

走行サーベイによる道路及びその近傍における空間線量率の測定 (KURAMA の高度化を含む)

安藤 真樹、齋藤 公明（原子力機構）

1. 調査目的

福島第一原発から放出された放射性物質による現状における空間線量率を把握するため、KURAMA-II システム（小型 CsI シンチレーション検出器と GPS が一体となった簡易型測定システム）を用いた走行サーベイによる調査を実施してきた。

平成 26 年度は、過去の走行サーベイ及び地上 1 m 高さにおけるサーベイメータによる空間線量率の測定結果と今回の測定結果を比較・解析し、空間線量率の変化傾向とその要因を明らかにするとともに、この結果を放射性物質等の分布変化予測モデル構築に役立てることを目的とする。

また、KURAMA-II を用いた簡易的手法による天然放射性核種由来の空間線量率弁別について検討した（Appendix-1 参照）。

この他、KURAMA の高度化についての検討を行った（Appendix-2～3 参照）。

2. 調査内容

(1) 調査期間、調査実施機関及び調査地域

原子力機構による測定は、基本的に平成 24 年度及び平成 25 年度の調査と同じ道路について実施したが、自然放射線のレベルにまで線量率が減衰した地域（神奈川県、山形県、山梨県及び新潟県の一部道路）は、実施していない。

第 1 回目：第 8 次走行サーベイ

- 原子力機構による測定：平成 26 年 6 月 23 日～7 月 24 日
- 地方自治体（12 都県、約 105 市町村）による測定：平成 26 年 7 月 1 日～8 月 8 日
- 対象地域：1 都 12 県（岩手県、宮城県、福島県、新潟県、山形県、茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、山梨県）。合計測定距離：約 68,000 km

第 2 回目：第 9 次走行サーベイ

- 原子力機構による測定：平成 26 年 11 月 4 日～12 月 5 日
- 地方自治体（11 都県、約 100 市町村）による測定：平成 26 年 11 月 4 日～12 月 5 日
- 対象地域：1 都 12 県（岩手県、宮城県、福島県、新潟県、山形県、茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、山梨県）。合計測定距離：約 61,000 km

(2) 調査内容の詳細

自動車の後部座席の右側後方に KURAMA-II システムを設置し、3 秒ごとに測定した空間線量率データと GPS による位置情報を、携帯電話回線を通してデータ収集用サーバに転送した。空間線量率が $0.2 \mu\text{Sv/h}$ 以上の地域を中心に主要幹線道路について、原子力機構が走行サーベイを実施した。さらに、地方自治体と協同（原子力機構は解析を担当）で細かな道路を含む地方自治体が希望する道路について詳細な測定を実施した。

車内における空間線量率測定値を車外の地上 1 m 高さの空間線量率に換算するための補正係数を用いて、測定結果から道路 1 m 高さの空間線量率を求めた。これまでと同様に、

均一に放射性セシウムが沈着した広い場所を多数選んで行なった測定結果に基づく補正係数を用いた。

得られた空間線量率の測定結果及び GPS を用いて取得された位置情報を基に、道路上において連続的に測定された空間線量率の測定結果を地図上に記した空間線量率マップを作成した。現在の空間線量率への寄与の大部分が放射性セシウムによるものであること、測定期間中の放射性セシウムの物理減衰に伴う空間線量率の減少は 2%程度と評価され測定機器の有する誤差よりも十分に小さいことを考慮して、空間線量率測定値を一定の日付に揃える減衰補正を行わず、測定した日の測定結果をそのまま使用した。マップ作成の基になる空間線量率データは、原子力機構及び地方自治体の測定結果を区別せず使用した。また、測定値の統計的なばらつきを低減させるため、これまでと同様に、走行地域を 100 m 四方のメッシュに分割し、そのメッシュ内に含まれる各測定箇所での空間線量率の値を平均してメッシュの代表値とした。

これらの測定結果を用いて、空間線量率の経時変化状況を確認するとともに、土地利用の違い等に基づく空間線量率の変化傾向の違いを確認した。

3. 結果と考察

平成 26 年度の第 8 次走行サーベイ及び第 9 次走行サーベイの結果に基づき作成した空間線量率マップを図-1 及び図-2 に示す。また、比較のため、広域で測定を実施している平成 24 年度以降の各年度 1 回目の測定（平成 24 年 9 月の第 4 次走行サーベイ及び平成 25 年 7 月の第 6 次走行サーベイ）の結果をそれぞれ図-3 及び図-4 に示す。全体的に時間の経過とともに空間線量率が減衰する傾向が見てとれる。

第 1 次走行サーベイ（平成 23 年 6 月 4 日から 6 月 13 日）により得られた空間線量率と、同じメッシュ（ただし福島第一原発から 80 km 圏内）における第 8 次及び第 9 次走行サーベイで得られた空間線量率の測定結果の相関図及び国土交通省の国土数値情報¹ に基づき「森林」及び「建物用地」等に分類されたメッシュに対する比較を図-5～図-7 に示す。回帰直線の傾きは空間線量率の高いデータの影響を受けて適切な比較の指標とならない場合があるため、得られた空間線量率の合計値とその第 1 次走行サーベイに対する比率（以下「合計線量率比」という。）をあわせて示す。合計線量率をデータ数で割ると平均空間線量率が得られ、この合計線量率比は平均空間線量率の比と同じである。

第 1 次走行サーベイに比べて第 8 次走行サーベイでは時間が約 37 ヶ月間経過することで、道路上の空間線量率は合計線量率比による比較では 27%程度に減少し、第 9 次走行サーベイでは時間が約 41 ヶ月間経過することで、合計線量率比による比較では 24%程度に減少した（図-5）。空間線量率の減少は土地利用状況に影響を受け、森林（図-6）においては減少が小さく、建物用地（図-7）においては減少が大きい傾向が見られる。森林と建物用地での合計線量率比 0.26 と 0.21 は 20%以上差があり、測定誤差を超える有意な差であるといえる。道路周辺の土地利用によって、沈着した放射性セシウムの気候による影響の受けやすさや交通量が異なるためと考えられる。

図-8 に、第 1 次走行サーベイと第 8 次及び第 9 次の走行サーベイの空間線量率の合計値の比率を、第 1 次走行サーベイにおける空間線量率の範囲ごとに示す。第 1 次走行サーベイにおいて空間線量率が 0.5～2.0 $\mu\text{Sv/h}$ であった箇所では他の線量率範囲に比べて空間線量率が大きく減少しており、かく乱の少ない平坦な土地におけるサーベイメータを用い

¹ 全国総合開発計画、国土利用計画、国土形成計画などの国土計画の策定や推進の支援のために、国土交通省が国土に関する様々な情報を整備、数値化したデータのこと。

た測定の場合²とよく似た傾向を示している。これは、自動車通行のみならず人間の活動量に依存して空間線量率が減少していることが原因の1つとして考えられる。

次に、道路上の空間線量率とその周辺の空間線量率の関係を調べるために、走行サーベイと同時期にサーベイメータを用いて測定したかく乱の少ない平坦地の地上1 m高さの空間線量率測定データを比較する。サーベイメータを用いて測定した地点の半径100 m以内に走行サーベイの測定結果(100 mメッシュの中心点)が存在する場合には、両者の空間線量率測定結果の相関をとった。第8次及び第9次走行サーベイとそれぞれ同じ時期に行われた地上1 m高さの空間線量率の測定データ間の相関図を図-9に示す。データのばらつきはあるものの、それぞれ明確な相関が確認できることから、走行サーベイの結果は平坦地の地上1 m高さの空間線量率を反映した結果となっている。第8次走行サーベイでは、平坦地の地上1 m高さの空間線量率は走行サーベイの値に対して回帰直線の傾きによる比較及び合計線量率値の比較で1.4倍程度大きい値を示すことがわかる。第9次走行サーベイでは、地上1 m高さの空間線量率の走行サーベイ結果に対する大きさは、回帰直線の傾きによる比較で1.4倍程度、合計線量率の比較で1.5倍程度と評価された。第7次走行サーベイ(平成25年2回目)に対する同時期の平坦地の地上1 m高さの空間線量率の合計値での比率(1.4程度)とほぼ同じ結果であり、最近約1年間での道路及び平坦地での両者の空間線量率の減少率はほぼ同じと言える。道路上での速く減衰する成分が相対的に小さくなり、平坦地と同じような傾向で空間線量率が減少している傾向が出てきているものと考えられる。なお、道路上の空間線量率値が地上1 m高さの空間線量率値に比べて全般に低いのは、道路上及びその周辺の放射性セシウムが交通や風雨等の影響で除去され易いためであると推定される。

