

宮城県環境放射線監視センター一年報

第 7 卷

令和 3 年

ANNUAL REPORT

OF

MIYAGI PREFECTURE ENVIRONMENTAL RADIATION

MONITORING CENTER

VOL.7 (2021)

宮城県環境放射線監視センター

はじめに

本県の東北電力株式会社女川原子力発電所を対象とした環境放射線・放射能の測定・監視は、昭和56年度に女川町内に「宮城県原子力センター」を設置して始まりました。しかし、平成23年3月に発生した東日本大震災により当センターが全壊し、また、東京電力株式会社福島第一原子力発電所の影響により県内全域、特に県南地域の環境放射線等の測定・監視が加わったことから、平成27年4月に、仙台市内に再建し、「宮城県環境放射線監視センター」と名称も変更して新たにスタートを切っており、8年目を迎えております。

このたび、令和3年度における当センターの活動状況について、「宮城県環境放射線監視センター年報 第7巻」としてとりまとめました。

令和3年度は、新型コロナウイルスの影響で延期となっていた国の原子力総合防災訓練と一体で行う原子力防災訓練を本県として初めて実施しており、当センターとしても、これまで以上に実践に即した緊急時モニタリング訓練を実施し、手順や手法を確認することができました。

また、東北電力株式会社においては、女川原子力発電所2号機の再稼働を令和6年2月頃と初めて発表しました。いよいよ、再稼働が近づいてきており、県民の安全、安心のための発電所周辺環境における適切な環境放射線・放射能の監視測定という当センターの使命は重みを増しており、身が引き締まる思いです。

最後になりますが、本年報の発刊に当たりまして御指導、御助言をいただきました関係各位に御礼を申し上げますとともに、広く県民及び関係者の方々に御高覧いただき、参考にいただければ幸いに存じます。

令和5年2月

宮城県環境放射線監視センター
所長 長谷部 洋

目 次

はじめに

第7巻(2021)

I 宮城県環境放射線監視センター概要	1
II 論文	
1 2022年3月の福島県沖地震時の宮城県における大気中 ²²² Rn濃度と空間ガンマ線量率	7
石川陽一、木村幸由	
2 海産物の放射能測定における消化管内容物の影響	12
有田富和、高橋稜、小野原清志、伊藤節男、中村朋之、佐藤健一	
III 技術報告	
1 連続式全アルファ・全ベータ線ダストモニタで観測される計数率変動と主な寄与放射性核種	19
石川陽一、木村幸由	
2 NaI(Tl)検出器による空間ガンマ線量率の人工増分(指標線量率)評価の検討	31
石川陽一、木村幸由、木村昭裕	
3 再建したモニタリングステーションの指標線量率設定値の変更について	40
木村幸由、高橋稜、面川和信、中村朋之、佐藤健一	
4 空間ガンマ線量率の調査レベルの設定について	45
木村幸由、高橋稜、面川和信、中村朋之、佐藤健一	
IV 資料	
資料1 宮城県における環境放射能核種分析結果	50
(1) Ge半導体検出器による分析結果	53
(2) Sr-90分析結果	68
(3) H-3分析結果	68
(4) 原子力規制庁委託調査結果	69
資料2 環境試料の放射化学分析結果	73
資料3 可搬型Ge検出器の操作法及び大型鉛遮蔽体との併用による検出器自己放射能測定	79
資料4 非常用自家発電装置等の設置について	84
資料5 可搬型の放射線測定機器の方向特性について	88
資料6 女川町浦宿浜における月間降下物の並行測定結果について	93

C o n t e n t s

Preface

I	Outline of Miyagi Prefecture Environmental Radiation Monitoring Center -----	1
II	Papers	
1	Atmospheric ^{222}Rn Concentration and Gamma-ray Dose Rate in Miyagi Prefecture After the Fukushima-oki Earthquake on March 16, 2022 -----	7
	<i>Yoichi Ishikawa and Yukiyoishi Kimura</i>	
2	Effects of Gastrointestinal Contents on ^{137}Cs Concentration in Suspension-Feeding Animals ---	12
	<i>Tomikazu Arita, Ryo Ishida-Takahashi, Kiyoshi Onohara, Setsuo Ito, Tomoyuki Nakamura and Kenichi Satoh</i>	
III	Technical Papers	
1	Counting Rate Variations and the Main Contributing Radionuclides Observed in Continuous Gross-alpha and -beta Dust Monitors -----	19
	<i>Yoichi Ishikawa and Yukiyoishi Kimura</i>	
2	Evaluation of Artificial Increment (Index Dose Rate) of Gamma-ray Dose Rate with NaI(Tl) Detector -----	31
	<i>Yoichi Ishikawa, Yukiyoishi Kimura, Akihiro Kimura</i>	
3	Change of the Artificial Dose Rate Setting Value for Reconstructed Monitoring Stations -----	40
	<i>Yukiyoishi Kimura, Ryo Ishida-Takahashi, Kazunobu Omokawa, Tomoyuki Nakamura and Kenichi Satoh</i>	
4	Investigation of Survey Levels for Environmental Gamma-ray Dose Rate -----	45
	<i>Yukiyoishi Kimura, Ryo Ishida-Takahashi, Kazunobu Omokawa, Tomoyuki Nakamura and Kenichi Satoh</i>	
IV	Data	
1	Results of Radionuclide Analysis of Environmental Samples -----	50
	(1) Results of Gamma-ray Spectrometry with Ge-detectors -----	53
	(2) Results of Sr-90 Analysis -----	68
	(3) Results of H-3 Analysis -----	68
	(4) Fallout Survey Data in Miyagi Prefecture -----	69
2	Results of Radiochemical Analysis of Environmental Samples -----	73
3	Operation Method of a Portable Ge detector, and Self-radioactivity Measurement of Various Radiation Detectors in Combination with a Large Lead Shield -----	79
4	Renewal of Emergency Private Power Generators and Other Equipment -----	84
5	Directional Characteristics of Portable Radiation Measurement Devices -----	88
6	Results of Parallel Monthly Fallout Measurements at Urashukuhama, Onagawa -----	93

I 宮城県環境放射線監視センター概要

1 所在地

宮城県仙台市宮城野区幸町四丁目7-1-2

国土地理院承認 平14総復 第149号

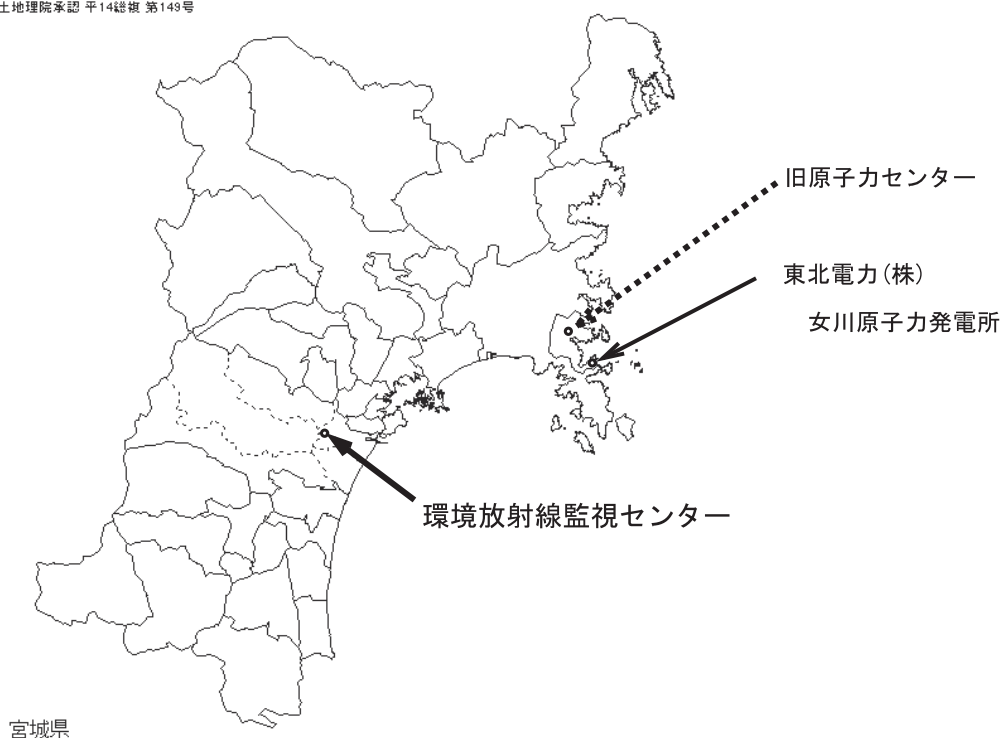


図-1 位置図

2 組織及び名簿（令和3年度）

職名（担当）		氏 名	配属年月日
所 長		佐 藤 健 一	R 2. 4. 1
総括次長		中 村 朋 之	R 2. 4. 1
庶務担当	次 長（庶務担当）	八木田 達 也	R 3. 4. 1
	主 査	照 井 幹 雄	H 30. 4. 1
監視測定班	技術主幹（班長）	面 川 和 信	R 3.11. 1
	副主任研究員（副班長）	木 村 昭 裕	H 25. 4. 1 (R 3.11. 1異動)
	副主任研究員	有 田 富 和	R 2. 4. 1
	研究員	木 村 幸 由	H 30. 4. 1
	研究員	伊 藤 節 男	H 26. 4. 1
	研究員	土 屋 理 代	R 3. 4. 1 (R 3.10.31退職)
	技 師	高 橋 稜	R 2. 5. 1
環境放射線・放射能監視測定員		石 川 陽 一	R 3.12. 1

