

令和4年度
原子力施設等防災対策等委託費
(環境放射能水準調査(放射能分析))
事業報告書

2023年3月

公益財団法人 日本分析センター

本報告書は、原子力規制委員会 原子力規制庁の令和4年度原子力施設等防災対策等委託費事業における委託業務として、公益財団法人 日本分析センターが実施した令和4年度「環境放射能水準調査（放射能分析）」の成果を取りまとめたものである。

目 次

1. 調査概要	1
2. 調査結果	5
2.1 全ベータ放射能測定	5
2.2 ガンマ線放出核種の測定	7
2.3 トリチウム分析	16
2.4 ストロンチウム 90 分析	29
2.5 プルトニウム分析	42
2.6 ヨウ素 129 分析	54
2.7 炭素 14 分析	66
2.8 クリプトン 85 分析	69
2.9 放射性キセノン分析	78
2.10 福島県下における空間線量の調査	82
3. 分析法及び妥当性の確認	145
3.1 全ベータ放射能測定	145
3.2 ガンマ線放出核種の測定	146
3.3 トリチウム分析	148
3.4 ストロンチウム 90 分析	150
3.5 プルトニウム分析	155
3.6 ヨウ素 129 分析	156
3.7 炭素 14 分析	160
3.8 クリプトン 85 分析	163
3.9 放射性キセノン分析	176
3.10 福島県下における空間線量の調査	179
4. 都道府県における環境放射能水準調査、放射線監視等交付金事業の 精度管理	188
4.1 標準試料法	188
4.2 試料分割法	188
4.3 モニタリングポストの測定に係る精度管理	189

5. 47 都道府県における放射能測定への補助	228
6. 環境放射能水準調査検討委員会	229
6.1 委員会構成	229
6.2 委員会開催日と議題	231
7. 都道府県の水準調査担当者を交えた精度管理に関する検討会	235
8. 精度管理の強化	236
8.1 IAEA が実施する技能試験への参加	236
8.2 IAEA-ALMERA 年次会合への参加	238
9. 環境放射能水準調査の充実化のための提案	239
9.1 福島県下における空間放射線量率測定の品質保証	240
9.2 福島県内に設置された可搬型モニタリングポストの更新	242
9.3 γ 線スペクトロメトリーにおける検出下限値の低減化	244
9.4 ICP-MS/MS を利用した長半減期核種の分析	245

1. 調査概要

本調査は、47 都道府県(以下、「自治体」という。)及び公益財団法人日本分析センター(以下、「分析センター」という。)が採取した環境試料について放射能分析を行い、全国の環境放射能水準を把握することにより、放射線監視等交付金事業による放射線監視結果との比較検討に資することを目的として実施した。

また、東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえ、福島県における空間放射線量の調査を実施した。

実施した調査の目的と内容を以下に示す。

① 全ベータ放射能測定

全ベータ放射能測定は、同種類の試料の放射能レベルの大まかな相互比較においては、迅速に概略の情報を得ることができ、核種分析などの精密な測定を行うべきかどうかの判断をするための情報等を得ることができる。

分析センター(千葉市)で、原則毎日、一定の時刻に採取した降水について、全ベータ放射能を測定した。また、降水がない場合も、採取器に付着した塵埃を集め、全ベータ放射能を測定した。

② ガンマ線放出核種の測定

核爆発実験等により、放射性物質が大気中に放出された場合、例えば短半減期の放射性核種であるヨウ素 131 は甲状腺に選択的に集中して内部被ばくを与える。セシウム 137 などの長半減期の放射性核種は、地上に降下した後も環境中に長く留まるため、人体及び環境中にさまざまな影響を与える。これらの放射性核種の挙動を継続的に調査することは、内部被ばくを評価する上で重要である。

分析センター(千葉市)で、月ごとに大気浮遊じん及び降水物を採取し、ガンマ線放出核種を測定した。さらに、大気試料中のガンマ線放出核種濃度は極めて低いため、より低い濃度を把握するため、大容量エアサンプラを用いて採取した大気浮遊じんのガンマ線放出核種を測定した。また、分析センターが購入した粉乳についても、ガンマ線放出核種を測定した。

③ トリチウム分析

トリチウムは半減期 12.33 年の天然及び人工起源の放射性核種であり、人体の主要構成元素の一つである水素の同位体である。呼吸や飲食等により体内に取り込まれた場合は、被ばく線量評価上重要な核種となる。トリチウムのそのほとんどは水分子として存在しているため、降水中のトリチウムの放射能濃度を把握することは内部被ばくを評価する上で重要である。

むつ市、福島市、千葉市及び京都市で、毎月採取した月間降水について、電解

濃縮法によりトリチウムを分析した。精米、野菜及び海藻について、組織自由水トリチウムと非交換型の有機結合型トリチウムを分析した。また、トリチウムの環境中における移行の把握に資するために、千葉市で採取した大気試料について、トリチウムを分析した。さらに、海水の放射能濃度を把握するため、北海道、秋田県及び千葉県で夏季と冬季に採取した海水について、電解濃縮法によるトリチウムの分析を検討した。

④ ストロニウム 90 分析

ストロニウム 90 は核分裂収率が高く、半減期が 28.78 年と比較的長いため、セシウム 137 と同様に環境中に長く留まる人工放射性核種である。また、同族元素のカルシウムと同じ挙動をするため、体内に取り込まれると骨に沈着して長期間にわたる内部被ばくを伴うこととなるため、その変動を把握することは重要である。

自治体及び分析センターが採取・購入し、灰化、濃縮等の処理がされた試料について、放射化学分析により ^{90}Sr を分離精製し、低バックグラウンドベータ線測定装置により測定した。海水は ^{90}Sr 分析を行う前にリンモリブデン酸アンモニウムによって放射性セシウムを捕集し、ゲルマニウム半導体検出器により放射性セシウム濃度を求めた。

また、ガンマ線放出核種を測定済みの大気浮遊じん（大容量エアサンプラ）について、 ^{90}Sr を分析した。

⑤ プルトニウム分析

プルトニウムは人為的に生成されたものであり、環境中には過去の核爆発実験由来のプルトニウムが微量に存在している。プルトニウムは人体への毒性も大きいため、環境中での変動を把握することは重要である。

自治体が 2021 年度に採取した土壌について、アルファ線スペクトロメトリーにより ^{238}Pu 、 $^{239+240}\text{Pu}$ を分析、ICP 質量分析装置により ^{239}Pu 、 ^{240}Pu を分析、液体シンチレーションカウンタにより ^{241}Pu を分析した。なお、プルトニウム濃度が高い試料は ^{241}Am 及び Cm 同位体の放射能濃度も求めた。

また、ガンマ線放出核種を測定済みの大気浮遊じん（大容量エアサンプラ）についてアルファ線スペクトロメトリーにより ^{238}Pu 、 $^{239+240}\text{Pu}$ を分析、ICP 質量分析装置により ^{239}Pu 、 ^{240}Pu を分析した。

⑥ ヨウ素 129 分析

ヨウ素 129 は半減期が 1.57×10^7 年の長半減期人工放射性核種である。ヨウ素 131 と同様、体内に取り込まれると甲状腺に選択的に集中して内部被ばくを与える。特に、ヨウ素 129 はその非常に長い半減期から、環境中に長く留まることと

なるため、その変動を把握することは重要である。

北海道、秋田県及び千葉県で採取した土壌、牛乳、海藻及び野菜について、加速器質量分析法（AMS）により ^{129}I の放射能濃度を測定した。

また、ガンマ線放出核種を測定済の大気浮遊じん（大容量エアサンプラ）について、 ^{129}I を分析した。さらに、 ^{129}I の環境中における移行の把握に資するため、近海で採集した海水について、 ^{129}I の分析を検討した。

⑦ 炭素 14 分析

炭素 14 は半減期 5730 年の天然及び人工起源の放射性核種であり、光合成により植物に固定されるので、米や野菜等にも一定量が存在している。飲食等により体内に取り込まれた場合には、長期間の内部被ばくを起こすおそれがあることから、環境中における炭素 14 の変動を把握することは重要である。

北海道、秋田県及び千葉県で採取した大気中二酸化炭素（夏季、冬季）、精米及び野菜について、加速器質量分析法（AMS）により ^{14}C 比放射能を測定した。

⑧ クリプトン 85 分析

クリプトン 85 は半減期が 10.76 年の放射性希ガスであり、再処理施設から大気中に放出される放射性核種の中で放出量 (Bq) が最大であるため、外部被ばくの要因となりえる。青森県の大型再処理施設が本格的に稼働すると、クリプトン 85 が大気中に放出されることになるため、継続的に大気中のクリプトン 85 濃度を把握する必要がある。

札幌市、秋田市及び千葉市で捕集した大気について、ガスクロマトグラフにより ^{85}Kr を分離し、ベータ線測定装置により測定した。

⑨ 放射性キセノン分析

放射性キセノンは化学的に不活性な気体であり、 $^{131\text{m}}\text{Xe}$ （半減期 11.96 日）、 ^{133}Xe （半減期 5.244 日）、 $^{133\text{m}}\text{Xe}$ （半減期 2.198 日）及び ^{135}Xe （半減期 9.143 時間）は原子炉施設から大気中に放出される他、地下核実験においても大気中に漏れ出してくるおそれがあるため、その変動を把握することは重要である。

千葉市に設置した希ガス自動観測装置により大気中キセノンを捕集・分離・精製し、 $^{131\text{m}}\text{Xe}$ 、 ^{133}Xe 、 $^{133\text{m}}\text{Xe}$ 及び ^{135}Xe を測定した。

⑩ 福島県下における空間線量の調査

福島県下の、東京電力福島第一原子力発電所事故の影響で空間線量が高くなっている地域において、長期間の被ばくを評価するために空間線量率の測定を連続して行うことが必要とされている。信頼できる測定値を得るためには、測定機器を健全な状態で運用することは重要である。

東京電力福島第一原子力発電所周辺地域 80 地点において、可搬型モニタリン

グポストを運用し、健全性を確認した。さらに、福島県内3地点において、可搬型モニタリングポストの環境場測定法によるクロスチェックを行った。

なお、本調査における空間放射線量率測定値は、空気吸収線量＝実効線量（1：1）として、実効線量（Sv：シーベルト）で示した。

一部の分析結果について、2011年3月に発生した東京電力福島第一原子力発電所事故の影響が認められた。

なお、分析結果の妥当性については、放射能濃度既知試料やブランク試料との並行分析・測定、放射線測定器の日常点検（計数効率の確認、バックグラウンド値の確認）により確認した。

また、本調査における品質保証の観点から、環境試料の放射能測定及びモニタリングポストの測定に係る精度管理及びIAEAとのクロスチェックを行った。

本調査では、学識経験者等による委員会（WEB会議及びWEB会議と対面式の併用）を3回開催して、分析・測定結果等についての技術的検討及び評価を行った。

2. 調査結果

2.1 全ベータ放射能測定

(1) 概要

試料の採取は、分析センター（千葉市）の建屋屋上（地上 3.5 m）に設置した降水採取装置（直径 252 mm）を用い、放射能測定法シリーズ 16「環境試料採取法」（昭和 58 年）に準じて行った。降水がない場合も、採取器に付着した大気浮遊じんを採取した。採水時刻は 9 時（定時降水）とした。

全ベータ放射能の測定は、放射能測定法シリーズ 1「全ベータ放射能測定法」（昭和 51 年改訂）に準じて行った。

採取量が 100 mL 以下の場合には全量、100 mL を超えた場合は 100 mL を分取し、硝酸数滴、ヨウ素担体溶液（I：1 mg/mL）1 mL 及び 0.5 M 硝酸銀溶液 1 mL を加えた。試料溶液を 2～3 mL まで加熱濃縮した後、測定用試料皿に移し入れ、赤外線ランプ下で蒸発乾固して測定試料とした。採取後約 6 時間を経過してから低バックグラウンドベータ線測定装置で、測定試料を 3600 秒間測定した。なお、降雨が 1 mm 以上ある場合を「降雨あり」、降雨が 1 mm 未満及びなかった場合を「降雨なし」とした。

(2) 結果と考察

2022 年 3 月から 2023 年 2 月までの定時降水の全ベータ放射能測定結果を図 2-1-1 に示す。また、この調査期間の最小値及び最大値並びに 2017 年度から 2021 年度までの結果と併せて表 2-1-1 に示す。

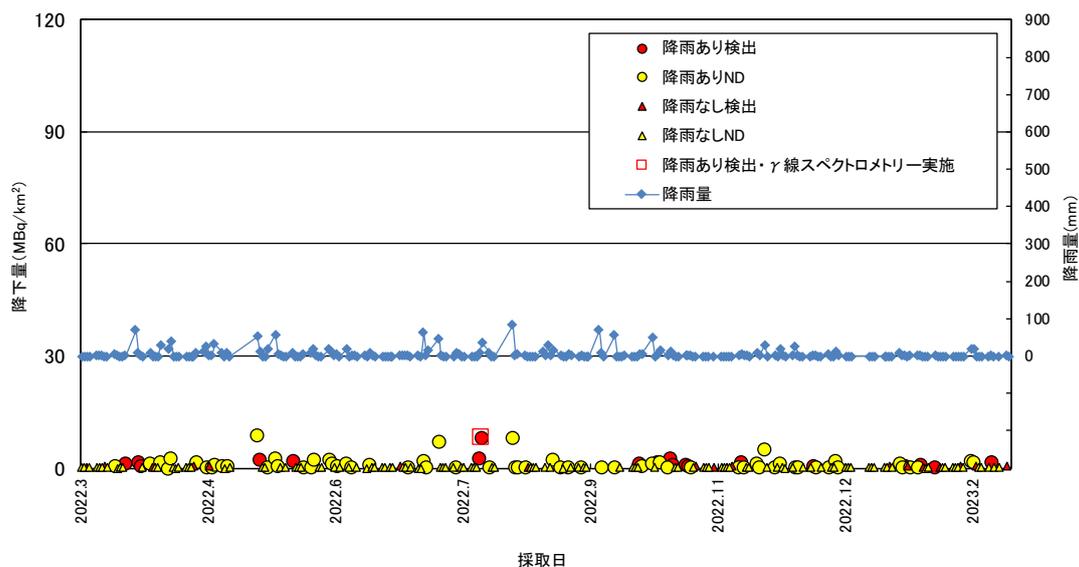


図 2-1-1 2022 年度の定時降水の全ベータ放射能測定結果

表 2-1-1 定時降水の全ベータ放射能調査結果

年度	採取期間	試料数 降雨あり	検出数 降雨あり	放射能濃度 (Bq/L) 降雨あり	降下量 (MBq/km ²) 降雨あり
2022年度	2022.3～2023.2	92	19	ND～0.79	ND～8.0
2021年度	2021.3～2022.2	82	21	ND～1.2	ND～7.5
2020年度	2020.3～2021.2	84	18	ND～0.75	ND～9.5
2019年度	2019.3～2020.2	102	44	ND～1.5	ND～16
2018年度	2018.3～2019.2	87	41	ND～1.3	ND～13
2017年度	2017.3～2018.2	74	31	ND～1.4	ND～28

2022年度における定時降水の全ベータ放射能調査結果は、放射能濃度がND～0.79 Bq/L、降下量がND～8.0 MBq/km²であり、過去5年間の調査結果の範囲内であった。

前月の検出した「降雨あり」の測定結果の平均値の3倍を超えた試料についてゲルマニウム半導体検出器による核種分析を行ったところ、人工放射性核種は検出されなかった。

また、2022年度の「降雨なし」の試料は、ND～0.55 MBq/km²であった。

全ベータ放射能検出率（計数誤差の3倍以上を検出した試料数を全試料数で除したもの）については、東京電力福島第一原子力発電所事故後の2011年度に81%まで上昇したが、2022年度は15%であった。

2.2 ガンマ線放出核種の測定

2.2.1 大気浮遊じん及び降下物

(1) 概要

分析センター内において月1回採取した大気浮遊じん及び降下物について、ゲルマニウム半導体検出器を用いてガンマ線スペクトロメトリーを行った。

(2) 結果と考察

大気浮遊じん中の ${}^7\text{Be}$ 、 ${}^{134}\text{Cs}$ 及び ${}^{137}\text{Cs}$ の分析結果（最小値及び最大値）を2017年度から2021年度までの結果と併せて表2-2-1に示す。

降下物中の ${}^7\text{Be}$ 、 ${}^{134}\text{Cs}$ 及び ${}^{137}\text{Cs}$ の分析結果（最小値及び最大値）を2017年度から2021年度までの結果と併せて表2-2-2に示す。なお、表中のNDは不検出を表す。

表2-2-1 過去の調査結果との比較（大気浮遊じん）

単位：mBq/m³

核種	濃度範囲	2017～2021年度	2022年度分析分
${}^7\text{Be}$	最小値～最大値	1.4 ～ 6.9	1.6 ～ 5.5
${}^{134}\text{Cs}$		ND	ND
${}^{137}\text{Cs}$		ND ～ 0.015	ND ～ 0.0069

表2-2-2 過去の調査結果との比較（降下物）

単位：MBq/km²

核種	濃度範囲	2017～2021年度	2022年度分析分
${}^7\text{Be}$	最小値～最大値	18 ～ 370	40 ～ 200
${}^{134}\text{Cs}$		ND ～ 0.60	ND
${}^{137}\text{Cs}$		0.20 ～ 3.5	0.15 ～ 0.54

2022年度における大気浮遊じん中の⁷Be濃度は1.6～5.5 mBq/m³、¹³⁴Cs濃度は全てND、¹³⁷Cs濃度はND～0.0069 mBq/m³であった。⁷Be濃度については、過去5年間（2017年度から2021年度まで）の調査結果の変動（1.4～6.9 mBq/m³）の範囲内であった。

大気浮遊じん中の¹³⁷Csについては、2011年3月以前の5年間（2006年2月～2011年2月）は検出されたことはなく、東京電力福島第一原子力発電所の事故に起因するものと考えられるが、年々減少傾向を示している。

2022年度における降下物中の⁷Be降下量は40～200 MBq/km²、¹³⁴Cs降下量は全てND、¹³⁷Cs降下量は0.15～0.54 MBq/km²であった。⁷Be降下量については、過去5年間（2017年度から2021年度まで）の調査結果の変動（18～370 MBq/km²）の範囲内であった。

なお、降下物中の¹³⁴Cs及び¹³⁷Csは年々減少傾向を示しており、¹³⁴Csは今年度全て不検出であった。¹³⁷Csは減少傾向が見られるものの2011年3月以前のレベル（検出下限値以下）より高い降下量で推移している。

2011年度から2022年度までの大気浮遊じん中の⁷Be、¹³⁴Cs及び¹³⁷Cs濃度比較図を図2-2-1、図2-2-2及び図2-2-3に、降下物中の⁷Be、¹³⁴Cs及び¹³⁷Cs降下量比較図を図2-2-4、図2-2-5及び図2-2-6に示す。

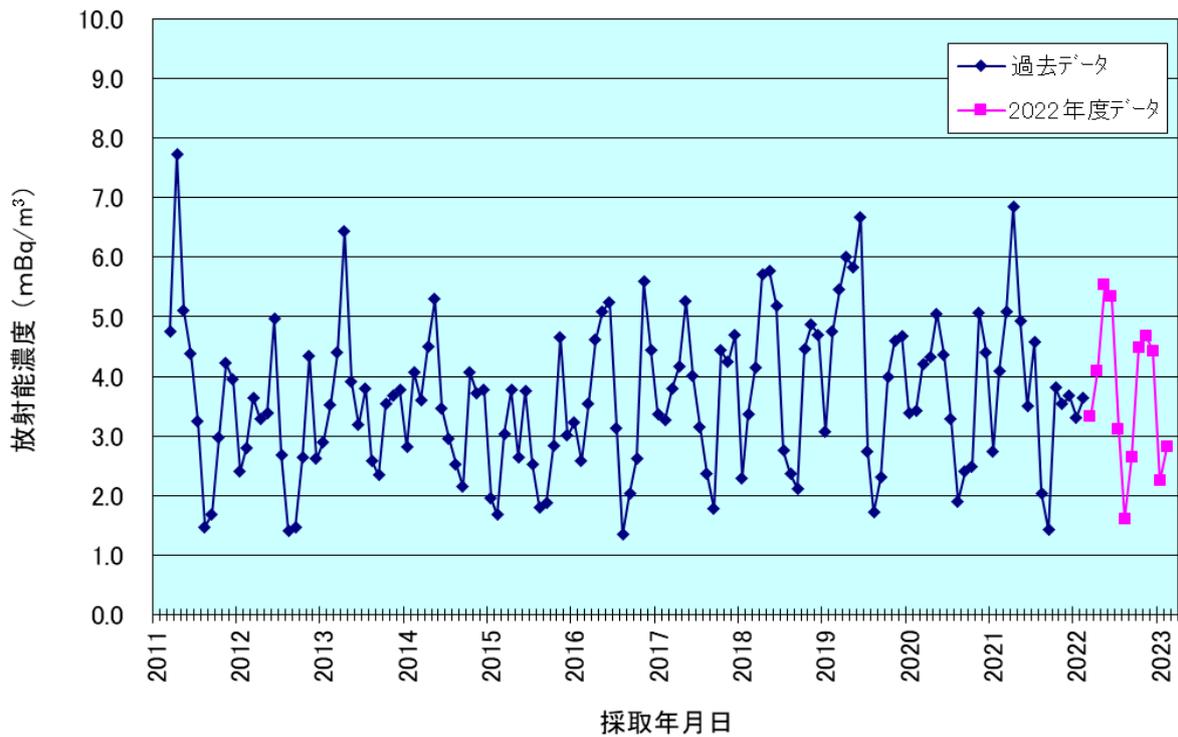


図2-2-1 大気浮遊じん中の⁷Be濃度

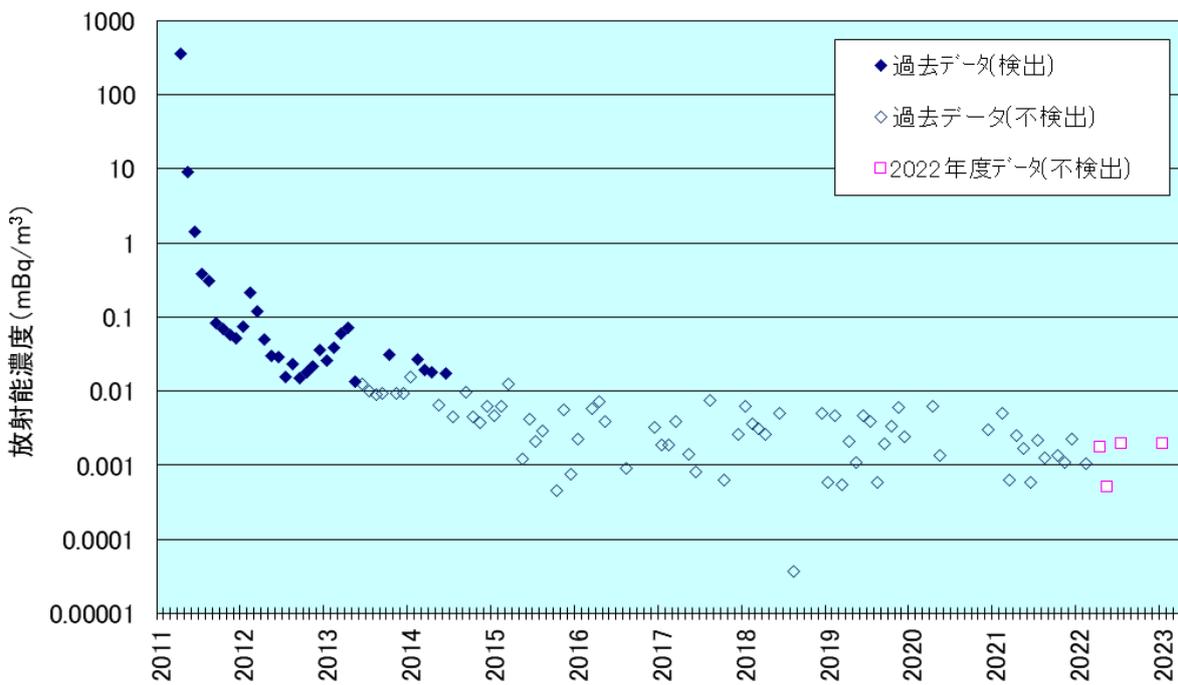


図2-2-2 大気浮遊じん中の¹³⁴Cs濃度

注) ¹³⁴Cs 濃度の結果は不検出のものを含むが、値がマイナスのものは表記していない

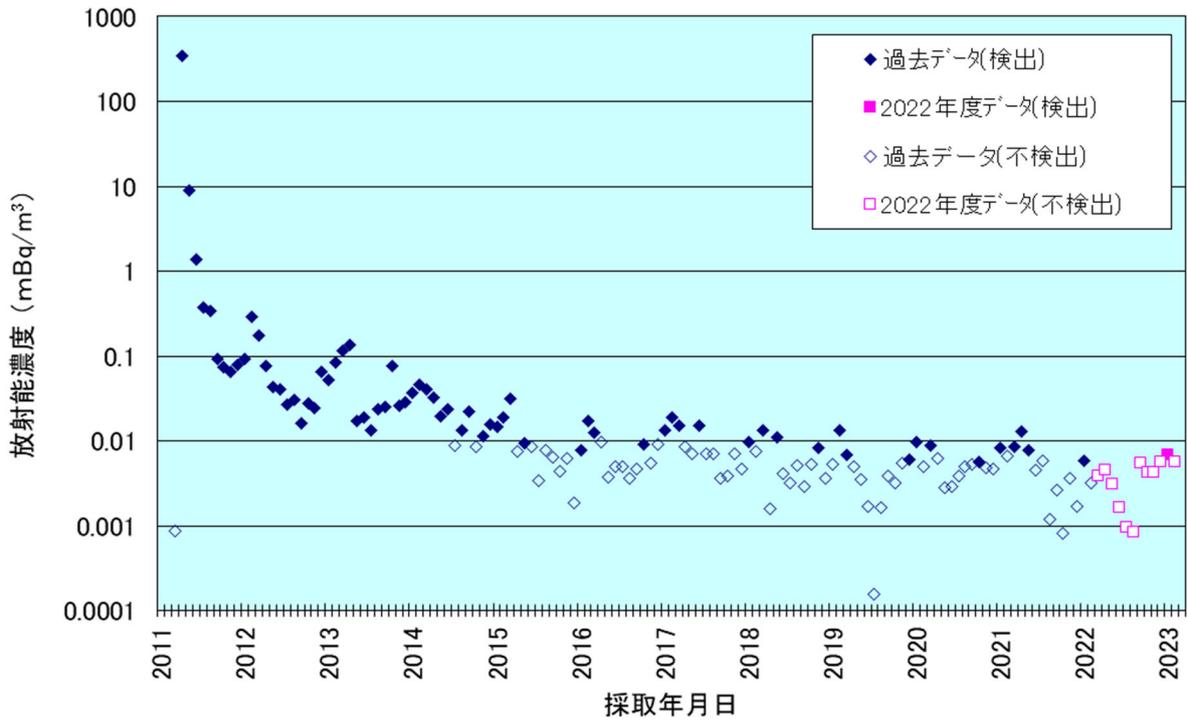


図2-2-3 大気浮遊じん中の¹³⁷Cs濃度

注) ¹³⁷Cs 濃度の結果は不検出のものを含む

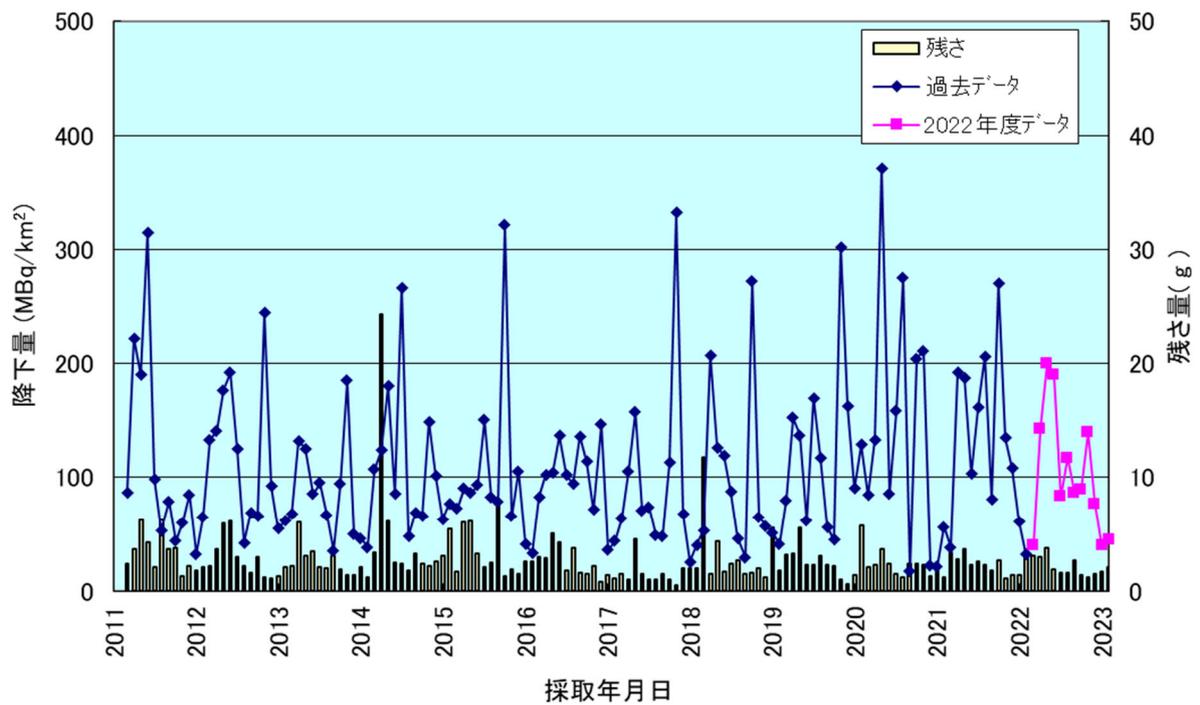


図2-2-4 降下物中の⁷Be降下量

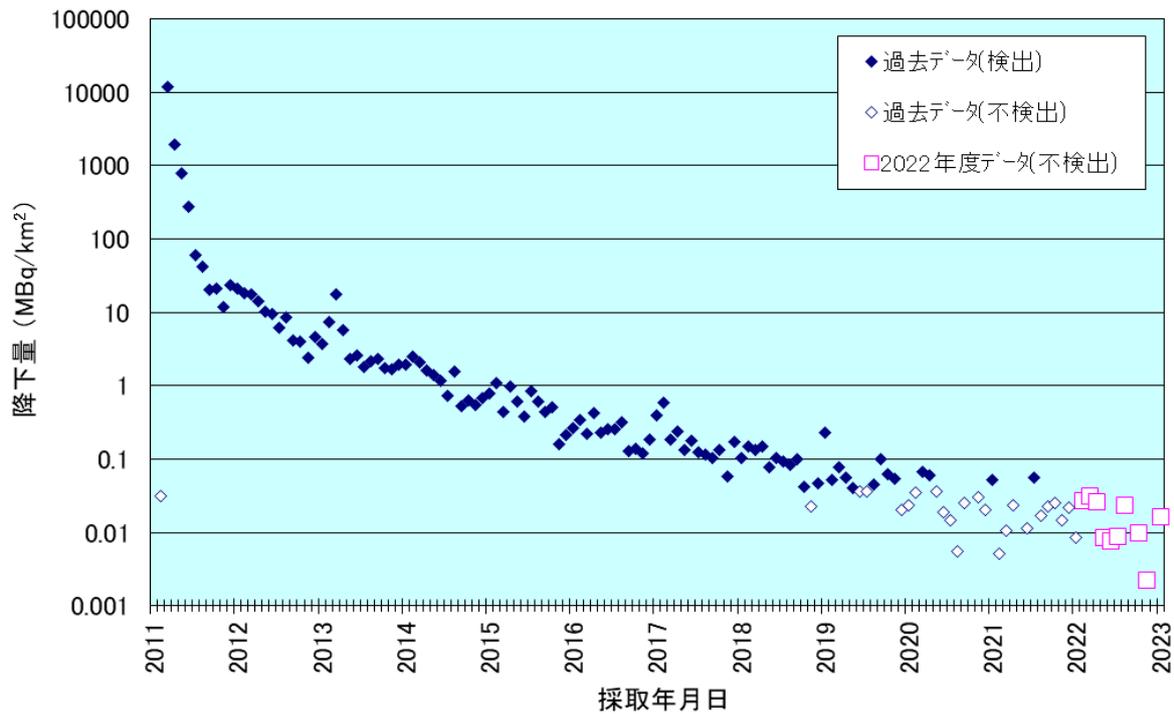


図2-2-5 降下物中の¹³⁴Cs降下量

注) ¹³⁴Cs 濃度の結果は不検出のものを含むが、値がマイナスのものは表記していない

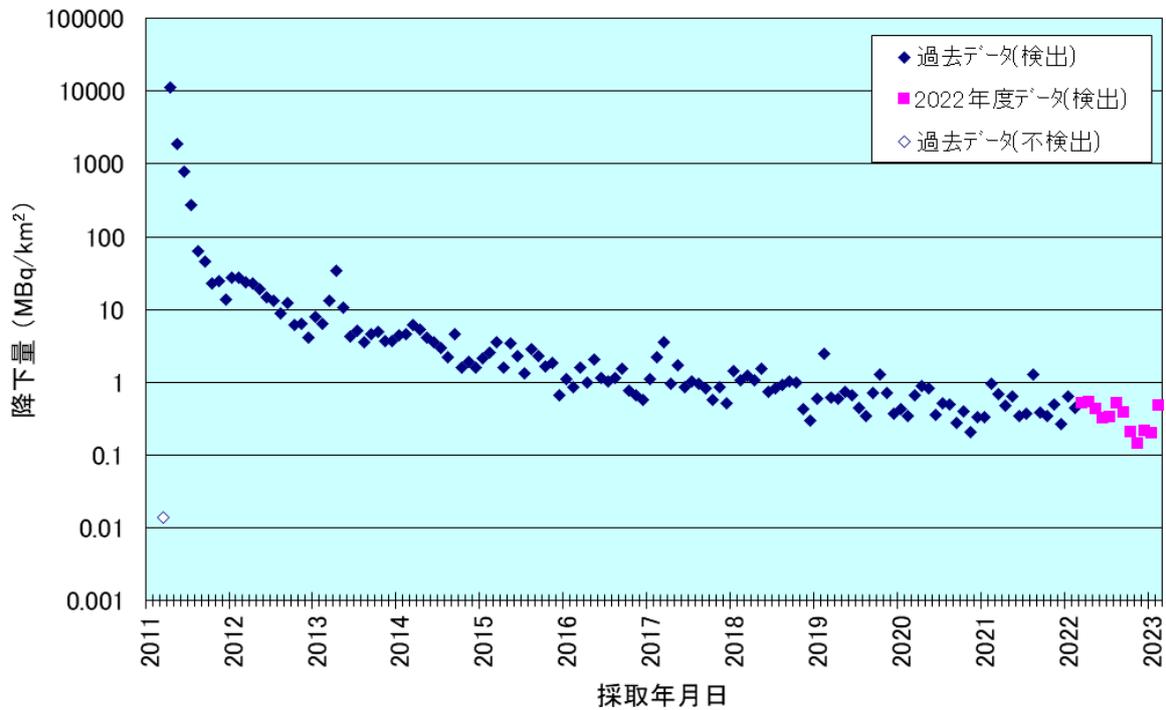


図2-2-6 降下物中の¹³⁷Cs降下量

注) ¹³⁷Cs 濃度の結果は不検出のものを含む

2.2.2 大気浮遊じんの高感度分析

(1) 概要

大容量エアサンプラ（SNOW WHITE）を用いて、分析センター内において、週毎に大気浮遊じんを採取し、ゲルマニウム半導体検出器による高感度分析を実施した。

(2) 試料の採取

大容量エアサンプラ（SENYA 製 SNOW WHITE ; 図 2-2-7 参照）にガラス繊維ろ紙（570 mm × 460 mm）を装着して、680 m³/h の流量で約 3.5 日間（約 57000 m³）の大気を連続吸引し、大気浮遊じんをろ紙上に捕集した（図 2-2-8 参照）。捕集後のろ紙は専用のプレス機（図 2-2-9 参照）で成型して、プラスチック製測定容器（U8）に入れ測定試料とした。

なお、¹³⁴Cs（半減期 2.065 年）の減衰により徐々に不検出となる試料が増えたため、2017 年 4 月 10 日採取分よりろ紙を 2 期間分の 2 枚（約 7 日間の大気）重ねて成型し、測定試料とした。



図 2-2-7 大容量エアサンプラ

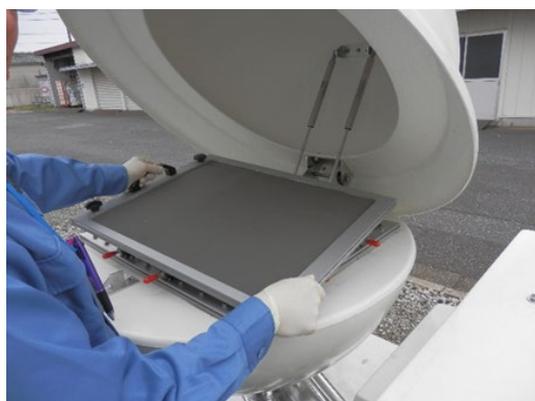


図 2-2-8 捕集後の大気浮遊じん



図 2-2-9 測定試料成型用のプレス機

(3) 試料の測定

試料の測定については、放射能測定法シリーズ 7「ゲルマニウム半導体検出器による γ 線スペクトロメトリー」(令和 2 年改訂) に準じて、ガンマ線スペクトロメトリーを行い、核種ごとに放射能濃度を算出した。

なお、測定前に試料を 1 週間以上保管して、 ^{222}Rn からの壊変生成物等の減衰を待つてから測定を行った。測定時間は 160000 秒間以上 (2019 年 4 月 8 日採取分までは 70,000 秒間以上) とし、核データは原則として Evaluated Nuclear Structure Data File, NNDC, Brookhaven (2019 年 8 月) (<https://www.nndc.bnl.gov/ensdf/>) に従った。

(4) 結果と考察

大気浮遊じん中の ^7Be 、 ^{134}Cs 及び ^{137}Cs の分析結果 (最小値及び最大値) を表 2-2-3 に、経時変化を図 2-2-10、図 2-2-11 及び図 2-2-12 に示す。

表 2-2-3 大容量エアサンプラによる調査結果

単位: $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ (^7Be は mBq/m^3)

核種	濃度範囲	2017~2021 年度	2022 年度 (2022 年 1 月 31 日~2023 年 1 月 30 日)
^7Be	最小値~最大値	0.72 ~ 9.8	1.4 ~ 7.5
^{134}Cs		ND ~ 4.7	ND ~ 0.33
^{137}Cs		0.93 ~ 29	0.96 ~ 11

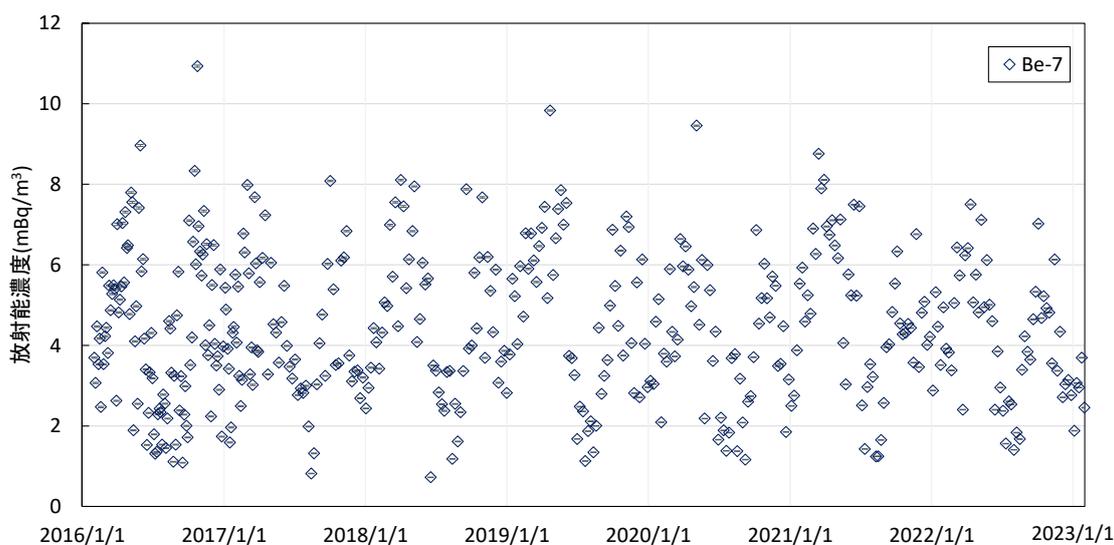


図 2-2-10 大気浮遊じん中の ^7Be 濃度

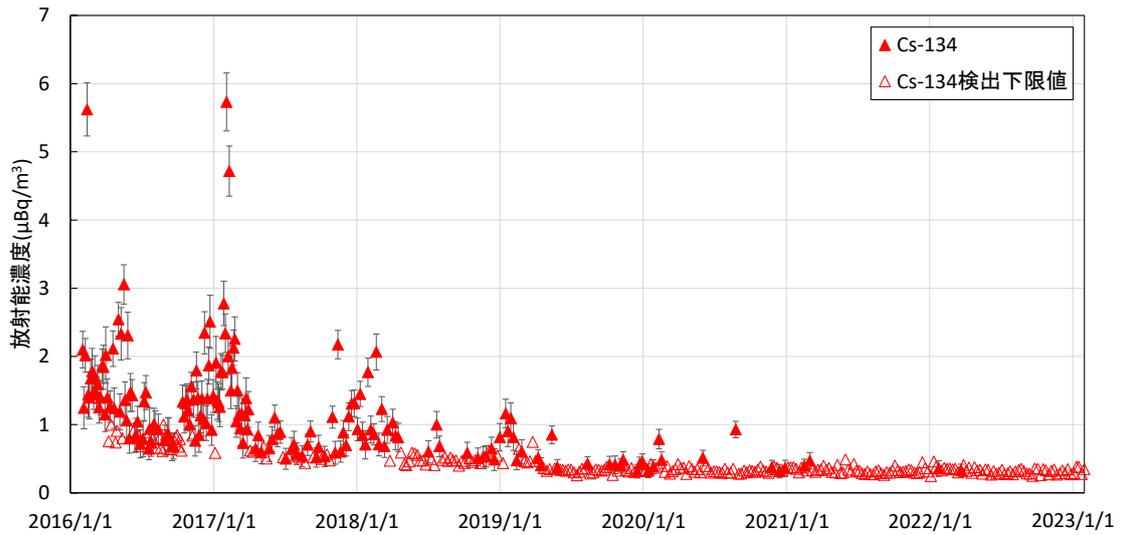


図 2-2-11 大気浮遊じん中の ^{134}Cs 濃度

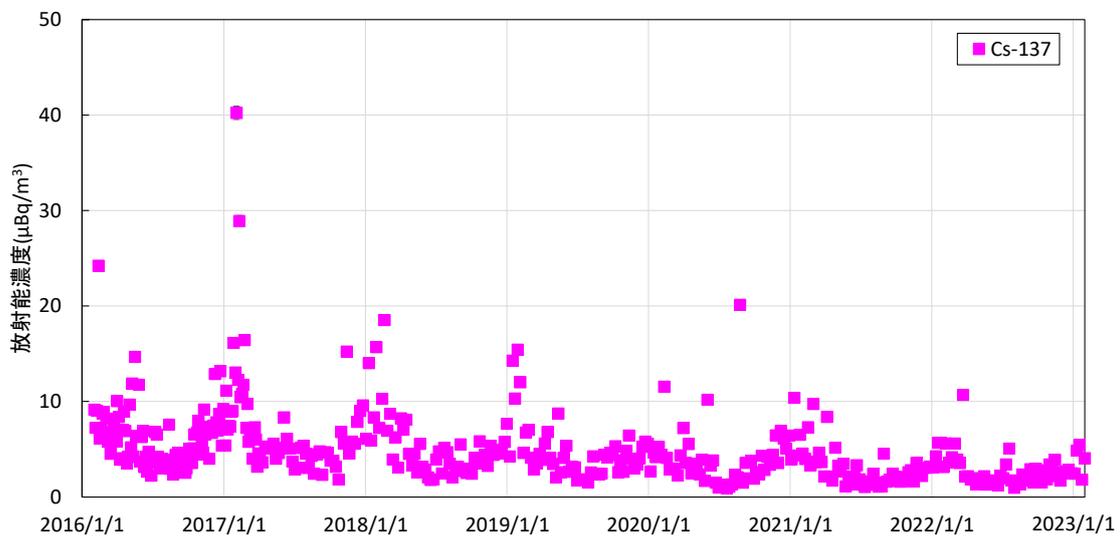


図 2-2-12 大気浮遊じん中の ^{137}Cs 濃度

大容量エアサンプラによる大気浮遊じん中の ^7Be 濃度は、 $1.4\sim 7.5\text{ mBq/m}^3$ 、 ^{134}Cs 濃度は $\text{ND}\sim 0.33\text{ }\mu\text{Bq/m}^3$ 、 ^{137}Cs 濃度は $0.96\sim 11\text{ }\mu\text{Bq/m}^3$ であった。

表 2-2-1 に示した大気浮遊じん（ロウポリウム・エアサンプラ）の調査結果と比較すると、ほぼ同程度の調査結果であったが、捕集期間が 1 週間と時間分解能に優れているため、短期的な変動を把握することが可能となり、結果として濃度の変動幅が広がっている。図 2-2-2 及び図 2-2-3 に示した調査結果は、 ^{134}Cs が 2014 年 6 月以降不検出、 ^{137}Cs も 2022 年度の大半の試料が不検出であったが、大容量エアサンプラによる調査結果は、従来の大気浮遊じんの方法と比較して、大気導入量が約 40 倍程度大きいことにより検出下限値が 10 分の 1 程度となった。このため、 ^{134}Cs が一部の試料から検出され、 ^{137}Cs は全ての試料から検出された。

2.2.3 粉乳

(1) 概要

市販されている粉乳（ドライミルク）及び脱脂粉乳（スキムミルク）を年2回、12試料購入し、ゲルマニウム半導体検出器を用いてガンマ線スペクトロメトリーを行った。

(2) 試料の内訳

ドライミルク・・・A社、B社、C社、D社

スキムミルク・・・B社、D社

(3) 結果と考察

測定結果を表2-2-4に示す。

表 2-2-4 粉乳の測定結果

単位：Bq/kg

		2017年度～2021年度	2022年度分析分
ドライミルク	^{134}Cs	ND	ND
	^{137}Cs	ND ～ 0.12	ND ～ 0.11
	^{40}K	140 ～ 240	140 ～ 260
スキムミルク	^{134}Cs	ND	ND
	^{137}Cs	0.35 ～ 1.4	0.45 ～ 1.1
	^{40}K	410 ～ 540	490 ～ 500

2022年度に購入したドライミルク及びスキムミルクの ^{137}Cs 及び ^{40}K 濃度は2017年度～2021年度に購入した同一製品の測定結果と同程度であった。 ^{134}Cs は、全ての試料で不検出であった。

2.3 トリチウム分析

2.3.1 月間降水中のトリチウム分析

(1) 概要

国内4か所（青森県、福島県、千葉県及び京都府）に設置した降水採取装置を用いて、放射能測定法シリーズ16「環境試料採取法」（昭和58年）に準じて1ヶ月毎に降水を採取した。採取場所の詳細を表2-3-1に示す。

分析は、放射能測定法シリーズ9「トリチウム分析法」（平成14年改訂）の電解濃縮法に準じて行った。採取した試料を分取し、過マンガン酸カリウム及び過酸化ナトリウムを添加して蒸留を行った。留出液を分取し、過酸化ナトリウムを加えた後、電解セルに入れ電気分解した。電気分解終了後、再び蒸留を行い、留出液と乳化シンチレータを混合し、低バックグラウンド液体シンチレーションカウンタによりトリチウム濃度を定量した。

採取した試料が少ない場合（0.6 L以下）は、過マンガン酸カリウム及び過酸化ナトリウムを添加して蒸留を行い、留出液と乳化シンチレータを混合し、低バックグラウンド液体シンチレーションカウンタによりトリチウム濃度を定量した。

表 2-3-1 月間降水の採取場所

場所	機関	採取器直径 [mm]
青森県 むつ市	日本分析センター むつ分析科学研究所	213
福島県 福島市	福島県環境創造センター 福島支所	213
千葉県 千葉市	日本分析センター 千葉本部	200
京都府 京都市	京都府保健環境研究所	213

(2) 結果と考察

2022年2月から2023年1月における月間降水中のトリチウム分析結果を表2-3-2に示す。

むつ市の月間降水中のトリチウム濃度及び降下量を図2-3-1に、福島市の月間降水中のトリチウム濃度及び降下量を図2-3-2に、千葉市の月間降水中のトリチウム濃度及び降下量を図2-3-3に、京都市の月間降水中のトリチウム濃度及び降下量を図2-3-4に示す。

表 2-3-2 月間降水中のトリチウム分析結果

調査地点	放射能濃度 (Bq/L)	過去5年間の 放射能濃度* (Bq/L)	月間降下量** (Bq/m ²)	過去5年間の 月間降下量 (Bq/m ²)
むつ市	0.14 - 1.2	0.22 - 1.2	9.3 - 220	6.5 - 130
福島市	0.15 - 0.72	0.081 - 1.0	12 - 100	3.6 - 160
千葉市	0.12 - 0.69	0.097 - 0.68	8.7 - 82	3.4 - 140
京都市	0.14 - 0.58	0.14 - 0.76	6.1 - 49	6.6 - 110

* 京都市については50ヵ月分

** 単位面積当たりのトリチウム量

京都市 2022年2月分及び12月分は蒸留法で分析

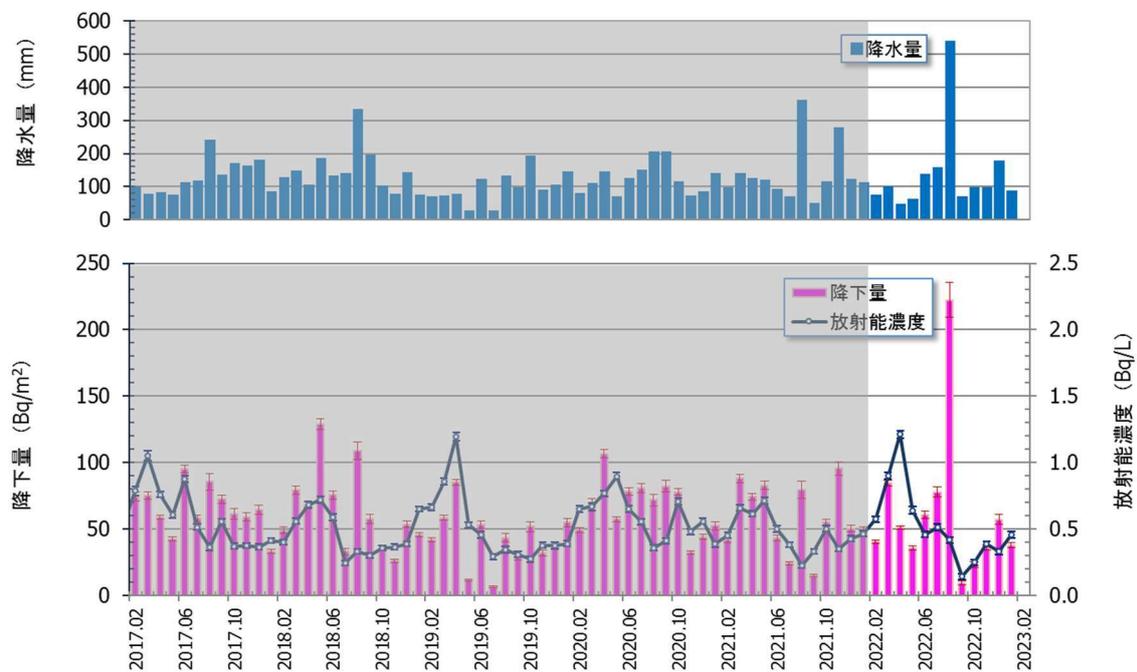


図 2-3-1 月間降水中のトリチウム濃度及び降下量（むつ市）

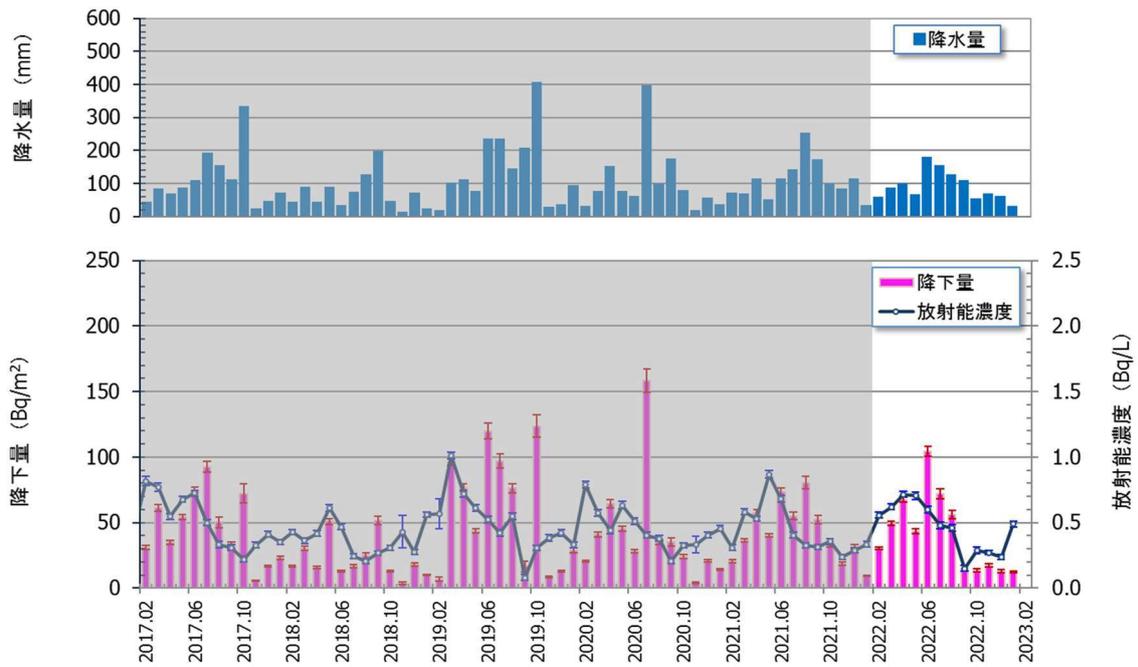


図 2-3-2 月間降水中のトリチウム濃度及び降下量（福島市）

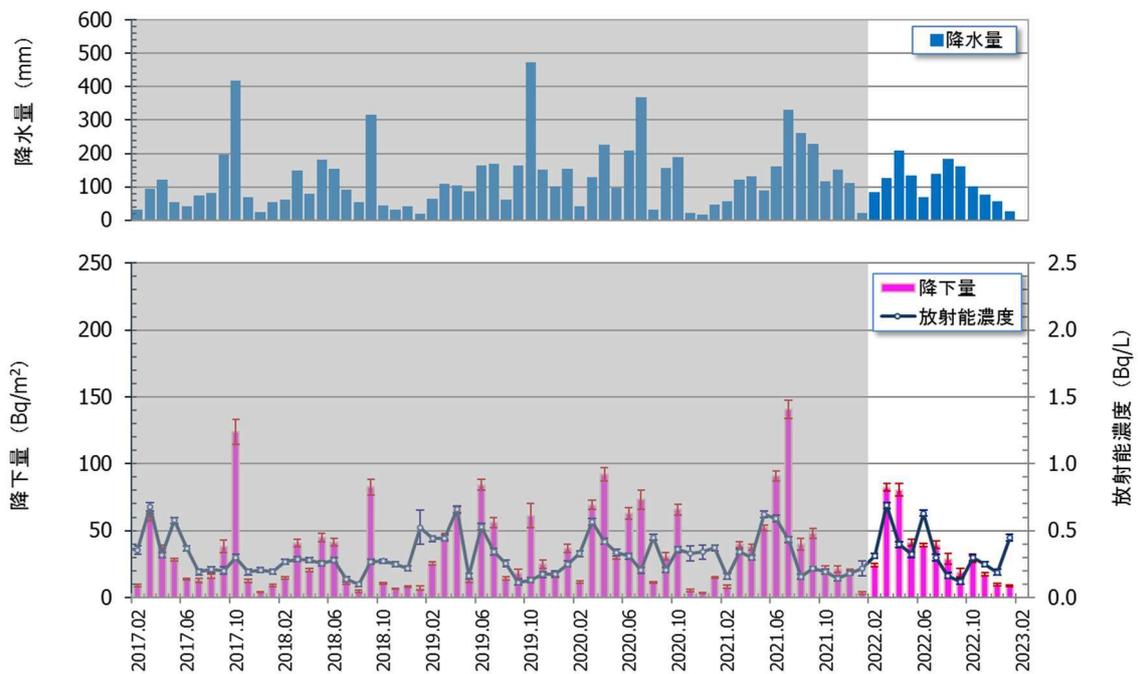


図 2-3-3 月間降水中のトリチウム濃度及び降下量（千葉市）

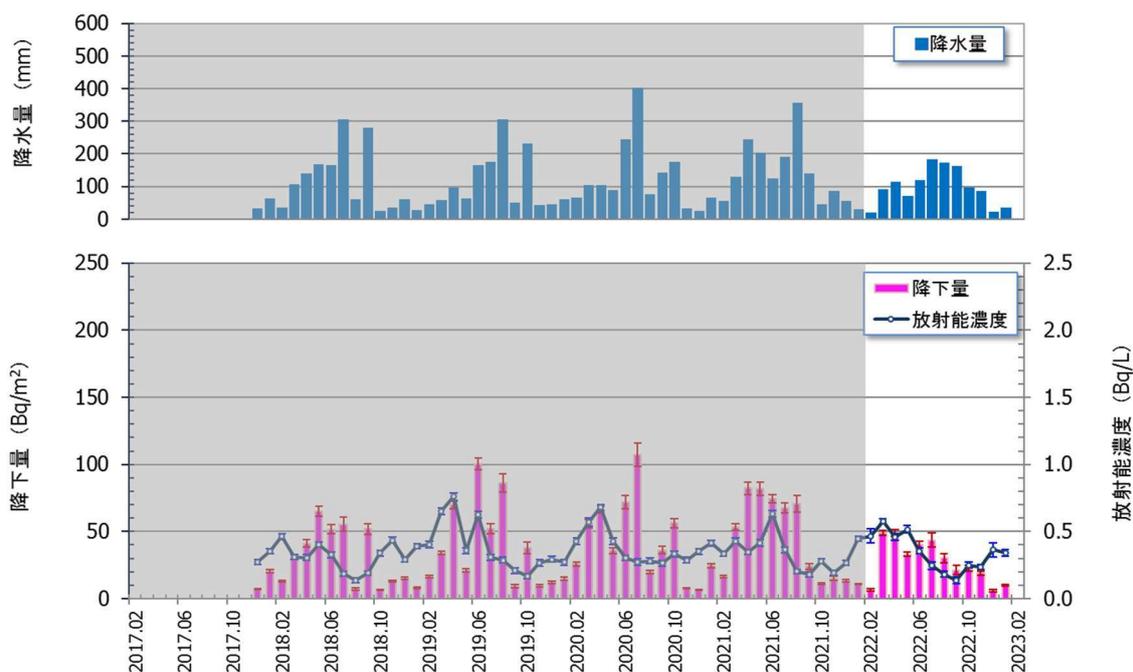


図 2-3-4 月間降水中のトリチウム濃度及び降下量（京都市）

トリチウム放射能濃度については、すべて過去 5 年の範囲と同程度であった。また、月間降下量については、福島市、千葉市及び京都市では過去 5 年の範囲内であったが、むつ市は 2022 年 8 月分で過去 5 年の範囲を超過した（表 2-3-2 参照）。超過した要因の一つとして、当該月の採水量が本調査期間のその他の月に比べて多いことが考えられた（表 2-3-3 参照）。

表 2-3-3 むつ市の降水中のトリチウム放射能濃度と降下量

むつ市				
月間降水	採水期間	採水量 (L)	放射能濃度 (Bq/L)	月間降下量 (Bq/m ²)
2022 年 8 月分	2022/8/1 - 2022/9/1	18.98	0.42 ± 0.024	220 ± 13
その他の月*	—	1.50 ~ 6.16	0.14 ~ 1.2	9.3 ~ 85

今後もデータを蓄積して傾向等を注視していく必要がある。

トリチウムは原子力施設などからの放出に加え、宇宙線により生成する天然の放射性核種であり、同じく宇宙線で生成する Be-7 と相関があると考えられる。千葉市における 2017 年度から 2022 年度の Be-7 降下量とトリチウム降下量の

変動傾向は良く一致しており（図 2-3-5）、Be-7 降下量とトリチウム降下量は良い相関を示した（図 2-3-6）。

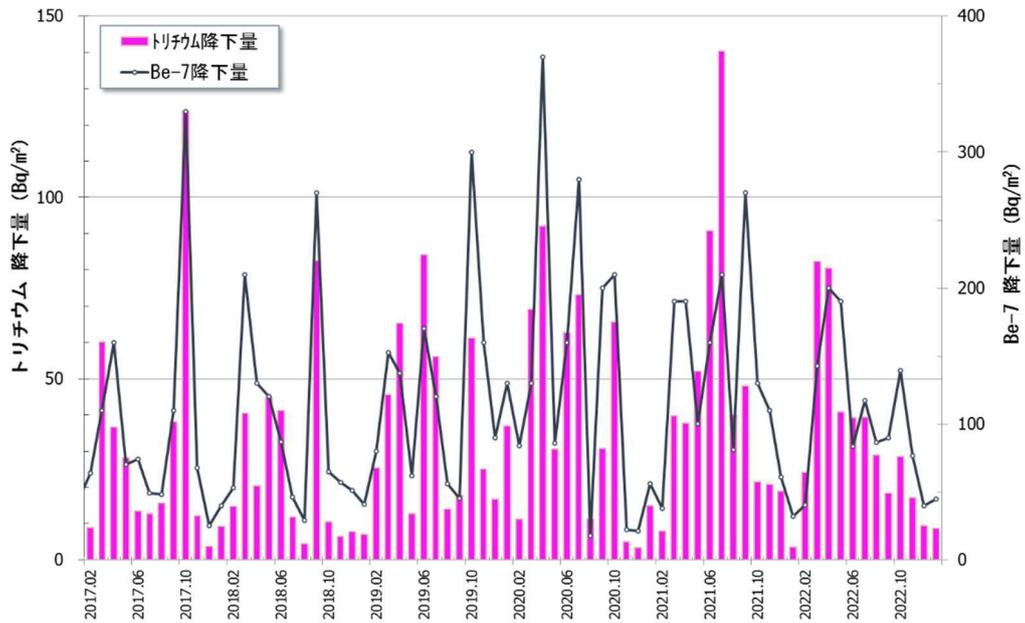


図 2-3-5 千葉市における降水中の Be-7 及びトリチウム降下量の経時変化

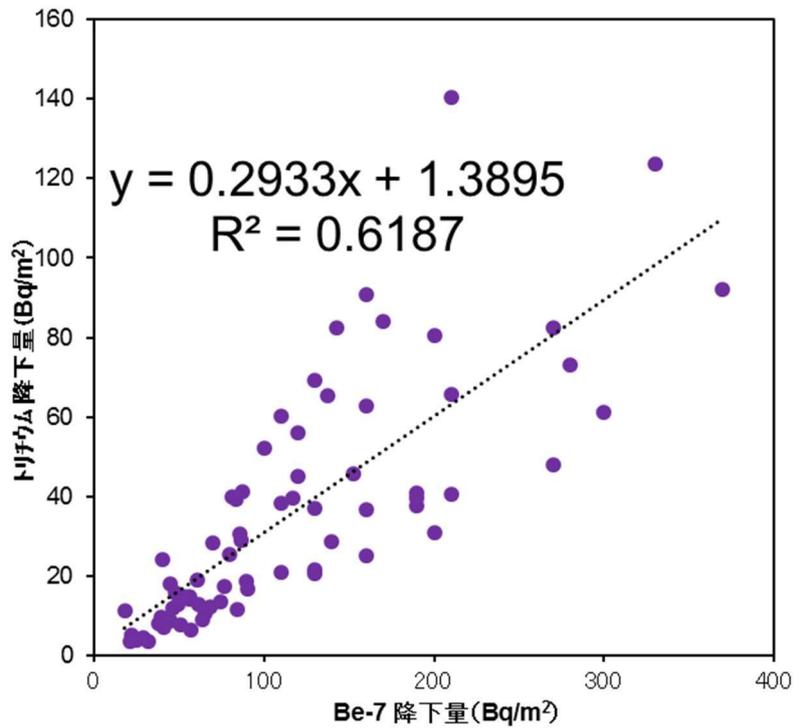


図 2-3-6 千葉市における降水中の Be-7 とトリチウム降下量の相関

2.3.2 生物試料中のトリチウム分析

(1) 概要

国内3地域（北海道、秋田県及び千葉県）において、海藻、野菜及び精米をそれぞれ1試料ずつ採取し、組織自由水（TFWT）及び非交換型有機結合型トリチウム（NEOBT）について分析を行った。有機結合型トリチウムのうち、非交換型は交換型に比べると体内に摂取されてからの生物学的代謝速度が遅く、線量への寄与が大きいため、線量評価上で重要である。

採取した試料を凍結乾燥し、組織自由水と乾物（有機結合型トリチウム）に分けた。乾物を粉碎後によく混合し、無トリチウム水を加え、凍結乾燥を繰り返して交換されやすい交換型トリチウムを除き、非交換型の有機結合型トリチウムの試料とした。非交換型有機結合型トリチウム試料は燃焼して燃焼生成水を回収し、還流及び蒸留を行った。蒸留後の留出液と乳化シンチレータを混合し、低バックグラウンド液体シンチレーションカウンタによりトリチウム濃度を定量した。組織自由水は還流及び蒸留を行った後、同様に低バックグラウンド液体シンチレーションカウンタにより定量した。なお、測定は最大3000分間行い、定量結果を得るための長時間測定を実施した。

(2) 結果と考察

2022年度に実施した調査結果を表2-3-4に示す。海藻、キャベツ及び精米中のトリチウム濃度の経年図を図2-3-7、図2-3-8及び図2-3-9に示す。海藻のTFWTは不検出～0.19 Bq/L、キャベツ及び精米のTFWTは0.21～0.42 Bq/Lであり、過去の調査結果の範囲内であった。海藻のNEOBTは不検出、キャベツ及び精米のNEOBTは不検出～0.41 Bq/Lであり、過去の調査結果の範囲内であった。

なお、NEOBTはTFWTと同程度の濃度であり、NEOBT/TFWT比は最大で 1.2 ± 0.36 であることから、特別なトリチウムの生物濃縮は起こっていないと考えられた。

表 2-3-4 生物試料中のトリチウム分析結果

(Bq/L)

試料名	採取地点	TFWT	NEOBT	NEOBT/TFWT
コンプ	北海道 (余市町)	0.19 ± 0.051	< 0.2	——
アカモク	秋田 (男鹿市)	0.17 ± 0.047	< 0.2	——
アラメ	千葉 (御宿町)	< 0.2	< 0.3	——
キャベツ	北海道 (恵庭市)	0.36 ± 0.082	0.32 ± 0.080	0.89 ± 0.30
	秋田 (秋田市)	0.40 ± 0.082	0.19 ± 0.056	0.47 ± 0.17
	千葉 (千葉市)	0.33 ± 0.054	0.41 ± 0.096	1.2 ± 0.36
精米	北海道 (石狩市)	0.42 ± 0.083	0.35 ± 0.058	0.84 ± 0.22
	秋田 (秋田市)	0.39 ± 0.058	0.21 ± 0.056	0.55 ± 0.17
	千葉 (千葉市)	0.21 ± 0.046	< 0.2	——

注) 測定値が計数誤差の3倍を超えたもののみ示し、3倍以下のものは検出下限値を示す。

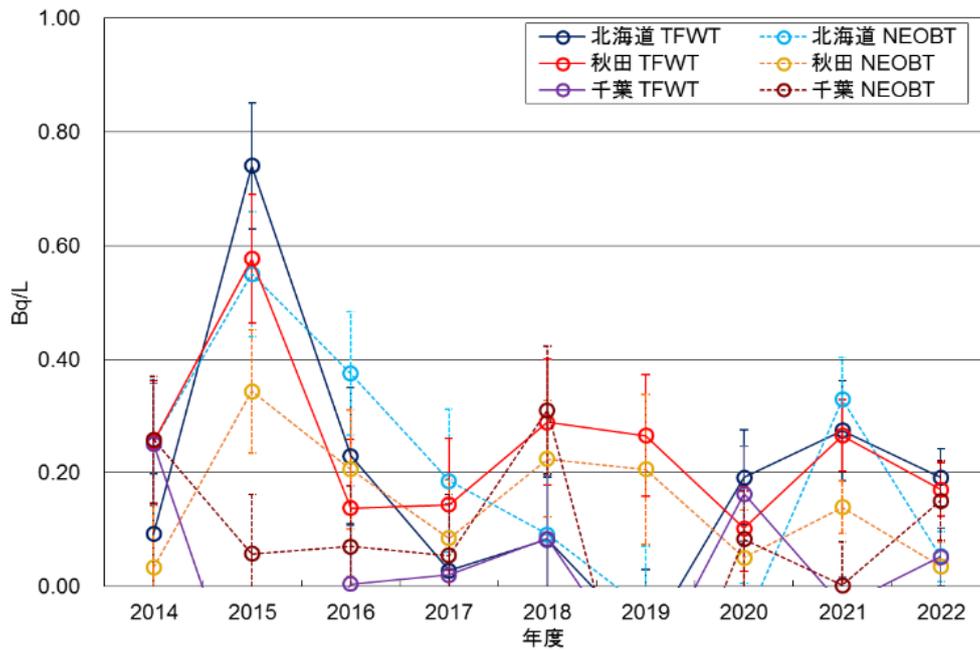


図 2-3-7 トリチウム濃度 (海藻)

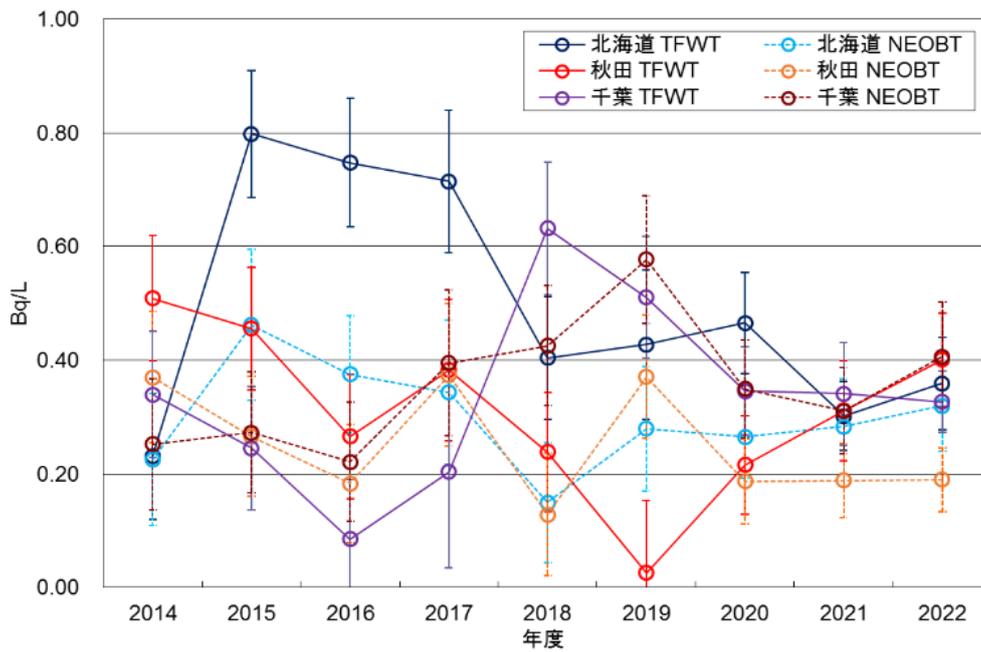


図 2-3-8 トリチウム濃度 (キャベツ)

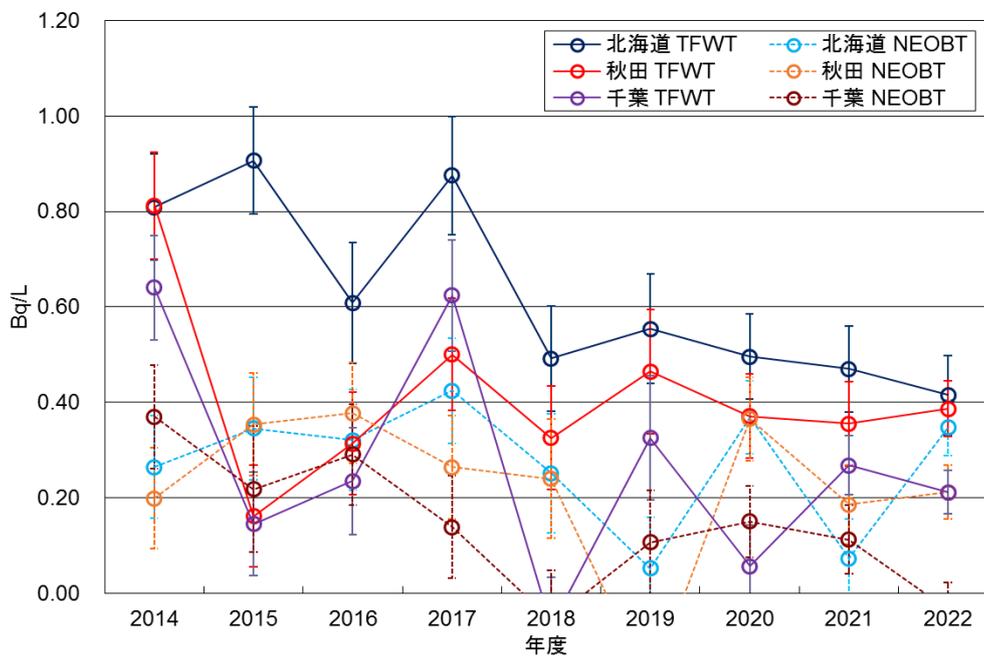


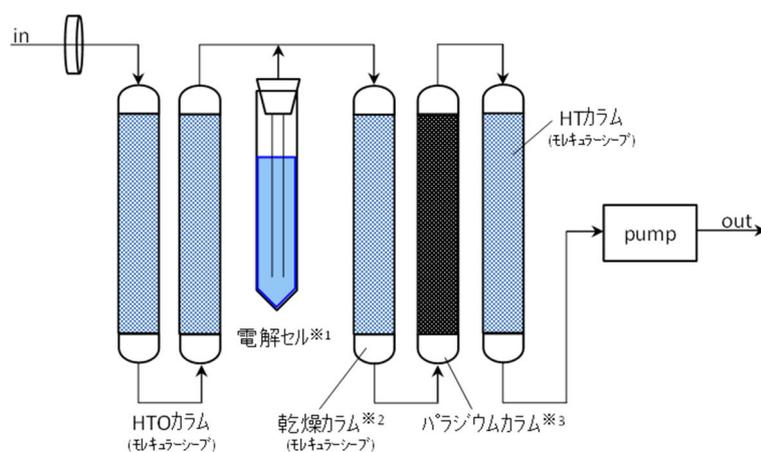
図 2-3-9 トリチウム濃度 (精米)

2.3.3 大気中トリチウム分析

(1) 概要

千葉市において、大気中の水蒸気状トリチウム (HTO) 及び水素ガス状トリチウム (HT) について分析を行った。環境中での循環を考慮する上で、大気中の HTO 及び HT 濃度を把握することは有効であり、トリチウムに対する懸念を払しょくする客観的データを取得することができる。

分析は、放射能測定法シリーズ9「トリチウム分析法」(平成14年改訂)の「モレキュラーシーブを用いる方法」に準じて行った。大気中トリチウム採取装置(図2-3-10)を用いて、流量1 L/分で1週間程度(もしくは流量0.5 L/分で2週間程度)継続して HTO 及び HT (パラジウムカラムで HT から HTO に変換) を採取した後、HTO については HTO カラムを焼き出し、カラムに吸着した水分を回収した。また、HT については HT カラムとパラジウムカラムを焼き出し、カラムに吸着した水分を回収した。回収した水分に過マンガン酸カリウム及び過酸化ナトリウムを添加して蒸留を行い、留出液と乳化シンチレータを混合し、低バックグラウンド液体シンチレーションカウンタによりトリチウム濃度を定量した。なお、測定は最大3000分間行い、定量結果を得るための長時間測定を実施した。



- ※1 無トリチウム水の電気分解により、 H_2 ガスをキャリアとして添加
- ※2 後段のHT捕集のため、湿分を除去して乾燥空気にする。
- ※3 パラジウム(酸化触媒)により、HT→HTOに変換

図 2-3-10 大気中トリチウム採取装置と概略図

(2) 結果と考察

2022年度に実施した調査結果を表2-3-5及び表2-3-6に示す。

HTOのトリチウム濃度及び平均絶対湿度を図2-3-11に、HTのトリチウム濃度を図2-3-12に示す。

HTOの濃度範囲はND~7.1 mBq/m³と過去5年における国内の大気中トリチウム濃度(表2-3-7)の範囲内であり、HTの濃度範囲は1.9~11 mBq/m³であった。

HTO/HT 比は 0.18～1.7 であった。

今後もデータを蓄積して大気中トリチウム濃度と絶対湿度や降水量との関係、季節変動等の傾向を注視していく。

表 2-3-5 大気中のトリチウム分析結果 (Bq/L)

採取期間	試料数	HTO 濃度 (Bq/L)	HT 濃度 (Bq/L)
2021/10/12 ~ 2022/01/18	6* ¹	<0.4 ~ 0.50	0.69 ~ 1.6
2022/01/25 ~ 2022/03/22	4* ²	<0.6 ~ 0.72	1.0 ~ 1.6
2022/03/29 ~ 2023/01/31	38* ³	<0.2 ~ 1.5	0.33 ~ 1.6

注) 測定値が計数誤差の 3 倍を超えたもののみ示し、3 倍以下のものは検出下限値を示す。

*1: 検討期間内断続的に採取 (前年度報告分)

*2: 検討期間内断続的に採取

*3: 今年度連続採取

表 2-3-6 大気中のトリチウム分析結果 (mBq/m³)

採取期間	試料数	HTO 濃度 (mBq/m ³)	HT 濃度 (mBq/m ³)	HTO/HT
2021/10/12 ~ 2022/01/18	6* ¹	<1.6 ~ 5.1	4.1 ~ 11	0.42±0.15 ~ 0.45±0.15
2022/01/25 ~ 2022/03/22	4* ²	<2.3 ~ 4.7	6.1 ~ 10	0.31±0.086 ~ 0.46±0.098
2022/03/29 ~ 2023/01/31	38* ³	<0.7 ~ 7.1	1.9 ~ 11	0.18±0.060 ~ 1.7±0.51

注) 測定値が計数誤差の 3 倍を超えたもののみ示し、3 倍以下のものは検出下限値を示す。

*1: 検討期間内断続的に採取 (前年度報告分)

*2: 検討期間内断続的に採取

*3: 今年度連続採取

表 2-3-7 2017 年 4 月～2022 年 3 月における国内の大気中トリチウム濃度*

(mBq/m³)

採取地点	青森県 (青森市、 六ヶ所村、 横浜町)	福島県 (福島市、 大熊町、双葉町、 楢葉町、富岡町)	新潟県 (新潟市、 刈谷村)	静岡県 (静岡市、 御前崎市)	京都府 (舞鶴市)	島根県 (松江市)
濃度範囲	ND	ND - 70	ND - 15	ND - 15	ND - 3.4	ND - 10

*環境放射線データベース (<https://www.kankyo-hoshano.go.jp/data/database/>) より

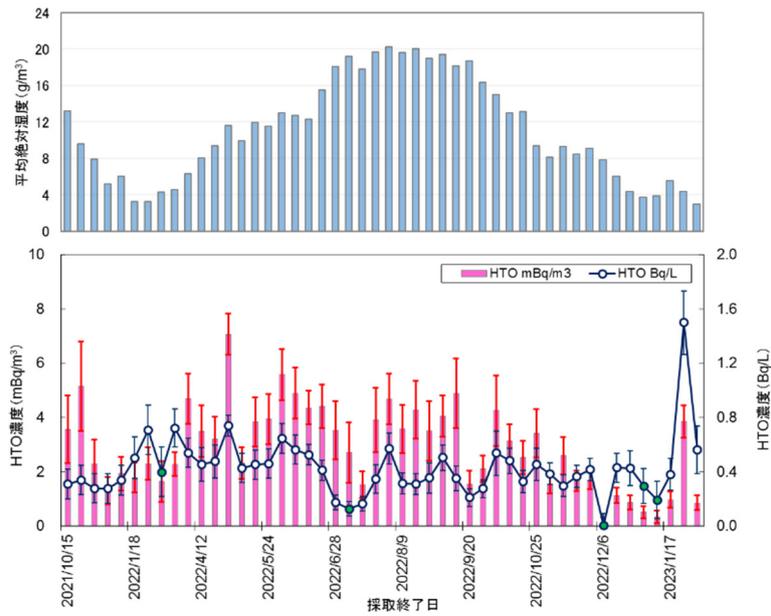


図 2-3-11 HTO のトリチウム濃度及び平均絶対湿度

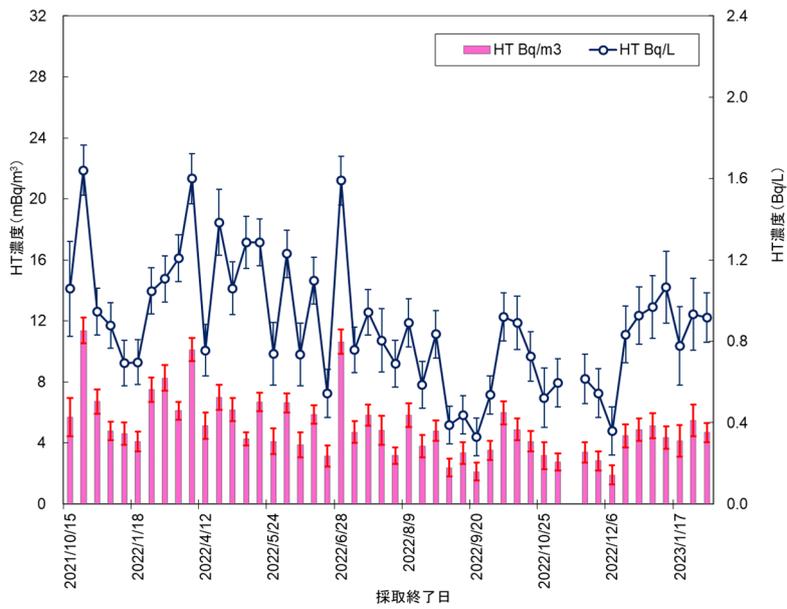


図 2-3-12 HT のトリチウム濃度

2.3.4 海水試料中のトリチウム分析の検討

(1) 概要

大気上層で生成したトリチウムは主に降水として地上に降り、直接もしくは河川等を経て海に流れ込み、海洋表層から蒸発した海水は上記を経て再び海に戻るという循環を繰り返しており、トリチウムの環境移行（特に海産生物）を考える上で海水試料のデータは有用である。また、2023年にはALPS処理水の海洋放出が計画されており、海水中のトリチウムレベルは国内外から注目を集めているが、全国的な放射能水準調査の計画はない。そこで、検討として海水におけるトリチウムの採取、分析、測定を実施した。

国内3か所（北海道、秋田県及び千葉県）において、放射能測定法シリーズ16「環境試料採取法」（昭和58年）に準じて夏季と冬季に海水を採取した。採取場所の詳細を表2-3-8に示す。

分析は、放射能測定法シリーズ9「トリチウム分析法」（平成14年改訂）の電解濃縮法に準じて行った。採取した試料を分取し、過マンガン酸カリウム及び過酸化ナトリウムを添加して蒸留を行った。留出液を分取し、過酸化ナトリウムを加えた後、電解セルに入れ電気分解した。電気分解終了後、再び蒸留を行い、留出液と乳化シンチレータを混合し、低バックグラウンド液体シンチレーションカウンタによりトリチウム濃度を定量した。

表 2-3-8 海水の採取場所及び採取時期

採取場所	採取時期
北海道 余市郡余市町	2022/8/23、2022/11/29
秋田県 男鹿市	2022/8/23、2022/11/29
千葉県 夷隅郡御宿町	2022/8/3、2022/11/22

(2) 結果と考察

2022年度に実施した検討結果を表2-3-9に示す。

北海道のトリチウム濃度は0.15～0.16 Bq/L、秋田県のトリチウム濃度は0.18～0.22 Bq/L及び千葉県のトリチウム濃度は0.054～0.095 Bq/Lであった。いずれもバックグラウンドレベルと同等であった。

今後はデータを蓄積していき、濃度レベルや傾向等を注視していく。

表 2-3-9 海水中のトリチウム分析結果

調査地点	採取日	放射能濃度 (Bq/L)
北海道 余市郡余市町	2022/8/23	0.15 ± 0.015
	2022/11/29	0.16 ± 0.018
秋田県 男鹿市	2022/8/23	0.22 ± 0.014
	2022/11/29	0.18 ± 0.018
千葉県 夷隅郡御宿町	2022/8/3	0.095 ± 0.014
	2022/11/22	0.054 ± 0.012

2.4 ストロンチウム 90 分析

(1) 概要

2021 年度に自治体の環境センター等が採取し、所定の前処理を施した後に分析センターが送付を受けた環境試料（大気浮遊じん、降下物、陸水、土壌、海水、海底土及び各種食品試料）及び分析センターが採取した大気浮遊じん、降下物試料並びに分析センターが購入した粉乳試料の ^{90}Sr の分析結果を以下にまとめた。また、2022 年度に分析した環境試料（2022 年度に採取または受領した試料の一部）の結果は、参考資料に記載した。

1) 分析対象試料

大気浮遊じん、降下物、陸水、土壌、精米、野菜類、茶、牛乳、粉乳、淡水産生物、海水、海底土及び海産生物

2) 分析方法

放射能測定法シリーズ 2「放射性ストロンチウム分析法」（平成 15 年改訂）に準じた方法で行った。

(2) 結果と考察

各種試料中の ^{90}Sr 放射能濃度の平均値*及び最小、最大値を以下に示す。

なお、n は参考データを除いた分析試料数である。また、試料別に今年度の調査結果及び 2016 年度以降の調査結果について平均値を算出し、図 2-4-1 に示す。

1) 大気浮遊じん

自治体で四半期毎に採取した試料及び分析センターで月 1 回採取した試料
 ^{90}Sr : <0.0082 (ND) mBq/m³ n=200

2) 降下物

自治体及び分析センターにおける月間降下物
 ^{90}Sr : <0.069 (ND) MBq/km² n=573

3) 陸水

自治体で年 1 回採取した上水（源水、蛇口水）及び淡水

上水

^{90}Sr : 0.70 (ND ~ 1.5) mBq/L n= 57

淡水

^{90}Sr : 0.94 (ND ~ 2.2) mBq/L n= 10

* ^{90}Sr 放射能濃度が ND（不検出）の場合、検出下限値を用いて算出した。なお、全て ND の場合は検出下限値の最大値を示した。

- 4) 土 壤
自治体で年 1~2 回採取した試料 (深さ 0~5 cm、5~20 cm の 2 種類)
- 0 ~ 5 cm
 ^{90}Sr : 31 (ND ~ 150) MBq/km² n= 49
 1.0 (ND ~ 8.4) Bq/kg 乾土
- 5 ~20 cm
 ^{90}Sr : 75 (ND ~ 350) MBq/km² n= 49
 0.76 (ND ~ 4.4) Bq/kg 乾土
- 5) 精 米
自治体で年 1 回採取した試料
 ^{90}Sr : <0.026 (ND) Bq/kg 生 n= 31
 <0.75 (ND) Bq/gCa
- 6) 野 菜 類
自治体で年 1~2 回採取した試料 (根菜類、葉菜類)
- 根菜類 (主にダイコン)
 ^{90}Sr : 0.038 (ND ~ 0.14) Bq/kg 生 n= 40
 0.20 (ND ~ 0.40) Bq/gCa
- 葉菜類 (主にホウレンソウ)
 ^{90}Sr : 0.030 (ND ~ 0.065) Bq/kg 生 n= 40
 0.049 (ND ~ 0.15) Bq/gCa
- 7) 茶
自治体で年 1~2 回採取した試料
 ^{90}Sr : 0.17 (ND ~ 0.99) Bq/kg n= 20
 0.085 (ND ~ 0.43) Bq/gCa
- 8) 牛乳 (原乳)
自治体で年 1~3 回採取した試料
 ^{90}Sr : <0.026 (ND) Bq/L n= 38
 <0.025 (ND) Bq/gCa
- 9) 粉 乳
分析センターが年 2 回購入した試料
 ^{90}Sr : 0.055 (ND ~ 0.16) Bq/kg 粉乳 n= 12
 0.0053 (ND ~ 0.012) Bq/gCa
- 10) 淡水産生物
自治体で年 1 回採取した試料
 ^{90}Sr : 0.045 (ND ~ 0.17) Bq/kg 生 n= 8
 0.091 (ND ~ 0.032) Bq/gCa
- 11) 海 水
自治体で年 1~2 回採取した試料
 ^{90}Sr : 0.71 (ND ~ 1.1) mBq/L n= 15
- 12) 海 底 土
自治体で年 1~2 回採取した試料
 ^{90}Sr : <0.28 (ND) Bq/kg 乾土 n= 15

13)海産生物

自治体で年1~2回採取した試料(魚類、貝類、藻類)

魚類

^{90}Sr : <0.028 (ND) Bq/kg 生 n= 22
<0.24 (ND) Bq/gCa

貝類

^{90}Sr : <0.050 (ND) Bq/kg 生 n= 12
<0.12 (ND) Bq/gCa

藻類

^{90}Sr : <0.031 (ND) Bq/kg 生 n= 12
<0.045 (ND) Bq/gCa

2021 年度採取分における各種試料中の ^{90}Sr 濃度は、過去 5 年間(2016 年度から 2020 年度まで)の調査結果とほぼ同程度であった。過去 5 年間の最大値を超過した試料を下表に示す。鳥取県のダイコン及び福岡県のハウレンソウは過去 5 年間の ^{90}Sr 濃度が ND であったため、2021 年度採取の全国の野菜類の結果(根菜類: ND~0.14 Bq/kg 生、葉菜類: ND~0.065 Bq/kg 生)と比較して特に差はないと評価できる。そのほかの試料についても過去 5 年間の最大値を超えたものの、測定のばらつきを考慮すれば過去 5 年間の結果と差はないと評価できる。

県名	試料	^{90}Sr 濃度	過去 5 年間の ^{90}Sr 変動の範囲	単位
長野県	源水	0.51±0.095	0.41~0.44	mBq/L
大阪府	源水	1.3±0.13	0.93~1.3	mBq/L
長野県	蛇口水	0.46±0.090	0.22~0.38	mBq/L
大阪府	蛇口水	1.2±0.13	1.0~1.2	mBq/L
大分県	土壌 0-5cm	1.0±0.12	0.59~0.99	Bq/kg 乾土
大分県	土壌 5-20cm	0.98±0.13	0.67~0.92	Bq/kg 乾土
鳥取県	ダイコン	0.060±0.011	ND	Bq/kg 生
長崎県	ダイコン	0.046±0.0099	ND~0.041	Bq/kg 生
滋賀県	ハウレンソウ	0.046±0.0094	0.026~0.045	Bq/kg 生
福岡県	ハウレンソウ	0.025±0.0082	ND	Bq/kg 生
和歌山県	茶	0.99±0.066	0.31~0.94	Bq/kg 乾物
宮崎県	茶	0.15±0.044	ND~0.14	Bq/kg 乾物
新潟県	海水	0.87±0.16	0.78~0.81	mBq/L

なお、福島県は、2021 年度の海産生物(魚類)を採取していない。

2022 年度採取試料のうち、2022 年度中に分析を行った各種試料中の ^{90}Sr 濃度は、過去 5 年間(2017 年度から 2021 年度まで)の調査結果とほぼ同程度であった。なお、以下の試料では、過去 5 年間の最大値を超えたものの、測定のばらつきを考慮すれば過去 5 年間の結果と差はないと評価できる。

県名	試料	^{90}Sr 濃度	過去 5 年間の ^{90}Sr 変動の範囲	単位
群馬県	土壌 0-5cm	0.97 ± 0.13	0.44~0.70	Bq/kg 乾土
福井県	土壌 5-20cm	0.33 ± 0.087	ND~0.32	Bq/kg 乾土
青森県	海水	1.1 ± 0.31	0.73~1.0	mBq/L
新潟県	海水	1.0 ± 0.28	0.78~0.87	mBq/L
秋田県	アカモク	0.040 ± 0.0090	ND~0.038	Bq/kg 生

