

宮城県環境放射線監視センター年報

第9巻

令和5年

宮城県環境放射線監視センター年報

ANNUAL REPORT

OF

MIYAGI PREFECTURE ENVIRONMENTAL RADIATION

MONITORING CENTER

VOL.9 (2023)

第九巻

令和五年

宮城県環境放射線監視センター



この「宮城県環境放射線監視センター年報」は145部作成し、1部当たりの印刷単価は979円となっています。

はじめに

本県の環境放射線・放射能の測定・監視は、東北電力(株)女川原子力発電所の稼働に先立つ昭和56年度から、女川町内に設立された「宮城県原子力センター」が受け持ってまいりました。平成23年3月の東日本大震災によって同センターは全壊したものの、平成27年3月に仙台市内に再建され、翌4月からは「宮城県環境放射線監視センター」として再発足し、10年目の節目を迎えました。

この間、測定資機材の再整備に始まり、女川原子力発電所周辺を中心とした県内各地での測定局の再建・増設、緊急時のための電子式線量計50局の新設、これらに伴うシステムの機能追加等ハード的な整備に加え、気候・海流の変化に伴う測定対象試料・採取場所の変更、緊急時に向けた訓練内容の充実等ソフト的な体制整備にも尽力してまいりました。

震災後13年余の期間に渡って停止しておりました女川原子力発電所2号機は、令和6年11月に再稼働し、12月には営業運転を開始いたしました。発電所周辺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、これを機にさらに重要性を増すとの思いを新たにしているところでございます。

このたび、令和5年度における事業の成果を、「宮城県環境放射線監視センター年報 第9巻」としてとりまとめましたので、御高覧いただければ幸いに存じます。

末筆ではございますが、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者の皆様に厚く御礼を申し上げます。

令和7年1月

宮城県環境放射線監視センター
所長 高橋 正人

目 次

はじめに

第9巻(2023)

I 宮城県環境放射線監視センター概要	1
II 技術報告	
1 ダストモニタによる大気中放射性物質濃度の監視について	7
木村幸由、高群富貴、新井康史、有田富和、杉山照徳、長谷部洋	
2 指標線量率の温度依存性の解消に向けた検討	21
木村幸由、武藤儀一、高群富貴、新井康史、杉山照徳、長谷部洋	
3 空間放射線量率の調査レベルの設定について	32
新井康史、木村幸由、高群富貴、杉山照徳、長谷部洋	
4 指標海産物の $^{239+240}\text{Pu}$ 放射能濃度と $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 同位体比について	36
安達里美、有田富和、杉山照徳、長谷部洋	
III 学会発表等の要旨	42
IV 資 料	
資料1 宮城県における環境放射能核種分析結果	43
(1) Ge半導体検出器による分析結果	46
(2) Sr-90分析結果	60
(3) H-3分析結果	60
(4) 原子力規制庁委託調査結果	61
資料2 環境試料の放射化学分析結果	65
資料3 緊急事態が発生した場合への平常時からの備えとして実施した 環境試料中の放射性物質濃度の測定結果	72
資料4 陸水採取地点の変更に伴う新旧採取地点の測定結果の比較 について	79
資料5 黄砂飛来時の大気浮遊じんゲルマニウム半導体検出器測定結果	81
資料6 宮城県内陸部の落葉中セシウムの測定結果について	83
資料7 Sr-90分析における計数値の上昇事象について	85

C o n t e n t s

Preface

I	Outline of Miyagi Prefecture Environmental Radiation Monitoring Center -----	1
----------	---	---

II Technical Papers

1	Monitoring of radioactivity concentrations of airborne dust with the Radioactive Dust Monitor -----	7
	<i>Yukiyoshi Kimura, Tomitaka Takamure, Yasuhumi Arai, Tomikazu Arita, Akinori Sugiyama and Hiroshi Hasebe</i>	
2	Study on Resolving the Temperature Dependence of Artificial Dose Rates ---	21
	<i>Yukiyoshi Kimura, Giichi Mutoh, Tomitaka Takamure, Yasuhumi Arai, Akinori Sugiyama and Hiroshi Hasebe</i>	
3	Investigation of Survey Levels for Environmental Gamma-ray Dose Rates --	32
	<i>Yasuhumi Arai, Yukiyoshi Kimura, Tomitaka Takamure, Akinori Sugiyama and Hiroshi Hasebe</i>	
4	$^{239+240}\text{Pu}$ radioactivity level and the isotopic ratio of $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ in indicator marine organisms -----	36
	<i>Satomi Adachi, Tomikazu Arita, Akinori Sugiyama and Hiroshi Hasebe</i>	

III	Abstracts -----	42
------------	------------------------	----

IV Data

1	Results of Radionuclide Analysis of Environmental Samples -----	43
	(1) Results of Gammaray Spectrometry with Gedetectors -----	46
	(2) Results of Sr-90 Analysis -----	60
	(3) Results of H-3 Analysis -----	60
	(4) Fallout Survey Data in Miyagi Prefecture -----	61
2	Results of Radiochemical Analysis of Environmental Samples -----	65
3	Results of Radionuclide Analysis of Environmental Samples Conducted in Preparation for Nuclear Disaster -----	72
4	Results of Comparing Inland Water Radioactivity Between Old and New Sampling Locations ---	79
5	Measurement Results of Atmospheric Aerosols During Asian Dust Events Using a Germanium Semiconductor Detector -----	81
6	Measurement Results of Radioactive Cesium in Fallen Leaves in the Inland Areas of Miyagi Prefecture -----	83
7	Unexpected increase of the counting rates in the Sr-90 analysis -----	85

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総審 第149号

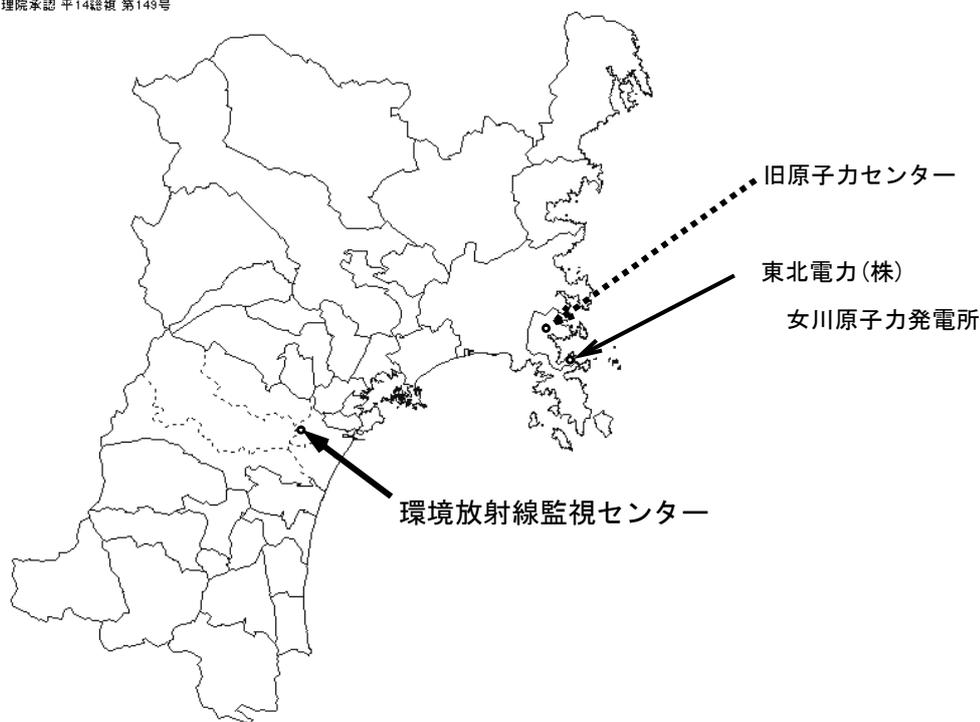


図-1 位置図

2 組織及び名簿（令和5年度）

職名（担当）		氏名	配属年月日
所長		長谷部 洋	R 4. 4. 1
総括次長兼技術次長（班長）		杉山 照徳	R 4. 4. 1
庶務担当	次長（庶務担当）	佐藤 英明	R 4. 4. 1
	主査	照井 幹雄	H 30. 4. 1
	主事	石尾 佳織	R 4. 4. 1
監視測定班	副主任研究員（副班長）	有田 富和	R 2. 4. 1
	副主任研究員	安達 里美	R 4. 4. 1
	研究員（副班長）	高群 富貴	R 4. 4. 1
	研究員	木村 幸由	H 30. 4. 1
	研究員	新井 康史	R 5. 4. 1

3 決算（令和5年度歳入歳出決算書から事業関連を抜粋）

歳 出

単位：円（令和6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	129,792,972	環境放射能監視測定事業

