

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

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の一環として、海域モニタリングを実施した。

2. モニタリング方法

1) 調査経過

平成 28 年度の調査海域は、平成 22 年度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及び東経 142° から東経 144° までの外洋海域、ならびに平成 25 年度から実施している東電福島第一原発から約 10km 以内の近傍・沿岸海域を対象とした。

2) 調査試料の採取

(1) 近傍・沿岸海域

近傍・沿岸海域における調査測点は 7 測点であり、それらの配置を図Ⅱ-2-1 に、緯度経度及び海水採取層を表Ⅱ-2-1 に示す。各測点において平成 28 年 4 月から平成 29 年 3 月まで、月に 1 回の頻度で表層（海面から約 1m 下までの層）の海水を採取した。採取後、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 及び ^{137}Cs 分析用としてポリエチレン容器に 40L 分取し、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。また、 ^3H 分析用としてポリエチレン容器に 2L 分取し、酸を加えず分析まで冷暗所にて保存した。

(2) 沖合海域

沖合海域における調査測点は 32 測点であり、それらの配置を図Ⅱ-2-2 に、緯度経度及び海水・海底土採取層を表Ⅱ-2-2 に示す。各測点において平成 28 年 5、7-8、10 月及び平成 29 年 1-2 月の 4 回、海水及び海底土を採取した。海水試料は全測点で、表層と下層（海底面から 10~40m 上の層）の 2 層からそれぞれ採取した。この他に測点毎に採水層が異なるが、海面から 50、100m の層（以下、中層という。）の海水を採取した。採取後、 ^{90}Sr 、 ^{134}Cs 及び ^{137}Cs 分析用としてポリエチレン容器に 60L 分取し、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。全 β 分析用としてポリエチレン容器に 5L 分取した海水には、海水 1L に対して 12N 塩酸 2mL を添加し、分析まで冷暗所にて保存した。また、 ^3H 分析用として 2L のポリエチレン容器に分取し、酸を加えず分析まで冷暗所にて保存した。

海底土試料は全測点で、海底土の表面から深さ 3cm までの層を 1 試料当たり湿重量で約 2.5kg 採取し、分析まで冷凍保存した。

(3) 外洋海域

外洋海域における調査測点は 10 測点であり、それらの配置を図 II-2-2 に、緯度経度及び海水採取層を表 II-2-3 に示す。各測点において平成 28 年 6 月、11 月の 2 回、海面から表層、100、200、300、500m の 5 つの層の海水を採取した。採取後、 ^{134}Cs 及び ^{137}Cs 分析用としてポリエチレン容器に 80L 分取し、海水 1L に対して 6M 塩酸 2mL を添加し、分析まで冷暗所にて保存した。

