

2021年度
第10回放射能クロスチェック
報告書

2022年1月

一般社団法人日本環境測定分析協会
放射能測定分析技術研究会

目 次

1	クロスチェックの実施概要	2
1.1	実施機関	2
1.2	試験項目および実施期間	2
1.3	試験方法	2
1.4	参加状況	2
2	実施方法	3
2.1	試料の調製	3
2.2	均一性確認試験	4
3	試験結果	6
3.1	試験結果記載要領	6
3.2	参加機関数及び報告件数	6
3.3	測定結果	7
3.3.1	測定結果概要	7
3.3.2	測定方法	7
3.3.3	統計解析結果概要	8
(1)	Cs-134+Cs-137	8
(2)	Cs-134 (ゲルマニウム半導体検出器測定結果のみ)	13
(3)	Cs-137 (ゲルマニウム半導体検出器測定結果のみ)	17
4	考察	21
4.1	測定時間の分布	21
4.2	測定時間と検出下限値	23
4.3	測定時間とzスコア	24
4.4	測定時間と計数誤差及びzスコア	25
4.5	まとめ	26
5	参加機関 (五十音順)	27

はじめに

2011年（平成23年）3月11日に発生した東日本大震災に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質の対策が行われる中、その測定における技術や精度管理の確立が重要であると考えられ、（一社）日本環境測定分析協会では、「放射能測定分析技術研究会（RADI研）」を立ち上げました。その活動の一環として2012年度から毎年1回、放射能クロスチェックを実施しています。

2021年度は第10回放射能クロスチェックを実施いたしました。参加いただいた機関の皆様にお礼を申し上げますとともに、本クロスチェックが各機関の放射能測定分析技術向上の一助となれば幸甚です。

1 クロスチェックの実施概要

1.1 実施機関

一般社団法人 日本環境測定分析協会
放射能測定分析技術研究会 (RADI 研)
〒134-0084 東京都江戸川区東葛西二丁目3番4号
TEL 03-3878-2811 FAX 03-3878-2639

1.2 試験項目および実施期間

試験番号： RADI2021-01
試験名： 第10回放射能クロスチェック
試験試料： 調製固体試料（飛灰溶出液をろ過後の溶液にゼオライトを加えて放射性セシウムを吸着させたもの）（試料1，試料2。500mLポリ容器入り）
試験項目： セシウム-134 (Cs-134) 及びセシウム-137 (Cs-137)
申込受付： 2021年8月23日（月）から9月17日（金）
試料配付： 2021年10月1日（金）
結果報告期限： 2021年10月20日（水）

1.3 試験方法

- 1) 容器充填：配付試料を各機関で測定容器へ充填
- 2) 測定機器：ゲルマニウム半導体検出器または NaI シンチレーションスペクトロメータ
- 3) 試験結果：測定装置により以下の放射能濃度（単位：Bq/kg）を報告
 - ゲルマニウム半導体検出器：Cs-134 及び Cs-137
 - NaI シンチレーションスペクトロメータ：Cs-134 及び Cs-137 の合計
- 4) 試験方法：
 - ゲルマニウム半導体検出器：放射能測定シリーズ7「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」（令和2年9月改訂 原子力規制庁監視情報課）
 - NaI シンチレーションスペクトロメータ：放射能測定法シリーズ6「NaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータ機器分析法」（昭和49年文部科学省）
 - 上記以外の方法による場合は結果報告書に分析方法の記載を求めた

1.4 参加状況

参加機関 60 機関
報告機関 60 機関
(参加機関は巻末の資料1に示した)

2 実施方法

2.1 試料の調製

試料調製方法を図 2-1 に示した。

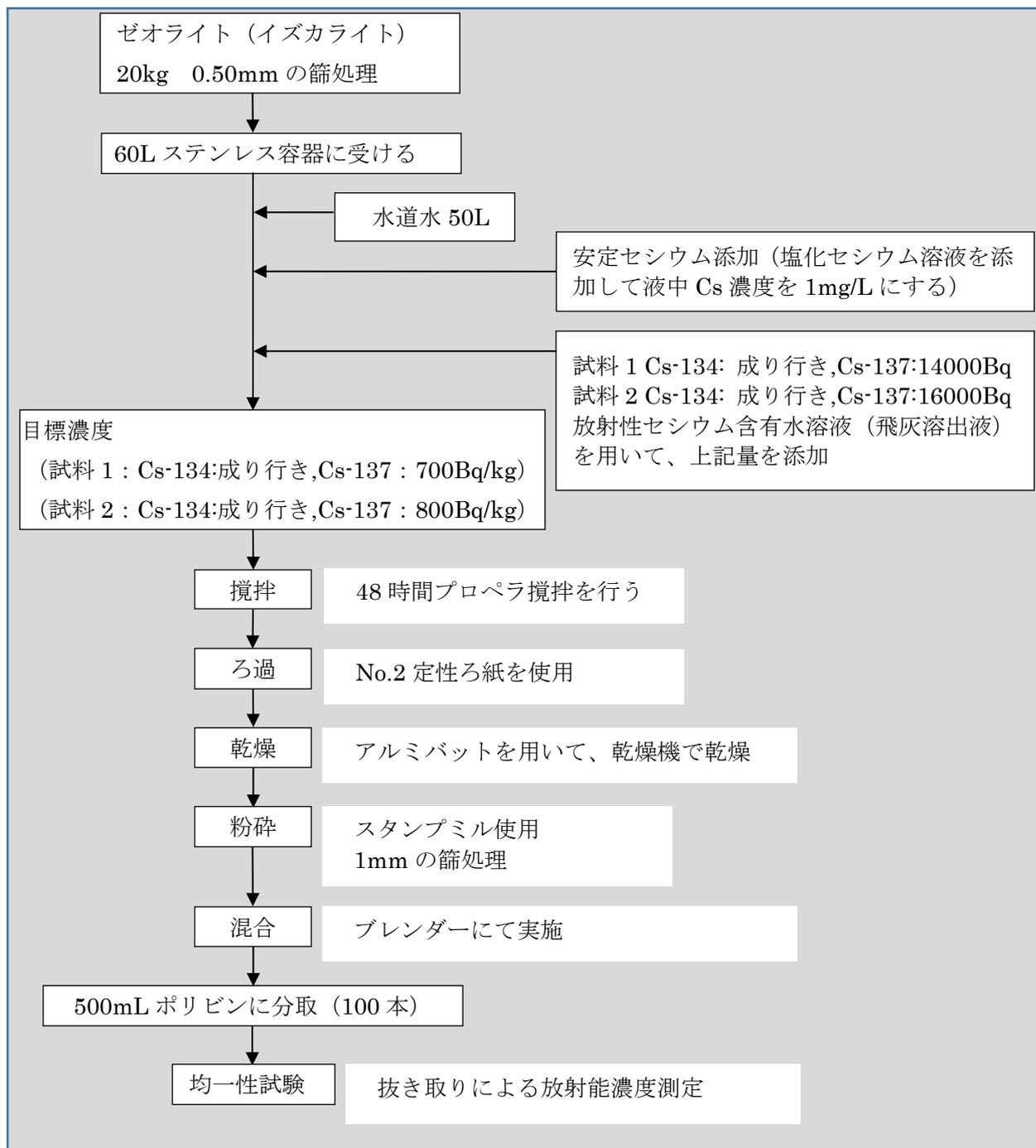


図 2-1 試料調製方法

2.2 均一性確認試験

調製した試料1及び試料2からそれぞれ10本毎及びランダムに3本を抜き取った計13試料について放射性セシウムの測定を行い、各試料の均一性を確認した。均一性確認試験結果を表2-1～表2-4及び図2-2～図2-3に示した。

Cs-134+Cs137で試料1は変動係数3.3%、試料2は変動係数2.1%であった。各試料の均一性については問題がないと判断した。

表 2-1 均一性確認試験結果（試料1）

単位 Bq/kg(wet)

試料No.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Cs-134	25.5	26.8	26.6	27.1	28.8	26.7	27.4	29.5	28.7	28.1	26.7	28.5	29.7
	Cs-137	690	711	698	688	702	729	730	737	734	720	755	752	754
	Cs合計	715.5	737.8	724.6	715.1	730.8	755.7	757.4	766.5	762.7	748.1	781.7	780.5	783.7

※均一性試験については湿式ベース(dry補正無し)で実施した。

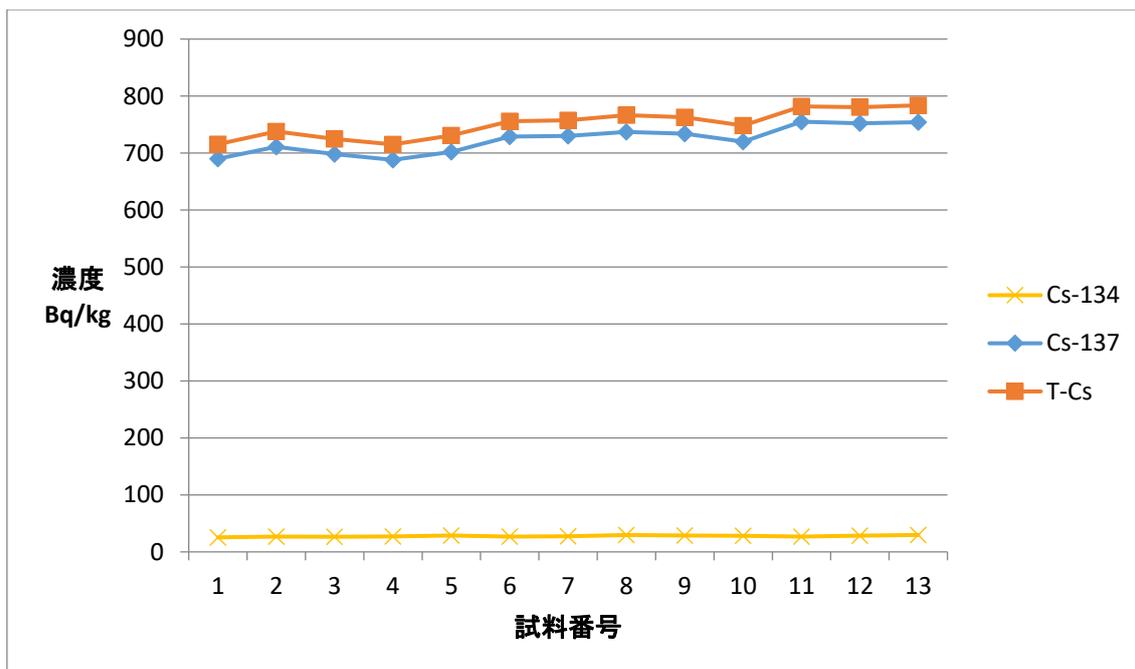


図 2-2 均一性確認試験結果（試料1）

表 2-2 均一性確認試験結果（試料1）まとめ

	平均値 Bq/kg(wet)	標準偏差	変動係数(%)
Cs-134	27.7	1.3	4.6
Cs-137	723.1	23.7	3.3
Cs-134+Cs137	750.8	24.4	3.3

