

簡易な機構を用いて 「方向ごとの放射線量」を測る方法

福島大学・共生システム理工学類

数理・情報科学コース 数理・情報システム分野

准教授 笠井 博則

2024年 6月 6日

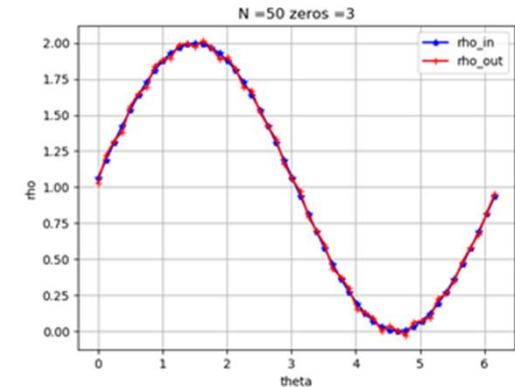
「方向ごとの放射線量」

「方向ごとの放射線量」

(2次元) 方向 θ に対して $f(\theta)$ と表される
“単位角度あたりの放射線量”

線量計で測る「放射線量」は
全ての方向からの放射線量の総和

(空間3次元でも、
立体角を使って考えられる)



$f(\theta)$ の例

従来技術とその問題点

- ・ 放射線量を測る装置「線量計」
(ガイガーカウンター・シンチレーションカウンター)
はあるが、直接的に「方向ごとの放射線量」
を測る線量計はない。
- ・ 方向ごとの放射線量が測れるものに
ガンマカメラ・コンプトンカメラがある
が・・

従来技術とその問題点

ガンマカメラは、

重くて持ち運びに向かない

特定の方向の放射線を測ることに特化

コンプトンカメラは、

ガンマ線の飛んできた向きとエネルギーが
高精度に測れる。が、一台1000万円程度と

非常に高価で、パーソナルな使用は困難

[どちらも測る方向に向いている必要がある]

従来技術とその問題点

放射線量を測る観測器

既存の放射線観測器	メリット	難点
ガイガーカウンター シンチレーションカウンター	歴史長い、測定の信頼性	方向わからない
ガンマカメラ (ピンホールカメラ)	特定方向の線量わかる	重い・時間長い 全体を測れない
コンプトンカメラ	方向と量わかる・ 精度高い・比較的高速	非常に高価 (1000万円以上)

研究室の紹介

福島大学 応用数学研究室

(我々のできること)

○数理モデルの作成 ○数理解析 ○数値計算

(今回取り組んでいること)

○放射線の観測に関わる数理モデルの作成
○数理モデルの数理解析 ○数値計算

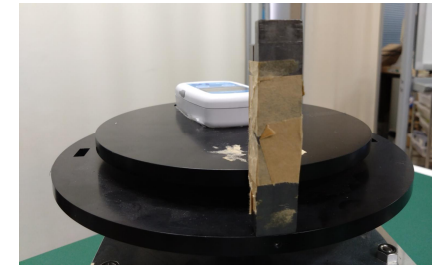
試作機の制作とそれによる計測

→ 「方向ごとの放射線量」の再構成 (数値計算)

新技術の概要

○放射線を測るときに遮蔽体などを配置して「非一様に」計測する。(遮蔽体は小さくてもよい)

この状況を数理モデルで表現する。
遮蔽体の位置と計測結果の組を十分多く集めることで「方向ごとの放射線量」(向きと強さ)を計算によって再構成する。



鉛の遮蔽体(手前の棒)
と市販の線量計(奥側)

○ この「計測」は、非常に簡易な機構でできるので、相対的に安価にシステムを構成しうる。

新技術の概要

[簡易な機構を用いた測定の数理モデル]

遮蔽体を位置 θ' に置いたときの観測量 $g(\theta')$

「方向ごとの放射線量」を $f(\theta)$

各方向 θ ごとの遮蔽の割合を $\Phi(\theta)$ と表すとき、

$$\int_0^{2\pi} \Phi(\theta - \theta') f(\theta) d\theta = g(\theta')$$

ただし、 $g(\theta')$, $f(\theta)$, $\Phi(\theta)$ は周期 2π の周期関数

新技術の概要

(原理の説明例)

[X1],[X2],[X3],[X4]

:各領域方向からの放射線量

X2			X1
		観測器	
X3			X4

(通常の観測値 : A0) = [X1] + [X2] + [X3] + [X4]

(X 1 方向を完全に遮蔽 : A1) = [X2] + [X3] + [X4]

(X 2 方向を完全に遮蔽 : A2) = [X1] + [X3] + [X4]

