



国立研究開発法人
水産研究・教育機構

平成28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29年3月
(研)水産研究・教育機構



-目次-

0. はじめに
1. 福島県海域の海水の放射性セシウム濃度の状況
2. 海底堆積物中の放射性セシウム濃度
3. 第一原発周辺海域における海産生物の汚染状況
4. 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
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. マダラの放射性セシウム濃度の空間分布と回遊
7. 海底土中の放射性セシウムの水産物への影響評価
8. 海産魚類におけるストロンチウム-90濃度
9. 栃木県中禅寺湖に生息する魚類の放射性セシウム濃度
10. 福島県内河川における放射性セシウム移行経路調査
11. コクチバスの年齢群ごとの放射性セシウム濃度の推移
12. 千葉県内湖沼河川における淡水魚の調査結果
13. 福島県海域の震災後のアワビ資源状態

0. はじめに

東京電力ホールディングス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、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まいりました。福島県の水産物では、2011年4-6月期には基準値の100Bq/kg-wetを超過する割合は52.7%ありましたが、2015年4-6月期以降、0.1%を超えておらず、海洋水産物の放射能汚染は大幅に改善に向かっているといえます。

科学的に十分な安全対策とモニタリング体制をとっておりますが、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国民や国際世論の不安は助長され、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、事故直後に県下全ての漁業を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、震災直後よりこれまで水産庁委託事業「放射性物質影響解明調査事業」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」を実施してまいりました。ここでは、これらの事業で得られた主な成果をとりまとめて報告いたします。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、引き続き日本の水産業の復興発展に貢献していく所存です。

1. 福島県海域の海水の放射性セシウム濃度の状況

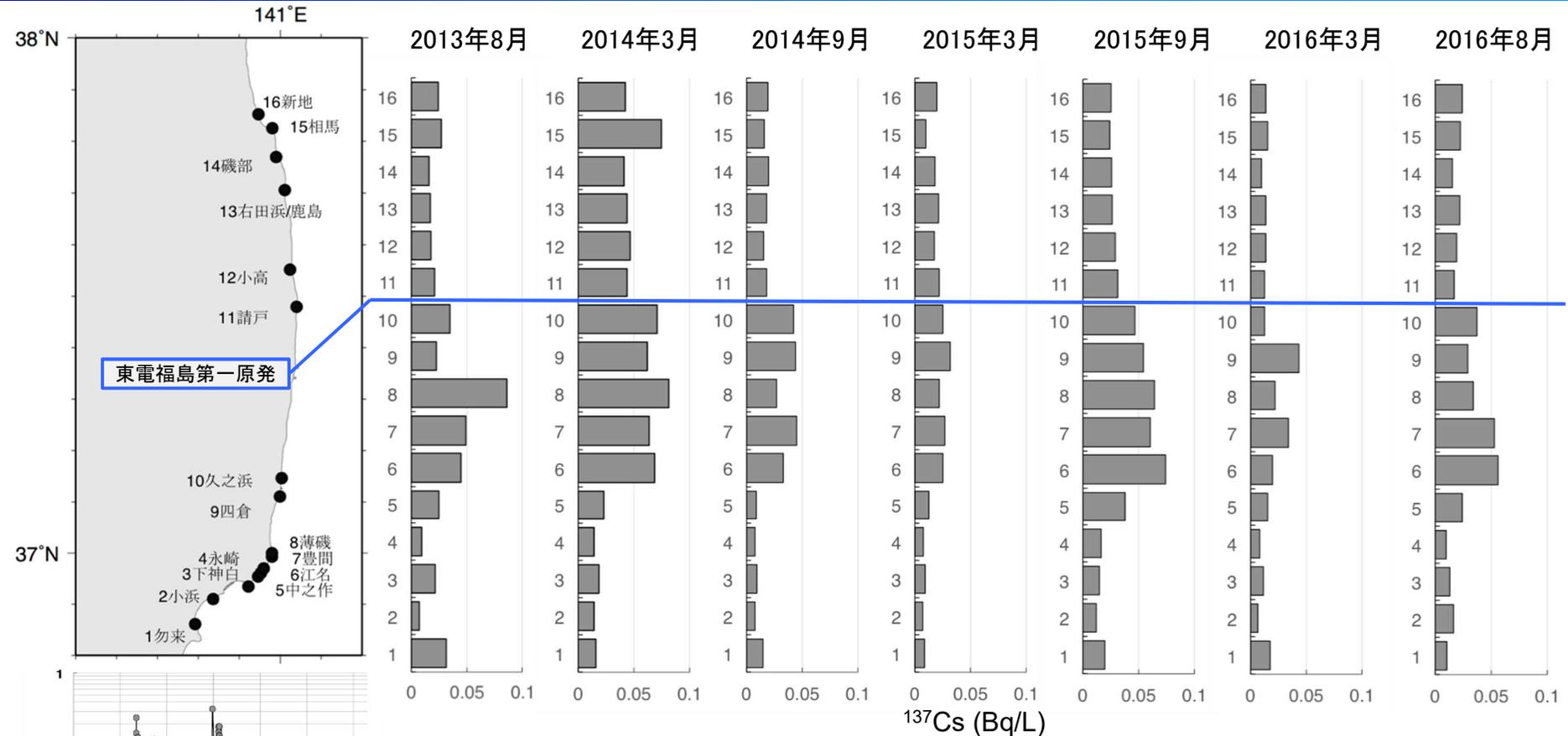


図1. 福島県極沿岸の16地点における海水の放射性セシウム(^{137}Cs)濃度。左から2013年8月、2014年3月、9月、2015年3月、9月、2016年3月および8月の結果。東電福島第一原発の位置を青線で示す。

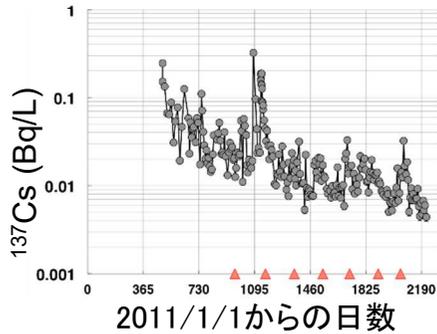


図2. 小名浜地先における海水の ^{137}Cs 濃度時系列変動。横軸上の三角の凡例は極沿岸水採取日を表す。

- ◇ 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～2016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7回実施しました(図1)。
- ◇ 海水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(0.003～0.06Bq/L)で推移しています。