図-10に、第1次走行サーベイに対する第2次以降の走行サーベイの合計線量率比の経時変化を示す。放射性セシウムの物理減衰及びサーベイメータを用いた測定による空間線量率の経時変化をあわせて示した。走行サーベイの不確かさ(KURAMA装置の系統誤差)として±10%を見込み³誤差棒として示した。空間線量率の減少率を詳しく調べると、第4次走行サーベイから第6次走行サーベイまで(約300日経過)で0.75(物理減衰は0.84)、第7次走行サーベイから第9次走行サーベイまで(約360日経過)で0.70(物理減衰は0.84)であった。短期的に見た場合でも、走行サーベイによる空間線量率の減少率は放射性セシウムの物理減衰による減少率よりも大きいことが確認された。

4. まとめ

第8次及び第9次走行サーベイを実施し第1次走行サーベイからの空間線量率の変化傾向を調べ、放射性物質等の分布変化予測モデル構築に役立てるデータを取得した。

走行サーベイ及び地上1 m高さにおけるサーベイメータによる空間線量率の測定を比較した結果、最近約1年間での道路及びその周辺での両者の空間線量率の減少率はほぼ同じであった。

² 本報告書(“平成26年度放射性物質測定調査委託費(東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の分布データの集約及び移行モデルの開発)事業”成果報告書)の「人為的にかく乱の少ない平坦な開かれた土地における空間線量率分布測定」を参照のこと。

³ 津田修一, 他, “走行サーベイスシステム KURAMA-II を用いた測定の基盤整備と実測への適用,” JAEA-Technology 2013-037, (2013).

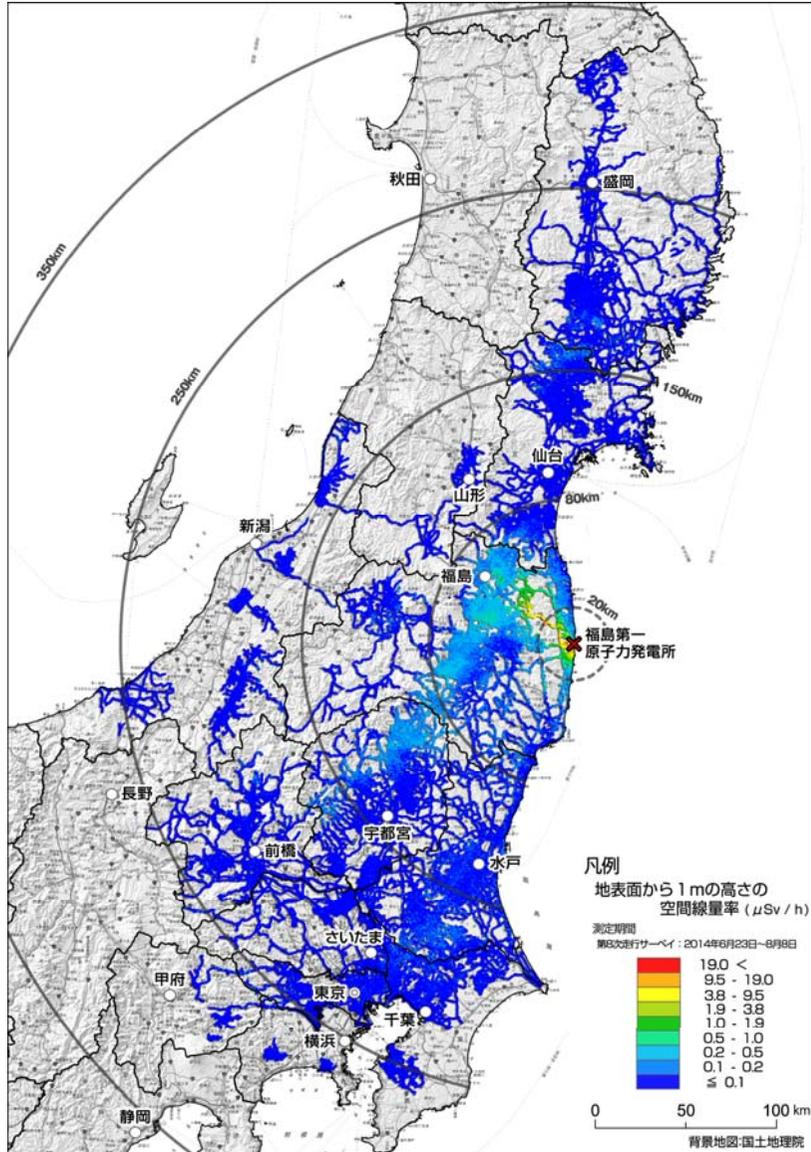


図-1 第8次走行サーベイの測定結果
 (測定期間：平成26年6月23日～8月8日)

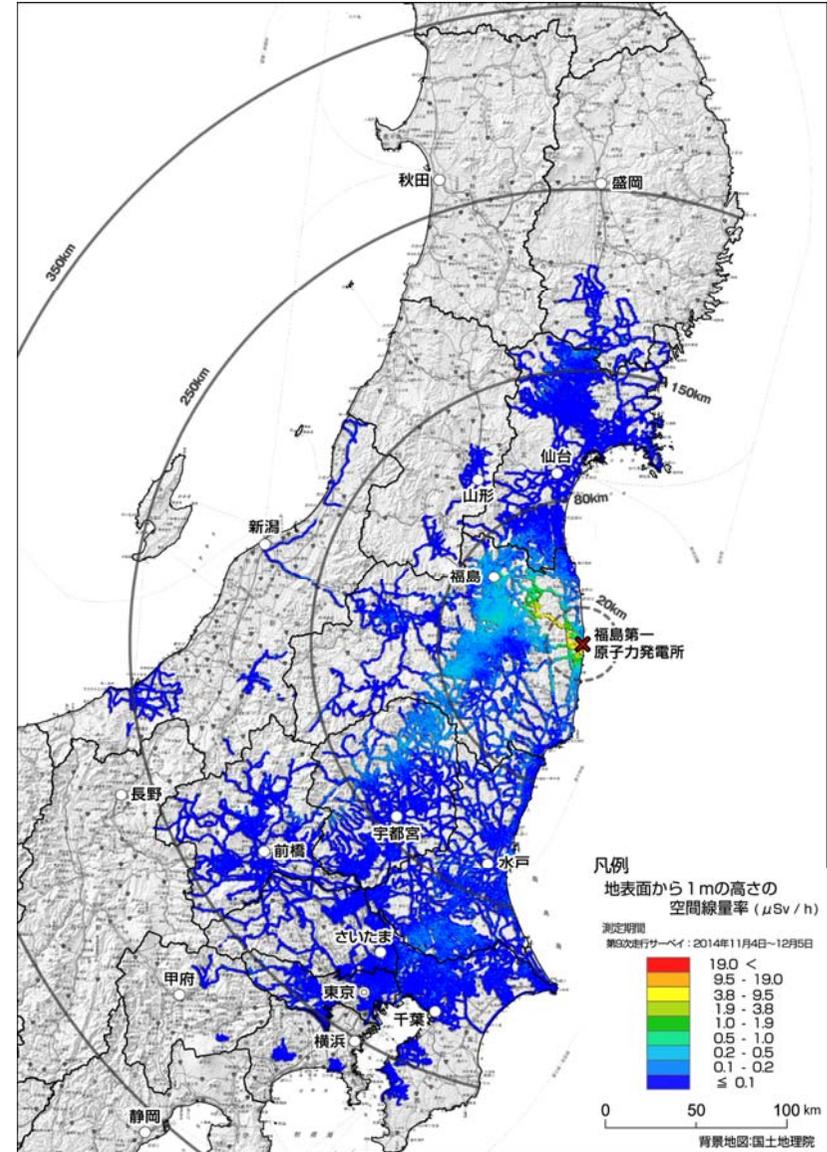


図-2 第9次走行サーベイの測定結果
 (測定期間：平成26年11月4日～12月5日)

