

平成 30 年度

原子力施設等防災対策等委託費

(海洋環境における放射能調査及び総合評価) 事業

調査報告書

平成 31 年 3 月

公益財団法人 海洋生物環境研究所

(このページは空白ページです)

ま え が き

原子力施設等防災対策等委託費（海洋環境における放射能調査及び総合評価）事業は、我が国の原子力施設沖合に位置する主要漁場等を調査の対象海域として海産生物、海底土及び海水の放射能調査を実施し、調査海域における海洋中の放射能の移行挙動を定性・定量的に把握・評価を行うことにより漁場の安全の確認等に資することを目的に、国において昭和 58 年度に開始され、今日に至っている。その間、平成 2 年度には青森県及び岩手県の太平洋側に核燃料サイクル施設（現 原子燃料サイクル施設）沖合海域が調査海域として追加され、さらに平成 22 年度からは東京電力株式会社（現 東京電力ホールディングス株式会社）福島第一原子力発電所（以下、「東電福島第一原発という。」）事故に伴う同発電所周辺海域における海洋放射能モニタリングが宮城県、福島県及び茨城県の太平洋側を中心とした海域で開始された。

本事業の所管官庁としては、昭和 58 年度当初（当時、科学技術庁）から平成 24 年度まで文部科学省が担ってきたが、平成 24 年 9 月に原子力規制委員会が発足したことに伴って再び移管され、平成 25 年度から原子力規制委員会原子力規制庁が所管する委託事業として継続的に実施されているところである。

平成 30 年度は平成 29 年度に引き続き、公益財団法人海洋生物環境研究所が原子力規制委員会原子力規制庁から平成 30 年度原子力施設等防災対策等委託費（海洋環境における放射能調査及び総合評価）事業を委託事業として受託し、次の調査等を実施した。

- I 海洋放射能調査
- II 東電福島第一原発周辺の海域モニタリング
- III 調査結果の評価
- IV 調査結果等の説明・報告
- V 本事業で得られた関連試料の保管・管理

海洋放射能調査では、原子力発電所等周辺海域及び核燃料サイクル施設（原子燃料サイクル施設）沖合海域の主要漁場から漁獲された海産生物試料の収集及び海底土試料、海水試料の採取を行い、これら試料に含まれる放射性核種の放射能濃度を調査するとともに、併せて解析調査として海洋放射能調査を補完するための支援・解析を行う調査研究を実施した。

東電福島第一原発周辺の海域モニタリングでは、東電福島第一原発事故による放射性物質の影響を把握するため、宮城県から茨城県沿岸沖に設けた沖合海域及び外洋海域、東電福島第一原発前面に設けた近傍・沿岸海域において海域モニタリングを実施し、海水及び海底土試料に含まれる放射性核種の放射能濃度について、その推移を把握するための調査

を実施した。

調査結果の評価では、調査の実施、結果の解析・評価に当たり、環境放射能の専門家等からなる「海洋放射能検討委員会」及び「データ解析専門部会」を設け、指導・助言を得て、総合的に取りまとめた。

調査結果等の説明・報告では、本事業の計画や事業内で得られた結果を用いて事業開始時及び中間とりまとめ時にそれぞれ地方自治体や漁業関係団体などの関係機関へ訪問し、それらの説明を行うとともに、併せて海洋放射能調査の総合評価に必要な評価資料等を作成し、関係機関等に調査結果の報告及び配布を実施した。

本事業で得られた関連試料の保管・管理では、前年度までの同調査で採取した試料のうち、予備として採取したものや放射能分析に供したあとの残試料と併せて、倉庫にて適切に保管・管理を行った。

本報告書は、上記のとおりの内容で原子力規制委員会原子力規制庁からの委託事業として受託した本事業について、その成果を取りまとめたものである。

本業務の実施に当たりご指導、ご助言を賜った海洋放射能検討委員会及びデータ専門部会の委員各位、多大な協力を賜った地方自治体や漁業関係団体などに深く感謝いたします。

平成 31 年 3 月

公益財団法人 海洋生物環境研究所
理事長 香川 謙二

目次

【 I 】 海洋放射能調査	1
1. 海洋放射能調査海域周辺での調査	1
1) はじめに	1
2) 調査海域	1
3) 調査試料の採取	1
(1) 海産生物試料	1
(2) 海底土試料及び海水試料	2
4) 放射性核種の分析	12
(1) 分析対象放射性核種	12
(2) 海産生物、海底土及び海水試料の前処理及び分析法	12
(3) 計数誤差	15
(4) 検出下限値	15
(5) 減衰補正	15
5) 分析結果	19
(1) 海産生物試料の分析結果	19
(2) 海底土試料の分析結果	25
(3) 海水試料の分析結果	27
6) 海洋環境試料中の放射性核種濃度レベルの経年変化	32
(1) 発電所海域における経年変化	32
(2) 核燃海域における経年変化	38
2. 解析調査	81
1) 対照海域放射能調査	81
(1) 対照海域における海水・海底土試料の放射能調査	81
(2) 対照海域における海産生物試料の放射能調査	106
2) 変動要因・移行挙動調査	118
(1) 海洋環境における $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 及び $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比 モニタリング	118
(2) 海水及び海産生物の ^{129}I 濃度	127
(3) 海洋放射能調査海域周辺における放射性セシウムの形態別 分布に関わる詳細調査	141

(4) 原子力発電所等周辺海域における海水及び海産生物のトリチウム濃度調査	199
3) 海洋環境関連調査報告書等の収集・整理	206

**【Ⅱ】東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所
 周辺の海域モニタリング**…………… 213

1. はじめに	213
2. モニタリング方法	213
1) 調査経過	213
2) 調査試料の採取	213
(1) 近傍・沿岸海域	213
(2) 沖合海域	213
(3) 外洋海域	214
3) 放射性核種の放射能分析	218
3. モニタリング結果	221
1) 海水試料	221
(1) 近傍・沿岸海域	221
(2) 沖合海域	223
(3) 外洋海域	227
2) 海底土試料	230
4. まとめ	234

【Ⅲ】調査結果の評価…………… 237

【Ⅳ】調査結果等の報告・説明…………… 241

1. 報告資料の作成	241
2. 関係機関・団体等への調査結果の報告・配布	241

【Ⅴ】本事業で得られた関連試料の保管・管理…………… 243

資料編 **245**

【Ⅰ】海洋放射能調査

資料 1-1 平成 30 年度 発電所海域 海産生物試料の放射性核種濃度・・・ 246
資料 1-2 平成 30 年度 核燃海域 海産生物試料の放射性核種濃度・・・ 261
資料 2-1 平成 30 年度 発電所海域 海底土試料の放射性核種濃度・・・ 269
資料 2-2 平成 30 年度 核燃海域 海底土試料の放射性核種濃度・・・ 285
資料 3-1 平成 30 年度 発電所海域 海水試料の放射性核種濃度・・・ 291
資料 3-2 平成 30 年度 核燃海域 海水試料の放射性核種濃度・・・ 307
資料 4-1 平成 30 年度 解析調査 海底土の性状・・・・・・・・・・・・ 329

【Ⅱ】東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所周辺の

海域モニタリング

資料 5-1-1 海水中の放射性核種濃度 近傍・沿岸海域・・・・・・・・・・・・ 337
資料 5-1-2 海水中の放射性核種濃度 沖合海域・・・・・・・・・・・・ 341
資料 5-1-3 海水中の放射性核種濃度 外洋海域・・・・・・・・・・・・ 355
資料 5-2-1 海底土中の放射性核種濃度 沖合海域・・・・・・・・・・・・ 359
資料 5-2-2 海底土中の放射性核種濃度（ α 線放出核種）沖合海域・・・ 363
資料 5-2-3 海底土の色・質・生物種等・・・・・・・・・・・・ 365

(このページは空白ページです)

【 I 】 海洋放射能調査

1. 海洋放射能調査海域周辺での調査

1) はじめに

本事業は、我が国の原子力施設等沖合に位置する主要漁場において、海産生物、海底土及び海水試料を採取し、それら試料に含まれる放射性核種の放射能調査を実施し、海洋中の放射性核種（放射能）の移行挙動について定性・定量的に把握・評価を行い、漁場の安全の確認等に資することを目的としている。海洋放射能調査はこの目的を達成するための一つの調査項目であり、全国を対象とする海洋環境における海産生物、海底土及び海水に含まれる放射性核種の放射能濃度などについて、継続的かつ定期的な定点観測を着実に実施することで得られる緻密な基礎的知見は必要不可欠と言える。

本調査の実施に当たっては、昭和 58 年度から継続的に実施してきた調査との継続性を考慮しつつ、調査の対象となる海域や試料及び分析を行う対象となる放射性核種について次のとおり選定したうえで、海洋学や環境学をはじめ、海洋物理、海洋生物学、放射化学、放射線計測学などの科学的知見に基づき計画的に調査を実施することとしている。

2) 調査海域

調査海域として、図 I-2-1 に示すとおり全国の原子力発電所等周辺海域（以下、「発電所海域」という。）及び青森県と岩手県の太平洋側に核燃料サイクル施設（原子燃料サイクル施設）沖合海域（以下、「核燃海域」という。）を対象とした。

なお、発電所海域とは北海道、青森、宮城、福島第一、福島第二、茨城、静岡、新潟、石川、福井第一、福井第二、島根、愛媛、佐賀及び鹿児島海域の計 15 海域を指す。

3) 調査試料の採取

調査の対象とした各海域において、海産生物の種類（魚種）、海底土及び海水試料を採取する測点等の選定に当たっては、本事業内に関係分野を専門とする第三者で構成する「海洋放射能検討委員会」を設け、技術的・専門的立場からの指導・助言を得るとともに、併せて地方公共団体、水産関係団体及び原子力関係事業者団体等の意見を聴取し、別途実施されている原子力施設周辺放射線監視事業（電気事業者等が実施しているものも含む）などとの重複を避けるよう考慮した。

(1) 海産生物試料

海産生物試料は、特に次の事項に注意して選定した。

- ・当該漁場における漁獲量が多い種であること
- ・当該漁場における生活期間が長い種であること

選定した海産生物試料は、当該漁場に主として出漁している漁業協同組合等の協力を得て、漁獲した月日と場所を確認しつつ、発電所海域では 1 試料当たり生鮮重量で概ね 20kg、

核燃海域では生鮮重量で概ね 30kg について年 2 回（概ね、4 月～9 月の前期；10 月～1 月の後期）の調査を実施した。平成 30 年度に試料として収集した海産生物を表 I-3-1 及び表 I-3-2 に示す。

（2）海底土試料及び海水試料

海底土試料及び海水試料の採取測点は、発電所海域については 4 測点、核燃海域については 22 測点を次の事項に注意して図 I-3-1 から図 I-3-14 に示すとおり設定した。

- ・当該施設沖合における主要漁場であること
- ・海底（底質）ができるだけ砂泥質の場所であること

なお、試料の採取に際しては、正確な当該測点での実施を着実にを行うため、気象・海象条件に影響されにくく、かつ水深 1,000m 超にも対応できる大型採水器や大型採泥器を洋上で安全・着実に運用するためのウインチ等、そして海洋観測機器などの必要機材を備えた大型調査船舶（例えば 500 トンクラス）を用いることとした。また、設定した測点で着実に作業を実施するために、位置情報の観測には海技士免状を有する者の助言^{※1}を受けて船舶用全地球測位システム（いわゆる GPS 装置）（GPS 衛星のみ使用時で精度±10m 以下；国際海事機関（International Maritime Organization；IMO）が定める国際的な基準を満たしているもの）の利用や、正確な水深を把握するための極深海音響測深機などを駆使し、試料採取位置について、測点を中心として約 1,800m 以内（緯度で 1 分以内^{※2}）とし、併せて水深（深度）についてはウインチワイヤの長さ、音響測探機及び魚群探知機などの複数機器による確認を行った。

海底土試料は、平成 30 年 5 月 9 日から 6 月 22 日（核燃海域では平成 30 年 6 月 3 日から 6 月 20 日）にかけて、調査の対象とした海域に設定した測点で年 1 回、大型ボックス型採泥器（例えばスピード型採泥器等）を用いて海底土の表面から深さ 3cm までの層を湿重量で約 2kg を目安として採取した。採取した海底土については、泥質等の目視観測を同時に行い、ビニール袋に入れたのち、プラスチック製容器（いわゆるタッパー）に収納し、冷凍保管とした。

海水試料は、発電所海域では平成 30 年 5 月 9 日から 6 月 22 日にかけて、それぞれの海域に設定した測点（海底土を採取した測点と同じ）で年 1 回、核燃海域では平成 30 年 6 月 3 日から 6 月 20 日及び平成 30 年 10 月 17 日から 10 月 28 日にかけて年 2 回、表層（海面から 1m 下）と下層（海底面から概ね 10～40m 上）の 2 層から、大型バンドン採水器を用いて発電所海域では約 100L、核燃海域では約 300L 採取した。海水試料の採取に当たっては、採取深度、塩分及び水温を同時かつ連続的に観測できる機器を大型バンドン採水器（120L×

※1 放射能測定法シリーズ 16「環境試料採取法」（昭和 58 年）に記載のとおり。

※2 日本経緯度原点（所在：東京都港区麻布台；北緯 35 度 39 分 29 秒、東経 139 度 44 分 28 秒）における「緯度 1 秒」は「30.820188m」である。

3連)に装着して深度等の数値を確認しつつ、揚収時の採水容器間水温で±0.1℃(3連容器の場合、最大0.2℃の差)までとするなど、目的とする海水試料を適切に採取した。

採取した海水試料はろ過をせず、容量20Lのプラスチック製容器(ロンテナ)に分取した。分取した海水試料は分析に供するまで適切に保管管理を行う観点で、主として海水に含まれる目的とする放射性核種を含む元素等の吸着を防ぐため、海水1L当たり1mLの濃硝酸を添加して硝酸酸性とした。一方、核燃海域で調査の対象としているトリチウム^{※1}を分析するための海水試料は、別途用意した容量2Lのプラスチック製容器に分取した(トリチウム分析に支障が生じるため、酸の添加はなし)。



図 I-2-1 調査の対象とした海域

※1 水素の放射性同位体の一つである³Hのことで、「三重水素」または「トリチウム」の複数名称が存在し、一般に「トリチウム」として知られている。このため、本報告書でも「³H」については「トリチウム」と表記する。

表 I-3-1 発電所海域における海産生物試料

調査海域	第1回収集試料	第2回収集試料
	漁獲期間： 平成30年4月1日～9月16日	漁獲期間： 平成30年10月4日 ～平成31年1月11日
北海道	ホッケ、ソウハチ、ミズダコ	ホッケ、ヒラメ、スケトウダラ
青森	クロソイ、アイナメ、ムシガレイ	スズキ、アイナメ、ヤリイカ
宮城	マダラ、アイナメ、マアナゴ	マダラ、アイナメ、マアナゴ
福島第一	マガレイ、ヒラメ、ババガレイ	マガレイ、マダイ、マコガレイ
福島第二	マコガレイ、マガレイ、ヤナギダコ	マコガレイ、マガレイ、マダコ
茨城	ムシガレイ、マルアオメエソ、ヤナギダコ	ヒラメ、カガミダイ、ヤリイカ
静岡	マゴチ、ニベ、シタビラメ類	マゴチ、ニベ、シタビラメ類
新潟	スケトウダラ、ホッケ、ミズダコ	スケトウダラ、ホッケ、ミズダコ
石川	ニギス、ハタハタ、ホッコクアカエビ	ニギス、アカガレイ、ホッコクアカエビ
福井第一	ハタハタ、アカガレイ、スルメイカ	ノロゲンゲ、アカガレイ、スルメイカ
福井第二	アカガレイ、スズキ、マアナゴ	アカガレイ、マダイ、マアナゴ
島根	マダイ、ヒラメ、ムシガレイ	マダイ、ヒラメ、ムシガレイ
愛媛	カナガシラ類、コウイカ、エビ類	イゴダカホドリ、コウイカ、シログチ
佐賀	スズキ、カサゴ、メジナ	スズキ、マダイ、メジナ
鹿児島	チダイ、カイワリ、アカエイ	チダイ、ヘダイ、アカエイ

表 I-3-2 核燃海域における海産生物試料

第1回収集試料	第2回収集試料
漁獲期間： 平成30年4月6日～9月19日	漁獲期間： 平成30年10月4日～12月2日
ミズダコ、ヒラメ（2試料）、 スルメイカ（2試料）、サクラマス、 キアンコウ（2試料）、 マダラ（2試料）、 スケトウダラ、マサバ、 ウスメバル、イカナゴ、 アイナメ	ミズダコ、ヒラメ、スルメイカ、 シロザケ（雌）（2試料）、 シロザケ（雄）（2試料）、 マコガレイ、マダラ（2試料）、 スケトウダラ、キアンコウ、 カタクチイワシ、ヤリイカ、 サンマ

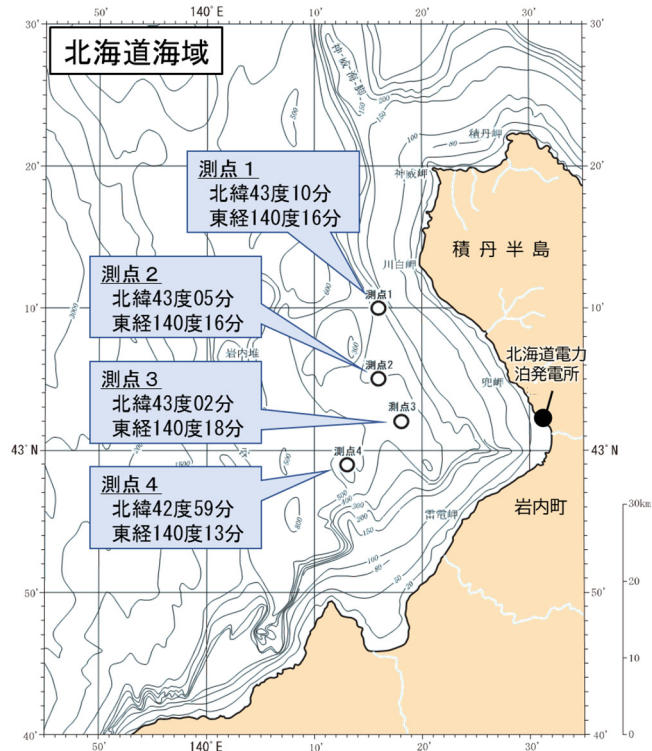


図 I -3-1 北海道海域における海底土・海水試料採取測点

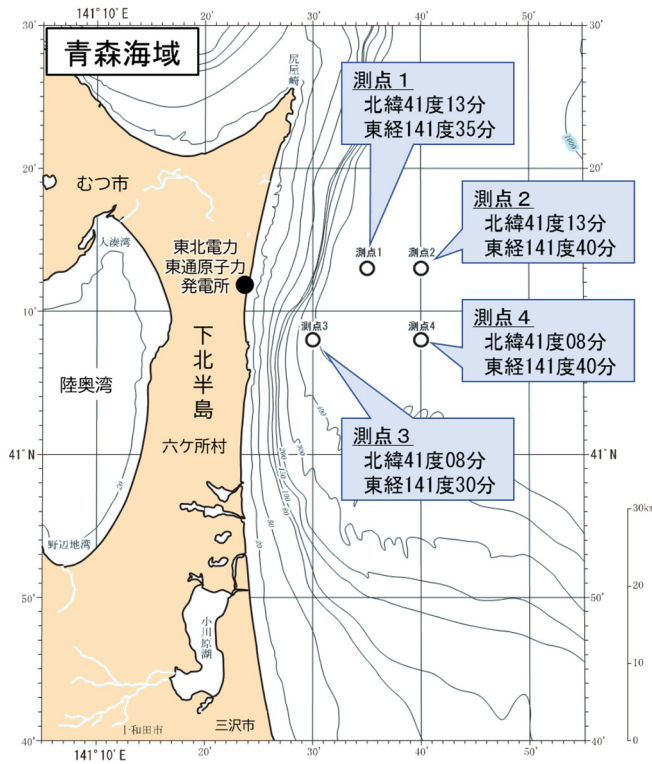


図 I -3-2 青森海域における海底土・海水試料採取測点

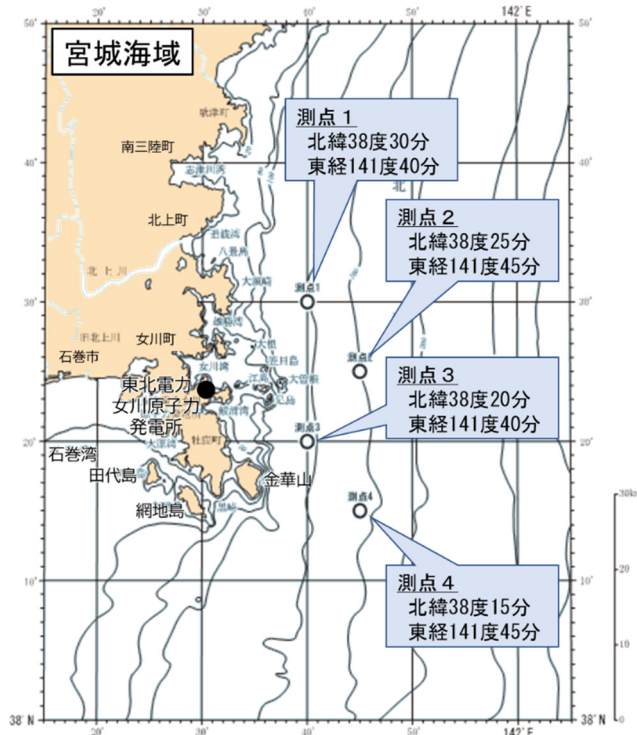


図 I -3-3 宮城海域における海底土・海水試料採取測点

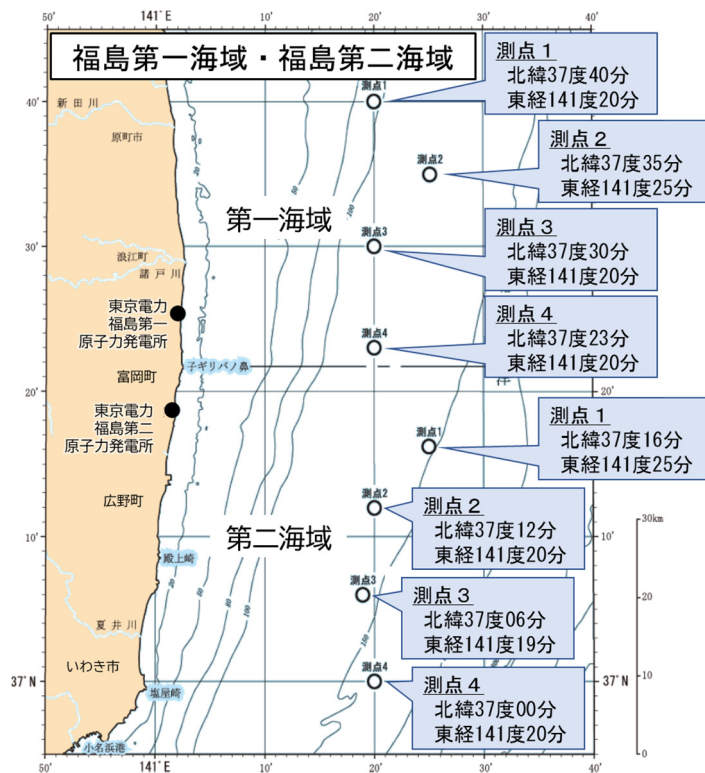


図 I -3-4 福島第一海域・福島第二海域における海底土・海水試料採取測点

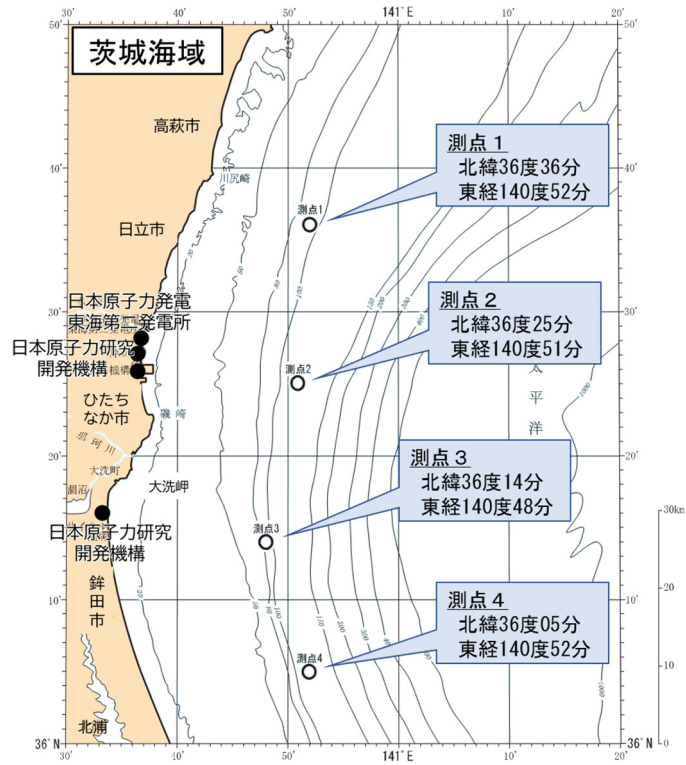


図 I -3-5 茨城海域における海底土・海水試料採取測点

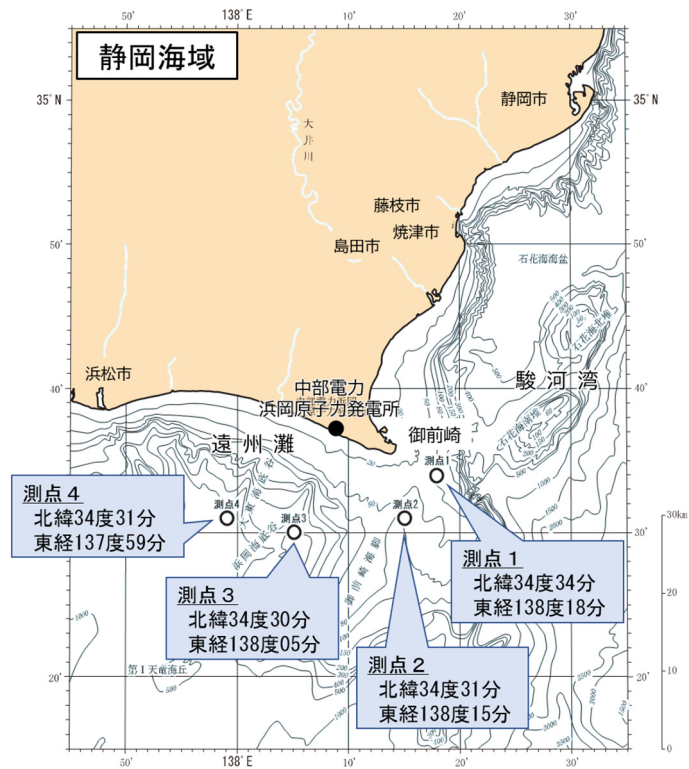


図 I -3-6 静岡海域における海底土・海水試料採取測点

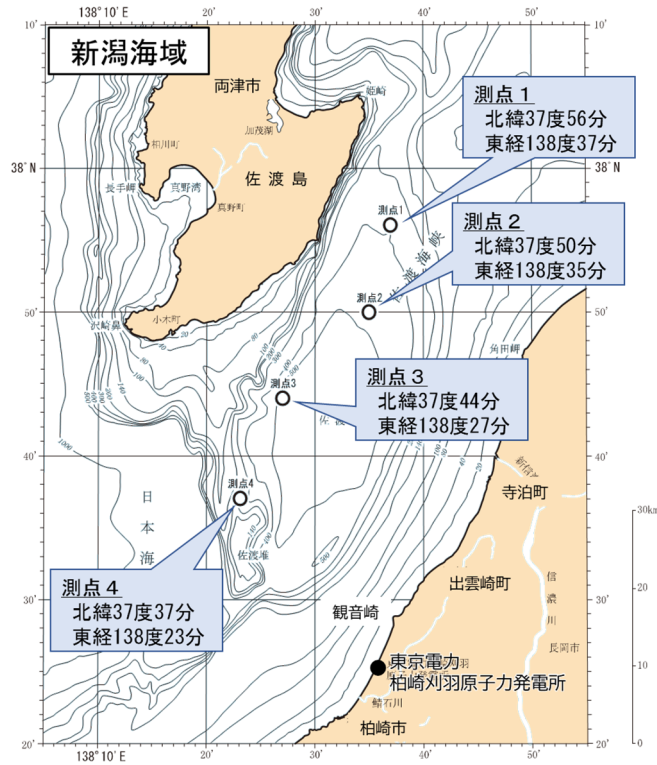


図 I-3-7 新潟海域における海底土・海水試料採取測点

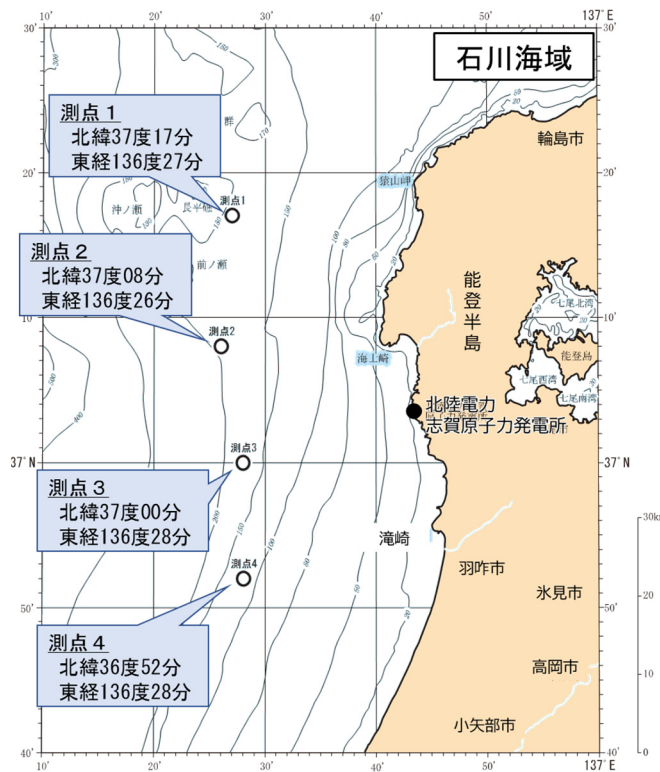


図 I-3-8 石川海域における海底土・海水試料採取測点

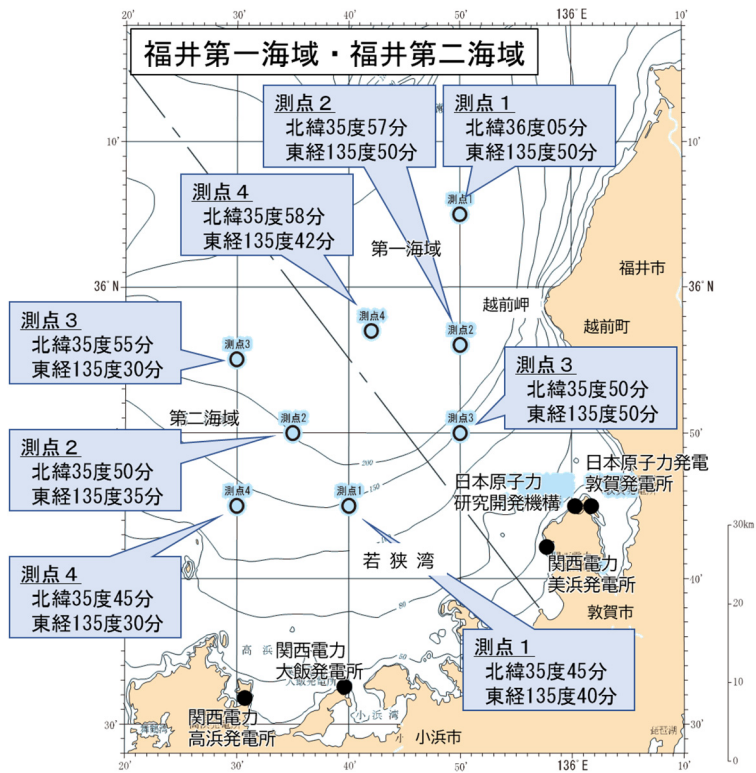


図 I -3-9 福井第一海域・福井第二海域における海底土・海水試料採取測点

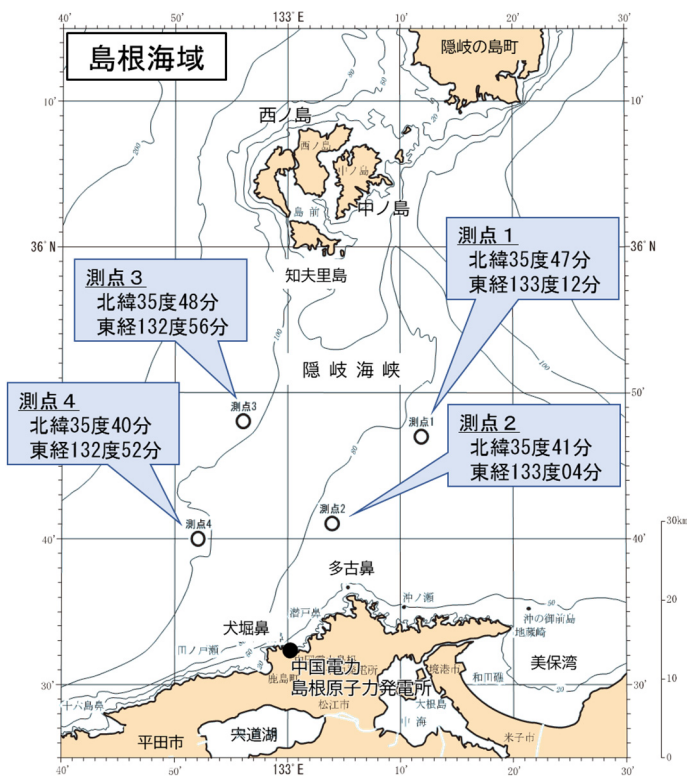


図 I -3-10 島根海域における海底土・海水試料採取測点

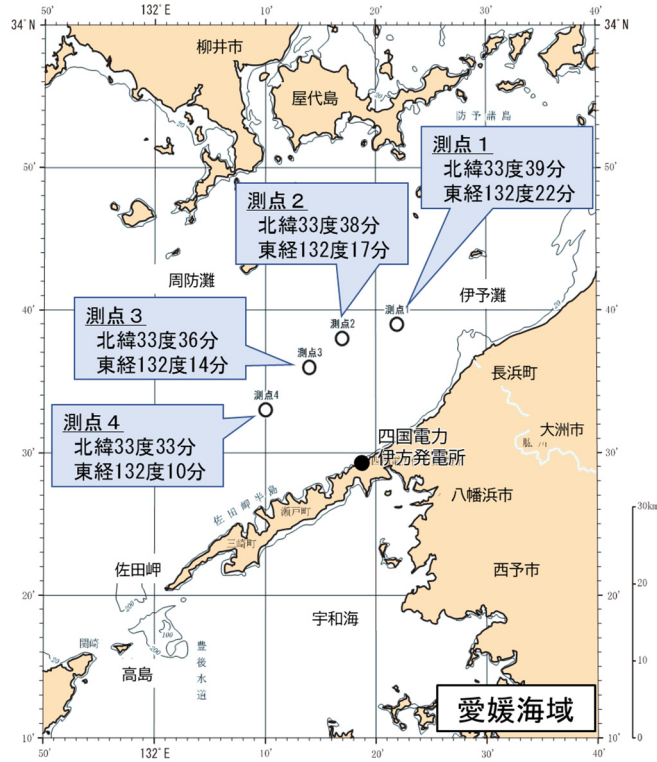


図 I -3-11 愛媛海域における海底土・海水試料採取測点

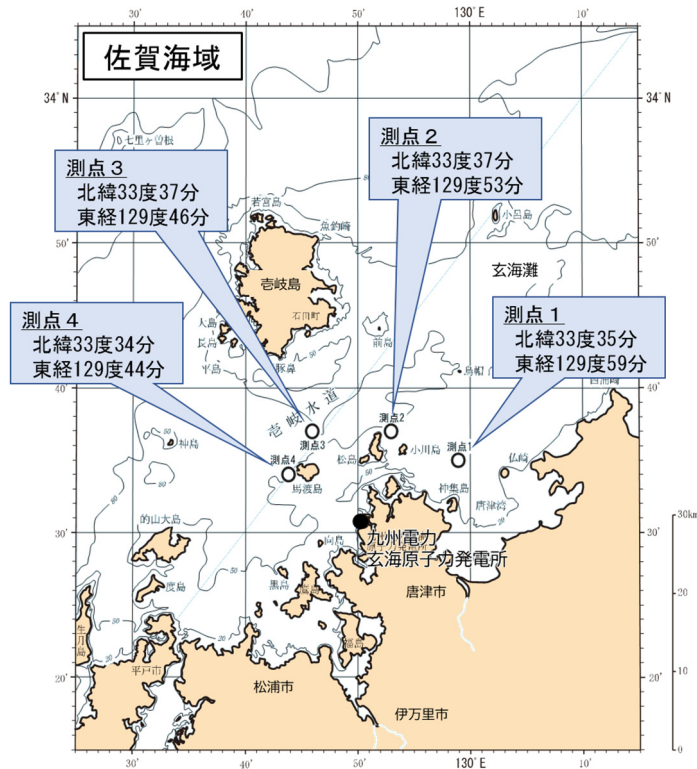


図 I -3-12 佐賀海域における海底土・海水試料採取測点

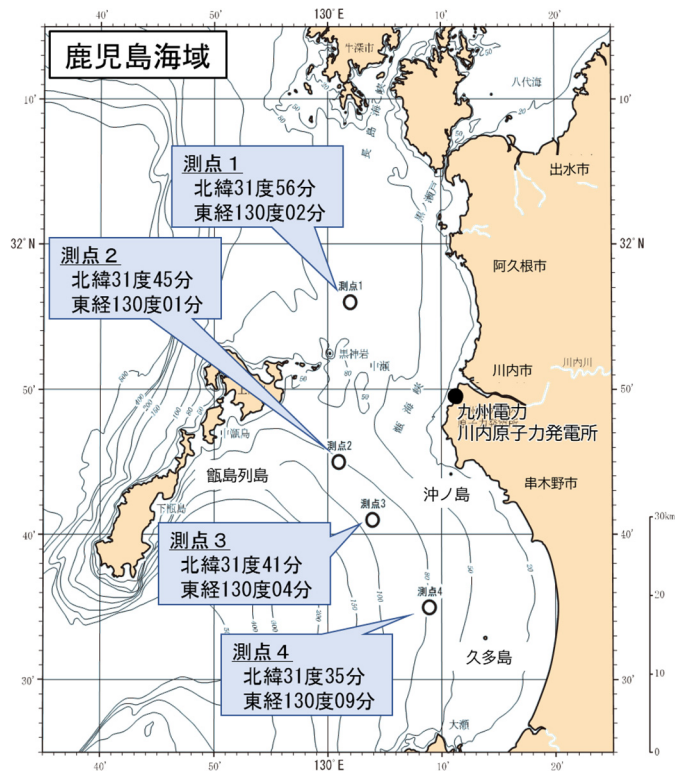


図 I-3-13 鹿児島島海域における海底土・海水試料採取測点

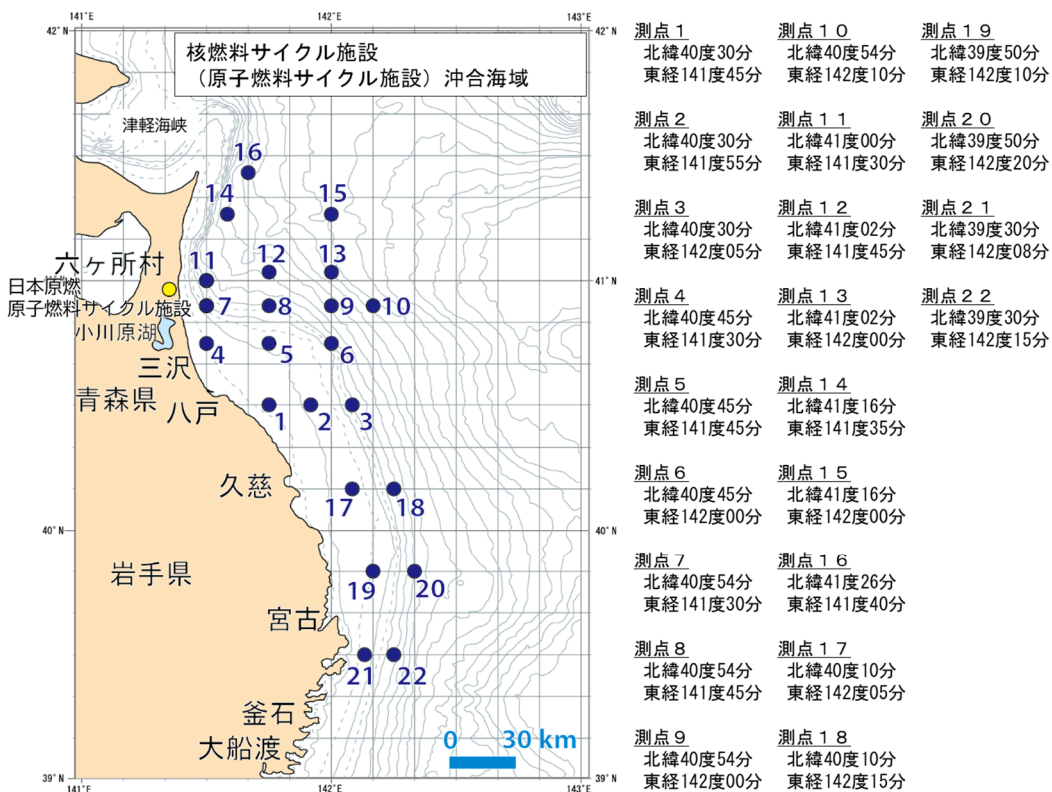


図 I-3-14 核燃海域における海底土・海水試料採取測点

4) 放射性核種の分析

(1) 分析対象放射性核種

分析対象とした放射性核種は、次の観点に基づいて表 I-4-1 に示す人工放射性核種と自然放射性核種を選定した。

[人工放射性核種]

- ・原子力施設由来の排水、放射性降下物等に含まれる放射性物質中に占める割合が高く、物理的半減期が比較的長い放射性核種であること
- ・海産生物あるいは海底土に蓄積されやすい性質を持つ放射性核種であること

[自然放射性核種]

- ・海産生物や海底土から検出される例が比較的多い放射性核種であること
(例えばウラン系列やトリウム系列に属する放射性核種あるいは高層大気と宇宙線の相互作用によりもたらされるベリリウム-7 (${}^7\text{Be}$)、地球誕生時から長半減期ゆえに単独で存在するカリウム-40 (${}^{40}\text{K}$) など)

(2) 海産生物、海底土及び海水試料の前処理及び分析法

海産生物、海底土及び海水に含まれる放射性核種の放射能分析は、全て放射能測定法シリーズ^{※1}に基づいた方法により実施した。

海産生物試料は、凍結して送付された試料を半解凍して表面の水分をふき取った後、各個体について全長及び体重を測定し、平均全長及び平均体重を算出した。全長及び体重の測定が終了した試料は筋肉(肉部)、内臓等に分割し、分析に供する部位として分け取った筋肉について 105℃で乾燥後、450℃で 24 時間灰化した。灰化した試料を 0.35mm のふるいに通し、混入した小骨等を取り除いたものをよく混合して分析試料とした。なお、カタクチイワシ等の魚体が極めて小さく全体を食す魚種については魚体全体を分析に供することとした。

海底土試料は、凍結して送付された試料を自然解凍後よく混合したのち、プフナーロートを用いて吸引ろ過することにより湿土状態の分析試料を得た。次いで 105℃で乾燥させ、ふるい分け及び粉砕・混合することにより、乾燥土状態の分析試料を得た。また、一部の海域から採取した海底土については、湿土状態のまま分析に供する場合があります、その際には湿土状態の分析試料から一部を分取し、105℃で乾燥したのち、湿土から乾燥土への換算をする際に用いる水分量(含水率)を求めた。

海水試料は、採取時に硝酸酸性として分取・保管したものを分析試料とした。また、核燃海域で調査の対象としているトリチウム用海水試料として、採取時に濃硝酸を添加せず分取・保管した海水をそのまま分析試料とした。

※1 放射能測定法シリーズ(全 32 集あり、下記はそのうちの一部分である)

- ・ 2「放射性ストロンチウム分析法」(平成 15 年、4 訂)
- ・ 3「放射性セシウム分析法」(昭和 51 年、1 訂)
- ・ 7「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」(平成 4 年、3 訂)
- ・ 9「トリチウム分析法」(平成 14 年、2 訂)
- ・ 12「プルトニウム分析法」(平成 2 年、1 訂)
- ・ 16「環境試料採取法」(昭和 58 年)

海産生物及び海底土試料について、それぞれ対象とするストロンチウム-90 (^{90}Sr)、プルトニウム-239+240 ($^{239+240}\text{Pu}$ ※1) 及びガンマ線放出核種を適切な前処理や化学分離・精製を行ったのち、それぞれ低バックグラウンドベータ線測定装置を用いたベータ線計測、シリコン半導体検出器を用いたアルファ線スペクトロメトリー及び高純度ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメトリーにより定量した。なお、海底土についてはその水分量（含水率）に基づき、乾燥重量当たりの放射能を算出した。

海水試料については、発電所海域のものは化学分離・精製したのち、 ^{90}Sr を低バックグラウンドベータ線測定装置を用いたベータ線計測により、またセシウム-134 (^{134}Cs) 及びセシウム-137 (^{137}Cs) についてはリンモリブデン酸アンモニウム共沈法による化学分離・精製を行ったのち、高純度ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメトリーにより定量した。核燃海域のものは蒸留及び電解濃縮装置による濃縮・精製を行い、精製した試料溶液を液体シンチレータと混合させ、試料溶液に含まれるトリチウムを低バックグラウンド液体シンチレーション計数装置を用いた液体シンチレーション計測により定量した。また、 ^{90}Sr 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 及びガンマ線放出核種については、化学分離・精製したのち、それぞれ低バックグラウンドベータ線測定装置を用いたベータ線計測、シリコン半導体検出器を用いたアルファ線スペクトロメトリー及び高純度ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメトリーにより定量した。

なお、放射能分析に係る品質保証活動の一環として標準試料（認証物質あるいは所内標準物質など、その分析値が既知である試料）を用いた並行分析や二重分析を行うことや、国際原子力機関（International Atomic Energy Agency ; IAEA）が実施する試験所間比較分析または技能試験（プロフィシエンシーテスト）に参加して良好な成績を得るなど、本調査で報告する分析値について、信頼できる分析値であることの根拠につながるよう、分析技術・技能の維持向上に努めた。

※1 プルトニウム-239 (^{239}Pu) とプルトニウム-240 (^{240}Pu) は放出するアルファ線のエネルギーがほぼ等しく、通常のアファ線スペクトロメトリーでは区別して定量できないので、両核種の合計量として定量する方法がとられている。このためプルトニウム-239+240 ($^{239+240}\text{Pu}$) と表す。

表 I -4-1 分析の対象とした放射性核種と試料

放射性核種		半減期*1	海産生物		海底土		海水		
			発電所 海域	核燃 海域	発電所 海域	核燃 海域	発電所 海域	核燃 海域	
人工放射性核種	トリチウム*2	^3H	12.33年	—	—	—	—	—	○
	マンガン - 54	^{54}Mn	312.1日	○	○	○	○	—	○
	コバルト - 60	^{60}Co	5.271年	○	○	○	○	—	○
	ストロンチウム - 90	^{90}Sr	28.74年	—	○	—	○	○	○
	ルテニウム - 106	^{106}Ru	373.6日	○	○	○	○	—	○
	セシウム - 134	^{134}Cs	2.065年	○	○	○	○	○	○
	セシウム - 137	^{137}Cs	30.04年	○	○	○	○	○	○
	セリウム - 144	^{144}Ce	284.9日	○	○	○	○	—	○
	プルトニウム -239+240	$^{239+240}\text{Pu}$	—*3	—	○	—	○	—	○
	その他の ガンマ線放出核種*4			○	○	○	○	—	○
自然放射性核種	ベリリウム - 7	^7Be	53.29日	○	○	○	○	—	—
	カリウム - 40	^{40}K	12.77億年	○	○	○	○	—	—
	タリウム - 208*5	^{208}Tl	3.053分	○	○	○	○	—	—
	ビスマス - 214*6	^{214}Bi	19.9分	○	○	○	○	—	—
	アクチニウム - 228*5	^{228}Ac	6.15時間	○	○	○	○	—	—

*1 半減期は「アイソトープ手帳 11 版 (社団法人日本アイソトープ協会編集発行、2011 年)」より引用した。

*2 トリチウムは、宇宙線によって生じる自然放射性核種の一つであるが、核爆発実験や原子力発電所等の運転でも生じるため、ここでは人工放射性核種に分類した。

*3 プルトニウム-239 の半減期は 2.411 万年、プルトニウム-240 の半減期は 6,564 年である。

*4 半減期約 1 年以下の核種で、クロム-51 (^{51}Cr)、コバルト-58 (^{58}Co)、鉄-59 (^{59}Fe)、亜鉛-65 (^{65}Zn)、ジルコニウム-95 (^{95}Zr)、ニオブ-95 (^{95}Nb)、ルテニウム-103 (^{103}Ru)、銀-110m ($^{110\text{m}}\text{Ag}$)、アンチモン-125 (^{125}Sb) などがある。

*5 トリウム - 232 (^{232}Th 、半減期:140.5 億年) を親核種とするトリウム系列に属する子孫核種である。

*6 ウラン - 238 (^{238}U 、半減期:44.68 億年) を親核種とするウラン系列に属する子孫核種である。

(3) 計数誤差

放射性核種が壊変する事象は統計的事象であり、放射性核種の放射能を定量するために用いる放射線計測に際しても放射性核種の壊変に伴って放出される放射線の揺らぎによる計数誤差を付すことが一般的であり、併せて放射能測定法シリーズ（例えば、放射能測定法シリーズ 7「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」解説資料参照）にその方法が示されている。本事業においても、放射能分析の定量結果に付す誤差については、正味の計数値から算出した放射能の計数誤差を誤差として付して解析等に資することとした。

(4) 検出下限値

環境試料に含まれる放射性核種の放射能分析において、放射能が有意に検出できなくなる濃度を検出下限値と呼んでいる。本事業では、放射性核種の放射能を定量する際に実施する放射線計測において、バックグラウンドを差し引いた正味の計数値が計数誤差の 3 倍を超えた場合に放射性核種が検出されたと判定し、計数誤差の 3 倍に等しい時の放射性核種の放射能やその濃度を検出下限値としている^{※1}。しかしながら、試料に含まれる放射能やその濃度の検出下限値は測定環境（特にバックグラウンド）、放射能分析のために供した試料の量、放射線検出器の計数効率等により試料の測定毎に計算されるため、一つの値として示すことができない。そこで、設定すべき検出下限値の目安として、過去に実施した経験を踏まえ、同様の試料の分析・測定で得られた検出下限値の実測例を参考として検出目標レベルを定めることとした。この検出目標レベルについて、一連の放射能分析方法とともに表 I-4-2 及び表 I-4-3 に示す。

(5) 減衰補正

放射性核種の放射能濃度についての減衰補正については、放射能測定法シリーズの考え方^{※2}に基づき、放射能が検出された場合にのみ行うこととした。また、減衰補正を行う対象とした放射性核種は、トリチウム、⁹⁰Sr、¹³⁴Cs、¹³⁷Cs など比較的半減期の短い人工放射性核種（ここではトリチウムも含む）とし、²³⁹⁺²⁴⁰Pu についてはその対象から除外した。なお、自然放射性核種については同シリーズ記載のとおり^{※2}、天然崩壊系列（いわゆるウラン系列やトリウム系列など）に属する放射性核種（例えば、²⁰⁸Tl、²¹⁴Bi、²²⁸Ac など）について測定終了時の値とした^{※3}。

※1 放射能測定法シリーズ 7「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」（平成 4 年改訂）（177～185 ページ）に準じた考え方で、計数値に付す誤差は計数誤差となるもの。放射性核種の壊変に伴う放射線の計数値はポアソン分布となり、その計数値（ポアソン分布）の標準偏差は計数値の平方根になることが示されている。また、検出されたか否かの判定については「計数誤差の 3 倍を超えているか否かで行われることが一般的である。」とされており、本事業においてもこれに準ずることとした。

※2 放射能測定法シリーズ 7「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」（平成 4 年改訂）（155 ページ）に記載されたとおり。

※3 本事業では、これら系列に属さない ⁷Be 及び ⁴⁰K について減衰補正を実施した。

表 I-4-2 発電所海域における各試料の放射能分析方法及び検出目標レベル

試料名		海産生物試料	海底土試料	海水試料		
分析対象核種		ガンマ線放出核種 (⁵⁴ Mn、 ⁶⁰ Co、 ¹⁰⁶ Ru、 ^{110m} Ag、 ¹³⁴ Cs、 ¹³⁷ Cs、 ¹⁴⁴ Ce等)	ガンマ線放出核種 (⁵⁴ Mn、 ⁶⁰ Co、 ¹⁰⁶ Ru、 ^{110m} Ag、 ¹³⁴ Cs、 ¹³⁷ Cs、 ¹⁴⁴ Ce等)	⁹⁰ Sr	¹³⁴ Cs、 ¹³⁷ Cs	
放射能分析方法	分析供試量	約 80g (灰)	約 100g (乾燥土*1)	50L		
	前処理	灰化	乾燥後、 粉碎・混合	化学分離・精製等		
	放射線計測	ガンマ線スペクトロメトリー	ガンマ線スペクトロメトリー	ベータ線計測	ガンマ線スペクトロメトリー	
	計測時間	70,000 秒	70,000 秒	3,600～ 7,200 秒	70,000 秒	
検出目標レベル	放射能濃度	Bq/kg－生鮮物	Bq/kg－乾燥土	mBq/L		
	ガンマ線放出核種*2	⁵⁴ Mn	0.03	0.9	—	—
		⁶⁰ Co	0.05	0.9	—	—
		¹⁰⁶ Ru	0.2	7	—	—
		¹³⁴ Cs	0.03	1	—	0.9
		¹³⁷ Cs	0.02	0.7	—	0.5
		¹⁴⁴ Ce	0.2	4	—	—
⁹⁰ Sr	—*3	—	0.4	—		

*1 福島第一。福島第二及び茨城海域で採取した海底土については、湿土で相当量を供したのち、その含水率で乾燥土当たりの放射能に換算した。

*2 ガンマ線放出核種は、分析の対象とした放射性核種のうち半減期が数十日以下のものを除いた代表的な人工放射性核種について記載した。なお、¹⁰⁶Ru 及び ¹³⁷Cs は純ベータ線放出核種であるが、ガンマ線計測によっても定量できるため、ここではガンマ線放出核種に分類した。

*3 放射能分析の対象としていない放射性核種については「—」で示した。

表 I-4-3 核燃海域における各試料の放射能分析方法及び検出目標レベル

試料名		海産生物試料			
分析対象核種		^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$	ガンマ線放出核種	
放射能分析方法	分析供試量	約 30g (灰)	約 20g (灰)	約 80g (灰)	
	前処理等	灰化後、化学分離・精製		灰化	
	放射線計測等	ベータ線計測	アルファ線スペクトロメトリー	ガンマ線スペクトロメトリー	
	計測時間	3,600~7,200 秒	160,000 秒	70,000 秒	
検出目標レベル	放射能濃度		Bq/kg-生鮮物		
	ガンマ線放出核種*2	^{54}Mn	—*1	—	0.03
		^{60}Co	—	—	0.05
		^{106}Ru	—	—	0.2
		^{134}Cs	—	—	0.03
		^{137}Cs	—	—	0.02
		^{144}Ce	—	—	0.2
	^{90}Sr		0.008	—	—
$^{239+240}\text{Pu}$		—	0.0007	—	

*1 放射能分析の対象としていない放射性核種については「—」で示した。

*2 ガンマ線放出核種は、分析の対象とする放射性核種のうち半減期が数十日以下のものを除いた代表的な人工放射性核種について記載した。なお、 ^{106}Ru 及び ^{137}Cs は純ベータ線放出核種であるが、ガンマ線計測によっても定量できるため、ここではガンマ線放出核種に分類した。

表 I-4-3 核燃海域における各試料の放射能分析方法及び検出目標レベル（続き）

試料名		海底土試料			海水試料			
分析対象核種		^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$	ガンマ線放出核種	トリチウム	^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$	ガンマ線放出核種
放射能分析方法	分析 供試量	乾燥土重量			0.6L	50L	100L	50L
		約 150g	約 50g	約 100g				
	前処理	乾燥土とし、 化学分離・精製等			蒸留・電 解濃縮	化学分離・精製等		
	放射線 計測	ベータ 線計測	アルフ ア線ス ペクト ロメト リー	ガンマ 線スペ クトロ メトリ ー	LSC*1	ベータ 線計測	アルフ ア線ス ペクト ロメト リー	ガンマ 線スペ クトロ メトリ ー
計測時間	3,600 秒	80,000 秒	70,000 秒	30,000 秒	3,600 ~7,200 秒	160,000 秒	70,000 秒	
放射能濃度		Bq/kg-乾燥土			Bq/L	mBq/L		
検出目標 レベル	ガンマ 線放出 核種*2	^{54}Mn	—*3	—	0.9	—	—	0.8
		^{60}Co	—	—	0.9	—	—	0.9
		^{106}Ru	—	—	7	—	—	7
		^{134}Cs	—	—	1	—	—	0.9
		^{137}Cs	—	—	0.7	—	—	0.5
		^{144}Ce	—	—	4	—	—	4
トリチウム		—	—	—	0.1	—	—	—
^{90}Sr		0.2	—	—	—	0.4	—	—
$^{239+240}\text{Pu}$		—	0.03	—	—	—	0.007	—

*1 液体シンチレーション計数装置によるベータ線計測（Liquid Scintillation Counting）を示す。

*2 ガンマ線放出核種は、分析の対象とする放射性核種のうち半減期が数十日以下のものを除いた代表的な人工放射性核種について記載した。なお、 ^{106}Ru 及び ^{137}Cs は純ベータ線放出核種であるが、ガンマ線計測によっても定量できるため、ここではガンマ線放出核種に分類した。

*3 放射能分析の対象としていない放射性核種については「—」で示した。

5) 分析結果

(1) 海産生物試料の分析結果

① 発電所海域

平成 30 年度前期分の海産生物試料として平成 30 年 4 月 1 日から 9 月 16 日までの期間、後期分の海産生物試料として平成 30 年 10 月 4 日から平成 31 年 1 月 11 日までの期間において当初計画に沿って収集活動を行った。収集すべき試料数は前期（45 試料）と後期（45 試料）合わせて 90 試料であり、気象・海象などの自然現象に伴う漁獲量の変動により、当初計画していた魚種の漁獲が見込まれない状況が生じたことなどの理由で、海産生物試料の選定に関する注意事項^{※1}に基づいて 11 試料を別の魚種に変更したが、関係する漁業協同組合等の協力を頂き、全 15 海域から計 90 試料について収集を完了した。

収集した海産生物試料は魚種を指定して収集したものの、他の種が混入している場合があるため、前処理を行う際に半解凍した状態で魚種分類に詳しい者の助言や専門書^{※2}を参考に、魚の特徴を観察して魚種の同定と選別を行った。

海産生物試料の前処理に当たっては、目的とする部位について適切に分け取り、必要量を灰化に供した。試料の灰化に当たっては灰化前後の重量比（灰分（魚の肉部で概ね 1.2%、イカ・タコの肉部で概ね 2~3%程度））を目安とし、参考となる灰分^{※3}と比較することで適切に灰化処理が行われたことを確認した。灰化により得られた灰試料は、目的とする放射能分析を行うに当たり十分な量として、表 I-4-2 で示した目的とする放射性核種の放射能分析での検出目標レベルを担保できる量を確保した。

放射性核種の定性・定量を実施するに当たっては、高純度ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメトリーを実施し、併せて計測時間、バックグラウンドの評価及び適切な校正曲線（効率曲線）の適用などの項目について適切かつ着実に実施した。

収集した海産生物試料（魚類、イカ・タコ類及びエビ類；計 90 試料）に含まれる放射性核種の放射能濃度範囲について、平成 18 年度からの結果と併せて表 I-5-1 に示した。

また、上述の一連の作業実施の結果について、海産生物試料に含まれる放射性核種の放射能濃度のほか、一連の試料分析に関する記録について資料 1-1-1 から資料 1-1-15 に示した。

平成 30 年度に発電所海域で採取した海産生物試料から検出された人工放射性核種は¹³⁴Cs 及び¹³⁷Cs であり、これら放射性核種の放射能濃度は、東電福島第一原発事故後に実

※1 「I 1. 3) (1)」参照。

※2 例えば、中坊徹次編「日本産魚類検索 全種の同定（第三版）」東海大学出版会

※3 例えば、

- ・放射能測定法シリーズ 16「環境試料採取法」（昭和 58 年）
- ・及川真司・太田博・早野和彦・野中信博（2004）．環境放射能分析における食品試料の灰分．分析化学（Bunseki Kagaku），**53**（12），1515-1519.
- ・及川真司・磯山直彦・御園生淳・稲富直彦，・鈴木千吉・鈴木奈緒子・中原元和・中村良一・渡部輝久・森菌繁光・藤井誠二・原猛也（2009）．海産生物筋肉中¹³⁷Cs 放射能分析結果に対する試料前処理技術の影響および近年のバックグラウンド濃度．保健物理（Hoken Butsuri），**44**（2），198-208.

施した平成 23～27 年度よりも全体的に低くなっていたものの、平成 29 年度と同程度であった。また、事故前に実施した過去 5 年間（平成 18～22 年度）（以下「事故前 5 年間」という。）の範囲と比較すると、一部の試料について上回るものが見られた。

^{110m}Ag （半減期 249.8 日）については、東電福島第一原発事故後の平成 23 年度から平成 24 年度までの調査において魚類から、平成 23 年度から平成 25 年度まで調査においてはイカ・タコ類の一部の試料から検出されたが、平成 30 年度の調査では平成 29 年度に引き続き調査対象海域で採取した海産生物試料から検出されることはなかった。

^{134}Cs については、平成 28 年度の調査では青森、宮城、福島第一、福島第二及び茨城の 5 海域で採取した 18 試料（いずれも魚類）から検出された。また、平成 29 年度の調査では福島第一、福島第二及び茨城の 3 海域で採取した 12 試料（いずれも魚類）から検出されていたものの、平成 30 年度の調査では、福島第一、福島第二及び茨城海域で採取した 6 試料（いずれも魚類）から検出されたが、その放射能濃度は 0.044～0.19Bq/kg-生鮮物の範囲にあった。

^{137}Cs については、平成 28 年度には北海道（第 1 回収集試料）、青森（第 2 回収集試料）、新潟（第 1 回収集試料、第 2 回収集試料）、石川（第 1 回収集試料）及び愛媛海域（第 2 回収集試料）で収集したエビ類 1 試料（ホッコクアカエビ）、イカ・タコ類 5 試料（ミズダコ、ヤリイカ、コウイカ）を除いた 84 試料から検出され、また、平成 29 年度には北海道（第 1 回収集試料）、青森（第 2 回収集試料）、茨城（第 2 回収集試料）及び新潟海域（第 2 回収集試料）で収集したイカ・タコ類 4 試料（ミズダコ（2 試料）、ヤリイカ、ヤナギダコ）を除いた 86 試料から検出された。平成 30 年度の調査のうち、事故前 5 年間の最大値（0.24 Bq/kg-生鮮物）を超えた試料は、宮城、福島第一、福島第二及び茨城の 4 海域で採取した魚類 14 試料であった。全体的に放射能濃度は減少していたものの、魚類では比較的高い放射能濃度を示す試料も時として見られ、最も高い値を示したのは福島第二海域で採取された試料の 2.1Bq/kg-生鮮物（事故前 5 年間の最大値（0.24Bq/kg-生鮮物）の約 8.6 倍）であった。また、この試料からは 0.19Bq/kg-生鮮物の ^{134}Cs も検出されており、同試料の放射性セシウム（ ^{134}Cs 及び ^{137}Cs との合計）は、2.29Bq/kg-生鮮物であった。なお、この値は国の定める基準値（水産物の放射性セシウム）である 100Bq/kg と比べて十分に低い値（1/43 以下）である。

表 I-5-1 海産生物試料（発電所海域）に含まれる放射性核種の放射能濃度範囲

（単位：Bq/kg-生鮮物）

年度	試料名	試料数	^{134}Cs	^{137}Cs	その他のガンマ線放出核種*1
平成 30 年度	魚類	75	ND*2 ~ 0.19	0.036 ~ 2.1	ND
	ｲｷ・ﾀﾞ類	12	ND	ND ~ 0.16	ND
	エビ類	3	ND	0.043 ~ 0.077	ND
平成 29 年度	魚類	77	ND ~ 0.25	0.031 ~ 1.8	ND
	ｲｷ・ﾀﾞ類	12	ND	ND ~ 0.12	ND
	エビ類	1	ND	0.057	ND
平成 28 年度	魚類	76	ND ~ 0.49	0.032 ~ 3.0	ND
	ｲｷ・ﾀﾞ類	11	ND	ND ~ 0.14	ND
	エビ類	3	ND	ND ~ 0.083	ND
平成 27 年度	魚類	76	ND ~ 0.90	0.046 ~ 3.8	ND
	ｲｷ・ﾀﾞ類	11	ND	ND ~ 0.10	ND
	エビ類	3	ND	0.046 ~ 0.065	ND
平成 26 年度	魚類	75	ND ~ 2.0	0.028 ~ 5.8	ND
	ｲｷ・ﾀﾞ類	12	ND ~ 0.048	ND ~ 0.16	ND
	エビ類	3	ND	0.052 ~ 0.11	ND
平成 25 年度	魚類	75	ND ~ 7.7	0.057 ~ 18	ND
	ｲｷ・ﾀﾞ類	12	ND ~ 0.22	ND ~ 0.49	$^{110\text{m}}\text{Ag}$: ND ~ 0.080
	エビ類	3	ND	0.046 ~ 0.070	ND
平成 24 年度	魚類	77	ND ~ 69	0.057 ~ 120	$^{110\text{m}}\text{Ag}$: ND ~ 0.17
	ｲｷ・ﾀﾞ類	10	ND ~ 0.65	ND ~ 0.88	$^{110\text{m}}\text{Ag}$: ND ~ 0.11
	エビ類	3	ND	0.046 ~ 0.082	ND
平成 23 年度	魚類	77	ND ~ 110	0.092 ~ 140	$^{110\text{m}}\text{Ag}$: ND ~ 0.62
	ｲｷ・ﾀﾞ類	10	ND ~ 8.7	0.031 ~ 9.4	$^{110\text{m}}\text{Ag}$: ND ~ 1.8
	エビ類	3	ND ~ 0.10	0.079 ~ 0.13	ND
平成 18~ 22 年度	魚類	375	ND	0.034 ~ 0.24	ND
	ｲｷ・ﾀﾞ類	60	ND	ND ~ 0.045	ND
	エビ類	15	ND	0.031 ~ 0.071	ND

*1 表 I-4-1 に示した放射性核種のうち、人工放射性核種として列挙した放射性核種を参照。

*2 ND は検出下限値以下を示す。なお、平成 30 年度に調査した海産生物試料（全 90 試料）の分析・測定で得られた検出下限値の平均は、 ^{134}Cs で 0.039、 ^{137}Cs で 0.027 (Bq/kg-生鮮物) であり、その他のガンマ線放出核種についても概ね表 I-4-2 に示した検出目標レベルと同程度である。

②核燃海域

平成 30 年度前期分の海産生物試料として平成 30 年 4 月 6 日から 9 月 19 日までの期間、後期分の海産生物試料として平成 30 年 10 月 4 日から 12 月 2 日までの期間において当初計画に沿って収集活動を行った。収集すべき魚種は前期（15 試料）と後期（15 試料）合わせて 30 試料であり、気象・海象などの自然現象に伴う漁獲量の変動により、当初計画していた魚種の漁獲が見込まれない状況が生じたことなどの理由で、海産生物試料の選定に関する注意事項^{※1}に基づいて 3 試料を別の魚種に変更したが、関係する漁業協同組合等の協力を頂き、計 30 試料について収集を完了した。

収集した海産生物試料は魚種を指定して収集したものの、他の種が混入している場合があるため、発電所海域の場合と同様に前処理を行う際に半解凍した状態で魚類分類に詳しい者の助言や専門書を参考に、魚の特徴を観察して魚種の同定と選別を行った。

海産生物試料の前処理に当たっては、目的とする部位について適切に分け取り、必要量を灰化に供した。試料の灰化に当たっては灰化前後の重量比（灰分）を目安とし、発電所海域の場合と同様に参考となる灰分と比較することで適切に灰化処理が行われたことを確認した。灰化により得られた灰試料は、目的とする放射能分析を行うに当たり十分な量として、表 I-4-3 に示した目的とする放射性核種の放射能分析での検出目標レベルを担保できる量を確保した。

放射性核種の定性・定量に当たっては、目的とする放射性核種に応じて高純度ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメトリー、化学分離・精製をしたのち、シリコン半導体検出器によるアルファ線スペクトロメトリー、低バックグラウンドベータ線測定装置を用いたベータ線計測、または液体シンチレーション計数装置を用いたベータ線計測を実施し、併せて計測時間、バックグラウンドの評価及び適切な校正曲線（エネルギー校正または効率曲線）の適用などの項目について適切かつ着実に実施した。

収集した海産生物試料（魚類及びイカ・タコ類；計 30 試料）に含まれる放射性核種の放射能濃度範囲について、平成 18 年度からの結果と併せて表 I-5-2 に示した。

また、上述の一連の作業実施の結果について、海産生物試料に含まれる放射性核種の放射能濃度のほか、試料分析に関する記録について資料 1-2-1 から資料 1-2-4 に示した。

平成 29 年度に核燃海域で採取した海産生物試料から検出された人工放射性核種は ^{134}Cs 及び ^{137}Cs であり、 ^{90}Sr 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 及びその他のガンマ線放出核種は検出されなかったが、平成 30 年度においては、 ^{134}Cs はすべての試料から検出されることはなかったものの、 ^{137}Cs （28 試料で検出）、 ^{90}Sr （1 試料のみ）及び $^{239+240}\text{Pu}$ （1 試料のみ）が検出された。

^{134}Cs については、東電福島第一原発事故後に実施した平成 23～27 年度に比べて減少傾向にあり、とりわけ平成 29 年度には平成 28 年度と同程度で魚類 1 試料から検出されたも

※1 「I 1. 3）(1)」参照。

の、平成 30 年度の調査では検出されることはなかった。また、 ^{137}Cs についても平成 29 年度にはイカ・タコ類 3 試料（ミズダコ（2 試料）、スルメイカ）を除く 27 試料から検出されており、このうち、事故前 5 年間の最大値（魚類：0.18 Bq/kg-生鮮物、イカ・タコ類：0.041 Bq/kg-生鮮物）を超えた試料は、魚類で 5 試料、イカ・タコ類では最大値を超えた試料はなかったが、平成 30 年度においては、イカ・タコ類 2 試料（ミズダコとスルメイカ）を除く 28 試料から検出された。これらのうち、事故前 5 年間の最大値（魚類：0.18Bq/kg-生鮮物、イカ・タコ類：0.041Bq/kg-生鮮物）を超えた試料は、魚類で 3 試料が該当したものの、イカ・タコ類ではこの最大値を超えた試料はなかった。

表 I-5-2 海産生物試料（核燃海域）に含まれる放射性核種の放射能濃度範囲

（単位：Bq/kg-生鮮物）

年度	試料名	試料数	^{90}Sr	^{134}Cs	^{137}Cs	その他の ガンマ線 放出核種*1	$^{239+240}\text{Pu}$
平成 30 年度	魚類	24	ND*2～ 0.0067	ND	0.042 ～ 0.30	ND	ND
	ｲﾝﾄﾞﾙ類	6	ND	ND	ND ～ 0.053	ND	ND ～ 0.00039
平成 29 年度	魚類	24	ND	ND ～ 0.029	0.059 ～ 0.31	ND	ND
	ｲﾝﾄﾞﾙ類	6	ND	ND	ND ～ 0.036	ND	ND
平成 28 年度	魚類	24	ND	ND ～ 0.10	0.044 ～ 0.65	ND	ND ～ 0.00074
	ｲﾝﾄﾞﾙ類	6	ND	ND	ND ～ 0.048	ND	ND
平成 27 年度	魚類	24	ND	ND ～ 0.059	0.035 ～ 0.32	ND	ND
	ｲﾝﾄﾞﾙ類	6	ND	ND	ND ～ 0.049	ND	ND
平成 26 年度	魚類	24	ND～ 0.0067	ND ～ 0.56	0.056 ～ 1.7	ND	ND
	ｲﾝﾄﾞﾙ類	6	ND	ND	ND ～ 0.096	ND	ND ～ 0.00048
平成 25 年度	魚類	24	ND	ND ～ 1.9	0.052 ～ 4.1	ND	ND
	ｲﾝﾄﾞﾙ類	6	ND	ND ～ 0.029	ND ～ 0.075	ND	ND ～ 0.00037
平成 24 年度	魚類	24	ND ～ 0.0062	ND ～ 5.2	0.089 ～ 7.6	ND	ND ～ 0.00094
	ｲﾝﾄﾞﾙ類	6	ND	ND ～ 0.053	ND ～ 0.092	ND	ND ～ 0.00033
平成 23 年度	魚類	24	ND ～ 0.0098	0.069 ～ 10	0.12 ～ 11	$^{110\text{m}}\text{Ag}$: ND ～ 0.23	ND ～ 0.00053
	ｲﾝﾄﾞﾙ類	6	ND	0.042 ～ 0.24	0.064 ～ 0.32	$^{110\text{m}}\text{Ag}$: 0.080 ～ 0.44	ND ～ 0.00058
平成 18～ 22 年度	魚類	110	ND ～ 0.010	ND	ND ～ 0.18	ND	ND ～ 0.0010
	ｲﾝﾄﾞﾙ類	30	ND	ND	ND ～ 0.041	ND	ND ～ 0.00051

*1 表 I-4-1 に示した放射性核種のうち、人工放射性核種として列挙した放射性核種を参照。

*2 ND は検出下限値以下を示す。なお、平成 30 年度に調査した海産生物試料（全 30 試料）の分析・測定で得られた検出下限値の平均は、 ^{90}Sr で 0.0057、 ^{134}Cs で 0.036、 ^{137}Cs で 0.026、 $^{239+240}\text{Pu}$ で 0.00030（Bq/kg-生鮮物）であり、その他のガンマ線放出核種についても概ね表 I-4-3 に示した検出目標レベルと同程度である。

(2) 海底土試料の分析結果

① 発電所海域

平成 30 年度分の海底土試料として、平成 30 年 5 月 9 日から 6 月 22 日までの期間に当初計画に沿って採取活動を行った。採取すべき海底土（表層 3cm）は全 15 海域 4 測点・計 60 試料であり、当該期間において当初計画した場所で欠測することなく採取を完了した。

採取した海底土については、採泥時に目視及び触って確認することにより、泥色^{※1}と大まかな粒径^{※2}を判断した。その後、必要量を分取して冷凍状態のまま輸送・保管とした。

海底土試料の前処理として、自然解凍、ブフナーロートによる吸引ろ過を適切に行い、目的とする放射能分析を行うに当たり十分な量として、表 I-4-2 に示した目的とする放射性核種の放射能分析での検出目標レベルを担保できる量を確保した。なお、対象とした全 15 海域の試料のうち、福島第一、福島第二及び茨城海域の 3 海域で採取した海底土試料に限っては湿土状態で、一方、その他 12 海域で採取した海底土試料については、105℃で乾燥させ、粉碎・混合したものを分析用試料として供した。

放射性核種の定量に当たっては、高純度ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメトリーを実施し、併せて計測時間、バックグラウンドの評価及び適切な校正曲線(エネルギー校正または効率曲線)の適用などの項目について適切かつ着実に実施した。

採取した海底土試料（計 60 試料）に含まれる放射性核種の放射能濃度範囲を平成 18 年度からの結果と併せて表 I-5-3 に示す。また、各海域の海底土試料に含まれる放射性核種の放射能濃度のほか、試料分析に関する記録について資料 2-1-1 から資料 2-1-15 に示す。

平成 30 年度に発電所海域で採取した海底土試料から検出された人工放射性核種は ^{134}Cs 及び ^{137}Cs であり、これらの放射能濃度は、事故後に実施した平成 23～29 年度の範囲よりも減少傾向にあったものの、東電福島第一原発事故前 5 年間の調査結果と比較すると、平成 29 年度と同様に比較的高い放射能濃度にある傾向が見られた。

平成 29 年度の調査において ^{134}Cs が検出された海域及び測点は、宮城（測点 4）、福島第一（全測点）、福島第二（全測点）及び茨城（全測点）の 4 海域（13 測点）であったが、平成 30 年度の調査においては、福島第一（全測点）、福島第二（全測点）及び茨城（全測点）の 3 海域（12 測点）に減少していた。また、 ^{137}Cs については、 ^{134}Cs が検出された測点に新潟海域（測点 1、2、3）を加えた 15 測点において事故前 5 年間の最大値（7.7Bq/kg-乾燥土）よりも高い放射能濃度を観測したことから、これらの海域においては、平成 30 年度の調査時点においても東電福島第一原発事故に起因する放射性セシウムの影響により比較的高い放射能濃度が観測されたものと推測できる。

※1 農林水産省農林水産技術会議事務局監修 財団法人日本色彩研究所 色票監修「新版 標準土色帖」

※2 例えば、日本海洋学会編「海洋観測ガイドライン第五巻（底質分析）」2016 年 12 月

表 I-5-3 海底土試料（発電所海域）に含まれる放射性核種の放射能濃度範囲

（単位：Bq/kg-乾燥土）

年度	試料数	^{134}Cs	^{137}Cs
平成 30 年度	60	ND*1 ～ 5.0	ND ～ 43
平成 29 年度	60	ND ～ 10	ND ～ 80
平成 28 年度	60	ND ～ 17	ND ～ 93
平成 27 年度	60	ND ～ 71	ND ～ 320
平成 26 年度	60	ND ～ 120	ND ～ 310
平成 25 年度	60	ND ～ 45	ND ～ 94
平成 24 年度	60	ND ～ 180	ND ～ 280
平成 23 年度	60	ND ～ 200	ND ～ 220
平成 18～22 年度	300	ND	ND ～ 7.7

*1 ND は検出下限値以下を示す。なお、平成 30 年度に調査した海底土試料（全 60 試料）の分析・測定で得られた検出下限値の平均は、 ^{134}Cs で 1.1、 ^{137}Cs で 0.72 (Bq/kg-乾燥土) であった。その他のガンマ線放出核種については検出されておらず、これらの検出下限値は概ね表 I-4-2 に示した検出目標レベルと同程度である。

②核燃海域

平成 30 年度分の海底土試料として、平成 30 年 6 月 3 日から 6 月 20 日までの期間に当初計画に沿って採取活動を行った。採取すべき海底土（表層 3cm）は全 22 測点・計 22 試料であり、当該期間において当初計画した場所で欠測することなく採取を完了した。

採取した海底土については、採泥時に目視及び触って確認することにより、発電所海域と同様に泥色と大まかな粒径を判断した。その後、必要量を分取して冷凍状態のまま輸送・保管とした。

海底土試料の前処理として、自然解凍、ブフナーロートによる吸引ろ過を適切に行い、目的とする放射能分析を行うに当たり十分な量として、表 I-4-3 に示した目的とする放射性核種の放射能分析での検出目標レベルを担保できる量を確保した。湿土状態とした海底土試料については、105℃で乾燥させ、粉碎・混合したものを分析用試料として供した。

放射性核種の定量に当たっては、目的とする放射性核種に応じて高純度ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメトリー、化学分離・精製をしたのち、シリコン半導体検出器によるアルファ線スペクトロメトリー、低バックグラウンドベータ線測定装置を用いたベータ線計測、または液体シンチレーション計数装置を用いたベータ線計測を実施し、併せて計測時間、バックグラウンドの評価及び適切な校正曲線（エネルギー校正または効率曲線）の適用などの項目について適切かつ着実に実施した。

採取した海底土試料（計 22 試料）に含まれる放射性核種の放射能濃度範囲を平成 18 年

度からの結果と併せて表 I-5-4 に示す。また、各測点の海底土試料に含まれる放射性核種の放射能濃度のほか、試料分析に関する記録について資料 2-2-1 から資料 2-2-6 に示す。

平成 29 年度の調査において核燃海域で採取した海底土から検出された人工放射性核種は ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 及び $^{239+240}\text{Pu}$ であったが、平成 30 年度の調査においても同様に ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 及び $^{239+240}\text{Pu}$ が検出された。これらの放射性核種の放射能濃度の範囲は、事故前 5 年間の範囲内かそれ以下であった。

表 I-5-4 海底土試料（核燃海域）に含まれる放射性核種の放射能濃度範囲

(単位：Bq/kg-乾燥土)

年度	試料数	^{90}Sr	^{134}Cs	^{137}Cs	$^{239+240}\text{Pu}$
平成 30 年度	22	ND*1 ~ 0.42	ND	ND ~ 4.3	0.42 ~ 5.4
平成 29 年度	22	ND ~ 0.37	ND	ND ~ 4.4	0.31 ~ 5.0
平成 28 年度	22	ND ~ 0.39	ND	ND ~ 4.6	0.41 ~ 4.7
平成 27 年度	22	ND ~ 0.50	ND	ND ~ 5.3	0.37 ~ 4.9
平成 26 年度	22	ND ~ 0.54	ND	ND ~ 6.1	0.39 ~ 5.0
平成 25 年度	22	ND ~ 0.43	ND	ND ~ 6.1	0.42 ~ 5.3
平成 24 年度	22	ND ~ 0.40	ND	ND ~ 6.2	0.38 ~ 4.8
平成 23 年度	22	ND ~ 0.51	ND	ND ~ 4.6	0.37 ~ 4.1
平成 18~22 年度	104	ND ~ 0.78	ND	ND ~ 5.2	0.39 ~ 5.1

*1 ND は検出下限値以下を示す。なお、平成 30 年度に調査した海底土試料（全 22 試料）の分析・測定で得られた検出下限値の平均は、 ^{90}Sr で 0.070、 ^{134}Cs で 1.0、 ^{137}Cs で 0.69、 $^{239+240}\text{Pu}$ で 0.010 (Bq/kg-乾燥土) であった。その他のガンマ線放出核種については検出されておらず、これらの検出下限値は概ね表 I-4-3 に示した検出目標レベルと同程度である。

(3) 海水試料の分析結果

① 発電所海域

平成 30 年度分の海水試料として、平成 30 年 5 月 9 日から 6 月 22 日の期間に当初計画に沿って採取活動を行った。採取すべき海水試料は全 15 海域 4 測点・2 層の計 120 試料であり、当該期間において当初計画した場所で欠測することなく採取を完了した。

放射性核種の定量に当たっては、目的とする放射性核種に応じて放射能分析を行うに当たり十分な量として、表 I-4-2 に示した放射能分析での検出目標レベルを担保できる量を供した。その後、化学分離・精製をしたのち、高純度ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメトリーまたは低バックグラウンドベータ線測定装置によるベータ線計測を実施し、併せて計測時間、バックグラウンドの評価及び適切な校正曲線（エネルギー

校正または効率曲線)の適用などの項目について適切かつ着実に実施した。

採取した海水試料(表層水、下層水;各60試料(計120試料))に含まれる放射性核種の放射能濃度範囲を平成18年度からの結果と併せて表I-5-5に示す。また、各海域の海水試料に含まれる放射性核種の放射能濃度のほか、試料分析に関する記録について資料3-1-1から資料3-1-15に示す。

平成29年度において発電所海域で採取した海水試料から検出された人工放射性核種は ^{90}Sr 及び ^{137}Cs であり、平成30年度の調査においても同様に ^{90}Sr 及び ^{137}Cs が検出された。このうち、 ^{90}Sr の放射能濃度は事故前5年間の範囲内であったものの、 ^{137}Cs については事故後に実施した平成23、24年度に比べ減少傾向にあるものの、平成29年度と同程度の放射能濃度が得られており、一部の試料では、事故前5年間の範囲を上回るものがあった。

海水試料のうち、表層水と下層水に含まれる ^{134}Cs については、いずれの海域でも検出されることはなかったものの、表層水に含まれる ^{137}Cs については、平成29年度の調査において福島第一(測点3、4)、福島第二(全測点)、茨城(全測点)及び静岡(測点1、2)の4海域12測点で事故前の最大値(2.4mBq/L)をわずかではあるが上回る測点が認められたものの、平成30年度の調査においては宮城(測点2)及び茨城(全測点)の2海域5測点でこの最大値(2.4mBq/L)をわずかながら上回っていた。

また、下層水に含まれる ^{137}Cs については、平成29年度の調査において福島第一(測点1、2、4)、福島第二(測点2、3)、茨城(全測点)、静岡(測点1、2)、石川(測点3)、島根(測点1)、愛媛(測点3)及び鹿児島(測点4)の8海域15測点で事故前5年間の最大値(2.3mBq/L)をわずかではあるが上回っていたものの、平成30年度の調査においては、宮城(測点1)、福島第一(測点1)、福島第二(測点2、3)、茨城海域(測点1)及び島根(測点4)の5海域6測点においてこの最大値(2.3mBq/L)をわずかながら上回っていた。

