

令和4年度  
福島県沖等における放射性物質モニタリング業務  
成果報告書

2023年3月

公益財団法人日本分析センター



# 目次

1. 件名.....	1
2. 業務目的.....	1
3. 実施期間.....	1
4. 業務実施内容.....	1
4.1 海域環境モニタリングの実施.....	1
4.1.1 プレ調査.....	7
4.1.2 試料採取.....	8
4.1.3 前処理.....	11
4.1.4 放射性核種等の分析.....	12
4.2 調査結果.....	18
4.2.1 海水.....	19
4.2.2 水生生物(魚類及び海藻類).....	42
4.3 関連情報の収集・整理.....	47
4.3.1 ウラン 234(U-234)及びウラン 238(U-238)分析法.....	47
4.3.2 ネプツニウム 237(Np-237)分析法.....	48
4.3.3 セレン 79(Se-79)分析法.....	50
4.3.4 鉄 55(Fe-55)分析法.....	52
4.3.5 資料の翻訳と取りまとめ.....	55
4.4 モニタリング結果に関する情報発信・理解醸成.....	60
4.5 学識経験者による検討会.....	66
4.5.1 運営.....	66
4.5.2 開催.....	66
4.5.3 試料採取立会い.....	66
4.6 業務打合せ.....	66
4.7 国際原子力機関(IAEA)によるモニタリング結果裏付け対応.....	67
4.7.1 試料の採取及びIAEA 専門家等の立会い対応.....	67
4.7.2 試料の前処理等及びIAEA 専門家等の立会い対応.....	68
4.7.3 連絡調整.....	69
別紙.....	71

## 1. 件名

令和4年度福島県沖等における放射性物質モニタリング業務

## 2. 業務目的

令和3年4月に政府の廃炉・汚染水・処理水対策関係閣僚等会議において「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所(以下「1F」という。)における多核種除去設備等処理水の処分に関する基本方針(以下「基本方針」という。)」が決定された。

基本方針では、新たにトリチウムに関するモニタリングを漁場や海水浴場等で実施するなど、政府及び東京電力ホールディングス株式会社(以下「TEPCO」という。)が 1F における多核種除去設備等処理水(以下「ALPS 処理水」という。)の放出前及び放出後におけるモニタリングを強化・拡充することが定められた。

これを踏まえ、本業務は福島県沖等における現状のトリチウム等の放射性物質濃度を把握することを目的とし、モニタリングを行うものである。

## 3. 実施期間

令和4年4月1日～令和5年3月31日

## 4. 業務実施内容

### 4.1 海域環境モニタリングの実施

福島県及び周辺県における海域においては海水及び水生生物(魚類及び海藻類)を年4回、海水浴場においては海水を年2回、分析対象核種を考慮して適切な量を採取した。なお、水生生物(魚類及び海藻類)の採取にあたっては、福島県から「特別採捕」及び「特定水産動植物採捕」の許可を得て実施した。海水及び水生生物(魚類及び海藻類)の対象核種と採取頻度を表1に示した。また、海水及び水生生物(魚類及び水生生物)の採取測点の位置情報(緯度及び経度)を表2及び表3に、地図上の位置を図1及び図2に示した。なお、ALPS 処理水放水口ケーソンの設置工事に伴い、予定通りのモニタリングの実施を維持するため、第4回調査から放水口周辺の測点位置の変更を行った。変更後の海水の採取測点の位置情報(緯度及び経度)を表4に、地図上の位置を図3に示した。

※放水口周辺の測点位置の変更に伴い、トリチウム分析用試料の採取測点である E-S9 は、トリチウム以外の核種の分析試料採取測点である E-S10 と同一地点となった。

トリチウムを含む合計 57 核種を定量するにあたって、必要な前処理、化学分離を実施し、適切な機器を用いて測定を行った。初年度である今年度は、初回調査の前に調査手順や測定方法の確認のため一部の測点を対象としたプレ調査を実施した。

なお、今年度実施した全4回の調査のうち、第3回調査で採取した水生生物(魚類)及び第4回調査で採取した水生生物(魚類及び海藻類)については、翌年度に分析を行う予定のため、前処理を実施した後、凍結した状態で安定に保管することとした。凍結した試料は、環境省担当官の指示により環境省に引き渡す。

表1 海水及び水生生物における対象核種と採取頻度

対象試料	測点名と測点数	対象核種	採取頻度	第1回調査	第2回調査	第3回調査	第4回調査
海水	E-S1, E-S2, E-S4~E-S9, E-S11~E-S32 30測点 (表層と底層の各測点2試料)	トリチウム	四半期に1回				
	E-SK1~E-SK6 (海水浴場) 6測点	検出下限目標値 0.1 Bq/L	シーズン前に1回 シーズン中に1回		シーズン前 シーズン中		
	E-S1, E-S2, E-S4~E-S9, E-S11~E-S32 30測点 (表層と底層の各測点2試料)	トリチウム	年に1回				
	E-SK1~E-SK6 (海水浴場) 6測点	検出下限目標値 10 Bq/L	シーズン中に1回		シーズン中		
	E-S3, E-S10, E-S15 3測点 (表層と底層の各測点2試料)	主要7核種 (Cs-134, Cs-137 Ru-106, Sb-125, Co-60, Sr-90, I-129)	四半期に1回				
	E-S3, E-S10, E-S15 3測点 (表層と底層の各測点2試料)	その他48核種 + 炭素14	年に1回				
水生生物	魚類 E-SF1, E-SF2, E-SF3 3測点	トリチウム、炭素14	四半期に1回				
	海藻類 E-SW1 請戸漁港 E-SW2 富岡漁港	ヨウ素129	四半期に1回				

表 2 変更前(第 3 回調査まで)の海水及び水生生物の採取測点の位置情報(緯度及び経度)

測点名	緯度	経度	備考	測点名	緯度	経度	備考
E-S1	37.455	141.042	3km圏内	E-S17	37.940	140.931	宮城県沖南部
E-S2	37.446	141.040		E-S18	37.876	140.980	50km圏内
E-S3	37.441	141.040		E-S19	37.698	141.022	30km圏内
E-S4	37.434	141.039		E-S20	37.519	141.046	5~10km圏内
E-S5	37.431	141.046		E-S21	37.499	141.117	
E-S6	37.431	141.044		E-S22	37.474	141.046	
E-S7	37.431	141.048		E-S23	37.464	141.081	
E-S8	37.429	141.043		E-S24	37.429	141.103	
E-S9	37.429	141.050		E-S25	37.429	141.159	
E-S10	37.429	141.051		E-S26	37.393	141.082	
E-S11	37.427	141.044		E-S27	37.384	141.046	
E-S12	37.427	141.049		E-S28	37.358	141.117	
E-S13	37.426	141.046		E-S29	37.338	141.046	
E-S14	37.420	141.042		E-S30	37.160	141.014	30km圏内
E-S15	37.410	141.038		E-S31	36.982	140.979	50km圏内
E-S16	37.403	141.038		E-S32	36.845	140.811	茨城県沖北部

※表内の距離は、ALPS 処理水放水口からの距離を示している。

※水生生物の採取測点である E-SF1、E-SF2 及び E-SF3 は、それぞれ共同漁業権境界線の北側 (E-S3 周辺海域)、東側 (E-S10 周辺海域)、南側 (E-S15 周辺海域) である。

表 3 海水浴場の海水採取測点の位置情報(緯度及び経度)

測点名	緯度	経度	備考
E-SK1	37.877	140.935	釣師浜海水浴場
E-SK2	37.831	140.965	原釜尾浜海水浴場
E-SK3	37.659	141.020	北泉海水浴場
E-SK4	37.242	141.014	岩沢海水浴場
E-SK5	37.127	140.998	久之浜海水浴場
E-SK6	36.866	140.790	勿来海水浴場

表4 変更後(第4回調査)の海水の採取測点の位置情報(緯度及び経度)

測点名	緯度	経度	備考	測点名	緯度	経度	備考
E-S1	37.455	141.042	3km圏内	E-S17	37.940	140.931	宮城県沖南部
E-S2	37.446	141.040		E-S18	37.876	140.980	50km圏内
E-S3	37.441	141.040		E-S19	37.698	141.022	30km圏内
E-S4	37.434	141.039		E-S20	37.519	141.046	5~10km圏内
E-S5	37.433	141.046		E-S21	37.499	141.117	
E-S6	37.433	141.042		E-S22	37.474	141.046	
E-S7	37.433	141.051		E-S23	37.464	141.081	
E-S8	37.429	141.042		E-S24	37.429	141.103	
E-S9	37.429	141.051		E-S25	37.429	141.159	
E-S10	37.429	141.051		E-S26	37.393	141.082	
E-S11	37.426	141.042		E-S27	37.384	141.046	
E-S12	37.426	141.051		E-S28	37.358	141.117	
E-S13	37.426	141.046		E-S29	37.338	141.046	
E-S14	37.420	141.042		E-S30	37.160	141.014	30km圏内
E-S15	37.410	141.038		E-S31	36.982	140.979	50km圏内
E-S16	37.403	141.038		E-S32	36.845	140.811	茨城県沖北部

※変更があった採取測点は、E-S5~E-S9 及び E-S11~E-S13 である。

※E-S9 と E-S10 は同一位置である。

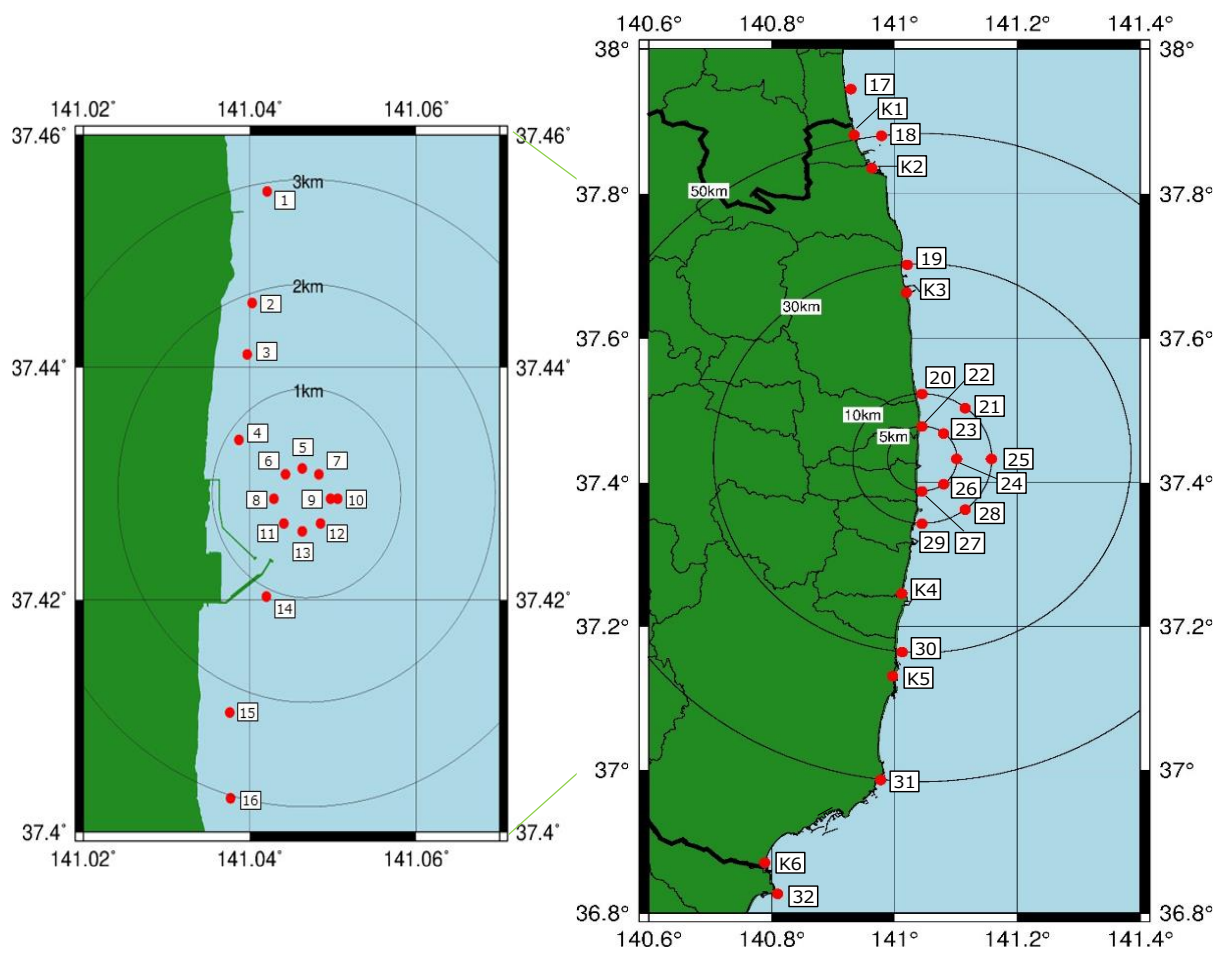


図1 変更前(第3回調査まで)の海水試料の採取測点  
 左図が放水口から3 km 圏内の測点、右図が放水口から3 km 圏外の測点である。  
 なお、地図上では「E-S」を省略して示す(例 E-S17→17)。



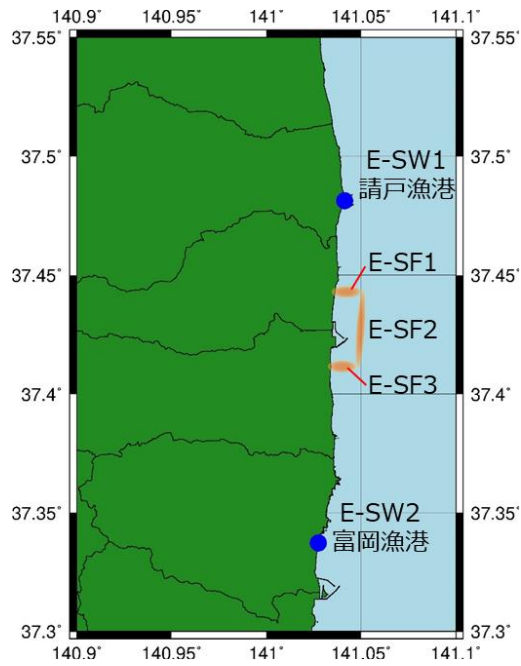


図2 魚類及び海藻類の採取測点

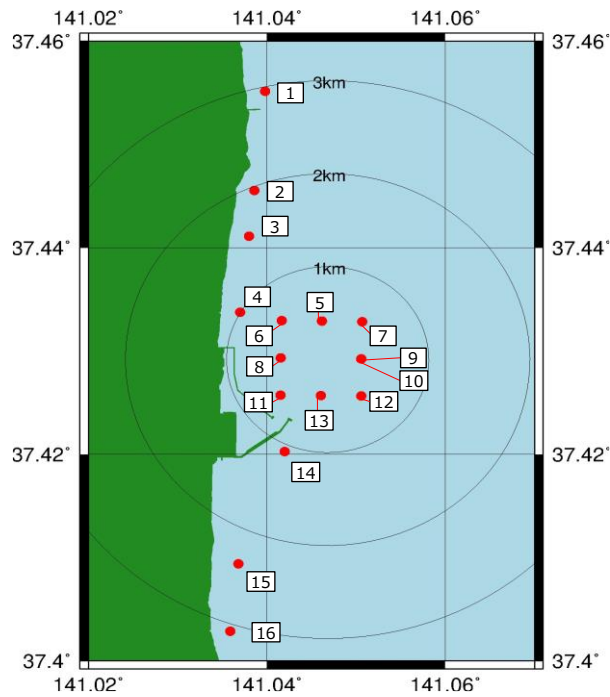


図3 変更後(第4回調査)の海水試料の採取測点(放水口から3 km 圏内)

なお、地図中では「E-S」を省略して示す(例 E-S17→17)。

※変更があった採取測点は、E-S5(図中 5)～E-S9(図中 9)及び  
E-S11(図中 11)～E-S13(図中 13)である。

※E-S9(図中 9)とE-S10(図中 10)は同一位置である。

#### 4.1.1 プレ調査

調査手順や測定方法の確認のため、測点 E-S10 においては海水採取について、また、測点 E-S3、E-S10、E-S15 においては海藻の生育状況についてのプレ調査を実施した。

##### (1) 海水採取方法の確認

測点 E-S10 において、次の点を確認した。なお、使用した機器等については別紙 1 別図も参照のこと。

- ・GPS による採取測点の位置確認
- ・多目的計測計(CTD<sup>\*</sup>)による深度、水温、塩分の測定手順
- ・ニスキン採水器による海水の採取
- ・揚水式ポンプによる海水の採取及び試料分割方法

ポンプを用いて大量に採取を行う予定の測点 E-S3、E-S10、E-S15 のうち、最も水深の深い測点 E-S10(水深約 20 m)において、揚水式水中ポンプにより底層(水深約 15 m)の海水が採取できることが確認された。これにより、トリチウム分析用の海水を採取する場合は、ニスキン採水器を、主要7核種及びその他関連核種分析用に大量に海水を採取する場合は、揚水式水中ポンプを用いて採取することとした。

※CTD: Conductivity Temperature Depth Profiler の略

海水の塩分、水温、圧力(深度)を計測するセンサーで構成された観測装置で、ケーブルにつないで海水中に投下し、水深、深さ方向の水温や塩分の分布を観測するもの。

##### (2) 海藻類の生育状況の確認

測点 E-S3、E-S10、E-S15 において水中カメラ等を用いて海藻類の生育状況を撮影した。水中ドローン(別紙 1 別図 1-14 参照)を使用したが、潮流が速く撮影が困難であったため、錘を取り付けた水中カメラ(別紙 1 別図 1-15 参照)を用いて撮影した。水中カメラで各測点の海底を撮影した結果、すべての測点(E-S3、E-S10 及び E-S15)において、海底が砂質であり海藻の生育は認められなかった。また、作業船の漁業者に測点周辺での海藻の生育状況を聞き取りしたところ、各測点周辺海域では、波や砂の影響で海藻は生育していないだろうとの回答であった。

##### (3) 測点の確認作業

測点 E-S1、E-S2、E-S3、E-S4、E-S15、E-S16 の候補箇所は、岸から数百メートルしか離れていないため水深が浅いと考えられた。作業船で当初指定された座標に向かったところ、水深が数メートルと浅く船舶の進入が不可能であった。そこで、沖合に 150 m から 200 m 移動させることを環境省に提案した。

##### (4) 藻場調査

プレ調査において当初計画した測点 E-S3、E-S10、E-S15 での海藻類の採取が困難である

ことが判明したため、代わりとなる採取地点を決定すべく相馬港、北泉海水浴場、請戸港、富岡港、久之浜港、中之作港、勿来海水浴場の7カ所(別図 1-38～1-42 参照)において海藻の生育状況の確認(藻場調査)を行った。ALPS 処理水の放水口からの距離、海藻の生育状況、採取のしやすさ等を考慮して、請戸港と富岡港の2ヶ所を海藻採取地点として環境省に提案した。

#### 4.1.2 試料採取

海水及び水生生物(魚類)採取の安全対策として、作業船と監視船の2隻体制で備船するとともに、衛星電話等による連絡体制を確保した。

また、専門家会議の委員や福島県内の自治体職員に対して、作業船又は監視船からの海水や魚類採取の立会い並びに漁港岸壁からの海藻採取の立会いについて支援し、モニタリング結果の客観性・透明性・信頼性の確保に係る取組を行った。

##### (1) 海水試料

海水試料は、福島県並びに宮城県南部及び茨城県北部の海域 32 測点(図 1 もしくは図 3 の E-S1～E-S32)と福島県内の海水浴場 6 測点(図 2 の E-SK1～E-SK6)の計 38 測点で採取した。

海水の採取方法は、文部科学省制定の放射能測定法シリーズ 16「環境試料採取法」(昭和 58 年制定)に準じた。採取測点到着後、気象海象の観測及び CTD を用いた水深、水温、塩分等の測定を行った。採取量に応じてニスキン採水器又は水中ポンプを用いて、表層(水深 1.5 m)と底層(水深 20 m 未満は海底面より 2 m 上、水深 20 m 以上は海底面より 5 m 上)の海水の採取を行った。測点ごとの海水の採取量及び採取方法を表 5 に示した。

表 5 測点ごとの海水試料の採取量と採取方法

測点		採取量(L)	採取方法
E-S1, E-S2, E-S4～E-S9, E-S11～E-S32	表層	2	ニスキン採水器
	底層	2	
E-S3, E-S10, E-S15	表層	140 (第 3 回*のみ 540)	水中ポンプ
	底層	140 (第 3 回*のみ 540)	

※第 3 回の海水は、その他関連核種の分析を実施するため採取量を増やしている。

海水浴場 6 測点については、ポリ容器により直接表層(水深 0.5 m)の海水を採取した。

採取した海水のうち、トリチウム、炭素 14 及びヨウ素 129 分析用以外の海水試料については、海水 1 L 当たり 1 mL の濃塩酸を添加して塩酸酸性とした。

令和 4 年度調査の試料として収集した海水の採取記録を別紙 2 別表 2-1-1～2-1-6 に示す。

採水水深は、ワイヤー長から求めているため、CTD により測定した塩分と塩分計で測定した分析試料中の塩分を比較することで採水水深の正確性を確認した。なお、CTD による測定は船上で採取時に、塩分計による測定は分析室において分析試料の一部を分取し、海洋観測指針「5.3 塩分」(気象庁 1999)に示す方法で測定した(データの詳細は別紙 2 試料採取記録及び別紙 3 の 3.1.4 塩分計による塩分分析結果を参照のこと)。

CTD 及び塩分計により測定した塩分の相関を図 4 に示した。図 4 より、塩分計による塩分と CTD による塩分は非常に良い相関を示しており、回帰直線の傾きはほぼ 1 であり、相関係数(r)もほぼ 1 であることから、分析試料の採水水深は、ワイヤー長で求めた水深と差が無いことが確認された。参考として使用した機器を以下に示す。

CTD :JFE アドバンテック株式会社製 RINKO-Profiler

塩分計:Guildline Instrument 製 AUTOSAL Model 8400B

(標準海水:IAPSO Standard Seawater P165)

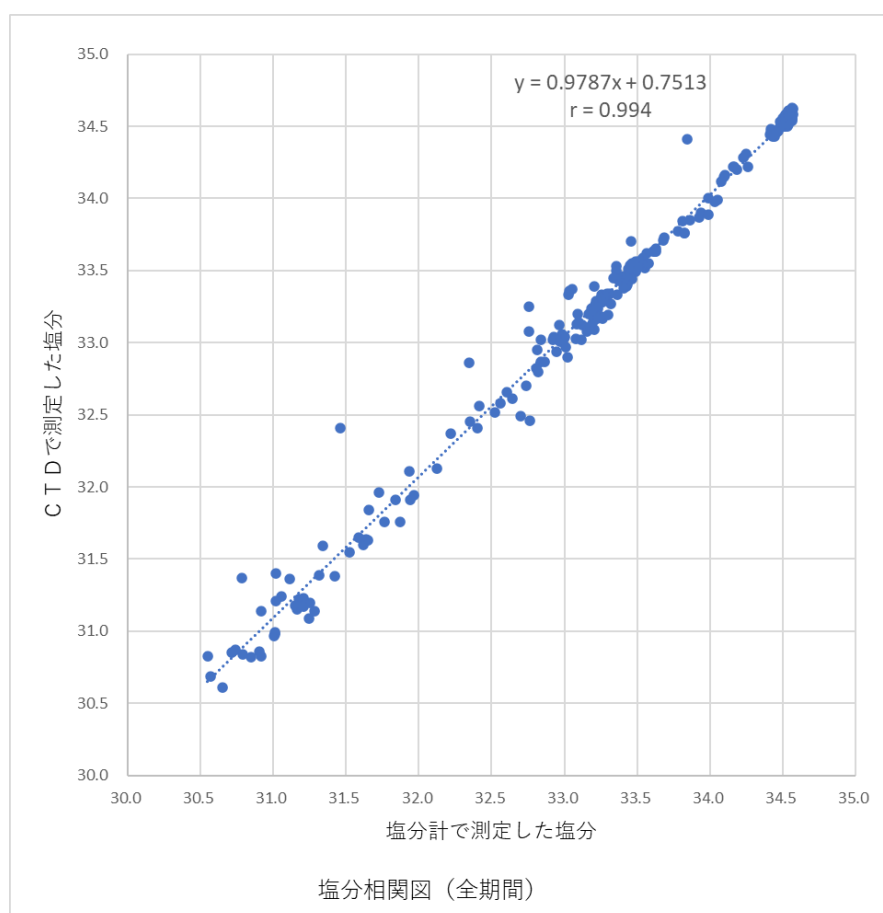


図 4 CTD 及び塩分計による塩分相関図(全期間データ)