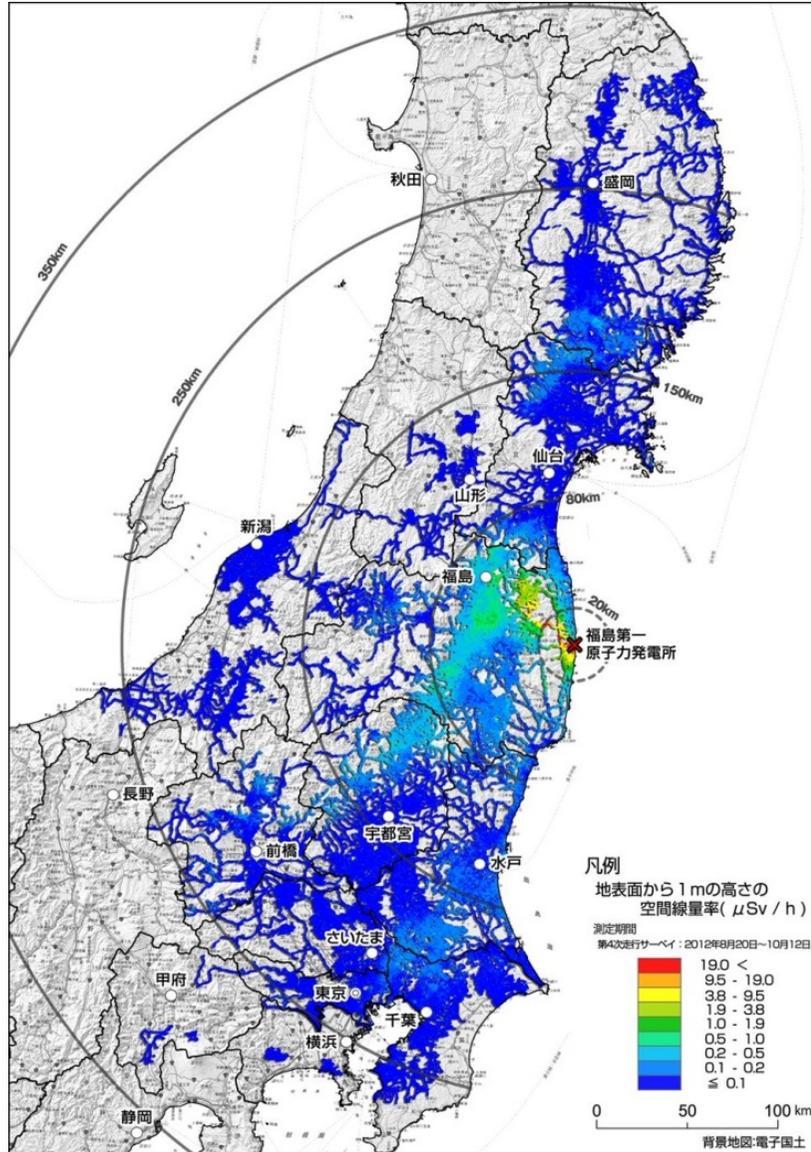


図-3 第4次走行サーベイの測定結果
 (測定期間：平成24年8月20日～10月12日)

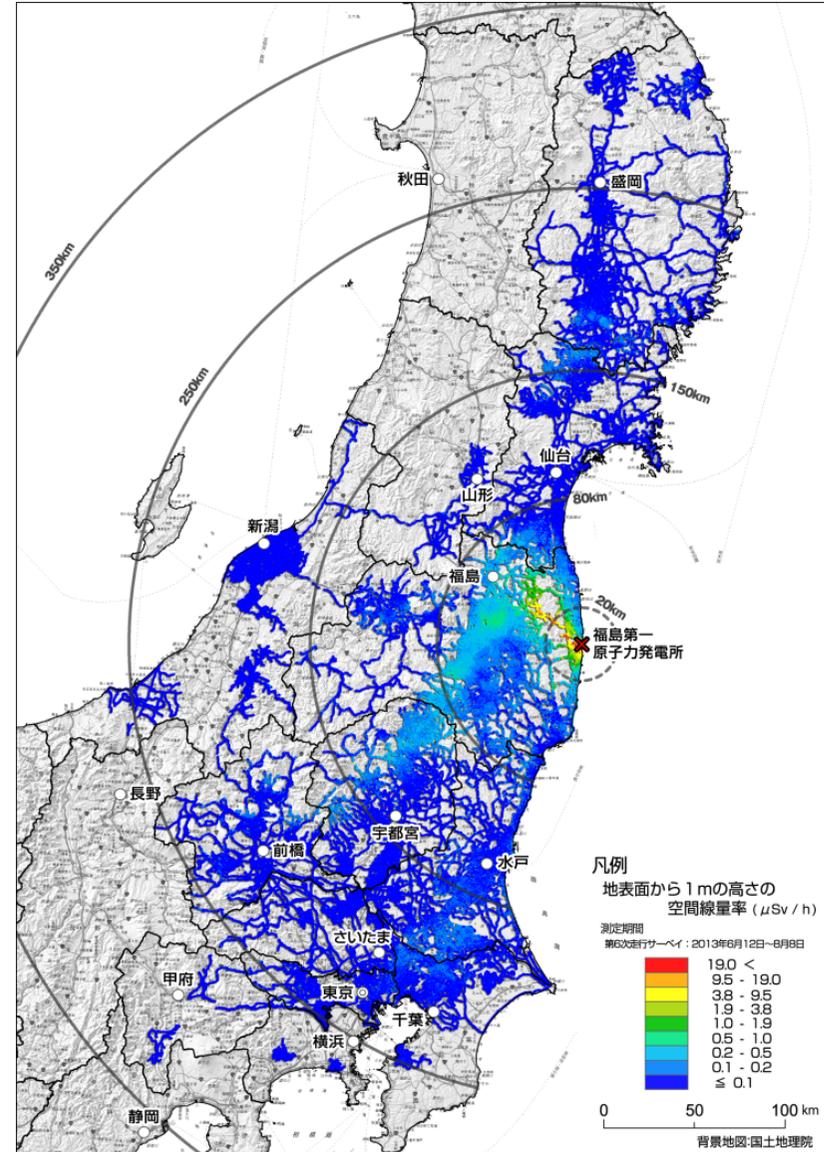


図-4 第6次走行サーベイの測定結果
 (測定期間：平成25年6月12日～8月8日)

合計線量率比	
2次/1次	0.68
4次/1次	0.47
6次/1次	0.35
8次/1次	0.27
9次/1次	0.24

合計線量率比	
2次/1次	0.71
4次/1次	0.51
6次/1次	0.39
8次/1次	0.30
9次/1次	0.26

合計線量率比	
2次/1次	0.66
4次/1次	0.44
6次/1次	0.32
8次/1次	0.24
9次/1次	0.21

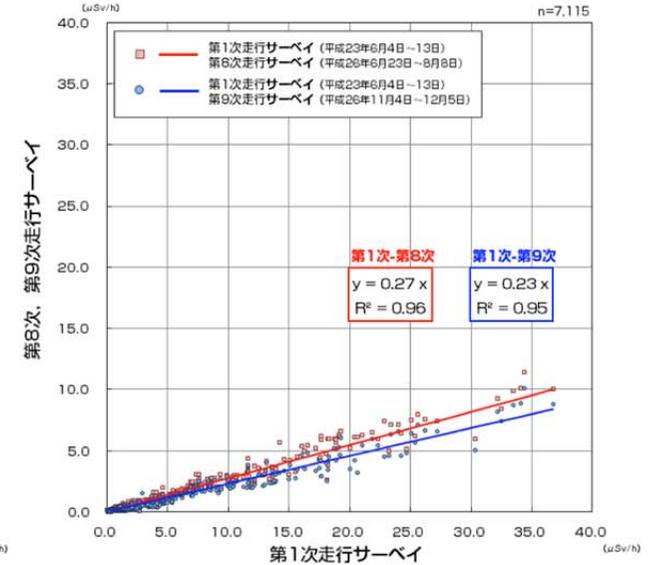
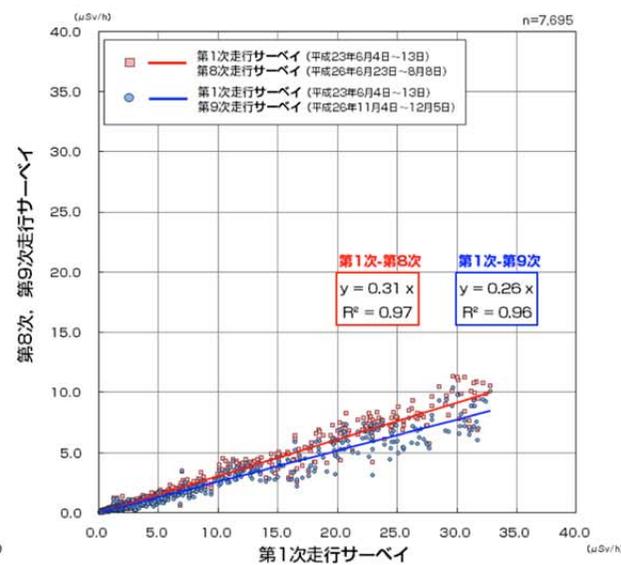
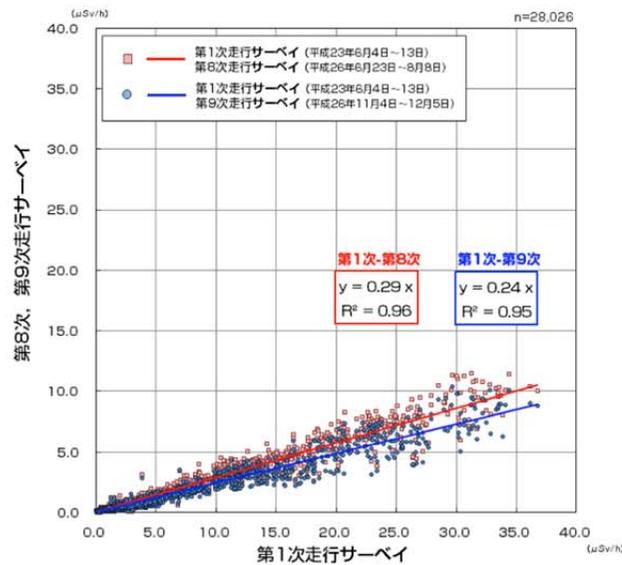


