

平成30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31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. 放射性セシウムの輸送に関わる海底近傍の粒子の挙動
3. 海底土中の放射性セシウム濃度分布と経年変化
4. 海底土周辺海水中の放射性Csの濃度分布
5. 東電福島第一原発周辺海域における魚類の汚染状況
6. マコガレイとシロメバルの年級群別放射性セシウム濃度の推移
7. 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
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. 福島県内河川に生息するアユの放射性セシウム濃度
11. ヒメマスによる放射性セシウムの取り込みおよび排出過程

## 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。2011年4-6月期は福島県の水産物で基準値の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てきたと言えます。

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ってきていますが、一方で原発の現状や廃炉作業のトラブルなどが報道されるたびに不安が呼び起こされ、風評被害などによって東北の水産業の復興に大きな支障をきたしているのも事実です。

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出荷制限魚種を除くすべての魚介類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」を実施しています。ここでは、平成30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. 福島県海域の海水の放射性セシウム濃度の状況

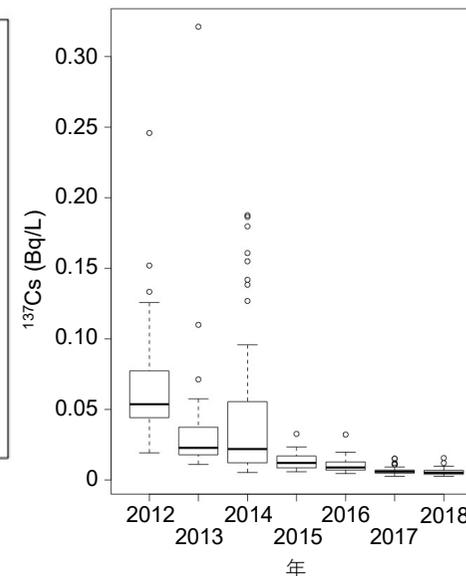
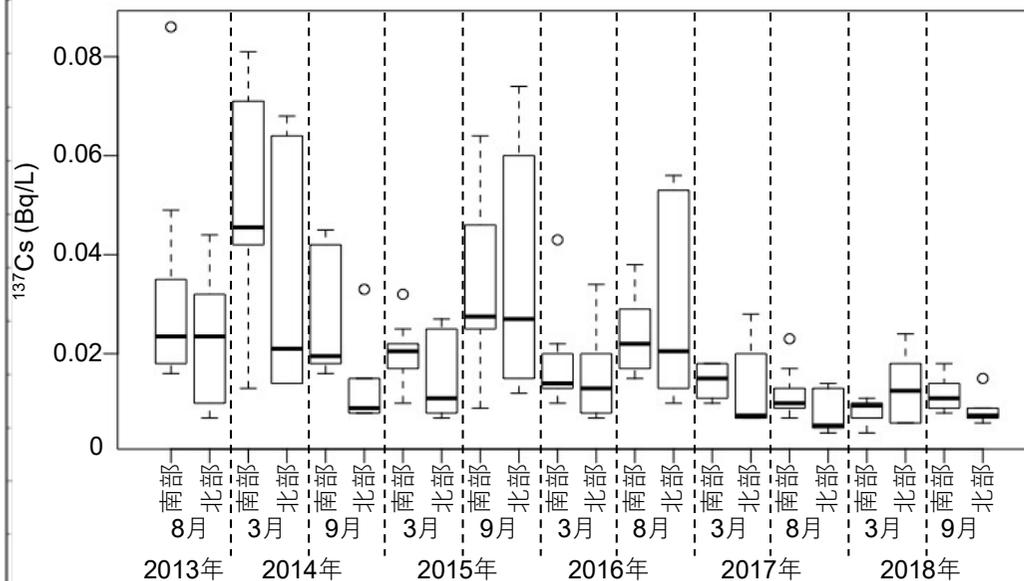
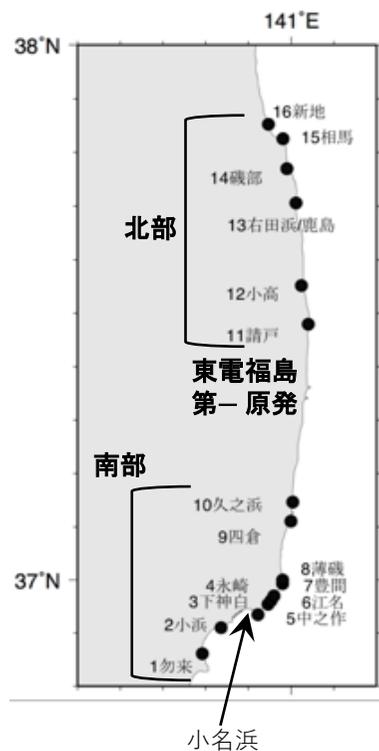


図1. 福島県極沿岸の16地点における海水の放射性セシウム( $^{137}\text{Cs}$ )濃度。箱内の黒太線は中央値を、箱の最上端は第3四分位数、箱の最下端は第1四分位数を、白丸は外れ値を表す。2013年8月、2014年3月、9月、2015年3月、9月、2016年3月、8月、2017年3月、8月、2018年3月および9月の結果。

図2. 小名浜地先における海水の $^{137}\text{Cs}$ 濃度の年変動。箱内の黒太線は中央値を、箱の最上端は第3四分位数、箱の最下端は第1四分位数を、白丸は外れ値を表す。

- ◇ 福島県の海岸線近傍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～2018年9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11回実施しました（図1）。
- ◇ 事故後数年の海水の放射性セシウム濃度は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が近年は放射性セシウム濃度の低下、地点間でのバラツキ（箱の大きさ）の減少に加え、南北での濃度差（箱内の黒線）も認められなくなりました。
- ◇ 2018年における極沿岸の濃度範囲（0.004～0.018 Bq/L）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: 0.002～0.016 Bq/L）と同程度で推移しています。

