

研究背景

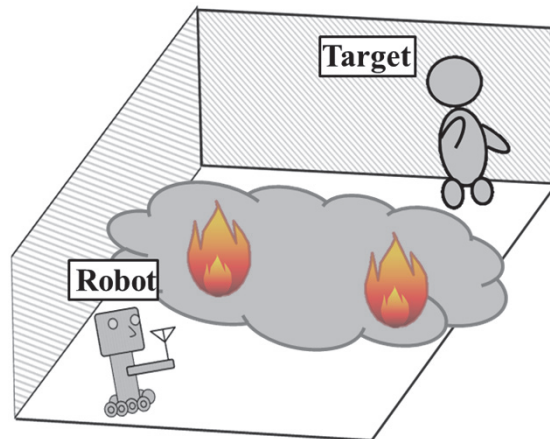
■ 超広帯域(UWB:Ultra Wideband)近距離レーダ

- 特徴: 粉塵・濃煙環境下、夜間等で計測可能

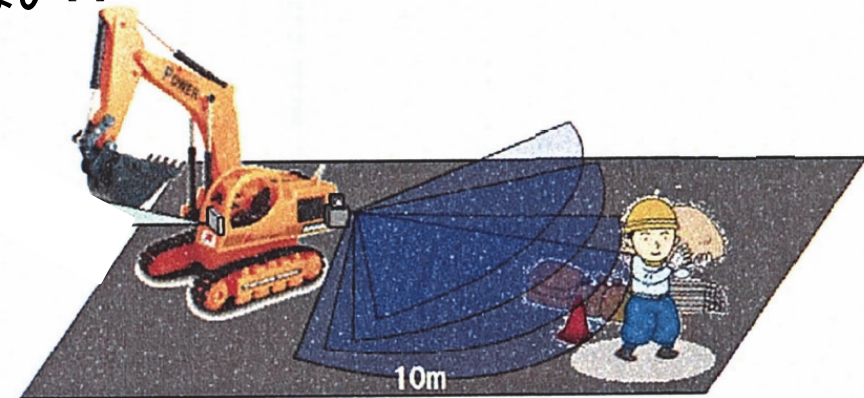
→ 災害現場・高齢者見守り・建設現場等での画像センサに有用

■ 140GHz帯ミリ波レーダの特徴(波長 $\lambda \simeq 2$ [mm])

- 24GHz帯・79GHz帯と比較して帯域幅が広い (最大10GHz程度)
- 空間分解能が高い
- モジュールの小型化が可能
- 水蒸気による吸収が比較的少ない^[1]



災害現場における画像センサ



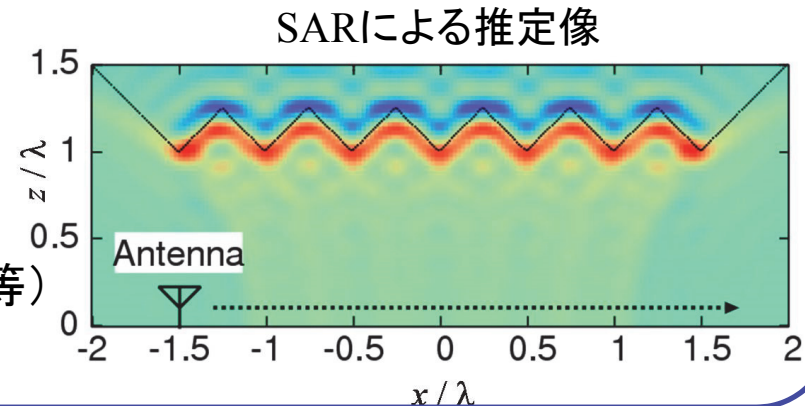
建設現場における識別センサ

[1] David William, Institute of Transportation Studies, UC Berkeley, California PATH Research Report, ISSN 1055-1425, May 1997,

従来のレーダ立体画像化法

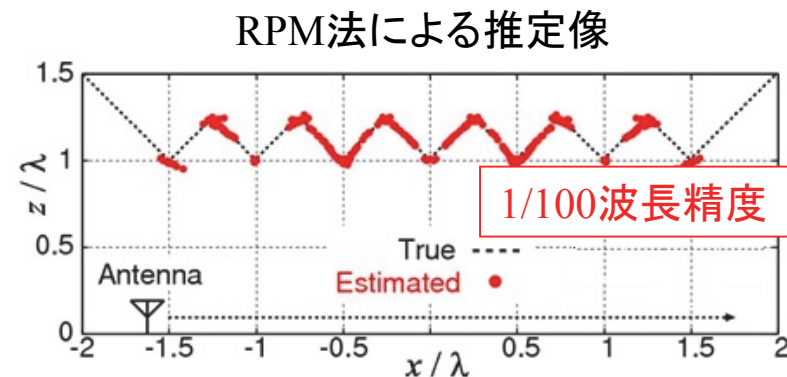
合成開口レーダ (Synthetic Aperture Radar: SAR)

