

研究課題名 生態特性に応じた蓄積過程の解明  
小課題名 生態特性に応じた蓄積過程の解明  
研究期間 2018年～2021年

天野洋典・渡部 翔・榎本昌宏・  
守岡良晃\*

## 目 的

本県沿岸の魚介類の放射性セシウム ( $^{137}\text{Cs}$ ) 濃度は全体的に低下傾向にあるが、極稀に比較的高濃度の検体が確認されている。魚介類の放射性物質蓄積のメカニズムについて未だ解明されていない部分が、漁業者や消費者の不安につながるものが懸念される。そこで本試験では、魚類の生態特性や年齢の違いと放射性物質濃度の傾向との関係を検討することで、放射性物質蓄積過程の一端を明らかにすることを目的とする。

本稿では、2021年度に実施した福島県沿岸域の対象7魚種とその他の海産生物における生物学的情報の収集及び放射性物質濃度・安定同位体比の分析の結果について報告する。

## 方 法

### 1 生物学的情報の収集及び放射性物質濃度・安定同位体比の分析

2021年4月～2022年1月までに福島県沿岸において、緊急時環境放射線モニタリングにおける漁船及び調査指導船いわき丸等の調査により採取された対象7魚種（ヒラメ、マダラ、ババガレイ、マコガレイ、アイナメ、シロメバル、ヤナギムシガレイ）、その他魚種4種（クロソイ、キツネメバル、ムラソイ、ウスメバル）、対象魚種の餌生物を試料として用いた。採取された試料は、個体毎に全長や体重、性別、生殖腺重量、生殖腺熟度、胃内容物種類、胃内容物重量等を測定するとともに、耳石を採取し年齢査定を行った。

2019年11月～2021年6月に採集された対象7魚種及びその他魚種2種（クロソイ、キツネメバル）と餌生物10種（マイワシ、カタクチイワシ、ベントス類等）の407試料について、 $^{137}\text{Cs}$ 濃度分析を行った。 $^{137}\text{Cs}$ 濃度分析では、主に、採取された供試魚の筋肉部位を用いて、凍結乾燥処理または灰化処理を行った後、ゲルマニウム半導体検出器によって測定を行った。

2019年10月～2021年5月に採集されたクロソイ、シロメバル、クロダイ、スズキの32試料について、放射性Sr ( $^{90}\text{Sr}$ )濃度分析を行った。 $^{90}\text{Sr}$ 濃度分析では、供試魚の鱗と内臓を除く全体を灰化処理し化学分離実験を行った後、 $\beta$ 線自動測定装置と誘導結合プラズマ発光分光分析装置を用いて測定を行った。

また、 $^{137}\text{Cs}$ 濃度の分析を完了した試料のうち、2012年～2021年に採集された対象2魚種（ヒラメ、ババガレイ）373試料と餌生物10種70試料について、炭素・窒素安定同位体比（CN比）を測定した。CN比は、供試魚の筋肉部位を凍結乾燥、脱脂処理した後、安定同位体比質量分析計を用いて測定を行った。

### 2 メバル属魚類2種における $^{137}\text{Cs}$ 濃度と年級構造との関係について

2020年11月～2021年3月に福島県沿岸域で採集されたシロメバル（33個体）とクロソイ（49個体）を供試魚とし、全長の測定を行った後、耳石を用いた年齢査定（耳石切片を用いた横断面観察による年輪計測法）と $^{137}\text{Cs}$ 濃度の分析を行った。 $^{137}\text{Cs}$ 濃度分析は、供試魚の筋肉部位を用いて凍結乾燥処理または灰化処理を行った後、ゲルマニウム半導体検出器によって測定を行った。

---

\* 水産資源研究所

## 結 果

### 1 生物学的情報の収集及び放射性物質濃度・安定同位体比の分析

生物学的情報の収集は、ヒラメ 66 個体、マダラ 11 個体、ババガレイ 73 個体、マコガレイ 69 個体、アイナメ 41 個体、シロメバル 99 個体、ヤナギムシガレイ 79 個体、その他魚種 4 種 337 個体、餌生物 10 種 70 試料について行い、全長等の測定を行った。また、耳石による年齢査定は（国研）水産研究・教育機構と連携して実施しており、100 試料の査定が終了した（表 1）。

$^{137}\text{Cs}$  濃度は対象 7 魚種及びその他魚種 2 種で 0.0715~4.81 Bq/kg、餌生物 10 種で 0.09~0.401 Bq/kg であった（表 2）。 $^{90}\text{Sr}$  濃度は 4 魚種全 32 個体のうち 24 個体で 0.02~0.4 Bq/kg を示し、8 個体は検出下限値（0.02 Bq/kg）未満となった（表 3）。各魚種の  $^{137}\text{Cs}$  濃度及び  $^{90}\text{Sr}$  濃度と生物学的情報等をデータベースにまとめた。

CN 比は対象 2 種で、 $\delta^{15}\text{N}$  が 11.7~14.9 ‰、 $\delta^{13}\text{C}$  が -18.0~-14.9 ‰、餌生物 10 種で  $\delta^{15}\text{N}$  が 9.2~10.4 ‰、 $\delta^{13}\text{C}$  が -18.3~-19.9 ‰であった（表 4）。各魚種の CN 比と生物学的情報等をデータベースにまとめた。

### 2 メバル属魚類 2 種における $^{137}\text{Cs}$ 濃度と年級構造との関係について

シロメバルとクロソイの耳石を用いた年齢査定の結果、両種ともに震災前に生まれた 10 歳以上の個体がみられた（図 1）。採集された個体の  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、両種ともに 10 Bq/kg 以下であった（図 2）。また、クロソイでは若齢個体で  $^{137}\text{Cs}$  濃度が低い傾向がみられたが（図 2）、2016~2017 年級群には震災前の年級群と同程度の濃度（1 Bq/kg 以上）が検出される個体もみられたため、両種ともに  $^{137}\text{Cs}$  濃度と年級構造には明瞭な関係性がみられなかった。

本研究の結果から、近年においては両種ともに、震災前に生まれた高齢個体の  $^{137}\text{Cs}$  濃度が震災後生まれの個体と比較して高いわけではないことが明らかとなった。震災前の年級群においても  $^{137}\text{Cs}$  濃度が低い値を示した要因は、 $^{137}\text{Cs}$  の物理学的減少、成長に伴う希釈、代謝による排出や、環境から受ける影響の減少等が考えられる。

表 1 年齢査定の測定結果

魚種	個体数(n)	全長(mm)	年齢
シロメバル	50(オス;30個体、メス20個体)	219~315	2~14歳
クロソイ	50(オス;25個体、メス25個体)	330~498	2~13歳

表 2  $^{137}\text{Cs}$  濃度の分析結果

魚種	分析個体数(n)	全長(mm)	濃度(Bq/kg)
ヒラメ	34(オス;14個体、メス20個体)	299~830	0.123~2.77
マダラ	21(オス;10個体、メス11個体)	281~775	0.0715~0.468
ババガレイ	32(オス;8個体、メス24個体)	230~502	0.109~0.950
マコガレイ	33(オス;18個体、メス15個体)	225~488	0.236~2.31
アイナメ	41(オス;15個体、メス26個体)	210~475	0.226~2.83
シロメバル	61(オス;35個体、メス26個体)	196~315	0.289~4.09
ヤナギムシガレイ	13(オス;5個体、メス8個体)	188~368	0.0982~1.36
クロソイ	137(オス;60個体、メス77個体)	283~530	0.180~4.81
キツネメバル	25(オス;12個体、メス13個体)	179~326	0.174~3.78
餌生物10種	10	—	0.09~0.401

表 3  $^{90}\text{Sr}$  濃度の分析結果

魚種	分析個体数(n)	全長(mm)	濃度(Bq/kg)
クロソイ	16(オス;8個体、メス8個体)	440~565	ND(<0.02)~0.4
シロメバル	4(メス4個体)	280~318	ND(<0.02)~0.026
クロダイ	6(オス;2個体、メス4個体)	422~492	0.02~0.03
スズキ	6(オス;3個体、メス3個体)	500~755	0.025~0.35

表 4 CN 比の分析結果

魚種	分析個体数(n)	全長(mm)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
ヒラメ	70(オス;35個体、メス;35個体)	299~823	12.1~14.9	-18.0 ~ -15.0
ババガレイ	303(オス;120個体、メス;183個体)	170~553	11.7~14.2	-17.3 ~ -14.9
餌生物	70	—	9.2~10.4	-18.3 ~ -19.9