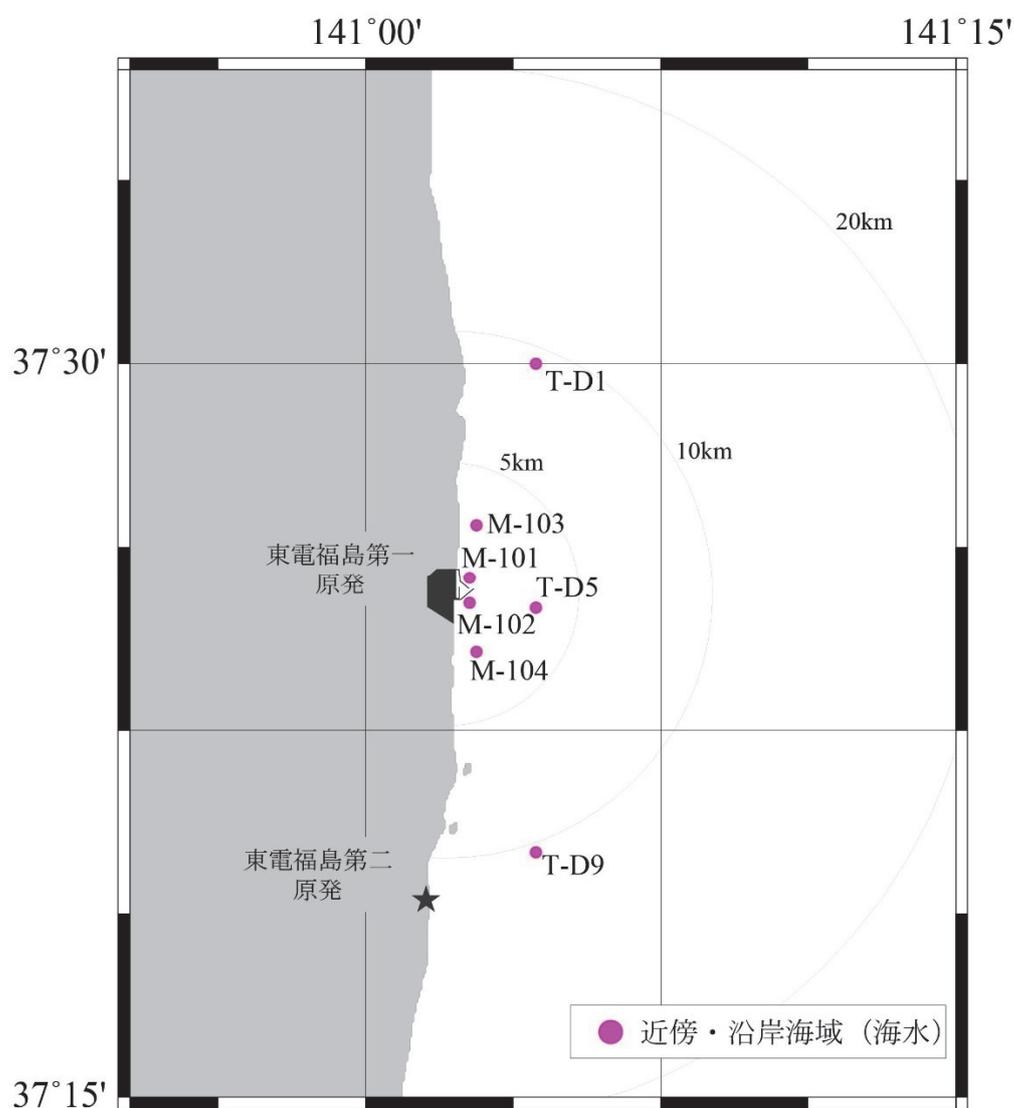


図 II-2-1 東電福島第一原発周辺の海域モニタリング（近傍・沿岸海域）における測点

表 II-2-1 近傍・沿岸海域において海水を採取した測点の緯度経度及び採取層

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

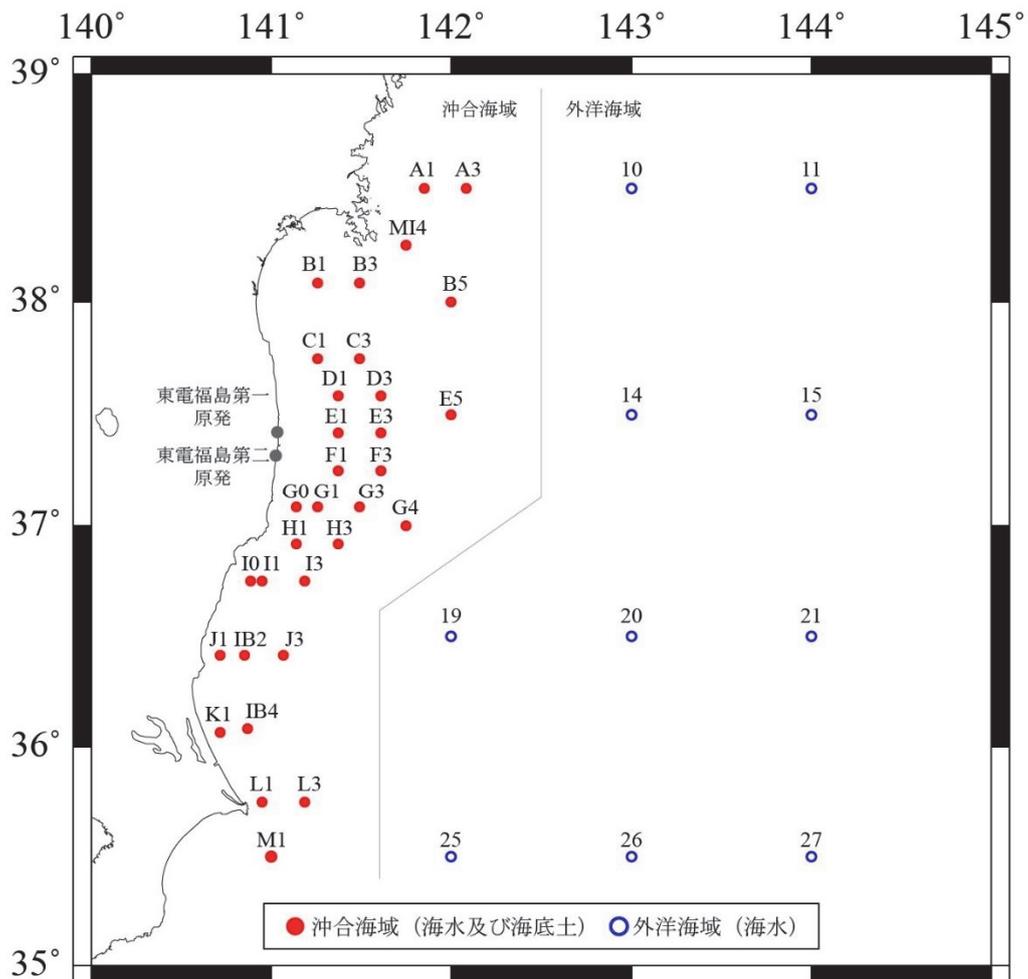


図 II-2-2 東電福島第一原発周辺の海域モニタリング（沖合海域、外洋海域）における測点

表Ⅱ-2-2 沖合海域での海水・海底土試料を採取した測点
の緯度経度及び採取層

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	
A1	38° 30.0′	141° 51.0′	表層	100m層	下層	表面～深さ3cm
A3	38° 30.0′	142° 05.0′	表層	100m層	下層	表面～深さ3cm
MI4	38° 15.0′	141° 45.0′	表層	100m層	下層	表面～深さ3cm
B1	38° 05.0′	141° 15.4′	表層	-	下層	表面～深さ3cm
B3	38° 05.0′	141° 29.4′	表層	50m層	下層	表面～深さ3cm
B5	38° 00.0′	142° 00.0′	表層	100m層	下層	表面～深さ3cm
C1	37° 45.0′	141° 15.4′	表層	-	下層	表面～深さ3cm
C3	37° 45.0′	141° 29.4′	表層	50m層	下層	表面～深さ3cm
D1	37° 35.0′	141° 22.4′	表層	50m層	下層	表面～深さ3cm
D3	37° 35.0′	141° 36.4′	表層	100m層	下層	表面～深さ3cm
E1	37° 25.0′	141° 22.4′	表層	50m層	下層	表面～深さ3cm
E3	37° 25.0′	141° 36.4′	表層	100m層	下層	表面～深さ3cm
E5	37° 30.0′	142° 00.0′	表層	100m層	下層	表面～深さ3cm
F1	37° 15.0′	141° 22.4′	表層	-	下層	表面～深さ3cm
F3	37° 15.0′	141° 36.4′	表層	100m層	下層	表面～深さ3cm
G0	37° 05.0′	141° 08.4′	表層	50m層	下層	表面～深さ3cm
G1	37° 05.0′	141° 15.4′	表層	-	下層	表面～深さ3cm
G3	37° 05.0′	141° 29.4′	表層	100m層	下層	表面～深さ3cm
G4	37° 00.0′	141° 45.0′	表層	100m層	下層	表面～深さ3cm
H1	36° 55.0′	141° 08.4′	表層	-	下層	表面～深さ3cm
H3	36° 55.0′	141° 22.4′	表層	100m層	下層	表面～深さ3cm
I0	36° 45.0′	140° 53.0′	表層	-	下層	表面～深さ3cm
I1	36° 45.0′	140° 57.0′	表層	50m層	下層	表面～深さ3cm
I3	36° 45.0′	141° 11.0′	表層	100m層	下層	表面～深さ3cm
J1	36° 25.0′	140° 43.0′	表層	-	下層	表面～深さ3cm
J3	36° 25.0′	141° 04.0′	表層	100m層	下層	表面～深さ3cm
IB2	36° 25.0′	140° 51.0′	表層	-	下層	表面～深さ3cm
K1	36° 04.0′	140° 43.0′	表層	-	下層	表面～深さ3cm
IB4	36° 05.0′	140° 52.0′	表層	-	下層	表面～深さ3cm
L1	35° 45.0′	140° 57.0′	表層	-	下層	表面～深さ3cm
L3	35° 45.0′	141° 11.0′	表層	100m層	下層	表面～深さ3cm
M1	35° 30.0′	141° 00.0′	表層	-	下層	表面～深さ3cm

- 採取対象外

表Ⅱ-2-3 外洋海域での海水試料を採取した測点の緯度経度
及び採取層

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

3) 放射性核種の分析

各調査海域で採取する試料と分析対象とする放射性核種を表Ⅱ-2-4に、また、各試料の分析方法と分析対象とする放射性核種の検出目標レベルを表Ⅱ-2-5に示す。

各試料の放射性核種の分析は、文部科学省放射能測定法シリーズに基づいて行った。海水試料は化学分離・精製後、 ^{134}Cs 及び ^{137}Cs をゲルマニウム半導体検出器で、 ^{90}Sr をガスフローカウンターで測定した。全 β は、海水試料を鉄バリウム共沈した後、ガスフローカウンターで測定した。 ^3H は、海水試料を電解濃縮した後、濃縮した試料を液体シンチレーション計測した。海底土試料は、乾燥後2mm孔径のふるいを通した試料をプラスチック容器に一定量分取し、化学分離・精製後、 ^{134}Cs 及び ^{137}Cs をゲルマニウム半導体検出器で測定した。また、ふるい後の海底土試料について、 ^{90}Sr をベータ線計測、 ^{238}Pu 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 及び α 線放出核種をシリコン半導体検出器により定量した。

表Ⅱ-2-4 各調査海域で分析対象とする放射性核種

海域	測点	海水				海底土		
		$^3\text{H}^{*2}$	$^{90}\text{Sr}^{*2}$	$^{134}\text{Cs}, ^{137}\text{Cs}$	全 β^{*2}	^{90}Sr	$^{134}\text{Cs}, ^{137}\text{Cs}$	α 核種
近傍・沿岸*1	M-101	○	○	○	—	—	—	—
	M-102	○	○	○	—	—	—	—
	M-103	○	○	○	—	—	—	—
	M-104	○	○	○	—	—	—	—
	T-D1	○	○	○	—	—	—	—
	T-D5	○	○	○	—	—	—	—
	T-D9	○	○	○	—	—	—	—
沖合	A1	—	—	○	—	—	○	—
	MI4	—	—	○	—	—	○	—
	A3	—	—	○	—	—	○	—
	B1	—	—	○	—	—	○	—
	B3	—	○	○	—	○	○	○*3
	B5	—	—	○	—	—	○	—
	C1	—	○	○	—	—	○	—
	C3	○	○	○	○	—	○	—
	D1	—	○	○	—	○	○	—
	D3	○	○	○	○	—	○	—
	E1	—	○	○	—	○	○	○*3
	E3	○	○	○	○	—	○	—
	E5	○	○	○	○	—	○	—
	F1	—	—	○	—	○	○	—
	F3	○	○	○	○	—	○	—
	G0	—	—	○	—	—	○	—
	G1	—	—	○	—	—	○	—
	G3	○	○	○	○	—	○	—
	G4	○	○	○	○	—	○	—
	H1	—	—	○	—	—	○	—
	H3	○	○	○	○	—	○	—
	I0	—	○	○	—	—	○	—
	I1	—	—	○	—	○	○	○*3
	I3	—	—	○	—	—	○	—
	J1	—	○	○	—	○	○	—
	IB2	—	—	○	—	—	○	—
	J3	—	—	○	—	—	○	—
K1	—	—	○	—	—	○	—	
IB4	—	—	○	—	—	○	—	
L1	—	—	○	—	—	○	—	
L3	—	—	○	—	—	○	—	
M1	—	—	○	—	—	○	—	
外洋	10	—	—	○	—	—	—	—
	11	—	—	○	—	—	—	—
	14	—	—	○	—	—	—	—
	15	—	—	○	—	—	—	—
	19	—	—	○	—	—	—	—
	20	—	—	○	—	—	—	—
	21	—	—	○	—	—	—	—
	25	—	—	○	—	—	—	—
	26	—	—	○	—	—	—	—
27	—	—	○	—	—	—	—	

○ 分析対象測点、—：分析対象外

*1 分析は平成28年2月～平成29年1月採取分
(採取時期は平成28年4月～平成29年3月)

*2 表層のみ

*3 7-8月期のみ

表Ⅱ-2-5 東電福島第一原発周辺の海域モニタリングにおける各試料の分析方法
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	検出目標レベル
海底土	沖合海域	105℃で約3日間乾燥後、2mm孔径のふるいかけ ゲルマニウム半導体検出器	^{134}Cs	0.6Bq/kg-乾燥土
			^{137}Cs	0.6Bq/kg-乾燥土
		上記の乾燥及びふるいかけた試料をシュウ酸塩法 またはイオン交換法 ガスフローカウンター	^{90}Sr	0.3Bq/kg-乾燥土
			上記の乾燥及びふるいかけた試料をイオン交 換法 シリコン半導体検出器	^{238}Pu
		$^{239+240}\text{Pu}$		0.01Bq/kg-乾燥土
		^{241}Am		0.02Bq/kg-乾燥土
		^{242}Cm		0.009Bq/kg-乾燥土
		$^{243+244}\text{Cm}$		0.009Bq/kg-乾燥土
海水試料	近傍・ 沿岸海域	AMP沈殿法 ゲルマニウム半導体検出器	^{134}Cs	0.9mBq/L
			^{137}Cs	0.5mBq/L
		イオン交換法 ガスフローカウンター	^{90}Sr	0.9mBq/L
			電解濃縮法 液体シンチレーション計測器	^3H
	沖合海域	AMP沈殿法 ゲルマニウム半導体検出器	^{134}Cs	1mBq/L
			^{137}Cs	0.6mBq/L
		イオン交換法 ガスフローカウンター	^{90}Sr	0.9mBq/L
			電解濃縮法 液体シンチレーション計測器	^3H
		鉄・バリウム共沈法 ガスフローカウンター	全 β	20mBq/L
	外洋海域	AMP沈殿法 ゲルマニウム半導体検出器	^{134}Cs	1mBq/L
			^{137}Cs	0.6mBq/L

3. モニタリング結果

1) 海水試料

(1) 近傍・沿岸海域

海水試料の分析結果を資料 5-1-1 に示す。また、調査が開始された平成 25 年 11 月から平成 29 年 1 月までに採取された海水の放射性核種濃度の月別変化を図 II-3-1 から図 II-3-4 に示す。