4 主要設備・機器（重要物品）

令和6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・ヨウ素サンプラー	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 γ線標準照射装置	ポニー工業(株)・PSR-102MS型	1台	H22	
	5 高純度ゲルマニウム半導体検出器	ORTEC(セイコー・インジウム・アンチモン(株)・GMX25P4-70-RB-B他	1台	H23	監視Ge1、サンプルチェンジャー付
	6 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	
	7 ポータブルゲルマニウムγ線核種分析装置	セイコー・インジウム・アンチモン(株)・Trans-SPEC-DX-100T 他	1台	H23	
	8 検体採取車	トヨタハイエース、2690cc	1台	H23	
	9 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
	10 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、
	11 電離箱式検出器	富士電機(株)・NCE207K	10式	H24	鳴瀬局、南郷局、涌谷局、津山局、志津川局
	12 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	
	13 ゲルマニウム半導体検出器ダストヨウ素モニタ	日立アカメィカル(株)・DSM-R41-22843	1台	H26	寄磯局
			1台	H27	小屋取局
14 低バックグラウンドベータ線自動測定装置	日立アカメィカル(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	15	消臭・脱煙装置付き電気炉	(株)東京技術研究所・TFF80-C	2台	H26	
	16	消臭・脱煙装置	(株)東京技術研究所・VM-B	3台	H26	
	17	Ge半導体検出器用予備電気冷却装置	セイコー・イメージ・アント・ジーン(株)・CFG-X-COOL-III-115	1台	H26	
	18	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	
	19	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	
	20	低バックグラウンド液体シンチレーションカウンター	日立アロカメディカル(株)・LSC-LB7	1台	H26	
	21	ハンドフットクロズモニタ	日立アロカメディカル(株)・MBR-201H	1台	H26	
	22	MS点検車	ホンダフリードスパイク、1490cc	1台	H26	
	23	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
	24	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
	25	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
	26	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
	27	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
	28	ゲルマニウム半導体検出器用大型遮蔽体		1台	H29	
	29	ゲルマニウム半導体検出器(GEM型)	セイコー・イメージ・アント・ジーン(株)・GEM25-70	1台	H29	監視Ge 2
	30	検出器冷却用液体窒素凝縮装置	ORTEC社製・MOBIUS Recycler	1台	H29	監視Ge 2用
31	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	
32	解析用ソフトウェア	Gamma Station	1式	H29		
33	検出器冷却用液体窒素凝縮装置	ORTEC社製・MOBIUS Recycler	1台	R1	監視Ge 1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	34 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
	35 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
	36 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	
	37 マルチチャンネル アナライザー	セイコー・インジケーション(株)・ MCA-7a/M7-010型	1台	R3	監視Ge 1用
38 低線量率測定装置	日本レイテック(株) ASM-1465型	1台	R5		
その他	1 原子力防災用車輛	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 サンブラ	富士電機(株)	5台	H30	
	5 簡易型放射線量等測 定器	富士電機(株)	1台	R3	東松島市
	6 移動観測車	スバルフォレスター 1990cc	1台	R5	

