

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～2022年

天野洋典・渡部 翔・榎本昌宏

目 的

福島県沿岸の魚介類の放射性セシウム (^{137}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、2022年度に実施した福島県沿岸域の対象5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

(1) 生物学的情報の収集

2022年4月～2023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5魚種(クロソイ、ヒラメ、マダラ、マコガレイ、シロメバル)、その他魚種1種(キツネメバル)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。

(2) 放射性セシウム濃度分析

2021年10月～2023年1月に採集された対象5魚種及びその他魚種1種の412試料について、 ^{137}Cs 濃度分析を行った。 ^{137}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。

(3) 放射性ストロンチウム濃度分析

2019年10月～2022年7月に採集されたクロソイ、シロメバル、ヒラメ、スズキの24試料について、放射性Sr (^{90}Sr)濃度分析を行った。 ^{90}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、 β 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。

(4) 安定同位体比分析

^{137}Cs 濃度の分析を完了した試料のうち、2020年～2022年に採集された対象2魚種(クロソイ、シロメバル)240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 福島県沿岸におけるヒラメのトリチウム濃度について

2020年3月～4月に福島県沿岸域で採集されたヒラメ(5個体)を供試魚とし(図1)、筋肉部位の自由水型トリチウム(生物体内の体液・細胞水などに含まれるトリチウム水:以下、TFWT)及び有機結合型トリチウム(生物体内の有機物に結合しているトリチウム:以下、OBT)濃度の分析を行った。また、2020年2月の表層海水(5検体)のトリチウム濃度も測定した。ヒラメ及び海水のトリチウム濃度分析は、放射能測定シリーズ2「トリチウム分析法」(文部科学省2002年改訂)に従い行った。また、解析は、東京電力ホールディングス株式会社(以下、TEPCO)が公表

しているデータ（T-S8：熊川沖合 4km 付近）も加えて行った。

3 固相抽出法による海産魚類の放射性ストロンチウム分析について

2022 年 3 月に福島県沿岸で採取したクロソイ 2 個体を供試魚とし、放射能測定法シリーズ 2 「放射性ストロンチウム分析法」（文部科学省 2003 年改訂；以下、従来法）と固相抽出法を用いて ^{90}Sr 濃度を分析した。供試魚は、魚体全体を灰化した後、灰試料を生試料 1kg 相当量にそれぞれ分取し、各分析に供した。固相抽出法は檜山ら（2019, 2021）の手法を参考とし、図 2 に示した実験手順で行った。

4 福島県沿岸域におけるババガレイの ^{137}Cs 濃度と炭素・窒素安定同位体比について

2018 年 4～12 月に福島県沿岸域で採取されたババガレイ 107 個体を供試魚とし、 ^{137}Cs 濃度と CN 比の分析を行った。 ^{137}Cs 濃度分析では、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。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。便宜的にサンプルを採集水深 <100 m、100～200 m、300 m の 3 グループに分けて統計解析を行った。

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

（1）生物学的情報の収集

生物学的情報の収集は、クロソイ 169 個体、シロメバル 71 個体、ヒラメ 90 個体、マコガレイ 61 個体、マダラ 15 個体、その他魚種 1 種 42 個体について行い、全長等の測定を行った。また、耳石による年齢査定は対象 1 魚種（クロソイ）121 試料の査定が終了した（表 1）。

（2）放射性セシウム濃度分析

^{137}Cs 濃度は対象 5 魚種及びその他魚種 1 種で 0.09～2.23 Bq/kg であった（表 2）。各魚種の ^{137}Cs 濃度と生物学的情報等をデータベースにまとめた。

（3）放射性ストロンチウム濃度分析

^{90}Sr 濃度は 4 魚種で 0.006～0.275 Bq/kg を示した（表 3）。各魚種の ^{90}Sr 濃度と生物学的情報等をデータベースにまとめた。

（4）安定同位体比分析

CN 比は対象 2 種で、 $\delta^{15}\text{N}$ が 12.2～15.1 ‰、 $\delta^{13}\text{C}$ が -31.0～-15.0 ‰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 福島県沿岸におけるヒラメのトリチウム濃度について

ヒラメの TFWT 濃度は 0.063～0.087 Bq/L となり、海水のトリチウム濃度と同等の濃度レベルであった（図 3）。TEPCO が公表している 2014～2022 年に採取されたヒラメの TFWT 濃度と海水のトリチウム濃度についても、本研究と同程度の濃度であった。また、ヒラメの OBT 濃度は本研究及び TEPCO データともに、全検体で検出下限値（0.22～0.44 Bq/L）未満となった（図 3）。さらに、ヒラメの ^{137}Cs 濃度と TFWT 濃度との間に有意な相関関係は認められず（図 4）、 ^{137}Cs 濃度が比較的高い個体であっても TFWT 濃度が高いわけではないことが示唆された。

3 固相抽出法による海産魚類の放射性ストロンチウム分析について

固相抽出法におけるクロソイ 2 検体のイットリウム（Y）担体回収率は、それぞれ 85、64% となった（表 5）。また、固相抽出法による ^{90}Sr 濃度は、それぞれ 0.0075、0.0826 Bq/kg-wet とな

り、従来法による測定値との比較のため濃度比を求めたところ、0.79、1.20 となった（表 5）。
 檜山ら（2019, 2021）が報告している濃度比は 0.75～1.15 であり、本研究の結果と同程度であることを確認した。固相抽出法における検出下限値は 2 検体ともに 0.003 Bq/kg-wet となり、従来法で規定されている灰試料の分析目標レベル（0.02 Bq/kg-wet）を下回る値となった。

4 福島県沿岸域におけるババガレイの ^{137}Cs 濃度と炭素・窒素安定同位体比について

各採集水深帯におけるババガレイの ^{137}Cs 濃度と $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ は、採集水深帯でまとめたグループ間（<100m, 100～200m, 300m の 3 グループ）で有意な差がみられ（図 5）、採集水深帯ごとに特徴がみられることが明らかになった。

表 1 年齢査定 of 測定結果

魚種	個体数(n)	全長(mm)	年齢
クロソイ	121(オス;50個体、メス71個体)	283～570	2～14歳

表 2 ^{137}Cs 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	179(オス;80個体、メス99個体)	305～540	0.116～2.23
シロメバル	83(オス;42個体、メス41個体)	192～315	0.293～2.2
ヒラメ	42(オス;17個体、メス25個体)	343～795	0.180～1.04
マコガレイ	44(オス;23個体、メス21個体)	175～469	0.366～2.01
マダラ	9(オス;1個体、メス8個体)	426～681	0.09～0.548
キツネメバル	55(オス;29個体、メス26個体)	223～457	0.131～2.15

表 3 ^{90}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	15(オス;8個体、メス7個体)	400～576	0.007～0.275
シロメバル	1(性別不明)	280	0.071
ヒラメ	5(オス;2個体、メス3個体)	450～750	0.006～0.025
スズキ	3(オス;1個体、メス2個体)	410～440	0.01～0.15

表 4 CN 比の分析結果

魚種	分析個体数(n)	全長(mm)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
クロソイ	140(オス;65個体、メス;75個体)	305～524	12.2～15.1	-31 ～ -15.0
シロメバル	100(オス;52個体、メス;48個体)	201～315	12.2～14.8	-25 ～ -15.9

表 5 ^{90}Sr 濃度分析における従来法と固相抽出法の測定結果

試料	従来法		固相抽出法				濃度比 (固相抽出法/ 従来法)
	^{90}Sr 濃度 (Bq/kg-wet)	検出下限値	灰試料重量 (生試料1kg相当量: g)	Y担体回収率* (%)	^{90}Sr 濃度 (Bq/kg-wet)	検出下限値	
クロソイ①	0.0095	0.004	47.6	85	0.0075	0.003	0.79
クロソイ②	0.0690	0.004	50.8	64	0.0826	0.003	1.20

*回収率=DGALレジンから溶出した ^{90}Y 溶出溶液のY量(g)/Y担体添加量(g)

