

## 環境放射能水準調査用固定型モニタリングポストの設置について

阿部郁子, 吉田直人, 安藤孝志, 藤原秀一

東京電力(株)福島第一原子力発電所事故の影響による環境放射線の監視強化のため、国からの委託事業として、宮城県内の6カ所に環境放射能水準調査用の固定型モニタリングポストを増設した。更に、従来から仙台市内にあった既存の1カ所の固定型モニタリングポストを更新し、平成24年(2012年)3月28日以降、国からの委託事業として、宮城県内の合計7カ所において24時間連続測定を開始した。

### I はじめに

宮城県においては昭和33年(1958年)より文部科学省(当時は科学技術庁)の委託を受けて「環境放射能水準調査」を実施している。東京電力(株)福島第一原子力発電所事故により多量の放射性物質が環境へ放出されたことを受け、環境放射線の監視強化の一環として、空間ガンマ線線量率測定用の固定型モニタリングポストの増設及び既存の固定型モニタリングポストの更新を行ったので報告する。

### II 固定型モニタリングポストの測定地点等

固定型モニタリングポストの設置地点を図1に、また設置地点の詳細と増設状況を表1に示す。文部科学省より「モニタリングポストの検出部は地面から1m高さに設置」するよう指示を受けたことから、増設したモニタリングポスト6地点については地上1m高さに設置した。なお、更新したモニタリングポストについては、更新前には庁舎5階屋上に設置してあったことの連続性を考慮し、同敷地内にある分庁舎(2階)屋上(9.5m)に設置した。

表1 固定型モニタリングポストの設置地点および増設状況

増設前	増設後
(1)固定型モニタリングポスト及びデータ処理装置兼送信機 ・県保健環境センター本庁舎(仙台市) 平成23年3月17日まで測定(東日本大震災の地震による庁舎被災のため、測定を中止)	(1)固定型モニタリングポスト及びデータ処理装置兼送信機 <b>【更新】</b> ・県保健環境センター分庁舎(仙台市)
(2)収集サーバ ・県原子力センター(女川町) 平成23年3月11日の東日本大震災に伴う津波により滅失	<b>【増設】</b> ・県大河原合同庁舎(大河原町) ・県大崎合同庁舎(大崎市) ・県栗原合同庁舎(栗原市) ・県登米合同庁舎(登米市) ・県石巻合同庁舎(石巻市) ・県気仙沼保健福祉事務所(気仙沼市)
	(2)収集サーバ ・県原子力センター仮設庁舎(仙台市)

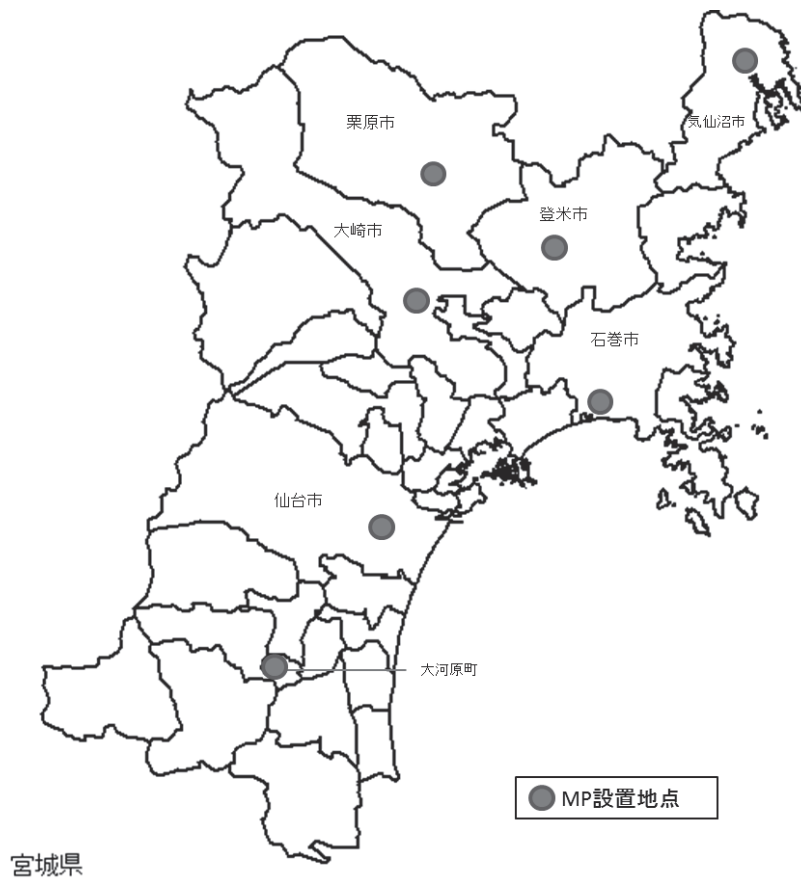


図1 固定型モニタリングポスト設置地点

### III 固定型モニタリングポストの主な仕様

システムの概要を図2に示す。固定型モニタリングポストは日立アロカメディカル株式会社製環境放射線モニタ MODEL MAR-22 であり、線量率測定範囲はバックグラウンド～ $10^4$  nGy/h ( $10 \mu$  Gy/h) である(図3)。測定部は、アンプ、ディスクリ、エネルギー補償回路、レコーダー等を1つに納めており、室内にて監視を行うことが可能である(図4)。測定部から出力されたデータはデータ処理装置兼送信機からVPNを介し、原子力センター内に設置した県収集サーバに保存される。さらに、国が所有するデータ収集端末を介して国のホームページで公開される。各部の主な仕様は以下に示すとおりである。

#### 1 モニタリングポスト

##### (1) 検出部

##### 温度補償型 NaI (Tl) シンチレーション検出器

測定対象	空間ガンマ線(50 keV～3 MeV)
シンチレータ	2"φ×2" NaI (Tl) シンチレータ
温度補償範囲	+5℃～+45℃(検出器周辺温度を温度補償範囲内となるよう温度制御可能)
温度安定度	上記範囲内で $^{137}\text{Cs}$ フォトピーク 662keV の出力波高に対して±2%以内
分解能	$^{137}\text{Cs}$ フォトピーク 662keV の出力波高に対して±10%以下
高圧電源	内蔵

(2) 測定部

測定範囲	50 keV～3 MeV
エネルギー補償方式	デジタル・シグナル・プロセッサ方式による G(E) 関数荷重演算
データ出力	1 分間の線量率および計数率を出力可能
スペクトルデータ出力	最新の 10 分間のスペクトルデータを出力可能

2 データ処理装置等

(1) データ処理装置兼送信機

測定部から出力される 1 分間の線量率及び計数率データの取り込みが可能である。また送信のバックアップ機能として、測定部のコンパクトフラッシュ（以下「CF」とする）に保存された 1 分間の線量率と計数率データの取り込みおよびデータの補填が可能である。

(2) 県収集サーバ

データ処理装置兼送信機で作成されたファイルを収集し、国が所有するデータ収集端末にファイアウォールを介して 10 分間値（空間線量率の 10 分間の平均値）が保存される。

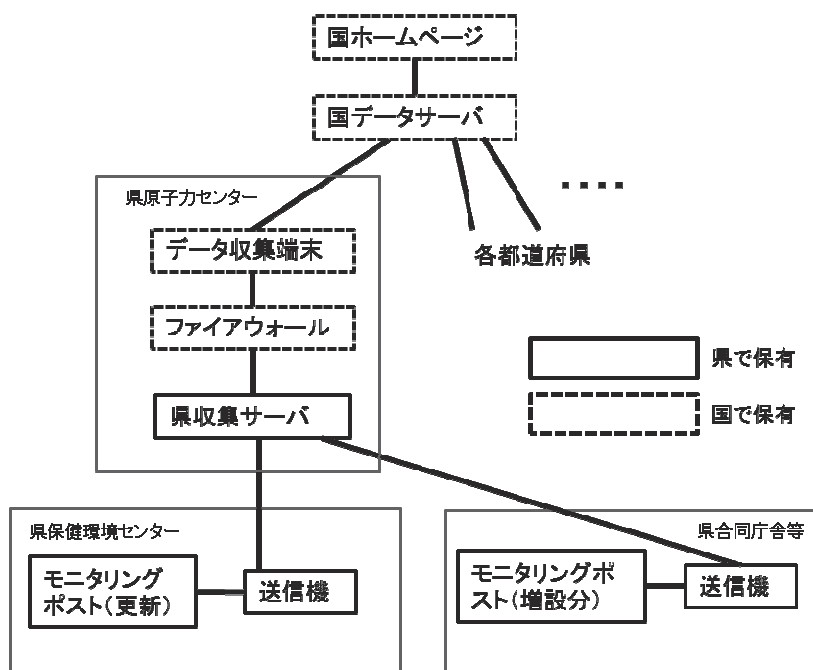


図 2 システムの概要

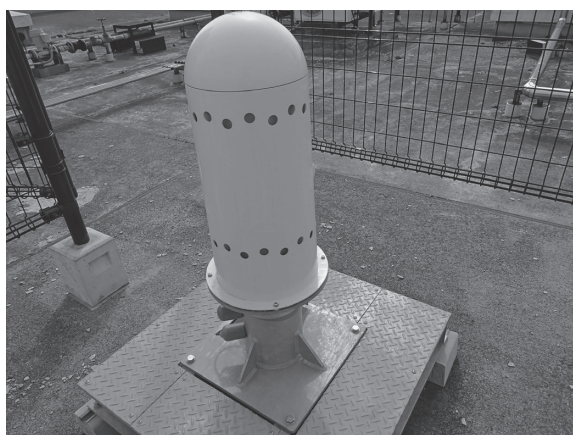


図 3 検出部写真



図 4 測定部およびデータ処理装置等写真

### 3 その他

停電対策，瞬時停電対策および雷サージ対策としてUPS装置が付属している。また，モニタリングポスト，データ送信機等，装置全体の測定時刻が正確に同期するよう，定期的に外部NTPサーバ（タイムサーバ）または電波時刻補正装置から時刻情報を取得し，時刻を合わせている。