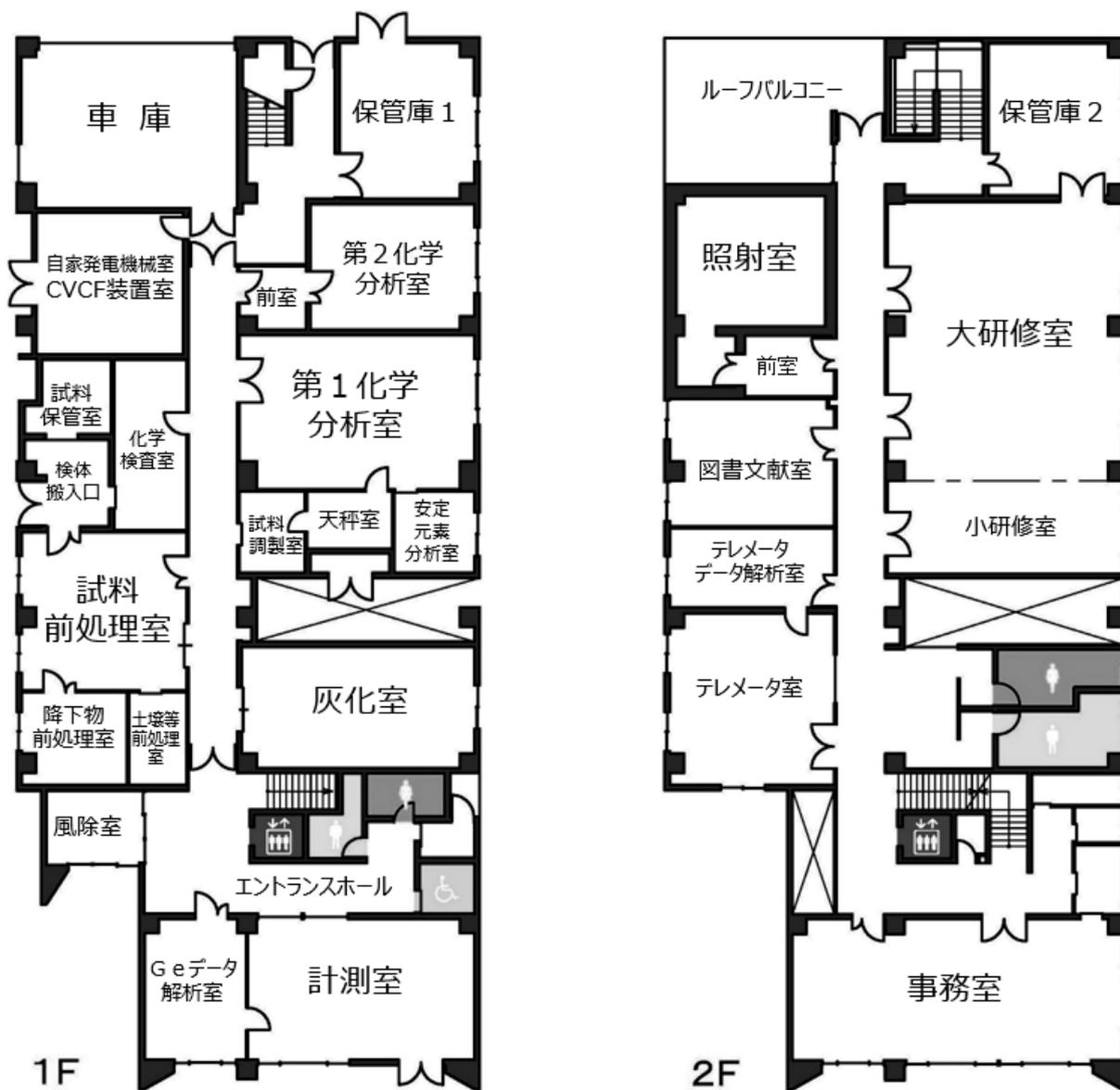


図-2 環境放射線監視センター配置図

◎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

- ▲ 水準調査用固定型モニタリングポスト（7局）



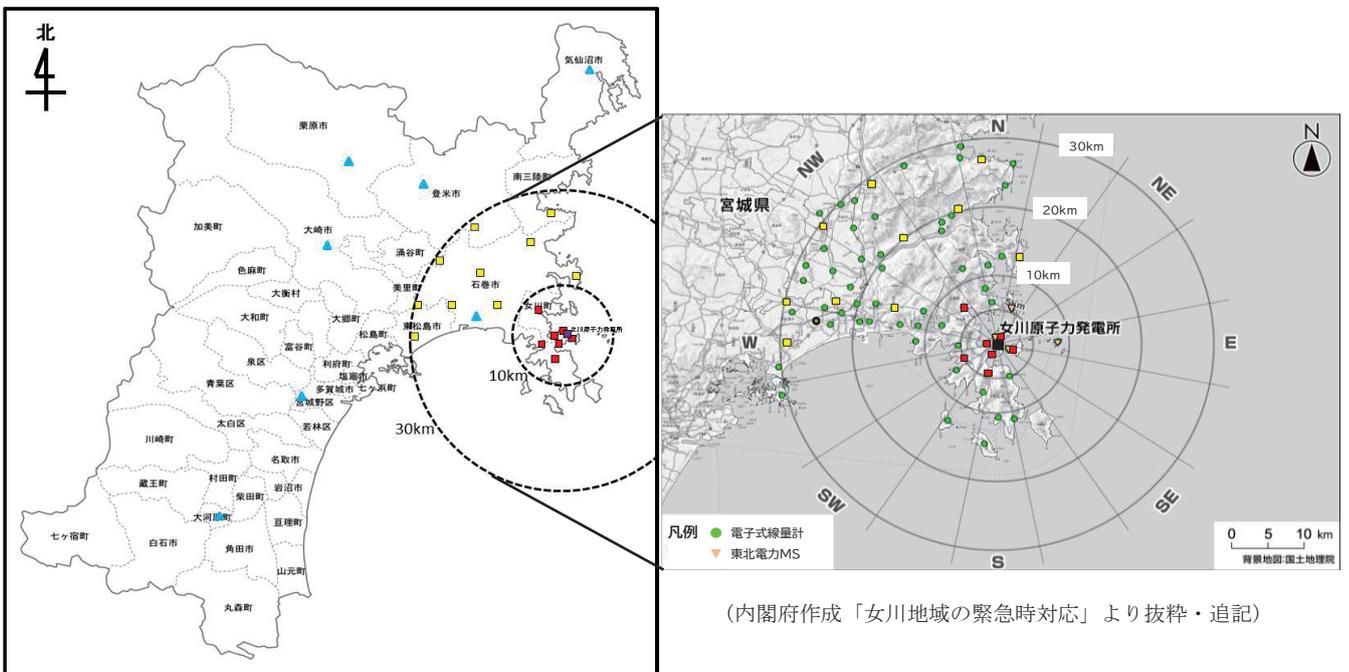
水準調査用
固定型モニタリングポスト

◎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 技術報告

ダストモニタによる大気中放射性物質濃度の監視について

木村幸由*1、高群富貴、新井康史、有田富和、石川陽一*2、杉山照徳*3、長谷部洋*4

宮城県では、2020年度に女川原子力発電所からの予期しない放射性物質の放出の監視機能及び緊急時モニタリング機能を強化するために、大気中の放射性物質の濃度を連続で測定するダストモニタを導入し、試験測定を行いつつ本県における監視方法を検討してきた。今年度は、まず平常時の放射能濃度の算出方法並びに α 線及び β 線の線源効率について精査し、本県に適した平常時の放射能濃度の算出方法を決定するとともに、 α 線の線源効率を0.25に、 β 線の線源効率を0.50にすることにした。さらに、施設寄与全 β 放射能濃度推定値が確認開始設定値を超過した場合には、詳細に核種分析を行うためにダストモニタからろ紙を回収し、そのろ紙を油圧プレス機により圧縮した後にゲルマニウム半導体検出器により測定する方法を考案した。

I はじめに

宮城県では、原子力規制庁において2018年4月に「平常時モニタリングについて、原子力災害対策指針補足参考資料(以下「指針」という。)¹⁾が制定されたことを受け、2020年度に監視機能(以下「監視」という。)及び緊急時モニタリング機能を強化することを目的として、新たに大気中の放射性物質の濃度を連続で測定するダストモニタを飯子浜局と鮫浦局に導入した。設置地点の選定理由とダストモニタの仕様については過去に報告したとおりである²⁾。また、2021年度に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を調査したところ、ダストモニタに捕集される放射性核種は主にラドン子孫核種であると推定される結果が得られた³⁾。そして、昨年度に2021年度の1年間の測定値を用いて本県における大気中の放射性物質の濃度の監視方法を検討したところ、自然放射性核種の寄与を差し引き、概ね5 Bq/m³以上の人工放射能濃度の検出が可能であると推定される結果が得られたものの、以下に示す事項については、引き続き検討を要するものとなっていた⁴⁾。

- 1 平常時の放射能濃度の算出方法
- 2 線源効率の再検討
- 3 施設寄与全 β 放射能濃度推定値が確認開始設定値を超過した場合の対応

そこで、今回はこれらの事項について精査を行った。

なお、ダストモニタによる原子力施設からの予期しない放射性物質又は放射線の放出の早期検出及び周辺環境への影響評価に対する基本的な考え方が、2022年6月に原子力規制庁から放射能測定法シリーズ No. 36「大気中放射性物質測定法」(以下「測定法」という。)⁵⁾として示されたことから、検討にあたっては昨年度と同様に測定法を参考にすることにした。

*1 現 宮城県保健環境センター *2 元宮城県環境放射線監視センター

*3 現 宮城県環境生活部廃棄物対策課 *4 現 宮城県復興・危機管理部原子力安全対策課

II 平常時の放射能濃度の算出方法

1 昨年度に検討していた放射能濃度の算出方法の長所と短所

放射能濃度の算出方法については、測定法 p. 40 に集じん開始から t 時間後の時点での正味計数率（計数率計による瞬時値）を機器効率と t 時間後までの積算流量で除して、放射能濃度を求めることが基本と記載されている。しかし、本県のダストモニタでは計数率の瞬時値を測定できないため、 α 積算計数、 β 積算計数及び積算流量から放射能濃度を計算する方法を検討した。

昨年度に検討していた放射能濃度の算出方法は、主に図 1 及び図 2 に示す方法であり、昨年度の報告⁴⁾ではそれぞれ方法 A、方法 B と表記していたので、本報告においても方法 A、方法 B と表記する。

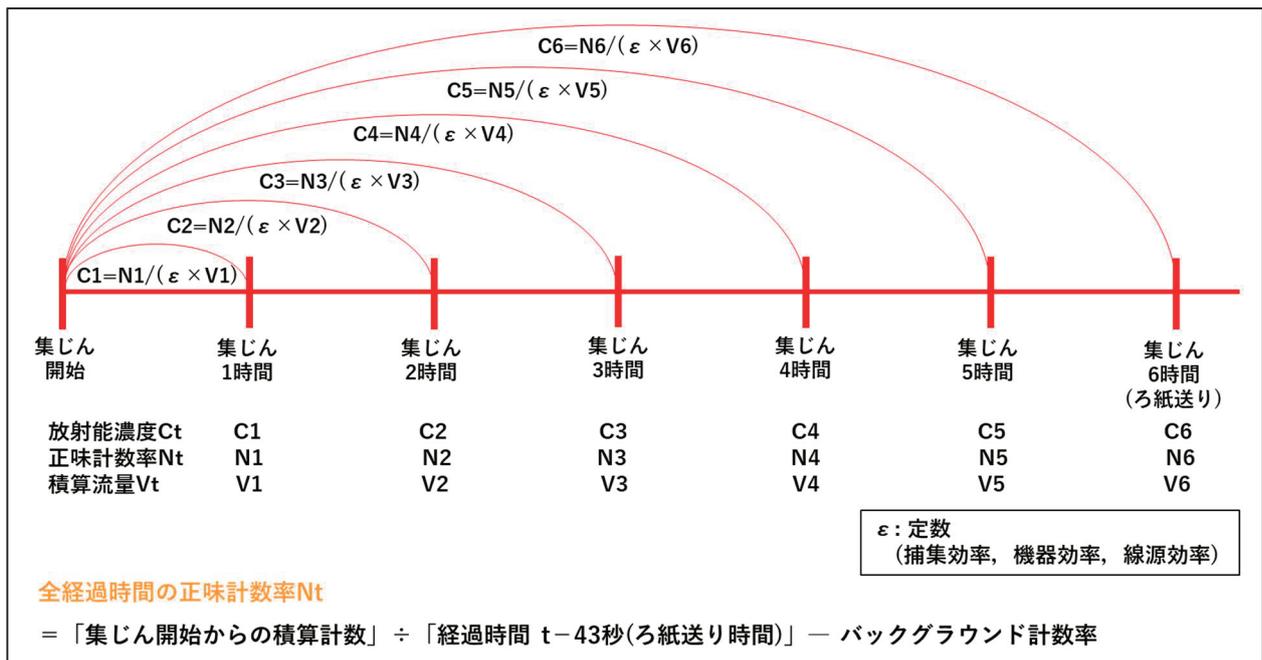


図 1 放射能濃度算出方法 (方法 A)