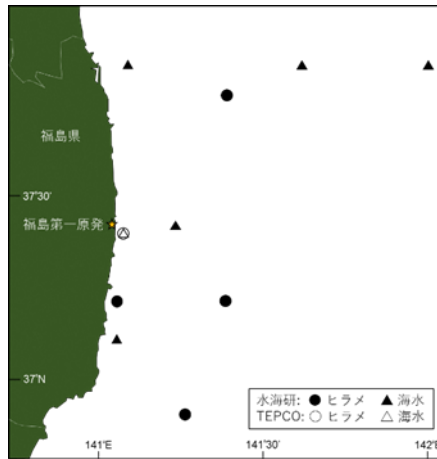


図 1 トリチウム分析に供したヒラメと海水の採取地点

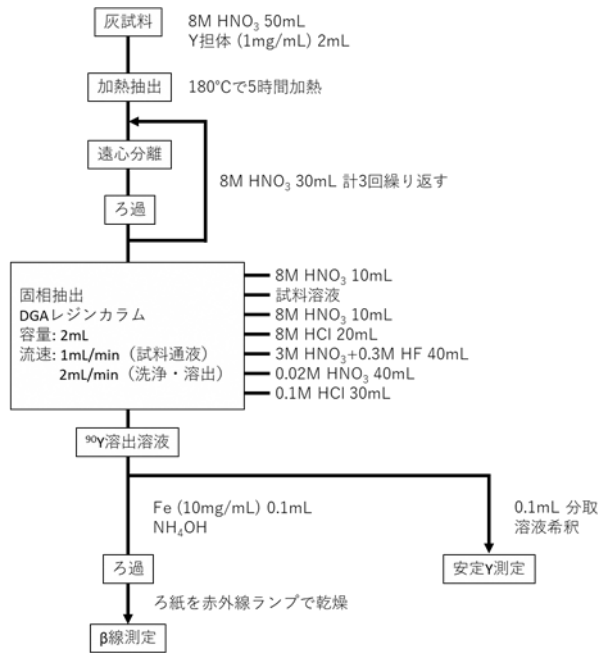


図 2 ^{90}Sr 濃度分析における固相抽出法の実験フロー
* 檜山ら (2019, 2021) から一部

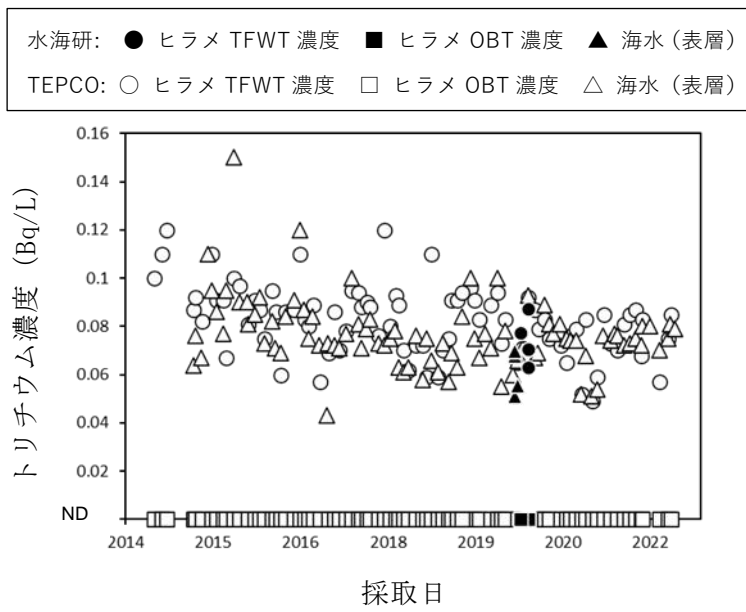


図3 ヒラメのTFWT・OBT濃度と海水のトリチウム濃度の推移

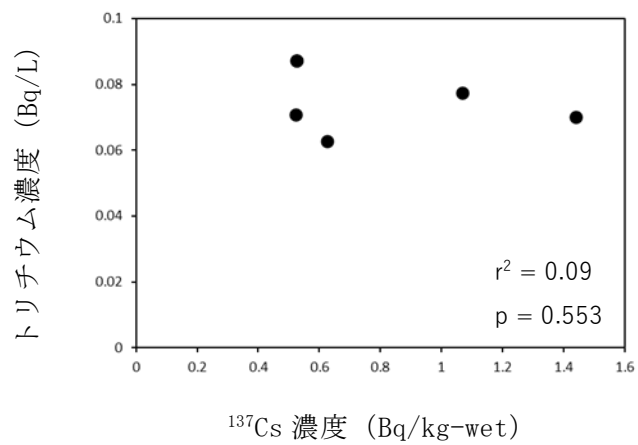


図4 ヒラメの ^{137}Cs 濃度とTFWT濃度の関係

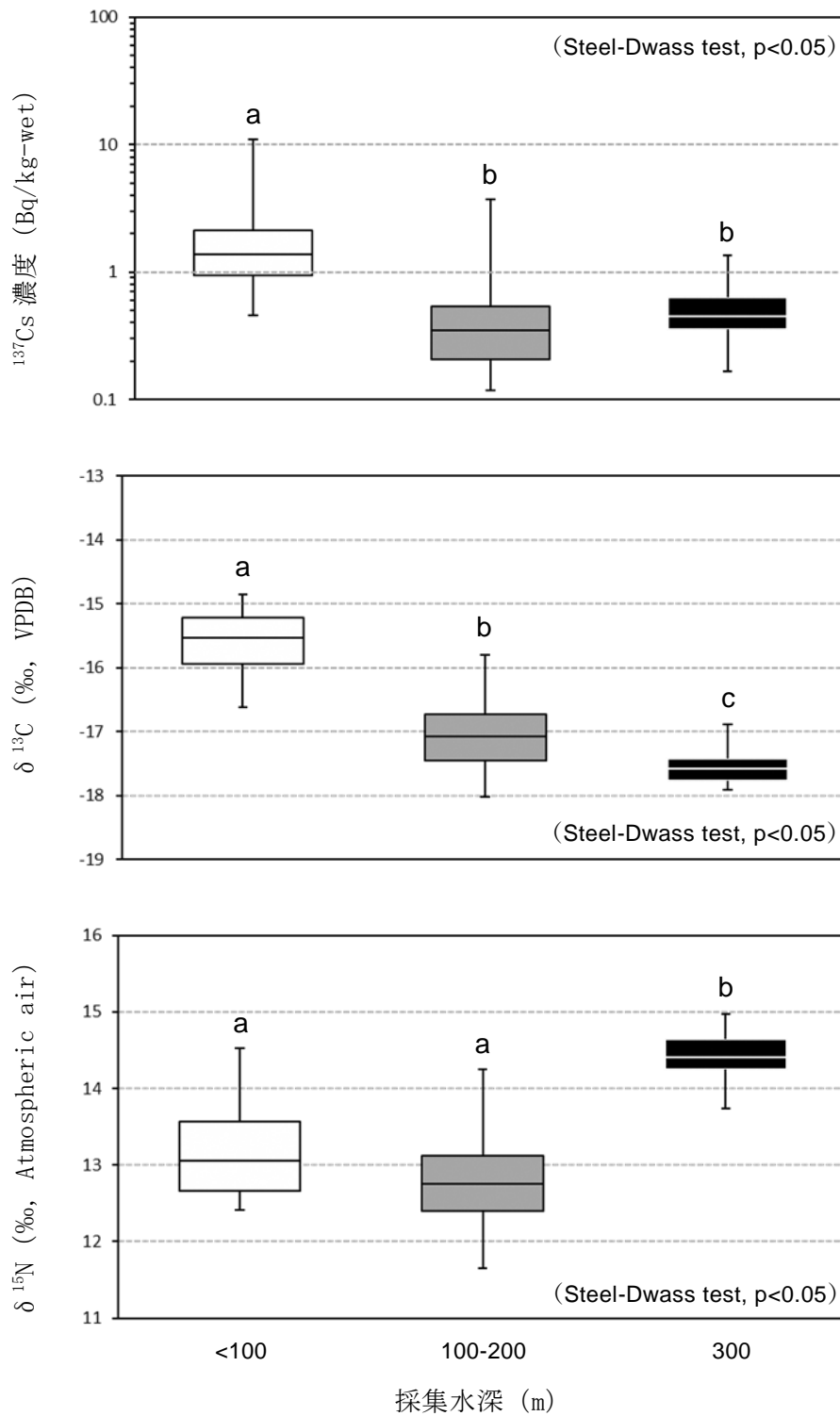


図5 各採集水深帯におけるババガレイの ^{137}Cs 濃度、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$
 *異なるアルファベットは有意差を表す

結果の発表等 放射線関連支援技術情報「福島県沿岸におけるヒラメのトリチウム濃度」、「固相抽出法による海産魚類の放射性ストロンチウム分析」、水産海洋学会創立60周年記念大会「福島県沿岸域におけるババガレイの ^{137}Cs 濃度と炭素・窒素安定同位体比」

登録データ 22-03-001 「生態特性に応じた蓄積過程の解明」 (10-69-1822)

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 2011～2022 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 2022 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 2022 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 7 月と 1 月の年 2 回検体を採取した（図 2、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-dry 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。

*福島県水産資源研究所

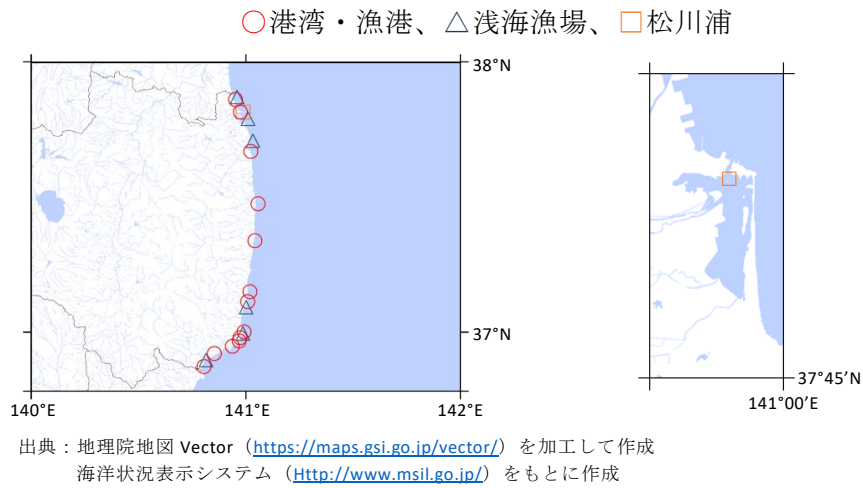


図 1 海水の緊急時環境放射線モニタリング地点図（左：福島県全体、右：松川浦）

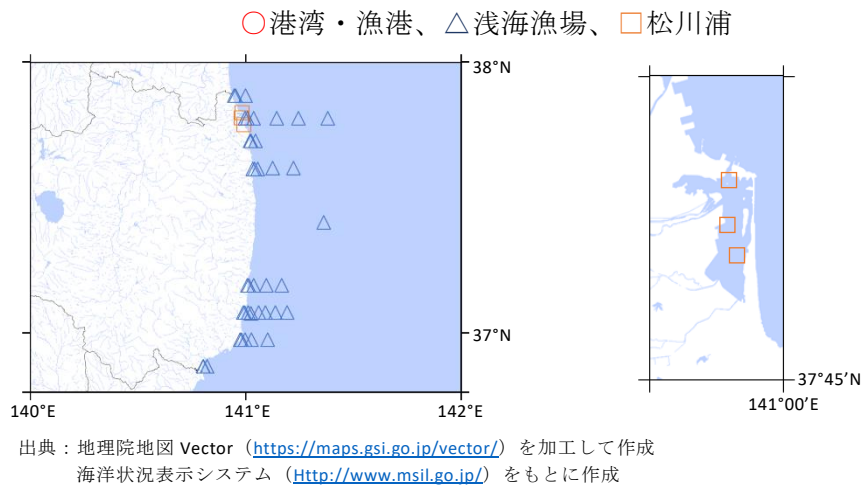


図 2 海底土の緊急時環境放射線モニタリング地点図（左：福島県全体、右：松川浦）

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 3、表 2）。採取した検体は、0.45 μm 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}Cs 及び ^{137}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 3、表 2）。採取した検体は、0.45 μm 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、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}Cs 及び ^{137}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、水産機構）との共同研究として実施している。

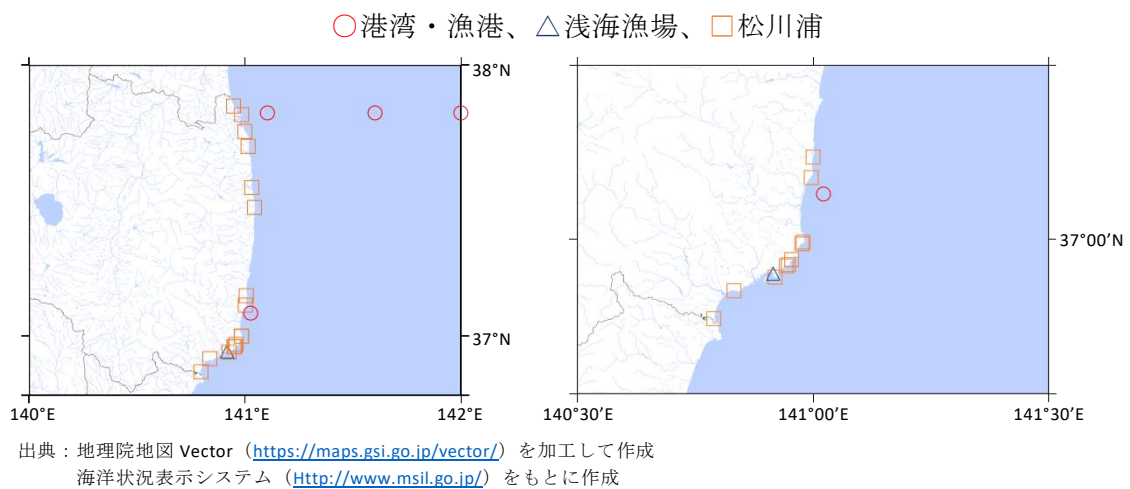


図 3 共同研究における海水検体採取地点図（左：福島県全体、右：いわき市）

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	水産機構
	原釜	37.826	140.981	表層	20	年2回	水産機構
	磯部	37.763	140.997	表層	20	年2回	水産機構
	鹿島	37.706	141.011	表層	20	年2回	水産機構
	小高	37.552	141.028	表層	20	年2回	水産機構
	請戸	37.478	141.041	表層	20	年2回	水産機構
	久之浜	37.146	141.003	表層	20	年2回	水産機構
	四倉	37.110	140.999	表層	20	年2回	水産機構
	薄磯	36.996	140.982	表層	20	年2回	水産機構
	豊間	36.993	140.979	表層	20	年2回	水産機構
	江名	36.965	140.957	表層	20	年2回	水産機構
	中之作	36.956	140.950	表層	20	年2回	水産機構
	永崎	36.954	140.946	表層	20	年2回	水産機構
	下神白	36.934	140.922	表層	20	年2回	水産機構
	小浜	36.910	140.835	表層	20	年2回	水産機構
	勿来	36.861	140.792	表層	20	年2回	水産機構
いわき市 小名浜地先		36.933	140.919		20	毎週	水産機構