3 決算（令和3年度歳入歳出決算書から事業関連を抜粋）

(1) 歳入

単位：円（令和4年5月31日現在）

科 目	決 算 額	摘 要
10 財産収入	1,500	
01 財産運用収入		
01 財産運用収入	1,500	電柱敷地等

(2) 歳出

単位：円（令和4年5月31日現在）

科 目	決 算 額	摘 要
(通常予算)		
02 総務費		
10 生活環境費		
07 環境放射能監視測定費	137,993,650	環境放射能監視測定事業

4 主要設備・機器（重要物品）

令和4年3月31日現在

区分	名称	メーカー・型式等	数量	取得年度	備考
監視・測定用	1 標準線量計	ポニー工業(株)・AE-1326他	1台	H17	
	2 ダストヨウ素モニタ	応用光研工業(株)・S-2766	1台	H18	女川局
	3 蛍光ガラス線量計	AGCテクノグラス(株)・FGD-252	1台	H19	
	4 可搬型モニタリングポスト	応用光研工業(株)・HND-304A 他	6台	H23	
	5 可搬型モニタリングポストデータ処理装置	応用光研工業(株)・FC-S21W 他	1式	H23	
	6 ポータブルゲルマニウムγ線核種分析装置	セイコー・イメージャントビジョン(株)・Trans-SPEC-DX-100T 他	1台	H23	
	7 広域モニタリングステーション	富士電機(株)・アルミサンドイッチパネル 他	10式	H24	石巻稲井局、雄勝局、河南局、河北局、北上局、鳴瀬局、南郷局、涌谷局、津山局、志津川局
	8 電離箱式検出器	富士電機(株)・NCE207K	10式	H24	
	9 自動液体濃縮装置	(株)星理科学器械・マントルヒーター他	1式	H24	
	10 ゲルマニウム半導体検出器ダストヨウ素モニタ	日立アロカメディカル(株)・DSM-R41-22843	1台	H26	寄磯局
			1台	H27	小屋取局
11 低バックグラウンドベータ線自動測定装置	日立アロカメディカル(株)・LBC-4202B	1台	H26		

区分	名称	メーカー・型式等	数量	取得年度	備考	
監視・測定用	12	消臭・脱煙装置付き電気炉	(株)東京技術研究所・TFF80-C	2台	H26	
	13	消臭・脱煙装置	(株)東京技術研究所・VM-B	3台	H26	
	14	低線量率測定装置 (NaI検出器用線量率測定演算部)	(株)日立製作所・ASM-1465	7台	H29	女川局、小屋取局、寄磯局、飯子浜局、鮫浦局、谷川局、荻浜局
	15	電離箱式検出器	(株)日立製作所・RIC-338	7台	H29	女川局、小屋取局、寄磯局、飯子浜局、鮫浦局、谷川局、荻浜局
	16	電離箱式検出器収納筐体	(株)日立製作所・OVN-R41-23078	3台	H29	女川局、小屋取局、寄磯局
	17	電離箱式検出器収納筐体	(株)日立製作所・OVN-17	4台	H29	飯子浜局、鮫浦局、谷川局、荻浜局
	18	高線量率測定装置 (電離箱検出器用線量率測定演算部)	(株)日立製作所・ASE-1452	7台	H29	女川局、小屋取局、寄磯局、飯子浜局、鮫浦局、谷川局、荻浜局
	19	可搬型モニタリングポスト	(株)日立製作所・MAR-5700B 他	5台	R2	緊急時用
				2台	R2	監視用
	20	ダストモニタ	(株)日立製作所・MDR-3000 他	2台	R2	飯子浜局、鮫浦局
	21	可搬型モニタリングポスト用サーバー	FUJITSU(株)・ServerPRIMERGY RX1330 M4	1台	R2	
	22	γ線標準照射装置	ポニー工業(株)・PSR-102MS型	1台	H22	
	23	高純度ゲルマニウム半導体検出器	ORTEC(セイコー・イメージング・システムズ(株))・GMX25P4-70-RB-B他	1台	H23	監視Ge 1、電気冷却式、サンプルチェンジャー付
	24	Ge半導体検出器用予備電気冷却装置	セイコー・イメージング・システムズ(株)・CFG-X-COOL-III-115	1台	H26	
	25	ICP発光分光分析装置	サーモフィッシャーサイエンティフィック(株)・iCAP7000シリーズ	1台	H26	
	26	マイクロ波試料前処理装置	マイルストーンセネラル(株)・ETHOS UP	1台	H26	
	27	低バックグラウンド液体シンチレーションカウンタ	日立アカメテック(株)・LSC-LB7	1台	H26	
	28	ハンドフットクロスモニタ	日立アカメテック(株)・MBR-201H	1台	H26	
	29	ゲルマニウム半導体検出器用大型遮蔽体		1台	H29	監視Ge 2用

区分	名称	メーカー・型式等	数量	取得年度	備考	
監視・測定用	30	ゲルマニウム半導体検出器(GEM型)	セイコー・インジニアーズ(株)・GEM25-70	1台	H29	監視Ge 2
	31	検出器冷却用液体窒素凝縮装置	MOBIUS	1台	H29	監視Ge 2用
	32	オートサンプルチェンジャー付き鉛遮蔽体		1台	H29	監視Ge 2用
	33	解析用ソフトウェア	Gamma Station	1式	H29	
	34	液体窒素凝縮装置	ORTEC社製・MOBIUS Recycler	1台	R1	
	35	検体採取車	トヨタハイエース、2690cc	1台	H23	
	36	移動観測車	スバルフォレスター、1990cc	1台	H23	NaI検出器(スペクトル解析可)搭載
	37	MS点検車	ホンダフリードスパイク、1490cc	1台	H26	
広報	1	可搬型モニタリングポスト	応用光研工業(株)・HND-304A 他	2台	H23	白石局、山元局
				1台	H23	丸森局
その他	1	原子力防災用車両	トヨタアルファードハイブリッド	1台	H24	
	2	大気モニタ	富士電機(株)	19台	H30	
	3	大気モニタ等データ収集・伝送装置	富士電機(株)	1台	H30	
	4	オートサンプルチェンジャー付きヨウ素サンプラ	富士電機(株)	5台	H30	