図-5 第1次走行サーベイ結果と第8次及び第9次走行サーベイ結果との相関図及び第1次に対する第3次から第9次までの合計線量率比（全体）

図-6 第1次走行サーベイ結果と第8次及び第9次走行サーベイ結果との相関図及び第1次に対する第3次から第9次までの合計線量率比（土地利用状況が「森林」に分類される地域）

図-7 第1次走行サーベイ結果と第8次及び第9次走行サーベイ結果との相関図及び第1次に対する第3次から第9次までの合計線量率比（土地利用状況が「建物用地」に分類される地域）

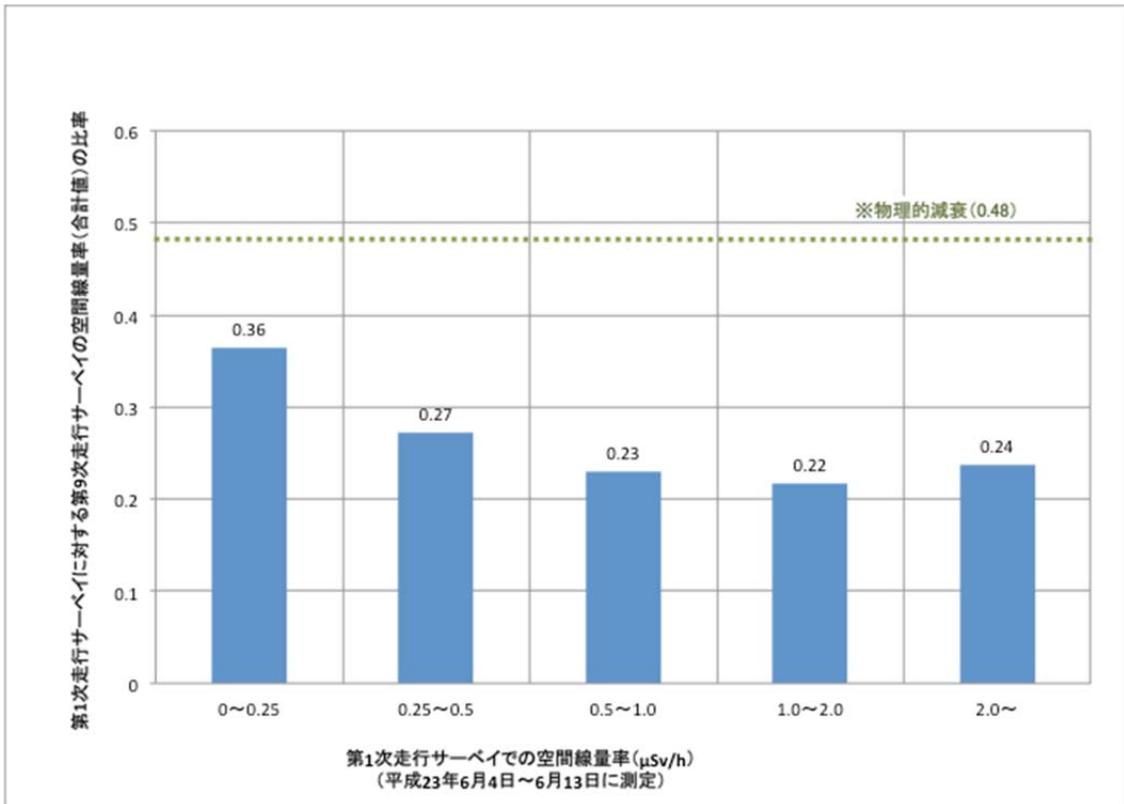
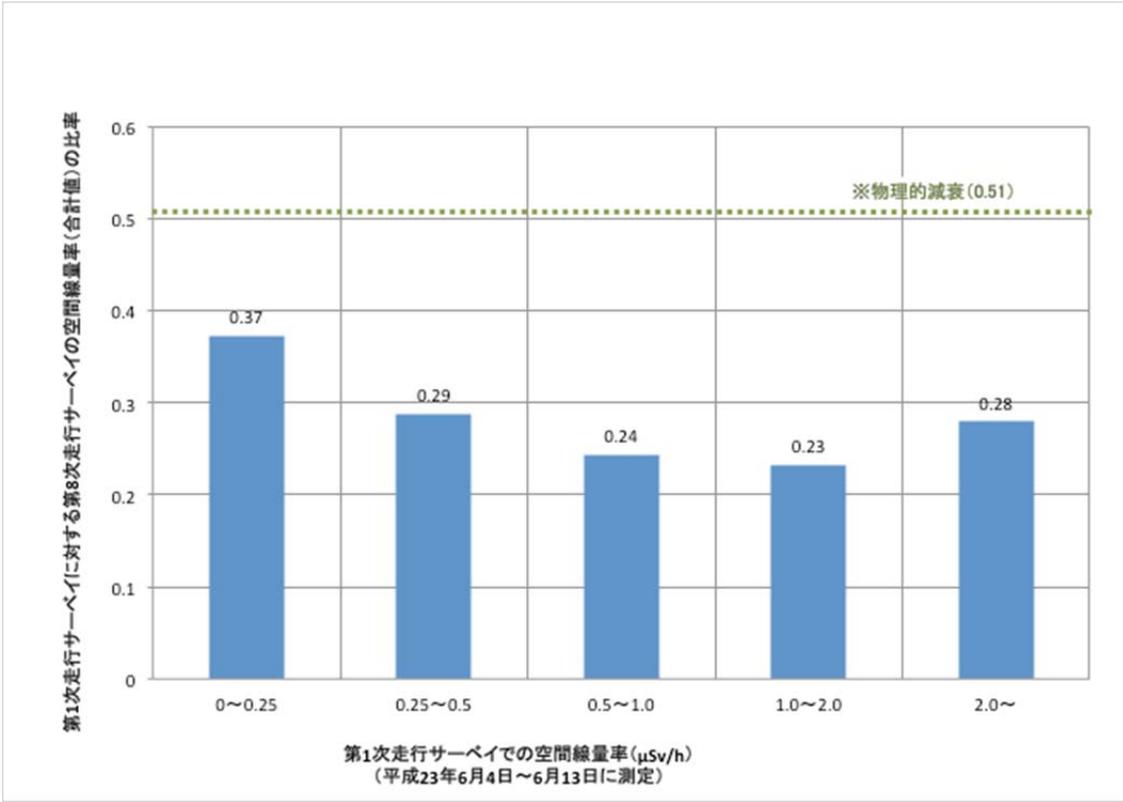


図-8 走行サーベイにより測定した空間線量率の経時変化の空間線量率との関係
(上図：第8次走行サーベイ、下図：第9次走行サーベイ)