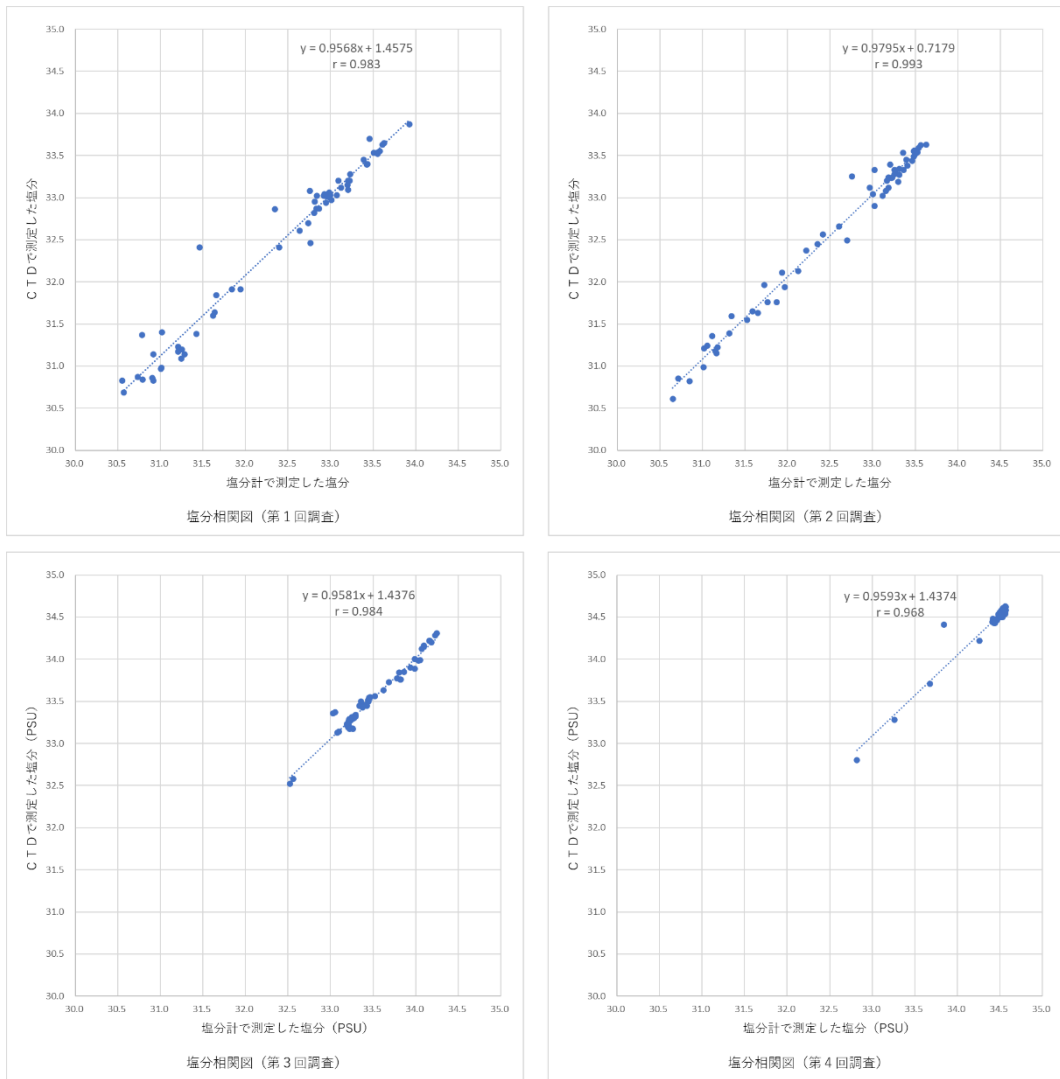


図4 CTD及び塩分計による塩分結果比較図(続き)  
 左上図:第1回調査データ、右上図:第2回調査データ  
 左下図:第3回調査データ、右下図:第4回調査データ

## (2) 水生生物(魚類及び海藻類)

水生生物(魚類及び海藻類)の採取にあたっては、福島県から「特別採捕」及び「特定水産動植物採捕」の許可を得て実施した。

### ① 魚類

魚類は、図 2 に示した 1F 近傍海域の共同漁業権境界線の北側(E-SF1)、東側(E-SF2)、南側(E-SF3)の 3 測点で刺網を用いて採取を行った。

1 測点あたり 3 種、1 種あたり 6 kg を目標に採取した魚の中から採取量の多い種を選んだ。採取量が少なく、6 kg に満たない場合は複数種を混ぜることとした。令和 4 年度調査の試料として収集した魚類を別紙 2 別表 2-2-1~2-2-2 に示す。

### ② 海藻類

海藻類は、図 2 に示した請戸港(E-SW1)、富岡港(E-SW2)の 2 測点において潜水による直接採取を行った。1 測点あたり 2 種、1 種あたり 2 kg を目標に採取した。生育状況が悪く 2 kg に満たない場合、分析に供する最小量を目標に採取した。令和 4 年度調査の試料として収集した海藻類を別紙 2 別表 2-3-1~2-3-2 に示す。

## 4.1.3 前処理

### (1) 海水の前処理

海水中のセシウム 134、セシウム 137 及びストロンチウム 90 は、同一試料から系統分析を実施するため文部科学省制定の放射能測定法シリーズ 13「ゲルマニウム半導体検出器を用いる機器分析のための試料の前処理法」(昭和 57 年制定)及び同シリーズ 2「放射性ストロンチウム分析法」(平成 15 年改訂)に準じて、海水の前処理を行った。なお、セシウム 134 及びセシウム 137 以外の対象核種の  $\gamma$  線測定は前処理をせず、直接測定を行った。

送付試料から 50 L を分取し、セシウム担体の一定量を添加した後、リンモリブデン酸アンモニウム三水和物(AMP)を 20 g 加えてリンモリブデン酸塩としてセシウムを捕集した。静置後、リンモリブデン酸塩をろ別し、プラスチック製円筒型容器(高さ 6 cm、直径 5 cm)に移した。乾燥後、ポリエチレン製の袋で容器を二重に包み、セシウム 134 及びセシウム 137 測定試料とした。上澄みは放射性ストロンチウム(ストロンチウム 90)分析に供した。なお、第 3 回調査で採取した海水については、ストロンチウム 90 に加えてストロンチウム 89 も対象核種とした。

### (2) 水生生物(魚類及び海藻類)の前処理

水生生物(魚類)は総質量を計測した後、頭、骨、内臓、ヒレ、鱗及び皮を除去し、可食部(筋肉)を分取した。可食部は細断し、ポリ袋に密封後質量を計測し冷凍保管した。

冷凍保管した試料を真空凍結乾燥機により水試料と乾物試料に分離し、水試料は組織自由水トリチウム分析試料とし、乾物試料は粉碎して有機結合型トリチウム分析試料及び炭素 14 分析試料とした。

水生生物(海藻類)は総質量を計測した後、根元部や付着物を除き細断し、ポリ袋に密封後質量を計測して冷凍保管した。

冷凍保管した試料を真空凍結乾燥機により乾物試料とし、粉碎してヨウ素 129 分析試料とした。

また、第 2 回調査で採取した水生生物(魚類及び海藻類)は、「4.6 IAEA によるモニタリング結果裏付け対応」で調製した分析試料と共通である。

なお、第 3 回調査で採取した水生生物(魚類)及び第 4 回調査で採取した水生生物(魚類及び海藻類)は、翌年度に分析を行う予定のため、必要部位分取からポリ袋への密封、質量計測後に冷凍保管し、環境省担当官の指示により環境省に引き渡す。

#### 4.1.4 放射性核種等の分析

海水及び水生生物について、対象とする放射性核種の放射能分析を実施するにあたり、適用する分析測定方法及び確保すべき検出下限目標値を表 6 及び表 7 に示した。分析測定方法は、文部科学省及び原子力規制庁制定の放射能測定法シリーズに準じた。放射能測定法シリーズ以外の方法で分析を実施した海水のテクネチウム 99 ( $^{99}\text{Tc}$  もしくは  $\text{Tc-99}$ )、カドミウム 113m ( $^{113\text{m}}\text{Cd}$  もしくは  $\text{Cd-113m}$ )、ヨウ素 129 ( $^{129}\text{I}$  もしくは  $\text{I-129}$ )、ニッケル 63 ( $^{63}\text{Ni}$  もしくは  $\text{Ni-63}$ ) 及び水生生物(海藻類)のヨウ素 129 ( $^{129}\text{I}$  もしくは  $\text{I-129}$ ) について、分析フローを図 5 から図 9 に示した。

表 6 海水の対象核種と分析測定方法

対象核種	検出下限目標値 (Bq/L)	分析測定方法 <sup>※1</sup>
トリチウム	0.1	No.9 トリチウム分析法
	10	No.9 トリチウム分析法
$^{134}\text{Cs}$ , $^{137}\text{Cs}$	0.001	No.7 ゲルマニウム半導体検出器による $\gamma$ 線スペクトロメトリー
$^{106}\text{Ru}$ , $^{125}\text{Sb}$ , $^{60}\text{Co}$	$^{106}\text{Ru}$ : 1.2 $^{125}\text{Sb}$ : 0.5 $^{60}\text{Co}$ : 0.3	
その他の $\gamma$ 線放出核種	— <sup>※2</sup>	
$^{238}\text{Pu}$ , $^{239+240}\text{Pu}$ , $^{241}\text{Am}$ , $^{242}\text{Cm}$	0.00002	No.12 プルトニウム分析法 No.21 アメリシウム分析法
$^{243}\text{Am}$ , $^{243}\text{Cm}$ , $^{244}\text{Cm}$	0.002	No.22 プルトニウム・アメリシウム逐次分析法 No.31 環境試料中全アルファ放射能迅速分析法
$^{90}\text{Sr}$ ( $^{90}\text{Y}$ )	0.001	No.2 放射性ストロンチウム分析法
$^{89}\text{Sr}$	0.005	No.2 放射性ストロンチウム分析法
$^{99}\text{Tc}$	0.0004	固相抽出による化学分離後、ICP質量分析
$^{113\text{m}}\text{Cd}$	0.2	陰イオン交換による化学分離後、液体シンチレーション測定
$^{129}\text{I}$	0.01	希釈後、ICP質量分析
$^{63}\text{Ni}$	20	固相抽出による化学分離後、液体シンチレーション測定
$^{14}\text{C}$	0.0005	No.25 放射性炭素分析法

※1 No. を記載している分析測定方法は、文部科学省及び原子力規制庁が制定している放射能測定法シリーズのことである。

※2  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{60}\text{Co}$  の検出下限値を満足する条件での同時測定とする。

表 7 水生生物(魚類及び海藻類)の測定対象と分析測定方法

水生生物	対象核種	検出下限目標値	分析測定方法 <sup>※</sup>
魚類	組織自由水トリチウム	0.1 (Bq/L)	No.9 トリチウム分析法
	有機結合型トリチウム	0.5 (Bq/L)	No.9 トリチウム分析法
海藻類	ヨウ素129	0.1 (Bq/kg生)	燃焼等による化学分離後、ICP質量分析
魚類	炭素14	2 (Bq/kg生)	No.25 放射性炭素分析法

※ No.を記載している分析測定方法は、文部科学省及び原子力規制庁が制定している放射能測定法シリーズのことである。

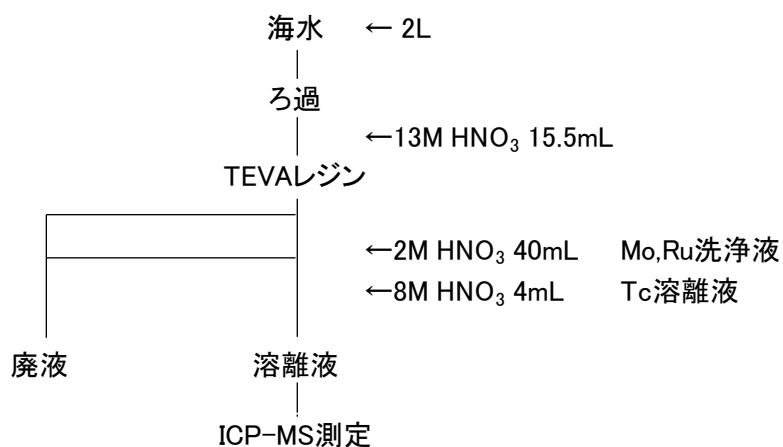


図 5 海水のテクネチウム 99 分析フロー



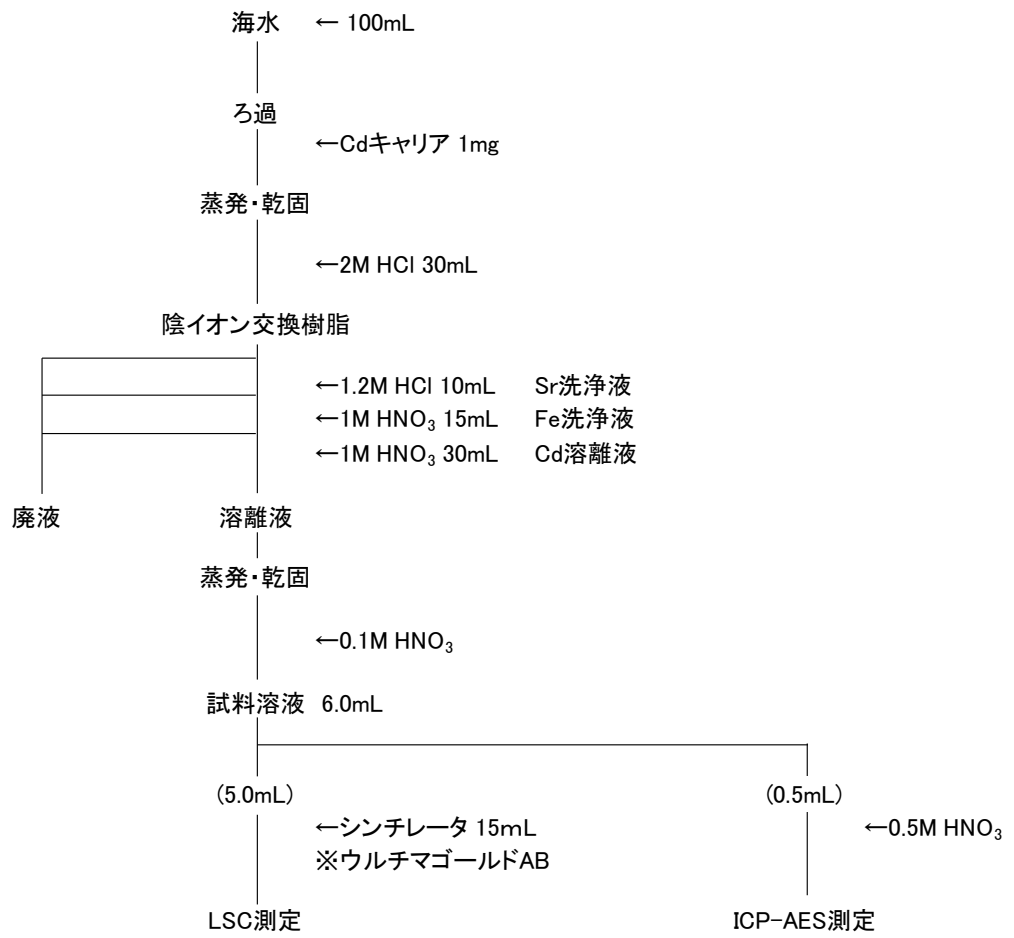


図6 海水のカドミウム 113m 分析フロー

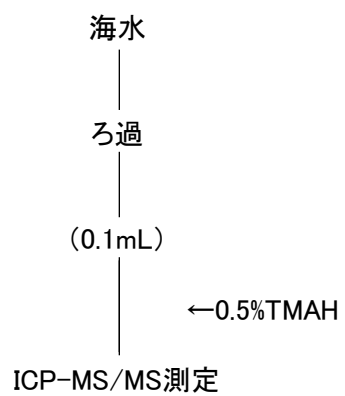


図7 海水のヨウ素 129 分析フロー

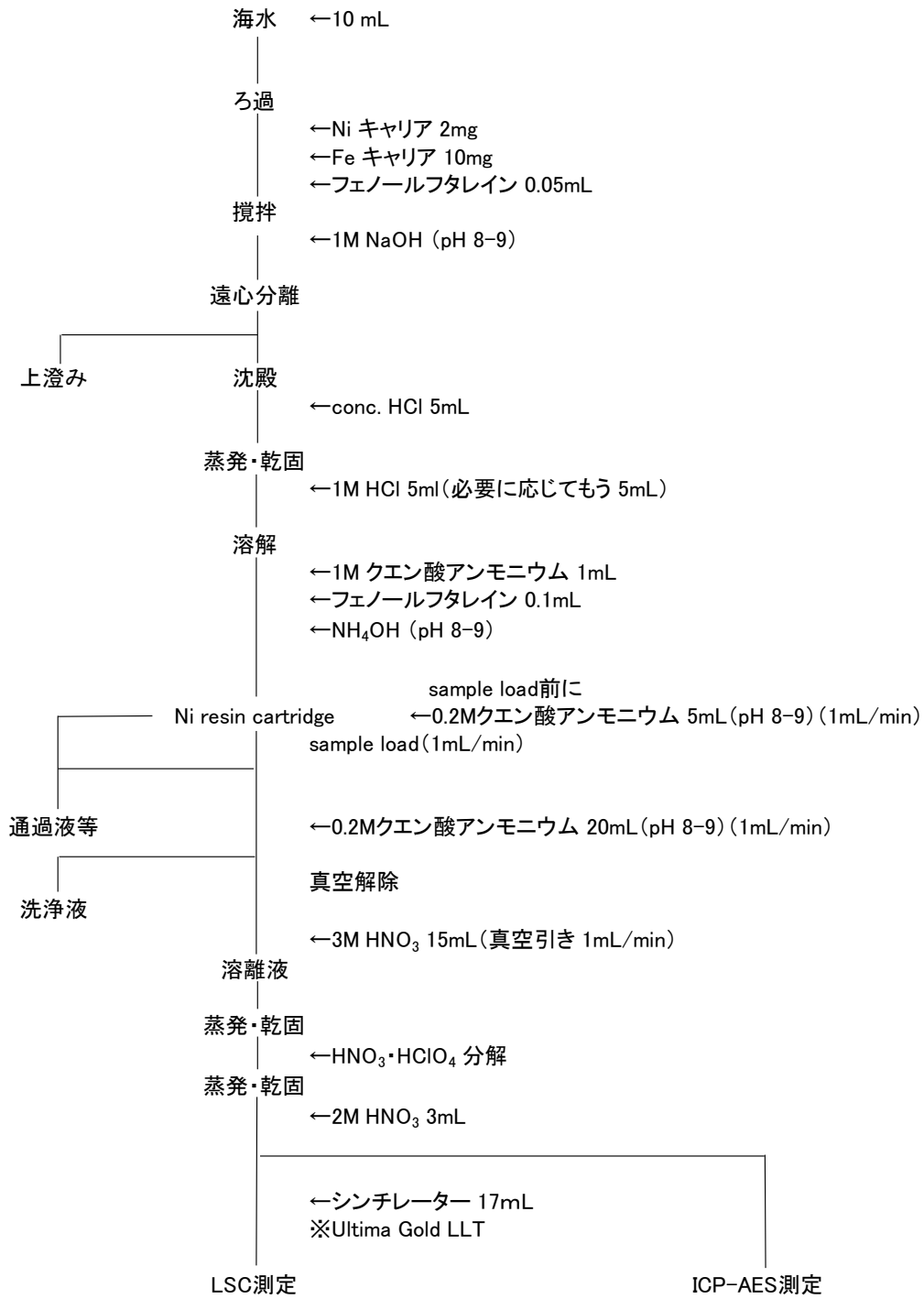


図8 海水のニッケル 63 分析フロー

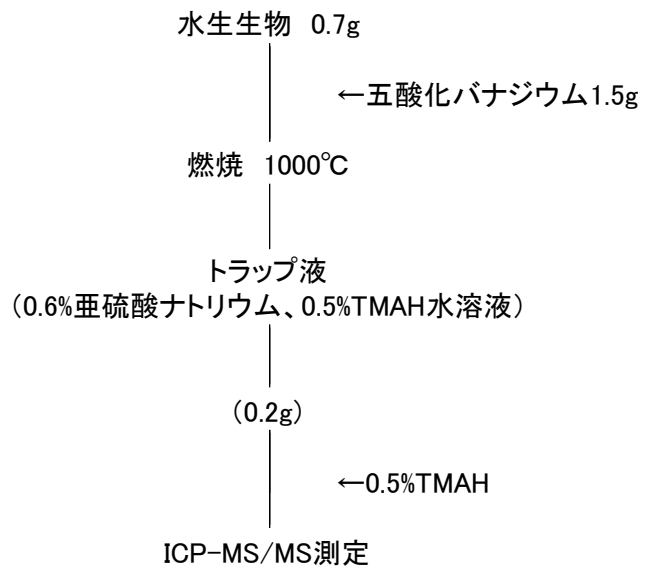


図 9 水生生物(海藻類)のヨウ素 129 分析フロー

## 4.2 調査結果

海水及び水生生物について、分析測定対象核種ごとに調査結果をまとめた。また、それぞれの分析測定対象核種の分析結果詳細は別紙 3 に示した。

得られた調査結果は、調査海域における過去の結果や国内の調査結果<sup>\*</sup>と比較して、その濃度範囲内であり、同海域におけるバックグラウンドレベルの放射能濃度を反映した結果であると考えられた。

※[環境放射線データベース - 日本の環境放射能と放射線 \(kankyo-hoshano.go.jp\)](http://kankyo-hoshano.go.jp)

なお、第 3 回調査で採取した水生生物(魚類)及び第 4 回調査で採取した水生生物(魚類及び海藻類)については、翌年度に分析を行う予定のため、前処理を実施した後、凍結し、安定した状態で保管することとした。凍結した試料は、環境省担当官の指示により環境省に引き渡す。

#### 4.2.1 海水

##### (1) トリチウム(H-3)

海水のトリチウム分析は、文部科学省制定の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)に準じて、蒸留法及び電解濃縮法により実施した。また、福島県内の海水浴場 6 測点のシーズン前、シーズン中に採取した海水のトリチウム分析も行った。

本事業の採取測点における海水中のトリチウム濃度は 0.1 Bq/L 程度の値であり、国内の調査結果と比較して、その濃度範囲内であった。

##### ① 測点 E-S1～32 の海水中のトリチウム(H-3)分析結果

今年度実施した全 4 回の電解濃縮法による海水中のトリチウム分析結果は、0.04 Bq/L 未満～0.17 Bq/L の濃度範囲であった。第 1 回調査から第 4 回調査における個別の海水中のトリチウム濃度範囲を表 8 に、分析結果のグラフを図 10-1 から図 10-4 に示した。また、全 4 回のトリチウム濃度のトレンドグラフについて、放水口から 3 km 圏内と 3 km 圏外に分けて、図 11-1 及び図 11-2 に示した。さらに、採取深度ごとにトリチウム濃度を図示した深度分布を図 12-1 及び図 12-2 に示した。

得られた調査結果は、国内の環境試料中のトリチウム濃度と比較して、その濃度範囲内であった。トリチウム濃度が 0.1 Bq/L 程度で推移している本調査結果は、海水におけるバックグラウンドレベルの濃度と考えられた。また、海水のトリチウム濃度は、陸から遠い測点の方がやや低い傾向が見受けられた。さらに、本事業における海水の採取測点の深度は最大でも約 50 m 程度であることから、表層と底層海水のトリチウム濃度に大きな差はなく、やや陸から遠い測点の底層海水のトリチウム濃度に低い傾向が見られた。参考として、国内の海水中のトリチウム調査結果及び蛇口水中のトリチウム調査結果を図 13 に示した。

なお、第 2 回調査の海水については、蒸留法による迅速分析も実施した。海水中のトリチウム分析結果は、すべて検出下限値未満(1 Bq/L 未満～7 Bq/L 未満)であった。

表 8 電解濃縮法による海水中のトリチウム分析結果

調査回	測点	濃度範囲		
第1回	E-S1～32	0.05 Bq/L未満	－	0.15 Bq/L
第2回	E-S1～32	0.058 Bq/L	－	0.17 Bq/L
第3回	E-S1～32	0.04 Bq/L未満	－	0.16 Bq/L
第4回	E-S1～32	0.04 Bq/L未満	－	0.14 Bq/L

