

研究課題名 海洋生物への移行に関する調査・研究
小課題名 海産魚介類の採取水深と¹³⁷Cs濃度の低下傾向
研究期間 2011年～2020年

鈴木翔太郎・榎本昌宏・天野洋典・
守岡良晃*・神山享一

目 的

2011年3月に発生した東京電力福島第一原子力発電所の事故から9年が経過し、福島県沖で採取される海産魚介類の放射性セシウム濃度は顕著に低下している。福島県が実施する緊急時環境放射線モニタリングでは、2015年4月以降、食品衛生法に基づく食品の基準値100Bq/kgを連続して下回っており、福島県沖で採取されるすべての海産魚介類の安全性が確認されている。これまでの研究により魚種ごとに低下の傾向が異なることが観察されており(Wada et al. 2016)、その要因については、種ごとの摂餌や産卵行動に伴う移動など生態学的な特性との関連が考えられるがよく分かっていない。そこで、本研究では魚種ごとの低下傾向の要因の解明を目的とし、福島県沿岸の広い水深で採取される魚種について、経時的な放射性セシウム濃度の変化と採取水深との関係を検討した。

方 法

2011年4月から2020年4月までに福島県が実施した緊急時環境放射線モニタリングのデータを用いた。

緊急時環境放射線モニタリングでは、調査指導船いわき丸、調査指導船拓水及び漁船により福島県沖で採取された海産魚介類から検体とするものを抽出し、泥や汚れを取り除き、可食部をミンチ状に処理したものを検査容器に入れ、福島県農業総合センターのゲルマニウム半導体検出器により放射性セシウム濃度を測定した。なお、緊急時環境放射線モニタリングにおいては、放射性セシウム-134(以下、¹³⁴Cs、半減期2.07年)濃度及び放射性セシウム-137(以下、¹³⁷Cs、半減期30.17年)濃度を測定しているが、¹³⁴Csの半減期は短く、事故後¹³⁷Csと比較して速やかに検出されなくなったことから、本解析では、事故直後からの比較的長い時間スケールでの評価を行うため、¹³⁷Cs濃度の結果のみを用いた。

海産魚介類の累計検体数上位95%にあたる60魚種について、福島県沖の採取場所を10区画に分け(沿岸<水深50m北からA, B, C, D, E; 沖合≥水深50m北からF, G, H, I, J; Wada et al. 2013)、各種各区画の相対採取頻度から、種間においてはBray-Curtis指数による類似度を、区画についてはユークリッド指数による非類似度を用いてクラスター解析を行った。

採取される水深帯が広い魚種をクラスターから抽出し、そのうち最大¹³⁷Cs濃度が400Bq/kgを超えた9魚種(マコガレイ、イシガレイ、ヒラメ、スズキ、アイナメ、コモンカスベ、ババガレイ、エゾイソアイナメ、ケムシカジカ)について、経時的な¹³⁷Csの変化を一般加法モデル(以下、GAM)により把握し、GAMにより見積もった¹³⁷Cs濃度の極大値と、極大値と見積もられた日から極大値の1/2倍になるまでの日数(図1)を水深50mを境界とした沿岸と沖合で比較した。

結 果

魚種ごとについて非類似度0.4を基準とした場合、クラスターI～Vの5個のクラスターに分け

* 水産資源研究所

ることができた（図2）。また、これらのクラスターは採取位置と関係があり、クラスターⅠは広範囲から採取された魚種（以下、広範囲系）で、クラスターⅡは沖合で主に採取された魚種（以下、沖合系）、クラスターⅢ～Ⅴは沿岸で主に採取された魚種（以下、沿岸系）であった（図2）。クラスターⅢを除くすべてのクラスターで最大 ^{137}Cs 濃度が 400 Bq/kg を超過した魚種が存在した。

選定した9魚種のうちマコガレイとイシガレイを除く7魚種については、沖合よりも沿岸で採取された個体の ^{137}Cs 濃度が高かった（図3(a)）。また、ヒラメとケムシカジカを除く7魚種では沖合よりも沿岸の方が ^{137}Cs 濃度の極大値が 1/2 倍を下回るのに要する日数が長かった（図3(b)）。

沖合系・広範囲系の魚種のうち、比較的 ^{137}Cs 濃度が高かった魚種の多くは沿岸（水深<50 m）で影響を受けていた。また、影響の受け方は魚種ごとの生態的な特性と関連性があると考えられる。マコガレイやイシガレイは産卵により沖合に移動すると考えられることから、産卵回遊の特徴が結果に表れたと考えられる。