## III 測定状況

平成24年（2012年）3月28日より24時間連続測定を開始した。検出器周辺の環境確認や操作端末の確認，記録紙やCFの交換等の日常点検のため，職員が月に1回程度巡回し点検を実施した。測定結果については，当センターに設置した収集サーバに随時送信され，1時間平均値，最大値，最小値，月報等，データ解析に必要なデータを読み出すことが可能である（図5）。また定時，高線量率時，異常時には指定したEメールアドレスに情報が送信される機能も有しており，データの確認が容易である。CFにより電子データとしても保存可能である。

平成24年度のモニタリングポストによる空間線量率の月平均値については1月から2月にかけて，雪による遮蔽の影響で，線量率の低下傾向がみられたが，全体としても漸減傾向がみられた。



図5 データ表示画面の例

## IV まとめ

宮城県内7カ所に固定用モニタリングポストを設置し，空間ガンマ線線量率の連続測定を開始した。東京電力(株)福島第一原子力発電所事故の影響による環境放射線の監視の強化を担っており，測定結果については送信機，収集サーバ等を介することにより，10分間値（空間線量率の10分間の平均値）が国のホームページ <http://radioactivity.nsr.go.jp/map/ja/> でリアルタイム公開されている。

## 福島第一原発事故後の宮城県における環境放射能の分布調査 (1)

石川陽一, 新井康史, 阿部郁子

1981年以降の降下物と指標生物(松, ヨモギ及び海藻のアラメの葉)中のCs-137の値は, 福島第一原発事故後はいずれの試料においても顕著に上昇した。Cs-137濃度は, 松とヒバでは葉と茎とで同程度, またアラメでは葉よりも茎中の濃度が高く, Cs-137は植物や海藻の内部にまで取り込まれているものと考えられた。海産物のホヤ, アワビ及びカキには, 濃度は低いものの同上事故由来のCs-134, 137のほか, Ag-110mも検出された。県内2地点の未耕地において土壌中のCs-137濃度の深度分布を測定したところ, 最表層の0-1 cm層ではいずれも約1000 Bq/kg(乾燥重)程度の値であったが, 深さ方向の分布には違いがみられ, ガンマ線線量率にも違いがみられた。宮城県沿岸海底土中のCs-137濃度は, 事故前には最大約20 Bq/kg程度であったが, 事故後の2011年には最大で約200 Bq/kg程度まで上昇した。

### I はじめに

2011年3月11日に発生した東京電力(株)福島第一原子力発電所事故(以下,「福島第一事故」)によって大量の人工放射性核種が外部に放出され, 宮城県も広域に汚染を受けた<sup>1), 2)</sup>。元々, 地球上にはウラン系列, トリウム系列及びカリウム40(K-40)などの天然放射性核種のほか, 外国による過去の大気圏内核実験や旧ソ連チェルノブイリ原発事故に伴うCs-137などのフォールアウト核種(放射性降下物)がある程度は存在していた<sup>3), 4)</sup>。宮城県においては, 東北電力(株)女川原子力発電所(以下,「女川原発」)が稼働する2年前の1981年から周辺の環境放射能の測定を実施しており, 2011年3月までにはほぼ30年のバックグラウンドデータの蓄積があった<sup>5)</sup>。しかしながら, 福島第一事故の影響によって本県のCs-137等の放射能分布が大きく変化したため, あらためて県内各地域の種々の環境試料等の放射能分布を調べる必要となった。

本報告では, 本県及び関係機関が実施した放射能測定結果を検討するとともに各種の環境試料も採取し, 放射性セシウムの経時変動や分布について調べた結果について述べる。

### II 方法

#### 1 過去データとの比較

福島第一事故前には女川原発周辺及び比較対照地点(海域)において長年の間環境試料の放射能測定を行っていたため, 豊富な過去データがある。また, 当センター独自の広域調査としての海洋調査(海底土調査)の過去データも有している<sup>6)</sup>。東北電力担当分のデータも含め, 福島第一事故後のこれらの地域のデータを過去データと比較検討した。

#### 2 試料の採取と処理

女川原発周辺監視用の試料は, 同原発周辺及び比較対照地点において計画的に採取した。一部の関連研究用試料も主にこれらの地域で採取した。図1に, 本報告関連の試料採取場所を示す。陸上の降下物, 土壌及び植物は当センター職員が採取し, 近年では海底土と海藻のアラメの採取は外部機関に委託した。沿岸海域の海底土採取場所については図1に湾名を示した。

震災被害によって分析施設が使用できなくなったため, 試料の濃縮や乾燥・灰化处理については外部機関に委託した。当センターにおいては, 生のアラメのミキサーによる粉碎処理や少量の研究試料(土壌, 植物)の乾燥器による乾燥処理のみを行った。

### 3 放射能測定

試料の放射能測定は、Ge半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリーによって行った。Ge検出器はORTEC製の相対効率28%のものを用いた。遮へい体には厚さ120 mmの鉛を使用した。放射能の基準として、Nuclitec社（Eckert & Ziegler Nuclitec GmbH社）製のU8容器標準試料等を用いた。



図1 環境試料採取場所

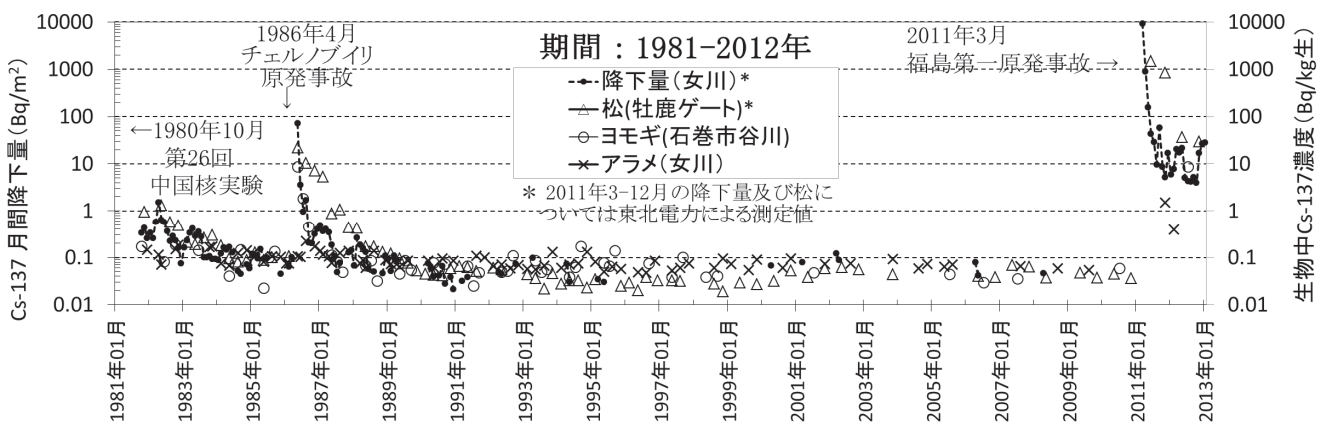


図2 Cs-137の月間降下量と指標生物（葉）中Cs-137濃度の推移  
 (注) 食品の通常の放射能基準値 (100 Bq/kg) に比べて高感度の測定結果となっている。

### Ⅲ 結果及び考察

#### 1 Cs-137濃度の経時変動

図1は、1981年以降の降水物（地表単位面積当りのCs-137の月間降下量を測る雨水・ちり）と指標生物（松、ヨモギ及び海藻のアラメの葉）中のCs-137の値の変動を示すが、事故後は陸上及び海洋のいずれの試料にも顕著な上昇が認められた。大気圏から地表へのCs-137の月間降下量は、以前には1986年の旧ソ連チェルノブイリ事故直後に最大の約100 Bq/m<sup>2</sup>を示したが、福島第一事故後には最大で約10000 Bq/m<sup>2</sup>程度に上昇した。なお、福島第一事故による大気への放出がほとんどなくなった2011年4月以降にもCs-137の降下量がやや多い理由は、風的作用による試料採取場所周辺からの塵の舞い上がりによる影響と考えられる<sup>7)</sup>。

#### 2 陸上及び海洋試料中の放射性核種の濃度分布

表1は、2012年8月から2013年4月に採取した陸上及び海洋試料の幾つかについての放射性核種濃度を示す。松、ヒバ及びアラメは指標生物（環境汚染の目安用試料）として採取したものである。Cs-137濃度は、松とヒバでは葉と茎とで同程度、またアラメでは葉よりも茎中の濃度が高かったことから、福島第一事故起因のCs-137は植物や海藻の内部にまで取り込まれているものと考えられる。なお、松とヒバの葉中のCs-137濃度は採取場所や植物種によっても違いがみられたが、樹木内の分布や生育年数、その他の環境因子との関連も考えられるため<sup>4)</sup>、その原因については今後更に検討する必要がある。

