

令和 4 年度
原子力施設等防災対策等委託費及び
放射性物質測定調査委託費
(総合モニタリング計画に基づく放射能調査) 事業

調査報告書

令和 5 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及び放射性物質測定調査委託費（総合モニタリング計画に基づく放射能調査）事業は、令和3年度まで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）事業において、東京電力（現 東京電力ホールディングス）株式会社福島第一原子力発電所（以下、「東電福島第一原発」という）事故に伴う影響把握を目的として、宮城県、福島県及び茨城県の太平洋側で平成22年度から実施されてきた海域モニタリングと、放射性物質測定調査委託費（東京湾環境放射能調査）事業として東京湾において実施されてきた海域モニタリングから構成され、原子力規制委員会原子力規制庁が所管する新規事業として令和4年度より開始された。

令和4年度は、公益財団法人海洋生物環境研究所が原子力規制委員会原子力規制庁から令和4年度原子力施設等防災対策等委託費及び放射性物質測定調査委託費（総合モニタリング計画に基づく放射能調査）事業を委託事業として受託し、次の調査等を実施した。

1. 福島県周辺海域及び東京湾における海域モニタリング
2. 補完・解析・文献調査等
3. 調査結果等の説明・報告
4. 本事業で得られた関連試料の保管・管理

これらのうち、福島県周辺海域及び東京湾における海域モニタリングでは、東電福島第一原発事故による放射性物質の影響を把握するため、宮城県から千葉県の沿岸沖に設けた沖合海域及び外洋海域、並びに東電福島第一原発前面に設けた近傍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、併せてそれらの推移を把握するための調査を実施した。また、東電福島第一原発事故に由来する放射性物質の流入や沈着等の状況について、東京湾内に設けた測点において、海水、表層海底土及び柱状海底土試料を採取し、放射性セシウム（ ^{134}Cs ・ ^{137}Cs ）濃度を把握するための調査を実施した。

補完・解析・文献調査等では、海域モニタリング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、併せて放射性核種の海洋環境における移行や拡散に関する文献調査を行った。

調査の実施、結果の解析・評価に当たり、環境放射能を専門とする有識者や漁業関係者等から構成した「総合モニタリング計画に基づく放射能調査検討委員会」を設け、指導・助言を得て、総合的に取りまとめた。

調査結果等の説明・報告では、本事業の計画や事業で得られた結果を用いて事業開始時にそれぞれ地方自治体や漁業関係団体等の関係機関への説明を行うとともに、併せて海域モニタリングの評価に必要な資料等を作成し、関係機関等に調査結果の報告を行った。

本事業で得られた関連試料の保管・管理では、前述した2事業において前年度までに採取した試料のうち、予備として採取したものや放射能分析に供した後の残試料と併せて、倉庫にて適切に保管・管理を行った。保管期間を経過した試料については、委託元に確認の上で適切に廃棄を行った。

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

本事業の実施と調査結果をとりまとめるに当たっては、委託元である原子力規制委員会原子力規制庁のご担当者様をはじめ、総合モニタリング計画に基づく放射能調査検討委員会の委員各位より、ご指導やご助言を賜りました。また、地方自治体や漁業関係団体の皆様、そして試料採取や放射能分析の実施機関におかれましては本事業の趣旨をご理解いただき、多くの方々より快くご協力を賜りました。ここに深く感謝いたします。

令和5年3月

公益財団法人海洋生物環境研究所

理事長 保科 正樹

目次

1. 福島県周辺海域及び東京湾における海域モニタリング	1
1-1. はじめに	1
1-2. モニタリング試料の採取	1
1-2-1. 対象海域	1
1-2-2. 福島県周辺海域試料採取	1
1-2-3. 東京湾試料採取	6
1-3. 放射性核種の分析	9
1-3-1. 分析対象放射性核種	9
1-3-2. 試料分析	9
1-3-3. データ解析	12
1-3-4. 品質の保証	13
1-4. モニタリング結果	16
1-4-1. 福島県周辺海域	16
1-4-2. 東京湾	35
1-5. 引用文献	61
2. 補完・解析・文献調査等	63
2-1. 福島県周辺海域	63
2-1-1. 海水	63
2-1-2. 海底土	66
2-1-3. 引用文献	76
2-2. 東京湾	78
2-2-1. 海水	78
2-2-2. 海底土	86
2-2-3. 湾内及び流入河川で漁獲された水産物の ^{134}Cs ・ ^{137}Cs 濃度	93
2-2-4. 引用文献	95
2-3. まとめ	98

3. 調査結果に関する評価及び関係機関への説明	100
3-1. 調査結果に関する評価	100
3-2. 関係機関への説明	102
4. 試料等の引き継ぎ、保管及び管理	102

資料編

- 資料 1 海水試料に含まれる放射性核種の放射能分析結果 近傍海域
- 資料 2 海水試料に含まれる放射性核種の放射能分析結果 沖合海域
- 資料 3 海水試料に含まれる放射性核種の放射能分析結果 外洋海域
- 資料 4-1 海底土試料に含まれる放射性核種の放射能分析結果 沖合海域
- 資料 4-2 海底土試料に含まれる放射性核種の放射能分析結果 (α 線放出核種) 沖合海域
- 資料 5 海底土の色・質・生物種等 沖合海域
- 資料 6 海水試料に含まれる放射性核種の放射能分析結果 東京湾
- 資料 7 海底土試料に含まれる放射性核種の放射能分析結果 東京湾
- 資料 8 海底土試料の色・質・生物種等 東京湾
- 資料 9 海底土試料に含まれる放射性セシウムの放射能濃度の鉛直分布 沖合海域
- 資料 10 海底土試料に含まれる放射性セシウムの放射能濃度の鉛直分布 東京湾
- (参考 1) 総合モニタリング計画に基づく放射能調査における作業等の様子

1. 福島県周辺海域及び東京湾における海域モニタリング

1-1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震とこれに伴う津波によって発生した東電福島第一原発事故による放射性物質の影響を把握するため、総合モニタリング計画に従って福島県周辺海域及び東京湾において海域モニタリングを実施した。

なお、本事業は、令和 3 年度における「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」の一部及び「放射性物質測定調査委託費（東京湾環境放射能調査）事業」を一本化したものである（以下、これらを合わせて、「令和 4 年度事業」という）。

1-2. モニタリング試料の採取

1-2-1. 対象海域

令和 4 年度事業では、平成 25 年度から実施している

- ・東電福島第一原発から概ね 5 km 以内の範囲とした近傍海域

に加え、平成 23 年 3 月から実施している

- ・宮城県・金華山沖から千葉県・銚子沖にかけての沖合海域
- ・東経 142° から東経 144° までの外洋海域

を過年度から引き続いて対象海域とした。

また、「総合モニタリング計画」別紙「海域モニタリングの進め方」で定められた

- ・海上交通安全法施行令（昭和 48 年政令第 5 号第 1 条）の表に掲げられた東京湾も併せて対象海域とした。

1-2-2. 福島県周辺海域試料採取

1-2-2-1. 採水

近傍海域における調査測点は 4 測点（M-101、M-102、M-103、M-104）であり、令和 4 年 4 月から令和 5 年 3 月までの 12 か月にわたり、月に 1 回の頻度で表層（海面から約 1 m 下までの層）の海水を採取した。調査測点位置を図 1-2-1 に、緯度経度・採水層を表 1-2-1 に示す。なお、T-D1、T-D5、T-D9 は令和 3 年度まで調査を行っていた測点であり、本年度は調査の対象外であるが、解析のために過去の調査結果を引用したため、図表に含めた。設定した測点で試料採取が正確に行われているかを確認するため、全球測位衛星システム（Global Navigation Satellite System；GNSS）のうち国際海事機関（International Maritime Organization；IMO）が定める国際基準を満たしているもの（精度±10 m 以下）を用いて、設定した測点を中心とする 0.1 海里（約 180 m）以内で試料採取を行った。

沖合海域における調査測点は 32 測点であり、それらの位置を図 1-2-2 に、緯度経度・採水層を表 1-2-2 に示す。各測点において令和 4 年 5~6、8、11 月、令和 5 年 1 月の 4 回、調査を実施した。調査に際し、気象・海象条件に影響されにくく、かつ大型採水器やワイン

チ、各種観測機器等を備えた調査船舶（500トンクラス程度）を用いた。観測範囲は測点を中心とする1海里（約1,800m）以内とし、海技士免状を有する者の助言を受けてGNSSにより位置を特定し、極深海音響測深機により水深情報を得た。大型バンドーン採水器（120L×3連）を用いて、全測点において表層（海面から1m下）と下層（海底面から概ね10～40m上）の2層から採水した。これに加えて、いくつかの測点において中間層（50m層又は100m層）で採水した（表1-2-2参照）。この際、3連で採取した海水が同一の深度から採水したことを担保するため、使用した採水容器間の水温差が0.2°C以内であることを確認した。採水深度は繰り出したワイヤの長さ、音響測深機・魚群探知機等の複数の方法により決定した。また、採水器に取り付けられた深度、水温、塩分を連続的に記録する観測機器により、採水深度に誤りがないことを確認した。

外洋海域における調査測点は10測点であり、それらの位置を図1-2-2に、緯度経度・海水採取層を表1-2-3に示す。各測点において令和4年6月と12月の2回実施した。大型調査船舶（1,000トンクラス程度）を用い、測点を中心とする1海里（約1,800m）内で採水した。採水の位置や深度の確認については、沖合海域と同様の手法をとった。海水試料は全測点において、ニスキン採水器（10L×12連または10L×24連）を用いて表層（海面から1m下）、100、200、300、500mの計5層から採取した。採水後、沖合海域同様、採水容器間の水温差（0.2°C以内）と、採水器に取り付けられた観測機器による深度確認を行った。

採取した海水は、⁹⁰Sr、¹³⁴Cs、¹³⁷Csの放射能分析用として容量20Lのフレキシブル成形型液体容器にろ過をせず分取した。分取量は近傍海域では6個計120L、沖合・外洋海域では4個計80Lとした。この際、目的とする放射性核種の器壁への吸着を防ぐため、海水1L当たり1mLの濃硝酸を添加したのち十分に混合して硝酸酸性とした。トリチウム分析用として別途ポリエチレン製容器に2L分取し、酸を添加せずに分析を開始するまで冷暗所で保存した（本事業では令和5年1月までに採取した試料と、令和3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）事業で令和4年2、3月に採取した試料を分析対象とした）。また、全ベータ放射能の分析用として、5Lポリ容器に分取し、濃塩酸を10mL添加（海水1Lあたり2mLの濃塩酸を添加）した。

1-2-2-2. 採泥

沖合海域の採水を行った調査測点（全32測点）において、令和4年5～6、8、11月、令和5年1月の4回、海底土を採取した。緯度経度・採取層を表1-2-2に示す。

全測点においてマルチプルコアラーを用いた採泥を行い、表面から深さ3cmまでの層を分け取り、湿重量で約2kgを目安として採取した。その後、目視・触手確認により泥色と粒径を記録し、必要量を分取して、ビニール袋に入れたのちプラスチック製容器に収納し、冷凍保管とした。