## 2. 放射性セシウムの輸送に関わる海底近傍の粒子の挙動

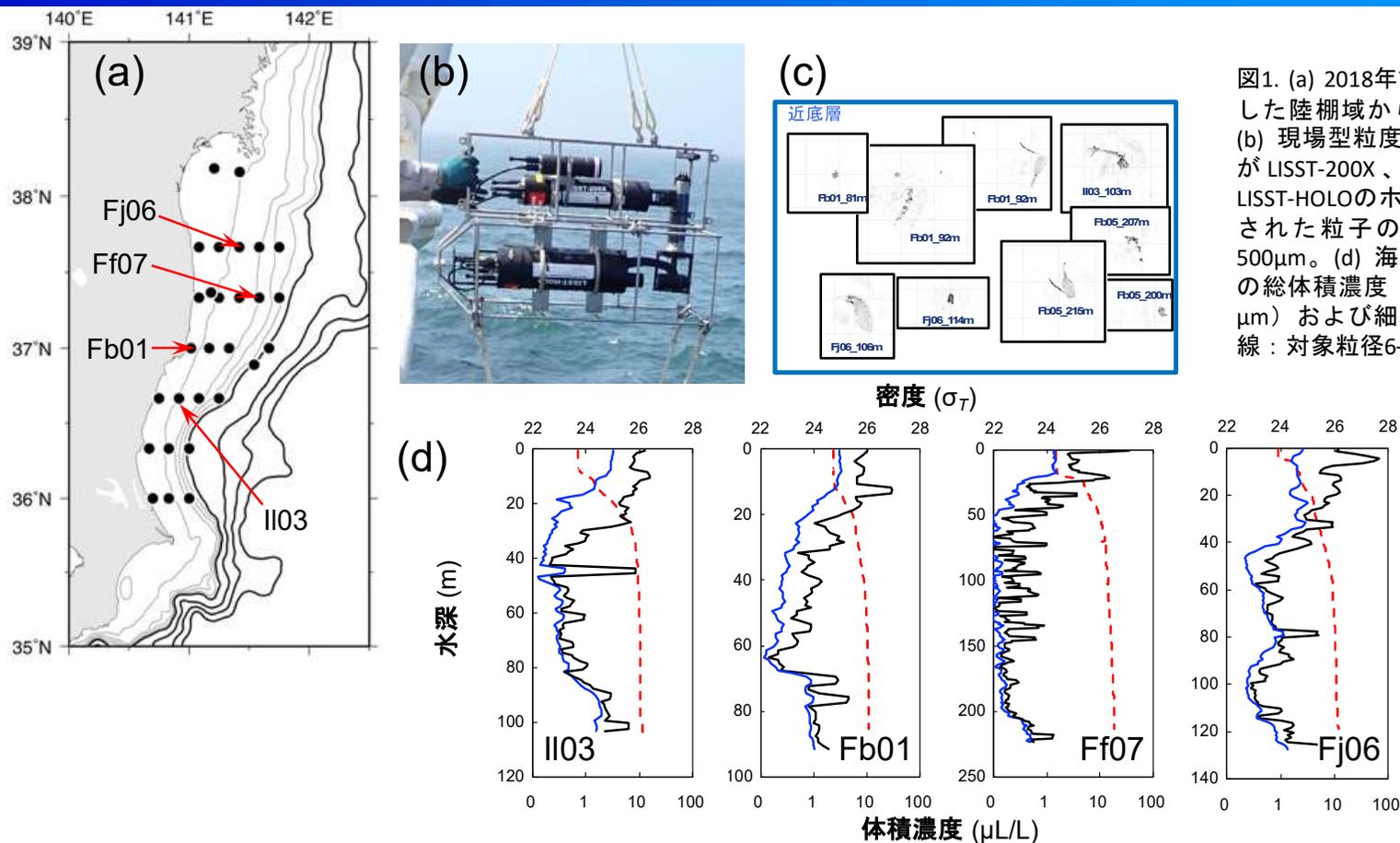


図1. (a) 2018年7月に粒度組成観測を実施した陸棚域から陸棚斜面域の観測点。(b) 現場型粒度組成分析装置外観。上段が LISST-200X、下段が LISST-HOLO。(c) LISST-HOLOのホログラム解析により確認された粒子の形状例。格子はすべて500 $\mu\text{m}$ 。(d) 海水密度（赤点線）、粒子の総体積濃度（黒実線：対象粒径6–460 $\mu\text{m}$ ）および細粒径画分体積濃度（青実線：対象粒径6–70 $\mu\text{m}$ ）の鉛直分布例。

- ◇ 海底堆積物に沈着した放射性セシウムは、吸着した粒子の再懸濁・輸送に伴い移動していると想定されることから、宮城県から茨城県沿岸にかけての海底近傍における粒子の動態を把握する観測を実施しています。
- ◇ 現場において懸濁粒子の粒度分布ならびに粒子の形状（例えば生物/非生物の判定）を記録できる装置（LISST-200X, -HOLO; 図1b)を用い粒子の特性の鉛直分布を把握しました。
- ◇ 海底近傍に海水の密度が一定で直径70 $\mu\text{m}$ 以下の細かな粒子が豊富な層（海底境界層）が発達する海域が存在することが明らかになっています。
- ◇ 今後、海底境界層を構成する粒子の放射性セシウム濃度を明らかにすることで輸送量の定量評価が可能となることが期待されます。

