

未知の放射線源に関する自律探索ロボットの移動計画

Autonomous Exploration for Unknown Radiation Source Using Mobile Robot

○高橋由利花, 禹ハンウル 工学院大学 (Kogakuin University)

Abstract

This study proposes a path planning method for an unknown radiation source using a mobile robot. The proposed method autonomously determines a next measurement point based on the direction and number of incident gamma-rays in a unit of time obtained from a directional gamma-ray detector, even when the intensity of the source is unknown.

研究背景

人が未知の放射線源に近づく場面

- 福島第一原子力発電所の廃炉作業
- 放射性物質を用いた違法行為の発見 etc.



放射線源の分布を把握して作業計画を実施

➔ **自律移動ロボット**を用いたアプローチ

- 安全点検のための経路生成
(空間全体を通る経路)

- 緊急時の経路生成
(未知の線源に向かう最短経路)

自律的な経路生成の構築 [岸本ら, 2021]

● 主成分分析

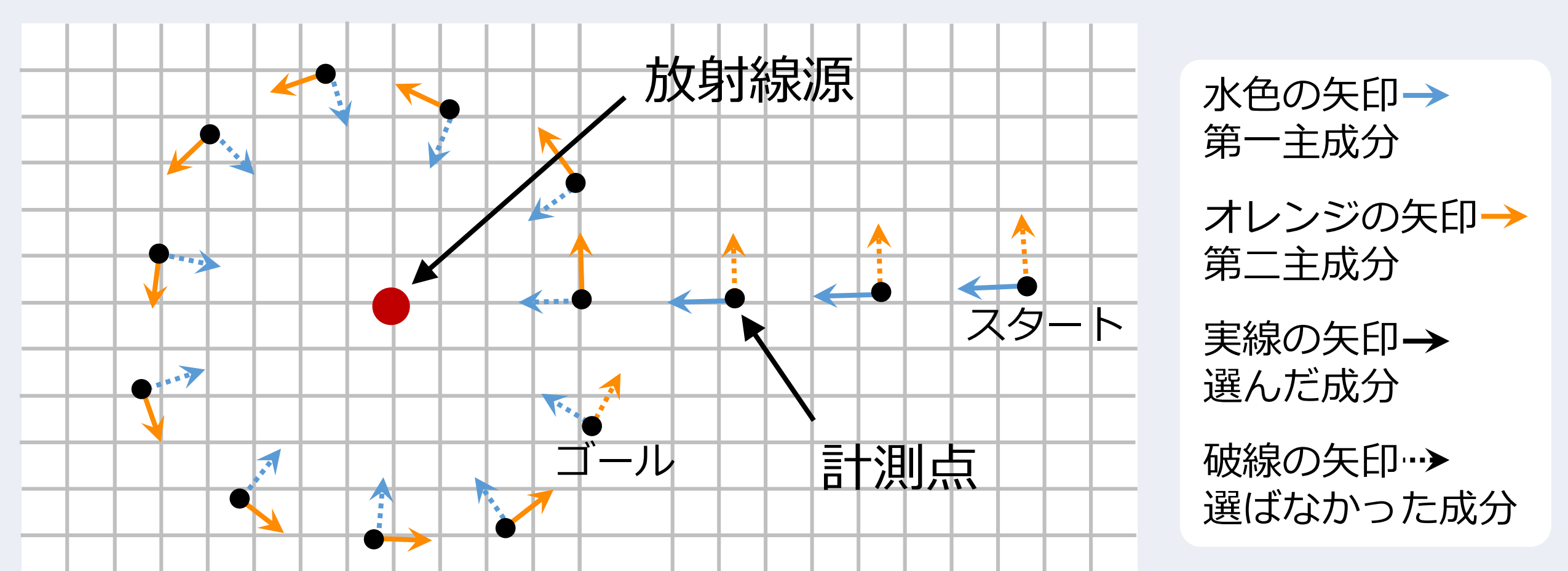
第一主成分: ガンマ線の入射方向

第二主成分: 第一主成分に直行する方向

● 指向性ガンマ線検出器

入射数・入射方向を計測

【前提】放射線源の強度が既知



研究目的: 線源の強度が不明な場合の自律的な計測システムの構築

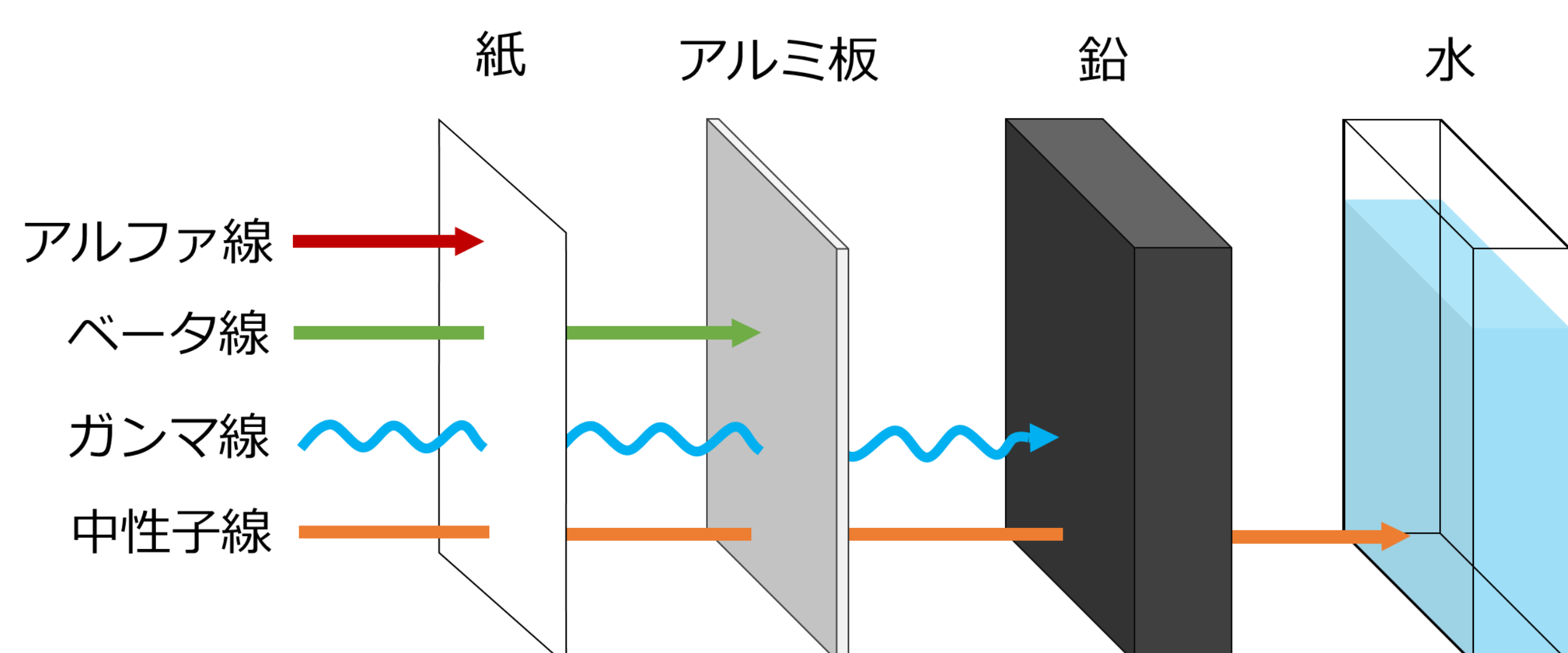
放射線検出器

- 非指向性検出器 (入射数)
- 指向性検出器 (入射数・入射方向)