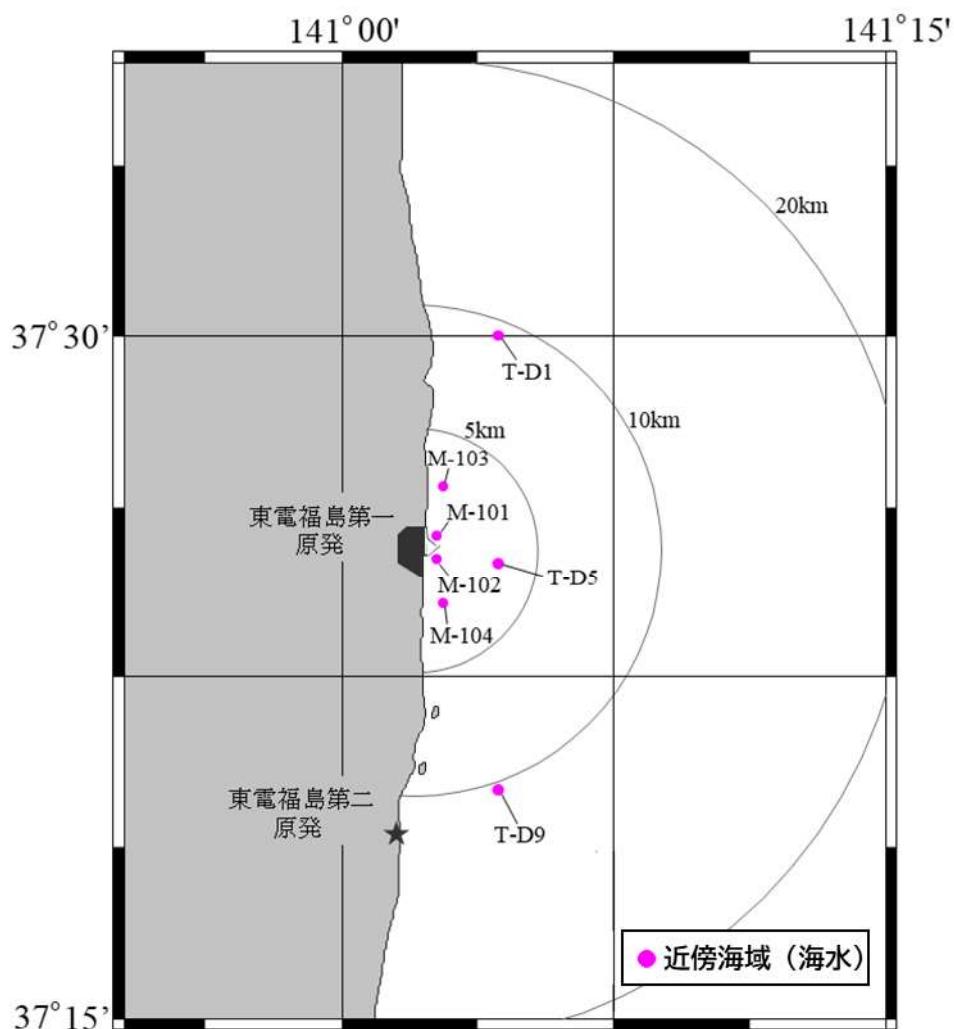


図 1-2-1 近傍海域における採取測点

(注) T-D1、T-D5、T-D9 は令和 3 年度まで調査を行っていた測点である。

表 1-2-1 近傍海域の試料採取測点の緯度経度・採取層

測点	緯度（北緯）		経度（東経）		採取層
M-101	37°	25.6'	141°	02.6'	表層
M-102	37°	25.1'	141°	02.6'	表層
M-103	37°	26.7'	141°	02.8'	表層
M-104	37°	24.1'	141°	02.8'	表層
T-D1	37°	30.0'	141°	04.3'	表層
T-D5	37°	25.0'	141°	04.3'	表層
T-D9	37°	20.0'	141°	04.3'	表層

(注) T-D1、T-D5、T-D9 は令和 3 年度まで調査を行っていた測点である。

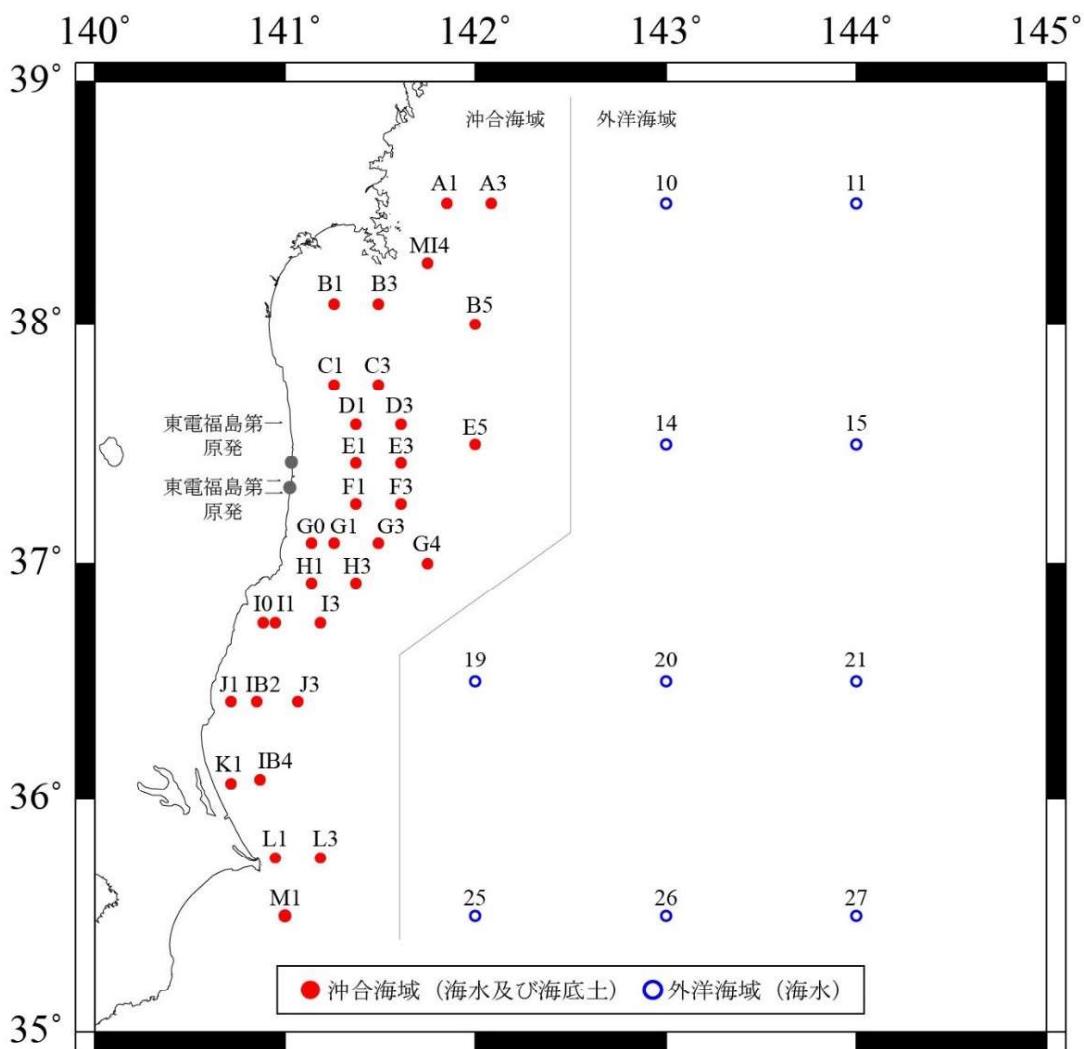


図 1-2-2 沖合・外洋海域における採取測点

(注) 測点番号の「M-」を省く。

表 1-2-2 沖合海域の試料採取測点の緯度経度・採取層

測点	採取測点位置		採取層			
	緯度（北緯）	経度（東経）	海水試料		海底土試料	
M-A1	38° 30.0'	141° 51.0'	表層	100 m 層	下層	表面から 0~3 cm
M-A3	38° 30.0'	142° 05.0'	表層	100 m 層	下層	表面から 0~3 cm
M-MI4	38° 15.0'	141° 45.0'	表層	100 m 層	下層	表面から 0~3 cm
M-B1	38° 05.0'	141° 15.4'	表層	— ^{*1}	下層	表面から 0~3 cm
M-B3	38° 05.0'	141° 29.4'	表層	50 m 層	下層	表面から 0~3 cm
M-B5	38° 00.0'	142° 00.0'	表層	100 m 層	下層	表面から 0~3 cm
M-C1	37° 45.0'	141° 15.4'	表層	—	下層	表面から 0~3 cm
M-C3	37° 45.0'	141° 29.4'	表層	50 m 層	下層	表面から 0~3 cm
M-D1	37° 35.0'	141° 22.4'	表層	50 m 層	下層	表面から 0~3 cm
M-D3	37° 35.0'	141° 36.4'	表層	100 m 層	下層	表面から 0~3 cm
M-E1	37° 25.0'	141° 22.4'	表層	50 m 層	下層	表面から 0~3 cm
M-E3	37° 25.0'	141° 36.4'	表層	100 m 層	下層	表面から 0~3 cm
M-E5	37° 30.0'	142° 00.0'	表層	100 m 層	下層	表面から 0~3 cm
M-F1	37° 15.0'	141° 22.4'	表層	—	下層	表面から 0~3 cm
M-F3	37° 15.0'	141° 36.4'	表層	100 m 層	下層	表面から 0~3 cm
M-G0	37° 05.0'	141° 08.4'	表層	50 m 層	下層	表面から 0~3 cm
M-G1	37° 05.0'	141° 15.4'	表層	—	下層	表面から 0~3 cm
M-G3	37° 05.0'	141° 29.4'	表層	100 m 層	下層	表面から 0~3 cm
M-G4	37° 00.0'	141° 45.0'	表層	100 m 層	下層	表面から 0~3 cm
M-H1	36° 55.0'	141° 08.4'	表層	—	下層	表面から 0~3 cm
M-H3	36° 55.0'	141° 22.4'	表層	100 m 層	下層	表面から 0~3 cm
M-I0	36° 45.0'	140° 53.0'	表層	—	下層	表面から 0~3 cm
M-I1	36° 45.0'	140° 57.0'	表層	50 m 層	下層	表面から 0~3 cm
M-I3	36° 45.0'	141° 11.0'	表層	100 m 層	下層	表面から 0~3 cm
M-J1	36° 25.0'	140° 43.0'	表層	—	下層	表面から 0~3 cm
M-J3	36° 25.0'	141° 04.0'	表層	100 m 層	下層	表面から 0~3 cm
M-IB2	36° 25.0'	140° 51.0'	表層	—	下層	表面から 0~3 cm
M-K1	36° 04.0'	140° 43.0'	表層	—	下層	表面から 0~3 cm
M-IB4	36° 05.0'	140° 52.0'	表層	—	下層	表面から 0~3 cm
M-L1	35° 45.0'	140° 57.0'	表層	—	下層	表面から 0~3 cm
M-L3	35° 45.0'	141° 11.0'	表層	100 m 層	下層	表面から 0~3 cm
M-M1	35° 30.0'	141° 00.0'	表層	—	下層	表面から 0~3 cm

*1 「—」は試料採取対象外を示す。

表 1-2-3 外洋海域の試料採取測点の緯度経度・採取層

測点	採取測点位置		採取層				
	緯度（北緯）	経度（東経）	表層	100 m 層	200 m 層	300 m 層	500 m 層
M-10	38° 30.0'	143° 00.0'	表層	100 m 層	200 m 層	300 m 層	500 m 層
M-11	38° 30.0'	144° 00.0'	表層	100 m 層	200 m 層	300 m 層	500 m 層
M-14	37° 30.0'	143° 00.0'	表層	100 m 層	200 m 層	300 m 層	500 m 層
M-15	37° 30.0'	144° 00.0'	表層	100 m 層	200 m 層	300 m 層	500 m 層
M-19	36° 30.0'	142° 00.0'	表層	100 m 層	200 m 層	300 m 層	500 m 層
M-20	36° 30.0'	143° 00.0'	表層	100 m 層	200 m 層	300 m 層	500 m 層
M-21	36° 30.0'	144° 00.0'	表層	100 m 層	200 m 層	300 m 層	500 m 層
M-25	35° 30.0'	142° 00.0'	表層	100 m 層	200 m 層	300 m 層	500 m 層
M-26	35° 30.0'	143° 00.0'	表層	100 m 層	200 m 層	300 m 層	500 m 層
M-27	35° 30.0'	144° 00.0'	表層	100 m 層	200 m 層	300 m 層	500 m 層