海洋試料には、放射性セシウムのほかに微量ながら放射性銀（Ag-110m：半減期250日）と放射性ヨウ素（I-131：半減期8日）も検出された。これらのうち、Ag-110mは明らかに福島第一事故由来である<sup>8)</sup>。一方、事故後約1年以上後の2012年8月に採取したアラメの葉に検出されたI-131（約0.4 Bq/kg生重量当たり）は、半減期が短いことを考慮すると事故由来とは考えられない。また、その濃度は天然のK-40（253 Bq/kg生重量当たり）に比べてごくわずかであり、健康影響等が懸念されるレベルではない。本県沿岸のアラメ中には事故以前の2006年から女川原発起因とは考えられないI-131がわずかに検出されていたが<sup>5,9)</sup>、その後Moritaら<sup>10)</sup>は2008-2009年に全国的調査を行った結果、その起源について医療由来である可能性を指摘している。

表1 2012年から2013年における陸上及び海洋試料中の放射性核種濃度

区分	試料名	採取場所	採取年月日	部位	放射性核種濃度 (Bq/kg湿重量) *					備考
					Cs-137	Cs-134	Ag-110m	I-131	K-40	
陸上試料	松	大崎市岩出山	2013/3/15	葉	360	189	ND	ND	120	
	松	仙台市宮城野区	2013/4/10	葉	29	16.8	ND	ND	179	
				茎	20	12	ND	ND	LTD	
	ヒバ	大崎市岩出山	2013/3/15	葉	1010	549	ND	ND	100	
	ヒバ	仙台市宮城野区	2013/4/10	葉	201	105	ND	ND	52	
				茎	328	183	ND	ND	ND (<230)	
海洋試料	ホヤ	女川町小屋取	2012/12/10	肉	0.25	0.14	0.64	ND	92	** 文献(5)
	アワビ	女川原発放水口付近	2012/11/22	肉	0.22	0.11	0.25	ND	74.1	** 文献(5)
	カキ	宮城県女川町	2012/11/30	軟体部	0.094	0.063	0.75	ND	73.8	
	アラメ	宮城県沿岸 (牡鹿半島西方)	2012/8/6	葉	1.13	0.61	0	0.41	253	** 文献(5)
茎				10.0	6.6	ND (<0.79)	ND (<2.0)	400		

\* 放射性核種濃度は採取年月日における値を示す。誤差は各々の測定毎の計数誤差（標準偏差）を、また、LTD（less than the detection limit）は光電ピークは認められるものの濃度は検出下限値未満であったことを示す。

\*\* ホヤ、アワビ、カキ及びアラメ（葉）のデータは女川原発周辺監視の計画に基づく測定結果であり、文献（5）において報告済みである。

### 3 土壌中Cs-137濃度の深度分布

表2と表3は、それぞれ大崎市（岩出山・城山公園）と仙台市（宮城野区・旧消防学校構内）における表層陸土中の深さ1cm毎の放射性セシウム濃度を示す。図3と図4はCs-137の値をグラフ化した深度プロファイルである。表面の0 - 1 cm深さにおける濃度はいずれの地点においても約1000 Bq/kg付近で同程度であるが、大崎市（図3）の方が仙台市（図4）に比べるとやや深い位置まで分布していた。地上高1 mにおけるガンマ線線量率にも違いがみられ、大崎市（0.12  $\mu$ Gy/h）の方が仙台市（0.06  $\mu$ Gy/h）より線量率が高かった（表2と表3の注を参照）。この理由は、地表のみでなく、より深層からのCs-137及びCs-134からのガンマ線も線量率に寄与するためと考えられる。

表2 大崎市岩出山\*の陸土における放射性セシウムの深さ別濃度

採取年月日	深さ (cm)	放射性核種濃度 (Bq/kg) **			
		Cs-137		Cs-134	
2013/3/15	0-1	1139	± 8	623	± 6
	1-2	490	± 5	261	± 3
	2-3	197	± 3	101	± 2
	3-4	127	± 2	67.5	± 1.8
	4-5	78.2	± 1.9	43.2	± 1.4
	5-6	48.7	± 1.5	25.5	± 1.2
	6-7	14.3	± 0.9	6.9	± 0.8
	7-8	19.3	± 1.0	9.1	± 0.8
	8-9	3.8	± 0.5	1.3	± 0.4
	9-10	2.9	± 0.5	1.4	± 0.4

\* 城山公園敷地内。2013年3月12日（晴天時）に測定した土壌採取場所地上1 mにおける空間ガンマ線線量率は0.12  $\mu$ Gy/hであった（日立アロカ製TCS171型NaIサーベイメータを使用し、時定数10秒で5回繰返し測定した平均値）。

\*\* 放射能濃度は採取日時当たりの値を示す。また、誤差は各々の測定毎の計数誤差（標準偏差）を表す。

表3 仙台市宮城野区\*の陸土における放射性セシウムの深さ別濃度

採取年月日	深さ (cm)	放射性核種濃度 (Bq/kg) **			
		Cs-137		Cs-134	
2013/3/26	0-1	1104	± 14	555	± 10
	1-2	83.1	± 2.8	42.6	± 2.1
	2-3	21.1	± 1.3	9.7	± 1.0
	3-4	18.7	± 1.0	9.6	± 0.8
	4-5	10.2	± 0.7	4.2	± 0.6

\* 旧消防学校敷地内。2013年4月24日（曇天時）に測定した土壌採取場所地上1 mにおける空間ガンマ線線量率は0.06  $\mu$ Gy/hであった（日立アロカ製TCS171型NaIサーベイメータを使用し、時定数10秒で5回繰返し測定した平均値）。

\*\* 放射能濃度は採取日時当たりの値を示す。また、誤差は各々の測定毎の計数誤差（標準偏差）を表す。

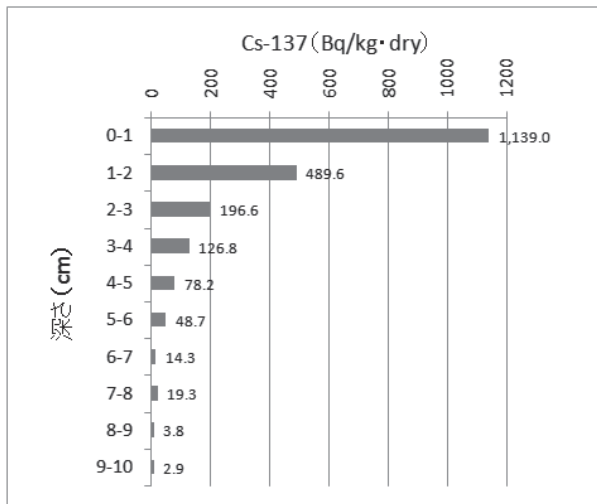


図3 大崎市岩出山の陸土におけるCs-137濃度の深度分布

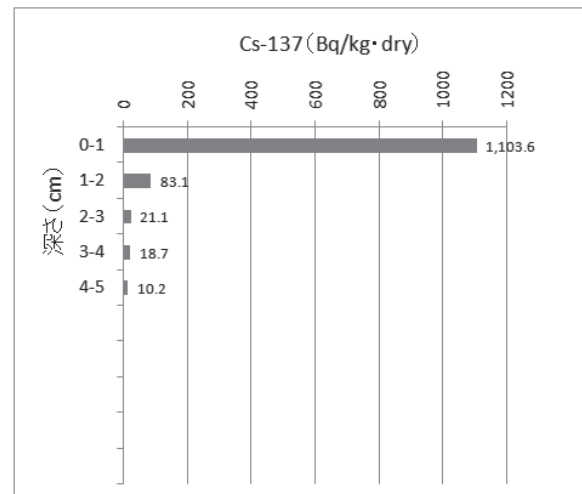


図4 仙台市宮城野区の陸土におけるCs-137濃度の深度分布

### 4 海底土中のCs-137濃度

図5は宮城県沿岸海底土中のCs-137濃度を福島第一原発事故前後で比較したものである。同事故前には、過去の核実験やチェルノブイリ事故の影響によって約20 Bq/kg程度以下の値が観測されていたが、福島第一原発事故後には約200 Bq/kg程度にまで上昇した。

図6は文部科学省による福島第一原発事故後の宮城県沿岸及び沖合海底土中のCs-137濃度の推移



を示す<sup>11)</sup>。宮城県海域の一部において、事故後の初期には最大で約500 Bq/kgの値が観測されたが、ほかの海域では数十Bq/kg程度であり、同事故前のレベルと比べてそれほど高い値ではなかった。

一方、図7は、福島第一原発事故前後の宮城県沿岸海域における海底土中のCs-137濃度と強熱減量(IL)との関係を示す。同図(b)に示すように<sup>6)</sup>、以前には海底土の有機物含量の指標となる強熱減量とCs-137濃度には比較的良好な相関関係が認められたが、同事故後のデータでは、同図の(a)に示すように相関性はあまり良くなかった。恐らく、この理由は、Cs-137が海洋に放出されてからま