2. 海底堆積物中の放射性セシウム濃度

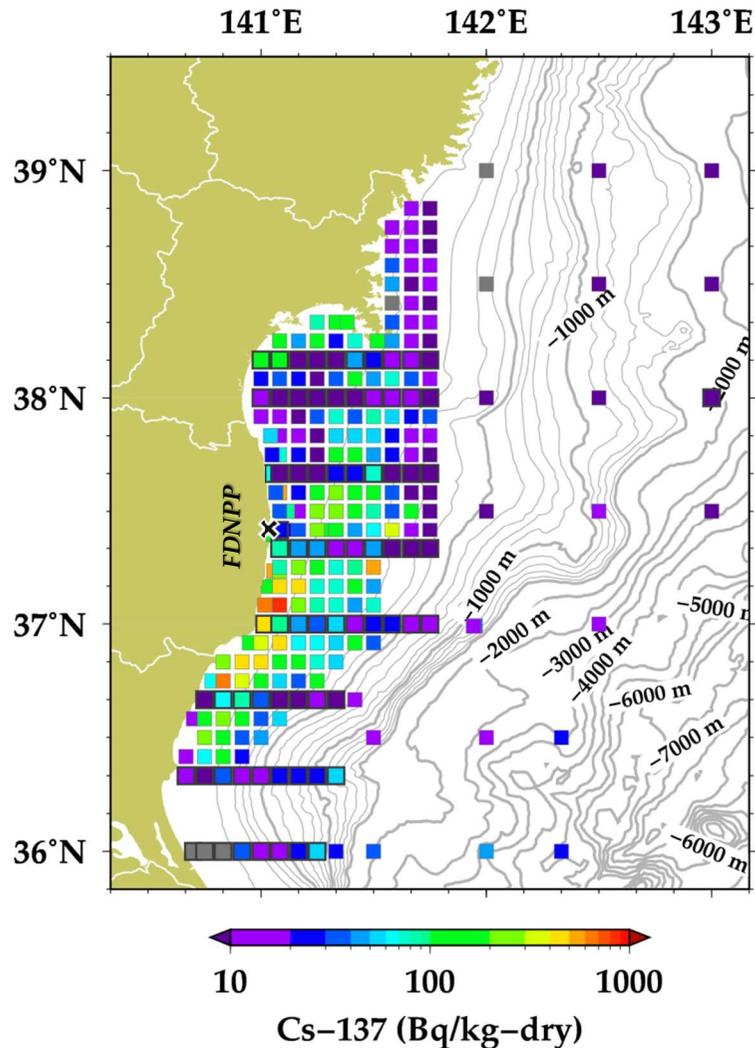


図1. 2012年以降の海底土マッピング調査による海底堆積物表層(0-1cm)中のCs-137濃度分布の合成図。灰色のタイルは、濃度が検出下限値(1.3 Bq/kg-dry程度)未満であったことを示す。太枠で囲んだタイルが今年度(2016年夏季)実施した調査結果。

- ◇ 宮城、福島、茨城沖の緯経度5分間隔の調査点のうち8本の東西ライン(図1)に沿った調査を行い、海底堆積物中の放射性セシウム濃度分布を調べました。
- ◇ 堆積物表層(0-1cm)中の放射性セシウムの濃度の水平的な高低パターンは持続していますが、全体的な濃度レベルは経時的に低下傾向にあり、2016年度の調査海域全体の平均濃度は2013年度の40%のレベルまで低下していました。
- ◇ 過去試料の再分析結果を基にした経年変化の分析結果から、顕著な濃度低下が沿岸域で認められました。一方、東電福島第一原発南方の沖合域下層ではわずかな濃度上昇が検出されました(図2)。
- ◇ これらの結果は、沿岸域の堆積物中に存在した放射性セシウムが堆積物の南東方への水平輸送とともに移動していること、その輸送の過程における混合や新たな堆積物が表面に降り積もることにより、放射性セシウム濃度が低下しつつ鉛直方向の分布の中心がより深い層に移ることを示唆しています。

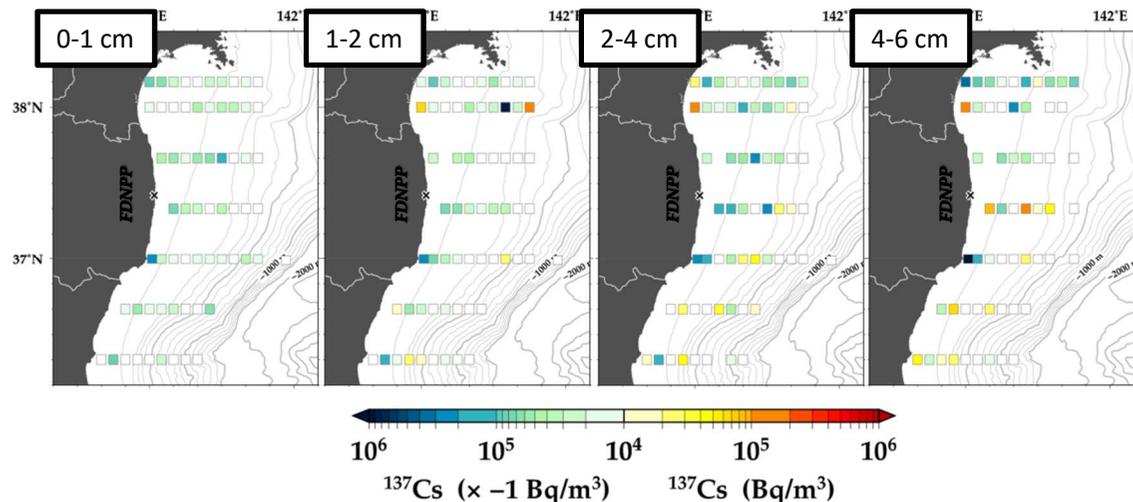


図2. 2013年から2015年にかけての、海底土中におけるCs-137の増減量。寒色は減少を示し、暖色は増加を示す。海底面から6 cm深までの4層(0-1, 1-2, 2-4, 4-6 cm)についてそれぞれ示す。

3. 第一原発周辺海域における海産生物の汚染状況

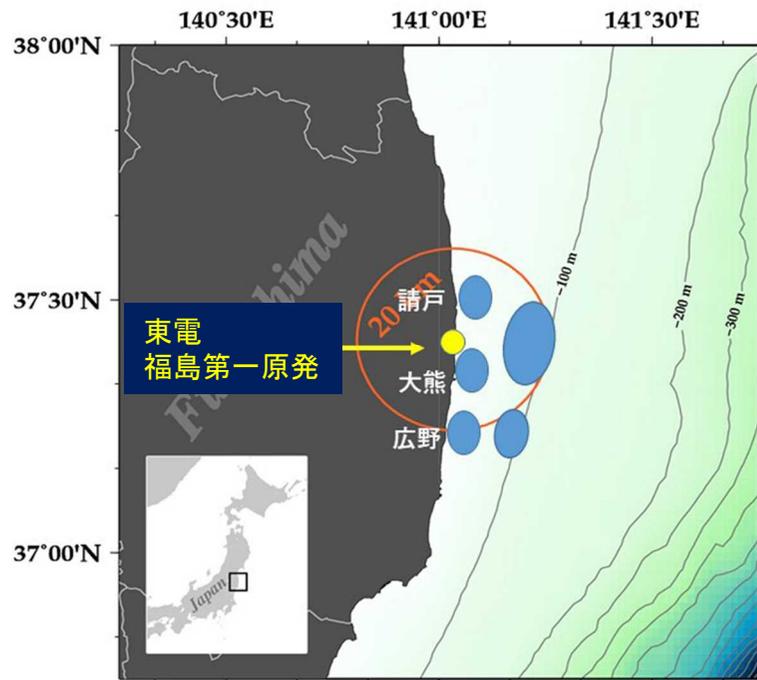


図1. 2016年度に東電第一原発周辺海域で実施した海産生物の調査海域

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	検体数	幾何平均値 (幾何標準偏差に基づくばらつき範囲)	昨年の同海域における幾何平均値
広野沖 (30m以浅)	84	3.25 (1.39~7.60)	5.31
広野沖 (100m深域)	115	2.33 (0.985~5.53)	3.51
請戸沖 (30m以浅)	43	2.42 (0.908~6.46)	5.42
大熊沖 (30m以浅)	46	4.16 (1.54~11.2)	9.27
東電福島第一原発沖 (100m深域)	113	1.62 (0.876~2.98)	2.70

◇ 2016年7月から11月にかけて、福島県の請戸沖30 m以浅、大熊沖30 m以浅、第一原発沖100 m深域、広野沖30 m以浅、広野沖100 m深域において海産生物調査を実施し(図1)、採取した海産生物65種について個別や部位別に調製した697検体の放射性セシウム濃度を測定しました。その結果、基準値の100 Bq/kg-wetを上回ったのは請戸沖30 m以浅で7月28日に採取したカスザメ筋肉部位の114 Bq/kg-wet、1検体のみでした。

◇ 調査海域別に比較した底魚筋肉部位のCs-137濃度の幾何平均値は全ての調査海域において5 Bq/kg-wet以下の水準となり、昨年度よりも低い値となりました(表1)。東電福島第一原発周辺海域に生息する底魚の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。