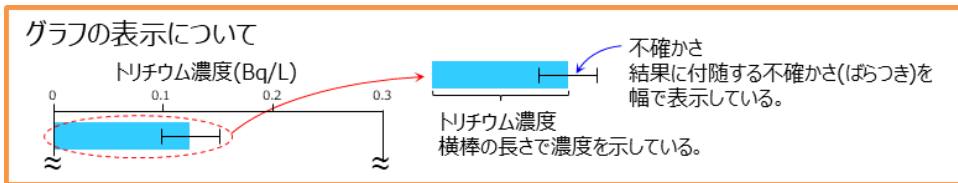
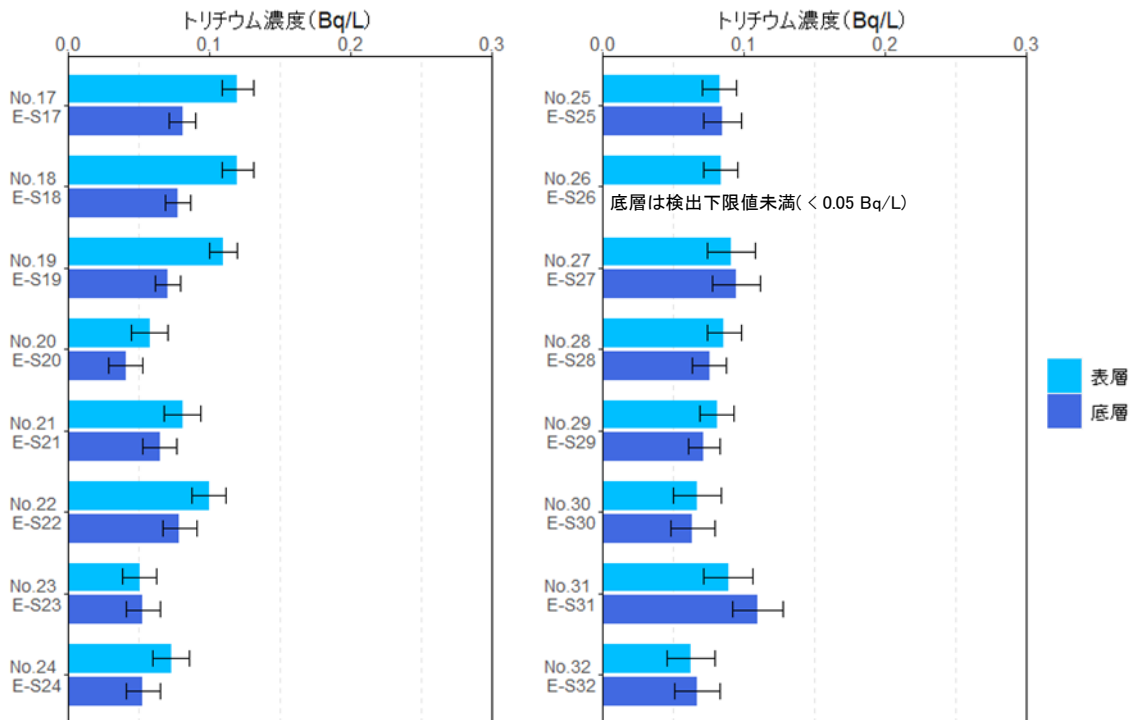
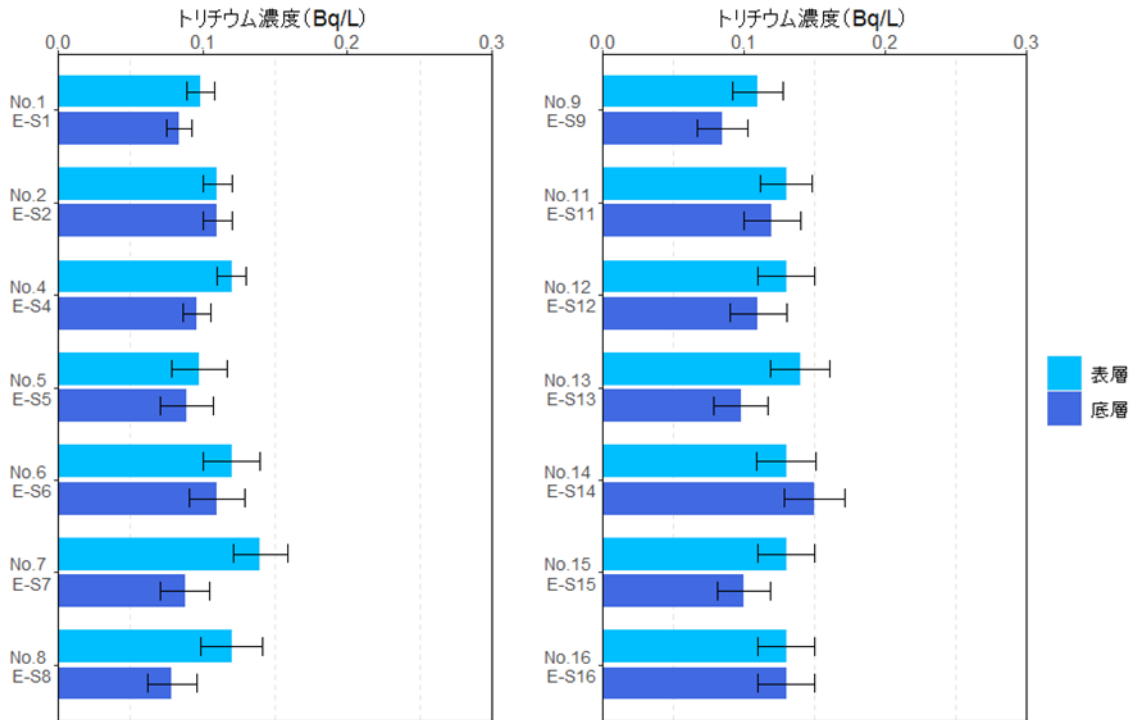


図 10-1 第 1 回調査における海水中のトリチウム濃度(電解濃縮法)

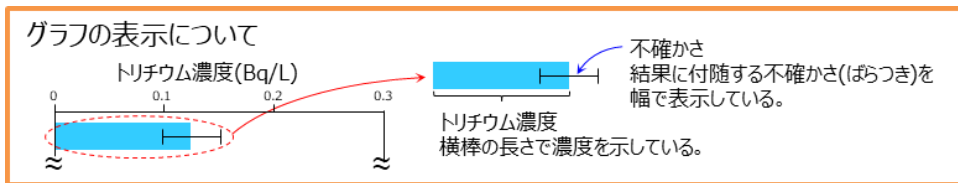
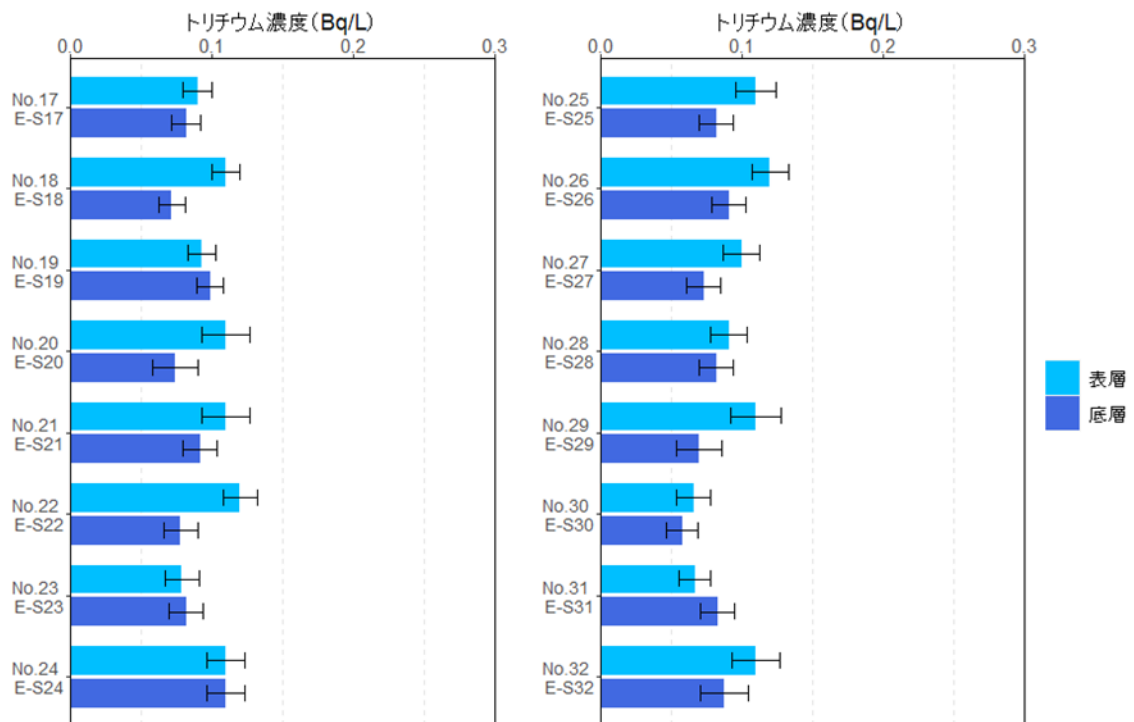
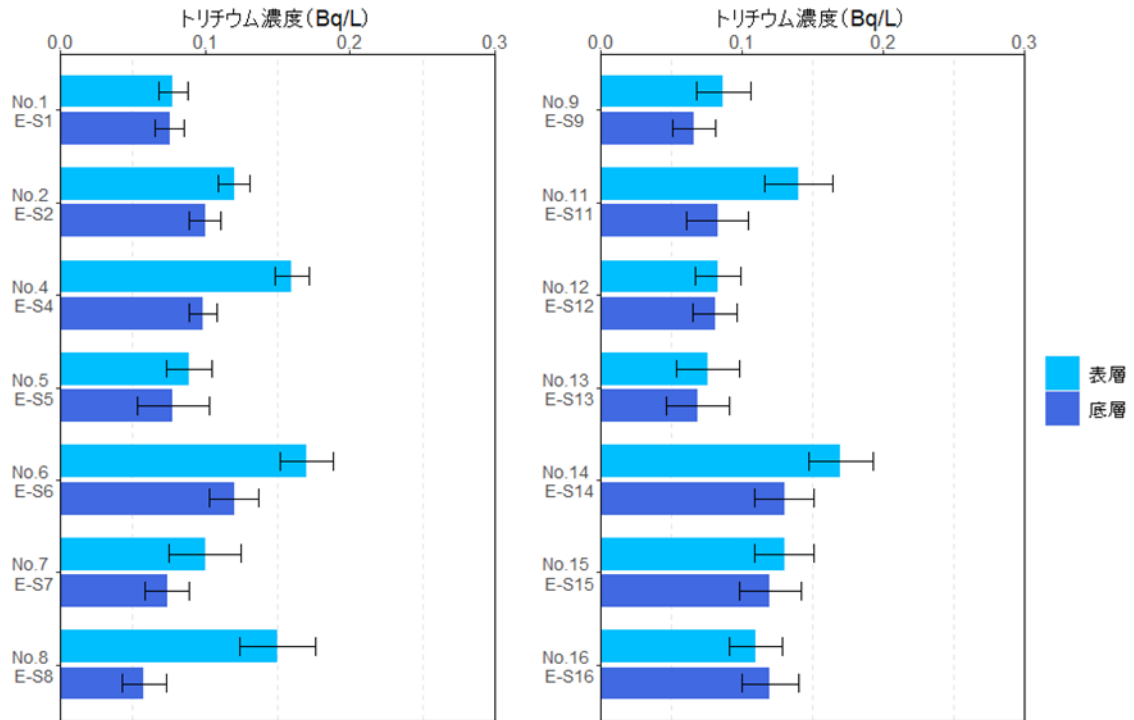


図 10-2 第 2 回調査における海水中のトリチウム濃度(電解濃縮法)



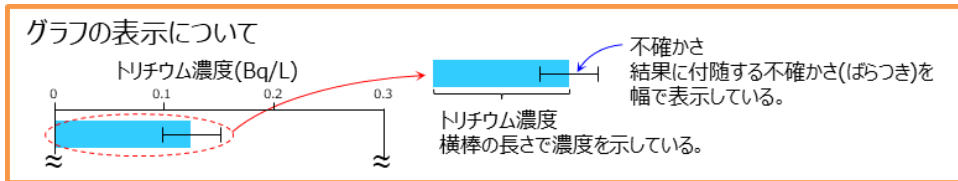
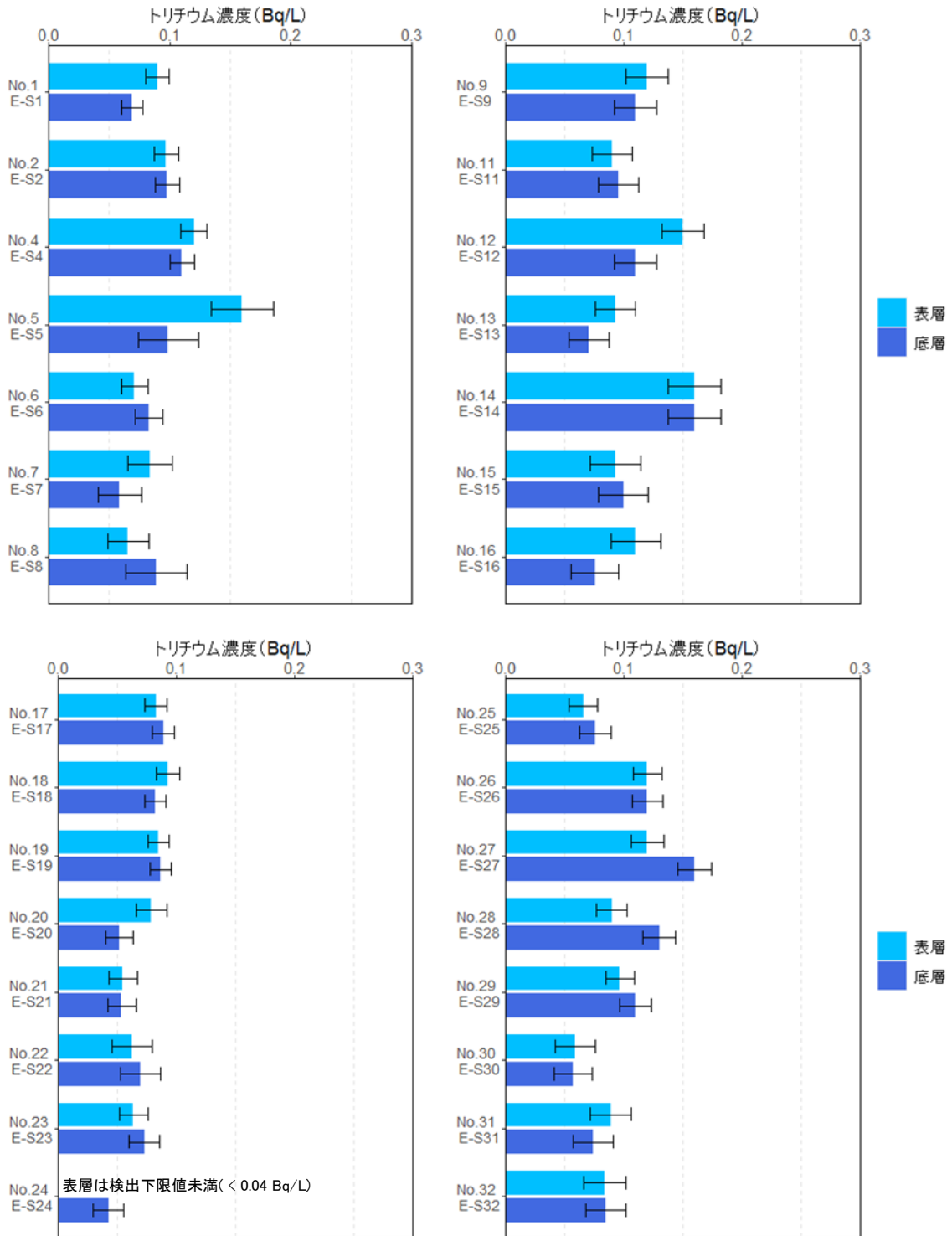


図 10-3 第 3 回調査における海水中のトリチウム濃度 (電解濃縮法)

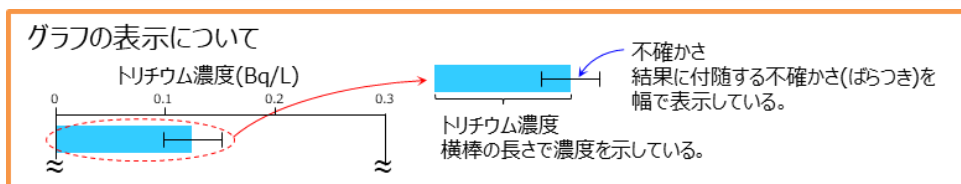
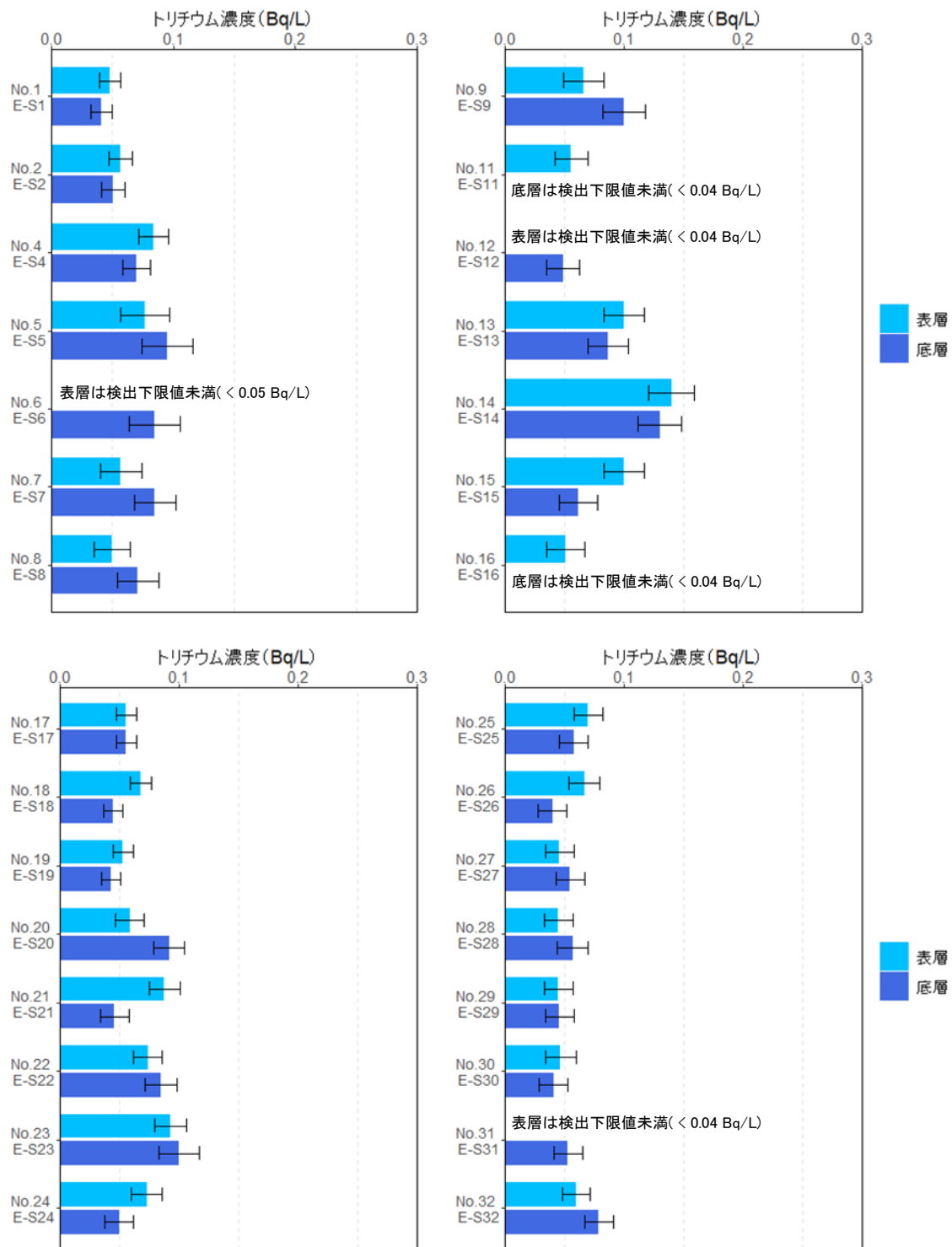


図 10-4 第 4 回調査における海水中のトリチウム濃度(電解濃縮法)

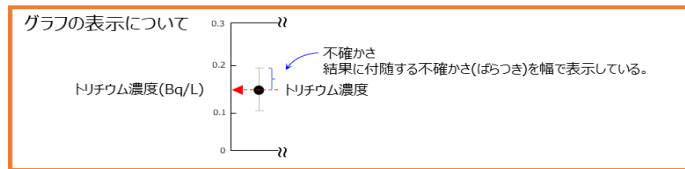
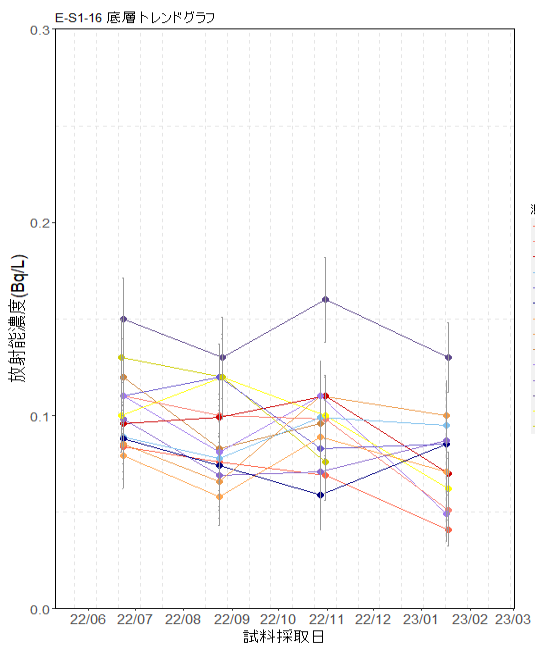
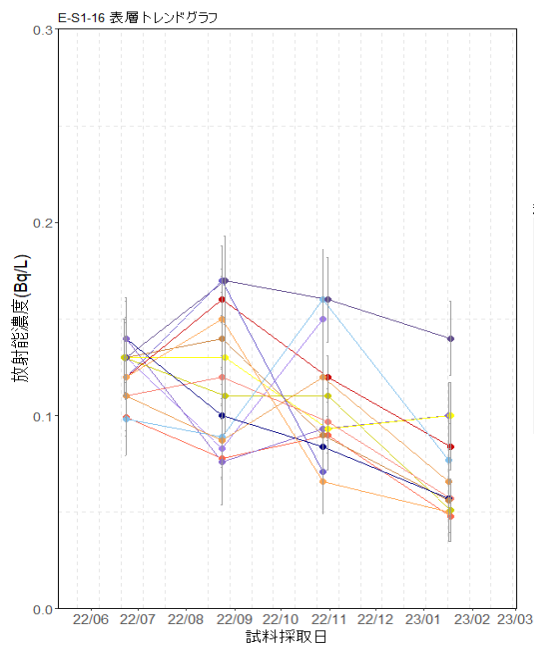


図 11-1 放水口から 3 km 圏内のトリチウム濃度トレンドグラフ

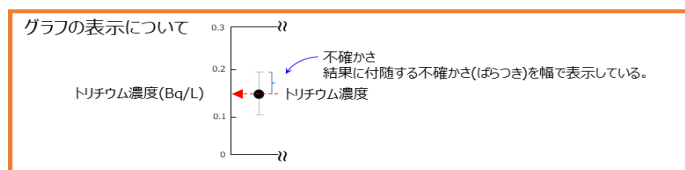
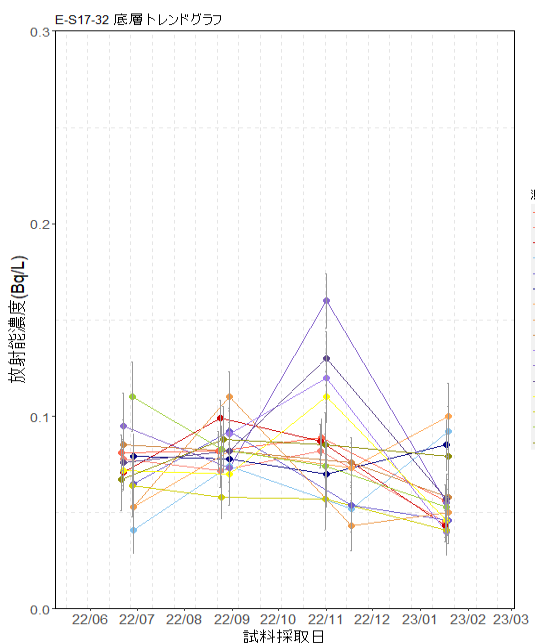
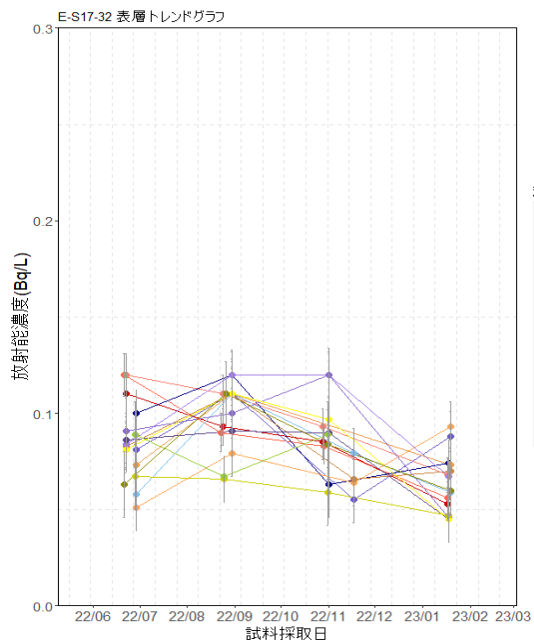