(X 3 方向を完全に遮蔽 : A3) = [X1] + [X2] + [X4]

(X 4 方向を完全に遮蔽 : A4) = [X1] + [X2] + [X3]

→[X1] = (A1 + A2 + A3 + A4) / 3 - A1

本質的には連立方程式で説明できる！

新技術の特徴・従来技術との比較

- 既存の線量計は、放射線量は測れるが
「方向ごとの放射線量」は測れない。
- コンプトンカメラもガンマカメラも
向いている方向の観測が得意
- 本技術では、全方向からの放射線量から
「方向ごとの放射線量」を再構成
(瞬間的でない) 強い放射線源を見逃すことはない。
- 本技術は「方向ごとの放射線量」を測る
簡易な方法の提案になっている。

新技術の特徴・従来技術との比較

- 本技術の適用で、**簡易な装置**に既存の線量計を組み込むだけで、「**方向ごとの放射線量**」が測れる。（精度は劣るが）圧倒的に安価に（**コンプトンカメラの1/50程度の価格**で）提供が可能と思われる。
- 設計から検討することで、既存の線量計と同程度のサイズで「**方向ごとの放射線量**」の観測器を製作しうる。

→ **個人使用が可能な「方向ごとの放射線量」観測器**



組み込み式の計測器(試作)
径130mm×240mm

新技術の特徴・従来技術との比較

観測器の比較

	既存の放射線観測器	メリット	難点
1	ガイガーカウンター シンチレーションカウンター	歴史長い、測定の信頼性	方向わからない
2	ガンマカメラ (ピンホールカメラ)	特定方向の線量わかる	重い・時間長い ・全体測れない
3	コンプトンカメラ	方向と量わかる・精度高い・比較的高速	非常に高価 (1000万円以上)
4	新技術	1. の技術を用いて、 全ての方向と量 がわかる。 軽量化 ・汎化しやすい。 3. より圧倒的に 安価	精度を上げるには時間がかかる。 (改良中)

想定される用途 1

[個人使用が可能・多くの地点に設置可能]

- 原子力発電所の作業現場、特に廃炉作業で放射性物質が想定外に移動しうる場面
- 放射性物質の大量放出（原発事故・原子爆弾の爆発後）後のホットスポット（特異的に線量が高い地点）の探索

複数台の設置によって、

簡易的に放射線源の位置推定も可能

想定される用途 2

[全方向を継続的に測ることができる]

- ウラン鉱山など、放射性物質が存在しうる場所で、放射性物質の廃棄・整理が正常にされているかの確認
- 病院・非破壊検査の現場など
(放置された放射線源がないかの確認)
- (避難困難区域など) 除染作業の効率化

実用化に向けた課題 1

- 観測・表示の自動化
- 方向の分解能を上げる際の観測の短時間化
(アイデアの検証中)
- 小型化・軽量化に向けた遮蔽体の検討
(鉛以外の可能性)
- 生活環境程度($0.3\mu\text{Sv/h}$ 以下)での観測のための工夫 (アイデアの検証中)

実用化に向けた課題 2

- 高精度の計測をするためには、
数理モデルの高精度化
観測器・機構自体の遮蔽率の計測
が必要。
どこまでの高精度が要請されるか、
どれくらいの時間で測る必要があるか
のニーズ調査が必要。

企業への貢献、PRポイント

- 本技術は、放射線量の観測に関する数理モデルをベースにしているため、観測器の設計（精度に応じた観測時間の最小化、軽量化・小型化など）に向けたパラメータ最適化や事前シミュレーションが可能
- ニーズに応じた数理モデルの提案・理論的数値的解析が可能。

企業への期待 1

- 別グループによる観測データ
(線源・遮蔽体が異なるなど)
→データ再現性の確認
- 自動的に計測・データの表示をするための
機構・アプリの開発
特に、遮蔽体を動かす機構の制御技術
- 機構・計測器自体の遮蔽率の計測技術

企業への期待 2

- ニーズの紹介・提案
これくらいの時間で、
これくらいの精度があれば
・・・に利用可能など
- 遮蔽体に関する情報提供
 - ・ 軽量な遮蔽体
 - ・ 遮蔽体によるガンマ線の散乱の有無
など

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 放射線測定方法
- 出願番号 : 特願2021-175472
- 出願人 : 福島大学
- 発明者 : 笠井博則、佐藤尚也

お問い合わせ先

福島大学

研究・地域連携課 横島 善子

TEL 024-548-5345

e-mail chizai@adb.fukushima-u.ac.jp