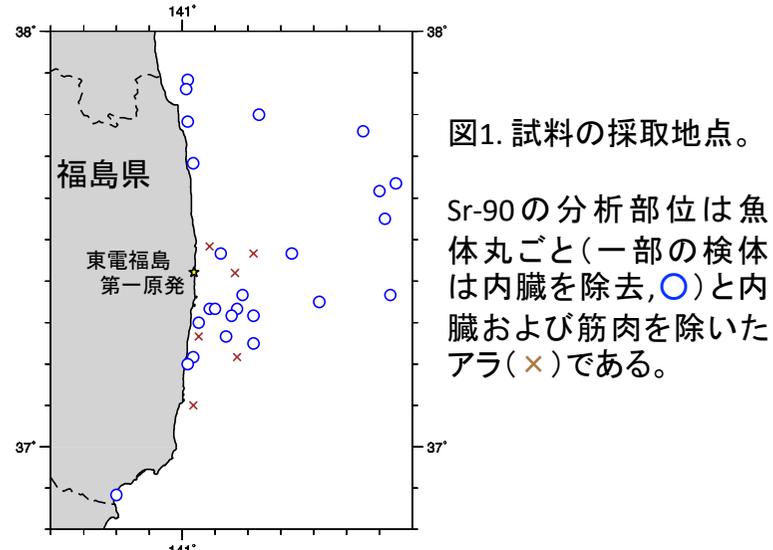
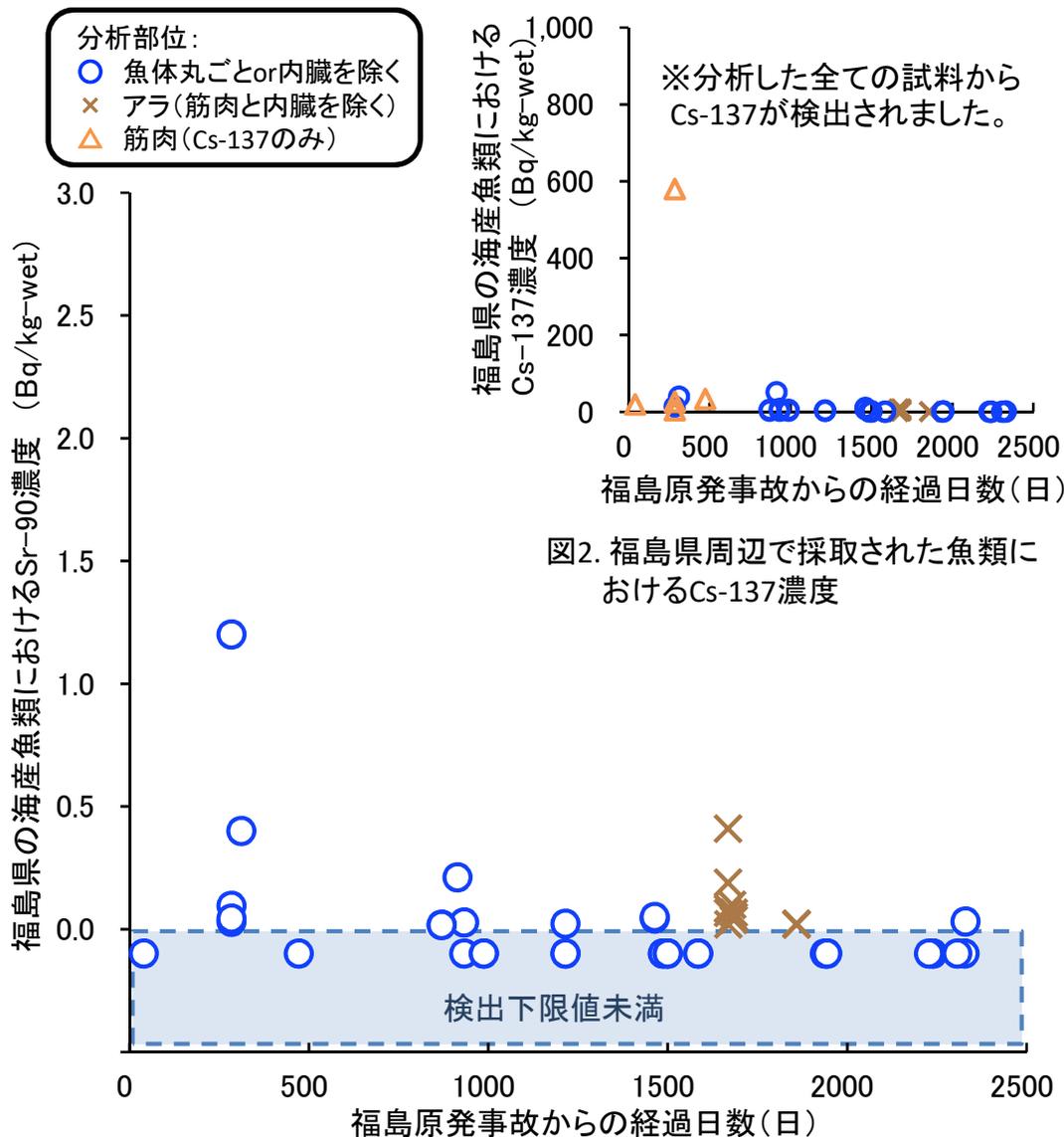
◇ 両海域において、2017年に採集した魚類のCs-137濃度は2015年に採集した個体よりも低い値を示しており、放射性セシウム濃度が順調に低下している事が確認されました。(図2)。