図 11-2 放水口から 3 km 圏外のトリチウム濃度トレンドグラフ

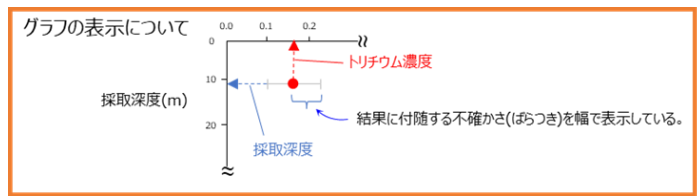
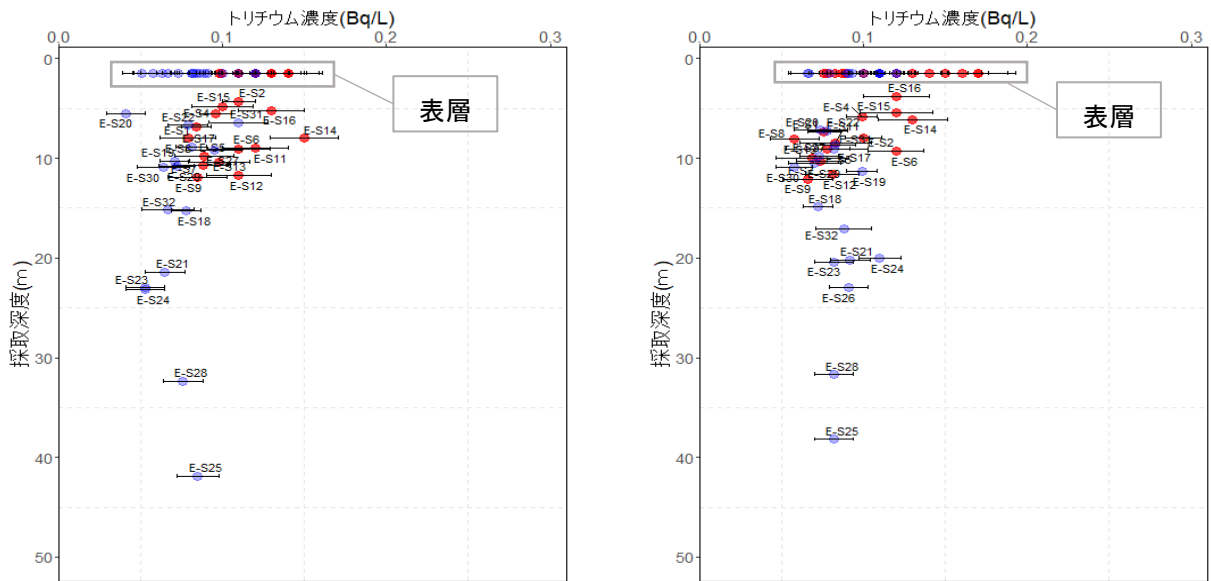


図 12-1 海水中のトリチウム深度分布

左図が第 1 回調査、右図が第 2 回調査の海水中のトリチウム深度分布である。

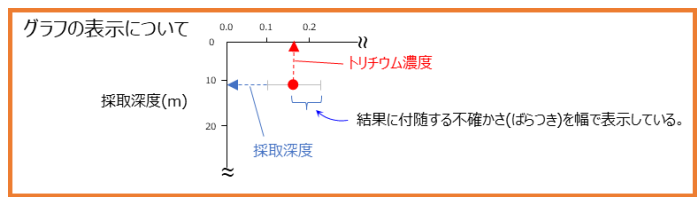
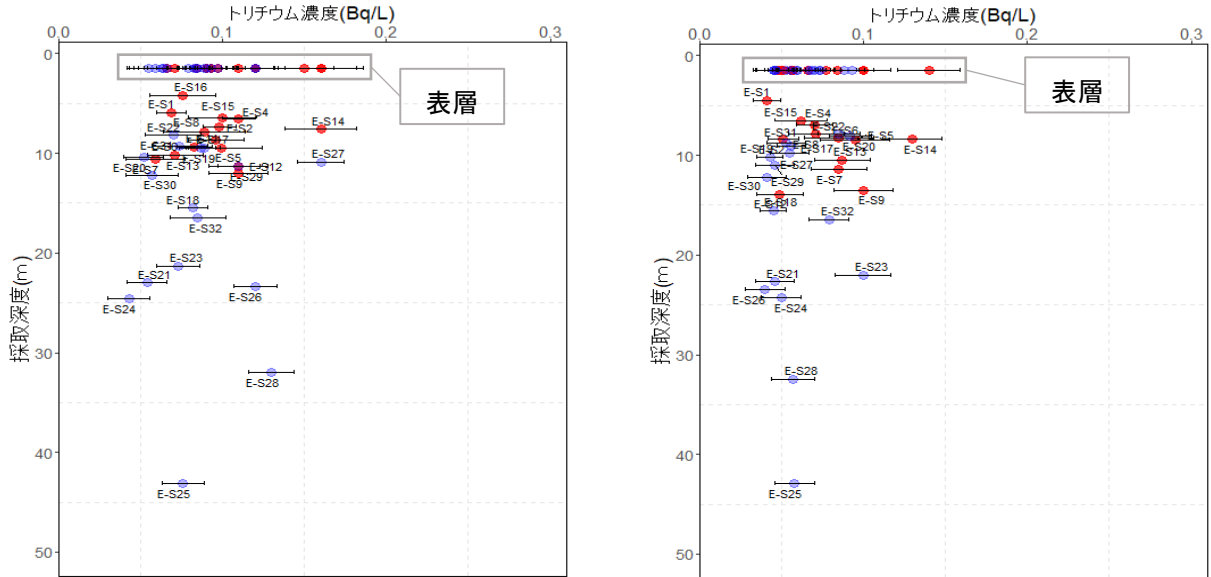


図 12-2 海水中のトリチウム深度分布

左図が第 3 回調査、右図が第 4 回調査の海水中のトリチウム深度分布である。

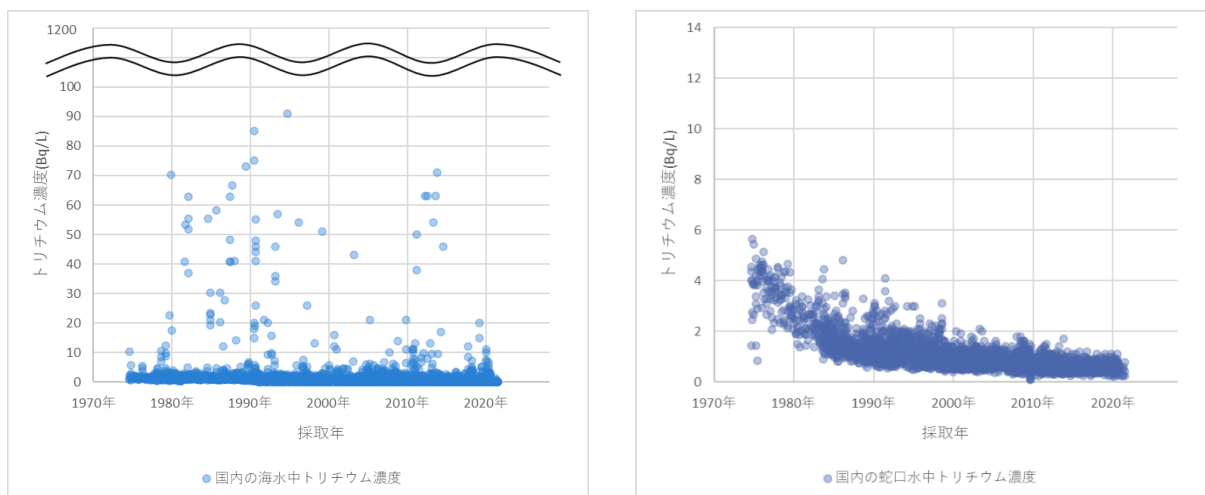


図 13 国内の海水中のトリチウム調査結果及び蛇口水中のトリチウム調査結果  
 左図が国内の海水中のトリチウム調査結果、右図が国内の蛇口水中のトリチウム調査結果である。

② 海水浴場の海水中のトリチウム(H-3)分析結果

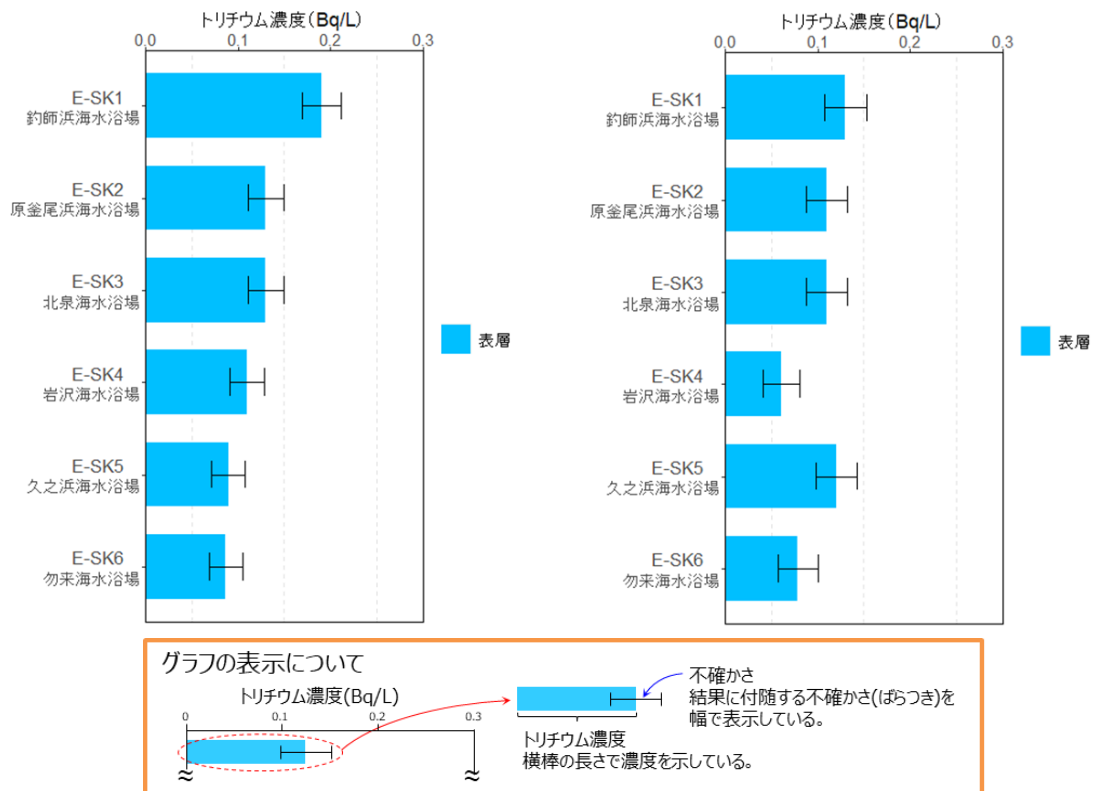
今年度実施した電解濃縮法による海水浴場の海水中のトリチウム分析結果は、0.061 Bq/L～0.19 Bq/L の濃度範囲であった。シーズン前及びシーズン中の個別の海水中のトリチウム濃度範囲を表 9 に、分析結果のグラフを図 14 に示した。

得られた調査結果は、国内の環境試料中のトリチウム濃度(図 13 参照)と比較して、その濃度範囲内であり、0.1 Bq/L 程度のトリチウム濃度は海水におけるバックグラウンドレベルの濃度と考えられた。なお、本事業で採取測点とした一部の海水浴場周辺には河川の河口が位置していることもあり、陸水の影響が示唆された。そのため、今後も海水の塩分を含めて、調査結果を評価していく必要がある。参考として、シーズン前及びシーズン中に採取した海水試料の塩分を表 10 に示した。

なお、シーズン中の海水については、蒸留法による迅速分析も実施した。トリチウム分析結果は、すべて検出下限値未満(8 Bq/L 未満～9 Bq/L 未満)であった。

表 9 電解濃縮法による海水中のトリチウム分析結果(海水浴場)

調査回	測点	濃度範囲		
シーズン前	E-SK1～6	0.087 Bq/L	—	0.19 Bq/L
シーズン中	E-SK1～6	0.061 Bq/L	—	0.13 Bq/L



(2) 主要 7 核種

海水の主要 7 核種の分析は表 6 に示した分析測定方法に準じて実施した。セシウム 134、セシウム 137、ルテニウム 106、アンチモン 125 及びコバルト 60 の分析は、原子力規制庁制定の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  $\gamma$  線スペクトロメトリー」(令和 2 年改訂)に準じて実施した。ストロンチウム 90 分析は、文部科学省制定の放射能測定法シリーズ 2「放射性ストロンチウム分析法」(平成 15 年改訂)に準じて実施した。ヨウ素 129 の分析は、図 7 に示した海水のヨウ素 129 分析フローに従って実施した。

得られた調査結果は、調査海域における過去の結果と比較して、その濃度範囲内であり、同海域におけるバックグラウンドレベルの放射能濃度を反映した結果であると考えられた。参考として、本事業における採取測点とその近傍の測点<sup>\*</sup>を示した地図を図 15 に示した。

※原子力規制委員会が実施する 1F 近傍海域の調査地点 (M-103 及び M-104)

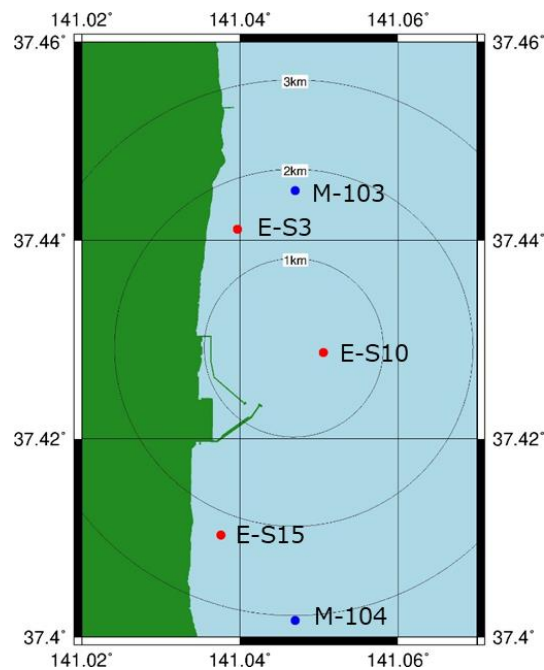


図 15 主要 7 核種の調査測点と近傍の測点

※E-S3、E-S10、E-S15 は本事業の調査測点

※M-103、M-104 は原子力規制委員会が実施する調査測点

① セシウム 134(Cs-134)

今年度実施した全 4 回の海水中のセシウム 134 分析結果は、0.0006 Bq/L 未満～ 0.00097 Bq/L の濃度範囲であった。第 1 回調査から第 4 回調査における個別の海水中のセシウム 134 濃度範囲を表 11 に、セシウム 134 が検出された第 3 回調査の分析結果のグラフを図 16 に示した。

得られた調査結果は、調査海域における過去の結果と比較して、その濃度範囲内であり、同海域のセシウム 134 濃度を反映していると考えられた。参考として、本事業の採取測点近傍の 2 測点\*における海水のセシウム 134 調査結果を図 17 に示した。

※原子力規制委員会が実施する 1F 近傍海域の調査地点 (M-103 及び M-104)

表 11 海水中のセシウム 134 分析結果

調査回	測点	濃度範囲
第1回	E-S3, 10, 15	0.0006 Bq/L未満 - 0.0008 Bq/L未満
第2回	E-S3, 10, 15	0.0006 Bq/L未満 - 0.0009 Bq/L未満
第3回	E-S3, 10, 15	0.0008 Bq/L未満 - 0.00097 Bq/L
第4回	E-S3, 10, 15	0.0007 Bq/L未満 - 0.001 Bq/L未満

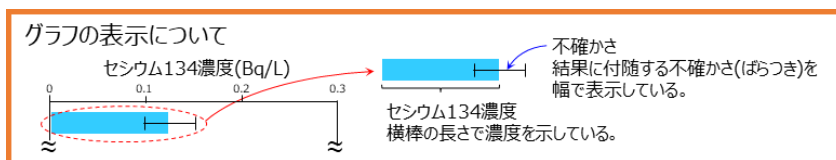
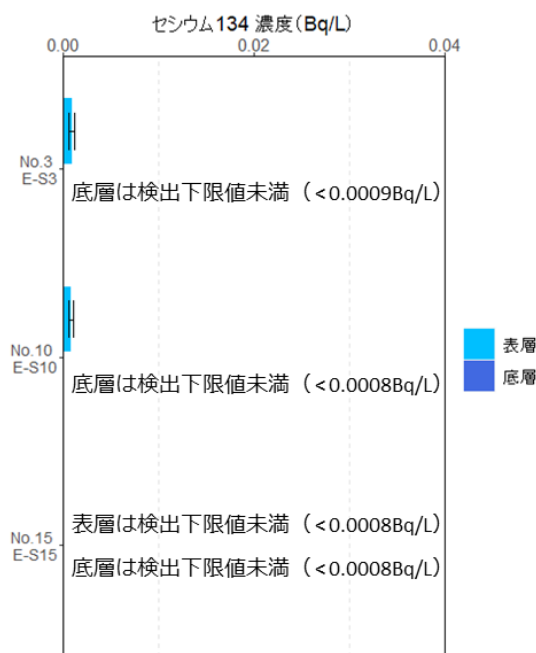


図 16 第 3 回調査における海水中のセシウム 134 濃度





② セシウム 137(Cs-137)

今年度実施した全 4 回の海水中のセシウム 137 分析結果は、0.0031 Bq/L～0.031 Bq/L の濃度範囲であった。第 1 回調査から第 4 回調査における個別の分析結果は表 12 に、各調査における測点ごとの分析結果を図 18-1 及び図 18-2 に示した。

得られた調査結果は、調査海域における過去の結果と比較して、その濃度範囲内であり、同海域のセシウム 137 濃度を反映していると考えられた。参考として、本事業の採取測点近傍の 2 測点\*における海水のセシウム 137 調査結果を図 19 に示した。

※原子力規制委員会が実施する 1F 近傍海域の調査地点(M-103 及び M-104)

表 12 海水中のセシウム 137 の分析結果

調査回	測点	濃度範囲		
第1回	E-S3, 10, 15	0.0038 Bq/L	－	0.014 Bq/L
第2回	E-S3, 10, 15	0.0031 Bq/L	－	0.017 Bq/L
第3回	E-S3, 10, 15	0.018 Bq/L	－	0.031 Bq/L
第4回	E-S3, 10, 15	0.0060 Bq/L	－	0.011 Bq/L

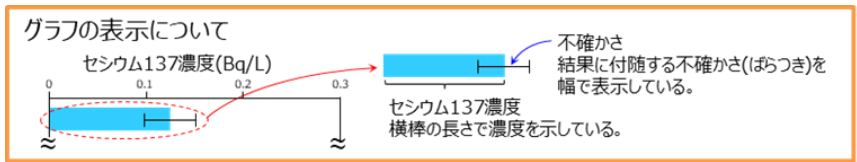
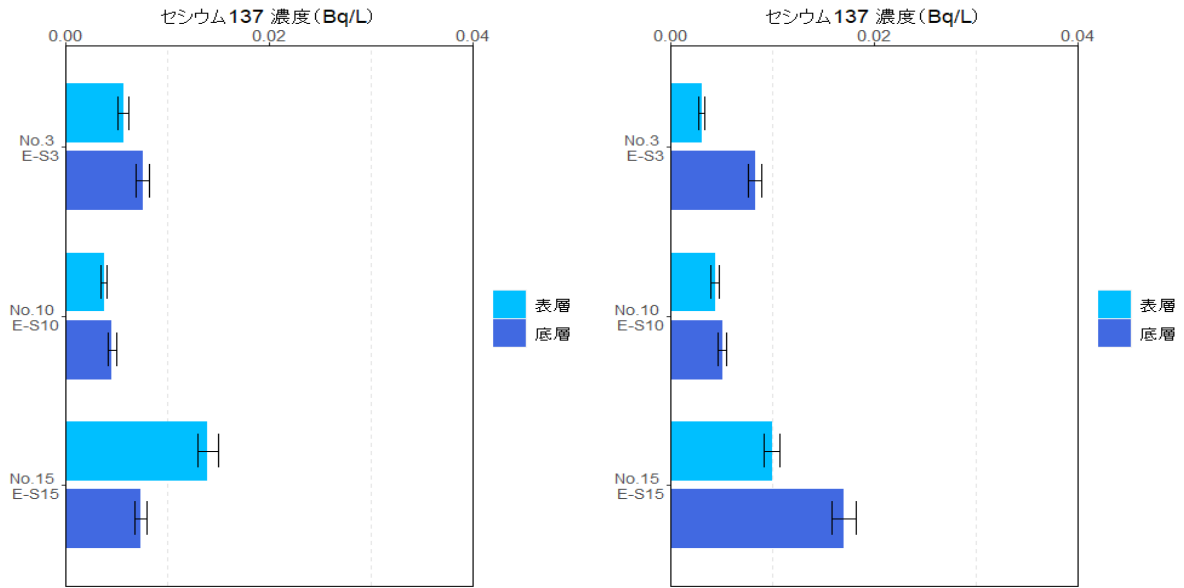


図 18-1 海水中のセシウム 137 濃度

左図が第 1 回調査、右図が第 2 回調査のセシウム 137 濃度である。

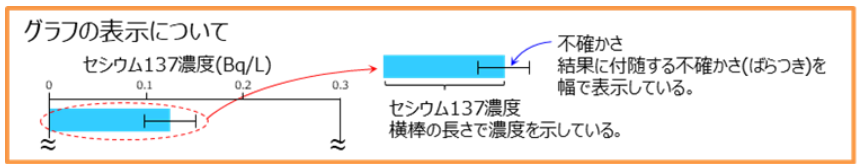
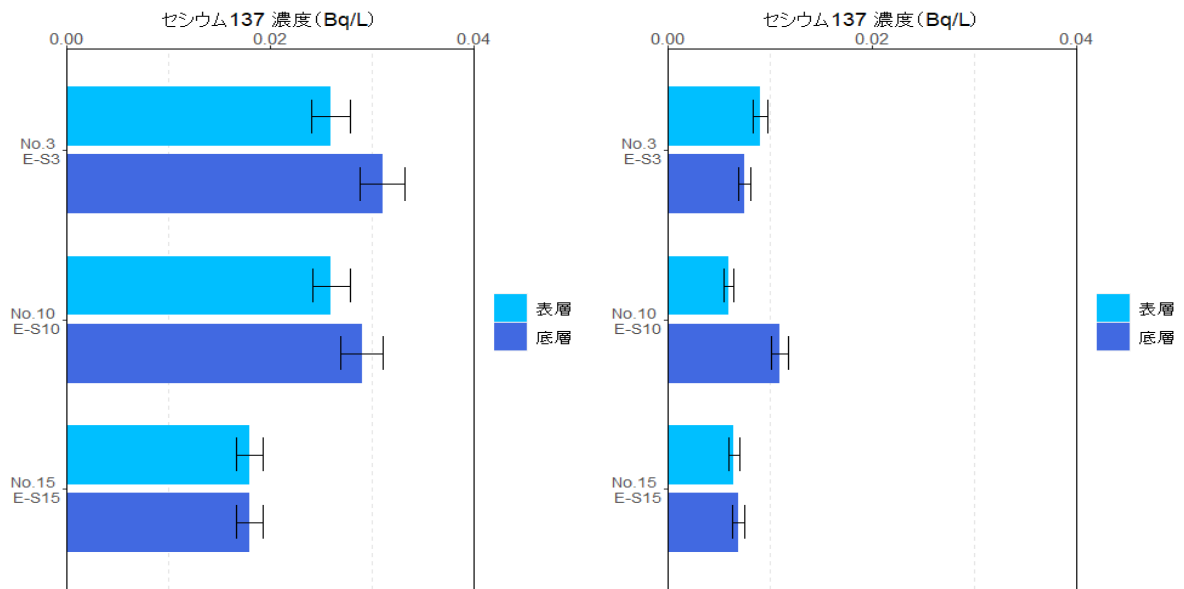