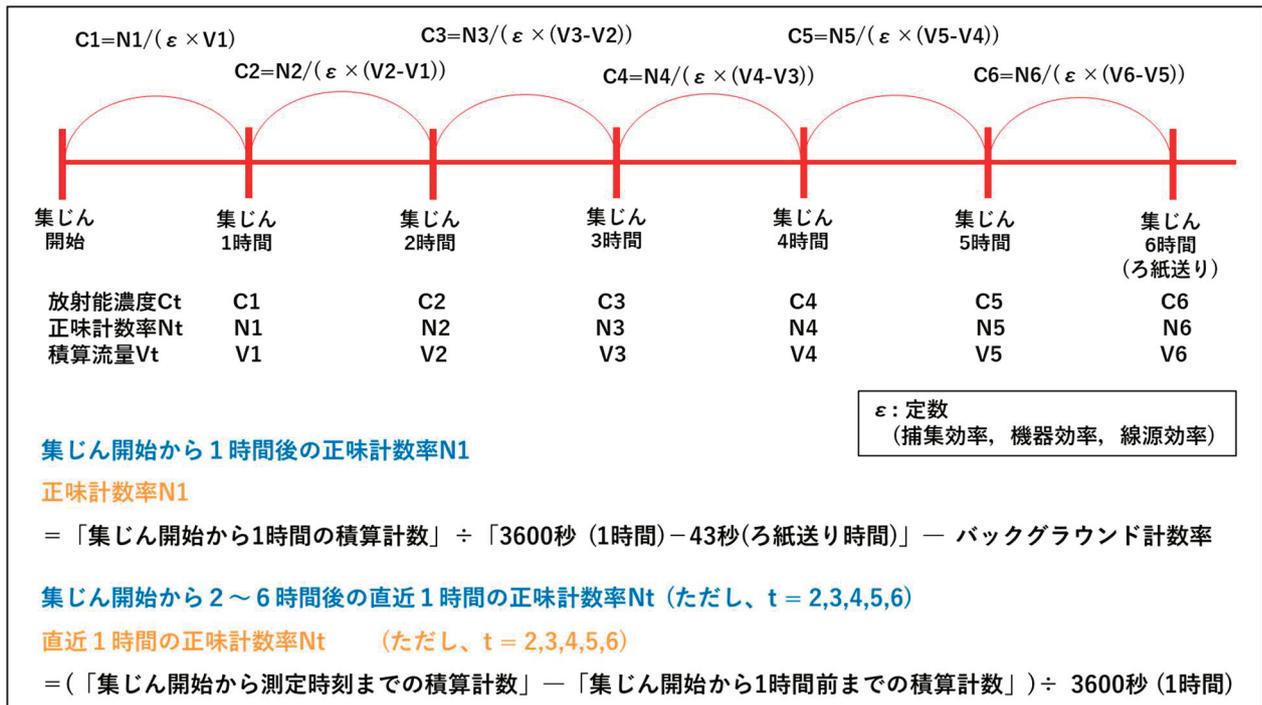


図 2 放射能濃度算出方法 (方法 B)

方法 A は各測定時刻において全経過時間の正味計数率及び集じん開始からの積算流量を用いて放射能濃度を求める方法である。一方、方法 B は直前 1 時間の正味計数率及び直前 1 時間の積算流量を用いて放射能濃度を求める方法である。

本県として、方法 A と方法 B のどちらの考え方を基本にするべきかを検討するにあたり、まずは昨年度の検討結果を踏まえて、両者の長所と短所を表 1 のとおり整理した。

表 1 方法 A 及び方法 B の長所と短所

	長所	短所
方法 A	測定法に基づく方法であるため、他の自治体とデータの比較や知見の共有ができる。	方法 B と比べて人工放射性核種が飛来した場合の応答性が悪い。
方法 B	方法 A と比べて人工放射性核種が飛来した場合の応答性が良い。	他自治体とデータの比較や知見の共有が容易ではない。

方法 A は測定法に基づく方法であるため、他の自治体とデータの比較や知見の共有ができるという長所があるが、方法 B と比べて人工放射性核種が飛来した場合の応答性が悪いことが短所である。一方で、方法 B は方法 A と比べて人工放射性核種が飛来した場合の応答性が良いという長所があるが、測定法に基づかない方法であるために他自治体とデータの比較や知見の共有が容易ではないという短所がある。今後の本県における監視体制を考えると、他の自治体とデータの比較や知見の共有ができることが望ましいため、方法 A のように各測定時刻において全経過時間の正味計数率及び集じん開始からの積算流量を用いて放射能濃度を求める考え方を採用することにした。

ただし、方法 A は人工放射性核種が飛来した場合の応答性に課題があるため、測定法を参考に放射能濃度の算出方法を改良することにした。

2 放射能濃度の算出方法の改良

前述のとおり、測定法では計数率計による計数率の瞬時値を用いて放射能濃度を求めることが基本とされているが、測定法の解説 C には積算計数から計数率の瞬時値に近い値を得るための方法が記載されている。具体的には、以下のア及びイのとおりである。

ア 当該 10 分間の積算計数から計数率を推定する方法

概要：大気中放射性物質濃度（半減期の長い核種）が一定である場合は、計数率は直線的に増加するため、三角形（0 - 10 分）や台形（10 - 20 分）の面積であると見なして、正 10 分時点の計数率を推定する方法

イ 積算計数の測定の分割時間を短くして計数率を評価する方法

概要：積算計数を測定する時間を短く分割し、積算計数を測定時間で単純に除した場合でも、積算計数終了時点の計数率を、計数率計で測定した計数率に近づける方法

昨年度の報告⁴⁾では、イの考え方を参考に図 3 のとおり放射能濃度の算出方法を整理し、それを方法 C として表記していたため、本報告でも方法 C と表記する。昨年度は、2021 度の放射能濃度と施設寄与全 β 放射能濃度推定値を試算し、その試算結果を報告したところであるが、今回方法 A の改良法としての方法 C について、改めて検討することにした。

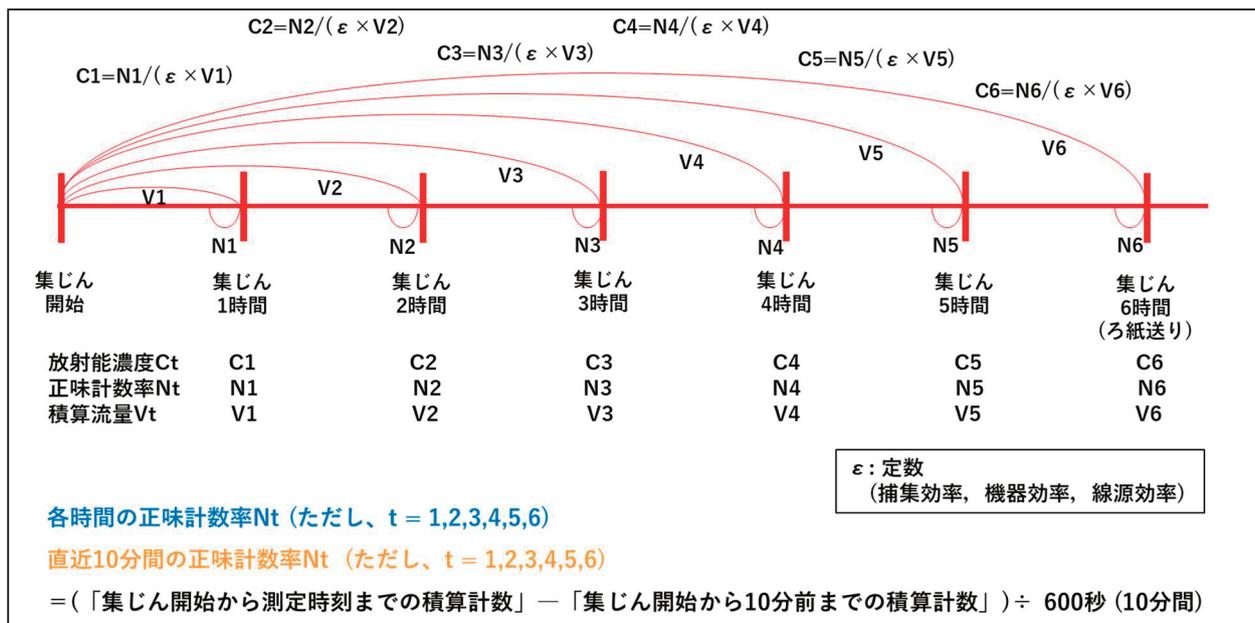


図3 方法Aを改良した放射能濃度算出方法(方法C)

まず、方法Cにより人工放射性核種が飛来した場合の応答性を改良できる理由の考え方を図4に示す。図4は長寿命の人工放射性核種が一定濃度で大気中に存在した場合を想定したものであり、測定法「解説C(2)②イ」に掲載されている図を参考に本県が作成したものである。

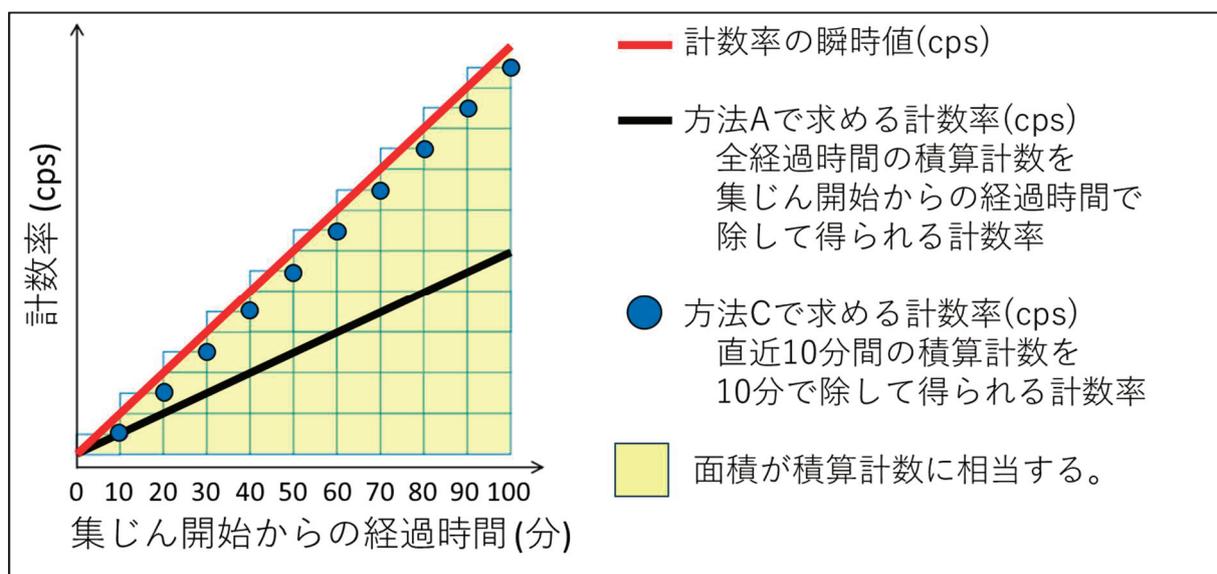


図4 方法Aと方法C(方法Aの改良法)で求められる計数率

横軸に集じん開始からの経過時間を、縦軸に計数率をとった場合に計数率を時間で積分した値が積算計数であるため、図中の黄色で塗りつぶした部分の面積が積算計数となる。方法Aのように、積算計数を単純に経過時間で割ると黒線で示した計数率になるが、計数率の瞬時値は赤線で示すように、さらに高い値をとる。そこで、方法Cのように短い時間の積算計数から計数率を算出することで計数率の瞬時値に近い値を求めることができる。この考え方により人工放射性核種が飛来した場合の応答性を改良することができる。