これらの海域における表層水の最大値は茨城海域の測点3及び4(2.8mBq/L)であり、事故前5年間の最大値の約1.2倍、下層水の最大値は福島第二の測点2(2.5mBq/L)であり、同約1.1倍であった。なお、その他の海域では、事故前5年間の範囲内であった。

一方、表層水及び下層水に含まれる ^{90}Sr の放射能濃度については、平成29年度の調査結果と同様に事故前5年間の範囲内かそれ以下であった。

表 I-5-5 海水試料（発電所海域）に含まれる放射性核種の放射能濃度範囲

(単位：mBq/L)

年度	試料名	試料数	⁹⁰ Sr	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs
平成 30 年度	表層水	60	0.49 ~ 1.1	ND*2	1.3 ~ 2.8
	下層水	60	0.26 ~ 1.1	ND	0.51 ~ 2.5
平成 29 年度	表層水	60	0.50 ~ 1.1	ND	1.3 ~ 4.0
	下層水	60	0.29 ~ 1.1	ND	0.66 ~ 2.9
平成 28 年度	表層水	60	0.66 ~ 1.1	ND ~ 0.98	1.6 ~ 5.0
	下層水	60	0.41 ~ 1.2	ND	0.69 ~ 3.2
平成 27 年度	表層水	60	0.67 ~ 1.2	ND ~ 0.77	1.7 ~ 4.0
	下層水	60	0.30 ~ 1.1	ND	0.52 ~ 3.9
平成 26 年度	表層水	60	0.70 ~ 1.3	ND ~ 1.6	1.3 ~ 5.3
	下層水	60	0.29 ~ 1.2	ND ~ 2.2	0.77 ~ 6.5
平成 25 年度	表層水	60	0.77 ~ 5.8	ND ~ 9.6	1.2 ~ 17
	下層水	60	0.30 ~ 1.3	ND ~ 1.5	0.7 ~ 3.9
平成 24 年度	表層水	60	0.63 ~ 13	ND ~ 29	1.0 ~ 41
	下層水	60	0.36 ~ 9.2	ND ~ 14	0.61 ~ 21
平成 23 年度	表層水	60 (15) *1	0.84 ~ 24	ND ~ 520	1.4 ~ 1400*4
	下層水	60	0.24 ~ 3.6	—*3	0.47 ~ 360*4
平成 18~ 22 年度	表層水	300 (75)	0.85 ~ 1.8	ND	1.1 ~ 2.4
	下層水	300	0.33 ~ 2.0	—	0.49 ~ 2.3

*1 () 内は、¹³⁴Cs の試料数を示す。

*2 ND は検出下限値以下を示す。なお、平成 30 年度に調査した海水試料（表層水と下層水を合わせた全 120 試料）の分析・測定で得られた検出下限値の平均は、⁹⁰Sr で 0.22、¹³⁴Cs で 0.70、¹³⁷Cs で 0.49 (mBq/L) であった。

*3 — は調査対象外を示す。

*4 平成 23 年度の表層水 45 試料及び下層水 60 試料については、ベータ線計測のため、¹³⁴Cs の影響を含んでいる可能性がある（32 ページ 6）の注 1 参照のこと。

②核燃海域

平成 30 年度前期分の海水試料として平成 30 年 6 月 3 日から 6 月 20 日までの期間、後期分の海水試料として平成 30 年 10 月 17 日から 10 月 28 日までの期間に当初計画に沿って採取活動を行った。採取すべき海水試料は全 22 測点・2 層・2 期の計 88 試料であり、当該期間において当初計画した場所で欠測することなく採取を完了した。

放射性核種の定量に当たっては、目的とする放射性核種に応じて放射能分析を行うに当たり十分な量として、表 I-4-3 に示した放射能分析での検出目標レベルを担保できる量を供した。その後、化学分離・精製をしたのち、高純度ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメトリー、低バックグラウンドベータ線測定装置によるベータ線計測、液体シンチレーション計数装置を用いたベータ線測定またはシリコン半導体検出器を用いたアルファ線スペクトロメトリーを実施し、併せて計測時間、バックグラウンドの評価及び適切な校正曲線（エネルギー校正または効率曲線）の適用などの項目について適切かつ着実に実施した。

採取した海水試料（全 22 測点・2 層・2 期の計 88 試料）に含まれる放射性核種の放射能濃度範囲を平成 18 年度からの結果と併せて表 I-5-6 に示す。また、各測点の海水試料に含まれる放射性核種の放射能濃度のほか、試料分析に関する記録について資料 3-2-1 から資料 3-2-22 に示す。

平成 30 年度に核燃海域で採取した海水試料から検出された人工放射性核種はトリチウム、 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 及び $^{239+240}\text{Pu}$ であり、これらの放射能濃度は平成 29 年度の調査結果とほぼ同様の範囲であった。

表層水に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度の最大値は 2.3mBq/L、下層水に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度の最大値は 2.2mBq/L で事故前 5 年間の最大値（表層：2.4mBq/L、下層：2.1mBq/L）と同程度であった。

表層水及び下層水に含まれるトリチウムの放射能濃度は、当該海域のバックグラウンドと考えられる平成 18 年度より日本原燃株式会社が六ヶ所村再処理施設において実施したアクティブ試験（使用済み核燃料を用いた再処理施設の操業前試験）開始前の期間（平成 13～17 年度）に行った調査結果で得られた放射能濃度の範囲（表層：ND～0.24Bq/L、下層：ND～0.21Bq/L）にあった。また、東電福島第一原発事故以降（平成 23 年度及び平成 24 年度）に一部の測点で検出されていた ^{134}Cs については、平成 29 年度に引き続き平成 30 年度の調査においてもすべての測点において検出されることはなかった。

表 I-5-6 海水試料（核燃海域）に含まれる放射性核種の放射能濃度範囲

（単位：mBq/L、ただしトリチウムは Bq/L）

年度	試料名	試料数	トリチウム	⁹⁰ Sr	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu
平成 30 年度	表層水	44	ND*1 ~ 0.12	0.48 ~ 1.2	ND	1.1 ~ 2.3	ND ~ 0.0080
	下層水	44	ND ~ 0.098	ND ~ 1.1	ND	ND ~ 2.2	ND ~ 0.025
平成 29 年度	表層水	44	ND ~ 0.17	0.53 ~ 1.0	ND	1.4 ~ 2.3	ND ~ 0.0058
	下層水	44	ND ~ 0.13	ND ~ 1.1	ND	ND ~ 2.2	ND ~ 0.023
平成 28 年度	表層水	44	ND ~ 0.14	0.61 ~ 1.3	ND	1.5 ~ 2.8	ND ~ 0.0058
	下層水	44	ND ~ 0.15	ND ~ 1.1	ND	ND ~ 2.4	ND ~ 0.026
平成 27 年度	表層水	44	ND ~ 0.17	0.62 ~ 1.2	ND	1.0 ~ 2.7	ND ~ 0.0052
	下層水	44	ND ~ 0.12	ND ~ 1.1	ND	ND ~ 2.4	ND ~ 0.024
平成 26 年度	表層水	44	ND ~ 0.18	0.57 ~ 1.1	ND	0.82 ~ 2.4	0.0011 ~ 0.0054
	下層水	44	ND ~ 0.15	ND ~ 1.2	ND	ND ~ 2.3	0.0014 ~ 0.023
平成 25 年度	表層水	44	ND ~ 0.16	ND ~ 1.1	ND	0.97 ~ 2.4	ND ~ 0.0064
	下層水	44	ND ~ 0.16	ND ~ 1.3	ND	ND ~ 2.3	0.0023 ~ 0.027
平成 24 年度	表層水	44	ND ~ 0.15	0.68 ~ 1.2	ND ~ 4.3	ND ~ 6.5	ND ~ 0.0076
	下層水	44	ND ~ 0.16	ND ~ 1.3	ND ~ 6.1	ND ~ 11	ND ~ 0.022
平成 23 年度	表層水	44	ND ~ 0.15	0.78 ~ 1.3	ND ~ 360	2.3 ~ 370	ND ~ 0.0095
	下層水	44	ND ~ 0.15	ND ~ 1.3	ND ~ 5.4	ND ~ 7.8	0.0024 ~ 0.03
平成 18 ~ 22 年度	表層水	208	ND ~ 1.3	0.73 ~ 1.6	ND	0.81 ~ 2.4	ND ~ 0.013
	下層水	208	ND ~ 0.27	ND ~ 1.7	ND	ND ~ 2.1	ND ~ 0.029

*1 ND は検出下限値以下を示す。なお、平成 30 年度に調査した海水試料（表層水と下層水を合わせた全 88 試料）の分析・測定で得られた検出下限値の平均は、トリチウムで 0.050 (Bq/L)、⁹⁰Sr で 0.22、¹³⁴Cs で 0.80、¹³⁷Cs で 0.56、²³⁹⁺²⁴⁰Pu で 0.0027 (mBq/L) であった。その他のガンマ線放出核種については検出されず、これらの検出下限値は概ね表 I-4-3 に示した検出目標レベルと同程度である。

【参考】アクティブ試験開始前のトリチウムの放射能濃度

年度	試料名	試料数	トリチウム (Bq/L)
平成 13 ~ 17 年度	表層水	160	ND*1 ~ 0.24
	下層水	160	ND ~ 0.21

*1 ND は検出下限値以下を示す。

6) 海洋環境試料中の放射性核種濃度レベルの経年変化

(1) 発電所海域における経年変化

調査開始当初から平成 30 年度までに実施した発電所海域の主要な漁場において収集した海産生物及び各海域に設けた測点で採取した海底土及び海水試料に含まれる ^{137}Cs 等の人工放射性核種の放射能濃度の経年変化を図 I-6-1~13、図 I-6-14~27 及び図 I-6-28~57 に示した(注 1)。なお、図化した経年変化は、調査開始当初から平成 30 年までの全期間に当たる 36 年間を対象とし、この間に発生したチェルノブイリ原子力発電所事故(1986(昭和 61)年 4 月 26 日)や東電福島第一原発事故(2011(平成 23)年 3 月 11 日~)の時期を含んでいる。このため放射性核種の放射能濃度変化について緩急を含む部分があり、経年変化図を示すことで大まかな放射能濃度を俯瞰して把握し、または各海域間での比較を行うことなどを容易にするための工夫として、放射能濃度を対数として図化している。

(注 1) 発電所海域の海水試料については、従来、各海域に設けた 4 つの測点のうち測点 1 の表層についてのみ、 ^{134}Cs と ^{137}Cs を区別できるガンマ線計測によって分析し、測点 1 の下層、測点 2~4 の表層及び下層の試料については、事実上、平成 22 年度までの試料中に ^{134}Cs が含まれていなかったことから、より低い検出下限値を達成できうるベータ線計測により分析されてきた。ベータ線計測では ^{134}Cs と ^{137}Cs を弁別して測定できないことから、同様の方法で実施された平成 23 年度の測点 1 の表層以外の分析結果は、事故由来の ^{134}Cs と ^{137}Cs を合わせた放射性セシウムの値になっている。そのため、経年変化図にはそれらの和「 $^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$ 」として“△”で図示している(ただし、平成 23 年度のベータ線計測においては、 ^{137}Cs 測定のための計数効率を使用しているため、 ^{134}Cs の値がやや低めにでており、厳密な意味での ^{134}Cs と ^{137}Cs の合計値ではない)。なお、平成 24 年度からは、すべての測点の表層及び下層において高純度ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリによって定量している。

① 海産生物試料

平成 30 年度に発電所海域(全 15 海域)で採取した海産生物試料に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度については、平成 29 年度と同程度の放射能濃度あるいはそれ以下であった。一方、長期的な経年変化を俯瞰すると、平成 23 年度は発電所海域の全 15 海域で採取した海産生物試料において、東電福島第一原発事故の影響により ^{134}Cs が検出され、併せて ^{137}Cs の放射能濃度で、緩急の差があるものの一時的な上昇が認められた(図 I-6-1~13 参照)。これら海域における ^{137}Cs の放射能濃度の最大値は、平成 23 年度後期に福島第二海域で採取された海産生物試料のうちの 2 試料から得られたもので、その放射能濃度は 140Bq/kg-生鮮物であった。これら ^{137}Cs の放射能濃度の一時的な上昇が見られた海域における放射能濃度は、翌年の平成 24 年度から平成 25 年度に実施した調査結果では急激に減少しており、以後、その他の海域と同様に漸減傾向の状況にあることを確認した(表 I-5-1 を参照)。

なお、平成 30 年度の調査においては、宮城、福島第一、福島第二及び茨城海域で採取した試料(魚類)の一部から、事故前の過去 5 年間の調査で得られた ^{137}Cs の放射能濃度の最大値より高い ^{137}Cs が検出された。これらの海域で採取した海産生物試料に含まれる ^{137}Cs

の放射能濃度の最大値は、福島第二海域で採取された海産生物試料の一魚種から得られたもので、その放射能濃度は 2.1Bq/kg-生鮮物であった。その他の海域の試料では、事故前の過去 5 年間で得られた放射能濃度の範囲内にあった。なお、放射能濃度の最大値である 2.1Bq/kg-生鮮物は、国の定める基準値である 100Bq/kg（注 2）と比べて 1/47 以下（注 3）の放射能濃度であり、十分に低かった。

（注 2）食品を対象とした放射性物質の基準値（平成 24 年厚生労働省令第 31 号、平成 24 年厚生労働省告示第 129 号及び第 130 号にて平成 24 年 3 月 15 日公布、同 4 月 1 日施行）のことで、食用とされる海産生物はその食品群の一部である「一般食品」に含まれる。食品中の放射性物質の基準値のうち「一般食品」に対しては、放射性セシウムの基準値として「100Bq/kg」と制定されている。また、ここで言う放射性セシウムとは ^{134}Cs と ^{137}Cs であり、この基準値は「東電福島第一原発事故で放出された放射性物質のうち、半減期が 1 年以上のすべての放射性核種（セシウム 134、セシウム 137、ストロンチウム 90、プルトニウム、ルテニウム 106）を考慮したもの」とされている。なお、放射性セシウム以外の放射性核種は測定に時間を要するため、放射性セシウムとしての基準値がそれぞれの食品群に対して明示されている。

（注 3）2.1Bq/kg-生鮮物の ^{137}Cs 濃度と国の基準値（100Bq/kg）を比べた場合の値。この試料からは 0.19Bq/kg-生鮮物の ^{134}Cs も併せて検出されており、 ^{134}Cs と ^{137}Cs の合算値は 2.29Bq/kg-生鮮物となる。この場合、国の定める基準値と比べて 1/43 以下の放射能濃度となる。

海産生物試料に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度の経年変化のうち、魚種間の相違については、魚類に比較してイカ・タコ類、例えば北海道海域（ミズダコ）、茨城海域（ミズダコ）、新潟海域（ミズダコ）、福井第一海域・福井第二海域（スルメイカ）では東電福島第一原発事故以前から低濃度の結果が得られてきた。これはイカやタコなどの頭足類は、代謝過程が異なることが指摘^{※1}され、また、頭足類が属する無脊椎動物は海水とほぼ同じ浸透圧を持つため、海水に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度が増減するとイカ・タコ類の筋肉に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度も直に増減することが指摘^{※2}されているところであるが、これらが本結果の要因となっているか否かについては、本調査で明らかにするには至っていない。

一方、後述する 2. 解析調査の「2）（4）原子力発電所等周辺海域における海水及び海産生物のトリチウム濃度調査」では、核燃料サイクル施設（原子燃料サイクル施設）及び東電福島第一原発事故による影響が懸念される、青森、宮城、福島第一、福島第二及び茨城海域の計 5 海域で採取した海産生物試料のうち、ガンマ線スペクトロメトリーを実施した海産生物と同一筋肉試料の一部を分取して、トリチウムの放射能濃度を求めた。その結果、同調査で測定された海水に含まれるトリチウムの放射能濃度と同程度であり、バックグラウンドレベルであることが確認された。

※1 立田穰（2014）海産生物への放射性セシウム移行に関するモデル解析について。Isotope News, No. 719, pp. 32-36.

※2 厚生労働省「食品に関するリスクコミュニケーション～食品中の放射性物質に対する取組について～」（平成 27 年 11 月 6 日開催、小田原市）発表資料（森田、福島第一原発事故による水産物の汚染の今）より（<https://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/iyaku/syoku-anzen/iken/dl/151119-1-odawara-2-all.pdf>）（平成 31 年 3 月閲覧）。

また、後述する 2. 解析調査の「1) 対照海域放射能調査」において実施した原子力発電所等、核燃料サイクル施設（原子燃料サイクル施設）及び東電福島第一原発事故の影響が及ばないと考えられる海域で採取した海産生物試料に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度との比較を行ったところ、事故前 5 年間で得られた放射能濃度の範囲とほぼ同程度であった海域と対照海域で採取された海産生物に含まれる放射性セシウムの放射能濃度は同レベルであった。このことから、これらの海域で採取した海産生物試料に含まれる放射性セシウムは、1950～60 年代に北半球を中心に盛んに実施された大気圏核爆発実験に由来するものであると考えられる。

② 海底土試料

平成 30 年度に発電所海域（全 15 海域）で採取した海底土試料に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度については、平成 29 年度と同程度の放射能濃度あるいはそれ以下であった。（表 I-5-3 を参照）。また、平成 30 年度の調査においては、福島第一、福島第二、茨城及び新潟海域で採取した試料の一部から、事故前の過去 5 年間の調査で得られた放射能濃度の最大値より高い ^{137}Cs が検出された。これらの海域における ^{137}Cs の放射能濃度の最大値は、茨城海域で得られた 43Bq/kg-乾燥土であった。その他の海域の試料では、事故前の過去 5 年間で得られた測定値の範囲内であった。

一方、長期的な経年変化を俯瞰すると、調査開始から平成 22 年度までの調査結果において、採取した海域の底質の違い（砂質あるいは泥質）に起因するとみられるばらつきが認められた。底質が主に砂質の場合には、検出下限値に近い放射能濃度である場合が多く、検出下限値以下であることが多いために経年変化が把握しにくい傾向にあったが、泥質あるいはシルト質の場合には砂質の場合と異なり有意に検出されることが多いため、経年とともに漸減傾向を確認することができた。

平成 23 年度においては、宮城、福島第一、福島第二、茨城及び新潟海域で採取した海底土試料において、東電福島第一原発事故の影響により ^{134}Cs が検出され、併せて ^{137}Cs の放射能濃度で、緩急の差があるものの一時的な上昇が認められた（図 I-6-14～27 を参照）。

平成 24 年度においても、宮城、福島第一及び福島第二海域では平成 23 年度と同程度の放射能濃度であることが確認され、とりわけ茨城海域では平成 23 年度に得られた放射能濃度を超えていた。

平成 25 年度においては、北海道、福島第二及び新潟海域で平成 24 年度に得られた放射能濃度をわずかに超えたものの、青森、宮城、福島第一、茨城及び静岡海域では平成 24 年度に得た放射能濃度を下回る結果となった。それ以降、平成 26 年度においては、福島第一海域（測点 3）で 310Bq/kg-乾燥土、平成 27 年度においては、福島第一海域（測点 2）で 320Bq/kg-乾燥土となる東電福島第一原発事故以降で最も高い放射能濃度を観測した。さらに、平成 28 年度においては、福島第二海域（測点 1）で 93Bq/kg-乾燥土、平成 29 年度

においては、事故前 5 年間の最大値より高い ^{137}Cs の放射能濃度を観測した宮城、福島第一、福島第二、茨城及び新潟海域の海底土試料のうち、最も高い放射能濃度は茨城海域（測点 1）で得られた 80Bq/kg-乾燥土であった。

これまでのところ、これらの海域における ^{137}Cs の放射能濃度の最大値は、平成 27 年度に福島第一海域で採取された海底土試料から得られたもので、その放射能濃度は前述のとおり 320Bq/kg-乾燥土であった。これら ^{137}Cs の放射能濃度の一時的な上昇が見られた海域における放射能濃度は、海域によって異なる変動が認められてきた。例えば、宮城海域では、平成 23 年度の調査結果で急激な ^{137}Cs の放射能濃度を観測したが、平成 24 年度以降には減少傾向に転じていた。一方、福島第一海域、福島第二海域、茨城海域においては、平成 23 年度の調査結果で急激な ^{137}Cs の付加を観測したものの、一律に減少傾向は見えておらず、平成 24 年度から平成 27 年度にかけて横ばいあるいは最大となる ^{137}Cs の放射能濃度を観測するなど、一定した変動傾向が見られない状況であった。その後、福島第一海域と福島第二海域での調査結果では平成 27 年度から、茨城海域では平成 29 年度の調査結果から ^{137}Cs の放射能濃度は減少傾向に転じていた。なお、その他海域においては概ね平成 30 年度に実施した調査の結果も含めて漸減傾向の状況にあることを確認した。

これまで述べた比較的高い ^{137}Cs の放射能濃度が得られた背景やその変動要因としては、東電福島第一原発事故の影響が考えられるが、その補完として実施している 2. 解析調査の「2) (3) 海洋放射能調査海域周辺における放射性セシウムの形態別分布に関わる詳細調査」においても ^{134}Cs が検出されていることから、過去 5 年間の最大値より高い ^{137}Cs の放射能濃度が認められたのは、東電福島第一原発事故の影響のためであると考えられる。

その他の海域（北海道、青森、静岡、石川、福井第一、福井第二、島根、愛媛、佐賀、鹿児島）の海底土試料においては、事故前の過去 5 年間の測定値の範囲内にあった。また、後述する 2. 解析調査の「1) 対照海域放射能調査」において実施した原子力発電所等、核燃料サイクル施設（原子燃料サイクル施設）及び東電福島第一原発事故の影響が及ばない海域で採取された海底土試料に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度との比較を行ったところ、これらの海域は対照海域と同レベルであった。このことから、その他の海域において検出された放射性セシウムの放射能濃度は 1950～60 年代の大気圏核爆発実験による影響であると考えられる。ただし、 ^{137}Cs の放射能濃度は ND～4.8Bq/kg-乾燥土の範囲で海域毎に異なる変動が見られた。その要因として海底土の粒径、有機物等の違い、すなわち海底土の性状の違いによることがこれまでの調査の結果からわかっている^{※1}。その内容については 2. 解析調査の「2) (3) 海洋放射能調査海域周辺における放射性セシウムの形態別分布に関わる詳細調査」で補完した。

※1 Tsukada, H., Takeda, A., Hisamatsu, S. and Inaba, J. (2008). Concentration and specific activity of fallout ^{137}Cs in extracted and particle-size fractions of cultivated soils. *J. Environ. Radioact.*, **99**, 875-881.

③ 海水試料

i. 表層水

発電所海域（全 15 海域）で採取した表層の海水試料に含まれる ^{90}Sr 及び ^{137}Cs の放射能濃度については、平成 29 年度と同程度の放射能濃度あるいはそれ以下であった。（表 I-5-6 を参照）。また、平成 30 年度の調査においては、宮城、茨城海域で採取した一部の表層水試料から、事故前の過去 5 年間の調査で得られた放射能濃度の最大値より高い ^{137}Cs の放射能濃度を観測した。これらの海域における ^{137}Cs の放射能濃度の最大値は、茨城海域の一部の表層水から得られたもので、その放射能濃度は 2.8mBq/L であった。その他の海域の試料では、事故前の過去 5 年間で得られた測定値の範囲内であった。

一方、長期的な経年変化を俯瞰すると、 ^{90}Sr については調査開始から平成 22 年度まで全国の海域において漸減傾向を示した。また、 ^{137}Cs についても昭和 60 年度までは漸減傾向を示したが、昭和 61 年度にはチェルノブイリ原子力発電所事故に起因するとみられる放射能濃度の上昇が認められた海域があったものの、昭和 62 年度には概ね昭和 60 年度に観測した放射能濃度と同じ程度まで低下し、平成 22 年度まで漸減傾向が認められた。

平成 23 年度において、青森、宮城、福島第一、福島第二、茨城及び静岡海域で採取した表層水から、東電福島第一原発事故の影響による ^{134}Cs が検出され（注 4）、併せて ^{137}Cs の放射能濃度で、緩急の差があるものの一時的な上昇が認められた（図 I-6-28～57 のうち、偶数の表を参照）。これら海域における ^{137}Cs の放射能濃度の最大値は、平成 23 年度に福島第一海域の一部の測点で採取された海水試料（表層水）から得られたもので、その放射能濃度は 1,400mBq/L（注 5）であった。これら放射能濃度の一時的な上昇が見られた海域における ^{137}Cs の放射能濃度は、翌年の平成 24 年度の調査結果では急激に減少したものの、平成 28 年度の調査ではわずかではあるが上昇傾向が見られた。平成 29 年度以降には再び減少傾向が観測され、その他の海域と同様に漸減傾向の状況にあることを確認した。

（注 4） 各発電所海域に設定した 4 測点のうち、測点 1 の表層水に限ってゲルマニウム半導体検出器による定量を行っていたため、 ^{134}Cs と ^{137}Cs について弁別した定量結果を得ていたことによるもの。

（注 5） ベータ線計測による値であり、 ^{134}Cs の影響を含んでいる可能性がある（30 ページの（注 1）を併せて参照のこと）。

平成 24 年度においては、平成 23 年度に ^{90}Sr の放射能濃度の大幅な上昇が認められた福島第一及び福島第二海域では事故前に得られた放射能濃度と同程度まで低下したものの、茨城海域においては事故後最も濃度が高くなった（最大値：13mBq/L）。一方、 ^{137}Cs の放射能濃度は平成 23 年度の調査で大幅な上昇が確認されたいずれの海域でも減少していることが認められ、とりわけ、北海道、静岡及び新潟海域では、事故前の放射能濃度と同程度になった。

平成 25 年度は、福島第二海域の一部の測点で ^{90}Sr の放射能濃度として平成 24 年度に得

た結果の約3倍であり、また、茨城海域においては、平成24年度の概ね半分の放射能濃度と同程度まで低下していた。一方、 ^{137}Cs の放射能濃度は青森、福島第一及び福島第二海域で平成24年度と同程度、宮城及び茨城海域で平成24年度から減少が認められた。また、静岡、新潟、石川、福井第一、福井第二及び愛媛海域ではわずかではあるものの放射能濃度の上昇が認められたが、事故前に得られた放射能濃度を超えるものではなかった。

平成26、27、28年度では、 ^{90}Sr の放射能濃度は全海域でほぼ事故前と同程度にまで減少していた。また、 ^{137}Cs の放射能濃度については、他の海域と比べると比較的高い結果が得られた福島第一、福島第二海域で減少が認められたものの、その他の海域では横ばいかごくわずかではあるものの上昇傾向が認められた。

平成29年度において、福島第一、福島第二、茨城及び静岡海域で事故前の過去5年間の最大値より高い ^{137}Cs が検出された。これらの海域における最大値は、福島第一海域（測点4）で得られた4.0mBq/Lであり、その他の海域の海水試料では、事故前の過去5年間の測定値の範囲内であった。

ただし、西日本及び日本海の表層海水（北海道、静岡、新潟、石川、福井第一、福井第二、島根、愛媛、佐賀及び鹿児島）の10海域を中心に、東電福島第一原発事故以降、海水に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度が事故前（平成22年度調査結果）に比較して高い状況が確認されている。この原因は、東電福島第一原発事故によって海洋に付加された放射性セシウムが海流に乗って西日本及び日本海に到達したと考えられる^{※1}。平成30年度の調査結果でも引き続き、平成29年度の2. 解析調査の「2）（3）海洋放射能調査海域周辺における放射性セシウムの形態別分布に関わる詳細調査」において、日本海及び西日本の表層海水（北海道、静岡、新潟、石川、福井第二、島根、愛媛、佐賀及び鹿児島）の9海域のゲルマニウム半導体検出器による長時間測定によるガンマ線スペクトロメトリーにより ^{134}Cs が検出された。しかしながら、各年度の平均値を比較したところ、平成30年度においては、平成29年度の調査結果と同様にこれら上昇傾向は見られなかった。また、発電所海域の ^{90}Sr について、平成29年度と同様に、2. 解析調査の「1）対照海域放射能調査」において比較検討を行ったところ、すべての海域において対照海域と同程度の放射能濃度の範囲にあり、東電福島第一原発事故の影響を確認することはできなかった。

なお、平成29年度に引き続き、後述する2. 解析調査の「2）（2）海水及び海産生物の ^{129}I 濃度」では、東電福島第一原発事故による影響が懸念されている青森、宮城、福島第一、福島第二及び茨城海域の5海域で採取した海水試料に含まれる ^{129}I の放射能分析を行っており、その結果、いずれの海域でも同事故の影響は見られていない。

※1 Takata, H., Kusakabe, M., Inatomi, N. and Ikenoue, T. (2018). Appearances of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Derived ^{137}Cs in the Coastal Waters Around Japan: Results from the Marine Monitoring off Nuclear Power Plants and Facilities in Japan (1983 to 2016). *Environ. Sci. Technol.*, **52**, 2629-2637.

ii. 下層水

発電所海域（全 15 海域）で採取した下層の海水試料に含まれる ^{90}Sr 及び ^{137}Cs の放射能濃度については、平成 29 年度と同程度の放射能濃度あるいはそれ以下であった。また、平成 30 年度の調査においては、福島第一、福島第二及び茨城海域で採取した下層水試料の一部から、事故前の過去 5 年間の調査で得られた放射能濃度の最大値より高い ^{137}Cs が検出された。これらの海域における ^{137}Cs の放射能濃度の最大値は、福島第二海域の一部の下層水から得られた 2.5mBq/L であった。その他の海域の試料では、事故前の過去 5 年間で得られた結果の範囲内であった。

発電所海域で採取した海水試料のうち、下層水に含まれる ^{90}Sr 及び ^{137}Cs 濃度の経年変化については、 ^{90}Sr の放射能濃度について調査開始から平成 22 年度まで全国の発電所海域において漸減傾向を示したが、平成 23 年度には東電福島第一原発事故の影響と見られる若干の上昇傾向が福島第一及び茨城海域で認められた（図 I-6-28～57 のうち、奇数の表を参照）。

平成 24 年度には福島第一海域で得た放射能濃度は事故前と同程度に戻ったものの、茨城海域の一部の測点では平成 23 年度と比較して 3 倍程度までの上昇が認められた。しかしながら、平成 25 年度以降では茨城海域を含めたすべての海域で事故前の放射能濃度と同じ程度に戻った。

一方、 ^{137}Cs の放射能濃度については、昭和 61 年度に若干の上昇傾向が認められた海域があるものの、それ以降は平成 22 年度まですべての海域で漸減傾向を示したが、平成 23 年度には宮城、福島第一、福島第二、茨城、静岡及び新潟海域での上昇が認められた。これらの海域では平成 24 年度の調査において放射能濃度の減少が確認され、平成 25 年度以降は平成 30 年度を含め全海域でほぼ横ばいであった。

なお、平成 29 年度に引き続き下層水に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度の上昇傾向については、2. 解析調査の「2) (3) 海洋放射能調査海域周辺における放射性セシウムの形態別分布に関わる詳細調査」において詳述しているが、平成 24 年度の表層より深い層から ^{134}Cs が検出されたことから、東電福島第一原発事故によって付加されたものと考えられる。また、表層から下層まで水温塩分が一樣な海域（採水層が比較的浅い海域）で ^{134}Cs が検出されたことから、表層海水が海流や海底地形の影響等による鉛直方向の混合によって下層で観測された放射能濃度の上昇につながったものと考えられる。

(2) 核燃海域における経年変化

調査開始当初から平成 30 年度までに実施した核燃海域の主要な漁場において収集した海産生物及び同海域に設けた 22 測点で採取した海底土に含まれる ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 及びトリチウム（海水のみ）の放射能濃度の経年変化をそれぞれ図 I-6-58～60、図 I-6-61～

63 及び図 I-6-64～71 に示した。

なお、図化した経年変化は、発電所海域の結果と同様に、調査開始当初から平成 30 年までの全期間に当たる 36 年間を対象とし、この間に発生したチェルノブイリ原子力発電所事故（1986（昭和 61）年 4 月 26 日）や東電福島第一原発事故（2011（平成 23）年 3 月 11 日～）の時期を含んでいる。このため放射性核種の放射能濃度変化について緩急を含む部分があり、経年変化図を示すことで大まかな放射能濃度を俯瞰して把握し、または各海域間での比較を行うことなどを容易にするための工夫として、放射能濃度を対数として図化している。

また、核燃海域に設定した測点については、平成 19 年度から調査測点を拡張（「1～16」測点を「1～22」測点へ 6 測点増加）し、併せて海産生物試料数は年間 20 試料から 30 試料へ、海底土試料数は年間 16 試料から 22 試料へ、海水試料数は年間 64 試料から 88 試料へ増加となった。

① 海産生物試料

平成 30 年度の調査において核燃海域で採取した海産生物試料に含まれる ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 及び $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度については、平成 29 年度と同程度の放射能濃度あるいはそれ以下であった。一方、長期的な経年変化を俯瞰すると、平成 23 年度において核燃海域で採取した海産生物試料において、東電福島第一原発事故の影響により ^{134}Cs が検出され、併せて ^{137}Cs の放射能濃度で、緩急の差があるものの一時的な上昇が認められた（図 I-6-58～60 を参照）。これら ^{137}Cs の放射能濃度の一時的な上昇が見られた海域における放射能濃度は、その後、減少傾向に転じており、その他の海域と同様に漸減傾向の状況にあることを確認した（表 I-5-2 を参照）。

なお、 ^{90}Sr については、容易に検出できないほど低い放射能濃度であり、平成 26 年度までの調査でほとんどの試料で検出下限値以下であった。平成 30 年度の調査では、唯一、骨を含む全体を試料として供したカタクチイワシから極めて低い放射能濃度であるものの、 0.0067Bq/kg -生鮮物の ^{90}Sr が検出された。一方、核燃海域で採取した試料（魚類）の一部から、事故前の過去 5 年間に実施した核燃海域での調査で得られた ^{137}Cs の放射能濃度の最大値をわずかに超える 0.30Bq/kg -生鮮物の ^{137}Cs が検出されたものの、先の発電所海域での結果よりも十分に低いものであった。

これまでのところ、核燃海域で採取した海産生物試料の筋肉（一部の魚種については全体）に含まれる ^{90}Sr の放射能濃度の経年変化をみると、 ^{90}Sr は海産生物内で骨に集まる性質があることもあり、筋肉に含まれる ^{90}Sr は容易に検出できないほど低い放射能濃度であり、平成 26 年度までの調査ではほとんどの試料が、平成 27～29 年度の調査においては全ての試料が検出下限値以下であった。

一方、 ^{137}Cs の放射能濃度は平成 3 年度から平成 22 年度までほぼ同程度あるいは漸減傾

向を示していたが、平成 23 年度には東電福島第一原発事故の影響を受け、すべての海産生物試料で比較的高い濃度水準（最大値：11Bq/kg-生鮮物）を示した。

平成 24 年度においても平成 23 年度と同程度の放射能濃度（最大値：7.6Bq/kg-生鮮物）であったが、平成 25 年度には若干の減少が認められたものの、比較的高い放射能濃度（最大値 4.1Bq/kg-生鮮物）が得られた。平成 26～29 年度においては、それら放射能濃度の減少傾向は継続しており、 ^{137}Cs の放射能濃度の最大値は平成 26 年度で 1.7Bq/kg-生鮮物、平成 27 年度で 0.32Bq/kg-生鮮物、平成 28 年度で 0.65Bq/kg-生鮮物、平成 29 年度で 0.31Bq/kg-生鮮物であった。

$^{239+240}\text{Pu}$ については、平成 27 年度までの調査で、骨を含む試料全体を分析したコウナゴやカタクチイワシ及びイカ・タコ類を中心として極めて低い放射能濃度水準ではあるものの検出されている。平成 28 年度も極めて低い放射能濃度水準であったが、キアンコウ、スケトウダラ及びヒラメの 3 試料から $^{239+240}\text{Pu}$ が検出された。平成 30 年度の調査では、平成 29 年度に採取した全試料から検出されなかったものの、イカ・タコ類の一部から極めて低い放射能濃度ではあるが 0.00039Bq/kg-生鮮物の $^{239+240}\text{Pu}$ が検出された。

また、後述する 2. 解析調査の「1）対照海域放射能調査」において実施した原子力発電所等、核燃料サイクル施設（原子燃料サイクル施設）及び東電福島第一原発事故の影響が及ばないと考えられる海域で採取した海産生物試料の一部から得られた ^{137}Cs の放射能濃度と核燃海域で採取された海産生物試料から得た放射能濃度は同程度であった。

なお、核燃海域はコンブ等の産地であるため、2. 解析調査の「2）（2）海水及び海産生物の ^{129}I 濃度」において、コンブ類に含まれる放射性ヨウ素についても検討を行ったが、平成 30 年度の ^{129}I 濃度は、平成 19、20 年度のアクティブ試験による影響を除く、事故前の調査時の放射能濃度^{※1}と同程度であった。

さらに、後述する 2. 解析調査の「2）（4）原子力発電所等周辺海域における海水及び海産生物のトリチウム濃度調査」では、核燃料サイクル施設（原子燃料サイクル施設）及び東電福島第一原発事故による影響が懸念される核燃海域で採取し、ガンマ線放出核種をガンマ線スペクトロメトリーにより定量した海産生物と同一筋肉試料の一部を分取して、トリチウムの放射能濃度を求めた結果からも、同事故の影響は見られていない。

② 海底土

平成 30 年度の調査において核燃海域で採取した海底土試料に含まれる ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 及び $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度については、平成 29 年度と同程度の放射能濃度あるいはそれ以下であった。（表 I-5-4 を参照）。一方、長期的な経年変化を俯瞰すると、平成 23 年度から平成 25 年度にかけてわずかではあるものの ^{137}Cs の放射能濃度に上昇傾向が見られたものの、

※1 公益財団法人海洋生物環境研究所（平成 30 年 3 月）、平成 29 年度原子力施設等防災対策等委託費（海洋環境における放射能調査及び総合評価）事業 調査報告書。

平成 26 年度には減少傾向に転じ、その後は発電所海域と同様に漸減傾向の状況にあることを確認した（図 I-6-61～63 を参照）。

核燃海域で採取した海底土試料に含まれる ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 及び $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度は、これまでの調査結果から発電所海域と同様に、採取を行った海域の底質の性状によってその放射能濃度が変化する傾向が認められた。これら 3 核種の放射能濃度は、底質が砂質の場合には比較的低くなる一方で、泥質あるいはシルト質などの場合には比較的高くなる傾向がある。この傾向は、特に ^{90}Sr で顕著に見られており、砂質の場合はほとんどの試料から ^{90}Sr は検出されなかった。平成 30 年度の調査でも、いずれの放射性核種の放射能濃度も事故前 5 年間の範囲内かそれ以下であった。

また、後述する 2. 解析調査の「1) 対照海域放射能調査」において実施した原子力発電所等、核燃料サイクル施設（原子燃料サイクル施設）及び東電福島第一原発事故の影響が及ばない海域で採取された海底土試料に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度との比較を行ったところ、核燃海域では対照海域で得られるものと同程度であった。このことから、検出された放射性セシウムは 1950～60 年代に北半球を中心に盛んに実施された大気圏核爆発実験に起因するものであると考えられる。ただし、 ^{137}Cs の放射能濃度には変動が見られ、その要因として海底土の粒径、含有する有機物等の量や質の相違、すなわち海底土の性状の違いによることがこれまでの調査の結果からわかっている^{※1}。その詳細は 2. 解析調査の「2) (3) 海洋放射能調査海域周辺における放射性セシウムの形態別分布に関わる詳細調査」に示している。

このほか、2. 解析調査の「1) 対照海域放射能調査」において、核燃海域における海底土に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度について比較検討を行った結果から、これらは対照海域と同程度の放射能濃度であること、さらに 2. 解析調査の「2) (1) 海洋環境における $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 及び $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比モニタリング」において検討した日本全国の海底土の $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比が事故前の値と一致していることから、東電福島第一原発事故の影響は見られなかったと考えられる。

③ 海水

平成 30 年度の調査において核燃海域で採取した海水試料に含まれるトリチウム、 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 及び $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度については、平成 29 年度と同程度の放射能濃度あるいはそれ以下であった。（表 I-5-6 を参照）。一方、長期的な経年変化を俯瞰すると、平成 23 年度において核燃海域で採取した海水試料（表層水及び下層水）において、東電福島第一原発事故の影響により ^{134}Cs が検出され（注 4）、併せて ^{137}Cs の放射能濃度において緩急の差

※1 Tsukada, H., Takeda, A., Hisamatsu, S. and Inaba, J. (2008). Concentration and specific activity of fallout ^{137}Cs in extracted and particle-size fractions of cultivated soils. *J. Environ. Radioact.*, **99**, 875-881.

があるものの一時的な上昇が認められた（図 I -6-64～71 を参照）。翌年の平成 24 年度の調査結果では急激な減少が認められ、平成 25 年度の調査結果を含めて減少傾向に転じた。しかし、平成 26 年度から平成 30 年度の調査結果では概ね横ばいの傾向ではあるものの、わずかではあるが増減を繰り返している傾向が見られている。

これまでのところ、核燃海域で採取した海水試料に含まれるトリチウム、 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 及び $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度の経年変化を見ると、トリチウムの放射能濃度では、表層水及び下層水とも平成 3 年度からほぼ一定の放射能濃度で推移してきたが、平成 19 年度及び平成 20 年度には表層水試料の一部に一時的な上昇が確認されている（最大値：1.3Bq/L）。これは、青森県六ヶ所村に建設が進む使用済み核燃料再処理施設（原子燃料サイクル施設）のアクティブ試験に伴う管理放出に起因するものと推定される。なお、翌年の平成 21 年度に実施した調査では同試験開始前（平成 13 年度から平成 17 年度）の放射能濃度と同程度まで戻っており、平成 30 年度に得られた放射能濃度も同試験開始前に得られた調査結果の変動範囲内であった。

^{90}Sr の放射能濃度は、平成 23 年度前期調査を実施した一部の測点（福島県沖合に近い測点 22）で採水した表層水から東電福島第一原発事故に起因するとみられる放射能濃度（13mBq/L）を観測した事例があったが、表層水及び下層水とも平成 3 年度から平成 28 年度まで漸減傾向を示しており、平成 30 年度も平成 29 年度と同程度の放射能濃度であった。

^{137}Cs の放射能濃度は、表層水及び下層水とも平成 3 年度から平成 22 年度までは漸減傾向を示してきたが、平成 23 年度は東電福島第一原発事故を受けて顕著な濃度上昇が確認され、測点 22 の表層水で 370mBq/L であった。

平成 24 年度は、表層水及び下層水から得られた放射能濃度は平成 23 年度に比べ減少傾向にあり、平成 25～29 年度は表層水及び下層水とも一部を除きほぼ事故前 5 年間で得られた放射能濃度と同程度であった。

$^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度は、表層水及び下層水とも平成 3 年度から平成 22 年度まで穏やかな漸減傾向を示しており、平成 30 年度もその傾向は維持され、平成 29 年度と同程度の放射能濃度であった。

また、核燃海域で採取した海水試料に含まれる ^{90}Sr 及び $^{239+240}\text{Pu}$ について、2. 解析調査の「1) 対照海域放射能調査」において比較検討を行ったところ、すべての海域において対照海域と同程度の放射能濃度であったことから、東電福島第一原発事故の影響はないと考えられる。

なお、後述する 2. 解析調査の「2) (2) 海水及び海産生物の ^{129}I 濃度」では、東電福島第一原発事故並びに核燃料サイクル施設（原子燃料サイクル施設）の本格稼働による影響が懸念される核燃海域で海水試料を採取し ^{129}I の放射能分析を行った結果、いずれの海域でも同事故の影響は見られなかった。

海産生物、海底土及び海水に含まれる放射性核種の放射能濃度について、長期的な経年変化を俯瞰して把握し、併せて海域間での比較を容易にするための工夫として、これら放射能濃度（縦軸）を対数として図化している（主目盛は1桁ずつ上がる）。

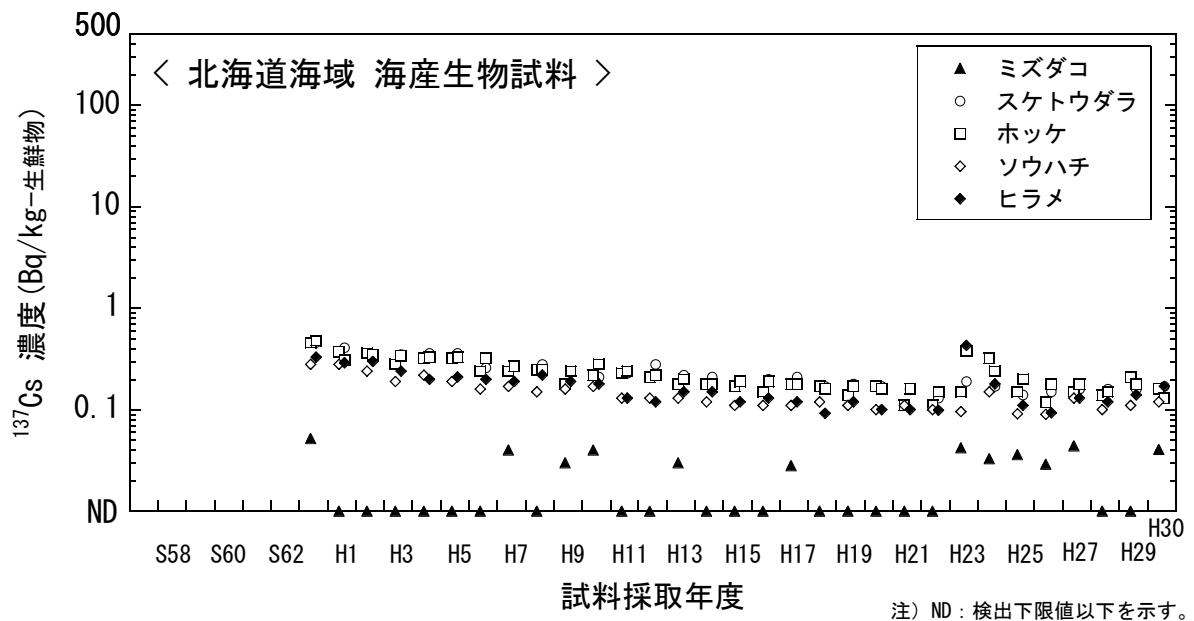


図 I-6-1 海産生物試料の ^{137}Cs 濃度経年変化（北海道海域）

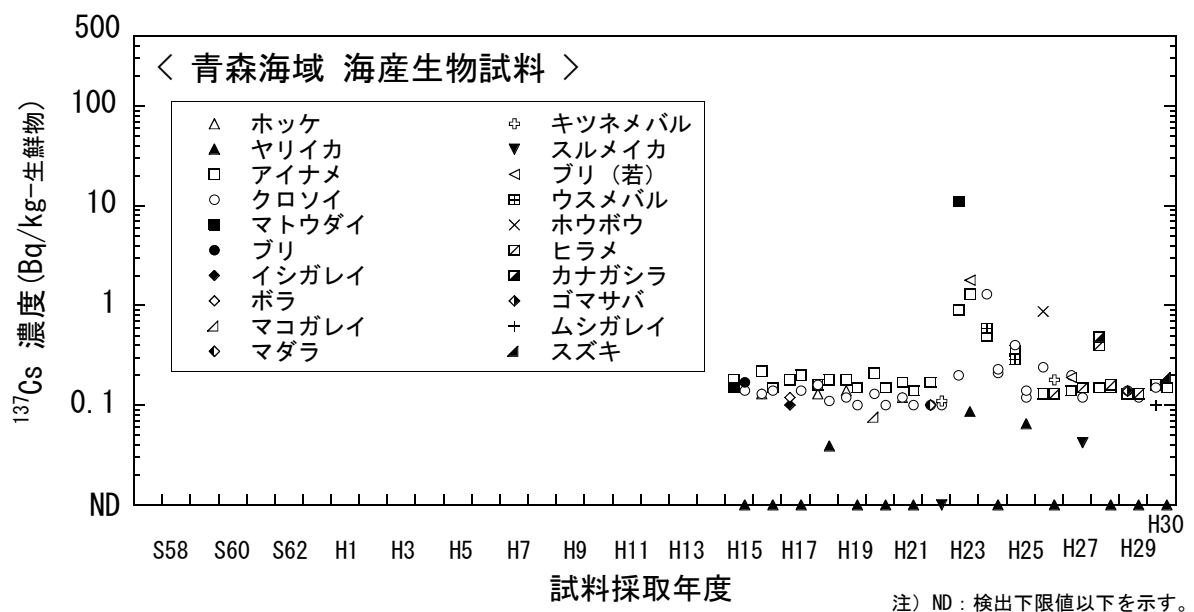


図 I-6-2 海産生物試料の ^{137}Cs 濃度経年変化（青森海域）

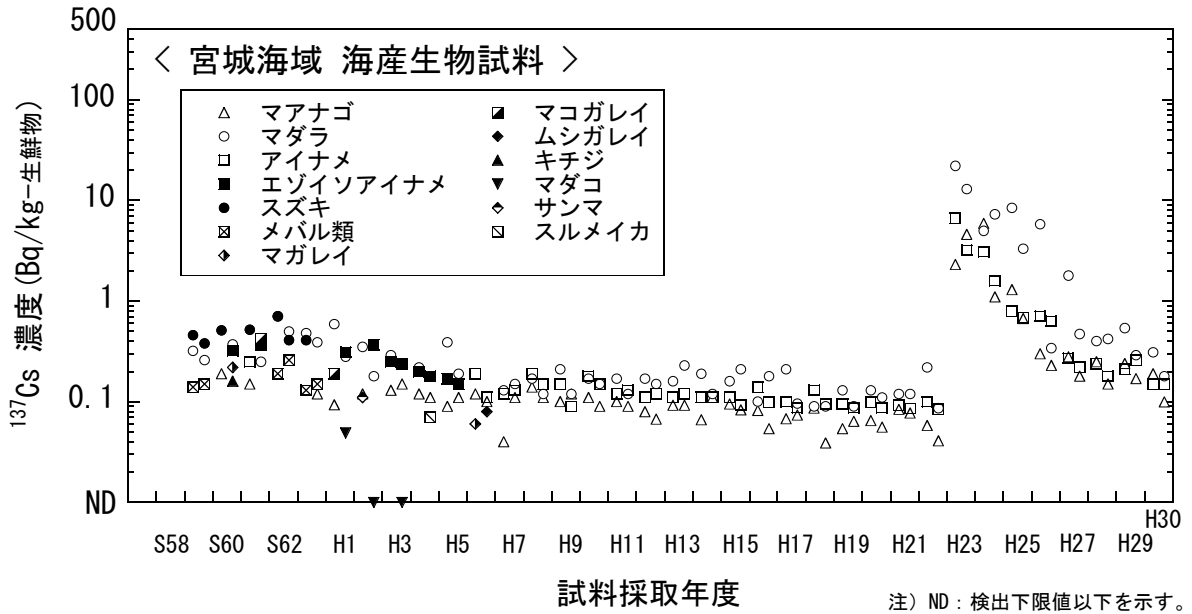


図 I-6-3 海産生物試料の ^{137}Cs 濃度経年変化 (宮城海域)

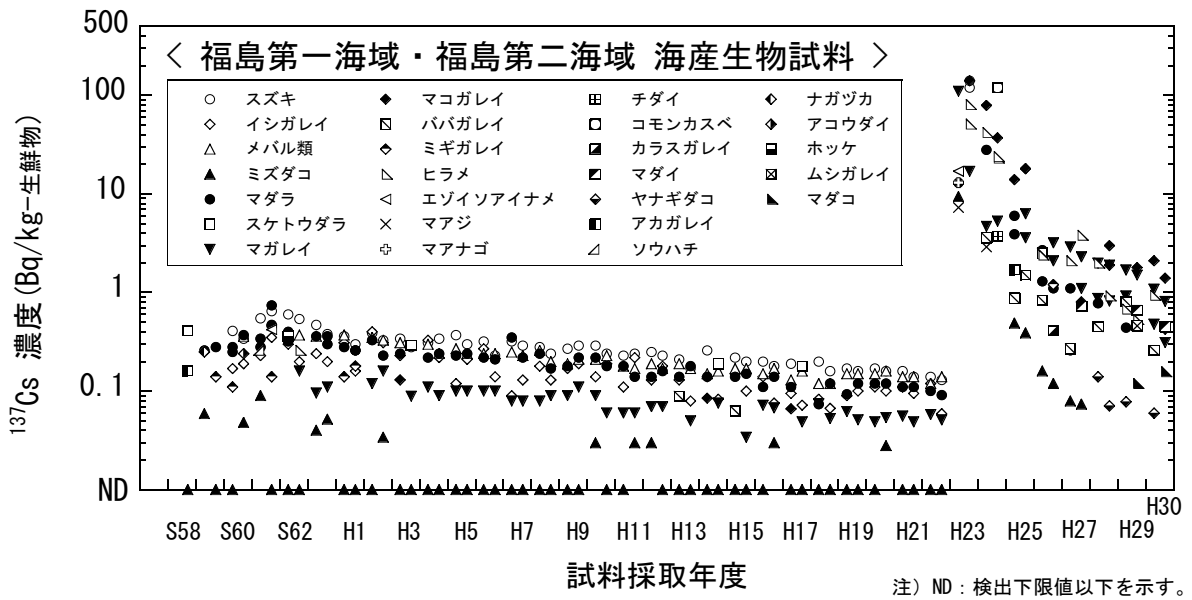


図 I-6-4 海産生物試料の ^{137}Cs 濃度経年変化 (福島第一海域・福島第二海域)

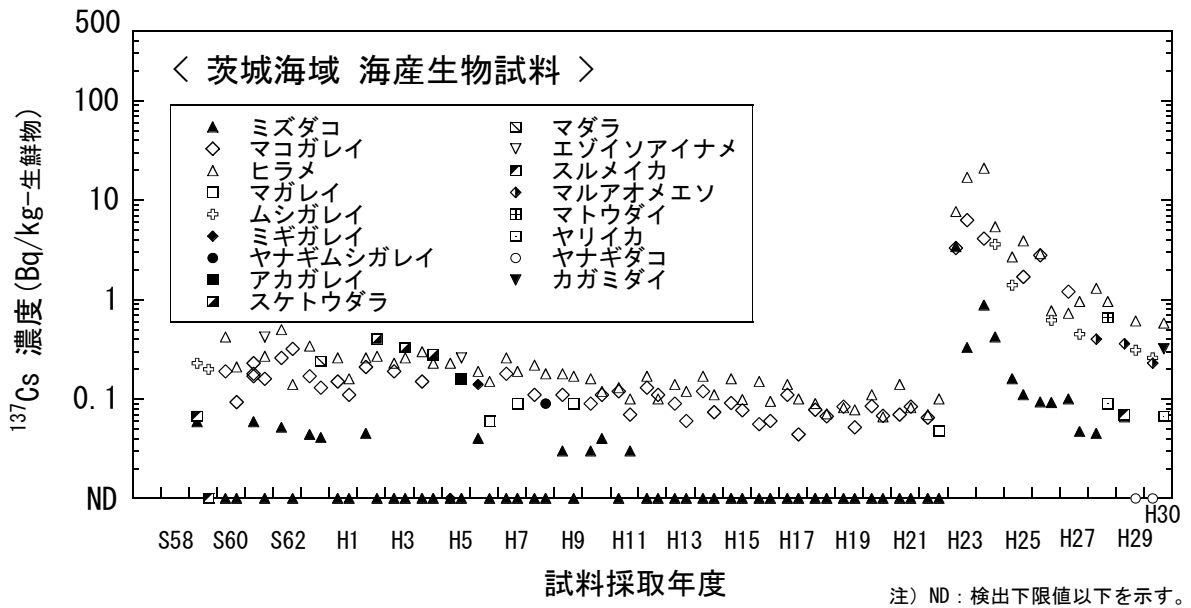


図 I-6-5 海産生物試料の ^{137}Cs 濃度経年変化 (茨城海域)

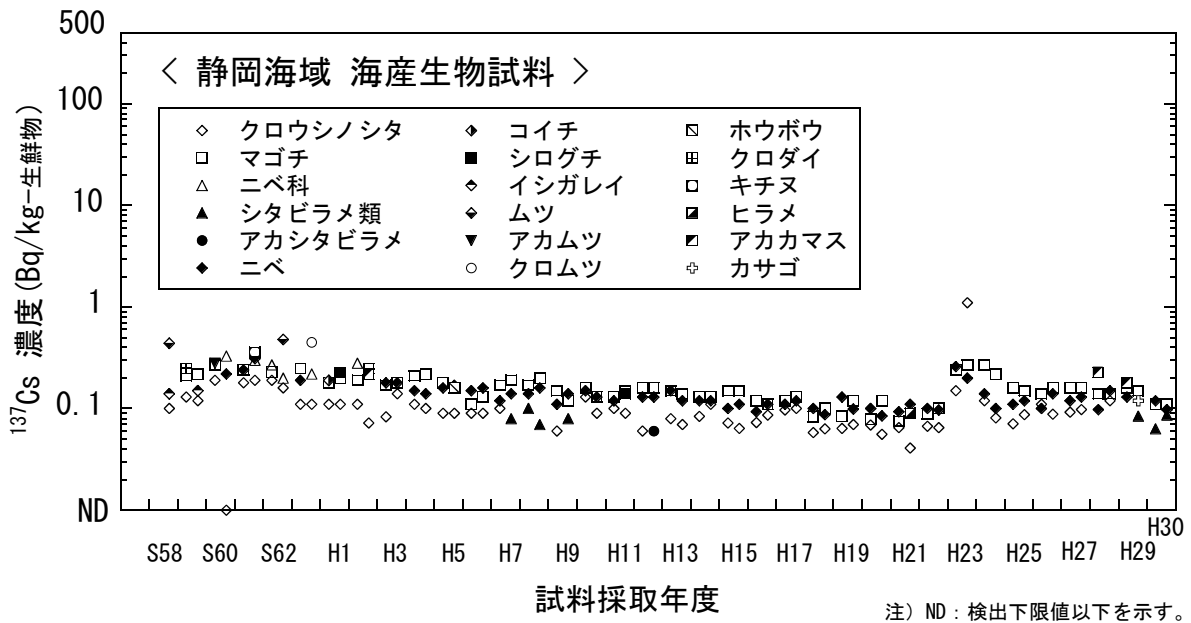


図 I-6-6 海産生物試料の ^{137}Cs 濃度経年変化 (静岡海域)

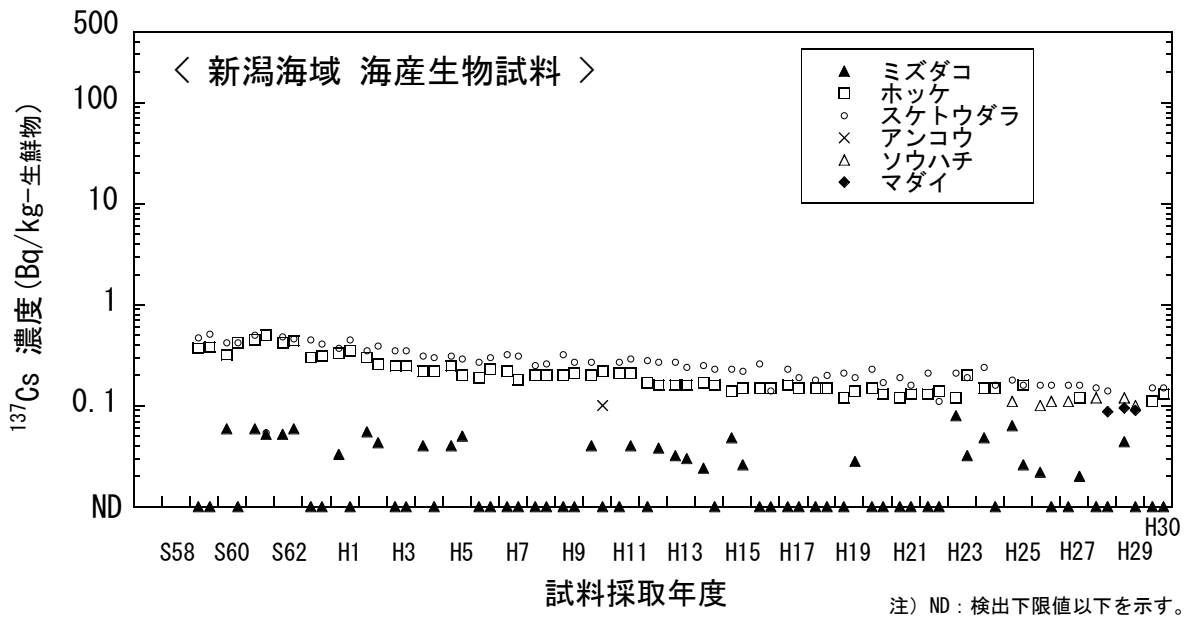


図 I-6-7 海産生物試料の ^{137}Cs 濃度経年変化 (新潟海域)

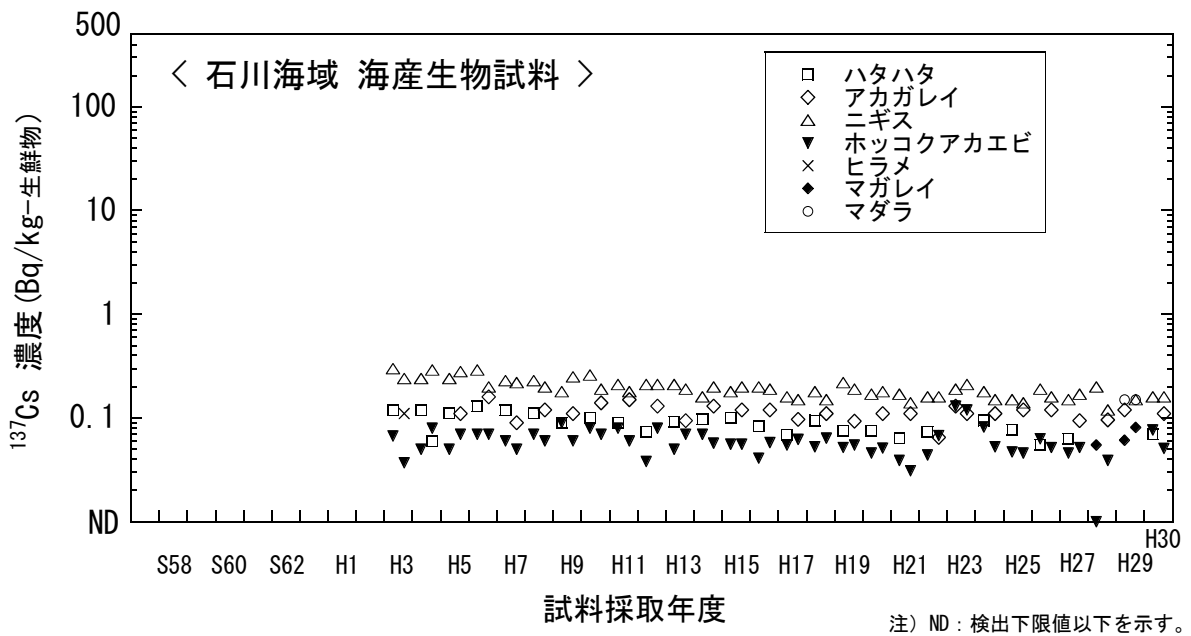


図 I-6-8 海産生物試料の ^{137}Cs 濃度経年変化 (石川海域)

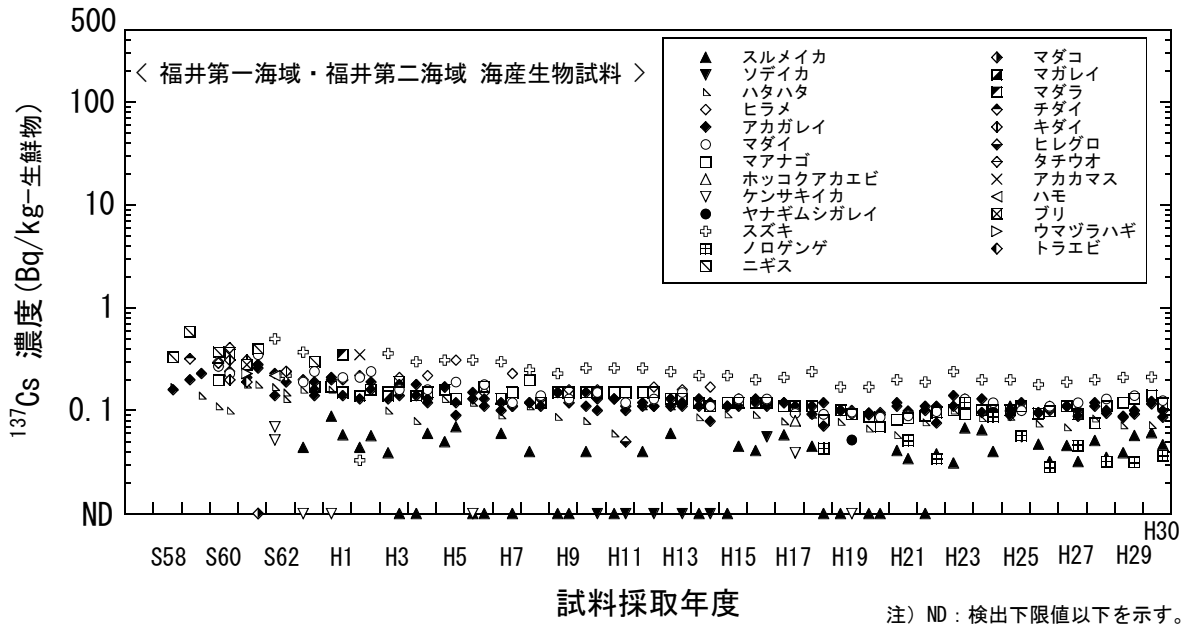


図 I-6-9 海産生物試料の ^{137}Cs 濃度経年変化 (福井第一海域・福井第二海域)

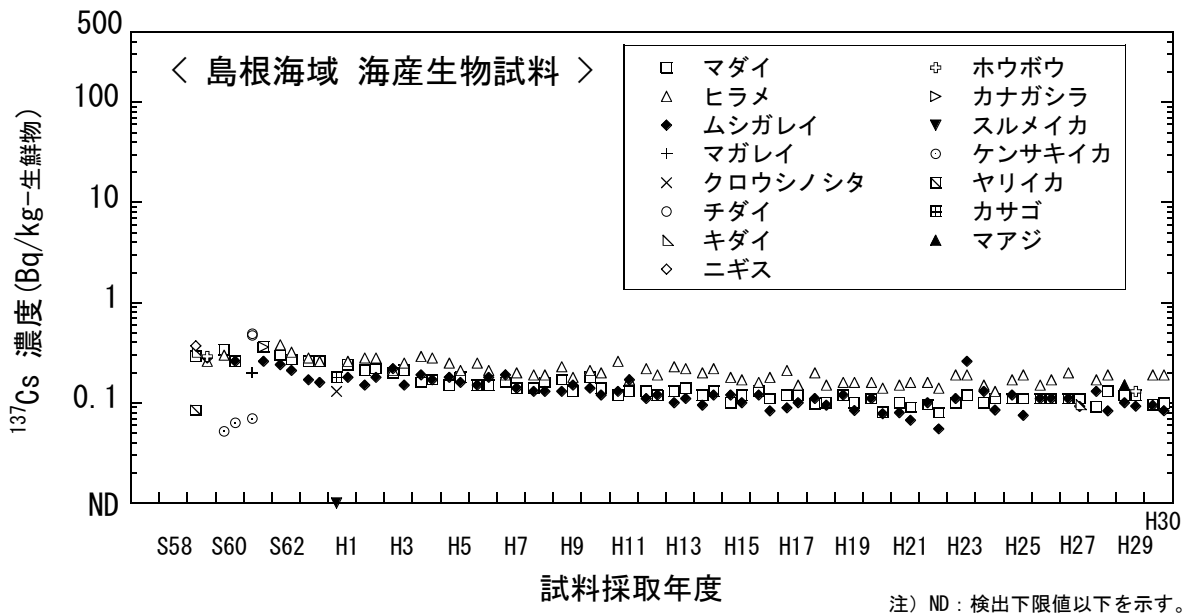


図 I-6-10 海産生物試料の ^{137}Cs 濃度経年変化 (島根海域)

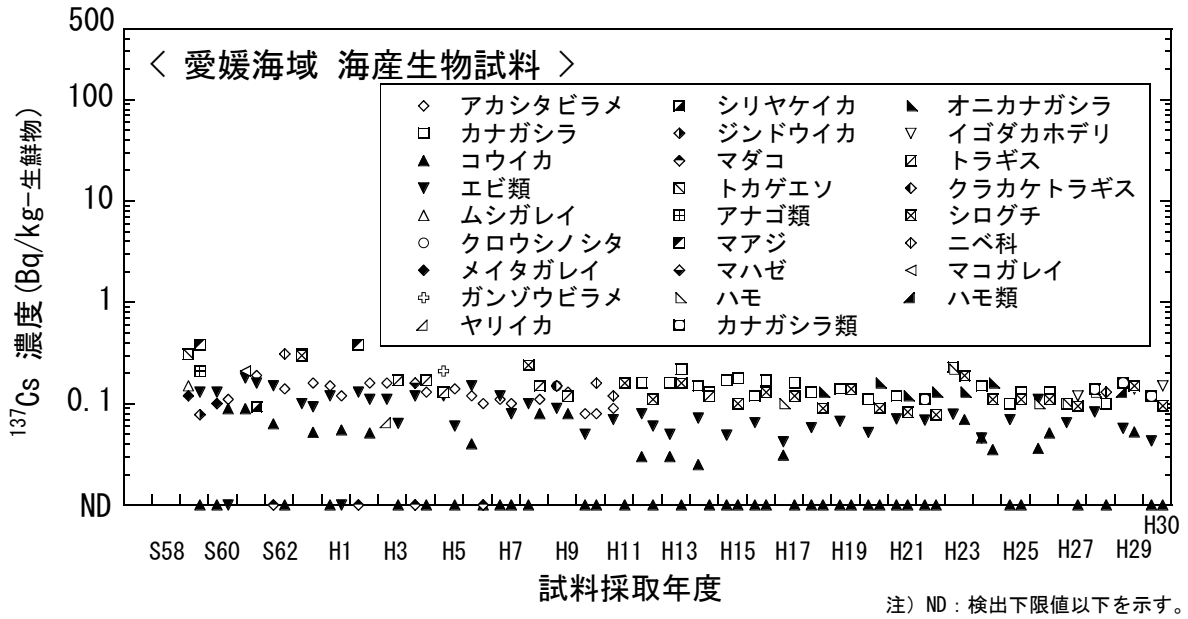


図 I-6-11 海産生物試料の ^{137}Cs 濃度経年変化 (愛媛海域)

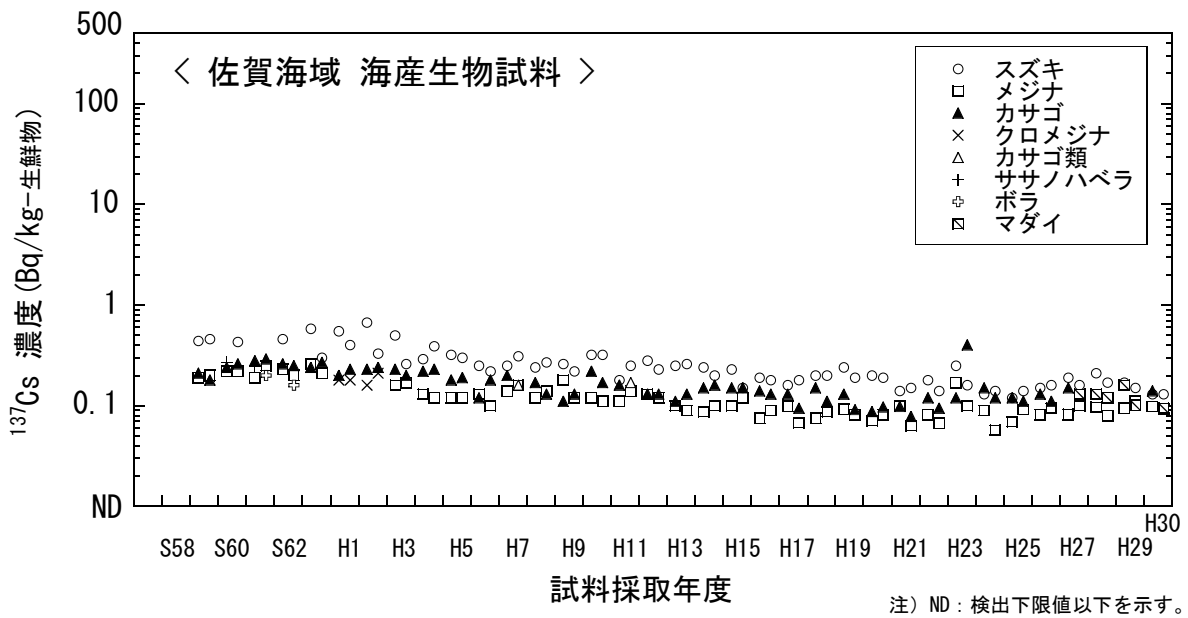


図 I-6-12 海産生物試料の ^{137}Cs 濃度経年変化 (佐賀海域)

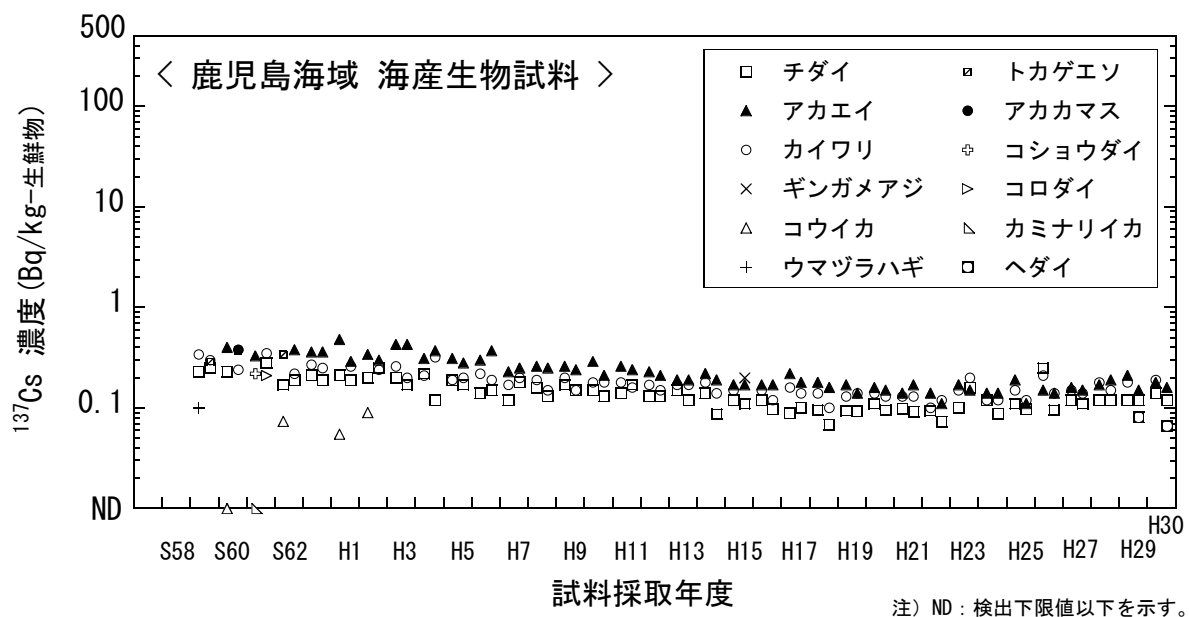
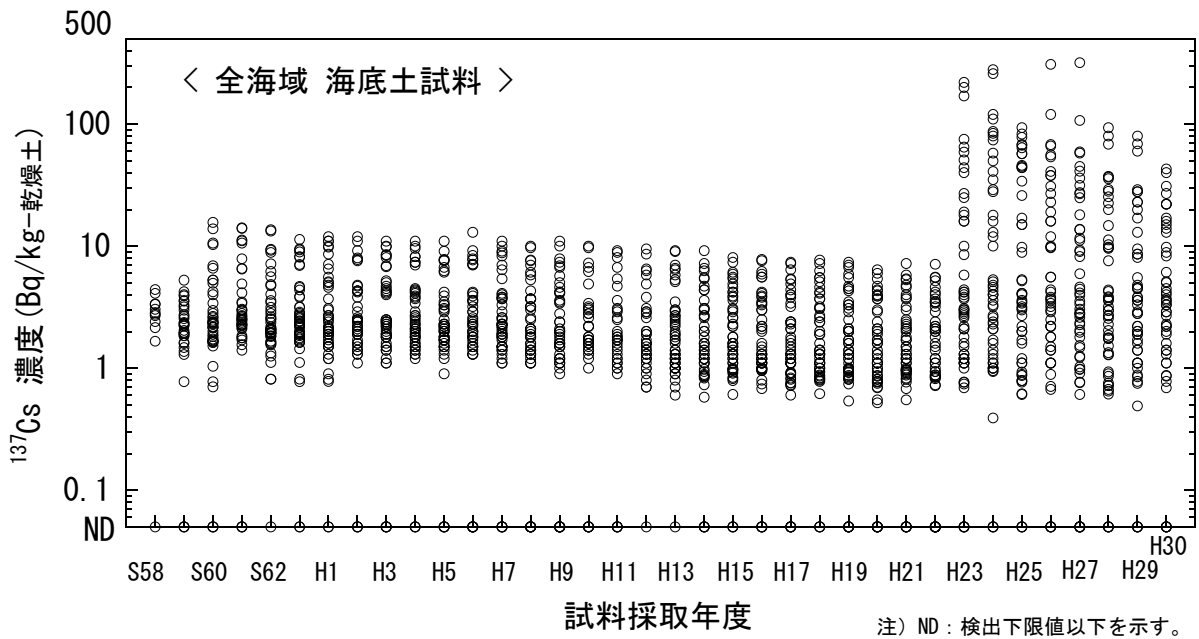


図 I-6-13 海産生物試料の ^{137}Cs 濃度経年変化 (鹿児島海域)



昭和60年度以降、新潟、福井第一及び福井第二海域において採取点を変更した。

図 I-6-14 海底土試料の ^{137}Cs 濃度経年変化 (全海域)

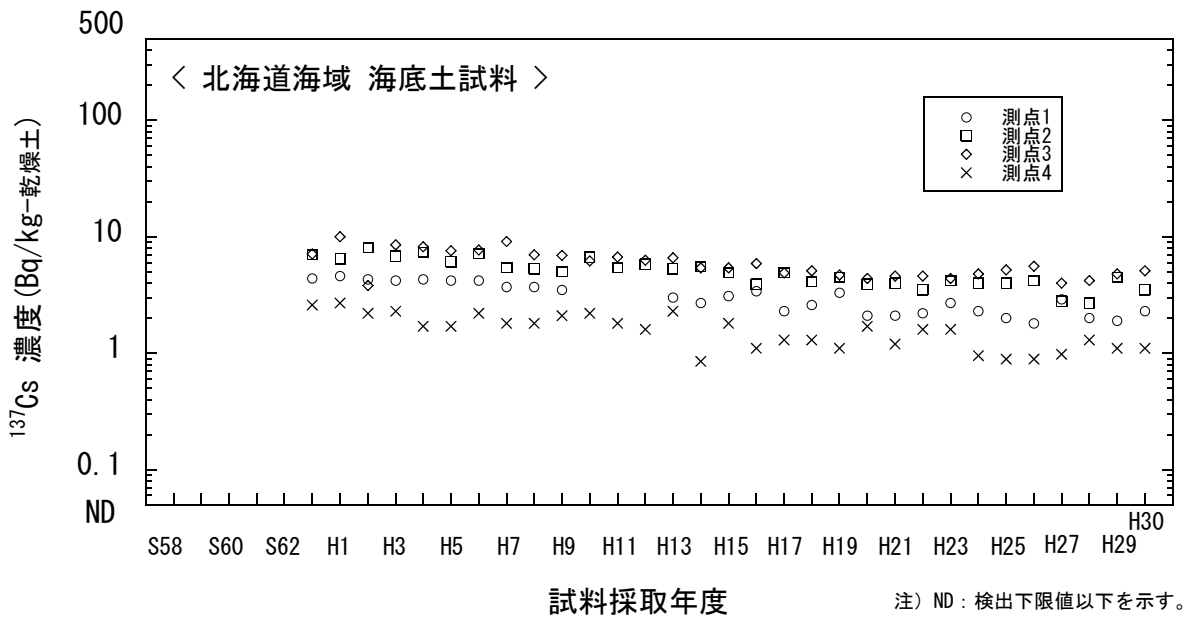


図 I-6-15 海底土試料の ^{137}Cs 濃度経年変化 (北海道海域)

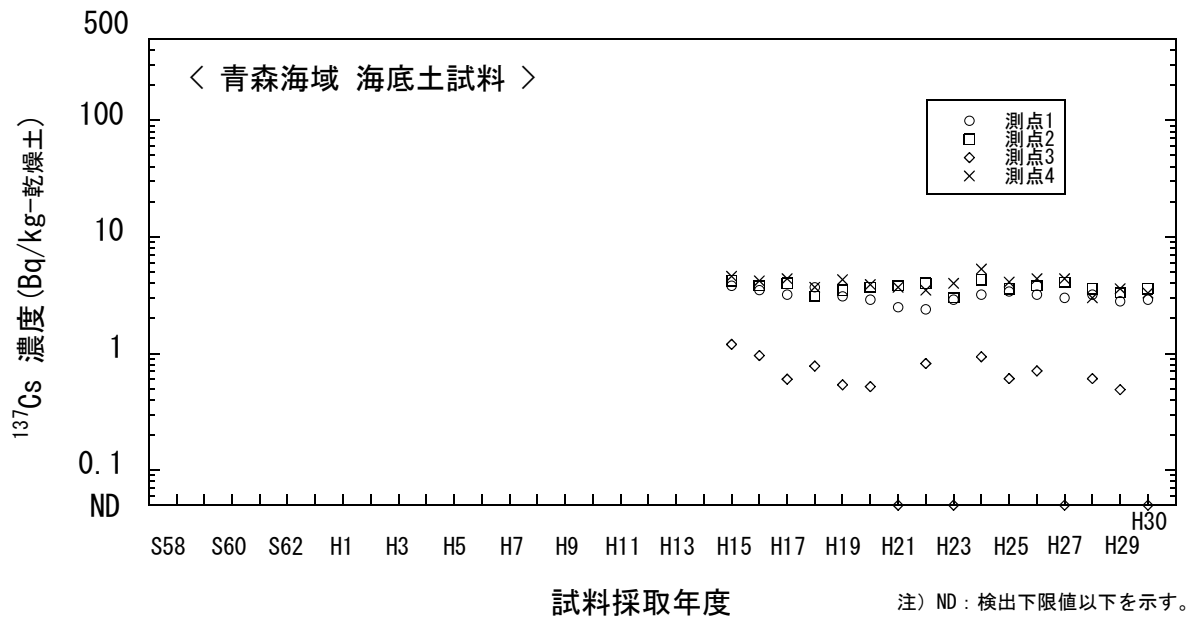


図 I-6-16 海底土試料の ^{137}Cs 濃度経年変化 (青森海域)

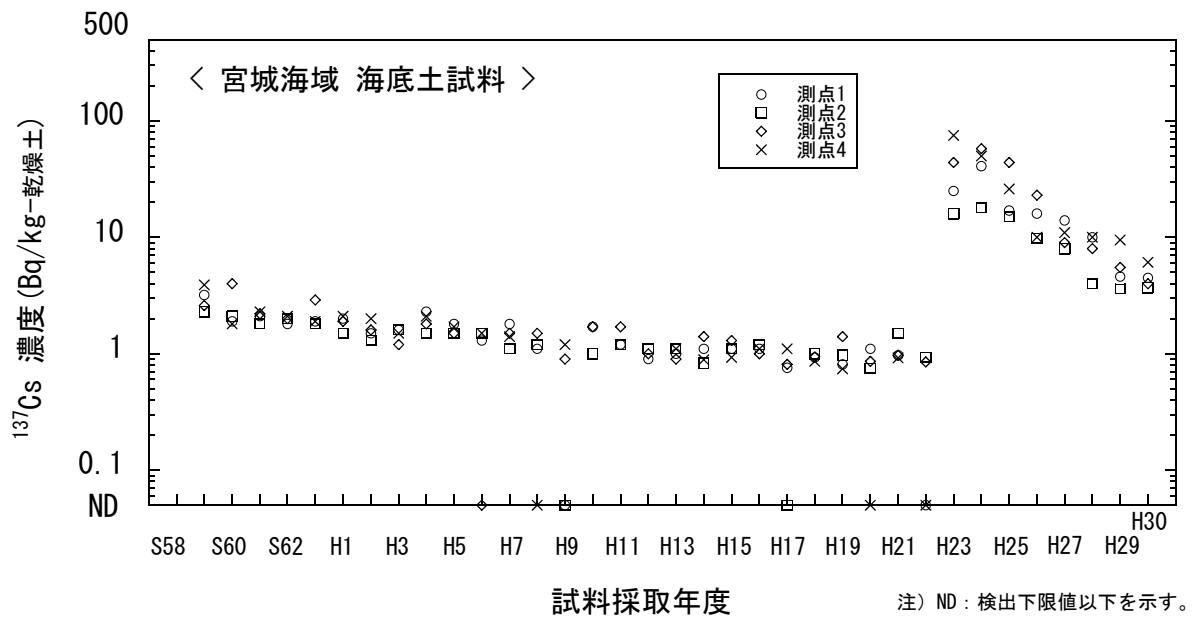


図 I-6-17 海底土試料の ^{137}Cs 濃度経年変化 (宮城海域)