◇ 本年度は、魚類の筋肉部位(可食部)以外(肝臓、消化管、生殖腺等)の放射性セシウム濃度の調査を強化し、筋肉以外の部位について216検体の放射性セシウム濃度を測定しました。その結果、大半の試料が筋肉部位よりも低いか同等の濃度水準でした。なお、内容物を含む消化管部位の6検体からは筋肉部位の3倍以上のCs-137濃度が検出されましたが、これは飲水や摂餌の際に消化管内に混入した海底土などの影響を受けたものと考えられます。

4. 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

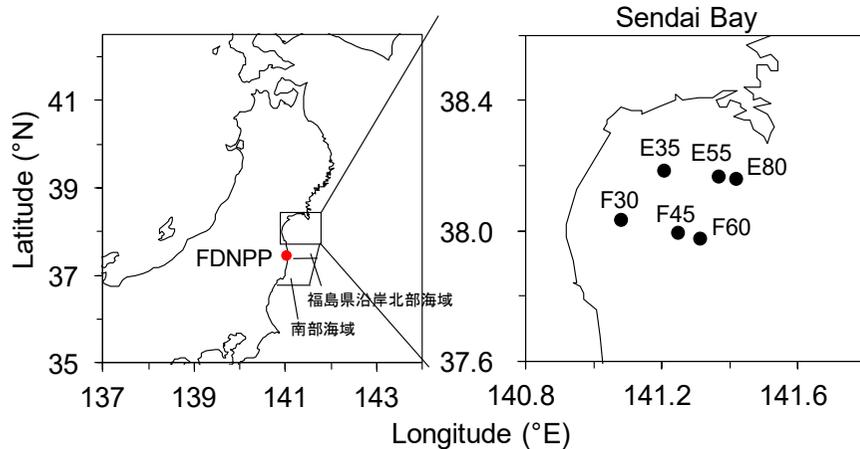


図1. 仙台湾および福島県沿岸北部・南部海域の調査点
図内のFDNPPは、東京電力福島第一原子力発電所を表す。

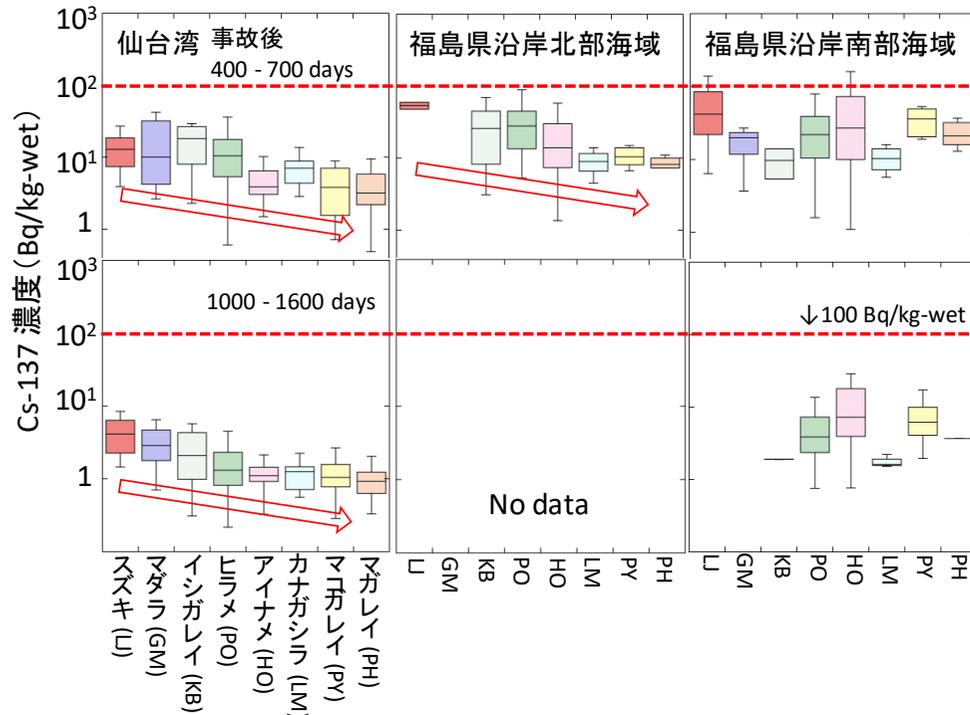


図2. 仙台湾および福島県沿岸北部・南部海域におけるCs-137濃度の魚種間比較
Cs-137濃度は対数表記である。また、各箱ひげ図の縦線は最大値と最小値を表す。

◇ 仙台湾の水深30-80mの水域に設定した6定点及び福島県北部沿岸(図1)を対象に、2011年11月から年3-4回の頻度で、若鷹丸および小型底びき網漁船を用いて採集した魚類および餌生物の試料から、放射性セシウムの濃度と食性の関係を調べています。

◇ 事故後400日以降に採取された魚類のCs-137濃度は国の基準値(100Bq/kg-wet)よりも低い値で推移し、1000日以降の仙台湾の試料は10Bq/kg-wet以下となっています(図2)。

◇ 仙台湾の魚類のCs-137濃度と食性の間の関係には、ベントス食性<甲殻類食性<魚食性の順にCs-137濃度が高くなる関係があることが認められます。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。

◇ 福島沖の魚においては、食性と濃度の間に明瞭な関係は、まだ現れていませんが、初期汚染の空間的な濃淡の影響などが、同海域の海洋生態系の中に残っているためと考えられます。

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

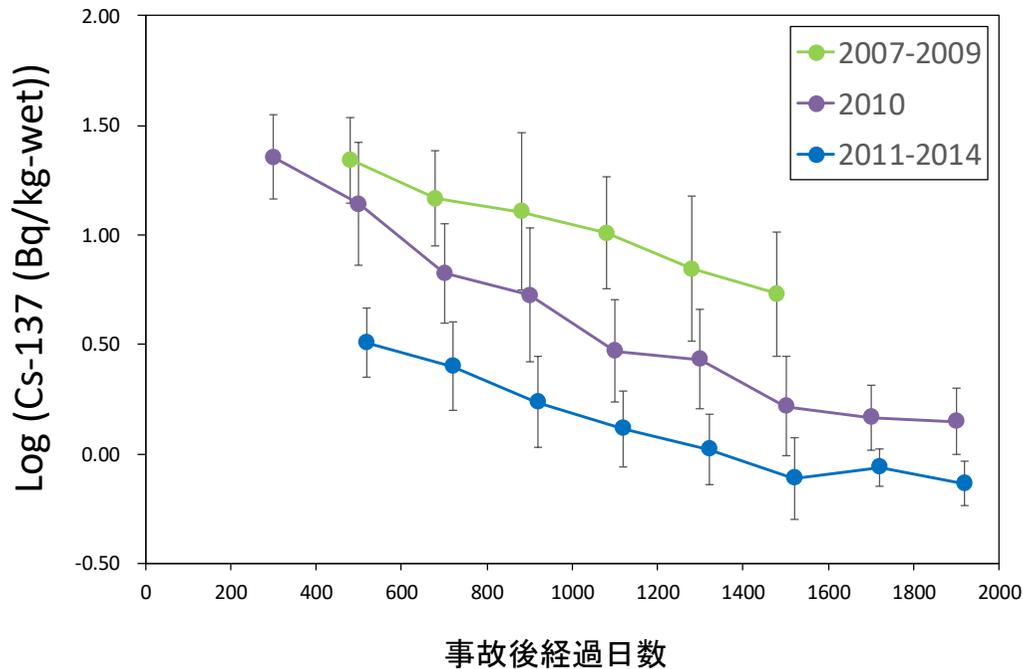


図1. 仙台湾で採集されたヒラメのCs-137濃度の推移。
凡例の数字はヒラメの生まれた年(年級)を表します。Cs-137濃度は対数変換した値。プロットは平均値、縦線は±標準偏差を表します。

◇ 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1.4Bq/kg-wet、事故後生まれ(2011~2014年級)が0.73Bq/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、節餌量、生物学的半減期(排出速度)など生理学的なパラメータを定量的に明らかにする必要があります。

