

平成 28 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 29 年 3 月

公益財団法人海洋生物環境研究所



## 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・評価を行い、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 年度には核燃料サイクル施設沖合海域が調査海域に追加され、平成 22 年度からは東京電力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のモニタリングが開始された。

本事業は、当初（旧科学技術庁）から平成 24 年度までは文部科学省が担ってきたが、平成 25 年度からは原子力規制庁において実施されている。平成 28 年度は、公益財団法人海洋生物環境研究所が原子力規制庁から「海洋環境における放射能調査及び総合評価」を受託し、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 調査結果等の報告・説明
- 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、これらの放射能濃度を調査するとともに、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について、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中の放射性核種濃度を把握した。

調査結果の評価では、調査の実施、結果の解析・評価について、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。

さらに、調査結果等の報告・説明として、事業開始時及び中間取りまとめ時にそれぞれ関係機関への説明を行うとともに、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・配布を実施した。本事業で得られた関連試料については、過去の同調査で採取した試料とあわせて、倉庫にて保管・管理した。

本報告書は、上記の委託業務の成果をとりまとめたものである。本業務の実施に  
当たりご指導、ご助言を賜った委員各位、多大なご協力を賜った関係機関ならびに関係漁  
協等に深く感謝致します。

平成 29 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) 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	1
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	14
(4) 検出下限値	14
5) 分析結果	17
(1) 海産生物試料の分析結果	17
(2) 海底土試料の分析結果	21
(3) 海水試料の分析結果	23
6) 海洋環境試料中の放射性核種濃度レベルの経年変化	27
(1) 発電所海域における経年変化	27
(2) 核燃海域における経年変化	31
2. 解析調査	71
1) 対照海域放射能調査	71
(1) 対照海域における海水・海底土試料の放射能調査	71
(2) 対照海域における海産生物試料の放射能調査	90
2) 変動要因・移行挙動調査	99
(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	99
(2) 海水及び海産生物の $^{129}\text{I}$ 濃度	108
(3) 海洋放射能調査海域周辺における放射性 Cs の形態別分布に関わる詳細調査	121
(4) 原子力発電所等周辺海域における海産生物の $^3\text{H}$ 濃度調査	171
(5) 海洋環境関連調査報告書等の収集・整理	174
II 東京電力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	187
1. はじめに	187
2. モニタリング方法	187

1) 調査経過	187
2) 調査試料の採取	187
(1) 近傍・沿岸海域	187
(2) 沖合海域	187
(3) 外洋海域	188
3) 放射性核種の分析	191
3. モニタリング結果	194
1) 海水試料	194
(1) 近傍・沿岸海域	194
(2) 沖合海域	196
(3) 外洋海域	199
2) 海底土試料	202
4. まとめ	203
III 調査結果の評価	207
IV 調査結果等の報告・説明	211
1. 報告資料の作成	211
2. 関係機関・団体等への調査結果の報告・配布	211
V 本事業で得られた関連試料の保管・管理	213
資 料	215
I 海洋放射能調査	
資料 1-1 平成 28 年度 発電所海域 海産生物試料の放射性核種濃度	217
資料 1-2 平成 28 年度 核燃海域 海産生物試料の放射性核種濃度	232
資料 2-1 平成 28 年度 発電所海域 海底土試料の放射性核種濃度	240
資料 2-2 平成 28 年度 核燃海域 海底土試料の放射性核種濃度	255
資料 3-1 平成 28 年度 発電所海域 海水試料の放射性核種濃度	261
資料 3-2 平成 28 年度 核燃海域 海水試料の放射性核種濃度	276
資料 4-1 平成 28 年度 解析調査 海底土の性状	298
資料 4-2-1 平成 28 年度 解析調査 報告書等による放射性核種濃度範囲(平成 22～27 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濃度範囲(海産生物試料))	306
資料 4-2-2 平成 28 年度 解析調査 報告書等による放射性核種濃度範囲(平成 22～27 年度 道県原子力発電所周辺環境放射能調査結果等に	

よる放射性核種濃度範囲（海底土試料））	307
資料 4-2-3 平成 28 年度 解析調査 報告書等による放射性核種濃度範囲（平成 22～27 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濃度範囲（海水試料））	308

## II 東京電力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	309
資料 5-1-2 海水中の放射性核種濃度 沖合海域	312
資料 5-1-3 海水中の放射性核種濃度 外洋海域	325
資料 5-2-1 海底土中の放射性核種濃度 沖合海域	329
資料 5-2-2 海底土中の放射性核種濃度（ $\alpha$ 線放出核種）沖合海域	333
資料 5-2-3 海底土の色・質・生物種等	334





## 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

我が国の原子力施設沖合に位置する主要漁場の放射能水準を把握するため、海産生物、海底土及び海水の放射能調査を実施した。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に留意した。

#### 2) 調査海域

調査海域は、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。）及び核燃料サイクル施設沖合海域（以下「核燃海域」という。）に設定した。

なお、発電所海域は、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を指す。

#### 3) 調査試料の採取

各調査海域で、海産生物試料の種類並びに海底土試料及び海水試料を採取する測点の選定に当たっては、海洋放射能検討委員会による技術的・専門的立場からの指導・助言を得るとともに、地方公共団体、水産関係団体、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）との重複を避けるよう配慮した。

##### (1) 海産生物試料

海産生物試料は、特に次の事項に留意して選定した。

- ・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

選定した試料は、当該漁場に主として出漁している漁業協同組合の協力を得て、漁獲した月日と場所を確認して、発電所海域では 1 魚種当たり生鮮重量約 20kg、核燃海域では生鮮重量約 30kg を 1 試料として年 2 回にわけて収集した。平成 28 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、次の事項に留意して図 I-3-1 から図 I-3-14 に示すとおり選定した。

- ・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

海底土試料は、平成 28 年 5 月 18 日から 6 月 24 日（核燃海域では平成 28 年 5 月 8 日から 5 月 23 日）にかけて各調査海域の採取測点で年 1 回、海底土の表面から深さ 3cm までの

層を湿重量約 2kg ずつ採取した。

海水試料は、発電所海域では平成 28 年 5 月 18 日から 6 月 24 日にかけてそれぞれ各採取測点で年 1 回、核燃海域では平成 28 年 5 月 8 日から 5 月 23 日及び平成 28 年 10 月 5 日から 10 月 14 日の年 2 回、海底土と同じ採取測点で表層（海面から 1m 下）と下層（海底から 10～40m 上）の 2 層から発電所海域では約 100L、核燃海域では約 300L 採取した。

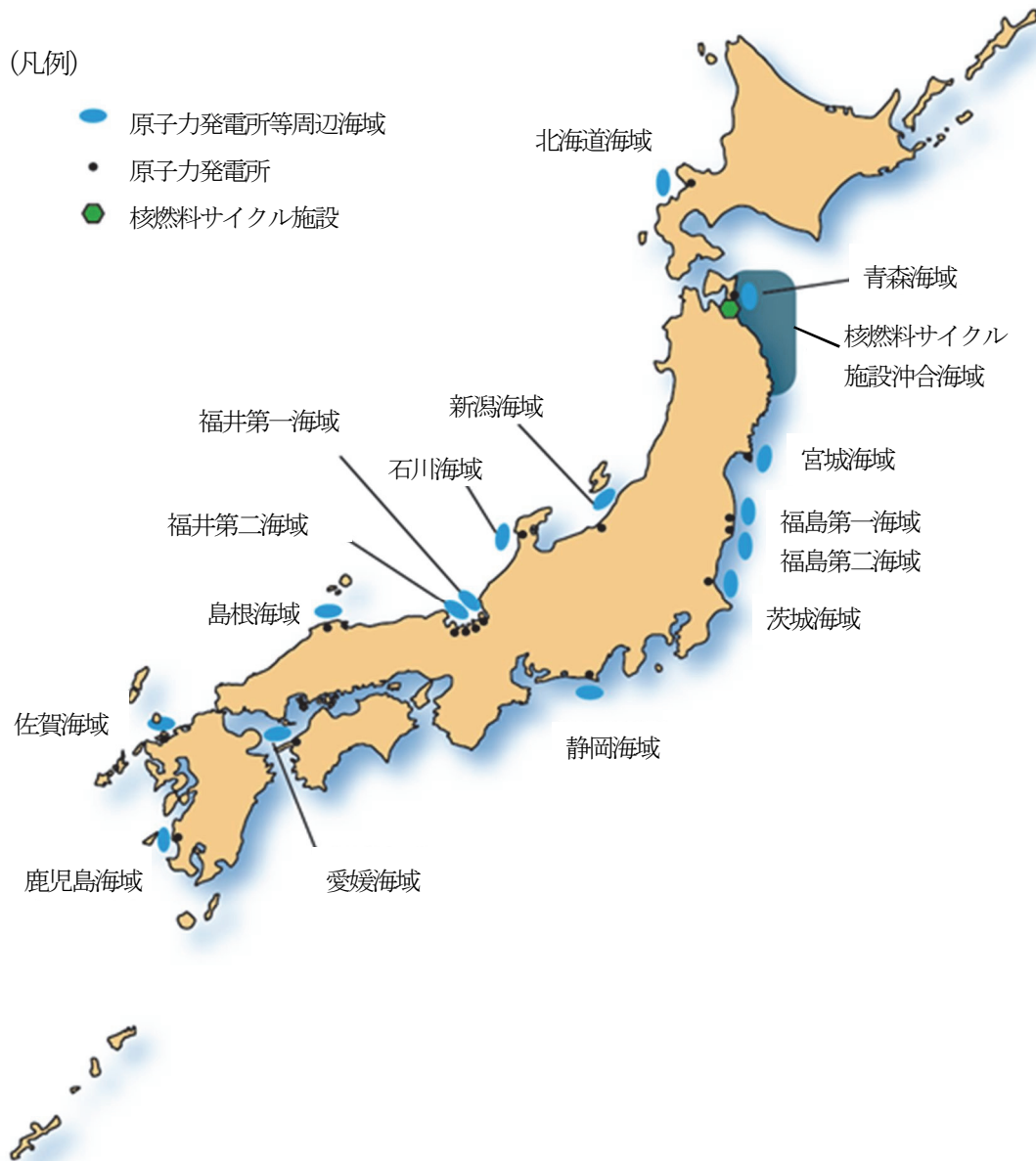


図 I -2-1 調査海域

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 28 年 4 月 1 日～7 月 15 日	漁獲期間： 平成 28 年 10 月 1 日～12 月 21 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	カナガシラ、アイナメ、ヒラメ	ヒラメ、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	ババガレイ、ヒラメ、マガレイ	ヒラメ、マガレイ、マコガレイ
福島第二	マダラ、マガレイ、ヤナギダコ	マコガレイ、マガレイ、ヤナギダコ
茨城	ヒラメ、マルアオメエソ、ミズダコ	ヒラメ、マトウダイ、ヤリイカ
静岡	マゴチ、ニベ、アカカマス	マゴチ、ニベ、クロウシノシタ
新潟	スケトウダラ、ソウハチ、ミズダコ	スケトウダラ、マダイ、ミズダコ
石川	ニギス、マガレイ、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	ノログンゲ、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、ハモ、エビ類	カナガシラ、コウイカ、ニベ科
佐賀	スズキ、マダイ、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、カイワリ、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 28 年 4 月 11 日～8 月 1 日	漁獲期間： 平成 28 年 10 月 3 日～11 月 21 日
ミズダコ、ヒラメ (2 試料)、 スルメイカ (2 試料)、ブリ、 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 (2 試料)、 シロザケ (雌) (2 試料)、 シロザケ (雄) (2 試料)、 キアンコウ、ヤリイカ、 マダラ (2 試料)、 スルメイカ、スケトウダラ、 カタクチイワシ、サンマ

- 測点1 北緯 43度10分  
東経 140度16分
- 測点2 北緯 43度05分  
東経 140度16分
- 測点3 北緯 43度02分  
東経 140度18分
- 測点4 北緯 42度59分  
東経 140度13分

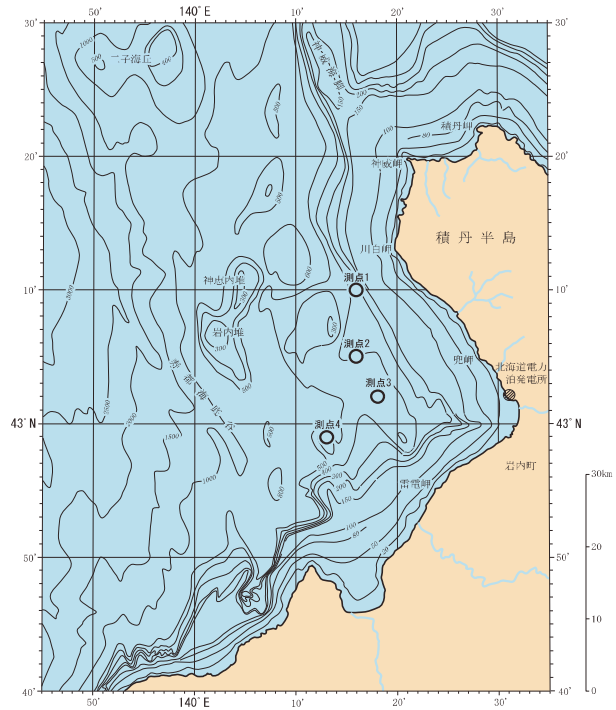


図 I-3-1 北海道海域における海底土・海水試料採取測点

- 測点1 北緯 41度13分  
東経 141度35分
- 測点2 北緯 41度13分  
東経 141度40分
- 測点3 北緯 41度08分  
東経 141度30分
- 測点4 北緯 41度08分  
東経 141度40分

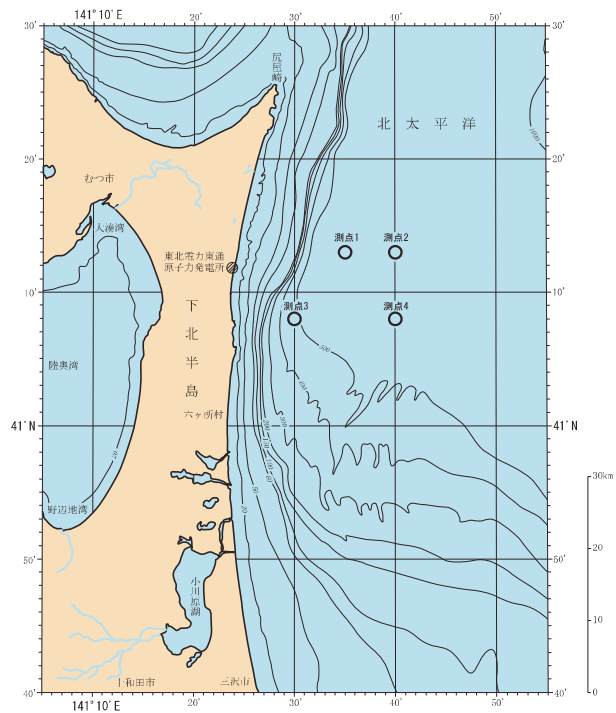


図 I-3-2 青森海域における海底土・海水試料採取測点

- 測点1 北緯 38度30分  
東経 141度40分
- 測点2 北緯 38度25分  
東経 141度45分
- 測点3 北緯 38度20分  
東経 141度40分
- 測点4 北緯 38度15分  
東経 141度45分

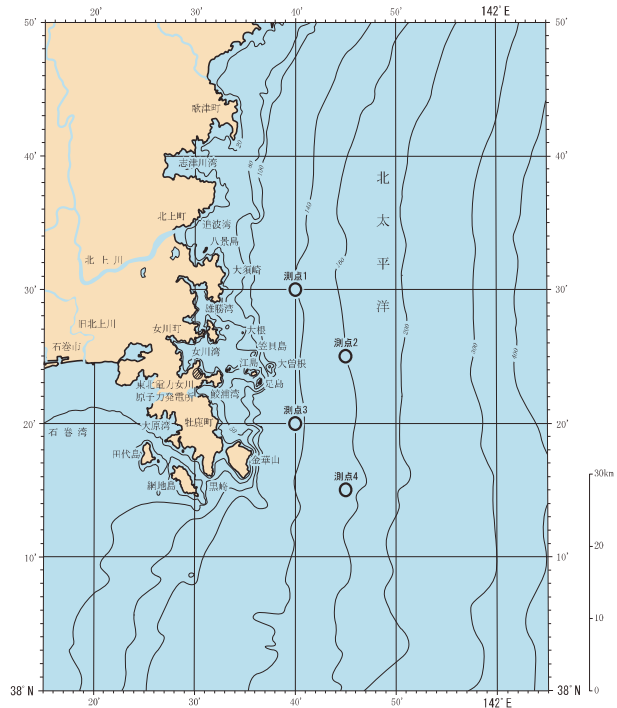


図 I-3-3 宮城海域における海底土・海水試料採取測点

- 第一海域
- 測点1 北緯 37度40分  
東経 141度20分
- 測点2 北緯 37度35分  
東経 141度25分
- 測点3 北緯 37度30分  
東経 141度20分
- 測点4 北緯 37度23分  
東経 141度20分
- 第二海域
- 測点1 北緯 37度16分  
東経 141度25分
- 測点2 北緯 37度12分  
東経 141度20分
- 測点3 北緯 37度06分  
東経 141度19分
- 測点4 北緯 37度00分  
東経 141度20分

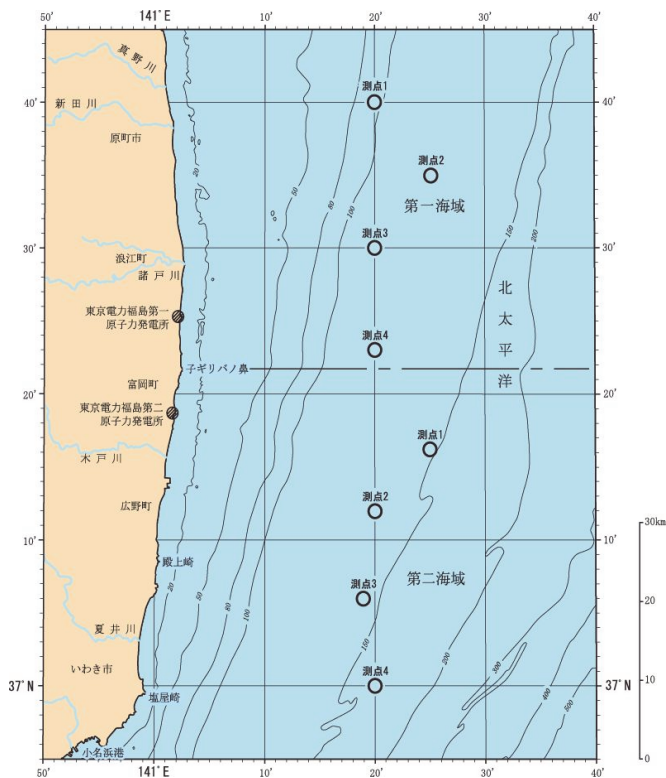


図 I-3-4 福島第一・第二海域における海底土・海水試料採取測点

- 測点1 北緯 36度36分  
東経 140度52分
- 測点2 北緯 36度25分  
東経 140度51分
- 測点3 北緯 36度14分  
東経 140度48分
- 測点4 北緯 36度05分  
東経 140度52分

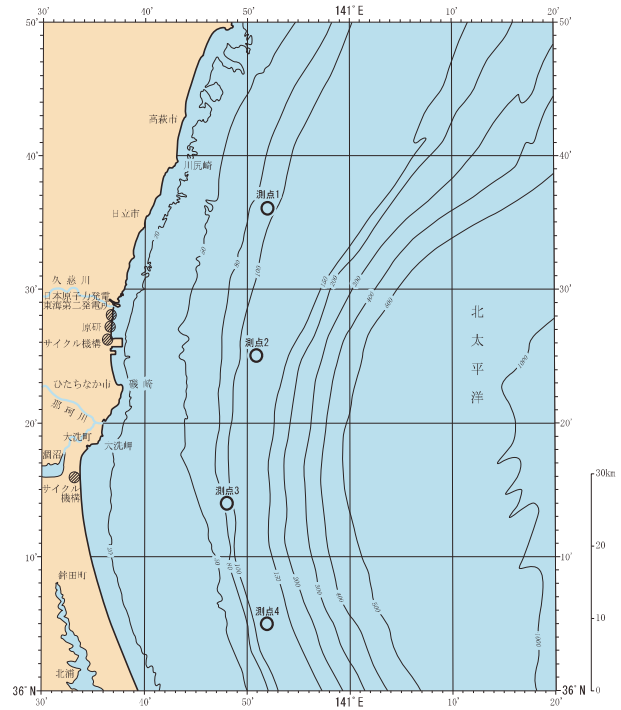


図 I-3-5 茨城海域における海底土・海水試料採取測点

- 測点1 北緯 34度34分  
東経 138度18分
- 測点2 北緯 34度31分  
東経 138度15分
- 測点3 北緯 34度30分  
東経 138度05分
- 測点4 北緯 34度31分  
東経 137度59分

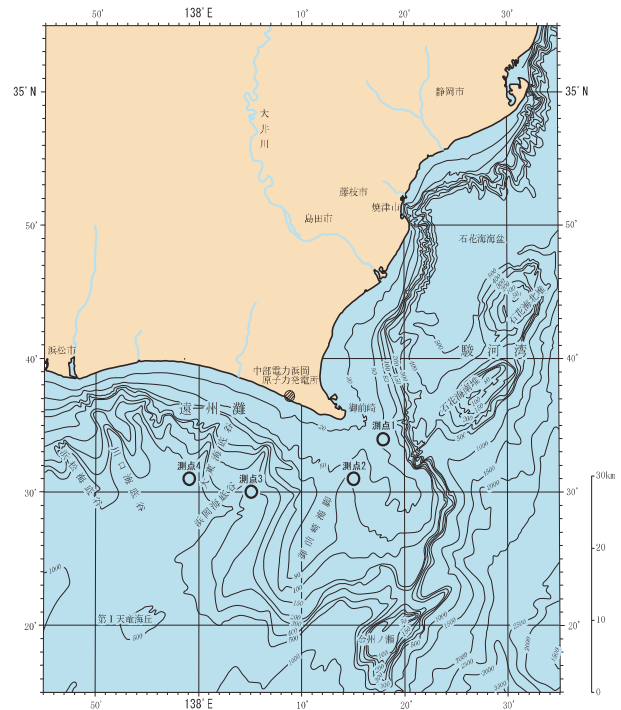


図 I-3-6 静岡海域における海底土・海水試料採取測点

- 測点1 北緯 37度56分  
東経 138度37分
- 測点2 北緯 37度50分  
東経 138度35分
- 測点3 北緯 37度44分  
東経 138度27分
- 測点4 北緯 37度37分  
東経 138度23分

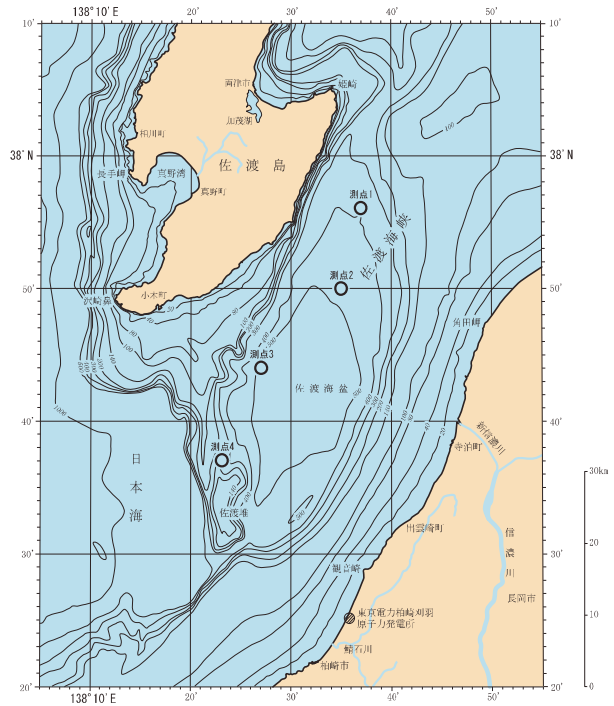


図 I-3-7 新潟海域における海底土・海水試料採取測点

- 測点1 北緯 37度17分  
東経 136度27分
- 測点2 北緯 37度08分  
東経 136度26分
- 測点3 北緯 37度00分  
東経 136度28分
- 測点4 北緯 36度52分  
東経 136度28分

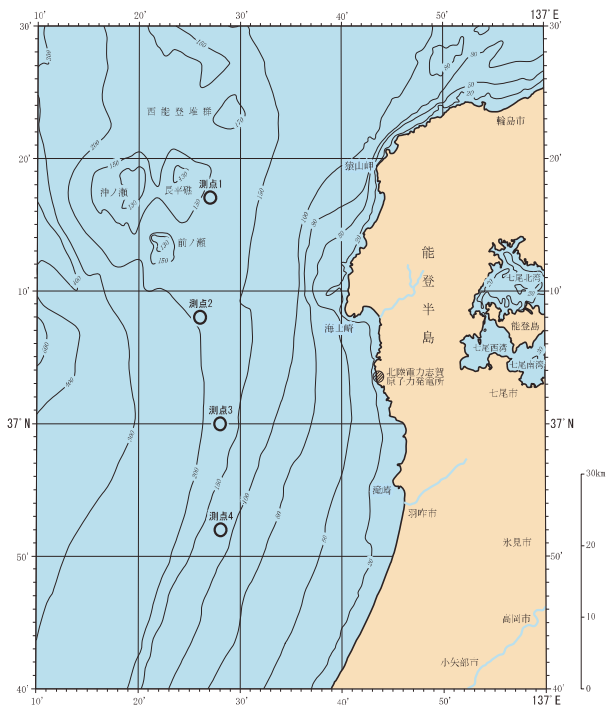


図 I-3-8 石川海域における海底土・海水試料採取測点

第一海域

測点1	北緯 36度05分 東経 135度50分
測点2	北緯 35度57分 東経 135度50分
測点3	北緯 35度50分 東経 135度50分
測点4	北緯 35度58分 東経 135度42分

第二海域

測点1	北緯 35度45分 東経 135度40分
測点2	北緯 35度50分 東経 135度35分
測点3	北緯 35度55分 東経 135度30分
測点4	北緯 35度45分 東経 135度30分

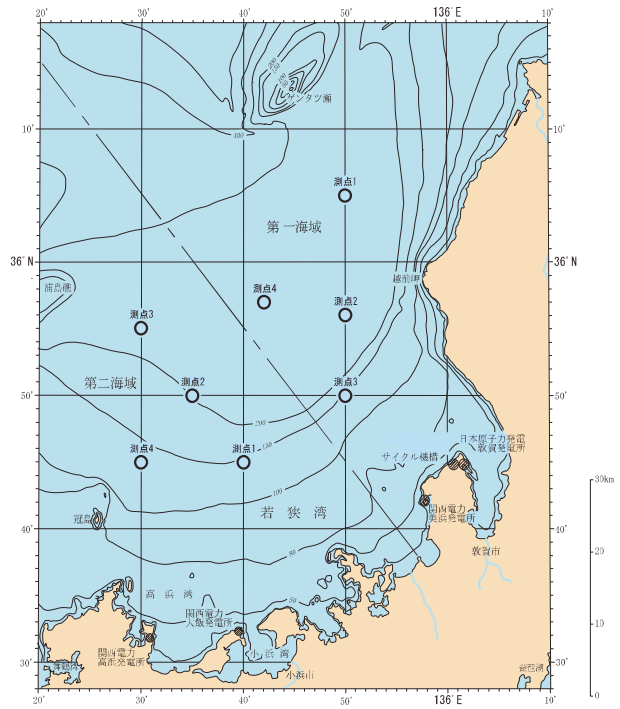


図 I-3-9 福井第一・第二海域における海底土・海水試料採取測点

測点1	北緯 35度47分 東経 133度12分
測点2	北緯 35度41分 東経 133度04分
測点3	北緯 35度48分 東経 132度56分
測点4	北緯 35度40分 東経 132度52分

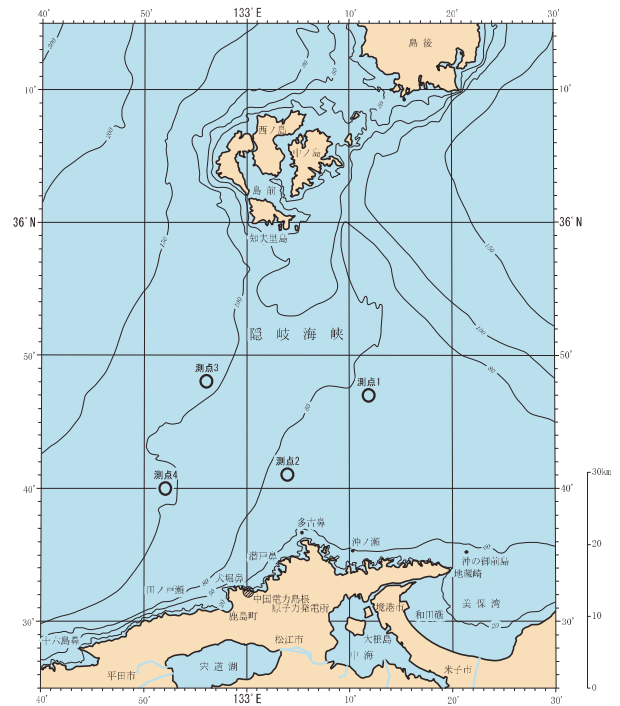


図 I-3-10 島根海域における海底土・海水試料採取測点



- 測点1 北緯 33度39分  
東経 132度22分
- 測点2 北緯 33度38分  
東経 132度17分
- 測点3 北緯 33度36分  
東経 132度14分
- 測点4 北緯 33度33分  
東経 132度10分

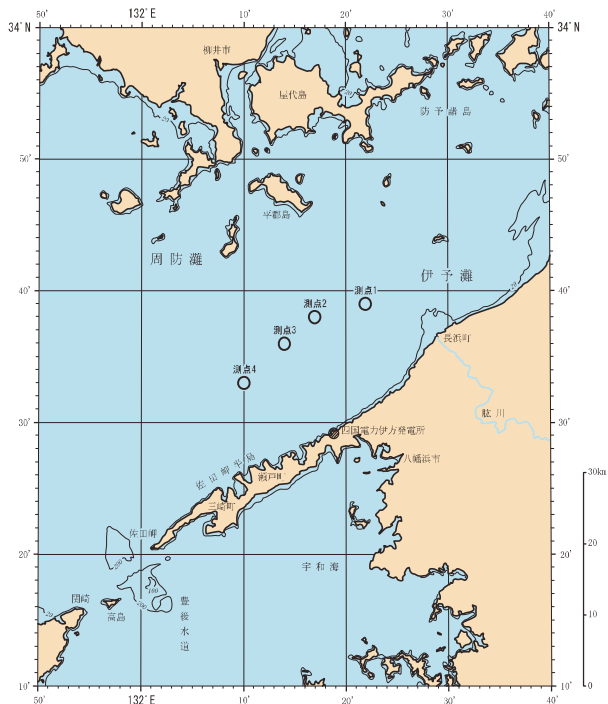


図 I -3-11 愛媛海域における海底土・海水試料採取測点

- 測点1 北緯 33度35分  
東経 129度59分
- 測点2 北緯 33度37分  
東経 129度53分
- 測点3 北緯 33度37分  
東経 129度46分
- 測点4 北緯 33度34分  
東経 129度44分

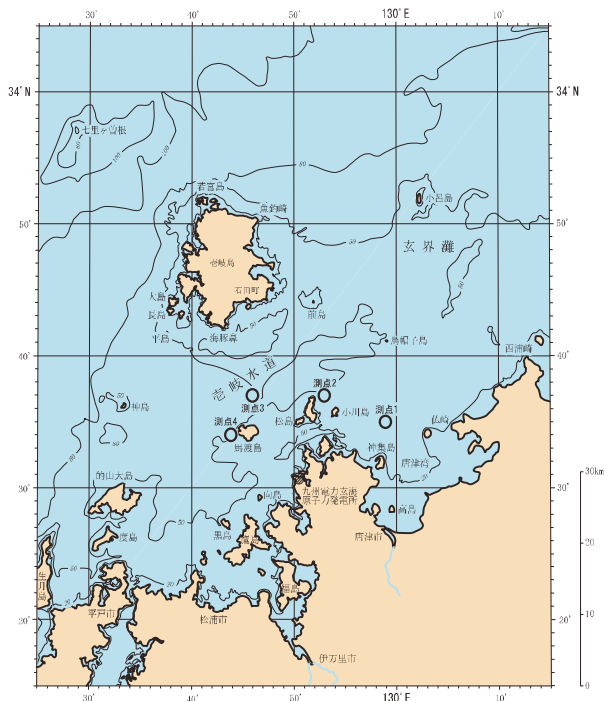


図 I -3-12 佐賀海域における海底土・海水試料採取測点

測点1	北緯	31度56分
	東経	130度02分
測点2	北緯	31度45分
	東経	130度01分
測点3	北緯	31度41分
	東経	130度04分
測点4	北緯	31度35分
	東経	130度09分

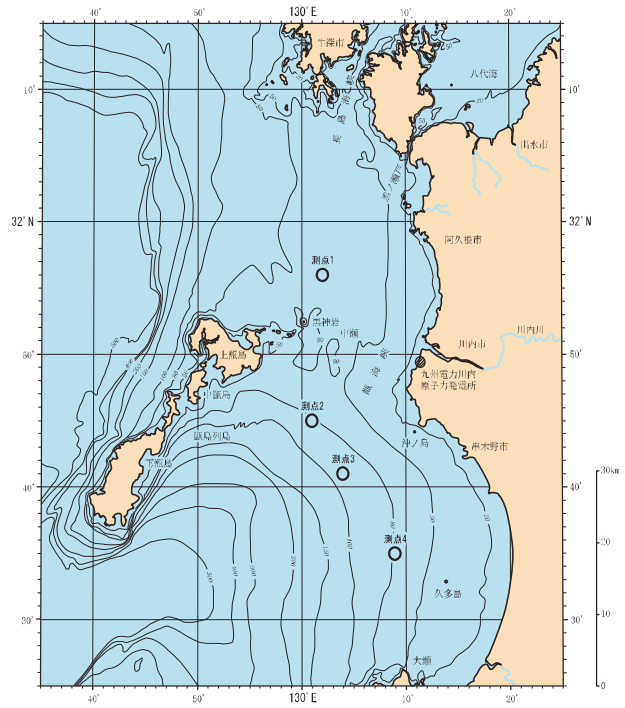
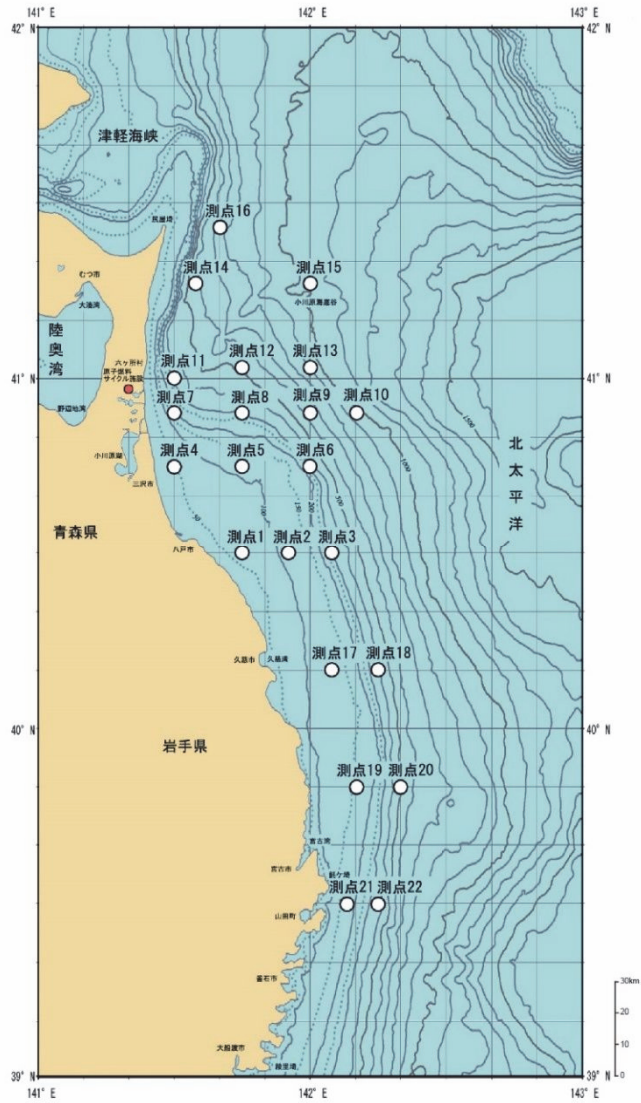


図 I -3-13 鹿児島海域における海底土・海水試料採取測点



測点1 北緯 40度30分 東経 141度45分	測点7 北緯 40度54分 東経 141度30分	測点13 北緯 41度02分 東経 142度00分	測点19 北緯 39度50分 東経 142度10分
測点2 北緯 40度30分 東経 141度55分	測点8 北緯 40度54分 東経 141度45分	測点14 北緯 41度16分 東経 141度35分	測点20 北緯 39度50分 東経 142度20分
測点3 北緯 40度30分 東経 142度05分	測点9 北緯 40度54分 東経 142度00分	測点15 北緯 41度16分 東経 142度00分	測点21 北緯 39度30分 東経 142度08分
測点4 北緯 40度45分 東経 141度30分	測点10 北緯 40度54分 東経 142度10分	測点16 北緯 41度26分 東経 141度40分	測点22 北緯 39度30分 東経 142度15分
測点5 北緯 40度45分 東経 141度45分	測点11 北緯 41度00分 東経 141度30分	測点17 北緯 40度10分 東経 142度05分	
測点6 北緯 40度45分 東経 142度00分	測点12 北緯 41度02分 東経 141度45分	測点18 北緯 40度10分 東経 142度15分	

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

分析対象放射性核種は、次の観点に基づいて表 I-4-1 に示すとおり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比率が高く、物理的半減期が比較的長い核種であること
- ・海産生物あるいは海底土に蓄積される性質が強い核種であること

###### [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核種であること

##### (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分析は、全て文部科学省放射能測定法シリーズ\*1に基づいて行った。

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、分析供試部位である筋肉を 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。但し、カタクチイワシ等の魚体が極めて小さく、全体を食す魚種に関しては魚体全体を分析に供した。

海底土試料は、凍結して送付された試料を解凍後よく混合して、ブフナーロートでろ過して分析試料とした。また、分析試料から一部分取し、105℃で乾燥し含水率を求めた。

海水試料は、採取直後に海水 1L 当たり 2mL の 6M 塩酸を添加したものを分析試料とした。但し、核燃海域で調査対象核種としている <sup>3</sup>H 用海水試料には 6M 塩酸を添加せず、採取した海水をそのまま分析試料とした。

海産生物及び海底土試料は、発電所海域のものは、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。核燃海域のものは、<sup>90</sup>Sr、<sup>239+240</sup>Pu\*2 及びガンマ線放出核種をそれぞれベータ線計測、アルファ線スペクトロメトリー及びガンマ線スペクトロメトリーにより定量した。なお、海底土は、求めた含水率に基づき、乾燥重量当たりの放射性核

\*1 文部科学省放射能測定法シリーズ

- ・放射性ストロンチウム分析法：文部科学省（平成 15 年、4 訂）
- ・放射性セシウム分析法：文部科学省（昭和 51 年、1 訂）
- ・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：文部科学省（平成 4 年、3 訂）
- ・トリチウム分析法：文部科学省（平成 14 年、2 訂）
- ・プルトニウム分析法：文部科学省（平成 2 年、1 訂）
- ・環境試料採取法：文部科学省（昭和 58 年）

\*2 プルトニウム-239 (<sup>239</sup>Pu) とプルトニウム-240 (<sup>240</sup>Pu) は放出するアルファ線のエネルギーがほぼ等しく、通常のアル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 (<sup>239+240</sup>Pu) と表す。

表 I-4-1 分析対象放射性核種

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	$^3\text{H}$	12.33年	—	—	—	—	—	○
	マンガン - 54	$^{54}\text{Mn}$	312.1日	○	○	○	○	—	○
	コバルト - 60	$^{60}\text{Co}$	5.271年	○	○	○	○	—	○
	ストロンチウム - 90	$^{90}\text{Sr}$	28.74年	—	○	—	○	○	○
	ルテニウム - 106	$^{106}\text{Ru}$	373.6日	○	○	○	○	—	○
	セシウム - 134	$^{134}\text{Cs}$	2.065年	○	○	○	○	○	○
	セシウム - 137	$^{137}\text{Cs}$	30.04年	○	○	○	○	○	○
	セリウム - 144	$^{144}\text{Ce}$	284.9日	○	○	○	○	—	○
	プルトニウム -239+240	$^{239+240}\text{Pu}$	—*3	—	○	—	○	—	○
	その他の $\gamma$ 線放出核種*4			○	○	○	○	—	○
自然 放射 性核種	ベリリウム - 7	$^7\text{Be}$	53.29日	○	○	○	○	—	—
	カリウム - 40	$^{40}\text{K}$	12.77億年	○	○	○	○	—	—
	タリウム - 208*5	$^{208}\text{Tl}$	3.053分	○	○	○	○	—	—
	ビスマス - 214*6	$^{214}\text{Bi}$	19.9分	○	○	○	○	—	—
	アクチニウム - 228*5	$^{228}\text{Ac}$	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 ( $^3\text{H}$ ) は、宇宙線によって生じるほか、核実験や原子力発電所等の運転でも生じる。

\*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 6564 年である。

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

\*5 トリウム - 232 ( $^{232}\text{Th}$ 、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 ( $^{238}\text{U}$ 、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。

種濃度を算出した。

海水試料は、発電所海域のものは化学分離した後、 $^{90}\text{Sr}$  をベータ線計測により、また  $^{134}\text{Cs}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  をガンマ線スペクトロメトリーにより定量した。核燃海域のものは電解濃縮した後、 $^3\text{H}$  を液体シンチレーション計測により、また、化学分離した後  $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{239+240}\text{Pu}$  及びガンマ線放出核種をそれぞれベータ線計測、アルファ線スペクトロメトリー及びガンマ線スペクトロメトリーにより定量した。

### (3) 計数誤差

放射性核種の壊変は統計的事象であり、放射能測定に際しても放射性核種の揺らぎを考慮した計数誤差を付すことが文部科学省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（3訂）」解説資料参照）に示されている。本事業においても、放射能分析の際に得られた正味の計数値から算出した計数誤差を付して解析等に資することとした。

### (4) 検出下限値

環境試料の放射性核種分析において、放射能が有意に検出できなくなる濃度を検出下限値という。本事業では、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濃度を検出下限値としている。しかしながら、検出下限値は測定環境、分析供試量、検出器の計数効率等が変わるため試料毎に異なり、一つの値として示すことが困難である。そこで、検出下限値の目安として、各試料の検出下限値の平均から求めた検出目標レベルを一連の分析方法とともに表 I-4-2 及び表 I-4-3 に示す。

表 I-4-2 発電所海域における各試料の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*1	海水試料		
分析対象核種		γ線放出核種 ( <sup>54</sup> Mn、 <sup>60</sup> Co、 <sup>106</sup> Ru、 <sup>110m</sup> Ag、 <sup>134</sup> Cs、 <sup>137</sup> Cs、 <sup>144</sup> Ce等)	γ線放出核種 ( <sup>54</sup> Mn、 <sup>60</sup> Co、 <sup>106</sup> Ru、 <sup>110m</sup> Ag、 <sup>134</sup> Cs、 <sup>137</sup> Cs、 <sup>144</sup> Ce等)	<sup>90</sup> Sr	<sup>134</sup> Cs、 <sup>137</sup> Cs	
分析方法	分析供試量	約 80g (灰)	約 100g (乾燥土)	50L		
	前処理	灰化	湿土	化学分離		
	放射線計測	γ線スペクトロメトリー	γ線スペクトロメトリー	β線計測	γ線スペクトロメトリー	
	計測時間	70,000 秒	70,000 秒	3600～ 7,200 秒	70,000 秒	
検出目標レベル	単位	Bq/kg－生鮮物	Bq/kg－乾燥土	mBq/L		
	γ線放出核種*3	<sup>54</sup> Mn	0.03	0.9	—*2	—
		<sup>60</sup> Co	0.05	0.9	—	—
		<sup>106</sup> Ru	0.2	7	—	—
		<sup>134</sup> Cs	0.03	1	—	0.8
		<sup>137</sup> Cs	0.02	0.7	—	0.5
	<sup>144</sup> Ce	0.2	4	—	—	
<sup>90</sup> Sr	—	—	0.4	—		

\*1 湿土で相当量を供したのち、その含水率で乾燥土あたりの放射能に換算した。

\*2 分析対象外核種について「—」で示した。

\*3 ガンマ線放出核種は、分析対象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。

表 I-4-3 核燃海域における各試料の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 <sup>*1</sup>			海水試料				
分析対象核種		<sup>90</sup> Sr	<sup>239+240</sup> Pu	γ線放出核種	<sup>90</sup> Sr	<sup>239+240</sup> Pu	γ線放出核種	<sup>3</sup> H	<sup>90</sup> Sr	<sup>239+240</sup> Pu	γ線放出核種	
分析方法	分析供試量	約30g(灰)	約20g(灰)	約80g(灰)	約150g(乾燥土)	約50g(乾燥土)	約100g(乾燥土)	0.6L	50L	100L	50L	
	前処理	灰化後、 化学分離		灰化	湿土分取後、 化学分離		湿土	電解濃縮	化学分離			
	放射線計測	β線計測	α線スペクトロメトリー	γ線スペクトロメトリー	β線計測	α線スペクトロメトリー	γ線スペクトロメトリー	L <sup>*2</sup> S C	β線計測	α線スペクトロメトリー	γ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	3,600秒	80,000秒	70,000秒	30,000秒	3,600~7,200秒	160,000秒	70,000秒	
検出目標レベル	単位	Bq/kg-生鮮物			Bq/kg-乾燥土			Bq/L	mBq/L			
	γ <sup>*4</sup> 線放出核種	<sup>54</sup> Mn	— <sup>*3</sup>	—	0.03	—	—	0.9	—	—	—	0.8
		<sup>60</sup> Co	—	—	0.05	—	—	0.9	—	—	—	0.9
		<sup>106</sup> Ru	—	—	0.2	—	—	7	—	—	—	7
		<sup>134</sup> Cs	—	—	0.03	—	—	1	—	—	—	0.9
		<sup>137</sup> Cs	—	—	0.02	—	—	0.7	—	—	—	0.5
	<sup>144</sup> Ce	—	—	0.2	—	—	4	—	—	—	4	
	<sup>3</sup> H	—	—	—	—	—	—	0.1	—	—	—	
	<sup>90</sup> Sr	0.008	—	—	0.2	—	—	—	0.4	—	—	
<sup>239+240</sup> Pu	—	0.0007	—	—	0.03	—	—	—	0.007	—		

\*1 湿土で相当量を供したのち、その含水率で乾燥土あたりの放射能に換算した。

\*2 液体シンチレーション計測を示す。

\*3 分析対象外核種について「—」で示した。

\*4 ガンマ線放出核種は、分析対象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。



## 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 28 年 4 月 1 日から 7 月 15 日、10 月 1 日から 12 月 21 日までの年 2 回収集した海産生物試料の魚類、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濃度範囲を表 I-5-1 に示す。また、各海域の海産生物試料に含まれる放射性核種の濃度を資料 1-1-1 から資料 1-1-15 に示す。

平成 28 年度に海産生物試料から検出された人工放射性核種は  $^{134}\text{Cs}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  であり、これら放射性核種の濃度は、東電福島第一原発事故後に実施した平成 23～26 年度よりも全体的に低くなっていたものの、平成 27 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、一部の試料では依然として上回っていた。

$^{110\text{m}}\text{Ag}$  は、東電福島第一原発事故後の平成 23 年度から平成 24 年度まで魚類、平成 23 年度から平成 25 年度までイカ・タコ類の一部の試料から検出されたが、平成 28 年度は調査対象海域の試料から検出されなかった。

$^{134}\text{Cs}$  は、平成 27 年度には青森、宮城、福島第一、福島第二及び茨城の 5 海域で収集した 21 試料（魚類 21 試料）から検出されたが、平成 28 年度では青森、宮城、福島第一、福島第二及び茨城の 5 海域で収集した 18 試料（魚類 18 試料）から検出された。

$^{137}\text{Cs}$  は、平成 27 年度には新潟、愛媛海域で収集したイカ・タコ類 2 試料（ミズダコ、コウイカ）を除いた 88 試料から検出されたが、平成 28 年度では北海道（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）、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 試料から検出された。平成 28 年度試料のうち、事故前 5 年間の最大値（0.24 Bq/kg-生鮮物）を超えた試料は、青森、宮城、福島第一、福島第二、及び茨城海域の 5 海域で収集した魚類 19 試料であった。全体的な濃度は減少していたものの、魚類では依然として高い濃度の試料も見られ、最も高い値を示したのは福島第二海域で採取されたマコガレイで 3.0Bq/kg-生鮮物（事故前 5 年間の最大値の約 13 倍）であった。

表 I-5-1 発電所海域海産生物試料に含まれる放射性核種の濃度範囲

(単位：Bq/kg-生鮮物)

年度	試料名	試料数	$^{134}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$	その他の $\gamma$ 線 放出核種
平成 28 年度	魚類	76	ND ~ 0.49	0.032 ~ 3.0	ND
	イ・タコ類	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・タコ類	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・タコ類	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・タコ類	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・タコ類	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・タコ類	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・タコ類	60	ND	ND ~ 0.045	ND
	エビ類	15	ND	0.031 ~ 0.071	ND

ND は検出下限値以下を示す。

## ② 核燃海域

平成 28 年 4 月 11 日から 8 月 1 日、10 月 3 日から 11 月 21 日までの年 2 回収集した海産生物試料の魚類及びイカ・タコ類(計 30 試料)に含まれる放射性核種の濃度範囲を表 I-5-2 に示す。また、各海産生物試料に含まれる放射性核種の濃度を資料 1-2-1 から資料 1-2-8 に示す。

平成 28 年度に検出された人工放射性核種は  $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  及び  $^{239+240}\text{Pu}$  で、 $^{90}\text{Sr}$  及びその他の  $\gamma$  線核種は未検出であった。 $^{134}\text{Cs}$  の濃度は、東電福島第一原発事故後に実施した平成 23～26 年度に比べ減少傾向にあったが、平成 27 年度と同程度であり、魚類 1 試料から検出された。また、 $^{137}\text{Cs}$  もイカ・タコ類 2 試料(ミズダコ、ヤリイカ)を除く 28 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 8 試料、イカ・タコ類で 1 試料であった。事故前 5 年間の最大値を超えた試料からのみ  $^{134}\text{Cs}$  が検出されたことから、依然として一部試料では、東電福島第一原発事故の影響が残存していると考えられる。

表 I-5-2 核燃海域海産生物試料に含まれる放射性核種の濃度範囲

(単位：Bq/kg-生鮮物)

年度	試料名	試料数	<sup>90</sup> Sr	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	その他の γ線放出 核種	<sup>239+240</sup> Pu
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	<sup>110m</sup> Ag : ND ~ 0.23	ND ~ 0.00053
	ｲﾝﾄﾞﾙ類	6	ND	0.042 ~ 0.24	0.064 ~ 0.32	<sup>110m</sup> 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

ND は検出下限値以下を示す。

## (2) 海底土試料の分析結果

### ① 発電所海域

平成 28 年 5 月 18 日から 6 月 24 日に 60 測点で採取した海底土試料（計 60 試料）に含まれる放射性核種の濃度範囲を表 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濃度を資料 2-1-1 から資料 2-1-15 に示す。

平成 28 年度に検出された人工放射性核種は  $^{134}\text{Cs}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  であり、これらの濃度は、事故後に実施した平成 23～27 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 年間と比較すると、依然として高い濃度であった。 $^{134}\text{Cs}$  が検出された海域及び測点は、宮城（測点 1、3、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（15 測点）であった。また、 $^{137}\text{Cs}$  は、 $^{134}\text{Cs}$  が検出された測点（宮城（測点 3）海域を除く）に新潟海域（測点 1、2、3）を加えた 17 測点で、事故前 5 年間の最大値（7.7Bq/kg-乾燥土）よりも高い濃度であった。そのため、これらの海域は東電福島第一原発事故の影響が残存していると考えられる。

表 I-5-3 発電所海域海底土試料に含まれる放射性核種の濃度範囲

（単位：Bq/kg-乾燥土）

年度	試料数	$^{134}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$
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

ND は検出下限値以下を示す。

## ② 核燃海域

平成 28 年 5 月 8 日から 5 月 23 日に 22 測点で採取した海底土試料（計 22 試料）に含まれる放射性核種の濃度範囲を表 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濃度を資料 2-2-1 から資料 2-2-6 に示す。

平成 28 年度に検出された人工放射性核種は  $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  及び  $^{239+240}\text{Pu}$  であった。これらの核種は、事故前 5 年間の範囲内であった。

表 I-5-4 核燃海域海底土試料に含まれる放射性核種の濃度範囲

(単位：Bq/kg-乾燥土)

年度	試料数	$^{90}\text{Sr}$	$^{134}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{239+240}\text{Pu}$
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

ND は検出下限値以下を示す。

### (3) 海水試料の分析結果

#### ① 発電所海域

平成 28 年 5 月 18 日から 6 月 24 日に 60 測点で採取した表層水と下層水、各 60 試料（計 120 試料）に含まれる放射性核種の濃度範囲を表 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濃度を資料 3-1-1 から資料 3-1-15 に示す。

平成 28 年度に検出された人工放射性核種は  $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{134}\text{Cs}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  で、これら放射性核種の濃度は、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 27 年度と同程度で、一部の試料では、事故前 5 年間の範囲を上回っていた。

下層水中の  $^{134}\text{Cs}$  は、いずれの海域でも検出されなかった。表層水中の  $^{134}\text{Cs}$  が検出された海域及び測点は、宮城（測点 1）、福島第一（測点 1）、福島第二（測点 1）の 3 海域（3 測点）であった。そのため、依然として東電福島第一原発事故の影響が残存していると考えられる。

表層水中の  $^{137}\text{Cs}$  は、宮城（測点 1、2、4）、福島第一（全測点）、福島第二（測点 1、2）、茨城（測点 1、3、4）、新潟（測点 2）、石川（測点 3）、福井第一（測点 2）、福井第二（測点 3）の 8 海域 16 測点で、下層水中の  $^{137}\text{Cs}$  は、福島第一（測点 1、4）、福島第二（全測点）、茨城（測点 1、3、4）、静岡（測点 1、2）、福井第一（測点 3）、福井第二（測点 4）、島根（測点 1）、愛媛（測点 1）、佐賀（測点 4）及び鹿児島（測点 1）の 10 海域 17 測点で事故前 5 年間の最大値（表層：2.4mBq/L、下層：2.3 mBq/L）を上回った。これらの海域における表層水の最大値は福島第二海域の測点 1（5.0mBq/L）であり、事故前 5 年間の最大値の約 2.1 倍、下層水の最大値は茨城海域の測点 1（3.2mBq/L）であり、同約 1.4 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。

表層水及び下層水の  $^{90}\text{Sr}$  を見ると、事故前 5 年間の範囲内であった。

表 I-5-5 発電所海域海水試料に含まれる放射性核種の濃度範囲

(単位：mBq/L)

年度	試料名	試料数	<sup>90</sup> Sr	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs
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)	0.84 ~ 24	ND ~ 520	1.4 ~ 1400 <sup>*</sup>
	下層水	60	0.24 ~ 3.6	—	0.47 ~ 360 <sup>*</sup>
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

( ) 内は、<sup>134</sup>Cs の試料数を示す。— は調査対象外を示す。ND は検出下限値以下を示す。

※：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、<sup>134</sup>Cs の影響を含んでいる可能性がある (27 頁の注 1 参照のこと)。



## ② 核燃海域

平成 28 年 5 月 8 日から 5 月 23 日、10 月 5 日から 10 月 14 日の年 2 回に 22 測点で採取した表層水と下層水の各 44 試料(計 88 試料)に含まれる放射性核種の濃度範囲を表 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濃度を資料 3-2-1 から資料 3-2-22 に示す。

平成 28 年度に検出された  $^3\text{H}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  及び  $^{239+240}\text{Pu}$  は、平成 27 年度と同程度の濃度範囲であった。

表層水中の  $^{137}\text{Cs}$  の最大値は 2.8mBq/L、下層水中の  $^{137}\text{Cs}$  の最大値は 2.4mBq/L で事故前 5 年間の最大値(表層：2.4mBq/L、下層：2.1 mBq/L)をわずかに上回ったものの、誤差を考慮するといずれの人工放射性核種も事故前 5 年間の範囲と同程度であった。

表層水及び下層水に含まれる  $^3\text{H}$  の濃度は、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濃度範囲にあった。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  $^{134}\text{Cs}$  は、平成 28 年度はいずれの測点においても検出されなかった。

表 I-5-6 核燃海域海水試料に含まれる放射性核種の濃度範囲

(単位：mBq/L、但し  $^3\text{H}$  は Bq/L)

年度	試料名	試料数	$^3\text{H}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{134}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{239+240}\text{Pu}$
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 ~ 13	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

【参考 アクティブ試験開始前の  $^3\text{H}$  濃度】

年度	試料名	試料数	$^3\text{H}$
平成 13 ~ 17 年度	表層水	160	ND ~ 0.24
	下層水	160	ND ~ 0.21

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

調査開始から平成 28 年度の発電所海域の主要な漁場における海産生物、海底土及び海水試料に含まれる  $^{137}\text{Cs}$  等の人工放射性核種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 (注1) に示す。

#### ① 海産生物試料

発電所海域で継続的に採取することができた海産生物試料(魚種)の筋肉部位に含まれる  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化をみると、調査開始から昭和 60 年度までは漸減傾向にあったが、昭和 61 年度は、海域や魚種によってはチェルノブイリ原子力発電所事故(昭和 61(1986)年 4 月 26 日未明に発生)に起因するとみられる濃度上昇が確認された。しかし、昭和 63 年度までには事故前(昭和 60 年度)の濃度水準と同程度となり、以降は魚種や海域間ではばらつきはあるものの、平成 22 年度までは漸減傾向が認められた。

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震を契機とした東電福島第一原発事故により、新たな人工放射性核種が環境中へ放出された。この結果、平成 23 年度の調査では、北海道、青森、宮城、福島第一、福島第二、茨城、静岡、島根、愛媛、佐賀及び鹿児島海域で採取された海産生物試料から東電福島第一原発事故に起因するとみられる  $^{137}\text{Cs}$  濃度の上昇が確認され、福島第一及び第二海域を中心とする太平洋側の海域で過去の最大値を大幅に超える濃度上昇が確認された。

平成 24～27 年度の調査では、全体的に  $^{137}\text{Cs}$  濃度の減少が確認されたが、宮城、福島第一、福島第二及び茨城海域の一部の試料は依然として高かった。

平成 28 年度の調査でも、 $^{137}\text{Cs}$  濃度の減少は確認されたが、青森、宮城、福島第一、福島第二及び茨城海域の一部の試料は、その他の海域の試料の濃度水準に比べ高かった。

なお、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産生物の

#### (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、 $^{134}\text{Cs}$  と  $^{137}\text{Cs}$  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、これまで試料中に  $^{134}\text{Cs}$  が含まれていなかったことから、検出下限値のより小さいベータ線計測によって分析されてきた。ベータ線計測では  $^{134}\text{Cs}$  と  $^{137}\text{Cs}$  を区別できないことから、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  $^{134}\text{Cs}$  と  $^{137}\text{Cs}$  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(但し、平成 23 年度のベータ線計測においては、 $^{137}\text{Cs}$  測定のための計数効率を使用しているため、 $^{134}\text{Cs}$  の値がやや低めにでており、厳密な意味での  $^{134}\text{Cs}$  と  $^{137}\text{Cs}$  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ガンマ線計測によって分析している。

<sup>3</sup>H 濃度調査」では、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 5 海域で採取し、ガンマ線核種を分析した海産生物と同一筋肉試料の一部を分取して、<sup>3</sup>H 濃度を分析した。その結果から、いずれの海域でも同事故の影響は見られなかった。

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及び東電福島第一原発の影響が及ばない海域で採取された海産生物試料の <sup>137</sup>Cs 濃度との比較を行ったところ、事故前 5 年間の濃度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の放射性 Cs 濃度は同レベルであったことから、これらの海域における放射性 Cs 濃度は、東電福島第一原発事故前の 1950～60 年代の大気圏内核実験の影響であると考えられる。

## ② 海底土試料

発電所海域の海底土試料に含まれる <sup>137</sup>Cs 濃度の経年変化をみると、調査開始から平成 22 年度までは、採取した海域の底質の違い（砂質あるいは泥質）によってばらつきが認められた。底質が主に砂質の場合には、検出下限値レベルの低濃度水準となり、経年変化が把握し難い傾向にあったが、泥質あるいはシルト質の場合には経年とともに漸減傾向が認められた。

平成 23 年度の調査では、宮城、福島第一、福島第二、茨城及び新潟海域において、事故前の濃度水準を明らかに超える濃度上昇が認められた。特に、福島第一海域では 220Bq/kg-乾燥土であった。

平成 24 年度の調査でも、宮城、福島第一及び福島第二海域は、平成 23 年度と同様の濃度水準であることが確認され、茨城海域では平成 23 年度の値を超える濃度であった。

平成 25 年度の調査では、北海道、福島第二及び新潟海域において平成 24 年度の濃度水準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 年度の濃度水準を下回る結果となった。

平成 26 年度の調査では、福島第一海域（測点 3）で 310Bq/kg-乾燥土、平成 27 年度の調査では、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値となった。

平成 28 年度の調査において、事故前 5 年間の最大値より高い <sup>137</sup>Cs が検出された宮城、福島第一、福島第二、茨城及び新潟海域の海底土試料の内、最大値は福島第二海域で得られた 93 Bq/kg-乾燥土であった。この最大値を示した福島第二海域は、2. 解析調査の「2) (1) 海洋環境における <sup>135</sup>Cs/<sup>137</sup>Cs 及び <sup>240</sup>Pu/<sup>239</sup>Pu 原子数比モニタリング」において東電福島第一原発事故に由来する放射性 Cs が示す <sup>135</sup>Cs/<sup>137</sup>Cs 原子数比が見られた。更に上記の 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 Cs の形態別分布に関わる詳細調査」においても <sup>134</sup>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 <sup>137</sup>Cs が検出されたのは、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）の海底土試料では、事故前の過去5年間の測定値の範囲内であった。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及び東電福島第一原発の影響が及ばない海域で採取された海底土試料の $^{137}\text{Cs}$ 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Cs濃度は東電福島第一原発事故前の1950～60年代の大気圏内核実験による影響であると考えられる。ただし、 $^{137}\text{Cs}$ 濃度はND～4.4Bq/kg-乾燥土の範囲で海域による変動が見られた。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（Tsukada *et al.*, 2008<sup>1)</sup>）。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Csの形態別分布に関わる詳細調査」に示している。

### ③ 海水試料

#### i. 表層水

発電所海域の海水試料に含まれる $^{90}\text{Sr}$ 及び $^{137}\text{Cs}$ 濃度の経年変化を表層水についてみると、 $^{90}\text{Sr}$ 濃度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。 $^{137}\text{Cs}$ 濃度も昭和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濃度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年度の濃度水準と同程度まで低下し、平成22年度まで漸減傾向が認められた。

平成23年度の調査では、いずれの核種濃度も平成22年度までの漸減傾向が一変し、 $^{90}\text{Sr}$ 濃度は福島第一及び福島第二海域で、 $^{137}\text{Cs}$ 濃度は北海道、青森、宮城、福島第一、福島第二、茨城、静岡及び新潟海域で大幅な上昇が認められた。

平成24年度は、平成23年度に $^{90}\text{Sr}$ 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の濃度水準に低下したものの、茨城海域では事故後最も濃度が高くなった（最大値：13mBq/L）。一方、 $^{137}\text{Cs}$ 濃度は平成23年度に大幅な上昇が確認されたいずれの海域でも減少が確認され、とりわけ、北海道、静岡及び新潟海域では、事故前の濃度水準と同程度になった。

平成25年度は、福島第二海域の一部の測点で $^{90}\text{Sr}$ 濃度が平成24年度と比較して約3倍の濃度上昇が認められたが、茨城海域では、平成24年度の概ね半分の濃度水準にまで低下した。一方、 $^{137}\text{Cs}$ 濃度は青森、福島第一及び福島第二海域で平成24年度と同水準、宮城及び茨城海域で平成24年度からの濃度減少が認められた。また、静岡、新潟、石川、福島第一、福島第二及び愛媛海域ではわずかな濃度上昇が認められたが、事故前の濃度水準を超えるものではなかった。

平成26、27年度では、 $^{90}\text{Sr}$ 濃度は全海域でほぼ事故前の濃度水準にまで減少した。一方で、 $^{137}\text{Cs}$ 濃度は濃度レベルが他の海域と比べ高い福島第一、福島第二海域で濃度の減少が

認められたが、その他の海域では濃度レベルは横ばいか若干の上昇が認められた。

平成 28 年度の調査において、事故前の過去 5 年間の最大値より高い  $^{137}\text{Cs}$  が検出された海水試料（表層水）が、宮城、福島第一、福島第二、茨城、新潟、石川、福井第一及び福井第二海域から得られた。これらの海域における最大値は、福島第二海域で得られた 5.0 mBq/L であった。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、海水中  $^{137}\text{Cs}$  濃度が事故前（平成 22 年度調査結果）に比較して高いこと（以下「 $^{137}\text{Cs}$  変化」という。）が確認されている。この原因は 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 Cs 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、ゲルマニウム半導体検出器による長時間測定により  $^{134}\text{Cs}$  が検出され、その濃度は平成 24 年度以降上昇しており、その濃度上昇傾向は  $^{137}\text{Cs}$  と一致した。また、 $^{134}\text{Cs}$  濃度上昇分（平成 23 年 3 月 11 日に補正）に対する事故前からの  $^{137}\text{Cs}$  濃度上昇分の比は東電福島第一原発事故直後によって放出された  $^{134}\text{Cs}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  放射能比（約 1）と一致する。このことから西日本及び日本海の表層海水での  $^{137}\text{Cs}$  濃度上昇分は、東電福島第一原発事故によって付加されたことを示していると考えられる。また、発電所海域の  $^{90}\text{Sr}$  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じ濃度範囲であったことから、東電福島第一原発事故の影響は検出されなかったと考えられる。

なお、後述する 2. 解析調査の「2）（2）海水及び海産生物の  $^{129}\text{I}$  濃度」では、東電福島第一原発事故による影響が懸念される、青森、宮城、福島第一、福島第二及び茨城海域の 5 海域で海水試料を採取し  $^{129}\text{I}$  濃度の分析を行っており、その結果、いずれの海域でも同事故の影響は見られなかった。

## ii. 下層水

海水試料に含まれる  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化を下層水についてみると、 $^{90}\text{Sr}$  濃度は調査開始から平成 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濃度上昇が福島第一及び茨城海域で認められた。

平成 24 年度には福島第一海域の濃度水準は事故前に戻ったものの、茨城海域の測点では平成 23 年度と比較して 3 倍程度の濃度上昇が認められた。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濃度水準に戻った。

一方、 $^{137}\text{Cs}$  濃度は、昭和 61 年度に若干の濃度上昇が認められる海域があるものの、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 年度に宮城、福島第一、福島第二、茨城、静岡及び新潟海域で濃度上昇が認められた。これらの海域では平

成 24 年度に濃度の減少が確認されたが、平成 25 年度以降は平成 28 年度を含め全海域でほぼ横ばいであった。

なお、下層水における  $^{137}\text{Cs}$  濃度上昇は、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 Cs 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 年度の試料から  $^{134}\text{Cs}$  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（採水層の浅い海域）で  $^{134}\text{Cs}$  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の濃度も上昇したと考えられる。

## (2) 核燃海域における経年変化

調査を開始した平成 3 年度から平成 28 年度までの核燃海域の主要な漁場における海産生物、海底土及び海水試料に含まれる  $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{239+240}\text{Pu}$  及び  $^3\text{H}$ （海水のみ）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 に示す。

なお、平成 19 年度から調査海域を拡張（「1～16」測点を「1～22」測点へ 6 測点増加）し、海産生物試料数は年間 20 から 30 へ、海底土試料数は年間 16 から 22 へ、海水試料数は年間 64 から 88 へ増加となった。

### ① 海産生物試料

核燃海域の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  $^{90}\text{Sr}$  濃度の経年変化をみると、 $^{90}\text{Sr}$  は、容易に検出できないほど低い濃度水準にあり、平成 27 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 28 年度の調査では、全試料が検出下限値以下であった。

$^{137}\text{Cs}$  の濃度は平成 3 年度から平成 22 年度まではほぼ同じ濃度水準あるいは漸減傾向を示したが、平成 23 年度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）であった。

平成 24 年度も平成 23 年度と同程度の濃度水準（最大値：7.6Bq/kg-生鮮物）であったが、平成 25 年度には若干減少が認められたものの、依然として高い濃度水準（最大値 4.1Bq/kg-生鮮物）であった。平成 26～28 年度では濃度の減少傾向は継続し、 $^{137}\text{Cs}$  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-生鮮物であった。

$^{239+240}\text{Pu}$  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 年度も極めて低い濃度水準であったが、キアンコウ、スケトウダラ、ヒラメの 3 試料で  $^{239+240}\text{Pu}$  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及び東電福島第一原発の影響が及ばない海域で採取された海産

生物試料の一部の  $^{137}\text{Cs}$  濃度レベルと核燃海域で採取された海産生物試料の濃度レベルは同程度であった。

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  $^{129}\text{I}$  濃度」において、コンブ類に対する影響についても検討を行ったが、平成 28 年度の  $^{129}\text{I}$  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、事故前の調査時のレベルと同じであった。

## ② 海底土試料

核燃海域の海底土試料の  $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  及び  $^{239+240}\text{Pu}$  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濃度が変化する傾向が認められた。これら 3 種の放射性核種濃度は、底質が砂質の場合には比較的低くなり、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  $^{90}\text{Sr}$  で顕著であり、砂質の場合はほとんどで検出されなかった。平成 28 年度の調査でも、いずれの核種濃度もこれまでの調査結果の変動範囲内にあった。

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及び東電福島第一原発の影響が及ばない海域で採取された海底土試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度との比較を行ったところ、核燃海域は対照海域と同レベルであった。このことから、検出された放射性 Cs 濃度は東電福島第一原発事故前の 1950～60 年代の大気圏内核実験による影響であると考えられる。ただし、 $^{137}\text{Cs}$  濃度は変動が見られ、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<sup>1)</sup>。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 Cs 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の  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度について比較検討を行った結果から、核燃海域の海底土中の  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度は対照海域と同程度の濃度レベルであること、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 海水試料

核燃海域の海水試料の  $^3\text{H}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  及び  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度の経年変化をみると、 $^3\text{H}$  濃度は、表層水及び下層水とも平成 3 年度からほぼ一定の濃度水準で推移してきたが、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濃度上昇が確認された（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のアクティブ試験に伴う管理放出によるものと推定され、平成 21 年度には同試験開始前（平成 13 年度から平成 17 年度）の濃度水準に戻っており、平成 28 年度の濃度水準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。

$^{90}\text{Sr}$  濃度は、平成 23 年度前期調査の 1 測点（福島県沖合に近い測点 22）で採水した表層水が東電福島第一原発事故に起因するとみられる濃度（13mBq/L）であったが、表層水及び下層水とも平成 3 年度から平成 27 年度まで漸減傾向を示しており、平成 28 年度も平成 27 年度と同程度の濃度水準であった。

$^{137}\text{Cs}$  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、表層水及び下層水とも濃度水準は平成 23 年度に比べ減少傾向にあり、平成 25～28 年度は表層水及び下層水とも一部を除きほぼ事故前 5 年間の濃度水準となった。

$^{239+240}\text{Pu}$  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 28 年度もその傾向は維持され、平成 27 年度と同程度の濃度水準であった。

また、核燃海域の  $^{90}\text{Sr}$  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濃度レベルであったことから、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  $^{129}\text{I}$  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  $^{129}\text{I}$  濃度の分析を行った結果、いずれの海域でも同事故の影響は見られなかった。

## 引用文献

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

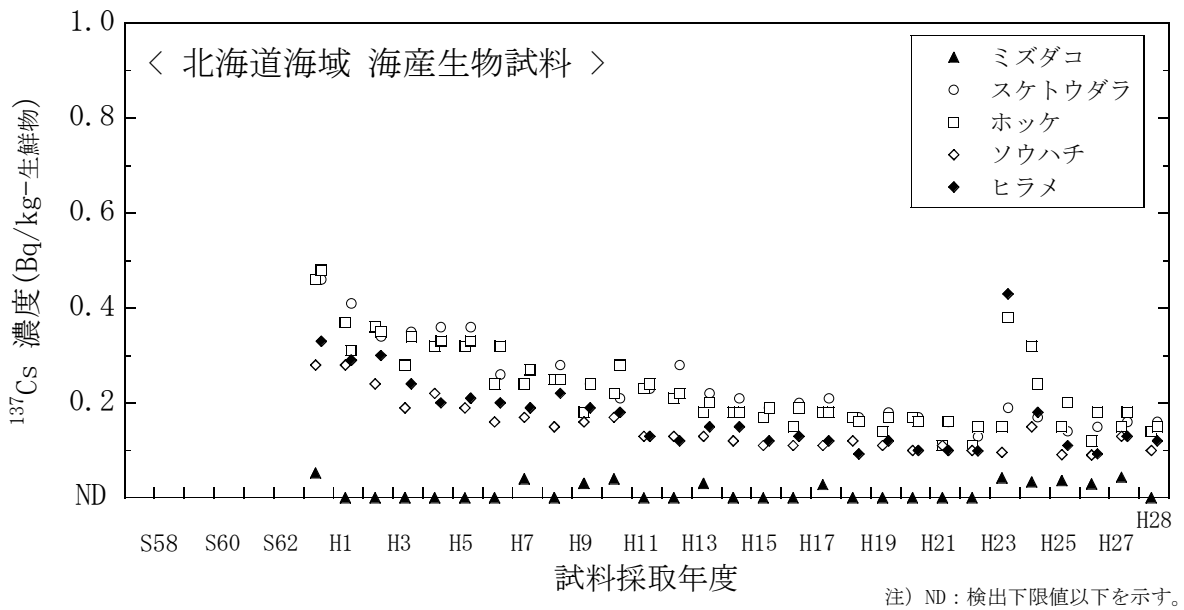


図 I-6-1 海産生物試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化 (北海道海域)

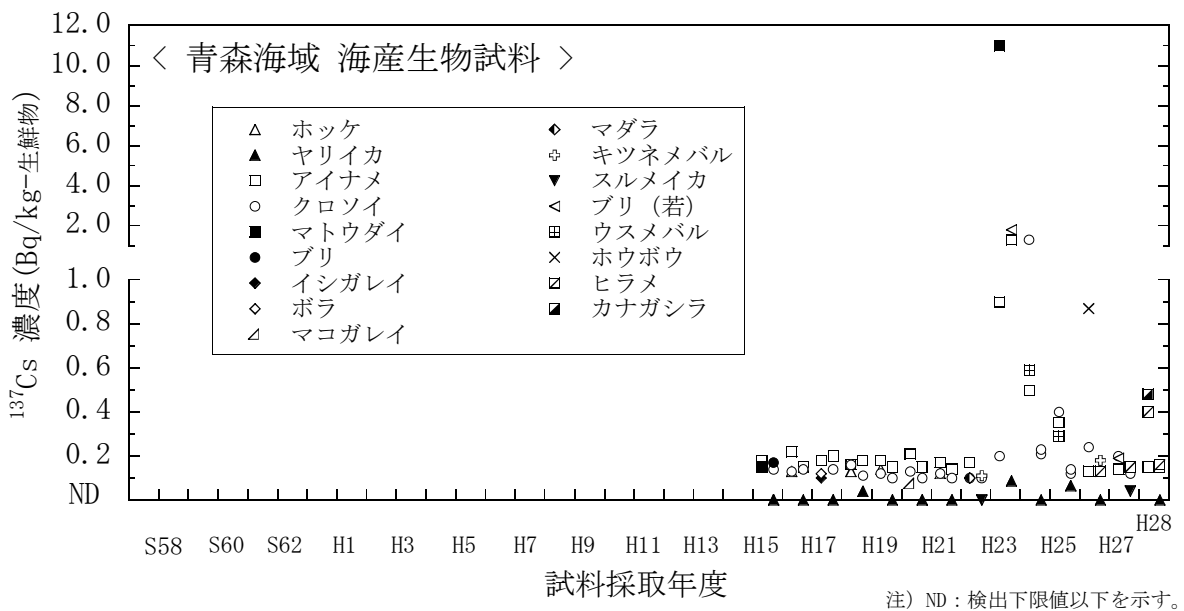


図 I-6-2 海産生物試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化 (青森海域)

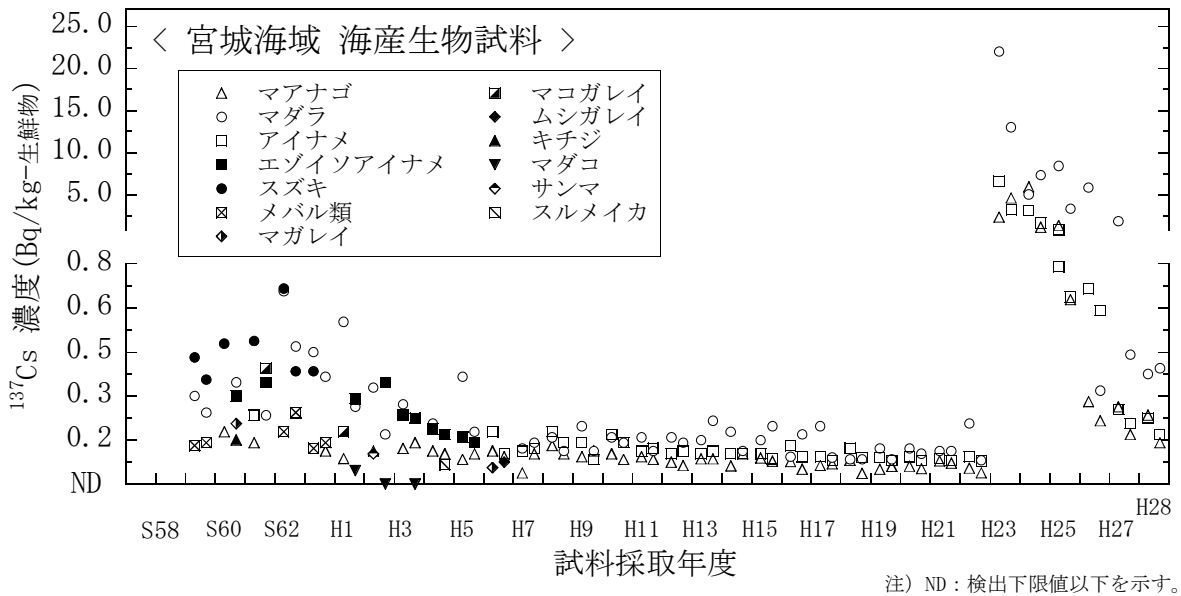


図 I-6-3 海産生物試料の <sup>137</sup>Cs 濃度経年変化 (宮城海域)