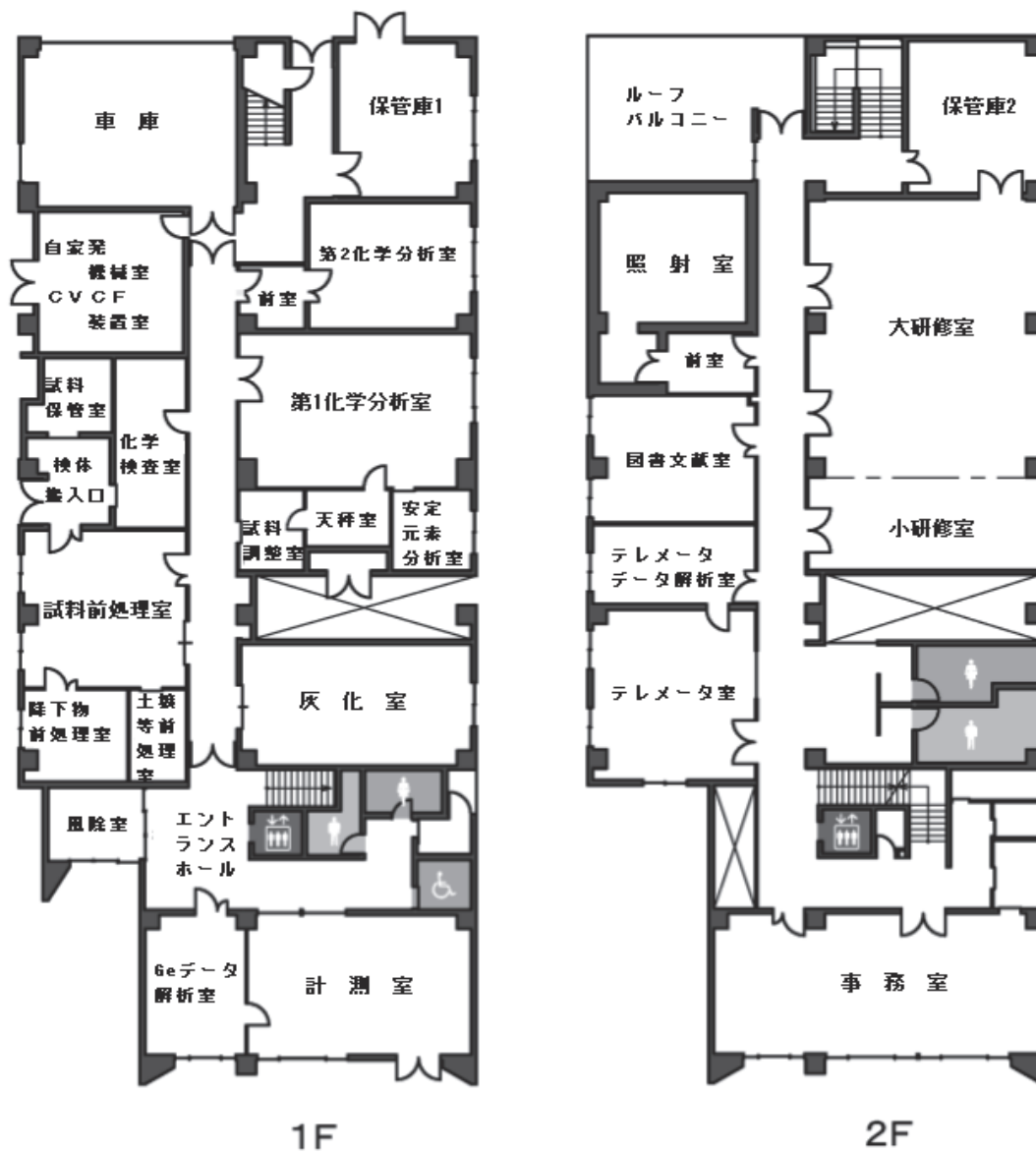


図-2 環境放射線監視センター配置図

◎女川原子力発電所周辺監視

- 周辺モニタリングステーション（既設3局、再建4局）
- 広域モニタリングステーション（10局）



周辺モニタリングステーション
（既設局）



周辺モニタリングステーション
（再建局）



広域モニタリングステーション

◎福島第一原子力発電所事故対応

- ◆ 県南地区設置可搬型モニタリングポスト（3局）
- ▲ 水準調査用固定型モニタリングポスト（7局）



県南地区設置
可搬型モニタリングポスト



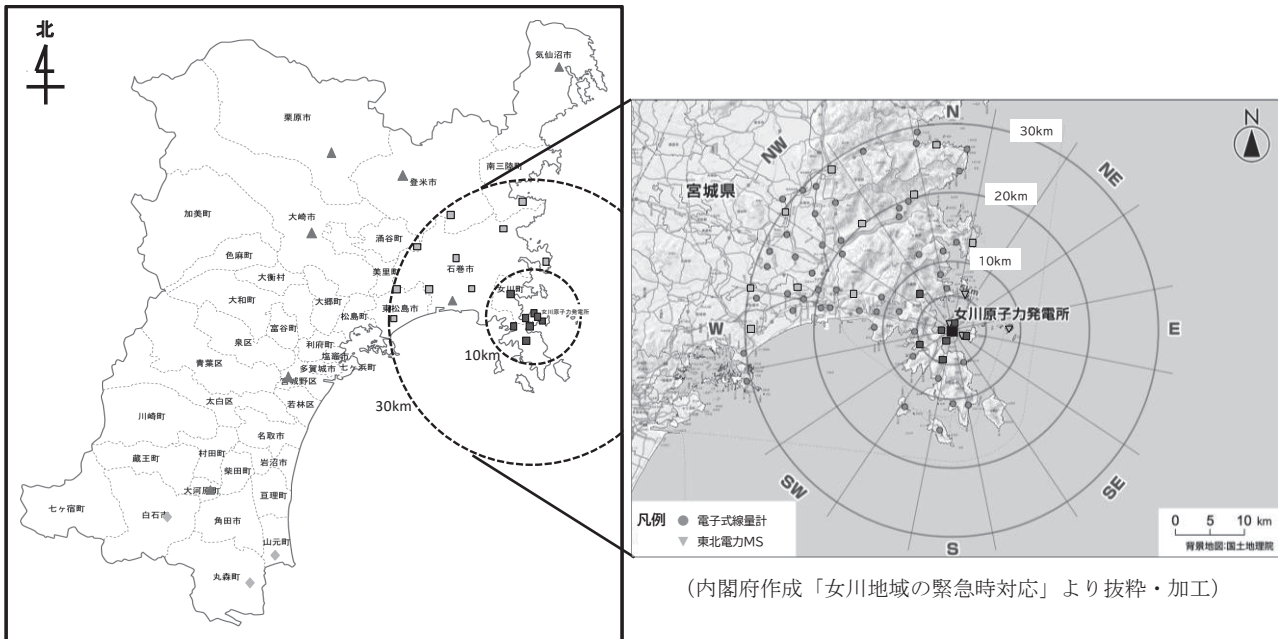
水準調査用
固定型モニタリングポスト

◎緊急時モニタリング対応

- 電子式線量計（50局）



緊急時モニタリング用
電子式線量計



図－3 放射線測定装置配置図

II 論文

2022年3月の福島県沖地震時の宮城県における大気中 ^{222}Rn 濃度と 空間ガンマ線量率

石川陽一*、木村幸由

* 元宮城県環境放射線監視センター

2022年3月16日の福島県沖地震(M7.4)の際に震度5強を観測した宮城県内の地点において、大気中Rn(^{222}Rn)濃度と空間ガンマ線量率上昇が観測された。Rnの最大濃度は約 60Bq/m^3 (1h平均)で、線量率上昇は約 1nGy/h であった。地震由来の大気中Rn濃度上昇観測例は日本で少ないため貴重なデータが得られた。2021年にも同じ場所で震度4の地震が2回観測され、その際には今回の事象と比較して低めの大気中Rn濃度上昇(46 及び 23Bq/m^3)が観測されたが、線量率にはあまり影響しなかった。

1 はじめに

宮城県では東北電力女川原子力発電所周辺監視用モニタリングステーション(MS)のうち1カ所で、線量率に対する影響因子としての大気中天然放射性核種 ^{222}Rn (以下Rnと略す)の濃度も測定している^{1),2)}。Rnは地中に微量に存在しているウラン(^{238}U)系列核種の一つであるが気体であるため一部は大気中に放出される。その娘核種である ^{214}Pb と ^{214}Bi は γ 線を放出するため、地表付近に滞留した場合にわずかながら線量率上昇をもたらす^{1),2)}。これまでに、大気が安定な時に大気中Rn濃度及び線量率の上昇を観測したことがある^{1),2)}。一方、Rnは地震に伴う岩石中のマイクロクラック等³⁾によっても大気中に放出されて濃度変動をもたらすことがあり、わが国の主な例では兵庫県南部地震(1995)³⁾⁻⁵⁾、能登半島地震(2007)⁶⁾及び和歌山県北部地震(2011)⁷⁾などに関する報告がある。これらの報告では地震予知との関連性が議論されている。これまでに宮城県において地震に伴う大気中Rn濃度上昇を観測した事例はみられない(2011年の東北地方太平洋沖地震の際には本県のRn測定器で有効なデータが得られなかった)。環境放射線モニタリングにおいては線量率上昇原因の明確な説明が求められるため、Rnの濃度や分布・挙動並びに線量率への影響を調べておくことは有意義であり、更には原子力災害時における気体状放射性物質の分布・挙動などの解明にも役立つと期待される。

2022年3月16日深夜(23:36)に起きた福島県沖地震(マグニチュード7.4、最大震度6強)⁸⁾ではMSが設置されている女川町において震度が5強であったが、その際にMSでRn濃度と γ 線量率の上昇が認められたためその調査結果を報告する。

2 方法

図1に示すMSにおいて γ 線量率、 γ 線スペクトル、各種の気象項目及びRn濃度を測定した。Rn濃度測定器としてはAlphaGUARD PQ2000PRO⁹⁾を用いたが、測定の詳細については前報^{1),2)}を参照