### 3. 海底土中の放射性セシウム濃度分布と経年変化

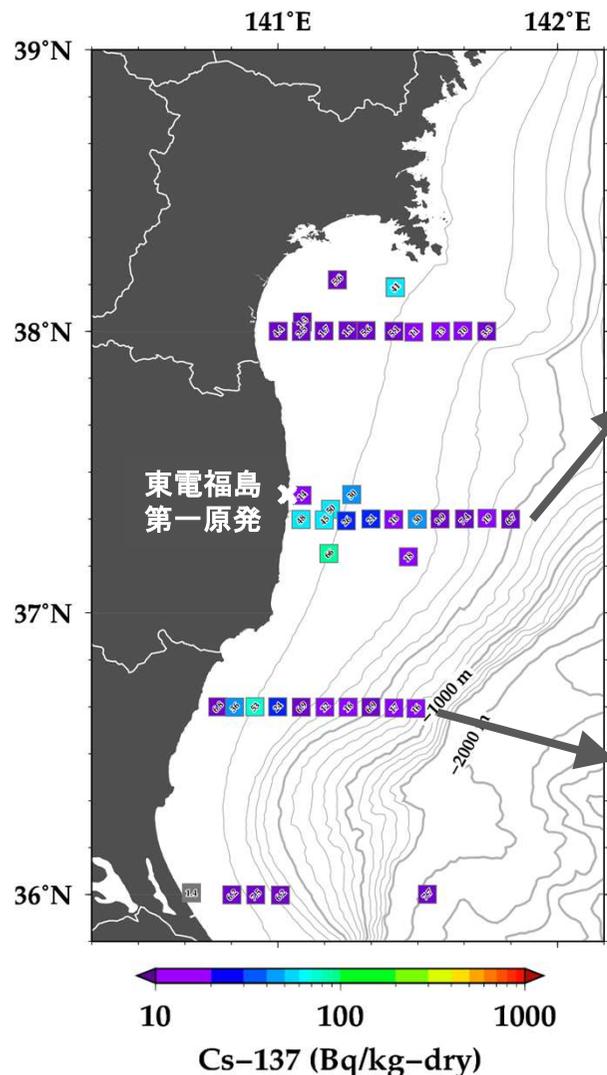


図1. 2018年の海底土調査による海底土表層(0-1cm)中のCs-137濃度分布図。

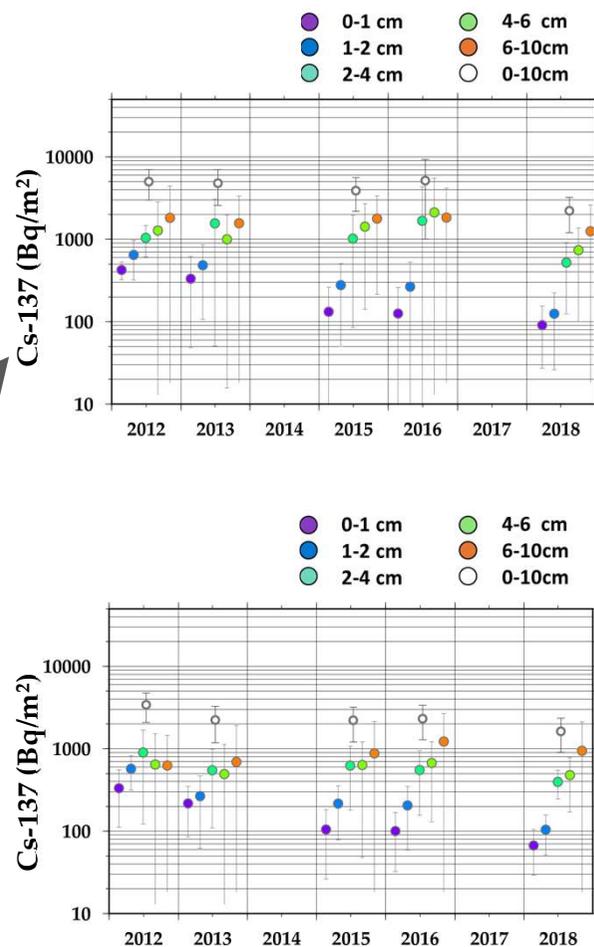


図2. 福島県中部(上)と茨城県北部(下)の定線における海底土(0-10cm)中のCs-137存在量(黒点線)。層別の存在量をカラーで示す。

◇ 宮城、福島および茨城沖の緯経度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。

◇ 2018年の海底土表層(0-1cm)中の放射性Cs濃度は最大でも数十Bq/kg-dryでした(図1)。また、海底土表層の放射性Csの平均存在量は、2012年の調査開始時に比べて25%以下まで減少していました(図2)。

◇ また、深度によっては調査開始時よりも放射性Csの存在量が増加している部分も見られましたが、深さ10cmまでの全体での存在量は単調に減少傾向にあることを確認しました(図2)。

◇ 下層で放射性Cs量が増加した要因の一つとして、かつて北部の沿岸表層域に残存していた沖合よりも放射性Cs濃度わずかに高い海底土が、南方へ水平輸送されて再堆積した可能性が示唆されます。

## 4. 海底土周辺海水中的の放射性セシウムの濃度分布

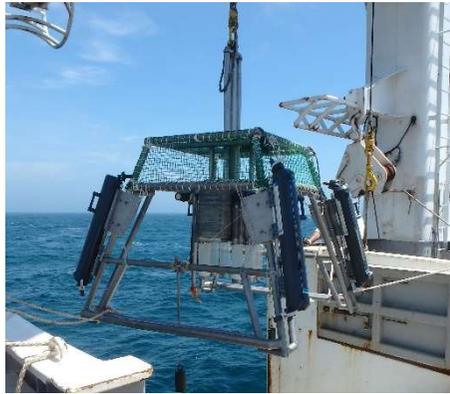


図1 ニスキン採水器をとりつけたマルチプルコアラー採泥器

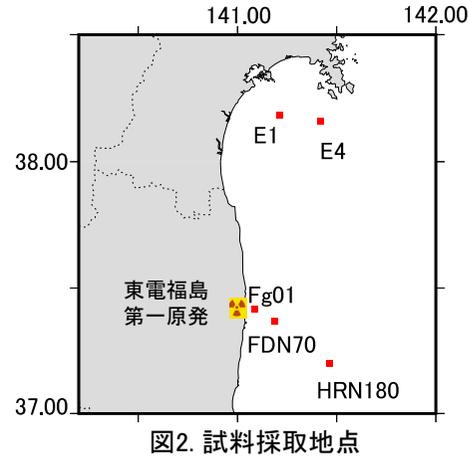


図2. 試料採取地点

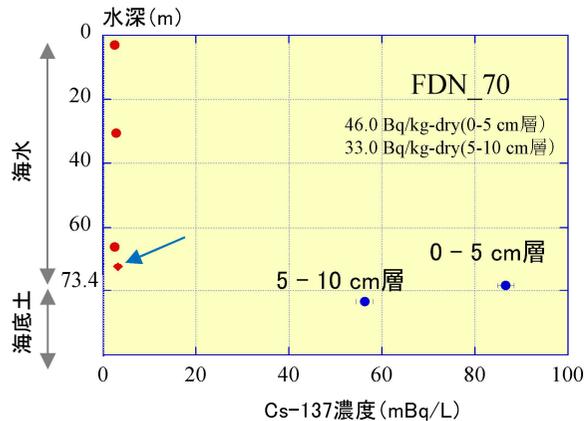


図3. FDN70地点での海水および間隙水中のCs-137濃度。赤丸は海水中の濃度、赤菱形(図中、矢印)は図1のニスキン採水器で採取した直上水中の濃度、青丸は間隙水中の濃度を示す。図中に数字で示した濃度は海底土の0-5cm層と5-10cm層中のCs-137濃度。エラーバーは計数誤差。

表1. 分配係数(乾燥海底土1kg中のCs-137濃度/試料1L中のCs-137濃度)

試料/地点	E1	E4	Fg-01	FDN70	HRN180
直上水	1160±138	18300±4580	4300±505	14200±1920	8390±1190
0-5 cm層 間隙水	439±73.6	1750±137	709±45.9	531±12.1	295±9.16
5-10cm層 間隙水	425±37.5	1690±96.7	-	586±19.9	340±19.3

※直上水は0-5cm層の海底土に対する分配係数。-は海底土の試料なし。例えば直上水E1の「1160±138」は乾燥海底土1kg中のCs-137濃度に比べて直上水が約1/1160であることを意味している。

◇ 福島・宮城沖の海洋環境中の放射性Csは、海底土に含まれる粘土に強く吸着している割合が多いことが明らかになっています。

◇ 一方、海底土から溶出し、海底直上に滞留している放射性Csが海底近くに生息する水産物に及ぼす影響については明らかにされていません。

◇ 海底直上での採水は難しく、これまであまり調査されていませんでしたが、新たな手法として、マルチプルコアラー採泥器にニスキン採水器を取り付け、直上水の採取を可能にしました(図1)。

◇ 福島・宮城沖において(図2)、新たな採水手法と海底土中の間隙水の採取を組み合わせた調査を行い、放射性Cs濃度の分布から周辺の生態系に及ぼす影響を検討しました(表1)。

◇ 間隙水中の放射性Cs濃度は、いずれの地点でも直上水よりも高い濃度でしたが、水産物が直接影響を受けたとしても食品上問題となる濃度ではありませんでした。

◇ また、直上水中の放射性Cs濃度は、それよりも上層の濃度と同程度で、海底土から溶出する放射性Csを含む水は、海底直上で希釈・拡散されていると考えられました(図3)。

