

# 自律移動ロボットを用いた放射線量の自動計測 ～広範囲を短時間で精度よく計測するための二段階測定法の検討～

○石島 英紀<sup>†1</sup>, 大矢 晃久<sup>†1</sup>

## Automatic Measurement of Radiation Dose Using an Autonomous Mobile Robot ～Two-Step Measurement Aimed to Accurately Measure in Wide Area, Short Time～

\*Eiki ISHIJIMA<sup>‡1</sup>, Akihisa OHYA<sup>‡1</sup>

**Abstract**— The purpose of the research is to create a radiation map. Radiation is harmful to the human body so we must avoid radiation as much as possible. A radiation map enables to avoid the high radiation point for human. However radiation measurement needs to stay for a few minutes at the point of measurement so radiation measurement a large number of points is difficult. Therefore, we aimed to create a radiation map automatically by using a mobile robot. In this paper a Two-Step measurement is proposed aimed to create a radiation map using a mobile robot.

**Keywords:** Autonomous Mobile Robot, Radiation Measurement, Radiation Map, Two-Step measurement

### 1. はじめに

東日本大震災により福島第一原子力発電所から複数の放射性物質が広範囲に飛散した。これに伴い、放射性物質が地表面に付着したり空気中を漂うことで普段の放射線量よりも高い線量が記録されている [1]。放射線量が高いと人体に悪影響を及ぼし、ガンの発生リスクを高めたり、白内障などの症状を引き起こす [2]。

今回の震災では、広範囲に放射性物質が飛散したが、直ちに人体に影響が現れるほどの高い放射線量ではない。しかし、排水溝や水たまりなど、放射性物質が雨水により一箇所に集まり、その部分が非常に高い線量になることや、一定の面積範囲全体が高い線量を示す場合もある [3]。排水溝や水たまりは学校の校庭や公園、通学路などに多数存在するため、そういった所の放射線量を計測し、線量の高い部分は除染などの処置をしなければならない。そこで、Fig.1のような計測した土地の放射線量マップを作成することができれば、視覚的にどこがどれくらいの線量か分かるため除染箇所の特定以外にも、その土地が安全か判断する材料になると考えられる。

線量マップを作成するには多数の地点で放射線量を計測する必要があるが、計測地点につき数分間静止しなければならないため、手作業で多数の地点を計測することは困難である。そこで、移動ロボットに線量計を取り付け、計測を自動化することで、計測範囲全体を細かく計測できると考えられる。

### 2. 関連研究

関連研究として、黒田らが開発している放射線連続観測ロボット「CERES」があげられる [4]。このロボットは、汚染された広大なエリア全体をくまなく丹念に計測するためのロボットであり、遠隔操作を受けながら任意の場所の放射線量を計測する。しかし、遠隔操作なため広大なエリアを計測するには、人が操作し続けなければならない。

放射線量を自動的に計測するシステムの開発も行われている [5]。しかし、文献 [5] では、主に構築したシステムについて述べられており、どのように放射線量を計測すべきかにつ

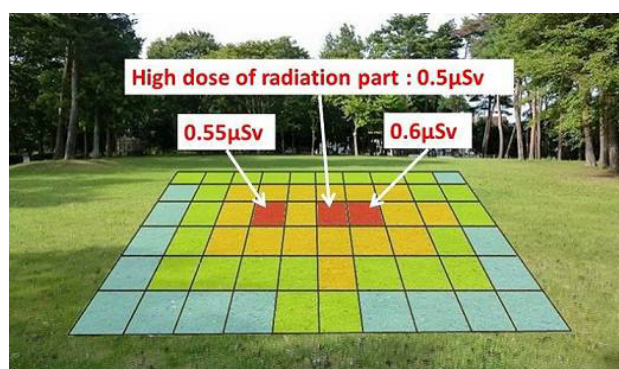


Fig. 1 A concept of the radiation map

いては述べられていない。そこで、本研究では、移動ロボットを用いた放射線量の自動計測について基礎的な実験を行った。

### 3. 二段階計測手法

本研究では、学校の校庭や公園等の放射線量をロボットを用いて計測し、走行経路と放射線量データを組み合わせた放射線量マップの自動生成を目的とする。作成する放射線量マップは、線量の高い部分を特定するため Fig. 1 のようにグリッド状に表現することを考えている。また、標準的な大きさの校庭 [6] である 100 × 50m 程度の土地を、7～8 時間の計測時間で終わらせることを目標とする。ちなみに、上記の範囲を 1m 間隔ごとに 2 分間静止して計測を行った場合、166 時間かかる。目標時間内に計測を完了させるため、以下の 2 段階に分けて計測を行う。