6. マダラの放射性セシウム濃度の空間分布と回遊

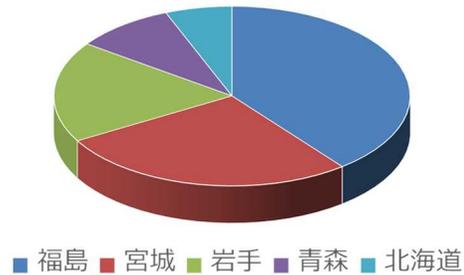
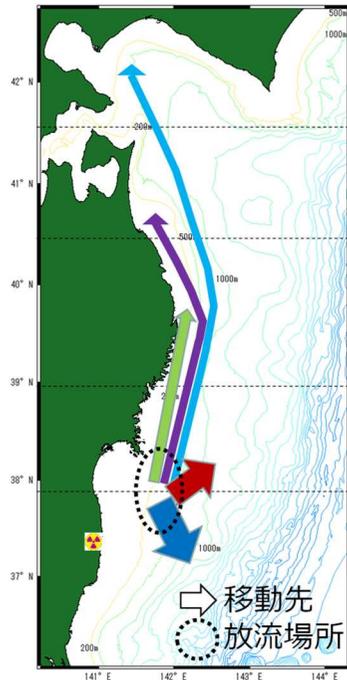


図1 左地図は、マダラの標識放流海域とその移動先、移動比率線の太さで比率を示す。上の円グラフは福島県・宮城県沖で標識放流されたマダラの再捕場所

- 現在、50Bq/kg-wet超のマダラの出現は見られませんが、震災後1~2年までは福島県沖以外での出現がありました。2012年前半の岩手県、青森県沖では、50Bq/kg-wet超のマダラの出現率が、それぞれ11%、6%となっていました。
- 遠隔地のマダラへの影響機構を理解するため、標識放流-再捕実験により回遊の実態を調べ、福島県周辺にいたマダラは1年以内に福島39%、宮城27%、岩手18%、青森9%、北海道6%の割合で採捕される結果を得ました(図1)。
- また、マダラの分布域と底魚類の分布域別の放射性セシウム濃度に関する既往の知見から、震災直後に東北南部に分布するマダラ個体のうち15%程度が、50Bq/kg-wet以上の放射性セシウムを取り込んだと推定されました(図2)。

- 放流-再捕実験から、青森県、岩手県沖では、震災後1年以内に放射性セシウムを取り込んだ個体が来遊し、50Bq/kg-wet以上の濃度を持つ個体の存在率が10%程度となっていたと推定されました。この結果は、上記放射能調査結果とも整合しており、魚類への影響の評価に、回遊生態の理解が重要であることを示します。
- 以上の解析結果は、震災後1年以内の状況の評価したものです。その後、環境が改善されることにより、マダラ体内に取り込まれた放射性セシウムの体外への排出が進み、現在はどの海域でも50Bq/kg-wetを超える個体が出現していません。

個体数 (万尾)

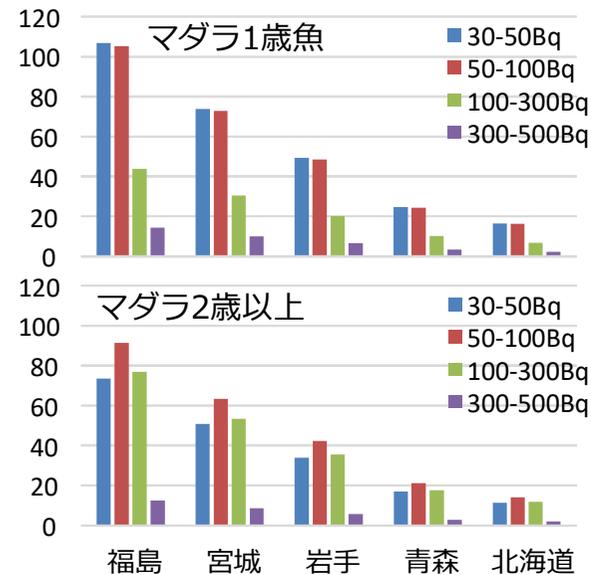


図2 福島県沖で放射性セシウムを取り込んだ個体の1年後の分布域と濃度別の個体数. なお、数字は取り込んだ当初のものであり、時間の経過に伴う排出は考慮されていない。

7. 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の放射性セシウムの存在形態

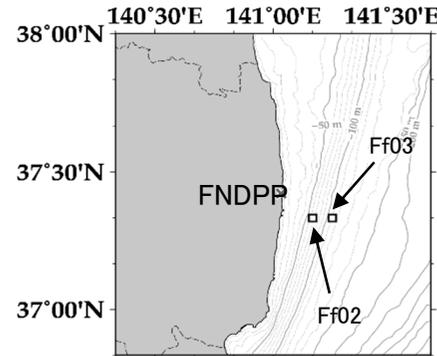


図2. 試料採取地点

- ◇ 海底土に含まれる放射性セシウム(Cs)による水産物の汚染が懸念されていますが、これまでの知見から、その影響は小さいことが示されています。
- ◇ 放射性Csは、図1による方法で5つの形態に分画することができます。この中でF5の分画は、水産物をほとんど汚染することがない部分、その他の分画(F1-F4)は汚染させる能力がある部分と考えられています。

- ◇ そこで、本研究では、2012年と2015年の海底土試料について(図2)、層別にCs-137の形態別の存在割合とその経年的な変化を調べました(図3)

- ◇ 2012年と2015年ともに、大部分のCs-137はF5の形態で存在しています。海底土の層の深さとF5の割合には明確な傾向は認められませんでした。

- ◇ 2012年と2015年を層別に比較すると、一部を除きCs-137濃度の低下が認められます。一方で、必ずしもF5の形態の割合が増加するような傾向は認められませんでした。

- ◇ 本研究の結果、海底土のCs-137は、その大部分が水産物を汚染することのない形態(F5)で存在することが明らかになりました。水産物への海底土汚染の影響はさらに小さくなっていると考えられます。