## 5. 東電福島第一原発周辺海域における魚類の汚染状況

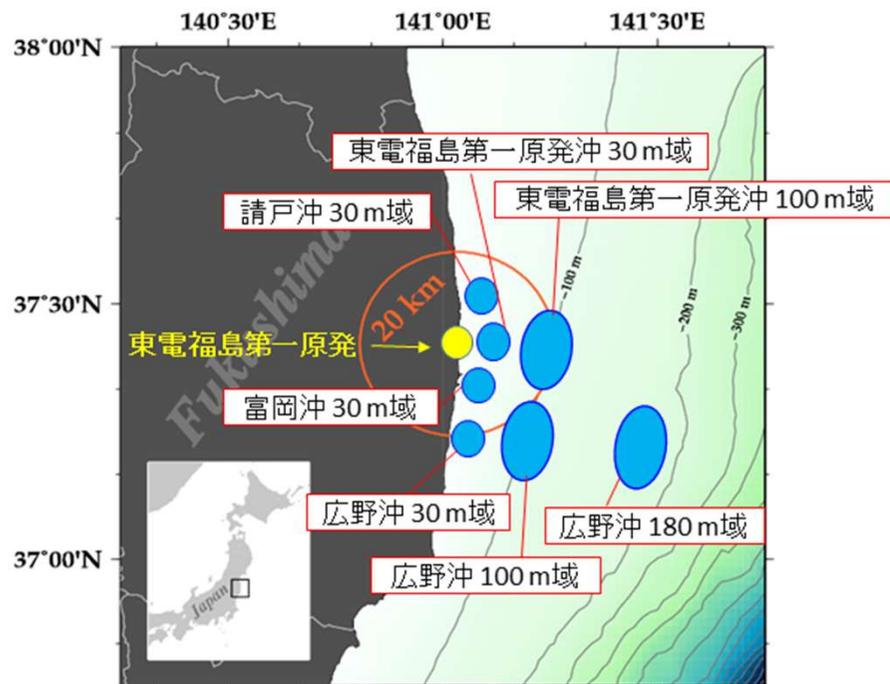
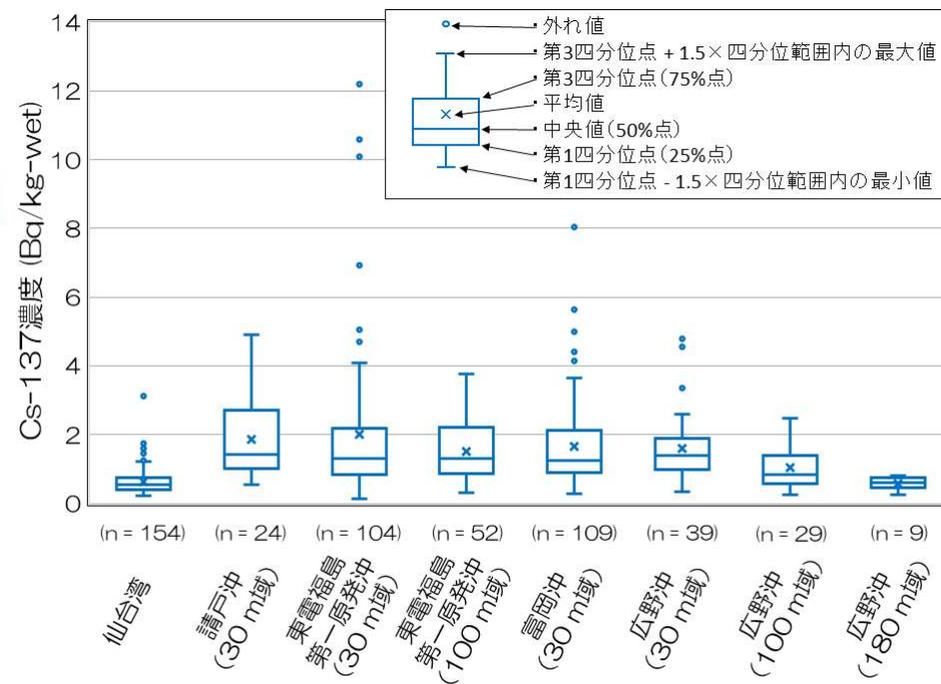


図1. 2018年の福島県沖海産生物調査地点



\* 検出下限値未満の検体 (n = 8) には検出下限値を代入した

図2. 底魚筋肉部位のCs-137濃度海域間比較

- ◇ 2018年2月から10月にかけて、福島県の沖合(図1)と仙台湾で海産生物調査を実施し、採取した魚類の放射性セシウム濃度を測定しました。
- ◇ 各調査地点で採取した底魚(マコガレイ、ババガレイ、ヒラメ、アイナメ、シロメバルなど)520検体の筋肉部位に含まれるCs-137濃度の平均値を海域間で比較したところ、最も高い値を示したのは東電福島第一原発沖 30 m域の2.00 Bq/kg-wetで、仙台湾と広野沖 180 m域では1.00 Bq/kg-wetを下回る濃度水準でした(図2)。
- ◇ 本年度の調査で採取した全魚類(マアジ、マサバなどの浮魚を含む)581検体の筋肉部位試料からは、放射性セシウム濃度(Cs-134 + Cs-137)が基準値の100 Bq/kg-wetを上回る検体は見つかりませんでした。最も高い濃度は、6月に東電福島第一原発沖30 m域で採取したシロメバル(全長:330 mm、年齢:10歳以上)の13.4 Bq/kg-wetでした。2018年の調査で10 Bq/kg-wetを超過した検体は581検体中4検体のみで、昨年度(672検体中60検体が10 Bq/kg-wetを超過)からその数は大幅に減少しました。