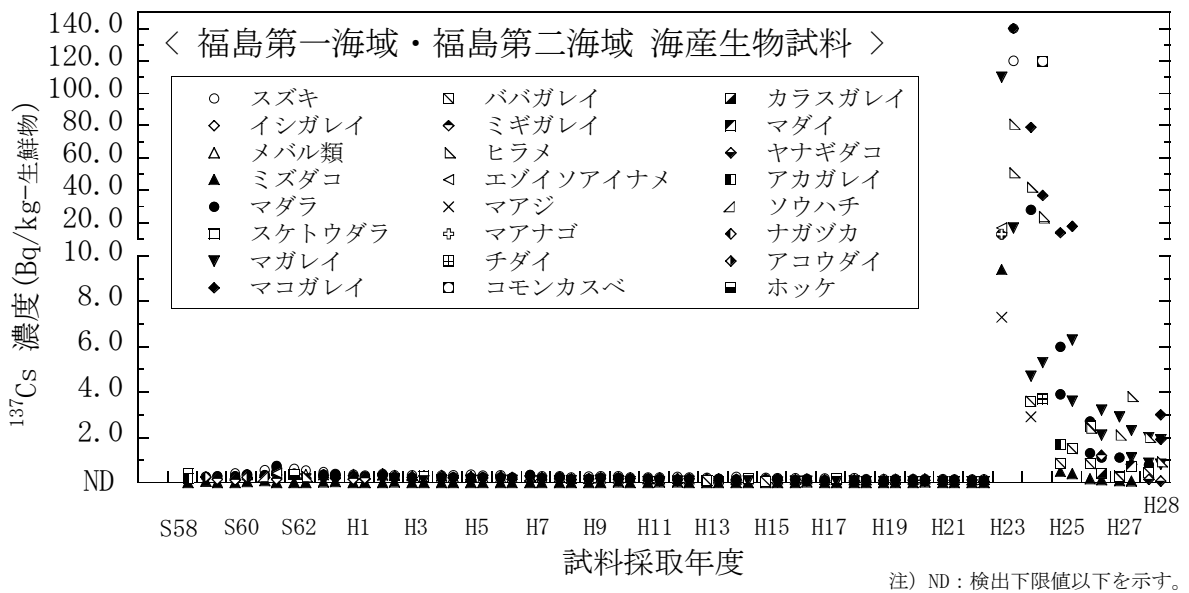


図 I-6-4 海産生物試料の <sup>137</sup>Cs 濃度経年変化 (福島第一海域・福島第二海域)

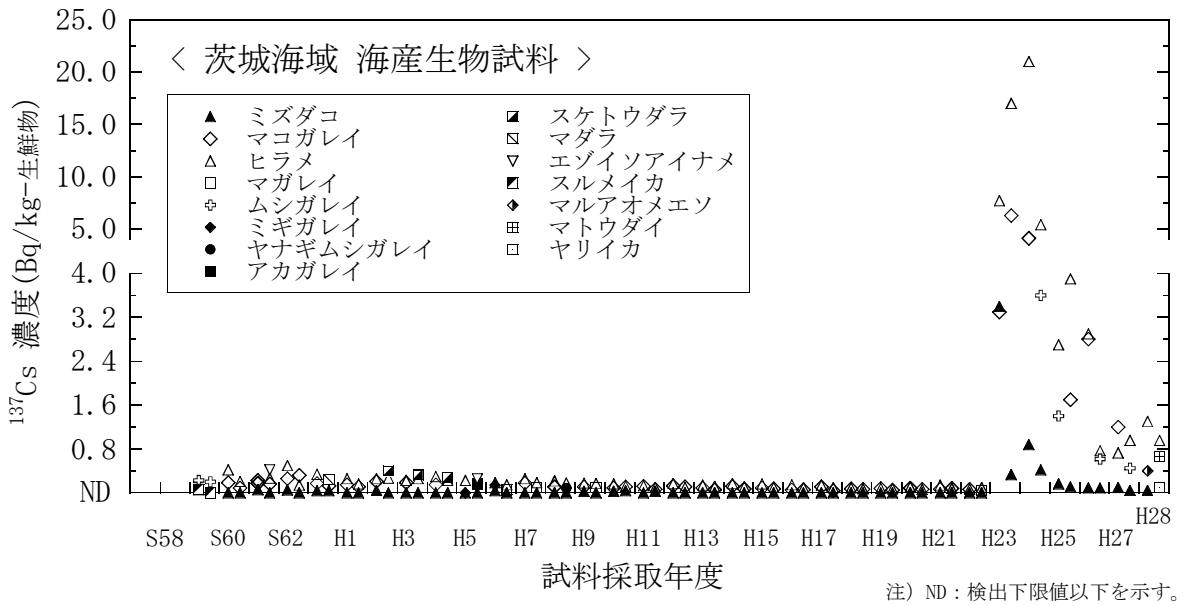


図 I-6-5 海産生物試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化 (茨城海域)

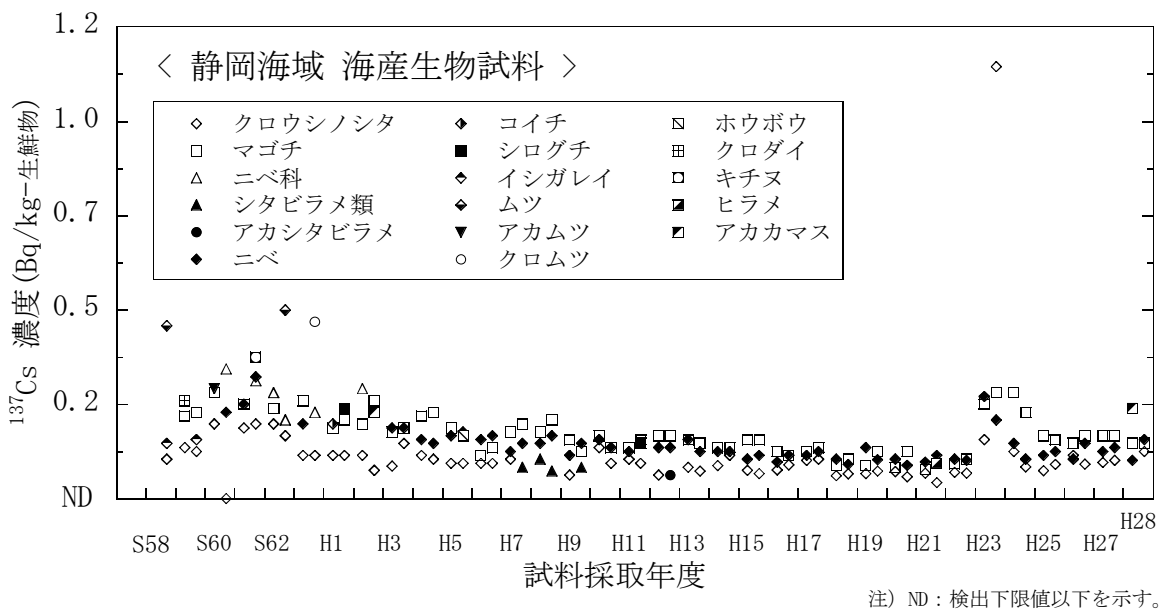


図 I-6-6 海産生物試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化 (静岡海域)

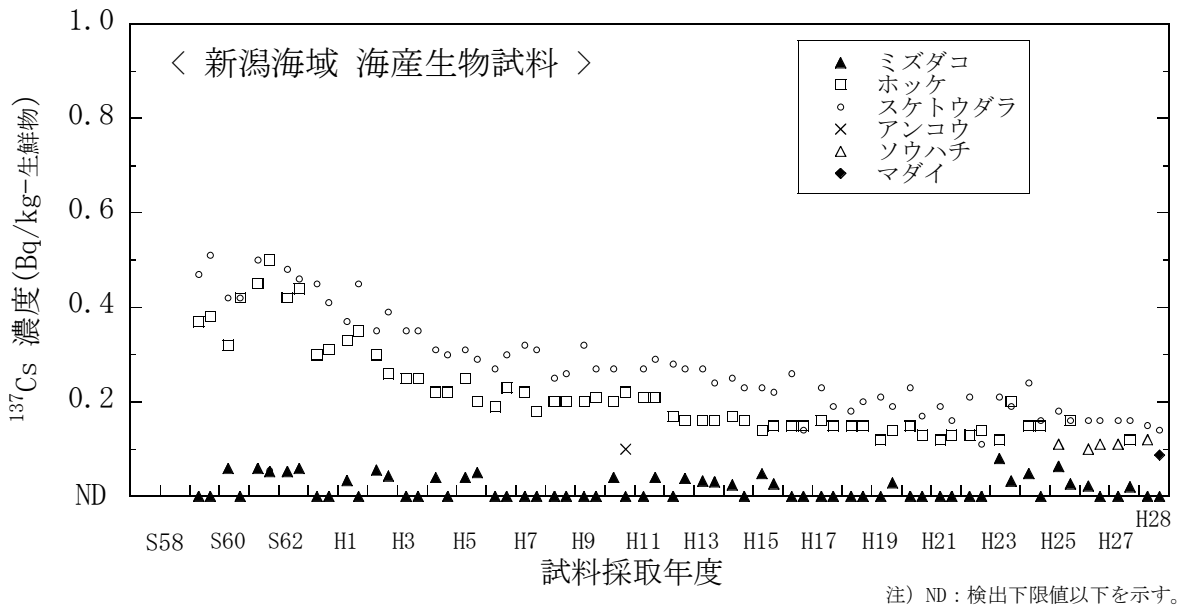


図 I-6-7 海産生物試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化 (新潟海域)

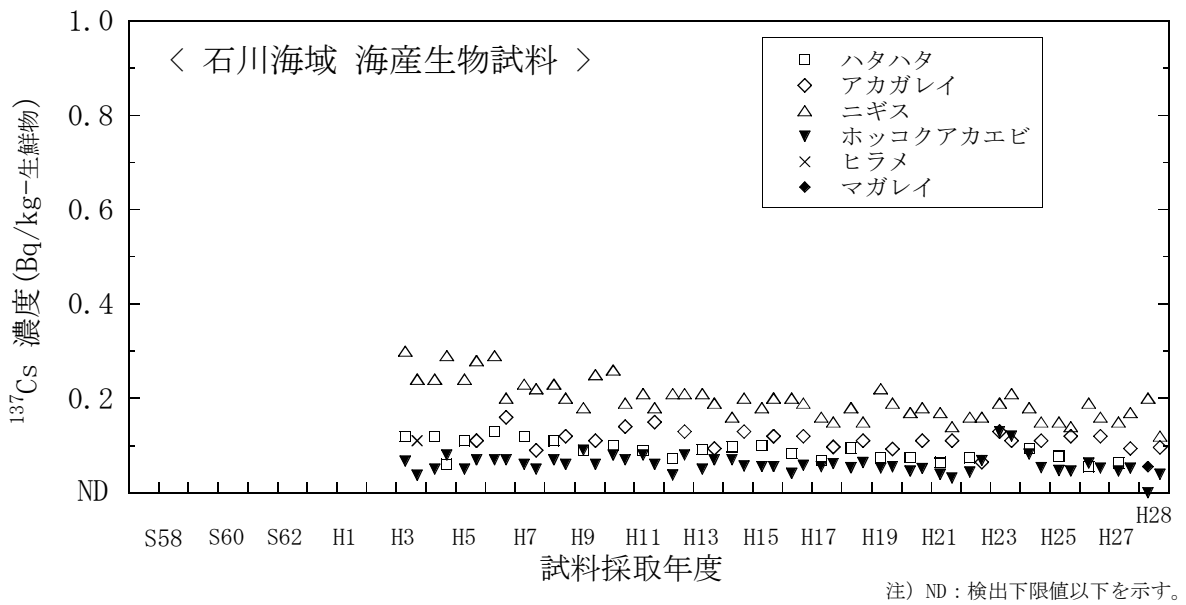


図 I-6-8 海産生物試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化 (石川海域)

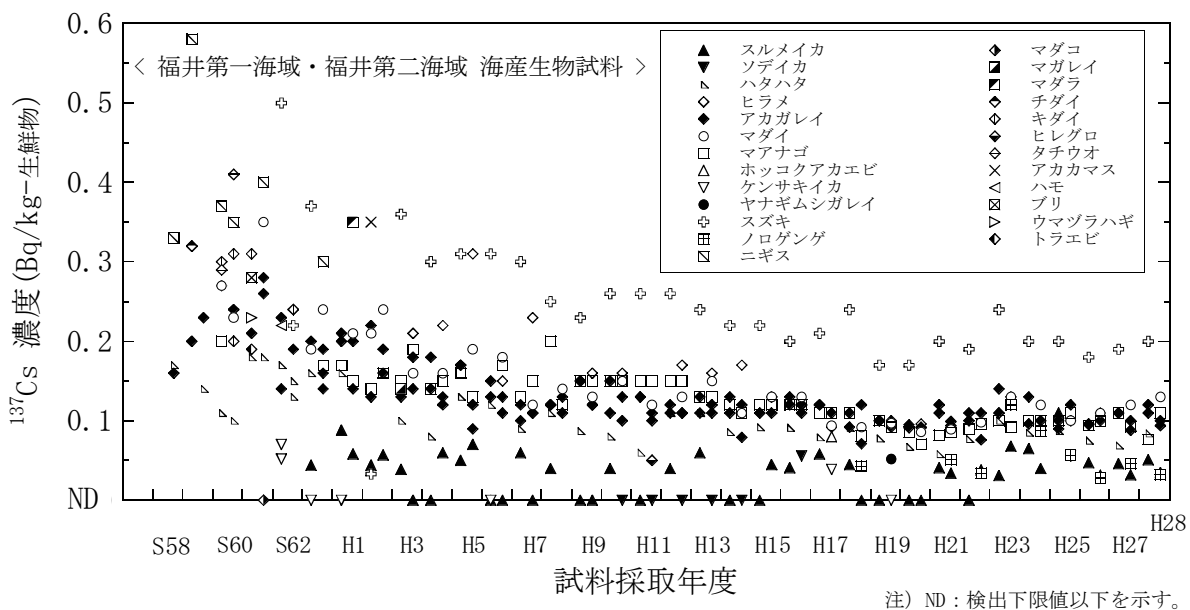


図 I-6-9 海産生物試料の <sup>137</sup>Cs 濃度経年変化 (福井第一海域・福井第二海域)

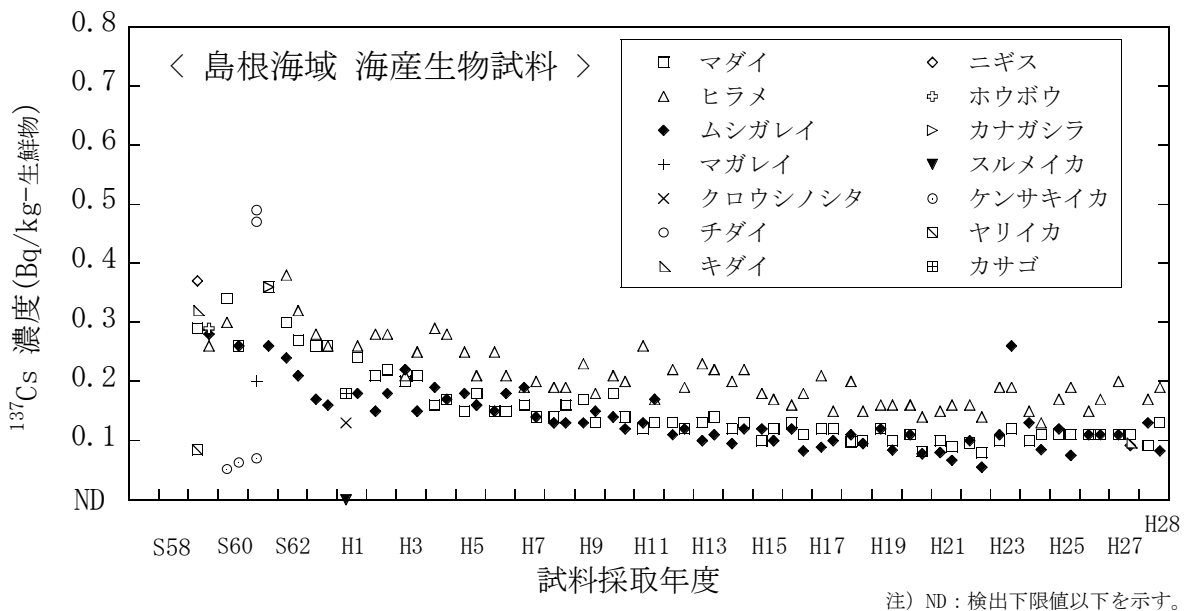


図 I-6-10 海産生物試料の <sup>137</sup>Cs 濃度経年変化 (島根海域)

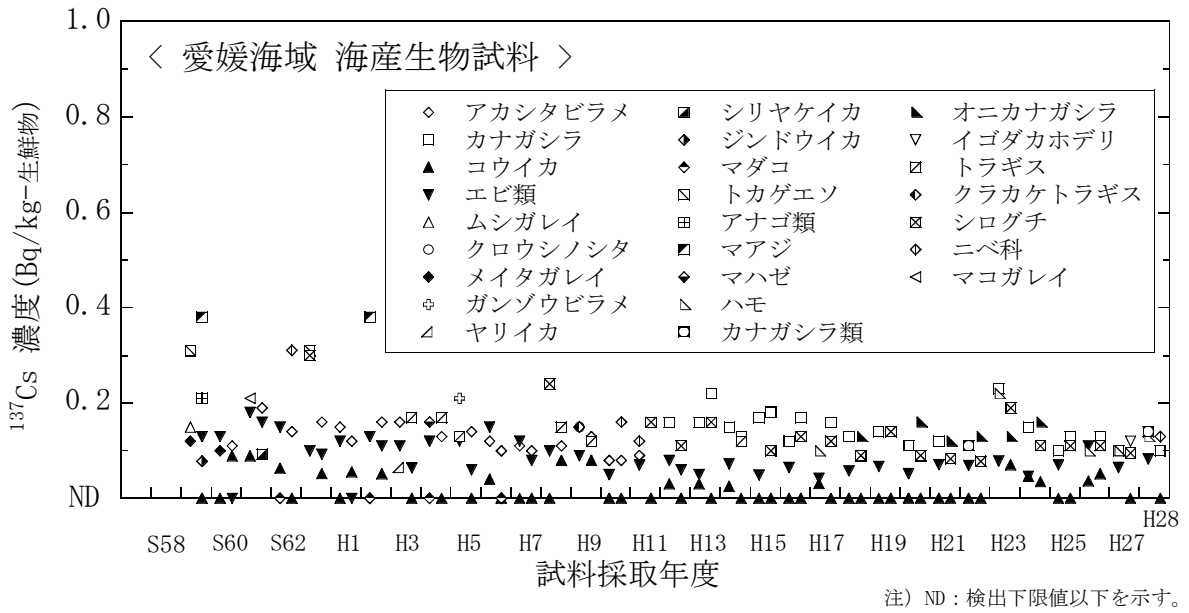


図 I-6-11 海産生物試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化 (愛媛海域)

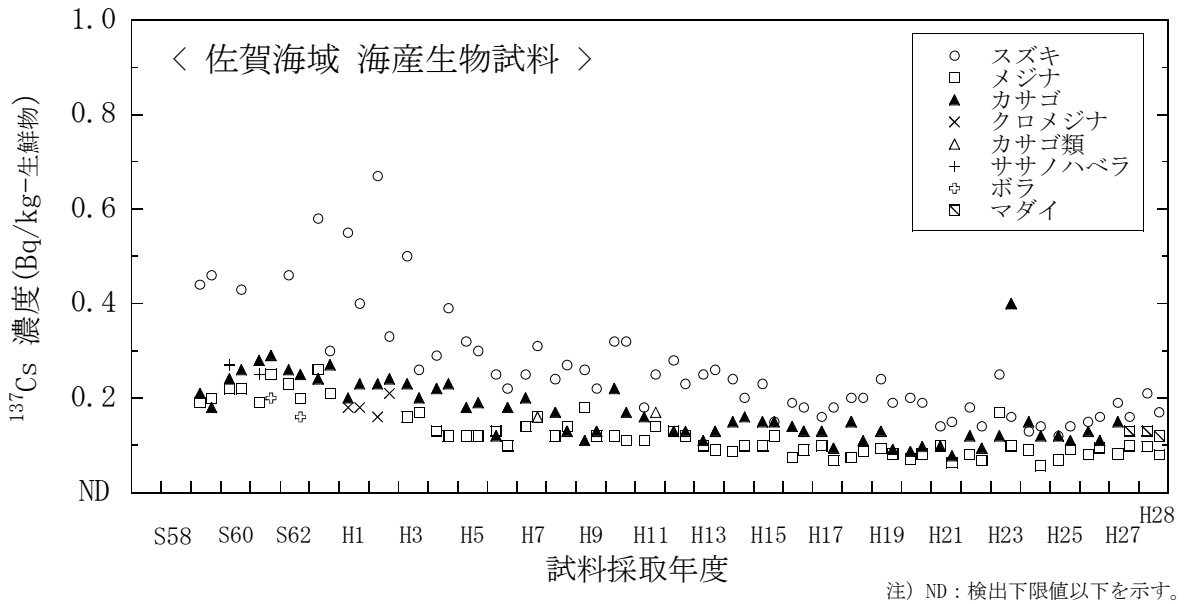


図 I-6-12 海産生物試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化 (佐賀海域)

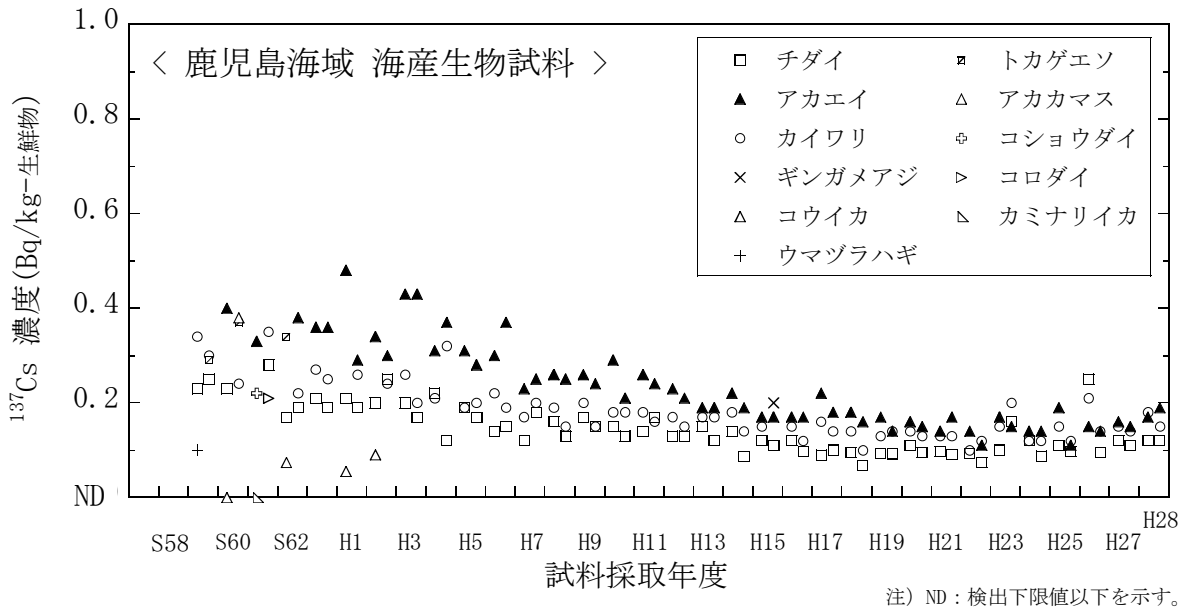
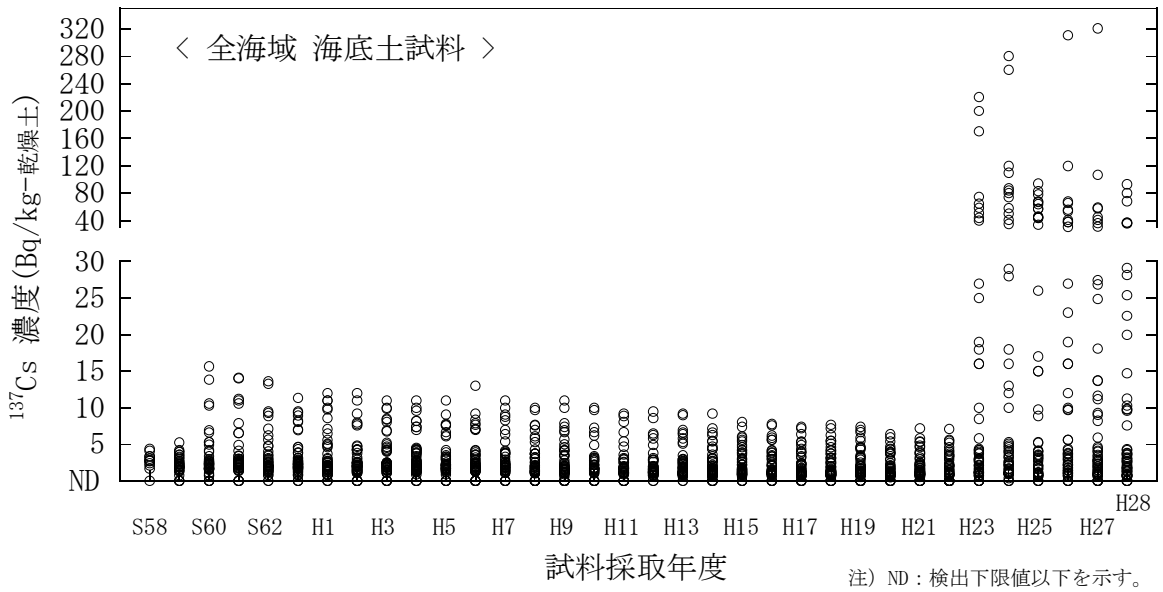


図 I-6-13 海産生物試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化 (鹿児島海域)





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  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化 (全海域)

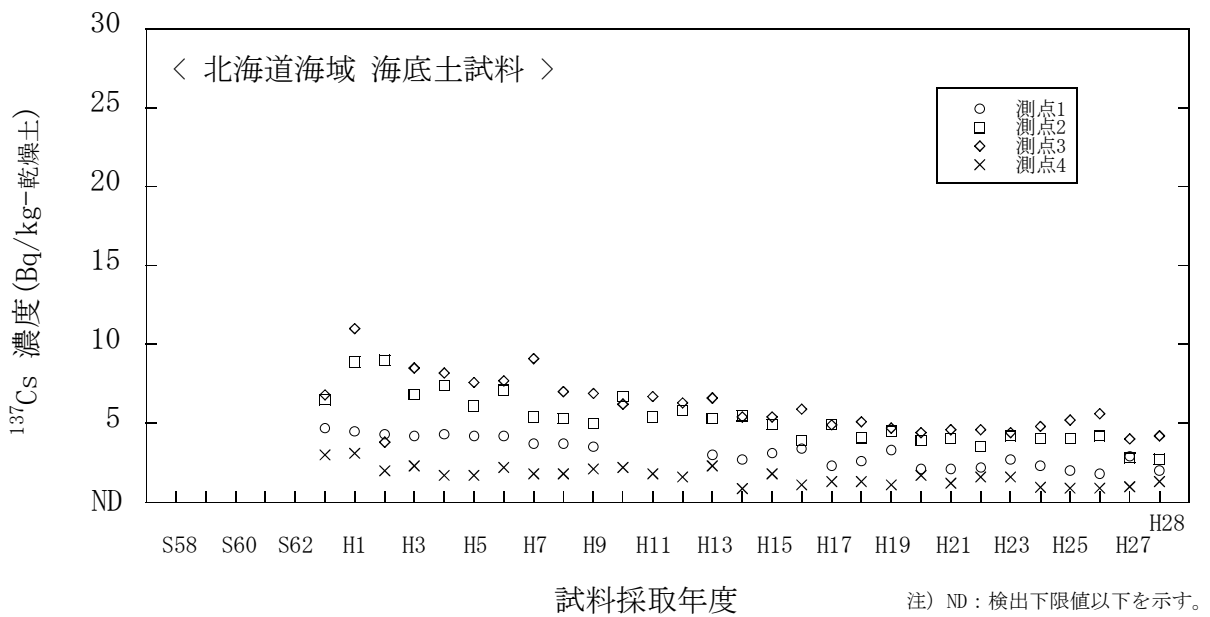


図 I-6-15 海底土試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化 (北海道海域)

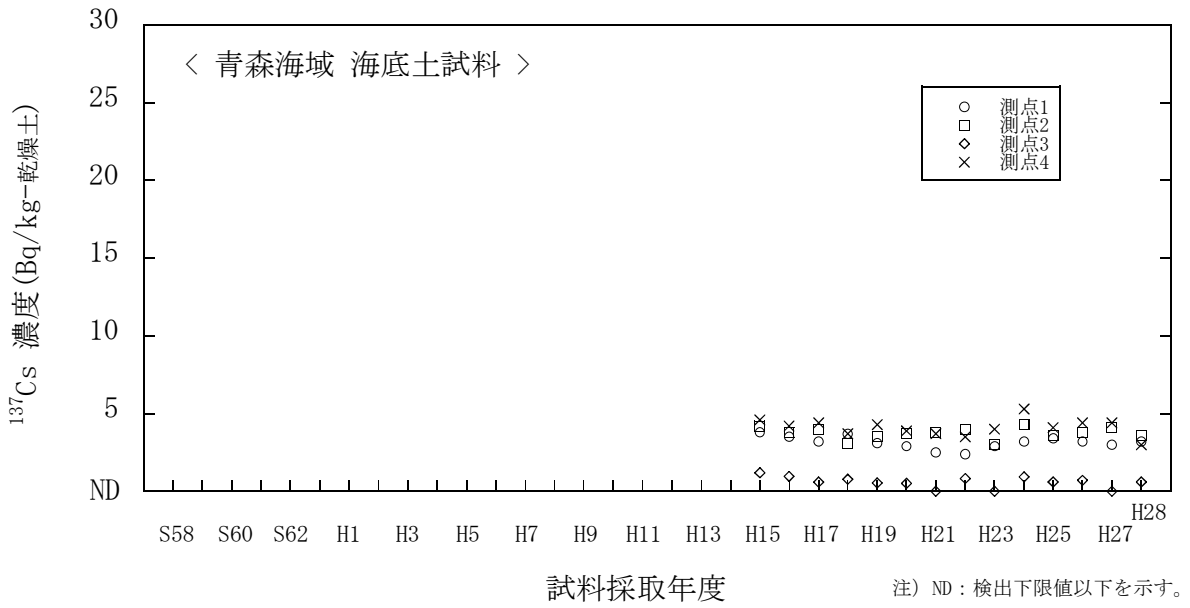


図 I-6-16 海底土試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化 (青森海域)

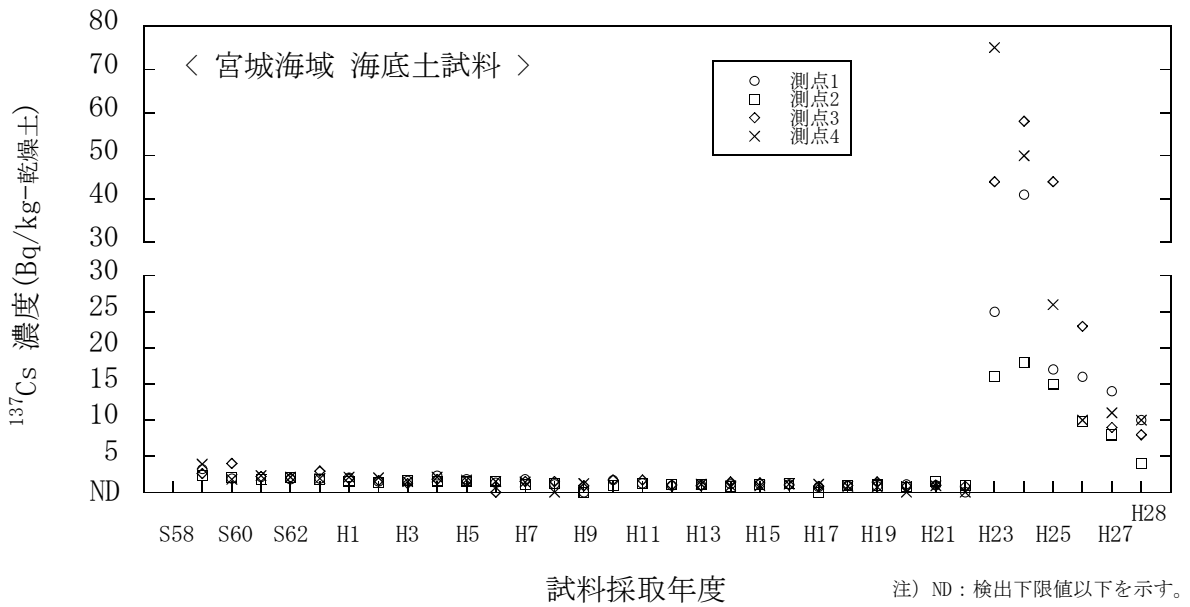


図 I-6-17 海底土試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化 (宮城海域)

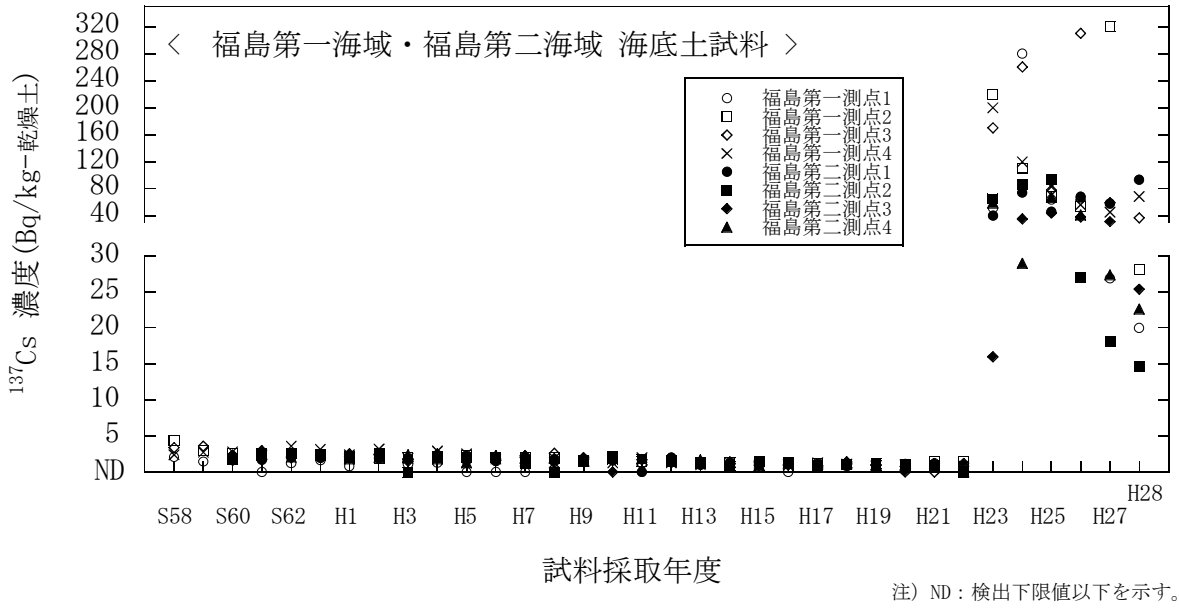


図 I-6-18 海底土試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化 (福島第一海域・福島第二海域)

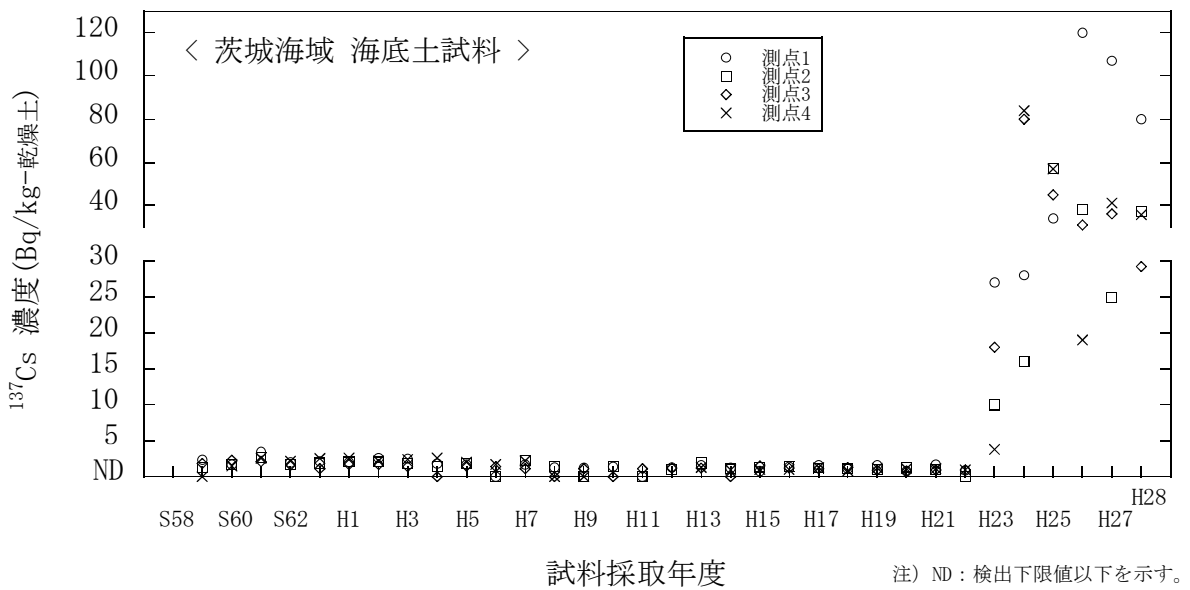


図 I-6-19 海底土試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化 (茨城海域)

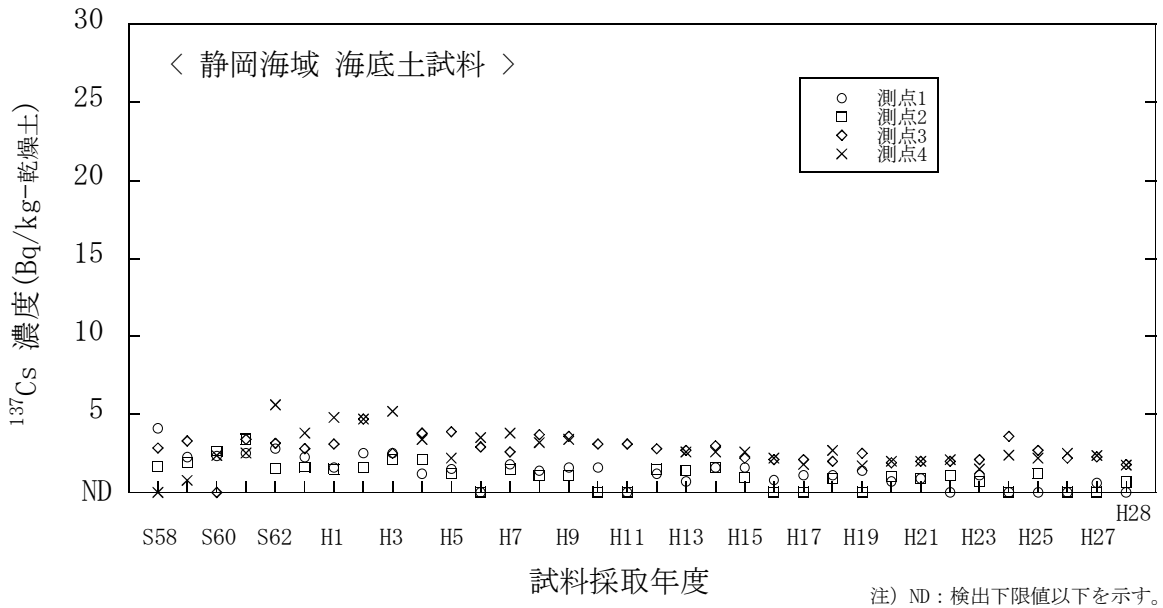


図 I-6-20 海底土試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化 (静岡海域)

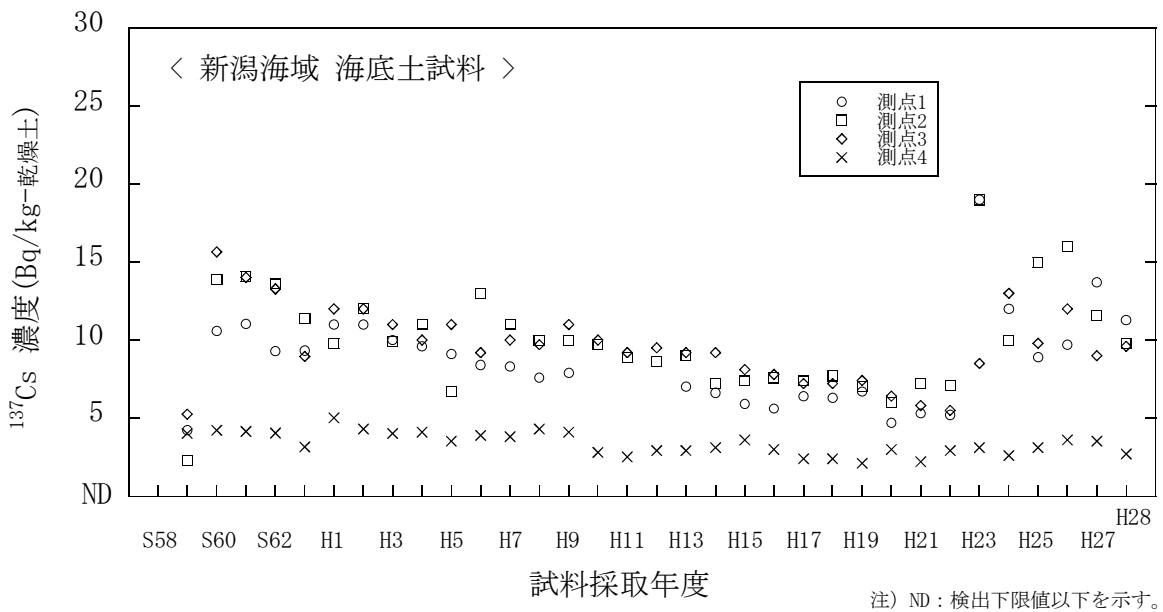


図 I-6-21 海底土試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化 (新潟海域)

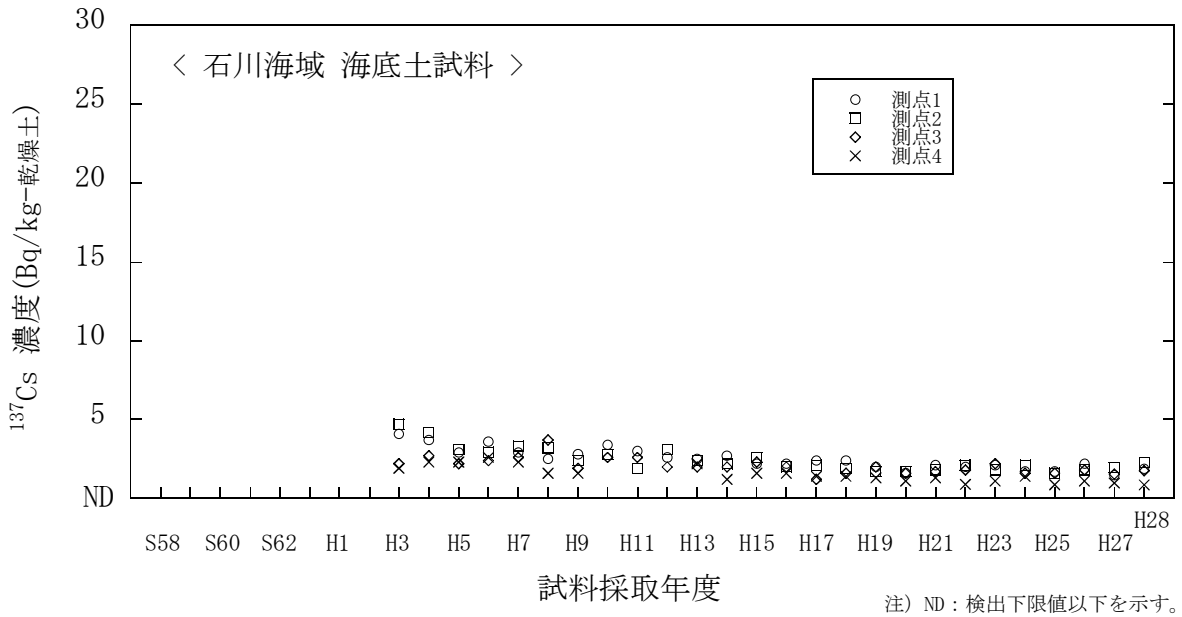


図 I-6-22 海底土試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化 (石川海域)

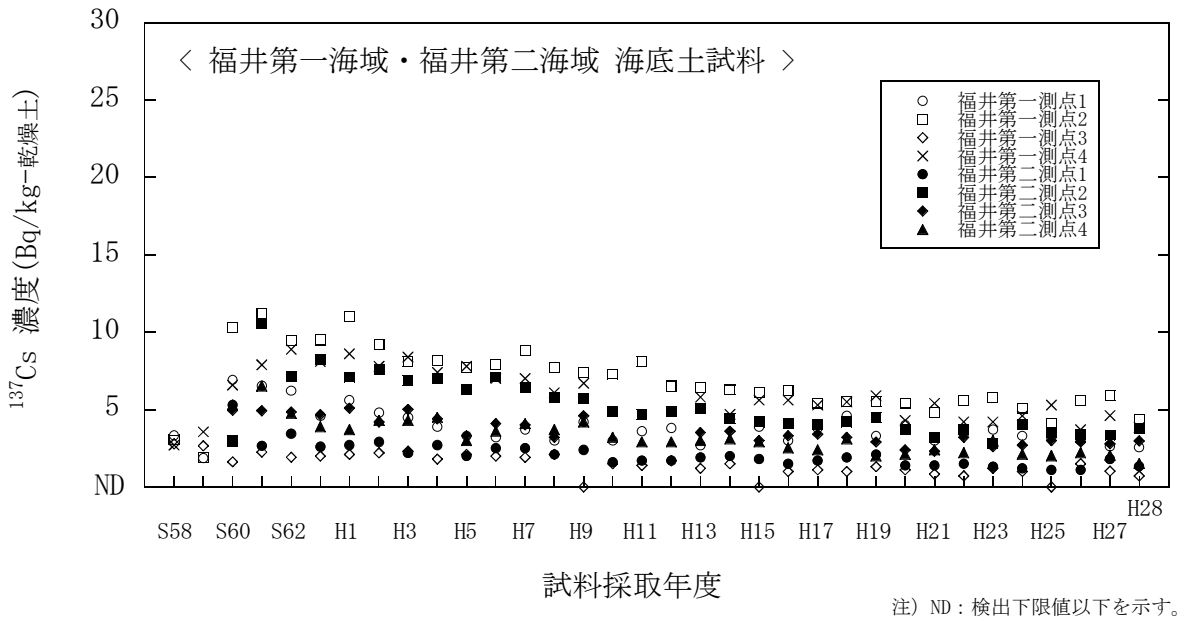


図 I-6-23 海底土試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化 (福井第一海域・福井第二海域)

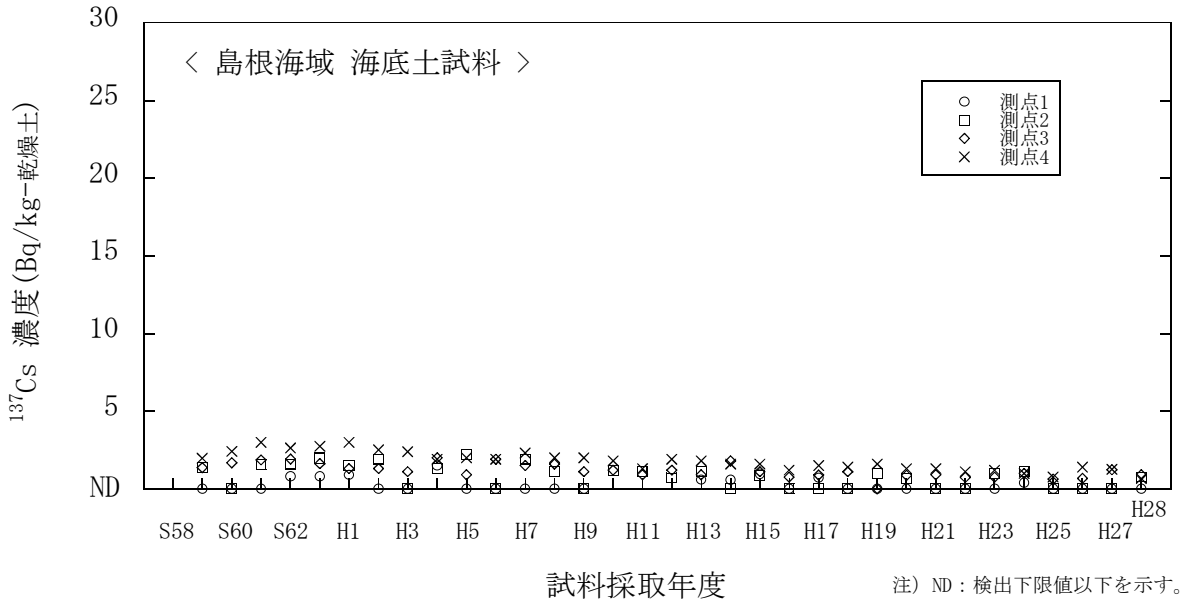


図 I-6-24 海底土試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化 (島根海域)

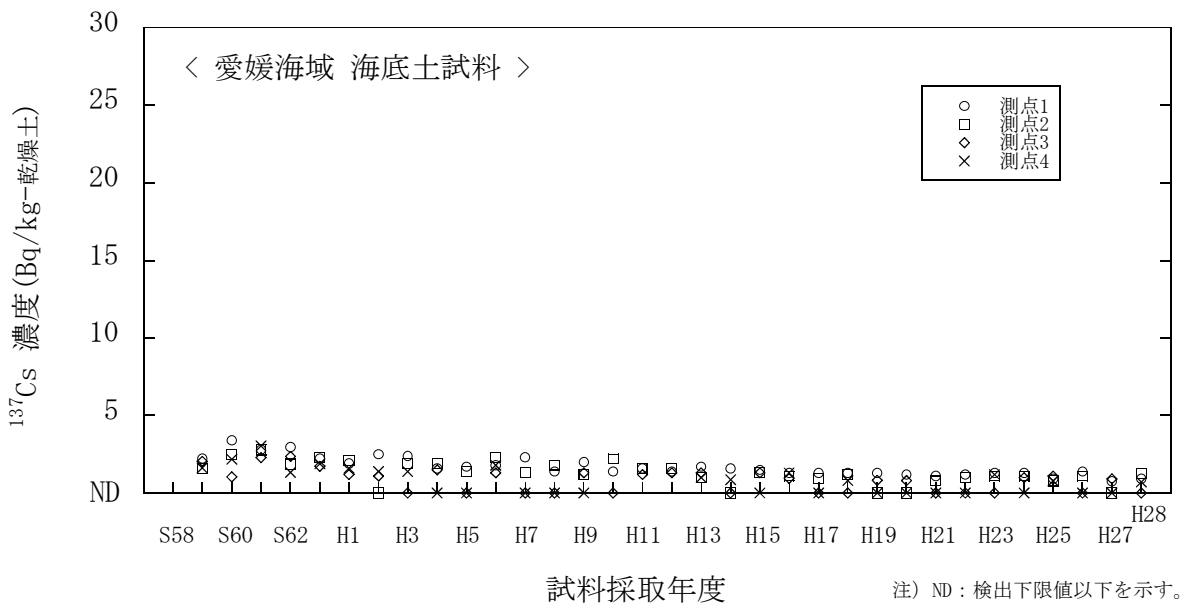


図 I-6-25 海底土試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化 (愛媛海域)

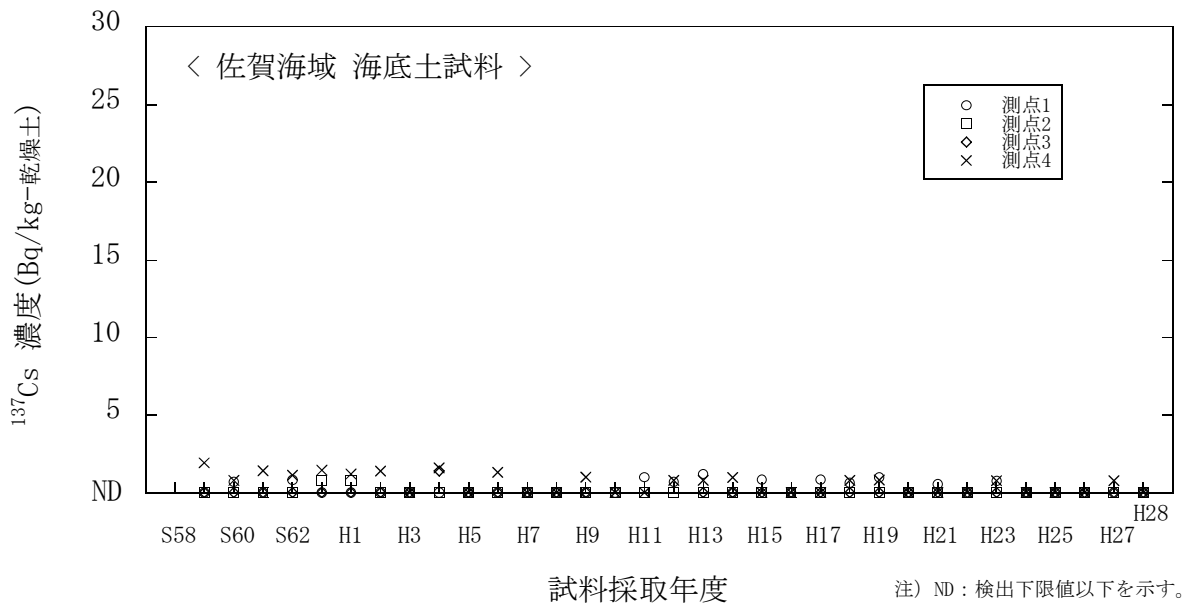


図 I-6-26 海底土試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化 (佐賀海域)

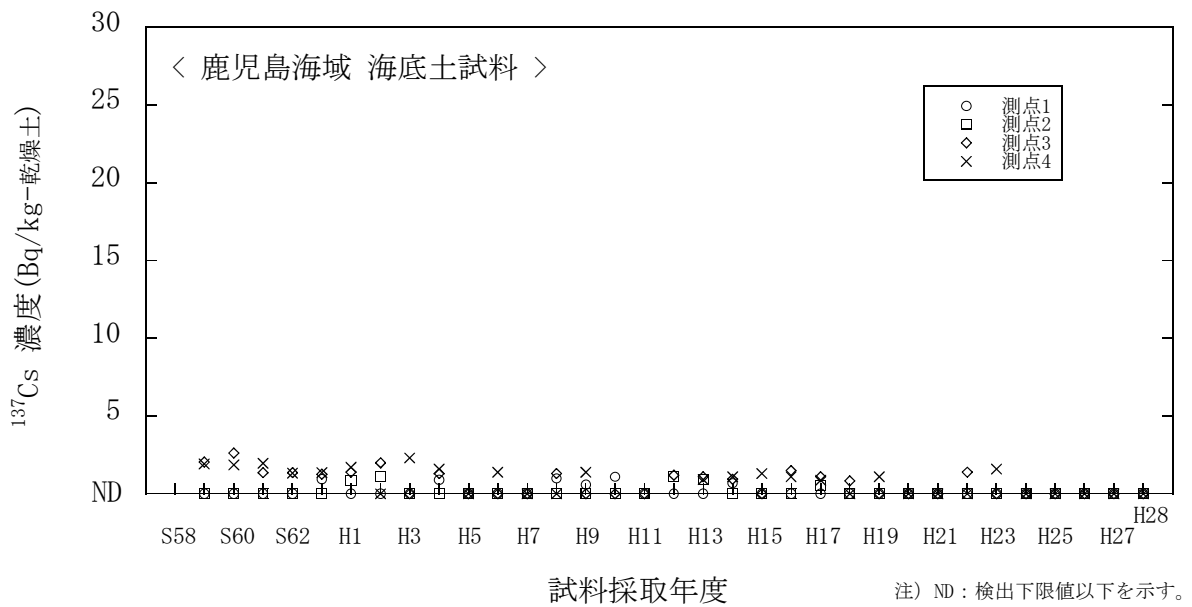


図 I-6-27 海底土試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化 (鹿児島海域)

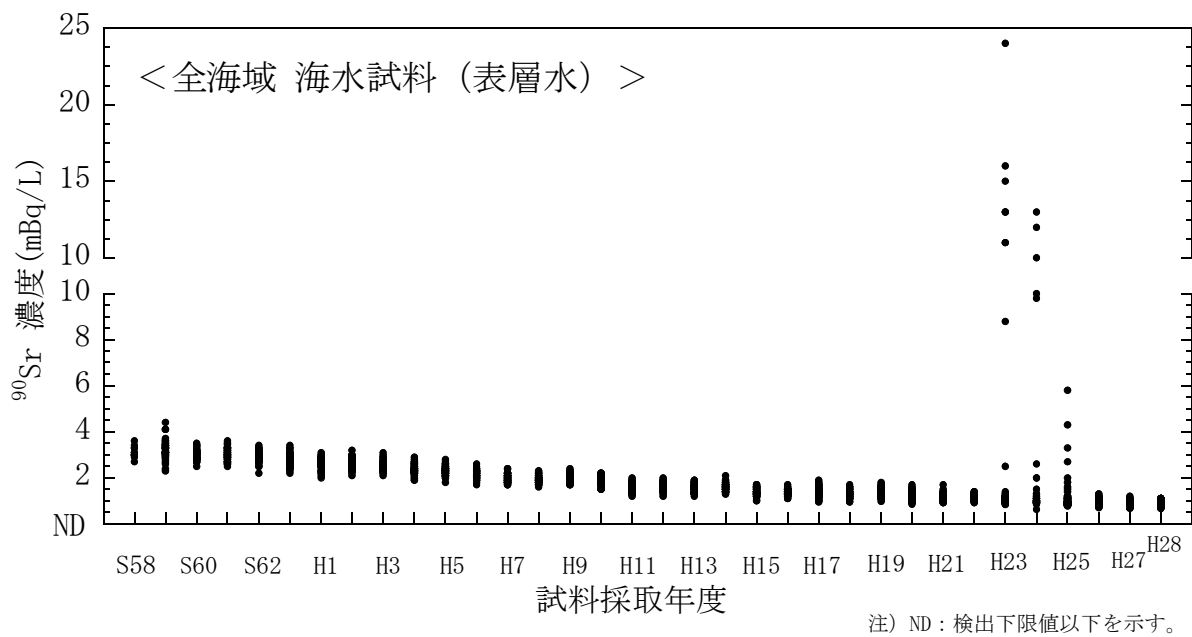


図 I-6-28 海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  濃度経年変化（全海域・表層水）

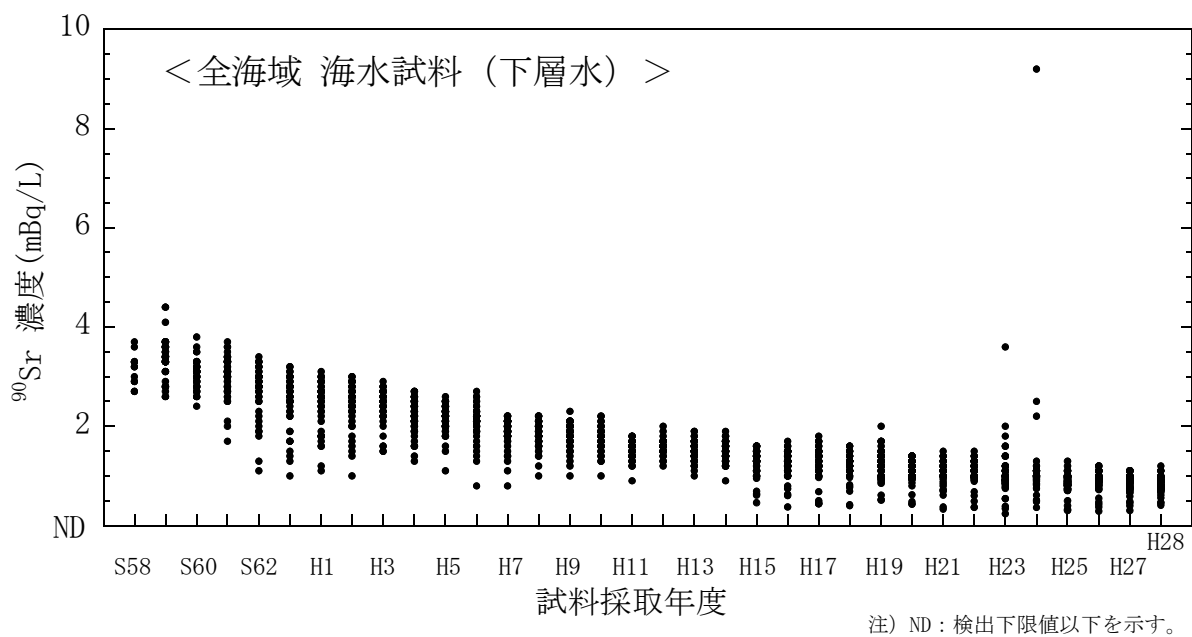


図 I-6-29 海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  濃度経年変化（全海域・下層水）



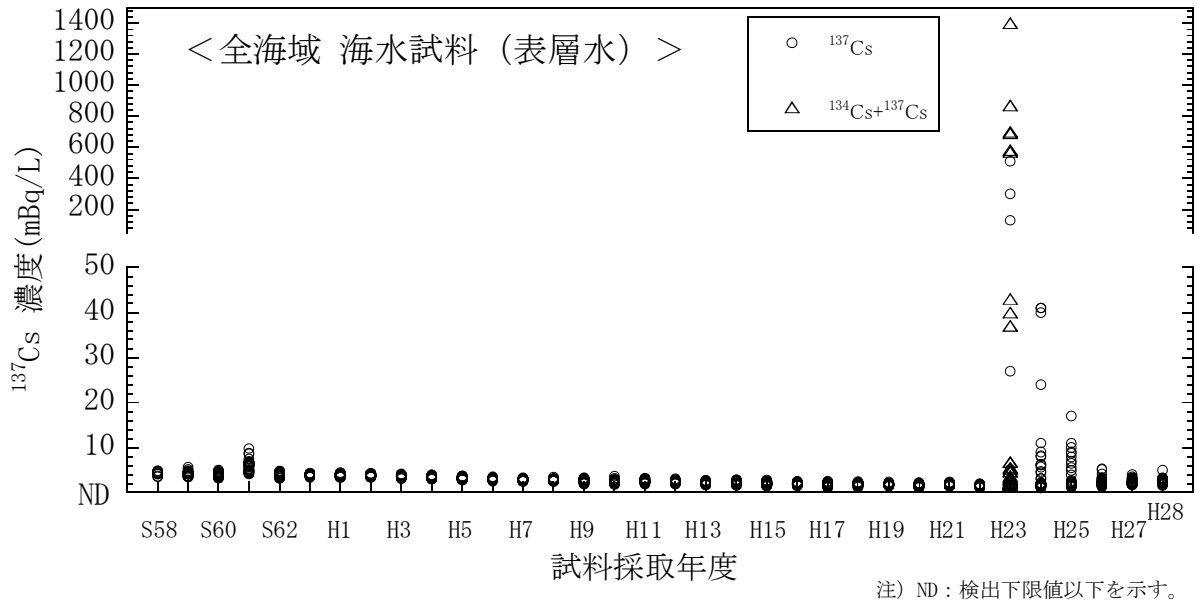


図 I-6-30 海水試料の $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化（全海域・表層水）

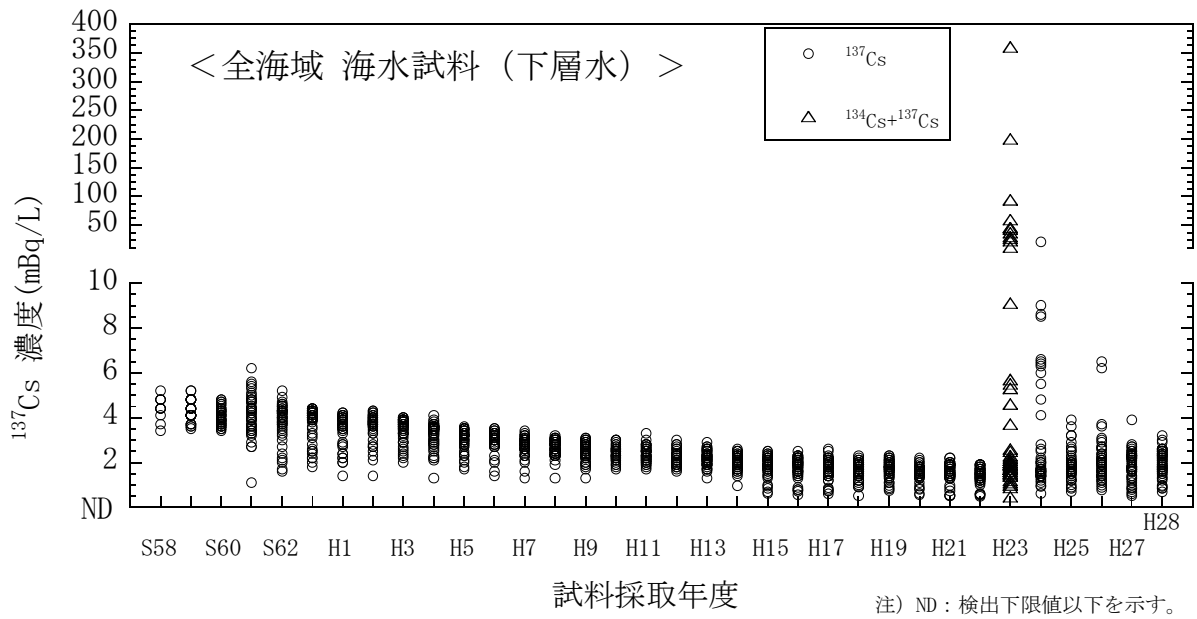


図 I-6-31 海水試料の $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化（全海域・下層水）

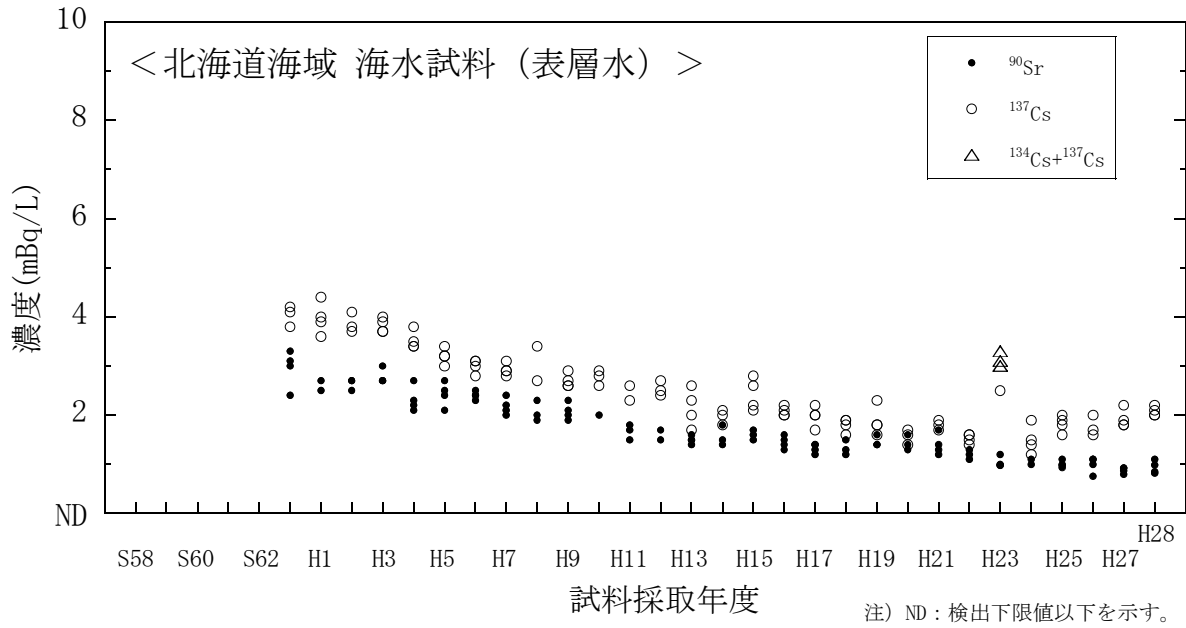


図 I-6-32 海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化（北海道海域・表層水）

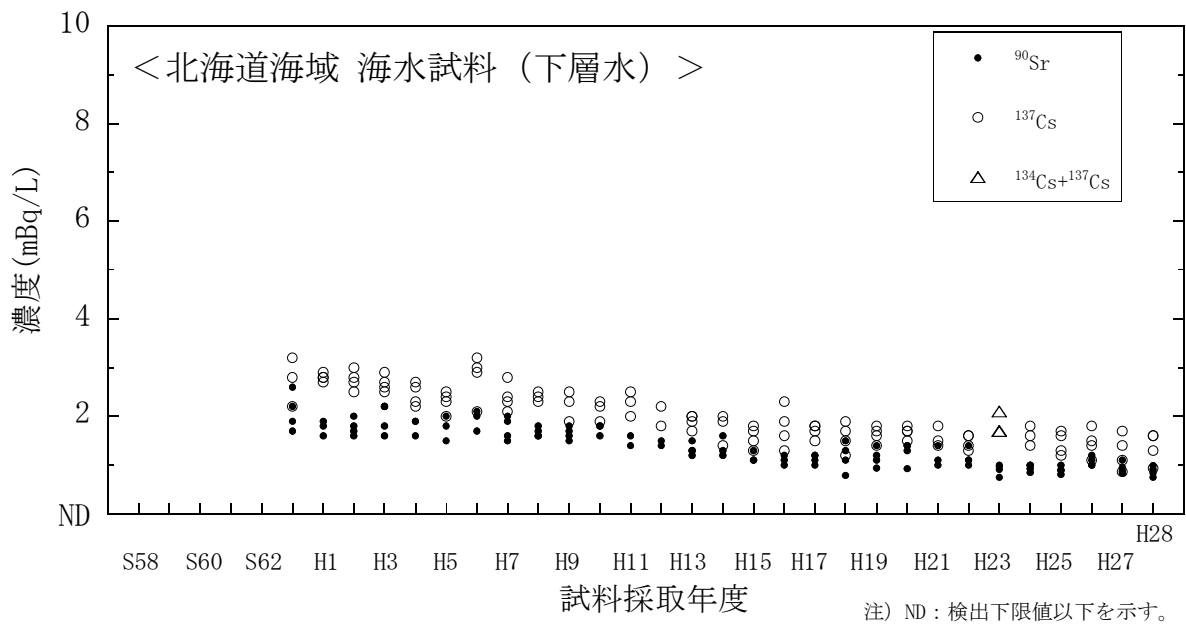


図 I-6-33 海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化（北海道海域・下層水）

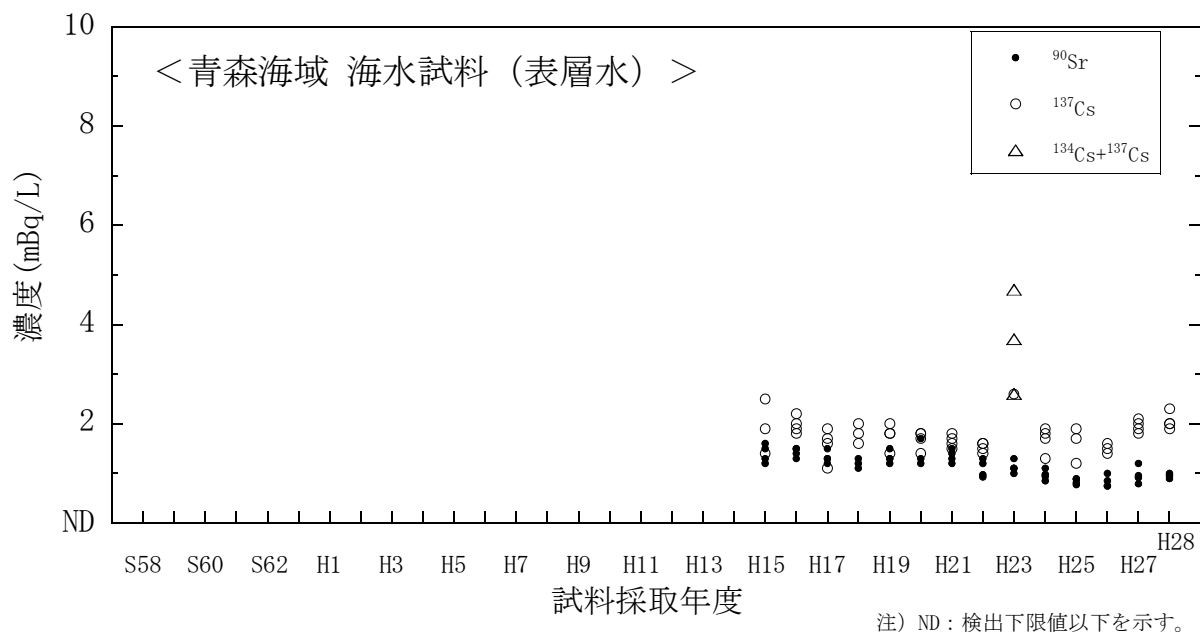


図 I-6-34 海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化（青森海域・表層水）

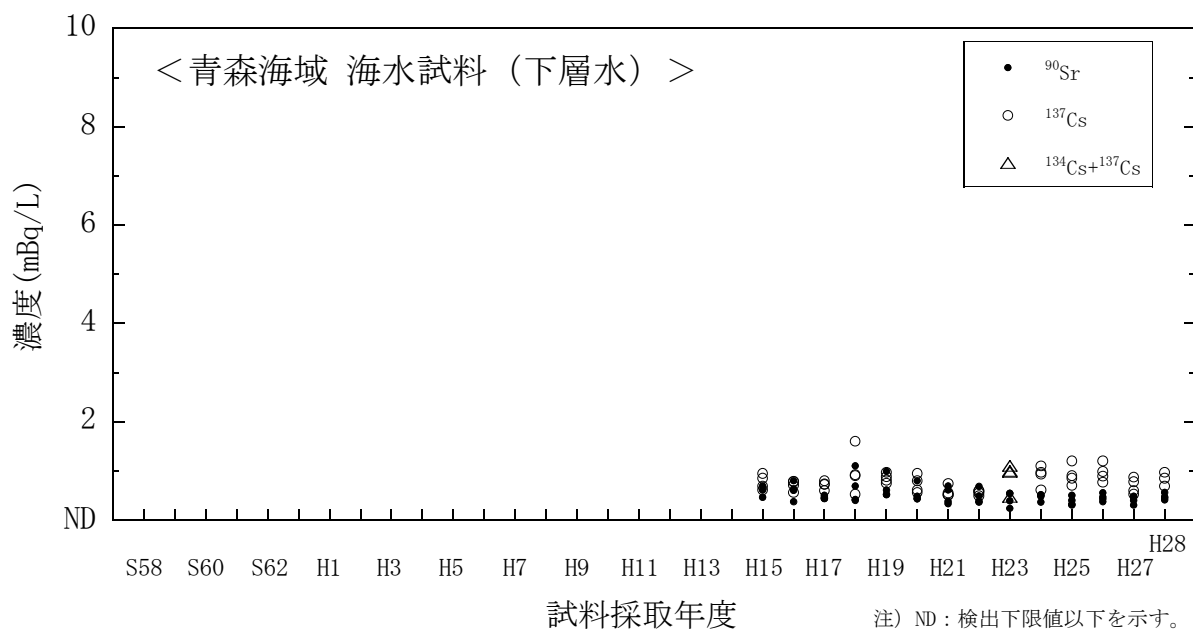


図 I-6-35 海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化（青森海域・下層水）

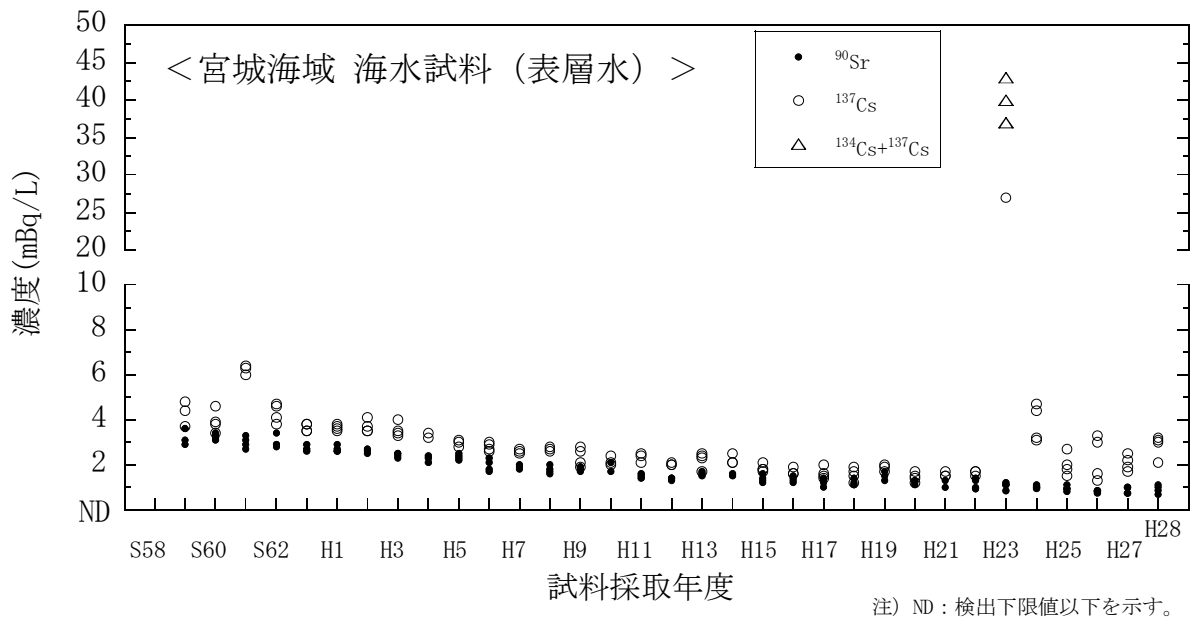


図 I-6-36 海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化（宮城海域・表層水）

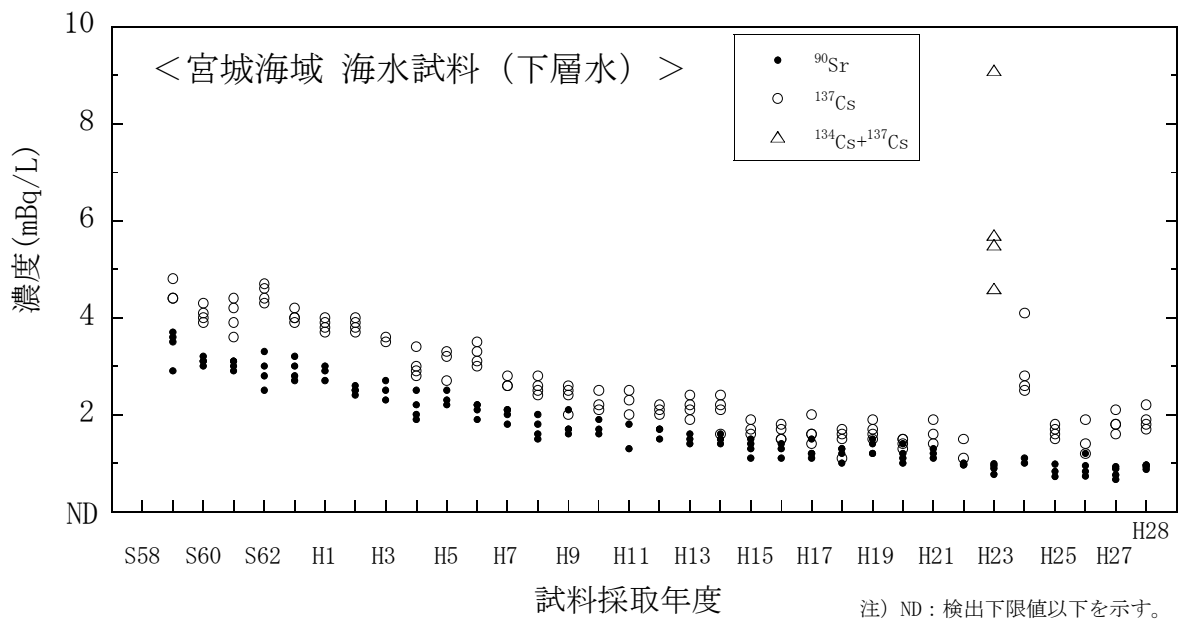


図 I-6-37 海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化（宮城海域・下層水）

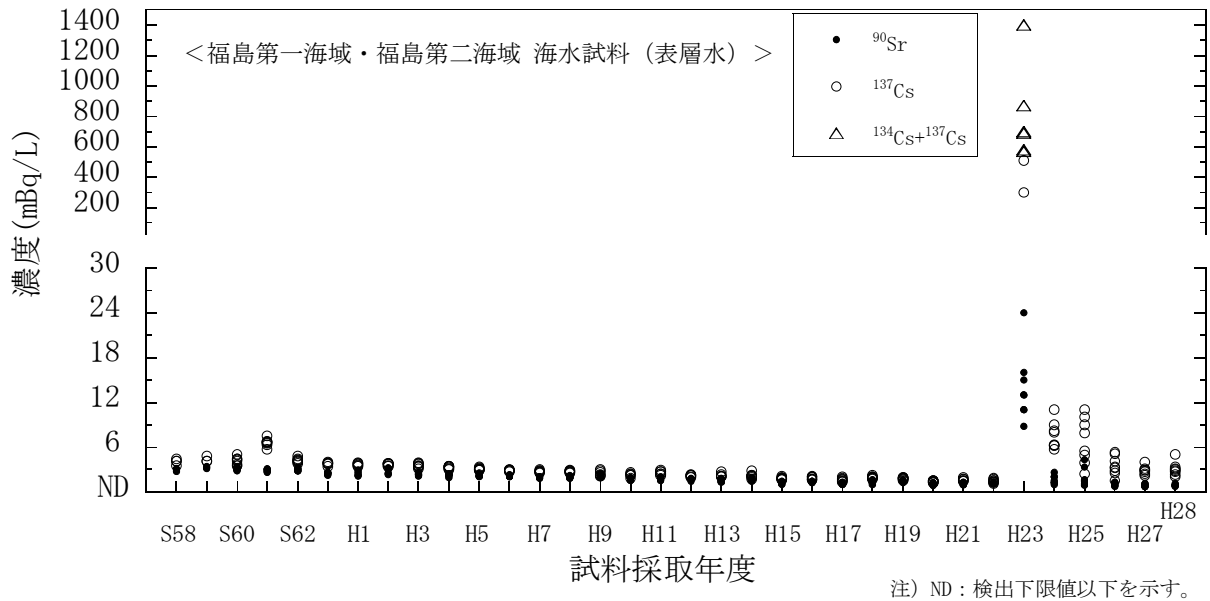


図 I-6-38 海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化  
(福島第一海域・福島第二海域・表層水)