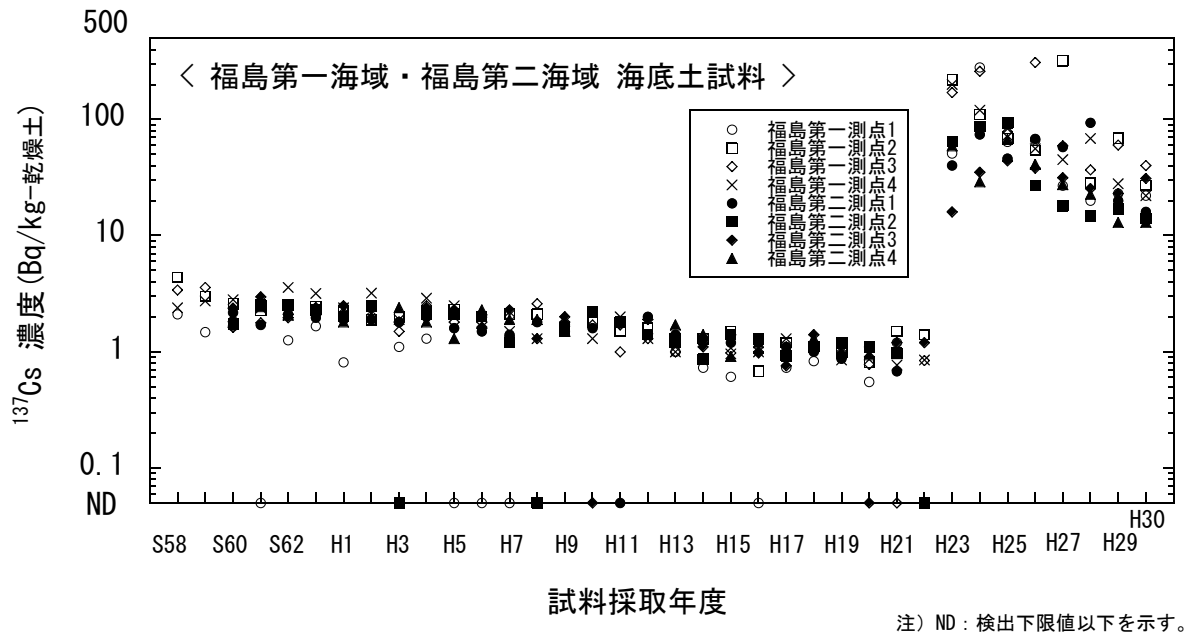


図 I-6-18 海底土試料の ^{137}Cs 濃度経年変化 (福島第一海域・福島第二海域)

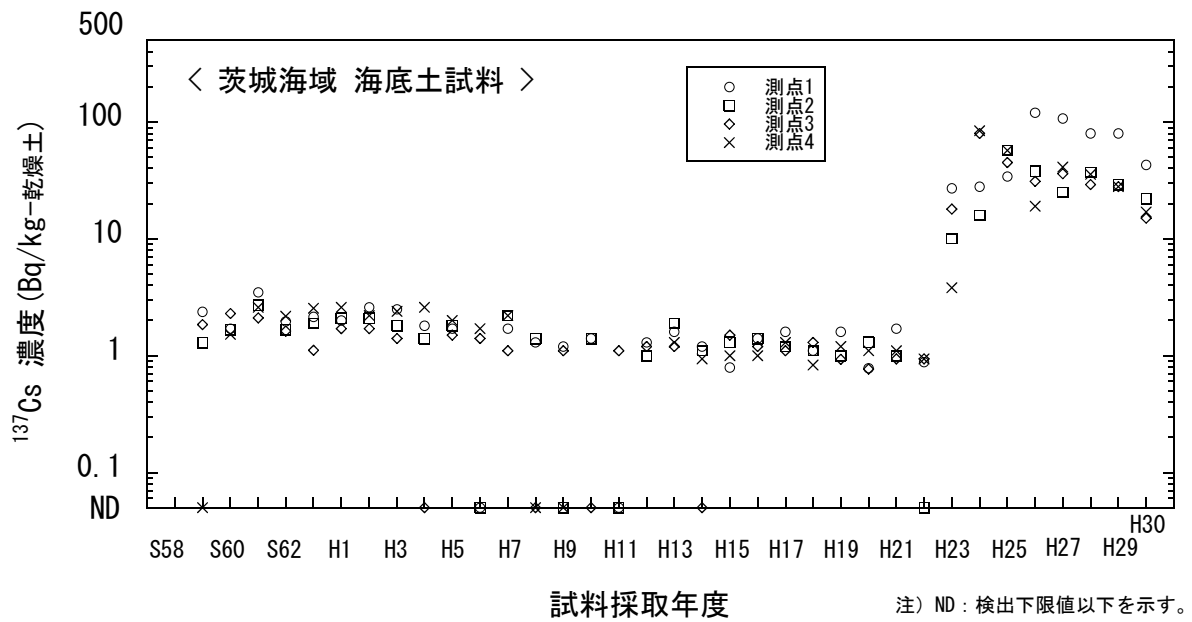


図 I-6-19 海底土試料の ^{137}Cs 濃度経年変化 (茨城海域)

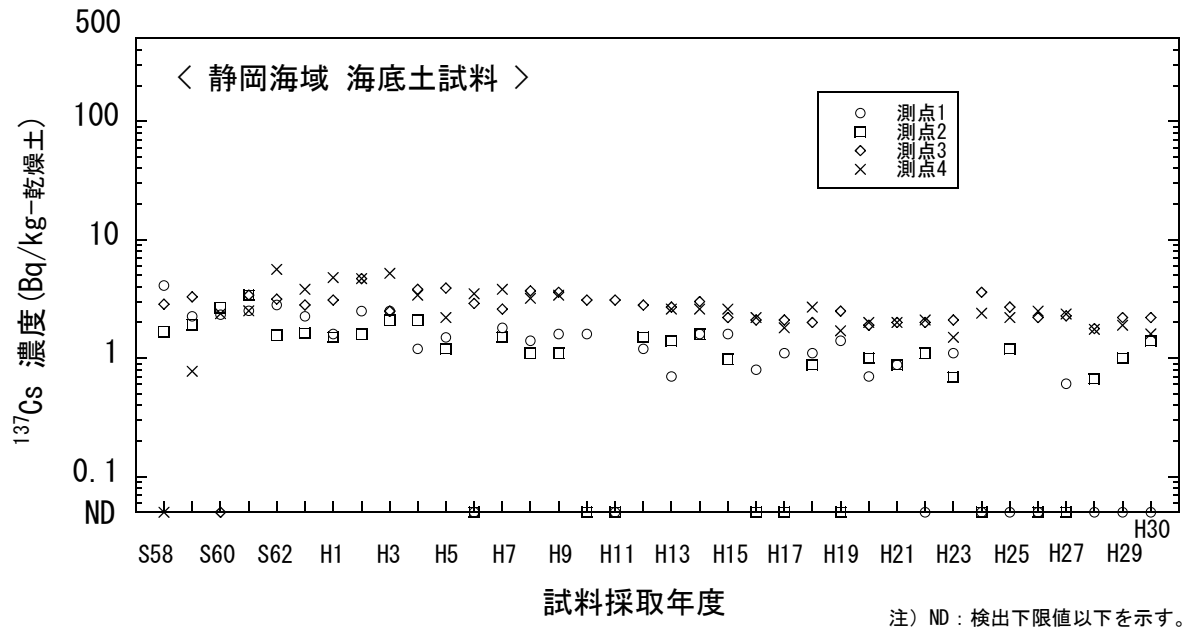


図 I-6-20 海底土試料の ^{137}Cs 濃度経年変化 (静岡海域)

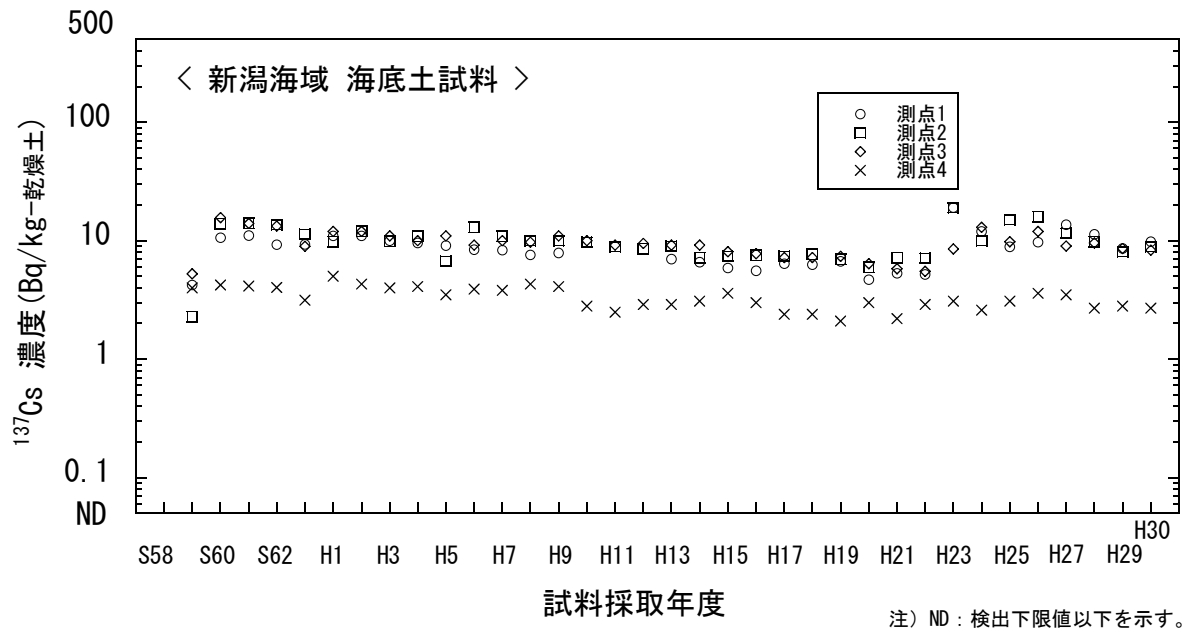


図 I-6-21 海底土試料の ^{137}Cs 濃度経年変化 (新潟海域)

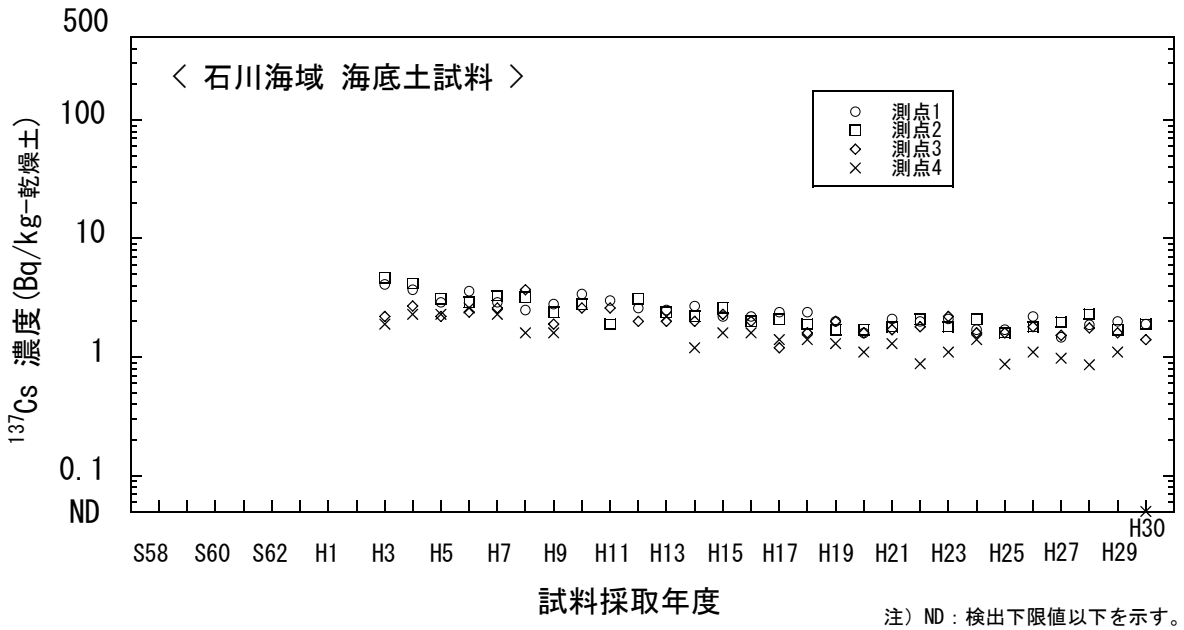


図 I-6-22 海底土試料の ^{137}Cs 濃度経年変化 (石川海域)

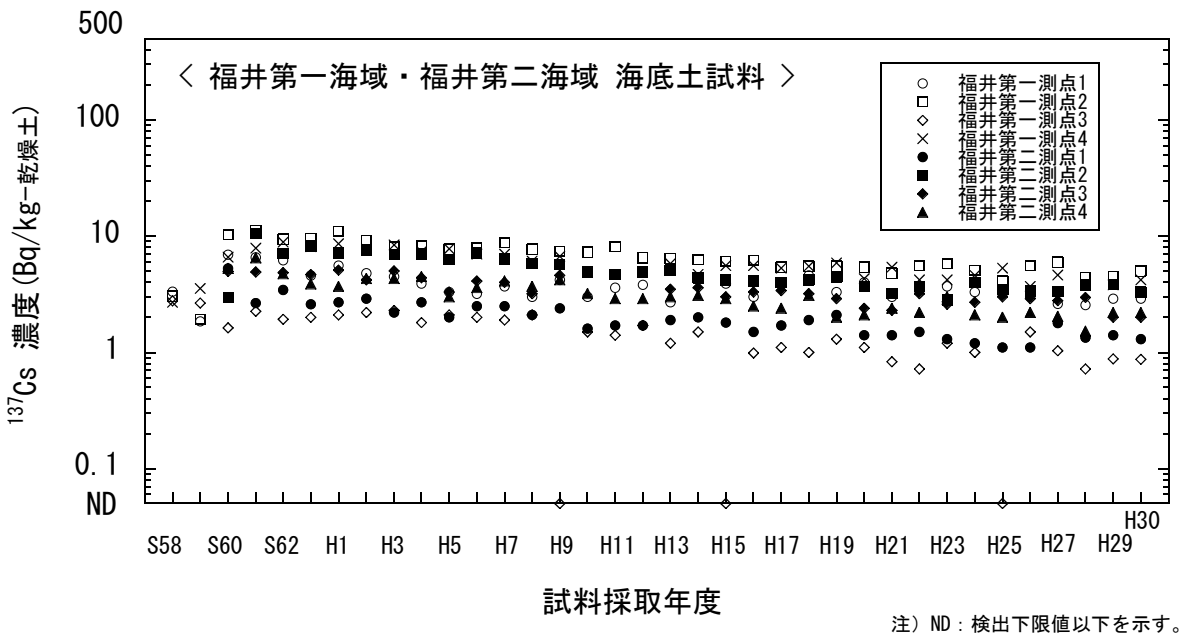


図 I-6-23 海底土試料の ^{137}Cs 濃度経年変化 (福井第一海域・福井第二海域)

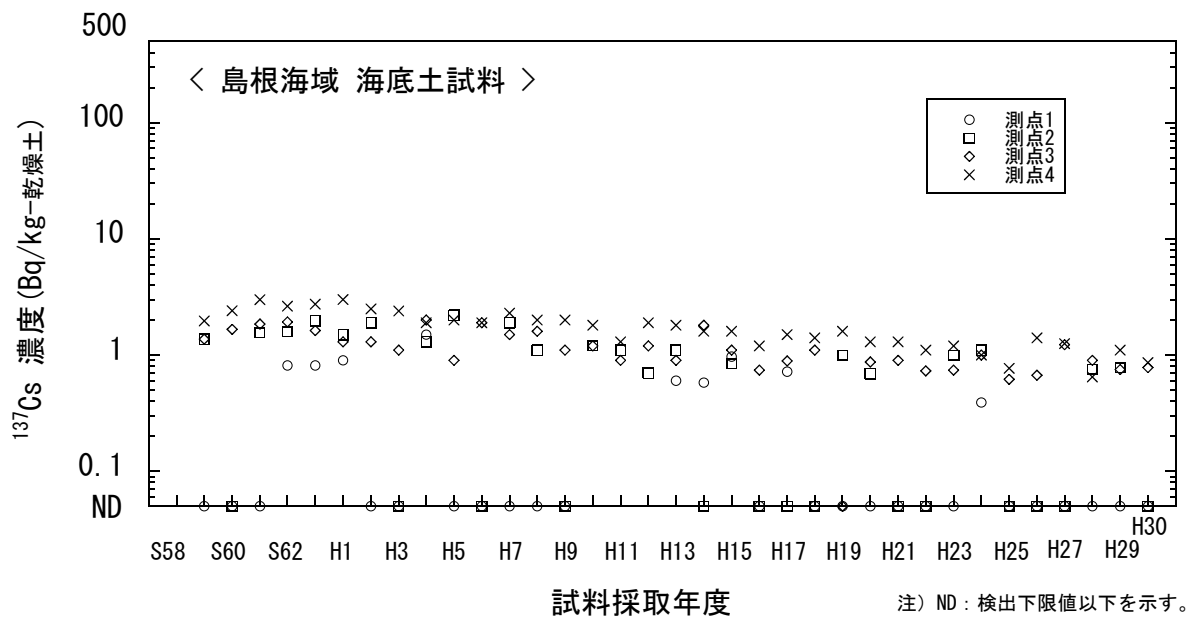


図 I-6-24 海底土試料の ^{137}Cs 濃度経年変化 (島根海域)

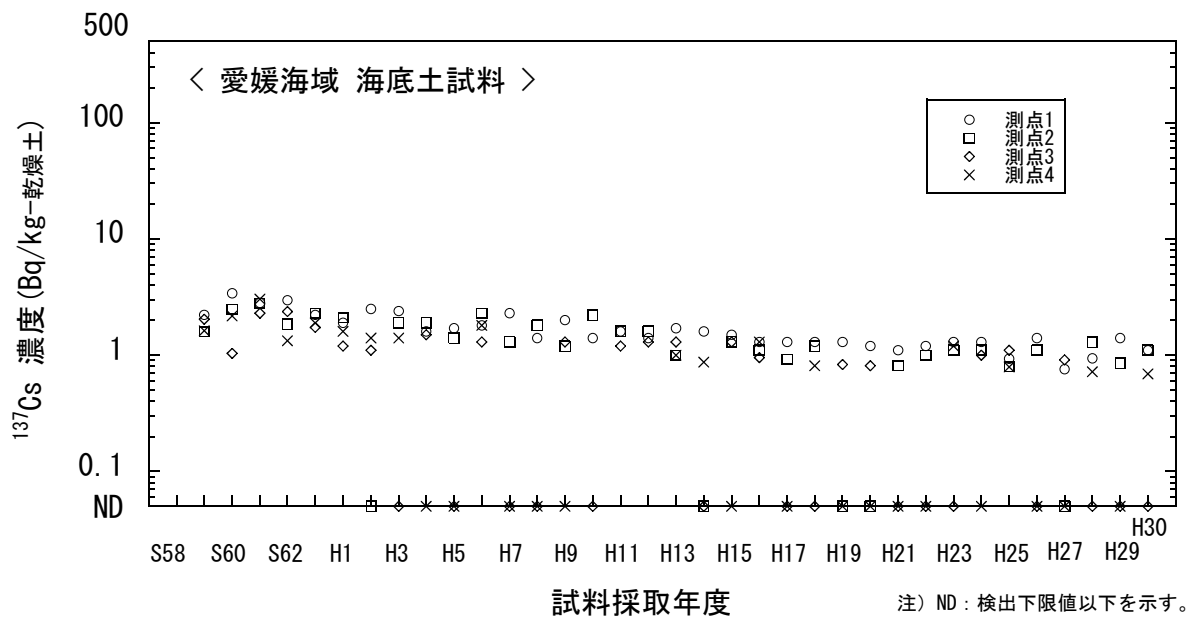


図 I-6-25 海底土試料の ^{137}Cs 濃度経年変化 (愛媛海域)

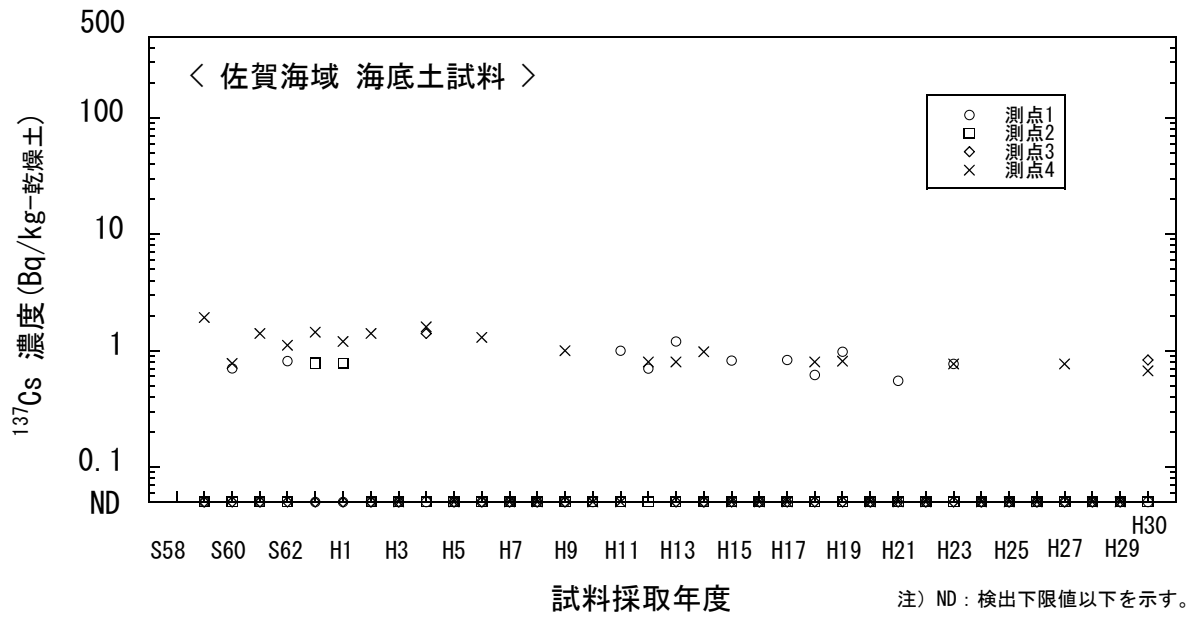


図 I-6-26 海底土試料の ^{137}Cs 濃度経年変化 (佐賀海域)

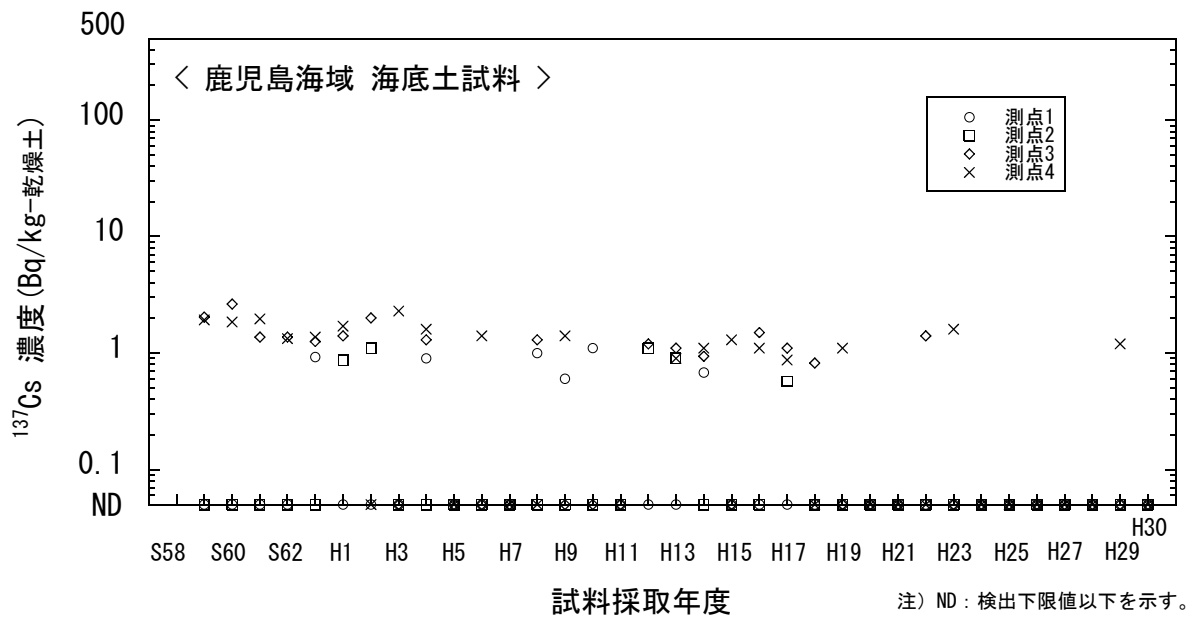


図 I-6-27 海底土試料の ^{137}Cs 濃度経年変化 (鹿児島海域)

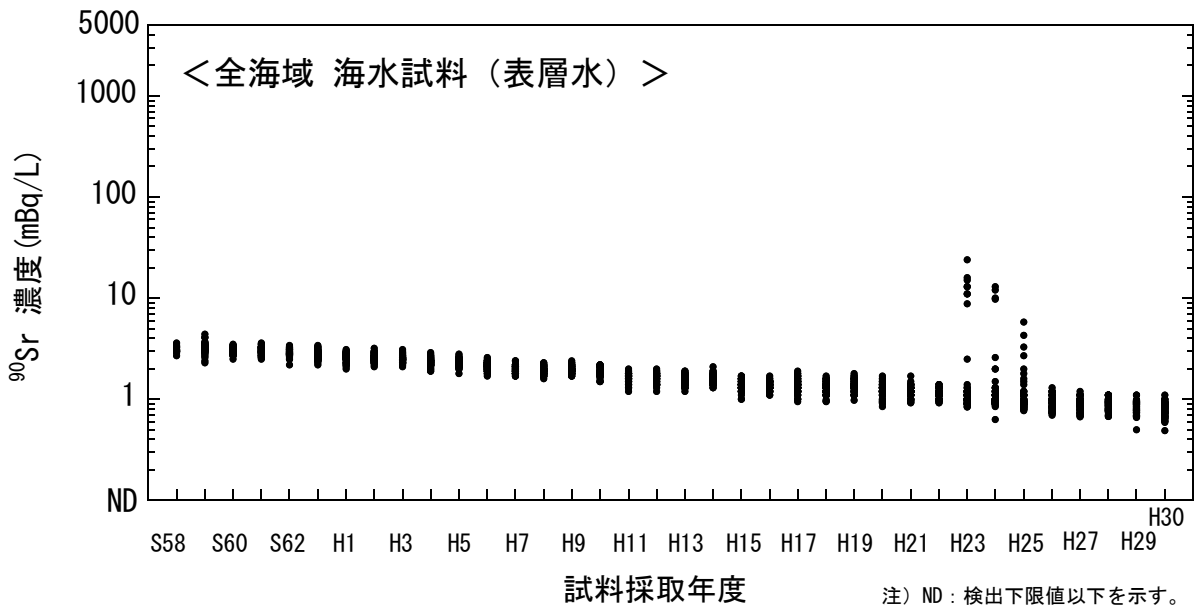


図 I-6-28 海水試料の ^{90}Sr 濃度経年変化（全海域・表層水）

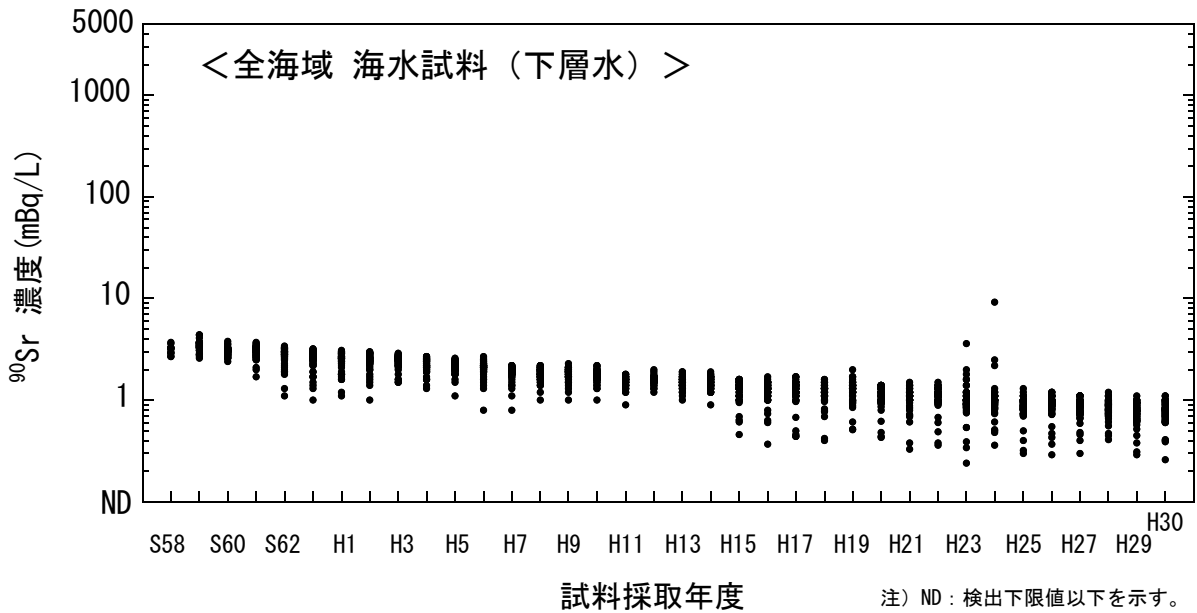


図 I-6-29 海水試料の ^{90}Sr 濃度経年変化（全海域・下層水）

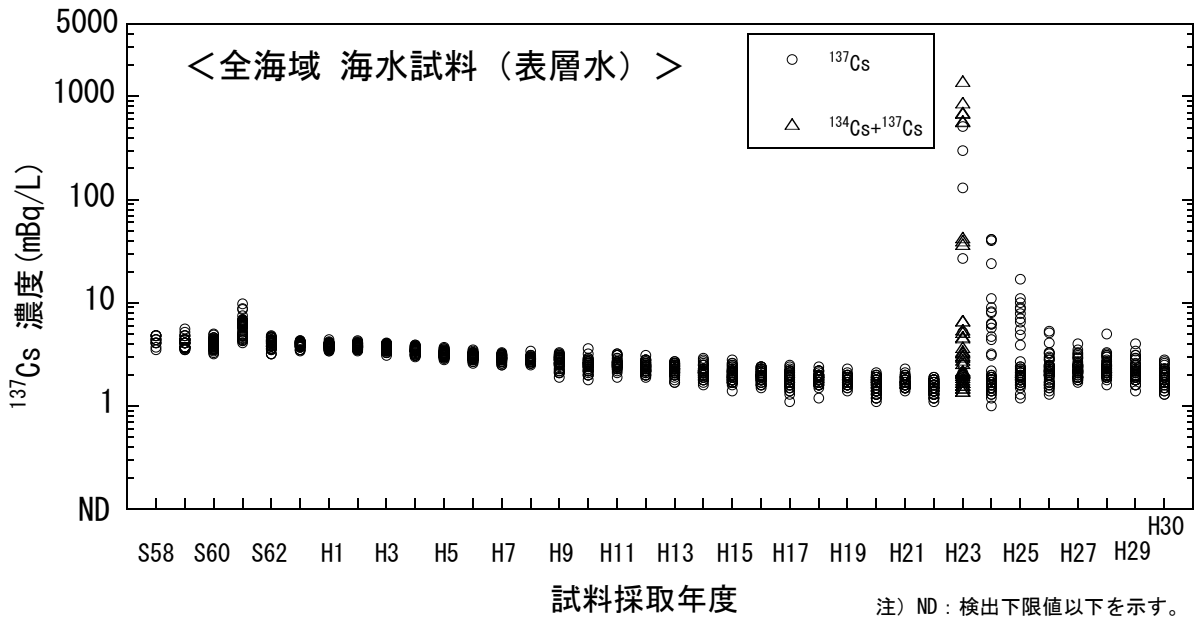


図 I-6-30 海水試料の ^{137}Cs 濃度経年変化（全海域・表層水）

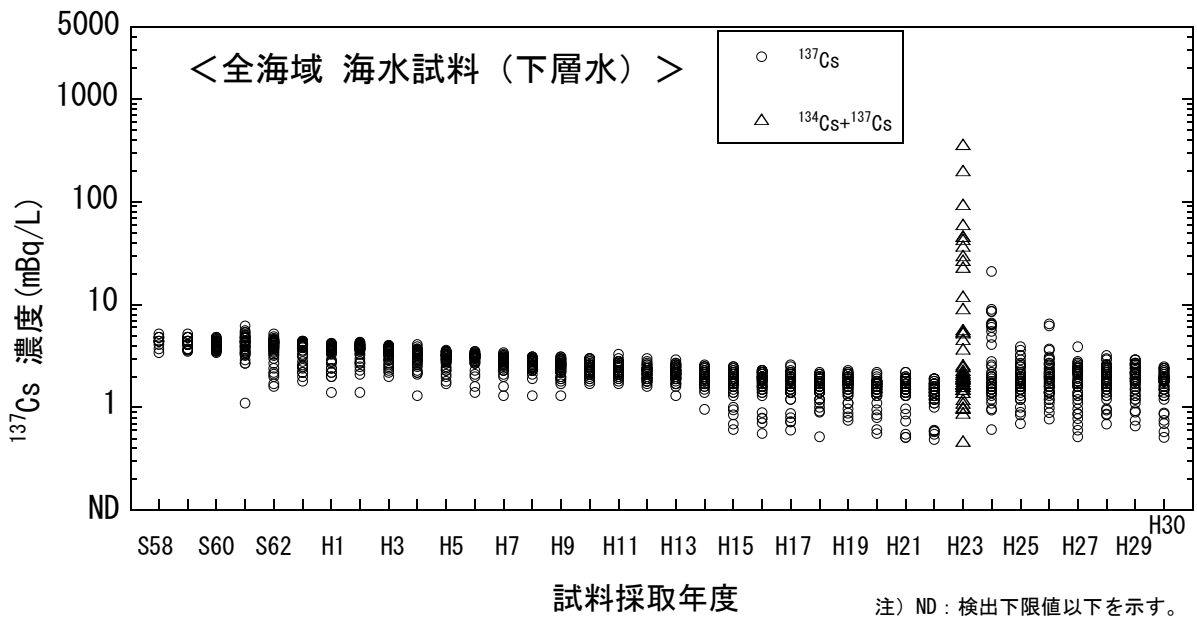


図 I-6-31 海水試料の ^{137}Cs 濃度経年変化（全海域・下層水）

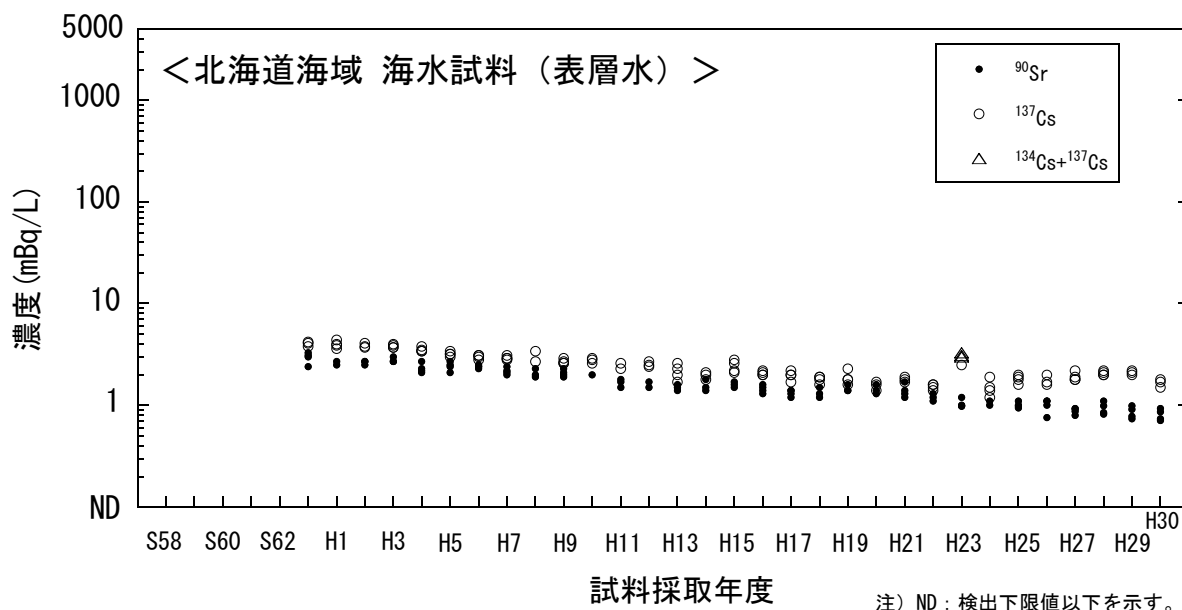


図 I-6-32 海水試料の ^{90}Sr 及び ^{137}Cs 濃度の経年変化（北海道海域・表層水）

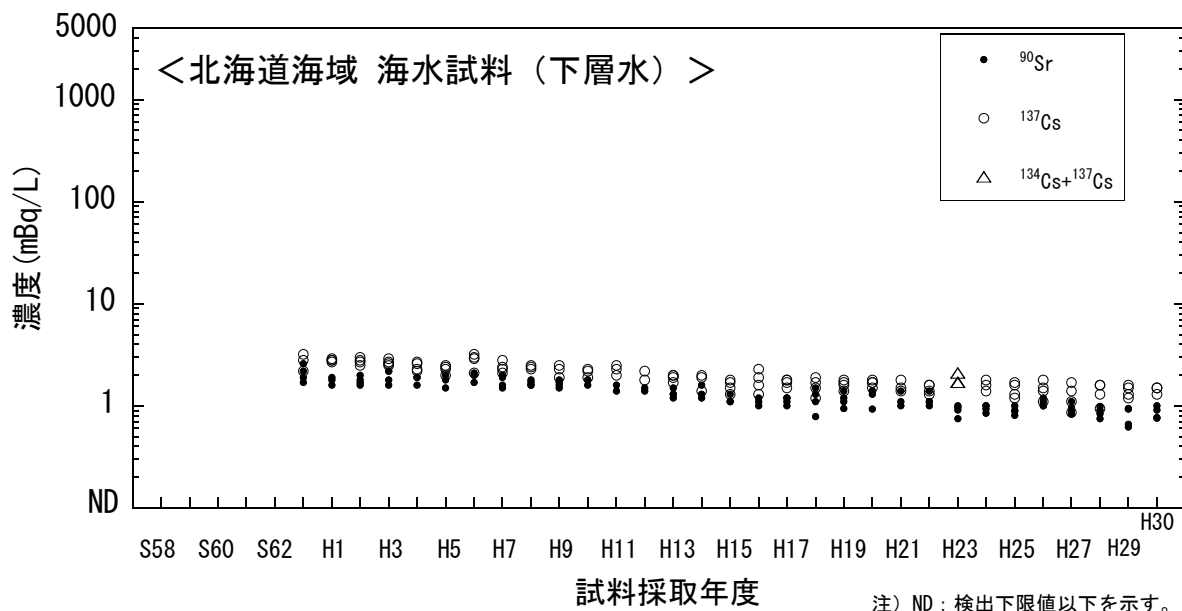


図 I-6-33 海水試料の ^{90}Sr 及び ^{137}Cs 濃度の経年変化（北海道海域・下層水）

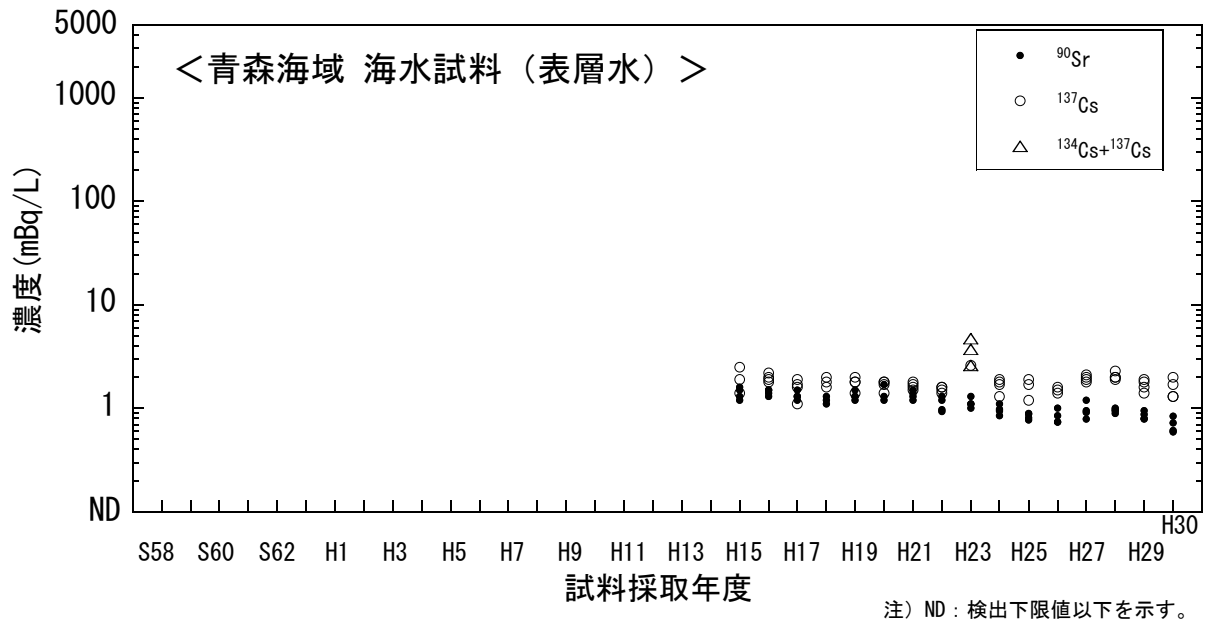


図 I-6-34 海水試料の ^{90}Sr 及び ^{137}Cs 濃度の経年変化（青森海域・表層水）

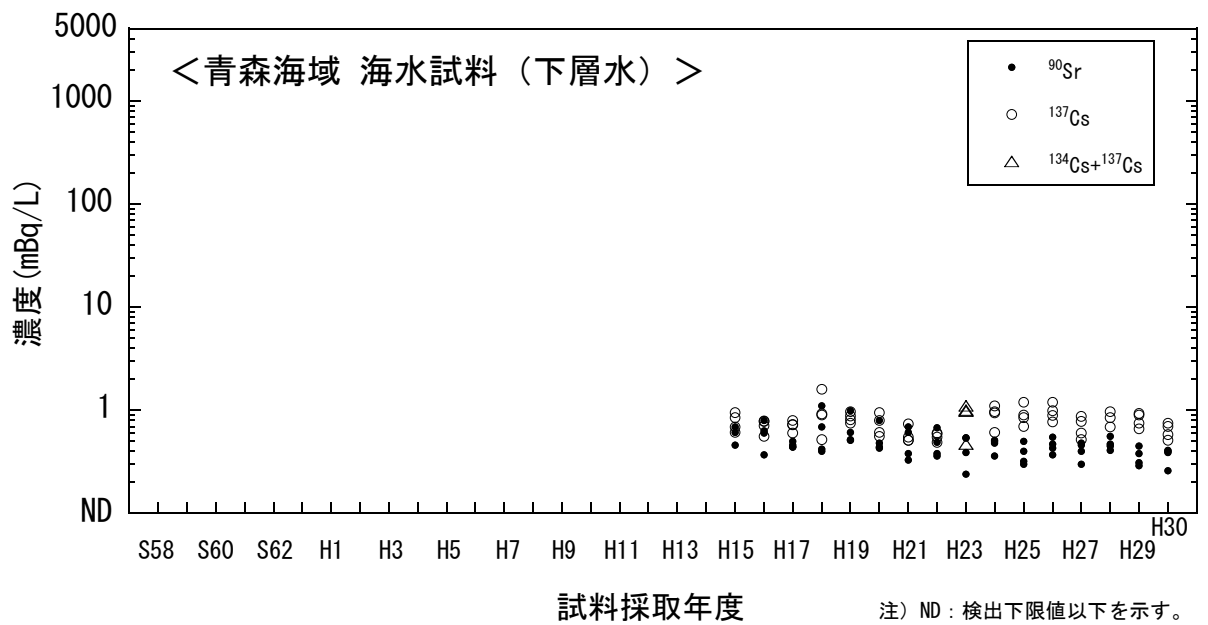


図 I-6-35 海水試料の ^{90}Sr 及び ^{137}Cs 濃度の経年変化（青森海域・下層水）

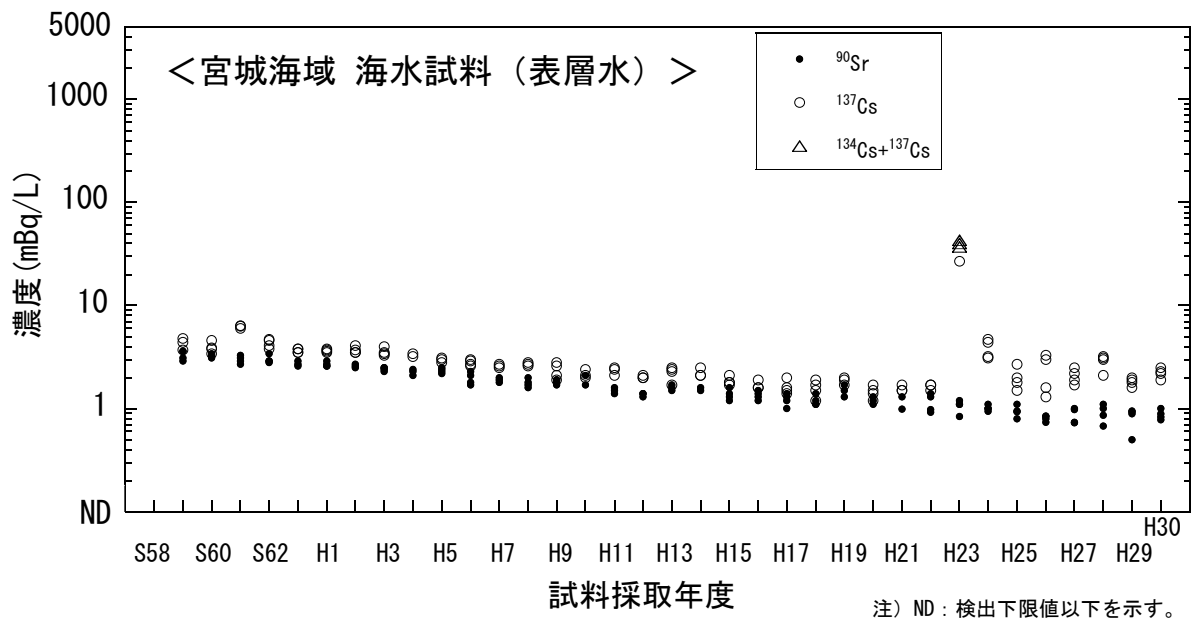


図 I-6-36 海水試料の ^{90}Sr 及び ^{137}Cs 濃度の経年変化（宮城海域・表層水）

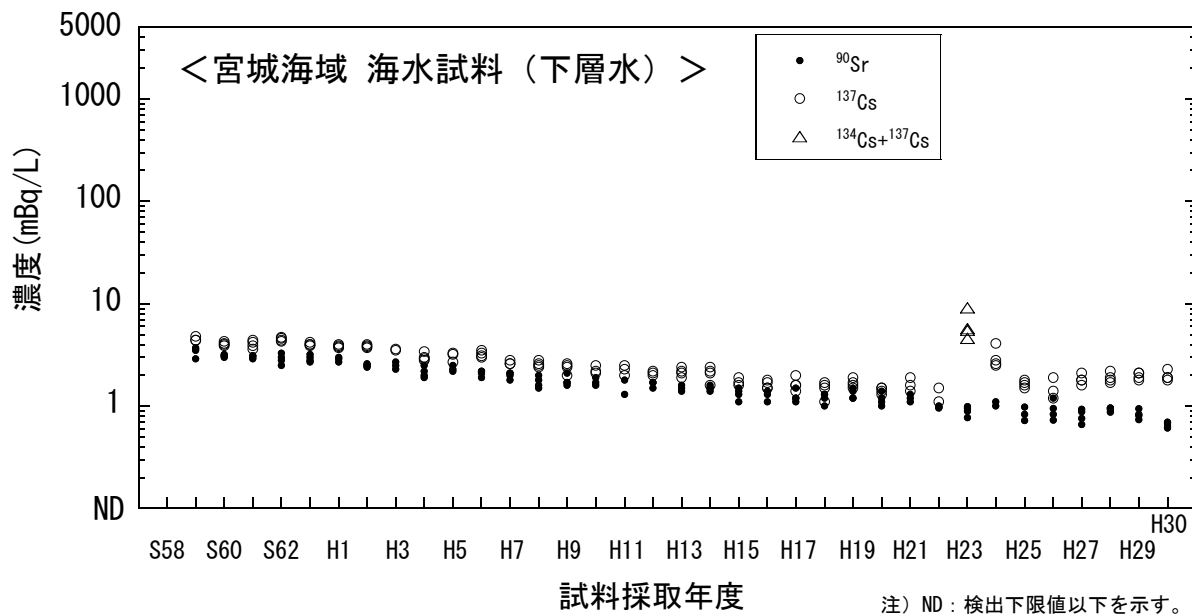


図 I-6-37 海水試料の ^{90}Sr 及び ^{137}Cs 濃度の経年変化（宮城海域・下層水）

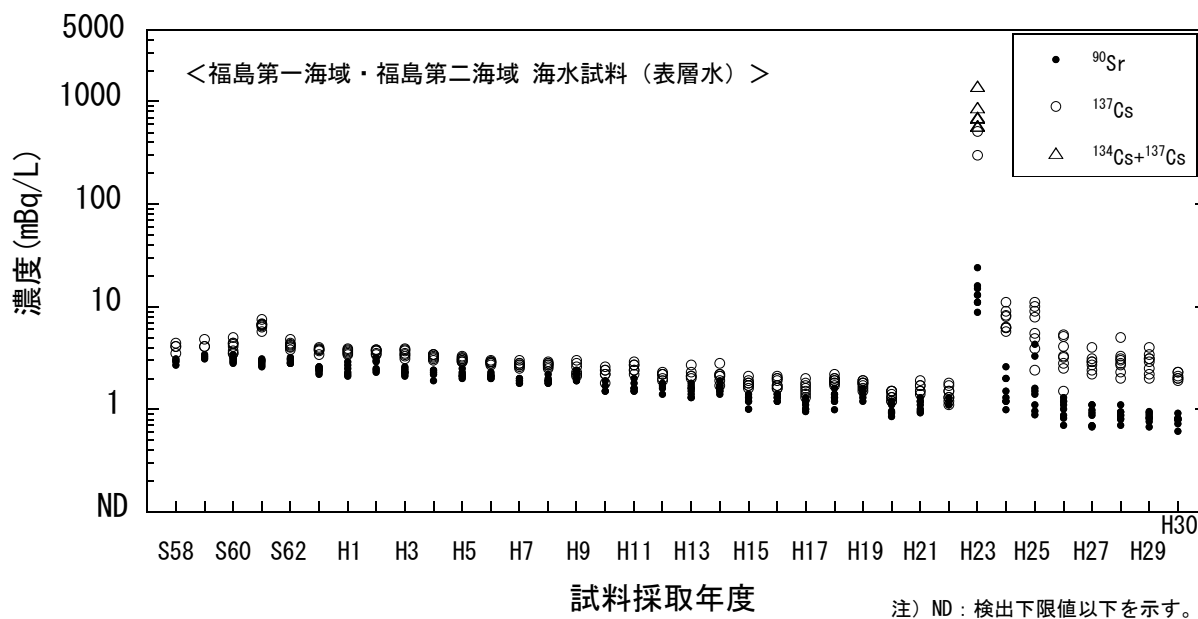


図 I-6-38 海水試料の ^{90}Sr 及び ^{137}Cs 濃度の経年変化
(福島第一海域・福島第二海域・表層水)

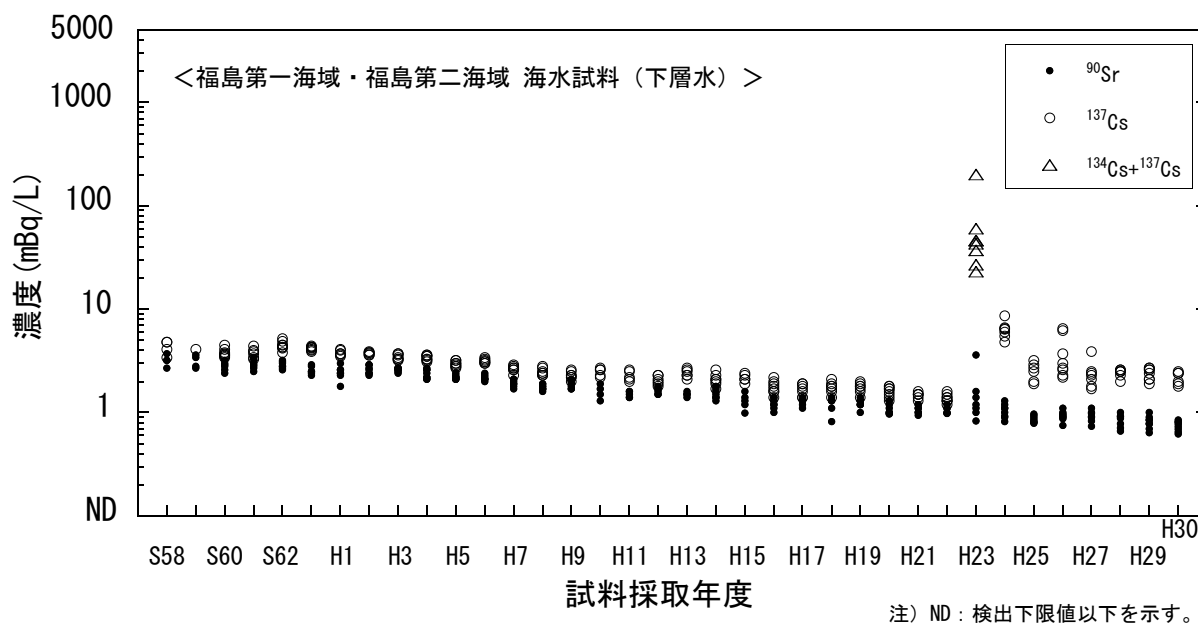


図 I-6-39 海水試料の ^{90}Sr 及び ^{137}Cs 濃度の経年変化
(福島第一海域・福島第二海域・下層水)

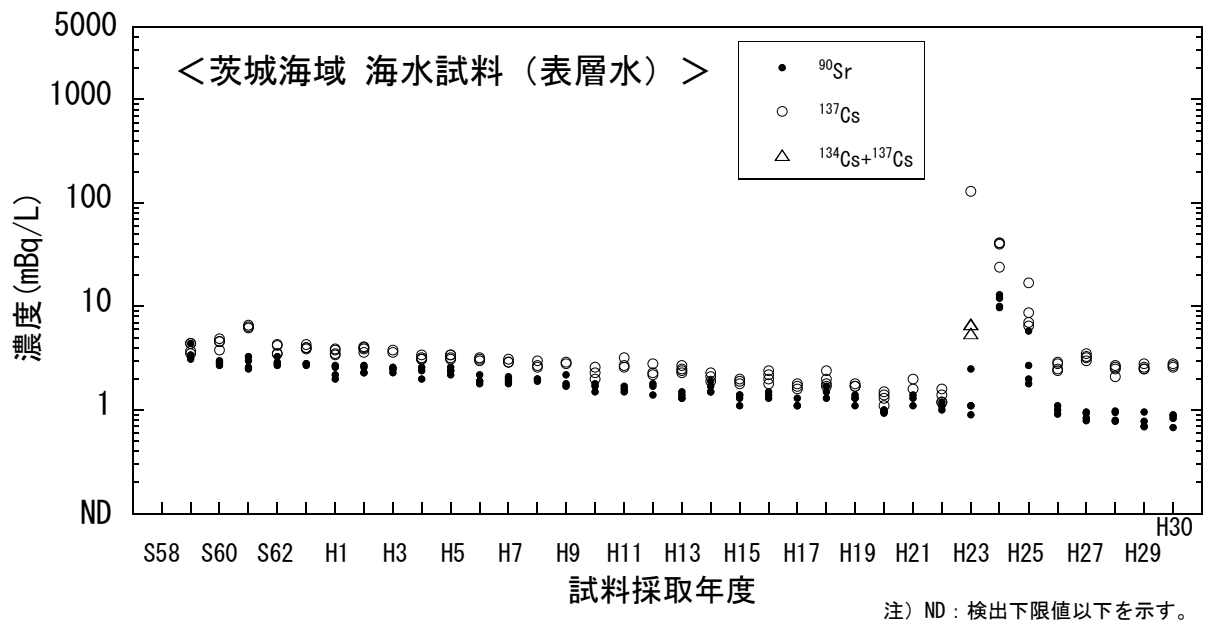


図 I-6-40 海水試料の ^{90}Sr 及び ^{137}Cs 濃度の経年変化（茨城海域・表層水）

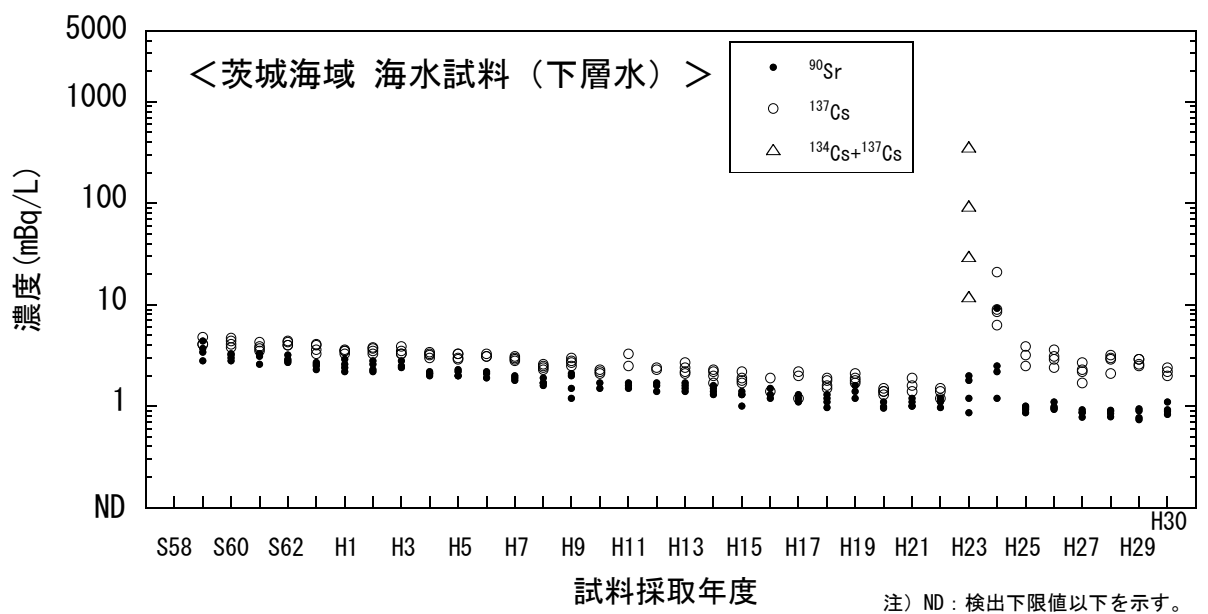


図 I-6-41 海水試料の ^{90}Sr 及び ^{137}Cs 濃度の経年変化（茨城海域・下層水）

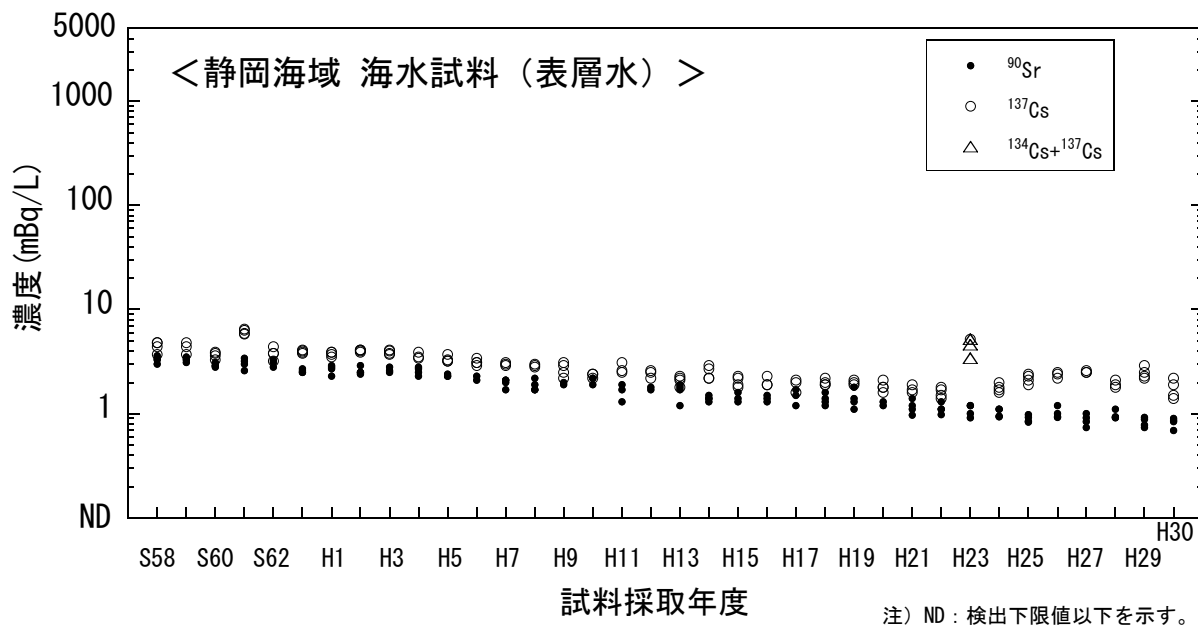


図 I-6-42 海水試料の ^{90}Sr 及び ^{137}Cs 濃度の経年変化（静岡海域・表層水）

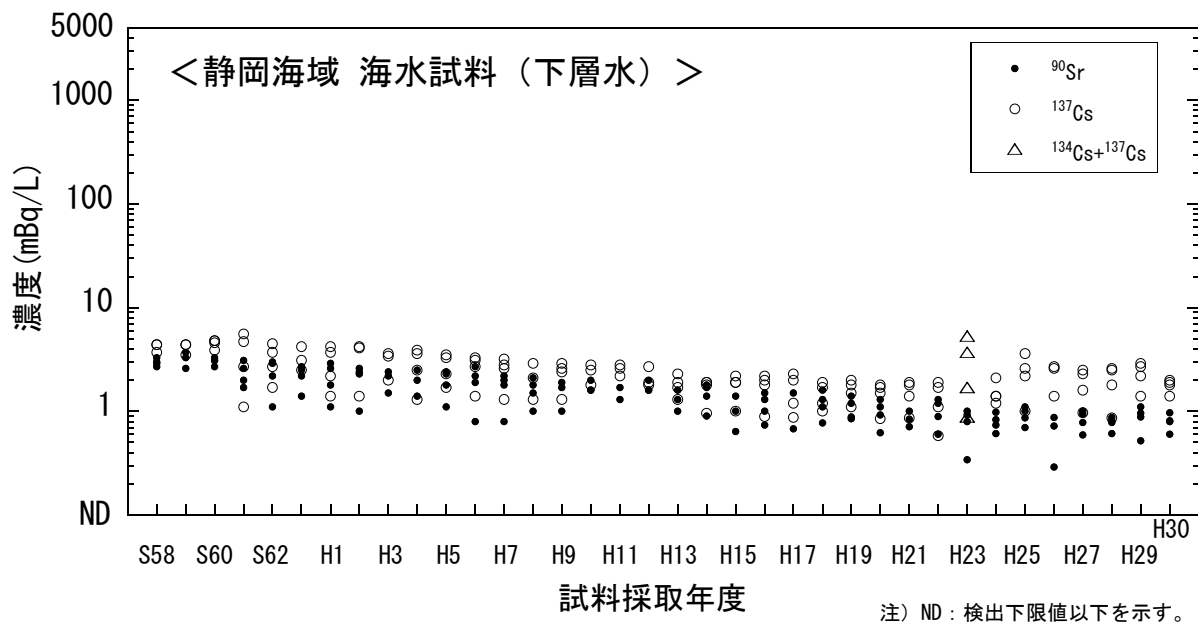


図 I-6-43 海水試料の ^{90}Sr 及び ^{137}Cs 濃度の経年変化（静岡海域・下層水）

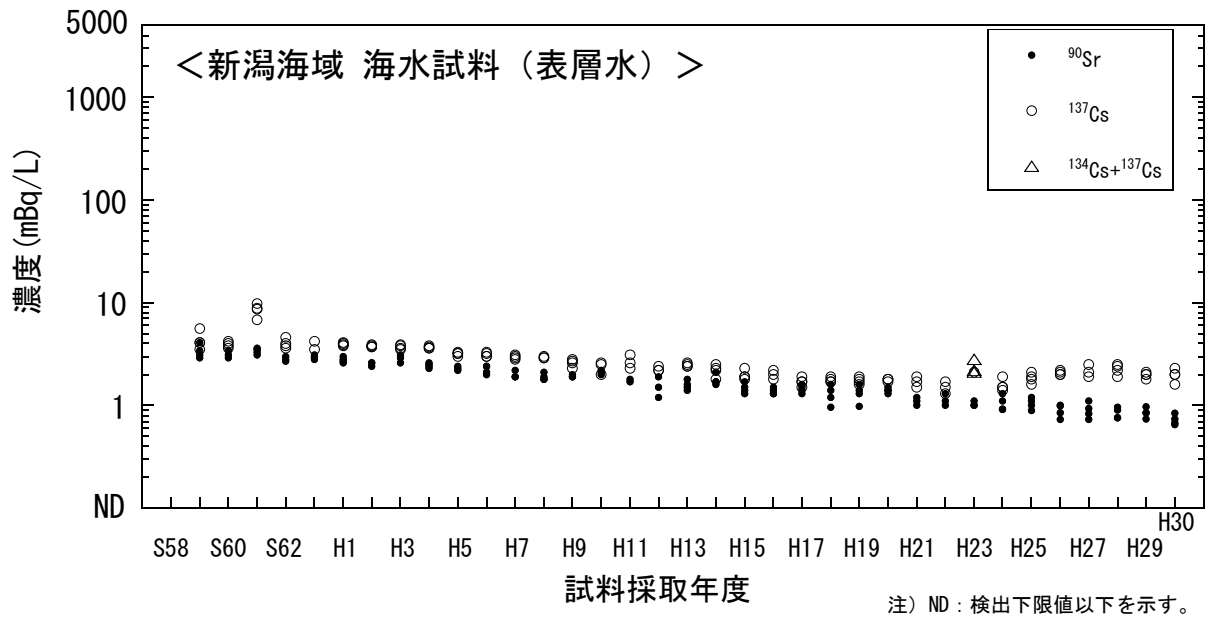


図 I-6-44 海水試料の ^{90}Sr 及び ^{137}Cs 濃度の経年変化（新潟海域・表層水）

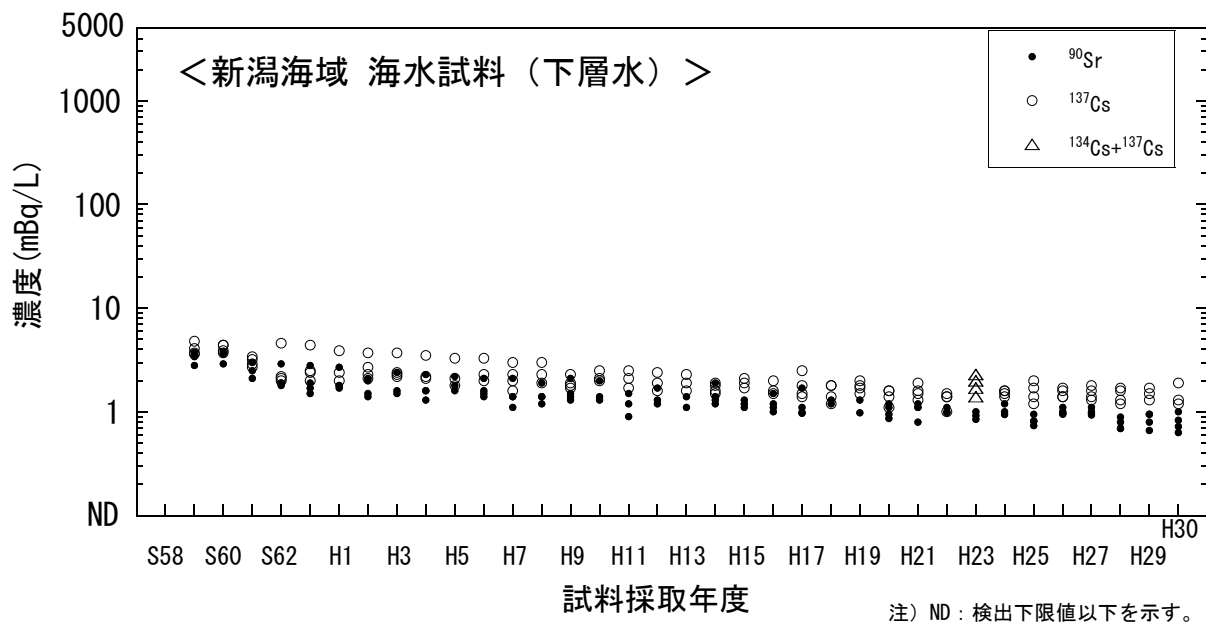


図 I-6-45 海水試料の ^{90}Sr 及び ^{137}Cs 濃度の経年変化（新潟海域・下層水）

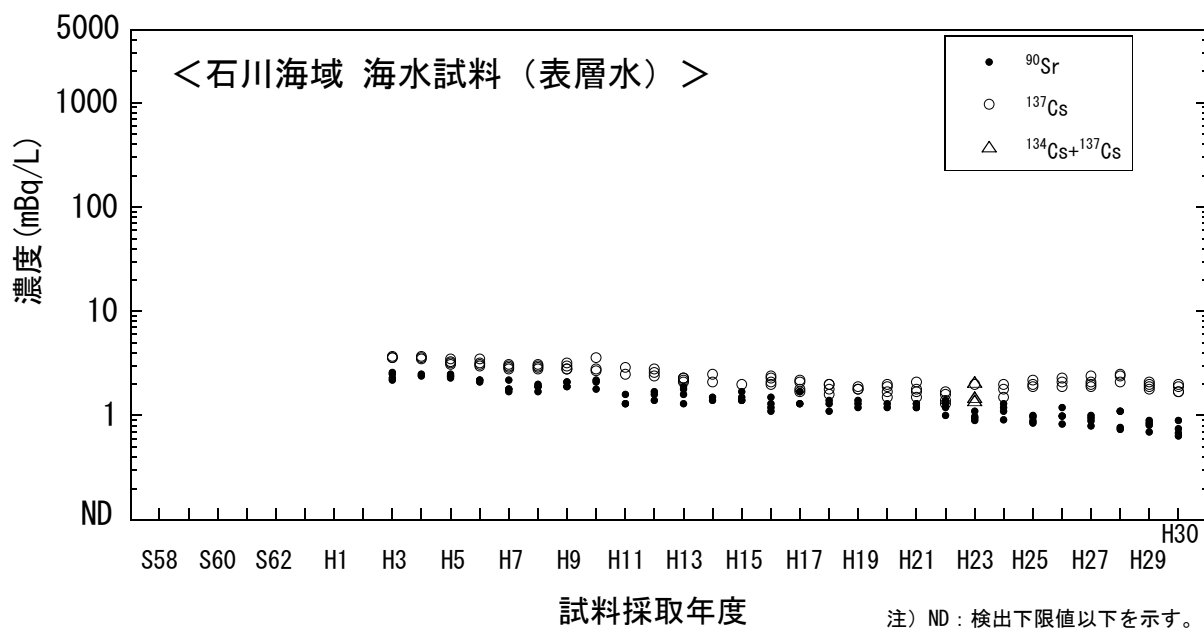


図 I-6-46 海水試料の ^{90}Sr 及び ^{137}Cs 濃度の経年変化 (石川海域・表層水)

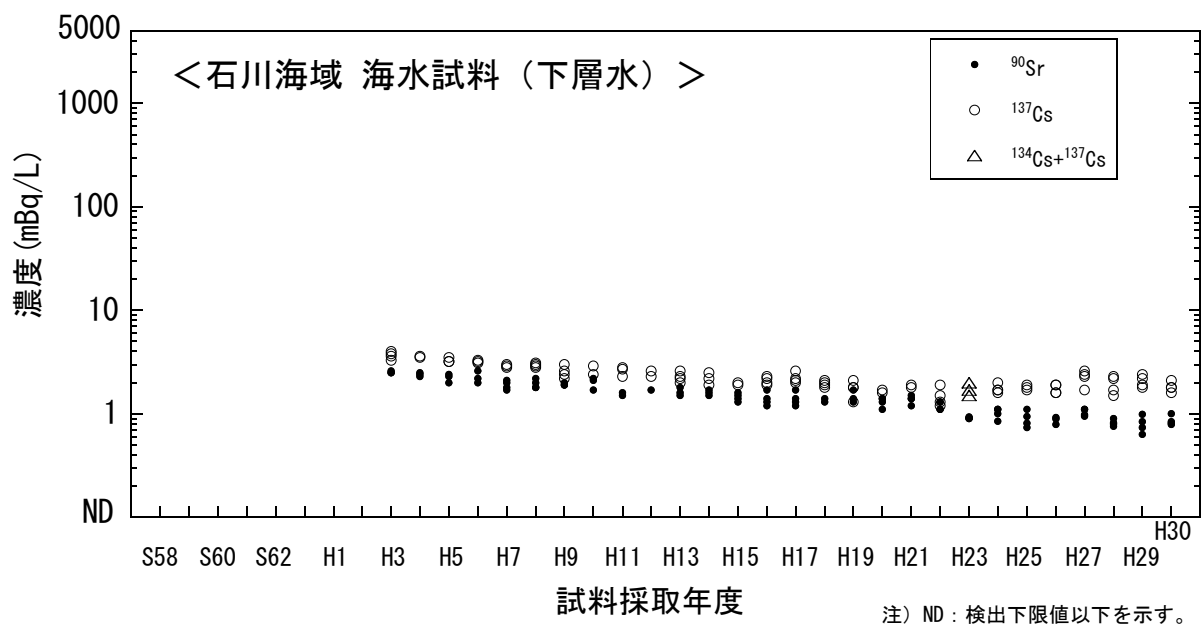


図 I-6-47 海水試料の ^{90}Sr 及び ^{137}Cs 濃度の経年変化 (石川海域・下層水)

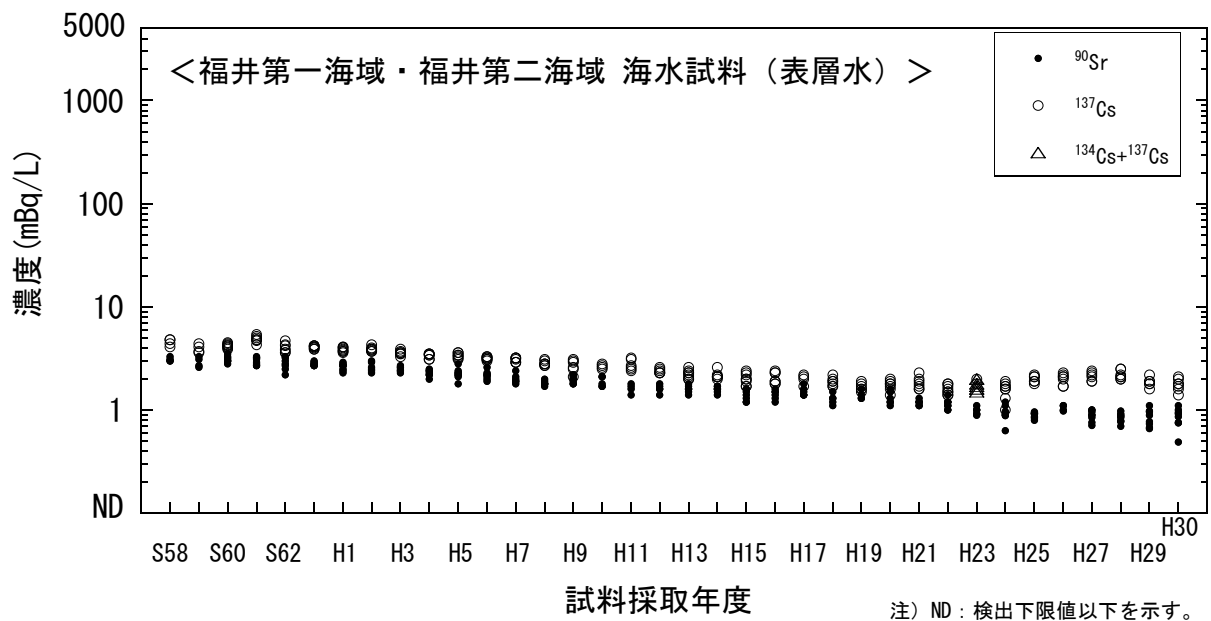


図 I-6-48 海水試料の ^{90}Sr 及び ^{137}Cs 濃度の経年変化
(福井第一海域・福井第二海域・表層水)

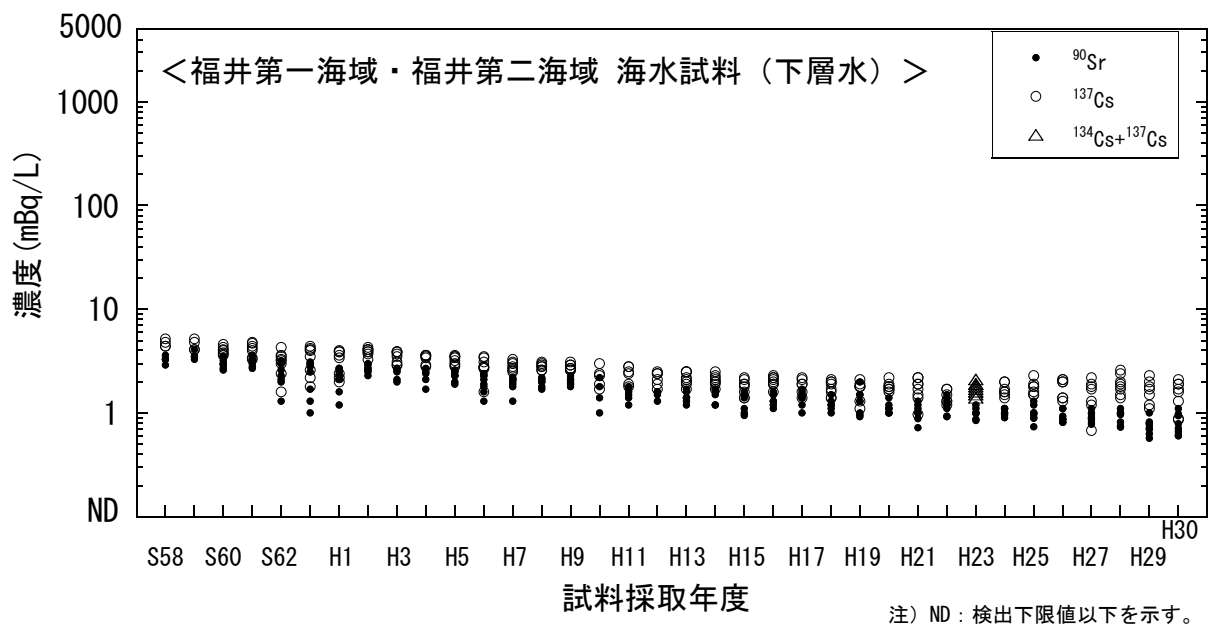


図 I-6-49 海水試料の ^{90}Sr 及び ^{137}Cs 濃度の経年変化
(福井第一海域・福井第二海域・下層水)