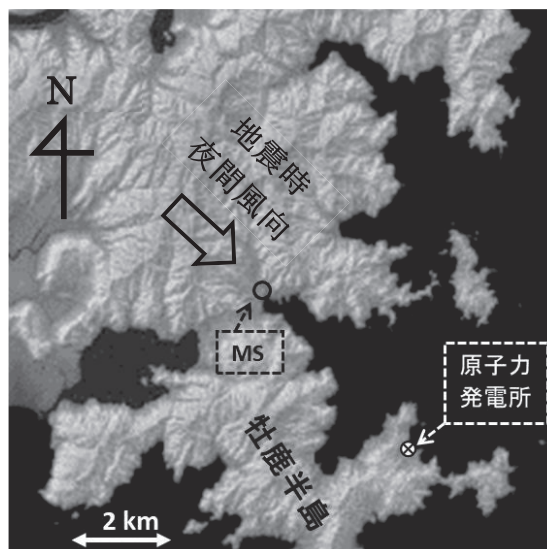


図1 Rn濃度観測地点。○印：女川MS(モニタリングステーション)。「国土地理院デジタル標高地形図、宮城県」の一部に文字・記号を追加。

されたい。測定地点について、女川付近はリアス式海岸特有の複雑な地形であり、南東方向は海で、また東から北、西及び南側にかけては標高 100-200 m 程度の山や丘に囲まれている。そのため、放射冷却に伴って接地逆転層が形成された際に、周辺の地表から湧出した Rn は山の方角から吹く緩やかな北西の風（山風）に乗って海側に向かって流れていくものと考えられる^{1),2)}（図 1）。

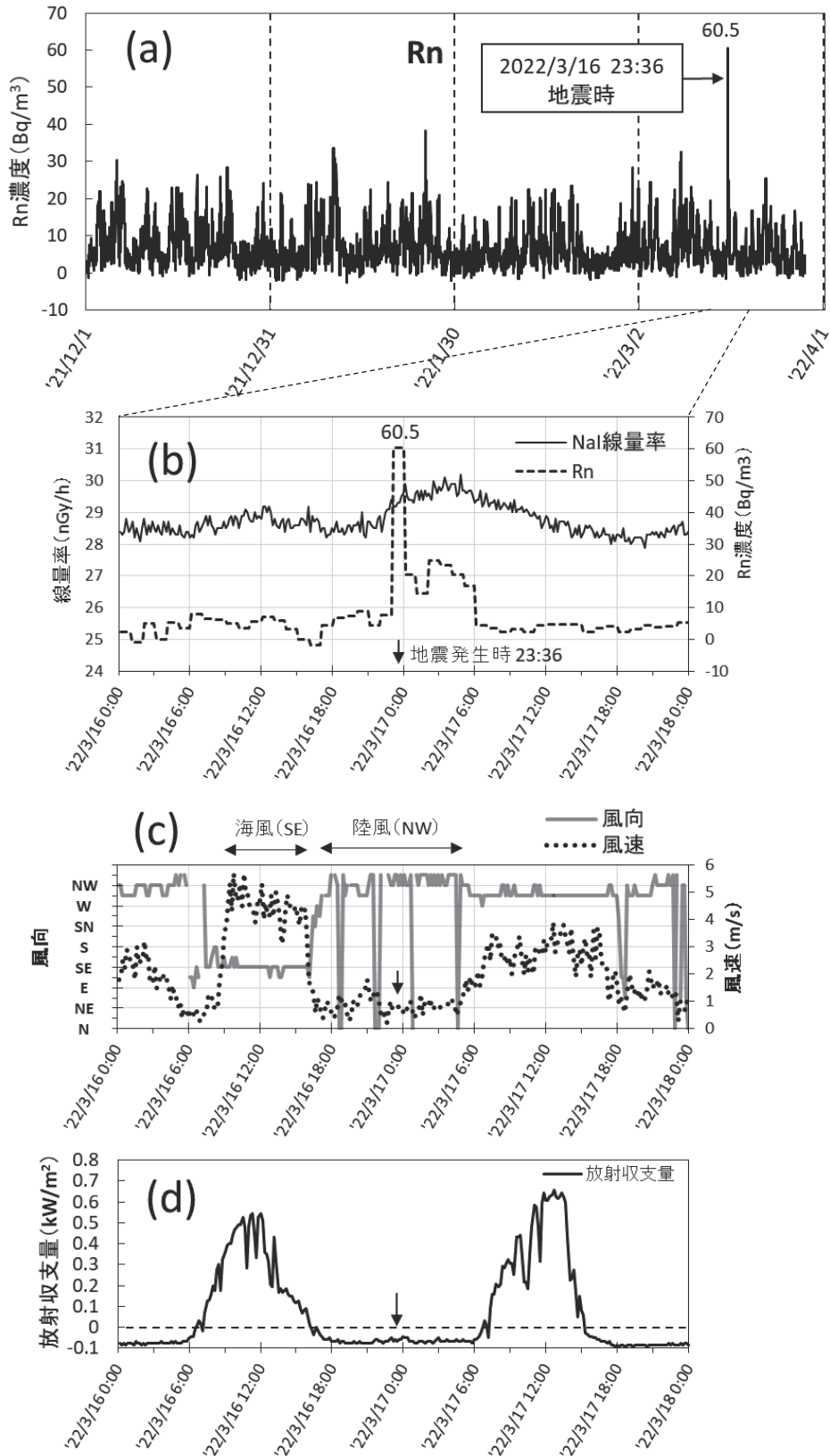


図 2 2021/12/1-2022/3/31 の女川における Rn 濃度の変化(a)、地震前後 2 日間の Rn 濃度と NaI (T1) 検出器による線量率(b)、同期間の風向・風速(c)及び同期間の放射収支量(d).

3 結果及び考察

3.1 2022年3月16日福島県沖地震由来の Rn

図2は最近の女川における Rn 濃度と γ 線量率及び気象データの経時変動を示す。図2(a)は2021年12月1日から2022年3月31日までの Rn 濃度である。女川及び周辺地域は地質的に自然放射能が多いため^{1),2)}、Rn 濃度も国内平均的なレベルに比べて多く^{1),2)}、通常でも頻繁に約 20-30Bq/m³ 程度の値を示す。しかし、2022年3月16日23:36に起きた福島県沖地震の際には約 60Bq/m³ (1h 平均)まで上昇した。地震前後2日間の Rn 濃度と NaI(Tl) 検出器による線量率を図2(b)に示すが、Rn 濃度上昇時には線量率も約 1nGy/h 程度上昇した。Rn 濃度は翌朝6時頃まで約 20Bq/m³ 程度の値を保っていた。また、図2(b)によると、Rn 濃度の増減パターンも通常とは異なる急激な変化をしている。図2(c)に風向・風速、(d)に放射収支量を示すが、地震の時間帯とその前後には放射冷却のため放射収支量がマイナスで、かつ北西からの約 1m/s 程度の山風が海の方に向かって吹いていた。この時間帯に降水や積雪はなかった。これらの事実から、恐らくこの時間帯には接地逆転層が形成され、地中から出た Rn ガスが地表付近に滞留したものと推定される。そのため、地震によって大地から放出された Rn 及び壊変物 (²¹⁴Pb と ²¹⁴Bi) が山側から海側へと流れ、海岸近くの MS に設置してある Rn モニターと線量計の値を上昇させたものと考えられる。翌朝に値が下がったのは気温上昇とともに逆転層が解消されて大気安定が崩れたためと考えられる(図2c)。なお、逆転層について、児島ら¹⁰⁾は夏期の岩手県大槌湾における Rn と気象の観測結果から、冷氣湖気候と呼ばれる地形的な逆転層形成の可能性を提唱しており、詳細なメカニズムについては議論の余地がある。

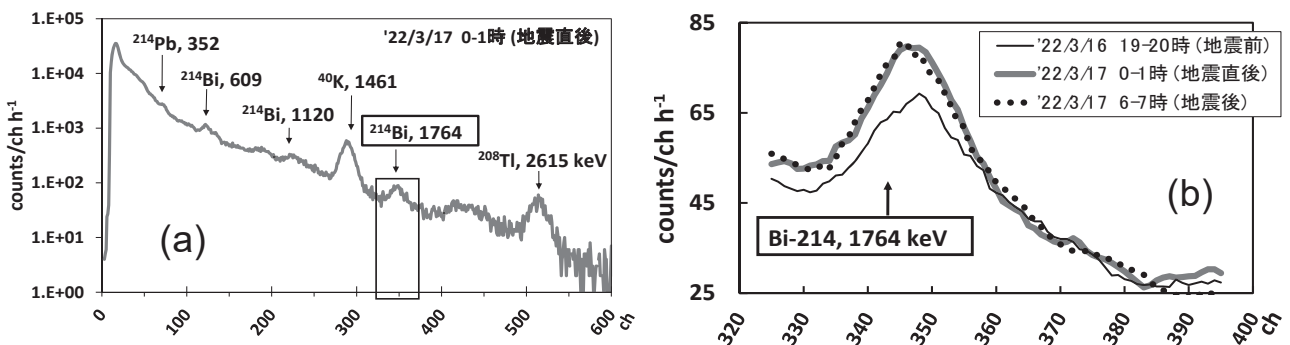


図3 (a)地震直後の Rn 濃度上昇時(3/17 0-1時)の NaI(Tl) γ 線スペクトル及び(b)地震前後の ²¹⁴Bi の 1764keV 付近 γ 線ピーク拡大図