図 18-2 海水中のセシウム 137 濃度

左図が第 3 回調査、右図が第 4 回調査のセシウム 137 濃度である。

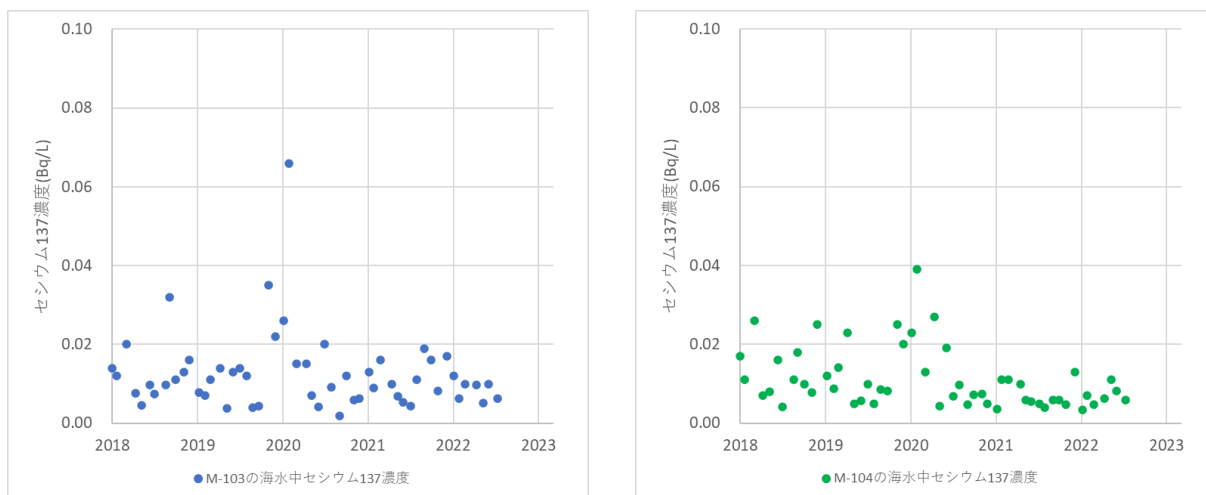


図 19 本事業の採取測点近傍の 2 測点※における海水のセシウム 137 調査結果  
 ※原子力規制委員会が実施する 1F 近傍海域の調査地点(M-103 及び M-104)

③ ルテニウム 106(Ru-106)

今年度実施した全 4 回の海水中のルテニウム 106 分析結果は、すべて検出下限値未満(0.5 Bq/L 未満～0.7 Bq/L 未満)であった。

④ アンチモン 125(Sb-125)

今年度実施した全 4 回の海水中のアンチモン 125 分析結果は、すべて検出下限値未満(0.2 Bq/L 未満)であった。

⑤ コバルト 60(Co-60)

今年度実施した全 4 回の海水中のコバルト 60 分析結果は、すべて検出下限値未満(0.06 Bq/L 未満～0.09 Bq/L 未満)であった。

⑥ ストロンチウム 90(Sr-90)

今年度実施した全 4 回の海水中のストロンチウム 90 分析結果は、0.00055 Bq/L～0.0011 Bq/L の濃度範囲であった。第 1 回調査から第 4 回調査における個別の海水中のストロンチウム 90 濃度範囲を表 13 に、分析結果のグラフを図 20-1 及び図 20-2 に示した。

得られた調査結果は、調査海域における過去の結果と比較して、その濃度範囲内であり、同海域のストロンチウム 90 濃度を反映していると考えられた。参考として、本事業の採取測点近傍の 2 測点※における海水のストロンチウム 90 調査結果を図 21 に示した。

※原子力規制委員会が実施する 1F 近傍海域の調査地点(M-103 及び M-104)

表 13 海水中ストロンチウム 90 分析結果

調査回	測点	濃度範囲
第1回	E-S3, 10, 15	0.00060 Bq/L - 0.00083 Bq/L
第2回	E-S3, 10, 15	0.00055 Bq/L - 0.00072 Bq/L
第3回	E-S3, 10, 15	0.00070 Bq/L - 0.0011 Bq/L
第4回	E-S3, 10, 15	0.00067 Bq/L - 0.00079 Bq/L

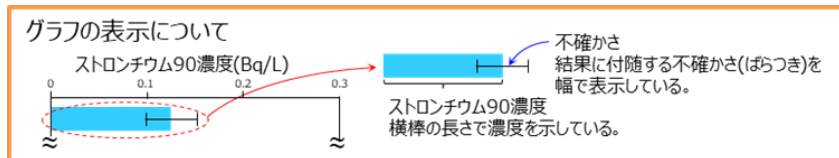
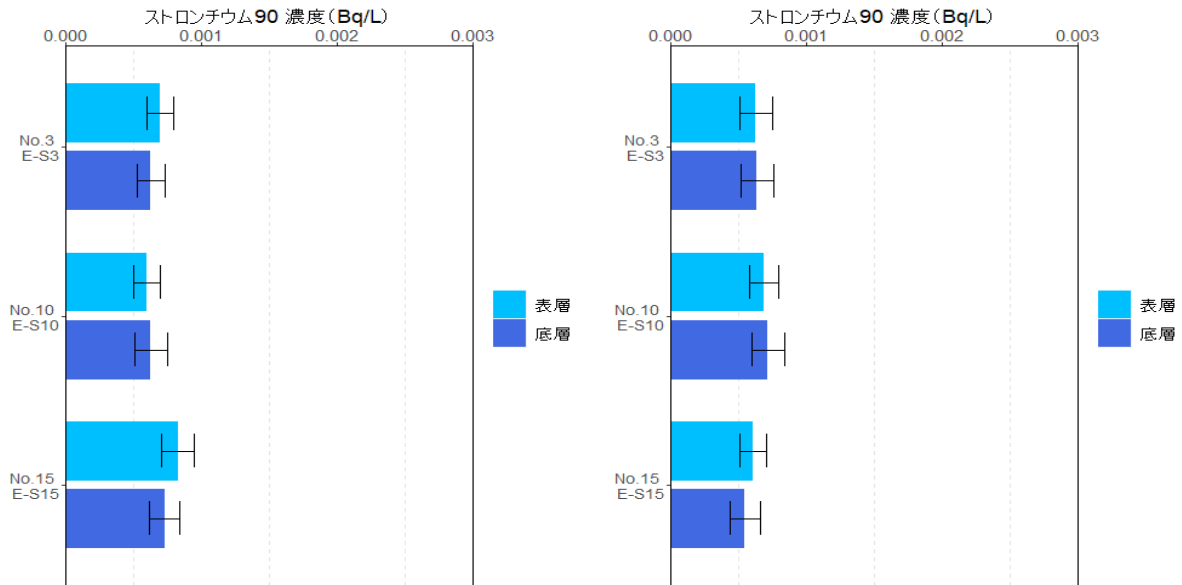


図 20-1 海水中のストロンチウム 90 濃度

左図が第 1 回調査、右図が第 2 回調査のストロンチウム 90 濃度である。

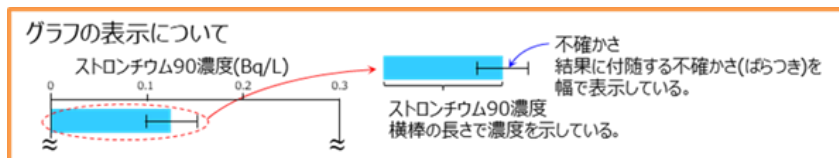
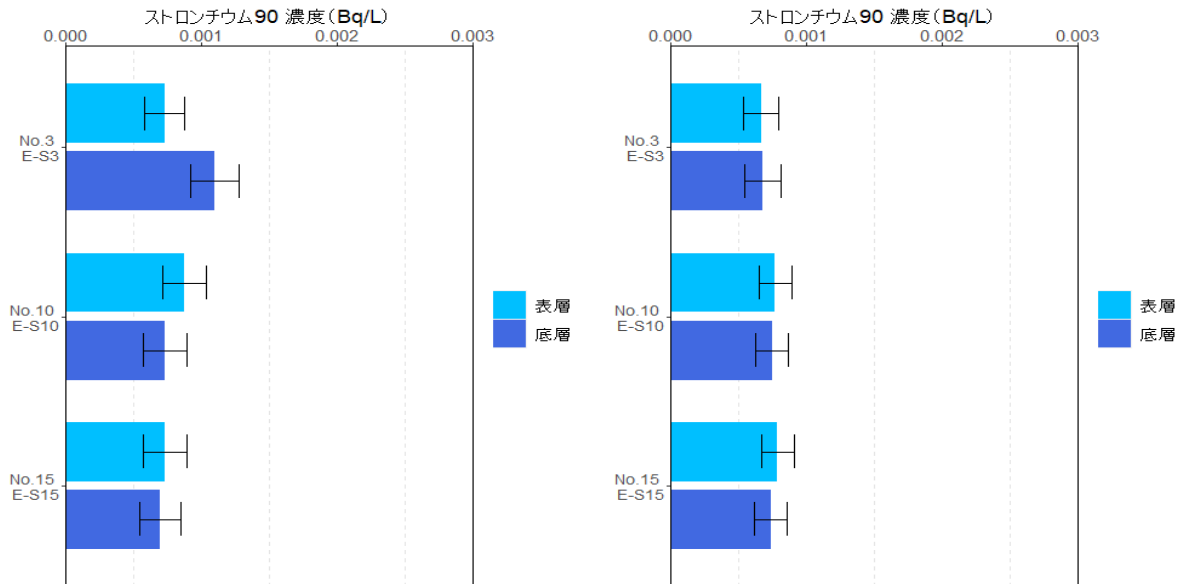


図 20-2 海水中のストロンチウム 90 濃度

左図が第 3 回調査、右図が第 4 回調査のストロンチウム 90 濃度である。

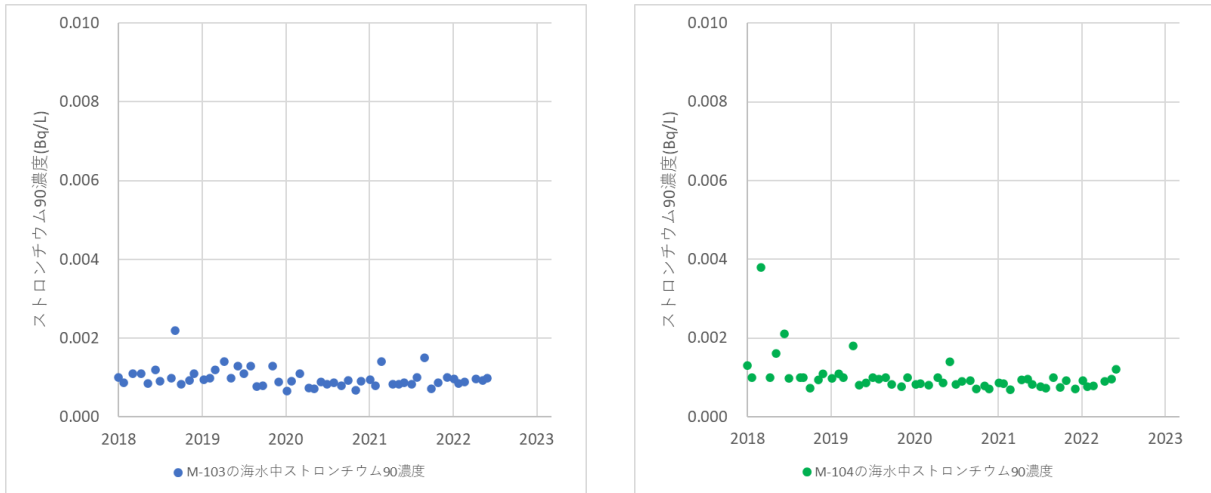


図 21 本事業の採取測点近傍の 2 測点\*における海水のストロンチウム 90 調査結果  
 ※原子力規制委員会が実施する 1F 近傍海域の調査地点(M-103 及び M-104)

⑦ ヨウ素 129(I-129)

今年度実施した全 4 回の海中のヨウ素 129 分析結果は、すべて検出下限値未満(0.002 Bq/L 未満~0.004 Bq/L 未満)であった。

(3) その他関連核種

第3回調査で採取した海水のその他関連核種(トリチウム及び主要7核種以外のその他48核種及び炭素14)の分析は、表6に示した分析測定方法に準じて実施した。表14にその他48核種及び炭素14の一覧を示した。なお、海水のテクネチウム99、カドミウム113m、ヨウ素129及びニッケル63の分析は、図5～図8に示した分析フローに従って実施した。また、これらの核種のうち親核種と放射平衡を仮定して評価する核種の取扱は、図2のとおりとした。

表14 その他48核種核種及び炭素14の一覧

Rb-86	Y-91	Nb-95	Ru-103	Rh-103m	Rh-106	Ag-110m	Cd-115m	Sn-123	Sn-126
Sb-124	Te-123m	Te-125m	Te-127	Te-129	Te-129m	Cs-136	Ba-137m	Ba-140	Ce-141
Ce-144	Pr-144	Pr-144m	Pm-146	Pm-148	Pm-148m	Eu-152	Eu-154	Eu-155	Gd-153
Tb-160	Mn-54	Fe-59	Co-58	Zn-65					
Pu-238	Pu-239	Pu-240	Am-241	Am-243	Cm-242	Cm-243	Cm-244		
Sr-89	Y-90	Tc-99	Cd-113m	Ni-63	C-14				
親核種と放射平衡を仮定して評価する核種									
全アルファ放射能迅速分析法により定量する核種									

【親核種と放射平衡を仮定して評価する核種の取扱い】

- ①該当核種の親核種が検出されている場合は、該当核種の分析結果は「親核種の濃度」を基に評価する。
- ②該当核種の親核種が不検出の場合は、該当核種の分析結果は「親核種の検出下限値」を基に評価する。

①の例 Y-90の親核種であるSr-90(ストロンチウム90)が検出 Sr-90の濃度            0.0010 ± 0.00020 Bq/L ↓ Y-90の濃度            0.0010 ± 0.00020 Bq/L	②の例 Rh-106の親核種であるRu-106(ルテニウム106)が 不検出 Ru-106の濃度           < 0.6 Bq/L ↓ Rh-106の濃度           < 0.6 Bq/L
---	---

図22 親核種と放射平衡を仮定して評価する核種の取扱

その他関連核種のうち、海水中の炭素14、イットリウム90、バリウム137m、プルトニウム239、プルトニウム240及びアメリシウム241は検出され、それ以外の43核種についてははすべて検出下限値未満であった。

炭素14を含むその他関連核種については、国内のデータベースに登録されているデータ数が乏しく、比較することが難しい核種も含まれている。引き続きデータを蓄積して、調査海域における状況を把握していく必要がある。



① 炭素 14(C-14)

第 3 回調査における海水中の炭素 14 分析結果は、0.0047 Bq/L～0.0061 Bq/L の濃度範囲であった。海水中の炭素 14 分析結果のグラフを図 23 に示した。

自然放射性核種である炭素 14 は、原子力施設等を監視する環境放射線モニタリングの対象にならないことが多いため、比較参照できるモニタリングデータが乏しい。調査海域における炭素 14 の状況を評価するためには、引き続きデータの蓄積が必要である。

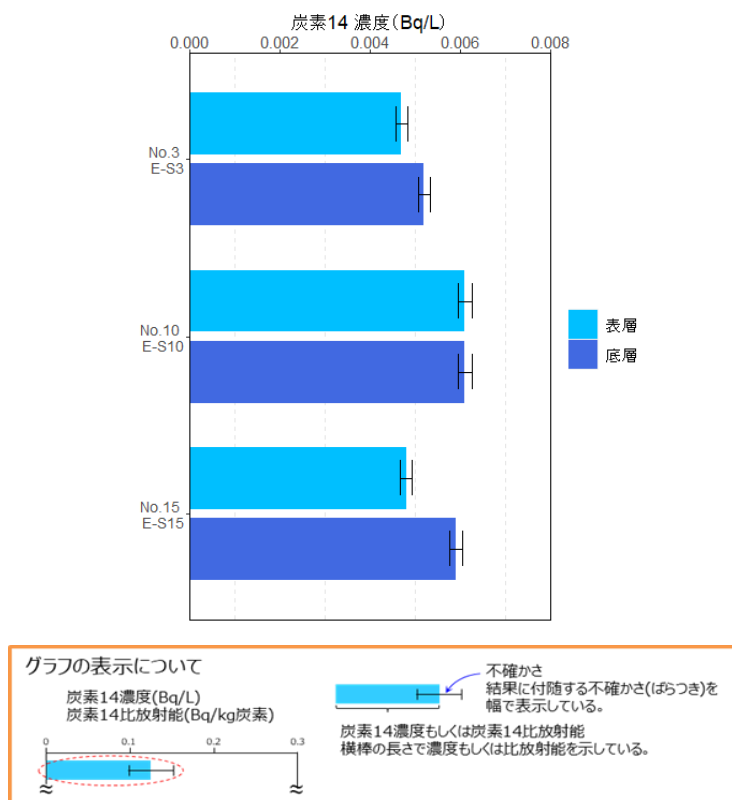


図 23 海水中の炭素 14 濃度 (第 3 回調査)

② イットリウム 90(Y-90)、バリウム 137m(Ba-137m)

第 3 回調査における海水中のイットリウム 90 分析結果は、0.00070 Bq/L～0.0011 Bq/L の濃度範囲であった。また、第 3 回調査における海水中のバリウム 137m 分析結果は、0.017 Bq/L～0.029 Bq/L の濃度範囲であった。ただし、バリウム 137m 濃度はセシウム 137 濃度にセシウム 137 放射壊変時の分岐比(0.947)を乗じて求めた。

なお、放射平衡を仮定して評価するイットリウム 90 及びバリウム 137m は、それぞれ親核種であるストロンチウム 90 及びセシウム 137 の濃度と同じ、もしくはほぼ同程度であることから、両核種は同海域の放射能濃度を反映していると考えられた。分析結果のグラフは親核種と同等であることから、図 20-2 及び図 18-2 を参照のこと。

③ プルトニウム 239(Pu-239)、プルトニウム 240(Pu-240)及びアメリシウム 241(Am-241)

第 3 回調査における海水中のプルトニウム 239+240 分析結果は、0.0000082 Bq/L～0.000026 Bq/L の濃度範囲であった。また、海水中のアメリシウム 241 分析結果は、0.0000033Bq/L～0.000012 Bq/L の濃度範囲であった。なお、プルトニウム 239 及びプルトニウム 240 は、放出されるアルファ線エネルギーが近接しているため、アルファ線ピークが分離できない。そのため、合計値であるプルトニウム 239+240 で評価した。

海水中のプルトニウム 239+240 及びアメリシウム 241 の分析結果のグラフを図 24 に示した。

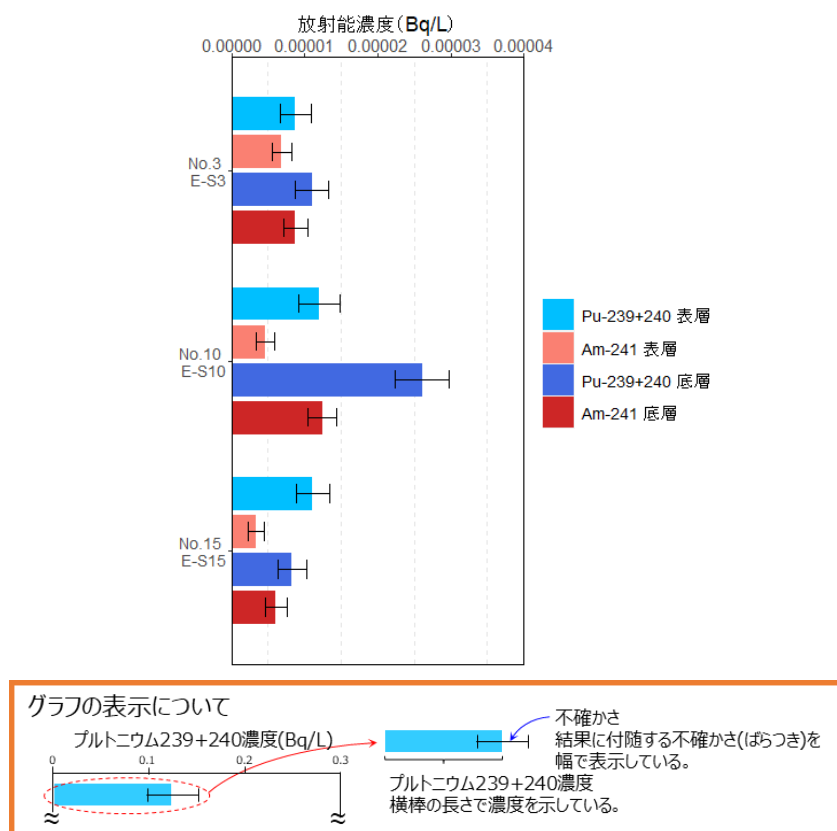


図 24 海水中のプルトニウム 239+240 及びアメリシウム 241 濃度  
(第 3 回調査)

得られた海水中のプルトニウム 239+240 濃度は、表 15 に示すとおり、国内の調査結果と比較して、その濃度範囲内であった。また、プルトニウム 240 とプルトニウム 239 の原子数比は、表 16 に示すとおり、過去の研究で報告されている原子数比の範囲内であり、過去の核実験により環境中に放出された微量のプルトニウム 239 及びプルトニウム 240 を検出したものと考えられた。

表 15 海水中のプルトニウム 239+240 濃度

	プルトニウム239+240 (Bq/L)	プルトニウム239+240 検出下限目標値 (Bq/L)
本事業の調査結果	0.0000082 – 0.000026	0.00002
国内の調査結果 <sup>※</sup>	不検出 – 0.000056	

※環境放射線データベース - 日本の環境放射能と放射線 ([kankyo-hoshano.go.jp](http://kankyo-hoshano.go.jp))

表 16 海水中のプルトニウム 240/プルトニウム 239 原子数比

	プルトニウム240/プルトニウム239 原子数比
本事業の調査結果	0.203 – 0.232
研究報告例 <sup>※</sup>	0.196 – 0.241

※太平洋における海水のプルトニウム 240/プルトニウム 239 原子数比(平均)

Yamada and Zheng (2020, 2012, 2010), Wu et al. (2018) 他

一方、得られた海水中のアメリシウム 241 は、国内の調査結果に検出されたデータがなく、比較して評価することが難しい。ただし、図 25 に示したとおり、過去の核実験が起源と考えられるプルトニウム 239+240 と良い相関を示していることから、アメリシウム 241 も同様に過去の核実験を起源とした微量のアメリシウム 241 を検出したものと考えられた。

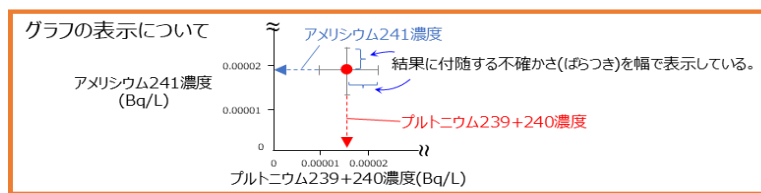
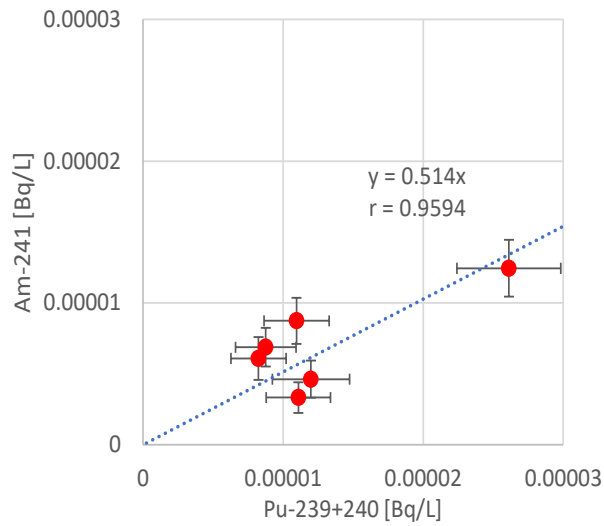


図 25 海水中のプルトニウム 239+240 及びアメリシウム 241 の放射能比

#### 4.2.2 水生生物(魚類及び海藻類)

水生生物として、魚類はトリチウム及び炭素 14 を、海藻類はヨウ素 129 を対象として分析を実施した。

魚類のトリチウム分析は、文部科学省制定の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)に準じて、前処理後の凍結乾燥により得られた水試料及び乾物試料をそれぞれ組織自由水トリチウム及び有機結合型トリチウムとして分析を実施した。

また、魚類の炭素 14 分析は、文部科学省制定の放射能測定法シリーズ 25「放射性炭素分析法」(平成 5 年制定)に準じて、前処理後の凍結乾燥により得られた乾物試料について、ベンゼン合成法により炭素 14 分析を実施した。

海藻類のヨウ素 129 分析は、図 9 に示した水生生物(海藻類)のヨウ素 129 分析フローに従って、前処理後の凍結乾燥により得られた乾物試料について、分析を実施した。

得られた調査結果は国内の調査結果\*と比較して、その濃度範囲内であり、同海域におけるバックグラウンドレベルの放射能濃度を反映した結果であると考えられた。

※[水産物の放射性物質調査の結果について：水産庁 \(maff.go.jp\)](http://maff.go.jp)

[環境放射線データベース - 日本の環境放射能と放射線 \(kankyo-hoshano.go.jp\)](http://kankyo-hoshano.go.jp)

なお、第 3 回調査で採取した魚類及び第 4 回調査で採取した魚類及び海藻類については、翌年度に分析を行う予定のため、前処理を実施した後、凍結し、安定した状態で保管することとした。凍結した試料は、環境省担当官の指示により環境省に引き渡す。