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 4)。2022年度は4月に1F沖の2定線で調査した (図 5)。

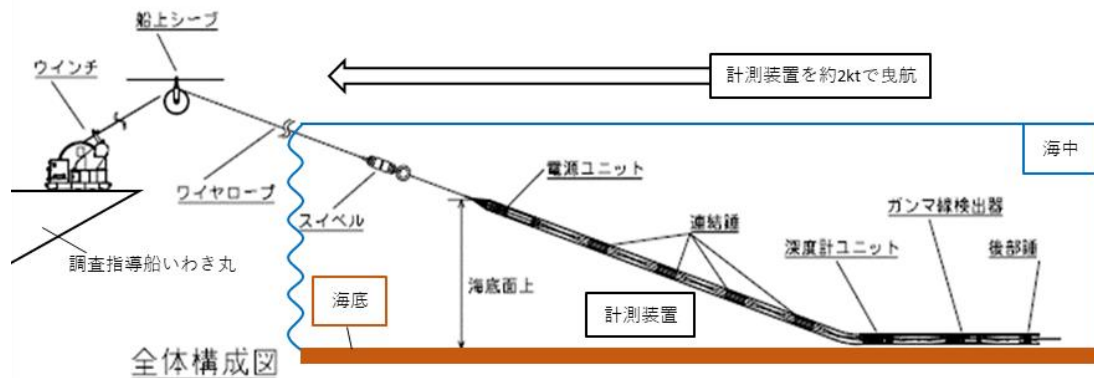
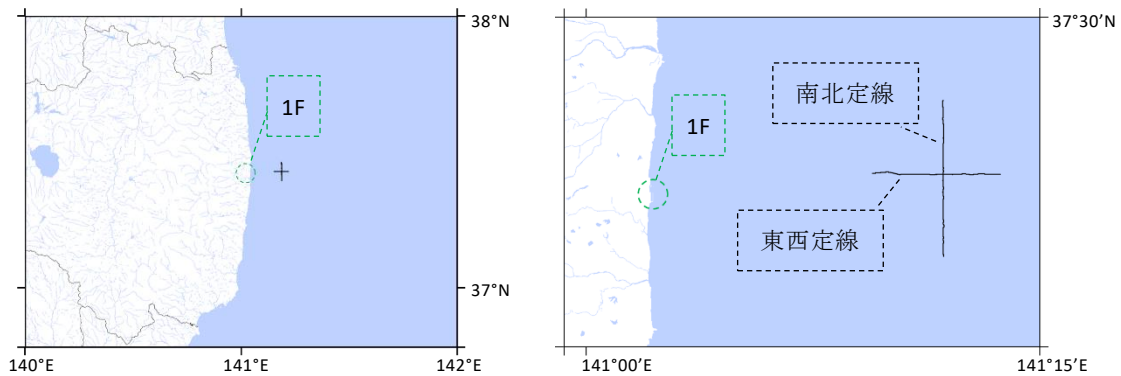


図4 RESQ 調査方法



出典：地理院地図 Vector (<https://maps.gsi.go.jp/vector/>) を加工して作成
 海洋状況表示システム (<http://www.msil.go.jp/>) をもとに作成

図5 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6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。2022年度は、経時的な放射性 Cs 濃度の変動について検討するため例年実施している 1F 沖水深 70m 地点を中心とした 9 地点において 4 月に調査するとともに、福島県沿岸における南北方向での放射性 Cs 濃度の変動及び河川・汽水域での放射性 Cs 濃度との比較を行うため新たに磯部沖水深 30m 地点を中心とした 10 地点において 7 月に調査した (図7、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}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}Cs 濃度に換算した。

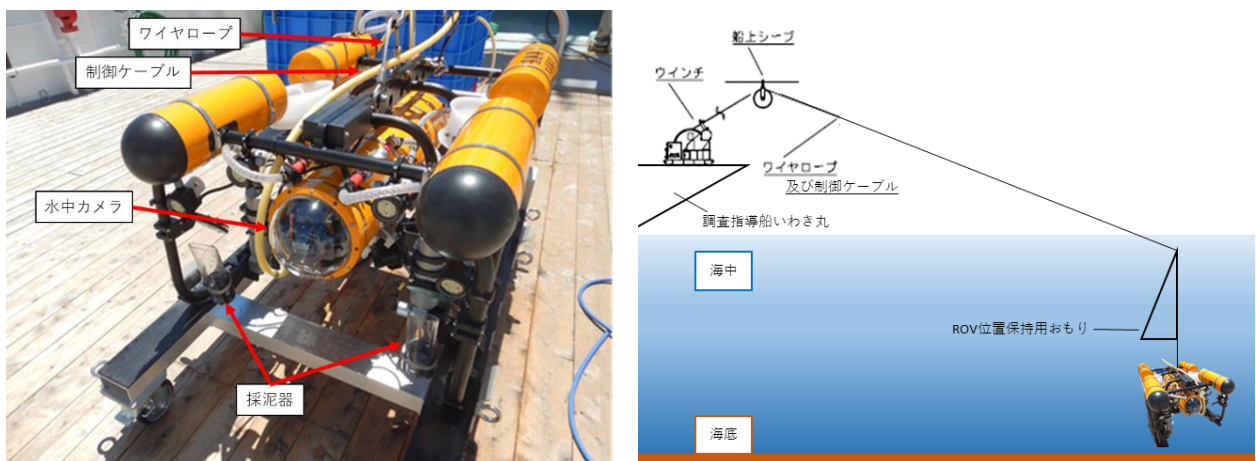
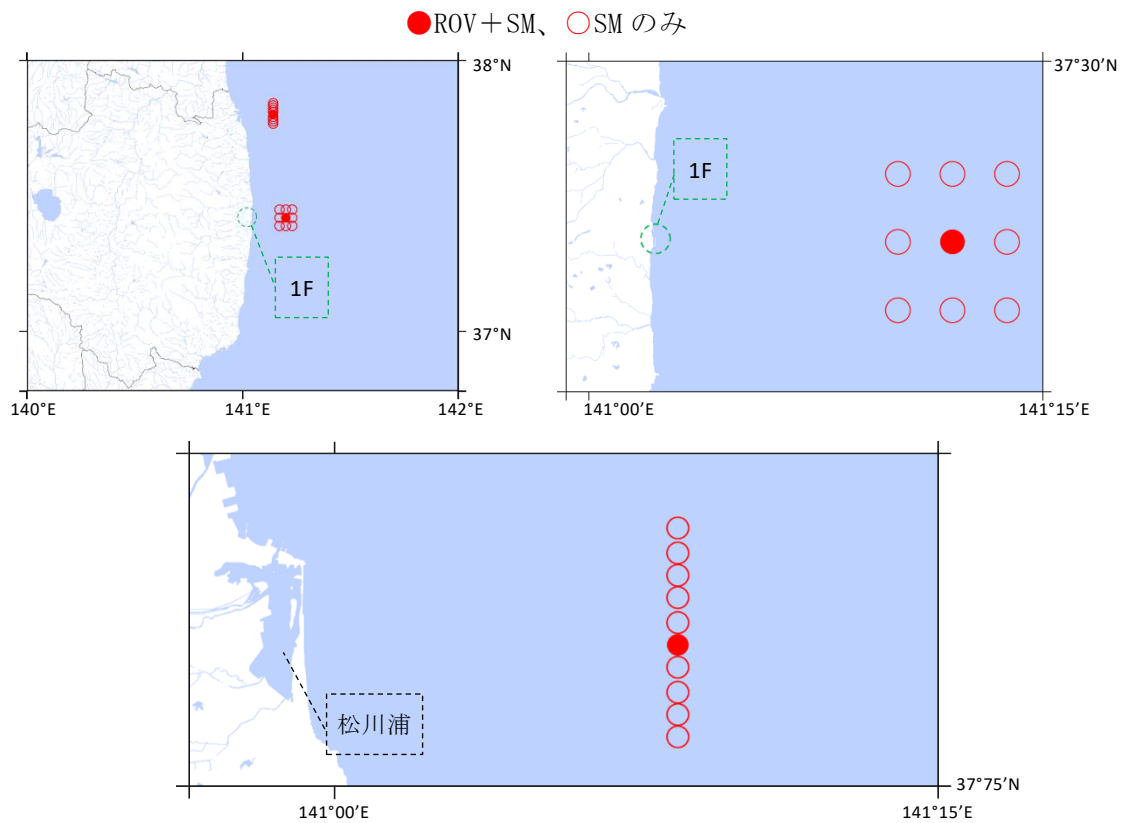


図6 ROV 概要図 (左：ROV 写真、右：ROV 調査方法)



出典：地理院地図 Vector (<https://maps.gsi.go.jp/vector/>) を加工して作成
 海洋状況表示システム (<http://www.msil.go.jp/>) をもとに作成

図7 ROV 調査地点図（左上：福島県沖地図、右上：1F 沖地図、下：磯部沖地図）

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	
磯部沖	37.842	141.142	30	SM	1
	37.833	141.142	30	SM	1
	37.825	141.142	30	SM	1
	37.817	141.142	30	SM	1
	37.808	141.142	30	SM	1
	37.800	141.142	30	ROV	6
				SM	3
	37.792	141.142	30	SM	1
	37.783	141.142	30	SM	1
	37.775	141.142	30	SM	1
	37.767	141.142	40	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 $^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$ 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、2022 年 4 月～2023 年 3 月においてもすべての地点で ND であった（図 8）。

海底土の $^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$ 濃度は、2022 年 4 月～2023 年 3 月においては ND～157Bq/kg-dry であり（表 4、図 9）、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、2022 年 4 月～2023 年 3 月においても同様の傾向がみられた（図 10）。