現在、本県が運用している女川原子力発電所周辺環境放射線監視システムにおいて永年保存しているダストモニタのデータは、10分値が最も計測間隔が短いデータであるため、方法Cのとおり10分値を用いて計数率を算出することにした。

3 放射性物質が飛来した場合の応答性のシミュレーション

方法A、方法C及び計数率の瞬時値が得られる場合について、放射性物質が飛来した場合に算出される放射能濃度をシミュレーションし、放射性物質に対する応答性を比較した。シミュレーションの条件は、以下のとおりである。

シミュレーションのパターン

- パターン1 集じん開始直後から6時間大気中に放射性物質が存在し続けた場合
- パターン2 集じん開始直後の1時間のみ大気中に放射性物質が存在した場合
- パターン3 集じん開始から3時間後に飛来し始め、それ以降は大気中に放射性物質が存在し続けた場合
- パターン4 集じん開始直後の12分間のみ大気中に放射性物質が存在した場合

全てのシミュレーションに共通する条件

- 条件1 ろ紙の同じ部分に6時間連続で集じんする。
- 条件2 集じん中の流量率は100 L/minで一定とする。
- 条件3 集じんと同時に計数を測定する。
- 条件4 計算を簡単にするため捕集効率、機器効率、線源効率は全て1とする。
- 条件5 ろ紙に捕集された放射性物質は、ろ紙上で減衰しないものとする。
- 条件6 放射性物質が飛来している間の大気中の放射能濃度は、5 Bq/m³とする。

計数率の瞬時値、積算計数及び放射能濃度の算出方法

大気中の放射能濃度が5 Bq/m³ (0.005 Bq/L)であり、流量率が100 L/min (100/60 L/sec)であることから、1秒間にろ紙上に集じんされる放射性物質は式(1)のとおりである。

なお、捕集効率を1とする。

$$0.005 \text{ Bq/L} \times 100/60 \text{ L/sec} \times 1 = 5/600 \text{ Bq/sec} \quad (1)$$

ここで、5/600 Bq/secを時間(t)について積分すると、式(2)のとおりt秒後にろ紙上に捕集されている放射能を求められる。ただし、tは集じん開始からの経過時間ではなく、大気中に放射性物質が存在している間の経過時間とする。

$$\int 5/600 dt = 5t/600 \text{ (単位:Bq)} \quad (2)$$

ろ紙上で放射能が減衰せず、かつ、計数効率及び線源効率を1としていることから、t秒後の計数率の瞬時値は5t/600 cpsである。

さらに、5t/600 Bqを時間(t)について積分すると、式(3)のとおりt秒後の積算計数を求められる。

$$\int 5t/600 dt = 2.5t^2/600 \text{ (単位:Bq} \cdot \text{t、 counts) (3)}$$

大氣中に放射性物質が存在していない間の計数率の瞬時値は 0 cps (放射性物質飛来前)、又は式(2)の t に大氣中に放射性物質が存在していた時の経過時間 t_e を代入した値(4) (放射性物質飛来後) である。

積算計数は 0 counts (放射性物質飛来前)、又は式(3)のとおり計数が積算された後に(4)の計数率が継続することになるため式(5) (放射性物質飛来後) によって求められる。

$$5t_e/600 \text{ (単位:cps) (4)}$$

$$2.5t_e^2/600 + 5t_e/600 \times t_p \text{ (単位:counts) (5)}$$

ここで

t_e : 大氣中に放射性物質が存在していた時の経過時間

t_p : 大氣中に放射性物質が存在しなくなった後の経過時間

このようにして算出した計数率の瞬時値(cps)及び積算計数を用いて、放射能濃度を算出した。

3 パターンによるシミュレーションの結果を図 5 - 図 8 に示す。

方法 A により算出される放射能濃度は、計数率の瞬時値から算出される放射能濃度の 50%程度か (図 5、図 6)、さらに低い放射能濃度が算出される場合があった (図 7)。それに対し、方法 C はいずれのパターンにおいても計数率の瞬時値から算出される放射能濃度と同程度の放射能濃度が算出された。このことから、方法 A と比べて方法 C は放射性物質が飛来した場合の応答性が優れていると考えられる。

また、昨年度検討した時点では、方法 C により放射能濃度を算出する場合は、放射能濃度の算出に考慮されない時間 (毎時 0 分 - 50 分) があることを危惧していたが、図 8 のとおり毎時 0 分 - 50 分の間に放射性物質が飛来しても計数が積算されているため応答性には大きな影響がないことを示唆する結果となり、大氣中の放射性物質濃度の監視において支障はないと判断された。

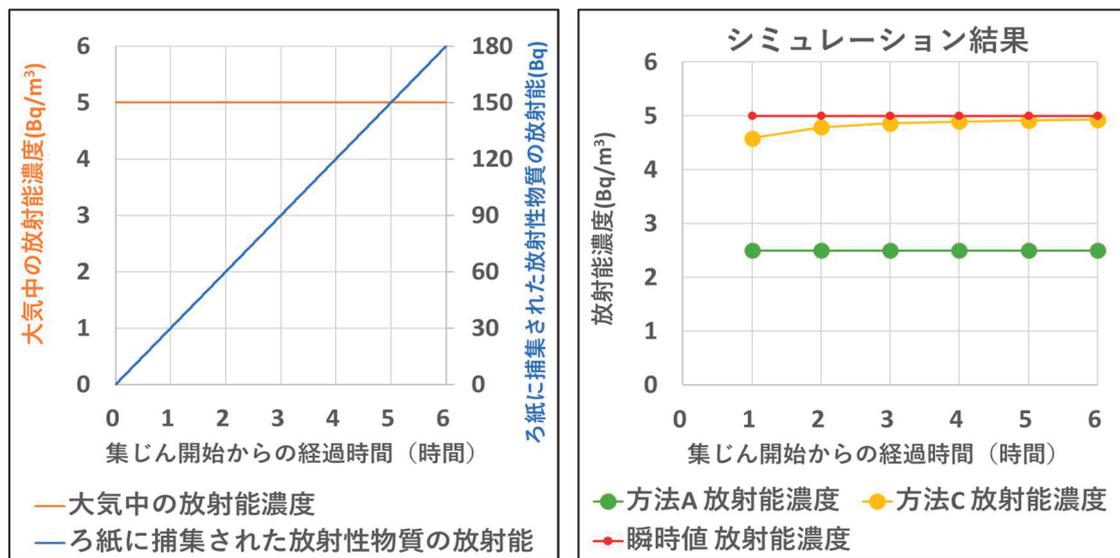


図 5 集じん開始直後から 6 時間大氣中に放射性物質が存在し続けた場合の放射能濃度の推移

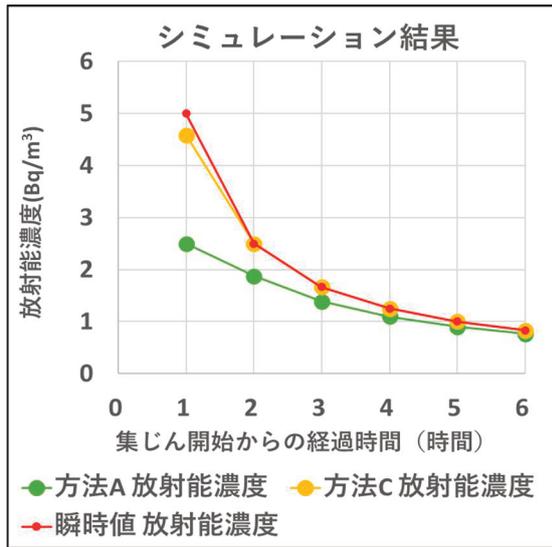
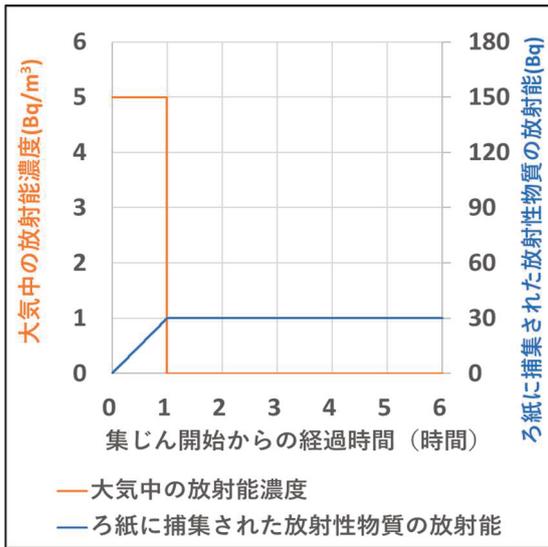