##### (1) 魚類のトリチウム(H-3)

今年度実施した第 1 回及び第 2 回調査の組織自由水トリチウムの分析結果は 0.044 Bq/L～0.18 Bq/L(0.035 Bq/kg 生～0.14 Bq/kg 生)の濃度範囲であった。第 1 回調査及び第 2 回調査における個別の分析結果を表 14 に、分析結果のグラフを図 26-1 及び図 26-2 に示した。

また、今年度実施した第 1 回及び第 2 回調査における有機結合型トリチウムの分析結果は、すべて検出下限値未満(0.3 Bq/L 未満～0.4 Bq/L 未満(0.04 Bq/kg 生未満～0.06 Bq/kg 生未満))であった。

得られた組織自由水トリチウムの濃度は、図 26-1 及び図 26-2 に示したとおり、海水中のトリチウム濃度と同程度であり、海水中におけるトリチウムのバックグラウンドレベルを反映した結果であると考えられた。一方、有機結合型トリチウムは、すべて検出下限値未満であり、検出下限目標値の異なる組織自由水トリチウムの分析結果と直接比較することは難しい\*。ただし、0.4 Bq/L 未満(0.06 Bq/kg 生未満)である有機結合型トリチウムの濃度は、環境試料中のトリチウム濃度(図 13)と比較して、十分低い濃度と考えられた。

※組織自由水トリチウムの検出下限目標値は、「0.1 Bq/L」である。

有機結合型トリチウムの検出下限目標値は、「0.5 Bq/L」である。

表 17 魚類の組織自由水トリチウム濃度の分析結果

調査回	測点	濃度範囲	
第1回	E-SF1, 2, 3	0.087 Bq/L	0.18 Bq/L
		0.066 Bq/kg生	0.14 Bq/kg生
第2回	E-SF1, 2, 3	0.044 Bq/L	0.099 Bq/L
		0.035 Bq/kg生	0.076 Bq/kg生

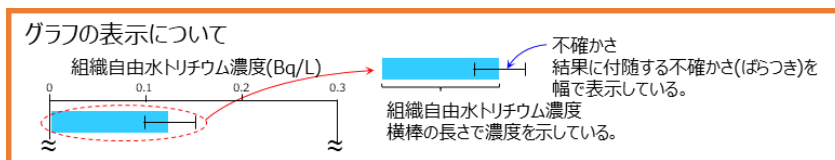
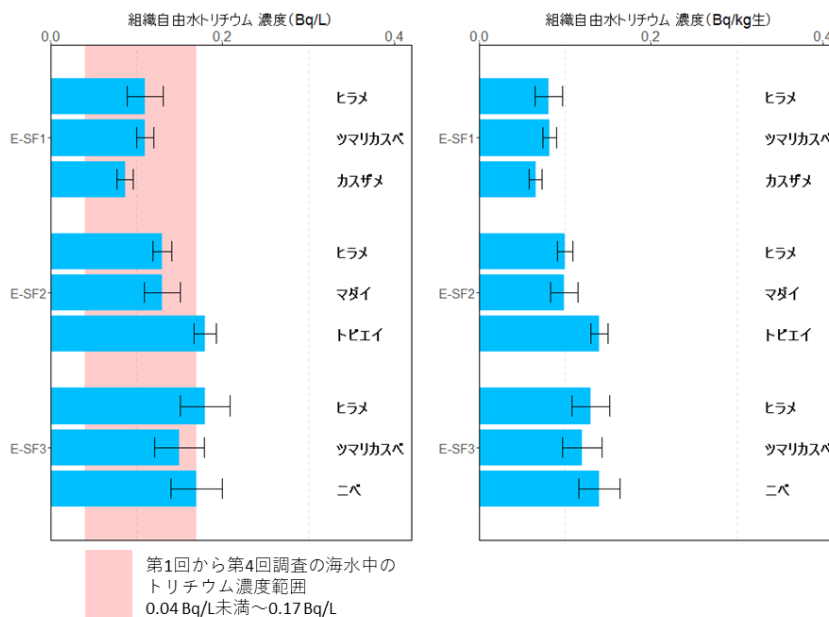


図 26-1 魚類中の組織自由水トリチウム濃度(第1回調査)  
トリチウム濃度の単位は、左図が「Bq/L」、右図が「Bq/kg 生」である。

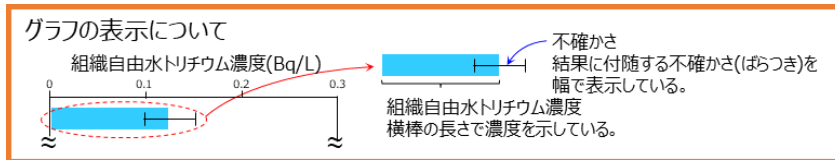
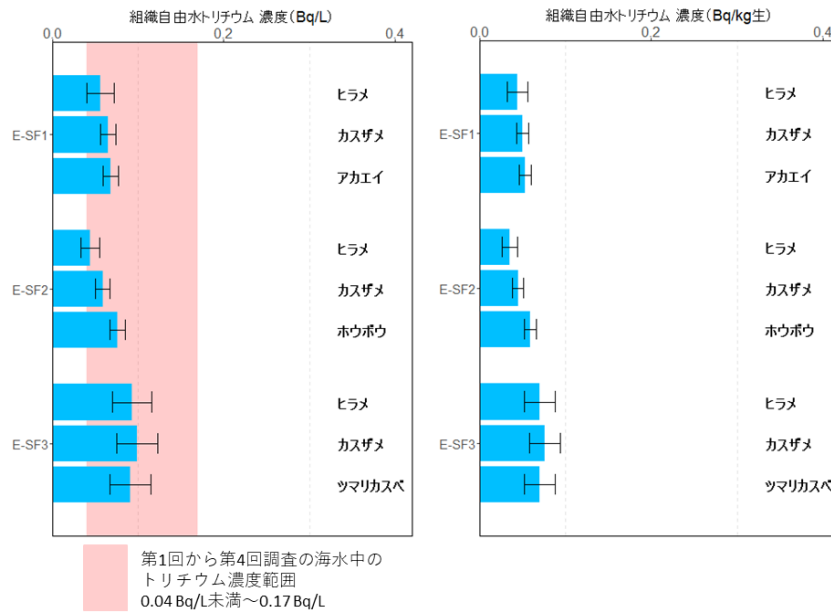


図 26-2 魚類中の組織自由水トリチウム濃度(第2回調査)  
トリチウム濃度の単位は、左図が「Bq/L」、右図が「Bq/kg 生」である。

(2) 魚類の炭素 14(C-14)

今年度実施した第 1 回及び第 2 回調査の炭素 14 分析結果は、20 Bq/kg 生～28 Bq/kg 生の濃度範囲であった。第 1 回調査及び第 2 回調査における個別の分析結果を表 18 に、分析結果のグラフを図 27 に示した。

なお、炭素 14 の分析結果については、暫定的な値であり「ALPS 処理水に係る海域モニタリング専門家会議」に報告できていない。引き続き分析作業を進め値が確定した後に同会議において報告する必要がある。

また、海水中の場合と同じく、自然放射性核種である炭素 14 は、原子力施設等を監視する環境放射線モニタリングの対象にならないことが多いため、比較参照できるモニタリングデータが乏しい。調査海域における炭素 14 の状況を評価するためには、引き続きデータの蓄積が必要である。

表 18 魚類の炭素 14 の分析結果(暫定値)

調査回	測点	濃度範囲
第1回	E-SF1, 2, 3	20 Bq/kg生 - 28 Bq/kg生
第2回	E-SF1, 2, 3	22 Bq/kg生 - 27 Bq/kg生

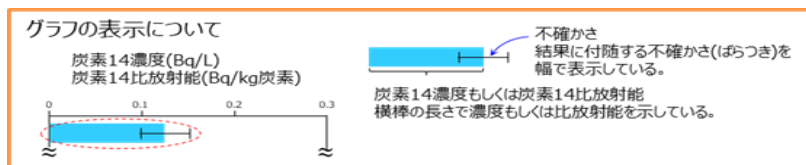
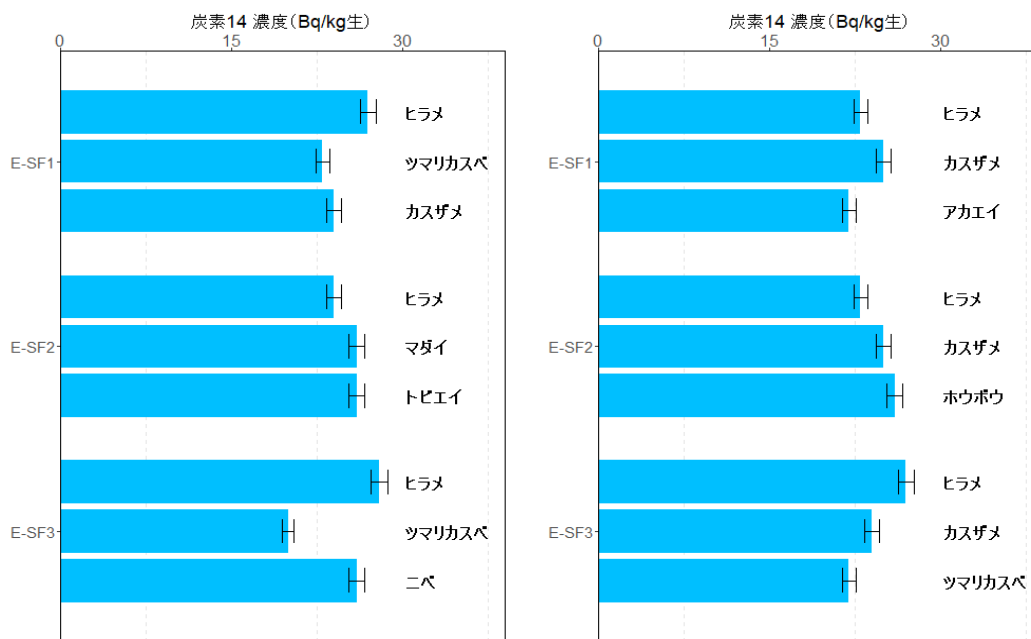


図 27 魚類中の炭素 14 濃度

左図が第 1 回調査、右図が第 2 回調査の炭素 14 濃度である。



(3) 海藻類のヨウ素 129 (I-129)

今年度実施した第 1 回調査から第 3 回調査における海藻類中のヨウ素 129 分析結果は、すべて検出下限値未満 (0.01 Bq/kg 生未満～0.4 Bq/kg 生未満) であった。

### 4.3 関連情報の収集・整理

TEPCO は令和 4 年 11 月 14 日に「福島第一原子力発電所特定原子力施設に係る実施計画」について ALPS 処理水の海洋放出時の運用等の変更に関する変更認可申請書を原子力規制委員会へ提出した(令和 5 年 2 月 14 日及び 2 月 20 日に一部補正)。その中で、ALPS 処理水海洋放出時の測定・評価対象核種に 29 核種とトリチウムを選定した<sup>1</sup>。29 核種中には ALPS 除去対象核種(62 核種)には含まれていないウラン 234、ウラン 238、ネプツニウム 237、セレン 79、及び鉄 55 が追加で選定された。

TEPCO が ALPS 処理水の海洋放出にあたって測定・評価を行う対象核種については、ALPS 処理水に係る海域モニタリングにおいても対象核種としてモニタリングを実施することが想定される。そのため、海水におけるウラン 234、ウラン 238、ネプツニウム 237、セレン 79 及び鉄 55 の濃度を測定するための適切な手法について、既存文献からの情報収集等を実施した。

#### 4.3.1 ウラン 234(U-234) 及びウラン 238(U-238) 分析法

ウラン 234 及びウラン 238 はともに  $\alpha$  線放出核種であり、天然起源のものとして地球上の地中、鉱石、海水など様々な場所に存在する。ウランには安定同位体は存在せず、主な放射性同位体にはウラン 234、ウラン 235 及びウラン 238 がある。また、ウラン 235 が天然の存在比より高くなるように濃縮したウランは原子炉等で核燃料として使用されている。海水試料におけるウラン分析法は、文部科学省制定の放射能測定法シリーズ 14「ウラン分析法」(平成 14 年改訂)に記載されている。なお、TEPCO では ALPS 処理水等に含まれるウラン 234 及びウラン 238 の分析に全  $\alpha$  放射能分析法を採用している<sup>2</sup>。併せて、1F 付近の海水に対してもおおよそ 1 か月に 1 回の間隔で全  $\alpha$  放射能分析をおこなっており、その結果は不検出(検出下限値は約 2 Bq/L 以下)である<sup>3</sup>。全  $\alpha$  放射能分析にてウラン 234 及びウラン 238 を評価する方法は、結果の迅速性が求められるモニタリングにおいては最適なスクリーニング方法であるが、海水には天然起源のウラン 234 及びウラン 238 (海水中のウラン 234 及び 238 濃度はそれぞれ 0.04 Bq/L)<sup>4</sup>が存在するため、精度の良い分析・測定方法によっては検出することが考えられる。

ウラン 234 及びウラン 238 の分析法には  $\alpha$  線スペクトロメトリー、ICP-MS 並びに全  $\alpha$  放射能分析の方法が候補となるが、検出下限目標値を 0.002 Bq/L と設定した場合、検出下限目標値が満たせるかを確認するため、3 種類の分析方法について検出下限値などを表 19 にまとめた。

---

<sup>1</sup> 原子力規制庁,東京電力株式会社「福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画」申請履歴一覧  
令和 4 年 11 月 14 日(月)ALPS 処理水の海洋放出時の運用等,

<https://www.nra.go.jp/activity/earthquake/kisei/plan/140000233.html>

<sup>2</sup> 東京電力株式会社,福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画 変更認可申請書の一部補正について  
廃炉発官 R4 第 181 号令和 5 年 2 月 20 日

<https://www.tepco.co.jp/press/release/2023/pdf1/230220j0701.pdf>

<sup>3</sup> 東京電力株式会社,福島第一原子力発電所周辺の放射性物質の分析結果,  
<https://www.tepco.co.jp/decommission/data/analysis/>

<sup>4</sup> 日下部正志, 海洋における放射性核種の分布と変遷, 海生研報, 第 22 号, 3-16 (2016).

表 19 ウラン 234 及びウラン 238 の分析法比較

	α線スペクトロメトリー※ <sup>1</sup>	ICP-MS※ <sup>1</sup>	全α放射能分析※ <sup>2</sup>
供試量(mL)	2,000	1	200
検出下限値(Bq/L)	$4 \times 10^{-4}$	$9 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-1}$
所要時間	1 週間	1 日	1 日

※1: α線スペクトロメトリーとICP-MSは、公益財団法人 日本分析センターでの海水試料分析におけるU-238検出下限値の実績を記載した。

※2:全α放射能分析は動力炉・核燃料開発事業団東海事業所:標準分析作業法(PNC-TN8520-93-003)排水中の全α放射能測定法(共沈・マウント法)を参照した。

表 19 より、α線スペクトロメトリーとICP-MSは検出下限目標値を満たすことが確認された。ただし、ICP-MSにおいては、直接質量を測定するため天然存在比の小さいウラン 234 の測定は困難である。また、全α放射能分析においては、供試量や測定時間を調整し、検出下限目標値を満たすことは可能であるが、海水中に存在する天然起源のウランにより検出となることが考えられる。全α放射能分析では核種の弁別ができないため、検出した際に核種同定のための分析を別途行う必要性が発生する。

以上のことから、ウラン 234 及びウラン 238 の分析方法としては、放射能測定法シリーズ 14「ウラン分析法」(平成 14 年改訂)に記載のα線スペクトロメトリーが適切であると考えられる。分析フローを別紙 4 別図 4-1-1～別図 4-1-3 に示す。

#### 4.3.2 ネプツニウム 237 (Np-237) 分析法

ネプツニウム 237 はα線放出核種であり、再処理施設などの原子力施設から放出される可能性のある人工放射性核種である。文部科学省制定の放射能測定法シリーズ 34「環境試料中ネプツニウム 237 迅速分析法」(平成 20 年制定)に分析法が記載されているが、対象試料に海水は含まれていない。なお、TEPCO では ALPS 処理水等に含まれるネプツニウム 237 の分析に全α放射能分析法を採用している<sup>2</sup>。併せて、1F 付近の海水に対してもおおよそ 1 か月に 1 回の間隔で全α放射能分析を行っている。その結果は不検出(約 2 Bq/L 以下)である<sup>3</sup>。全α放射能分析にてネプツニウム 237 を評価する方法は、結果の迅速性が求められるモニタリングにおいては最適なスクリーニング方法である。しかし、海水中の天然起源のウランにより、分析・測定方法によっては検出となることが考えられる。その際、核種の同定が必要であるため、ネプツニウム 237 を定量する方法が必要となる。また、ネプツニウム 237 の測定方法には ICP-MS で測定する方法、α線スペクトロメトリーで測定する方法などがあるが、どちらの方法もウランが干渉する可能性がある。そのため、海水試料におけるネプツニウム 237 の分析ではウランの分離にも重点を置く必要がある。その場合、固相抽出カラムが分離には効果的である。そこで、海水試料に対応可能な固相抽出カラムを使用したネプツニウム 237 分析法が採用されている文献 1 と

文献 2 を調査し、適切な分析方法を検討した。

固相抽出カラムを使用したネプツニウム 237 分析手法を調査した上で、試料性状、供試量、前処理法、化学分離法、測定法、検出下限値、所要時間について表 20 にまとめた。なお、文献中に記載のない項目については、記載なしと表記し、所要時間については分析手順から想定されるおおよその時間をかっこ内に記載した。また、検討にあたって検出下限目標値を 0.002 Bq/L と設定した。

表 20 文献中のネプツニウム 237 分析方法

文献 No.	1	2
試料性状	水試料	水試料
供試量	10 L~40 L	0.8 L
前処理法	ろ過	ろ過
化学分離法	Fe(OH) <sub>2</sub> / Ti(OH) <sub>3</sub> 沈殿 +LaF <sub>3</sub> /CaF <sub>2</sub> 沈殿 +TEVA レジン	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> 沈殿 +TEVA レジン
測定法	α線スペクトロメトリー ICP-MS	α線スペクトロメトリー
検出下限値	記載なし	0.1 Bq/L
所要時間	記載なし (1 週間程度)	記載なし (1 週間程度)

海水試料が対象の分析であるため、海塩成分を除去するとともに、ウランなどのアクチノイドからネプツニウム(トレーサーにプルトニウムを使用する場合にはネプツニウムとプルトニウムが同様の挙動を示すこと)を精製できる化学分離法を備えていること、検出下限目標値を満たすことが分析・測定法に求められる。

両文献ともに、沈殿分離と TEVA レジンにより、海塩成分並びにウランとネプツニウムを分離していた。また、文献 1 では TEVA レジンによるウランの除染係数は 1,000~2,000 としている。なお、ウランの除染係数を増加させるために、TEVA レジンに DGA レジンと UTEVA レジンを追加し、分離を行っていた。その操作によりウランの除染係数は 10<sup>6</sup>~10<sup>7</sup>ほどに増加するが、DGA レジンにおけるネプツニウムとプルトニウムの挙動が異なるため、トレーサーにプルトニウムを用いる場合には適切な方法ではない。

α線スペクトロメトリーによるネプツニウム分析での検出限界は 3.7×10<sup>-4</sup> Bq~0.013 Bq、ICP-

MSによるネプツニウム分析での検出限界は $2 \times 10^{-4}$  Bqである<sup>5</sup>。そのため、供試量を数リットル程度とすると検出下限目標値を満たすことができると想定される。

トレーサーにプルトニウム 242 を用いた場合、測定法には ICP-MS を用いた方法のみが適用できる。ネプツニウム 237 の  $\alpha$  線エネルギーとプルトニウム 242 の  $\alpha$  線エネルギーは、差異が小さく、弁別が困難であるため、 $\alpha$  線スペクトロメリーを用いた方法は適切ではない。なお、トレーサーにプルトニウム 236 を用いた場合、測定法に  $\alpha$  線スペクトロメリーを用いた方法を適用できる。

以上の結果より文献 1 の分析方法をベースとし、分析フローを別紙 4 別図 4-2-1～別図 4-2-4 に示す。

(出典)

文献 1: TrisKem International, Pu and Np-237 in seawater samples - Version 1.0 (TKI-AC-01)(2014).

文献 2: István Papp, Nóra Vajda & Steffen Happel, An improved rapid method for the determination of actinides in water, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **331**, 3835-3846 (2022).

※分析手順の詳細については、文献 1 は別紙 4 の(1)、文献 2 は別紙 4 の(2)に記載。

#### 4.3.3 セレン 79 (Se-79) 分析法

セレン 79 は純  $\beta$  核種であり、比較的低エネルギーの  $\beta$  線 (151 keV) を放出する。そのため、液体シンチレーションカウンタ: Liquid Scintillation Counter (以下「LSC」という。)による測定が適している。TEPCO では ALPS 処理水等に含まれるセレン 79 の測定に LSC を採用している<sup>2</sup>。そこで、LSC を用いたセレン 79 分析手法が採用されている文献 3、文献 4 を調査し、適切な分析方法を検討した。

LSC を用いたセレン 79 分析方法を調査した上で、試料性状、供試量、前処理法、化学分離法、測定法、目標検出下限値、所要時間について表 21 にまとめた。なお、文献中に記載のない項目については、記載なしと表記し、所要時間については分析手順から想定されるおおよその時間をかっこ内に記載した。また、検討にあたって検出下限目標値を告示濃度限度の 1/100 値 (2 Bq/L) と設定した。

---

<sup>5</sup> P. Thakur & G.P. Mulholland, Determination of <sup>237</sup>Np in environmental and nuclear samples: A review of the analytical method, *Applied Radiation and Isotopes*, **70(8)**, 1747-1778 (2012).

表 21 文献中のセレン 79 分析方法

文献 No.	3	4
試料性状	固体試料	固体試料 水試料
供試量	0.1 g~1 g	0.5 g ※固体試料の場合 100 mL ※水試料の場合
前処理法	マイクロ波加熱酸分解 ※固体試料の場合	アルカリ溶融 ※固体試料の場合
化学分離法	AMP 捕集 +炭酸塩沈殿 +水酸化鉄沈殿 +TEVA レジン +Se 沈殿	AG1-X4 陰イオン交換樹脂・ AG50W-X8 陽イオン交換樹脂カラム +蒸留 +Se 沈殿
測定法	[回収率] ICP-AES or 重量法 [LSC 測定試料液性] HNO <sub>3</sub> +NaOH [シンチレータ] 記載なし [機器校正方法] クエンチング補正曲線 ※C-14 放射能標準溶液	[回収率] ICP-AES or 重量法 [LSC 測定試料液性] 150 μL HNO <sub>3</sub> +0.3 M NaOH fuming HNO <sub>3</sub> +distilled water [シンチレータ] Altex , Ultima-Gold , OptiFlour [機器校正方法] クエンチング補正曲線 ※C-14 放射能標準溶液
検出下限値	0.05 Bq/g	記載なし
所要時間	記載なし (1 週間程度)	記載なし (1 週間程度)

海水試料が対象の分析であるため、海塩成分を除去しセレンのみに精製できる化学分離法を備えていること、検出下限目標値を満たすことが分析・測定法に求められる。

文献 3 の方法では AMP によるセシウムの除去、3 種類の沈殿分離(炭酸塩沈殿、水酸化鉄沈殿、セレン沈殿)、TEVA レジンによるテクネチウムの除去を備えており、セレンから海塩成分や妨害核種を分離することができる。

文献 4 に記載されていた蒸留は、セレンの化学的特性を利用した優れた分離方法ではあるが、環境中の海水試料が分析対象となるため、行う必要はないと考えられる。

LSC 測定試料の液性は両文献ともにセレン沈殿を溶解した硝酸を水酸化ナトリウムで中和した溶液であった。中和後の溶液の液性により、適切なシンチレータが異なることが考えられる。そのため、セレン沈殿の溶解に使用する硝酸の添加量、中和に使用する水酸化ナトリウムの添

加量を検討し、添加量が確定した後に、適切なシンチレータを選択し、混合した際に白濁や二層分離が発生しないことを確認する必要がある。

機器校正方法については、両文献ともセレン 79 放射能標準溶液は入手が困難であるため、 $\beta$ 線最大エネルギーの近い炭素 14 放射能標準溶液で作製したクエンチング補正曲線による方法を用いていた。なお、重量法で回収率を求める場合には、LSC 測定試料バイアル中にろ紙を残したまま測定することとなる。ICP-AES 測定より回収率を求める方法の場合には、LSC 測定試料バイアル中のろ紙は取り除き測定することとなる。機器校正に使用するクエンチング補正曲線作製用試料は、LSC 測定試料と同様の形状とする必要がある。そのため、回収率の求め方に応じて LSC 測定試料バイアル中のろ紙の有無を決定し、クエンチング補正曲線作製用試料も同様の形状となるよう作製する必要がある。

供試量を 200 mL とし、BG 計数率が 20 cpm 程度の LSC にて 100 分測定を行うと検出下限値は 0.6 Bq/L となり、検出下限目標値を満たすことができる。なお、回収率は 50%、計数効率は 60%として算出した。

以上の結果より文献 3 の分析方法をベースとし、分析フローを別紙 4 別図 4-3-1～別図 4-3-2 に示す。

(出典)

文献 3: 亀尾 裕, 島田 亜佐子, 石森 健一郎, 原賀 智子, 片山 淳, 星 亜紀子, 中島 幹雄, 研究施設等廃棄物に含まれる放射性核種の簡易・迅速分析法(分析指針), 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構, JAEA-Technology 2009-051, 40-44 (2009).