◇ 広野沖の2017年の幾何平均値は、食性に関わらず5Bq/kg-wet以下の水準まで低下していました。

◇ 仙台湾の魚類のCs-137濃度と食性との関係には、魚食性 $\geq$ 甲殻類食性 $\geq$ ベントス食性の順にCs-137濃度が高くなる傾向が認められます。この関係は、事故前のデータを基にした解析結果(笠松1999)と同様の結果です。これらの結果は、仙台湾での環境から魚への放射性セシウムの移行が主に餌を介していることを示唆しています。

# 7. 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、水産物の安全性について国内外からの信頼を得るために、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。



◇ 図1に示す測点での試料分析結果を図2と3に示します。Sr が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を対象とした測定も行っています。

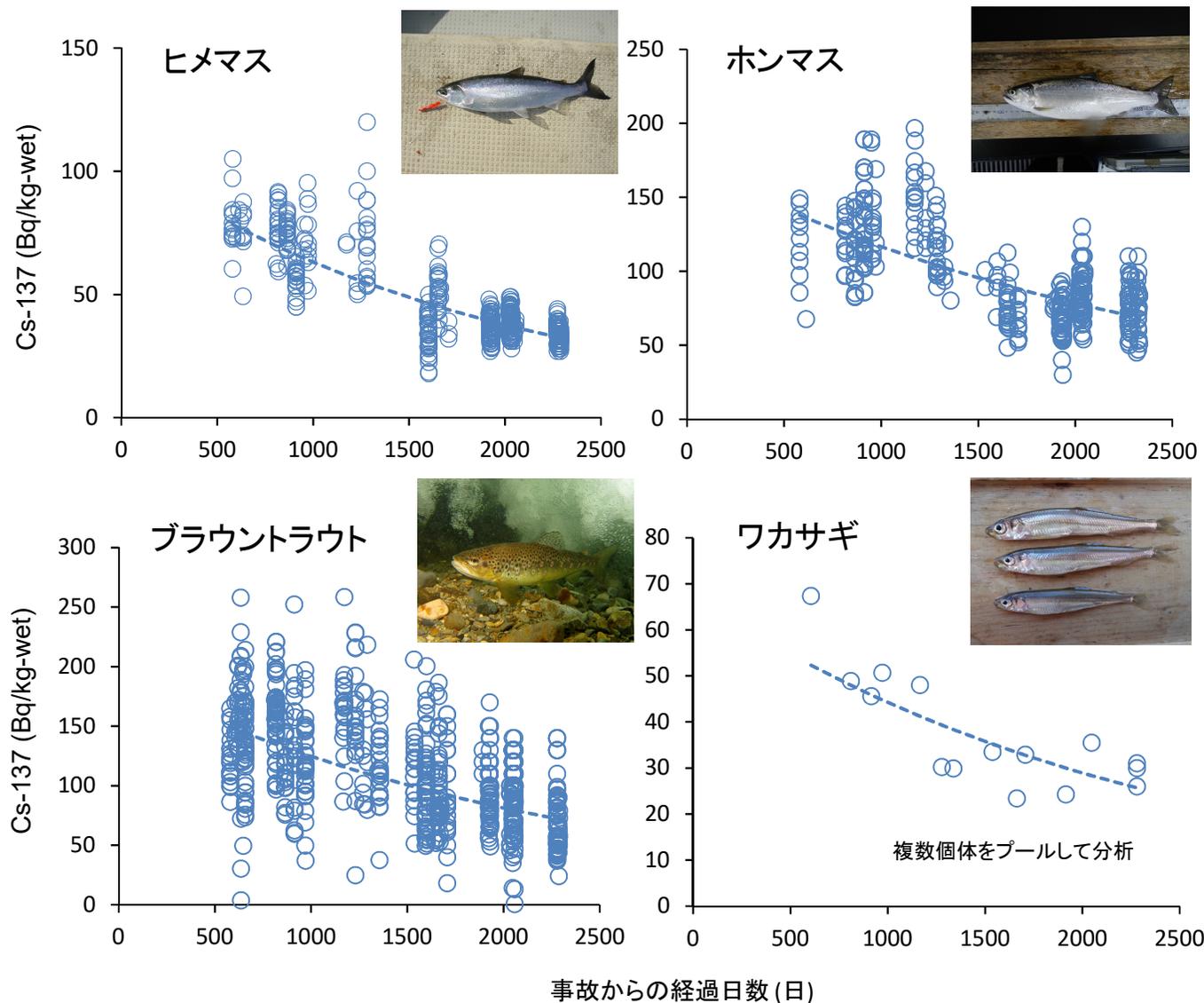
◇ 福島県沖の海産魚類のSr-90濃度は、最高値(1.2 Bq/kg-wet)を除くと、アラ試料も含め、0.5 Bq/kg-wet以下でした(図3)。