表 2-3 均一性確認試験結果（試料 2）

単位 Bq/kg(wet)

試料No.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2	Cs-134	30.2	29.2	30.4	29.3	30.1	30.0	31.0	30.4	29.8	30.2	30.2	30.7	30.6
	Cs-137	792	805	786	780	791	765	793	808	784	787	822	818	817
	Cs合計	822.2	834.2	816.4	809.3	821.1	795.0	824.0	838.4	813.8	817.2	852.2	848.7	847.6

※均一性試験については湿式ベース(dry 補正無し)で実施した。

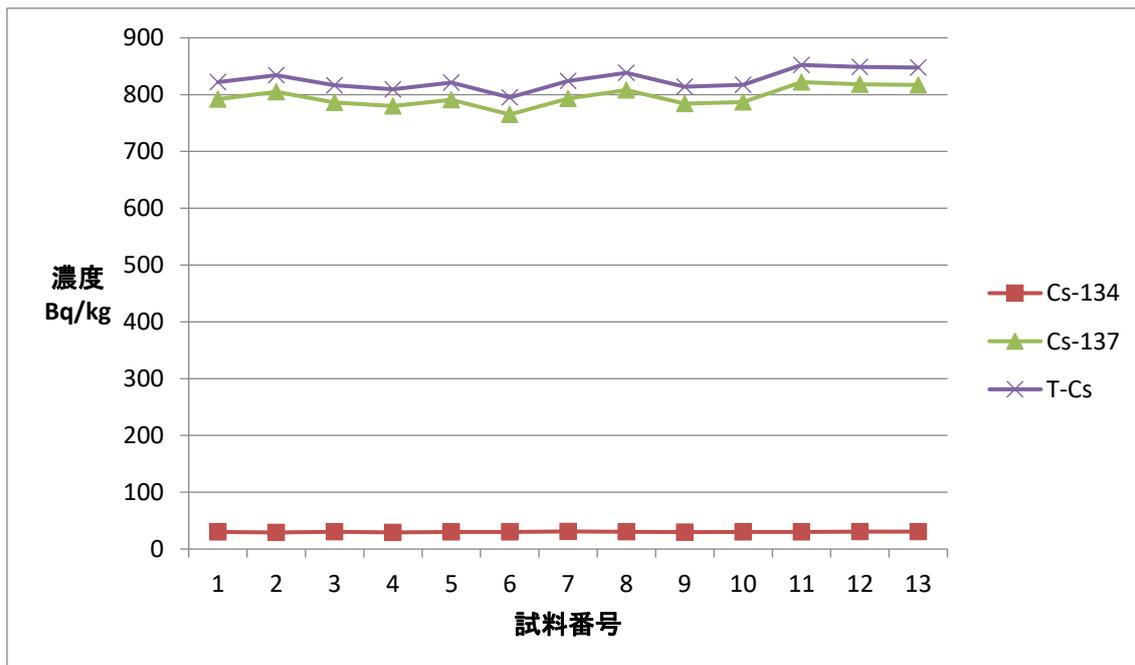


図 2-3 均一性確認試験結果（試料 2）

表 2-4 均一性確認試験結果（試料 2）まとめ

	平均値 Bq/kg(wet)	標準偏差	変動係数(%)
Cs-134	30.2	0.5	1.7
Cs-137	796.0	16.9	2.1
Cs 計	826.2	17.1	2.1

3 試験結果

3.1 試験結果記載要領

測定結果は所定の報告様式へ各機関により入力し、実施機関事務局へご報告いただいた。報告様式の記載事項は以下のとおりであった。

- 1) 連絡先の記載
 - 測定機関名
 - 測定機関担当者氏名及びメールアドレス
 - 電話、FAX
- 2) 分析方法
 - ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー
 - NaI シンチレーションスペクトロメータ機器分析法
 - その他の分析法の確認
- 3) 測定装置
 - 測定機器のメーカー、型番
 - 型式 P 型、N 型、その他、不明
- 4) 装置の校正
 - 効率校正頻度、最近の校正日
- 5) 測定日
- 6) 測定時間 (Live time 秒)
- 7) 使用容器 1.U-8 容器 2.その他
- 8) 充填量 (kg-dry, kg)
- 9) 含水率 (%)
- 10) 測定結果
 - Cs-134 については、複数のエネルギーの γ 線を出しているので、測定に用いた γ 線のエネルギー(keV)
 - ゲルマニウム半導体検出器の測定では、Cs-134 及び Cs-137 の測定値、計数誤差及び検出下限値
 - その他の検出器では、Cs-134 と Cs-137 の合計値、計数誤差及び検出下限値
 - 放射能濃度は、測定の基準日を 2021 年 10 月 1 日 12 時とし計算

3.2 参加機関数及び報告件数

- 1) 参加機関数： 60 機関
- 2) 報告機関数： 60 機関
- 3) 報告件数： 64 件^{※1}

※1 60 機関中、1 機関が 2 つの分析方法で、2 機関が装置の異なる複数の結果を報告した。

3.3 測定結果

3.3.1 測定結果概要

測定結果の概要を表 3-1 に示した。Cs-134、及び Cs-137 の個別の値については、ゲルマニウム半導体検出器で測定した結果について集計した。

表 3-1 測定結果概要

試料	統計値	単位	Cs-134	Cs-137	Cs-134+Cs-137
試料1	報告数	個	58	58	64
	平均値	Bq/kg	26.6	734	759
	最大値	Bq/kg	32.7	921	949
	最小値	Bq/kg	24.2	666	690
	標準偏差	Bq/kg	1.7	33.2	33.8
試料2	報告数	個	58	58	64
	平均値	Bq/kg	28.3	792	818
	最大値	Bq/kg	32.8	865	898
	最小値	Bq/kg	24.5	696	721
	標準偏差	Bq/kg	1.8	26.6	29.0

- Cs-134+Cs-137 の結果には NaI シンチレーションスペクトロメータによる測定 6 報告値を含む。
- Cs-134 で検出下限値未満の報告値はなかった。

3.3.2 測定方法

ゲルマニウム半導体検出器 57 機関 58 報告値

NaI シンチレーションスペクトロメータ 4 機関 6 報告値

参加機関 60 機関中、以下の機関が複数の結果を報告値として報告した。

- 1 機関はゲルマニウム半導体検出器及び NaI シンチレーションスペクトロメータ双方の結果の報告があった。
- 1 機関はゲルマニウム半導体検出器による測定結果として 2 件の報告があった。
- 1 機関は NaI シンチレーションスペクトロメータによる測定結果として 3 件の報告値（装置が異なるとのこと）があった。

上記機関からの複数の報告値は全て統計処理の対象とした。以降の統計結果等の表記では試験所番号に枝番号 (-1, -2) を付して区別した。

3.3.3 統計解析結果概要

(1) Cs-134+Cs-137

ゲルマニウム半導体検出器で測定した Cs-134 と Cs-137 の合計値、及び NaI シンチレーションスペクトロメータで測定した放射性セシウムの報告値の全 64 件を対象として、z スコア解析を行った結果の概要を表 3-2 に示した。また、測定結果のヒストグラムを図 3-1 に、各機関の報告値と z スコアを表 3-3 に、Cs-134+137 の結果の複合評価図を図 3-2 にそれぞれ示した。

z スコアの絶対値 3 以上となった報告値は、試料 1 が 2 件、試料 2 が 2 件であった。試料 1 について z スコアの絶対値 3 以上となった報告値のうち 1 件は大きな外れ値となった。

z スコアの絶対値 2 以下の良好と判断された報告値は試料 1 で 92.2%、試料 2 で 93.8%であった。

今回のクロスチェックにおいて、Ge 半導体検出器による測定（以下「Ge 測定」）で 58 データ、NaI シンチレーションスペクトロメータによる測定（以下「NaI 測定」）で 6 データの報告があった。図 3-2 においては測定装置別にプロットの色分けをした。

図 3-2 で試料 1 と試料 2 のいずれの z スコアも絶対値 2 以下のデータは点線で囲まれる領域に、絶対値 3 以下のデータは実線で囲まれる領域にそれぞれ入るが、ほとんどの機関の結果は概ね実線の領域内に入っていた。試料 1 か試料 2 の一方が z スコアの絶対値が大きい結果については点線や実線の領域から外れるが、今回の結果では Ge 測定のみ実線の領域を外れた（どちらかの試料で z スコアの絶対値 3 以上）結果となった。外れ値の見られた試験機関においては、測定条件等のパラメータや校正式等の確認をいただきたい。

NaI 測定では z スコアの絶対値 2 以上の結果もあるが、測定値として大きな外れ値は少なかった。

表 3-2 Cs-134+Cs-137 解析結果概要

	試料1	試料2	試験所間	試験所内
試験所の数	64	64	64	64
中央値(median) : Q_2	758	815	1116	44.8
第1四分位数 : Q_1	742	804	1095	37.6
第3四分位数 : Q_3	773	839	1139	50.3
四分位数範囲 $IQR=Q_3-Q_1$	30.3	34.5	43.7	12.8
正規四分位数範囲 $IQR \times 0.7413$	22.4	25.5	32.4	9.46
ロバストな変動係数 $(IQR \times 0.7413 / Q_2) \times 100$	3.0	3.1	2.9	21.1
$ z \leq 2$ (%)	92.2 (59)	93.8 (60)	89.1 (57)	82.8 (53)
$2 < z < 3$ (%)	4.7 (3)	3.1 (2)	7.8 (5)	12.5 (8)
$3 \leq z $ (%)	3.1 (2)	3.1 (2)	3.1 (2)	4.7 (3)