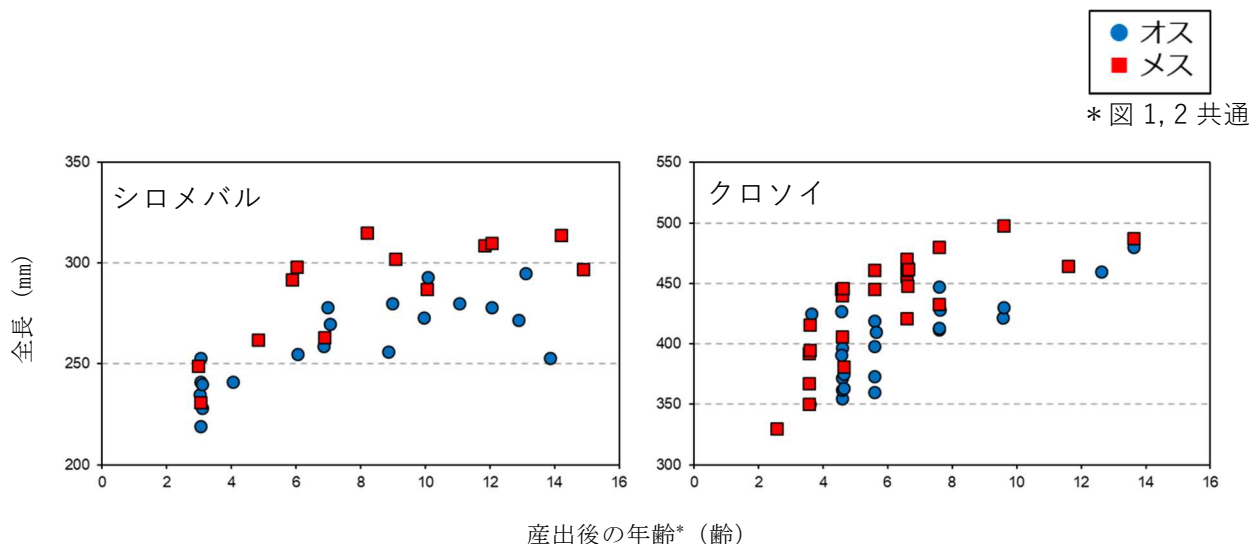


図 1 全長と年齢の関係

\*産出後の年齢は起算日（シロメバル；1月1日、  
クロソイ；6月1日）をもとに算出

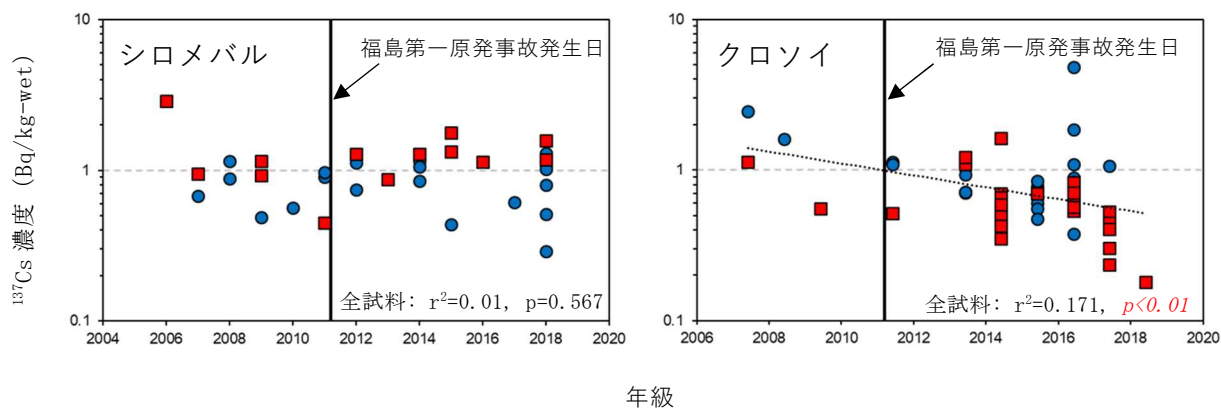


図 2 シロメバルとクロソイの  $^{137}\text{Cs}$  濃度と年級の関係

結果の発表等 放射線関連支援技術情報「メバル属魚類 2 種における  $^{137}\text{Cs}$  濃度と年級構造の関係」

登録データ 21-03-001 「生態特性に応じた蓄積過程の解明」 (10-69-1821)

研究課題名 海水・海底土における放射性物質の動態の把握と汚染源の特定  
小課題名 福島県沿岸の海水・海底土における放射性物質の経時的変化と局所的分布  
研究期間 2011～2021 年

渡部 翔・榎本昌宏・天野洋典  
守岡良晃\*

## 目 的

2011 年 3 月に発生した東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所（以下、1F）の事故により、海洋環境に放射性物質が放出された。本調査では、環境中（海水・海底土）の放射性セシウム（以下、放射性 Cs）濃度の経時的な変動を把握し、放射性 Cs の漁場環境への影響及びその改善状況を明らかにすることを目的とする。

## 方 法

### 1 海水・海底土の放射性 Cs 濃度の把握

#### （1）海水・海底土モニタリング（緊急時環境放射線モニタリング）

福島県では、2011 年 5 月から海水及び海底土の緊急時環境放射線モニタリングを実施している。海水モニタリングの 2021 年度調査地点は、港湾・漁港 13 地点、浅海漁場 6 地点及び松川浦 1 地点の合計 20 地点であり、月 1 回検体を採取した（図 1、表 1）。港湾・漁港では岸壁から、浅海漁場では調査指導船いわき丸または調査指導船拓水から、松川浦では調査船かろうねから採水バケツを用いて表層の海水を採取した。採取した検体は、福島県水産海洋研究センターまたは福島県水産資源研究所において、沈殿によりゴミを取り除き、2L ペットボトル容器に移した。海底土モニタリングの 2021 年度調査地点は、浅海漁場 39 地点及び松川浦 3 地点の合計 42 地点であり、うち 32 地点は月 1 回検体を採取し、残り 10 地点は年 2 回検体を採取した（図 1、表 1）。浅海漁場では調査指導船いわき丸または調査指導船拓水からスミス-マッキンタイヤ採泥器を用い、松川浦では調査船かろうねから EKMAN-BERGE 採泥器を用いて検体を採取した。採取した検体は、福島県水産海洋研究センターまたは福島県水産資源研究所において、吸引ろ過により脱水し、U-8 容器へ約 100g 程度移した。

前処理した各検体を福島県環境創造センターに移送し、ゲルマニウム半導体検出器により放射性物質濃度を測定した。放射性 Cs 濃度の検出下限値は、測定条件等により変動するものの、海水では約 1 Bq/L、海底土では約 10 Bq/kg となっている。また、海底土では検体を別途乾燥させて乾土率を算出し、乾重量あたりの放射性 Cs 濃度に換算した。

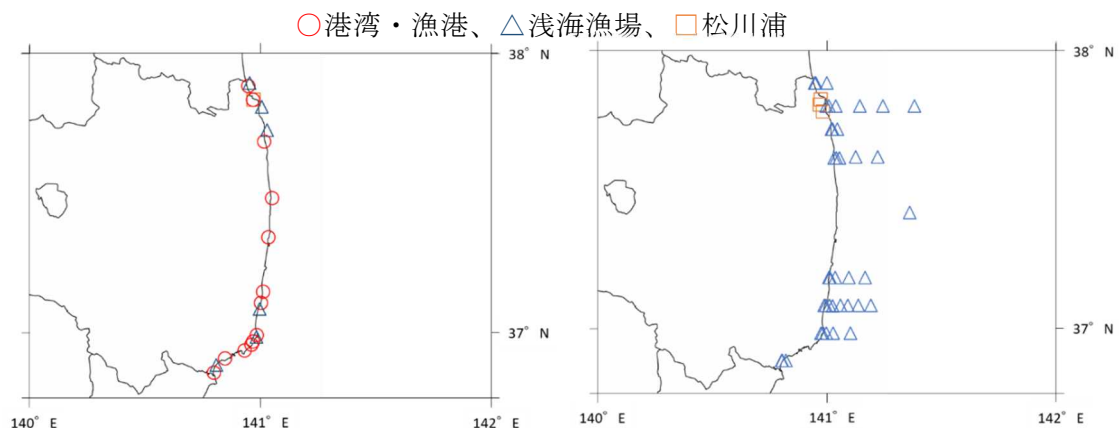


図 1 緊急時環境放射線モニタリング地点図（左：海水、右：海底土）

\*福島県水産資源研究所

表1 緊急時環境放射線モニタリング地点一覧

区分	地点	位置		海水		海底土	頻度	
		北緯(°)	東経(°)	水深(m)	採取量(L)	水深(m)		
港湾・漁港	釣師浜漁港	37.874	140.936	○	2	2	毎月	
	松川浦漁港	37.822	140.970	○	2	2	毎月	
	真野川漁港	37.681	141.008	○	8	2	毎月	
	請戸漁港	37.481	141.041	○	1.5	2	毎月	
	富岡漁港	37.336	141.027	○	2	2	毎月	
	久之浜漁港	37.148	141.001	○	3	2	毎月	
	四倉漁港	37.106	140.995	○	3	2	毎月	
	豊間漁港(沼之内)	36.992	140.977	○	2	2	毎月	
	江名港	36.967	140.959	○	3	2	毎月	
	中之作港	36.958	140.950	○	2	2	毎月	
	小名浜港	36.934	140.922	○	5	2	毎月	
	小浜漁港	36.910	140.836	○	2	2	毎月	
勿来漁港	36.860	140.790	○	2	2	毎月		
浅海漁場	釣師浜沖1.5km	37.883	140.945	○	表層	8	○ 7	毎月
	釣師浜沖2km	37.883	140.951				○ 10	毎月
	釣師浜沖6km	37.883	140.998				○ 20	毎月
	磯部沖0.8km	37.800	140.996	○	表層	8	○ 7	毎月
	磯部沖1.8km	37.800	141.006				○ 10	毎月
	磯部沖4.5km	37.800	141.036				○ 20	毎月
	磯部沖9km	37.800	141.142				○ 30	年2回
	磯部沖22.6km	37.800	141.243				○ 50	年2回
	磯部沖34.8km	37.800	141.380				○ 100	年2回
	鹿島沖0.6km	37.717	141.018	○	表層	8	○ 7	毎月
	鹿島沖2.6km	37.717	141.023				○ 10	毎月
	鹿島沖3km	37.717	141.044				○ 20	毎月
	原町沖0.7km	37.613	141.031				○ 7	毎月
	原町沖1.5km	37.613	141.039				○ 10	毎月
	原町沖2.6km	37.613	141.053				○ 20	毎月
	原町沖9.3km	37.617	141.124				○ 30	年2回
	原町沖17.8km	37.617	141.220				○ 50	年2回
	1F沖28.9km	37.417	141.360				○ 130	年2回
	久之浜沖0.5km	37.183	141.007				○ 7	毎月
	久之浜沖0.9km	37.183	141.011				○ 10	毎月
	久之浜沖3km	37.183	141.035				○ 20	毎月
	久之浜沖8.3km	37.183	141.095				○ 50	年2回
	久之浜沖14.6km	37.183	141.166				○ 100	年2回
	四倉沖0.5km	37.083	140.986	○	表層	8	○ 7	毎月
	四倉沖1km	37.083	140.993				○ 10	毎月
	四倉沖1.7km	37.083	141.010				○ 20	毎月
	四倉沖3.7km	37.080	141.022				○ 30	毎月
	四倉沖6.5km	37.083	141.057				○ 50	毎月
	四倉沖10km	37.083	141.090				○ 75	毎月
	四倉沖13.6km	37.083	141.135				○ 100	毎月
	四倉沖20.2km	37.083	141.191				○ 125	毎月
	江名沖0.5km	36.983	140.973	○	表層	8	○ 7	毎月
江名沖1km	36.983	140.979				○ 10	毎月	
江名沖2.6km	36.983	140.995				○ 20	毎月	
江名沖4.8km	36.983	141.024				○ 50	年2回	
江名沖11.8km	36.983	141.101				○ 100	年2回	
勿来沖0.5km	36.883	140.800	○	表層	8	○ 7	毎月	
勿来沖0.8km	36.883	140.803				○ 10	毎月	
勿来沖5km	36.883	140.820				○ 20	毎月	
松川浦	湾口部	37.823	140.973	○	表層	2	○	毎月
	岩子	37.805	140.969				○	毎月
	磯部	37.780	140.982				○	毎月