1-2-3. 東京湾試料採取

東京湾における調査測点は 23 測点であり、それらの位置を図 1-2-3 に、緯度経度及び海水・海底土の採取内容を表 1-2-4 に示す。

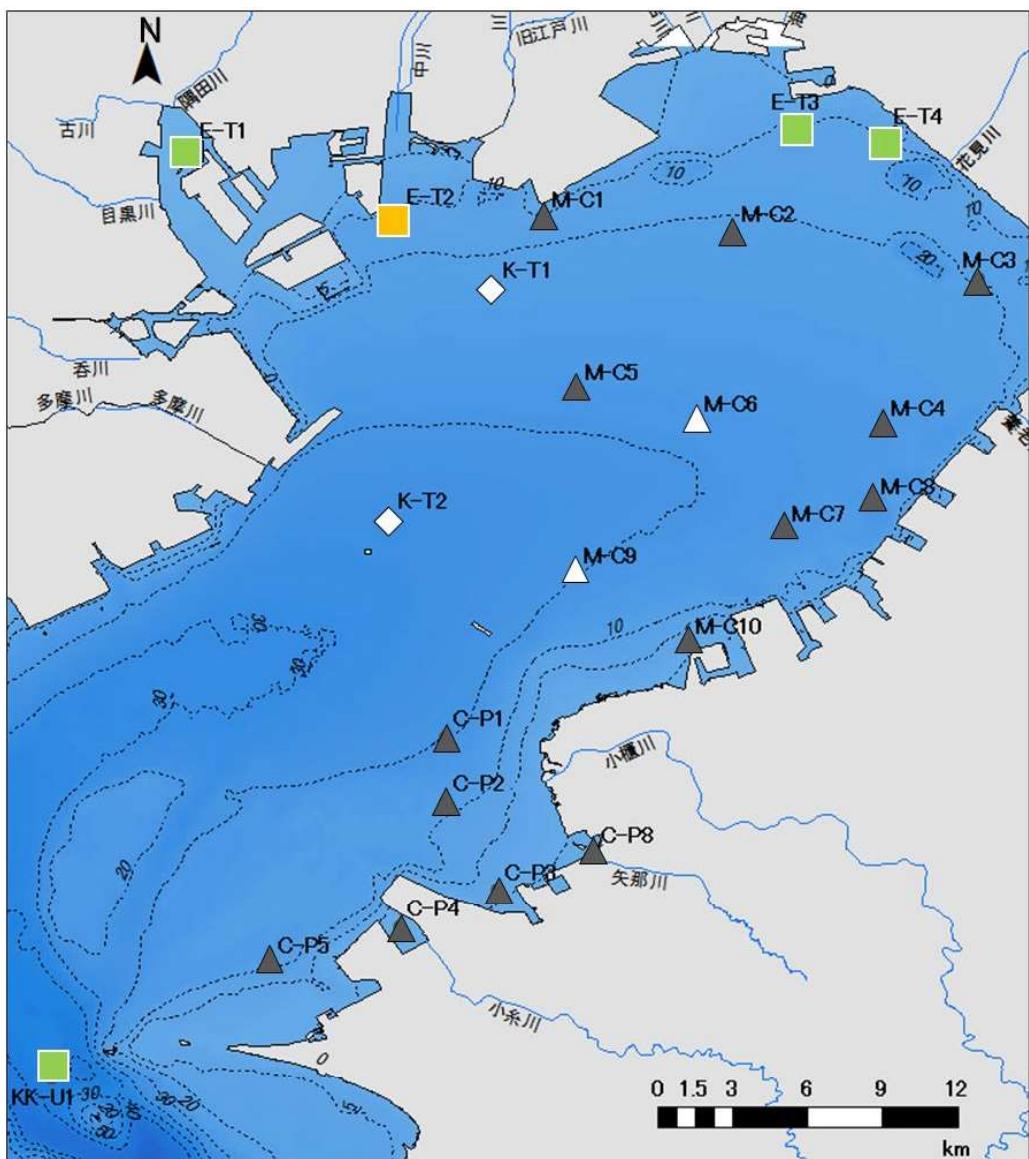
1-2-3-1. 採水

設定した測点で試料採取が正確に行われているかを確認するため、位置情報の観測には GNSS を用い、測点を中心とする 0.1 海里（約 180 m）以内を観測範囲とした。

海水試料は表層（海面から約 1 m 下までの層）から採取し、¹³⁴Cs・¹³⁷Cs の放射能分析用として容量 20 L のフレキシブル成形型液体容器（3 個）に計 60 L となるようにろ過をせずに分取した。分取時に、目的とする放射性核種の器壁への吸着を防ぐため、海水 1 L 当たり 1 mL の濃硝酸を添加したのち十分に混合して硝酸酸性とした。

1-2-3-2. 採泥

表層海底土試料は、グラブ型採泥器（採泥面積：484 cm²）を用いて採取し、採泥器内から海底土を出さずに、表面から深さ 3 cm までの層を湿重量で約 2 kg を目安として採取した。目視・触手確認により海底土の泥色と粒径を観測した後、ビニール袋に入れ、プラスチック製容器に収納し、冷凍保管した。



- ◇: 海水・海底土（年6回採取）
- △: 海水・海底土（海底土を年4回、海水を年1回採取）
- ▲: 海底土（年4回採取）
- : 海水（年1回採取）
- : 海水・海底土（年1回採取）

図 1-2-3 東京湾における海水・表層海底土試料の採取測点

表 1-2-4 東京湾の試料採取測点の緯度経度・採取層

エリア	採取測点	採取測点詳細		採取試料の種類		
		緯度	経度	海水試料	表層海底土試料	柱状海底土試料*(蓄積量)
河口域	E-T1	35° 38.2'	139° 46.3'	表層	—	—
	E-T2	35° 36.8'	139° 50.8'	表層	—	—
	E-T3	35° 38.8'	139° 59.4'	表層	—	—
	E-T4	35° 38.5'	140° 01.3'	表層	—	—
	M-C1	35° 36.7'	139° 53.9'	—	表面から0~3 cm	—
	M-C3	35° 35.4'	140° 03.3'	—	表面から0~3 cm	—
	M-C4	35° 32.2'	140° 01.2'	—	表面から0~3 cm	—
	M-C7	35° 29.9'	139° 59.1'	—	表面から0~3 cm	—
	M-C8	35° 30.5'	140° 01.0'	—	表面から0~3 cm	表面から0~20 cm
	M-C10	35° 27.5'	139° 57.0'	—	表面から0~3 cm	—
	C-P1	35° 25.5'	139° 51.8'	—	表面から0~3 cm	—
	C-P2	35° 24.1'	139° 51.8'	—	表面から0~3 cm	—
	C-P3	35° 22.2'	139° 52.9'	—	表面から0~3 cm	—
	C-P4	35° 21.4'	139° 50.8'	—	表面から0~3 cm	—
	C-P5	35° 20.6'	139° 48.0'	—	表面から0~3 cm	—
	C-P8	35° 23.0'	139° 55.0'	—	表面から0~3 cm	表面から0~20 cm
湾央	K-T1	35° 35.2'	139° 52.9'	表層	表面から0~3 cm	表面から0~20 cm
	K-T2	35° 30.2'	139° 50.6'	表層	表面から0~3 cm	—
	M-C2	35° 36.4'	139° 58.0'	—	表面から0~3 cm	—
	M-C5	35° 33.0'	139° 54.6'	—	表面から0~3 cm	—
	M-C6	35° 32.3'	139° 57.2'	表層	表面から0~3 cm	表面から0~20 cm
	M-C9	35° 29.0'	139° 54.6'	表層	表面から0~3 cm	—
湾口中央付近	KK-U1	35° 18.1'	139° 43.3'	表層	—	—

(注) 柱状海底土は令和4年8月に採取した。

1-3. 放射性核種の分析

1-3-1. 分析対象放射性核種

分析対象とする核種について、以下に示す観点に基づいて、表1-3-1のとおりに選定した。なお、自然放射性核種については本モニタリング計画には含まれていないが、顕著な濃度変化や人工放射性核種との関連の有無を探るため、参考として調査を行った。

[人工放射性核種]

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

[自然放射性核種]

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

1-3-2. 試料分析

海水・海底土試料の前処理及びこれらに含まれる放射性核種の放射能分析は、全て放射能測定法シリーズ^{※1}に基づいた方法により実施し、併せて放射能分析に係る品質の保証について、国際機関が実施する技能試験等に積極的に参加した。

1-3-2-1. 海水試料

^{134}Cs ・ ^{137}Cs については、リンモリブデン酸アンモニウム共沈法による化学分離・精製を行ったのち、高純度ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメトリーにより定量した。

^{90}Sr については、化学分離・精製したのち、 ^{90}Sr の壊変により生成した娘核種の ^{90}Y のベータ線をガスフローカウンタで測定して ^{90}Sr を定量した。

トリチウムについては、蒸留及び電解濃縮装置による濃縮・精製を行い、精製した試料溶液を有機系シンチレータと混合させ、試料溶液に含まれるトリチウムを低バックグラウンド液体シンチレーションカウンタにより定量した。

全ベータ放射能については海水試料を鉄バリウム共沈法により処理した後、ガスフローカウンタでベータ線計測を行い、全ベータ放射能を求めた。

^{※1} 放射能測定法シリーズ（全35集あり、下記はそのうちの一部である）

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

表 1-3-1 福島県周辺海域で分析対象とする放射性核種

海域	測点	海水				海底土		
		トリチウム	$^{90}\text{Sr}^{\ast 2}$	$^{134}\text{Cs}, ^{137}\text{Cs}$	全 $\beta^{\ast 2}$	^{90}Sr	$^{134}\text{Cs}, ^{137}\text{Cs}$	α 核種 ^{*3}
近傍 ^{*1}	M-101	○ ^{*2}	○	○	—	—	—	—
	M-102	○ ^{*2}	○	○	—	—	—	—
	M-103	○ ^{*2}	○	○	—	—	—	—
	M-104	○ ^{*2}	○	○	—	—	—	—
沖合	M-A1	—	—	○	—	—	○	—
	M-MI4	—	—	○	—	—	○	—
	M-A3	—	—	○	—	—	○	—
	M-B1	○ ^{*2}	—	○	—	—	○	—
	M-B3	—	○	○	—	○	○	○ ^{*5}
	M-B5	—	—	○	—	—	○	—
	M-C1	○ ^{*4}	○	○	—	—	○	—
	M-C3	○ ^{*2}	○	○	○	—	○	—
	M-D1	○ ^{*4}	○	○	—	○	○	—
	M-D3	○ ^{*2}	○	○	○	—	○	—
	M-E1	○ ^{*4}	○	○	—	○	○	○ ^{*5}
	M-E3	○ ^{*2}	○	○	○	—	○	—
	M-E5	○ ^{*2}	○	○	○	—	○	—
	M-F1	○ ^{*4}	—	○	—	○	○	—
	M-F3	○ ^{*2}	○	○	○	—	○	—
	M-G0	—	—	○	—	—	○	—
	M-G1	○ ^{*4}	—	○	—	—	○	—
	M-G3	○ ^{*2}	○	○	○	—	○	—
	M-G4	○ ^{*2}	○	○	○	—	○	—
	M-H1	○ ^{*2}	—	○	—	—	○	—
	M-H3	○ ^{*2}	○	○	○	—	○	—
	M-I0	—	○	○	—	—	○	—
	M-I1	○ ^{*2}	—	○	—	○	○	○ ^{*5}
	M-I3	—	—	○	—	—	○	—
	M-J1	—	○	○	—	○	○	—
	M-IB2	—	—	○	—	—	○	—
	M-J3	—	—	○	—	—	○	—
	M-K1	—	—	○	—	—	○	—
	M-IB4	—	—	○	—	—	○	—
	M-L1	—	—	○	—	—	○	—
	M-L3	—	—	○	—	—	○	—
	M-M1	—	—	○	—	—	○	—
外洋	10	—	—	○	—	—	—	—
	11	—	—	○	—	—	—	—
	14	—	—	○	—	—	—	—
	15	—	—	○	—	—	—	—
	19	—	—	○	—	—	—	—
	20	—	—	○	—	—	—	—
	21	—	—	○	—	—	—	—
	25	—	—	○	—	—	—	—
	26	—	—	○	—	—	—	—
	27	—	—	○	—	—	—	—

(注) ○ : 分析対象測点、— : 分析対象外

*1 分析 : 令和 4 年 2 月～令和 5 年 1 月採取分（採取時期は令和 4 年 4 月～令和 5 年 3 月）。

*2 表層のみ。

*3 ^{238}Pu 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{241}Am 、 ^{242}Cm 、 $^{243+244}\text{Cm}$ を指す。