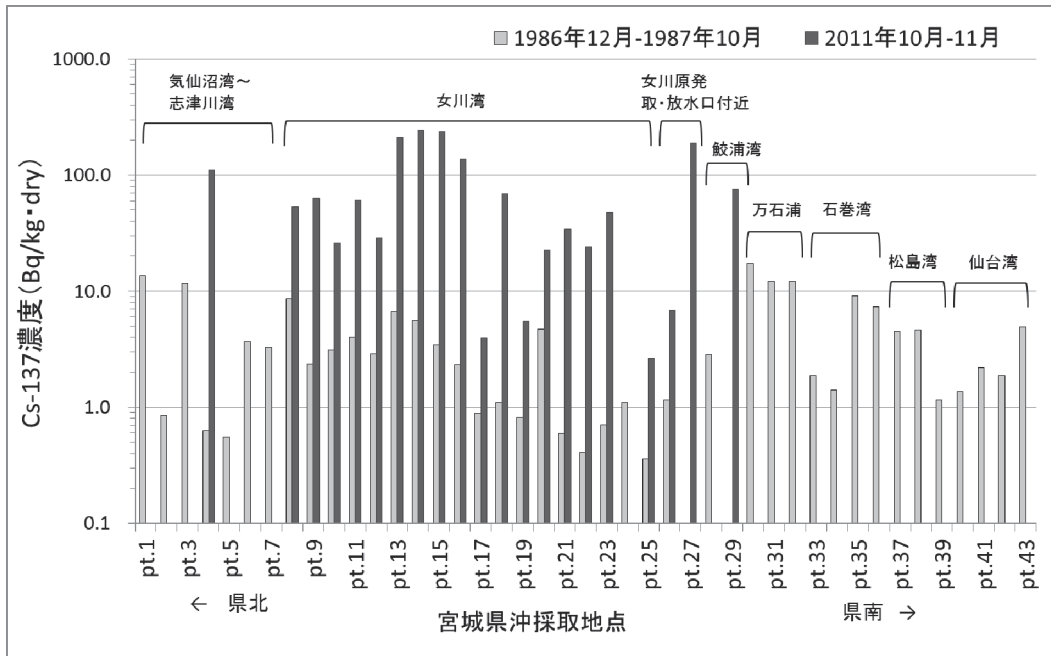


図5 福島第一原発事故前と後の宮城県沿岸海底土中のCs-137濃度の比較

\* 福島第一事故後の値が描かれていない地点は未測定である。

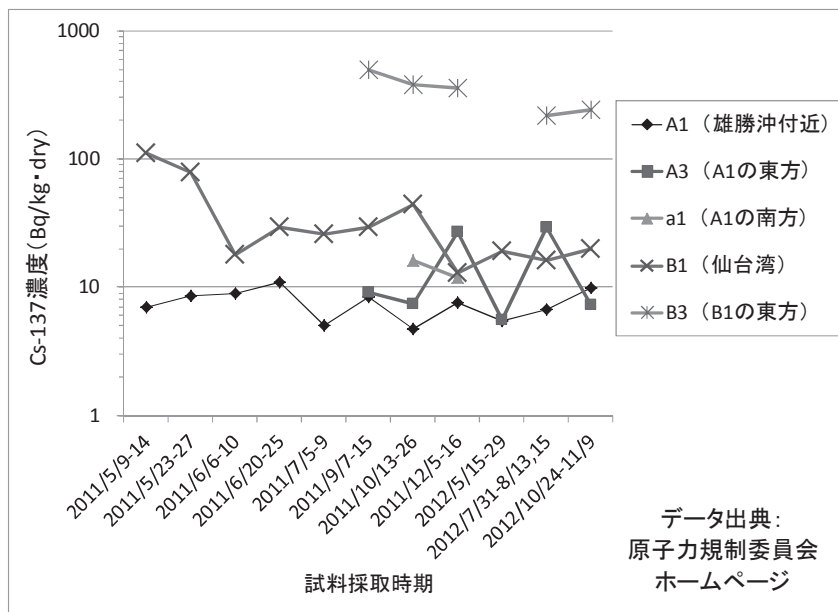


図6 文部科学省による福島第一原発事故後の宮城県沿岸海底土中のCs-137濃度の推移

\*原データ<sup>11)</sup>を利用して作図したもの。

だあまり年数が経っていないことと関係があるものと推定されるが、詳細については今後の検討課題である。

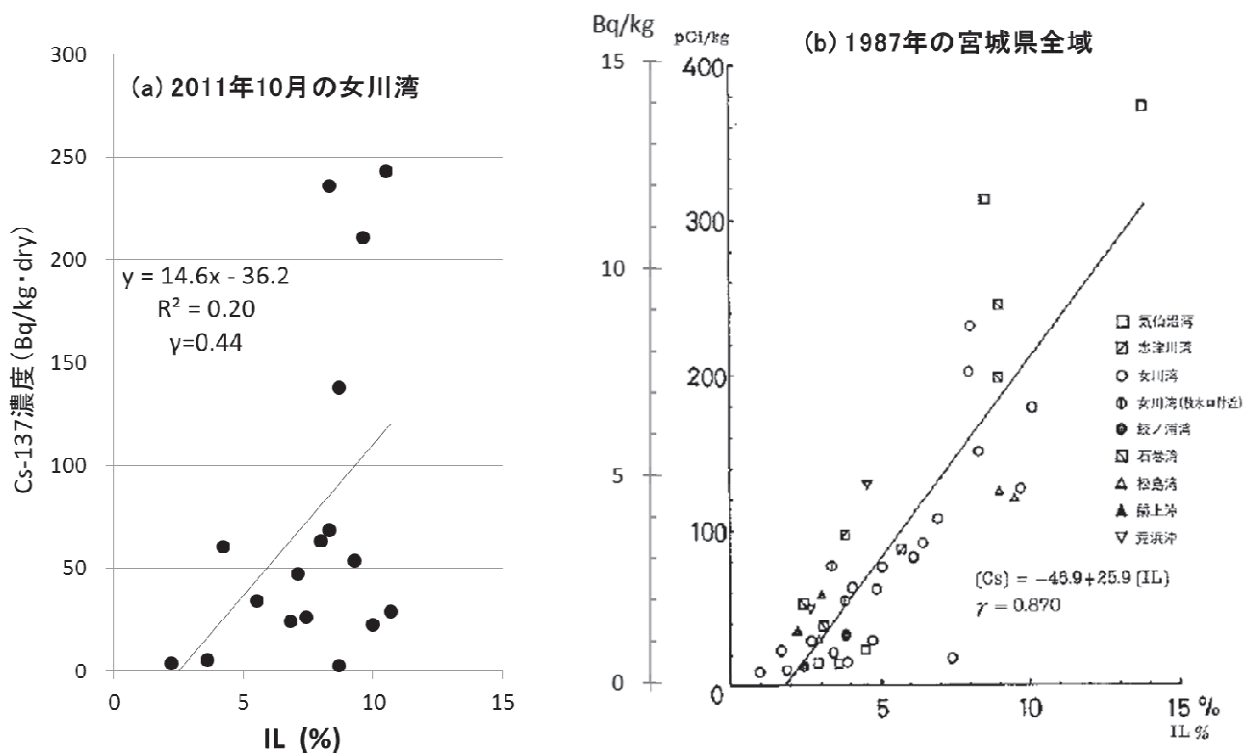


図7 福島第一原発事故後と前の宮城県沿岸海域における海底土中のCs-137濃度と強熱減量 (IL\*) との関係  
\* IL : Ignition Loss

#### IV ま と め

宮城県内において、福島第一原発事故以前から事故後の放射性セシウムの経時変動や分布について調べ、下記のような結果を得た。

- (1) 1981年以降の降下物と指標生物（松、ヨモギ及び海藻のアラメの葉）中のCs-137の値の変動を調べたところ、事故後はいずれの試料においても顕著な上昇が認められた。
- (2) Cs-137濃度は、松とヒバでは葉と茎とで同程度、またアラメでは葉よりも茎中の濃度が高く、福島第一事故起因のCs-137は植物や海藻の内部にまで取り込まれているものと考えられた。
- (3) 海産物のホヤ、アワビ及びカキには同上事故由来の放射性セシウムのほかに微量のAg-110mも検出された。また、2012年8月に採取したアラメの葉には、福島第一事故や女川原発とは起源が異なると推定される微量のI-131も検出された。
- (4) 県内2地点の未耕地において土壌中のCs-137濃度の深度分布を測定したところ、最表層の0-1 cm層ではいずれも約1000 Bq/kg（乾燥重）の値であったが、深さ方向の分布には違いがみられた。これら2地点のガンマ線線量率にも違いがみられた。
- (5) 宮城県沿岸海底土中のCs-137濃度を福島第一原発事故前後で比較したところ、事故前には最大で約20 Bq/kg程度であったものが、同事故後には最大で約200 Bq/kg程度まで上昇した。

## V 参考文献

- 1) 宮城県, 放射能情報サイトみやぎホームページ  
<http://www.r-info-miyagi.jp/r-info/> .
- 2) 原子力規制委員会, 文部科学省による航空機モニタリング結果,  
<http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/258/list-1.html>
- 3) 新版生活環境放射線 (国民線量の算定), 原子力安全研究協会, 東京, 2011年.
- 4) 齋藤勝裕監修, 東日本大震災後の放射性物質汚染対策, (株)エヌ・ティー・エス, 東京, 2012年.
- 5) 宮城県, 女川原子力発電所周辺環境放射能及び温排水調査結果, 昭和56年度～平成 24年度分.
- 6) 佐藤信俊ほか, 宮城県原子力センター年報第6巻, pp. 17-19, 1987年.
- 7) 福島県ホームページ, 定時降下物から放射性セシウムが比較的高い濃度で検出された要因について,  
[http://wwwcms.pref.fukushima.jp/pcp\\_portal/PortalServlet?DISPLAY\\_ID=DIRECT&NEXT\\_DISPLAY\\_ID=U000004&CONTENTS\\_ID=27445](http://wwwcms.pref.fukushima.jp/pcp_portal/PortalServlet?DISPLAY_ID=DIRECT&NEXT_DISPLAY_ID=U000004&CONTENTS_ID=27445)
- 8) 安藤孝志, 石川陽一, 宮城県原子力センター年報第29巻, pp. 3-24, 2013年.
- 9) 石川陽一, 公衆衛生情報みやぎNo. 376, pp. 7-8, 2008年.
- 10) T. Morita et al., Sci. Total Environ. 408, 3443-3447 (2010).
- 11) 原子力規制委員会ホームページ, 海底土のモニタリング結果  
<http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/275/list-1.html>