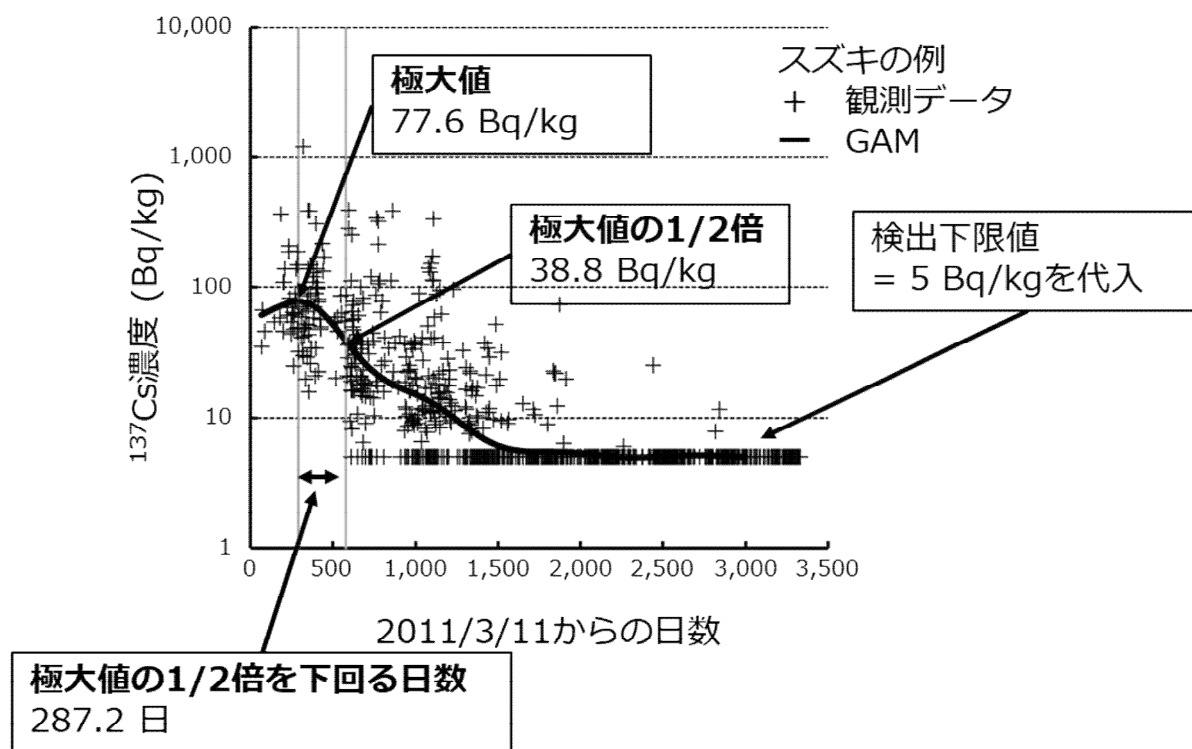
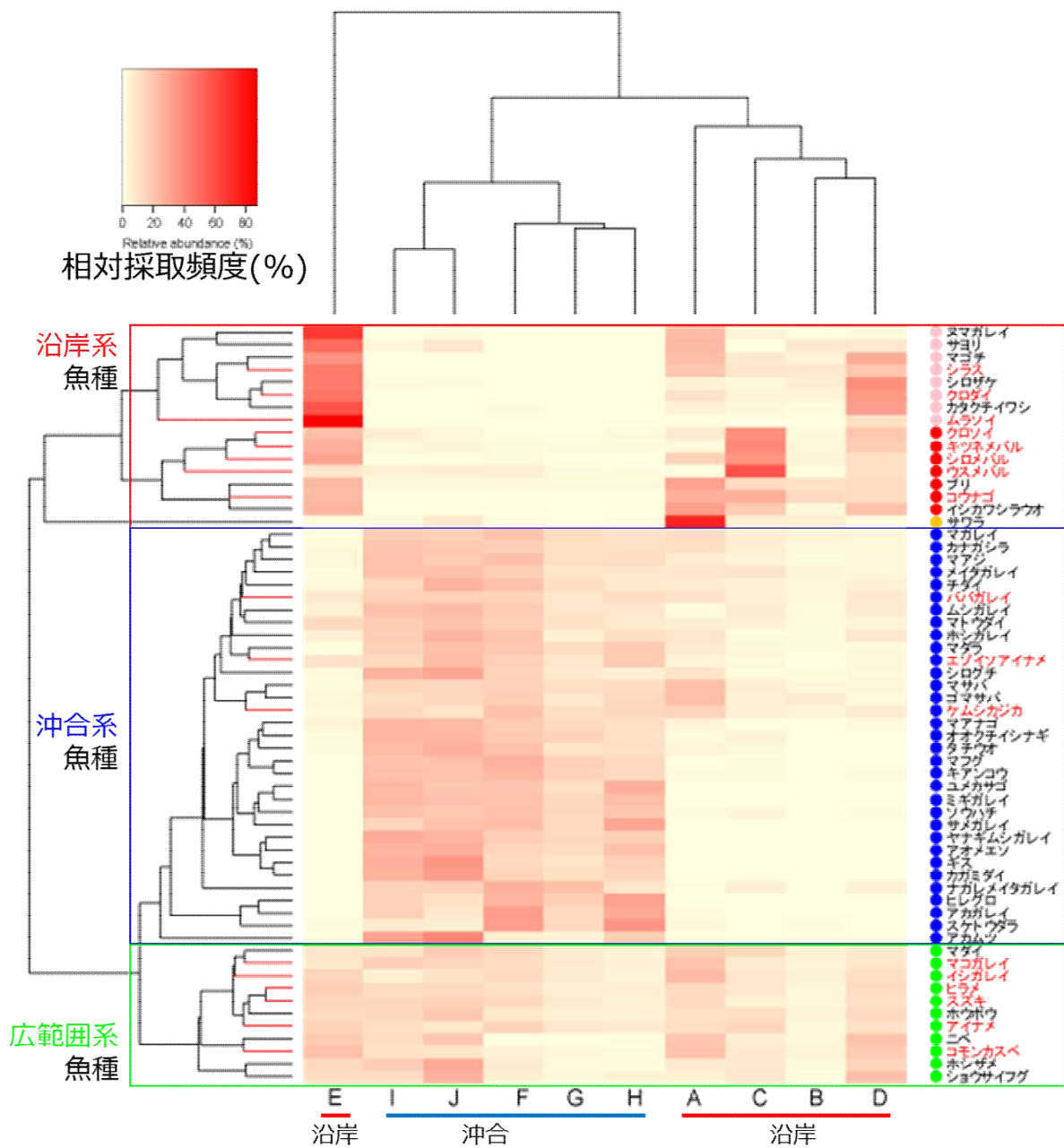


図1 一般加法モデルと解析の概念図



非類似度0.4で分けた
($p < 0.05$)