*4 表層・下層で採取した。

*5 8 月期のみ実施した。

表 1-3-2 東京湾で分析対象とする放射性核種

海域	測点	海水		海底土					柱状海底土 ¹³⁴ Cs, ¹³⁷ Cs
		¹³⁴ Cs, ¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs, ¹³⁷ Cs	⁷ Be	⁴⁰ K	²⁰⁸ Tl	²¹⁴ Bi	²²⁸ Ac	
湾北部河口域	E-T1	○	—	—	—	—	—	—	—
	E-T2	○	—	—	—	—	—	—	—
	E-T3	○	—	—	—	—	—	—	—
	E-T4	○	—	—	—	—	—	—	—
	M-C1	—	○	○	○	○	○	○	—
	M-C3	—	○	○	○	○	○	○	—
	M-C4	—	○	○	○	○	○	○	—
	M-C7	—	○	○	○	○	○	○	—
	M-C8	—	○	○	○	○	○	○	○
	M-C10	—	○	○	○	○	○	○	—
湾南部河口域	C-P1	—	○	○	○	○	○	○	—
	C-P2	—	○	○	○	○	○	○	—
	C-P3	—	○	○	○	○	○	○	—
	C-P4	—	○	○	○	○	○	○	—
	C-P5	—	○	○	○	○	○	○	—
	C-P8	—	○	○	○	○	○	○	○
湾央	K-T1	○	○	○	○	○	○	○	○
	K-T2	○	○	○	○	○	○	○	—
	M-C2	—	○	○	○	○	○	○	—
	M-C5	—	○	○	○	○	○	○	—
	M-C6	○	○	○	○	○	○	○	○
	M-C9	○	○	○	○	○	○	○	—
湾口中央付近	KK-U1	○	—	—	—	—	—	—	—

(注) ○：分析対象測点、—：分析対象外。

1-3-2-2. 海底土試料

海底土試料の前処理として、凍結して送付された試料をバット上に移して自然解凍後、均質になるようよく混合した。次いで乾燥器を用いて 105°Cで乾燥したのち、目開き 2 mm のステンレス製ふるいを通して小石等を除いたうえで粉碎・混合し、分析試料を得た。

前処理、化学分離・精製の後に、対象とする放射性核種の定量にあたっては、検出目標レベルを考慮した測定時間に加えて、バックグラウンドの評価及び適切な校正曲線（効率曲線）等を適用して定量を行った。

¹³⁴Cs、¹³⁷Cs 及び自然放射性核種については高純度ゲルマニウム半導体検出器による gamma 線スペクトロメトリーにより定量した。

⁹⁰Sr については化学分離・精製後、壊変により生成した娘核種の ⁹⁰Y のベータ線をガスプローラウンタにより定量した。

²³⁸Pu、²³⁹⁺²⁴⁰Pu、²⁴¹Am、²⁴²Cm、²⁴³⁺²⁴⁴Cm（以下、これらの核種を総じてアルファ（α）線放出核種とする）については、化学分離・精製後に、シリコン半導体検出器を用いたアルファ線スペクトロメトリーにより定量した。

1-3-3. データ解析

1-3-3-1. 計数誤差

放射性核種が壊変する事象は統計的事象であり、放射性核種の放射能を定量するために用いる放射線計測に際しても放射性核種の壊変に伴って放出される放射線計数率の揺らぎによる計数誤差を付すことが一般的である。また、放射能測定法シリーズ（例えば、放射能測定法シリーズ 7「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」解説資料参照）にその方法が示されている。

本事業においても、放射能分析の定量結果に付す誤差については、正味の計数値から算出した放射能の計数誤差を誤差として付して解析等に資することとした。

なお、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」（令和 2 年 9 月改訂）によると、計数に係る不確かさ（uncertainty due to counting statistics）について、慣例的に計数誤差（counting error）という用語が用いられ、計数 n に対して予測される誤差は標準偏差 σ で、 $\sigma = \sqrt{n}$ と表される。

通常、測定値は $n \pm \sigma$ と記されるとあり、本事業においてもこれに準ずることとした。なお、ガンマ線スペクトロメトリーでは上記の方法に準じて CANBERRA 社製スペクトルエクスプローラ及びガンマエクスプローラにより算出された計数誤差を示している。

1-3-3-2. 検出下限値

環境試料に含まれる放射性核種の放射能分析において、放射能が有意に検出できなくなる濃度を検出下限値と呼んでいる。

本事業では、放射性核種の放射能を定量する際に実施する放射線計測において、バックグラウンドを差し引いた正味の計数値が計数誤差の 3 倍を超えた場合に放射性核種が検出されたと判定し、計数誤差の 3 倍に等しい時の放射性核種の放射能やその値を検出下限値としている^{※1}。なお、ガンマ線スペクトロメトリーでは上記の方法に準じて CANBERRA 社製スペクトルエクスプローラ及びガンマエクスプローラにより算出されたものを検出下限値としている。

しかし、試料に含まれる放射能やその濃度の検出下限値は測定環境（特にバックグラウンド）、放射能分析のために供した試料の量、放射線検出器の計数効率等により試料の測定毎に計算されるため、一つの値として示すことができない。

※1 放射能測定法シリーズ 7「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」（令和 2 年 9 月改訂）（12 ページ参照）に準じた考え方で、計数値に付す誤差は計数誤差となるもの。放射性核種の壊変に伴う放射線の計数値はポアソン分布となり、その計数値（ポアソン分布）の標準偏差は計数値の平方根になることが示されている。また、検出されたか否かの判定については「計数誤差の 3 倍を超えているか否かで行われることが一般的である。」とされ、本事業においてもこれに準ずることとした（同 56 ページ参照）。

そこで、設定すべき検出下限値の目安として、過去に実施した経験から、同様の試料の分析・測定で得られた検出下限値の実測例を参考として検出目標レベルを定めることとした。この検出目標レベルについて、一連の放射能分析方法とともに表 1-3-3、1-3-4 に示す。

1-3-3-3. 減衰補正

濃度の減衰補正是、全核種を対象とし、放射能測定法シリーズの考え方^{※1}に基づいて放射能が検出された場合にのみ行うこととした。なお、 $^{239+240}\text{Pu}$ については、 ^{239}Pu の物理学的半減期に基づく減衰補正を行った。

また、自然放射性核種については同シリーズ記載のとおり、天然の放射性壊変系列^{※2}（いわゆるウラン系列やトリウム系列等）に属する放射性核種（例えば、 ^{208}Tl 、 ^{214}Bi 、 ^{228}Ac 等）について、原則として測定終了時の値とした^{※3}。

1-3-4. 品質の保証

放射能分析に係る品質保証活動の一環として、

- ・国際原子力機関（International Atomic Energy Agency；IAEA）が主催・実施する技能試験（Proficiency Test；PT）への参加
- ・IAEA が主催・実施する分析機関間比較（Inter-Laboratory Comparisons；ILC）への参加
- ・公益社団法人日本分析化学会等の学術団体が実施する技能試験への参加等を通じて放射能分析の維持・向上を図った。

これらの放射能分析の際には標準試料（認証物質あるいは所内標準物質等、その分析値が既知である試料）を用いた並行分析及び同一試料の重複分析等も併せて実施した。IAEA が主催・実施した技能試験（Proficiency Test 2021）では、トリチウム、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs の分析・測定を行い、「Accepted」の評価^{※4}を受けた。また、IAEA が 2021 年に別途主催した分析機関間比較において、「海水中のトリチウム、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs の分析について、引き続き高い正確性と能力を有している」の評価を受けた。両試験の結果は、のちに IAEA の公式報告書として IAEA から公表される予定である。また、公益社団法人日本分析化学会が実施する

^{※1} 放射能測定法シリーズ 7 「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」（令和 2 年 9 月改訂）（176 ページ参照）に記載されたとおり。

^{※2} 「放射性壊変系列」という用語については、「アイソトープ手帳 12 版（公益社団法人日本アイソトープ協会編集発行、2020 年 3 月（丸善出版株式会社））」より引用。

^{※3} 本事業では、これらの系列に属さない ^{7}Be について原則として減衰補正を実施した。

^{※4} 国際原子力機関（IAEA）が実施する海水試料を用いた Proficiency Test での評価については、「Accepted」「Warning」「Not accepted」の 3 つがあり、Accuracy（真値にどれだけ近いかを表す正確度）、Precision（複数回分析をした際のばらつきを表す精度）、そして、Trueness（測定結果の偏りを表す真度）により判定される。なお、「Accepted」の要件はこの 3 つをすべてクリアする必要がある。詳しくは現時点で最新となる Proficiency Test の公式報告書（IAEA Analytical Quality in Nuclear Applications Series No. 58, IAEA-RML-2016-01 Proficiency Test for Determination of Radionuclides in Sea Water）を参照。

技能試験では⁴⁰K、¹³⁴Cs、¹³⁷Csの分析・測定を行い、「合格」の評価を受けた。

表 1-3-3 福島県周辺海域における各試料の分析・測定方法及び検出目標レベル

試料の種類	海域	分析・測定方法	対象核種	分析供試量*	総合モニタリング計画における検出下限値	本事業における検出目標レベル
海水試料	近傍海域	・リンモリブデン酸アンモニウム共沈法 ・高純度ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー	¹³⁴ Cs ¹³⁷ Cs	60 L	1 mBq/L	0.9 mBq/L
		・陽イオン交換樹脂カラム法 ・ガスフローカウンタによるベータ線計測	⁹⁰ Sr		1 mBq/L	0.5 mBq/L
		・電解濃縮法 ・液体シンチレーションカウンタによるベータ線計測	トリチウム	40 L	1 mBq/L	0.9 mBq/L
		・リンモリブデン酸アンモニウム共沈法 ・高純度ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー	¹³⁴ Cs ¹³⁷ Cs	40 L	1 mBq/L	0.8 mBq/L
	沖合海域	・陽イオン交換樹脂カラム法 ・ガスフローカウンタによるベータ線計測	⁹⁰ Sr		1 mBq/L	0.5 mBq/L
		・電解濃縮法 ・液体シンチレーションカウンタによるベータ線計測	トリチウム	820 mL	100 mBq/L	50 mBq/L
		・鉄・バリウム共沈法 ・ガスフローカウンタによるベータ線計測	全β放射能	2 L	—	10 mBq/L
		・リンモリブデン酸アンモニウム共沈法 ・高純度ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー	¹³⁴ Cs ¹³⁷ Cs	60 L	1 mBq/L	1 mBq/L
	外洋海域				1 mBq/L	0.6 mBq/L

* 分析供試量については目安の量を示す。

表 1-3-3 福島県周辺海域における各試料の分析・測定方法及び検出目標レベル（続き）

試料の種類	海域	分析・測定方法	対象核種	分析供試量	総合モニタリング計画における検出下限値	本事業における検出目標レベル
海底土	沖合海域	<ul style="list-style-type: none"> ・105°Cで約3日間乾燥後、2mm孔径のふるいわけ ・高純度ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー 	¹³⁴ Cs	400 g	1 Bq/kg-乾燥土	0.6 Bq/kg-乾燥土
			¹³⁷ Cs		1 Bq/kg-乾燥土	0.6 Bq/kg-乾燥土
		<ul style="list-style-type: none"> ・105°Cで約3日間乾燥後、2mm孔径のふるいわけ ・シュウ酸塩法またはイオン交換法 ・ガスフローカウンタによるペータ線計測 	⁹⁰ Sr	150 g	0.2 Bq/kg-乾燥土	0.1 Bq/kg-乾燥土
			²³⁸ Pu		0.01 Bq/kg-乾燥土	0.01 Bq/kg-乾燥土
		<ul style="list-style-type: none"> ・105°Cで約3日間乾燥後、2mm孔径のふるいわけ ・陽イオンあるいは陰イオン交換樹脂カラム法 ・シリコン半導体検出器によるアルファ線スペクトロメトリー 	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	100 g	0.01 Bq/kg-乾燥土	0.01 Bq/kg-乾燥土
			²⁴¹ Am		0.02 Bq/kg-乾燥土	0.02 Bq/kg-乾燥土
			²⁴² Cm		0.01 Bq/kg-乾燥土	0.009 Bq/kg-乾燥土
			²⁴³⁺²⁴⁴ Cm		0.01 Bq/kg-乾燥土	0.009 Bq/kg-乾燥土

(注) 分析供試量については目安の量を示す。

表1-3-4 東京湾における分析対象核種、分析方法及び検出目標レベル

試料	分析・測定方法	対象核種	分析供試量	総合モニタリング計画における検出下限値	本事業における検出目標レベル
海水試料	リンモリブデン酸アンモニウム(AMP)共沈法 高純度ゲルマニウム半導体検出器で測定	¹³⁴ Cs	60 L	1 mBq/L	1 mBq/L
		¹³⁷ Cs		1 mBq/L	0.6 mBq/L
表層海底土試料 柱状海底土試料	105°Cで約3日間乾燥後、2mm孔径でふるい分けし、乾燥細土にする 高純度ゲルマニウム半導体検出器で測定	¹³⁴ Cs	400 g	1 Bq/kg-乾燥土	0.6 Bq/kg-乾燥土
		¹³⁷ Cs		1 Bq/kg-乾燥土	0.6 Bq/kg-乾燥土

