

GPS と GIS を利用した線量測定現地調査ツールおよび 調査結果管理システム (DRaMM-GiGs) の開発

北村暁*¹ 藤原健壮*¹ 吉川英樹*¹ 五味克彦*²

除染のための線量率測定などの調査を迅速かつ確実に実施するために、全地球測位システム (GPS) と地理情報システム (GIS) を用いた線量測定現地調査ツールおよび調査結果管理システム (DRaMM-GiGs) を開発した。DRaMM-GiGs は、空間線量率などの測定結果を入力する際に位置情報と日時情報が同時に登録され、種々の結果を集約して地図上において一覧および解析することを可能としたシステムである。本システムの特徴として、あらかじめ地図上において校庭や田畑における線量率の測定地点を格子状に設定し、GPS 機能を内蔵した携帯情報端末 (PDA) 上に表示させることが可能なことが挙げられる。したがって、除染後に目印となる植栽などが撤去された場合でも、現地調査を行う際に測定地点への容易なアクセスを可能にする。本システムの試運用を通して、測定地点の決定や測定結果の整理に費やしていた多くの時間と人手が低減されることを確認した。

Keywords: 除染, 線量率測定, 携帯情報端末 (PDA), 全地球測位システム (GPS), 地理情報システム (GIS)

We developed the utility for on-site recording of dose rate and program for data accumulation, mapping and management using the Global Positioning System (GPS) and a geographic information system (GIS) (DRaMM-GiGs) to perform prompt and reliable investigations in a decontamination project. The system simultaneously accumulates data on dose rate, date, time and position, and integrates the accumulated data which are available to be viewed and analyzed on a map. The system incorporates a function which presets monitoring sites as a grid square, and allows to access easily to the preset monitoring sites using a personal digital assistant (PDA) with GPS even after removal of marks such as trees and bushes. It was confirmed that working time and manpower for monitoring and data analysis could be substantially reduced through preliminary operation.

Keywords: decontamination, dose rate monitoring, personal digital assistant (PDA), the Global Positioning System (GPS), geographic information system (GIS)

1 はじめに

2011年3月に発生した福島第一原子力発電所における事故では、多量の放射性物質が大気中に放出され、福島県内をはじめとして広範囲にわたる地域が放射能によって汚染される事態となった。発電所から60 kmほど離れている福島市においても、2011年3月15日18:40に空間線量率の最大値24.24 $\mu\text{Sv h}^{-1}$ を記録した[1]。放出された放射性核種のうち、放射能汚染で最も問題になっている核種はセシウム134およびセシウム137であり、その半減期はそれぞれ2.06 yおよび30.07 yと比較的長いことから、これらの核種は今後も長期間にわたり存続する。したがって、被ばく低減のため福島県内外の多くの地点において、放射能の除染が必要となっている。

「平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法」(以下、特措法)では、空間線量率が0.23 $\mu\text{Sv h}^{-1}$ 以上と認められた区域が除染計画を定めて除染を実施する区域となっている[2]。環境省は、2011年12月に、汚染状況の調査測定方法、除染等の措置、除去土壌の収集および運搬、除去土壌の保管に関する「除染関係ガイドライン(第1版)」を公開した(なお、第2版が2013年5月に公開されている[2])。このガイドラインでは、除染の効果を確認するために、除染作業開始前と除染作業終了後における空間線量率や除染対象

の表面の汚染密度を測定するよう定められている。さらに、校庭や公園の場合は10 m程度の格子状に、比較的広い土地の場合は10 mもしくはそれ以上の間隔の格子状に測定地点を決定するよう定められている。したがって、校庭や田畑のような比較的広い平地では、等間隔で数多くの測定地点を設定する必要がある。一方、建物や植栽の周辺には、排水口や植栽根元など局所的に表面線量率の高い箇所が確認されることから、無用な被ばくを避けるために詳細な測定が必要である。

独立行政法人日本原子力研究開発機構(以下、原子力機構)では、事故後比較的早い段階から、線量低減対策(当時は「除染」という言葉は使用していなかったことから、当時の表現を踏襲する[3])前後の線量率測定を実施してきた。例えば、後述する福島市内の学校校庭などにおける線量率測定[3]では、最初の実施時期が事故後わずか2か月足らずの2011年5月であった。新規にシステムを開発する時間はなかったことから、手持ちの機器を用いて作業を実施した。この時期に除染前後の線量率などの測定を行った際、下記のような問題点が指摘された。