- クラスタ-I
- クラスタ-II
- クラスタ-III
- クラスタ-IV
- クラスタ-V

赤字の魚種名は
400 Bq/kg-wet
を超過した魚種

図2 魚種ごと採取位置のクラスター解析の結果

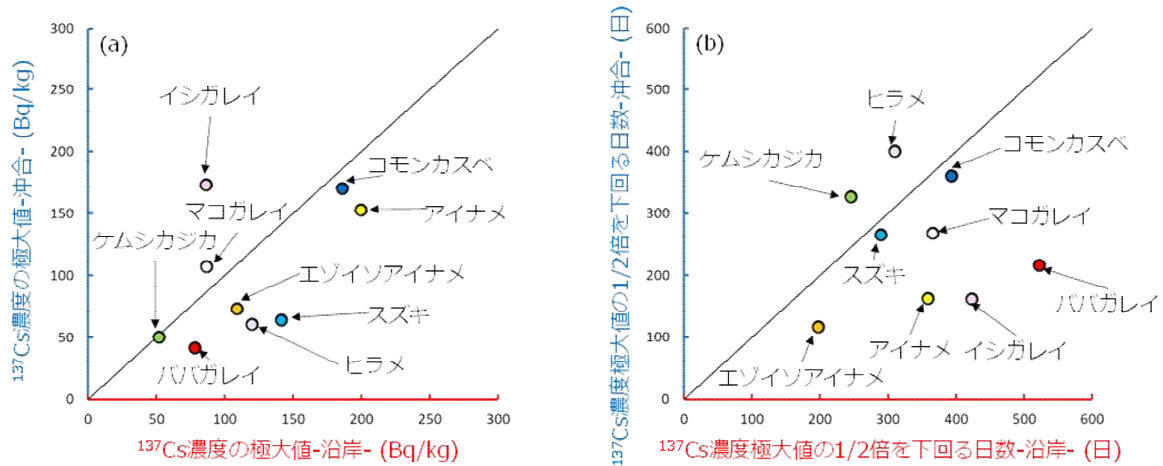


図3 沿岸と沖合の比較図 (a) ^{137}Cs 濃度の極大値、(b) ^{137}Cs 濃度極大値の 1/2 倍を下回る日数

結果の発表等 令和2年度日本水産学会春季大会

登録データ 20-03-001 「放射性物質が海面漁業に与える影響」 (10-69-1120)

研究課題名 生態特性に応じた蓄積過程の解明

小課題名 2018年に採集されたマダラの¹³⁷Cs濃度でみられるサイズ効果の要因

研究期間 2018年～2020年

天野洋典・鈴木翔太郎・岩崎高資・
守岡良晃*・神山享一

目 的

福島県沿岸域の魚介類の放射性セシウム (¹³⁷Cs) 濃度は低下傾向にあるが、魚介類の放射性物質蓄積のメカニズムについては未だ解明されていない部分がある。2018年に採集された底魚類の¹³⁷Cs濃度は震災以前の値に近づきつつあるものの、様々な魚種においてサイズ効果（大型個体の方が¹³⁷Cs濃度が高い現象）がみられている。そこで、本研究では2018年に採集されたマダラでみられるサイズ効果の要因を明らかにするため、マダラの¹³⁷Cs濃度と窒素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$) を用いて検討した。

方 法

2018年5～12月に緊急時環境放射線モニタリングと調査指導船いわき丸による調査で得られた福島県沿岸域のマダラ（40個体）を供試魚とした。供試魚の全長測定を行った後、筋肉部位を用いてゲルマニウム半導体検出器による¹³⁷Cs濃度の測定を行った。放射性Cs分析における検出下限値は0.1 Bq/kg未満とし、全ての値を確定させた。

$\delta^{15}\text{N}$ は、供試魚の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。

結 果

2018年に採集されたマダラ筋肉中の¹³⁷Cs濃度は、全長の増加とともに値が上昇し（図1）、さらに $\delta^{15}\text{N}$ においても¹³⁷Cs濃度と同じくサイズ効果がみられた（図2）。 $\delta^{15}\text{N}$ は捕食-被捕食関係を通して濃縮し値が上昇するため、栄養段階の推定に用いられている。また震災以前の環境では、マダラでみられる¹³⁷Csのサイズ効果は栄養段階が異なる食性の変化（成長に伴う甲殻類食性から魚食性への変化）が要因の一つとして考えられている（Kasamatsu and Ishikawa 1997）。本研究の結果は、Kasamatsu and Ishikawa (1997)でみられた¹³⁷Csと $\delta^{15}\text{N}$ のサイズ効果の結果と類似していることから、2018年採集のマダラでは、震災以前と同様の環境下での¹³⁷Csの蓄積メカニズムがサイズ効果の要因である可能性が示唆された。

今後は、食性の変化と¹³⁷Csのサイズ効果の関係について明らかにするため、餌生物の¹³⁷Cs濃度を把握し、餌生物からの¹³⁷Csの移行について検討する必要がある。また、年級構造等の生態学的知見も解析に加えることで、福島県沿岸域のマダラに影響を及ぼす¹³⁷Csの動態について明らかにすることが可能となるだろう。