## 可搬型ゲルマニウム検出器の導入と若干の測定事例

石川陽一, 新井康史

可搬型ゲルマニウム (Ge) 検出器を用いてプレハブ庁舎の測定室内ガンマ線計数率分布を測定したところ、窓に近いほど周辺土壌からの放射性セシウムのガンマ線影響が大きかった。検出器に簡易遮へいを施してバックグラウンド計数率を測定し、検出下限値を調べたところ、遮へい体がない場合に比べてCs-137の正味計数率は約1/20に、天然核種のBi-214とK-40の計数率は各々約1/10以下及び約1/5となった。この条件下で約60 gの土壌試料を7万秒測定した場合の検出下限濃度は約8 Bq/kgであった。宮城県内2地点の野外の平坦地において1m高さでin situ測定を行ったところ、ガンマ線線量率はサーベイメータによる値と大体一致した。県北の地点ではCs-137とCs-134寄与分が仙台市よりも大きかった。

### I はじめに

可搬型 Ge 検出器は野外での in situ 測定などにおいてかなり有効な装置である<sup>1),2)</sup>。また、適切な遮へいを施せば環境試料等の放射能の核種分析にも使用可能である。前報のとおり<sup>3)</sup>、女川町内にあった当センターの施設及び機器類は東日本大震災によって被害を受けて滅失したため、その後2011年度末に仙台市内の仮事務所において測定等の業務を行っている。環境試料等測定用の据置型 Ge 検出器とともに、可搬型 Ge 検出器も新たに整備しなおした。Ge 検出器が置かれている放射能測定室はプレハブ造りであるため屋外からのガンマ線に対する遮へい効果が低く、そのため、簡易遮へいを用いて放射能測定をするには注意が必要である。宮城県における航空機サーベイ結果からも予想されるように<sup>4)</sup>、例えば仙台市内の表層土壌にも福島第一原発事故由来のCs-134, 137が一定程度蓄積している (Cs-137では数千～数万 Bq/m<sup>2</sup>程度)。

このような条件下で新しい可搬型 Ge 検出器を活用するための若干の測定上の検討を行ったので報告する。

### II 方法

#### 1 可搬型Ge検出器の仕様<sup>5)</sup>

メーカー及び型番：ORTEC (AMETEK社)製 Trans-SPEC-DX-100T

検出器相対効率：約40 %

冷却方式：スターリングサイクル式電気冷却

電源：商用100 V交流, 12 V直流, 内蔵バッテリー (最大3時間使用可), 外部バッテリーにて更に数時間使用可

外形寸法：39.4 cm長×16.3 cm幅×34.9 cm高

データ処理機能：ノートパソコン (Panasonic製Toughbook CF-19), 放射能分析ソフトウェア (ガンマスタジオ), in situ解析ソフトウェア, 効率シミュレーションソフトウェア (SCAL)

遮へい体：検出器用簡易遮へい体 (鉛1 cm厚, 鉄0.9 cm厚)

本体質量：11.1 kg

その他付属品：専用四脚, 外部バッテリー, 接続ケーブル等

## 2 可搬型Ge検出器による測定実験

図1と図2は、それぞれ敷地内の測定室位置図並びに室内の可搬型Ge検出器設置位置を示す。

図2には外部からのガンマ線影響を調べるための計数率測定位置も併せて示す。図2に示すように、窓から5mまでの範囲で遮へいを施さずに可搬型Ge検出器を使って計数率を測り、分布を調べた。

図3は、本検出器を簡易な放射能分析用として室内に仮設置した状況を示す。上部の箱形簡易鉛遮へい体のほか、下方に2.5 cm厚鉛ブロック、周囲に水を入れた20 Lポリタンクを設置してバックグラウンド計数を抑えた。環境試料の測定実験においては、検出器側面を全面的に覆うように水入りタンクを配置し、遮へい体設置状態でのバックグラウンド計数率測定及び試料の測定を行った。



図1 測定室位置図（仙台市宮城野区 旧消防学校）

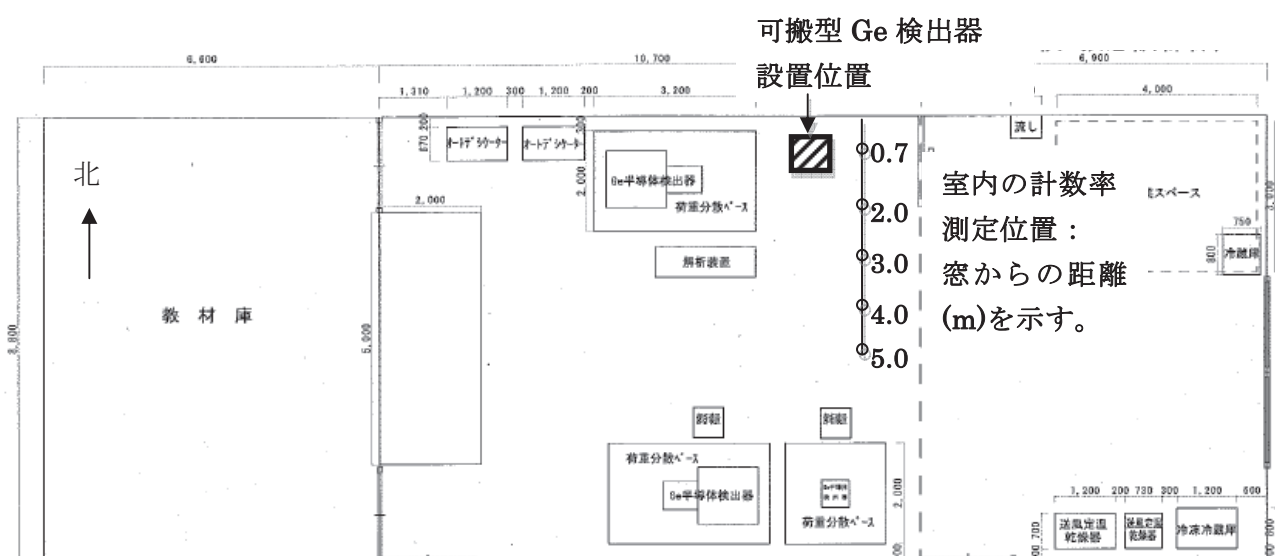


図2 測定室における可搬型 Ge 設置位置及び計数率測定位置（○印）

また、宮城県内2地点（大崎市岩出山及び仙台市宮城野区）の野外において地表面から1 mの高さに検出器を設置してin situ測定を行い、NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータ（アロカ製TCS-171）による線量率と比較した。

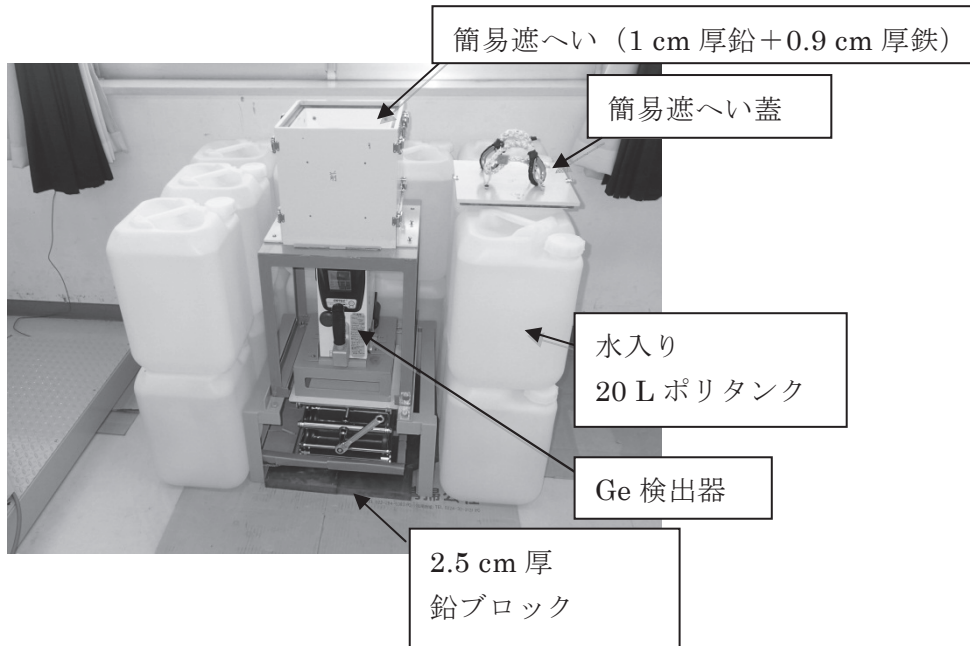


図3 可搬型 Ge 検出器の簡易遮へい及び屋内設置状況

表1 可搬型 Ge 検出器による測定室内核種別計数率\*

核種（ガンマ線エネルギー, keV）	窓からの距離 (m)					単位
	0.7	2.0	3.0	4.0	5.0	
Cs-137 (662 keV)	1.70	0.95	0.66	0.45	0.29	cps
Cs-134 (605 keV)	1.24	0.56	0.33	0.28	0.15	
Bi-214 (609 keV)	0.56	0.55	0.55	0.57	0.70	
K-40 (1461 keV)	1.05	1.30	1.40	1.36	1.30	