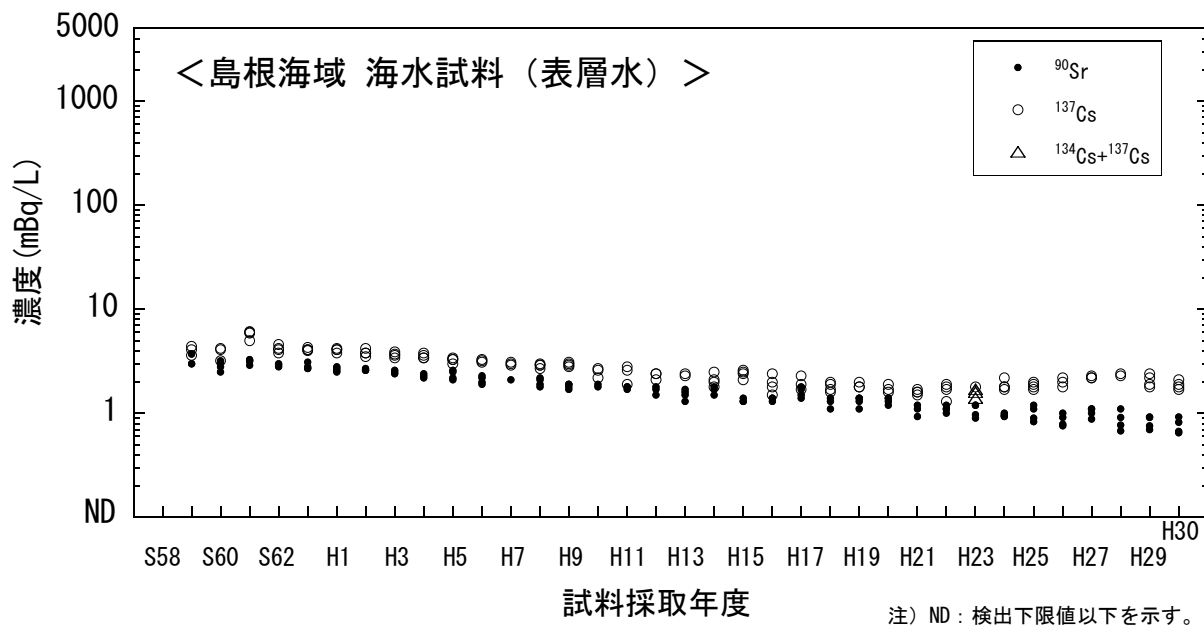


図 I-6-50 海水試料の ^{90}Sr 及び ^{137}Cs 濃度の経年変化（島根海域・表層水）

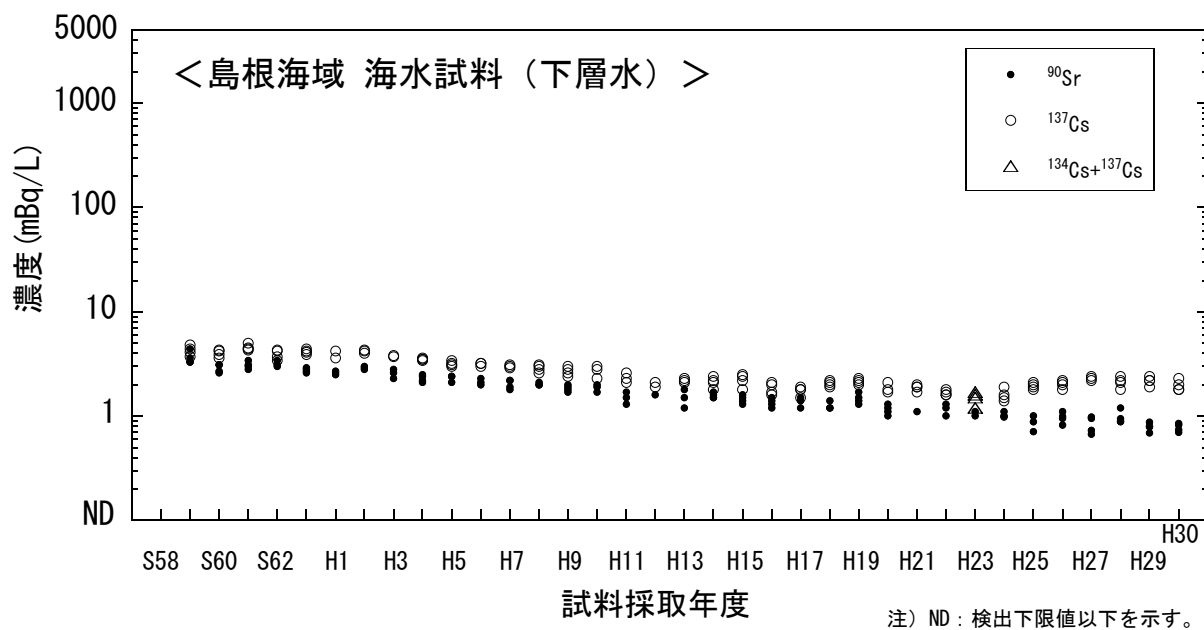


図 I-6-51 海水試料の ^{90}Sr 及び ^{137}Cs 濃度の経年変化（島根海域・下層水）

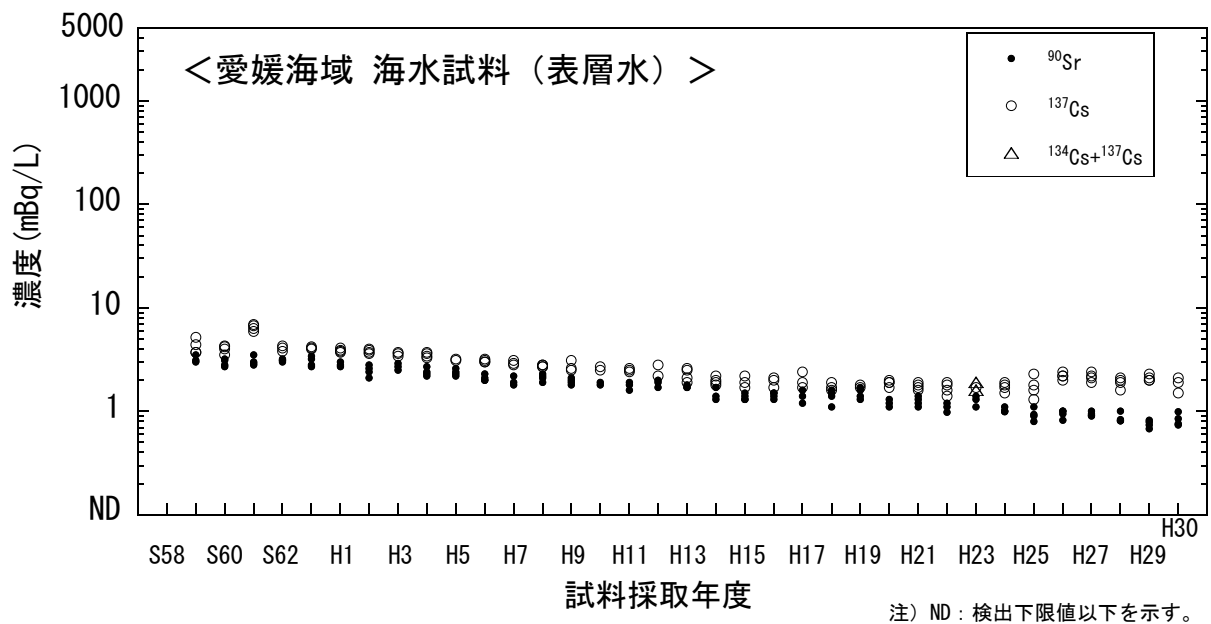


図 I-6-52 海水試料の ^{90}Sr 及び ^{137}Cs 濃度の経年変化（愛媛海域・表層水）

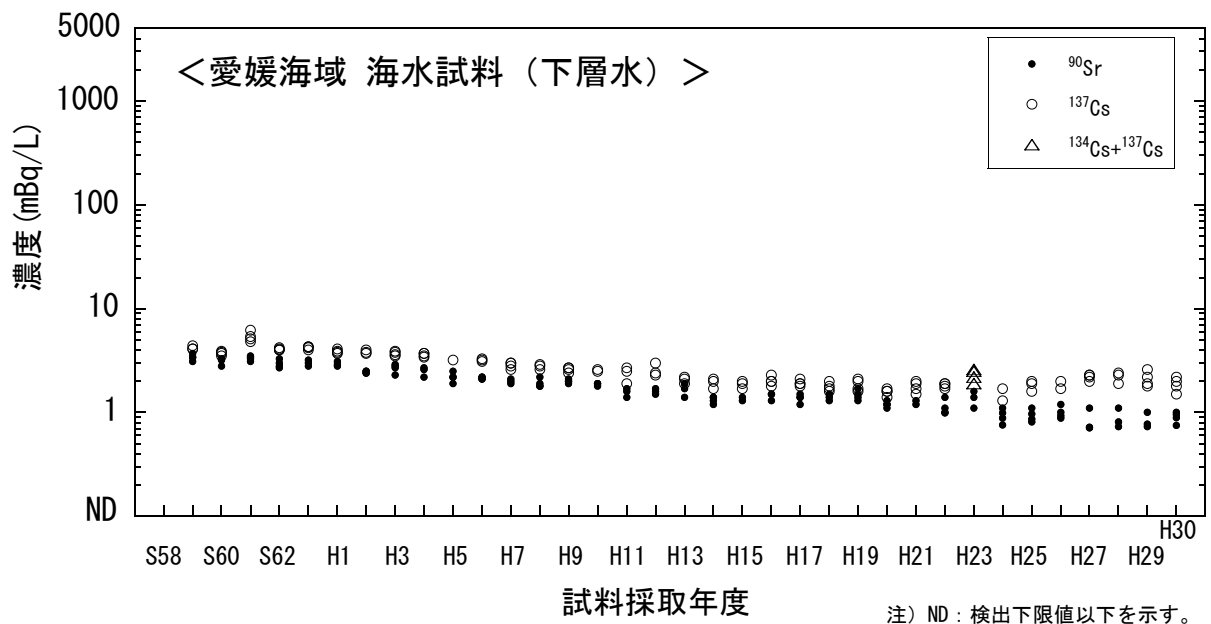


図 I-6-53 海水試料の ^{90}Sr 及び ^{137}Cs 濃度の経年変化（愛媛海域・下層水）

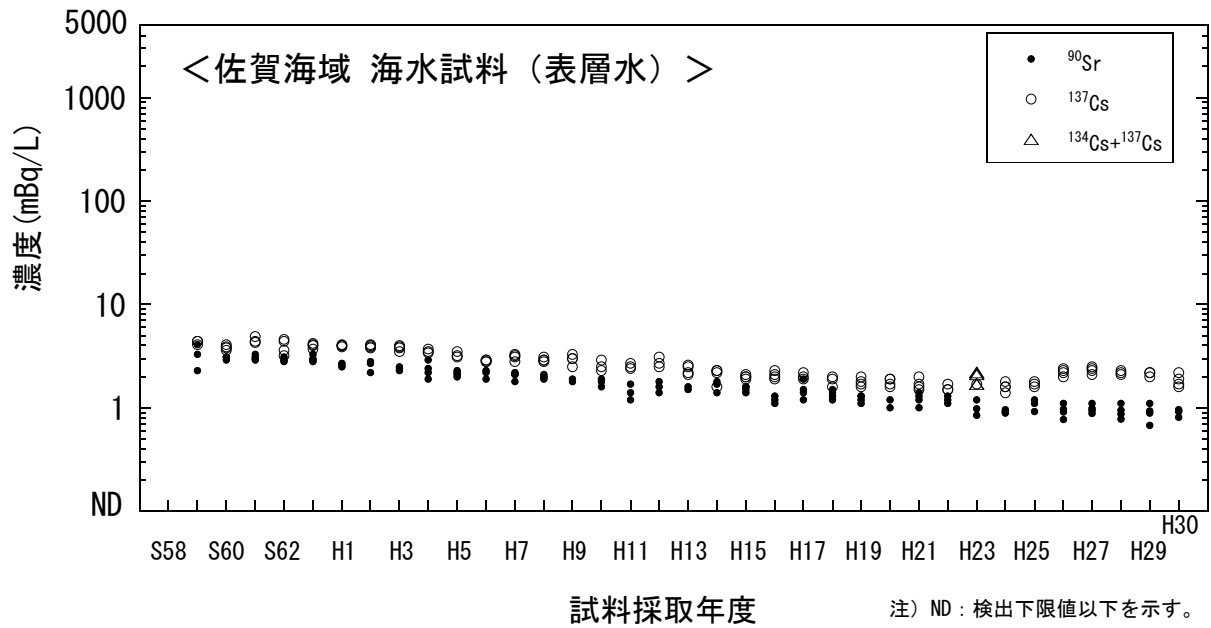


図 I-6-54 海水試料の ^{90}Sr 及び ^{137}Cs 濃度の経年変化（佐賀海域・表層水）

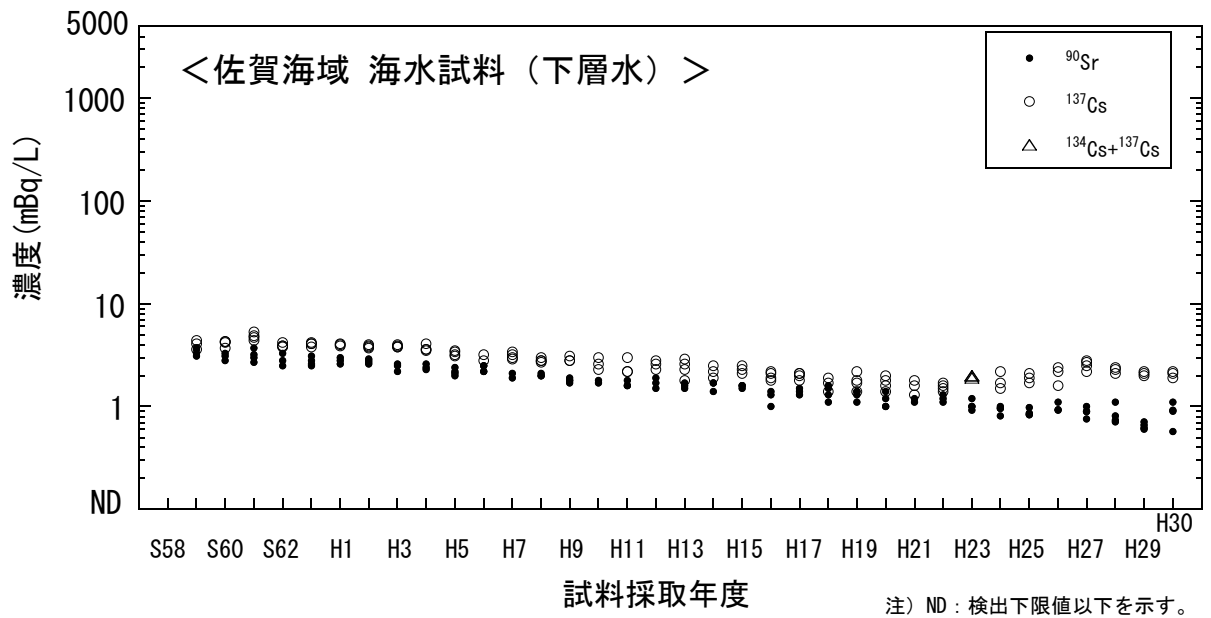


図 I-6-55 海水試料の ^{90}Sr 及び ^{137}Cs 濃度の経年変化（佐賀海域・下層水）

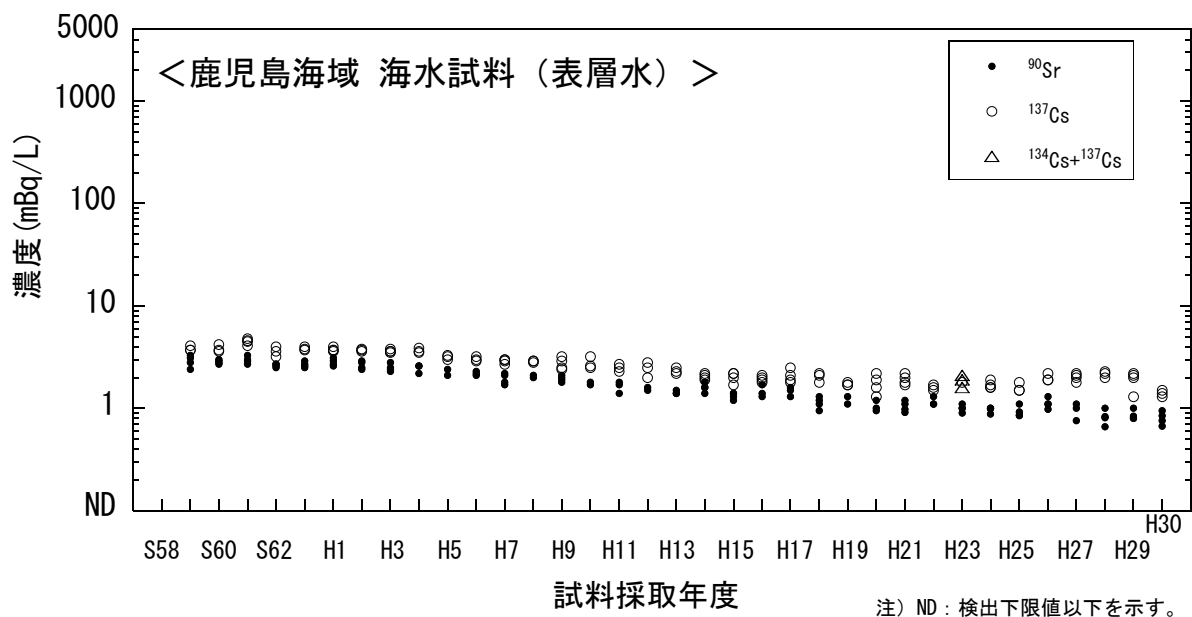


図 I-6-56 海水試料の ^{90}Sr 及び ^{137}Cs 濃度の経年変化（鹿児島海域・表層水）

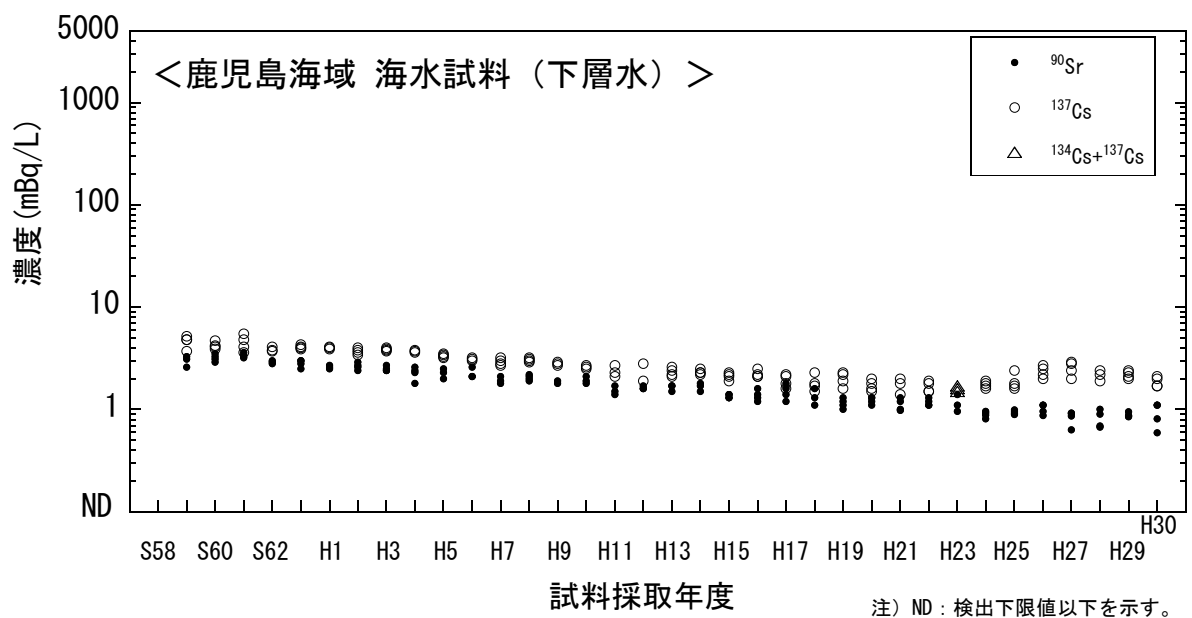


図 I-6-57 海水試料の ^{90}Sr 及び ^{137}Cs 濃度の経年変化（鹿児島海域・下層水）

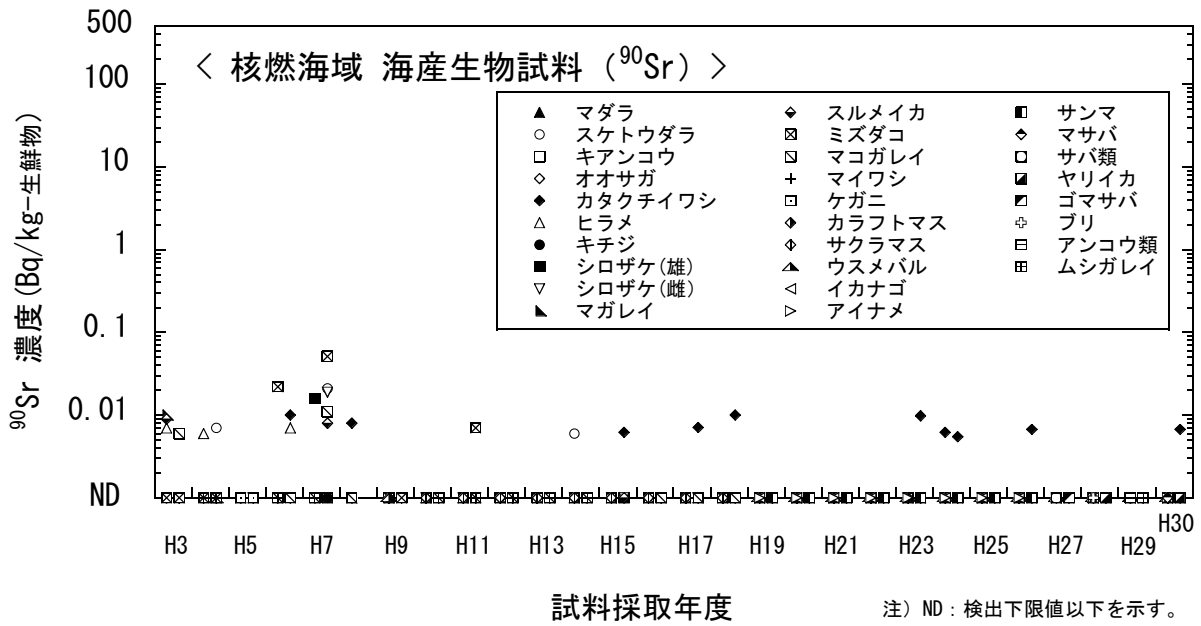


図 I-6-58 海産生物試料の ^{90}Sr 濃度経年変化 (核燃海域)

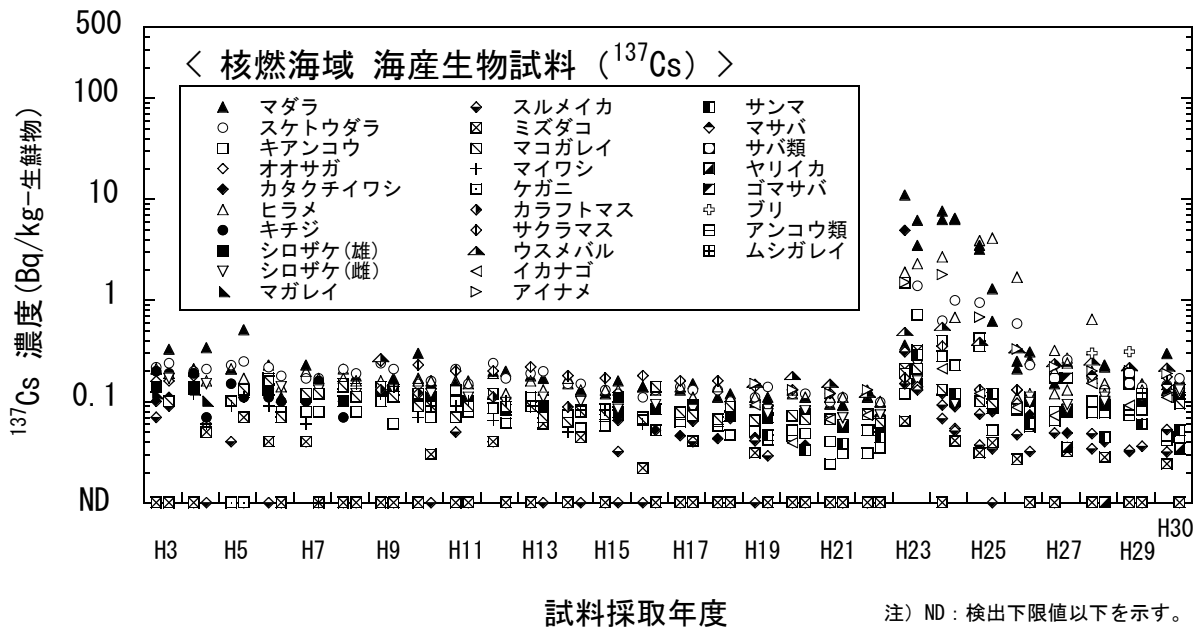


図 I-6-59 海産生物試料の ^{137}Cs 濃度経年変化 (核燃海域)

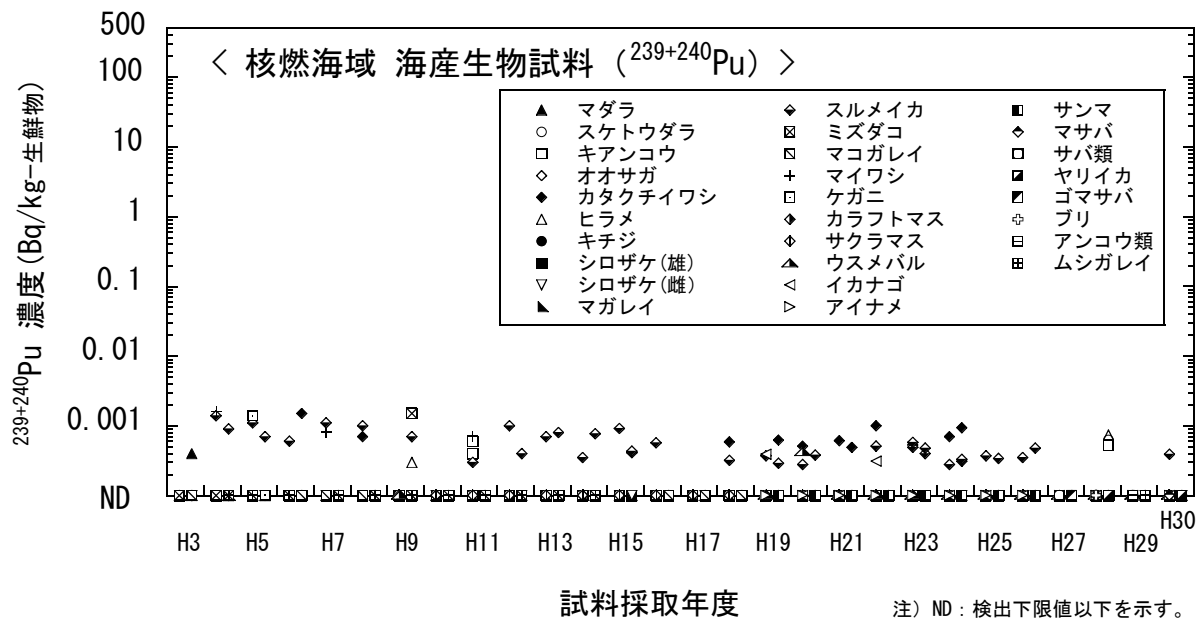


図 I-6-60 海産生物試料の $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度経年変化 (核燃海域)

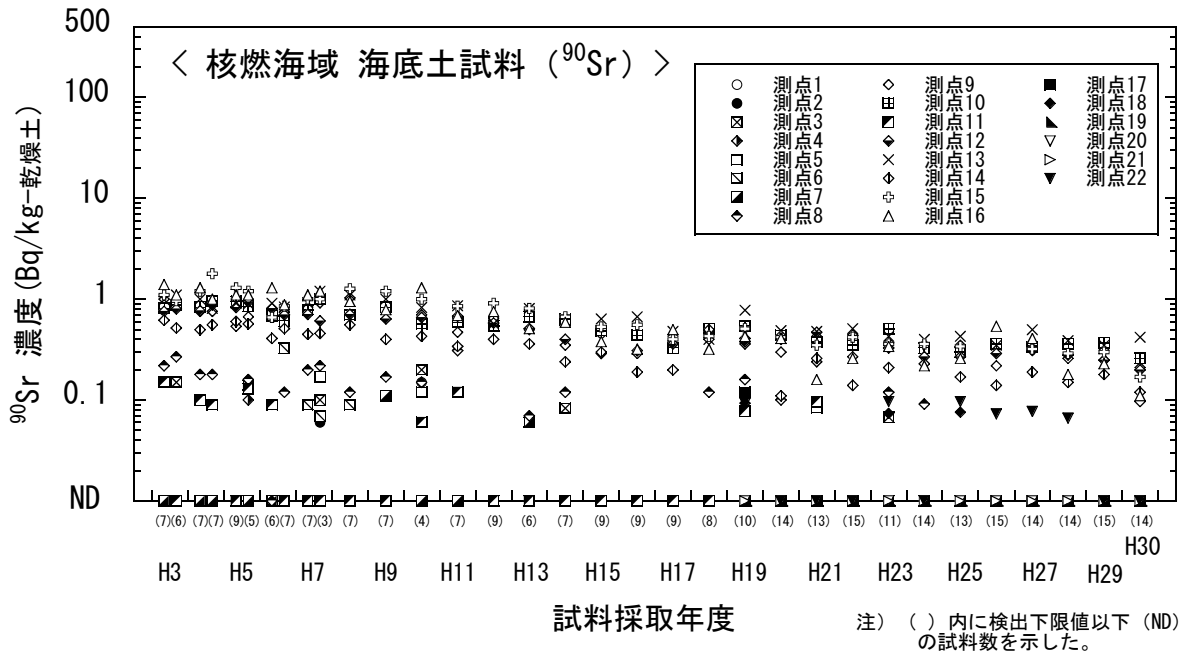


図 I-6-61 海底土試料の ^{90}Sr 濃度経年変化 (核燃海域)

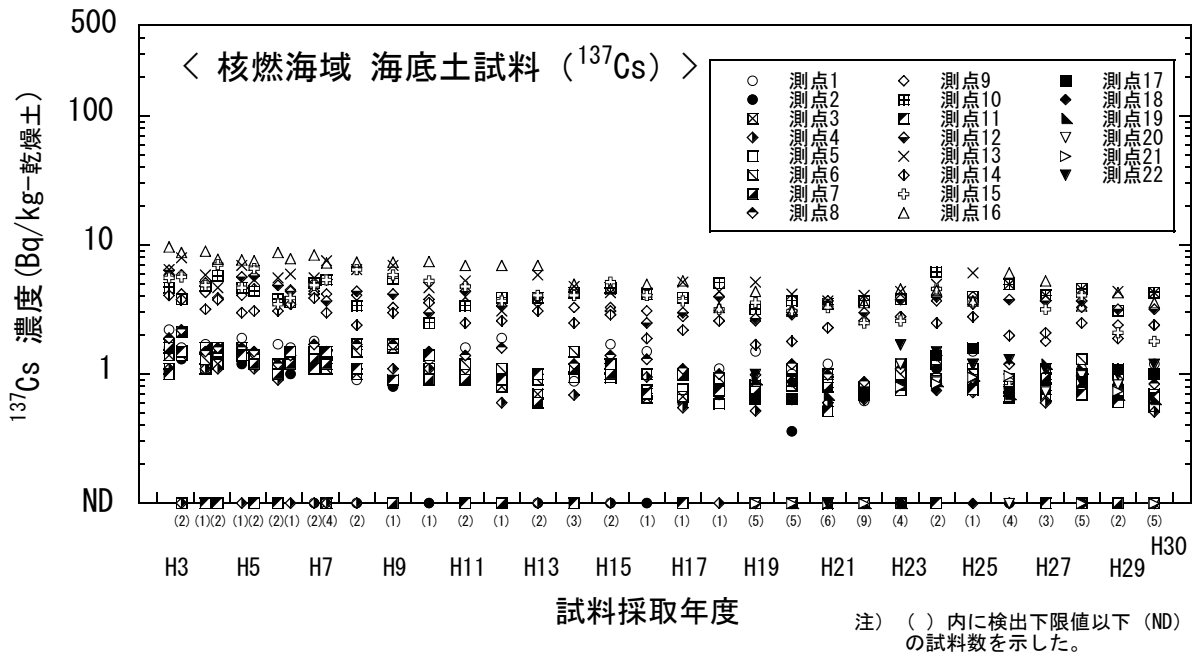


図 I-6-62 海底土試料の ^{137}Cs 濃度経年変化 (核燃海域)

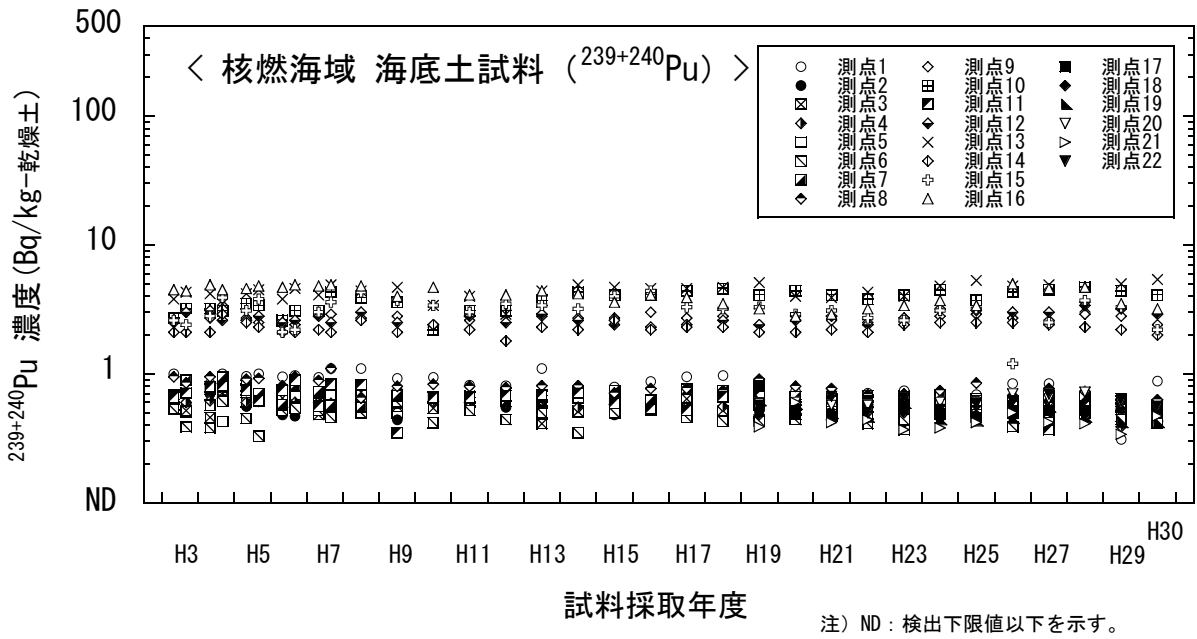


図 I-6-63 海底土試料の $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度経年変化 (核燃海域)

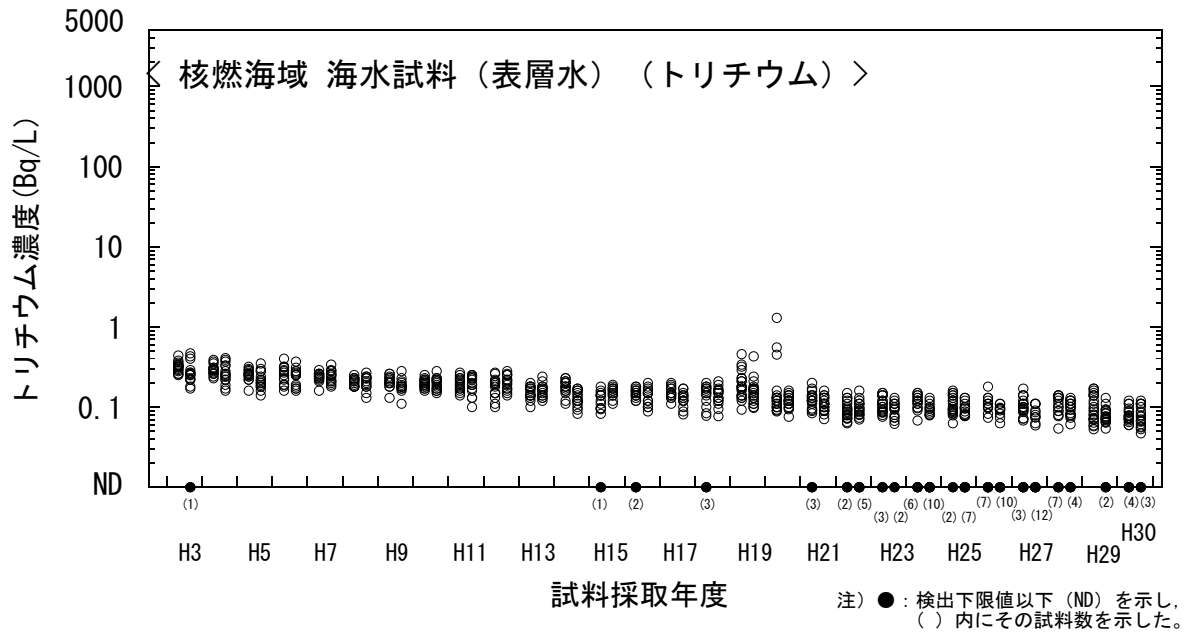


図 I-6-64 海水試料のトリチウム 濃度経年変化（核燃海域・表層水）

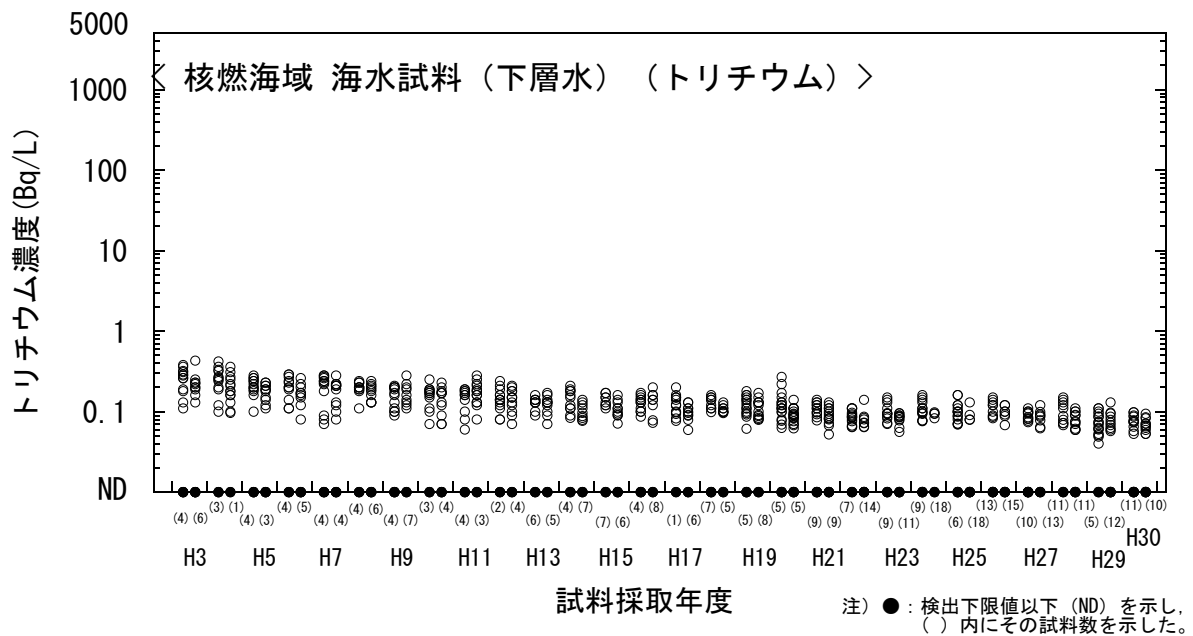


図 I-6-65 海水試料のトリチウム 濃度経年変化（核燃海域・下層水）

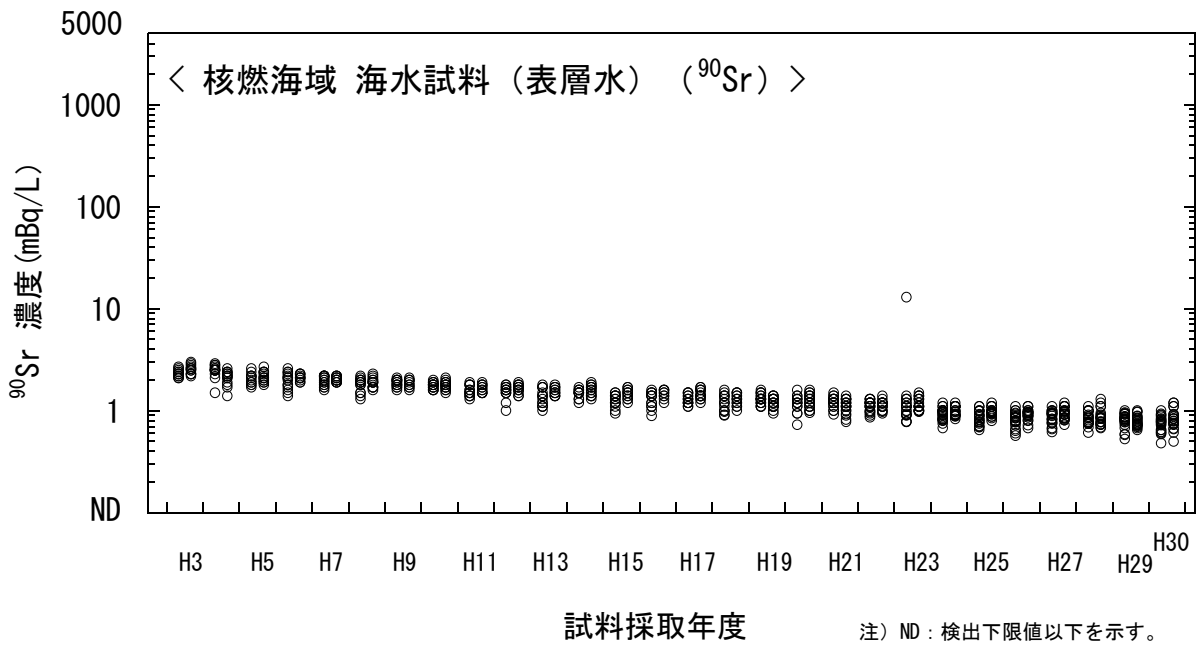


図 I-6-66 海水試料の ^{90}Sr 濃度経年変化 (核燃海域・表層水)

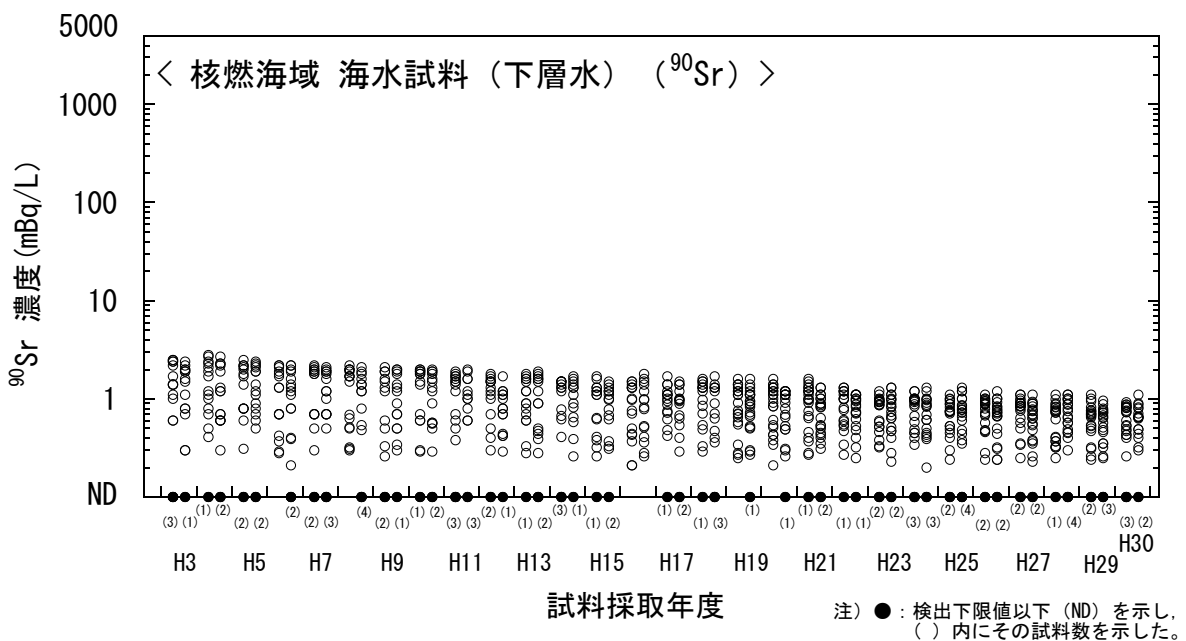


図 I-6-67 海水試料の ^{90}Sr 濃度経年変化 (核燃海域・下層水)

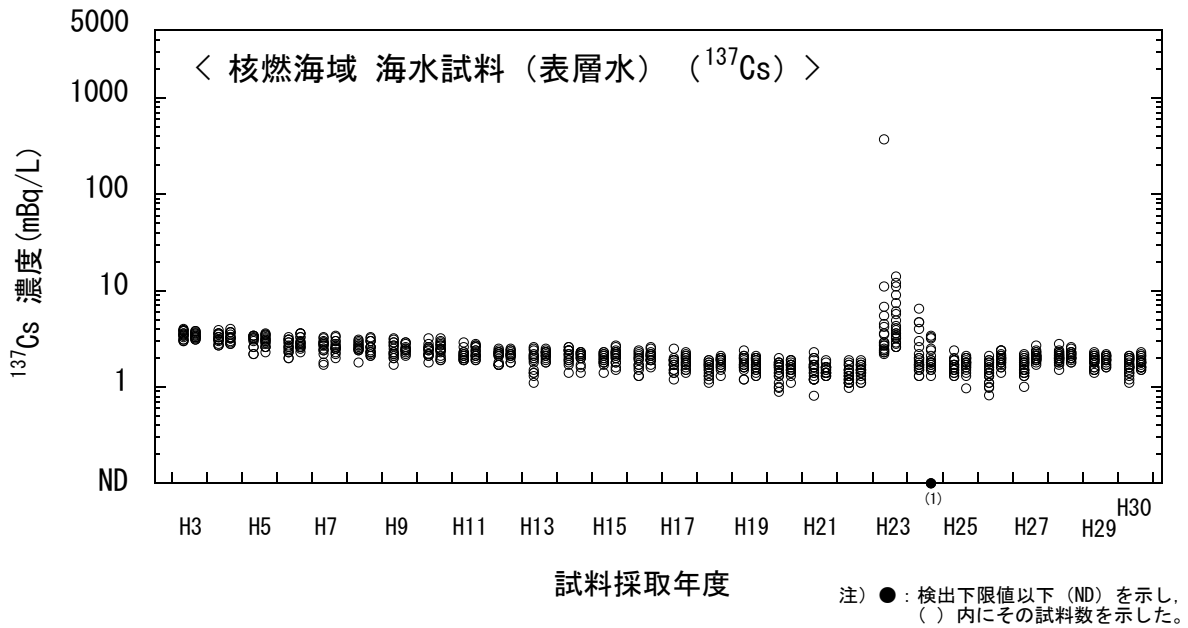


図 I-6-68 海水試料の ^{137}Cs 濃度経年変化 (核燃海域・表層水)

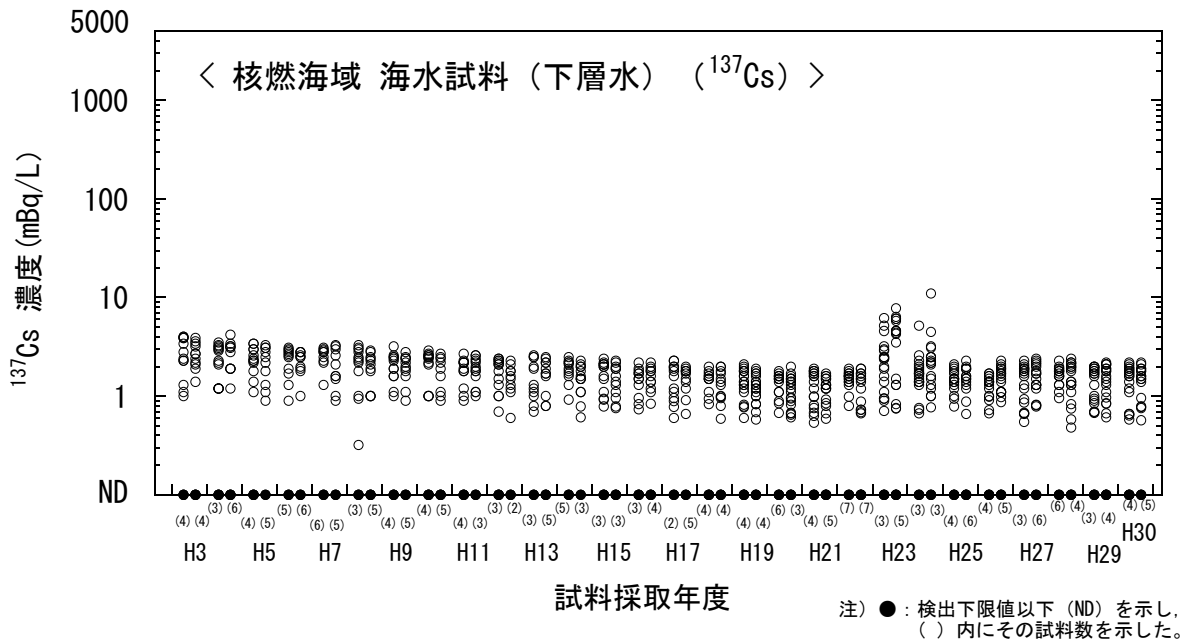


図 I-6-69 海水試料の ^{137}Cs 濃度経年変化 (核燃海域・下層水)

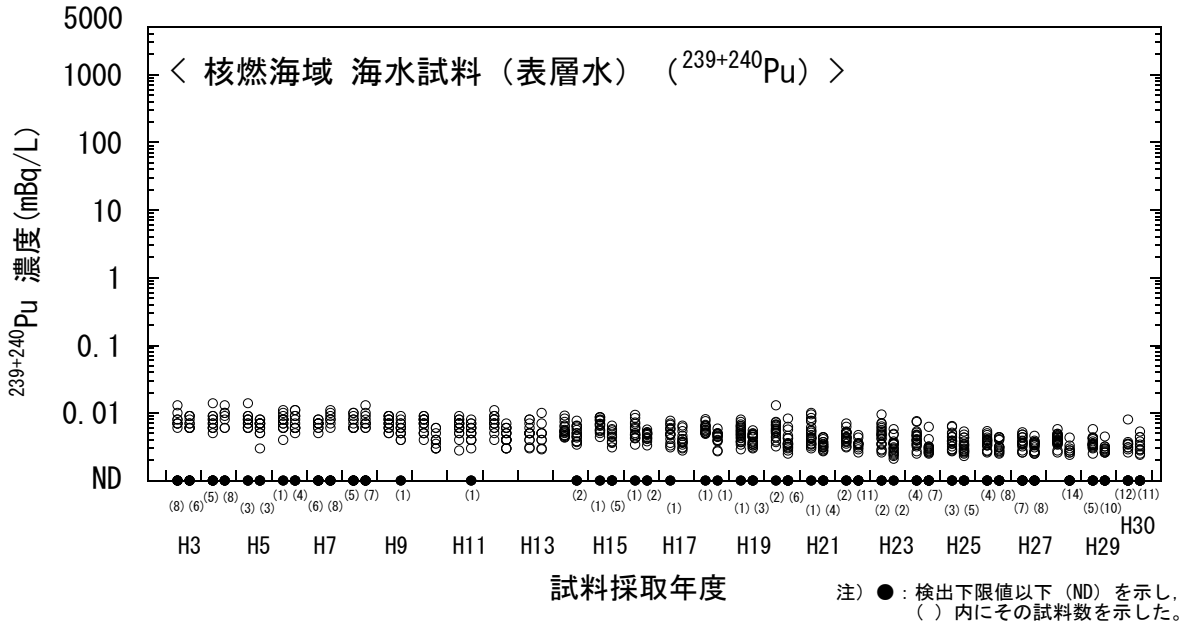


図 I-6-70 海水試料の $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度経年変化 (核燃海域・表層水)

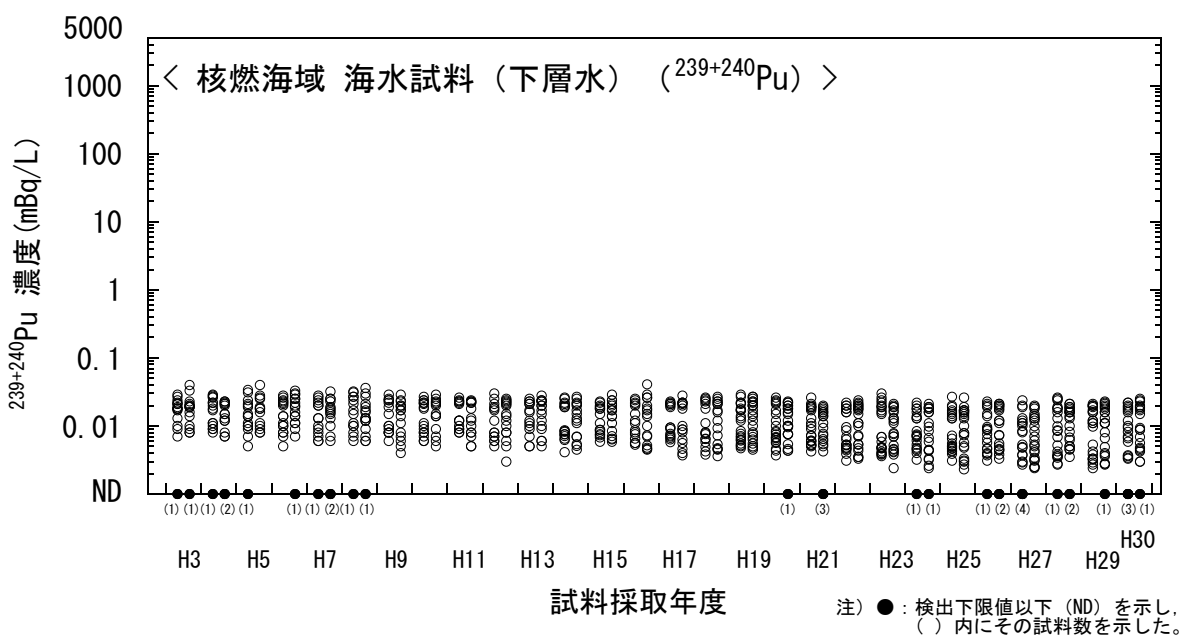


図 I-6-71 海水試料の $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度経年変化 (核燃海域・下層水)

(このページは空白ページです)

2. 解析調査

1) 対照海域放射能調査

(1) 対照海域における海水・海底土試料の放射能調査

① はじめに

本調査は海洋放射能調査を補完するために、原子力発電所等、核燃料サイクル施設（原子燃料サイクル施設）及び東電福島第一原発事故の影響が及んでいないと考えられる海域を対照海域として設定した。次いで、この対照海域における海洋環境試料に含まれる人工放射性核種の放射能濃度を把握することは、海洋放射能調査等で得られた調査結果との対比などを行ってそれらの信頼性を検証するとともに、これら結果についての科学的考察を交えたとりまとめに資するためのものである。

② 対照海域の設定

我が国をとりまく海洋環境は規模の異なる暖流と寒流が入り組んで周囲を流れているため、複雑である。例えば、黒潮（暖流）は、東シナ海を北上しトカラ海峡から太平洋に入り日本列島の南側を沿うように流れ、房総半島沖を東に流れる。対馬海流（暖流）は、九州西方沖に分布する黒潮系の水塊と東シナ海の沿岸水が互いに混合することで形成され、対馬海峡を通過して日本海に流入する。親潮は（寒流）、千島列島を南下して日本の東側まで流れ込む。リマン海流（寒流）は間宮海峡（タートル海峡）からユーラシア大陸に沿って日本海を南下する。

これらの海流を考慮すると、我が国の領海内において大和堆海域、四国沖海域、襟裳沖海域（核燃沖及び釧路沖の海域を含む）の3海域はそれぞれ海流の上流に位置するところに原子力施設等がなく、当該海域の海水や海底土に含まれる放射性核種については、原子力施設等の影響を受けていないと考えられる。すなわち、大和堆海域は日本海中央部に位置し、対馬海流やリマン海流の支流に当たり、四国沖海域は黒潮の流れ込みがあり、襟裳沖海域は津軽海峡を経由した対馬海流の支流と親潮の流れ込みがある。そこで、海洋放射能調査で定めた測点での調査結果等を比較するための対照として、これら3海域を対照海域として設定した。

③ 試料採取場所及び放射能分析の方法

（試料採取の場所及びその方法）

海底土及び海水を対象とした対照海域の調査測点を図 I-2-1-1-1 に示し、併せて試料採取位置及び試料採取日等を表 I-2-1-1-1 に示す。平成30年度は、

大和堆海域（YR1、YR4）

四国沖海域（KC1）

襟裳沖海域（5月：襟裳沖（E11）、核燃沖（T2）、釧路沖（K2））

襟裳沖海域（10月：襟裳沖（E11）、核燃沖（T2））
において海水試料を採取した。また、海底土試料については、
大和堆海域（YR4）
四国沖海域（KC1）
の2測点において採取した。

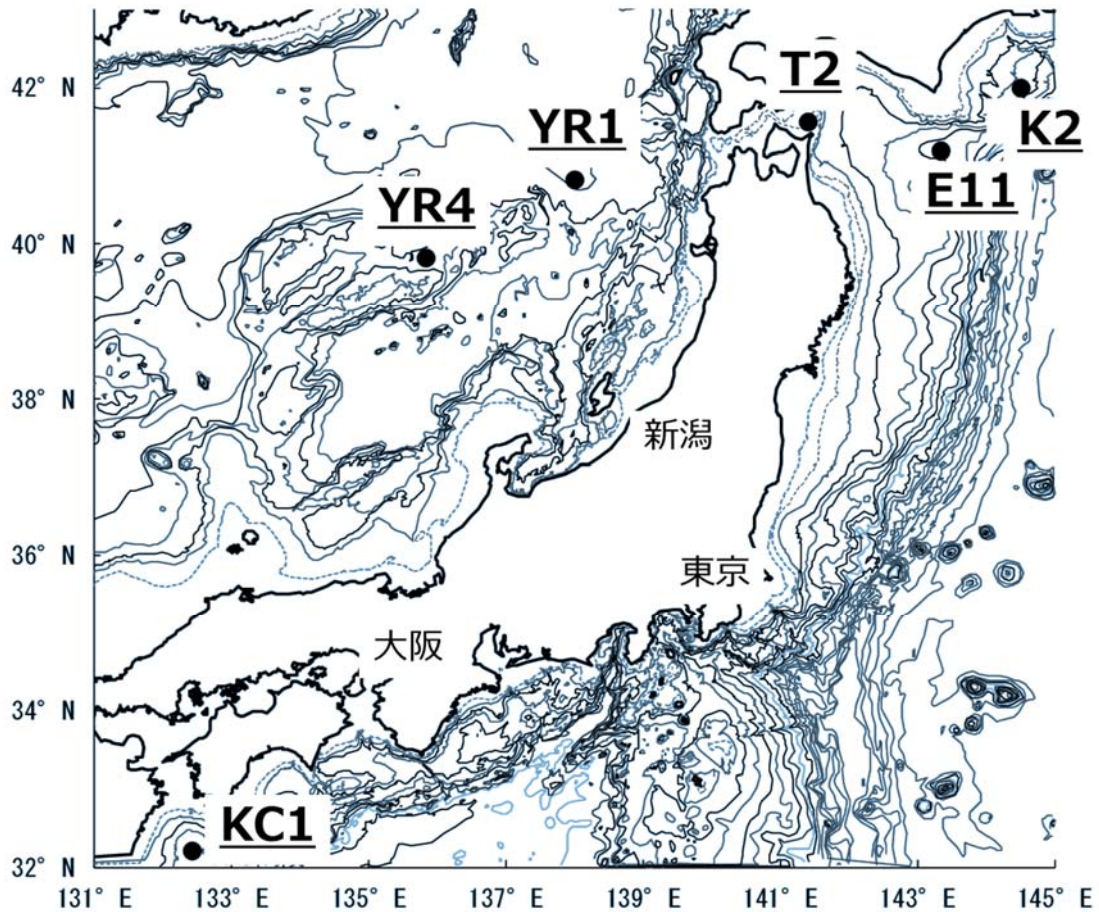


図 I-2-1-1-1 対照海域における調査測点。襟裳沖海域（襟裳沖：E11、核燃沖：T2、釧路沖：K2）、大和堆海域（YR1、YR4）及び四国沖海域（KC1）

表 I-2-1-1-1 対照海域の測点、試料採取日、採取位置及び水深

海域	測点	試料採取日	採取位置		水深*1
			N	E	(m)
襟裳沖	E11	平成 30 年 6 月 8 日	41° 12. 0'	143° 20. 0'	2102
		平成 30 年 10 月 22 日			2101
	T2	平成 30 年 6 月 3 日	41° 34. 0'	141° 24. 0'	261
平成 30 年 10 月 23 日		259			
	K2	平成 30 年 6 月 7 日	42° 00. 0'	144° 30. 0'	1, 682
四国沖	KC1	平成 30 年 5 月 17 日	32° 13. 0'	132° 26. 0'	1, 724
大和堆	YR1	平成 30 年 5 月 12 日	40° 50. 0'	138° 00. 0'	3, 556*2
	YR4	平成 30 年 5 月 13 日	39° 50. 0'	135° 50. 0'	1, 230

*1 当該測点の最下層について試料採取を行った際の水深を記載した。

*2 平成30年度の調査において水深を観測していたものの、機器の不具合が生じたため正確な水深観測ができていない可能性があるため、ここでは平成29年度の実測値を記載した。

海底土及び海水試料の採取に当たっては、海洋放射能調査と同様に正確な当該測点での実施を着実に行うため、気象・海象条件に影響されにくく、かつ水深2,000m超にも対応できる大型採水器や大型採泥器を洋上で安全・着実に運用するためのウインチ等、そして海洋観測機器などの必要機材を備えた大型調査船舶（例えば500トンクラス）を用いた。また、設定した測点で着実に作業を実施するために、位置情報の観測には海技士免状を有する者の助言を受けて船舶用全地球測位システム（いわゆるGPS装置）（GPS衛星のみ使用時で精度±10m以下；国際海事機関（International Maritime Organization；IMO）が定める国際的な基準を満たしているもの）の利用や、正確な水深を把握するための極深海音響測深機などを駆使し、試料採取位置について、測点を中心として約1,800m以内（緯度で1分以内）とし、併せて水深（深度）についてはウインチワイヤの長さ、音響測深機及び魚群探知機などの複数機器による確認を行った。

海水試料の採取に当たっては、採取深度、塩分及び水温を同時かつ連続的に観測できる機器を大型バンドン採水器（120L×3連）に付帯させて深度等の数値を確認し、揚収時の採水容器間水温で±0.1℃（3連容器の場合、最大0.2℃の差）までとし、適切に目的とする海水試料を採取した。

採取した海水はろ過をせず、容量20Lのプラスチック製容器（ロンテナ）に分取した。分取した海水試料は分析に供するまで適切に保管管理を行う観点で、海水に含まれる目的とする放射性核種を含む元素等の吸着を防ぐため、海水1L当たり1mLの濃硝酸を添加して硝酸酸性とした。

海底土試料の採取に当たっては、大型のボックス型採泥器（45cm×45cm×50cm）を用いて海底土の表面から深さ3cmまでの層を湿重量で約2kgを目安として採取した。採取した海

底土については、泥質等の目視観測を同時に行い、ビニール袋に入れたのち、プラスチック製容器（いわゆるタッパー）に収納し、冷凍保管とした。

（放射能分析の方法）

海底土及び海水試料に含まれる放射性核種の放射能分析の実施に当たっては、海洋放射能調査の場合と同様、放射能測定法シリーズに準じた方法により実施することとし、海水・海底土試料の放射性セシウム（高純度ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリーによる ^{134}Cs と ^{137}Cs の定量）、 ^{90}Sr 及び $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能分析を行った。なお、1,000mよりも深いところで採取した海水試料に含まれる放射性セシウムや ^{90}Sr については、その放射能濃度が極めて低く、容易に定量できないと予想されたため、例えば海水試料に対しては放射性セシウムについては約40Lを、 ^{90}Sr については約55L～約90Lを供することとし、併せて放射線計測の時間をより長くするなどの工夫をして、分析目標レベルを達成しつつ、より低い放射能濃度まで定量できるよう考慮した。

④ 結果

i. 海水試料

平成30年度に実施した対照海域における放射性核種の放射能濃度の鉛直分布について、海域毎にまとめた結果を表I-2-1-1-2に、東電福島第一原発事故前の平成18～22年度の放射性核種の結果も併せて図I-2-1-1-2～4にそれぞれ示す。

なお、東電福島第一原発事故前における放射性セシウムの分析については、 ^{137}Cs を対象として実施したものであり、放射能測定法シリーズ3「放射性セシウム分析法」（昭和51年改訂）の方法に従った化学分析によりセシウムを化学分離・精製したのち、塩化白金酸塩としてセシウムを固定し、ベータ線計測により定量する方法を適用しているため、 ^{134}Cs の存在を考慮したものではない。東電福島第一原発事故前の平成22年度までは ^{134}Cs は周辺海域を含めて検出された事例はなく、ベータ線計測によって定量された放射性セシウムは全て ^{137}Cs と見なせる。したがって、本調査では事故前の放射性セシウムを ^{137}Cs として、平成30年度の結果との比較に用いることとした。なお、直近の分析結果では、例えば平成29年度において ^{134}Cs が検出された海水試料は全36試料のうち4試料あったが、平成30年度に実施した結果については、全36試料のうち、2試料（K2（表層）及びKC1（250m層）、いずれも5月期）から極めて低い放射能濃度ではあるものの ^{134}Cs が検出された。

（i）放射性セシウム

大和堆海域において、いずれの測点からも ^{134}Cs は検出されなかった。一方、 ^{137}Cs についてはすべての測点で検出され、その放射能濃度は測点YR1が0.22～1.4mBq/L、YR4が0.52～1.4mBq/Lの範囲であり、それぞれの平均値は、0.96mBq/L（YR1）、1.0mBq/L（YR4）で

あった。両測点において ^{137}Cs の放射能濃度の鉛直分布は表層で最大値を取った後、海底直上の深度まで緩やかに減少する傾向が見られた。

両測点における各深度での ^{137}Cs の放射能濃度を比較したところ、250m 層では測点 YR1 及び YR4 で 1.3mBq/L 及び 1.2mBq/L、500m 層で 1.1mBq/L 及び 1.0mBq/L と、同程度であった。これらのことから、大和堆海域の測点間の放射能濃度の差は確認されなかった。

襟裳沖海域において、 ^{134}Cs が検出されたのは 5 月期の調査における測点 K2 の 1m 層のみで、その放射能濃度は 0.080mBq/L であった。時期毎にみると、5 月期における ^{137}Cs の放射能濃度については、測点 E11 が ND~1.2mBq/L、T2 が 1.5mBq/L (表層のみ)、K2 が 0.026~1.8mBq/L の範囲であった。また、それら放射能濃度の平均値は、0.54mBq/L (E11、ND となった 2,087m 層は除く)、0.57mBq/L (K2) であった。一方、10 月期における ^{137}Cs の放射能濃度は、測点 E11 が ND~1.3mBq/L、T2 が 1.5mBq/L (表層のみ) の範囲であった。また、E11 における ^{137}Cs の放射能濃度の平均値は、0.57mBq/L (E11、ND となった 2,056m 層は除く) であった。襟裳沖海域における全測点で検出された ^{137}Cs の放射能濃度の平均値は 0.63mBq/L (5 月期、ND となった測点 E11 の 2,087m 層は除く)、0.73mBq/L (10 月期、ND となった測点 E11 の 2,056m 層は除く) であった。また、測点 E11 及び K2 における各層で検出された ^{137}Cs の放射能濃度について、その鉛直分布は大和堆海域と同様に 5 月期及び 10 月期ともに深さが増すにつれて減少していた。

襟裳沖海域での 5 月期における各層で検出された ^{137}Cs の放射能濃度を比較したところ、表層の 3 測点では 1.2~1.8mBq/L であり 0.6mBq/L の濃度差が見られた。これら結果の誤差を考慮しても明確な差が生じていることから、表層の水塊の違いによるものではないかと考えられる。一方、250m 層では測点 E11 及び K2 で 1.0mBq/L 及び 1.1mBq/L であり 0.1mBq/L の差が見られたが、750m 層以深の放射能濃度と同様に両測点で同程度であった。さらに、それぞれの調査期で ^{137}Cs の放射能濃度を比較すると、表層において測点 E11 が 1.2mBq/L (5 月期) 及び 1.3mBq/L (10 月期)、測点 T2 が 1.5mBq/L (5 月期及び 10 月期) であり、わずかではあるものの 0.3mBq/L の差が見られた。なお、250m 層以深において、測点 E11 における各層での差はほぼ無かった。

四国沖海域の測点 KC1 において、 ^{134}Cs が検出されたのは 250m 層のみで、その放射能濃度は 0.078mBq/L であった。また、 ^{137}Cs はすべての層で検出され、その放射能濃度は 0.027~1.8mBq/L の範囲であり、その平均値は 0.75mBq/L であった。測点 KC1 の各層における ^{137}Cs の放射能濃度の鉛直分布は、250m 層で極大値 (1.8mBq/L) を示し、それ以深で減少した。なお、このように 250m 層で極大値を示す現象は、平成 29 年度も同様にみられている。

(ii) ^{90}Sr

大和堆海域において、いずれの測点（各層）からも ^{90}Sr が検出され、その放射能濃度は測点 YR1 で 0.20~0.87mBq/L、YR4 で 0.46~1.1mBq/L の範囲にあった。また、それら放射能濃度の平均値は、0.70mBq/L (YR1)、0.92mBq/L (YR4) であった。なお、大和堆海域における全測点（各層）で検出された ^{90}Sr の放射能濃度の平均値は 0.78mBq/L であった。両測点の各層で検出された ^{90}Sr の放射能濃度の鉛直分布は深さが増すにつれて減少する傾向が見られた。また、両測点における各層で検出された ^{90}Sr の放射能濃度を比較したところ、表層では 0.87mBq/L (YR1) 及び 1.1mBq/L (YR4) であり、0.23mBq/L の差が見られた。また 250m 層では 0.88mBq/L (YR1) 及び 1.1mBq/L (YR4) であり、0.22mBq/L の差が見られたものの、500m 層ではそれぞれ 0.82mBq/L 及び 1.1mBq/L であり、その差は 0.28mBq/L であった。これら放射能濃度には差が見られるものの、誤差を考慮すれば概ね大和堆海域の測点間の違いは確認されなかった。

襟裳沖海域において、5 月期の調査で検出された ^{90}Sr の放射能濃度は、測点 E11 において ND~0.78mBq/L、T2 において 0.92mBq/L（表層のみ）、K2 において ND~0.74mBq/L の範囲であった。これら放射能濃度の平均値（ND を除く）は、0.38mBq/L (E11)、0.36mBq/L (K2) であった。一方、10 月期における調査で検出された ^{90}Sr の放射能濃度は、測点 E11 が ND~0.75mBq/L、T2 が 0.84mBq/L（表層のみ）の範囲であり、測点 E11 の平均値（ND を除く）は 0.35mBq/L であった。また、襟裳沖海域における全測点での ^{90}Sr の放射能濃度の平均値（ND を除く）は 0.42mBq/L（5 月期）、0.44mBq/L（10 月期）であった。なお、測点 E11 及び K2 において検出された ^{90}Sr の放射能濃度の鉛直分布は大和堆海域と同様に 5 月期及び 10 月期ともに深さが増すにつれて減少する傾向が見られた。

襟裳沖海域において 5 月期に調査した 3 測点での各層の放射能濃度を比較したところ、表層では 0.74~0.92mBq/L であり 0.18mBq/L の差が見られた。250m 層では測点 E11 及び K2 で 0.70mBq/L 及び 0.73mBq/L であり概ね同程度、750m 層では測点 E11 及び K2 でそれぞれ 0.20mBq/L 及び 0.18mBq/L であり、それ以深においても概ね同程度であった。さらに、調査時期での放射能濃度を比較すると、表層において測点 E11 が 0.78mBq/L（5 月期）及び 0.75mBq/L（10 月期）、測点 T2 が 0.92mBq/L（5 月）及び 0.84mBq/L（10 月期）であり 0.04~0.18mBq/L の差があったものの、1,000m 層以深では測点 E11 が各層での差は 0.1mBq/L 以下であった。

四国沖海域において検出された ^{90}Sr の放射能濃度は、ND~0.97mBq/L の範囲であり、それら放射能濃度の平均値（ND を除く）は 0.55mBq/L であった。各層で検出された ^{90}Sr の放射能濃度は表層から下層にかけて減少し、同じ層で検出された ^{137}Cs の放射能濃度におい

て観測された 250m 層での極大値は確認されなかった。海水中でのストロンチウムはセシウムと同様な化学的性質を持っていることから、両者は同様な海洋循環過程を有していると考えられる¹⁾が、濃度変化を観測する程の下層への⁹⁰Srの輸送(移送)が確認されなかったと考えられる。すなわち、事故前は¹³⁷Csと⁹⁰Srの放射能濃度から求めた放射能比が約1であった¹⁾が、東電福島第一原発事故による海洋への⁹⁰Srの放出量が(90~900)×10¹²Bqであると推定されていること²⁾を考慮すると、この量は¹³⁷Csの放出量に比べて2桁以上低いことから、¹³⁷Csと同様に冬季における鉛直混合によって下層へ運ばれたとしても、計算上は事故前の放射能濃度(1.6mBq/L)¹⁾に対して、0.01mBq/L程度の濃度上昇となるため、極大値を形成するに至ることなくほとんど無視できることに起因していると考えられる。

(iii) ²³⁹⁺²⁴⁰Pu

大和堆海域において検出された²³⁹⁺²⁴⁰Puの放射能濃度は、測点 YR1 が 0.0085~0.031mBq/L、YR4 が 0.0056~0.032mBq/L の範囲であり、その放射能濃度の平均値は測点 YR1 が 0.023mBq/L、YR4 が 0.021mBq/L であった。大和堆海域における全測点での²³⁹⁺²⁴⁰Pu濃度の平均値は 0.022mBq/L であった。²³⁹⁺²⁴⁰Pu濃度の鉛直分布は、測点 YR1 及び測点 YR4 で深さが増すにつれて増加する傾向が見られた。海洋ではプルトニウムはセシウムやストロンチウムとは異なる振る舞いをする事が分かっている³⁾。とりわけプルトニウムは海水中の粒子に吸着しやすい性質を有しており、また、沈降粒子とともに下層へと運ばれる性質があるため、深度方向に対して放射能濃度が増す傾向が見られ、概ね 500~1,000m 層で極大値を示したのち、徐々に減少すると考えられる。

襟裳沖海域において、5月期の調査で検出された²³⁹⁺²⁴⁰Puの放射能濃度は、測点 E11 で ND~0.027mBq/L、測点 K2 で 0.0048~0.025mBq/L の範囲であり、それら放射能濃度の平均値は 0.019mBq/L (E11、NDを除く)、0.016mBq/L (K2) であった。また、10月期の調査で検出された²³⁹⁺²⁴⁰Puの放射能濃度は、測点 E11 が ND~0.023mBq/L の範囲であり、それら放射能濃度の平均値は 0.018mBq/L (E11、NDを除く) であった。襟裳沖海域における全測点で検出された²³⁹⁺²⁴⁰Puの放射能濃度は、NDを除いた平均値としては 0.017mBq/L (5月期、測点 E11 および K2) であった。また、測点 E11 及び K2 において²³⁹⁺²⁴⁰Pu濃度の鉛直分布は、大和堆海域と同様に 5月期及び 10月期の調査結果ともに 750~1,000m 層に極大値を示しそれ以深で減少した。更に、5月期に調査した 2 測点(測点 E11 及び K2)における各層の放射能濃度を比較したところ、表層では ND~0.0048mBq/L と、両者とも検出下限値(0.003~0.004mBq/L)付近であり、有意な差は確認されなかった。この傾向は深度 250m 以深においてはほぼ同じであった。さらに、調査時期で比較すると、表層において測点 E11 が 5月期及び 10月期ともに ND であった。表層より深い採水層では各深度での差は 0.1mBq/L 以

下であったことから、襟裳沖海域において、測点間及び調査時期の違いは確認出来なかった。

四国沖海域において検出された、 $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度は ND～0.029mBq/L の範囲であり、その ND を除いた平均値としては 0.020mBq/L であった。これら放射能濃度の鉛直分布を確認したところ、表層から下層にかけて増加し、750m 層で極大値を示した後に減少する傾向が見られた。

表 I-2-1-1-2 対照海域で採取した海水試料に含まれる人工放射性核種の定量結果

航海期	海域 測点	採取層 (m)	¹³⁴ Cs		¹³⁷ Cs		⁹⁰ Sr		²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	
			(mBq/L)	(誤差)	(mBq/L)	(誤差)	(mBq/L)	(誤差)	(mBq/L)	(誤差)
5 月 期	襟裳沖 (E11)	1	ND	-	1.2	0.030	0.78	0.096	ND	-
		250	ND	-	1.0	0.026	0.70	0.087	0.013	0.0018
		750	ND	-	0.25	0.011	0.20	0.014	0.027	0.0026
		1,000	ND	-	0.17	0.0088	0.16	0.014	0.022	0.0023
		1,250	ND	-	0.094	0.0069	0.051	0.012	0.019	0.0022
		2,087	ND	-	ND	-	ND	-	0.014	0.0021
	襟裳沖 (K2)	1	0.080	0.016	1.8	0.024	0.74	0.085	0.0048	0.0013
		250	ND	-	1.1	0.022	0.73	0.092	0.0085	0.0017
		750	ND	-	0.28	0.010	0.18	0.014	0.022	0.0024
		1,000	ND	-	0.14	0.0081	0.11	0.012	0.025	0.0026
		1,250	ND	-	0.057	0.0051	0.052	0.012	0.019	0.0023
		1,666	ND	-	0.026	0.0049	ND	-	0.017	0.0023
襟裳沖	T2	1	ND	-	1.5	0.023	0.92	0.12	*	*
10 月 期	襟裳沖 (E11)	1	ND	-	1.3	0.025	0.75	0.098	ND	-
		250	ND	-	1.1	0.025	0.70	0.091	0.013	0.0019
		750	ND	-	0.22	0.0073	0.16	0.012	0.023	0.0027
		1,000	ND	-	0.15	0.0063	0.11	0.013	0.021	0.0026
		1,250	ND	-	0.081	0.0054	0.050	0.012	0.021	0.0026
		2,056	ND	-	ND	-	ND	-	0.014	0.0021
	襟裳沖	T2	1	ND	-	1.5	0.032	0.84	0.12	*
5 月 期	四国沖 (KC1)	1	ND	-	1.4	0.029	0.97	0.13	ND	-
		250	0.078	0.018	1.8	0.037	0.88	0.13	0.013	0.0018
		500	ND	-	0.80	0.019	0.60	0.092	0.029	0.0027
		750	ND	-	0.31	0.011	0.20	0.014	0.021	0.0023
		1,000	ND	-	0.16	0.0079	0.12	0.011	0.020	0.0023
		1,704	ND	-	0.027	0.0048	ND	-	0.016	0.0020
	大和堆 (YR1)	1	ND	-	1.4	0.037	0.87	0.11	0.0085	0.0015
		250	ND	-	1.3	0.030	0.88	0.12	0.012	0.0018
		500	ND	-	1.1	0.024	0.82	0.13	0.027	0.0029
		750	ND	-	0.95	0.021	0.80	0.11	0.030	0.0031
		1,000	ND	-	0.76	0.018	0.60	0.091	0.030	0.0031
		2,950	ND	-	0.22	0.0090	0.20	0.014	0.031	0.0031
	大和堆 (YR4)	1	ND	-	1.4	0.038	1.1	0.11	0.0056	0.0014
		250	ND	-	1.2	0.028	1.1	0.13	0.017	0.0025
500		ND	-	1.0	0.027	1.0	0.12	0.030	0.0028	
1,211		ND	-	0.52	0.013	0.46	0.082	0.032	0.0028	

「ND」は検出下限値以下を示す。また、おおよそのNDの値については、表 I-5-5 と表 I-5-6 の脚注を併せて参照のこと。なお、「*」は分析対象外を示す。

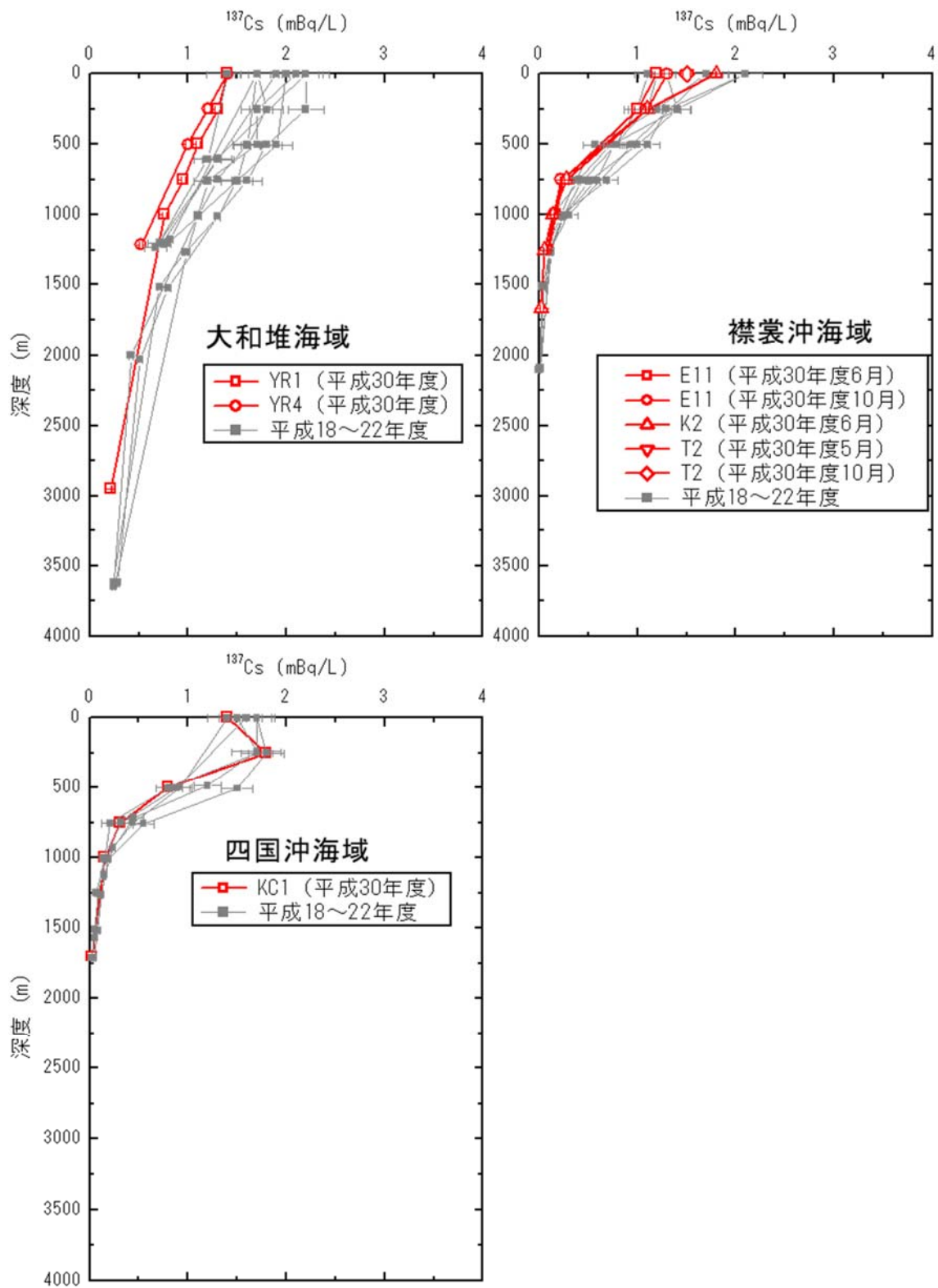


図 I -2-1-1-2 対照海域で採取した海水試料に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度を鉛直分布として示したもの

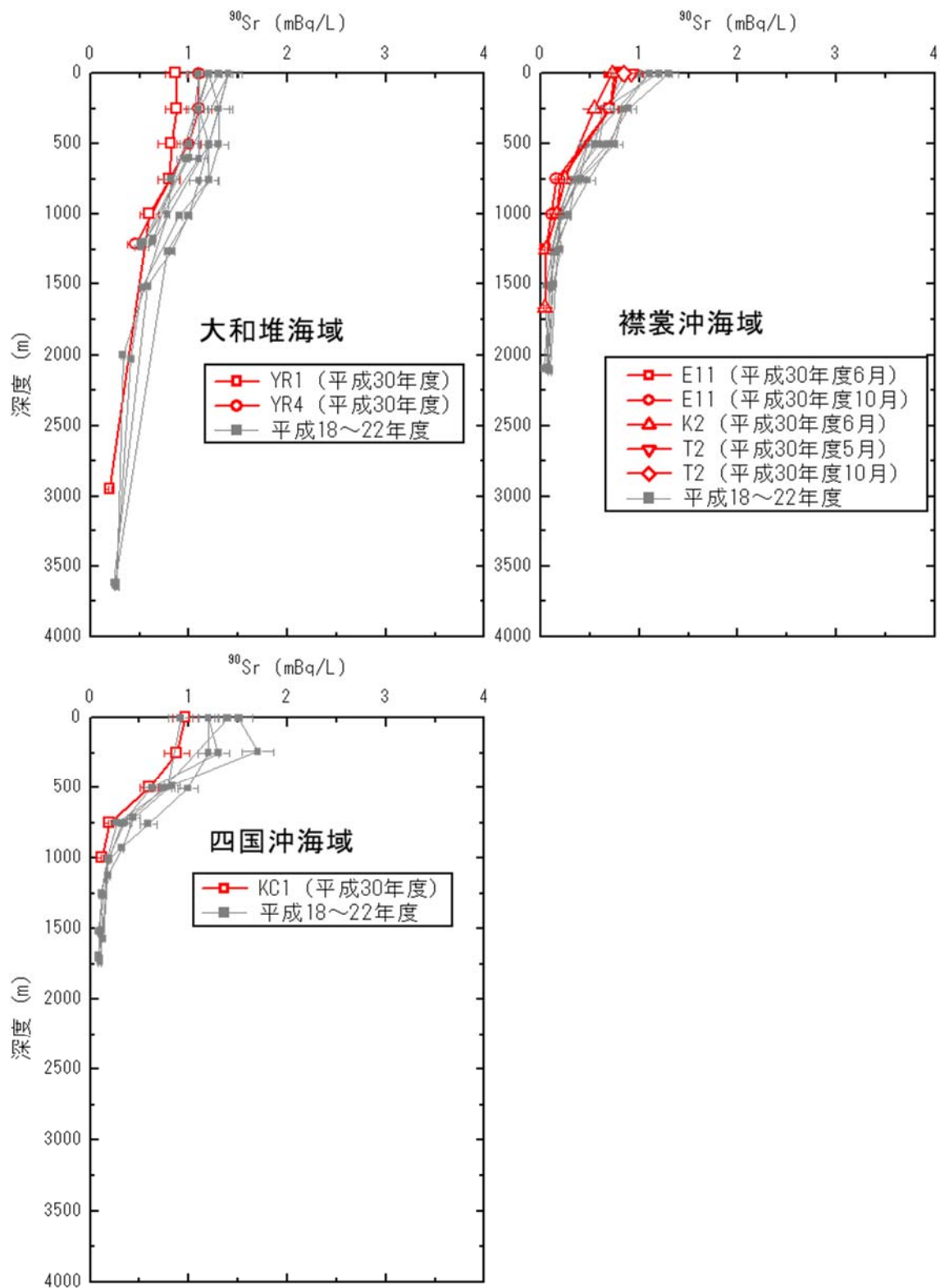


図 I -2-1-1-3 対照海域で採取した海水試料に含まれる ^{90}Sr の放射能濃度を鉛直分布として示したもの

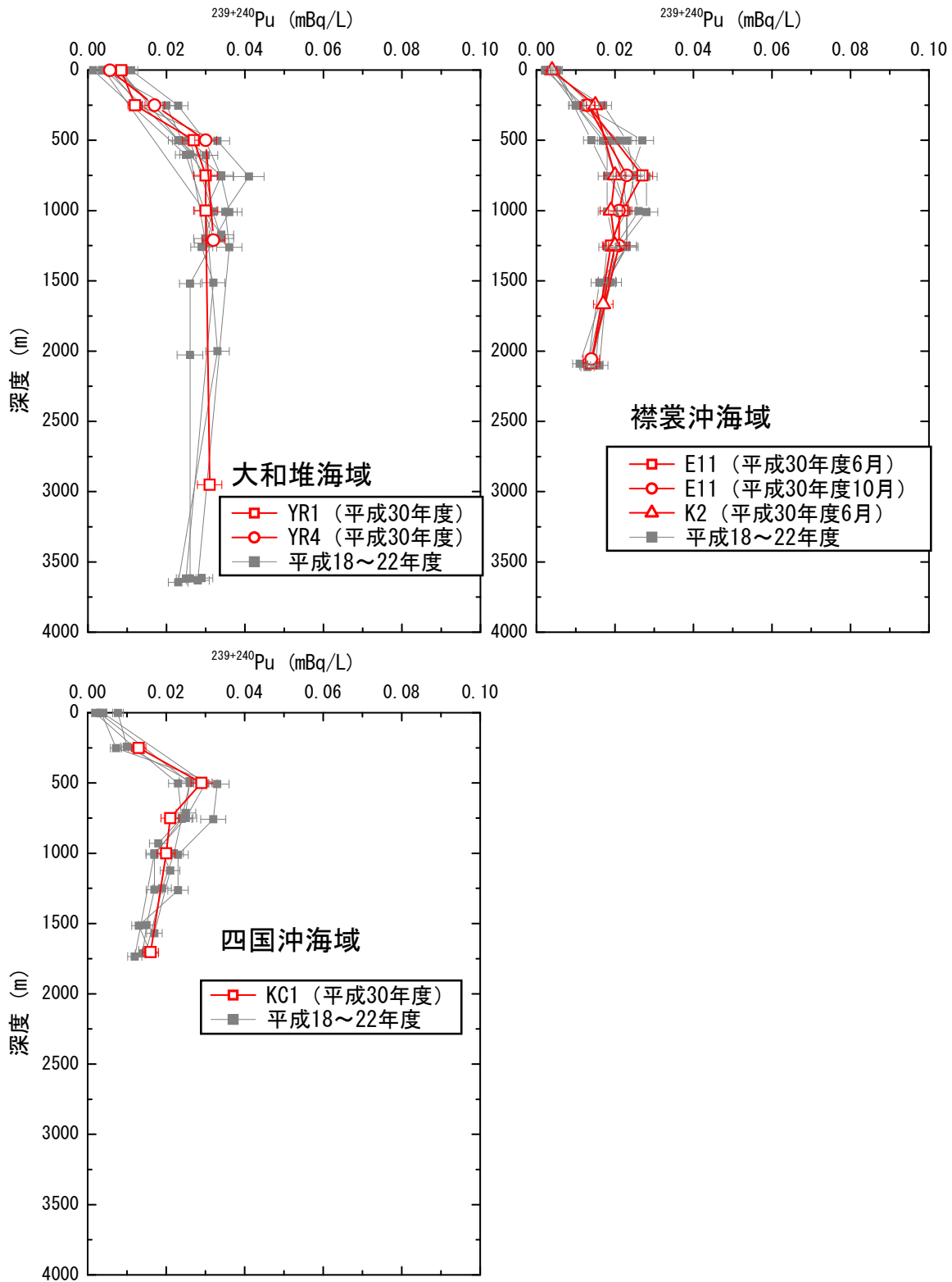


図 I -2-1-1-4 対照海域で採取した海水試料に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度を鉛直分布として示したもの

ii. 海水試料における海洋放射能調査との比較

平成 30 年度に実施した海洋放射能調査（発電所海域（5 月）及び核燃海域（5、10 月））で得られた海水試料に含まれる ^{137}Cs 及び ^{90}Sr の放射能濃度の範囲について、各対照海域の結果と比較した。その際、対照海域では、表層と表層よりも深い層の 2 つに分けたほか、海洋放射能調査での調査海域を次に示すように区別した。