#### 第一段階

走行しながら線量を計測し、計測範囲全体のおおまかな線量分布を求める

#### 第二段階

第一段階で求めた分布から高放射線量部分を特定し、その部分で静止して計測することで高い精度で線量を求める

本稿では、上記の方法で放射線量が正しく計測可能か検証を行ったので、その結果について報告する。

<sup>†1</sup> 筑波大学 大学院 システム情報工学研究科

<sup>‡1</sup> Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba



Fig. 2 Dose Rate Meter used in this study

Table 1 The specifications of Dose Rate Meter TC100

Dose rate range	0.001 $\mu$ Sv/h $\sim$ 50.000 $\mu$ Sv/h
Detecting scheme	Scintillation type
Power supply	Lithium polymer battery charger
Time Constant	AUTO, 3s, 10s, 30s, 60s, 90s
Interface	USB2.0
Size	W67 $\times$ H115 $\times$ D28(mm)
Weight	180(g)

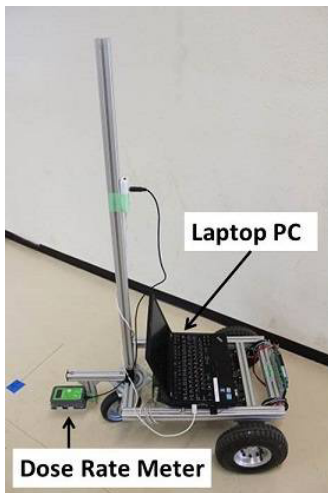


Fig. 3 Robot used in this study

#### 4. 使用する機器

本研究では、放射線計測器を搭載した移動ロボットを用いて実験を行う。以下でシステムを構成するハードウェアについて詳細を述べる。

##### 4.1 放射線計測器

本研究では、Fig. 2 に示す TechnoAP 社製のシンチレーション式サーベイメータ TC100 を使用した。仕様を Table 1 に示す。また、この線量計は以下の特徴を有する。

- 1) 0.001 $\mu$ Sv/h 程度の低線量を計測可能であるため、全体的に放射線量が低い土地における高放射線量部分の特定に向いている
- 2) 持ち運びが可能であるため、移動ロボットに装着して放射線量を計測することができる
- 3) PC と接続しデータを記録できる

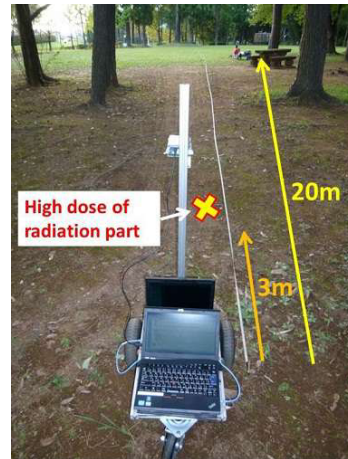


Fig. 4 Radiation measurements at 0.3m/s

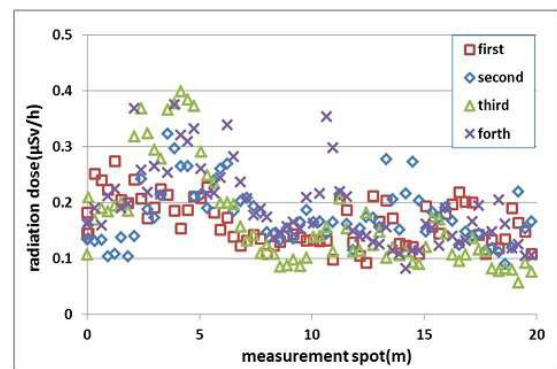


Fig. 5 Result of radiation measurements at 0.3m/s

#### 4.2 移動ロボット

本研究で使用するロボットの外観を Fig. 3 に示す。走行系は独立二輪型の駆動方式を用いており、動輪 2 輪、従動車輪 1 輪の合計 3 輪を備える。また、ロボット上には走行制御用のボードコンピュータが搭載されており、モータの速度制御や車輪回転量の取得を行っている。

#### 5. 第 1 段階：放射線量分布の取得

ここでは、走行しながら放射線量を正しく計測するため、線量計の取り付け位置、走行速度、計測回数を検討した結果について述べる。

##### 5.1 線量計の取り付け位置

環境省の除染ガイドライン [7] では、小中学生の心臓の位置を考慮して、地表から 1m の高さの放射線量を計測することになっている。一方、放射性物質は土壌に付着するため、地表に近いほど線量が高い傾向がある。本研究では、地面に付着した放射性物質による放射線量の計測を対象とするため、地表から 10cm の高さに線量計を取り付け計測を行った。