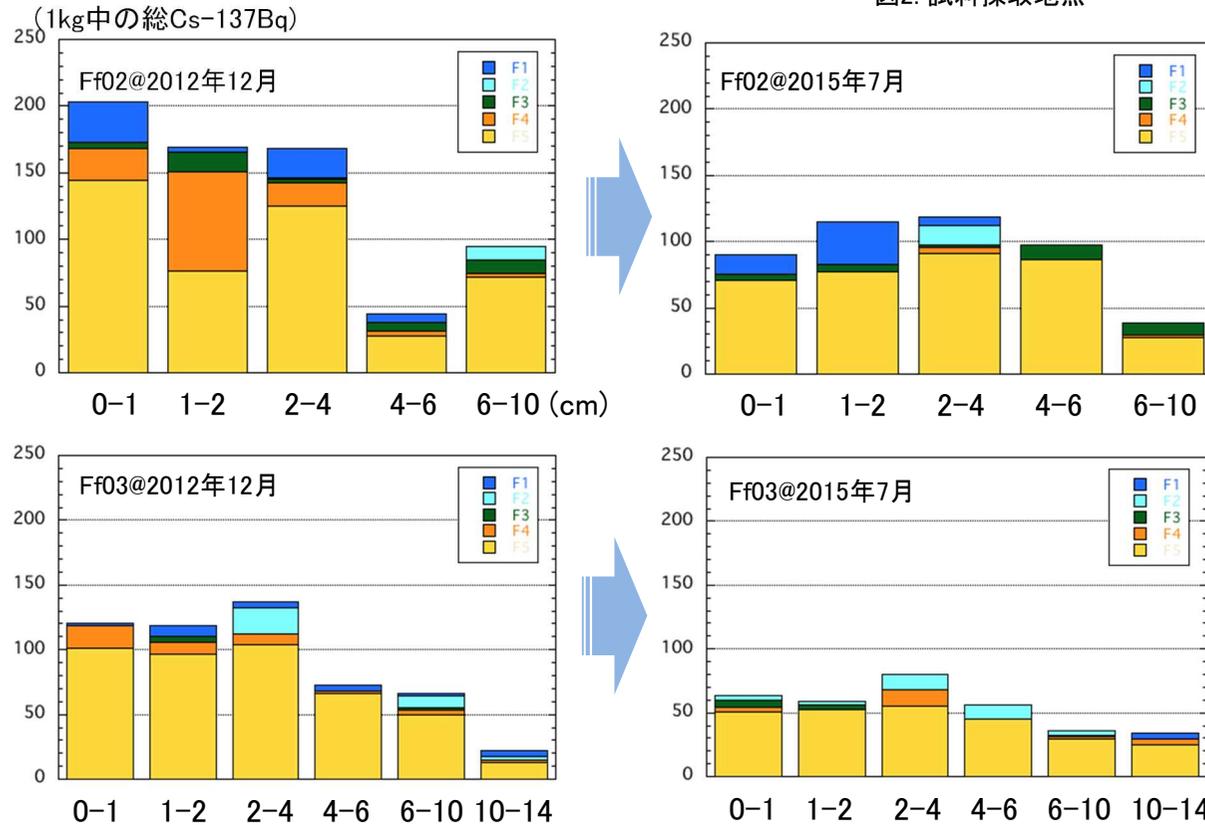
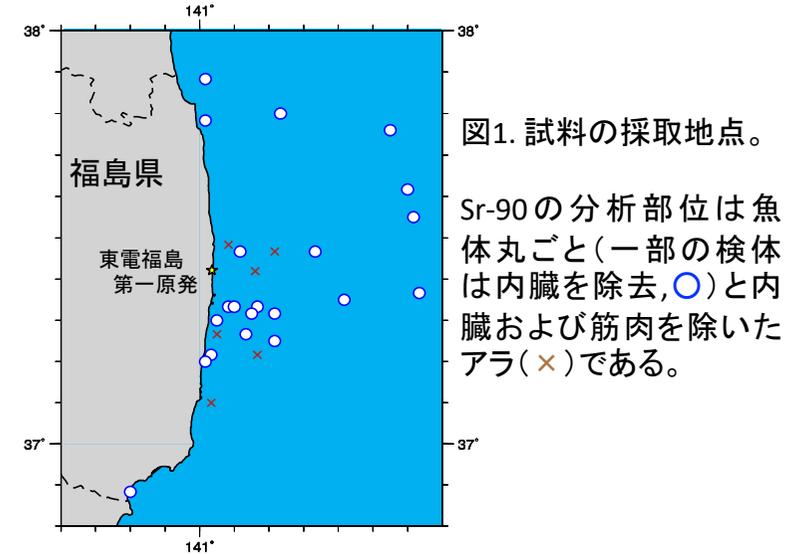
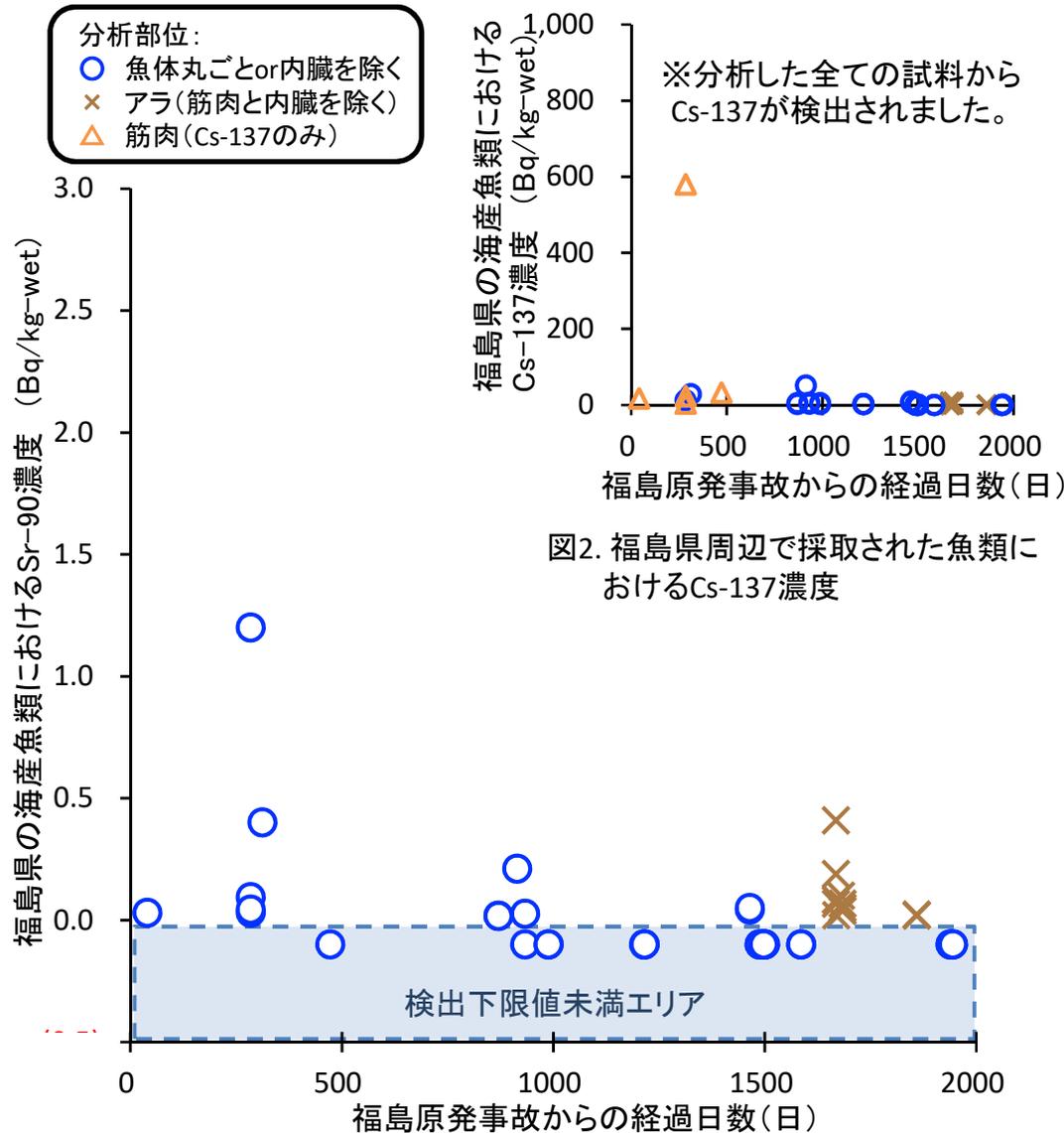


図3. 海底土1kg中にふくまれるCs-137のうち、各層中の量(Bq)

8. 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。ストロンチウム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。