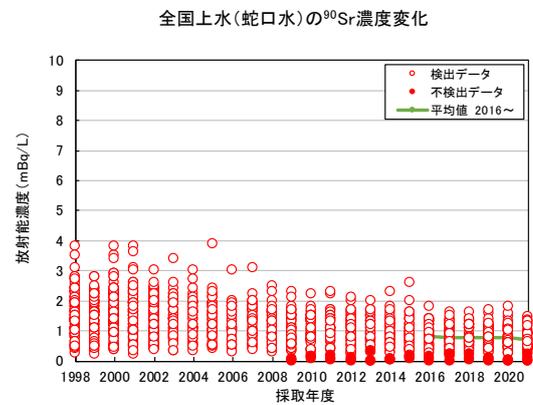
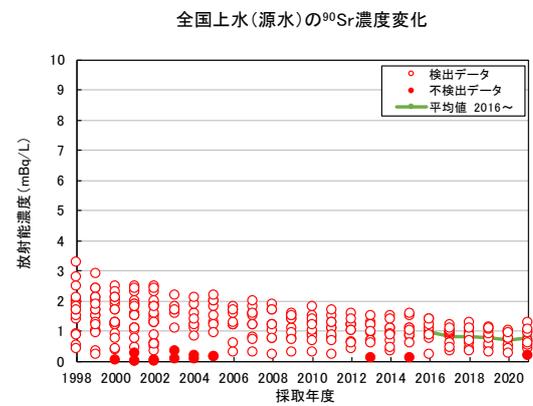
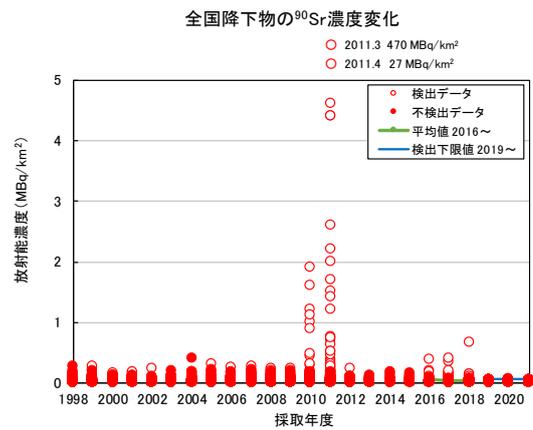
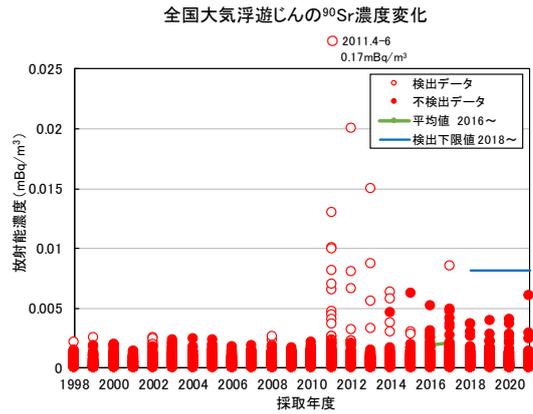


図 2-4-1 各種環境試料の⁹⁰Sr 放射能濃度の調査結果

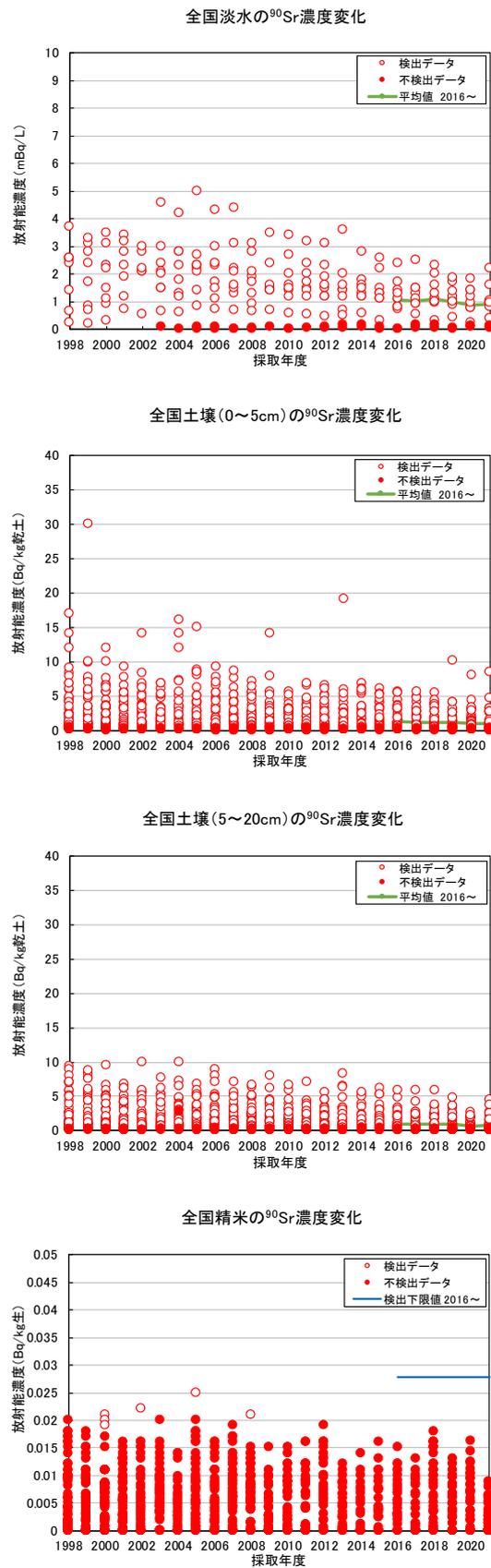


図 2-4-1 各種環境試料の ^{90}Sr 放射能濃度の調査結果 (つづき)

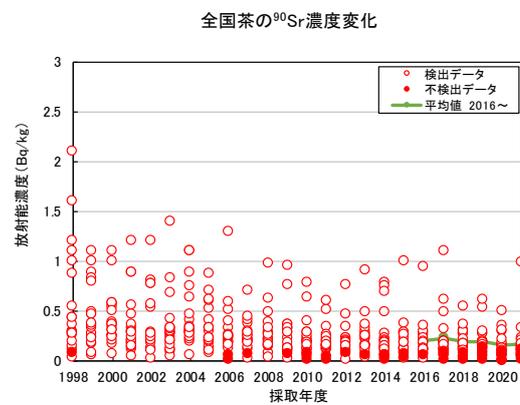
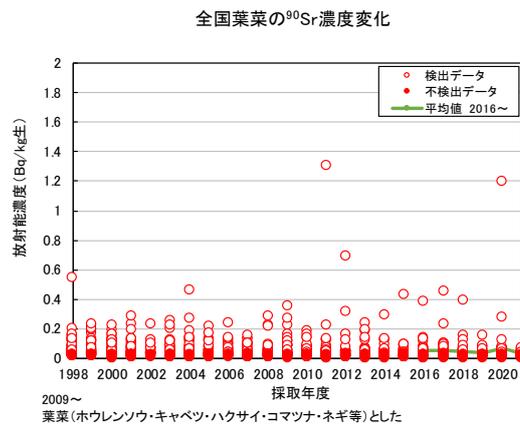
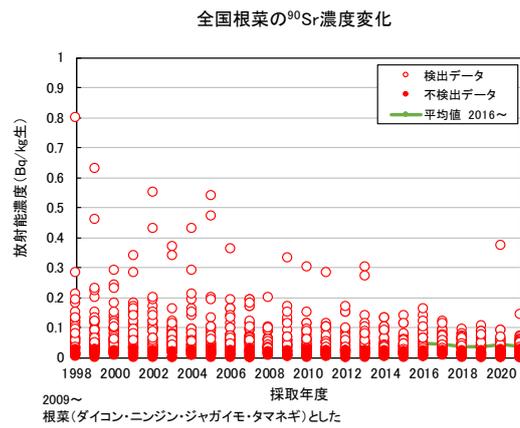
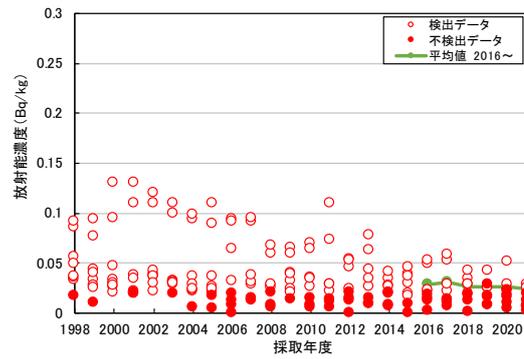
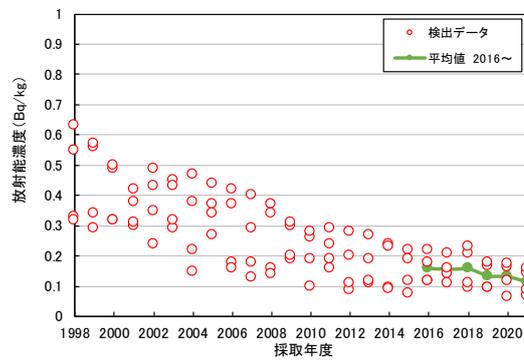


図 2-4-1 各種環境試料の⁹⁰Sr 放射能濃度の調査結果 (つづき)

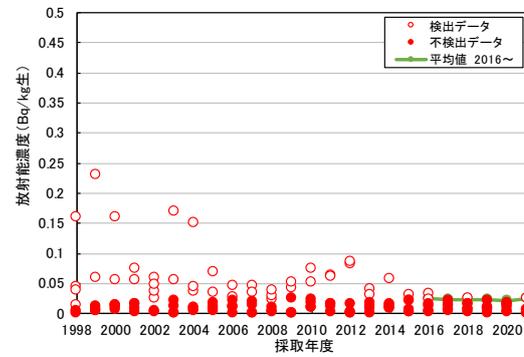
全国粉乳(ドライミルク)の⁹⁰Sr濃度変化



全国粉乳(スキムミルク)の⁹⁰Sr濃度変化



全国淡水産生物(魚類/肉部)の⁹⁰Sr濃度変化



全国淡水産生物(魚類/全体)の⁹⁰Sr濃度変化

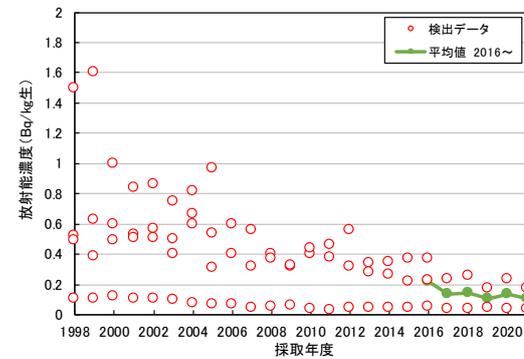


図 2-4-1 各種環境試料の⁹⁰Sr 放射能濃度の調査結果 (つづき)

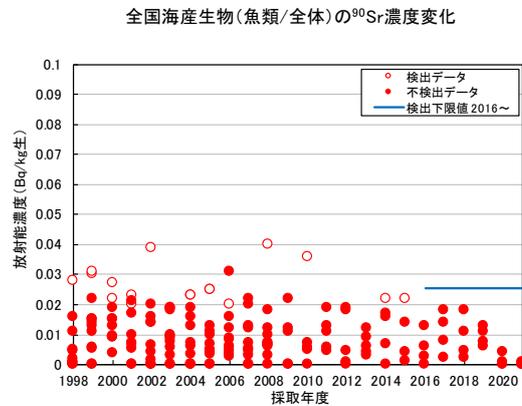
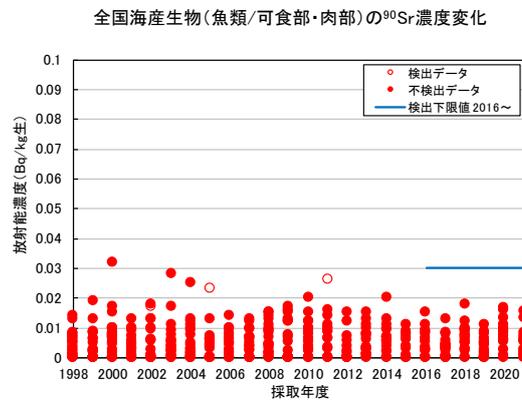
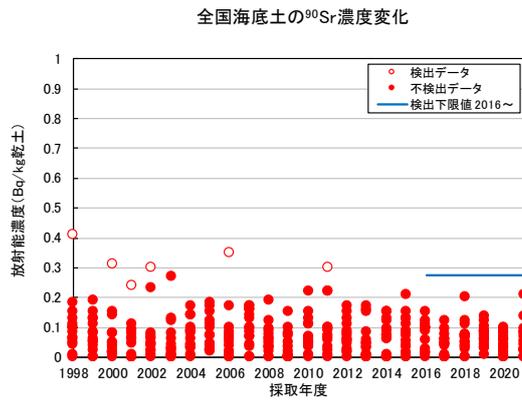
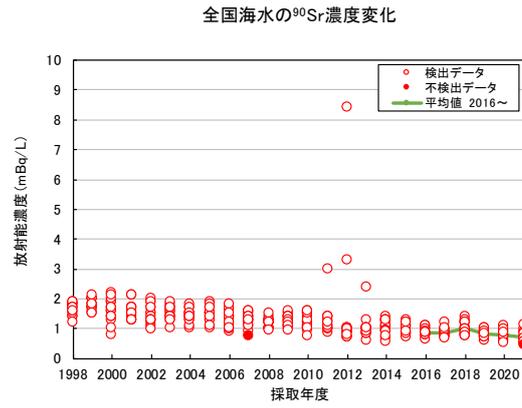


図 2-4-1 各種環境試料の⁹⁰Sr 放射能濃度の調査結果 (つづき)

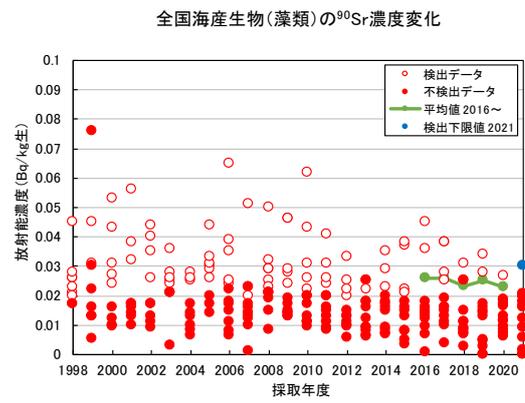
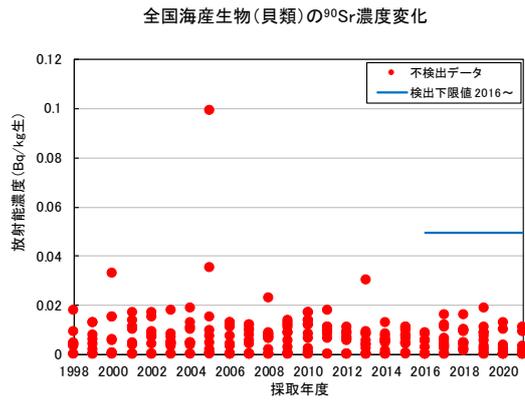


図 2-4-1 各種環境試料の⁹⁰Sr 放射能濃度の調査結果 (つづき)

(3) 大気浮遊じんの高感度分析

近年の大気浮遊じんの測定結果は ^{90}Sr が不検出 (ND) となる場合が多く、環境放射能水準の定量的な把握ができない状況である。そこで、大容量エアサンプラ (SNOW WHITE) を用いて、大気試料の採取量を大幅に増やし、放射能測定法シリーズ 2「放射性ストロンチウム分析法」(平成 15 年改訂) に準じた方法で分析・測定を行った。結果を表 2-4-1 に示す。分析センターにおいて採取された大気浮遊じん中の ^{90}Sr 濃度は $\text{ND} \sim 0.000092 \pm 0.000024 \text{ mBq/m}^3$ であった。大容量エアサンプラによる今年度の大気浮遊じん中の ^{90}Sr 濃度は過去の調査結果の範囲内であった。引き続き、大気浮遊じん中の ^{90}Sr 濃度及び傾向を注視していく。

表 2-4-1 大気浮遊じんの高感度分析(⁹⁰Sr)結果

試料	採取開始日 採取終了日	吸引量 (m ³)	⁹⁰ Sr	
			測定年月日	mBq/m ³
2022年 1月分	2022. 1. 4 2022. 2. 7	493323.1	2023. 2. 18	<0.00005
2022年 2月分	2022. 2. 7 2022. 3. 7	405711.2	2023. 2. 18	<0.00006
2022年 3月分	2022. 3. 7 2022. 4. 4	408675.3	2023. 2. 17	0.000056 ± 0.000017
2022年 4月分	2022. 4. 4 2022. 5. 2	404507.1	2023. 2. 18	0.000068 ± 0.000019
2022年 5月分	2022. 5. 2 2022. 6. 6	510893.2	2023. 2. 18	0.000048 ± 0.000015
2022年 6月分	2022. 6. 6 2022. 7. 4	406416.0	2023. 2. 18	<0.00005
2022年 7月分	2022. 7. 4 2022. 8. 1	407626.2	2023. 2. 18	<0.00005
2022年 8月分	2022. 8. 1 2022. 9. 5	493079.3	2023. 2. 18	<0.00005
2022年 9月分	2022. 9. 5 2022.10. 3	407638.4	2023. 2. 18	0.000055 ± 0.000018
2022年 10月分	2022.10. 3 2022.11. 7	507425.0	2023. 2. 19	0.000057 ± 0.000018
2022年 11月分	2022.11. 7 2022.12. 5	402920.2	2023. 2. 18	0.000092 ± 0.000024
2022年 12月分	2022.12. 5 2023. 1. 4	427620.9	2023. 2. 18	<0.00006

2.5 プルトニウム分析

2.5.1 土壌中のプルトニウム分析

(1) 概要

2021年度に自治体が採取し、乾燥細土とした後に分析センターが送付を受けた、自治体各1地点（青森県と沖縄県は2地点）で採取された表層（0～5cm）及び下層（5～20cm）の土壌、合計98試料について分析を行った。分析方法は、放射能測定法シリーズ12「プルトニウム分析法」（平成2年改訂）に準じた。

なお、環境中に存在するプルトニウムは、大気圏内核実験に伴うグローバルフォールアウト起源である ^{238}Pu 、 ^{239}Pu 、 ^{240}Pu 、 ^{241}Pu であり、 ^{241}Am は ^{241}Pu （半減期約14年）から生成する。これらの放射能濃度を把握するため、 α 線スペクトロメトリーによる ^{238}Pu 及び $^{239+240}\text{Pu}$ の分析、ICP質量分析装置（ICP-MS）による ^{239}Pu 、 ^{240}Pu の分析、液体シンチレーションカウンタによる ^{241}Pu の分析を行った。また、プルトニウム（ $^{239+240}\text{Pu}$ ）濃度が高い15試料について、 α 線スペクトロメトリーによる ^{241}Am 及びCm同位体の分析を行った。分析方法は、放射能測定法シリーズ28「環境試料中プルトニウム迅速分析法」（平成14年）及び21「アメリカシウム分析法」（平成2年）に準じた。液体シンチレーションカウンタによる ^{241}Pu 測定については、 β 線の最大エネルギーが ^{241}Pu と近い ^3H を効率校正に使用した。

(2) 結果と考察

① 土壌中の ^{238}Pu 、 $^{239+240}\text{Pu}$ の分析結果

土壌中の ^{238}Pu 、 $^{239+240}\text{Pu}$ の分析結果（平均値、最小値及び最大値）を、過去5年間（2016年度から2020年度）までに採取された土壌の分析結果と合わせて表2-5-1に示す。

表2-5-1 過去の調査結果との比較（放射能濃度） Bq/kg 乾土

核種	採取 深さ (cm)	平均値*、最小値、最大値	2021年度 採取分(n=49)	過去5年間の 調査結果(n=245)
^{238}Pu	0～5	平均値 最小値～最大値	0.032 ND～0.072	0.029 ND～0.071
	5～20	平均値 最小値～最大値	0.015 ND～0.018	0.015 ND～0.032
$^{239+240}\text{Pu}$	0～5	平均値 最小値～最大値	0.34 ND～2.7	0.38 ND～2.9
	5～20	平均値 最小値～最大値	0.19 ND～0.83	0.19 ND～1.1

*平均値は検出された値のみで算出

2021年度における採取深さ0～5cmの各地点の ^{238}Pu 濃度はND（検出されず）～0.072 Bq/kg 乾土、 $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度はND～2.7 Bq/kg 乾土であり、採取深さ5～20cmの ^{238}Pu 濃度はND～0.018 Bq/kg 乾土、 $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度はND～0.83 Bq/kg 乾土の範囲であり、いずれも過去5年間の調査結果と同程度の値であった。

採取地点ごとの $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度を図 2-5-1 に示す。 ^{238}Pu 濃度を図 2-5-2、プルトニウム同位体 (^{238}Pu 、 $^{239+240}\text{Pu}$) の放射能比を図 2-5-3 に示す。例年同様、数地点（長野県、大分県）の $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度がやや高い値を示したが、2021 年度に採取された土壌中のプルトニウム濃度は、平均値及び範囲ともに過去 5 年間の調査結果と同程度の値であった。また、プルトニウム同位体の放射能比 ($^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$) は 0.024 であり、UNSCEAR1982 報告書による北半球におけるグローバルフォールアウトの値(0.026)から ^{238}Pu の減衰を補正した 2022 年のプルトニウム同位体比 0.019 と同程度であることを確認した。

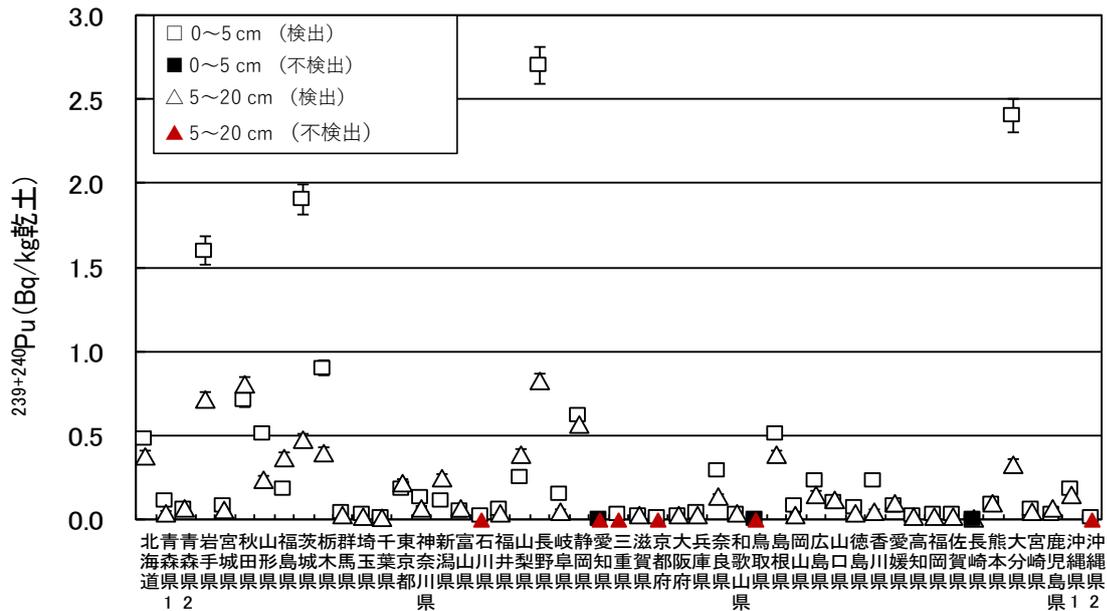


図 2-5-1 土壌中の $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度 (2021 年度採取分)

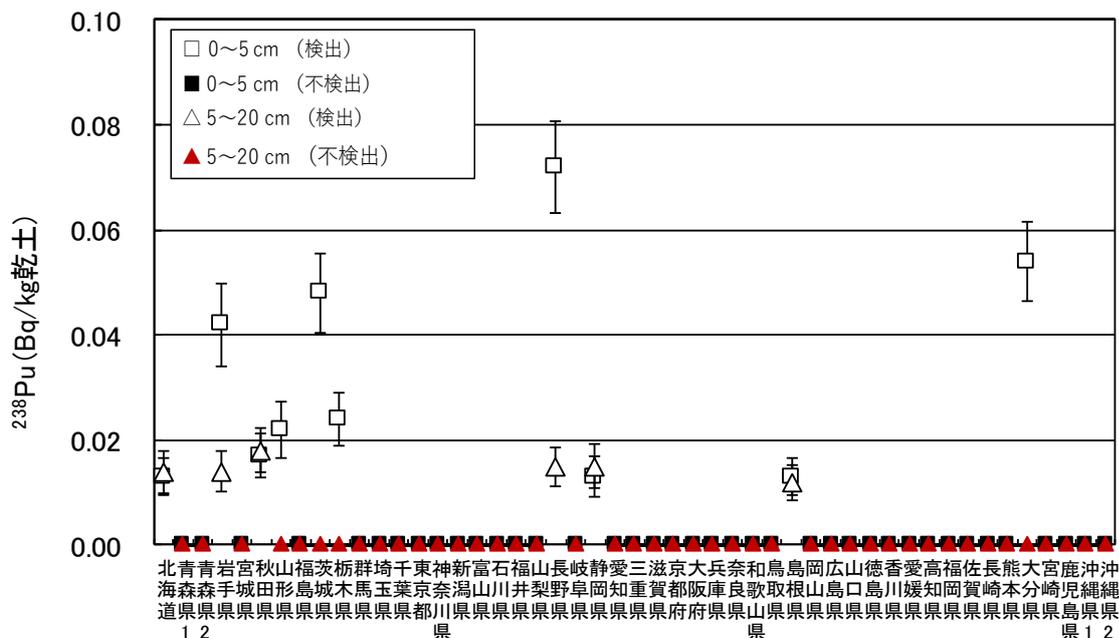


図 2-5-2 土壌中の ^{238}Pu 濃度 (2021 年度採取分)

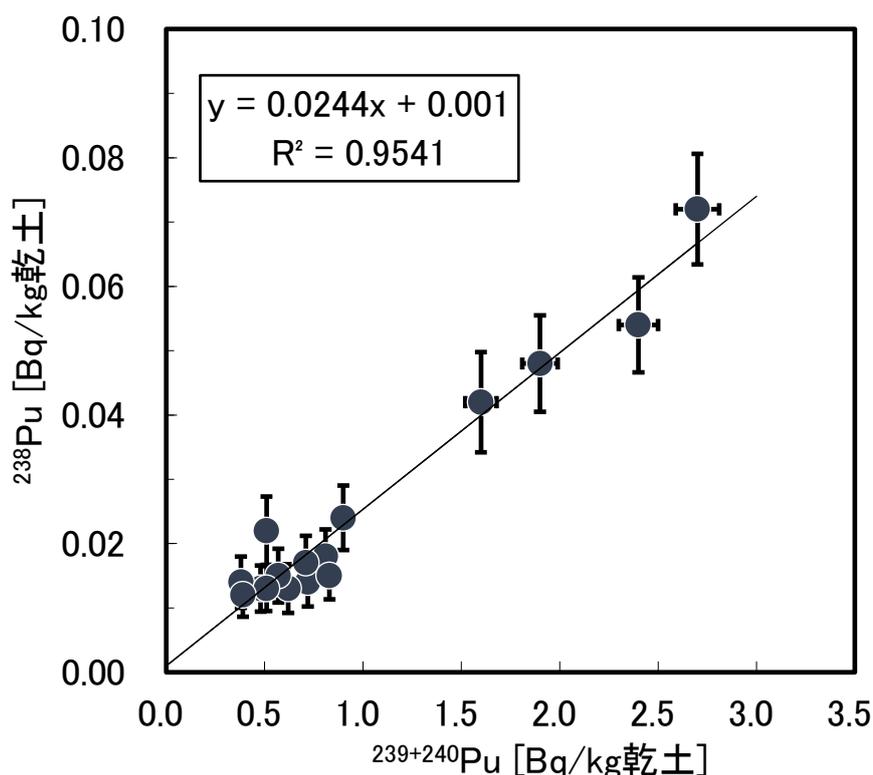


図 2-5-3 土壤中の ^{238}Pu と $^{239+240}\text{Pu}$ 放射能比

土壤中の $^{239+240}\text{Pu}$ 蓄積量を表 2-5-2 に示す。2021 年度における $^{239+240}\text{Pu}$ の蓄積量は ND (検出されず) ~ 115 MBq/km² (平均値 26 MBq/km²)、であり、いずれも過去 5 年間の調査結果と同程度であった。なお、UNSCEAR2000 レポートによれば、北半球 (北緯 20~50 度) の $^{239+240}\text{Pu}$ 降下量はおよそ 30~60MBq/km² である。

表 2-5-2 過去の調査結果と比較 (蓄積量)

単位: MBq/km²

核種名	深さ (cm)	項目	2021 年度 採取分 (n=49)	過去 5 年間の 調査結果 (n=245)
$^{239+240}\text{Pu}$	0~20	平均値 最小値~最大値	26 ND~115	29 ND~150

*平均値は検出された値のみで算出

②石川県土壌における $^{239+240}\text{Pu}$ と有機成分の関係

本調査における土壌採取地点の内、石川県の土壌において $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度の減少が確認された (図 2-5-4)。これは、採取地点 (石川市末浄水場敷地内) が 2020 年度採取分から変更されたことにより、土壌の性質が結果に影響したと考えられる。土壌の性質を調べるため、強熱減量及び安定同位体比質量分析装置

(EA-IRMS) を用いた全窒素・炭素分析を行った。結果を表 2-5-3 に示す。その結果、 $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度が高かった変更前に比べて $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度が低い変更後の土壌は強熱による減量が小さく、また、全窒素・炭素の分析結果より有機成分が少ないことが分かった。Pu は土壌中の有機物に強く吸着すると考えられることから、採取地点の変更に伴い、土壌中の有機物量の違いが調査結果に表れたと考えられる。

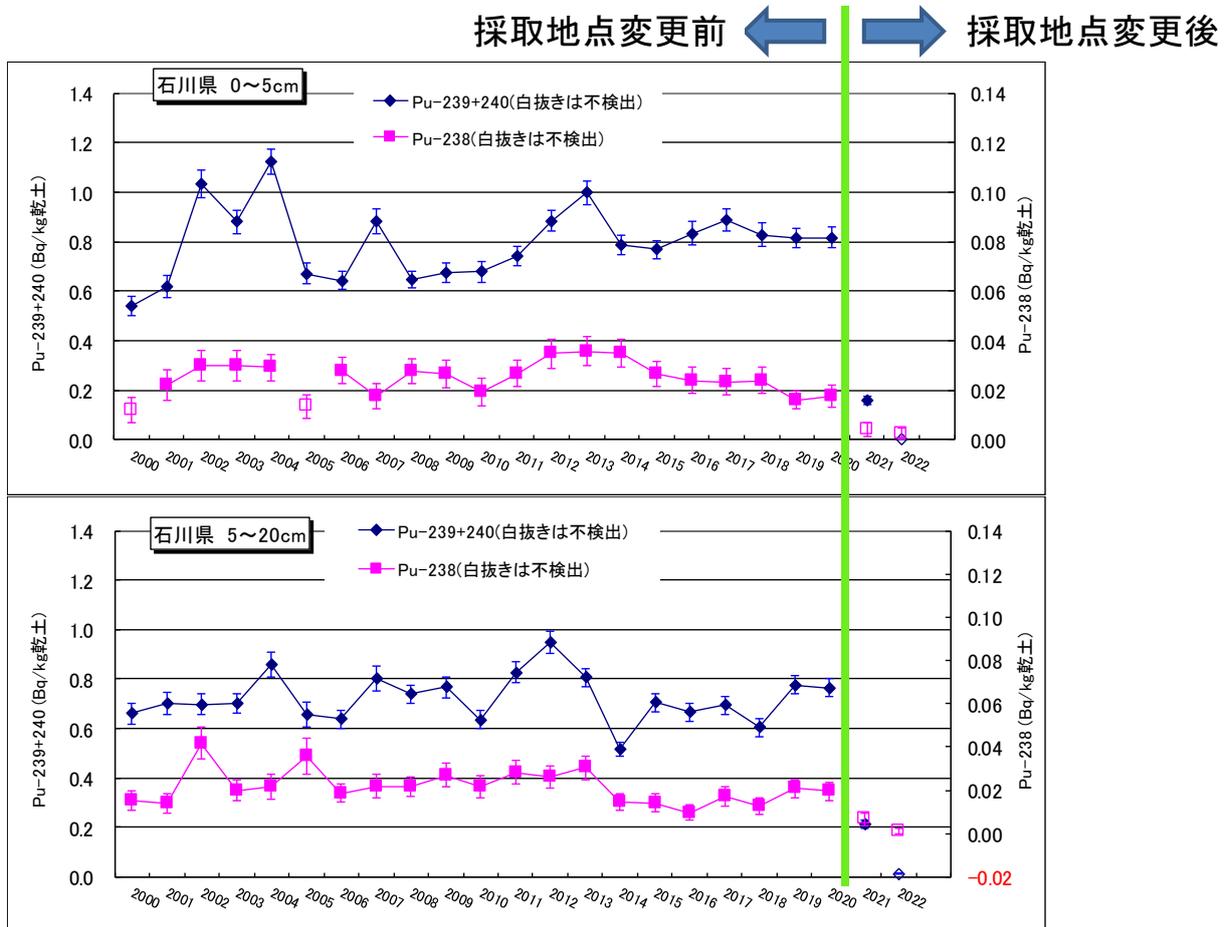


図 2-5-4 石川県の土壌中の $^{239+240}\text{Pu}$ 放射能濃度の推移

表 2-5-3 土壌の強熱減量、全窒素・炭素分析の結果

採取地点	採取深さ (cm)	強熱による 減量分 (%)	成分 (質量分率 (%))	
			全窒素	全炭素
変更前	0~5	14.8	0.34	3.7
	5~20	9.8	0.16	2.0
変更後	0~5	6.1	0.13	2.0
	5~20	5.0	0.023	0.24

③¹³⁷Cs, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu 放射能比について

²³⁹⁺²⁴⁰Pu と ¹³⁷Cs の放射能比を図 2-5-5 に示す。グローバルフォール由来のプルトニウム及びセシウムを比較するため、東京電力(株)福島第一原子力発電所事故の影響と考えられる ¹³⁴Cs が検出された試料を除いたプルトニウムとセシウム放射能比 (²³⁹⁺²⁴⁰Pu/¹³⁷Cs) は 0.067 (n=46) であった。また、相関から上側に外れた 1 地点 (大分県表層 (0~5cm) 土壌) を除いたプルトニウムとセシウム放射能比 (²³⁹⁺²⁴⁰Pu/¹³⁷Cs) は 0.030 (n=45) であり、試料採取地点の土壌の性質により土壌中の Pu と Cs の挙動の違いが結果に表れたものと考えられる。

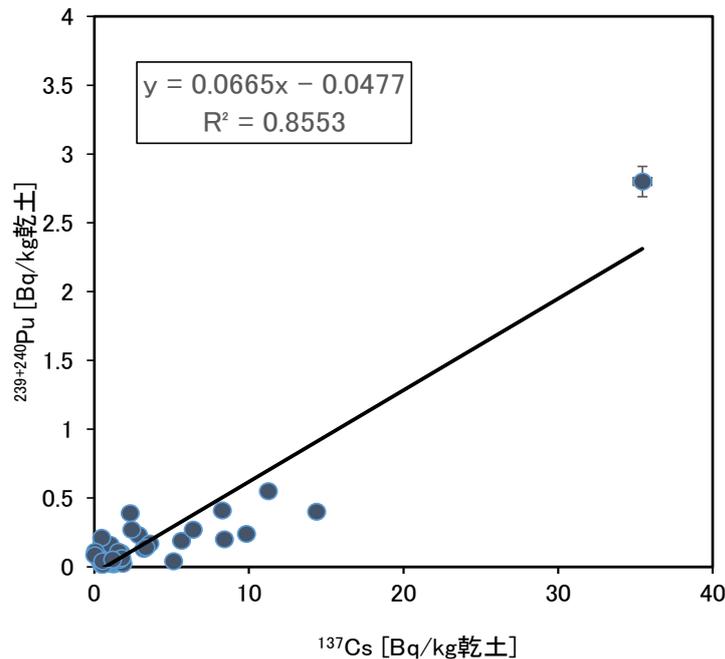


図 2-5-5 土壌中の ²³⁹⁺²⁴⁰Pu と ¹³⁷Cs 放射能比

④²³⁹Pu, ²⁴⁰Pu 放射能濃度について

土壌全 98 試料について、ICP 質量分析装置 (ICP-MS) による ²³⁹Pu、²⁴⁰Pu の分析及び液体シンチレーションカウンタによる ²⁴¹Pu の分析を実施した。²³⁹Pu と ²⁴⁰Pu の原子数比を図 2-5-6 に、採取地点ごとの ²³⁹Pu と ²⁴⁰Pu の原子数比を図 2-5-7 に示す。²³⁹Pu と ²⁴⁰Pu の原子数比 (²⁴⁰Pu/²³⁹Pu) は 0.18 であり、Kelley ら (1999) が測定した北緯 30 度から 71 度の土壌 24 試料の平均値 (0.180 ± 0.014) と同程度であった。図 2-5-7 に示した採取地点ごとの ²³⁹Pu と ²⁴⁰Pu の原子数比には一部高い地点 (千葉 5~20cm、石川両層、三重 5~20cm 及び鳥取両層) が見られたため、再分析を実施しその結果を図 2-5-8 に示す。これらの土壌中の Pu 濃度は低く、それぞれの試料で濃度によるばらつきがみられたが、²³⁹Pu と ²⁴⁰Pu の原子数比は高い傾向がみられた。原因は不明であるが、今後、同位体比既知の標準試料の溶液を原子数比が高い傾向が見られた試料と同程度の濃度に希釈した

ものを測定し、認証値からのずれがどの程度であるのか、また、ばらつきがどの程度になるのかを確認することで低濃度のキャリブレーションの妥当性について検証する必要がある。

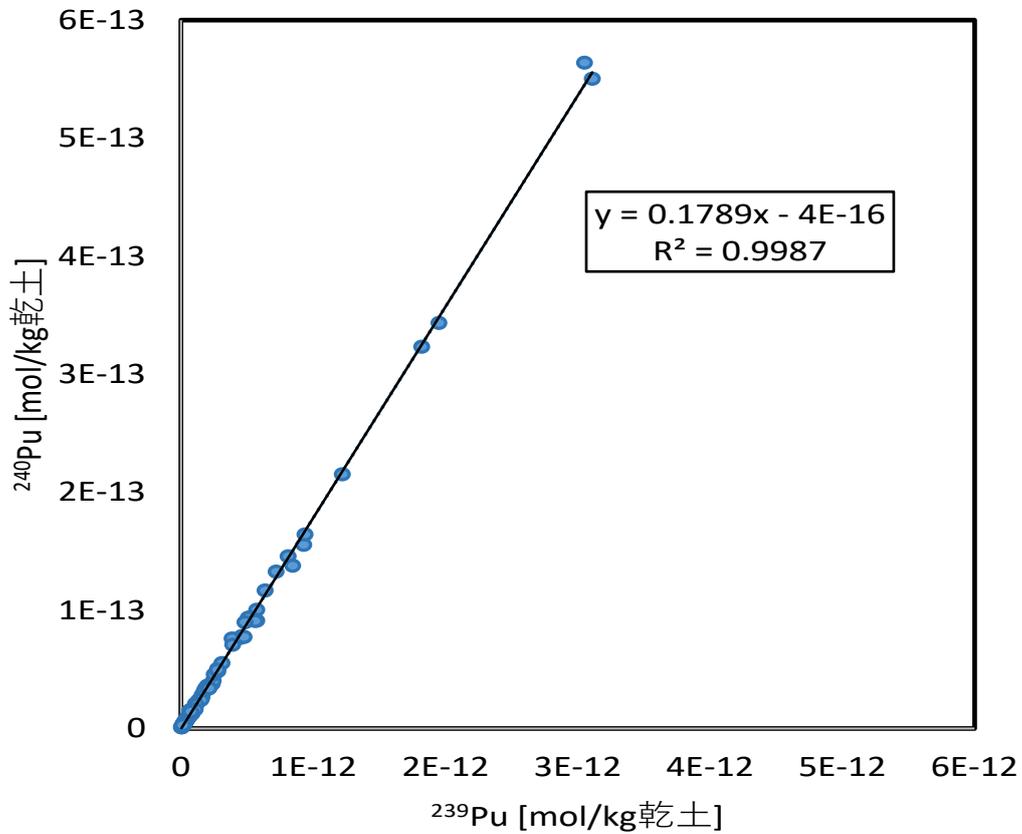


図 2-5-6 土壤中の ^{239}Pu と ^{240}Pu の原子数比 ($^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$)

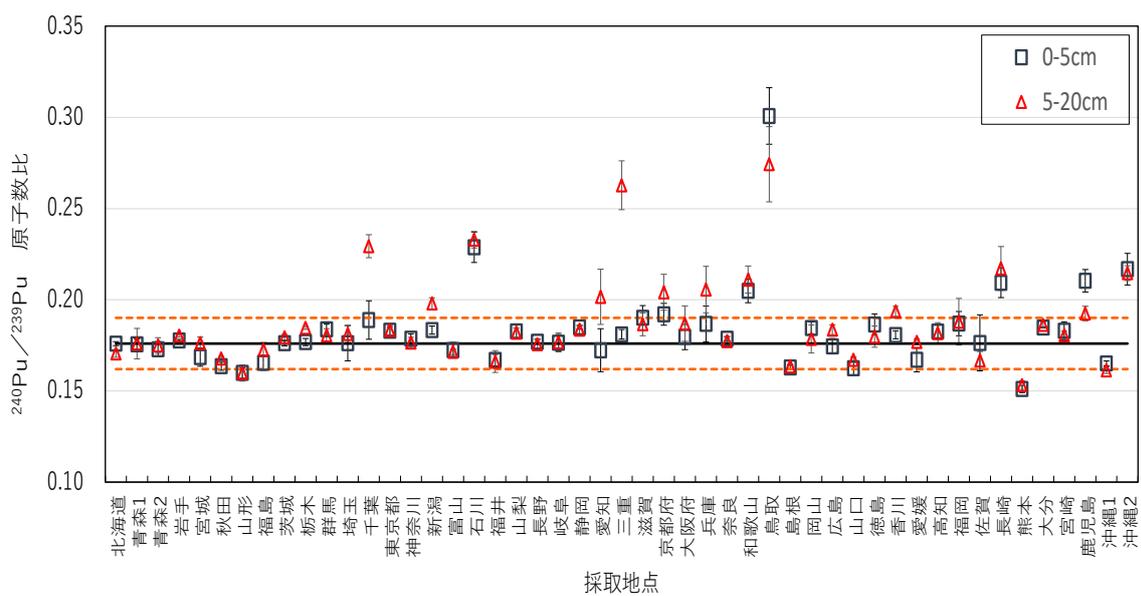
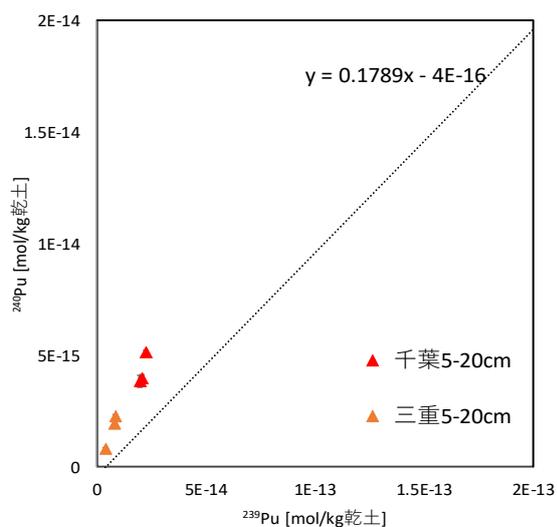
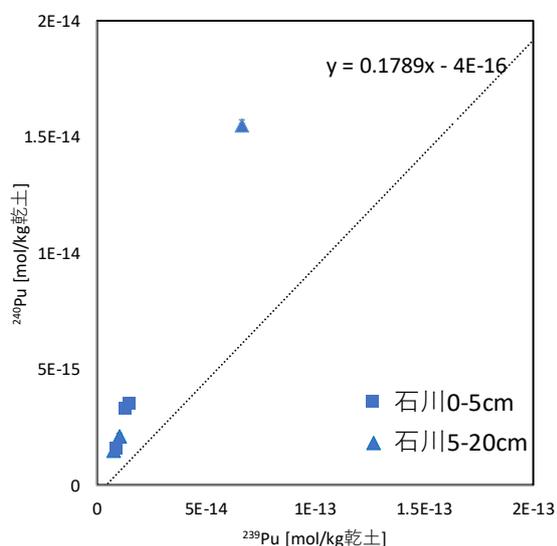


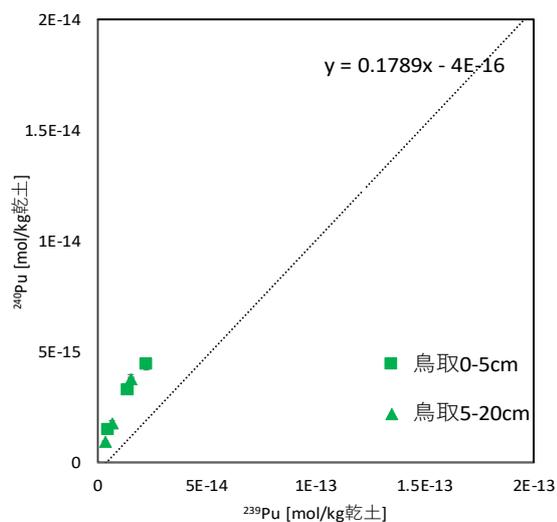
図 2-5-7 採取地点ごとの土壤中の ^{240}Pu と ^{239}Pu の原子数比 ($^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$)



$^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比	千葉 5~20 cm	三重 5~20 cm
1 回目測定	0.23 ± 0.006	0.26 ± 0.013
再分析 A	0.19 ± 0.013	0.25 ± 0.014
再分析 B	0.19 ± 0.015	0.21 ± 0.023



$^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比	石川 0~5 cm	石川 5~20 cm
1 回目測定	0.23 ± 0.008	0.23 ± 0.004
再分析 A	0.25 ± 0.010	0.19 ± 0.022
再分析 B	0.18 ± 0.020	0.21 ± 0.012



$^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比	鳥取 0~5 cm	鳥取 5~20 cm
1 回目測定	0.30 ± 0.015	0.27 ± 0.021
再分析 A	0.20 ± 0.013	0.24 ± 0.023
再分析 B	0.23 ± 0.014	0.27 ± 0.024

図 2-5-8 千葉 5~20cm、石川両層、三重 5~20cm 及び鳥取両層における ^{240}Pu と ^{239}Pu の原子数比 ($^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$)

注) それぞれの土壌試料について 1 回目測定、再分析 2 個の計 3 回測定した

⑤²⁴¹Pu 放射能濃度について

²⁴¹Pu/²⁴¹Pu と ²³⁹⁺²⁴⁰Pu の放射能比を図 2-5-9 に、²⁴¹Pu と ²³⁹Pu の原子数比を図 2-5-10 に示す。²⁴¹Pu/²³⁹⁺²⁴⁰Pu 放射能比は 0.76 であり、過去の調査結果 (0.46 ~1.3) と同程度であった。²⁴¹Pu と ²³⁹Pu の原子数比 (²⁴¹Pu/²³⁹Pu) は 0.0014 であり、Kelley ら (1999) が測定したフォールアウト由来の北緯 0~30 度の土壤の原子数比 0.00188 ± 0.00049 (北緯 30~71 度の土壤の原子数比 0.00194 ± 0.00014) と同程度であった。

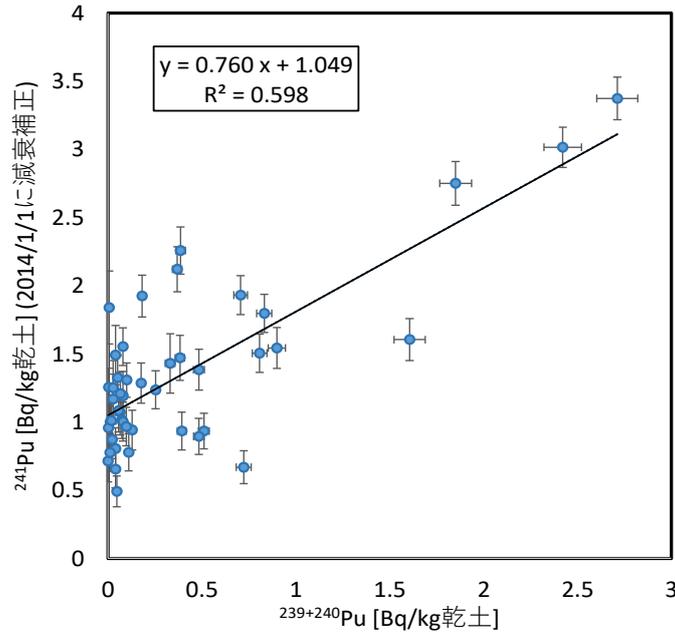


図 2-5-9 土壤中の ²⁴¹Pu と ²³⁹⁺²⁴⁰Pu の放射能比

注) ²⁴¹Pu の放射能濃度は 2014 年 1 月 1 日に減衰補正した値である

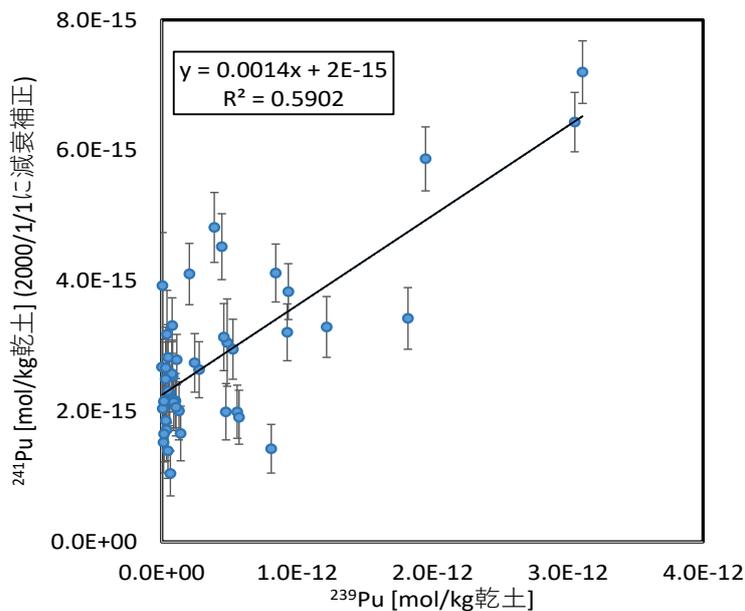


図 2-5-10 土壤中の ²⁴¹Pu と ²³⁹Pu の原子数比

注) ²⁴¹Pu の放射能濃度は 2000 年 1 月 1 日に減衰補正した値である

⑥²⁴¹Am 放射能濃度について

分析結果のプルトニウム (²³⁹⁺²⁴⁰Pu) 濃度が高い 15 試料について、表 2-5-4 に示す。

表 2-5-4 プルトニウム (²³⁹⁺²⁴⁰Pu) 濃度が高い 15 試料

No.	県名	深度 (cm)	採取年月日	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu 放射能濃度 (Bq/kg 乾土)	No.	県名	深度 (cm)	採取年月日	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu 放射能濃度 (Bq/kg 乾土)
1	長野	0~5	2021. 7. 13	2.7 ± 0.11	9	秋田	0~5	2021. 9. 28	0.71 ± 0.037
2	大分	0~5	2021. 7. 27	2.4 ± 0.10	10	静岡	0~5	2021. 7. 28	0.62 ± 0.033
3	茨城	0~5	2021. 6. 03	1.9 ± 0.08	11	静岡	5~20	2021. 7. 28	0.57 ± 0.034
4	岩手	0~5	2021. 7. 26	1.6 ± 0.08	12	島根	0~5	2021.10.21	0.51 ± 0.028
5	栃木	0~5	2021.10.15	0.90 ± 0.046	13	山形	0~5	2021. 8. 05	0.51 ± 0.032
6	長野	5~20	2021. 7. 13	0.83 ± 0.040	14	茨城	5~20	2021. 6. 03	0.48 ± 0.029
7	秋田	5~20	2021. 9. 28	0.81 ± 0.039	15	北海道	0~5	2021.11.16	0.48 ± 0.027
8	岩手	5~20	2021. 7. 26	0.72 ± 0.040					

上記 15 試料については、α線スペクトロメトリーによるアメリシウム、キュリウムの分析を実施した。²⁴¹Am は 15 試料全てから検出され、その濃度は 0.17 ~ 1.2 Bq/kg 乾土であった。

²⁴²Cm 及び ²⁴³⁺²⁴⁴Cm は全ての試料において不検出であり、過去 5 年間の調査結果と同様であった。

²⁴¹Am と ²³⁹⁺²⁴⁰Pu の放射能比を図 2-5-11 に示す。その放射能比 (²⁴¹Am/²³⁹⁺²⁴⁰Pu) は 0.43 であり、過去 5 年間の調査結果 (0.41~0.45) と同程度であった。²⁴¹Am と ²³⁹⁺²⁴⁰Pu の放射能は強い相関を示していることから、検出された ²⁴¹Am は ²³⁹⁺²⁴⁰Pu と同じくグローバルフォールアウトに由来するものと推測された。

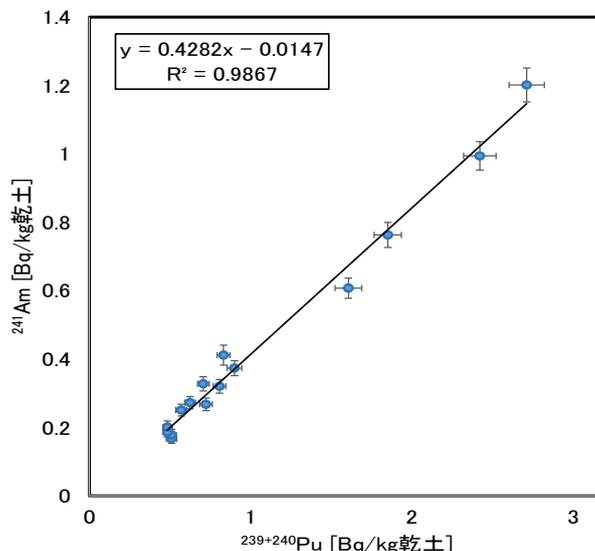


図 2-5-11 土壌中の ²⁴¹Am と ²³⁹⁺²⁴⁰Pu の放射能比

2.5.2 大気浮遊じんの高感度分析

(1) 概要

大容量エアサンプラ（SNOW WHITE）により大気を連続吸引し、大気浮遊じんをろ紙上に捕集した。捕集したろ紙より硝酸を用いてプルトニウムを浸出して分析試料とし、 α 線スペクトロメトリーによる ^{238}Pu 、 $^{239+240}\text{Pu}$ の分析及びICP質量分析装置（ICP-MS）による ^{239}Pu 、 ^{240}Pu の分析を行った。分析方法は、放射能測定法シリーズ12「プルトニウム分析法」（平成2年改訂）及び28「環境試料中プルトニウム迅速分析法」（平成14年）に準じた。

(2) 結果と考察

α 線スペクトロメトリーによる大気浮遊じん中のプルトニウム濃度を図2-5-12に示す。 ^{238}Pu 濃度は全て不検出、 $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度は $0.00000043\sim 0.0000064\text{ mBq/m}^3$ であり、過去6年間の範囲内であった。また、3～5月付近に $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度が高くなる季節変動を示した。季節変動の要因としては黄砂による土壌粒子の捕集が考えられ、全球再解析データ（MERRA2）を用いて採取地点における月平均大気中土壌粒子密度との比較を行った。図2-5-13は $^{239+240}\text{Pu}$ 及び土壌粒子密度の時間変動、図2-5-14は期間ごとの $^{239+240}\text{Pu}$ と土壌粒子密度の関係を示す。 $^{239+240}\text{Pu}$ と土壌粒子密度は同様の季節変動があり、回帰直線の傾きから3月から5月は土壌の輸送量が多く、Pu濃度が高くなる傾向が見られる。

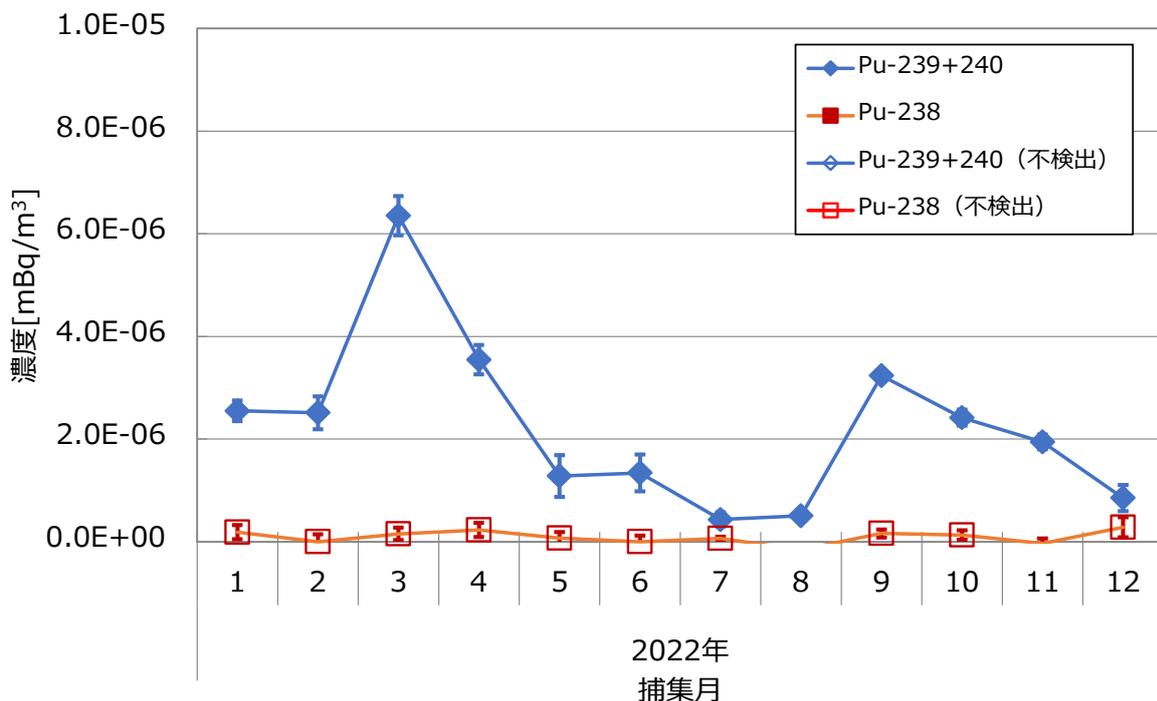


図 2-5-12 採取月ごとの ^{238}Pu と $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度

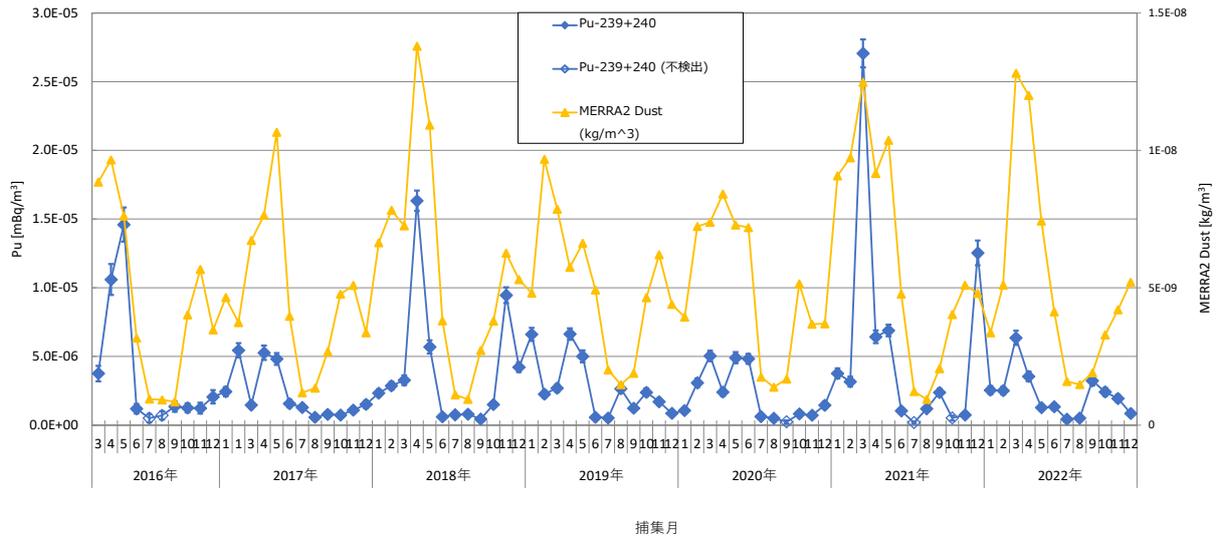


図 2-5-13 2016 年～2022 年度の月平均 $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度及び土壌粒子密度

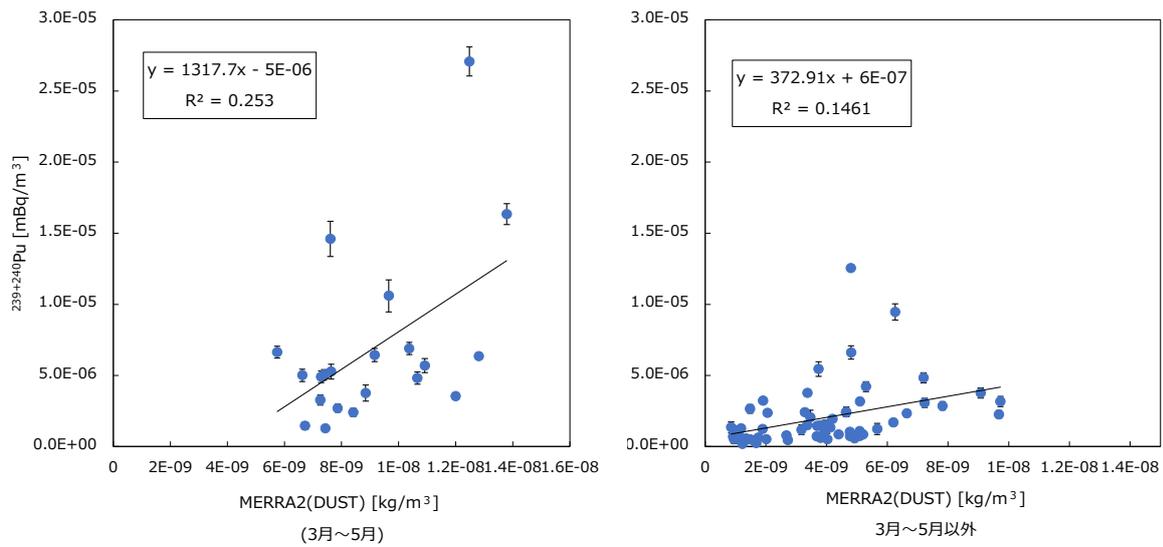


図 2-5-14 大気浮遊じんの採取期間ごとの $^{239+240}\text{Pu}$ と土壌粒子密度の関係
 (注) 左図は 3 月～5 月、右図は 3 月～5 月以外の期間を示す

ICP-MS 測定による 2022 年度におけるプルトニウム原子数比 ($^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$) を図 2-5-15 に示す。2022 年 1 月から 12 月採取分の ^{239}Pu と ^{240}Pu の原子数比 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比は 0.11 であり、Kelley ら(1999)が測定した北緯 30 度から 71 度の土壌 24 試料の平均値 (0.180 ± 0.014) より低い結果となった。過去 3 年間の ^{239}Pu と ^{240}Pu の原子数比の範囲は 0.11~0.16 であり、Kelley ら(1999)よりも低い値で推移している。今後もデータの蓄積を図り、有意に低い値と言えるのか継続的な観測が必要である。なお、過去最大であった 2021 年 3 月採取分の ^{239}Pu と ^{240}Pu の原子数比は 0.15 であった。

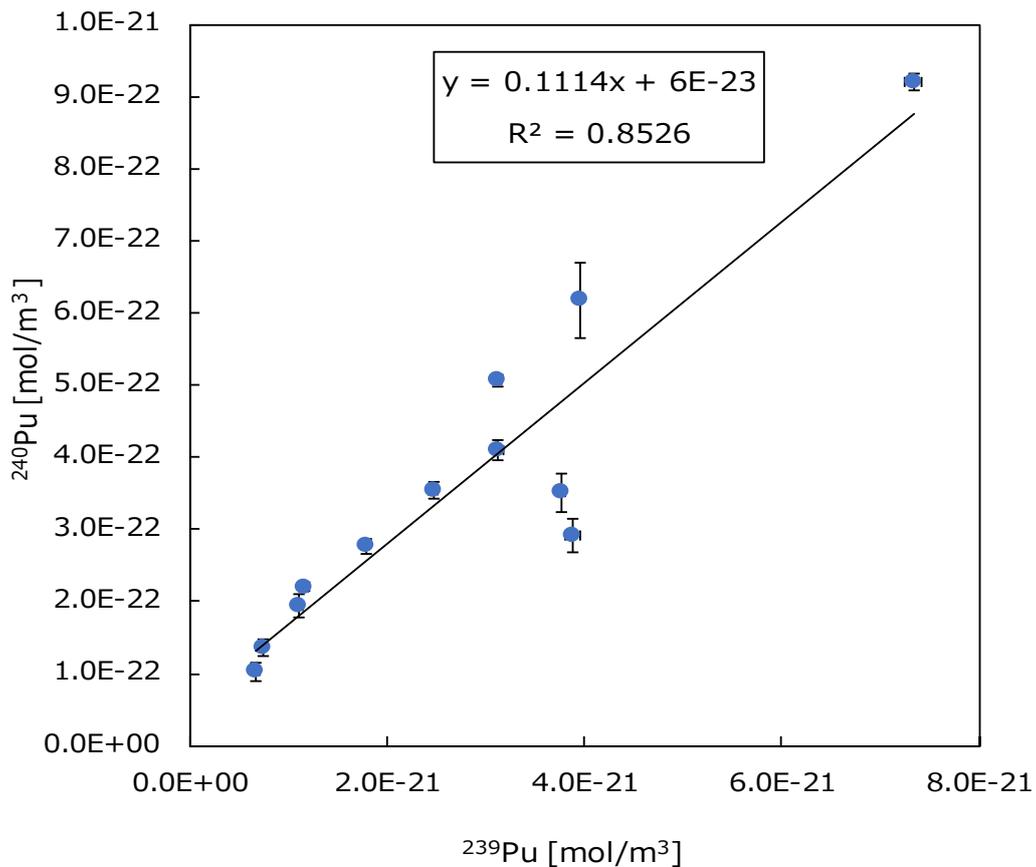


図 2-5-15 大気浮遊じんの ^{239}Pu と ^{240}Pu の原子数比 ($^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$)

2.6 ヨウ素 129 分析

(1) 概要

2022 年度に北海道、秋田県及び千葉県において採取した土壌(採取深度 0-5、5-20cm)、牛乳、海藻及び野菜試料を対象として ^{129}I 分析を実施した。

また、環境放射能水準の正確な実態を把握するため、分析センターにおいて、大容量エアサンプラを用いて採取した大気浮遊じんの ^{129}I 濃度及び $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比の経年変化について調査した。

なお、2021 年度より海水試料の ^{129}I 分析を検討したが、2022 年度も水産生物を採取した海域より海水をサンプリングして、海水試料の ^{129}I 分析を検討した。

(2) 分析方法

固体試料の分析及び測定方法は以下のとおりである。

試料中のヨウ素を燃焼法により TMAH (Tetramethylammonium Hydroxide) 溶液に捕集し、この溶液から一部を分取したものを安定ヨウ素定量用試料とした。残りの溶液にヨウ素担体を加え、有機溶媒を用いた溶媒抽出法によりヨウ素を分離・精製した。ヨウ素精製溶液に銀担体を添加し、生成したヨウ化銀沈殿を遠心分離後、乾燥した。沈殿に 2.5~4.0 倍量のニオブ粉末を加えてよく混合し、加速器質量分析装置 (AMS) でヨウ素の同位体比 ($^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$) を測定した。また、 ^{129}I 濃度を算出するため、安定ヨウ素定量用試料を測定に適した濃度に調製し、内標準としてインジウムを用いて ICP-MS で安定ヨウ素 (^{127}I) を定量した。

海水試料の分析及び測定方法は以下のとおりである。

ろ過済の海水試料にヨウ素担体を加え、有機溶媒を用いた溶媒抽出法によりヨウ素を分離・精製した。ヨウ素精製溶液に銀担体を添加し、生成したヨウ化銀沈殿を遠心分離後、乾燥した。沈殿に 4.0 倍量のニオブ粉末を加えてよく混合し、加速器質量分析装置 (AMS) でヨウ素の同位体比 ($^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$) を測定した。また、 ^{129}I 濃度を算出するため、安定ヨウ素定量用試料を測定に適した濃度に調製し、内標準としてインジウムを用いて ICP-MS で安定ヨウ素 (^{127}I) を定量した。

なお、固体試料の分析工程の妥当性確認のため、標準試料を用いて試料と同様の工程で分析した。海水試料の分析工程の妥当性確認のため、相互比較分析を行った。

(3) 結果と考察

1) 土壌、牛乳、海藻及び野菜

2022年度に採取した試料の分析結果を表2-6-1、2011年度から2021年度までの過去の分析結果との比較を図2-6-1～図2-6-8に示す。

北海道、秋田県、千葉県 of 土壌試料の ^{129}I 濃度は、採取深度0-5 cmで0.14～0.72 (mBq/kg 乾土)、採取深度5-20 cmで0.12～0.36 (mBq/kg 乾土)であった。牛乳(市販乳)は、0.0006～0.0012 (mBq/L)、海藻(コンブ、アカモク、アラメ)は、0.23～0.86 (mBq/kg 生)、野菜(キャベツ)は、0.000059～0.000122 (mBq/kg 生)であった。 $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比については、採取深度0～5cmの土壌試料で $(3.2\sim 9.5)\times 10^{-9}$ 、採取深度5～20 cmで $(1.4\sim 4.8)\times 10^{-9}$ であった。牛乳(市販乳)は、 $(2.5\sim 17)\times 10^{-10}$ 、海藻は、 $(5.4\sim 46)\times 10^{-11}$ 、野菜(キャベツ)は、 $(3.6\sim 14)\times 10^{-9}$ であった。

土壌の比較結果を示した図2-6-1、図2-6-2から、過去の分析結果と同様に、0～5 cmの表層における ^{129}I 濃度は5～20 cmにおける ^{129}I 濃度より高かった。 ^{129}I 濃度及び $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比は過去の分析結果と同程度であった。

牛乳の比較結果を示した図2-6-3、図2-6-4より、 ^{129}I 濃度及び $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比は過去の分析結果と同程度であった。

海藻の比較結果を図2-6-5、図2-6-6に示す。北海道(コンブ)と秋田県(アカモク)の ^{129}I 濃度及び $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比は、過去の分析結果よりやや高い結果であったが、全体的に過去の分析結果と同程度であった。

野菜の比較結果を示した図2-6-7、図2-6-8より、 ^{129}I 濃度及び $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比は過去の分析結果と同程度であった。

2) 大気浮遊じん

大気浮遊じん試料の採取記録及びヨウ素129の分析結果をそれぞれ表2-6-2及び表2-6-3に示す。

得られた大気浮遊じんの調査結果は、過去の調査結果(2017～2021年)と合わせて図2-6-9、図2-6-10に示す。2017～2022年までの6年間の調査結果には、いずれも春先に採取した大気浮遊じんの ^{129}I 濃度及び $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比が高くなる傾向が見られ、尚且つ年度ごとに似たような変動傾向(4月～7月に減少、7月が最小、7月～11月に上昇)が観測された。

また、季節毎の月間平均気温と大気浮遊じんの ^{129}I 濃度の相関を図2-6-11に示す。2017～2022年までの6年間の結果では、4～7月分の大気浮遊じんの ^{129}I 濃度と月間平均温度の相関係数が-0.81であり、春から夏頃まで温度の上昇に伴い、大気浮遊じん中の ^{129}I 濃度の減少に影響を与えられられる。

なお、7～11月分の大気浮遊じんの¹²⁹I濃度において、¹²⁹I濃度と月間平均温度の相関係数が-0.59であり、温度下降に伴い大気浮遊じん中の¹²⁹I濃度が上昇する傾向を示した。¹²⁹I/¹²⁷I原子数比の結果にも同様の傾向が確認された。今後、他のパラメータを考慮しながら、さらなる検証・解析が必要と考えられる。

3) 海水

2022年度に採取した海水試料の分析結果を表2-6-4に示す。

3地点の海水の分析結果を図2-6-12～図2-6-13に示す。全体的に、¹²⁹I/¹²⁷I原子数比が 10^{-10} レベルであった。同一地域で採取された海水の夏季と冬季における¹²⁹I濃度の比較では、各地点で値に差が見られたが、データ数が少ないことから現時点では原因不明であった。引き続き分析結果を蓄積し、海水の¹²⁹Iの変動傾向を調査する必要がある。

表 2-6-1 ヨウ素 129 分析結果

試料名	試料採取地	種類 深さ	採取地点	採取年月日	ヨウ素129		単位	原子数比 ($^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$)			
土壌	北海道	0-5cm	江別市	2022. 12. 15	0. 49	±	mBq/kg (乾土)	7. 8E-09	±	2. 1E-10	
		5-20cm			0. 16	±		2. 5E-09	±	1. 2E-10	
	秋田県	0-5cm	秋田市	2022. 10. 06	0. 72	±	mBq/kg (乾土)	3. 2E-09	±	8. 0E-11	
		5-20cm			0. 36	±		1. 4E-09	±	3. 6E-11	
	千葉県		0-5cm	市原市	2022. 06. 28	0. 14	±	mBq/kg (乾土)	9. 5E-09	±	4. 1E-10
			5-20cm			0. 12	±		4. 8E-09	±	1. 5E-10
牛乳	北海道		河東郡	2022. 05. 31	0. 0006	±	mBq/L	6. 4E-10	±	6. 4E-11	
	秋田県		秋田市	2022. 09. 12	0. 0010	±		2. 5E-10	±	2. 4E-11	
	千葉県		千葉市	2022. 05. 31	0. 0012	±		1. 7E-09	±	1. 1E-10	
海藻	北海道	コンブ	余市郡余市町	2022. 08. 22	0. 86	±	mBq/kg (生)	1. 5E-10	±	2. 3E-12	
	秋田県	アカモク	秋田県男鹿市	2022. 05. 12	0. 73	±		4. 6E-10	±	1. 0E-11	
	千葉県	アラメ	御宿町岩和田 漁港沖	2022. 08. 23	0. 23	±		5. 4E-11	±	9. 9E-13	
野菜	北海道		恵庭市	2022. 10. 12	0. 000108	±	mBq/kg (生)	6. 9E-09	±	2. 3E-09	
	秋田県	キャベツ	秋田市	2022. 10. 24	0. 000122	±		1. 4E-08	±	2. 8E-09	
	千葉県		千葉市	2022. 05. 31	0. 000059	±		3. 6E-09	±	8. 4E-10	

注) 「E-X」は「 10^{-x} 」を意味している。

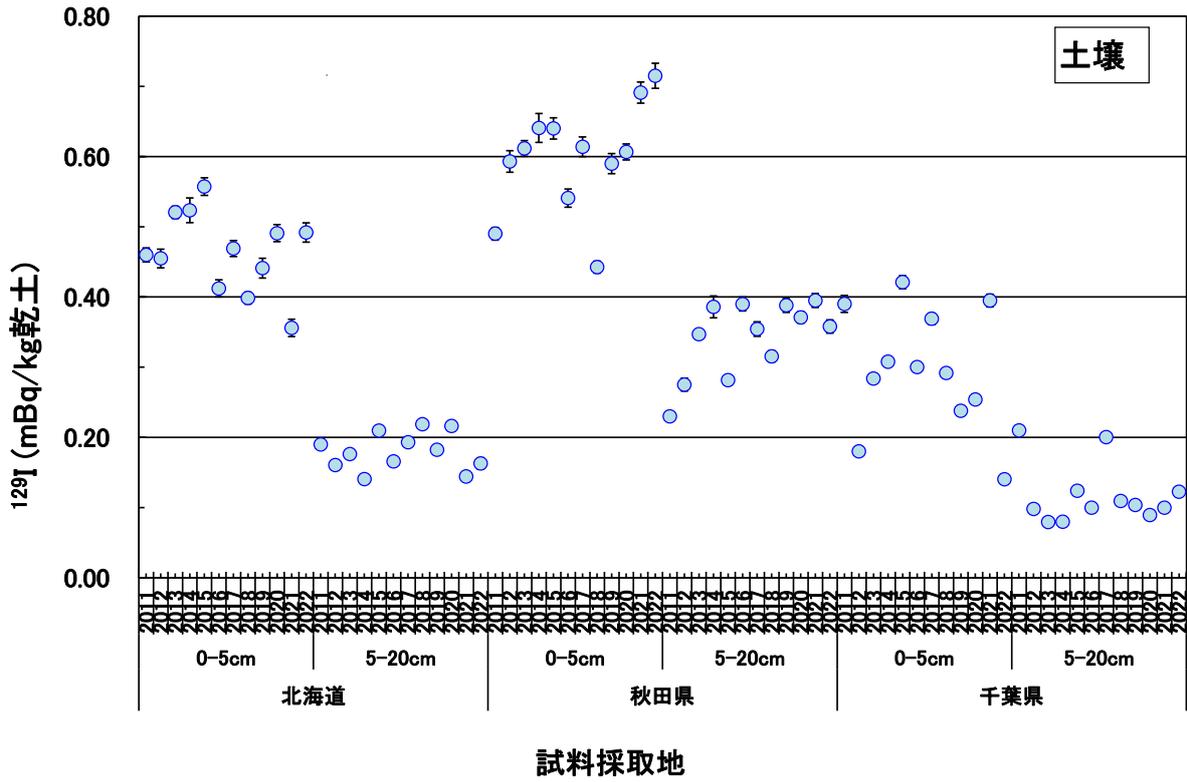


図 2-6-1 土壌 (0-5cm、5-20cm) の ^{129}I 濃度

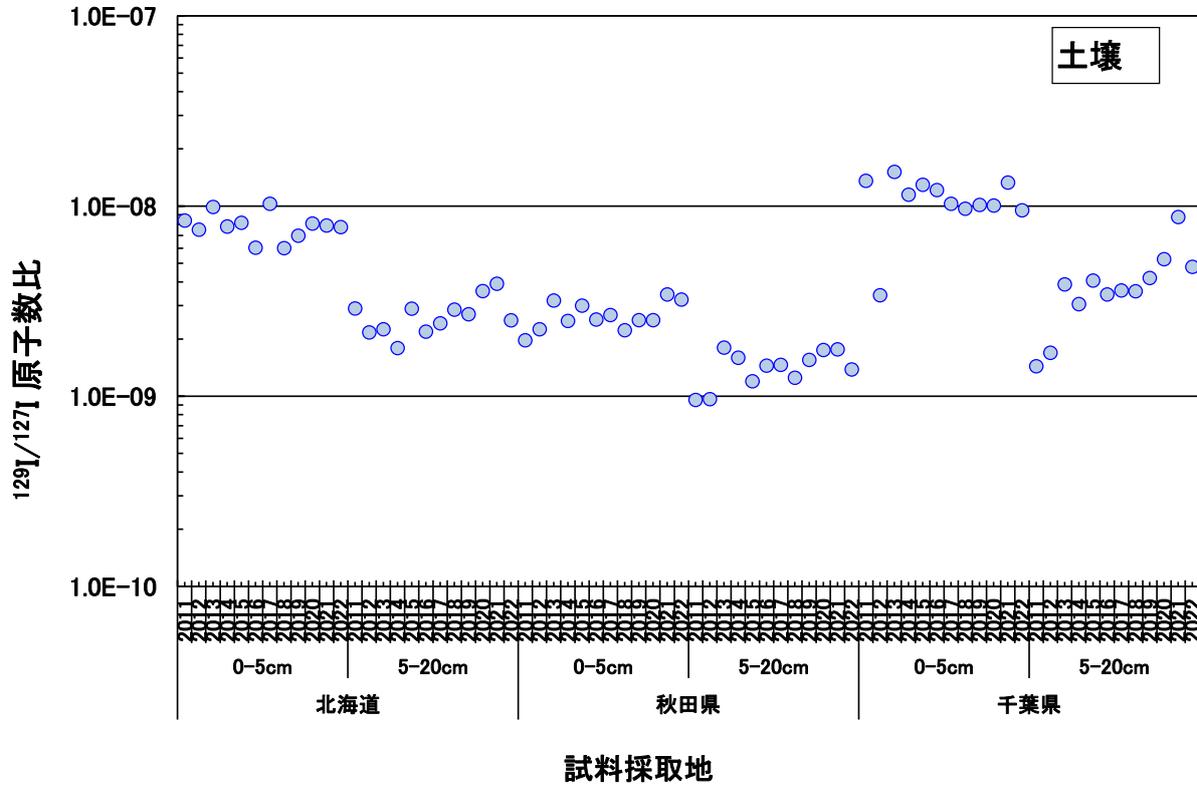


図 2-6-2 土壌 (0-5cm、5-20cm) の $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比

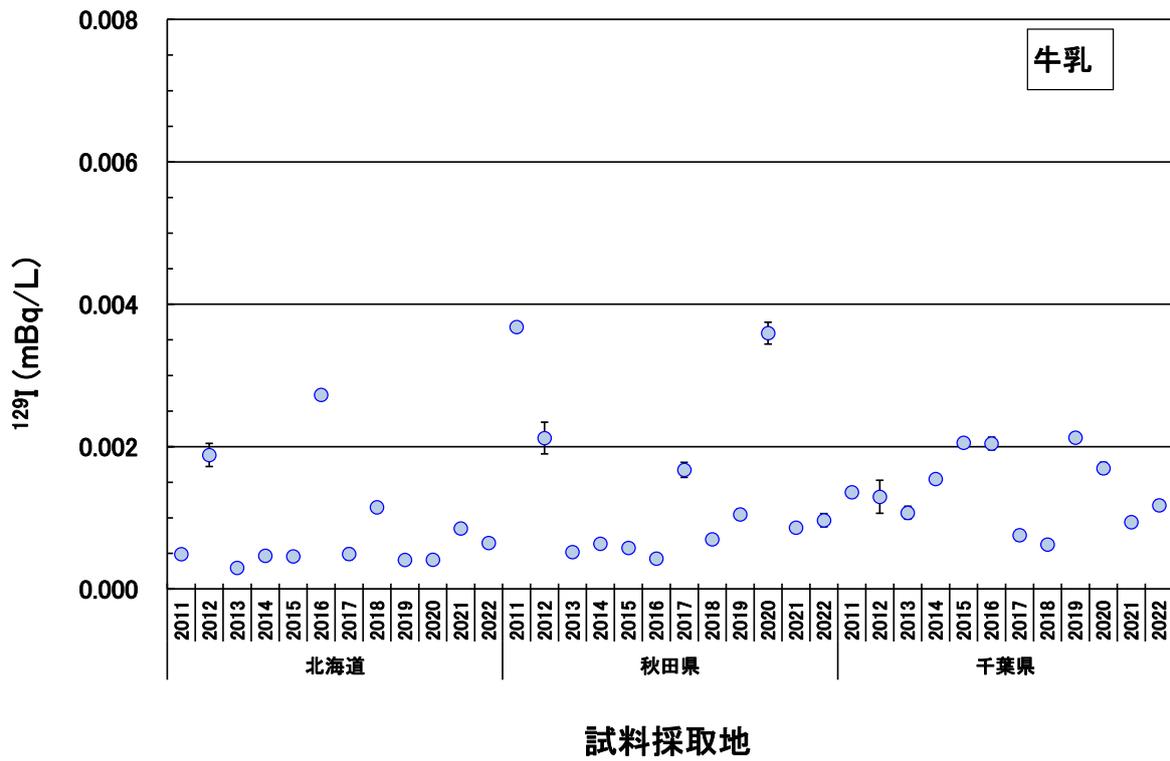


図 2-6-3 牛乳の ^{129}I 濃度

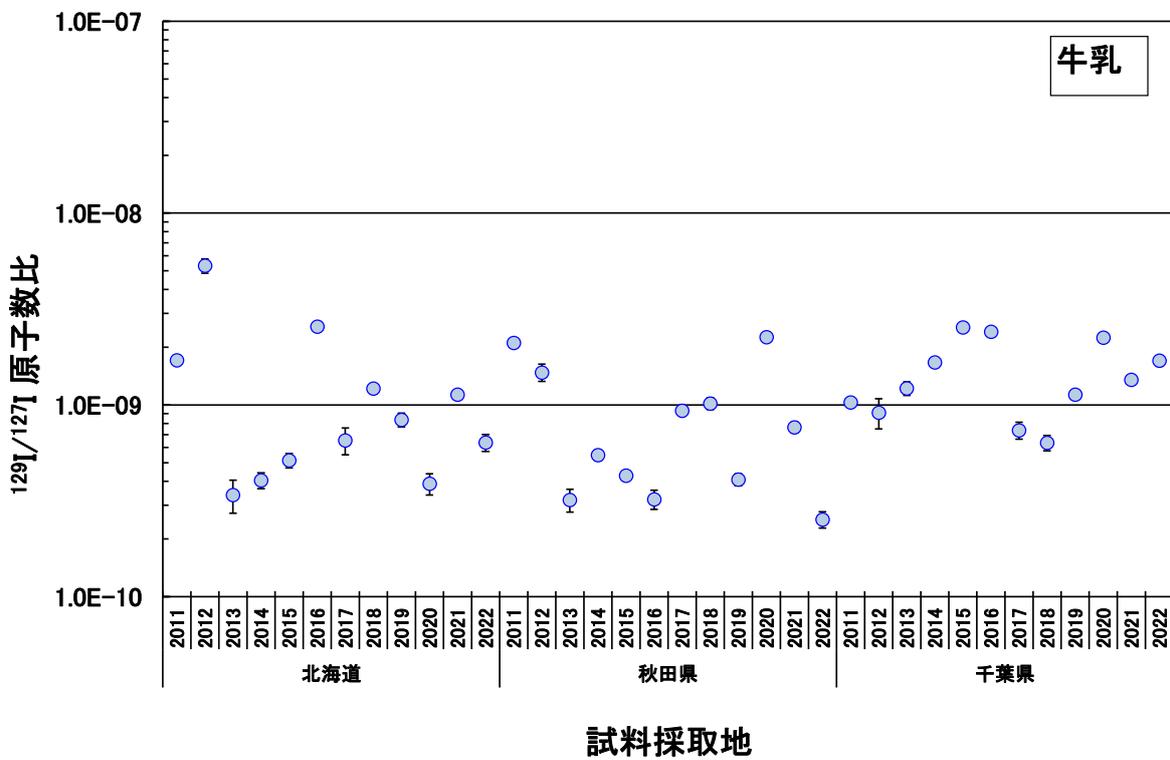


図 2-6-4 牛乳の $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比

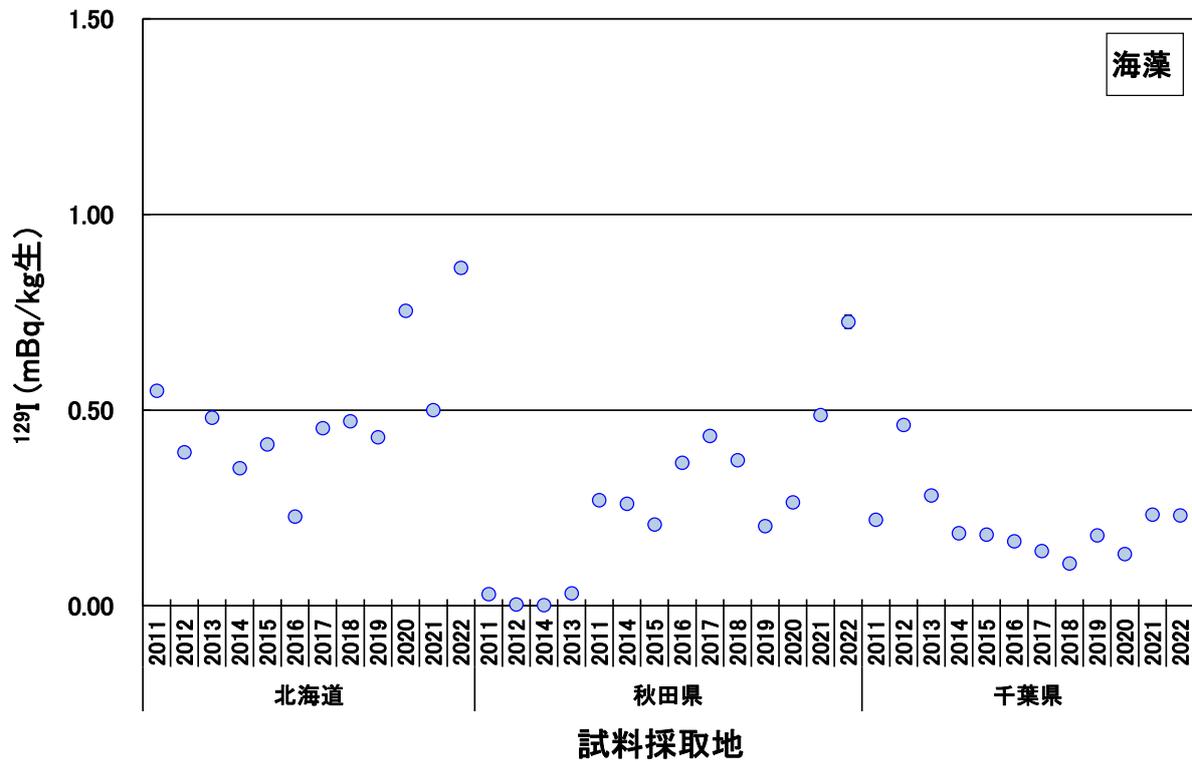


図 2-6-5 海藻の ^{129}I 濃度

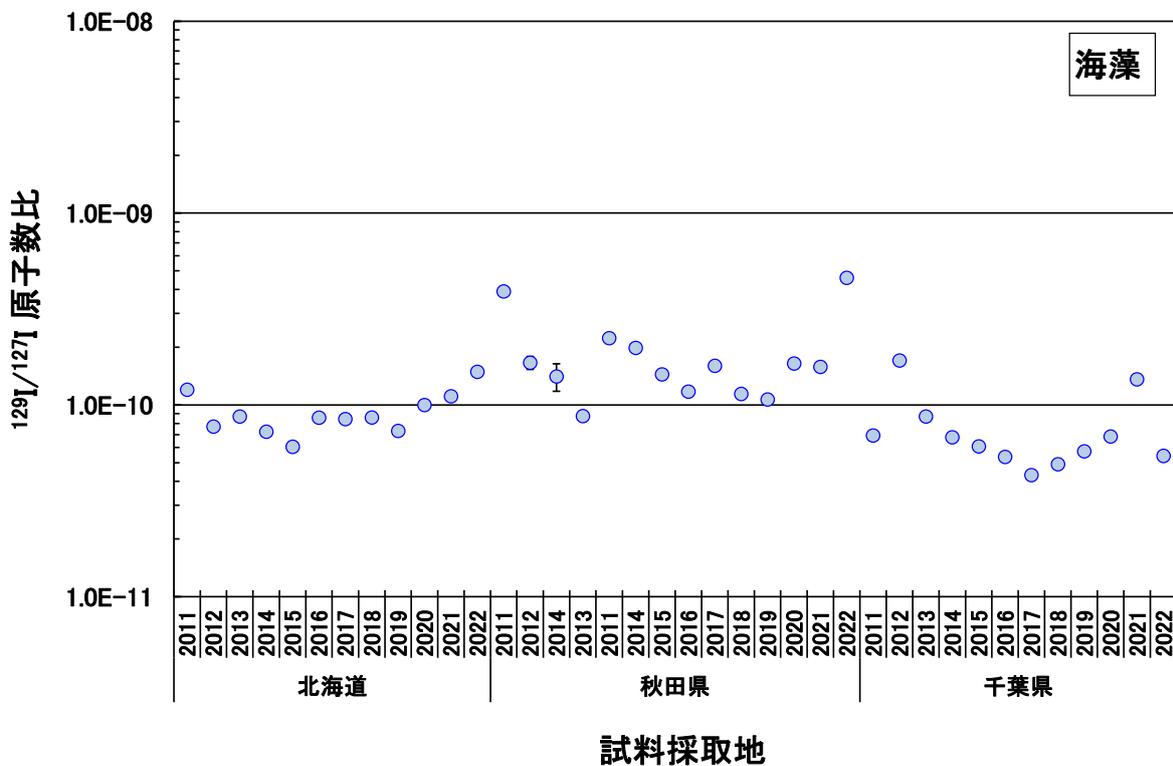


図 2-6-6 海藻の $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比

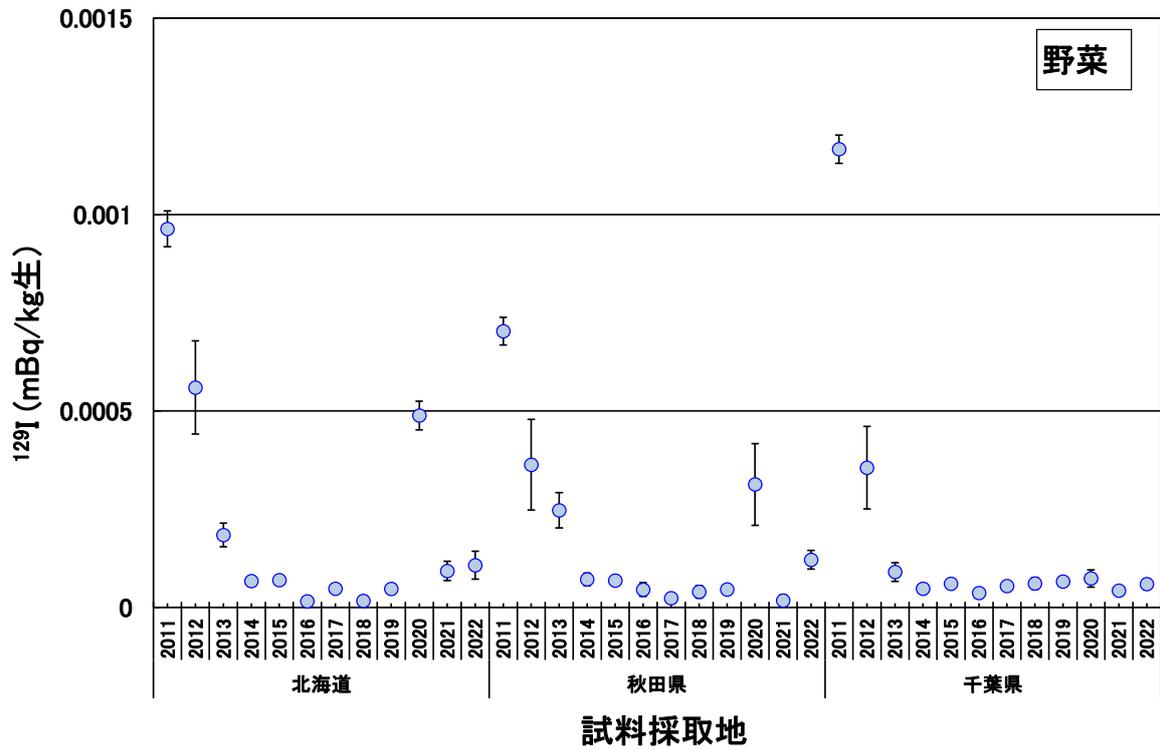


図 2-6-7 野菜の¹²⁹I濃度

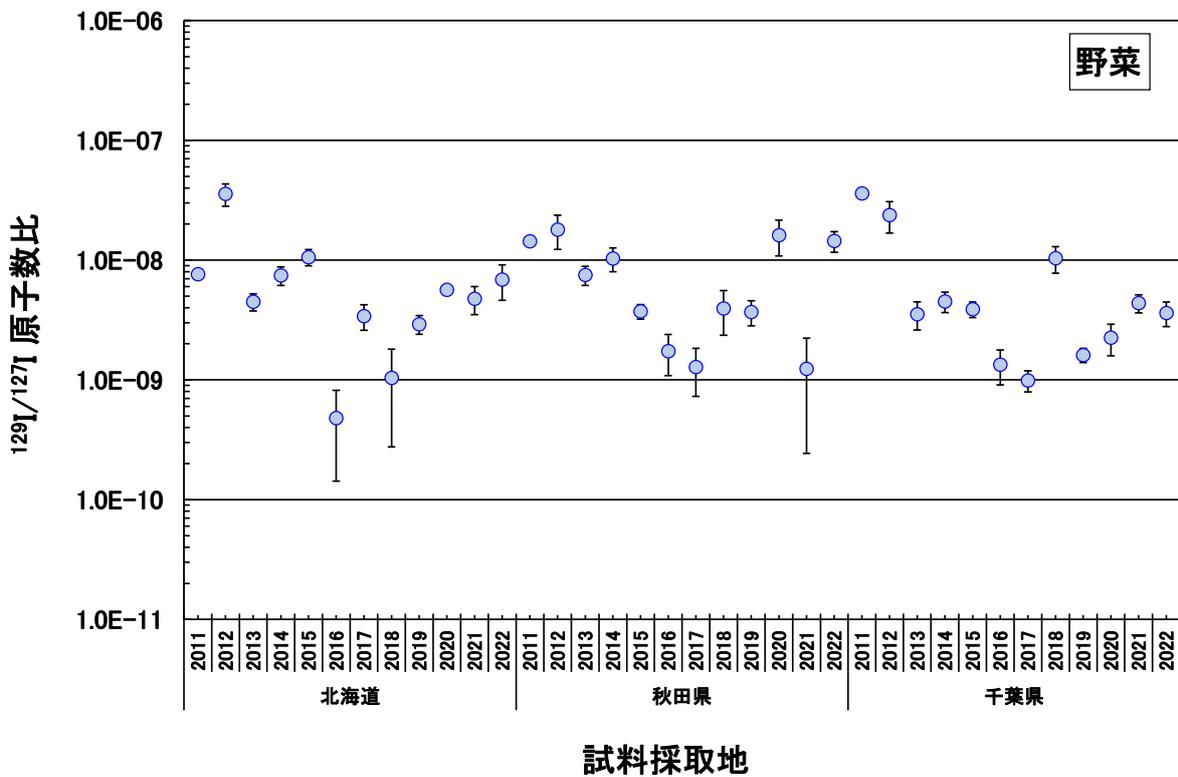


図 2-6-8 野菜の¹²⁹I/¹²⁷I原子数比

表 2-6-2 2022 年度 大気浮遊じんの採取記録

採取期間	20220104~20220207	20220207~20220307	20220307~20220404	20220404~20220502
積算流量 (m ³)	548164.2	451011.1	454136.2	449533.8
試料重量 (g)	155.62	125.22	127.62	125.72
分取重量 (g) (分取率)	15.57 (10.0wt%)	12.58 (10.0wt%)	12.78 (10.0wt%)	12.59 (10.0wt%)