図6 集じん開始直後の1時間のみ大気中に放射性物質が存在した場合の放射能濃度の推移

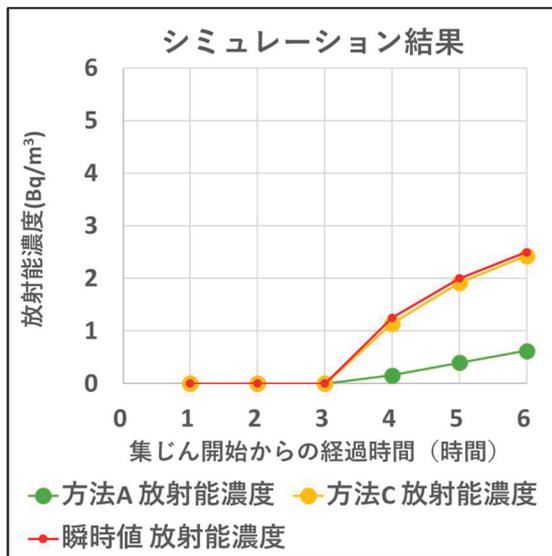
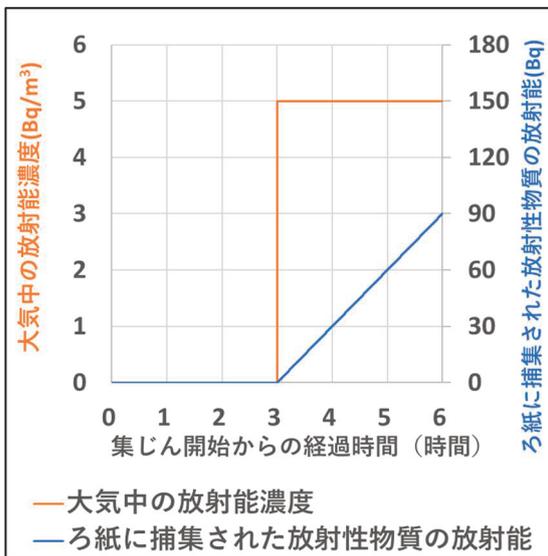


図7 集じん開始から3時間後に飛来し始め、次のろ紙送りまで大気中に放射性物質が存在し続けた場合の放射能濃度の推移

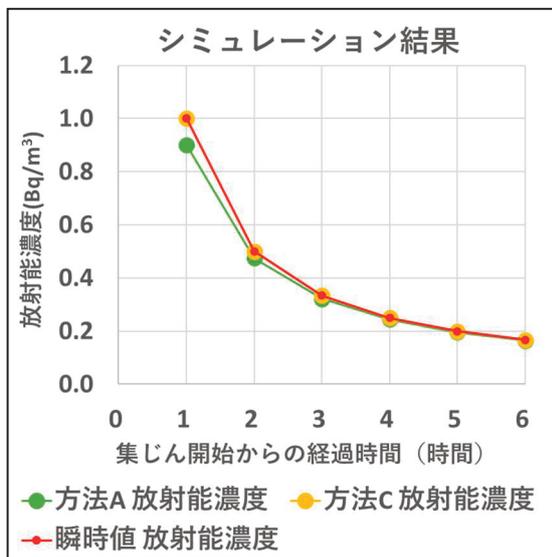
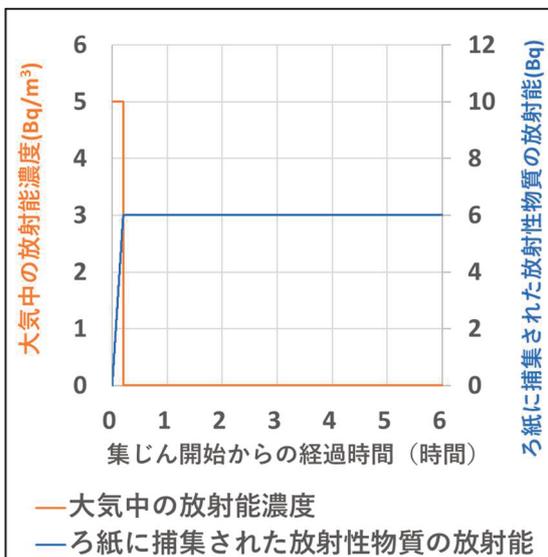


図8 集じん開始直後の12分間のみ大気中に放射性物質が存在した場合の放射能濃度の推移

4 方法Cにより算出される放射能濃度と施設寄与全β放射能濃度推定値

2021年度の飯子浜局における測定値をもとに、方法Cにより算出される全α放射能濃度と全β放射能濃度の相関を求めた結果は図9のとおりである。

なお、昨年度に報告⁴⁾した2021年度の飯子浜局の全α放射能濃度と全β放射能濃度の相関図と比較すると、近似曲線の傾きが昨年度報告では2.5501であるのに対して図9では1.275であり、両者の値が異なっている。昨年度の報告では、放射能濃度を算出する際に用いる線源効率をα線及びβ線ともに0.50としていたが、図9にあつては「Ⅲ 線源効率の再検討」に記述する理由により、α線の線源効率を0.25、β線の線源効率を0.50としたためである。

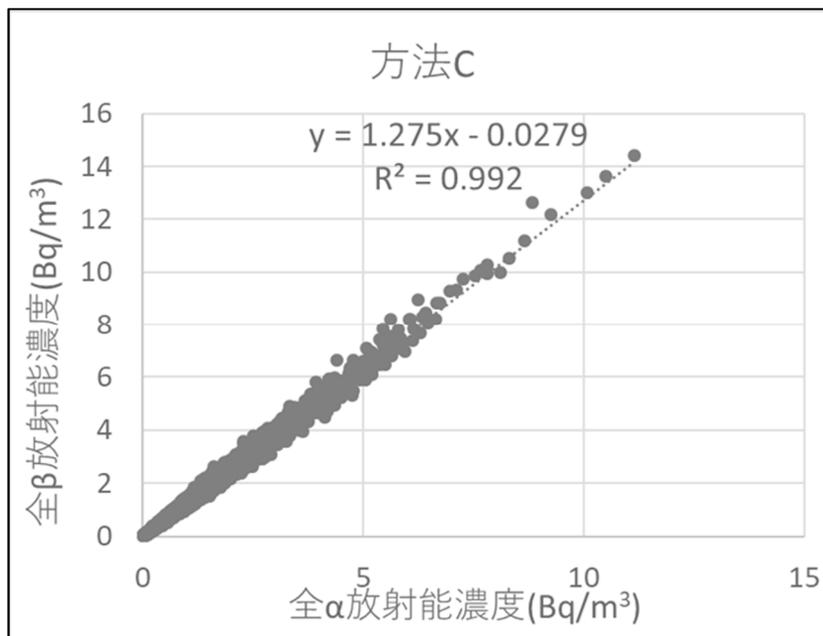


図9 2021年度の飯子浜局における方法Cにより算出される全α放射能濃度と全β放射能濃度の相関

図9の相関図をもとにして、施設寄与全β放射能濃度推定値を算出及び評価した。施設寄与全β放射能濃度推定値の算出方法及び評価方法は昨年度に報告⁴⁾したとおりであるが、概要を以下に示す。

施設寄与全β放射能濃度推定値の算出方法及び評価方法の概要

測定された全α放射能濃度及び全β放射能濃度をもとに式(6)により施設起因全β放射能濃度推定値を算出する。次に、その値と確認開始設定値を比較することで測定値を評価する。

$$\beta_e = \beta_o - (\alpha_o \times r + i) \quad (1)$$

ここで、

β_e : 施設起因全β放射能濃度推定値(Bq/m³)

β_o : 全β放射能濃度の実測値(Bq/m³)

α_o : 全α放射能濃度の実測値(Bq/m³)

r : 過去に測定された全α放射能濃度及び全β放射能濃度の相関図から求めた近似曲線の傾き

i : 近似曲線の切片(Bq/m³)