文献 4: S. K. Fadeff, RP530 Determination of Selenium-79 in Aqueous Samples, U. S. Department of Energy (1997).

※細かな分析手順については、文献 3 は別紙 4 の(3)、文献 4 は別紙 4 の(4)に記載。

#### 4.3.4 鉄 55(Fe-55)分析法

鉄 55 は軌道電子捕獲により特性X線 (5.9 keV)もしくはオージェ電子を放出する。鉄 55 の特性 X 線のように低エネルギーの光子を高効率で測定するためには、p 型ゲルマニウム半導体検出器(一般的に 40 keV 以上の  $\gamma$  線を測定可能)よりも、n 型ゲルマニウム半導体検出器(一般的に 3 keV 以上の X 線及び  $\gamma$  線を測定可能)や低エネルギー光子スペクトロメータ: Low Energy Photon Spectrometer (以下「LEPS」という。)が適しており、TEPCO では ALPS 処理水等に含まれる鉄 55 の測定に LEPS を採用している<sup>2</sup>。一方、オージェ電子を測定する方法として、LSC を用いた測定法がある。LSC は  $\alpha$  線や低エネルギー  $\beta$  線放出核種の測定に使用され、汎用性が高く、広く普及している測定機器であり、複数の分析機関の鉄 55 分析法に採用されている。そこで、LSC を用いた鉄 55 分析手法が採用されている文献 5、文献 6、文献 7 を調査し、適切な分析方法を検討した。

LSC を用いた鉄 55 分析方法を調査した上で、試料性状、供試量、前処理法、化学分離法、測定法、目標検出下限値、所要時間について表 22 にまとめた。なお、文献中に記載のない項

目については、記載なしと表記し、所要時間については分析手順から想定されるおおよその時間をかっこ内に記載した。また、検討にあたって検出下限目標値を告示濃度限度の 1/100 値 (20 Bq/L)と設定した。

表 22 文献中の鉄 55 分析方法

文献 No.	5	6-1	6-2	7
試料性状	水試料	固体試料	固体試料	水試料
供試量	1 L 以下	0.5 g or 0.6 g	0.5 g or 10 g	1 L
前処理法	ろ過	酸分解・酸抽出	酸分解・酸抽出	ろ過
化学分離法	水酸化鉄沈殿 +TRU レジン	水酸化鉄沈殿 +BioRad AG 1×4 陰イオン交換樹脂カラム	水酸化鉄沈殿 +Dowex 1×4 陰イオン交換樹脂カラム +TRU レジン	水酸化鉄沈殿 +Dowex 1×8 陰イオン交換樹脂カラム
測定法	[回収率] ICP-AES or 重量法 [LSC 測定試料液性] 0.5 M HNO <sub>3</sub> [シンチレータ] 記載なし [機器校正方法] 記載なし	[回収率] ICP-AES [LSC 測定試料液性] 1 M H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> [シンチレータ] OptiPhase HiSafe 3 [機器校正方法] TDCR モード	[回収率] MP-AES [LSC 測定試料液性] 3 M H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> [シンチレータ] Ultima Gold uLLT [機器校正方法] クエンチング補正曲線 ※H-3 放射能標準溶液	[回収率] ICP-AES or 重量法 [LSC 測定試料液性] 2.8 M HF [シンチレータ] INSTAGEL [機器校正方法] 効率補正曲線 ※校正係数 (Bq・s)/Fe 含有量
検出下限値	記載なし	記載なし	記載なし	0.17 Bq/L
所要時間	記載なし (3 日間程度)	記載なし (1 週間程度)	記載なし (1 週間程度)	記載なし (3 日間程度)

海水試料が対象の分析であるため、海塩成分を除去し鉄のみに精製できる化学分離法を備えていること、LSC 測定試料において鉄イオンが存在しても着色しない測定試料溶液であること、検出下限目標値を満たすことが分析・測定法に求められる。

水酸化鉄沈殿操作は全文献で用いられており、海塩成分などの除去が可能である。また、文献 5 では TRU レジンを使用しているため、選択的に鉄の分離が可能となり、陰イオン交換樹脂カラムでは分離が難しい元素との分離も可能である。なお、TRU レジンの鉄に対する負荷容量を考慮する必要があるが、海水中の鉄イオン濃度は低いため、添加する鉄キャリア量を適切に設定すれば、影響は少ないことが想定される。



なお、LSC 測定試料の液性は 0.5 M HNO<sub>3</sub>とし、着色がみられる場合にはリン酸水溶液、フッ酸水溶液について検討する必要がある。併せて、それぞれに液性に適したシンチレータを選択し、混合した際に、白濁や二層分離が発生しないことを確認する必要がある。

機器校正方法については、H-3 放射能標準溶液で作製したクエンチング補正曲線作製用試料による方法、Fe 量に依存する効率補正曲線(校正係数(Bq・s)/Fe 含有量)による方法、実施できる測定機器は限られるが TDCR モードによる方法が用いられていた。なお、鉄 55 放射能標準溶液は入手が可能であるため、鉄 55 放射能標準溶液で作製したクエンチング補正曲線作製用試料による方法が適切であると考えられる。

供試量を 100 mL とし、BG 計数率が 20 cpm の LSC にて 100 分測定を行うと検出下限値は 4 Bq/L となり、検出下限目標値を満たすことができる。なお、回収率は 50%、計数効率は 20%として算出した。

以上の結果より文献 5 の分析方法をベースとし、分析フローを別紙 4 別図 4-4 に示す。

(出典)

文献 5: Eichrom Technologies LLC, IRON-55 IN WATER, Analytical Procedure, Method No: FEW01, Revision: 1.1, (May 1, 2014).

文献 6: Anumaija Leskinen & Susanna Salminen-Paatero, Development of <sup>3</sup>H, <sup>14</sup>C, <sup>41</sup>Ca, <sup>55</sup>Fe, <sup>63</sup>Ni radiochemical analysis methods in activated concrete samples, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **331**, 31-41 (2022).

文献 7: H.U. Fusban, H. Rühlean & I. Gans, Procedure for determining iron-55 in wastewater, H-Fe-55-AWASS-01, Version May 1997, Federal coordinating office for drinking water, groundwater, wastewater, sludge, waste and wastewater of nuclear power plants (1997).

※分析手順の詳細については、文献 5 は別紙 4 の(5)、文献 6 は別紙 4 の(6)、文献 7 は別紙 4 の(7)に記載。

#### 4.3.5 資料の翻訳と取りまとめ

文献調査により、主に海外の政府機関(外国政府やその分析機関)や国際機関が発行する報告書を収集し、本事業における調査結果との比較検証のための資料(表やグラフ、地図等)として日本語での取りまとめを行った。また、海域モニタリング等に関する日本語資料を英訳し、ネイティブチェックを行った。作成した資料の一部を以下に示す。

#### (1) 「近隣諸国(韓国及び台湾)における海水のトリチウム調査」に関する日本語資料の作成

韓国及び台湾における海水のトリチウム調査について、それぞれの国の政府機関が発行する報告書を収集し、日本語での取りまとめを行った。なお、中国についても報告書の収集を行ったが、該当するデータは確認できなかった。

##### ① 韓国における海水のトリチウム調査

韓国では、一般環境及び原子力施設周辺における放射能調査を実施している。放射能調査の概要を図 28 に示した。

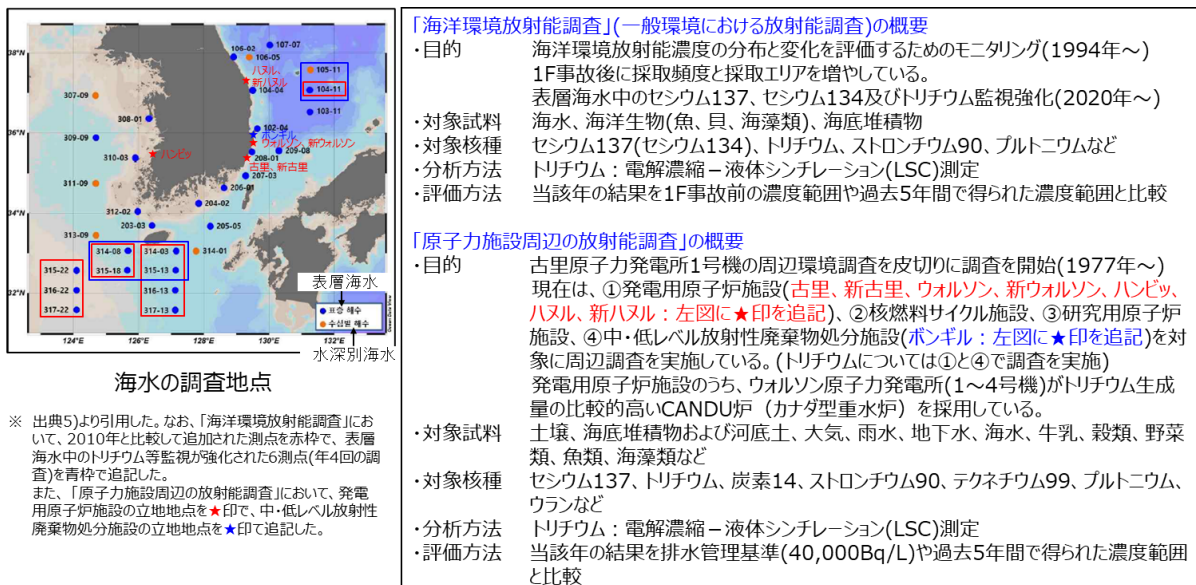


図 28 韓国における一般環境及び原子力施設周辺における放射能調査の概要

2017年～2021年における海水のトリチウム調査に関しては、1F事故前の濃度範囲や排水管理基準、過去5年間で得られた放射能濃度の範囲と比較して同レベルまたは基準内と評価されている。

一般環境における放射能調査では、トリチウム濃度の最大値が 0.316 Bq/L であった。原子力施設周辺の放射能調査では、特に CANDU 炉<sup>※</sup>を採用しているウォルソン原子力発電所周辺においてトリチウム濃度の比較的高いデータが見られた。韓国における 2017年～2021年の表層海水のトリチウム調査結果を図 29 及び表 23 にまとめた。

※カナダが独自に開発し実用化した重水減速・重水冷却型発電用原子炉。Canadian Deuterium Uranium の頭文字から CANDU 炉と呼ぶ。軽水炉とは異なり、燃料には天然ウランを用いるが、

重水素に中性子を取り込まれるため、大量のトリチウムが生成される。

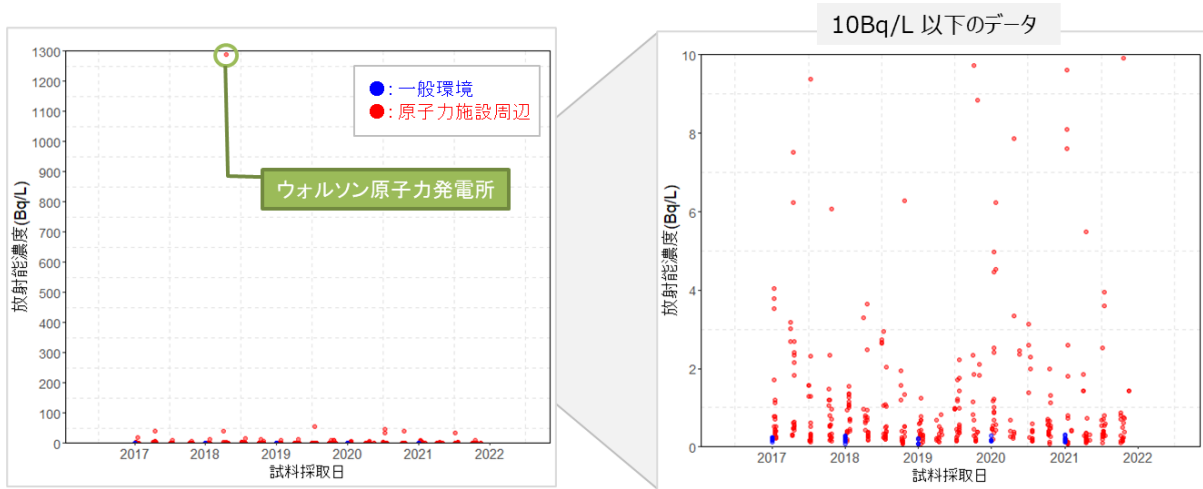


図 29 韓国における表層海水のトリチウム調査結果(2017 年～2021 年)

表 23 韓国における表層海水のトリチウム調査結果(2017 年～2021 年)

海水の調査地点	データ数	(うち不検出)	トリチウム濃度の範囲
一般環境	130	78	0.0695Bq/L - 0.316Bq/L
原子力施設周辺	465	51	0.0697Bq/L - 1290Bq/L

(出典)

- 1) Korea Institute of Nuclear Safety, Marine Environmental Radioactivity Survey, KINS/ER-092, 13 (2017)
- 2) Korea Institute of Nuclear Safety, Marine Environmental Radioactivity Survey, KINS/ER-092, 14 (2018)
- 3) Korea Institute of Nuclear Safety, Marine Environmental Radioactivity Survey, KINS/ER-092, 15 (2019)
- 4) Korea Institute of Nuclear Safety, Marine Environmental Radioactivity Survey, KINS/ER-092, 16 (2020)
- 5) Korea Institute of Nuclear Safety, Marine Environmental Radioactivity Survey, KINS/ER-092, 17 (2021)
- 6) Korea Institute of Nuclear Safety, The Annual Report on the Environmental Radiological Surveillance and Assessment around the Nuclear Facilities, KINS/AR-140, 28 (2017)
- 7) Korea Institute of Nuclear Safety, The Annual Report on the Environmental Radiological Surveillance and Assessment around the Nuclear Facilities, KINS/AR-140, 29 (2018)
- 8) Korea Institute of Nuclear Safety, The Annual Report on the Environmental Radiological Surveillance and Assessment around the Nuclear Facilities, KINS/AR-140, 30 (2019)

- 9) Korea Institute of Nuclear Safety, The Annual Report on the Environmental Radiological Surveillance and Assessment around the Nuclear Facilities, KINS/AR-140, 31 (2020)
- 10) Korea Institute of Nuclear Safety, The Annual Report on the Environmental Radiological Surveillance and Assessment around the Nuclear Facilities, KINS/AR-140, 32 (2021)

② 台湾における海水のトリチウム調査

台湾では、2020 年から台湾周辺海域における放射能調査を実施している。放射能調査の概要を図 30 に示した。



海水の調査地点  
(東沙と南沙を除く)

※ 出典2)より引用した。発電用原子炉施設の立地地点を★印で追記した。

**「海陸域環境放射能調査」の概要**

- ・目的 台湾周辺海域の放射能状況を把握し、東電福島原発事故や中国大陸沿岸で操業する原子力発電所に起因する放射性物質による影響を調査する。
- ・対象試料 海水、海洋生物、海底堆積物など
- ・対象核種 セシウム137(セシウム134)、トリチウム、カリウム40、ストロンチウム90など
- ・分析方法 トリチウム：蒸留－液体シンチレーション(LSC)測定
- ・評価方法 検出下限目標値 (2.03 Bq/L)との比較

図 30 台湾における海域放射能調査の概要

2020 年～2021 年におけるトリチウム調査に関しては、一部の深度別の研究調査を除いて全て不検出 (検出下限目標値 2.03 Bq/L)であった。台湾における 2020 年～2021 年の表層海水のトリチウム調査結果を表 24 にまとめた。

表 24 台湾における表層海水(0～5m)のトリチウム調査結果 (2020 年～2021 年)

調査年	調査地点数	データ数	トリチウム濃度の範囲	検出下限目標値
2020	33	69	不検出 (「0.36Bq/L～0.57Bq/L:深度別の研究調査における4データの範囲」を除く)	2.03Bq/L (深度別の研究調査では、0.36Bq/L)
2021	99	191	全て不検出	2.03Bq/L

(出典)

- 1) 行政院原子能委員会輻射偵測中心, 台湾海陸域環境輻射調査計書 109 年度執行報告, RMC-110-103 (2021)
- 2) 行政院原子能委員会輻射偵測中心, 台湾海陸域環境輻射調査計書 110 年度執行報告, RMC-111-101 (2022)

(2) 「欧州連合 (EU:European Union)における飲料水のトリチウム濃度限度」に関する日本語資料の作成

EU が飲料水のトリチウム濃度限度を取り決めた経緯を、出典 1)～6)の英語原文より日本語で時系列にまとめた(図 31)。

<p><b>1996年3月 ICRP Publication 72 刊行</b> トリチウムの摂取による公衆被ばくに関する線量換算係数を年齢別に算出 ⇒ 例えば、成人は<math>1.8 \times 10^{-11}</math> Sv/Bq (経口摂取)</p> <p><b>1996年5月 EU理事会指令96/29/Euratom</b> 電離放射線から労働者及び一般公衆の健康を保護するための基本的な安全基準を設定 ⇒ 一般公衆については、ICRP (Publication 72) の線量換算係数を採用。 <b>トリチウムの濃度限度については設定されていない。</b></p> <p><b>1998年11月 EU理事会指令98/83/EC</b> 飲料水の水質基準 (化学物質や大腸菌等を含む) を設定 トリチウム: 100Bq/L 総放射線量: 0.10 mSv/年 (トリチウム、カリウム40、ラドン及びその崩壊生成核種を除く) ⇒ <b>トリチウムの水質基準を100Bq/Lとした技術的な根拠については説明されていない。</b> トリチウムの水質基準は義務化されたものではなく指標として設定されたスクリーニング値であり、環境に放出された他のより有害な人工放射性核種が存在する可能性を示す (ISTISAN, 2000)。</p> <p><b>2000年12月 「英国」水質規制 2000 (No. 3184)</b> 英国では、EUの水質基準 (EU理事会指令98/83/EC) に従い水道水の水質を規制している。トリチウムは放射能汚染の兆候を示すものであり、100Bq/Lの指標値を超過した場合、水道事業者は総放射線量を算出する (総放射線量については全<math>\alpha</math>、全<math>\beta</math>測定により監視)。</p>
--

図 31 EU における飲料水のトリチウム濃度限度取り決めの経緯について

なお、スコットランド、スペイン、スウェーデン等の EU 加盟国でも、EU の水質基準 (EU 理事会指令 98/83/EC) に準拠し、スクリーニング値としてトリチウム濃度限度である 100 Bq/L を採用している (出典 1)より)。

(出典)

- 1) Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC), Standards and guidelines for tritium in drinking water: part of the tritium studies project (2008)
- 2) International Commission on Radiological Protection (ICRP), Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 5. Compilation of ingestion and inhalation dose coefficients, ICRP Publication 72 (1996)
- 3) European Union (EU), Council Directive 96/29/Euratom laying down basic safety standards for



the protection of the health of workers and the general public against the dangers arising from ionizing radiation, Official Journal of the European Communities (1996)

- 4) European Union (EU), Council Directive 98/83/EC on the quality of water intended for human consumption, Official Journal of the European Communities (1998)
- 5) Istituto Superiore di Sanità (ISTISAN), Council Directive 98/83/EC on the quality of water intended for human consumption : calculation of derived activity concentrations, Rapporti ISTISAN 00/16 (2000)
- 6) England and Wales, The water supply (water quality) regulations 2000, 3184 (2000)

(3) 海域モニタリング等に関する日本語資料の英訳

海域モニタリング等に関する日本語資料を英訳し、ネイティブチェックを行った。その一例を図 32 に示した。

**World Health Organization (WHO) Drinking Water Standards**

The guidance level for tritium (10,000 Bq/L) in the WHO's guidelines for drinking-water quality is calculated such that, assuming water consumption at 2 L/day (730 L/year), water with a tritium concentration at the guidance level will give a person an annual radiation dose of 0.1 mSv.

Calculation Formula:

$\frac{\text{Annual dose 0.1 mSv}}{\text{Dose conversion coefficient of tritium* (1.8 \times 10^{-11} \text{ mSv/Bq})}} = \text{Guidance level for tritium in drinking water (10,000 Bq/L)}$	$\times \text{Annual intake of drinking water (730 L/year assumed)}$
--	--

\*: The dose conversion coefficient is the dose (equivalent dose or effective dose) when 1 Becquerel is consumed. This formula uses a dose conversion coefficient for adults.

Source: Guidelines for drinking-water quality: Fourth Edition (Japanese version accessed through the NIPH website)

The WHO's drinking water standards are described in more detail in "Guidelines for drinking-water quality: Fourth Edition", a Japanese version of which is published on the National Institute of Public Health (NIPH) website at the following URL:  
[https://www.niph.go.jp/soshiki/suido/WHO\\_GDWQ\\_4th\\_jp.html](https://www.niph.go.jp/soshiki/suido/WHO_GDWQ_4th_jp.html)

図 32 「飲料水水質ガイドライン第 4 版」(WHO)における飲料水中のトリチウムのガイダンスレベル

#### 4.4 モニタリング結果に関する情報発信・理解醸成

本業務における調査結果について広く情報発信を行うため、環境省ホームページ上にウェブサイト「ALPS 処理水に係る海域モニタリング情報 (https://shorisui-monitoring.env.go.jp/)」(以下「本ウェブサイト」という。)を新規に作成し、令和 5 年 2 月 28 日より公開を開始した。作成・公開した本ウェブサイトのファーストビューを図 33 に示す。

本ウェブサイトの作成にあたり、サーバにおけるバーチャルホストの作成・運用、サブドメインの取得・運用及び常時 SSL 化に係る対応等、本ウェブサイトの作成・公開に係る一切の作業を行った。

本ウェブサイトには、本業務における調査結果や周辺海域における関係機関の調査結果(図 34～図 36)に加え、トリチウムの性質など放射性物質に関する理解醸成のための基礎的な情報(図 37)、関係機関が実施している調査結果へのリンク(図 38)、その他ウェブサイトに必要な情報(新着情報等)も併せて掲載を行った。そのうち、調査結果や周辺海域における関係機関の調査結果については、各測点ごとに放出前の調査結果を地図上に表示する形で掲載を行った。放出後の調査結果については、本業務期間中には ALPS 処理水の放出が開始されていないため掲載していないが、放出前の結果と同様に掲載できるよう設計した。調査結果詳細については、各測点を選択することによりポップアップにて表示する方法を採用した。

なお、本ウェブサイトへ情報を掲載するに際しては、必要に応じてイラストを用いるなど一般の方向けに分かりやすい情報発信となるよう工夫しながら作業を行った。

さらに、日本語版ウェブサイトの内容を英訳し、ネイティブチェック等の確認を経た上で英語版ウェブサイトを作成、公開した。作成した英語版ウェブサイトを図 39 に示す。