\* 各々の測定時間600秒の場合の正味計数率である。

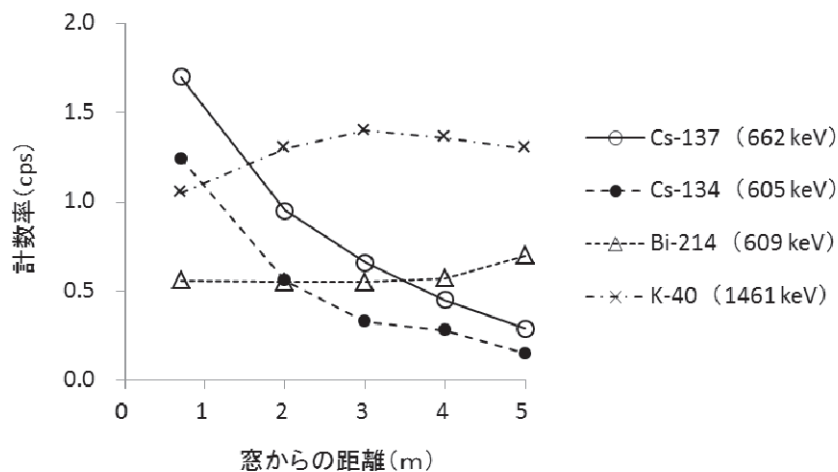


図4 測定室内正味計数率の窓からの距離による変化

### III 測定結果

#### 1 検出器周辺のバックグラウンドの確認

表1は、可搬型Ge検出器による測定室内核種別計数率を示す。図4はそれらをグラフ化したものである。図4において、天然核種のBi-214やK-40の計数率には位置によってあまり大きな違いがみられないが、Cs-134、137の計数率は窓から室内に向かって離れた位置ほど顕著に低くなっている。このことから、窓に近いほどこれらからの影響が大きいことが明らかである。

#### 2 検出器の簡易遮へい

可搬型Ge検出器を室内に置いて放射能分析用に使う場合には、目的に応じて周囲を適切な遮へい体で覆う必要がある。原子力災害時等の際には、現地に近い場所において車両または室内での迅速測定の必要性が考えられる。このような目的には、厚みのある本格的な鉛遮へい体では移設が困難なため極めて扱いにくい。当センターでは、旧可搬型Ge検出器用の箱形簡易遮へい体（鉛1 cm厚、鉄0.9 cm厚）を津波被災地から回収し、塗装等を施して使用可能な状態にした。

表 2 可搬型 Ge 検出器簡易遮へい実験条件

遮へい種類	実験 1	実験 2	実験 3
遮へい1*1	無し	無し	有り
遮へい2*2	無し	有り	有り
遮へい3*3	無し	有り	有り

\*1 検出器周囲1 cm厚鉛遮へい

\*2 側面水入り20 Lポリタンク（厚さ24 cm）

\*3 下部2.5 cm厚鉛ブロック

表 3 簡易遮へい実験における主な核種の正味計数率 (cps)

核種 (ガンマ線エネルギー)	実験 1	実験 2	実験 3
Cs-137領域 (662 keV)	1.7	0.18	0.08
Cs-134領域 (605 keV)	1.24	0.12	0.05
Bi-214領域 (609 keV)	0.56	0.30	0.04
K-40領域 (1461 keV)	1.05	0.46	0.20

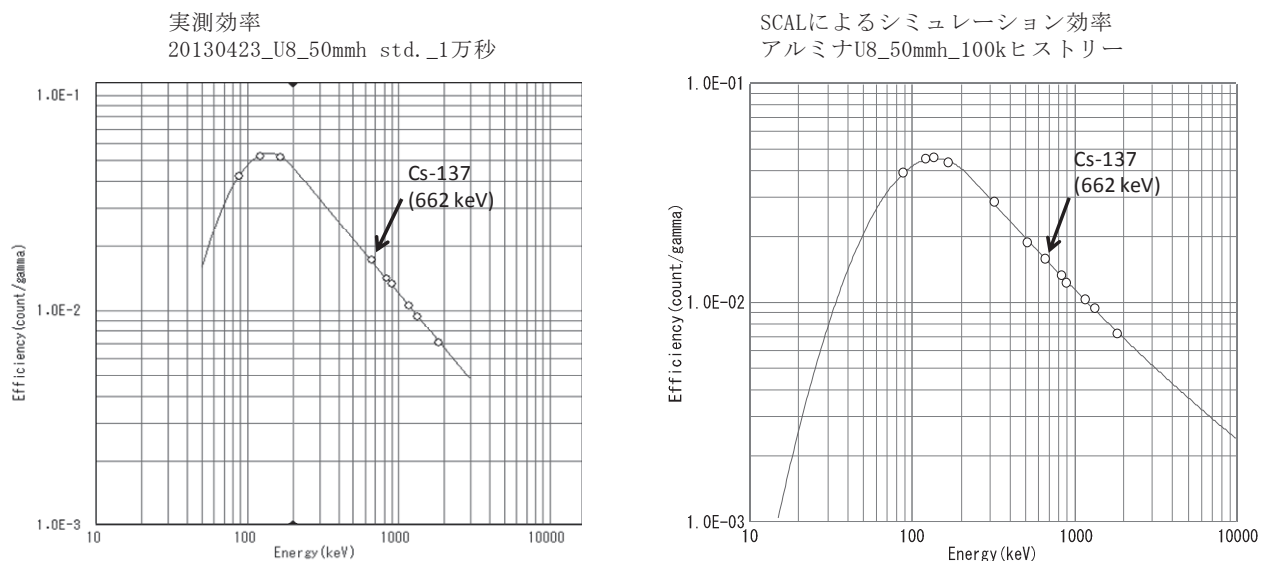


図 5 U8 型容器（高さ 50 mm のアルミナ媒体）に対する実測効率（左）とシミュレーション機能による計算効率（右）の例

ただし、現在の検出器は先端部が短いために遮へい体内部に十分に収まらず、側面と底面側から外部のガンマ線による影響を受ける。そこで、暫定的に20 L水入りポリタンクを検出器側面に、また2.5 cm厚鉛ブロックを底面用に並べて簡易遮へい体とし、バックグラウンド計数率を測定してみた。

表2は実験1から実験3の実験条件を、また表3はその結果を示す。表3の結果から、3種類の簡易遮へい体を全て用いた場合（実験3）は、遮へい体が全くない場合（実験1）に比べてCs-137の正味計数率は約1/20に、また天然のBi-214とK-40のそれは各々約1/10以下及び約1/5となった。この条件で、実際の環境試料としてCs-137濃度が低い土壌試料 57 g（濃度： $2.9 \pm 0.5$  Bq/kg乾燥重量当り、形状：U8型、高さ：28 mm）を7万秒測定したところ、Cs-137の検出下限濃度は約8 Bq/kgであり、一般食品中の濃度基準値 100 Bq/kgを十分に下回った。

### 3 効率シミュレーション機能

本検出器には、通常の核種分析用ソフトウェアのほかに、モンテカルロ計算によって試料中の放射性核種の検出効率を求めることができる効率シミュレーションソフトウェア（SCAL）も付属している。このソフトウェアでは、軸対称の試料であれば、形状と材質を指定すれば任意の形の試料に対しても検出効率を計算によって求めることが可能である<sup>6)</sup>。そのため、緊急時に

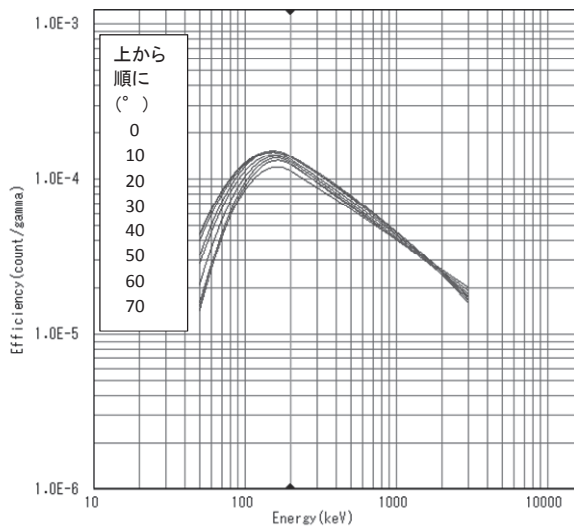


図6 角度別 in situ 効率曲線

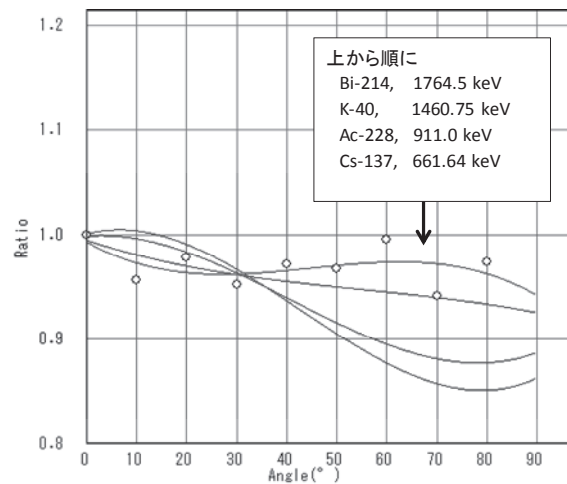


図7 典型的な核種における in situ 効率曲線角度依存性



図8 可搬型 Ge 検出器による in situ 測定風景



において、検出効率曲線があらかじめ求められていない形状の試料（ポリ瓶、バケツ等）についても暫定的に放射能の量を求めることが可能である。

図5に厚さ50 mmのU8型容器の試料についての実測効率とシミュレーション効率を比較して示す。今後、詳しく検証を進める計画である。

#### 4 in situ測定機能

本検出器にはin situ測定用のソフトウェアも付属しており、現場（in situ）における測定によって核種寄与別のガンマ線線量率を求めることが可能なほか、試料を採取することなく野外での測定によって土壌中の放射性核種濃度を求めることも可能である。このような測定のためにはあらかじめ標準線源による効率角度依存性を測定しておく必要がある。図6は種々のエネルギーのガンマ線源を用いて測定した角度別の検出効率曲線を、また図7は典型的な核種に対する角度別の相対的な効率の変化を示す。角度は検出器からみて鉛直方向真下側を0°とした場合の値を示す。