## (2) 高感度分析手法を用いた海水中の放射性 Cs 濃度の把握

海水における放射性 Cs 濃度を 1 Bq/L 未満の低濃度まで測定し把握するため、2012 年 1 月から外海 4 地点において、調査指導船いわき丸により採水バケツを用いて月 1 回検体を採取した（図 2、表 2）。採取した検体は、0.45  $\mu$ m フィルターでろ過して通過したものを溶存態として分離した後、リンモリブデン酸アンモニウム（以下、AMP）濃縮法により処理し、ゲルマニウム半導体検出器により溶存態の  $^{134}\text{Cs}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  濃度を測定した。なお、本研究は国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構（以下、量子研）との共同研究として実施している。

また、2012 年 5 月から極沿岸域 16 地点において岸壁より採水バケツを用いて年 2 回検体を採取し、加えていわき市小名浜地先から揚水し福島県水産海洋研究センターで使用している海水を週 1 回採取した（図 2、表 2）。採取した検体は、0.45  $\mu$ m カートリッジフィルターでろ過して通過したものを溶存態として分離した後、リンモリブデン酸アンモニウム（以下、AMP）濃縮法により処理し、ゲルマニウム半導体検出器により溶存態の  $^{134}\text{Cs}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  濃度を測定した。なお、本研究は国立研究開発法人水産研究・教育機構（以下、水研）との共同研究として実施している。

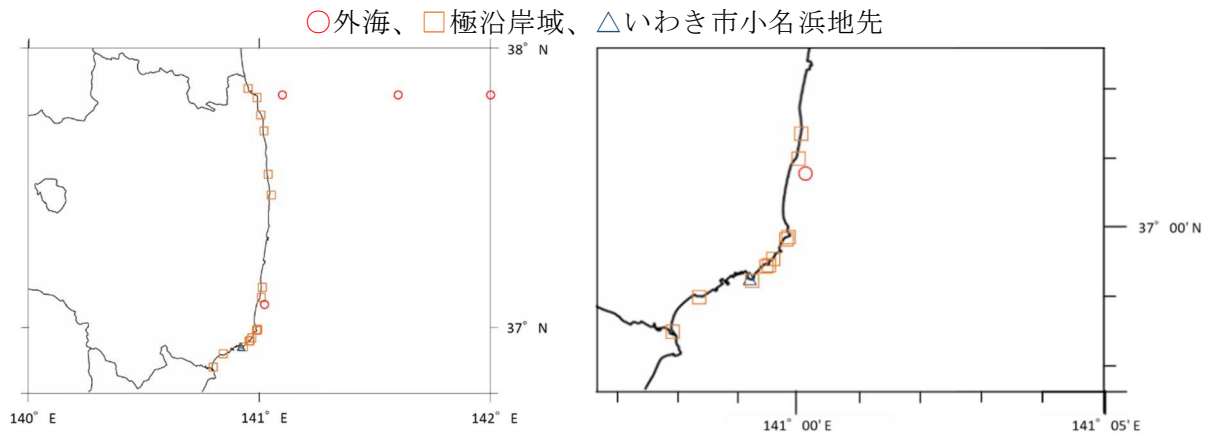


図 2 共同研究における海水検体採取地点図（左：福島県全体、右：いわき市）

表2 共同研究における海水検体採取地点一覧

区分	地点	位置		海水		頻度	共同研究 機関
		北緯(°)	東経(°)	採取層	採取量(L)		
外海	鵜ノ尾埼沖	37.833	141.100	表層	40	毎月	量子研
		37.833	141.600	表層	20	毎月	量子研
		37.833	142.000	表層	20	毎月	量子研
	四倉沖	37.080	141.022	表層	40	毎月	量子研
極沿岸域	新地	37.858	140.943	表層	20	年2回	水研
	原釜	37.826	140.981	表層	20	年2回	水研
	磯部	37.763	140.997	表層	20	年2回	水研
	鹿島	37.706	141.011	表層	20	年2回	水研
	小高	37.552	141.028	表層	20	年2回	水研
	請戸	37.478	141.041	表層	20	年2回	水研
	久之浜	37.146	141.003	表層	20	年2回	水研
	四倉	37.110	140.999	表層	20	年2回	水研
	薄磯	36.996	140.982	表層	20	年2回	水研
	豊間	36.993	140.979	表層	20	年2回	水研
	江名	36.965	140.957	表層	20	年2回	水研
	中之作	36.956	140.950	表層	20	年2回	水研
	永崎	36.954	140.946	表層	20	年2回	水研
	下神白	36.934	140.922	表層	20	年2回	水研
	小浜	36.910	140.835	表層	20	年2回	水研
勿来	36.861	140.792	表層	20	年2回	水研	
いわき市 小名浜地先		36.933	140.919		20	毎週	水研

2 海底土中の放射性 Cs の局所的分布メカニズムの解明

(1) 曳航式ガンマ線計測法 (RESQ) による調査

海底土における放射性 Cs の一部海域での局所的分布の状況及び経時的変動を把握するため、2014年度からガンマ線検出器 (NaI シンチレーションカウンター) を搭載した計測装置を調査指導船いわき丸により約 2kt で曳航し、連続的に海底土の放射性物質濃度を測定する曳航式ガンマ線計測法 (以下、RESQ) を用いて調査した (図 3)。2021年度は5月に1F沖の2定線で調査した (図 4)。

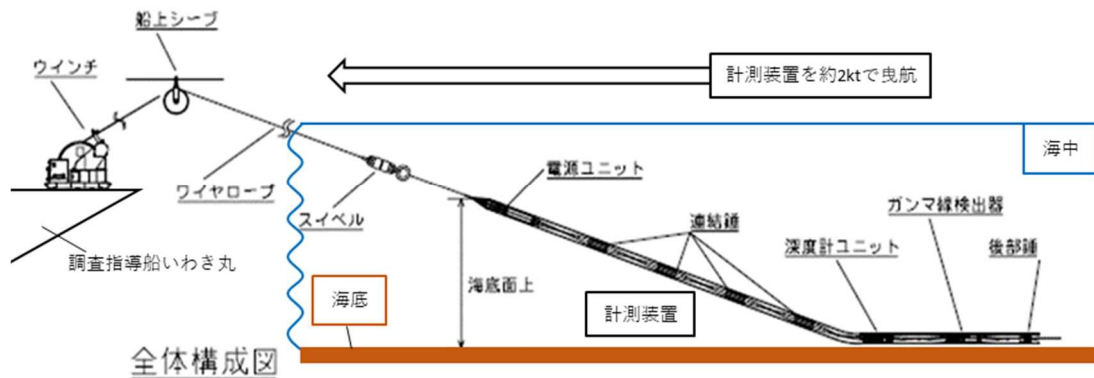


図3 RESQ 調査方法



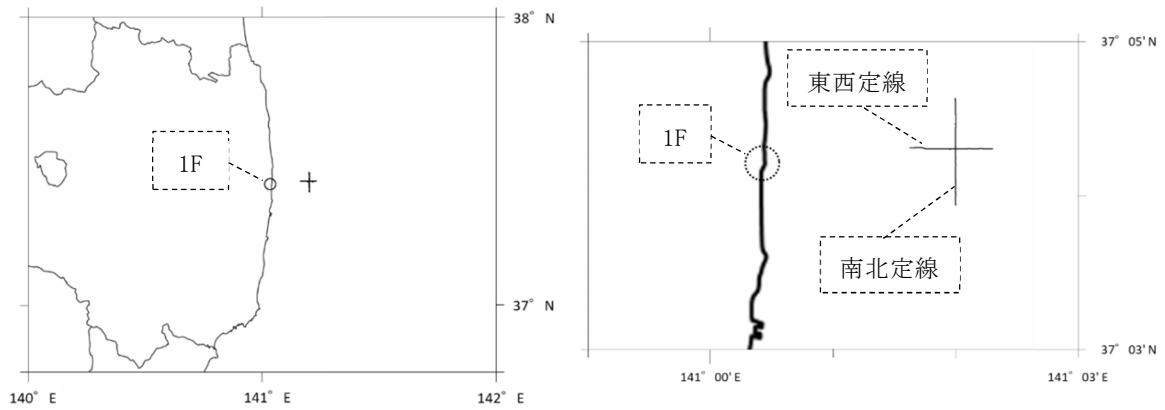


図4 RESQ 定線図 (左：福島県沖地図、右：1F 沖地図)

## (2) 水中テレビロボットカメラ (ROV) を用いた調査

海底土の採泥と併せて海底観察を行い、海底土の放射性 Cs 濃度と海底性状の関係について検討するため、図5に示す採泥器を搭載した水中テレビロボットカメラ (以下、ROV) 及びスミスマッキンタイヤ採泥器 (以下、SM) を用いて調査した。2021年度は1F沖水深70m地点を中心とした9地点においては6月及び2月に、四倉沖水深30m地点においては3月に、江名沖水深60m地点においては6月に調査した (図6、表3)

ROV 及び SM で採取した検体は、吸引ろ過により脱水し、U-8 容器へ約 100g 程度移した後、ゲルマニウム半導体検出器により  $^{137}\text{Cs}$  濃度を測定した。また、検体を別途乾燥させて乾土率を算出し、乾重量あたりの  $^{137}\text{Cs}$  濃度に換算した。

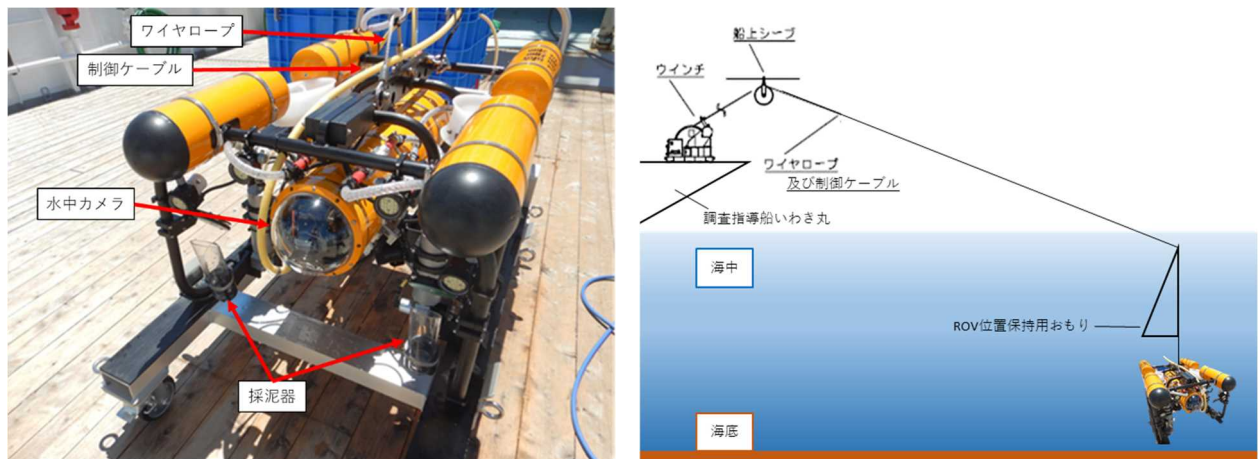


図5 ROV 概要図 (左：ROV 写真、右：ROV 調査方法)