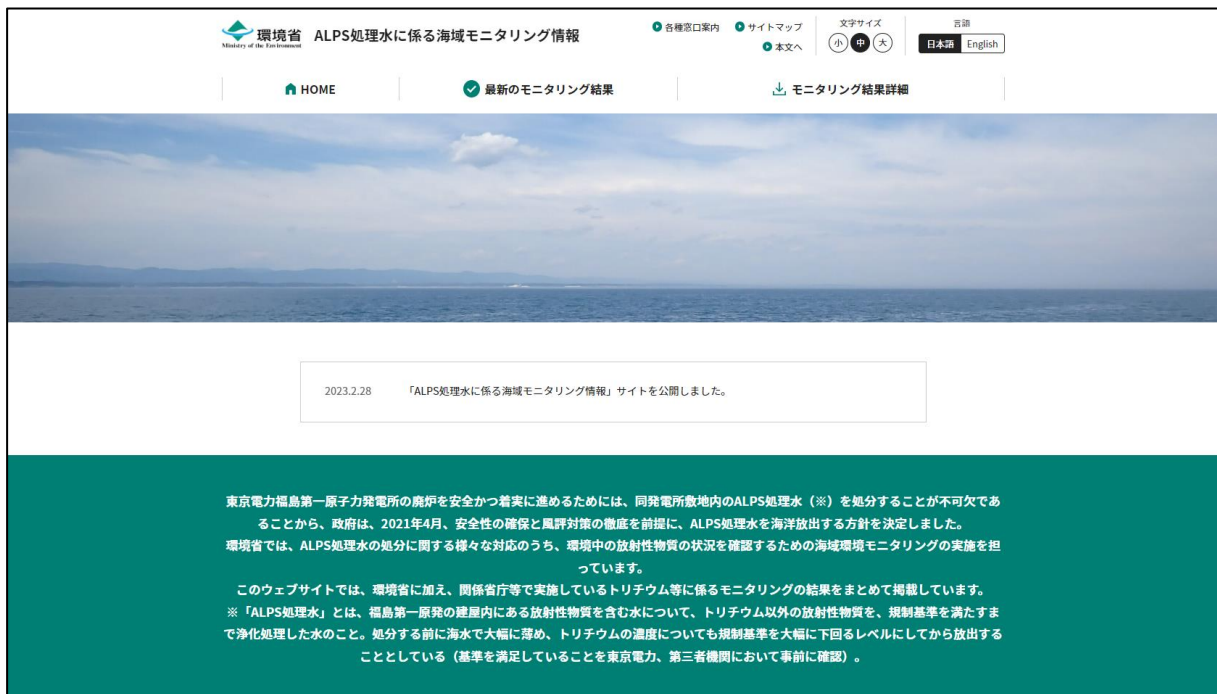


図 33 本ウェブサイトのファーストビュー

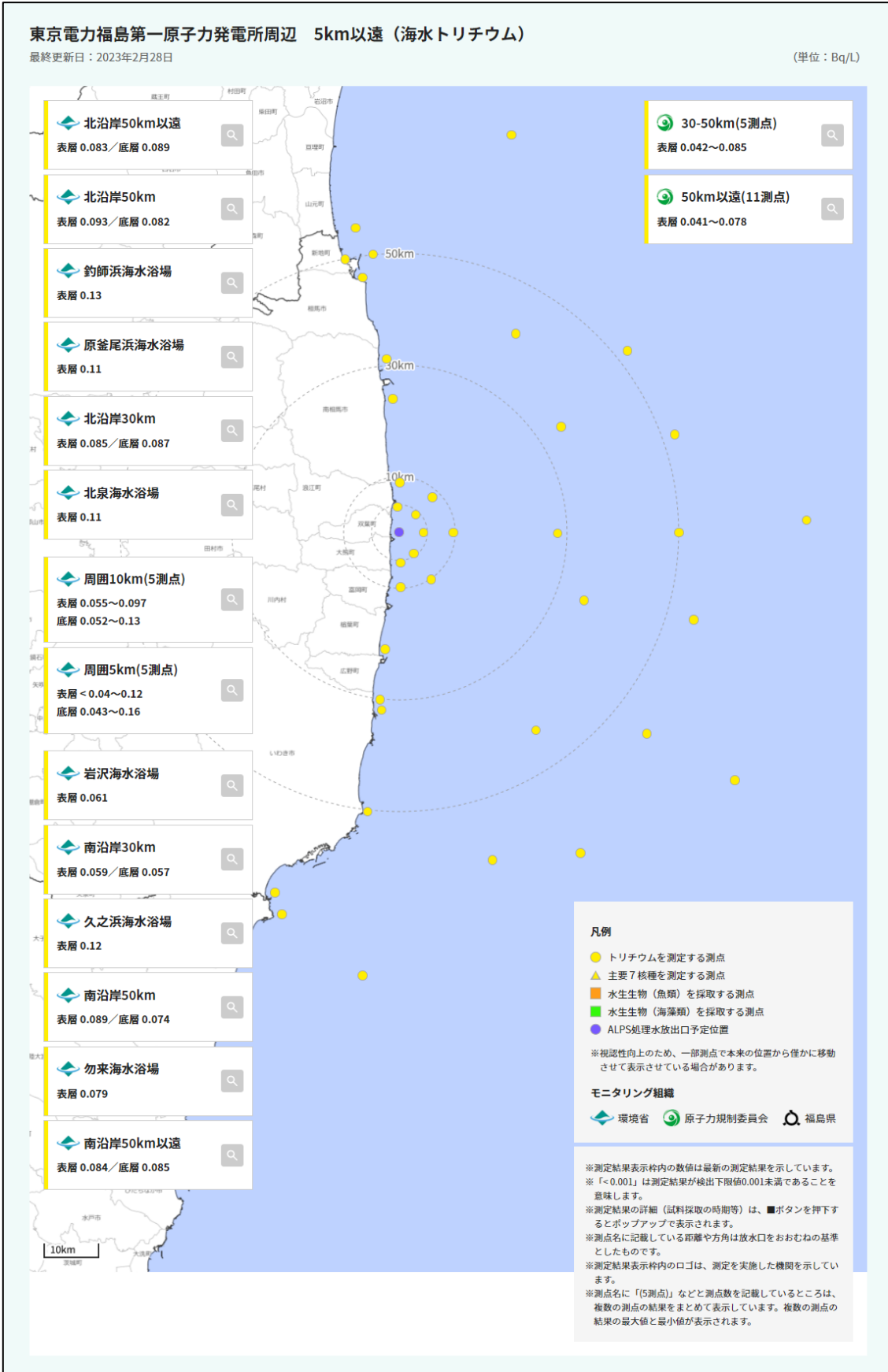


図 34 東京電力福島第一原子力発電所周辺 5 km 以遠(海水トリチウム)の調査結果



東京電力福島第一原子力発電所周辺 約3km圏内 (海水トリチウム)

最終更新日：2023年2月28日

(単位：Bq/L)

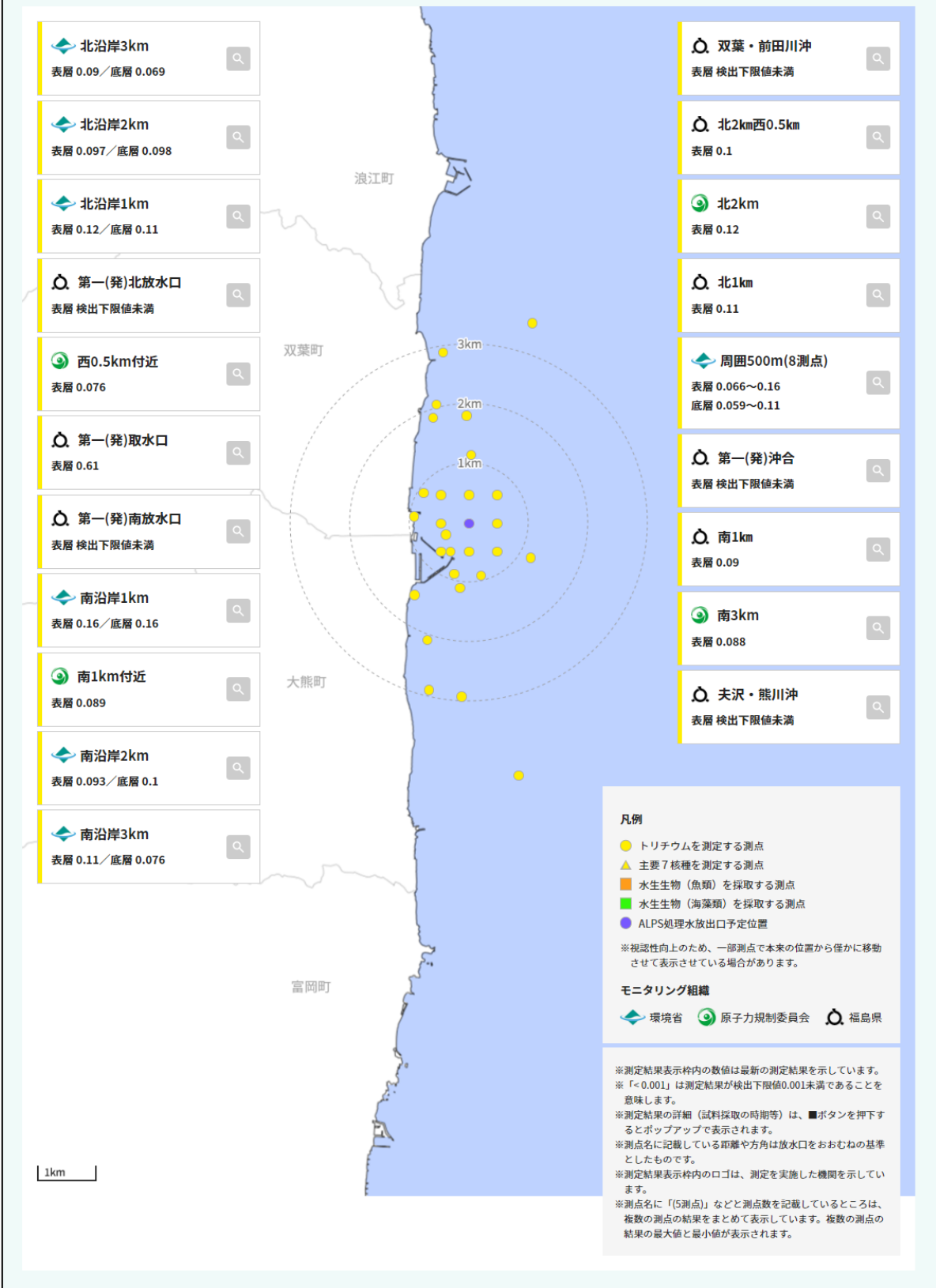


図 35 東京電力福島第一原子力発電所周辺 約 3 km 圏内(海水トリチウム)の調査結果

東京電力福島第一原子力発電所周辺 約3km圏内（その他）

最終更新日：2023年2月28日

（単位：Bq/L、水生生物（海藻類）のみBq/kg生）

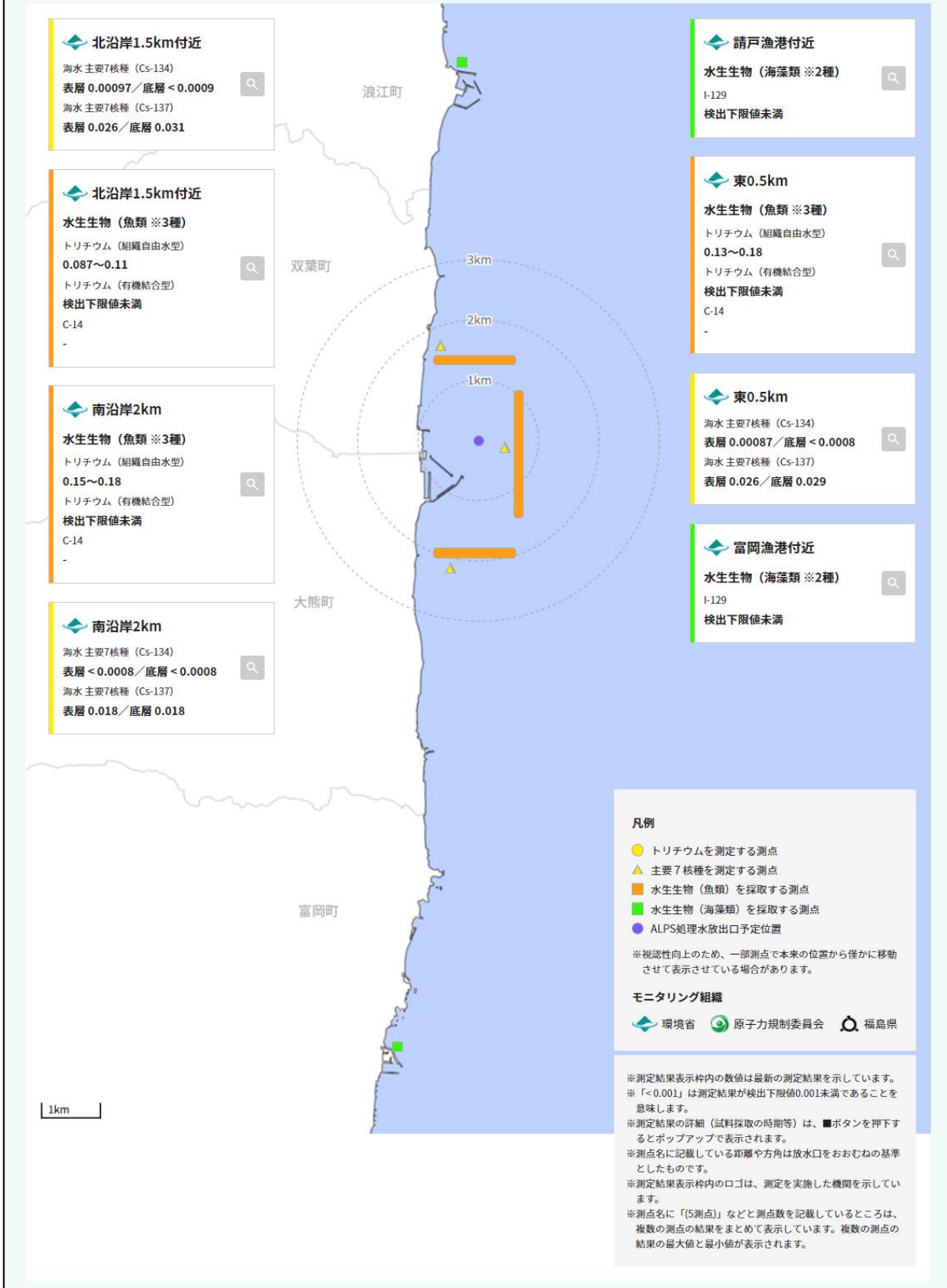


図 36 東京電力福島第一原子力発電所周辺 約 3 km 圏内(その他)の調査結果



ALPS Treated Water Marine Monitoring Information

Home | Most recent monitoring results | Detailed monitoring results

Mar. 2023 Open the ALPS Treated Water Marine Monitoring information website for English.

To carry out safe and steady decommissioning of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (FDNPS) of the Tokyo Electric Power Company (TEPCO), it is necessary to discharge of water that has been treated by the Advanced Liquid Processing System (ALPS)\* and stored on the premises of the power station. Thus, in April 2021, the Government of Japan decided to discharge ALPS treated water into the sea, provided that safety was ensured and thorough countermeasures against rumors were taken.

Various measures related to ALPS treated water are being taken. Among these, monitoring to determine the status of radioactive materials in the marine environment is being conducted under the auspices of the Ministry of the Environment.

This website consolidates the monitoring results for tritium and other radioactive materials conducted by the Ministry of the Environment and relevant administrative organs.

\* "ALPS treated water" refers to water containing radioactive materials in the buildings of the FDNPS that has been purified of all radioactive materials except tritium and meets safety standards. The water is greatly diluted with seawater before disposal. Also, before the water is discharged, the tritium concentration has been lowered until it is significantly below the regulatory standard, as confirmed by TEPCO and third-party organizations.

### Benchmark tritium value and the ambient tritium concentration range

Tritium, also called "hydrogen-3," is a radioactive isotope of hydrogen. Because tritium is regularly created when radiation from outer space (cosmic radiation) collides with nitrogen and oxygen in Earth's atmosphere, it is found everywhere on Earth, not only in atmospheric water vapor, rainwater, seawater, and tap water but also in our bodies.

#### Benchmark values for tritium in Japan and internationally

WHO Standards for Drinking Water	TEPCO ALPS Treated Water Discharge Standards	Regulatory Standards of Tritium for safety
10,000 Bq/L	1,500 Bq/L	60,000 Bq/L
<a href="#">See here for details [PDF 246KB]</a> *Japanese Only	<a href="#">See here for details [PDF 566KB]</a> *Japanese Only	<a href="#">See here for details [PDF 629KB]</a> *Japanese Only

#### Ambient tritium concentration range

Seawater	Tap Water	Rainwater (precipitation)
20 Bq/L or less	1.2 Bq/L or less	7.3 Bq/L or less
<a href="#">See here for details [PDF 666KB]</a> *Japanese Only		

\* The range of tritium concentrations in the monitoring results from April 2015 to January 2022 in the Environmental Radiation Database.

図 39 日本語版ウェブサイトを基に作成、公開した英語版ウェブサイト

#### 4.5 学識経験者による検討会

モニタリングの実施状況や結果等について確認・助言を得るため、環境省が選定する学識経験者7名からなるALPS処理水に係る海域モニタリング専門家会議(以下、「専門家会議」という。)を4回開催し、次の業務を実施した。各回の議事次第及び出席者一覧を別紙5に示す。なお、新型コロナウイルス感染症の状況等を踏まえウェブ会議形式で開催した。

##### 4.5.1 運営

専門家会議の開催にあたり、環境省からの連絡を受け、日程の調整、会場の確保、設備の手配を行うとともに、設備等に係る諸経費や出席した委員への謝金支払いを会議の都度行った。また、専門家会議で使用する資料として、本モニタリング業務における試料採取及び分析測定方法やモニタリングの実施状況等について資料を作成し、会議の開催通知及び会議資料の配付を行った。

##### 4.5.2 開催

専門家会議の動画をインターネット上でのライブ配信するために会場の設営等の支援を行った。また、議事録作成のために速記会社を手配するとともに、専門家会議終了後には出席者に確認を行い、議事録を作成した。

##### 4.5.3 試料採取立会い

モニタリング結果の客観性・透明性・信頼性の確保に係る取組として、専門家会議委員の試料採取の立会いの支援を実施した。委員が立会った試料採取は次のとおりである。

- ・2022年6月17日 プレ調査(藻場調査)
- ・2022年6月22日 第1回調査(海水採取)
- ・2023年1月13日 第3回調査(水生生物採取)

#### 4.6 業務打合せ

業務開始にあたり業務実施計画書を作成し環境省へ提出した。

環境省担当官と業務開始時に打ち合わせを実施するとともに、週1回程度の頻度で随時打ち合わせを行った。なお、新型コロナウイルス感染症の状況を踏まえ、打ち合わせは基本的にオンライン会議で実施した。

#### 4.7 国際原子力機関(IAEA)によるモニタリング結果裏付け対応

IAEA の協力のもと、環境省及び TEPCO によるモニタリング結果の一部を裏付けるために行われる分析機関間比較(以下「IAEA-ILC※」という。)を実施した。モニタリング結果の信頼性や妥当性を確認するために、同一試料を国内のモニタリング実施機関、IAEA 及び第三国の分析機関が独自に分析を実施し、得られる分析結果を相互に比較、評価を実施する。

IAEA-ILC において、IAEA 専門家等の移動等を含む手配や連絡調整、本事業の一部の採取測点での採取立会い及び必要な前処理の作業立会いに係る対応を行った。併せて、IAEA 専門家等による立会い時には、採取及び前処理に関する説明や質問に対する支援も実施した。加えて、国内分析機関への試料の搬送を実施し、国外機関への搬送については、IAEA が手配した輸送業者に試料を引き渡した。なお、IAEA による輸送の手配に時間を要したため、一部機関については国外機関へ搬送の準備のみ行い、環境省担当官の指示により環境省に引き渡した。

なお、IAEA-ILC で採取した水生生物(魚類及び海藻類)は、第 2 回調査用試料として併用し、分析測定方法は本事業で採用している方法で実施した。

試料採取や前処理作業に立会った IAEA 専門家等の所属機関を表 25 に示す。

本報告書では、本事業に係る IAEA-ILC の内容について記載し、TEPCO によるモニタリングに係る IAEA-ILC については、IAEA 専門家等の採取及び前処理立会いへの同行等の対応についてのみ記載する。

※ILC:Inter-Laboratory Comparison

表 25 IAEA 専門家等の所属機関

所 属
IAEA Marine Environment Laboratories
Korea Institute of Nuclear Safety, Korea
Radiation and Nuclear Safety Authority, Finland

##### 4.7.1 試料の採取及び IAEA 専門家等の立会い対応

環境省のモニタリングにおける IAEA 専門家等による採取立会いは、2022 年 11 月 9 日(水)に実施した。IAEA-ILC において対象とした試料は、測点 E-SF3 で採取した魚類及び E-SW2 (富岡漁港)で採取した海藻類とした(採取測点の位置は図 2 参照)。魚類の採取については監視船※から、海藻類の採取については岸壁から、それぞれの採取状況を確認した。また、採取試料の陸揚げ後、採取した試料の確認を行った。

※魚類の採取においては、採取を行う採取船と採取時における安全等を確認する監視船の 2 隻を備船した。



IAEA 専門家等の立会い時の写真を図 40 に、採取した魚類及び海藻類の詳細を表 26 に示した。

なお、TEPCO によるモニタリングに係る採取立会い又は確認は、富岡漁港及び東京パワーテクノロジー株式会社 福島テクニカルセンター(以下「TPT」という。)にて実施した。TEPCO 担当者が、富岡漁港にて海藻類の採取状況等の説明を、TPT にて動画による魚類の採取状況等の説明を実施した。

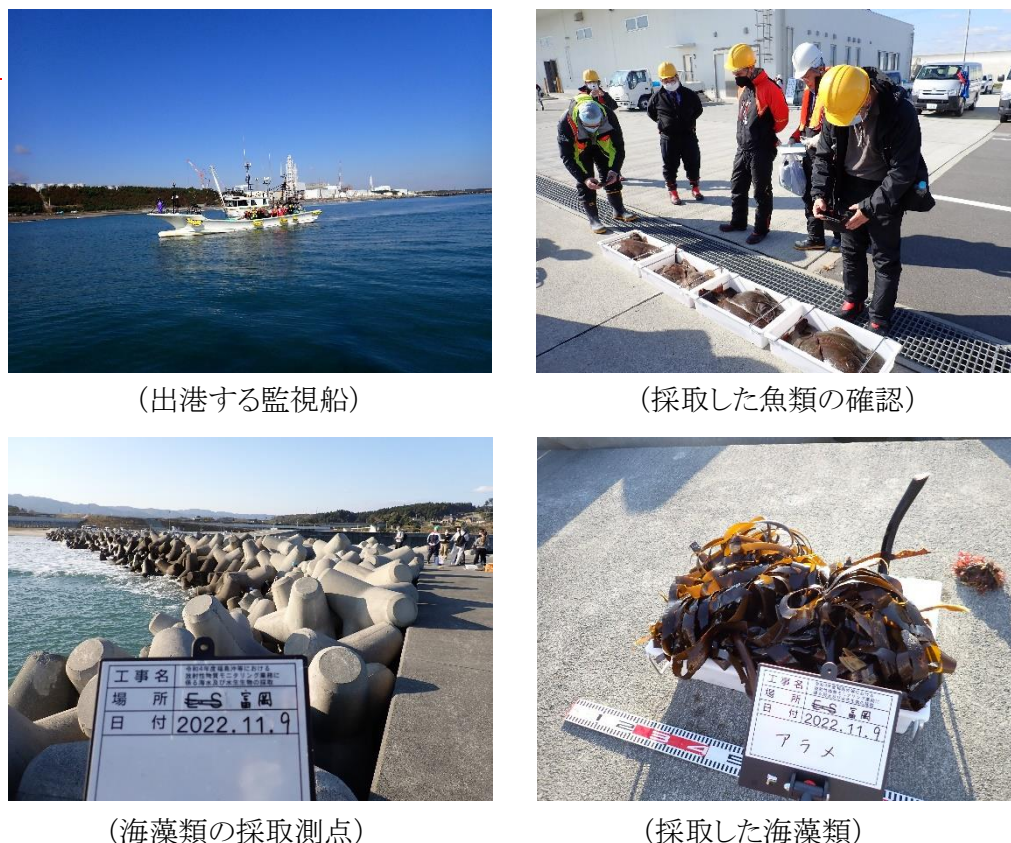


図 40 IAEA 専門家等による採取立会いの様子

表 26 環境省分試料の試料種ごとの採取地点と分析核種

対象物	試料種	試料数	採取量 (kg)	採取測点	対象核種
水生生物 (魚類)	ヒラメ	1	21.2	E-SF3 共同漁業権境界南側	組織自由水トリチウム
					有機結合型トリチウム
					炭素14
水生生物 (海藻類)	アラメ	1	6.6	E-SW2 富岡漁港	ヨウ素129

#### 4.7.2 試料の前処理等及び IAEA 専門家等の立会い対応

採取した試料について、各参加分析機関において分析を行うために必要な前処理を IAEA 専門家等の立会いのもと、公益財団法人 日本分析センター(以下「日本分析センター」とい

う。)にて、2022年11月11日(金)に実施した。IAEA 専門家等の前処理立会い時の様子を図41に示す。前処理を施した試料は、冷凍保管を行いIAEA が手配した輸送業者に試料を引き渡した。なお、IAEA による輸送の手配に時間を要したため、一部機関については国外機関へ搬送の準備のみ行い、環境省担当官の指示により環境省に引き渡した。

表26に示した試料の国内のモニタリング実施機関は日本分析センターであり、IAEA 専門家等の立会い終了後に、凍結乾燥による水試料と乾物試料に分離する前処理を実施した。なお、当該試料は第2回調査用試料として併用しているので、分析結果は、「4.2.2 水生生物(魚類及び海藻類)」を参照のこと。

なお、TEPCO によるモニタリングにおける前処理立成いは、採取立成いの当日に、TPT にて実施した。



図41 立成い時の前処理状況

#### 4.7.3 連絡調整

IAEA 専門家等と共同で試料の採取等を行うにあたり、次の連絡・調整を行った。

- ・試料の採取等の日程について、環境省からの連絡を受け、採取機材、船等の準備・手配に係る連絡及び調整を行った。
- ・港、乗船場所、下船場所、サンプリングルート等に係る必要な連絡及び調整を行った。
- ・マイクロバスの手配等、IAEA 専門家等の移動の手配に係る連絡及び調整を行った。