【本研究】指向性ガンマ線検出器

Ex) ガンマカメラ、コンプトンカメラ

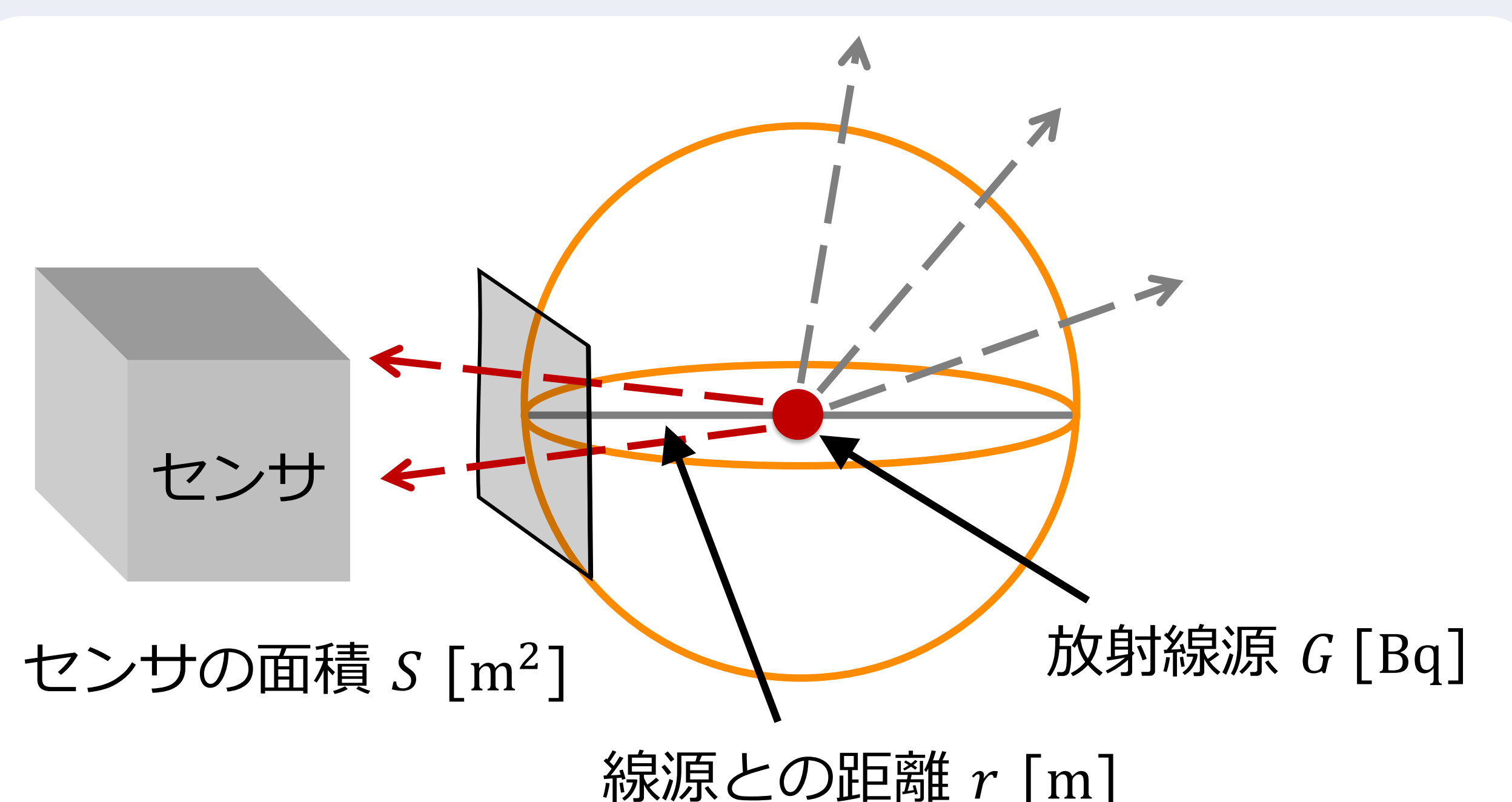


放射線の特徴

センサが検出するガンマ線の入射数 n

$$n = \frac{GS}{4\pi r^2}$$