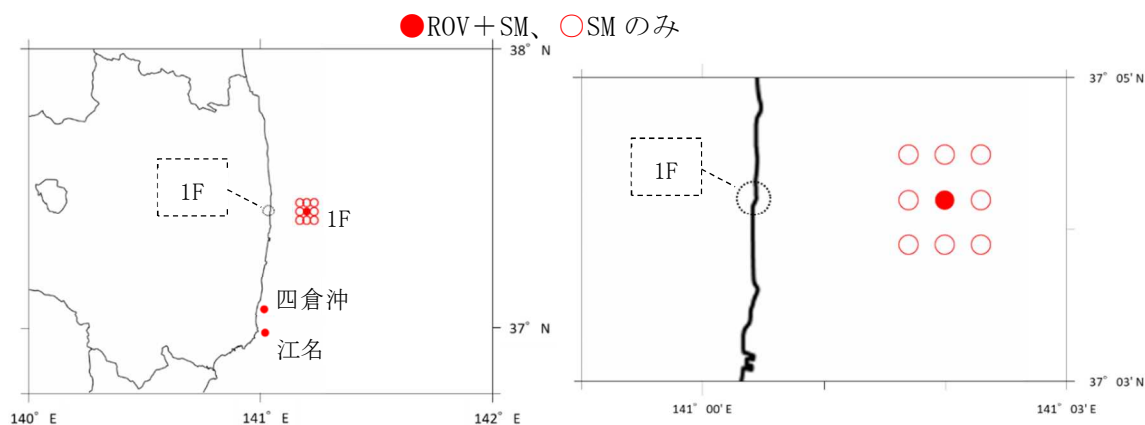


図6 ROV 調査地点図（左：福島県沖地図、右：1F 沖地図）

表3 ROV 調査地点一覧

調査地点	位置		水深 (m)	調査内容	採取 検体数
	北緯(°)	東経(°)			
1F沖	37.450	141.170	60	SM	1
	37.450	141.200	70	SM	1
	37.450	141.230	80	SM	1
	37.420	141.170	60	SM	1
	37.420	141.200	70	ROV	6
				SM	1
	37.420	141.230	80	SM	1
	37.390	141.170	60	SM	1
	37.390	141.200	70	SM	1
	37.390	141.230	80	SM	1
四倉沖	37.069	141.017	ROV	6	
			SM	1	
江名沖	36.983	141.018	ROV	6	
			SM	1	

## 結 果

### 1 海水・海底土の放射性 Cs 濃度の把握

#### (1) 海水・海底土モニタリング（緊急時環境放射線モニタリング）

海水の  $^{134+137}\text{Cs}$  濃度は、2012 年 4 月以降は検出下限値未満（以下、ND）で推移しており、2021 年度においてもすべての地点で ND であった（図 7）。

海底土の  $^{134+137}\text{Cs}$  濃度は、2021 年度においては ND~211 Bq/kg-dry であり（表 4、図 8）、2018 年度以降は 100 Bq/kg-dry 未満となる地点が全体の 90%以上で推移しており、2021 年度においても同様の傾向がみられた（図 9）。

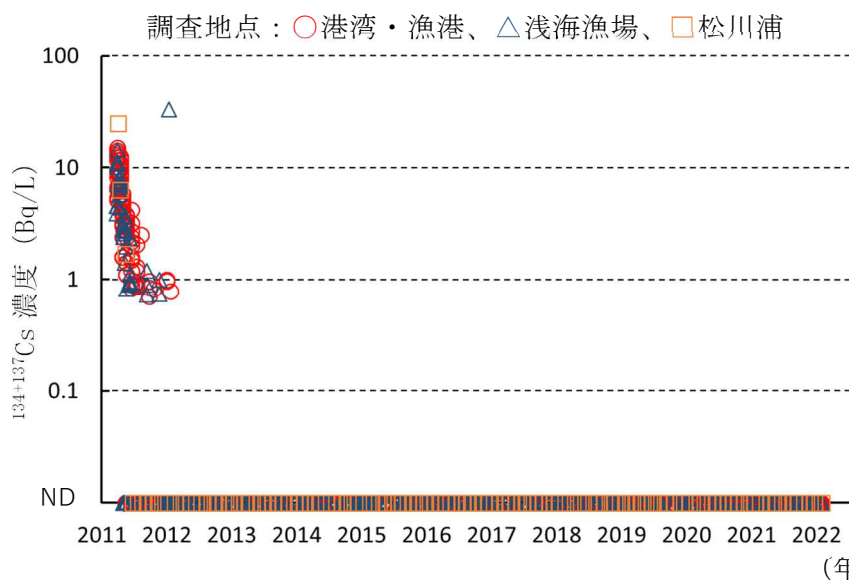


図7 海水の  $^{134+137}\text{Cs}$  濃度の推移 (緊急時環境放射線モニタリング)

表4 2021年度における海底土中の  $^{134+137}\text{Cs}$  濃度 (緊急時環境放射線モニタリング)

海域	検体数		$^{134+137}\text{Cs}$ 濃度(Bq/kg-dry)		
	小計	うちND	最小値	最大値	平均値
浅海漁場 (相馬双葉海域)	156	46	ND	152	28.0
浅海漁場 (いわき海域)	212	0	8.08	130	36.1
松川浦	36	0	6.11	211	61.6

調査地点：△浅海漁場 (相馬双葉海域)、△浅海漁場 (いわき海域)、□松川浦

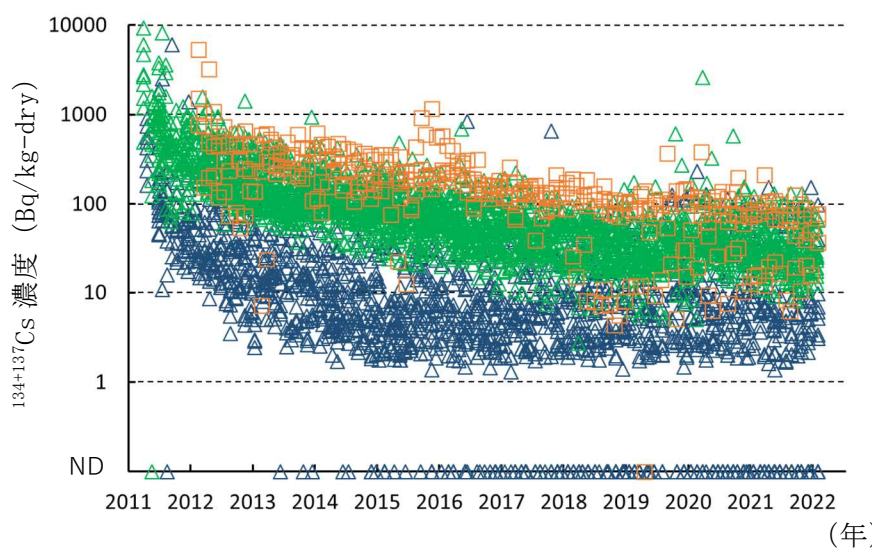


図8 海底土の  $^{134+137}\text{Cs}$  濃度の推移 (緊急時環境放射線モニタリング)

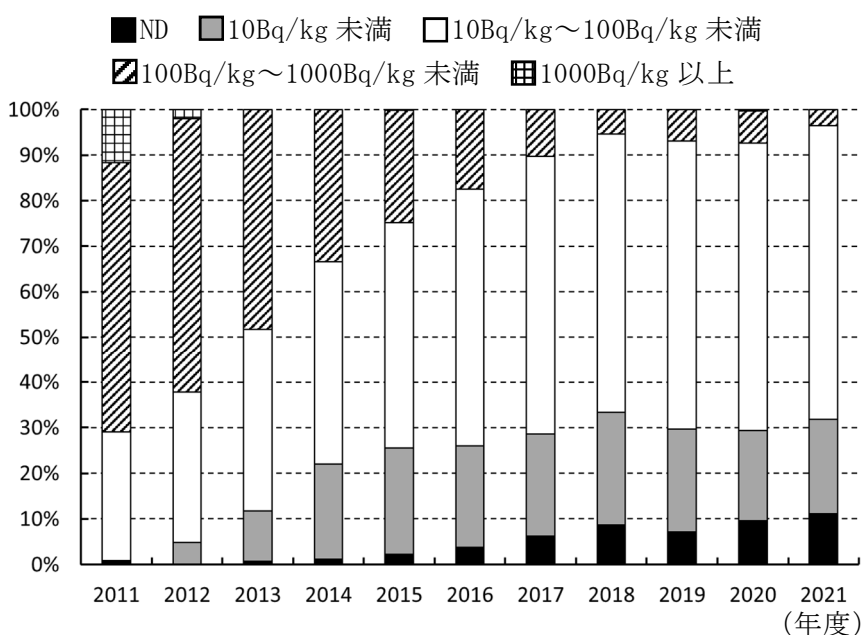


図9 海底土の<sup>134+137</sup>Cs濃度の割合 (緊急時環境放射線モニタリング)

(2) 高感度分析手法を用いた海水中の放射性Cs濃度の把握

外海4地点において2021年4月~12月及び2022年2月~3月までに43検体を採取し、39検体について放射性Cs濃度の測定を完了した。なお、2021年12月の鵜ノ尾埼沖東経142.000°地点及び2022年1月については欠測となっている。<sup>134</sup>Cs濃度はすべての検体でNDであった。<sup>137</sup>Cs濃度は鵜ノ尾埼沖東経141.100°地点で1.52~2.74 mBq/L、鵜ノ尾埼沖東経141.600°地点で1.03~1.44 mBq/L、鵜ノ尾埼沖東経142.000°地点で0.957~1.86 mBq/L、四倉沖1地点で1.17~6.84 mBq/Lであった(図10)。