* 水産資源研究所

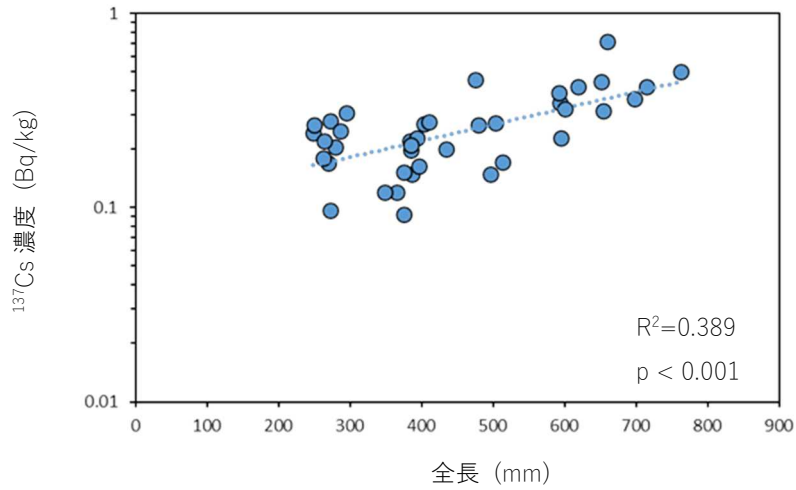


図1 全長と ^{137}Cs 濃度の関係

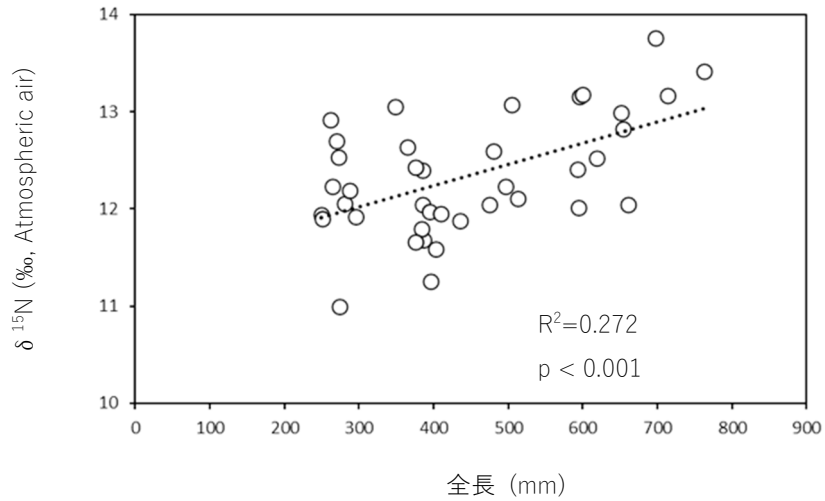


図2 全長と $\delta^{15}\text{N}$ の関係

結果の発表等 なし

登録データ 20-03-002 「生態特性に応じた蓄積過程の解明」 (10-69-1818)

研究課題名 生態特性に応じた蓄積過程の解明

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

研究期間 2019年～2020年

榎本昌宏・天野洋典・鈴木翔太郎・
神山享一

目 的

本県沿岸の魚介類の放射性セシウム (^{137}Cs) 濃度は低下傾向にあるが、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ある。震災以前の環境では、餌生物の栄養段階が上昇するにつれて、捕食者の ^{137}Cs 濃度も上昇する傾向がみられているが、詳細な移行メカニズムについては明らかとなっていない。

そこで、餌生物から影響を受ける ^{137}Cs の挙動を把握するため、 ^{137}Cs 濃度と窒素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$) が異なる飼料を用いてヒラメの飼料切替飼育試験を行い、ヒラメ魚体中の ^{137}Cs 濃度と $\delta^{15}\text{N}$ の変化について検討した。

方 法

供試魚にはヒラメを用いた。飼育条件は表1のとおり。

飼料切替前は市販の配合飼料おとひめ EP-1, 2, 3(日清丸紅飼料(株))を魚の成長に合わせて給餌した。飼料切替後は、対照区には市販配合飼料マススーパー5(日清丸紅飼料(株))を、試験区にはマススーパー5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)を与えた。

飼料切替前後で魚体の $\delta^{15}\text{N}$ の値が異なるよう、飼料切替後に、一般的にはヒラメに使用しない配合飼料であるマススーパーを用いた。各飼料の ^{137}Cs 濃度と $\delta^{15}\text{N}$ は、試験に用いる前に測定した。

飼料切替後は定期的に供試魚5個体を取り上げ(計10回)、体長、体重を測定した後、 ^{137}Cs 濃度と $\delta^{15}\text{N}$ の分析を行った。

^{137}Cs 濃度は、取り上げた5個体ごとに、後述する $\delta^{15}\text{N}$ 測定のための試料を採取したうえで、5個体の内臓を除く全体をまとめて、ゲルマニウム半導体検出器を用いて測定した。

$\delta^{15}\text{N}$ は、取り上げた5個体ごとに筋肉部位の一部を採取し、得られた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。

結 果

飼料の ^{137}Cs 濃度と $\delta^{15}\text{N}$ を表2に示す。

飼育試験の結果、各区の斃死は1～3尾にとどまり、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)。

試験区の供試魚の ^{137}Cs 濃度は飼育期間の経過とともに増加し(最大値48.0 Bq/kg-wet; R1の19週目)、対照区では0.038～0.329 Bq/kg-wetの間で推移した(図2)。

両試験区における供試魚の筋肉中の $\delta^{15}\text{N}$ は、期間の経過とともに低下した(図3)。 $\delta^{15}\text{N}$ が若干高い飼料を与えた試験区の $\delta^{15}\text{N}$ は、飼育期間を通して対照区よりも高い値を示したことから、供試魚の $\delta^{15}\text{N}$ は飼料の値と連動して推移することが明らかとなった。

本研究の手法により、餌生物の ^{137}Cs と $\delta^{15}\text{N}$ が魚体組織へ移行する過程(これらは移行経路が異なる)における代謝回転速度や濃縮率などの検討が可能になると考えられる。

表 1 飼育条件

項目	内容
飼育期間	2019年7月8日～12月26日(171日)
飼料切替日	2019年8月15日
設定試験区	対照区2面(C1,C2)、試験区2面(R1,R2)を設定
飼育尾数	200尾(50尾/面)
水槽	FRP円形0.5t水槽×4面
飼育水	自然海水掛け流し(期間中、水温は12.3～24.8°Cの範囲で変動)
飼育飼料	飼料切替前：おとひめEP-1,2,3(日清丸紅飼料(株)) 飼料切替後：対照区；マススーパー5(日清丸紅飼料(株)) 試験区；マススーパー5を基に ¹³⁷ Cs濃度を約100Bq/kgに調整
給餌量	自動給餌器を使用し体重の1%の餌を給餌すると共に手撒きで給餌を行い、その重量を記録
供試魚採取	5個体/面の取上げを飼育期間中に10回実施(飼料切替日より0,1,2,4,6,8,10,13,16,19週)