◇ 福島県以外の海域で採取された海産魚類のSr-90濃度は原発事故前20年間の平均濃度と同水準(0.025 ± 0.021 Bq/kg-wet以下)でした(下記リンク先参照)。

これまでの当機構による水産物の放射性ストロンチウム濃度の測定結果については、下記リンク先をご参照ください。 <https://www.fra.affrc.go.jp/eq/result.html>

図3. 福島県周辺で採取された海産魚類におけるSr-90濃度

# 8. 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

- 水産研究・教育機構は、2012年10月から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の魚種から、Cs-137濃度の低下傾向が確認されています(図1)。
- Cs-137の実効生態学的半減期は、ヒメマスでは約1300日、ホンマスでは約1700日、ワカサギとブラウトラウトでは約1600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

図1. 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。図中の点線は統計学的に有意な低下傾向があることを示す。

# 9. 福島県内河川に生息するアユの放射性セシウム濃度

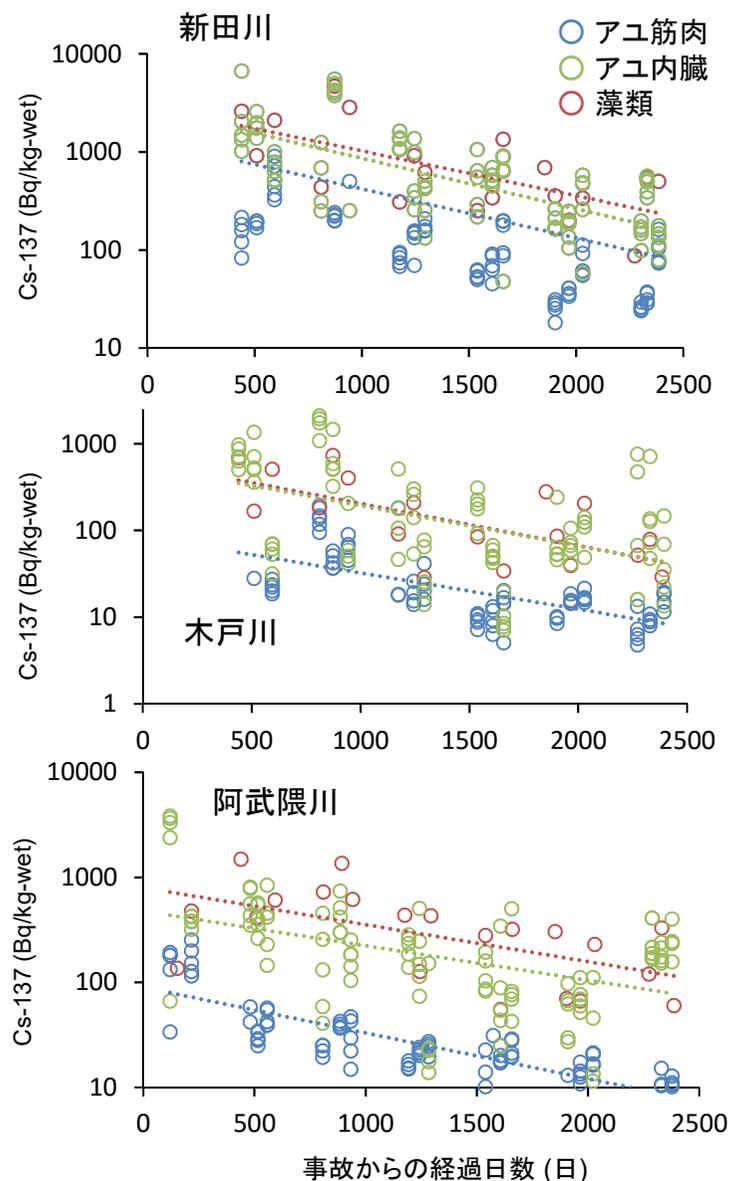


図2. 福島県新田川、木戸川、阿武隈川に生息するアユの筋肉、内臓(胃内容物を含む)、藻類(シルトを含む)の放射性セシウム(Cs-137)濃度の推移。図中の点線は、統計学的に有意な低下傾向があることを示す。

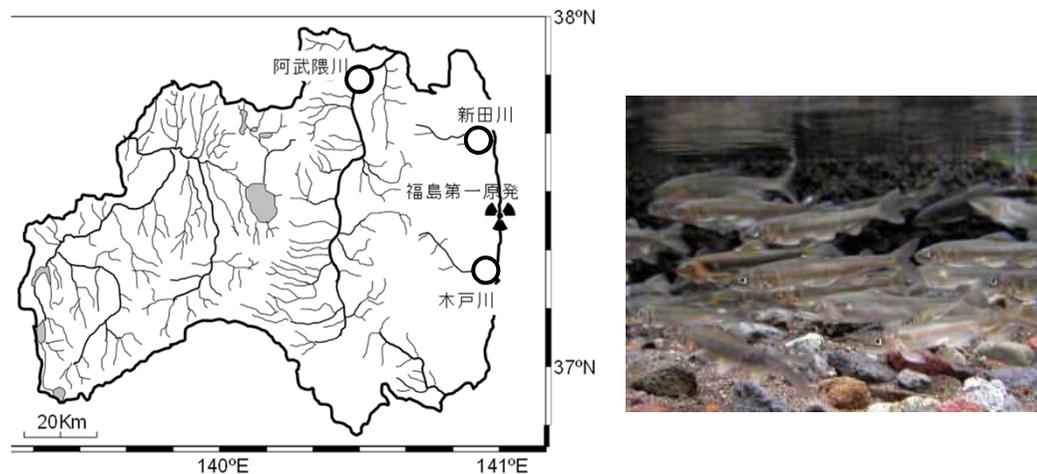


図1. アユの調査を行った河川

- 福島県浜通りの新田川・木戸川、中通りを南北に貫く阿武隈川(宮城県内のいくつかの支流を除く)では、アユの出荷制限が続いています。
- アユの筋肉部位、内臓部位(胃内容物を含む)および石に付着した藻類(アユの餌生物)の放射性セシウム(Cs-137)濃度は、いずれも低下傾向が認められました(図2)。
- アユ筋肉部位のCs-137濃度は内臓部位よりも低く、内臓部位の濃度は藻類と同程度か、やや低い値で推移していました。
- アユ筋肉部位と内臓部位の実効生態学的半減期(Cs-137)は、新田川でそれぞれ674日と585日、木戸川では716日と644日、阿武隈川では687日と771日と推定されました。