極沿岸域16地点において2021年9月、2022年3月に32検体を採取し、うち2021年9月の16検体について放射性Cs濃度の測定を完了した。<sup>134</sup>Cs濃度はすべての地点でNDであり、<sup>137</sup>Cs濃度は3.05~9.05 mBq/Lであった(図11)。

いわき市小名浜地先1地点において2021年4月6日~2022年3月28日までに52検体を採取し、うち2022年1月24日までの43検体について放射性Cs濃度の測定を完了した。<sup>134</sup>Cs濃度はすべての月でNDであり、<sup>137</sup>Cs濃度は2.51~10.7 mBq/Lであった(図11)。

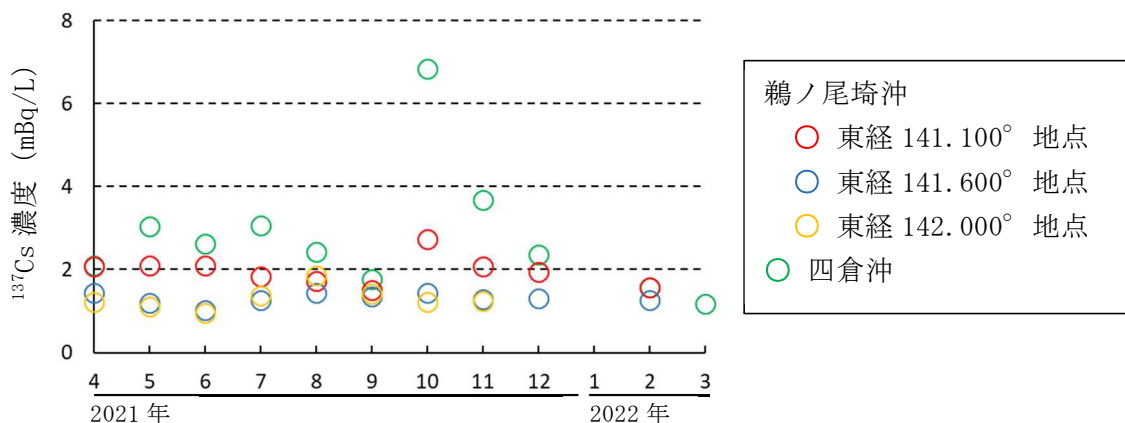


図10 外海における海水の<sup>137</sup>Cs濃度

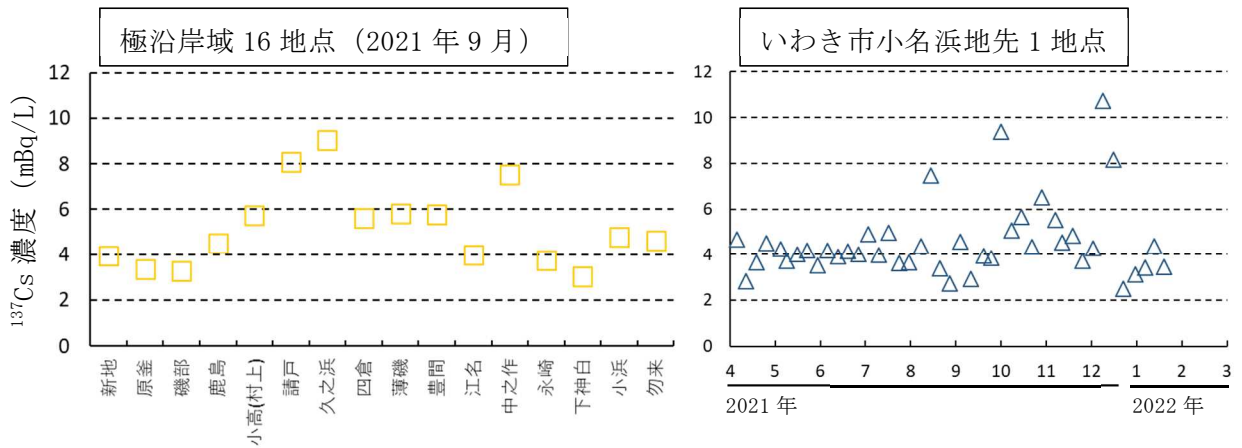


図 11 極沿岸域及びいわき市小名浜地先における海水の  $^{137}\text{Cs}$  濃度

## 2 海底土中の放射性 Cs の局所的分布メカニズムの解明

### (1) 曳航式ガンマ線計測法 (RESQ) による調査

1F 沖南北定線においては 2014 年度から、1F 沖東西定線においては 2015 年度から RESQ 調査を開始し、いずれの調査においても曳航区間の一部で 100Bq/kg-wet を超える  $^{137}\text{Cs}$  濃度が検出されており、2021 年 5 月においても同様の結果が得られた (表 5、図 12)。

表 5 RESQ 調査における  $^{137}\text{Cs}$  濃度の推移

調査定線	調査年月日	北緯(°)	東経(°)	$^{137}\text{Cs}$ 濃度 (Bq/kg-wet)		
				最小値	最大値	中央値
1F 沖南北定線	2015/1/25	37.199 ~ 37.314	141.120	0.450	6,160	40.3
	2016/1/26	37.188 ~ 37.315	141.120	5.79	5,790	33.6
	2016/9/29	37.186 ~ 37.310	141.120	0.650	13,700	80.6
	2017/6/26	37.181 ~ 37.272	141.120	10.0	460	54.0
	2018/5/7	37.197 ~ 37.282	141.120	0.0100	18,000	21.0
	2019/5/30	37.192 ~ 37.313	141.120	0.820	6,580	16.4
	2020/5/28	37.197 ~ 37.306	141.120	1.04	450	32.8
	2021/5/18	37.236 ~ 37.277	141.120	4.74	195	32.1
1F 沖東西定線	2016/1/21	37.250	141.115 ~ 141.203	10.3	165	28.6
	2016/7/28	37.250	141.111 ~ 141.212	35.4	19,100	71.5
	2017/5/29	37.250	141.108 ~ 141.200	10.0	394	40.4
	2018/5/29	37.250	141.108 ~ 141.193	0.0100	558	12.6
	2019/7/18	37.250	141.115 ~ 141.203	9.16	308	24.3
	2020/4/30	37.250	141.114 ~ 141.202	2.51	1,590	14.8
	2021/5/18	37.258	141.097 ~ 141.138	0.0300	5,180	18.0

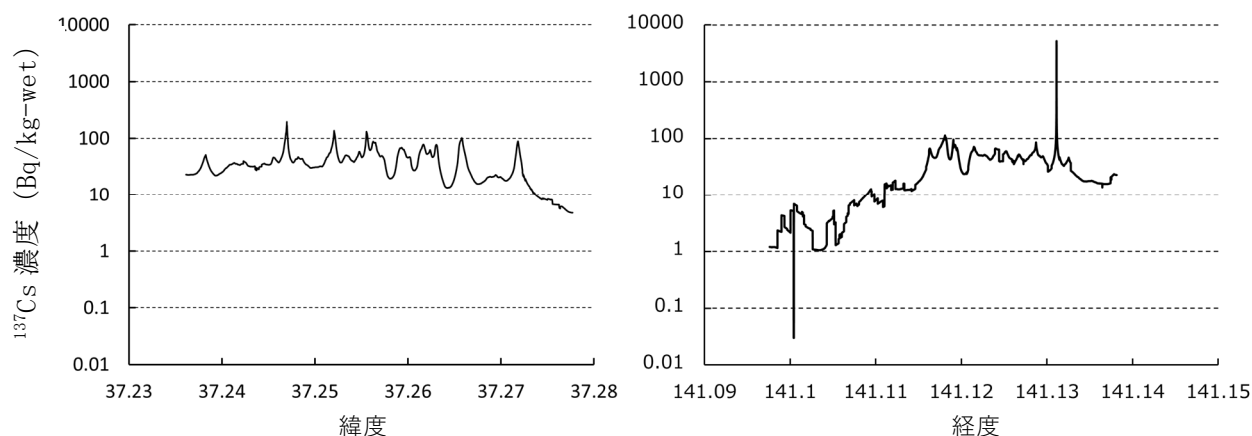


図 12 2021 年度 RESQ 調査における  $^{137}\text{Cs}$  濃度 (左：1F 沖南北定線、右：1F 沖東西定線)

(2) 水中テレビロボットカメラ (ROV) を用いた調査

1F 沖で 2021 年 6 月に採取した海底土の  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、ROV で 14.2~168 Bq/kg-dry、SM で 4.07~65.3 Bq/kg-dry であり、2022 年 2 月に採取した海底土の  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、ROV で 14.5~71.3 Bq/kg-dry、SM で 2.15~74.0 Bq/kg-dry であった (表 6)。

四倉沖で 2021 年 3 月に採取した海底土の  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、ROV で 10.5~14.7 Bq/kg-dry、SM で 40.3 Bq/kg-dry であった (表 6)。

江名沖で 2021 年 6 月に採取した海底土の  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、ROV で 97.4~118 Bq/kg-dry、SM で 146 Bq/kg-dry であった (表 6)。

ROV による海底観察結果の一例を図 13 に示す。

表 6 ROV 及び SM で採取した海底土の  $^{137}\text{Cs}$  濃度 (2021 年度)

海域	調査月日	調査内容	採取 検体数	$^{137}\text{Cs}$ 濃度 (Bq/kg-dry)	
				最小値	最大値
1F 沖	6月22日	ROV	6	14.2	168
		SM	9	4.07	65.3
	2月9日	ROV	6	14.5	71.3
		SM	9	2.15	74.0
四倉沖	3月9日	ROV	6	10.5	14.7
		SM	1	40.3	
江名沖	6月21日	ROV	6	97.4	118
		SM	1	146	



図 13 ROV による海底土性状の観察

結果の発表等 なし

登録データ 21-03-002「海水・海底土における放射性物質の動態の把握と汚染源の特定」(10-69-2121)



研究課題名 陸域から河川を通じた海域への放射性物質輸送及び魚介類、漁場への影響解明  
小課題名 福島県汽水域を中心とした環境水・堆積物における放射性物質の動態把握  
研究期間 2021 年

渡部 翔・榎本昌宏・天野洋典  
守岡良晃\*・鈴木翔太郎\*\*

## 目 的

陸域に沈着した放射性セシウム（以下、放射性 Cs）の一部は河川を通じて海域に流入するが、詳細な動態には不明な部分がある。本研究では、河川の影響を受ける汽水域を中心に、放射性 Cs の分布状況を把握することで、その動態メカニズムについて検討し、魚介類の食の安心・安全を担保する知見の集積につなげる。