- 巻き尺を用いて格子状の測定地点群を決定するのが複雑な作業であること。
- 校庭や田畑など広場の除染では表土や植栽の除去が一般的であることから、各測定地点に目印を設置するのが困難であること。
- 校庭の空間線量率や植栽の表面線量率など多数の測定を実施したことから、測定結果を整理するのに膨大な作業が必要となること。

このため、校庭や田畑での線量率などの事前測定には多くの時間と人手を割いて実施せざるを得なかった。また、本稿投稿時点においては、全地球測位システム(GPS)を搭載した放射線測定器がいくつか市販されているものの、下記の問題点が指摘される。

Development of utility for on-site recording of dose rate and program for data accumulation, mapping and management using GPS and GIS (DRaMM-GiGs) by Akira KITAMURA (kitamura.akira@jaea.go.jp), Kenso FUJIWARA, Hideki YOSHIKAWA, Katsuhiko GOMI

*1 独立行政法人日本原子力研究開発機構
Japan Atomic Energy Agency

〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33

*2 アジア航測株式会社 Asia Air Survey Co. Ltd.

〒215-0004 神奈川県川崎市麻生区万福寺 1-2-2

(Received 22 January 2013; accepted 27 May 2013)

- ・ 地図や航空写真上に測定結果が直接的に表示されないため、結果の一覧および地理空間的解析が迅速には行えないこと。
- ・ GPS 情報の精度が高くないために、位置情報の再現性が不十分であるおそれがあること。
- ・ 測定値以外の記録を別途行う必要があり、結果的にデータ整理作業が繁雑になること。

このことから、線量率などの測定および集計作業を迅速かつ確実に遂行するため、測定地点を正確に把握するとともに、測定結果を地点ごとおよび測定日時ごとに整理し、かつ電子情報で一元管理できるようにするための調査ツールおよび管理システム (Utility for On-site Recording of Dose Rate and Program for Data Accumulation, Mapping and Management Using GPS and GIS; DRaMM-GiGs) を開発した。本システムの特徴は下記のとおりである。

- ・ 測定データを地理情報システム (GIS) で利用可能な形式で蓄積し、地図や航空写真上における測定結果の一覧や地理空間的な解析が可能であること。
- ・ あらかじめ地図上において校庭や田畑における線量率の測定地点を格子状に設定することが可能なこと。
- ・ 設定した測定地点が携帯情報端末 (PDA) 上に表示され、測位機能を利用して容易にアクセスできること。
- ・ 測位誤差を 10 cm 程度にまで低減させることが可能な高精度の測位機能を用いることで、より正確な位置情報の取得が可能であること。
- ・ 現況写真を位置情報とともに記録し、測定地点および測定値との照合が容易なこと。

なお、本システムでは放射線測定機能を搭載せず、目的に応じて異種の放射線測定装置を利用することが可能な汎用性を持たせることとした。

本システムの性能確認を目的として、格子状の測定地点の決定と測定結果の収集を実施した。

2 システムの構成

本システムは、GIS コンテンツ/サービスを共通利用できる統合プラットフォームである ESRI 社製の地理情報システムソフトウェア (ArcGIS) 上で動作する、新規開発のアドインプログラムを中心に構成される。本システムでは、ArcGIS の各ソフトウェアにおける入出力データを統一的に管理することが可能で、以下の機能を有している。

- ・ 地図や航空写真上で調査エリアおよび測定地点を設定。
- ・ 空間線量率などの測定値や写真などの記録を日時および位置情報とともに保存。
- ・ 保存した情報を集約し、種々の調査結果を地図もしくは航空写真上に表示。
- ・ 時系列データの作成。
- ・ 調査票の自動作成および出力。

以上の機能のうち、測定地点の事前設定や調査結果の集約および出力には、GIS ソフトをインストールしたパーソナルコンピュータ (PC) で動作する「調査結果管理システム」を使用する。また、測定値や写真などの記録には、測位機能を有する携帯情報端末 (PDA) 上で動作する「線量

測定現地調査ツール」を使用する。これらシステムおよびツールの関係とデータの流れを Fig. 1 に示す。

本調査で必要となるソフトウェアの一覧を Table 1 に示す。ArcView および ArcPad は ArcGIS 上で動作するソフトウェアであり、ArcGIS データコレクションは ArcGIS 上で使用可能なデータ集で、この中に電子地図が含まれる。なお、高解像度の航空写真があると、測定地点がより明確になり作業効率が向上する。

Table 1 に示したソフトウェアを実行させるために必要な PC と PDA の仕様を、それぞれ Table 2 および Table 3 に示す。PDA については、位置情報取得のために測位機能を必要とする。また、写真撮影のためのカメラ機能や、測位感度向上のための外部アンテナが付属していることが望ましい。



Fig. 1 Schematic procedure and dataflow in the DRaMM-GiGs.

