



# 年次大会ポスター発表紹介 最優秀ポスター賞 ベクレル／シーベルトサーベイメータと その利用方法に関する検討



河野 孝央

## 1. はじめに

福島第一原子力発電所事故(2011年3月)により、家屋や田畑等、県内全域で放射能汚染が発生し、その後、復興に向けて、広範囲の除染作業が進められた。なお、この作業は、放射線量測定や放射能測定を伴うが、放射能測定に用いられる装置は、検出器を遮蔽する関係で重量物が多く、復興作業現場に持ち出して使用することは困難であった。本研究ではこのような問題を解決するため、軽量で、放射能と放射線量を同時に測定できる装置、すなわちベクレル／シーベルトサーベイメータ (BSサーベイメータ) の概念設計を行った<sup>1)</sup>。以下、装置の測定原理や機器の基本構成を示すと共に、<sup>137</sup>Cs-円形表面汚染モデル(円形汚染)を用いて放射能測定シミュレーションを行い、BSサーベイメータが放射能を過小評価することや、そのメカニズムを明らかにした。また、放射能がこれよりは大きくないことを保証する、安全側評価放射能を提案した<sup>1)</sup>。

## 2. BSサーベイメータ

点線源の放射能  $A$  (MBq) が分かっている場合、線源から距離  $L$  (m) の位置における 1 cm 線量当量率  $D$  ( $\mu\text{Sv/h}$ , 線量率) は、式 (1) によって計算することができる。

$$D = \frac{\Gamma \times A}{L^2} \quad (1)$$

$\Gamma$  は 1 cm 線量当量率定数 ( $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) で

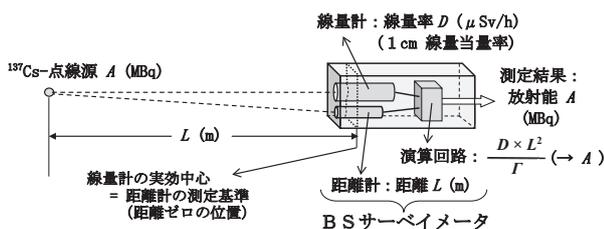


図1 BSサーベイメータの機器構成

ある。この式で、放射能  $A$  を左辺に、ほかの変数をすべて右辺に移項して整理すると、式 (2) が得られる。

$$A = \frac{D \times L^2}{\Gamma} \quad (2)$$

式 (2) は、線量率  $D$  と距離  $L$  が分かれば、点線源の放射能  $A$  は計算によって求められることを示す。そこで図1のような装置を考える。これがBSサーベイメータである。線量率  $D$  と距離  $L$  を測定し、式 (2) が組み込まれた演算回路で放射能  $A$  を算出する。この装置の重量は 1 kg 程度と見込まれるため、作業現場に持ち出して「その場での測定」が可能である。

## 3. 放射能測定シミュレーション

BSサーベイメータによる放射能測定の特徴を調べるため、図2に示すような、中心のほか、半径 10 cm～200 cm まで、10 cm 刻みで広がった 20 本の同心円上に <sup>137</sup>Cs-点線源 (165.9 MBq) をそれぞれ 100 個配置して、放射能測定シミュレーションを行った。結果を図3に示す。横軸は円形汚染の半径、縦軸は放射能である。また△印は、BSサーベイメータの測定で得られた放射能であるが、○印で示した円形汚染の元の放射能より小さいことから、過小評価されたことが分かる。

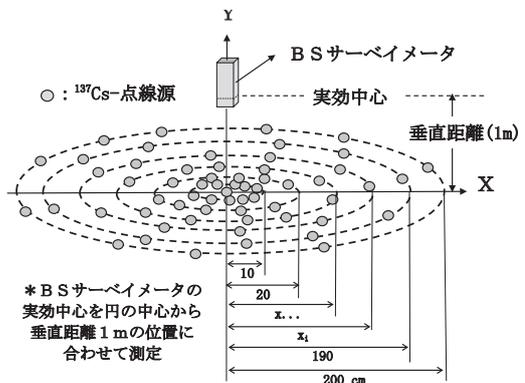


図2 放射能測定シミュレーションに用いた円形汚染

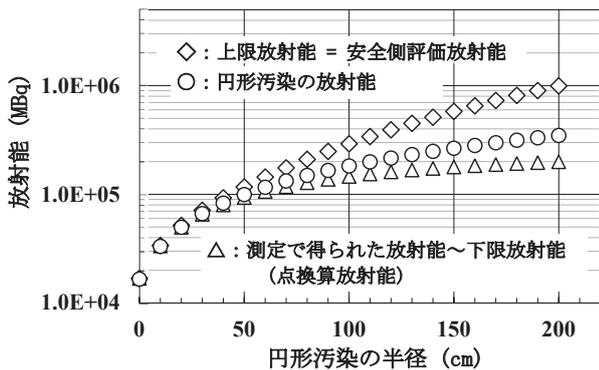


図3 放射能測定シミュレーションの結果

#### 4. 過小評価のメカニズム

一般の放射能汚染物（実在線源）は、図4のような点線源N個の集合体と考えられるが、個々の点線源Piから実効中心までの距離を $L_{Pi}$ 、その点線源Piが実効中心に形成する線量率を $D_{Pi}$ とすると、点線源Piの放射能 $A_{Pi}$ と実在線源の放射能 $A_T$ は、それぞれ式(3)と(4)で表される。

$$A_{Pi} = \frac{D_{Pi} L_{Pi}^2}{\Gamma} \quad (3)$$

$$A_T = \sum_{i=1}^N A_{Pi} = \sum_{i=1}^N \left( \frac{D_{Pi} L_{Pi}^2}{\Gamma} \right) \quad (4)$$