##### 5.2 走行速度

走行速度を決める際の条件として、1m ごとに放射線量を求めることとする。本研究で使用する線量計は、時定数を最短である 3 秒にしても、3 秒間の平均値が出力されるため、走行速度を 0.3m/s にすることで、1m ごとに放射線量を取得できるようにした。

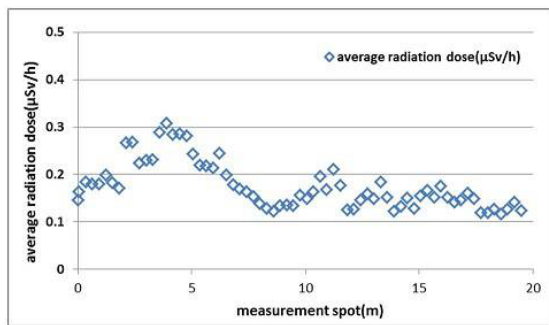


Fig. 6 Average dose of radiation

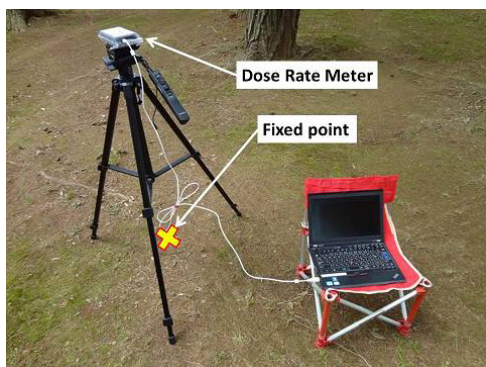


Fig. 7 The experiment which finds average dose-of-radiation time

### 5.3 計測回数

放射線量の計測は、1回の計測では、ばらつきが大きく高放射線量部分を特定できないため複数回計測する必要がある。取得するデータ数を増やす方法として、複数回走行することや線量計を増やすことを検討した。走行回数においては、0.3m/sの速度で50×100mの範囲を計測する場合、計測時間は3～4時間程度なため、2回走行することにした。また、線量計を2個搭載することで、合計で4つのデータを取得することにした。そして、Fig. 4に示すように、ロボットを0.3m/sの速度で20m直進させながら放射線量の計測を行った。得られた4つの計測結果をFig. 5に示す。これらの計測結果からも、計測するタイミングによって計測値が異なるため、1回の計測では高放射線量部分の特定は難しいことがわかる。また、4つの計測結果から各計測地点ごとに平均放射線量を算出したものをFig. 6に示す。Fig. 6では、2～3m付近の線量が高く、それ以外の部分では線量が低く計測されている。このことから、線量の高い部分と低い部分を区別することができており、複数の計測結果を用いて平均放射線量を求めることで、高放射線量部分の特定が可能であると考えられる。

## 6. 第2段階：高放射線量部分の線量計測

ここでは、高放射線量部分を精度よく計測するため、放射線を平均する時間（放射線平均時間）と計測間隔を検討した結果について述べる。

### 6.1 放射線平均時間

放射線計測は通常、放射性物質が放射線を出す確率が一定ではないため、計測地点において数分間静止した後に計測値を読み取る、もしくは、線量の時間平均をとることになっている[7]。しかし、使用する線量計によって平均すべき時間が異なるため、適切な放射線平均時間を決定する実験を行った。