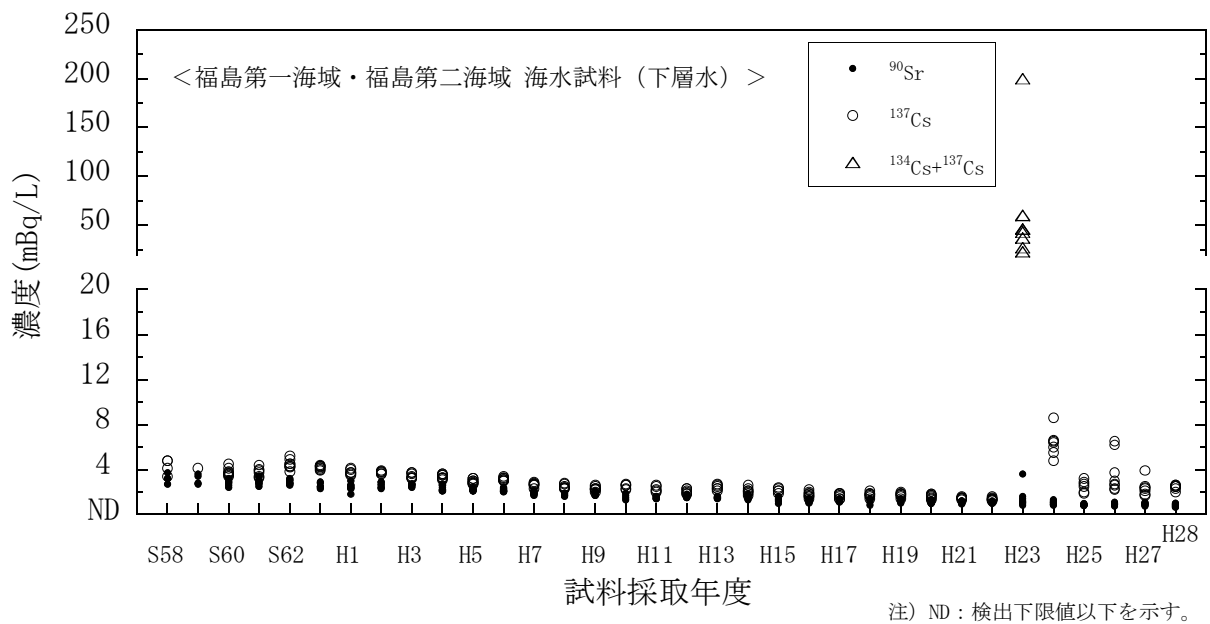


図 I-6-39 海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化  
(福島第一海域・福島第二海域・下層水)

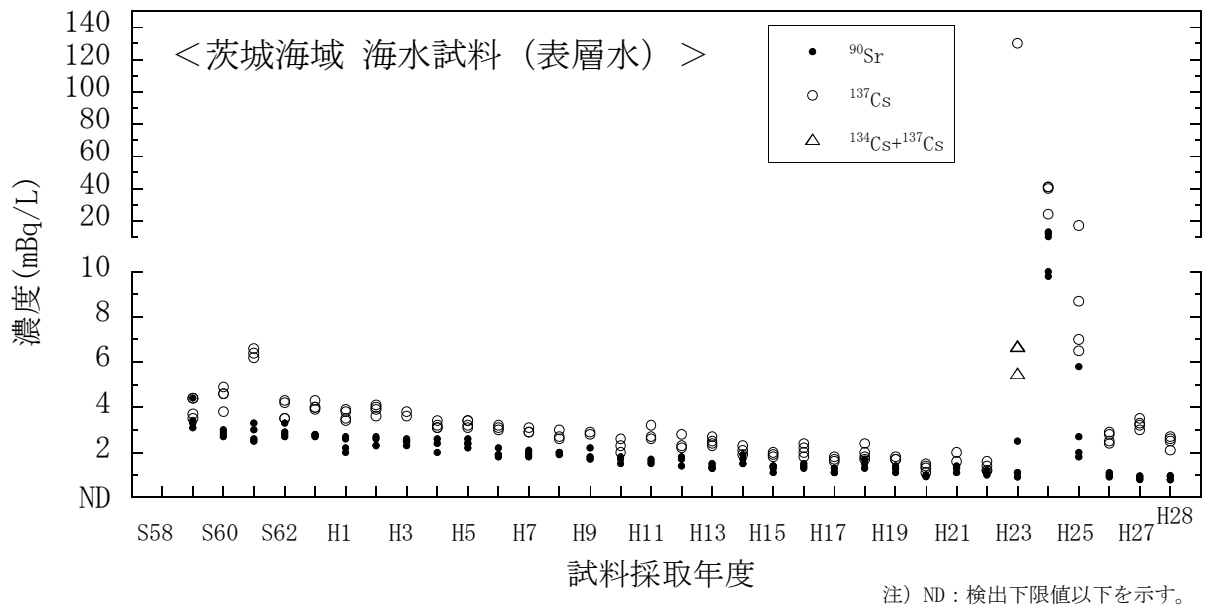


図 I-6-40 海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化（茨城海域・表層水）

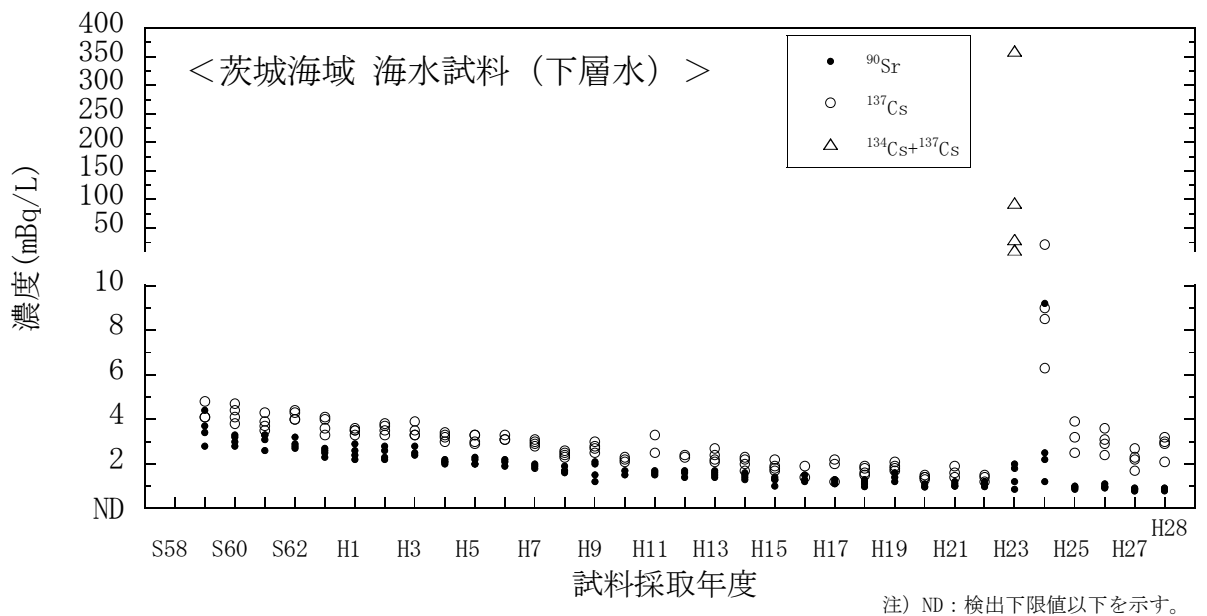


図 I-6-41 海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化（茨城海域・下層水）

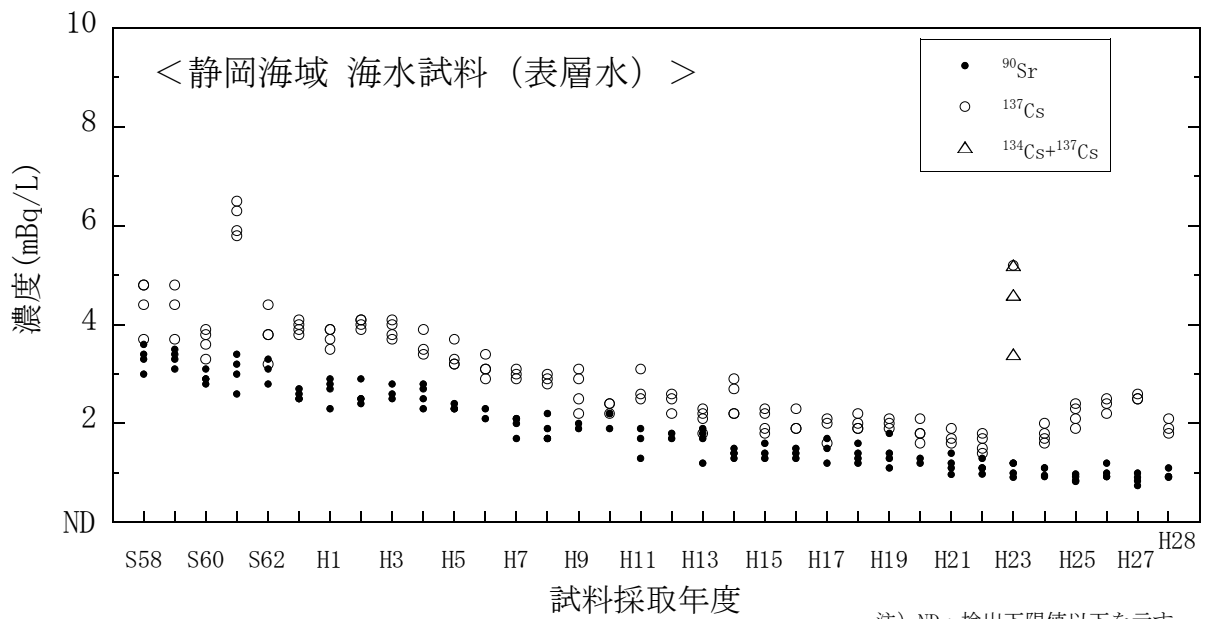


図 I-6-42 海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化（静岡海域・表層水）

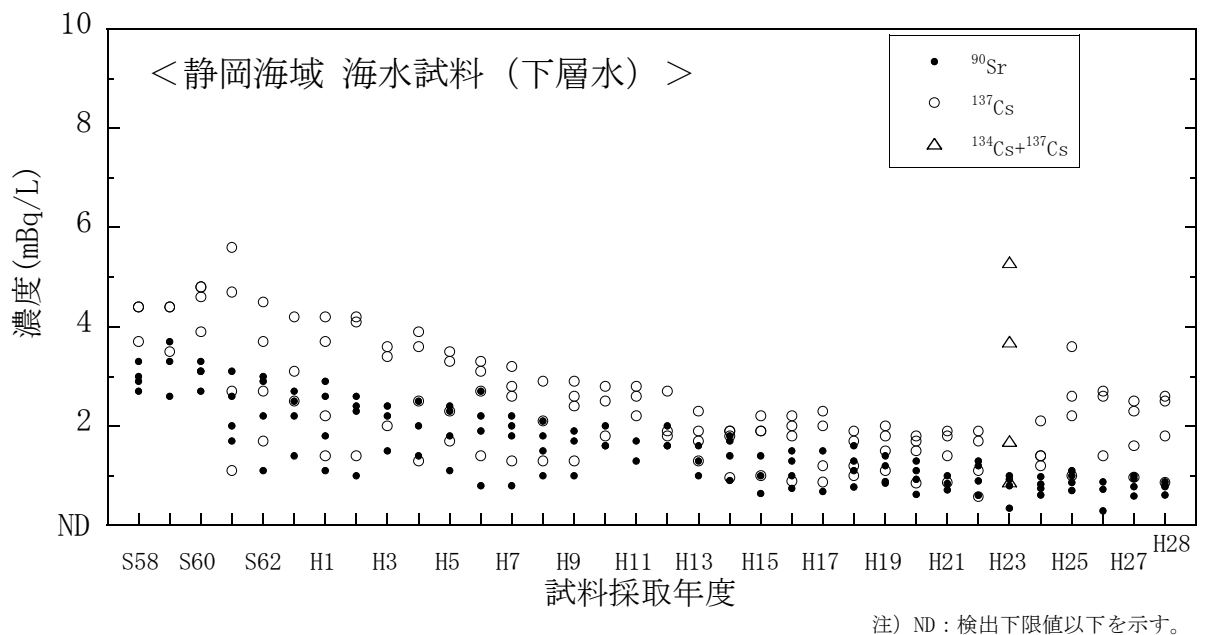


図 I-6-43 海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化（静岡海域・下層水）

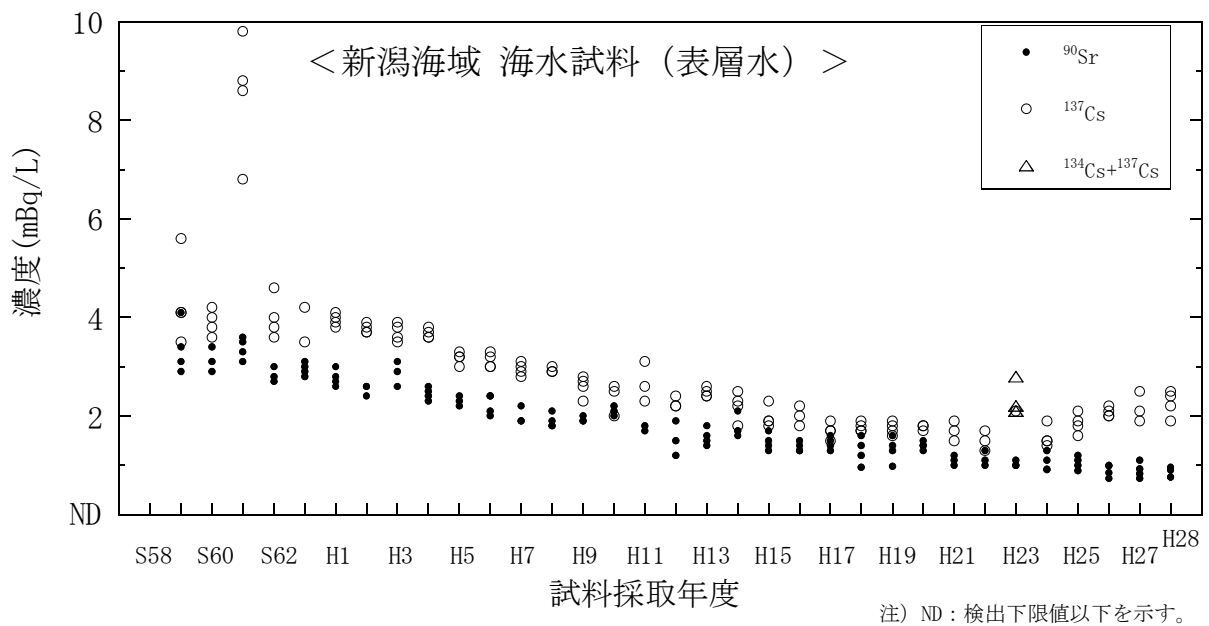


図 I-6-44 海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化（新潟海域・表層水）

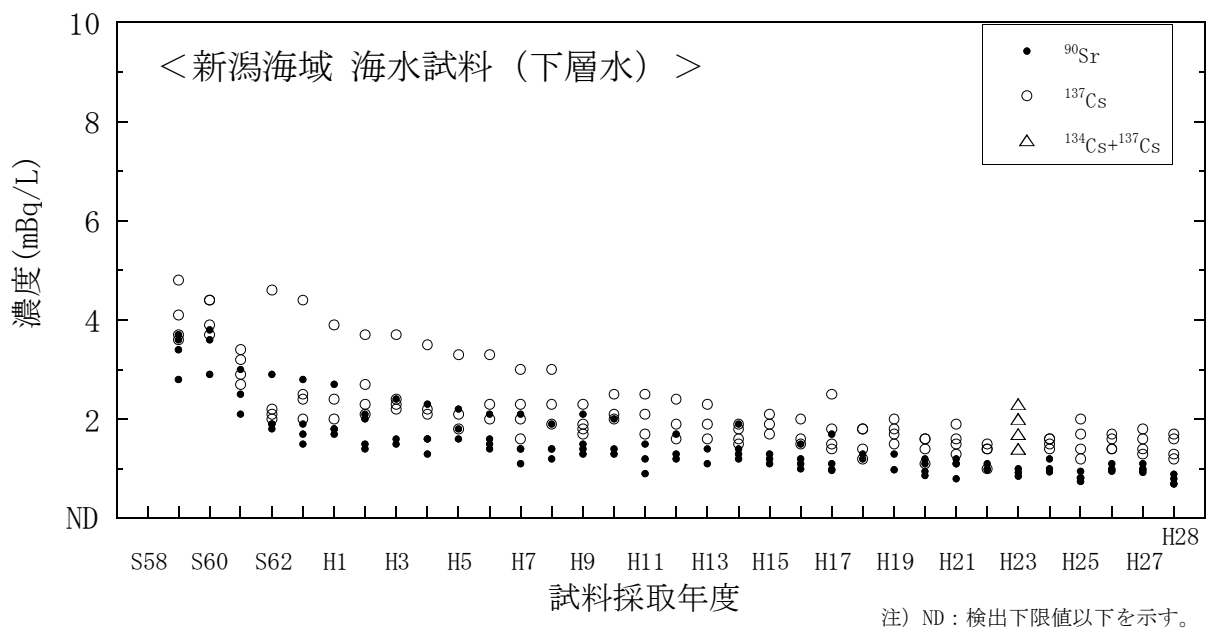


図 I-6-45 海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化（新潟海域・下層水）



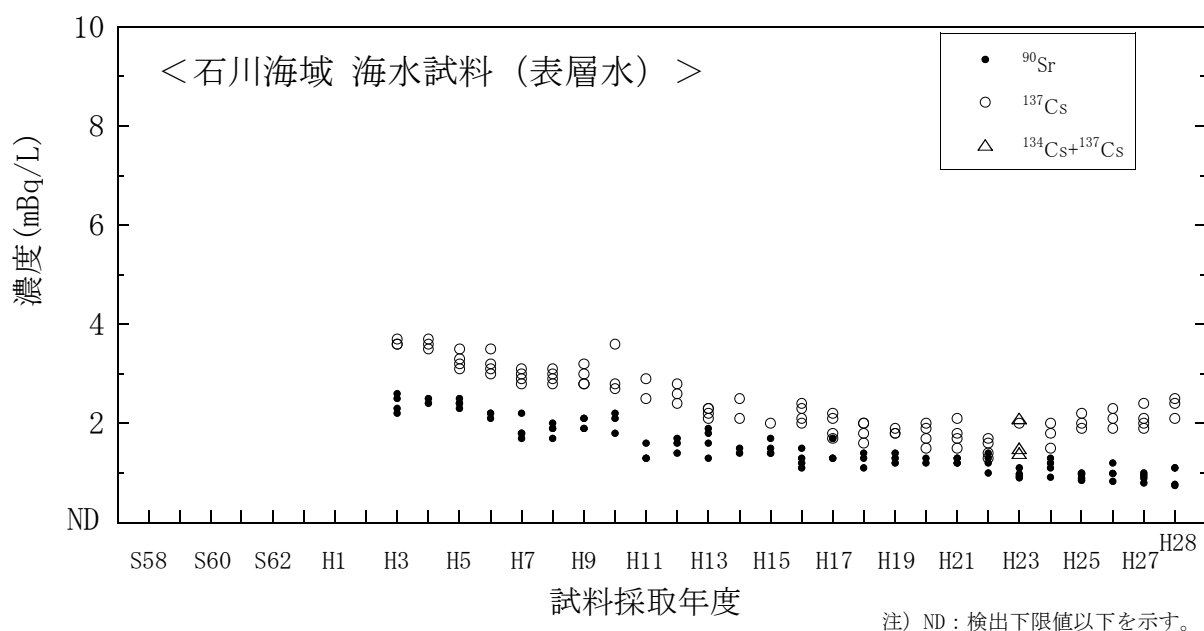


図 I-6-46 海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化（石川海域・表層水）

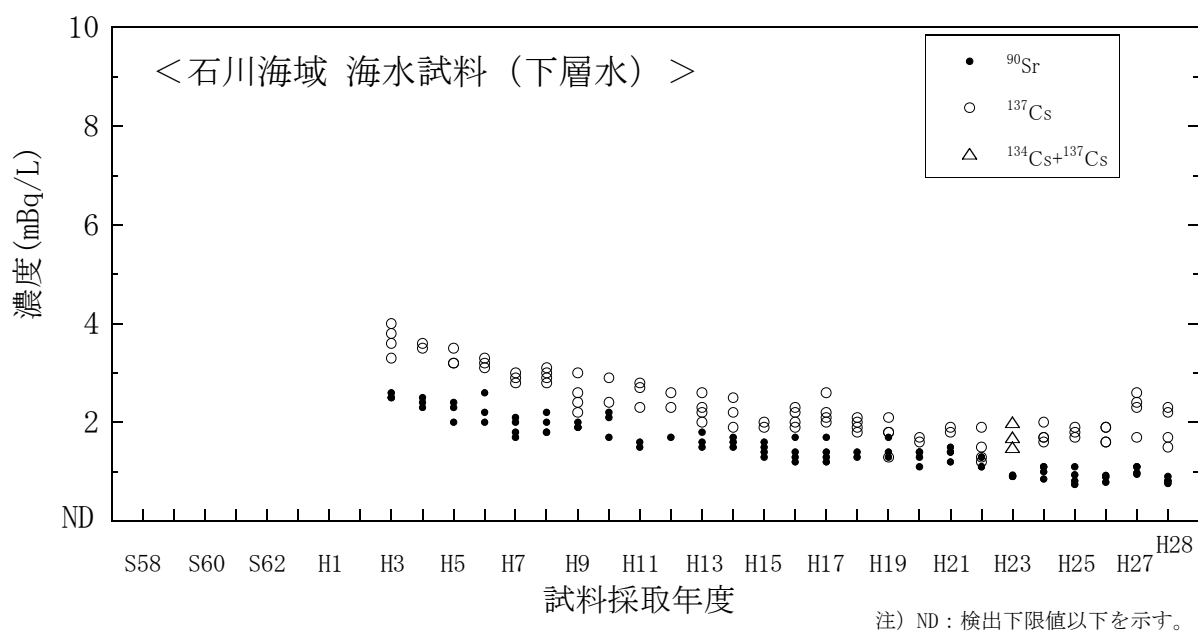


図 I-6-47 海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化（石川海域・下層水）

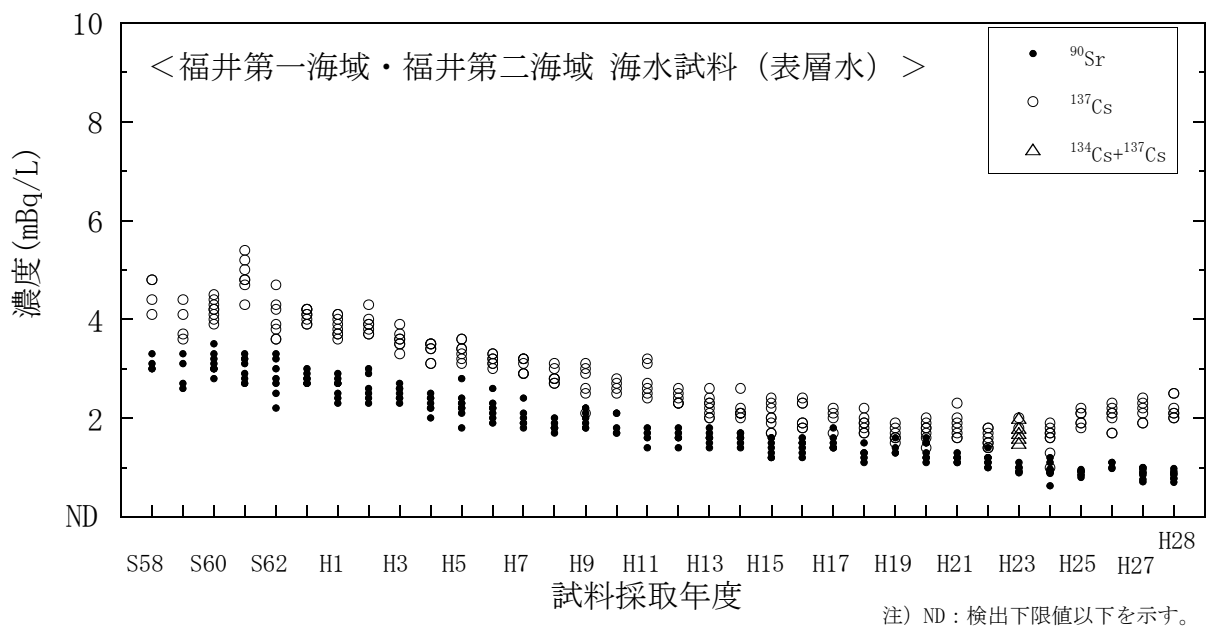


図 I-6-48 海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化  
(福井第一海域・福井第二海域・表層水)

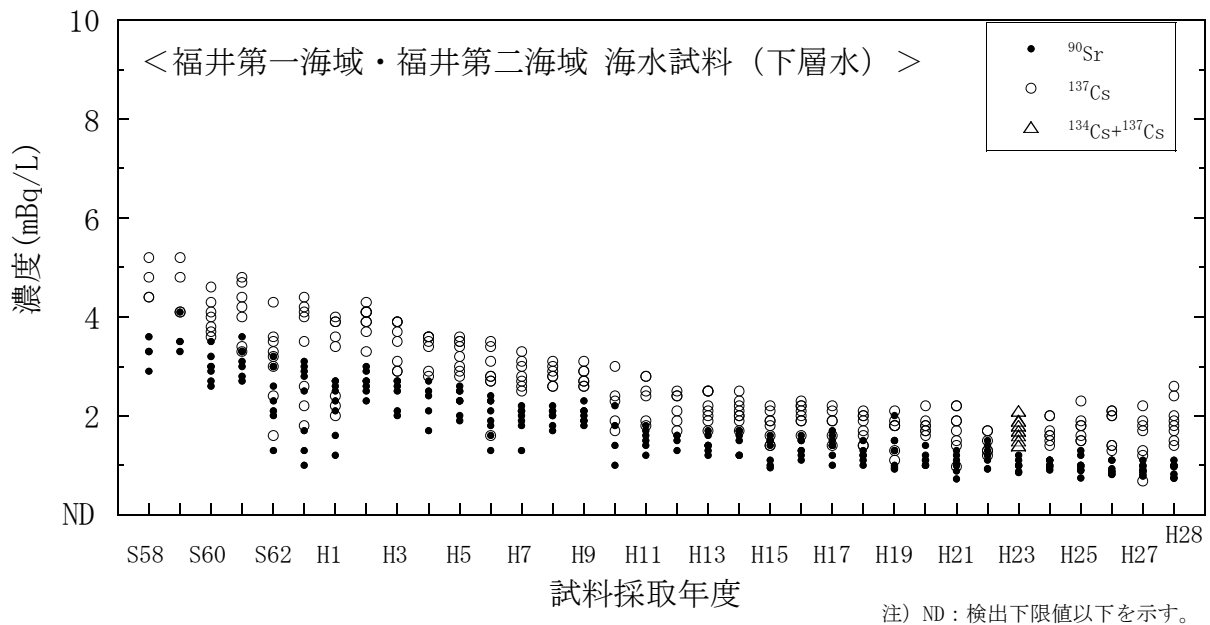


図 I-6-49 海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化  
(福井第一海域・福井第二海域・下層水)

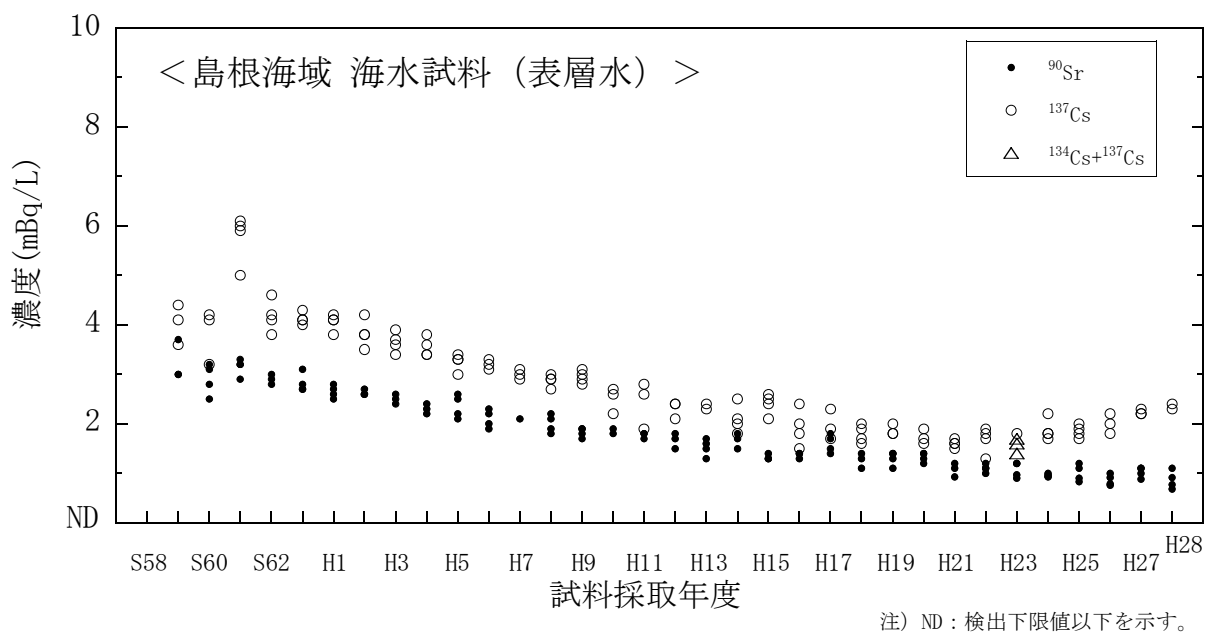


図 I-6-50 海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化（島根海域・表層水）

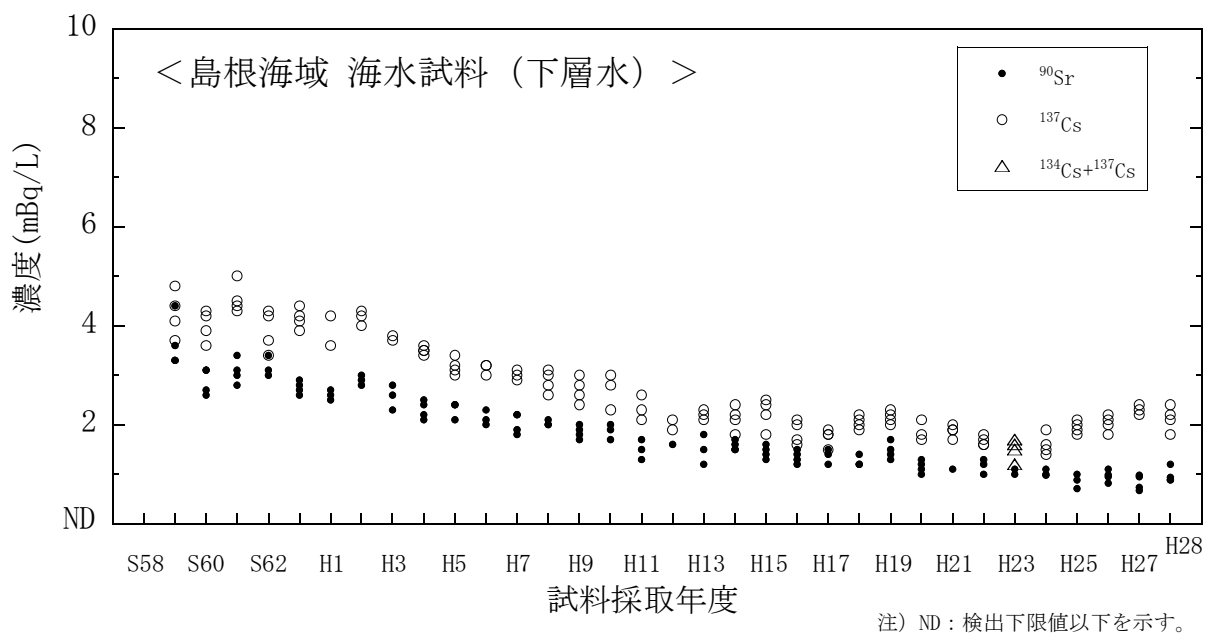


図 I-6-51 海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化（島根海域・下層水）

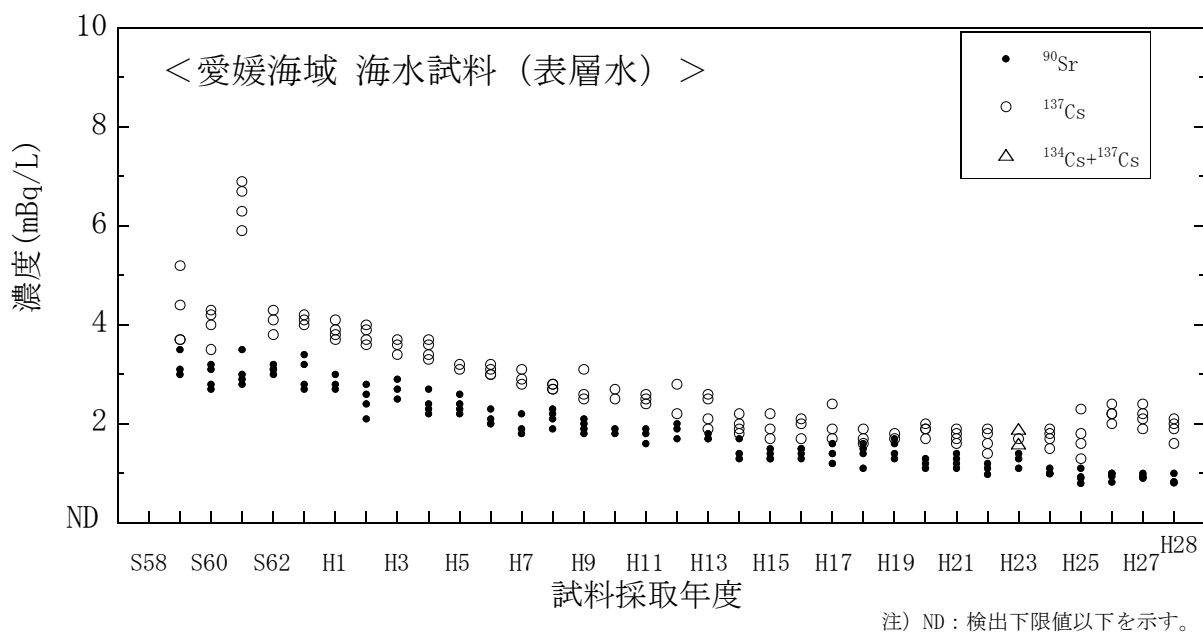


図 I-6-52 海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化（愛媛海域・表層水）

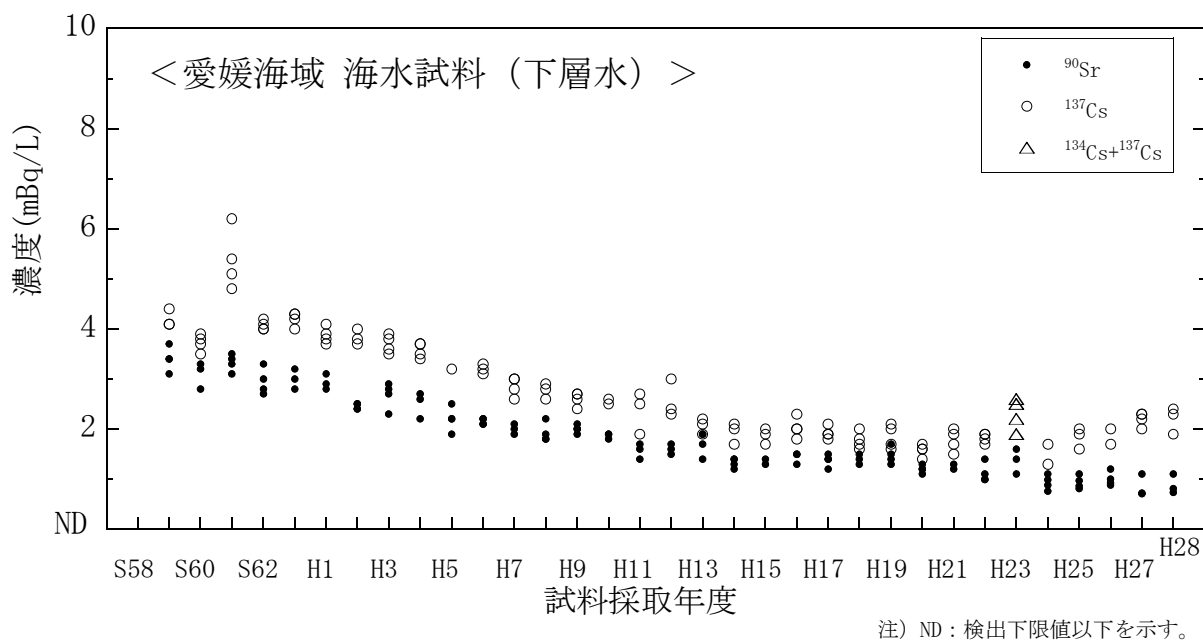


図 I-6-53 海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化（愛媛海域・下層水）

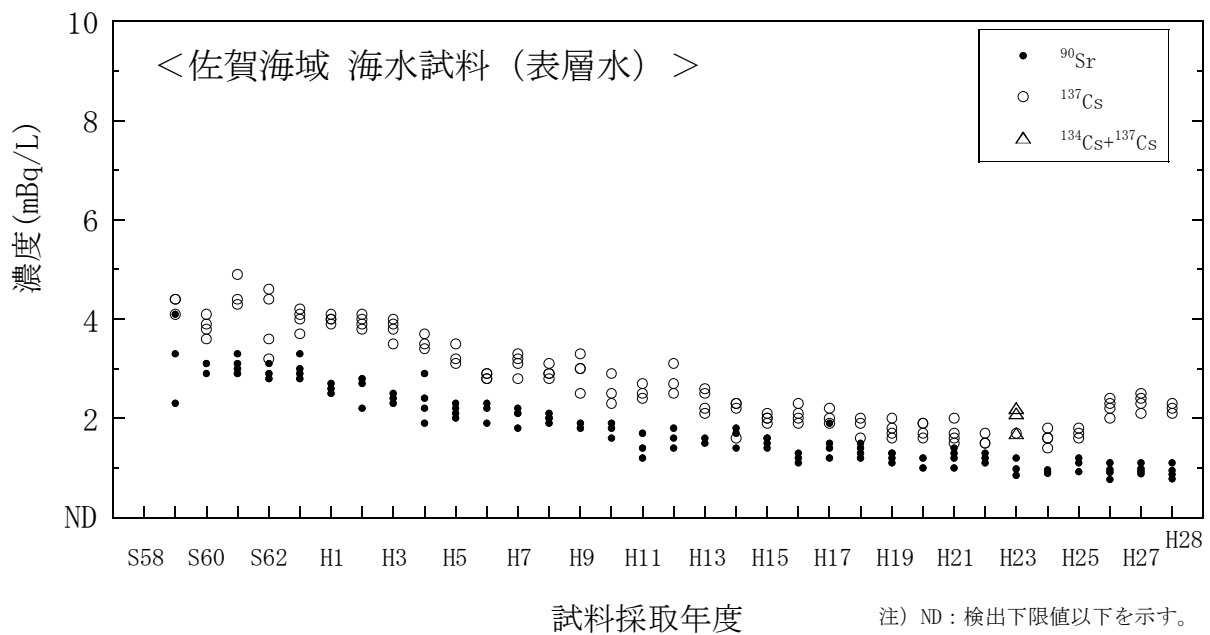


図 I-6-54 海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化（佐賀海域・表層水）

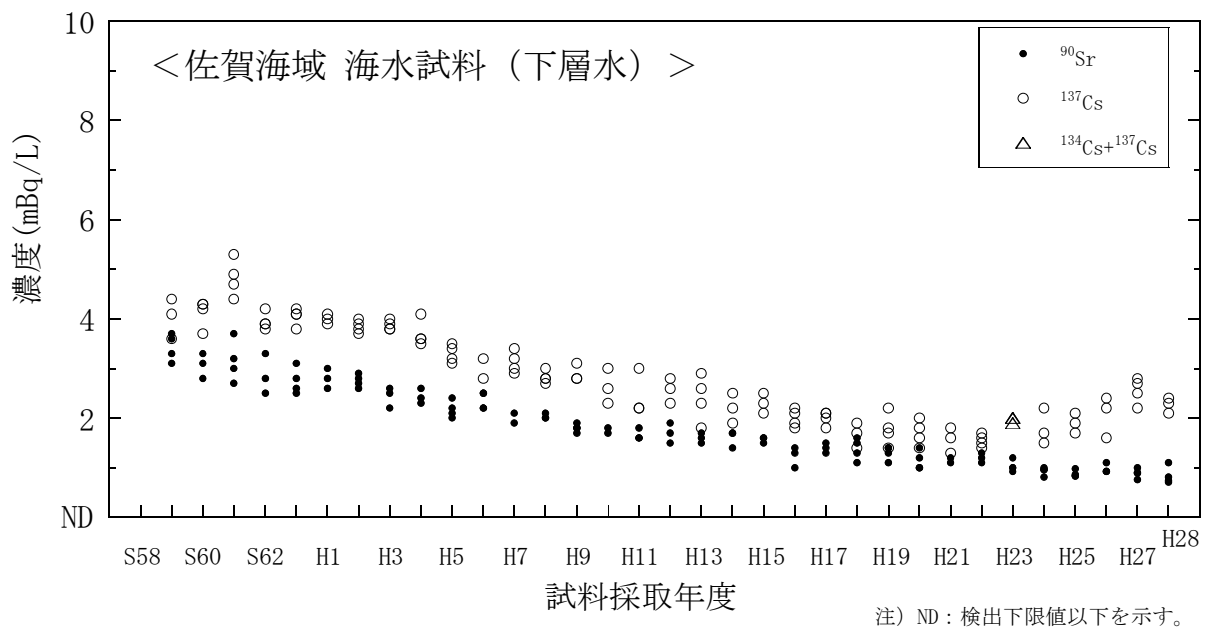


図 I-6-55 海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化（佐賀海域・下層水）

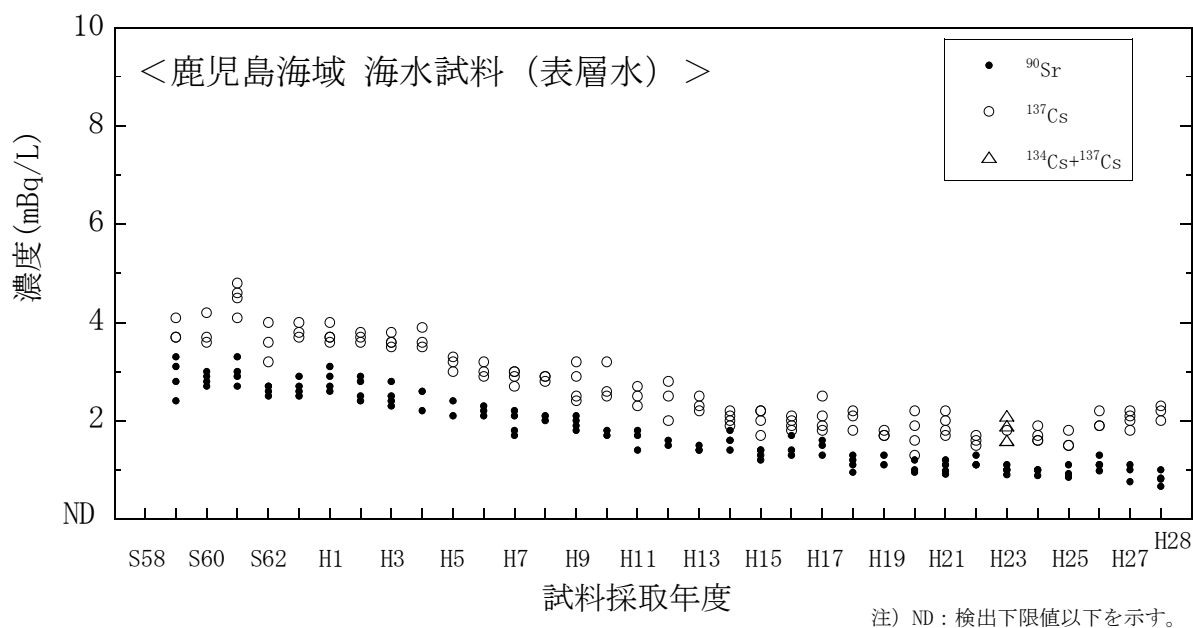


図 I-6-56 海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化（鹿児島海域・表層水）

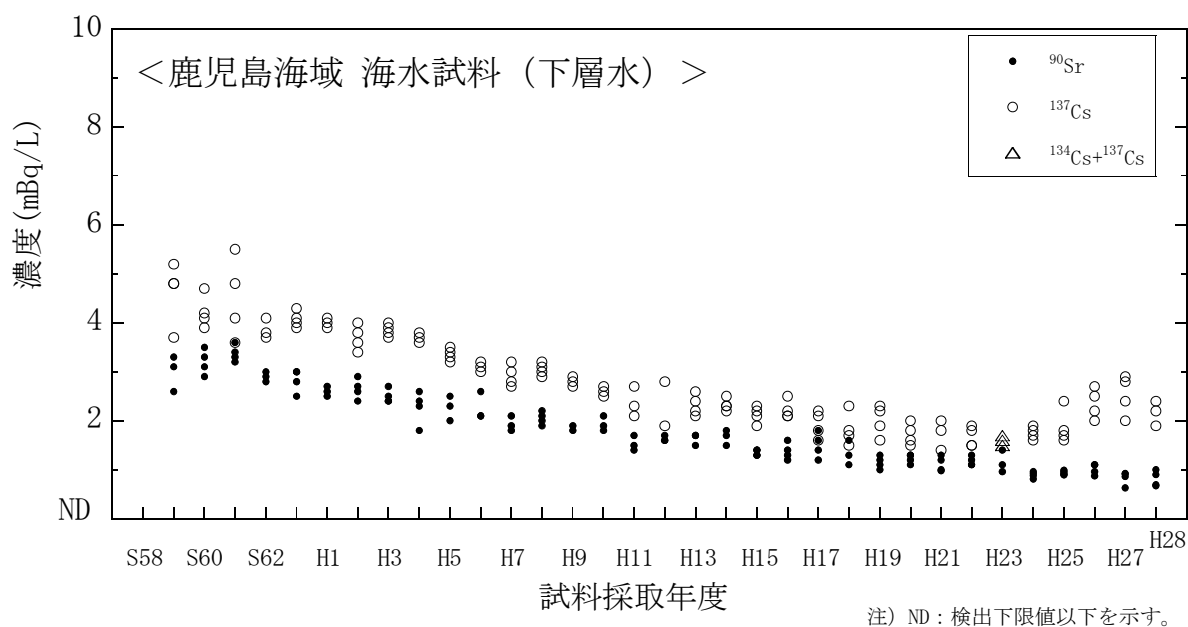


図 I-6-57 海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化（鹿児島海域・下層水）

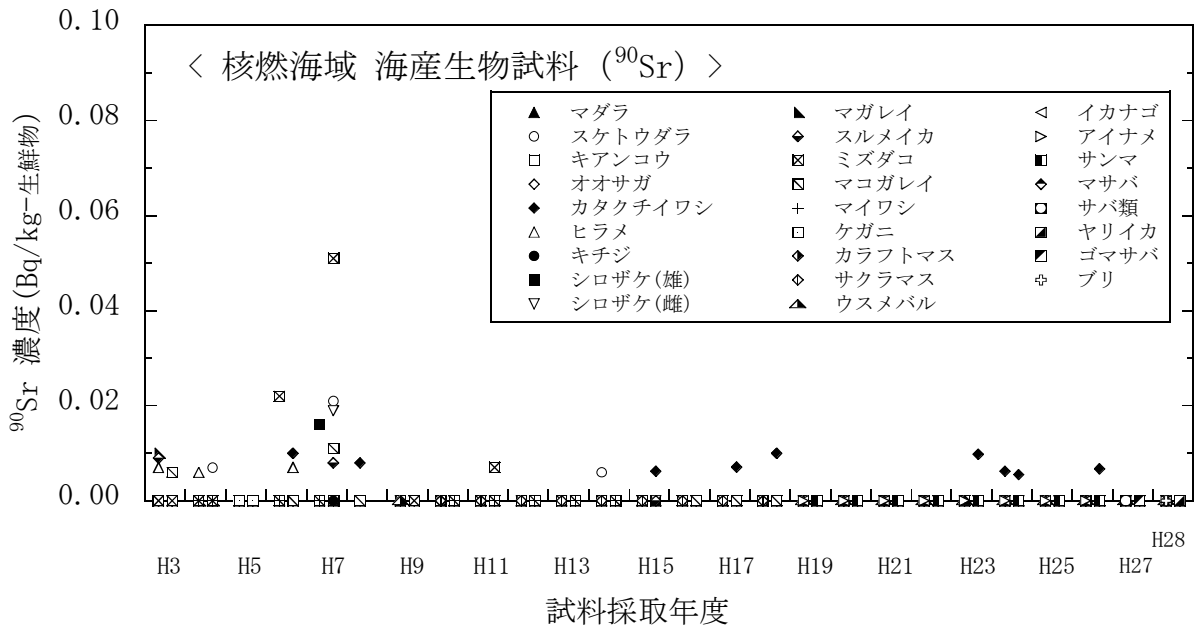


図 I-6-58 海産生物試料の  $^{90}\text{Sr}$  濃度経年変化 (核燃海域)

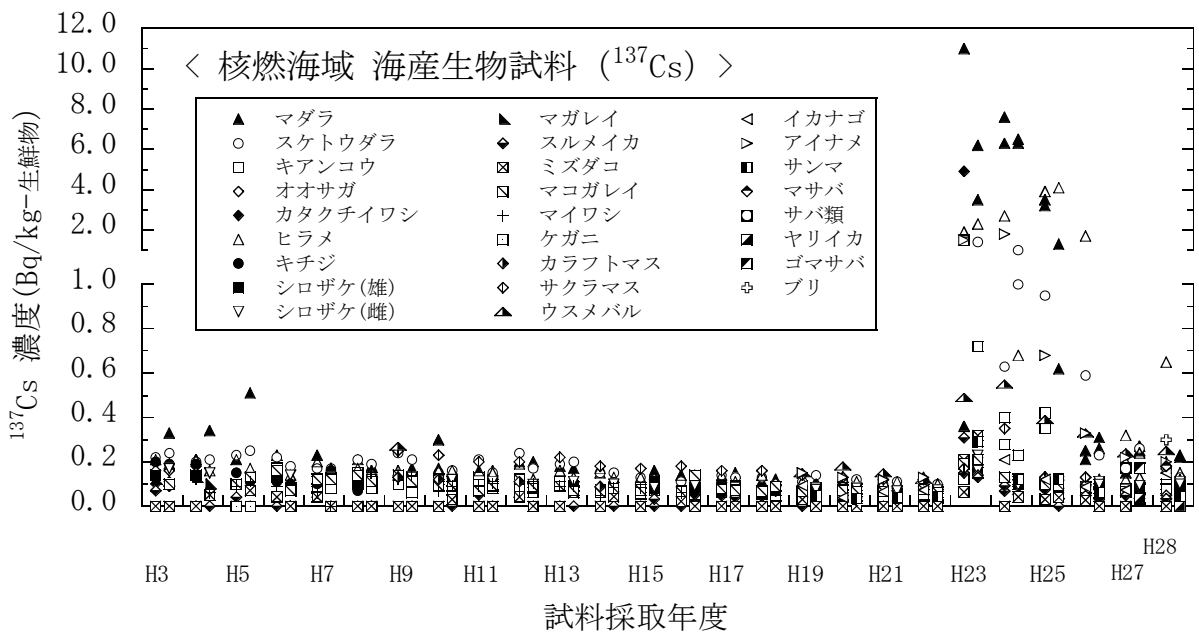


図 I-6-59 海産生物試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化 (核燃海域)

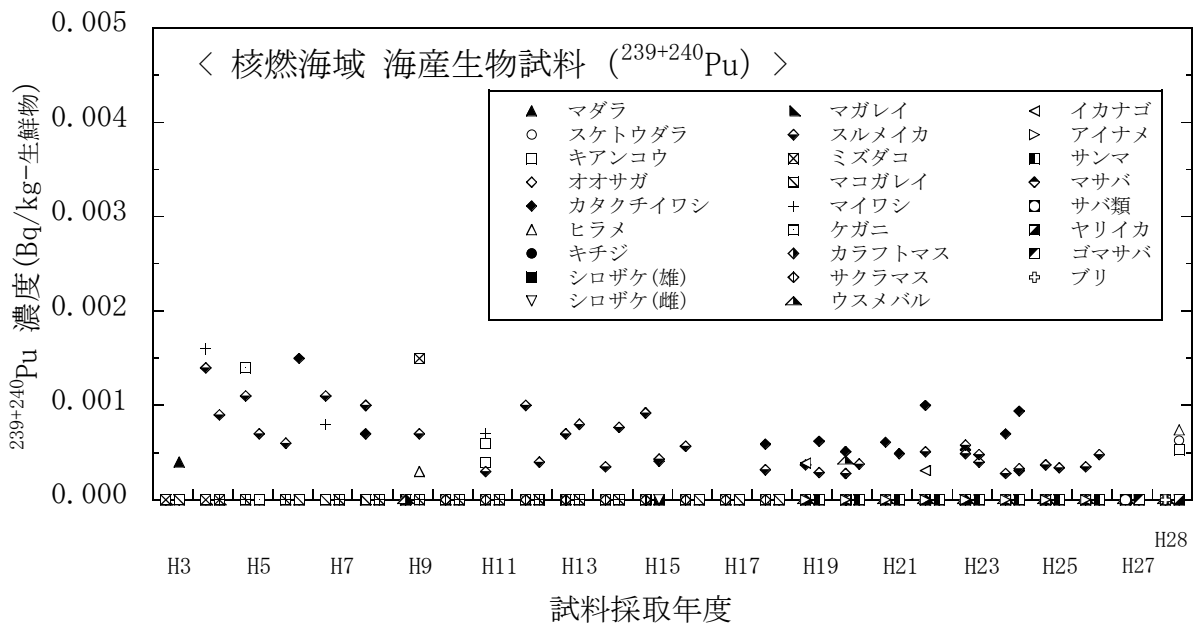


図 I-6-60 海産生物試料の  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度経年変化 (核燃海域)



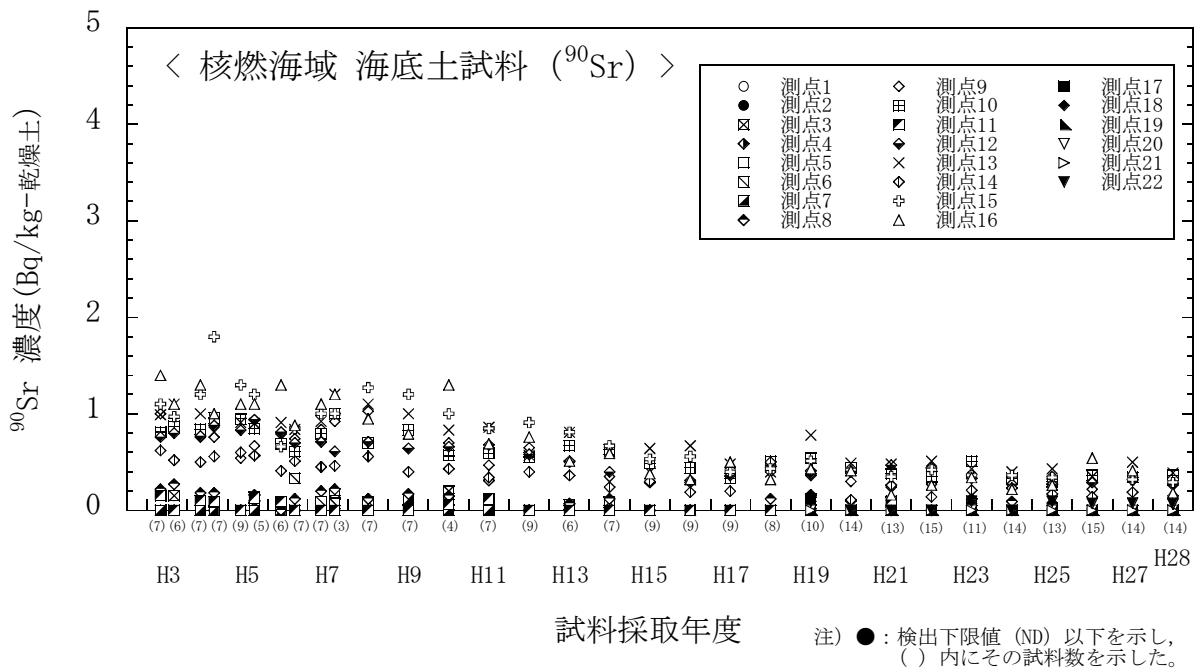


図 I-6-61 海底土試料の <sup>90</sup>Sr 濃度経年変化 (核燃海域)

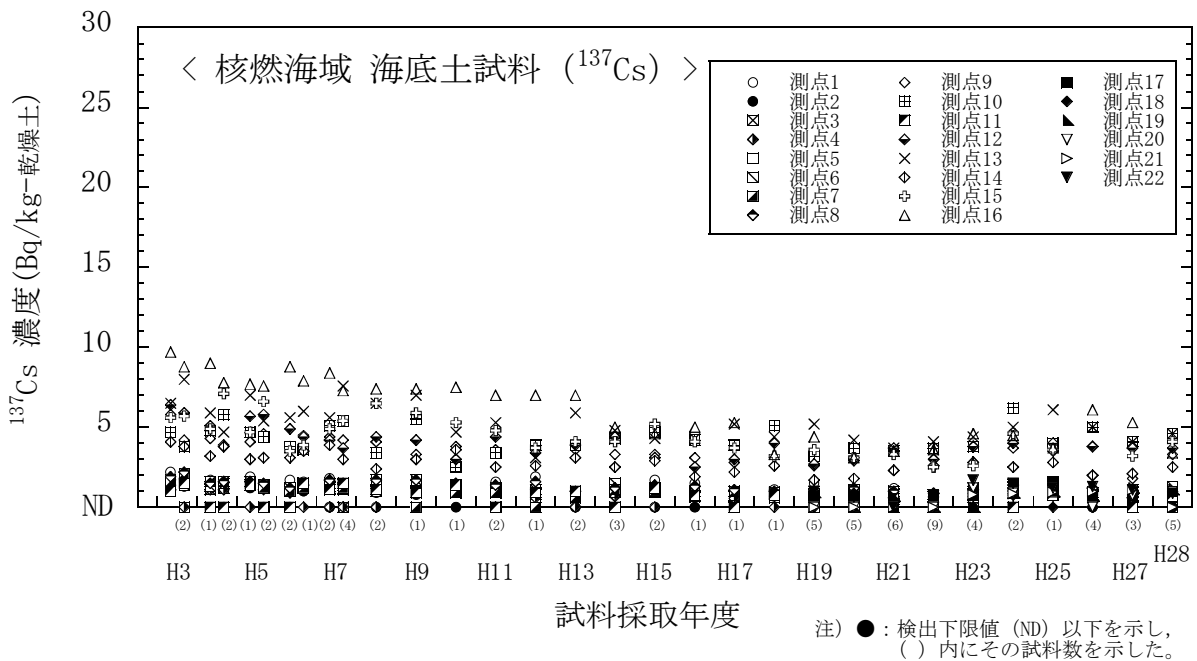


図 I-6-62 海底土試料の <sup>137</sup>Cs 濃度経年変化 (核燃海域)

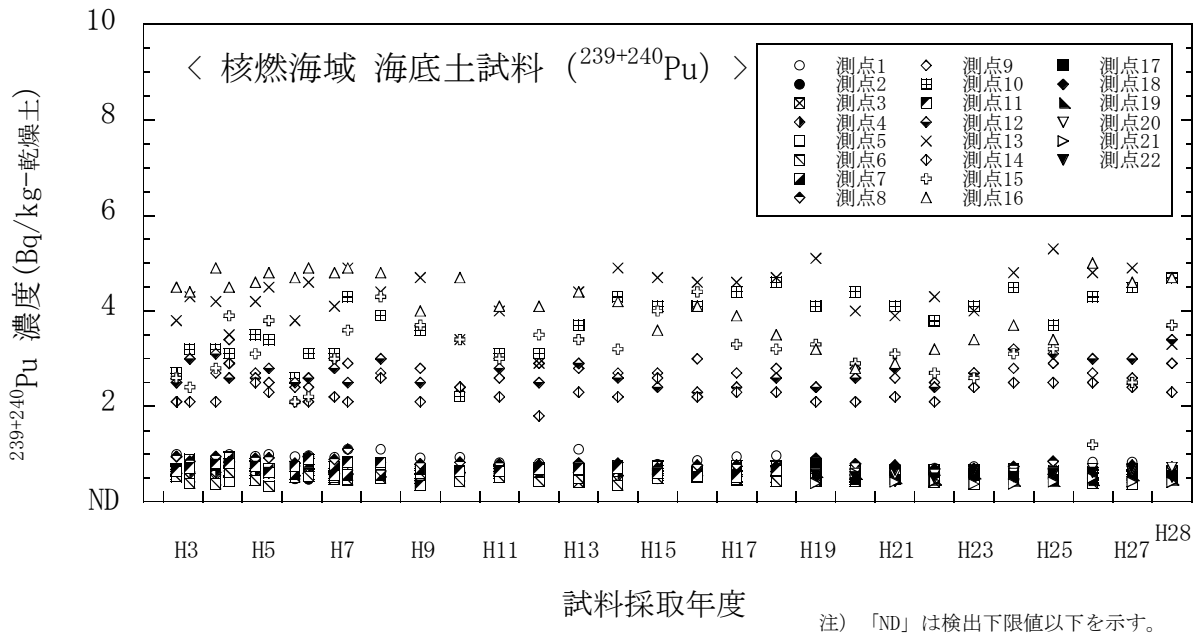


図 I-6-63 海底土試料の  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度経年変化 (核燃海域)

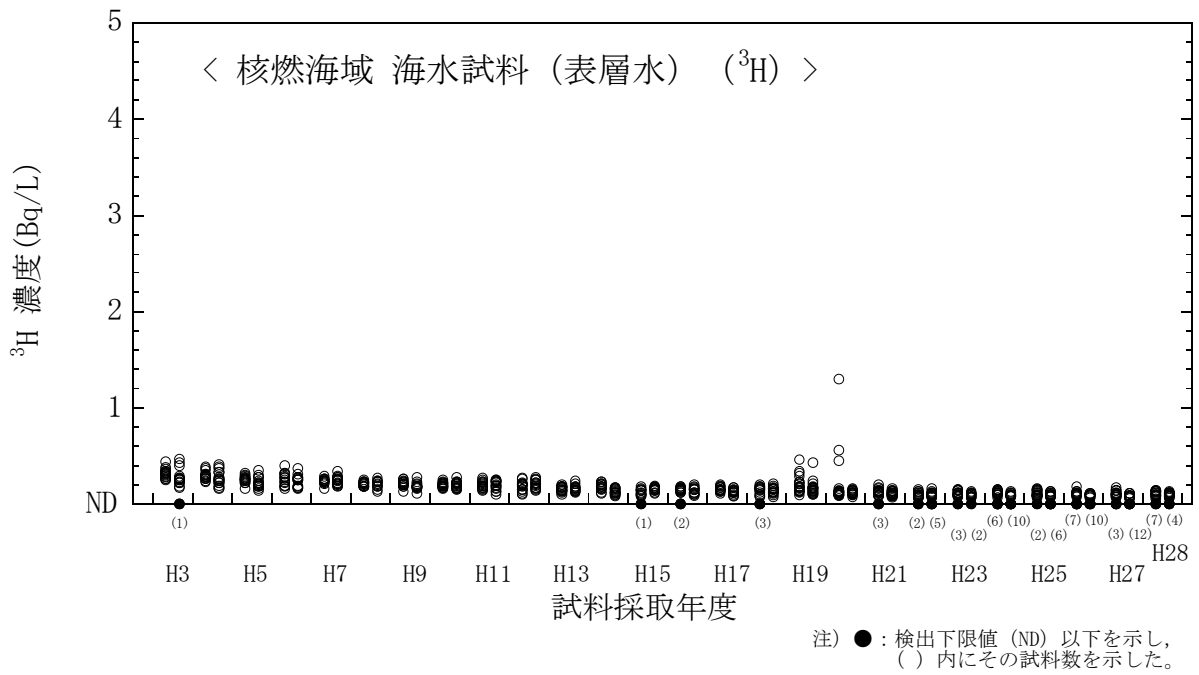


図 I-6-64 海水試料の <sup>3</sup>H 濃度経年変化 (核燃海域・表層水)

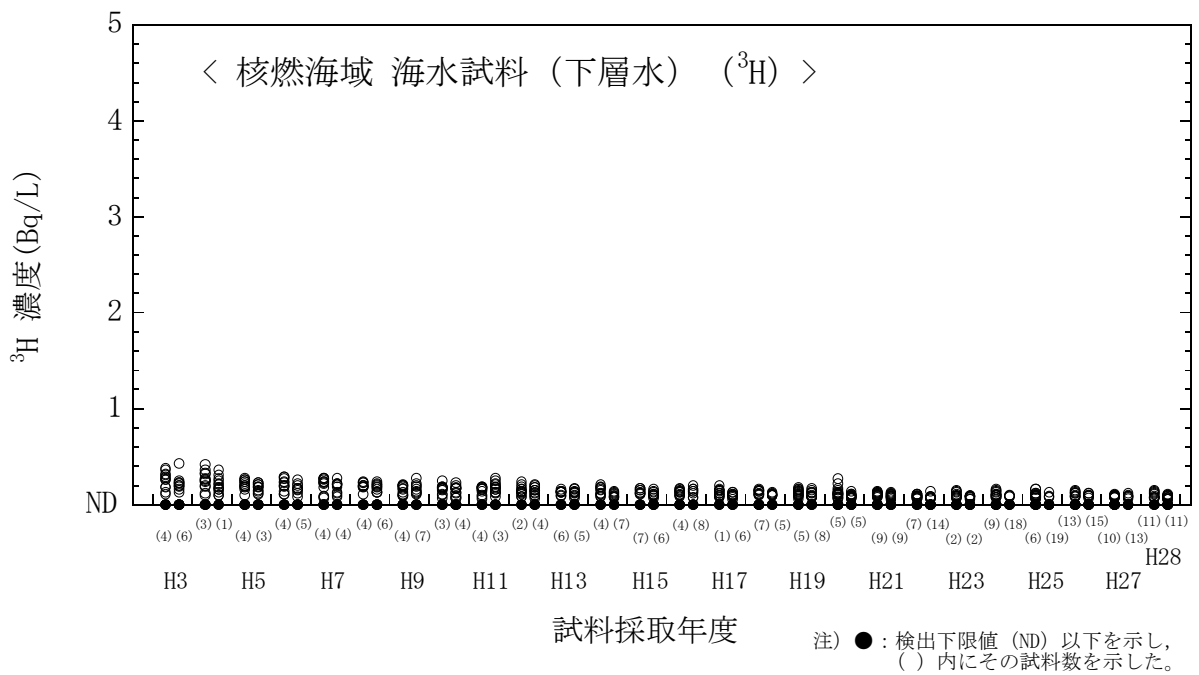


図 I-6-65 海水試料の <sup>3</sup>H 濃度経年変化 (核燃海域・下層水)

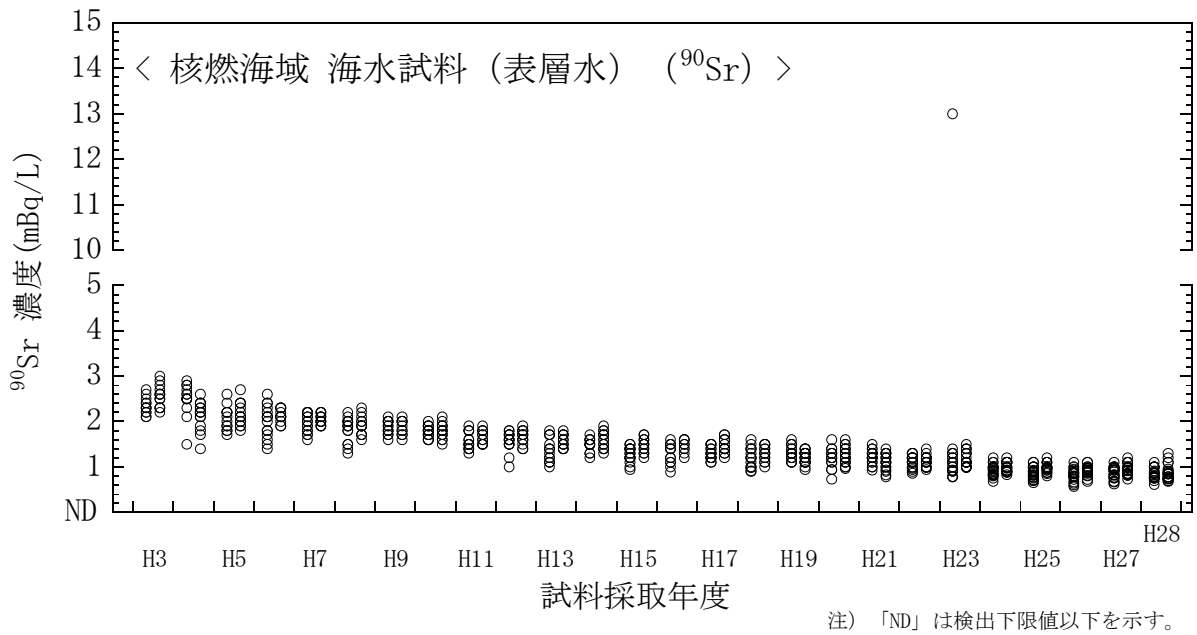


図 I-6-66 海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  濃度経年変化（核燃海域・表層水）

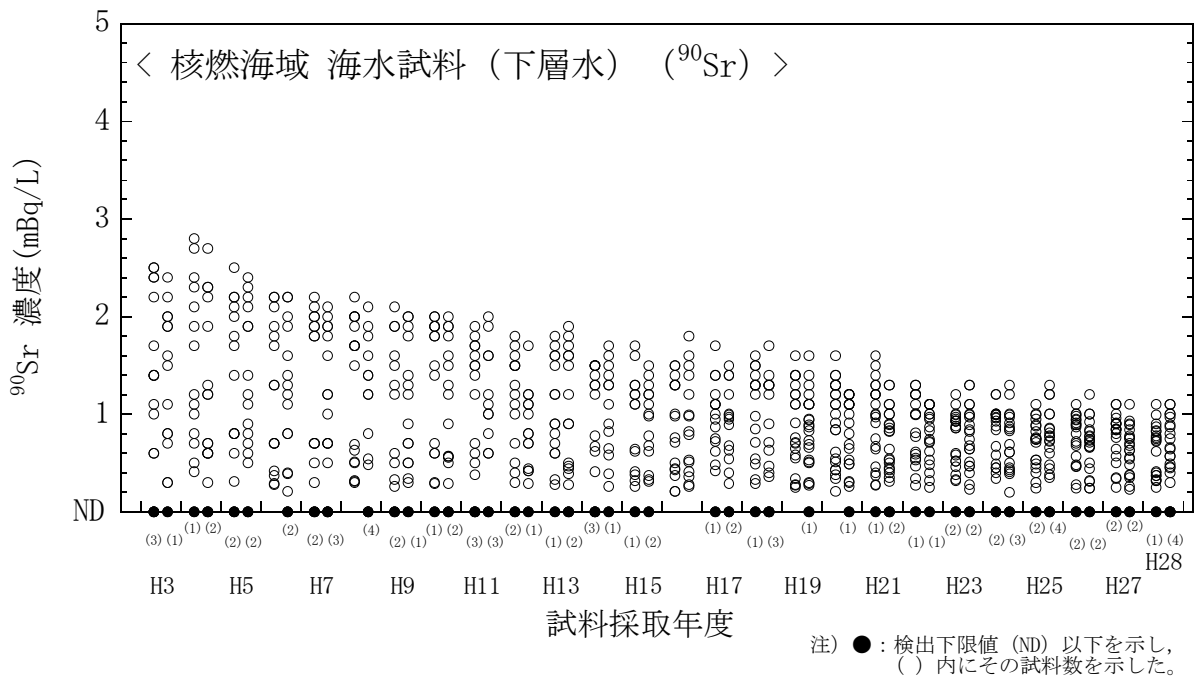


図 I-6-67 海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  濃度経年変化（核燃海域・下層水）