## 6. マコガレイとシロメバルの年級群別放射性セシウム濃度の推移

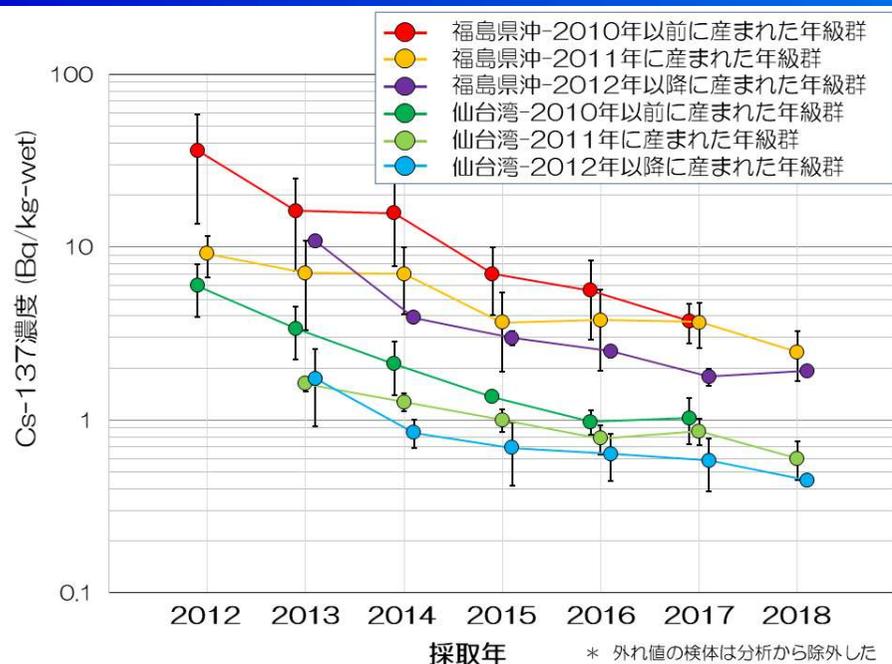


図1. マコガレイの年級群別放射性セシウム濃度の推移

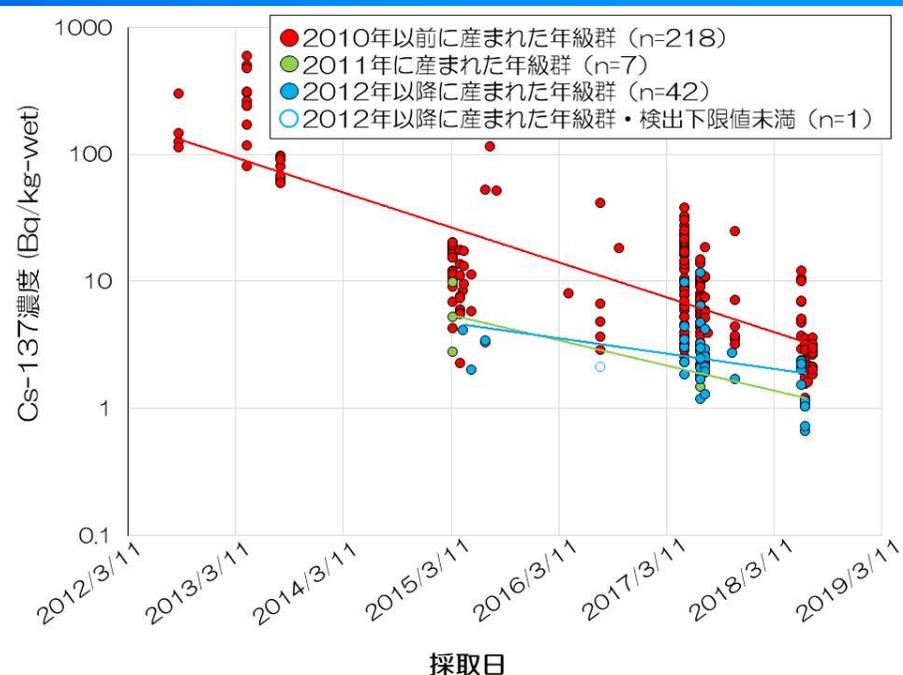


図2. 東電福島第一原発の20 km圏内で採取したシロメバルの年級群別放射性セシウム濃度の推移

- ◇ 福島県沖および仙台湾で採取したマコガレイと、東電福島第一原発の20 km圏内で採取したシロメバルについて、耳石から年齢査定を行い、それぞれ3つの年級群(①2010年以前に産まれた年級群、②2011年に産まれた年級群、③2012年以降に産まれた年級群)にわけてCs-137濃度の推移を比較しました。
- ◇ 2012年5月から2018年10月までの間に採取した1098検体のマコガレイについて、両海域の年級群ごとに各年のCs-137濃度の平均値±標準偏差を算出し、その推移を比較しました(図1)。その結果、両海域ともにいずれの年級群でもCs-137濃度は低下傾向にあり、バラツキの幅も狭くなりつつある事を確認しました。
- ◇ 2012年8月から2018年7月までの間に採取した268検体のシロメバルについて、年級群ごとにCs-137濃度と原発事故後の経過日数との関係を調べました。その結果、全ての年級群において、有意な負の相関(Cs-137濃度の低下)が認められました(図2)。
- ◇ 一般的に高齢個体ほど体内の放射性セシウムが排出される速度は遅くなりますが、マコガレイ、シロメバル共に、原発事故の前に産まれた高齢の年級群でも、放射性セシウム濃度は低下傾向にあることが確認されました。

# 7. 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

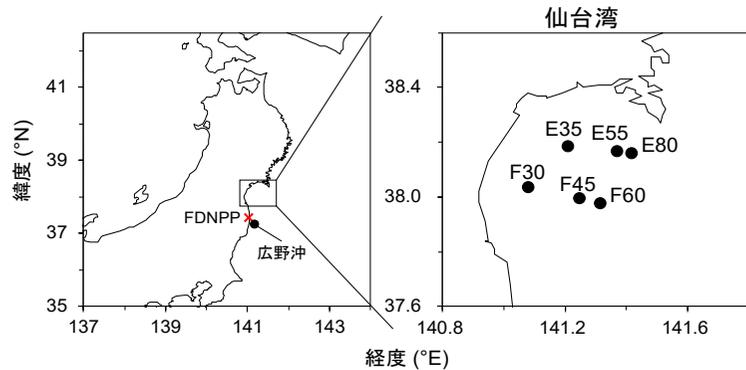


図1. 福島県広野沖および仙台湾の調査点  
図内のFDNPPは、東京電力福島第一原子力発電所を表す。

◇ 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、水産研究・教育機構の調査船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(Cs-137)濃度を調べています。

◇ また、同時に窒素安定同位体比( $\delta^{15}\text{N}$ )を調べることで対象とする魚類の栄養段階を推定し、食物連鎖による放射性物質の移行の把握を試みました。

◇ 両海域とも、2017-2018年に採集した魚類のCs-137濃度は2013年に採集した魚類よりも低い値を示しており、Cs-137濃度が順調に低下していることが確認されました(図2)。

◇ 魚類および餌生物の $\delta^{15}\text{N}$ とCs-137濃度との間には、2013年の広野沖を除き有意な正の相関が見られました(図2)。これらの結果は、栄養段階の高い魚類ほどCs-137濃度が高い傾向があること、また、環境水中のCs-137が食物連鎖を通じて餌生物、魚類へ移行していることを示唆しています。