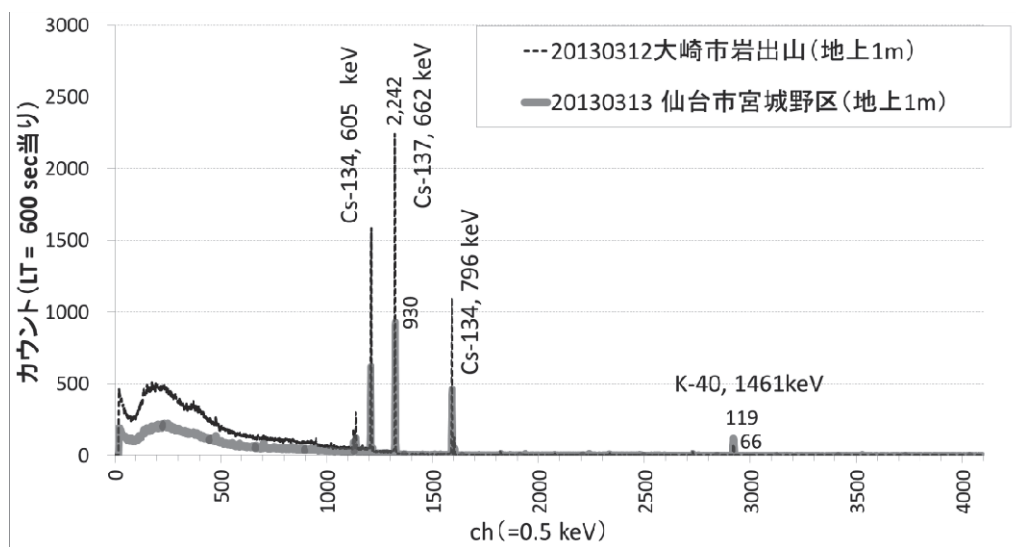


図9 宮城県内の2地点における in situ スペクトル

表4 宮城県内の2地点における in situ 法とサーベイメータ法による空間ガンマ線線量率の比較

	大崎市岩出山 (2013年3月12日)	仙台市宮城野区 (2013年4月24日)	線量率単位
in situ法条件 *			
土壌密度 (g/cm <sup>3</sup> )	3.5	4	-
分布係数 (α)	1	2.5	-
in situ法線量率			
U系列	22.7	5.0	
Th系列	8.7	5.0	
K-40	6.7	10.4	
Cs-134	44.8	17.4	nGy/h
Cs-137	40.4	15.6	
合計	<b>123</b>	<b>53</b>	
NaI (Tl)サーベイ メータ法線量率	<b>124</b>	<b>60</b>	nGy/h

\* 土壌密度（乾燥試料）と分布係数は実測値に基づく。

野外におけるin situ測定においては、周囲の地形が平坦で、かつ放射性核種が均質に分布していることが前提条件にされる。比較的理想的に近い条件下にある2地点（宮城県大崎市岩出山及び仙台市宮城野区）において、試みに測定を行った。図8はそのうちの1カ所（大崎市）における測定風景を示す。

図9は2地点におけるin situガンマ線スペクトル（測定時間 LT = 600秒当たり）を比較して示したものである。表4にはこれら2地点におけるin situ法及びNaI(Tl)シンチレーションサーベイメータ法による空間ガンマ線線量率の値を比較して示す。表4において、in situ法による合計線量率はサーベイメータによる値と大体一致し、大崎市における値は仙台市における値の約2倍であった。表4において、大崎市ではCs-134とCs-137寄与分が仙台市よりも大きかったが、天然核種寄与分（U系列、Th系列、K-40の合計）も大きかった。

なお、in situ法によって正確な核種別線量率寄与量や土壤中放射性核種濃度を求めるに当たっては幾つかの前提条件があるため、今後、更に妥当性や応用性の検討を行っていきたい。

## IV ま と め

新たに導入した可搬型Ge検出器活用ための検討を行い、下記の結果が得られた。

- (1) 可搬型Ge検出器を用いてプレハブ庁舎の測定室内ガンマ線計数率分布を測定した。Cs-134、137の計数率は窓から室内に向かって離れた位置ほど顕著に低く、窓に近いほど周辺土壤からの放射性セシウムによるガンマ線の影響が大きかった。
- (2) 可搬型Ge検出器上部に箱形簡易遮へい体（鉛1 cm厚、鉄0.9 cm厚）、側面に20 L水入りポリタンク、底面に2.5 cm厚鉛ブロックを並べて簡易遮へいを施し、バックグラウンド計数率及び試験試料放射能の測定を行った。そのバックグラウンド計数率は、遮へい体が全くない場合に比べてCs-137の正味計数率については約1/20に、天然のBi-214とK-40の正味計数率についてはそれぞれ約1/10以下及び約1/5となった。この簡易遮へいを使って、約60 gの土壤試料を7万秒測定した場合の検出下限濃度は約8 Bq/kgであった。
- (3) 宮城県内2地点（大崎市岩出山及び仙台市宮城野区）の野外において、地表面から1mの高さでin situ測定を行った。in situ法による合計の空間ガンマ線線量率はサーベイメータによる値と大体一致した。県北の大崎市ではCs-134とCs-137寄与分が仙台市よりも大きかったが、天然核種分（U系列、Th系列、K-40の合計）の寄与も大きかった。

## V 参 考 文 献

- 1) 原子力規制庁ホームページ，日本の環境放射能と放射線，放射能測定法シリーズ，No. 33 ゲルマニウム半導体検出器を用いたin-situ測定法，[http://www.kankyo-hoshano.go.jp/series/pdf\\_series\\_index.html](http://www.kankyo-hoshano.go.jp/series/pdf_series_index.html)
- 2) （独）原子力安全基盤機構，災害廃棄物の放射能汚染状況の調査報告書，2011年9月，JNES-EV-20119007
- 3) 宮城県原子力センター年報第28巻（2010），PP. 1-4.
- 4) 原子力規制委員会，文部科学省による航空機モニタリング結果，<http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/258/list-1.html>
- 5) セイコー・イーゲーアンドジー株式会社ホームページ，<http://www.sii.co.jp/jp/segg/products/spectrometer/1053/>
- 6) セイコー・イーゲーアンドジー株式会社ホームページ，ソースレスキャリアレーションプログラム SCAL（エスカル）  
<http://www.sii.co.jp/jp/segg/products/spectroscopy-products-software/977/>

## 海藻（アラメ）から検出された放射能濃度の部位別分布について

阿部郁子，新井康史，石川陽一，安藤孝志，藤原秀一

女川原子力発電所周辺の環境放射能測定用の海藻のアラメに関し、福島第一原子力発電所事故後に採取した試料を複数に分割して測定した場合に、セシウムの放射能濃度に最大 20 倍程度の差が生じる事例がみられ、原因として同事故後のアラメ生育状況による放射能濃度の偏りが考えられた。そこで、アラメの部位別の放射能濃度を測定したところ、1 株の海藻であっても部位によって放射能濃度に差があることが分かった。

### I はじめに

当センターが、「女川原子力発電所環境放射能及び温排水測定基本計画」に基づいて行っている、東北電力(株)女川原子力発電所（以下「発電所」という）周辺の放射線および放射能の監視測定項目の一つとして、海藻のアラメの放射能測定があるが、半減期の短い I-131 を対象とした生で測定する方法（以下「迅速法」という）と試料を灰化して測定する方法（以下「灰化法」という）の二通りの方法で実施している。東京電力(株)福島第一原子力発電所事故（以下「福島第一原発事故」という）後、事故前に比べて比較的高い濃度のセシウムが検出された<sup>1)</sup>。試料を分割して迅速法および灰化法で測定した結果、セシウムの放射能濃度に最大 20 倍程度の差が生じる事例がみられたことから<sup>1)</sup>、その差の原因把握のため、部位別の放射能の偏りについて検討した。

### II 測定試料および方法

#### 1 測定試料

2012年8月6日に牡鹿半島西側で、2012年11月9日に牡鹿半島西側および北側で、2012年11月21日に発電所放水口付近で採取したアラメを測定に供した。西側および北側の2地点については発電所より約20~30 km離れた地点にあり、発電所周辺監視の比較対照地点である。採取地点を図1に、また採取されたアラメを図2に示す。



図1 採取地点



図2 アラメ写真

## 2 試料調製方法

表 1 に試料の一覧を、また図 3 と図 4 にアラメの葉状部と茎の写真を示す。

表 1 試料一覧

採取地点 採取年月日	試料 番号	部位	処理方法	測定容器
牡鹿半島 西側 2012. 8. 6	①	葉	粉碎	2Lマリネリ
	②		切断	
	③			
	④		灰化	U8
	⑤	茎	粉碎	250ml容器
牡鹿半島 西側 2012. 11. 9	⑥	葉	粉碎	2L マリネリ
	⑦			250ml容器
	⑧		灰化	U8
	⑨	茎	粉碎	250ml容器
牡鹿半島 北側 2012. 11. 9	⑩	葉	粉碎	2L マリネリ
	⑪			250ml容器
	⑫		灰化	U8
	⑬	茎	粉碎	250ml容器
発電所 放水口付近 2012. 11. 21	⑭	葉	粉碎	2L マリネリ
	⑮		切断	
	⑯		灰化	U8
	⑰	茎	粉碎	250ml容器