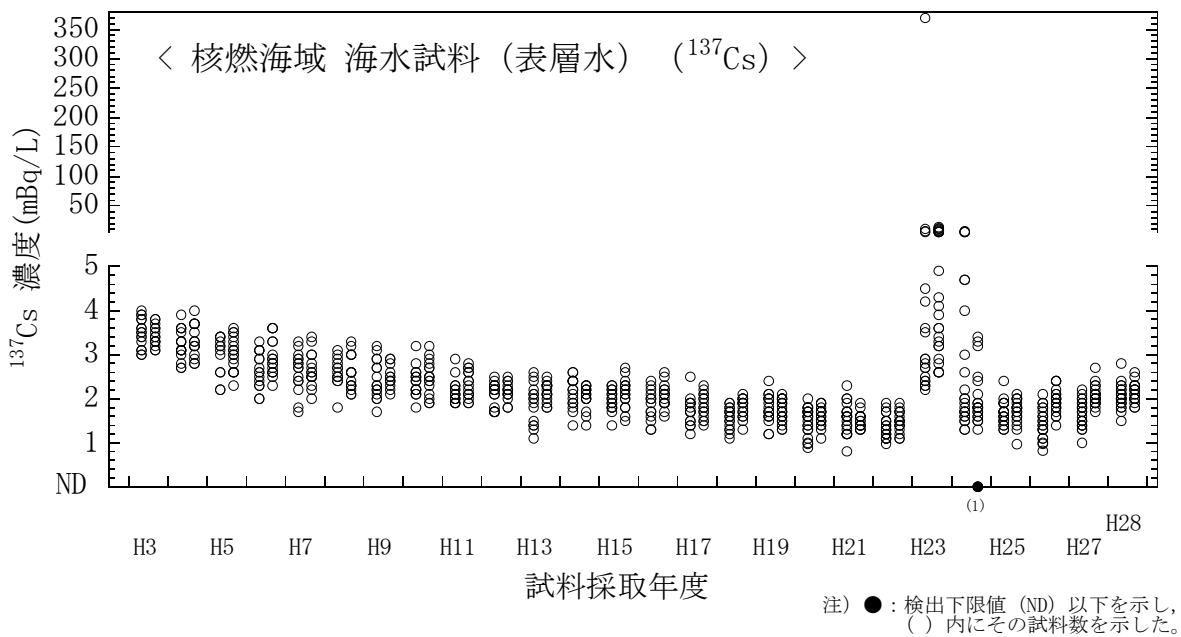


図 I-6-68 海水試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化 (核燃海域・表層水)

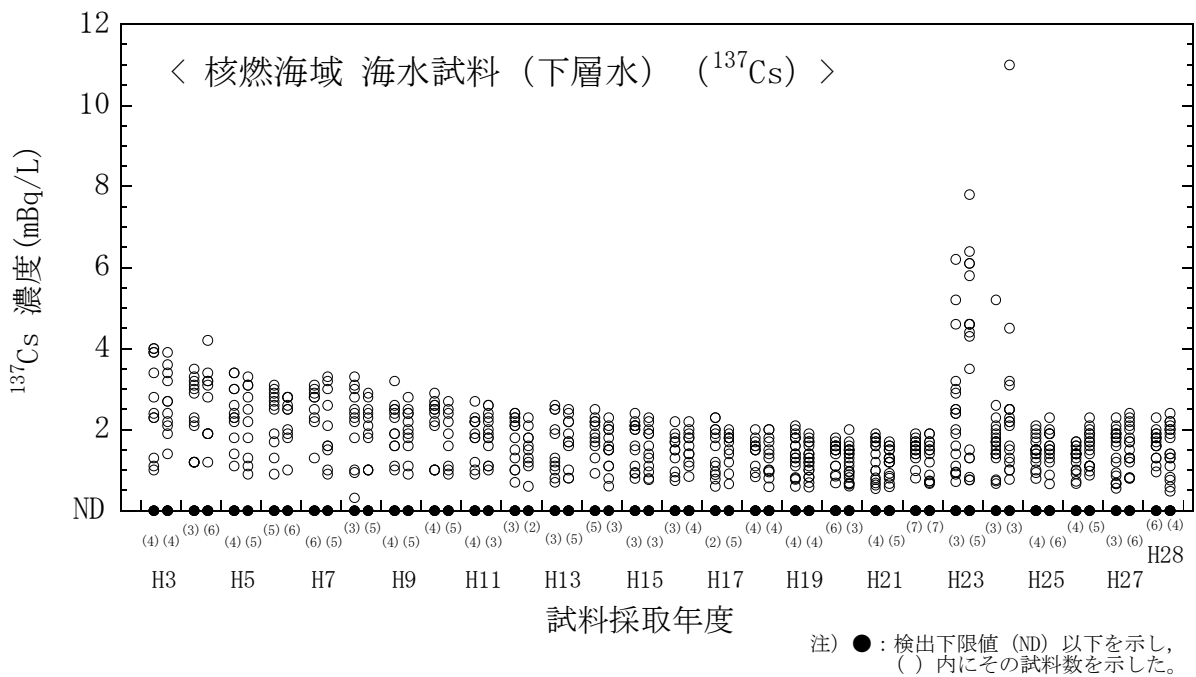


図 I-6-69 海水試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化 (核燃海域・下層水)

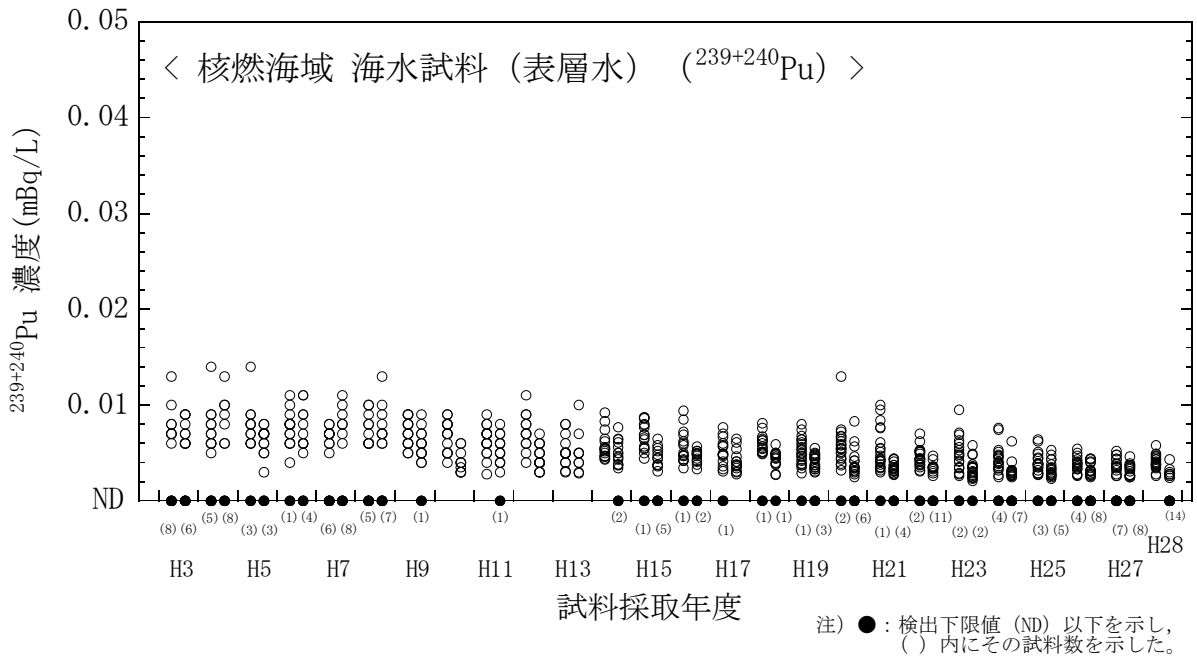


図 I-6-70 海水試料の  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度経年変化 (核燃海域・表層水)

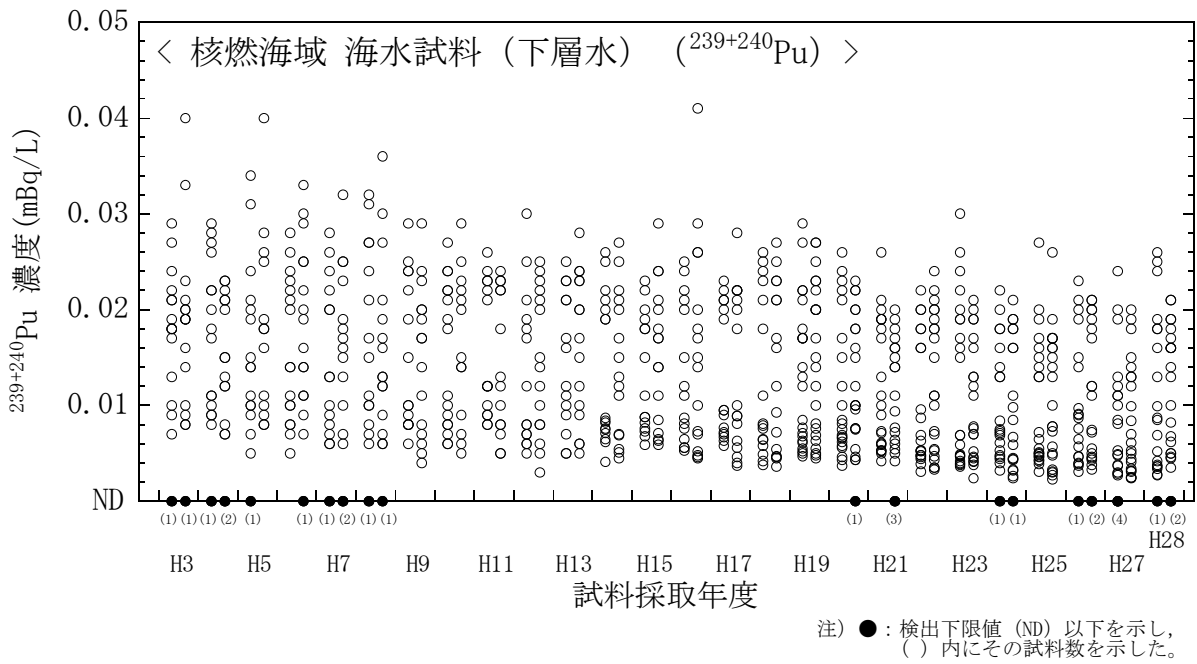


図 I-6-71 海水試料の  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度経年変化 (核燃海域・下層水)

## 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

本調査は原子力発電所等、核燃料サイクル施設及び東電福島第一原発の影響が及ばない海域において放射性核種濃度を把握することにより、海洋放射能調査等で得られた結果との比較評価を行う。そこで、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）に原子力施設の影響を受けない海域（以下「対照海域」という。）を設け、海水・海底土試料を採取し放射性核種濃度等を調査した。

##### ② 方法

###### i. 試料採取

対照海域の調査測点を図 I-2-1-1-1 に示す。また、採取位置及び採取日等を表 I-2-1-1-1 に示す。平成28年度は大和堆海域（測点 YR1 及び YR4）、四国沖海域（測点 KC1）、襟裳沖海域（5月：襟裳沖（E11）、核燃沖（T2）、釧路沖（K2）；10月：襟裳沖、核燃沖）において、海水試料はすべての海域で、海底土試料は大和堆海域（測点 YR4）と四国沖海域で採取した（図 I-2-1-1-1）。海水採取には大量採水器（容量360L）を用いた。採取後、<sup>90</sup>Sr、放射性Cs（以下<sup>134</sup>Cs、<sup>137</sup>Csの両核種を指す。）及び<sup>239+240</sup>Pu分析用にポリエチレン容器に分取した。この海水1Lに対して濃硝酸2mLを添加し、分析まで冷暗所にて保存した。海底土採取にはボックス型採泥器（45cm×45cm×50cm）を用いた。採取後、表面から3cm厚までを柱状に切り試料に供した。

表 I-2-1-1-1 対照海域の測点、調査日、採取位置及び水深

海域	測点	調査日	採取位置		水深 (m)
			N	E	
襟裳沖	E11	平成 28 年 5 月 20 日	41° 12.0'	143° 20.0'	2014
		平成 28 年 10 月 15 日			
	T2	平成 28 年 5 月 23 日	41° 34.0'	141° 24.0'	253
		平成 28 年 10 月 8 日			
K2	平成 28 年 5 月 19 日	42° 0.0'	144° 30.0'	1692	
四国沖	KC1	平成 28 年 5 月 23~24 日	32° 13.0'	132° 26.0'	1698
大和堆	YR1	平成 28 年 6 月 6 日	40° 50.0'	138° 0.0'	3530
	YR4	平成 28 年 6 月 7 日	39° 50.0'	135° 50.0'	1204

###### ii. 分析

文部科学省放射能測定法シリーズに基づいて海水・海底土試料の<sup>90</sup>Sr、<sup>239+240</sup>Pu、放射性Csの分析（γ線計測による<sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Csの弁別分析）を行った。なお、1000m以深から採

取された海水の  $^{90}\text{Sr}$ 、放射性 Cs の分析は、より高い精度を求めるため、「1. 海洋放射能調査海域周辺での調査」では 50L の供試量を 100L 以上とし、更に計測時間を延長した。

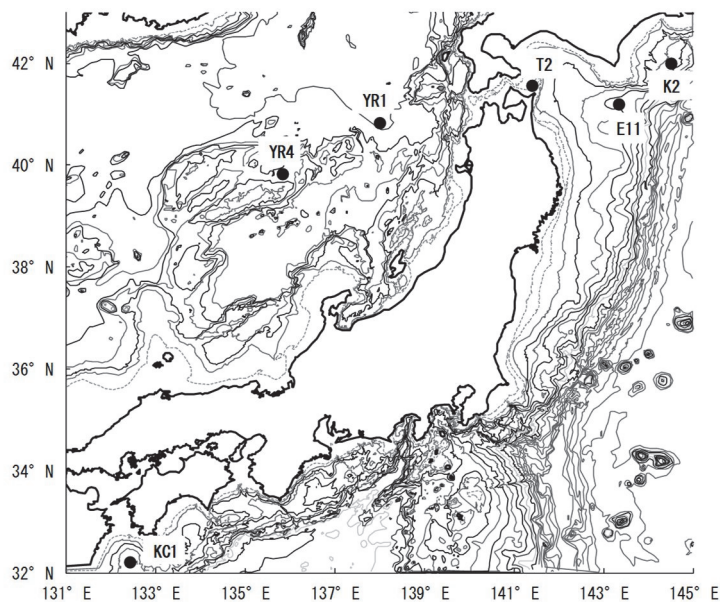


図 I-2-1-1-1 対照海域における調査測点。襟裳沖海域（襟裳沖：E11、核燃沖：T2、釧路沖：K2）、大和堆海域（YR1、YR4）、四国沖海域（KC1）。

### ③ 結果

#### i. 海水試料

平成 28 年度の対照海域における放射性核種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、事故前における放射性 Cs の分析は、より高い精度を求めるため  $\beta$  線計測で定量しているため、 $^{137}\text{Cs}$  と  $^{134}\text{Cs}$  との弁別は行っていない。しかし、事故前の平成 22 年度までは  $^{134}\text{Cs}$  は検出されていないため、検出された放射性 Cs は全て  $^{137}\text{Cs}$  と見なせる。したがって、本調査では事故前の放射性 Cs を  $^{137}\text{Cs}$  として、平成 28 年度の結果との比較に用いた。なお、平成 28 年度において  $^{134}\text{Cs}$  が検出された海水試料は全 36 検体のうち 5 検体であった。

#### (i) 放射性 Cs

大和堆海域において、 $^{134}\text{Cs}$  は全て検出下限値以下 ( $<0.10\text{mBq/L}$ ) であった。

$^{137}\text{Cs}$  濃度は測点 YR1 が  $0.23\sim 1.4\text{mBq/L}$ 、YR4 が  $0.6\sim 1.5\text{mBq/L}$  の範囲であった。平均値は、 $1.0\text{mBq/L}$  (YR1)、 $1.1\text{mBq/L}$  (YR4) であった。両測点において  $^{137}\text{Cs}$  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した。



両測点における各深度の<sup>137</sup>Cs濃度を比較したところ、250m層では測点 YR1 及び YR4 で 1.3mBq/L、500m層でそれぞれ 1.2mBq/L 及び 1.1mBq/L と、ほぼ同じであった。これらのことから、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、<sup>134</sup>Cs濃度が検出されたのは測点 E11 及び T2 の表層であった。その濃度は測点 E11 が 0.15mBq/L (5月) 及び 0.12mBq/L (10月)、T2 が 0.16mBq/L (5月) 及び 0.10mBq/L (10月) であった。5月における<sup>137</sup>Cs濃度は、測点 E11 が ND~1.8mBq/L、T2 が 1.7mBq/L (表層のみ)、K2 が 0.041~1.0mBq/L の範囲であった。NDを除いた平均値は、0.67mBq/L (E11)、0.42mBq/L (K2) であった。10月における<sup>137</sup>Cs濃度は、測点 E11 が ND~1.4mBq/L、T2 が 1.8mBq/L (表層のみ) の範囲であった。NDを除いた平均値は、0.60mBq/L (E11) であった。襟裳沖海域における全測点での<sup>137</sup>Cs濃度は、NDを除いた平均値が 0.63mBq/L (5月)、0.80mBq/L (10月) であった。また、測点 E11 及び K2 において<sup>137</sup>Cs濃度の鉛直分布は大和堆海域と同様に5月及び10月ともに深さ方向に減少した。

襟裳沖海域での5月における各深度の<sup>137</sup>Cs濃度を比較したところ、表層の3測点では 1.0~1.8mBq/L であり 0.8mBq/L の差があった。これは水温塩分との関係から (図 I-2-1-1-5)、表層の水塊の違いによると考えられる。一方、250m層では測点 E11 及び K2 で 1.0mBq/L 及び 0.87mBq/L であり 0.13mBq/L の差があった。750m層以深の濃度はほぼ同程度であった。加えて、各調査時期で<sup>137</sup>Cs濃度を比較すると、表層において測点 E11 が 1.8mBq/L (5月) 及び 1.4mBq/L (10月)、測点 T2 が 1.7mBq/L (5月) 及び 1.8mBq/L (10月) であり 0.1~0.4mBq/L の差があった。250m層以深において、測点 E11 における各深度での差が 0.1mBq/L 以下であった。

四国沖海域の測点 KC1 において、<sup>134</sup>Cs濃度が検出されたのは250m層で、0.25mBq/L であった。

<sup>137</sup>Cs濃度は ND~2.7mBq/L の範囲であった。NDを除いた平均値は、1.2mBq/L であった。測点 KC1 における<sup>137</sup>Cs濃度の鉛直分布は、250m層で極大値 (2.7mBq/L) を示し、それ以深で減少した。

四国沖海域において、極大値が250m層で観測された。その要因として、Kumamoto *et al.*<sup>1)</sup> は、東電福島第一原発事故直後、北太平洋亜熱帯域の表層に大気沈着した放射性Csが冬季鉛直混合により亜表層 (深度200m前後) まで沈み込んで形成された亜熱帯モード水が影響していること、さらに、その海水の密度アノマリー ( $\sigma_\theta$ ) は 25.2~25.6 であり、また事故由来の放射性Csが多く含まれることを指摘している。東電福島第一原発事故による<sup>137</sup>Csの海洋への放出量は 15.5~18.5×10<sup>15</sup>Bq と見積もられ<sup>2)</sup>、これは北太平洋全体に存在する<sup>137</sup>Cs量を約20%増加させている<sup>2)</sup>。その殆どは表層に存在していると考えられるが、Kaeriyama *et al.*<sup>3)</sup> によると冬季鉛直混合による下層への沈み込みは 4×10<sup>15</sup>Bq 程度であると報告しており、放出量の約20%程度に相当する。これほどの量の放射性Csが亜熱帯モード水によって下層へ運ばれると考えれば、250m層に事故前に比較して高い<sup>137</sup>Cs濃度が観測されると推測され、実際に Kumamoto *et al.*<sup>1)</sup> の報告では同上の密度アノマリーの

範囲で  $^{137}\text{Cs}$  濃度が事故前の値 ( $1.6\text{mBq/L}$ )<sup>4)</sup> に対して約  $10\text{mBq/L}$  であった。本調査の測点 KC1 の 250m 層の密度アノマリーを水温及び塩分で計算したところ、その値が 25.2 であること、更に  $^{134}\text{Cs}$  濃度が検出していることから、この亜熱帯モード水形成によって運ばれた  $^{137}\text{Cs}$  の極大値が観測されたと考えられる。

## (ii) $^{90}\text{Sr}$

大和堆海域において、 $^{90}\text{Sr}$  濃度は測点 YR1 が  $0.16\sim 1.0\text{mBq/L}$ 、YR4 が  $0.66\sim 1.2\text{mBq/L}$  の範囲であった。平均値は、 $0.76\text{mBq/L}$  (YR1)、 $0.93\text{mBq/L}$  (YR4) であった。大和堆海域における全測点での  $^{90}\text{Sr}$  濃度の平均値は  $0.83\text{mBq/L}$  であった。 $^{90}\text{Sr}$  濃度の鉛直分布は、測点 YR1 が 250m 層で極大値 ( $1.0\text{mBq/L}$ ) を示し、それ以深で減少したほか、測点 YR4 で深さ方向に減少した。また、両測点における各深度の  $^{90}\text{Sr}$  濃度を比較したところ、表層では  $0.93\text{mBq/L}$  (YR1) 及び  $1.2\text{mBq/L}$  (YR4) であり  $0.27\text{mBq/L}$  の差があったものの、250m 層では測点 YR1 及び YR4 が  $1.0\text{mBq/L}$ 、また 500m 層ではそれぞれ  $0.89\text{mBq/L}$  及び  $0.87\text{mBq/L}$  であり、その差は  $0.1\text{mBq/L}$  以下であり同程度であった。これらのことから、大和堆海域の測点間の違いは表層を除いて確認されなかった。

襟裳沖海域において、5月における  $^{90}\text{Sr}$  濃度は、測点 E11 が ND $\sim 0.91\text{mBq/L}$ 、T2 が  $1.0\text{mBq/L}$  (表層のみ)、K2 が  $0.043\sim 0.73\text{mBq/L}$  の範囲であった。ND を除いた平均値は、 $0.41\text{mBq/L}$  (E11)、 $0.30\text{mBq/L}$  (K2) であった。10月における  $^{90}\text{Sr}$  濃度は、測点 E11 が ND $\sim 0.78\text{mBq/L}$ 、T2 が  $0.90\text{mBq/L}$  (表層のみ) の範囲であった。ND を除いた平均値は、 $0.37\text{mBq/L}$  (E11) であった。襟裳沖海域における全測点での  $^{90}\text{Sr}$  濃度は、ND を除いた平均値が  $0.40\text{mBq/L}$  (5月)、 $0.46\text{mBq/L}$  (10月) であった。また、測点 E11 及び K2 において  $^{90}\text{Sr}$  濃度の鉛直分布は大和堆海域と同様に 5月及び 10月ともに深さ方向に減少した。

襟裳沖海域での 5月の 3 測点における各深度の値を比較したところ、表層では  $0.73\sim 1.0\text{mBq/L}$  であり  $0.27\text{mBq/L}$  の差があった。250m 層では測点 E11 及び K2 で  $0.72\text{mBq/L}$  及び  $0.55\text{mBq/L}$  であり  $0.17\text{mBq/L}$  の差があった。750m 層では測点 E11 及び K2 でそれぞれ  $0.23\text{mBq/L}$  及び  $0.25\text{mBq/L}$  であり、それ以深においても同程度であった。加えて、調査時期で値を比較すると、表層において測点 E11 が  $0.91\text{mBq/L}$  (5月) 及び  $0.78\text{mBq/L}$  (10月)、測点 T2 が  $1.0\text{mBq/L}$  (5月) 及び  $0.9\text{mBq/L}$  (10月) であり  $0.1\sim 0.13\text{mBq/L}$  の差があったものの、750m 層以深では測点 E11 が各深度での差は  $0.1\text{mBq/L}$  以下であった。

四国沖海域において、 $^{90}\text{Sr}$  濃度は  $0.034\sim 0.93\text{mBq/L}$  の範囲であり、平均値が  $0.50\text{mBq/L}$  であった。 $^{90}\text{Sr}$  濃度は表層から下層にかけて減少し、 $^{137}\text{Cs}$  濃度で観測された 250m 層での極大値は確認されなかった。海水中での Sr は Cs と同様な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が<sup>4)</sup>、濃度変化を観測する程の下層への  $^{90}\text{Sr}$  輸送が確認されなかったと考えられる。すなわち、事故前は  $^{137}\text{Cs}$  濃度と  $^{90}\text{Sr}$  濃度の比が約 1 であった<sup>4)</sup>が、東電福島第一原発事故による海洋への  $^{90}\text{Sr}$  放出量が  $90\sim 900\times 10^{12}\text{Bq}$ <sup>5)</sup> と、 $^{137}\text{Cs}$  放出量<sup>1)</sup> に比べて 2 桁以上低いことから、 $^{137}\text{Cs}$  と同様に冬季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 (1.6mBq/L)<sup>4)</sup> に対して、0.01mBq/L 程度の濃度上昇となるため、極大値形成に対して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) <sup>239+240</sup>Pu

大和堆海域において、<sup>239+240</sup>Pu 濃度は、測点 YR1 が 0.0051～0.030mBq/L、YR4 が 0.0045～0.035mBq/L の範囲であった。平均値はそれぞれ 0.020mBq/L であった。大和堆海域における全測点での <sup>239+240</sup>Pu 濃度の平均値は 0.020mBq/L であった。<sup>239+240</sup>Pu 濃度の鉛直分布は、測点 YR1 が 750m 層で極大値 (0.030mBq/L) を示し、それ以深で減少したほか、測点 YR4 で深さ方向に増加した。Pu は Cs と Sr とは異なる海洋での振る舞いをするのが分かっている<sup>6)</sup>。同核種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ため、深度方向に対しては増加する傾向が見られ、500～1000m 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 月における <sup>239+240</sup>Pu 濃度は、測点 E11 が ND～0.025mBq/L、K2 が 0.0040～0.020mBq/L の範囲であった。ND を除いた平均値は、0.020mBq/L (E11)、0.016mBq/L (K2) であった。10 月における <sup>239+240</sup>Pu 濃度は、測点 E11 が ND～0.027mBq/L の範囲であった。ND を除いた平均値は、0.020mBq/L (E11) であった。襟裳沖海域における全測点での <sup>239+240</sup>Pu 濃度は、ND を除いた平均値が 0.018mBq/L (5 月、測点 E11 および K2)、0.020mBq/L (10 月、測点 E11 のみ) であった。また、測点 E11 及び K2 において <sup>239+240</sup>Pu 濃度の鉛直分布は、大和堆海域と同様に 5 月及び 10 月ともに 750～1000m 層に極大値を示しそれ以深で減少した。更に、5 月の 2 測点における各深度の値を比較したところ、表層では ND～0.0040mBq/L と、両者とも検出下限値 (0.003～0.004mBq/L) 付近であり、有意な差が確認されなかった。深度 250m 以深においてはほぼ同じであった。加えて、調査時期で比較すると、表層において測点 E11 が 5 月及び 10 月ともに 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、<sup>239+240</sup>Pu 濃度は ND～0.024mBq/L の範囲であり、平均値が 0.018mBq/L であった。濃度は表層から下層にかけて増加した。

表 I -2-1-1-2 対照海域における放射性核種濃度結果

海域	測点	調査日	採取層 (m)	<sup>134</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>90</sup> Sr	<sup>239+240</sup> Pu	<sup>239+240</sup> Pu
				(mBq/L)	(誤差)	(mBq/L)	(誤差)	(mBq/L)	(誤差)	(mBq/L)	(誤差)
襟裳沖	E11	平成 28 年 5 月 20 日	1	0.15	0.037	1.8	0.053	0.91	0.091	ND	—
襟裳沖	E11	平成 28 年 5 月 20 日	250	ND	—	1.0	0.044	0.72	0.087	0.017	0.0028
襟裳沖	E11	平成 28 年 5 月 20 日	750	ND	—	0.32	0.014	0.23	0.013	0.023	0.0028
襟裳沖	E11	平成 28 年 5 月 20 日	1000	ND	—	0.15	0.0099	0.11	0.012	0.025	0.0034
襟裳沖	E11	平成 28 年 5 月 20 日	1250	ND	—	0.081	0.0094	0.070	0.011	0.021	0.0030
襟裳沖	E11	平成 28 年 5 月 20 日	2050	ND	—	ND	—	ND	—	0.015	0.0024
襟裳沖	K2	平成 28 年 5 月 19 日	1	ND	—	1.0	0.037	0.73	0.085	0.0040	0.0012
襟裳沖	K2	平成 28 年 5 月 19 日	250	ND	—	0.87	0.036	0.55	0.082	0.015	0.0023
襟裳沖	K2	平成 28 年 5 月 19 日	750	ND	—	0.32	0.014	0.25	0.014	0.020	0.0028
襟裳沖	K2	平成 28 年 5 月 19 日	1000	ND	—	0.19	0.012	0.16	0.013	0.019	0.0028
襟裳沖	K2	平成 28 年 5 月 19 日	1250	ND	—	0.10	0.011	0.058	0.012	0.020	0.0029
襟裳沖	K2	平成 28 年 5 月 19 日	1670	ND	—	0.041	0.010	0.043	0.012	0.017	0.0025
襟裳沖	T2	平成 28 年 5 月 23 日	1	0.16	0.034	1.7	0.055	1.0	0.26		
襟裳沖	E11	平成 28 年 10 月 15 日	1	0.12	0.033	1.4	0.047	0.78	0.092	ND	—
襟裳沖	E11	平成 28 年 10 月 15 日	250	ND	—	1.1	0.034	0.69	0.089	0.015	0.0025
襟裳沖	E11	平成 28 年 10 月 15 日	750	ND	—	0.31	0.014	0.19	0.012	0.022	0.0028
襟裳沖	E11	平成 28 年 10 月 15 日	1000	ND	—	0.14	0.010	0.12	0.013	0.027	0.0032
襟裳沖	E11	平成 28 年 10 月 15 日	1250	ND	—	0.058	0.0089	0.07	0.012	0.021	0.0026
襟裳沖	E11	平成 28 年 10 月 15 日	2125	ND	—	ND	ND	ND	—	0.017	0.0026
襟裳沖	T2	平成 28 年 10 月 8 日	1	0.10	0.028	1.8	0.050	0.90	0.12		
四国沖	KC1	平成 28 年 5 月 23 日	1	ND	—	1.5	0.060	0.93	0.25	ND	—
四国沖	KC1	平成 28 年 5 月 24 日	250	0.25	0.049	2.7	0.066	0.86	0.24	0.0039	0.0012
四国沖	KC1	平成 28 年 5 月 24 日	500	ND	—	1.1	0.032	0.79	0.20	0.022	0.0034
四国沖	KC1	平成 28 年 5 月 24 日	750	ND	—	0.36	0.018	0.25	0.035	0.022	0.0032
四国沖	KC1	平成 28 年 5 月 23 日	1000	ND	—	0.15	0.011	0.13	0.025	0.024	0.0028
四国沖	KC1	平成 28 年 5 月 23 日	1707	ND	—	ND	ND	0.034	0.021	0.018	0.0027
大和堆	YR1	平成 28 年 6 月 6 日	1	ND	—	1.4	0.041	0.93	0.27	0.0051	0.0014
大和堆	YR1	平成 28 年 6 月 6 日	250	ND	—	1.3	0.046	1.0	0.25	0.0091	0.0020
大和堆	YR1	平成 28 年 6 月 6 日	500	ND	—	1.2	0.040	0.89	0.24	0.021	0.0027
大和堆	YR1	平成 28 年 6 月 6 日	750	ND	—	1.1	0.032	0.87	0.24	0.030	0.0034
大和堆	YR1	平成 28 年 6 月 6 日	1000	ND	—	0.79	0.022	0.71	0.18	0.028	0.0034
大和堆	YR1	平成 28 年 6 月 6 日	3500	ND	—	0.23	0.012	0.16	0.032	0.028	0.0034
大和堆	YR4	平成 28 年 6 月 7 日	1	ND	—	1.5	0.052	1.2	0.25	0.0045	0.0013
大和堆	YR4	平成 28 年 6 月 7 日	250	ND	—	1.3	0.042	1.0	0.23	0.016	0.0025
大和堆	YR4	平成 28 年 6 月 7 日	500	ND	—	1.1	0.035	0.87	0.25	0.024	0.0033
大和堆	YR4	平成 28 年 6 月 7 日	1183	ND	—	0.60	0.021	0.66	0.19	0.035	0.0037

ND は検出下限値以下を示す。また空欄は分析対象外を示す。

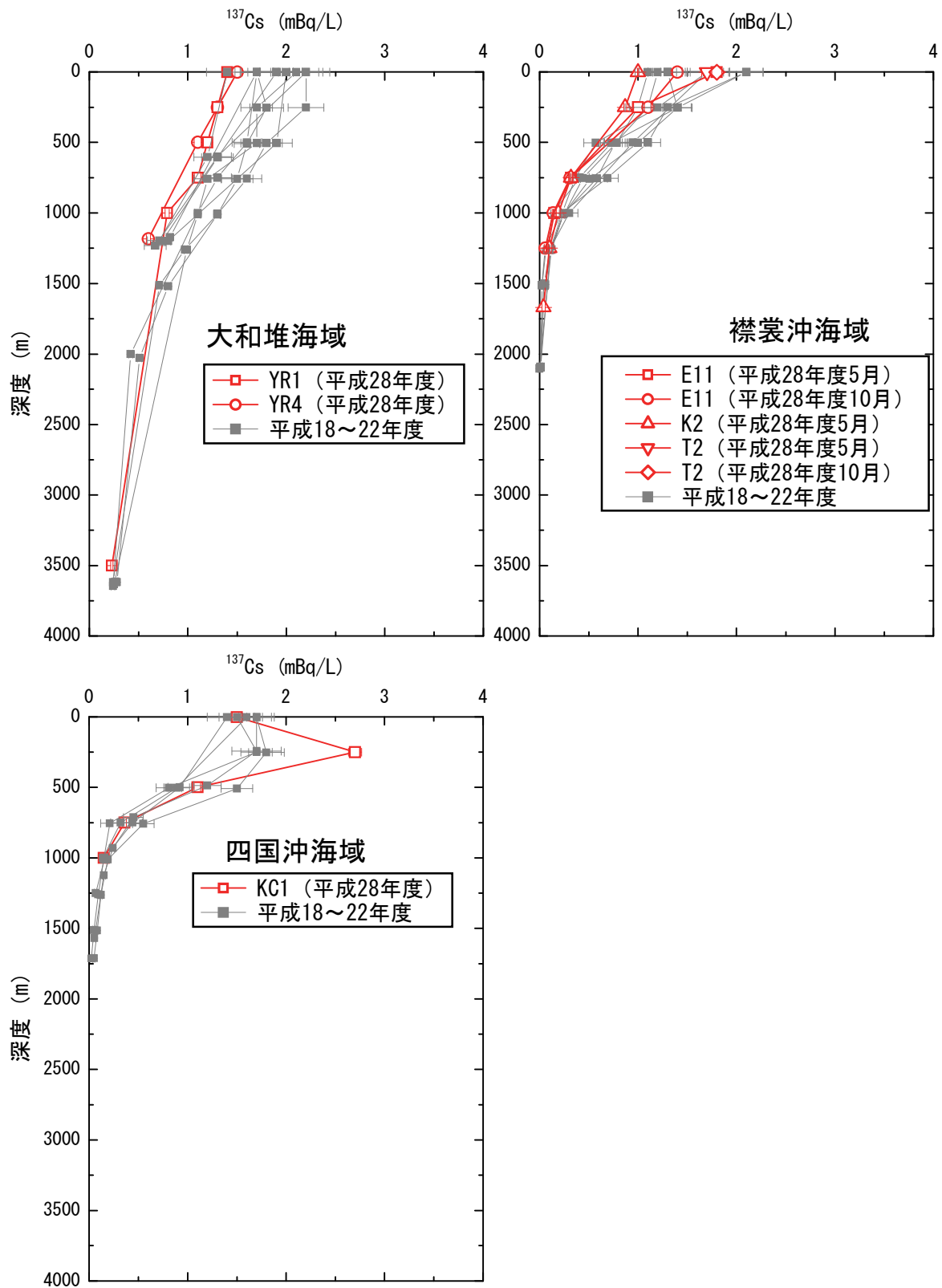


図 I-2-1-1-2 対照海域における海水試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の鉛直分布

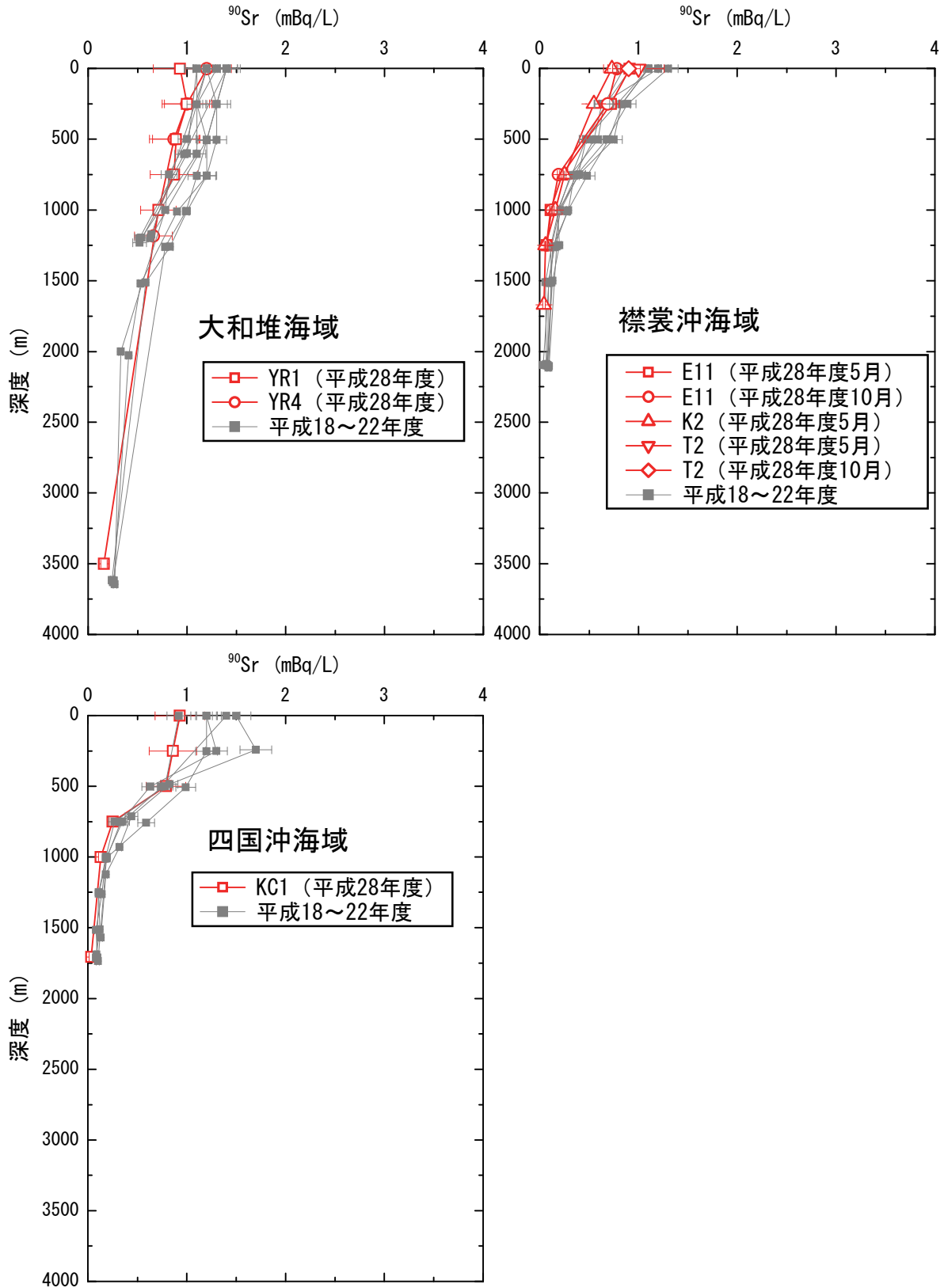


図 I -2-1-1-3 対照海域における海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  濃度の鉛直分布

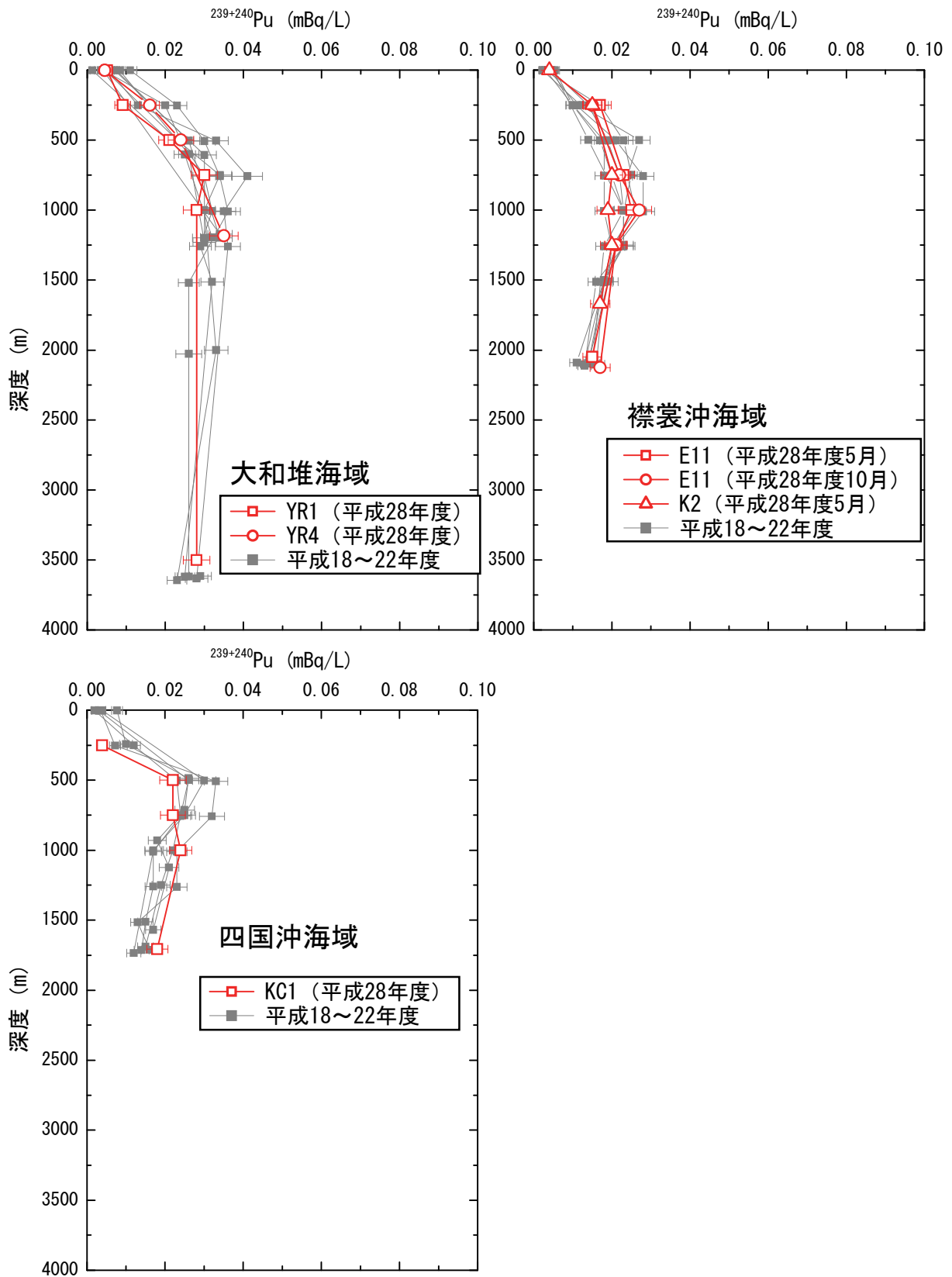


図 I -2-1-1-4 対照海域における海水試料の  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度の鉛直分布

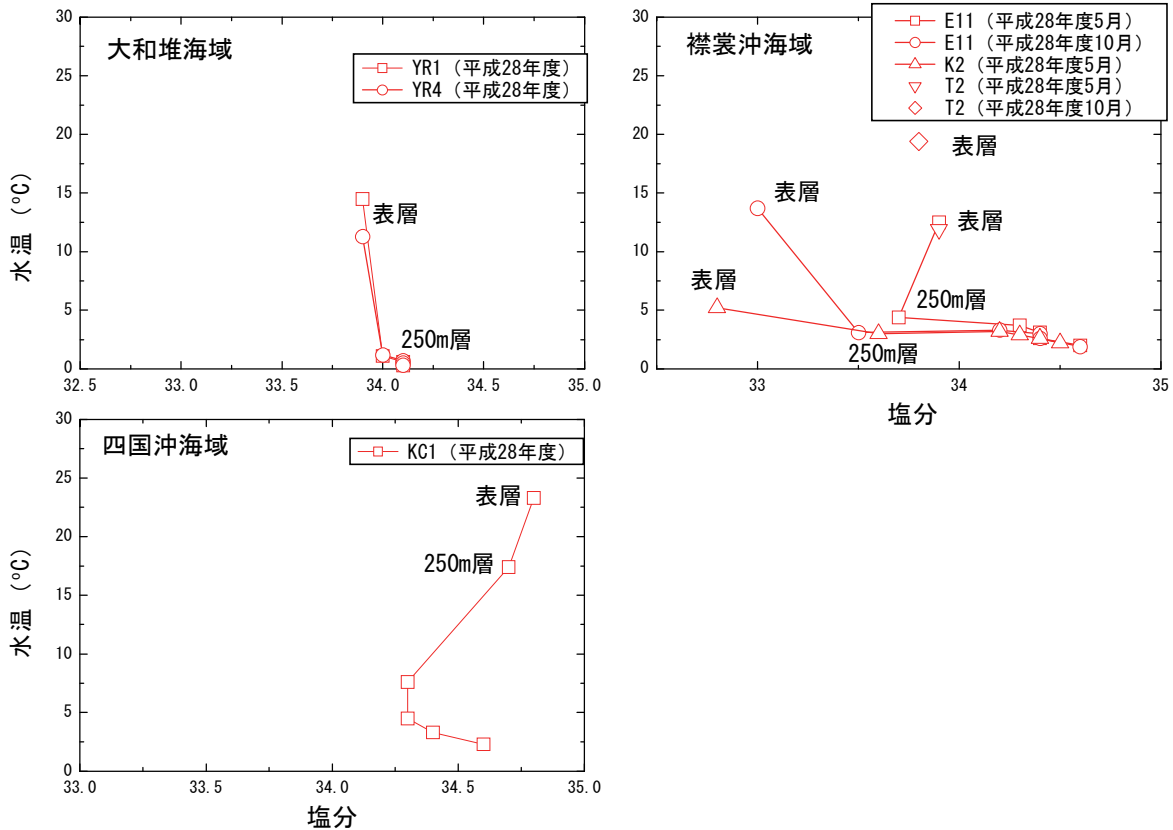


図 I-2-1-1-5 対照海域における塩分と水温の関係

ii. 海水試料における海洋放射能調査との比較

平成 28 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の  $^{137}\text{Cs}$  及び  $^{90}\text{Sr}$  濃度範囲について、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以下のように区別した。

- ・ 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、海水試料の  $^{239+240}\text{Pu}$  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、 $^{137}\text{Cs}$  及び  $^{90}\text{Sr}$  を表 I-2-1-1-3 に、 $^{239+240}\text{Pu}$  を表 I-2-1-1-4 に示す。



表 I-2-1-1-3 発電所海域、核燃海域及び対照海域における海水試料の  $^{137}\text{Cs}$  及び  $^{90}\text{Sr}$  濃度範囲及び平均値

調査海域			採取層	$^{137}\text{Cs}$ (mBq/L)			$^{90}\text{Sr}$ (mBq/L)		
				最小	最大	平均	最小	最大	平均
東日本海域	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	1.5	5.0	2.4	0.61	1.1	0.88
			下層	ND	3.2	1.9	ND	1.1	0.71
	対照海域	襟裳沖 (5月)	表層	1.0	1.8	1.5	0.73	1.0	0.88
			表層より深い層	ND	1.0	0.34	ND	0.72	0.24
	核燃海域 (10月)		表層	1.8	2.6	2.1	0.68	1.3	0.87
	核燃海域 (10月)		下層	ND	2.4	1.5	ND	1.1	0.73
対照海域	襟裳沖 (10月)	表層	1.4	1.8	1.6	0.78	0.90	0.84	
		表層より深い層	ND	1.1	0.40	ND	0.69	0.27	
日本海海域	発電所海域	北海道、新潟、石川、福井第一、福井第二、島根	表層	1.9	2.5	2.2	0.68	1.1	0.88
			下層	0.94	2.6	1.8	0.69	1.2	0.88
	対照海域	大和堆	表層	1.4	1.5	1.5	0.93	1.2	1.1
			表層より深い層	0.23	1.3	0.95	0.16	1.0	0.77
西日本海域	発電所海域	静岡、愛媛、佐賀、鹿児島	表層	1.6	2.3	2.1	0.66	1.1	0.90
			下層	0.86	2.6	2.1	0.61	1.1	0.84
	対照海域	四国沖	表層*	1.5			0.93		
			表層より深い層	ND	2.7	1.1	0.034	0.86	0.41

\*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における海水試料の  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度範囲及び平均値

調査海域		採取層	$^{239+240}\text{Pu}$ (mBq/L)		
			最小	最大	平均
核燃海域 (5-6月)		表層	0.0026	0.0058	0.0040
		下層	ND	0.026	0.011
核燃海域 (10月)		表層	ND	0.0043	0.0030
		下層	ND	0.021	0.012
対照海域	襟裳沖 (5月)	表層	ND	0.0040	—
		表層より深い層	0.015	0.025	0.019
	襟裳沖 (10月)	表層	ND		
		表層より深い層	0.015	0.027	0.020
	大和堆	表層	0.0045	0.0051	0.0048
		表層より深い層	0.0091	0.035	0.024
	四国沖	表層	ND		
		表層より深い層	0.0039	0.024	0.018

— 検出された値が1点のみであったため、平均値は求めなかった。

( i )  $^{137}\text{Cs}$

東日本海域の表層における海水試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、発電所海域が 1.5~5.0mBq/L (5-6月) および 1.8~2.6mBq/L (10月:核燃海域のみ)、対照海域(襟裳沖)が 1.0~1.8mBq/L (5-6月) 及び 1.4~1.8mBq/L (10月) であり、発電所海域が比較的高かった。平均値は、発電所海域が 2.4mBq/L (5-6月) 及び 2.1mBq/L (核燃海域のみ、10月)、対照海域(襟裳沖)が 1.5mBq/L (5-6月) 及び 1.6mBq/L (10月) であり、発電所海域が 0.5~0.9mBq/L 高かった。発電所海域で高い  $^{137}\text{Cs}$  濃度が見られたのは宮城、福島第一、福島第二及び茨城海域であり、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 Cs による影響であると考えられる。

日本海海域及び西日本海域の表層における海水試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、発電所海域が 1.9~2.5mBq/L (日本海海域) 及び 1.6~2.3mBq/L (西日本海域)、対照海域が 1.4~1.5mBq/L (大和堆) 及び 1.5mBq/L (四国沖) であり、発電所海域が比較的高かった。平均値は、発電所海域が 2.2mBq/L (日本海海域) 及び 2.1mBq/L (西日本海域)、対照海域(大和堆)が 1.5mBq/L であり、発電所海域が 0.6~0.7mBq/L 高かった。その要因は「I 2.2) (3) ③海水中の放射性 Cs」において詳述するが、事故由来の放射性 Cs 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ためであると考えられる。一方、対照海域のうち特に大和堆海域の表層においては、事故の影響を示す  $^{134}\text{Cs}$  の検出及び  $^{137}\text{Cs}$  濃度の上昇が見られなかったことから、事故の影響が及ばなかった海域として、比較検討する上でバックグラウンドが得られる重要な海域であることが分かった。

東日本海域の下層あるいは表層より深い層における海水試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、発電所海域が ND~3.2mBq/L (5-6月) および ND~2.4mBq/L (10月:核燃海域のみ) であり、対照海域(襟裳沖)が ND~1.0mBq/L (5-6月) 及び ND~1.1mBq/L (10月) であり、発電所海域が比較的高かった。NDを除いた平均値は、発電所海域が 1.9mBq/L (5-6月) 及び 1.5mBq/L (10月)、対照海域が 0.34mBq/L (5-6月) 及び 0.40mBq/L (10月) であり、発電所海域が対照海域に比べて 1.1~1.6mBq/L 高かった。高い  $^{137}\text{Cs}$  濃度が見ら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る。これらの海域における下層の深度は 200m 未満であり、また事故による放射性 Cs 存在の指標である  $^{134}\text{Cs}$  が見られた(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における採取深度が 250m~2125m であり発電所海域に比べて深く、これらの採取層においては事故前から  $^{137}\text{Cs}$  濃度が低い傾向にあることに加え、平成 28 年度調査では  $^{134}\text{Cs}$  濃度が検出されなかった(表 I -2-1-1-2)。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襟裳沖海域が発電所海域及び核燃海域の比較検討として重要なバックグラウンドを得られる海域であることが分かった。

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における海水試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、発電所海域が 0.94~2.6mBq/L (日本海海域) 及び 0.86~2.6mBq/L (西日本海域)、対照海域が 0.23~1.3mBq/L (大和堆) 及び ND~2.7mBq/L (四国沖) であった。また、ND

を除いた平均値は、発電所海域が 1.8mBq/L (日本海海域) 及び 2.1mBq/L (西日本海域) と、対照海域 (大和堆 : 0.95mBq/L、四国沖 : 1.1mBq/L) に比べ 0.7~1.2mBq/L 高かった。その要因は、東日本海域の下層あるいは表層より深い層における  $^{137}\text{Cs}$  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 Cs」) が、一方、対照海域では採取深度が 250m 以深と深く、同事故前から  $^{137}\text{Cs}$  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 層を除いて事故由来の  $^{134}\text{Cs}$  が検出されなかったことにあると考えられる。

## (ii) $^{90}\text{Sr}$

東日本海域の表層における海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  濃度は、発電所海域が 0.61~1.1mBq/L (5-6 月) および 0.68~1.3mBq/L (10 月 : 核燃海域のみ)、対照海域 (襟裳沖) が 0.73~1.0mBq/L (5-6 月) 及び 0.78~0.90mBq/L (10 月) であり、発電所海域及び対照海域の  $^{90}\text{Sr}$  濃度範囲は同程度であった。平均値は、発電所海域が 0.88mBq/L (5-6 月) 及び 0.87mBq/L (10 月)、対照海域が 0.88mBq/L (5-6 月) 及び 0.84mBq/L (10 月) であり、発電所海域と対照海域との平均値の差は 0.1mBq/L 以下であった。

日本海海域及び西日本海域の表層における海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  濃度は、発電所海域が 0.68~1.1mBq/L (日本海海域) 及び 0.66~1.1mBq/L (西日本海域)、対照海域が 0.93~1.2mBq/L (大和堆) 及び 0.93mBq/L (四国沖) であり、発電所海域及び対照海域の  $^{90}\text{Sr}$  濃度範囲は同程度であった。平均値は、発電所海域が 0.88mBq/L (日本海海域) 及び 0.90mBq/L (西日本海域)、対照海域 (大和堆) が 1.1mBq/L であり、対照海域が発電所海域に比べ 0.20~0.22mBq/L 高かった。対照海域の表層における  $^{90}\text{Sr}$  濃度の平均値は (図 I -2-1-1-6)、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) にかけて、漸減傾向を示すほか、平成 28 年度は、この濃度範囲内であったことから、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 28 年度調査で見られた発電所海域及び対照海域における  $^{90}\text{Sr}$  濃度の違いは、自然変動の範囲内であると考えられる。

東日本海域の下層あるいは表層より深い層における海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  濃度は、発電所海域が ND~1.1mBq/L (5-6 月) および ND~1.1mBq/L (10 月 : 核燃海域のみ) であり、対照海域 (襟裳沖) が ND~0.72mBq/L (5-6 月) 及び ND~0.69mBq/L (10 月) であった。その平均値は、発電所海域が 0.71mBq/L (5-6 月) 及び 0.73mBq/L (10 月)、対照海域が 0.24mBq/L (5-6 月) 及び 0.27mBq/L (10 月) と、発電所海域が対照海域に比べて 0.44~0.49mBq/L 高かった。この要因として、 $^{137}\text{Cs}$  濃度の結果と同様に、発電所海域及び核燃海域では下層の深度は、200m 未満が多い一方、東日本海域では表層より深い層の採取層が 250~2125m と深く、これらの採取層における  $^{90}\text{Sr}$  濃度がいまだに低い (図 I -2-1-1-3) ことによると考えられた。

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における海水試料の  $^{90}\text{Sr}$  濃度

は、発電所海域が 0.69～1.2mBq/L（日本海海域）及び 0.61～1.1mBq/L（西日本海域）、対照海域が 0.16～1.0mBq/L（大和堆）及び 0.034～0.86mBq/L（四国沖）であった。平均値は、発電所海域が 0.88mBq/L（日本海海域）及び 0.84mBq/L（西日本海域）、対照海域が 0.77mBq/L（大和堆）及び 0.41mBq/L（四国沖）であり、発電所海域が 0.07～0.47mBq/L 高かった。その要因として、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、採取層が深い方において、 $^{90}\text{Sr}$  濃度が東電福島第一原発事故の影響は及んでいないためである。

以上より、発電所及び核燃海域の  $^{90}\text{Sr}$  濃度は対照海域よりも高いが、濃度分布は事故前と同じである<sup>4)</sup>ことから、両海域の  $^{90}\text{Sr}$  は過去の核実験由来の Sr であり、東電福島第一原発事故の影響がないことが分かった。従って、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であることが明らかとなった。

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

表層における海水試料の  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度は、核燃海域が 0.0026～0.0058mBq/L（5月）及び ND～0.0043mBq/L（10月）、対照海域が ND～0.0040mBq/L（襟裳沖：5-6月）、ND（襟裳沖：10月）、0.0045～0.0051mBq/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 0.0040mBq/L（5-6月）及び 0.0030mBq/L（10月）、対照海域が 0.0048mBq/L（大和堆のみ）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における  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度は、核燃海域が ND～0.026mBq/L（5月）及び ND～0.021mBq/L（10月）、対照海域が 0.015～0.025mBq/L（襟裳沖：5月）、0.015～0.027mBq/L（襟裳沖：10月）、0.0091～0.035mBq/L（大和堆）及び 0.0039～0.024mBq/L（四国沖）であった。平均値は、核燃海域が 0.011mBq/L（5月）及び 0.012mBq/L（10月）、対照海域が 0.019mBq/L（襟裳沖：5月）、0.020mBq/L（襟裳沖：10月）、0.024mBq/L（大和堆）及び 0.018mBq/L（四国沖）であり、対照海域が発電所海域に比べて 0.0060～0.013mBq/L 高かった。対照海域において高い値が見られたのは、上述した  $^{137}\text{Cs}$  や  $^{90}\text{Sr}$  の濃度傾向とは異なり、表層より深い層における  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度が深度方向に対して増加することが挙げられる。この要因として、核燃海域では 22 測点のうち、下層の大半の深度が 200m 未満である一方、対照海域では表層よりも深い層の採取層が 250m～2125m と核燃海域に比べて深く、これらの採取層における  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度が高いことから、両海域における  $^{239+240}\text{Pu}$  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の濃度分布は事故前と同じである<sup>6, 7)</sup>ことから、両海域の  $^{239+240}\text{Pu}$  は過去の核実験由来の Pu であり、東電福島第一原発事故の影響がないことが分かった。従って、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であることが明らかとなった。

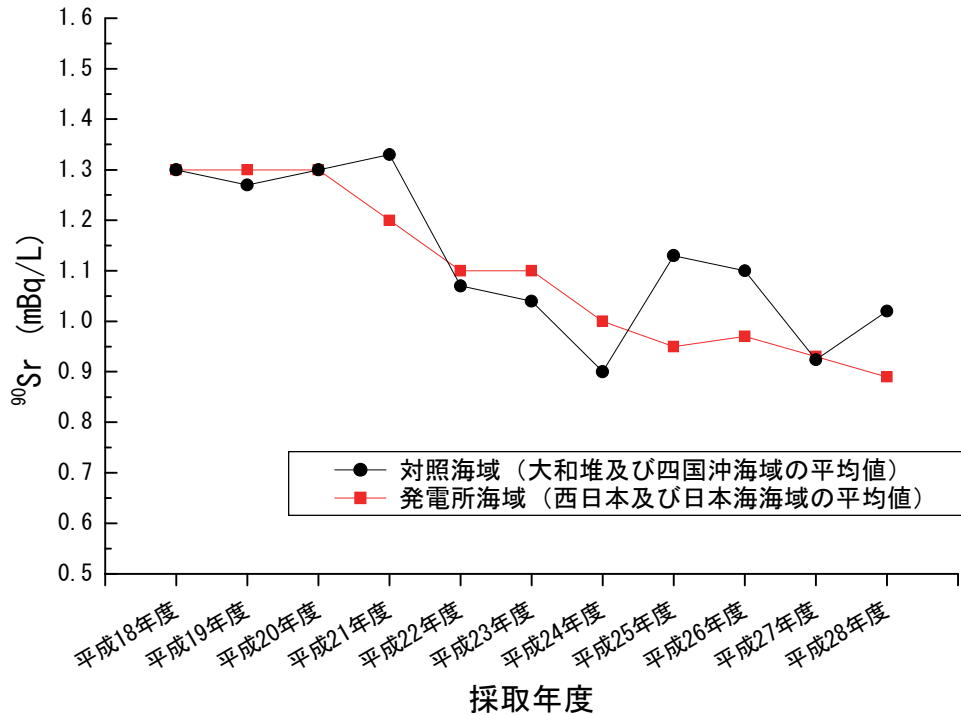


図 I-2-1-1-6 西日本及び日本海海域における表層海水の  $^{90}\text{Sr}$  濃度平均値の時系列分布

### iii. 海底土試料

対照海域の大和堆及び四国沖海域の海底土中の放射性核種濃度を図 I-2-1-1-7 に示す。平成 28 年度の対照海域では  $^{134}\text{Cs}$  濃度が不検出であった。 $^{137}\text{Cs}$  濃度は大和堆海域（測点 YR4）が  $2.3\text{Bq/kg}$ -乾燥土、四国沖海域（測点 KC1）が  $4.5\text{Bq/kg}$ -乾燥土であった。 $^{90}\text{Sr}$  濃度は大和堆海域（測点 YR4）が  $0.30\text{Bq/kg}$ -乾燥土、四国沖海域（測点 KC1）が  $0.50\text{Bq/kg}$ -乾燥土であった。 $^{239+240}\text{Pu}$  濃度は大和堆海域（測点 YR4）が  $0.40\text{Bq/kg}$ -乾燥土、四国沖海域（測点 KC1）が  $2.9\text{Bq/kg}$ -乾燥土であった。両海域において  $^{137}\text{Cs}$  濃度、 $^{90}\text{Sr}$  濃度及び  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度に約 1 桁の違いが見られたが、これは採取場所による濃度の違いが考えられる。

Zheng and Yamada<sup>6)</sup> によると、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中（表層 3 cm まで）の  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度が  $0.43\text{Bq/kg}$ -乾燥土であり、本調査の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中（表層 3 cm まで）の  $^{239+240}\text{Pu}$  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。

四国沖海域においては、平成 18 年度の測点（KC2、KC4、KC6）において  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度が  $1.2\sim 3.2\text{Bq/kg}$ -乾燥土<sup>7)</sup>と、本調査での 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における  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度が  $0.8\text{Bq/kg}$ -乾燥土未満であることから<sup>7)</sup>、採取場所が大きく変わることによって  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度が変動することが分かった。なお、調査を開始した平

成 15 年度以降、両海域において、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{239+240}\text{Pu}$  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、海底土においても大和堆海域及び四国沖海域は、核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ことが分かった。

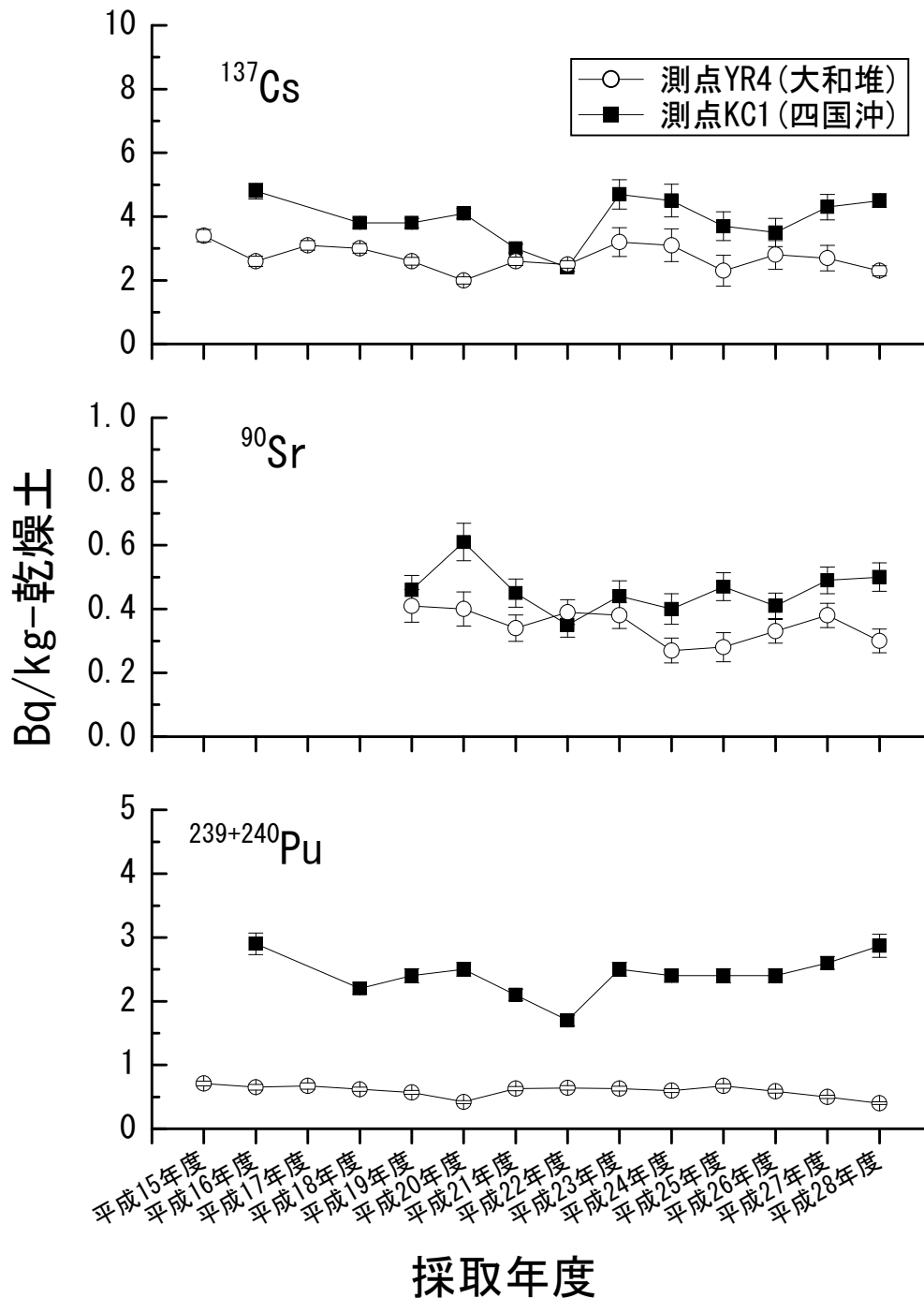


図 I-2-1-1-7 対照海域における海底土中の  $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{239+240}\text{Pu}$  濃度の時系列変化。  
 $^{90}\text{Sr}$  は平成 19 年度より開始。YR4:大和堆海域、KC1: 四国沖海域。

#### iv. 海底土における海洋放射能調査との比較

平成 28 年度における海底土の  $^{137}\text{Cs}$  濃度範囲について、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  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{239+240}\text{Pu}$  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について、放射性 Cs を表 I-2-1-1-5 に、 $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{239+240}\text{Pu}$  を表 I-2-1-1-6 に示す。

東日本海域及び日本海海域の一部（新潟海域）においては、 $^{134}\text{Cs}$  濃度が検出されていること（後述「I 2.2）(3)②海底土中の放射性 Cs」）、また、対照海域に比べて高い  $^{137}\text{Cs}$  濃度範囲及び平均値であり、これら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。西日本海域においては、対照海域の値に比べて低かった。西日本海域の海底土の多くは砂質であり放射性 Cs 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 Cs を含みやすい性質<sup>8)</sup> であることから、海底土の性状の違いにより  $^{137}\text{Cs}$  濃度に差が生じたと考えられる。一方、核燃海域の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{239+240}\text{Pu}$  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  $^{134}\text{Cs}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  濃度の範囲及び平均値

調査海域		$^{134}\text{Cs}$			$^{137}\text{Cs}$		
		(Bq/kg-乾燥土)					
		最小	最大	平均	最小	最大	平均
東日本海域	青森、宮城、福島第一、福島第二、茨城、核燃	ND	17	6.3	ND	93	14
日本海海域	北海道、新潟、石川、福井第一、福井第二、島根	ND	ND	ND	ND	11	3.2
西日本海域	静岡、愛媛、佐賀、鹿児島	ND	ND	ND	ND	1.8	1.2
対照海域	大和堆*	ND			2.3		
	四国沖**	ND			4.5		

\* 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。

\*\* 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。

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  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度の範囲及び平均値

調査海域		$^{90}\text{Sr}$			$^{239+240}\text{Pu}$		
		(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	0.39	0.25	0.41	4.7	1.3
対照海域	大和堆	0.30			0.40		
	四国沖	0.50			2.9		

#### ④ まとめ

大和堆、四国沖及び襟裳沖海域で採取した海水試料と、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 Cs、 $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{239+240}\text{Pu}$  の人工放射性核種濃度を分析した。

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の放射性核種濃度を把握した。

対照海域における海水中の放射性 Cs 濃度及び  $^{90}\text{Sr}$  濃度は、一部（四国沖海域における 250m 層の放射性 Cs 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）の範囲内であり、また、これらの核種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となった。対照海域における海水の  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度は、表層が核燃海域の値と同程度かそれよりも低く、表層より深い層が核燃海域の値よりも高かった。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、過去の核実験由来の Pu であると示唆される。一方、対照海域における海底土中の放射性核種濃度は、事故前 5 年間の範囲内であった。

以上のことから、本調査で設置した対照海域は、発電所海域及び核燃海域における海水及び海底土の放射性核種濃度について、そのバックグラウンドを把握するうえで有効であることが示唆される。

また、発電所海域及び核燃海域における海水中の放射性 Cs 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濃度レベルに近づきつつあることが分かった。海水中の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{239+240}\text{Pu}$  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 Cs 濃度が検出されており、対照海域に比べ高い値であった。しかし、それ以外の海域、並びに核燃海域の海底土中の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度は対照海域と同じ濃度範囲であることから、東電福島第一原発事故の影響はないことが分かった。

## 引用文献

- 1) Kumamoto, Y., Aoyama, M., Hamajima, Y., Aono, T., Kouketsu, S., Murata, A. and Kawano, T. (2014). Southward spreading of the Fukushima-derived radiocesium across the Kuroshio extension in the North Pacific. *Sci. Rep.*, 4, 4276. doi.org/10.1038/srep04276.
- 2) Aoyama, M., Hamajima, Y., Hult, M., Uematsu, M., Oka, E., Tsumune, D. and Kumamoto, Y. (2016).  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in the North Pacific Ocean derived from the March 2011 TEPCO Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, Japan. Part one: surface pathway and vertical distributions. *J. Oceanogr.*, 72, 53–65.
- 3) Kaeriyama, H., Shimizu, Y., Ambe, D., Masujima, M., Shigenobu, Y., Fujimoto, K., Ono, T., Nishiuchi, K., Taneda, T., Kurogi, H., Setou, T., Sugisaki, H., Ichikawa, T., Hidaka, K., Hiroe, Y., Kusaka, A., Kodama, T., Kuriyama, M., Morita, H., Nakata, K., Morinaga, K., Morita, T. and Watanabe, T. (2014). Southwest intrusion of  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$  derived from the Fukushima Dai-ichi



- nuclear power plant accident in the western North Pacific. Environ. Sci. Technol., 48, 3120-3127.
- 4) 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  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  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.
  - 5) Casacuberta, N., Masqué, P., Garcia-Orellana, J., Garcia-Tenorio, R. and Buesseler, K.O. (2013).  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{89}\text{Sr}$  in seawater off Japan as a consequence of the Fukushima Da-ichi nuclear accident. Biogeosciences 10 039-067.
  - 6) 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.
  - 7) 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.
  - 8) Tsukada, H., Takeda, A., Hisamatsu, S. and Inaba, J. (2008). Concentration and specific activity of fallout  $^{137}\text{Cs}$  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

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）に原子力施設の影響を受けない海域（以下「対照海域」という。）を設け、海産生物試料を採取し放射性核種濃度等を調査するとともに、海洋放射能調査で得られた結果との比較を行った。対照海域の調査測点を図 I-2-1-1-1 に示す。

平成 28 年度は、大和堆海域ではスルメイカ、ホッコクアカエビ、四国沖海域ではアオリイカ、ゴマサバ、襟裳沖海域ではマサバ、シロザケを収集して分析試料に供した。

### ② 方法

スルメイカは個体ごとに生殖器の形状により雌雄を確認した後、部位別に分け、筋肉（外套膜、腕足、頭部）と肝臓を分析に供した。アオリイカについても、スルメイカと同様の作業を行い、筋肉と内臓を分析に供した。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を分析対象とし、頭胸部、腹部、卵に分け、側甲、腹肢、尾肢及び尾節を取り除き、筋肉のみとした腹部を分析に供した。ゴマサバ、マサバ、シロザケは三枚に下ろし、筋肉を分析に供した。それぞれを乾燥、灰化し、ガンマ線放出核種及び  $^{239+240}\text{Pu}$  の分析を行った。

### ③ 結果

#### i. スルメイカ

平成 28 年度の分析結果を表 I-2-1-2-1 及び表 I-2-1-2-2 に示す。

対照海域の 3 海域、海洋放射能調査の核燃海域及び福井第一海域で採取されたスルメイカ筋肉中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化を図 I-2-1-2-1 に示す。平成 28 年度のスルメイカ筋肉中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度は大和堆海域で 0.045Bq/kg-生鮮物であり、 $^{134}\text{Cs}$  は検出されなかった。平成 28 年度のスルメイカ筋肉中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度は東電福島第一原発事故前の濃度と同程度であった。四国沖海域と襟裳沖海域では、不漁のためスルメイカを入手できなかった。四国沖海域ではスルメイカの代わりに近縁種としてアオリイカで評価した。四国沖海域のアオリイカ筋肉中からは  $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{134}\text{Cs}$  のいずれも検出されなかった。

平成 23 年度以降、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  $^{137}\text{Cs}$  濃度が観測された。平成 15 年度から事故前までの最大値は四国沖海域で 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。海洋放射能調査の調査海域である核燃海域と福井第一海域では事故後に 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。

対照海域及び核燃海域で採取したスルメイカ筋肉中の  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度の経年変化を図 I-2-1-2-2 に示す。平成 28 年度では、スルメイカ筋肉中の  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度は大和堆海域で  $0.00043\text{Bq/kg}$ -生鮮物、アオリイカ筋肉中の  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度は四国沖海域で  $0.00028\text{Bq/kg}$ -生鮮物であった。いずれの海域においても、これまでの調査結果の範囲内であった。核燃海域では平成 27、28 年度のスルメイカ筋肉中の  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度は検出下限値以下であったため、平成 28 年度の対照海域との比較は出来なかったが、平成 26 年度の核燃海域におけるスルメイカ筋肉中の  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度との間には差は認められなかった。