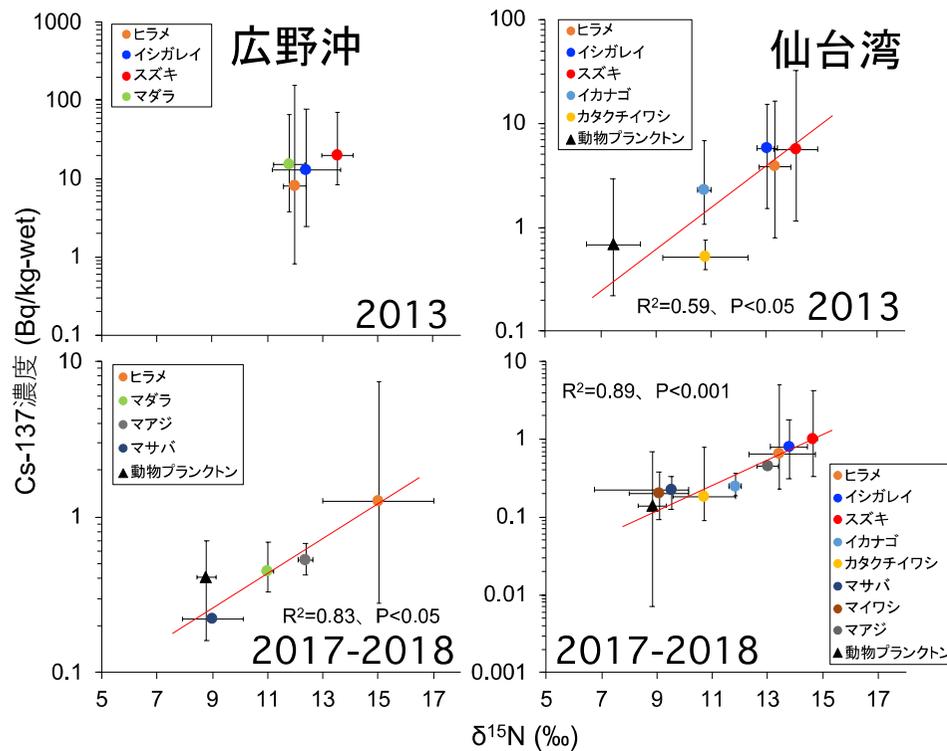


図2. 広野沖および仙台湾における窒素安定同位体比とCs-137濃度との関係

## 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。

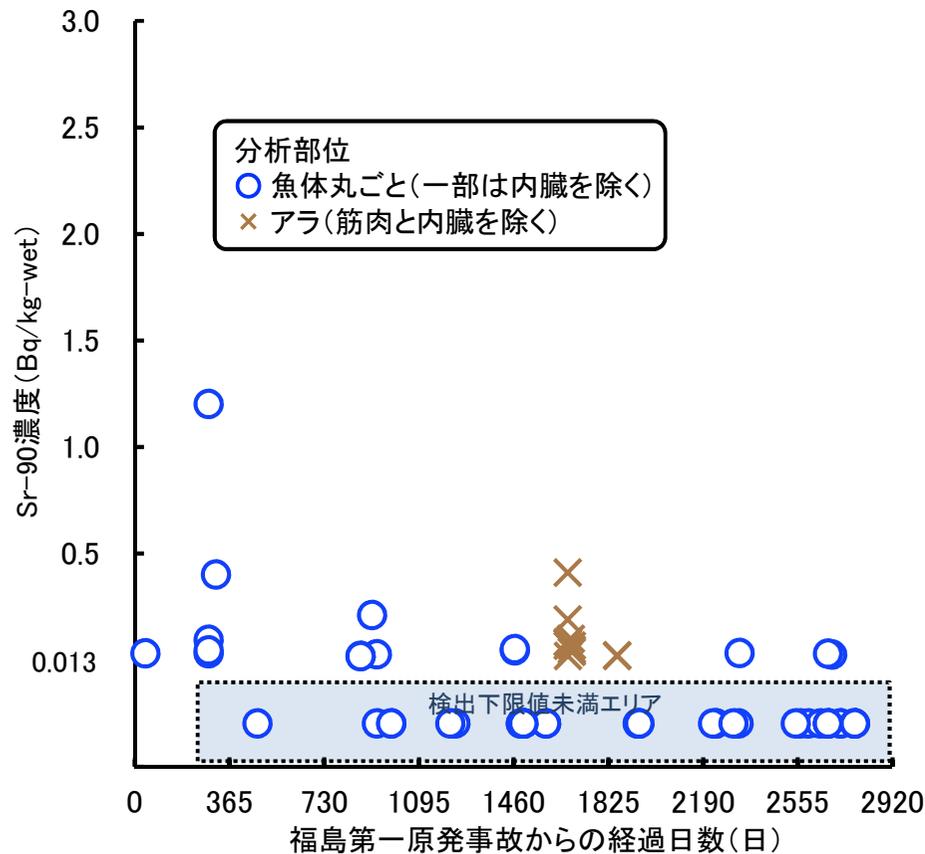
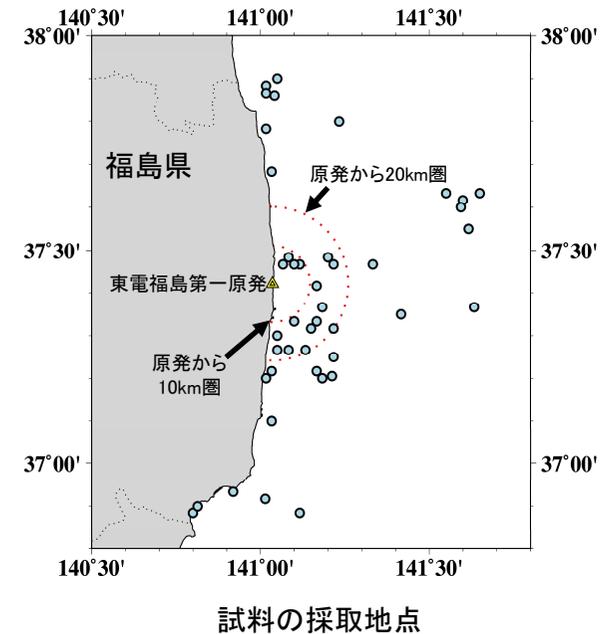