Table 1 Softwares required for the DRaMM-GiGs.

ハードウェア	必要なソフトウェア
PC	ArcView Ver. 10 SP2 (ESRI 社製) GPS Analyst (Trimble 社製) ArcGIS データコレクション (電子地図) (ESRI ジャパン (株) 製) Microsoft Excel (2007 以上) Adobe Reader (7 以上) Microsoft .NET Framework 3.5 SP1 「調査結果管理システム」アドインプログラム (新規開発)
PDA	ArcPad Ver. 10 (ESRI 社製) GPS correct (Trimble 社製) 「線量測定現地調査ツール」アドインプログラム (新規開発)

Table 2 Required specifications of operation PC.

項目	要件
オペレーションシステム	Windows XP / Vista / 7
プロセッサ	PC-Intel
CPU の速度	2.2 GHz デュアルコア以上
メモリ/RAM	2 GB 以上

Table 3 Required specifications of operation PDA.

項目	要件
オペレーションシステム	Windows Mobile 6.5
プロセッサ	Intel (StrongARM, XScale) Samsung Texas Instruments (OMAP) Atmel
メモリ/RAM	64 MB RAM 以上
ディスクスペース	約 11 MB
必要な機能	測位機能, 写真撮影機能, SD カード装着機能

本調査で導入した機種を Table 4 に示す. 複数の地点で同時に調査を行うのが効率的であることから, 本調査では Table 4 に示した PDA およびその付属品類を 5 式導入した.

Table 4 Equipments for the DRaMM-GiGs in the present work.

装置	品名
PC	Lenovo ThinkPad T520
PDA	Trimble GeoExplorer 6000 XH
外部アンテナ	Zephyr Model 2 Antenna
レンジポール	Carbon Fiber Range Pole 2 m
ブラケット	GeoExplorer 600 XH Series Range Pole Bracket

3 DRaMM-GiGs の機能

3.1 調査結果管理システム

調査結果管理システムを搭載した ArcView および調査結果管理システムツールバーのスクリーンショットを Fig. 2 に示す. 本システムは以下の機能を有する.

- ・ 調査エリア・建屋ポリゴン作成

調査するエリアや建屋を区分する機能である. ひとつの調査範囲内に複数のエリアを設定し, PDA に搭載する地図情報などをエリアごとに区分することで, データ転送量を節約し, PDA の軽快な動作を可能にする.

- ・ 調査ポイント追加

格子状の測定地点群などを設定する機能である. 設定にあたっては, 事前に PC 上で暫定的な起点を定め, 測定地点間の距離, 水平および垂直方向の測定地点数, 水平方向の角度を入力することで, 測定地点の数および相対位置を指定する. 起点の位置と格子の方角を現地での測位結果に基づいて校正することで, すべての測定地点の位置が正しく設定される.

- ・ PDA データ入出力

測定前に PC 上で作成した調査エリア・建屋ポリゴンの情報を PDA に転送する機能, および PDA による線量率データと位置情報, 撮影画像などの測定記録を PC 上の GIS に取りこむ機能である.

- ・ 検索

線量率データの種類, エリア番号などで測定値を検索する. 属性検索も可能である. また, 検索したデータを修正することも可能である.

- ・ 調査票作成

上記の検索でヒットしたデータについて, Microsoft 社製 Excel (2007 以上) で編集が可能なファイル形式の調査票を出力する. 調査票は定められた様式で出力されるものの, 出力後に表示順の入れ替えやレイアウトの変更などを行うことが可能である.

- ・ 測定器管理

あらかじめ使用する測定器の情報 (型番, シリアル番号など) を登録しておく. PDA でのデータ入力の際に, 使用した測定器を簡単に記録することが可能である.

- ・ KML 出力

測定結果を Keyhole Markup Language (KML) 形式のファイルで出力する. KML を用いる地図ソフトなどの上に測定結果を表示させることが可能である.