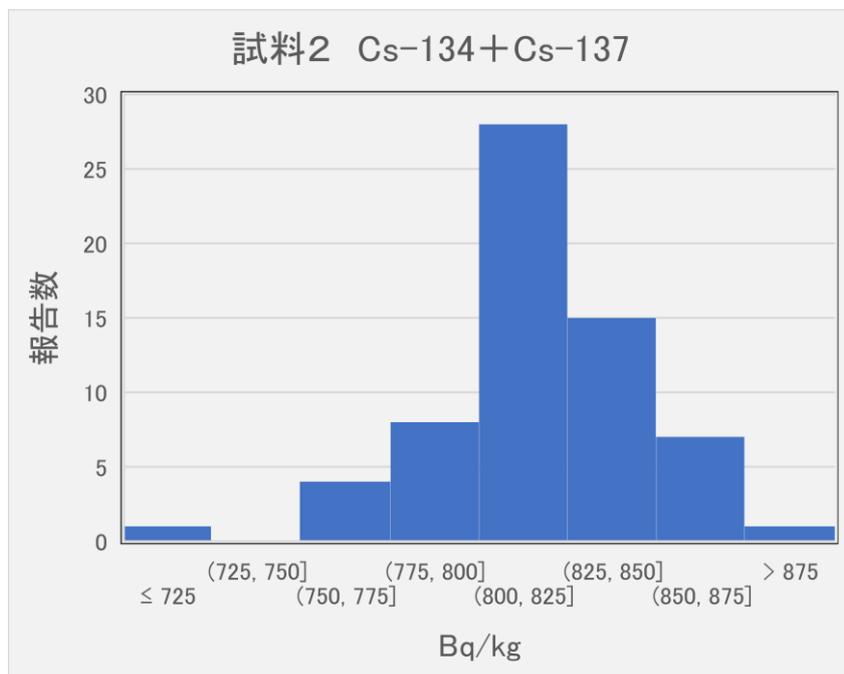
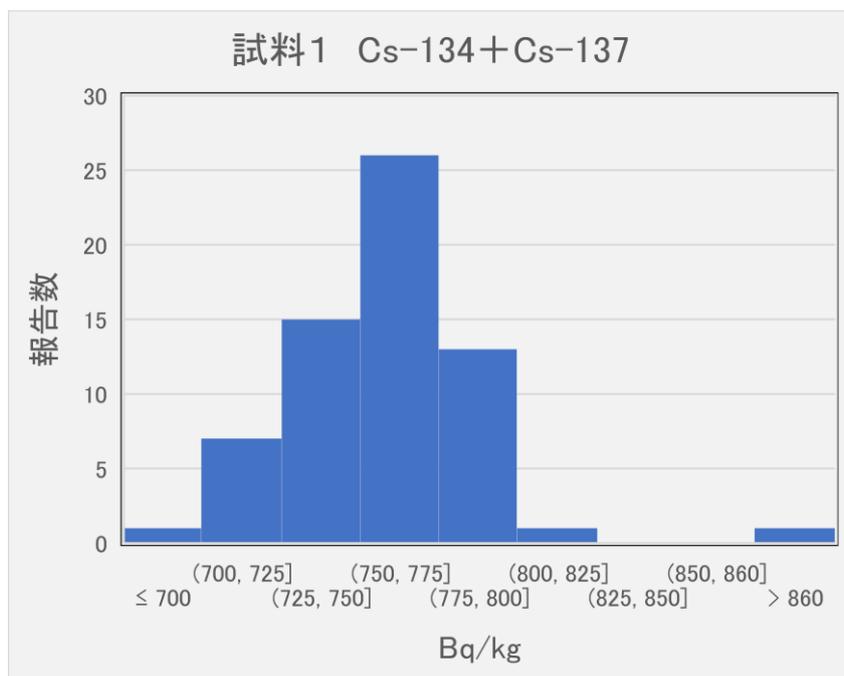


図 3-1 Cs-134+Cs-137 のヒストグラム

表 3-3 Cs-134+Cs-137 の報告値と z スコア

試験所番号	測定方法	試料1		試料2		試験所間		試験所内	
		報告値(Ai)	zスコア	報告値(Bi)	zスコア	(Ai+Bi)/√2	zスコア	(Bi-Ai)/√2	zスコア
10R-001	Ge	741.8	-0.73	808.5	-0.27	1096.23	-0.61	47.16	0.25
10R-002	Ge	758.5	0.02	837.8	0.88	1128.75	0.39	56.07	1.19
10R-003	Ge	753.7	-0.20	814.7	-0.03	1109.03	-0.22	43.13	-0.18
10R-004	Ge	741.3	-0.75	809.8	-0.22	1096.79	-0.59	48.44	0.38
10R-005	Ge	756.3	-0.08	822.6	0.28	1116.45	0.01	46.88	0.22
10R-006-1	Ge	949.2	8.52 §	817.4	0.08	1249.17	4.11 §	-93.20	-14.58 §
10R-006-2	NaI	759.0	0.04	810.0	-0.21	1109.45	-0.20	36.06	-0.92
10R-007	Ge	755.5	-0.12	830.4	0.59	1121.40	0.17	52.96	0.86
10R-008	Ge	767.3	0.41	845.4	1.17	1140.35	0.75	55.23	1.10
10R-009	Ge	758.5	0.02	833.2	0.70	1125.50	0.29	52.82	0.85
10R-010	Ge	725.2	-1.47	823.7	0.32	1095.24	-0.64	69.65	2.63
10R-011	Ge	784.4	1.17	855.6	1.57	1159.66	1.35	50.35	0.59
10R-012	Ge	791.0	1.47	851.1	1.40	1161.14	1.39	42.50	-0.24
10R-013	Ge	736.3	-0.97	799.9	-0.61	1086.26	-0.92	44.97	0.02
10R-014	Ge	742.5	-0.70	815.7	0.01	1101.81	-0.44	51.76	0.74
10R-015	Ge	761.1	0.13	819.0	0.14	1117.30	0.04	40.94	-0.41
10R-016	NaI	778.0	0.89	856.0	1.59	1155.41	1.21	55.15	1.09
10R-017	Ge	774.6	0.74	851.9	1.43	1150.11	1.05	54.66	1.04
10R-018	Ge	758.6	0.02	819.1	0.14	1115.60	-0.01	42.78	-0.21
10R-019	Ge	711.3	-2.09	791.7	-0.93	1062.78	-1.64	56.85	1.27
10R-020	Ge	763.7	0.25	825.9	0.41	1124.02	0.25	43.98	-0.09
10R-021	Ge	791.2	1.48	847.2	1.24	1158.52	1.31	39.60	-0.55
10R-022	Ge	754.4	-0.16	790.6	-0.97	1092.48	-0.73	25.60	-2.03
10R-023-1	NaI	702.7	-2.47	780.8	-1.36	1048.96	-2.07	55.20	1.10
10R-023-2	NaI	713.5	-1.99	773.5	-1.64	1051.47	-1.99	42.41	-0.25
10R-023-3	NaI	722.7	-1.58	757.3	-2.28	1046.50	-2.14	24.49	-2.15
10R-024	Ge	768.9	0.48	838.2	0.89	1136.39	0.63	49.00	0.44
10R-025	Ge	760.8	0.12	818.2	0.11	1116.52	0.02	40.59	-0.44
10R-026	Ge	753.1	-0.22	790.0	-1.00	1091.14	-0.77	26.09	-1.98
10R-027	Ge	771.4	0.59	810.9	-0.18	1118.86	0.09	27.93	-1.78
10R-028	Ge	741.5	-0.74	805.6	-0.39	1093.96	-0.68	45.33	0.06
10R-029	Ge	750.3	-0.35	839.9	0.96	1124.44	0.26	63.36	1.96
10R-030	Ge	793.9	1.60	897.8	3.22 §	1196.21	2.47	73.47	3.03 §
10R-031	Ge	788.8	1.37	807.5	-0.31	1128.75	0.39	13.22	-3.34 §
10R-032	Ge	777.0	0.84	840.1	0.97	1143.46	0.85	44.62	-0.02
10R-033	Ge	690.2	-3.03 §	720.9	-3.70 §	997.80	-3.65 §	21.71	-2.44
10R-034	Ge	762.7	0.21	818.6	0.12	1118.15	0.07	39.53	-0.56
10R-035	Ge	723.9	-1.53	803.4	-0.47	1079.96	-1.11	56.21	1.21
10R-036	NaI	749.0	-0.41	802.0	-0.53	1096.72	-0.60	37.48	-0.77
10R-037	Ge	748.1	-0.45	812.6	-0.11	1103.58	-0.38	45.61	0.09
10R-038	Ge	707.1	-2.27	766.1	-1.93	1041.71	-2.29	41.72	-0.33
10R-039	Ge	749.1	-0.40	810.4	-0.20	1102.73	-0.41	43.35	-0.15
10R-040	Ge	771.9	0.62	837.6	0.87	1138.09	0.68	46.46	0.18
10R-041	Ge	755.2	-0.13	819.5	0.16	1113.48	-0.08	45.47	0.07
10R-042	Ge	786.6	1.27	839.8	0.95	1150.04	1.05	37.62	-0.76
10R-043	Ge	749.2	-0.40	814.5	-0.04	1105.70	-0.32	46.17	0.15
10R-044	Ge	755.5	-0.12	858.4	1.68	1141.20	0.78	72.76	2.96
10R-045	Ge	764.3	0.28	829.1	0.53	1126.70	0.33	45.82	0.11
10R-046-1	Ge	713.9	-1.97	785.1	-1.19	1059.95	-1.73	50.35	0.59
10R-046-2	Ge	745.1	-0.58	815.2	-0.01	1103.30	-0.39	49.57	0.50

表 3-3 Cs-134+Cs-137 の報告値と z スコア (つづき)

試験所番号	測定方法	試料1		試料2		試験所間		試験所内	
		報告値(Ai)	zスコア	報告値(Bi)	zスコア	$(A_i+B_i)/\sqrt{2}$	zスコア	$(B_i-A_i)/\sqrt{2}$	zスコア
10R-047	Ge	748.3	-0.44	774.5	-1.60	1076.78	-1.21	18.53	-2.78
10R-048	Ge	801.3	1.93	872.4	2.23	1183.48	2.08	50.28	0.58
10R-049	Ge	735.9	-0.99	806.7	-0.34	1090.78	-0.78	50.06	0.56
10R-050	Ge	741.6	-0.74	801.5	-0.55	1091.14	-0.77	42.36	-0.26
10R-051	Ge	789.7	1.41	843.7	1.11	1154.99	1.20	38.18	-0.70
10R-052	Ge	764.6	0.29	812.5	-0.12	1115.18	-0.03	33.87	-1.15
10R-053	Ge	776.8	0.83	863.8	1.89	1160.08	1.36	61.52	1.77
10R-054	Ge	757.7	-0.02	804.4	-0.43	1104.57	-0.35	33.02	-1.24
10R-055	Ge	783.2	1.12	841.0	1.00	1148.48	1.00	40.87	-0.41
10R-056	Ge	764.3	0.28	796.1	-0.76	1103.37	-0.39	22.49	-2.36
10R-057	Ge	776.9	0.84	846.5	1.22	1147.92	0.98	49.21	0.47
10R-058	Ge	740.6	-0.78	787.4	-1.10	1080.46	-1.10	33.09	-1.24
10R-059	Ge	777.4	0.86	810.6	-0.19	1122.89	0.21	23.48	-2.25
10R-060	Ge	766.9	0.39	812.4	-0.12	1116.73	0.02	32.17	-1.33