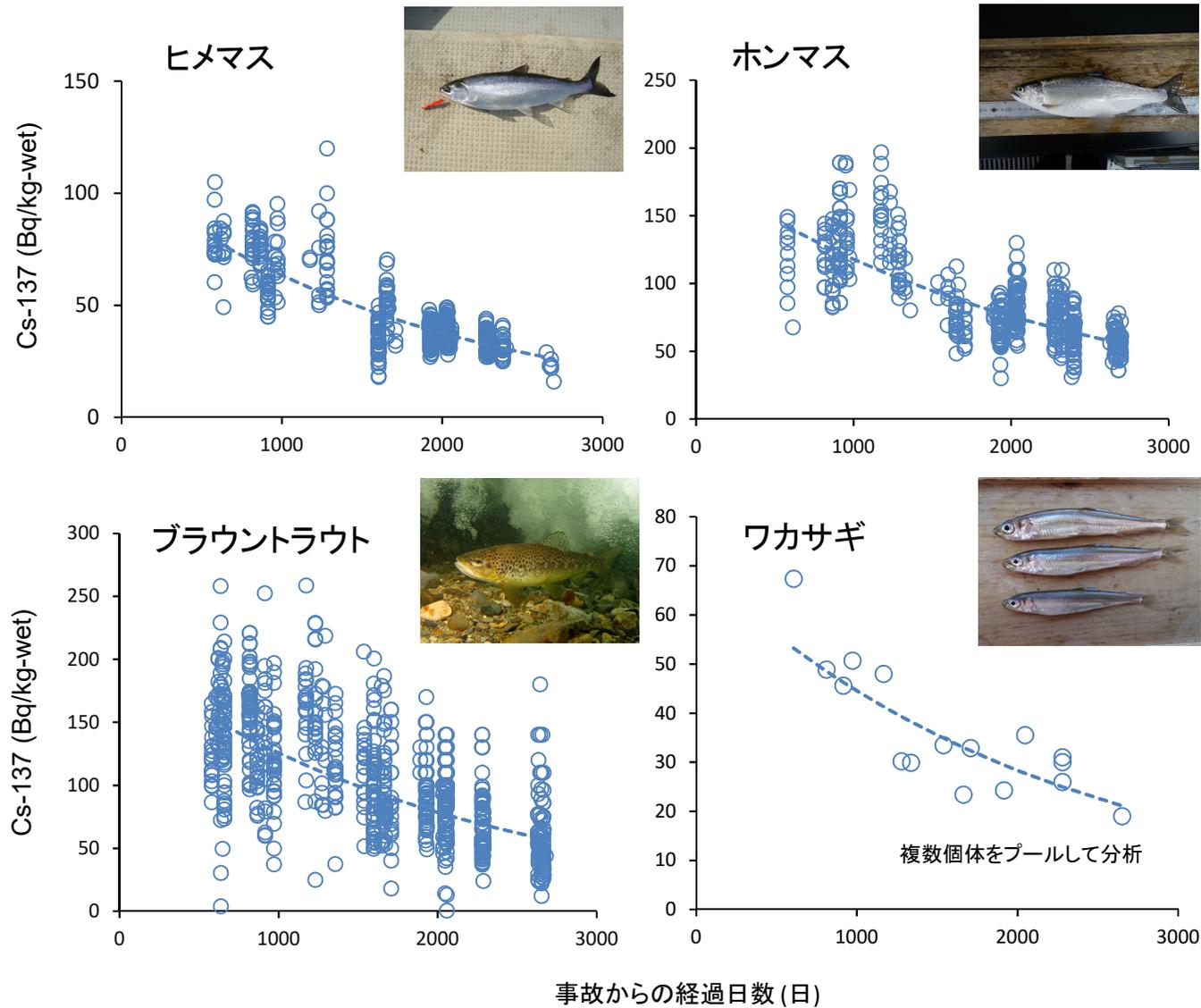
図1. 福島県沖で採取された海産魚類におけるSr-90濃度  
 内は検出下限値未満(< 0.013 Bq/kg-wet)の試料を示す。  
 (Srは骨組織に多く存在することから、主に骨で構成されるアラの測定も行っています。)



- ◇ 福島県沖の海産魚類のSr-90濃度は、Cs-137濃度(\*)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)を除くと、0.5 Bq/kg-wet以下でした(図1)。
- ◇ 平成30年度に公表した福島県沖の海産魚類におけるSr-90濃度の最高値は、ヒラメの0.028 Bq/kg-wetであり、事故前と同水準でした(図1および下記URLリンク)。
- ◇ また、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20年間の平均濃度(0.025 ± 0.021 Bq/kg-wet以下)と同水準でした(\*)。

(\*)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>

# 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(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1)。
- ◇ Cs-137の実効生態学的半減期は、ヒメマスでは約1330日、ホンマスでは約1580日、ブラウントラウトでは約1470日、ワカサギでは約1530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減少傾向があることを示す。

# 10. 福島県内河川に生息するアユの放射性セシウム濃度

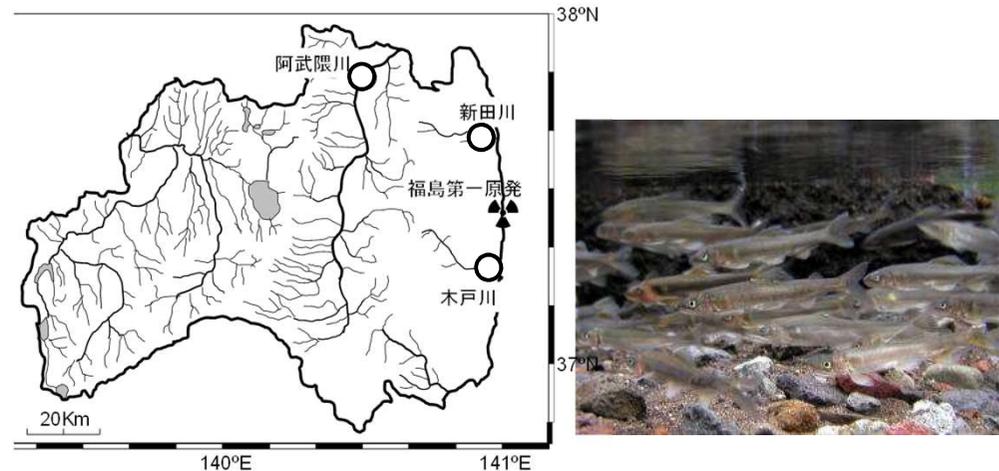
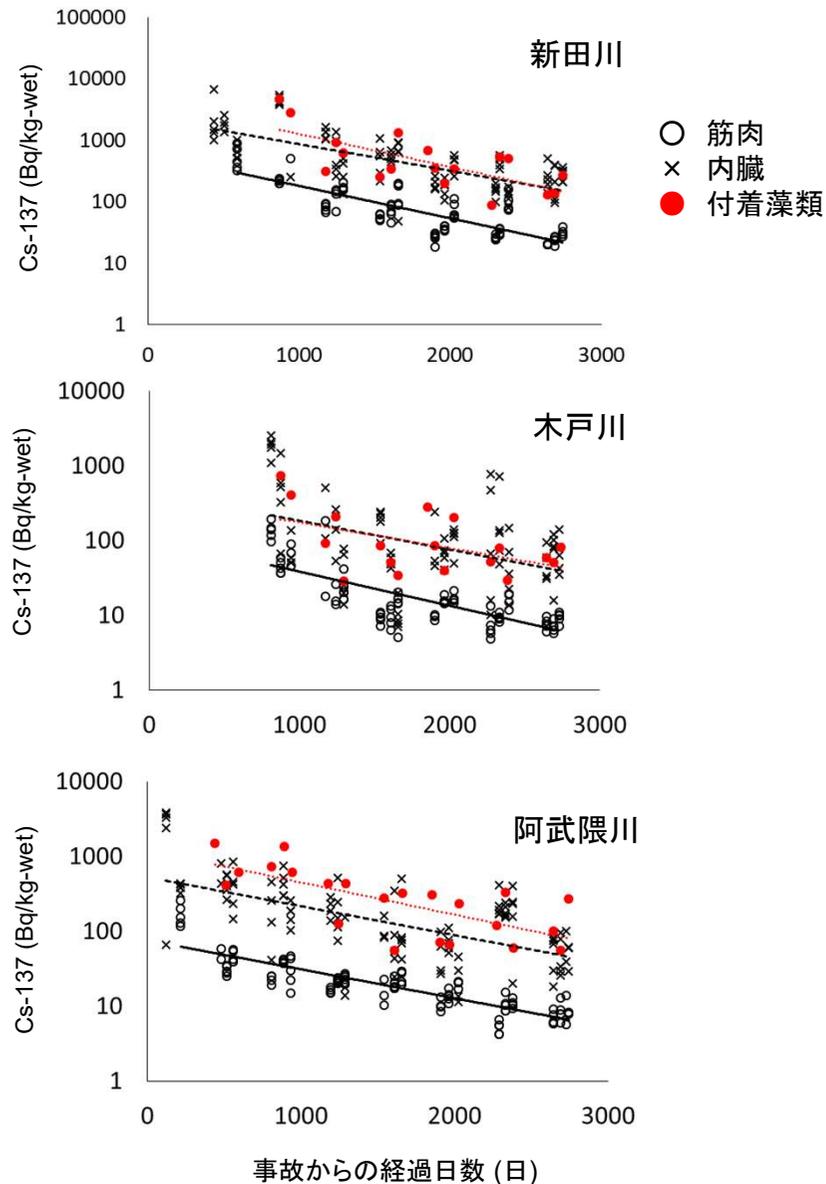