## 方 法

### 1 環境水及び堆積物中の放射性 Cs 濃度の把握

本研究は、農林水産分野の先端技術展開事業のうち現地実証研究委託事業である「ICT インフラを用いた効果的な種苗放流による資源の安定化」の中課題「河口域等における放射性物質の分布状況の把握」の一環として、2021 年度から開始したものである。調査地点は松川浦 4 地点、松川浦湾口 1 地点、流入河川 4 地点、河口 3 地点及び外海 1 地点の合計 13 地点とし（図 1、表 1）、2021 年 5 月～10 月、12 月及び 2022 年 2 月に、それぞれ環境水及び堆積物を採取した。松川浦湾口 1 地点、河口 1 地点及び流入河川 4 地点では岸壁から採水バケツ及び EKMAN-BERGE 採泥器を用いて検体を採取し、松川浦 4 地点及び河口 2 地点では調査船かろうねから採水バケツ及び EKMAN-BERGE 採泥器を用いて検体を採取し、外海 1 地点では調査指導船拓水から採水バケツ及びスミス-マッキンタイヤ採泥器を用いて検体を採取した。

採取した検体のうち環境水は、本事業コンソーシアムメンバーである国立大学法人福島大学及び株式会社 KANSO テクノスにおいて、 $0.45\mu\text{m}$  フィルターでろ過してフィルターを通過したものを溶存態、フィルター上に残留したものを懸濁態として分離した後、溶存態はリンモリブデン酸アンモニウム（AMP）濃縮法により処理し、ゲルマニウム半導体検出器により溶存態及び懸濁態の<sup>137</sup>Cs 濃度を測定した。

採取した検体のうち堆積物は、福島県水産海洋研究センターにおいて吸引ろ過により脱水した後、U-8 容器に約 100g 程度を移し、ゲルマニウム半導体検出器により<sup>137</sup>Cs 濃度を測定した。堆積物では検体を別途乾燥させて乾土率を算出し、乾重量あたりの<sup>137</sup>Cs 濃度に換算した。また、2021 年 8 月～10 月の検体は粒子径分布測定装置により粒度分布を各 3 回測定し、中央値の平均を中央粒径として解析に用いた。

### 2 表面マイクロ層（SML）の放射性 Cs 動態解明

汽水域における環境水の表面マイクロ層（以下、SML）の放射性 Cs 濃度を確認するため導入した SML 採水器（図 2）について、2021 年度は予備試験として福島県水産海洋研究センター屋外水槽（以下、屋外水槽）及び小名浜港岸壁において動作及び採水量の確認を行った。

## 結 果

### 1 環境水及び堆積物中の放射性 Cs 濃度の把握

環境水の溶存態及び懸濁態の<sup>137</sup>Cs 濃度の推移を図 3 に示す。松川浦 4 地点では溶存態<sup>137</sup>Cs 濃度は 2.88～24.0 mBq/L、懸濁態<sup>137</sup>Cs 濃度は 0.150～16.4 mBq/L であり、松川浦湾口 1 地点では

\*福島県水産資源研究所 \*\*福島県東京事務所



溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度は 4.00~14.2 mBq/L、懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  濃度は 0.437~2.93 mBq/L であり、流入河川 4 地点では溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度は 1.01~4.71 mBq/L、懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  濃度は 0.460~45.6 mBq/L であり、河口 3 地点では溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度は 2.48~31.4 mBq/L、懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  濃度は 0.415~123 mBq/L であり、外海 1 地点では溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度は 3.06~4.81 mBq/L、懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  濃度は検出下限値未満 (ND) ~0.403 mBq/L であった。今後は、塩分・水温等の環境パラメータを併せた解析を行い、群間の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の比較等を行う予定である。

堆積物の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の推移を図 4 に示す。松川浦 4 地点では 12.2~126 Bq/kg-dry であり、松川浦湾口 1 地点では 89.1~481 Bq/kg-dry であり、流入河川 4 地点では 20.1~657 Bq/kg-dry であり、河口 3 地点では 20.4~226 Bq/kg-dry であり、外海 1 地点では 1.69~3.00 Bq/kg-dry であった。堆積物の各群の  $^{137}\text{Cs}$  濃度を図 5 に示す。流入河川から河口、松川浦、外海にかけて  $^{137}\text{Cs}$  濃度は低くなる傾向がみられたが、松川浦湾口においては比較的高い  $^{137}\text{Cs}$  濃度がみられた。堆積物の中央粒径と  $^{137}\text{Cs}$  濃度の関係を図 6 に示す。堆積物の中央粒径が小さいほど  $^{137}\text{Cs}$  濃度が高い傾向がみられ、群間における  $^{137}\text{Cs}$  濃度の差異は粒度の違いが要因の一つと考えられた。

## 2 表面マイクロ層 (SML) の放射性 Cs 動態解明

SML 採水器により屋外水槽及び小名浜港岸壁で採水した。採水量は屋外水槽では 3 時間で 5L、小名浜港岸壁では 1.5 時間で 3.5L であった。2022 年度には採水後の検体処理、測定項目等の調整を行い、SML 調査の立ち上げを完了する予定である。

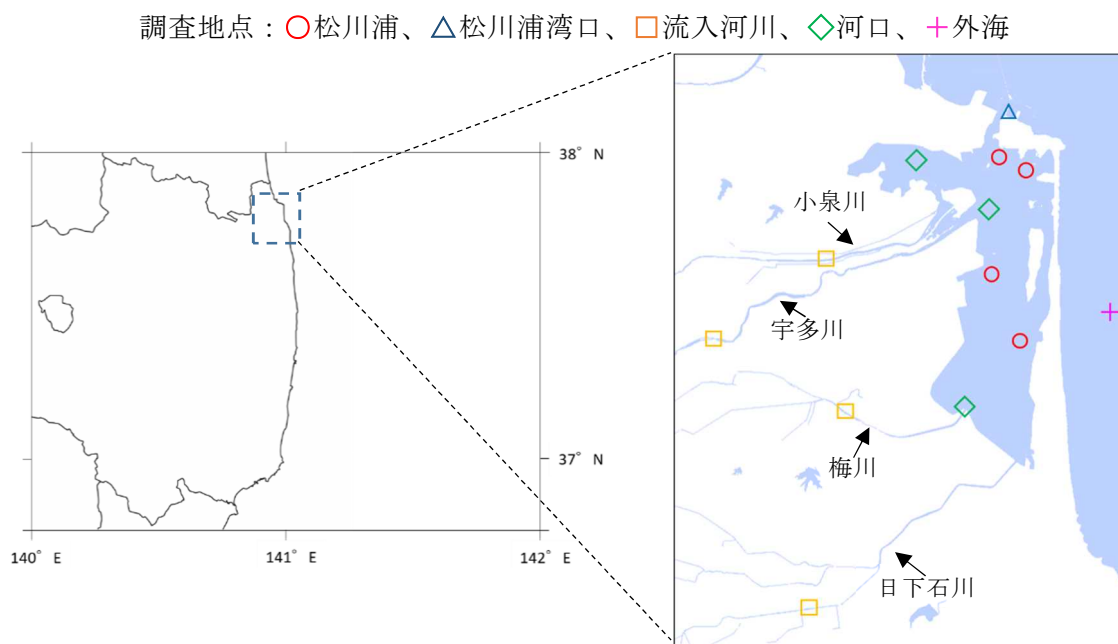


図 1 環境水・堆積物採取地点図 (左：福島県全体、右：松川浦)

表 1 環境水・堆積物採取地点

群	地点	位置		採取実施月	
		北緯 (°)	東経 (°)	環境水	堆積物
松川浦	棚脇前	37.822	140.976	6~10,12,2	6~10,12,2
	十二本松	37.820	140.981	5~10,12,2	6~10,12,2
	岩子	37.805	140.975	6~10,12,2	6~10,12,2
	大洲東	37.797	140.979	6~10,12,2	6~10,12,2
松川浦湾口	新港	37.828	140.977	5~10,12,2	5~10,12,2
流入河川	小泉川	37.808	140.927	5~10,12,2	5~10,12,2
	宇多川	37.790	140.913	5~10,12,2	5~10,12,2
	梅川	37.784	140.955	5~10,12,2	5~10,12,2
	日下石川	37.759	140.943	5~10,12,2	5~10,12,2
河口	小泉川河口	37.821	140.962	6~10,12,2	6~10,12,2
	宇多川河口	37.813	140.974	6~10,12,2	6~10,12,2
	梅川河口	37.787	140.970	5~10,12,2	5~10,12,2
外海	磯部沖約0.8km	37.800	141.004	7,8,10,2	8~10,2

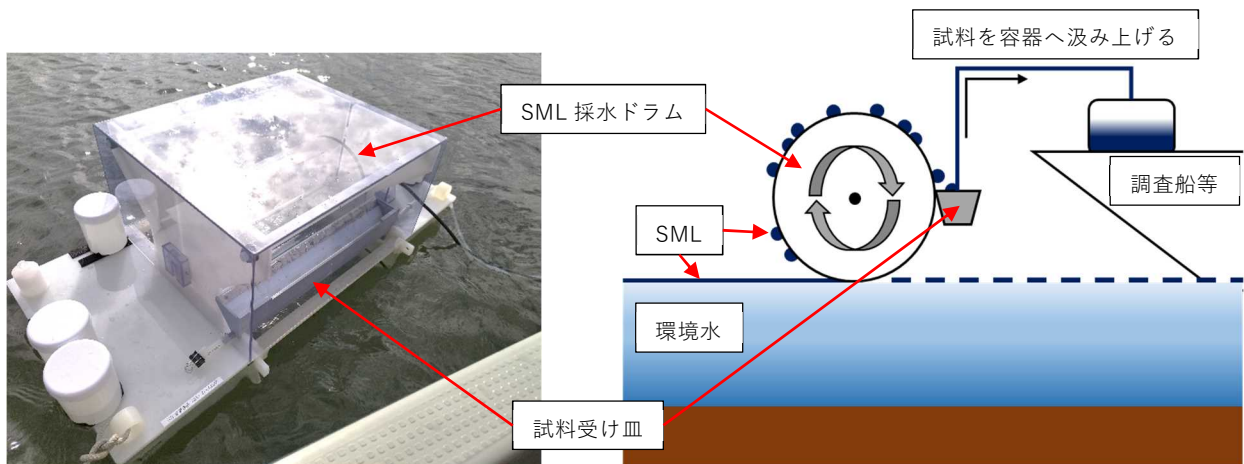


図 2 SML の採水方法 (左 : SML 採水器、右 : 採水概要図)