表 2 飼育飼料の ¹³⁷Cs 濃度と δ¹⁵N

試験設定	¹³⁷ Cs(Bq/kg)	δ ¹⁵ N(‰)
飼料切替前	0.108	10.8 ± 0.437
飼料切替後 対照区	0.156	8.92 ± 0.414
飼料切替後 試験区	99.2	9.07 ± 0.180

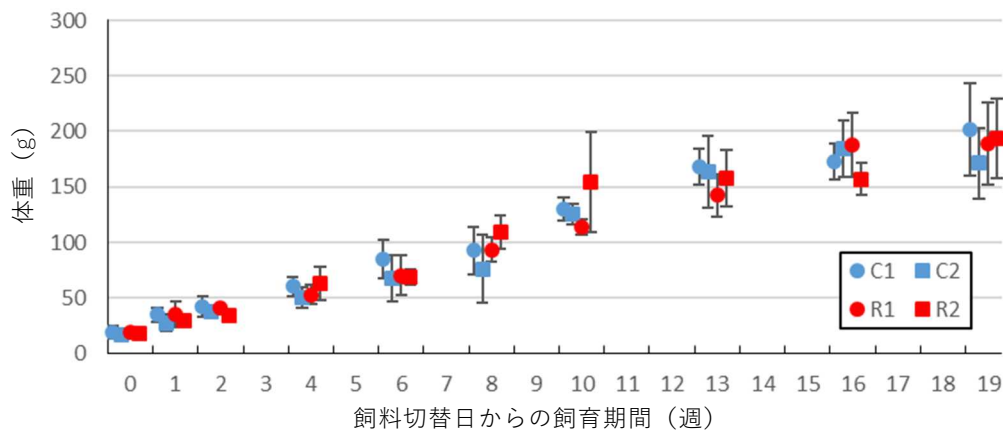


図 1 各試験区における平均体重と標準偏差の推移

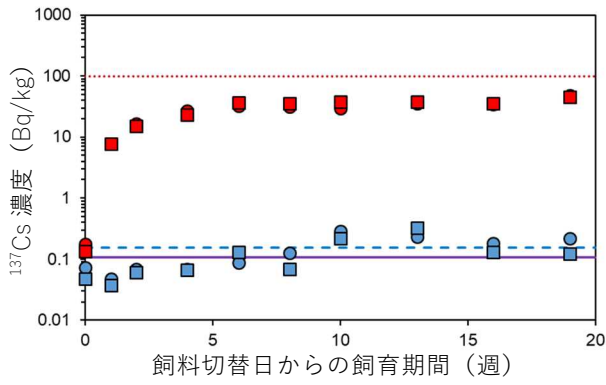


図2 各試験区における ^{137}Cs 濃度の推移

* 飼育個体の濃度単位は Bq/kg-wet、飼育飼料は Bq/kg-dry

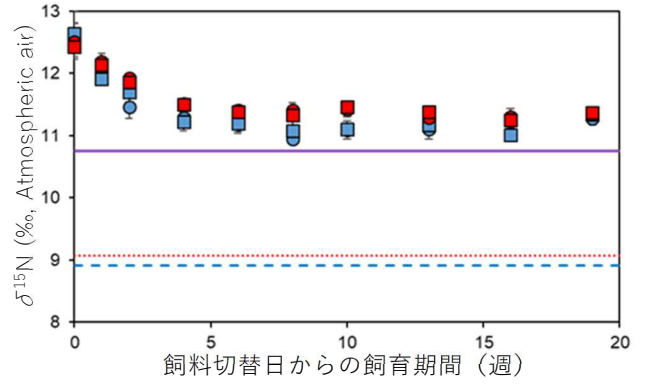
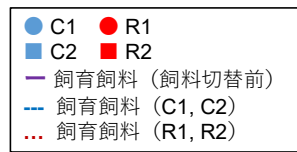
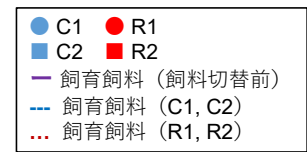


図3 各試験区における平均 $\delta^{15}\text{N}$ の推移



結果の発表等 なし

登録データ 20-03-003 「放射性物質移行排出試験」(10-69-1920)

研究課題名 海洋生物への移行に関する調査・研究

小課題名 海底土の放射性セシウム濃度の経時的な変化と局所的な分布

研究期間 2011～2020 年

鈴木翔太郎・榎本昌宏・天野洋典・
守岡良晃*・神山享一

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）の事故の影響により、福島県沖の海底土からも放射性セシウム（以下、 ^{137}Cs ）が検出された。1Fの事故による ^{137}Cs の漁場への影響を明らかにするために ^{137}Cs 濃度の経時的、空間的な変動を把握することを目的とした。特に近年は、海洋環境中の ^{137}Cs 濃度の低下により、河川を通じた海域への ^{137}Cs の輸送の影響も相対的に大きくみられるようになってきたため、本調査研究では、大規模降雨と海底土中の ^{137}Cs 濃度との関連にも着目した。

方 法

福島県沖の海底土中の ^{137}Cs 濃度の経時的変化を把握するため、2011年5月から2020年3月末までに公表されている緊急時環境放射線モニタリングの海底土のデータのうち、浅海漁場8定線（新地沖、磯部沖、鹿島沖、新田川沖、久之浜沖、四倉沖、江名沖、勿来沖）の水深7, 10, 20m（図1）のデータを用いて、非線形回帰（the locally weighted scatterplot smoothing; LOWESS、検出下限値以下は除いた）により低下傾向を把握した。大規模降雨と ^{137}Cs 濃度の関係性を把握するため、気象庁が公開する地域気象観測システム（アメダス）より浪江観測所の降水量データも解析に使用した。さらに、各定線における大規模降雨前後5か月の海底土中の ^{137}Cs 濃度比を算出し、大規模降雨が海底土中の ^{137}Cs 濃度に与える影響を評価した。