§ : zスコアの絶対値3以上となるデータ

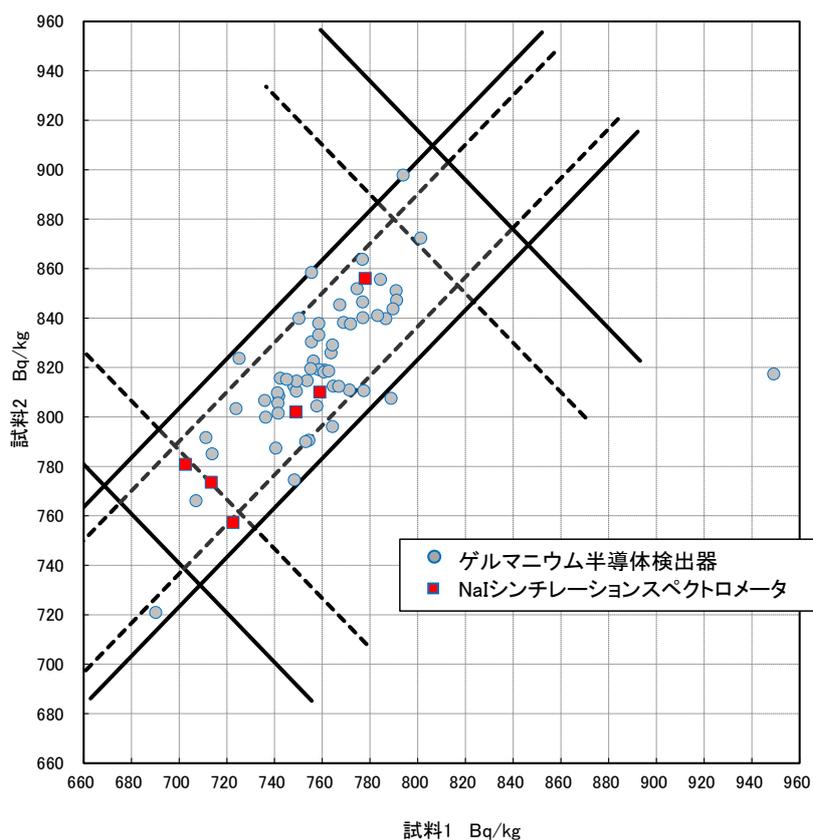


図 3-2 Cs-134+Cs-137 結果の複合評価図

(2) Cs-134 (ゲルマニウム半導体検出器測定結果のみ)

ゲルマニウム半導体検出器で測定した Cs-134 の報告値 58 件を対象として z スコア解析を行った結果の概要を表 3-4 に示した。また、測定結果のヒストグラムを図 3-3 に、各機関の報告値と z スコアを表 3-5 に、Cs-134 の結果の複合評価図を図 3-4 にそれぞれ示した。

z スコアの絶対値 3 以上となった報告値は、試料 1 が 2 件あり、試料 2 ではなかった。ただし、試料 2 については z スコアの絶対値 2 を超過しているものは 9 件と試料 1 よりも多かった。

z スコアの絶対値 2 以下の良好と判断された報告値は試料 1 で 94.8%、試料 2 で 84.5%であった。

表 3-4 Cs-134 解析結果概要

	試料1	試料2	試験所間	試験所内
試験所の数	58	58	58	58
中央値(median) : Q_2	26.3	28.5	38.7	1.34
第1四分位数 : Q_1	25.4	27.2	37.7	0.513
第3四分位数 : Q_3	27.4	29.2	39.7	2.17
四分位数範囲 $IQR=Q_3-Q_1$	2.03	1.95	1.96	1.66
正規四分位数範囲 $IQR \times 0.7413$	1.50	1.45	1.45	1.23
ロバストな変動係数 $(IQR \times 0.7413 / Q_2) \times 100$	5.7	5.1	3.8	91.7
$ z \leq 2$ (%)	94.8 (55)	84.5 (49)	86.2 (50)	89.7 (52)
$2 < z < 3$ (%)	1.7 (1)	15.5 (9)	12.1 (7)	6.9 (4)
$3 \leq z $ (%)	3.4 (2)	0.0 (0)	1.7 (1)	3.4 (2)

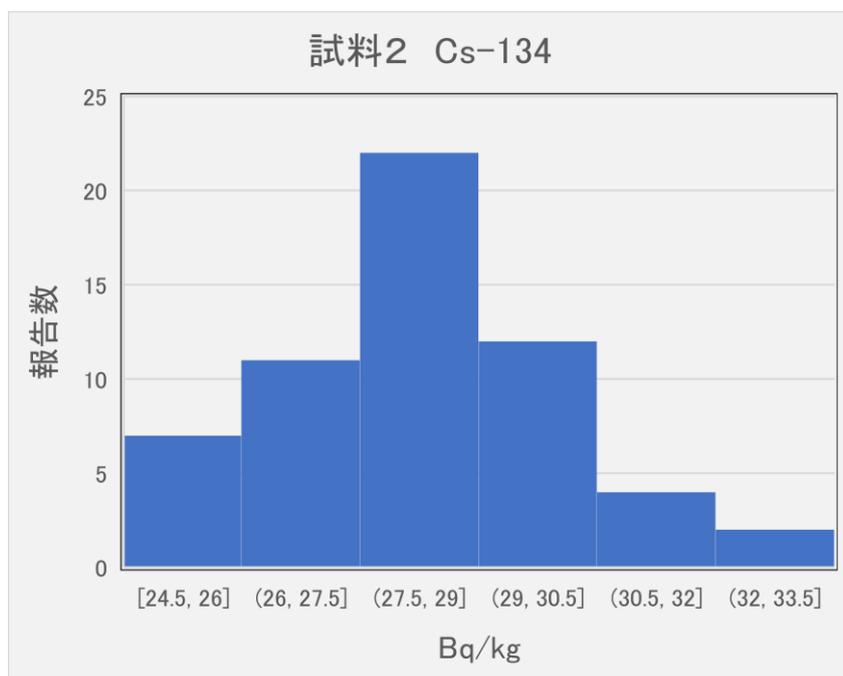
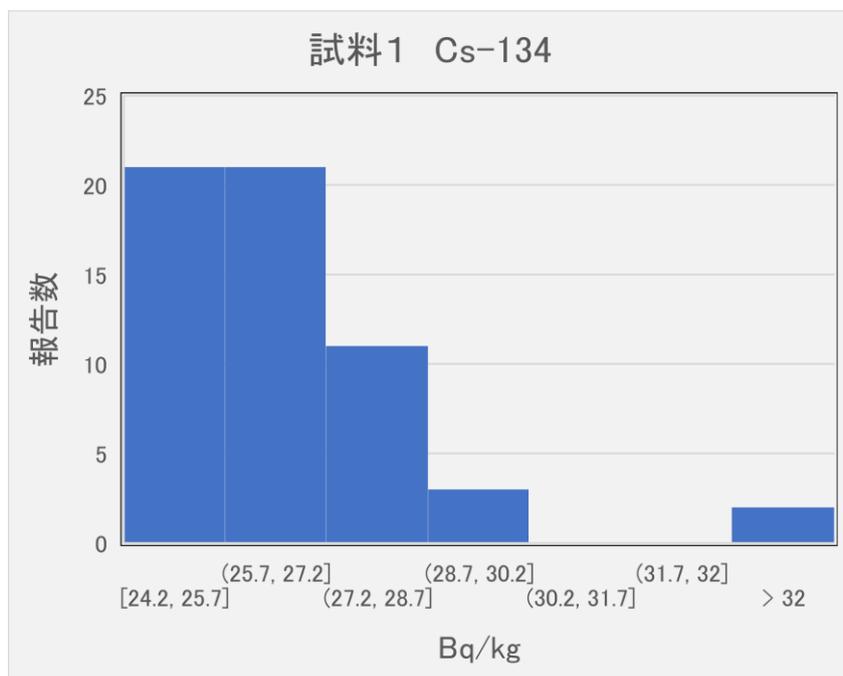