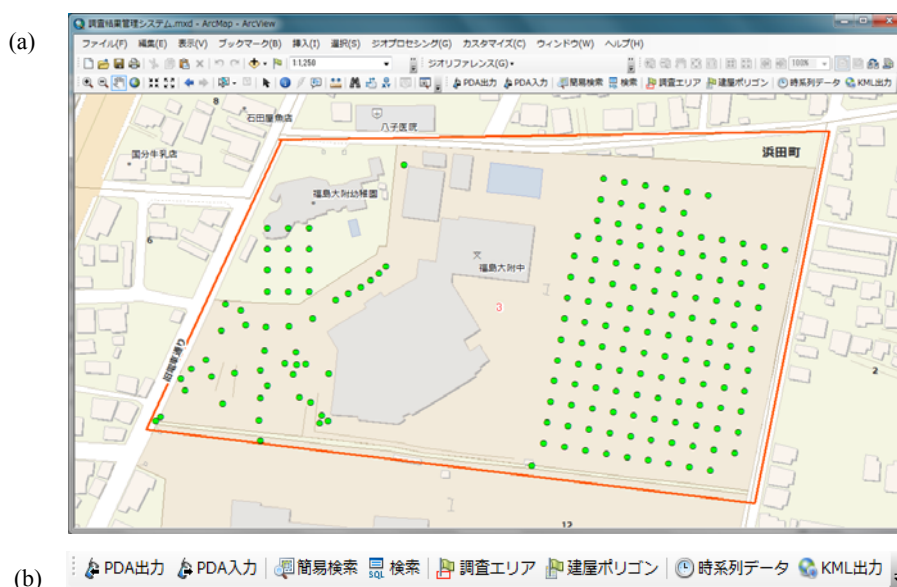


Fig. 2 Screenshots of the ArcView for whole image (a) and toolbar of the add-on program developed in the present work (b).

3.2 線量測定現地調査ツール

線量測定現地調査ツールのスクリーンショットを Fig. 3 に示す。本ツールのツールバーは、放射能標識に書類のイメージを組み合わせたアイコン () をタップしたときに現れる。本ツールでは、以下の機能が利用可能である。

・測定結果の入力

市販のサーベイメータなどで測定した結果を入力する。線量率については表面と高さ 1 m の両方で測定することが一般的である。また、土壌を採取する場合に、採取深さでの線量測定を行うことが一般的である。以上を踏まえて、既定項目として 1 cm, 100 cm および「土壌」の 3 項目を設定するとともに、予備として「その他」項目を追加した。手作業で入力するため、誤入力に注意する必要がある。

・写真撮影

測定地点付近の風景や作業の様子を記録する。撮影機能を内蔵した PDA を利用することで、測定地点の位置情報を付加した写真撮影が実施可能である。

・位置情報の取得と付与

位置情報を取得するとともに、取得した位置情報を測定結果および写真に自動的に付与する。測位機能である GPS とロシアの衛星測位システム GLONASS を併用することで、受信衛星数を増大させ、測位精度を向上させる。外部アンテナを取り付けることで、衛星信号の受信感度を向上させることができる。さらに、全国の固定基準局（電子基準点）のデータを活用する仮想的な基準点（Virtual Reference Station; VRS）を利用することで、測位誤差を 10 cm 程度にまで低減させることが可能である。

・調査ポイント追加

あらかじめ調査ポイントを設定していなかった地点において、その場で測位することで調査地点を追加する機能である。

・CSV 出力

測定データをカンマ区切り（CSV）形式で出力する。

4 システムの試運用

4.1 DRaMM-GiGs 導入前の測定状況

原子力機構が実施した線量低減対策前後の線量率測定の例として、福島大学附属中学校および幼稚園（福島県福島市浜田町；両者は同一の敷地内にある）での調査[3]を示す。この調査では、2011 年 5 月に線量低減対策実施前の線量率測定を実施し、その後線量低減対策に係る試験を実施した。翌月（2011 年 6 月）に、線量低減対策後の線量率測定を実施した。これらの放射線モニタリングの際に、中学校校庭およびバレー・テニスコート（Fig. 4）では、10 m 間隔の格子状に計 142 箇所の測定地点を設定し、線量率（表面、地上 50 cm および地上 1 m）の測定を行った。また、幼稚園園庭（Fig. 5）では、10 m 間隔の格子状に計 12 箇所の測定地点を設定し、線量率（表面、地上 50 cm および地上 1 m）の測定を行った。さらに、各所の植栽・雨どい・プール・屋上等において、合計約 250 箇所の地点で線量率（主に表面のみ、一部地点では表面、地上 50 cm および地上 1 m の