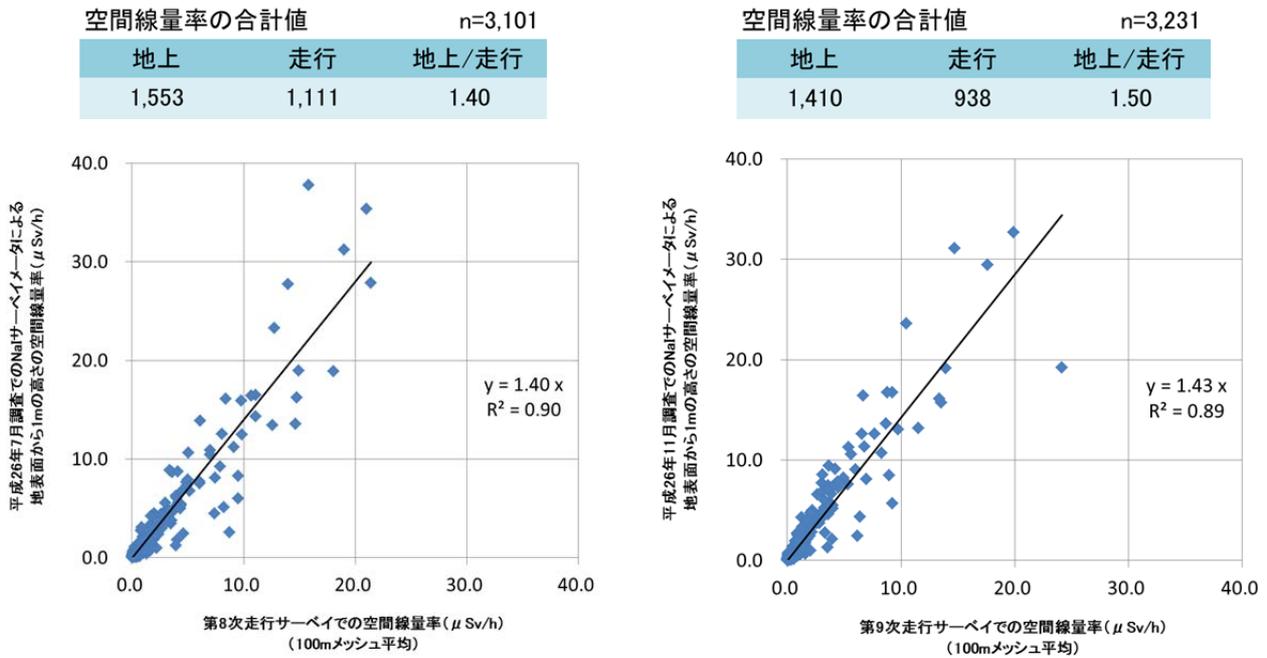


図-9 サーベイメータによる地上1 m高さにおける空間線量率測定と
走行サーベイの結果との相関図及び合計線量率の比較
(左図：平成26年度第1回目測定、右図：同第2回目測定)

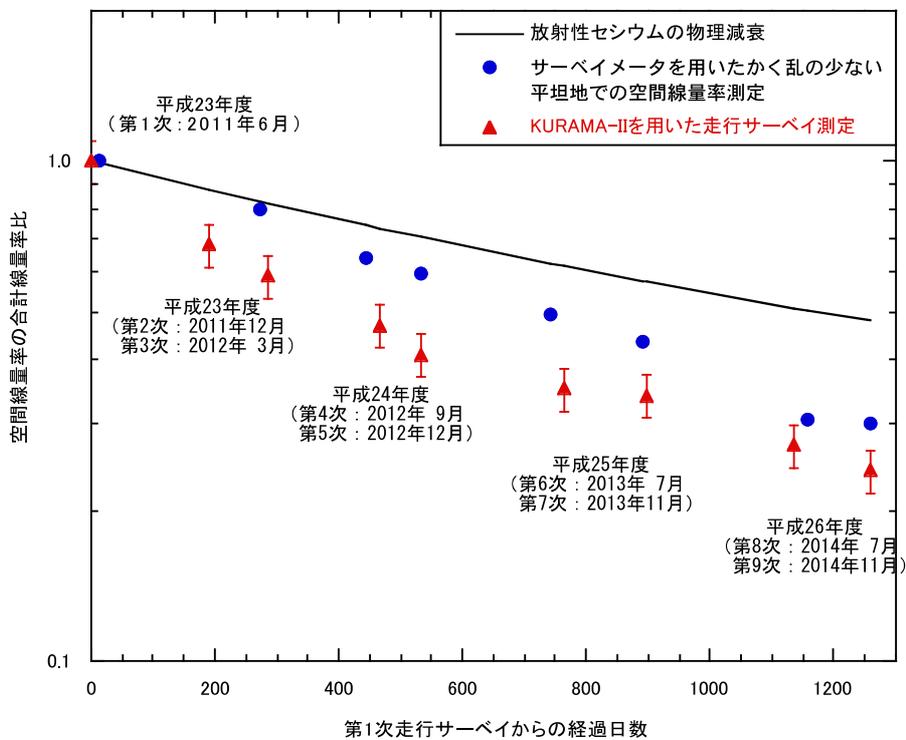


図-10 第1次走行サーベイに対する第2次以降の走行サーベイの合計線量率比の経時変化
(平坦地上の空間線量率の変化傾向と物理減衰による経時変化を同時に示した)

Appendix-1

KURAMA 測定における天然放射性核種由来の空間線量率弁別の検討

安藤 真樹、斎藤 公明（原子力機構）

1. 調査目的

放射性物質の物理減衰及びウェザリング等によって、道路上の空間線量率は事故当初に比較し平成 25 年 11 月時点で約 30%程度まで低下してきた。事故に伴い環境中に放出された放射性物質と天然放射性核種由来の空間線量率との弁別が不可欠になってきつつある。そこで、KURAMA-II を用いた簡易的手法により天然放射性核種由来の空間線量率を弁別することを試みる。

2. 調査内容

森内は、Bi-214 等の天然放射性核種の計数率と線量率の直線関係に着目し、天然成分と人工成分を弁別する方法を示した⁴。松田らは、特定のエネルギーバンドの計数率に対する線量率の関係からフィッティング関数を作成することにより、天然放射性核種由来の空間線量率を分離して評価した⁵。図-1 にその評価例を示す。図中の赤丸内の測定例については、計数率に対応してフィッティング直線から得られる線量率との乖離（図中「人工」と表記）がセシウム 137 の寄与となる。本調査ではこれらの方法を用い、KURAMA-II 測定での天然放射性核種由来の空間線量率を評価する。

KURAMA-II を使用した測定において、K-40 (1461 keV) 及び Bi-214 (1764 keV) の 2 核種を含む 1400 keV~2000 keV のエネルギー範囲の計数率を出力するように設定した。福島事故由来の放射性物質の影響のない中部~西日本地方において、自然放射線による空間線量率が 0.04~0.08 $\mu\text{Sv/h}$ (車内測定値) となる 16 地点において KURAMA-II を用いた測定を行った。統計精度の観点から測定時間はそれぞれ 30 分程度とした。測定により得られた 1400 keV~2000 keV の計数率と線量率の関係を調べた。なお、測定に用いた KURAMA-II は、浜松ホトニクス製 CsI(Tl) 検出器 C12137 を搭載するものである。

3. 結果と考察

自然放射線による 1400 keV~2000 keV の計数率と空間線量率の測定結果を図-2 に示す。計数率と空間線量率の関係は良い直線性を示し、測定データに対し 1 次関数フィッティングした結果、自然放射線に関する計数率 x と空間線量率 y の関係は $y=0.79x$ であった。平成 26 年度 2 回目の第 9 次走行サーベイ測定例（千葉県及び埼玉県内において、それぞれ 1 台の KURAMA-II での 1 日測定平均値）を図-2 中に示す。千葉県での測定例 (0.10 $\mu\text{Sv/h}$) では、空間線量率の約 5 割が自然放射線からの寄与であることが分かる。また、埼玉県での測定例 (0.06 $\mu\text{Sv/h}$) では、そのほとんどが自然放射線からの寄与であることが分かる。

今回の測定により、空間線量率が比較的低い範囲に対して自然放射線からの線量率寄与を評価するための基礎データが得られた。

⁴ 森内茂, “施設寄与分と BG 変動の分離(評価),” 原子力工業, 20, 19-23 (1974).

⁵ 松田秀夫, 真田哲也, “可搬型 NaI シンチレーション測定装置を用いた環境 γ 線線量率の天然及び人工放射性核種の迅速弁別法,” RADIOISOTOPES, 62, 191-202 (2013).