- ・ 親潮の影響がある海域として東日本海域（襟裳沖海域との比較）：

青森、宮城、福島第一、福島第二、茨城、核燃

- ・ 日本海側に位置する海域として日本海海域（大和堆海域との比較）：

北海道、新潟、石川、福井第一、福井第二、島根

- ・ 黒潮の影響がある海域として西日本海域（四国沖海域との比較）：

静岡、愛媛、佐賀、鹿児島

また、海水試料に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ については核燃海域でのみ観測を行っているため、すべての対照海域と比較を行った。海域毎にまとめた結果について、 ^{137}Cs 及び ^{90}Sr については表 I-2-1-1-3 に、 $^{239+240}\text{Pu}$ については表 I-2-1-1-4 にそれぞれ示した。

表 I-2-1-1-3 発電所海域、核燃海域及び対照海域で採取した海水試料に含まれる ^{137}Cs 及び ^{90}Sr の放射能濃度範囲及びその平均値

調査海域			採取層	^{137}Cs (mBq/L)			^{90}Sr (mBq/L)		
				最小	最大	平均	最小	最大	平均
東日本	発電所海域 及び 核燃海域 (5-6月)	青森、 宮城、 福島第一、 福島第二、 茨城、核燃	表層	1.1	2.8	1.9	0.48	1.0	0.77
			下層	ND	2.5	1.6	ND	1.1	0.67
	対照 海域	襟裳沖 (5月)	表層	1.2	1.8	1.5	0.74	0.92	0.81
			表層より 深い層	ND	1.1	0.35	ND	0.73	0.27
	核燃海域 (10月)	表層	1.5	2.3	1.8	0.50	1.2	0.83	
		下層	ND	2.2	1.5	ND	1.1	0.64	
	対照 海域	襟裳沖 (10月)	表層	1.3	1.5	1.4	0.75	0.84	0.80
			表層より 深い層	ND	1.1	0.39	ND	0.70	0.26
日本海	発電所 海域	北海道、 新潟、石川、 福井第一、 福井第二、 島根	表層	1.4	2.3	1.8	0.49	1.1	0.79
			下層	0.86	2.3	1.6	0.60	1.1	0.81
	対照 海域	大和堆	表層	1.4	1.4	1.4	0.87	1.1	0.99
			表層より 深い層	0.22	1.3	0.88	0.20	1.1	0.73
西日本	発電所 海域	静岡、 愛媛、 佐賀、 鹿児島	表層	1.3	2.2	1.7	0.67	0.99	0.84
			下層	1.4	2.2	1.9	0.57	1.1	0.86
	対照海域	四国沖	表層*	1.4			0.97		
			表層より 深い層	0.027	1.8	0.62	0.12	0.88	0.45

ND は検出下限値以下を示し、平均値の計算から除外した。なお、おおよその ND の値については、表 I-5-5 と表 I-5-6 の脚注を併せて参照のこと。

*測点 KC1 の表層のみの結果であるため、最小、最大及び平均値は求めなかった。

表 I -2-1-1-4 核燃海域及び対照海域で採取した海水試料に含まれる²³⁹⁺²⁴⁰Pu の放射能濃度範囲及びその平均値

調査海域		採取層	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu (mBq/L)		
			最小	最大	平均
核燃海域 (5-6月)		表層	ND	0.0080	0.0038
		下層	ND	0.022	0.012
核燃海域 (10月)		表層	ND	0.0053	0.0035
		下層	ND	0.025	0.012
対照海域	襟裳沖 (5月)	表層	ND	0.0048	—
		表層より 深い層	0.0085	0.027	0.019
	襟裳沖 (10月)	表層	ND		
		表層より 深い層	0.013	0.023	0.018
	大和堆	表層	0.0056	0.0085	0.0071
		表層より 深い層	0.012	0.032	0.026
	四国沖	表層	ND		
		表層より 深い層	0.013	0.029	0.020

「ND」は検出下限値以下を示し、平均値の計算から除外した。なお、おおよそのNDの値については、表 I-5-6 の脚注を併せて参照のこと。

「—」は検出された測点が1つであったので計算から除外した。

(i) 放射性セシウム

東日本海域の表層で採取した海水試料に含まれる¹³⁷Cs の放射能濃度は、発電所海域が 1.1~2.8mBq/L (5-6月) 及び 1.5~2.3mBq/L (10月：核燃海域のみ)、対照海域(襟裳沖) が 1.2~1.8mBq/L (5月) 及び 1.3~1.5mBq/L (10月) であり、発電所海域での調査結果が比較的高い傾向が見られた。またそれら放射能濃度の平均値は、発電所海域が 1.9mBq/L (5-6月) 及び 1.8mBq/L (10月：核燃海域のみ)、対照海域(襟裳沖) が 1.5mBq/L (5月) 及び 1.4mBq/L (10月) であった。発電所海域において比較的高い¹³⁷Cs の放射能濃度が得られたのは宮城、福島第一、福島第二及び茨城海域であり、これらの場所は東電福島第一原発周辺の海域であることから、同原発事故由来の放射性セシウムによる影響を含むと推測される。

日本海海域及び西日本海域の表層で採取した海水試料に含まれる¹³⁷Csの放射能濃度は、発電所海域が1.4～2.3mBq/L（日本海海域）及び1.3～2.2mBq/L（西日本海域）、対照海域が1.4mBq/L（大和堆）及び1.4mBq/L（四国沖）であり、発電所海域での調査結果が比較的高い傾向が見られた。また、これら放射能濃度の平均値は、発電所海域が1.8mBq/L（日本海海域）及び1.7mBq/L（西日本海域）、対照海域（大和堆）が1.4mBq/Lであり、発電所海域において比較的高い結果が得られた。その要因は、事故由来の放射性セシウムが日本海海域及び西日本海域沿岸部に到達し、事故前よりも僅かではあるが上昇しているという報告もあり⁴⁾、その要因を含む一連の水塊の海流による移動に起因すると推察される。なお、大和堆海域の表層においては、放射性セシウムの移行について事故に起因する根拠となる¹³⁴Csの検出は平成28年度では見られなかったものの、平成29年度の調査で検出され、日本海においては事故の影響が及ぶ海域の広がり確認されつつも、平成30年度の調査では再び確認されることはなかった。

東日本海域の下層あるいは表層より深い層で採取した海水試料に含まれる¹³⁷Csの放射能濃度は、発電所海域がND～2.5mBq/L（5-6月）及びND～2.2mBq/L（10月：核燃海域のみ）であり、対照海域（襟裳沖）がND～1.1mBq/L（5月）及びND～1.1mBq/L（10月）であり、発電所海域において比較的高い結果が得られた。NDを除いたこれら放射能濃度の平均値は、発電所海域が1.6mBq/L（5-6月）及び1.5mBq/L（10月：核燃海域のみ）、対照海域が0.59mBq/L（5-6月）及び0.39mBq/L（10月）であり、発電所海域が対照海域に比べて比較的高い結果が得られた。なお、これら比較的高い¹³⁷Cs放射能濃度が観測されたのは表層と同様に宮城、福島第一、福島第二及び茨城海域であった。これらの海域における下層の深度は200m未満であり、また事故に起因する放射性セシウムの存在として指標となる¹³⁴Csが検出された（本報告書「Ⅱ 東電福島第一原発周辺海域のモニタリング」の章を参照）。一方、対照海域では表層より深い層の採取深度が250m～2,095m程度と発電所海域に比べて深いため、これらの採取層においては事故以前から¹³⁷Csは容易に検出できないほど低い傾向が見られる。また、5月期における測点E11の表層は、¹³⁴Csを含んだ津軽暖流の影響を受けた水塊を含む可能性がある一方、測点K2及び10月期における測点E11の表層は親潮の影響を受けた表層水であるため、¹³⁴Csの存在を見出すことができなかったと考えられる。これらのことから、事故の影響が及ばない海域として、本調査で行った対照海域の親潮の影響の強い襟裳沖海域が発電所海域及び核燃海域での調査結果の比較検討として重要なバックグラウンドが得られる海域であると解釈できる。

日本海海域及び西日本海域の下層あるいは表層より深い層で採取した海水試料に含まれる¹³⁷Csの放射能濃度は、発電所海域が0.86～2.3mBq/L（日本海海域）及び1.4～2.2mBq/L（西日本海域）、対照海域が0.22～1.3mBq/L（大和堆）及び0.027～1.8mBq/L（四国沖）であった。また、NDを除いたこれら放射能濃度の平均値は、発電所海域が1.6mBq/L（日本海海域）及び1.9mBq/L（西日本海域）と、対照海域（大和堆：0.88mBq/L、四国沖：0.62mBq/L）

に比べ比較的高い結果が得られた。その主たる要因としては、東日本海域の下層あるいは表層より深い層における ^{137}Cs の放射能濃度と同様に、発電所海域では下層の採取深度が対照海域に比べて浅いことにより事故の影響が見られた（後述「I 2.2）(3)③海水中の放射性セシウム」）が、その一方で、対照海域では採取深度が 250m 以深と深く、同事故以前から ^{137}Cs の放射能濃度が低い傾向にあること（図 I -2-1-1-2）、更に四国沖海域の 250m 層を除いて事故に由来するとされる ^{134}Cs の存在を見出していないことなどから、当該海域・層まで事故に由来する放射性セシウムの影響が及んでいないことなどが考えられる。

(ii) ^{90}Sr

東日本海域の表層で採取した海水試料に含まれる ^{90}Sr の放射能濃度は、発電所海域が 0.48~1.0mBq/L（5-6 月）及び 0.50~1.2mBq/L（10 月：核燃海域のみ）、対照海域（襟裳沖）が 0.74~0.92mBq/L（5 月）及び 0.75~0.84mBq/L（10 月）であり、発電所海域及び対照海域における表層水に含まれる ^{90}Sr の放射能濃度は同程度であった。また、それら放射能濃度の平均値は、発電所海域が 0.77mBq/L（5-6 月）及び 0.83mBq/L（10 月：核燃海域のみ）、対照海域が 0.81mBq/L（5 月）及び 0.80mBq/L（10 月）であった。

日本海海域及び西日本海域の表層で採取した海水試料に含まれる ^{90}Sr の放射能濃度は、発電所海域が 0.49~1.1mBq/L（日本海海域）及び 0.67~0.99mBq/L（西日本海域）、対照海域が 0.87~1.1mBq/L（大和堆）及び 0.97mBq/L（四国沖）であり、発電所海域及び対照海域での ^{90}Sr の放射能濃度の範囲は同程度であった。また、それら放射能濃度の平均値は、発電所海域が 0.79mBq/L（日本海海域）及び 0.84mBq/L（西日本海域）、対照海域（大和堆）が 0.99mBq/L、そして対照海域（四国沖）で 0.97mBq/L であり、対照海域において発電所海域に比べ比較的高い結果が得られた。対照海域の表層水に含まれる ^{90}Sr の放射能濃度の平均値は（図 I -2-1-1-5）、東電福島第一原発事故前の 5 年間（平成 18~22 年度）及び同事故後の 5 年間（平成 23~27 年度）にかけて、漸減傾向を示すほか、平成 29 年度から平成 30 年度にかけても同様の濃度範囲内にあったことから、同事故による影響は見られなくなったと考えられる。さらに、発電所海域においても同様な結果を示すことから、平成 30 年度調査で見られた発電所海域及び対照海域における表層水に含まれる ^{90}Sr の放射能濃度の違いは、有意な差ではなく自然変動の範囲内にあるものと考えられる。

東日本海域の下層あるいは表層より深い層で採取した海水試料に含まれる ^{90}Sr の放射能濃度は、発電所海域が ND~1.1mBq/L（5-6 月）及び ND~1.1mBq/L（10 月：核燃海域のみ）であり、対照海域（襟裳沖）が ND~0.73mBq/L（5 月）及び ND~0.70mBq/L（10 月）であった。また、それら放射能濃度の平均値は、発電所海域が 0.67mBq/L（5 月）及び 0.64mBq/L（10 月：核燃海域のみ）、対照海域が 0.27mBq/L（5 月）及び 0.26mBq/L（10 月）と、発電所海域が対照海域に比べて比較的高い結果であった。この主たる要因としては、 ^{137}Cs の放射能濃度の結果と同様に、発電所海域及び核燃海域における下層の深度は、200m 未満が多

い一方、対照海域では表層より深い層の採取層が 250～2,050m と深く、これらの採取層における ^{90}Sr の放射能濃度がいまだに低いことに起因すると推測される（図 I-2-1-1-3 参照）。

日本海海域及び西日本海域の下層あるいは表層より深い層で採取した海水試料に含まれる ^{90}Sr の放射能濃度は、発電所海域が 0.60～1.1mBq/L（日本海海域）及び 0.57～1.1mBq/L（西日本海域）、対照海域が 0.20～1.1mBq/L（大和堆）及び 0.12～0.88mBq/L（四国沖）であった。また、それら放射能濃度の平均値は、発電所海域が 0.81mBq/L（日本海海域）及び 0.86mBq/L（西日本海域）、対照海域が 0.73mBq/L（大和堆）及び 0.45mBq/L（四国沖）であり、発電所海域で比較的高い結果が得られた。その主たる要因としては、東日本海域と同じく対照海域では表層よりも深い層の採取層が発電所海域に比べて深く、 ^{90}Sr の放射能濃度に影響するほど東電福島第一原発事故の影響が及んでいないためと考えられる。

以上のことから、発電所及び核燃海域で検出される ^{90}Sr の放射能濃度は対照海域より比較的高い傾向が見られるが、その放射能濃度の分布は事故前と同じ程度である¹⁾ことから、両海域で検出される ^{90}Sr は過去の大気圏核爆発実験に由来する ^{90}Sr であると考えることができ、東電福島第一原発事故の影響ではないことが分かった。したがって、対照海域及び核燃海域は重要なバックグラウンドを得られる海域として解釈できる。

(iii) $^{239+240}\text{Pu}$

表層の海水試料に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度は、核燃海域が ND～0.0080mBq/L（5月）及び ND～0.0053mBq/L（10月）、対照海域が ND～0.0048mBq/L（襟裳沖：5月）、ND（襟裳沖：10月）、0.0056～0.0085mBq/L（大和堆）及び ND（四国沖）であった。NDを除いた平均値は、核燃海域が 0.0038mBq/L（5月）及び 0.0035mBq/L（10月）、0.0071mBq/L（大和堆）であり、発電所海域と対照海域との差は見られなかった。

下層あるいは表層より深い層で採取した海水試料に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度は、核燃海域が ND～0.022mBq/L（5月）及び ND～0.025mBq/L（10月）、対照海域が 0.0085～0.027mBq/L（襟裳沖：5月）、0.013～0.023mBq/L（襟裳沖：10月）、0.012～0.032mBq/L（大和堆）及び 0.013～0.029mBq/L（四国沖）であった。NDを除いた平均値は、核燃海域が 0.012mBq/L（5月）及び 0.012mBq/L（10月）、対照海域が 0.019mBq/L（襟裳沖：5月）、0.018mBq/L（襟裳沖：10月）、0.026mBq/L（大和堆）及び 0.020mBq/L（四国沖）であり、対照海域が発電所海域に比べてやや高い傾向が見られた。対照海域において高い放射能濃度が見られたのは、上述した ^{137}Cs や ^{90}Sr の放射能濃度が示す傾向とは異なり、表層より深い層での $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度が深度方向に対して増加することも要因の一つとして挙げられる。これは、核燃海域では全 22 測点のうち、下層の大半の深度が 200m に満たない状況である一方、対照海域では核燃海域に比べて表層よりも深い層の採取層が 250m よりも深い状況にあることなど、これらの深い採取層での $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度が比較的高い

ことから、両海域での $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度に違いが見られたと考えられる。ただし、核燃海域及び全ての対照海域における下層あるいは表層よりも深い層における $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度分布は事故前と同程度である^{3, 5)}ことから、両海域で検出された $^{239+240}\text{Pu}$ は過去の大気圏核爆発実験に由来するものであり、東電福島第一原発事故に起因するものではないと考えられる。これらのことから、対照海域及び核燃海域で得られる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度に関する知見は、海洋放射能調査を実施するに当たっての重要なバックグラウンドを得られる海域であると解釈できる。

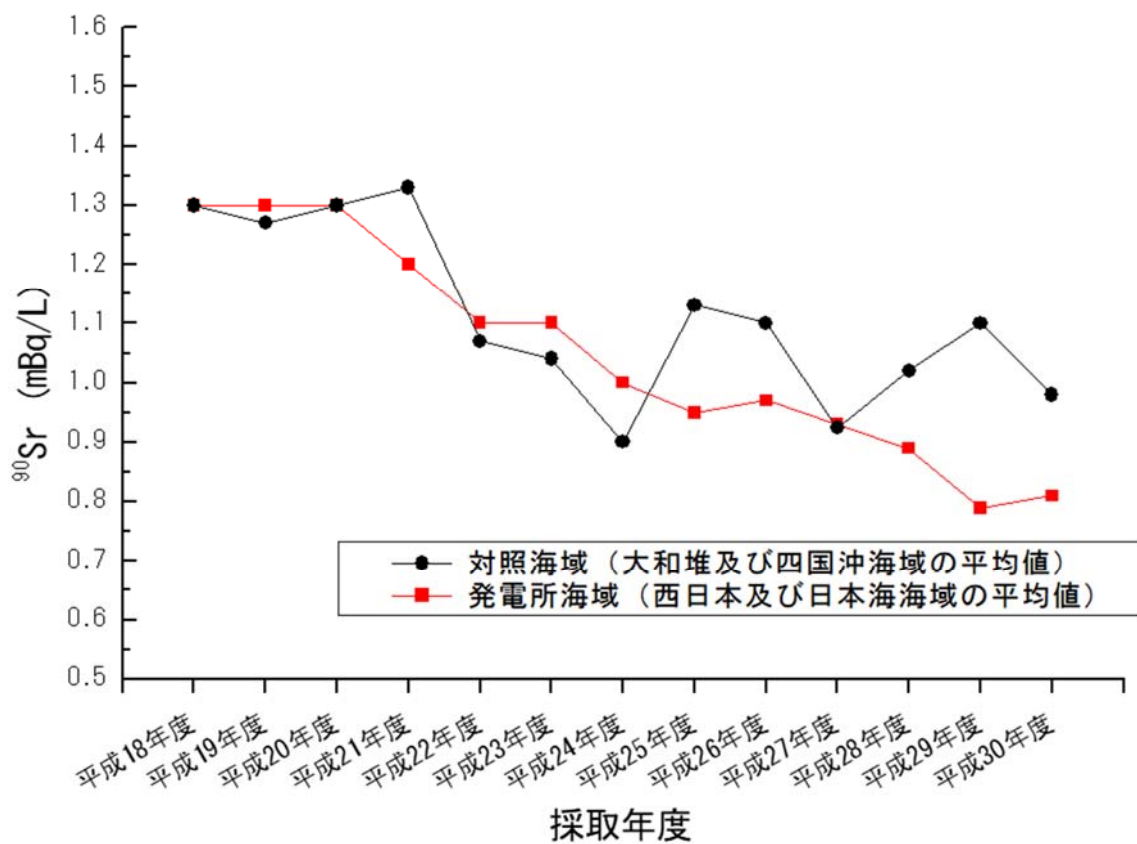


図 I -2-1-1-5 対照、西日本及び日本海海域で採取した表層海水に含まれる ^{90}Sr の放射能濃度の平均値を経年変化として示したもの

iii. 海底土試料

対照海域の大和堆及び四国沖海域で採取した海底土試料に含まれる人工放射性核種の放射能濃度を図 I -2-1-1-6 に示す。平成 30 年度の対照海域において、大和堆海域及び四国沖海域のいずれから ^{134}Cs は不検出であった。一方、 ^{137}Cs の放射能濃度は大和堆海域 (測点 YR4) が 2.4Bq/kg-乾燥土、四国沖海域 (測点 KC1) が 3.3Bq/kg-乾燥土であった。

また、 ^{90}Sr の放射能濃度は大和堆海域（測点 YR4）が 0.34Bq/kg -乾燥土、四国沖海域（測点 KC1）が 0.43Bq/kg -乾燥土であった。 $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度は大和堆海域（測点 YR4）が 0.44Bq/kg -乾燥土、四国沖海域（測点 KC1）が 2.4Bq/kg -乾燥土であった。両海域で採取した海底土試料に含まれる ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 及び $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度に約 1 桁の違いが見られたが、これは採取場所に依存したものと考えられる。

海洋環境放射能に関する調査研究の一例ではあるが、Zheng and Yamada³⁾によれば、大和堆海域の測点 YR4 よりおよそ北東に位置する測点 CM19（北緯 41 度 21 分、東経 137 度 20 分）において、平成 10 年 8 月に採取した海底土（表層 3 cm まで）に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度が 0.43Bq/kg -乾燥土と本調査で得られた結果とほぼ同じ値であったのに対して、測点 YR4 から南に位置する測点 CM20（北緯 37 度 44 分、東経 135 度 14 分）において採取した海底土（表層 3 cm まで）に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度が $1.2\sim 2.6\text{Bq/kg}$ -乾燥土であり、本調査の測点 YR4 の結果に比べ数倍高い値を示したとされる。

四国沖海域においては、平成 18 年度の調査において測点（KC2、KC4 及び KC6）で $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度が $1.2\sim 3.2\text{Bq/kg}$ -乾燥土⁴⁾と、本調査での測点 KC1 における $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度と同程度であった。一方、平成 20～22 年度における測点 KC1 と同じ西日本海域に位置する静岡、愛媛及び鹿児島海域で採取した海底土試料に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度が 0.8Bq/kg -乾燥土未満であること⁴⁾から、採取場所により $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度に大きな差があることが分かった。なお、調査を開始した平成 15 年度以降、両海域において検出された ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 及び $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度の大きな変化は認められなかった。これらのことから、大和堆海域及び四国沖海域は海底土試料についても核燃料サイクル施設（原子燃料サイクル施設）及び東電福島第一原発事故の影響は及んでいないと解釈できる。

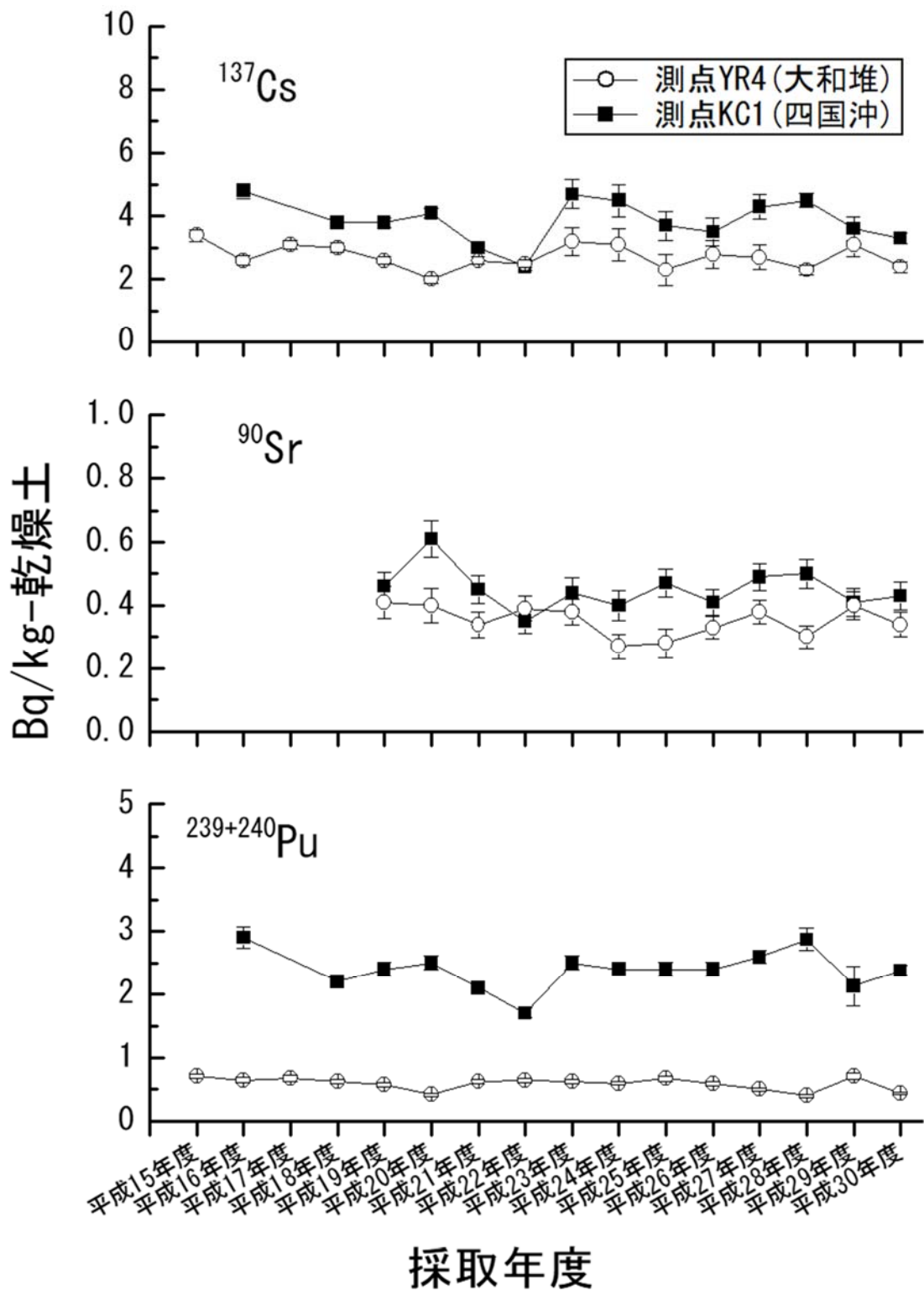


図 I-2-1-1-6 対照海域で採取した海底土試料に含まれる ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 及び $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度の経年変化を示したもの (^{90}Sr は平成 19 年度より開始。YR4:大和堆海域、KC1: 四国沖海域を表す)

iv. 海底土における海洋放射能調査との比較

平成30年度の調査で得られた海底土試料に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度の範囲について、発電所海域及び核燃海域の結果を海水同様に東日本海域、日本海海域及び西日本海域に区分して、大和堆海域及び四国沖海域と比較した。また、 ^{90}Sr 及び $^{239+240}\text{Pu}$ については、核燃海域でのみ観測を行っているため、両対照海域と比較した。海域毎にまとめた結果として、放射性セシウムについて表 I-2-1-1-5 に、 ^{90}Sr 及び $^{239+240}\text{Pu}$ について表 I-2-1-1-6 に示した。

東電福島第一原発事故以降、東日本海域及び日本海海域の一部（新潟海域）で採取した海底土試料から ^{134}Cs が検出され（後述「I 2.2）（3）②海底土中の放射性セシウム」）、また、対照海域に比べて比較的高い ^{137}Cs の放射能濃度の範囲及びそれらの平均値が得られていることから、当該海域で採取した海底土試料には事故直後に比べれば十分低いものの、東電福島第一原発事故に起因する影響がいまだ存在するものと考えられる。西日本海域においては、対照海域の値に比べて比較的低い結果が得られた。西日本海域の海底土の多くは砂質であり放射性セシウムを含みにくい性質である一方、対照海域は泥質であり放射性セシウムを含みやすい性質⁵⁾であることから、海底土の性状の違いにより ^{137}Cs の放射能濃度に差が生じたと考えられる。一方、核燃海域で得られた ^{90}Sr 及び $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度範囲及び平均値は対照海域と同程度であった。

表 I-2-1-1-5 発電所海域、核燃海域及び対照海域における海底土試料の ^{134}Cs 及び ^{137}Cs 放射能濃度の範囲及びその平均値

調査海域		^{134}Cs			^{137}Cs		
		(Bq/kg-乾燥土)					
		最小	最大	平均	最小	最大	平均
東日本	青森、宮城、 福島第一、 福島第二、 茨城、核燃	ND	5.0	2.2	ND	43	9.5
日本海	北海道、新潟、 石川、 福井第一、 福井第二、島根	ND			ND	9.8	3.3
西日本	静岡、愛媛、 佐賀、鹿児島	ND			ND	2.2	1.2
対照	大和堆* ¹	ND			2.4		
	四国沖* ²	ND			3.3		

*¹ 測点 YR4 のみの結果であるため、最小、最大及び平均値は求めなかった。

*² 測点 KC1 のみの結果であるため、最小、最大及び平均値は求めなかった。

ND は検出下限値以下を示す。なお、おおよその ND の値については、表 I-5-3 と表 I-5-4 の脚注を併せて参照のこと。

表 I-2-1-1-6 発電所海域、核燃海域及び対照海域における海底土試料の ^{90}Sr 及び $^{239+240}\text{Pu}$ 放射能濃度の範囲及びその平均値

調査海域		^{90}Sr			$^{239+240}\text{Pu}$		
		(Bq/kg-乾燥土)					
		最小	最大	平均	最小	最大	平均
東日本 海域	核燃	ND	0.42	0.20	0.42	5.4	1.4
対照海域	大和堆	0.34			0.44		
	四国沖	0.43			2.4		

ND は検出下限値以下を示す。なお、核燃海域のおおよその ND の値については、表 I-5-4 の脚注を併せて参照のこと。

④ まとめ

海洋放射能調査を補完するために、原子力発電所等、核燃料サイクル施設（原子燃料サイクル施設）及び東電福島第一原発事故の影響が及んでいないと考えられる海域として、大和堆海域、四国沖海域及び襟裳沖海域の3か所を対照海域に設定した。これら大和堆、四国沖及び襟裳沖海域で採取した海水試料に加え、大和堆及び四国沖海域で採取した海底土試料について、放射性セシウム、 ^{90}Sr 及び $^{239+240}\text{Pu}$ の人工放射性核種についてそれらの放射能濃度を分析した。その結果から、発電所海域及び核燃海域における当該海域のバックグラウンドと考えられる放射能濃度を把握した。

対照海域における海水試料に含まれる放射性セシウム及び ^{90}Sr の放射能濃度は、一部（四国沖海域における250m層の放射性セシウムの放射能濃度）を除き、東電福島第一原発事故前の5年間（平成18～22年度）の範囲内にあり、また、これらの放射性核種の放射能濃度の平均値は発電所海域及び核燃海域の調査結果と同程度であった。対照海域における海水試料に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度については、表層では核燃海域の値と同程度かそれよりも低く、表層より深い層では核燃海域の値よりも高い傾向が見られた。これは、事故前5年間の範囲内にあり同程度の鉛直分布を示していることから、過去の大気圏核爆発実験に由来するプルトニウムであると考えられる。一方、対照海域における海底土に含まれるこれら放射性核種の放射能濃度は、事故前5年間の範囲内であった。

これらのことから、本調査で設定した対照海域は、発電所海域及び核燃海域における海水及び海底土に含まれる放射性核種の放射能濃度について、そのバックグラウンドを把握するうえで有効であると解釈できる。

また、発電所海域及び核燃海域における海水試料に含まれる放射性セシウムの放射能濃度を比較した結果から、東電福島第一原発事故による影響のあった海域においても対照海域と同じ放射能濃度レベルに近づきつつあることが分かった。海水試料に含まれる ^{90}Sr 及び $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度については、すべての海域において対照海域と同程度であった。このほか、海底土において、宮城、福島第一、福島第二、茨城及び新潟海域で東電福島第一原発事故の影響による放射性セシウムが検出されており、対照海域に比べて比較的高い結果が得られた。しかし、それ以外の海域や核燃海域の海底土試料に含まれる ^{90}Sr 及び $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度は対照海域と同じ放射能濃度の範囲にあったことから、東電福島第一原発事故の影響が及んでいないものと考えられる。

これらのことを踏まえると、平成30年度に実施した海洋放射能調査の結果としては、対照海域で採取された海水や海底土試料に含まれる人工放射性核種の放射能濃度との対比から、十分な信頼性を持つものであると解釈できる。

引用文献

- 1) 及川真司・渡部輝久・高田兵衛・鈴木千吉・中原元和・御園生 淳 (2013) . 日本周辺の海水, 海底土, 海産生物に含まれる ^{90}Sr 及び ^{137}Cs 濃度の長期的推移—チェルノブイリ事故前から福島第一原子力発電所事故後まで—. 分析化学, **62**, 455-474.
- 2) Casacuberta, N., Masqué, P., Garcia-Orellana, J., Garcia-Tenorio, R. and Buessler, K.O. (2013). ^{90}Sr and ^{89}Sr in seawater off Japan as a consequence of the Fukushima Dai-ichi nuclear accident. *Biogeosciences* **10**, 3649-3659.
- 3) Zheng, J., and Yamada, M. (2005). Vertical distributions of $^{239+240}\text{Pu}$ activities and $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ atom ratios in sediment cores: implications for the sources of Pu in the Japan Sea. *Sci. Total. Environ.*, **340**, 199-211.
- 4) Takata, H., Kusakabe, M., Inatomi, N. and Ikenoue, T. (2018). Appearances of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Derived ^{137}Cs in the Coastal Waters Around Japan: Results from the Marine Monitoring off Nuclear Power Plants and Facilities in Japan (1983 to 2016). *Environ. Sci. Technol.*, **52**, 2629-2637.
- 5) Oikawa, S., Watabe, T. and Takata, H. (2015). Distributions of Pu isotopes in seawater and bottom sediments in the coast of the Japanese archipelago before and soon after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station accident. *J. Environ. Radioact.*, **142**, 113-123.
- 6) Tsukada, H., Takeda, A., Hisamatsu, S. and Inaba, J. (2008). Concentration and specific activity of fallout ^{137}Cs in extracted and particle-size fractions of cultivated soils. *J. Environ. Radioact.*, **99**, 875-881.

(2) 対照海域における海産生物試料の放射能調査

① はじめに

海洋放射能調査を補完するために、海水と海底土の採取場所として原子力発電所等、核燃料サイクル施設（原子燃料サイクル施設）及び東電福島第一原発の影響が及んでいないと考えられる海域を対照海域として設定したことと同様に、日本海中央部に位置する大和堆海域、黒潮の影響がある四国沖海域、親潮の影響がある襟裳沖海域（核燃沖及び釧路沖の海域を含む）に原子力施設等の影響を受けないと考えられる海域（以下「対照海域」という。）を設け、海産生物試料を採取して、それらに含まれる放射性核種の放射能濃度等を調査するとともに、海産生物試料を対象とした海洋放射能調査で得られた結果との比較を行った。設定した対照海域について、海水及び海底土試料採取のための調査測点を含めた概略図を図 I-2-1-1-1 に示す。

平成 30 年度は、大和堆海域ではスルメイカとホッコクアカエビ、四国沖海域ではマアジとゴマサバ、襟裳沖海域ではマイワシとシロザケをそれぞれ収集して分析試料とした。

② 方法

スルメイカについては部位別に分け、筋肉（外套膜、腕足、頭部）と肝臓を分析用試料として放射能分析に供した。漁獲された時期が 4～9 月の試料を前期、10～12 月の試料を後期と区分し、以降の文中で記載した。ホッコクアカエビは腹肢に卵を抱えていた雌（市場で「甘えび」と称するもの）を分析対象とし、頭胸部、腹部及び卵に分け、側甲、腹肢、尾肢及び尾節を取り除いたあと、筋肉のみとした腹部を分析用試料として放射能分析に供した。マイワシ、シロザケは三枚に下ろし、分け取った筋肉を分析用試料として放射能分析に供した。

それぞれの分析用試料については、海洋放射能調査と同様に放射能測定法シリーズに準拠した放射能分析法を適用することとした。概略としては、試料を乾燥させたのち 450℃ で灰化し、灰化物とした試料についてガンマ線放出核種については高純度ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリーで、 $^{239+240}\text{Pu}$ については、陰イオン交換樹脂カラム法による化学分離・精製を経たのち、シリコン半導体検出器によるアルファ線スペクトロメトリーによる放射能分析を行った。

③ 結果

i. スルメイカ

平成 30 年度の分析結果を表 I-2-1-2-1 に示す。

対照海域の 3 海域、海洋放射能調査の福井第一海域及び核燃海域で採取したスルメイカの筋肉に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度の経年変化を図 I-2-1-2-1 に示す。平成 30 年度に大和堆海域で採取したスルメイカの筋肉に含まれる放射性セシウムのうち ^{134}Cs は検出され

ず ^{137}Cs のみが検出され、その放射能濃度は 0.032Bq/kg -生鮮物であり、東電福島第一原発事故前の濃度と同程度であった。なお、四国沖及び襟裳沖海域では、不漁のためスルメイカを入手できなかった。

平成 23 年度においては東電福島第一原発事故の影響を受けて、いずれの海域においても事故前の最大値を超える ^{137}Cs の放射能濃度がスルメイカの筋肉で観測されたが、対照海域においては事故後に観測された最大値が事故前の最大値と同程度であり、大きな変化は認められなかった。平成 15 年度から事故前までの期間において最も高い ^{137}Cs の放射能濃度は四国沖海域で 0.045Bq/kg -生鮮物、大和堆海域で 0.065Bq/kg -生鮮物、福井第一海域で 0.060Bq/kg -生鮮物、核燃海域で 0.041Bq/kg -生鮮物であり、襟裳沖海域では全ての試料で検出下限値以下であった。また、海洋放射能調査の調査海域である福井第一海域及び核燃海域では事故後に 0.1Bq/kg -生鮮物を超える値が観測された。

対照海域及び核燃海域で採取したスルメイカの筋肉に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度の経年変化を図 I-2-1-2-2 に示す。平成 29 年度では、スルメイカの筋肉に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度は大和堆海域と四国沖海域で検出下限値以下であったものの、平成 30 年度に大和堆海域で採取したスルメイカの筋肉から 0.00029Bq/kg -生鮮物の $^{239+240}\text{Pu}$ が検出されたが、近年の放射能濃度水準とほぼ同程度であった。核燃海域で平成 27、28、29 年度に採取したスルメイカの筋肉に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度は検出下限値以下であったため、平成 29 年度の対照海域との比較は出来なかったものの、平成 30 年度に採取したスルメイカ（核燃海域・前期・山田湾）の筋肉から 0.00039Bq/kg -生鮮物の $^{239+240}\text{Pu}$ が検出されたが、大和堆海域で採取した前述のスルメイカの結果と近年の放射能濃度水準とほぼ同程度であった。

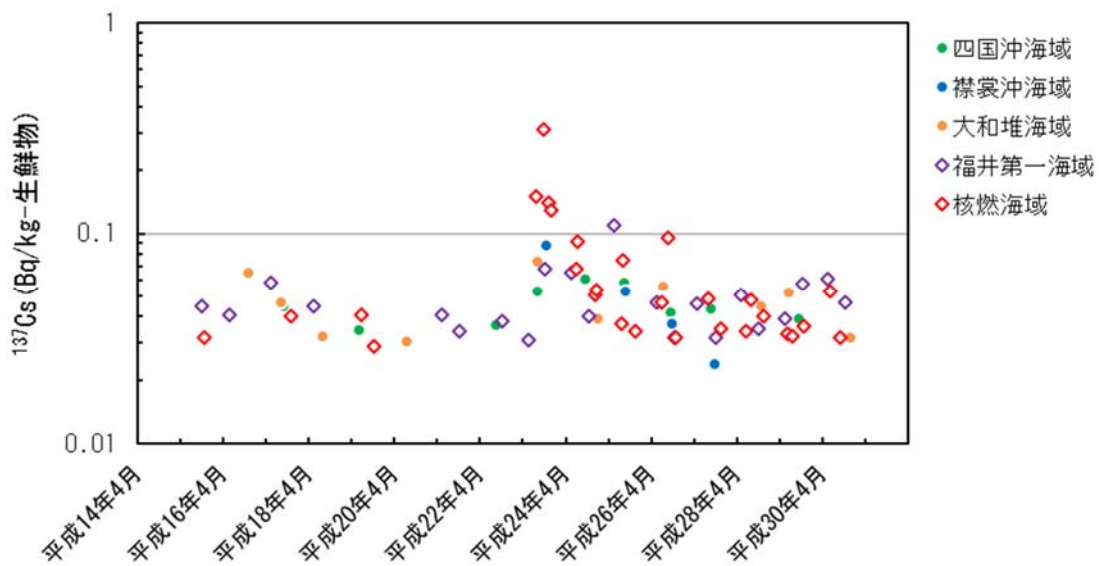


図 I -2-1-2-1 対照海域、福井第一海域及び核燃海域で採取したスルメイカの筋肉に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度を経年変化図として示したもの

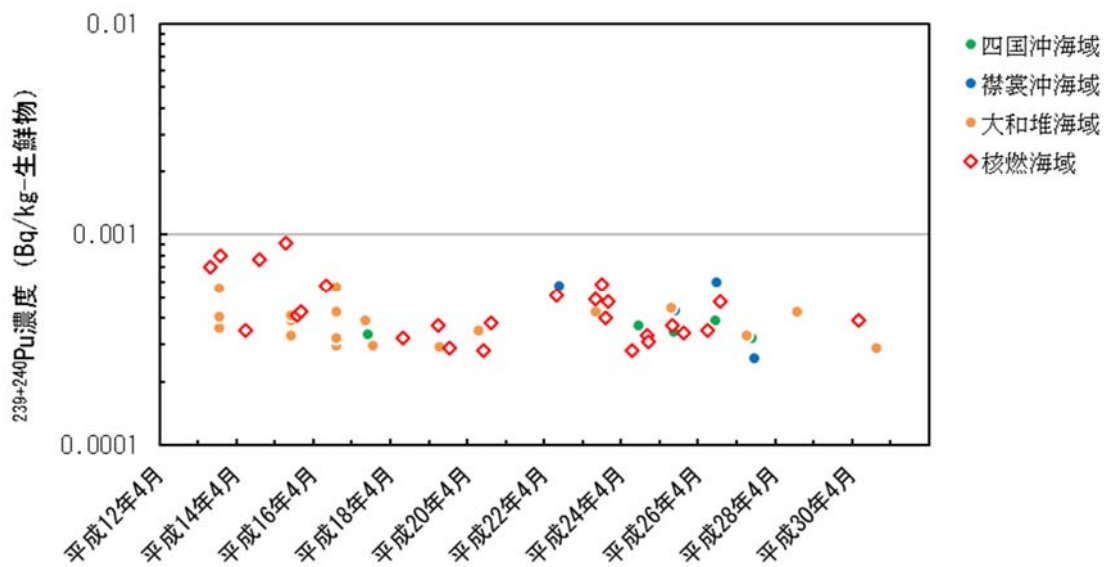


図 I -2-1-2-2 対照海域と核燃海域で採取したスルメイカの筋肉に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度を経年変化図として示したもの

表 I-2-1-2-1 対照海域（大和堆海域）における海産生物試料の放射性核種濃度

（単位：Bq/kg-生鮮物）

調査海域		対照海域（大和堆海域）			
試料		スルメイカ		ホッコクアカエビ	
漁獲年月日		平成30年11月10日～11月22日		平成30年6月9日	
漁獲場所		大和堆		大和堆	
漁法		釣り		底曳網	
試料の個体数		88		1760*5	
平均全長±標準偏差 最小／最大(cm)		23.9±1.0*1 20.9/26.5		16.4±0.9*6 14.6/18.5*6	
平均体重±標準偏差 最小／最大(g)		268.5±33.5 196.4/360.0		17.7±2.0*6 12.9/22.4*6	
供試部位		筋肉	肝臓	筋肉	
灰分(%)		2.06	1.60	1.92	
分析 供試量 (g 灰)	γ核種	61.92	—	62.17	
	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	20.60	14.66	19.22	
測定 年月日	γ核種	平成31年2月1日	—	平成31年1月30日	
	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	平成31年1月25日	平成31年1月13日	平成31年1月29日	
放射性核種濃度*4	人工放射性核種	¹³⁴ Cs	ND*2	—*3	ND
		¹³⁷ Cs	0.032 ± 0.0053	—	0.061 ± 0.0044
	その他のγ核種	⁵¹ Cr、 ⁵⁴ Mn、 ⁵⁸ Co、 ⁶⁰ Co、 ⁵⁹ Fe、 ⁶⁵ Zn、 ⁹⁵ Zr、 ⁹⁵ Nb、 ¹⁰³ Ru、 ¹⁰⁶ Ru、 ^{110m} Ag、 ¹²⁵ Sb、 ¹⁴⁰ Ba 及び ¹⁴⁴ Ce は、すべて検出下限値以下であった。			
	α	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	0.00029 ± 0.000081	0.0029 ± 0.00027	0.00062 ± 0.00014
	自然放射性核種	γ	⁷ Be	ND	—
⁴⁰ K			110 ± 0.44	—	85 ± 0.29
²⁰⁸ Tl			ND	—	ND
²¹⁴ Bi			ND	—	ND
²²⁸ Ac			ND	—	ND

*1 外套長の計測値を示す。

*2 ND は検出下限値以下を示す。

*3 — は未測定を示す。

*4 試料の放射性核種濃度は、漁獲年月日（複数日にまたがる場合は、その最終日）に減衰補正した値（²³⁹⁺²⁴⁰Pu は測定終了時の値）で、誤差は計数誤差である。

*5 任意の100個体から得られた平均体重で試料重量を除いて求めた個体数である。

*6 任意の100個体から得られた値である。

表 I-2-1-2-2 対照海域（四国沖海域）における海産生物試料の放射性核種濃度

（単位：Bq/kg-生鮮物）

調査海域		対照海域（四国沖海域）		
試料		マアジ*1	ゴマサバ	
漁獲年月日		平成30年12月2日	平成30年10月17日	
漁獲場所		土佐湾中央部沿岸	土佐湾中央部沿岸	
漁法		一本釣り	一本釣り	
試料の個体数		59	30	
平均全長±標準偏差 最小/最大(cm)		33.9±1.4 31.4/37.9	39.9±1.3 38.0/44.8	
平均体重±標準偏差 最小/最大(g)		338.5±36.9 273.0/437.6	665.8±67.4 569.3/902.7	
供試部位		筋肉	筋肉	
灰分(%)		1.79	1.44	
分析 供試量 (g 灰)	γ核種	62.03	78.78	
	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	17.92	14.38	
測定 年月日	γ核種	平成31年2月1日	平成30年12月30日	
	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	平成31年1月13日	平成31年1月11日	
放射性核種濃度*3	人工放射性核種 γ	¹³⁴ Cs ¹³⁷ Cs	ND*2 0.18 ± 0.0055	ND 0.13 ± 0.0078
		その他のγ核種	⁵¹ Cr、 ⁵⁴ Mn、 ⁵⁸ Co、 ⁶⁰ Co、 ⁵⁹ Fe、 ⁶⁵ Zn、 ⁹⁵ Zr、 ⁹⁵ Nb、 ¹⁰³ Ru、 ¹⁰⁶ Ru、 ^{110m} Ag、 ¹²⁵ Sb、 ¹⁴⁰ Ba 及び ¹⁴⁴ Ce は、すべて検出下限値以下であった。	
	α	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	ND	ND
	人工放射性核種 γ	⁷ Be	ND	ND
		⁴⁰ K	150 ± 0.37	130 ± 0.54
		²⁰⁸ Tl	ND	ND
		²¹⁴ Bi	ND	ND
	²²⁸ Ac	ND	ND	

*1 漁獲量の減少によりスルメイカをマアジに変更した。

*2 ND は検出下限値以下を示す。

*3 試料の放射性核種濃度は、漁獲年月日に減衰補正した値で、誤差は計数誤差である。

表 I-2-1-2-3 対照海域（襟裳沖海域）における海産生物試料の放射性核種濃度
（単位：Bq/kg-生鮮物）

調査海域		対照海域（襟裳沖海域）		
試料		マイワシ*1	シロザケ（雄）	
漁獲年月日		平成30年10月10日	平成30年10月10日	
漁獲場所		釧路沖	釧路沖	
漁法		まき網	定置網	
試料の個体数		204*4	9	
平均全長±標準偏差 最小/最大(cm)		22.7±1.3*5 18.4/25.7*5	62.2±7.0 49.4/72.0	
平均体重±標準偏差 最小/最大(g)		102.9±19.2*5 47.1/153.9*5	2371±815 1010/3664	
供試部位		筋肉	筋肉	
灰分(%)		1.34	1.38	
分析 供試量 (g 灰)	γ核種	66.20	74.71	
	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	13.35	13.83	
測定 年月日	γ核種	平成30年12月30日	平成30年12月30日	
	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	平成31年1月9日	平成31年1月9日	
放射性核種濃度*3	人工放射性核種 γ	¹³⁴ Cs	ND*2	ND
		¹³⁷ Cs	0.059 ± 0.0051	0.11 ± 0.0069
		その他のγ核種	⁵¹ Cr、 ⁵⁴ Mn、 ⁵⁸ Co、 ⁶⁰ Co、 ⁵⁹ Fe、 ⁶⁵ Zn、 ⁹⁵ Zr、 ⁹⁵ Nb、 ¹⁰³ Ru、 ¹⁰⁶ Ru、 ^{110m} Ag、 ¹²⁵ Sb、 ¹⁴⁰ Ba 及び ¹⁴⁴ Ce は、すべて検出下限値以下であった。	
	人工放射性核種 α	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	ND	0.00041 ± 0.00010
		⁷ Be	ND	ND
	人工放射性核種 γ	⁴⁰ K	110 ± 0.39	120 ± 0.52
		²⁰⁸ Tl	ND	ND
²¹⁴ Bi		ND	ND	
²²⁸ Ac		ND	ND	

*1 漁獲量減少によりスルメイカをマイワシに変更した。

*2 ND は検出下限値以下を示す。

*3 試料の放射性核種濃度は、漁獲年月日に減衰補正した値（²³⁹⁺²⁴⁰Pu は測定終了時の値）で、誤差は計数誤差である。

*4 任意の100個体から得られた平均体重で試料重量を除いて求めた個体数である。

*5 任意の100個体から得られた値である。

海洋放射能調査の核燃海域で得られたスルメイカの肝臓に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度を試料採取日と併せて表 I-2-1-2-4 に示す。また、対照海域及び核燃海域で採取したスルメイカの肝臓に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度の経年変化を図 I-2-1-2-3 に示す。

平成 30 年度に採取したスルメイカの肝臓に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度は、大和堆海域のスルメイカについて 0.0029Bq/kg-生鮮物であった。この値は平成 13~29 年度の調査結果の範囲内であり、対照海域と核燃海域 (0.0013~0.0064Bq/kg-生鮮物) との間に濃度差は認められなかった。

スルメイカの肝臓に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度はスルメイカの筋肉に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度に比べ 1 桁程度高い傾向が見られており、平成 13 年度に調査を開始して以来、同じ傾向が見られた。また、核燃海域で採取したスルメイカの肝臓に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度については、平成 29 年度までの結果では前期に漁獲された群の濃度が後期に比べて高い傾向が平成 13 年度に調査を開始して以来続いて見られてきたが、平成 30 年度の調査結果では同様の傾向が見られなかった。これは漁期の違いによってスルメイカの肝臓に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度に差が生じるのか否か明確な理由は不明であるが、スルメイカの筋肉に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度よりも 1 桁程度高いという傾向は同様に見られており、自然の濃度変動によるものと推測する。

表 I-2-1-2-4 平成 30 年度に核燃海域で採取したスルメイカの肝臓に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度

採取海域	漁期	試料採取日	$^{239+240}\text{Pu}^{*1}$
			(Bq/kg-生鮮物)
核燃海域 (1)	前期	平成 30 年 8 月 31 日	0.0013 ± 0.00017
核燃海域 (2)	前期	平成 30 年 6 月 4 日	0.0064 ± 0.00039
核燃海域 (1)	後期	平成 30 年 10 月 4 日	0.0028 ± 0.00029

*1 $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度は測定時の値である。

(補足) 後期に採取を予定していた核燃海域 (2) のスルメイカは漁獲の減少によりヤリイカに変更したため、 $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能分析については実施していない。

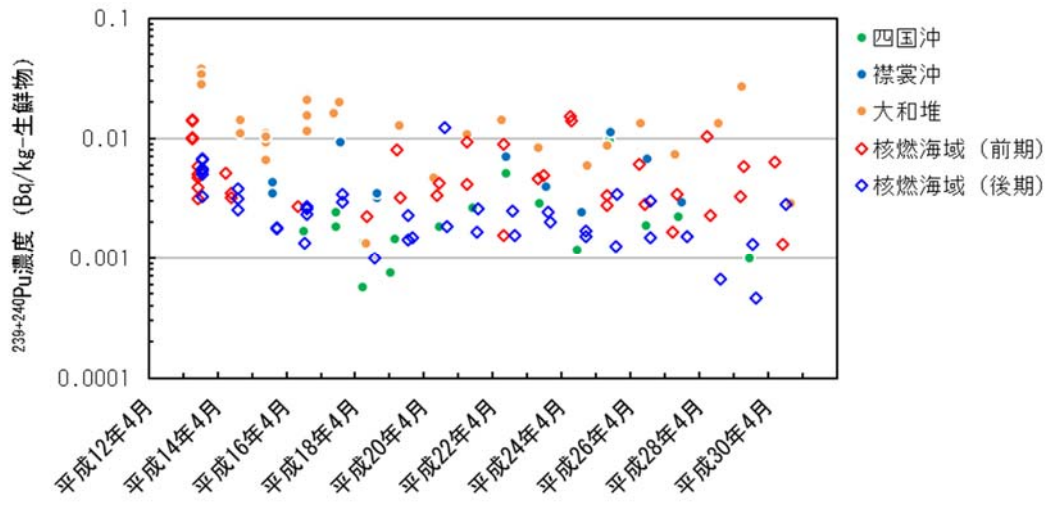


図 I -2-1-2-3 対照海域と核燃海域で採取したスルメイカの肝臓に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度について、経年変化図として示したもの

ii. ホッコクアカエビ

分析結果を表 I-2-1-2-1 に示す。

平成 30 年度に大和堆海域で採取したホッコクアカエビの筋肉に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度は 0.061Bq/kg -生鮮物、 $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度は 0.00062Bq/kg -生鮮物であった（図 I-2-1-2-4）。一方、平成 30 年度の同時期（6 月）に石川海域で採取したホッコクアカエビの筋肉に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度は 0.077Bq/kg -生鮮物であり、大和堆海域で採取されたものと同程度の放射能濃度であった。また、平成 30 年度の大和堆海域で採取したホッコクアカエビの筋肉に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度は平成 28 年度以前において石川海域で採取したものと同程度であった（図 I-2-1-2-4）。

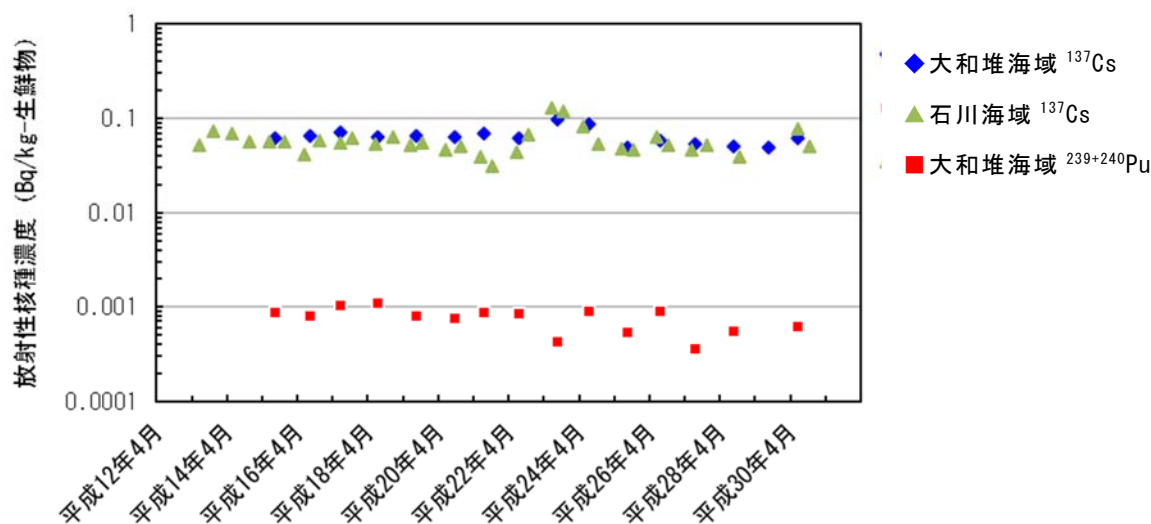


図 I-2-1-2-4 対照海域（大和堆海域）と石川海域で採取したホッコクアカエビの筋肉に含まれる放射性核種の放射能濃度を経年変化図として示したもの

iii. ゴマサバ

分析結果を表 I-2-1-2-2 に示す。

平成 30 年度に四国沖海域で採取したゴマサバの筋肉に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度は 0.13Bq/kg -生鮮物であり、また、 ^{134}Cs については平成 29 年度に引き続き検出されなかった。また、ゴマサバの筋肉に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度は平成 27 年度に核燃海域で採取したゴマサバ及び平成 29 年度に青森海域で採取したゴマサバと同程度であった。なお、四国沖海域で採取したゴマサバの筋肉に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度は東電福島第一原発事故後の平成 24 年度に採取したものでわずかに上昇が見られたが、それ以降に大きな放射能濃度の変化は認められず、平成 30 年度に採取したものについては事故前の値と同程度であった (図 I-2-1-2-5)。

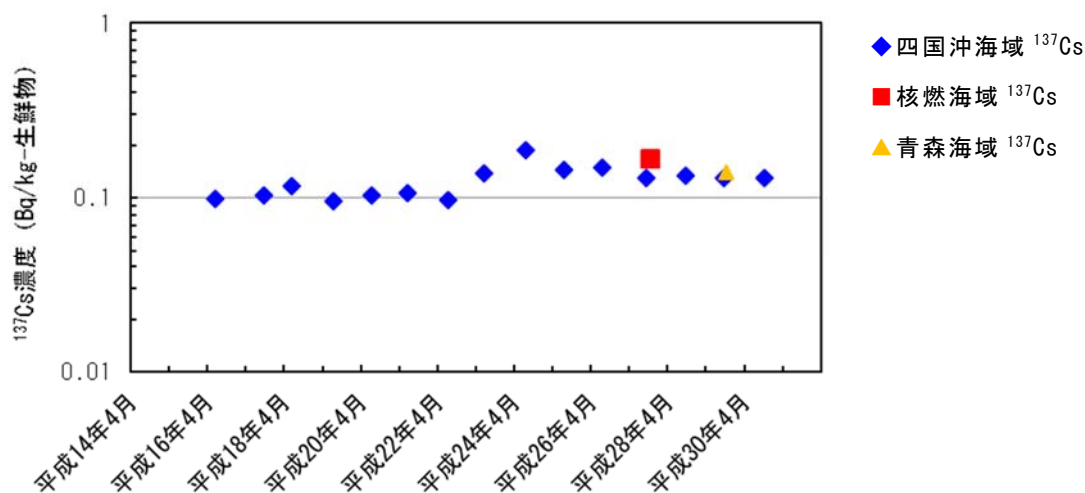


図 I-2-1-2-5 対照海域 (四国沖海域)、核燃海域及び青森海域で採取したゴマサバの筋肉に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度を経年変化図として示したもの

iv. シロザケ

分析結果を表 I-2-1-2-3 に示す。

平成 30 年度における襟裳沖海域で採取したシロザケの筋肉に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度は 0.11Bq/kg -生鮮物であり、また、 ^{134}Cs については平成 29 年度に引き続き検出されなかった。平成 19 年度の調査開始以来、襟裳沖海域で採取したシロザケの筋肉に含まれる放射性セシウムの放射能濃度は核燃海域のそれに比べ低いか、あるいは同程度で推移してきており、東電福島第一原発事故後に見られた放射能濃度の上昇傾向は核燃海域で採取されたシロザケの筋肉に含まれる放射能濃度で見られた上昇傾向に比べて小さいものであった(図 I-2-1-2-6)。

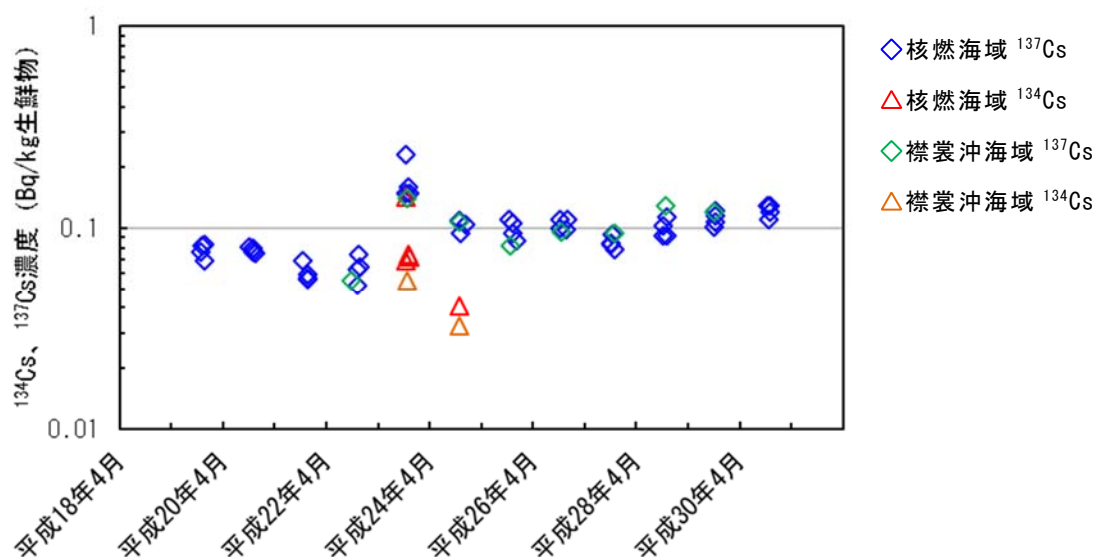


図 I-2-1-2-6 対照海域（襟裳沖海域）と核燃海域で採取したシロザケの筋肉に含まれる放射性セシウムの放射能濃度を経年変化図として示したもの

v. マイワシ

分析結果を表 I-2-1-2-3 に示す。

平成 30 年度に襟裳沖海域で採取したマイワシの筋肉に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度は 0.059Bq/kg -生鮮物で平成 29 年度の結果 (0.067Bq/kg -生鮮物) と同程度であり、また、 ^{134}Cs については平成 29 年度に引き続き検出されなかった。平成 30 年度の本事業においては平成 29 年度に引き続き核燃海域での採取はなかったものの、平成 28 年度に核燃海域で採取したマイワシの筋肉に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度濃度 (0.18Bq/kg -生鮮物) に比べると $1/3$ 程度の低い値であった。

④ まとめ

対照海域で採取した海産生物試料のうち、大和堆海域で採取したスルメイカとホッコクアカエビ、四国沖海域で採取したマアジとゴマサバ及び襟裳沖海域で採取したマイワシとシロザケについて、海洋放射能調査と同様に高純度ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリーによるガンマ線放出核種の定量及びアルファ線スペクトロメトリーによる $^{239+240}\text{Pu}$ の定量を行った。また、併せてスルメイカの肝臓に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ についてもアルファ線スペクトロメトリーによる放射能分析を行った。

その結果、平成 30 年度に採取した各海産生物の筋肉に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度は $0.032\sim 0.18\text{Bq/kg}$ -生鮮物であり、同じく筋肉に含まれる ^{134}Cs はいずれからも検出されなかったものの、 $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度については、きわめて低い放射能濃度ではあるがシロザケ（襟裳沖海域、平成 30 年 10 月採取）から 0.00041Bq/kg -生鮮物、スルメイカ（大和堆海域、平成 30 年 11 月採取）及びホッコクアカエビ（大和堆海域、平成 30 年 6 月採取）からそれぞれ 0.00029Bq/kg -生鮮物及び 0.00062Bq/kg -生鮮物として検出された。

スルメイカの肝臓に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度は、 0.0029Bq/kg -生鮮物（大和堆、平成 30 年 11 月採取）で、いずれも平成 29 年度と同程度であった。これら対照海域で採取した海産生物に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度の経年変化から、対照海域においては東電福島第一原発事故の影響をわずかに受けたものの、平成 30 年度は平成 29 年度と同様に事故前の放射能濃度の水準まで戻っていることが確認できた。

上記の結果を踏まえると、平成 30 年度に実施した海洋放射能調査において対象とした発電所海域及び核燃海域で採取した海産生物試料に含まれる人工放射性核種の放射能濃度は、一部の海域で東電福島第一原発事故の影響が確認されたものの、対照海域で採取された海産生物試料に含まれる人工放射性核種の放射能濃度との対比から、十分な信頼性を持つ結果であると解釈できる。

2) 変動要因・移行挙動調査

(1) 海洋環境における $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 及び $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比モニタリング

① はじめに

海洋環境に存在する放射性セシウム及びプルトニウムの起源を探るうえで、 $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 原子数比及び $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比は起源によって異なるため有用である。放射性セシウムの $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 原子数比は 1950～60 年代に北半球を中心に盛んに実施された大気圏核爆発実験由来と東電福島第一原発事故由来では異なることが、平成 27～28 年度の本調査で明らかとなった。同様に、プルトニウムについても、大気圏核爆発実験由来と使用済み核燃料由来の $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比では、燃焼度の違いから異なることが知られている。これらの原子数比の違いは、海底土試料においてよく見られることが分かっている^{1,2)}。一方、海産生物（とりわけ、魚類）の筋肉中から $^{239+240}\text{Pu}$ が検出されることは稀であるが、スルメイカではしばしば検出されており、部位別には肝臓中に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度が比較的高い傾向を示すが、その放射能濃度の変動も見られることから、海産生物に含まれるプルトニウムを調査する上で重要な対象種の一つである。

そこで、海底土に含まれるセシウムの $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 原子数比、ならびに海底土及びスルメイカの肝臓に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度とその原子数比を把握し、放射性セシウムとプルトニウムの起源を特定する上で必要となる情報を取得し、海洋放射能調査で実施している核燃海域での調査結果を補完するデータに資することとした。

② 方法

i. $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 原子数比

(i) 採取海域及び採取測点

海洋放射能調査を実施した海域のうち発電所海域での海底土については、以下の海域の測点（計 10 試料）において表層から 3cm までの海底土を採取し、分析に供した。

- ・福島第一及び福島第二海域：測点 1～4（計 8 測点：2 海域×4 測点）
- ・茨城海域：測点 1 及び 2（計 2 測点）

(ii) 前処理

冷凍保存した試料を解凍した後、重量を測定し、105℃で乾燥した。その後、2 mm 孔径のふるいにかけて、プラスチック容器（30～50cc）に詰め、測定用試料とした。

(iii) $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ の原子数比分析

分析については、Zheng *et al.*¹⁻³⁾に基づき、平成 27 年度の本調査で検討した方法で行った。乾燥土とした試料に水酸化ナトリウム溶液（4% w/v）を加え、加温した。その後、塩酸を加え、更に加温した後、ろ過を行い、ろ液を 1.6M 塩酸溶液（溶解液）とした。次に、この溶解液にリンモリブデン酸アンモニウム（AMP）を加え、セシウムを AMP に吸着させる

ため、2時間程度攪拌させた後、しばらく静置とした。その後、AMPを含んだ溶解液をろ過し、ろ紙上に残ったAMPを200mLの0.5M硫酸アンモニウム溶液で洗浄した後、1.5M水酸化アンモニウム溶液に溶かした。この水酸化アンモニウム溶液を事前にコンディショニングを行った陰イオン交換樹脂カラム-陽イオン交換樹脂カラムに通じ、1.5M水酸化アンモニウム溶液及び純水を順次通液させて、 $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 原子数比測定の際に妨害元素となるナトリウム(Na)、カルシウム(Ca)、モリブデン(Mo)、スズ(Sn)及びアンチモン(Sb)を分離した後、陽イオン交換樹脂に吸着したセシウム(Cs)を1.5M塩酸60mLで溶離させた。この溶離液を蒸発乾固させ、乾固物を1.5M水酸化アンモニウム溶液にて再溶解させた。上述の陽イオン交換樹脂カラム通液から再溶解までの操作を合計3回繰り返し、蒸発乾固物を約1~2mLの0.5M硝酸に完全溶解させ、測定用溶液(最終溶液)とした。 $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 原子数比の測定には、四重極型の誘導結合プラズマ質量分析計(ICP-MS)(Agilent社製、8800 ICP-QQQ)を用い、 m/z 135及び137についてスキャンを行った。これら試料に含まれる $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 原子数比は、一秒当たりのカウント値(CPS)を計測して求めた。なお、測定においてはリアクションセルに亜酸化窒素とヘリウムの混合ガス(混合比は2:8)を通ずることで、最終溶液に残存する妨害元素の影響を可能な限り除外した。

ii. $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比

(i) 採取海域及び採取測点

本調査において肝臓の $^{239+240}\text{Pu}$ 分析に供する試料の詳細を表I-2-2-1-1に示す。

スルメイカは個体ごとに解体し、外套膜、頭部、腕足、肝臓及び肝臓以外の内臓(生殖器官を含む)に分け、外套膜、頭部及び腕足は灰化して保管、肝臓以外の内臓、胃内容物、上下顎(烏口)及び軟甲は廃棄した。なお、核燃及び対照海域で採取されたスルメイカ等の筋肉部に含まれる放射性セシウムの分析は「1. 海洋放射能調査海域周辺での調査」並びに「2. 解析調査 1) 対照海域放射能調査」にて行っている。

海底土試料については次の海域の測点において表層から3cmまでの層について採取した。

- ・北海道、青森、宮城、福島第一、福島第二、茨城、新潟、石川、福井第一、福井第二、島根、愛媛、佐賀及び鹿児島海域：測点2(計14測点)
- ・静岡海域：測点4

(ii) 分析

$^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度の分析・測定は核燃及び対照海域におけるスルメイカ等について行った。これまでの調査では、同一海域で同時期に漁獲された試料であれば、 $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度はスルメイカの大きさ(体長)や雌雄の別によらず、同程度の値となったので、 $^{239+240}\text{Pu}$ 分析に供した肝臓試料は雌雄を分けることなく統合したうえで乾燥及び灰化に供した。

分析は放射能測定法シリーズ3「放射性セシウム分析法」及び同12「プルトニウム分析

法」に準じた方法で行い、放射性セシウムは高純度ゲルマニウム半導体検出器にて 70,000 秒間、 $^{239+240}\text{Pu}$ はシリコン半導体検出器で 160,000 秒間測定した。また、 $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度測定済みの電着板から酸によりプルトニウムを溶離し、硝酸-フッ化水素酸の混酸溶液に数分浸し、電着板表面のプルトニウムを溶離させた。溶離液を蒸発乾固させたのち、乾固物に 8M 硝酸を加えて溶解させた。溶解液をろ過して残留物を除去したのち、8M 硝酸系とした陰イオン交換樹脂カラムに通じ、8M 硝酸、2M 塩酸で順次鉄 (Fe)、トリウム (Th) 及びウラン (U) 等を分離し、樹脂に吸着したプルトニウムをヨウ化アンモニウム-塩酸溶液で溶離させた。溶離液を蒸発乾固させたのち、乾固物を約 3.2M 酢酸に溶解させ、約 3.2M 酢酸系とした陰イオン交換樹脂カラムに通じ、さらに 3.2M 酢酸で洗浄した。通過液及び洗浄液を合わせて蒸発乾固させ、乾固物を約 5mL の 1M 硝酸に完全溶解させ、測定用溶液とした。 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比の測定には、二重収束型の誘導結合プラズマ質量分析計 (ICP-MS) を用い、 m/z 239、240 及び 242 についてスキャンを行った。これら試料に含まれる $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比は、同位体希釈法にて求めた。

表 I -2-2-1-1 $^{239+240}\text{Pu}$ 分析に供した試料一覧

調査海域	種名	漁獲場所	漁獲年月日	部位
対照 (大和堆)	スルメイカ	大和堆	平成 30 年 11 月 10 日	肝臓 筋肉
核燃	スルメイカ (1)	泊前沖	平成 30 年 8 月 31 日	肝臓
核燃	スルメイカ (2)	泊前沖	平成 30 年 10 月 4 日	肝臓
核燃	スルメイカ (3)	山田湾沖	平成 30 年 6 月 4 日	肝臓

海底土については、放射能測定法シリーズ 16「環境試料採取法」に準じて前処理を行ったのち、スルメイカ同様に放射能測定法シリーズ 12「プルトニウム分析法」に準じて行った。なお、通常、105℃で一昼夜乾燥させた後、土塊を磁製乳鉢で摩砕して細かくし、2mm のふるいを通して乾燥細土を得るが、分析環境での汚染 (とりわけ、 ^{134}Cs と ^{137}Cs) を防ぐため、湿土試料から分析を行った。測定はアルファ線スペクトロメトリーで、原則 80,000 秒の計測により $^{239+240}\text{Pu}$ を定量した。また、 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比の測定には、放射化学分析法による $^{239+240}\text{Pu}$ の定量を終えた海底土試料の電着板について、スルメイカ同様に、二重収束型の ICP-MS を用いて $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比を求めた。

③ 結果

i. 発電所海域における海底土中の $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 原子数比

発電所周辺海域で採取した海底土試料に含まれるセシウムの $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 原子数比を表 I-2-2-1-2 に示す。東電福島第一原発事故の影響を受けた調査海域である、福島第一、福島第二及び茨城海域での試料については、 $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 原子数比が 0.48~0.61 であり、平成 28 年度 (0.46~0.56) 及び平成 29 年度 (0.32~0.57) の本調査の結果と同程度の値であった。また、これらの東電福島第一原発事故由来の放射性セシウムの影響を強く受けた環境試料中の範囲 0.333~0.375⁴⁾ よりも高い比であった。これは事故前に存在する高い $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 原子数比 (約 2.7) の影響⁵⁾ を受けていると考えられる。

表 I-2-2-1-2 海底土に含まれるセシウムの $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 原子数比及び事故前の ^{137}Cs の放射能濃度

海域	測点	$^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$	^{137}Cs (Bq/kg-乾燥土)* ¹	事故前 ^{137}Cs (Bq/kg-乾燥土)* ²
		原子数比(cps/cps)		
福島第一	1	0.48 ± 0.11	22	0.9
	2	0.52 ± 0.09	27	1.2
	3	—	40	0.9
	4	—	22	0.9
福島第二	1	—	16	0.9
	2	0.52 ± 0.004	14	1.1
	3	—	31	1.2
	4	—	13	1.1
茨城	1	0.61 ± 0.05	43	1.2
	2	0.53 ± 0.14	22	1.1

「—」：ICP-MS による ^{135}Cs もしくは ^{137}Cs の測定値 (CPS) に妨害元素の影響が認められた、もしくは誤差が 30% 以上であった。

*1 平成 30 年度の結果

*2 平成 18~22 年度海洋環境放射能総合評価事業成果報告書の結果の平均値

ii. スルメイカ肝臓の $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比

平成30年度に分析したスルメイカの肝臓に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度及び $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比を表 I-2-2-1-3に示す。これら肝臓に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度は0.0013～0.0064Bq/kg-生鮮物の範囲であり、その平均値は0.0033Bq/kg-生鮮物であった。これらは平成13年度から開始した核燃海域及び対照海域で得られた放射能濃度と同程度であった。また、2.解析調査の「1)-(2) 対照海域における海産生物試料の放射能調査」において得られた時系列的な核燃海域等で採取したスルメイカの肝臓に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度の推移から、漁期である4～9月の期間に採取した試料が10～12月の期間に採取した試料に比べて高い傾向があり、この傾向は平成13年度に調査を開始して以来続いていることから、漁期の違いによるものと考えられる。

前述のとおり、スルメイカの肝臓に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度は漁期により違いが見られるが、その $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比はほぼ一定であり、平成30年度の全海域の平均値は 0.231 ± 0.005 となった。これらは、過去のスルメイカの肝臓から見出された原子数比 0.226 ± 0.010 (平成20年度)、 0.222 ± 0.009 (平成21年度)、 0.228 ± 0.011 (平成22年度)、 0.226 ± 0.006 (平成23年度)、 0.228 ± 0.008 (平成24年度)、 0.214 ± 0.015 (平成25年度)、 0.224 ± 0.008 (平成26年度)、 0.233 ± 0.016 (平成27年度)、 0.228 ± 0.0126 (平成28年度)及び 0.231 ± 0.011 (平成29年度)と同程度であった。

図 I-2-2-1-1 に示す海域別のスルメイカ等の筋肉や肝臓に含まれる $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比について、平成15～30年度で得られた結果の平均値と標準偏差は、核燃海域が 0.227 ± 0.018 、津軽海峡が 0.230 ± 0.011 (平成15～28年度のみ)、羅臼沖が 0.220 ± 0.018 (平成15～28年度のみ)、福井第一海域が 0.228 ± 0.018 (平成15～28年度のみ)、対照海域(大和堆)が 0.234 ± 0.005 であり、海域によらず同程度であった。これらの値は、平成19年度に釧路等全国9港に水揚げされたスルメイカから得られた肝臓に含まれるプルトニウムの $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比である 0.216 ± 0.021 ⁵⁾ともよく合っていたことから、平成30年度の調査で検出されたスルメイカの筋肉や肝臓に含まれるプルトニウムも過去の大気圏核爆発実験によるものと考えられる。

表 I -2-2-1-3 スルメイカの筋肉及び肝臓に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度とその $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比

調査海域	漁獲年月日	種名	部位	$^{239+240}\text{Pu}$ (Bq/kg-生鮮物)	$^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比
大和堆	平成 30 年 11 月 10 日	スルメイカ	肝臓	0.0029 ± 0.00027	0.234 ± 0.0109
			筋肉	0.00029 ± 0.000080	—
核燃沖	平成 30 年 8 月 31 日	スルメイカ (1)	肝臓	0.0013 ± 0.00017	0.229 ± 0.0103
	平成 30 年 10 月 4 日	スルメイカ (2)	肝臓	0.0028 ± 0.00029	0.224 ± 0.0116
	平成 30 年 6 月 4 日	スルメイカ (3)	肝臓	0.0064 ± 0.00039	0.235 ± 0.0098

「-」は分析対象外

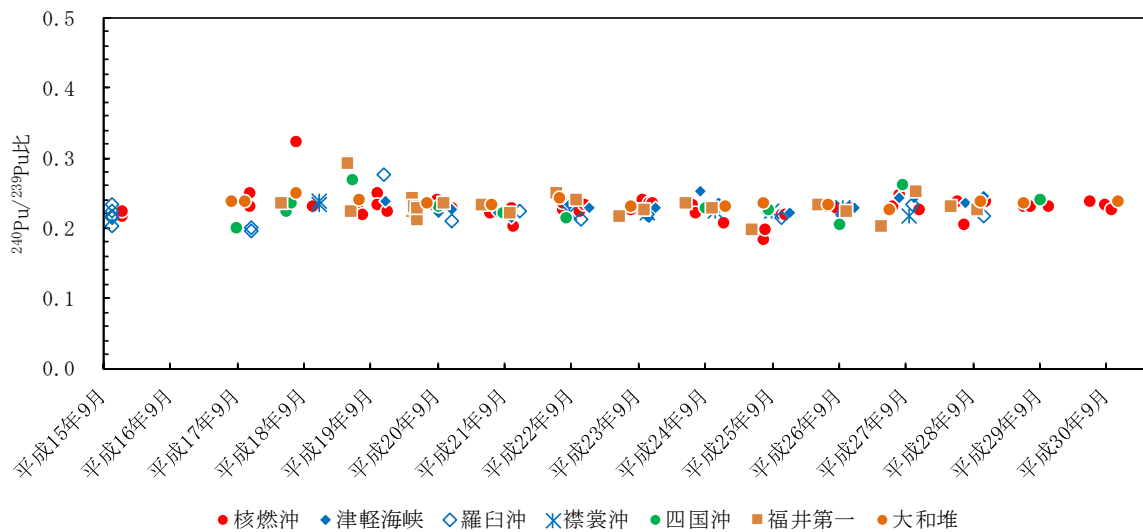


図 I -2-2-1-1 各海域で採取したスルメイカの肝臓に含まれるプルトニウムの $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比を経年変化図として示したもの

iii. 海底土試料に含まれる²³⁹⁺²⁴⁰Puの放射能濃度

平成 30 年度の分析結果を表 I -2-2-1-4 に示す。海底土試料に含まれる²³⁹⁺²⁴⁰Puの放射能濃度は、0.29～3.38Bq/kg-乾燥土の範囲にあった。このうち、青森海域（測点 2）で採取した海底土から得られた結果で最高値を示した。平成 30 年度の調査で得られた放射能濃度の範囲は、平成 3 年度から核燃海域で継続的に調査している海底土に含まれる²³⁹⁺²⁴⁰Puの放射能濃度の範囲と比較して同程度であった。

iv. 海底土試料の²⁴⁰Pu/²³⁹Pu原子数比

平成 30 年度に採取した海底土に含まれるプルトニウムの²⁴⁰Pu/²³⁹Pu原子数比は、0.214～0.266の範囲にあり、平成 20～29 年度の調査結果と同じ範囲であった。また、東電福島第一原発由来の²⁴⁰Pu/²³⁹Pu原子数比（0.303～0.330）⁶⁾よりも低いことから、東電福島第一原発由来の²³⁹⁺²⁴⁰Puの海底土への沈着は確認されなかった。

④ まとめ

本調査においては、¹³⁵Cs/¹³⁷Cs原子数比は¹³⁷Csの放射能濃度が低い試料（100Bq/kg-乾燥土未満）での分析となり、そのいくつかは不検出で平成28年度と同様な結果であったことから、東電福島第一原発事故由来の放射性セシウムの存在を特定するための非常に有用な方法として活用できる。

核燃海域で得られたスルメイカの肝臓に含まれる²³⁹⁺²⁴⁰Puの放射能濃度はその漁期によって変化したもので、その範囲は他の海域と同程度であった。また、²⁴⁰Pu/²³⁹Pu原子数比においては、核燃海域と他の海域と同じであったことから、本調査で得られたスルメイカの肝臓に含まれるプルトニウムは過去に北半球を中心に盛んに実施された大気圏核爆発実験に由来するものと考えられる。また、海洋放射能調査で実施している発電所海域で得られた海底土においても、²³⁹⁺²⁴⁰Puの放射能濃度や²⁴⁰Pu/²³⁹Pu原子数比を求めて考察したところ、東電福島第一原発事故前と同程度の放射能濃度及び原子数比を示していたことから、過去の核爆発実験に由来すると思われるプルトニウム以外の起源を持つプルトニウムの存在は確認されなかった。

表 I-2-2-1-4 発電所海域で採取した海底土試料に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度及び $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比

採取 海域	測点	採取日	$^{239+240}\text{Pu}$	$^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$
			(Bq/kg-乾燥土)	原子数比
北海道	2	平成 30 年 6 月 4 日	2.60 ± 0.05	0.228 ± 0.003
青森	2	平成 30 年 6 月 6 日	3.38 ± 0.18	0.223 ± 0.008
宮城	2	平成 30 年 6 月 16 日	0.61 ± 0.02	0.224 ± 0.005
福島第一	2	平成 30 年 6 月 18 日	0.57 ± 0.02	0.245 ± 0.005
福島第二	2	平成 30 年 6 月 19 日	0.87 ± 0.02	0.242 ± 0.005
茨城	2	平成 30 年 6 月 21 日	0.65 ± 0.01	0.249 ± 0.004
静岡	4	平成 30 年 5 月 21 日	1.29 ± 0.04	0.248 ± 0.004
新潟	2	平成 30 年 5 月 10 日	2.51 ± 0.07	0.214 ± 0.005
石川	2	平成 30 年 5 月 14 日	0.76 ± 0.02	0.230 ± 0.005
福井第一	2	平成 30 年 5 月 15 日	2.63 ± 0.06	0.230 ± 0.002
福井第二	2	平成 30 年 5 月 17 日	1.99 ± 0.08	0.236 ± 0.007
島根	2	平成 30 年 5 月 16 日	0.29 ± 0.02	0.256 ± 0.010
愛媛	2	平成 30 年 5 月 18 日	0.32 ± 0.01	0.244 ± 0.007
佐賀	2	平成 30 年 5 月 15 日	0.41 ± 0.01	0.260 ± 0.005
鹿児島	2	平成 30 年 5 月 16 日	0.74 ± 0.02	0.266 ± 0.005

引用文献

- 1) Zheng, J., Bu, W., Tagami, K., Shikamori, Y., Nakano, K., Uchida, S. and Ishii, N. (2014). Determination of ^{135}Cs , and $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ atomic ratio in environmental samples by combining ammonium molybdophosphate (AMP)-selective Cs adsorption and ion-exchange chromatographic separation to triple-quadrupole coupled plasma-mass spectrometry. *Anal. Chem.*, **86**, 7103-7110.
- 2) Zheng, J., Tagami, K., Bu, W., Uchida, S., Watanabe, Y., Kubota, Y., Fuma, S. and Ihara, S. (2014). $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ isotopic ratio as a new tracer of radiocesium released from the Fukushima nuclear accident. *Environ. Sci. Technol.*, **48**, 5433-5438.
- 3) Zheng, J., Cao, L., Tagami, K. and Uchida, S. (2016). Triple-quadrupole inductively coupled plasma-mass spectrometry with a high-efficiency sample introduction system for ultratrace determination of ^{135}Cs and ^{137}Cs in environmental samples at femtogram levels. *Anal. Chem.*, **88**, 8772-8779.