一方、BSサーベイメータの測定で得られるデータは、個々の点線源Piが作る線量率 $D_{Pi}$ を合計した線量率 $D_M (= \sum_{i=1}^N D_{Pi})$ と、実効中心から実在線源表面上1点（測定点）までの距離 $L_M$ （代表距離）であるため、演算回路は式(5)によって放射能 $A_M$ を算出することになる。

$$A_M = \frac{\left( \sum_{i=1}^N D_{Pi} \right) L_M^2}{\Gamma} = \frac{D_M L_M^2}{\Gamma} \quad (5)$$

また距離の測定点は、実在線源の線量計に近い側の表面上にある（図1, 図4）と考えられるから、 $L_{Pi}$ のほとんどは $L_M$ より大きい。したがって $A_T > A_M$ である。ここに過小評価のメカニズムがある。

なお式(4)では、点線源に有効な式(2)を、実在線源を構成する点線源に対してそれぞれ個別に適用し、得られたN個の結果( $A_{Pi}$ )を合計しているため、 $A_T$ は正しい放射能といえる。一方、式(5)では、実在線源を構成するN個の点線源全体が作

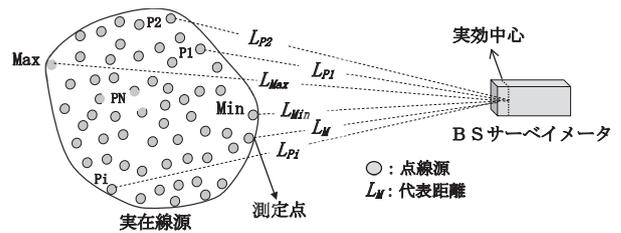


図4 実在線源測定の様子

る線量率 $D_M$ と、特定の代表距離 $L_M$ を式(2)に代入して放射能 $A_M$ を求めている。これは、点線源を対象にした式(2)を、面積や体積を有する実在線源に直接適用していることになる。したがって、得られた $A_M$ は、ほとんどの場合、正しい放射能 $A_T$ とは一致しない。また式(5)より式(6)が得られる。

$$D_M = \frac{\Gamma A_M}{L_M^2} \quad (6)$$

式(6)は、距離 $L_M$ の測定点に存在する放射能 $A_M$ の点線源が、N個の点線源で構成される実在線源と同じ線量率 $D_M$ の放射線場を作ることの意味する。これにより、 $A_M$ を点換算放射能と呼ぶ。

#### 5. 下限/上限放射能

図4の実在線源において、実効中心から各点線源Piまでの距離 $L_{Pi}$ のなかで、最小値を $L_{Min}$ 、最大値を $L_{Max}$ とすると、式(4)より不等式(7)が得られる。

$$\frac{D_M L_{Min}^2}{\Gamma} \leq \frac{D_M L_M^2}{\Gamma} \leq \sum_{i=1}^N \left( \frac{D_{Pi} L_{Pi}^2}{\Gamma} \right) \leq \frac{D_M L_{Max}^2}{\Gamma} \quad (7)$$

不等式(7)の最左辺を下限放射能、最右辺を上限放射能と呼ぶ。なお実際の測定において、代表距離 $L_M$ は $L_{Min}$ にほぼ等しいと考えられるから（図4）、点換算放射能（図3の△印）は、下限放射能にほぼ等しい。また、上限放射能について行った測定シミュレーションの結果を図3に◇印で示すが、放射能は決して過小評価されないことが分かる。そこで、上限放射能を安全側評価放射能と呼ぶ。

#### 6. 点換算放射能と安全側評価放射能

BSサーベイメータの測定で得られる線量率 $D_M$ は、実在線源の放射能ばかりでなく、線源内部の放射能分布や自己遮蔽の影響を受けて変化する。また

点換算放射能  $A_M$  は、式 (5) に示すように、線量率  $D_M$  と線形の関係にあるから、放射能分布や自己遮蔽の影響をそのまま反映するはずである。そのため、作業現場の空間線量率や作業者の被ばく線量率を、その測定点における点線源の放射能で表していると考えれば、本来不変量であるはずの正しい放射能ではないが、放射線防護上の実用測定量として、役に立つ可能性がある。

一方、安全側評価放射能は、線量率  $D_M$  と最長距離  $L_{Max}$  を用いて計算されるが、最長距離  $L_{Max}$  は、その位置が実効中心から見て実在線源の裏側にあるため、測定できないことがある。この不具合は、BS サーベイメータに、距離データの手動入力機能を備えることによって解決することができる。その結果、安全側評価放射能は、実在線源の放射能がこれよりは大きくないことを保証する実用測定量として、例えば、フレコンバッグに収納された土壤汚染物の仕分け等に利用できると思われる。

## 7. あとがき

この10年近く、福島県郡山市に移り住んで、微

力ながら復興支援活動に携わる中、正しい放射能を求めることの難しさを実感してきた。それならば、多少違っていても良いから「現場で直に役に立つ測定」という観点からBSサーベイメータを設計し、点換算放射能と安全側評価放射能にたどり着いた。これらは、これまでになかった概念の実用測定量である。今後、多くの関係者に興味を持っていただければありがたい。

**謝辞：**本研究の一部は、福島県の「特許等調査・出願経費助成事業」並びに「ふくしま産業応援ファンド事業」の助成を受けており、現在、特許出願中である。また本研究にご協力をいただいた(株)日本遮蔽技研の平山貴浩副社長と渡邊浩之部長に深く感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 河野孝央, 日本放射線安全管理学会誌, **22**, 2, 62-71 (2023)

((株)日本遮蔽技研)