7 つの測点と東電福島第一原発との位置関係は、同原発近傍の M-101 及び M-102、同原発から約 1~2km 沖合の M-103 及び M-104、同原発から 3km 以上沖合の T-D1、D5、D9 である。平成 28 年 2 月から平成 29 年 1 月までの ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 、 ^3H の濃度の空間的な分布をみると、試料の採取時期でそれぞれ変動はあるものの、同原発の近傍の測点で高く、遠方の測点ほど低い傾向が見られた。

同原発近傍の測点 (M-101、M-102) の放射性核種濃度は、 ^{134}Cs が 1.2~19mBq/L、 ^{137}Cs が 6.7~120mBq/L の範囲であり、平成 28 年 11 月で高かった。 ^{90}Sr は 1.0~3.8mBq/L、また、 ^3H は 65~210mBq/L の範囲であり、 ^{90}Sr は平成 28 年 5 月に、 ^3H は平成 28 年 11 月にそれぞれその他の時期よりも高い値が観測された。

同原発近傍より 3km 以上沖合の測点 (T-D1、T-D5、T-D9) の放射性核種の濃度は、 ^{134}Cs が ND~4.2mBq/L、 ^{137}Cs が 3.7~26mBq/L、 ^{90}Sr が 0.77~1.5mBq/L、 ^3H が 52~110mBq/L の範囲であり、 ^{90}Sr については時間経過とともにわずかに低下する傾向を示し、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^3H についてはほぼ横ばいであった。

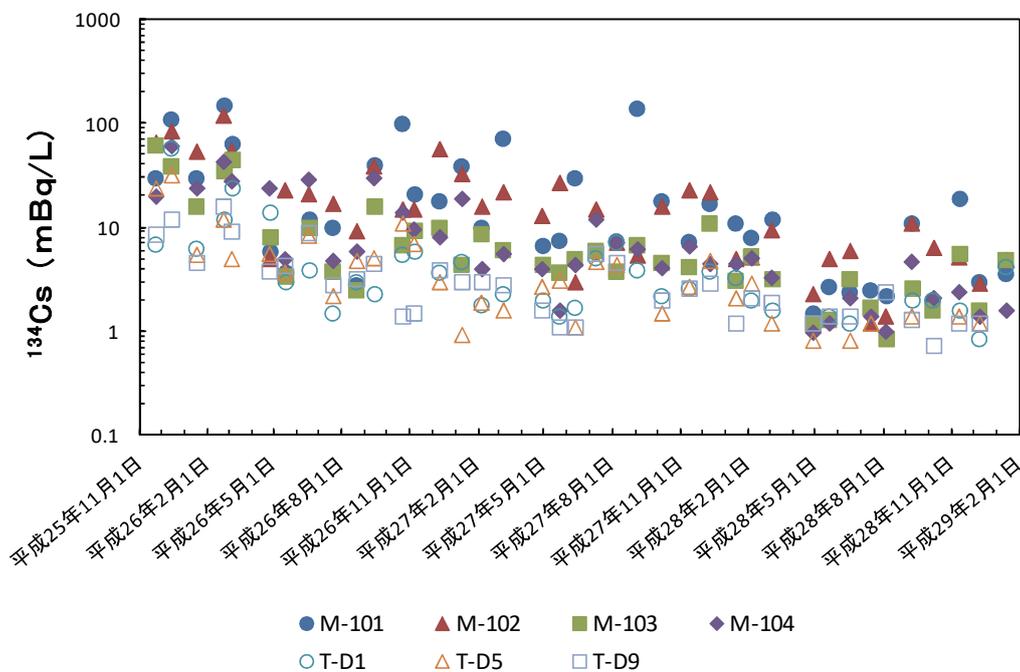


図 II-3-1 近傍・沿岸海域における ^{134}Cs 濃度の月別変化

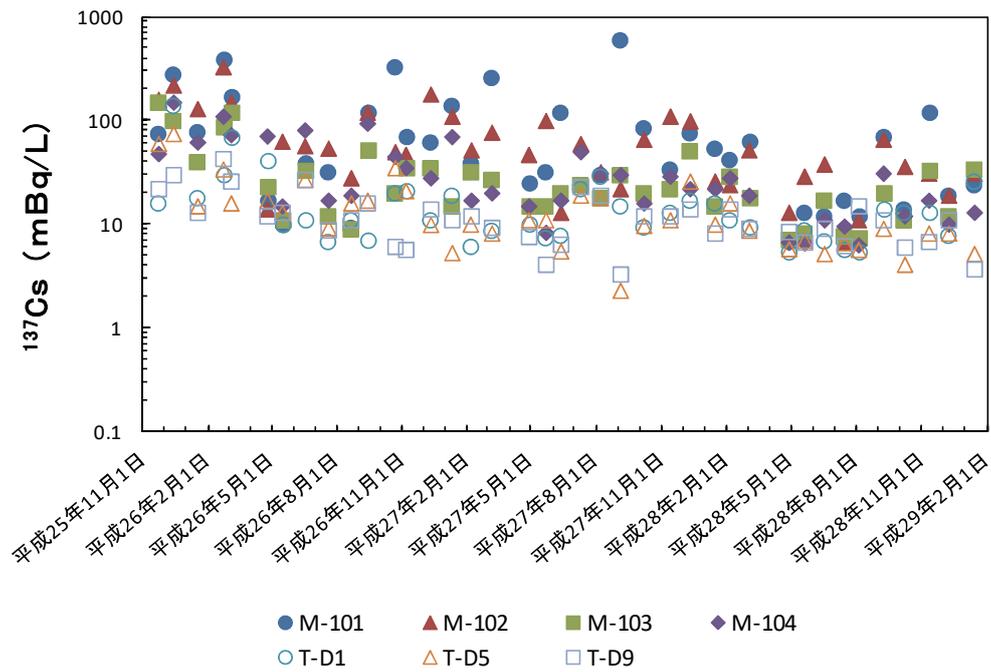


図 II-3-2 近傍・沿岸海域における ^{137}Cs 濃度の月別変化

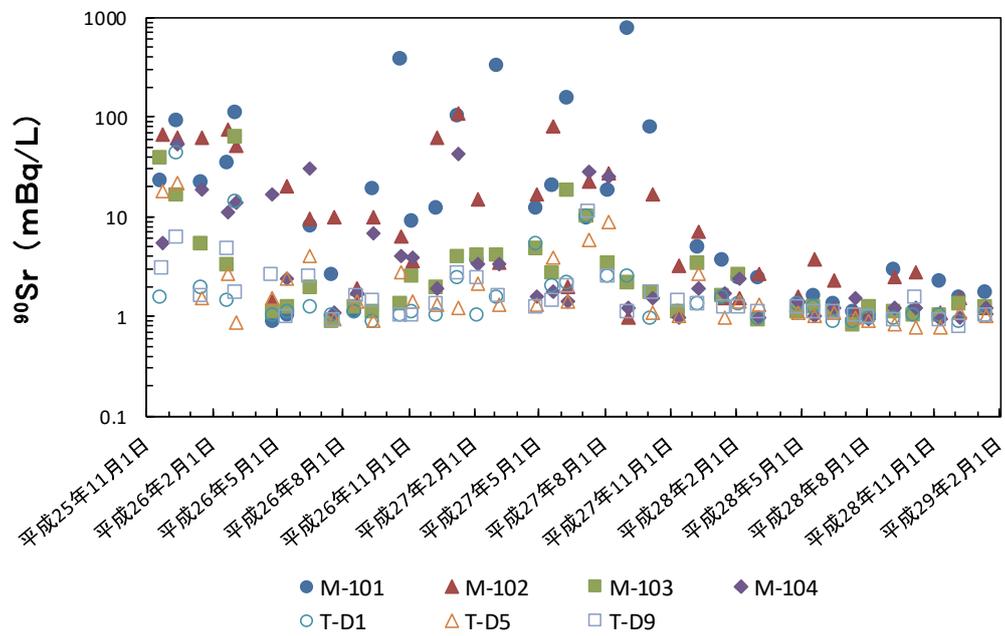


図 II-3-3 近傍・沿岸海域における ^{90}Sr 濃度の月別変化

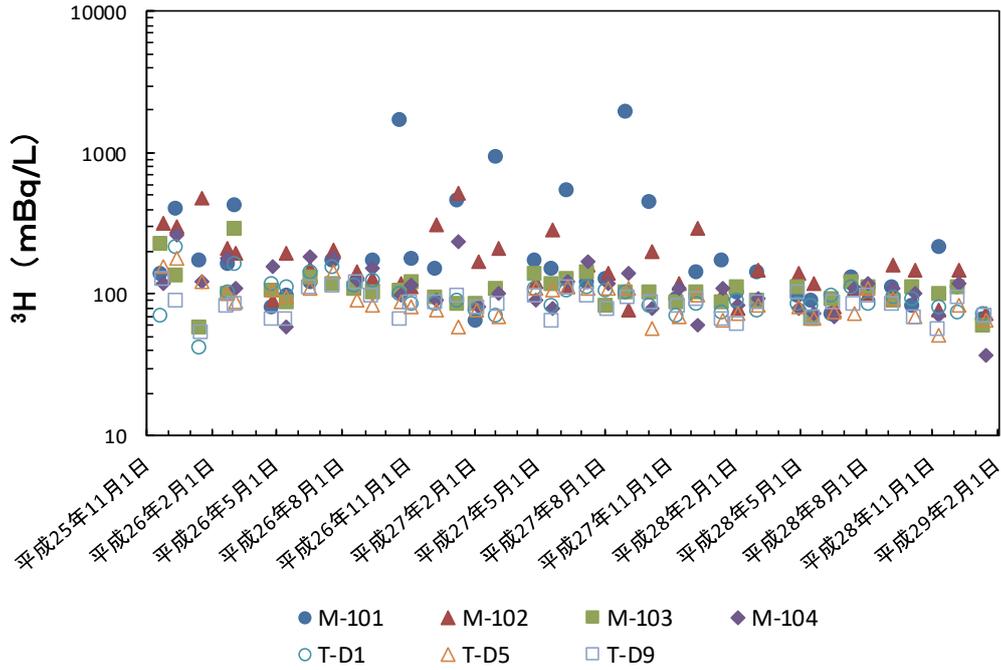


図 II-3-4 近傍・沿岸海域における ^3H 濃度の月別変化

(2) 沖合海域

海水試料の分析結果を資料 5-1-2 に示す。平成 28 年度の ^{134}Cs 及び ^{137}Cs 濃度の時系列変化を図 II-3-5 及び図 II-3-6 に示す。なお、これらの図には外洋海域におけるデータも合わせて示す。