なお、確認開始設定値について指針では現在の技術水準に照らして 5 Bq/m³（全β放射能濃度又はγ線放出核種濃度）又は 1 Bq/m³（全α放射能濃度）程度を最大として、個別装置の変動や過去の最大値を考慮して設定することとしている。

施設寄与全β放射能濃度推定値の年間最大値を求めたところ、年間最大値は 2021 年 8 月 26 日 午前 7 時 00 分の 1.43 Bq/m³であった。

原子力施設からの影響がない環境での測定において、施設寄与全β放射能濃度推定値が確認開始設定値の 5 Bq/m³を超過することがなかったため、方法 C は本県において採用可能な方法である。

本章の検討結果から、当面の間は方法 C により大気中放射性物質濃度を監視することが適当であり、今後ダストモニタを更新して計数率の瞬時値が得られる機種を導入した場合には、計数率の瞬時値を用いて放射能濃度を算出する方法に改めることが良いと考えられる。

III 線源効率の再検討

1 昨年度の検討内容

昨年度は、計数率から放射能濃度を求める際に用いる線源効率について、ダストモニタ製造業者の完成図書⁶⁾から引用し、線源効率（面線源放射能に対するα又はβ線の検出器側放出率）として 0.5 を用いた。製造業者が根拠としていたのは、JIS Z 4316:2013「放射性ダストモニタ」⁷⁾であり、当該 JIS の第 7.2.2 項「検出部のレスポンス試験」に線源効率は特に規定のない場合は 0.5 とすることが記載されている。しかし、ダストモニタのろ紙にはセルロース・ガラス繊維製の HE-40T ろ紙を用いているが、HE-40T は表面捕集効率が低いことが報告されており⁸⁾⁹⁾、放射性物質がろ紙の内部にまで入り込むために、試料に含まれる放射性物質から放出された放射線の一部が、ろ紙を通過する間に吸収されて、検出器に到達しなくなる事象（自己吸収）が起こっている可能性が高いと考えられる。自己吸収はα線で顕著であることから、α線、β線ともに線源効率を 0.5 とすることについては疑義があった。そこで、今年度引き続き検討を行った。

2 本県で採用すべき線源効率の検討

線源効率の検討のために文献調査を行ったところ、メンブレンフィルタ又は HE-40T を用いたダストモニタの測定値を比較することで、表面捕集効率とα線の線源効率について調査された例があった¹⁰⁾¹¹⁾。しかし、ダストモニタの製造業者にメンブレンフィルタの使用の可否を確認したところ、本県のダストモニタでは HE-40T 以外のろ紙の使用が想定されていないことが判明したため、同様の調査を断念した。

そこで参考とした文献が、環境省環境放射線等モニタリング調査等業務報告書である。当該報告書には、全国 10 カ所の測定地点において、大気浮遊じんの全α・全β放射能濃度をダストモニタで連続測定した結果が掲載されているが、2021 年度の報告によると、各測定地点のβ/α比の年間平均値が、1.3 - 1.4 であった¹²⁾。本業務は、公益財団法人日本分析センターが受託して調査を実施したものであるため、同所に当該業務に用いているダストモニタの線源効率を照会した。その結果、α線の線源効率を 0.25、β線の線源効率を 0.50 としている旨と、同所が用いているダストモニタの製造業者が JIS Z 4504:2008「放射性表面汚染の測定方法－β線放出核種（最大エネルギー

0.15 MeV 以上) 及び α 線放出核種」¹³⁾を根拠に前述の線源効率を使用している旨の助言があった。仮に、本県のダストモニタで、同様の線源効率を設定した場合の β/α 比は、2021 年度の飯子浜局における年間平均値が図 9 に示したとおり 1.275 となり、当該報告書と同程度の値となる。このことから、本県においては、 α 線の線源効率を 0.25 に、 β 線の線源効率を 0.50 にすることにした。

IV 施設寄与全 β 放射能濃度推定値が確認開始設定値を超過した場合の対応

1 長尺ろ紙の前処理方法

施設寄与全 β 放射能濃度推定値が確認開始設定値を超過した場合は測定法 p.43 の記載に従い、要因の調査を行い、要因を特定できない場合は、施設寄与があったと判断し（施設寄与である可能性を否定できない場合を含む。）、当該時刻の大気中放射性物質を採取したろ紙を回収し、ゲルマニウム半導体検出器で詳細に核種分析を行う必要がある。そこで、ろ紙の前処理方法を検討した。

測定法には、長尺ろ紙の前処理方法が、以下に記載されている。

第 5 章 ダストサンプラ等により採取した大気試料の分析

5.1 前処理

(D) 長尺ろ紙の場合

- ① 折りたたむ方法
- ② 打ち抜く方法
- ③ 灰化

しかし、どの方法も前処理に時間がかかる等の欠点があった。そこで、「① 折りたたむ方法」をさらに改良する形で、本県独自に図 10 のように油圧プレス機によりろ紙を圧縮する方法を考案した。



図 10 長尺ろ紙の圧縮前と、圧縮し U8 容器に入れた後の様子

まず、ダストモニタから回収してきた長尺ろ紙を 7 日分の長さで切り取る。6 時間毎にろ紙送りしている場合は、ろ紙上に 4 か所/日の集じん面があるため、集じん面 28 か所分の長さで切り取る。それを写真のようにきつく巻いてロール状にした後、油圧プレス機により 2 cm 程度にまで圧縮す

る。圧縮したろ紙をすぐに U8 容器に入れた後、ろ紙の高さが変わらないように、アクリル板でろ紙と U8 容器の蓋との隙間を埋めた後に蓋をする。

この方法では、迅速に前処理を行える上に、ゲルマニウム半導体検出器で測定した後のろ紙から必要な日時の集じん面のみを切り取り、切り取った集じん面のみを再度ゲルマニウム半導体検出器で測定することにより、核種の同定のみならず定量も行うことが可能であるという利点がある。

2 施設寄与全 β 放射能濃度推定値が確認開始設定値を超過した場合の対応

施設寄与全 β 放射能濃度推定値が確認開始設定値を超過し、要因の調査を行い、要因を特定できない場合は、1に記載した方法により、ろ紙を回収してゲルマニウム半導体検出器で詳細に核種分析を行う。このためには、未集じんのろ紙を用いたバックグラウンド測定と、施設寄与がない環境で集じんしたろ紙を用いた平常時の測定データの蓄積が必要であるため今後の課題とする。

V 今後の課題

1 リアルタイムでの大気中放射性物質の監視体制の構築

本県のダストモニタは、測定法が制定される前に導入したものであり、ダストモニタにプログラムされている放射能濃度の算出方法は測定法に対応していない。このことから、リアルタイムで大気中放射性物質の監視を行うためには、測定値を収集している女川原子力発電所周辺環境放射線監視システムに放射能濃度の算出機能等を導入する必要がある。

2 放射能濃度及び施設起因全 β 放射能濃度推定値の変動に関する解析

本県においては、全 α 放射能濃度と全 β 放射能濃度による監視は初の試みであるため、ダストモニタの測定値の変動とその要因について、今後継続的に調査を行う必要がある。以下に、今後調査が必要と思われる事項を記す。

(1) 大気安定度と放射能濃度の関係

夜間から朝方にかけては、放射冷却により大気が安定するために、地中から湧出したラドンが地表面に滞留し、地表面付近で大気中のラドン濃度が上昇することが知られている¹⁴⁾。ダストモニタの測定においては、主に大気中のラドン子孫核種が寄与していると推定される³⁾ことから、大気中のラドン濃度と同様に大気が安定している状況においては放射能濃度が高い値になりやすいと思われる。

飯子浜局と鮫浦局の設備では大気安定度を測定していないが、女川局では大気安定度を測定しているので、飯子浜局と鮫浦局で測定された放射能濃度と女川局で測定された大気安定度の関連を調べる方法が考えられる。または、女川局の日射計及び放射収支計のデータと、飯子浜局と鮫浦局の風速計のデータから飯子浜局と鮫浦局の大気安定度を推定できるのであれば、その大気安定度と放射能濃度の関連を調べる方法があるのではないかと考える。

(2) 放射能濃度の季節変動

一般的に、冬期は大陸由来の気団が日本に到達することから大気中のラドン濃度とその子孫核種の濃度が上昇することが知られている¹⁵⁾¹⁶⁾。本県においても、過去の調査で冬期は降雨中に含まれるラドン子孫核種の濃度が増加することが明らかになっている¹⁷⁾。このことから、冬期は他の時期よりも放射能濃度が高い値で推移している可能性がある。

昨年度は、方法 A 及び方法 B で算出した 2021 年度の飯子浜局における放射能濃度について月間の平均値を求めたが、この他に放射能濃度の頻度分布から月間の最頻値を求め、その推移を調査する方法も考えられる。