図3(a)は地震直後の3月17日0-1時のNaI(Tl)検出器による γ 線スペクトル、また(b)は地震前後の²¹⁴Biの1764keV γ 線ピークの拡大図である。後者では地震前の3月16日19-20時と地震後の翌朝3月17日の6-7時のスペクトルも比較して示す。地震前に比べて、地震直後と翌朝には1764keV γ 線ピークが上昇していることがわかる。これは地震由来のRnの娘核種である²¹⁴Biが時間経過とともに増加または周辺に蓄積したためと考えられる。

次に、今回の地震前後の値を比較してみる。地震前(3/16, 21-22時)、地震時(3/16, 23:10 - 3/17, 0時)及び地震直後(3/17, 3-5時)の平均値は、Rn濃度が各々5.0、60.5及び22.1Bq/m³、また線量率が各々28.7、29.4及び29.8nGy/hであった。これらから、単位濃度のRn増加当りの正味線量率増加(nGy/h)/(Bq/m³)は地震時に約0.01nGy/h、また地震直後に約0.07nGy/hとなり、地震後の方が線量率寄与が大きかった。この理由として、時間経過に伴う娘核種(²¹⁴Pb、²¹⁴Bi)の成長もしくはRn分布層の増大が考えられる。一方、地震由来ではないRn濃度上昇、すなわち2008年6月20日早朝の接地逆転層形成時には^{1),2)}、最大Rn濃度約60Bq/m³に対して電離箱による線量率上昇が約8nGy/hであったから、これと比べれば今回の地震時の線量率上昇は少なかった。これらの違いの理由については不明であり更なる検討の余地がある。

3.2 過去に起きた地震時の Rn

過去データを調べ直してみたところ、ほかにも地震由来と推定される大気中 Rn 濃度上昇の兆候が認められた。Rn 観測地点付近では 2012-2021 の期間に震度 4 又は 5 弱の地震が 7 回あったが、それらのうち以下に示す 2 回は 2022 年の場合と似た気象条件下にあり、かつ Rn 濃度の変動は急激な上昇パターンを示し類似していた。Rn 濃度は各々 46 及び 23Bq/m³ で、2022 年よりは低かった。

図 4 は 2021 年 2 月 13 日 (a) と 2021 年 3 月 20 日 (b) の地震時 (いずれも震度 4) の Rn 濃度、気象データ及び γ 線量率の変動を示す。線量率上昇はごく微弱であり不明瞭であった。Rn 濃度上昇は大気が安定しやすい夜間の時間帯に陸側から北寄りの弱い風が吹いている時に起きており、2022 年の地震の場合と似た気象条件であった。ほかの震度 4 以上の地震の際には大気が不安定な時であったため Rn 濃度上昇は観測されなかった。

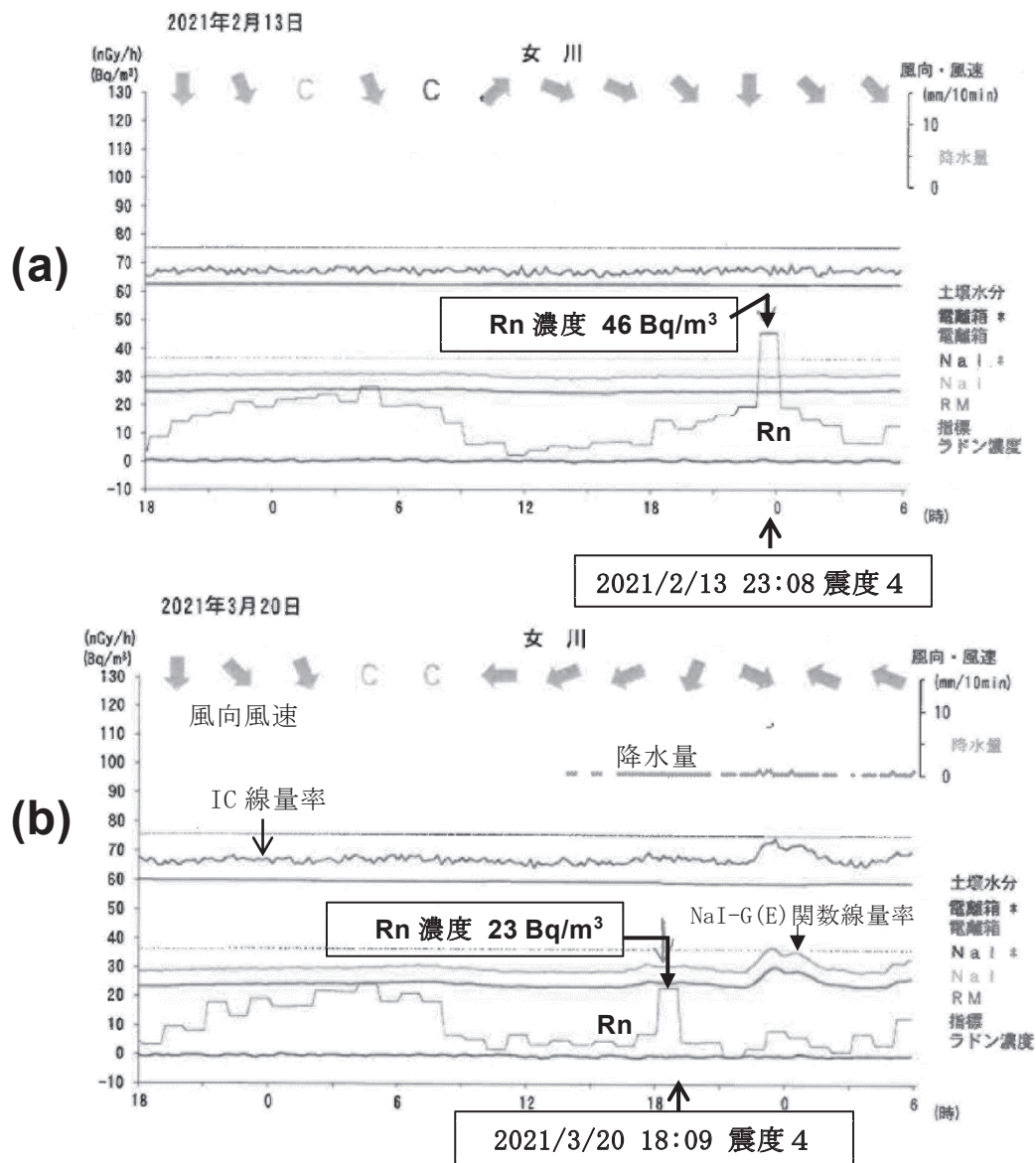


図 4 2021/2/13(a) と 2021/3/20(b) の地震時 (いずれも女川で震度 4) の Rn 濃度と気象データ及び γ 線量率の変動. IC: 電離箱.

4 まとめ

2022 年 3 月 16 日の福島県沖地震 (M7.4) の際に、宮城県女川町において大気中 Rn 濃度と空間 γ 線量率が上昇した。Rn の最大濃度は約 60Bq/m³ で、線量率は地震前に比べて約 1nGy/h 程度増加した。

宮城県は比較的地震が多い地域であるが、直接的に地震由来の大気中 Rn 濃度上昇が観測されたのは珍しく、また国内でも地震によって大気中 Rn 濃度上昇が観測されたのは数例しかないため、今回は貴重なデータが得られたことになる。2021 年にも女川における震度 4 の 2 回の地震の際に大気中 Rn 濃度上昇が認められたが線量率増加は少なく、その理由については今後の検討課題である。

参考文献

- 1) 石川陽一, 高橋正人, 木村昭裕, 三浦英美, KEK Proceedings 2009-8, 57-62 (2009), NaI(Tl) 検出器によるガンマ線線量率とスペクトルの測定並びに大気中ラドン濃度と気象の関連付け, 第 10 回環境放射能研究会, 2009 年 3 月 3-5 日, つくば市, 高エネ研.
- 2) 石川陽一, 高橋正人, 木村昭裕, 三浦英美, 宮城県原子力センター年報, 第 26 巻, 5-12 (2008), 牡鹿半島における大気中ラドン濃度と γ 線線量率の関係.
- 3) 石川徹夫, 安岡由美, 長濱裕幸, 川田祐介, 大森康孝, 床次眞司, 志野木正樹, 保健物理, 43, 253~267 (2008), 地震とラドン濃度異常(II).
- 4) 石川徹夫, 安岡由美, 長濱裕幸, 川田祐介, 大森康孝, 床次眞司, 志野木正樹, 保健物理, 43, 103~111 (2008), 地震とラドン濃度異常(I).
- 5) Yasuoka, Y., Kawada, Y., Omori, Y., Nagahama, H., Ishikawa, T., Tokonami, S., Hosoda, M., Hashimoto, T., Shinogi, M., Appl. Geochem. 27, 825-830 (2012), Anomalous change in atmospheric radon concentration sourced from broad crustal deformation: A case study of the 1995 Kobe earthquake.
- 6) 小村和久, 稲垣美幸, 西川方敏, 中西 孝, 早川和一, 唐 寧, 楊 小陽, 飯田孝夫, 森泉純, 地球科学, 61, 335-342 (2007), 能登半島地震前後の環境放射能の変動 (特集 2007 年能登半島地震 その 2).
- 7) Goto, M., Yasuoka, Y., Nagahama, H., Muto, J., Omori, Y., Ihara, H., Mukai, T., Radiat. Prot. Dosimetry, 174, 412-418 (2017), Anomalous changes in atmospheric radon concentration before and after the 2011 northern Wakayama Earthquake (MJ 5.5).
- 8) 日本気象協会, tenki.jp, 過去の地震情報, 2022 年 3 月 16 日 23 時 36 分頃.
- 9) セイコー・イージーアンドジー(SEIKO EG&G), SAPHYMO, AlphaGUARD PQ2000PRO カタログ.
- 10) 児島 紘, 永野勝裕, 三浦和彦, 原 壮史, 中江 茂, 乙部弘隆, リアス式海岸の盆地状地形とラドン濃度, Radioisotopes, 54, 521-52 (2005).