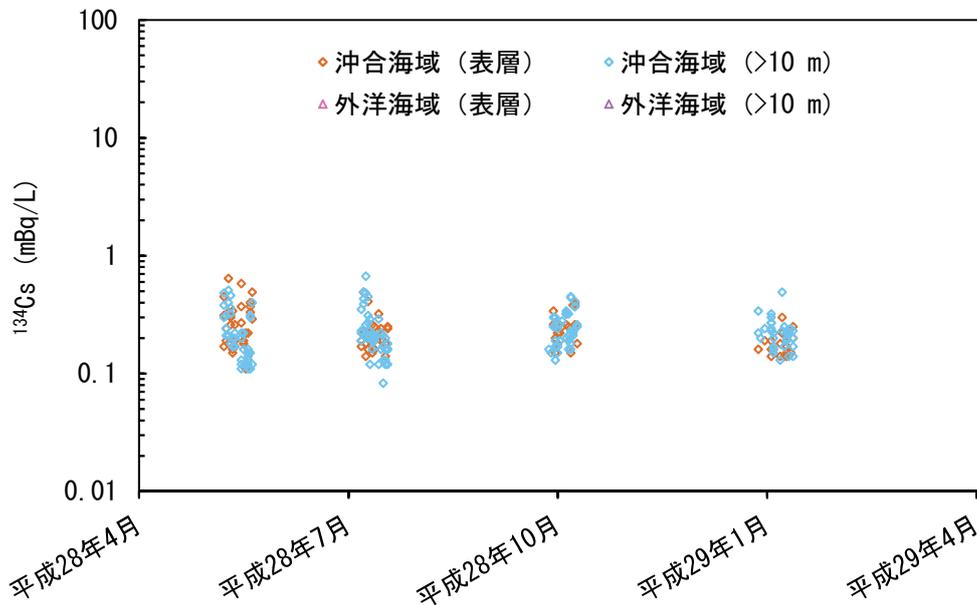


図 II-3-5 沖合及び外洋海域における ^{134}Cs 濃度の時系列変化

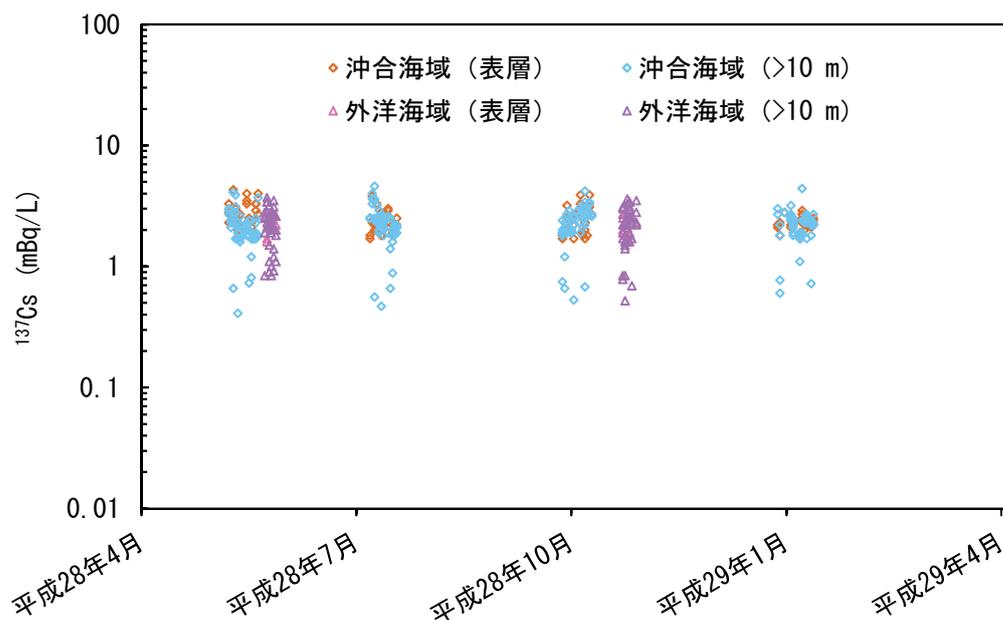


図 II-3-6 沖合及び外洋海域における ^{137}Cs 濃度の時系列変化

表層の ^{134}Cs 濃度は、5 月が 0.11~0.64mBq/L、7-8 月が ND~0.49mBq/L、10 月が ND~0.40 mBq/L、1-2 月が ND~0.30mBq/L の範囲であった。ND を除いた平均値は、0.28mBq/L (5 月)、0.22mBq/L (7-8 月)、0.25mBq/L (10 月)、0.18mBq/L (1-2 月) であった。

表層より深い深度 (中層及び下層) における ^{134}Cs 濃度は、5 月が ND~0.51mBq/L、7-8 月が ND~0.67mBq/L、10 月が ND~0.45mBq/L、1-2 月が ND~0.49mBq/L の範囲であった。ND を除いた平均値は、0.23mBq/L (5 月)、0.24mBq/L (7-8 月)、0.25mBq/L (10 月)、0.22mBq/L (1-2 月) であった。

表層の ^{137}Cs 濃度は、5 月が 1.7~4.3mBq/L、7-8 月が 1.7~3.8mBq/L、10 月が 1.7~3.9mBq/L、1-2 月が 1.7~2.9mBq/L の範囲であった。平均値は、2.7mBq/L (5 月)、2.4mBq/L (7-8 月)、2.4mBq/L (10 月)、2.3mBq/L (1-2 月) であった。

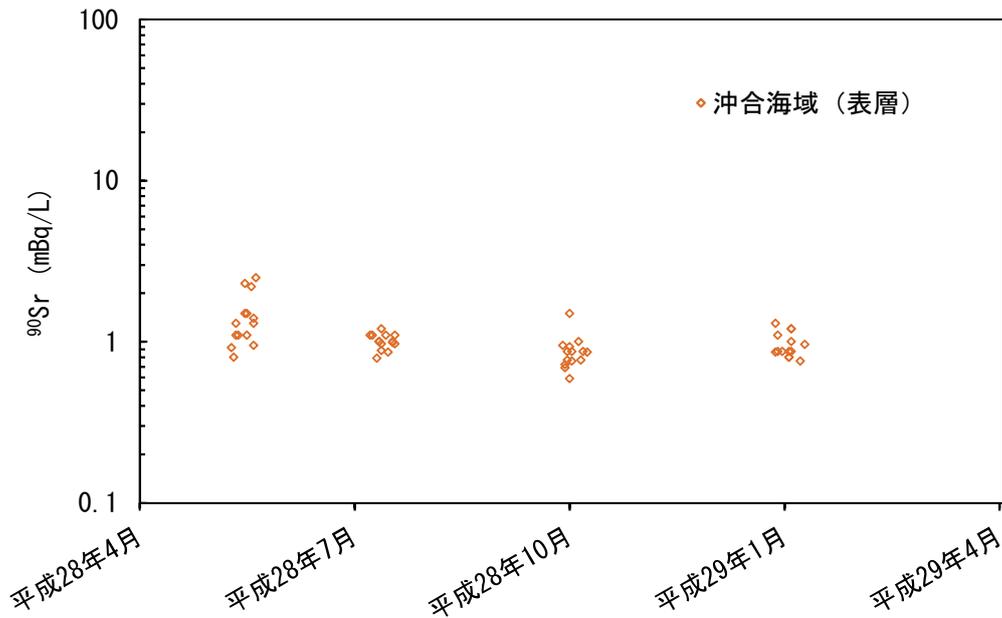
表層より深い深度 (中層及び下層) における ^{137}Cs 濃度は、5 月が 0.41~4.1mBq/L、7-8 月が 0.47~4.6mBq/L、10 月が 0.53~4.2mBq/L、1-2 月が 0.60~4.4mBq/L の範囲であった。平均値は、2.1mBq/L (5 月)、2.3mBq/L (7-8 月)、2.3mBq/L (10 月)、2.2mBq/L (1-2 月) であり、平成 28 年度の表層と比べ大きな違いは見られなかった。

平成 28 年度の表層における ^{90}Sr 濃度の時系列変化を図 II-3-7 に示す。 ^{90}Sr 濃度は、5 月が 0.80~2.5mBq/L、7-8 月が 0.79~1.2mBq/L、10 月が 0.59~1.5mBq/L、1-2 月が 0.76~1.3mBq/L の範囲であった。平均値は、1.4mBq/L (5 月)、1.0mBq/L (7-8 月)、0.87mBq/L (10 月)、0.96mBq/L (1-2 月) であった。各航海期で大きな違いは見られなかった。