採取期間	20220502~20220606	20220606~20220704	20220704~20220801	20220801~20220905
積算流量 (m ³)	567717.9	451613.9	453001.2	548105.1
試料重量 (g)	154.65	124.92	123.4	154.28
分取重量 (g) (分取率)	15.48 (10.0wt%)	12.50 (10.0wt%)	12.36 (10.0wt%)	15.49 (10.0wt%)

採取期間	20220905~20221003	20221003~20221107	20221107~20221205	20221205~20230104
積算流量 (m ³)	452936.1	563946.7	447768.1	475140.7
試料重量 (g)	122.95	158.05	126.58	125.02
分取重量 (g) (分取率)	12.30 (10.0wt%)	15.84 (10.0wt%)	12.68 (10.0wt%)	12.50 (10.0wt%)

表 2-6-3 2022 年度 大気浮遊じんのヨウ素 129 分析結果

試料	採取地点	試料採取時期	ヨウ素129			単位	原子数比 (¹²⁹ I/ ¹²⁷ I)		
				±				±	
大気浮遊じん (SNOW WHITE)	千葉県	2022年1月	5.5E-07	±	7.4E-09	mBq/m ³	2.6E-08	±	3.3E-10
		2022年2月	6.8E-07	±	8.2E-09		4.0E-08	±	4.7E-10
		2022年3月	1.2E-06	±	1.4E-08		5.1E-08	±	6.0E-10
		2022年4月	5.4E-07	±	6.9E-09		2.1E-08	±	2.7E-10
		2022年5月	2.6E-07	±	4.1E-09		1.1E-08	±	1.7E-10
		2022年6月	1.2E-07	±	2.4E-09		4.7E-09	±	9.5E-11
		2022年7月	5.2E-08	±	1.8E-09		2.9E-09	±	9.8E-11
		2022年8月	1.7E-07	±	4.5E-09		8.0E-09	±	2.1E-10
		2022年9月	4.2E-07	±	1.0E-08		2.0E-08	±	4.8E-10
		2022年10月	5.3E-07	±	1.3E-08		2.2E-08	±	5.1E-10
		2022年11月	4.8E-07	±	1.1E-08		2.1E-08	±	4.5E-10
		2022年12月	4.1E-07	±	9.4E-09		1.9E-08	±	4.1E-10

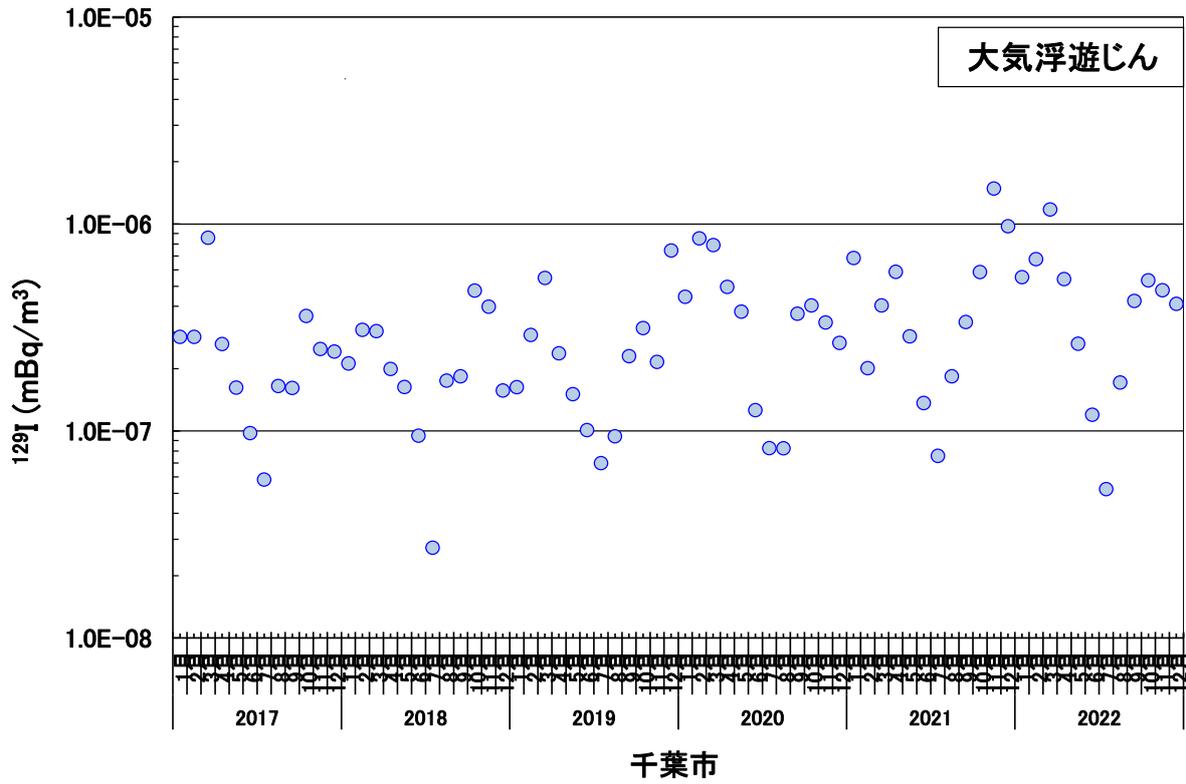


図 2-6-9 大気浮遊じんの ^{129}I 濃度

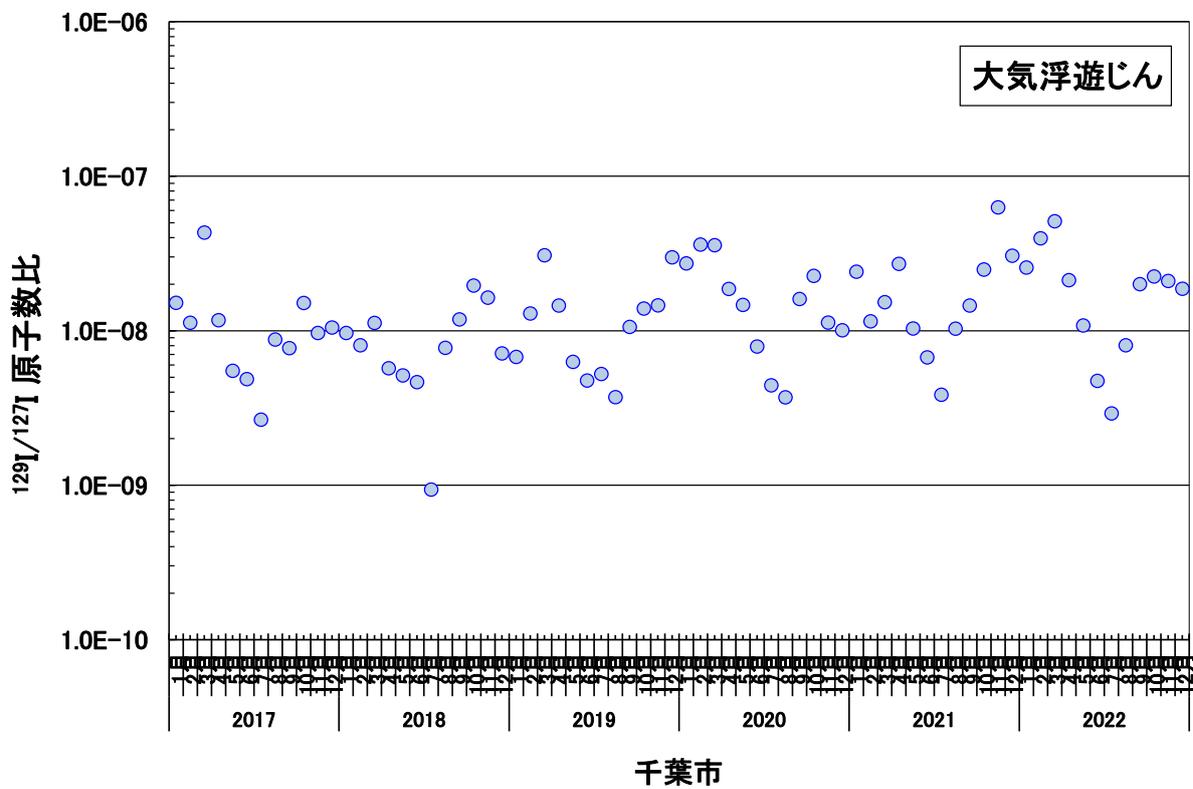


図 2-6-10 大気浮遊じんの $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比

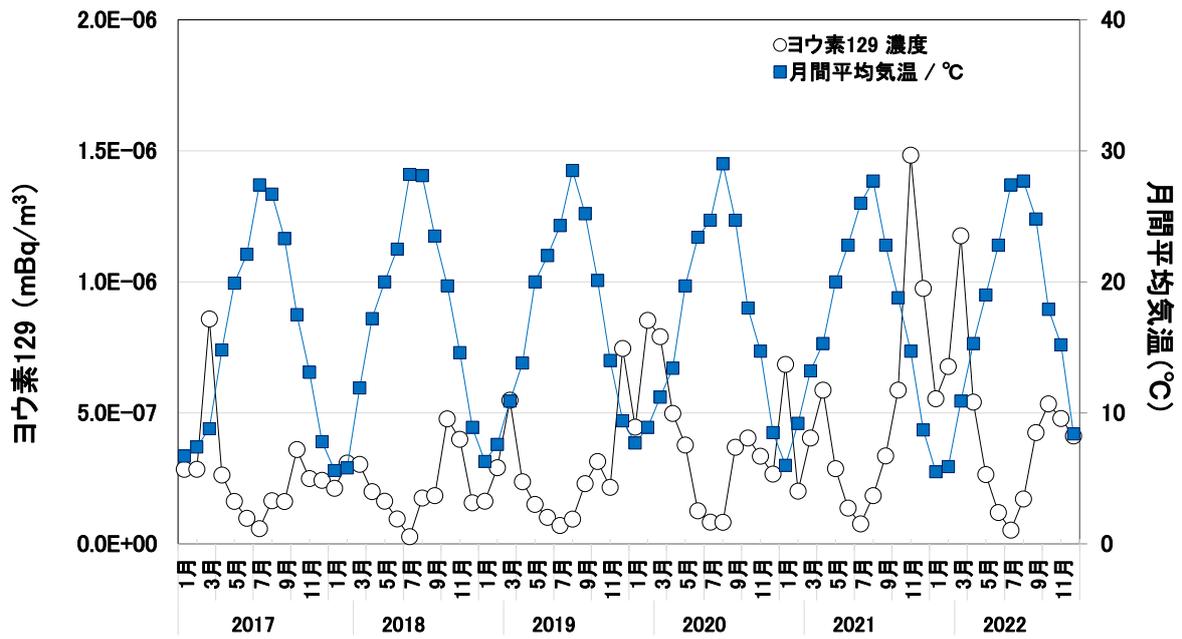


図 2-6-11 大気浮遊じん中の ^{129}I 濃度 vs 月間平均気温

表 2-6-4 海水のヨウ素 129 分析結果

試料	採取場所	採取日	採取深度	ヨウ素129		単位	原子数比 ($^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$)	
海水1	北海道 (夏季)	2022年8月23日	表層	3.8E-05	± 3.3E-06		mBq/kg	1.0E-10
				4.2E-05	± 3.6E-06	1.1E-10		± 7.3E-12
海水2	秋田県 (夏季)	2022年8月23日	表層	6.0E-05	± 2.0E-06	2.3E-10		± 7.0E-12
				5.8E-05	± 1.8E-06	2.2E-10		± 6.5E-12
海水3	千葉県 (夏季)	2022年8月3日	表層	1.9E-05	± 9.9E-07	5.2E-11		± 2.5E-12
				1.8E-05	± 9.1E-07	4.8E-11		± 2.3E-12
海水4	北海道 (冬季)	2022年11月29日	表層	3.8E-05	± 1.5E-06	1.5E-10		± 5.8E-12
海水5	秋田県 (冬季)	2022年11月29日	表層	4.6E-05	± 1.7E-06	1.7E-10		± 6.2E-12
海水6	千葉県 (冬季)	2022年11月22日	表層	1.1E-05	± 8.7E-07	3.0E-11		± 2.3E-12
				1.2E-05	± 7.6E-07	3.2E-11		± 2.0E-12

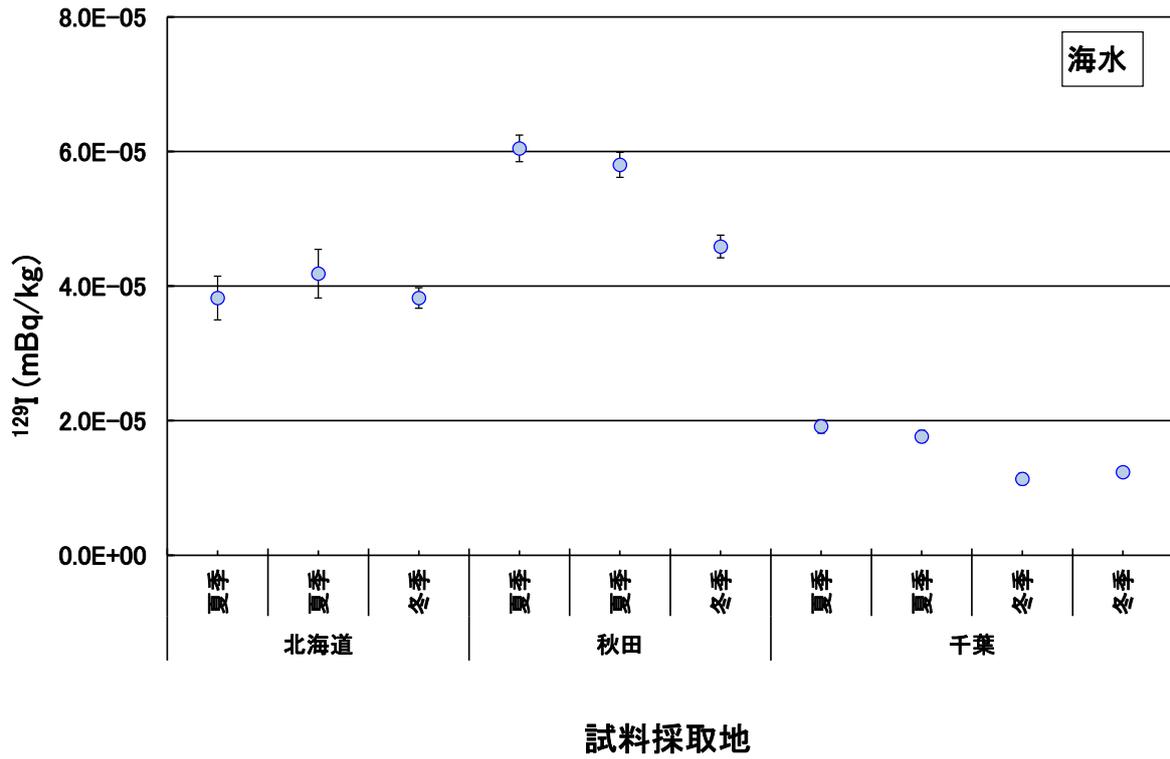


図 2-6-12 海水の ^{129}I 濃度

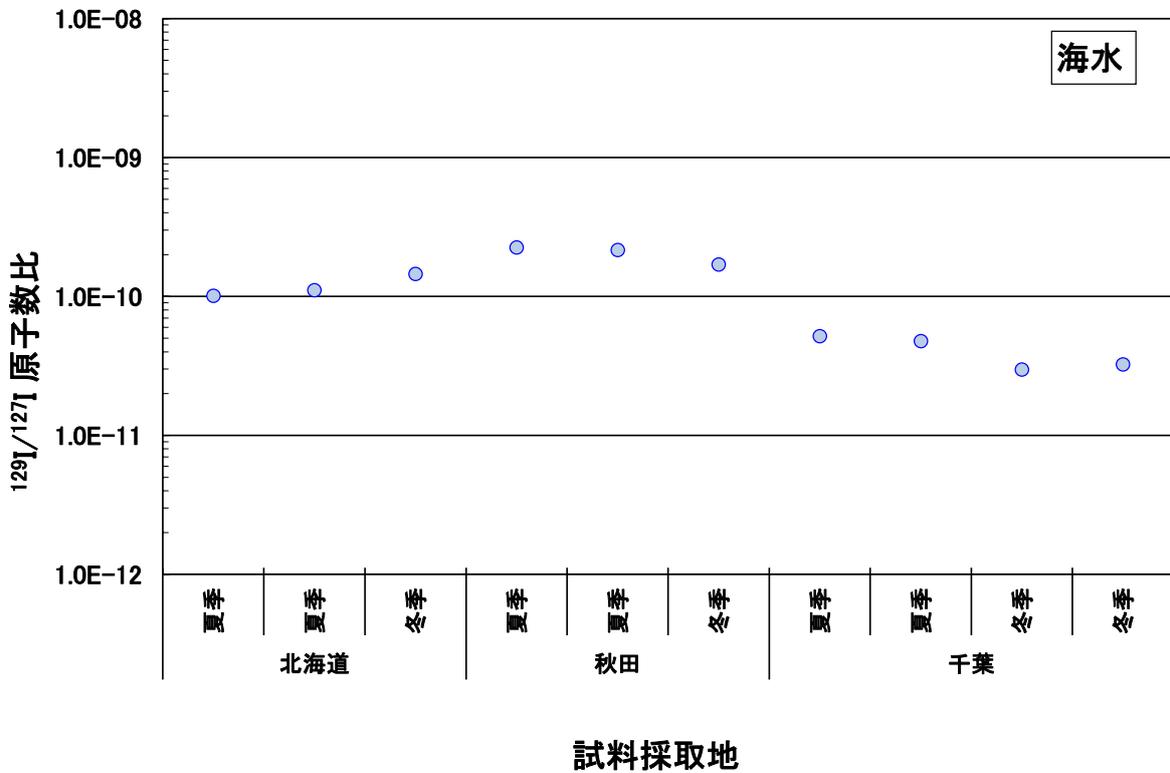


図 2-6-13 海水の $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比

2.7 炭素 14 分析

(1) 概要

国内 3 地域（北海道、秋田県、千葉県）において、大気中二酸化炭素（夏季）、精米及び野菜をそれぞれ 1 試料採取した。また、季節ごとに大気中二酸化炭素変動を把握するため、冬季も夏季同様に大気中二酸化炭素（北海道、秋田県、千葉県）を各 1 試料採取した。分析試料を表 2-7-1 に示す。

^{14}C 前処理装置を用いて試料に含まれる炭素を二酸化炭素ガスとして抽出しグラファイト化して測定試料とした。加速器質量分析装置を用いて炭素同位体比 ($^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$) を測定し、 ^{14}C 比放射能を算出した。また、炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) を元素分析/同位体比質量分析計を用いて測定した。

なお、バックグラウンド試料及び標準試料として、IAEA C1 及び IAEA C6、NIST SRM 4990C を試料と同様の工程で分析した。

表 2-7-1 ^{14}C 分析試料

試料名	採取場所	採取期間
大気中二酸化炭素 (夏季)	北海道札幌市 (北海道立衛生研究所)	2022. 8. 23～ 2022. 9. 6
	秋田県秋田市 (秋田県健康環境センター)	
	千葉県千葉市 (日本分析センター 千葉本部)	
大気中二酸化炭素 (冬季)	北海道札幌市 (北海道立衛生研究所)	2022. 11. 29～ 2022. 12. 13
	秋田県秋田市 (秋田県健康環境センター)	
	千葉県千葉市 (日本分析センター 千葉本部)	
精米	北海道石狩市	2022. 10. 2
	秋田県秋田市	2022. 10. 17
	千葉県千葉市	2022. 10. 7
野菜 (キャベツ)	北海道恵庭市	2022. 10. 12
	秋田県秋田市	2022. 10. 24
	千葉県千葉市	2022. 5. 31

(2) 結果と考察

結果を表 2-7-2 に示す。冬季に採取した大気中二酸化炭素の ^{14}C 比放射能の結果が夏季より低い傾向がみられた。この原因として、①夏季には、全球のバイオマスが増加し、軽い炭素 12 は生物圏にシフトし、大気中での重い炭素 14 の割合が相対的に増加した。②冬季では、化石燃料が多く消費され、炭素 14 を含まない二酸化炭素が放出されるため、大気中での重い炭素 14 の割合が減少したと考えられる。一方、大気中二酸化炭素の安定同位体比の分析結果にも同様の傾向が観測された。冬季では、大気中での重い炭素 14 と共に炭素 13 の割合も相対的に減少しており、それに伴って $\delta^{13}\text{C}$ も減少していたことから、大気中二酸化炭素の ^{14}C 比放射能の冬季結果の低下を裏付けるものであった。

大気中二酸化炭素の結果を含め、精米及び野菜においては過去の調査結果(表 2-7-3) と同程度であった。

表 2-7-2 ^{14}C 分析結果

試料名	採取場所	採取時期	^{14}C 比放射能(Bq/gC)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
大気中二酸化炭素 (夏季)	北海道札幌市 (北海道立衛生研究所)	2022. 8. 23~ 2022. 9. 6	0. 220 ± 0. 0011	-23. 7 ± 0. 13
	秋田県秋田市 (秋田県健康環境センター)		0. 228 ± 0. 0014	-20. 7 ± 0. 12
	千葉県千葉市 (日本分析センター千葉本部)		0. 218 ± 0. 0011	-20. 5 ± 0. 16
大気中二酸化炭素 (冬季)	北海道札幌市 (北海道立衛生研究所)	2022. 11. 29~ 2022. 12. 13	0. 219 ± 0. 0034	-26. 6 ± 0. 03
	秋田県秋田市 (秋田県健康環境センター)		0. 223 ± 0. 0032	-22. 7 ± 0. 04
	千葉県千葉市 (日本分析センター千葉本部)		0. 212 ± 0. 0029	-21. 7 ± 0. 01
精米	北海道石狩市	2022. 10. 2	0. 226 ± 0. 0020	-28. 6 ± 0. 11
	秋田県秋田市	2022. 10. 17	0. 229 ± 0. 0023	-28. 1 ± 0. 26
	千葉県千葉市	2022. 10. 7	0. 226 ± 0. 0020	-28. 9 ± 0. 14
野菜 (キャベツ)	北海道恵庭市	2022. 10. 12	0. 221 ± 0. 0022	-29. 0 ± 0. 07
	秋田県秋田市	2022. 10. 24	0. 218 ± 0. 0025	-28. 8 ± 0. 07
	千葉県千葉市	2022. 5. 31	0. 222 ± 0. 0014	-27. 3 ± 0. 22

- 注) 1. 炭素 14 比放射能は、 $\delta^{13}\text{C}$ による補正をしていない値である。また、同一バッチで調製した IAEA C1 試料をバックグラウンドとして差し引いた。
 2. 炭素 14 比放射能の誤差は、加速器質量分析装置を用いて測定した際の標準偏差 (1σ) である。
 3. $\delta^{13}\text{C}$ の表示は、安定同位体比質量分析装置を用いて 3 回測定した結果の平均値 ± 標準偏差 (1σ) である。

表 2-7-3 過去の調査結果との比較

	大気 (夏季)	大気 (冬季)	精米	野菜
^{14}C 比放射能 (Bq/g 炭素)				
本調査	0.218~0.228	0.212~0.223	0.226~0.229	0.218~0.222
過去の調査*	0.209~0.247		0.218~0.260	0.220~0.270
	大気 (夏季)	大気 (冬季)	精米	野菜
$\delta^{13}\text{C}$ (‰)				
本調査	-23.7~-20.5	-26.6~-21.7	-28.9~-28.1	-29.0~-27.3
過去の調査**	-23.8~-18.4	-28.3~-20.6	-29.0~-27.0	-28.8~-26.6

* 過去の調査：2003 年度～2021 年度に実施された環境放射能水準調査及び原子力施設周辺環境放射線モニタリング調査の炭素 14 比放射能結果

** 過去の調査：2015 年度～2021 年度に実施された環境放射能水準調査の炭素安定同位体比結果

2.8 クリプトン 85 分析

(1) 概要

青森県における大型再処理施設の稼働に伴い大気中に放出されるクリプトン 85 (^{85}Kr : 半減期 10.76 年) の大気中濃度について調査を実施し、放射能水準を把握する。

1) 調査対象地区

大気中 ^{85}Kr 濃度の調査対象地区は、北海道地区（札幌市）、東北地区（秋田市、三春町）、関東・中部・近畿・中国地区（千葉市）、四国・九州地区（太宰府市）及び沖縄地区（南城市）の 5 地区（図 2-8-1 参照）である。2022 年度は、昨年度より調査を継続している 3 地区（札幌市、秋田市及び千葉市）において、大気の連続捕集を 1 週間ごとに 1 年間通して実施して、大気中のクリプトンを採取した。また、2016 年度から 2018 年度まで調査対象地区に追加された三春町において、大気の連続捕集を 2 週間ごとに 1 年間通して実施して、大気中のクリプトンを採取した。大気中 ^{85}Kr 濃度の調査地点及び希ガス捕集装置を設置した機関を表 2-8-1 に示す。

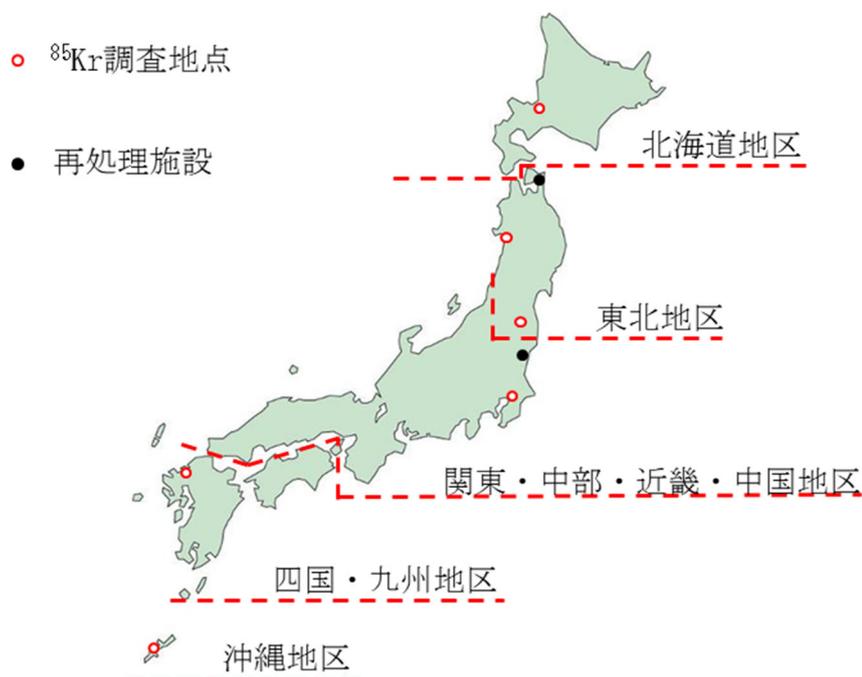


図 2-8-1 放射性希ガス濃度の調査対象地区

表 2-8-1 大気中 ^{85}Kr 濃度の調査地点及び希ガス捕集装置設置機関

調査対象地区	調査地点		緯度
	都市	捕集装置設置機関	経度
北海道地区	札幌市	北海道立衛生研究所	43.1° N
			141.3° E
東北地区	秋田市	秋田県健康環境センター	39.7° N
			140.1° E
	三春町	福島県環境創造センター	37.4° N 140.5° E
関東・中部・ 近畿・ 中国地区	千葉市	日本分析センター	35.7° N
			140.1° E
四国・九州地区	太宰府市	福岡県保健環境研究所	33.5° N 130.5° E
沖縄地区	南城市	沖縄県衛生環境研究所	26.2° N
			127.8° E

2) 調査期間

札幌市、秋田市及び千葉市において、2022年2月7日より2023年2月6日まで調査を実施した。

なお、札幌市及び秋田市については、2022年12月19日より2023年1月4日の年末・年始期間は大気試料の捕集操作を実施せず、調査を中断した。

3) 分析方法

① 大気試料の捕集（詳細については、3.8を参照のこと。）

放射性希ガス濃度調査の調査地点において、流量1L/分で1週間（三春町は流量0.5L/分で2週間）継続して行い、大気約10m³中の希ガスを捕集した。希ガスを液体窒素温度に冷却された希ガス吸着捕集容器内の活性炭に捕集し、ヒーターで加熱することにより脱着した。脱着した希ガスをアルミ缶に封入し、分析試料とした。

② ^{85}Kr 分析

分析試料を、ガスクロマトグラフにより分離・精製し、閉鎖系のループに導入した。ガスフロー式のGM計数管により放射線測定を行うと同時に、ガスクロマトグラフにより全クリプトンの定量を行った。大気中のクリプトン存在比(=1.14mL/m³)を用いて大気中 ^{85}Kr 放射能濃度(Bq/m³)を算出した。

(2) 結果と考察

2006年7月から2023年2月までの札幌市、秋田市、三春町、千葉市、太宰府市及び南城市の大気中⁸⁵Kr濃度(Bq/m³)を図2-8-2に、2022年度の調査地点である札幌市、秋田市及び千葉市の大気中⁸⁵Kr濃度(Bq/m³)を図2-8-3に示す。

2022年2月から2023年2月採取分における秋田市及び札幌市の大気中⁸⁵Kr濃度は1.30～1.50 Bq/m³で、平均値としては1.40～1.41 Bq/m³であった。これらの結果は、大気中⁸⁵Kr放射能濃度のバックグラウンドレベル(1.3～1.6 Bq/m³)*1,*2,*3であった。

また千葉市の大気中⁸⁵Kr濃度は1.30～2.09 Bq/m³で、平均値としては1.43 Bq/m³であった。2022年2月14日から2月21日の期間に1.66 Bq/m³、2022年3月7日から3月14日の期間に2.09 Bq/m³、2022年3月28日から4月4日の期間に1.76 Bq/m³と通常バックグラウンドレベルを超える⁸⁵Kr濃度が観測された。秋田市や札幌市では高い濃度が観測されていないことから、千葉市近傍に放出源があったものと考えられたため、国内の再処理施設の状況を調査したところ、日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所 東海再処理施設クリプトン回収技術開発施設において、2022年2月14日から4月26日にかけて⁸⁵Krが環境中に管理放出されていた(表2-8-2参照)。日本原子力研究開発機構が公表している放出量データ*4によると最大120 TBq/週の⁸⁵Krが放出されており、これらの管理放出が千葉市における⁸⁵Kr濃度の上昇を起こしたと考えても矛盾はない。

表 2-8-2 東海再処理施設の ^{85}Kr 放出量と千葉市における大気中 ^{85}Kr 濃度

東海再処理施設の放出量		千葉市の大気中 ^{85}Kr 濃度	
期間	^{85}Kr 放出量 (GBq)	捕集期間	^{85}Kr 濃度 (Bq/m ³)
2022/02/04~02/18	3.5×10^4	2022/02/07~02/14	1.41 ± 0.015
2022/02/18~02/25	1.2×10^5	2022/02/14~02/21	1.66 ± 0.018
2022/02/25~03/04	4.9×10^4	2022/02/21~02/28	1.43 ± 0.017
2022/03/04~03/11	9.2×10^4	2022/02/28~03/07	1.50 ± 0.017
2022/03/11~03/18	1.0×10^5	2022/03/07~03/14	2.09 ± 0.020
2022/03/18~03/25	2.1×10^4	2022/03/14~03/22	1.52 ± 0.016
2022/03/25~04/01	1.2×10^5	2022/03/22~03/28	1.45 ± 0.020
2022/04/01~04/08	1.1×10^5	2022/03/28~04/04	1.76 ± 0.018
2022/04/08~04/15	5.6×10^4	2022/04/04~04/11	1.56 ± 0.015
2022/04/15~04/22	16	2022/04/11~04/18	1.41 ± 0.015

なお、管理放出期間（2022年2月14日から4月26日）を除いた千葉市の大気中 ^{85}Kr 濃度は $1.30 \sim 1.47 \text{ Bq/m}^3$ で、平均値としては 1.39 Bq/m^3 であった。

これらの結果から、大気中の ^{85}Kr 放射能濃度はバックグラウンドレベル ($1.3 \sim 1.6 \text{ Bq/m}^3$) にあると考えられる。

2008年10月以降（東京電力㈱福島第一原発事故直後は除く）、大気中 ^{85}Kr 濃度は、ほぼバックグラウンドレベルで推移しているものの、季節的な短期変動を示しながら、国外の再処理施設からの ^{85}Kr の放出の影響を受けて長期的な変動を示していると考えられる。大気中の ^{85}Kr 濃度の経年的な変動や年間の ^{85}Kr 濃度分布をわかりやすく表現するために、札幌市、秋田市及び千葉市の経年的な ^{85}Kr 濃度範囲の箱ひげ図を図 2-8-4、図 2-8-5 及び図 2-8-6 に示す。

図 2-8-4 から図 2-8-6 より、国内の大気中の ^{85}Kr 濃度は以下に示す傾向が確認された。

- 国内再処理施設からの ^{85}Kr 放出の影響を受けて、2006 年から 2008 年の ^{85}Kr 濃度の平均値と中央値に差が認められた。
- 国内再処理施設からの ^{85}Kr 放出がほぼない 2009 年以降は、 ^{85}Kr 濃度の平均値と中央値はほぼ一致していた(2011 年及び 2022 年の千葉市は除く)。2011 年の千葉の観測結果は、東京電力(株)福島第一原発事故の影響により、平均値と中央値に差が認められた。また、2022 年の千葉市の観測結果は、東海再処理施設からの ^{85}Kr の管理放出の影響により、平均値と中央値に差が認められた。
- 2009 年～2013 年の ^{85}Kr 濃度はほぼ同程度で推移していた。
- 2014 年～2017 年の ^{85}Kr 濃度は微増傾向が見られた。
- 2018 年～2022 年の ^{85}Kr 濃度は微増傾向前(2009 年～2013 年)の濃度レベルで推移した。

国内の大気中 ^{85}Kr 濃度は国内の再処理施設及び欧州の大型再処理施設の ^{85}Kr 放出量と関係があると考えられるため、各施設からの ^{85}Kr 放出状況を確認したところ(図 2-8-7 参照)、La Hague 再処理工場は横ばいであり、Sellafield 再処理工場については 2019 年～2020 年にかけて減少傾向にあった。La Hague 再処理工場と Sellafield 再処理工場を合わせた ^{85}Kr 年間放出量(図 2-8-8 参照)は横ばいの状況ではあるが、今後の動向に注視してモニタリングを継続する必要がある。

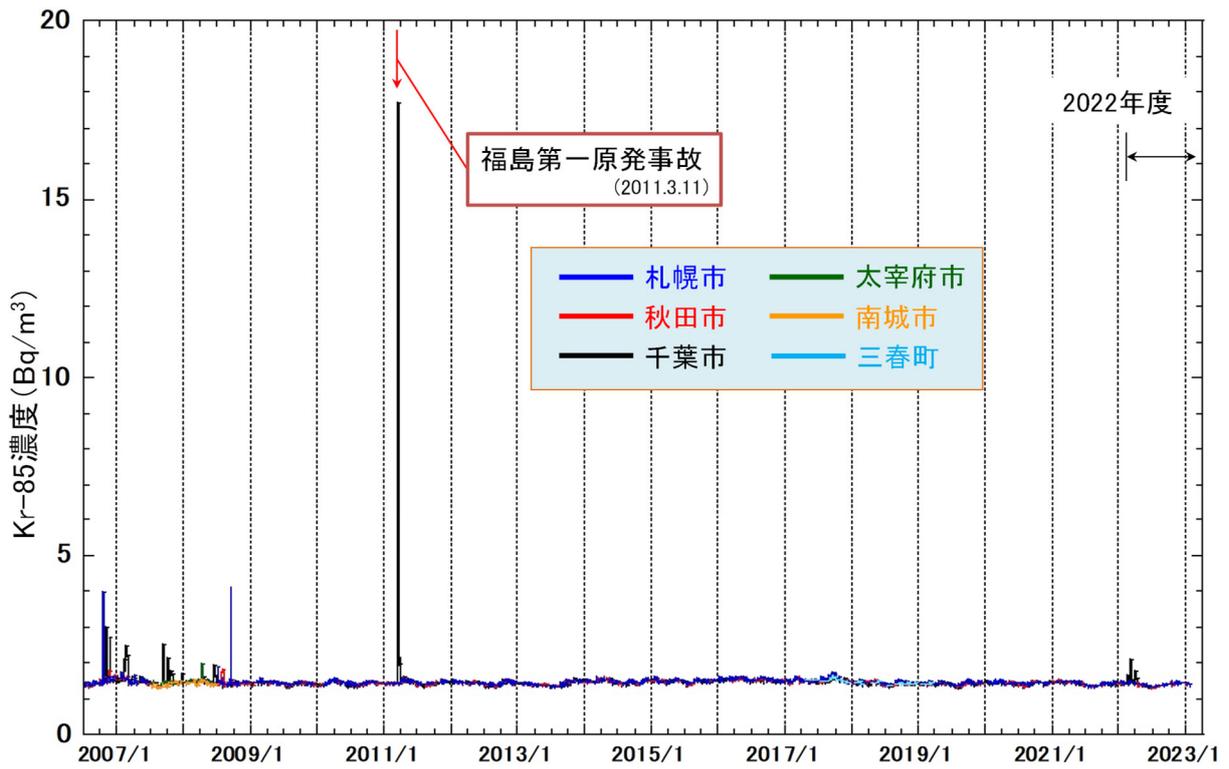


図 2-8-2 大気中 ^{85}Kr 濃度調査結果 (2006 年度～2022 年度)

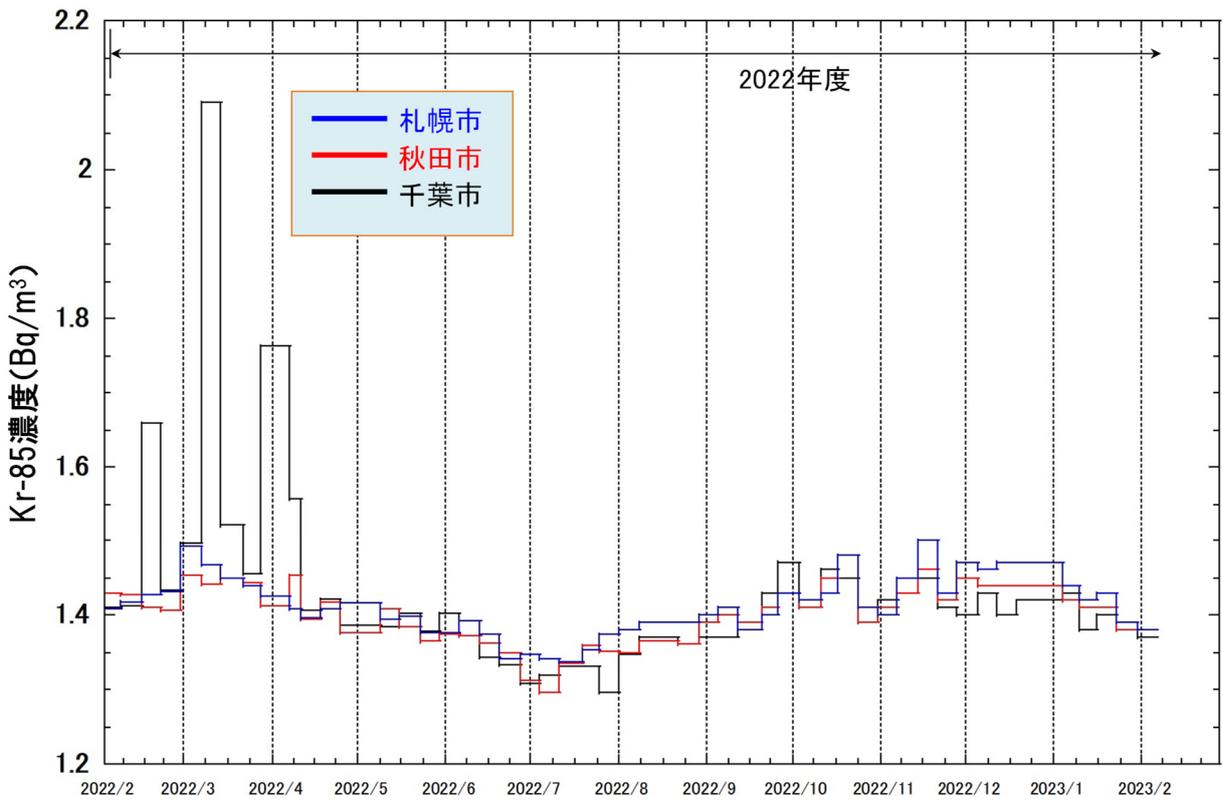


図 2-8-3 大気中 ^{85}Kr 濃度調査結果 (2022 年度)

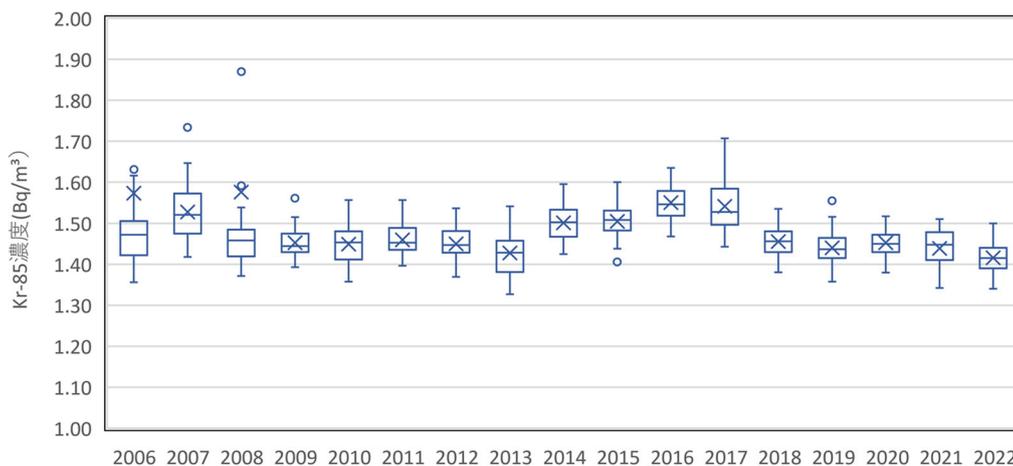


図 2-8-4 札幌市における経年的な ^{85}Kr 濃度範囲の箱ひげ図 (2006-2022 年度)

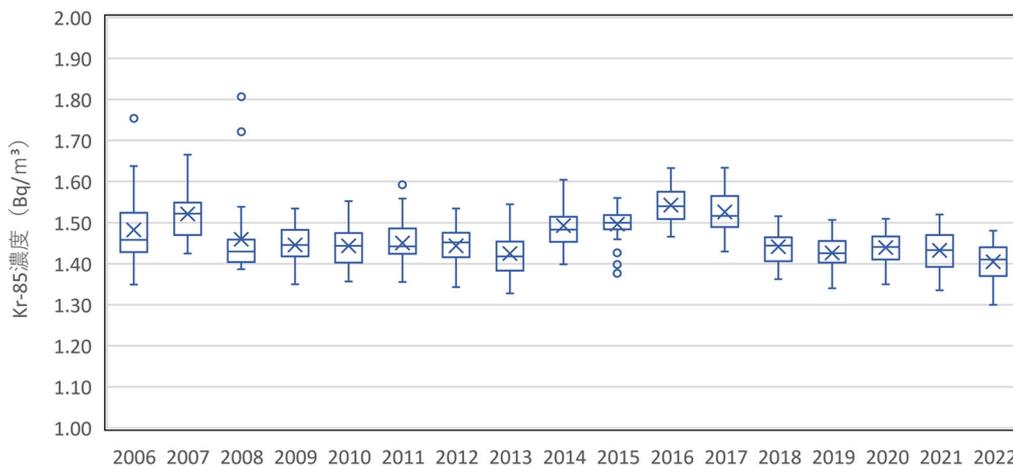


図 2-8-5 秋田市における経年的な ^{85}Kr 濃度範囲の箱ひげ図 (2006-2022 年度)

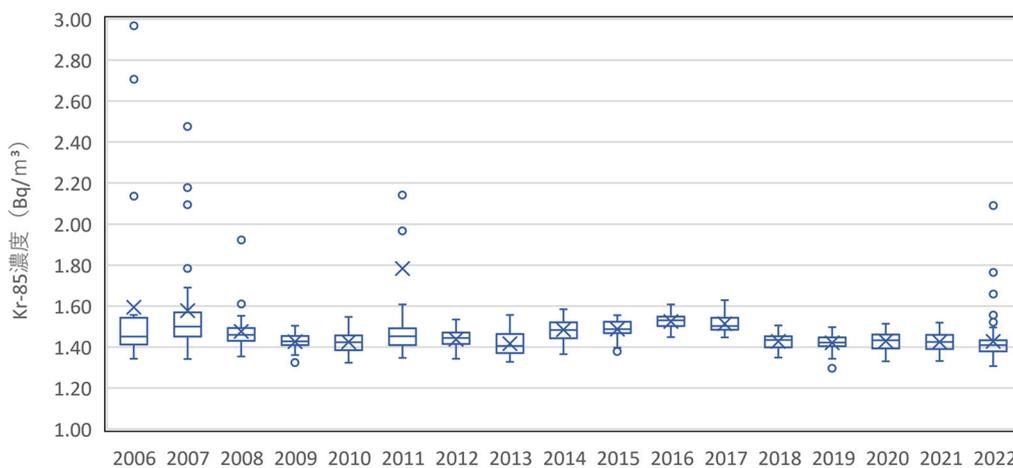


図 2-8-6 千葉市における経年的な ^{85}Kr 濃度範囲の箱ひげ図 (2006-2022 年度)

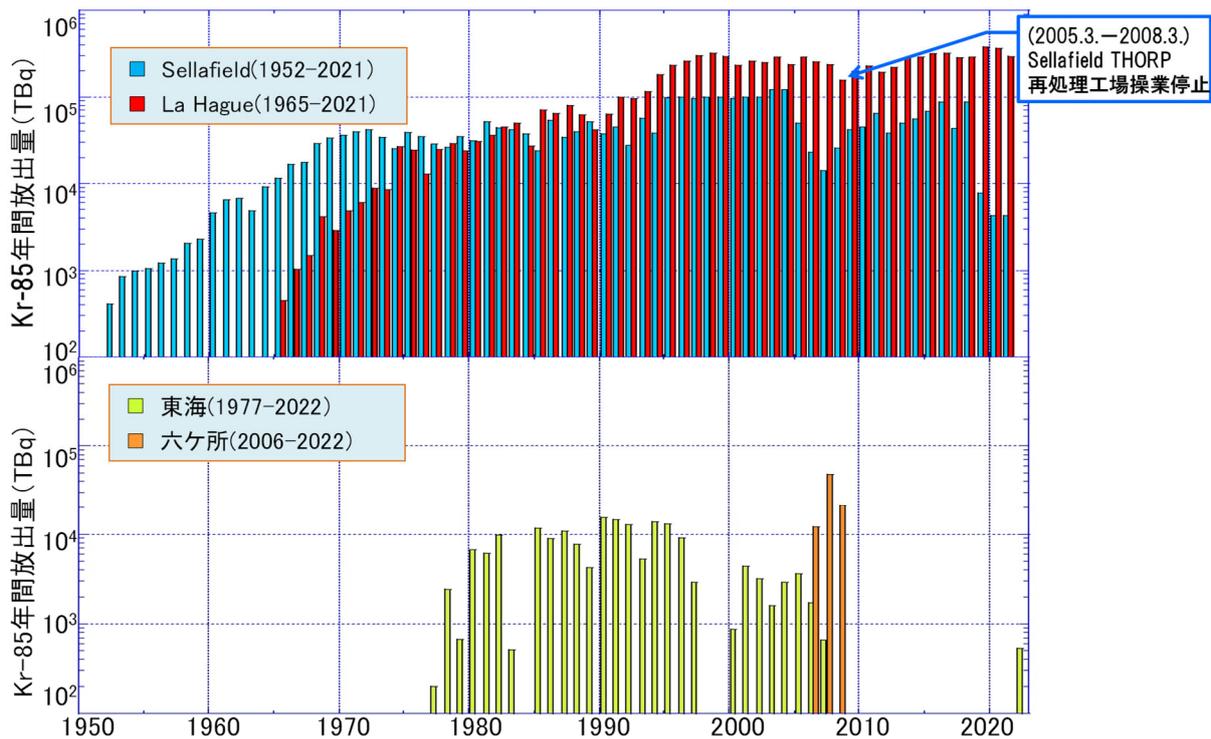


図 2-8-7 主な再処理施設からのクリプトン 85 年間放出量

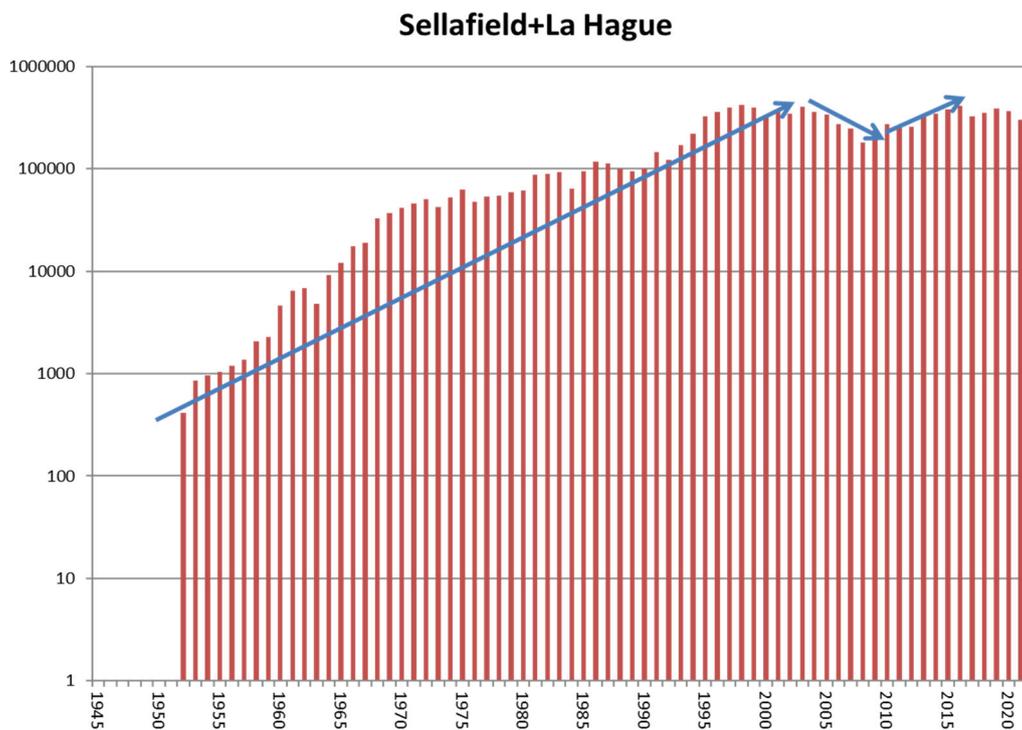


図 2-8-8 Sellafield 再処理工場及び La Hague 再処理工場の年間放出量の合計

- *1:Y. Igarashi, H. Sartorius, T. Miyao, W. Weiss, K. Fushimi, M. Aoyama, K Hirose, H. Y. Inoue, 2000; ^{85}Kr and ^{133}Xe monitoring at MRI, Tsukuba and its importance; Journal of Environmental Radioactivity, 48, 191-202
- *2:Andreasöfer, Clemens Schlosser, Sabine Schmid, Martina Konrad, Roland Purtschert, Roman Kraus 2019; Half a century of Krypton-85 activity concentration measured in air over Central Europe: Trends and relevance for dating young groundwater; Journal of Environmental Radioactivity, 205-206, 7-16
- *3 : 過去の本調査結果
- *4 : 「東海再処理施設の状況 (週報)」
<https://www.jaea.go.jp/04/ztokai/repro/week/itiran.html>

2.9 放射性キセノン分析

(1) 概要

^{131m}Xe (半減期 11.96 日)、 ^{133}Xe (半減期 5.244 日)、 ^{133m}Xe (半減期 2.198 日) 及び ^{135}Xe (半減期 9.143 時間) の大気中濃度を測定した。

1) 調査対象地区

千葉市 (日本分析センター : 緯度 35.661757、経度 140.136619)

2) 調査期間

2022 年 3 月 1 日より 2023 年 2 月 28 日まで調査を実施した。

3) 分析方法

Scientia Sensor Systems 社製希ガス自動観測装置 (SAUNA-II) を用いて、大気試料を流量約 20 L/分で 12 時間捕集した後、モレキュラーシーブや活性炭でキセノンを分離・精製し、 β - γ 同時計数法によって測定した後、SAUNA-II 付属の解析ソフトウェア (XECON) を用いて ^{131m}Xe 、 ^{133}Xe 、 ^{133m}Xe 及び ^{135}Xe 濃度 (mBq/m³) を算出した。

(2) 結果と考察

2018 年 10 月から 2023 年 2 月捕集分の大気中 ^{131m}Xe 、 ^{133}Xe 、 ^{133m}Xe 及び ^{135}Xe 濃度を図 2-9-1~図 2-9-4 に示す。調査期間中の大気中 ^{131m}Xe 濃度は 0.04~1.02 mBq/m³ で、平均値 (n=62) は 0.14 mBq/m³ であった。 ^{133}Xe 濃度は 0.12~1.45 mBq/m³ で、平均値 (n=295) は 0.31 mBq/m³ であった。調査期間中の ^{133}Xe 濃度の最大値は SAUNA-II 導入前 (2019 年 1 月 7 日捕集分まで) の検出下限値の範囲内 (1~3 mBq/m³) であった。 ^{133m}Xe 濃度は 0.04~0.09 mBq/m³ で、平均値 (n=11) は 0.06 mBq/m³ であった。 ^{135}Xe が検出された試料は無かった。これらの結果から、大気中の放射性キセノン濃度はバックグラウンドレベルにあると考えられる*1~*4。

また、日本原子力研究開発機構が採用しているキセノン比の基準*5を用いて結果の評価を行った。包括的核実験禁止条約機関の放射性核種監視観測所において SAUNA-II を運用している同機構では放射性キセノン濃度による異常事象の監視に加え、キセノン比によるフラグ ($^{133m}\text{Xe}/^{131m}\text{Xe} > 2.0$ 、 $^{133m}\text{Xe}/^{133}\text{Xe} > 0.3$ 、 $^{135}\text{Xe}/^{133}\text{Xe} > 5.0$) を立て、注目すべきデータを抽出している。そこで、 ^{131m}Xe と ^{133m}Xe 、 ^{133}Xe と ^{133m}Xe もしくは ^{133}Xe と ^{135}Xe が同時に検出された場合はそれぞれキセノン比 ($^{133m}\text{Xe}/^{131m}\text{Xe}$ 、 $^{133m}\text{Xe}/^{133}\text{Xe}$ 、 $^{135}\text{Xe}/^{133}\text{Xe}$) を算出した。

調査期間において、 $^{133m}\text{Xe}/^{131m}\text{Xe}$ 濃度比は 4 回算出され、それぞれ 0.58 (2022 年 3 月 20 日)、0.67 (2022 年 3 月 23 日)、1.33 (2022 年 6 月 12 日) 及び 0.71 (2022

年7月24日)であった。日本原子力研究開発機構が採用している基準 ($^{133m}\text{Xe}/^{131m}\text{Xe}$ >2.0) 以下であった。上記以外の試料では当該キセノン同位体が同時に検出されなかった。 $^{135}\text{Xe}/^{133}\text{Xe}$ 及び $^{133m}\text{Xe}/^{133}\text{Xe}$ 濃度比については、当該キセノン同位体が同時に検出された試料は無かった。

- *1: Workshop on Signatures of Medical and Industrial Isotope Production-A Review, Strassoldo, Italy, July 2009, PNNL-19294.
- *2: 米沢仲四郎, 山本洋一, 2011; 核実験監視用放射性核種観測網による大気中の人工放射性核種の測定; ぶんせき, 2011-8, pp. 451-458.
- *3: 木島 佑一, 山本 洋一, 小田 哲三, 2017; CTBT検証を目的とした青森県むつ市における国際希ガス共同観測; JAEA-Technology 2017-028.
- *4: Paul R. J. Saey, 2007; Ultra-Low-Level Measurements of Argon, Krypton and Radon for Treaty Verification Purposes; ESARDA BULLETIN, No. 36, pp. 42-56.
- *5: WOSMIP V-Workshop on Signatures of Medical and Industrial Isotope Production, Brussels, Belgium, May 2015, PNNL-25226.

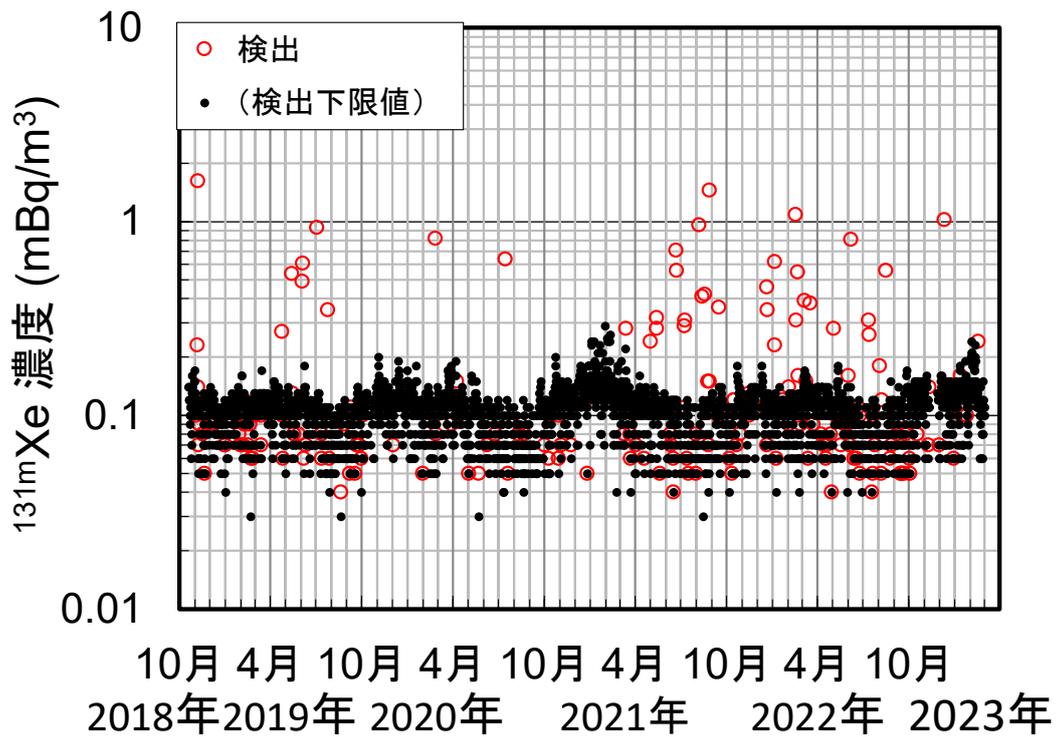


図 2-9-1 大気中 ^{131m}Xe 濃度調査結果

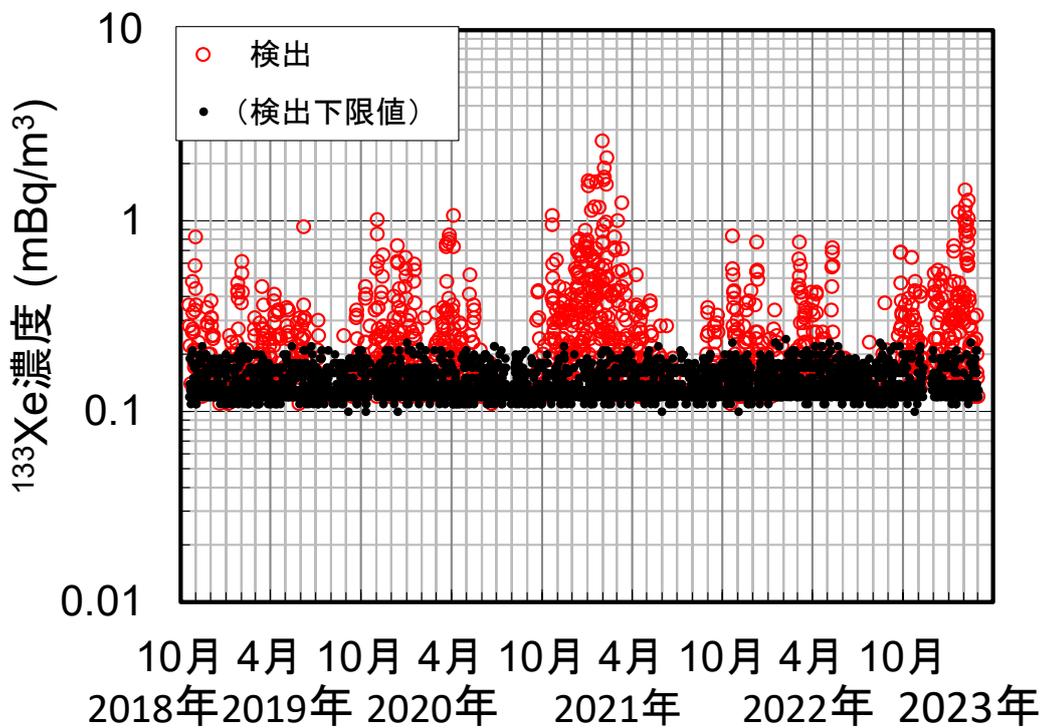


図 2-9-2 大気中 ^{133}Xe 濃度調査結果

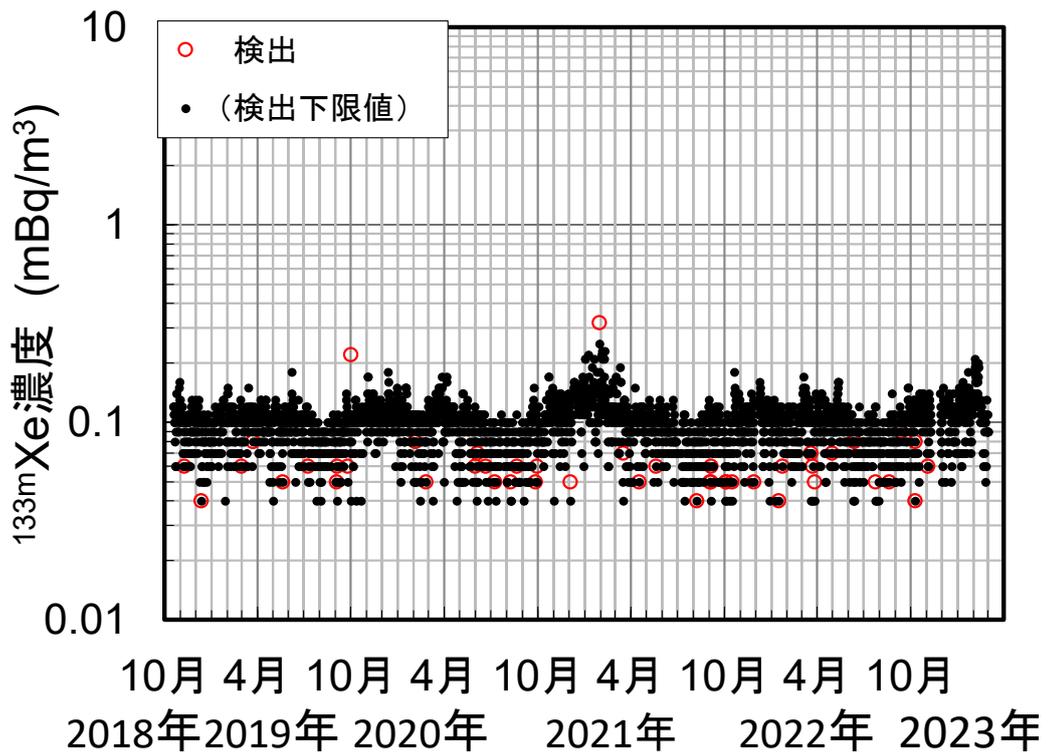


図 2-9-3 大気中 ^{133m}Xe 濃度調査結果

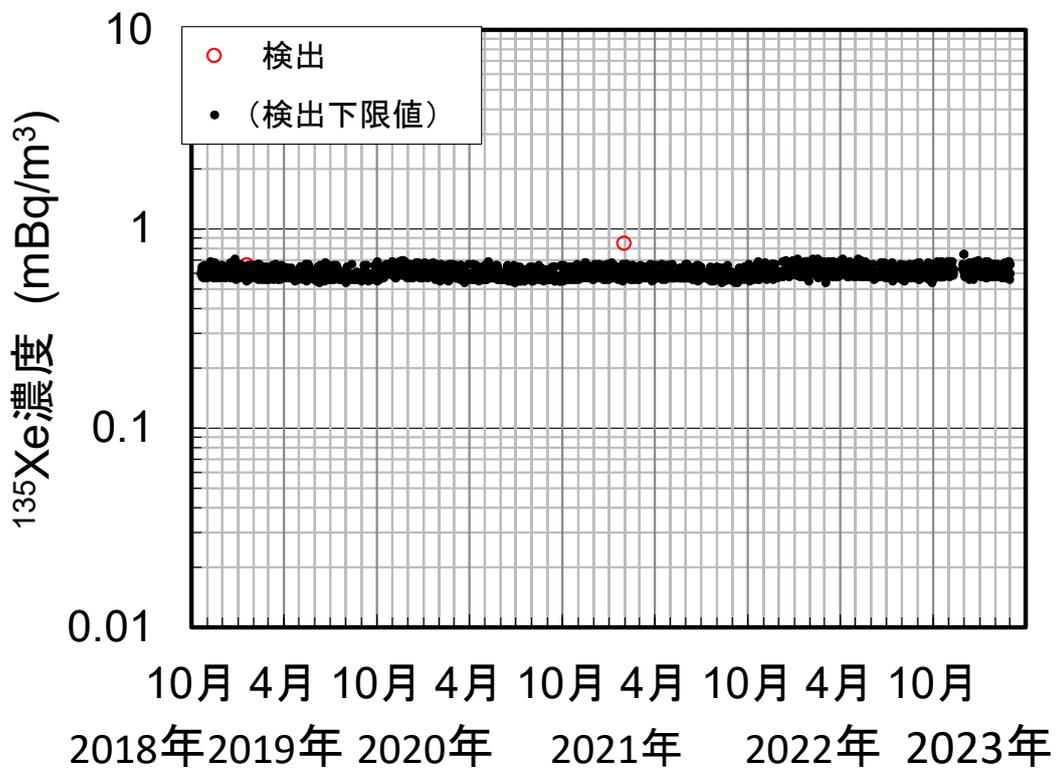


図 2-9-4 大気中 ^{135}Xe 濃度調査結果

2.10 福島県下における空間線量の調査

(1) 概要

東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所周辺地域80地点において、可搬型モニタリングポストを用いて空間放射線量率を測定した。運用作業として、測定データの収集、バッテリー交換及び定期巡回等を行った。装置に異常が見られる場合には直ちに現地に行き、原因を調査した。さらに、日常的な点検等も行い、可搬型モニタリングポストが常に正常な状態で稼働するように努めた。可搬型モニタリングポスト設置地点一覧を表2-10-1(1)と(2)に、設置地点地図を図2-10-1に示す。

(2) 結果と考察

可搬型モニタリングポスト80地点の内、環境放射線センター(南相馬市)に保管中の5基を除いた75地点における空間放射線量率のトレンドグラフを図2-10-2(1)～(38)に示す。

1) 10分値における異常値の判断基準と変動要因

2022年度のモニタリングを実施するにあたり、以下の判断基準を設けた。

- ・ 異常値(高)：10分値のデータについて前月1ヶ月間の最大値以上
- ・ 異常値(低)：10分値のデータについて前月1ヶ月間の最小値に0.9を乗じた値以下

上記判断基準を外れ異常値として確認された場合は、その要因について検討を実施した。以下に要因について確認を実施した内容を記す。

① 気象変動

降雨・降雪が認められた場合、一般的な傾向として空間放射線量率が一時的に上昇することは良く知られている。しかし本調査の場合、一時的に下降するという結果も得られている。これは地表面に降り注いだ雨や雪の多くがその場に留まり、地表面以下に沈着している放射性セシウムからの γ 線を遮蔽するためである。その割合は降雨・降雪による上昇分よりも大きくなることがある。

これらのことから、空間放射線量率の上昇もしくは下降のいずれにおいても、降雨・降雪の有無の確認を実施した。

なお、確認方法は、感雨計を装備した可搬型モニタリングポストの場合は降雨の感知の有無を確認した。また、可搬型モニタリングポスト近隣で観測している気象庁のアメダス(地域気象観測システム)も併せて活用した。

気象庁 アメダス http://www.jma.go.jp/jp/amedas_h/

確認の結果、いくつかの可搬型モニタリングポストにおいて、降雨による空間放射線量率の上昇もしくは下降、降雪による空間放射線量率の下降のため判断基準を外れる測定データが認められた。降雨の影響については、浪江町役場(浪江町)における空間放射線量率上昇の例を図2-10-3に、大堀小学校(浪江町)における空間放射線量率下降の例を図2-10-4に示す。例示した期間では、浪江町役場(浪江町)で最大 $0.02 \mu\text{Sv/h}$ 程度の空間放射線量率の上昇、大堀小学校(浪江町)で最大 $0.2 \mu\text{Sv/h}$ (39%)程度の空間放射線量率の下降が見られた。降雪の影響については、山木屋乙八区コミュニティー消防センター(川俣町)における空間放射線量率の下降の例と周辺の様子を図2-10-5(1)と(2)に示す。例示した期間では、同地点で $0.04 \mu\text{Sv/h}$ (15%)程度の空間放射線量率の下降が見られた。

② 温度依存性による変動

検出器温度の上昇もしくは下降に伴う空間放射線量率の変動を確認した。

確認の結果、可搬型モニタリングポスト指示値が日変動を示す地点が認められた。温度変化と空間放射線量率の関係について、熊一区地区集会所(大熊町)の例を図2-10-6に示す。例示した期間では、同地点で最大7%程度の指示値の日変動が見られた。

③ 移設による変動

可搬型モニタリングポストの移設による影響の有無を確認した。

確認の結果、津島活性化センター(浪江町)では、移設前後で42%程度の空間放射線量率の変動が認められた(移設前 $0.26 \mu\text{Sv/h}$ 程度、移設後 $0.37 \mu\text{Sv/h}$ 程度、遮へい及び機器立ち上げの影響を受けなかった空間放射線量率から算出)。移設による空間放射線量率の変動と移設前後の設置場所の写真を図2-10-7(1)と(2)に示す。

④ 測定地点敷地内の除染に伴う変動

除染作業による空間放射線量率への影響を確認した。また、スペクトルデータを用いて放射性セシウムの増減の有無等を確認した。

確認の結果、手七郎集会所(浪江町)では、敷地の除染作業を行ったことで、64%程度の空間放射線量率の変動が認められた(除染前 $2.01 \mu\text{Sv/h}$ 程度、除染後 $0.73 \mu\text{Sv/h}$ 程度)。測定地点敷地内の除染による空間放射線量率の変動及びスペクトルデータを図2-10-8(1)と(2)に示す。

赤宇木集会所(浪江町)では、敷地の除染作業を行ったことで、59%程度の空間放射線量率の変動が認められた(除染前 $1.7 \mu\text{Sv/h}$ 程度、除染後 $0.70 \mu\text{Sv/h}$ 程度)。測定地点敷地内の除染による空間放射線量率の変動及びスペクトルデータを図2-10-9(1)と(2)に示す。

昼曾根屯所(浪江町)では、敷地の除染作業を行ったことで、75%程度の空間放射線量率の変動が認められた(除染前 $2.8 \mu\text{Sv/h}$ 程度、除染後 $0.69 \mu\text{Sv/h}$ 程度)。測定地点敷地内の除染による空間放射線量率の変動及びスペクトルデータを図2-10-10(1)と(2)に示す。

⑤ 周辺のX線使用による変動

浪江町役場(浪江町)において、空間放射線量率の一時的な上昇が発生した(通常 $0.056 \mu\text{Sv/h}$ 程度、2022年3月20日9時20分 $0.312 \mu\text{Sv/h}$)。スペクトル形状から、近隣において非破壊検査または健康診断車によるレントゲン撮影等が行われたことに起因するX線の影響が考えられた。空間放射線量率の変動及びスペクトルデータを図2-10-11(1)と(2)に示す。

2) 長期的なデータによる空間放射線量率変動の確認

1ヶ月毎に各地点のトレンドグラフ(図2-10-2(1)～(38)参照)を更新し、そのトレンドグラフから自然要因以外の変動がないかを確認することにより、測定器の健全性が保たれているか否かの確認を実施した。トレンドグラフは1日毎の平均値、最大値及び最小値をプロットした。

3) 可搬型モニタリングポストの移設

津島活性化センター(浪江町)の公衆トイレ隣に設置されている可搬型モニタリングポストを、同施設の駐車場脇に2022年5月31日に移設した。移設前後の設置場所の写真を図2-10-7(2)、移設場所は表2-10-2、作業の様子等を図2-10-12(1)～(3)に示す。

4) 測定地点敷地内の除染

手七郎集会所(浪江町)、赤字木集会所(浪江町)、昼曾根屯所(浪江町)において除染作業が実施された。実施期間を表2-10-3に、作業の様子等を図2-10-13(1)～(3)に示す。

5) 通信の4G(LTE)化

一部可搬型モニタリングポストにおいて、3G(NTT docomo FOMA)のサービス終了(2026年3月予定)に伴い、同通信に係る保守部品の枯渇による放射線監視業務の継続困難の回避及び通信品質の確保を目的として、4G(LTE)への通信方式の変更を実施した。2022年3月に10基、2023年2月に16基の通信方式の変更を実施した。実施した地点について表2-10-4に示す。

(3) 実効半減期の評価

可搬型モニタリングポスト設置日から2021年12月31日までに得られた測定値を用いて、実効半減期の評価を行った。各可搬型モニタリングポストの測定値を月毎に平均化し各月1日の値とみなした。また、12月から3月の測定値は積雪の影響を含むため除外した。なお、この測定値には除染や可搬型モニタリングポストの設置地点変更の影響が含まれる。

除外後のデータについて、式(1)に示した二成分環境半減期モデル¹⁾で近似を行い、実効半減期の環境成分を算出した。

$$\dot{D} = (\dot{D}_0 - \dot{D}_{BG}) \left\{ p \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{short}} t\right) + (1-p) \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{long}} t\right) \right\} \left\{ \frac{k \exp(-\lambda_{134} t) + \exp(-\lambda_{137} t)}{k+1} \right\} + \dot{D}_{BG} \quad (1)$$

ここで、 \dot{D} は t における空間放射線量率、 t は2011年3月15日からの経過時間(年)、 \dot{D}_0 は2011年3月15日時点の空間放射線量率(μ Sv/h)、 \dot{D}_{BG} はバックグラウンド空間放射線量率(μ Sv/h)、 p は短い実効半減期の環境成分の割合($0 \leq p \leq 1$)、 T_{short} は短い実効半減期の環境成分(年)、 T_{long} は長い実効半減期の環境成分(年)、 k は ^{137}Cs に対する ^{134}Cs の線量率寄与の割合(2.7)¹⁾、 λ_{134} 及び λ_{137} はそれぞれ ^{134}Cs 及び ^{137}Cs の崩壊定数である。 \dot{D}_{BG} は一律で0.05 μ Sv/hを採用¹⁾した。ここでは実効半減期の環境成分である T_{short} 及び T_{long} のみについて述べる。

可搬型モニタリングポストのデータ及び近似結果の一例を図2-10-14に示す。また、可搬型モニタリングポスト毎に T_{short} 及び T_{long} を求めた結果をヒストグラムにして図2-10-15に示す。

T_{short} は、中央値が1年程度となる分布を示した。これは、多くの可搬型モニタリングポスト設置地点において、測定開始から間もない時期に除染や風雨などの自然要因による減衰効果（ウェザリング）等による空間放射線量率の低下があったことを示す結果となった。

一方、 T_{long} は、二極化した分布を示した。実効半減期が10年前後の集団は、人工放射性核種などの影響を反映しているが、実効半減期が10万年を超える集団は天然放射性核種の影響等を反映したものとなった。これは、近年では空間放射線量率がバックグラウンドレベルとなり明確な低下傾向がみられない地点が増えてきたこと等が原因として考えられる。

なお、地点変更や除染が行われた一部の可搬型モニタリングポストにおいては、その実施時期により近似の精度が悪くなる傾向も判明した。このため、データの評価に当たっては解析条件の最適化についてさらなる検討が必要である。

¹⁾ Kinase, S., Takahashi, T. & Saito, K. Long-term predictions of ambient dose equivalent rates after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. *Journal of Nuclear Science and Technology* 54:12, 1345-1354 (2017).