Atmospheric ^{222}Rn concentration and gamma-ray dose rate in Miyagi Prefecture after the Fukushima-oki earthquake (M7.4) on March 16, 2022

Yoichi Ishikawa and Yukiyoshi Kimura

At a site in Miyagi Prefecture where a seismic intensity of 5-upper was observed during the Fukushima-oki earthquake (M7.4) on March 16, 2022, increases in Rn (^{222}Rn) concentration in the air and gamma-ray dose rate were observed. The maximum concentration of Rn was about 60 Bq/m³ (1-h average), and the dose rate increase was about 1 nGy/h. Since there have been only a few reports of earthquake-induced increases in atmospheric Rn concentrations in Japan, we believe that we obtained valuable data this time. In 2021, the previous year, two earthquakes of seismic intensity 4 were observed at the same location in Miyagi Prefecture, and increases in atmospheric Rn concentrations of 46 and 23 Bq/m³ were also observed, but no apparent increase in dose rate was observed.

海産物の放射能測定における消化管内容物の影響

有田富和、高橋稜、小野原清志*1、伊藤節男、中村朋之*2、佐藤健一*3

*1 元 宮城県環境放射線監視センター

*2 現 宮城県循環型社会推進課

*3 現 宮城県仙南保健福祉事務所

2020年4月に採取したマボヤで、前年度と比べ高い濃度のセシウム-137 (^{137}Cs) が検出された。採取時期の気象条件や試料の状態などから、微細土壌粒子を含む消化管内容物の混入が原因と推定し、同一海域から再度試料を採取して消化管内容物を注意深く取り除いてから測定したところ、 ^{137}Cs は不検出となった。一方、消化管内容物からは高い ^{137}Cs が検出され、さらに翌2021年同期に採取した試料からは ^{137}Cs が検出されなかった。土壌は少量でも ^{137}Cs の測定に大きな影響を及ぼすことから、海産の試料では可能な限り消化管内容物を減らすことが、正確な放射能測定に重要であることが示された。

1 はじめに

宮城県では、東北電力株式会社女川原子力発電所（以下「女川原発」と略す。）周辺における各種の環境試料の放射性物質濃度を測定しており、このうち海産動物としてはアイナメ（脊椎動物）、マボヤ（原索動物）、エゾアワビ、マガキ、ムラサキイガイ（いずれも軟体動物）、キタムラサキウニ（棘皮動物）を対象としている。2011年3月の東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故（以下「福島第一事故」と略す。）直後はいずれの試料もそれ以前と比較して高い ^{137}Cs が検出されたが、その後は若干の変動はあるものの低下傾向が続き、すでに福島第一事故前の水準近くまで減少しているものもある。このような中で、2020年4月に女川原発近海から採取したマボヤ（*Halocynthia roretzi*）試料で、前年度よりおよそ一桁高い ^{137}Cs が検出された。同時期の他の試料ではこのような現象は確認されておらず、マボヤに特異な事象であると考えられた。この原因を解明するため、4月の試料について精査すると共に、時期をずらして同一海域から再度マボヤを採取して測定を行い、その結果について検討を行った。

2 方法

2.1 試料の前処理

測定に供するマボヤは、養殖4年目の大型個体を用いた。女川原発近傍の海域2ヶ所（K海域及びT海域）の養殖筏から4月及び7月に水揚げした。4月の試料は委託業者の作業場で筋肉層と肝臓に分離した状態のものを当センターで受領し、通風環境下120℃で数日間十分に乾燥し、電気炉に移して450℃で灰化して灰試料とした。7月の試料は水揚げ後そのまま当センターに持ち帰り、実験室で被囊と肝臓を除去し、さらに筋肉層と消化管内容物に分けた後、同様に乾燥灰化して灰試料とした。なお、7月の試料の筋肉層については、消化管内容物の混入が無いよう、鰓嚢基部の咽頭・食道から胃、腸、肛門まで全長にわたってハサミで切り開き、消化管内容物を丁寧に除去・回収した。各試料は生、乾燥後、灰化後にそれぞれ重量を測定して灰化率を算出した。

2.2 ゲルマニウム半導体検出器（Ge 検出器）による γ 核種の定量分析

γ 核種の定量分析には、ORTEC 社製の Ge 検出器 GMX25P4-70 及び GEM25-70、セイコーEG&G 社製のマルチチャンネルアナライザ M7 及び M7600 並びに核種定量分析ソフトウェア Gamma Station を用いた。Ge 検出器の冷却には、ORTEC 社製の MÖBIUS ハイブリッド式クーラーを使用した。測定に供する灰試料は、灰化後に乳鉢ですりつぶし、ふるいにかけて後、油圧プレス機等を用いて U8 容器に圧縮充填して測定試料とした。測定は原則として 80,000 秒で行った。

2.3 高周波誘導結合プラズマ発光分析（ICP 発光分析）による安定元素分析

灰試料に含まれる鉄の定量には、サーモフィッシャーサイエンティフィック社製の ICP 分析装置を用いた。灰試料を 550°C で再灰化し、酸抽出したものを測定試料とし、灰試料中の鉄の含有量を測定した。

3 結果及び考察

3.1 通常試料の測定結果

福島第一事故後のマボヤ筋肉層の ^{137}Cs 濃度の推移を示す（図 1）。2012 年から 2019 年にかけて、変動幅は比較的大きいものの、概ね減少傾向にあったが、2020 年 4 月に採取した試料からは、K 海域で 0.53Bq、T 海域で 0.34Bq（以下、いずれも kg 生重量あたりに換算した濃度を示す）と、前年の測定値¹⁾（それぞれ 0.043Bq、0.046Bq）を上回る値であった。

なお、後に詳述する 2020 年 7 月採取の試料や、2021 年 4 月の定期採取の筋肉層の試料では、いずれの海域からも ^{137}Cs は検出されていない。

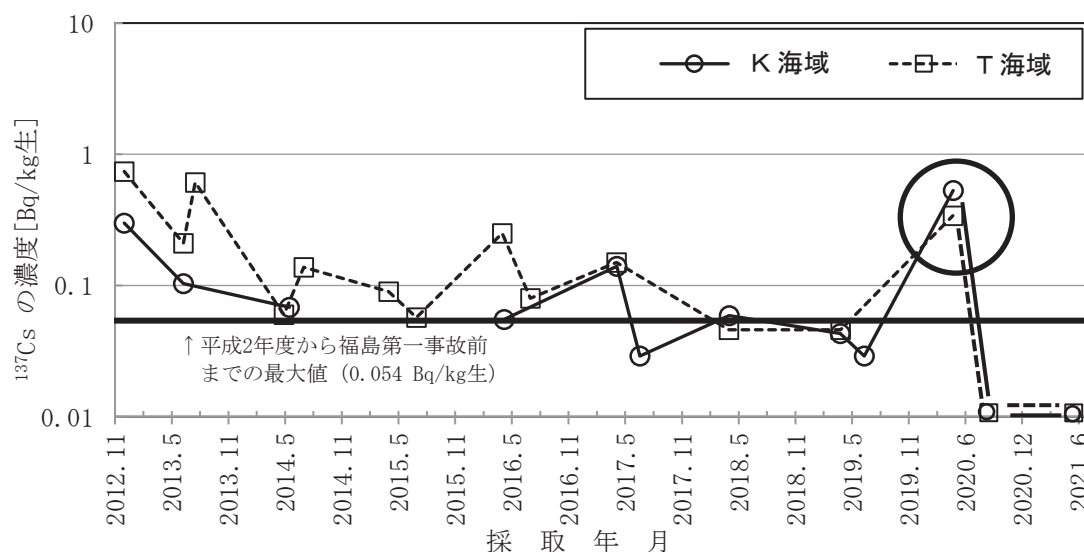


図 1 マボヤ筋肉層の ^{137}Cs 濃度の推移

2020年7月及び2021年4月の試料では両海域とも連続して不検出となった。

参考として肝臓部についても測定したが、筋肉層とほぼ同程度（それぞれ 0.45Bq、0.64Bq）の高い値であった（表 1）。さらに K 海域の試料について 24 万秒の測定を実施したところ、 ^{134}Cs が検出された。 ^{134}Cs と ^{137}Cs の測定値の比は、これが福島第一事故由来と仮定した場合の減衰比の理論値と概ね一致した（データは省略）。このこと及び他の人工核種が検出されていないことから、今回検出された放射性 Cs の由来は女川原発ではなく福島第一事故であることが示された。