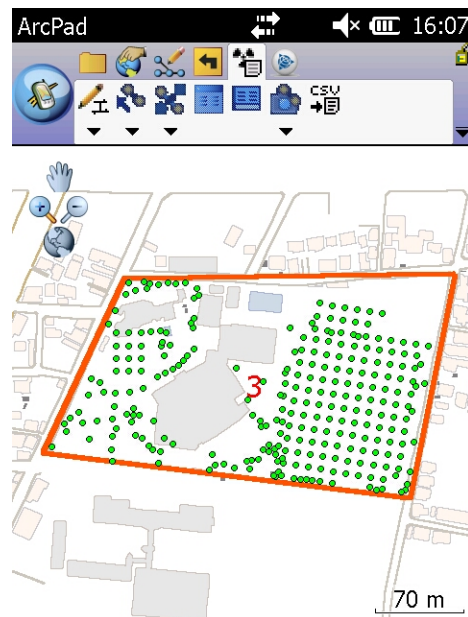


Fig. 3 Screenshot of ArcPad with the add-on program on accumulating dose rate together with location, date and time.

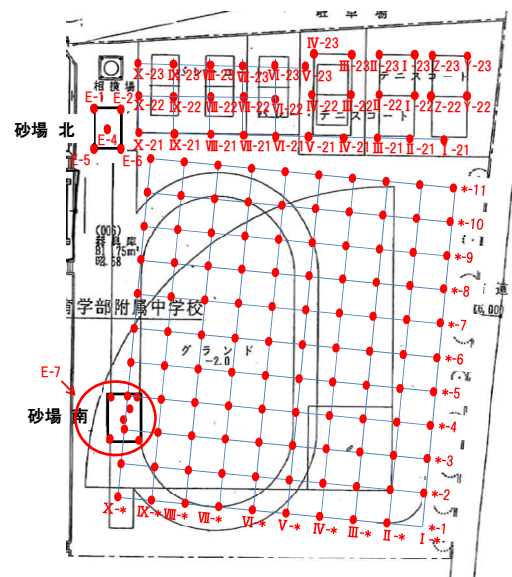


Fig. 4 Monitoring sites in school field of junior high school before introducing the DRaMM-GiGs [3].

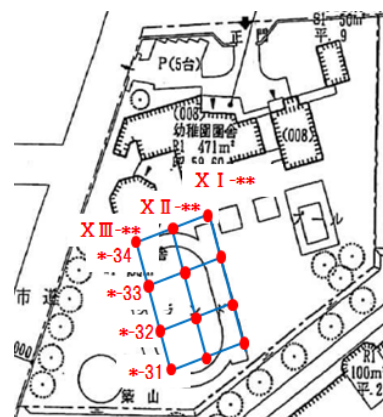


Fig. 5 Monitoring sites in kindergarten yard before introducing the DRaMM-GiGs [3].

3 種) の測定を行った。線量率の測定には、日立アロカメディカル (株) 製 TCS-161 の NaI シンチレーションサーベイメータを用いた。時定数は 10 秒に設定した。5 月のモニタリングでは 32 人日 (16 名×2 日)、6 月のモニタリングでは 18 人日 (18 名×1 日) を要した。

4.2 DRaMM-GiGs を用いた測定結果の記録

DRaMM-GiGs を用いた線量率測定は、線量低減対策実施から 1 年を経過した 2012 年 5 月に実施した。中学校校庭および幼稚園園庭の格子状の測定地点については、あらかじめ PC 上で、Fig. 4 および Fig. 5 に示したものと同一測定地点数および形状による 10 m 間隔の格子を作成し、現場にて起点の校正を行うことで、格子状の測定地点全体を決定した。この測定地点の情報を PDA に転送し、PDA 上の表示位置を測定地点とした。その他の地点については、Fig. 4 および Fig. 5 などに示した過去の資料の情報を基に現地調査を行い、測定地点を決定した (Fig. 2(a))。しかしながら、過去の測定地点が確認できなかった箇所がいくつかあった。その原因として、植栽などが除去された、あるいは 2011 年 5 月および 6 月の測定における記録の正確さが完全ではなかったことなどが考えられる。DRaMM-GiGs を用いることで、このような事態を防ぐことが可能となる。

本現地調査では PDA を 4 機使用し、2~3 人を一班として 4 班で測定および記録を行った。校庭および園庭では、測定地点ごとに地上高 1 cm、50 cm および 100 cm の 3 箇所での線量率測定を実施した。植栽や排水口などについては、主に表面線量率のみを測定した。線量率測定には、日立アロカメディカル (株) 製 TCS-172B を使用した。測定の時定数は、4.1 節で述べた DRaMM-GiGs 導入前の測定と同じ 10 秒に設定した。