➔ 放射線源からの距離の二乗に反比例



放射線の変化率

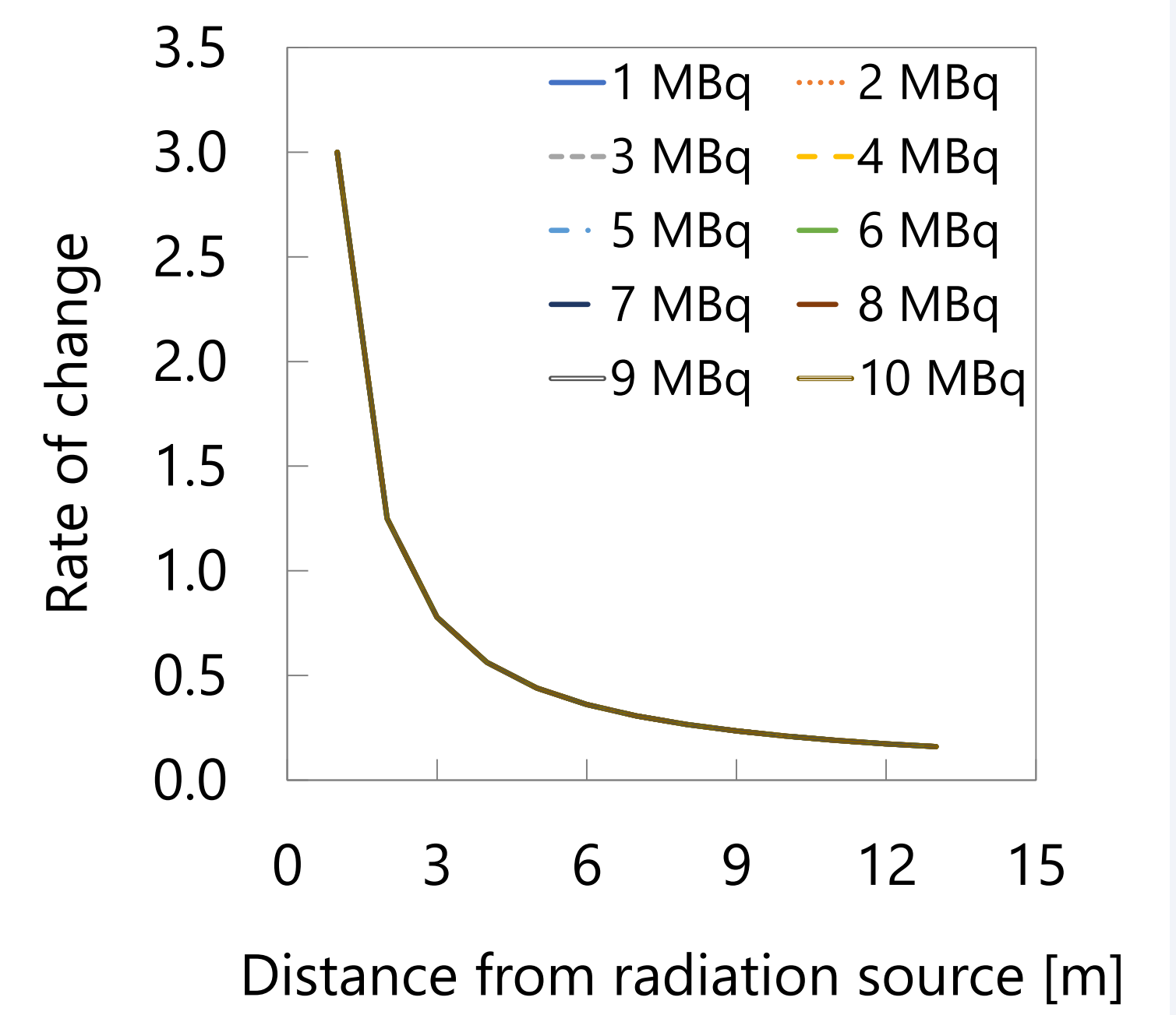
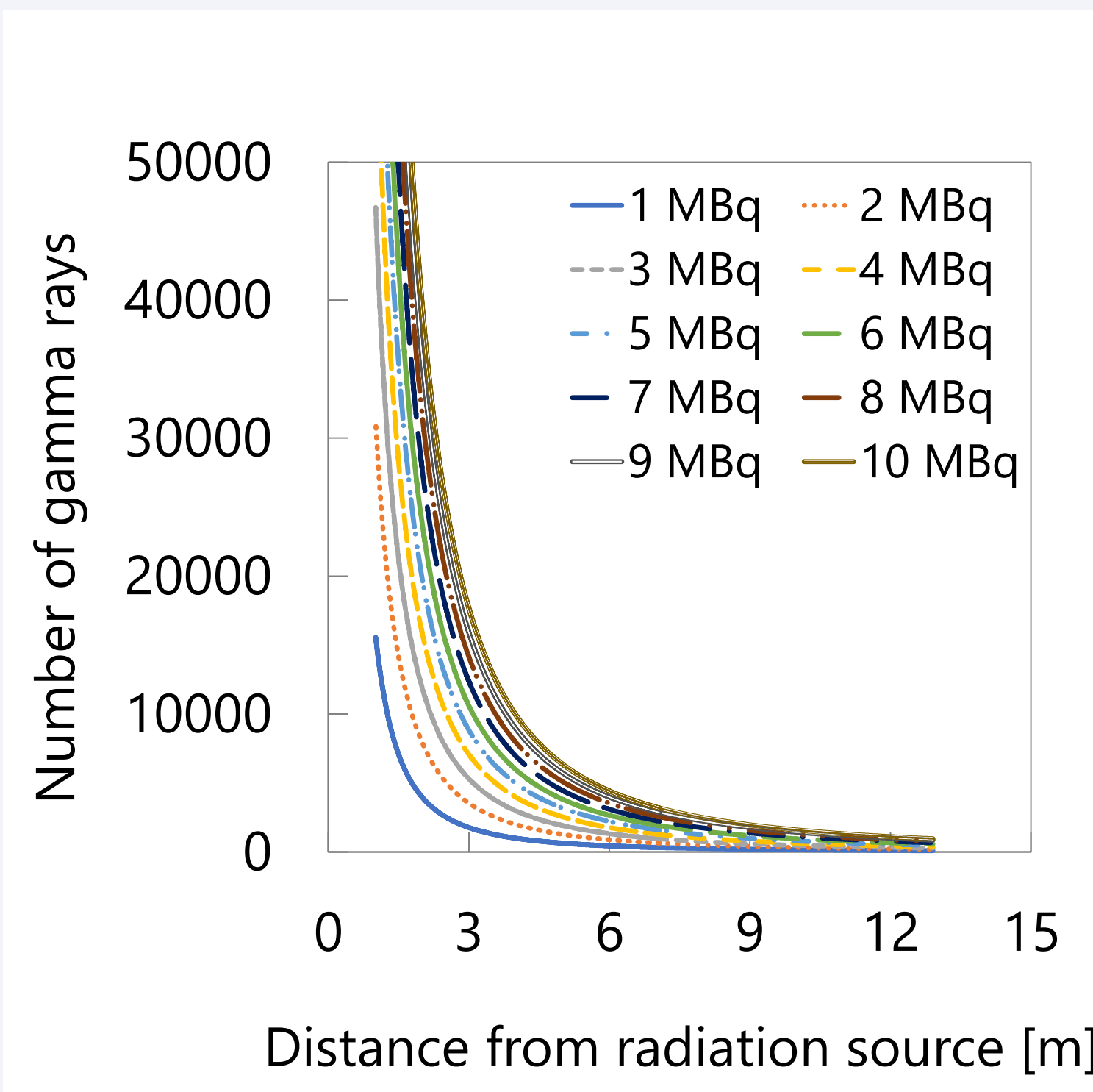
$n(r_i)$: ガンマ線の入射数