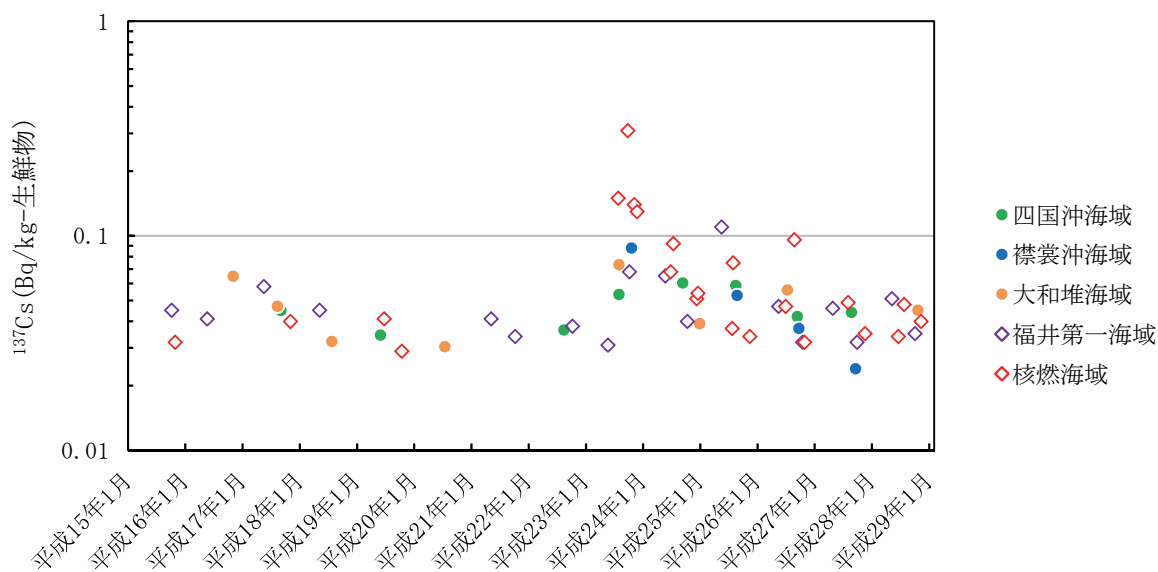


図 I-2-1-2-1 スルメイカ筋肉中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の比較

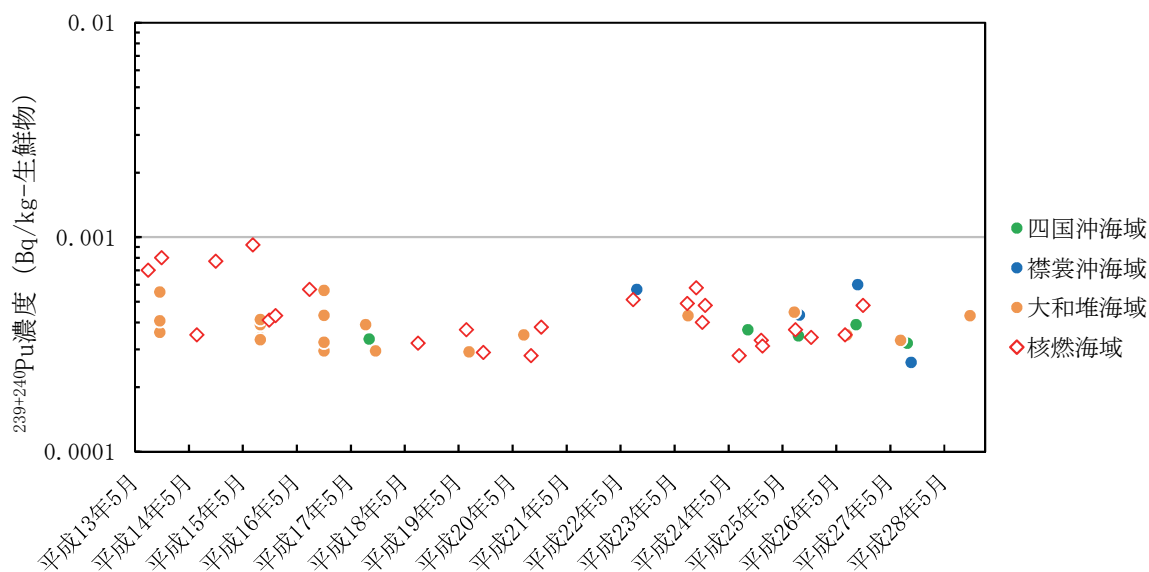


図 I-2-1-2-2 スルメイカ筋肉中の  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度の比較

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 28 年 10 月 21 日		平成 28 年 8 月 25～31 日					
漁獲場所		大和堆		大和堆					
漁法		釣り		底曳網					
試料の個体数		81		2092					
平均全長±標準偏差 最小/最大(cm)		23.7±1.6* <sup>1</sup> 20.1/28.2		14.9±0.8 13.0/16.2					
平均体重±標準偏差 最小/最大(g)		287±66 142/468		15±2 10/20					
供試部位		筋肉	肝臓	筋肉	頭胸部	卵			
灰分(%)		2.22	1.47	2.09	5.52	1.90			
分析 供試量 (g)	γ核種	61.60	—	60.98	—	—			
	<sup>239+240</sup> Pu	15.58	14.70	20.18	—	—			
測定 年月日	γ核種	平成 29 年 1 月 10 日	—	平成 28 年 12 月 28 日	—	—			
	<sup>239+240</sup> Pu	平成 29 年 1 月 10 日	平成 28 年 12 月 27 日	平成 28 年 12 月 28 日	—	—			
放射性核種濃度* <sup>4</sup>	人工放射性核種	γ	<sup>134</sup> Cs	ND* <sup>2</sup>	—* <sup>3</sup>	ND	—	—	
			<sup>137</sup> Cs	0.045±0.011	—	0.050±0.0092	—	—	
	その他のγ核種 <sup>51</sup> Cr、 <sup>54</sup> Mn、 <sup>58</sup> Co、 <sup>60</sup> Co、 <sup>59</sup> Fe、 <sup>65</sup> Zn、 <sup>95</sup> Zr、 <sup>95</sup> Nb、 <sup>103</sup> Ru、 <sup>106</sup> Ru、 <sup>110m</sup> Ag、 <sup>125</sup> Sb、 <sup>140</sup> Ba および <sup>144</sup> Ce は、すべて計数誤差の 3 倍以下であった。								
	自然放射性核種	γ	α	<sup>239+240</sup> Pu	0.00043±0.00012	0.013±0.00069	0.00054±0.00012	—	—
				<sup>7</sup> Be	ND	—	ND	—	—
<sup>40</sup> K				110±0.81	—	88±0.61	—	—	
<sup>208</sup> Tl				ND	—	ND	—	—	
<sup>214</sup> Bi				ND	—	ND	—	—	
<sup>228</sup> 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、漁獲日に補正した値で、誤差は計数誤差である。

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		アオリイカ*1		ゴマサバ	
漁獲年月日		平成 28 年 11 月 13 日		平成 28 年 9 月 7 日	
漁獲場所		高知県室戸市高岡		室戸岬西（奈半利町沖）	
漁法		大型定置網		釣り	
試料の個体数		29		36	
平均全長±標準偏差 最小/最大(cm)		22.2±1.2*2 20.3/24.2		37.7±0.9 34.9/38.9	
平均体重±標準偏差 最小/最大(g)		684±93 538/873		535±33 470/592	
供試部位		筋肉	内臓	筋肉	
灰分(%)		1.99	1.91	1.30	
分析 供試量 (g)	γ核種	60.42	—	69.69	
	<sup>239+240</sup> Pu	20.01	17.02	13.09	
測定 年月日	γ核種	平成 28 年 12 月 16 日	—	平成 28 年 9 月 27 日	
	<sup>239+240</sup> Pu	平成 28 年 12 月 21 日	平成 28 年 12 月 27 日	平成 28 年 11 月 8 日	
放射性核種濃度*5	人工放射性核種 γ	<sup>134</sup> Cs	ND*3	—*4	ND
		<sup>137</sup> Cs	ND	—	0.13±0.010
	その他の γ核種	<sup>51</sup> Cr、 <sup>54</sup> Mn、 <sup>58</sup> Co、 <sup>60</sup> Co、 <sup>59</sup> Fe、 <sup>65</sup> Zn、 <sup>95</sup> Zr、 <sup>95</sup> Nb、 <sup>103</sup> Ru、 <sup>106</sup> Ru、 <sup>110m</sup> Ag、 <sup>125</sup> Sb、 <sup>140</sup> Ba および <sup>144</sup> Ce は、すべて計数誤差の 3 倍以下であった。			
	自然放射性核種 γ	<sup>239+240</sup> Pu	0.00028±0.000080	ND	ND
		<sup>7</sup> Be	ND	—	ND
		<sup>40</sup> K	91±0.75	—	120±0.64
<sup>208</sup> Tl		ND	—	ND	
<sup>214</sup> Bi	ND	—	ND		
<sup>228</sup> Ac	ND	—	ND		

\*1 漁獲高減少によりスルメイカをアオリイカに変更した。

\*2 外套長の計測値を示す。

\*3 ND は検出下限値以下を示す。

\*4 — は未測定を示す。

\*5 試料の放射性核種濃度は、漁獲日に補正した値で、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		マサバ*1	シロザケ（雄）	
漁獲年月日		平成 28 年 10 月 29 日	平成 28 年 10 月 27 日	
漁獲場所		釧路沖	釧路沖	
漁法		大型巻網	定置網	
試料の個体数		78	8	
平均全長±標準偏差 最小/最大(cm)		30.9±1.1 24.9/32.9	65.9±2.6 62.6/69.7	
平均体重±標準偏差 最小/最大(g)		269±27 158/331	2414±461 1683/2834	
供試部位		筋肉	筋肉	
灰分(%)		1.22	1.26	
分析 供試量 (g)	γ核種	64.87	67.91	
	<sup>239+240</sup> Pu	8.68	8.99	
測定 年月日	γ核種	平成 29 年 1 月 5 日	平成 29 年 1 月 10 日	
	<sup>239+240</sup> Pu	平成 29 年 1 月 10 日	平成 29 年 1 月 10 日	
放射性核種濃度*3	人工放射性核種 γ	<sup>134</sup> Cs <sup>137</sup> Cs	ND*2 0.13±0.0095	ND 0.13±0.0077
		その他の γ核種	<sup>51</sup> Cr、 <sup>54</sup> Mn、 <sup>58</sup> Co、 <sup>60</sup> Co、 <sup>59</sup> Fe、 <sup>65</sup> Zn、 <sup>95</sup> Zr、 <sup>95</sup> Nb、 <sup>103</sup> Ru、 <sup>106</sup> Ru、 <sup>110m</sup> Ag、 <sup>125</sup> Sb、 <sup>140</sup> Ba および <sup>144</sup> Ce は、すべて計数誤差の 3 倍以下であった。	
	α	<sup>239+240</sup> Pu	ND	ND
	人工放射性核種 γ	<sup>7</sup> Be	ND	ND
		<sup>40</sup> K	110±0.61	120±0.51
		<sup>208</sup> Tl	ND	ND
		<sup>214</sup> Bi	ND	ND
<sup>228</sup> Ac	ND	ND		

\*1 漁獲高減少によりスルメイカをマサバに変更した。

\*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、漁獲日に補正した値で、誤差は計数誤差である。

対照海域及び核燃海域で採取したスルメイカ肝臓中の  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度の経年変化を図 I-2-1-2-3 に示す。また、海洋放射能調査の核燃海域で得られたスルメイカ肝臓及びヤリイカの内臓の  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度を表 I-2-1-2-4 に示す。

平成 28 年度のスルメイカ肝臓中の  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度は、大和堆海域で 0.013Bq/kg-生鮮物であった。この値は平成 13~27 年度の調査結果の範囲内であり、対照海域と核燃海域 (0.00066~0.010Bq/kg-生鮮物) との間に濃度差は認められなかった。スルメイカ肝臓中の  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度はスルメイカ筋肉中の  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度に比べ 1 桁以上高く、最大値は大和堆海域で認められ、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、核燃海域におけるスルメイカ肝臓中の  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度は前期に漁獲された群の濃度が後期に比べて高く、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。また、四国沖海域で採取したアオリイカ内臓中の  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度は、検出下限値以下であった。

表 I-2-1-2-4 スルメイカ肝臓及びヤリイカ内臓の  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度

	採取海域	漁期	試料採取日	$^{239+240}\text{Pu}$	
				(Bq/kg-生鮮物)	
スルメイカ	核燃海域 (1)	前期	平成 28 年 7 月 25 日	0.0023	± 0.00032
スルメイカ	核燃海域 (2)	前期	平成 28 年 6 月 18 日	0.010	± 0.00094
スルメイカ	核燃海域 (1)	後期	平成 28 年 11 月 11 日	0.00066	± 0.00013
ヤリイカ	核燃海域 (2)	後期	平成 28 年 11 月 2 日	ND	

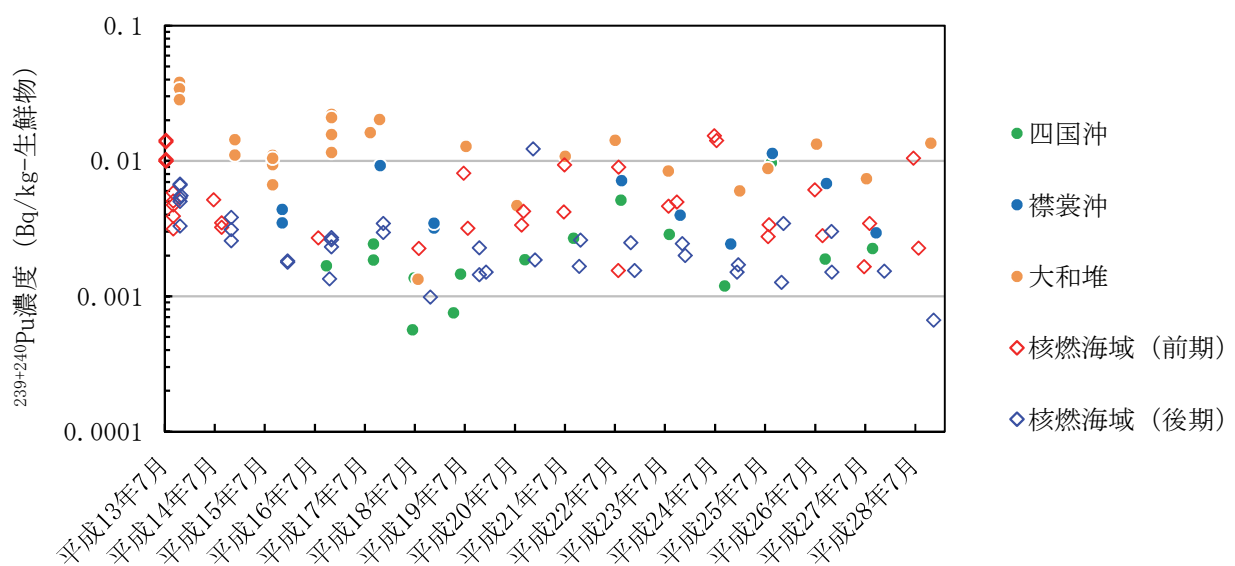


図 I-2-1-2-3 スルメイカ肝臓中の  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度の比較

## 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 28 年度における大和堆海域試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度は  $0.050\text{Bq/kg}$ -生鮮物、 $^{239+240}\text{Pu}$  濃度は  $0.00054\text{Bq/kg}$ -生鮮物であった（図 I-2-1-2-4）。 $^{137}\text{Cs}$  濃度は、発電所海域（石川海域）で採取されたホッコクアカエビと同程度であった（図 I-2-1-2-4）。

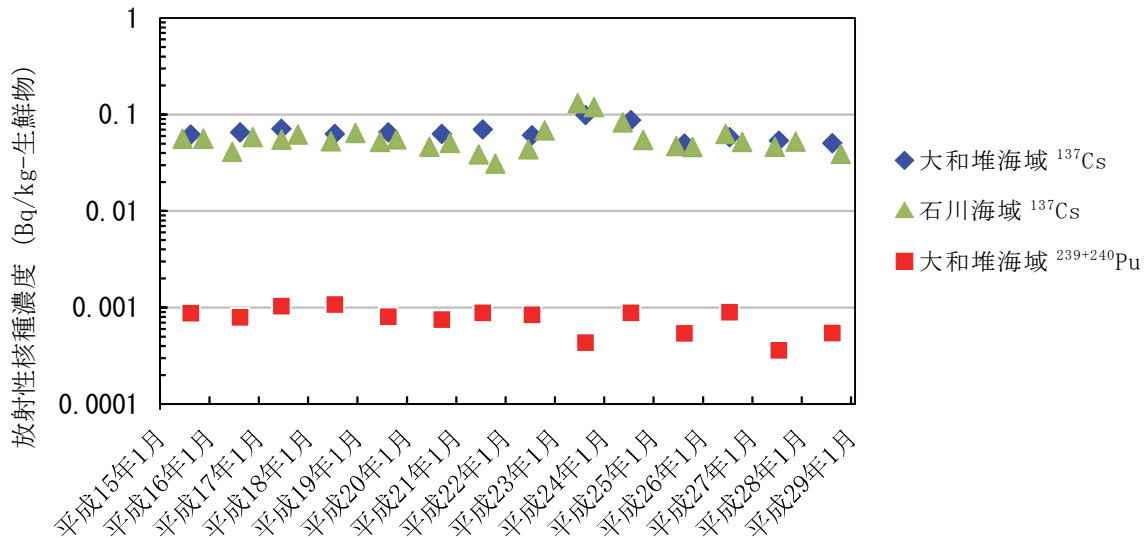


図 I-2-1-2-4 対照海域（大和堆海域）と石川海域におけるホッコクアカエビの放射性核種濃度

## iii. ゴマサバ

分析結果を表 I-2-1-2-2 に示す。

平成 28 年度における四国沖海域試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度は  $0.13\text{Bq/kg}$ -生鮮物で、 $^{134}\text{Cs}$  は検出されなかった。両者の値は同じであり、また、 $^{137}\text{Cs}$  濃度は平成 27 年度に核燃海域で採取されたゴマサバと同程度であった。四国沖海域におけるゴマサバの  $^{137}\text{Cs}$  濃度は東電福島第一原発事故後の平成 24 年度にわずかに上昇が見られたが、大きな変化は無く、平成 28 年度は事故前の値と同程度であった（図 I-2-1-2-5）。



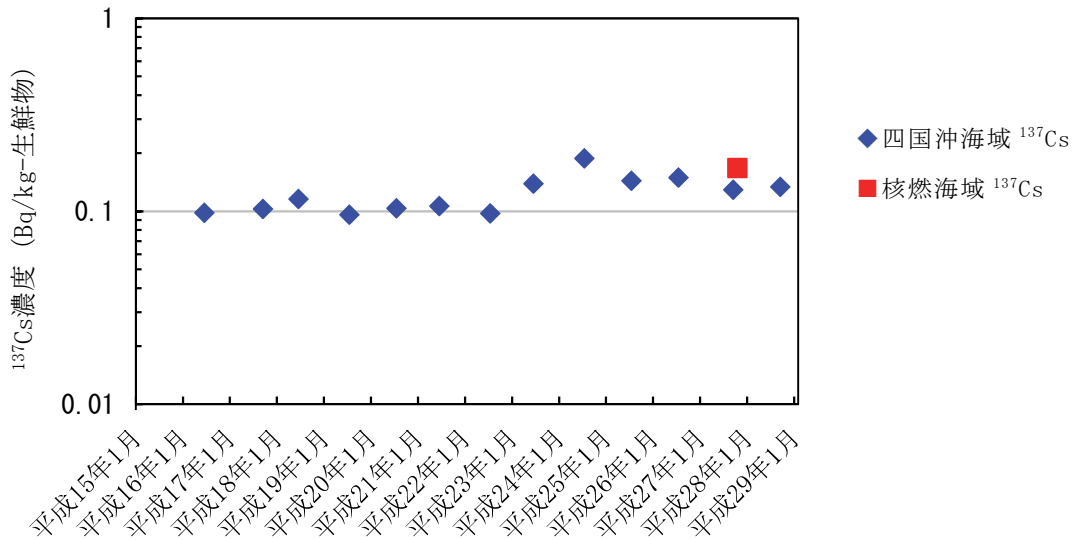


図 I-2-1-2-5 対照海域（四国沖海域）と核燃海域におけるゴマサバの  $^{137}\text{Cs}$  濃度

#### iv. シロザケ

分析結果を表 I-2-1-2-3 に示す。

平成 28 年度における襟裳沖海域試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度は  $0.13\text{Bq/kg}$ -生鮮物で、 $^{134}\text{Cs}$  は検出されなかった。平成 19 年度の調査開始以来、襟裳沖海域におけるシロザケの放射性 Cs は核燃海域のそれに比べ低いか同程度で推移しており、東電福島第一原発事故後の濃度の上昇は核燃海域に比べ小さかった（図 I-2-1-2-6）。

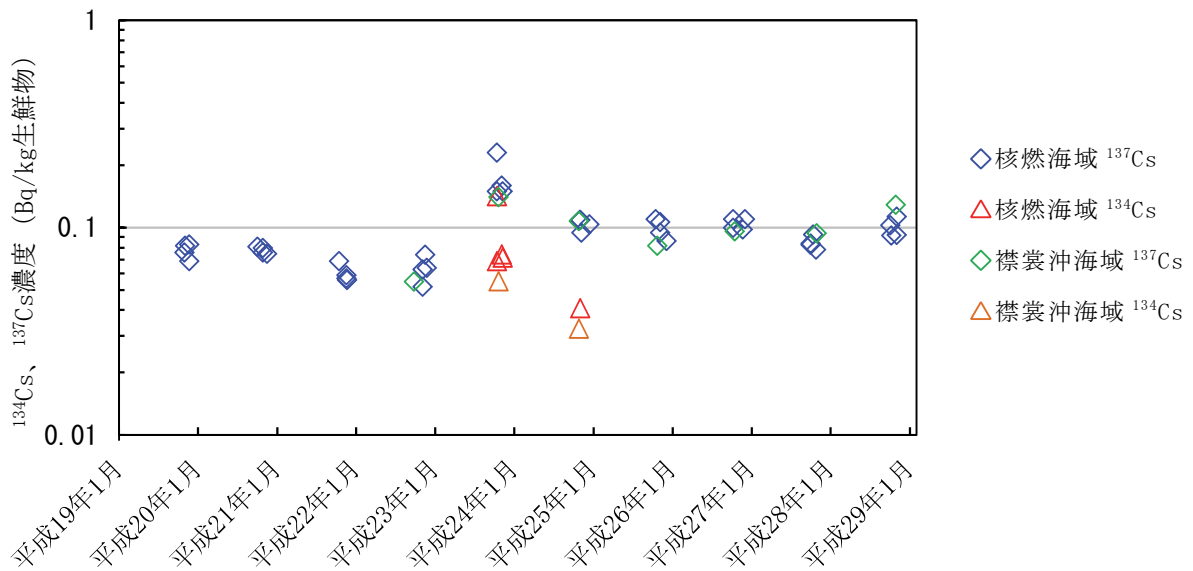


図 I-2-1-2-6 対照海域（襟裳沖海域）と核燃海域におけるシロザケの放射性 Cs 濃度

#### v. マサバ

分析結果を表 I-2-1-2-3 に示す。

平成 28 年度における襟裳沖海域試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度は  $0.13\text{Bq/kg}$ -生鮮物で、 $^{134}\text{Cs}$  は検出されなかった。平成 28 年度の核燃海域試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度 ( $0.18\text{Bq/kg}$ -生鮮物) と同程度の値であった。

#### ④ まとめ

大和堆海域で漁獲されたスルメイカ及びホッコクアカエビ、四国沖海域で漁獲されたアオリイカ及びゴマサバ、襟裳沖海域で漁獲されたマサバ及びシロザケを用いて、ガンマ線放出核種及び  $^{239+240}\text{Pu}$  の分析を行った。また、スルメイカ肝臓の  $^{239+240}\text{Pu}$  分析を行った。その結果、平成 28 年度の  $^{137}\text{Cs}$  濃度、 $^{239+240}\text{Pu}$  濃度は平成 27 年度と同程度であった。また、 $^{134}\text{Cs}$  は検出されなかった。これら対照海域における各海産生物の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化から、対照海域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 28 年度は平成 27 年度と同様に事故前の濃度まで戻っていることが確認された。

以上のことから、対照海域は、発電所海域及び核燃海域における海産生物試料の放射性核種濃度について、そのバックグラウンドを把握するうえで有効な海域であることが示唆された。

## 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

原子力施設等からの予期しない人工放射性核種の放出があった場合、 $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$  原子数比及び  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  原子数比の変化等が予測されるが、情報はまだ少ないのが現状であるため、両核種に関する原子数比のバックグラウンドを把握する必要がある。加えて、これまでの調査から、海産魚類の筋肉中に  $^{239+240}\text{Pu}$  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、部位別には肝臓中の濃度が最も高いが、濃度変動も見られることから、海産生物中の Pu を調査する上で重要な種である。また、1950～60年代の大気圏内核実験由来と使用済み核燃料由来の Pu とでは  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  原子数比が異なるため、海洋環境 Pu の由来を把握する必要がある。

そこで、海底土の  $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$  原子数比、ならびに海底土及びスルメイカの肝臓について  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度及びその原子数比を把握し、Cs 及び Pu 放出の影響を検討する上で必要となるバックグラウンドデータを取得する。

#### 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

まず、国際原子力機関 (IAEA) からの標準物質 (IAEA330 : ホウレンソウ、IAEA385 : 沿岸海底土) の分析を行い、本分析方法の妥当性確認を行った。

海洋放射能調査の発電所海域海底土については、以下の海域の測点 (計 14 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、福島第二、新潟海域 : 測点 1～4 (計 12 測点 : 3 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.*<sup>1)</sup>に基づき、平成 27 年度に検討した方法で行った。乾燥土に濃硝酸を加え、マイクロウェーブ分解装置によって加温加圧した後、ろ過して残留物を除去し、1.6M 硝酸溶液 (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、Cs を AMP に吸着させるため、2 時間程度攪拌させた後、しばらく静置させた。その後、AMP を含んだ溶解液をろ過し、ろ紙上に残った AMP を 1.5M アンモニウム溶液で溶かした。この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 アンモニウム溶液、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 Na、Ca、Mo、Sn、Sb を分離した後、陽イオン交換樹脂に吸着した 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 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 回繰り返す、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 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 20% 亜酸化窒素と 80% ヘリウムの混合ガスを用いて、最終溶液に残存する妨害元素を除外した。

## 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。

スルメイカ等は個体ごとに解剖し、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存、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。ヤリイカ及びアオリイカについては肝臓を含む内臓を分析に供した。なお、核燃、福井第一及び対照海域で採取されたスルメイカ等の筋肉部の放射性Cs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。一方、津軽海域及び羅臼海域で採取されたスルメイカはこの調査のために収集しており、放射性Cs濃度を確認するため筋肉部を分析に供した。

海底土については以下の海域の測点において泥の表層から3cmまでの層を採取した。

- ・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

$^{239+240}\text{Pu}$ 濃度の測定は核燃、福井第一及び対照海域、並びに羅臼及び津軽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、 $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度はイカの大きさ・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、乾燥、灰化して分析に供した。

分析は文部科学省放射能測定法シリーズ「放射性セシウム分析法」及び文部科学省放射能測定法シリーズ「プルトニウム分析法」に準拠して行い、放射性 Cs は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、 $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度測定済みの電着板から酸により Pu 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 Pu を溶離させた。溶離液を蒸発乾固させたのち、乾固

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
津軽	スルメイカ	津軽海峡	平成 28 年 7 月 19 日	肝臓
津軽	スルメイカ	津軽海峡	平成 28 年 10 月 31 日	肝臓
福井第一	スルメイカ	越前沖	平成 28 年 5 月 9 日	肝臓
福井第一	スルメイカ	越前沖	平成 28 年 10 月 2 日	肝臓
羅臼	スルメイカ	羅臼沖	平成 28 年 10 月 27 日	肝臓
大和堆	スルメイカ	大和堆	平成 28 年 10 月 21 日	肝臓
核燃	スルメイカ	泊沖	平成 28 年 7 月 25 日	肝臓
核燃	スルメイカ	泊沖	平成 28 年 11 月 11 日	肝臓
核燃	スルメイカ	山田沖	平成 28 年 6 月 18 日	肝臓
四国沖	アオリイカ	室戸市高岡沖	平成 28 年 11 月 13 日	内臓
核燃	ヤリイカ	山田沖	平成 28 年 11 月 2 日	内臓

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 Fe、Th 及び U 等を分離し、樹脂に吸着した Pu 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。

海底土については、文部科学省放射能測定法シリーズ「環境試料採取法」に準じて前処理を行ったのち、スルメイカ同様に文部科学省放射能測定法シリーズ「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、分析環境の汚染（とりわけ、 $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ ) 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 にて  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  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

本調査における分析方法の妥当性を確認するために行った標準物質の測定結果を表 I-2-2-1-2 に示す。その結果、文献値と一致していることから本分析方法の妥当性は確認された。

発電所周辺海域における海底土中の  $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$  原子数比を表 I-2-2-1-3 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 0.459~0.555 であり、東電福島第一原発事故由来の放射性 Cs の影響を強く受けた環境試料中の範囲 0.333~0.375<sup>4)</sup> よりも高い比であった。これは事故前に存在する  $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$  原子数比の影響<sup>5)</sup>を受けている可能性がある。そこで、これまで得られた事故前の  $^{137}\text{Cs}$  濃度(表 I-2-2-1-3)、事故後の平成 28 年度の  $^{137}\text{Cs}$  濃度(資料 2-1-4~8) との放射能比、事故前の  $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$  原子数比 ( $2.7 \pm 0.5$ )<sup>5)</sup>、事故後の  $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$  原子数比 (0.333~0.375)<sup>4)</sup>を用いて、対象の  $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$  原子数比を推定した。その結果、上記の福島第一及び茨城海域での試料の推定値は  $0.42 \pm 0.046$  であり、本調査で得られた結果の値±誤差と重なった。

表 I-2-2-1-2 標準物質中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度及び  $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$  原子数比

標準物質名	試料	$^{137}\text{Cs}$ (Bq/kg-乾燥)	$^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 原子数比	参照
IAEA330	ハウレンソウ	1050 (平成 26 年 1 月 1 日時点)	0.57 ± 0.03	Snow <i>et al.</i> <sup>2)</sup>
			0.570 ± 0.076	本調査
IAEA385	沿岸海底土 (アイリッシュ海)	23.3 (平成 23 年 3 月 11 日時点)	1.21 ± 0.14	Zheng <i>et al.</i> <sup>3)</sup>
			1.05 ± 0.37	本調査

表 I -2-2-1-3 海底土中の  $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$  原子数比及び事故前の  $^{137}\text{Cs}$  濃度

海域	測点	$^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$ (Bq/kg-乾燥土)*	事故前 $^{137}\text{Cs}$ (Bq/kg-乾燥土)**
		原子数比 (cps/cps)		
福島第一	1	0.555 ± 0.145	20	0.9
	2	0.504 ± 0.157	28	1.2
	3	—	37	0.9
	4	0.471 ± 0.115	69	0.9
福島第二	1	0.481 ± 0.166	93	0.9
	2	—	15	1.1
	3	—	25	1.2
	4	—	23	1.1
茨城	1	0.476 ± 0.142	80	1.2
	2	0.459 ± 0.100	37	1.1
新潟	1	—	11	5.6
	2	—	9.8	7.0
	3	—	9.6	6.5
	4	—	2.7	2.5

— ICP-MS による  $^{135}\text{Cs}$  もしくは  $^{137}\text{Cs}$  の測定値 (CPS) に妨害元素の影響が認められた、もしくは回収率が 20%以下で検出不可であった。

\* 平成 28 年度の結果

\*\* 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 28 年度に分析したスルメイカ等の肝臓等の  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度及び  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  比を表 I -2-2-1-4 に示す。また、本調査で漁獲されたスルメイカの筋肉部の放射性 Cs について、 $^{137}\text{Cs}$  濃度は津軽海域のスルメイカがそれぞれ 0.042Bq/kg-生鮮物及び 0.037Bq/kg-生鮮物、羅臼海域のスルメイカが 0.044Bq/kg-生鮮物であり、「1. 海洋放射能調査海域周辺での調査」で得られた同海域のスルメイカ試料の濃度と一致した。また、 $^{134}\text{Cs}$  濃度は全て不検出であった。肝臓及び内臓について  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度は ND～0.013Bq/kg-生鮮物の範囲であり、平均値は 0.0046Bq/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の放射能調査」において得られた時系列的な核燃海域等のスルメイカ肝臓の  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度推移から、漁期である 4～9 月の試料が 10～12 月の試料に比べて高く、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。更に漁獲された海域の違いもあり、特に対照海域（大和堆）では、平成 13 年度に調査を開始して以来、他の海域に比べて高い傾向である。

前述の通り、スルメイカ等肝臓等の  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度は漁期あるいは海域により違いが見られるが、 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  原子数比はほぼ一定であり、平成 28 年度の全海域の平均値は  $0.228 \pm 0.0126$  となった。また、ヤリイカの内臓原子数比は  $0.233 \pm 0.085$  であった。これらは、過去のスルメイカの原子数比  $0.226 \pm 0.010$  (平成 20 年度)、 $0.222 \pm 0.009$  (平成 21 年度)、 $0.228 \pm 0.011$  (平成 22 年度)、 $0.226 \pm 0.006$  (平成 23 年度)、 $0.228 \pm 0.008$  (平成 24 年度)、 $0.214 \pm 0.015$  (平成 25 年度)、 $0.224 \pm 0.008$  (平成 26 年度) 及び  $0.233 \pm 0.016$  (平成 27 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肝臓等の  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  原子数比の、平成 15～28 年度での平均値と標準偏差は、核燃海域が  $0.226 \pm 0.019$ 、津軽海峡が  $0.230 \pm 0.011$ 、羅臼沖が  $0.220 \pm 0.018$ 、福井第一海域が  $0.228 \pm 0.018$ 、対照海域(大和堆)が  $0.233 \pm 0.006$  であり、海域によらず同程度であった。これらの数値は、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を調べて得られた肝臓の  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  原子数比である  $0.216 \pm 0.021^{4)}$ ともよく合っていたことから、平成 28 年度の調査で検出されたスルメイカ肝臓の Pu も過去の核実験によるものと考えられる。

表 I-2-2-1-4 スルメイカ等の肝臓等の  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度、 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  原子数比

調査海域	種名	部位	漁獲年月日	$^{239+240}\text{Pu}$	$^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比
				(Bq/kg-生鮮物)	
津軽	スルメイカ	肝臓	平成 28 年 7 月 19 日	$0.0026 \pm 0.00034$	$0.236 \pm 0.015$
津軽	スルメイカ	肝臓	平成 28 年 10 月 31 日	$0.0008 \pm 0.00015$	$0.244 \pm 0.032$
福井第一	スルメイカ	肝臓	平成 28 年 5 月 9 日	$0.0063 \pm 0.00050$	$0.229 \pm 0.014$
福井第一	スルメイカ	肝臓	平成 28 年 10 月 2 日	$0.0035 \pm 0.00035$	$0.224 \pm 0.020$
羅臼	スルメイカ	肝臓	平成 28 年 10 月 27 日	$0.0017 \pm 0.00022$	$0.216 \pm 0.022$
大和堆	スルメイカ	肝臓	平成 28 年 10 月 21 日	$0.0135 \pm 0.00069$	$0.235 \pm 0.009$
核燃	スルメイカ	肝臓	平成 28 年 7 月 25 日	$0.0023 \pm 0.00032$	$0.202 \pm 0.008$
核燃	スルメイカ	肝臓	平成 28 年 11 月 11 日	$0.0007 \pm 0.00013$	$0.234 \pm 0.038$
核燃	スルメイカ	肝臓	平成 28 年 6 月 18 日	$0.0105 \pm 0.00094$	$0.235 \pm 0.009$
四国沖	アオリイカ	内臓	平成 28 年 11 月 13 日	ND	ND
核燃	ヤリイカ	内臓	平成 28 年 11 月 2 日	ND	$0.233 \pm 0.085$

ND 検出下限値以下



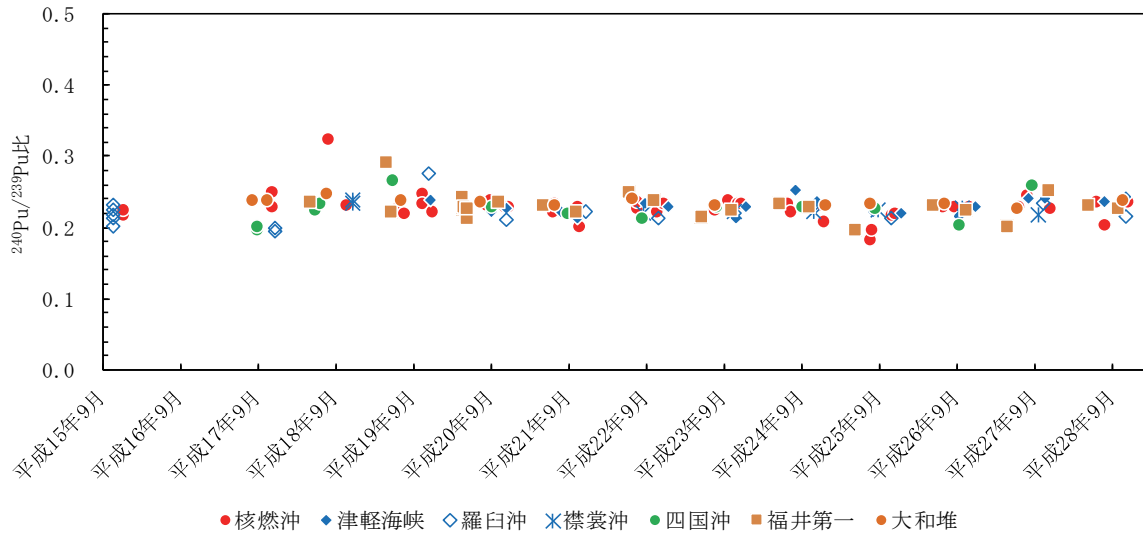


図 I-2-2-1-1 スルメイカ肝臓の  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  原子数比

### iii. 海底土試料に含まれる $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度

平成 28 年度の分析結果を表 I-2-2-1-5 に示す。 $^{239+240}\text{Pu}$  濃度は、0.42~3.03Bq/kg-乾燥土の範囲にあった。このうち、青森海域（測点 2）で最も高い値（3.03Bq/kg-乾燥土）となり、平成 27 年度（3.7Bq/kg-乾燥土）と同程度の結果となった。平成 28 年度の濃度範囲は、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中  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度の範囲と比較して、同程度であった。

### iv. 海底土試料の $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比

平成 28 年度の  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  原子数比は、0.221~0.271 の範囲にあり、平成 20~27 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  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  原子数比（0.303~0.330）<sup>7)</sup> よりも低いことから、東電福島第一原発事故由来の  $^{239+240}\text{Pu}$  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、 $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$  原子数比は  $^{137}\text{Cs}$  濃度が低い試料（100Bq/kg-乾燥土未満）での分析となり、いくつかは不検出であったが、平成 27 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 Cs 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中の  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度は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、 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  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中の Pu は過去の核実験由来と考えられる。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、 $^{239+240}\text{Pu}$ 分析及び $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比とも、東電福島第一原発事故前と同程度の濃度及び原子数比であったことから、過去の核実験由来以外のPuは確認されなかった。

表 I -2-2-1-5 発電所海域における海底土試料中  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度  
及び  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  原子数比

採取海域	測点	採取日	$^{239+240}\text{Pu}$	$^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比
			(Bq/kg-乾燥土)	
北海道	2	平成 28 年 5 月 22 日	2.30 ± 0.08	0.230 ± 0.007
青森	2	平成 28 年 5 月 18 日	3.03 ± 0.17	0.223 ± 0.008
宮城	2	平成 28 年 6 月 15 日	0.59 ± 0.03	0.240 ± 0.012
福島第一	2	平成 28 年 6 月 18 日	2.46 ± 0.12	0.227 ± 0.006
福島第二	2	平成 28 年 6 月 20 日	0.76 ± 0.04	0.250 ± 0.012
茨城	2	平成 28 年 6 月 21 日	0.94 ± 0.04	0.248 ± 0.010
静岡	4	平成 28 年 6 月 24 日	1.44 ± 0.08	0.247 ± 0.006
新潟	2	平成 28 年 6 月 5 日	1.41 ± 0.07	0.221 ± 0.007
石川	2	平成 28 年 6 月 3 日	0.94 ± 0.05	0.242 ± 0.012
福井第一	2	平成 28 年 6 月 1 日	0.86 ± 0.04	0.244 ± 0.012
福井第二	2	平成 28 年 5 月 31 日	2.07 ± 0.09	0.236 ± 0.007
島根	2	平成 28 年 5 月 30 日	0.48 ± 0.03	0.255 ± 0.016
愛媛	2	平成 28 年 5 月 27 日	0.42 ± 0.02	0.260 ± 0.016
佐賀	2	平成 28 年 5 月 26 日	0.50 ± 0.04	0.271 ± 0.012
鹿児島	2	平成 28 年 5 月 25 日	0.77 ± 0.04	0.270 ± 0.011

## 引用文献

- 1) Zheng, J., Bu, W., Tagami, K., Shikamori, Y., Nakano, K., Uchida, S. and Ishii, N. (2014). Determination of  $^{135}\text{Cs}$ , 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) Snow, M. and Snyder, D.C. (2016).  $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$  isotopic composition of environmental samples across Europe: Environmental transport and source term emission applications J. Environ. Radioact., 151, 258–263.
- 4) Zheng, J., Cao, L., Tagami, K. and Uchida. (2016). Triple-quadrupole inductively coupled plasma-mass spectrometry with a high-efficiency sample introduction system for ultratrace determination of  $^{135}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in environmental samples at femtogram levels. Anal. Chem., 88, 8772–8779.
- 5) Russell, B. C., Coudace, I.W. and Warwick, P.E. (2015). Determination of  $^{135}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in environmental samples: A review. Anal. Chim. Acta, 890, 7–20.
- 6) 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.
- 7) 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 $^{129}\text{I}$ 濃度

### ① はじめに

核燃海域では、再処理施設の稼働に伴い  $^{129}\text{I}$  の濃度レベルが変動することが予想されるため、この  $^{129}\text{I}$  濃度の変動を把握することを目的に、核燃海域等で採水し、加速器質量分析計 (Accelerator Mass Spectrometer。以下「AMS」という。) を用いて  $^{129}\text{I}$  及び安定ヨウ素の濃度を調査した。また、東電福島第一原発事故により、新たに大気中に放出された  $^{129}\text{I}$  が核燃海域等へ到達した状況を調査するとともに、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検討を行った。

### ② 方法

#### i. 試料

表記の簡略化のため発電所海域及び核燃海域での採水測点に略号を用いた。略号を表 I -2-2-2-1 に示す。

表 I -2-2-2-1 発電所海域、核燃海域及び対照海域での採水測点とその略号

発電所海域	測点	略号	核燃海域	測点	略号	核燃海域	測点	略号
青森海域	1	HG1	核燃海域	1	AM1	核燃海域	17	AM17
青森海域	2	HG2	核燃海域	2	AM2	核燃海域	18	AM18
青森海域	3	HG3	核燃海域	3	AM3	核燃海域	19	AM19
青森海域	4	HG4	核燃海域	4	AM4	核燃海域	20	AM20
宮城海域	1	MI1	核燃海域	5	AM5	核燃海域	21	AM21
宮城海域	2	MI2	核燃海域	6	AM6	核燃海域	22	AM22
宮城海域	3	MI3	核燃海域	7	AM7			
宮城海域	4	MI4	核燃海域	8	AM8	対照海域	測点	略号
福島第一海域	3	FSN3	核燃海域	9	AM9	襟裳沖海域 (核燃沖)	2	T2
福島第一海域	4	FSN4	核燃海域	10	AM10	襟裳沖海域 (襟裳沖)	11	E11
福島第二海域	1	FSS1	核燃海域	11	AM11	襟裳沖海域 (釧路沖)	2	K2
福島第二海域	2	FSS2	核燃海域	12	AM12	大和堆海域	1	YR1
茨城海域	1	IB1	核燃海域	13	AM13	大和堆海域	4	YR4
茨城海域	2	IB2	核燃海域	14	AM14	四国沖海域	1	KC1
茨城海域	3	IB3	核燃海域	15	AM15			
茨城海域	4	IB4	核燃海域	16	AM16			

発電所海域である青森 (HG1~HG4)、宮城 (MI1~MI4)、福島第一・福島第二 (FSN3、4、FSS1、2) 及び茨城 (IB1~IB4) の各海域では、平成 28 年 5~6 月の年 1 回、各測点で表層水を採取した。

核燃海域 (AM1~AM22) では、平成 28 年 5 月 (前期) 及び同年 10 月 (後期) の年 2 回、各測点で表層水を採取した。

対照海域の大和堆海域 (YR1、YR4)、四国沖海域 (KC1) 及び襟裳沖海域 (T2、E11、K2) では平成 27 年 5 月の年 1 回、表層から底層間で複数層から採水した。

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る。

海藻は、再処理施設の排水が到達する可能性のある下北沖海域及び岩手県三陸沖海域のマコンブを収集し、その対照とするため津軽海峡のマコンブ及び根室海峡のオニコンプをあわせて収集した。なお平成 26 年度まで、根室海峡で採集した試料にエナガオニコンプ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<sup>1)</sup>の分類体系に従い、平成 27 年度よりエナガオニコンプの標準和名であるオニコンプに変更した。

## ii. 分析

<sup>129</sup>I の分析には極微量の長半減期の放射性同位体を測定するのに適した加速器質量分析法を用いた。本法は、測定したい同位体と同時に安定同位体を測定し、得られた同位体比と安定同位体の絶対量から測定したい同位体の絶対量を求めるというものである。

賀佐らの方法<sup>2)</sup>の改良法に従い、アスコルビン酸還元法により海水中のヨウ素酸イオンをヨウ化物イオンに還元した後、溶媒抽出法によりヨウ化銀として回収した。AMS の測定には、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構青森研究開発センターむつ事務所に設置されているタンデトロン加速器質量分析装置（オランダ High Voltage Engineering Europa 製 model 4130-AMS）を使用した。測定に先立ち、ビームトランスミッションが最適となる電圧、電流値を決定するため、標準試料によって装置の最適化を実施した。また、安定な測定を確保するため、測定前に全ての試料について短時間のスパッタリングおよび短時間測定を実施し、試料の安定性を確認した。以上の操作を終了後、標準試料及び各種試料の測定を 1 試料当たり 90 分（10 分×9 サイクル）実施した。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ー<sup>3)</sup>で測定した。

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た後、AMS 分析試料とした。

平成 19、20 年度は 3g を分取し、燃焼装置を用いて燃焼させ、発生したヨウ素を活性炭に吸着させた。その活性炭から水酸化ナトリウム溶液でヨウ素を溶出した後、固相抽出法によりヨウ素を抽出した。次いで、銀担体を添加し、生成したヨウ化銀を遠心分離した後に乾燥し、AMS 分析用試料とした。

平成 21 年度以降は、分取量を 1g とし、これにヨウ素担体を 200mg 添加した後、水酸化ナトリウム粉末と混合し、この混合物を水酸化ナトリウム粉末で覆い、メッセルガスバーナーを用いて加熱・溶解した。融成物を水に溶解し、メンブランフィルターを用いて吸引濾過した濾液をキシレンで溶媒抽出し、ヨウ素を分離・精製した後、ヨウ素を水に逆抽出した。抽出したヨウ素は銀担体を添加し、生成させたヨウ化銀沈殿として分離した。沈殿は遠心分離した後に乾燥させ、AMS 分析用試料とした。

なお、試料中の安定ヨウ素の定量は、インジウムを内標準とした誘導結合プラズマ質量分析法により行った。

### ③ 結果

#### i. 核燃海域の海水の安定ヨウ素及び $^{129}\text{I}$ の濃度

核燃海域で採取した表層水の安定ヨウ素及び  $^{129}\text{I}$  の濃度を表 I-2-2-2-2、表 I-2-2-2-3 に示す。平成 28 年度の安定ヨウ素濃度の平均値と標準偏差は、前期が  $52.0 \pm 0.5 \mu\text{g/L}$ 、後期が  $52.2 \pm 0.3 \mu\text{g/L}$  であった。平成 18~22 年度の安定ヨウ素濃度の平均値と標準偏差は前期が  $51.6 \pm 0.4 \mu\text{g/L}$ 、後期が  $51.9 \pm 0.6 \mu\text{g/L}$  であり、平成 28 年度の値はこれと同程度であった。

表 I-2-2-2-2 核燃海域、青森海域、核燃沖表層水の安定ヨウ素及び  $^{129}\text{I}$  濃度（前期）

採取地点	採取日	安定ヨウ素 ( $\times 10^{-6}$ g/L)	$^{129}\text{I}$ ( $\times 10^6$ atoms/L)	$^{129}\text{I}$ ( $\times 10^{-9}$ Bq/L)
AM1	平成 28 年 5 月 15 日	51.5 ± 0.30	17.5 ± 1.3	24.6 ± 1.8
AM2	平成 28 年 5 月 9 日	51.8 ± 0.29	18.4 ± 1.3	25.8 ± 1.9
AM3	平成 28 年 5 月 9 日	52.5 ± 0.27	17.0 ± 0.7	23.7 ± 1.0
AM4	平成 28 年 5 月 17 日	51.3 ± 0.31	17.0 ± 0.4	23.8 ± 0.6
AM5	平成 28 年 5 月 9 日	52.4 ± 0.28	16.9 ± 1.5	23.7 ± 2.1
AM6	平成 28 年 5 月 15 日	52.2 ± 0.31	16.9 ± 1.2	23.7 ± 1.7
AM7	平成 28 年 5 月 17 日	52.4 ± 0.28	15.9 ± 0.5	22.2 ± 0.7
AM8	平成 28 年 5 月 13 日	52.7 ± 0.27	16.2 ± 2.1	22.6 ± 2.9
AM9	平成 28 年 5 月 13 日	52.5 ± 0.28	17.7 ± 0.7	24.8 ± 1.0
AM10	平成 28 年 5 月 13 日	51.1 ± 0.27	16.7 ± 1.1	23.4 ± 1.6
AM11	平成 28 年 5 月 17 日	52.4 ± 0.34	16.2 ± 0.9	22.7 ± 1.3
AM12	平成 28 年 5 月 14 日	52.7 ± 0.34	17.0 ± 0.5	23.8 ± 0.7
AM13	平成 28 年 5 月 14 日	51.7 ± 0.33	16.7 ± 0.9	23.3 ± 1.3
AM14	平成 28 年 5 月 23 日	51.7 ± 0.35	16.1 ± 0.3	22.5 ± 0.5
AM15	平成 28 年 5 月 14 日	52.3 ± 0.38	16.5 ± 0.8	23.1 ± 1.1
AM16	平成 28 年 5 月 23 日	51.3 ± 0.33	16.3 ± 1.3	22.8 ± 1.9
AM17	平成 28 年 5 月 9 日	52.1 ± 0.38	15.4 ± 0.8	21.6 ± 1.2
AM18	平成 28 年 5 月 9 日	52.3 ± 0.33	15.9 ± 2.2	22.3 ± 3.1
AM19	平成 28 年 5 月 8 日	51.7 ± 0.33	17.6 ± 0.5	24.6 ± 0.7
AM20	平成 28 年 5 月 10 日	51.8 ± 0.35	15.5 ± 0.6	21.6 ± 0.8
AM21	平成 28 年 5 月 10 日	51.1 ± 0.41	16.7 ± 0.6	23.4 ± 0.9
AM22	平成 28 年 5 月 10 日	53.1 ± 0.39	16.7 ± 0.8	23.4 ± 1.2
HG1	平成 28 年 5 月 23 日	52.1 ± 0.16	15.8 ± 1.6	22.2 ± 2.2
HG2	平成 28 年 5 月 18 日	52.3 ± 0.18	16.8 ± 0.8	23.6 ± 1.2
HG3	平成 28 年 5 月 24 日	51.7 ± 0.23	15.7 ± 0.6	22.0 ± 0.9
HG4	平成 28 年 5 月 24 日	52.3 ± 0.17	16.4 ± 1.6	23.0 ± 2.3
T2	平成 28 年 5 月 23 日	52.3 ± 0.16	17.2 ± 1.4	24.1 ± 2.0

平成 22 年度以降の各測点における表層水の  $^{129}\text{I}$  濃度の推移を図 I-2-2-2-1 に示す。平成 23 年度前期の AM4、AM5、AM22 で  $^{129}\text{I}$  濃度の上昇が見られた。調査期間中に再処理施設からの  $^{129}\text{I}$  の放出はなく、東電福島第一原発事故の影響と考えられる。

平成 28 年度における表層水の  $^{129}\text{I}$  濃度の平均値と標準偏差は前期が  $(23.3 \pm 1.0) \times 10^{-9}\text{Bq/L}$ 、後期が  $(22.5 \pm 1.1) \times 10^{-9}\text{Bq/L}$  であった。図 I-2-2-2-2 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 20 年度後期から平成 22 年度までの値と同程度であった。

津軽海峡東側出口にある核燃沖海域の T2 の  $^{129}\text{I}$  濃度は、平成 18~22 年度までの平均値と標準偏差が  $(23.6 \pm 2.9) \times 10^{-9}\text{Bq/L}$  であり、平成 28 年度前期の  $24.1 \times 10^{-9}\text{Bq/L}$ 、後期の  $21.9 \times 10^{-9}\text{Bq/L}$  はこの範囲であった。

表 I-2-2-2-3 核燃海域、青森海域、核燃沖海域表層水の安定ヨウ素及び  $^{129}\text{I}$  濃度（後期）

採取地点	採取日	安定ヨウ素 ( $\times 10^{-6}$ g/L)	$^{129}\text{I}$ ( $\times 10^6$ atoms/L)	$^{129}\text{I}$ ( $\times 10^{-9}$ Bq/L)
AM1	平成 28 年 10 月 9 日	52.0 ± 0.19	15.2 ± 1.1	21.3 ± 1.5
AM2	平成 28 年 10 月 9 日	52.4 ± 0.15	14.9 ± 1.2	20.9 ± 1.7
AM3	平成 28 年 10 月 9 日	52.2 ± 0.13	15.1 ± 0.6	21.2 ± 0.8
AM4	平成 28 年 10 月 6 日	51.5 ± 0.17	16.8 ± 1.3	23.6 ± 1.9
AM5	平成 28 年 10 月 5 日	52.0 ± 0.16	15.7 ± 1.1	21.9 ± 1.6
AM6	平成 28 年 10 月 5 日	52.0 ± 0.13	15.0 ± 1.2	21.0 ± 1.7
AM7	平成 28 年 10 月 6 日	51.9 ± 0.16	16.7 ± 1.7	23.3 ± 2.4
AM8	平成 28 年 10 月 12 日	52.3 ± 0.16	15.8 ± 1.5	22.1 ± 2.1
AM9	平成 28 年 10 月 5 日	52.4 ± 0.17	16.4 ± 1.2	22.9 ± 1.6
AM10	平成 28 年 10 月 5 日	51.8 ± 0.23	16.1 ± 0.5	22.6 ± 0.7
AM11	平成 28 年 10 月 6 日	52.3 ± 0.22	17.3 ± 2.4	24.2 ± 3.4
AM12	平成 28 年 10 月 10 日	52.6 ± 0.24	16.1 ± 1.5	22.6 ± 2.1
AM13	平成 28 年 10 月 8 日	52.4 ± 0.27	17.4 ± 1.3	24.3 ± 1.9
AM14	平成 28 年 10 月 10 日	52.7 ± 0.23	15.9 ± 0.7	22.3 ± 1.0
AM15	平成 28 年 10 月 8 日	52.1 ± 0.25	15.0 ± 1.5	21.0 ± 2.1
AM16	平成 28 年 10 月 8 日	52.0 ± 0.21	16.2 ± 1.7	22.7 ± 2.4
AM17	平成 28 年 10 月 13 日	52.7 ± 0.24	16.3 ± 0.9	22.9 ± 1.3
AM18	平成 28 年 10 月 13 日	52.2 ± 0.21	17.5 ± 1.9	24.6 ± 2.6
AM19	平成 28 年 10 月 14 日	52.6 ± 0.22	15.1 ± 0.8	21.1 ± 1.1
AM20	平成 28 年 10 月 13 日	51.7 ± 0.23	16.9 ± 0.7	23.7 ± 1.0
AM21	平成 28 年 10 月 14 日	51.9 ± 0.21	16.4 ± 1.0	23.0 ± 1.4
AM22	平成 28 年 10 月 14 日	51.9 ± 0.21	15.9 ± 1.0	22.3 ± 1.3
T2	平成 28 年 10 月 15 日	52.0 ± 0.21	15.6 ± 0.5	21.9 ± 0.7

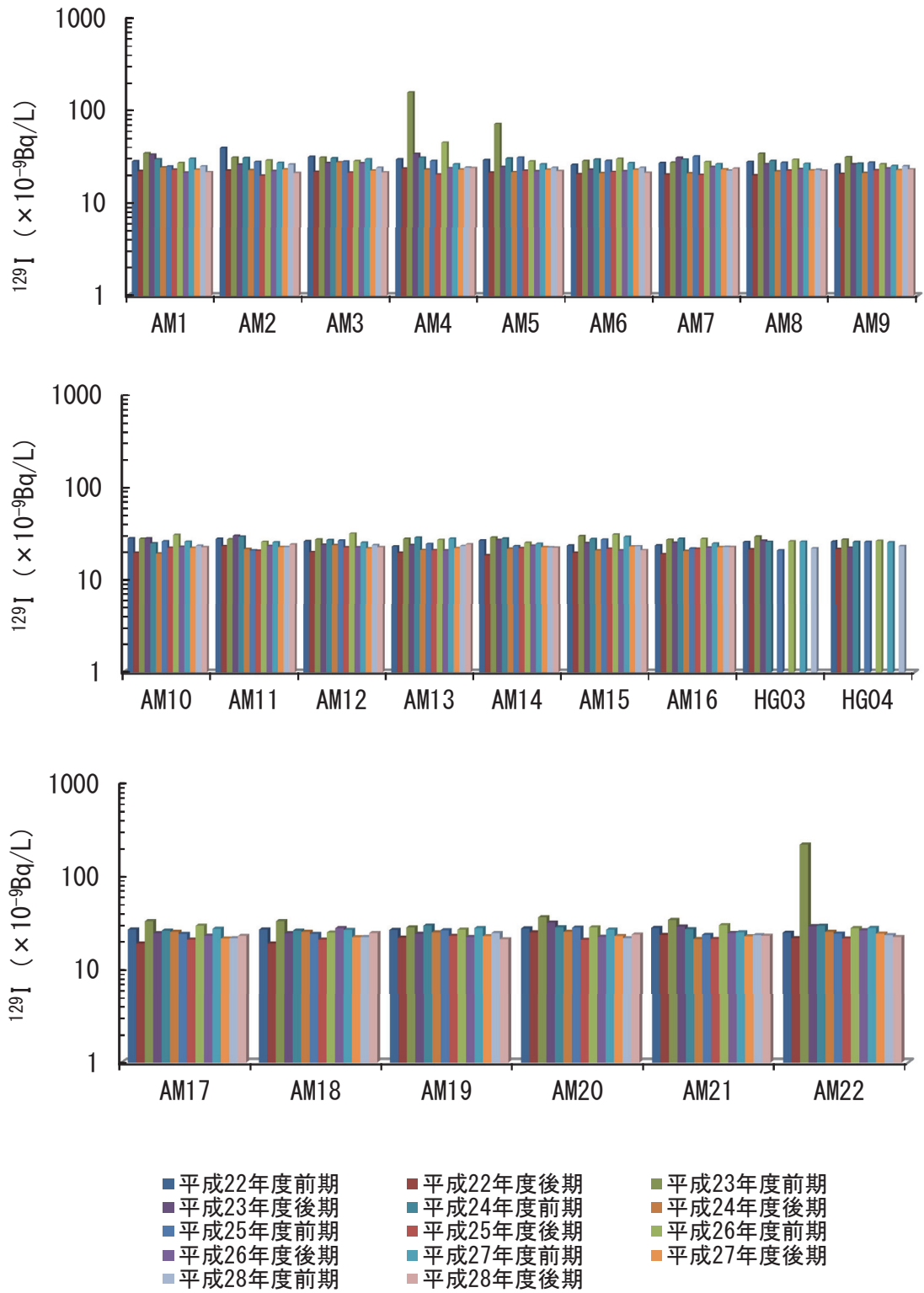


図 I-2-2-2-1 核燃海域の各測点における表層水の  $^{129}\text{I}$  濃度の推移



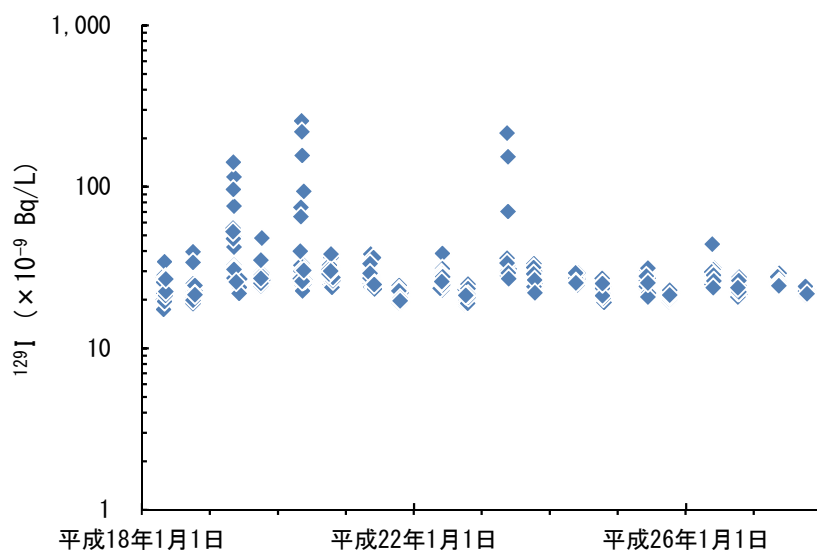


図 I-2-2-2-2 核燃海域及びその周辺海域における表層水の  $^{129}\text{I}$  濃度の推移

## ii. 他海域の安定ヨウ素及び $^{129}\text{I}$ 濃度

核燃海域を南下する海流が到達する可能性のある宮城、福島及び茨城海域の他、対照海域の大和堆海域、四国沖海域及び襟裳沖海域でも海水を採取し、分析に供した。それぞれの測点で得られた安定ヨウ素及び  $^{129}\text{I}$  濃度を表 I-2-2-2-4、表 I-2-2-2-5 に示す。また、宮城、福島、茨城海域の表層水の  $^{129}\text{I}$  濃度の推移を図 I-2-2-2-3 に、大和堆海域、四国沖海域及び襟裳沖海域の表層水の  $^{129}\text{I}$  濃度の推移を図 I-2-2-2-4～6 に示す。

平成 28 年度の安定ヨウ素濃度は、宮城海域が  $51.7\sim 52.8\ \mu\text{g/L}$ 、福島海域が  $51.9\sim 54.1\ \mu\text{g/L}$ 、茨城海域が  $54.3\sim 55.0\ \mu\text{g/L}$  であった。平成 18～22 年度の各海域の安定ヨウ素濃度の範囲は、宮城海域が  $47.7\sim 53.7\ \mu\text{g/L}$ 、福島海域が  $49.8\sim 54.1\ \mu\text{g/L}$ 、茨城海域が  $47.3\sim 54.9\ \mu\text{g/L}$  であり、平成 28 年度は事故前と同程度であった。

平成 23 年度は、東電福島第一原発事故により、福島海域では採水した 4 測点全てで  $^{129}\text{I}$  濃度の上昇が見られたが、上昇の度合いは福島第一海域の FSN4 以南で大きかった。平成 24 年度は、FSN3 では  $^{129}\text{I}$  濃度にあまり変化がなかったのに対し、FSN4、FSS1、FSS2 では減少し、FSS1、FSS2 では事故前のレベルに戻っている。平成 25 年度は、FSN3、FSN4、FSS1 が前年度と大差なかったのに対し、FSS2 は約 8 倍に上昇した（図 I-2-2-2-3）。平成 26～28 年度は、いずれの測点でも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 年度の再処理施設稼働に伴う  $^{129}\text{I}$  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、21 年度のレベルまで低下し、平成 28 年度は平成 24～27 年度と同程度であった。

茨城海域では、平成 23 年度は IB1 を除き、 $^{129}\text{I}$  濃度の上昇が見られなかった。平成 24 年度は各測点で  $^{129}\text{I}$  濃度が平成 23 年度の 10～20 倍に上昇した。平成 25 年度は IB2、IB3、

IB4 で平成 24 年度の値の約 20%相当まで低下したが、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  $^{129}\text{I}$  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。平成 26~28 年度はいずれの測点でも事故前のレベルに戻った。

表 I-2-2-2-4 宮城 (MI)、福島 (FSN、FSS)、茨城 (IB) の各海域表層水の安定ヨウ素及び  $^{129}\text{I}$  濃度

採取地点	採取日	安定ヨウ素 ( $\times 10^{-6}$ g/L)	$^{129}\text{I}$ ( $\times 10^6$ atoms/L)	$^{129}\text{I}$ ( $\times 10^{-9}$ Bq/L)
MI1	平成 28 年 6 月 15 日	52.4 $\pm$ 0.25	20.9 $\pm$ 1.2	29.3 $\pm$ 1.7
MI2	平成 28 年 6 月 15 日	51.7 $\pm$ 0.20	21.5 $\pm$ 1.2	30.0 $\pm$ 1.6
MI3	平成 28 年 6 月 15 日	52.8 $\pm$ 0.23	16.4 $\pm$ 1.3	23.0 $\pm$ 1.8
MI4	平成 28 年 6 月 16 日	51.8 $\pm$ 0.24	22.5 $\pm$ 0.7	31.4 $\pm$ 0.9
FSN3	平成 28 年 6 月 18 日	51.9 $\pm$ 0.26	23.7 $\pm$ 1.5	33.2 $\pm$ 2.1
FSN4	平成 28 年 6 月 19 日	51.9 $\pm$ 0.26	23.7 $\pm$ 1.1	33.1 $\pm$ 1.6
FSS1	平成 28 年 6 月 19 日	52.7 $\pm$ 0.29	27.0 $\pm$ 1.3	37.8 $\pm$ 1.8
FSS2	平成 28 年 6 月 20 日	54.1 $\pm$ 0.27	18.5 $\pm$ 1.4	25.9 $\pm$ 2.0
IB1	平成 28 年 6 月 21 日	54.3 $\pm$ 0.30	17.7 $\pm$ 1.0	24.8 $\pm$ 1.4
IB2	平成 28 年 6 月 21 日	54.9 $\pm$ 0.30	14.3 $\pm$ 0.8	20.0 $\pm$ 1.1
IB3	平成 28 年 6 月 22 日	55.0 $\pm$ 0.29	13.5 $\pm$ 1.4	18.9 $\pm$ 2.0
IB4	平成 28 年 6 月 22 日	54.9 $\pm$ 0.27	12.8 $\pm$ 1.2	17.9 $\pm$ 1.7

表 I-2-2-2-5 対照海域[大和堆海域 (YR)、四国沖海域 (KC)、襟裳沖海域 (E、K)]の海水中の安定ヨウ素及び  $^{129}\text{I}$  濃度

採取地点	採取日	採取深度 (m)	安定ヨウ素 ( $\times 10^{-6}$ g/L)	$^{129}\text{I}$ ( $\times 10^6$ atoms/L)	$^{129}\text{I}$ ( $\times 10^{-9}$ Bq/L)
YR1	平成 28 年 6 月 6 日	1	53.5 $\pm$ 0.33	20.6 $\pm$ 1.4	28.8 $\pm$ 2.0
YR1	平成 28 年 6 月 6 日	250	55.2 $\pm$ 0.33	20.4 $\pm$ 0.7	28.6 $\pm$ 1.0
YR1	平成 28 年 6 月 6 日	500	56.4 $\pm$ 0.33	16.0 $\pm$ 1.2	22.4 $\pm$ 1.7
YR1	平成 28 年 6 月 6 日	750	57.2 $\pm$ 0.39	12.3 $\pm$ 1.2	17.2 $\pm$ 1.7
YR1	平成 28 年 6 月 6 日	1000	57.6 $\pm$ 0.33	11.0 $\pm$ 0.5	15.4 $\pm$ 0.7
YR1	平成 28 年 6 月 6 日	3500	58.2 $\pm$ 0.34	2.4 $\pm$ 0.4	定量下限値 <sup>1)</sup> 未満
YR4	平成 28 年 6 月 7 日	1	53.0 $\pm$ 0.35	20.8 $\pm$ 0.8	29.1 $\pm$ 1.1
KC1	平成 28 年 5 月 23 日	1	52.0 $\pm$ 0.18	11.0 $\pm$ 0.9	15.4 $\pm$ 1.3
KC1	平成 28 年 5 月 24 日	250	55.5 $\pm$ 0.28	12.0 $\pm$ 0.8	16.8 $\pm$ 1.1
KC1	平成 28 年 5 月 24 日	500	57.6 $\pm$ 0.22	7.8 $\pm$ 0.7	11.0 $\pm$ 1.0
KC1	平成 28 年 5 月 24 日	750	59.1 $\pm$ 0.23	3.1 $\pm$ 0.8	定量下限値 <sup>1)</sup> 未満
KC1	平成 28 年 5 月 23 日	1000	59.5 $\pm$ 0.23	2.0 $\pm$ 0.4	定量下限値 <sup>1)</sup> 未満
KC1	平成 28 年 5 月 23 日	1707	60.0 $\pm$ 0.24	0.6 $\pm$ 0.4	ND
E11	平成 28 年 5 月 20 日	1	52.9 $\pm$ 0.40	15.3 $\pm$ 0.5	21.4 $\pm$ 0.7
E11	平成 28 年 5 月 20 日	250	55.8 $\pm$ 0.41	11.7 $\pm$ 0.9	16.4 $\pm$ 1.3
E11	平成 28 年 5 月 20 日	750	59.2 $\pm$ 0.48	3.2 $\pm$ 0.5	定量下限値 <sup>2)</sup> 未満
E11	平成 28 年 5 月 20 日	1000	59.8 $\pm$ 0.44	1.9 $\pm$ 0.3	定量下限値 <sup>2)</sup> 未満
E11	平成 28 年 5 月 20 日	1250	59.9 $\pm$ 0.42	1.0 $\pm$ 0.5	ND
E11	平成 28 年 5 月 20 日	2050	60.3 $\pm$ 0.48	0.0 $\pm$ 0.4	ND
K2	平成 28 年 5 月 19 日	1	51.2 $\pm$ 0.21	18.5 $\pm$ 0.8	25.9 $\pm$ 1.2
E11	平成 28 年 10 月 8 日	1	51.2 $\pm$ 0.24	20.7 $\pm$ 1.2	29.0 $\pm$ 1.6

定量下限値<sup>1)</sup>:  $7.7 \times 10^{-9}$ Bq/L、定量下限値<sup>2)</sup>:  $7.1 \times 10^{-9}$ Bq/L

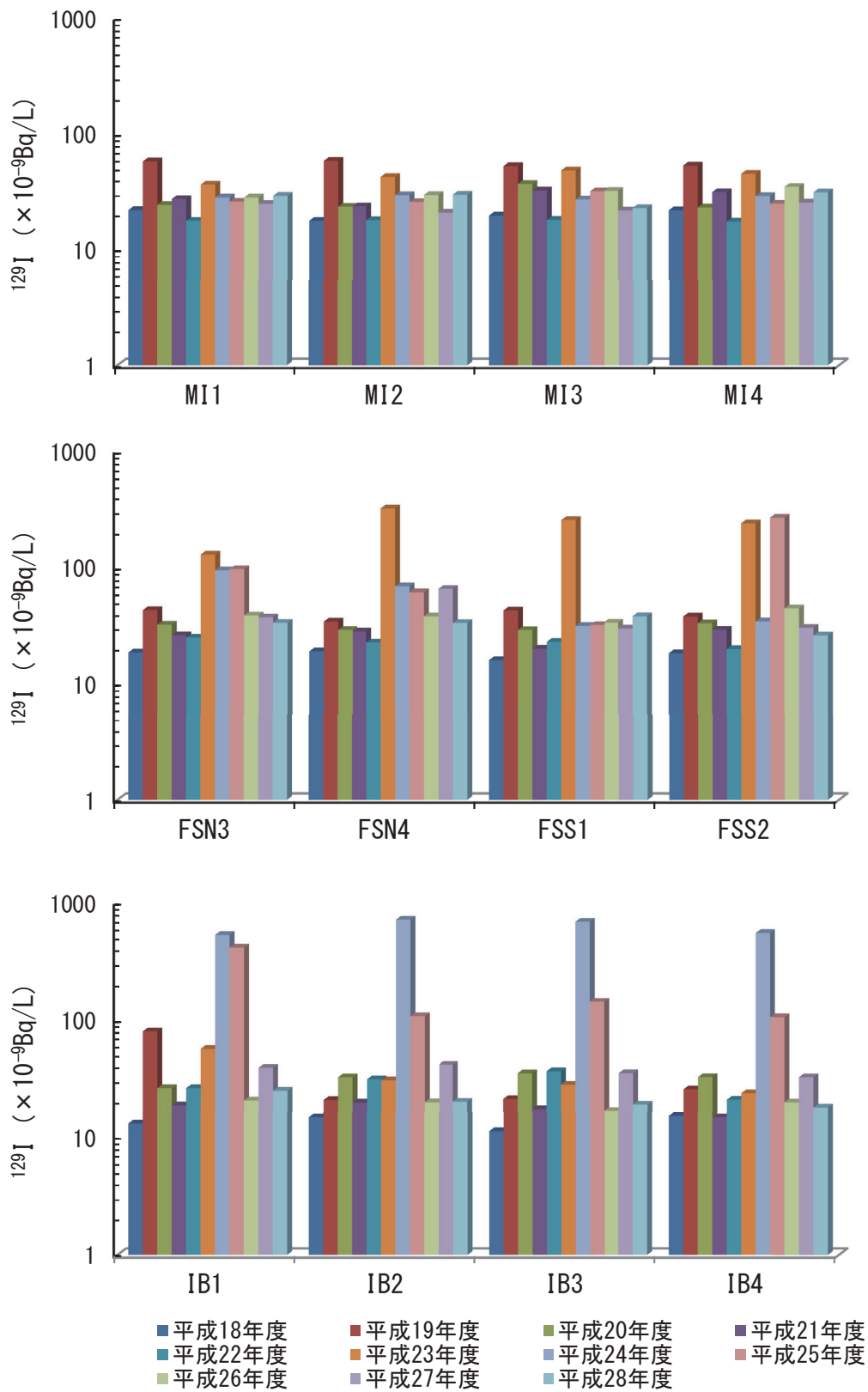


図 I-2-2-2-3 宮城 (MI)、福島 (FSN、FSS)、茨城 (IB) の各海域表層水  $^{129}\text{I}$  濃度の推移

平成 18～22 年度の表層水の安定ヨウ素濃度の平均値と標準偏差は、四国沖海域（KC1）が  $53.4 \pm 0.6 \mu\text{g/L}$ 、大和堆海域の YR1 が  $52.7 \pm 1.4 \mu\text{g/L}$ 、YR4 が  $53.2 \mu\text{g/L}$ （平成 22 年度のみ）、襟裳沖海域（E11）の前期が  $52.3 \pm 1.1 \mu\text{g/L}$ 、後期が  $52.5 \pm 1.4 \mu\text{g/L}$  であった。平成 28 年度の表層水の安定ヨウ素濃度は、四国沖海域が  $52.0 \mu\text{g/L}$ 、大和堆海域の YR1 が  $53.5 \mu\text{g/L}$ 、YR04 が  $53.0 \mu\text{g/L}$ 、襟裳沖海域（E11）の前期が  $52.9 \mu\text{g/L}$ 、後期が  $51.2 \mu\text{g/L}$  であり、いずれも事故前の値と同程度であった。

平成 18～22 年度の表層水の  $^{129}\text{I}$  濃度の平均値と標準偏差は四国沖海域が  $(15.5 \pm 2.6) \times 10^{-9}\text{Bq/L}$ 、大和堆海域の YR1 が  $(33.2 \pm 3.8) \times 10^{-9}\text{Bq/L}$ 、YR4 が  $28.1 \times 10^{-9}\text{Bq/L}$ （平成 22 年度のみ）であった。平成 28 年度における表層水の  $^{129}\text{I}$  濃度の平均値は、四国沖海域が  $15.4 \times 10^{-9}\text{Bq/L}$ 、大和堆海域の YR1 が  $28.8 \times 10^{-9}\text{Bq/L}$ 、YR4 が  $29.1 \times 10^{-9}\text{Bq/L}$  であり、いずれも事故前の値と同程度であった（図 I-2-2-2-4、図 I-2-2-2-5）。

襟裳沖海域（E11）における平成 18～22 年度の表層水の  $^{129}\text{I}$  濃度の平均値と標準偏差は、前期が  $(26.6 \pm 3.9) \times 10^{-9}\text{Bq/L}$ 、後期が  $(24.1 \pm 3.4) \times 10^{-9}\text{Bq/L}$  であった。また、平成 18、19 年度に試料を採取した E9 及び E13 の表層水の  $^{129}\text{I}$  濃度の平均値と標準偏差は、それぞれ  $(24.4 \pm 3.0) \times 10^{-9}\text{Bq/L}$  及び  $(26.8 \pm 3.8) \times 10^{-9}\text{Bq/L}$  であり、この海域の表層水の  $^{129}\text{I}$  濃度はおよそ  $25 \times 10^{-9}\text{Bq/L}$  であった。平成 23 年度の E11 の  $^{129}\text{I}$  濃度（約  $40 \times 10^{-9}\text{Bq/L}$ ）は、東電福島第一原発事故の影響が見られた。これに対して平成 28 年度の E11 の表層水の  $^{129}\text{I}$  濃度（前期： $21.4 \times 10^{-9}\text{Bq/L}$ 、後期： $29.0 \times 10^{-9}\text{Bq/L}$ ）は釧路沖海域（K2（ $25.9 \times 10^{-9}\text{Bq/L}$ ））を含めて、襟裳沖海域の事故前の値と同程度であった（図 I-2-2-2-6）。