測定したデータを PC 上に集約したのち、GIS 上でデータ整理を行った。本調査の結果の例として、各測定地点における表面線量率について航空写真上に表示した結果を Fig. 6 に示す。本システムでは、測定値に応じて自動的に 5 段階に色分けされるようになっている。なお、Fig. 6 中の高線量率の値は、主にケヤキなど一部の植栽の根元付近を測定した結果である [3]。本整理にあたっては、測定地点が明確になるように、地上解像度 25 cm の航空写真 (NTT 空間情報 (株) 製 GEOSPACE) を用いた。

本作業の人工数は約 7 人日 (3 名×3 時間+10 名×4 時間で、1 日を 7 時間と仮定) と、DRaMM-GiGs 導入前の半分以下になった。また、データ整理にかかる時間も大幅に低減された。したがって、本システムの導入により、除染前後の線量率などの測定とデータ整理に要する時間と人手を、導入前の 1/2~1/4 に低減することが可能であることを確認した。

5 まとめ

校庭や田畑など面積の広い土地における効率的な線量率測定を目的として、GPS と GIS を利用した DRaMM-GiGs を開発した。地理情報システムを利用する調査結果管理システムでは、測定エリアの設定を行うとともに、校庭や田

畑における格子状の線量率測定地点を簡便に設定することを可能とした。また、設定された情報を測位機能付 PDA に転送し、現地調査において PDA で測定値の入力や写真撮影を行うことにより、位置情報と測定値や写真を連携させることを可能とした。さらに、PDA で記録した測定値や写真を調査結果管理システムに集約し、地図上にて測定結果を迅速に表示することを可能とした。本システムを実際の現場で試運用した結果、除染前後の線量率などの測定とデータ整理に要する時間と人手が低減できることを確認した。

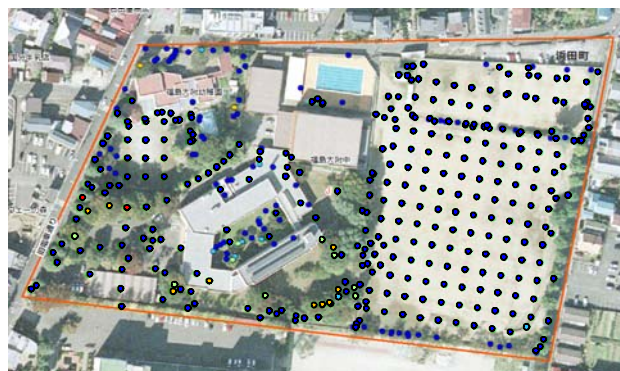


Fig. 6 Example of monitoring sites and distributions of surface dose rates in junior high school and kindergarten in Fukushima City. The aerial photograph was taken by the NTT Geospace Corporation in October, 2010. Red quadrangle shows the monitoring site in the present work. Each color in the symbol shows dose rate of 0 – 1.94 $\mu\text{Sv h}^{-1}$ for dark blue, 1.94 – 3.23 $\mu\text{Sv h}^{-1}$ for light blue, 3.23 – 5.92 $\mu\text{Sv h}^{-1}$ for light green, 5.92 – 14.3 $\mu\text{Sv h}^{-1}$ for orange, and $\geq 14.3 \mu\text{Sv h}^{-1}$ for red.

謝辞

本システムの開発にあたっては、アジア航測株式会社諸氏の協力をいただいた。また、4.2 節で述べた本システムの試運用においては、福島大学附属中学校および同幼稚園ならびに原子力機構福島技術本部福島環境安全センターの協力をいただいた。深く感謝申し上げる。

参考文献

- [1] 福島県: 県内 7 方部環境放射能測定結果 (暫定値) 平成 23 年 3 月 11 日~3 月 31 日, <http://www.cms.pref.fukushima.jp/download/1/thoubu0311-0331.pdf> (2011).
- [2] 環境省: 除染関係ガイドライン第 2 版, 平成 25 年 5 月 (2013).
- [3] 操上広志, 吉川英樹, 笹本広, 飯島和毅, 在間直樹, 宗像雅広, 時澤孝之, 中山真一: 福島大学附属中学校校庭および附属幼稚園園庭における線量低減に関する調査・検討報告書, JAEA-Review 2012-045 (2013).