- 4) Russell, B.C., Coudace, I.W. and Warwick, P.E. (2015). Determination of ^{135}Cs and ^{137}Cs in environmental samples: A review. *Anal. Chim. Acta*, **890**, 7-20.
- 5) Oikawa, S. and Yamamoto, M. (2007). Plutonium concentration and $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ atomic ratio in liver of squid collected in the coastal sea areas of Japan. *J. Environ. Radioact.*, **93**, 170-180.
- 6) Zheng, J., Tagami, K., Watanabe, Y., Uchida, S., Aono, T., Ishii, N., Yoshida, S., Kubata, Y., Fuma, S. and Ihara, S. (2012) Isotopic evidence of plutonium release into the environment from the Fukushima DNPP accident. *Sci. Rep.*, **2**, 304, doi: 10.1038/srep00304.

(2) 海水及び海産生物の¹²⁹I濃度

① はじめに

核燃海域では、使用済核燃料を再処理するための原子燃料サイクル施設の本格稼働に伴い¹²⁹Iの放射能濃度レベルが変動することが予想されるため、この¹²⁹Iの放射能濃度の変動を前もって把握しておくことを目的に、核燃海域等で海水試料を定期的に採取し、加速器質量分析計（Accelerator Mass Spectrometer、以下「AMS」という。）を用いてこれら海水試料に含まれる¹²⁹Iの放射能濃度及び安定ヨウ素の濃度について調査してきた。その継続調査を実施するとともに、東電福島第一原発事故により、新たに海洋環境に放出された¹²⁹Iが核燃海域や他の海域へ到達した状況についても併せて調査した。また、核燃海域はコンブ等の産地であるため、コンブ類に対する影響についても併せて検討を行った。

② 方法

i. 試料

海水試料は発電所海域、核燃海域及び対照海域で採取した。測点のリストを表 I-2-2-2-1 に示す。測点の位置は図 I-3-2～5、I-3-14 及び図 I-2-1-1-1 にまとめた。

表 I-2-2-2-1 海水試料採取測点と対応する略号表記

海域	測点	略号	海域	測点	略号	海域	測点	略号
発電所海域			核燃海域			対照海域		
青森海域	1	HG1	核燃海域	1	AM1	襟裳沖海域(核燃沖)	2	T2
青森海域	2	HG2	核燃海域	3	AM3	襟裳沖海域(襟裳沖)	11	E11
青森海域	3	HG3	核燃海域	4	AM4	大和堆海域	1	YR1
青森海域	4	HG4	核燃海域	6	AM6	四国沖海域	1	KC1
宮城海域	1	MI1	核燃海域	7	AM7			
宮城海域	4	MI4	核燃海域	10	AM10			
福島第一海域	3	FSN3	核燃海域	11	AM11			
福島第一海域	4	FSN4	核燃海域	13	AM13			
福島第二海域	1	FSS1	核燃海域	14	AM14			
福島第二海域	2	FSS2	核燃海域	15	AM15			
茨城海域	1	IB1	核燃海域	16	AM16			
茨城海域	2	IB2	核燃海域	17	AM17			
茨城海域	3	IB3	核燃海域	18	AM18			
茨城海域	4	IB4	核燃海域	19	AM19			
			核燃海域	20	AM20			
			核燃海域	21	AM21			
			核燃海域	22	AM22			

発電所海域（青森、宮城、福島第一、福島第二及び茨城海域）において、平成 30 年 6 月に各測点で表層水試料を採取した。核燃海域では、平成 30 年 6 月（前期）及び 10 月（後期）の 2 回、各測点で表層水試料を採取した。対照海域（大和堆、四国沖、襟裳沖）では平成 30 年 5 月に、表層から底層まで複数層で海水試料を採取した。

海藻は、原子燃料サイクル施設からの排水が到達する可能性のある下北沖海域（青森県白糠漁協）及び岩手県三陸沖海域（重茂漁協）においてマコンブを収集した。また、比較として津軽海峡（青森県三厩漁協）のマコンブ及び根室海峡（北海道羅臼漁協）のオニココンブを併せて収集した。

なお、平成 26 年度までの本調査において、根室海峡で採取したコンブ試料に対して「エナガオニココンブ」の名称を用いてきたが、現在は標準和名として用いられないため、吉田ら¹⁾の分類体系に従い、平成 27 年度よりエナガオニココンブの標準和名である「オニココンブ」にその名称表記を変更した。

ii. 分析

海水試料に含まれる¹²⁹Iの放射能分析にはその濃度が極めて低いと予想されることからAMSを用いることとし、試料の前処理等は賀佐ら²⁾の方法に従った。安定ヨウ素はアスコルビン酸還元法を用いたイオンクロマトグラフィ³⁾で測定した。なお、この分析方法の妥当性を確認するために、同一試料（大和堆海域（測点 YR1）の表層水）を用いて Sasa *et al.*⁴⁾の方法に従って海水試料に含まれる¹²⁹Iを別途測定したところ、前者の方法で得られた¹²⁹Iの放射能濃度は $(31.4 \pm 0.4) \times 10^{-9}$ Bq/Lであったのに対して、後者の方法では $(26.4 \pm 1.2) \times 10^{-9}$ Bq/Lとなり、概ね同じ結果を得ることができた。さらに、日本海側の発電所及び対照海域の表層水にも後者の方法を適用して分析を行ったところ、

- ・北海道海域（測点 HK3）： $(19.8 \pm 0.8) \times 10^{-9}$ Bq/L
- ・新潟海域（測点 NI2）： $(19.8 \pm 0.9) \times 10^{-9}$ Bq/L
- ・石川海域（測点 IS2）： $(17.6 \pm 1.0) \times 10^{-9}$ Bq/L
- ・福井第二海域（測点 FKW3）： $(14.4 \pm 0.9) \times 10^{-9}$ Bq/L
- ・大和堆海域（測点 YR4）： $(26.6 \pm 1.0) \times 10^{-9}$ Bq/L

となり、賀佐ら²⁾の方法で得られた核燃海域での結果と同程度であった。

海藻については、凍結させた後、真空凍結乾燥機で乾燥し、乾燥させた試料から抽出したヨウ素をヨウ化銀として固定し、AMSによる放射能分析を行った。なお、試料中の安定ヨウ素の定量は、インジウム(In)を内標準とした誘導結合プラズマ質量分析法(ICP-MS)により行った。

③ 結果

i. 核燃海域で採取した海水試料に含まれる安定ヨウ素及び¹²⁹Iの放射能濃度

核燃海域で採取した表層水に含まれる安定ヨウ素及び¹²⁹Iの放射能濃度を表 I-2-2-2-2 と表 I-2-2-2-3 に示す。なお、青森海域の測点は AM11～AM13 及び AM14、AM15 で囲まれた海域に存在するので、ここでは青森海域も核燃海域に含めている。平成 30 年度の安定ヨウ素濃度の平均値とその標準偏差は、

前期： $(51.1 \pm 0.8) \times 10^{-6}$ (g/L)

後期： $(51.7 \pm 0.2) \times 10^{-6}$ (g/L)

であった。

平成 18～22 年度の調査で得られた安定ヨウ素濃度の平均値とその標準偏差は、

前期： $(51.6 \pm 0.4) \times 10^{-6}$ (g/L)

後期： $(51.9 \pm 0.6) \times 10^{-6}$ (g/L)

であり、平成 30 年度の値は過去の分析値と有意の差は認められない。

平成 18～30 年度の各測点で採取した表層水試料に含まれる¹²⁹Iの放射能濃度の推移を図 I-2-2-2-1（上段）に示す。平成 19 年度と平成 20 年度に一部の測点で際だった放射能濃度の上昇が見られた（図中、色付けされたマーカの測点）。これらは再処理施設（現 原子燃料サイクル施設）のアクティブ試験^{※1}の影響と考えられる。平成 23 年度前期の AM4、AM5 及び AM22 で採取した海水試料から得られた¹²⁹Iの放射能濃度で上昇が見られた。なお、調査期間中において原子燃料サイクル施設からの¹²⁹Iの放出は認められず、東電福島第一原発事故の影響と考えられる。

※1 使用済核燃料を再処理するための原子燃料サイクル施設において、操業開始に向けて実施される試験運転のうち、最終段階の試験運転として、実際の使用済核燃料を用いてプルトニウムを抽出する試験をアクティブ試験と呼んでいる。

表 I -2-2-2-2 核燃海域*1 で採取した表層水試料に含まれる安定ヨウ素濃度及び ^{129}I の放射能濃度 (前期)

測点	採取日	安定ヨウ素 ($\times 10^{-6}$ g/L)	^{129}I ($\times 10^{-9}$ Bq/L)
AM1	平成 30 年 6 月 18 日	50.7 \pm 0.2	26.8 \pm 0.3
AM3	平成 30 年 6 月 16 日	51.8 \pm 0.2	23.7 \pm 0.6
AM4	平成 30 年 6 月 10 日	49.2 \pm 0.3	29.3 \pm 0.4
AM6	平成 30 年 6 月 17 日	51.7 \pm 0.2	23.8 \pm 0.7
AM7	平成 30 年 6 月 10 日	51.9 \pm 0.2	24.2 \pm 0.9
AM10	平成 30 年 6 月 17 日	51.4 \pm 0.3	27.0 \pm 0.4
AM11	平成 30 年 6 月 10 日	51.7 \pm 0.2	24.6 \pm 0.4
AM13	平成 30 年 6 月 15 日	52.0 \pm 0.1	25.5 \pm 0.3
AM14	平成 30 年 6 月 9 日	50.7 \pm 0.2	28.8 \pm 0.4
AM15	平成 30 年 6 月 15 日	50.0 \pm 0.2	24.6 \pm 0.7
AM16	平成 30 年 6 月 3 日	49.6 \pm 0.1	25.9 \pm 0.3
AM17	平成 30 年 6 月 18 日	50.5 \pm 0.3	24.2 \pm 0.7
AM18	平成 30 年 6 月 18 日	51.7 \pm 0.5	24.6 \pm 0.5
AM19	平成 30 年 6 月 20 日	51.7 \pm 0.5	23.8 \pm 0.6
AM20	平成 30 年 6 月 20 日	52.6 \pm 0.5	23.3 \pm 0.3
AM21	平成 30 年 6 月 20 日	51.2 \pm 0.1	24.1 \pm 0.3
AM22	平成 30 年 6 月 20 日	51.2 \pm 0.1	23.7 \pm 0.5
HG1	平成 30 年 6 月 9 日	50.9 \pm 0.1	27.7 \pm 0.3
HG2	平成 30 年 6 月 6 日	50.7 \pm 0.1	24.3 \pm 0.5
HG3	平成 30 年 6 月 9 日	51.5 \pm 0.3	25.3 \pm 0.5
HG4	平成 30 年 6 月 9 日	51.2 \pm 0.1	29.4 \pm 0.9
平均*2		51.1 \pm 0.8	25.5 \pm 1.9

*1 青森海域は核燃海域の測点に囲まれた海域に存在するので、ここでは核燃海域に含めて記載している。

*2 全 21 測点における安定ヨウ素及び ^{129}I の放射能濃度の平均値 \pm 標準偏差を示す。

表 I-2-2-2-3 核燃海域*1 で採取した表層水試料に含まれる安定ヨウ素濃度及び ^{129}I の放射能濃度（後期）

測点	採取日	安定ヨウ素 ($\times 10^{-6}$ g/L)	^{129}I ($\times 10^{-9}$ Bq/L)
AM1	平成 30 年 10 月 19 日	51.5 \pm 0.1	21.8 \pm 0.3
AM3	平成 30 年 10 月 19 日	51.5 \pm 0.1	24.4 \pm 0.5
AM4	平成 30 年 10 月 28 日	51.4 \pm 0.1	22.8 \pm 0.2
AM6	平成 30 年 10 月 21 日	51.6 \pm 0.2	21.7 \pm 0.3
AM7	平成 30 年 10 月 25 日	51.5 \pm 0.1	22.7 \pm 0.3
AM10	平成 30 年 10 月 21 日	51.7 \pm 0.2	21.7 \pm 0.8
AM11	平成 30 年 10 月 25 日	51.7 \pm 0.2	22.5 \pm 0.8
AM13	平成 30 年 10 月 26 日	51.8 \pm 0.1	22.5 \pm 0.3
AM14	平成 30 年 10 月 26 日	51.8 \pm 0.1	22.0 \pm 0.5
AM15	平成 30 年 10 月 23 日	51.7 \pm 0.2	21.7 \pm 0.4
AM16	平成 30 年 10 月 23 日	51.6 \pm 0.1	22.2 \pm 0.9
AM17	平成 30 年 10 月 18 日	51.9 \pm 0.1	21.5 \pm 0.4
AM18	平成 30 年 10 月 18 日	52.0 \pm 0.1	25.8 \pm 0.4
AM19	平成 30 年 10 月 18 日	52.0 \pm 0.1	21.9 \pm 0.2
AM20	平成 30 年 10 月 17 日	51.8 \pm 0.2	21.8 \pm 0.4
AM21	平成 30 年 10 月 17 日	51.8 \pm 0.1	22.3 \pm 0.2
AM22	平成 30 年 10 月 17 日	52.0 \pm 0.1	22.0 \pm 0.2
平均*2		51.7 \pm 0.2	22.4 \pm 1.1

*1 青森海域は核燃海域の測点に囲まれた海域に存在するので、ここでは核燃海域に含めて記載している。

*2 全 17 測点における安定ヨウ素及び ^{129}I 放射能濃度の平均値 \pm 標準偏差を示す。

平成 30 年度に採取したこれら表層水試料に含まれる ^{129}I の放射能濃度の平均値とその標準偏差は、

前期： $(25.5 \pm 1.9) \times 10^{-9}$ (Bq/L)

後期： $(22.4 \pm 1.1) \times 10^{-9}$ (Bq/L)

であった。図 I-2-2-2-1（上段）に示すように、これらの値はアクティブ試験が中断されていた平成 21 年後期～22 年度までの値と同程度であった。

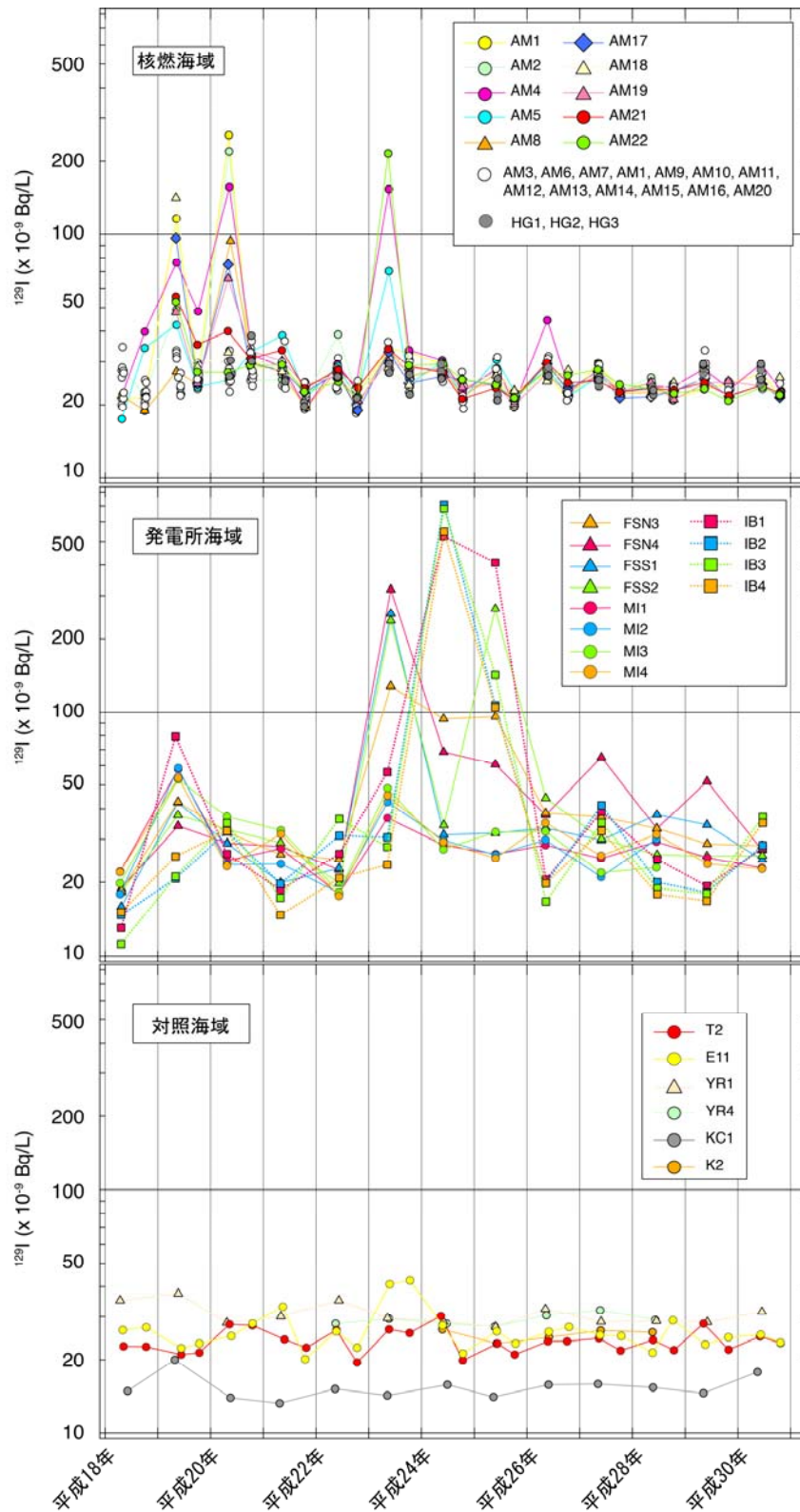


図 I-2-2-2-1 核燃海域、発電所海域及び対照海域で採取した表層水試料に含まれる ^{129}I の放射能濃度の推移

ii. 発電所海域で採取した表層海水試料に含まれる安定ヨウ素濃度及び¹²⁹Iの放射能濃度

核燃海域を南下する海流が到達する可能性があり、同時に東電福島第一原発事故の影響が及んでいると考えられる宮城、福島第一、福島第二及び茨城海域で表層水試料を採取し、放射能分析に供した。また、その影響が少ないと考えられる日本海側の発電所海域で採取した表層水試料（北海道及び福井第二海域の測点 3、並びに新潟及び石川海域の測点 2）も併せて放射能分析に供した。

それぞれの測点で採取した海水試料に含まれる安定ヨウ素濃度及び¹²⁹Iの放射能濃度の分析結果を表 I-2-2-2-4 に示した。また、同海域における¹²⁹Iの放射能濃度の時系列変化を図 I-2-2-2-1（中段）に示す。

表 I-2-2-2-4 発電所海域で採取した表層水試料に含まれる安定ヨウ素濃度及び¹²⁹Iの放射能濃度

測点	採取日	安定ヨウ素 ($\times 10^{-6}$ g/L)	¹²⁹ I ($\times 10^{-9}$ Bq/L)
宮城海域			
MI1	平成 30 年 6 月 16 日	51.7 \pm 0.1	22.9 \pm 0.3
MI4	平成 30 年 6 月 17 日	52.2 \pm 0.2	22.7 \pm 0.3
平均*1		52.0 \pm 0.3	22.8 \pm 0.1
福島第一・第二海域			
FSN3	平成 30 年 6 月 18 日	53.2 \pm 0.5	28.2 \pm 0.6
FSN4	平成 30 年 6 月 18 日	52.9 \pm 0.5	27.1 \pm 0.3
FSS1	平成 30 年 6 月 19 日	52.6 \pm 0.5	24.7 \pm 0.3
FSS2	平成 30 年 6 月 19 日	52.9 \pm 0.5	25.7 \pm 0.8
平均*1		52.9 \pm 0.2	26.4 \pm 1.3
茨城海域			
IB1	平成 30 年 6 月 21 日	53.1 \pm 0.5	27.6 \pm 0.3
IB2	平成 30 年 6 月 21 日	52.8 \pm 0.5	28.3 \pm 0.5
IB3	平成 30 年 6 月 22 日	52.5 \pm 0.5	37.0 \pm 0.6
IB4	平成 30 年 6 月 22 日	52.9 \pm 0.5	35.0 \pm 0.5
平均*1		52.8 \pm 0.2	32.0 \pm 4.1

*1 各海域の測点における安定ヨウ素及び¹²⁹I濃度の平均値 \pm 標準偏差を示す。

平成 30 年度の調査で得られた安定ヨウ素濃度の分析結果は、

宮城海域：(51.7～52.2) $\times 10^{-6}$ (g/L)

福島第一・第二海域：(52.6～53.2)×10⁻⁶ (g/L)

茨城海域：(52.5～53.1)×10⁻⁶ (g/L)

であった。

平成 18～22 年度の各海域での調査で得られた安定ヨウ素濃度の範囲は、

宮城海域：(47.7～53.7)×10⁻⁶ (g/L)

福島第一・第二海域：(49.8～54.1)×10⁻⁶ (g/L)

茨城海域：(47.3～54.9)×10⁻⁶ (g/L)

であり、平成 30 年度の測定値は事故前の変動幅に収まっている。平成 18～29 年度の発電所海域における ¹²⁹I の放射能濃度の時系列変化は核燃海域のそれと大きく異なるのみならず、3 つの海域での変動パターンも東電福島第一原発事故の影響の程度により各々が異なっている。平成 23 年度には、福島第一及び福島第二海域での 4 測点すべてで東電福島第一原発事故により、¹²⁹I の放射能濃度に上昇が見られ、特に南側の 3 測点 (FSN4、FSS1 及び FSS2) で上昇の度合いが大きかった。また平成 24 年度には、FSN3 では ¹²⁹I の放射能濃度にあまり変化がなかったのに対し、FSN4、FSS1 及び FSS2 では減少し、特に FSS1 及び FSS2 ではほぼ事故前のレベルに戻っている。しかしながら、平成 25 年度には、FSN3、FSN4 及び FSS1 が前年度と大差がなかったのに対し、FSS2 は約 8 倍に上昇した (図 I-2-2-2-1 (中段))。なお、平成 26 年度から平成 30 年度には、いずれの測点でも概ね事故前のレベルに戻った。

宮城海域でも平成 23 年度に東電福島第一原発事故の影響は見られたが、影響の程度は平成 19 年度の再処理施設 (現 原子燃料サイクル施設) 稼働に伴う ¹²⁹I の放射能濃度の上昇と同程度ないし、それ以下であった。平成 24 年度には平成 20 年度及び平成 21 年度のレベルまで低下し、平成 30 年度は平成 24 年度～平成 29 年度と同程度であった。

茨城海域では、平成 23 年度には IB1 を除き、¹²⁹I の放射能濃度の上昇が見られなかった。しかし、平成 24 年度には各測点で ¹²⁹I の放射能濃度が平成 23 年度の 10～20 倍に上昇した。平成 25 年度には IB2、IB3、IB4 で平成 24 年度の約 20%に相当する放射能濃度まで低下したが、それでも FSS2 を除く福島海域の測点より高いレベルにあった。茨城海域で平成 24 年度に見られた ¹²⁹I の放射能濃度の上昇は平成 23 年度の東電福島第一原発事故に起因すると考えられる。なお、平成 26～30 年度はいずれの測点でも事故前のレベルに戻っており、また、日本海側では平成 30 年度は平成 24 年度～平成 29 年度と同程度であった。

iii. 対照海域で採取した海水試料に含まれる安定ヨウ素濃度及び ¹²⁹I の放射能濃度

対照海域 3 海域で採取した海水試料に含まれる安定ヨウ素濃度及び ¹²⁹I の放射能濃度を表 I-2-2-2-5 に示す。

(表層)

表層水試料に含まれる安定ヨウ素濃度は海域毎に変動はするものの、時系列的には大きな変動はない。平成 18～29 年度の調査で得られた表層水に含まれる安定ヨウ素濃度の平均値とその標準偏差は、

四国沖海域 (KC1) : $(53.8 \pm 0.9) \times 10^{-6}$ (g/L)

大和堆海域 (YR1) : $(53.1 \pm 1.0) \times 10^{-6}$ (g/L)

襟裳沖海域 (E11) : $(52.0 \pm 1.5) \times 10^{-6}$ (g/L)

襟裳沖海域 (T2) : $(51.9 \pm 0.7) \times 10^{-6}$ (g/L)

であった。

平成 30 年度に採取した表層水試料に含まれる安定ヨウ素濃度は、各々の観測点での観測値は以下であり、いずれも事故前の値と変動幅に入る：

四国沖海域 (KC1) : 53.9×10^{-6} (g/L)

大和堆海域 (YR1) : 53.3×10^{-6} (g/L)

襟裳沖海域 (E11) : $(51.1 \sim 51.8) \times 10^{-6}$ (g/L)

襟裳沖海域 (T2) : $(50.8 \sim 52.0) \times 10^{-6}$ (g/L)

平成 18～30 年度に対照海域で採取した表層水試料に含まれる ^{129}I の放射能濃度の推移を図 I-2-2-2-1 (下段) に示す。平成 29 年度まで平均と標準偏差は 4 つの海域では襟裳沖海域 (E11) 以外はほぼ一定の変動幅で推移している：

四国沖海域 (KC1) : $(15.3 \pm 1.6) \times 10^{-9}$ (Bq/L)

大和堆海域 (YR1) : $(30.8 \pm 3.2) \times 10^{-9}$ (Bq/L)

襟裳沖海域 (E11) : $(26.5 \pm 5.3) \times 10^{-9}$ (Bq/L)

襟裳沖海域 (T2) : $(23.8 \pm 2.7) \times 10^{-9}$ (Bq/L)

平成 23 年度に襟裳沖海域 (E11) で採取した試料の調査で得られた比較的高い放射能濃度 ($(40.9, 42.4) \times 10^{-9}\text{Bq/L}$) は、東電福島第一原発事故を起源とする放射性ヨウ素の付加があったと推測する。下に示す平成 30 年度の調査で得た放射能濃度は全て上記の平均とその標準偏差の範囲にあり、同事故の影響は見られなかった：

四国沖海域 (KC1) : $(17.8 \pm 0.3) \times 10^{-9}$ (Bq/L)

大和堆海域 (YR1) : $(31.4 \pm 0.4) \times 10^{-9}$ (Bq/L)

襟裳沖海域 (E11) : $(25.3 \pm 0.7) \times 10^{-9}$ (Bq/L) , $(23.5 \pm 0.4) \times 10^{-9}$ (Bq/L)

襟裳沖海域 (T2) : $(24.9 \pm 0.6) \times 10^{-9}$ (Bq/L) , $(23.4 \pm 0.3) \times 10^{-9}$ (Bq/L)

(鉛直分布)

対照海域の四国沖海域、大和堆海域及び襟裳沖海域において多層での海水試料の採取を行い、それら海水試料に含まれる安定ヨウ素及び¹²⁹Iの放射能濃度の鉛直分布を調べた。安定ヨウ素については、平成30年度の調査においても、これまでと同程度、いずれの海域でも水深が深くなるとともに放射能濃度が増す傾向を示し、どの海域でも底層では約 60×10^{-6} (g/L) となった(表 I-2-2-2-5)。

一方、¹²⁹Iの放射能濃度については全ての海域で水深が深くなるとともにその濃度が減る傾向を示した(図 I-2-2-2-2)。しかし、その深さによる減少率は観測海域毎に異なり、大和堆海域では最も深くまで¹²⁹Iが入り込んでいることがわかる。

表 I-2-2-2-5 対照海域で採取した海水試料に含まれる安定ヨウ素濃度及び ^{129}I の放射能濃度

測点	採取日	採取深度 (m)	安定ヨウ素 ($\times 10^{-6}$ g/L)	^{129}I ($\times 10^{-9}$ Bq/L)
大和堆海域				
YR1	平成 30 年 5 月 12 日	1	53.3 \pm 0.4	31.4 \pm 0.4
YR1	平成 30 年 5 月 12 日	250	54.7 \pm 0.1	29.6 \pm 0.9
YR1	平成 30 年 5 月 12 日	500	56.1 \pm 0.3	24.7 \pm 0.2
YR1	平成 30 年 5 月 12 日	750	56.7 \pm 0.4	19.7 \pm 0.3
YR1	平成 30 年 5 月 12 日	1,000	57.2 \pm 0.3	16.6 \pm 0.3
YR1	平成 30 年 5 月 12 日	2,950	57.6 \pm 0.3	6.5 \pm 0.2
四国沖海域				
KC1	平成 30 年 5 月 17 日	1	53.9 \pm 0.5	17.8 \pm 0.3
KC1	平成 30 年 5 月 17 日	250	56.9 \pm 0.5	17.0 \pm 0.5
KC1	平成 30 年 5 月 17 日	500	58.4 \pm 0.6	10.2 \pm 0.4
KC1	平成 30 年 5 月 17 日	750	59.6 \pm 0.6	4.6 \pm 0.2
KC1	平成 30 年 5 月 17 日	1,000	60.2 \pm 0.6	3.8 \pm 0.3
KC1	平成 30 年 5 月 17 日	1,704	60.0 \pm 0.6	2.5 \pm 0.1
襟裳沖海域				
E11	平成 30 年 6 月 8 日	1	51.1 \pm 0.2	25.3 \pm 0.7
E11	平成 30 年 6 月 8 日	250	54.3 \pm 0.3	21.0 \pm 0.2
E11	平成 30 年 6 月 8 日	750	58.4 \pm 0.2	5.1 \pm 0.3
E11	平成 30 年 6 月 8 日	1,000	59.4 \pm 0.2	4.8 \pm 0.1
E11	平成 30 年 6 月 8 日	1,250	59.0 \pm 0.1	1.7 \pm 0.3
E11	平成 30 年 6 月 8 日	2,087	59.6 \pm 0.3	2.1 \pm 0.2
E11	平成 30 年 10 月 22 日	1	51.8 \pm 0.1	23.5 \pm 0.4
襟裳沖海域				
T2	平成 30 年 6 月 3 日	1	50.8 \pm 0.1	24.9 \pm 0.6
T2	平成 30 年 10 月 23 日	1	52.0 \pm 0.1	23.4 \pm 0.3

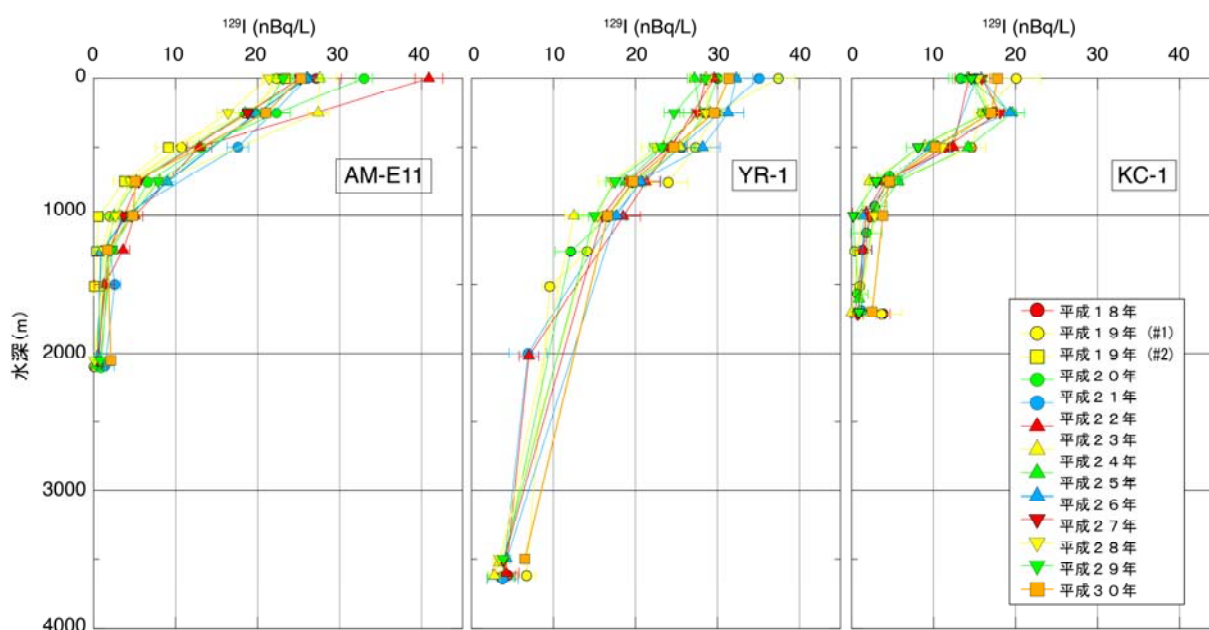


図 I-2-2-2-2 対照海域で採取した海水試料に含まれる ^{129}I の放射能濃度を鉛直分布として示したもの（襟裳沖海域（E11）、大和堆海域（YR1）、四国沖海域（KC1））

iv. 海藻試料に含まれる安定ヨウ素濃度と ^{129}I の放射能濃度

分析結果を表 I-2-2-2-6 に示す。安定ヨウ素濃度及び ^{129}I の放射能濃度は海域間で大きく変動していた。平成 30 年度の調査で得た安定ヨウ素濃度の範囲は $(1.03 \sim 3.20) \times 10^{-3}$ (g/g-乾物)、 ^{129}I の放射能濃度は $(0.33 \sim 0.68) \times 10^{-6}$ (Bq/g-乾物) の範囲にあり、また両者の原子数比は $(2.07 \sim 5.69) \times 10^{-11}$ の範囲にあった。

図 I-2-2-2-3 に平成 23 年から平成 30 年まで測定された海藻試料に含まれる ^{129}I と ^{127}I の関係を示す。図に示したように平成 30 年度に得られた結果は過去の測定値から大きく逸脱するものではない。図中の直線は平成 23 年から平成 29 年までのデータに回帰したものであり、比較的良い相関性 ($r=0.89$) を示している。回帰直線の傾き (0.51) をヨウ素の原子数比 ($^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$) に換算すると 7.8×10^{-11} になり、平成 30 年度の調査で得た $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比は、過去のデータと比較すると若干低めの値を示した。平成 30 年度の調査において比較的近い観測点で採取した表層水試料に含まれる $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比を求めたところ、

襟裳沖海域 (E11) : 7.5×10^{-11}

襟裳沖海域 (T2) : 7.4×10^{-11}

襟裳沖海域 (T2) : 6.8×10^{-11}

であり、必ずしも海水試料に含まれるヨウ素の示す比が海藻試料に含まれるヨウ素のそれに反映されているわけではない。海藻試料に含まれるヨウ素濃度及びその同位体比（原子

数比) の時空間的な変動要因に関しては、海洋放射能調査を実施する際の補完項目として今後も更なる調査研究が必要である。

表 I -2-2-2-6 海藻試料に含まれる安定ヨウ素 (^{127}I) 濃度と ^{129}I の放射能濃度及び $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比

採取地	採取日	安定ヨウ素 ($\times 10^{-3}$ g/g-乾物)	^{129}I ($\times 10^{-6}$ Bq/g-乾物)	$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ ($\times 10^{-11}$)
	平成 30 年			
根室海峡*1	7 月 31 日	2.10 \pm 0.11	0.51 \pm 0.01	3.66 \pm 0.20
津軽海峡*2	10 月 14 日	1.80 \pm 0.08	0.68 \pm 0.01	5.69 \pm 0.27
下北沖*2	10 月 9 日	3.20 \pm 0.13	0.44 \pm 0.01	2.07 \pm 0.09
岩手沖*2	7 月 27 日	1.03 \pm 0.07	0.33 \pm 0.01	4.82 \pm 0.36

*1 オニコンブ

*2 マコンブ

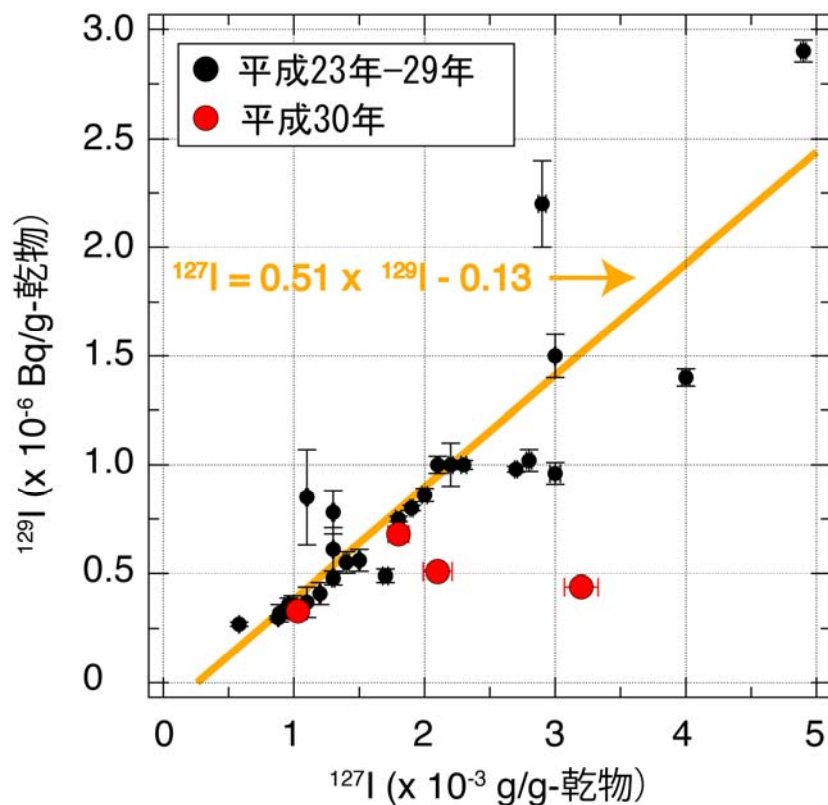


図 I -2-2-2-3 海藻試料に含まれる安定ヨウ素 (^{127}I) 濃度と ^{129}I の放射能濃度との関係 (図中直線は平成 23 年から平成 29 年までのデータに回帰したもの)

④ まとめ

平成 18 年度より、核燃海域から茨城海域に至る海域及び対照海域から海水試料を採取し、AMS を使って海水試料に含まれる ^{129}I の放射能分析を行ってきた。表層水において、平成 23 年度には東電福島第一原発事故に由来すると考えられる ^{129}I の放射能濃度の上昇について、核燃、宮城、福島及び茨城海域と対照海域の襟裳沖海域で観測された。平成 24 年度には、福島及び茨城海域以外の海域で得られた ^{129}I の放射能濃度は、事故前の濃度レベルとなった。平成 25 年度には、福島及び茨城海域において事故前の濃度レベルを超える ^{129}I の放射能濃度が引き続き観測されたものの、他の海域では事故前の濃度レベルであった。また、平成 26～30 年度の調査結果では、これら放射能濃度について事故前の濃度レベルに戻っていた。なお、コンブ試料に含まれる ^{129}I の放射能濃度は事故以前の調査によって得られた測定値の変動幅に収まっていた。

引用文献

- 1) 吉田忠生・鈴木雅大・吉永一男 (2015). 日本産海藻目録 (2015 年改訂版). 藻類, **63**, 129-189.
- 2) 賀佐信一・釜本真琴・河村日佐男 (2004). イオンクロマトグラフによる海水中の安定ヨウ素の定量. 第 41 回理工学における同位元素・放射線研究発表会要旨集, p.164.
- 3) Gasa, S., Sawafuji, N., Kabuto, S., Kinoshita, N., Amano, H. and Kawamura, H. (2007). Determination of ^{129}I in seawater by accelerator mass spectrometry with solvent extraction method. *Radioisotopes*, **56**, 155-162.
- 4) Sasa, K., Takahashi, T., Matsunaka, T., Hosoya, S., Matsunaka, M., Shen, H., Honda, M., Takano, K., Ochiai, Y., Sakaguchi, A., Sueki, K., Stodola, M., Sundquist, M. (2018). The 6MV multi-nuclide AMS system at the University of Tsukuba, Japan: First performance report. *Nuclear Inst. And Methods in Physics Research Section B*, **437**, 98-102.

(3) 海洋放射能調査海域周辺における放射性セシウムの形態別分布に関わる詳細調査

① はじめに

「1. 海洋放射能調査海域周辺での調査」では、海底土試料に含まれる放射性セシウム（以下 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs の両核種を指す。）の測定は表面から深さ 3cm までの層に限られており、3cm より深い層における放射性セシウムの有無や濃度、また海底土の性状に関する情報が乏しい。また、同調査の海底土表面から 3cm までの層における時系列及び測点間での放射性セシウムの放射能濃度の変動要因を解析・解明する上で、海底土の性状による影響であるのか、あるいは近年その存在が明らかとなった放射性粒子（放射性微粒子も含む）による影響なのか¹⁾、さらには表層以深への移行による影響によるものなどの各要因による影響の程度を把握するため、各パラメータを取得して検討する必要がある。一方、海水中においては放射性セシウムの放射能濃度の変化について、海水に含まれる溶存態や微小生物等の粒状態によるものなのかについて把握するとともに、放射性セシウムの放射能濃度の変化が東電福島第一原発事故由来によるものなのかについても併せて把握する必要がある。

そこで本詳細調査では、海洋放射能調査海域周辺での調査結果を補完すべく、原子力発電所等周辺海域において、海底土試料の性状、放射性セシウムの鉛直分布、並びに海水試料中における形態別（溶存態又は粒子としての微小生物）の放射性セシウムの現在の存在状況を把握するとともに、これらの変動要因及び蓄積量等について検討を行った。

② 海底土中の放射性セシウム

i. 放射性セシウムの放射能濃度変動と性状との関係

海底土試料に含まれる放射性セシウムの時空間的な変動は、海水から海底土に移行する機構と堆積後の動態によりコントロールされ、どちらも海底土の性状が密接に関わっている²⁾。本調査では放射性セシウムの変動要因を解析するための基礎データとするため、海洋放射能調査を実施した海域における調査で得られた海底土試料の性状を物理・化学的手法などによって分析し、海底土試料の性状と放射性核種とのかかわり、とりわけ ^{137}Cs の放射能濃度の分布との比較検討を行った。

(i) 調査分析法

平成 30 年 5～6 月において、発電所海域の 60 測点で採取した海底土試料（計 60 試料）及び核燃海域の 22 測点で採取した海底土試料（計 22 試料）について性状分析を行った。分析項目と分析法を表 I-2-2-3-1 に示す。

表 I -2-2-3-1 海底土試料の分析項目と分析法

分析項目	分析法
粒度分析	JIS A 1204 に基づき粒径加積曲線を求める
有機態炭素・有機態窒素	酸処理の後、CHN コーダーにより分析
見かけ比重及び水分含量	JIS A 1225 に基づく土の湿潤密度試験方法
元素分析	酸分解処理後、ICP-MS による測定

(ii) 結果

「1. 海洋放射能調査海域周辺での調査」で得られた各測点の海底土試料の性状結果の詳細データを資料 4-1 に示す。それら詳細データのうち、粒子径スケールに対する積算質量率が 50%に位置する粒子径（50%粒径）、海底土試料中のシルト及び粘土質の質量率（75 μ m 通過質量率）、有機態炭素及び窒素濃度、主要元素であるアルミニウム（Al）、マンガン（Mn）及び鉄（Fe）の元素濃度及びそれぞれの放射性セシウムの放射能濃度を表 I -2-2-3-2 に示した。なお、数値を見やすくするため誤差は除いた。

a. 粒径

「1. 海洋放射能調査海域周辺での調査」で得られた海底土試料中の粒度については、礫、粗砂、細砂、泥のように見かけ上の区分のみであるが、本調査で粒度分析を行ったところ、海底土試料の粒度分布について数値の範囲は 50%粒径が 0.002~0.78mm、75 μ m 通過質量率が 1.2~99.7%であった。平均値はそれぞれ 0.14mm 及び 40%であった。本調査で得られた海底土試料の粒度分布は広範囲であった。これらの数値は見かけ上の区分との比較を行ったところ、泥では 50%粒径が 0.002~0.085mm で、75 μ m 通過質量率が 45~99%の広い範囲となり、これらの結果は平成 30 年度も同様の傾向を示したことから、本調査の沈降分析により、粒度について精度の高い数値が得られ、海底土試料に含まれる放射性核種との定量的な評価に用いることが可能であることが分かった。

b. 見かけ比重及び水分含量

海底土試料に含まれる放射性核種の存在量を求めるには、見かけ比重及び水分含量と放射性核種の放射能濃度を用いて計算する必要があるため、これらは重要なパラメータである。分析処理から求めた見かけ比重は 1.2~1.9g/cm³、水分含量は 50~92%の範囲であっ

た。平均値は、見かけ比重が $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ 、水分含量が 70% であった。

c. 有機物含量及び元素濃度

海底土試料中の有機物含量範囲は有機炭素が $0.5\sim 33.4\text{mg}/\text{g}$ -乾燥土、有機窒素が $0.1\sim 4.2\text{mg}/\text{g}$ -乾燥土であった。これらの平均値は、それぞれ $9.5\text{mg}/\text{g}$ -乾燥土及び $1.2\text{mg}/\text{g}$ -乾燥土であった。

海底土試料に含まれる元素の濃度分布を図 I -2-2-3-1 に示した。本調査で対象としたのは、海底土の起源や酸化還元状態を探るうえで有用な元素 (Al、ストロンチウム (Sr)、カドミウム (Cd)、モリブデン (Mo)、希土類及びウラン (U))、有機物との関連性のある元素 (コバルト (Co)、ニッケル (Ni)、銅 (Cu) 及び鉛 (Pb)) と放射性セシウムとの関連性を評価する際に重要な元素 (Mn、Fe、ルビジウム (Rb)、セシウム (Cs; この場合は安定核種の ^{133}Cs を指す) 及びバリウム (Ba)) である。各元素の濃度範囲において、最大値と最小値の比が 10 倍を超えた元素は鉄 (最大値/最小値: 10、以下同様)、Ni (12)、Cu (20)、Sr (15)、Mo (21) 及び Cd (46) であった。各元素の平均値は Takata *et al.*²⁾ で報告された日本沿岸域における海底土中の値と一致した。

本調査で得られた海底土中の元素で最も高い濃度であったのは Al であり、その元素濃度の範囲を最大値と最小値の比にすると 3 であった。最も高かったのは核燃海域の測点 5 ($80\times 10^3\ \mu\text{g}/\text{g}$ -乾燥土もしくは 8%) であった。他の海域では、最大値とは濃度の差は小さいが、最も低かった宮城海域の測点 3 ($24\times 10^3\ \mu\text{g}/\text{g}$ -乾燥土もしくは 2.4%) は 1 桁程の違いが見られた。また、酸化還元状態を確認する上で Mo 及び U が用いられており^{3,4)}、Mo の濃度が $3.8\ \mu\text{g}/\text{g}$ -乾燥土以上かつ U の濃度が $2.7\ \mu\text{g}/\text{g}$ -乾燥土以上である場合、還元状態であることが報告されている。新潟海域の測点 2 において U 濃度が最大値の $2.6\ \mu\text{g}/\text{g}$ -乾燥土で、Mo 濃度が $1.7\ \mu\text{g}/\text{g}$ -乾燥土であったことから、還元状態ではないと考えられる。その他の海域においては Mo 及び U の濃度が上記以下であったことから、酸化状態であることが分かった。以上のように、多種の元素を測定することで調査海域の海底土の組成や起源、存在状態等を把握できることが分かった。

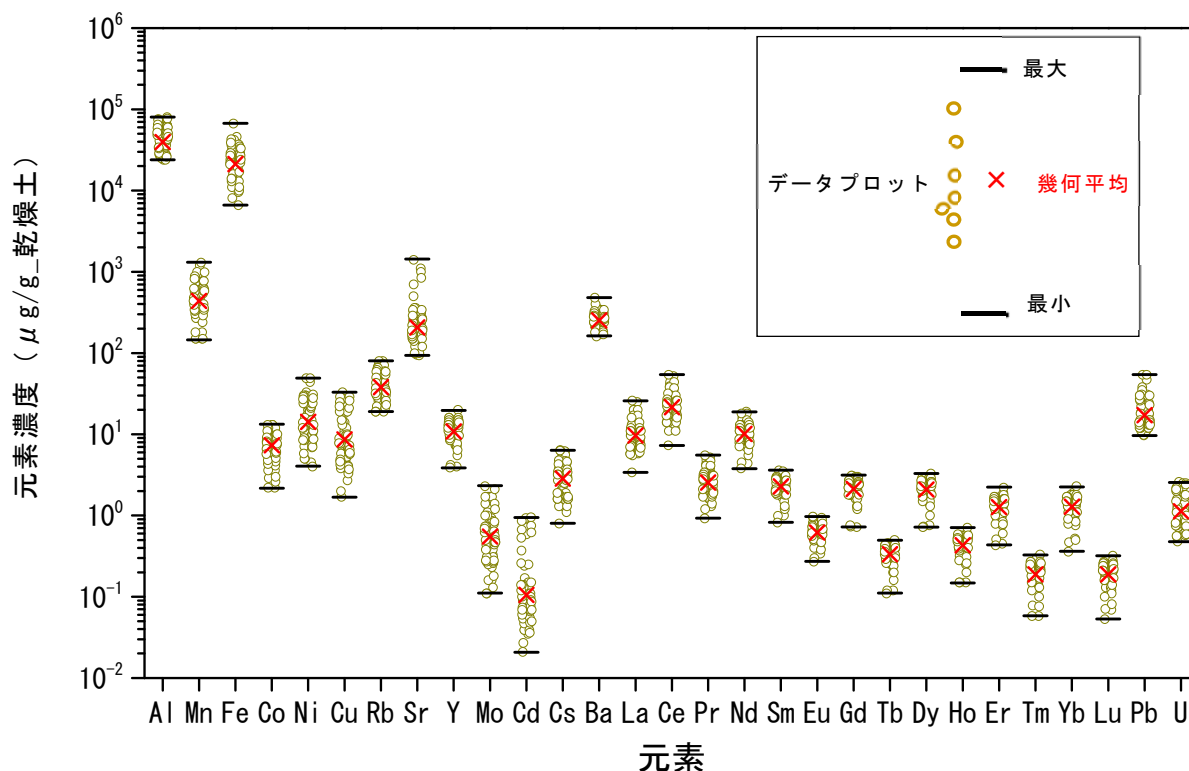


図 I -2-2-3-1 海底土試料中の元素濃度範囲

d. 放射性セシウムと性状との関係

「1. 海洋放射能調査海域周辺での調査」における放射性セシウムの放射能濃度の範囲は、 ^{134}Cs が ND~5.0Bq/kg-乾燥土、 ^{137}Cs が ND~43Bq/kg-乾燥土であった。これらの海域には東電福島第一原発事故の影響のある海域と、そうでない海域が存在する。そこで、ここでは東電福島第一原発事故以降、同事故由来の放射性セシウムとして ^{134}Cs が検出されなかった海域（北海道、青森、静岡、石川、福井第一、福井第二、島根、愛媛、鹿児島、佐賀及び核燃）と、検出された海域（宮城、福島第一、福島第二、茨城及び新潟）とに分けて詳述する。

・東電福島第一原発事故由来の放射性セシウムとして ^{134}Cs が検出されなかった海域

「1. 海洋放射能調査海域周辺での調査」で得られた北海道、青森、静岡、石川、福井第一、福井第二、島根、愛媛、鹿児島、佐賀及び核燃海域では、海底土試料に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度が ND~5.2Bq/kg-乾燥土の範囲にあった。この濃度変動は海底土試料の粒径に依存することがこれまでの調査研究で明らかになっている^{2, 5)}。本調査において、海底土試料中の50%粒径または75 μm 通過質量率と ^{137}Cs の放射能濃度との関係をそれぞれ、図 I -2-2-3-2 及び図 I -2-2-3-3 に示した。50%粒径が0.1~0.5mmである場合、 ^{137}Cs の放

射能濃度は低い範囲で推移しているものの、0.1mm未満である場合には粒径の減少に伴い、 ^{137}Cs の放射能濃度が増加する傾向である。同様に、 $75\mu\text{m}$ 通過質量率と ^{137}Cs の放射能濃度との関係について、 $75\mu\text{m}$ 通過質量率が増加するに伴って ^{137}Cs の放射能濃度も増加し、両者は強い相関関係($r=0.75$)を示した。 ^{137}Cs の放射能濃度は有機物濃度の間にも強い相関関係が得られた(図I-2-2-3-4)が、海底土試料の粒径は有機物濃度との相関関係が強いことも分かっており(図I-2-2-3-5)、 ^{137}Cs の放射能濃度は海底土の粒径と有機物濃度の両者によって左右されていることが分かった。

平成30年度において、佐賀及び鹿児島海域において採取した海底土試料に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度が低い、または不検出となることが多いのは、海底土の粒径が大きく有機物濃度が低いことが要因となっていると考えられる。従って、海底土の粒径が大きく有機物濃度が低い海域では ^{137}Cs の放射能濃度が低い、もしくは検出下限値以下となる傾向があり、粒径及び有機物濃度は ^{137}Cs の放射能濃度の変動を把握する上で重要なパラメータである。

また、他の元素との関係について、強い相関関係($r>0.7$)を示したのはCu、Pb及びUであった。この傾向は平成29年度での結果と同じであるが、 ^{137}Cs とこれらの元素とが強い相関関係を示した要因は不明であるものの、これらの元素は粒径、有機物濃度と同様に ^{137}Cs の放射能濃度の変動を把握する上で有用なパラメータであることが分かった。一方、セシウム(安定核種である ^{133}Cs)の元素濃度と ^{137}Cs の放射能濃度とは弱い相関関係を示した。これは、 ^{133}Cs は海底土中の粒子生成過程において元来含まれていると考えられる。その一方、 ^{137}Cs は土壌粒子の表面を中心に吸着しており、両者の存在形態が異なることが要因である⁵⁾。

・東電福島第一原発事故由来の放射性セシウムとして ^{134}Cs が検出された海域

「1. 海洋放射能調査海域周辺での調査」で得られた宮城、福島第一、福島第二、茨城及び新潟海域では、海底土試料に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度が $2.7\sim 43\text{Bq/kg}$ -乾燥土の範囲であった。この濃度変動を解析するために、海底土試料中の50%粒径または $75\mu\text{m}$ 通過質量率と ^{137}Cs の放射能濃度との関係をそれぞれ、図I-2-2-3-6及び図I-2-2-3-7に示した。これらの海域においては、粒径と ^{137}Cs の放射能濃度との間に関係性は見られなかった。また、 ^{137}Cs の放射能濃度と有機物濃度の間に関係性がなかったものの(図I-2-2-3-8)、粒径は有機物濃度との負の相関関係が強かった(図I-2-2-3-9)。また、他の元素との関係について、強い相関関係($r>0.7$)を示した元素は無かった。これらの結果は、平成29年度の本調査結果と同じであった。

これらの海域における放射性セシウムの放射能濃度は、東電福島第一原発事故直後に漏洩した放射性セシウムの時空間的な濃度変動に左右され、必ずしも ^{137}Cs の放射能濃度と海底土試料の性状に密接な関連性は見られなかった。この要因として、事故当初の海洋への放射性セシウムの放出履歴(海底土への沈着量の違い)が未だに影響を与えていると考

えられる。それに加えて、海底土中で起こる生物攪乱、再懸濁や海流による水平移動、化学的性状を反映して複雑な挙動を示している^{5,6,7,8)}。次項のii. 放射性粒子では、近年明らかとなった放射性粒子に含まれる¹³⁷Csの放射能濃度への寄与について述べる。

表 I-2-2-3-2 (1) 海底土試料の性状

海域	測点	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	泥質	75 μm 通過質量	50%粒径	有機炭素	有機窒素	Al	Mn	Fe
		(Bq/kg-乾燥)			(%)	(mm)	(mg/g)	(mg/g)	(%)	(%)	(%)
北海道	1	ND	2.3	泥	65.7	0.054	16.2	1.7	3.0	0.40	1.6
北海道	2	ND	3.5	泥	95.4	0.020	24.4	2.7	2.7	0.33	1.4
北海道	3	ND	5.1	泥	93.3	0.017	29.1	3.4	2.8	0.31	1.4
北海道	4	ND	1.1	粗砂混じり中細砂	12.3	0.406	8.0	1.0	3.1	0.73	2.0
青森	1	ND	2.9	泥	59.2	0.044	22.5	2.9	2.7	0.31	1.4
青森	2	ND	3.6	泥	70.8	0.037	23.7	3.1	2.6	0.30	1.3
青森	3	ND	ND	泥混じり中細砂	8.5	0.214	2.2	0.3	3.1	0.75	2.1
青森	4	ND	3.3	泥	70.5	0.037	25.3	3.3	2.6	0.29	1.3
宮城	1	ND	4.5	泥混じり中細砂	38.7	0.163	4.0	0.5	2.5	1.00	2.2
宮城	2	ND	3.7	泥混じり中細砂	32.2	0.117	4.7	0.6	2.9	0.68	1.7
宮城	3	ND	4.0	泥混じり中細砂	31.1	0.152	4.1	0.6	2.4	1.24	2.5
宮城	4	ND	6.1	泥混じり中細砂	18.1	0.248	3.3	0.5	2.9	0.73	1.9
福島第一	1	2.4	22	泥混じり中細砂	16.9	0.313	6.6	0.9	2.5	0.35	1.2
福島第一	2	3.0	27	中細砂混じり泥	39.6	0.104	4.8	0.7	2.6	0.43	1.5
福島第一	3	4.0	40	中細砂混じり泥	29.3	0.171	9.9	1.3	2.9	0.45	1.5
福島第一	4	1.6	22	中細砂混じり泥	50.4	0.073	6.8	1.0	2.7	0.59	2.4
福島第二	1	1.3	16	中細砂混じり泥	46.3	0.084	5.9	0.9	2.9	0.61	3.5
福島第二	2	1.0	14	中細砂混じり泥	35.2	0.123	10.0	1.3	2.7	0.59	3.1
福島第二	3	2.5	31	中細砂混じり泥	36.3	0.151	7.1	1.0	2.8	0.71	4.6
福島第二	4	1.2	13	泥混じり中細砂	18.5	0.295	4.5	0.7	2.5	0.94	4.2
茨城	1	5.0	43	中細砂混じり泥	50.7	0.074	9.9	1.1	2.7	0.35	1.3
茨城	2	2.4	22	中細砂混じり泥	26.6	0.168	4.6	0.6	2.8	0.60	1.9
茨城	3	1.0	15	泥混じり中細砂	17.3	0.164	3.9	0.5	2.6	0.44	1.5
茨城	4	1.3	17	中細砂混じり泥	35.5	0.120	5.4	0.7	2.9	0.41	1.6
静岡	1	ND	ND	泥混じり中細砂	16.6	0.157	1.6	0.3	3.1	0.39	1.3
静岡	2	ND	1.4	泥混じり中細砂	37.5	0.102	2.2	0.4	3.1	0.35	1.6
静岡	3	ND	2.2	泥	67.7	0.042	7.1	1.0	3.8	0.36	1.6
静岡	4	ND	1.6	泥	86.4	0.028	8.6	1.1	3.9	0.37	1.7
新潟	1	ND	9.8	泥	99.6	0.002	20.7	2.7	4.5	0.34	3.4
新潟	2	ND	8.9	泥	99.7	0.013	23.5	3.1	4.8	1.01	3.5
新潟	3	ND	8.3	泥	99.5	0.007	24.5	3.2	4.7	1.31	3.3
新潟	4	ND	2.7	中細砂混じり泥	46.3	0.096	6.5	0.9	4.1	0.32	6.7
石川	1	ND	1.9	中細砂混じり泥	63.5	0.050	7.8	1.0	4.0	0.30	2.0
石川	2	ND	1.9	中細砂混じり泥	59.2	0.057	6.3	0.9	3.8	0.28	2.0
石川	3	ND	1.4	中細砂混じり泥	51.5	0.073	3.8	0.5	3.8	0.31	1.9
石川	4	ND	ND	泥混じり中細砂	33.9	0.191	1.9	0.3	3.5	0.27	1.6
福井第一	1	ND	2.9	中細砂混じり泥	85.4	0.020	25.4	3.0	4.7	0.36	2.8
福井第一	2	ND	5.0	泥	99.7	0.012	33.4	4.2	5.5	0.34	3.0
福井第一	3	ND	0.87	泥混じり中細砂	27.9	0.161	6.3	0.7	4.6	0.38	2.6
福井第一	4	ND	4.2	泥	99.7	0.009	13.3	1.6	3.9	0.35	2.6
福井第二	1	ND	1.3	中細砂混じり泥	53.9	0.054	8.4	1.1	4.9	0.40	2.7
福井第二	2	ND	3.3	泥	94.1	0.020	23.1	2.7	5.2	0.39	2.6
福井第二	3	ND	2.0	泥	90.1	0.018	20.7	2.5	6.0	0.38	2.7

ND は検出下限以下を示す。

表 I -2-2-3-2 (2) 海底土試料の性状

海域	測点	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	泥質	75 μ m 通過質量	50%粒径	有機炭素	有機窒素	Al	Mn	Fe
		(Bq/kg-乾燥)			(%)	(mm)	(mg/g)	(mg/g)	(%)	(%)	(%)
福井第二	4	ND	2.2	中細砂混じり泥	79.9	0.025	13.0	1.5	7.0	0.44	3.1
島根	1	ND	ND	泥混じり中細砂	6.9	0.400	2.5	0.4	2.4	0.15	0.7
島根	2	ND	ND	泥混じり中細砂	17.3	0.237	1.0	0.2	2.7	0.15	0.8
島根	3	ND	0.78	泥混じり中細砂	30.4	0.241	9.9	1.2	2.8	0.18	1.0
島根	4	ND	0.86	泥混じり中細砂	39.1	0.105	8.2	1.0	3.4	0.27	1.3
愛媛	1	ND	1.1	泥混じり中細砂	13.8	0.175	3.9	0.6	4.5	0.56	3.7
愛媛	2	ND	1.1	泥混じり中細砂	20.0	0.145	3.5	0.5	4.1	0.52	3.2
愛媛	3	ND	ND	泥混じり中細砂	18.1	0.139	5.5	0.8	5.5	0.64	2.8
愛媛	4	ND	0.69	泥混じり中細砂	3.0	0.178	4.2	0.5	5.7	0.83	2.8
佐賀	1	ND	ND	泥混じり中細砂	13.2	0.160	5.2	0.7	3.6	0.24	1.3
佐賀	2	ND	ND	中細砂混じり粗砂	1.2	0.526	0.5	0.1	2.8	0.15	1.1
佐賀	3	ND	0.83	粗砂混じり中細砂	11.2	0.349	2.2	0.3	2.7	0.15	1.0
佐賀	4	ND	0.67	泥混じり中細砂	21.5	0.165	12.0	1.5	2.9	0.18	1.4
鹿児島	1	ND	ND	泥混じり中細砂	1.6	0.304	0.9	0.2	4.7	0.32	1.7
鹿児島	2	ND	ND	泥混じり中細砂	2.8	0.273	1.9	0.3	3.3	0.30	1.3
鹿児島	3	ND	ND	泥混じり中細砂	29.1	0.136	5.2	0.6	2.6	0.29	1.1
鹿児島	4	ND	ND	泥混じり中細砂	30.8	0.130	5.8	0.7	3.4	0.33	1.4
核燃	1	ND	1.2	泥混じり中細砂	9.1	0.780	6.6	0.8	4.1	0.54	2.4
核燃	2	ND	ND	中細砂	2.2	0.193	1.2	0.2	6.0	0.86	3.6
核燃	3	ND	ND	泥混じり中細砂	8.4	0.179	2.1	0.3	6.4	0.76	3.5
核燃	4	ND	0.51	中細砂	1.8	0.177	0.8	0.2	6.6	0.88	4.3
核燃	5	ND	0.56	中細砂	2.3	0.249	1.5	0.3	8.0	0.64	2.5
核燃	6	ND	0.68	泥混じり中細砂	3.6	0.220	2.1	0.4	7.6	0.57	2.7
核燃	7	ND	0.70	泥混じり中細砂	5.3	0.191	6.2	0.9	6.3	0.58	2.3
核燃	8	ND	0.84	泥混じり中細砂	13.6	0.182	4.3	0.7	7.4	0.82	3.9
核燃	9	ND	2.4	泥	72.5	0.025	18.3	2.5	6.3	0.40	2.9
核燃	10	ND	4.3	泥	91.1	0.006	29.2	4.0	5.8	0.34	2.6
核燃	11	ND	0.66	泥混じり中細砂	7.7	0.176	3.3	0.6	7.7	0.77	3.3
核燃	12	ND	3.2	泥	86.5	0.014	22.7	3.1	6.0	0.41	2.6
核燃	13	ND	4.3	泥	92.8	0.013	27.6	3.8	6.0	0.34	2.5
核燃	14	ND	2.4	泥	44.8	0.085	16.2	2.3	6.5	0.45	2.9
核燃	15	ND	1.8	泥	74.0	0.010	21.8	3.1	4.3	0.36	2.2
核燃	16	ND	3.6	泥	74.6	0.011	21.4	2.8	5.3	0.39	2.4
核燃	17	ND	1.0	泥混じり中細砂	6.8	0.177	3.8	0.5	6.0	0.61	2.7
核燃	18	ND	ND	泥混じり中細砂	11.0	0.170	3.9	0.6	5.9	0.62	2.7
核燃	19	ND	0.64	泥混じり中細砂	4.3	0.186	2.9	0.5	5.1	0.58	2.4
核燃	20	ND	ND	泥混じり中細砂	17.2	0.118	4.5	0.7	4.8	0.48	2.2
核燃	21	ND	ND	泥混じり中細砂	6.4	0.186	2.6	0.4	4.6	0.99	3.3
核燃	22	ND	1.2	泥混じり中細砂	13.0	0.144	4.4	0.6	5.2	0.44	2.1

ND は検出下限以下を示す。

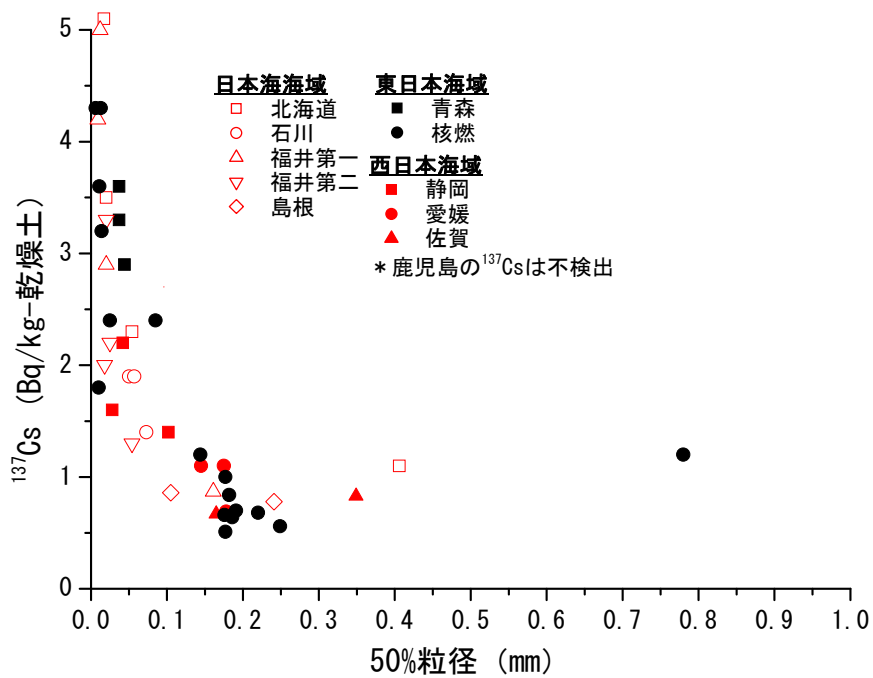


図 I-2-2-3-2 海底土試料中の 50% 粒径と ¹³⁷Cs の放射能濃度との関係

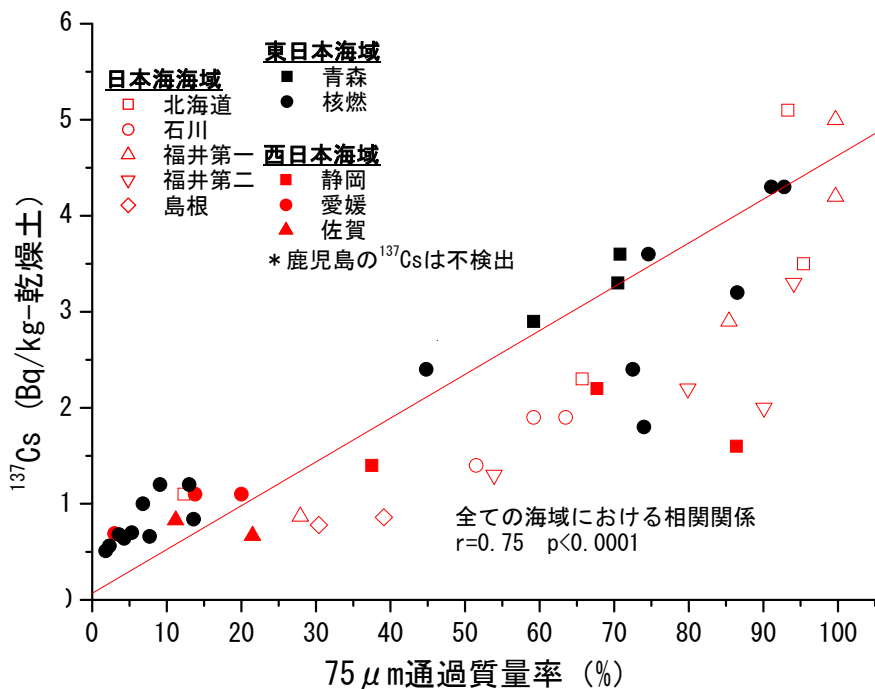


図 I-2-2-3-3 海底土試料中の 75 μm 通過質量率と ¹³⁷Cs の放射能濃度との関係

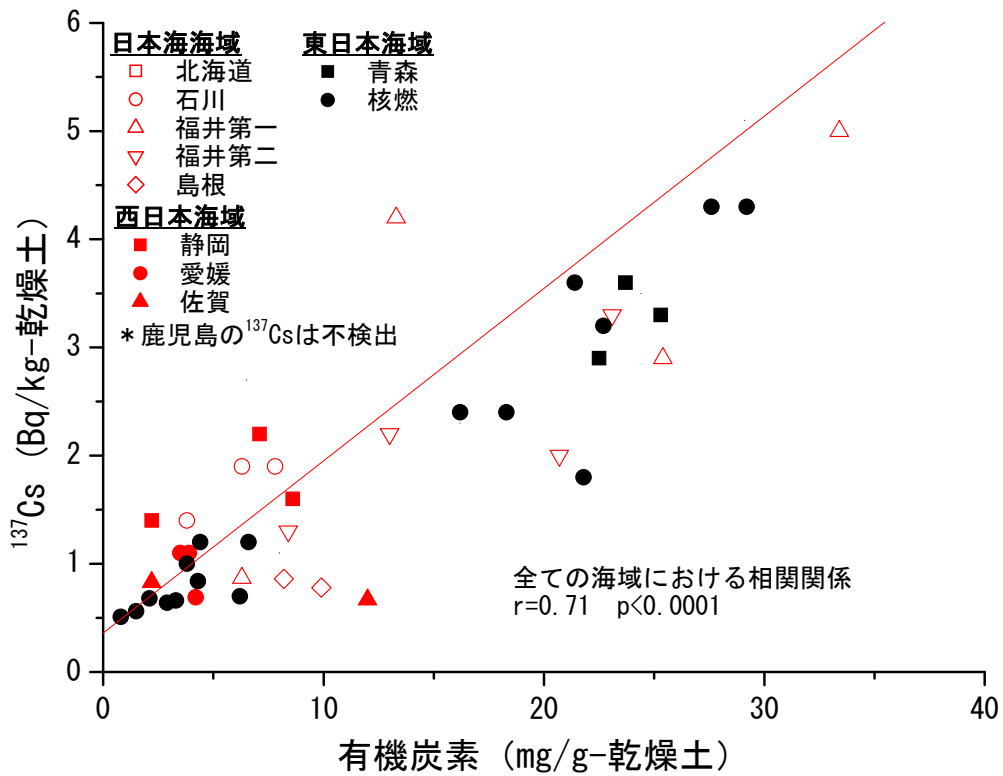


図 I-2-2-3-4 海底土試料中の有機炭素濃度と ¹³⁷Cs の放射能濃度の関係

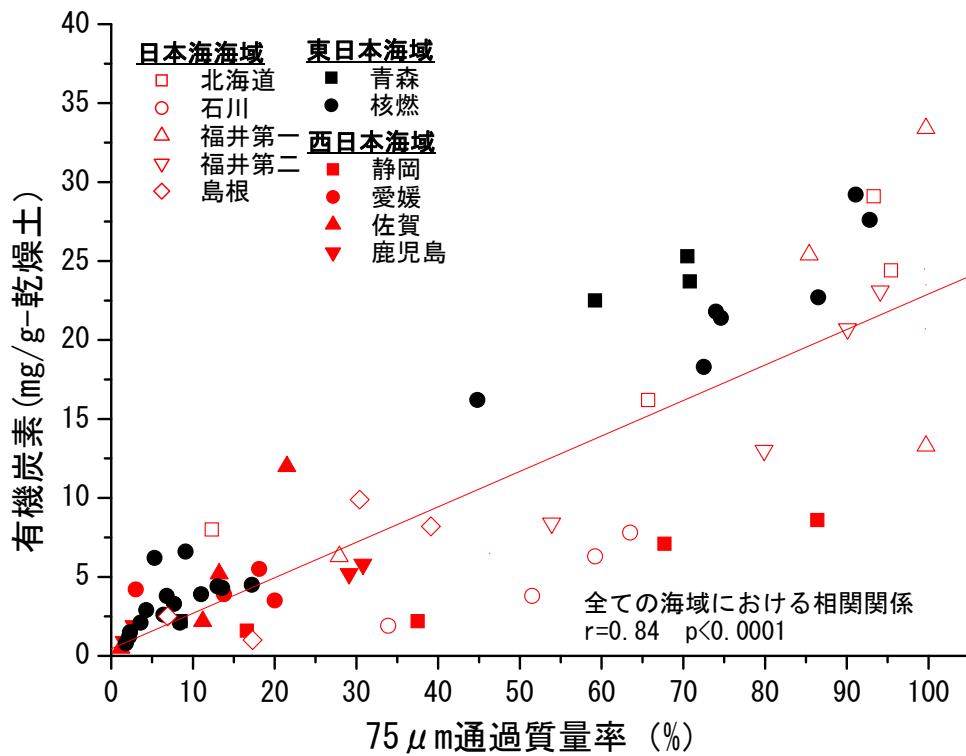


図 I-2-2-3-5 海底土試料中の75 μm通過質量率と有機炭素濃度の関係

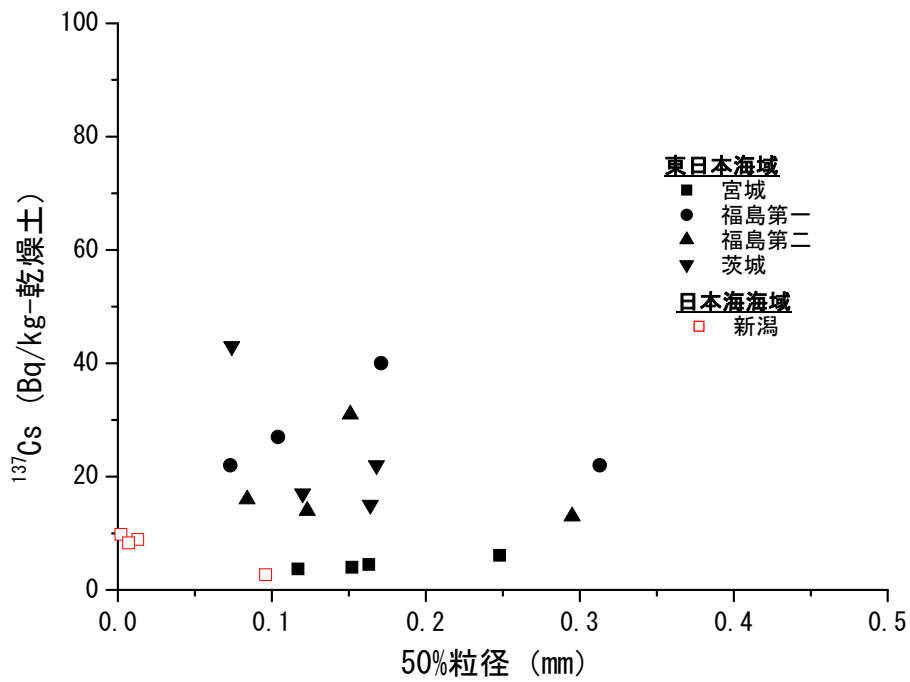


図 I-2-2-3-6 海底土試料中の 50% 粒径と ^{137}Cs の放射能濃度の関係

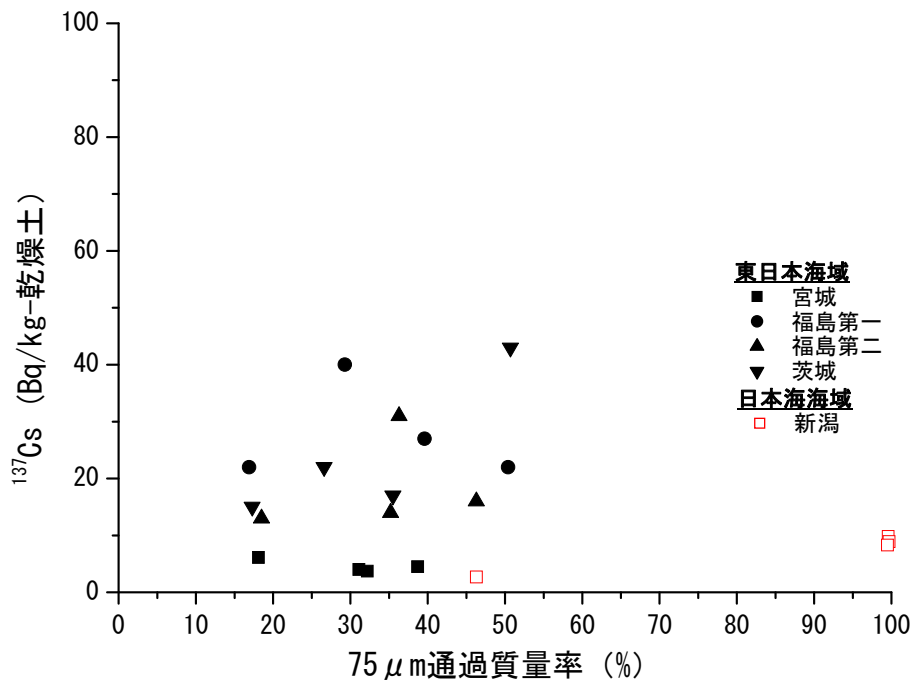


図 I-2-2-3-7 海底土試料中の 75 μm 通過質量率と ^{137}Cs の放射能濃度の関係

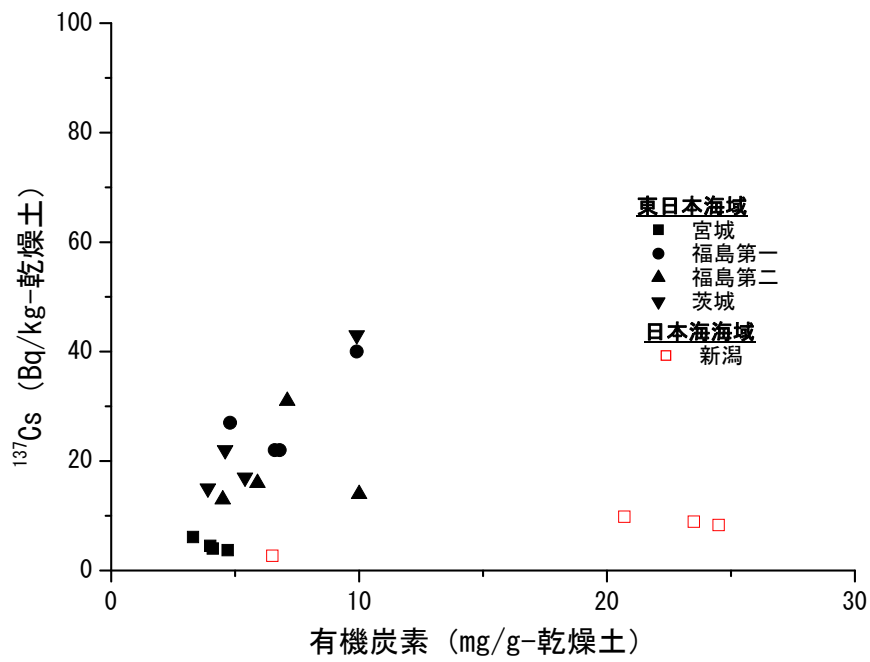


図 I -2-2-3-8 海底土試料中の有機炭素濃度と ¹³⁷Cs の放射能濃度の関係

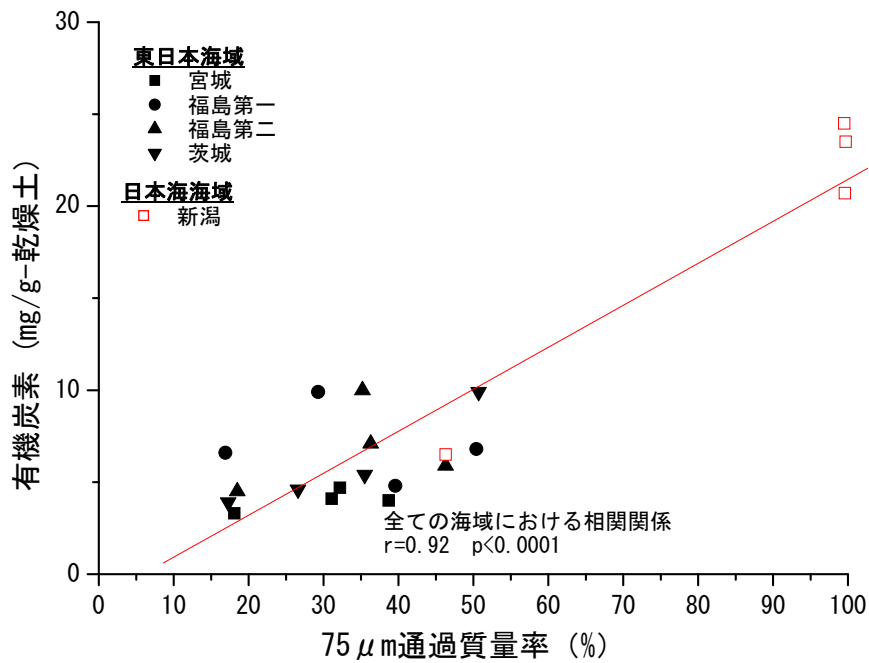


図 I -2-2-3-9 海底土試料中の 75 μm 通過質量率と有機炭素濃度の関係

ii. 海底土中の放射性粒子

本事業の調査海域として設定した原子力発電所等周辺海域（図 I-2-1 参照）のうち、宮城、福島、茨城及び新潟海域で採取した海底土試料に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度は、東電福島第一原発事故後に一時的に上昇したものの、その後は減少傾向にある。しかしながら、これらの海域の海底土試料に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度は、測点間において均一でなく、ある程度の違いが見られたほか、同じ測点でも時系列的に変動している。また、平成 27 年度には、福島第一及び福島第二海域において、東電福島第一原発事故以降、最も高い値が観測された。このような地理的及び時系列的なばらつきは、曳航式ガンマ線計測装置を用いて海底面の放射性物質を連続的に計測した調査において、海底土に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度が周囲より局所的に高い場所が数メートルから数百メートルに及ぶ範囲内で観測されている⁹⁾。