$n(r_{i-1})$: ひとつ前の計測点のガンマ線の入射数

$$\alpha = \frac{n(r_i) - n(r_{i-1})}{n(r_{i-1})} = \frac{r_i^2}{r_{i+1}^2} + 1$$

変化率 α は検出器から放射線源までの距離 r に依存

➡ 放射線源の強度に無影響



実験設定

【計測の流れ】

- 計測点ごとに300秒間停止し計測
- 取得したデータから入射方向へ1m移動
- 再び停止して計測の繰り返し

放射線源の強度 : 1MBq

ロボットの初期状態 : 右方向

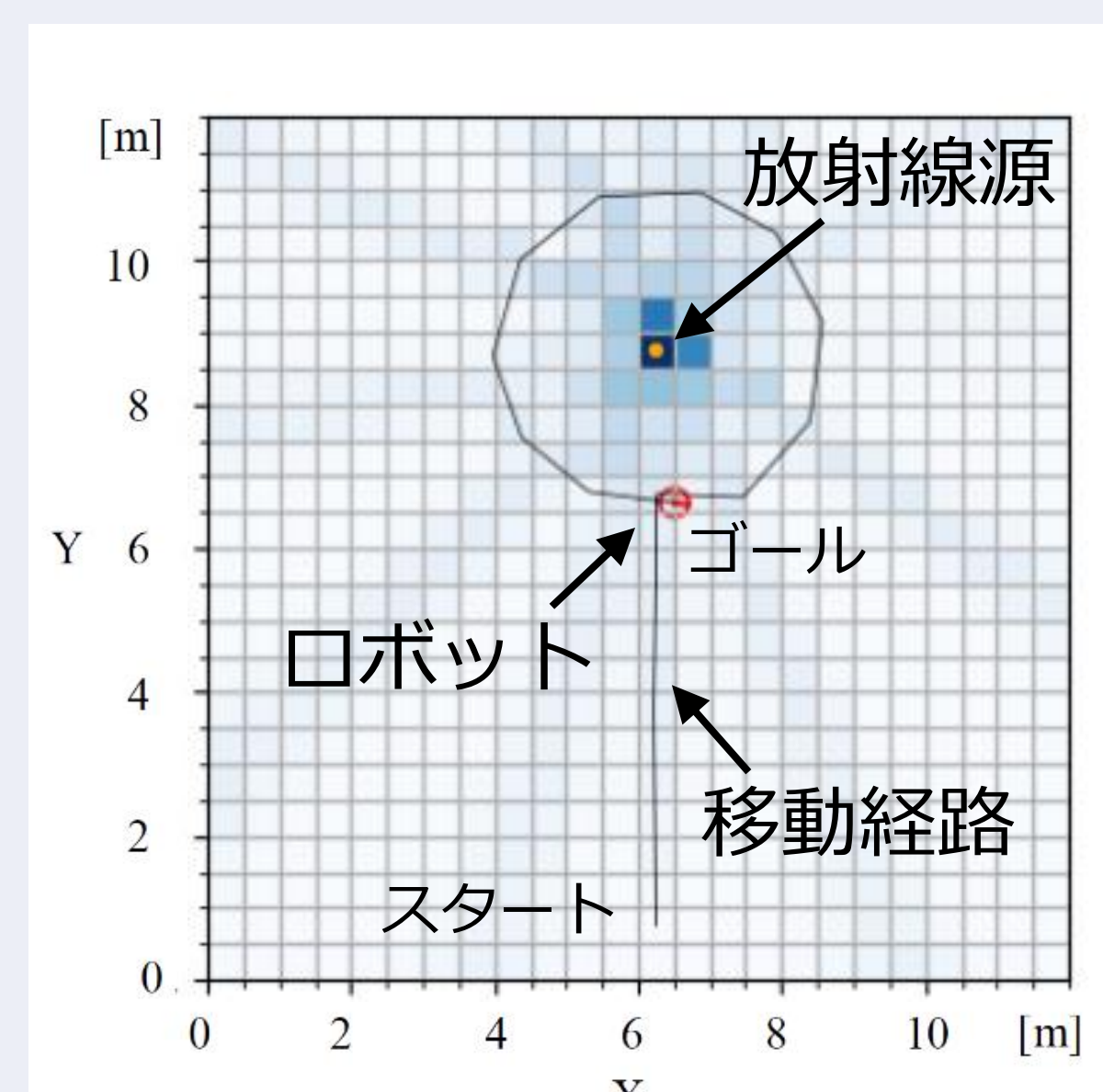
放射線源の約2m手前地点で探索終了

➡ 変化率を1.2に設定

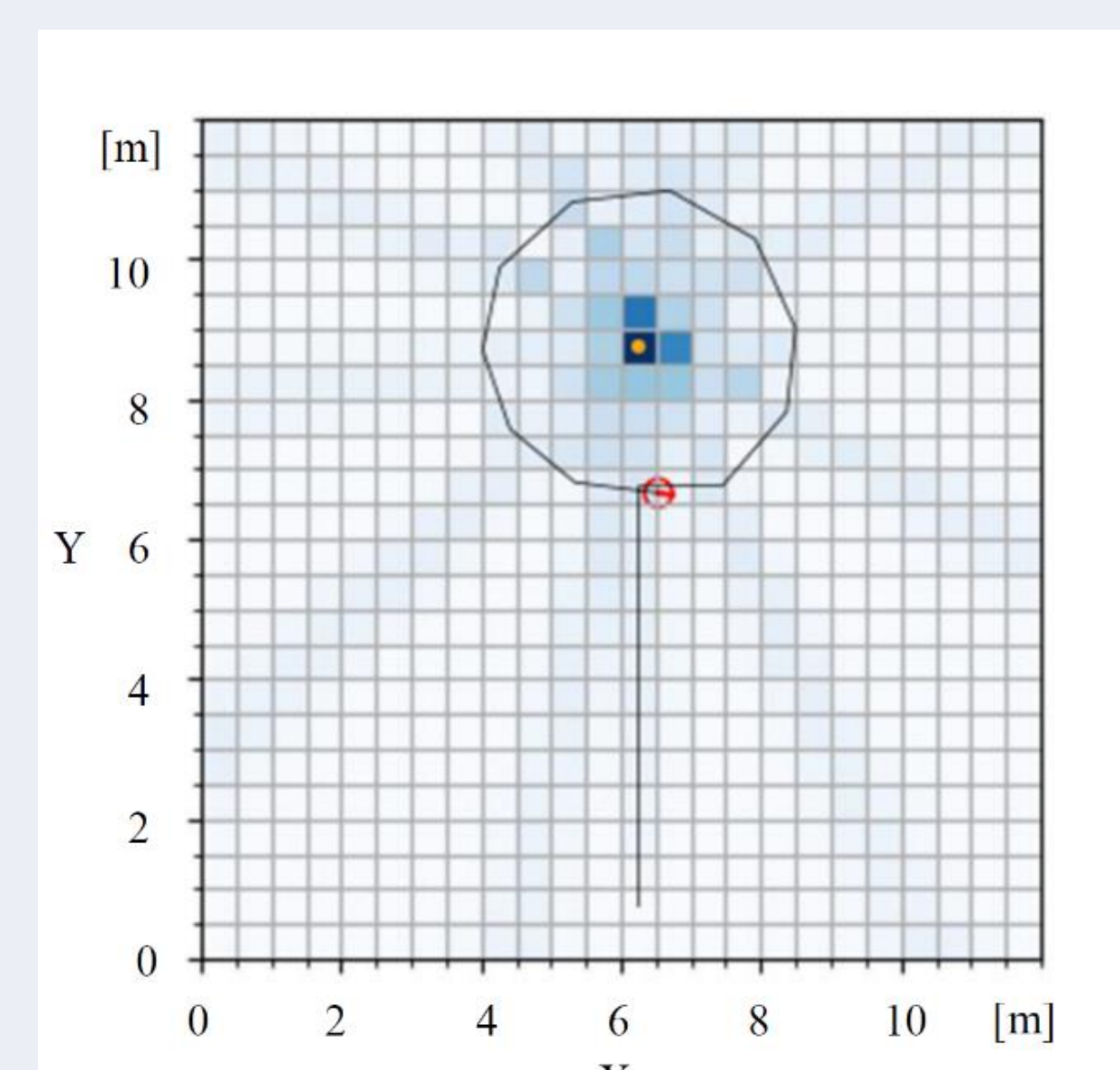
各強度の結果

放射線源の強度 : 1MBq, 5MBq, 10MBq

ガンマ線分布が最も濃いグリッドと線源の位置するグリッドが一致。



1[MBq]