(注1) 自然放射性核種については¹³⁴Cs・¹³⁷Csの測定時に同時に定量されるため検出目標レベルは設定していない。

(注2) 分析供試量については目安の量を示す。

1-4. モニタリング結果

1-4-1. 福島県周辺海域

1-4-1-1. 海水

1-4-1-1-1. 近傍海域

近傍海域で採取した海水試料に含まれる放射性核種の分析結果を資料 1 に示す。また、調査を開始した平成 25 年 11 月から令和 5 年 1 月までに採取した海水試料に含まれる放射性核種の濃度の月別変化を図 1-4-1～4 に示す。

各測点と東電福島第一原発との位置関係は、M-101 では同原発から東約 1 km、M-102 では南東約 2 km、M-103 では北北東約 3 km、M-104 では南南東約 3 km である（図 1-2-1）。令和 4 年 2 月から令和 5 年 1 月まで近傍海域で検出された放射性核種の濃度範囲や平均値等を表 1-4-1 に示す。また、令和 4 年 2 月から 3 月に「令和 3 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」の中で「近傍・沿岸海域」調査として採取され、本事業で分析を行った 3 測点（T-D1、T-D5、T-D9）の放射性核種の濃度は表 1-4-2 に示す。

表 1-4-1 近傍海域（M-101、M-102、M-103、M-104）で採取した海水試料の各放射性核種の濃度

	濃度範囲 (単位 : mBq/L)	平均値 ^{*1} ±標準偏差 ^{*2} (単位 : mBq/L)	最高値が観測された月及び測点	
			月	測点
¹³⁴ Cs	ND (<0.50) *3～1.5	0.96±0.32 (48 試料中、43 試料で ND)	3 月	M-101
¹³⁷ Cs	2.4～43	9.7±8.0 (48 試料中、ND は無し)	3 月	M-101
⁹⁰ Sr	0.75～1.8	0.98±0.21 (48 試料中、ND は無し)	6 月	M-102
トリチウム	ND (<52) ～208	114±37 (48 試料中、3 試料で ND)	6 月	M-103

*1 濃度の平均値の算出に当たって ND は除外した。

*2 標準偏差に計数誤差は含まない。算出に当たって ND は除外した。

*3 ND は検出下限値未満、括弧内は検出下限値の平均値を示す。

表 1-4-2 令和 4 年 2、3 月近傍・沿岸海域 (T-D1、T-D5、T-D9) で採取した海水試料の各放射性核種の濃度

	濃度範囲 (単位: mBq/L)	平均値 ^{*1} ±標準偏差 ^{*2} (単位: mBq/L)	最高値が観測された月及び測点	
			月	測点
¹³⁴ Cs	ND (<0.55) ^{*3}	全ての測点で ND のため算出せず	—	—
¹³⁷ Cs	2.6～5.3	3.6±1.1 (6 試料中、ND は無し)	2 月	T-D1
⁹⁰ Sr	0.76～1.0	0.87±0.095 (6 試料中、ND は無し)	2 月	T-D9
トリチウム	ND (<42) ～160	86±55 (6 試料中、1 試料で ND)	2 月	T-D5

*1 濃度の平均値の算出に当たって ND は除外した。

*2 標準偏差には計数誤差は含まない。算出に当たって ND は除外した。

*3 ND は検出下限値未満、括弧内は検出下限値の平均値を示す。

1-4-1-1-1-1. ¹³⁴Cs・¹³⁷Cs

比較的東電福島第一原発に近い M-101、M-102、M-103、M-104 と東電福島第一原発から離れた T-D1、T-D5、T-D9 で濃度を比較すると、¹³⁴Cs と ¹³⁷Cs は東電福島第一原発に近い測点で高く、東電福島第一原発から離れた測点で低くなる傾向が確認された（図 1-4-1、1-4-2）。¹³⁴Cs については全ての測点において時間経過とともに減少傾向を示しており、近年では検出されなくなりつつある。¹³⁴Cs において、検出下限値（令和 4 年度：東電福島第一原発に近い測点で平均 0.50 mBq/L、離れた測点で平均 0.55 mBq/L）未満となる試料は東電福島第一原発から離れた測点では平成 28 年以降増加しているが、東電福島第一原発に近い測点ではやや遅れて令和 2 年以降増加傾向にあった。（図 1-4-1）。一方で、¹³⁷Cs 濃度については、近年ではほぼ横ばいで推移しており、令和 4 年度で 2.4～43 mBq/L の範囲にある（図 1-4-2）。

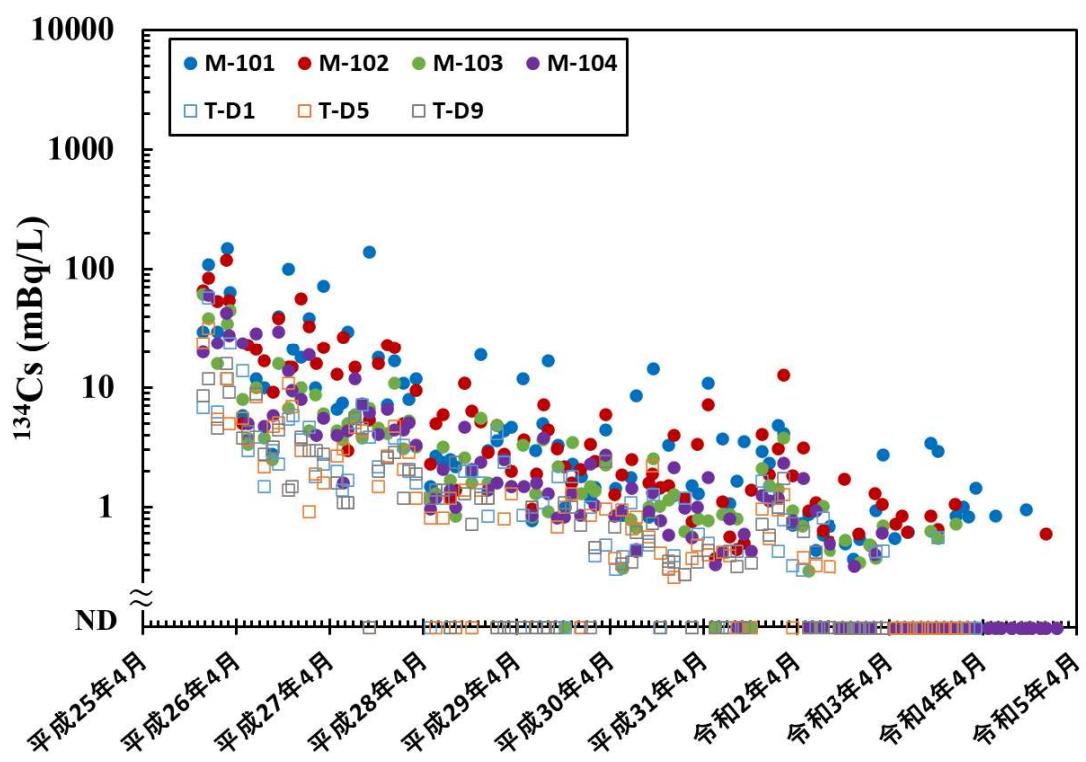


図 1-4-1 近傍海域で採取した海水試料の ^{134}Cs 濃度の時系列変化
(注) ND は検出下限値（全期間平均：0.64 mBq/L）未満を示す。

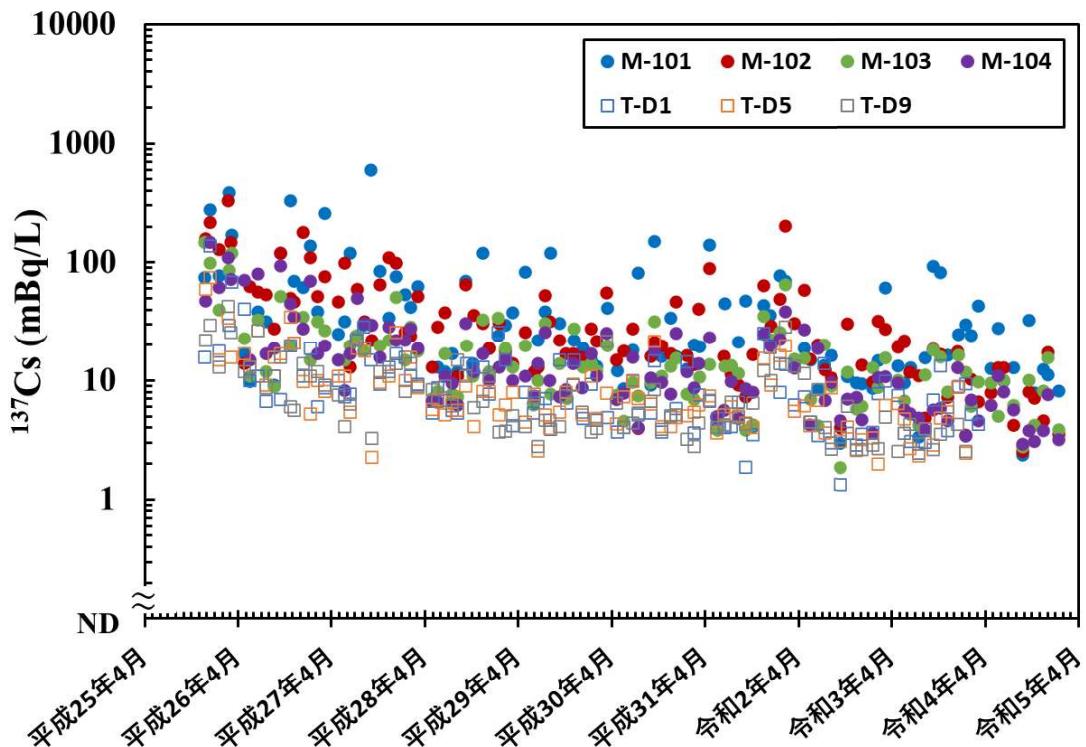


図 1-4-2 近傍海域で採取した海水試料の ^{137}Cs 濃度の時系列変化
(注) ND は検出下限値（全期間平均：0.41 mBq/L）未満を示す。

1-4-1-1-2. ^{90}Sr

^{90}Sr 濃度については、平成 28 年度以降、ほとんどの測点で 0.60~3.0 mBq/L の範囲であり、ほぼ横ばいで推移している（図 1-4-3）。一方で、東電福島第一原発に最も近い測点である M-101、M-102 では 10 mBq/L 前後の高い値も散発的に確認された。

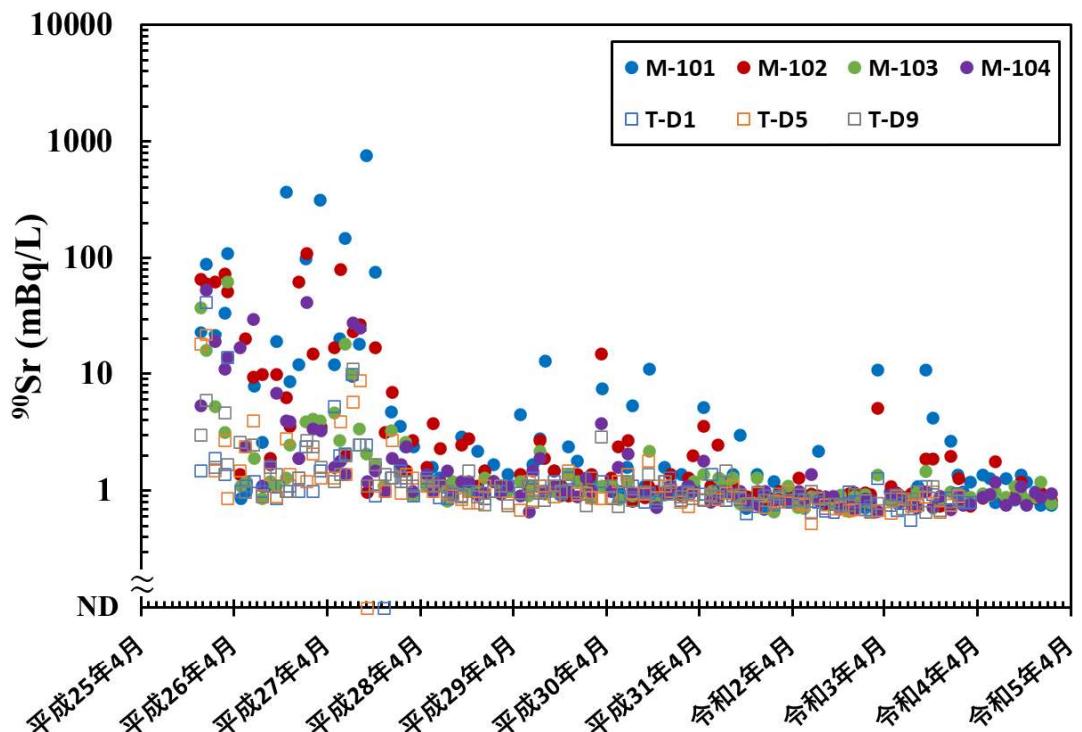


図 1-4-3 近傍海域で採取した海水試料の ^{90}Sr 濃度の時系列変化

(注) ND は検出下限値（全期間平均：0.44 mBq/L）未満を示す。

1-4-1-1-3. トリチウム

多くの測点で、平成 30 年度以降のトリチウム濃度は 40~300 mBq/L の範囲で安定している（図 1-4-4）。東電福島第一原発に近い 2 測点（M-101、M-102）では散発的に高い値が確認され、平成 27 年度には 1900 mBq/L に達することもあったが、平成 28 年度以降の最高値は 420 mBq/L に留まっている。