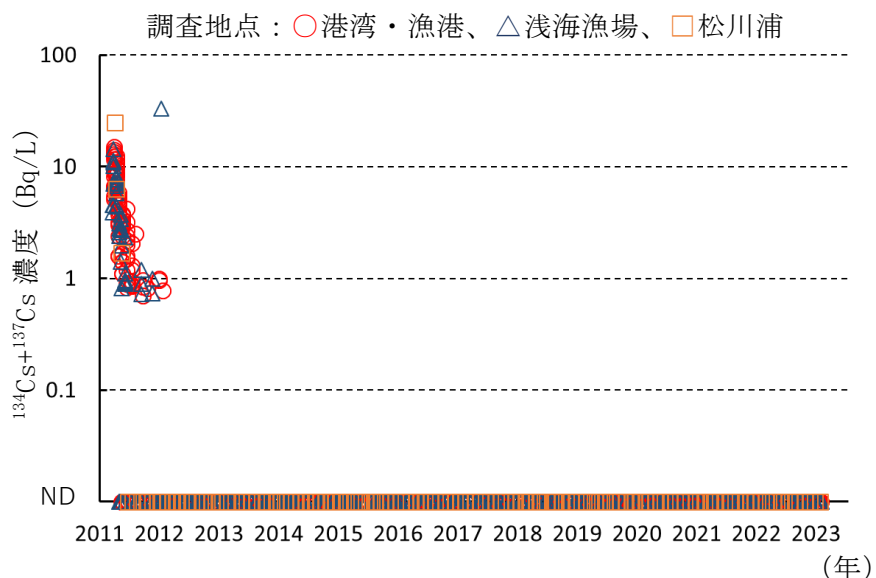


図8 海水の $^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$ 濃度の推移 (緊急時環境放射線モニタリング)

表4 2022年4月～2023年3月の海底土中の $^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$ 濃度 (緊急時環境放射線モニタリング)

海域	検体数		$^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$ 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	45	ND	110	12.0
浅海漁場 (いわき海域)	212	0	6.41	157	30.7
松川浦	36	0	2.86	120	57.2

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

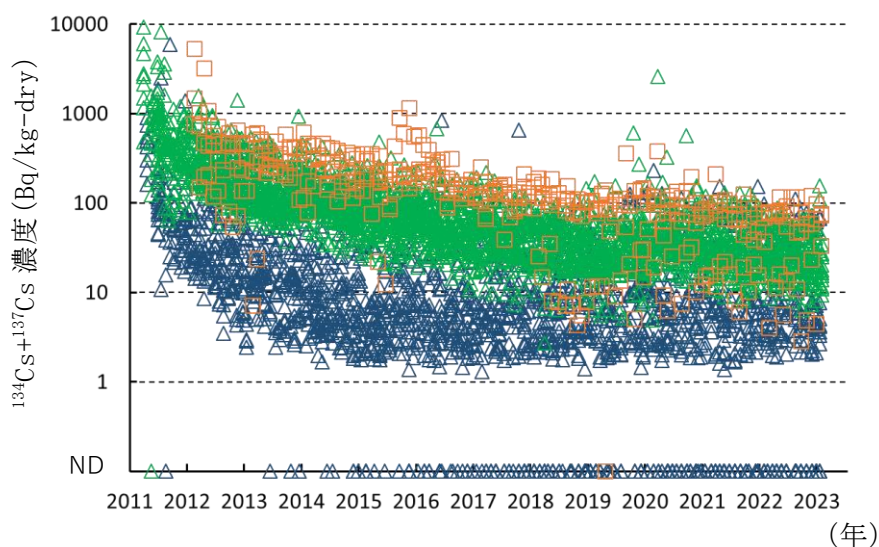


図9 海底土の $^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$ 濃度の推移 (緊急時環境放射線モニタリング)

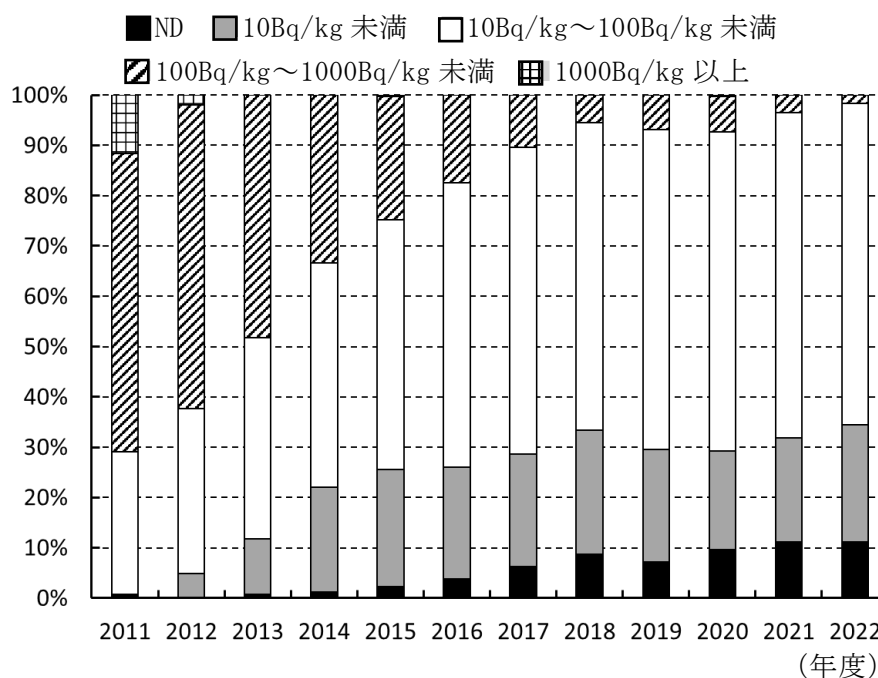


図10 海底土の¹³⁴Cs+¹³⁷Cs濃度の割合 (緊急時環境放射線モニタリング)

(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2022年4月~8月及び2022年10月~2023年3月までに44検体を採取した。

極沿岸域16地点において2022年9月、2023年3月に32検体を採取した。

いわき市小名浜地先1地点において2022年4月4日~2023年3月27日までに52検体を採取した。

なお検体については、各共同研究者により放射性Cs濃度を順次測定中である。

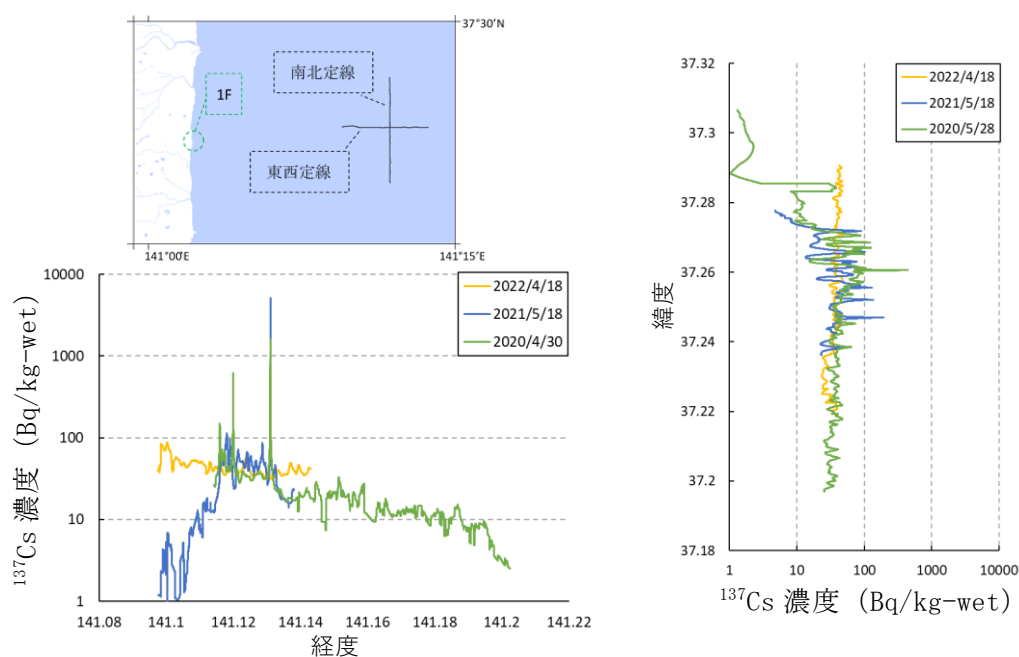
2 海底土中の放射性Csの局所的分布メカニズムの解明

(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、2021年度までの調査では曳航区間の一部で100Bq/kg-wetを超える¹³⁷Cs濃度が検出されていたが、2022年4月においては100Bq/kg-wetを超える局所的に高い¹³⁷Cs濃度は確認されなかった(表5、図11)。

表5 RESQ 調査における ^{137}Cs 濃度の推移

調査定線	調査年月日	北緯(°)	東経(°)	^{137}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
2022/4/18	37.219 ~ 37.291	141.121	23.4	48.8	36.9	
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
	2022/4/18	37.258	141.097 ~ 141.143	31.5	88.0	41.1



出典：地理院地図 Vector (<https://maps.gsi.go.jp/vector/>) を加工して作成
 海洋状況表示システム (<http://www.msil.go.jp/>) をもとに作成

図11 RESQ 調査における3ヶ年での ^{137}Cs 濃度
 (左上：1F 沖地図、左下：東西定線、右：南北定線)

(2) 水中テレビロボットカメラ (ROV) を用いた調査

1F 沖で 2022 年 4 月に採取した海底土の ^{137}Cs 濃度は、ROV で 7.43~63.0 Bq/kg-dry、SM で 2.11~85.0 Bq/kg-dry であった (表 6)。

磯部沖で 2022 年 7 月に採取した海底土の ^{137}Cs 濃度は、ROV で 0.329~0.781 Bq/kg-dry、SM で 0.403~3.69 Bq/kg-dry であった (表 6)。

ROV による海底観察結果の一例を図 12 に示す。

表 6 ROV 及び SM で採取した海底土の ^{137}Cs 濃度 (2022 年度)

海域	調査月日	調査内容	採取 検体数	^{137}Cs 濃度 (Bq/kg-dry)		
				最小値	最大値	平均値
1F沖	4月25日	ROV	6	7.43	63.0	22.8
		SM	9	2.11	85.0	34.1
磯部沖	7月21日	ROV	6	0.329	0.781	0.536
		SM	12	0.403	3.69	1.04