4. まとめ

KURAMA-II (C12137 検出器搭載) を用いた自然放射線による 1400 keV~2000 keV の計数率と空間線量率の測定結果から計数率 x と空間線量率 y の関係は、 $y = 0.79x$ と求められた。

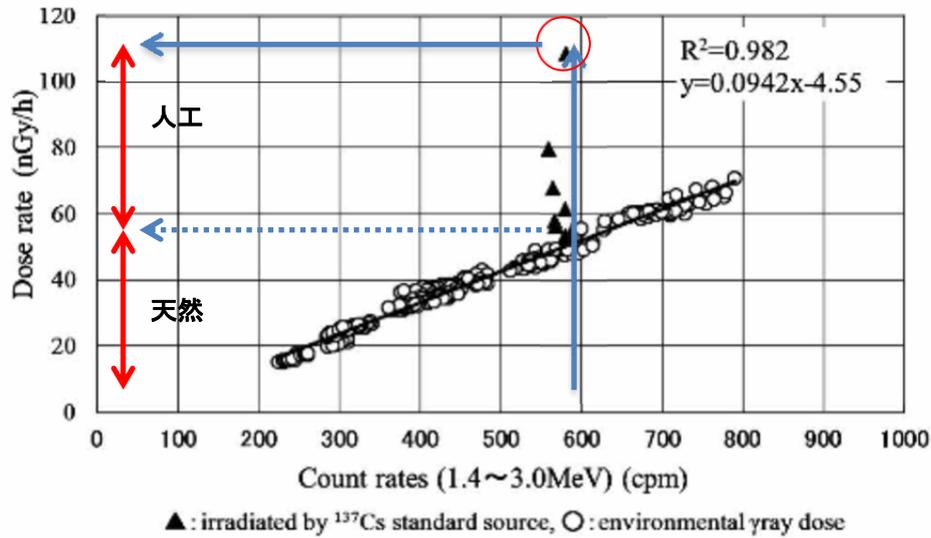


図-1 天然放射性核種由来のレンジ内計数率と空間線量率との関係図²

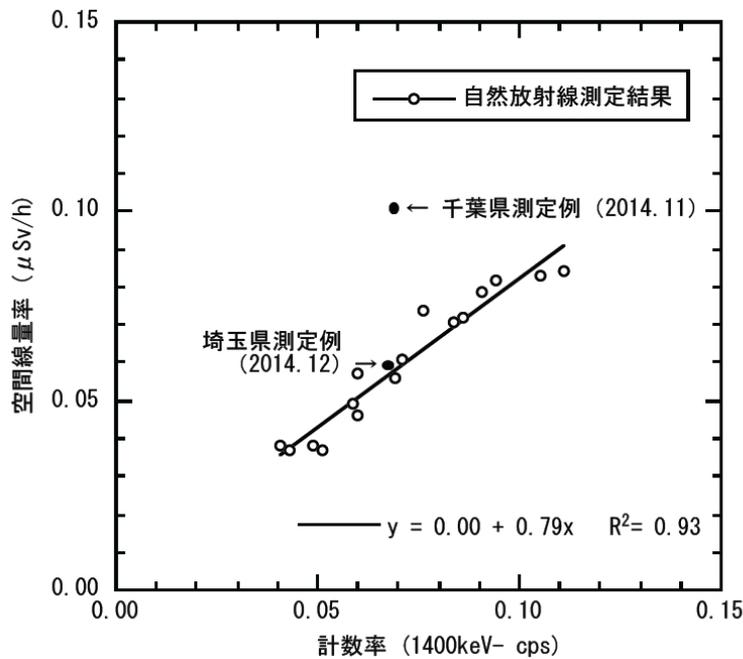


図-2 天然放射性核種由来の 1400 keV~2000 keV 計数率に対する空間線量率の関係 (千葉県及び埼玉県での第 9 次走行サーベイ測定例を同時に示した)

Appendix-2

KURAMA の高度化の検討 (1) KURAMA サーバシステムに係る改良

安藤 真樹、斎藤 公明（原子力機構）

1. 調査目的

これまで外注としていた「ゲートウェイサーバ」(KURAMA 測定データ収集用) の設置・運用を原子力機構が行うためのソフトウェア準備や試験運用による課題抽出等の検討を行うとともに、緊急時対応や補足的測定を行う態勢を整えておくため、大規模測定用のデータ変換サーバを用いずに簡易的に測定結果のマップ表示を行うことを可能とする手段について検討を行う。

2. 調査内容

(1) 試験用ゲートウェイサーバの構築及び運用試験

原子力機構がゲートウェイサーバ（以下「GW サーバ」という。）を構築・運用するために必要なソフトウェア（以下「GW サーバ運用ソフトウェア」という。）を準備し、試験的に原子力機構外に GW サーバを構築し、試験用 GW サーバ及び GW サーバ運用ソフトウェアの動作確認を行った。

(2) 簡易マップ表示機能の構築

測定データをマップ上に表示するためには、マップ表示用データファイルへの変換が必要になる。これまで、このデータ変換/mapping の機能は、大規模測定用のデータ変換サーバに構築していた。本調査では、GW サーバに簡単なデータ変換機能を持たせる、または、閲覧用 PC に簡単なデータ変換機能を持たせることとした。これら方法による測定形態を図-1 及び図-2 に示す。測定環境等によってこれら測定形態を使い分けることとし、両方法について測定システムを作成した。

1) GW サーバへのデータ変換機能の装備（図-1）

これまでデータ変換サーバにて行っていたデータ変換/mapping 機能の一部であるリアルタイムで測定結果をマップ表示させる機能を GW サーバに装備させた。

2) 閲覧用 PC へのデータ変換機能の装備（図-2）

上記のリアルタイムで測定結果をマップ表示させる機能をデータ閲覧用 PC が装備するためのプログラムを開発した。

3) 開発プログラムの試験運用

開発したプログラム等を用い、KURAMA-II からの放射線測定データをマップ表示させるためのデータファイルに変換し、マップ上に可視化表示されることを確認した。

3. 結果と考察

GW サーバ運用ソフトウェアを準備し、試験的に原子力機構外に GW サーバを構築しその動作確認を行った。測定結果の簡易マップ表示機能については、開発したプログラム等を用い、KURAMA-II からの放射線測定データを GW サーバまたは閲覧用 PC にてマップ表示用

データファイルに変換し、簡易的に測定結果のマップ表示を行うことが出来ることを確認した。以上より、原子力機構による GW サーバの構築及び運用並びに緊急時対応や補足的測定のための簡易マップ表示機能の構築についての見通しを得た。

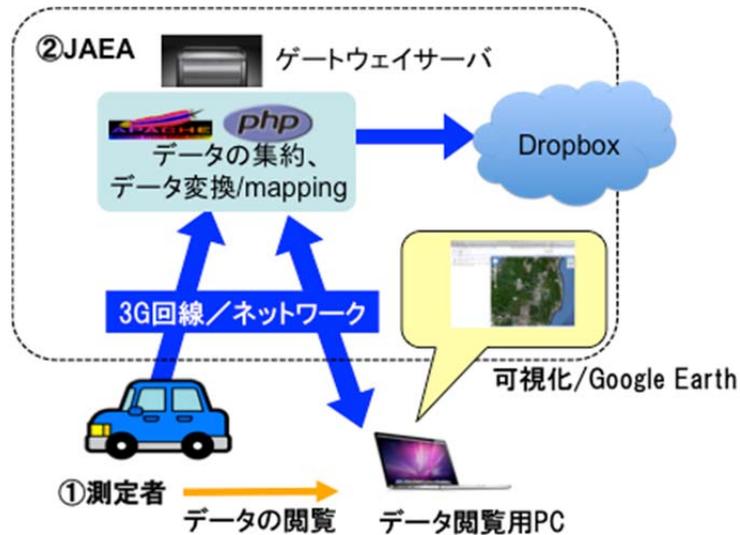


図-1 ゲートウェイサーバにデータ変換/mapping機能の一部を装備させた測定形態

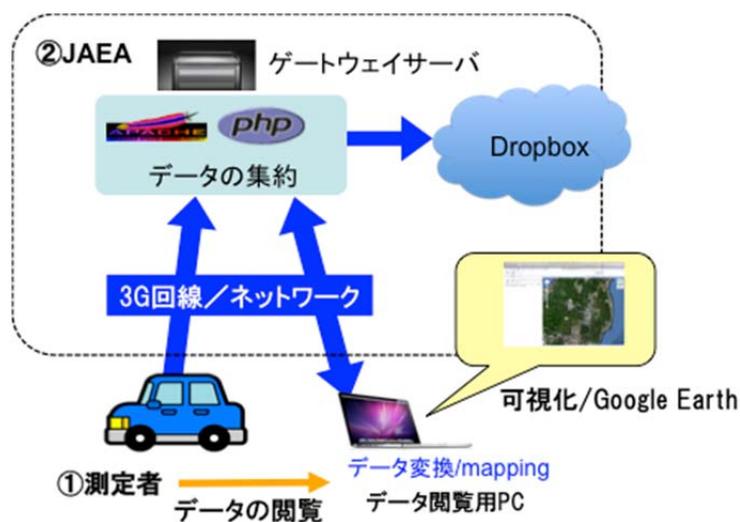


図-2 閲覧用PCでデータ変換/mappingを行う測定形態

Appendix-3

KURAMA の高度化の検討 (2) KURAMA 検出系の改良

谷垣 実 (京都大学)