なお、表層水の  $^{129}\text{I}$  濃度は対照海域の中では大和堆海域が最も高く、次いで襟裳沖海域、四国沖海域の順であった。

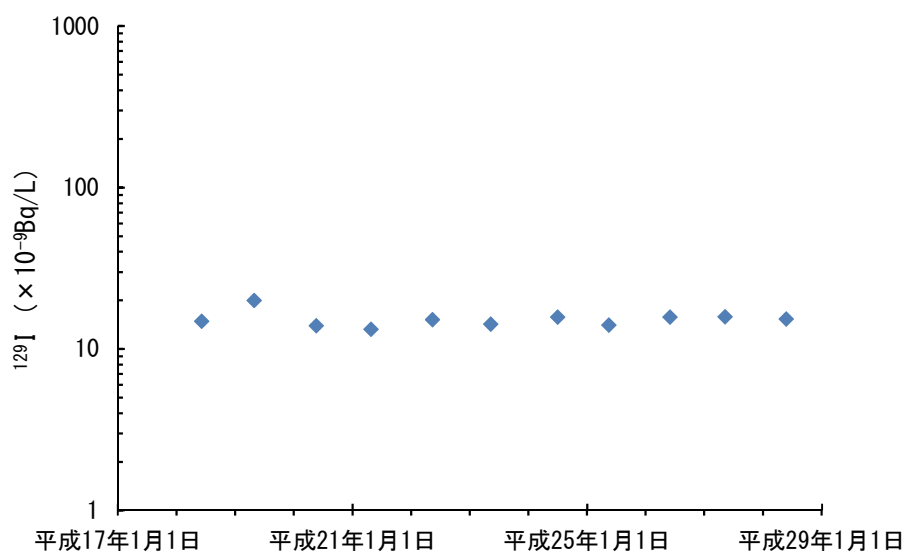


図 I-2-2-2-4 四国沖海域表層水の  $^{129}\text{I}$  濃度の推移

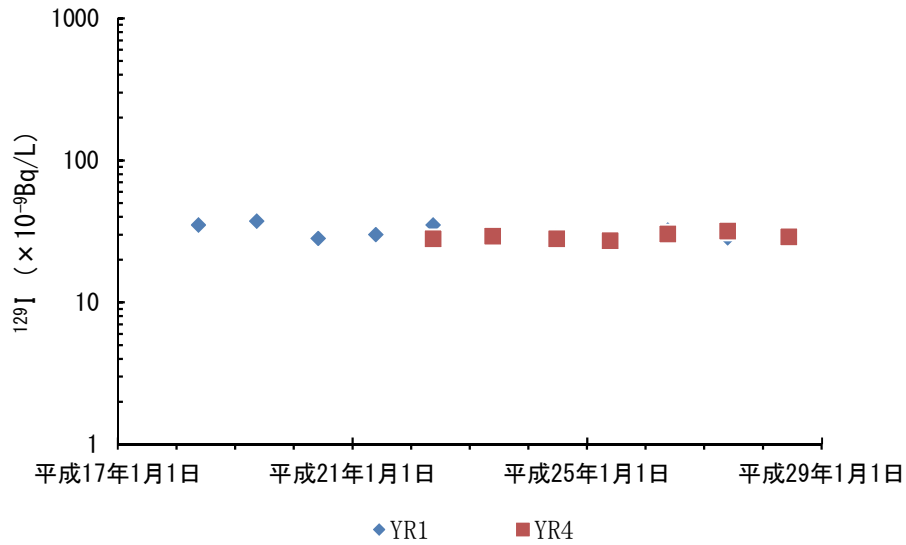


図 I -2-2-2-5 大和堆海域表層水の  $^{129}\text{I}$  濃度の推移

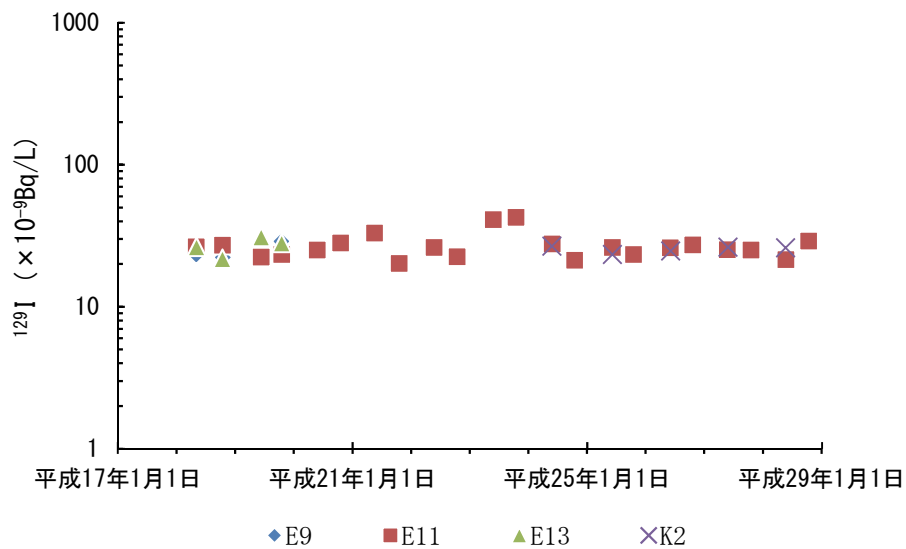


図 I -2-2-2-6 襟裳沖海域表層水の  $^{129}\text{I}$  濃度の推移

### iii. 対照海域における安定ヨウ素及び $^{129}\text{I}$ 濃度の鉛直分布

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採水を行い、安定ヨウ素及び  $^{129}\text{I}$  濃度の鉛直分布を調べた。安定ヨウ素は、平成 28 年度においても、これまでと同程度、いずれの海域でも水深とともに濃度が増す傾向を示し、底層では約  $60 \times 10^{-6} \text{g/L}$  となった（表 I-2-2-2-5）。一方、 $^{129}\text{I}$  はいずれの対照海域においても水深とともに濃度が減る傾向を示した（図 I-2-2-2-7）。

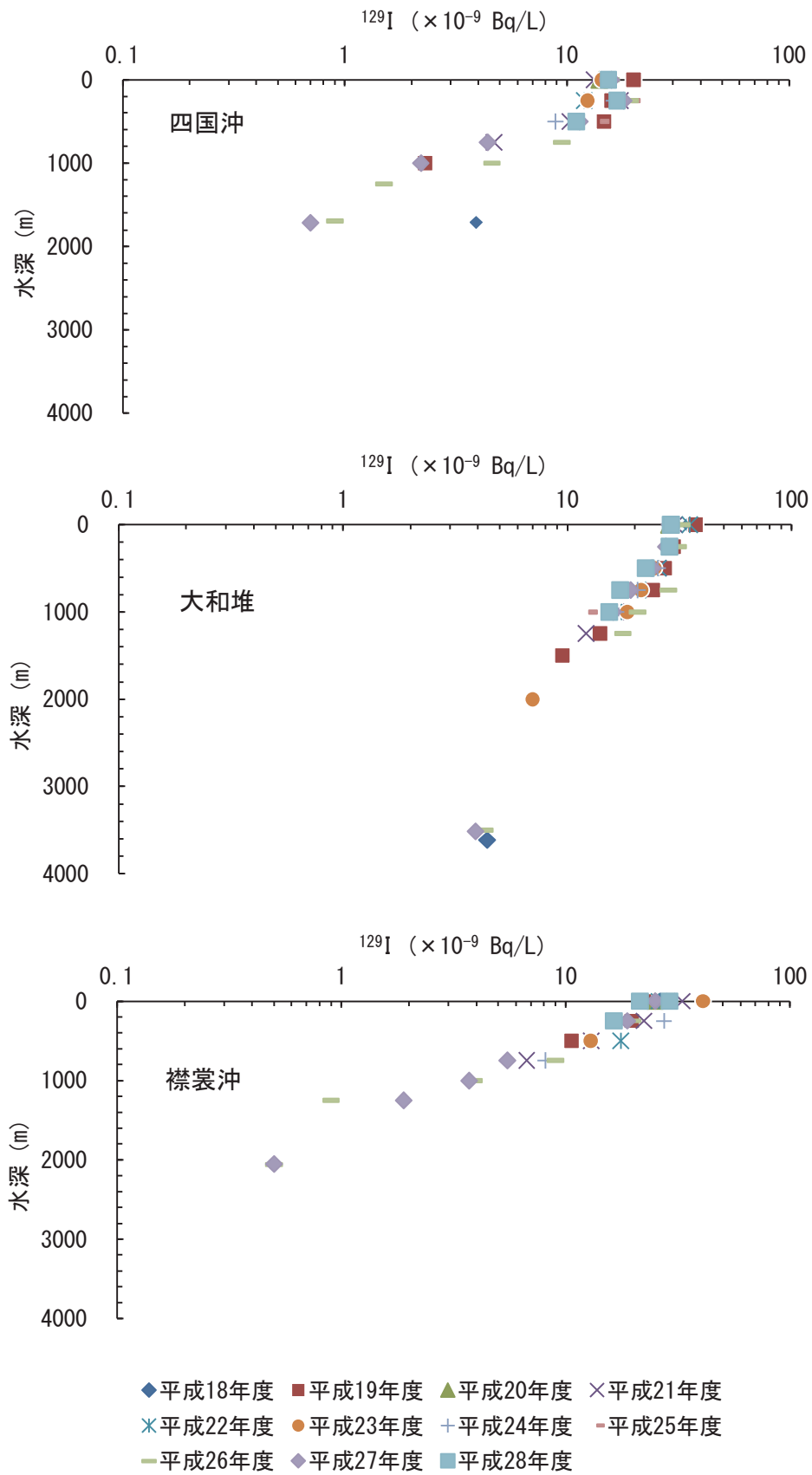


図 I -2-2-2-7 対照海域における海水中  $^{129}\text{I}$  濃度の鉛直分布

iv. 海藻の  $^{129}\text{I}$  濃度

分析結果を表 I -2-2-2-6 に示す。

表 I -2-2-2-6 海藻の安定ヨウ素及び  $^{129}\text{I}$  濃度

試料	採取地	採取日	$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$		安定ヨウ素		$^{129}\text{I}$		$^{129}\text{I}$	
			$(\times 10^{-12})$		$(\times 10^{-6}\text{g/g-乾物})$		$(\times 10^9\text{atoms/g-乾物})$		$(\times 10^{-6}\text{Bq/g-乾物})$	
オニココンブ	北海道	平成 19 年 8 月 24 日	70.3	± 1.3	4000	± 20	3.9	± 0.1	5.5	± 0.1
		平成 20 年 8 月 14 日	137	± 1	3500	± 50	6.0	± 0.1	8.4	± 0.1
		平成 21 年 8 月 23 日	2.13	± 0.07	4500	± 20	1.9	± 0.1	2.7	± 0.1
		平成 22 年 8 月 7 日	1.70	± 0.05	3300	± 50	1.3	± 0.1	1.8	± 0.1
		平成 23 年 7 月 10 日	1.71	± 0.13	2900	± 30	1.6	± 0.2	2.2	± 0.2
		平成 24 年 8 月 9 日	1.22	± 0.08	3000	± 5	1.1	± 0.1	1.5	± 0.1
		平成 25 年 7 月 10 日	0.889	± 0.033	2200	± 18	0.74	± 0.04	1.0	± 0.1
		平成 26 年 7 月 7 日	0.728	± 0.026	2100	± 15	0.48	± 0.02	1.0	± 0.04
		平成 27 年 8 月 27 日	0.724	± 0.017	1900	± 10	0.35	± 0.01	0.80	± 0.01
	平成 28 年 9 月 2 日	0.894	± 0.032	2300	± 20	0.72	± 0.02	1.0	± 0.02	
マコンブ	津軽海峡	平成 20 年 8 月 31 日	368	± 3	2400	± 40	30	± 0.5	42	± 0.8
		平成 21 年 7 月 18 日	0.362	± 0.076	700	± 26	定量下限値 <sup>1)</sup> 以下		定量下限値 <sup>1)</sup> 以下	
		平成 22 年 8 月 2 日	0.640	± 0.050	1300	± 20	定量下限値 <sup>2)</sup> 以下		定量下限値 <sup>2)</sup> 以下	
		平成 23 年 8 月 2 日	0.823	± 0.040	1300	± 10	0.6	± 0.1	0.8	± 0.1
		平成 24 年 9 月 5 日	0.467	± 0.025	1200	± 9	定量下限値 <sup>3)</sup> 以下		定量下限値 <sup>3)</sup> 以下	
		平成 25 年 7 月 22 日	0.427	± 0.014	960	± 7	定量下限値 <sup>4)</sup> 以下		定量下限値 <sup>4)</sup> 以下	
		平成 26 年 8 月 1 日	0.379	± 0.016	1300	± 10	0.25	± 0.01	0.48	± 0.03
		平成 27 年 7 月 23 日	0.355	± 0.009	880	± 5	0.17	± 0.004	0.30	± 0.01
		平成 28 年 7 月 25 日	0.543	± 0.071	1400	± 20	0.39	± 0.04	0.55	± 0.05
	下北沖	平成 19 年 9 月 10 日	122	± 2	1600	± 10	4.4	± 0.1	6.2	± 0.1
		平成 20 年 9 月 15 日	363	± 4	1400	± 40	7.3	± 0.2	10	± 0.3
		平成 21 年 8 月 3 日	1.57	± 0.18	3600	± 30	1.4	± 0.2	2.0	± 0.3
		平成 22 年 9 月 5 日	1.10	± 0.10	3100	± 20	0.7	± 0.1	1.0	± 0.1
		平成 23 年 9 月 18 日	0.795	± 0.124	1100	± 10	0.6	± 0.2	0.9	± 0.2
		平成 24 年 9 月 11 日	0.442	± 0.039	1100	± 3	定量下限値 <sup>3)</sup> 以下		定量下限値 <sup>3)</sup> 以下	
		平成 25 年 9 月 17 日	0.961	± 0.033	3000	± 39	0.69	± 0.04	0.96	± 0.05
平成 26 年 9 月 8 日		1.68	± 0.04	4900	± 21	0.11	± 0.02	2.90	± 0.05	
	平成 27 年 8 月 19 日	0.842	± 0.019	2700	± 10	0.41	± 0.01	0.98	± 0.01	
	平成 28 年 8 月 24 日	1.31	± 0.05	4000	± 30	1.0	± 0.03	1.40	± 0.04	
岩手沖	平成 19 年 8 月 20 日	69.5	± 1.2	2100	± 10	2.6	± 0.046	3.6	± 0.1	
	平成 20 年 8 月 7 日	330	± 3	1200	± 40	3.7	± 0.1	5.2	± 0.2	
	平成 21 年 8 月 6 日	2.05	± 0.01	3400	± 30	1.9	± 0.1	2.6	± 0.1	
	平成 22 年 8 月 3 日	0.660	± 0.020	1300	± 20	定量下限値 <sup>2)</sup> 以下		定量下限値 <sup>2)</sup> 以下		
	平成 24 年 7 月 6 日	0.598	± 0.061	1300	± 6	0.4	± 0.1	0.6	± 0.1	
	平成 25 年 8 月 7 日	0.423	± 0.027	990	± 13	定量下限値 <sup>4)</sup> 以下		定量下限値 <sup>4)</sup> 以下		
	平成 26 年 8 月 6 日	0.421	± 0.037	1500	± 10	0.27	± 0.02	0.56	± 0.05	
	平成 27 年 7 月 23 日	0.742	± 0.016	1800	± 20	0.36	± 0.01	0.75	± 0.01	
	平成 28 年 7 月 22 日	0.320	± 0.010	580	± 1	0.19	± 0.01	0.27	± 0.01	

定量下限値<sup>1)</sup> :  $0.56 \times 10^9 \text{atoms/g-乾物}$  または  $0.8 \times 10^{-6} \text{Bq/g-乾物}$ 、定量下限値<sup>2)</sup> :  $0.44 \times 10^9 \text{atoms/g-乾物}$  または  $0.6 \times 10^{-6} \text{Bq/g-乾物}$

定量下限値<sup>3)</sup> :  $0.42 \times 10^9 \text{atoms/g-乾物}$  または  $0.6 \times 10^{-6} \text{Bq/g-乾物}$ 、定量下限値<sup>4)</sup> :  $0.29 \times 10^9 \text{atoms/g-乾物}$  または  $0.4 \times 10^{-6} \text{Bq/g-乾物}$

前処理方法が違うこと、入手した試料の状態が必ずしも一定していなかったことを勘案しても、平成 19、20 年度の各試料の  $^{129}\text{I}$  濃度は平成 21 年度以降の試料に比して高いと言えるが、平成 19、20 年度はアクティブ試験が行われていたことから、その影響も考えられる。平成 21 年度以降のマコンブの  $^{129}\text{I}$  濃度は定量下限値以下となることがあったが、平成 28 年度の  $^{129}\text{I}$  濃度は  $0.27\sim 1.4\times 10^{-6}\text{Bq/g}$ -乾物の範囲にあった。

#### ④ まとめ

平成 18 年度より、核燃沖海域から茨城沖海域に至る海域及び対照海域から採水し、AMS を使って海水中の  $^{129}\text{I}$  濃度の分析を行った。表層水において、平成 23 年度は東電福島第一原発事故に由来すると考えられる  $^{129}\text{I}$  の濃度上昇が、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 年度の  $^{129}\text{I}$  濃度は福島及び茨城海域以外では、事故前の濃度レベルとなった。平成 25 年度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  $^{129}\text{I}$  が引き続き観測され、この他の海域では事故前の濃度レベルであった。平成 26～28 年度は事故前の濃度レベルに戻った。

#### 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  $^{129}\text{I}$  in seawater by accelerator mass spectrometry with solvent extraction method. Radioisotopes, 56, 155-162.



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

#### ① はじめに

海洋放射能調査海域周辺での調査では、放射性 Cs（以下  $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  の両核種を指す。）の測定が海底土表層 3cm の厚さに限られており、3cm より下層における放射性 Cs 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、同調査の海底土表層 3cm の厚さにおける時系列及び測点間での放射性 Cs 濃度変動要因を解析する上で、海底土の性状による影響なのか、それとも表層以深への移行による影響なのか、各要因に対する影響の程度を把握するため、各パラメータを取得し検討する必要がある。一方、海水中においては放射性 Cs 濃度の変化について、海水中の溶存態や微小生物等の形態別によるものなのかを把握する必要がある。

そこでこの詳細調査では、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、海底土中の性状、放射性 Cs の鉛直分布、並びに海水中における形態別（溶存態及び粒子としての微小生物）の放射性 Cs の現状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の情報を得る。

#### ② 海底土中の放射性 Cs

##### i. 放射性 Cs 濃度変動と性状との関係

海底土中の放射性 Cs 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<sup>1)</sup>。本調査では放射性 Cs の変動要因を解析するための基礎データとするため、海洋放射能調査海域での調査で得られた海底土試料の性状を分析し、海底土の性状と放射性核種、特に  $^{137}\text{Cs}$  の濃度分布との比較検討を行った。

##### (i) 調査分析法

平成 28 年 5 月 18 日から 6 月 24 日に発電所海域の 60 測点で採取した海底土試料（計 60 試料）並びに平成 28 年 5 月 8 日から 5 月 23 日に核燃海域の 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。粒度分布の分析結果のうち、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)、海底土中のシルト及び粘土質の質量率 (75  $\mu$ m 通過質量率)、有機態炭素及び窒素濃度、主要元素濃度について、放射性 Cs 濃度と比較しやすいように、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、海底土の粒度分布について数値の範囲は 50%粒径が 0.0054~0.57mm、75  $\mu$ m 通過質量率が 1.6~99.2%であった。平均値はそれぞれ 0.15mm 及び 40%であった。本調査で得られた海底土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も概ね一致するものの、見かけ上の区分のうち、泥でも 50%粒径が 0.0068~0.029mm で、75  $\mu$ m 通過質量率が 74~99%の広範囲となった。これらのことから、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、海底土中の放射性核種との定量的な評価に用いることが可能となった。

### b. 見かけ比重及び水分含量

海底土中の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 1.1~2.0g/cm<sup>3</sup>、水分含量は 21~81%の範囲であった。平均値は、見かけ比重が 1.6g/cm<sup>3</sup>、水分含量が 43%であった。

### c. 有機物含量及び元素濃度

海底土中の有機物含量範囲は有機炭素が 0.8~27.7mg/g、有機窒素が 0.1~4.1mg/g であった。平均値は、それぞれ 8.7mg/g 及び 1.3mg/g であった。

海底土中の元素濃度分布を図 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、Sr、Cd、Mo、希土類、U)、有機物との関連性のある元素 (Co、Ni、Cu、Pb) と放射性 Cs との関連性を評価する際に重要な元素 (Mn、Fe、Rb、安定核種の <sup>133</sup>Cs、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 Mn (最大値/最小値: 13、以下同様)、Fe (123)、Ni (11)、Cu (12)、Rb (11)、Sr (18)、Mo (22)、Cd (26) であった。各元素の平均値は Takata *et al.*<sup>1)</sup> 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高い濃度であったのは Al であり、その濃度範囲を最大値と最小値の比にすると 9.1 であった。最も高かったのは核燃海域の測点 5 (82×10<sup>3</sup>

$\mu\text{g/g}$ -乾燥土もしくは 8.2%) であった。他の海域では、最大値とは濃度の差は小さいが、最も低かった佐賀海域の測点 1 ( $9.0 \times 10^3 \mu\text{g/g}$ -乾燥土もしくは 0.90%) は 1 桁程の違いが見られた。この違いについて、佐賀海域の海底土中の Sr 濃度は  $0.66 \times 10^3 \sim 1.4 \times 10^3 \mu\text{g/g}$ -乾燥土であり、他の海域 ( $0.08 \times 10^3 \sim 0.5 \times 10^3 \mu\text{g/g}$ -乾燥土) に比べて高かった。Sr は主に貝殻や魚類の骨に含まれており、これらを含む佐賀海域の海底土は、陸起源の粒子の Al が少ないことが要因と考えられる。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<sup>2,3)</sup>、Mo 濃度が  $3.8 \mu\text{g/g}$ -乾燥土以上かつ U 濃度が  $2.7 \mu\text{g/g}$ -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。宮城海域の測点 4 において Mo 濃度が  $3.9 \mu\text{g/g}$ -乾燥土であったが、U 濃度が  $0.91 \mu\text{g/g}$ -乾燥土以下であったことから、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 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わかった。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や存在状態等把握できることが分かった。

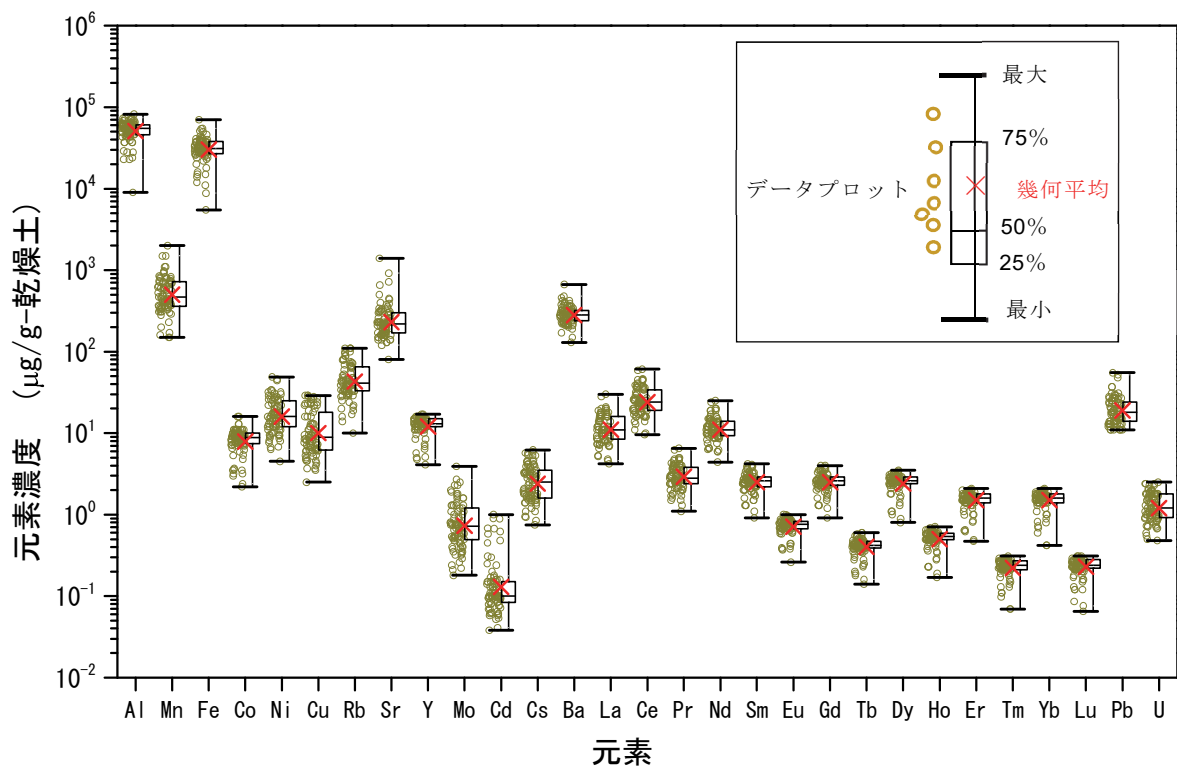


図 I-2-2-3-1 海底土中の元素濃度範囲

#### d. 放射性 Cs 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 Cs 濃度範囲は、 $^{134}\text{Cs}$  が ND $\sim$ 17Bq/kg-乾燥土、 $^{137}\text{Cs}$  が ND $\sim$ 93Bq/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 Cs として  $^{134}\text{Cs}$  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、核燃）と、検出された海域（宮城、福島第一、福島第二、茨城、新潟）とに分けて詳述する。

#### e. 東電福島第一原発事故由来の放射性 Cs として $^{134}\text{Cs}$ 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、海底土中  $^{137}\text{Cs}$  濃度が ND～4.6Bq/kg-乾燥土の範囲であった。この濃度変動は海底土の粒径に依存することがこれまでの研究で明らかになっている<sup>1, 4)</sup>。本調査において、海底土中の 50%粒径または  $75\mu\text{m}$  通過質量率と  $^{137}\text{Cs}$  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 に示す。50%粒径が 0.1～0.5mm である場合、 $^{137}\text{Cs}$  濃度は ND～1.3Bq/kg-乾燥土の低い範囲で推移しているものの、0.1mm 以下である場合には粒径の減少に伴い、 $^{137}\text{Cs}$  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  $^{137}\text{Cs}$  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い  $^{137}\text{Cs}$  濃度も増加し、両者は強い相関関係 ( $r=0.87$ ) を示した。 $^{137}\text{Cs}$  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）、 $^{137}\text{Cs}$  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 28 年度において、佐賀及び鹿児島海域において  $^{137}\text{Cs}$  濃度が不検出であったのは、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  $^{137}\text{Cs}$  濃度が低い、もしくは検出下限値以下となる傾向が明らかとなり、粒径及び有機物濃度は  $^{137}\text{Cs}$  濃度変動を把握する上で重要なパラメータであることが分かった。

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 Ni、Cu、Pb、U であった。 $^{137}\text{Cs}$  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  $^{137}\text{Cs}$  濃度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、安定核種である  $^{133}\text{Cs}$  濃度と  $^{137}\text{Cs}$  濃度とは弱い相関関係 ( $r=0.53$ ) を示した。これは、 $^{133}\text{Cs}$  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。一方、 $^{137}\text{Cs}$  は粒子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<sup>5)</sup>。

#### f. 東電福島第一原発事故由来の放射性 Cs として $^{134}\text{Cs}$ が検出された海域

海洋放射能調査海域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、海底土中  $^{137}\text{Cs}$  濃度が 2.7～93Bq/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、海底土中の 50%粒径または  $75\mu\text{m}$  通過質量率と  $^{137}\text{Cs}$  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 に示す。これらの海域においては、粒径と  $^{137}\text{Cs}$  濃度との関係性は見なかった。また、 $^{137}\text{Cs}$  濃度と有機物濃度の間には弱い相関関係があったものの

(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。

これらの海域では、東電福島第一原発事故直後に漏洩した放射性 Cs の時空間的な変動に左右され、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ている。これらは海底土の性状と密接に関わっているが、海底土の生物学、物理学、化学的性状を反映して複雑な挙動を示している<sup>4)</sup>。その他に、東電福島第一原発からの汚染水の移動経路、河川からの沿岸海域への移動<sup>5)</sup>、海底土の水平移動<sup>6)</sup>、に代表される様々な要因も影響していることから、<sup>137</sup>Cs 濃度と海底土との性状との関連性が無いと考えられる。

表 I-2-2-3-2 (1) 海底土の性状

海域	測点	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	泥質	75 μm 通過質量率	50%粒径	有機炭素	有機窒素	Al	Mn	Fe
		(Bq/kg-乾燥土)			(%)	(mm)	(mg/g)	(mg/g)	(%)	(%)	(%)
北海道	1	ND	2.0	中細砂混じり泥	62.8	0.050	11.0	1.5	6.4	0.58	3.9
北海道	2	ND	2.7	泥	94.6	0.016	23.4	2.7	5.5	0.41	2.9
北海道	3	ND	4.2	泥	94.3	0.014	25.2	3.0	5.4	0.36	2.8
北海道	4	ND	1.3	礫混じり粗砂	28.6	0.258	3.9	0.6	6.8	1.07	5.4
青森	1	ND	3.2	中細砂混じり泥	65.8	0.034	18.3	2.5	5.5	0.42	3.0
青森	2	ND	3.6	中細砂混じり泥	71.1	0.027	19.9	2.8	5.5	0.41	3.0
青森	3	ND	0.6	泥混じり中細砂	6.6	0.211	3.0	0.5	6.2	0.83	3.8
青森	4	ND	3.0	中細砂混じり泥	79.6	0.021	22.4	3.1	4.9	0.36	2.7
宮城	1	2.2	9.8	中細砂混じり泥	49.3	0.078	6.8	0.8	5.3	1.06	4.2
宮城	2	ND	3.6	中細砂混じり泥	29.7	0.162	4.7	0.6	5.9	0.95	3.8
宮城	3	1.2	7.6	中細砂混じり泥	21.8	0.203	4.1	0.6	4.9	1.48	5.5
宮城	4	2.1	10.3	泥混じり中細砂	17.4	0.263	4.0	0.6	5.6	0.98	4.2
福島第一	1	3.4	20.0	中細砂混じり粗砂	12.9	0.420	2.7	0.4	2.3	0.63	2.9
福島第一	2	5.5	28.2	中細砂混じり泥	30.8	0.176	5.5	0.8	2.8	0.61	4.0
福島第一	3	6.3	36.8	中細砂混じり泥	17.5	0.206	3.2	0.5	4.8	0.78	4.1
福島第一	4	11.6	68.6	中細砂混じり泥	64.1	0.046	9.9	1.4	4.3	0.61	4.4
福島第二	1	17.4	93.2	中細砂混じり泥	37.7	0.111	6.3	0.9	4.6	0.56	3.8
福島第二	2	2.4	14.7	中細砂混じり泥	37.1	0.130	6.8	0.9	4.6	0.72	3.9
福島第二	3	5.0	25.4	中細砂混じり泥	52.6	0.066	7.5	1.0	3.9	0.80	5.0
福島第二	4	4.2	22.6	泥混じり中細砂	17.0	0.290	3.4	0.5	4.7	0.92	5.1
茨城	1	14.7	80.0	中細砂混じり泥	66.3	0.573	13.7	1.5	4.9	0.42	2.7
茨城	2	6.6	37.3	中細砂混じり泥	42.5	0.106	5.7	0.8	4.4	0.70	4.0
茨城	3	5.5	29.2	中細砂混じり泥	25.2	0.150	6.0	0.9	4.4	0.51	3.5
茨城	4	6.5	35.8	中細砂混じり泥	43.8	0.091	7.4	1.0	5.2	0.48	3.4
静岡	1	ND	ND	中細砂混じり粗砂	2.4	0.188	0.9	0.1	4.3	0.45	2.2
静岡	2	ND	0.7	粗砂混じり中細砂	16.7	0.177	2.8	0.6	4.8	0.50	3.1
静岡	3	ND	1.8	泥	74.0	0.029	11.6	1.4	6.1	0.44	2.7
静岡	4	ND	1.7	泥	84.4	0.027	11.7	1.2	5.6	0.43	2.8
新潟	1	ND	11.3	泥	98.8	0.010	16.3	2.6	7.0	0.42	3.4
新潟	2	ND	9.8	泥	89.3	0.009	17.9	2.7	5.9	1.48	3.5
新潟	3	ND	9.6	泥	99.2	0.007	17.3	2.7	7.2	2.05	3.6
新潟	4	ND	2.7	泥混じり中細砂	20.9	0.207	5.8	1.3	4.4	0.40	7.0
石川	1	ND	1.9	中細砂混じり泥	58.9	0.038	9.6	0.9	6.4	0.33	3.2
石川	2	ND	2.3	中細砂混じり泥	67.3	0.038	9.7	0.8	6.1	0.34	3.3
石川	3	ND	1.8	中細砂混じり泥	53.3	0.068	9.6	1.2	5.7	0.35	3.3
石川	4	ND	0.9	泥混じり中細砂	19.9	0.418	2.9	0.3	5.4	0.31	2.8
福井第一	1	ND	2.6	中細砂混じり泥	81.4	0.013	16.7	2.7	6.0	0.37	3.1
福井第一	2	ND	4.4	泥	95.1	0.012	24.6	3.6	5.3	0.35	3.1
福井第一	3	ND	0.7	泥混じり中細砂	15.8	0.199	4.3	0.5	5.6	0.35	2.5
福井第一	4	ND	3.8	泥	93.4	0.010	24.0	3.4	5.5	0.34	3.0
福井第二	1	ND	1.3	泥混じり中細砂	51.5	0.069	10.4	2.0	6.6	0.41	3.0
福井第二	2	ND	3.8	泥	92.4	0.020	25.2	3.5	7.4	0.45	3.2
福井第二	3	ND	3.0	泥	88.2	0.020	21.6	3.1	7.4	0.43	3.0

表 I-2-2-3-2 (2) 海底土の性状

海域	測点	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	泥質	75 μm 通過質量率	50%粒径	有機炭素	有機窒素	Al	Mn	Fe
		(Bq/kg-乾燥土)			(%)	(mm)	(mg/g)	(mg/g)	(%)	(%)	(%)
福井第二	4	ND	1.5	中細砂混じり泥	78.5	0.028	16.8	2.4	6.9	0.47	3.3
島根	1	ND	ND	泥混じり中細砂	7.4	0.411	1.6	0.2	3.7	0.15	1.1
島根	2	ND	0.8	泥混じり中細砂	9.9	0.242	1.3	0.2	3.7	0.20	1.6
島根	3	ND	0.9	中細砂混じり泥	19.3	0.362	3.9	0.5	3.7	0.23	1.5
島根	4	ND	0.6	中細砂混じり泥	33.6	0.176	9.1	1.7	3.7	0.28	1.5
愛媛	1	ND	0.9	泥混じり中細砂	12.7	0.154	4.2	1.0	2.4	0.59	3.8
愛媛	2	ND	1.3	泥混じり中細砂	22.2	0.139	6.9	0.9	5.4	0.60	3.2
愛媛	3	ND	ND	泥混じり中細砂	22.2	0.136	4.7	0.6	6.0	0.69	2.8
愛媛	4	ND	0.7	泥混じり中細砂	4.1	0.176	2.2	0.3	6.1	0.80	2.8
佐賀	1	ND	ND	泥混じり中細砂	13.3	0.166	4.0	0.4	0.9	0.17	0.5
佐賀	2	ND	ND	粗砂混じり中細砂	2.6	0.498	0.8	0.1	2.9	0.31	1.4
佐賀	3	ND	ND	粗砂混じり中細砂	7.5	0.527	1.7	0.2	2.8	0.15	0.9
佐賀	4	ND	ND	泥混じり中細砂	16.4	0.180	5.3	0.5	2.3	0.16	1.2
鹿児島	1	ND	ND	粗砂混じり中細砂	3.2	0.265	2.3	0.2	5.6	0.30	1.8
鹿児島	2	ND	ND	中細砂	5.7	0.256	0.8	0.1	5.9	0.35	2.4
鹿児島	3	ND	ND	泥混じり中細砂	33.6	0.119	7.1	0.6	5.7	0.38	2.3
鹿児島	4	ND	ND	泥混じり中細砂	27.6	0.139	4.7	0.4	5.5	0.33	2.0
核燃	1	ND	1.1	泥混じり中細砂	10.1	0.162	3.3	0.3	6.5	0.72	4.6
核燃	2	ND	ND	中細砂混じり泥	3.0	0.193	0.9	0.2	6.2	0.82	3.7
核燃	3	ND	0.8	中細砂混じり泥	6.0	0.181	2.5	0.3	6.3	0.75	3.7
核燃	4	ND	ND	泥混じり中細砂	2.9	0.174	1.0	0.2	6.8	0.71	3.8
核燃	5	ND	ND	中細砂混じり粗砂	1.8	0.289	2.4	0.4	8.2	0.74	3.5
核燃	6	ND	1.3	中細砂混じり粗砂	1.6	0.249	1.8	0.3	7.3	0.85	4.1
核燃	7	ND	0.9	泥混じり粗砂	6.6	0.188	3.5	0.3	6.9	0.79	4.0
核燃	8	ND	1.0	泥混じり中細砂	20.3	0.158	3.9	0.5	6.3	0.74	3.7
核燃	9	ND	3.3	中細砂混じり泥	79.8	0.027	18.6	2.3	4.6	0.39	2.8
核燃	10	ND	4.6	泥	96.5	0.015	27.7	3.5	4.3	0.31	2.6
核燃	11	ND	0.7	泥混じり中細砂	7.5	0.175	3.1	0.6	6.1	0.83	3.7
核燃	12	ND	3.7	中細砂混じり泥	82.2	0.006	16.1	3.5	5.0	0.36	2.6
核燃	13	ND	4.6	中細砂混じり泥	92.6	0.008	20.4	3.9	4.7	0.29	2.4
核燃	14	ND	2.5	中細砂混じり泥	31.3	0.124	9.3	3.0	4.9	0.47	3.1
核燃	15	ND	4.1	中細砂混じり泥	77.9	0.005	16.0	4.1	5.1	0.37	2.6
核燃	16	ND	3.4	中細砂混じり泥	71.7	0.023	18.6	3.1	5.5	0.37	2.7
核燃	17	ND	1.0	中細砂混じり泥	12.6	0.157	4.9	0.5	6.6	0.56	2.9
核燃	18	ND	ND	泥混じり中細砂	12.3	0.166	3.6	0.7	6.4	0.64	3.4
核燃	19	ND	1.1	泥混じり中細砂	7.9	0.176	2.7	0.4	6.0	0.69	3.2
核燃	20	ND	1.0	中細砂混じり泥	27.4	0.101	4.8	0.7	5.9	0.53	2.9
核燃	21	ND	ND	泥混じり中細砂	6.0	0.207	4.5	0.5	5.0	0.71	3.0
核燃	22	ND	0.9	中細砂混じり泥	7.7	0.179	3.6	0.7	6.1	0.62	3.3

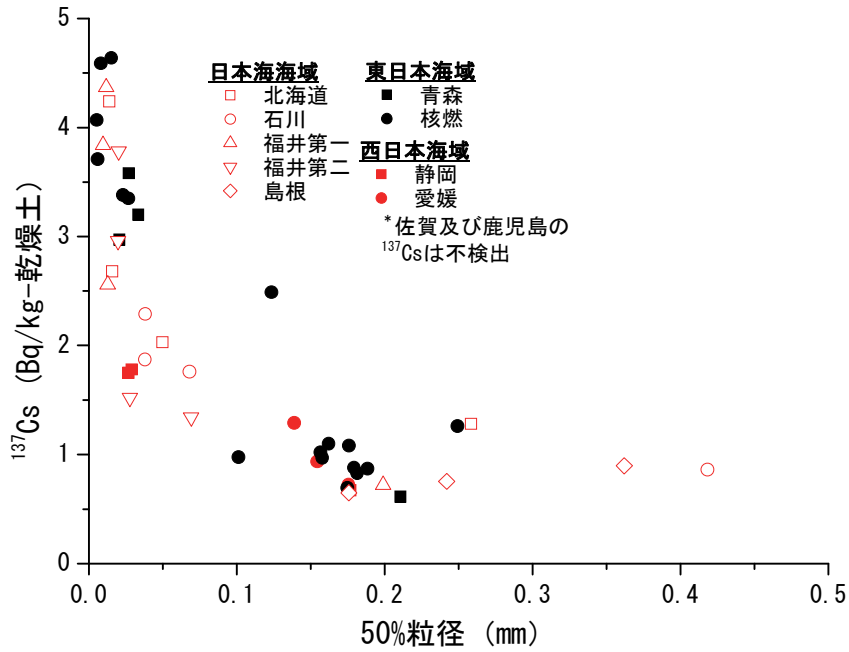


図 I-2-2-3-2 海底土中の 50% 粒径と  $^{137}\text{Cs}$  濃度の関係

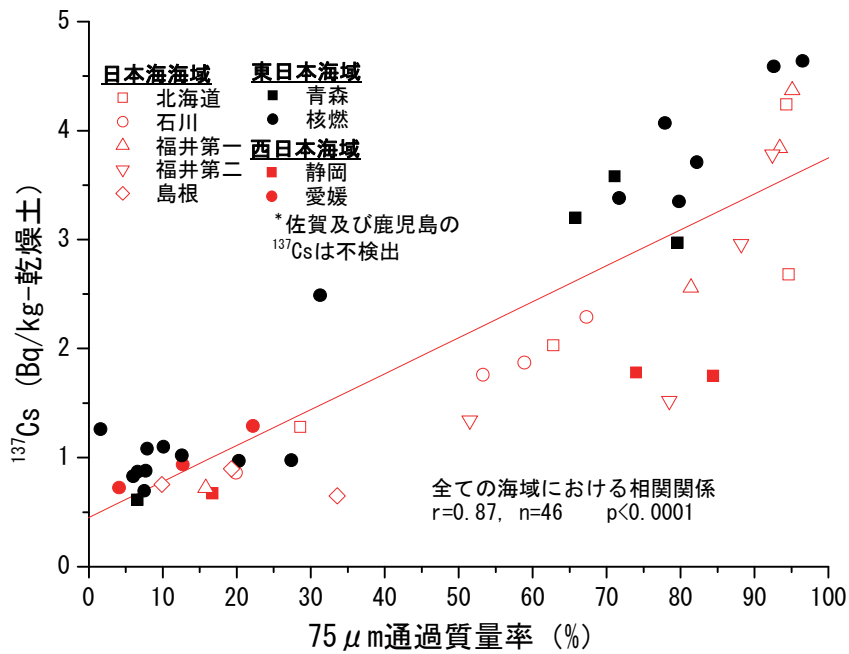


図 I-2-2-3-3 海底土中の 75  $\mu\text{m}$  通過質量率と  $^{137}\text{Cs}$  濃度の関係



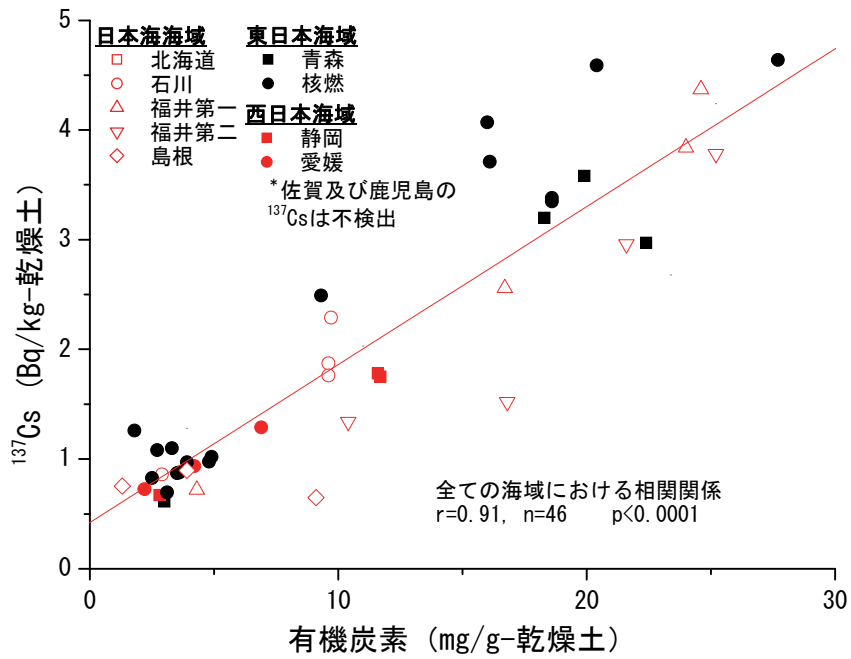


図 I-2-2-3-4 海底土中の有機炭素濃度と<sup>137</sup>Cs濃度の関係

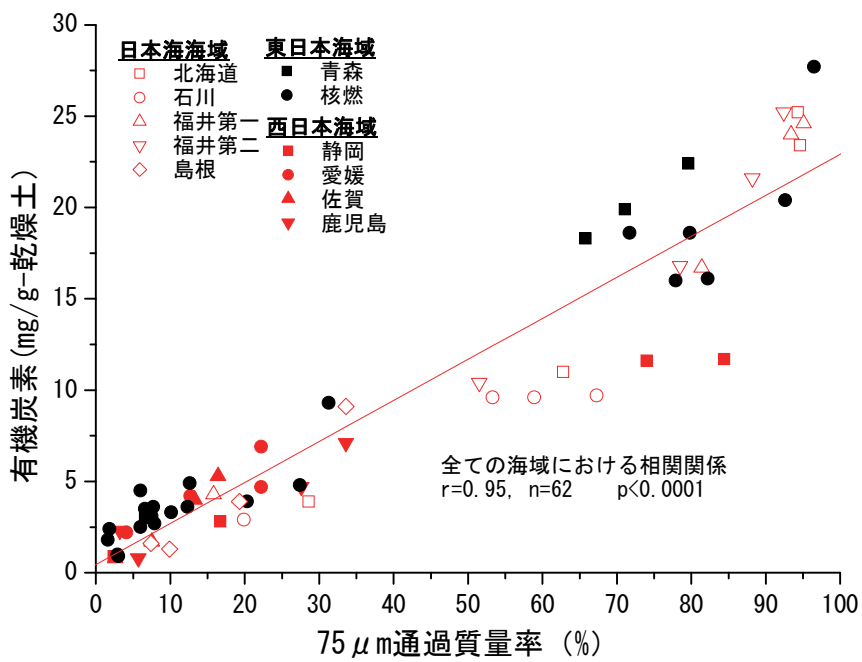


図 I-2-2-3-5 海底土中の75 μm通過質量率と有機炭素濃度の関係

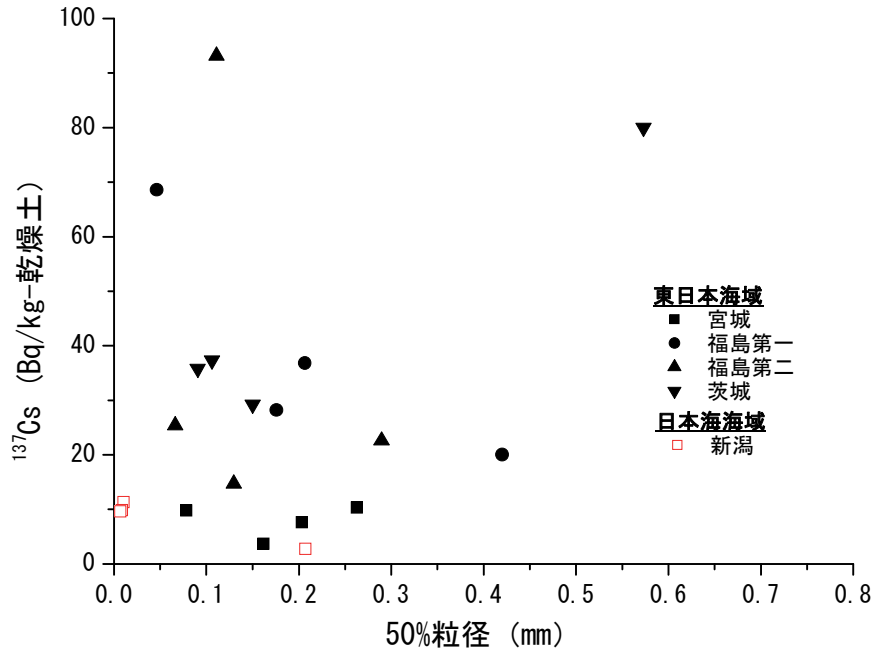


図 I-2-2-3-6 海底土中の 50% 粒径と  $^{137}\text{Cs}$  濃度の関係

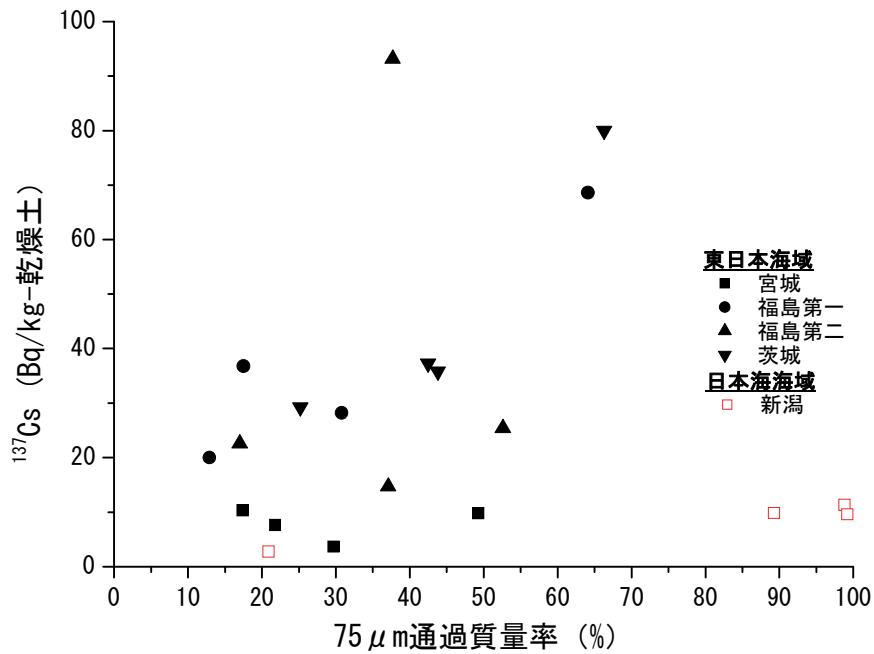


図 I-2-2-3-7 海底土中の 75  $\mu\text{m}$  通過質量率と  $^{137}\text{Cs}$  濃度の関係

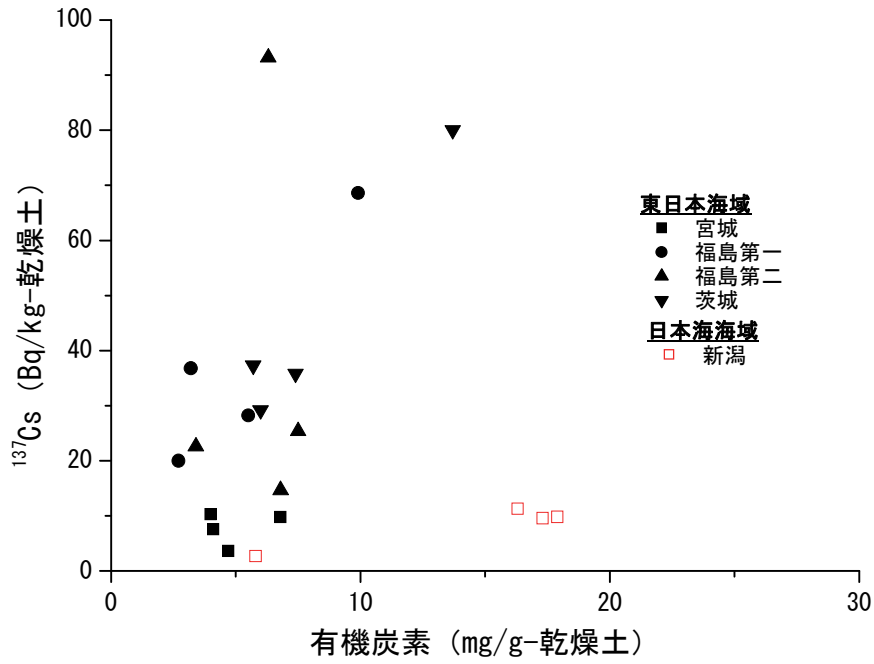


図 I-2-2-3-8 海底土中の有機炭素濃度と <sup>137</sup>Cs 濃度の関係

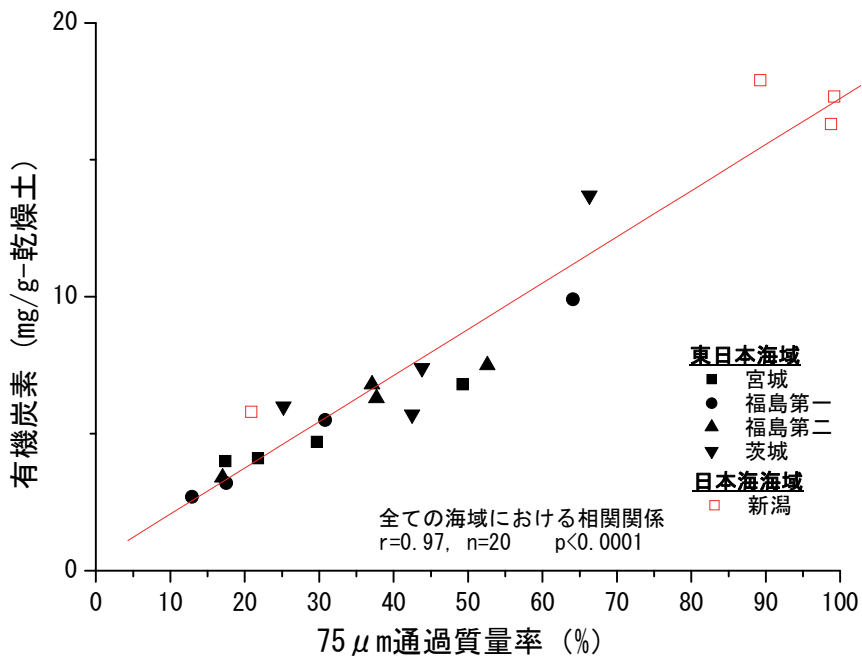


図 I-2-2-3-9 海底土中の 75 μm 通過質量率と有機炭素濃度の関係

## ii. 放射性 Cs の鉛直分布

「1. 海洋放射能調査海域周辺での調査」による海底土表層 3cm における放射性 Cs 濃度は時空間的な変動を示している<sup>4)</sup>。放射性 Cs の表層における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 Cs の鉛直分布を示し、その傾向を明らかにするとともに、海底土中の蓄積量を見積もる際の補完データとする。

### (i) 調査分析法

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-2-2-3-3)。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 までの層は 1.5cm 毎、6~10cm の層は 2cm 毎、10cm 以深の層は 3cm 毎の厚さで試料を分割・採取した。核種測定用の試料は、各採取層より約 2~2.5kg ずつ採取し、分析まで冷凍保存した。試料はその後 105℃で乾燥し 2 mm 孔径のふるいにかけて、プラスチック容器 (390~400cc) に詰めゲルマニウム半導体検出器で 80,000~200,000 秒間、放射性 Cs を測定した。<sup>134</sup>Cs 及び <sup>137</sup>Cs の目標検出下限値は、それぞれ 0.3Bq/kg 以下である。

### (ii) 結果

柱状試料の放射性 Cs 分析結果を表 I-2-2-3-4 に、<sup>137</sup>Cs の鉛直分布を図 I-2-2-3-10 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、青森を除く全ての海域で <sup>134</sup>Cs 濃度が 10cm 以上の深度を超えて検出された。また、宮城、福島第一、福島第二及び茨城海域において、<sup>134</sup>Cs と <sup>137</sup>Cs 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(図 I-2-2-3-11)、これらの海域の海底土で検出された放射性 Cs のほとんどは東電福島第一原発事故由来であることがわかった。これらの鉛直分布は測点によって大きく異なっていた。これは各測点での海底土の性状によるものと考えられる。一方、青森海域では <sup>134</sup>Cs 濃度は検出されなかったが、<sup>137</sup>Cs 濃度は表層から最深部(深度 19cm)まで検出されており、表層の深度 0-3cm では 3.15~

3.76Bq/kg-乾燥土であり、その後深度 16cm まで 2.68~3.93Bq/kg-乾燥土の狭い範囲で変動し、最深部では 0.82Bq/kg-乾燥土に減少した。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 Cs は同事故前の影響であることが明らかとなった。西日本海域においては、<sup>134</sup>Cs 濃度は検出されなかったが、<sup>137</sup>Cs 濃度については静岡、愛媛及び鹿児島海域で表層 3cm 以上の深さまで

表 I-2-2-3-3 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 (N)		経度 (E)		採取水深 (m)
北海道	2	平成 28 年 5 月 22 日	43	5.0	140	16.1	403
青森	2	平成 28 年 5 月 18 日	41	13.0	141	40.3	664
宮城	2	平成 28 年 6 月 15 日	38	25.0	141	45.3	159
福島第一	1	平成 28 年 6 月 16 日	37	40.1	141	20.2	101
福島第一	2	平成 28 年 6 月 18 日	37	35.0	141	25.0	132
福島第一	3	平成 28 年 6 月 18 日	37	30.0	141	20.0	119
福島第一	4	平成 28 年 6 月 19 日	37	23.0	141	20.0	128
福島第二	1	平成 28 年 6 月 19 日	37	16.1	141	25.1	149
福島第二	2	平成 28 年 6 月 20 日	37	11.9	141	20.1	139
福島第二	3	平成 28 年 6 月 19 日	37	6.1	141	19.1	147
福島第二	4	平成 28 年 6 月 20 日	37	0.1	141	20.2	158
茨城	2	平成 28 年 6 月 21 日	36	25.1	140	50.9	116
静岡	4	平成 28 年 6 月 24 日	34	31.1	137	59.1	558
新潟	1	平成 28 年 6 月 4 日	37	55.9	138	37.2	363
新潟	2	平成 28 年 6 月 5 日	37	50.0	138	35.0	488
新潟	3	平成 28 年 6 月 4 日	37	44.0	138	27.2	518
新潟	4	平成 28 年 6 月 4 日	37	37.0	138	23.0	245
石川	2	平成 28 年 6 月 3 日	37	7.9	136	25.9	190
福井第一	2	平成 28 年 6 月 1 日	35	57.0	135	50.0	261
福井第二	2	平成 28 年 5 月 31 日	35	50.0	135	35.0	204
島根	2	平成 28 年 5 月 30 日	35	41.0	133	4.0	80
愛媛	2	平成 28 年 5 月 27 日	33	38.0	132	17.0	63
佐賀	2	平成 28 年 5 月 26 日	33	37.0	129	53.0	54
鹿児島	2	平成 28 年 5 月 25 日	31	45.0	130	1.0	83

検出された。一方、佐賀海域は表層 1.5cm のみで  $^{137}\text{Cs}$  濃度が検出されたが、それ以深では検出されなかった。その要因として、「i. 放射性 Cs 濃度変動と性状との関係」にて述べたが、放射性 Cs 濃度は海底土の粒径に依存しており、粒径が小さい程放射性 Cs 濃度が高くなる傾向が見られる (図 I-2-2-3-2)。表層 3cm までの 50%粒径は静岡海域が 0.027mm、愛媛海域が 0.14mm、鹿児島海域が 0.26mm であり、佐賀海域が最も大きい 0.50mm であった。これらのことから、海域による  $^{137}\text{Cs}$  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<sup>134</sup>Cs濃度が検出されておらず、新潟海域で<sup>134</sup>Cs濃度が8cm以上まで検出された。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Cs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<sup>7)</sup>。本調査における新潟海域も測点1～3は同河川の河口から数十km圏内に位置し、Inoue *et al.*<sup>7)</sup>において<sup>134</sup>Cs濃度が検出された海域内でもある。また、<sup>134</sup>Cs濃度が平成27年度の調査において既に10cm以上まで検出されていることから<sup>8)</sup>、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Csが到達していることが分かった。<sup>137</sup>Cs濃度については、すべての海域で検出されており、表層3cm以上の深さ（最大深度25cm）まで検出された。また、新潟海域の測点1においては、<sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Csの放射能比が表層から最深部まで約0.5であり（図I-2-2-3-11）、この値は東日本海域に比べて低いことから、表層3cm以深で検出された<sup>137</sup>Csは事故前の1950～60年代の大気圏内核実験の影響と考えられる。

表 I -2-2-3-4(1) 海底土の採取深度、見かけ比重及び放射性 Cs 濃度の鉛直結果

海域	測点	採取深度	見かけ比重	<sup>134</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs
		(cm)	(g/cm <sup>3</sup> )	(Bq/kg-乾燥土)	誤差	(Bq/kg-乾燥土)	誤差
北海道	2	0.0-1.5	1.20	ND	—	3.46	0.33
		1.5-3.0	1.19	ND	—	3.90	0.34
		3.0-4.5	1.22	ND	—	4.05	0.31
		4.5-6.0	1.21	ND	—	3.41	0.37
		6.0-8.0	1.20	ND	—	3.08	0.29
		8.0-10.0	1.21	ND	—	3.38	0.28
		10.0-13.0	1.21	ND	—	2.68	0.29
		13.0-16.0	1.20	ND	—	2.26	0.26
		16.0-19.0	1.24	ND	—	1.73	0.28
青森	2	0.0-1.5	1.24	ND	—	3.76	0.35
		1.5-3.0	1.21	ND	—	3.15	0.29
		3.0-4.5	1.24	ND	—	3.61	0.32
		4.5-6.0	1.25	ND	—	2.68	0.27
		6.0-8.0	1.25	ND	—	3.10	0.33
		8.0-10.0	1.24	ND	—	3.22	0.27
		10.0-13.0	1.24	ND	—	3.93	0.32
		13.0-16.0	1.26	ND	—	2.83	0.25
		16.0-19.0	1.28	ND	—	0.82	0.14
宮城	2	0.0-1.5	1.45	0.91	0.09	5.65	0.12
		1.5-3.0	1.51	1.29	0.06	6.84	0.08
		3.0-4.5	1.61	0.84	0.06	4.67	0.09
		4.5-6.0	1.50	1.08	0.05	5.92	0.08
		6.0-8.0	1.67	0.84	0.05	5.45	0.07
		8.0-10.0	1.63	0.88	0.06	4.43	0.09
福島第一	1	0.0-1.5	1.70	5.03	0.16	28.20	0.31
		1.5-3.0	1.68	4.45	0.12	24.10	0.24
		3.0-4.5	1.79	9.24	0.30	52.00	0.59
		4.5-6.0	1.73	6.99	0.18	38.10	0.37
		6.0-8.0	1.77	4.31	0.13	23.70	0.26
		8.0-10.0	1.74	5.60	0.17	30.30	0.32
		10.0-13.0	1.60	18.30	0.42	99.90	0.88
福島第一	2	0.0-1.5	1.46	5.64	0.18	30.20	0.34
		1.5-3.0	1.49	13.60	0.36	74.20	0.75
		3.0-4.5	1.54	8.75	0.21	46.00	0.41
		4.5-6.0	1.57	7.16	0.18	40.20	0.38
		6.0-8.0	1.56	3.94	0.14	22.30	0.27
		8.0-10.0	1.58	3.88	0.11	20.40	0.20
		10.0-13.0	1.53	1.40	0.05	8.11	0.08
		13.0-16.0	1.50	0.37	0.05	2.60	0.06
		16.0-19.0	1.47	0.69	0.05	4.20	0.07

表 I -2-2-3-4(2) 海底土の採取深度、見かけ比重及び放射性 Cs 濃度の鉛直結果

海域	測点	採取深度 (cm)	見かけ比重 (g/cm <sup>3</sup> )	<sup>134</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs
				(Bq/kg-乾燥土)	誤差	(Bq/kg-乾燥土)	誤差
福島第一	3	0.0-1.5	1.50	13.00	0.36	67.50	0.72
		1.5-3.0	1.64	11.70	0.32	63.00	0.67
		3.0-4.5	1.63	14.70	0.37	78.30	0.75
		4.5-6.0	1.60	10.70	0.32	57.60	0.65
		6.0-8.0	1.65	10.30	0.31	55.70	0.63
		8.0-10.0	1.59	4.89	0.13	26.80	0.26
		10.0-13.0	1.62	1.82	0.07	10.40	0.11
		13.0-16.0	1.57	1.07	0.08	6.47	0.12
		16.0-17.5	1.50	1.02	0.09	6.72	0.12
福島第一	4	0.0-1.5	1.27	5.81	0.16	29.20	0.30
		1.5-3.0	1.31	7.74	0.22	41.60	0.43
		3.0-4.5	1.37	10.50	0.34	56.90	0.69
		4.5-6.0	1.31	10.20	0.33	53.20	0.68
		6.0-8.0	1.40	10.40	0.34	54.10	0.66
		8.0-10.0	1.36	5.22	0.16	27.60	0.29
		10.0-13.0	1.35	3.07	0.11	16.00	0.18
		13.0-16.0	1.38	1.70	0.06	9.34	0.09
		16.0-19.0	1.34	1.07	0.09	6.06	0.13
福島第二	1	0.0-1.5	1.38	4.85	0.14	24.30	0.26
		1.5-3.0	1.40	5.68	0.16	30.30	0.32
		3.0-4.5	1.37	6.30	0.20	33.70	0.38
		4.5-6.0	1.40	5.41	0.19	29.80	0.39
		6.0-8.0	1.48	4.49	0.15	25.80	0.29
		8.0-10.0	1.44	3.19	0.13	17.80	0.22
		10.0-13.0	1.46	2.91	0.11	15.80	0.16
		13.0-14.0	1.47	2.17	0.07	12.00	0.11
福島第二	2	0.0-1.5	1.36	2.92	0.09	16.70	0.15
		1.5-3.0	1.37	4.44	0.16	23.40	0.29
		3.0-4.5	1.38	5.87	0.16	31.40	0.31
		4.5-6.0	1.41	4.86	0.14	26.30	0.30
		6.0-8.0	1.46	2.67	0.08	14.40	0.14
		8.0-10.0	1.49	1.25	0.06	6.79	0.08
		10.0-13.0	1.55	0.90	0.05	4.72	0.07
		13.0-16.0	1.52	0.42	0.06	2.68	0.08
		16.0-18.9	1.51	0.25	0.05	2.13	0.06
福島第二	3	0.0-1.5	1.46	2.37	0.08	13.00	0.13
		1.5-3.0	1.37	3.31	0.14	17.20	0.25
		3.0-4.5	1.40	3.97	0.14	21.40	0.27
		4.5-6.0	1.42	2.47	0.10	14.60	0.16
		6.0-8.0	1.40	1.88	0.06	10.40	0.09
		8.0-10.0	1.46	1.10	0.07	6.11	0.10
		10.0-13.0	1.40	1.19	0.06	7.01	0.09
		13.0-16.0	1.42	0.42	0.06	2.99	0.08
		16.0-18.0	1.44	0.28	0.05	2.22	0.07



表 I -2-2-3-4(3) 海底土の採取深度、見かけ比重及び放射性 Cs 濃度の鉛直結果

海域	測点	採取深度 (cm)	見かけ比重 (g/cm <sup>3</sup> )	<sup>134</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs
				(Bq/kg-乾燥土)	誤差	(Bq/kg-乾燥土)	誤差
福島第二	4	0.0-1.5	1.64	2.92	0.11	16.20	0.20
		1.5-3.0	1.61	3.81	0.12	21.60	0.23
		3.0-4.5	1.70	2.82	0.09	15.70	0.15
		4.5-6.0	1.53	3.20	0.10	17.20	0.14
		6.0-8.0	1.62	2.30	0.09	12.80	0.14
茨城	2	0.0-1.5	1.35	8.54	0.21	46.20	0.43
		1.5-3.0	1.42	6.89	0.21	36.70	0.42
		3.0-4.5	1.40	6.61	0.18	34.20	0.37
		4.5-6.0	1.47	4.26	0.18	23.30	0.34
		6.0-8.0	1.48	3.93	0.15	20.40	0.29
		8.0-10.0	1.56	2.60	0.07	13.60	0.12
		10.0-13.0	1.53	2.26	0.08	12.60	0.13
		13.0-16.0	1.60	1.76	0.06	9.82	0.09
		16.0-17.5	1.53	0.89	0.05	5.42	0.07
静岡	4	0.0-1.5	1.36	ND	—	1.97	0.10
		1.5-3.0	1.39	ND	—	1.74	0.10
		3.0-4.5	1.37	ND	—	1.97	0.10
		4.5-6.0	1.31	ND	—	1.87	0.10
		6.0-8.0	1.25	ND	—	1.11	0.09
		8.0-10.0	1.23	ND	—	0.93	0.08
		10.0-13.0	1.29	ND	—	1.26	0.09
		13.0-16.0	1.33	ND	—	ND	—
		16.0-19.0	1.33	ND	—	ND	—
新潟	1	0.0-1.5	1.18	0.63	0.20	8.29	0.47
		1.5-3.0	1.13	0.54	0.12	7.75	0.22
		3.0-4.5	1.17	0.63	0.20	8.40	0.41
		4.5-6.0	1.17	0.59	0.11	6.87	0.20
		6.0-8.0	1.16	0.43	0.12	6.41	0.19
		8.0-10.0	1.19	ND	—	7.04	0.20
		10.0-13.0	1.18	ND	—	4.74	0.17
		13.0-16.0	1.18	ND	—	3.30	0.16
		16.0-19.0	1.19	ND	—	1.91	0.14
		19.0-22.0	1.19	ND	—	2.05	0.13
		22.0-25.0	1.18	ND	—	0.46	0.09
新潟	2	0.0-1.5	1.17	0.72	0.11	8.94	0.20
		1.5-3.0	1.19	0.58	0.11	9.77	0.23
		3.0-4.5	1.19	1.99	0.47	11.13	0.52
		4.5-6.0	1.16	0.75	0.12	9.40	0.20
		6.0-8.0	1.17	0.33	0.11	7.97	0.18
		8.0-10.0	1.16	ND	—	6.56	0.17
		10.0-13.0	1.16	ND	—	4.08	0.15
		13.0-16.0	1.13	ND	—	1.51	0.12
		16.0-19.0	1.14	ND	—	1.48	0.11

表 I -2-2-3-4(4) 海底土の採取深度、見かけ比重及び放射性 Cs 濃度の鉛直結果

海域	測点	採取深度	見かけ比重	$^{134}\text{Cs}$	$^{134}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$
		(cm)	(g/cm <sup>3</sup> )	(Bq/kg-乾燥土)	誤差	(Bq/kg-乾燥土)	誤差
新潟	3	0.0-1.5	1.13	ND	—	6.81	0.46
		1.5-3.0	1.13	ND	—	7.21	0.39
		3.0-4.5	1.17	ND	—	8.85	0.21
		4.5-6.0	1.15	ND	—	7.62	0.39
		6.0-8.0	1.15	ND	—	8.45	0.31
		8.0-10.0	1.15	ND	—	8.83	0.47
		10.0-13.0	1.19	ND	—	6.52	0.35
		13.0-16.0	1.18	ND	—	3.09	0.17
		16.0-19.0	1.14	ND	—	1.78	0.13
		19.0-22.0	1.19	ND	—	1.53	0.16
		22.0-25.0	1.16	ND	—	0.31	0.09
新潟	4	0.0-1.5	1.53	ND	—	2.18	0.24
		1.5-3.0	1.54	ND	—	2.40	0.23
		3.0-4.5	1.51	ND	—	1.96	0.20
		4.5-6.0	1.51	ND	—	0.67	0.10
		6.0-8.0	1.54	ND	—	0.73	0.14
		8.0-10.0	1.53	ND	—	0.15	0.06
石川	2	0.0-1.5	1.39	ND	—	1.47	0.08
		1.5-3.0	1.44	ND	—	1.66	0.06
		3.0-4.5	1.41	ND	—	2.03	0.09
		4.5-6.0	1.39	ND	—	1.60	0.09
		6.0-8.0	1.46	ND	—	1.17	0.08
		8.0-10.0	1.43	ND	—	0.94	0.07
		10.0-13.0	1.46	ND	—	0.85	0.08
		13.0-16.0	1.44	ND	—	0.98	0.07
福井第一	2	0.0-1.5	1.25	ND	—	3.87	0.31
		1.5-3.0	1.25	ND	—	4.13	0.33
		3.0-4.5	1.28	ND	—	3.91	0.35
		4.5-6.0	1.28	ND	—	3.98	0.35
		6.0-8.0	1.31	ND	—	4.97	0.40
		8.0-10.0	1.29	ND	—	4.84	0.40
		10.0-13.0	1.30	ND	—	5.14	0.39
		13.0-16.0	1.27	ND	—	5.46	0.40
福井第二	2	0.0-1.5	1.17	ND	—	2.81	0.27
		1.5-3.0	1.16	ND	—	3.09	0.29
		3.0-4.5	1.15	ND	—	2.82	0.30
		4.5-6.0	1.16	ND	—	2.85	0.30
		6.0-8.0	1.15	ND	—	4.08	0.29
		8.0-10.0	1.18	ND	—	3.66	0.28
		10.0-13.0	1.19	ND	—	4.25	0.29
		13.0-16.0	1.16	ND	—	3.00	0.27
16.0-19.0	1.19	ND	—	1.89	0.24		

表 I -2-2-3-4(5) 海底土の採取深度、見かけ比重及び放射性 Cs 濃度の鉛直結果

海域	測点	採取深度	見かけ比重	<sup>134</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs
		(cm)	(g/cm <sup>3</sup> )	(Bq/kg-乾燥土)	誤差	(Bq/kg-乾燥土)	誤差
島根	2	0.0-1.5	1.72	ND	—	0.64	0.10
		1.5-3.0	1.73	ND	—	0.73	0.09
		3.0-4.5	1.74	ND	—	0.53	0.07
		4.5-6.0	1.72	ND	—	0.61	0.07
		6.0-8.0	1.71	ND	—	0.59	0.08
		8.0-10.0	1.75	ND	—	0.66	0.07
愛媛	2	0.0-1.5	1.54	ND	—	0.74	0.11
		1.5-3.0	1.58	ND	—	1.07	0.09
		3.0-4.5	1.54	ND	—	1.02	0.11
		4.5-6.0	1.61	ND	—	0.90	0.09
		6.0-8.0	1.56	ND	—	1.06	0.19
		8.0-10.0	1.58	ND	—	0.90	0.17
		10.0-13.0	1.59	ND	—	0.59	0.25
		13.0-16.0	1.52	ND	—	0.90	0.18
佐賀	2	0.0-1.5	1.83	ND	—	0.21	0.07
		1.5-3.0	1.78	ND	—	ND	—
		3.0-4.5	1.81	ND	—	ND	—
鹿児島	2	0.0-1.5	1.63	ND	—	0.62	0.17
		1.5-3.0	1.67	ND	—	ND	—
		3.0-4.5	1.68	ND	—	0.60	0.23
		4.5-6.0	1.71	ND	—	0.47	0.21

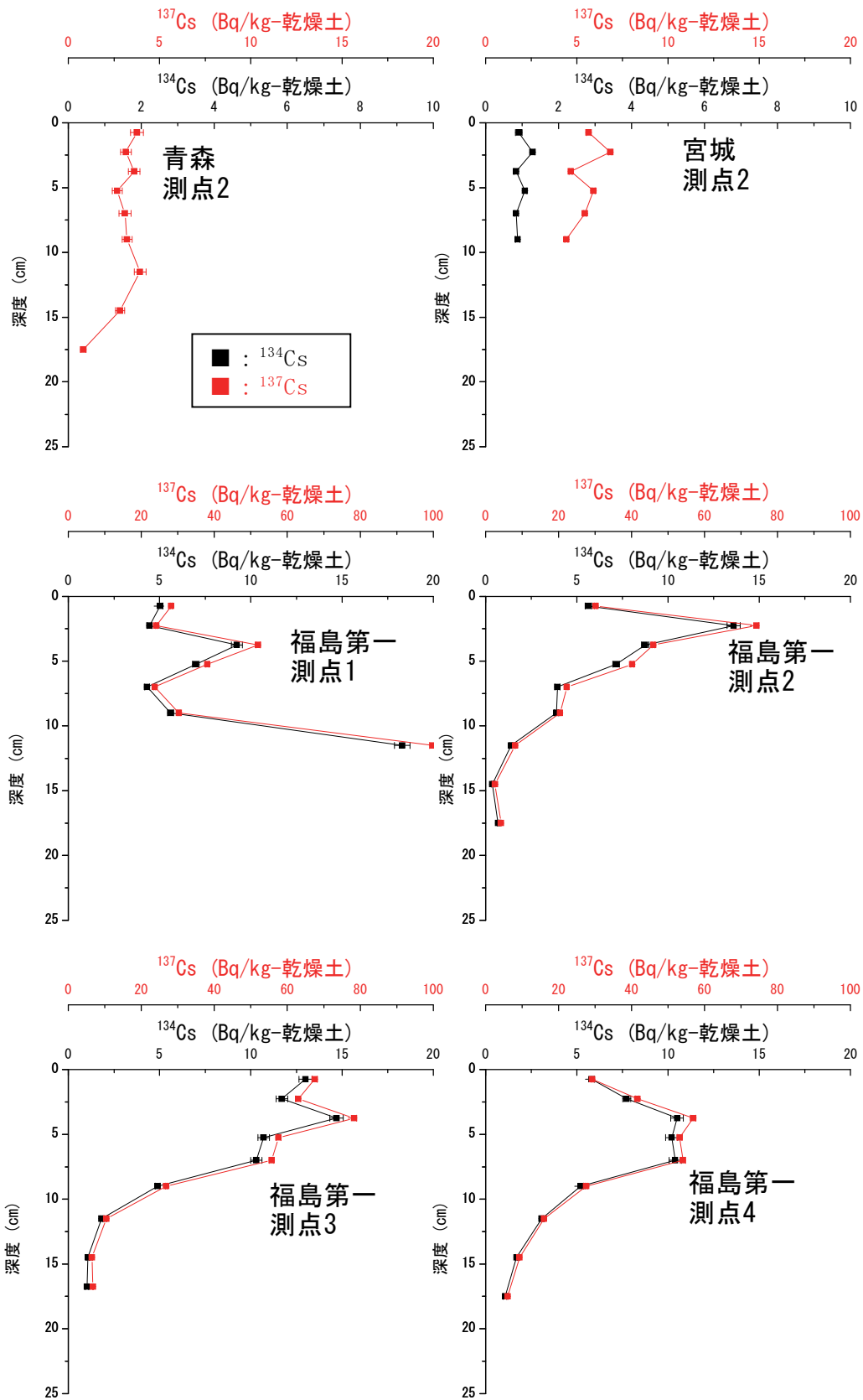


図 I -2-2-3-10 (1) 海底土中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の鉛直分布 (東日本海域)