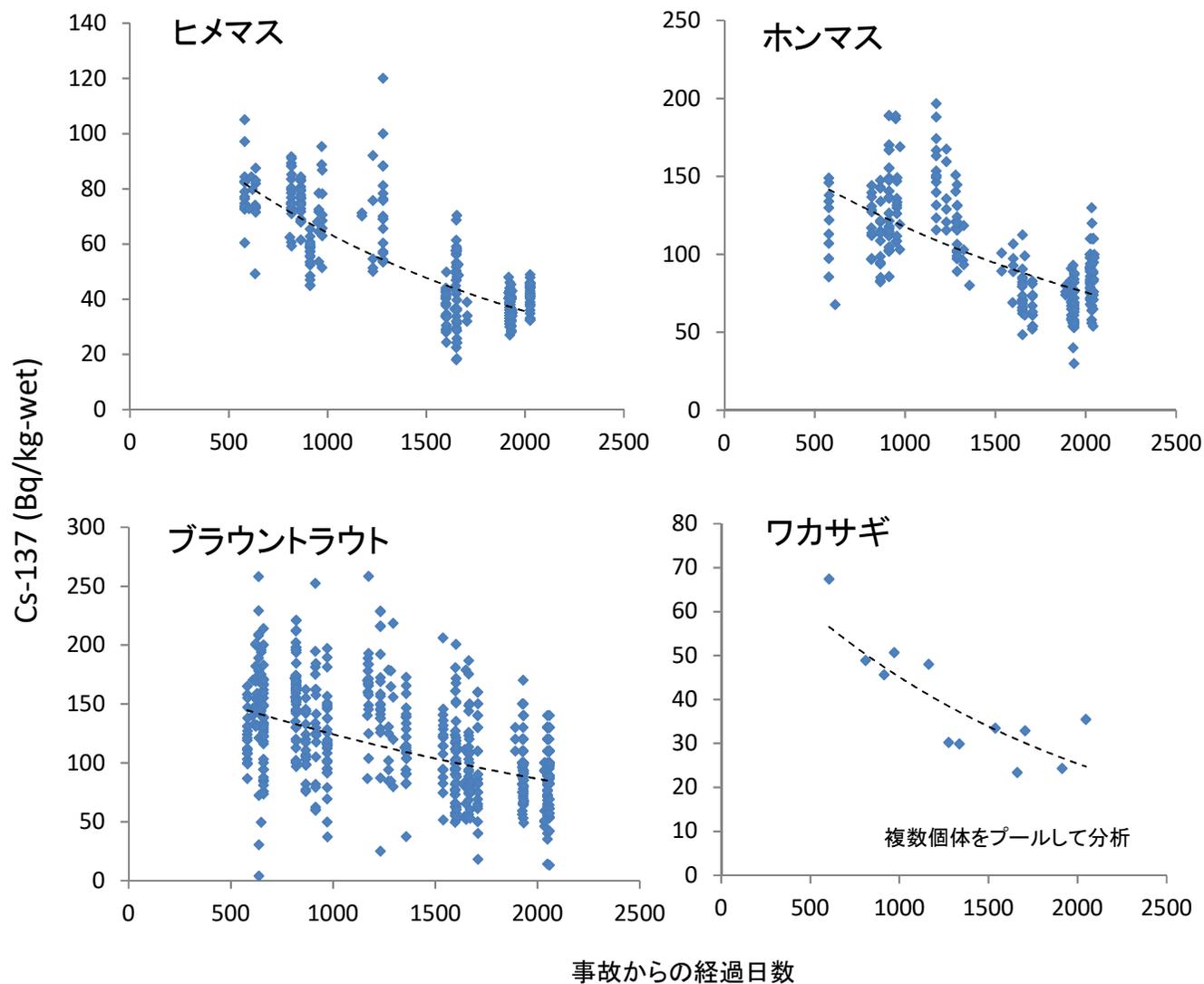
◇ 福島県沖の海産魚類のSr-90濃度は、最高値(1.2 Bq/kg-wet)を除くと、アラ試料も含め、0.5 Bq/kg-wet以下でした(図3)。

◇ 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

9. 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、放射性セシウム濃度の減少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、ワカサギでは約1200日、ホンマスでは約1500日、ブラウントラウトでは約1900日と推定されました。

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濃度の推移。図中の点線は、統計学的に意味のある減少傾向があることを示す。

10. 福島県内河川における放射性セシウム移行経路調査

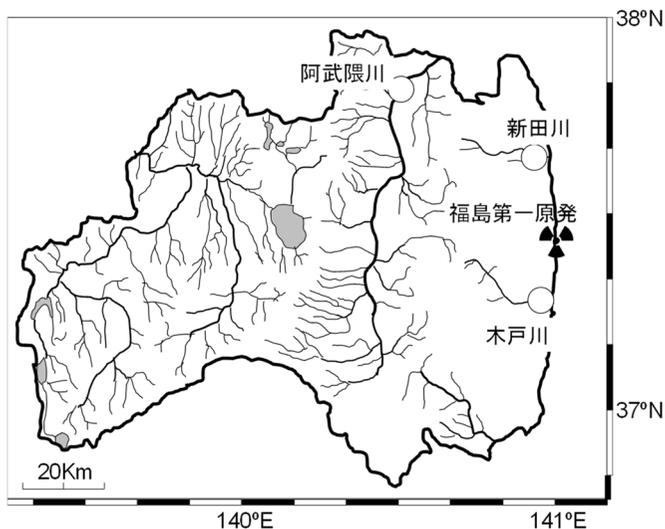


図1. 調査を行った3河川

- 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(宮城県内の支流白石川を除く)では、アユの出荷制限が続いています。
- 2011年から2016年にかけて、福島県内を流れる3河川(図1)で、河床の付着物(アユの餌)、アユの内臓(胃内容物を含む)および筋肉の放射性セシウム(Cs-134 + Cs-137)濃度をモニタリングしたところ、時間の経過とともに減少する傾向がみられました(図2)。
- 筋肉の放射性セシウム濃度は、内臓より変動が小さく、内臓の濃度の14%程度でした。
- 物理的半減期がおおよそ30年と長いCs-137について、濃度の明瞭な低下傾向がみられるようになった2013年以降のデータを用いて、実効生態学的半減期(Cs-137濃度が半分になるまでに要する時間)の推定を行いました。その結果、Cs-137濃度の実効生態学的半減期は、アユの内臓で440~492日、筋肉で482~1008日と推定されました(表1)。

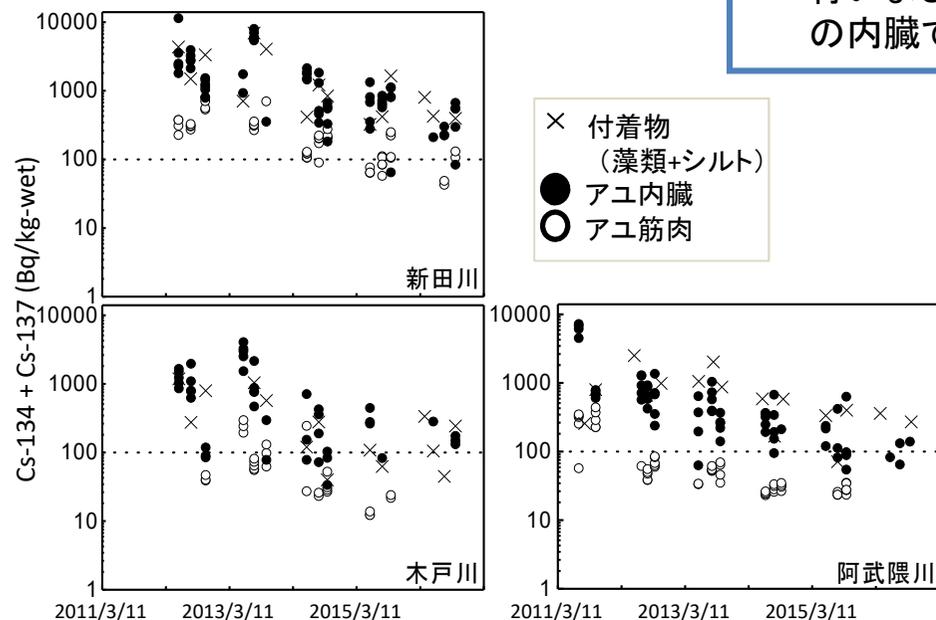


図2. 河床の付着物(アユの餌生物である藻類およびシルト、×)、アユの内臓(●)および筋肉(○)の放射性セシウム(Cs-134 + Cs-137)濃度

表1. 2013~2016年のCs-137濃度から推定したアユ内臓および筋肉の実効生態学的半減期(日)

		サンプル数	初期濃度 (Bq/kg-wet)	減少係数	生態学的半減期(日)
新田川	内臓	44	5911	0.00158	440
	筋肉	51	839	0.00144	482
阿武隈川	内臓	74	980	0.00141	492
	筋肉	67	56	0.00069	1008
木戸川	内臓	57	2550	0.00153	453
	筋肉	54	198	0.00126	553