表2-10-1(1) 可搬型モニタリングポスト設置地点一覧

No.	施設名	所在地
1	あづま総合運動公園	福島市佐原字神事場1番地
2	二本松市役所	二本松市金色403番地1
3	伊達市役所保原本庁舎	伊達市保原町字舟橋180
4	石神生涯学習センター	南相馬市原町区石神字坂下29
5	須賀川市役所	須賀川市八幡町135
6	飯館村役場	飯館村伊丹沢字伊丹沢580-1
7	白河市総合運動公園	白河市北中川原30番地
8	会津若松市役所追手町第二庁舎	会津若松市追手町2番41号
9	びわのかげ運動公園	南会津町永田字枇杷影19-1
10	スポーツアリーナそうま	相馬市中村字北町55-1
11	郡山市役所	郡山市朝日1丁目23-7
12	広野町役場	広野町大字下北迫字苗代替35
13	川内村役場	川内村大字上川内字早渡11-24
14	葛尾村柏原地区(2019年3月撤去)	葛尾村葛尾
15	田村市常葉行政局	田村市常葉町常葉字町裏1番地
16	いわきの里鬼ヶ城オートキャンプ場	いわき市川前町上桶売字小久田73-3
17	いわき市海竜の里センター	いわき市大久町大久字柴崎9
18	養護老人ホーム「東風荘」	富岡町大字大菅字蛇谷須178-1
19	石熊公民館	双葉町大字石熊字南八房平243-2
20	福島県浪江ひまわり荘	浪江町大字加倉字今神78
21	場々多目的研修センター	田村市都路町古道字場々
22	合子集落農事集会所	田村市都路町古道字仲ノ前
23	福浦小学校	南相馬市小高区蛭沢字藤沼50-1
24	金房幼稚園	南相馬市小高区飯崎字北原61-1
25	鳩原小学校	南相馬市小高区南鳩原字西畑76-1
26	小高区団第3分団第10部屯所	南相馬市小高区耳谷字東田
27	小高区役所	南相馬市小高区本町2丁目78
28	高の倉ダム助常観測所	南相馬市原町区高倉字吹屋峠12
29	鉄山ダム	南相馬市原町区馬場字五台山
30	山木屋駐在所	川俣町大字山木屋字大清水3-5
31	山木屋乙八区コミュニティ消防センター	川俣町大字山木屋字坂下
32	戸草集会所	川俣町大字山木屋字戸草
33	環境放射線センター	南相馬市原町区萱浜字巢掛場45-169
34	女平地区集会所	楡葉町大字上小埜字女平218-1
35	天神岬スポーツ公園	楡葉町大字北田字天神
36	楡葉南小学校	楡葉町大字下小埜字麦入31
37	営団地区集会所	楡葉町大字波倉字原135-7
38	乙次郎地区集会所	楡葉町大字大谷字乙次郎
39	小良ヶ浜多目的集会所	富岡町大字小良ヶ浜字赤坂314
40	富岡第一小学校(2020年5月撤去)	富岡町大字小浜字中央237-1
41	富岡第二小学校	富岡町大字本岡字王塚36
42	赤木多目的集会所	富岡町大字本岡字赤木275-1
43	村営バス停留所(貝ノ坂地区)	川内村大字下川内字貝ノ坂
44	五枚沢集会所	川内村大字下川内字五枚沢35-3
45	毛戸集会所	川内村大字下川内字毛戸
46	坂下ダム管理事務所	大熊町大字大川原字手の倉125
47	夫沢二区地区集会所	大熊町大字夫沢字長者原536-1
48	熊一区地区集会所	大熊町大字熊字旭台499
49	熊町小学校	大熊町大字熊川字緑ヶ丘10
50	中屋敷多目的研修集会所施設	大熊町大字野上字旭ヶ丘

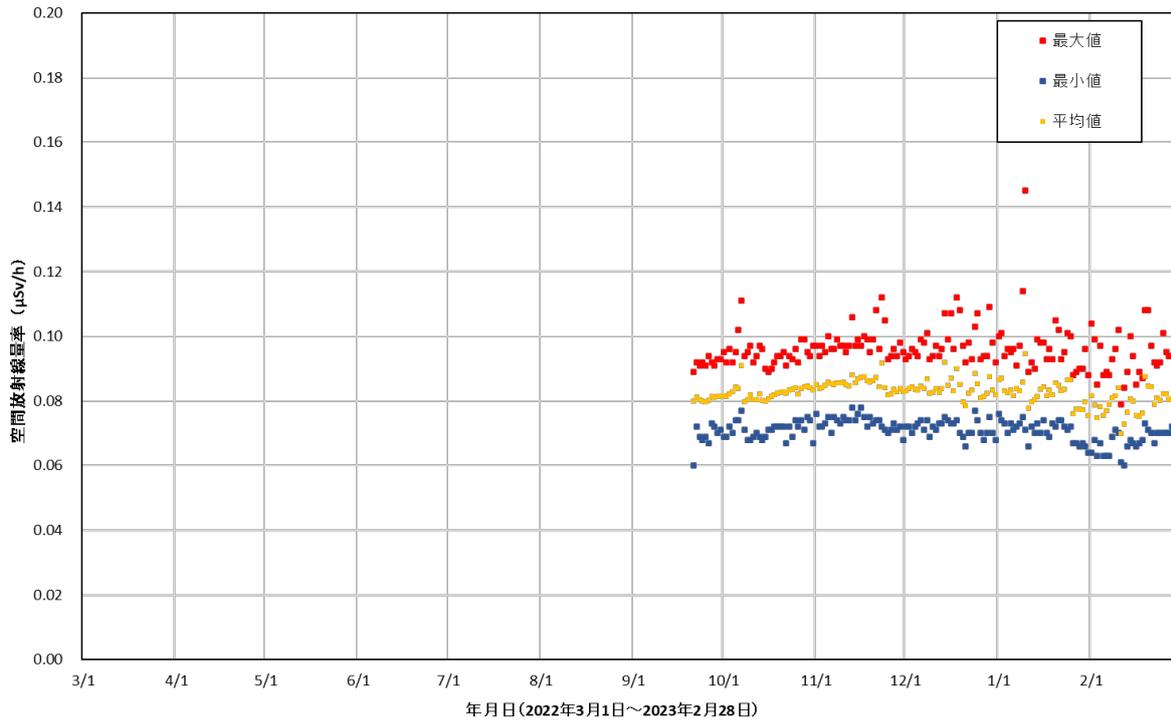
表2-10-1(1) 可搬型モニタリングポスト設置地点一覧(つづき)

No.	施設名	所在地
51	野上一区地区集会所	大熊町大字野上字湯の神432-2
52	北部コミュニティーセンター	双葉町大字鴻草字高田前32
53	双葉総合公園	双葉町大字新山字漆迫地内
54	手七郎集会所	浪江町大字赤宇木字手七郎
55	赤宇木集会所	浪江町大字赤宇木字塩浸
56	大堀小学校	浪江町大字小野田字仲禅寺134
57	苜野小学校(2021年1月一時撤去)	浪江町大字苜宿字鹿畑16
58	大柿簡易郵便局(葛尾村営バス停脇)	浪江町大字川房字大柿162
59	浪江町役場	浪江町大字幾世橋字六反田7-2
60	小丸多目的集会所	浪江町大字小丸字下平
61	津島活性化センター(2022年5月移設)	浪江町大字下津島字原
62	屋曾根屯所	浪江町大字屋曾根字屋曾根
63	家老集会所	浪江町大字室原字滝平
64	大放婦人ホーム跡地	葛尾村大字落合字大放166
65	葛尾村役場	葛尾村大字落合字落合16
66	下葛尾集会所	葛尾村大字葛尾字北平
67	上野川多目的集会所	葛尾村大字野川字湯殿233-1
68	上飯樋地区集会所	飯館村大字飯樋
69	飯館村防災センター	飯館村大字飯樋字町102
70	臼石小学校	飯館村大字臼石字田尻127-1
71	大倉体育館	飯館村大字大倉字大倉
72	草野小学校	飯館村大字草野字大師堂113-1
73	小宮コミュニティーセンター	飯館村大字小宮字曲田
74	佐須公民館	飯館村大字佐須字佐須
75	前乗集会所	飯館村大字佐須字前乗
76	長泥コミュニティーセンター(2019年11月一時撤去)	飯館村大字長泥字長泥
77	比曾公民館	飯館村大字比曾字比曾413
78	前田公民館	飯館村大字前田字広平
79	八木沢芦原多目的集会所	飯館村大字八木沢字上八木沢
80	蕨平公民館	飯館村大字蕨平字蕨平



出典: 国土地理院ホームページ

No.1 あづま総合運動公園



～2022/9/20 機器故障のため欠測

No.2 二本松市役所

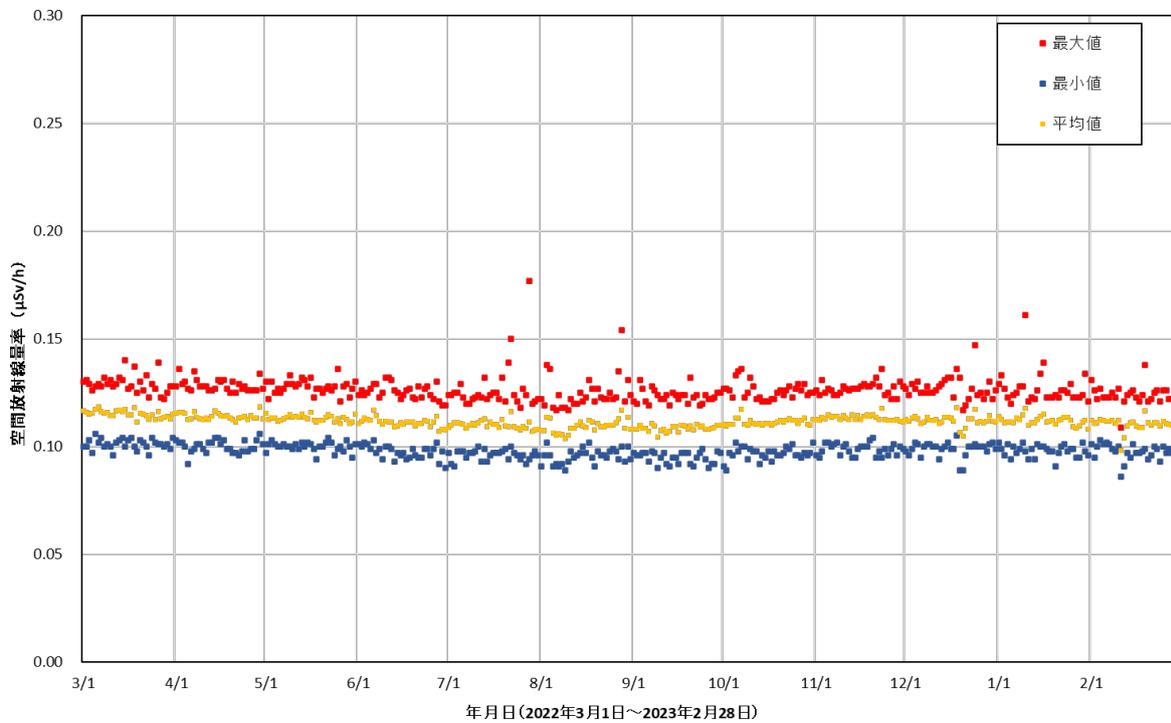
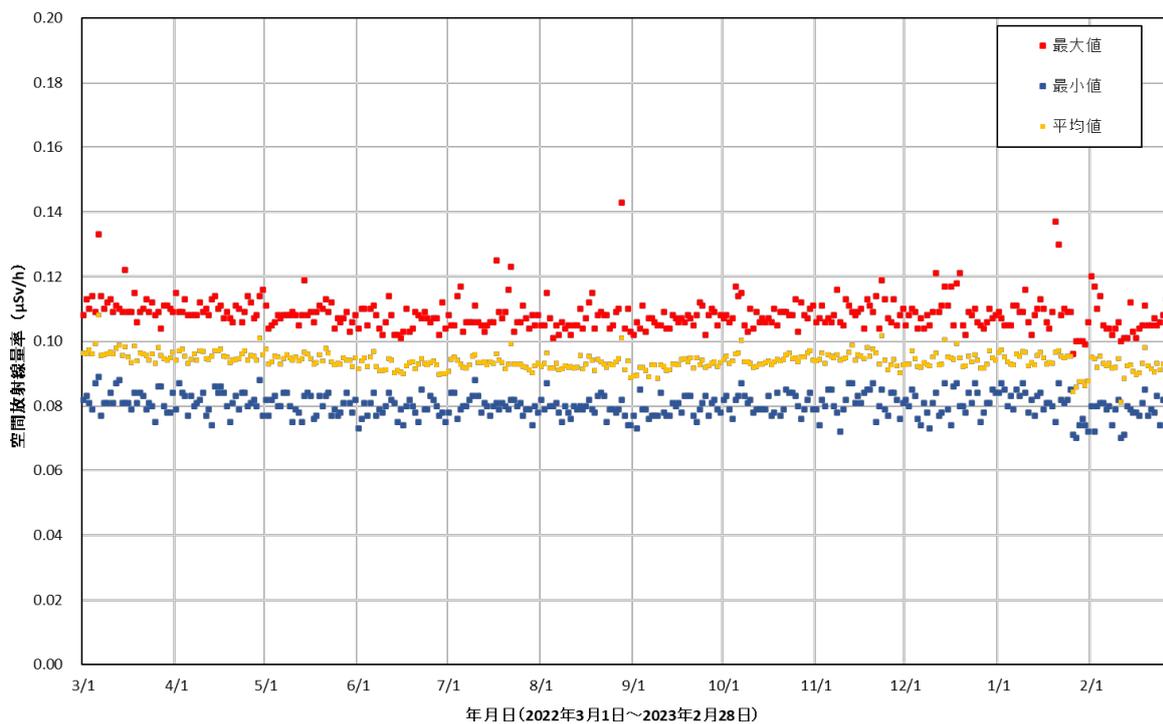


図 2-10-2(1) 各地点のトレンドグラフ

No.3 伊達市役所保原本庁舎



No.4 石神生涯学習センター

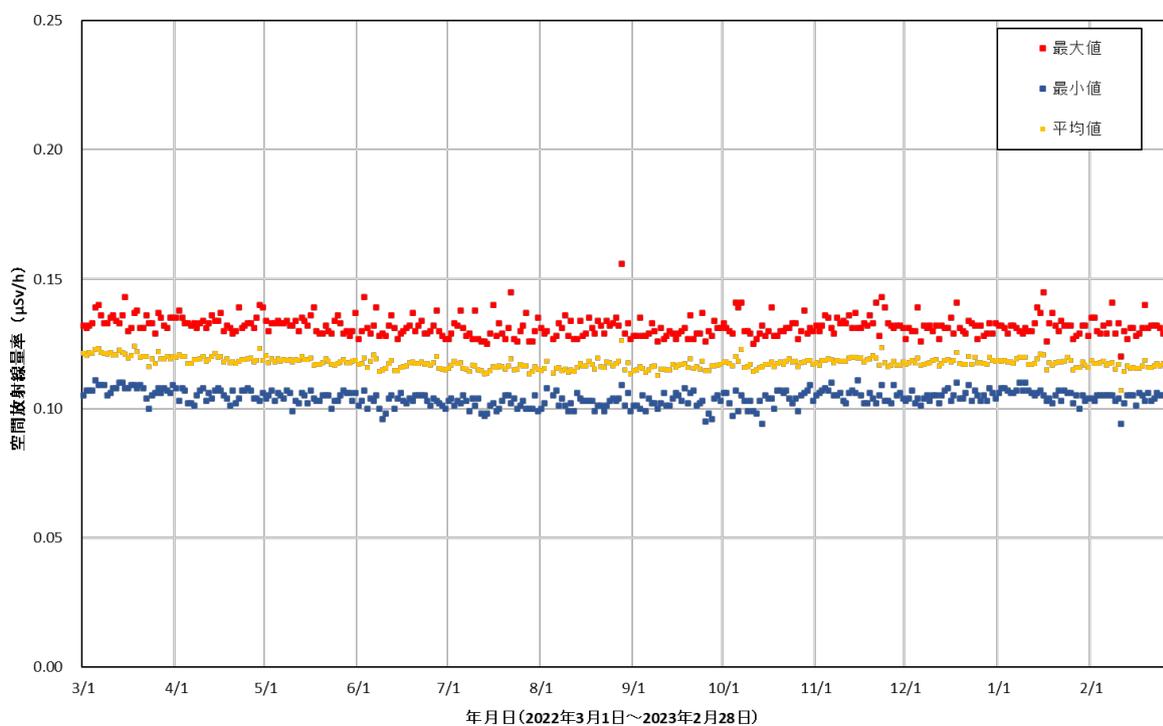
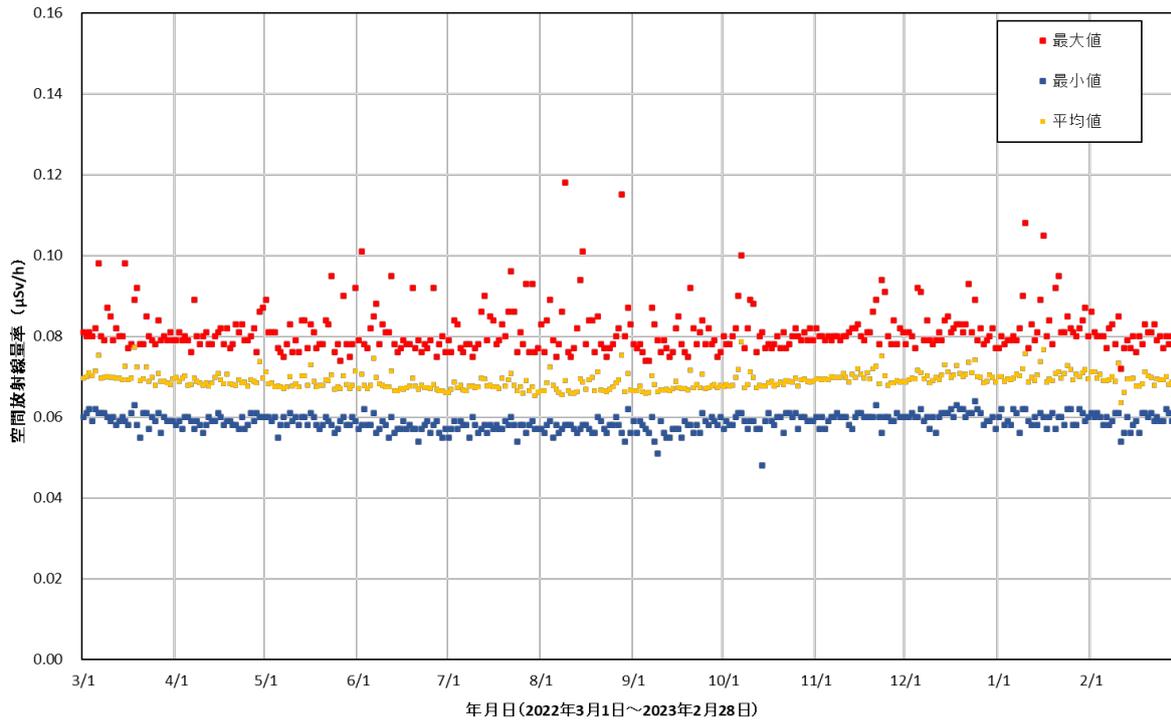


図 2-10-2(2) 各地点のトレンドグラフ

No.5 須賀川市役所



No.6 飯舘村役場

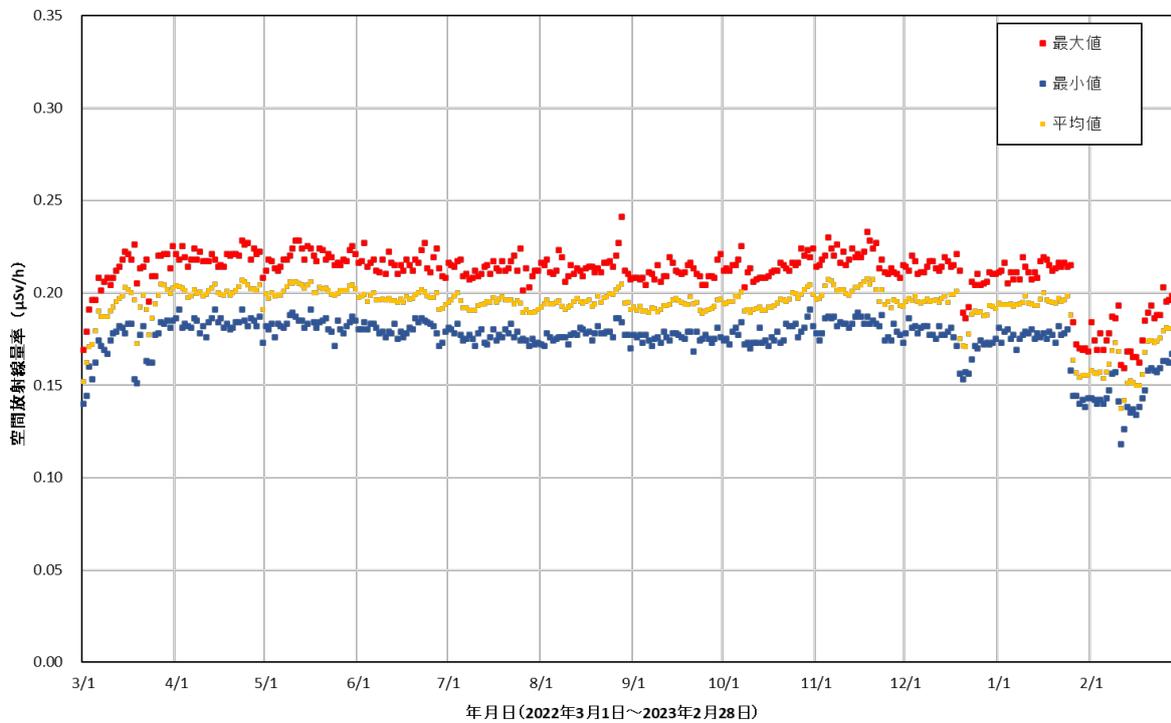
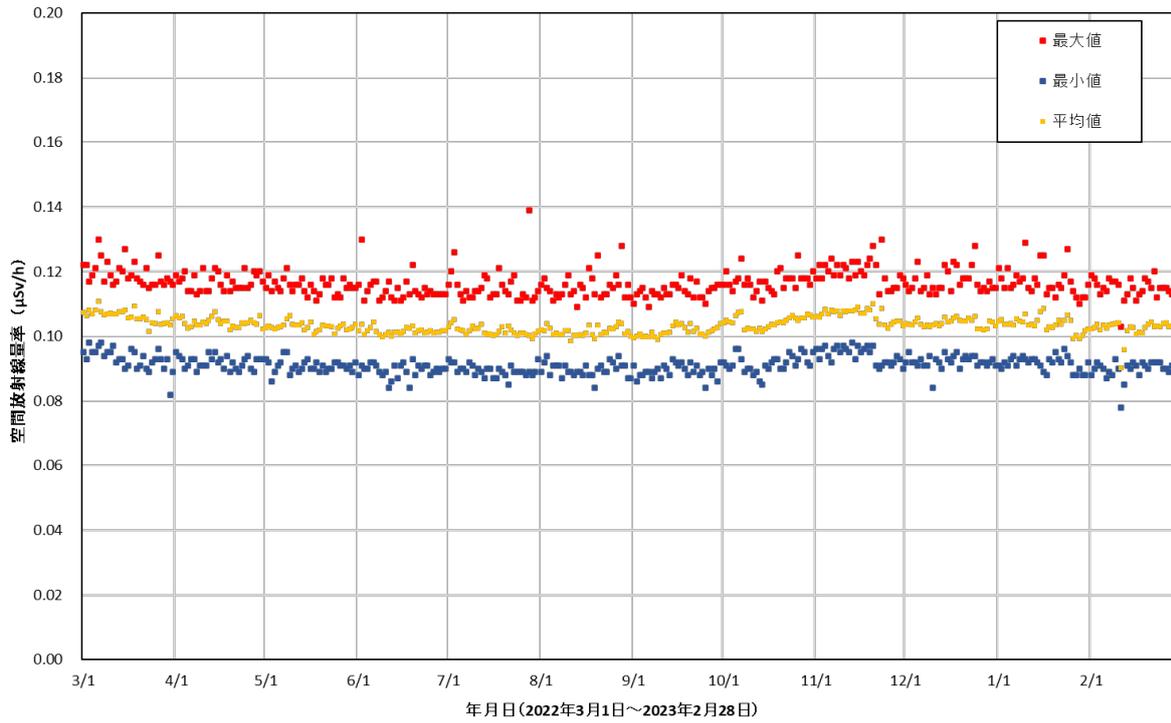


図 2-10-2(3) 各地点のトレンドグラフ

No.7 白河市総合運動公園



No.8 会津若松市役所追手町第二庁舎

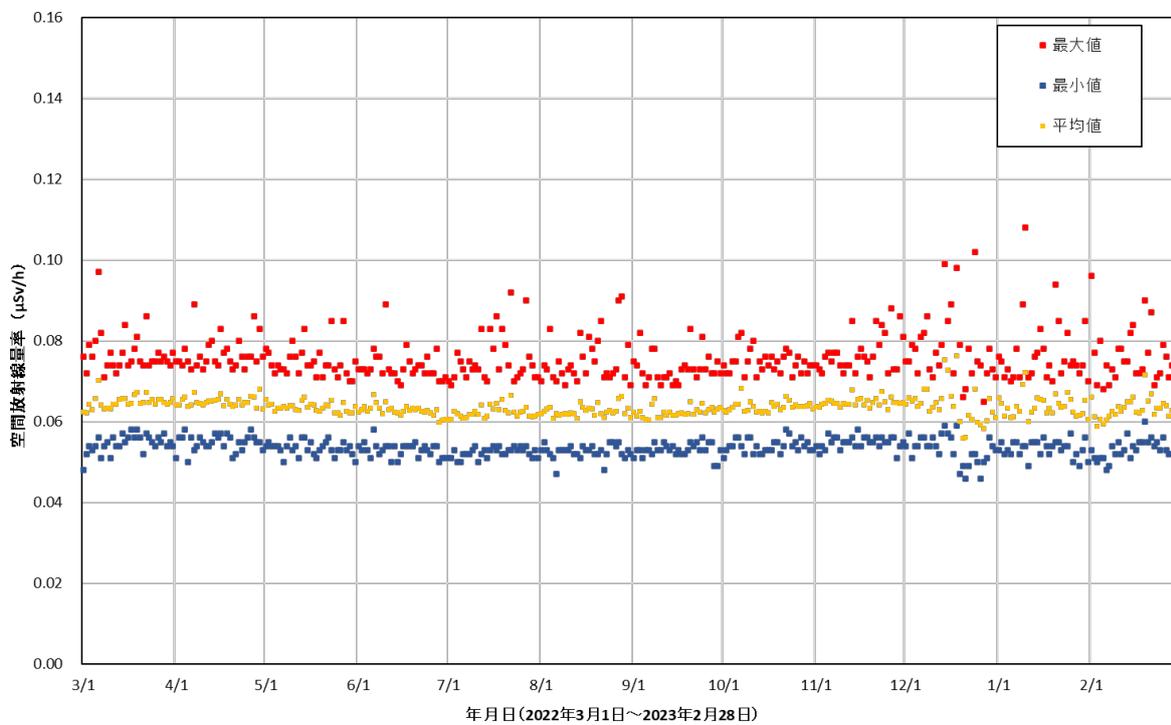
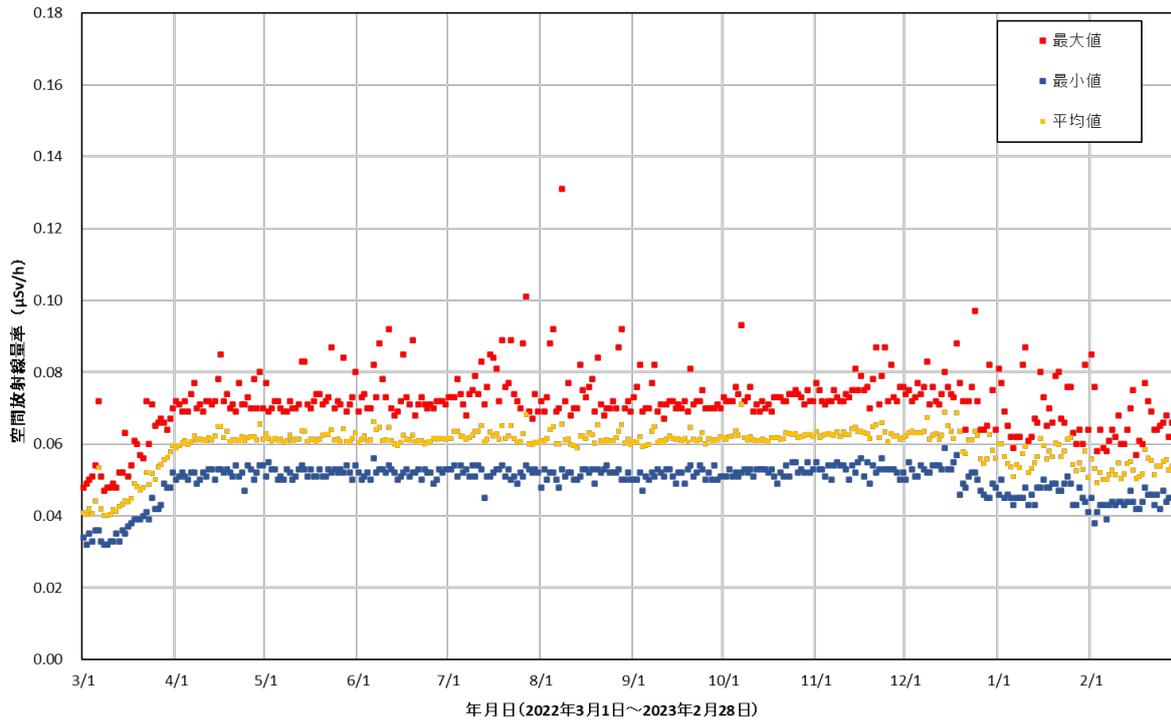


図 2-10-2(4) 各地点のトレンドグラフ

No.9 びわのかげ運動公園



No.10 スポーツアリーナそうま

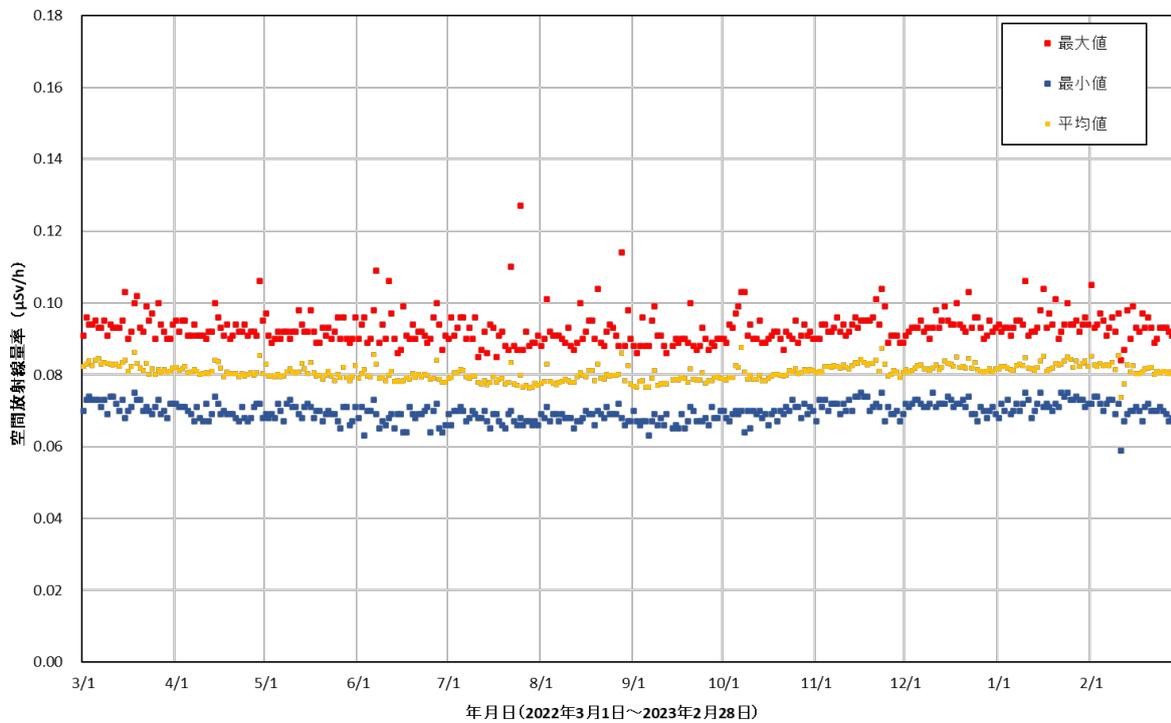
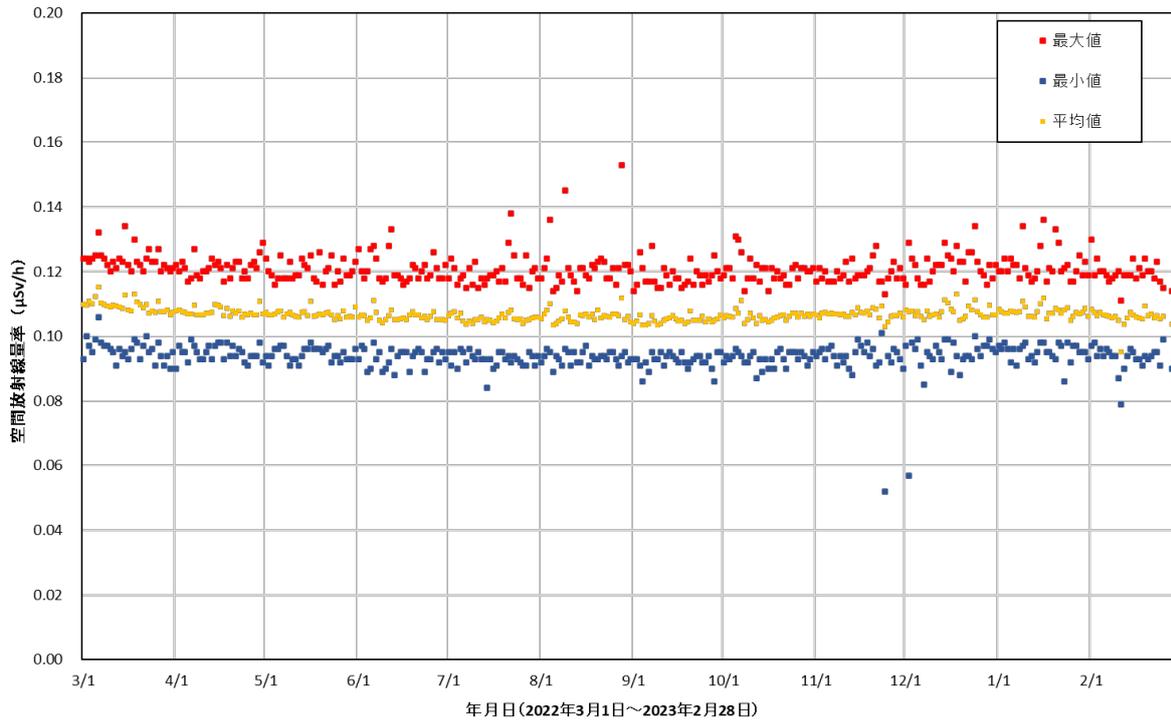


図 2-10-2(5) 各地点のトレンドグラフ

No.11 郡山市役所



No.12 広野町役場

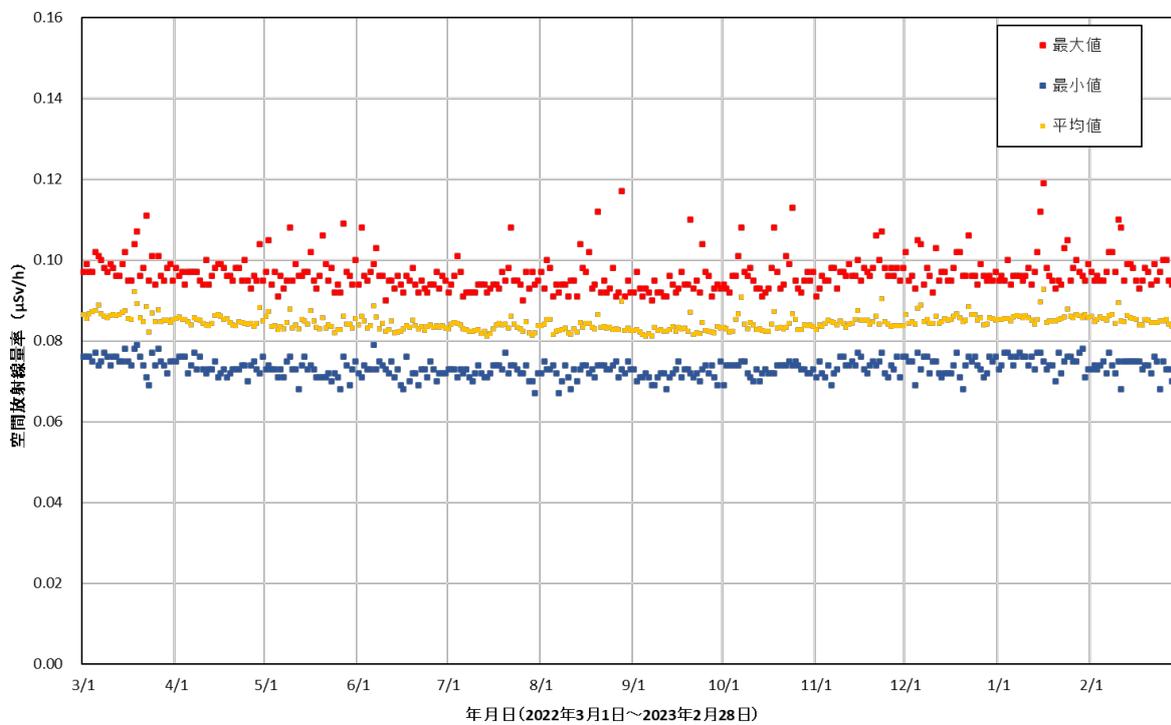
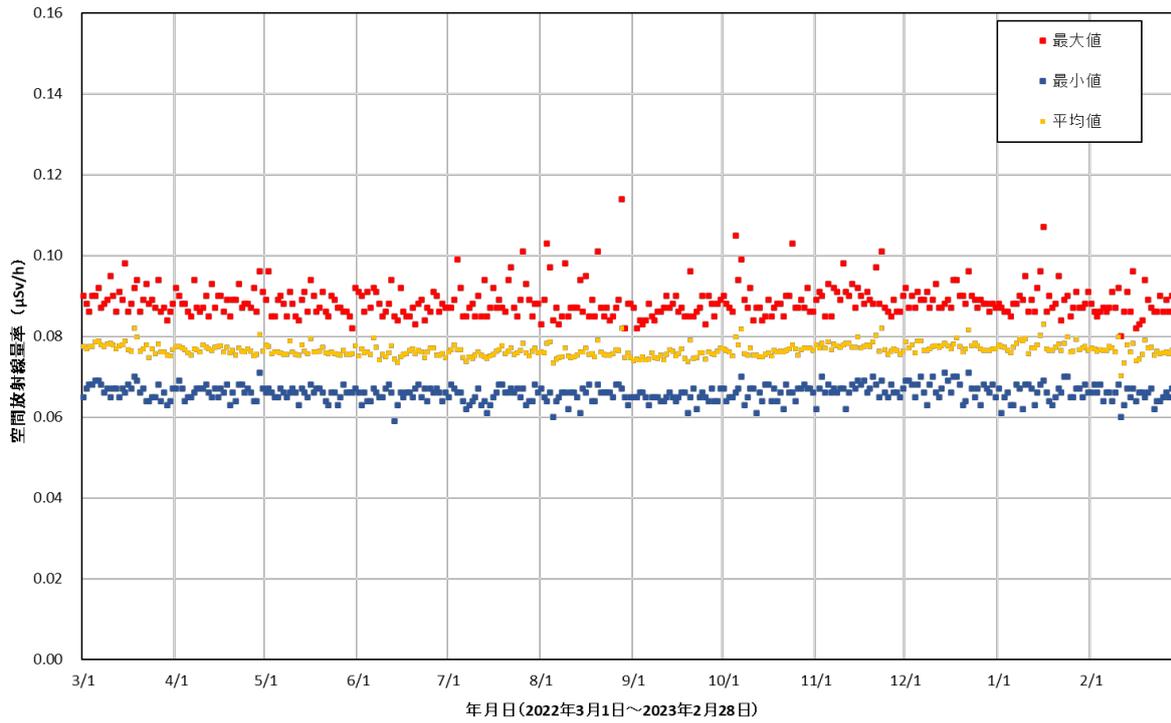
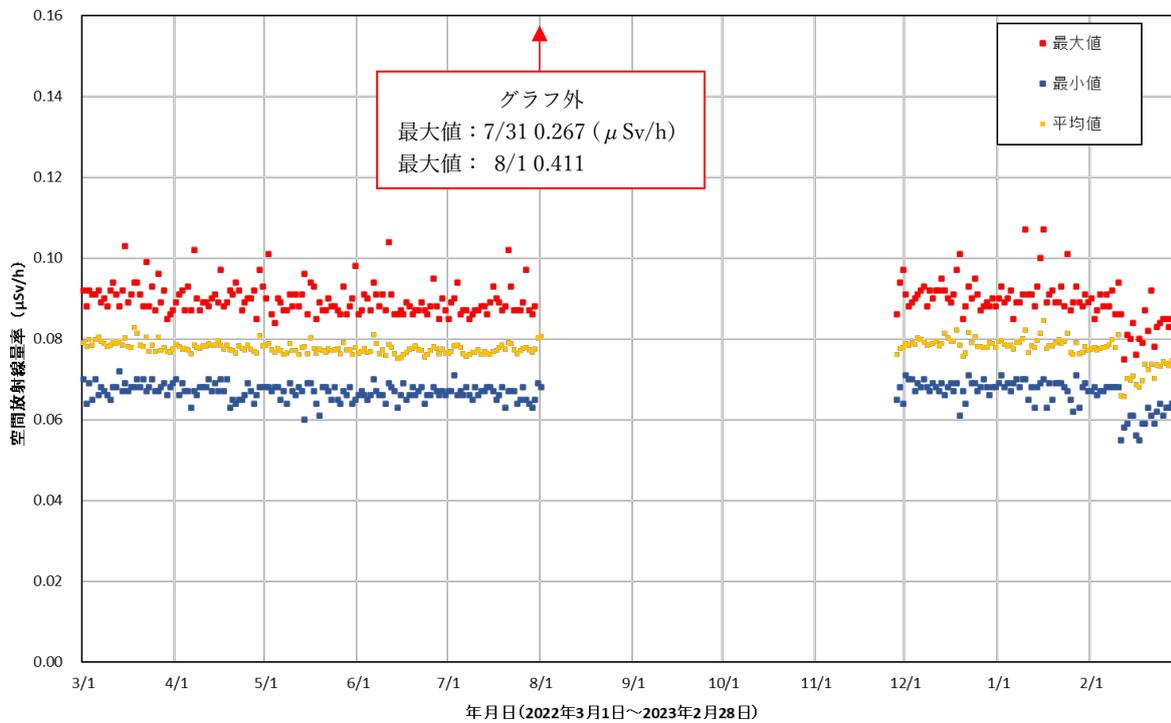


図 2-10-2(6) 各地点のトレンドグラフ

No.13 川内村役場



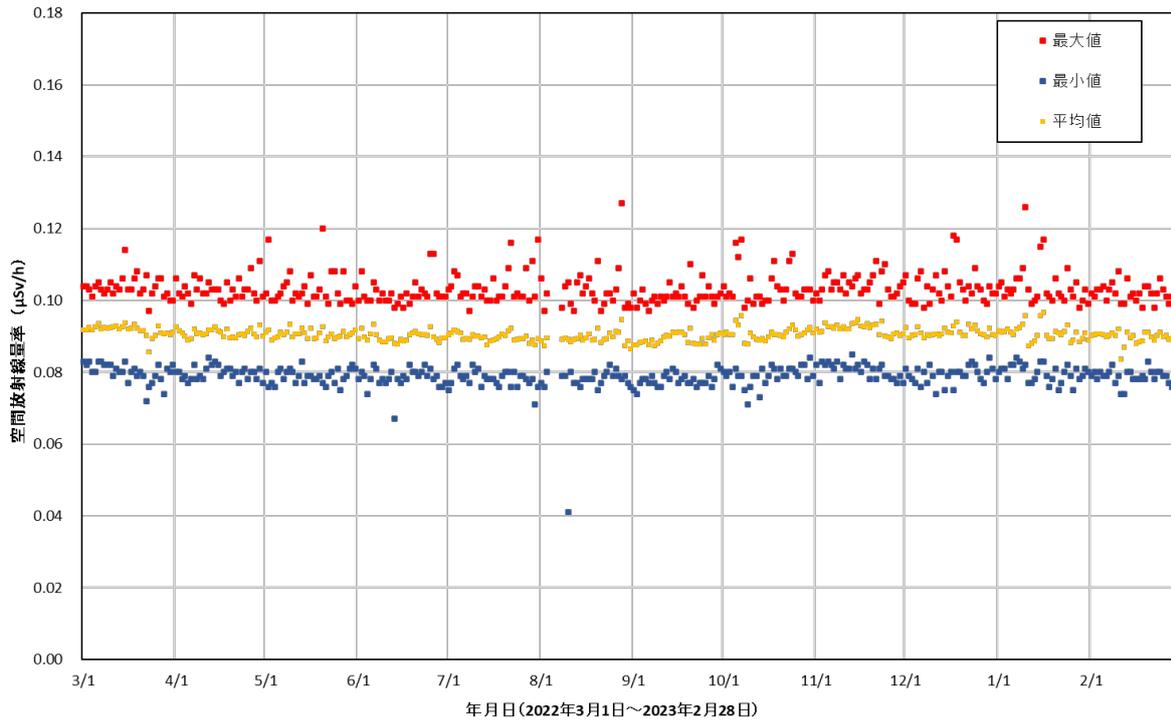
No.15 田村市常葉行政局



2022/7/31、8/1 機器不具合による空間放射線量率異常値を含む
2022/8/2~11/27 機器不具合により欠測

図 2-10-2(7) 各地点のトレンドグラフ

No.16 いわきの里鬼ヶ城オートキャンプ場



No.17 いわき市海竜の里センター

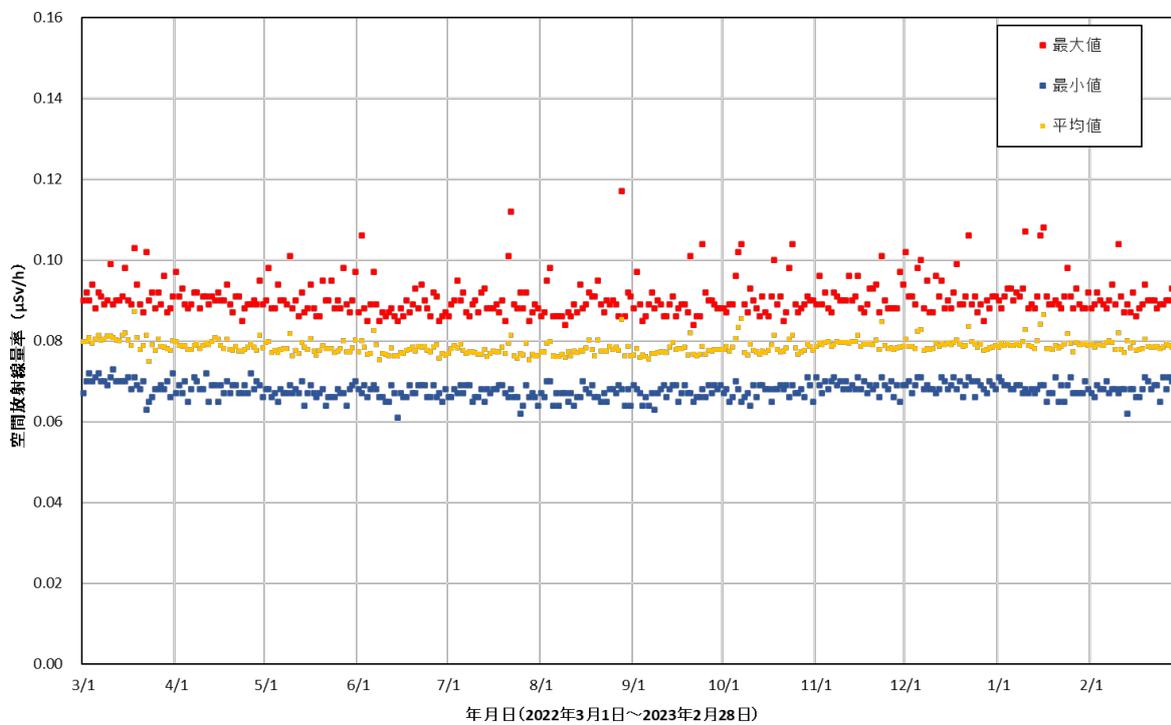
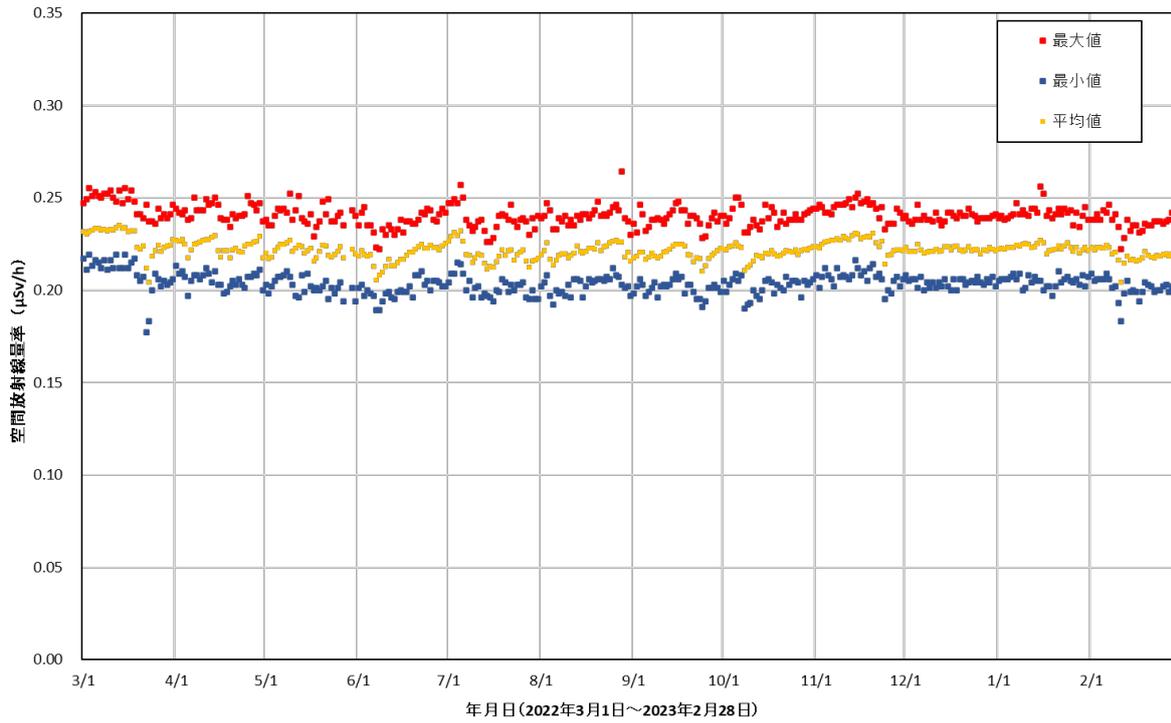
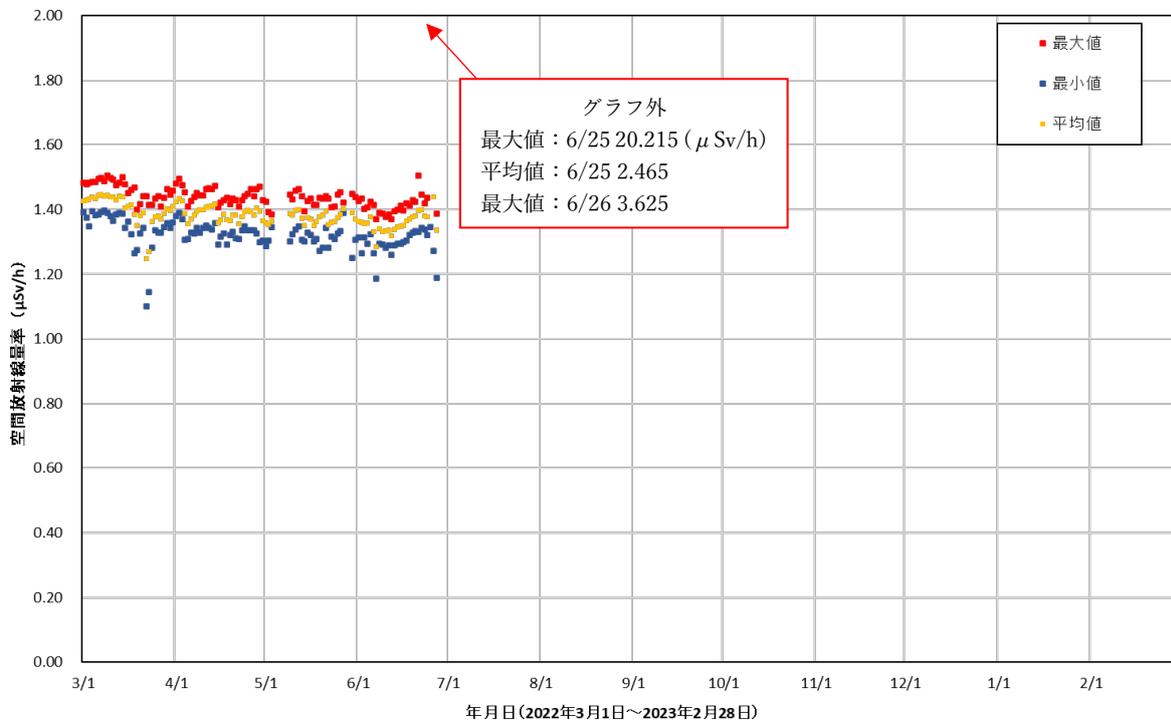


図 2-10-2(8) 各地点のトレンドグラフ

No.18 養護老人ホーム「東風荘」



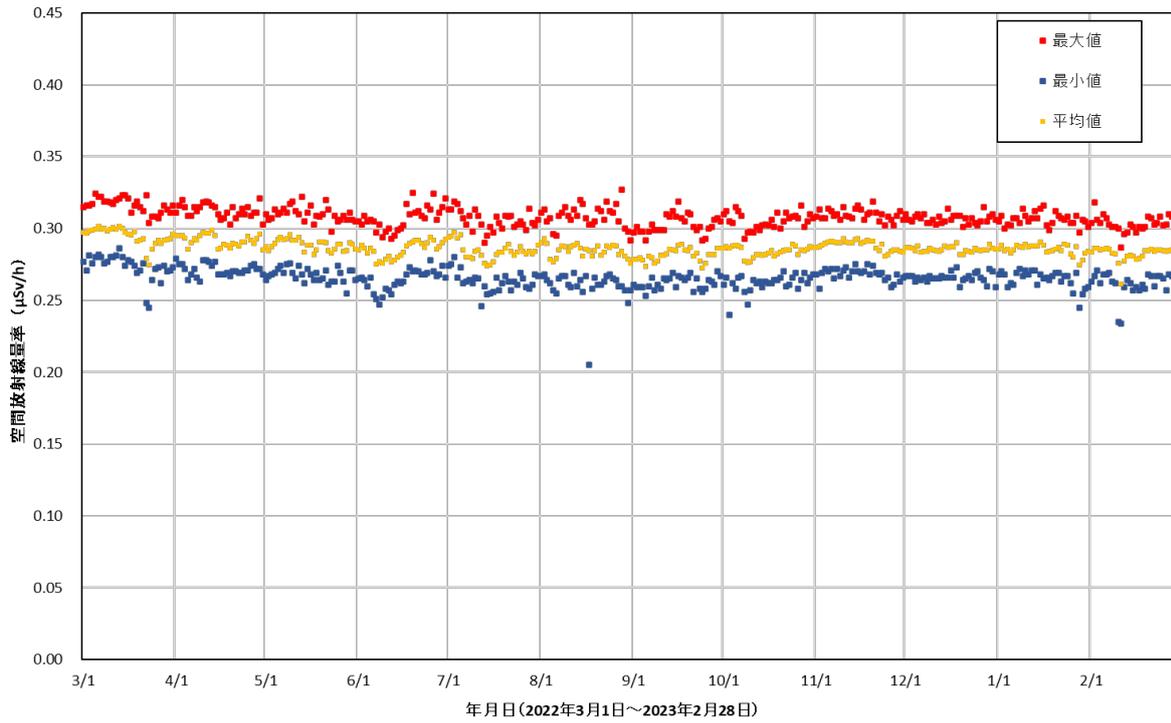
No.19 石熊公民館



2022/6/25、6/26 は機器故障による空間放射線量率異常値を含む
 2022/6/28~ 機器故障のため欠測

図 2-10-2(9) 各地点のトレンドグラフ

No.20 福島県浪江ひまわり荘



No.21 場々多目的研修センター

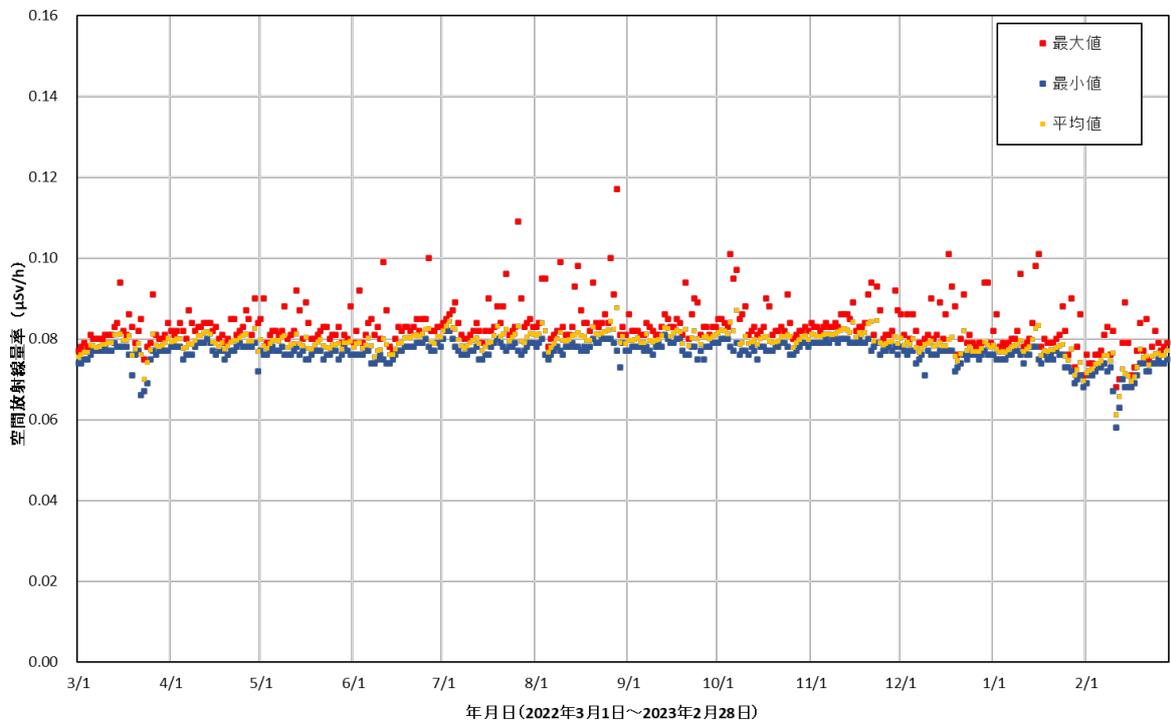
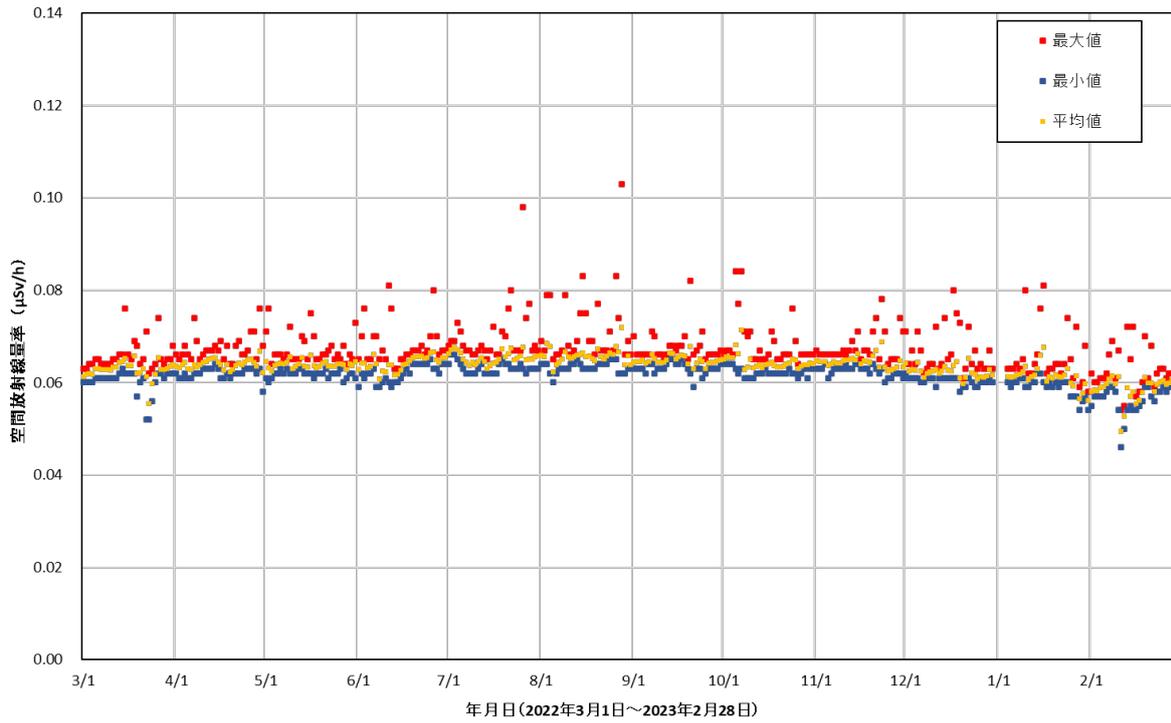


図 2-10-2(10) 各地点のトレンドグラフ

No.22 合子集落農業集会所



No.23 福浦小学校

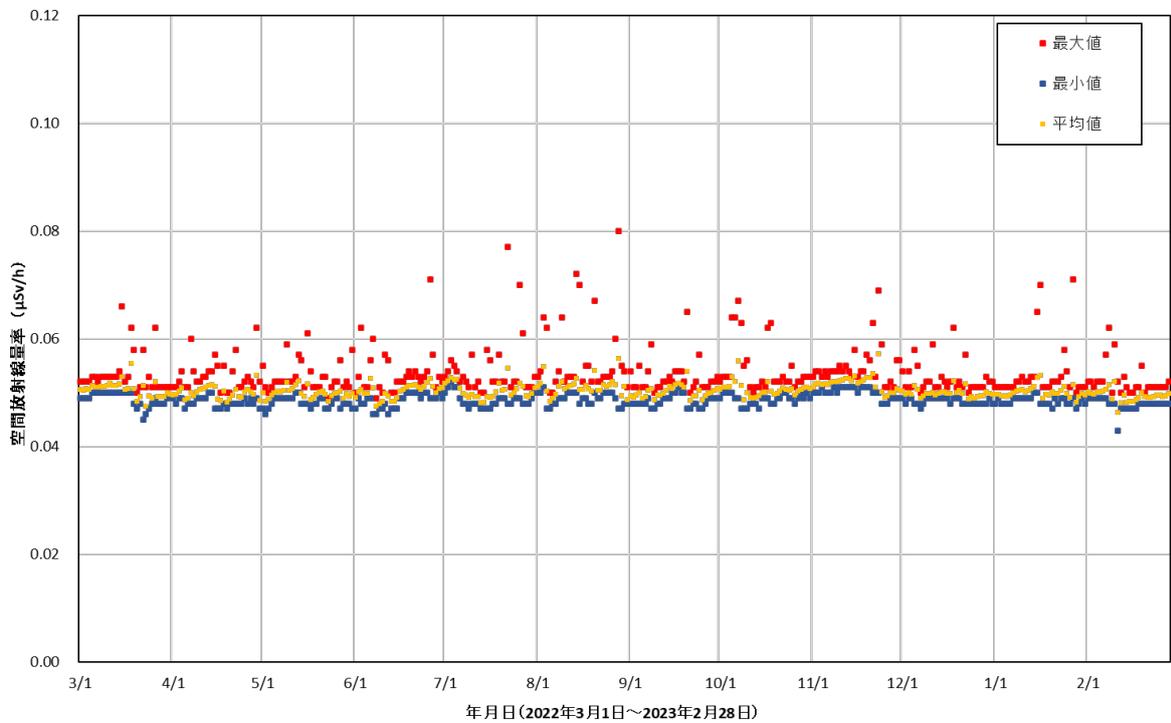
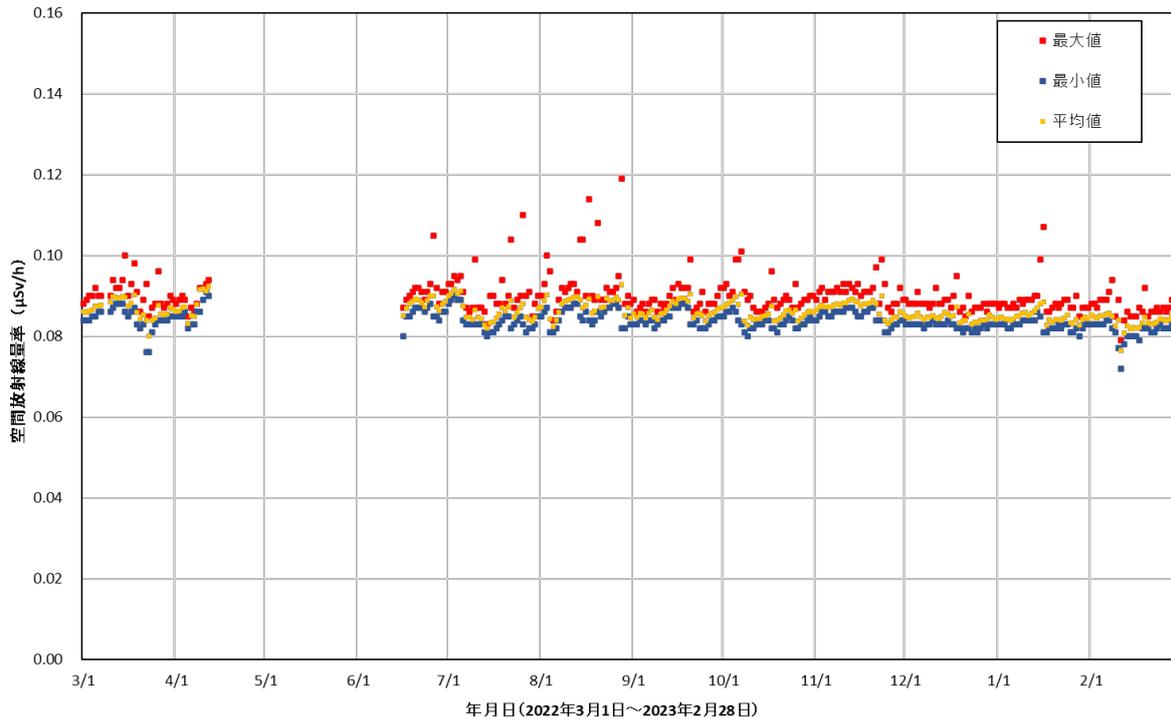


図 2-10-2(11) 各地点のトレンドグラフ

No.24 金房幼稚園



2022/4/13~6/15 機器故障により欠測

No.25 鳩原小学校

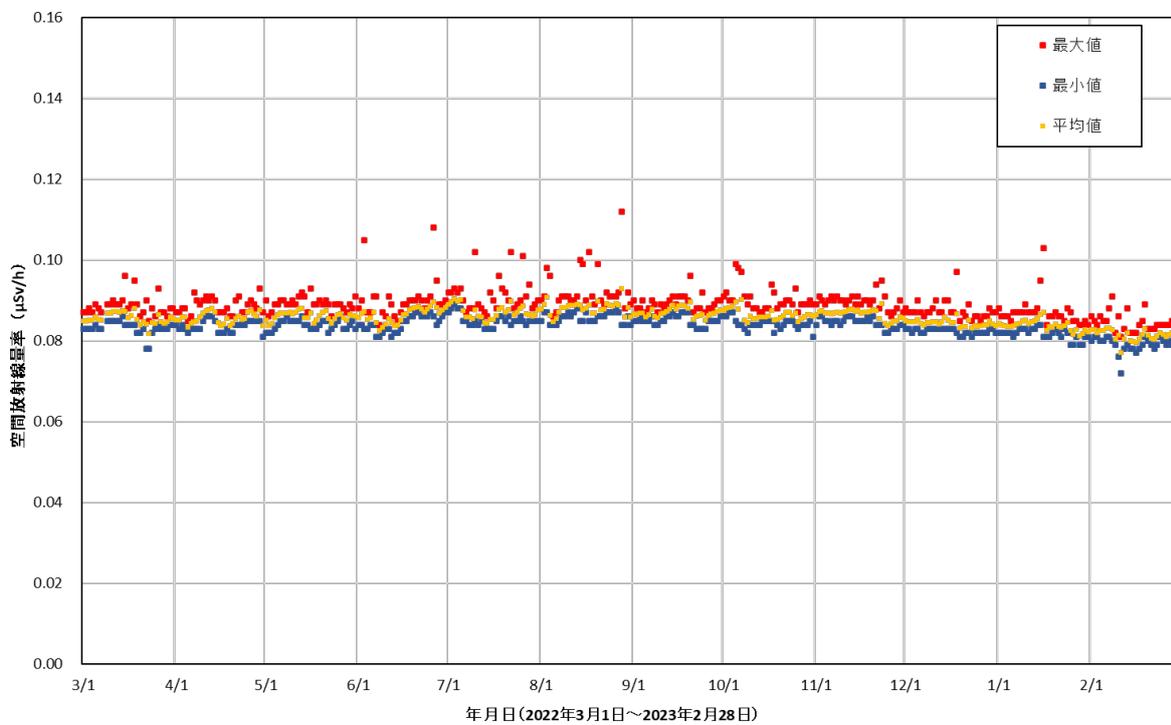
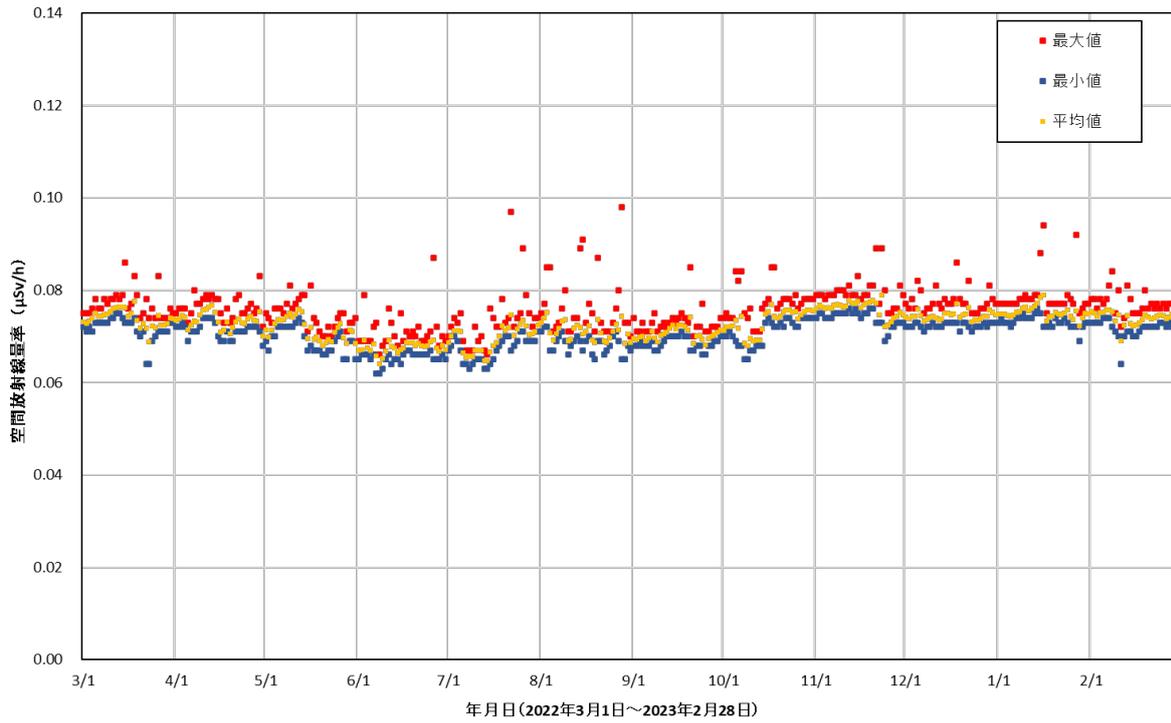


図 2-10-2(12) 各地点のトレンドグラフ

No.26 小高区団第3分団第10部屯所



No.27 小高区役所

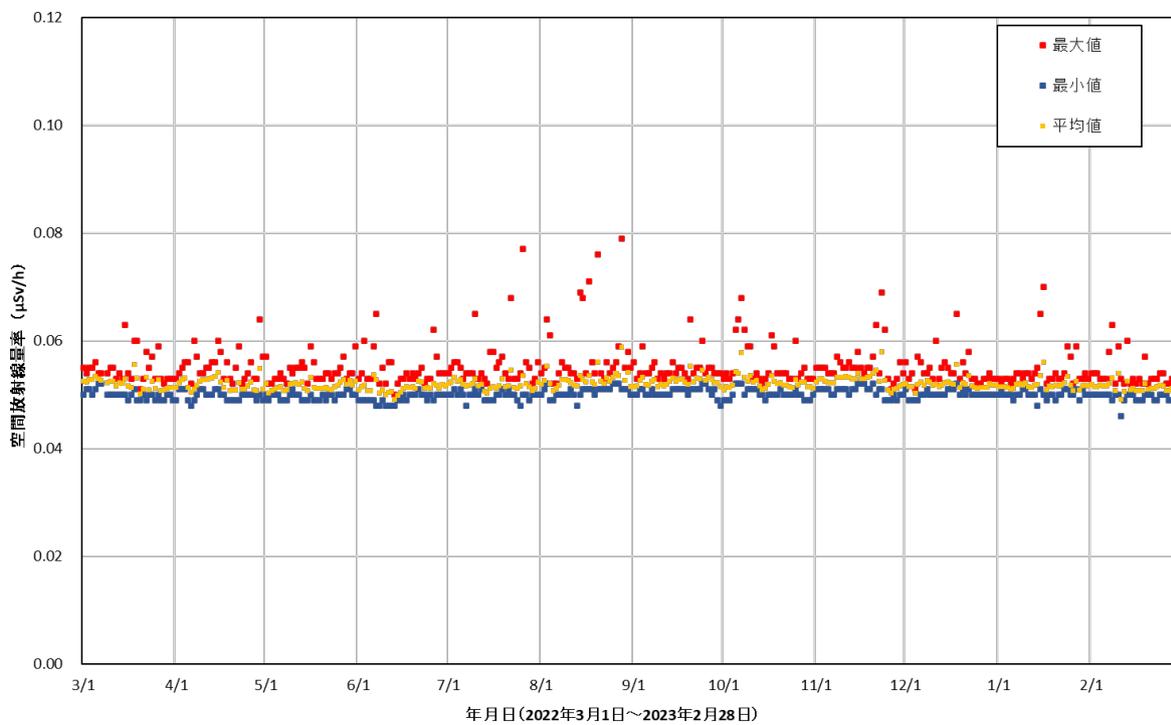
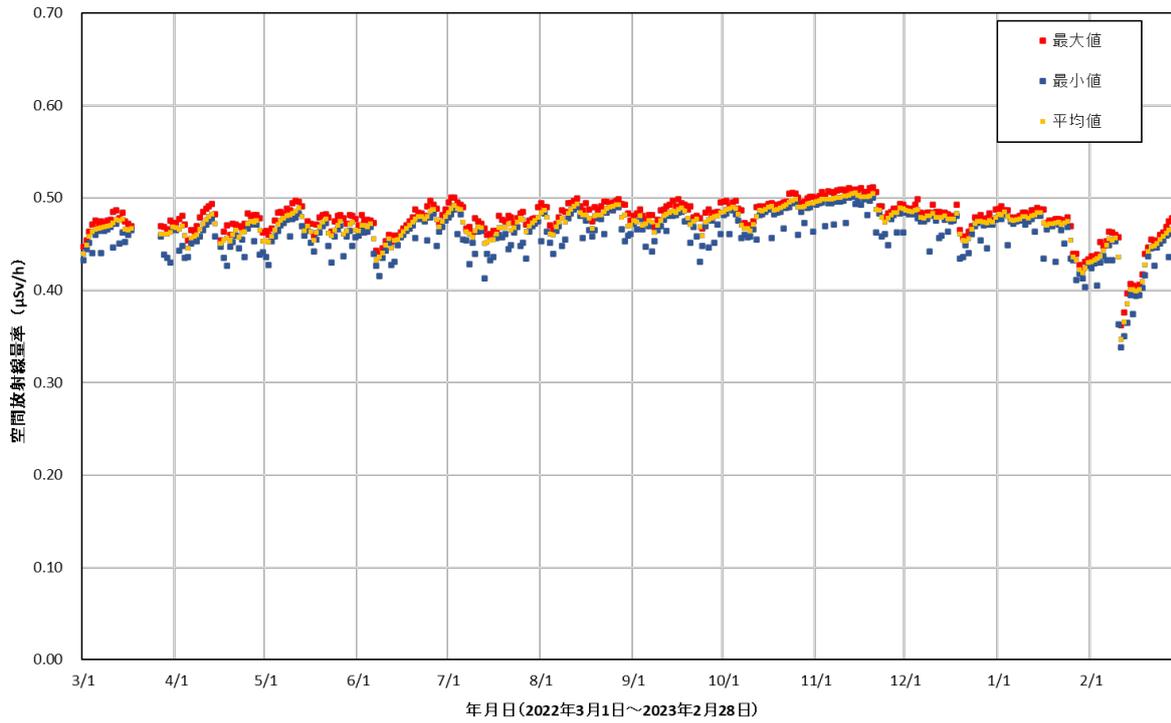


図 2-10-2(13) 各地点のトレンドグラフ

No.28 高の倉ダム助常観測所



No.29 鉄山ダム

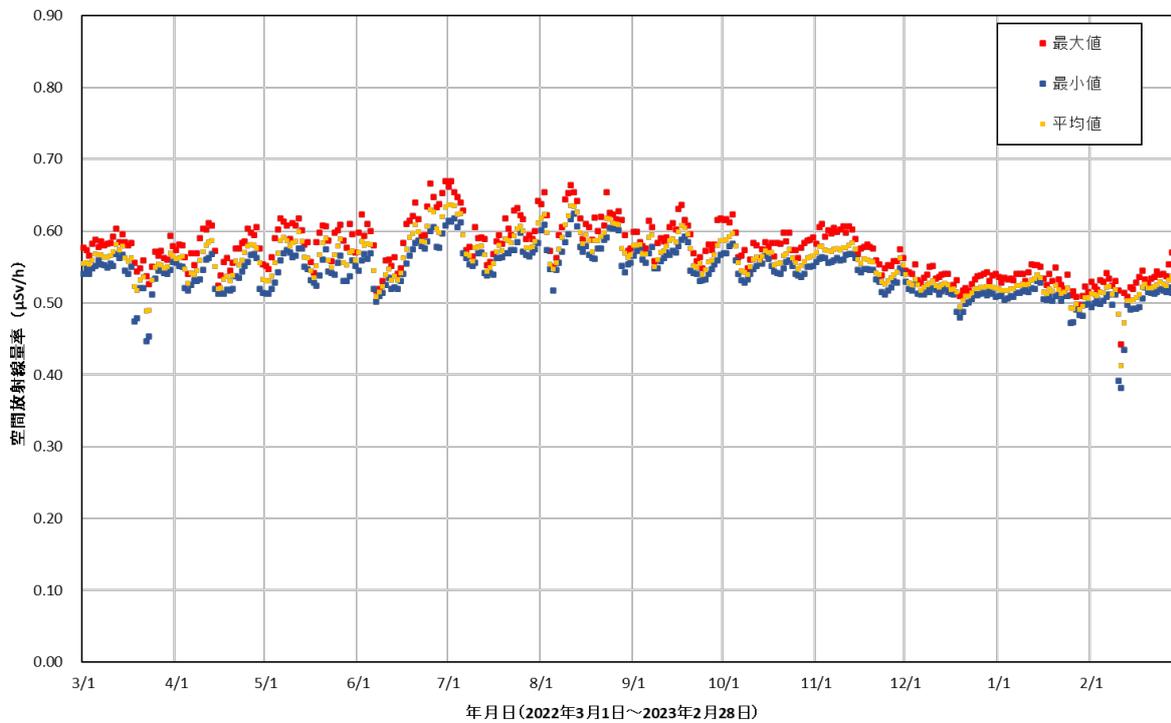
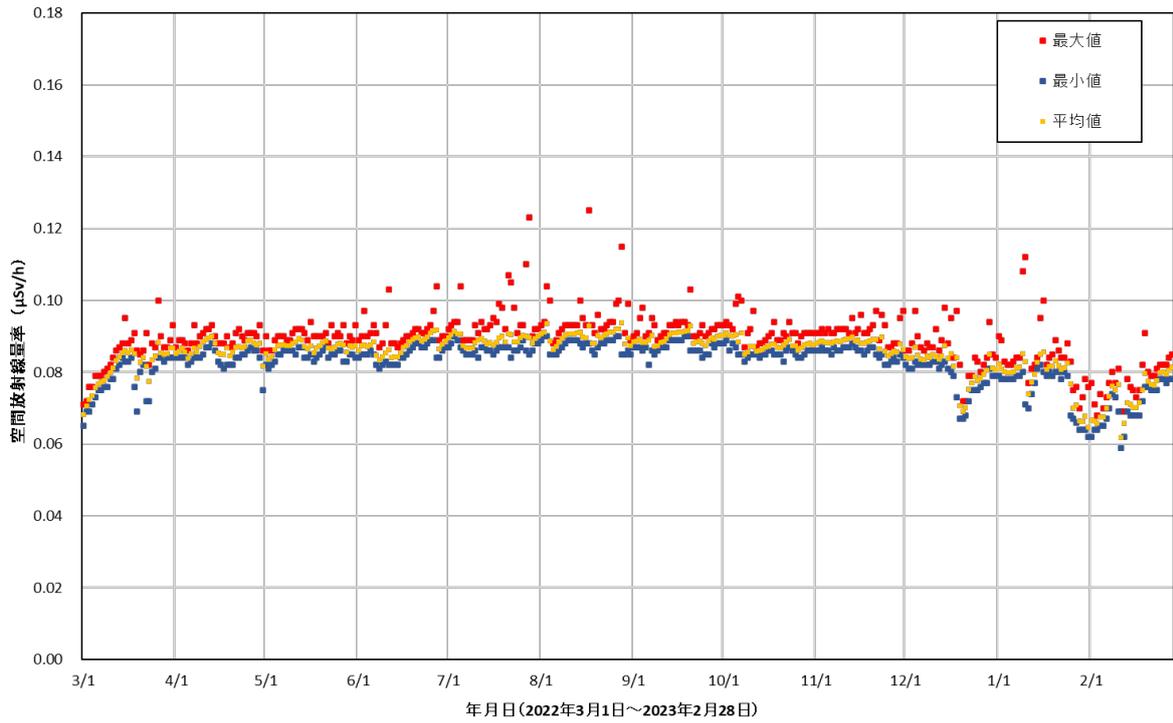


図 2-10-2(14) 各地点のトレンドグラフ

No.30 山木屋駐在所



No.31 山木屋乙八区コミュニティ消防センター

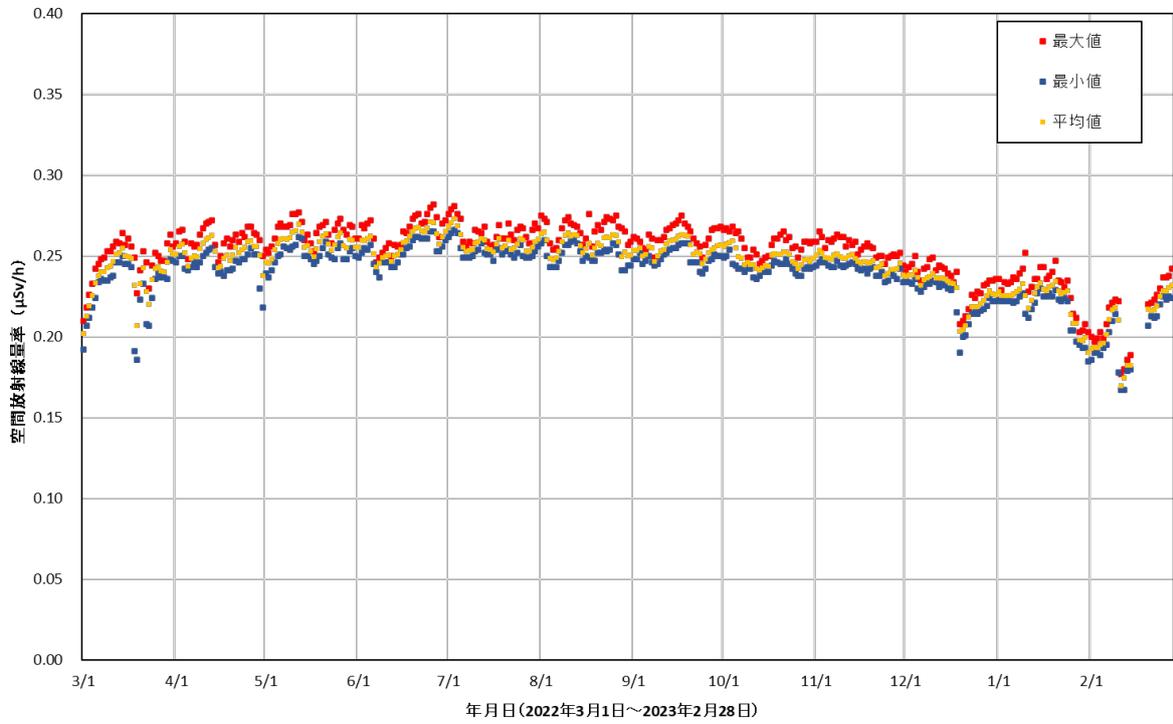
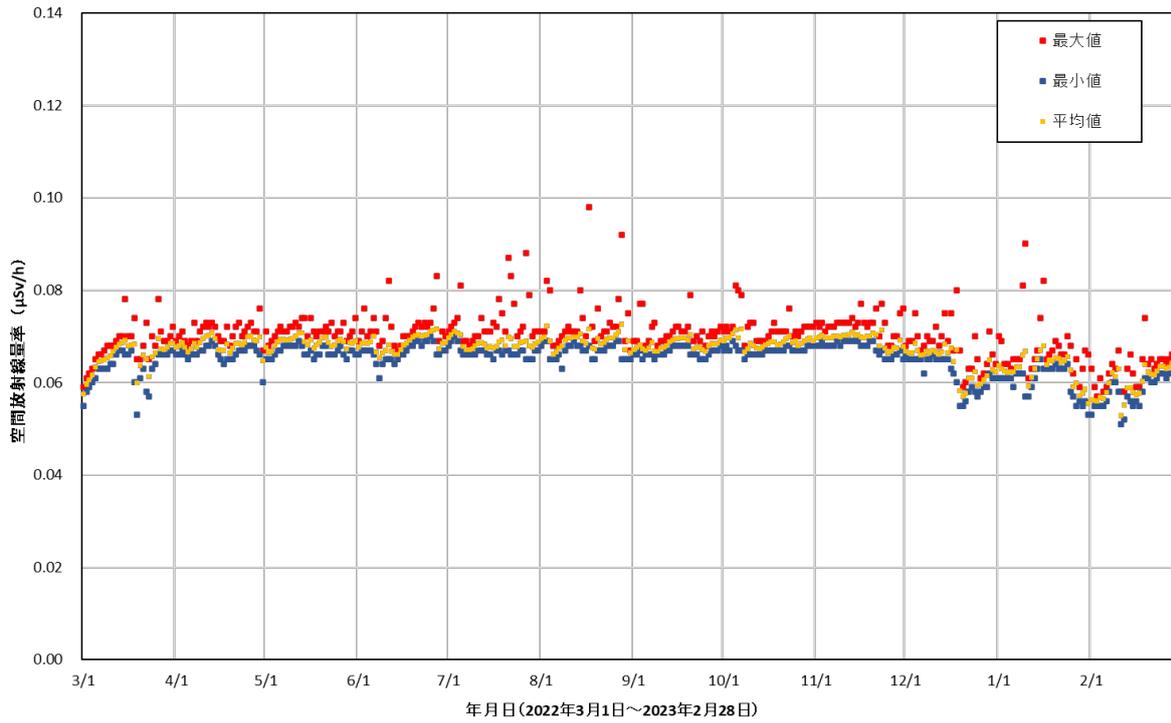


図 2-10-2(15) 各地点のトレンドグラフ

No.32 戸草集会所



No.34 女平地区集会所

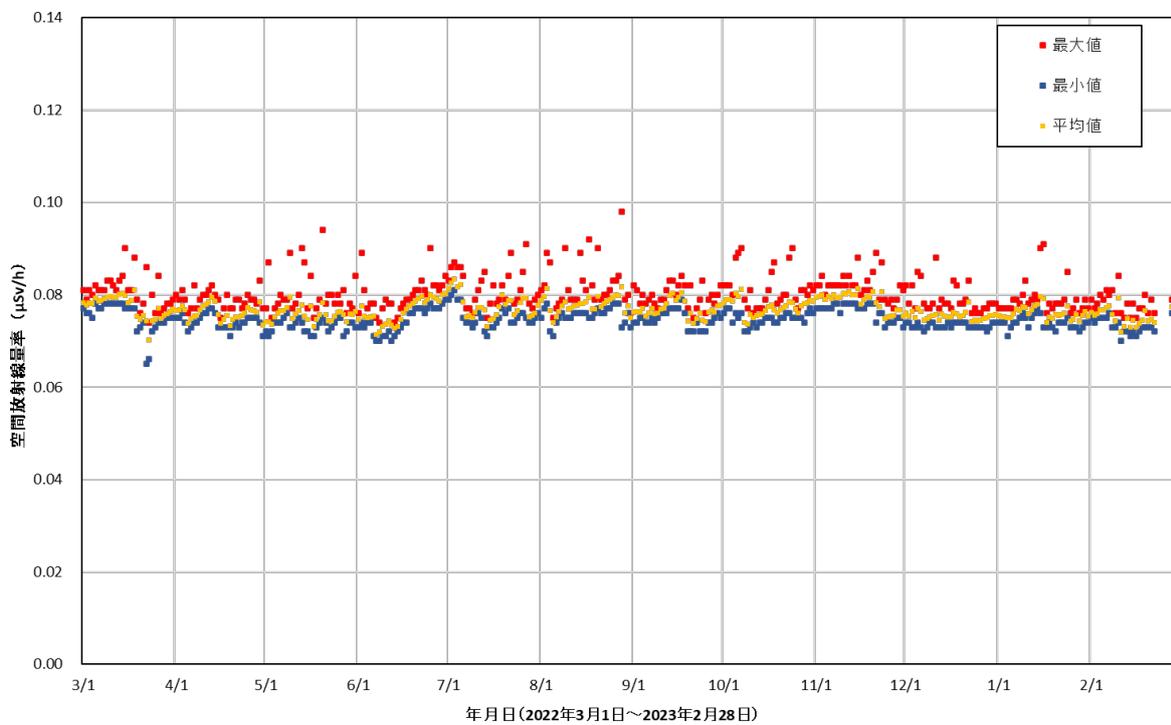
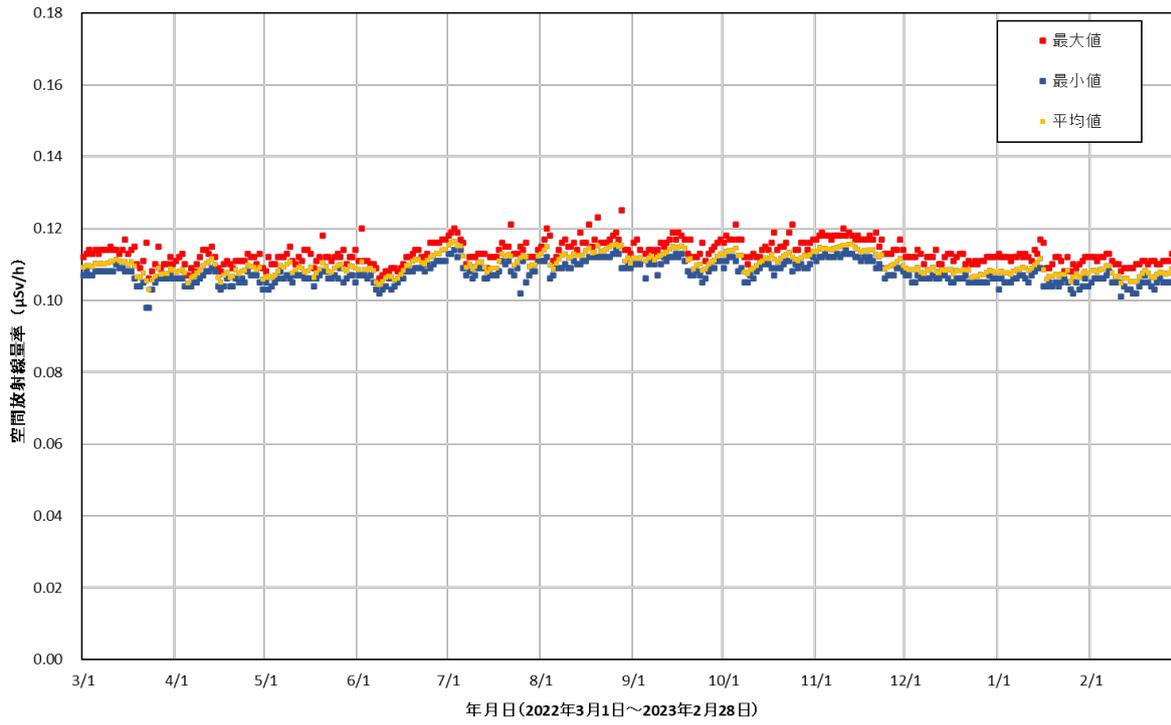


図 2-10-2(16) 各地点のトレンドグラフ

No.35 天神岬スポーツ公園



No.36 檜葉南小学校

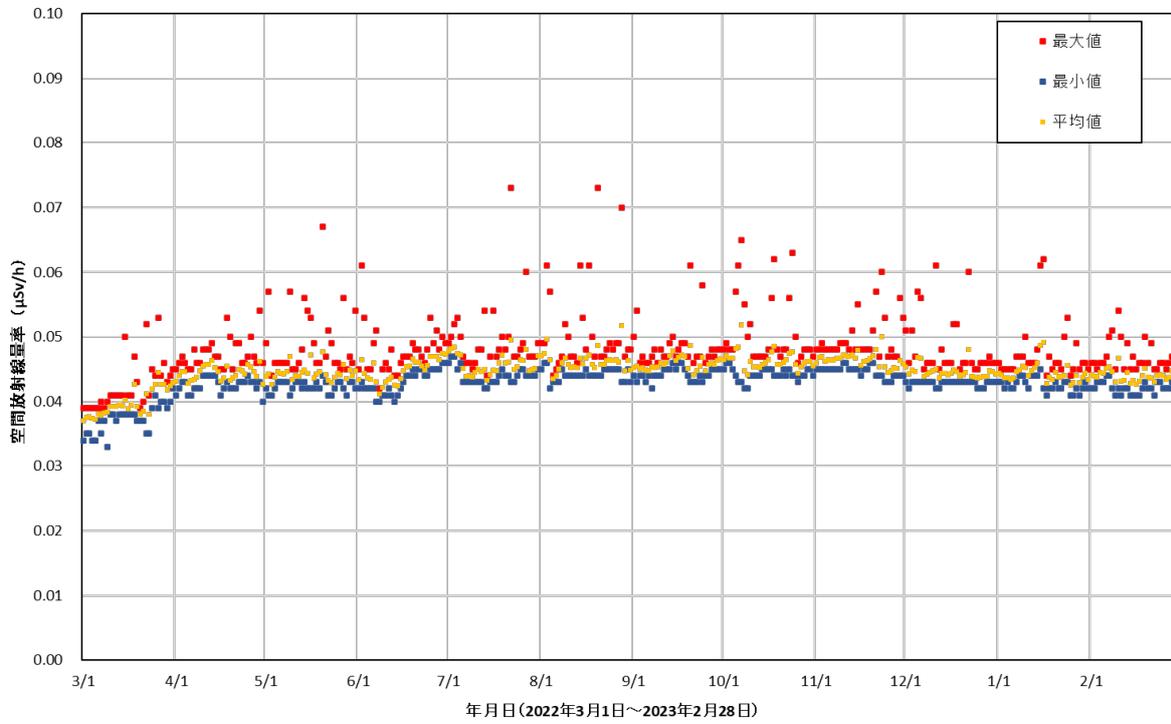
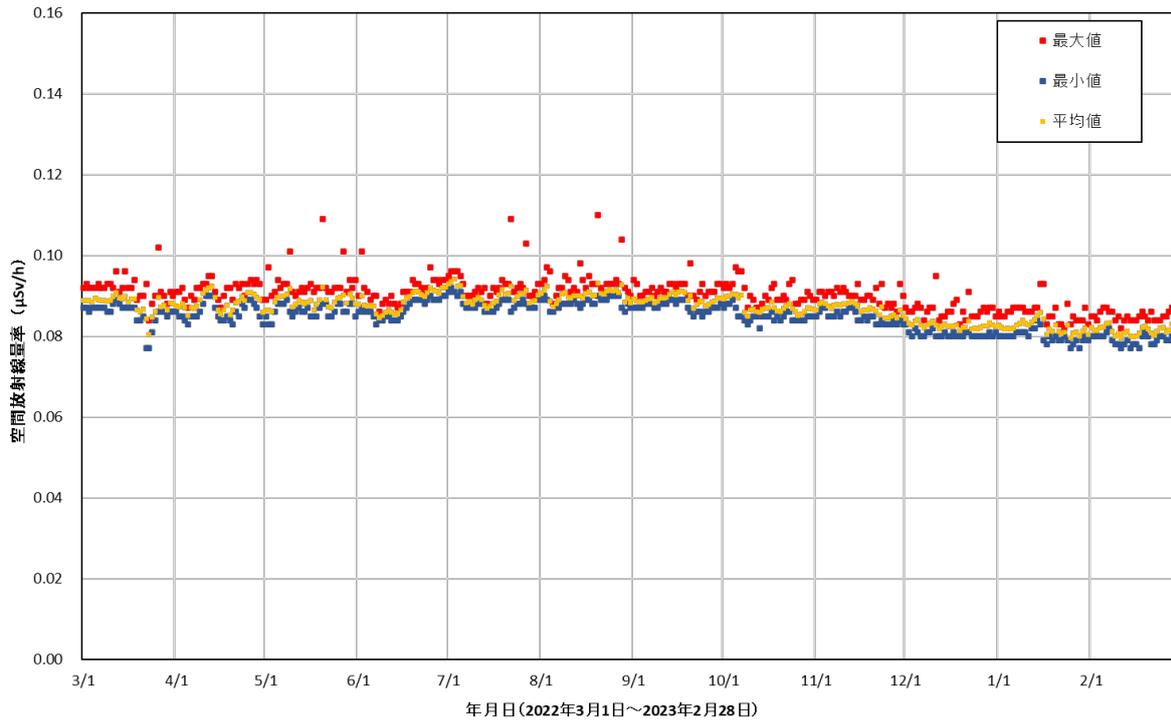


図 2-10-2(17) 各地点のトレンドグラフ

No.37 営団地区集会所



No.38 乙次郎地区集会所

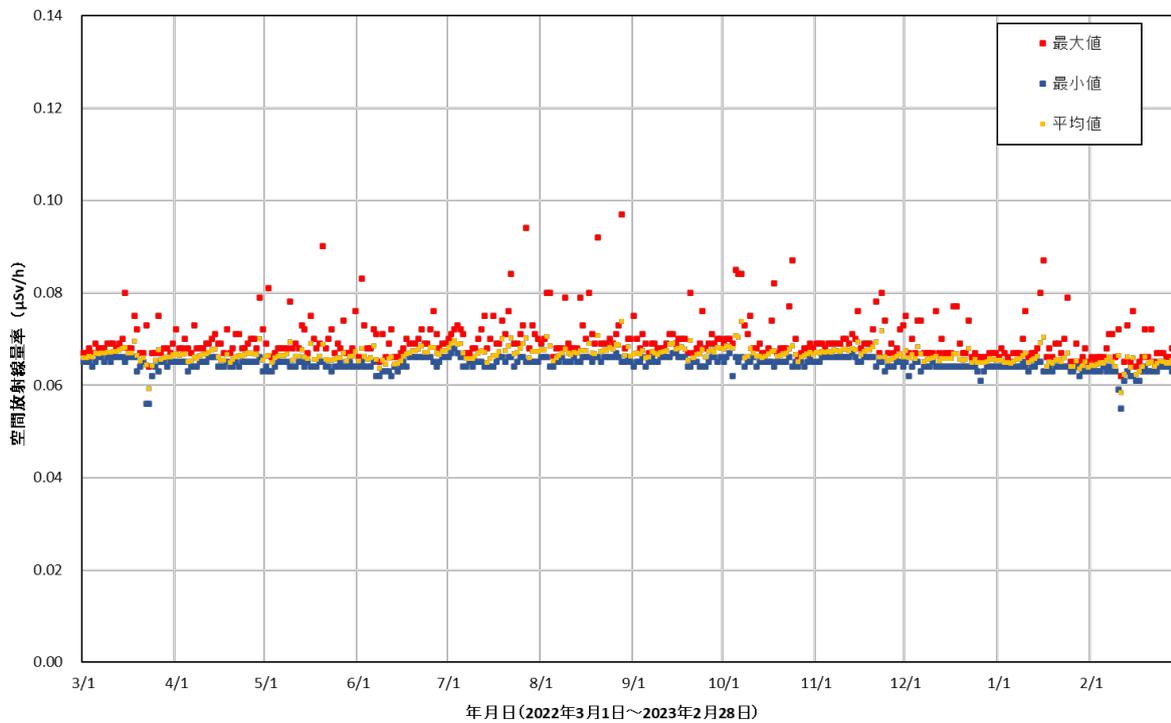
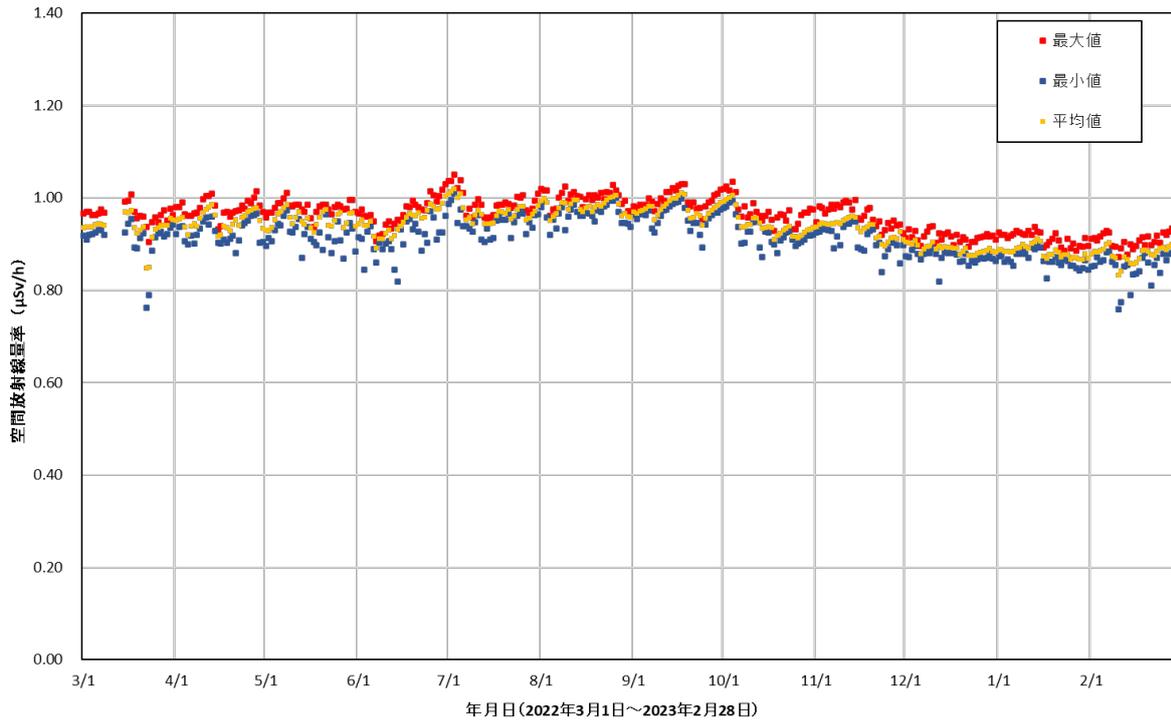