表1 2020年4月に採取したマボヤの放射性核種の分析結果（単位はBq/kg 生）

試料名	マボヤ				
	筋肉層	肝膵臓 (参考測定)	筋肉層	肝膵臓 (参考測定)	
採取地点	K 海域		T 海域		
採取日	2020/4/22		2020/4/21		
対象核種	⁵⁴ Mn	N D	N D	N D	N D
	⁵⁸ Co	N D	N D	N D	N D
	⁵⁹ Fe	N D	N D	N D	N D
	¹³⁴ Cs	N D	N D	N D	N D
	¹³⁷ Cs	0.53±0.02	0.45±0.03	0.34±0.02	0.64±0.03
天然核種	⁷ Be	16.4±0.3	15.6±1.1	10.2±0.2	12.3±0.9
	⁴⁰ K	65.0±0.8	78.8±1.2	67.5±0.8	79.8±1.1
試料量(kg 生)	2.00	0.71	2.00	0.73	
測定時間(秒)	80,000	80,000	80,000	80,000	

灰化後の試料にはマボヤの胃の形をした硬質で赤褐色の塊が多数認められた(図2)。マボヤは珪藻類などのプランクトンを主要な餌としているが、ムラサキイガイやマガキのように「ろ過食」によりプランクトンをこし取るのではなく、網状構造の鰓嚢表面に粘液を分泌し、ここを海水が通過する際に、粘液に付着した微細で雑多な水中粒子(デトリタス)を絡めとり粘液ごと食道に送り込むという「デトリタス食」タイプの摂食を行う。餌となるプランクトン(主に珪藻類)だけでなく、海水中に懸濁している微細な土壌粒子なども非選択的に“口当たりしだい”に取り込まれるため、消化管には不消化物が多く大量の糞をする²⁾。さらにマボヤは食道、胃、後胃、中腸、直腸、肛門からなる明瞭な消化管構造を持ち、その内容量は比較的大きい²⁾。このことから、灰化後に残存した塊は消化管内の無機物とほぼ断定された。さらに生重量に対する灰化物の割合(灰化率)がK海域で4.23%、T海域で3.59%

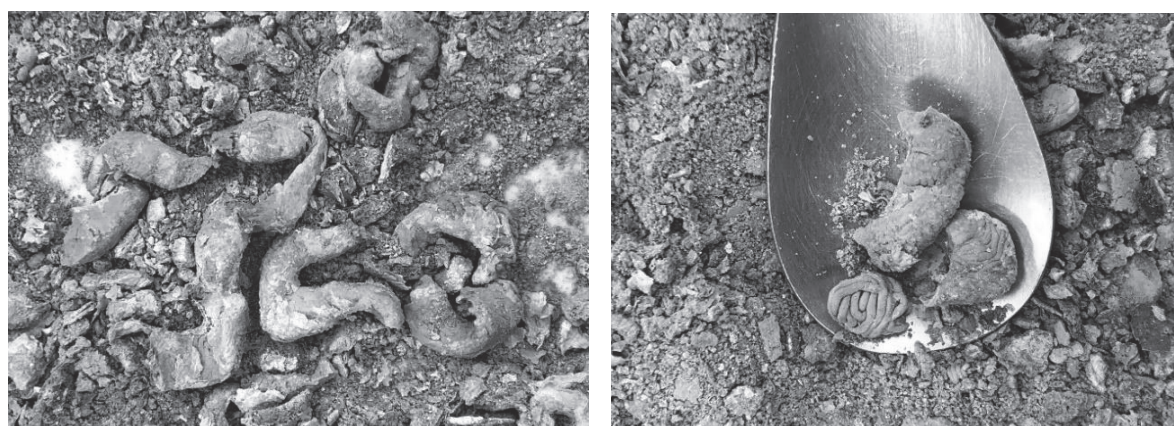


図2 マボヤ灰化物の概観

左：灰化物中に認められた固形物。胃の形に酷似している。

右：固形物がひも状の構造の塊であることが確認できる。

と、平年値（2%前後）と比べ高い値を示したことから、試料中に含まれる無機物の量が例年の倍程度であったことが推定された。

採取日前の気象状況を確認したところ、近隣地区で採取日直前の3日間に合計90mmを越える強い降雨があったことが確認できた³⁾。採取海域周辺では前年の台風19号の被害の復旧や道路の高台付替え工事のため裸地となっている地域も多く、降雨により大量の土砂が流入した可能性が考えられた。

2017年からのマボヤ（筋肉層）、マガキ（軟体部）及びアイナメ（皮・筋肉）のベリリウム-7 (^7Be) 濃度の推移を示した（図3）。 ^7Be は半減期が約53日と短く、上層大気で生成され降雨により降着し表層土に強く沈着することから、表土やその浸食のトレーサーとなりうる^{4,5)}。また、海洋においてはプランクトン、特に中心珪藻類で ^7Be の濃度が高いとの報告がある⁶⁾。当センターによるこれまでの定期調査や2001年の独自研究から、マボヤの筋肉層は10Bq前後と他の海産動物より高い ^7Be 濃度を示すこと、特に肝臓への積極的な取り込みや濃縮があることが明らかとされている^{1,7)}。気象条件に関わらず半減期の短い ^7Be が常時検出されていることは、マボヤの ^7Be は通常は主にプランクトン（珪藻類はホヤの主要な餌である）に由来することを示唆している。4月の試料では ^7Be の値が平年の2倍前後に上昇しており、消化管内には通常よりも過剰の表層土あるいはプランクトンが含まれていたことが推定される。灰化後の無機物の残存率から考えると、この過剰分は土壌の寄与割合が高いのではないかと考えられた。

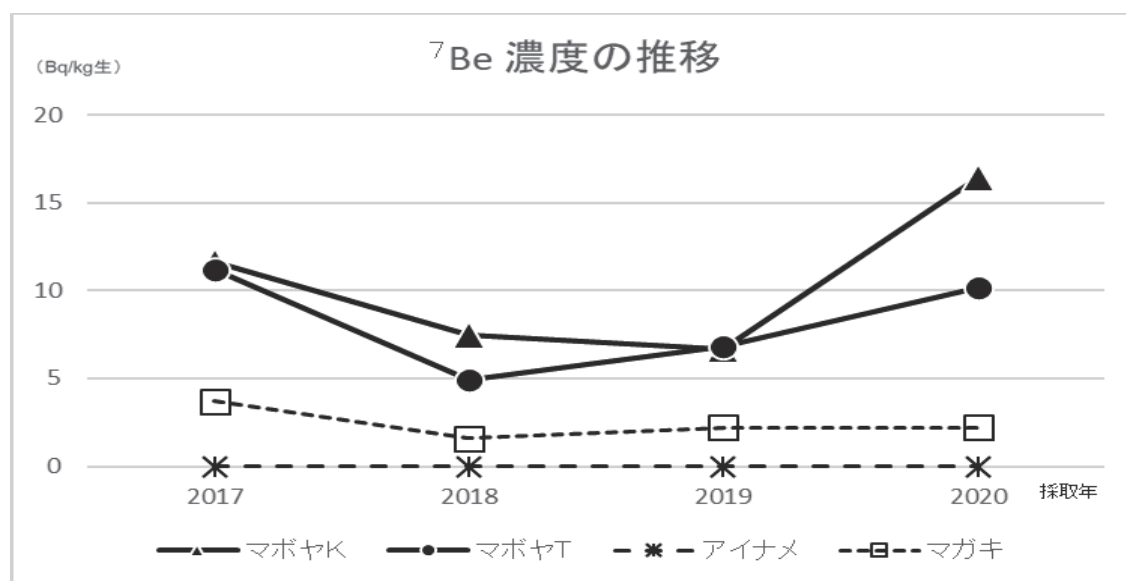


図3 海産動物試料に含まれる ^7Be 濃度の推移

3.2 灰試料中の鉄含有量の分析

ICP発光分析でK海域からの灰試料に含まれる鉄の量を測定したところ、2018年の灰試料が1gあたり0.74mg、2019年の灰試料が1.68mgの鉄を含んでいたのに対し、2020年4月の灰試料では16.4mgと平年の10~20倍も高い鉄含有量を示した。牡鹿半島の地質は鉄分に富むことが知られ、陸土だけでなく海底土も同様に鉄分が高い⁸⁾。これらのことから4月の試料には多量の土壌が含まれていたことが示唆された。