また、本調査研究では、福島県沖の海底土中の ^{137}Cs 濃度の局所的な分布を把握するため、2019年までに曳航式ガンマ線計測法（Radiometric Environment Survey and Quantification; RESQ）による測定で比較的大きな ^{137}Cs 濃度のばらつきが確認された1F沖水深約70m地点において、調査指導船いわき丸による水中テレビロボットカメラ（ROV、採泥器搭載）とスミス・マッキンタイヤ採泥器（SM）を用いた詳細な調査を実施した（図2）。

結 果

浅海漁場8定線すべてにおいて、初期と比較して海底土中の ^{137}Cs 濃度の低下に鈍化傾向がみられた。特に、鹿島と新田川定線においては、検出下限値以下も少なく、 ^{137}Cs 濃度が維持されていた（図3）。海底土中の ^{137}Cs 濃度の推移と降水量との関係を比較すると、台風や南岸低気圧など24時間積算で100mmを超える降水量があった大規模な降雨の後に海底土中の ^{137}Cs 濃度が上昇していることを示唆する結果が得られた（図4）。また、大規模降雨の前後5か月間の ^{137}Cs 濃度を比較すると、いくつかの地点で ^{137}Cs 濃度が増加した（1.01-4.08倍、図5）。これらの結果は、大規模降雨による陸域からの ^{137}Cs の供給が ^{137}Cs 濃度低下の鈍化の要因の一つである可能性が示唆され、鹿島と新田川定線では陸域からの ^{137}Cs の供給の影響を比較的強く受けたと考えられる。

また、RESQによる調査で海底土中の ^{137}Cs 濃度に大きなばらつきのあった地点周辺9地点において詳細な調査を実施したところ、9測点（図2b）におけるSMによる採泥では、 ^{137}Cs 濃度は1.42-569 Bq/kg-dryだった（図6a）。また、測点F5でのROVによる採泥では、 ^{137}Cs 濃度は6.58-1,004

*水産資源研究所

Bq/kg-dry だった（図 6b）。これらは RESQ による局所的に 1000 Bq/kg-wet を超過した結果と整合性のある結果となった。

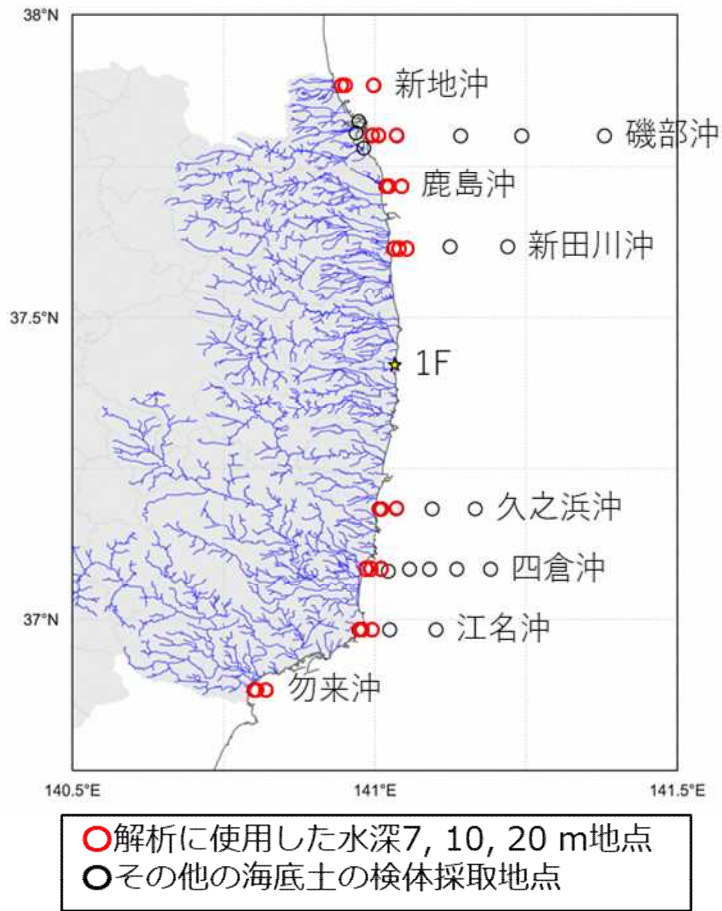


図 1 海底土の検体採取地点（緊急時環境放射線モニタリング）

(a)



(b)