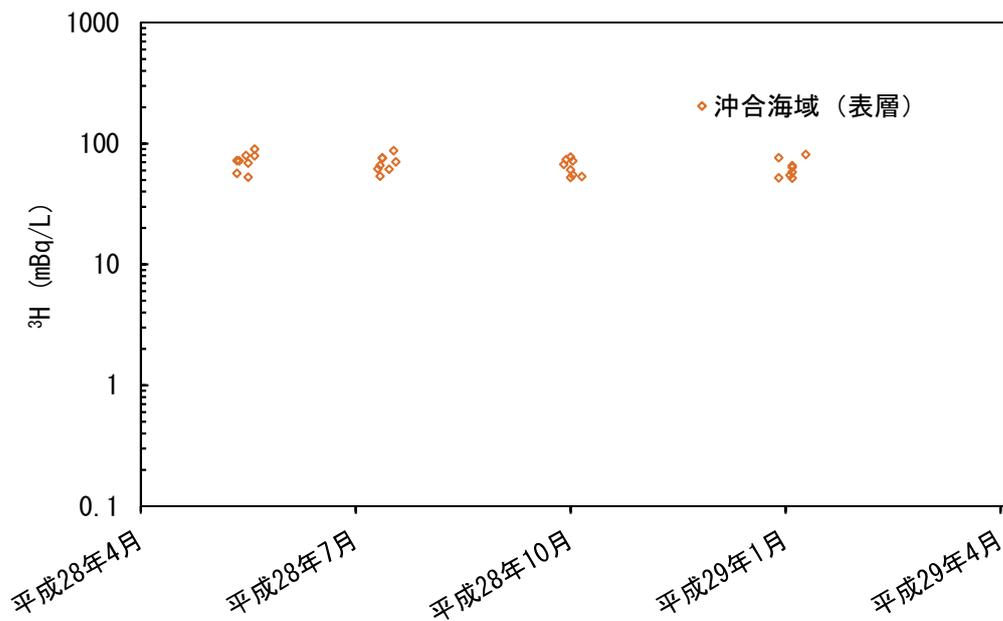
平成 28 年度の表層における ^3H 濃度の時系列変化を図 II-3-8 に示す。 ^3H 濃度は、5 月が 53~90mBq/L、7-8 月が 54~87mBq/L、10 月が 52~77mBq/L、1-2 月が 52~81mBq/L の範囲

であった。平均値は、72mBq/L（5月）、69mBq/L（7-8月）、64mBq/L（10月）、63mBq/L（1-2月）であり、各航海期で大きな違いは見られなかった。

平成28年度の表層における全β濃度の時系列変化を図Ⅱ-3-9に示す。全βは、5月が24~29mBq/L、7-8月が30~35mBq/L、10月が25~30mBq/L、1-2月が29~31mBq/Lの範囲であり、7-8月に高い値が見られたが、平均値は、26mBq/L（5月）、31mBq/L（7-8月）、28mBq/L（10月）、30mBq/L（1-2月）であり、各航海期の違いは見られなかった。



図Ⅱ-3-7 沖合海域における ^{90}Sr 濃度の時系列変化



図Ⅱ-3-8 沖合海域における ^3H 濃度の時系列変化

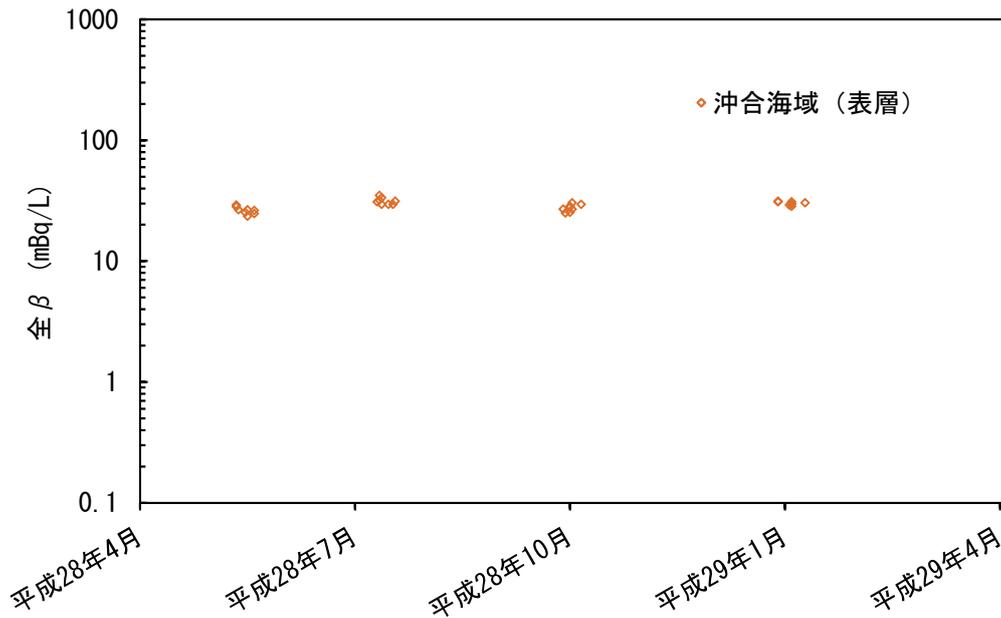


図 II-3-9 沖合海域における全β濃度の時系列変化

(3) 外洋海域

海水試料の分析結果を資料 5-1-3 に示す。

表層の ^{134}Cs 濃度は、6 月及び 11 月において、全ての測点で検出下限値以下であった。

表層より深い深度（100～500m）での ^{134}Cs 濃度は、6 月及び 11 月において、全ての測点で検出下限値以下であった（図 II-3-5）。

表層の ^{137}Cs 濃度は、6 月が 1.6～2.6mBq/L、11 月が 1.6～2.5mBq/L の範囲であった。平均値は、2.2mBq/L（6 月）、2.0mBq/L（11 月）であった（図 II-3-6）。

表層より深い深度（100～500m）での ^{137}Cs 濃度は、6 月が 0.84～3.7mBq/L、11 月が 0.52～3.6mBq/L の範囲であった（図 II-3-6）。濃度範囲は表層と比べると大きいものの、平均値は 2.2mBq/L（6 月）、2.2mBq/L（11 月）であり、平成 28 年度の表層と同程度であった。

平成 23 年 3 月以降に実施した東電福島第一原発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の結果を図 II-3-10 から図 II-3-13 に示す。

平成 28 年度の沖合並びに外洋海域における表層の ^{134}Cs 及び ^{137}Cs 濃度は、平成 27 年度の結果と同等かそれ以下であった。平成 24、25 年度において、10mBq/L を越える濃度が観測されたが、平成 28 年度では全てそれ以下であった。平成 25 年 11 月から平成 29 年 1 月までの近傍・沿岸海域における表層の ^{134}Cs 及び ^{137}Cs 濃度は、ND～150mBq/L 及び 2.3～600mBq/L の範囲であった。

沖合海域における中層（50m 及び 100m 層）及び底層での平成 28 年度の ^{137}Cs 濃度は、平成 26、27 年度と比べて、同等かそれ以下であった。

外洋海域における表層より深い深度（100～500m）での平成 28 年度の ^{137}Cs 濃度は、平成 27 年度の結果（5 月平均：2.4mBq/L、10-11 月平均：2.3mBq/L）と同程度であった。外洋海域において、表層の ^{134}Cs 濃度は全ての試料で検出下限値以下であった。表層より深い深度（中層及び底層）においても、全ての試料で検出下限値以下であった。

平成 25 年 11 月から平成 29 年 1 月までの近傍・沿岸海域における表層の ^{90}Sr 濃度は、ND～760mBq/L の範囲であった。

平成 28 年度の沖合海域における表層の ^3H 濃度は、平成 27 年度の結果と比べて大きな違いは見られず、事故前のレベル（約 100mBq/L）にあった。平成 25 年 11 月から平成 29 年 1 月までの近傍・沿岸海域における表層の ^3H 濃度は、37～1878mBq/L の範囲であった。

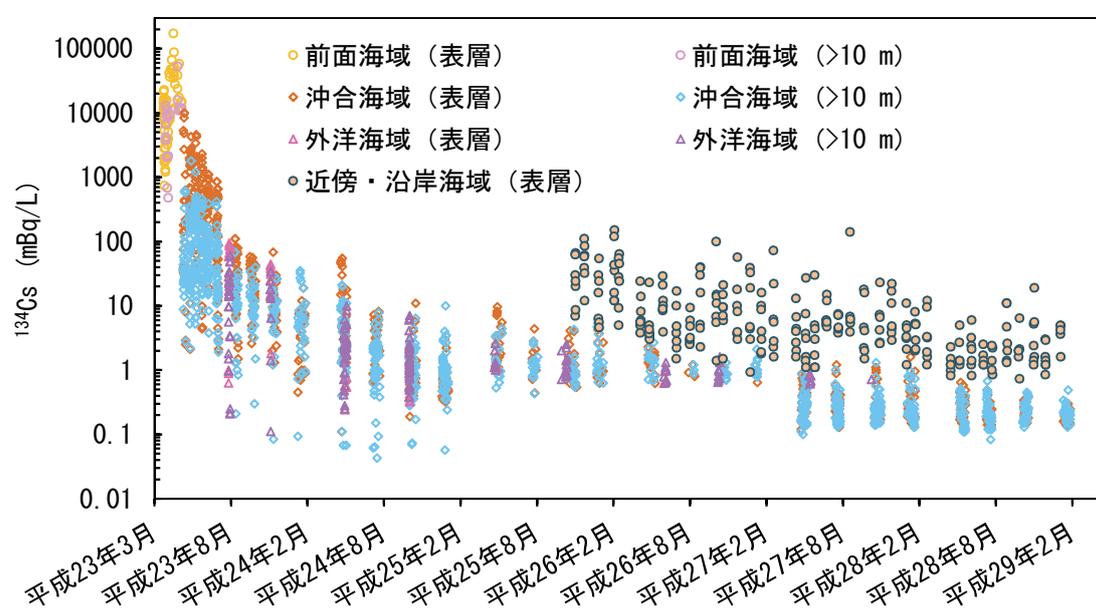


図 II-3-10 東電福島第一原発事故以降の ^{134}Cs 濃度の時系列変化。前面海域は平成 23 年 3 月から 5 月までの 30km 圏外付近を取り囲むように配置した 8～12 測点の調査海域。