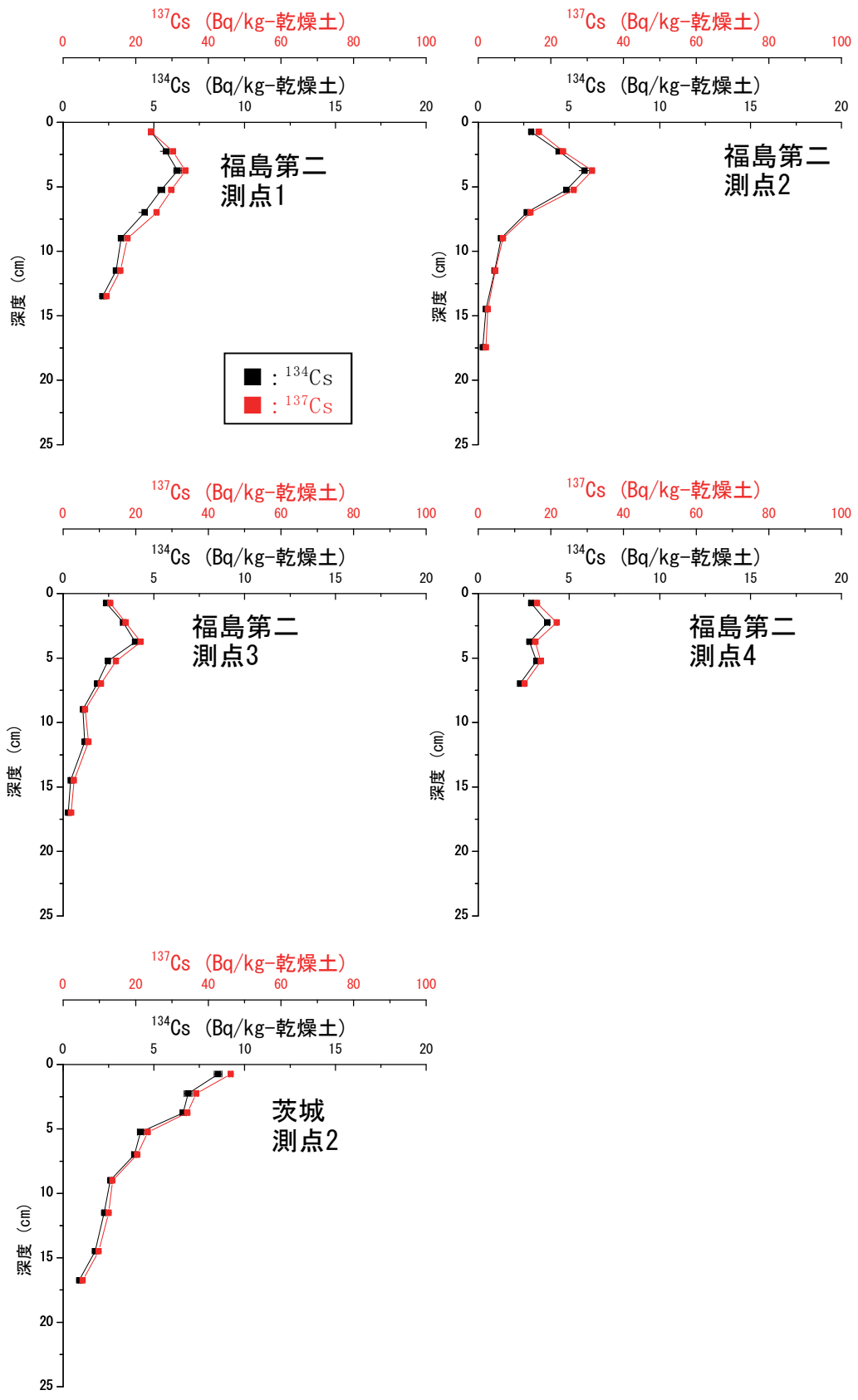


図 I -2-2-3-10 (2) 海底土中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の鉛直分布 (東日本海域)

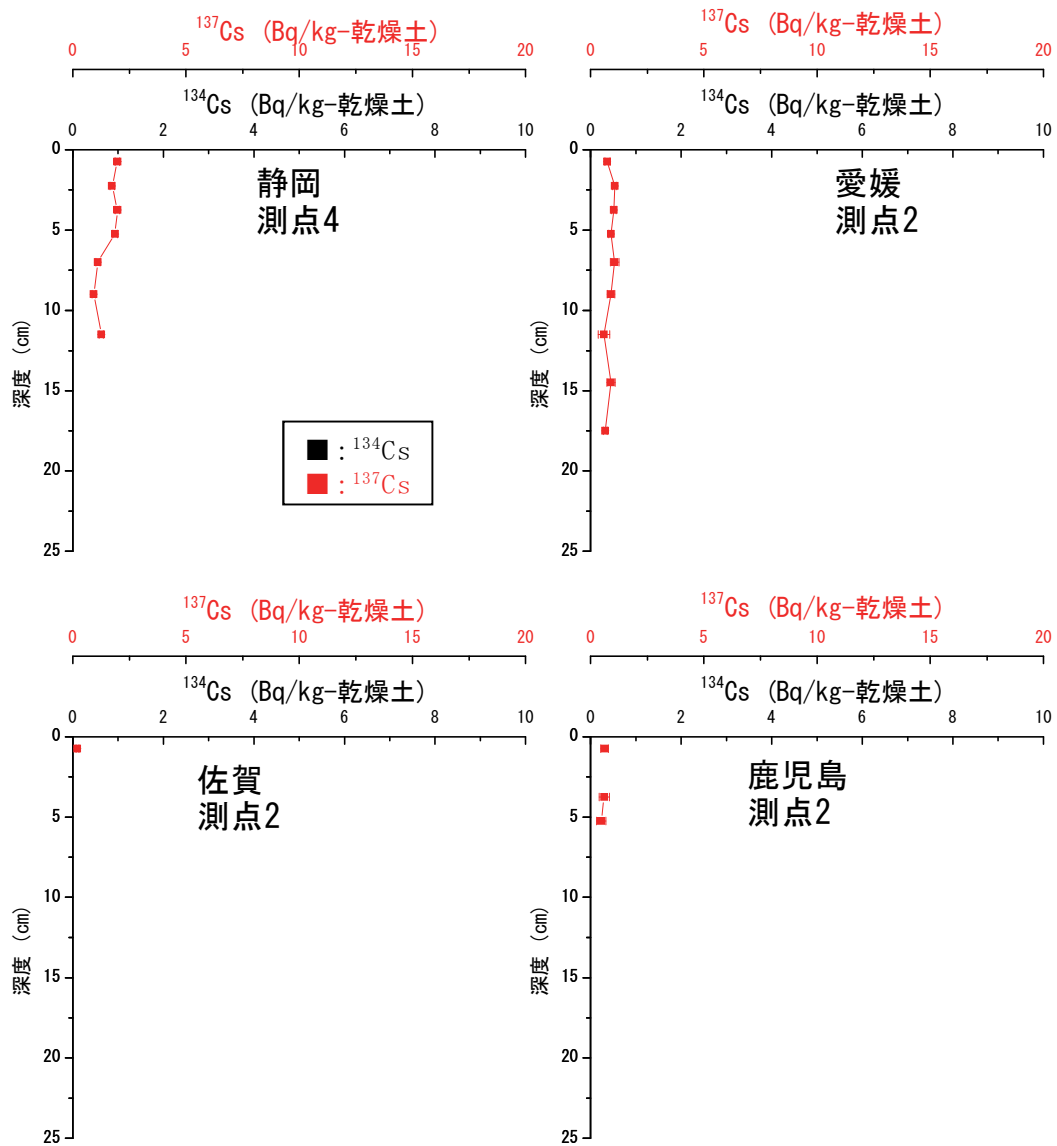


図 I -2-2-3-10 (3) 海底土中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の鉛直分布 (西日本海域)

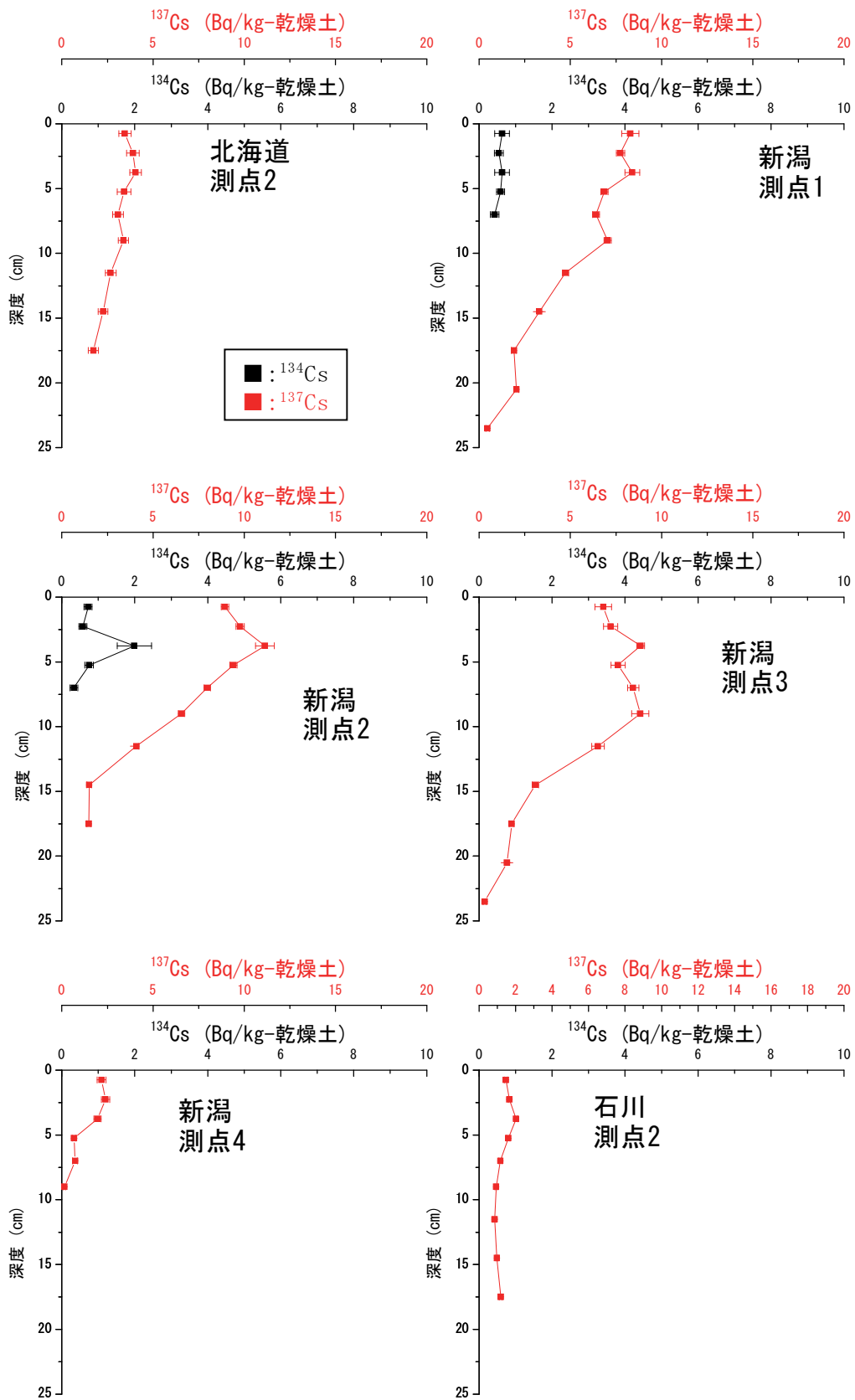


図 I -2-2-3-10 (4) 海底土中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の鉛直分布 (日本海海域)

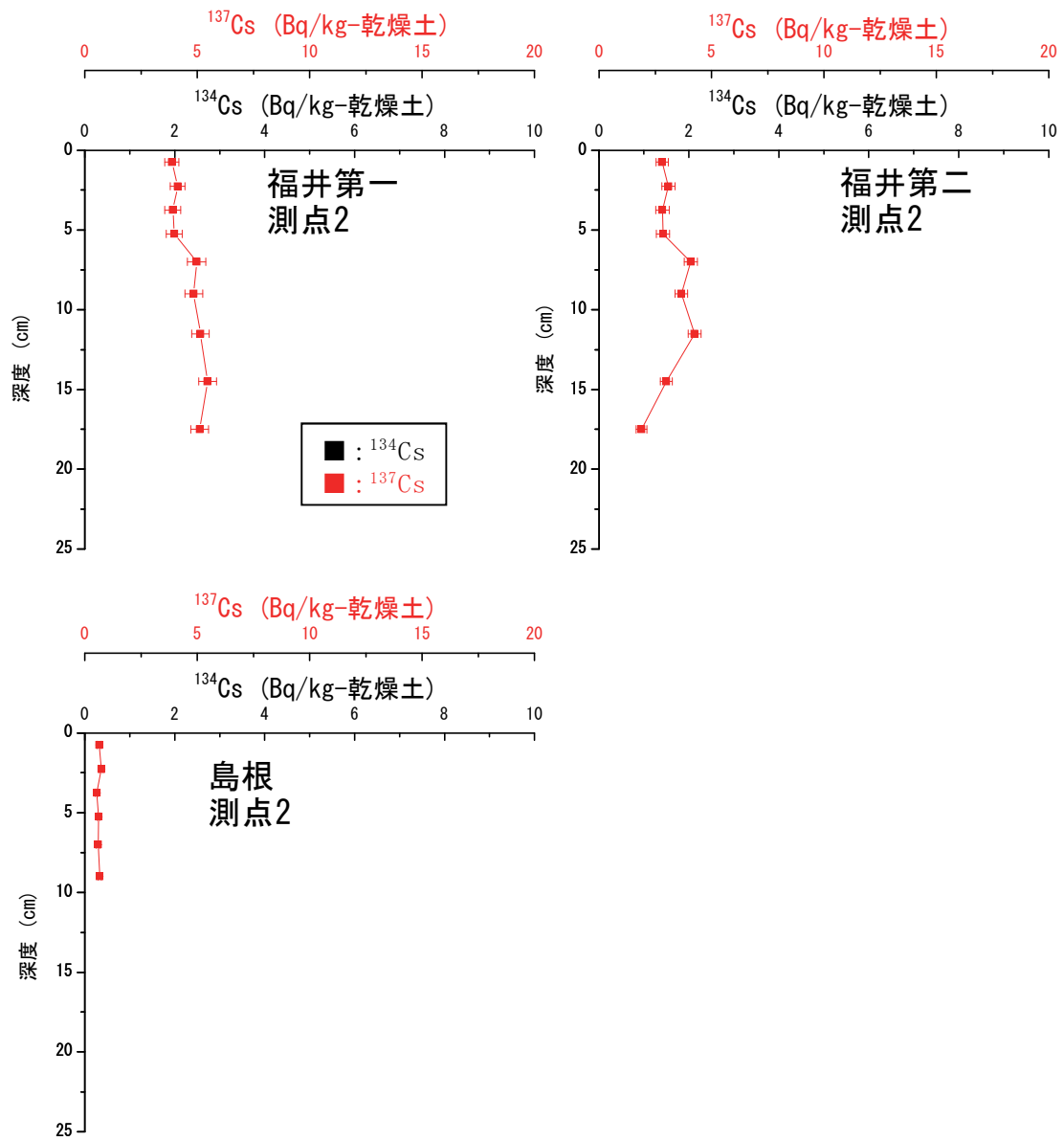


図 I -2-2-3-10 (5) 海底土中の <sup>137</sup>Cs 濃度の鉛直分布 (日本海海域)



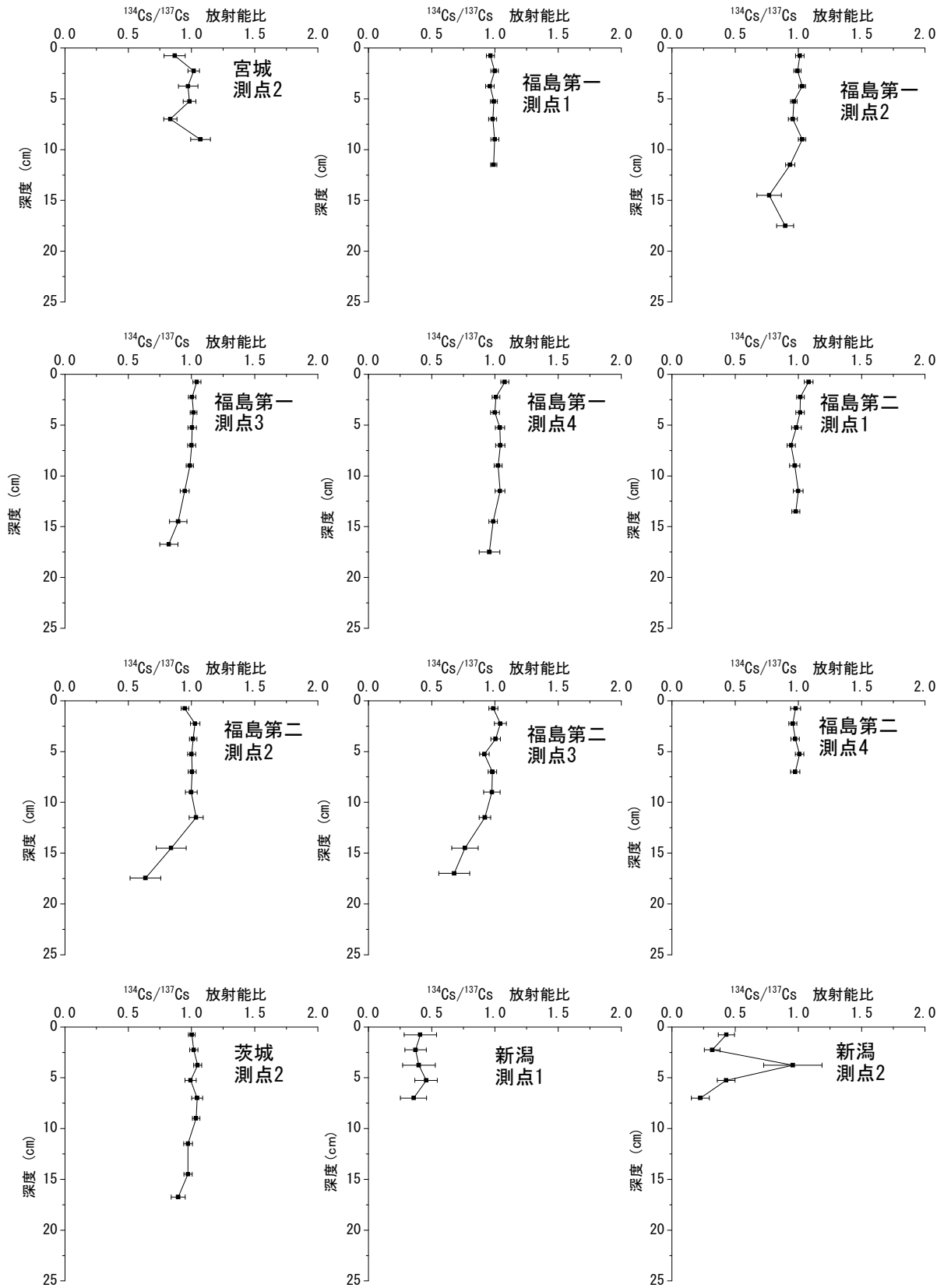


図 I-2-2-3-11 海底土中の  $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$  放射能比の鉛直分布

### ③海水中の放射性 Cs

#### i. 表層における放射性 Cs 濃度変動

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の表層海水を中心に、東電福島第一原発事故以降、海水中  $^{137}\text{Cs}$  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（図 I-2-2-3-12）。現状有効と考えられる検証方法は、東電福島第一原発事故由来と考えられる  $^{134}\text{Cs}$  を検出することであり、 $^{134}\text{Cs}$  が検出されることによって表層海水中の  $^{137}\text{Cs}$  の濃度変化の原因が推定できる。

そこで、平成 23～28 年度の発電所海域で採取した海水試料について長時間測定を行い、西日本海域および日本海海域の表層海水における放射性 Cs 濃度の経年変動を解析する。

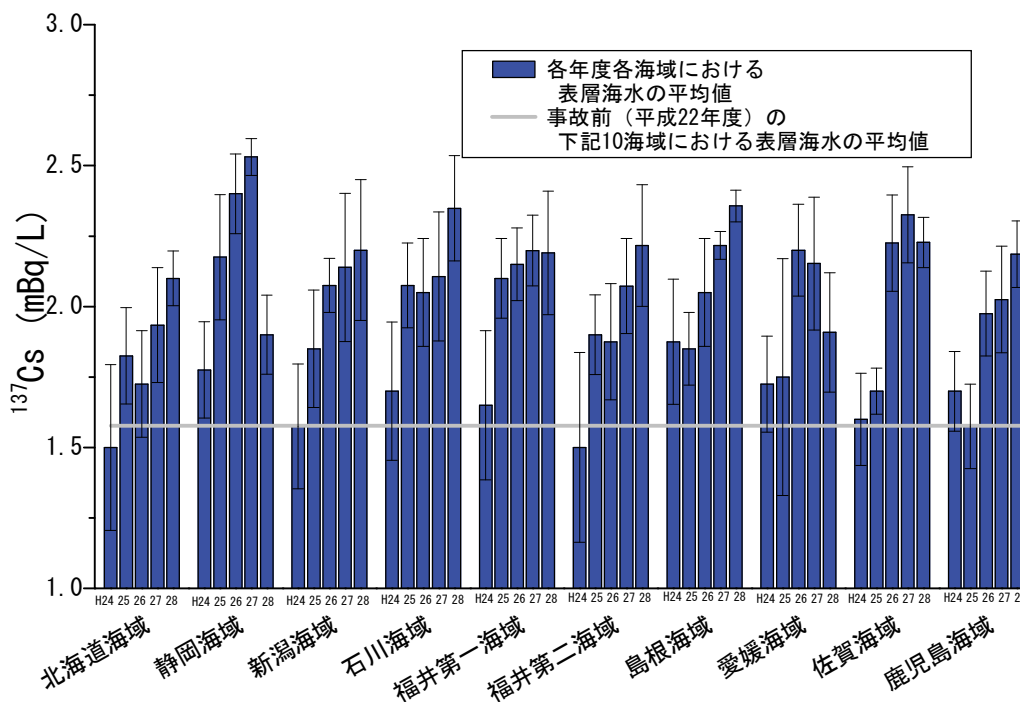


図 I-2-2-3-12 各海域における海水表層中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の平均値

#### (i) 試料採取及び分析

発電所海域のうち、分析を行った平成 23～28 年度の保管試料である表層 53 試料及び下層 45 試料（AMP 吸着試料：各年度の 8 もしくは 9 海域から 1 測点）を表 I-2-2-3-5 に示す。なお、試料は下記の方法で選定している。

- $^{137}\text{Cs}$  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 27、28 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  $^{137}\text{Cs}$  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 23～28 年度の海洋放射能調査において測定済み試料の内、 $^{137}\text{Cs}$  濃度が平成 24 年

度以降変化していると判断される海域の表層海水試料に加え、下層の試料についても、金沢大学低レベル放射能実験施設の高感度γ線スペクトロメーターによる長時間測定を行って<sup>134</sup>Cs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 -2-2-3-5 に示す。なお、測定結果は東北地方太平洋沖地震とそれによって発生した津波発生時（平成 23 年 3 月 11 日）に補正した。

各年度における対象の海域表層の<sup>134</sup>Csの平均値は、0.83（平成 23 年度）、0.22（平成 24 年度）、0.41（平成 25 年度）、0.66（平成 26 年度）、0.80（平成 27 年度）及び0.82mBq/L（平成 28 年度）であり、東電福島第一原発事故直後の大気由来の<sup>134</sup>Csが検出された平成 23 年度を除いて、年毎の上昇が確認された。<sup>137</sup>Csも<sup>134</sup>Csと同比率（<sup>137</sup>Cs 上昇分に対する<sup>134</sup>Cs 上昇分の比：約 1、図 I -2-2-3-13）で上昇する結果となっており、この比率は東電福島第一原発事故によって放出された<sup>134</sup>Cs及び<sup>137</sup>Cs放射能比（約 1）と一致する。本調査における西日本海域および日本海海域の表層海水での<sup>137</sup>Cs濃度上昇分は、東電福島第一原発事故によって付加されたと考えられる。また、下層においても、平成 24 年度から<sup>134</sup>Csが検出された（表 I -2-2-3-5）。検出された要因は「ii. 放射性 Cs 濃度の鉛直分布」で詳述するが、ほとんどの表層から下層まで水温塩分が一樣な海域（採水層の浅い海域）において<sup>134</sup>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による鉛直方向の混合で<sup>134</sup>Csが下層まで運ばれたと考えられる。

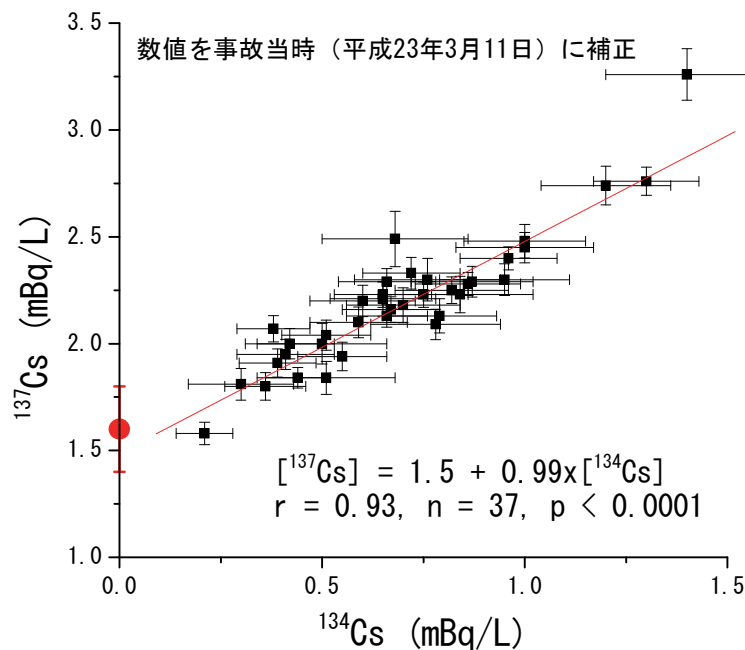


図 I -2-2-3-13 西日本及び日本海の海水試料の表層中事故後の放射性セシウム濃度。  
 ●は事故前(平成 22 年度)の全国の発電所及び核燃海域での平均値  
 (1.6±0.2 mBq/L)。図中の式は<sup>137</sup>Cs濃度が上昇した分と<sup>134</sup>Cs濃度が  
 上昇した比率（傾き）がほぼ 1 であることを示している。

表 I-2-2-3-5(1) 長時間測定による海水中の放射性 Cs 濃度

海域	年度	測点	採水層	採取日	測定時間	<sup>134</sup> Cs*	<sup>134</sup> Cs*	<sup>137</sup> Cs*	<sup>137</sup> Cs*
					(s)	(mBq/L)	誤差	(mBq/L)	誤差
北海道	H24	3	表層	平成 24 年 6 月 2 日	318587	—		1.6	0.065
	H25	3	表層	平成 25 年 5 月 27 日	335523	—		1.8	0.047
	H26	3	表層	平成 26 年 6 月 6 日	335531	0.36	0.10	1.8	0.064
	H27	3	表層	平成 27 年 5 月 19 日	335533	0.42	0.11	2.0	0.071
	H28	3	表層	平成 28 年 5 月 21 日	329213	0.60	0.13	2.2	0.074
新潟	H23	1	表層	平成 23 年 5 月 22 日	157719	0.68	0.18	2.5	0.13
	H24	2	表層	平成 24 年 6 月 4 日	334539	—		1.5	0.071
	H25	2	表層	平成 25 年 5 月 20 日	330076	0.39	0.095	1.9	0.066
	H26	2	表層	平成 26 年 5 月 12 日	355019	0.51	0.17	1.8	0.077
	H27	2	表層	平成 27 年 5 月 18 日	252988	0.79	0.14	2.1	0.080
	H28	2	表層	平成 28 年 6 月 5 日	250930	0.66	0.12	2.3	0.061
石川	H23	1	表層	平成 23 年 5 月 15 日	259953	0.38	0.09	2.1	0.061
	H24	4	表層	平成 24 年 6 月 5 日	247432	—		1.6	0.072
	H25	4	表層	平成 25 年 5 月 19 日	330072	0.44	0.08	1.8	0.048
	H26	4	表層	平成 26 年 5 月 19 日	354986	0.50	0.16	2.0	0.095
	H27	4	表層	平成 27 年 5 月 18 日	252984	0.75	0.11	2.2	0.059
	H28	4	表層	平成 28 年 6 月 3 日	329215	0.86	0.13	2.3	0.054
福井第二	H23	1	表層	平成 23 年 5 月 18 日	157722	—		1.8	0.071
	H24	3	表層	平成 24 年 6 月 9 日	250290	—		1.5	0.071
	H25	3	表層	平成 25 年 5 月 17 日	330074	0.51	0.11	2.0	0.070
	H26	3	表層	平成 26 年 5 月 21 日	354995	0.76	0.18	2.3	0.10
	H27	3	表層	平成 27 年 5 月 18 日	252992	0.70	0.14	2.2	0.082
	H28	3	表層	平成 28 年 5 月 31 日	250936	0.84	0.18	2.2	0.086
島根	H23	3	表層	平成 23 年 5 月 12 日	164653	—		1.6	0.11
	H24	3	表層	平成 24 年 6 月 10 日	247443	—		1.6	0.073
	H25	3	表層	平成 25 年 5 月 16 日	318585	0.30	0.13	1.8	0.074
	H26	3	表層	平成 26 年 5 月 22 日	264068	0.65	0.12	2.2	0.059
	H27	3	表層	平成 27 年 5 月 17 日	250293	0.67	0.12	2.2	0.060
	H28	3	表層	平成 28 年 5 月 30 日	329216	0.95	0.16	2.3	0.074
佐賀	H23	3	表層	平成 23 年 5 月 3 日	252645	—		1.5	0.075
	H24	3	表層	平成 24 年 6 月 13 日	264077	—		1.6	0.070
	H25	3	表層	平成 25 年 6 月 19 日	334886	—		1.5	0.047
	H26	3	表層	平成 26 年 5 月 27 日	334539	0.72	0.12	2.3	0.074
	H27	3	表層	平成 27 年 5 月 13 日	334539	1.0	0.15	2.5	0.079
	H28	3	表層	平成 28 年 5 月 26 日	417154	1.0	0.17	2.5	0.071
鹿児島	H23	3	表層	平成 23 年 5 月 2 日	164654	—		1.5	0.087
	H24	3	表層	平成 24 年 6 月 14 日	264074	—		1.6	0.070
	H25	3	表層	平成 25 年 6 月 18 日	337493	—		1.8	0.068
	H26	3	表層	平成 26 年 5 月 28 日	337489	0.55	0.11	1.9	0.066
	H27	3	表層	平成 27 年 5 月 11 日	336351	0.96	0.12	2.4	0.054
	H28	3	表層	平成 28 年 5 月 25 日	343318	0.78	0.16	2.1	0.071
愛媛	H23	3	表層	平成 23 年 4 月 30 日	164621	—		1.5	0.083
	H24	3	表層	平成 24 年 6 月 12 日	250290	—		1.6	0.072
	H25	3	表層	平成 25 年 6 月 22 日	313129	0.41	0.12	1.9	0.070
	H26	3	表層	平成 26 年 5 月 31 日	313129	0.59	0.12	2.1	0.072
	H27	3	表層	平成 27 年 5 月 14 日	313131	0.66	0.10	2.1	0.052
	H28	3	表層	平成 28 年 5 月 27 日	343304	0.82	0.14	2.2	0.062
静岡	H23	3	表層	平成 23 年 5 月 9 日	164625	1.4	0.20	3.3	0.12
	H24	3	表層	平成 24 年 7 月 1 日	247447	0.21	0.07	1.6	0.052
	H25	3	表層	平成 25 年 5 月 12 日	252300	0.65	0.13	2.2	0.082
	H26	3	表層	平成 26 年 5 月 14 日	252299	1.2	0.16	2.7	0.091
	H27	3	表層	平成 27 年 6 月 3 日	252299	1.3	0.13	2.8	0.066
	H28	3	表層	平成 28 年 6 月 24 日	343316	0.87	0.15	2.3	0.072

\* 平成 23 年 3 月 11 日に値を補正。

— 検出下限値以下

表 I -2-2-3-5(2) 長時間測定による海水中の放射性 Cs 濃度

海域	年度	測点	水深	採水層	採取日	測定時間	<sup>134</sup> Cs*	<sup>134</sup> Cs*	<sup>137</sup> Cs*	<sup>137</sup> Cs*
			(m)			(s)	(mBq/L)	誤差	(mBq/L)	誤差
北海道	H24	3	495	471	平成 24 年 6 月 2 日	164661	—		1.3	0.058
	H25	3	484	452	平成 25 年 5 月 27 日	251030	—		1.7	0.076
	H26	3	482	473	平成 26 年 6 月 6 日	332138	—		1.4	0.058
	H27	3	486	470	平成 27 年 5 月 19 日	177196	—		1.4	0.080
	H28	3	472	467	平成 28 年 5 月 21 日	177192	—		1.3	0.056
新潟	H24	2	525	495	平成 24 年 6 月 4 日	415834	0.33	0.09	1.7	0.056
	H25	2	521	502	平成 25 年 5 月 20 日	267828	—		1.7	0.072
	H26	2	526	505	平成 26 年 5 月 12 日	177196	—		1.5	0.084
	H27	2	520	500	平成 27 年 5 月 22 日	259956	—		1.5	0.068
	H28	2	518	498	平成 28 年 6 月 4 日	168389	—		1.5	0.084
石川	H24	4	171	153	平成 24 年 6 月 5 日	161451	—		1.6	0.090
	H25	4	168	157	平成 25 年 5 月 19 日	267830	0.34	0.10	2.0	0.056
	H26	4	166	151	平成 26 年 5 月 19 日	253126	0.68	0.17	2.1	0.071
	H27	4	171	156	平成 27 年 5 月 20 日	343307	0.82	0.12	2.2	0.052
	H28	4	171	158	平成 28 年 6 月 3 日	168386	0.86	0.16	2.4	0.076
福井第二	H24	3	216	194	平成 24 年 6 月 9 日	250074	—		1.8	0.076
	H25	3	214	204	平成 25 年 5 月 17 日	153855	—		1.8	0.082
	H26	3	211	188	平成 26 年 5 月 21 日	267804	—		1.7	0.073
	H27	3	217	202	平成 27 年 5 月 18 日	338817	0.71	0.16	2.2	0.073
	H28	3	219	203	平成 28 年 5 月 31 日	168406	—		1.8	0.079
島根	H24	3	105	92	平成 24 年 6 月 10 日	417971	—		1.6	0.04
	H25	3	103	95	平成 25 年 5 月 16 日	251029	0.59	0.14	2.0	0.080
	H26	3	102	89	平成 26 年 5 月 22 日	153848	0.65	0.17	2.2	0.077
	H27	3	104	94	平成 27 年 5 月 17 日	253118	1.02	0.14	2.2	0.06
	H28	3	105	91	平成 28 年 5 月 30 日	421510	0.87	0.14	2.4	0.067
佐賀	H24	3	58.7	48	平成 24 年 6 月 13 日	161449	—		1.6	0.090
	H25	3	56	47	平成 25 年 6 月 19 日	245708	—		1.9	0.067
	H26	3	60	47	平成 26 年 5 月 27 日	237228	0.97	0.15	2.2	0.062
	H27	3	60	50	平成 27 年 5 月 13 日	332135	0.99	0.18	2.5	0.077
	H28	3	60	50	平成 28 年 5 月 26 日	120297	1.06	0.17	2.2	0.072
鹿児島	H24	3	92.1	82	平成 24 年 6 月 14 日	243917	—		1.6	0.053
	H25	3	92	83	平成 25 年 6 月 18 日	243920	0.65	0.15	2.1	0.070
	H26	3	93	84	平成 26 年 5 月 28 日	243943	0.97	0.20	2.7	0.094
	H27	3	96	86	平成 27 年 5 月 11 日	237241	1.1	0.19	2.7	0.094
	H28	3	97	86	平成 28 年 5 月 25 日	237230	1.2	0.20	2.3	0.074
愛媛	H24	3	65	55	平成 24 年 6 月 12 日	178236	—		1.6	0.083
	H25	3	62	52	平成 25 年 6 月 22 日	265824	—		1.9	0.075
	H26	3	66	56	平成 26 年 5 月 31 日	178252	0.68	0.16	2.3	0.085
	H27	3	66	56	平成 27 年 5 月 14 日	237236	0.77	0.17	2.1	0.085
	H28	3	67	56	平成 28 年 5 月 27 日	176597	0.62	0.15	2.3	0.072
静岡	H24	3	350	322	平成 24 年 7 月 1 日	178237	—		1.3	0.077
	H25	3	338	312	平成 25 年 5 月 12 日	170697	0.75	0.19	2.3	0.073
	H26	3	349	315	平成 26 年 5 月 14 日	178232	0.41	0.13	1.6	0.062
	H27	3	342	325	平成 27 年 6 月 3 日	347299	0.78	0.14	1.9	0.057
	H28	3	345	326	平成 28 年 6 月 24 日	347288	0.59	0.14	1.7	0.062

\* 平成 23 年 3 月 11 日に値を補正。

— 検出下限値以下

## ii. 放射性 Cs 濃度の鉛直分布

海洋放射能調査による海水中の表層並びに下層での放射性 Cs 濃度は時空間的な変動を示している。放射性 Cs の表層及び下層における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 Cs の海水中の鉛直分布を示し、その傾向を明らかにすると共に、海水中の蓄積量を見積もる際のデータとする。

### (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（20m、50m、200m、300m：表 I-2-2-3-6）から約 60～80L 採取した。この海水 1L に対して 15M 硝酸 2mL を添加し、分析まで冷暗所にて保存した。海水試料の  $^{134}\text{Cs}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  の分析は、化学分離した後、ガンマ線スペクトロメトリーにより定量した。

表 I-2-2-3-6 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	407	3
青森	2	20, 50, 100, 300	660	4
宮城	2	20, 50	160	2
福島第一	1～4	20, 50	101-132	8
福島第二	1～4	20, 50	138-156	8
茨城	2	20, 50	116	2
静岡	4	20, 50, 100, 300	540	4
新潟	2	20, 50, 100, 300	489	4
石川	2	20, 50	189	2
福井第一	2	20, 50, 100	261	3
福井第二	2	20, 50	204	2
島根	2	20	80	1
愛媛	2	20	63	1
佐賀	2	10, 20	55	2
鹿児島	2	20, 50	84	2

\*海洋放射能調査において採取された表層及び下層を除く。

### (ii) 結果

#### a. 中間層での $^{134}\text{Cs}$

海水試料の中間層で得られた分析結果を表 I-2-2-3-7 に示す。 $^{134}\text{Cs}$  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、表 I-2-2-3-7 の

結果から考察を行う。また、結果については「i. 表層における放射性 Cs 濃度変動」と同様に東日本海域（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）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。

東日本海域の中間層において、殆どの海域で  $^{134}\text{Cs}$  が検出された。また、これらの  $^{134}\text{Cs}$  は「i. 表層における放射性 Cs 濃度変動」で示した結果と同様に、東電福島第一原発由来であることが、図 I-2-2-3-14 から明らかである。ただし、傾き（即ち、 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$  上昇率の比）や相関関係（ $r=0.84$ ）が「i. 表層における放射性 Cs 濃度変動」で示した海水の表層の結果と比べて低かった。この理由として、中間層における事故前に存在していた  $^{137}\text{Cs}$  濃度にばらつきがあったためであると考えられる。平成 28 年度においては、東電福島第一原発からの直接流入の可能性のある青森、宮城、福島第一、福島第二及び茨城海域を除くすべての海域（西日本及び日本海海域）の中間層において  $^{134}\text{Cs}$  濃度が検出された。その濃度範囲は  $0.1\sim 0.2\text{mBq/L}$  であり、これらは検出下限値（ $0.2\text{mBq/L}$  以下）をわずかに上回った程度である。ここで検出された  $^{134}\text{Cs}$  は、表層と同じく  $^{137}\text{Cs}$  濃度との相関図から同様の増加傾向を示すことから（図 I-2-2-3-15）、これらの  $^{134}\text{Cs}$  は東電福島第一原発由来であると考えられる。

本調査の多くの測点が沿岸に近く、水深が 100m 前後であるため海岸線の形状等の様々な要因も絡んでいること、 $^{134}\text{Cs}$  が検出された深度のほとんどは  $10\sim 50\text{m}$  であり、それらの塩分が均一であったことから、表層との鉛直混合によって  $^{134}\text{Cs}$  がこれらの深さまで検出されたと示唆される。以上より、西日本及び日本海海域の中間層の内、 $10\sim 50\text{m}$  においては、 $^{134}\text{Cs}$  の経路は表層と同様な海流と上記の経路によって運ばれたと考えられる。

ただし、本調査において、水深の深い北海道海域の測点 2（水深： $\sim 400\text{m}$ ）、静岡海域の測点 4（水深： $\sim 550\text{m}$ ）及び福井第一海域の測点 2（水深： $\sim 240\text{m}$ ）においては 100m 層でも  $^{134}\text{Cs}$  が検出されている。これらの到達経路についてはよくわかっていない。これまでの研究において、北太平洋亜熱帯域に大気沈着した放射性 Cs が冬季鉛直混合により亜表層（深度 200m 前後）まで沈み込んでおり（亜熱帯モード水）、その海水の密度アノマリー（ $\sigma_\theta$ ）は  $25.2\sim 25.6$  であることが報告されている<sup>9)</sup>。本調査において、対照海域として外洋の四国沖における放射性 Cs の結果から（表 I-2-1-1-2、76 ページ）、250m 層において  $^{134}\text{Cs}$  濃度が検出されており、この  $\sigma_\theta$  も  $25.2$  であったことから、亜熱帯モード水が日本に近い海域にも到達している可能性がある。しかし、福井第一海域は日本海の南側に位置しており、測点 2 の 100m 層の  $\sigma_\theta$  が  $25.4$  と亜熱帯モード水の範囲内であるものの、通過経路としての佐賀及び鹿児島海域においては水深が浅く、また最大の  $\sigma_\theta$  が  $25$  未満であることから、同モード水が日本海まで入り込んでいるかは明らかとはならなかった。

一方、北海道及び静岡海域において  $^{134}\text{Cs}$  が検出された 100m 層の  $\sigma_\theta$  は  $26.2$  であり、これは北太平洋の中央モード水（ $\sigma_\theta$ ： $26.2\sim 26.6$ ）<sup>10)</sup> の範囲内であった。しかし、北海道海域は日本海の北部、静岡海域は黒潮フロント（千葉銚子沖付近）の南側（中央モード水

はもっと黒潮フロントの更に北側に形成される)に位置するため、地形的な位置関係や海流の影響から、この中央モード水形成海域から同海域へ到達するとは考えにくいこと、更に同海域と本調査の間でのデータが不十分であることから、北海道及び静岡海域の100m層で検出された<sup>134</sup>Csの到達経路については明らかには出来なかった。

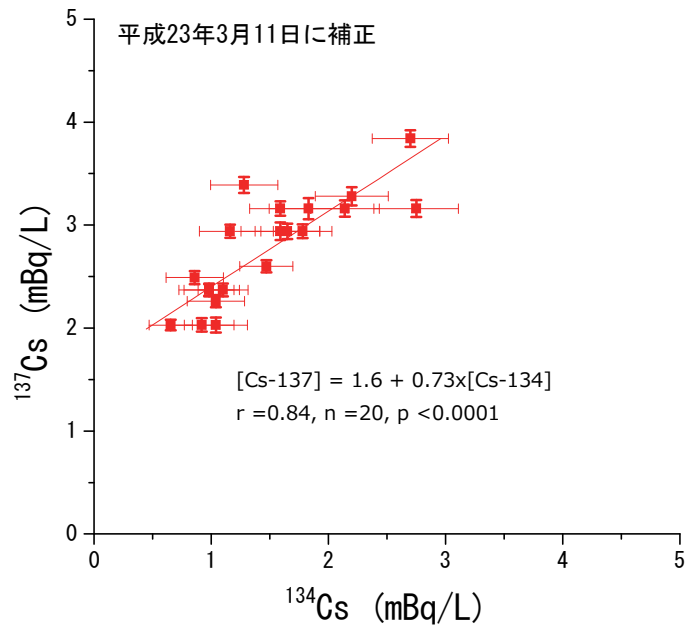


図 I -2-2-3-14 東日本海域における海水中間層 (■:20-100m 層) 中の <sup>134</sup>Cs 及び <sup>137</sup>Cs 濃度の関係

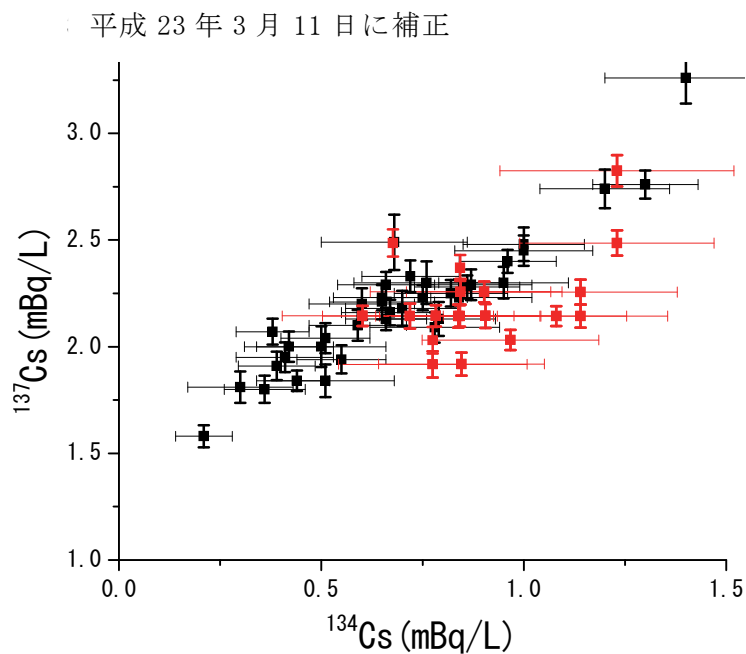


図 I -2-2-3-15 西日本及び日本海海域における表層 (■:平成 23~28 年度の試料含む) 及び中間層 (■:10-100m 層) 中の <sup>134</sup>Cs 及び <sup>137</sup>Cs 濃度の関係



表 I -2-2-3-7(1) 中間層における海水中の放射性 Cs 濃度

海域	測点	調査日	採取層 (m)	<sup>134</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs
				(mBq/L)	(誤差)	(mBq/L)	(誤差)
北海道	2	平成 28 年 5 月 22 日	1	ND	—	2	0.18
北海道	2	平成 28 年 5 月 22 日	20	ND	—	1.8	0.057
北海道	2	平成 28 年 5 月 22 日	50	0.13	0.039	1.7	0.055
北海道	2	平成 28 年 5 月 22 日	100	0.13	0.042	1.8	0.055
北海道	2	平成 28 年 5 月 22 日	389	ND	—	1.3	0.17
青森	2	平成 28 年 5 月 18 日	1	ND	—	2.3	0.21
青森	2	平成 28 年 5 月 18 日	20	ND	—	1.9	0.066
青森	2	平成 28 年 5 月 18 日	50	ND	—	1.7	0.047
青森	2	平成 28 年 5 月 18 日	100	0.11	0.031	1.8	0.046
青森	2	平成 28 年 5 月 18 日	300	ND	—	1.5	0.046
青森	2	平成 28 年 5 月 18 日	643	ND	—	0.69	0.18
宮城	2	平成 28 年 6 月 15 日	1	ND	—	3.2	0.2
宮城	2	平成 28 年 6 月 15 日	20	0.17	0.04	2	0.05
宮城	2	平成 28 年 6 月 15 日	50	0.26	0.055	2.6	0.076
宮城	2	平成 28 年 6 月 15 日	151	ND	—	2.2	0.18
福島第一	1	平成 28 年 6 月 16 日	1	0.4	0.12	3	0.12
福島第一	1	平成 28 年 6 月 16 日	20	0.21	0.047	3	0.069
福島第一	1	平成 28 年 6 月 16 日	50	ND	—	1.8	0.062
福島第一	1	平成 28 年 6 月 16 日	93	ND	—	2.5	0.18
福島第一	2	平成 28 年 6 月 18 日	1	ND	—	2.8	0.19
福島第一	2	平成 28 年 6 月 18 日	20	0.35	0.048	2.8	0.07
福島第一	2	平成 28 年 6 月 18 日	50	0.17	0.044	1.8	0.065
福島第一	2	平成 28 年 6 月 18 日	118	ND	—	2	0.18
福島第一	3	平成 28 年 6 月 18 日	1	ND	—	2.7	0.19
福島第一	3	平成 28 年 6 月 18 日	20	0.3	0.055	2.8	0.091
福島第一	3	平成 28 年 6 月 18 日	50	0.45	0.059	2.8	0.073
福島第一	3	平成 28 年 6 月 18 日	107	ND	—	2.3	0.19
福島第一	4	平成 28 年 6 月 19 日	1	ND	—	3.1	0.2
福島第一	4	平成 28 年 6 月 19 日	20	0.27	0.045	2.6	0.066
福島第一	4	平成 28 年 6 月 19 日	50	0.15	0.045	1.8	0.058
福島第一	4	平成 28 年 6 月 19 日	115	ND	—	2.5	0.19
福島第二	1	平成 28 年 6 月 19 日	1	0.98	0.15	5	0.18
福島第二	1	平成 28 年 6 月 19 日	20	0.36	0.051	2.9	0.078

表 I -2-2-3-7(2) 中間層における海水中の放射性 Cs 濃度

海域	測点	調査日	採取層 (m)	<sup>134</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs
				(mBq/L)	(誤差)	(mBq/L)	(誤差)
福島第二	1	平成 28 年 6 月 19 日	50	0.19	0.043	2.6	0.057
福島第二	1	平成 28 年 6 月 19 日	136	ND	—	2.6	0.2
福島第二	2	平成 28 年 6 月 20 日	1	ND	—	3.3	0.23
福島第二	2	平成 28 年 6 月 20 日	20	0.14	0.04	2.2	0.057
福島第二	2	平成 28 年 6 月 20 日	50	0.44	0.053	3.4	0.072
福島第二	2	平成 28 年 6 月 20 日	125	ND	—	2.5	0.2
福島第二	3	平成 28 年 6 月 19 日	1	ND	—	2.3	0.19
福島第二	3	平成 28 年 6 月 19 日	20	0.18	0.035	2.1	0.055
福島第二	3	平成 28 年 6 月 19 日	50	0.26	0.043	2.8	0.062
福島第二	3	平成 28 年 6 月 19 日	132	ND	—	2.5	0.21
福島第二	4	平成 28 年 6 月 20 日	1	ND	—	2	0.19
福島第二	4	平成 28 年 6 月 20 日	20	0.16	0.035	2.1	0.05
福島第二	4	平成 28 年 6 月 20 日	50	0.24	0.037	2.3	0.051
福島第二	4	平成 28 年 6 月 20 日	142	ND	—	2.6	0.22
茨城	2	平成 28 年 6 月 21 日	1	ND	—	2.1	0.18
茨城	2	平成 28 年 6 月 21 日	20	0.16	0.042	2.1	0.055
茨城	2	平成 28 年 6 月 21 日	50	0.29	0.041	2.6	0.059
茨城	2	平成 28 年 6 月 21 日	104	ND	—	2.1	0.18
静岡	4	平成 28 年 6 月 24 日	1	ND	—	1.9	0.18
静岡	4	平成 28 年 6 月 24 日	20	0.2	0.039	2.2	0.053
静岡	4	平成 28 年 6 月 24 日	50	0.2	0.047	2.5	0.065
静岡	4	平成 28 年 6 月 24 日	100	0.11	0.036	2.2	0.056
静岡	4	平成 28 年 6 月 24 日	300	ND	—	1.3	0.036
静岡	4	平成 28 年 6 月 24 日	539	ND	—	0.86	0.15
新潟	2	平成 28 年 6 月 5 日	1	ND	—	2.5	0.19
新潟	2	平成 28 年 6 月 5 日	20	0.14	0.034	1.7	0.048
新潟	2	平成 28 年 6 月 5 日	50	0.16	0.036	1.8	0.042
新潟	2	平成 28 年 6 月 5 日	100	ND	—	1.8	0.042
新潟	2	平成 28 年 6 月 5 日	300	ND	—	1.2	0.035
新潟	2	平成 28 年 6 月 5 日	472	ND	—	1.2	0.17
石川	2	平成 28 年 6 月 3 日	1	ND	—	2.4	0.22
石川	2	平成 28 年 6 月 3 日	20	0.15	0.031	1.9	0.05
石川	2	平成 28 年 6 月 3 日	50	0.14	0.037	2	0.053

表 I -2-2-3-7(3) 中間層における海水中の放射性 Cs 濃度

海域	測点	調査日	採取層 (m)	<sup>134</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs
				(mBq/L)	(誤差)	(mBq/L)	(誤差)
石川	2	平成 28 年 6 月 3 日	177	ND	—	1.5	0.21
福井第一	2	平成 28 年 6 月 1 日	1	ND	—	2.5	0.18
福井第一	2	平成 28 年 6 月 1 日	20	0.13	0.032	1.9	0.045
福井第一	2	平成 28 年 6 月 1 日	50	0.1	0.033	1.9	0.042
福井第一	2	平成 28 年 6 月 1 日	100	0.14	0.038	2.1	0.054
福井第一	2	平成 28 年 6 月 1 日	244	ND	—	1.7	0.17
福井第二	2	平成 28 年 5 月 31 日	1	ND	—	2.2	0.21
福井第二	2	平成 28 年 5 月 31 日	20	0.14	0.033	1.9	0.045
福井第二	2	平成 28 年 5 月 31 日	50	0.15	0.032	2	0.043
福井第二	2	平成 28 年 5 月 31 日	187	ND	—	1.9	0.2
島根	2	平成 28 年 5 月 30 日	1	ND	—	2.2	0.23
島根	2	平成 28 年 5 月 30 日	20	0.18	0.029	1.9	0.041
島根	2	平成 28 年 5 月 30 日	71	ND	—	1.8	0.21
愛媛	2	平成 28 年 5 月 27 日	1	ND	—	1.9	0.21
愛媛	2	平成 28 年 5 月 27 日	20	0.12	0.036	1.9	0.052
愛媛	2	平成 28 年 5 月 27 日	51	ND	—	1.9	0.23
佐賀	2	平成 28 年 5 月 26 日	1	ND	—	2.3	0.19
佐賀	2	平成 28 年 5 月 26 日	10	0.14	0.034	1.9	0.048
佐賀	2	平成 28 年 5 月 26 日	20	0.19	0.036	1.9	0.048
佐賀	2	平成 28 年 5 月 26 日	45	ND	—	2.1	0.19
鹿児島	2	平成 28 年 5 月 25 日	1	ND	—	2.2	0.21
鹿児島	2	平成 28 年 5 月 25 日	20	ND	—	1.8	0.043
鹿児島	2	平成 28 年 5 月 25 日	50	0.19	0.04	2	0.052
鹿児島	2	平成 28 年 5 月 25 日	73	ND	—	1.9	0.21

## b. 中間層での $^{137}\text{Cs}$

各海域における  $^{137}\text{Cs}$  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-2-2-3-16 に示す。ここでは「a. 中間層での  $^{134}\text{Cs}$ 」と同様に、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  $^{137}\text{Cs}$  濃度は表層から 50m 層にかけて 2.3mBq/L から 1.7mBq まで減少し、深度 100m で 1.8mBq/L と若干増加した後、下層（643m 層）まで緩やかに減少した。同様な分布は宮城海域及び福島第二海域の測点 2 及び 3 で見られた。また、 $^{137}\text{Cs}$  濃度の極大値が表層よりも深い層で観測されたのは、福島第一海域の測点 3（50～100m 層：2.8mBq/L）、福島第二海域の測点 2～4（50m 層～142m 層：2.6～3.4mBq/L）、茨城海域（50m 層：2.6mBq/L）であった。一方で、 $^{137}\text{Cs}$  濃度の極小値が下層以外で観測された海域は宮城海域（20m 層：2.0mBq/L）、福島第一海域の測点 1, 2, 4（いずれも 50m 層：1.8mBq/L）、福島第二海域の測点 2～4（表層～20m 層：2.0～2.2mBq/L）であった。

このように詳細な  $^{137}\text{Cs}$  濃度の鉛直分布、また図 I-2-2-3-17 に示す塩分と  $^{137}\text{Cs}$  濃度の関連性が見られないことから、各海域における  $^{137}\text{Cs}$  濃度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。例えば「1. 海洋放射能調査海域周辺での調査」の福島第二海域の測点 1 の表層で観測された高い  $^{137}\text{Cs}$  濃度（5mBq/L）がどれほどの深度まで及んでいるか、もしくは表層のみであるかを検討する際、中間層での詳細なデータからの解析が重要となる。同測点 1 の直下深度 20m では平成 27 年度同様の  $^{137}\text{Cs}$  濃度であることから、高い値は極浅い層に限られていることがわかった。以上のように、東電福島第一原発に近い海域における海水中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度は深度方向に対してばらつくことが明らかとなったが、中間層による詳細な鉛直分布を解析することで、各海域の海水中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の状況が把握できることとなった。

日本海海域では水深が 100m を超える北海道、新潟、石川、福井第一及び福井第二海域において  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、表層（2.0～2.5mBq/L）から 20～50m 層にかけて減少し、50～100m 層で極大値（1.8～2.1mBq/L）を取り、その後下層まで減少した。西日本海域の静岡海域における  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、表層で低いものの（1.9mBq/L）、日本海同様に 50m 層で極大値（2.5mBq/L）をとり、その後緩やかに減少した。これらの海域において、表層以深で極大値を取った深度は  $^{134}\text{Cs}$  が検出されており、また、北海道海域の密度アノマリー（ $\sigma_\theta$ ）は 26.2 であるものの、それ以外は 25.4～25.7 であった。したがって、日本海の南側においては、亜熱帯モード水に起因するような水塊、すなわち東電福島第一原発由来の放射性 Cs が付加された水塊が日本海の亜表層を中心に入り込んでいる可能性がある。しかし、上述したとおり、同モード水が日本海まで入り込んでいるかは明らかとはならなかった。一方、水深が 100m 以浅の島根、愛媛、佐賀及び鹿児島海域においては塩分の鉛直分布がほとんど変化してい

ないことから、表層から下層までほぼ同じ  $^{137}\text{Cs}$  濃度であった。ただし、水深が浅い海域においても  $^{137}\text{Cs}$  濃度の詳細な鉛直分布から、島根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。

以上のように、各海域における  $^{137}\text{Cs}$  濃度の鉛直分布の詳細を調査することで、各海域に東電福島第一原発由来の放射性 Cs がどのように影響しているかが確認できた。東電福島第一原発に近い東日本海域において、 $^{137}\text{Cs}$  濃度は鉛直的にばらつきが確認されたが影響は浅い層に限られていることが分かった。また、西日本海域及び日本海海域においては水深が深い海域において同様な鉛直分布を示したが、 $^{137}\text{Cs}$  濃度の極大値を取った深度において同じ水塊が影響していることが示唆された。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、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。

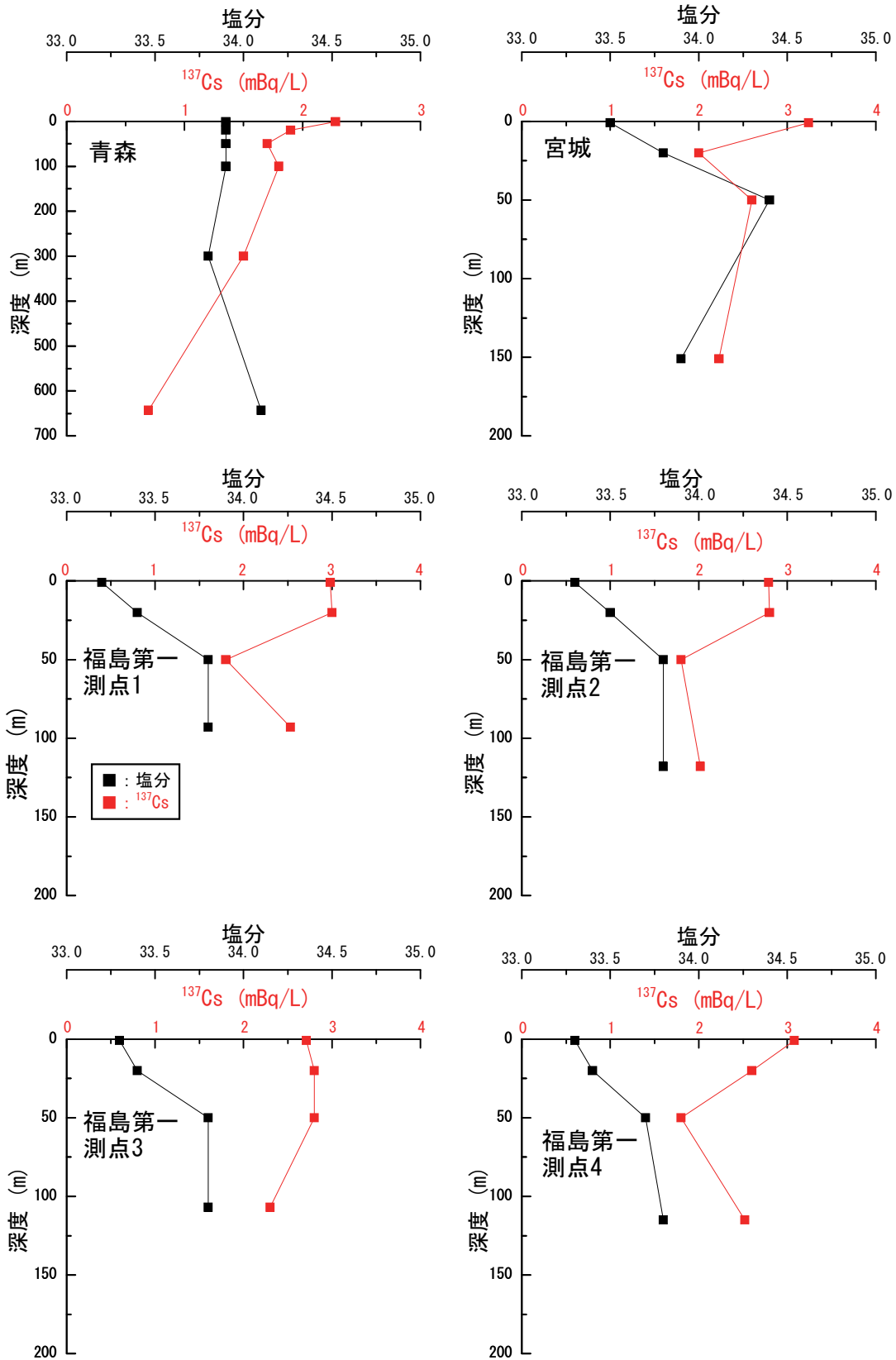


図 I -2-2-3-16(1) 東日本海域における  $^{137}\text{Cs}$  濃度の鉛直分布図

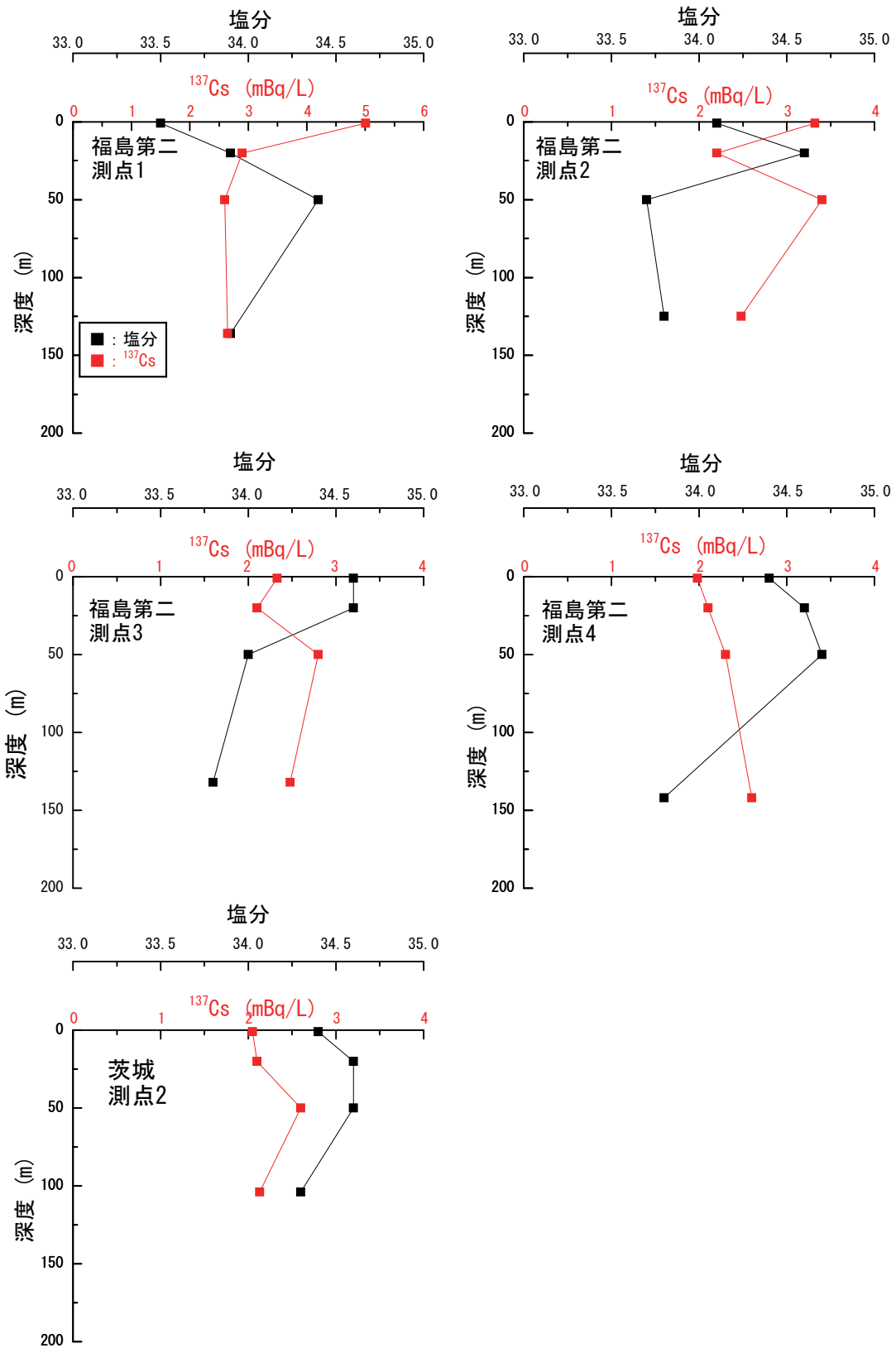


図 I -2-2-3-16(2) 東日本海域における  $^{137}\text{Cs}$  濃度の鉛直分布図

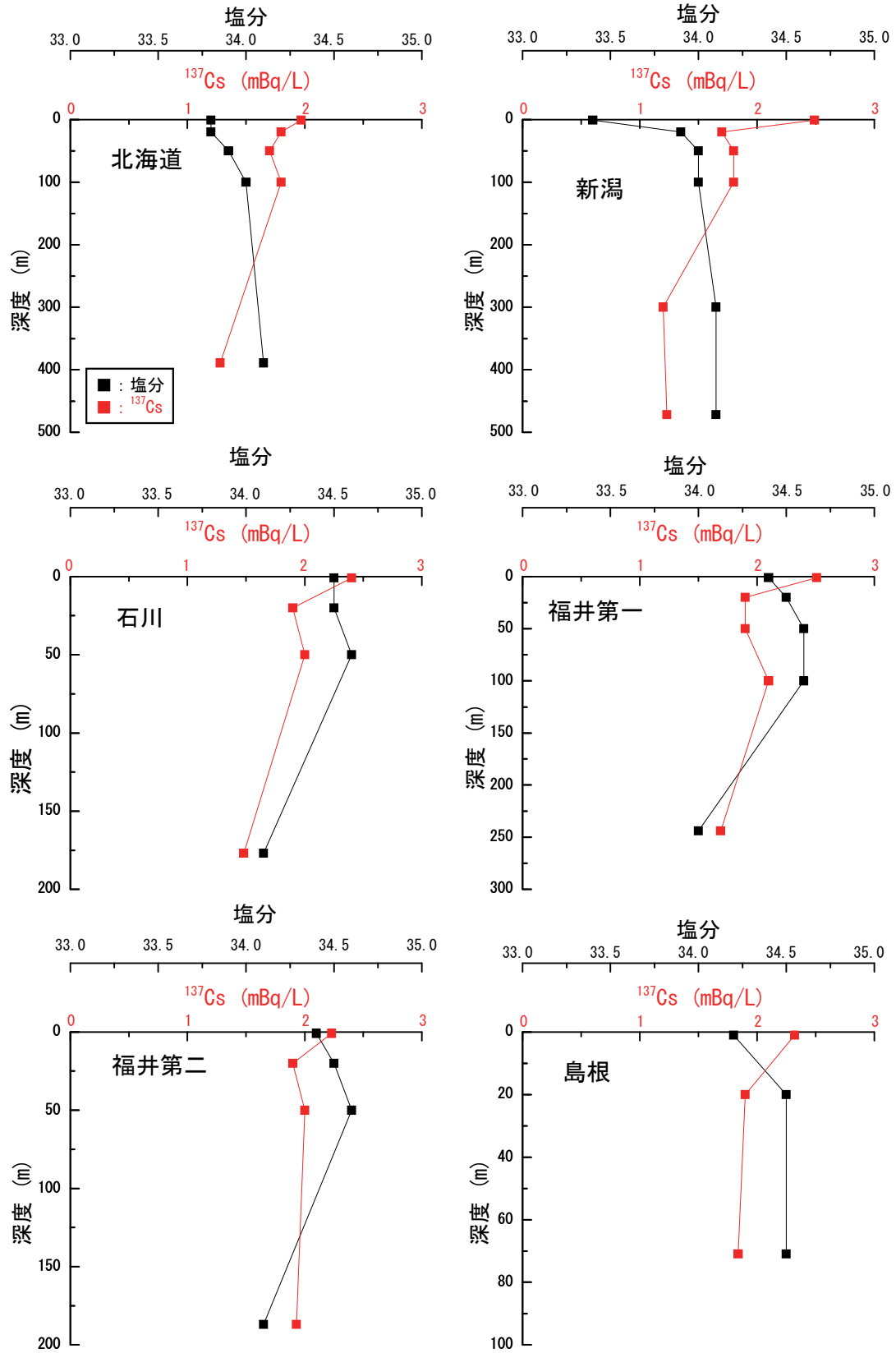


図 I -2-2-3-16(3) 日本海海域における  $^{137}\text{Cs}$  濃度の鉛直分布図



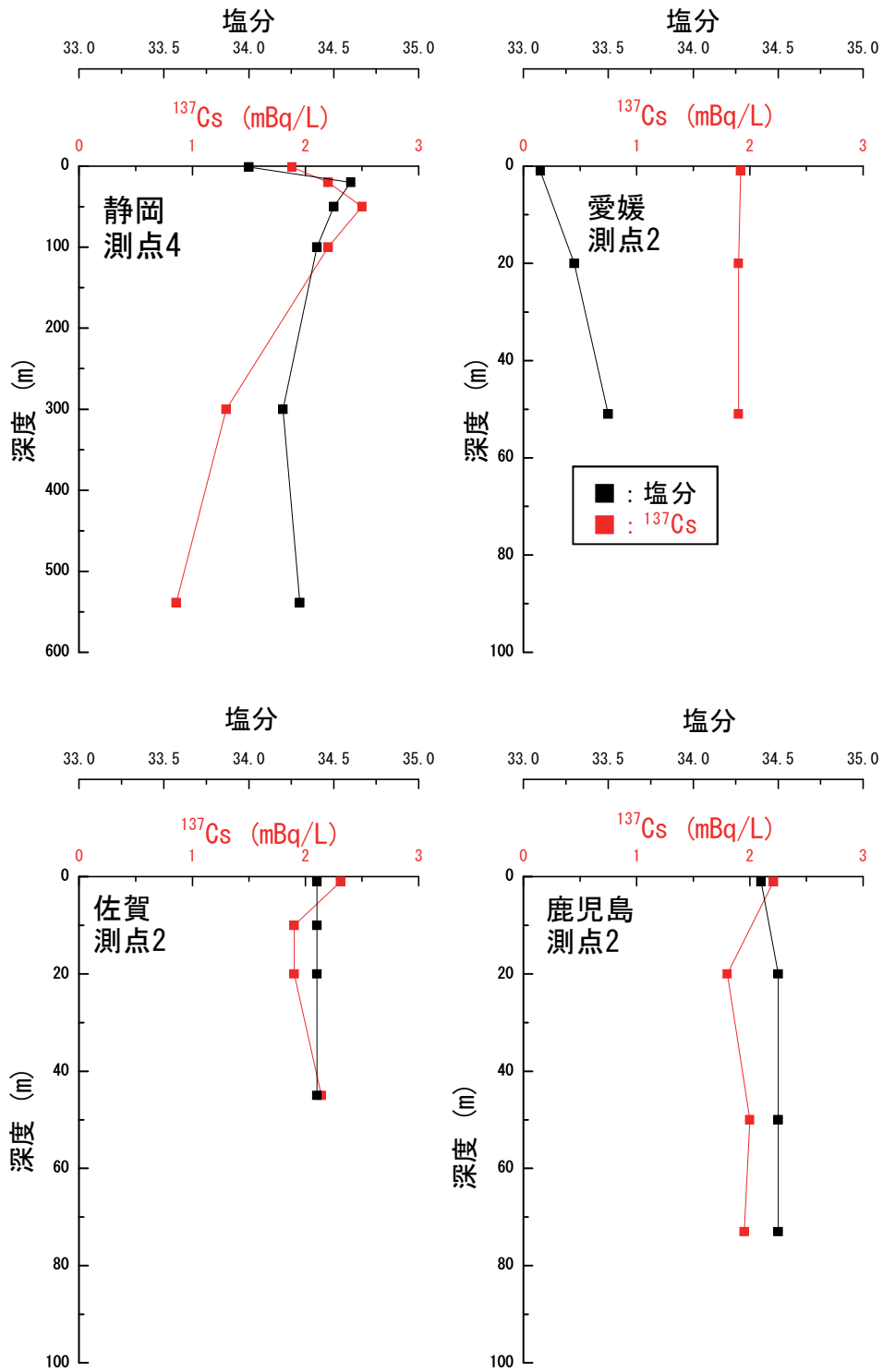


図 I -2-2-3-16(4) 西日本海域における  $^{137}\text{Cs}$  濃度の鉛直分布図

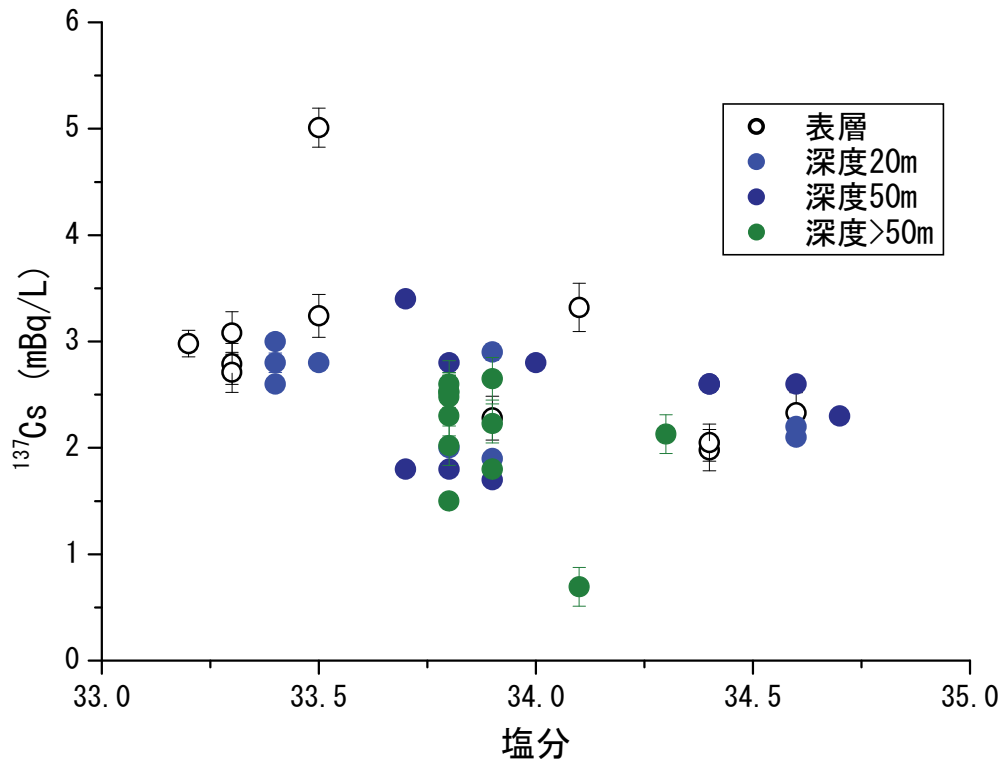


図 I -2-2-3-17 東日本海域の塩分と  $^{137}\text{Cs}$  濃度の関係

### iii. 動物プランクトン中の放射性 Cs

海水中の放射性 Cs が減少し、東電福島第一原発事故前の一定の値に近づきつつある現在、これからは食物連鎖の移行濃縮過程に起因する濃度変化が主要な変動要因になると考えられる<sup>11)</sup>。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 Cs 移行に関する機構解明において重要なパラメータとなる。加えて、海洋環境内全体の放射性 Cs の現況把握のためにはこれらの放射性 Cs 濃度並びに種組成との関係が重要となる。そこで、海洋放射能調査の発電所海域のうち、基礎生産量の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中の放射性 Cs 濃度及び種組成について解析を行った。また、動物プランクトン中の放射性 Cs 濃度の変遷および現況把握のため、東電福島第一原発事故前、平成 27、28 年度の結果について比較を行った。

#### (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、茨城）の測点 2 で採取した。採取方法は各測点において、0.5mm メッシュのプランクトンネット（口径 1.6m）を用いて、深度約 50m において、数十分間の水平曳きを 3 回行った。得られた試料のうち、放射能分析用は凍結保存し、残りは種組成分析のためにホルマリン固定して冷暗所にて保存した。調査の概要を表 I-2-2-3-8 に示す。

表 I-2-2-3-8 動物プランクトン調査の概要

試料採取時期	海域と測点	頻度	採集層	測定項目
平成 28 年 5 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 50m	種組成
				$^{137}\text{Cs}$