- 位相情報を有する
 - 高い空間分解能(140GHz帯)
- 欠点:
- 不要な応答による虚像(グレーティングローブ等)
 - 3次元再構成に膨大な処理時間



Range Points Migration(RPM)法^[2]

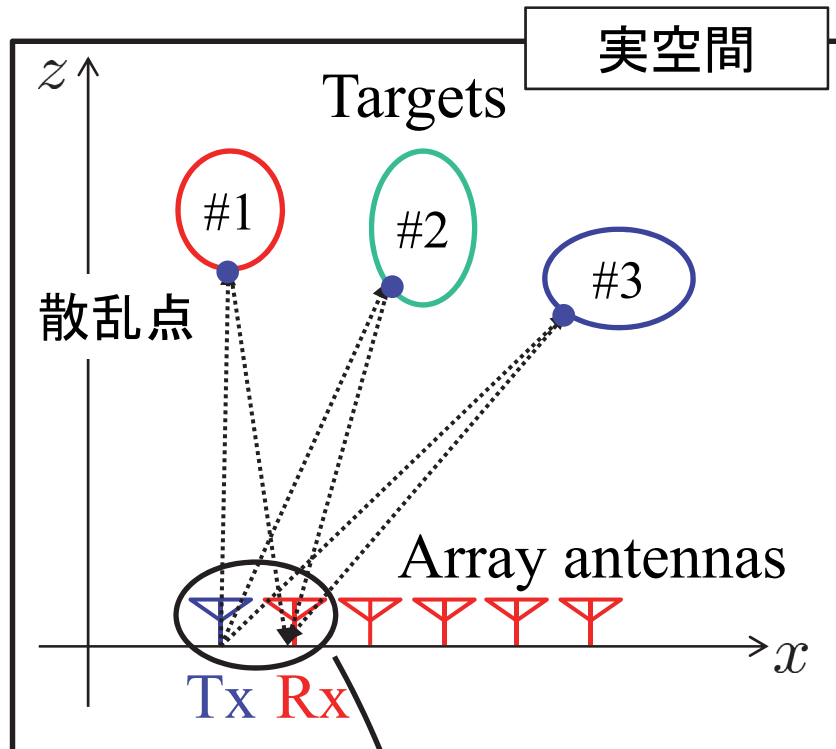
- 目標境界を点群として表現
 - 高速・高精度な立体形状推定を実現
- 欠点:
- 多数目標では計算量が増大, また精度劣化の可能性



本研究の目的

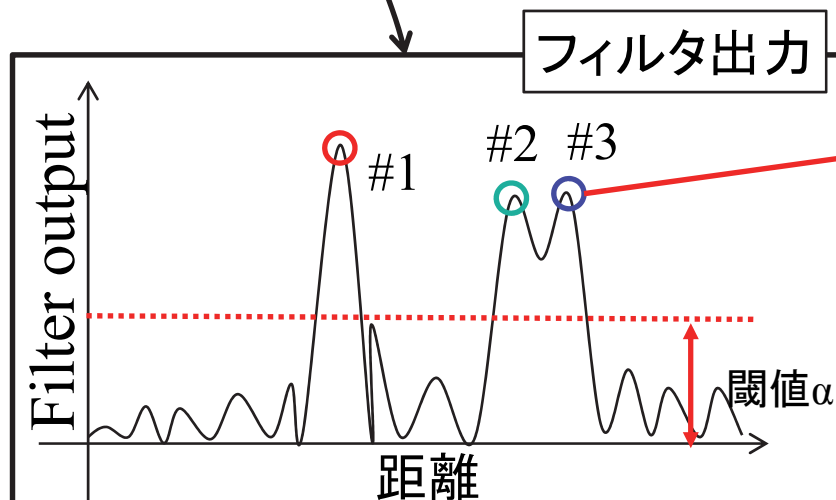
多目標環境下におけるRPM法の高速度化・高精度化と性能評価

システムモデル(一点送信・多点受信)