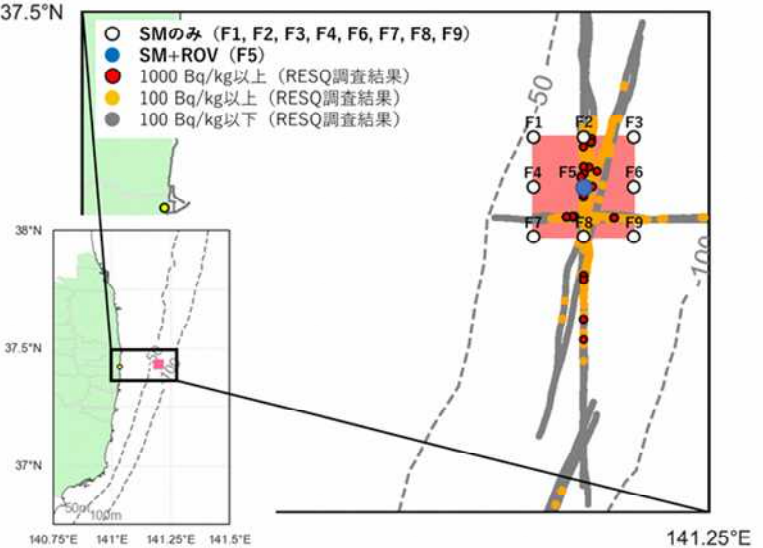
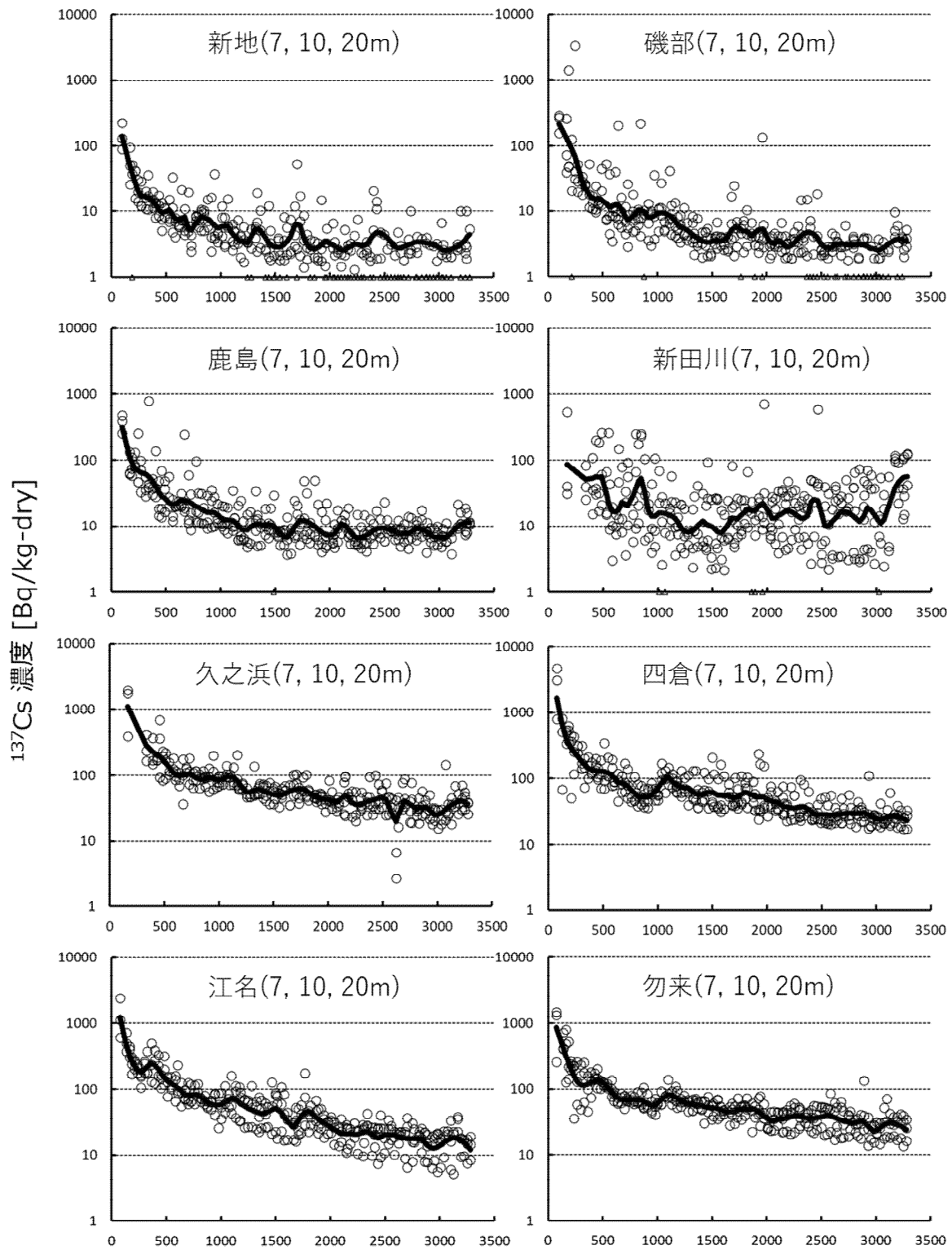


図 2 (a)ROV の写真および(b)1F 沖調査定点



2011/3/11からの日数

(○, 観測値 ; ▲, 検出限界以下 (<約1Bq/kg-dry)
; 実線, LOWESS[span=0.1])