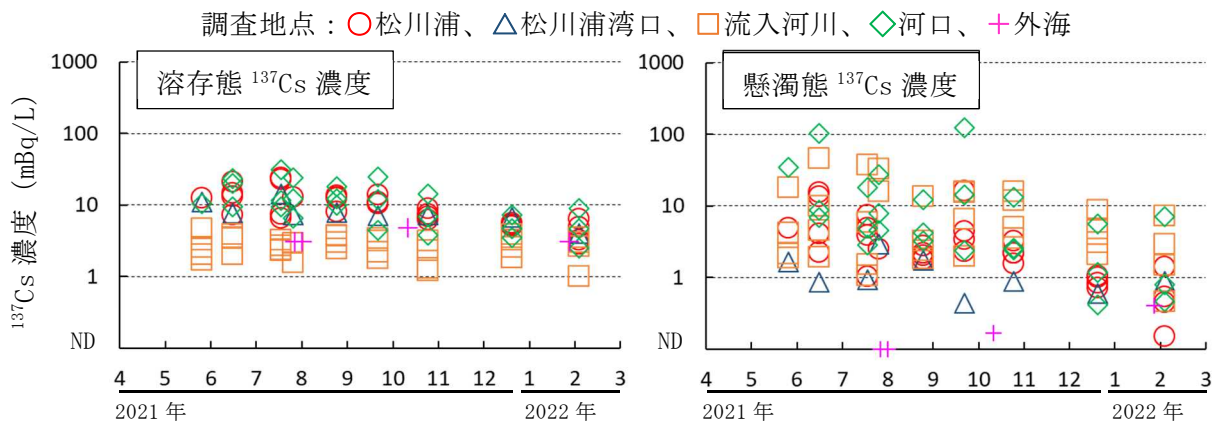


図 3 環境水の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の推移 (左 : 溶解態  $^{137}\text{Cs}$  濃度、右 : 懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  濃度)

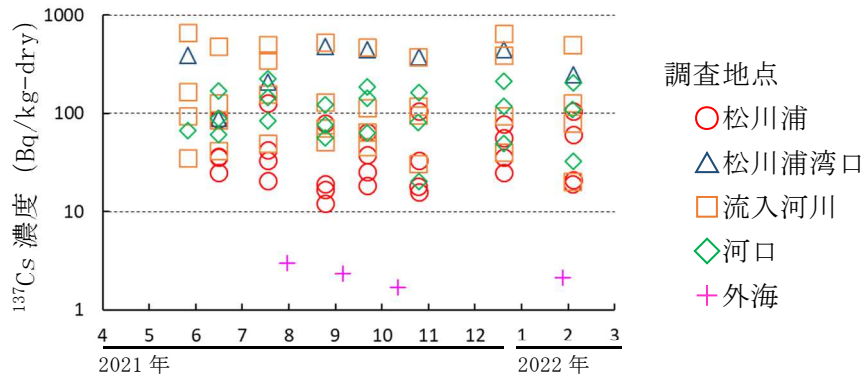


図4 堆積物の<sup>137</sup>Cs濃度の推移

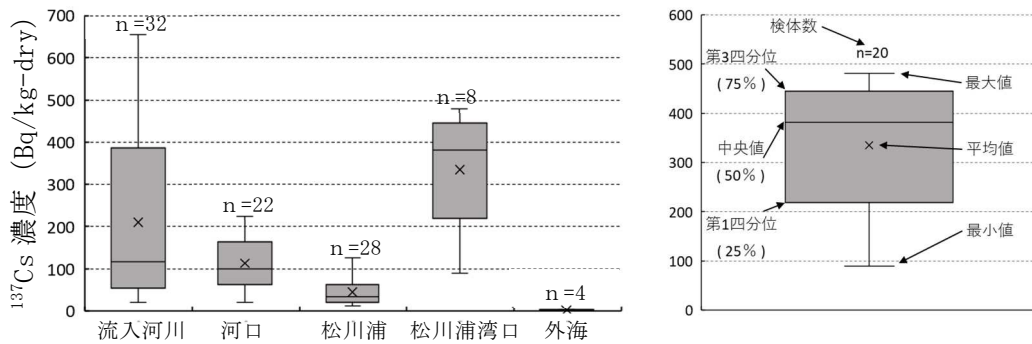


図5 堆積物の各群の<sup>137</sup>Cs濃度 (左：群別<sup>137</sup>Cs濃度、右：図の説明)

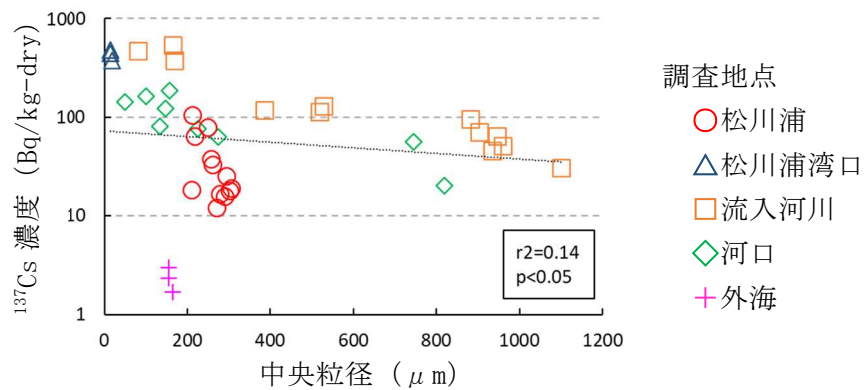


図6 堆積物の中央粒径と<sup>137</sup>Cs濃度の関係

結果の発表等 放射線関連支援技術情報「松川浦及びその流入河川の堆積物の<sup>137</sup>Cs濃度について」

登録データ 21-03-003「陸域から河川を通した海域への放射性物質輸送及び魚介類、漁場への影響解明」(10-69-2121)

研究課題名 環境から魚介類へ取り込まれる放射性物質の動態把握

小課題名 飼料の組成から影響を受ける魚体の  $^{137}\text{Cs}$  濃度と炭素・窒素安定同位体比の変化

研究期間 2020 年～2021 年

榎本昌宏・天野洋典・渡部 翔

## 目 的

本県沿岸域における魚介類の放射性セシウム濃度は近年、全体的に低下傾向にあるが、その蓄積メカニズムには未だ不明な点が残されている。魚体内の放射性セシウム濃度は海水や餌生物等の複数の要因により影響を受けるため、自然環境での調査から検証することは困難である場合が多い。そこで本研究では、魚介類の放射性物質蓄積メカニズムを解明するために飼育試験による放射性セシウム ( $^{137}\text{Cs}$ ) の動態把握を行う。

本報告では、食性の異なる 2 魚種を用い、海底土から消化器官を介した  $^{137}\text{Cs}$  の移行を把握することを目的に実施した 2020 年度飼育試験の分析結果と、体組織の  $^{137}\text{Cs}$  濃度と炭素・窒素安定同位体比 (CN 比) の推移の把握を目的に  $^{137}\text{Cs}$  濃度と CN 比が異なる飼料を用いた 2021 年度飼育試験の飼育結果について報告する。

## 方 法

### 1 2020 年度飼育試験

2020 年度飼育試験における試験設定を表 1 に示す。飼育試験には魚食性のヒラメ (岩手県栽培漁業協会生産、0 歳魚) と底生生物食性のマコガレイ (福島県水産資源研究所生産、0 歳魚) を使用した。飼料切替前には全ての区で市販配合飼料おとひめ C2 (日清丸紅飼料 (株)) を給餌し、試験区として飼料切替後に市販配合飼料おとひめ C2 と福島県沿岸域の海底土を混合した飼料を給餌する区 (以下、沿岸海底土含有飼料給餌区) と、市販配合飼料おとひめ C2 と福島県汽水域の海底土を混合した飼料を給餌する区 (以下、汽水域海底土含有飼料給餌区) を設定した。飼料切替後の対照区には市販配合飼料おとひめ B2 とオキアミミールを混合した飼料を給餌した。各飼料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度と CN 比は、試験に用いる前にそれぞれゲルマニウム半導体検出器と安定同位体比質量分析計を用いて測定した。

表 1 2020 年度飼育試験における試験設定

設定	供試魚	飼育飼料 (切替前)	飼育飼料(切替後)				
			組成	$^{137}\text{Cs}$ 濃度 (Bq/kg)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	
試験区	沿岸海底土含有飼料給餌区 (R1)	ヒラメ	おとひめC2	おとひめC2、沿岸海底土	23.3	10.9	-20.2
	沿岸海底土含有飼料給餌区 (R2)	マコガレイ	〃	〃	〃	〃	〃
試験区	汽水域海底土含有飼料給餌区 (R3)	ヒラメ	〃	おとひめC2、汽水域海底土	31.8	10.7	-20.3
	汽水域海底土含有飼料給餌区 (R4)	マコガレイ	〃	〃	〃	〃	〃
対照区	市販配合飼料給餌区 (C1)	ヒラメ	〃	おとひめB2、オキアミミール	0.096	12.8	-18.6
	市販配合飼料給餌区 (C2)	マコガレイ	〃	〃	〃	〃	〃

飼育条件を表 2 に示す。飼育水槽には各区 (R1、R2、R3、R4、C1、C2) ごとに 0.5tFRP 円形水槽を用い、供試魚を 50 個体ずつ収容した。飼育水は当センターで使用している自然海水を掛け流しとした。飼育期間中に週 1 回、水槽ごとに 30 個体の体重を測定し、水槽あたりの飼育重量を推定し、給餌量が飼育重量の 0.5～2.0% となるよう調整した。

飼料切替日より 0、7、14、28、42、56、70、84、112、140 日目 (計 10 回) にそれぞれ各区から供試魚 5 個体を取り上げ、体長、体重を測定した後、 $^{137}\text{Cs}$  濃度と CN 比の測定を行った。 $^{137}\text{Cs}$  濃

度は、5 個体の筋肉をまとめて、ゲルマニウム半導体検出器を用いて測定した。CN 比は、取り上げた 5 個体について個体ごとに筋肉試料を凍結乾燥・脱脂処理した後、安定同位体比質量分析計を用いて測定した。