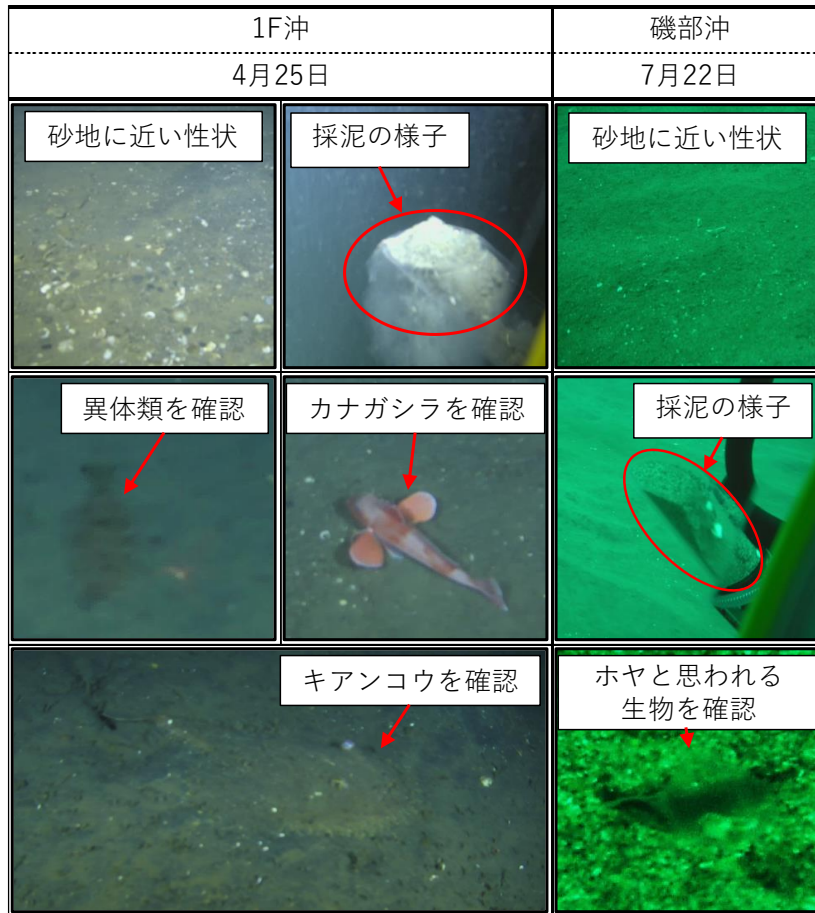


図 12 ROV による海底土性状の観察

結果の発表等 なし

登録データ 22-03-002「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 2022 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。環境中の年間での放射性 Cs 濃度変動を調査するため、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 5 群 13 地点において（図 1、表 1）、2022 年 6 月、8 月、10 月及び 2023 年 2 月に、それぞれ環境水及び堆積物を採取した。検体量は環境水においては 40L、堆積物においては 200g 以上とし、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ブミス-マッキンタイヤ採泥器を用いて検体を採取した。また、潮汐等の影響による日間での放射性 Cs 濃度変動を調査するため、松川浦 1 地点、松川浦湾口 1 地点、流入河川 1 地点及び河口 1 地点の 4 群 4 地点において（図 1、表 1）、2022 年 8 月調査と同日の 14 時から 4 時間おきに 6 回（24 時間）、連続的に環境水を採取した。検体量は 40L とし、日間調査の 4 地点では岸壁から採水バケツ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（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及び懸濁態の ^{137}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 100g 程度を移し、ゲルマニウム半導体検出器により ^{137}Cs 濃度を測定した。堆積物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 ^{137}Cs 濃度に換算した。

2 表面マイクロ層（SML）の放射性 Cs 動態解明

松川浦における環境水中の放射性 Cs 動態を解明する端緒とするため、同地点鉛直方向での環境水中の放射性 Cs 濃度変動について検討した。調査地点は松川浦 1 地点とし（図 2）、2022 年 10 月に 1 回環境水及び堆積物を採取した。調査は表面マイクロ層（以下、SML）と表現される水面の厚さ 1mm 層の環境水を図 3 に示す SML 採水器を用いて約 360 分かけて採取するとともに、SML

*福島県水産資源研究所 **福島県東京事務所

検体採取の前後で同地点水深約 0.5m の環境水（以下、直下水）を横型採水器を用いて 40L 採取し、すべての環境水検体採取が完了したのちに同地点の堆積物を EKMAN-BERGE 採泥器を用いて 200g 以上採取することで行った。また SML 検体については採取開始時、採取開始から 150 分経過時及び採取終了時に各 100ml を塩分濃度測定に、採取開始時及び採取終了時に各 300ml をクロロフィル a 濃度測定に供するため別容器に取り分け、直下水については採取時に各 100ml を塩分濃度測定に、各 300ml をクロロフィル a 濃度測定に供するため別容器に取り分けた。

採取した検体のうち環境水は、0.45 μm 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 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 ^{137}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 100g 程度を移し、ゲルマニウム半導体検出器により ^{137}Cs 濃度を測定した。堆積物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 ^{137}Cs 濃度に換算した。

加えて周辺環境情報を把握するため、SML 検体採取中に 30 分おきに SML 採水器周辺の風速を記録するとともに、検体採取の前後に直読式総合水質計（AAQ-RINKO）を用いて検体採取地点の表層から底層までの深度、水温、塩分濃度、pH 及び DO 等を測定した。

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 ^{137}Cs 濃度の年間推移を図 4 に示す。松川浦 4 地点では溶存態 ^{137}Cs 濃度は 3.54~17.2 mBq/L、懸濁態 ^{137}Cs 濃度は 0.204~15.8 mBq/L であり、松川浦湾口 1 地点では溶存態 ^{137}Cs 濃度は 4.38~9.35 mBq/L、懸濁態 ^{137}Cs 濃度は 0.240~2.34 mBq/L であり、流入河川 4 地点では溶存態 ^{137}Cs 濃度は 0.988~4.02 mBq/L、懸濁態 ^{137}Cs 濃度は 0.407~55.8 mBq/L であり、河口 3 地点では溶存態 ^{137}Cs 濃度は 4.39~25.1 mBq/L、懸濁態 ^{137}Cs 濃度は 1.12~122 mBq/L であり、外海 1 地点では溶存態 ^{137}Cs 濃度は 2.25~2.83 mBq/L、懸濁態 ^{137}Cs 濃度は検出下限値未満（ND）~0.777 mBq/L であった。溶存態 ^{137}Cs 濃度では年間で大きな変動はみられなかったが、懸濁態 ^{137}Cs 濃度では流入河川及び河口の一部で数十 Bq/L 程度の変動がみられた。また、環境水の溶存態及び懸濁態の ^{137}Cs 濃度の日間推移を図 5 に示す。松川浦 1 地点では溶存態 ^{137}Cs 濃度は 7.82~9.71 mBq/L、懸濁態 ^{137}Cs 濃度は 1.00~4.22 mBq/L であり、松川浦湾口 1 地点では溶存態 ^{137}Cs 濃度は 5.95~9.78 mBq/L、懸濁態 ^{137}Cs 濃度は検出下限値未満（ND）~6.37 mBq/L であり、流入河川 1 地点では溶存態 ^{137}Cs 濃度は 1.76~2.81 mBq/L、懸濁態 ^{137}Cs 濃度は 26.8~48.8 mBq/L であり、河口 1 地点では溶存態 ^{137}Cs 濃度は 11.1~14.0 mBq/L、懸濁態 ^{137}Cs 濃度は 3.97~43.7 mBq/L であった。溶存態 ^{137}Cs 濃度では日間を通して大きな変動はみられなかったが、懸濁態 ^{137}Cs 濃度では河口で数十 Bq/L 程度の変動がみられた。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}Cs 濃度の比較等を行う予定である。

堆積物の ^{137}Cs 濃度の年間推移を図 6 に示す。松川浦 4 地点では 6.74~113 Bq/kg-dry であり、松川浦湾口 1 地点では 121~458 Bq/kg-dry であり、流入河川 4 地点では 17.5~830 Bq/kg-dry であり、河口 3 地点では 23.5~173 Bq/kg-dry であり、外海 1 地点では 1.58~1.95 Bq/kg-dry であった。堆積物の各群の ^{137}Cs 濃度を図 7 に示す。流入河川において一部高い ^{137}Cs 濃度がみられたものの、流入河川から河口、松川浦にかけて ^{137}Cs 濃度に大きな変動はなく、松川浦湾口において比較的高い ^{137}Cs 濃度がみられたのち、外海にいたると ^{137}Cs 濃度は数 Bq/kg-dry 程度となっていた。

2 表面マイクロ層（SML）の放射性 Cs 動態解明

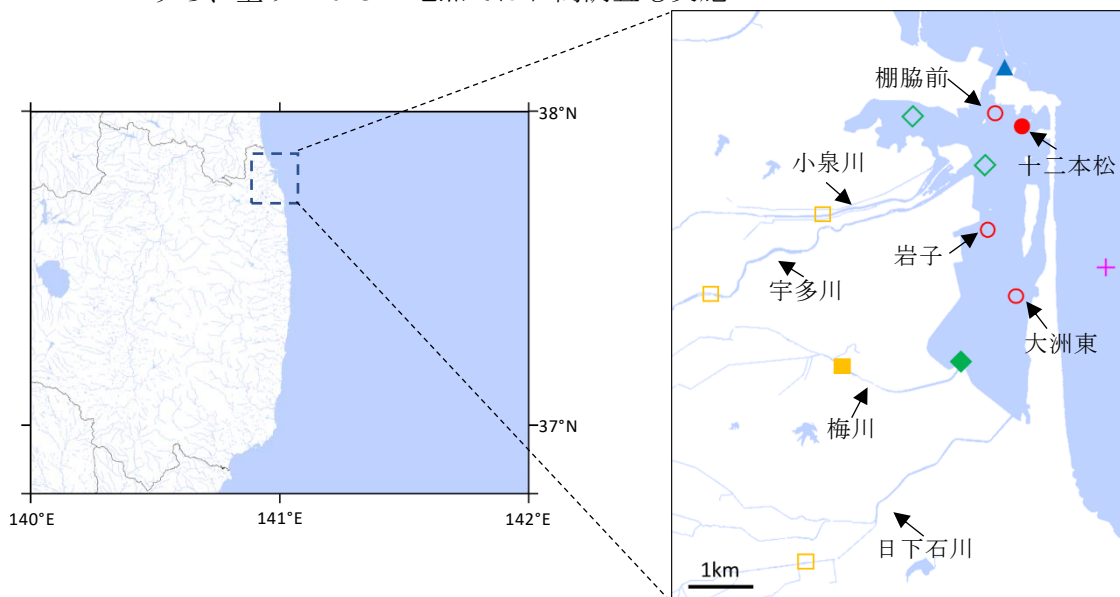
SML 検体は 365 分かけて 18.1L 採取された。SML 及び直下水の ^{137}Cs 濃度を図 8 に示す。SML では溶存態 ^{137}Cs 濃度は 11.6 mBq/L、懸濁態 ^{137}Cs 濃度は 25.6 mBq/L であり、直下水では溶存態 ^{137}Cs 濃度は 4.69~5.67 mBq/L、懸濁態 ^{137}Cs 濃度は 1.91~3.16 mBq/L であった。SML の ^{137}Cs 濃度は直下水よりも溶存態及び懸濁態ともに高い傾向がみられ、溶存態では 2.1~2.5 倍、懸濁態では 8.1~13.4 倍であった。また、SML の ^{137}Cs 濃度は懸濁態が溶存態より高く、直下水の ^{137}Cs 濃度は溶存態が懸濁態より高い傾向がみられた。SML の塩分濃度は 28.080~31.625 ‰、クロロフィル a 濃度は 10.021 $\mu\text{g/L}$ であり、直下水の塩分濃度は 27.924~31.488 ‰、クロロフィル a 濃度は 0.872~0.986 $\mu\text{g/L}$ であった。塩分濃度は SML-直下水間で変動はみられなかったが、SML のクロロフィル a 濃度は直下水よりも高い傾向がみられ、10.2~11.5 倍であった。なお、SML 検体採取終了時のクロロフィル a 濃度は欠測となっている。

堆積物の ^{137}Cs 濃度は 22.5 Bq/kg-dry であった。

SML 採水器周辺の風速データを図 9 に示す。9:05~14:53 まで 13 回測定し 0.1~1.8 m/s であった。

調査地点の表層から底層までの環境データを表 2 に示す。検体採取の前後では深度に変化はなく水深 0.7m であった。検体採取前の水温は 19.081~19.184 °C、塩分は 31.824~31.956 ‰、pH は 8.058~8.078、DO は 93.177~94.049 % であり、検体採取後の水温は 19.459~19.476 °C、塩分は 31.678~31.686 ‰、pH は 8.082~8.089、DO は 99.316~99.525 % であった。