図 3 アラメ葉状部



図 4 アラメ茎部

### (1) 2012年8月採取

採取したアラメ試料から葉状部を用い3個の迅速測定用試料を調製した(試料番号①~③)。また灰化処理アラメ試料も作成した(試料番号④)。また茎の部分についても粉碎し容器に充填した(試料番号⑤)。処理方法の詳細については以下の通りである。

- ①葉・粉碎迅速法：葉の部分のみをミキサーで粉碎処理し容器内部の不均一が生じないようによく攪拌後2Lマリネリ容器に充填。
- ②葉・切断迅速法：残った未処理アラメ試料を数cmに切断し、よく攪拌後2Lマリネリ容器に充填。
- ③葉・切断迅速法：残った未処理アラメ試料を数cmに切断し、よく攪拌後2Lマリネリ容器に充填。
- ④葉・灰化法：②と③の測定後の葉試料を混合・攪拌後、外部委託により灰化処理を行いU8容器に充填
- ⑤茎・粉碎迅速法：①~③の処理で生じた棒状のアラメ茎部分のみを数cmに切断後ミキサーで粉碎し250ml容器(アイボーイ)に充填

### (2) 2012年11月採取

アラメは多年生で1年目はしわのある笹状の葉状であり(一次側葉)、2年目以降、側葉(二

次側葉)と呼ばれる細長い葉を多数付けることから<sup>2)</sup>、通常の迅速法(試料番号⑥⑩⑭)に加え、一次側葉と思われる部分のみの試料も作成した(試料番号⑦⑪⑮)。また8月と同様に、比較のための灰化処理後の試料(試料番号⑧⑫⑯)および茎の部分(試料番号⑨⑬⑰)の試料も作成した。処理方法の詳細については以下の通りである。

⑥⑩⑭葉・粉碎迅速法:葉の部分をミキサーで粉碎処理し容器内部の不均一が生じないようによく攪拌後 2L マリネリ容器に充填。

⑦⑪⑮葉・粉碎または

切断迅速法:一次側葉をミキサーで粉碎または切断し、よく攪拌後 250ml 容器(アイボーイ)または 2L マリネリ容器に充填。

⑧⑫⑯葉・灰化法:残った葉試料を混合・攪拌後、外部委託により灰化処理を行い U8 容器に充填。

⑨⑬⑰茎・粉碎迅速法:上記迅速法の処理で生じた棒状のアラメ茎部分のみを数cmに切断後ミキサーで粉碎し 250ml 容器(アイボーイ)に充填。

### (3) 測定

上記のとおり調製した試料をゲルマニウム半導体検出器(ORTEC 社製 GEM 型)で核種分析を実施した。

## Ⅲ 結果およびまとめ

測定結果を図5と図6および表2に示す。

8月および11月に牡鹿半島西側で採取したアラメより、福島第一原発事故前に比べて比較的高い濃度の放射性セシウムが検出された。図5に示すように、8月の測定結果では葉試料(①~③)の間に I-131, Cs-134, 137 及び K-40 の値に大きな差は見られなかった。また、灰化法でも迅速法と比べ放射能濃度に大きな差は見られなかった。しかし茎中(⑤)の Cs-134, 137 濃度は葉に比べて10倍程度高かった。

一方、図6に示すように、11月の測定結果では通常の迅速法(⑥)に比べ、一次側葉(⑦)のみを測定した場合に若干放射性セシウム濃度が高い傾向がみられた。また8月の結果と同様、茎中(⑨)の Cs-134, 137 は葉に比べて10倍程度高かった。なお、北側では、茎(⑬)のみにセシウム137が検出された。放水口付近では放射性セシウムの濃度に大きな差は見られなかった。

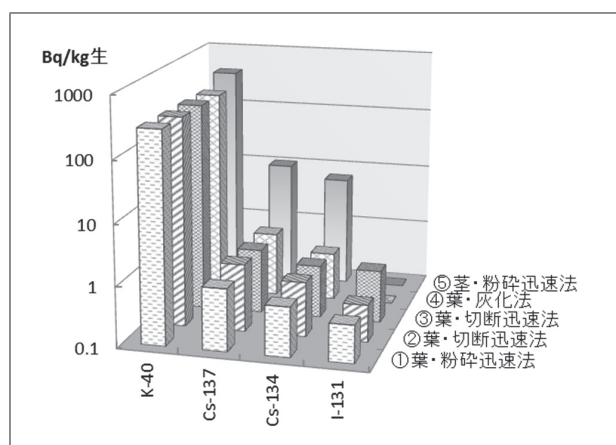


図5 牡鹿半島西側(8月採取)での比較

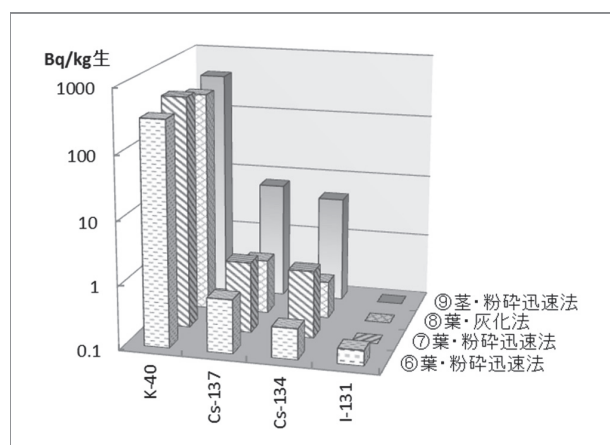


図6 牡鹿半島西側(11月採取)での比較

表2 アラメ中の部位別および、処理法別の放射能濃度

採取地点 採取年月日	試料 番号	部位・処理法	放射能濃度 (Bq/kg生)						測定年月日		
			I-131	$\sigma$	Cs-134	$\sigma$	Cs-137	$\sigma$		K-40	$\sigma$
	①	葉・粉碎迅速法	0.413	± 0.061	0.66	± 0.047	1.05	± 0.054	285	± 2.5	2012.8.9
牡鹿半島 西側 2012.8.6	②	葉・切断迅速法	0.405	± 0.097	0.78	± 0.053	1.28	± 0.058	274	± 2.6	2012.8.13
	③	葉・切断迅速法	0.722	± 0.095	0.73	± 0.048	1.14	± 0.054	266	± 2.4	2012.8.14
	④	葉・灰化法	(対象外)		0.61	± 0.039	1.13	± 0.041	253	± 1.9	2012.8.28
	⑤	茎・粉碎迅速法	ND	( < 2.0 )	6.61	± 0.39	10.3	± 0.46	401	± 11	2012.8.15
	⑥	葉・粉碎迅速法	0.174	± 0.055	0.31	± 0.040	0.7	± 0.044	330	± 2.3	2012.11.12
牡鹿半島 西側 2012.11.9	⑦	葉・粉碎迅速法 (一次側葉)	ND	( < 1.8 )	1.16	± 0.26	1.33	± 0.29	455	± 9.4	2012.11.17
	⑧	葉・灰化法	(対象外)		0.39	± 0.036	0.73	± 0.037	322	± 2.0	2013.1.24
	⑨	茎・粉碎迅速法	ND	( < 1.5 )	4.86	± 0.31	7.05	± 0.38	420	± 8.9	2012.11.16
	⑩	葉・粉碎迅速法	ND	( < 0.2 )	ND	( < 0.1 )	ND	( < 0.1 )	349	± 2.4	2012.11.15
牡鹿半島 北側 2012.11.9	⑪	葉・粉碎迅速法 (一次側葉)	ND	( < 2.0 )	ND	( < 0.8 )	LTD	( 0.90 )	414	± 9.4	2012.11.19
	⑫	葉・灰化法	(対象外)		ND	( < 0.1 )	LTD	( 0.10 )	363	± 2.2	2013.1.23
	⑬	茎・粉碎迅速法	ND	( < 1.8 )	ND	( < 0.8 )	1.07	± 0.27	412	± 9.1	2012.11.18
	⑭	葉・粉碎迅速法	ND	( < 0.2 )	ND	( < 0.1 )	0.21	± 0.038	371	± 2.3	2012.11.26
発電所 放水口付近 2012.11.21	⑮	葉・切断迅速法 (一次側葉)	ND	( < 0.2 )	LTD	( 0.16 )	LTD	( 0.20 )	387	± 3.1	2012.11.23
	⑯	葉・灰化法	(対象外)		LTD	( 0.11 )	0.16	± 0.036	380	± 2.3	2013.1.22
	⑰	茎・粉碎迅速法	ND	( < 0.9 )	ND	( < 0.7 )	ND	( < 1.0 )	349	± 8.1	2012.11.24

測定時間：すべて80000秒

LTD：検出下限値未満であるが、スペクトルに光電ピークが存在する場合の検出下限値を（ ）内に示す

以上の測定結果から、多年生の海藻であるアラメでは、同じ1本の海藻であっても福島第一原発事故直後に放射性セシウムの影響を強く受けた部分（付着器（根）、茎、および茎に近い葉の部分）と、後に海水濃度が低くなってから、放射性セシウムの影響をあまり受けなかった部分で放射能濃度に差があると考えられた。よって、試料を調製する際は、よく攪拌するなどし、セシウム濃度に不均一が生じないように十分に留意するべきであることが分かった。

#### IV 参考文献

- 1) 宮城県 平成23年度度女川原子力発電所環境放射能及び温排水調査結果 p76-78
- 2) 三重大学 生物資源学部 藻類学研究室ホームページ