図3 各定線における海底土中の¹³⁷Cs濃度の推移

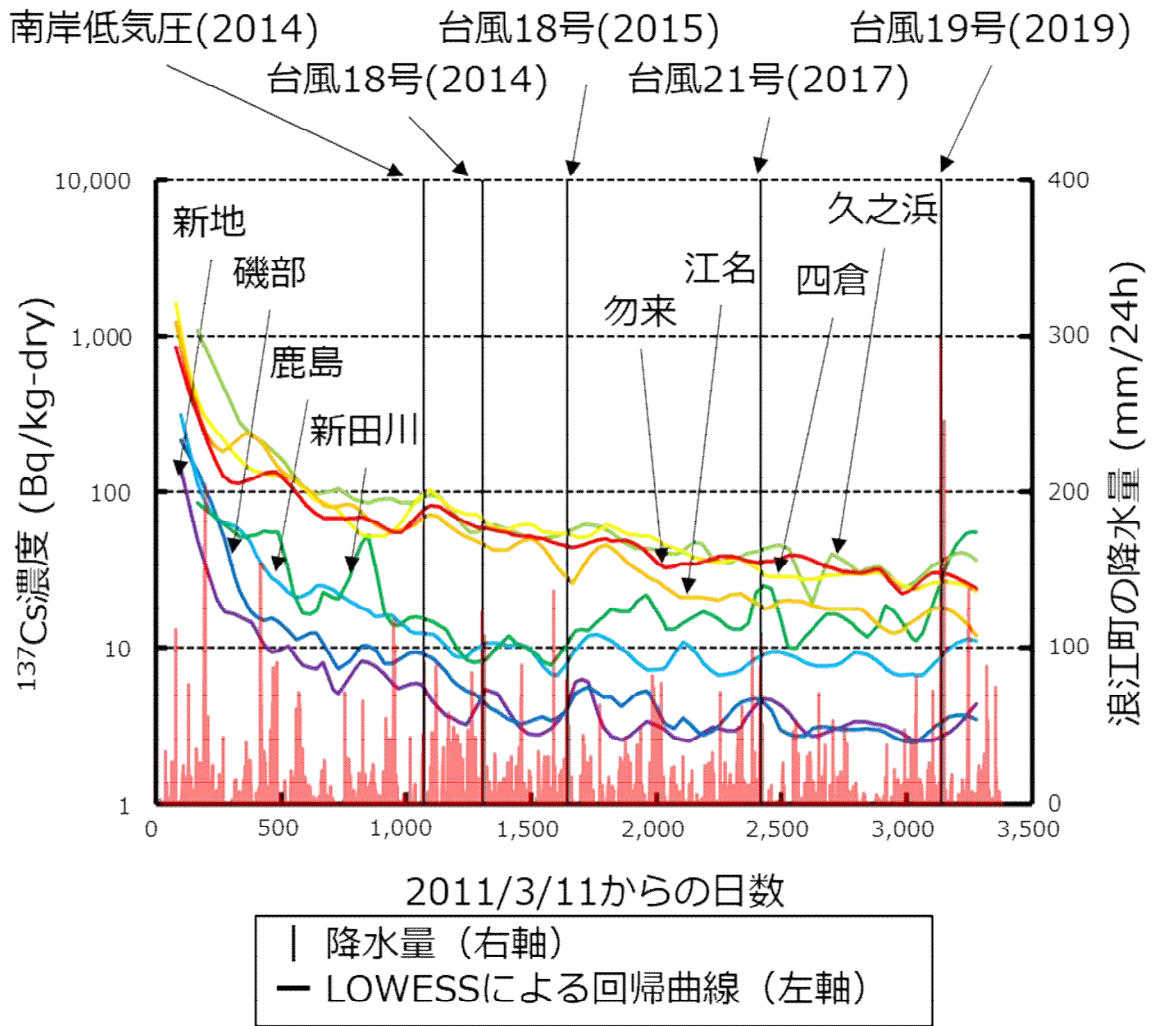


図4 海底土中の¹³⁷Cs濃度と降水量の関係

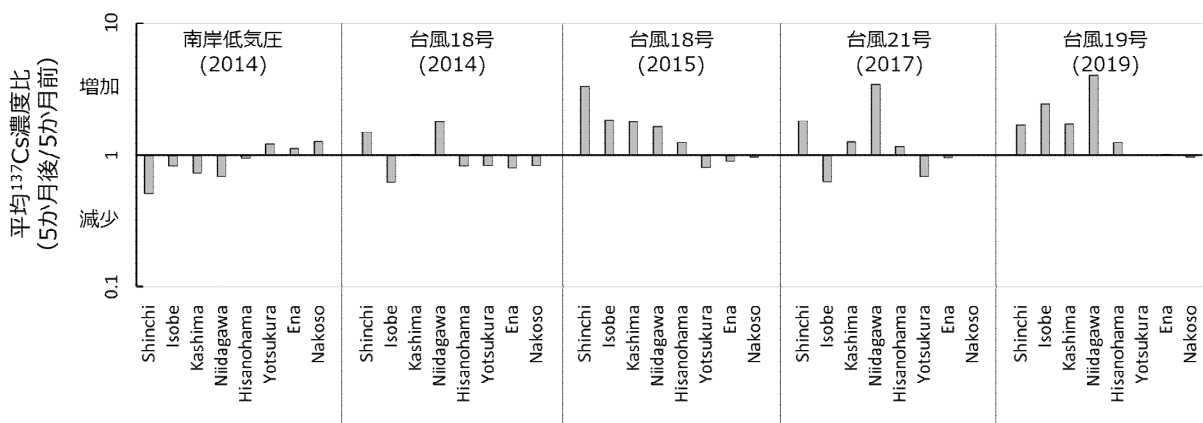


図5 大規模降雨と海底土¹³⁷Cs濃度増加の関係

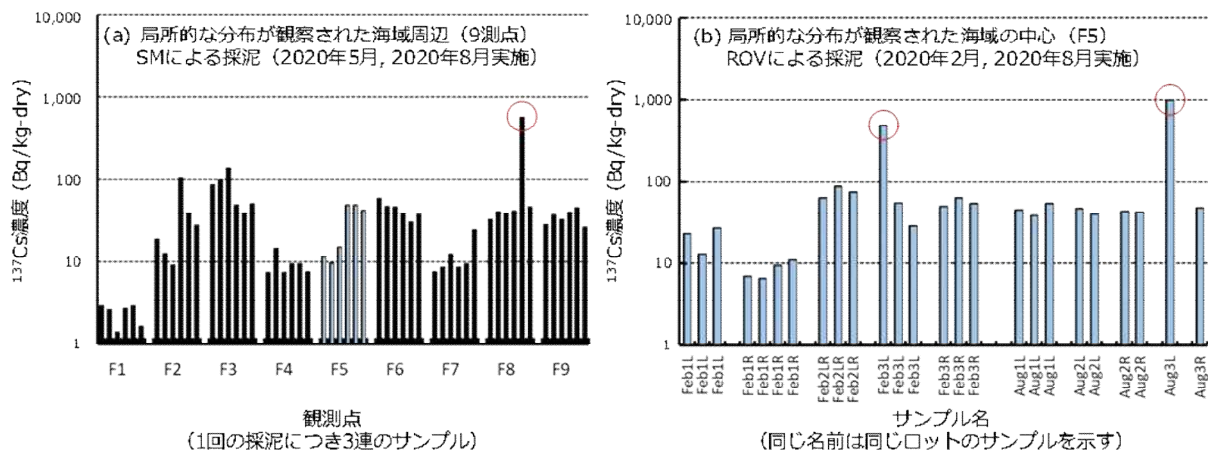


図 6 局所的な ^{137}Cs の分布が観察された海域(a)周辺および(b)中心の ^{137}Cs 濃度
○は比較的高濃度だったサンプルのデータを示す。

結果の発表等 第7回福島大学環境放射能研究所成果報告会

登録データ 20-03-004「海水・海底土における放射性物質の動態の把握」 (10-69-1420)