図 2-10-2(18) 各地点のトレンドグラフ

No.39 小良ヶ浜多目的集会所



No.41 富岡第二小学校

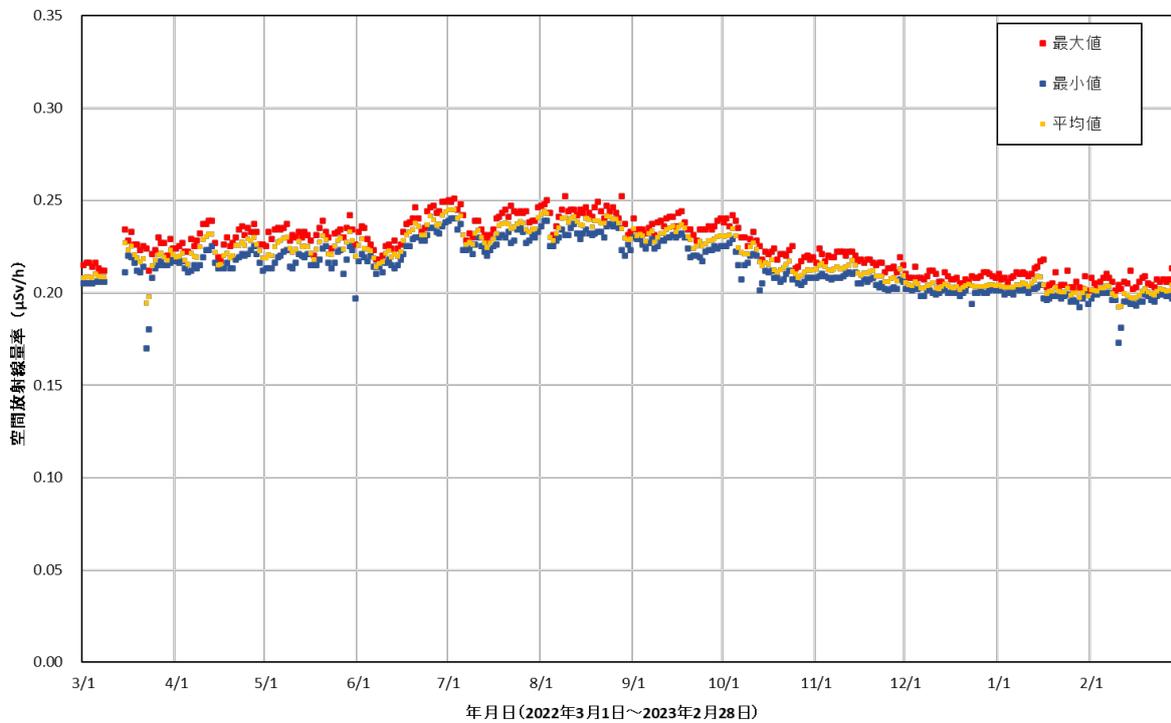
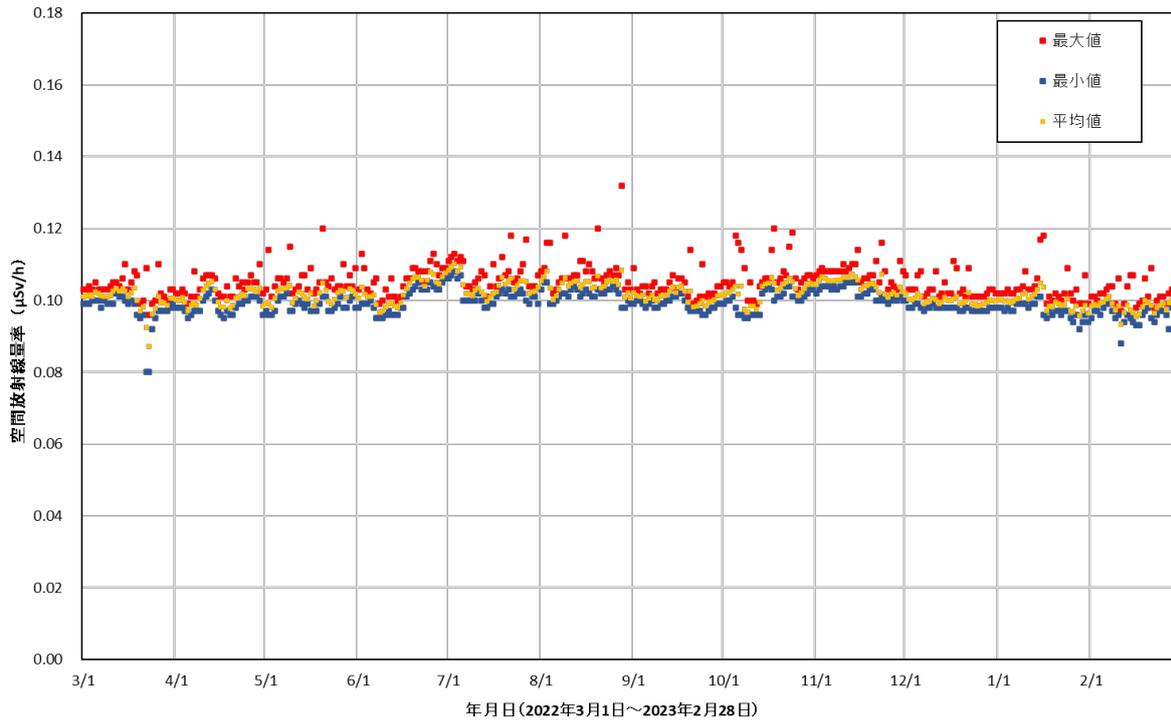


図 2-10-2(19) 各地点のトレンドグラフ

No.42 赤木多目的集会所



No.43 村営バス停留所(貝ノ坂地区)

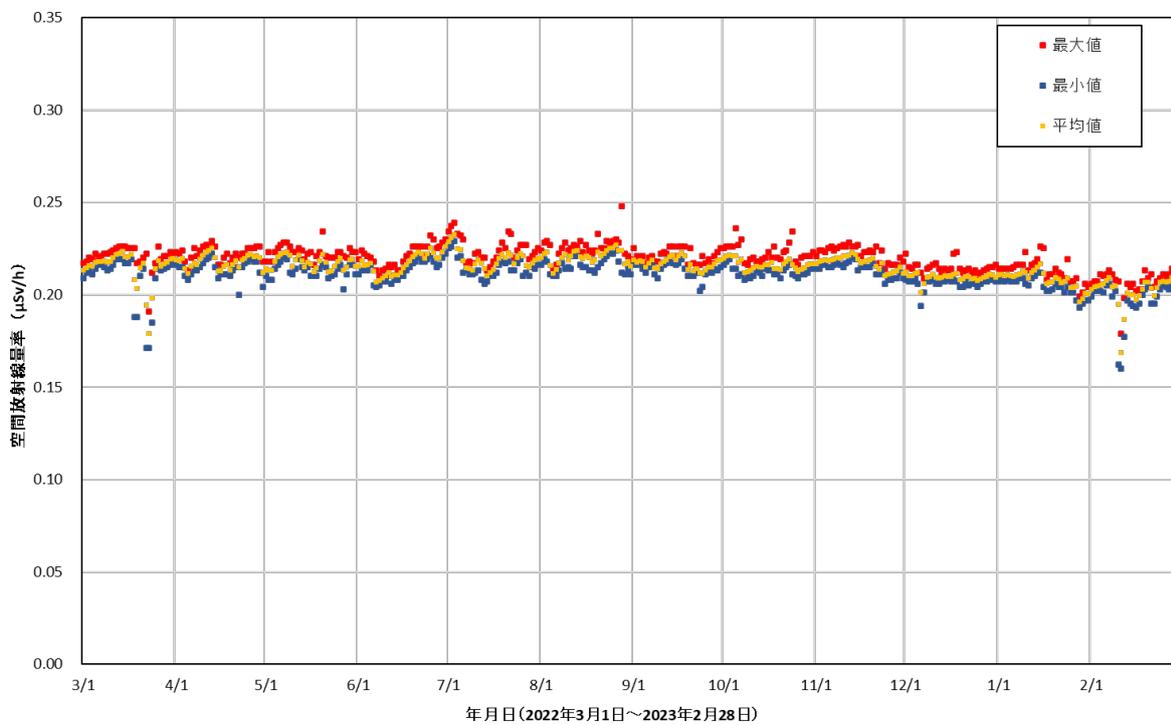
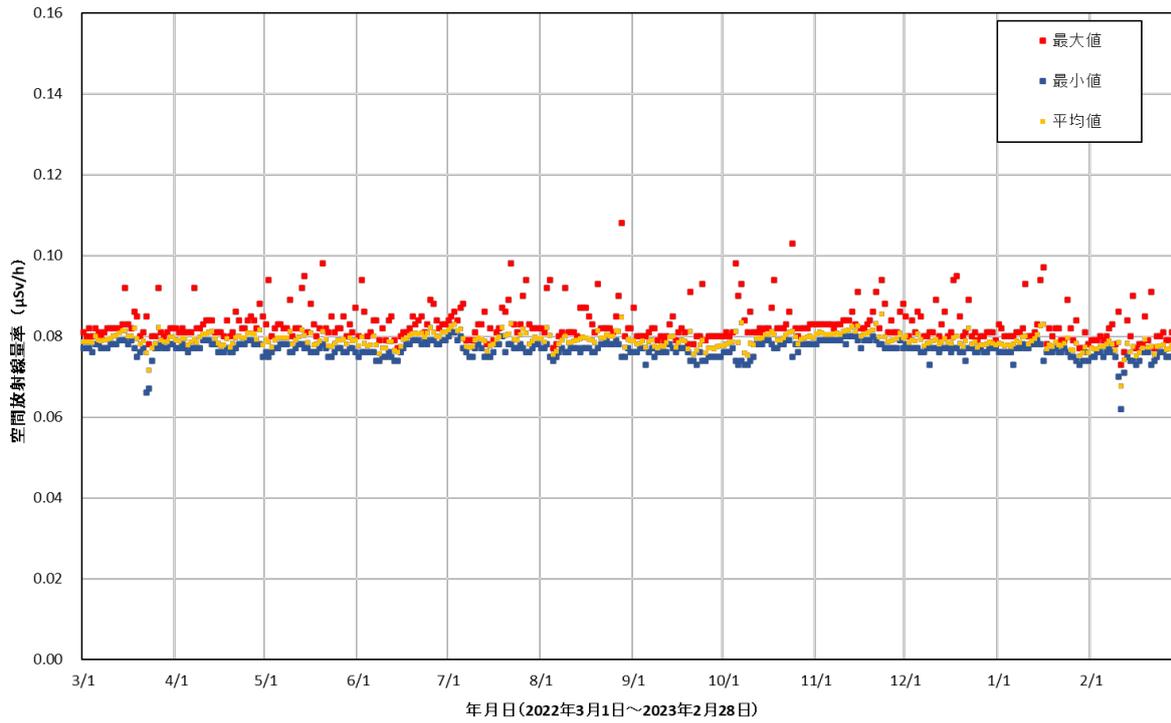


図 2-10-2(20) 各地点のトレンドグラフ

No.44 五枚沢集会所



No.45 毛戸集会所

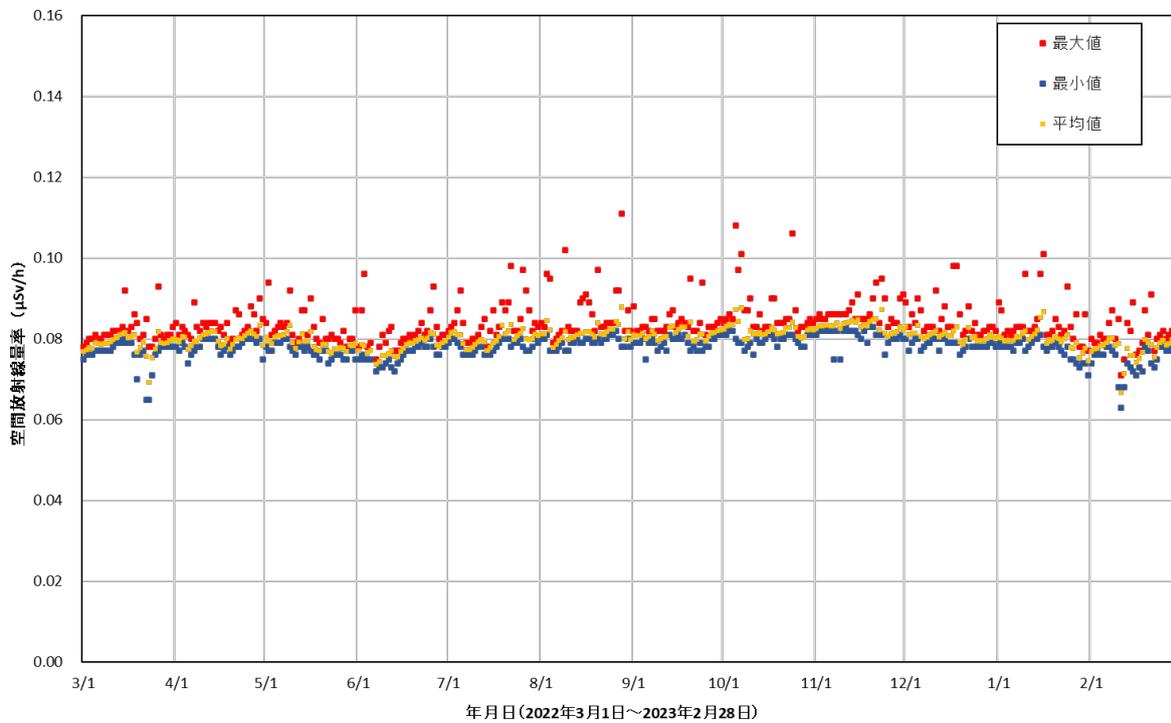
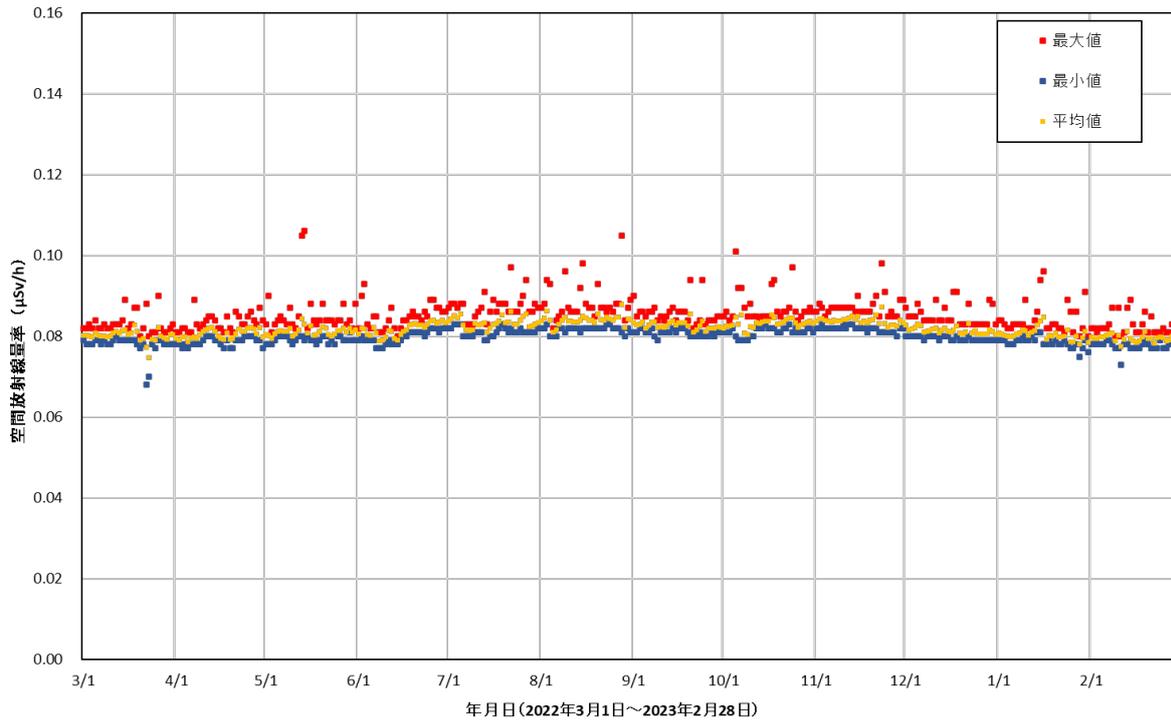


図 2-10-2(21) 各地点のトレンドグラフ

No.46 坂下ダム管理事務所



No.47 夫沢二区地区集会所

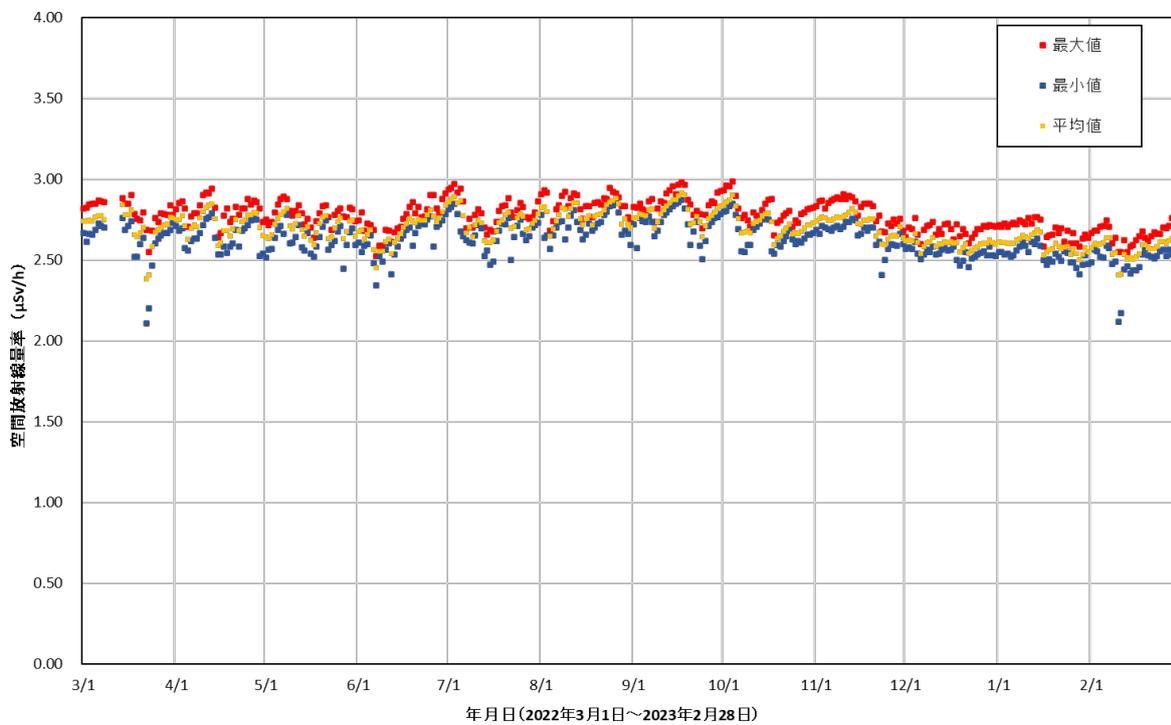
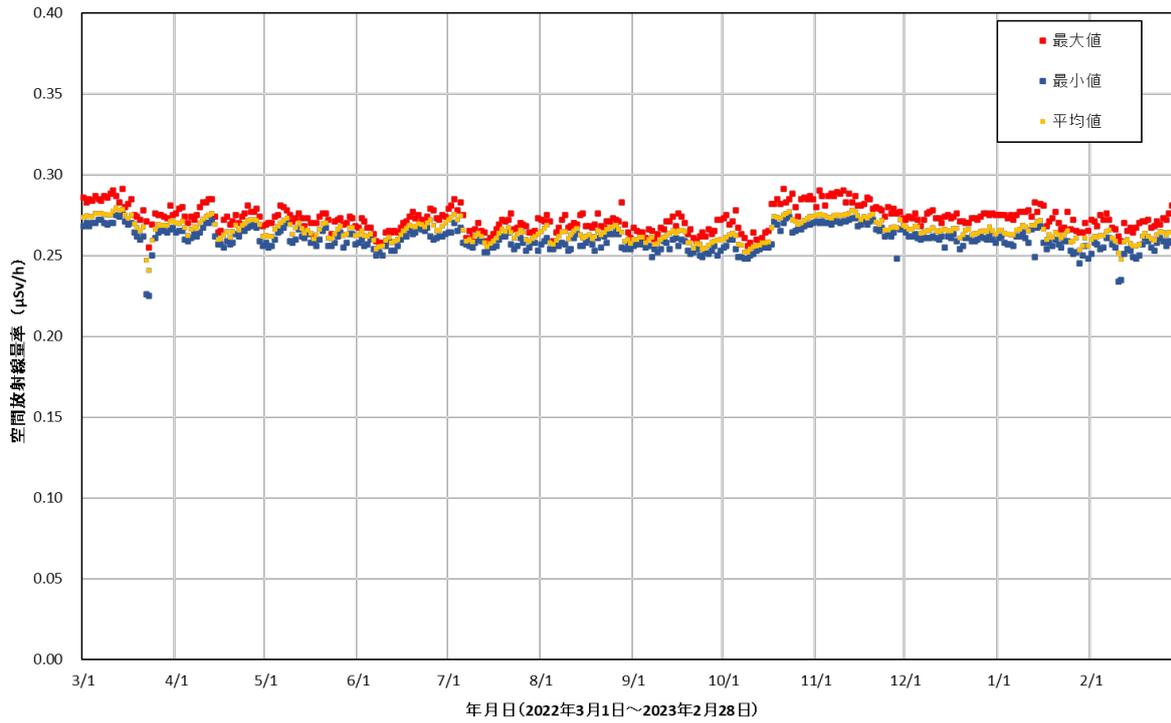
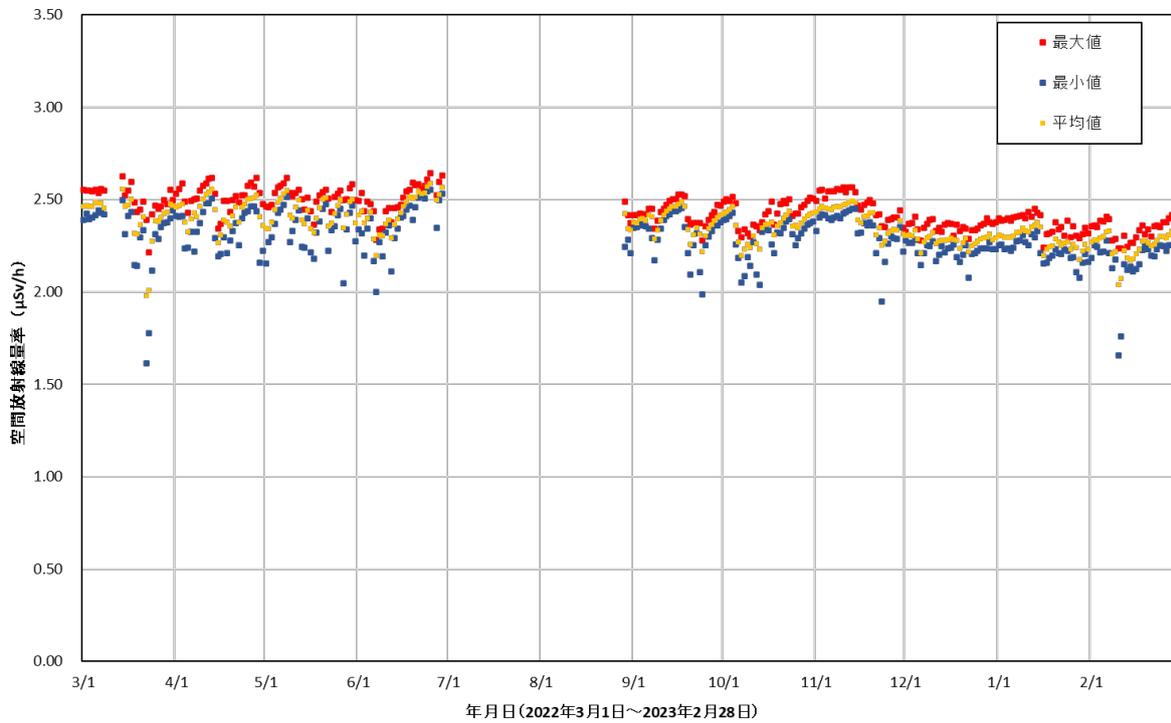


図 2-10-2(22) 各地点のトレンドグラフ

No.48 熊一区地区集会所



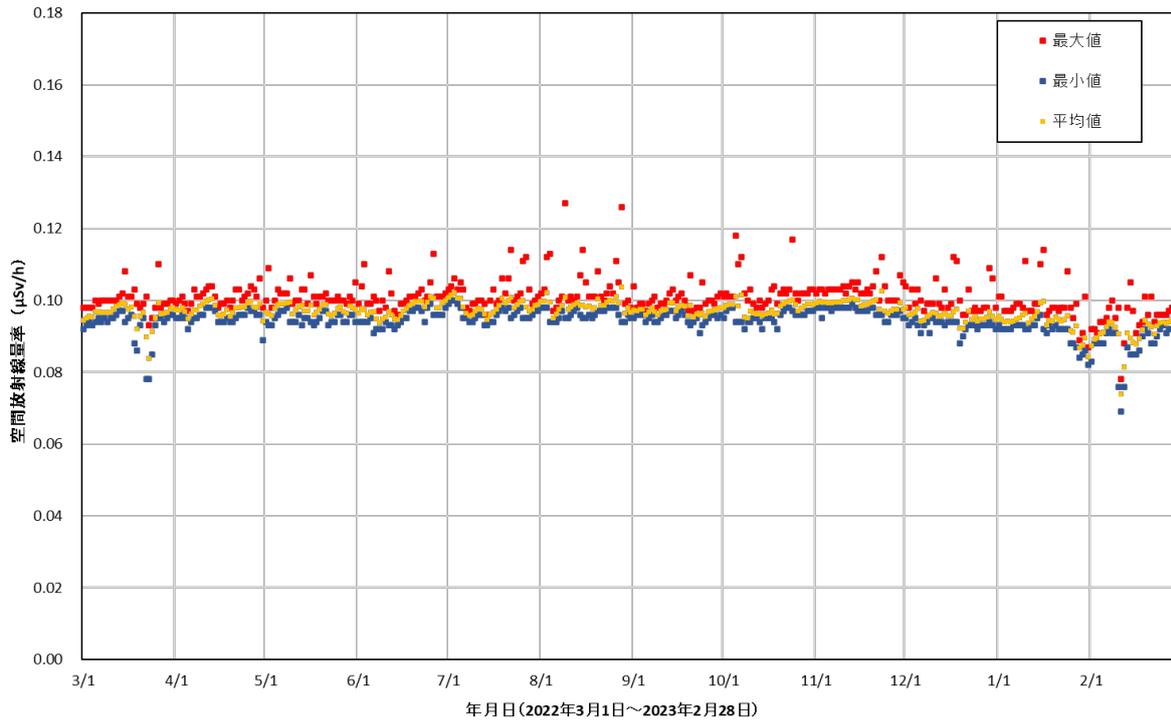
No.49 熊町小学校



2022/6/30~8/28 機器故障により欠測

図 2-10-2(23) 各地点のトレンドグラフ

No.50 中屋敷多目的研修集会施設



No.51 野上一区地区集会所

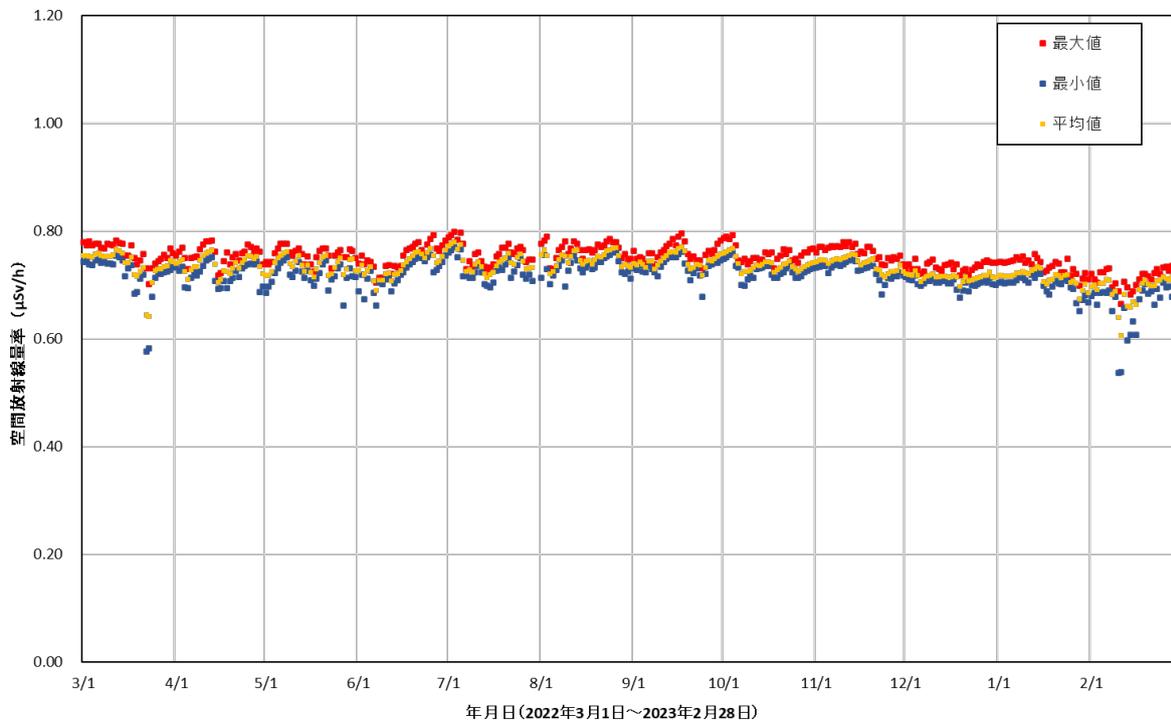
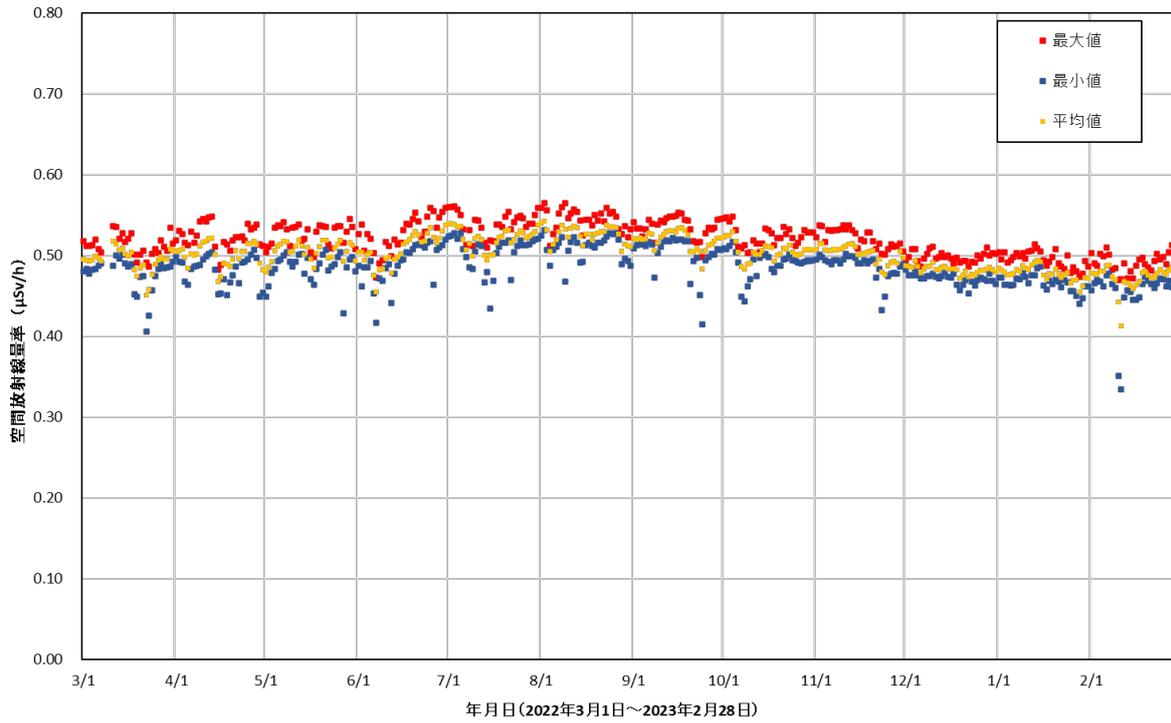


図 2-10-2(24) 各地点のトレンドグラフ

No.52 北部コミュニティーセンター



No.53 双葉総合公園

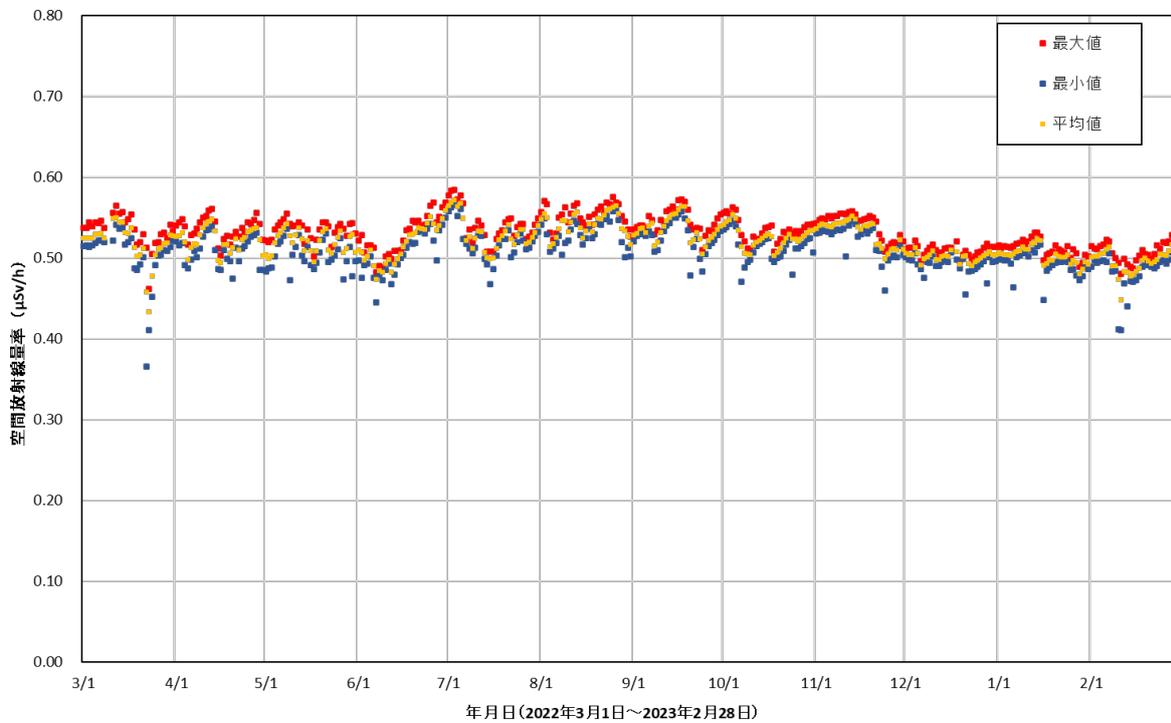
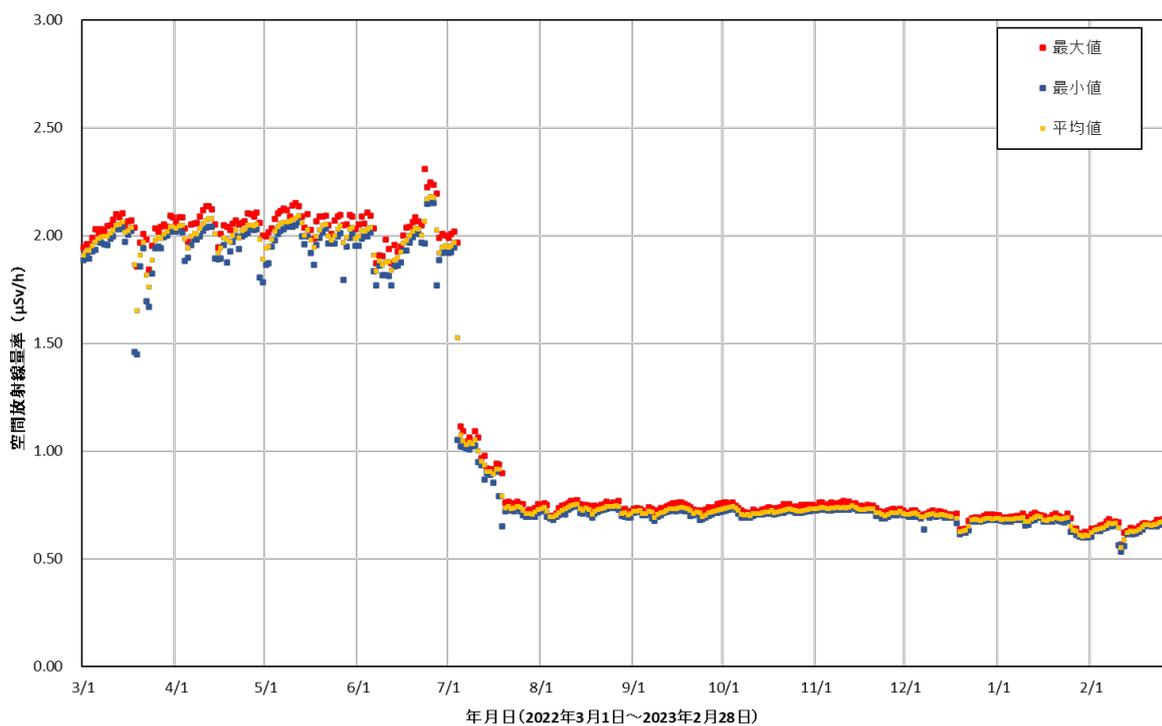


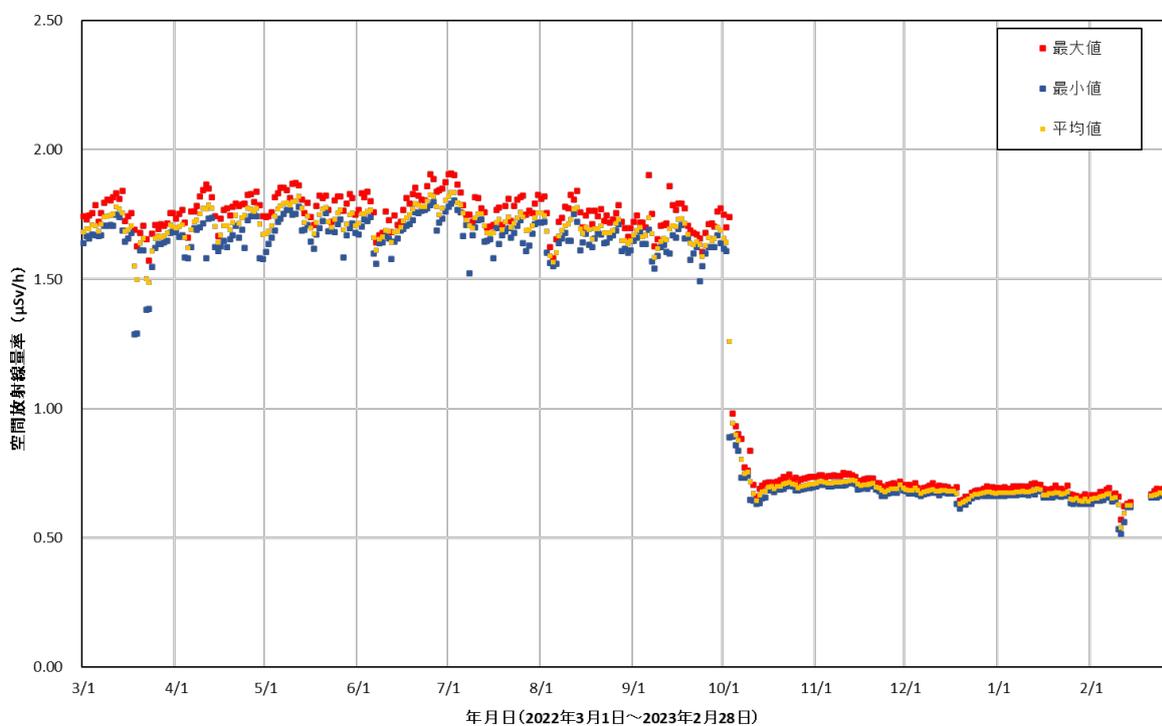
図 2-10-2(25) 各地点のトレンドグラフ

No.54 手七郎集会所



2022/6/4~7/30 除染実施

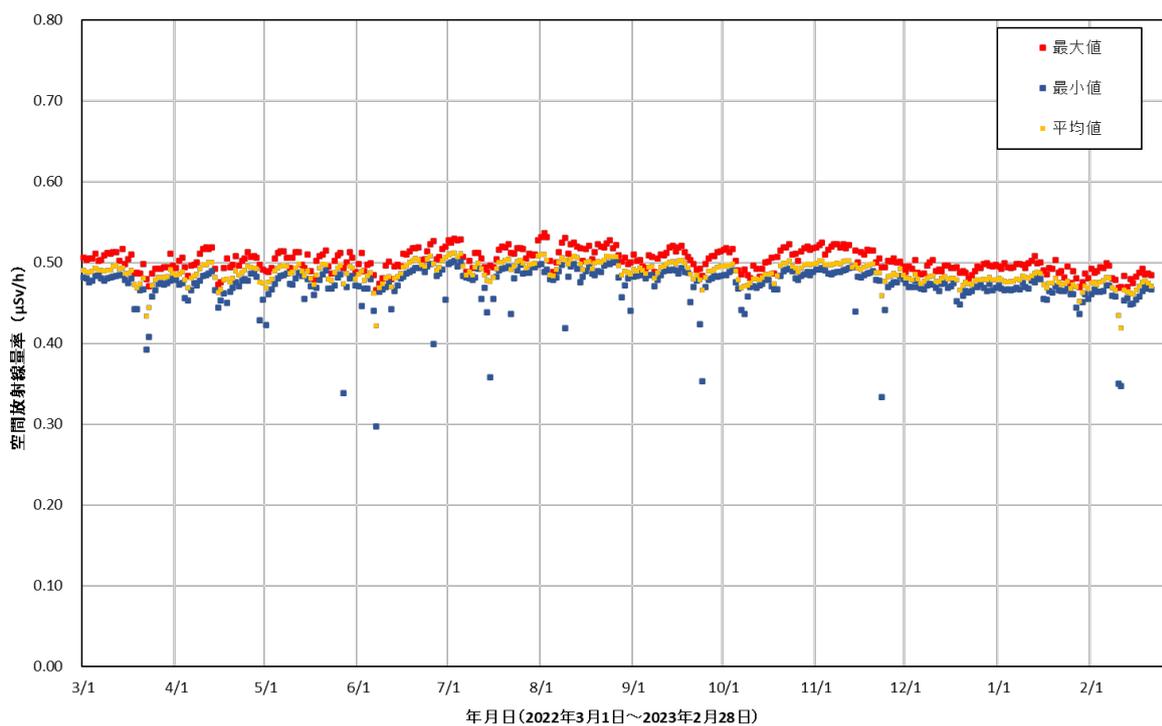
No.55 赤宇木集会所



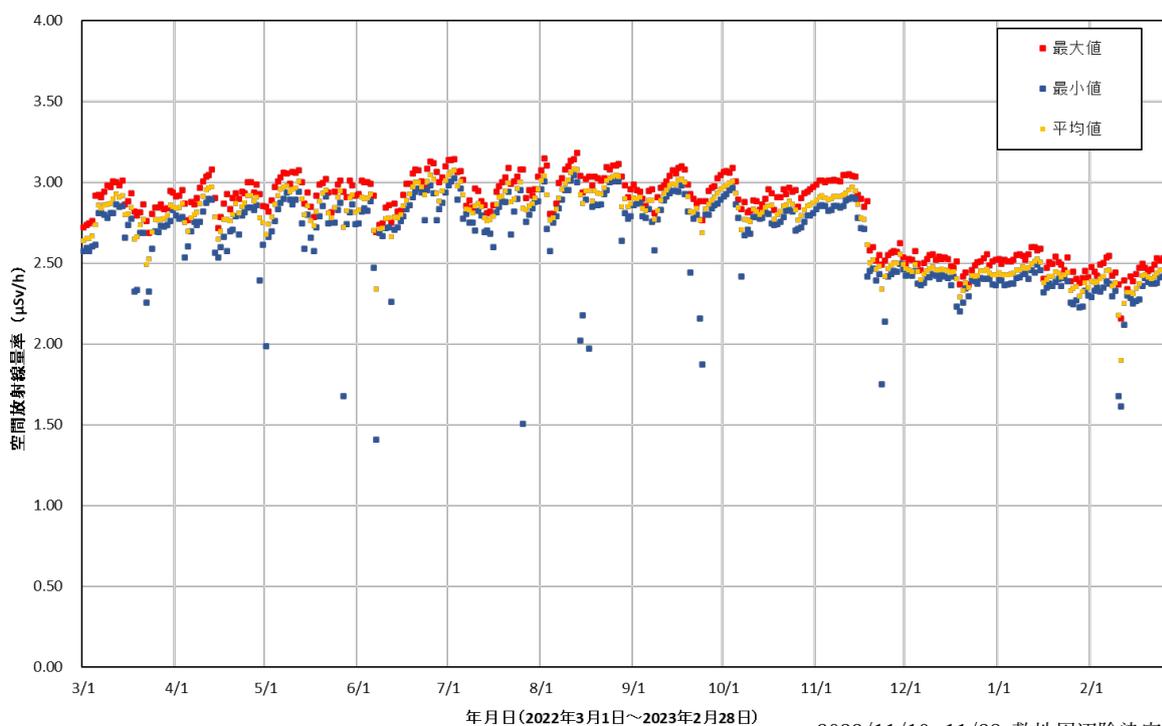
2022/8/6~10/11 除染実施

図 2-10-2(26) 各地点のトレンドグラフ

No.56 大堀小学校



No.58 大柿簡易郵便局(葛尾村営バス停脇)

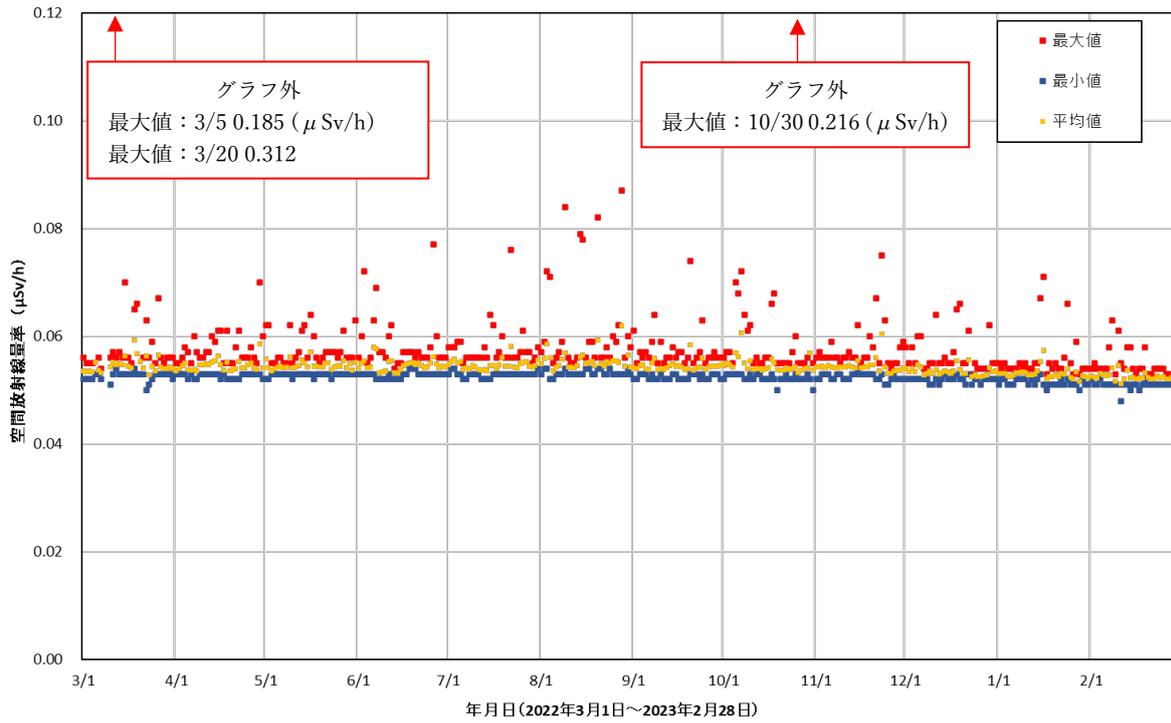


2022/11/10~11/28 敷地周辺除染実施

2022/12/9、12/16 現地にて状況変化を確認

図 2-10-2(27) 各地点のトレンドグラフ

No.59 浪江町役場



2022/3/5、3/20、10/30 は非破壊検査等による影響を受けた空間放射線量率を含む

No.60 小丸多目的集会所

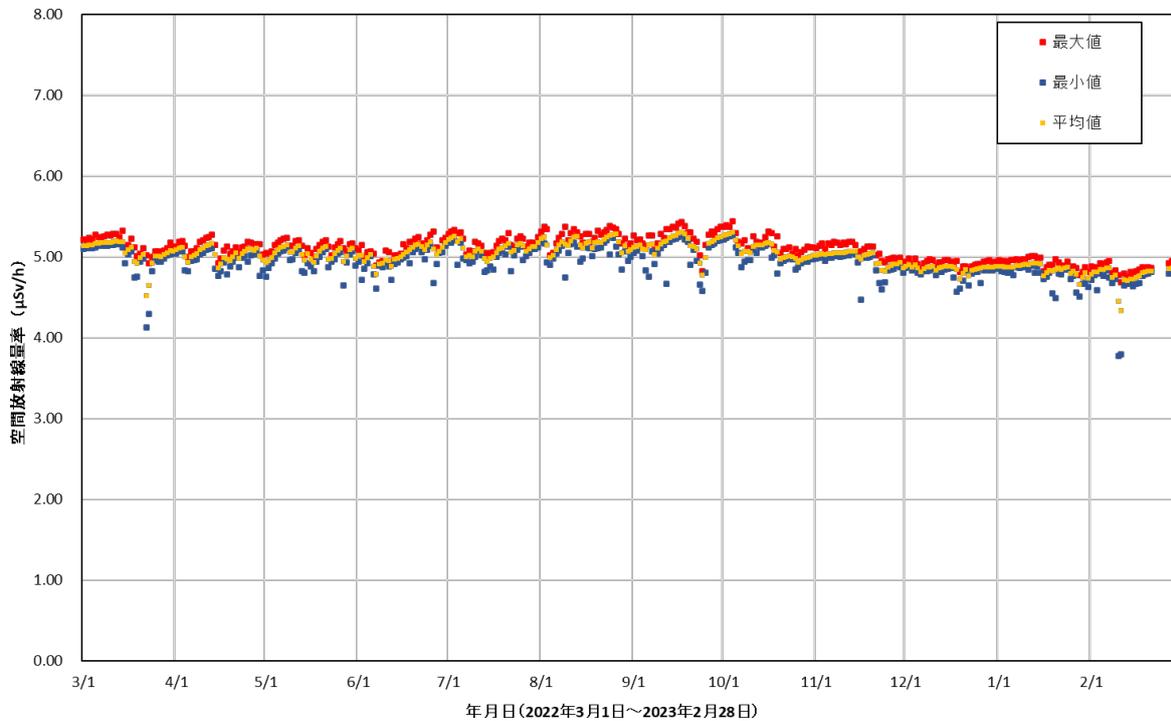
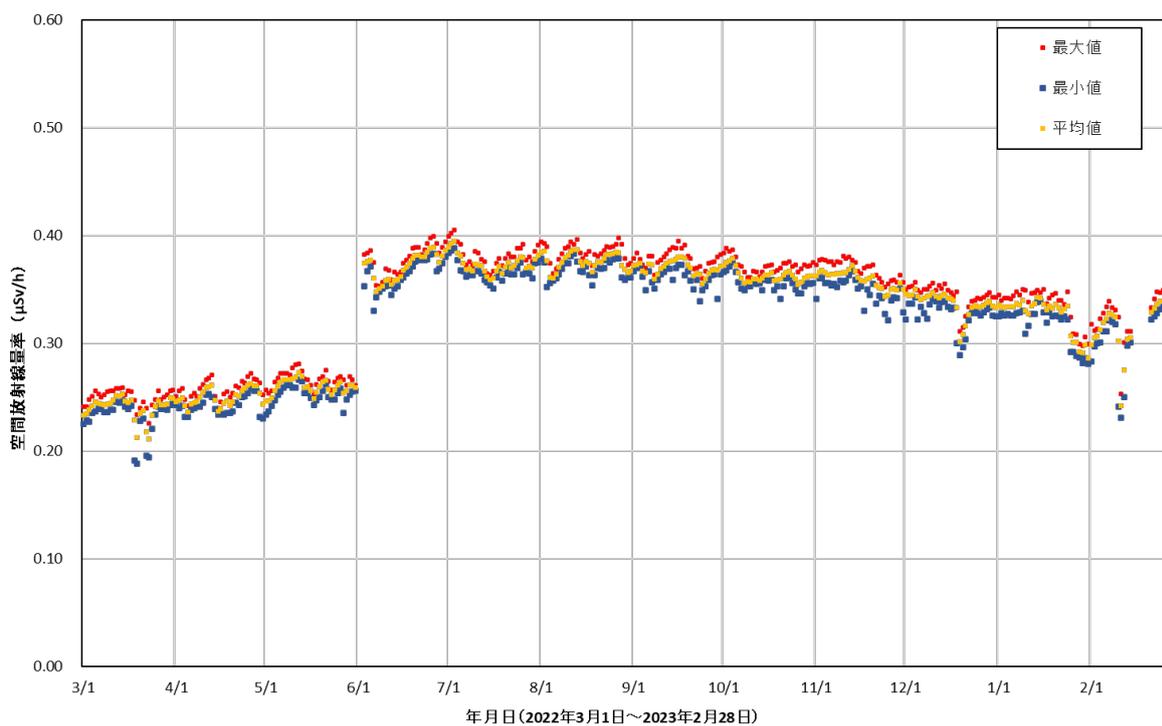


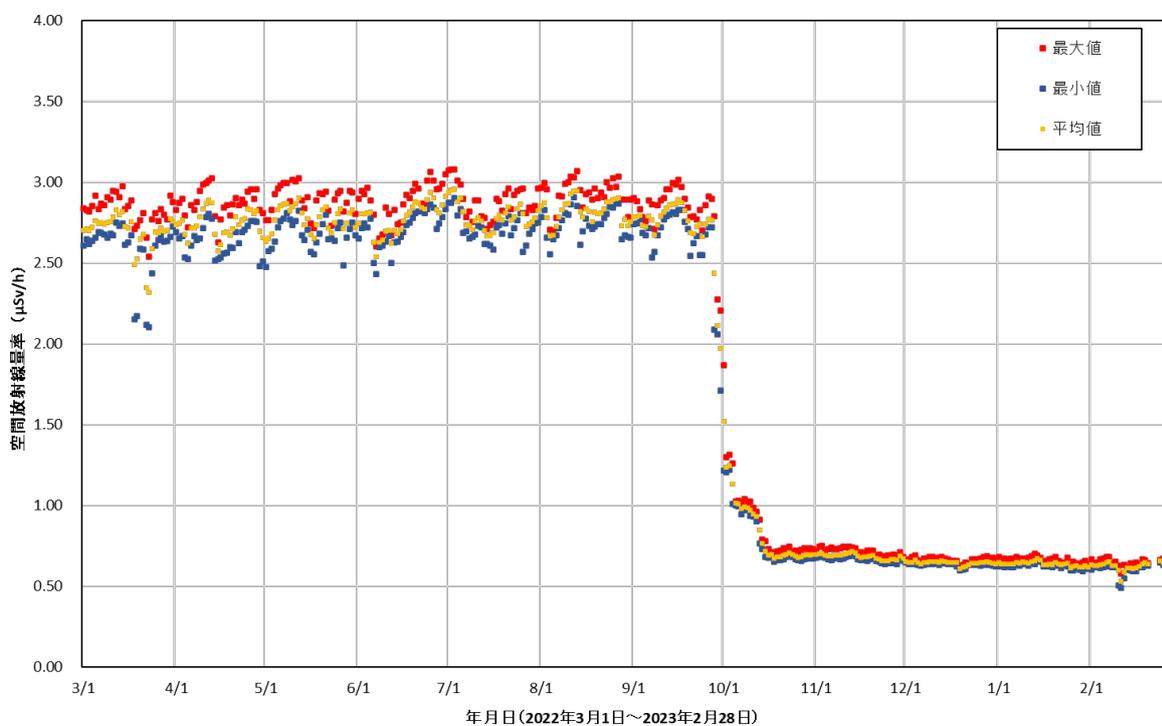
図 2-10-2(28) 各地点のトレンドグラフ

No.61 津島活性化センター



2022/5/31 移設

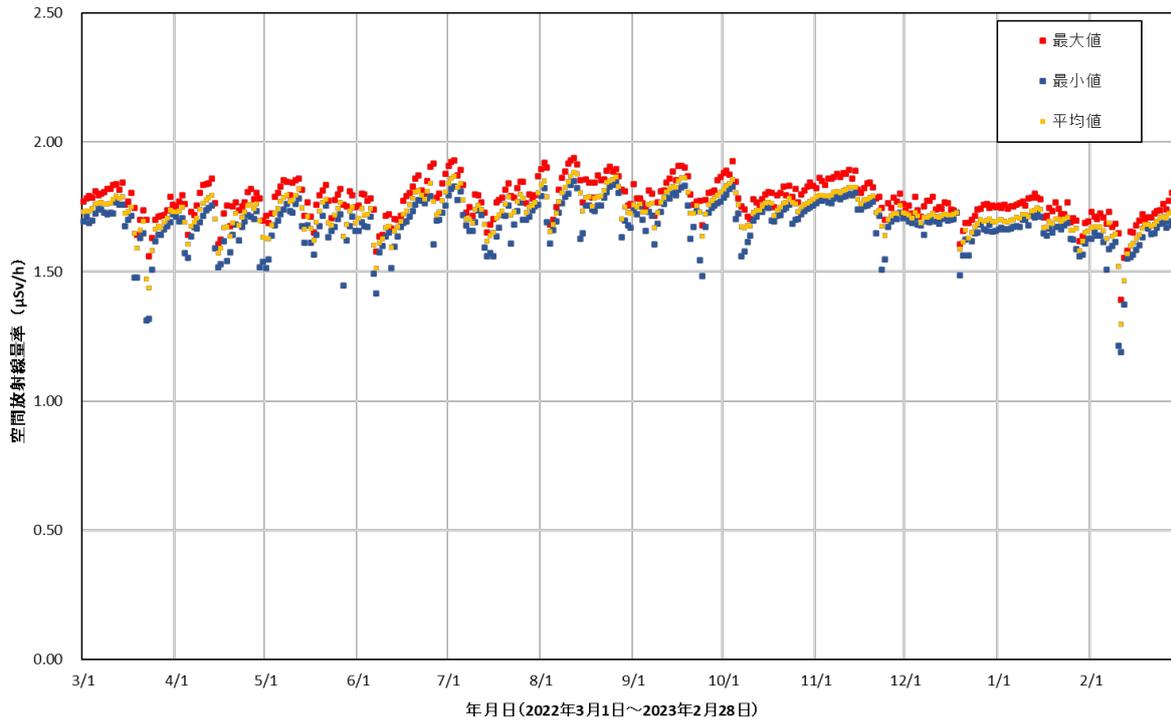
No.62 屋曽根屯所



2022/9/17~10/17 除染実施

図 2-10-2(29) 各地点のトレンドグラフ

No.63 家老集会所



No.64 大放婦人ホーム跡地

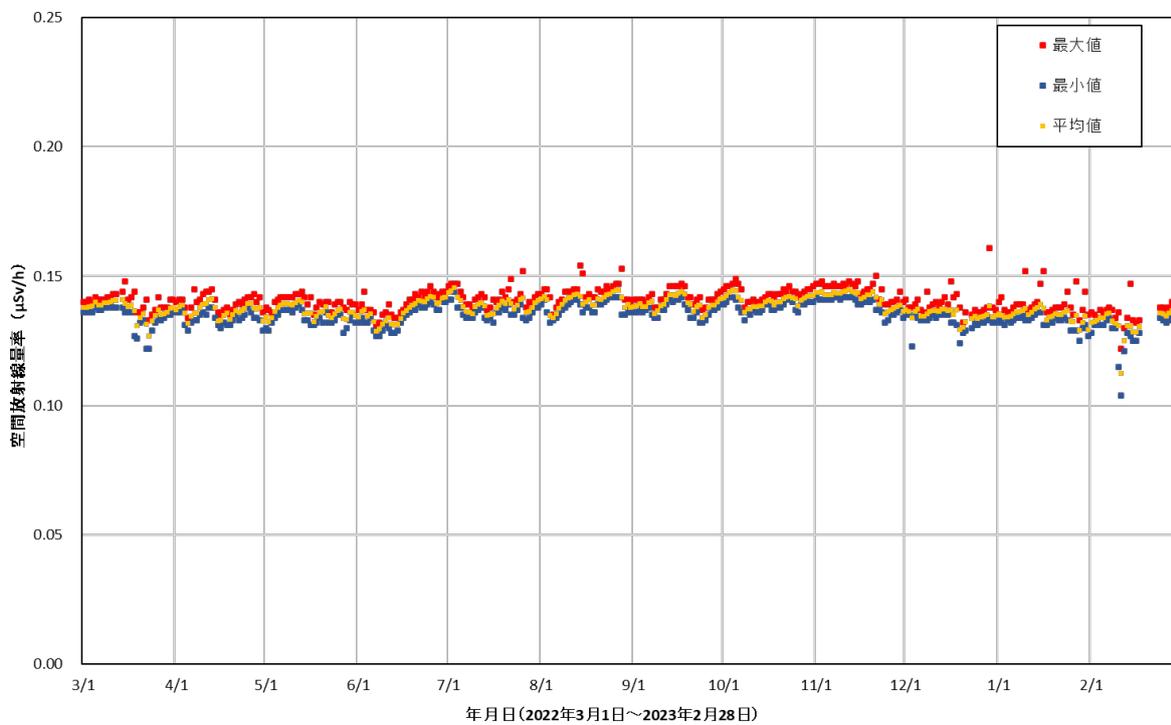
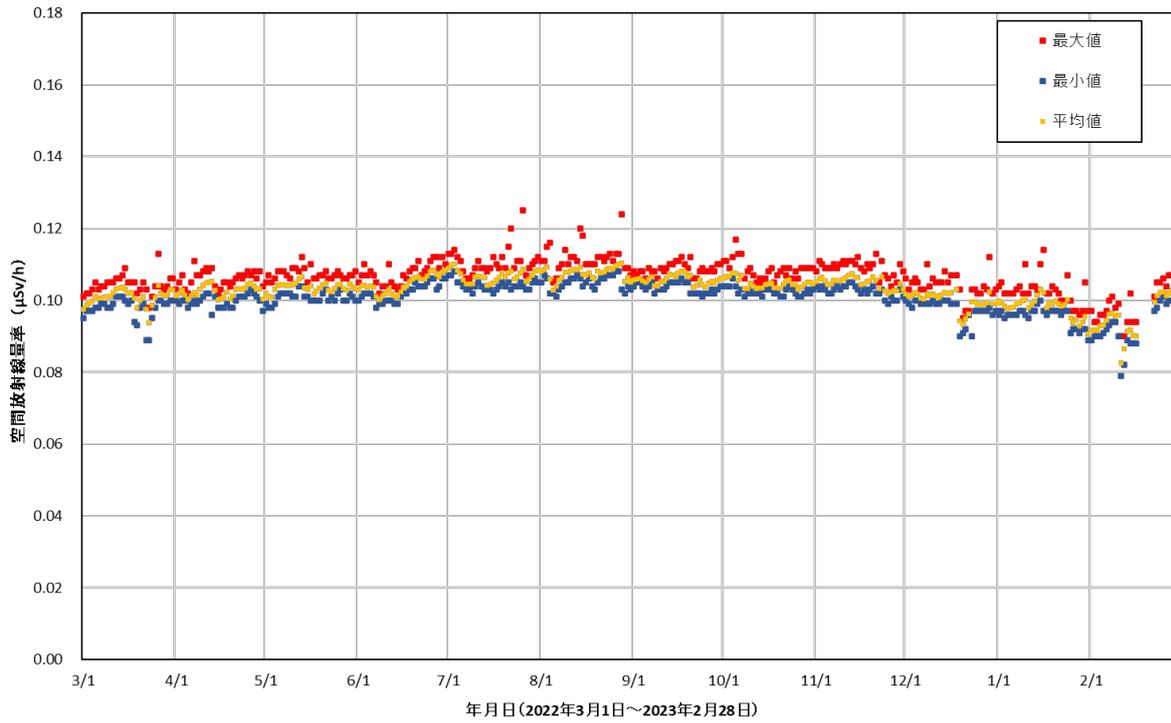


図 2-10-2(30) 各地点のトレンドグラフ

No.65 葛尾村役場



No.66 下葛尾集会所

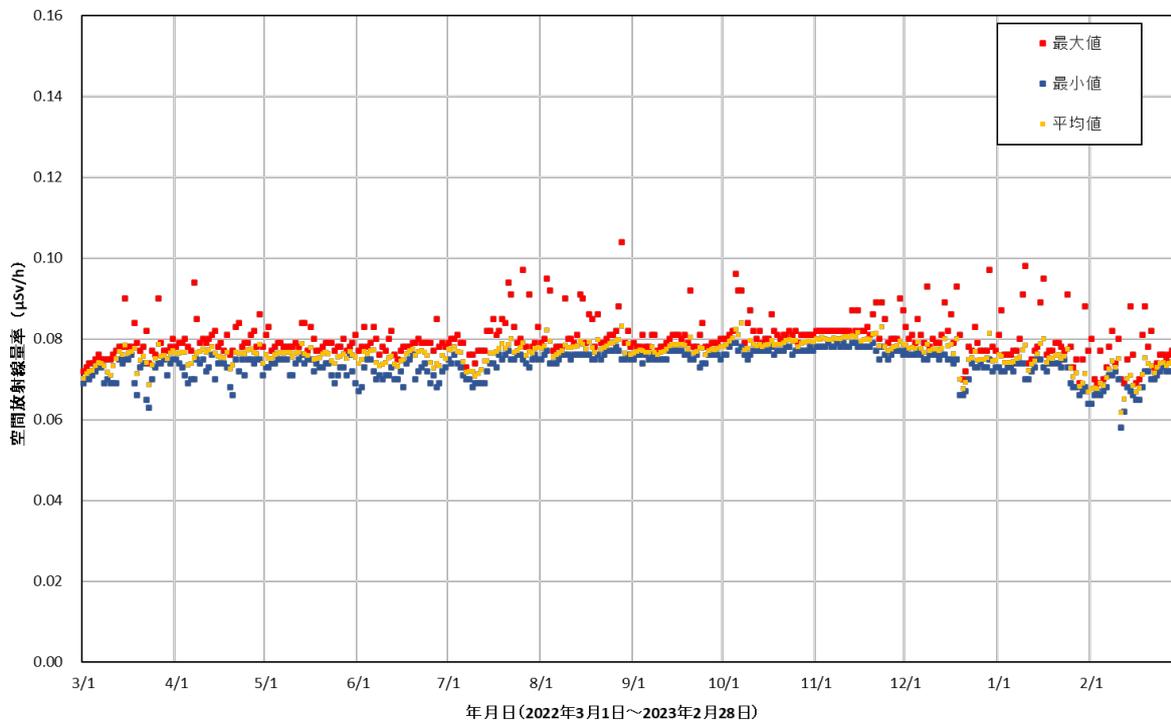
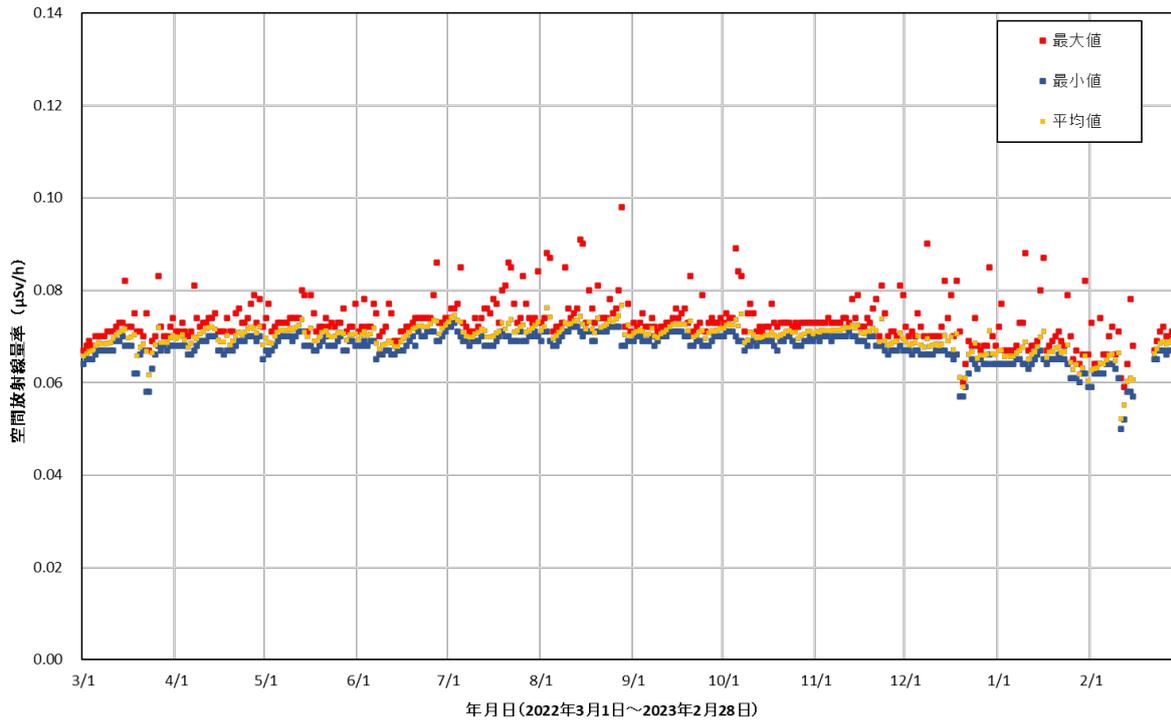


図 2-10-2(31) 各地点のトレンドグラフ

No.67 上野川多目的集会所



No.68 上飯樋地区集会所

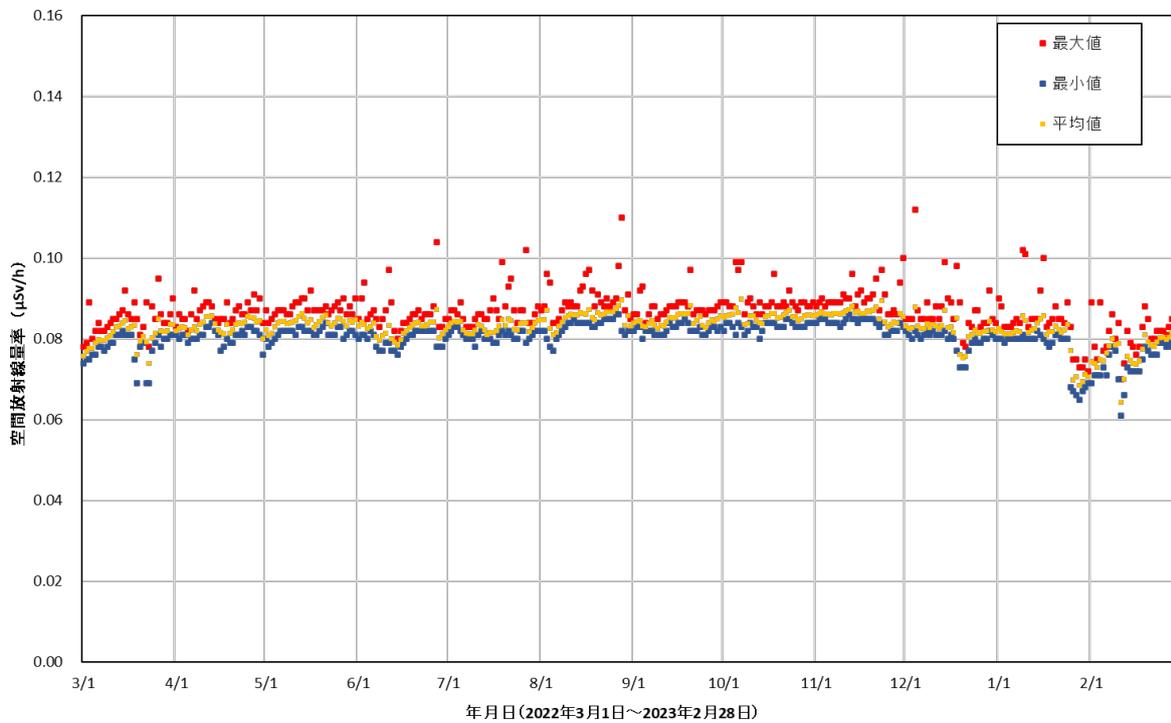
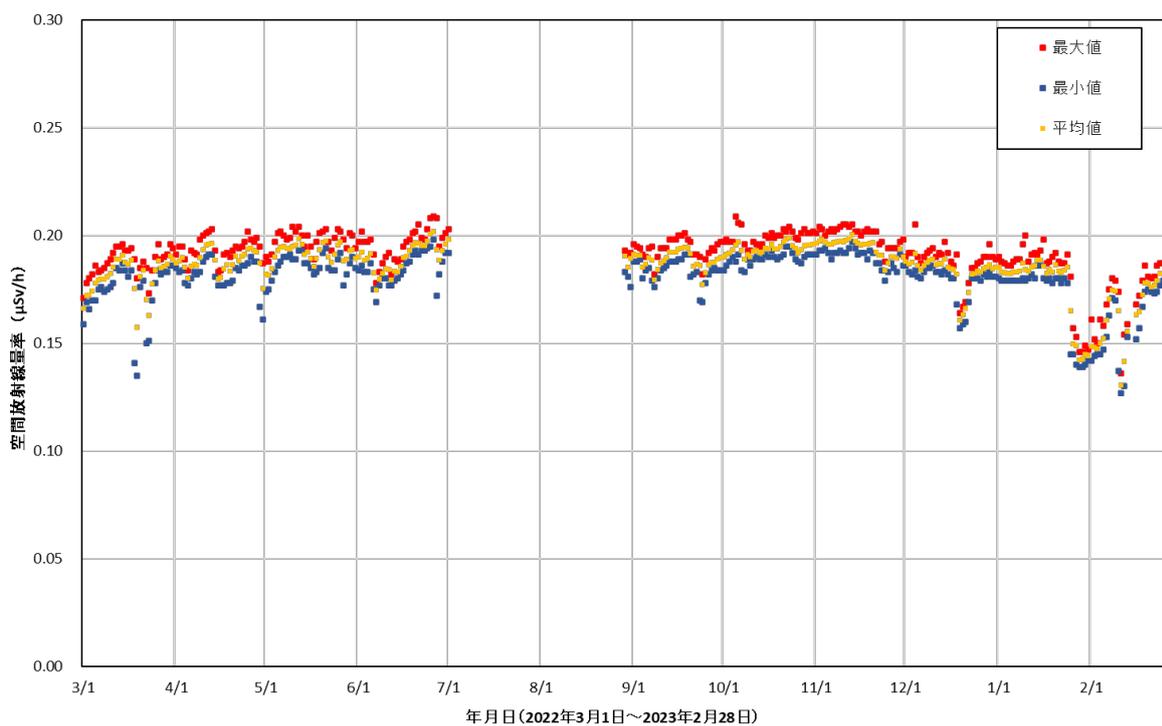


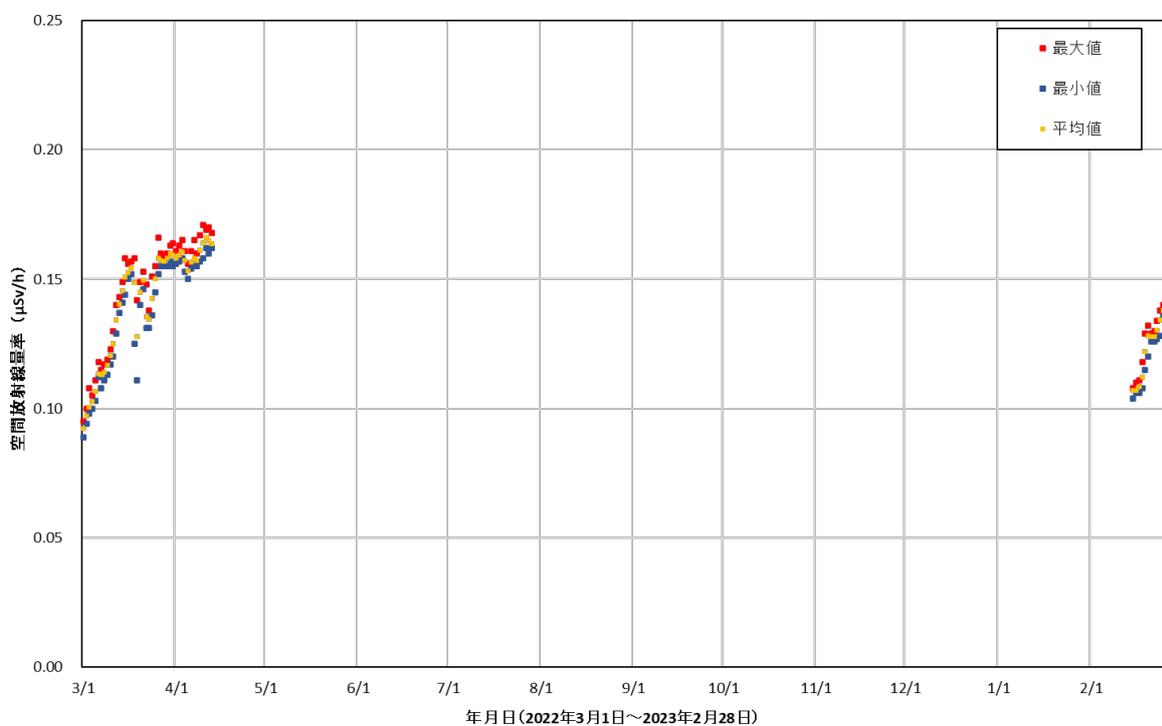
図 2-10-2(32) 各地点のトレンドグラフ

No.69 飯館村防災センター



2022/7/2~8/28 機器故障により欠測

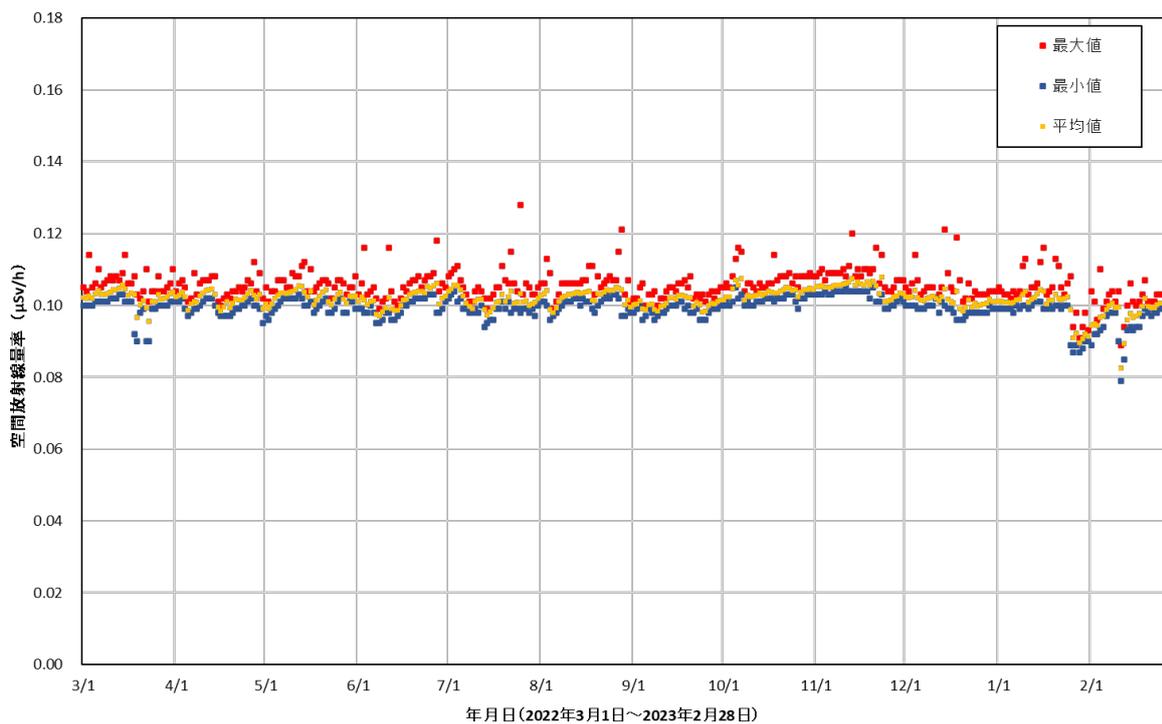
No.70 臼石小学校



2022/4/13~2023/2/14 通信不良による欠測

図 2-10-2(33) 各地点のトレンドグラフ

No.71 大倉体育館



No.72 草野小学校

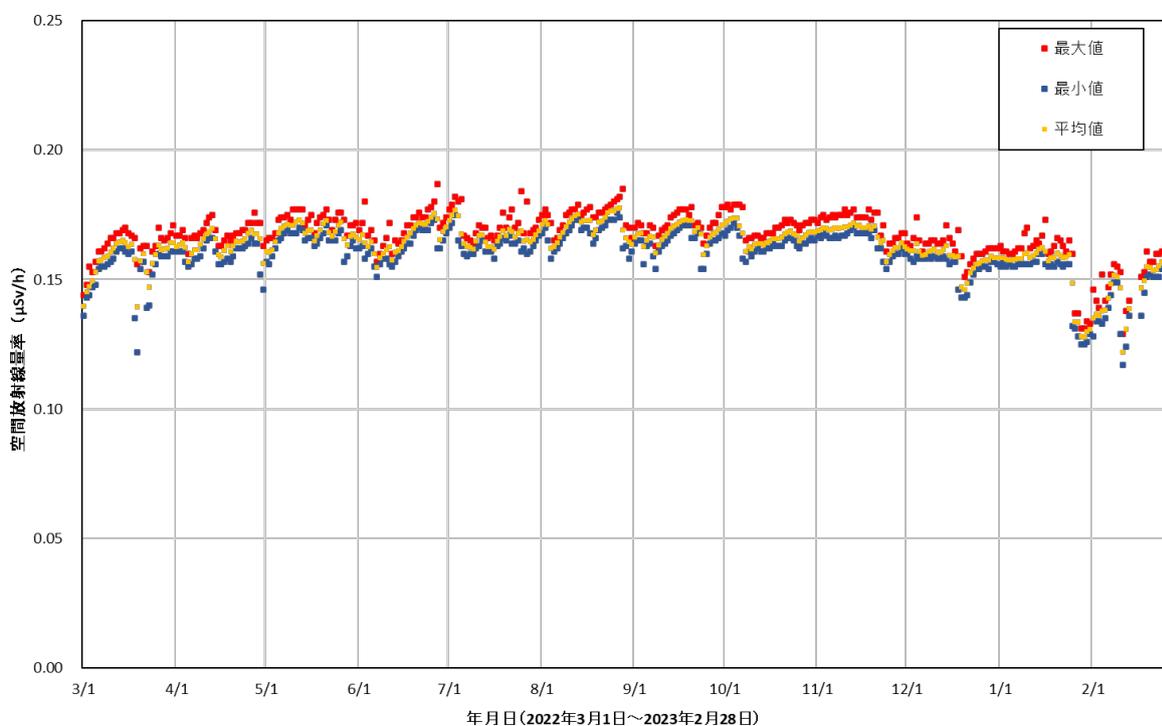
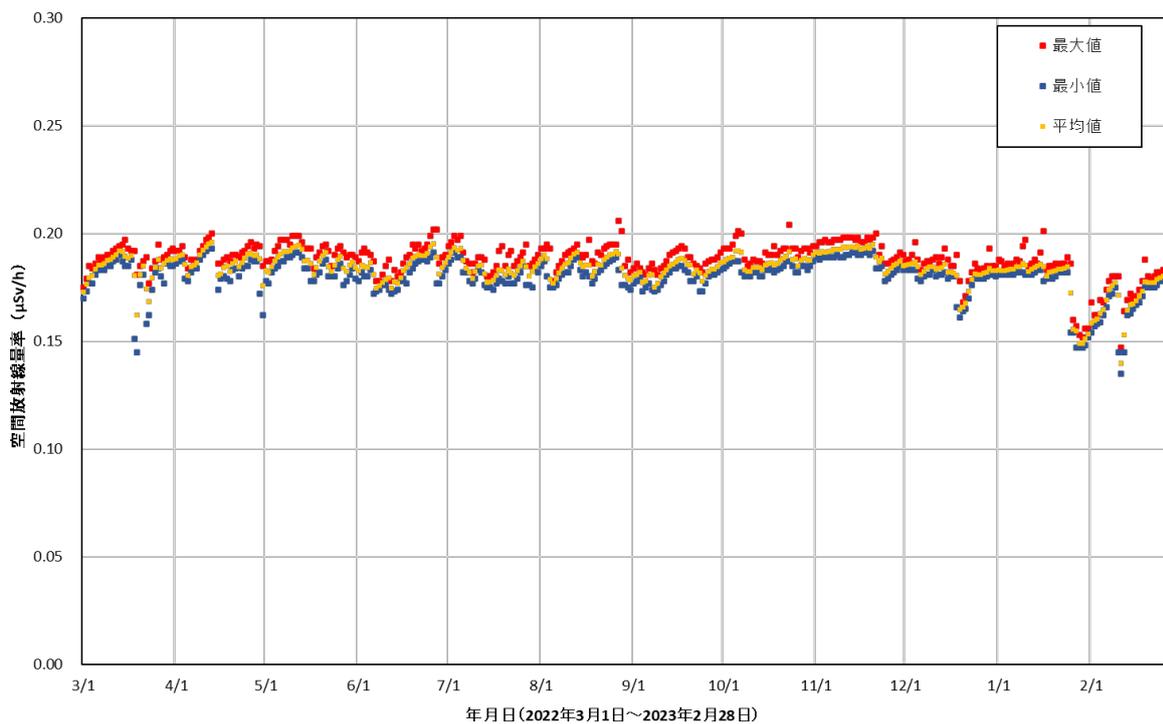


図 2-10-2(34) 各地点のトレンドグラフ

No.73 小宮コミュニティセンター



No.74 佐須公民館

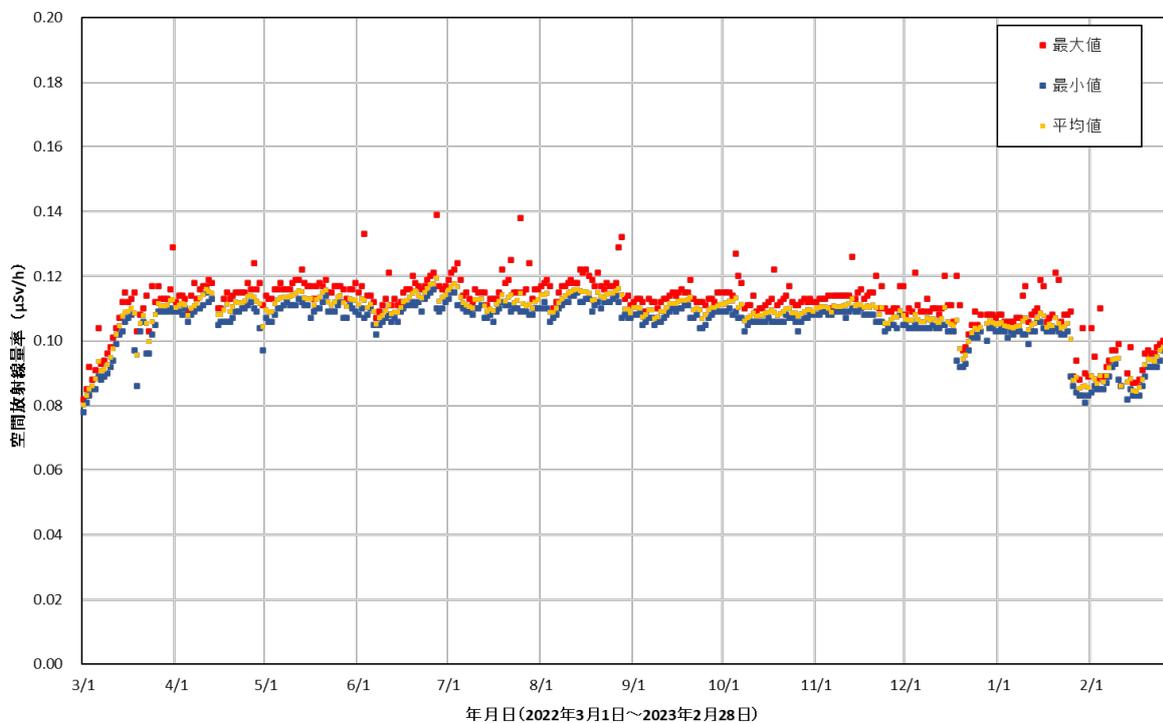
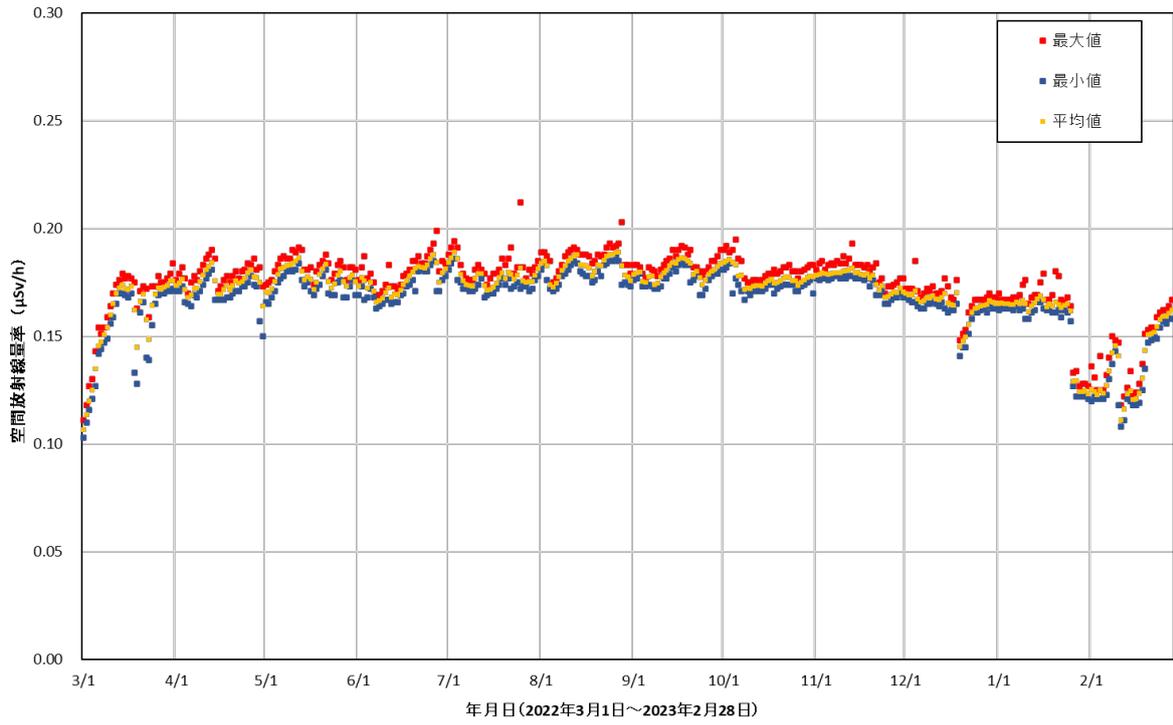