図 3-3 Cs-134 のヒストグラム

表 3-5 Cs-134 の報告値と z スコア

試験所番号	測定方法	試料1		試料2		試験所間		試験所内	
		報告値(Ai)	zスコア	報告値(Bi)	zスコア	(Ai+Bi)/√2	zスコア	(Bi-Ai)/√2	zスコア
10R-001	Ge	25.8	-0.30	27.5	-0.69	37.69	-0.68	1.20	-0.11
10R-002	Ge	25.5	-0.50	27.8	-0.48	37.69	-0.68	1.63	0.23
10R-003	Ge	26.7	0.30	28.8	0.21	39.24	0.39	1.48	0.11
10R-004	Ge	25.3	-0.63	26.8	-1.18	36.84	-1.26	1.06	-0.23
10R-005	Ge	26.8	0.37	29.0	0.35	39.46	0.53	1.56	0.17
10R-006-1	Ge	28.2	1.30	26.4	-1.45	38.61	-0.05	-1.27	-2.12
10R-007	Ge	27.1	0.57	29.0	0.35	39.67	0.68	1.34	0.00
10R-008	Ge	25.3	-0.63	28.4	-0.07	37.97	-0.49	2.19	0.69
10R-009	Ge	26.5	0.17	28.2	-0.21	38.68	0.00	1.20	-0.11
10R-010	Ge	24.4	-1.23	27.5	-0.69	36.70	-1.36	2.19	0.69
10R-011	Ge	27.4	0.77	30.6	1.45	41.01	1.60	2.26	0.75
10R-012	Ge	26.0	-0.17	29.1	0.42	38.96	0.19	2.19	0.69
10R-013	Ge	25.3	-0.63	27.9	-0.42	37.62	-0.73	1.84	0.40
10R-014	Ge	25.6	-0.43	28.7	0.14	38.40	-0.19	2.19	0.69
10R-015	Ge	27.1	0.57	29.0	0.35	39.67	0.68	1.34	0.00
10R-017	Ge	24.6	-1.10	30.9	1.66	39.24	0.39	4.45	2.53
10R-018	Ge	25.6	-0.43	29.1	0.42	38.68	0.00	2.47	0.92
10R-019	Ge	25.3	-0.63	27.7	-0.55	37.48	-0.83	1.70	0.29
10R-020	Ge	27.7	0.97	28.9	0.28	40.02	0.92	0.85	-0.40
10R-021	Ge	27.9	1.10	29.6	0.76	40.66	1.36	1.20	-0.11
10R-022	Ge	25.1	-0.77	26.9	-1.11	36.77	-1.31	1.27	-0.06
10R-024	Ge	27.9	1.10	27.2	-0.90	38.96	0.19	-0.49	-1.49
10R-025	Ge	25.8	-0.30	28.2	-0.21	38.18	-0.34	1.70	0.29
10R-026	Ge	29.1	1.90	30.0	1.04	41.79	2.14	0.64	-0.57
10R-027	Ge	26.8	0.37	27.1	-0.97	38.11	-0.39	0.21	-0.92
10R-028	Ge	25.5	-0.50	27.6	-0.62	37.55	-0.78	1.48	0.11
10R-029	Ge	28.3	1.37	31.9	2.35	42.57	2.67	2.55	0.98
10R-030	Ge	28.9	1.77	32.8	2.97	43.63	3.40	2.76	1.15
10R-031	Ge	26.8	0.37	29.5	0.69	39.81	0.78	1.91	0.46
10R-032	Ge	27.0	0.50	29.1	0.42	39.67	0.68	1.48	0.11
10R-033	Ge	24.2	-1.37	24.9	-2.49	34.72	-2.72	0.49	-0.69
10R-034	Ge	26.7	0.30	28.6	0.07	39.10	0.29	1.34	0.00
10R-035	Ge	25.9	-0.23	25.4	-2.14	36.27	-1.65	-0.35	-1.38
10R-037	Ge	25.1	-0.77	24.6	-2.70	35.14	-2.43	-0.35	-1.38
10R-038	Ge	25.1	-0.77	26.1	-1.66	36.20	-1.70	0.71	-0.52
10R-039	Ge	26.1	-0.10	28.4	-0.07	38.54	-0.10	1.63	0.23
10R-040	Ge	24.9	-0.90	30.6	1.45	39.24	0.39	4.03	2.18
10R-041	Ge	25.2	-0.70	29.5	0.69	38.68	0.00	3.04	1.38
10R-042	Ge	28.6	1.57	28.8	0.21	40.59	1.31	0.14	-0.98
10R-043	Ge	25.2	-0.70	28.5	0.00	37.97	-0.49	2.33	0.80
10R-044	Ge	28.5	1.50	28.4	-0.07	40.23	1.07	-0.07	-1.15
10R-045	Ge	32.3	4.03	28.1	-0.28	42.71	2.77	-2.97	-3.50
10R-046-1	Ge	26.9	0.43	27.1	-0.97	38.18	-0.34	0.14	-0.98
10R-046-2	Ge	28.1	1.23	29.2	0.48	40.52	1.26	0.78	-0.46
10R-047	Ge	25.3	-0.63	25.5	-2.08	35.92	-1.90	0.14	-0.98
10R-048	Ge	26.3	0.03	29.4	0.62	39.39	0.49	2.19	0.69
10R-049	Ge	26.9	0.43	25.7	-1.94	37.19	-1.02	-0.85	-1.78
10R-050	Ge	27.4	0.77	28.5	0.00	39.53	0.58	0.78	-0.46
10R-051	Ge	25.7	-0.37	28.7	0.14	38.47	-0.15	2.12	0.63
10R-052	Ge	25.6	-0.43	29.5	0.69	38.96	0.19	2.76	1.15

表 3-5 Cs-134 の報告値と zスコア (つづき)

試験所番号	測定方法	試料1		試料2		試験所間		試験所内	
		報告値(Ai)	zスコア	報告値(Bi)	zスコア	$(A_i+B_i)/\sqrt{2}$	zスコア	$(B_i-A_i)/\sqrt{2}$	zスコア
10R-053	Ge	25.8	-0.30	32.8	2.97	41.44	1.90	4.95	2.93
10R-054	Ge	26.7	0.30	29.4	0.62	39.67	0.68	1.91	0.46
10R-055	Ge	30.2	2.63	30.0	1.04	42.57	2.67	-0.14	-1.21
10R-056	Ge	27.3	0.70	26.1	-1.66	37.76	-0.63	-0.85	-1.78
10R-057	Ge	25.9	-0.23	28.5	0.00	38.47	-0.15	1.84	0.40
10R-058	Ge	24.6	-1.10	25.4	-2.14	35.36	-2.28	0.57	-0.63
10R-059	Ge	32.7	4.30 §	24.5	-2.77	40.45	1.22	-5.80	-5.80 §
10R-060	Ge	26.2	-0.03	27.3	-0.83	37.83	-0.58	0.78	-0.46

§ : zスコアの絶対値3以上となるデータ

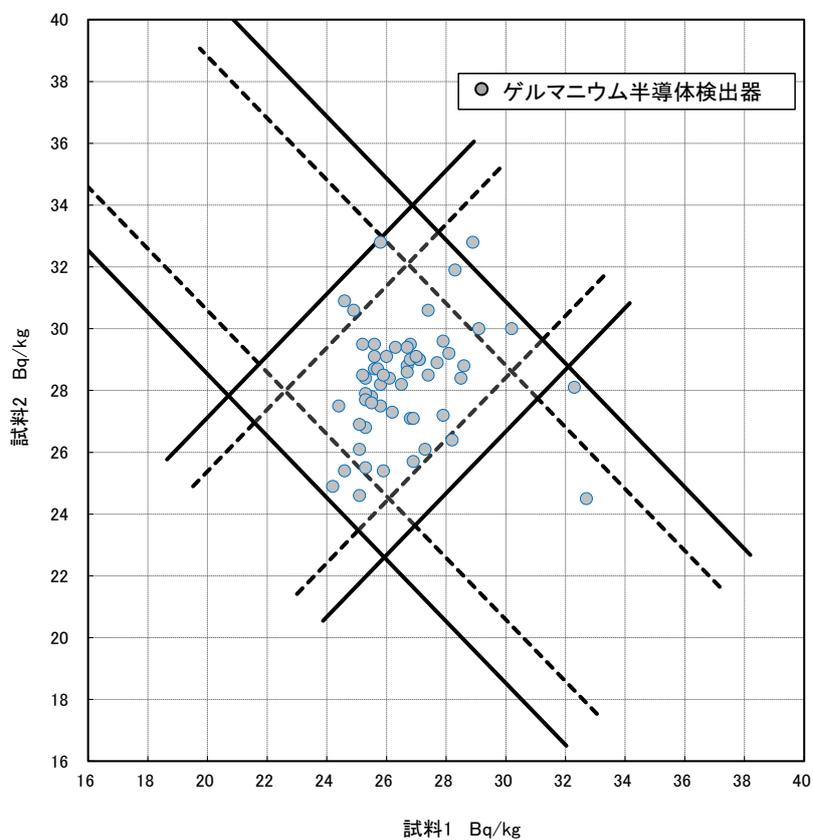


図 3-4 Cs-134 結果の複合評価図

(3) Cs-137 (ゲルマニウム半導体検出器測定結果のみ)

ゲルマニウム半導体検出器で測定した Cs-137 の報告値 58 件を対象として z スコア解析を行った結果概要を表 3-6 に示した。また測定結果のヒストグラムを図 3-5 に、各機関の報告値と z スコアを表 3-7 に、それぞれ示した。

z スコアの絶対値 3 以上となった報告値は試料 1 で 2 件、試料 2 で 2 件あった。

z スコアの絶対値 2 以下の良好と判断されたデータは試料 1 で 89.7%、試料 2 で 93.1% であった。

表 3-6 Cs-137 解析結果概要

	試料1	試料2	試験所間	試験所内
試験所の数	58	58	58	58
中央値(median) : Q_2	732	790	1078	43.1
第1四分位数 : Q_1	718	779	1059	37.7
第3四分位数 : Q_3	746	811	1100	49.6
四分位数範囲 $IQR=Q_3-Q_1$	28.2	32.0	41.5	11.90
正規四分位数範囲 $IQR \times 0.7413$	20.9	23.7	30.8	8.82
ロバストな変動係数 $(IQR \times 0.7413 / Q_2) \times 100$	2.9	3.0	2.9	20.4
$ z \leq 2$ (%)	89.7 (52)	93.1 (54)	91.4 (53)	81.0 (47)
$2 < z < 3$ (%)	6.9 (4)	3.4 (2)	5.2 (3)	12.1 (7)
$3 \leq z $ (%)	3.4 (2)	3.4 (2)	3.4 (2)	6.9 (4)

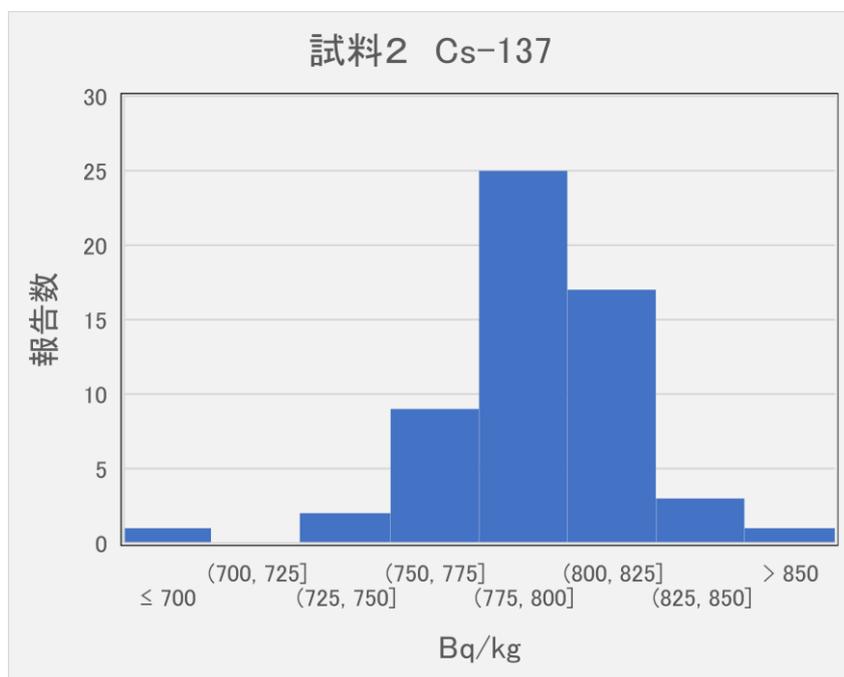
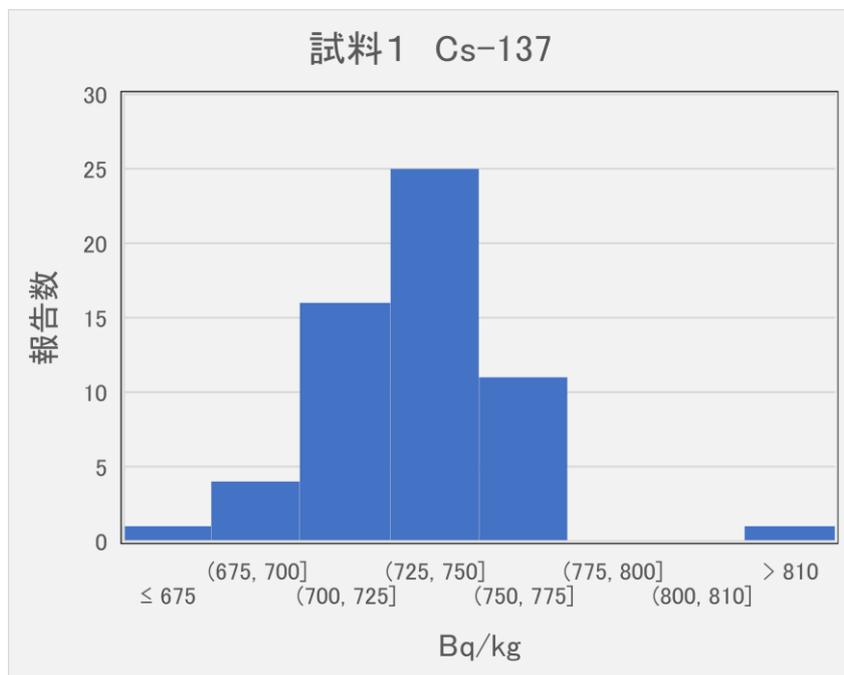