11. コクチバスの年齢群ごとの放射性セシウム濃度の推移

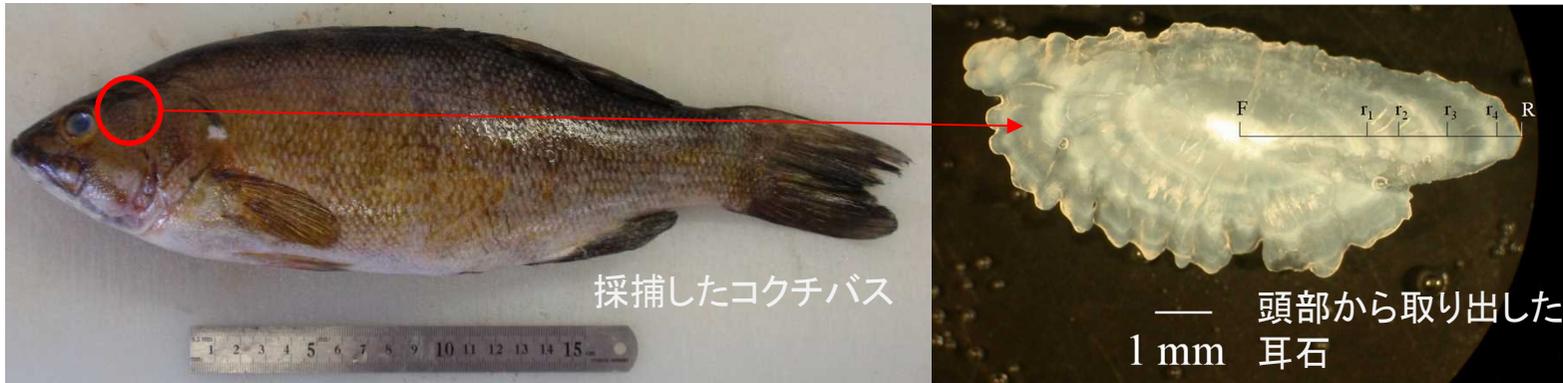


図1 コクチバスと耳石

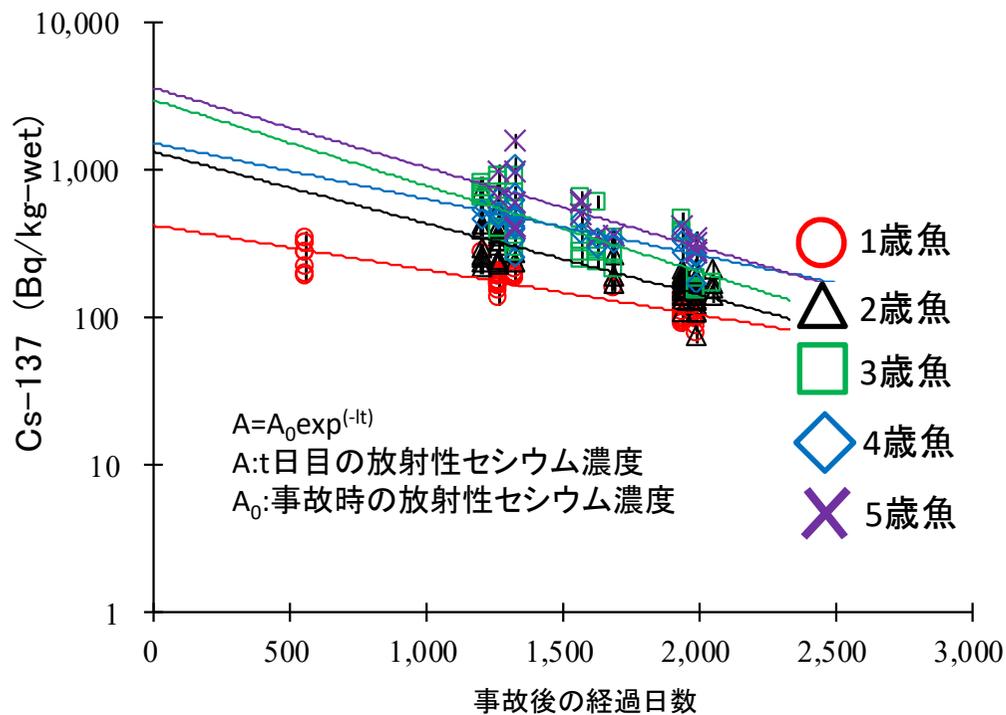


図2 コクチバスの年齢群ごとの放射性セシウム濃度の推移

- 2012年から2016年にかけて、福島県のはやま湖で採捕したコクチバスの耳石を解析し、年齢査定を行いました(図1)。
- コクチバスの年齢群ごとの放射性セシウム濃度(Cs-137)の推移を調べました(図2)。さらに、モデル式を各年齢群のデータに当てはめ実効生態学的半減期を計算しました。
- 各年齢群の実効生態学的半減期は1歳魚で990日、2歳魚で624日、3歳魚で517日、4歳魚で797日、5歳魚で559日と推定されました。
- すべての年齢群で放射性セシウム濃度が経年的に低下していることは、はやま湖の環境がゆっくりとですが、着実に改善されていることを反映していると考えられます。

12. 千葉県内湖沼河川における淡水魚の調査結果

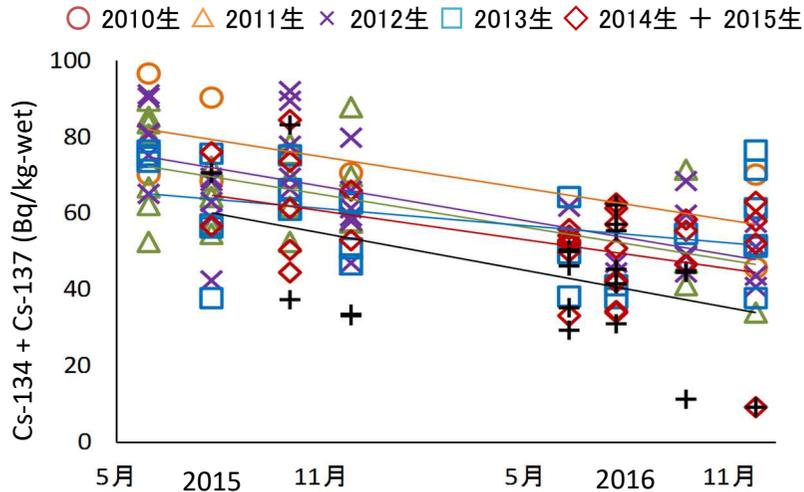


図1. 千葉県手賀沼で採集したギンブナの生まれ年別 Cs-134 + Cs-137濃度の推移

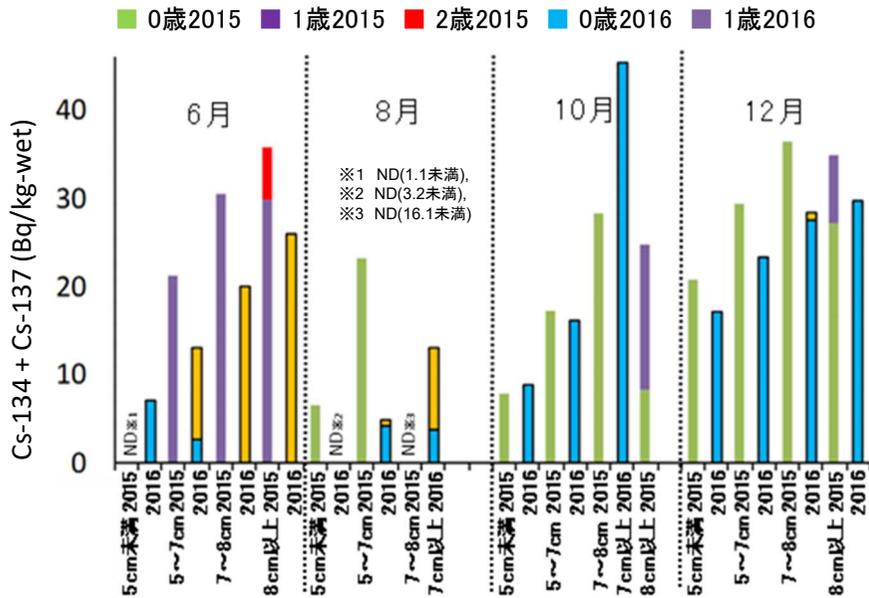


図2. 千葉県手賀沼において採集したモツゴの体サイズ、年齢と Cs-134 + Cs-137濃度との関係 (複数個体をプール)