※ 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

# 10.千葉県内湖沼河川における淡水魚の調査結果

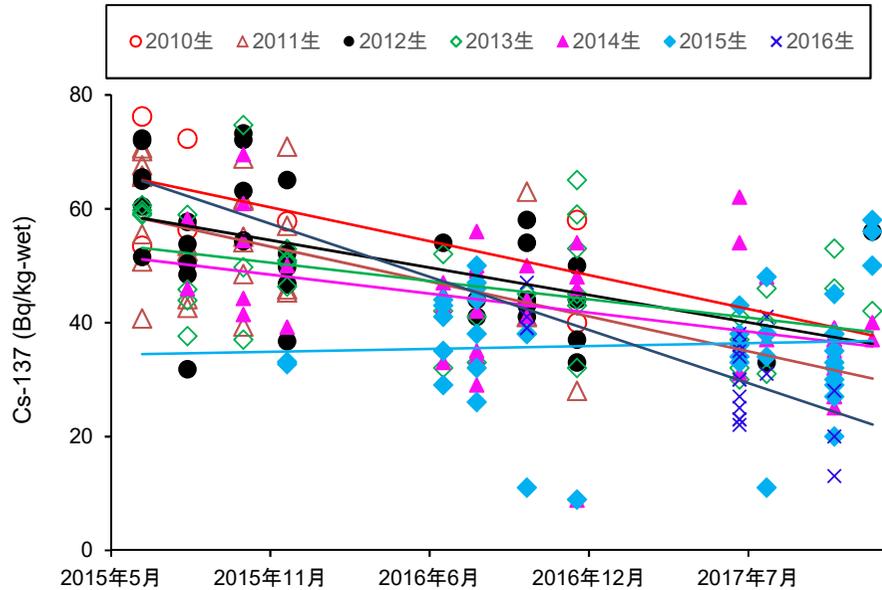


図1 手賀沼におけるギンブナの年級群別放射性セシウム(Cs-137)濃度の推移。検出下限値以下のデータは除いた。

- 千葉県手賀沼のゲンゴロウブナを除く全魚種と、利根川境大橋より下流に生息するニホンウナギには、漁協や県の要請による出荷自粛または国による出荷制限が行われています。
- 手賀沼に生息するギンブナでは、2015年生まれを除くすべての年級群で放射性セシウム(Cs-137)濃度の低下傾向が確認されました(図1)。
- 手賀沼で採捕されたニホンウナギの中には、利根川よりもCs-137濃度の高い個体が確認されました(図2)。
- ニホンウナギでは、年齢間および発育段階(黄ウナギまたは銀ウナギ)で放射性セシウム濃度に大きな違いは認められませんでした(図3)。

※ 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

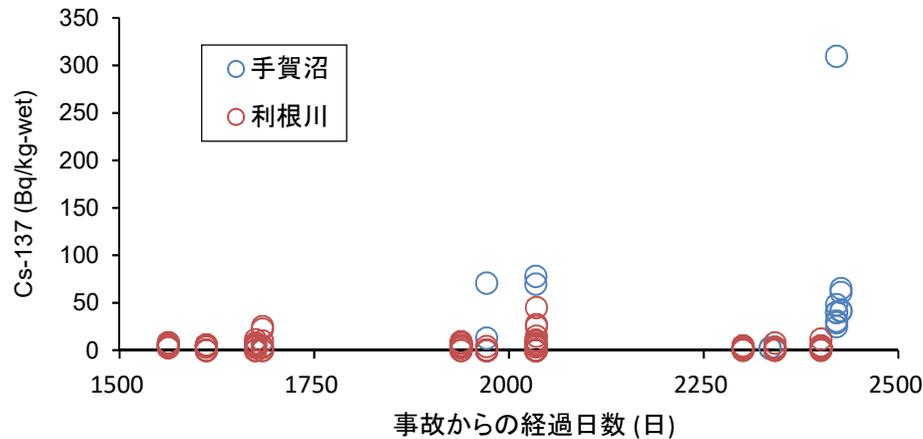


図2 利根川・手賀沼に生息するニホンウナギの放射性セシウム(Cs-137)濃度の推移。検出下限値以下のデータは、0 Bq/kg-wetとして表記した。

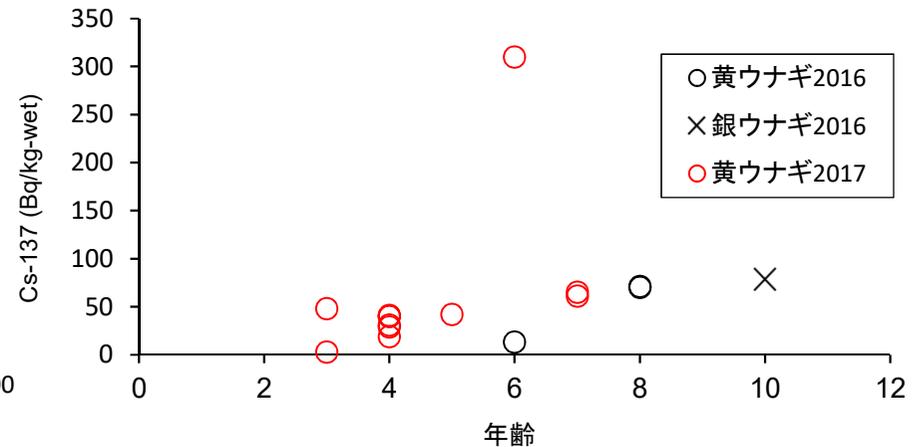


図3 手賀沼に生息するニホンウナギの年齢別、発育段階別の放射性セシウム(Cs-137)濃度。