調査地点：○松川浦、△松川浦湾口、□流入河川、◇河口、+ 外海
うち、塗りつぶしの地点では日間調査も実施

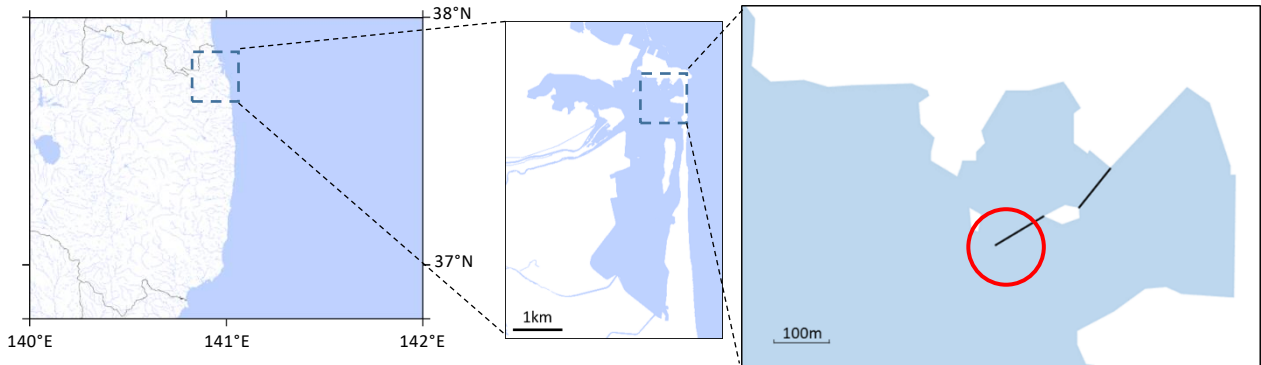


出典：地理院地図 Vector (<https://maps.gsi.go.jp/vector/>) を加工して作成
海洋状況表示システム (<http://www.msil.go.jp/>) をもとに作成

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		実施地点	月間調査			日間調査
		北緯 (°)	東経 (°)		検体採取方法			実施地点
					岸壁	かろうね	拓水	
松川浦	棚脇前	37.822	140.976	○		○		
	十二本松	37.820	140.981	○	○		○	
	岩子	37.805	140.975	○		○		
	大洲東	37.797	140.979	○		○		
松川浦湾口	新港	37.828	140.977	○		○	○	
流入河川	小泉川	37.808	140.927	○	○			
	宇多川	37.790	140.913	○	○			
	梅川	37.784	140.955	○	○		○	
	日下石川	37.759	140.943	○	○			
河口	小泉川河口	37.821	140.962	○		○		
	宇多川河口	37.813	140.974	○		○		
	梅川河口	37.787	140.970	○	○		○	
外海	磯部沖約0.8km	37.800	141.004	○			○	



出典：地理院地図 Vector (<https://maps.gsi.go.jp/vector/>) を加工して作成
 海洋状況表示システム (<http://www.msil.go.jp/>) をもとに作成

図 2 SML 環境水・直下水採取地点図 (左：福島県全体、中：松川浦、右：調査地点)

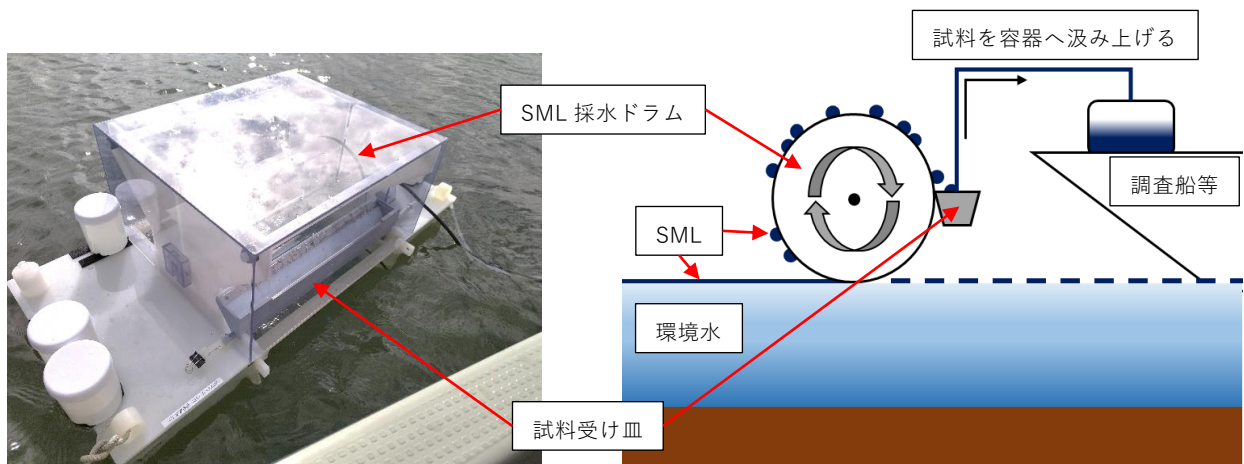


図 3 SML 採水器概要図 (左：SML 採水器写真、右：調査方法)

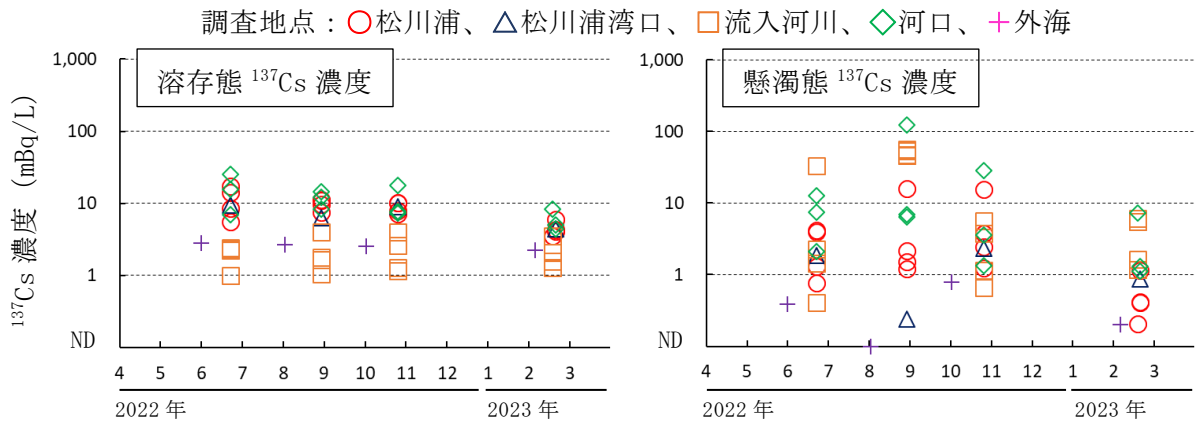


図4 環境水の ^{137}Cs 濃度の年間推移 (左：溶存態 ^{137}Cs 濃度、右：懸濁態 ^{137}Cs 濃度)

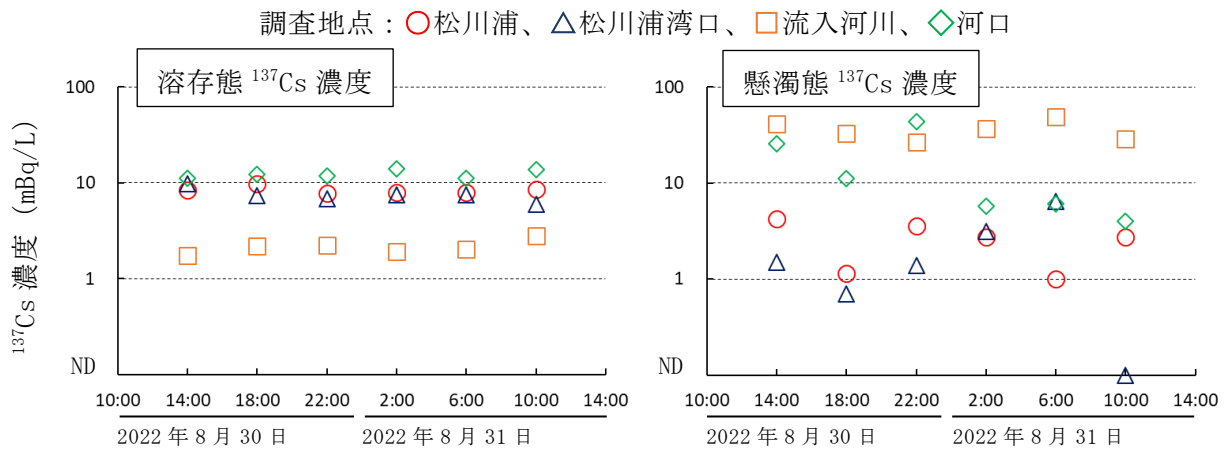


図5 環境水の ^{137}Cs 濃度の日間推移 (左：溶存態 ^{137}Cs 濃度、右：懸濁態 ^{137}Cs 濃度)