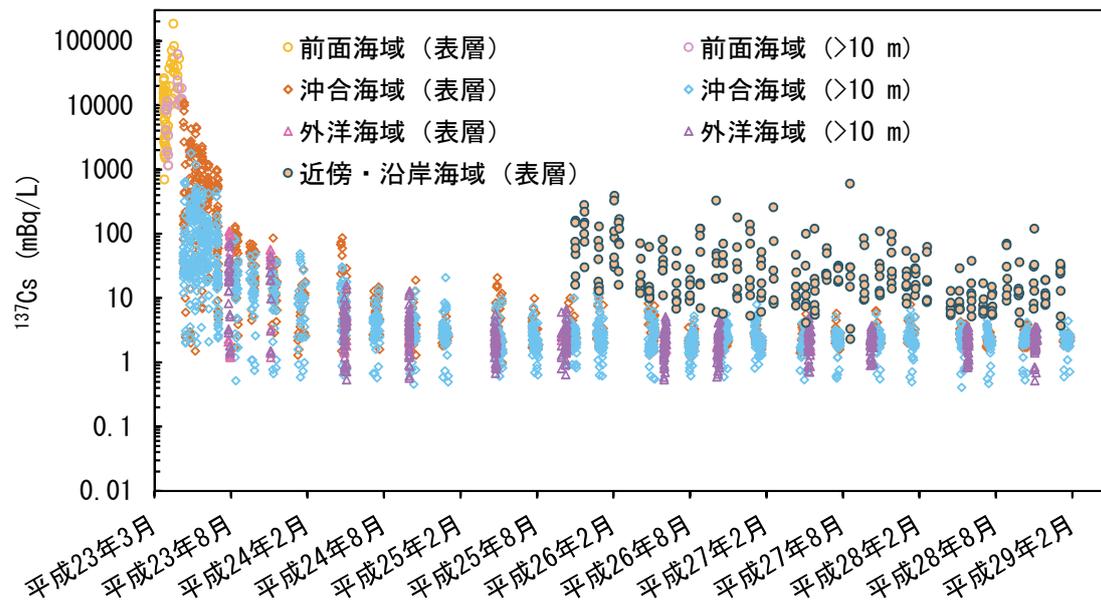


図 II-3-11 東電福島第一原発事故以降の ^{137}Cs 濃度の時系列変化。前面海域は平成 23 年 3 月から 5 月までの 30km 圏付近の測点

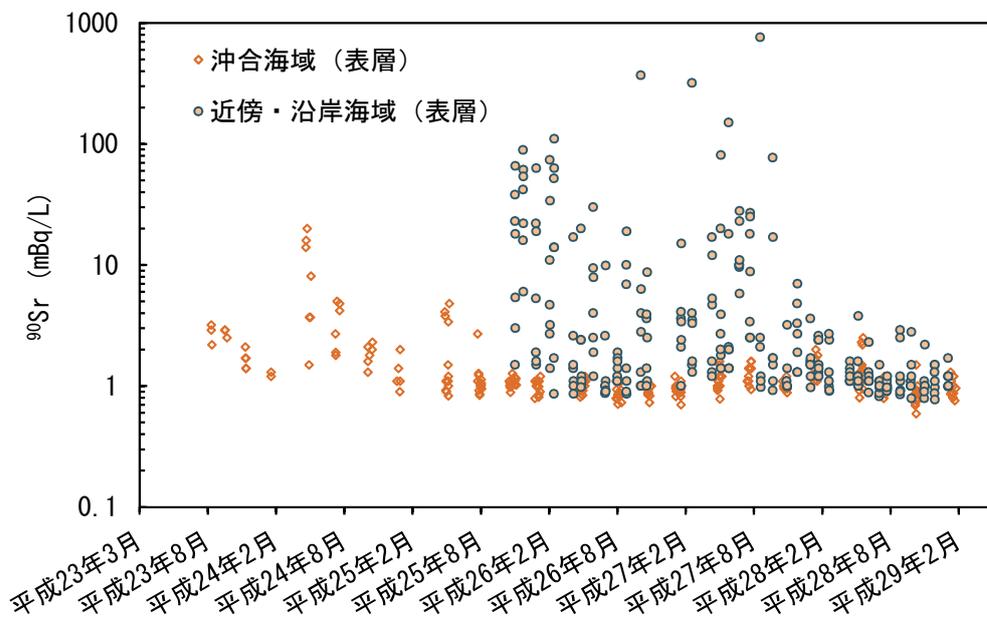
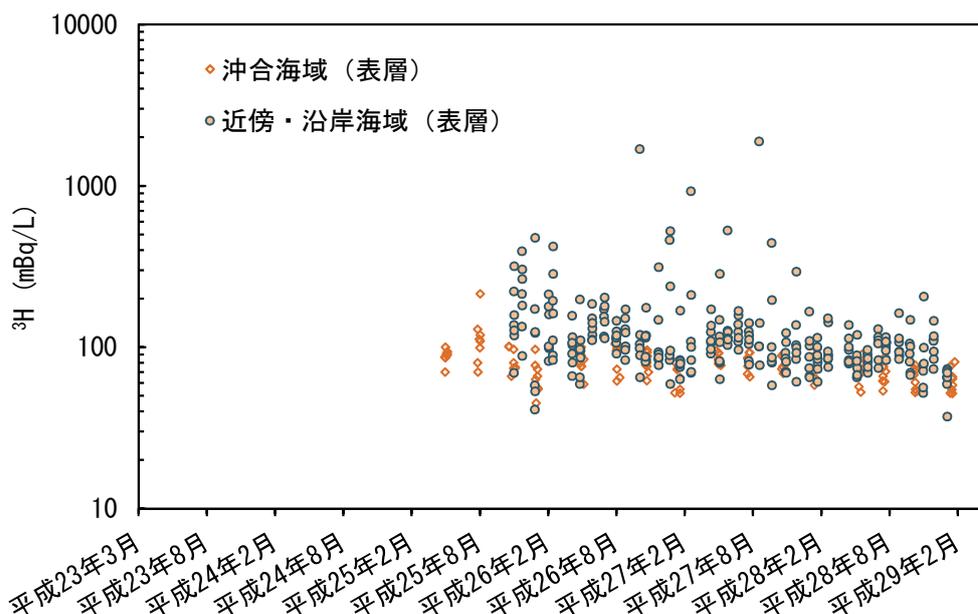


図 II-3-12 東電福島第一原発事故以降の ^{90}Sr 濃度の時系列変化



図Ⅱ-3-13 東電福島第一原発事故以降の³H濃度の時系列変化

2) 海底土試料

沖合海域で採取した海底土試料の分析結果を資料 5-2-1～3 に示す。観測海域における濃度の高低は必ずしも東電福島第一原発事故からの距離とは関連していない。同時に、年度を経るにつれ一般的に減少を示す。観測した海域内で¹³⁷Cs濃度は、数 Bq/kg-乾燥土から数百 Bq/kg-乾燥土の広い範囲に分布しており、同時に測点 L1 を除くすべての測点で東電福島第一原発事故前の5年平均(0.87Bq/kg-乾燥土)より高いレベルにあった。

本事業で採取したモニタリング海域のすべてのデータを時系列的に平成23年度よりプロットしたものを図Ⅱ-3-14 に示す。観測した海域内で¹³⁷Cs濃度は、数 Bq/kg-乾燥土から数百 Bq/kg-乾燥土の広い範囲に分布しており、平成28年度は4つの測点(D1、G0、I0、I1)でばらつきはあるものの比較的高い濃度を示した。各々の測点の¹³⁷Cs濃度の年間平均は測点D1が66Bq/kg-乾燥土、G0が73Bq/kg-乾燥土、I0が108Bq/kg-乾燥土、I1が92Bq/kg-乾燥土であった。最も¹³⁷Cs濃度が低い測点はL1(0.50～2.1Bq/kg-乾燥土)であった。この測点の海底土は、粘土成分が極めて少なく砂質がもっとも卓越している。加えて、東電福島第一原発事故由来の¹³⁷Csにほとんど汚染されていない黒潮の影響を受けているため、このような低濃度が観測されたものと思われる。

時系列的には、全体的に事故後半年間は観測点間にばらつきはあるものの濃度は上昇傾向にあり、その後は減少傾向に転じている。調査開始の平成23年9月から各航海期の幾何平均を計算して、図Ⅱ-3-14 に黒太線で示した。事故後約5年半で、幾何平均値は47 Bq/kg-乾燥土から12Bq/kg-乾燥土まで指数関数的に減少している。指数関数をフィットさせることにより、その半減期は約2.6年と見積もられた。

海底土の ^{137}Cs 濃度が減少している原因は、(1)底棲生物の海底土表層攪乱による下方移動（例えば、Black and Buessler¹⁾）、(2)海底土の再懸濁と水平移動、(3)海底土からの溶出・脱着等が考えられる。Kusakabe *et al.*²⁾は柱状試料中の ^{137}Cs 濃度の時系列変化には中層部の増加を示しているのは見受けられないことから、(1)の要因が主原因とはならないとした。同時に海底土の平均粒径が大きいところは濃度の減少率も大きいことも報告しており、再懸濁しやすい、すなわち粒径の小さい海底土が少ないところには ^{137}Cs は長くどまっていないことを意味しており、海底土の再懸濁が主な原因であることを示唆している。海底土からの溶出・脱着の可能性も否定できない^{3),4)}。