東電福島第一原発事故直後の各海域の海底土の放射性セシウム^{※1}濃度の分布は、事故直後の汚染水の経路（放射性セシウムを多量に含む汚染水が海底土の上を通ったかどうか）と各海域の海底土の粒径に応じていたと考えられる¹⁰⁻¹²⁾。その後の放射性セシウムの放射能濃度分布は、海底土の再懸濁と水平移動あるいは海底土からの溶出・脱着など、主として海底土の性状の違いに起因することが分かってきているものの¹³⁾、海底土の性状の違いのみで明確に説明できるわけではない。近年では東電福島第一原発事故後の大気中の浮遊塵や陸域の土壌粒子からは周りの粒子に比べて、放射性セシウムを多く含む粒子の存在が報告されている^{14, 15)}。このような粒子は、主としてイメージングプレート（IP；放射線写真法）を用いて確認されたもので、放射能の総量が微量であっても局所的な点状放射能分布の計測に適した方法によるものである。この方法により放射線を黒点として確認された粒子は「radioactive particles（放射性粒子）」と言われている^{14, 15)}。海洋環境中にもこのような放射性粒子が存在することが示唆されており^{16, 17)}、実際のところこれまでに確認されたものについて、放射性セシウムでは 1 粒子あたりの放射能で数 Bq 程度であることが分かっている¹⁴⁾。

本事業の海洋放射能調査を実施するに当たり、海底土試料にこのような粒子が存在すると過度に高い放射能濃度が観測されることがあるなど、正確なモニタリング結果を得られない可能性がある。そこで、平成 30 年度の海洋放射能調査海域周辺でのモニタリング結果を評価する際の補完として、原子力発電所等周辺海域の海底土試料を調査し、 ^{137}Cs の放射能濃度のばらつきに放射性粒子が関与しているか否かを検討した。

本調査では、試料中の放射性粒子の有無を確認するため、IP を用いた計測を行った。IP は、通常のエックス線フィルムの千倍にも及ぶ高い感度を有する。なお、本調査においても、「IP に反応した試料中の放射性粒子のこと」を「放射性粒子」と呼ぶこととする。

※1 この単元で言う「放射性セシウム」とは ^{134}Cs と ^{137}Cs を指す。

(i) 方法

平成30年5月～6月に原子力発電所等周辺海域で採取した海底土試料に含まれる放射性セシウムについて放射能分析した結果から、比較的放射能濃度の高い福島第一海域で採取した海底土試料のなかの柱状試料を選択し、放射性粒子の有無を調査した。また、比較検討用として、東電福島第一原発周辺沖合海域で採取した海底土試料のうち、¹³⁷Csの放射能濃度が高い平成23年9月の海底土試料についても併せて調査した。

放射性粒子の調査に用いた海底土試料の一覧を表I-2-2-3-3に示す。表中の放射性セシウムの放射能濃度はいずれも試料採取日に減衰補正した値である。

表I-2-2-3-3 海底土試料に含まれる放射性セシウムの放射能濃度

採取海域 と測点	採取日	採取層 (cm)	乾燥重量 (g)	¹³⁴ Cs (Bq/kg-乾燥土)	¹³⁷ Cs (Bq/kg-乾燥土)	¹³⁴ Cs/ ¹³⁷ Cs 放射能比
福島第一 測点3	2018/6/18	0.0-1.5	114.9	2.9 ± 0.2	28 ± 1	0.11
		1.5-3.0	122.4	9.2 ± 0.4	96 ± 1	0.10
		3.0-4.5	127.6	5.4 ± 0.3	56 ± 1	0.10
		4.5-6.0	127.0	3.8 ± 0.3	43 ± 1	0.09
		6.0-8.0	126.5	3.3 ± 0.2	33 ± 1	0.10
沖合 測点D1	2011/9/13	0.0-3.0	319.6	500 ± 2	580 ± 1	0.86

(¹³⁴Cs と ¹³⁷Cs の放射能濃度は試料採取日に減衰補正した値)

海底土試料に含まれる放射性粒子の分け取りと放射性セシウムの存在量を計算するに当たっては Ikenoue *et al.*¹⁷⁾の方法によって実施し、併せて放射性粒子の分け取りの方法を概略図として図I-2-2-3-10に示す。

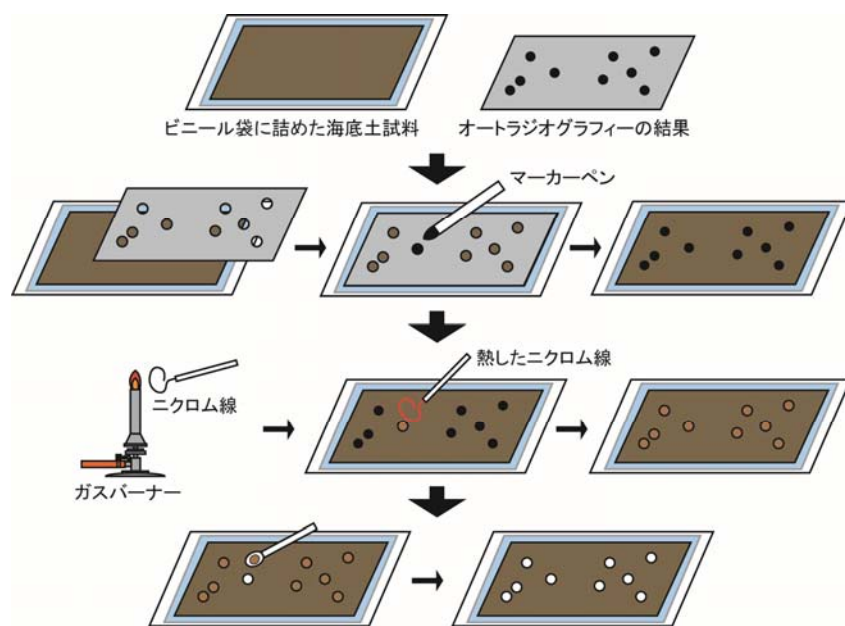


図 I-2-2-3-10 海底土試料から放射性粒子を分け取る際の概略図

放射性セシウムの放射能濃度について測定済みの海底土試料をビニール袋に詰め、IPを用いたオートラジオグラフィを行った。オートラジオグラフィで得られた画像は放射線量に応じて濃淡が付くものになっており、海底土試料の中で相対的に放射能の高い部分が黒い点で表現される。オートラジオグラフィで得られた画像は黒点部分の判別が明確になされるようにコントラストを調整し、黒点部分を放射性粒子として判別した。オートラジオグラフィの結果を実物大に印刷し、黒点部分に穴を空けたうえで試料に重ね合わせ、マーカーペン等で印を付けた。この印を付けた部分のビニールを熱したニクロム線で切り取り、その下に存在する放射性粒子を取り残しのないように周囲の海底土試料も含め小型の匙（スパチュラ等）を用いて取り除いた。残った海底土試料を放射性粒子の混在しない残試料とした。

残試料に含まれる放射性セシウムの放射能濃度はゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメトリーにより定量した。残試料が小型円筒形容器（いわゆる「U8容器」、直径5cm×高さ5cm）一つに収まらない場合は残試料を複数の小型円筒形容器に分けてそれぞれ放射性セシウムの放射能濃度を求め、残試料の平均値とその標準偏差を残試料の測定値とその誤差として定義した。なお、放射性粒子の重量は試料全体の重量に対して無視できるほど小さいため、放射性粒子を除く海底土試料に含まれる放射性セシウムの存在量は、残試料の放射性セシウムの放射能濃度に試料全体の重量を乗ずることで得られる。放射性粒子に由来する ^{137}Cs の存在量は、試料全体の ^{137}Cs 存在量と放射性粒子を除く試料中の ^{137}Cs 存在量の間の差として求めた。

(ii) 結果

a. 残試料に含まれる放射性セシウムの放射能濃度

残試料に含まれる放射性セシウムの放射能濃度の測定結果を表 I -2-2-3-4 に示す。測定結果はいずれも試料採取日に減衰補正した値である。

残試料に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度は、福島第一海域測点 3 で採取した柱状の海底土試料を表層から 1.5cm 毎に 5 層としたそれぞれについて、

0.0~1.5cm : 26 ± 1 (Bq/kg-乾燥土)

1.5~3.0cm : 27 ± 1 (Bq/kg-乾燥土)

3.0~4.5cm : 38 ± 1 (Bq/kg-乾燥土)

4.5~6.0cm : 41 ± 1 (Bq/kg-乾燥土)

6.0~8.0cm : 30 ± 1 (Bq/kg-乾燥土)

であった。

また、5 層に分割して測定した沖合海域測点 D1 の残試料に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度の平均値とその標準偏差は 426 ± 23 (Bq/kg-乾燥土) であり、分割試料の間で値のばらつきは小さく概ね一定の値を示した。

表 I -2-2-3-4 残試料に含まれる放射性セシウムの放射能濃度

採取海域と 測点	採取層 (cm)	分割試料 No.	乾燥重量 (g)	^{134}Cs (Bq/kg-乾燥土)	^{137}Cs (Bq/kg-乾燥土)	$^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比
福島第一 測点 3	0.0-1.5	-	110.13	2.0 ± 0.2	26 ± 1	0.08
	1.5-3.0	-	116.14	3.1 ± 0.3	27 ± 1	0.11
	3.0-4.5	-	120.31	3.6 ± 0.2	38 ± 1	0.10
	4.5-6.0	-	123.40	4.0 ± 0.2	41 ± 1	0.10
	6.0-8.0	-	124.07	3.1 ± 0.2	30 ± 1	0.10
沖合 測点 D1	0.0-3.0	1	79.15	352 ± 6	420 ± 2	0.84
		2	77.77	357 ± 6	420 ± 2	0.85
		3	70.83	340 ± 7	424 ± 2	0.80
		4	69.09	388 ± 8	465 ± 3	0.83
		5	19.19	361 ± 13	403 ± 4	0.90
		平均		360 ± 18	426 ± 23	0.84

b. 海底土試料中の放射性粒子の存在

放射性粒子を除く前と後の海底土試料に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度の変化を図 I -2-2-3-11 と図 I -2-2-3-12 に示す。

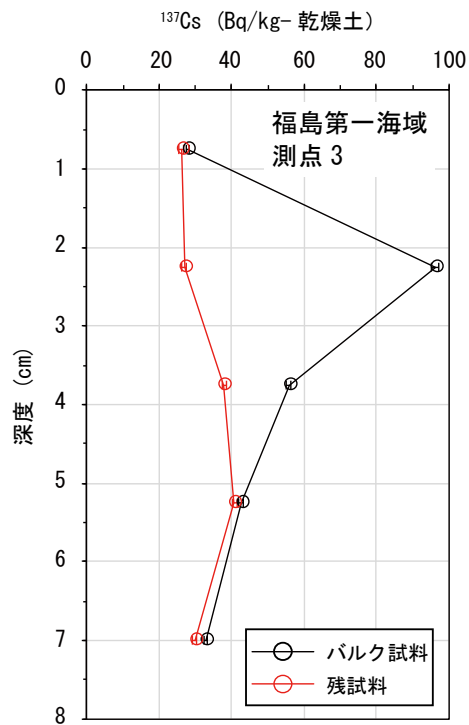


図 I -2-2-3-11 放射性粒子を除く前と後の海底土試料に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度の鉛直分布の変化

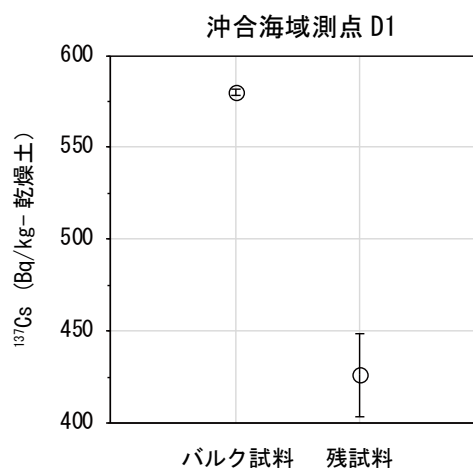


図 I -2-2-3-12 放射性粒子を除く前と後の海底土試料に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度の変化

福島第一海域の測点3で採取した海底土試料について、放射性粒子を除いた後、採取層1.5～3.0cmと3.0～4.5cmでそれぞれ69 (Bq/kg-乾燥土) 及び18 (Bq/kg-乾燥土) の¹³⁷Cs濃度の減少が見られたが、その他の採取層では、前後で大きな変化は見られなかった。また、沖合海域測点D1の表層海底土(0.0～3.0cm)では放射性粒子を除いた後、154 (Bq/kg-乾燥土) の¹³⁷Csの放射能濃度の減少が見られた。

各測点の試料全体(いわゆるバルク試料)に含まれる放射性セシウムの存在量と、それらを放射性粒子とそれ以外の残試料に分けた場合の放射性セシウムの存在量を表I-2-2-3-5に示す。東電福島第一原発事故当時の¹³⁴Cs/¹³⁷Cs放射能比を1とした場合、各試料中の放射性粒子全体の¹³⁴Cs/¹³⁷Cs放射能比は、放射性粒子として東電福島第一原発事故に由来することを示していた。

試料全体に含まれる¹³⁷Csの存在量に対する放射性粒子の寄与の割合は、福島第一海域測点3の採取層1.5～3.0cmと3.0～4.5cmでそれぞれ72%及び31%であった。また、沖合海域測点D1の海底土表層0.0～3.0cmにおける放射性粒子の寄与の割合は26%であった。

以上のような高い寄与の割合から、試料中の放射性粒子の存在と分布は海底土試料に含まれる¹³⁷Csの放射能濃度を変動させる要因の一つであることが確認された。

表I-2-2-3-5 海底土試料全体、残試料及び放射性粒子に含まれる放射性セシウムの存在量

採取 海域 と測点	採取層 (cm)	試料全体		残試料		放射性粒子		
		¹³⁴ Cs (Bq)	¹³⁷ Cs (Bq)	¹³⁴ Cs (Bq)	¹³⁷ Cs (Bq)	¹³⁴ Cs (Bq)	¹³⁷ Cs (Bq)	¹³⁴ Cs/ ¹³⁷ Cs 放射能比
福島 第一 測点3	0.0-1.5	0.34 ± 0.02	3.2 ± 0.1	0.24 ± 0.03	3.0 ± 0.1	-*	-	-
	1.5-3.0	1.12 ± 0.04	11.8 ± 0.1	0.38 ± 0.03	3.3 ± 0.1	0.74 ± 0.05	8.47 ± 0.14	0.09
	3.0-4.5	0.69 ± 0.03	7.1 ± 0.1	0.47 ± 0.03	4.9 ± 0.1	0.22 ± 0.04	2.21 ± 0.11	0.10
	4.5-6.0	0.48 ± 0.03	5.4 ± 0.1	0.51 ± 0.03	5.3 ± 0.1	-	-	-
	6.0-8.0	0.42 ± 0.03	4.2 ± 0.1	0.40 ± 0.03	3.8 ± 0.1	-	0.33 ± 0.09	-
沖合 測点D1	0.0-3.0	159.8 ± 0.5	185.4 ± 0.4	114.9 ± 5.6	136.2 ± 7.3	44.9 ± 5.7	49.1 ± 7.3	0.91

* 放射性粒子の取り出し前後で、¹³⁷Csの放射能濃度の差が誤差の3倍を超えなかった試料については定量しなかった。

本調査で試料全体から取り除いた放射性粒子は残試料に比べ相対的に¹³⁷Csを濃縮した粒子であったが、その全体像は未だ明らかではない。これまでにIPを用いて環境試料中から見出された放射性粒子のうち元素組成や形態が報告されているものは、シリカガラス(主

たる構成（組成）として SiO_2 ）にセシウムが主要元素として溶け込んだ直径数マイクロメートルの球形のもの^{14, 18, 19}や、同じくシリカガラスではあるものの、直径が数百マイクロメートルかつ不定形のもの²⁰、あるいは層状ケイ酸塩鉱物に ^{137}Cs が吸着して濃縮したもの²¹等さまざまである。海底土中に観察される放射性粒子については研究・報告がなされた例がほとんどなく、海洋環境放射能についてのモニタリングを継続しつつ、このような粒子の存在に留意して今後も各種の調査を行う必要がある。

iii. 放射性セシウムの鉛直分布

「1. 海洋放射能調査海域周辺での調査」による海底土の表面から3cmまでの層における放射性セシウムの放射能濃度は時空間的な変動を示している⁴。放射性セシウムの表層における放射能濃度分布からも水平的には把握できるが、深度方向のデータが乏しい。ここでは、全国の発電所海域における放射性セシウムの鉛直分布を示し、その傾向を明らかにするとともに、海底土に含まれる蓄積量を見積もる際の補完データとする。

(i) 方法

海底土の柱状試料は、福島第一、福島第二海域及び新潟海域においては全測点、静岡海域は測点4、その他の海域においては測点2において採取を行った（表I-2-2-3-7）。採取にはマルチプルコアラーもしくはボックスコアラーを用いた。放射能測定用に十分な量を確保するために、採取は2～3回行った。採取後の海底土は表面から深さ6cmまでの層では1.5cm毎、6～10cmの層では2cm毎、10cm以深の層では3cm毎の厚さで試料を分割・採取した。放射能分析に供する試料は、それぞれ約2kgずつ採取し、分析まで適切に冷凍保管した。試料はその後105℃で乾燥させ、2mm孔径のふるいにかけて、プラスチック容器（390～400cc）に詰めてゲルマニウム半導体検出器で80,000～200,000秒間、放射性セシウムを測定した。なお、 ^{134}Cs 及び ^{137}Cs の放射能分析の実施に当たって目標とした検出下限値は、それぞれ0.3Bq/kg乾燥土以下とした。

(ii) 結果

柱状試料に含まれる放射性セシウムの放射能分析結果を表I-2-2-3-8に、 ^{137}Cs の鉛直分布を図I-2-2-3-19に示す。また、結果については東日本海域（青森、宮城、福島第一、福島第二、茨城）、西日本海域（静岡、愛媛、鹿児島、佐賀）及び日本海海域（島根、福井第一、福井第二、石川、新潟、北海道）に分けて詳述する。

東日本海域において、いくつかの海域で ^{134}Cs の放射能濃度が10cmよりも深い層から検出された。また、福島第一、福島第二及び茨城海域において、 ^{134}Cs と ^{137}Cs （平成23年3月11日に補正）の放射能比が表層から最深部まで約1であったことから、これらの海域の海底土から検出された放射性セシウムのほとんどは東電福島第一原発事故由来であること

が分かった。これらの鉛直分布は測点によって大きく異なっており、各測点での海底土の性状によるものと考えられる。一方、青森海域で採取した海底土試料から ^{134}Cs については検出することはできなかったが、 ^{137}Cs については表層から最深部まで検出された。これらの値は同海域の調査開始時（平成15年度）から東電福島第一原発事故前（平成22年度）の濃度範囲内（3.1～4.2Bq/kg-乾燥土）またはそれ以下であった。これらのことから、青森海域で検出された放射性セシウムは同事故前のものであることが考えられる。西日本海域において採取した海底土試料からは、 ^{134}Cs は検出されなかったが、 ^{137}Cs については全ての海域で表層3cm以上の深さまで検出された。ただし、これらのうち、佐賀海域においては、検出下限値をわずかに超える値であった。その要因として、「i. 放射性セシウムの放射能濃度変動と性状との関係」にて述べたが、放射性セシウムの放射能濃度は海底土の粒径に依存しており、50%粒径は佐賀海域が最も大きいことから、海域毎による ^{137}Cs の放射能濃度の鉛直分布が異なるのは、海底土の粒径によるものであることが分かった。

日本海海域においては、北海道、石川、福井第一、福井第二及び島根海域において ^{134}Cs が検出されておらず、新潟海域で ^{134}Cs が表層3cmよりも深い層でも検出された。この海域では猪苗代湖に沈着した東電福島第一原発事故由来の放射性セシウムが阿賀野川を經由して、その河口付近まで到達していることがわかっている⁷⁾。本調査における新潟海域も測点1及び2は同河川の河口から数十km圏内に位置し、Inoue *et al.*⁸⁾において ^{134}Cs が検出された海域内でもある。また、 ^{134}Cs について平成27～29年度の調査において既に10cmよりも深い層で検出されていることから、同事故数年後には表層から3cmよりも深い深度まで同事故由来の放射性セシウムが到達していることが分かった。また、 ^{137}Cs については、すべての海域で検出されており、表層から3cmよりも深い層で検出された。また、新潟海域においては、 ^{134}Cs と ^{137}Cs の放射能比が表層から最深部まで約0.5であり、この値は東日本海域に比べて低いことから、表層から3cmよりも深い層で検出された ^{137}Cs は同事故由来ではなく、1950～60年代に北半球を中心に盛んに実施された大気圏核爆発実験に由来するものと考えられる。

表 I -2-2-3-6 海底土試料の採取測点、位置及び採取水深

海域	測点	採取日	緯度		経度		水深 (m)
			(N)		(E)		
北海道	2	平成 30 年 6 月 4 日	43	5.0	140	16.0	410
青森	2	平成 30 年 6 月 6 日	41	12.9	141	40.0	661
宮城	2	平成 30 年 6 月 16 日	38	25.0	141	45.0	162
福島第一	1	平成 30 年 6 月 17 日	37	39.9	141	19.9	100
福島第一	2	平成 30 年 6 月 18 日	37	35.1	141	24.9	133
福島第一	3	平成 30 年 6 月 18 日	37	30.0	141	20.0	120
福島第一	4	平成 30 年 6 月 18 日	37	23.1	141	20.0	130
福島第二	1	平成 30 年 6 月 19 日	37	16.0	141	25.0	154
福島第二	2	平成 30 年 6 月 19 日	37	12.0	141	20.0	142
福島第二	3	平成 30 年 6 月 20 日	37	6.0	141	18.8	149
福島第二	4	平成 30 年 6 月 20 日	37	0.1	141	20.0	160
茨城	2	平成 30 年 6 月 21 日	36	24.9	140	50.9	119
静岡	4	平成 30 年 5 月 21 日	34	31.0	138	59.1	565
新潟	1	平成 30 年 5 月 10 日	37	56.0	138	37.0	364
新潟	2	平成 30 年 5 月 10 日	37	49.9	138	35.0	485
新潟	3	平成 30 年 5 月 9 日	37	44.0	138	27.0	513
新潟	4	平成 30 年 5 月 9 日	37	37.0	138	23.0	245
石川	2	平成 30 年 5 月 14 日	37	7.9	136	26.0	184
福井第一	2	平成 30 年 5 月 15 日	35	57.0	135	50.0	252
福井第二	2	平成 30 年 5 月 17 日	35	50.1	135	34.9	197
島根	2	平成 30 年 5 月 16 日	35	41.1	133	4.0	76
愛媛	2	平成 30 年 5 月 18 日	33	38.0	132	16.9	61
佐賀	2	平成 30 年 5 月 15 日	33	37.0	129	53.0	53
鹿児島	2	平成 30 年 5 月 16 日	31	45.0	130	0.9	82

表 I -2-2-3-7(1) 海底土の採取深度及び放射性セシウム濃度の鉛直結果

海域	測点	採取深度	¹³⁴ Cs	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³⁷ Cs
		(cm)	(Bq/kg-乾燥土)	誤差	(Bq/kg-乾燥土)	誤差
北海道	2	0.0-1.5	ND	—	3.21	0.15
		1.5-3.0	ND	—	3.24	0.16
		3.0-4.5	ND	—	3.76	0.15
		4.5-6.0	ND	—	3.77	0.16
		6.0-8.0	ND	—	3.78	0.15
		8.0-10.0	ND	—	3.10	0.15
		10.0-13.0	ND	—	2.60	0.14
		13.0-16.0	ND	—	1.77	0.12
		16.0-19.0	ND	—	1.36	0.09
青森	2	0.0-1.5	ND	—	2.89	0.13
		1.5-3.0	ND	—	3.14	0.14
		3.0-4.5	ND	—	3.04	0.14
		4.5-6.0	ND	—	2.78	0.14
		6.0-8.0	ND	—	3.25	0.15
		8.0-10.0	ND	—	2.93	0.14
		10.0-13.0	ND	—	3.34	0.14
		13.0-16.0	ND	—	2.48	0.14
		16.0-19.0	ND	—	0.65	0.11
宮城	2	0.0-1.5	ND	—	2.56	0.23
		1.5-3.0	ND	—	3.42	0.21
		3.0-4.5	ND	—	4.63	0.29
		4.5-6.0	0.54	0.13	5.42	0.29
		6.0-8.0	ND	—	4.17	0.23
		8.0-10.0	ND	—	3.25	0.31
		10.0-13.0	ND	—	1.48	0.22
福島第一	1	0.0-1.5	1.91	0.20	16.61	0.45
		1.5-3.0	3.39	0.24	32.13	0.62
		3.0-4.5	2.68	0.20	25.96	0.48
		4.5-6.0	1.73	0.19	17.46	0.48
		6.0-8.0	0.84	0.15	9.08	0.33
		8.0-10.0	0.83	0.16	8.21	0.32
福島第一	2	0.0-1.5	1.98	0.23	18.34	0.50
		1.5-3.0	2.01	0.22	23.05	0.56
		3.0-4.5	3.56	0.26	37.81	0.67
		4.5-6.0	2.27	0.23	23.67	0.47
		6.0-8.0	1.80	0.20	22.06	0.49
		8.0-10.0	0.84	0.15	8.71	0.28
		10.0-13.0	ND	—	4.87	0.29
		13.0-16.0	ND	—	3.17	0.21
		16.0-19.0	ND	—	1.42	0.21
		19.0-22.0	ND	—	1.13	0.20

ND は検出下限以下を示す。

表 I -2-2-3-7(2) 海底土の採取深度及び放射性セシウム濃度の鉛直結果

海域	測点	採取深度	^{134}Cs	^{134}Cs	^{137}Cs	^{137}Cs
		(cm)	(Bq/kg-乾燥土)	誤差	(Bq/kg-乾燥土)	誤差
福島第一	3	0.0-1.5	2.93	0.22	27.85	0.51
		1.5-3.0	9.15	0.36	96.32	1.02
		3.0-4.5	5.39	0.26	55.75	0.67
		4.5-6.0	3.78	0.26	42.66	0.68
		6.0-8.0	3.32	0.21	32.85	0.53
		8.0-10.0	1.32	0.27	16.60	0.73
		10.0-13.0	0.92	0.18	9.62	0.37
		13.0-16.0	0.40	0.14	6.44	0.30
		16.0-19.0	0.40	0.12	5.10	0.25
福島第一	4	0.0-1.5	2.35	0.25	20.97	0.53
		1.5-3.0	2.31	0.20	24.04	0.48
		3.0-4.5	2.85	0.24	33.13	0.62
		4.5-6.0	2.96	0.25	32.23	0.62
		6.0-8.0	2.59	0.23	26.73	0.51
		8.0-10.0	1.03	0.20	17.30	0.50
		10.0-13.0	1.26	0.23	11.70	0.36
		13.0-16.0	1.79	0.22	18.92	0.48
		16.0-19.0	ND	—	8.01	0.54
19.0-22.0	ND	—	2.09	0.44		
福島第二	1	0.0-1.5	0.70	0.15	9.98	0.33
		1.5-3.0	1.29	0.17	13.51	0.36
		3.0-4.5	1.51	0.19	15.67	0.39
		4.5-6.0	1.48	0.11	17.33	0.25
		6.0-8.0	3.23	0.59	19.83	1.03
		8.0-10.0	2.12	0.40	15.70	0.80
		10.0-13.0	1.26	0.23	13.93	0.41
福島第二	2	0.0-1.5	1.35	0.24	13.52	0.45
		1.5-3.0	1.03	0.16	14.37	0.36
		3.0-4.5	3.03	0.64	20.54	1.02
		4.5-6.0	2.24	0.22	22.66	0.48
		6.0-8.0	1.88	0.38	23.95	0.93
		8.0-10.0	1.89	0.22	17.81	0.45
		10.0-13.0	1.42	0.24	14.95	0.47
13.0-16.0	0.91	0.19	9.57	0.34		
福島第二	3	0.0-1.5	2.06	0.46	15.93	0.81
		1.5-3.0	1.61	0.42	14.71	0.83
		3.0-4.5	2.26	0.25	22.38	0.56
		4.5-6.0	1.70	0.23	17.18	0.43
		6.0-8.0	1.61	0.18	16.62	0.40
		8.0-10.0	1.05	0.25	11.55	0.41
		10.0-13.0	0.53	0.09	7.13	0.17
		13.0-16.0	0.24	0.07	4.62	0.12
16.0-19.0	0.27	0.07	2.97	0.11		

NDは検出下限以下を示す。

表 I -2-2-3-7(3) 海底土の採取深度及び放射性セシウム濃度の鉛直結果

海域	測点	採取深度	¹³⁴ Cs	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³⁷ Cs
		(cm)	(Bq/kg-乾燥土)	誤差	(Bq/kg-乾燥土)	誤差
福島第二	4	0.0-1.5	1.15	0.20	11.58	0.37
		1.5-3.0	1.98	0.25	19.99	0.47
		3.0-4.5	1.60	0.25	14.21	0.57
		4.5-6.0	1.00	0.19	12.09	0.32
		6.0-8.0	0.65	0.27	6.87	0.33
		8.0-10.0	0.55	0.18	6.56	0.30
		10.0-13.0	ND	—	2.34	0.21
茨城	2	0.0-1.5	1.80	0.37	21.84	0.81
		1.5-3.0	2.51	0.35	23.40	0.76
		3.0-4.5	2.40	0.32	23.07	0.79
		4.5-6.0	2.06	0.33	20.61	0.76
		6.0-8.0	1.64	0.28	17.79	0.49
		8.0-10.0	0.68	0.16	9.58	0.35
		10.0-13.0	0.37	0.16	6.74	0.28
		13.0-16.0	ND	—	3.83	0.29
		16.0-19.0	ND	—	0.95	0.16
静岡	4	0.0-1.5	ND	—	1.70	0.26
		1.5-3.0	ND	—	2.03	0.22
		3.0-4.5	ND	—	1.64	0.22
		4.5-6.0	ND	—	1.92	0.23
		6.0-8.0	ND	—	1.78	0.25
		8.0-10.0	ND	—	2.06	0.31
		10.0-13.0	ND	—	1.01	0.21
		13.0-16.0	ND	—	0.80	0.17
		16.0-19.0	ND	—	ND	—
新潟	1	0.0-1.5	ND	—	7.72	0.22
		1.5-3.0	0.53	0.20	7.80	0.22
		3.0-4.5	0.40	0.13	8.56	0.24
		4.5-6.0	ND	—	7.21	0.22
		6.0-8.0	0.57	0.12	7.70	0.20
		8.0-10.0	ND	—	6.80	0.20
		10.0-13.0	ND	—	5.41	0.20
		13.0-16.0	ND	—	4.14	0.16
		16.0-19.0	ND	—	1.50	0.16
新潟	2	0.0-1.5	0.57	0.15	8.09	0.21
		1.5-3.0	0.71	0.12	10.40	0.20
		3.0-4.5	0.58	0.13	10.40	0.19
		4.5-6.0	0.44	0.10	9.00	0.14
		6.0-8.0	ND	—	8.50	0.15
		8.0-10.0	0.31	0.09	6.67	0.13
		10.0-13.0	ND	—	5.39	0.13
		13.0-16.0	ND	—	2.88	0.10
		16.0-19.0	ND	—	1.70	0.10

ND は検出下限以下を示す。

表 I-2-2-3-7(4) 海底土の採取深度及び放射性セシウム濃度の鉛直結果

海域	測点	採取深度	¹³⁴ Cs	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³⁷ Cs
		(cm)	(Bq/kg-乾燥土)	誤差	(Bq/kg-乾燥土)	誤差
新潟	3	0.0-1.5	ND	—	6.53	0.21
		1.5-3.0	ND	—	7.21	0.18
		3.0-4.5	ND	—	7.57	0.19
		4.5-6.0	ND	—	7.88	0.21
		6.0-8.0	ND	—	8.50	0.20
		8.0-10.0	ND	—	7.23	0.18
		10.0-13.0	ND	—	6.55	0.18
		13.0-16.0	ND	—	5.99	0.18
		16.0-19.0	ND	—	3.52	0.16
新潟	4	0.0-1.5	ND	—	2.44	0.12
		1.5-3.0	ND	—	2.42	0.12
		3.0-4.5	ND	—	2.50	0.12
		4.5-6.0	ND	—	2.29	0.11
		6.0-8.0	ND	—	1.95	0.11
		8.0-10.0	ND	—	1.38	0.11
		10.0-13.0	ND	—	0.65	0.10
		16.0-19.0	ND	—	0.65	0.10
石川	2	0.0-1.5	ND	—	1.43	0.11
		1.5-3.0	ND	—	1.50	0.10
		3.0-4.5	ND	—	1.31	0.09
		4.5-6.0	ND	—	1.29	0.11
		6.0-8.0	ND	—	1.25	0.11
		8.0-10.0	ND	—	0.98	0.12
福井第一	2	0.0-1.5	ND	—	3.60	0.17
		1.5-3.0	ND	—	3.73	0.16
		3.0-4.5	ND	—	4.04	0.16
		4.5-6.0	ND	—	4.24	0.16
		6.0-8.0	ND	—	4.51	0.16
		8.0-10.0	ND	—	4.55	0.17
		10.0-13.0	ND	—	4.71	0.15
		13.0-16.0	ND	—	4.78	0.17
		16.0-19.0	ND	—	4.48	0.17
福井第二	2	0.0-1.5	ND	—	3.17	0.15
		1.5-3.0	ND	—	2.80	0.14
		3.0-4.5	ND	—	2.87	0.16
		4.5-6.0	ND	—	3.09	0.15
		6.0-8.0	ND	—	3.52	0.15
		8.0-10.0	ND	—	3.58	0.14
		10.0-13.0	ND	—	3.74	0.14
		13.0-16.0	ND	—	2.90	0.15
		16.0-19.0	ND	—	1.45	0.14

ND は検出下限以下を示す。

表 I -2-2-3-7(5) 海底土の採取深度及び放射性セシウム濃度の鉛直結果

海域	測点	採取深度	¹³⁴ Cs	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³⁷ Cs
		(cm)	(Bq/kg-乾燥土)	誤差	(Bq/kg-乾燥土)	誤差
島根	2	0.0-1.5	ND	—	0.41	0.08
		1.5-3.0	ND	—	0.55	0.08
		3.0-4.5	ND	—	0.62	0.09
		4.5-6.0	ND	—	0.67	0.08
愛媛	2	0.0-1.5	ND	—	0.95	0.09
		1.5-3.0	ND	—	0.79	0.10
		3.0-4.5	ND	—	0.77	0.09
		4.5-6.0	ND	—	0.74	0.10
		6.0-8.0	ND	—	0.92	0.10
		8.0-10.0	ND	—	0.83	0.09
		10.0-13.0	ND	—	0.62	0.10
		13.0-16.0	ND	—	0.61	0.09
		16.0-19.0	ND	—	0.66	0.10
佐賀	2	0.0-1.5	ND	—	0.21	0.07
		1.5-3.0	ND	—	0.32	0.08
		3.0-4.5	ND	—	0.27	0.08
		4.5-6.0	ND	—	0.26	0.07
		6.0-8.0	ND	—	ND	—
		8.0-10.0	ND	—	0.34	0.08
		10.0-13.0	ND	—	ND	—
		13.0-16.0	ND	—	ND	—
鹿児島	2	0.0-1.5	ND	—	ND	—
		1.5-3.0	ND	—	0.37	0.07
		3.0-4.5	ND	—	0.31	0.08
		4.5-6.0	ND	—	0.40	0.08
		6.0-8.0	ND	—	0.30	0.08
		8.0-10.0	ND	—	0.46	0.09
		10.0-13.0	ND	—	0.40	0.08

ND は検出下限以下を示す。

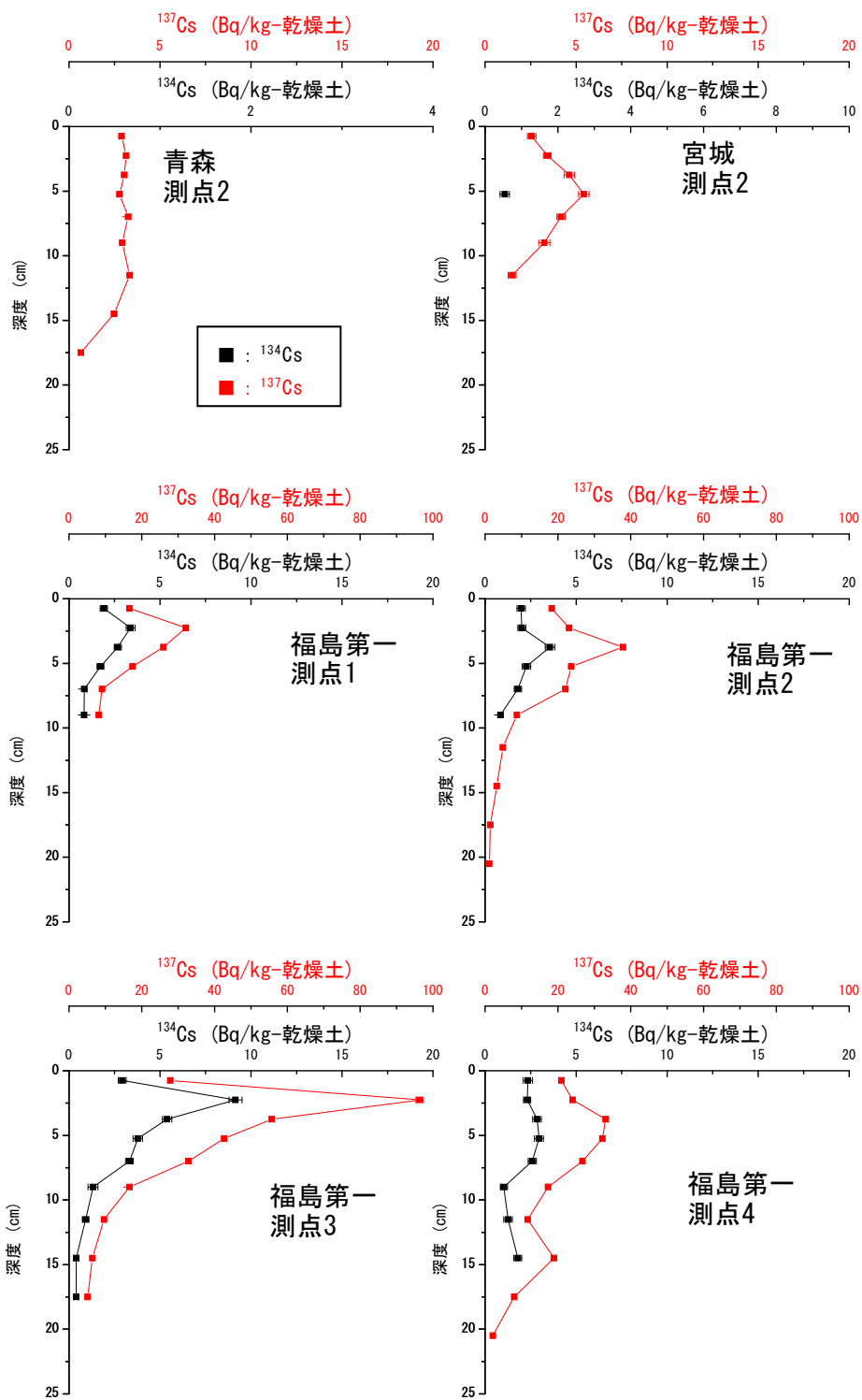


図 I -2-2-3-13 (1) 海底土試料に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度の鉛直分布 (東日本海域)

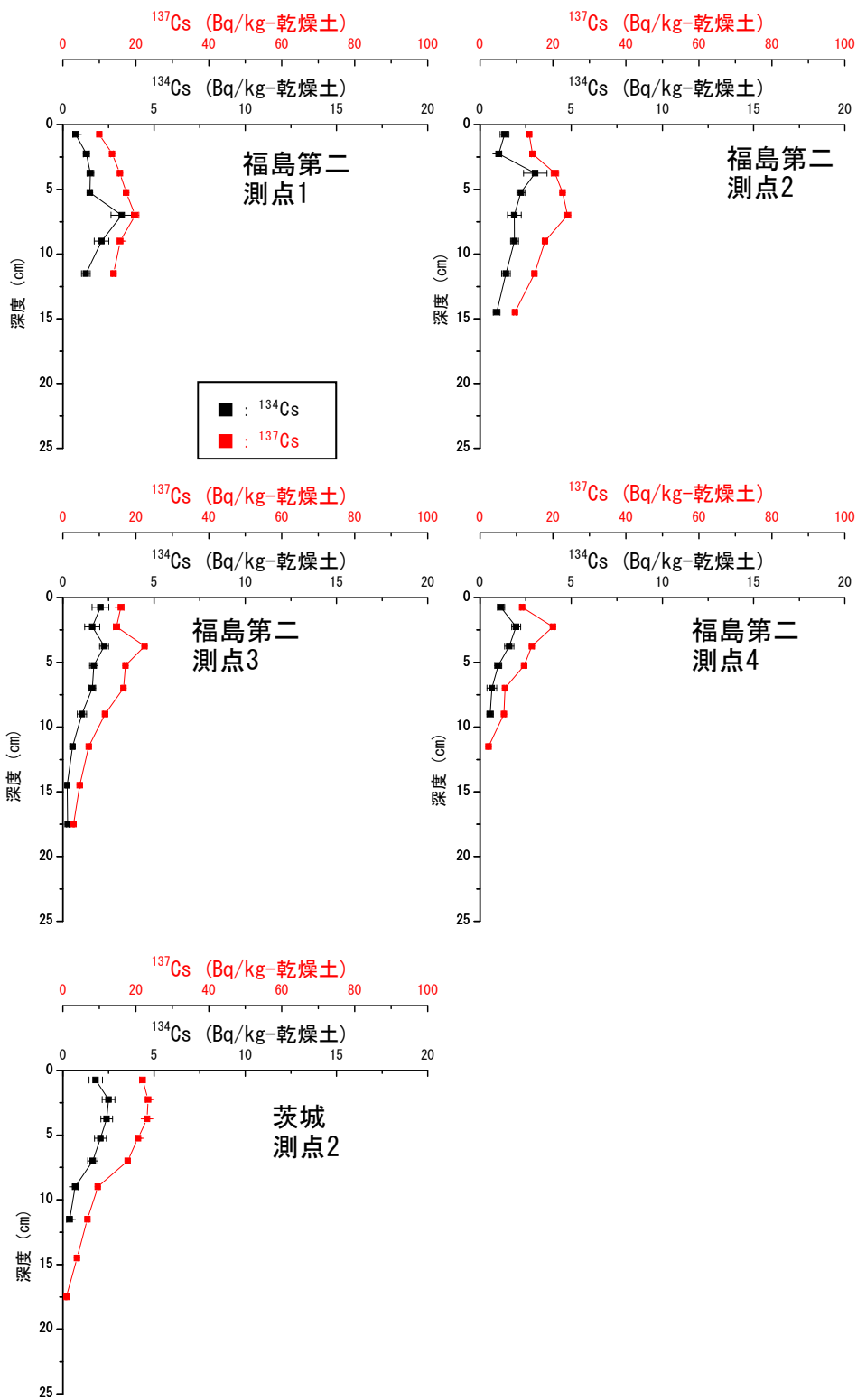


図 I -2-2-3-13 (2) 海底土試料に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度の鉛直分布 (東日本海域)

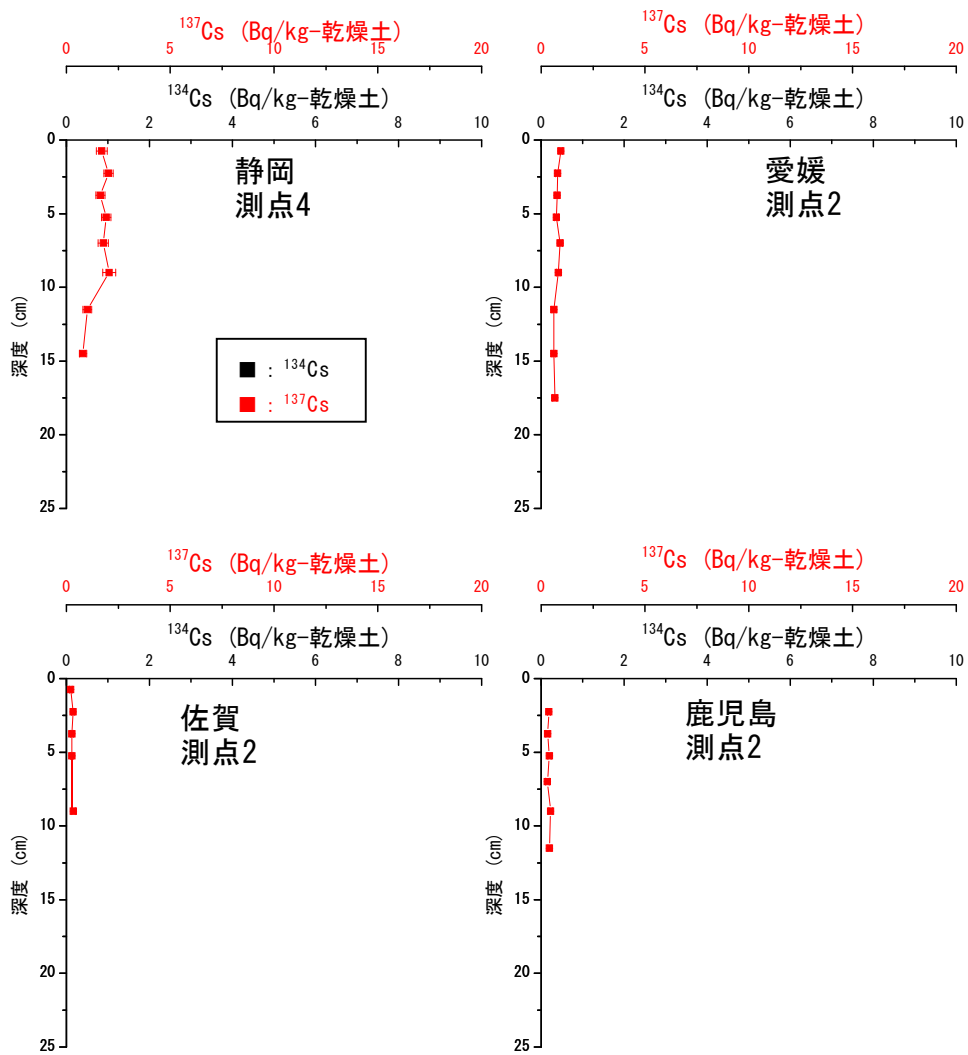


図 I -2-2-3-13 (3) 海底土試料に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度の鉛直分布 (西日本海域)

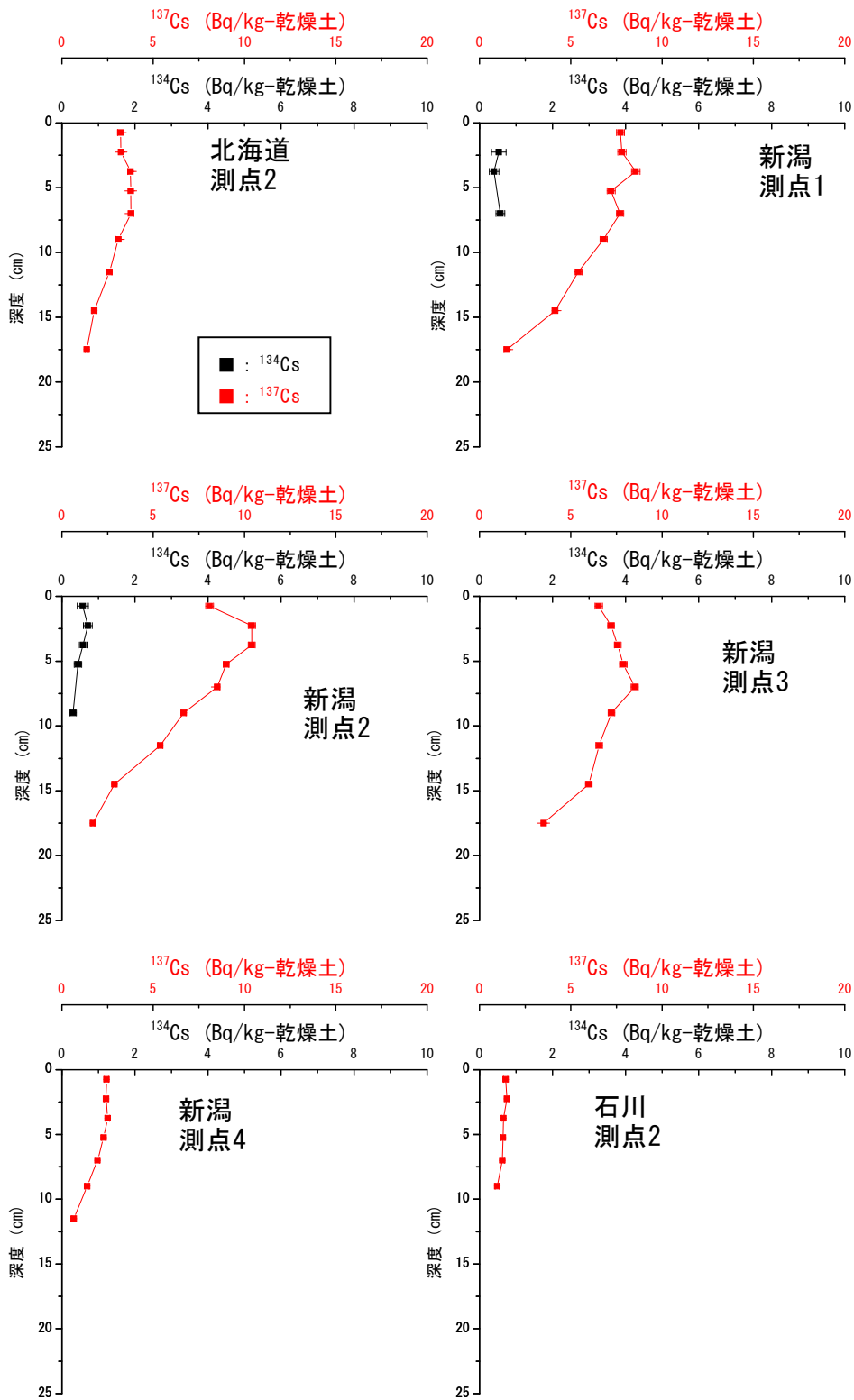


図 I -2-2-3-13 (4) 海底土試料に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度の鉛直分布 (日本海海域)

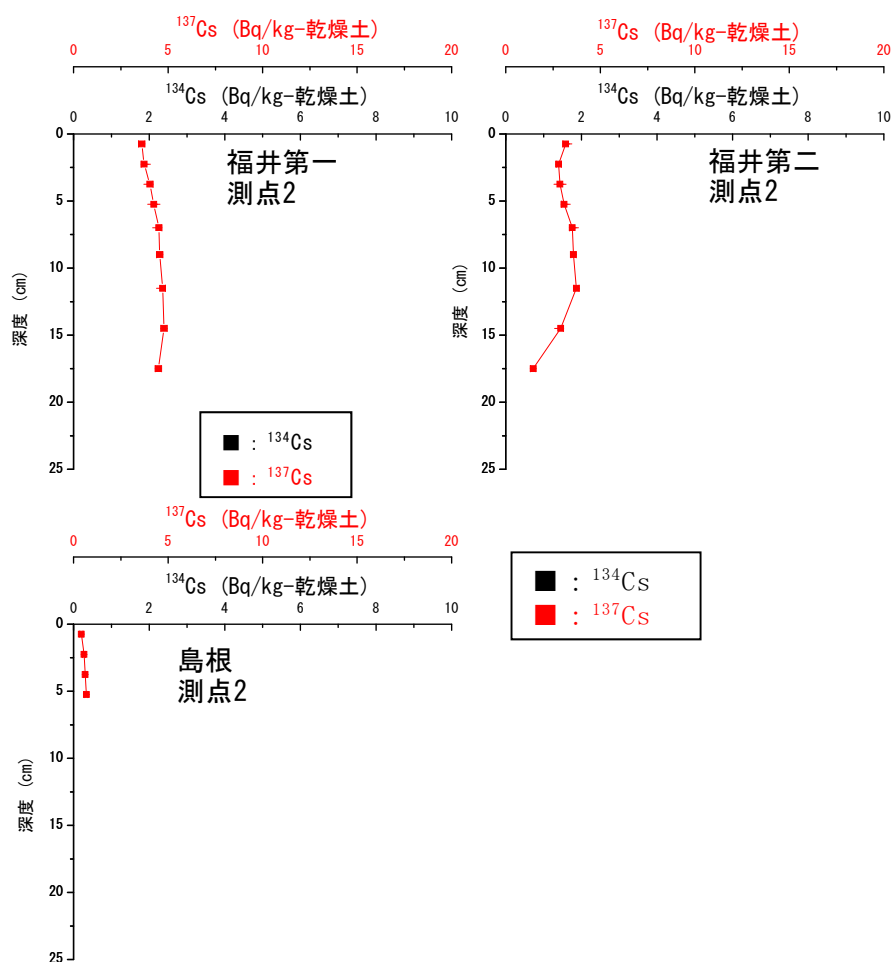


図 I-2-2-3-13 (5) 海底土試料に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度の鉛直分布
(日本海海域)

③海水中の放射性セシウム

i. 表層における放射性セシウムの放射能濃度の変動

海洋放射能調査の原子力発電所周辺 15 海域のうち、西日本並びに日本海海域の表層海水を中心に、東電福島第一原発事故以降、海水試料に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度が事故前（平成 22 年度調査結果）に比べ高いことが確認されている。平成 28 年度に実施した本調査により、西日本及び日本海海域の表層海水に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度の上昇は、 ^{134}Cs の放射能濃度として付加された分と一致することから、東電福島第一原発事故によって海洋環境へ放出された放射性セシウムが同海域に到達していることが明らかとなった。平成 29 年度ではその上昇は確認されなかった。

平成 30 年度では東電福島第一原発事故によって放出された放射性セシウムの上昇傾向を確認するため、同海域での表層海水に含まれる ^{134}Cs が検出されるか否かを試みた。

(i) 試料採取及び分析

発電所海域のうち、放射能分析を行った平成 30 年度の表層 9 試料（AMP 吸着試料：9 海域から 1 測点）を表 I -2-2-3-8 に示す。なお、試料採取の海域は次の項目に挙げる方法に沿って選定した。

○ ^{137}Cs 濃度が事故前（平成 22 年度）の平均値に比べ高いと考えられる海域の内、東電福島第一原発からの直接流入による影響を受けやすい海域（青森、核燃、宮城、福島第一、福島第二、茨城海域）を除く。

○平成 30 年度において、各海域（福井第一、福井第二は 1 海域とする）で事故前よりも高い ^{137}Cs 濃度が検出された測点のうち、1 測点における表層海水。

平成 30 年度に実施した海洋放射能調査において測定済み試料について、金沢大学低レベル放射能実験施設（LLRL）の超低バックグラウンドガンマ線スペクトロメータによる長時間測定を行って ^{134}Cs の放射能濃度を求めた（目標検出下限値：0.2mBq/L）。

(ii) 結果

測定結果を表 I -2-2-3-8 に示す。なお、測定結果は平成 23 年 3 月 11 日時点に減衰補正した。

対象とした海域表層の ^{134}Cs の放射能濃度の平均値は、平成 24 年度から平成 28 年度にかけて 0.22 から 0.82mBq/L と上昇し、平成 30 年度は 0.80mBq/L であり、これまでに得られた平均値を下回った（図 I -2-2-3-14）。西日本海域及び日本海海域で採取した表層海水において、平成 30 年度も東電福島第一原発事故由来の ^{134}Cs の存在が確認されたが、その値は減少傾向に転じていることを確認できた。

表 I-2-2-3-8 長時間測定による海水中の放射性セシウムの放射能濃度

海域	測点	採取深度	$^{134}\text{Cs}^*$	$^{134}\text{Cs}^*$	$^{137}\text{Cs}^*$	$^{137}\text{Cs}^*$
		(m)	(mBq/L)	誤差	(mBq/L)	誤差
北海道	3	1	0.69	0.22	1.97	0.057
静岡	3	1	0.62	0.21	2.01	0.051
新潟	2	1	0.99	0.22	2.14	0.052
石川	4	1	0.93	0.21	2.13	0.060
福井第二	3	1	1.06	0.24	2.13	0.052
島根	3	1	0.70	0.20	2.07	0.061
愛媛	3	1	0.59	0.20	1.88	0.057
佐賀	3	1	0.87	0.26	2.12	0.060
鹿児島	3	1	0.72	0.23	1.86	0.058

* 平成 23 年 3 月 11 日時点に減衰補正した値。

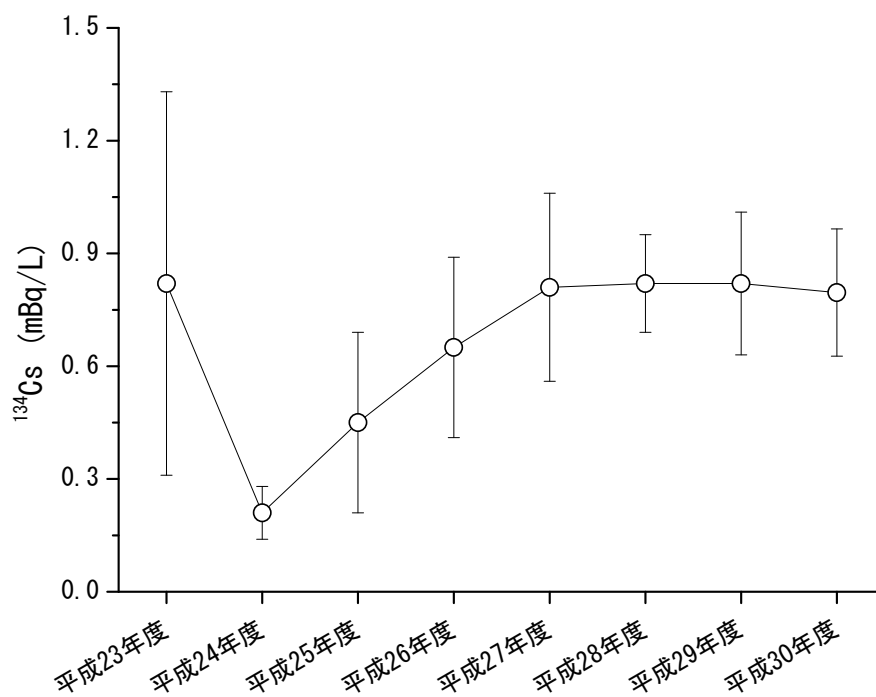


図 I-2-2-3-14 日本海海域及び西日本海域で採取した表層水に含まれる ^{134}Cs の放射能濃度の平均値を経年変化図として示したもの(平成 23 年 3 月 11 日時点に減衰補正した値)

ii. 放射性セシウムの放射能濃度の鉛直分布

海洋放射能調査において採取した海水試料のうち、表層水並びに下層水に含まれる放射性セシウムの放射能濃度は時空間的な変動を示している。放射性セシウムの表層水及び下層水における放射能濃度の分布からも水平的には把握できるが、海流による水塊の変化が激しい海水においては、鉛直的分布でのデータがない。本調査では、全国の発電所海域における放射性セシウムの海水中の鉛直分布を示すことにより、その傾向を明らかにするとともに、併せて海水中の蓄積量を見積もる際の基礎データに資する。

(i) 試料採取及び分析

海水試料は、各海域において、表層及び下層（海底から 10～30m 上）以外の採水層（10m、20m、50m、100m、200m、300m）から約 60～80L 採取した。この海水 1L に対して濃硝酸 1mL を添加し、分析まで冷暗所にて適切に保管した。海水試料に含まれる ^{134}Cs 及び ^{137}Cs の放射能分析は、化学分離した後、高純度ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリーにより定量した。

表 I -2-2-3-9 各海域における中間層採取を行った測点、採取層、水深及び層数

海域	測点	採取層 (m) *	水深 (m)	層数
北海道	2	20, 50, 100	409	3
青森	2	20, 50, 100, 300	663	4
宮城	2	20, 50	161	2
福島第一	1～4	20, 50	101-132	8
福島第二	1～4	20, 50	142-159	8
茨城	2	20, 50	120	2
静岡	4	20, 50, 100, 300	587	4
新潟	2	20, 50, 100, 300	481	4
石川	2	20, 50	185	2
福井第一	2	20, 50, 100	252	3
福井第二	2	20, 50	196	2
島根	2	20	76	1
愛媛	2	20	61	1
佐賀	2	10, 20	53	2
鹿児島	2	20, 50	83	2

*海洋放射能調査において採取された表層水及び下層水を除く。

(ii) 結果

海水試料のうち、中間層から得られた分析結果を表 I-2-2-3-10 に示す。 ^{134}Cs については、検出された採取層が全体の半分に満たず、鉛直分布の傾向が把握できないため、各海域における ^{137}Cs の放射能濃度の鉛直分布を議論する。

各海域における ^{137}Cs 放射能濃度及び塩分の鉛直分布について、「1. 海洋放射能調査海域周辺での調査」で得られた表層及び下層の結果を併せて図 I-2-2-3-15 に示す。東日本海域、西日本海域及び日本海海域に分けて詳述する。

(東日本海域)

東日本海域では必ずしも表層から下層まで深度毎の減少が観測されなかった。青森海域の ^{137}Cs の放射能濃度は表層から 20m 層にかけて 1.7mBq/L から 1.2mBq/L まで減少し、50-100m 層で 1.5mBq/L と若干増加した後、下層まで緩やかに減少した。一方、その他のいくつかの海域では ^{137}Cs の放射能濃度が表層で極大値を示し、中間層 (20~100m 層) で極小値を示し、下層で僅かに増加する鉛直分布を示した。

このように詳細な ^{137}Cs の放射能濃度を鉛直分布としたところ、各海域における ^{137}Cs の放射能濃度の分布は一様では無いことが明らかとなった。特に水深の浅い海域 (宮城、福島第一、福島第二及び茨城) においては、沿岸流や潮汐及び鉛直混合等の物理的な要因によって分布が複雑となるため詳細な鉛直分布からの解析が必要となる。

以上のように、中間層による詳細な鉛直分布を解析することで、各海域の海水試料に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度の状況が把握できることとなった。

(西日本海域及び日本海海域)

日本海海域では水深が 300m よりも深い北海道及び新潟海域において ^{137}Cs の放射能濃度は、表層から下層まで減少した。石川、福井第一及び福井第二海域においては表層から下層に至るまで 0.9~2.1mBq/L の範囲で変動した。島根海域では、20m 層で極小値を示し、下層に至るまで増加した。

西日本海域の静岡海域における ^{137}Cs の放射能濃度は、20m 層で低いものの (1.4mBq/L)、100m 及び 300m 層で極大値 (2.0mBq/L) を取り、それよりも深くなるにつれて緩やかに減少した。一方、水深が 100m よりも浅い佐賀及び愛媛海域においては塩分の鉛直分布がほとんど変化していないものの、愛媛海域の表層における ^{137}Cs の放射能濃度は極大値を示し、その後減少した。佐賀海域では下層で極大値を示し、それ以外の層では 1.7mBq/L であった。ただし、水深が比較的浅い海域においても ^{137}Cs の放射能濃度の詳細な鉛直分布から、佐賀海域のように表層のみに塩分の低い水塊が入り込んでいると考えられる。

以上、各海域における ^{137}Cs の放射能濃度の鉛直分布についての詳細調査を行ったところ、東電福島第一原発に近い東日本海域において、 ^{137}Cs の放射能濃度は鉛直的なばらつき

を持つ傾向があることが確認され、併せて同事故の影響は表層と下層に限られていることが分かった。また、西日本及び日本海海域においては水深が比較的深い海域において塩分との関連性を示す鉛直分布であったが、水深の比較的浅い海域では塩分変化とは関係性のない鉛直分布であった。このように詳細な鉛直分布を解析することで、「1. 海洋放射能調査海域周辺での調査」で示された結果に海流等物理的影響の及ぼす程度が明らかとなり、併せて同調査結果の補完データとして有用であることも同時に明らかとなった。

表 I-2-2-3-10(1) 中間層で採取した海水に含まれる放射性セシウムの放射能濃度

海域	測点	試料採取日	採取層 (m)	¹³⁴ Cs	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³⁷ Cs
				(mBq/L)	(誤差)	(mBq/L)	(誤差)
北海道	2	平成 30 年 6 月 4 日	1	ND	—	1.7	0.18
北海道	2	平成 30 年 6 月 4 日	20	ND	—	1.6	0.03
北海道	2	平成 30 年 6 月 4 日	50	0.08	0.02	1.6	0.03
北海道	2	平成 30 年 6 月 4 日	100	ND	—	1.6	0.03
北海道	2	平成 30 年 6 月 4 日	389	ND	—	1.3	0.16
青森	2	平成 30 年 6 月 6 日	1	ND	—	1.7	0.19
青森	2	平成 30 年 6 月 6 日	20	ND	—	1.2	0.03
青森	2	平成 30 年 6 月 6 日	50	ND	—	1.5	0.03
青森	2	平成 30 年 6 月 6 日	100	ND	—	1.5	0.04
青森	2	平成 30 年 6 月 6 日	300	ND	—	1.1	0.03
青森	2	平成 30 年 6 月 6 日	639	ND	—	0.51	0.17
宮城	2	平成 30 年 6 月 16 日	1	ND	—	2.5	0.20
宮城	2	平成 30 年 6 月 16 日	20	ND	—	1.7	0.04
宮城	2	平成 30 年 6 月 16 日	50	0.06	0.02	1.7	0.04
宮城	2	平成 30 年 6 月 16 日	150	ND	—	1.9	0.18
福島第一	1	平成 30 年 6 月 17 日	1	ND	—	2.0	0.17
福島第一	1	平成 30 年 6 月 17 日	20	ND	—	1.6	0.04
福島第一	1	平成 30 年 6 月 17 日	50	ND	—	1.5	0.04
福島第一	1	平成 30 年 6 月 17 日	91	ND	—	2.4	0.19
福島第一	2	平成 30 年 6 月 18 日	1	ND	—	1.9	0.18
福島第一	2	平成 30 年 6 月 18 日	20	0.09	0.03	1.6	0.04
福島第一	2	平成 30 年 6 月 18 日	50	ND	—	1.6	0.04
福島第一	2	平成 30 年 6 月 18 日	120	ND	—	1.8	0.17
福島第一	3	平成 30 年 6 月 18 日	1	ND	—	2.3	0.19
福島第一	3	平成 30 年 6 月 18 日	20	ND	—	1.5	0.04
福島第一	3	平成 30 年 6 月 18 日	50	ND	—	1.7	0.05
福島第一	3	平成 30 年 6 月 18 日	110	ND	—	1.9	0.18
福島第一	4	平成 30 年 6 月 18 日	1	ND	—	2.3	0.19
福島第一	4	平成 30 年 6 月 18 日	20	ND	—	1.8	0.05
福島第一	4	平成 30 年 6 月 18 日	50	ND	—	1.6	0.04
福島第一	4	平成 30 年 6 月 18 日	121	ND	—	1.9	0.18
福島第二	1	平成 30 年 6 月 19 日	1	ND	—	2.1	0.17
福島第二	1	平成 30 年 6 月 19 日	20	ND	—	1.8	0.05

ND は検出下限以下を示す。

表 I -2-2-3-10(2) 中間層で採取した海水に含まれる放射性セシウムの放射能濃度

海域	測点	試料採取日	採取層 (m)	¹³⁴ Cs	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³⁷ Cs
				(mBq/L)	(誤差)	(mBq/L)	(誤差)
福島第二	1	平成 30 年 6 月 19 日	50	ND	—	1.8	0.04
福島第二	1	平成 30 年 6 月 19 日	140	ND	—	1.9	0.17
福島第二	2	平成 30 年 6 月 19 日	1	ND	—	2.0	0.17
福島第二	2	平成 30 年 6 月 19 日	20	0.08	0.02	1.8	0.04
福島第二	2	平成 30 年 6 月 19 日	50	0.10	0.03	1.6	0.04
福島第二	2	平成 30 年 6 月 19 日	130	ND	—	2.5	0.18
福島第二	3	平成 30 年 6 月 20 日	1	ND	—	2.3	0.17
福島第二	3	平成 30 年 6 月 20 日	20	ND	—	1.8	0.05
福島第二	3	平成 30 年 6 月 20 日	50	0.07	0.02	1.5	0.04
福島第二	3	平成 30 年 6 月 20 日	133	ND	—	2.4	0.18
福島第二	4	平成 30 年 6 月 20 日	1	ND	—	2.3	0.18
福島第二	4	平成 30 年 6 月 20 日	20	ND	—	1.9	0.05
福島第二	4	平成 30 年 6 月 20 日	50	ND	—	1.9	0.05
福島第二	4	平成 30 年 6 月 20 日	145	ND	—	2.0	0.18
茨城	2	平成 30 年 6 月 21 日	1	ND	—	2.7	0.22
茨城	2	平成 30 年 6 月 21 日	20	ND	—	2.1	0.05
茨城	2	平成 30 年 6 月 21 日	50	ND	—	1.8	0.04
茨城	2	平成 30 年 6 月 21 日	110	ND	—	2.2	0.21
静岡	4	平成 30 年 5 月 21 日	1	ND	—	1.9	0.20
静岡	4	平成 30 年 5 月 21 日	20	ND	—	1.4	0.04
静岡	4	平成 30 年 5 月 21 日	50	ND	—	1.6	0.04
静岡	4	平成 30 年 5 月 21 日	100	0.10	0.03	2.0	0.05
静岡	4	平成 30 年 5 月 21 日	300	0.08	0.02	2.0	0.04
静岡	4	平成 30 年 5 月 21 日	569	ND	—	1.4	0.18
新潟	2	平成 30 年 5 月 10 日	1	ND	—	2.0	0.20
新潟	2	平成 30 年 5 月 10 日	20	ND	—	1.6	0.04
新潟	2	平成 30 年 5 月 10 日	50	0.09	0.03	1.6	0.04
新潟	2	平成 30 年 5 月 10 日	100	ND	—	1.7	0.04
新潟	2	平成 30 年 5 月 10 日	300	ND	—	1.2	0.02
新潟	2	平成 30 年 5 月 10 日	460	ND	—	1.2	0.18
石川	2	平成 30 年 5 月 14 日	1	ND	—	2.0	0.20
石川	2	平成 30 年 5 月 14 日	20	0.06	0.02	1.6	0.03
石川	2	平成 30 年 5 月 14 日	50	ND	—	1.6	0.04

ND は検出下限以下を示す。

表 I -2-2-3-10(3) 中間層で採取した海水に含まれる放射性セシウムの放射能濃度

海域	測点	試料採取日	採取層 (m)	¹³⁴ Cs	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³⁷ Cs
				(mBq/L)	(誤差)	(mBq/L)	(誤差)
石川	2	平成 30 年 5 月 14 日	175	ND	—	2.1	0.19
福井第一	2	平成 30 年 5 月 15 日	1	ND	—	1.6	0.22
福井第一	2	平成 30 年 5 月 15 日	20	ND	—	1.6	0.04
福井第一	2	平成 30 年 5 月 15 日	50	0.08	0.02	1.5	0.04
福井第一	2	平成 30 年 5 月 15 日	100	ND	—	1.6	0.03
福井第一	2	平成 30 年 5 月 15 日	244	ND	—	0.86	0.21
福井第二	2	平成 30 年 5 月 17 日	1	ND	—	1.7	0.20
福井第二	2	平成 30 年 5 月 17 日	20	ND	—	1.7	0.04
福井第二	2	平成 30 年 5 月 17 日	50	ND	—	1.6	0.04
福井第二	2	平成 30 年 5 月 17 日	186	ND	—	1.6	0.20
島根	2	平成 30 年 5 月 16 日	1	ND	—	2.1	0.21
島根	2	平成 30 年 5 月 16 日	20	0.07	0.02	1.7	0.03
島根	2	平成 30 年 5 月 16 日	66	ND	—	2.0	0.21
愛媛	2	平成 30 年 5 月 18 日	1	ND	—	2.1	0.21
愛媛	2	平成 30 年 5 月 18 日	20	0.10	0.03	1.6	0.04
愛媛	2	平成 30 年 5 月 18 日	52	ND	—	1.5	0.20
佐賀	2	平成 30 年 5 月 15 日	1	ND	—	1.7	0.20
佐賀	2	平成 30 年 5 月 15 日	10	0.08	0.02	1.7	0.04
佐賀	2	平成 30 年 5 月 15 日	20	ND	—	1.7	0.04
佐賀	2	平成 30 年 5 月 15 日	45	ND	—	2.1	0.20
鹿児島	2	平成 30 年 5 月 16 日	1	ND	—	1.5	0.19
鹿児島	2	平成 30 年 5 月 16 日	20	ND	—	1.4	0.04
鹿児島	2	平成 30 年 5 月 16 日	50	ND	—	1.6	0.04
鹿児島	2	平成 30 年 5 月 16 日	74	ND	—	2.0	0.20

ND は検出下限以下を示す。

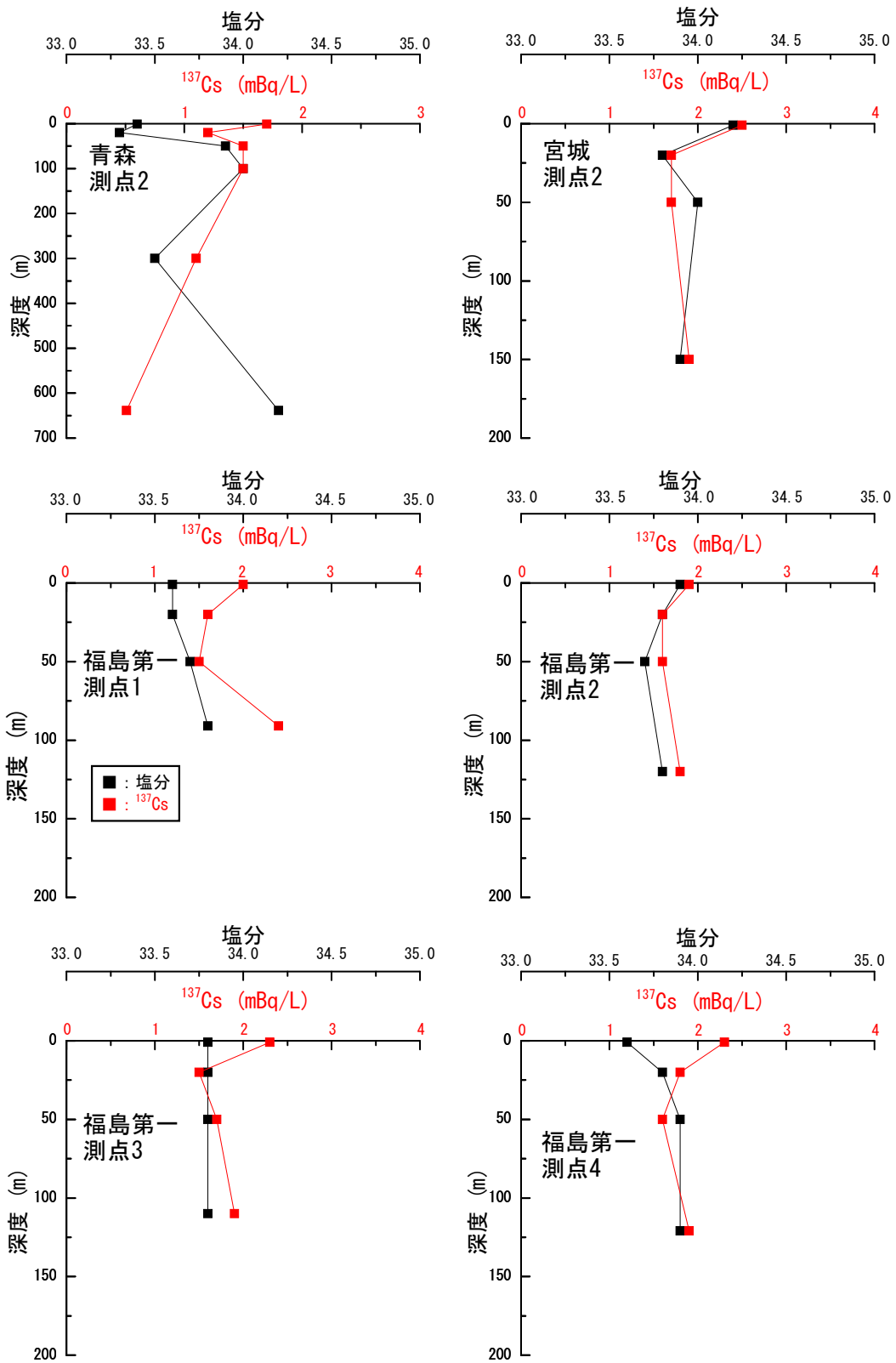


図 I -2-2-3-15(1) 東日本海域における ^{137}Cs の放射能濃度及び塩分の鉛直分布図

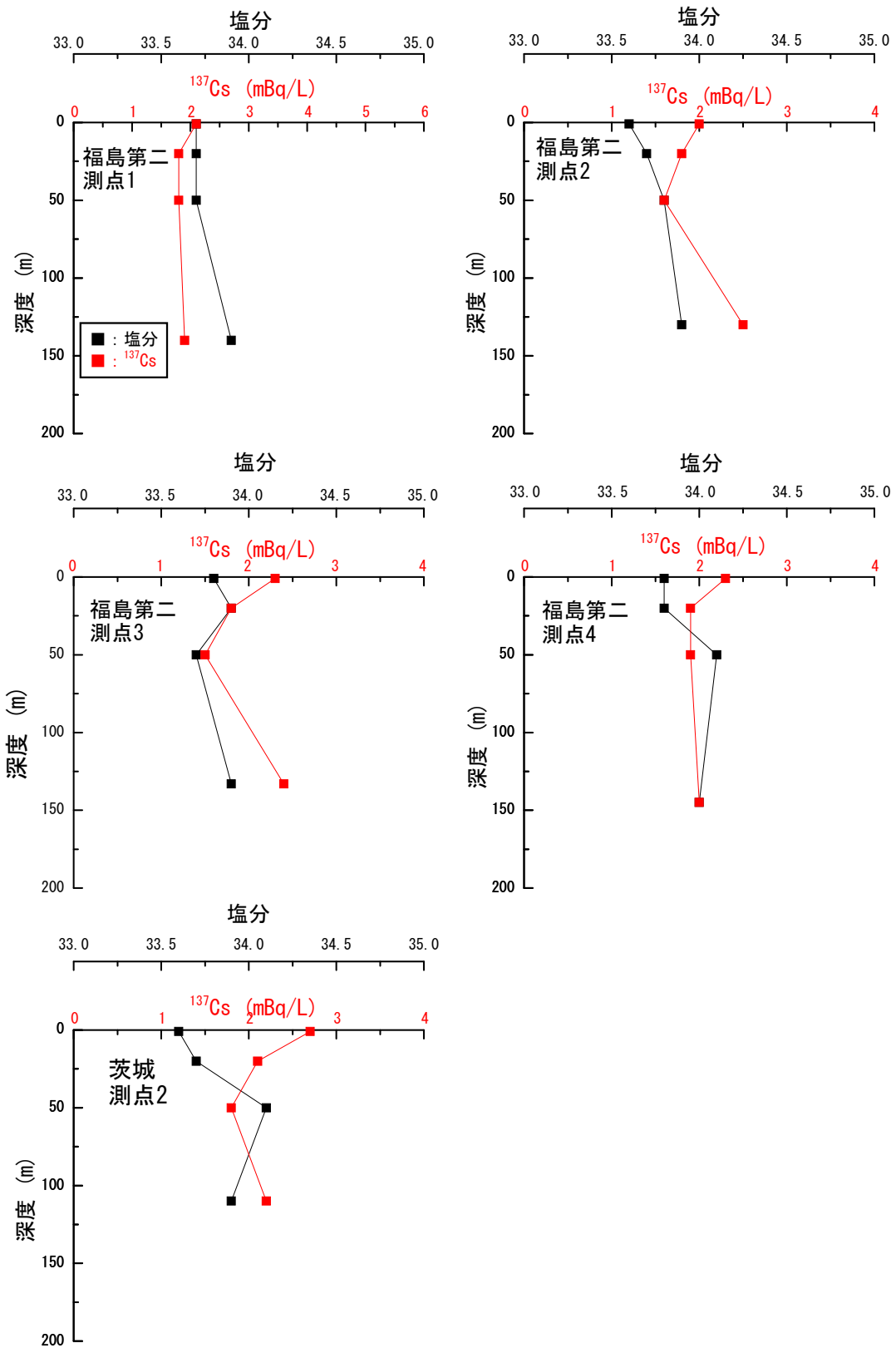


図 I-2-2-3-15(2) 東日本海域における ^{137}Cs の放射能濃度及び塩分の鉛直分布図

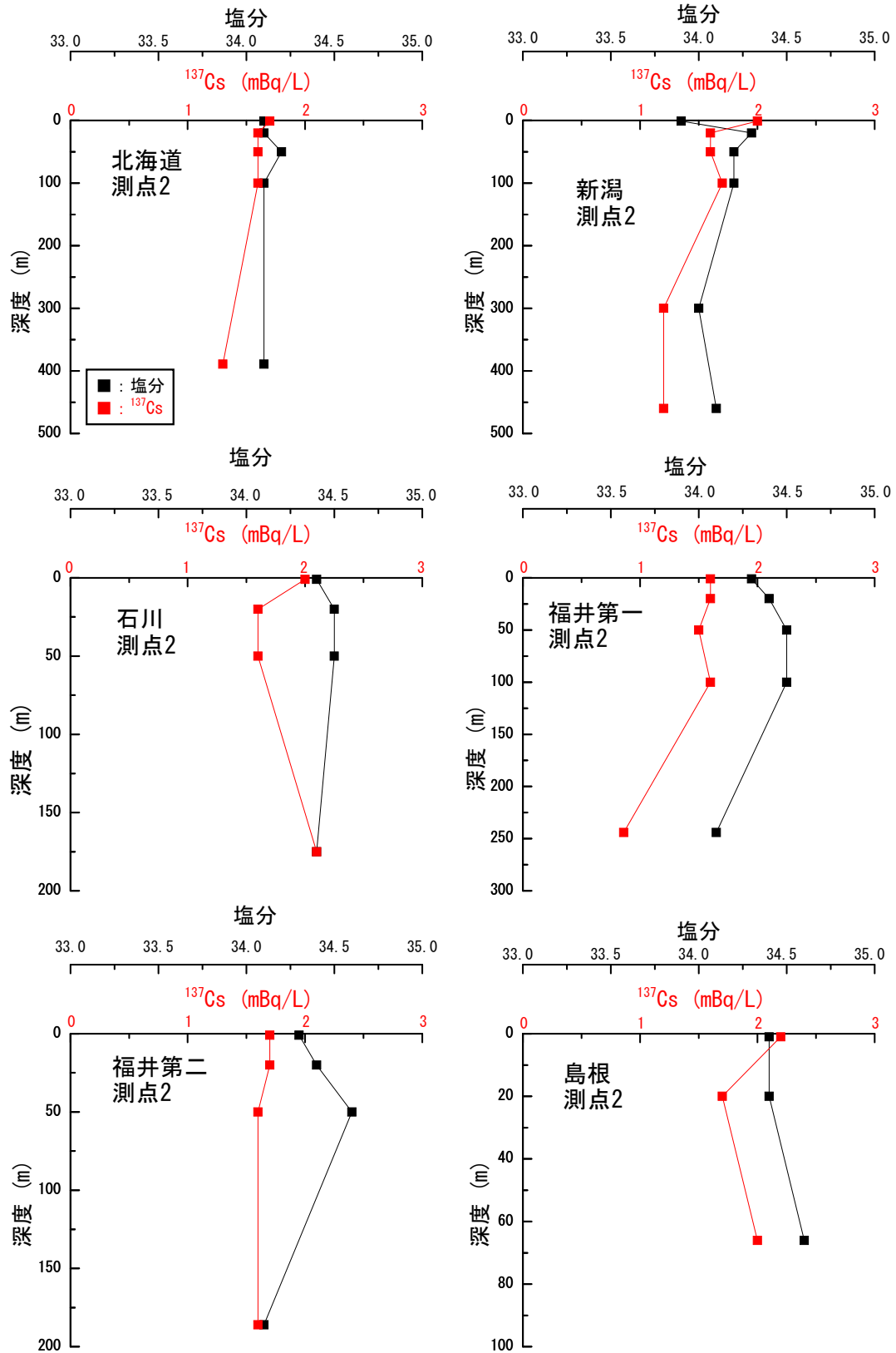


図 I-2-2-3-15(3) 日本海海域における ^{137}Cs の放射能濃度及び塩分の鉛直分布図

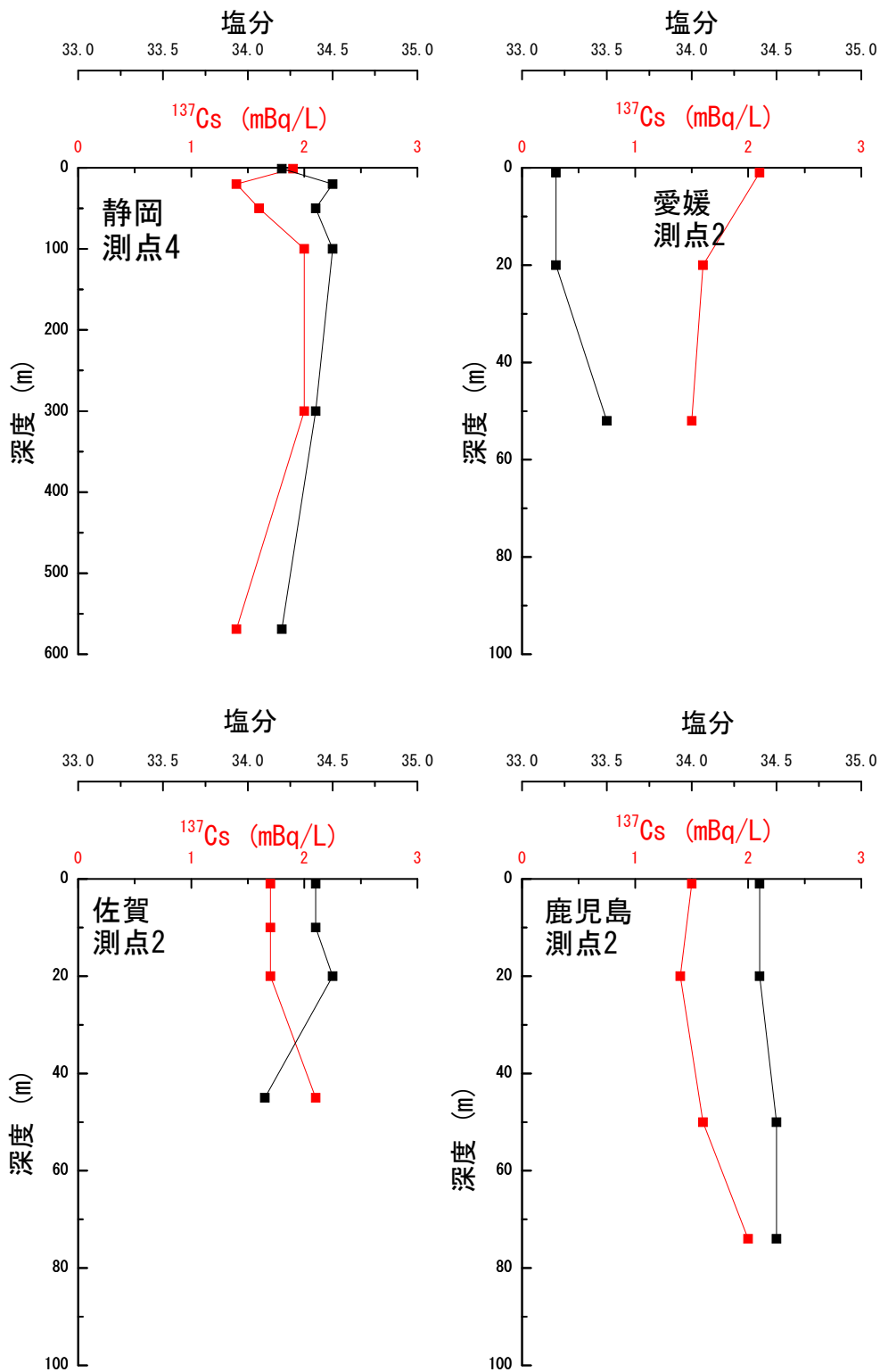


図 I -2-2-3-15 (4) 西日本海域における ^{137}Cs の放射能濃度及び塩分の鉛直分布図

iii. 動物プランクトン中の放射性セシウム

海水中に含まれる放射性セシウム^{※1}については、過去の大気圏核爆発実験に加え、2011（平成 23）年 3 月の東電福島第一原発事故により環境に付加されたものと考えられるが、平成 30 年度までの本事業で得てきた経年変化を俯瞰すれば、その放射能濃度は徐々に減少しており、近年では東電福島第一原発事故前の一定の値に近づきつつあることが分かってきた。これ以後、海水に含まれる放射性セシウムの放射能濃度の変動要因としては、食物連鎖における移行や濃縮・取り込みの過程に起因する放射能濃度の変化が主たる要因のひとつになると考えられる²²⁾。なかでも動物プランクトンは食物連鎖の低次に位置しており、高次への放射性セシウムの移行に関する機構解明において重要なパラメータとなりうる。加えて、海洋環境全体の放射性セシウムの現況把握を行うためには、これらの放射性セシウム濃度並びに群集組成との関係が重要となる。