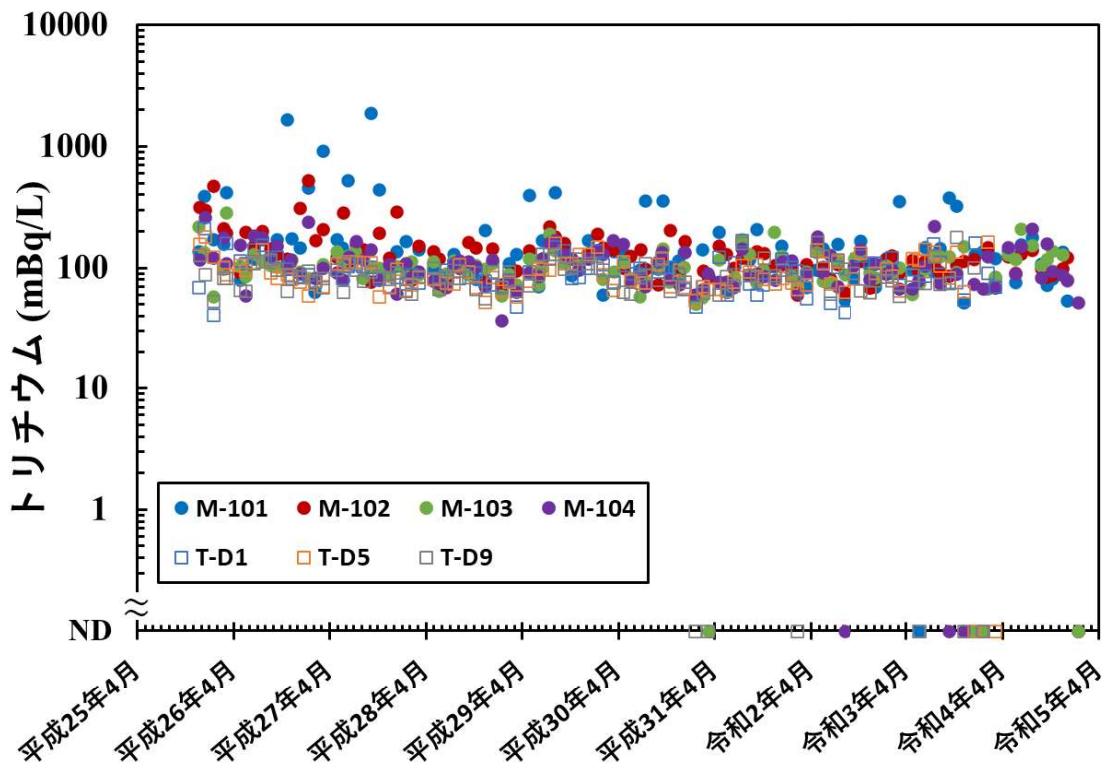


図 1-4-4 近傍海域で採取した海水試料のトリチウム濃度の時系列変化

(注) NDは検出下限値（全期間平均：44 mBq/L）未満を示す。

1-4-1-1-2. 沖合海域

令和 4 年度に沖合海域で採取した海水試料に含まれる放射性核種の分析結果を資料 2 に示す。

また、核種ごとの濃度の時系列変化を図 1-4-5～9 に示す。前年度までの調査において、測点と東電福島第一原発間の距離に応じた関係は確認されていないため、海域全体の時系列変化として示した。なお、 ^{134}Cs ・ ^{137}Cs （図 1-4-5、1-4-6）の時系列変化については、後述の外洋海域におけるデータも合わせて示している。