過去のモニタリングで ^{137}Cs 濃度が比較的高かった 6 測点 (B3、D1、E1、F1、I1、J1)において¹⁾、 ^{90}Sr 濃度を測定した結果を表 II-3-1 に示す。 ^{90}Sr 濃度は 0.08~0.72 Bq/kg-乾燥土の範囲であった（一部検出下限値以下）。東電福島第一原発事故前には、沖合海域の海底土の ^{90}Sr は測定されていなかったため、ここで検出された ^{90}Sr が事故由来かどうかは直ちに断定できないが、事故前の ^{137}Cs 濃度が比較的近い核燃海域の海底土では、平成 18~22 年度の試料中の ^{90}Sr 濃度は、検出限界値以下から 0.78Bq/kg-乾燥土の間にあり⁵⁻⁹⁾、測点は異なるものの、事故前の濃度から定性的には大きく逸脱していない。さらに上記 6 測点における海水中の $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ 比は事故後 0.1~0.8 の範囲にあるが、海底土の $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ 比はそれよりも 1~2 桁低い(表 II-3-2)。 ^{90}Sr の海水から海底土への詳細な移動機構や移動量についてはよくわかっていないが、海底土中の同事故由来 ^{90}Sr の存在量は ^{137}Cs と比べると極めて少ないと考えられる。

平成 28 年 7-8 月の航海で採取した 3 つの海底土表層試料 (測点 B3、E1、I1) について、アルファ線放出核種 (^{238}Pu 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{241}Am 、 ^{242}Cm 、 $^{243+244}\text{Cm}$) を測定した。結果を表 II-3-3 に示す。Cm 同位体以外の核種で有意の放射能が検出された。 ^{238}Pu は測点 E1 では検出されなかったものの、B3 と I1 では各々 0.029 と 0.020Bq/kg-乾燥土が観測された。同時に試料の $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ は測点 B3 と I1 では各々 0.022 ± 0.004 及び 0.015 ± 0.004 であり、これらはフォールアウト (0.032) とビキニ環礁 (0.001-0.014) の値¹⁰⁾ の範囲内にあり、東電福島第一原発事故起源とは考えられない。 $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ においても、他の海域で観測された従来値との差異は認められず、検出された ^{241}Am は東電福島第一原発事故由来とは言えない。今のところ、海底土中の Pu 同位体濃度について、東電福島第一原発事故前後で有意な差は他の研究でも報告されていない (例えば、Zheng *et al.*¹¹⁾)。

4. まとめ

平成 28 年度における東電福島第一原発周辺の海域モニタリング結果から、海水は東電福島第一原発の近傍・沿岸海域では、放射性核種濃度が未だに事故前のレベルに至っていないものの、東電福島第一原発から 30km 圏外での沖合及び外洋海域においては、東電福島第一原発事故前のレベルに近づきつつあった。海底土において、沖合海域での全測点の ^{137}Cs 濃度の幾何平均値は、事故後約 5 年半で 47Bq/kg-乾燥土から 12Bq/kg-乾燥土まで指

数関数的に減少している。 ^{90}Sr 及び α 線放出核種は東電福島第一原発事故由来の値は確認されなかった。

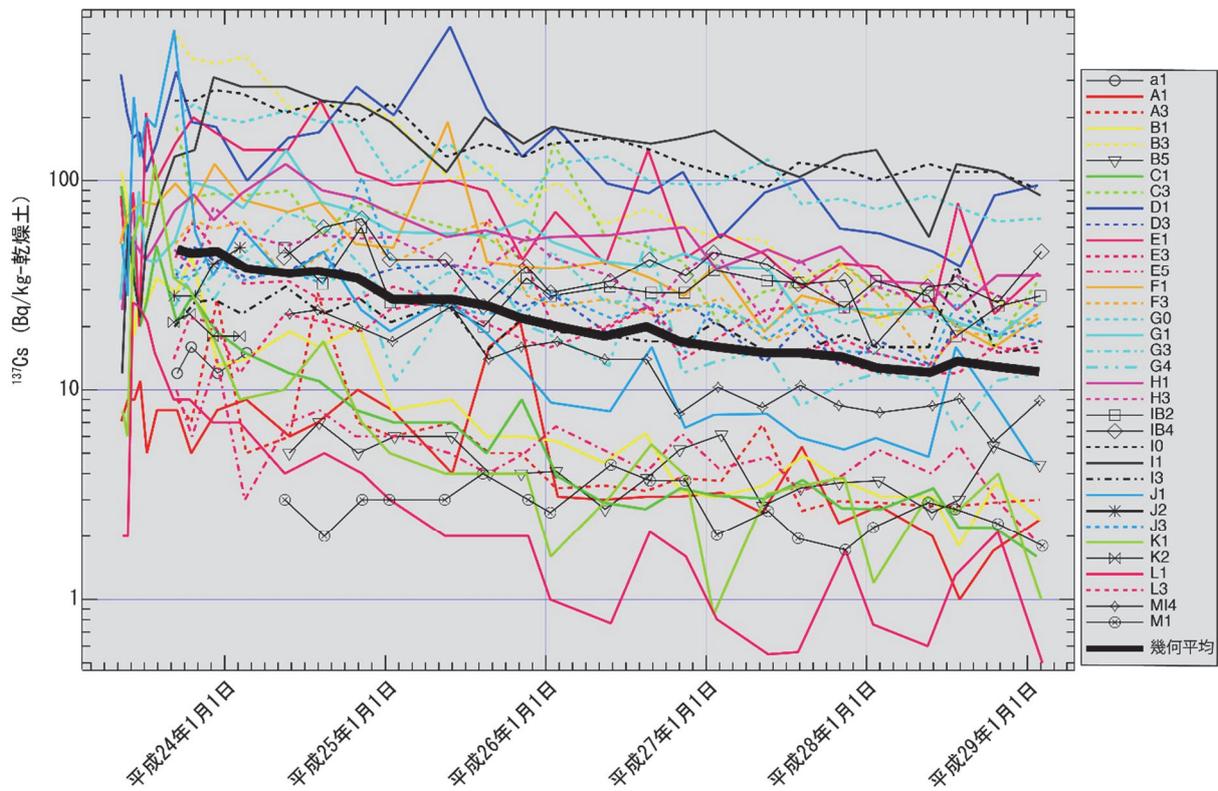


図 II-3-14 各測点における ^{137}Cs 濃度の時系列変化

表 II-3-1 沖合海域の海底土表層 (0-3cm) における ^{90}Sr 濃度

測点	^{90}Sr 濃度 (Bq/kg-乾燥土)			
	平成 28 年 5 月	平成 28 年 7-8 月	平成 28 年 10 月	平成 29 年 1 月
B3	0.25 ± 0.03	0.11 ± 0.02	0.16 ± 0.04	ND
D1	0.19 ± 0.02	0.72 ± 0.03	0.11 ± 0.02	0.09 ± 0.02
E1	0.12 ± 0.03	0.14 ± 0.02	0.10 ± 0.02	0.08 ± 0.02
F1	0.12 ± 0.02	0.13 ± 0.02	0.10 ± 0.02	0.09 ± 0.02
I1	0.13 ± 0.02	0.11 ± 0.02	0.11 ± 0.02	0.16 ± 0.02
J1	ND	0.11 ± 0.02	0.12 ± 0.02	ND

ND 検出下限値以下

表Ⅱ-3-2 沖合海域の海底土表層（0-3cm）における⁹⁰Sr/¹³⁷Cs比

測点	⁹⁰ Sr/ ¹³⁷ Cs（放射能比、×10 ⁻³ ）			
	平成 28 年 5 月	平成 28 年 7-8 月	平成 28 年 10 月	平成 29 年 1 月
B3	6.8 ± 0.8	2.3 ± 0.4	6.3 ± 1.6	—
D1	4.2 ± 0.4	18.6 ± 0.8	1.3 ± 0.2	0.9 ± 0.2
E1	5.5 ± 1.4	1.8 ± 0.3	4.4 ± 0.9	2.2 ± 0.6
F1	4.7 ± 0.8	6.5 ± 1.0	6.3 ± 1.3	4.1 ± 0.9
I1	2.4 ± 0.4	1.0 ± 0.2	1.0 ± 0.2	1.9 ± 0.2
J1	—	6.7 ± 1.2	14.8 ± 2.5	—

— ⁹⁰Sr 濃度が検出下限値以下のため、計算対象外。

表Ⅱ-3-3 沖合海域の海底土表層（0-3cm）におけるα線放出核種濃度

測点	²³⁸ Pu	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am	²⁴² Cm	²⁴³⁺²⁴⁴ Cm
	(Bq/kg-乾燥土)				
B3	0.029 ± 0.006	1.34 ± 0.05	0.77 ± 0.04	ND	ND
E1	ND	1.03 ± 0.04	0.54 ± 0.03	ND	ND
I1	0.020 ± 0.005	1.35 ± 0.05	0.67 ± 0.03	ND	ND

調査日は平成 28 年 7 月 24 日～8 月 1 日

ND 検出下限値以下

引用文献

- 1) Black, E. and Buesseler, K.O. (2014). Spatial variability and the fate of cesium in coastal sediments near Fukushima, Japan. *Biogeosciences*, 11, 5123-5137.
- 2) Kusakabe, M., Inatomi, N., Takata, H., Ikenoue, T. (submitted). Decline in radiocesium in seafloor sediments off Fukushima and nearby prefectures. *J. Oceanogr.*
- 3) Takata, H., Hasegawa, K., Oikawa, S., Kudo, N., Ikenoue, T., Isono, R. S., 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.
- 4) Takata, H., Kusakabe, M., Inatomi, N., Ikenoue, T., Hasegawa, K. (2016). The contribution of sources to the sustained elevated inventory of ¹³⁷Cs in offshore waters east of Japan after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power

Station Accident. Environ. Sci. Technol., 50, 6957-6963.