3.3 前処理の違いによる測定結果の違い

同年7月にT海域及びK海域の4月採取時と同じ養殖筏から、同じく養殖4年目のマボヤを水揚げし生きたまま当センターに搬入した。このうち半数は被囊と肝臓のみを除去し、自然に流出する場合を除き積極的な消化管内容物の除去を行わず（簡易処理）、残りはさらに食道、

胃、後胃、中腸、直腸、肛門まで消化管全体を切り開き、消化管内容物をすべて取り除いた後、乾燥・灰化した（筋肉層）。消化管内容物は別の容器に集めて計量し、乾燥・灰化した。それぞれの¹³⁷Cs、⁷Beの測定結果と灰化率を示す（表2）。4月に採取したのとは異なり、¹³⁷Cs濃度はK海域では簡易処理で0.052Bqと平年並みの値であり、さらに簡易処理試料の灰中には赤褐色の固形物が認められたものの、その量は非常に少なかった。それに対して、消化管を取り除いた筋肉層では不検出（検出下限値0.032Bq）、消化管内容物は2.37Bqと対照的な結果となり、消化管内容物がマボヤにおける¹³⁷Csの所在であることが明確に示された。

表2 2020年7月採取試料の¹³⁷Cs濃度、⁷Be濃度（Bq/kg生）と灰化率

	簡易処理			筋肉層			消化管内容物		
	¹³⁷ Cs	⁷ Be	灰化率	¹³⁷ Cs	⁷ Be	灰化率	¹³⁷ Cs	⁷ Be	灰化率
K海域	0.052	15.8	2.21%	N.D.	8.43	1.95%	2.37	318	5.73%
T海域	N.D.	10.7	2.41%	N.D.	7.16	2.01%	N.D.	109	4.18%

¹³⁷Csと同じく⁷Beも消化管内容物で高い値が検出されたが、¹³⁷Csとは異なり筋肉層からも概ね平年並みの値が検出されている。このことは、マボヤの体内においては⁷Beと¹³⁷Csの動態が異なることを示している。この差については、¹³⁷Csの供給源が土壤に限られるのに対し、⁷Beではプランクトン由来（可溶性）のものと土壤由来（不溶性）のものがあると考えれば矛盾がない。さらに興味深いことに、同日に採取したにもかかわらず、T海域の全ての試料で¹³⁷Csは検出されなかった。隣接した海域で差が出た理由は不明であるが、シナリオのひとつとして、¹³⁷Csと⁷Be濃度の高い土壤粒子が一過性かつ局地的に海域を通過したのではないかと考えている。⁷Be濃度が筋肉層では同程度であるにも関わらず、消化管内容物では3倍近い差があったことも、プランクトンではなく土壤の影響の高さを裏付けているのではないかと考えられた。

4 まとめ

2020年4月に採取したマボヤから例年に比べ高い濃度の¹³⁷Csが検出された。処理途中の灰化試料には消化管内容物と思われる赤色の固形物が多数認められ、高い濃度の鉄も検出された。この原因として消化管内の土壤の残留を疑い、同年7月に同じ海域から採取したマボヤについて、消化管内容物を徹底的に除去して測定を行ったところ、筋肉層から¹³⁷Csはまったく検出されず、逆に消化管内容物のみを集めた試料からは高い¹³⁷Cs濃度が認められた。これらのことから、今回の¹³⁷Cs濃度の上昇は、荒天により¹³⁷Csを含む表土が海域に一過性かつ多量に流入し、これをマボヤが大量に取り込み、前処理過程で除去しきれず試料に混入したことによるものと推定した。さらに⁷Beとは異なり¹³⁷Csの筋肉層への移行はほぼ無いことも明らかとなった。

また、本事例では、¹³⁷Csの分布、⁷Beや鉄の濃度、周辺環境、気象条件などから、¹³⁷Cs高値の原因として近隣からの陸土の流入を強く疑ったが、大河川由来の土壤や、海底土の巻き上がりの可能性が否定されたわけではない。これについては消化管内容物中のプランクトン（珪藻類や有孔虫類）の同定や蛍光エックス線分析などによる解析が必要となろう。

追記

本稿の執筆中に、デトリタス食の水棲昆虫において消化管内容物に高い¹³⁷Cs濃度の微粒子（セシウムボール）を含む個体の存在が報告された⁹⁾。同種における過去の報告^{10, 11)}と併せて、今回のマボヤの事象も同様のメカニズムで生じていた可能性が一層高まったと考える。

謝辞

放射能分析に関して多くの助言を頂いた元宮城県原子力センター所長の石川陽一氏に感謝します。また、著者(有田)のホヤに関する知識の多くは中内光昭博士(高知大学名誉教授、故人)と川村和夫博士(同名誉教授)からご教示されたものです。両先生に感謝します。

- 1) 宮城県 「女川原子力発電所周辺の環境放射能及び温排水調査結果」
<https://www.pref.miyagi.jp/soshiki/gentai/kankyo-onhaisui.html>
- 2) 中内光昭 『ホヤの生物学』、東京大学出版会、1977
- 3) 気象庁 「過去の気象データ検索」(宮城県女川町、2020年4月、日ごとの降雨量)
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 4) 金井豊、斎藤文紀、田村亨、NGUYEN Van Lap、TA Thi Kim Oanh、佐藤明夫 「メコンデルタ堆積物におけるベリリウム-7、鉛-210及び放射性セシウム同位体の分布と堆積環境の季節変化」、『地球化学』、47、89-100、2013
- 5) 金井豊 「ベリリウム同位体を用いる積学的研究」、『堆積学研究』、73、19-26、2014
- 6) Marsh, K.V. and Buddemeier, R.W. “Radionuclides in plankton from the south Pacific basin” *USDOE Reports*, UCRL-89843. 1984
- 7) Ishikawa, Y., Kagaya, H., Saga, K. “Biomagnification of ^7Be , ^{234}Th , and ^{228}Ra in marine organisms near the northern Pacific coast of Japan” *Journal of Environmental Radioactivity*, 76, 103-112, 2004
- 8) 川村寿郎、音喜多美保子、羽入由香、渡辺 順三、名和玲子、佐藤 秀樹 「宮城県内の海浜砂の鉱物構成と供給源：理科教材のための基礎資料」、『宮城教育大学紀要』、47、85-93、2012
- 9) Ishii, Y., Miura, H., Jo, J. Tsujii, H., Saito, R., Koarai, K., Hagiwara, H., Urushidate, T., Nishikiori, T., Wada, T., Hayashi, S. and Takahashi, Y. “Radiocesium-bearing microparticles cause a large variation in ^{137}Cs activity concentration in the aquatic insect *Stenopsyche marmorata* (Tricoptera: Stenopsychidae) in the Ota River, Fukushima, Japan” *PLoS ONE*, 17, 2022
- 10) 藤野毅、ニンウヰリ、野本健志、山田明弘 「ヒゲナガカワトビケラ属 (*Stenopsyche*) の放射能汚染状況と生物学的半減期評価の試み」、『土木工学会論文集 B1 (水工学)』、70、1291-1296、2014
- 11) 高比良光治、大井和之、田中憲一、田籠久也 「河川生態系における食物連鎖を介した放射性セシウムの移行過程の研究」、『環境管理』、43、45-51、2014

Effects of Gastrointestinal Contents on ^{137}Cs Concentration in Suspension-Feeding Animals

Tomikazu Arita, Ryo Ishida - Takahashi, Kiyoshi Onohara, Setsuo Ito,
Tomoyuki Nakamura and Kenichi Sato
Miyagi Prefecture Environmental Radiation Monitoring Center (MPERMC)

Higher concentrations of ^{137}Cs were detected in ascidians collected in April 2020 than in the previous year. This sample also had higher concentrations of ^7Be and iron. The stormy weather in the sea area during this period was estimated to have brought in a large amount of rainwater and sediment from river water. Based on these facts, the weight of the ash, and the appearance of the sample after incineration, it was estimated that a relatively large amount of digestive tract contents, including soil particles with high concentrations of ^{137}Cs , remained in this sample. In July of the same year, another sample was collected from the same area and carefully separated into edible parts, hepatopancreas, and digestive tract contents for measurement. As a result, ^{137}Cs was detected only in the digestive tract contents and no migration to the hepatopancreas or edible parts was observed. In suspension-feeding animals such as ascidians, it is important to reduce contamination of the digestive tract contents during sample processing for accurate radioactivity measurement.