1. 調査目的

KURAMA ないし KURAMA-II による走行サーベイまたは歩行サーベイ測定において、使用している検出器の測定可能範囲の制約により、低い空間線量率と高い空間線量率の場所が混在する地域では検出器を変えながら使用せざるを得ない。また、KURAMA で使用している検出器が校正用標準場で測定可能なことが確認されている空間線量率であっても、数 $\mu\text{Sv/h}$ といった高い空間線量率の実環境中では他の校正済み検出器に比べて低めの値を示すことがある。

そこで、平成 26 年度の時点で国や自治体他の調査で多数採用されている KURAMA-II について、測定可能範囲の改善の手法の検討と改善効果の検証を行う。

また、走行サーベイ等の結果を元に推定される今後の空間線量率の経時変化予想の精度をあげるため、測定中に波高スペクトルを取得し環境中の放射線場の構成する核種や要因を評価するために必要な知見を得る。

2. 調査内容

(1) 検出器の空間線量率のダイナミックレンジ改善

KURAMA-II で採用されている CsI 検出器(浜松ホトニクス社 G12137 シリーズ)を対象に、測定可能範囲を広げるための手法を検討し効果の検証を行った。

1) 検出器の飽和現象の原因究明

G12137 シリーズの検出器校正用標準場と実環境中での挙動の違いの原因となり得る要因について分析、検討を行った。

2) 飽和現象への対策と効果検証

1) で検討した内容を踏まえ、以下の二つの対策方法を考案、これらについての検証を行った。

- (a) データ転送手順見直しによる計数効率の向上
- (b) フィルタ装着による計数率抑制

(2) より詳細な波高スペクトル取得とデータ処理の高度化

KURAMA-II の波高スペクトルのエネルギー分解能の改善を試み、実環境での使用についての知見を得る。また改善された波高スペクトルが集積された際、それらの高度処理を可能とする解析環境を構築、運用を試みる。

1) 波高スペクトルの分解能改善

現在採用している CsI 検出器よりもエネルギー分解能の高い CdTe 系検出器の KURAMA-II への導入、一般に想定される KURAMA-II の使用環境(普通乗用車への車載)での測定試験

を試みる。

2) 波高スペクトルの解析環境の構築

1) で得られる大量の波高スペクトルデータを効率的に処理するため、時間や地理情報と組み合わせて処理できるデータベースの構築を試み、波高スペクトルの経時変化の追跡の可否を検証する。

3. 結果と考察

(1) 検出器の空間線量率のダイナミックレンジ改善

1) 検出器の飽和現象の原因

一般に検出器の飽和現象は、入射する放射線の数に検出器側の処理速度が追いつかなくなると数え落としが発生するために起きる。特に C12137 のようなシンチレーション検出器は低エネルギー γ 線への感度が高くなっている。通常、空間線量率の校正はセシウム 137 の点線源を用い、さらに周囲での散乱によりエネルギーを失っている散乱線の影響の少ない条件で実施される。一方、実際の環境のセシウムは土壌中や建物、樹木などに付着や浸透しており、校正場に比べて散乱線の影響が増えることとなる。このため実際の環境では、空間線量率としては検出器の測定可能範囲に収まっていたとしても、その計数に占める散乱線の割合が大きく、結果として処理速度が追いつかなくなると数え落としが生じると考えられる。

2) 飽和現象への対策と効果検証

低エネルギーの散乱線の計数が増えているために飽和が起きるのであれば、(a) 計数効率の改善あるいは (b) 低エネルギー成分の計数率抑制で改善されるはずである。そこで、(a) として、従来の C12137 シリーズのデータ転送手順である入射 γ 線数に応じた可変長のデータ転送をやめ、検出器内部で波高スペクトルを一旦生成した後、その波高スペクトルを転送することとした。これにより検出器からのデータ転送量は計数率に関わらず一定となる。新しい転送方法での計数率を従来の転送方法と比較したものは図-1 の通りであり、転送手法見直しにより、従来の計数率の上限を大幅に超える結果が得られた。

(b) として、低エネルギー成分を効果的に抑制でき、かつ調達しやすい材料で簡単に検出器に装着できるフィルタの作成と評価を試みた。モンテカルロシミュレーションコード MCNP 5 を利用し、一般のサーベイメータが満たす JIS Z4333 「X線、 γ 線及び β 線用線量当量(率)サーベイメータ」の E-III 型 (60 keV~1.5 MeV : 2014 年改定で 4 型に区分) に適合しつつ計数率を最大限に抑制できる条件として、銅 3mm あるいは銅 1mm + 鉛 0.5mm を選定した。

以上の対策を施したものと未対策の C12137-01 型検出器、および空間線量率測定で標準的に使われる TCS-172B について、福島県内の様々な空間線量率の地点で空間線量率の測定を実施した。図-2 に示す通り、対策を実施した場合にはいずれも TCS-172B の値との間の直線性が良くなっている。特に今回開発した新しい転送方法の採用による改善効果が著しく、実際の環境においても校正場で評価された測定可能範囲と同等あるいはそれ以上の範囲で使用できると考えられる。またフィルタによる対策でも、未対策の C12137-01 では顕著な $5 \mu\text{Sv/h} \rightarrow 13 \mu\text{Sv/h}$ での非直線性が緩和されている。

(2) より詳細な波高スペクトル取得とデータ処理の高度化

1) 波高スペクトルの分解能改善

従来の KURAMA-II で採用されている C12137 シリーズは CsI シンチレータを採用したシ

ンチレーション検出器である。これに代え、常温でも高いエネルギー分解能の得られる CdTe 系の半導体検出器の採用を試みた。特に KURAMA-II は一般車に容易に設置して使用できる事が求められるため、一般車に特別の対策無しに設置できるかどうか問題になる。当初は実験室で一般に使われる個別の検出器、高圧電源、前置増幅器、波形整形増幅器、マルチチャンネルアナライザーから構成した検出系のデータを KURAMA-II に取り込む構成としたが、この構成では自動車のイグニッションノイズ他のパルス性ノイズの混入が圧倒的になり、走行しながらの測定はきわめて困難である事が判明した。そこで、検出器本体、高圧電源、前置増幅器、波形整形増幅器、マルチチャンネルアナライザーを一体化し小型金属筐体中におさめた CdZnTe 検出器を使用したところ、走行中の連続測定でも良好な波高スペクトルが得られ、従来の CsI 検出器では分離できなかったセシウム 134 の 605 keV ピークとセシウム 137 の 662 keV ピークが明瞭に分離できるようになるなど、核種同定のための能力が向上した (図-3)。

2) 波高スペクトルの解析環境の構築

1) で開発したエネルギー分解能の改善された KURAMA-II から得られる位置情報付き波高スペクトルデータを効果的に解析するためのデータベースを構築した。1) で開発した CdZnTe 検出器搭載 KURAMA-II による走行サーベイで得た位置情報付き波高スペクトルデータを登録し、一例として福島市近辺の「市街地」および「主に山林または田畑」の 2 つの地域のスペクトルを抽出したものを図-4 に示す。この例において、同時に従来型 KURAMA-II で測定したそれぞれの地域の空間線量率は 0.2~0.4 $\mu\text{Sv/h}$ 程度であった。得られた両者の波高スペクトルは、単純に計数率が違うのではなく、計数率の比にエネルギー依存性があり、山林や田畑の地域では市街地に比べ計数に占める散乱線の寄与の度合いが大きいことがわかる。この違いはセシウムの分布状況や測定地域の建物や樹木などの状況、除染作業の進捗などの環境の変化を反映していると考えられる。そのため、この波高スペクトルの経時変化を追跡すると、空間線量率の変化が何に起因するかを推定する手がかりとして将来の空間線量率の予測精度の向上に役立つ可能性がある。

4. まとめ

KURAMA-II で用いられる CsI 検出器の高計数率化のためのデータ転送や低エネルギー成分を抑制するフィルタを検討し効果を実証した。また KURAMA-II への CdZnTe 検出器適用を試み、波高スペクトルのエネルギー分解能を従来の CsI 検出器に比べて大幅に改善した。さらに波高スペクトルの効果的な解析のためのデータベース構築を試みた。