- 5) 海洋生物環境研究所 (2007). 平成 18 年度海洋環境放射能総合評価事業成果報告書－海洋放射能調査、放射能調査等資料の収集・整理、総合評価のための解析調査及び普及－.
- 6) 海洋生物環境研究所 (2008). 平成 19 年度海洋環境放射能総合評価事業成果報告書－海洋放射能調査、放射能調査等資料の収集・整理、総合評価のための解析調査及び普及－.
- 7) 海洋生物環境研究所 (2009). 平成 20 年度海洋環境放射能総合評価事業成果報告書－海洋環境における放射能調査及び総合評価－.
- 8) 海洋生物環境研究所 (2010). 平成 21 年度海洋環境放射能総合評価事業成果報告書－海洋環境における放射能調査及び総合評価－.
- 9) 海洋生物環境研究所 (2011). 平成 22 年度海洋環境放射能総合評価事業成果報告書－海洋環境における放射能調査及び総合評価－.
- 10) Zheng, J., Tagami, K. and Uchida, S. (2013). Release of plutonium isotopes into the environment from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident: What is known and what needs to be known. Environ. Sci. Technol., 47, 9584-9595.
- 11) Zheng, J., Aono, T. and Honda, M.C. (2012). Distribution of Pu isotopes in marine sediments in the Pacific 30 km off Fukushima after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. Geochem. J., 46, 361-369.

Ⅲ 調査結果の評価

本事業の実施にあたり、調査計画及び内容、測定値の信頼性、調査結果等について審議することを目的に、環境放射能学、海洋学、水産学等の専門家ならびに漁業関係者からなる海洋放射能検討委員会（以下、検討委員会という。）を設置した。平成 28 年度検討委員会の委員名簿を表Ⅲ-1-1 に示す。

検討委員会は、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において実施した解析調査を含めた海洋放射能調査及び東電福島第一原発周辺の海域モニタリングに関する調査内容全般について指導、助言し、調査計画について承認するとともに、調査結果等について検討、評価、承認した。平成 28 年度は 3 回開催し、第 1 回及び第 3 回検討委員会は通常の会合で実施し、第 2 回検討委員会は電子メールによる会合で実施した。開催日程及び主な審議内容は以下のとおりであった。

第 1 回海洋放射能検討委員会（平成 28 年 4 月 25 日）

- ・ 調査計画の承認
- ・ 調査内容の妥当性の検討

第 2 回海洋放射能検討委員会（平成 28 年 12 月 7 日～13 日；メール会合）

- ・ 調査内容の妥当性の検討、評価
- ・ 測定値の信頼性確認
- ・ 調査結果（中間とりまとめ）の検討、評価、承認

第 3 回海洋放射能検討委員会（平成 29 年 3 月 15 日）

- ・ 測定値の信頼性確認
- ・ 調査結果の検討、評価、承認
- ・ 報告書及び調査結果概要の検討、評価、承認

また、より技術的、専門的観点から得られたデータの解析手法及び結果の解釈等について検討し、指導、助言を得るため、検討委員会の下に、環境放射能学、海洋学、水産学等の専門家からなるデータ解析専門部会（以下、専門部会という。）を設置した。平成 28 年度専門部会の委員名簿を表Ⅲ-1-2 に示す。

平成 28 年度は 2 回開催し、開催日程及び主な審議内容は以下のとおりであった。

第 1 回データ解析専門部会（平成 28 年 11 月 22 日）

- ・ 調査内容（計画・進捗）の検討、指導、助言
- ・ 調査結果（中間とりまとめ）の検討、指導、助言

第 2 回データ解析専門部会（平成 29 年 3 月 9 日）

- ・ 調査結果（報告書）の検討、指導、助言

表Ⅲ-1-1 平成 28 年度海洋放射能検討委員会委員名簿

(敬称略、五十音順)

氏 名	所 属 ・ 役 職	専 門 等
飯田 孝夫 (主査)	名古屋大学名誉教授	環境放射能
石川 大蔵	八戸漁業指導協会事務局長	漁業関係団体
帰山 秀樹	国立研究開発法人水産研究・教育機構 中央水産研究所海洋・生態系研究センター 放射能調査グループ研究員	海洋生態系
小泉 明	静岡県環境放射線監視センター所長	環境放射能
小出 政明	青森県漁業協同組合連合会専務理事	漁業関係団体
小佐古敏荘 (副主査)	東京大学名誉教授	環境放射能
鈴木 仁※	福島県環境創造センター調査・分析部長	環境放射能
東嶋 和子	科学ジャーナリスト	ジャーナリスト
中野 政尚※	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所放射線管理部 環境監視課長	環境放射能
久松 俊一※	公益財団法人環境科学技術研究所理事	環境放射能
松野 健※	国立大学法人九州大学応用力学研究所教授	海洋物理
吉澤 道夫	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所放射線管理部長	環境放射能
若林 満	全国漁業協同組合連合会漁政部長	漁業関係団体

所属・役職は平成 29 年 3 月 1 日現在

※ 平成 28 年度データ解析専門部会委員との兼任委員 (4 名)

表Ⅲ-1-2 平成 28 年度データ解析専門部会委員名簿

(敬称略、五十音順)

氏 名	所 属 ・ 役 職	専 門 等
青野 辰雄	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研究所福島再生支援本部 環境動態研究チームリーダー	海洋放射能
市川 忠史	国立研究開発法人水産研究・教育機構 東北区水産研究所資源環境部長	海洋生態系
鈴木 仁 [※]	福島県環境創造センター調査・分析部長	環境放射能
塚田 祥文	国立大学法人福島大学環境放射能研究所副所長	環境放射能
豊岡 健司	茨城県環境放射線監視センター放射能部長	環境放射能
長尾 誠也	国立大学法人金沢大学 環日本海域環境研究センター長	環境放射能
中野 政尚 [※]	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所放射線管理部 環境監視課長	環境放射能
久松 俊一 [※]	公益財団法人環境科学技術研究所理事	環境放射能
吹越恵里子	青森県原子力センター分析課主任研究員	環境放射能
松野 健 [※]	国立大学法人九州大学応用力学研究所教授	海洋物理

(主査)

所属・役職は平成 29 年 3 月 1 日現在

※ 平成 28 年度海洋放射能検討委員会委員との兼任委員 (4 名)

IV 調査結果等の報告・説明

1. 報告資料の作成

平成 27 年度調査成果を関係機関・団体の職員等に対し報告する資料として、平成 27 年度海洋環境放射能総合評価事業調査報告書－「海洋環境における放射能調査及び総合評価」－（平成 28 年 3 月、公益財団法人海洋生物環境研究所）を作成・印刷した。

また平成 27 年度調査結果概要として、パンフレット「漁場を見守る 海洋環境放射能総合評価事業海洋放射能調査（平成 27 年度）（平成 28 年 5 月、公益財団法人海洋生物環境研究所）」を作成・印刷した。

2. 関係機関・団体等への調査結果の報告・配布

上記の報告資料及び調査結果概要を用いて、調査対象海域の漁業関係者、関係機関・団体の職員に対し、平成 28 年 5、6 月に平成 28 年度事業概要及び前年度調査結果等、平成 29 年 1、2 月に平成 28 年度調査結果の中間取りまとめについて、それぞれ個別に報告したほか、事業結果説明に関するアンケートを依頼した。

「平成 28 年度事業概要及び平成 27 年度調査結果等」に関する報告を行った機関・団体等は、関係道県漁業協同組合連合会及び関係漁業協同組合等、漁業関係機関が 43 箇所、関係自治体の水産関係部署が 17 箇所及び同原子力・放射線関係部署が 35 箇所、加えて試料採取に係る海上保安部（署）13 箇所、計 108 箇所であった。

「平成 28 年度調査結果の中間取りまとめ」に関する報告を行った機関・団体等は、関係道県漁業協同組合連合会及び関係漁業協同組合等、漁業関係機関が 41 箇所、関係自治体の水産関係部署が 17 箇所及び同原子力・放射線関係部署が 33 箇所、加えて試料採取に係る海上保安部（署）13 箇所、計 104 箇所であった。

なお平成 27 年度報告資料及び調査結果概要については、原子力規制庁の了解を得て、当研究所のウェブサイト上に「委託調査成果」として公表した。

V 本事業で得られた関連試料の保管・管理

平成 28 年度に実施された本事業で得られた試料について、平成 23～27 年度にかけて本事業で得られた試料とあわせて整理・保管した。試料の保管は、当研究所が借用している倉庫（千葉県四街道市）で行い、試料の整理・管理を円滑に行うために整備した保管棚に収めた。これらの試料は保管台帳に記録し、再分析等、原子力規制庁からの指示に速やかに対応できるよう管理した。さらに同倉庫に収まりきらない試料については、試料等の保管業務を行っている専門の倉庫会社（千葉県八街市）にて保管・管理した。

また、これまで保管していた平成 27 年度までに採取した海水試料の内、福島第一海域及び福島第二海域を除く原子力発電所等周辺海域及び核燃料サイクル沖合海域で採取した海水試料、約 2,000 個については、原子力規制庁からの了解を得た後に廃棄処分した。処分は専門の産業廃棄物業者に依頼し、保管場所である倉庫（千葉県八街市及び山武市）から複数回に分けて搬出し、処分施設（新潟県上越市及び燕市）まで搬送した。その後、産業廃棄物として廃酸処理等を行い処分した。