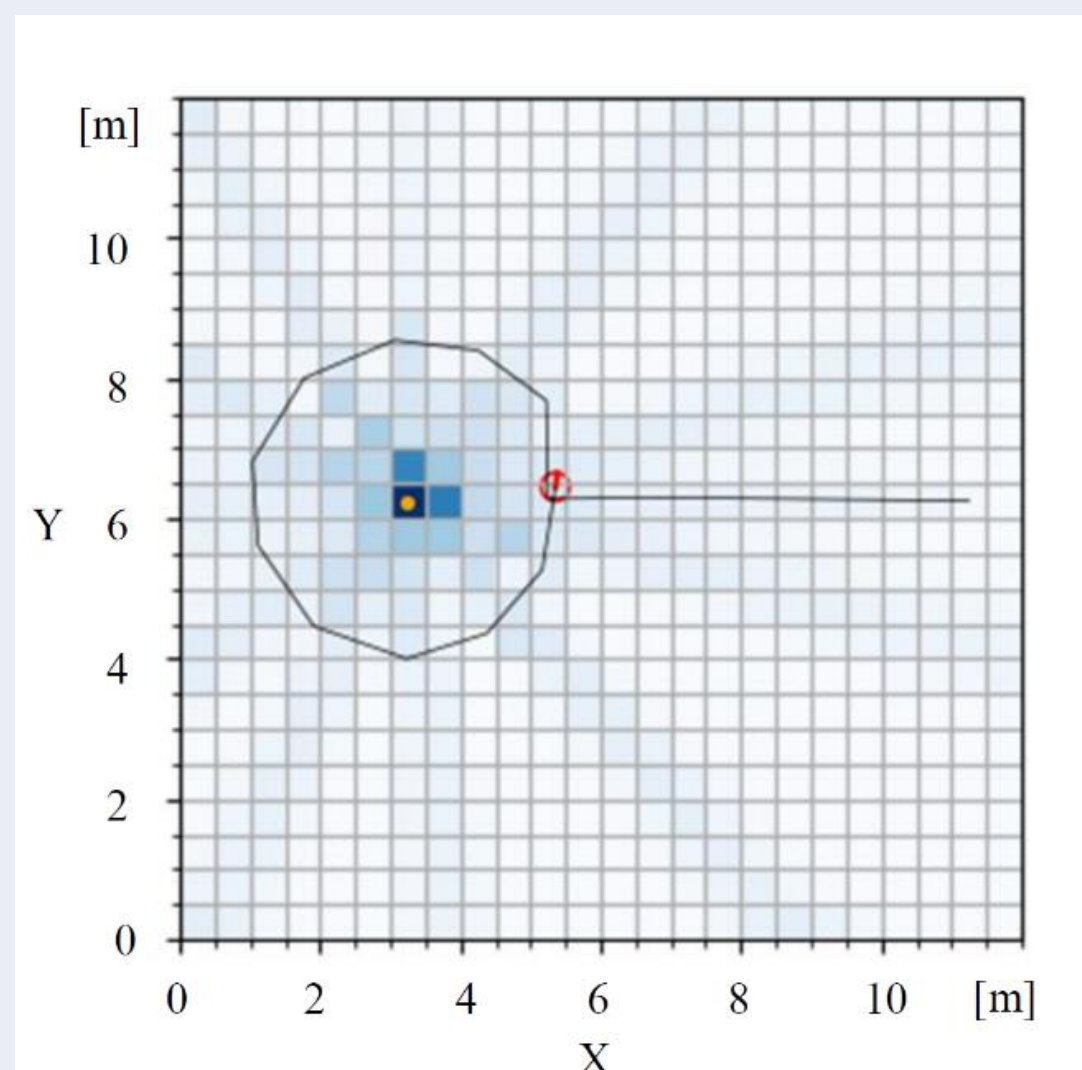
10[MBq]