図 3-5 Cs-137 のヒストグラム

表 3-7 Cs-137 の報告値と z スコア

試験所番号	測定方法	試料1		試料2		試験所間		試験所内	
		報告値(Ai)	zスコア	報告値(Bi)	zスコア	(Ai+Bi)/√2	zスコア	(Bi-Ai)/√2	zスコア
10R-001	Ge	716.0	-0.77	781.0	-0.38	1058.54	-0.63	45.96	0.32
10R-002	Ge	733.0	0.05	810.0	0.84	1091.07	0.42	54.45	1.28
10R-003	Ge	727.0	-0.24	785.9	-0.17	1069.78	-0.27	41.65	-0.17
10R-004	Ge	716.0	-0.77	783.0	-0.30	1059.95	-0.59	47.38	0.48
10R-005	Ge	729.5	-0.12	793.6	0.15	1076.99	-0.03	45.33	0.25
10R-006-1	Ge	921.0	9.05 §	791.0	0.04	1210.57	4.31 §	-91.92	-15.31 §
10R-007	Ge	728.4	-0.17	801.4	0.48	1081.73	0.12	51.62	0.96
10R-008	Ge	742.0	0.48	817.0	1.14	1102.38	0.79	53.03	1.12
10R-009	Ge	732.0	0.00	805.0	0.63	1086.82	0.29	51.62	0.96
10R-010	Ge	700.8	-1.49	796.2	0.26	1058.54	-0.63	67.46	2.76
10R-011	Ge	757.0	1.20	825.0	1.48	1118.64	1.32	48.08	0.56
10R-012	Ge	765.0	1.58	822.0	1.35	1122.18	1.44	40.31	-0.32
10R-013	Ge	711.0	-1.01	772.0	-0.76	1048.64	-0.95	43.13	0.00
10R-014	Ge	716.9	-0.72	787.0	-0.13	1063.42	-0.47	49.57	0.73
10R-015	Ge	734.0	0.10	790.0	0.00	1077.63	-0.01	39.60	-0.40
10R-017	Ge	750.0	0.86	821.0	1.31	1110.86	1.07	50.20	0.80
10R-018	Ge	733.0	0.05	790.0	0.00	1076.92	-0.03	40.31	-0.32
10R-019	Ge	686.0	-2.20	764.0	-1.10	1025.30	-1.71	55.15	1.36
10R-020	Ge	736.0	0.19	797.0	0.30	1083.99	0.20	43.13	0.00
10R-021	Ge	763.3	1.50	817.6	1.16	1117.87	1.30	38.40	-0.54
10R-022	Ge	729.3	-0.13	763.7	-1.11	1055.71	-0.72	24.32	-2.13
10R-024	Ge	741.0	0.43	811.0	0.89	1097.43	0.63	49.50	0.72
10R-025	Ge	735.0	0.14	790.0	0.00	1078.34	0.01	38.89	-0.48
10R-026	Ge	724.0	-0.38	760.0	-1.26	1049.35	-0.93	25.46	-2.00
10R-027	Ge	744.6	0.60	783.8	-0.26	1080.74	0.09	27.72	-1.75
10R-028	Ge	716.0	-0.77	778.0	-0.51	1056.42	-0.70	43.84	0.08
10R-029	Ge	722.0	-0.48	808.0	0.76	1081.87	0.13	60.81	2.00
10R-030	Ge	765.0	1.58	865.0	3.16 §	1152.58	2.42	70.71	3.13 §
10R-031	Ge	762.0	1.44	778.0	-0.51	1088.94	0.36	11.31	-3.61 §
10R-032	Ge	750.0	0.86	811.0	0.89	1103.79	0.84	43.13	0.00
10R-033	Ge	666.0	-3.16 §	696.0	-3.96 §	963.08	-3.73 §	21.21	-2.49
10R-034	Ge	736.0	0.19	790.0	0.00	1079.04	0.03	38.18	-0.56
10R-035	Ge	698.0	-1.63	778.0	-0.51	1043.69	-1.11	56.57	1.52
10R-037	Ge	723.0	-0.43	788.0	-0.08	1068.44	-0.31	45.96	0.32
10R-038	Ge	682.0	-2.39	740.0	-2.11	1005.51	-2.35	41.01	-0.24
10R-039	Ge	723.0	-0.43	782.0	-0.34	1064.20	-0.45	41.72	-0.16
10R-040	Ge	747.0	0.72	807.0	0.72	1098.84	0.68	42.43	-0.08
10R-041	Ge	730.0	-0.10	790.0	0.00	1074.80	-0.10	42.43	-0.08
10R-042	Ge	758.0	1.24	811.0	0.89	1109.45	1.02	37.48	-0.64
10R-043	Ge	724.0	-0.38	786.0	-0.17	1067.73	-0.33	43.84	0.08
10R-044	Ge	727.0	-0.24	830.0	1.69	1100.97	0.75	72.83	3.37 §
10R-045	Ge	732.0	0.00	801.0	0.46	1083.99	0.20	48.79	0.64
10R-046-1	Ge	687.0	-2.15	758.0	-1.35	1021.77	-1.83	50.20	0.80
10R-046-2	Ge	717.0	-0.72	786.0	-0.17	1062.78	-0.49	48.79	0.64
10R-047	Ge	723.0	-0.43	749.0	-1.73	1040.86	-1.21	18.38	-2.81
10R-048	Ge	775.0	2.06	843.0	2.23	1144.10	2.15	48.08	0.56
10R-049	Ge	709.0	-1.10	781.0	-0.38	1053.59	-0.79	50.91	0.88
10R-050	Ge	714.2	-0.85	773.0	-0.72	1051.61	-0.86	41.58	-0.18
10R-051	Ge	764.0	1.53	815.0	1.05	1116.52	1.25	36.06	-0.80
10R-052	Ge	739.0	0.34	783.0	-0.30	1076.22	-0.06	31.11	-1.36

表 3-7 Cs-137 の報告値と z スコア

試験所番号	測定方法	試料1		試料2		試験所間		試験所内	
		報告値(Ai)	zスコア	報告値(Bi)	zスコア	$(A_i+B_i)/\sqrt{2}$	zスコア	$(B_i-A_i)/\sqrt{2}$	zスコア
10R-053	Ge	751.0	0.91	831.0	1.73	1118.64	1.32	56.57	1.52
10R-054	Ge	731.0	-0.05	775.0	-0.63	1064.90	-0.42	31.11	-1.36
10R-055	Ge	753.0	1.01	811.0	0.89	1105.92	0.91	41.01	-0.24
10R-056	Ge	737.0	0.24	770.0	-0.84	1065.61	-0.40	23.33	-2.24
10R-057	Ge	751.0	0.91	818.0	1.18	1109.45	1.02	47.38	0.48
10R-058	Ge	716.0	-0.77	762.0	-1.18	1045.10	-1.07	32.53	-1.20
10R-059	Ge	744.7	0.61	786.1	-0.16	1082.44	0.14	29.27	-1.57
10R-060	Ge	740.7	0.42	785.1	-0.21	1078.90	0.03	31.40	-1.33

§ : zスコアの絶対値3以上となるデータ

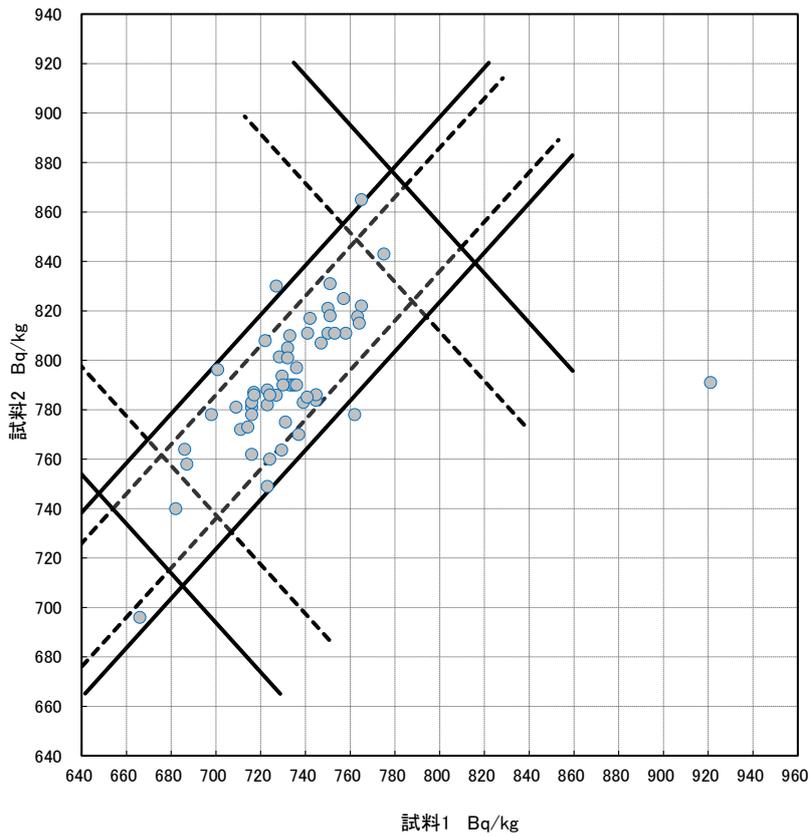


図 3-6 Cs137 結果の複合評価図

4 考察

東日本大震災に伴う原子力発電所の事故による放射性物質の放出から 10 年以上経過し、半減期約 2 年の Cs-134 の環境試料中の濃度は事故当初の 27 分の 1 以下まで減衰により減少しており、測定が難しくなっている。本クロスチェックでは Cs-134+Cs-137 濃度で 760~820Bq/kg 程度の比較的高めの濃度設定の試料を調製した。ゲルマニウム半導体検出器による測定結果で Cs-134 の濃度については不検出の報告はなかった。