- 手賀沼のゲンゴロウブナを除く全魚種と、利根川の境大橋より下流のウナギには、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。
- 2015～2016年に千葉県の手賀沼と利根川で調査を行い、魚体サイズ、年齢と放射性セシウム(Cs-134 + Cs-137)濃度との関係を調べました。
- 2010～2015年生まれの手賀沼のギンブナでは、いずれも放射性セシウム濃度の減少傾向が確認されました(図1)。
- モツゴでは高齢・大型個体ほど放射性セシウム濃度が高くなる傾向が認められました(図2)。
- 手賀沼で採集された黄ウナギ・銀ウナギの中には、利根川よりも放射性セシウム濃度の高い個体を確認されました(図3)。

本調査は、千葉県水産総合研究センターと共同で実施しました。

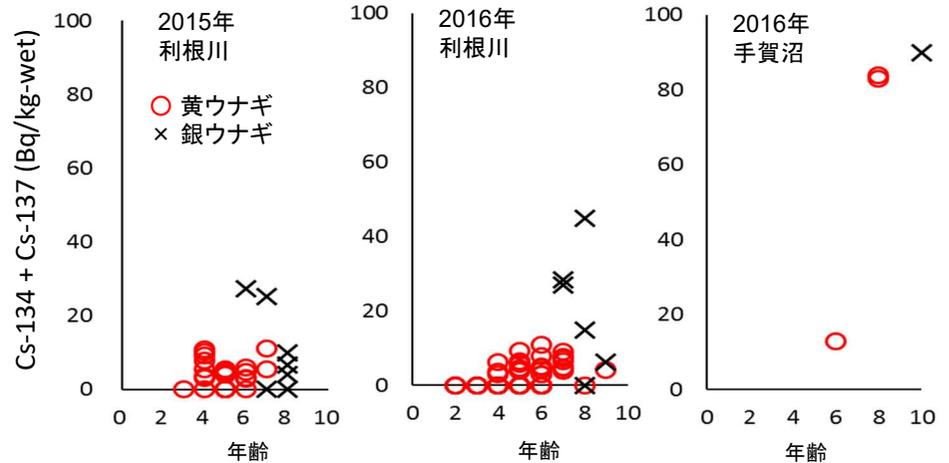


図3. 千葉県利根川と手賀沼で採集したウナギの発育段階別年齢と Cs-134 + Cs-137濃度との関係

13. 福島県海域の震災後のアワビ資源状態

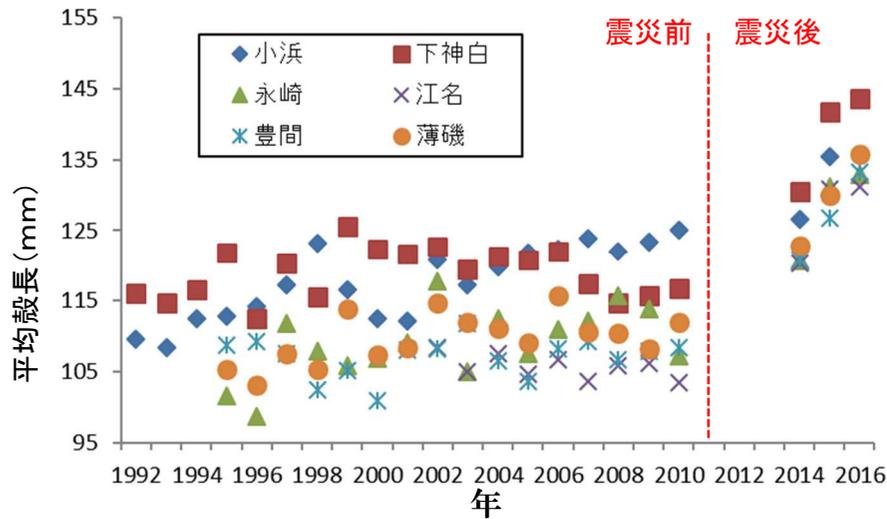


図1. 漁獲されたアワビの平均殻長 (2014年以降は試験操業)

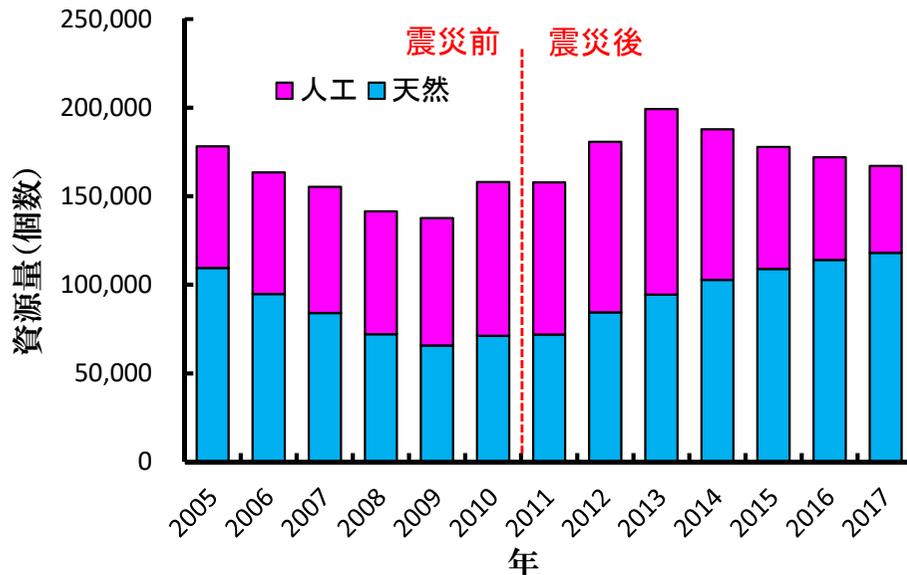


図2. VPAにより計算されたA地区における資源個数の推移

- 漁獲されるアワビの平均殻長からみて、震災前と比べて震災後はいずれの地区も大型化が進行しています。この状態は試験操業が開始されて以降も継続しています(図1)。これは、操業自粛によって漁獲圧が抑制され、大型になるまで生き残るアワビが多くなったためと考えられます。
- ある地区(A地区)において震災後の資源個数を計算してみると、漁獲圧抑制の影響で、天然資源は増加傾向にあるとみられます。一方で、放流資源は稚貝の生産施設が震災で破壊され放流量が大幅に縮小された影響を受けて、徐々に減少していると考えられます。両者を合わせた資源個数は、現在では震災前とほぼ同じ水準にあるとみられます。
- 震災前は、1人1日あたりの漁獲個数を20個に制限するという先進的な資源管理が行われてきました。現在の資源個数は震災前とほぼ同じ水準にあることから、資源維持の観点からは、当面震災前と同じ20個の漁獲制限下で漁業の再開が可能であると考えられます。
- 一方で、放流貝は放流後4年以上をかけて漁獲可能サイズに成長することから、放流縮小による資源への悪影響は漁業再開後に顕在化する可能性があります。また天然資源の加入動向によっては、漁獲制限の強化が必要となる場合もあり、今後ともアワビ資源の調査体制の継続が重要です。

* 本調査は、福島県水産試験場と共同で実施したものです。