各位置の結果

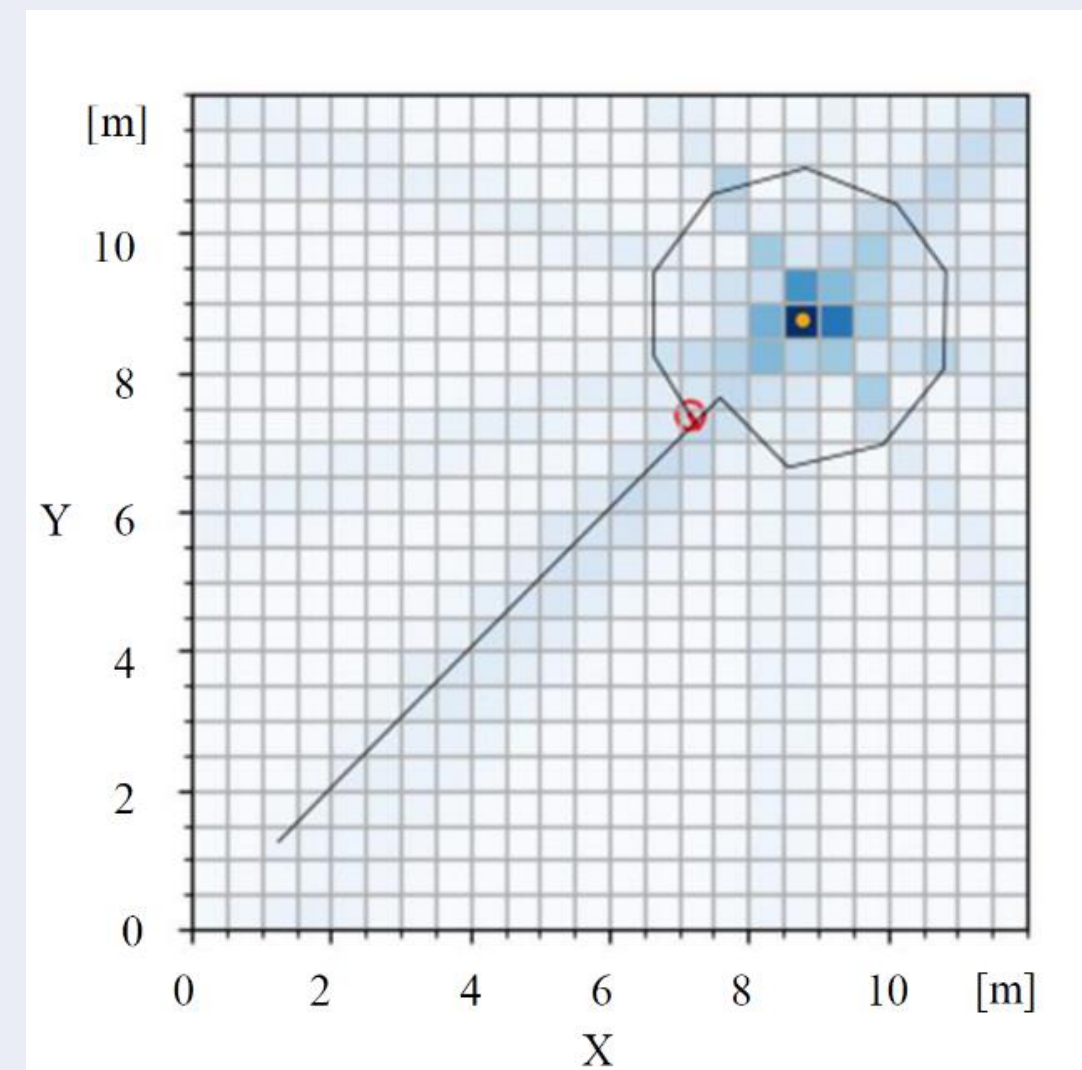
放射線源の位置 : 等間隔に7方向

ガンマ線分布が最も濃いグリッドと線源の位置するグリッドが一致。

放射線源までの距離がロボットの進む距離の倍数でないと変化率に誤差が生じる。



後方

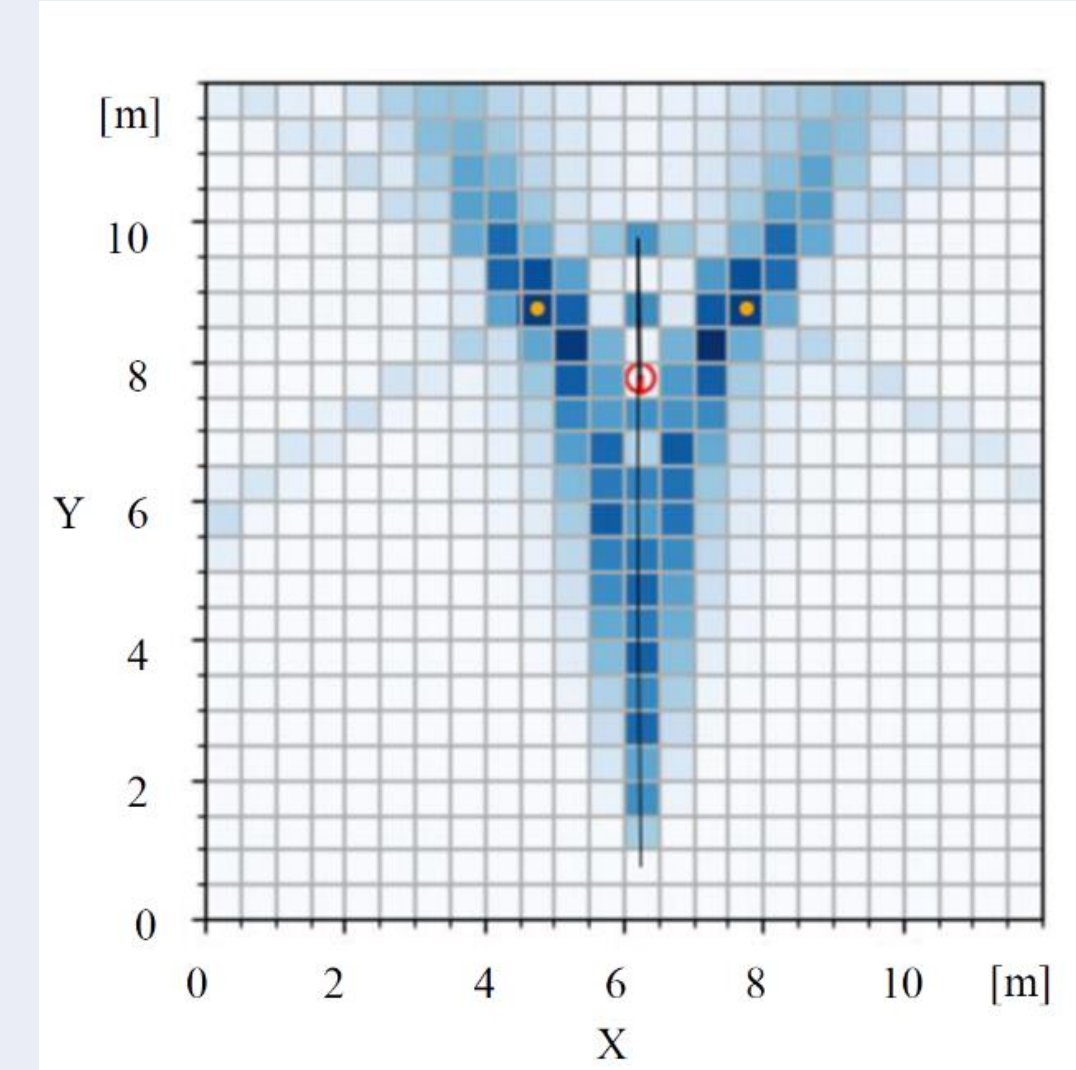


左前方向

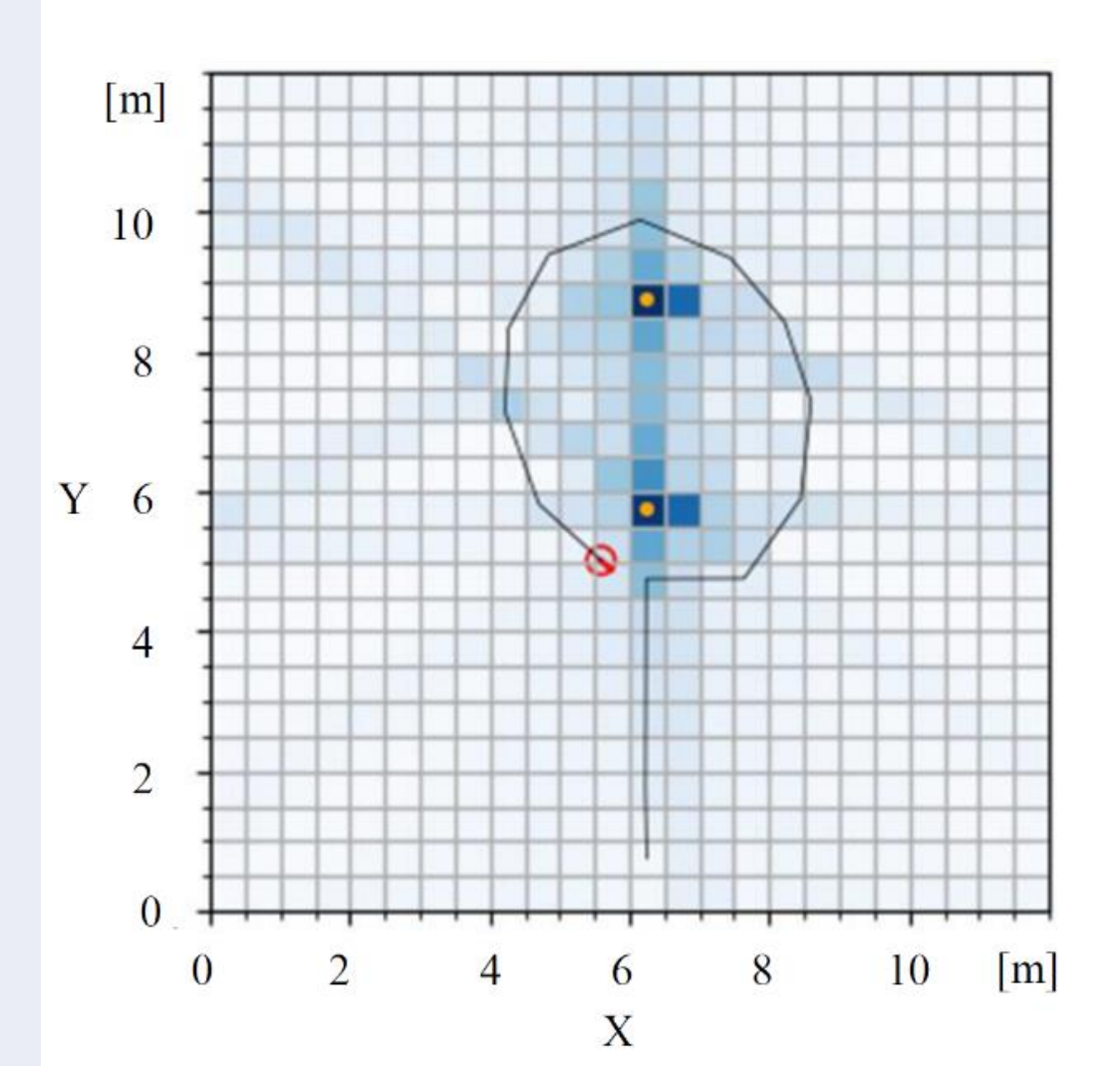
複数線源の結果

2つの放射線源 : 垂直, 直線

- 放射線源同士が近いと変化率に誤差は生じるが線源位置の特定可能
- 離れていると変化率の誤差が大きくなり線源位置の特定不可能



垂直 (間隔3m)



直線 (間隔3m)

まとめ

線源の強度が不明な場合においても, 自律的に経路を生成するシステムの構築

➡ ガンマ線の入射数から変化率を導き出し, 放射線源の強度に影響されない指標を定義

➡ 単線源では放射線源の位置を特定することが可能となり, 提案手法が有効であることを確認

今後の課題 : 不整地における複数線源の自律探索システムの構築