報告様式では放射能濃度に加え、測定時間、計数誤差及び検出下限値の報告を求めた。NaI シンチレーションスペクトロメータの 1 報告値については測定時間の記載がなかったが、その他の報告値については測定時間、計数誤差及び検出下限値の報告があった。それらの報告値をもとに測定時間、検出下限値、計数誤差相互の関係を検討した。

4.1 測定時間の分布

測定時間の分布とヒストグラムを図 4-1 及び図 4-2 に示した。試料 1 と試料 2 で測定時間を変えて測定した報告値はなかった。

図 4-2 より測定時間の分布をみると、最短 900 秒 (15 分)、最長 80,000 秒 (約 22 時間) で機関により測定時間の選定にはかなり幅がみられた。2,000 秒 (約 33 分) から 14,400 秒 (4 時間) で 38 報告値となっており、報告値の約 60% を占めた。クロスチェックでは各機関とも比較的長めの測定時間を設定すると考えられるが、今回の濃度範囲では多くの機関で 4 時間程度までの測定で十分と判断されたものと思われた。

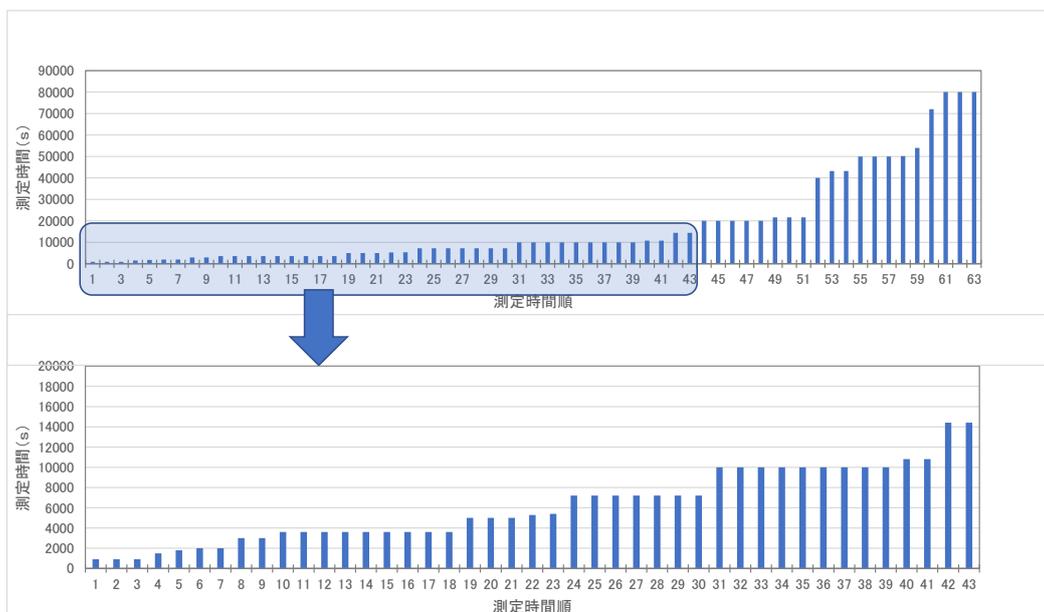


図 4-1 測定時間の分布 (上段：全体、下段：拡大図)

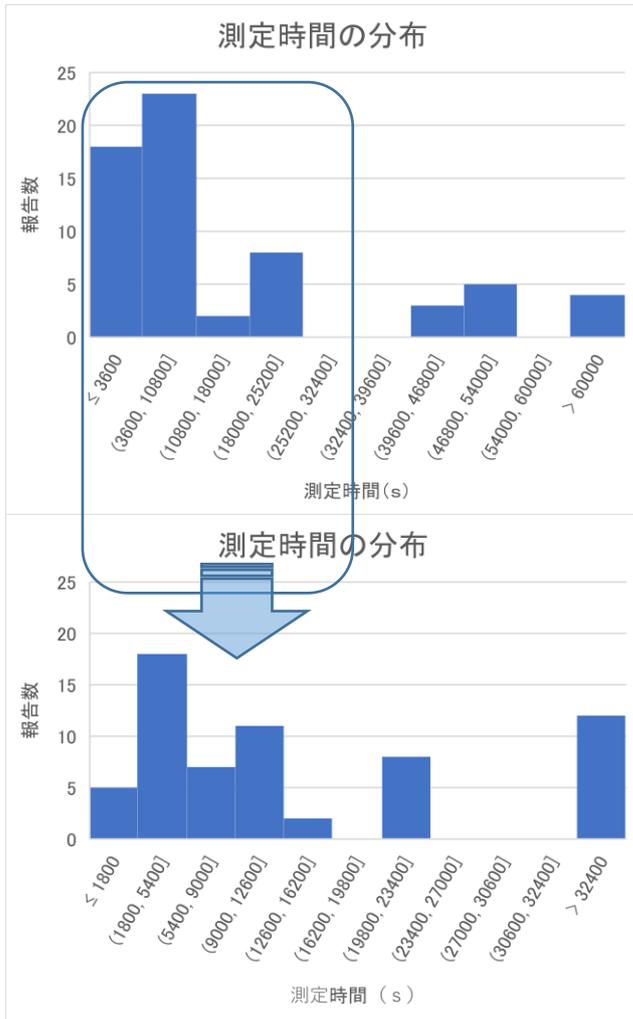


図 4-2 測定時間のヒストグラム
(上段：全体、下段：拡大図)

4.2 測定時間と検出下限値

測定時間と検出下限値の散布図を図 4-3 に示した。図 4-3 は試料 1 の Cs-134+137 を例として示したが、試料 2 も概ね同様である。ゲルマニウム半導体検出器の Cs-134+Cs-137 の下限値は個々の下限値の二乗和の平方根とした。測定時間が長いほど検出下限値が低くなる傾向がみられた。

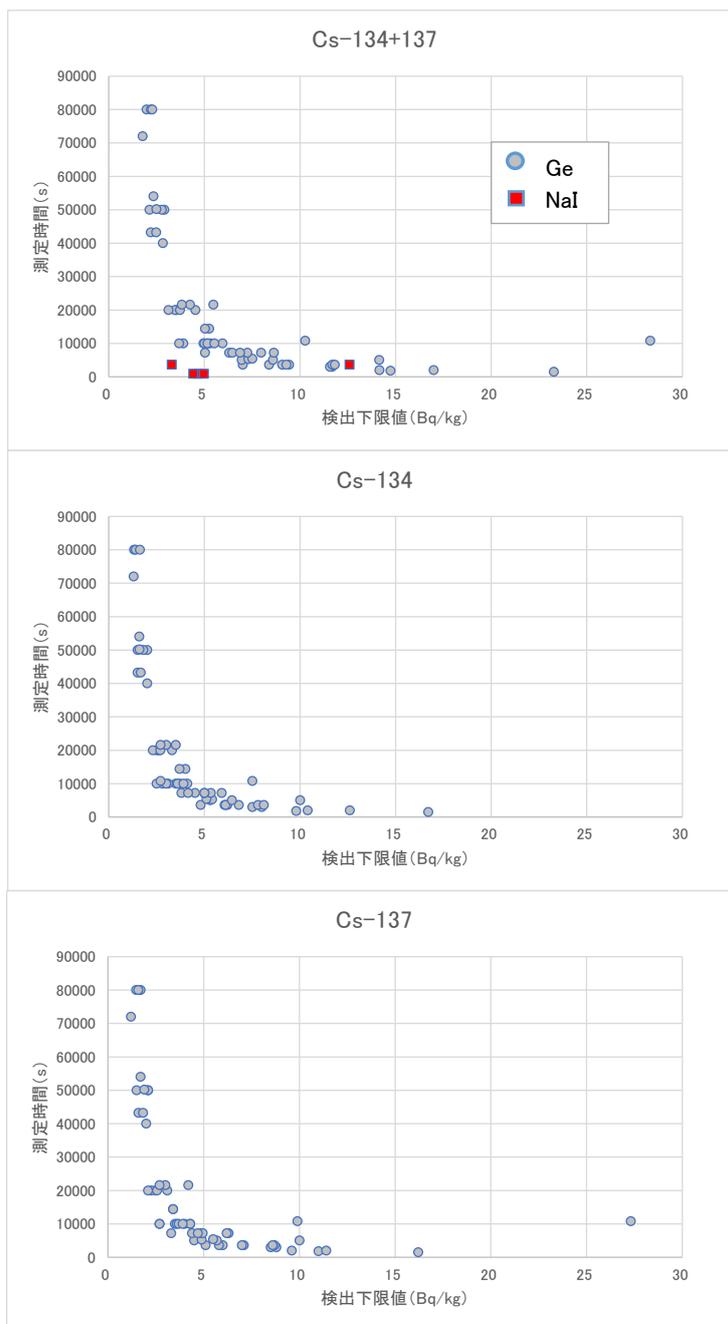


図 4-3 検出下限値と測定時間の散布図 (試料 1 を例として)

4.3 測定時間とzスコア

Cs-134+Cs-137 の合計値の z スコアと測定時間の散布図を図 4-4 に示した。ゲルマニウム半導体検出器と NaI シンチレーションスペクトロメータについて色分けした。また、図 4-4 には z スコアが 8.52 となったデータも併記した。当該報告値については、異常値と考えられるので測定時のパラメータや報告値について再度確認いただきたい。