図 2-10-2(35) 各地点のトレンドグラフ

No.75 前乗集会所



No.77 比叢公民館

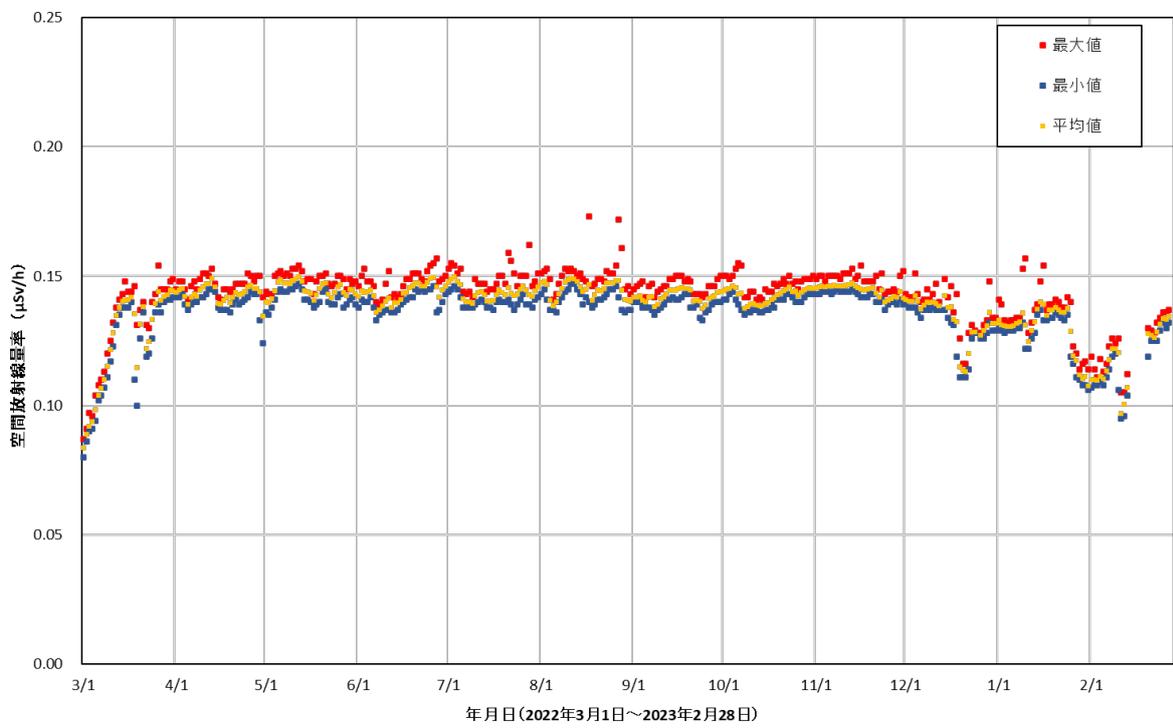
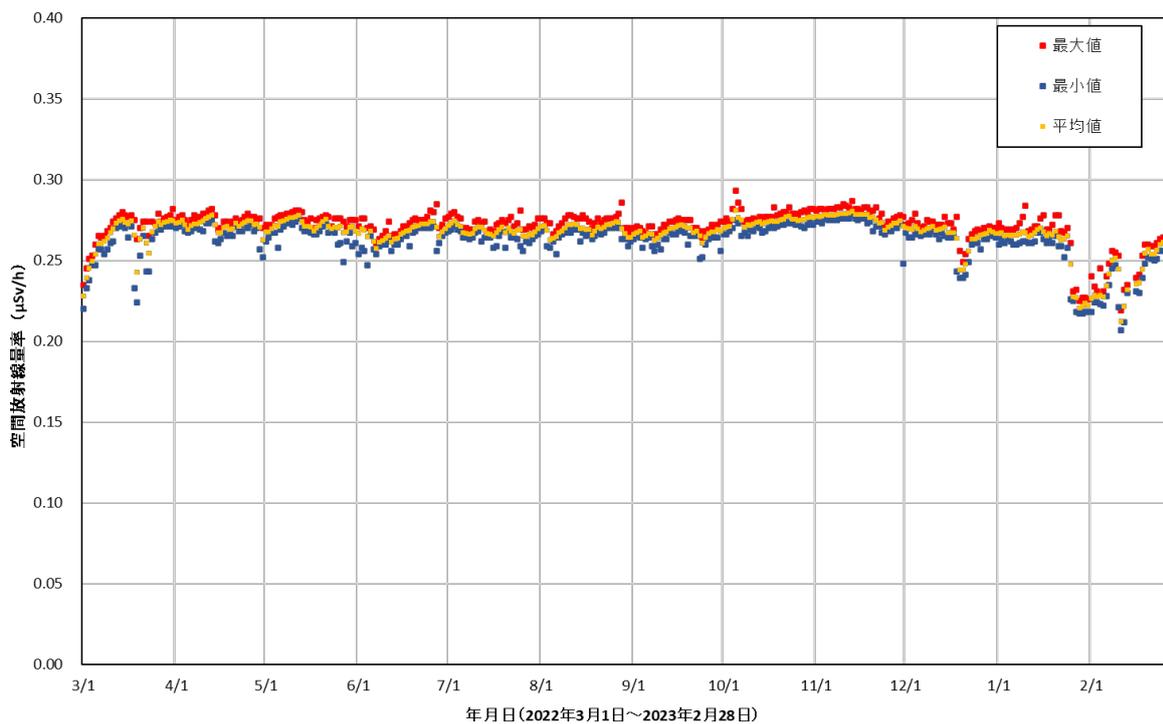


図 2-10-2(36) 各地点のトレンドグラフ

No.78 前田公民館



No.79 八木沢芦原多目的集会所

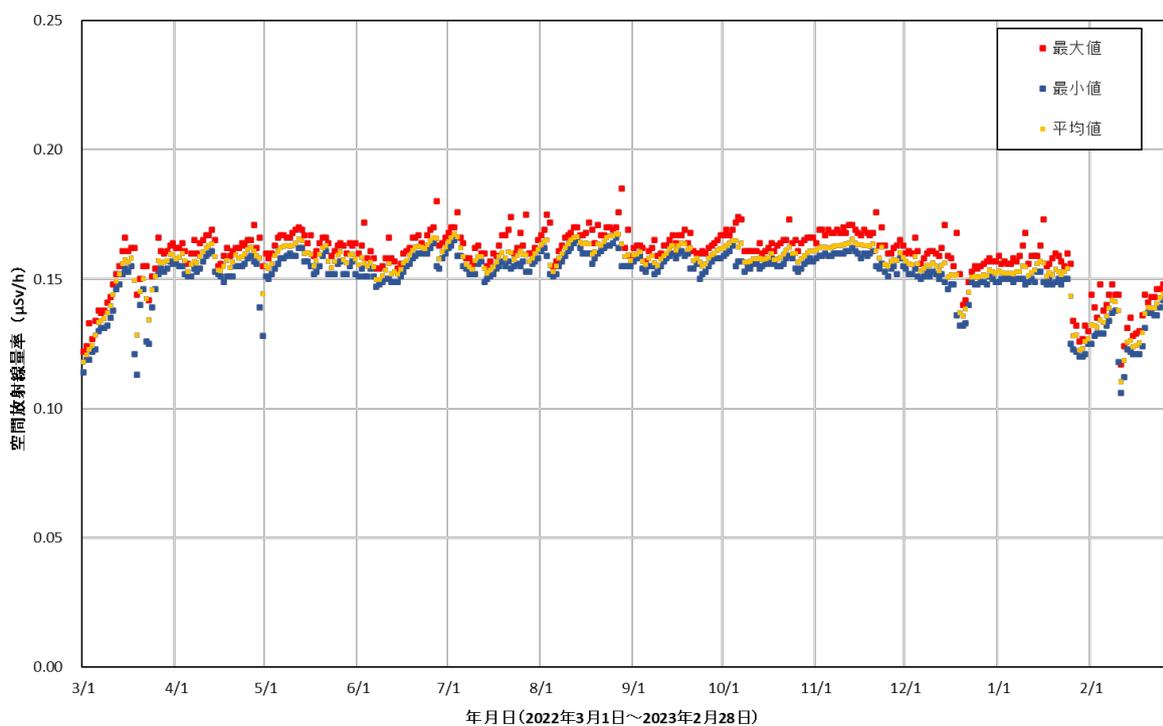


図 2-10-2(37) 各地点のトレンドグラフ

No.80 蕨平公民館

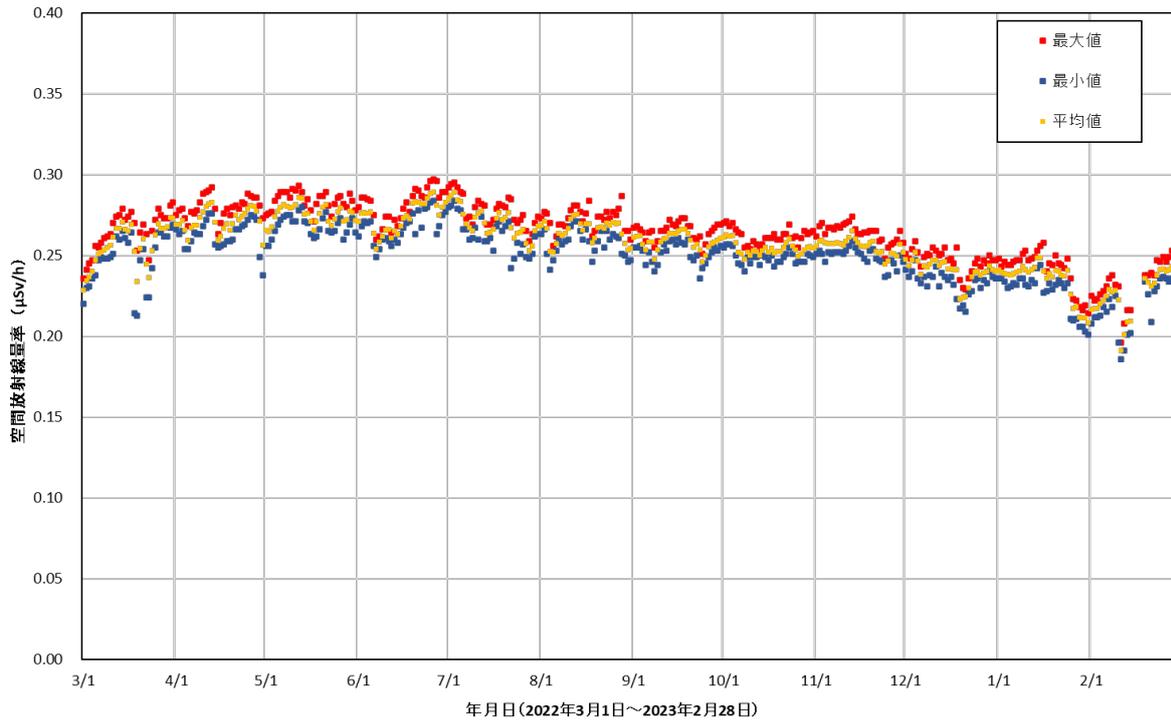


図 2-10-2(38) 各地点のトレンドグラフ

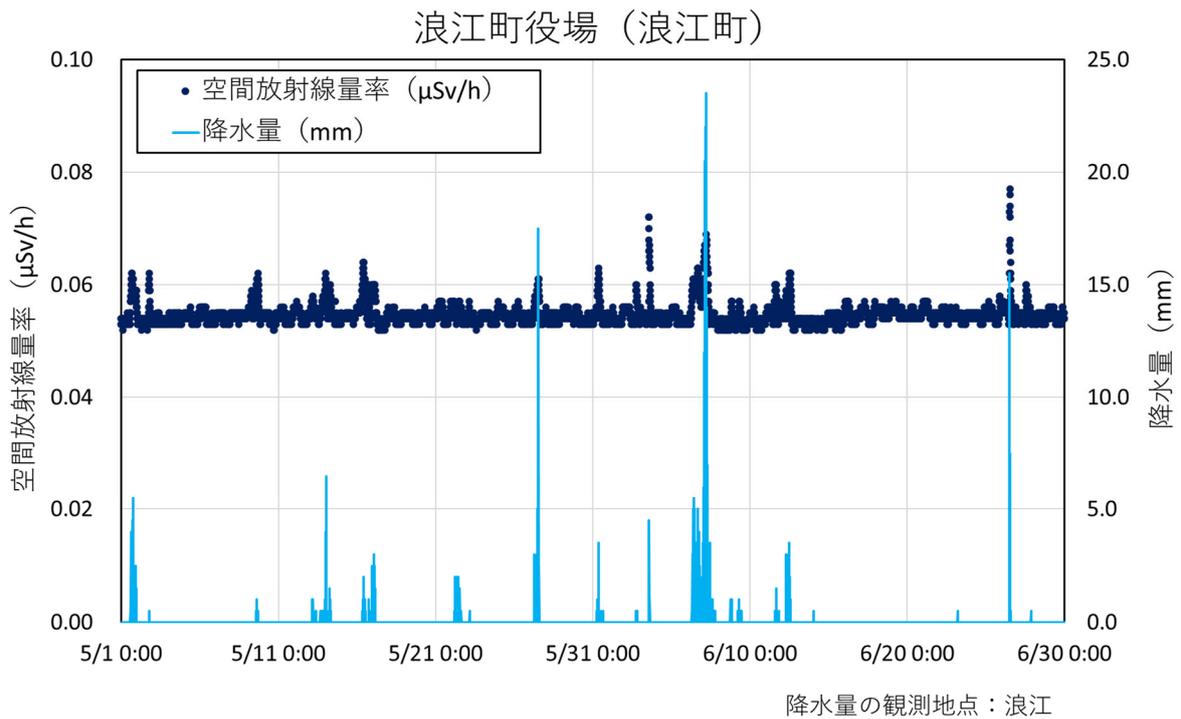


図2-10-3 降雨による空間放射線量率上昇の例
(浪江町役場(浪江町))

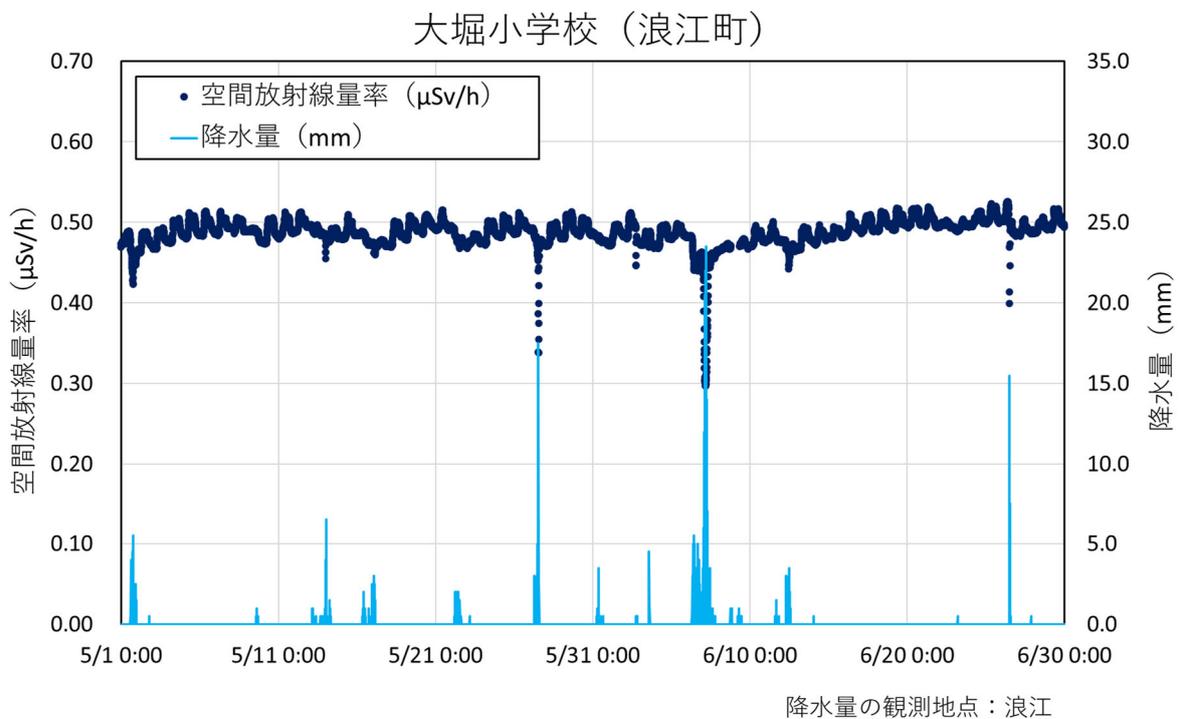


図2-10-4 降雨による空間放射線量率下降の例
(大堀小学校(浪江町))

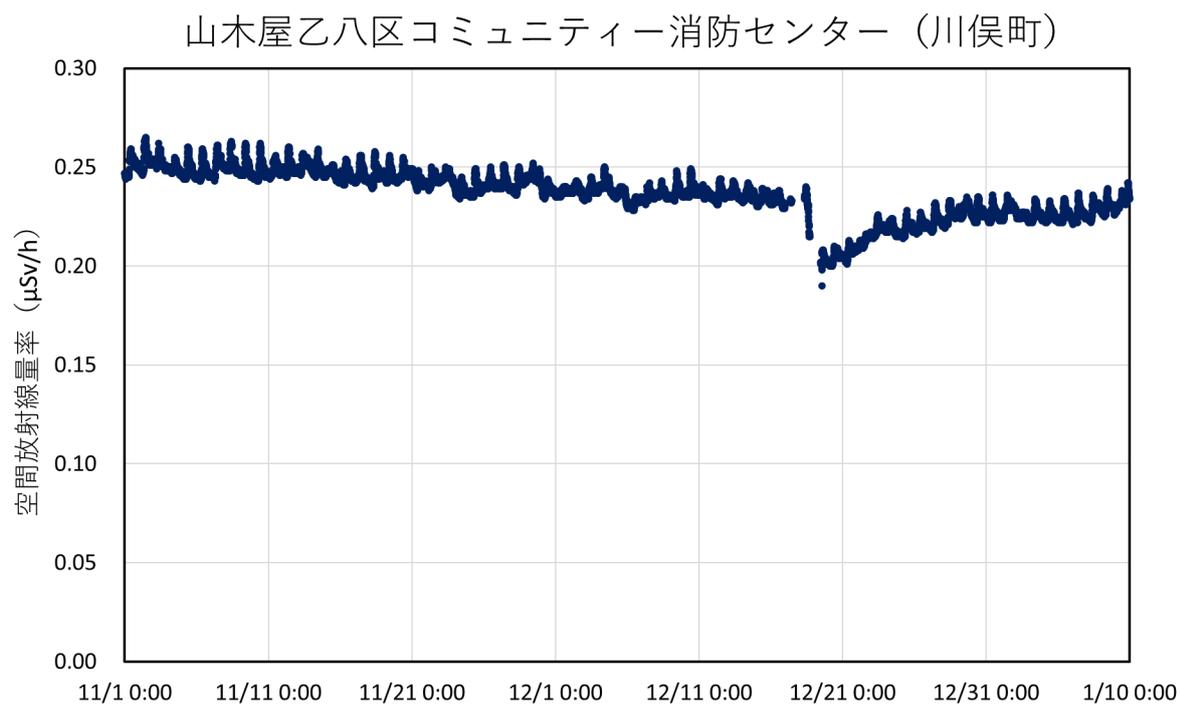


図2-10-5(1) 降雪による空間放射線量率下降の例
 (山木屋乙八区コミュニティ消防センター(川俣町))



図2-10-5(2) 周辺の様子
 (山木屋乙八区コミュニティ消防センター(川俣町)
 : 2022年12月19日撮影)

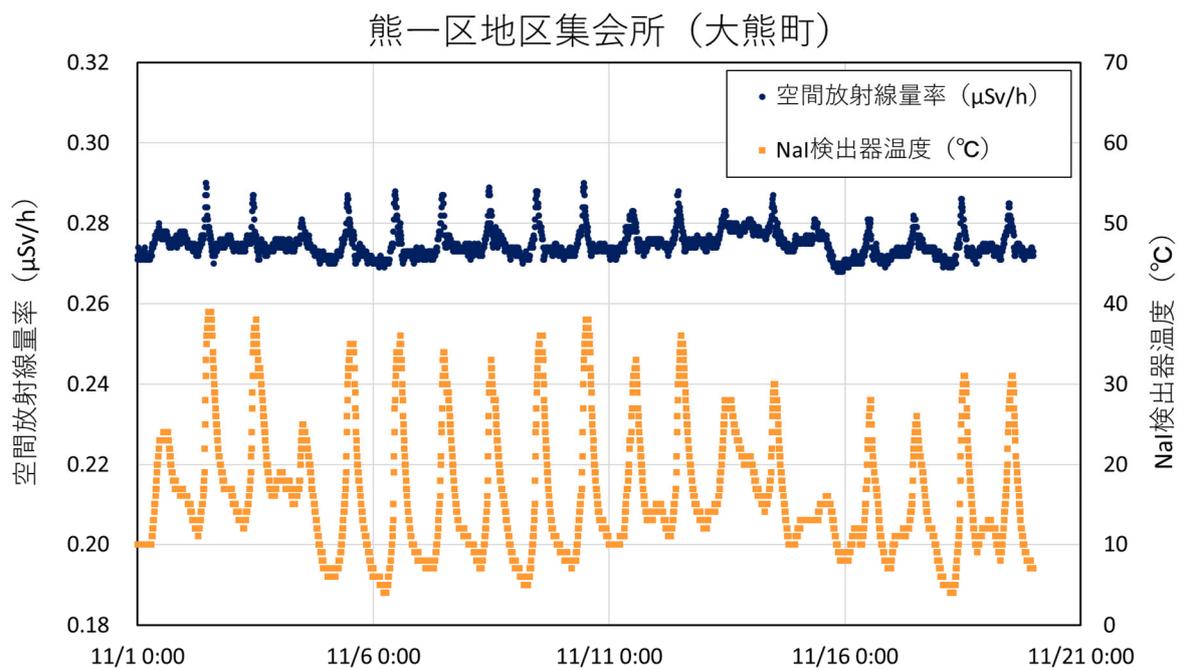


図2-10-6 検出器の温度依存性による空間放射線量率の変動の例
 (熊一区地区集会所(大熊町))(NaI検出器)

津島活性化センター（浪江町）

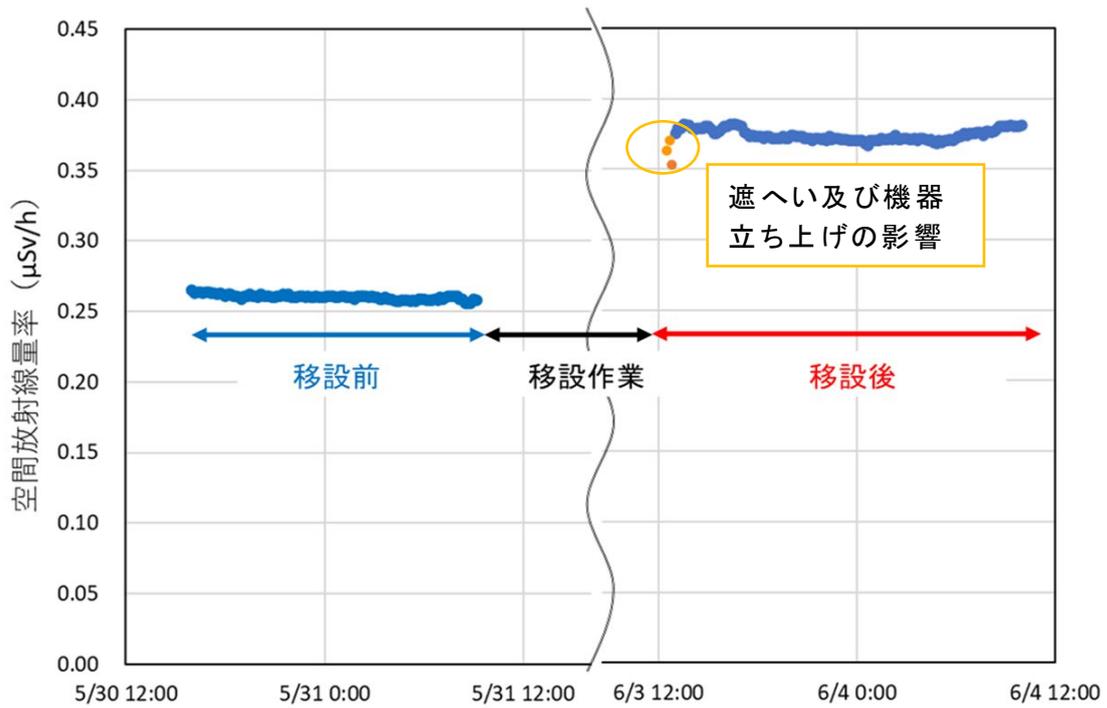


図2-10-7(1) 移設による空間放射線量率の変動
(津島活性化センター(浪江町))



図2-10-7(2) 移設前後の設置場所
(津島活性化センター(浪江町))

手七郎集会所（浪江町）

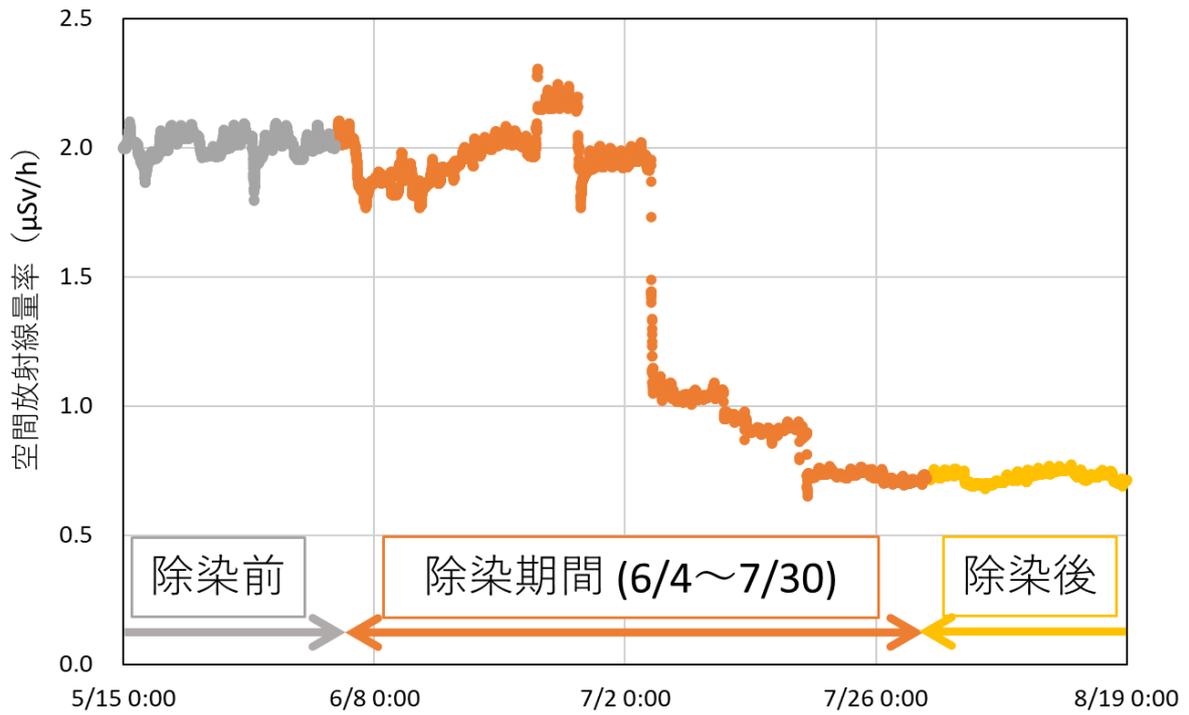


図2-10-8(1) 測定地点敷地内の除染に伴う空間放射線量率の変動
(手七郎集会所(浪江町))

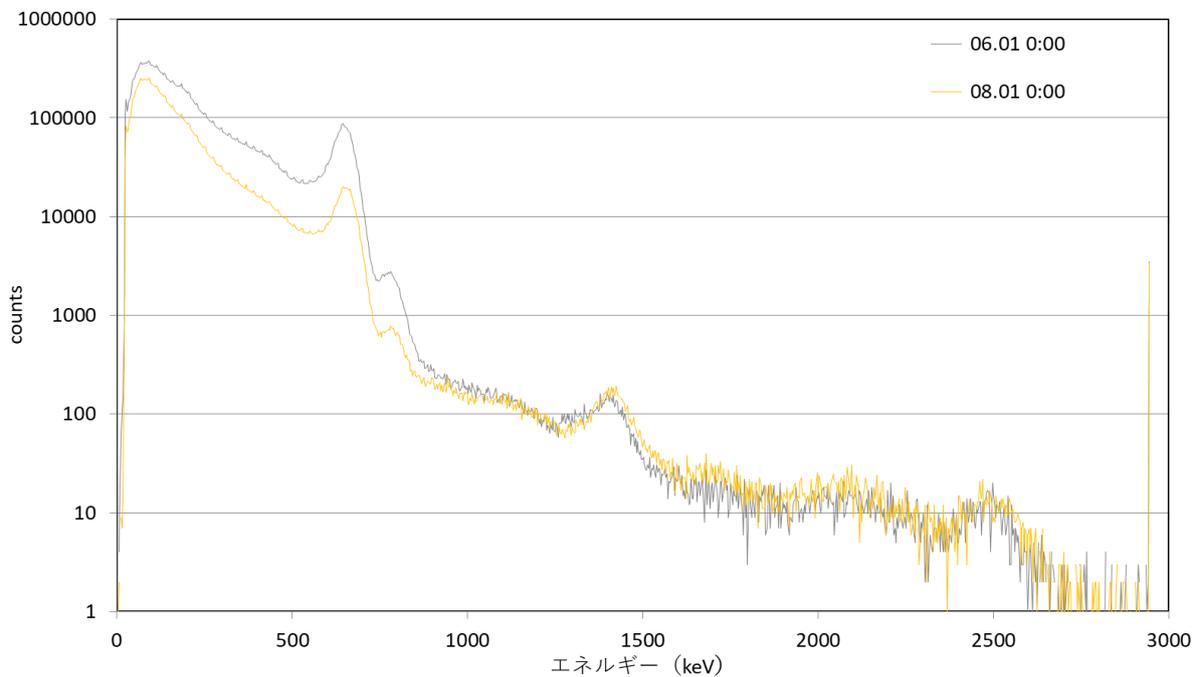


図2-10-8(2) スペクトルデータ(手七郎集会所(浪江町))

赤字木集会所（浪江町）

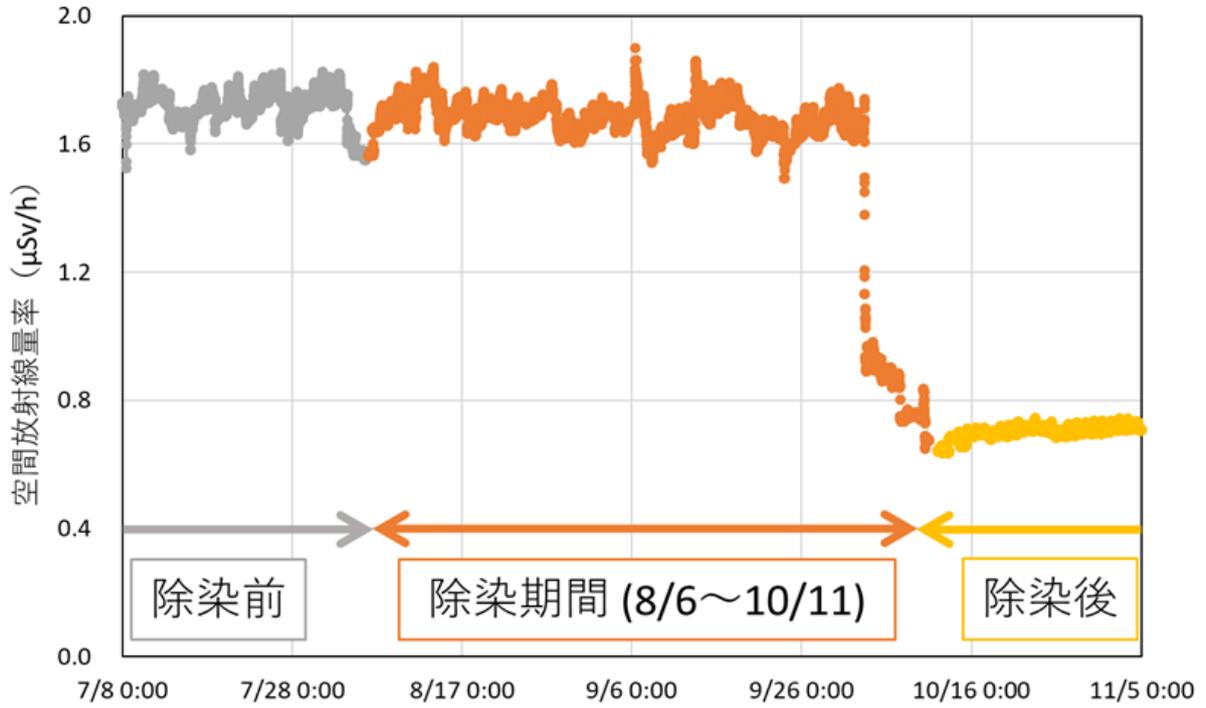


図2-10-9(1) 測定地点敷地内の除染に伴う空間放射線量率の変動
(赤字木集会所(浪江町))

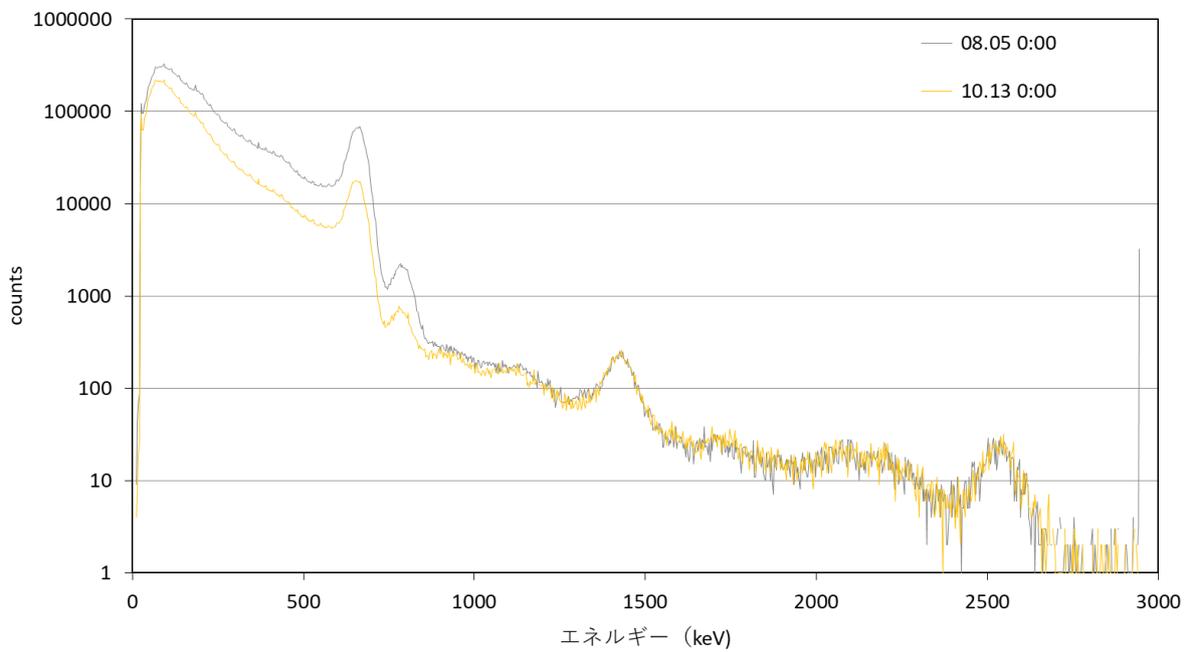


図2-10-9(2) スペクトルデータ(赤字木集会所(浪江町))

昼曾根屯所（浪江町）

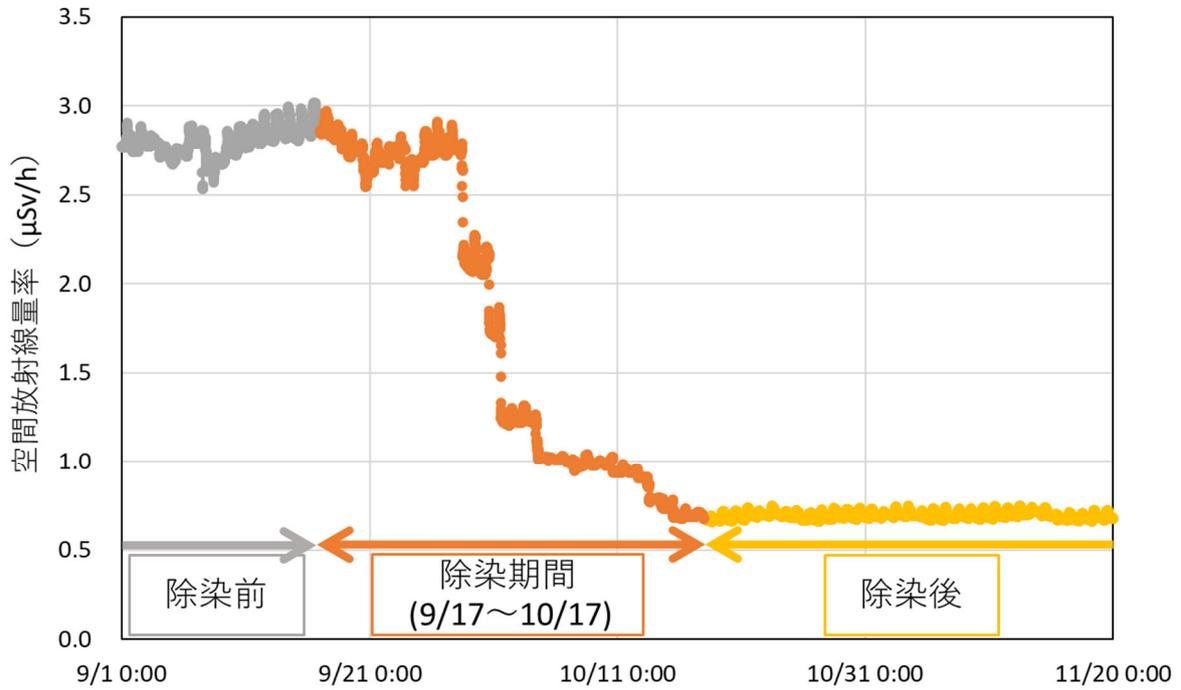
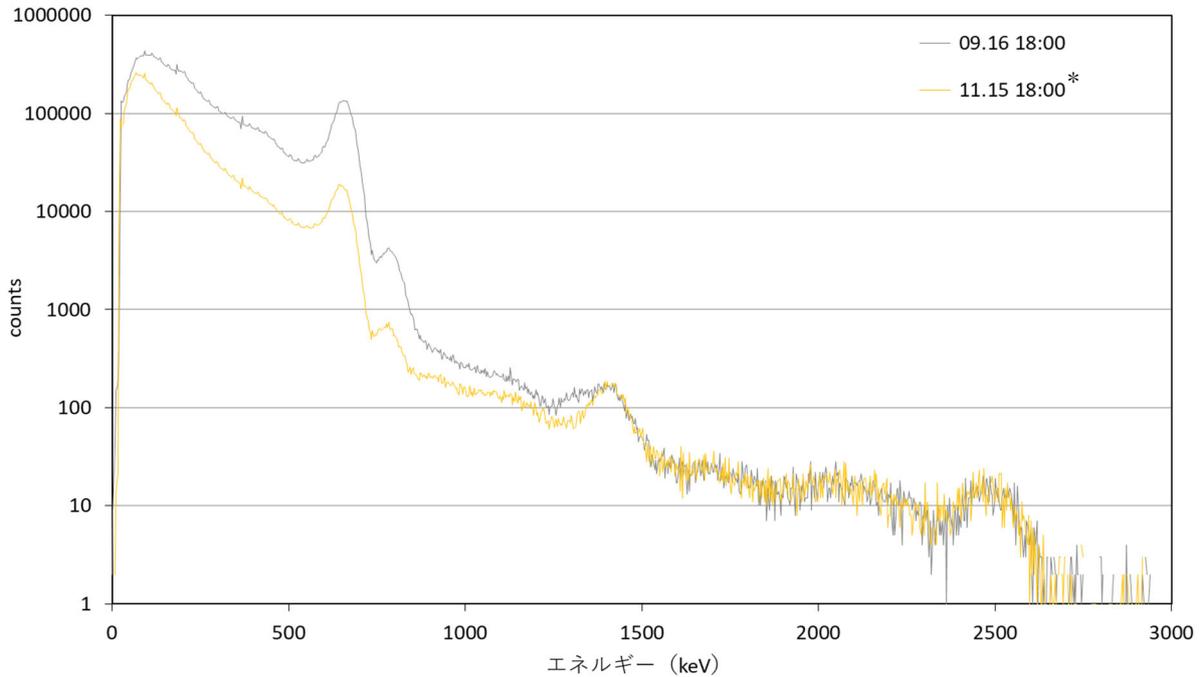


図2-10-10(1) 測定地点敷地内の除染に伴う空間放射線量率の変動
(昼曾根屯所(浪江町))



* 除染後の空間放射線量率と同程度の日時とした

図2-10-10(2) スペクトルデータ(昼曾根屯所(浪江町))

浪江町役場（浪江町）

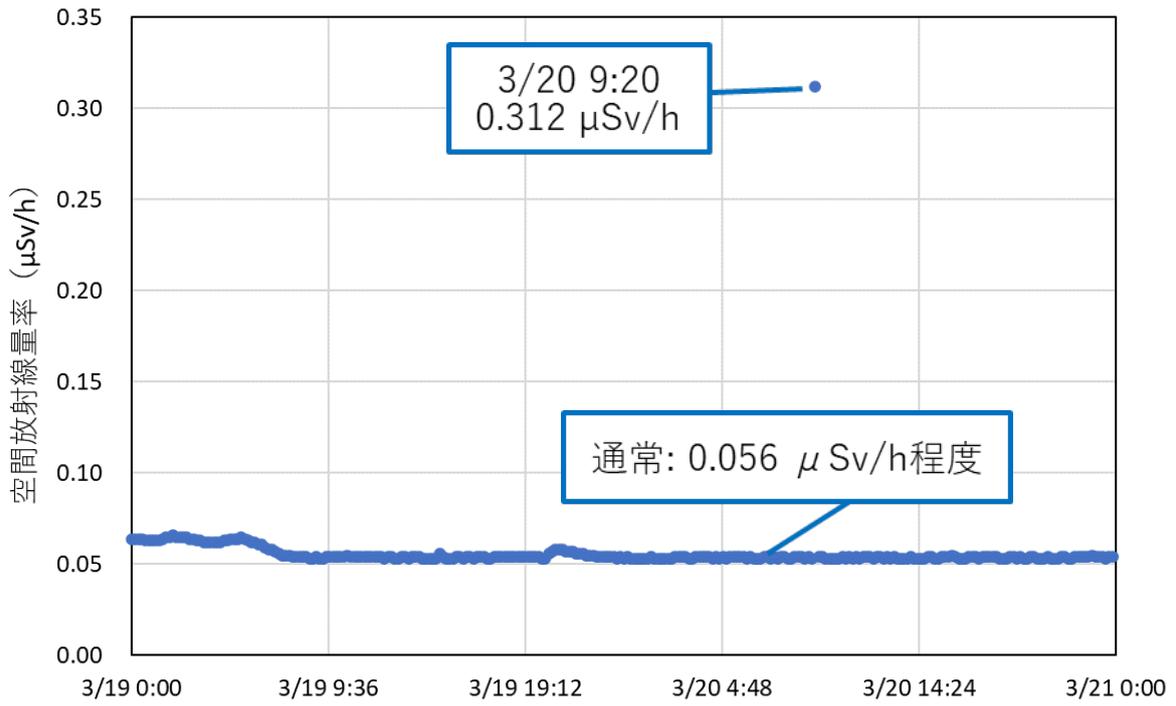


図2-10-11(1) 周辺でのX線使用による空間放射線量率の変動
(浪江町役場(浪江町))

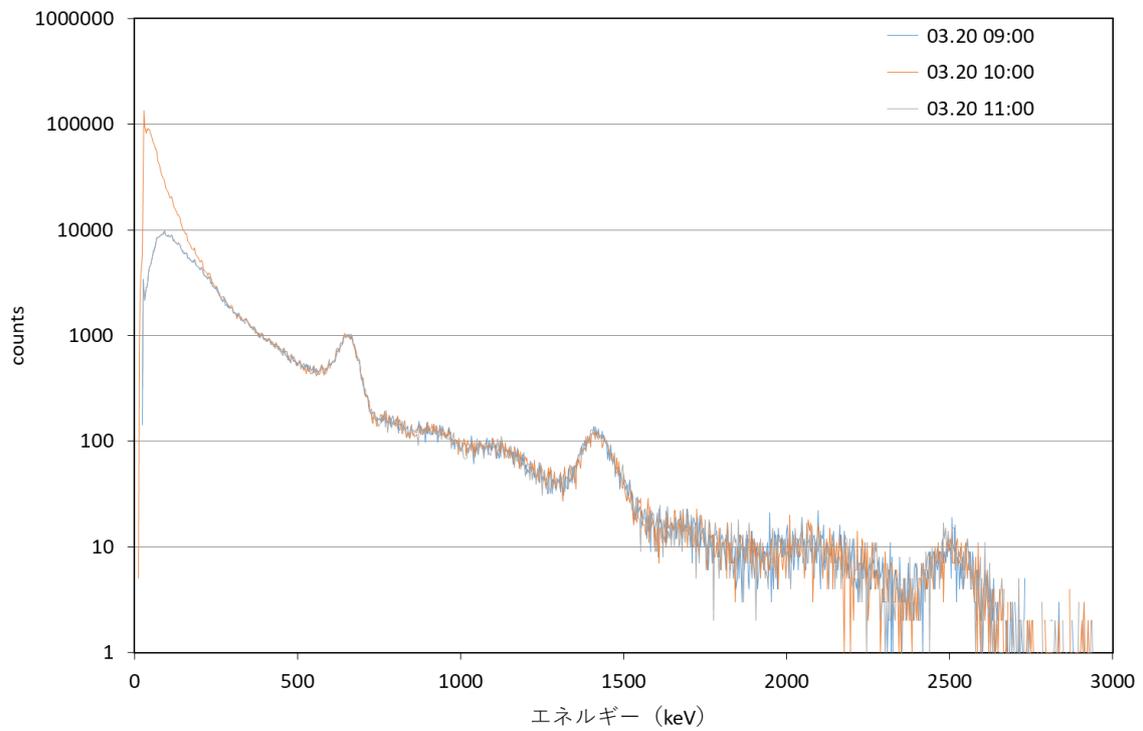


図2-10-11(2) スペクトルデータ(浪江町役場(浪江町))

表2-10-2 可搬型モニタリングポスト移設場所
(津島活性化センター(浪江町))

地点	場所	住所	緯度・経度*
移設前	津島活性化センター	福島県双葉郡浪江大字	N 37.560707
	公衆トイレ隣	下津島字松木山 地内	E 140.763227
移設後	津島活性化センター	福島県双葉郡浪江大字	N 37.560783
	駐車場脇	下津島字松木山 地内	E 140.763983

*緯度・経度は原子力規制委員会webページで公開されている数値を記載



図2-10-12(1) 移設前の様子
(津島活性化センター(浪江町)：2022年5月31日撮影)



図2-10-12(2) 移設作業の様子
(津島活性化センター(浪江町)：2022年5月31日撮影)



図2-10-12(3) 移設後の様子
(津島活性化センター(浪江町)：2022年5月31日撮影)

表2-10-3 除染が実施された測定地点及び実施期間

地点	実施期間
手七郎集会所(浪江町)	2022年6月4日～7月30日
赤宇木集会所(浪江町)	2022年8月6日～10月11日
昼曾根屯所(浪江町)	2022年9月17日～10月17日



図 2-10-13(1) 除染前後と作業の様子(手七郎集会所(浪江町))

上段 : 除染前の様子(2022年5月2日撮影)

中段左 : 除染中の様子(2022年6月24日撮影)

中段右 : 除染中の様子(2022年7月19日撮影)

下段 : 除染後の様子(2022年8月8日撮影)



図 2-10-13(2) 除染前後と作業の様子(赤宇木集会所(浪江町))

上段 : 除染前の様子(2022年6月13日撮影)

中段左 : 除染中の様子(2022年9月9日撮影)

中段右 : 除染中の様子(2022年9月22日撮影)

下段 : 除染後の様子(2022年10月19日撮影)



図 2-10-13(3) 除染前後と作業の様子(昼曾根屯所(浪江町))

上段：除染前の様子(2022年5月9日撮影)

中段：除染中の様子(2022年10月12日撮影)

下段：除染後の様子(2022年10月24日撮影)

表2-10-4 通信方式をLTEへ変更した地点一覧

No.	施設名	変更時期
24	金房幼稚園	2022年3月
25	鳩原小学校	2022年3月
27	小高区役所	2022年3月
31	山木屋乙八区コミュニティー消防センター	2023年2月
34	女平地区集会所	2023年2月
39	小良ヶ浜多目的集会所	2022年3月
41	富岡第二小学校	2022年3月
47	夫沢二区地区集会所	2022年3月
49	熊町小学校	2022年3月
52	北部コミュニティーセンター	2022年3月
53	双葉総合公園	2022年3月
55	赤字木集会所	2023年2月
56	大堀小学校	2023年2月
59	浪江町役場	2022年3月
60	小丸多目的集会所	2023年2月
61	津島活性化センター	2023年2月
62	昼曾根屯所	2023年2月
64	大放婦人ホーム跡地	2023年2月
65	葛尾村役場	2023年2月
67	上野川多目的集会所	2023年2月
69	飯舘村防災センター	2023年2月
70	臼石小学校	2023年2月
72	草野小学校	2023年2月
77	比曾公民館	2023年2月
78	前田公民館	2023年2月
80	蕨平公民館	2023年2月

毛戸集会所

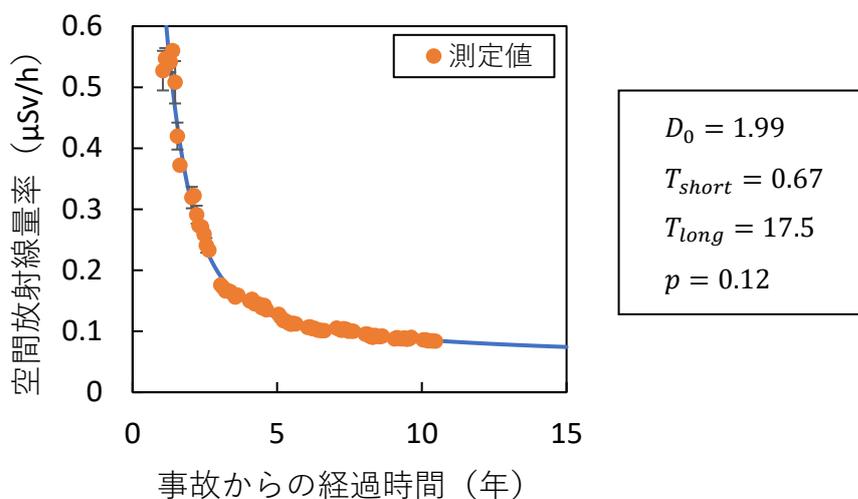


図2-10-14 可搬型モニタリングポストのデータ及び近似結果の一例

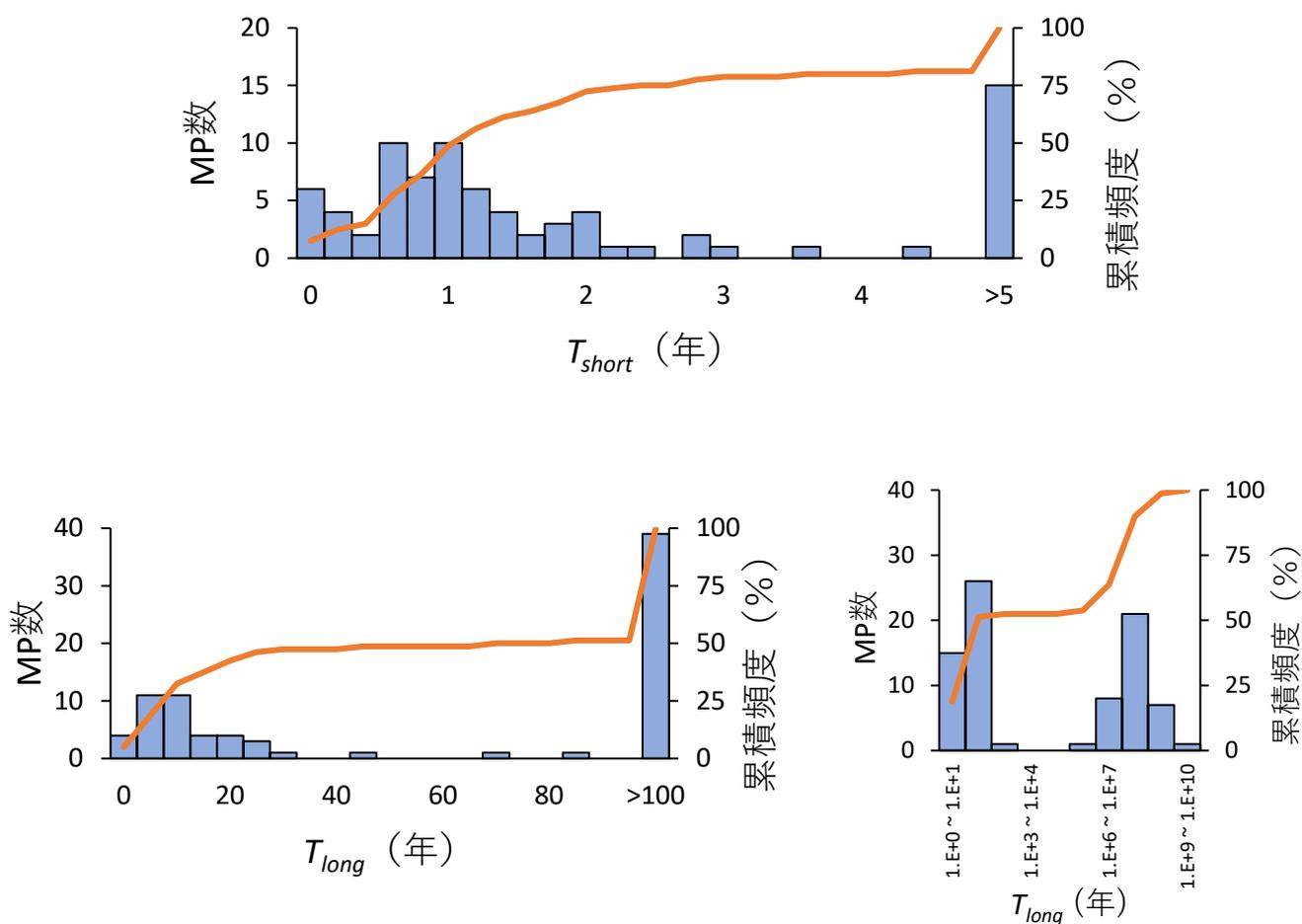


図2-10-15 可搬型モニタリングポストのデータから求めた実効半減期の環境成分
(上：短い成分 T_{short} 、下：長い成分 T_{long})

3. 分析法及び妥当性の確認

3.1 全ベータ放射能測定

(1) 分析法

全ベータ放射能の測定は、放射能測定法シリーズ 1「全ベータ放射能測定法」(昭和 51 年改訂) に準じて行った。

前処理、放射能測定及び放射能濃度算出の概要は、次のとおりである。

1) 前処理

採取量が 100 mL 以下の場合は全量、100 mL を超えた場合は 100 mL を分取し、硝酸数滴、ヨウ素担体溶液 (I^- : 1 mg/mL) 1 mL 及び 0.5 M 硝酸銀溶液 1 mL を加えた。試料溶液を 2~3 mL まで加熱濃縮した後、測定用試料皿に移し入れ、赤外線ランプで蒸発乾固して放射能測定試料とした。

2) 放射能測定

測定試料は、低バックグラウンドベータ線測定装置で、採取後約 6 時間を経過してから 3600 秒間測定した。

なお、降雨が 1 mm 以上ある場合を「降雨あり」、降雨が 1 mm 未満及びなかった場合を「降雨なし」とし、測定結果が前月の検出した「降雨あり」の測定結果の平均値の 3 倍を超えた試料については、ゲルマニウム半導体検出器による核種分析を行った。

(2) 妥当性確認

測定は、バックグラウンド試料(前)、測定試料、バックグラウンド試料(後)、チェック用線源の順に行い、バックグラウンド計数率の変動を確認した。

3.2 ガンマ線放出核種の測定

(1) 分析法

放射能測定法シリーズ16「環境試料採取法」(昭和58年)に準じて行った。試料の採取・前処理方法は次のとおりである。

1) 試料の採取・前処理方法

① 大気浮遊じん

ロウボリウムエアサンプラにダストモニタのろ紙(HE-40T)及び活性炭(CP-20)を装着して吸引することで大気浮遊じんをろ紙上に捕集した。

なお、ろ紙は原則1週間毎に交換し、1ヶ月分(約3000 m³)をプラスチック製測定容器(U4)に入れ、測定試料とした。

② 降下物

大型水盤(直径80 cmの円形、受水面積5000 cm²)を用い、1ヶ月間の降下物を採取し、ストロンチウム担体を添加した後、蒸発濃縮した。これらをプラスチック製測定容器(U8)に入れ測定試料とした。

③ 高感度分析用大気浮遊じん

大容量エアサンプラにガラス繊維ろ紙(570 mm×460 mm)を装着して、680 m³/hの流量で約3.5日間の大気を連続吸引し、約57000 m³の大気浮遊じんをろ紙上に捕集した。捕集後のろ紙は専用のプレス機で成型して、プラスチック製測定容器(U8)に入れ測定試料とした。なお、2017年4月10日採取分よりろ紙を2枚(約7日間の大気)重ねて成型し、測定試料とした。

④ 粉乳

分析センターが購入した粉乳の灰化処理を行い、プラスチック製測定容器(U8)に詰めて測定試料とした。

2) 測定方法

放射能測定法シリーズ7「ゲルマニウム半導体検出器によるγ線スペクトロメトリー」(令和2年改訂)に準じて、ガンマ線スペクトロメトリーを行い、核種ごとに放射能濃度を算出した。

なお、測定時間は160000秒間以上(粉乳は70000秒間以上)とし、核データは原則としてEvaluated Nuclear Structure Data File, NNDC, Brookhaven(2019年8月)(<https://www.nndc.bnl.gov/ensdf/>)に従った。

(2) 妥当性確認

本調査を遂行するにあたり、測定の質の保証を担保するため、ゲルマニウム半導体検出器の安定性を以下の方法により確認した。

1) 効率のチェック

月1回の頻度で標準線源を測定し、ゲルマニウム半導体検出器のピーク効率に変化の無いことを確認した。ピーク効率は、¹⁵²Eu(121.8 keV及び1408 keV)、

^{137}Cs (661.7 keV) のピークに対して、1年を通してその変動係数が基準（5%）以内であることを確認した。

2) バックグラウンドの測定

週1回の頻度で試料の無い状態で測定を行い、ゲルマニウム半導体検出器に汚染の無いことを確認した。また、 ^{40}K の測定結果等から機器が正常に稼動していることについても併せて確認した。

3.3 トリチウム分析

(1) 分析法

トリチウムの分析は、放射能測定法シリーズ9「トリチウム分析法」(平成14年改訂)に準じて行った。

前処理及び放射能測定の概要は、次のとおりである。

1) 前処理

① 月間降水中のトリチウム分析

採取した試料から約600 mLを分取し、過マンガン酸カリウム及び過酸化ナトリウムを添加して蒸留後、留出液500 mLに過酸化ナトリウムを添加して約70 mLになるまで電気分解し、電気分解終了後、再び蒸留を行った。留出液50 mL(留出液が50 mLに満たない場合は、蒸留したバックグラウンド水を添加)と乳化シンチレータ(Ultima Gold LLT、パーキンエルマー社製)50 mLを100 mLの測定容器(テフロンバイアル)に入れ、十分に振り混ぜ均質にし、測定試料とした。

採取した試料が少ない場合(0.6 L以下)は、過マンガン酸カリウム及び過酸化ナトリウムを添加して蒸留後、留出液50 mLと乳化シンチレータ(Ultima Gold LLT、パーキンエルマー社製)50 mLを100 mLの測定容器(テフロンバイアル)に入れ、十分に振り混ぜ均質にし、測定試料とした。

② 生物試料中のトリチウム分析

採取した試料を凍結乾燥し、有機結合型トリチウムを含む乾物と組織自由水に分けた。

②-1 非交換型の有機結合型トリチウム

乾物を粉砕後によく混合し、無トリチウム水を加え、凍結乾燥を行った。この操作を繰り返し、交換型の有機結合型トリチウムを取り除いた。得られた試料から燃焼法により燃焼生成水を回収し、過マンガン酸カリウムを加え、還流にて湿式分解の後、過酸化ナトリウムを加えて蒸留を行った。留出液50 mLと乳化シンチレータ(Ultima Gold LLT、パーキンエルマー社製)50 mLを100 mLの測定容器(テフロンバイアル)に入れ、十分に振り混ぜ均質にし、測定試料とした。

②-2 組織自由水

試料に過マンガン酸カリウムを加え、還流による湿式分解を行った。これ以降は非交換型の有機結合型トリチウムと同様に精製を行い、留出液50 mLと乳化シンチレータ(Ultima Gold LLT、パーキンエルマー社製)50 mLを100 mLの測定容器(テフロンバイアル)に入れ、十分に振り混ぜ均質にし、測定試料とした。

③ 大気中トリチウム分析

採取した大気中の水蒸気状トリチウム(HTO)及び水素ガス状トリチウム(HT)試料に、過マンガン酸カリウム及び過酸化ナトリウムを添加して蒸留後、留出液50 mL(留出液が50 mLに満たない場合は、蒸留したバックグラウンド水を添加)と乳化シンチレータ(Ultima Gold LLT、パーキンエルマー社製)50 mLを100 mLの測定容器(テフロンバイアル)に入れ、十分に振り

混ぜ均質にし、測定試料とした。

2) 放射能測定

① 月間降水中のトリチウム分析（電解濃縮法）

測定試料を低バックグラウンド液体シンチレーションカウンタ(LSC)で、500分間(50分×10回)測定した。測定結果よりバックグラウンド値を差し引き、正味計数率を求め、外部標準チャンネル比法により得た値とクエンチング補正曲線との関係により計数効率を求めた。また、電解濃縮時に対照用として濃度既知のトリチウム溶液を同時に電気分解し、電解濃縮前後における対照試料の濃度変化や試料毎の体積変化から電解濃縮係数を求めた。正味計数率、計数効率、測定供試量及び電解濃縮係数よりトリチウム放射能濃度を算出した。分析結果は試料採取日に減衰補正した。

② 月間降水中のトリチウム分析（蒸留法）

測定試料を低バックグラウンド液体シンチレーションカウンタ(LSC)で、2000分(50分×40回)測定した。測定結果よりバックグラウンド値を差し引き、正味計数率を求め、外部標準チャンネル比法により得た値とクエンチング補正曲線との関係により計数効率を求めた。正味計数率、計数効率及び測定供試量よりトリチウム放射能濃度を算出した。分析結果は試料採取日に減衰補正した。

③ 生物試料中のトリチウム分析

測定試料を低バックグラウンド液体シンチレーションカウンタ(LSC)で、1000分(50分×20回)～3000分間(50分×60回)測定した。測定結果よりバックグラウンド値を差し引き、正味計数率を求め、外部標準チャンネル比法により得た値とクエンチング補正曲線との関係により計数効率を求めた。正味計数率、計数効率及び測定供試量よりトリチウム放射能濃度を算出した。分析結果は試料採取日に減衰補正した。

④ 大気中トリチウム分析

測定試料を低バックグラウンド液体シンチレーションカウンタ(LSC)で、500分(50分×10回)～3000分間(50分×60回)測定した。測定結果よりバックグラウンド値を差し引き、正味計数率を求め、外部標準チャンネル比法により得た値とクエンチング補正曲線との関係により計数効率を求めた。正味計数率、計数効率及び測定供試量よりトリチウム放射能濃度を算出した。分析結果は試料採取日に減衰補正した。

(2) 妥当性確認

測定は、効率チェック用線源、バックグラウンド試料 1、測定試料、バックグラウンド試料 2 の順に行い、計数効率及びバックグラウンド計数率の変動の有無を確認した。

3.4 ストロンチウム 90 分析

(1) 分析法

^{90}Sr の放射化学分析並びに安定カルシウム及び安定ストロンチウムの定量は、放射能測定法シリーズ 2「放射性ストロンチウム分析法」(平成 15 年改訂) に準じて行った。

前処理、分離及び測定方法の概要は、次のとおりである。

1) 前処理方法

① 大気浮遊じん

ダストモニター用ろ紙 (HE-40T 等) に捕集して送付された試料は 500°C で灰化を行った。これにストロンチウム担体と塩酸を加えて加熱浸出した。不溶解物をろ別・洗浄した後、ろ液及び洗液を合わせて分析試料溶液とした。

② 降下物及び陸水 (源水、蛇口水、淡水)

蒸発乾固して送付された試料に硝酸と塩酸を加えて加熱し有機物を分解した。さらに硝酸を加えて有機物を十分に分解後、蒸発乾固した。これに塩酸を加えて加熱浸出した。不溶解物をろ別・洗浄した後、ろ液及び洗液を合わせて分析試料溶液とした。

③ 土壌

送付された乾燥細土をそのまま分析試料とした。これらの試料の一定量を分取後、500°C に加熱して有機物を分解した。これにストロンチウム担体と塩酸を加えて加熱浸出した後、不溶解物をろ別・洗浄し、ろ液及び洗液を合わせて分析試料溶液とした。

④ 海底土

送付された試料をそのまま分析試料とした。これらの試料の一定量を分取後、500°C に加熱して有機物を分解した。これにストロンチウム担体と塩酸を加えて加熱浸出した後、不溶解物をろ別・洗浄し、ろ液及び洗液を合わせて分析試料溶液とした。

⑤ 精米、野菜類、茶、牛乳、粉乳、淡水産生物 (魚類) 及び海産生物 (魚類、貝類、藻類)

精米は送付された生試料を、粉乳は購入した試料を 450°C で灰化した。その他の試料は、各都道府県の環境センター等で灰試料とした後、送付された。灰試料の一定量を分取後、ストロンチウム担体と硝酸及び塩酸を加えて加熱し、残存する有機物を分解した。さらに硝酸を加えて有機物を十分に分解後、蒸発乾固した。これに塩酸を加えて加熱浸出した。不溶解物をろ別・洗浄した後、ろ液及び洗液を合わせて分析試料溶液とした。

⑥ 海水

送付された試料の一定量を分取し、リンモリブデン酸アンモニウム (AMP) 粉末を加えてかくはんした。ろ別した AMP 沈殿は放射性セシウム分析に用いた。上澄み液をろ過後、イオン交換法でストロンチウムを予備濃縮し、溶出液を分析試料溶液とした。水酸化ナトリウムを加え塩基性とした。次いで炭酸ナトリウムを加えて加熱し、炭酸塩としてストロンチウムを沈殿させた。デカンテーションにより沈殿と上澄み液とを分離し、沈殿を塩酸で溶解した。以下、2) のイオン交換法以降と同様に行った。

2) ^{90}Sr の分離方法

1) で得られた分析試料溶液に水酸化ナトリウムを加え塩基性とした。次いで炭酸ナトリウムを加えて加熱し、炭酸塩としてストロンチウムを沈殿させた。デカンテーション及び遠心分離により沈殿と上澄み液とを分離し、沈殿を ^{90}Sr 分析に、上澄み液は廃棄した。沈殿に塩酸を加えて溶解し、次にシュウ酸塩としてストロンチウムを沈殿させた。シュウ酸塩沈殿を 600°C に加熱後、塩酸で溶解しイオン交換法によりストロンチウムを分離精製して硝酸ストロンチウム溶液とした。溶液に塩化鉄 (III) 溶液とアンモニア水を加えて、 ^{90}Y 及びラジウムの子孫核種を鉄とともに水酸化物として沈殿させ、ろ別した。ろ液から一定量を分取し、イットリウムを内標準とした ICP 発光分光分析法によりストロンチウムを定量し化学回収率を求めた。先のろ液を濃縮後、一定量の塩化鉄 (III) 溶液を加え、2 週間以上放置した。この溶液にアンモニア水を加え、生成した ^{90}Y を鉄とともに水酸化物沈殿として共沈させ、分離型ろ過器を用いてろ別・洗浄した後、沈殿を乾燥して放射能測定試料とした。

3) 安定カルシウム及び安定ストロンチウムの定量方法

降下物試料は、蒸発乾固して送付された試料の重量が 10g を超えるものについては、分析試料溶液の一部を分取し、安定ストロンチウム測定溶液とした。

土壌、海底土試料は、送付された試料の一定量を分取し、 500°C で有機物を加熱分解後、塩酸を加えて加熱浸出した。不溶解物をろ別・洗浄した後、ろ液及び洗液を合わせて安定ストロンチウム測定溶液とした。

灰試料 (精米及び牛乳を除く) は一定量を分取し、硝酸を加えて加熱分解後、塩酸を加えて加熱浸出した。不溶解物をろ別・洗浄した後、ろ液及び洗液を合わせて安定カルシウム及び安定ストロンチウム測定溶液とした。精米及び牛乳の灰試料は一定量を分取し、硝酸を加えて加熱分解後、塩酸を加えて加熱浸出した。不溶解物をろ別・洗浄した後、ろ液

及び洗液を合わせて安定カルシウム測定溶液とした。

陸水及び海水試料は、放射能分析試料とは別に送付された試料溶液（酸無添加）をろ過し、安定ストロンチウム測定溶液とした。

安定カルシウム及び安定ストロンチウムは測定溶液の一部を分取し、イットリウムを内標準とした ICP 発光分光分析法により定量した。

4) 放射能の測定及び計算方法

低バックグラウンドベータ線測定装置により放射能測定を行った。⁹⁰Sr 測定試料は原則として 60 分間測定した。測定試料の正味計数率を求め、計数効率、化学回収率等の補正及び分析供試量から試料中の ⁹⁰Sr の放射能濃度を算出した。

なお、放射能濃度は測定時の放射能濃度であり、それぞれの試料に定められた分析目標レベルにかかわらず、計数値がその計数誤差の 3 倍を超えたものについて有効数字 2 桁または誤差の桁に合わせて示し、それ以下のものは検出下限値を示した。また、誤差は計数誤差のみを示した。

5) 分析目標レベル

各種試料の分析目標レベルは、次のとおりである。

試料	大気 浮遊じん	降下物	陸水	土壌 海底土	海水	精米
単位	mBq/m ³	MBq/km ²	mBq/L	Bq/kg 乾土	mBq/L	Bq/kg 生
⁹⁰ Sr	0.004	0.07	0.4	0.4	2	0.04

試料	野菜類	茶		牛乳	粉乳	水産 生物
単位	Bq/kg 生	Bq/kg 製茶	Bq/kg 生	Bq/L	Bq/kg 粉乳	Bq/kg 生
⁹⁰ Sr	0.04	0.2	0.04	0.04	0.04	0.04

(2) 妥当性確認

分析の工程管理のため、灰・土壌試料は種類別の所内標準試料及びブランク試料を、また、その他の試料についてはブランク試料を同時に分析し妥当性の確認を行った。結果を図 3-4-1～図 3-4-3 に示す。なお、今年度は所内標準試料（灰）を新たに作製したため、新旧の標準試料の結果を図に示している。

所内標準試料について、 ^{90}Sr の結果は基準の範囲内であった。また、ブランク試料から ^{90}Sr の有意な検出はなかった。

したがって、分析には東京電力福島第一原子力発電所事故の影響はなかったと考えられる。

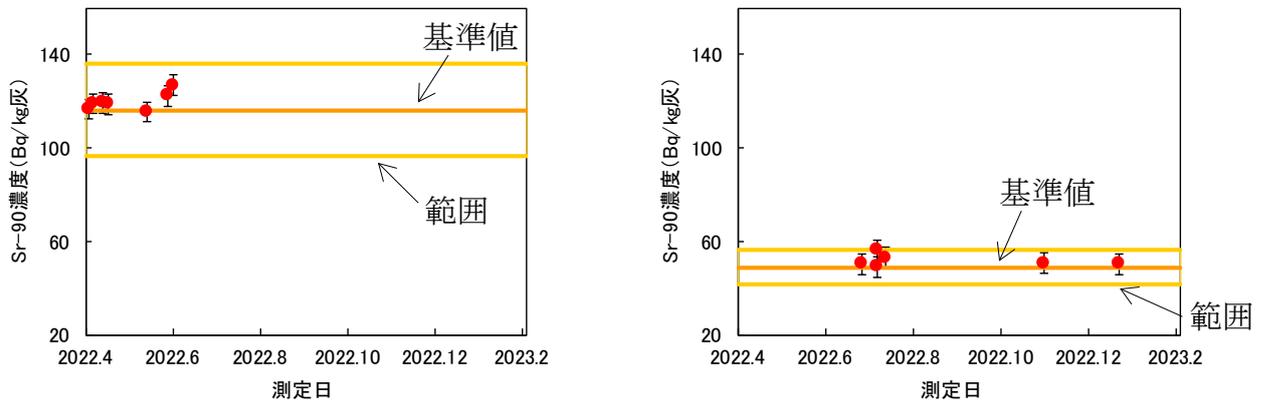


図 3-4-1 所内灰標準試料の分析結果
(左図：旧所内灰標準試料、右図：新所内灰標準試料)

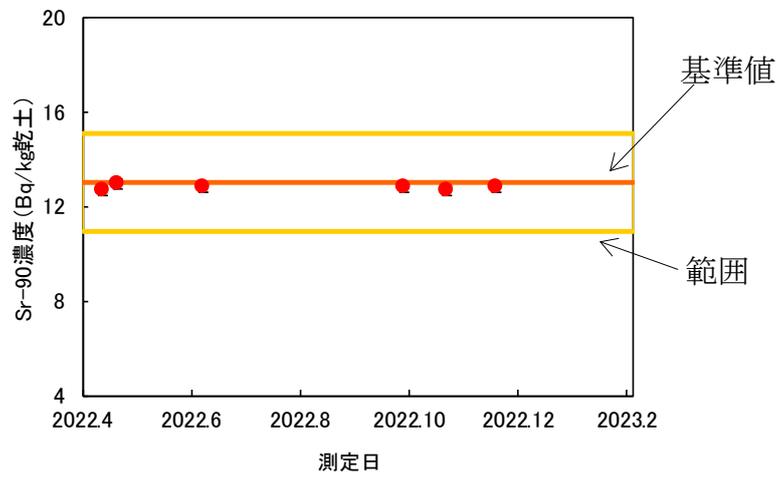


図 3-4-2 所内土壌標準試料の分析結果

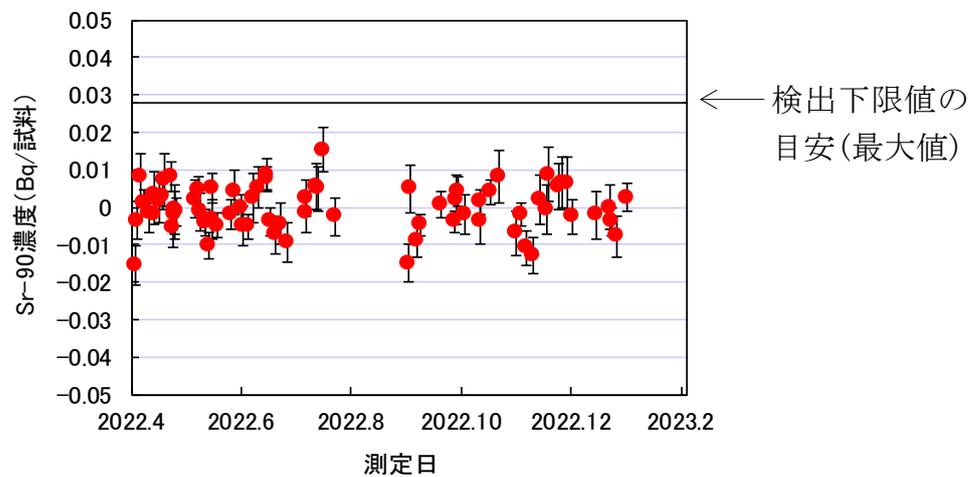


図 3-4-3 ブランク試料の分析結果

3.5 プルトニウム分析

(1) 分析法

分析対象核種は ^{238}Pu 及び $^{239+240}\text{Pu}$ とし、放射能測定法シリーズ 12「プルトニウム分析法」（平成 2 年改訂）に準じて分析した。操作の概要は以下のとおりである。

1) 前処理及び化学分離方法

送付された乾燥細土を縮分し 105°C で乾燥後、微粉碎した。この試料から 50g を分取し、 500°C の電気炉で加熱処理後、 ^{242}Pu 収率補正用トレーサーを一定量添加し、硝酸を加えてプルトニウムを加熱抽出した。残留物をろ別後、ろ液を蒸発濃縮し、硝酸(3+2)及び亜硝酸ナトリウム溶液を加えて加熱した。ろ過後、陰イオン交換樹脂カラムに通し、プルトニウムを吸着させた。

硝酸(3+2)、塩酸(5+1)で順次洗浄した。ヨウ化アンモニウム—塩酸溶液でプルトニウムを溶離後乾固し、さらに硝酸、過塩素酸を加えて乾固した。硫酸(1+9)で溶解し、pH を調製後、プルトニウムをステンレス板上に電着し、測定試料とした。

2) 前処理及び化学分離方法

シリコン半導体検出器を用い、測定試料の α 線スペクトル及びバックグラウンドをそれぞれ原則として 80,000 秒間以上測定した。 ^{238}Pu 及び $^{239+240}\text{Pu}$ の正味計数率を求め、収率補正用トレーサーの計数率との比較、分析供試量等からそれぞれの放射能濃度を算出した。

$^{239+240}\text{Pu}$ の分析目標レベル

核種	分析目標レベル(Bq/kg 乾土)
$^{239+240}\text{Pu}$	0.04

(2) 妥当性確認

放射能濃度を算出するための ^{242}Pu 収率補正用トレーサー溶液は、国際的なトレーサビリティがとれた標準溶液を使用した。また、認証標準物質を分析・測定し、 ^{238}Pu 及び $^{239+240}\text{Pu}$ の妥当性を確認した。さらに、原則として 1 週間ごとにバックグラウンドを測定し、検出器に汚染がないことを確認した。

3.6 ヨウ素 129 分析

(1) 前処理

前処理方法を表 3-6-1 に示す。

表 3-6-1 前処理方法

試料	調製方法	処理法	供試量
土壌	湿土を 70℃乾燥	燃焼	1g (乾土)
牛乳	凍結乾燥	燃焼	1.5g (乾物)
海藻	凍結乾燥	燃焼	0.5g (乾物)
野菜	凍結乾燥	燃焼	2.0g (乾物)
大気浮遊じん	均質・分取	燃焼	1.0g (乾物)
海水	ろ過	溶媒抽出	1000g

① 土壌

バットに広げて 70℃に調節した乾燥機で乾燥後、2mm のふるいを通し、ふるい下をよく混合して、分析試料とした。

② 牛乳

市販乳を冷凍庫で凍結後、真空凍結乾燥機で乾燥し、乾燥した試料を粉砕後よく混合して分析試料とした。

③ 海藻

冷凍庫で凍結後、真空凍結乾燥機で乾燥し、乾燥した試料を粉砕後よく混合して分析試料とした。

④ 野菜

冷凍庫で凍結後、真空凍結乾燥機で乾燥し、乾燥した試料を粉砕後よく混合して分析試料とした。

⑤ 大気浮遊じん

均質化試料を約 10wt% で分取し、よく混合して分析試料とした。

⑥ 海水

0.45 μm メンブレンフィルターを用いて海水をろ過後分析試料とした。

(2) 分析方法

操作の概要は以下のとおりである。なお、ヨウ素 129 濃度を算出するため、安定ヨウ素 (^{127}I) 分析も行った。

1) ヨウ素 129 の定量 (加速器質量分析法)

土壌・牛乳・海藻・野菜・大気浮遊じん試料から 0.5~2.0g をはかり取り、燃焼装置を用いて酸素の気流中で燃焼させ、発生したヨウ素を Tetramethylammonium Hydroxide (TMAH) 溶液に捕集した。その TMAH 溶液から一部分取り安定ヨウ素定量用試料とした。分取した残りの溶液にヨウ素担体を添加し、キシレンを用いた溶媒抽出によりヨウ素を精製した。

海水試料から約 1000g をはかり取り、ヨウ素担体、アスコルビン酸及び稀塩酸を添加し、ヘキサンを用いた溶媒抽出によりヨウ素を精製した。

ヨウ素精製溶液に銀担体を添加し、生成したヨウ化銀沈殿を遠心分離した後乾燥し、2.5~4.0 倍量のニオブ粉末を加えてよく混合した後、プレス成型して、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 青森研究開発センター及び国立大学法人東京大学 MALT の加速器質量分析装置 (AMS) を用いて $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 同位体比を測定した。得られた結果より ^{129}I 濃度を算出した。

2) ヨウ素 127 の定量

安定ヨウ素定量用試料に、内標準としてインジウムを加え、硝酸(1+13)で希釈し、測定試料とした。測定試料溶液を誘導結合プラズマ質量分析装置に導入し、ヨウ素 127 及びインジウム 125 を測定した。得られた結果より、試料中の ^{127}I 濃度を算出した。

3) 妥当性確認

加速器質量分析装置 (AMS) の測定では、キャリア試料を測定して測定状態を確認する必要がある。本調査で使用している国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 青森研究開発センター及び国立大学法人東京大学 MALT の AMS では、測定バッチ毎に必ずヨウ素 129 濃度既知のキャリアを測定し、測定結果 (同位体比) の安定性を確認している。

また、分析結果を確認するため、同一試料の並行分析を実施した。分析結果を表 3-6-2 に示す。

分析に係る妥当性確認として、分析工程毎にブランク試料を分析するとともに、濃度既知の標準試料の分析を行った。また、海水試料分析に係る妥当性確認として、国立大学法人東京大学 MALT と同一試料の比較分析を行った。標準試料の分析結果及び参考データを表 3-6-3～表 3-6-4 に示す。また、比較分析の結果を図 3-6-1 に示す。

表 3-6-2 2022 年度同一試料（大気浮遊じん）の並行分析結果

試料名	^{129}I mBq/m ³	$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$
大気浮遊じん SNOW WHITE 採取 (2022 年 3 月)	1.2E-06 ± 1.41E-08	5.1E-08 ± 6.0E-10
	1.0E-06 ± 1.24E-08	4.4E-08 ± 5.0E-10
	1.1E-06 ± 1.39E-08	5.3E-08 ± 6.2E-10

注) 「E-X」は「10^{-X}」を意味している。

表 3-6-3 2022 年度に実施した標準試料の分析結果^{※1}

試料名	安定ヨウ素 mg/kg 乾物	^{129}I mBq/kg 乾物	$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比	乗数
Peach Leaves NIST-1547	0.277 ± 0.0019	0.196 ± 0.0052	(1.06 ± 0.027)	10 ⁻⁷
	0.298 ± 0.0015	0.204 ± 0.0045	(1.03 ± 0.022)	
IAEA412	-	0.321 ± 0.0080	(1.22 ± 0.030)	10 ⁻⁹

※1：安定ヨウ素の誤差は繰り返し測定における標準偏差であり、 ^{129}I の誤差は繰り返し測定で得られた総カウント数の相対誤差とシステムの変動を加えたものである。

表 3-6-4 文献値（参考）

試料名	安定ヨウ素 mg/kg 乾物	^{129}I mBq/kg 乾物	$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比	乗数
Peach Leaves NIST-1547	0.3 ± 0.01 ^{※2}	0.20 ± 0.02 ^{※3}	(1.23 ± 0.19) ^{※3}	10 ⁻⁷
IAEA412	-	0.299 ± 0.090 ^{※4}	-	-

※2：分析証明書より引用（参考値）

※3：JAEA-Conf 2010-001 より引用

※4：IIAEA/AQ/54：IAEA Analytical Quality in Nuclear Applications Series No. 54 より引用

試料名	ヨウ素 129 (mBq/kg)			$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$		
	JCAC		東大 MALT	JCAC		東大 MALT
千葉 海水 夏季	1.9 ± 0.10	1.8 ± 0.08	10 ⁻⁵	5.2 ± 0.25	5.2 ± 0.21	10 ⁻¹¹
	1.8 ± 0.09			4.8 ± 0.23		
千葉 海水 冬季	1.4 ± 0.08	2.0 ± 0.08		3.6 ± 0.21	5.4 ± 0.20	
	1.5 ± 0.07			3.9 ± 0.18		

図 3-6-1 海水の比較分析 (^{129}I 濃度)

同一試料の並行分析結果は、試料間の結果の差が小さく、標準試料の分析結果は文献値と良く一致しており、尚且つ両機関の同一試料の比較分析結果の差が大きくないため、本調査において実施した分析工程の妥当性が確認された。

3.7 炭素 14 分析

(1) 分析法

1) 試料の前処理

大気中二酸化炭素はオープン・エア法により捕集した。二酸化炭素の捕集材として用いる 4M 水酸化ナトリウム溶液を小型のバットに入れ、虫よけのネットを被せ床面から約 0.3~1m の高さに設置して約 2 週間放置した。この溶液に塩化アンモニウムを加え pH を 10.5 に調整した後、塩化カルシウムを加えて炭酸カルシウムの沈殿を生成した。沈殿を熟成後、ろ過・乾燥して分析試料とした。

精米はそのまま、野菜は対象部位を分取して冷凍し、真空凍結乾燥機で水分を除去した。乾燥した試料はミキサー等で均一にして分析試料とした。

2) グラファイト化のための前処理

炭素量が約 2~3mg となるように分析試料から一定量を分取し、大気試料は専用の分解セルに、精米及び野菜試料は酸化銅とともに石英管に封入した。大気試料はリン酸を添加して二酸化炭素を発生させた。精米及び野菜試料は電気炉で燃焼して二酸化炭素を発生させた。二酸化炭素は炭素 14 前処理装置に導入してくり返し精製操作を行った後、グラファイト化して、加速器質量分析の測定試料とした。

3) 加速器質量分析装置を用いた $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 同位体比の測定

測定試料を国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構東濃地科学センターへ送付し、加速器質量分析装置（ペレトロン年代測定装置）を用いて $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 同位体比を測定し、炭素 14 比放射能を算出した。

なお、バックグラウンド試料及び標準試料として IAEA C1 及び IAEA C6、NIST SRM 4990C を試料と並行分析・測定した。

4) 炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) の測定

試料をスズカプセルに包み、元素分析計で燃焼・分離して得た二酸化炭素ガスを、オンラインで接続された安定同位体比質量分析計に導入し測定した。得られた結果は分析センターで調製した標準試料及び国立研究開発法人 海洋研究開発機構より提供された標準試料との比較により炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) を算出した。

測定条件等は表 3-7-1 のとおりである。

表 3-7-1 炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) の測定条件

装置	サーモフィッシャーサイエンティフィック製
	<ul style="list-style-type: none"> ・元素分析計：Flash2000 Organic Elemental Analyzer ・安定同位体比質量分析計：DELTA V Advantage
酸化炉温度	1000～1050℃
還元炉温度	700～730℃
カラム温度	45℃
キャリアガス	He (100ml/min)
燃焼ガス	O ₂ (175 ml/min)
標準ガス	CO ₂ (純度 99.999%以上)
測定イオン	44, 45, 46 (m/z)

(2) 妥当性確認

得られた結果の妥当性を確認するため、標準試料 (NIST SRM 4990C 及び IAEA C6) を分析して参照値との比較を行い、それぞれ有意な差がないことを確認した。さらに、バックグラウンド試料として IAEA C1 を分析し、コンタミネーション等の無いことも併せて確認した。結果を表 3-7-2 に示す。

表 3-7-2 標準試料の分析結果

試料名	NIST SRM 4990C	IAEA C1	IAEA C6
pMC ($^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$)			
1	134.9 ± 1.4	0.14 ± 0.01	151.1 ± 1.7
2	134.9 ± 1.4	0.13 ± 0.01	151.4 ± 1.6
3	131.7 ± 1.4	0.27 ± 0.03	147.2 ± 1.5
4	132.6 ± 1.2	0.13 ± 0.01	149.8 ± 1.2
参照値 (1σ)	134.07 ¹⁾	0.00 ± 0.02 ²⁾	150.61 ± 0.11 ²⁾
δ ^{13}C (‰)			
	-17.7 ± 0.24	2.3 ± 0.09	-10.9 ± 0.19
参照値 (1σ)	-17.80 ³⁾	2.42 ± 0.03 ⁴⁾	-10.80 ± 0.47 ⁴⁾

- 1) Ugo Zoppi, Radiocarbon AMS data analysis: From measured isotopic ratio to ^{14}C concentrations, Radiocarbon, **52**, 165-170 (2010)
- 2) IAEA reference sheet for quality control materials (2014)
- 3) M. Stuiver, Radiocarbon, 25 2 (1983) 793.
- 4) Rozanski, K., Consultants' group meeting on ^{14}C reference materials for radiocarbon laboratories. 1991, Internal Report, IAEA, Vienna (1991).