図1. アユの調査を行った河川

- ◇ 福島県浜通りの新田川、中通りの阿武隈川(一部を除く)では、2011年6月からアユの出荷制限が続いています。
- ◇ 上記河川(図1)で採取したアユの筋肉、内臓(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571日と692日、木戸川では660日と781日、阿武隈川では780日と779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

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。図中の実線及び点線は、統計学的に有意な減少傾向があることを示す。

# 11. ヒメマスによる放射性セシウムの取り込みおよび排出過程

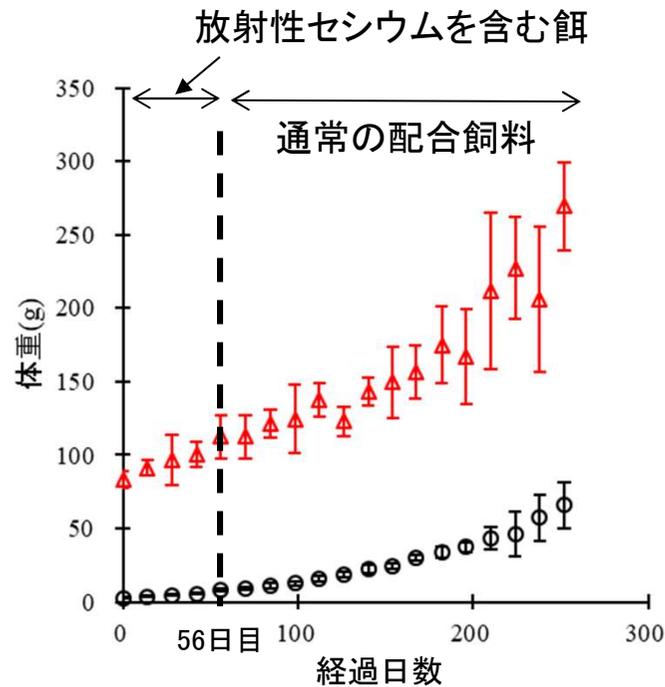


図1 各飼料を与えた期間と各供試魚の体重変化

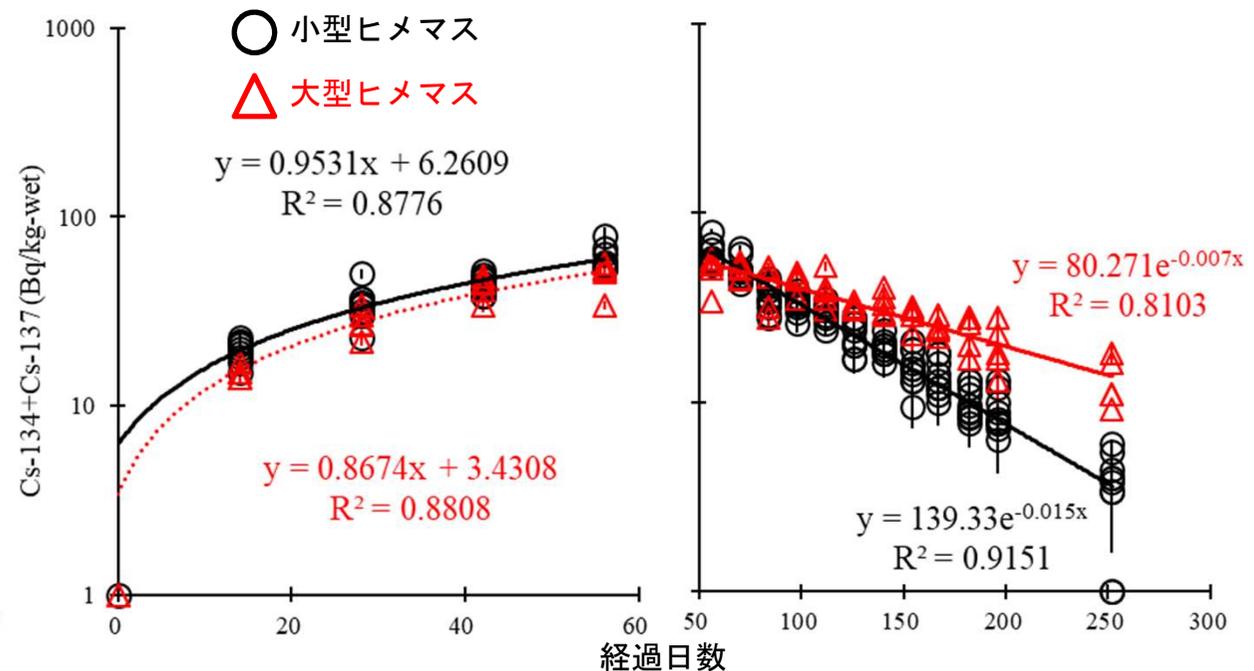


図2 実験期間の各供試魚の筋肉の放射性セシウム濃度変化  
(左:放射性セシウムを含む餌を給餌, 右:通常の配合飼料を給餌)

- ◇ 魚類の同種内で放射性物質濃度やその推移傾向に差をもたらす要因のひとつと考えられる体サイズの違いに着目し、体サイズの違いが放射性セシウムの取り込みと排出過程や生物学的半減期等に与える影響を調べました。
- ◇ 試験区は小型ヒメマス区(平均体重2.5g)、大型ヒメマス区(71g)として、それぞれ1面の水槽に收容し、約10℃の湧水をかけ流しで飼育しました。試験開始日から56日目まで、100 Bq/kg-wetの放射性セシウム濃度の餌を与え、その後252日目まで通常の配合飼料を与えました(図1)。2週間毎に小型ヒメマス区で10尾、大型ヒメマス区で5尾サンプリングを行い、筋肉の放射性セシウム濃度の変化を調べました。
- ◇ 大型区と小型区で放射性セシウム濃度の上昇率に有意な差は認められませんでした。大型より小型ヒメマスで放射性セシウム濃度が給餌期間を通じて有意に高いことがわかりました(図2左)。また、放射性セシウム濃度の低下率は大型より小型ヒメマスで高く、実効生物学的半減期は大型ヒメマスの99日間に対して、小型ヒメマスで50日間と短いことがわかりました(図2右)。