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、重量を測定した。その後、乾燥試料を粉砕し、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。放射能測定は文部科学省放射能測定法シリーズにしたがって、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法により放射性核種を定量（測定時間約 22 万～25 万秒）した。

#### (ii) 結果

発電所海域の動物プランクトンの  $^{137}\text{Cs}$  濃度の結果を図 I-2-2-3-18 および表 I-2-2-3-9 に示す。

平成 28 年度における動物プランクトンの  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、0.31～11Bq/kg-乾物の範囲であり、茨城海域測点 2 において最大値（11Bq/kg-乾物）が観測された。また、全測点の平均

値は、3.5 Bq/kg-乾物であった。海水 1m<sup>3</sup> 当たりの動物プランクトンの <sup>137</sup>Cs 存在量 (μ Bq/m<sup>3</sup>) は福島第二海域測点 2 と茨城海域測点 2 で他の測点と比較して高い値を観測した。平成 28 年度における動物プランクトンの <sup>134</sup>Cs 濃度は、福島第二海域測点 2、茨城海域測点 2 以外の海域では検出下限値以下であった。

平成 28 年度の動物プランクトンの網のレベルの組成を表 I-2-2-3-10 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 (32.1~64.9%、全平均で 49.9%)。また、北海道海域測点 2、青森海域測点 2 で軟甲綱が高い割合を占めた (それぞれ 43.5%、60.7%)。宮城海域測点 2、福島第一海域測点 2 ではヒドロ虫綱 (それぞれ 24.4%、23.5%) が多く見られた。茨城海域測点 2 では、ヤムシ綱 (20.5%) が多く出現した。平成 28 年度は動物プランクトンの放射性 Cs 濃度と種組成との間に関連性は見られなかった。

### (iii) 東電福島第一原発事故前の動物プランクトンの <sup>137</sup>Cs 濃度との比較

東電福島第一原発事故前の動物プランクトンの <sup>137</sup>Cs 濃度は 0.09~0.4 Bq/kg-乾物の範囲であり<sup>12)</sup>、北海道海域測点 2 のみが事故前の濃度の範囲内であった。青森海域測点 2、宮城海域測点 2、福島第二海域測点 2、茨城海域測点 2 では事故前よりも 1 桁以上高い値が観測された。濃縮係数は対象とする放射性核種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、取り込みと排泄が均衡していることを前提とする<sup>13)</sup>。平成 28 年度において、海水の <sup>137</sup>Cs は事故前のレベルに戻りつつあるが、未だ一定ではないため、ここでは、Kaeriyama *et al.*<sup>14)</sup> の定義に従い、「見かけの濃縮係数」を用いた。動物プランクトンの <sup>137</sup>Cs 濃度と動物プランクトン試料の採集深度で同時期に採取した海水の <sup>137</sup>Cs 濃度との比について、動物プランクトンの「見かけの <sup>137</sup>Cs 濃縮係数」として表 I-2-2-3-9 に示す。動物プランクトンの見かけの濃縮係数は、16~269 (平均 115) であり、事故前の濃縮係数 (6.3~14.2、平均 10.2)<sup>12)</sup> より高かった。海水の <sup>137</sup>Cs 濃度は 1.7~3.4mBq/L の範囲であり、事故前 5 年間の濃度範囲 (1.1~2.4 mBq/L) まで下がってきている。そのため、動物プランクトンの <sup>137</sup>Cs 濃度が未だに事故前よりも 1 桁以上高い要因は、海水からの取り込み以外にあると考えられる。

### (iv) 平成 27 年度の動物プランクトンの <sup>137</sup>Cs 濃度との比較

動物プランクトンの採集測点は、平成 27 年度が沖合海域の B3、E1、E5、G0、J1 であった (図 II-2-2、89 ページ)。これらの測点は、B3 が宮城海域測点 2、E1 が福島第一海域測点 2、G0 が福島第二海域測点 2、J1 が茨城海域測点 2 の測点にそれぞれ対応する。平成 27 年度の動物プランクトンの <sup>137</sup>Cs 濃度は B3 で 0.69~4.56 Bq/kg-乾物、E1 で 1.1~7.5 Bq/kg-乾物、G0 で 1.2~11.3 Bq/kg-乾物、J1 で 0.6~14.0 Bq/kg-乾物の範囲であった。各測点で平成 27、28 年度の <sup>137</sup>Cs 濃度を比較すると、平成 28 年度は、福島第一海域測点 2 で平成 27 年度の範囲より低い値を観測したが、その他の測点では平成 27 年度の範囲内であった。

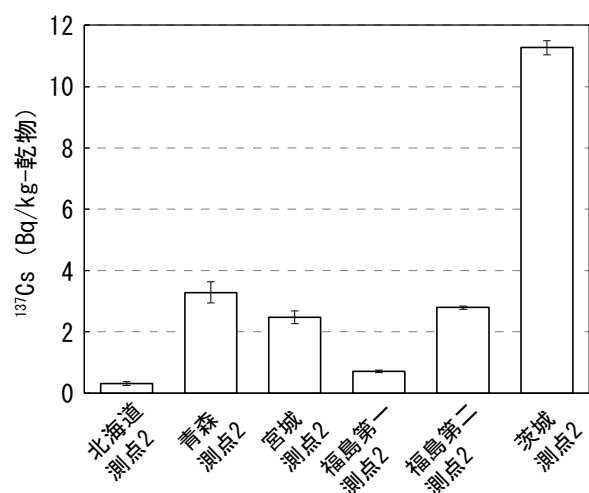


図 I -2-2-3-18 各海城の測点における動物プランクトンの  $^{137}\text{Cs}$  濃度

表 I -2-2-3-9 動物プランクトン試料の概要、動物プランクトンの放射性 Cs、および同時期に採取した海水の放射性 Cs 濃度

海城と測点	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 28 年 5 月 22 日	平成 28 年 5 月 18 日	平成 28 年 6 月 15 日	平成 28 年 6 月 18 日	平成 28 年 6 月 20 日	平成 28 年 6 月 21 日
採集深度 (m)	26-44	40-70	49.5-60	50	50	50
105°C 乾燥重量 (g)	183.6	20.7	33.8	201.8	306.5	60.7
水分含量 (%)	91.30	90.16	91.37	90.03	88.58	93.79
現存量 (mg-乾物/m <sup>3</sup> )	9.1	0.5	1.5	6.5	6.5	3.5
動物プランクトンの $^{134}\text{Cs}$ (Bq/kg-乾物)	ND	ND	ND	ND	0.50 ± 0.04	1.95 ± 0.19
動物プランクトンの $^{137}\text{Cs}$ (Bq/kg-乾物)	0.31 ± 0.05	3.29 ± 0.35	2.47 ± 0.20	0.71 ± 0.05	2.79 ± 0.05	11.27 ± 0.23
海水 1m <sup>3</sup> 当たりの動物プ ランクトンの $^{137}\text{Cs}$ 存在量 ( $\mu\text{Bq/m}^3$ )	2.8 ± 0.5	1.7 ± 0.2	3.6 ± 0.3	4.6 ± 0.3	18.3 ± 0.4	39.5 ± 0.8
海水の $^{134}\text{Cs}$ (mBq/L)	0.13	ND	0.26	0.17	0.44	0.29
海水の $^{137}\text{Cs}$ (mBq/L)	1.7	1.7	2.6	1.8	3.4	2.6
見かけの $^{137}\text{Cs}$ の濃縮係数	16	190	82	39	94	269

表 I-2-2-3-10 動物プランクトンの個体数密度及び種組成結果一覧

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 <sup>3</sup> )	127.5	7.8	8.9	284.6	88.7	51.7
ヒドロ虫綱 (%)	1.4	0.0	24.4	23.5	4.4	1.0
腹足綱 (%)	0.0	4.1	0.0	0.6	1.0	1.0
頭足綱 (%)	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0
鰓脚綱 (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	8.3
顎脚綱 (%)	47.6	32.1	52.5	47.5	64.9	54.6
軟甲綱 (%)	43.5	60.7	15.8	21.2	22.9	3.9
ヤムシ綱 (%)	2.0	1.0	6.1	3.4	3.4	20.5
クモヒトデ綱 (%)	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	2.0
タリア綱 (%)	0.0	0.0	0.0	0.6	1.0	1.0
尾虫綱 (%)	5.4	2.0	0.6	1.1	0.0	4.9
硬骨魚綱 (%)	0.0	0.0	0.0	1.1	1.0	2.9

#### ④ 発電所周辺海域における放射性 Cs の蓄積量把握

本調査では、海洋放射能調査の原子力発電所 15 海域（各 1 測点）で採取した海水及び海底土を用い、放射性 Cs の詳細な鉛直分布から放射性 Cs の現状の存在量（以下、インベントリーという。）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 Cs 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 Cs の蓄積量を比較する。なお、柱状採泥は採泥器や海底土の性状によって、採取深度が異なるが、ここでは採取深度までの  $^{137}\text{Cs}$  インベントリーで比較を行った。

##### i. 海底土中の $^{137}\text{Cs}$ インベントリー

各海域において柱状採泥を行った測点の  $^{137}\text{Cs}$  インベントリーを図 I-2-2-3-19 に示す。東電福島第一原発事故由来の  $^{134}\text{Cs}$  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、 $^{137}\text{Cs}$  インベントリーが 3～185kBq/m<sup>2</sup> であった。最も高かったのは福井第二海域の測点 2、最も低かったのは佐賀海域の測点 2 であった。平均値は 73kBq/m<sup>2</sup> であった。最も高かった福井第二海域の測点 2 の海底土は、90%以上が粒径 75  $\mu\text{m}$  以下である一方、佐賀海域では 10%未満が粒径 75  $\mu\text{m}$  以下であることから、海底土の性状による違いがインベントリーにも影響することが分かった。

東電福島第一原発事故由来の放射性 Cs ( $^{134}\text{Cs}$ ) が検出された海域（宮城、福島第一、福島第二、茨城、新潟）では  $^{137}\text{Cs}$  インベントリーが 60～4173kBq/m<sup>2</sup> であった。最も高かったのは福島第一海域の測点 1、最も低かったのは新潟海域の測点 4 であった。平均値は 1199kBq/m<sup>2</sup> であり、東電福島第一原発事故由来の放射性 Cs ( $^{134}\text{Cs}$ ) 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。また、 $^{137}\text{Cs}$  のインベントリーは東電福島第一原発事故直後に漏洩した放射性 Cs の時空間的な変動に左右されており、海底土の性状との関係は見られなかった。

##### ii. 海水中の $^{137}\text{Cs}$ インベントリー

各海域において中間層で海水採取を行った測点の  $^{137}\text{Cs}$  インベントリーは 0.088～0.89kBq/m<sup>2</sup> の範囲であった。最も高かったのは青森海域の測点 2、最も低かったのは佐賀海域の測点 2 であった。平均値は 0.365kBq/m<sup>2</sup> であった。海水中の  $^{137}\text{Cs}$  インベントリーは水深によって大きく異なるため、表層～50m 層までの  $^{137}\text{Cs}$  インベントリーを図 I-2-2-3-20 に示す。 $^{137}\text{Cs}$  インベントリーは 0.088～0.16kBq/m<sup>2</sup> の範囲であった。平均値は 0.112kBq/m<sup>2</sup> であった。また、事故前の平成 22 年度の海水中の  $^{137}\text{Cs}$  インベントリーは 0.075kBq/m<sup>2</sup>（事故前の海水中  $^{137}\text{Cs}$  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  $^{137}\text{Cs}$  インベントリーは海底土に比べて、数桁以上低く、また海域の差が見られなかった。特に東電福島第一原発周辺の海域と日本海や西日本の海域間においても大きな違いが見られなかった。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 Cs に

よって、海水中の  $^{137}\text{Cs}$  インベントリーは上昇し、また海流による影響はあるものの、海水中の同事故由来の  $^{137}\text{Cs}$  はほぼ均一に希釈拡散されていると考えられる。

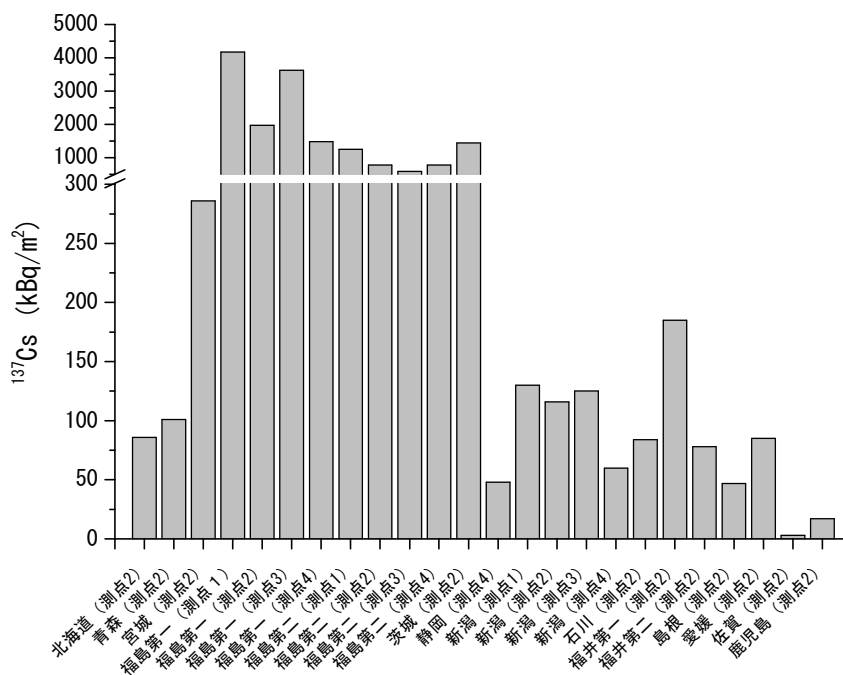


図 I-2-2-3-19 各海域における海底土の  $^{137}\text{Cs}$  インベントリー

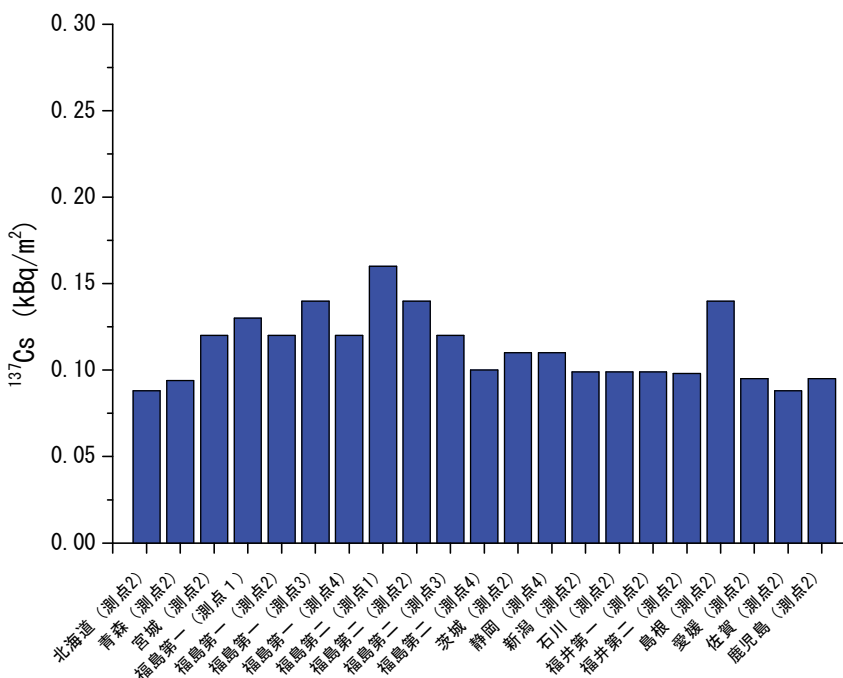


図 I-2-2-3-20 各海域における海水の  $^{137}\text{Cs}$  インベントリー



## ⑤ まとめ

海洋放射能調査海域周辺での調査における海底土表層下における放射性核種の分布や海底土の性状、海水中放射性 Cs の挙動を調査した。

平成 28 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 Cs の影響のある海域では同事故直後に漏洩した放射性 Cs の時空間的な変動、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ており、海底土中の放射性 Cs 濃度の関連性はなかった。

海水中の放射性 Cs 濃度は、平成 24 年度以降、日本海海域及び西日本海域で微増傾向にある。平成 28 年度に実施した精密分析から、同事故由来の放射性 Cs が一部付加された海水が海流によりこれらの海域に循環した結果であることが明らかとなった。しかし、その<sup>137</sup>Cs 存在量は事故前に比べてわずかな上昇であることも本調査で明らかとなった。

## 引用文献

- 1) Takata, H., Aono, T., Tagami, K. and Uchida, S. (2016). A new approach to evaluate factors controlling elemental sediment-seawater distribution coefficients (Kd) in coastal regions, Japan. *Sci. Total Environ.*, 543, 315-325.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) Otsuka, S. and Kato, Y. (2014). Radiocesium derived from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident in seabed sediments: Initial deposition and inventories. *Environ. Sci. Process Impact.*, 6, 978-90.
- 7) 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  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in marine sediments in/around the Sado Basin, Sea of Japan. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 303, 1313-1316, 2015.
- 8) 海洋生物環境研究所 (2016). 平成 27 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.
- 9) Kumamoto, Y., Aoyama, M., Hamajima, Y., Aono, T., Kouketsu, S., Murata, A. and Kawano, T. (2014). Southward spreading of the Fukushima-derived radiocesium across the Kuroshio extension in the North Pacific. *Sci. Rep.*, 4, 4276. doi.org/10.1038/srep04276.
- 10) Kaeriyama, H., Shimizu, Y., Ambe, D., Masujima, M., Shigenobu, Y., Fujimoto, K., Ono, T., Nishiuchi, K., Taneda, T., Kurogi, H., Setou, T., Sugisaki, H., Ichikawa, T., Hidaka, K., Hiroe, Y., Kusaka, A., Kodama, T., Kuriyama, M., Morita, H., Nakata, K., Morinaga, K., Morita, T. and Watanabe, T. (2014). Southwest intrusion of  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$  derived from the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident in the western North Pacific. *Environ. Sci. Technol.*, 48, 3120-3127.
- 11) 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.
- 12) Kaeriyama, H., Watabe, T., and Kusakabe, M. (2008).  $^{137}\text{Cs}$  concentration in zooplankton and its relation to taxonomic composition in the western North Pacific Ocean. *J. Environ. Radioact.*, 99, 1838-1845.
- 13) IAEA. (2004). IAEA technical report series No 422. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- 14) 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  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in zooplankton and seawater samples collected off the Joban-Sanriku coast, in Sendai Bay, and in the Oyashio region. *Fish. Sci.*, 81, 139-153.

#### (4) 原子力発電所等周辺海域における海産生物の<sup>3</sup>H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の<sup>3</sup>H濃度の調査を行ってきたが、事故の影響を示す調査結果は出ていない。

平成28年度においては、青森県から茨城県に至る東日本海域について海産生物の<sup>3</sup>H濃度調査を広範囲に行い、そのバックグラウンドを把握した。

<sup>3</sup>Hは水素の放射性同位元素として、物理・化学・生物学的に水(<sup>3</sup>HHO)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<sup>3</sup>H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、<sup>3</sup>H濃度分析は、海産生物の組織自由水型<sup>3</sup>H(TFWT)と、有機物中の有機結合型<sup>3</sup>H(OBT)とに分けて行われる。従来、国内のOBT分析は、文部科学省放射能測定法シリーズ<sup>1)</sup>のマニュアルに従い行われる。<sup>3</sup>Hは常温において試料周りの大気中水蒸気の吸収、及び試料自身のTFWTとOBT間の同位体交換などが非常に速く起こり易い核種であるため、近年、諸外国では、生物体が体内代謝によって有機成分に取り込んだ<sup>3</sup>Hのみを分析することを目的に国際標準法<sup>2)、3)、4)</sup>が行われている。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。

##### ② 方法

###### i. 試料

「海洋放射能調査」の青森、宮城、福島第一、福島第二及び茨城海域の5海域で、平成28年度第1回収集時に漁獲された各3種の海産生物、合計15試料について<sup>3</sup>H分析を行った。各試料は可食筋肉部位のみを細断処理後、全個体分をよく混合したものから約1kg程度を採取し凍結保存して、<sup>3</sup>H分析用に供した。いずれの試料も「I 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の分析を行っており、一部の試料は<sup>137</sup>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

図I-2-2-4-1に分析法フローを示す。OBTについては文科省マニュアル法と共に、国際標準法でも分析を行った。文科省マニュアル法に従って分析を行うOBTは、試料保存・分析作業中の環境中<sup>3</sup>H濃度や試料自身のTFWT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。しかし国際標準法では、凍結乾燥した試料を<sup>3</sup>Hを含まない水に浸漬と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。

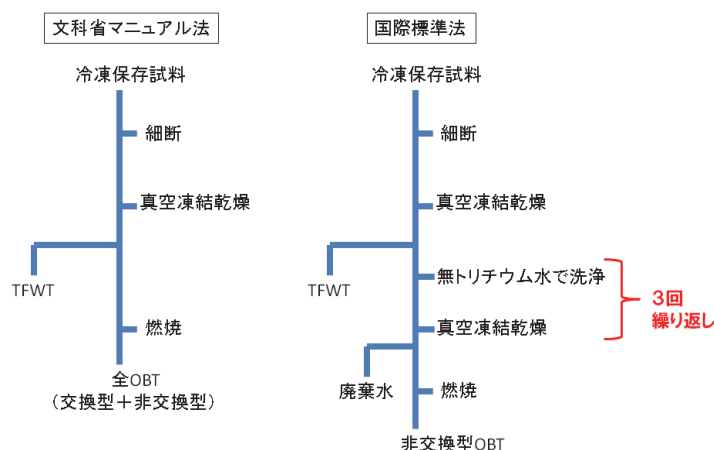


図 I -2-2-4-1 文科省マニュアル法及び国際標準法による海産生物 TFWT 及び OBt 分析法フロー

### ③ 結果

表 I -2-2-4-1 に分析結果を示す。TFWT 濃度は 0.07～0.13 Bq/L の範囲にあり、過去の北太平洋日本近海の海水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沖合海域の海産生物の TFWT 濃度は、平成 13 年度が  $0.19 \pm 0.05 \text{Bq/L}$  ( $0.11 \sim 0.33 \text{Bq/L}$ )、平成 17 年度が  $0.19 \pm 0.04 \text{Bq/L}$  ( $0.06 \sim 0.26 \text{Bq/L}$ ) であった。また平成 14 年度の茨城海域の海産生物 TFWT 濃度は  $0.18 \pm 0.06 \text{Bq/L}$ 、平成 24 年度が  $0.14 \text{Bq/L}$  であった。平成 28 年度の 5 海域の測定値は、これらと同程度のレベルである。

全 OBt 及び非交換型 OBt は全て検出下限値以下の濃度であり、福島第一、福島第二海域では平成 24～27 年度に引き続き、 $^3\text{H}$  を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 濃度と非交換型 OBt 濃度の比較分析についてもその差異を考察することはできなかったが、分析法としては、検出下限値をみると全 OBt が  $0.24 \sim 0.28 \text{Bq/L}$ 、非交換型 OBt が  $0.26 \sim 0.28 \text{Bq/L}$  であり、国際的にも遜色のない精度良い分析が行われた。

### ④ まとめ

「海洋放射能調査」対象の 5 海域において、東電福島第一原発事故後も海産生物に過剰の  $^3\text{H}$  を見出すことはなかった。文科省マニュアル法で得られた全 OBt 及び国際標準法で得られた非交換型 OBt は、全て検出下限値以下の濃度であったことから、分析法の妥当性を議論できなかった。しかし、アクティブ試験前、及び東電福島第一原発事故前の、核燃料サイクル施設沖合海域や茨城海域における平成 13、14、17 年度の濃度と同レベルであったことなど、 $^3\text{H}$  核種についての分析結果情報を示すことにより、本事業の目的である我が国の原子力施設沖合海域に位置する主要漁場等の調査海域において、漁場の安全の確認等に資するデータを提供することができた。

表 I -2-2-4-1 海産生物の <sup>3</sup>H 濃度分析結果\*1

試料		漁獲年月日	漁獲場所	細断 個体 数	TFWT (Bq/L)*2	全 OBT (Bq/L)	非交換型 OBT (Bq/L)
青森 海域	カナガシラ	平成 28 年 6 月 9 日	小田野沢沖	230	0.13 ± 0.01	ND*3	ND
	アイナメ	平成 28 年 4 月 12 日	東通村白糠～ 小田野沢沖	61	0.09 ± 0.01	ND	ND
	ヒラメ	平成 28 年 6 月 12 日	小田野沢沖	25	0.09 ± 0.01	ND	ND
宮城 海域	マダラ	平成 28 年 4 月 1～8 日	江の島沖	15	0.08 ± 0.01	ND	ND
	アイナメ	平成 28 年 5 月 16 日	女川湾沖	44	0.08 ± 0.01	ND	ND
	マアナゴ	平成 28 年 4 月 1～8 日	金華山沖	116	0.13 ± 0.01	ND	ND
第一 海域	福島 ババガレイ	平成 28 年 5 月 24 日	南相馬市沖	43	0.07 ± 0.01	ND	ND
	ヒラメ	平成 28 年 5 月 24 日	南相馬市沖	17	0.08 ± 0.01	ND	ND
	マガレイ	平成 28 年 5 月 24 日	南相馬市沖	74	0.10 ± 0.01	ND	ND
第二 海域	福島 マダラ	平成 28 年 4 月 13 日	久之浜沖	15	0.10 ± 0.01	ND	ND
	マガレイ	平成 28 年 4 月 13 日	久之浜沖	67	0.09 ± 0.01	ND	ND
	ヤナギダコ	平成 28 年 4 月 13 日	久之浜沖	37	0.10 ± 0.01	ND	ND
茨城 海域	ヒラメ	平成 28 年 6 月 24～29 日	日立市沖	15	0.09 ± 0.01	ND	ND
	マルアオメエソ	平成 28 年 6 月 30 日	日立市沖	約 650	0.08 ± 0.01	ND	ND
	ミズダコ	平成 28 年 6 月 24 日	日立市沖	18	0.08 ± 0.01	ND	ND

\*1 <sup>3</sup>H 核種は海産生物による海水からの取り込みと OBT への体内代謝移行のレベルを評価するためには、<sup>3</sup>H に対する比放射能値によって評価するのが適している。従って、濃度の表示単位は比放射能値にほぼ等しい Bq/L (水) に統一した。

\*2 誤差は 1σ 計数誤差を示す。

\*3 検出下限値：TFWT (0.03Bq/L)、全 OBT (0.24～0.28Bq/L)、非交換型 OBT (0.26～0.28Bq/L)。

## 引用文献

- 1) 文部科学省 (2002). 放射能測定法シリーズ9, トリチウム分析法, 平成14年改訂. 文部科学省, 東京, 1-127.
- 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.

## (5) 海洋環境関連調査報告書等の収集・整理

### ① はじめに

原子力発電所立地道県及び核燃料サイクル施設立地県は原子力施設等周辺放射線監視事業を実施し、その結果を公表している<sup>1-18)</sup>。海上保安庁海洋情報部<sup>19)</sup>（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<sup>20-23)</sup>（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<sup>24)</sup>（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、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。）。

平成 22～27 年度に実施、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<sup>137</sup>Cs等の放射性核種濃度分析値をデータベース化（以下「自治体データベース」という。）するとともに、それらを集計し、経年変化の図作成等に用い、本事業において実施された海洋放射能調査結果と比較し評価するための資料として整理した。

### ② 自治体等機関調査結果から得られた海洋環境中の<sup>137</sup>Cs濃度過去5年の推移

平成 23 年 3 月に発生した東電福島第一原発事故により、日本周辺の海洋環境中に放射性 Cs が飛散した。この影響が日本各地にどのように影響したかを検討する情報として、自治体等機関により平成 22 年度以降に実施された調査の内、平成 28 年 12 月までに公表された原子力施設等周辺海域の調査結果について、海産生物、海底土及び海水試料それぞれの<sup>137</sup>Csの経年変化を示す（図 I-2-2-5-1～9）。その際、原子力機構は茨城県内に立地し、その周辺環境を調査しているため、茨城県に含めたほか、海上保安庁及び農水省は広域に調査点を配置していることから除外した。

#### i. 海産生物試料の<sup>137</sup>Cs濃度推移

海産生物試料の<sup>137</sup>Cs濃度の経年変化を図 I-2-2-5-1～3 に示す。各図ではデータの濃度範囲に応じ、福島県（図 I-2-2-5-2）、宮城県及び茨城県（図 I-2-2-5-3）、その他の道県（図 I-2-2-5-1）に分けて示し、濃度軸の目盛幅は 0～1Bq/kg-生鮮物の範囲を線形スケール、1 Bq/kg-生鮮物以上を対数スケールに設定している。なお、検出下限値以下（ND）の試料については 0Bq/kg-生鮮物として図示している。また、福島県では平成 23 年度の海産生物分析結果について、<sup>134</sup>Cs と <sup>137</sup>Cs を弁別した値ではなく <sup>134+137</sup>Cs として公表しており（平成 24 年度より弁別記載）、福島県の平成 23 年度の値は空白とした。

東電福島第一原発事故前の<sup>137</sup>Cs濃度は、多くの県で ND～0.2Bq/kg-生鮮物の範囲であった。これは「1. 海洋放射能調査海域周辺での調査」にも認められる様に、1950～60 年代の大気圏内核実験による影響と考えられる。

事故後には、愛媛、佐賀、鹿児島以外の道県では濃度の上昇が認められ、後述する海水試料の場合と同様の地域差が認められた。<sup>137</sup>Cs濃度の道県別の最高値は、茨城県の 4198Bq/kg-生鮮物、次いで福島県が 1260Bq/kg-生鮮物、宮城県が 15Bq/kg-生鮮物、青森県

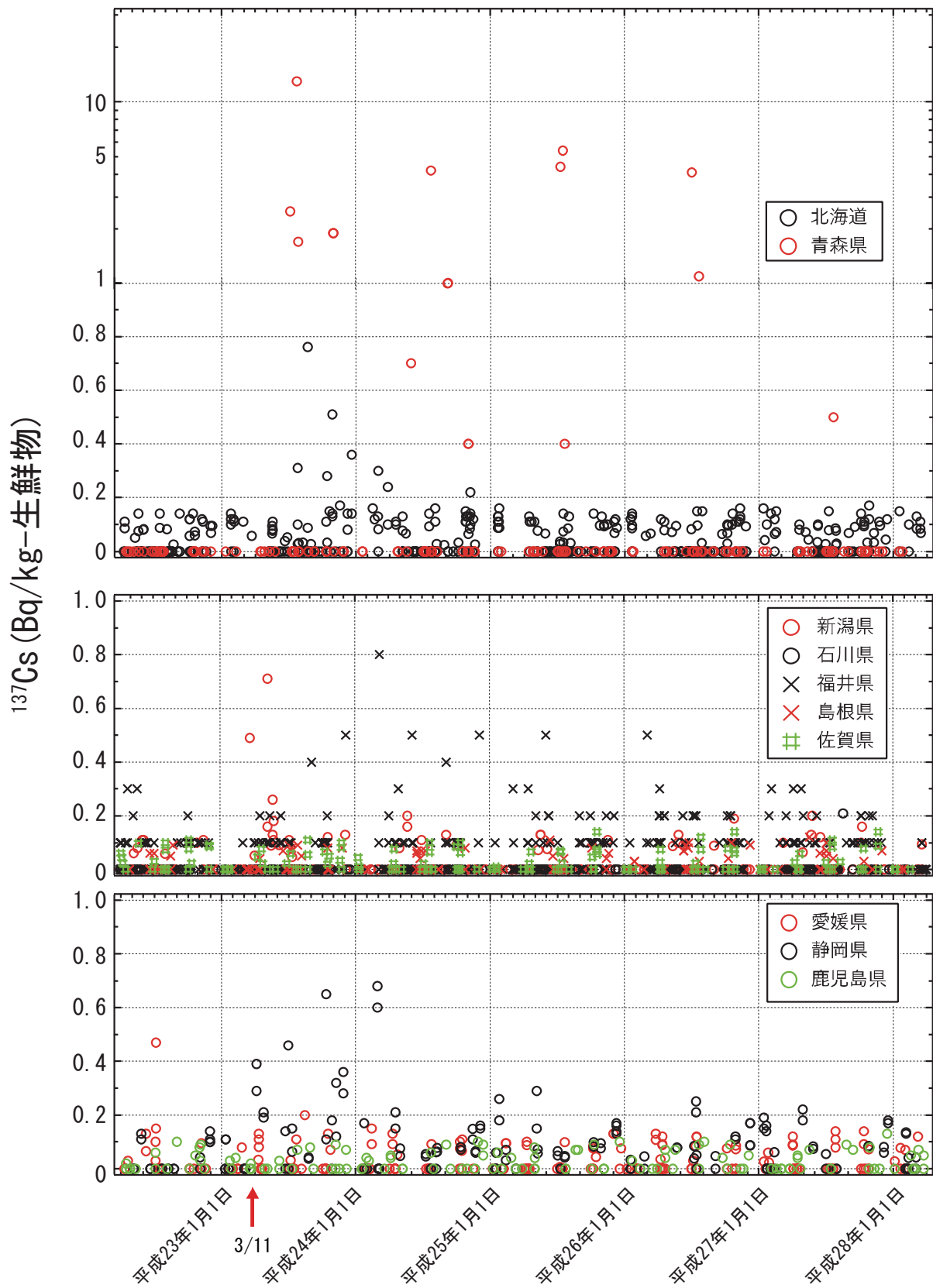


図 I-2-2-5-1 海産生物試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化（上図：北海道・青森県；中図：新潟県、石川県、福井県、島根県、佐賀県；下図：愛媛県、静岡県、鹿児島県）

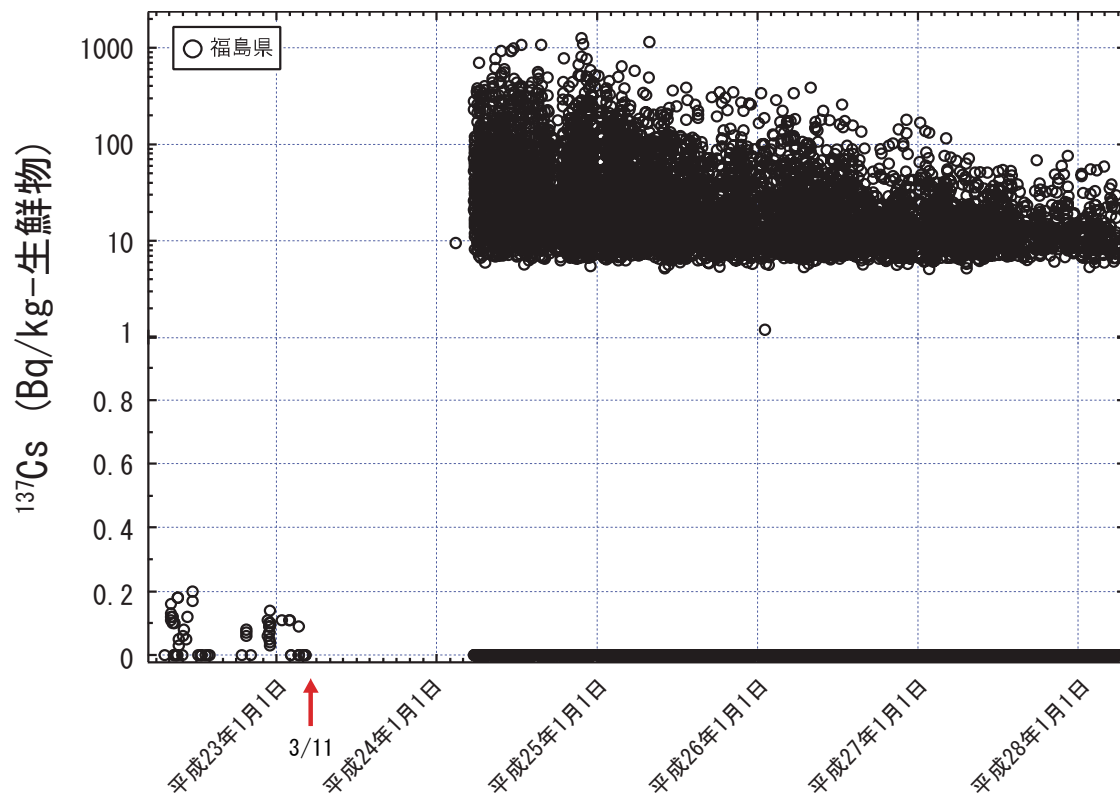


図 I-2-2-5-2 海産生物試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化(福島県)。福島県では平成 23 年度の海産生物分析結果について、 $^{134}\text{Cs}$  と  $^{137}\text{Cs}$  を弁別した値ではなく  $^{134+137}\text{Cs}$  として公表していることから、平成 23 年度の値は空白とした。

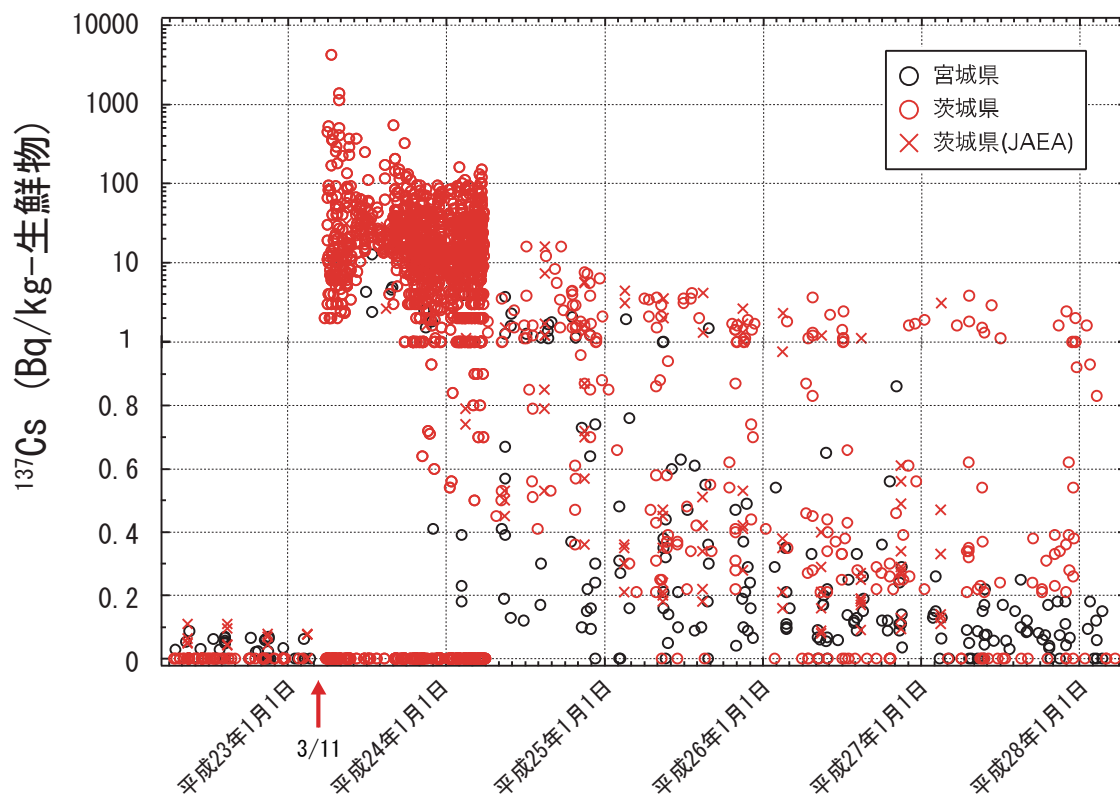


図 I-2-2-5-3 海産生物試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化(宮城県、茨城県)



が 13Bq/kg-生鮮物の順であった。その他の道県では 0.12~0.8Bq/kg-生鮮物の範囲であった。なお、図 I-2-2-5-2 に含めていないが、福島県は平成 23 年度の海産生物試料の分析値として  $^{134+137}\text{Cs}$  の値を公表しており<sup>4)</sup>、その最高値は 14400Bq/kg-生鮮物であった。

事故後の海産生物試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化は、福島県、宮城県及び茨城県で漸減傾向にあり、平成 27 年度時点での道県別の最高値は高い順に、福島県が 75.9Bq/kg-生鮮物、茨城県が 3.8Bq/kg-生鮮物、次いで青森県が 0.5Bq/kg-生鮮物であった。青森県ではこの値 1 点を除き ND(検出下限値 0.4Bq/kg-生鮮物)となっている。その他の海域では、平成 27 年度の後半に、ほぼ事故前の平成 22 年度の濃度水準へ戻っていることが確認された。

## ii. 海底土試料の $^{137}\text{Cs}$ 濃度推移

海底土試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化を図 I-2-2-5-4~6 に示す。濃度軸の目盛幅は 0~10Bq/kg-乾燥土の範囲を線形スケール、10Bq/kg-乾燥土以上を対数スケールに設定している。なお、検出下限値以下 (ND) の試料については 0Bq/kg-乾燥土として図示している。

東電福島第一原発事故前の平成 22 年度の  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、ND~8Bq/kg-乾燥土の範囲にあり、福井県が最も高かった。福井県の報告<sup>13)</sup>によれば、この値は丹生湾中央部から採取された海底土のものであり、平成 13 年より 6~8Bq/kg-乾燥土の濃度範囲で推移し、1950~60 年代の大気圏内核実験由来であるとしている。

事故後、福島県、宮城県及び茨城県において  $^{137}\text{Cs}$  濃度の上昇が認められ、最高値は福島県が約 4700Bq/kg-乾燥土、次いで茨城県が 530Bq/kg-乾燥土、宮城県が約 230Bq/kg-乾燥土であった。これら 3 県における事故後の濃度推移をみると、ばらつきを伴いながら減衰し、平成 27 年度時点の最高値は、事故後の最高値の 1/10 程度の値にまで減衰している。

その他の道県における濃度は、平成 22~27 年度において目立った変動は認められていない。一方、本調査の結果では、新潟海域の海底土試料において、平成 23 年度以降に事故の影響が認められている。新潟県では本調査で収集・整理した「柏崎刈羽原子力発電所周辺環境放射線監視調査結果速報」<sup>11)</sup>の他、新潟県内への東電福島第一原発事故影響の把握を目的とした調査を継続しており、平成 27 年度における新潟県沿岸部の海底土調査結果を「新潟県の環境 平成 28 年度版」<sup>25)</sup>において公表しており、阿賀野川河口沖の堆積物中に  $^{134}\text{Cs}$  が検出されているとともに、 $^{137}\text{Cs}$  濃度も周囲に比べ高い状況を示している。

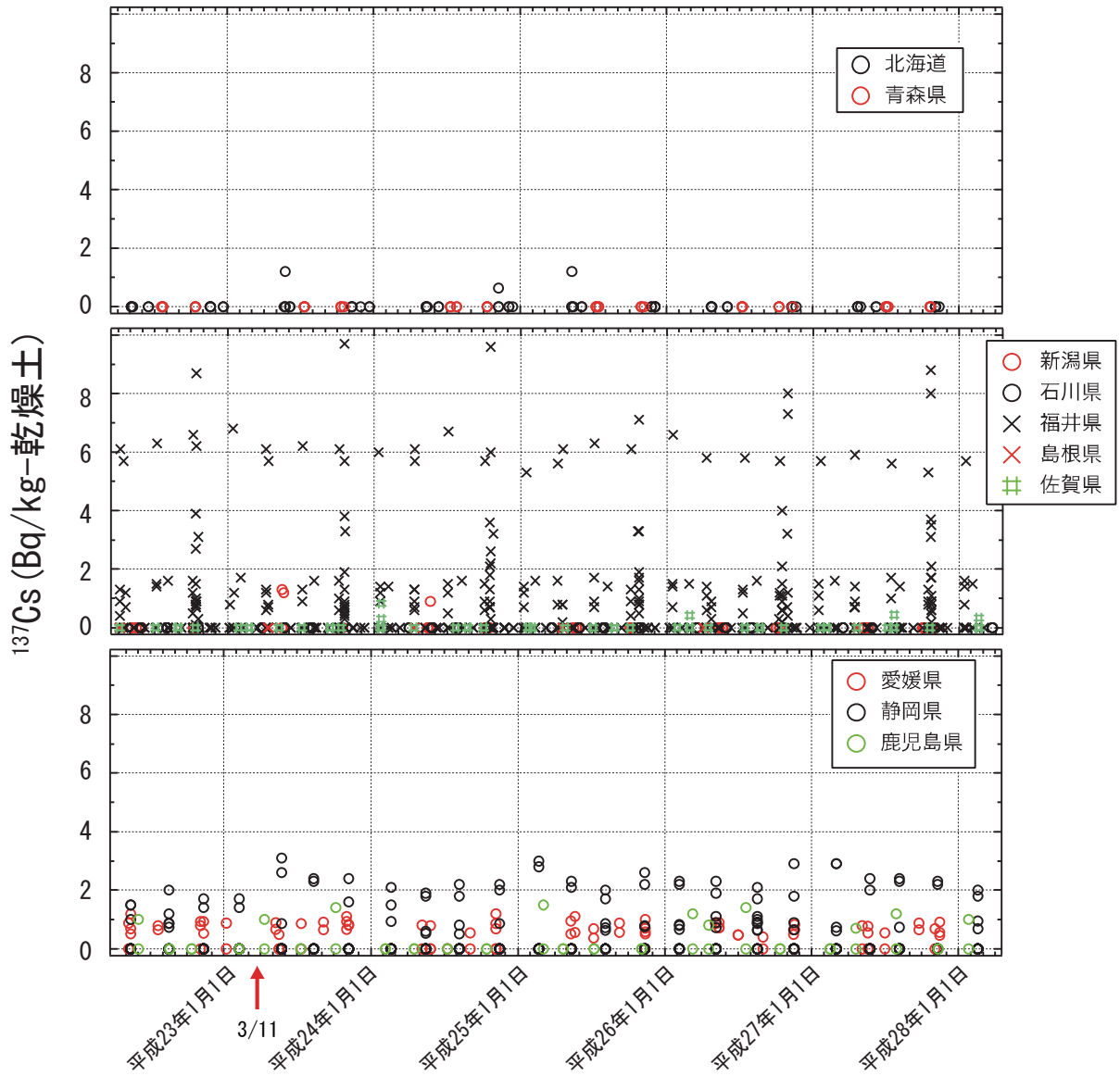


図 I-2-2-5-4 海底土試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化 (上図：北海道・青森県；中図：新潟県、石川県、福井県、島根県、佐賀県；下図：愛媛県、静岡県、鹿児島県)

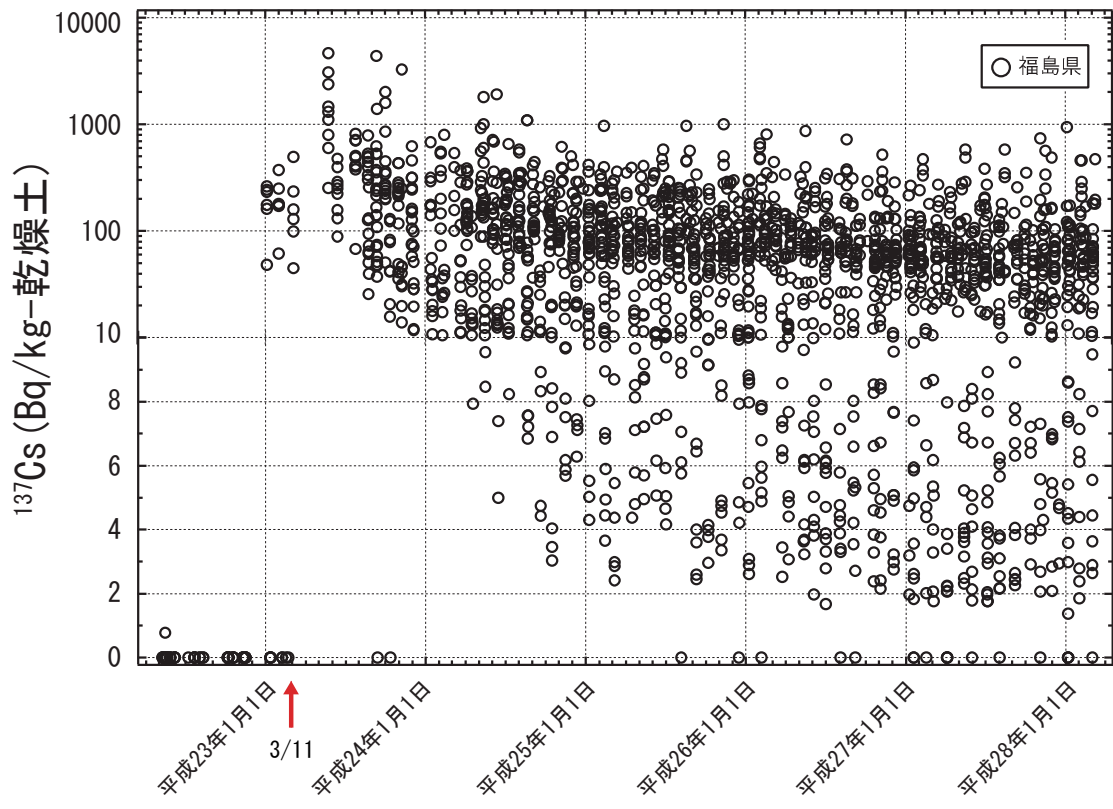


図 I-2-2-5-5 海底土試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化 (福島県)

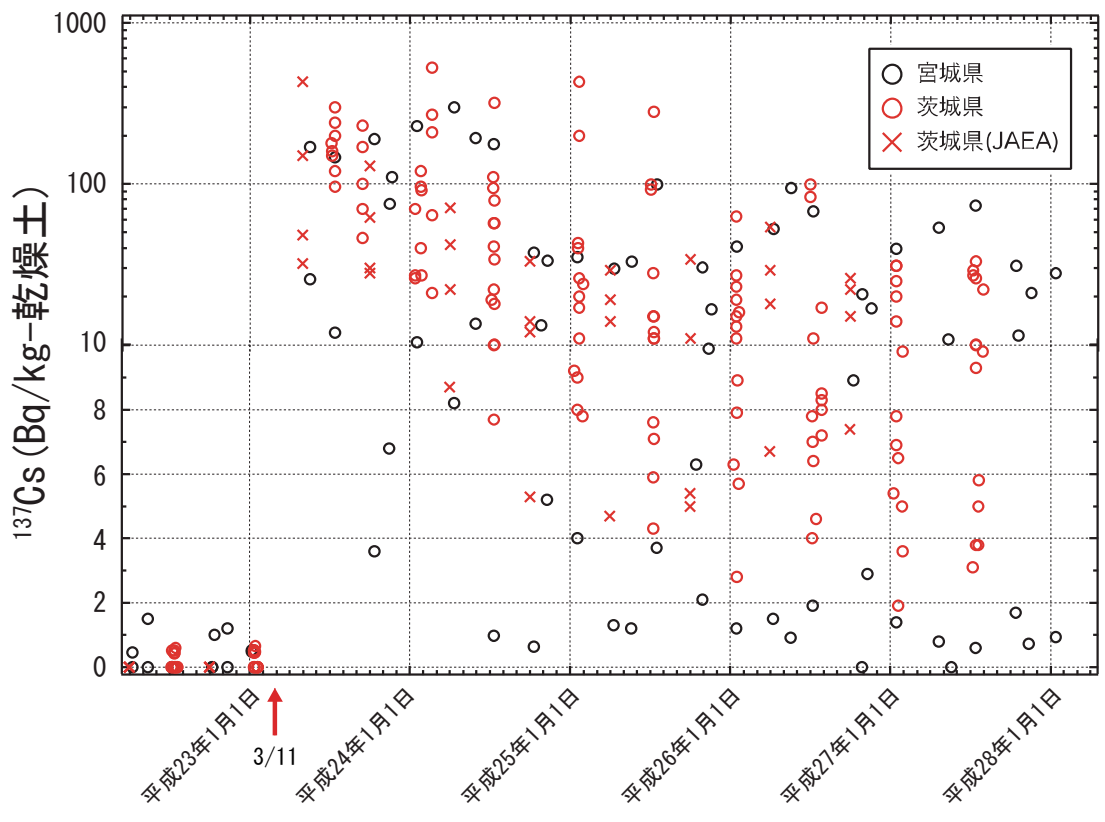


図 I-2-2-5-6 海底土試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経年変化 (宮城県、茨城県)

### iii. 海水試料の<sup>137</sup>Cs濃度推移

海水試料の<sup>137</sup>Cs濃度の経年変化を図 I -2-2-5-7～9 に示す。濃度軸の目盛幅は 0～10mBq/L の範囲を線形スケール、10mBq/L 以上を対数スケールに設定している。なお、検出下限値以下（ND）の試料については 0mBq/L として図示している。

東電福島第一原発事故前の平成 22 年度の<sup>137</sup>Cs濃度は、いずれの道県においても ND～4mBq/L の範囲にあった。

事故後の平成 23 年度には、多くの自治体周辺海域において<sup>137</sup>Cs濃度の上昇が認められ、道県別の最高値は福島県が 20100mBq/L、次いで茨城県が 1100mBq/L、宮城県が 480mBq/L の順であった。この 3 県以外では、青森県が 8mBq/L、静岡県が 6mBq/L であったほか、その他の 8 道県では 3mBq/L 以下であった。

事故後の海水試料の<sup>137</sup>Cs濃度推移について、福島県では事故直後の濃度から 1/10 程度に減少し、平成 27 年度時点でもさらに減少している。なお、福島県では事故後から、分析検体数がそれ以前の 5 倍以上に増加し、検出下限値を「約 1Bq/L」に引き上げているため、図 I -2-2-5-7 において 100mBq/L 以下の結果は示されていない。宮城県及び茨城県においても、福島県と同様に<sup>137</sup>Cs濃度は増減を伴いながら減衰し、平成 27 年度時点で 10mBq/L 以下（事故年度の 1/100 程度の値）に至っている。この 3 県以外では、平成 27 年度時点において、静岡県が約 4mBq/L、その他の道県が約 2mBq/L であり、概ね横ばい傾向である。なお、青森県では検出下限値に 6mBq/L が設定されており、平成 23 年度に認められた 2 件の値を除き、全ての値が ND となった。

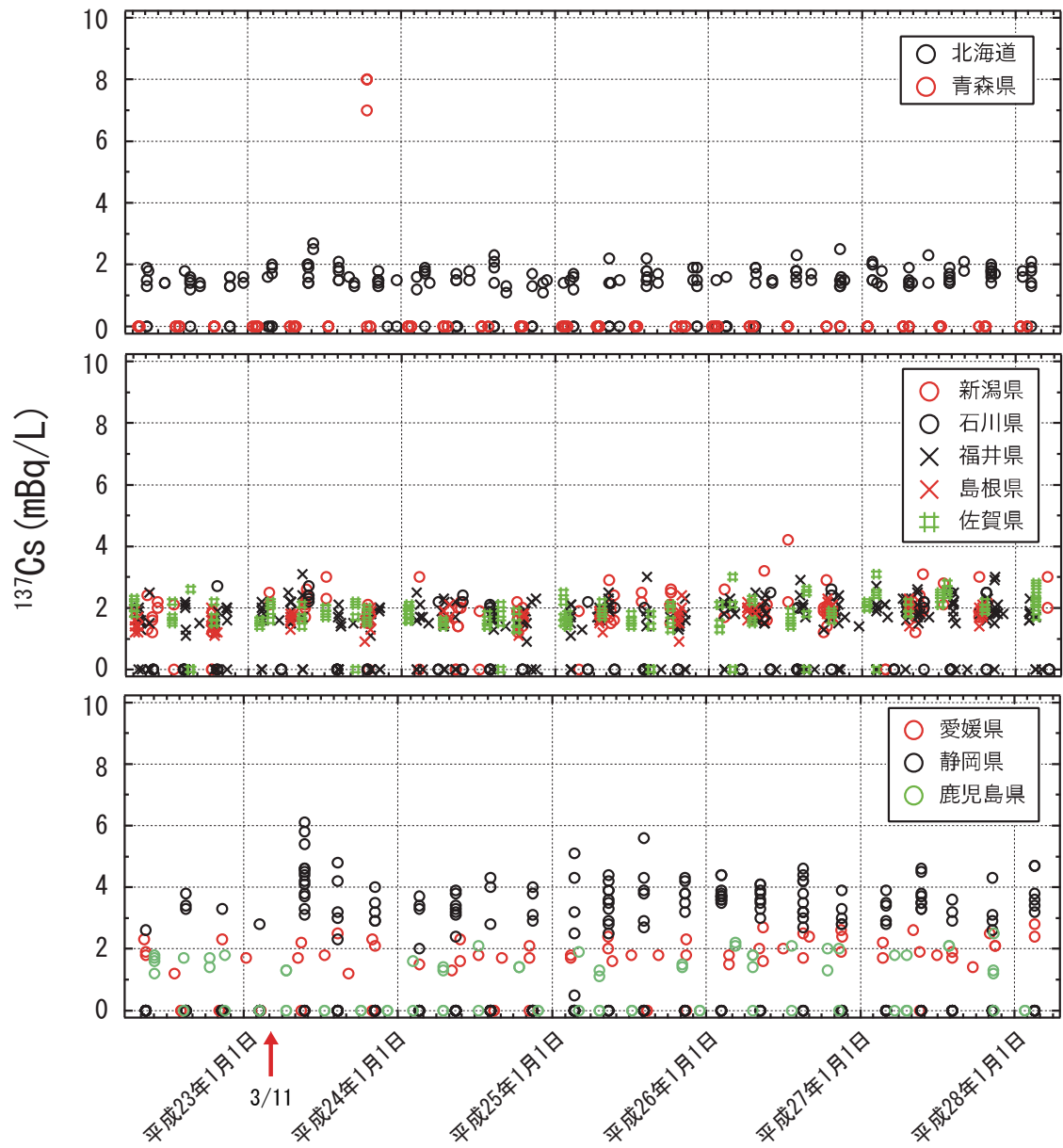


図 I-2-2-5-7 海水試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化 (上図：北海道・青森県；中図：新潟県、石川県、福井県、島根県、佐賀県；下図：愛媛県、静岡県、鹿児島県)

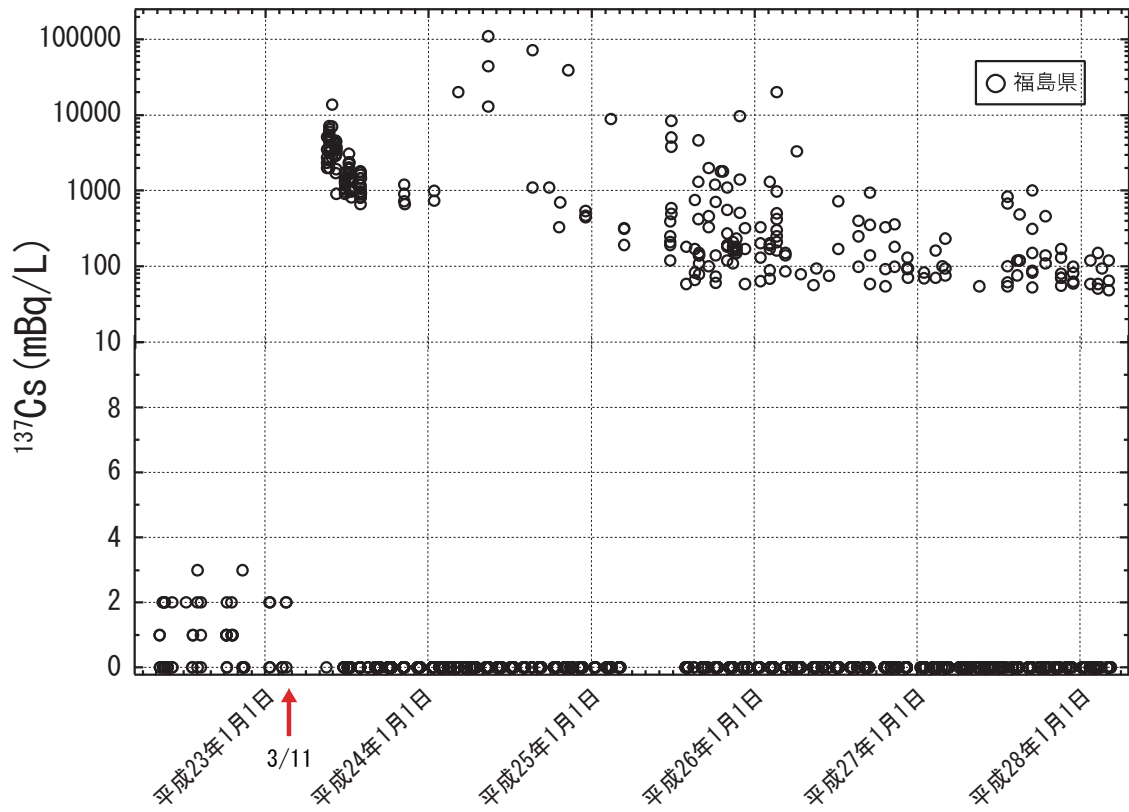


図 I-2-2-5-8 海水試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化(福島県)

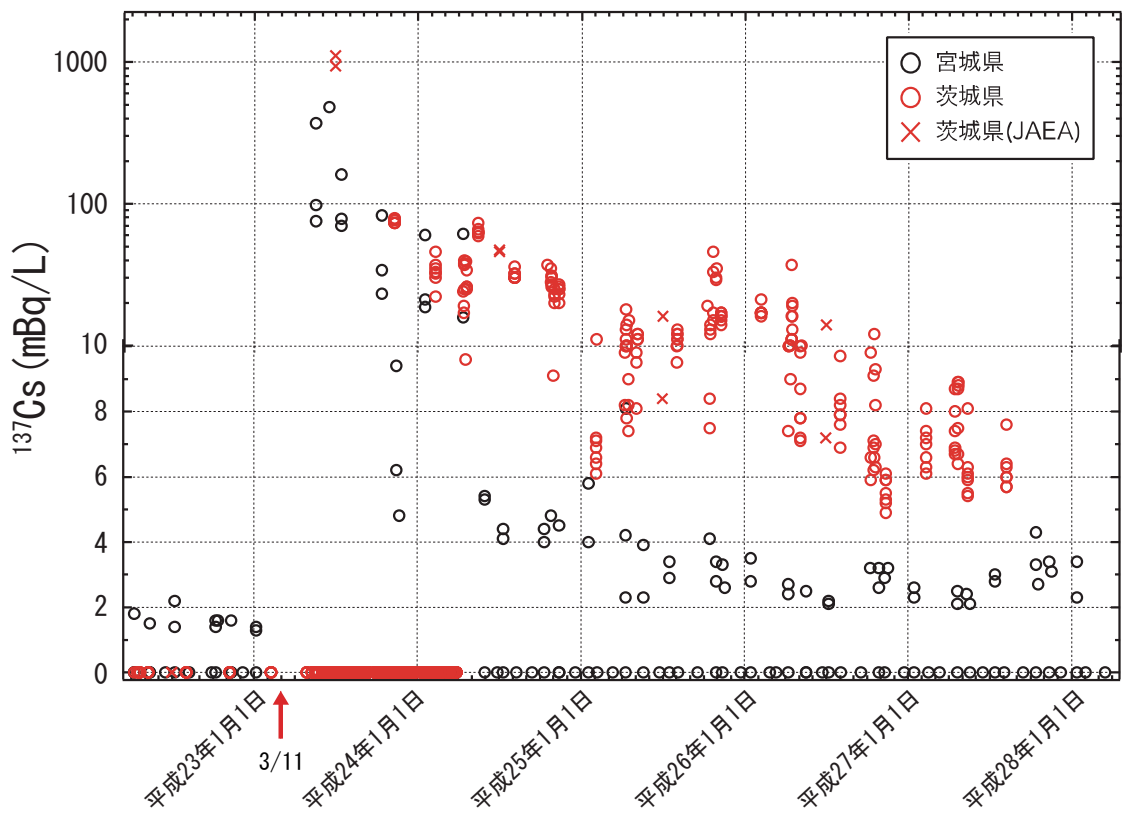


図 I-2-2-5-9 海水試料の  $^{137}\text{Cs}$  濃度経年変化(宮城県、茨城県)

### ③ 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、収集・整理した平成 22～27 年度における放射性核種濃度を資料 4-2-1～3 に示す。

ここでは、平成 27 年度の放射性核種濃度範囲を、表 I-2-2-5-1～3 に示し、自治体等機関と本事業の調査結果の比較を行う。

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、原子力機構である。<sup>90</sup>Sr は 12 道県、原子力機構が調査しており、その濃度は ND～0.13Bq/kg-生鮮物の範囲であった。本調査の <sup>90</sup>Sr 濃度はすべて ND であり、これら自治体等の濃度範囲内であった。放射性 Cs は 13 道県、農水省、原子力機構が調査しており、<sup>134</sup>Cs 濃度は ND～19.8Bq/kg-生鮮物の範囲であり、13 道県のうち、宮城県、福島県、茨城県、静岡県で認められ、福島県において最大値が認められた。<sup>137</sup>Cs 濃度は ND～75.9Bq/kg-生鮮物の範囲であり、<sup>134</sup>Cs 濃度と同様に福島県において最大値が認められた。本調査の海産生物試料の結果から、<sup>134</sup>Cs 濃度は ND～0.90Bq/kg-生鮮物、<sup>137</sup>Cs 濃度は ND～3.8Bq/kg-生鮮物の範囲であり、何れも前述の自治体等の範囲内にあるほか、宮城県、福島県、茨城県において高めの値である傾向も同様であった。<sup>239+240</sup>Pu は 4 県及び原子力機構が調査しており、その濃度は ND～0.048Bq/kg-生鮮物の範囲であり、福島県との違いは認められなかった。本調査の <sup>239+240</sup>Pu 濃度はすべて ND であり、これら自治体等の濃度範囲内であった。

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、原子力機構である。<sup>90</sup>Sr は 8 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 ND～2.2Bq/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の <sup>90</sup>Sr を分析しており、その濃度は ND～0.50Bq/kg-乾燥土の範囲にあり、これら自治体等の濃度範囲内であった。放射性 Cs は 13 道県、海上保安庁、農水省及び原子力機構が調査しており、<sup>134</sup>Cs 濃度は ND～206Bq/kg-乾燥土、<sup>137</sup>Cs 濃度は ND～946Bq/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。本調査の <sup>134</sup>Cs 濃度は ND～71Bq/kg-乾燥土、<sup>137</sup>Cs 濃度は ND～320Bq/kg-乾燥土の範囲であり、これら自治体等の濃度範囲内であり宮城県、福島県、茨城県において高い傾向であった。<sup>239+240</sup>Pu は 5 県及び原子力機構が調査しており、その濃度は ND～0.75Bq/kg-乾燥土の範囲であった。本調査の <sup>239+240</sup>Pu 濃度は 0.37～4.9Bq/kg-乾燥土の範囲であり、これら自治体等の <sup>239+240</sup>Pu 濃度範囲は本調査の濃度範囲内であった。

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。<sup>3</sup>H は 11 道県、原子力機構が調査しており、その濃度は ND～2.6Bq/L の範囲であった。本調査では核燃海域において <sup>3</sup>H を分析対象としており、その濃度は ND～0.17Bq/L の範囲にあり、これら自治体等の濃度範囲内であった。<sup>90</sup>Sr は 8 道県、海上保安庁、原子力機構が調査しており、その濃度は福島県以外が ND～2.7mBq/L の範囲、福島県が 1～760mBq/L の範囲であり、福島県で突出した値であった。本調査の <sup>90</sup>Sr 濃度は ND～1.2mBq/L の範囲であり、福島県以外のこれら自治体等と同程度の値であった。放射性 Cs は 13 道県、海上保安庁、原子力機構が調査しており、<sup>134</sup>Cs 濃度は ND～220mBq/L、<sup>137</sup>Cs の濃度は ND～1000mBq/L の範囲で

表 I-2-2-5-1 平成 27 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濃度範囲（海産生物試料）

自治体	年度	<sup>134</sup> Cs (Bq/kg-生鮮物)		<sup>137</sup> Cs (Bq/kg-生鮮物)		<sup>90</sup> Sr (Bq/kg-生鮮物)		<sup>239+240</sup> Pu (Bq/kg-生鮮物)		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	H27	74	ND*1	74	ND ~ 0.17	19	ND	—		76
青森県	H27	32	ND	32	ND ~ 0.5	32	ND ~ 0.04	19	ND ~ 0.015	32
宮城県	H27	17	ND ~ 0.05	17	ND ~ 0.22	9	ND	—		18
宮城県 (指標海産生物)	H27	28	ND ~ 0.09	28	ND ~ 0.25	4	ND ~ 0.022	—		28
福島県	H27	8517	ND ~ 19.8	8517	ND ~ 75.9	—		—		8517
茨城県	H27	64	ND ~ 0.98	64	ND ~ 3.8	64	ND ~ 0.053	48	ND ~ 0.004	64
静岡県	H27	24	ND ~ 0.04	24	ND ~ 0.22	12	ND	—		30
新潟県	H27	10	ND ~ ND	10	ND ~ 0.2	2	ND ~ 0.014	—		11
新潟県 (指標海産生物)	H27	20	ND	20	ND ~ 0.1	5	0.023 ~ 0.057	—		20
石川県	H27	51	ND	51	ND ~ 0.208	14	ND	—		52
福井県	H27	147	ND	147	ND ~ 0.3	17	ND ~ 0.061	26	ND ~ 0.048	157
島根県	H27	—*2		44	ND ~ 0.12	4	ND ~ 0.13	—		44
愛媛県	H27	41	ND	41	ND ~ 0.14	4	ND ~ 0.063	3	ND ~ 0.009	41
佐賀県	H27	23	ND	23	ND ~ 0.14	23	ND ~ 0.067	—		23
鹿児島県	H27	—		20	ND ~ 0.13	12	ND ~ 0.03	—		21
農林水産省	H25	217	ND ~ 2.9	217	ND ~ 7.7	—		—		217
日本原子力 研究開発機構	H26	30	ND ~ 0.43	30	0.08 ~ 3.1	30	ND ~ 0.048	30	ND ~ 0.005	30
海洋放射能調査	H27	120	ND ~ 0.9	120	ND ~ 3.8	30	ND	30	ND	120

\*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。

表 I-2-2-5-2 平成 27 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濃度範囲（海底土試料）

自治体	年度	<sup>134</sup> Cs (Bq/kg-乾燥土)		<sup>137</sup> Cs (Bq/kg-乾燥土)		<sup>90</sup> Sr (Bq/kg-乾燥土)		<sup>239+240</sup> Pu (Bq/kg-乾燥土)		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	H27	12	ND*1	12	ND	4	ND	—		12
青森県	H27	9	ND	9	ND	4	ND	7	0.24 ~ 0.55	9
宮城県	H27	13	ND ~ 17.6	13	ND ~ 73.5	1	ND	—		13
福島県	H27	438	ND ~ 206	437	ND ~ 946	—		27	0.13 ~ 0.46	438
茨城県	H27	—*2		13	3.1 ~ 33	13	ND	10	0.18 ~ 0.75	13
静岡県	H27	64	ND	64	ND ~ 2.4	—		—		64
新潟県	H27	14	ND	14	ND	—		4	0.1 ~ 0.17	14
石川県	H27	19	ND	19	ND	16	ND	—		19
福井県	H27	92	ND	92	ND ~ 8.8	—		—		92
島根県	H27	—		3	ND	—		—		3
愛媛県	H27	14	ND	14	ND ~ 0.91	8	ND	8	0.13 ~ 0.56	14
佐賀県	H27	16	ND	16	ND ~ 0.44	16	ND	—		16
鹿児島県	H27	—		8	ND ~ 1.2	4	ND	—		8
海上保安庁	H27	9	ND ~ 82	17	0.12 ~ 330	8	ND ~ 2.2	—		17
農林水産省	H25	153	ND ~ 41	153	ND ~ 90	—		—		154
日本原子力 研究開発機構	H26	8	2.2 ~ 20	8	6.7 ~ 54	8	ND	8	0.26 ~ 0.61	8
海洋放射能調査	H27	82	ND ~ 71	82	ND ~ 320	22	ND ~ 0.5	22	0.37 ~ 4.9	82

\*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。



表 I-2-2-5-3 平成 27 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濃度範囲（海水試料）

自治体	年度	<sup>134</sup> Cs (mBq/L)		<sup>137</sup> Cs (mBq/L)		<sup>90</sup> Sr (mBq/L)		<sup>239+240</sup> Pu (mBq/L)		<sup>3</sup> H (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	H27	32	ND*1	32	ND ~ 2.3	4	ND	—	—	32	ND	32
青森県	H27	32	ND	32	ND	18	ND	—	—	32	ND	32
宮城県	H27	25	ND ~ 1.7	25	ND ~ 4.3	1	2.7	—	—	—	—	25
福島県	H27	261	ND ~ 220	261	ND ~ 1000	75	1 ~ 760	75	ND ~ 0.01	225	ND ~ 2.6	261
茨城県	H27	13	ND	27	0.005 ~ 8.9	—	—	—	—	78	ND	91
静岡県	H27	64	ND	64	ND ~ 4.7	—	—	—	—	27	ND ~ 0.76	64
新潟県	H27	18	ND	18	0.001 ~ 3.1	—	—	—	—	18	ND ~ 0.49	18
石川県	H27	—*2	—	19	ND ~ 2.5	—	—	—	—	—	—	19
福井県	H27	54	—	54	ND ~ 3	—	—	—	—	88	ND ~ 1.3	92
島根県	H27	—	—	16	1.4 ~ 2.3	1	ND	—	—	10	ND	20
愛媛県	H27	12	—	12	ND ~ 2.8	4	0.74 ~ 1.5	—	—	4	ND	12
佐賀県	H27	24	—	24	1.7 ~ 2.8	24	ND ~ 1.9	—	—	24	ND ~ 0.33	24
鹿児島県	H27	—	—	12	ND ~ 2.5	4	ND ~ 1.1	—	—	8	ND	12
海上保安庁	H27	36	ND ~ 2.2	65	0.11 ~ 8.8	29	ND ~ 0.043	—	—	—	—	65
日本原子力 研究開発機構	H26	2	ND	2	0.007 ~ 0.014	2	ND	2	ND	9	ND	9
海洋放射能調査	H27	208	ND ~ 0.77	208	ND ~ 4.0	208	ND ~ 1.2	88	ND ~ 0.024	88	ND ~ 0.17	208

\*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。

あり、何れも福島県が最高値であった。本調査の <sup>134</sup>Cs 濃度は ND~0.77mBq/L、<sup>137</sup>Cs 濃度は ND~4.0mBq/L の範囲であり、これら自治体等の濃度範囲内にあり、福島県で高い傾向も同様であった。<sup>239+240</sup>Pu は福島県及び原子力機構が調査しており、その濃度は ND~0.01mBq/L の範囲であった。本調査の <sup>239+240</sup>Pu 濃度は ND~0.024mBq/L の範囲であり、2 機関の濃度範囲内であった。

#### ④ まとめ

原子力発電所立地県及び核燃料サイクル施設立地県における原子力施設等周辺放射線監視事業の結果と、本事業において実施された海洋放射能調査結果を比較し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中の放射性核種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じであった。このことから、自治体等機関における結果を対照することで、本調査の測定値の妥当性が確認された。

#### 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 22 年度第 1 四半期 ~ 平成 27 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 22 年度年度報 ~ 平成 27 年度年度報.
- 3) 宮城県. 女川原子力発電所環境放射能調査結果. 平成 22 年度 30(5) ~ 平成 27 年度 35(5).
- 4) 福島県. 原子力発電所周辺環境放射能測定結果報告書. 平成 22 年度 ~ 平成 25 年度. 平成

- 25 年度(訂正版).
- 5) 福島県. 原子力発電所周辺環境放射能測定結果. 平成 26 年度第 1 四半期 ~ 平成 27 年度第 4 四半期.
  - 6) 福島県. 福島県各種放射線モニタリング(港湾・海面漁場)調査結果について(速報). 平成 28 年 5 月 12 日.
  - 7) 福島県. 福島県各種放射線モニタリング結果一覧
  - 8) 茨城県. 環境放射線監視季報. 第 152 報(平成 22 年度第 1 四半期) ~ 第 175 報(平成 27 年度第 4 四半期).
  - 9) 静岡県. 浜岡原子力発電所周辺環境放射能調査結果. 第 149 号(調査期間 平成 22 年 4 月~平成 23 年 3 月) ~ 第 169 号(調査期間 平成 27 年 4 月~平成 28 年 3 月).
  - 10) 新潟県. 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. 平成 22 年度 ~ 平成 27 年度.
  - 11) 新潟県. 平成 27 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速報. 第 1 四半期(4 月~6 月) ~ 第 4 四半期(1 月~3 月).
  - 12) 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 22 年度年報 ~ 平成 27 年度年報.
  - 13) 福井県. 原子力発電所周辺の環境放射能調査報告. 平成 22 年度年報(2010) ~ 平成 27 年度年報(2015).
  - 14) 島根県. 島根原子力発電所周辺環境放射線等調査結果. 平成 22 年度 ~ 平成 27 年度.
  - 15) 愛媛県. 伊方原子力発電所周辺環境放射線等調査結果. 平成 22 年度 ~ 平成 27 年度.
  - 16) 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 22 年度 ~ 平成 27 年度.
  - 17) 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(季報). 平成 22 年 4 月~6 月 ~ 平成 28 年 1 月~3 月.
  - 18) 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(年報). 平成 22 年度 ~ 平成 27 年度.
  - 19) 海上保安庁. 放射能調査報告書. 平成 22 年調査結果~平成 27 年調査結果.
  - 20) 農林水産省. 平成 22 年度農林水産省関係放射能調査研究年報. A 農業関係 B 畜産関係 C 水産関係.
  - 21) 農林水産省. 平成 23 年度農林水産省関係放射能調査研究年報 水産関係.
  - 22) 農林水産省. 平成 24 年度農林水産省関係放射能調査研究年報 C 水産関係.
  - 23) 農林水産省. 平成 25 年度農林水産省関係放射能調査研究年報 C 水産関係.
  - 24) 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. 2010 年度 ~ 2014 年度.
  - 25) 新潟県(2016). 新潟県の環境. 第 3 部 資料編 2-8-5-1 海底土調査結果(荒川沖~大河津分水沖). p. 217-219. ([http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML\\_Article/633/991/H28ikkatu.0.pdf](http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/633/991/H28ikkatu.0.pdf).)