以上の結果から、今回の標準試料の結果は参照値とよく一致していることから、本調査の分析工程及び結果の妥当性が確認された。

3.8 クリプトン 85 分析

(1) 分析法

1) 大気試料の捕集

大気試料の捕集は、図 3-8-1(1)及び(2)に示す捕集装置を用いて行った。捕集装置は、表 3-8-1 に示した機器からなり、その目的・機能に応じて装置内に配置されている。

大気中の希ガスを、液体窒素温度に冷却した希ガス吸着捕集容器に捕集した。図 3-8-2 に希ガス吸着捕集容器の構造を示す。希ガス吸着捕集容器内の上部は、フィンが 10 数枚取り付けられており、希ガス吸着捕集容器を液体窒素で冷却して大気を通すと、大気中の水分と二酸化炭素はそれぞれ凝固して氷とドライアイスとして除去される。希ガス吸着捕集容器内の下部には、活性炭が約 180g 充填してあり、上部のフィンを通じた大気のうち希ガス等の低融点成分は活性炭に吸着される。大気試料の捕集は負圧下で行われるため、主要大気成分である窒素や酸素は活性炭に吸着されにくくなっている。希ガス吸着捕集容器を通過した大気は、エアーポンプから排気される。

大気試料の捕集装置への導入は 1L/分の流速で、約 1 週間連続して行った。約 10m³の大気から活性炭に吸着した希ガスは、希ガス吸着捕集容器を加熱することにより脱着し、専用のアルミ缶に封入した。

表 3-8-1 捕集装置に使用する各機器

機器名	目的・機能
バッファー1	大気導入の脈動を抑制
フィルター	ほこり、ごみ等の除去
電子除湿器	大気中湿分の予備的な除去
バイパス	流路内差圧の調整
圧力計 1	流路（取入口側）内の圧力（大気圧）表示
希ガス吸着捕集容器	大気中の希ガスを吸着捕集する容器
デュワー瓶	希ガス吸着捕集容器冷却用
圧力計 2	流路（排出口側）内の圧力（負圧）表示
バッファー2	大気導入の脈動を抑制
エアーポンプ	大気の導入及び排出

2) 希ガスの封入

捕集の終了後、希ガス吸着捕集容器内に捕集された大気中の水分、二酸化炭素及び活性炭に吸着した窒素や酸素を希ガス吸着捕集容器から排出した。希ガス吸着捕集容器をヒーターで1時間加熱(305°C)することにより、活性炭に吸着した希ガスを脱着し、アルミ缶に封入した(図3-8-3参照)。試料ガス中には水分が多少含まれているので、シリカゲルを充填した水分除去筒を希ガス吸着捕集容器とアルミ缶の間に配置し、水分を除去した。

希ガスを確実にアルミ缶に封入するため、超高純度ヘリウムガスを希ガス吸着捕集容器に導入し、+0.4MPaに到達するまで加圧充填した。

アルミ缶内に封入された試料ガスの成分は、二酸化炭素、窒素、酸素、一酸化二窒素及び希ガスであるクリプトンとキセノン、ならびに充填ガスのヘリウムである。二酸化炭素、窒素、酸素は試料ガスの大部分を占めることから、ガスクロマトグラフにより希ガスを分離・精製した。

3) ^{85}Kr 分析

前処理装置(図3-8-4参照)及びガスクロマトグラフ1(図3-8-5参照)を用いて、アルミ缶に封入したクリプトンからその他のガス成分を分離した。前処理装置とガスクロマトグラフのガス流路概略図を図3-8-6(1)及び(2)に示す。

前処理装置を用いて、二酸化炭素、水分及び大部分の窒素、酸素を除去した。クリプトンを、約-85°Cのエタノールで冷却した活性炭(60mL)で吸着捕集したのち、400°Cで加熱することにより脱着して、ガスクロマトグラフ1に導入した。

ガスクロマトグラフ1に導入したクリプトンを、分離用の活性炭カラム(6mmφ、4m)により、その他ガス成分から分離・精製し、ガスフロー式GM管を含む閉鎖系のループに導入した。

閉鎖系ループに導入したクリプトンを、ループ内での濃度を均質にするため、ポンプによりかくはんした。濃度の均質達成後に、ガスフロー式GM計数管により ^{85}Kr のβ線を測定した。試料の測定は、計数値が10,000カウント以上となるように測定した。試料測定前後に閉鎖系ループ内をメタンガスで置換し、バックグラウンド測定を行い、試料のパーセントを確認した。

^{85}Kr 放射線測定と同時に、閉鎖系ループ内ガスの一定容をガスクロマトグラフ2(図3-8-7参照)に導入し、検量線法により全クリプトン量(mL)を定量した。

放射線測定及び全クリプトン量測定で得られる ^{85}Kr 比放射能(Bq/mL)に、大気中のクリプトン存在比(=1.14mL/m³)を乗ずることにより、大気中の ^{85}Kr 濃度(Bq/m³)に換算した。

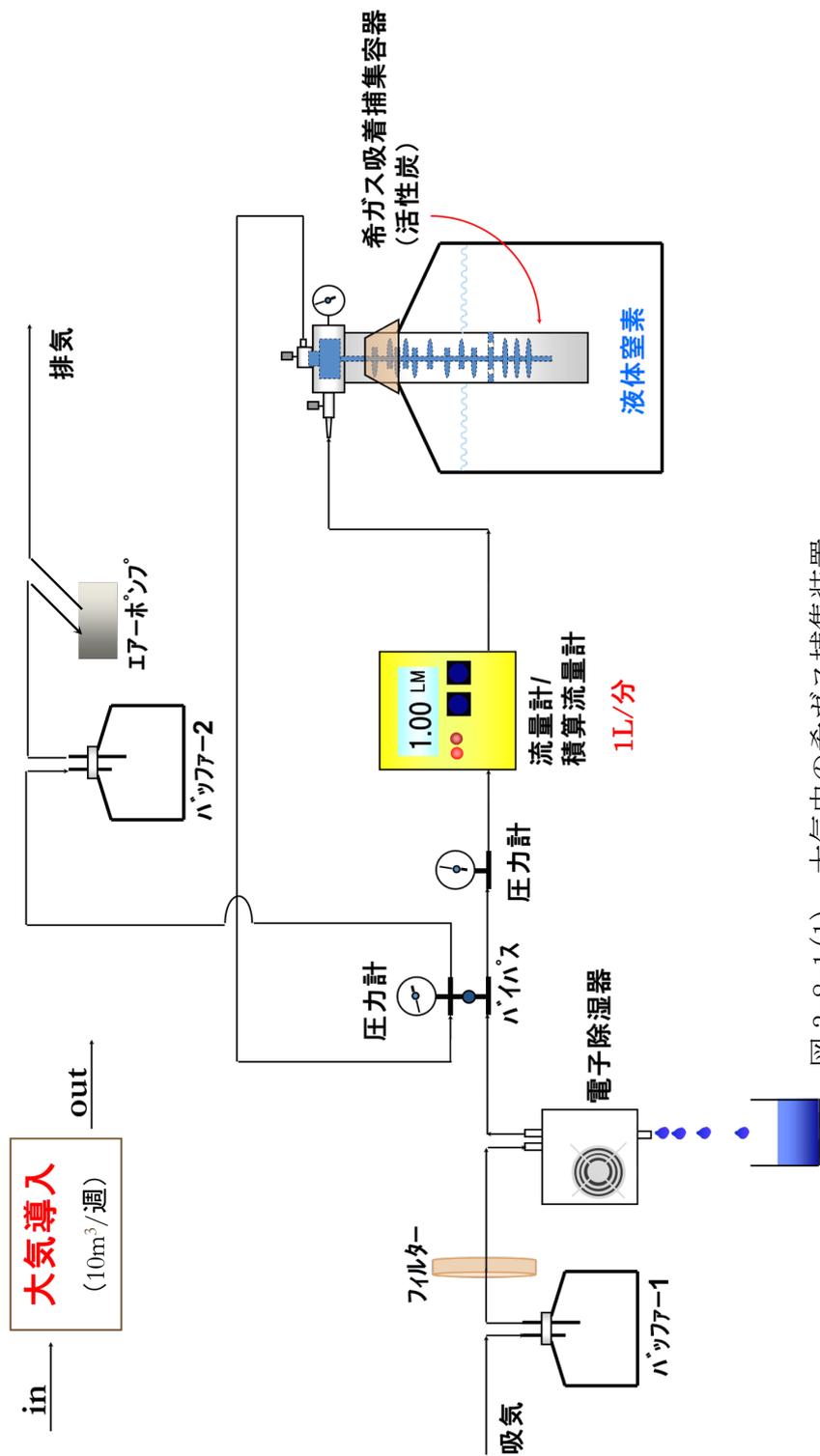


図 3-8-1(1) 大気中の希ガス捕集装置



図 3-8-1(2) 大気中の希ガス捕集装置
(写真は北海道立衛生研究所に設置した装置)

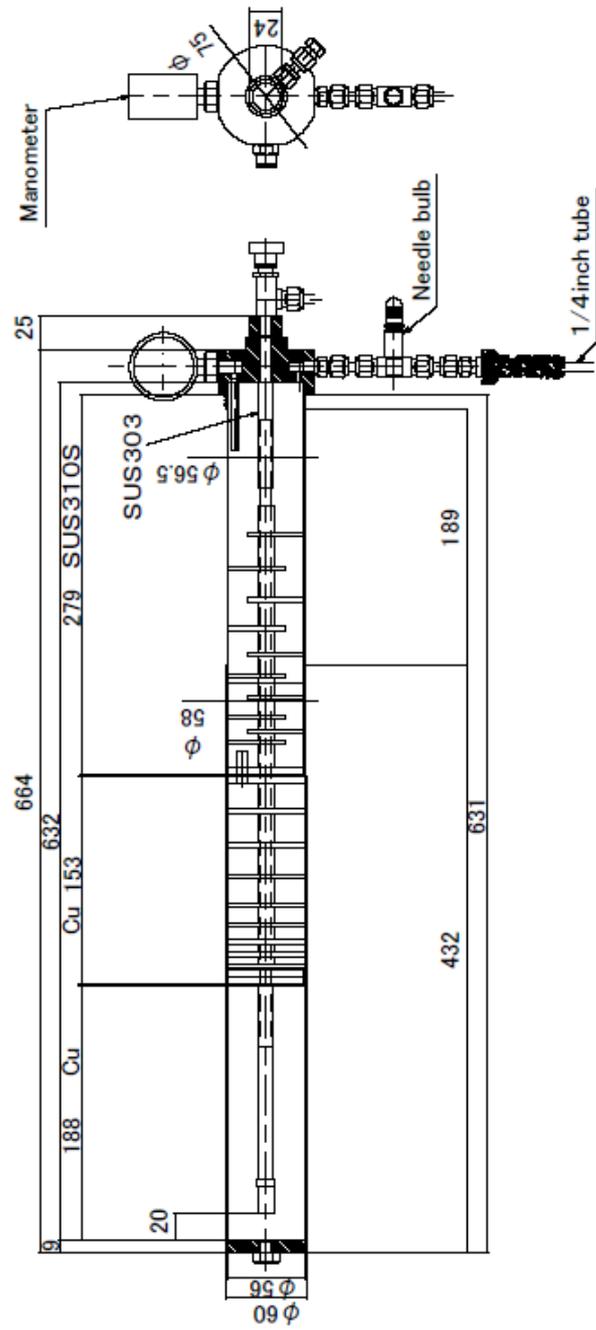


図 3-8-2 希ガス吸着捕集容器の構造

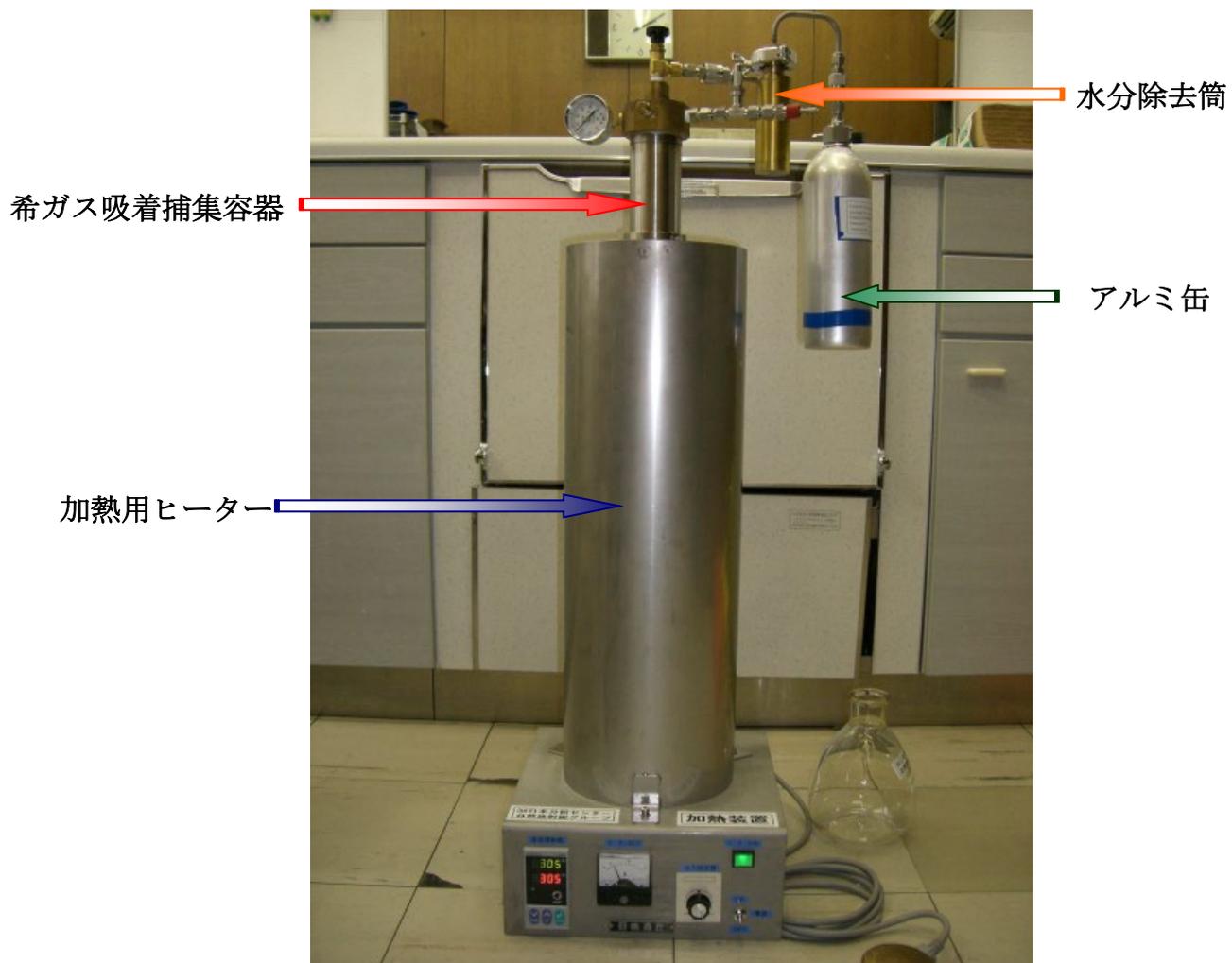


図 3-8-3 希ガスのアルミ缶への封入
(写真は北海道立衛生研究所に設置した装置)



図 3-8-4 前処理装置

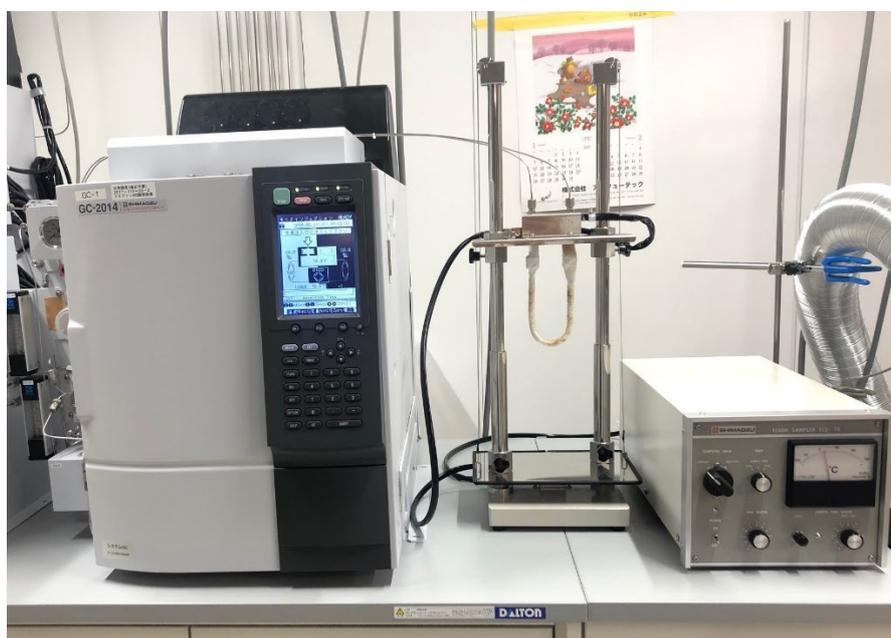


図 3-8-5 ガスクロマトグラフ 1 (クリプトン粗分離用)

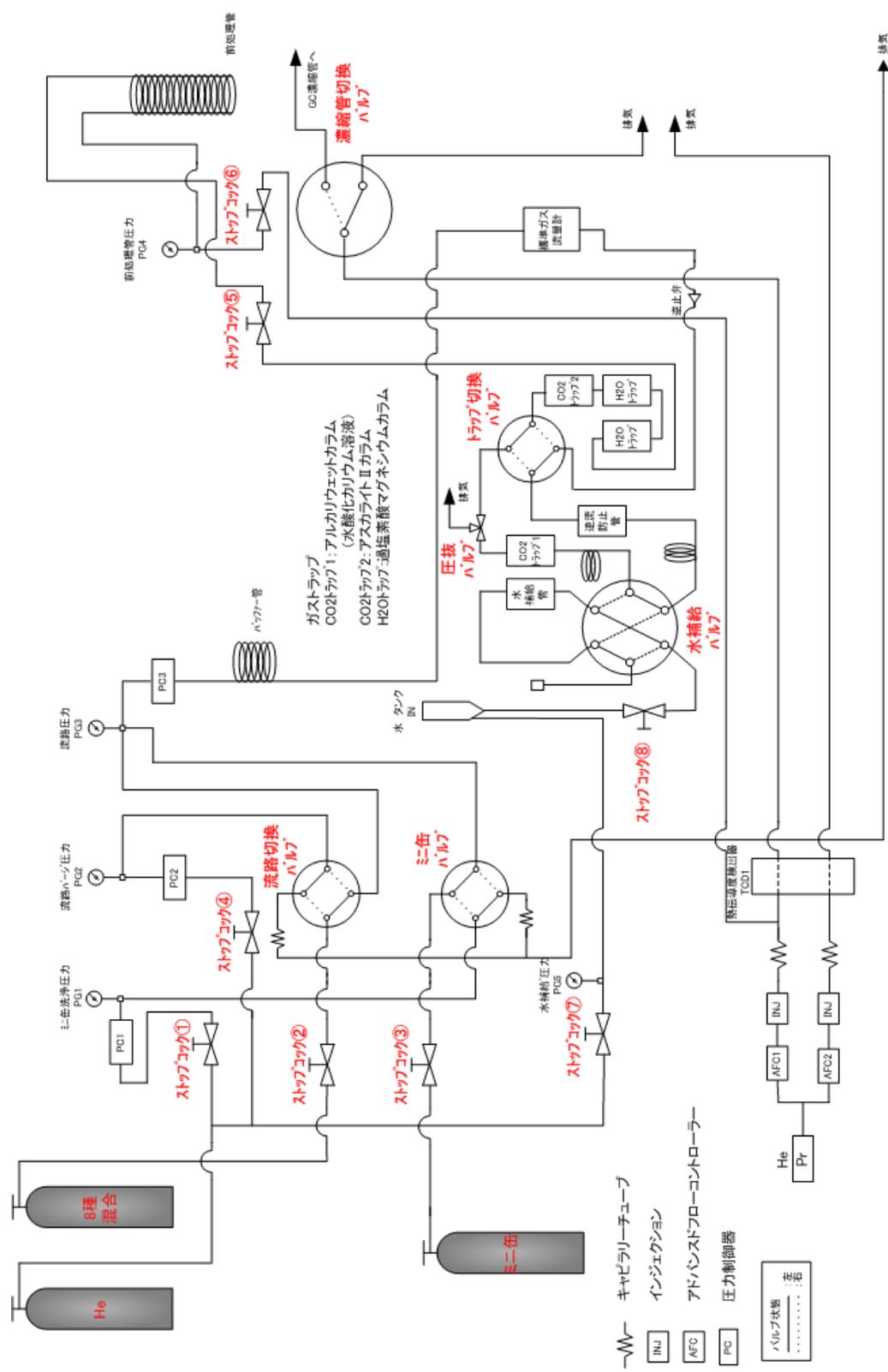


図 3-8-6 (1) ガス流路概略図 (前処理装置)

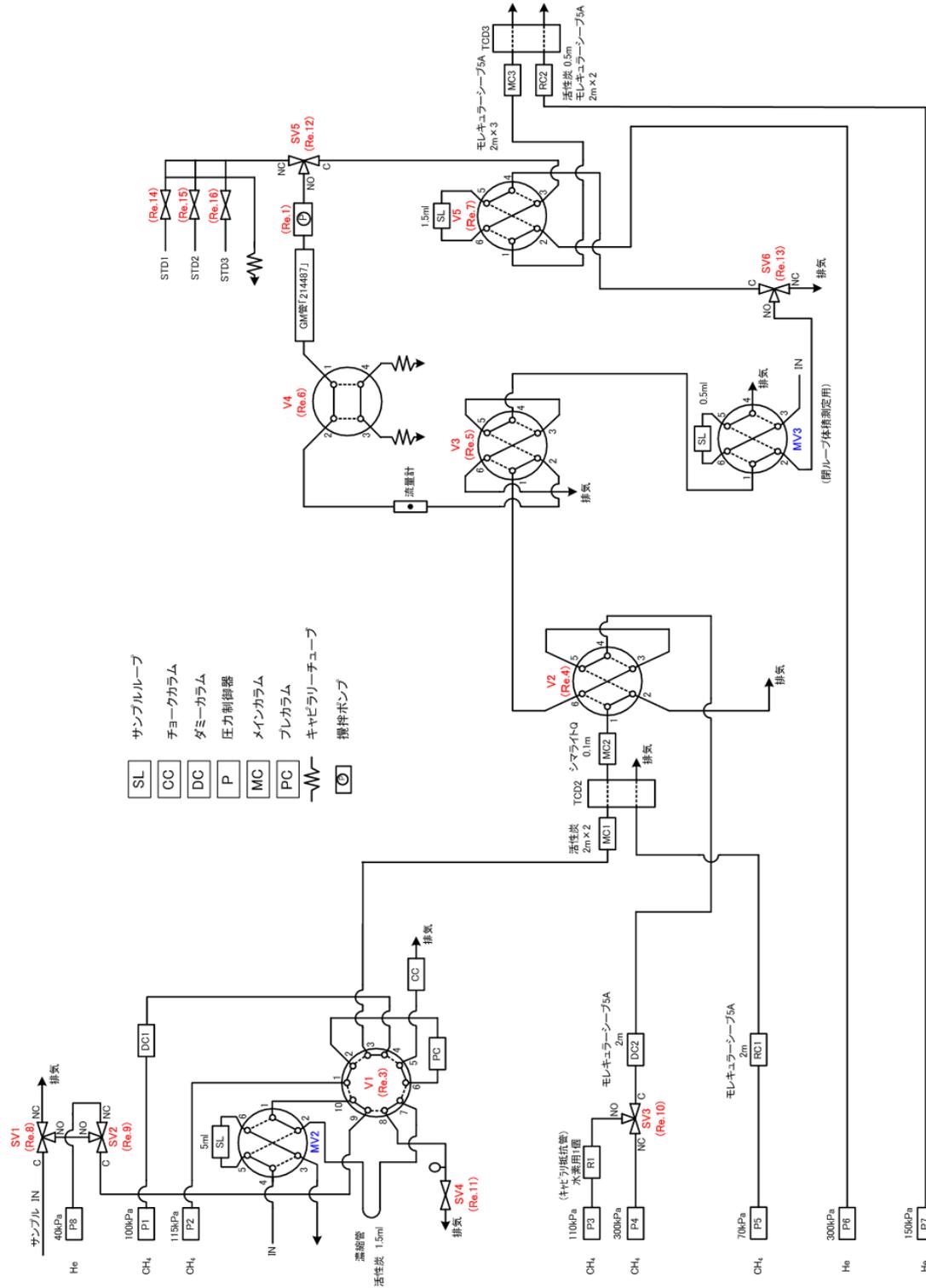


図 3-8-6(2) ガス流路概略図 (ガスクロマトグラフ)



図 3-8-7 ガスクロマトグラフ 2 (分離・精製及び精密分析用)

(2) 妥当性確認

^{85}Kr 分析結果の妥当性を確認するために、 ^{85}Kr 濃度既知の標準ガスを用いて、 ^{85}Kr 分析装置の健全性を毎週確認した。また、千葉県において、同一期間大気捕集を行った試料を2試料用意し、一方を分析センターが分析し、他方をドイツ大気放射能研究所 (BfS : Bundesamt für Strahlenschutz) が分析することにより、相互比較分析を実施した。

① ^{85}Kr 分析装置の健全性確認

クリプトンを含む8種類のガスを混合した標準ガスを用いて、前処理装置 (図 3-8-4 参照) で大部分の空気成分を粗分離した後、ガスクロマトグラフ 1 (図 3-8-5) を用いてクリプトンピークの存在を目視により確認した。図 3-8-8 に空気成分の粗分離後のガスクロマトグラムを示す。

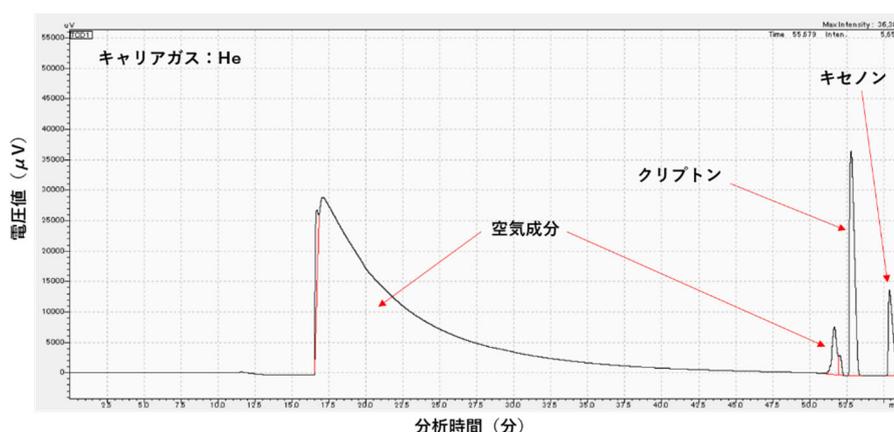


図 3-8-8 空気成分の粗分離後のガスクロマトグラム

続いて、ガスクロマトグラフ 2 (図 3-8-7 参照) により、クリプトンを分離・精製し、クリプトンピークがその他のガスピークと十分に分離されていることを目視により確認し、クリプトンの分離時間 (リテンションタイム) 並びに GM 管を含む閉鎖系ループの開閉時間内 (分離開始 8.50 分から 12.5 分までの間) に大部分のクリプトンピークが存在していることを確認した。図 3-8-9 にクリプトン分離・精製時のガスクロマトグラムを示す。

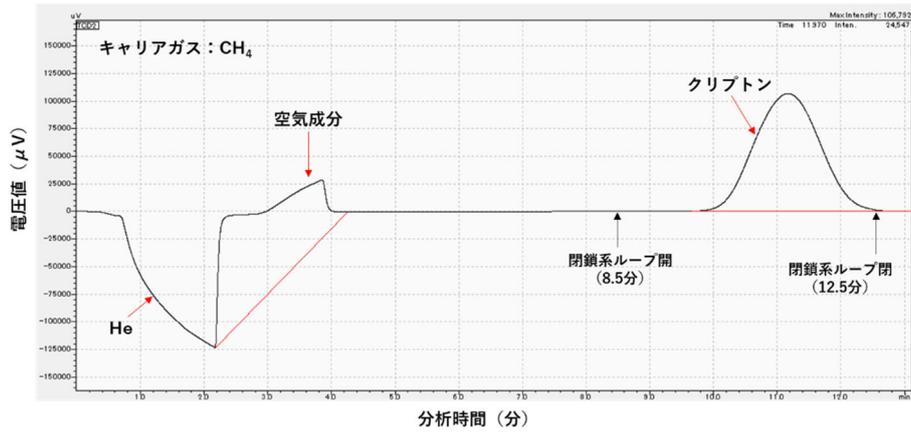


図 3-8-9 クリプトン分離・精製時のガスクロマトグラム

GM 管を含む閉鎖系ループ内に導入されたクリプトンに含まれる ^{85}Kr の β 線を測定し、測定結果より得られる GM 計数効率が基準範囲* (過去の変動を考慮) 内であることを確認し、分析装置の健全性を確認した。図 3-8-10 に GM 計数効率の経時変化を示す。

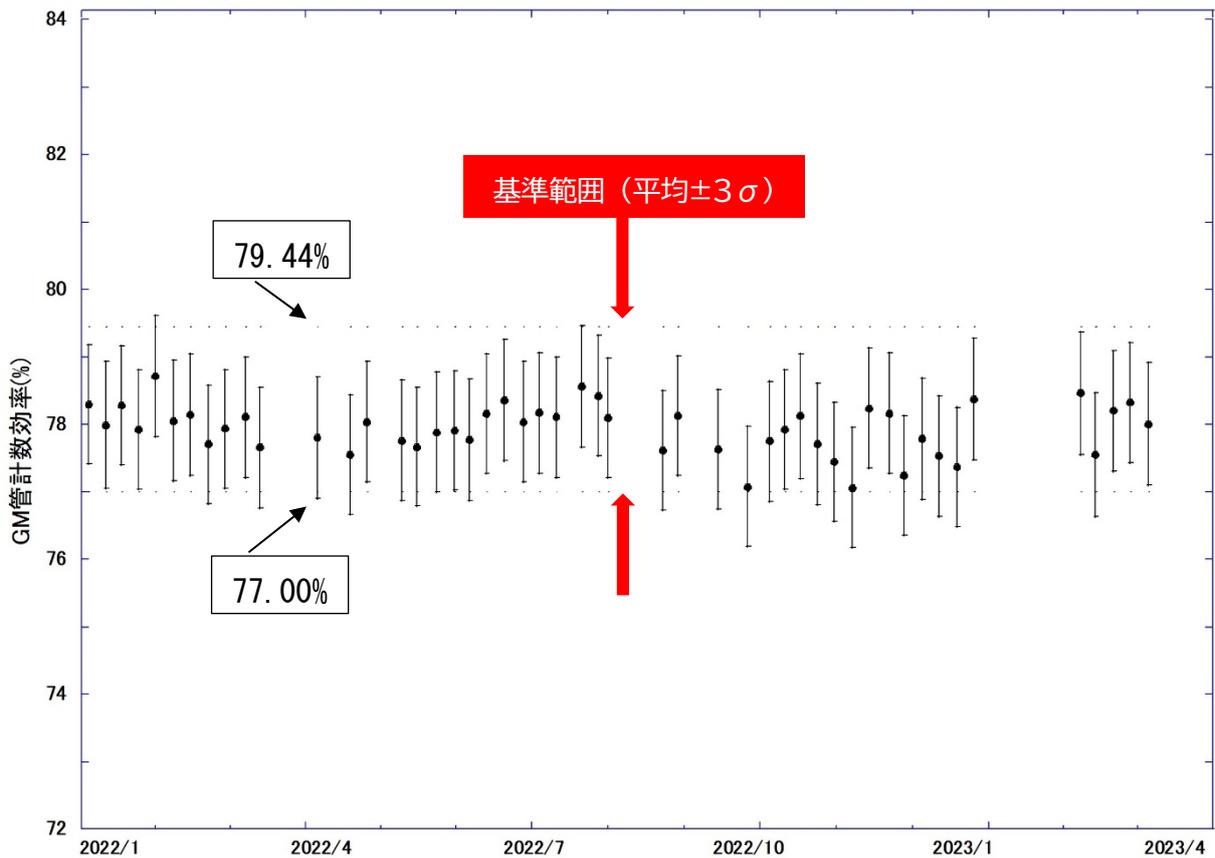


図 3-8-10 GM 計数効率の経時変化

② ドイツ大気放射能研究所 (BfS) との相互比較分析

千葉市において同一期間大気捕集を行った試料を用いて、ドイツ大気放射能研究所 (BfS) と相互比較分析を実施し、分析結果の妥当性を確認した。図 3-8-11 にドイツ大気放射能研究所 (BfS) との相互比較分析結果を示す。

なお、2015 年度まではドイツ大気放射能研究所とクロスチェックを毎週実施していたが、2016 年 5 月からクロスチェック頻度を四半期に 1 回に変更した。

両機関の ^{85}Kr 分析結果の比は、0.96~1.01 と良く一致したものであった。また、過去からの分析結果の比 (JCAC / BfS) の平均、標準偏差及び変動係数は、それぞれ 1.00、0.02 及び 2.5% であり、よく一致した結果が得られた。

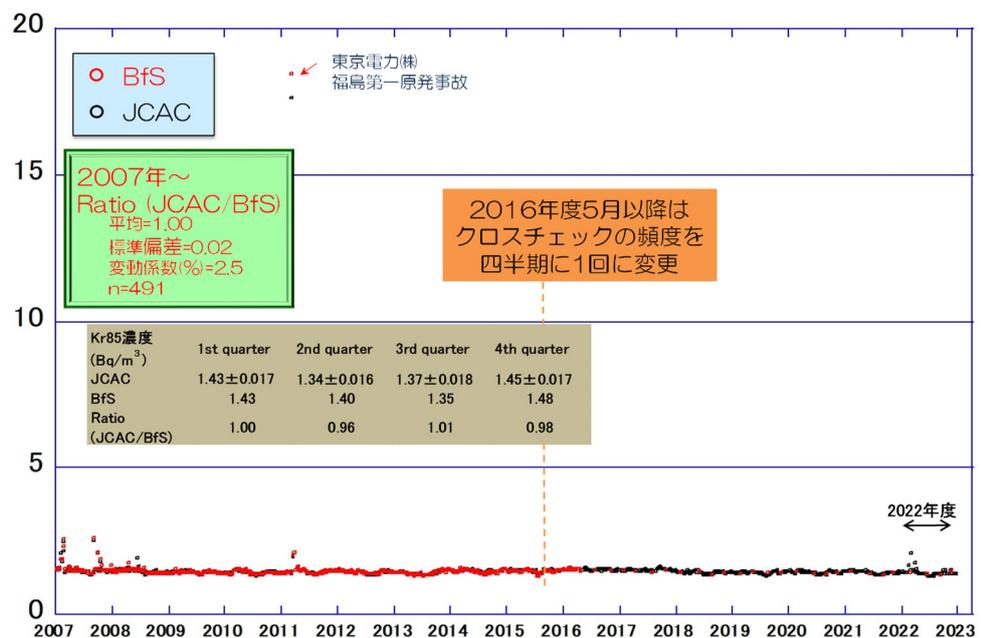


図 3-8-11 ドイツ大気放射能研究所 (BfS) との相互比較分析結果

3.9 放射性キセノン分析

(1) 分析法

① ^{131m}Xe 、 ^{133}Xe 、 ^{133m}Xe 及び ^{135}Xe の分析

SAUNA-II (図 3-9-1) を用いて、大気試料の捕集、キセノンの分離、精製、測定を自動 (捕集開始から測定終了まで 30 時間) で行った。装置構成図を図 3-9-2 に示す。大気試料を流量約 20L/分で吸引し、水分離フィルターで除湿した後、サンプリングオープン (A、B で 6 時間ずつ) やプロセスオープン (1 及び 2) において、モレキュラーシーブカラムによる CO_2 、 H_2O 等の不純物の除去、活性炭カラムへのキセノンの吸着及び加熱 (約 300°C) による脱着を繰り返し、キセノン分離・精製した。その後、ガスクロマトグラフでさらに精製し、全キセノン量を定量した。精製したキセノンを β - γ 同時計数法 (ガンマ線 (及び X 線) は NaI (Tl) 検出器、 β 線 (及び内部転換電子) はプラスチックシンチレーション検出器を使用) で 11 時間測定した。測定後の試料はアーカイブボトルに 7 日間保管した。プロセスオープン以降のキャリアガスはヘリウムを使用した。

② ^{131m}Xe 、 ^{133}Xe 、 ^{133m}Xe 及び ^{135}Xe 濃度の算出

SAUNA-II 付属の解析ソフトウェア (XECON) を用いて ^{131m}Xe 、 ^{133}Xe 、 ^{133m}Xe 及び ^{135}Xe 濃度 (mBq/m^3) 並びに検出下限値 (MDC: Minimum Detectable Concentration) を算出し、検出下限値未満のデータは不検出とした。



図 3-9-1 SAUNA-II

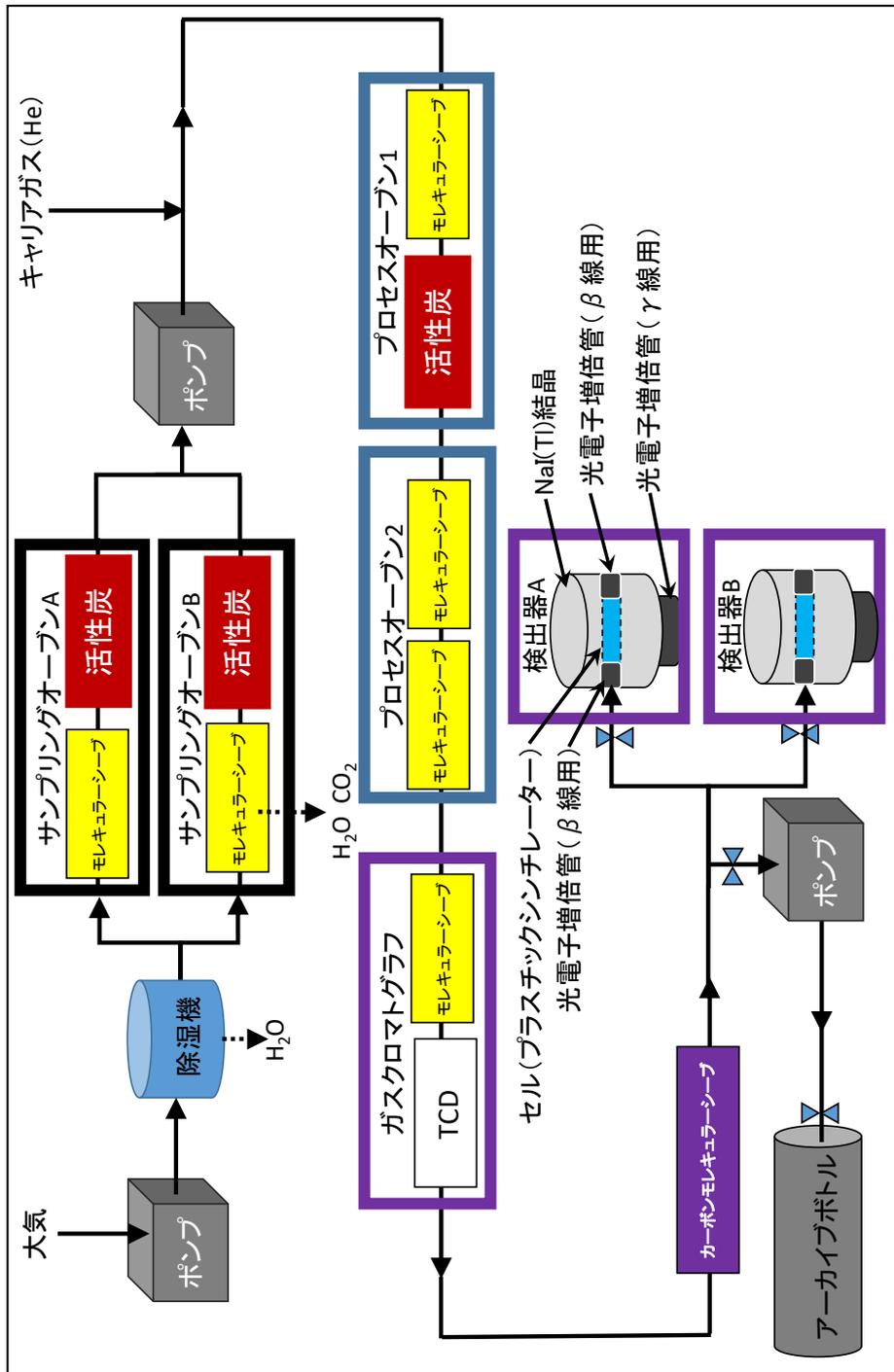


図 3-9-2 装置構成図 (SAUNA-II)

(2) 妥当性確認

装置の健全性を以下の方法で確認した。

① センサー値の変動確認

各種センサー（圧力、温度、流量、HV 電圧等）の10分値をプロットし、装置が正常に稼動している事を確認した。

② QC 線源の測定

12時間毎にQC線源（ ^{137}Cs 、 ^{154}Eu ）の測定を行い、 γ 線及び β 線エネルギーのスペクトル（チャンネル）がシフトしていない事を確認した。

③ キセノン収率の確認

異常（継続的な減少傾向等）がない事を確認した。（図3-9-3参照）

④ キセノン体積の確認

異常（継続的な減少傾向等）がない事を確認した。（図3-9-4参照）

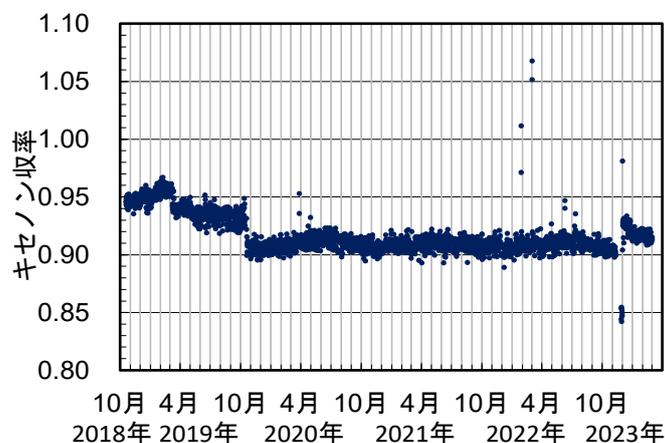


図3-9-3 キセノン収率の経時変化

注) 2023年11月はGC故障の影響により変動している

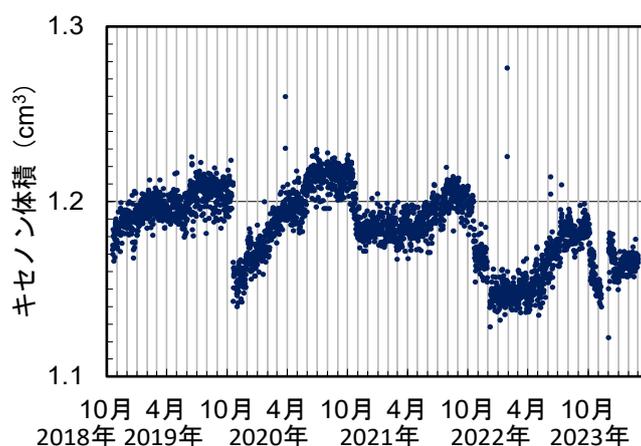


図3-9-4 キセノン体積の経時変化

注) 2023年11月はGC故障の影響により変動している

3.10 福島県下における空間線量の調査

(1) 妥当性の確認

1) 点検・校正作業

メーカーによる点検・校正作業を実施した。国家標準とトレーサビリティのとれた γ 線源(^{137}Cs)を用いて検出器に照射し、その指示値が校正試験の判定基準(線源の照射値に対して、NaI検出器は $\pm 10\%$ 以内、シリコン半導体検出器は $\pm 20\%$ 以内)の範囲内となるよう調整、確認した。結果を表3-10-1に示す。

結果より、点検・校正作業が適切に実施されていること、測定器が正常に稼働していることが確認された。

2) 並行測定による指示値の確認

可搬型モニタリングポストの検出器高さにおいて、NaI(Tl)サーベイメータで並行測定を行い、可搬型モニタリングポスト指示値とNaI(Tl)サーベイメータ指示値を比較した。

結果を表3-10-2及び図3-10-1に示す。並行測定の結果、概ね可搬型モニタリングポスト指示値とNaI(Tl)サーベイメータ指示値は $\pm 20\%$ 以内で一致した。なお、 $\pm 20\%$ を超える差が確認された一部地点については、可搬型モニタリングポスト周囲の四方向において同一の測定を実施した結果、測定値間に差が確認された。このことから周辺における放射性セシウム分布の偏在により、並行測定を実施する地点・向きに指示値が依存することとなり、可搬型モニタリングポスト指示値とNaI(Tl)サーベイメータ指示値の間に差が見られたと考えられた。

3) 環境場測定法

現地において可搬型モニタリングポスト指示値がその場所の空間放射線量率を反映していることを確認するため、機器調整を行った健全なNaI(Tl)スペクトロメータを用い、可搬型モニタリングポストの周辺を測定することにより、宇宙線寄与線量率及びセルフドーズ寄与分を考慮しつつ、可搬型モニタリングポスト設置地点の線量率を評価した。

なお、検討基準は、可搬型モニタリングポストの測定値と日本分析センターの比較換算値*の差が比較換算値に対して $\pm 15\%$ 以内とした。

対象となる3地点/80地点は、空間放射線量率や検出器の種類、設置環境などを基に選定し、飯舘村役場(飯舘村)、合子集落農事集会所(田村市)、双葉総合公園(双葉町)において実施した。

結果を表3-10-3、図3-10-2(1)～(3)に示す。

比較した結果、3地点全てにおいて±15%以内で一致した。

*比較換算値は、可搬型モニタリングポストの測定値に含まれていると考えられる宇宙線寄与及びセルフドーズを考慮して、日本分析センターが周辺のNaI(Tl)スペクトロメータ測定結果から推定した値である。

可搬型モニタリングポスト80基の測定値は、概ね周辺の線量率を反映していると考えられた。

表3-10-2 可搬型モニタリングポスト指示値と
NaI(Tl)サーベイメータ指示値の比の比較
(期間：2022年3月～2023年2月)

平均	1.00
データ数	587
最大値	1.48
最小値	0.71
標準偏差	0.088
変動係数	8.8%

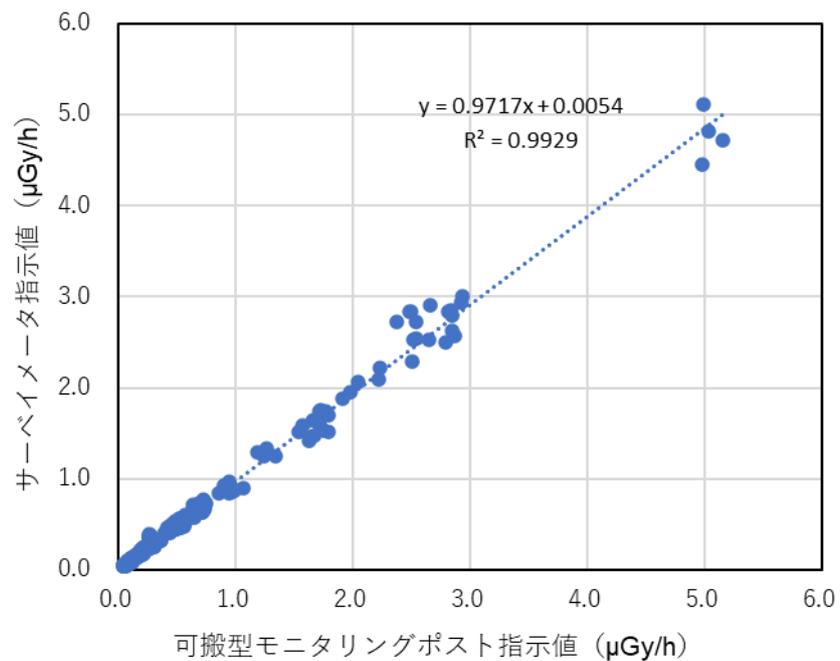
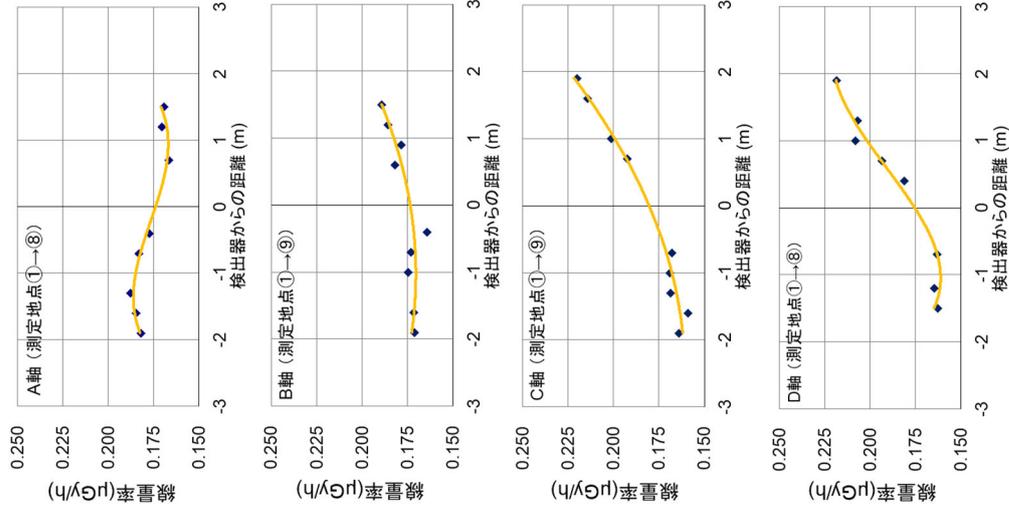
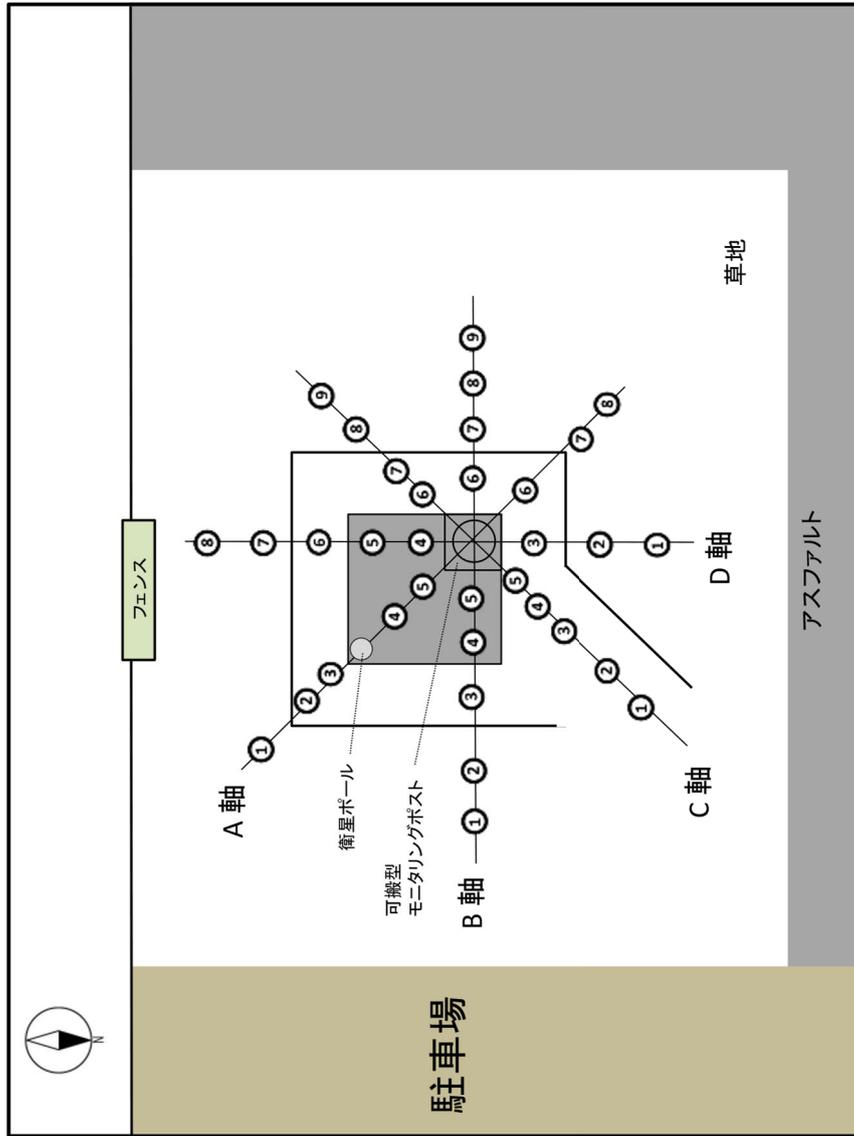


図3-10-1 可搬型モニタリングポスト指示値と
NaI(Tl)サーベイメータ指示値の比の比較

表3-10-3 環境場測定法の結果

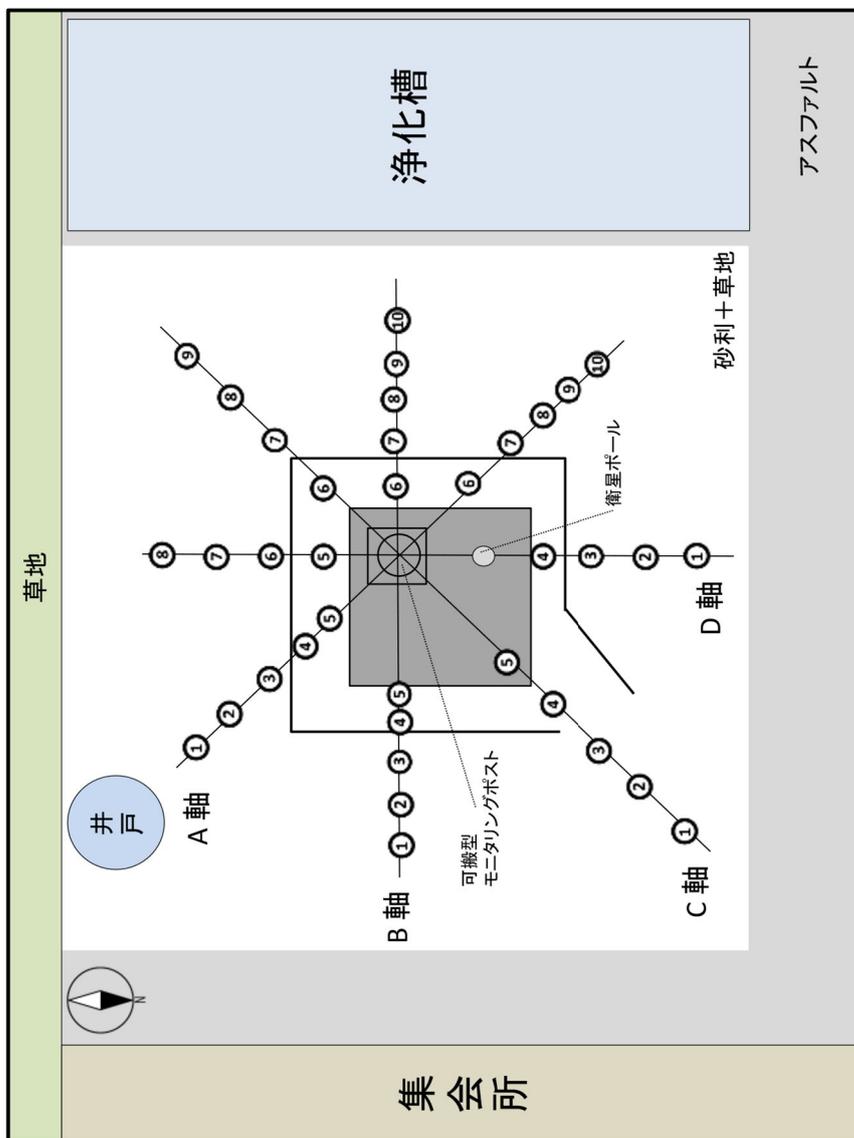
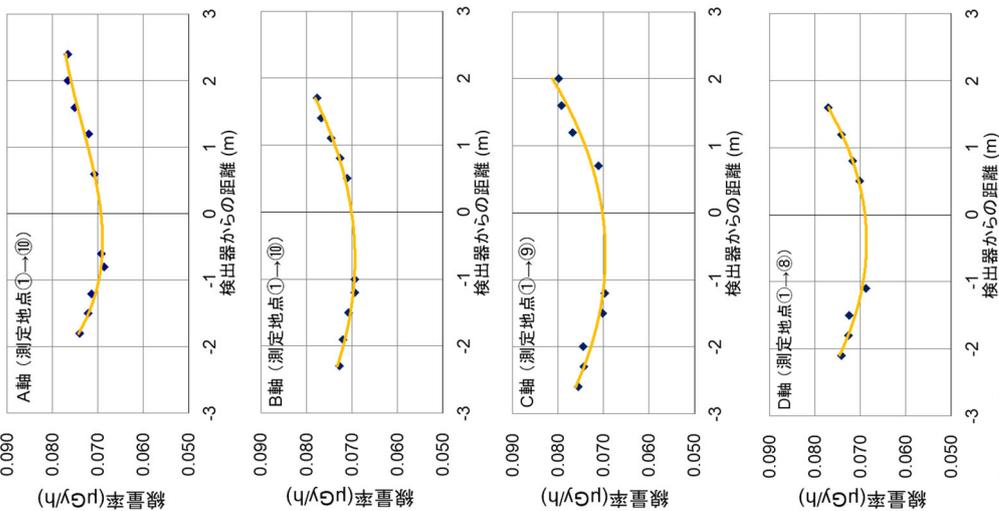
地点名	[A] 可搬型モニタリングポスト 指示値 (μ Gy/h)	[B] NaI (Tl) スペクトロメータ からの比較換算値 (μ Gy/h)	[A] / [B]
飯舘村役場(飯舘村)	0.196 ± 0.019	0.204 (0.174)*	0.96 (1.13)*
合子集落農事集会所(田村市)	0.0632 ± 0.0018	0.0710	0.89
双葉総合公園(双葉町)	0.514 ± 0.019	0.567	0.91

* ()内の数値は、宇宙線寄与線量率「0.03 μ Gy/h」を考慮せず評価した値である。



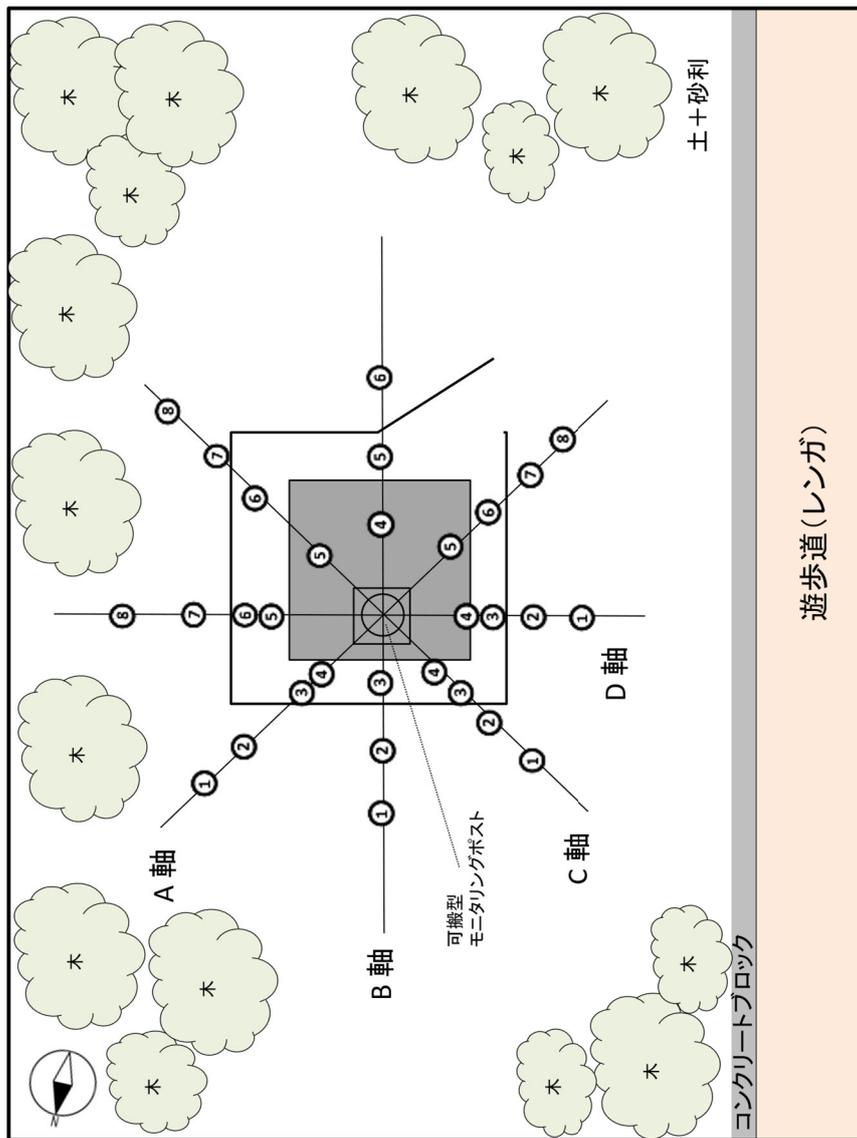
○付き数字は日本分析センターの測定番号を示す

図3-10-2(1) 環境場測定法の測定地点と空間放射線量率分布図
(飯館村役場(飯館村))



○付き数字は日本分析センターの測定番号を示す

図3-10-2(2) 環境場測定法の測定地点と空間放射線量率分布図
(合子集落農事集会所(田村市))



○付き数字は日本分析センターの測定番号を示す

図3-10-2(3) 環境場測定法の測定地点と空間放射線量率分布図
(双葉総合公園(双葉町))

4. 都道府県における環境放射能水準調査、放射線監視等交付金事業の精度管理

4.1 標準試料法

原子力施設等防災対策等委託費(環境放射能水準調査(放射能分析))事業の「都道府県における環境放射能水準調査の精度管理」及び「放射線監視等交付金事業の精度管理」において、47都道府県が実施する環境放射能分析の信頼性・妥当性を確保することを目的に相互比較分析を実施した。実施内容について参考資料3.1に示す。

4.2 試料分割法

原子力施設等防災対策等委託費(環境放射能水準調査(放射能分析))事業の「放射線監視等交付金事業の精度管理」において、24道府県の放射線監視等交付金事業の信頼性・妥当性を確保することを目的に相互比較分析を実施した。実施内容について参考資料3.2に示す。

4.3 モニタリングポストの測定に係る精度管理

(1) 概要

環境放射能水準調査及び放射線監視等交付金事業に用いられているモニタリングポストの測定に係る精度管理として、in-situ 校正等の線源照射試験（以下「標準照射法」という。）、バックグラウンドでの比較測定試験（以下「環境場測定法」という。）及び核種組成確認測定試験を実施した。これらの試験結果において検討基準値を超えた場合は、当該自治体に結果を伝え、自治体及びメーカーの協力の下、原因を調査し報告を行う。

(2) 実施地点及び実施期間

調査の実施地点及び実施期間を表 4-3-1 に、実施内容を表 4-3-2 に示す。実施場所は佐賀県、三重県、長崎県、香川県、岐阜県、宮城県、徳島県及び沖縄県内の 8 自治体 20 地点を選定した。

表 4-3-1 実施地点及び実施期間

自治体	実施地点	事業種別*	実施期間
佐賀県	佐賀市 佐賀県環境センター 玄海町 平尾	水準 監視	2022年5月23日 ～5月26日
三重県	伊賀市 伊賀庁舎 四日市市 県保健環境研究所	水準	2022年6月20日 ～6月23日
長崎県	平戸市 長崎県県北保健所 佐世保市 江迎	水準 監視	2022年7月5日 ～7月8日
香川県	観音寺市 西讃保健福祉事務所 丸亀市 中讃保健福祉事務所	水準	2022年7月26日 ～7月29日
岐阜県	岐阜市 防災交流センター 大垣市 西濃総合庁舎 美濃市 中濃総合庁舎 郡上市 郡上総合庁舎 下呂市 下呂総合庁舎	水準	2022年10月24日 ～10月28日
宮城県	仙台市 県環境放射線監視センター 石巻市 鮫浦	水準 監視	2022年11月14日 ～11月18日

自治体	実施地点	事業種別*	実施期間
徳島県	三好市 池田総合体育館 鳴門市 鳴門合同庁舎 美波町 南部総合県民局美波庁舎 徳島市 徳島保健所	水準	2022年12月5日 ～12月9日
沖縄県	那覇市 沖縄県庁	水準	2022年12月19日 ～12月22日

*水準：環境放射能水準調査、監視：放射線監視等交付金事業

表 4-3-2 実施内容

自治体	実施地点	事業種別	検出器種類	標準照射法		環境場測定法	核種組成確認測定試験
				in-situ校正	エネルギー特性試験		
佐賀県	佐賀市 佐賀県環境センター	水準	NaI	○	○	○	-
	玄海町 平尾	監視	NaI	○	○	-	-
			電離箱	○	○	-	-
三重県	伊賀市 伊賀庁舎	水準	NaI	○	○	○	-
	四日市市 県保健環境研究所		NaI	○	○	-	-
長崎県	平戸市 長崎県県北保健所	水準	NaI	○	○	○	-
	佐世保市 江迎	監視	NaI	○	○	-	-
			電離箱	○	○	-	-
香川県	観音寺市 西讃保健福祉事務所	水準	NaI	○	-	-	-
	丸亀市 中讃保健福祉事務所		NaI	○	○	○	-
岐阜県	岐阜市 防災交流センター	水準	NaI	○	-	-	-
	大垣市 西濃総合庁舎		NaI	○	○	-	-
	美濃市 中濃総合庁舎		NaI	○	-	-	-
	郡上市 郡上総合庁舎		NaI	○	-	-	-
	下呂市 下呂総合庁舎		NaI	○	-	○	-

自治体	実施地点	事業種別	検出器種類	標準照射法		環境場測定法	核種組成確認測定試験
				in-situ校正	エネルギー特性試験		
宮城県	仙台市 県環境放射線監視センター	水準	NaI	○	○	○	○
	石巻市 鮫浦	監視	NaI	○	○	-	-
			電離箱	○	○	-	-
徳島県	三好市 池田総合体育館	水準	NaI	○	○	○	-
	鳴門市 鳴門合同庁舎		NaI	○	-	-	-
	美波町 南部総合県民局美波庁舎		NaI	○	-	-	-
	徳島市 徳島保健所		NaI	○*	○	-	-
沖縄県	那覇市 沖縄県庁	水準	NaI	○	○	○	-

*モニタリングポストの高さが高く、水平照射による in-situ 校正を実施したため、結果は参考値とした。

(3) 実施方法

1) 標準照射法

① in-situ 校正

実用線源を用いたモニタリングポストの確認校正の妥当性を確認するため、国家標準とトレーサビリティのとれたワーキングスタンダード (^{137}Cs 線源) を用いた in-situ 校正を実施した。

照射条件

核 種	実効エネルギー (keV)	線量率 ($\mu\text{Gy/h}$)	
		NaI	電離箱
^{137}Cs	660	約 0.3-0.4	約 1-2

② エネルギー特性試験

^{241}Am 及び ^{137}Cs を含む複数種類の線源を用いて、60 keV~660 keV 付近までの範囲で機器の健全性 (エネルギー特性) の確認を行った。

なお、検討基準は、モニタリングポストの測定値と日本分析センターが算出した基準線量率の差が基準線量率に対して20%以内とした。

照射条件

核 種	実効エネルギー (keV)	照射した線量率 ($\mu\text{Gy/h}$)
^{241}Am	60	約 0.1
^{57}Co	124	約 0.1
^{133}Ba	340	約 0.3
^{137}Cs	660	約 1

2) 環境場測定法

校正等の照射試験により機器の健全性が保たれているモニタリングポストにおいて、バックグラウンドレベルの線量率まで正確に測定できる NaI (T1) スペクトロメータを用い、バックグラウンドでの比較測定試験を実施した。

比較測定試験の実施に当たっては、機器調整がなされた健全な NaI (T1) スペクトロメータを用い、モニタリングポストの周辺を1地点以上測定することにより、宇宙線寄与線量率及びセルフドーズ寄与分を考慮しつつ、モニタリングポスト設置地点の線量率を評価した。

なお、検討基準は、モニタリングポストの測定値と日本分析センターの比較換算値*の差が比較換算値に対して15%以内とした。

*比較換算値は、モニタリングポストの測定値に含まれていると考えられる宇宙線寄与及びセルフドーズを考慮して、日本分析センターが周辺の測定結果から推定した値である。

3) 核種組成確認測定試験

東京電力福島第一原子力発電所事故の影響がみられた都道府県においては、モニタリングポストの周辺1地点以上でin-situゲルマニウム半導体検出器による測定を行い、設置されているモニタリングポストの線量率に寄与する核種割合を評価した。

(4) 結果と考察

1) 標準照射法

① in-situ 校正

in-situ 校正の結果を表 4-3-3(1)～(2)に示す。

モニタリングポストの校正定数は0.91～0.99の範囲であり、メーカーによる機器調整が適切に実施されていると考えられた。

JCSS 校正証明書を8県に発行した。

② エネルギー特性試験

エネルギー特性試験の結果を図 4-3-1(1)～(3)に示す。また、個別の結果を表 4-3-4(1)～(16)、図 4-3-2(1)～(16)に示す。

モニタリングポストの測定値は全ての地点において、 ^{133}Ba (340 keV) 及び ^{137}Cs (660 keV) については基準線量率と検討基準内で一致した。

^{241}Am (60 keV) について、NaIモニタでは9地点、電離箱モニタでは3地点において検討基準よりも低めの結果であった。これは、モニタリングポストの検出器カバーや断熱材等が遮へいとなり、基準線量率と比較して低めの結果になったと考えられ、検出器の構造による影響が一因であると思われる。比較値が0.34 (-66%)であった佐世保市 江迎 (長崎県) の電離箱モニタでは、検出器カバーや断熱材の遮へい等の検出器の構造による影響のほか、エネルギー特性試験の不確かさ及び機器の経年劣化等が一因であると考えられる。また、比較値が0.44 (-56%)であった三好市 池田総合体育館 (徳島県) では、メーカーによる調査の結果、 ^{241}Am

のピーク位置が若干低エネルギー側にシフトしており、ピークの裾がカットされていたことが判明した。このことが基準線量率と比較して低めの結果となった一因であると考えられた。

^{57}Co (124 keV) について、佐世保市 江迎 (長崎県) の電離箱モニタ及び石巻市 鮫浦 (宮城県) の電離箱モニタにおいて検討基準よりも低めの結果であったが、検出器の壁材がステンレスである場合には過大応答することが知られており、機器の異常ではない。

なお、検討基準内で一致したエネルギーにおいて、NaI モニタについてはエネルギー補償が適切に実施され、電離箱モニタについては良好なエネルギー特性を有していることを確認した。

2) 環境場測定法

環境場測定法の結果を表 4-3-5、図 4-3-3(1)～(8)に示す。

宇宙線及びセルフドーズの寄与を考慮して比較した結果、モニタリングポストの測定値は全ての地点において、日本分析センターの比較換算値と比較して検討基準内で一致しており、周辺の環境 γ 線量率が反映された測定値が得られているものと考えられた。

3) 核種組成確認測定試験

核種組成確認測定試験の結果を表 4-3-6、図 4-3-4 に示す。

仙台市 県環境放射線監視センター (宮城県) において、人工放射性核種の寄与割合は ^{134}Cs が 1% 程度、 ^{137}Cs が 8% 程度であり、ほぼ自然放射性核種による組成であることが確認できた。今後何らかの影響で空間放射線量率に変動があった場合に、人工放射性核種による影響または周辺環境の変化等を把握するための基礎データに資することができると考えられる。

表 4-3-3(1) in-situ 校正結果
(環境放射能水準調査用モニタリングポスト)

自治体	地点名	検出器 種類	核種	実効 エネルギー (keV)	線量率 (μ Gy/h)	校正 定数	不確かさ*1 (%)
佐賀県	佐賀市 佐賀県環境センター	NaI	^{137}Cs	660	0.41	0.99	6.4
三重県	伊賀市 伊賀庁舎	NaI			0.43	0.96	
	四日市市 県保健環境研究所	NaI			0.39	0.95	
長崎県	平戸市 長崎県県北保健所	NaI			0.44	0.95	
香川県	観音寺市 西讃保健福祉事務所	NaI			0.35	0.91	
	丸亀市 中讃保健福祉事務所	NaI			0.36	0.91	
岐阜県	岐阜市 防災交流センター	NaI			0.37	0.98	
	大垣市 西濃総合庁舎	NaI			0.33	0.95	
	美濃市 中濃総合庁舎	NaI			0.38	0.95	
	郡上市 郡上総合庁舎	NaI			0.38	0.99	
	下呂市 下呂総合庁舎	NaI			0.41	0.96	
宮城県	仙台市 県環境放射線監視センター	NaI			0.39	0.97	
徳島県	三好市 池田総合体育館	NaI			0.44	0.94	
	鳴門市 鳴門合同庁舎	NaI			0.45	0.94	
	美波町 南部総合県民局美波庁舎	NaI	0.47	0.96			

自治体	地点名	検出器 種類	核種	実効 エネルギー (keV)	線量率 (μ Gy/h)	校正 定数	不確かさ*1 (%)
徳島県	徳島市 徳島保健所*2	NaI	¹³⁷ Cs	660	(0.81)	(0.87)	6.5
沖縄県	那覇市 沖縄県庁	NaI			0.40	0.96	6.4

*1 校正の不確かさは、拡張不確かさ ($k=2$) を表す。

拡張不確かさは、ISO 国際文書” Guide to the expression of Uncertainty in Measurement (1995)” (「計測における不確かさの表現ガイド」) に基づき、合成標準不確かさと包含係数 $k=2$ から決定されたもので、約 95% の信頼の水準を持つと推定される区間を定めたものである。

*2 モニタリングポストの高さが高く、水平照射による in-situ 校正を実施したため、結果は参考値である。

表 4-3-3(2) in-situ 校正結果
(放射線監視等交付金事業用モニタリングポスト)

自治体	地点名	検出器 種類	核種	実効 エネルギー (keV)	線量率 (μ Gy/h)	校正 定数	不確かさ* (%)
佐賀県	玄海町 平尾	NaI	^{137}Cs	660	0.43	0.95	6.4
		電離箱			1.36	0.93	6.8
長崎県	佐世保市 江迎	NaI			0.43	0.96	6.4
		電離箱			1.88	0.93	6.8
宮城県	石巻市 鮫浦	NaI			0.37	0.94	6.4
		電離箱			2.19	0.93	6.8

* 校正の不確かさは、拡張不確かさ($k=2$)を表す。

拡張不確かさは、ISO 国際文書” Guide to the expression of Uncertainty in Measurement (1995)” (「計測における不確かさの表現ガイド」)に基づき、合成標準不確かさと包含係数 $k=2$ から決定されたもので、約 95%の信頼の水準を持つと推定される区間を定めたものである。

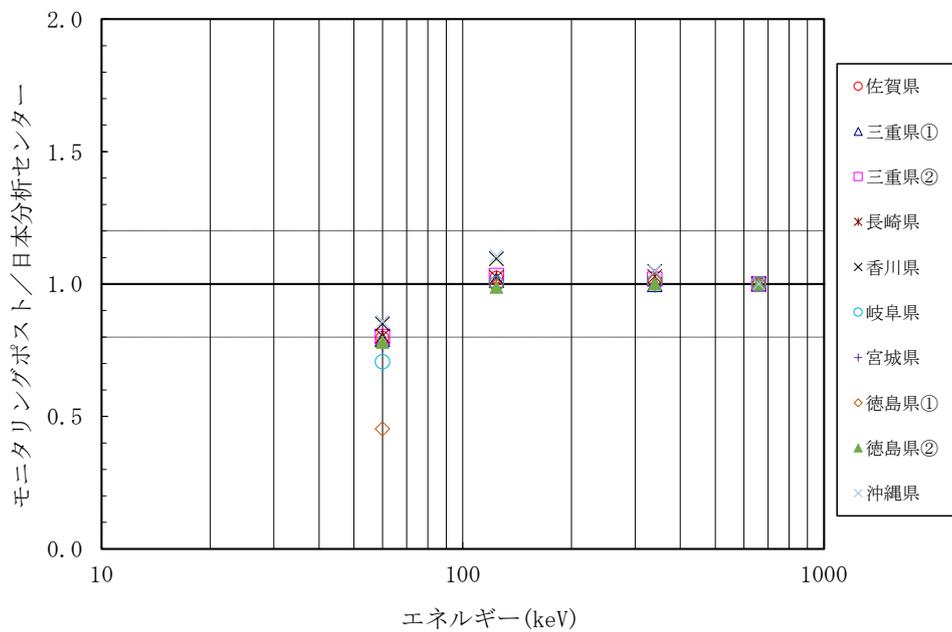
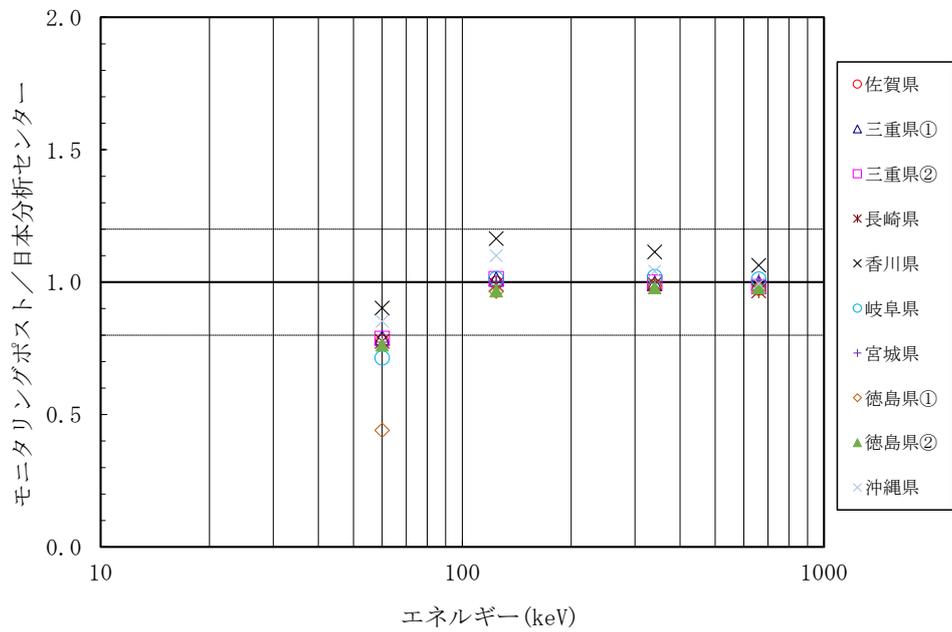


図 4-3-1(1) 測定結果比較図（上）及びエネルギー特性図*（下）
（環境放射能水準調査用モニタリングポスト（NaI モニタ））

*エネルギー特性図は、 ^{137}Cs の比較値で規格化した。

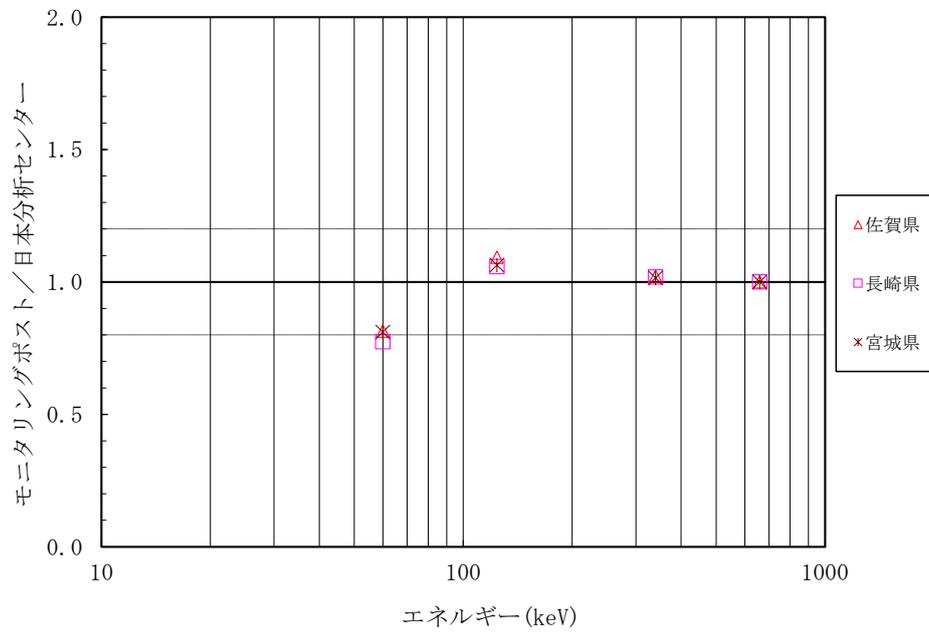
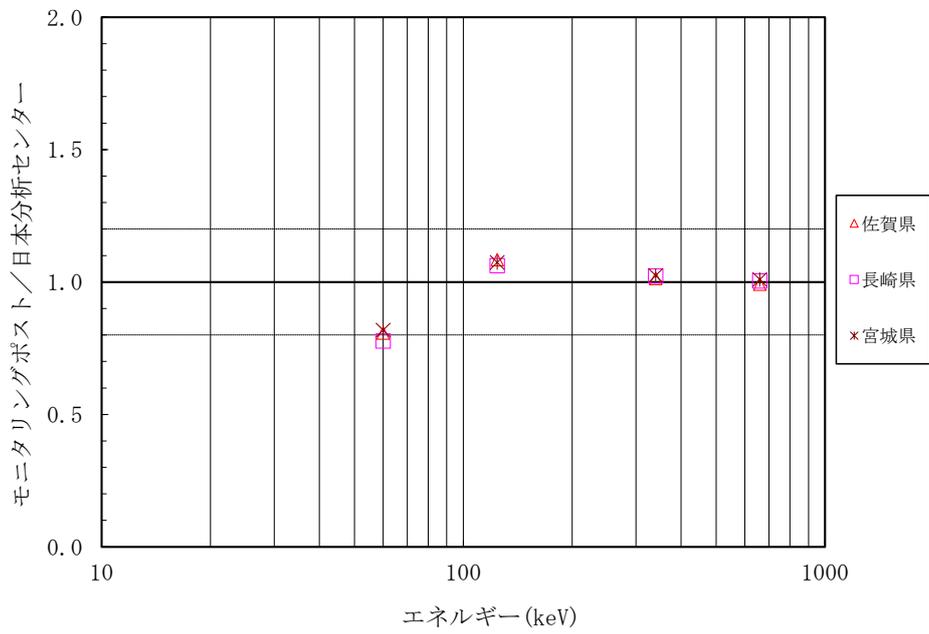


図 4-3-1(2) 測定結果比較図（上）及びエネルギー特性図*（下）
（放射線監視等交付金事業用モニタリングポスト（NaI モニタ））

*エネルギー特性図は、 ^{137}Cs の比較値で規格化した。

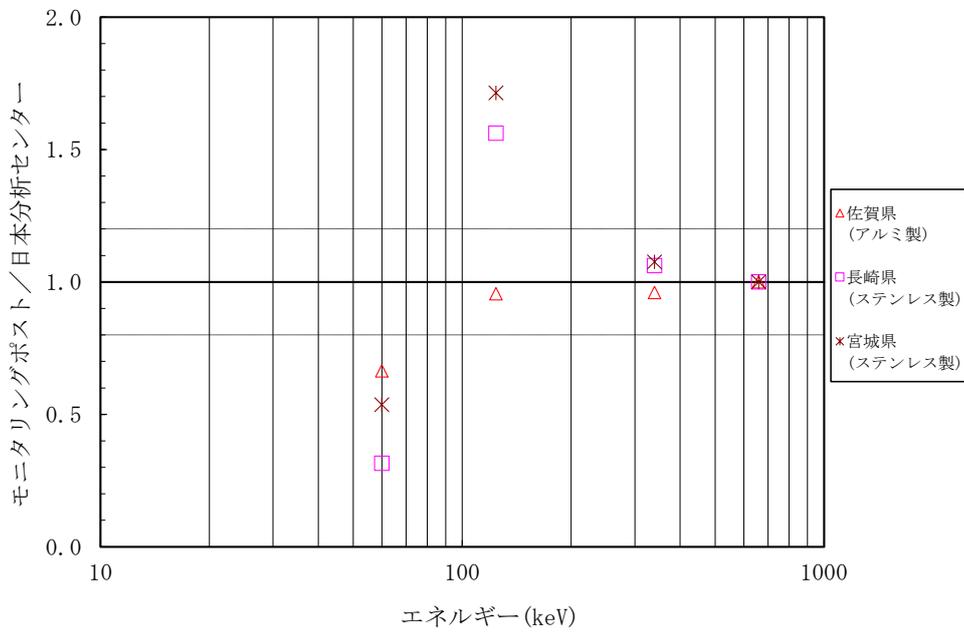
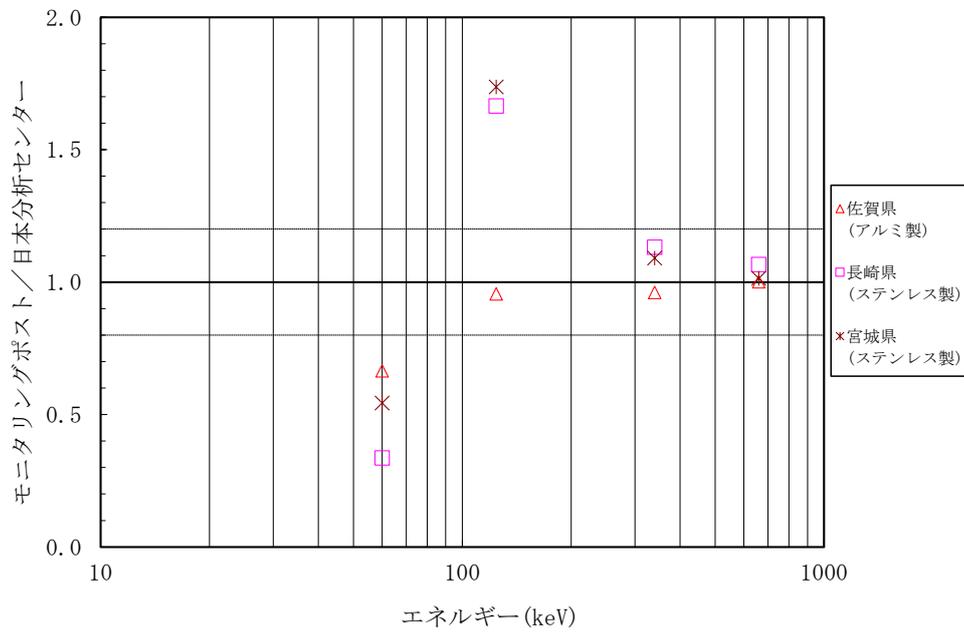


図 4-3-1(3) 測定結果比較図（上）及びエネルギー特性図*（下）
（放射線監視等交付金事業用モニタリングポスト（電離箱モニタ））

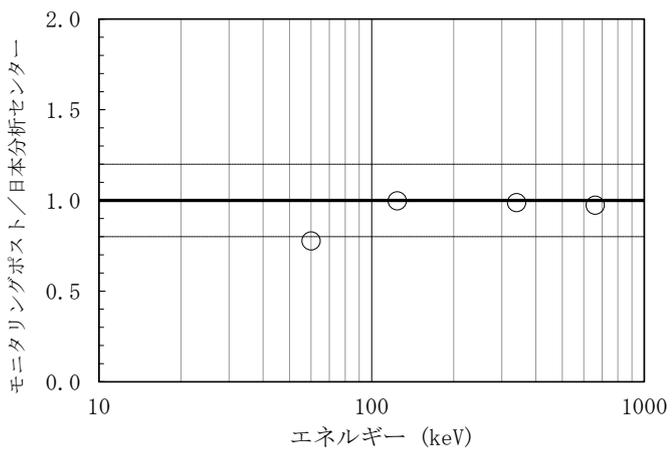
*エネルギー特性図は、 ^{137}Cs の比較値で規格化した。

表 4-3-4(1) エネルギー特性試験結果
(佐賀市 佐賀県環境センター (NaI モニタ))

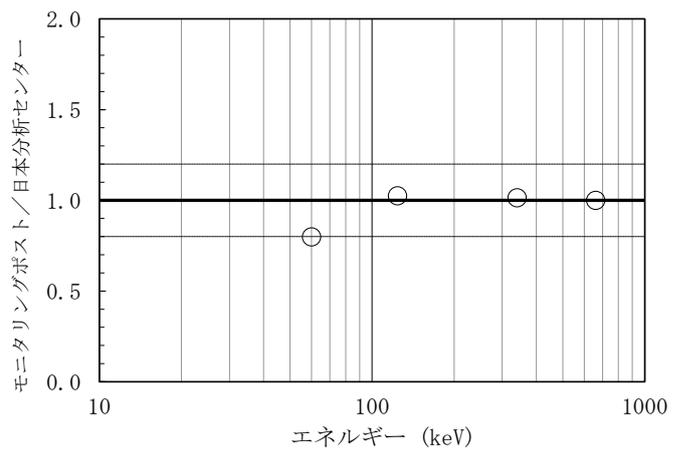
核種	実効 エネルギー (keV)	モニタリング ポスト (μ Gy/h)	日本分析 センター (μ Gy/h)	比較値* ¹	エネルギー* ² 特性
²⁴¹ Am	60	0.0449	0.0577	0.78	0.80
⁵⁷ Co	124	0.0964	0.0965	1.00	1.02
¹³³ Ba	340	0.329	0.333	0.99	1.01
¹³⁷ Cs	660	0.760	0.780	0.97	1.00

*¹ モニタリングポスト/日本分析センター

*² ¹³⁷Cs の比較値で規格化した



測定結果比較図



エネルギー特性図

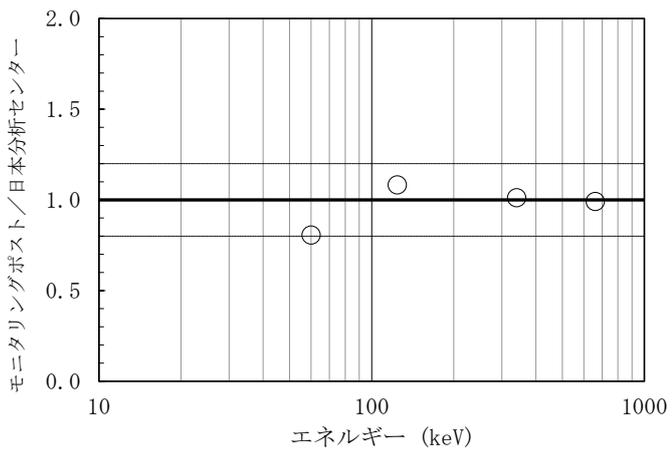
図 4-3-2(1) 測定結果比較図 (左) 及びエネルギー特性図 (右)

表 4-3-4(2) エネルギー特性試験結果
(玄海町 平尾 (NaI モニタ))

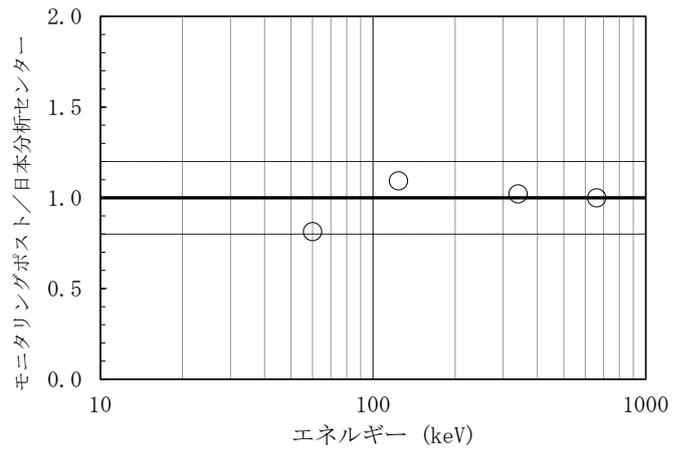
核種	実効 エネルギー (keV)	モニタリング ポスト (μ Gy/h)	日本分析 センター (μ Gy/h)	比較値* ¹	エネルギー* ² 特性
²⁴¹ Am	60	0.0465	0.0577	0.81	0.81
⁵⁷ Co	124	0.104	0.0963	1.08	1.09
¹³³ Ba	340	0.337	0.333	1.01	1.02
¹³⁷ Cs	660	0.773	0.780	0.99	1.00

*¹ モニタリングポスト／日本分析センター

*² ¹³⁷Cs の比較値で規格化した



測定結果比較図



エネルギー特性図

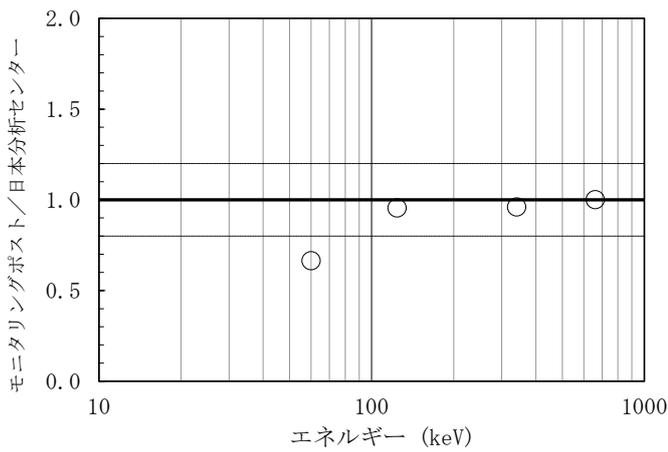
図 4-3-2(2) 測定結果比較図 (左) 及びエネルギー特性図 (右)

表 4-3-4(3) エネルギー特性試験結果
(玄海町 平尾 (電離箱モニタ))

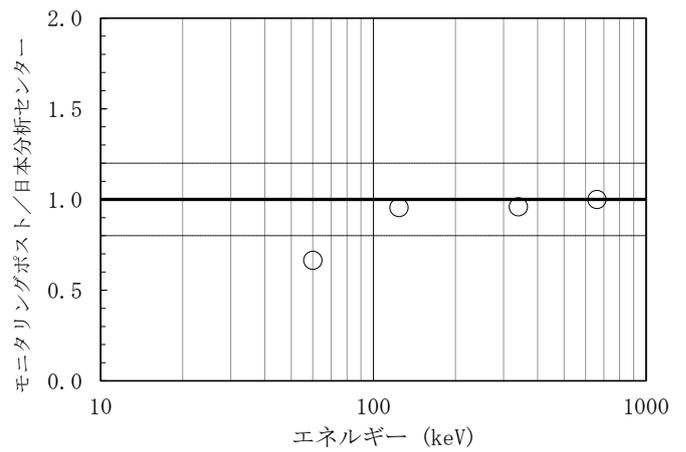
核種	実効 エネルギー (keV)	モニタリング ポスト (μ Gy/h)	日本分析 センター (μ Gy/h)	比較値*1	エネルギー*2 特性
^{241}Am	60	0.0383	0.0577	0.66	0.66
^{57}Co	124	0.0920	0.0963	0.96	0.95
^{133}Ba	340	0.320	0.333	0.96	0.96
^{137}Cs	660	0.780	0.780	1.00	1.00

*1 モニタリングポスト/日本分析センター

*2 ^{137}Cs の比較値で規格化した



測定結果比較図



エネルギー特性図

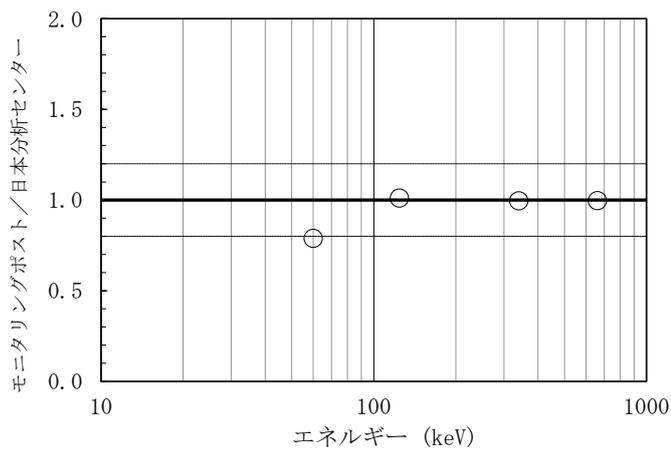
図 4-3-2(3) 測定結果比較図 (左) 及びエネルギー特性図 (右)

表 4-3-4(4) エネルギー特性試験結果
(伊賀市 伊賀庁舎 (NaI モニタ))

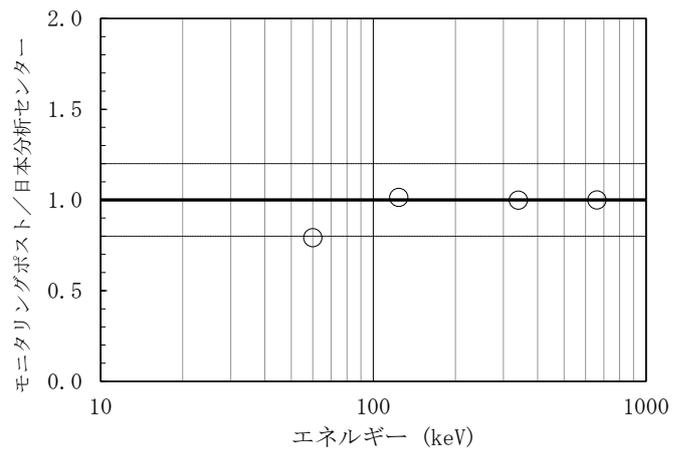
核種	実効 エネルギー (keV)	モニタリング ポスト (μ Gy/h)	日本分析 センター (μ Gy/h)	比較値*1	エネルギー*2 特性
^{241}Am	60	0.0455	0.0577	0.79	0.79
^{57}Co	124	0.0909	0.0899	1.01	1.01
^{133}Ba	340	0.330	0.331	1.00	1.00
^{137}Cs	660	0.776	0.779	1.00	1.00