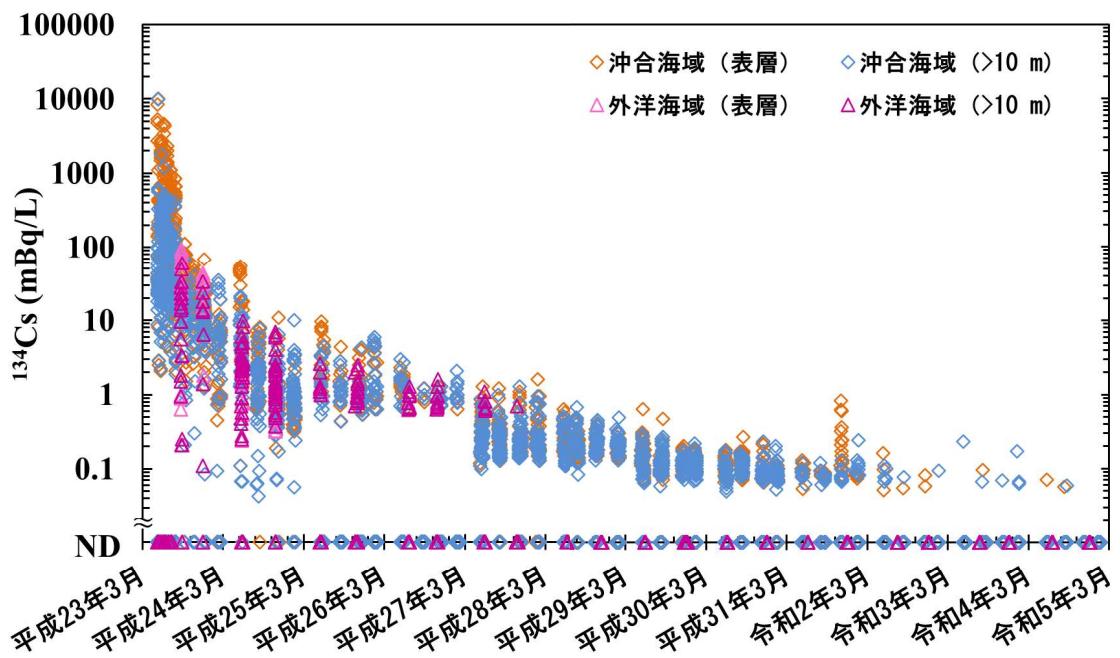


図 1-4-5 沖合・外洋海域で採取した海水試料の ^{134}Cs 濃度の時系列変化

(注) NDは検出下限値（全期間平均：0.32 mBq/L）未満を示す。

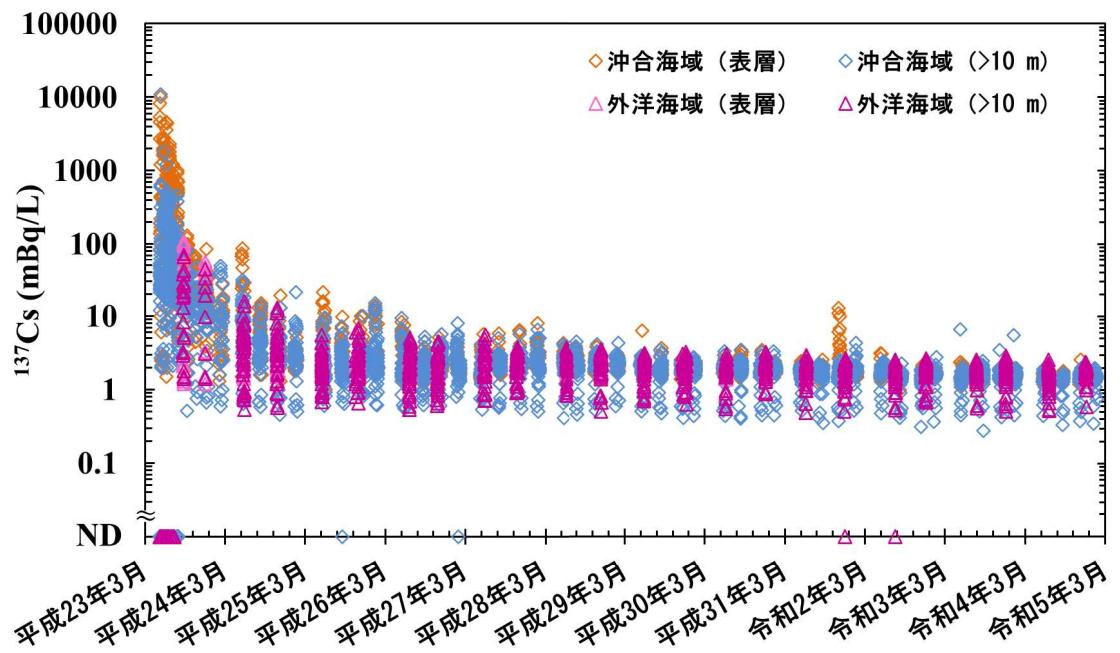


図 1-4-6 沖合・外洋海域で採取した海水試料の ^{137}Cs 濃度の時系列変化

(注) NDは検出下限値（全期間平均：0.21 mBq/L）未満を示す。

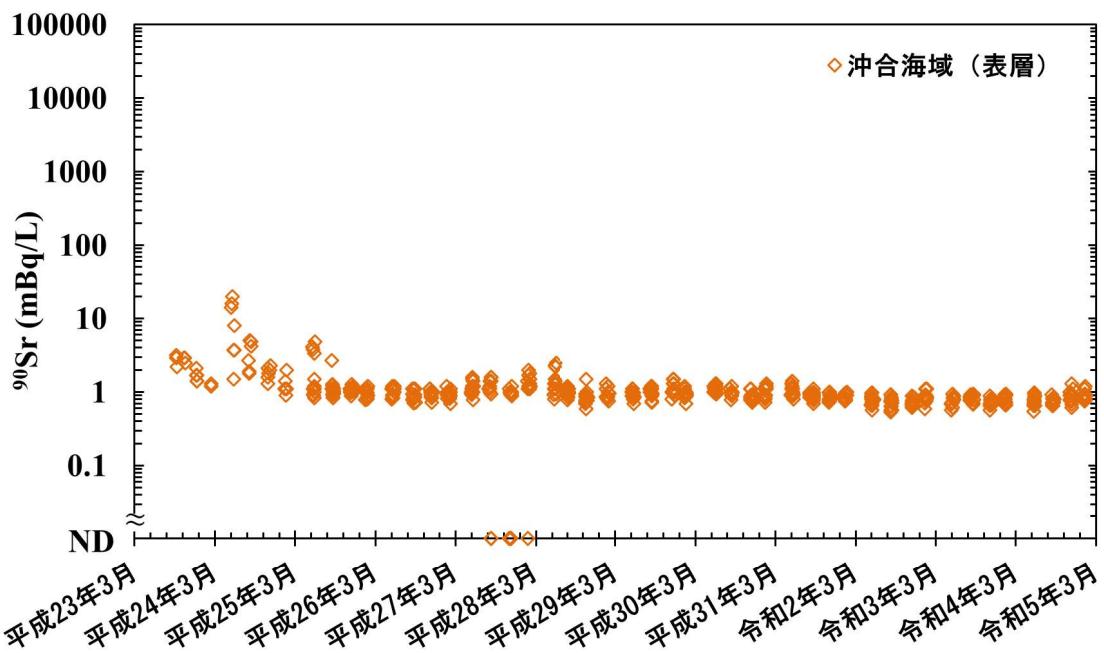


図 1-4-7 沖合海域で採取した海水試料の ^{90}Sr 濃度の時系列変化

(注) ND は検出下限値 (全期間平均 : 0.15 mBq/L) 未満を示す。

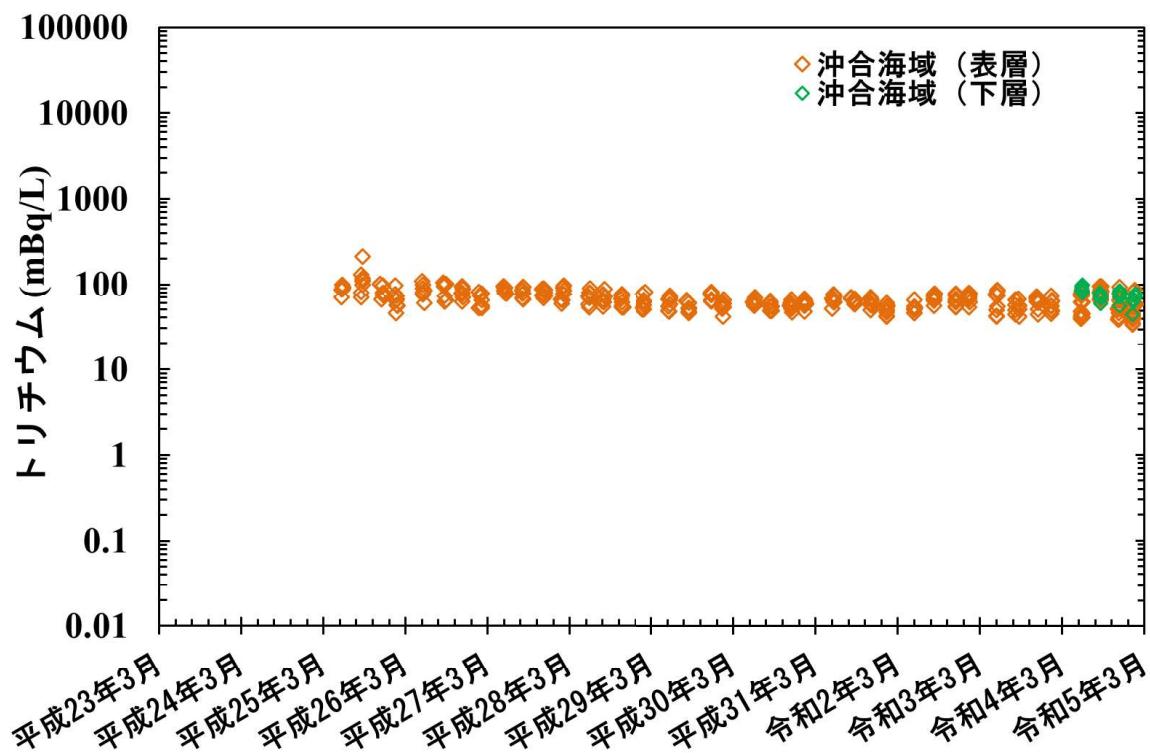


図 1-4-8 沖合海域で採取した海水試料のトリチウム濃度の時系列変化

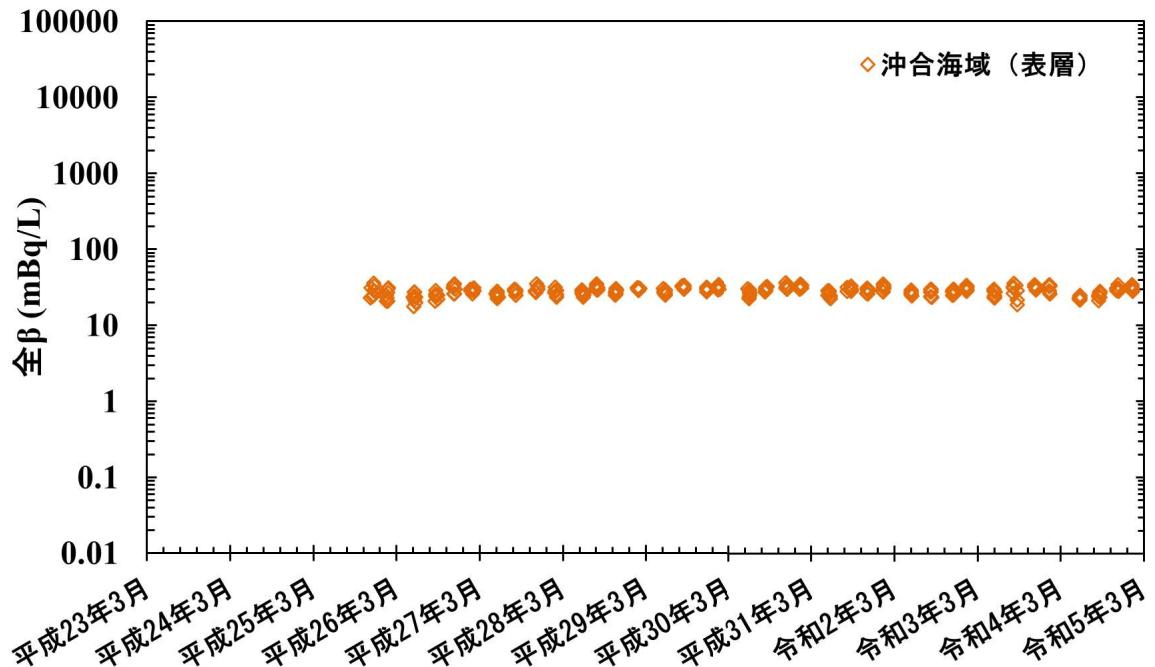


図 1-4-9 沖合海域で採取した海水試料の全ベータ放射能の時系列変化

1-4-1-1-2-1. $^{134}\text{Cs} \cdot {}^{137}\text{Cs}$

沖合海域で採取した海水試料の ^{134}Cs 濃度を表 1-4-3 に示す。

表層で ^{134}Cs が検出された測点及びその濃度と計数誤差は以下のとおりであった。

5～6月： $0.070 \pm 0.023 \text{ mBq/L}$ (M-C3)

8月： $0.057 \pm 0.017 \text{ mBq/L}$ (M-MI4)

また、中層・下層水において ^{134}Cs が検出された測点及びその濃度と計数誤差は、

8月： $0.059 \pm 0.0017 \text{ mBq/L}$ (M-L3：中層)

であり、令和 3 年度の調査結果と比べて、同程度またはそれ以下であった。沖合海域では近傍海域と同様に、 ^{134}Cs は時間経過とともに減少傾向を示しており、近年ではほとんど検出されなくなっている（図 1-4-5）。散発的に ^{134}Cs が検出されているが、これは沖合海域における海水中の ^{134}Cs 濃度が検出下限値付近もしくはそれ未満で推移しており、稀に ^{134}Cs が検出されていると考えられる。

沖合海域で採取した海水試料の ^{137}Cs 濃度を表 1-4-4 に示す。

^{137}Cs 濃度は、令和 3 年度の調査結果と比べて、同程度またはそれ以下であり、東電福島第一原発事故前 5 年間（平成 18～22 年度）の福島第一及び福島第二海域で採取した海水試料の ^{137}Cs 濃度平均値（ 1.6 mBq/L ）^{1～5)} と同程度であった（図 1-4-6）。

表 1-4-3 沖合海域で採取した海水試料の ^{134}Cs 濃度

		第一期 (5-6月)	第二期 (8月)	第三期 (11月)	第四期 (1月)
表層	濃度範囲 (単位 : mBq/L)	ND* (<0.066) ~0.070	ND* (<0.063) ~0.057	全て ND* (<0.061)	全て ND* (<0.067)
	平均値±標準偏差 (単位 : mBq/L)	検出されたデータが少數のため平均値及び標準偏差は算出せず			
中層 ・ 下層	濃度範囲 (単位 : mBq/L)	全て ND* (<0.066)	ND* (<0.063) ~0.059	全て ND* (<0.062)	全て ND* (<0.067)
	平均値±標準偏差 (単位 : mBq/L)	検出されたデータが少數のため平均値及び標準偏差は算出せず			

* ND は検出下限値未満、括弧内は検出下限値の平均値を示す。

表 1-4-4 沖合海域で採取した海水試料の ^{137}Cs 濃度

		第一期 (5-6月)	第二期 (8月)	第三期 (11月)	第四期 (1月)
表層	濃度範囲 (単位 : mBq/L)	1.1~2.0	1.2~1.8	1.2~2.6	1.4~1.7
	平均値±標準偏差 ¹ (単位 : mBq/L)	1.6±0.21 (32 試料中、ND ² は無し)	1.4±0.15 (32 試料中、ND ² は無し)	1.3±0.25 (32 試料中、ND ² は無し)	1.5±0.082 (32 試料中、ND ² は無し)
中層 ・ 下層	濃度範囲 (単位 : mBq/L)	0.45~1.9	0.34~1.7	0.38~2.0	0.35~2.0
	平均値±標準偏差 (単位 : mBq/L)	1.4±0.30 (52 試料中、ND は無し)	1.3±0.27 (52 試料中、ND は無し)	1.5±0.35 (52 試料中、ND は無し)	1.5±0.30 (52 試料中、ND は無し)

¹ 標準偏差には計数誤差は含まない。

² ND は検出下限値未満を示す。

1-4-1-1-2-2. ^{90}Sr

沖合海域で採取した海水試料の ^{90}Sr 濃度を表 1-4-5 に示す。 ^{90}Sr 濃度は、令和 3 年度の調査結果と比べて同程度であり、東電福島第一原発事故前 5 年間（平成 18~22 年度）の福島第一及び福島第二海域で採取した海水試料の ^{90}Sr 濃度平均値（1.2 mBq/L）^{1~5)} と同程度であった（図 1-4-7）。

表 1-4-5 沖合海域で採取した海水試料の⁹⁰Sr濃度

		第一期 (5-6月)	第二期 (8月)	第三期 (11月)	第四期 (1月)
表層	濃度範囲 (単位:mBq/L)	0.55~0.99	0.65~0.92	0.62~1.3	0.76~1.2
	平均値±標準偏差 ¹⁾ (単位:mBq/L)	0.77±0.12 (14試料中、ND ²⁾ は無し)	0.76±0.079 (14試料中、NDは無し)	0.87±0.18 (14試料中、NDは無し)	0.91±0.14 (14試料中、NDは無し)

*1 標準偏差には計数誤差は含まない。

*2 NDは検出下限値未満を示す。

1-4-1-1-2-3. トリチウム

沖合海域で採取した海水試料のトリチウム濃度を表 1-4-6 に示す。トリチウム濃度は、令和 3 年度の調査結果と比べて同程度であり、東電福島第一原発事故前である平成 22 年の青森県・岩手県沖の濃度の平均値±標準偏差の 3 倍 (92 ± 66 mBq/L)⁵⁾ の範囲内であった(図 1-4-8)。

本年度の調査では、表層と下層のトリチウム濃度について、下層が高くなる調査測点が一部見られた。一方で、過去の青森県・岩手県沖の調査では、一般に表層でトリチウム濃度が高くなることが報告されている⁶⁾。試料採取・試料分析の工程では表層と下層海水試料に取り違えがないことを確認しており、人為的要因による濃度の逆転は考えられない。当該海域においては、トリチウム濃度の鉛直分布等のデータが不足しているため、現時点では原因不明であり、今後も継続して調査を行う必要があると考えられる。

表 1-4-6 沖合海域で採取した海水試料のトリチウム濃度

		第一期 (5~6月)	第二期 (8月)	第三期 (11月)	第四期 (1月)
表層	濃度範囲 (単位:mBq/L)	41~85	66~96	39~93	34~87
	平均値±標準偏差 ¹⁾ (単位:mBq/L)	61±16 (16試料中、ND ²⁾ は無し)	77±9.9 (16試料中、NDは無し)	57±14 (16試料中、NDは無し)	52±16 (16試料中、NDは無し)
下層	濃度範囲 (単位:mBq/L)	82~100	61~80	57~85	45~78
	平均値±標準偏差 (単位:mBq/L)	90±7.7 (5試料中、NDは無し)	72±7.4 (5試料中、NDは無し)	75±11 (5試料中、NDは無し)	66±13 (5試料中、NDは無し)

*1 標準偏差には計数誤差は含まない。

*2 NDは検出下限値未満を示す。

1-4-1-1-2-4. 全ベータ放射能

沖合海域で採取した海水試料中の全ベータ放射能の濃度を表 1-4-7 に示す。全ベータ放射能は、令和 3 年度の調査結果 ($19\sim36$ mBq/L) と比べて同程度であった⁷⁾ (図 1-4-9)。