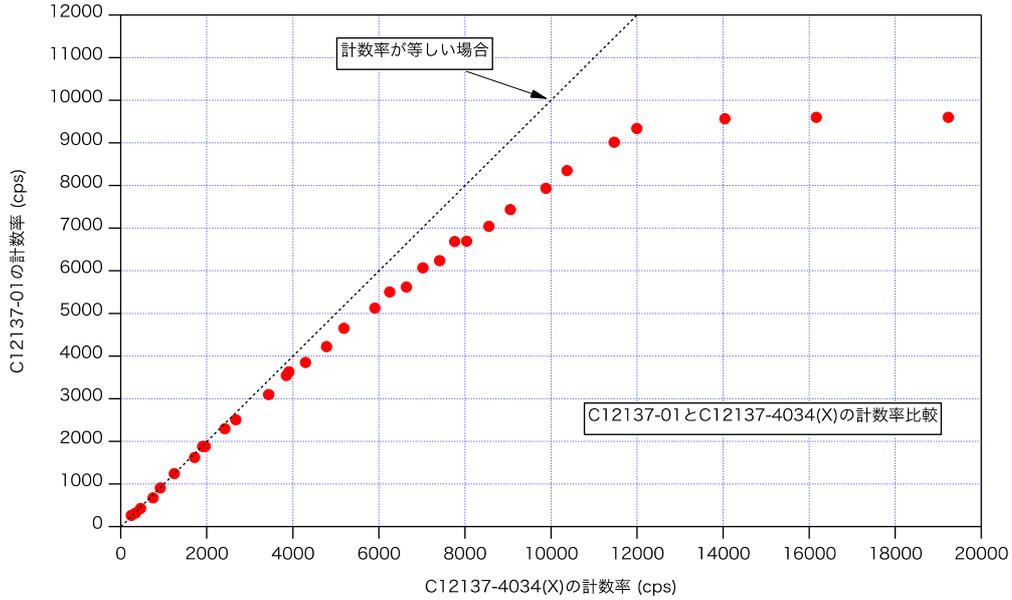


図-1 従来型 (C12137-01) とデータ転送を改良したもの (C12137-4034(X)) の計数率の比較 (従来型に比べ計数率の上限が大幅に改善されている)

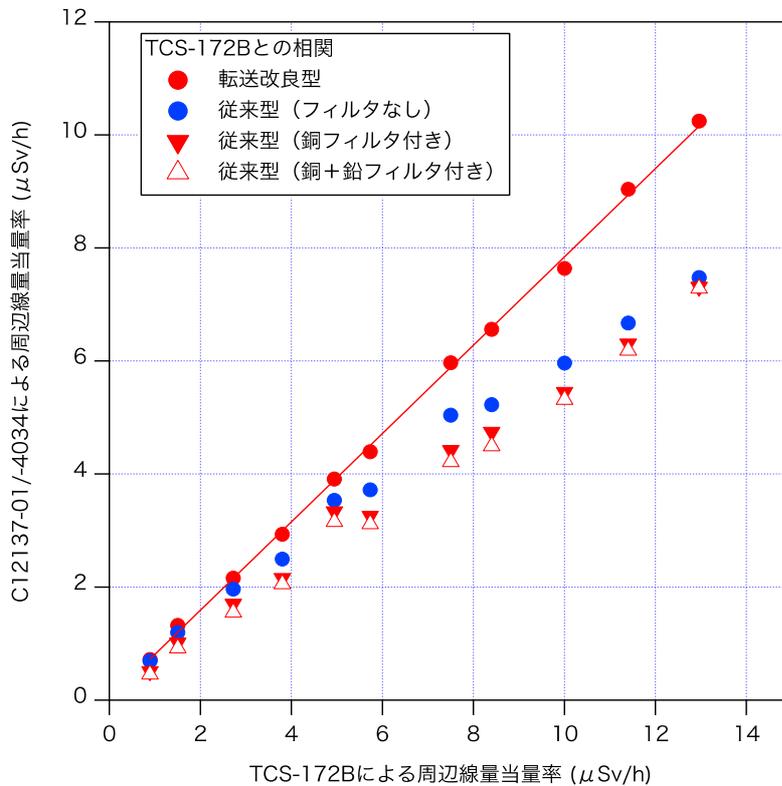


図-2 実環境における TCS-172B で測定した空間線量率に対する従来型および各種改良型の空間線量率の相関 (改良型の検出器は校正場による絶対値校正前である事に注意)

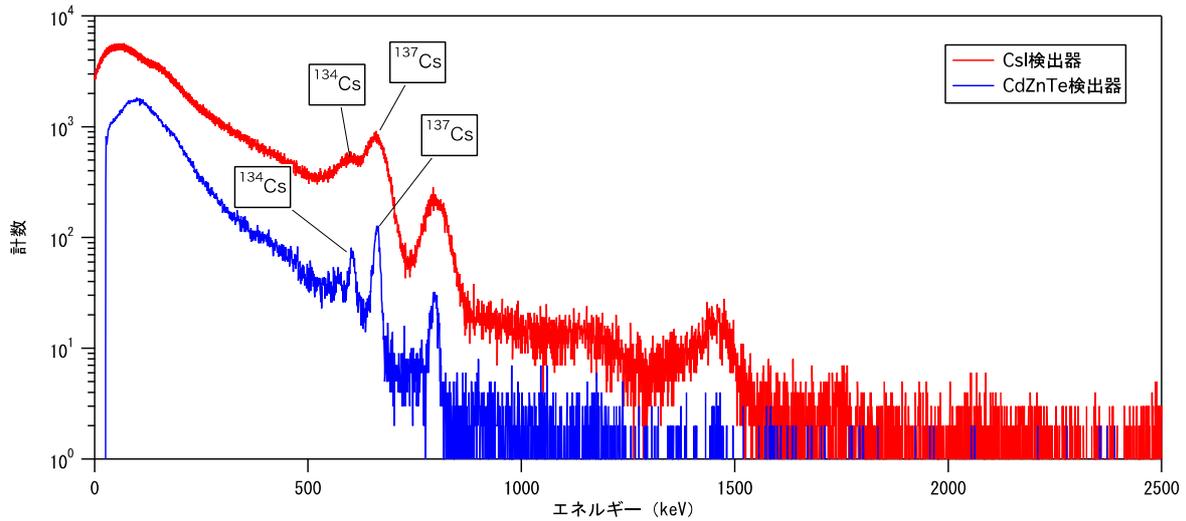


図-3 CdZnTe 検出器を接続した KURAMA-II の波高スペクトル
 (従来の CsI 検出器を使用した KURAMA-II では分離できなかったセシウム 134 の 605 keV ピークとセシウム 137 の 662 keV ピークが明瞭に分離できている)

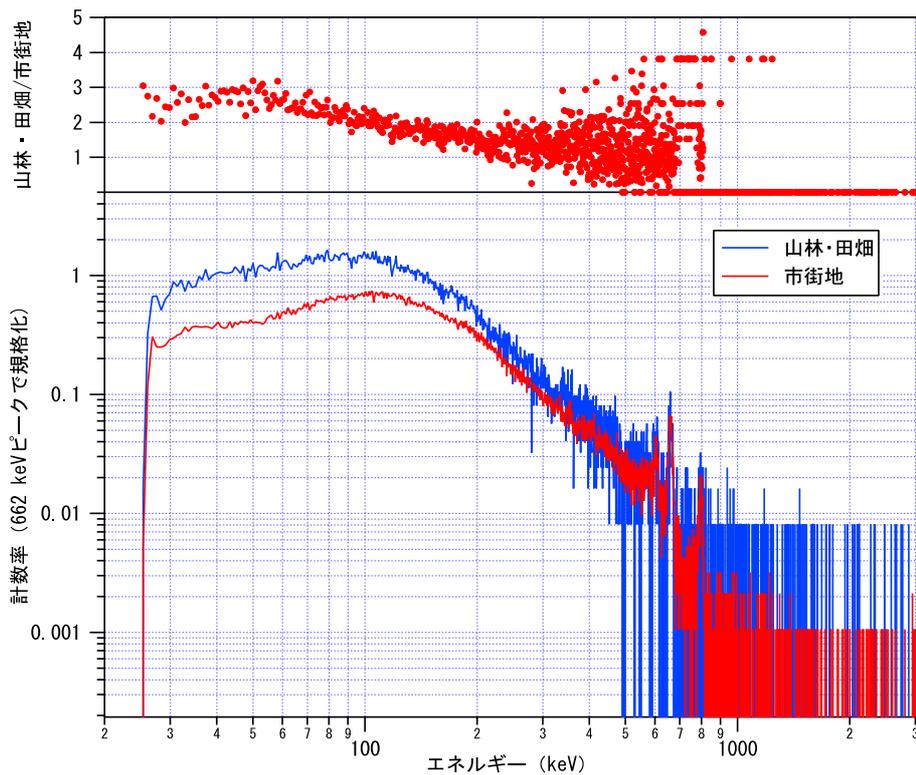


図-4 CdZnTe 検出器搭載 KURAMA-II による走行サーベイで得た測定データから
 福島市周辺の市街地および主に山林・田畑の地域について再構成した
 波高スペクトル (下) と、エネルギーごとの計数率の比 (上)
 (計数率の比にエネルギー依存性が見られ、それぞれの空間線量率に寄与する直接線と散
 乱線の比率の違いがあることが推定される)