*1 モニタリングポスト／日本分析センター

*2 ^{137}Cs の比較値で規格化した



測定結果比較図



エネルギー特性図

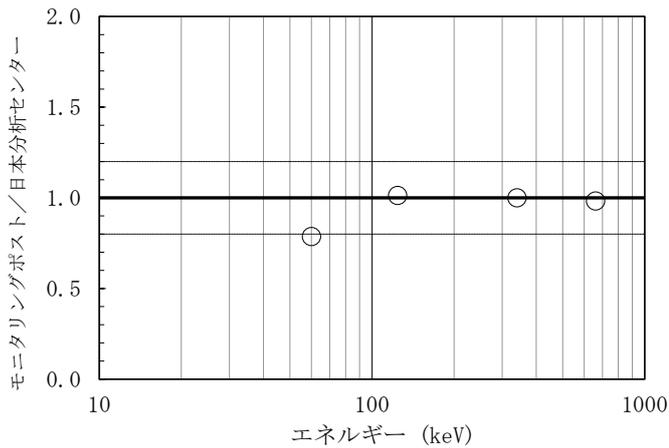
図 4-3-2(4) 測定結果比較図 (左) 及びエネルギー特性図 (右)

表 4-3-4(5) エネルギー特性試験結果
 (四日市市 県保健環境研究所 (NaI モニタ))

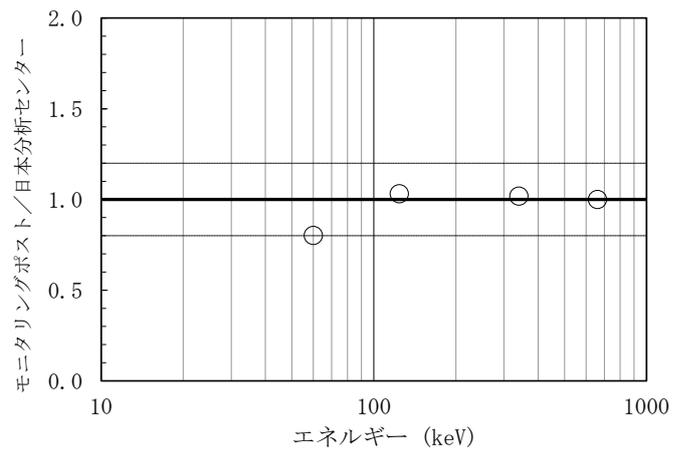
核種	実効 エネルギー (keV)	モニタリング ポスト (μ Gy/h)	日本分析 センター (μ Gy/h)	比較値*1	エネルギー*2 特性
^{241}Am	60	0.0454	0.0577	0.79	0.80
^{57}Co	124	0.0909	0.0897	1.01	1.03
^{133}Ba	340	0.331	0.331	1.00	1.02
^{137}Cs	660	0.765	0.779	0.98	1.00

*1 モニタリングポスト／日本分析センター

*2 ^{137}Cs の比較値で規格化した



測定結果比較図



エネルギー特性図

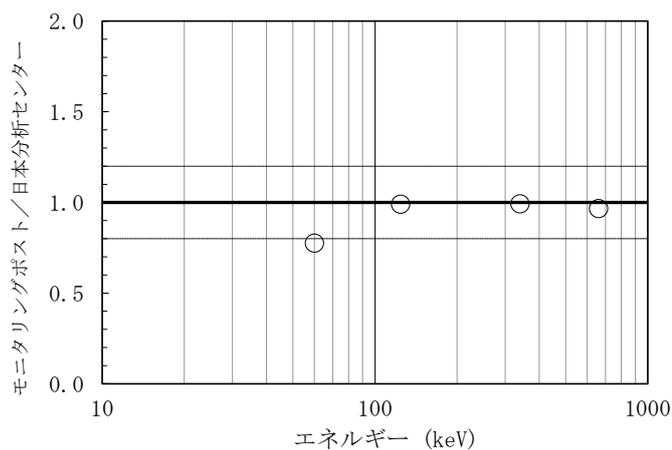
図 4-3-2(5) 測定結果比較図 (左) 及びエネルギー特性図 (右)

表 4-3-4(6) エネルギー特性試験結果
(平戸市 長崎県県北保健所 (NaI モニタ))

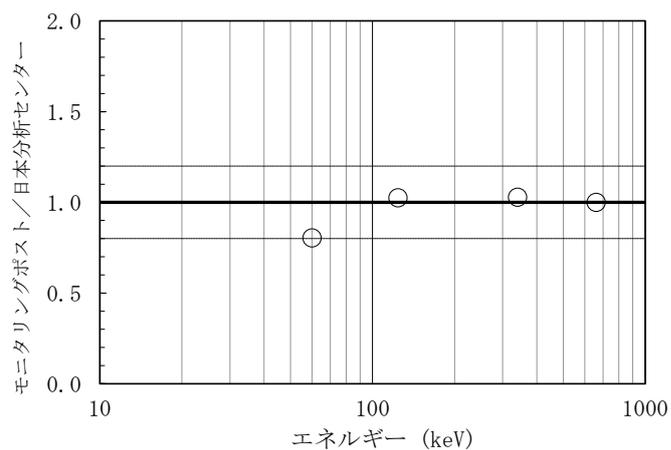
核種	実効 エネルギー (keV)	モニタリング ポスト (μ Gy/h)	日本分析 センター (μ Gy/h)	比較値*1	エネルギー*2 特性
^{241}Am	60	0.0486	0.0626	0.78	0.80
^{57}Co	124	0.0930	0.0939	0.99	1.03
^{133}Ba	340	0.356	0.359	0.99	1.03
^{137}Cs	660	1.835	1.899	0.97	1.00

*1 モニタリングポスト／日本分析センター

*2 ^{137}Cs の比較値で規格化した



測定結果比較図



エネルギー特性図

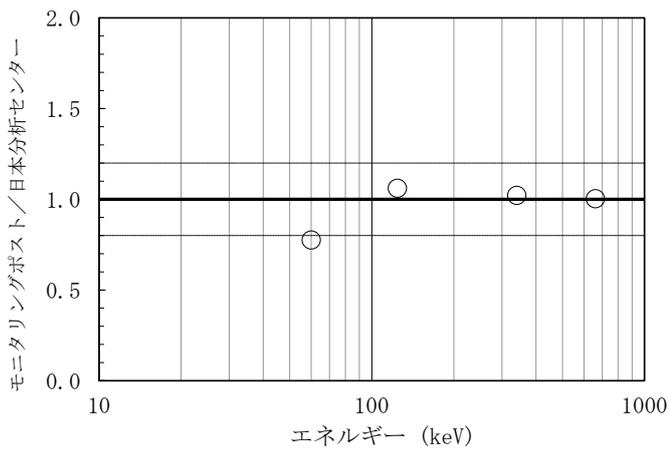
図 4-3-2(6) 測定結果比較図 (左) 及びエネルギー特性図 (右)

表 4-3-4(7) エネルギー特性試験結果
(佐世保市 江迎 (NaI モニタ))

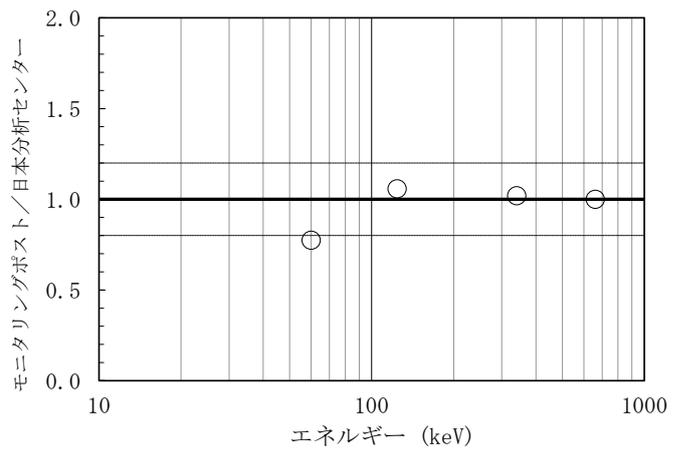
核種	実効 エネルギー (keV)	モニタリング ポスト (μ Gy/h)	日本分析 センター (μ Gy/h)	比較値*1	エネルギー*2 特性
^{241}Am	60	0.0448	0.0577	0.78	0.77
^{57}Co	124	0.0916	0.0863	1.06	1.06
^{133}Ba	340	0.338	0.330	1.02	1.02
^{137}Cs	660	0.781	0.778	1.00	1.00

*1 モニタリングポスト／日本分析センター

*2 ^{137}Cs の比較値で規格化した



測定結果比較図



エネルギー特性図

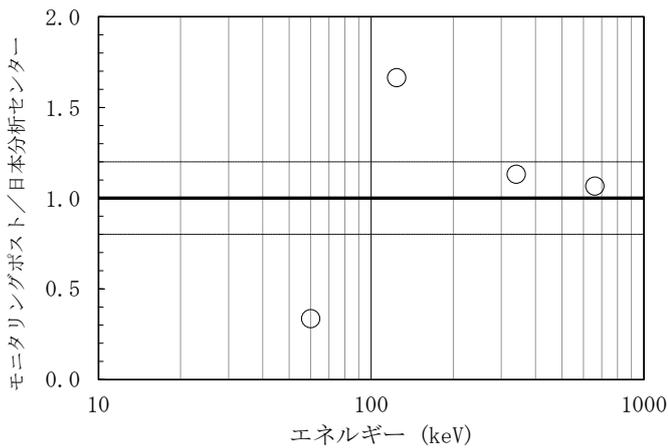
図 4-3-2(7) 測定結果比較図 (左) 及びエネルギー特性図 (右)

表 4-3-4(8) エネルギー特性試験結果
(佐世保市 江迎 (電離箱モニタ))

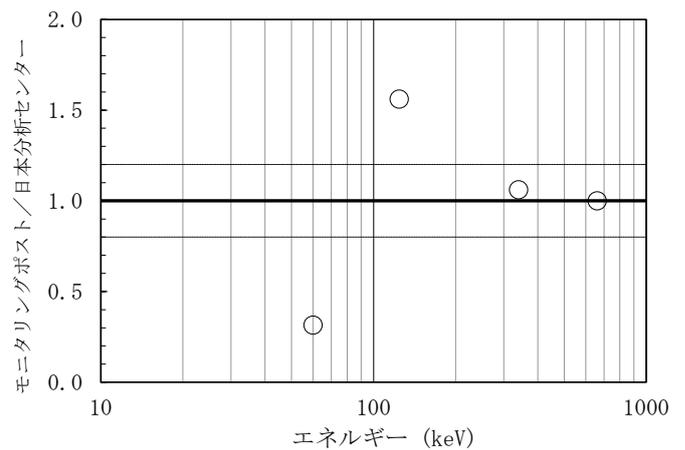
核種	実効 エネルギー (keV)	モニタリング ポスト (μ Gy/h)	日本分析 センター (μ Gy/h)	比較値*1	エネルギー*2 特性
^{241}Am	60	0.0194	0.0577	0.34	0.31
^{57}Co	124	0.144	0.0863	1.66	1.56
^{133}Ba	340	0.374	0.330	1.13	1.06
^{137}Cs	660	0.829	0.778	1.07	1.00

*1 モニタリングポスト/日本分析センター

*2 ^{137}Cs の比較値で規格化した



測定結果比較図



エネルギー特性図

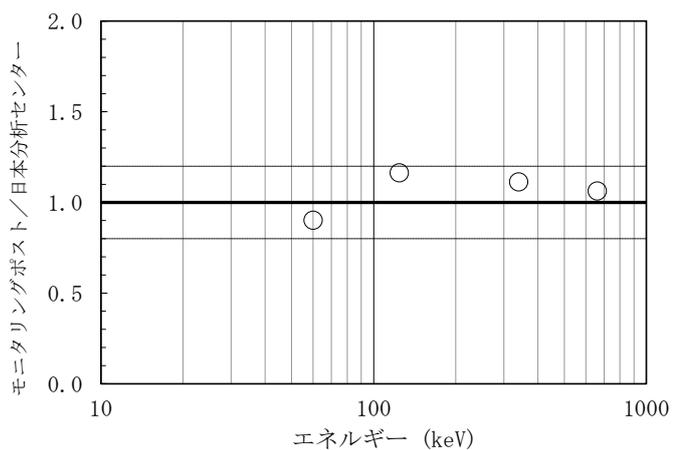
図 4-3-2(8) 測定結果比較図 (左) 及びエネルギー特性図 (右)

表 4-3-4(9) エネルギー特性試験結果
(丸亀市 中讃保健福祉事務所 (NaI モニタ))

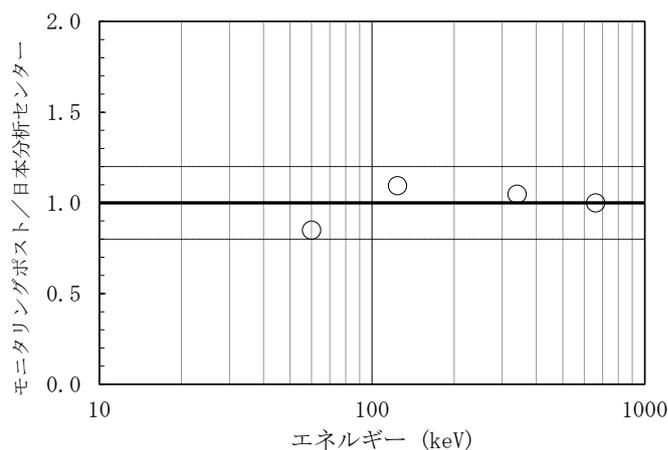
核種	実効 エネルギー (keV)	モニタリング ポスト (μ Gy/h)	日本分析 センター (μ Gy/h)	比較値*1	エネルギー*2 特性
^{241}Am	60	0.0520	0.0577	0.90	0.85
^{57}Co	124	0.0955	0.0820	1.16	1.09
^{133}Ba	340	0.367	0.329	1.11	1.05
^{137}Cs	660	0.826	0.777	1.06	1.00

*1 モニタリングポスト／日本分析センター

*2 ^{137}Cs の比較値で規格化した



測定結果比較図



エネルギー特性図

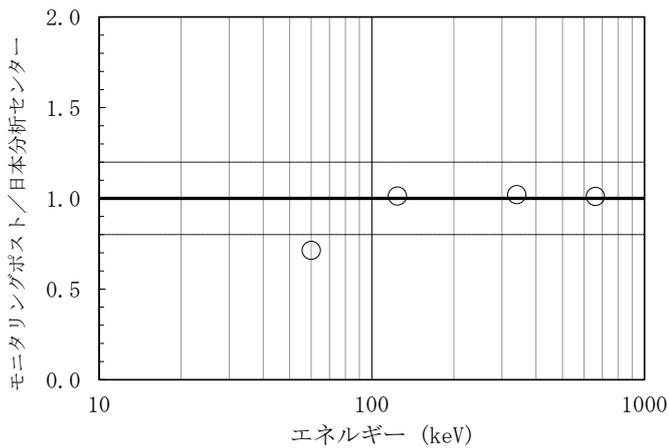
図 4-3-2(9) 測定結果比較図 (左) 及びエネルギー特性図 (右)

表 4-3-4(10) エネルギー特性試験結果
(大垣市 西濃総合庁舎 (NaI モニタ))

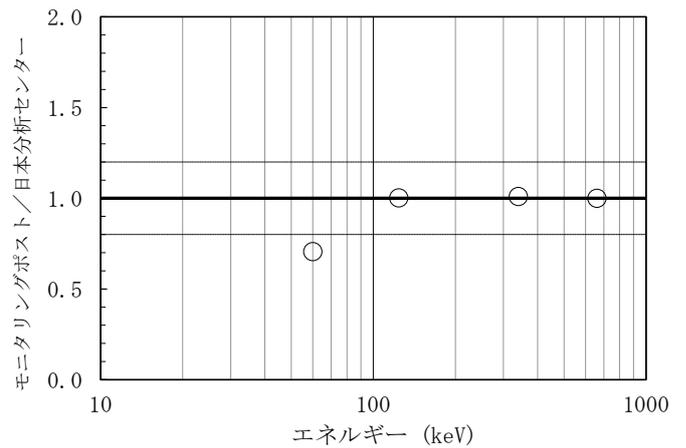
核種	実効 エネルギー (keV)	モニタリング ポスト (μ Gy/h)	日本分析 センター (μ Gy/h)	比較値* ¹	エネルギー* ² 特性
²⁴¹ Am	60	0.0412	0.0576	0.71	0.71
⁵⁷ Co	124	0.141	0.139	1.01	1.00
¹³³ Ba	340	0.331	0.324	1.02	1.01
¹³⁷ Cs	660	0.782	0.772	1.01	1.00

*¹ モニタリングポスト／日本分析センター

*² ¹³⁷Cs の比較値で規格化した



測定結果比較図



エネルギー特性図

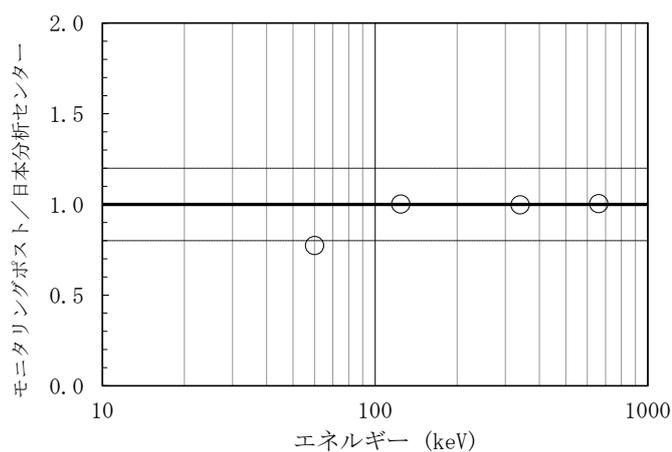
図 4-3-2(10) 測定結果比較図 (左) 及びエネルギー特性図 (右)

表 4-3-4(11) エネルギー特性試験結果
 (仙台市 県環境放射線監視センター (NaI モニタ))

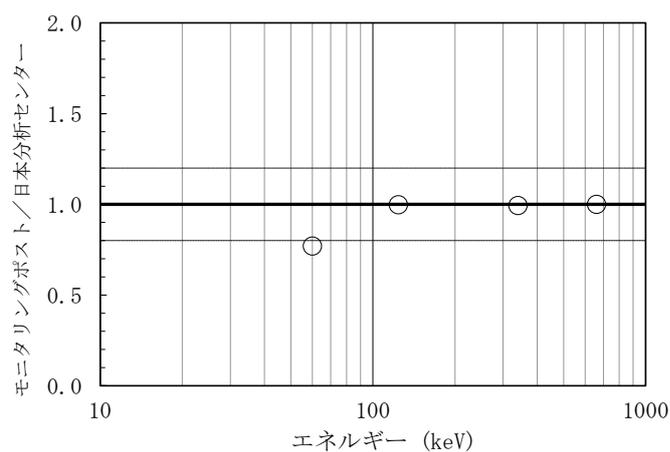
核種	実効 エネルギー (keV)	モニタリング ポスト (μ Gy/h)	日本分析 センター (μ Gy/h)	比較値* ¹	エネルギー* ² 特性
²⁴¹ Am	60	0.0446	0.0576	0.77	0.77
⁵⁷ Co	124	0.132	0.132	1.00	1.00
¹³³ Ba	340	0.322	0.323	1.00	0.99
¹³⁷ Cs	660	0.775	0.771	1.01	1.00

*¹ モニタリングポスト/日本分析センター

*² ¹³⁷Cs の比較値で規格化した



測定結果比較図



エネルギー特性図

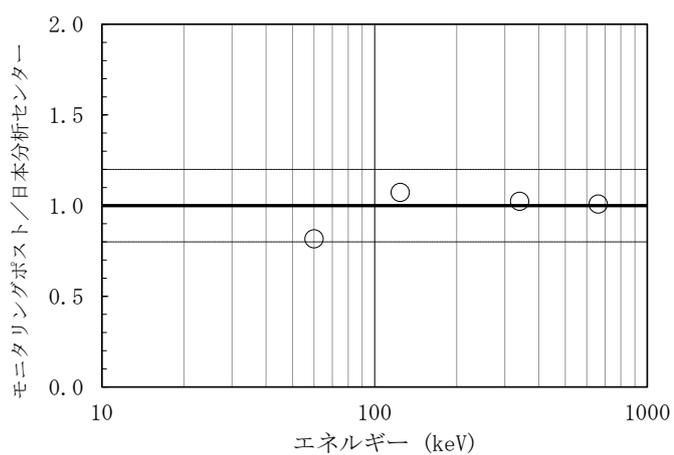
図 4-3-2(11) 測定結果比較図 (左) 及びエネルギー特性図 (右)

表 4-3-4(12) エネルギー特性試験結果
(石巻市 鮫浦 (NaI モニタ))

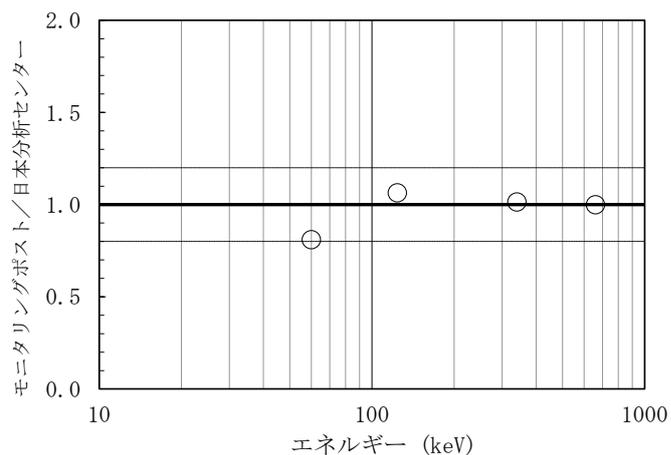
核種	実効 エネルギー (keV)	モニタリング ポスト (μ Gy/h)	日本分析 センター (μ Gy/h)	比較値*1	エネルギー*2 特性
^{241}Am	60	0.0471	0.0576	0.82	0.81
^{57}Co	124	0.141	0.131	1.07	1.06
^{133}Ba	340	0.330	0.323	1.02	1.01
^{137}Cs	660	0.779	0.771	1.01	1.00

*1 モニタリングポスト／日本分析センター

*2 ^{137}Cs の比較値で規格化した



測定結果比較図



エネルギー特性図

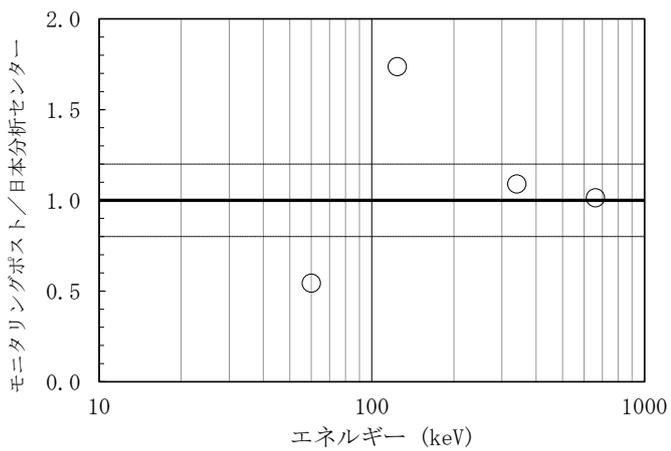
図 4-3-2(12) 測定結果比較図 (左) 及びエネルギー特性図 (右)

表 4-3-4(13) エネルギー特性試験結果
(石巻市 鮫浦 (電離箱モニタ))

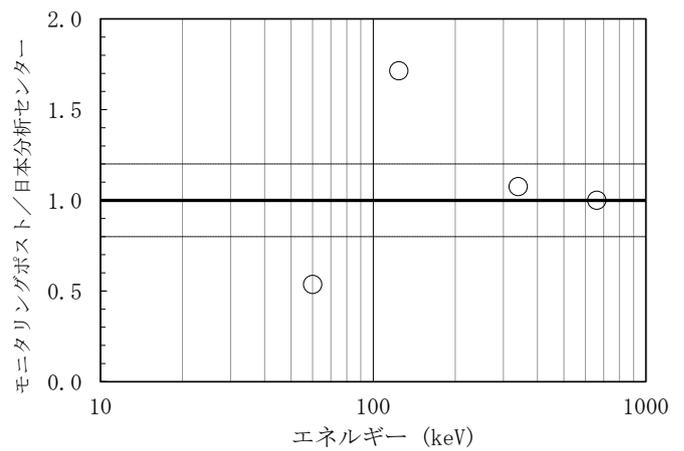
核種	実効 エネルギー (keV)	モニタリング ポスト (μ Gy/h)	日本分析 センター (μ Gy/h)	比較値*1	エネルギー*2 特性
^{241}Am	60	0.0313	0.0576	0.54	0.54
^{57}Co	124	0.228	0.131	1.74	1.71
^{133}Ba	340	0.352	0.323	1.09	1.08
^{137}Cs	660	0.782	0.771	1.01	1.00

*1 モニタリングポスト／日本分析センター

*2 ^{137}Cs の比較値で規格化した



測定結果比較図



エネルギー特性図

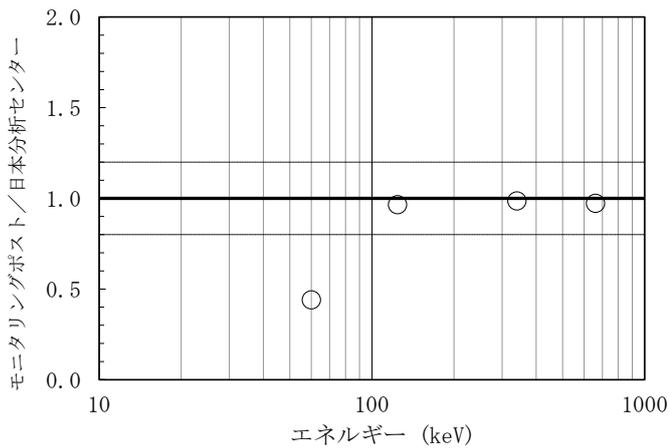
図 4-3-2(13) 測定結果比較図 (左) 及びエネルギー特性図 (右)

表 4-3-4(14) エネルギー特性試験結果
(三好市 池田総合体育館 (NaI モニタ))

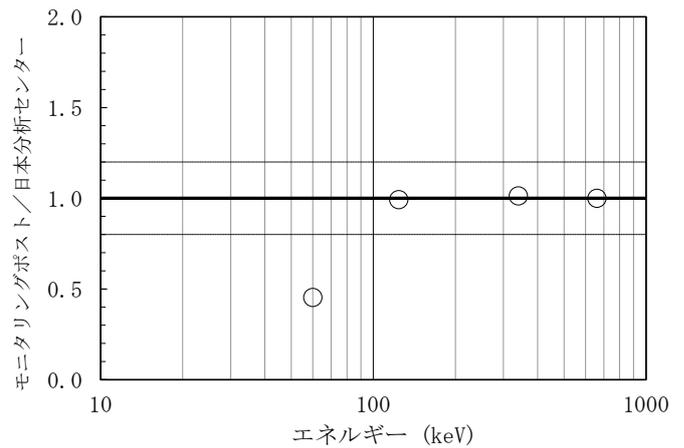
核種	実効 エネルギー (keV)	モニタリング ポスト (μ Gy/h)	日本分析 センター (μ Gy/h)	比較値*1	エネルギー*2 特性
^{241}Am	60	0.0254	0.0576	0.44	0.45
^{57}Co	124	0.121	0.125	0.97	0.99
^{133}Ba	340	0.317	0.322	0.99	1.01
^{137}Cs	660	0.750	0.770	0.97	1.00

*1 モニタリングポスト／日本分析センター

*2 ^{137}Cs の比較値で規格化した



測定結果比較図



エネルギー特性図

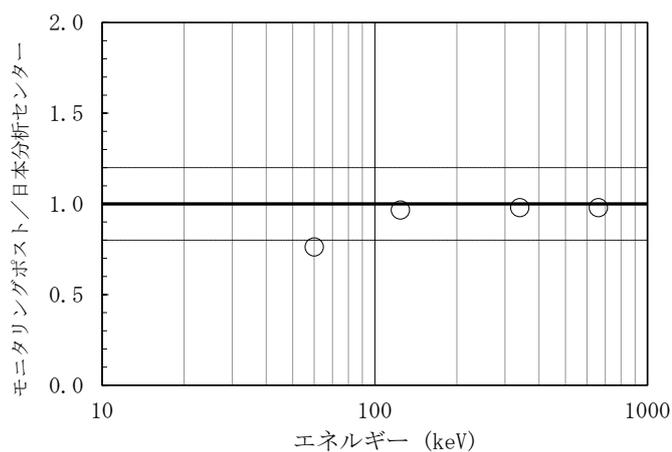
図 4-3-2(14) 測定結果比較図 (左) 及びエネルギー特性図 (右)

表 4-3-4(15) エネルギー特性試験結果
(徳島市 徳島保健所 (NaI モニタ))

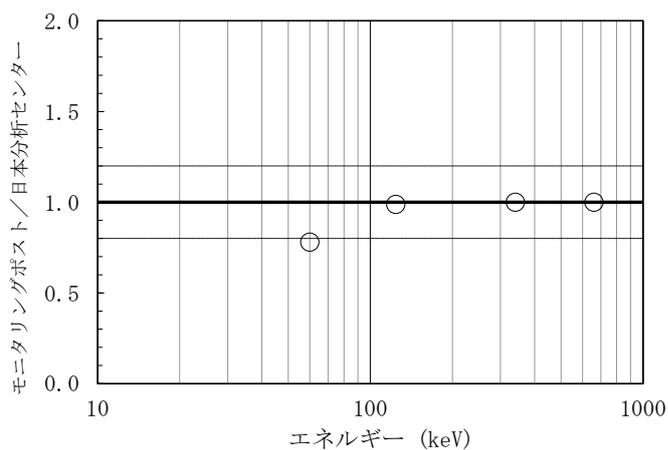
核種	実効 エネルギー (keV)	モニタリング ポスト (μ Gy/h)	日本分析 センター (μ Gy/h)	比較値* ¹	エネルギー* ² 特性
²⁴¹ Am	60	0.0440	0.0576	0.76	0.78
⁵⁷ Co	124	0.120	0.124	0.97	0.99
¹³³ Ba	340	0.315	0.321	0.98	1.00
¹³⁷ Cs	660	0.754	0.770	0.98	1.00

*¹ モニタリングポスト／日本分析センター

*² ¹³⁷Cs の比較値で規格化した



測定結果比較図



エネルギー特性図

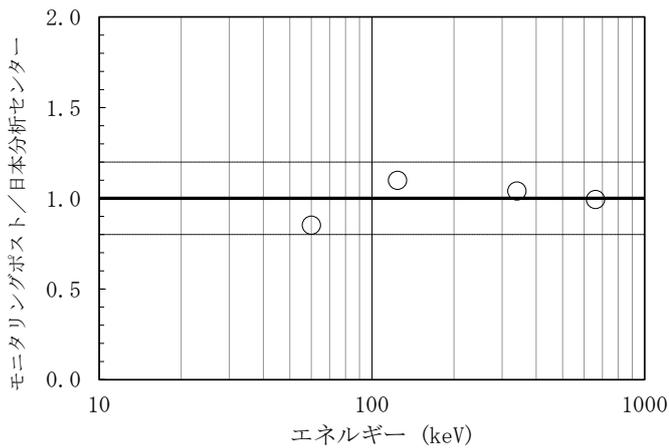
図 4-3-2(15) 測定結果比較図 (左) 及びエネルギー特性図 (右)

表 4-3-4(16) エネルギー特性試験結果
(那覇市 沖縄県庁 (NaI モニタ))

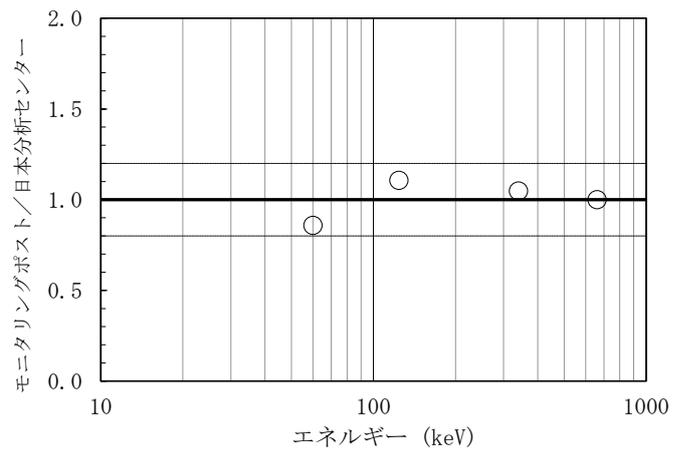
核種	実効 エネルギー (keV)	モニタリング ポスト (μ Gy/h)	日本分析 センター (μ Gy/h)	比較値* ¹	エネルギー* ² 特性
²⁴¹ Am	60	0.0545	0.0639	0.85	0.86
⁵⁷ Co	124	0.147	0.134	1.10	1.11
¹³³ Ba	340	0.370	0.355	1.04	1.05
¹³⁷ Cs	660	1.907	1.919	0.99	1.00

*¹ モニタリングポスト／日本分析センター

*² ¹³⁷Cs の比較値で規格化した



測定結果比較図



エネルギー特性図

図 4-3-2(16) 測定結果比較図 (左) 及びエネルギー特性図 (右)

表 4-3-5 環境場測定法 比較測定結果

自治体	地点名	検出器 種類	[A] モニタリングポスト 測定値*1 (nGy/h)	[B] NaI(Tl) スペクトロメータ 測定結果からの比較換算値*2 (nGy/h)	[A] / [B]
佐賀県	佐賀市 佐賀県環境センター	NaI	48.8 ± 1.2	47.4	1.03
三重県	伊賀市 伊賀庁舎	NaI	64.2 ± 1.3	61.5	1.04
長崎県	平戸市 長崎県北保健所	NaI	40.9 ± 1.0	39.7	1.03
香川県	丸亀市 中讃保健福祉事務所	NaI	54.6 ± 1.9	56.9	0.96
岐阜県	下呂市 下呂総合庁舎	NaI	84.0 ± 2.1	81.3	1.03
宮城県	仙台市 県環境放射線監視センター	NaI	36.5 ± 0.9	35.5	1.03
徳島県	三好市 池田総合体育館	NaI	54.6 ± 1.4	55.0	0.99
沖縄県	那覇市 沖縄県庁	NaI	42.7 ± 1.1	41.3	1.03

*1 環境場測定法実施時間内の全データの平均値と標準偏差

*2 宇宙線寄与線量率及びセルドーズ寄与分を評価し、3軸の荷重平均値から差し引き、更にモニタリングポストの同寄与線量率を含めて推定した値

比較換算値 = 3軸の荷重平均値 - (NaI(Tl) スペクトロメータ：宇宙線寄与+セルドーズ)

+ (モニタリングポスト：宇宙線寄与+セルドーズ)

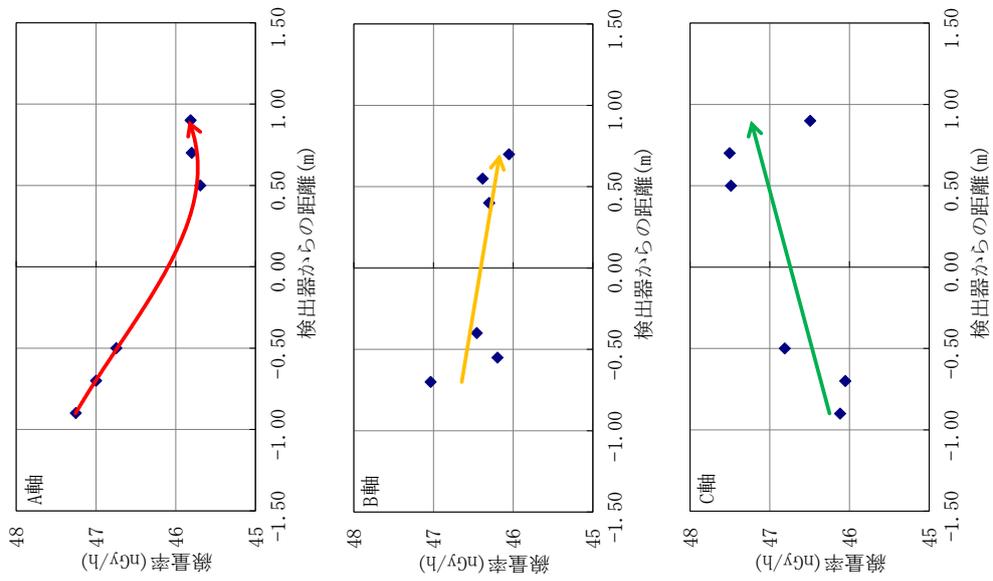
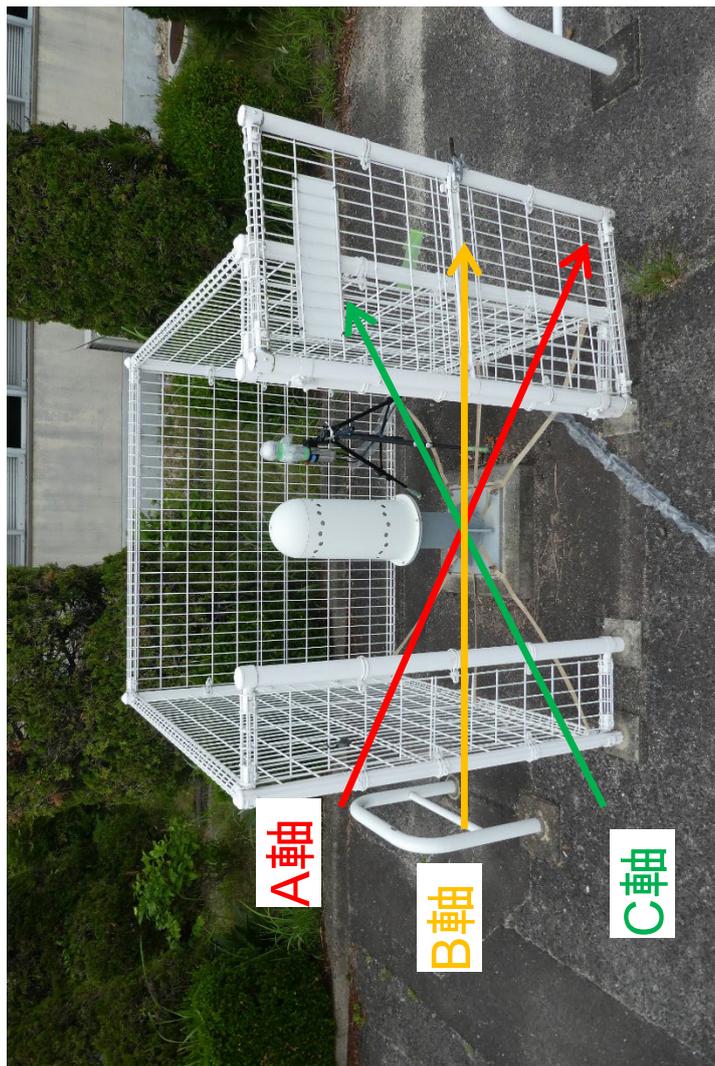


図 4-3-3(1) 環境場測定法 測定軸及び各軸の環境 γ 線量率分布図
(佐賀市 佐賀県環境センター (佐賀県))

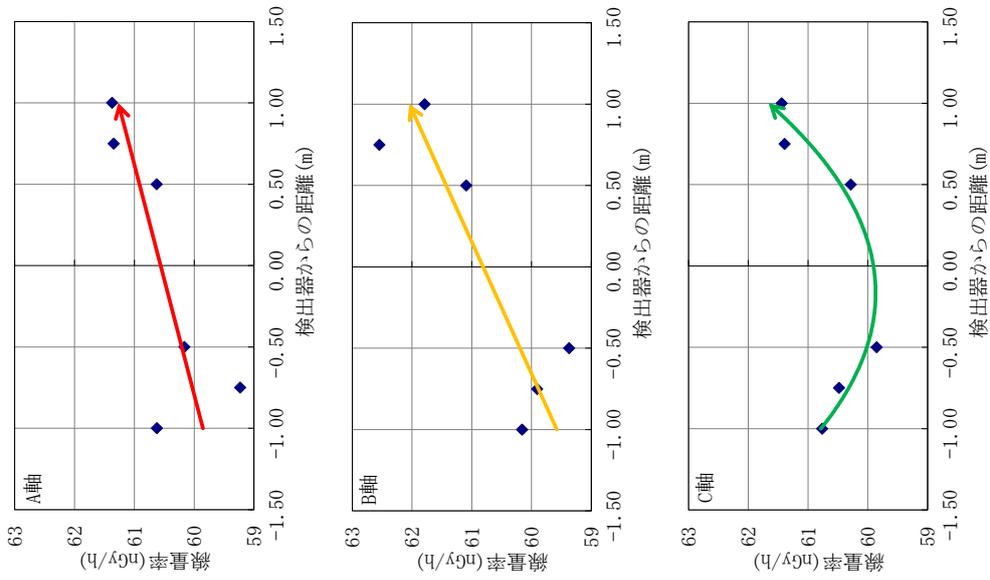
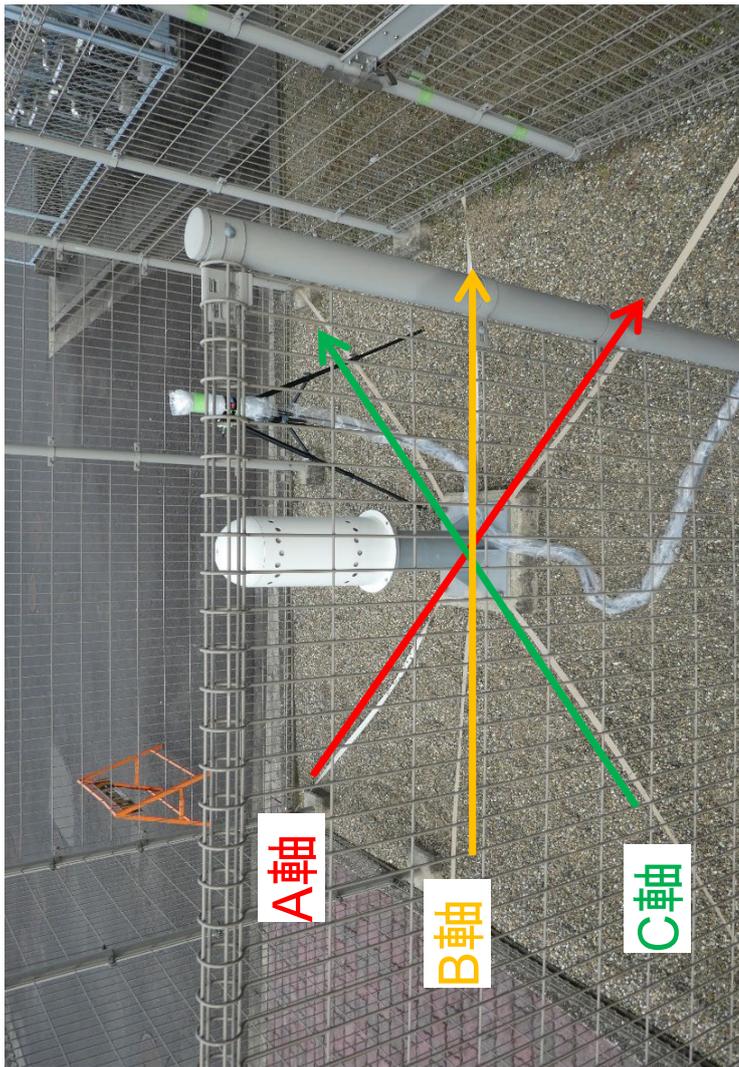


図 4-3-3(2) 環境場測定法 測定軸及び各軸の環境 γ 線量率分布図

(伊賀市 伊賀庁舎 (三重県))

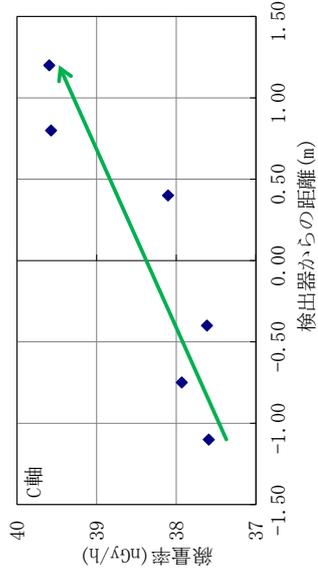
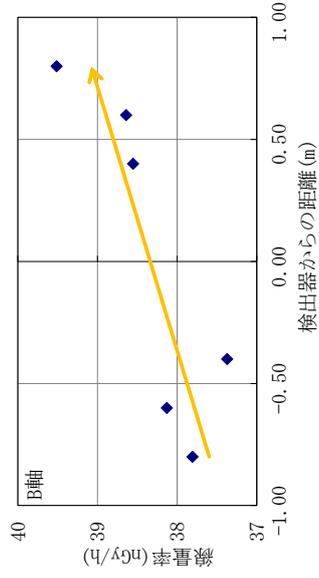
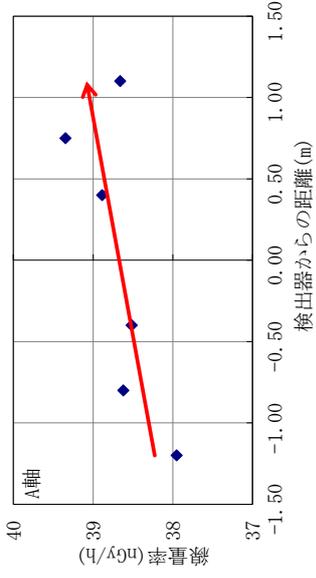
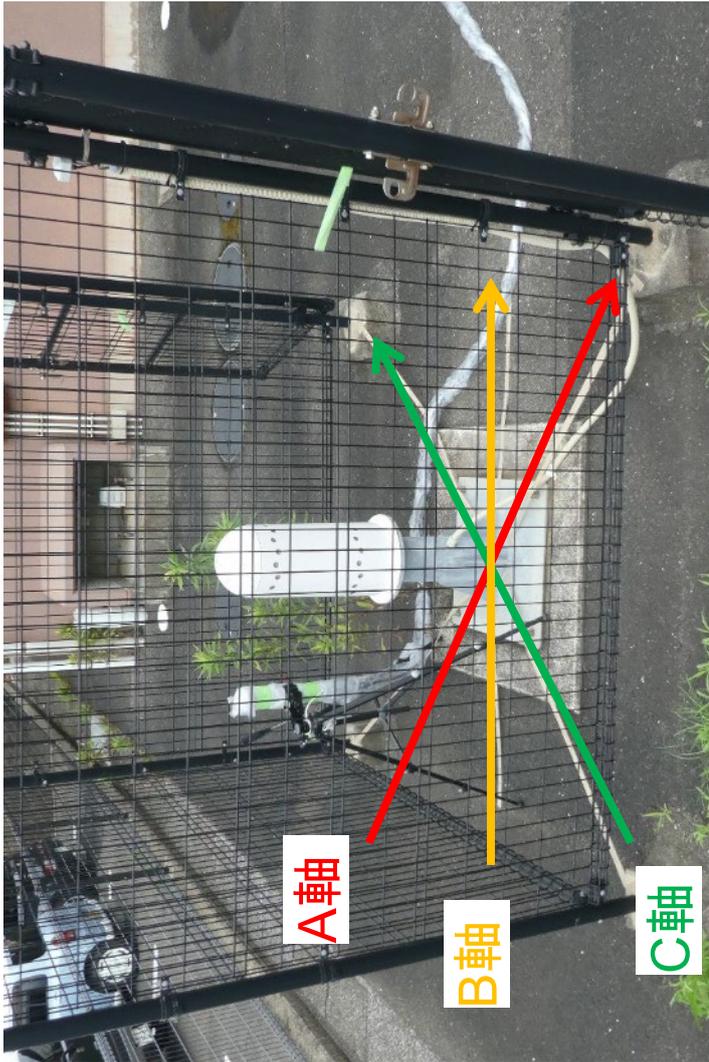


図 4-3-3(3) 環境場測定法 測定軸及び各軸の環境γ線量率分布図
(平戸市 長崎県北保健所 (長崎県))

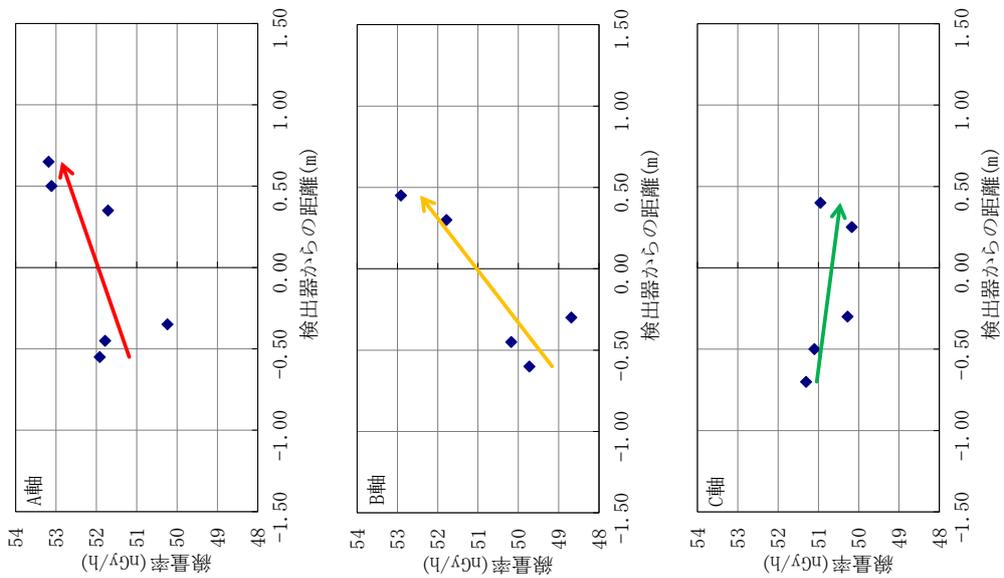
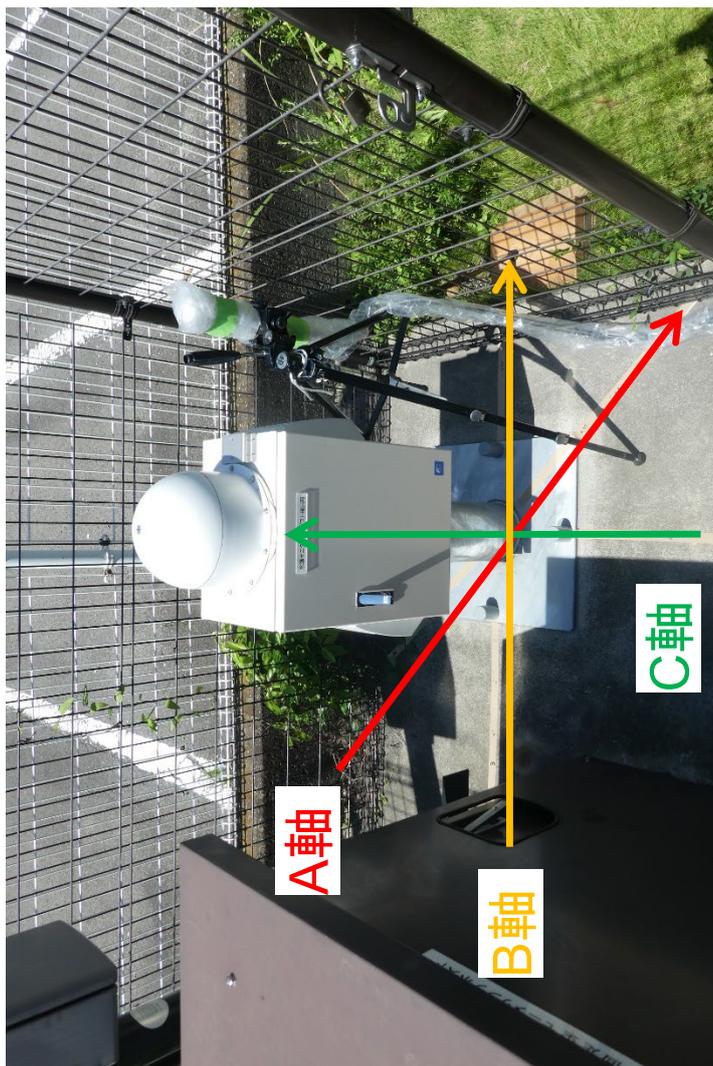


図 4-3-3 (4) 環境場測定法 測定軸及び各軸の環境 γ 線量率分布図

(丸亀市 中讃保健福祉事務所 (香川県))

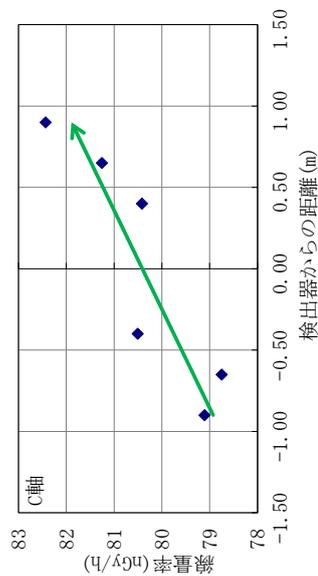
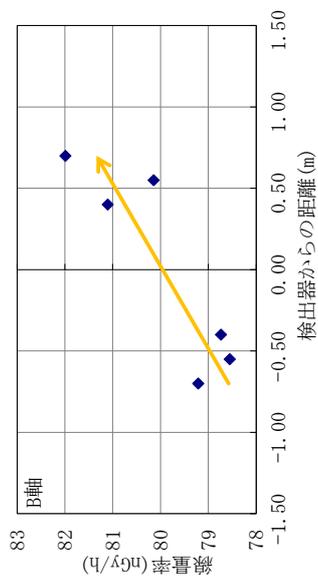
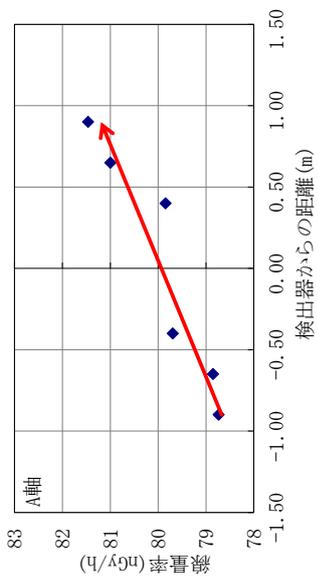
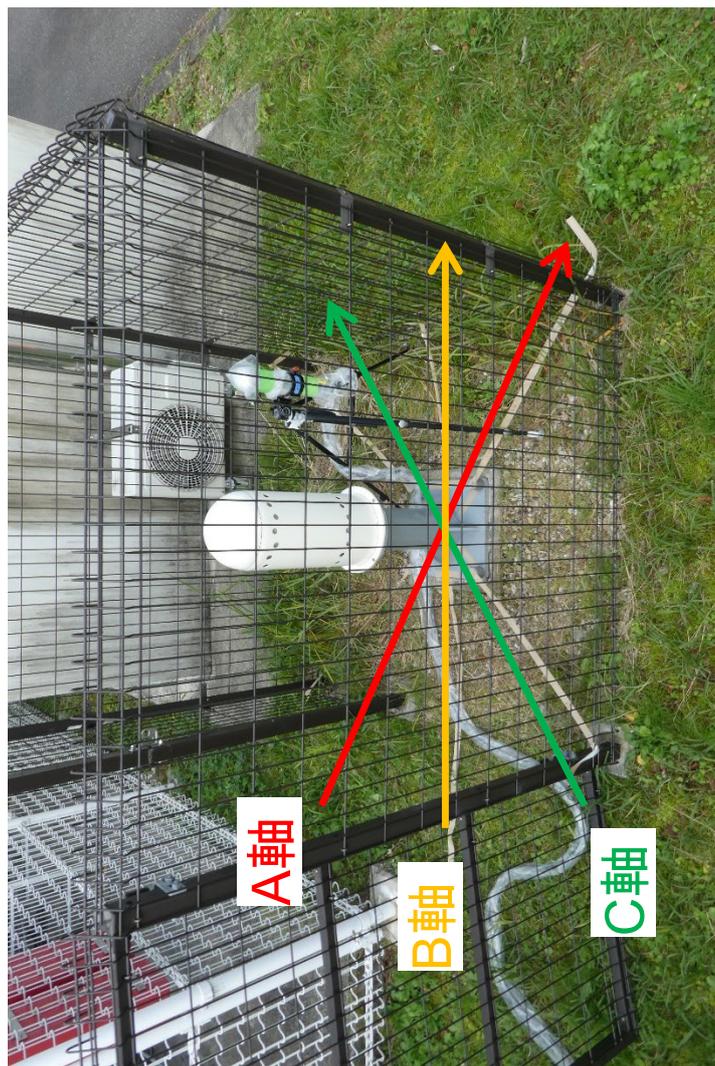


図 4-3-3(5) 環境場測定法 測定軸及び各軸の環境γ線量率分布図
(下呂市 下呂総合庁舎 (岐阜県))

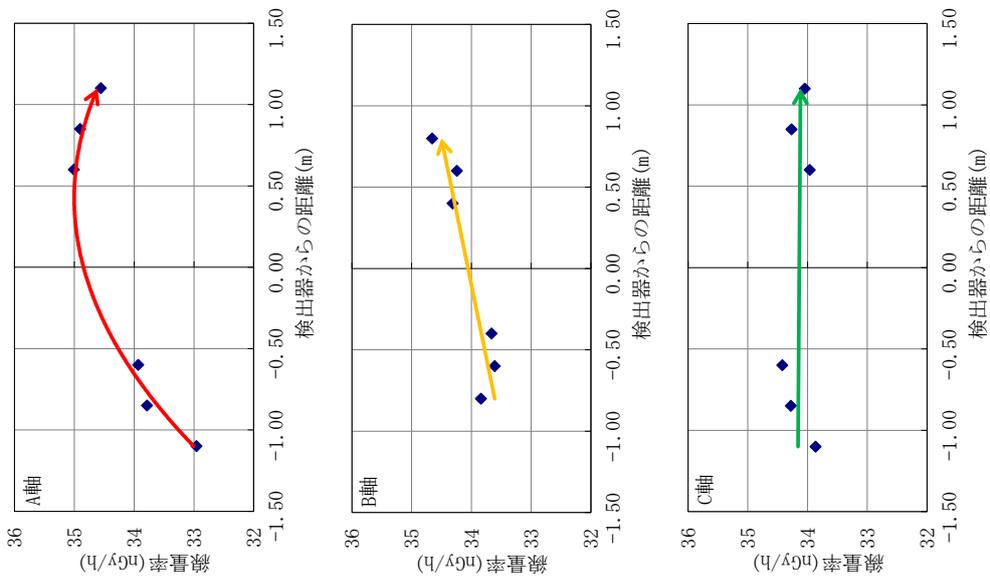
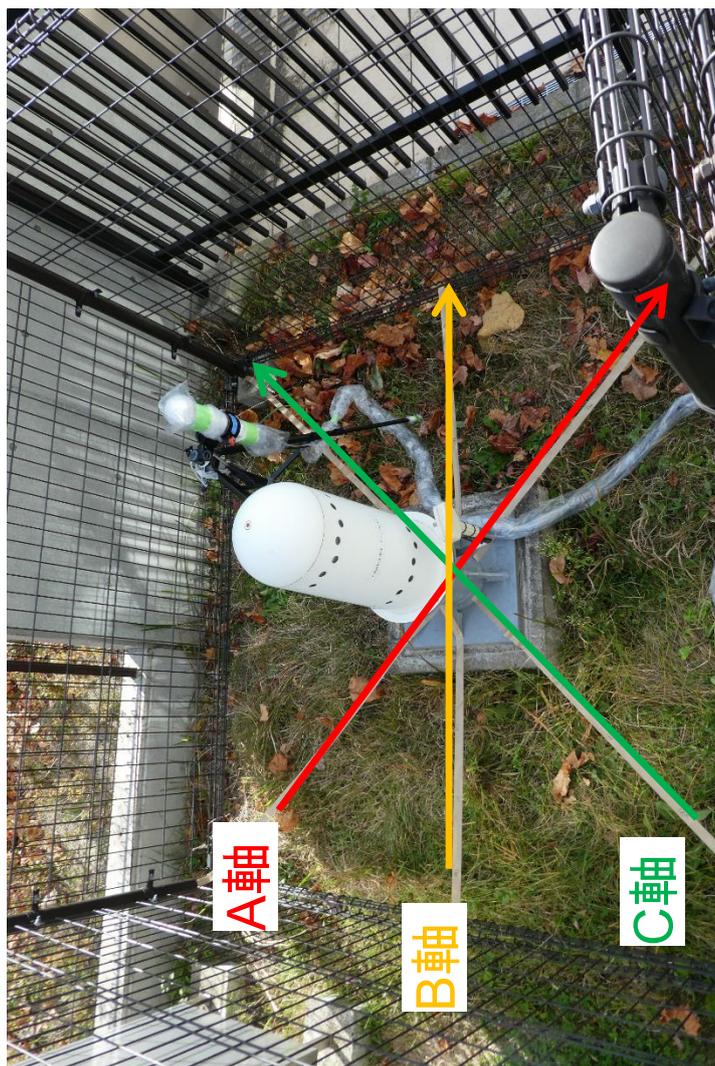


図 4-3-3(6) 環境場測定法 測定軸及び各軸の環境γ線量率分布図
(仙台市 県環境放射線監視センター (宮城県))

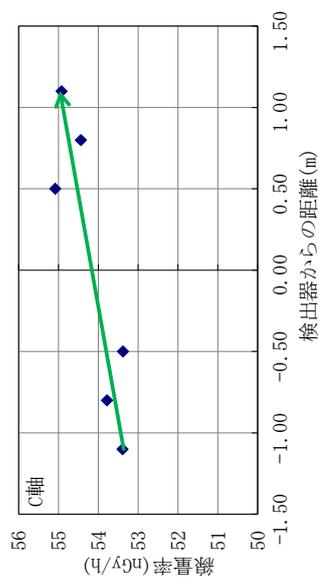
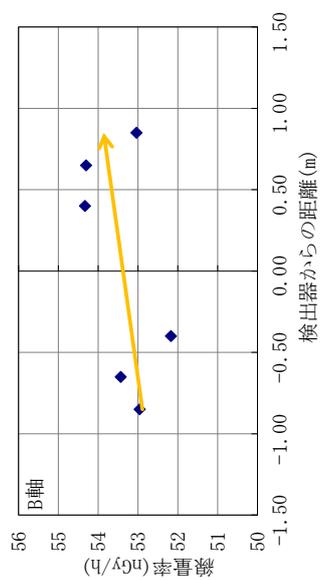
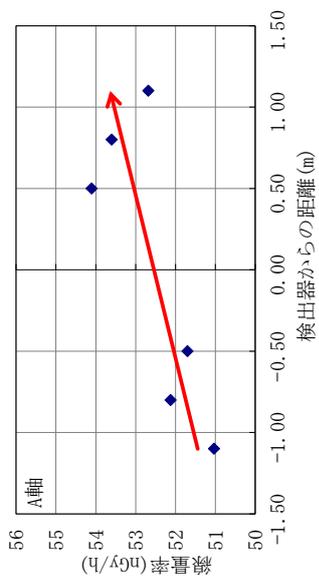
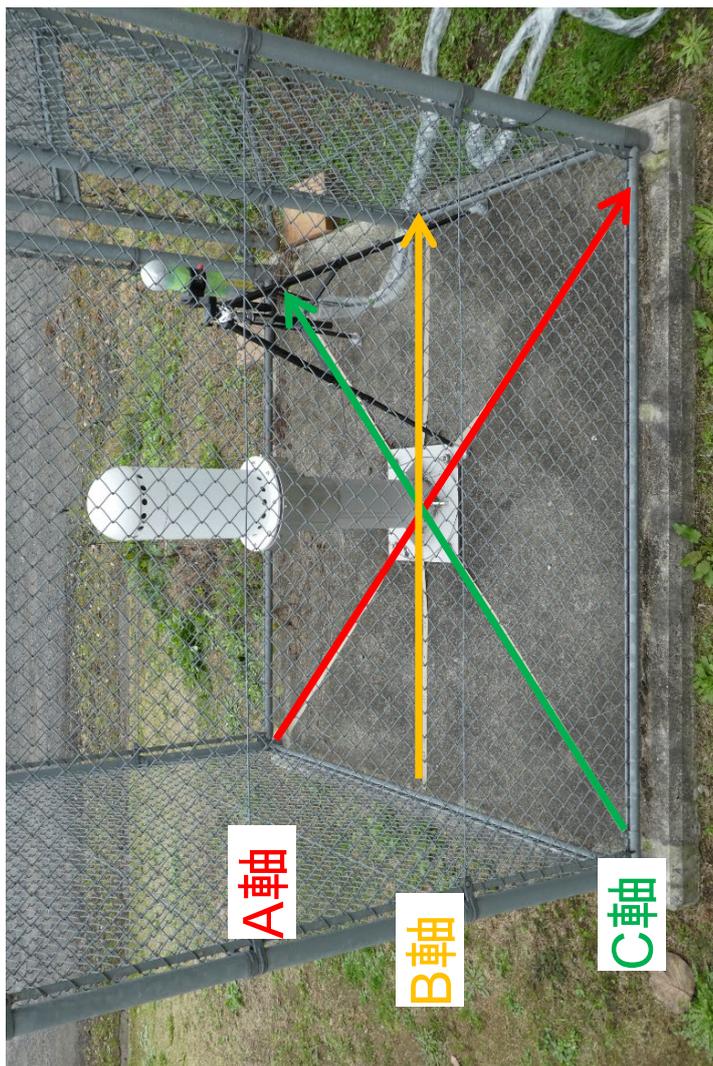


図 4-3-3(7) 環境場測定法 測定軸及び各軸の環境γ線量率分布図

(三好市 池田総合体育館 (徳島県))

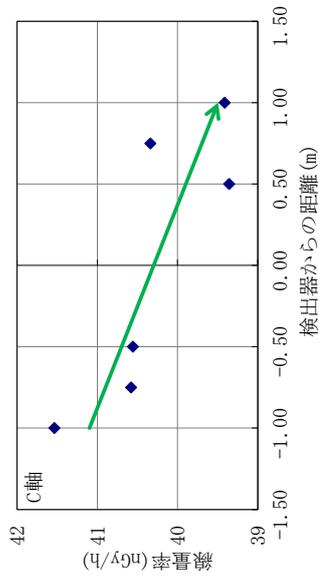
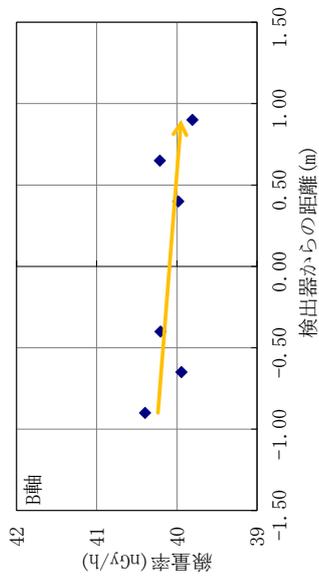
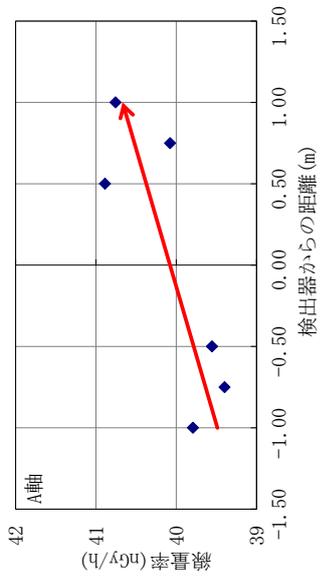
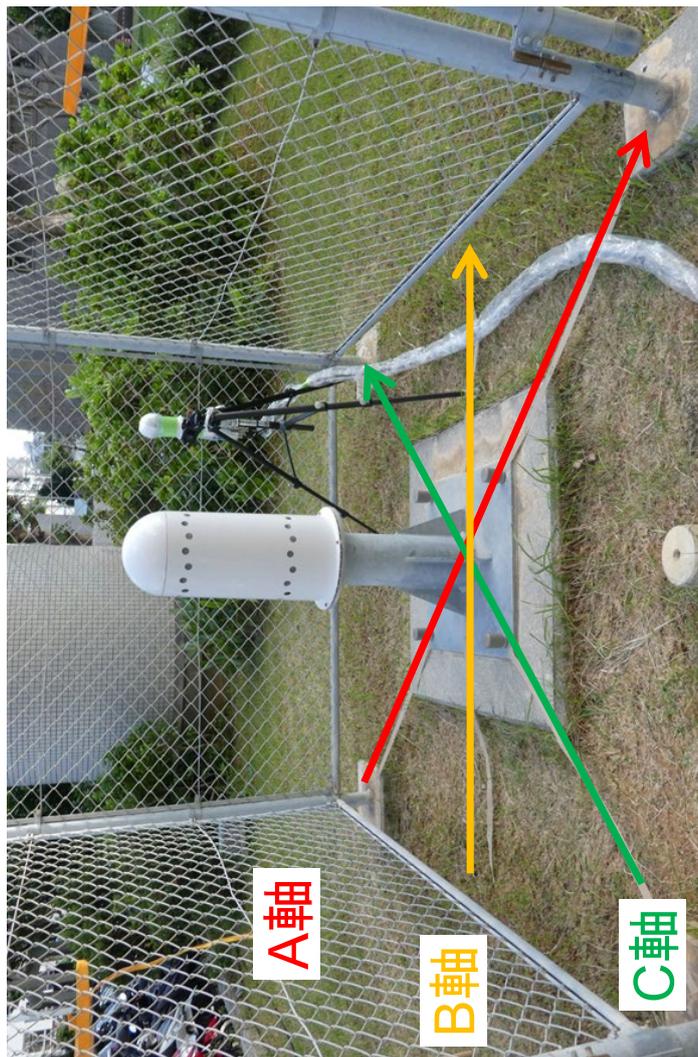


図 4-3-3(8) 環境場測定法 測定軸及び各軸の環境γ線量率分布図
(那覇市 沖繩県庁 (沖繩県))

表 4-3-6 核種組成確認測定試験結果
(仙台市 県環境放射線監視センター (宮城県))

測定地点	ウラン系列		トリウム系列		⁴⁰ K		¹³⁴ Cs		¹³⁷ Cs	
	線量率 nGy/h	組成比率 %	線量率 nGy/h	組成比率 %	線量率 nGy/h	組成比率 %	線量率 nGy/h	組成比率 %	線量率 nGy/h	組成比率 %
1	27.0	16.5	7.09	26.3	11.6	43.1	0.33	1.2	3.45	12.8
2	32.0	18.9	9.05	28.3	12.4	38.7	0.45	1.4	4.04	12.6
3	42.0	29.8	17.3	41.1	11.5	27.3	0.00	0.0	0.74	1.8
平均	33.6	22.8	11.1	33.1	11.8	35.2	0.26	0.8	2.74	8.2

* 重量緩衝深度 $\beta = 4.11 \text{ g/cm}^2$ を使用した。



図 4-3-4 Ge 検出器測定地点及び平均の核種組成比率
(仙台市 県環境放射線監視センター (宮城県))

5. 47 都道府県における放射能測定の補助

環境放射能水準調査（放射能測定）事業にて広島県及び栃木県が実施している放射能分析について、ゲルマニウム半導体検出器の故障及び修繕により調査を実施できなくなったため、分析センターで代理測定を行った。測定結果は両県に報告した。

代理測定の対象は以下の4試料である。

試料名			数量
広島県	大気浮遊じん	1月～3月分	1
	降下物	2月分	1
栃木県	降下物	12月分	1
		1月分	1
合計			4

6. 環境放射能水準調査検討委員会

6.1 委員会構成

本調査の実施計画、調査結果等について、審議・助言を受けるため、学識経験者等から構成される委員会を設置した。令和4年度の環境放射能水準調査検討委員会の構成員を表6-1に示す。

表 6-1 環境放射能水準調査検討委員会委員

(敬称略)

委員氏名	所属及び職名
(委員長) 廣瀬 勝己	元 気象研究所
(副委員長) 吉田 聡	公益財団法人環境科学技術研究所 特任相談役 トリチウム研究センター 次長 共創センター 次長
青野 辰雄	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 量子生命・医学部門 放射線医学研究所 福島再生支援研究部 環境動態研究グループ グループリーダー
飯本 武志	東京大学 環境安全本部 教授
近藤 大輔	佐賀県環境センター 所長
古川 雅英	琉球大学 理学部物質地球科学科 地学系 教授
三浦 勉	国立研究開発法人産業技術総合研究所 物質計測標準研究部門 無機標準研究グループ 上級主任研究員
森田 貴己	国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産資源研究所 水産資源研究センター 海洋環境部 放射能調査グループ 主幹研究員
脇谷 雄一郎	公益社団法人日本アイソトープ協会 川崎技術開発センター アイソトープ部研究開発課 課長

6.2 委員会開催日と議題

令和4年度は3回の委員会を開催した。第1回及び第2回委員会はオンライン会議で、第3回委員会は対面会議及びオンライン会議の併用で開催した。以下に、審議した主な内容等を示す。

(1) 令和4年度 第1回環境放射能水準調査検討委員会

1. 日時 令和4年7月5日(火) 9:30~12:00

2. 出席者(敬称略)

委員長	廣瀬 勝己	元 気象研究所
副委員長	吉田 聡	公益財団法人環境科学技術研究所
委員	近藤大輔	佐賀県環境センター
	古川 雅英	琉球大学
	三浦 勉	国立研究開発法人産業技術総合研究所
	森田 貴己	国立研究開発法人水産研究・教育機構
	脇谷 雄一郎	公益社団法人日本アイソトープ協会
委託元	竹本 亮	原子力規制庁監視情報課放射線環境対策室
	佐野 幸一	原子力規制庁監視情報課放射線環境対策室
	須藤 貴史	原子力規制庁監視情報課放射線環境対策室
	田中 宏樹	原子力規制庁監視情報課放射線環境対策室
事務局	磯貝、金子、太田、新田、王、田中、大槻、佐野、檜原、小島、鈴木、日比野、江	

3. 議題

- ① 令和4年度環境放射能水準調査の実施内容について
- ② 環境放射能水準調査委託実施計画書について
- ③ その他

4. 配付資料

- | | |
|----------|-------------------------|
| 水準 1-1 | 令和4年度環境放射能水準調査検討委員会委員名簿 |
| 水準 1-2 | 令和4年度環境放射能水準調査の実施内容 |
| 水準 1-3-1 | 環境放射能水準調査委託実施計画書(令和4年度) |
| 水準 1-3-2 | 環境放射能水準調査の充実化について |

5. 参考資料

環境放射能水準調査における放射性キセノン同位体の測定について

(2) 令和4年度 第2回環境放射能水準調査検討委員会

1. 日時 令和4年12月6日(火) 13:30~15:50

2. 出席者(敬称略)

委員長	廣瀬 勝己	元 気象研究所
副委員長	吉田 聡	公益財団法人環境科学技術研究所
委員	青野 辰雄	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
	飯本 武志	東京大学
	近藤大輔	佐賀県環境センター
	古川 雅英	琉球大学
	三浦 勉	国立研究開発法人産業技術総合研究所
	森田 貴己	国立研究開発法人水産研究・教育機構
	脇谷 雄一郎	公益社団法人日本アイソトープ協会
委託元	竹本 亮	原子力規制庁監視情報課放射線環境対策室
	須藤 貴史	原子力規制庁監視情報課放射線環境対策室
事務局	川原田、磯貝、金子、太田、新田、王、田中、大槻、佐野、 檜原、小島、豊岡、鈴木、日比野、江	

3. 議題

- ① 令和4年度前期分析分の環境試料の放射能分析結果について
- ② 令和4年度前期分析分の大気中放射性希ガス濃度測定結果について
- ③ 試料分割法の改良に関する提案について
- ④ 環境放射能水準調査の充実化のための提案について
- ⑤ その他

4. 配付資料

水準 2-1	令和4年度第1回環境放射能水準調査検討委員会議事録
水準 2-2	令和4年度原子力施設等防災対策等委託費(環境放射能水準調査(放射能分析)事業報告書(速報)(案)
水準 2-3	令和4年度環境放射能水準調査(放射能分析)結果(速報)概要案
水準 2-4	環境放射能水準調査 精度管理業務 試料分割法の改良に関する提案
水準 2-5	環境放射能水準調査の充実化のための提案

5. 参考資料

令和4年度環境放射能水準調査委託実施計画書

(3) 令和4年度 第3回環境放射能水準調査検討委員会

1. 日時 令和5年3月9日(木) 13:30~16:30

2. 出席者(敬称略)

委員長	廣瀬 勝己	元 気象研究所
副委員長	吉田 聡	公益財団法人環境科学技術研究所
委員	青野 辰雄	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
	近藤大輔	佐賀県環境センター
	古川 雅英	琉球大学
	三浦 勉	国立研究開発法人産業技術総合研究所
	森田 貴己	国立研究開発法人水産研究・教育機構
	脇谷 雄一郎	公益社団法人日本アイソトープ協会
委託元	佐野 幸一	原子力規制庁監視情報課放射線環境対策室
	須藤 貴史	原子力規制庁監視情報課放射線環境対策室
事務局	川原田、磯貝、金子、太田、新田、王、田中、大槻、佐野、 檜原、阿部、小島、豊岡、日比野、今野、鈴木、江	

3. 議題

- ① 令和4年度環境放射能水準調査の実施結果について
- ② 環境放射能水準調査の充実化のための提案について
- ③ 環境放射能水準調査委託実施計画書(案)について
- ④ その他

4. 配付資料

水準3-1	令和4年度第2回環境放射能水準調査検討委員会議事録
水準3-2	全ベータ放射能測定結果
水準3-3-1	ガンマ線放出核種の測定結果
水準3-3-2	大気浮遊じんの高感度分析結果(ガンマ線放出核種)
水準3-4	トリチウム分析結果
水準3-5	ストロンチウム90分析結果
水準3-6	プルトニウム分析結果
水準3-7	ヨウ素129分析結果
水準3-8	炭素14分析結果
水準3-9	クリプトン85分析結果
水準3-10	放射性キセノン分析結果
水準3-11-1	環境試料の放射能測定に係る精度管理結果(標準試料法)
水準3-11-2	環境試料の放射能測定に係る精度管理結果(試料分割法)
水準3-11-3	モニタリングポストの測定に係る精度管理結果

- 水準 3-12 福島県下における空間線量の調査結果
- 水準 3-13 精度管理の強化
- 水準 3-14 環境放射能水準調査の充実化のための提案
- 水準 3-15 委託業務報告書 目次案
- 水準 3-16-1 環境放射能水準調査委託実施計画書（案）
- 水準 3-16-2 「環境放射能水準調査委託実施計画書（案）」の変更箇所

7. 都道府県の水準調査担当者を交えた精度管理に関する検討会

都道府県の水準調査担当者を交えた精度管理に関する検討会は、2023年3月10日にWeb会議にて行った。資料については、事前に「環境放射能水準調査Webサイト」へ掲載した。また、会議中に行った分析操作等に関するアンケートの結果について、参考資料4に示す。

検討会の内容を以下に示す。

第1部 令和4年度環境放射能水準調査における精度管理について

1. 概要
2. 標準試料法(γ 線スペクトロメトリー、放射化学分析(^3H 、 ^{90}Sr 、 Pu))
3. 空間線量測定
4. トピックス

第2部 特別講演

放射能分析における標準物質と技能試験の活用

◇国立研究開発法人産業技術総合研究所 三浦 勉 氏

8. 精度管理の強化

8.1 IAEA が実施する技能試験への参加

分析、測定の精度管理の一環として IAEA が実施する技能試験に参加し、国際的な視点において分析技術を客観的に評価し、環境放射能水準調査の精度管理を行った。

(1) 技能試験参加実績

本年度参加した技能試験は次のとおり。

- ① IAEA-TERC-2022-01 World Wide Open Proficiency Test
- ② IAEA-TERC-2022-02 ALMERA Proficiency Test
- ③ IAEA-RML-2022-01 Proficiency Test

(2) 技能試験実施内容

- ① IAEA-TERC-2022-01 World Wide Open Proficiency Test

1) 実施内容

実施内容を表 8-1 に示す。

表 8-1 実施内容

試料番号	試料	対象核種
Sample 1	Spiked water	γ 線放出核種、全 α 、全 β 、Sr-90、Pb-210、Po-210
Sample 2	Spiked water	γ 線放出核種、全 α 、全 β 、H-3、Sr-90、Pb-210、Po-210
Sample 3	Spiked water	γ 線放出核種、全 α 、全 β 、Pu-239
Sample 5	Simulated contaminated surface sample	全 α 、全 β 、Pu-239、Cs-137
Sample 7	Spectrum Analysis Exercise	γ 線放出核種

2) 評価結果

IAEA から分析機関ごとの個別報告書 (Individual Evaluation Report) が送付された。個別報告書については、参考資料 5.1 に示す。この技能試験では、分析結果を正確さ (Accuracy)、精密さ (Precision) について評価し、最終的に総合評価 (Final Score) として、満足は「Accepted」、疑わしいは「Warning」、不満足は「Not accepted」を示している。今回の技能試験では、全ての項目について「Accepted」であった。

② IAEA-TERC-2022-02 ALMERA Proficiency Test

1) 実施内容

実施内容を表 8-2 に示す。

表 8-2 実施内容

試料番号	試料	対象核種
Sample 1	Spiked water	γ 線放出核種、全 α 、全 β 、Sr-90、Pb-210、Po-210
Sample 2	Spiked water	γ 線放出核種、全 α 、全 β 、H-3、Sr-90、Pb-210、Po-210
Sample 3	Spiked water	γ 線放出核種、全 α 、全 β 、Pu-239
Sample 5	Simulated contaminated surface sample	全 α 、全 β 、Pu-239、Cs-137
Sample 7	Spectrum Analysis Exercise	γ 線放出核種

2) 評価結果

IAEA から分析機関ごとの個別報告書 (Individual Evaluation Report) が送付された。個別報告書については、参考資料 5.2 に示す。この技能試験では、分析結果を正確さ (Accuracy)、精密さ (Precision) について評価し、最終的に総合評価 (Final Score) として、満足は「Accepted」、疑わしいは「Warning」、不満足は「Not accepted」を示している。今回の技能試験では、全ての項目について「Accepted」であった。

③ IAEA-RML-2022-01 Proficiency Test

1) 実施内容

実施内容を表 8-3 に示す。

表 8-3 実施内容

試料	対象核種
Sea water	H-3、Sr-90、Cs-134、Cs-137、未知の γ 線核種 (Na-22)

2) 評価結果

IAEA から分析機関ごとの個別報告書 (Individual Evaluation Report) が送付された。個別報告書については、参考資料 5.3 に示す。この技能試験では、分析結果を正確さ (Accuracy)、精密さ (Precision)、真度 (Trueness) について評価し、最終的に総合評価 (Final Score) として、満足は「Accepted」、疑わしいは「Warning」、不満足は「Not accepted」が示される。今回の技能試験では、全ての項目について「Accepted」であった。

8.2 IAEA-ALMERA 年次会合の参加

IAEA ALMERA が主催する 18th Coordination Meeting に参加した。

(1) 開催期間

2022 年 11 月 22 日～11 月 25 日 (4 日間)

(2) 内容

- 2022 年技能試験解析結果の報告
- 分析法の開発の現状と今後の計画
- 機関の活動報告

(3) 開催方式

ハイブリッド方式

9. 環境放射能水準調査の充実化のための提案

ALPS 処理水の海洋放出や核燃料再処理施設の本格稼働、原子力発電所の廃止措置といった日本を取り巻く原子力環境の変化を踏まえ、環境放射能水準調査検討委員会において環境放射能水準調査の充実化のための 17 件の提案を行った(下表参照)。

今年度(2022年度)は6件の提案について調査を開始しており、このうちの3件については2. 調査結果においてそれぞれ報告を行った。ここでは次の3件の提案について報告する。

- ⑩福島県下における空間放射線量率測定の品質保証
- ⑪福島県内に設置された可搬型モニタリングポストの更新
- ⑭γ線スペクトロメトリーにおける検出下限値の低減化

また、2023年度からの調査開始を計画している3件の提案のうち、次の1件の提案については先行して現状調査を開始したので、併せて報告する。

- ⑥ICP-MS/MS を利用した長半減期核種の分析

表 環境放射能水準調査の充実化のための提案

提案の背景等	提案内容	調査開始の計画案		
		2022	2023	2024 以降
放射性核種の 移行と循環	①トリチウム調査の拡大(海水)	●		
	②トリチウム調査の拡大(大気)	●		
	③トリチウム調査の拡大(月間降水)		●	
	④ ¹⁴ C調査の拡大(ブルーカーボン)			●
	⑤ ¹²⁹ I調査の拡大(海水等)	●		
	⑥ICP-MS/MSを利用した長半減期核種の分析		●	
	⑦安定同位体比等を用いた評価手法の高度化			●
国外からの 影響評価	⑧SAUNA cubelによる放射性キセノン同位体観測の強化			●
自然起源放射性 物質(NORM)	⑨自然放射性核種水準調査の再開			●
精度管理の改善	⑩福島県下における空間放射線量率測定の品質保証	●		
	⑪福島県内に設置された可搬型モニタリングポストの更新	●		
	⑫試料分割法の改良に関する提案		●	
分析の高度化と 自動化	⑬大容量エアサンプラによる試料採取の充実化			●
	⑭γ線スペクトロメトリーにおける検出下限値の低減化	●		
	⑮福島県下における空間放射線量率測定データ評価手法の高度化			●
	⑯大型水盤を用いた検出下限値の低減化			●
	⑰小麦の放射能分析			●

9.1 福島県下における空間放射線量率測定の品質保証

福島県内に設置された可搬型モニタリングポスト80基のうち、3基について日本分析センターにて校正作業を実施した。校正にあたっては、国家標準とトレーサビリティのとれた γ 線源 (^{137}Cs) と専用のコリメート式照射治具を用いてin-situ校正を実施した。なお、校正の実施にあたっては、空間放射線量率が $1\ \mu\text{Gy/h}$ を超える地点では検出器を遮蔽体で囲み、周辺環境 γ 線の影響を低減化した上で、 γ 線源の照射を行った。結果を表9-1-1に示す。

可搬型モニタリングポストの校正定数は0.95～1.13の範囲であった。メーカーによる点検結果は0.97～1.08であったことから、メーカーによる機器調整は適切に実施されていることが確認された。

表 9-1-1 in-situ 校正の結果

地点名	実効 エネルギー	対象検出器	照射距離 (m)	線量率 (μ Gy/h)	校正 定数	拡張 不確かさ (%) ($k=2$)	(参考) メーカーによる 点検結果 ^{1) 2) 3)}
郡山市役所 (郡山市)	660 keV (Cs-137)	Si 半導体	0.550	0.47	1.13	20	1.08 (照射距離 0.50 m)
福浦小学校 (南相馬市)		NaI	0.359	1.10	0.95	5.8	0.97 (照射距離 約 0.50 m)
熊町小学校 (大熊町)		NaI	0.356	1.12	0.99	5.8	1.01 (照射距離 約 0.50 m)

1) 点検日 : 郡山市役所 2022年10月14日
 福浦小学校 2022年10月14日
 熊町小学校 2022年10月17日

2) 郡山市役所については鉛直方向、福浦小学校及び熊町小学校については2つある検出器(Si 半導体とNaI)の真ん中位置(鉛直方向)から照射

3) 線源照射試験におけるレスポンスの逆数

9.2 福島県内に設置された可搬型モニタリングポストの更新

設置から10年以上が経過して老朽化してきていることから可搬型モニタリングポストの更新を実施した。更新を実施した地点は、2011年9月に設置した最初の20基のうちの一つである石熊公民館(双葉町)とした。更新前後の様子を図9-2-1(1)と(2)に示す。



図9-2-1(1) 更新前の可搬型モニタリングポスト
(石熊公民館(双葉町) : 2022年5月20日撮影)



図9-2-1(2) 更新後の可搬型モニタリングポスト
(石熊公民館(双葉町) : 2023年2月9日撮影)

9.3 γ 線スペクトロメトリーにおける検出下限値の低減化

東京電力福島第一原発事故から10年以上が経過し、環境中に放出された放射性核種（現在影響が残っているのは主に ^{134}Cs 及び ^{137}Cs ）の濃度は減少傾向にある。その中で半減期が約2年である ^{134}Cs は試料種によっては不検出となるデータが多くなってきている。 ^{134}Cs は、検出された ^{137}Cs が福島第一原発由来であることを特定するために有効な核種であることから、 γ 線スペクトロメトリーにおける検出下限値の低減化を図ることで、 ^{134}Cs の検出が今後継続して可能になるか検討することを目的とした。

γ 線スペクトロメトリーに用いられるGe半導体検出器への宇宙線等による外部バックグラウンドの影響を少なくすることで、検出下限値を低減化できることが知られている。国内では、金沢大学尾小屋地下実験室（図9-3-1）や東京大学宇宙線研究所の地下施設に設置されている例がある。

検討の結果、現在採用している測定条件（測定容器、測定時間等）において、試料種によっては検出下限値を現在の3分の1程度に低減化できるという試算になったが、今後継続して ^{134}Cs を検出できる程の低減化には至らないと判断した。供試量や測定時間を増やすことで検出下限値を低減化することも可能であるが、これらについても今後継続して ^{134}Cs を検出することは困難である。

そのため、今後、福島第一原発事故由来であることを識別するためには、「9.4 ICP-MS/MSを利用した長半減期核種の分析」のような他の手法を採用することが現実的である。



図 9-3-1 金沢大学尾小屋地下実験室

(<https://www.ki-net.kanazawa-u.ac.jp/coop/facilities/>)

9.4 ICP-MS/MS を利用した長半減期核種の分析

9.4.1 概要

東京電力福島第一原発事故により放出された放射性セシウム (^{134}Cs , ^{135}Cs , ^{137}Cs) のうち、半減期が比較的短い ^{134}Cs が検出され難くなった。長半減期の ^{135}Cs を分析することで、 $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 同位体比から事故の影響を評価することが可能であり、2023年度より ^{135}Cs 分析法の検討を希望する。

^{135}Cs は β 線のエネルギーが低く、高エネルギーかつ高放射能である ^{137}Cs と重なるため、 β 線測定は困難であり、質量分析による ^{135}Cs 分析が主流である。2022年3月に導入した、トリプル四重極 ICP 質量分析計 (ICP-MS/MS) を用いて ^{135}Cs 分析法の開発を希望する。

9.4.2 野村先生ご訪問

検討に先立ち、水準調査検討委員会の廣瀬委員長より東京工業大学 ゼロカーボンエネルギー研究所 塚原研究室の野村先生をご紹介いただき、2023年1月18日(水)にご訪問し、 ^{135}Cs 分析について情報収集を行った。

塚原研にて分析した試料は土壌 (福島第一原発周辺、千葉) であり、検討した化学分離法は AMP 沈殿法、及び BOBCalixC6 (calix[4]arene-bis(*t*-octylbenzo-crown-6, Cs に高い選択性を有する試薬) による溶媒抽出法であった。AMP 沈殿法の分析フローを図 9-4-1 に示す。

検討に使用した測定装置は、ICP-MS/MS 及び表面電離型質量分析計 (TIMS) であった。ICP-MS/MS は株式会社アトックスと共同研究を実施し、TIMS は塚原研所有のものを使用した。塚原研所有の TIMS を図 9-4-2 に示す。

分析法の妥当性確認は、 ^{135}Cs が値付けされた標準試料は存在しないため、文献値のある標準試料を分析し $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 分析結果を比較する方法、TIMS と ICP-MS/MS の $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 分析結果を比較する方法を実施した。

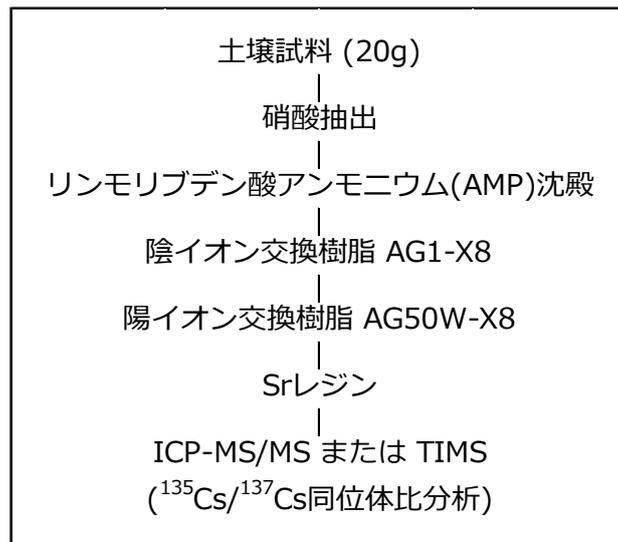


図 9-4-1 AMP 沈殿法の分析フロー



図 9-4-2 塚原研所有の TIMS (Triton XT, Thermo Fisher Scientific)

リサイクル適性 (A)

この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。