## 2 2021 年度飼育試験

2021 年度飼育試験における試験設定を表 3 に示す。飼育試験には魚食性のヒラメ(岩手県栽培漁業協会生産、0 歳魚)と底生生物食性のホシガレイ(福島県水産資源研究所生産、0 歳魚)を使用した。飼料切替前は全ての区で市販のオキアミミールと配合飼料おとひめ C2 を混合した飼料(飼料の調製は(一社)日本科学飼料協会に依頼)を給餌し、飼料切替後は、試験区には配合飼料おとひめ EP2 に  $^{137}\text{Cs}$  を含む淡水魚由来の魚粉を混合した飼料(飼料の調製は(一社)日本科学飼料協会に依頼)を給餌し、対照区にはこれまでと同じ飼料を給餌した。各飼料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度と CN 比は、試験に用いる前にそれぞれゲルマニウム半導体検出器と安定同位体比質量分析計を用いて測定した。

表 3 2021 年度飼育試験における試験設定

設定	供試魚	飼育飼料(切替前)		飼育飼料(切替後)	
		組成	$^{137}\text{Cs}$ 濃度 (Bq/kg)	組成	$^{137}\text{Cs}$ 濃度 (Bq/kg)
試験区 Cs含有区(R1)	ヒラメ	おとひめC2,オキアミミール	0.0645	おとひめEP2,淡水魚筋肉パウダー	160
	Cs含有区(R2)	ホシガレイ	〃		
対照区 オキアミ含有区(C1)	ヒラメ	〃	〃	おとひめC2,オキアミミール	0.0645
	オキアミ含有区(C2)	ホシガレイ	〃		

飼育条件を表 4 に示す。飼育水槽には各区(R1、R2、C1、C2)ごとに 1.2tFRP 円形水槽を用い、試験区には供試魚 120 個体ずつ、対照区には供試魚 48 個体ずつ収容した。飼育水は当センターで使用している自然海水を掛け流しとした。飼育期間中に週 1 回、水槽ごとに 30 個体の体重を測定し、水槽あたりの飼育重量を推定、給餌量が飼育重量の 0.5 ~ 2.0%となるよう調整した。

飼料切替後は、試験区では 0、1、2、5、7、21、35、70、105、140 日目(計 10 回)、対照区では 0、7、70、140 日目(計 4 回)に供試魚 12 個体を取り上げ、体長、

体重を測定した後、 $^{137}\text{Cs}$  濃度と CN 比の測定を行った。 $^{137}\text{Cs}$  濃度は、供試魚から肝臓、筋肉、残渣(筋肉、内蔵以外の部位)を採取し、得られた試料を部位ごとにまとめてゲルマニウム半導体検出器を用いて測定した。CN 比は、供試魚に給餌した飼料のほか、取り上げた供試魚から肝臓、筋肉、鱗、骨の各部位ごとに採取し試料とした。得られた試料を凍結乾燥・脱脂処理した後、安定同位体比質量分析計を用いて測定した。

また、海水の  $^{137}\text{Cs}$  濃度は 0 日目に注水している海水、7、70、140 日目に各水槽の排水を採水

表 2 2020 年度飼育試験における飼育条件

項目	内容
飼育期間	ヒラメ：2020年6月30日～2021年2月18日(233日) マコガレイ：2020年5月25日～2021年2月18日(269日)
飼料切替日	2020年10月1日
飼育水槽	FRP0.5t円形水槽×6面
収容尾数	50個体/面
飼育水	自然海水掛け流し(期間中、水温は8.6～25.6°Cの範囲で変動)
給餌量	自動給餌器(DF-100)を使用し体重の0.5～2%の餌を給餌

表 4 2021 年度飼育試験における飼育条件

項目	内容
飼育期間	ヒラメ：2021年7月21日～2021年11月9日(112日) ホシガレイ：2021年7月20日～2022年2月16日(230日)
飼料切替日	2021年9月29日
飼育水槽	FRP1.2t円形水槽×4面
収容尾数	試験区(R1,R2)：120個体/面 対照区(C1,C2)：48個体/面
飼育水	自然海水掛け流し(期間中、水温は8.4～22.6°Cの範囲で変動)
給餌量	自動給餌器(DF-100,DF-160)を使用し体重の0.5～2.0%を給餌

して測定を行った。

## 結 果

### 1 2020 年度飼育試験に係る分析結果

2020 年度に実施した飼育試験では各区とも飼育期間の経過とともに供試魚の体重は増加したことから、供試魚の成長は順調であったと考えられた (図 1)。

沿岸域海底土含飼料給餌区では、飼料切替後、飼育日数の経過とともに両種の筋肉中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度が上昇し (図 2)、最大値はヒラメで 0.789 Bq/kg、マコガレイで 0.704 Bq/kg を示した。対照区と汽水域海底土含飼料給餌区では、両種ともに  $^{137}\text{Cs}$  濃度が 0.25 Bq/kg 以下であった。飼料に混入させた沿岸域海底土の  $^{137}\text{Cs}$  は消化器官を介して飼育個体の筋肉に僅かに移行するが、その程度は低いことを確認した。また、魚食性のヒラメでも濃度が上昇したことから海底土から筋肉への  $^{137}\text{Cs}$  の移行は底生生物食性魚類特有のものではないと考えられる。

CN 比の測定結果は、両魚種において各区とも大きな差異はなく、同様の値を示した (表 5)。

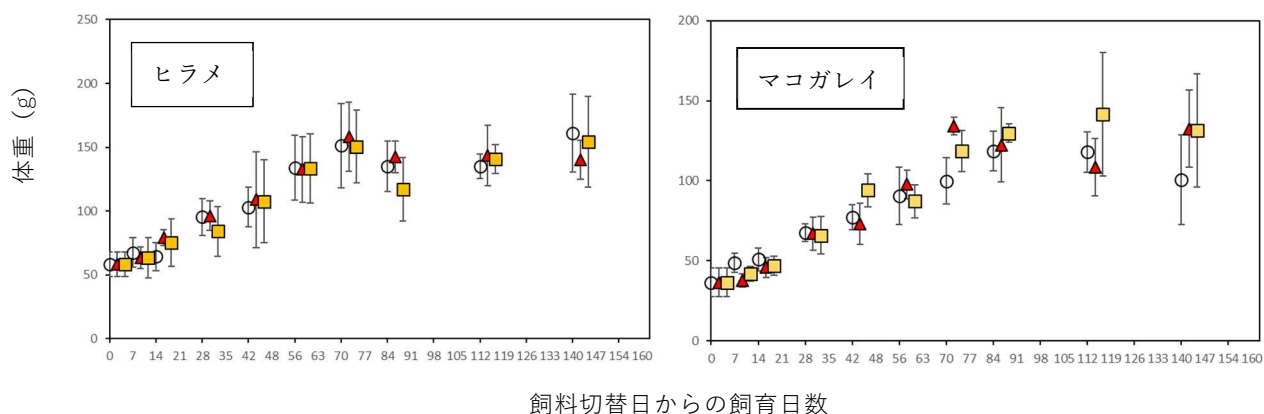


図 1 各試験区における平均体重と標準偏差の推移

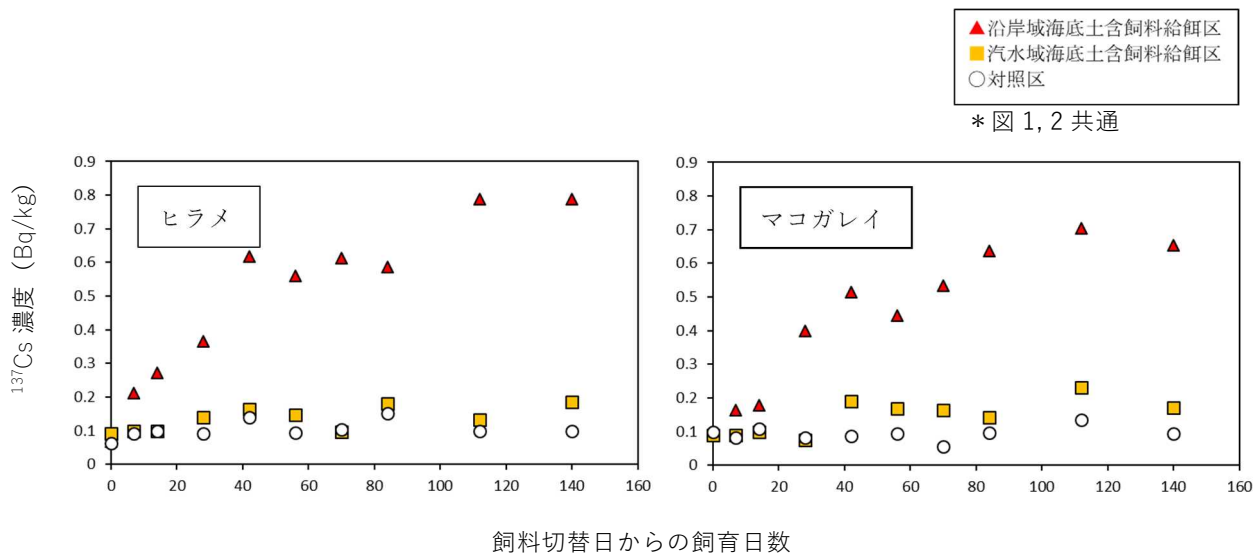


図 2 各試験区における  $^{137}\text{Cs}$  濃度の推移

表 5 CN 比の測定結果

	飼料(切替前)		飼料(切替後)		ヒラメ		マコガレイ	
	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)*	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)*	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)*	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)*
試験区(沿岸域海底土含飼料給餌区)	〃	〃	10.9	-20.2	8.68~12.0	-22.0~-19.9	10.5~12.7	-20.6~-19.1
試験区(汽水域海底土含飼料給餌区)	〃	〃	10.7	-20.3	8.73~12.0	-22.1~-19.8	10.3~12.8	-20.8~-19.2
対照区(市販配合飼料給餌区)	12.8	-18.6	12.8	-18.6	8.93~11.7	-21.8~-18.8	10.3~13.1	-21.0~-18.2

\*最小値~最大値

## 2 2021 年度飼育試験に係る飼育結果

ヒラメについては、試験区(R1)で2021年11月9日に全個体がへい死したため112日間で試験を終了し84個体を検体とした。対照区(C1)についても試験区に合わせ、112日間で試験終了とし、48個体を検体とした。

ホシガレイについては試験区(R2)、対照区(C2)ともに計画どおり2022年2月16日まで230日間の飼育を行い、試験区(R2)は120個体、対照区(C2)は48個体を検体とした。

今後、各分析試料の $^{137}\text{Cs}$ 濃度とCN比の分析を引き続き行い、飼育試験結果の解析を行う予定である。

**結果の発表等** 放射線関連支援技術情報「海底土の $^{137}\text{Cs}$ が消化器官を介して魚類筋肉へ及ぼす影響」

**登録データ** 21-03-004 「放射性物質移行排出試験」(10-69-2021)