今回のクロスチェックでは z スコアの絶対値で 2 以下の機関が多いが、測定時間が 40,000 秒以上と比較的長い場合でも z スコアの絶対値で 2 を超えるデータがあり、測定時間が長ければ良好な結果が得られるというわけではないようであった。やはり測定時間よりも、測定時のパラメータや検出器の校正などが適切になされていることが重要なのではないかと考えられた。

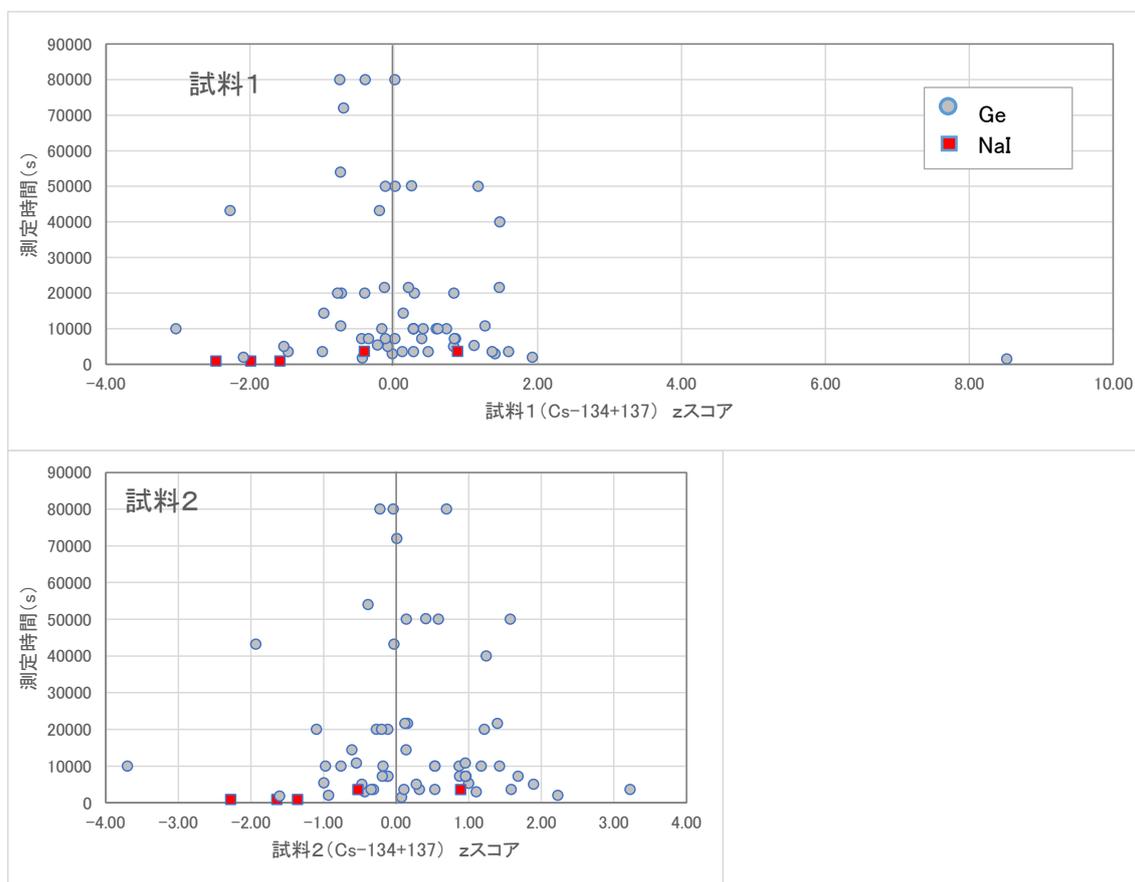


図 4-4 Cs-134+Cs-137 合計値の z スコアと測定時間の分布
(上段：試料 1、下段：試料 2)

4.4 測定時間と計数誤差及びzスコア

図 4-5 に測定時間の分布図 (図 4-1) の順で、試料 1 と試料 2 の Cs-134+137 の報告値、計数誤差を示した。(ただし、測定時間の記載の無かった 1 機関の NaI シンチレーションスペクトロメータ報告値は最後 (64 番目) に配置した)

計数誤差は報告値のエラーバーとして表記した。ゲルマニウム半導体検出器による測定の見数誤差は Cs-134 と Cs-137 それぞれの見数誤差の二乗和の平方根とした。また、各報告値の z スコアを第 2 軸に示した。

ゲルマニウム半導体検出器では測定時間が長くなるほど見数誤差は小さくなっていたが、z スコアについては今回の試料濃度では前述のとおり測定時間の長さとの関係性は小さかった。

NaI シンチレーションスペクトロメータではエネルギー分解能の差なのか、数値処理方法の違いなのか不明だが見数誤差と測定時間の関係はよく判らなかつた。

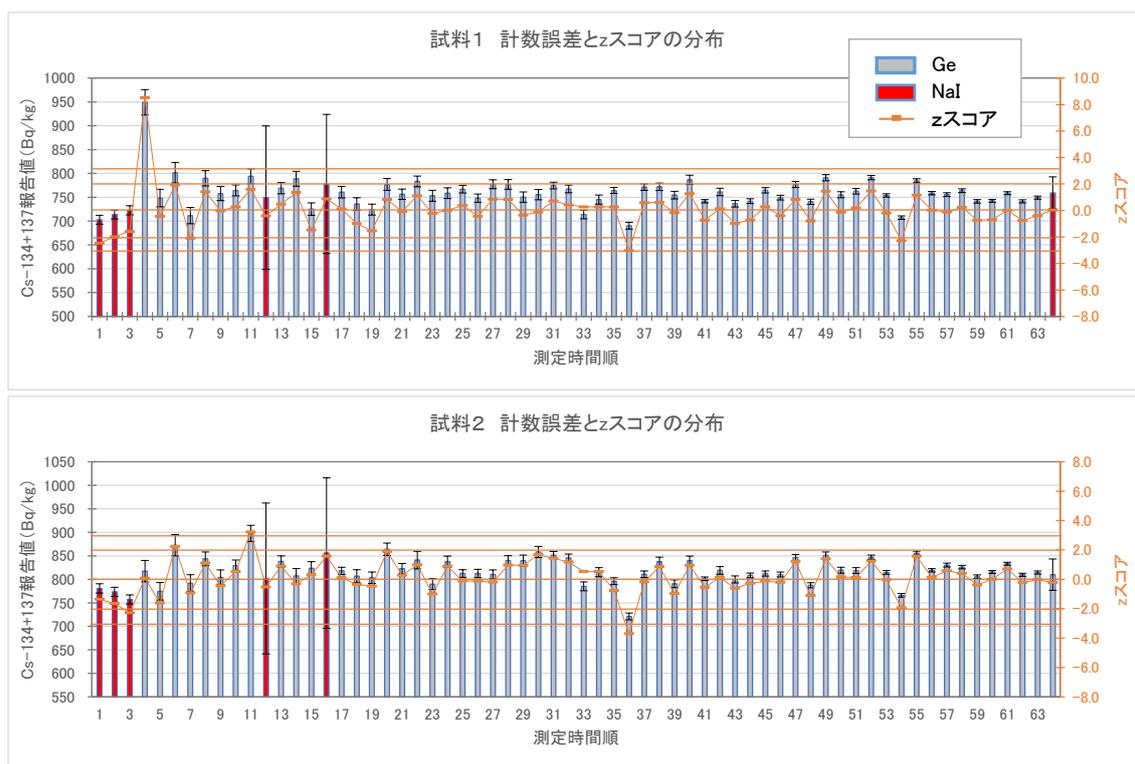


図 4-5 測定時間順の報告値及び z スコアの分布

4.5 まとめ

今回のクロスチェックは比較的高濃度の設定としており、それほど長い測定時間をかけなくても放射性セシウムの測定ができていた。zスコアでは絶対値が3を超える報告値も少なかった。zスコアの絶対値が3を超えていた報告値があった機関においては、再度測定時のパラメータ等の確認をお願いしたい。

NaI シンチレーションスペクトロメータ測定はエネルギーの分解能がゲルマニウム半導体検出器測定より低いため精度面ではやや劣ると考えられたが、今回のクロスチェックでの放射性セシウム濃度ではGe測定との差は小さかった。今回の設定濃度は食品の基準である100Bq/kgよりも高い濃度であるが、適切な測定時間の設定によりスクリーニングを目的とした測定での使用については問題ないと思われた。ただし、100Bq/kg近傍の測定結果となった場合は、ゲルマニウム半導体検出器による確認は引き続き必要と思われた。

5 参加機関（五十音順）

DOWA テクノリサーチ株式会社
株式会社 KANSO テクノス
株式会社秋田県分析化学センター
株式会社アクアパルス
いであ株式会社
株式会社エオネックス
株式会社エヌ・イーサポート 東京支社
エヌエス環境株式会社 東北支社
株式会社科学技術開発センター
一般財団法人鹿児島県環境技術協会
川俣町
株式会社環境管理センター
株式会社環境技研
株式会社環境分析研究所
環境保全株式会社
公益財団法人北九州生活科学センター
一般財団法人九州環境管理協会
近畿大学原子力研究所 放射線応用学研究室
株式会社熊谷環境分析センター
株式会社クレハ分析センター
株式会社群馬分析センター
株式会社江東微生物研究所 食品分析センター
鮫川村役場農林商工課
株式会社産業公害・医学研究所 八戸分室
株式会社サンヨー環境調査センター
株式会社島津テクノリサーチ
一般財団法人上越環境科学センター
常磐開発株式会社
白河市
株式会社新環境分析センター 福島県分析センター
株式会社静環検査センター
株式会社総合保健センター
株式会社太平洋コンサルタント
一般財団法人千葉県薬剤師会検査センター
中外テクノス株式会社

帝人エコ・サイエンス株式会社
東京テクニカル・サービス株式会社
東京パワーテクノロジー株式会社環境事業部復興支援センター
東京パワーテクノロジー株式会社
株式会社東信公害研究所
東邦化研株式会社
東北環境開発株式会社
東北緑化環境保全株式会社
一般財団法人栃木県環境技術協会
一般財団法人新潟県環境衛生研究所
一般財団法人新潟県環境分析センター
株式会社日本化学環境センター
株式会社日立産機ドライブ・ソリューションズ
株式会社日吉
福島県双葉郡 浪江町役場
公益財団法人福島県保健衛生協会
福島県林業研究センター
株式会社分析センター
日鉄環境株式会社分析ソリューション事業本部 釜石センター
一般財団法人北海道薬剤師会公衆衛生検査センター
一般財団法人三重県環境保全事業団
株式会社むさしの計測
ユーロフィン日本総研株式会社
株式会社理研分析センター
平成理研株式会社