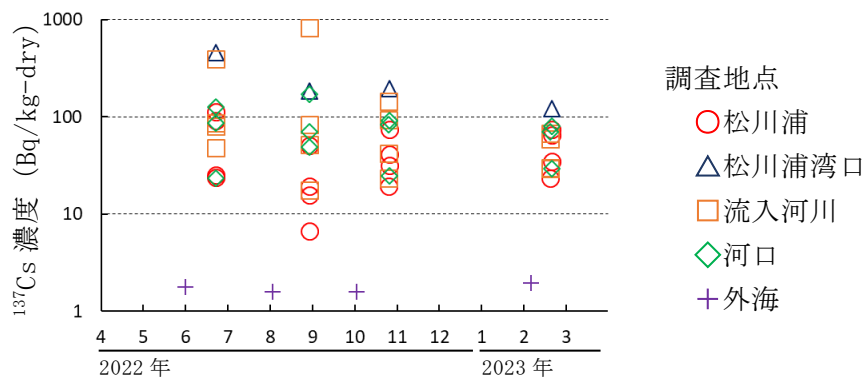


図6 堆積物の ^{137}Cs 濃度の年間推移

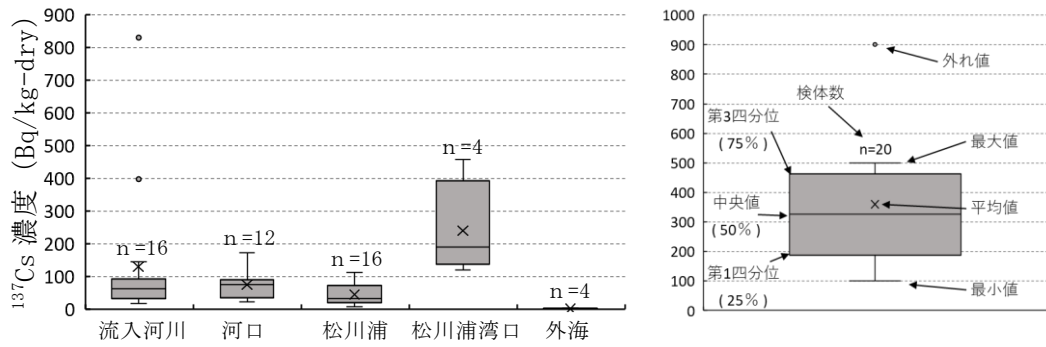


図7 堆積物の各群の¹³⁷Cs濃度（左：群別¹³⁷Cs濃度、右：図の説明）

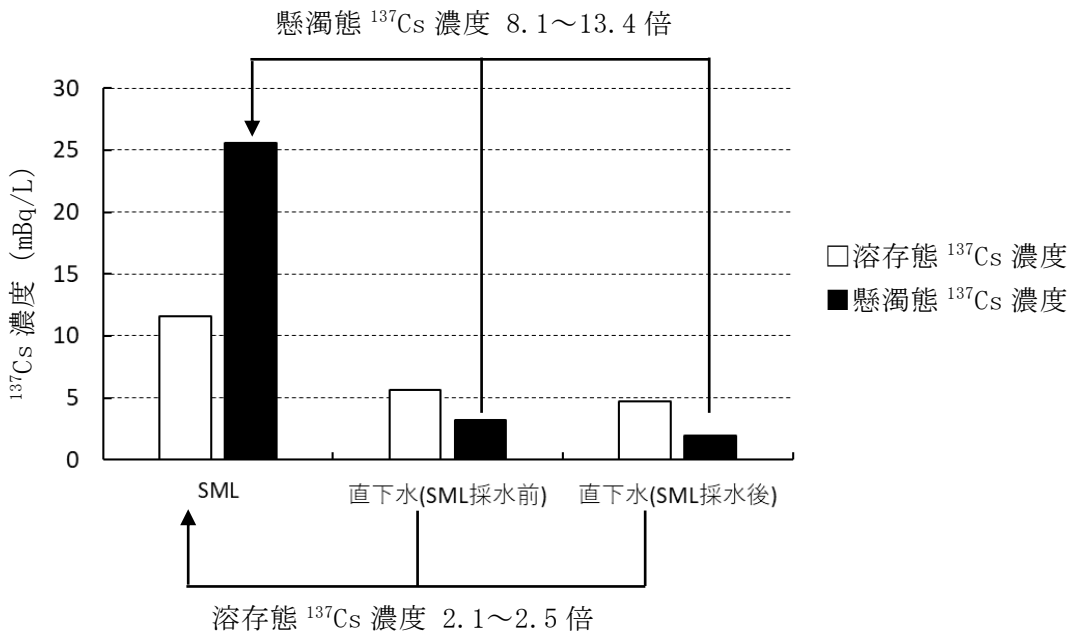


図8 SML及び直下水の¹³⁷Cs濃度

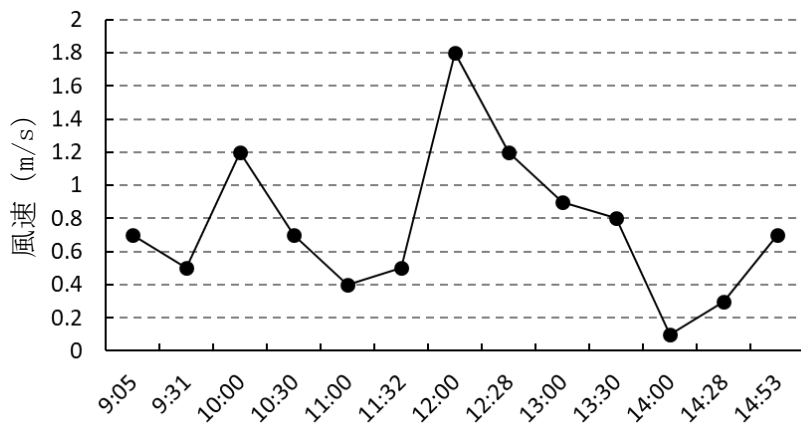


図9 SML採水時30分おきの風速情報

表 2 環境水検体採取前後の表層から底層までの環境情報

環境情報 取得時間	深度 (m)	水温 (°C)	塩分 (‰)	pH	DO (%)
8:22	0	19.126	31.824	8.078	93.486
	0.1	19.081	31.865	8.058	93.177
	0.2	19.107	31.888	8.062	93.295
	0.3	19.115	31.911	8.064	93.348
	0.4	19.145	31.929	8.067	93.502
	0.5	19.173	31.956	8.070	93.781
	0.6	19.177	31.954	8.076	93.838
	0.7	19.184	31.953	8.078	94.049
15:11	0	19.476	31.684	8.082	99.525
	0.1	19.462	31.683	8.083	99.386
	0.2	19.461	31.686	8.084	99.340
	0.3	19.459	31.684	8.084	99.316
	0.4	19.463	31.684	8.086	99.388
	0.5	19.463	31.684	8.087	99.364
	0.6	19.468	31.678	8.088	99.333
	0.7	19.467	31.681	8.089	99.512

結果の発表等 放射線関連支援技術情報「松川浦環境水中の SML 及び直下水の ^{137}Cs 濃度」
 登録データ 22-03-003「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」 (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}Cs 濃度と炭素・窒素安定同位体比の変化
 研究期間 2021年～2022年

榎本昌宏・天野洋典・渡部 翔

目 的

福島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}Cs) の動態把握を行う。

本報告では、体組織の ^{137}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}Cs 濃度と CN 比が異なる飼料を用いた 2021 年度飼育試験の測定結果と、放射性 Cs を含む飼育水からの取り込みについて実施した 2022 年度飼育試験について報告する。

方 法

1 2021 年度飼育試験

2021 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。試験期間は、ヒラメは 2021 年 7 月 21 日から 2022 年 11 月 9 日までの 112 日間、ホシガレイは 2021 年 7 月 20 日から 2022 年 2 月 16 日までの 210 日間であった。両魚種とも、2021 年 9 月 29 日に飼料の切替を行った。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}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}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。

飼育条件を表 2 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。飼育海水は当センターで使用している自然海水の掛け流しとした。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}Cs 濃度と CN 比の測定を行った。 ^{137}Cs 濃度は、供試魚から筋肉、肝臓、残渣 (筋肉、内蔵以外の部位) を採取

表 1 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}Cs 濃度 (Bq/kg)	組成	^{137}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	〃		

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。ただし、C1、C2 では肝臓と残渣をまとめて測定した。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筋肉、肝臓、尾鰭、脊椎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}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して測定を行った。

2 2022 年度飼育試験

県内で採取した森林土壌を材料として放射性 Cs を抽出した。抽出は酸抽出法により行った。

飼育設定を表 3 に示す。飼育試験はホシガレイ 1 歳魚 6 尾を用いて無給餌で実施した。飼育水槽には市販の 60cm ガラス水槽を用い、各水槽にホシガレイ 1 尾を収容した。試験区の飼育水は、酸抽出法により得られた放射性 Cs 含有水 5L を、当センターで揚

水している自然海水を 0.45 μm フィルターでろ過した海水で約 1Bq/L となるよう希釈して用いた。対照区の飼育水は当センターで揚水している自然海水を 0.45 μm フィルターでろ過した海水を用いた。飼育条件は閉鎖循環とし、物理ろ過を目的としてろ過槽内部に市販のポリエステル製マットを設置した。試験中は水温維持のため、自然海水を用いたウォーターバスで管理した。試験期間は 4 週間とし、試験区は 7、14、21、28 日目、対照区では 0、28 日目に供試魚を取上げ、体長、体重を測定した後、 ^{137}Cs 濃度の測定を行った。 ^{137}Cs 濃度は、供試魚から肝臓、筋肉、残渣(筋肉、内蔵以外の部位)を採取し測定に供した。また、海水の ^{137}Cs 濃度は対照区では 0 日目の自然海水と 28 日目の飼育水を採水して測定に供した。試験区では 0、7、14、21、28 日目に各水槽の飼育水を採水しゲルマニウム半導体検出器を用いて測定した。

表 2 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(210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

表 3 2022 年度飼育試験における飼育条件

項目	内容
供試魚	ホシガレイ2歳魚×6尾
飼育期間	2023年1月24日～2月21日(28日間)
水槽	60cmガラス水槽×5面
容量	50L
飼育水	対照区(0,28日区)：自然海水 試験区(7,14,21,28日区)：Cs含有海水(濃度約1Bq/L)
収容尾数	各区1尾/面
給餌	無給餌

結 果

1 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飼料切替後 41 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、飼料切替後 41 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 2022 年 2 月 16 日まで 210 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。

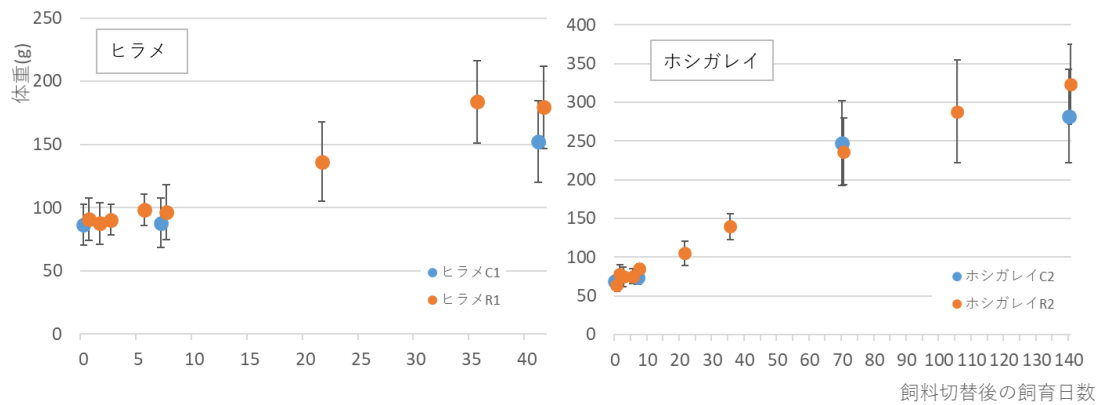


図1 各試験区における飼料切替後の平均体重の推移

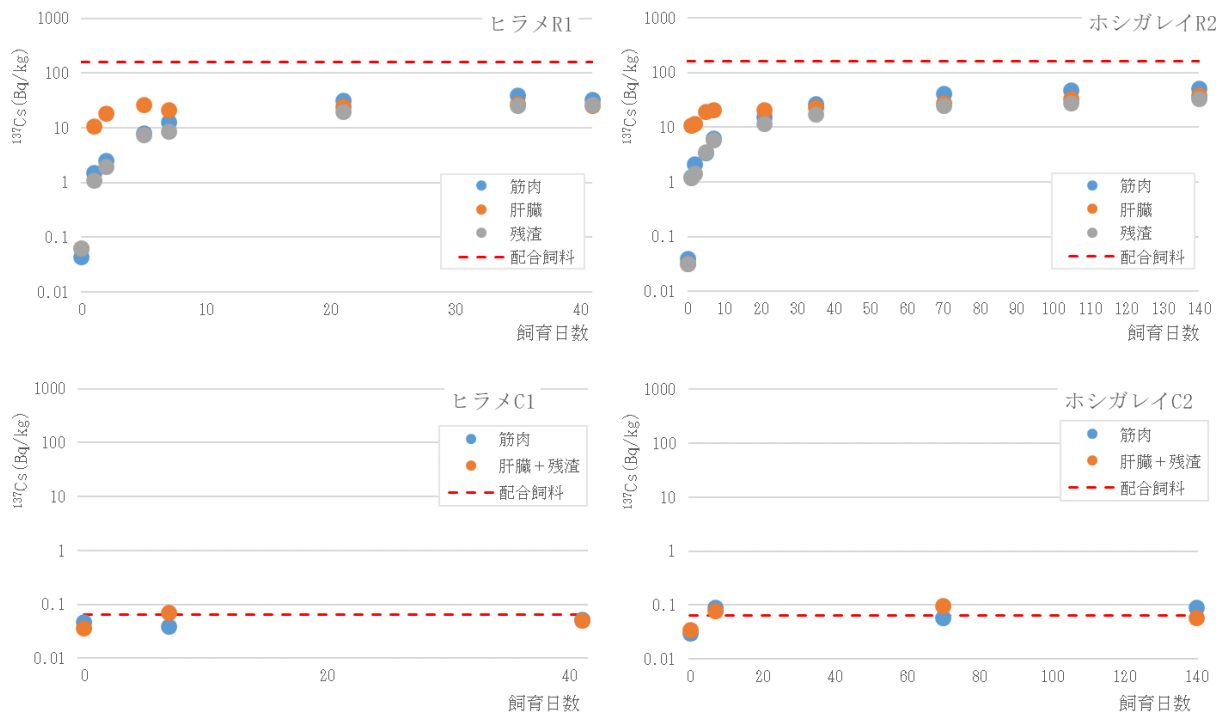


図2 魚種別、部位別の¹³⁷Cs濃度の推移

飼料切替後は飼育期間の経過と共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だったと考えられた(図1)。