そこで、海洋放射能調査で対象とした発電所海域のうち、基礎生産量（光合成や化学合成によって、栄養塩等の無機物から有機物が生産されること（植物学では光合成の速度として解釈））が比較的高いと考えられる北海道、青森、宮城、福島第一、福島第二及び茨城海域における動物プランクトンに含まれる放射性セシウムの放射能濃度及び群集組成について解析を行った。

また、動物プランクトンに含まれる放射性セシウムの放射能濃度の変遷及び現況を把握するため、東電福島第一原発事故前と平成 24 年度から平成 30 年度の調査で得られた結果についての比較を併せて行った。

（i）方法

動物プランクトン試料は発電所海域の 6 海域（北海道、青森、宮城、福島第一、福島第二及び茨城）の測点 2 で採取した。採取方法は各測点の深度約 50～150m において、0.5 ミリメートルのメッシュを持つプランクトンネット（口径：直径 1.6m）を用いて、数十分間の水平曳きを 2～3 回行った。得られたプランクトン試料のうち、放射能分析用として凍結保管し、残りは群集組成分析のためにホルマリン固定^{※2}して冷暗所にて保管した。調査の概要を表 I-2-2-3-11 に示す。

※1 ここで言う「放射性セシウム」は ¹³⁴Cs と ¹³⁷Cs を指す

※2 ホルマリン（formalin）に含まれるホルムアルデヒド（formaldehyde; HCHO）が、組織の細胞内外に浸透し、分子中のアルデヒド基（aldehyde group; -CHO）が主に組織中のタンパク質のアミノ基に結合し、さらに架橋することで、蛋白質の立体構造を損なわせ、それ以上のたんぱく質の変性、酵素活性、輸送、分泌などの様々な生物活性を停止させる作用を持つので、生体や生物組織標本作製する際の防腐剤あるいは固定処理に用いられるもの。

表 I-2-2-3-11 動物プランクトン調査の概要

試料採取時期	海域_測点	頻度	採集層	測定項目
平成 30 年 6 月	北海道 (測点 2) 青森 (測点 2) 宮城 (測点 2) 福島第一 (測点 2) 福島第二 (測点 2) 茨城 (測点 2)	1 回 実施	約 50-150m	群集組成
				^{137}Cs

放射能分析用試料は解凍後、生重量を秤量し、105℃に設定した乾燥機内で恒量になるまで乾燥し、その重量を測定した。その後、乾燥試料を粉碎し、プラスチック容器に充填し、充填重量の秤量及び試料充填高さを計測した。放射能測定は放射能測定法シリーズに記載された方法に従い、高純度ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリーにより放射性核種を定量（測定時間約 22 万秒）した。動物プランクトン試料に含まれる安定 Cs (^{133}Cs) については、放射能分析用試料の一部を用いて ICP 質量分析法により定量した。

(ii) 結果

a. 平成 30 年度に発電所海域で採取した動物プランクトン試料に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度

発電所海域で採取した動物プランクトン試料に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度の結果を図 I-2-2-3-16 及び表 I-2-2-3-12 に示す。平成 30 年度に採取した動物プランクトン試料に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度は、0.23~1.1 (Bq/kg-乾物) の範囲にあり、このうち宮城海域 (測点 2) において最大値 1.1 (Bq/kg-乾物) が観測された。また、全測点の平均値は、0.66 (Bq/kg-乾物) であった。海水 1m³ 当たりの動物プランクトン試料に含まれる ^{137}Cs 存在量 ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$) を調べたところ、茨城海域 (測点 2) で他の測点と比較して高い値を観測した。また、 ^{134}Cs についてはすべての測点で検出下限値以下であった。

平成 30 年度に採取した動物プランクトン試料の群集別個体数組成を表 I-2-2-3-13 に示す。いずれの測点においても顎脚綱^{※1}が高い割合を占めた (37.7~91.2%、全平均で 69.1%)。また、福島第一海域 (測点 2)、茨城海域 (測点 2) でヒドロ虫綱^{※2}が高い割合を占めた (それぞれ 59.1%、13.6%)。宮城海域 (測点 2)、福島第二海域 (測点 2) 及び茨城

※1 顎脚綱 (がっきやくこう、Class Maxillopoda) は、甲殻類に含まれる動物群の名で、カイアシ類、ケンミジンコ、フジツボあるいはカメノテなどがこれに属する。

※2 ヒドロ虫綱 (ひどろちゅうこう、Hydrozoa) は、刺胞動物門を構成する 4 つの綱 (ヒドロ虫綱、箱虫綱、鉢虫綱及び花虫綱) のうちのひとつで、その構造が最も簡単なもの。例えば、ヒドラ (淡水産無脊椎動物の総称)、オワンクラゲ (クラゲ様の無脊椎動物) などがこれに属する。

海域（測点 2）では軟甲綱^{※1}（それぞれ 18.4%、11.7%及び 12.3%）が比較的多く見られた。平成 30 年度は動物プランクトンの ¹³⁷Cs 濃度と群集別個体数組成との間に関連性は見られなかった。

平成 30 年度に採取した動物プランクトン試料の群集別乾燥重量組成を表 I-2-2-3-14 に示す。いずれの測点においても顎脚綱が高い割合を占めた（41.2～85.9%、全平均で 61.6%）。また、福島第一海域（測点 2）、福島第二海域（測点 2）及び茨城海域（測点 2）で軟甲綱が高い割合を占めた（それぞれ 35.6%、22.8%、29.6%）。北海道海域（測点 2）と青森海域（測点 2）では軟甲綱（それぞれ 32.8%、20.2%）が比較的多く見られた。平成 30 年度の動物プランクトンの ¹³⁷Cs 濃度と群集別乾燥重量組成の間の関係について調べたところ、顎脚綱との間にのみ正の相関が見られた。

b. 平成 30 年度と平成 29 年度に採取した動物プランクトン試料に含まれる ¹³⁷Cs の放射能濃度の比較

平成 29 年度に採取した動物プランクトン試料に含まれる ¹³⁷Cs の放射能濃度は、

北海道海域（測点 2）：0.36（Bq/kg-乾物）

青森海域（測点 2）：0.33（Bq/kg-乾物）

宮城海域（測点 2）：0.46（Bq/kg-乾物）

福島第一海域（測点 2）：検出下限値以下

福島第二海域（測点 2）：1.04（Bq/kg-乾物）

茨城海域（測点 2）：0.88（Bq/kg-乾物）

であった。

各測点で平成 29 年度及び平成 30 年度に採取した動物プランクトン試料に含まれる ¹³⁷Cs の放射能濃度を比較すると、平成 30 年度は、宮城海域測点 2 で平成 29 年度よりやや高い値を観測したが、その他の測点では平成 29 年度よりも低い値であった。

※1 軟甲綱（なんこうこう、別名エビ綱、Malacostraca）は、カニ、ロブスター、小エビ、シャコ、オキアミなど幅広い種が含まれる甲殻亜門の中でも際内の綱。

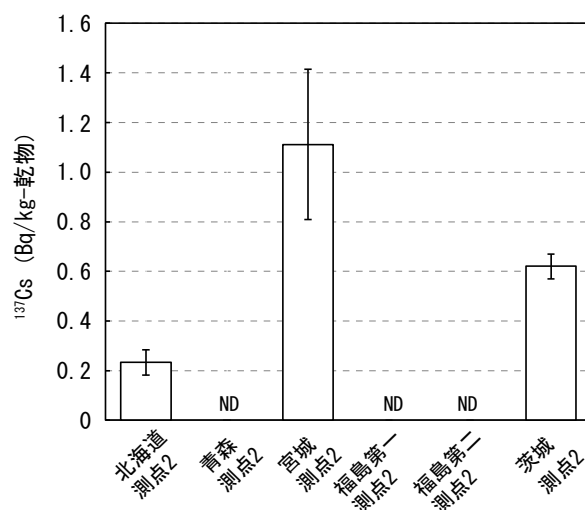


図 I-2-2-3-16 平成 30 年度に各海域の測点で採取した動物プランクトン試料に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度

表 I-2-2-3-12 動物プランクトン試料の概要、動物プランクトン試料に含まれる放射性セシウム及び同時期に採取した海水試料に含まれる放射性セシウムの放射能濃度

海域と測点	北海道 測点 2	青森 測点 2	宮城 測点 2	福島第一 測点 2	福島第二 測点 2	茨城 測点 2
採取日	平成 30 年 6 月 4 日	平成 30 年 6 月 6 日	平成 30 年 6 月 16 日	平成 30 年 6 月 18 日	平成 30 年 6 月 19 日	平成 30 年 6 月 21 日
採取深度 (m)	49-146	53-127	39-61	54-59	54-62	53-60
105°C乾燥重量 (g)	155.6	67.2	27	9.1	88.6	231.5
水分含量 (%)	91.80	90.85	88.40	94.82	87.96	87.06
現存量 (mg-乾物/m ³)	4.3	1.8	1.0	0.4	3.4	6.8
動物プランクトンの ^{134}Cs (Bq/kg-乾物)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
動物プランクトンの ^{137}Cs (Bq/kg-乾物)	0.23 ± 0.05	ND	1.1 ± 0.3	ND	ND	0.62 ± 0.05
海水 1m ³ 当たりの動物プランク トンの ^{137}Cs 存在量 ($\mu\text{Bq/m}^3$)	1.0 ± 0.2	-	1.1 ± 0.3	-	-	4.2 ± 0.3
海水の ^{134}Cs (mBq/L)	ND	ND	0.059	ND	0.095	0.13
海水の ^{137}Cs (mBq/L)	1.6	1.5	1.7	1.6	1.6	1.8
見かけの ^{137}Cs の濃縮係数	12	-	76	-	-	45

ND は検出下限値以下を示す。「-」は対象外を示す。

表 I-2-2-3-13 平成 30 年度に採取した動物プランクトン試料の個体数密度及び群集別個体数組成結果一覧

海域と測点	北海道 測点 2	青森 測点 2	宮城 測点 2	福島第一 測点 2	福島第二 測点 2	茨城 測点 2
動物プランクトン個体 数密度 (個体数/m ³)	77.3	17.8	30.8	7.2	41.3	56.9
ヒドロ虫綱 (%)	1.2	6.0	7.4	59.1	4.5	13.6
腹足綱 (%)	0.9	9.0	0.4	0.6	0.0	0.0
鰓脚綱 (%)	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0
顎脚綱 (%)	91.2	73.1	66.5	37.7	79.3	66.7
軟甲綱 (%)	3.3	3.0	18.4	0.0	11.7	12.3
ヤムシ綱 (%)	3.3	0.0	5.9	2.6	2.7	7.4
尾虫綱 (%)	0.0	9.0	0.7	0.0	1.8	0.0

表 I-2-2-3-14 平成 30 年度に採取した動物プランクトン試料の群集別乾燥重量組成結果一覧

分類群	北海道 測点 2	青森 測点 2	宮城 測点 2	福島第一 測点 2	福島第二 測点 2	茨城 測点 2
ヒドロ虫綱 (%)	4.8	3.8	0.8	14.6	1.6	0.3
鰓脚綱 (%)	—	計測不能	計測不能	—	—	—
顎脚綱 (%)	52.1	57.2	85.9	41.2	67.0	66.3
軟甲綱 (%)	9.3	9.4	4.6	35.6	22.8	29.6
ヤムシ綱 (%)	32.8	20.2	2.9	2.7	7.4	3.4
タリア綱 (%)	—	—	計測不能	計測不能	計測不能	計測不能
尾虫綱 (%)	計測不能	0.7	計測不能	1.1	1.1	0.2
硬骨魚綱 (%)	計測不能	計測不能	0.3	3.3	計測不能	計測不能
その他分類群 (%)	0.9	8.9	5.5	1.5	0.1	0.1

「—」は試料中に観察されなかったことを示す。負の値になるなど対象の重量が非常に小さく、誤差が生じたと考えられるものは計測不能とした。

c. 平成 30 年度と東電福島第一原発事故前に採取した動物プランクトン試料に含まれる¹³⁷Cs の放射能濃度の比較

東電福島第一原発事故前に採取した動物プランクトンに含まれる¹³⁷Cs の放射能濃度は 0.09～0.4 (Bq/kg-乾物) の範囲であり²³⁾、平成 30 年度に採取したものについては、北海道海域 (測点 2)、青森海域 (測点 2)、福島第一海域 (測点 2)、福島第二海域 (測点 2) で事故前に得られた放射能濃度の範囲内であった。このうち、宮城海域 (測点 2) と茨城海域 (測点 2) では事故前の最大値 (0.4Bq/kg-乾物) よりも高い値が観測された。濃縮係数は対象とする放射性核種の放射能濃度が一定の環境に生息し、環境と生物の間で平衡状態が成立し、取り込みと排泄 (排出) が均衡していること (いわゆる平衡状態に達していること) を前提とする²⁴⁾。平成 30 年度の調査においては、海水試料に含まれる¹³⁷Cs の放射能濃度は事故前のレベルに戻りつつあることが分かったが、未だ一定に達しているわけではないため、ここでは、Kaeriyama *et al.*²⁵⁾ の定義に従い、「見かけの濃縮係数」を用いた。動物プランクトン試料に含まれる¹³⁷Cs の放射能濃度と動物プランクトン試料を採取した深度周辺で同時期に採取した海水に含まれる¹³⁷Cs の放射能濃度との比を計算し、動物プランクトン試料の「見かけの¹³⁷Cs 濃縮係数」として求めたものを表 I-2-2-3-12 に示す。動物プランクトン試料の見かけの濃縮係数は、12～76 (平均 44) であり、事故前の濃縮係数 (6.3～14.2、平均 10.2)²³⁾ より高かった。海水に含まれる¹³⁷Cs の放射能濃度は 1.5～1.8 (mBq/L) の範囲であり、事故前 5 年間の濃度範囲 (1.1～2.4mBq/L) まで下がってきている。そのため、動物プランクトンに含まれる¹³⁷Cs の放射能濃度も今後は事故前の調査で得られていた範囲に徐々に落ち着いていくと考えられる。

d. 動物プランクトン試料に含まれる¹³⁷Cs の放射能濃度の時系列変化 (平成 24 年度～平成 30 年度)

平成 24 年度から平成 27 年度まで実施した調査のうち、東電福島第一原発周辺の海域で採取した動物プランクトン試料に含まれる¹³⁷Cs の放射能濃度の時系列変化と平成 29 年度及び平成 30 年度で実施した発電所海域において採取した動物プランクトン試料に含まれる¹³⁷Cs の放射能濃度、¹³⁷Cs 存在量及び¹³⁴Cs/¹³⁷Cs 放射能比の時系列変化を合わせて図 I-2-2-3-17 に示す。

この期間中に採取した動物プランクトン試料に含まれる¹³⁷Cs の放射能濃度の最大値は、東電福島第一原発事故から 432 日後 (平成 24 年 5 月 16 日) の測点 J1 で見られ、その放射能濃度は 184 (Bq/kg-乾物) であった。その後は、事故から 1,929 日後 (平成 28 年 6 月 21 日) まで 10 (Bq/kg-乾物) を超える比較的高い濃度が採取時期や測点によらず散発的に見られる傾向にあった。しかし、事故から 2,247～2,276 日後 (平成 29 年 5 月 5 日から 6 月 3 日) に¹³⁷Cs の放射能濃度が 1Bq/kg-乾物を超えたのは、福島第二海域 (測点 2) のみ

であり、2,642～2,659 日後（平成 30 年 6 月 4 日から 6 月 21 日）では宮城海域（測点 2）のみであった。海水 1m³ 当たりの動物プランクトンに含まれる ¹³⁷Cs の存在量についても同様の減少傾向が見られた。動物プランクトン試料から見出された放射性セシウムの ¹³⁴Cs/¹³⁷Cs 放射能比は、減衰曲線（東電福島第一原発事故当初の ¹³⁴Cs/¹³⁷Cs 放射能比を 1 とした場合の理論曲線）に概ね従って減衰しており、動物プランクトンに含まれる放射性セシウムのほとんどが東電福島第一原発事故に由来することを示している。

e. 動物プランクトン試料と海水試料における ¹³⁷Cs/¹³³Cs 原子数比の比較

表 I-2-2-3-15 に動物プランクトン試料に含まれる ¹³³Cs 濃度の測定結果、表 I-2-2-3-16 に動物プランクトンを採取した深度周辺の海水に含まれるセシウム（ここでは ¹³³Cs のこと）濃度の測定結果を示す。また、図 I-2-2-3-17 に東電福島第一原発周辺海域及び発電所海域で採集した動物プランクトン試料に含まれる安定セシウム (¹³³Cs) と ¹³⁷Cs の原子数比 (¹³⁷Cs/¹³³Cs 比)、及び動物プランクトン試料を採取した深度周辺で採取した海水試料に含まれる ¹³⁷Cs/¹³³Cs 比について、その採取時期毎の平均を示す。

¹³⁷Cs はセシウムの放射性同位体であり、海水から動物プランクトン体内への取り込みと排出の過程においては安定核である ¹³³Cs^{※1} と化学的に同様に振る舞い、同位体分別については容易に確認できないほど小さく、無視できると考えられる。平成 26 年 11 月と平成 27 年 1 月～2 月に動物プランクトンを採取した深度周辺で採取した海水に含まれるセシウム濃度の平均値とその標準偏差は、316±7 (ng/L) であり、東電福島第一原発事故前の北太平洋の海水試料に含まれるセシウム濃度 (306ng/L)²⁶⁾ と比較すると事故の前後で変化が無いことが確かめられた。そのため、海水試料に含まれる ¹³⁷Cs の放射能濃度が動物プランクトンの世代時間を超える十分に長い間一定であれば、¹³⁷Cs/¹³³Cs 原子数比は海水と動物プランクトンとの間で一致することになる。事故から起算して 432 日後から 1929 日後までの期間に採取した海水試料と動物プランクトン試料から得られた ¹³⁷Cs/¹³³Cs 原子数比は、ほとんどの試料において一致しなかった。すなわち、平成 28 年 6 月までは、動物プランクトン試料から得られた ¹³⁷Cs/¹³³Cs 原子数比は、ほとんどの測点で採取した海水試料から得られた値に比べて 1 桁以上高く、明らかな差異が見られた。しかし、事故から起算して 2247 日後以降（平成 29 年 5 月 5 日以降）には、1 桁以上の差異はほとんど見られなくなり、平成 30 年度に採取した海水試料と動物プランクトン試料の間の ¹³⁷Cs/¹³³Cs 原子数比は、事故前の安定した状態に近づきつつある傾向が見られた。

※1 セシウムは数十種の同位体の存在が確認されているが、安定核は ¹³³Cs のみである。

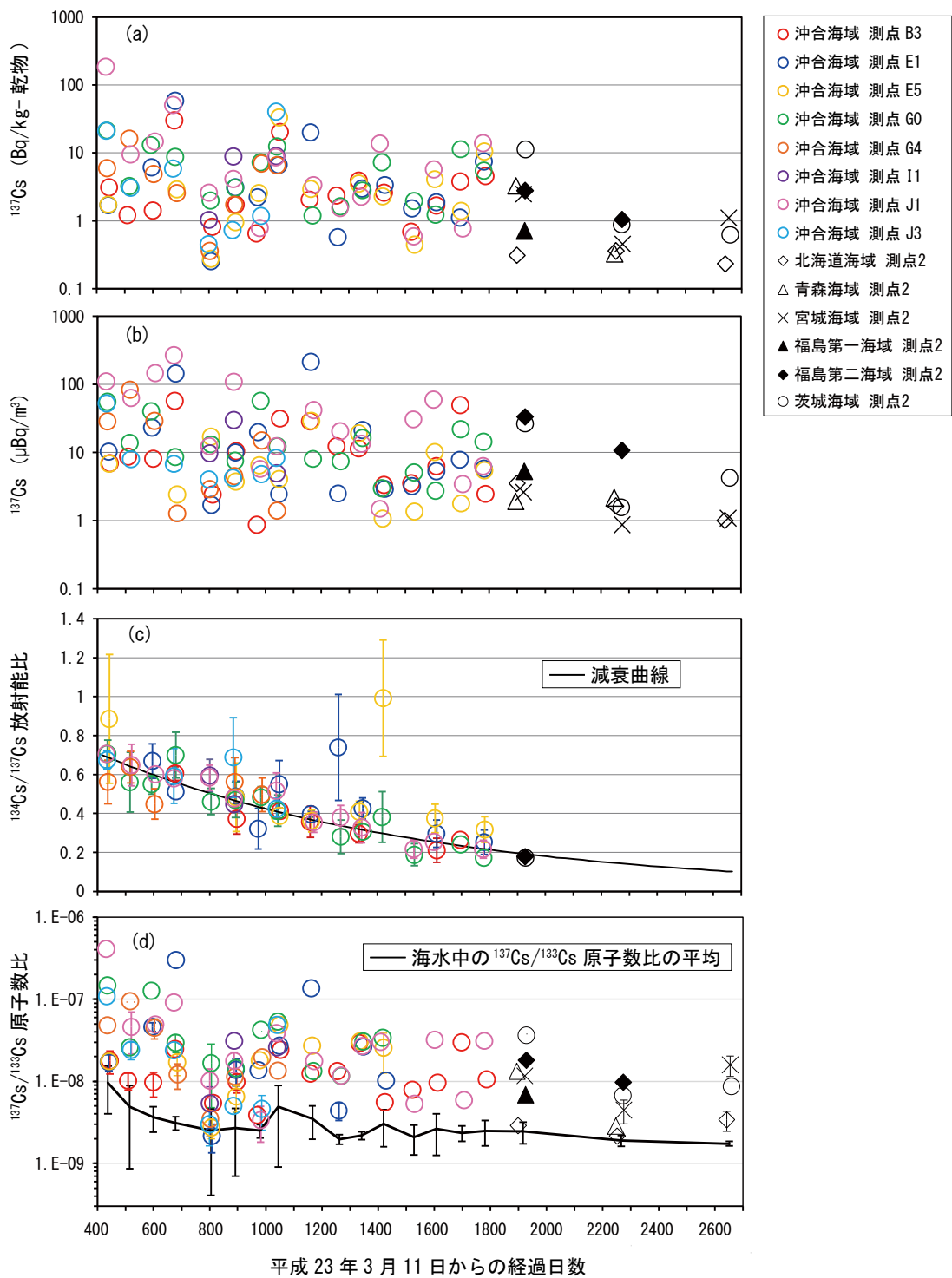


図 I -2-2-3-17 東電福島第一原発事故後の動物プランクトンの放射性セシウム濃度と $^{137}\text{Cs}/^{133}\text{Cs}$ 原子数比の時系列変化。(a) 動物プランクトン試料に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度 (Bq/kg-乾物)、(b) 海水 1m^3 当たりの動物プランクトンの ^{137}Cs 存在量 ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$)、(c) 動物プランクトン試料の $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比、(d) 動物プランクトン試料の $^{137}\text{Cs}/^{133}\text{Cs}$ 原子数比

表 I -2-2-3-15 動物プランクトンに含まれるセシウムの元素濃度
(ng/g-乾物)

平成 30 年 6 月	
北海道測点 2	21 ± 3
青森測点 2	25 ± 2
宮城測点 2	22 ± 1
福島第一測点 2	20 ± 1
福島第二測点 2	22 ± 2
茨城測点 2	22.3 ± 0.5

表 I -2-2-3-16 海水試料に含まれるセシウムの元素濃度

平成 30 年 6 月		
測点	採取層 (m)	Cs 濃度 (ng/L)
北海道測点 2	50	306 ± 2
青森測点 2	50	303 ± 3
宮城測点 2	50	299 ± 8
福島第一測点 2	50	283 ± 6
福島第二測点 2	50	285 ± 1
茨城測点 2	50	276 ± 1

④ 発電所周辺海域における放射性セシウムの蓄積量把握

本調査では、海洋放射能調査を実施した原子力発電所等周辺海域（全 15 海域）で採取した海水試料及び海底土試料を用い、放射性セシウムの詳細な鉛直分布から放射性セシウムの現状の存在量（以下、インベントリという。）を求め「1. 海洋放射能調査海域周辺の調査」における放射性セシウムの変動要因解明に必要なデータに資するとともに、海域間における放射性セシウムの蓄積量を求め、平成 28 年、29 年度と比較する。

i. 海底土試料に含まれる ^{137}Cs のインベントリ

各海域において柱状採泥を行った測点での ^{137}Cs のインベントリを図 I-2-2-3-18 に示す。東電福島第一原発事故由来の ^{134}Cs が検出されなかった海域（北海道、青森、静岡、石川、福井第一、福井第二、島根、愛媛、佐賀、鹿児島）では、 ^{137}Cs のインベントリが 19～171Bq/m² であった。最も高かったのは福井第一域の測点 2、最も低かったのは佐賀海域の測点 2 であり、平成 28、29 年度と同じ傾向であった。平均値は 67Bq/m² であり、平成 28 年度（73Bq/m²）に比べて低かった。

東電福島第一原発事故由来の放射性セシウム（ ^{134}Cs ）が検出された海域（宮城、福島第一、福島第二、茨城、新潟）では ^{137}Cs のインベントリは 109～2914Bq/m² であった。最も高かったのは福島第一海域の測点 3、最も低かったのは新潟海域の測点 4 であった。これらの平均値は 794Bq/m² であり、平成 29 年度（835Bq/m²）及び平成 28 年度（1199Bq/m²）に比べて減少した。しかしながら、東電福島第一原発事故由来の放射性セシウム（ ^{134}Cs ）が検出されなかった海域に比べて 1 桁以上の違いが見られた。

ii. 海水試料に含まれる ^{137}Cs のインベントリ

海水試料に含まれる ^{137}Cs のインベントリは採取場所の水深によって大きく異なるため、表層～50m 層までの ^{137}Cs のインベントリを図 I-2-2-3-19 に示す。 ^{137}Cs のインベントリは 0.068～0.12kBq/m²（平成 29 年度：0.076～0.14kBq/m²、平成 28 年度：0.088～0.16kBq/m²）の範囲にあった。これらの平均値は 0.088kBq/m²（平成 29 年度：0.103kBq/m²（平成 28 年度：0.112kBq/m²））であり、平成 29 年度に比べて減少した。また、事故前の平成 22 年度に採取した海水試料に含まれる ^{137}Cs のインベントリは 0.075kBq/m²（事故前の海水試料に含まれる ^{137}Cs の放射能濃度が表層～50m 層まで 1.6mBq/L と仮定）と見積もった場合、全ての海域でこの値をわずかではあるが上回っている。しかし、表層～50m 層までの ^{137}Cs のインベントリは海底土に比べて、数桁以上低く、併せて海域間での差が見られなかった。とりわけ、東電福島第一原発周辺の海域では平成 28 年度に比べて減少した。これらのことから、東電福島第一原発事故によって漏洩した放射性セシウムによって、海水に含まれる ^{137}Cs のインベントリは事故前に比較して未だに高いものの、海水試料に含まれる同事故由来の ^{137}Cs はほぼ均一に希釈・拡散され、その量は減少していることが分かった。

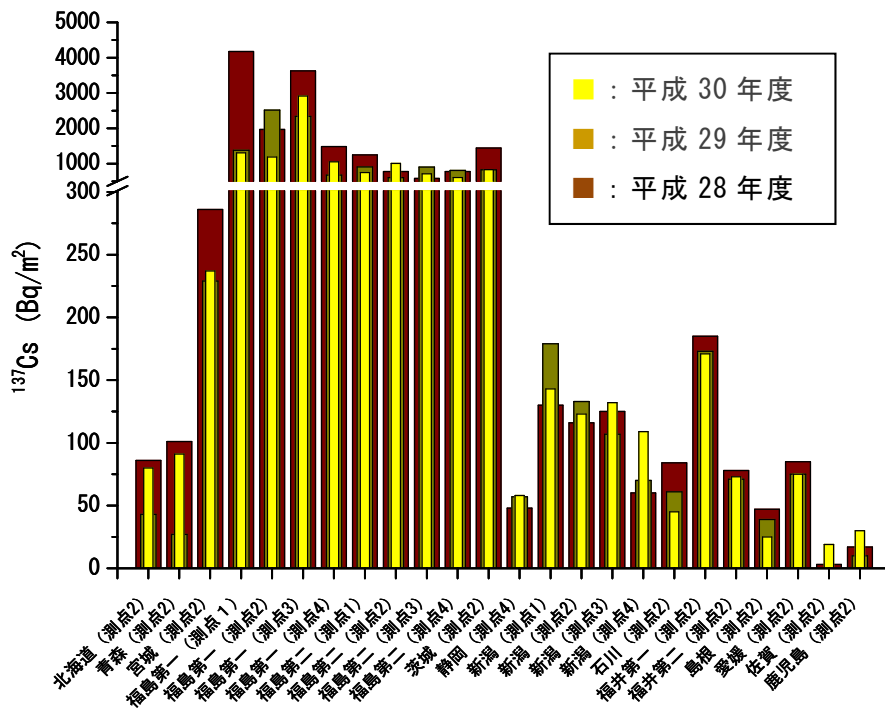


図 I-2-2-3-18 発電所海域（全 15 海域）で採取した海底土試料に含まれる ^{137}Cs のインベントリ

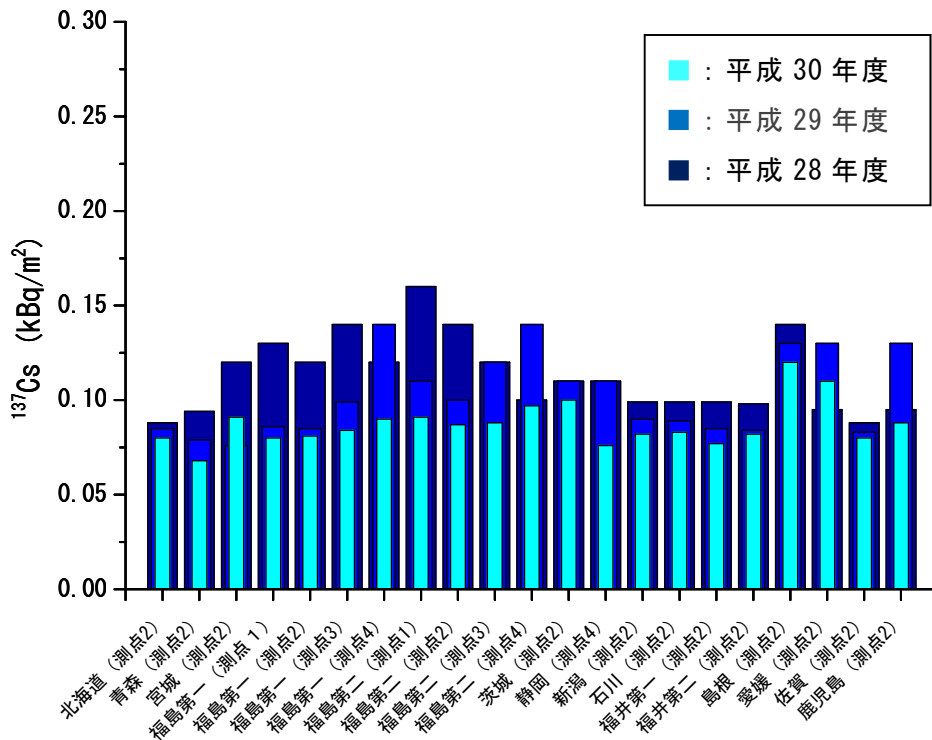


図 I-2-2-3-19 発電所海域（全 15 海域）で採取した海水試料に含まれる ^{137}Cs のインベントリ

⑤ まとめ

「1. 海洋放射能調査海域周辺での調査」において採取した海底土、表層水及び下層水に含まれる放射性核種の分布や海底土の性状、海水試料に含まれる放射性セシウムの挙動を調査した。

平成 30 年度に得られた結果から、東電福島第一原発事故による放射性セシウムの影響を受けたと考えられる海域では同事故直後に漏洩した放射性セシウムの時空間的な変動について、海水から海底土に移行する機構に加え、堆積後の動態や放射性粒子の存在が影響していると考えられる。動物プランクトンに含まれる放射性セシウムの放射能濃度は、同事故から数年の間については変動が大きかった。しかしながら、平成 30 年度の調査では、放射性セシウムの放射能濃度が同事故前と同程度となった。海水中について、平成 24 年度から平成 28 年度にかけて、日本海海域及び西日本海域で微増傾向にあったが、平成 30 年度に実施した調査結果（長時間測定）から、同事故由来の放射性セシウムの影響による増加傾向は見られなかった。これは ^{137}Cs の存在量について平成 29 年度に得られた結果との比較からも明らかである。

引用文献

- 1) Ikenoue, T., Takata, H., Kusakabe, M., Kudo, N., Hasegawa, K. and Ishimaru, T. (2017). Temporal variation of cesium isotope concentrations and atom ratios in zooplankton in the Pacific off the east coast of Japan. *Sci. Rep.*, **7**, 39874.
- 2) Takata, H., Aono, T., Tagami, K. and Uchida, S. (2016). A new approach to evaluate factors controlling elemental sediment-seawater distribution coefficients (K_d) in coastal regions, Japan. *Sci. Total Environ.*, **543**, 315-325.
- 3) Chaillou, G., Anschutz, P., Lavaux, G., Schäfer, J. and Blanc, G. (2002). The distribution of Mo, U, and Cd in relation to major redox species in muddy sediments of the Bay of Biscay. *Mar. Chem.*, **80**, 41-59.
- 4) Thornton, S. F. and McManus, J. (1994). Application of organic carbon and nitrogen stable isotope and C/N ratios as source indicators of organic matter provenance in estuarine systems: evidence from the Tay estuary, Scotland. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **38**, 219-233.
- 5) Kusakabe, M., Oikawa, S., Takata, H. and Misonoo, J. (2013). Spatiotemporal distributions of Fukushima derived radionuclides in nearby marine surface sediments. *Biogeosci.*, **10**, 5019-5030.
- 6) Takata, H., Hasegawa, K., Oikawa, S., Kudo, N., Ikenoue, T., Isono, S.R. and

- Kusakabe, M. (2015). Remobilization of radiocesium on riverine particles in seawater: the contribution of desorption to the export flux to the marine environment. *Mar. Chem.*, **176**, 51-63.
- 7) Ootosaka, S. and Kobayashi, T. (2013). Sedimentation and remobilization of radiocesium in the coastal area of Ibaraki, 70 km south of the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant. *Environ. Monitor. Assess.*, **185**, 5419-5433.
 - 8) Inoue, M., Yoneoka, S., Ochiai, S., Oikawa, S., Fujimoto, K., Yagi, Y., Honda, N., Nagao, S., Yamamoto, M., Hamajima, Y., Murakami, T., Kofuji, H. and Misonoo, J. (2015). Lateral and temporal variations in Fukushima DNPP-derived ^{134}Cs and ^{137}Cs in marine sediments in/around the Sado Basin, Sea of Japan. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **303**, 1313-1316, 2015.
 - 9) Thornton, B., Ohnishi, S., Ura, T., Odano, N., Sasaki, S., Fujita, T., Watanabe, T., Nakata, K., Ono, T. and Ambe, D. (2013). Distribution of local ^{137}Cs anomalies on the seafloor near the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant. *Mar. Poll. Bull.*, **74**(1), 344-350.
 - 10) Kusakabe, M., Oikawa, S., Takata, H. and Misonoo, J. (2013). Spatiotemporal distributions of Fukushima-derived radionuclides in nearby marine surface sediments. *Biogeosci.*, **10**(7), 5019-5030.
 - 11) Ambe, D., Kaeriyama, H., Shigenobu, Y., Fujimoto, K., Ono, T., Sawada, H., Saito, H., Miki, S., Setou, T., Morita, T. and Watanabe, T. (2014). Five-minute resolved spatial distribution of radiocesium in sea sediment derived from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant. *J. Environ. Radioact.*, **138**, 264-275.
 - 12) Ootosaka, S. and Kato, Y. (2014). Radiocesium derived from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident in seabed sediments: initial deposition and inventories. *Environ. Sci.: Processes Impacts*, **16**, 978-990.
 - 13) Kusakabe, M., Inatomi, N., Takata, H. and Ikenoue, T. (2017). Decline in radiocesium in seafloor sediments off Fukushima and nearby prefectures. *J. Oceanogr.*, **73**, 529-545.
 - 14) Adachi, K., Kajino, M., Zaizen, Y. and Igarashi, Y. (2013). Emission of spherical cesium-bearing particles from an early stage of the Fukushima nuclear accident. *Sci. Rep.*, **3**, 2554, doi: 10.1038/srep02554.
 - 15) Itoh, S., Eguchi, T., Kato, N. and Takahashi, S. (2014). Radioactive particles in soil, plant, and dust samples after the Fukushima nuclear accident. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **60**, 540-550.
 - 16) Ikenoue, T., Takata, H., Kusakabe, M., Kudo, N., Hasegawa, K. and Ishimaru,

- T. (2017). Temporal variation of cesium isotope concentrations and atom ratios in zooplankton in the Pacific off the east coast of Japan. *Sci. Rep.*, **7**, 39874.
- 17) Ikenoue, T., Ishii, N., Kusakabe, M. and Takata, H. (2018). Contribution of ^{137}Cs -enriched particles to radiocesium concentrations in seafloor sediment: Reconnaissance experiment. *PLoS ONE*, **13**(9), e0204289.
- 18) Furuki, G., Imoto, J., Ochiai, A., Yamasaki, S., Nanba, K., Ohnuki, T., Grambow, B., Ewing, R.C., Utsunomiya, S. (2017). Caesium-rich micro-particles: A window into the meltdown events at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. *Sci. Rep.*, **7**, 42731.
- 19) Kogure, T., Yamaguchi, N., Segawa, H., Mukai, H., Motai, S., Akiyama-Hasegawa, K., ... & Yaita, T. (2016). Constituent elements and their distribution in the radioactive Cs-bearing silicate glass microparticles released from Fukushima nuclear plant. *Microsc.*, **65**(5), 451-459.
- 20) Ono, T., Iizawa, Y., Abe, Y., Nakai, I., Terada, Y., Satou, Y., Sueki, K., Adachi, K., Igarashi, Y. (2017). Investigation of the chemical characteristics of individual radioactive microparticles emitted from reactor 1 by the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident by using multiple synchrotron radiation X-ray analyses. *Bunseki Kagaku* **66**(4), 251-261 (In Japanese).
- 21) Mukai, H., Hatta, T., Kitazawa, H., Yamada, H., Yaita, T., Kogure, T. (2014). Speciation of radioactive soil particles in the Fukushima contaminated area by IP autoradiography and microanalyses. *Environ. Sci. Technol.* **48**(22), 13053-13059.
- 22) 高田兵衛・帰山秀樹・喜多村稔・横田瑞郎・池上隆仁・日下部正志 (2015). 海洋環境における動物プランクトン中の東電福島第一原発由来放射性Csの動態. *海洋と生物*, **37**, 310-318.
- 23) Kaeriyama, H., Watabe, T., and Kusakabe, M. (2008). ^{137}Cs concentration in zooplankton and its relation to taxonomic composition in the western North Pacific Ocean. *J. Environ. Radioact.*, **99**, 1838-1845.
- 24) IAEA. (2004). IAEA technical report series No 422. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- 25) Kaeriyama, H., Fujimoto, K., Ambe, D., Shigenobu, Y., Ono, T., Tadokoro, K., Okazaki, Y., Kakehi, S., Ito, S., Narimatsu, Y., Nakata, K., Morita, T. and Watanabe, T. (2015). Fukushima-derived radionuclides ^{134}Cs and ^{137}Cs in zooplankton and seawater samples collected off the Joban-Sanriku coast, in

- Sendai Bay, and in the Oyashio region. *Fish. Sci.*, **81**, 139-153.
- 26) Spencer, D. W., Robertson, D. E., Turekian, K. K. and Folsom, T. R. (1970).
Trace element calibrations and profiles at the GEOSECS test station in the
northeast Pacific Ocean. *J. Geophys. Res.*, **75**, 7688-7696.

(4) 原子力発電所等周辺海域における海水及び海産生物のトリチウム濃度調査

① はじめに

東電福島第一原発事故後、平成24年度からの解析調査によって、福島第一及び福島第二海域で漁獲される海産生物に含まれるトリチウムの放射能濃度の調査を行ってきたが、事故の影響を明確に示す調査結果は出ていない。また、トリチウムは海水中では拡散しやすく、核燃料サイクル施設（原子燃料サイクル施設）及び東電福島第一原発周辺海域において海水に含まれるトリチウムの放射能濃度の確認をしているが、「1. 海洋放射能調査海域周辺での調査」のうち、発電所海域では海水及び海産生物試料に含まれるトリチウムについては、 ^{90}Sr や ^{137}Cs といった人工放射性核種と異なり、調査すべき放射性核種に挙げられておらず、例えば我が国の海洋環境におけるトリチウムの放射能濃度の範囲の参照として利用するためのバックグラウンドの把握ができていないなど、同一の機関が同時期に同一の方法を適用した広範囲での影響調査並びに複数海域に及ぶような影響評価ができないのが現状である。

そこで、平成30年度は「1. 海洋放射能調査海域周辺での調査」において採取・収集した海水及び海産生物試料のうち、海水試料については、各発電所海域で採取した表層の海水試料に含まれるトリチウムの放射能測定を行い、そのバックグラウンドを把握するための基礎となるデータを収集することに努めた。また併せて海産生物については、核燃料サイクル施設（原子燃料サイクル施設）沖合及び東電福島第一原発の影響をモニタリングすることを想定し、核燃料サイクル施設（原子燃料サイクル施設）沖合に加え、青森、宮城、福島第一・第二、及び茨城の各発電所海域から収集した海産生物試料に含まれるトリチウムの放射能濃度調査を広範囲に行い、そのバックグラウンドを把握するための基礎データを収集することに努めた。

② 方法

i. 試料

海水試料は表層の海水とし、「1. 海洋放射能調査海域周辺での調査」における発電所海域の15海域各1測点及び対照海域の1海域3測点で合計18試料を、平成30年5月10日から6月21日にかけて採取した。採取後、褐色ポリ容器に2Lを分取し、この海水試料には酸の添加は行わず、分析を行うまで冷暗所にて適切に保管した。

「海洋放射能調査」の核燃料サイクル施設（原子燃料サイクル施設）沖合、青森、宮城、福島第一、福島第二及び茨城海域の6海域で、平成30年度第1回収集時に漁獲された各3種の海産生物のうち2種ずつを選び、合計12試料の海産生物に含まれるトリチウムの放射能分析を行った。各海産生物試料から可食筋肉部位を分け取った後、全個体分をよく混合したものから生鮮重量で約1kg程度を分取・凍結保存して、トリチウム分析用に供した。いずれの試料も「海洋放射能調査」の一環として、灰化後ガンマ線放出核種等を対象とした放射能分析を行っており、一部の試料は ^{137}Cs 濃度等に東電福島第一原発事故の影響が

見られている。

ii. 分析

トリチウム（核種として ^3H と表記されるが、「T」と表示する場合もある）は水素の放射性同位元素であり、環境中ではそのほとんどが水（ ^3HHO （「HTO」と表記する場合もある））の形で存在している。一般にトリチウム濃度は河川水より海水の方が低く、沿岸から離れる程に、また深度が増すごとに低くなる傾向がある。本調査においては、放射能測定法シリーズ¹⁾のトリチウム分析法に準じた方法を適用することとし、海水試料に含まれるトリチウムを電解濃縮法にて分離濃縮し、液体シンチレーションカウンタによるベータ線計測によりトリチウムの定量を行った。

トリチウムは水素の放射性同位元素として、物理・化学・生物学的に水（ ^3HHO ）と同じ挙動をするため、海産生物中に取り込まれて体内で代謝されたトリチウムは、特定の臓器に集中せず生物体全体の組織水分や有機成分中に分布する。そのため、トリチウムの放射能濃度に関する分析は、海産生物の組織自由水型トリチウム（以下、「TFWT」という^{※1}。）と、有機物中の有機結合型トリチウム（以下、「OBT」という^{※2}。）に分けて行われる。従来、国内のOBT分析は、放射能測定法シリーズに準じた方法により行われる。しかしトリチウムは常温において試料周りの大気中水蒸気の吸収や試料自身のTFWTとOBT間の同位体交換などが非常に速く起こりやすい核種であるため、近年諸外国では、生物が試料として採取される前に体内代謝によって有機成分に取り込んだトリチウムのみを分析することを目的に国際標準法^{2)、3)、4)}に準じた方法で行われている。従って本調査では、OBTについて両方の分析方法を比較並行的に行うこととした。

図I-2-2-4-1にトリチウムの放射能分析に関するフロー図を示す。放射能測定法シリーズに準じた方法で定量されるOBTは、試料保存や分析作業の環境中のトリチウムの放射能濃度や試料自身のTFWTの放射能濃度に影響を受ける「交換型OBT」も含まれる「全OBT」として評価される。国際標準法では、凍結乾燥した試料についてトリチウムを含まない水（例えば、長期間大気との接触がない深地下水など）に浸漬し凍結乾燥を行う過程を3回繰り返すことによって「交換型OBT」を洗浄除去できるので、生物代謝の同化・異化作用によって有機分子中に取り込まれ、生物体内の滞留時間も比較的長い炭素原子に結合した「非交換型OBT」だけを分析することができる。

※1 組織自由水型トリチウムはTFWT (Tissue Free Water Tritium) と称される。

※2 有機結合型トリチウムはOBT (Organically Bound Tritium) と称される。

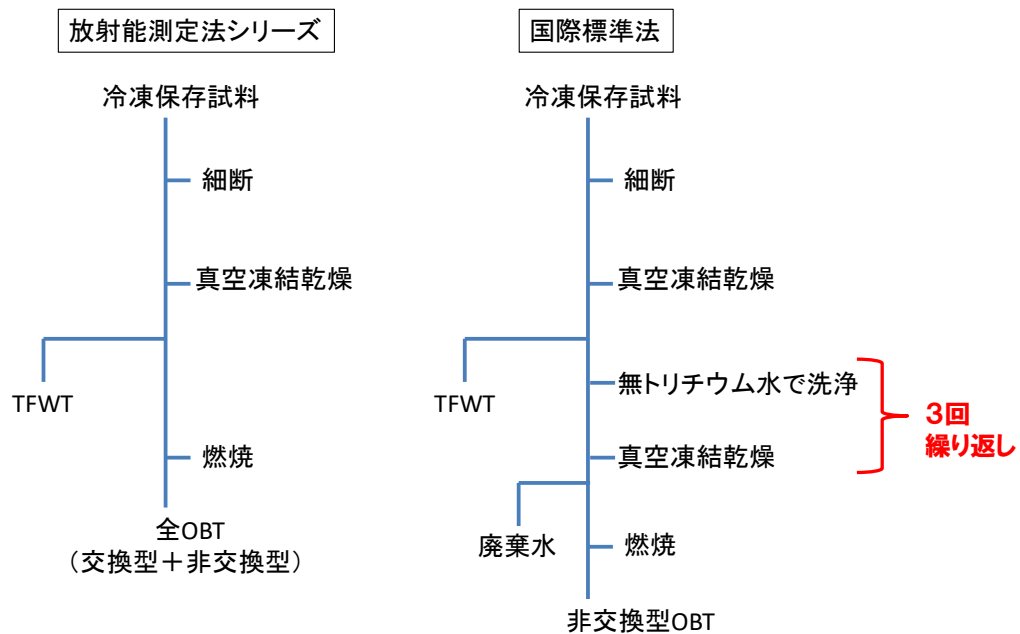


図 I-2-2-4-1 放射能測定法シリーズ及び国際標準法による海産生物に含まれる TFWT 及び OBt の分析フロー図

③ 結果

i. 海水中トリチウム濃度

表 I-2-2-4-1 に分析結果を示す。海水試料に含まれるトリチウムの放射能濃度は東日本海域（青森、宮城、福島第一、福島第二、茨城）と西日本海域（静岡、愛媛、鹿児島、佐賀）、日本海海域（島根、福井第一、福井第二、石川、新潟、北海道）及び対照海域（襟裳沖（E11）、釧路沖（K2）、核燃沖（T2））に分けて詳述する。

トリチウムの放射能濃度は、東日本海域が 0.08～0.10Bq/L、西日本海域が 0.07～0.10Bq/L、日本海海域が 0.07～0.11Bq/L、対照海域が 0.06～0.09Bq/L であった。各海域間で比較しても有意な違いはみられず、海域の違いによる海水への事故の影響は確認できなかった。なお、平成 29 年度の発電所および対照海域と比較してもトリチウムの放射能濃度は同程度であった。

図 I-2-2-4-2 に平成 3 年度から平成 29 年度までの核燃海域の表層水に含まれるトリチウムの放射能濃度と平成 30 年度の調査結果の比較を示す。核燃海域の表層水に含まれるトリチウムの放射能濃度は事故後 5 年間で 0.05～0.18Bq/L、事故前 5 年間ではアクティブ試験の影響が観測された平成 19～20 年度の結果を除いて 0.06～0.21Bq/L であり、平成 30 年度調査の結果はその範囲内であった。事故から 7 年後の現在では海水試料に含まれるトリチウムの放射能濃度への影響は確認できず、バックグラウンドレベルであることが確認できた。

表 I -2-2-4-1 海水試料に含まれるトリチウムの放射能分析結果

海域	測点	試料採取日	採取層 (m)	³ H (Bq/L)	³ H (誤差)	検出下界値 (Bq/L)
北海道	2	平成 30 年 6 月 4 日	1	0.09	0.02	0.06
青森	2	平成 30 年 6 月 6 日	1	0.08	0.02	0.07
宮城	2	平成 30 年 6 月 16 日	1	0.10	0.02	0.07
福島第一	2	平成 30 年 6 月 18 日	1	0.09	0.02	0.06
福島第二	2	平成 30 年 6 月 19 日	1	0.10	0.02	0.06
茨城	2	平成 30 年 6 月 21 日	1	0.10	0.02	0.06
静岡	4	平成 30 年 5 月 21 日	1	0.07	0.02	0.05
新潟	2	平成 30 年 5 月 10 日	1	0.11	0.02	0.06
石川	2	平成 30 年 5 月 14 日	1	0.07	0.02	0.07
福井第一	2	平成 30 年 5 月 15 日	1	0.07	0.02	0.07
福井第二	2	平成 30 年 5 月 17 日	1	0.08	0.02	0.06
島根	2	平成 30 年 5 月 16 日	1	0.09	0.02	0.07
愛媛	2	平成 30 年 5 月 18 日	1	0.10	0.02	0.05
佐賀	2	平成 30 年 5 月 15 日	1	0.09	0.02	0.06
鹿児島	2	平成 30 年 5 月 16 日	1	0.07	0.02	0.06
襟裳沖	E11	平成 30 年 6 月 8 日	1	0.09	0.02	0.06
	K2	平成 30 年 6 月 7 日	1	0.06	0.02	0.05
	T2	平成 30 年 6 月 3 日	1	0.07	0.02	0.07

* 誤差は計数誤差 (1 σ) を示す。

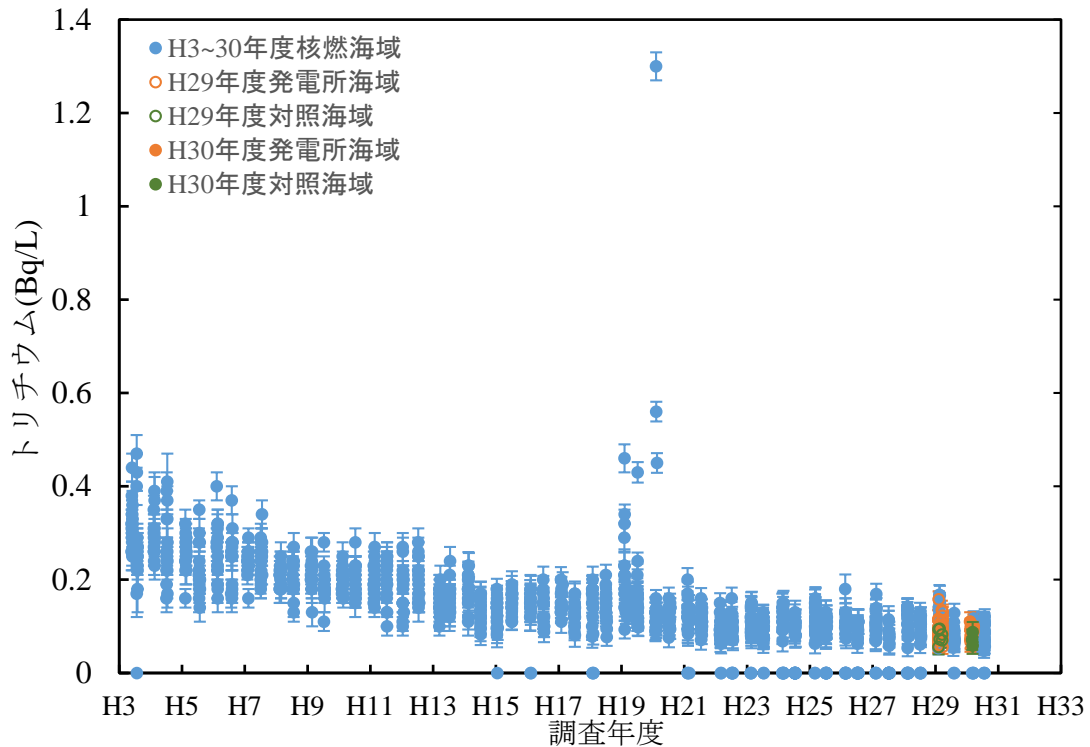


図 I -2-2-4-2 核燃海域の表層水に含まれるトリチウムの放射能濃度
 (平成 3 年度～平成 29 年度調査実施分) と本調査結果
 (平成 30 年度調査分)
 (*横軸上のプロットはすべて検出下限値以下を示す。)

ii. 海産生物中トリチウム濃度

表 I -2-2-4-2 に分析結果を示す。TFWT の放射能濃度は 0.04～0.10 (Bq/L-水)、0.03～0.08(Bq/kg-生鮮物)の範囲にあり、過去の東日本近海の海水で観測されたトリチウムの放射能濃度と同レベルであった。アクティブ試験開始前の核燃料サイクル施設(原子燃料サイクル施設)沖合海域の海産生物に含まれる TFWT のトリチウムの放射能濃度は、平成 13 年度が 0.19 ± 0.05 Bq/L-水 (0.11～0.33Bq/L-水)、平成 17 年度が 0.19 ± 0.04 Bq/L-水 (0.06～0.26Bq/L-水) であった。また平成 14 年度に茨城海域で採取された海産生物に含まれる TFWT の放射能濃度は 0.18 ± 0.06 Bq/L-水、平成 24 年度が 0.14Bq/L-水であった。なお、平成 29 年度調査の 6 海域で収集された海産生物の測定値は、これらと同程度の放射能濃度レベルである。

全 OBT 及び非交換型 OBT は全て検出下限値以下の放射能濃度であり、平成 24～29 年度に引き続き、トリチウムについて海産生物の有機成分中に見出すことはなかった。そのため全 OBT の放射能濃度と非交換型 OBT の放射能濃度の比較分析についてその差異を考察することはできなかったが、検出下限値をみると全 OBT が 0.24～0.28Bq/L-水、非交換型 OBT が 0.27～0.28Bq/L-水であり、分析法としては国際的にも遜色のない精度良い分析が行われた。

表 I -2-2-4-2 海産生物のトリチウム濃度分析結果

海域	試料	漁獲日	漁獲場所	個体数	トリチウム濃度				
					TFWT		全 OBT	非交換型 OBT	
					上段は (Bq/L-水) 下段は (Bq/kg-生鮮物) *1				
核燃	ミズダコ	平成 30 年 4 月 6 日	東通村 尻屋沖	3	0.06	±	0.01*2	ND*3	ND
					0.05	±	0.01	ND	ND
	ヒラメ	平成 30 年 9 月 19 日	三沢市 四川目沖	46	0.10	±	0.01	ND	ND
					0.08	±	0.01	ND	ND
青森	アイナメ	平成 30 年 4 月 22 日	東通村 白糠前沖	31	0.07	±	0.01	ND	ND
					0.05	±	0.01	ND	ND
	ムシガレイ	平成 30 年 5 月 14 日	小田野沢沖	118	0.08	±	0.01	ND	ND
					0.06	±	0.01	ND	ND
宮城	マダラ	平成 30 年 5 月 9 日 ~5 月 12 日	女川町 江の島港沖	8	0.07	±	0.01	ND	ND
					0.05	±	0.01	ND	ND
	アイナメ	平成 30 年 5 月 15 日 ~5 月 17 日	女川町 江の島港沖	43	0.06	±	0.01	ND	ND
					0.05	±	0.01	ND	ND
福島 第一	マガレイ	平成 30 年 6 月 19 日	相馬沖	101	0.07	±	0.01	ND	ND
					0.06	±	0.01	ND	ND
	ヒラメ	平成 30 年 6 月 19 日	相馬沖	14	0.06	±	0.01	ND	ND
					0.05	±	0.01	ND	ND
福島 第二	マコガレイ	平成 30 年 5 月 25 日	いわき市 久之浜沖	64	0.08	±	0.01	ND	ND
					0.06	±	0.01	ND	ND
	マガレイ	平成 30 年 4 月 12 日~ 4 月 19 日	いわき市 久之浜沖	106	0.08	±	0.01	ND	ND
					0.06	±	0.01	ND	ND
茨城	ムシガレイ	平成 30 年 9 月 12 日	日立市沖	153	0.05	±	0.01	ND	ND
					0.04	±	0.01	ND	ND
	ヤナギダコ	平成 30 年 4 月 4 日	日立市沖	51	0.04	±	0.01	ND	ND
					0.03	±	0.01	ND	ND

*1 海産生物によるトリチウムの取り込みは、水 ($^3\text{H}_2\text{O}$ の化学形) として海水から吸収され、体内で水の代謝によって有機物へ移行するため、その放射能濃度を比較評価するために、 ^3H に対する比 ($^3\text{H}_2\text{O}$ あたりの) とした放射能濃度に統一して評価するのが適している。従って放射能濃度の表示単位として、(Bq/kg-生鮮物) で表したもののほか、 $^3\text{H}_2\text{O}$ との比とした放射能濃度にほぼ等しい (Bq/L-水) によっても示した。

*2 誤差は 1σ 計数誤差を示す。

*3 検出下限値：TFWT (0.03~0.04Bq/L-水、0.02~0.03 Bq/kg-生鮮物)、全 OBT (0.24~0.28Bq/L-水、0.03~0.05 Bq/kg-生鮮物)、非交換型 OBT (0.27~0.28Bq/L-水、0.03~0.05 Bq/kg-生鮮物)。

④ まとめ

核燃、青森、宮城、福島第一、福島第二及び茨城海域の海水試料に含まれるトリチウムの放射能濃度と海産生物に含まれる TFWT の放射能濃度を海域毎に比較すると、平成 30 年度は同程度の放射能濃度でありバックグラウンドレベルとして解釈できることが分かった。なお、本調査における海水試料に含まれるトリチウムの放射能濃度 (0.07~0.11 Bq/L) は各自治体等機関によって行われている原子力施設等周辺の環境放射線等を監視する事業の調査結果 (ND~2.8 Bq/L*) に比べ、最大値が 1 桁低くなっている。これは各自治体等機関の調査の測点が放水口付近等の沿岸部に設けられているのに対し、本調査では漁場を対象としているため陸から 30km ほど離れた沖合に測点が設けられていることによって放射能濃度に違いが生じたと考えられる。

*【1】2.解析調査 3) 海洋環境関連調査報告書等の収集・整理 に記載

海産生物はその体内代謝に伴う水の取り込み速度が比較的速いため、TFWT の放射能濃度は海水に含まれるトリチウムの放射能濃度に追従して変化し、併せて交換型 OBT も TFWT の放射能濃度の影響を受けてやや遅れて追従する。しかし、非交換型 OBT については体内代謝でトリチウムが内部に取り込まれるまで比較的時間を要するため、放射能濃度の追従は遅れることが多い。従って試料に含まれる TFWT の放射能濃度と全 OBT の放射能濃度が高い場合でも、非交換型 OBT の放射能濃度は高くない場合があるため、とりわけ、海産生物試料に含まれるトリチウムの放射能濃度を比較対照として海水に含まれるトリチウムのバックグラウンドを評価する場合には、継続した調査も必要であるが、併せてこれらの生物学的な事項に留意しなければならないことが分かった。

引用文献

- 1) 放射能測定法シリーズ9「トリチウム分析法」(平成15年改訂)。
- 2) Pointurier, F., Baglan, N., Alanic, G. and Chiappini, R. (2003). Determination of organically bound tritium background level in biological samples from a wide area in the south-west of France. *J. Environ. Radioact.*, **68**, 171-189.
- 3) Pointurier, F., Baglan, N. and Alanic, G. (2004). A method for the determination of low-level organic-bound tritium activities in environmental samples. *Appl. Radiat. Isot.*, **61**, 293-298.
- 4) Vichot, L., Boyer, C., Boissieux, T., Losset, Y. and Pierrat, D. (2008). Organically bound tritium (OBT) for various plants in the vicinity of a continuous atmospheric tritium release. *J. Environ. Radioact.*, **99**, 1636-1643.

3) 海洋環境関連調査報告書等の収集・整理

① はじめに

原子力発電所が立地する道県及び核燃料サイクル施設（原子燃料サイクル施設）が立地する県は原子力施設等周辺の環境放射線等を監視する事業を実施しており、その結果を定期的に公表している¹⁻¹⁵⁾。また、海上保安庁海洋情報部¹⁶⁻¹⁷⁾（以下「海上保安庁」という。）、農林水産省農林水産技術会議事務局¹⁸⁻¹⁹⁾（以下「農水省」という。）及び国立研究開発法人日本原子力研究開発機構²⁰⁾（以下「原子力機構」という。）は日本近海の海水、海底土及び海産生物に関する放射能調査を実施してその結果を取りまとめて定期的に公表している（以下、上記全ての機関を総称し「自治体等機関」という。）。

本項では、平成 29 年度に実施あるいは公表された自治体等機関の調査結果より、海産生物、海底土及び海水試料に含まれる¹³⁷Cs 等の人工放射性核種の放射能濃度等の分析結果をデータベース化（以下「自治体データベース」という。）するとともに、本事業において実施した海洋放射能調査の結果と相互に比較して評価するための資料として整理した。

②海洋放射能調査結果と自治体等機関の調査結果の比較

「1. 海洋放射能調査海域周辺での調査」及び自治体データベースより、平成 29 年度の放射性核種の放射能濃度の範囲を表 I-2-3-1～3 にそれぞれ示し、自治体等機関と本事業の調査結果の比較を行った。

また、調査結果公表の時期により海上保安庁¹⁶⁻¹⁷⁾においては平成 28 年度と平成 29 年度、農水省¹⁸⁻¹⁹⁾においては平成 26 年度と平成 27 年度、そして原子力機構においては平成 28 年度の調査結果を比較の対象とした。

（海産生物試料）

海産生物試料を調査対象としている機関は 13 道県、農水省及び原子力機構である。

⁹⁰Sr は 12 道県及び原子力機構が調査しており、その放射能濃度は ND～0.10Bq/kg-生鮮物の範囲であった。本調査で実施した⁹⁰Sr の放射能濃度はすべて ND の結果であり、これら自治体等機関が報告している放射能濃度の範囲内にあった。

放射性セシウムのうち¹³⁴Cs は 11 道県、農水省及び原子力機構が調査しており、農水省の調査においてはその存在が認められたが（平成 26 年度の最大値が 1.8Bq/kg-生鮮物）、他の 11 道県と原子力機構の調査では認められなかった。また、¹³⁷Cs は、13 道県、農水省及び原子力機構が調査しており、その放射能濃度は ND～50.8Bq/kg-生鮮物の範囲にあり、福島県において最も高い放射能濃度が認められた。本調査における海産生物試料の結果は、¹³⁴Cs の放射能濃度は ND～0.25Bq/kg-生鮮物、¹³⁷Cs の放射能濃度は ND～1.8Bq/kg-生鮮物の範囲にあり、¹³⁷Cs の放射能濃度は自治体等機関から報告された放射能濃度の範囲内にあるほか、福島県と茨城県において高めの放射能濃度が認められる傾向があった。¹³⁴Cs は県と原子力機構の調査では検出されなかったものの、本調査で検出されていたが、福島県に

において最も高い ^{137}Cs の放射能濃度が観測された試料に含まれる ^{134}Cs の放射能濃度は、「検出せず (<6.1 Bq/kg-生鮮物)」となっており、定量下限値を考慮すると必ずしも本調査の結果が高かったとは言えないと考えられる。

$^{239+240}\text{Pu}$ については青森県、茨城県、福井県、愛媛県の 4 県と原子力機構が調査しており、その放射能濃度は ND~0.047Bq/kg-生鮮物の範囲にあり、福井県において最も高い値が認められた。本調査の $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度はすべて ND であり、これら自治体等機関が示す放射能濃度の範囲内であった。

表 I-2-3-1 平成 29 年度 道県原子力発電所周辺環境放射能調査結果等による放射性核種の放射能濃度の範囲（海産生物試料）（一部機関については他年度も含む）

自治体	年度	Cs-134 (Bq/kg-生鮮物)		Cs-137 (Bq/kg-生鮮物)		Sr-90 (Bq/kg-生鮮物)		Pu-239+240 (Bq/kg-生鮮物)		総検体数
		検体数	最小 ~ 最大	検体数	最小 ~ 最大	検体数	最小 ~ 最大	検体数	最小 ~ 最大	
北海道	H29	74	N.D.*1	74	N.D. ~ 0.14	19	N.D.	—*2		74
青森県	H29	32	N.D.	32	N.D.	32	N.D. ~ 0.05	19	N.D. ~ 0.014	32
宮城県	H29	18	N.D.	18	N.D. ~ 0.20	9	N.D.	—		18
宮城県 (指標海産生物)	H29	15	N.D.	15	N.D. ~ 0.25	4	N.D. ~ 0.045	—		15
福島県	H29	8496	N.D.	8496	N.D. ~ 50.8	—		—		8496
茨城県	H29	60	N.D.	60	N.D. ~ 1.5	60	N.D.	44	N.D. ~ 0.0043	60
静岡県	H29	28	N.D.	28	N.D. ~ 0.31	14	N.D.	—		28
新潟県	H29	11	N.D.	11	N.D. ~ 0.21	2	N.D. ~ 0.01	—		11
新潟県 (指標海産生物)	H29	20	N.D.	20	N.D. ~ 0.095	5	0.029 ~ 0.048	—		20
石川県	H29	51	N.D.	51	N.D.	14	N.D.	—		51
福井県	H29	146	N.D.	146	N.D. ~ 0.3	25	N.D. ~ 0.10	35	N.D. ~ 0.047	146
島根県	H29	—		42	N.D. ~ 0.09	4	N.D.	—		42
愛媛県	H29	40	N.D.	40	N.D. ~ 0.25	4	N.D. ~ 0.055	3	N.D. ~ 0.0113	40
佐賀県	H29	24	N.D.	24	N.D. ~ 0.17	10	N.D. ~ 0.075	—		24
鹿児島県	H29	—		18	N.D. ~ 0.13	11	N.D.	—		18
農林水産省	H26	281	N.D. ~ 1.8	281	N.D. ~ 5.3	—		—		281
“	H27	231	N.D. ~ 1.6	231	N.D. ~ 6.1	—		—		231
日本原子力 研究開発機構	H28	24	N.D.	24	0.055 ~ 0.58	24	N.D. ~ 0.025	24	N.D. ~ 0.0034	24
海洋放射能調査	H29	120	N.D. ~ 0.25	120	N.D. ~ 1.8	30	N.D.	30	N.D.	120

（海洋放射能調査の結果のうち、平成 26 年度～平成 28 年度に実施したものについては表 I-5-1 及び表 I-5-2 に記載している）

*1 ND は検出下限値以下を示す。

*2 分析対象外核種について「—」で示した。

(海底土試料)

海底土試料を調査対象としている機関は 13 道県、海上保安庁、農水省及び原子力機構である。

^{90}Sr については 9 道県、海上保安庁及び原子力機構が調査しており、その放射能濃度は ND~4.6Bq/kg-乾燥土の範囲であった。本調査では核燃海域において海底土試料に含まれる ^{90}Sr を分析しており、その放射能濃度は ND~0.37Bq/kg-乾燥土の範囲にあり、これら自治体等機関の示す放射能濃度の範囲内であった。

放射性セシウムのうち ^{134}Cs については 11 道県、海上保安庁、農水省及び原子力機構が、 ^{137}Cs については 13 道県、海上保安庁、農水省及び原子力機構が調査している。 ^{134}Cs の放射能濃度については ND~52Bq/kg-乾燥土、 ^{137}Cs の放射能濃度については ND~360Bq/kg-乾燥土の範囲であり、各濃度とも福島県が最高値であった。本調査における ^{134}Cs の放射能濃度は ND~10Bq/kg-乾燥土、 ^{137}Cs の放射能濃度は ND~80Bq/kg-乾燥土の範囲にあり、これら自治体等機関が示した放射能濃度の範囲内にあり、宮城県、福島県及び茨城県において高い放射能濃度を示す傾向も同様であった。

$^{239+240}\text{Pu}$ は 6 県、海上保安庁及び原子力機構が調査しており、その放射能濃度は ND~1.8Bq/kg-乾燥土の範囲にあった。本調査で得られた $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度は 0.31~5.0Bq/kg-乾燥土の範囲にあり、これら自治体等機関が示す $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度の範囲よりも高い傾向が見られた。海底土に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度は採取した場所の水深が深いほど放射能濃度が高くなる傾向を示すことが分かっている²¹⁾。本調査では、自治体等機関よりも深い水深で海底土を採取している測点があり（例えば、核燃海域の測点 10 及び 15）、環境には影響はないものの、調査結果として比較的高い $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度が得られたのは、深い水深の場所で採取されたためであると考えられる。

表 I-2-3-2 平成 29 年度 道県原子力発電所周辺環境放射能調査結果等による放射性核種の放射能濃度の範囲（海底土試料）（一部機関については他年度も含む）

自治体	年度	Cs-134(Bq/kg乾土)		Cs-137(Bq/kg乾土)		Sr-90(Bq/kg乾土)		Pu-239+240(Bq/kg乾土)		総検体数
		検体数	最小値～最大値	検体数	最小値～最大値	検体数	最小値～最大値	検体数	最小値～最大値	
北海道	H29	12	N.D.*1	12	N.D. ～ 0.47	4	N.D.	—*2	—	12
青森県	H29	9	N.D.	9	N.D.	4	N.D.	7	0.14 ～ 0.57	9
宮城県	H29	13	N.D. ～ 2.6	13	0.53 ～ 23.7	1	N.D.	—	—	13
福島県	H29	33	N.D. ～ 52	33	2 ～ 360	27	N.D. ～ 4.6	28	0.18 ～ 0.61	33
茨城県	H29	26	N.D. ～ 2.9	26	2.0 ～ 25	26	N.D.	20	0.21 ～ 0.82	26
静岡県	H29	64	N.D.	64	N.D. ～ 2.7	—	—	—	—	64
新潟県	H29	14	N.D.	14	N.D.	—	—	4	0.11 ～ 0.19	14
石川県	H29	19	N.D.	19	N.D.	16	N.D.	—	—	19
福井県	H29	92	N.D.	92	N.D. ～ 9.4	—	—	14	0.026 ～ 1.50	92
島根県	H29	—	—	3	N.D.	—	—	—	—	3
愛媛県	H29	14	N.D.	14	N.D. ～ 1.0	8	N.D. ～ 0.26	8	0.23 ～ 0.59	14
佐賀県	H29	17	N.D.	17	N.D.	9	N.D.	—	—	17
鹿児島県	H29	—	—	8	N.D. ～ 1.0	4	N.D.	—	—	8
海上保安庁	H28	9	N.D. ～ 9.0	17	0.12 ～ 51	17	N.D. ～ 0.61	8	N.D. ～ 1.6	17
〃	H29	14	N.D. ～ 5.3	14	N.D. ～ 42	14	N.D. ～ 0.30	5	0.004 ～ 1.8	14
農林水産省	H26	198	N.D. ～ 41	198	N.D. ～ 124	—	—	—	—	198
〃	H27	160	N.D. ～ 21	160	N.D. ～ 77	—	—	—	—	160
日本原子力 研究開発機構	H28	8	N.D. ～ 2.4	8	3.5 ～ 14	8	N.D.	8	0.22 ～ 0.61	8
海洋放射能調査	H29	82	N.D. ～ 10	82	N.D. ～ 80	22	N.D. ～ 0.37	22	0.31 ～ 5.0	82

（海洋放射能調査の結果のうち、平成 26 年度～平成 28 年度に実施したものについては表 I-5-3 及び表 I-5-4 に記載している）

*1 ND は検出下限値以下を示す。

*2 分析対象外核種について「—」で示した。

（海水試料）

海水試料を調査対象としている機関は 13 道県、海上保安庁、原子力機構である。

トリチウム（H-3）については 13 道県及び原子力機構が調査しており、その放射能濃度は ND～2.8Bq/L の範囲にあり、福井県が最も高い値を示した。本調査では核燃海域においてトリチウムを分析対象としており、その放射能濃度は ND～0.17Bq/L の範囲にあり、これら自治体等機関が示す放射能濃度の範囲内であった。

⁹⁰Sr は 10 道県、海上保安庁及び原子力機構が調査しており、その濃度は福島県の除くところで ND～2.2mBq/L の範囲に、福島県においては 0.6～17mBq/L の範囲にあり、福島県において比較的高い値であった。本調査における ⁹⁰Sr の放射能濃度は ND～1.1mBq/L の範囲

にあり、福島県以外のこれら自治体等機関が示す調査結果と同程度の値であった。

放射性セシウムのうち ^{134}Cs については 11 道県、海上保安庁及び原子力機構が、 ^{137}Cs については 13 道県、海上保安庁及び原子力機構が調査している。 ^{134}Cs の放射能濃度は ND～21mBq/L、 ^{137}Cs の放射能濃度は ND～150mBq/L の範囲にそれぞれあり、何れも福島県での調査結果で最も高い値を示した。本調査における ^{134}Cs の放射能濃度はすべて ND、 ^{137}Cs の放射能濃度は ND～4.0mBq/L の範囲にあり、これら自治体等機関が示す放射能濃度の範囲内にあり、福島県で高い傾向も同様であった。

$^{239+240}\text{Pu}$ は青森県、福島県、愛媛県、海上保安庁及び原子力機構が調査しており、その放射能濃度は ND～0.02mBq/L の範囲にあった。本調査における $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度は ND～0.023mBq/L の範囲にあり、これら 5 機関が示す放射能濃度の範囲よりも高い傾向が見られた。本調査では、自治体等機関が試料採取を実施している場所よりも深い層で海水を採取している測点があり（例えば核燃海域の測点 10 及び 15）、比較的高い $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度が見られたのは、海底土と同様に深い深度の場所で採取された試料であるためと考えられる²¹⁾。

表 I-2-3-3 平成 29 年度 道県原子力発電所周辺環境放射能調査結果等による放射性核種の放射能濃度の範囲（海水試料）（一部機関については他年度も含む）

自治体	年度	Cs-134(mBq/L)		Cs-137(mBq/L)		Sr-90(mBq/L)		Pu-239+240(mBq/L)		H-3(Bq/L)		総検体数
		検体数	最小値～最大値	検体数	最小値～最大値	検体数	最小値～最大値	検体数	最小値～最大値	検体数	最小値～最大値	
北海道	H29	32	N.D.*1	32	N.D. ～ 2.1	4	N.D.	—*2	32	N.D.	32	
青森	H29	32	N.D.	32	N.D.	18	N.D.	18	N.D.	32	N.D.	32
宮城県	H29	19	N.D.	19	N.D. ～ 3.6	1	2.2	—	7	N.D.	19	
福島県	H29	81	N.D. ～ 21	81	3 ～ 150	75	0.6 ～ 17	75	N.D. ～ 0.012	81	N.D. ～ 0.58	81
茨城県	H29	21	N.D.	54	N.D. ～ 8.9	26	N.D.	—	156	N.D.	182	
静岡県	H29	64	N.D.	64	N.D. ～ 4.7	—	—	—	28	N.D. ～ 0.60	64	
新潟県	H29	18	N.D.	18	N.D. ～ 2.5	1	0.92	—	18	N.D.	18	
石川県	H29	19	N.D.	19	N.D. ～ 2.5	—	—	—	19	N.D.	19	
福井県	H29	54	N.D.	54	N.D. ～ 2.8	—	—	—	88	N.D. ～ 2.8	92	
島根県	H29	—	—	16	1.4 ～ 2.4	1	2.2	—	14	N.D.	24	
愛媛県	H29	12	N.D.	12	1.3 ～ 2.8	4	0.81 ～ 1.8	4	0.0027 ～ 0.0050	4	N.D.	12
佐賀県	H29	25	N.D.	25	1.3 ～ 2.5	9	0.71 ～ 1.8	—	17	N.D.	25	
鹿児島県	H29	—	—	12	N.D. ～ 2.1	4	0.81 ～ 1.2	—	8	N.D. ～ 0.4	12	
海上保安庁	H28	38	N.D.	66	0.27 ～ 4.1	66	N.D. ～ 1.1	28	0.0025 ～ 0.039	—	66	
〃	H29	39	N.D.	57	0.10 ～ 4.1	57	N.D. ～ 1.1	18	0.0024 ～ 0.042	—	57	
日本原子力 研究開発機構	H28	6	N.D.	6	N.D. ～ 10	6	N.D.	6	N.D. ～ 0.02	17	N.D.	17
海洋放射能調査	H29	208	N.D.	208	N.D. ～ 4.0	208	N.D. ～ 1.1	88	N.D. ～ 0.023	88	N.D. ～ 0.17	208

（海洋放射能調査の結果のうち、平成 28 年度に実施したものについては表 I-5-5 及び表 I-5-6 に記載している）

*1 ND は検出下限値以下を示す。

*2 分析対象外核種について「—」で示した。

③ まとめ

原子力発電所が立地する道県及び核燃料サイクル施設（原子燃料サイクル施設）が立地する県における原子力施設等周辺の環境放射線等を監視する事業の結果と、本事業において実施した海洋放射能調査の結果を比較して評価するための資料として整理した。東電福島第一原発事故後は、福島県、茨城県及び宮城県において、それ以外の道県とで海洋環境試料に含まれる放射性核種の放射能濃度に差が見られた。この傾向は、本調査で得られた結果と同様のものであった。このことから、自治体等機関が実施するこれら調査の結果を対照とすることで、本調査で得られた調査結果については、妥当なものであり、かつ、信頼できる調査結果であると考えられる。

引用文献

- 1) 北海道．泊発電所周辺環境放射線監視結果報告書：環境放射線．平成 29 年度第 1 四半期 ～ 平成 29 年度第 4 四半期．
- 2) 青森県．原子力施設環境放射線調査報告書 平成 29 年度報．
- 3) 青森県．原子力施設環境放射線調査報告書 データ集(平成 29 年度報)
(http://www.pref.aomori.lg.jp/nature/kankyo/monitor_result_report.html)
- 4) 宮城県．平成 29 年度 女川原子力発電所環境放射能調査結果．第 37 巻 5 号．
- 5) 福島県．平成 29 年度 原子力発電所周辺環境放射能測定結果報告書．
(<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/296453.pdf>)
- 6) 福島県．福島県 水・食品等の放射性物質検査＞農林水産物．
(<https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/list280-889.html>)
- 7) 茨城県．環境放射線監視季報．第 180 報(平成 29 年度第 1 四半期) ～ 第 183 報(平成 29 年度第 4 四半期)．
- 8) 静岡県．浜岡原子力発電所周辺環境放射能調査結果．第 177 号(調査期間 平成 29 年 4 月～平成 30 年 3 月)．
- 9) 新潟県．平成 29 年度 柏崎刈羽原子力発電所周辺環境放射線監視調査結果報告書．
- 10) 石川県．志賀原子力発電所周辺環境放射線監視結果報告書．平成 29 年度年報．
- 11) 福井県．原子力発電所周辺の環境放射能調査．平成 29 年度年報(2017)．
- 12) 島根県．平成 29 年度 島根原子力発電所周辺環境放射線等調査結果．
- 13) 愛媛県．平成 29 年度 伊方原子力発電所周辺環境放射線等調査結果．
- 14) 佐賀県．玄海原子力発電所の運転状況及び周辺環境調査結果（年報）（平成 29 年度）．
- 15) 鹿児島県．川内原子力発電所周辺環境放射線調査結果報告書（平成 29 年度 年報）．
- 16) 海上保安庁．放射能調査報告書．平成 28 年調査結果．
- 17) 海上保安庁．放射能調査報告書．平成 29 年調査結果．
- 18) 農林水産省．平成 26 年度農林水産省関係放射能調査研究年報 C 水産関係．

- 19) 農林水産省. 平成 27 年度農林水産省関係放射能調査研究年報 C水産関係.
- 20) 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構. 東海再処理施設周辺の環境放射線モニタリング結果—2016 年度—.
- 21) Oikawa, S., Watabe, T. and Takata, H. (2015). Distributions of Pu isotopes in seawater and bottom sediments in the coast of the Japanese archipelago before and soon after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station accident. *J. Environ. Radioact.*, **142**, 113-123.