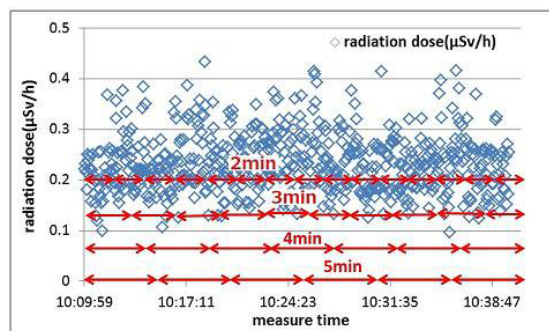


Fig. 8 The dose of radiation for 30 minutes

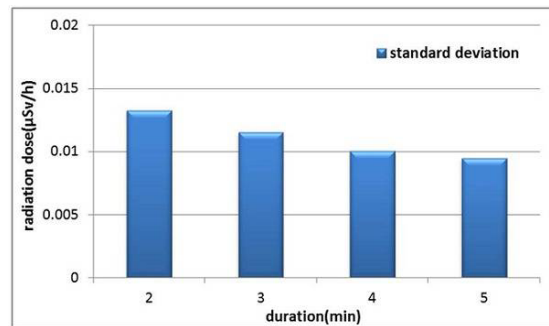


Fig. 9 Standard deviation of each average radiation time

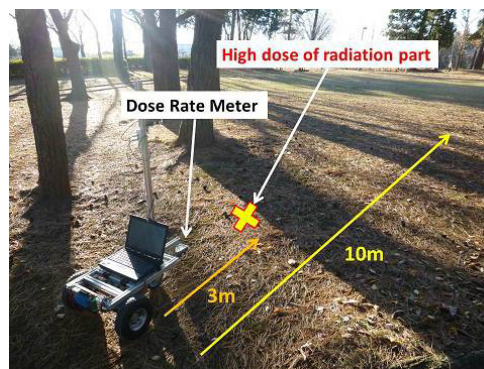


Fig. 10 Measured at 1m distance

Fig. 7に示す地点において計測した、30分間の放射線量をFig. 8に示す。そして、Fig. 8の結果を用いて適切な放射線平均時間を求めるため、30分間の放射線量を2分間で区切り、15個の平均値から標準偏差求めた。また、3,4,5分間の標準偏差も同様に求めた。結果をFig. 9に示す。産業技術総合研究所では1時間ごとに平均放射線量を公表しており[8]、1時間平均でも0.01μSv/hのばらつきがあった。一方、Fig. 9の放射線平均時間が4分間の標準偏差は0.01μSv/h程度であることから、1時間の平均放射線量と同程度のオーダーで線量を計測できると考えられるため、放射線平均時間は4分間で十分であると言える。

### 6.2 計測間隔

高放射線量部分を静止して計測する場合、どれくらいの計測間隔ならば線量の高い部分と低い部分を区別できるのか調査するため、Fig. 10に示すように、ロボットを1mごとに静止させて線量を計測し、各計測地点ごとに平均放射線量を求めることにした。なお、静止時間は6.1より4分間とした。1mごとに平均放射線量を算出した結果をFig. 11に示す。産

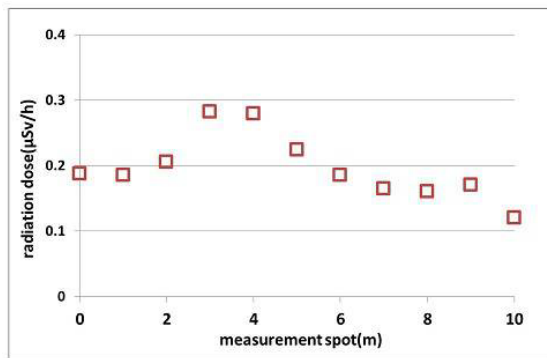


Fig. 11 Average dose of radiation

業技術総合研究所の1時間の平均放射線量が $0.01\mu\text{Sv/h}$ 程度ばらついていることを誤差範囲とすると、Fig. 11の2mと3mの平均放射線量の差が約 $0.1\mu\text{Sv/h}$ と、誤差範囲よりも大きいため、1m間隔で放射線量を計測した場合でも線量の高い部分と低い部分を区別できることが分かった。また、計測間隔を1m以上とすると放射線量マップが粗くなってしまい、逆に1mよりも短くすると計測に時間がかかるため、1mが適切であると考えられる。

## 7. おわりに

本稿では、移動ロボットを用いた放射線量の計測手法について述べた。具体的には、計測時間を短縮しつつ広範囲を精度よく計測するため、2段階に分けて計測を行う手法を考え、計測が可能であるか実験を通して確かめた。今後は、広場で計測を行い、放射線量の2次元的な分布を求めることを検討している。

## 参考文献

- [1] 新・全国の放射能情報一覧  
<http://new.atmc.jp/>
- [2] 公益財団法人 放射線影響研究所 日米共同研究機関 放射線の影響  
<http://www.rerf.or.jp/radefx/index.html>
- [3] 放射性物質による局所的汚染箇所への対処ガイドライン  
[http://www.env.go.jp/jishin/rmp/attach/kyokusho-gl\\_full.pdf](http://www.env.go.jp/jishin/rmp/attach/kyokusho-gl_full.pdf)
- [4] 黒田 洋司：“無人放射線観測ロボットシステム”，第30回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ),AC2A-6, 2012.
- [5] 小棚木 隆史,市川 健太郎,竹井 年延,鳥毛 明：“自律移動ロボットによる放射線計測システムの検討”，ロボティクス・メカトロニクス講演会'12, IPI-E07, 2012, 3月.
- [6] 小学校設置基準(平成14年3月29日文科科学省第14号)  
<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H14/H14F20001000014.html>
- [7] 環境省「除染関係ガイドライン」,  
[http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=14582\(2011.12.14\)](http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=14582(2011.12.14))
- [8] 産業技術総合研究所 つくばセンター放射線測定結果  
<http://www.aist.go.jp/taisaku/jp/measurement/index.html>