魚種別、部位別の¹³⁷Cs濃度の平均値の推移を図2に示す。両魚種とも、試験区で肝臓の¹³⁷Cs濃度の上昇が早い傾向にあり、試験開始時には0.1Bq/kg以下だった¹³⁷Cs濃度が飼育1日目で約11Bq/kgまで上昇し、最大値はヒラメで27.4Bq/kg、ホシガレイで38.3Bq/kgとなった。筋肉は肝臓よりも¹³⁷Cs濃度の上昇は遅かったが、最大値はヒラメで40.3Bq/kg、ホシガレイで52.0Bq/kgとなった。残渣も筋肉と同様の傾向で推移し、最大値はヒラメで31.0Bq/kg、ホシガレイで34.1Bq/kgとなった。

対照区では¹³⁷Cs濃度の明確な上昇は認められなかった。

ホシガレイについて各組織の¹³⁷Cs濃度の変化を最小2乗法による指数関数モデルで回帰し

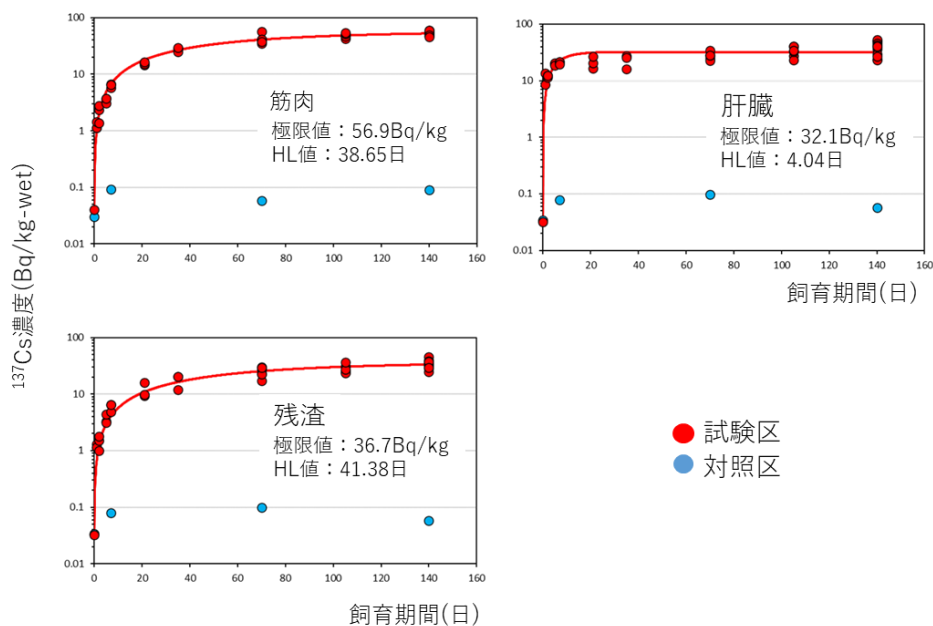


図3 飼育期間におけるホシガレイの各組織の¹³⁷Cs濃度の推移

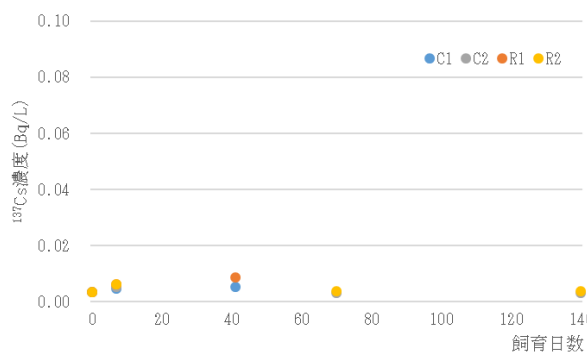


図4 飼育海水の¹³⁷Cs濃度の推移

て、¹³⁷Cs濃度の極限值と極限值の1/2に達する日数（HL値）を算出したところ、各組織の極限值は、高い順に筋肉（56.9 Bq/kg）、残渣（36.7 Bq/kg）、肝臓（32.1 Bq/kg）となった。また、各組織のHL値は、短い順に肝臓（4.04日）、筋肉（38.66日）、残渣（41.38日）の順となった（図3）。

試験期間中の飼育海水の¹³⁷Cs濃度の推移を図4に示す。期間中、海水の¹³⁷Cs濃度は0.003～0.008Bq/Lの範囲で推移した。また、飼育期間中、飼育水温は8.4℃から22.6℃の範囲で推移した。

魚種別、部位別のCN比の推移を図5に示す。両魚種ともにいずれの部位でも $\sigma^{15}\text{N}$ 値は飼育日数の経過と共に上昇したが、 $\sigma^{13}\text{C}$ 値の変化が確認できなかった。この理由は餌に含まれる $\sigma^{13}\text{C}$ 値に差がなかったためであるが、異なる組成の餌を材料にして飼料を調製したにもかかわらず $\sigma^{13}\text{C}$ 値を変えられなかった理由は不明である。

2 2022年度飼育試験に係る飼育結果

試験は2023年1月24日から2月21日の期間で実施し6個体を検体とした。試験期間中、飼

育水温は各区とも同じような変動を示し 10.9℃から 13.6℃の範囲で推移した。また、供試魚に異常は認められず、体重に大きな変動はなかった。

期間中の試験区における飼育海水の ^{137}Cs 濃度の推移を図 6 に示す。 ^{137}Cs 濃度は 0.63 から 1.62Bq/L の間で推移した。今後、各試料の ^{137}Cs 濃度の分析を行い、飼育試験結果の解析を行う予定である。

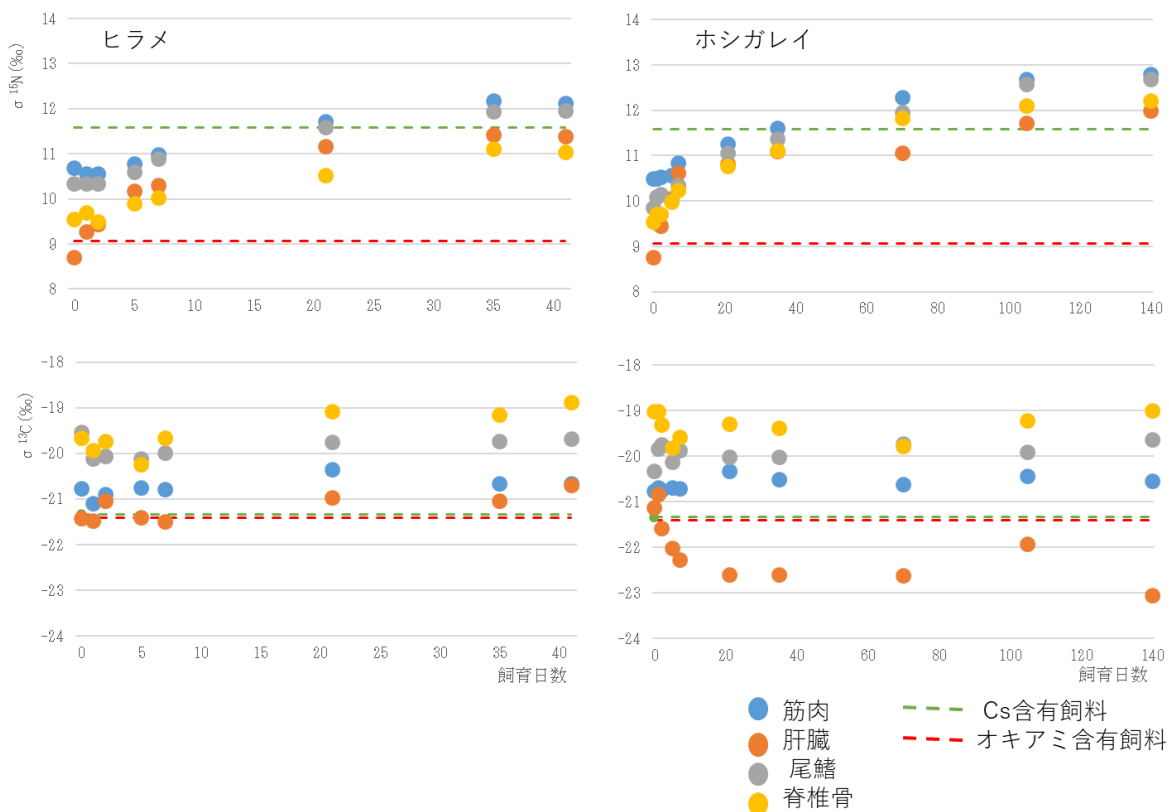


図 5 魚種別、部位別の CN 比の推移

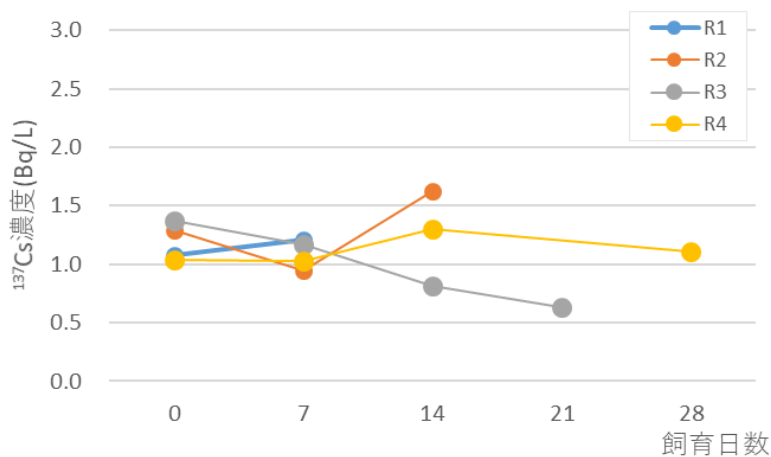


図 6 飼育海水の ^{137}Cs 濃度の推移

結果の発表等 放射線関連支援技術情報「ホシガレイにおける筋肉と肝臓への ^{137}Cs の蓄積」
登録データ 21-03-004 「放射性物質移行排出試験」 (10-69-2122)