(3) 空間ガンマ線量率と放射能濃度の関係

(1) に記載したとおり、大気中のラドン濃度と同様に大気が安定している状況においては放射能濃度が高い値になりやすいと思われる。本県の大気中のラドン濃度と空間ガンマ線量率の関連については過去に報告¹⁸⁾されているとおりであり、空間ガンマ線量率と放射能濃度には相関が認められる可能性がある。ただし、空間ガンマ線量率は、降雨、土壌水分率、周辺への駐車、検出部の温度変化によっても変動することから、以下の点に留意して解析すると良いと考える。

留意事項

① 降雨時及び降雨直後のデータを除外する。

理由 降雨時は、降雨中に含まれる自然核種の影響で空間ガンマ線量率が上昇する。

一方で、大気中のラドン子孫核種の濃度は降雨時のウォッシュアウトにより、大気中の濃度が低下すると考えられるため、降雨時及び降雨直後のデータを除外する。

② レスポンスマトリックス法¹⁹⁾で解析して得られるウラン系列の直接線の線量率を用いる。

理由 放射能濃度の測定値には、主に大気中のラドン及びその子孫核種の濃度が寄与していると推定されるので、レスポンスマトリックス法で解析して得られるウラン系列の直接線の線量率と放射能濃度との関連を調べることが良いと考える。

③ エネルギー校正を行ったスペクトルを用いる。

理由 検出部の温度変化によりスペクトルがドリフトし、②の解析結果に影響が生じるため、エネルギー校正を行ったスペクトルを用いて解析する。

(4) 施設寄与全 β 放射能濃度推定値の変動要因の解析

(1) - (3) と併せて施設寄与全 β 放射能濃度推定値が上昇しやすい条件について解析する。

(5) 大気中のラドン及びその子孫核種の濃度と放射能濃度の関係

過去に報告¹⁸⁾されているとおり、大気中のラドン濃度と空間ガンマ線量率の関係にはモニタリングステーション間で差があり、この要因として地形、子孫核種の放射平衡度、地質及びラドンの空間分布が異なる可能性が考えられている。したがって、女川局のラドンモニタにより測定された大気中のラドン濃度と、飯子浜局と鮫浦局のダストモニタにより測定された放射能濃度を単純に比較することができないため注意が必要である。

大気中のラドン及びその子孫核種の濃度と放射能濃度の関係を調査する場合は、以下のような方法が考えられる。

方法

① 飯子浜局と鮫浦局にラドンモニタを併設し、大気中のラドン濃度を測定する。

② 過去に報告³⁾されているとおり可搬型ゲルマニウム半導体検出器及びハイボリウムエアースンプラーを用いる方法により、大気中のラドン子孫核種の濃度を測定する。この方法によれば大気中のトロン子孫核種の濃度を測定することも可能である。

3 施設寄与全 β 放射能濃度推定値が確認開始設定値を超過した場合の対応

大気中放射性物質濃度の連続測定結果における施設寄与（施設寄与である可能性を否定できない場合を含む）を弁別するために、測定法 p. 43 を参考に対応フローチャートを検討する。併せて、ろ紙を回収してゲルマニウム半導体検出器で詳細に核種分析を行う場合に備えて、未集じんのろ紙を用いたバックグラウンド測定と、施設寄与がない環境で集じんしたろ紙を用いた平常時の測定データの蓄積が必要である。

4 指標線量率と施設寄与全 β 放射能濃度推定値の取り扱い

指標線量率と施設寄与全 β 放射能濃度推定値は、どちらもスクリーニングとして用いられるものである。施設寄与全 β 放射能濃度推定値の変動については、今後調査が必要な事項であるが、両者の変動要因が異なるのであれば、両者を運用することで、相互に補完することが可能となり、監視体制の強化につながると期待できる。

VI まとめ

平常時の放射能濃度の算出方法、線源効率及び施設寄与全 β 放射能濃度推定値が確認開始設定値を超過した場合の対応方法について精査を行った。放射能濃度の算出方法については、測定法に基づき、各測定時刻において集じん開始からの放射能濃度の平均値を求める考え方を採用するとともに、計数率の瞬時値に近い値を得るために、直前 10 分間の積算計数を用いて計数率を算出することにした。また、線源効率については、 α 線の線源効率 0.25、 β 線の線源効率 0.50 とすることにした。そして、施設寄与全 β 放射能濃度推定値が確認開始設定値を超過した場合には、ろ紙を回収して圧縮し、U8 容器に入れてゲルマニウム半導体検出器で詳細に核種分析を行うことにした。

今回、本県に適した監視方法を整理することができた。放射能濃度及び施設寄与全 β 放射能濃度推定値の変動要因等については引き続き解析が必要であるため、今後も継続的に調査を行い、本県におけるダストモニタによる大気中放射性物質濃度の監視に活かしたい。

謝辞

ダストモニタによる大気中放射性物質濃度の監視方法の検討にあたり、自然放射性核種の挙動についてご教示いただくとともに、ダストモニタによる大気中放射性物質濃度の測定及び監視方法について終始丁寧なご指導とご助言を賜りました関根勉東北大学名誉教授、測定法の制定に携わられたご経験及びダストモニタによる大気中放射性物質濃度の測定に関する知見等を踏まえ親身にご指導とご助言を賜りました公益財団法人日本分析センター田中博幸先生に深く感謝の意を表します。

VII 参考文献

- 1) 原子力規制庁監視情報課、平常時モニタリングについて（原子力災害対策指針補足参考資料）、2018年4月4日制定（2021年12月21日一部改訂）、
URL: <https://www.nra.go.jp/activity/monitoring/heijouji.html>
- 2) 木村幸由、木村昭裕、中村朋之、佐藤健一、ダストモニタの導入及び可搬型モニタリングポストの

- 更新について、宮城県環境放射線監視センター年報、第6巻、p. 15-20、2020、
URL: <https://www.pref.miyagi.jp/soshiki/kankyoho/intro.html>
- 3) 石川陽一、木村幸由、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、宮城県環境放射線監視センター年報、第7巻、p. 19-30、2021、URL: 2)に同じ
 - 4) 木村幸由、高群富貴、杉山照徳、長谷部洋、ダストモニタによる大気中放射性物質濃度の監視について(中間報告)、宮城県環境放射線監視センター年報、第8巻、p. 13-40、2022、URL: 2)に同じ
 - 5) 原子力規制庁、放射能測定法シリーズ No. 36 大気中放射性物質測定法、2022年6月制定、
URL: <https://www.kankyo-hoshano.go.jp/library/series/>
 - 6) 株式会社日立製作所、可搬型ダストモニタ完成図書、図書番号 CA-102-19、2021年2月5日作成
 - 7) 日本産業規格 JIS Z 4316 : 2013「放射性ダストモニタ」
 - 8) 文部科学省科学技術・学術政策局原子力安全課防災環境対策室、大気中放射性物質のモニタリングに関する技術参考資料、2003年7月制定
 - 9) 玉熊佑紀、山田椋平、岩岡和輝、細田正洋、床次眞司、市販の大気中放射性エアロゾル捕集用フィルタの表面捕集効率及び流量の安定性の評価、Jpn. J. Health Phys.、54 (1)、p. 5-12、2019
 - 10) 大西勝基、早川博信、実時間監視用放射性ダストモニタの開発、RADIOISOTOPES、39、453-456、1990
 - 11) 山本哲大、神戸真暁、青木靖、放射性ダストモニタの更新、福井県原子力環境監視センター所報、第22巻、p. 58-65、2015
 - 12) 公益財団法人日本分析センター、令和3年度環境省環境放射線等モニタリング調査等業務結果報告書、令和4年3月
 - 13) 日本産業規格 JIS Z 4504 : 2008「放射性表面汚染の測定方法— β 線放出核種(最大エネルギー0.15 MeV以上)及び α 線放出核種」
 - 14) 木立博、今野達矢、石川陽一、加賀谷秀樹、牡鹿半島における空間ガンマ線線量率とラドン濃度の関係について、宮城県原子力センター年報、第19巻、p. 5-9、2001、URL: 2)に同じ
 - 15) 藤波直人、江阪忍、舞鶴市における大気中のラドン娘核種濃度の季節変動、保健物理、42 (1)、p. 53-62、2007
 - 16) 吉岡勝廣、飯田孝夫、大気中ラドン濃度の周期性長期変動の主要な影響因子—海洋と陸地の違い—、保健物理、42 (1)、p. 53-62、2007
 - 17) 今野達矢、石川陽一、大庭和彦、降水中のラドン娘核種濃度と空間 γ 線線量率の関係、宮城県原子力センター年報、第17巻、p. 15-32、1998、URL: 2)に同じ
 - 18) 石川陽一、木村昭裕、高橋正人、三浦英美、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、宮城県原子力センター年報、第26巻、p. 5-12、2008、URL: 2)に同じ
 - 19) 湊進、環境 γ 線解析用3"×3" NaI(Tl)シンチレータのレスポンス行列、名古屋工業技術試験所報告、27、p. 384-397、1978