1-4-1-1-4. 海域間比較

平成 23 年 3 月以降に実施した福島県周辺の海域モニタリングで得られた放射性核種全ての時系列データを図 1-4-10～13 に示す。

1-4-1-1-4-1. ^{134}Cs ・ ^{137}Cs

^{134}Cs は平成 23 年の調査開始以降、速やかに減少し、沖合海域と外洋海域では令和 2 年以降ほとんど検出されることはなくなった（図 1-4-10）。一方、近傍海域では減少傾向にあるものの、沖合・外洋海域と比較すると濃度レベルが一桁高いことが確認された。しかし、近傍海域でも徐々に ^{134}Cs は検出されなくなりつつある。

^{137}Cs は ^{134}Cs 同様、平成 23 年の調査開始以降速やかに減少し、沖合海域と外洋海域は東電福島第一原発事故前の福島第一及び福島第二海域で得られた濃度と同水準となっている（図 1-4-11）。一方、近傍海域では沖合海域と外洋海域（令和 4 年度：0.34～2.6 mBq/L）に比べ、一桁以上高い値（令和 4 年度：2.4～43 mBq/L）で推移していることが確認された。

1-4-1-1-4-2. ^{90}Sr

主に近傍海域で散発的に高い値（平成 27 年度以前：最大 760 mBq/L、平成 28 年度以降：最大 15 mBq/L）が確認されているが、近傍・沖合海域では東電福島第一原発事故前の福島第一及び福島第二海域で得られた濃度（平均 1.2 mBq/L）と同水準となっていることが確認された（図 1-4-12）。

1-4-1-1-4-3. トリチウム

近傍海域で散発的に高い値（平成 27 年度以前：最大 1900 mBq/L、平成 28 年度以降：最大 420 mBq/L）が確認されるものの、その濃度は 40～300 mBq/L の範囲に集中している（図 1-4-13）。沖合海域においても、近傍海域と同程度の濃度（34～210 mBq/L）であった。

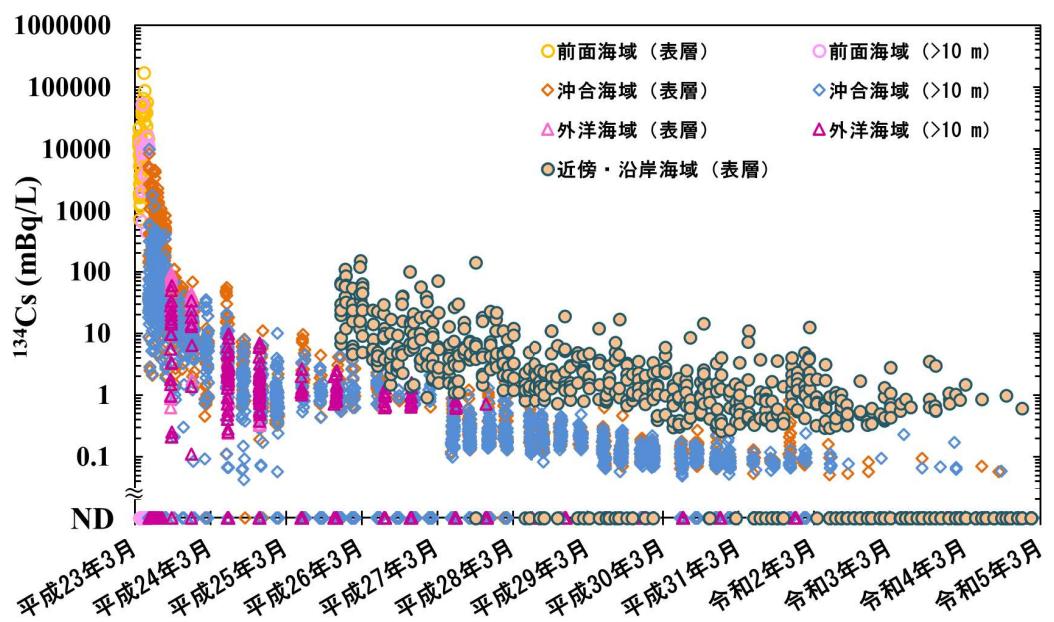


図 1-4-10 東電福島第一原発事故以降の ^{134}Cs 濃度の時系列変化

(注1) NDは検出下限値(全期間平均: 0.36 mBq/L)未満を示す。

(注2) 前面海域は平成23年3月から5月までに調査された30km圏外付近を取り囲むように配置した8～12測点である。

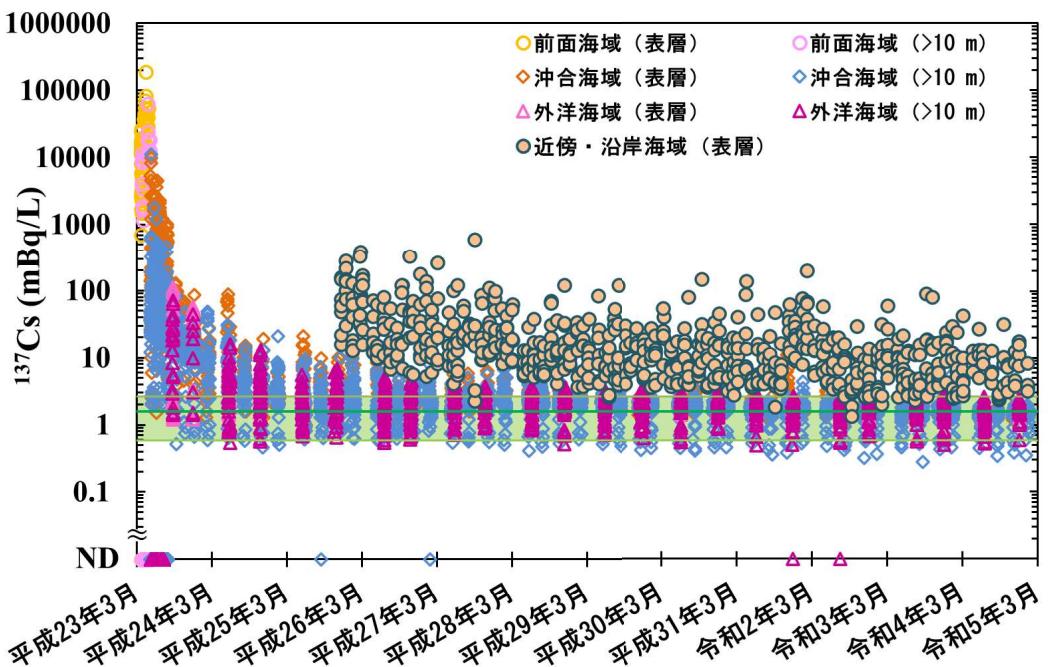


図 1-4-11 東電福島第一原発事故以降の ^{137}Cs 濃度の時系列変化

(注1) NDは検出下限値(全期間平均: 0.24 mBq/L)未満を示す。

(注2) 図中の緑色の帯は福島第一及び福島第二海域で得られた平成18～22年度の ^{137}Cs 濃度の平均値 (1.6 mBq/L) ± 標準偏差の3倍の範囲を示す。

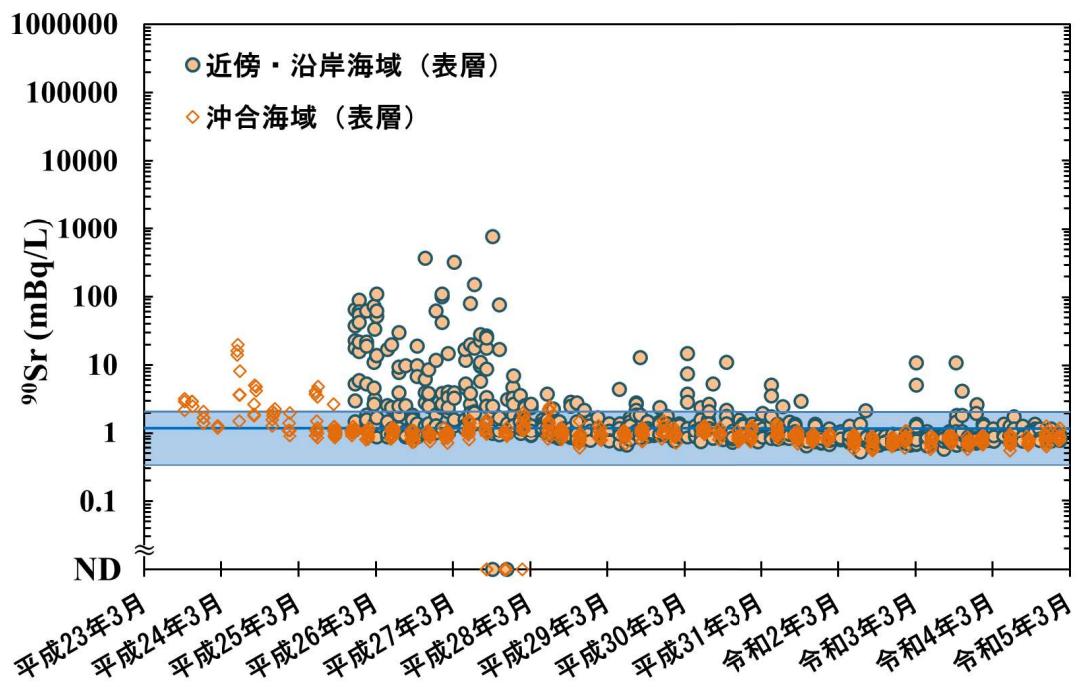


図 1-4-12 東電福島第一原発事故以降の⁹⁰Sr 濃度の時系列変化

(注 1) ND は検出下限値（全期間平均：0.41 mBq/L）未満を示す。

(注 2) 図中の青色の帯は福島第一及び第二海域で得られた平成 18～22 年度の⁹⁰Sr 濃度の平均値（1.2 mBq/L）±標準偏差の 3 倍を示す。

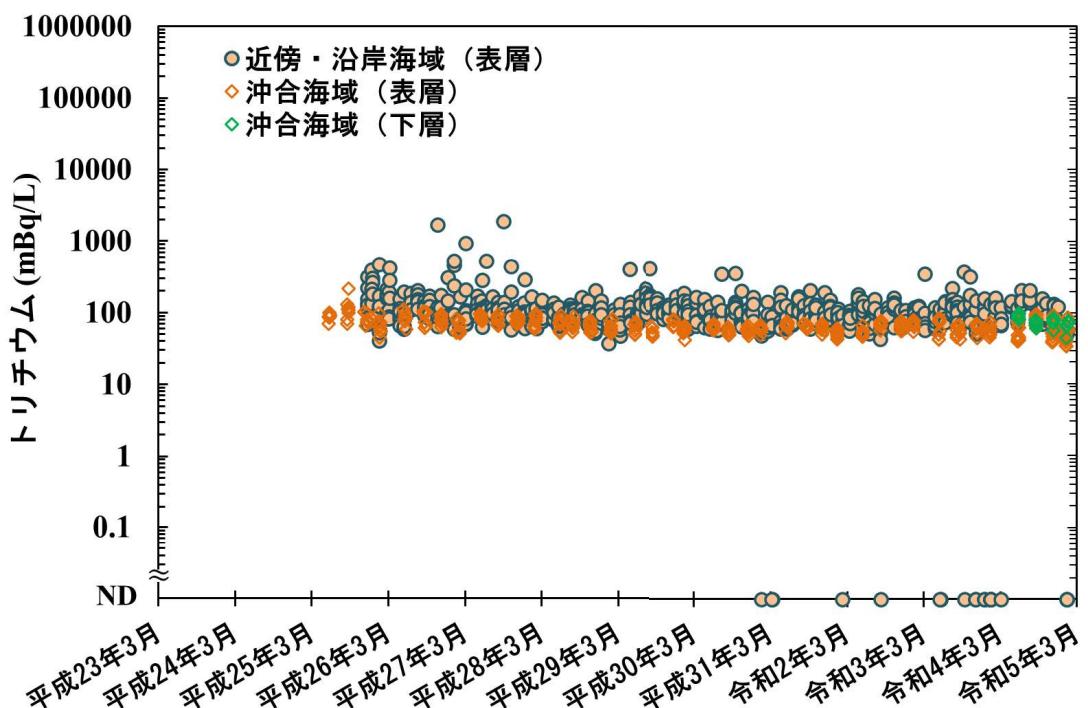


図 1-4-13 東電福島第一原発事故以降のトリチウム濃度の時系列変化

(注) ND は検出下限値（全期間平均：30 mBq/L）未満を示す。