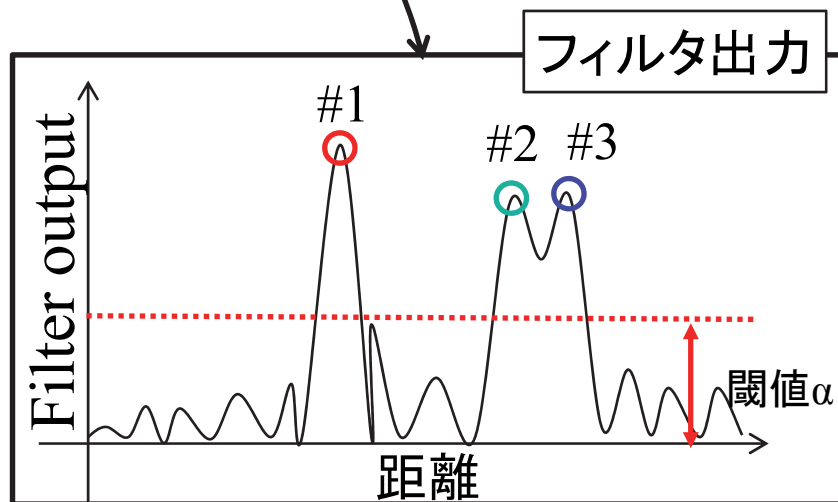
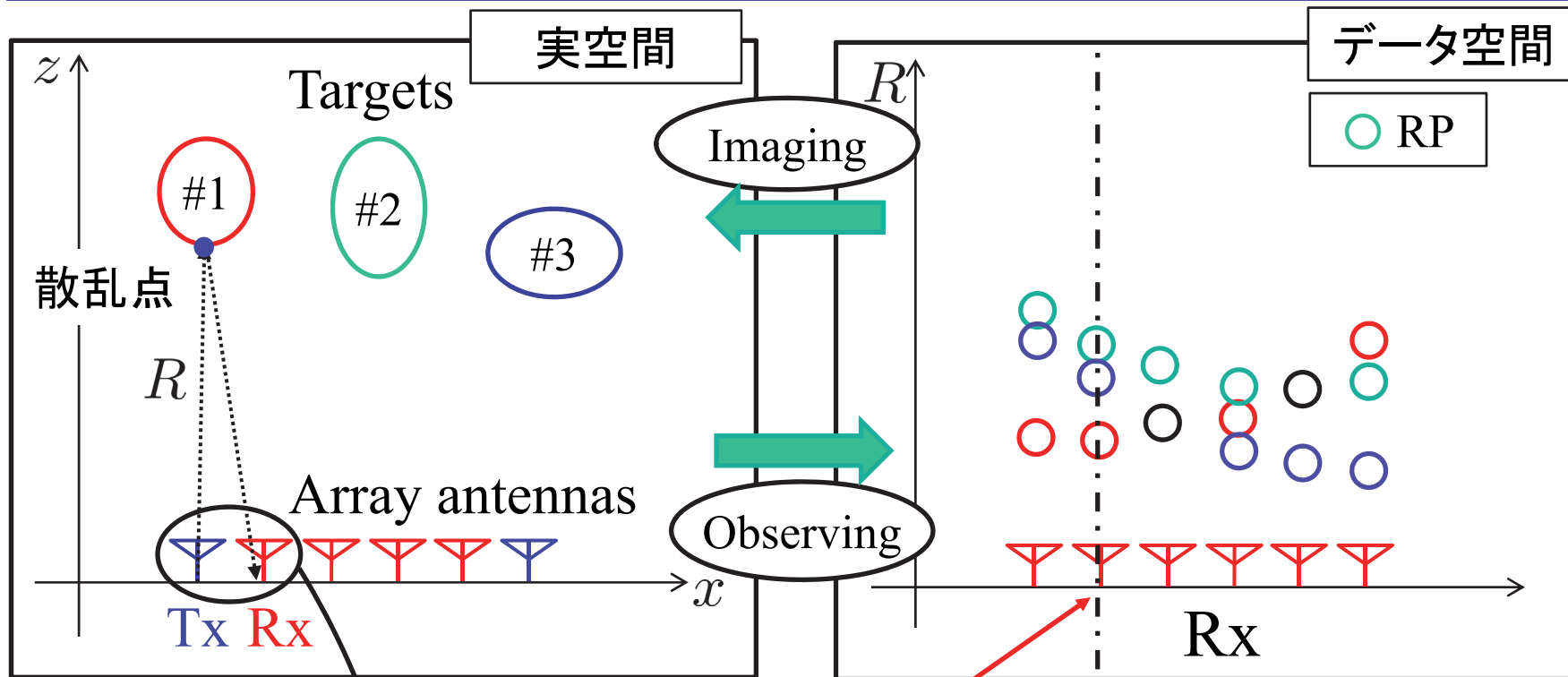
Tx: 送信素子
Rx: 受信素子

- ・任意形状を有する複数目標
- ・無指向性の送受信素子を等間隔に配置
- ・マルチスタティックレーダ
(一点送信・多点受信)



目標までの距離: 観測可能
(送受信素子位置と距離)の組合せ:
距離点(RP:Range Point) と呼称

システムモデル(一点送信・多点受信)



各出力を並べて表示

データ空間:

レーダで直接的に観測可能

画像化:

データ空間(距離点) → 実空間(目標散乱点)

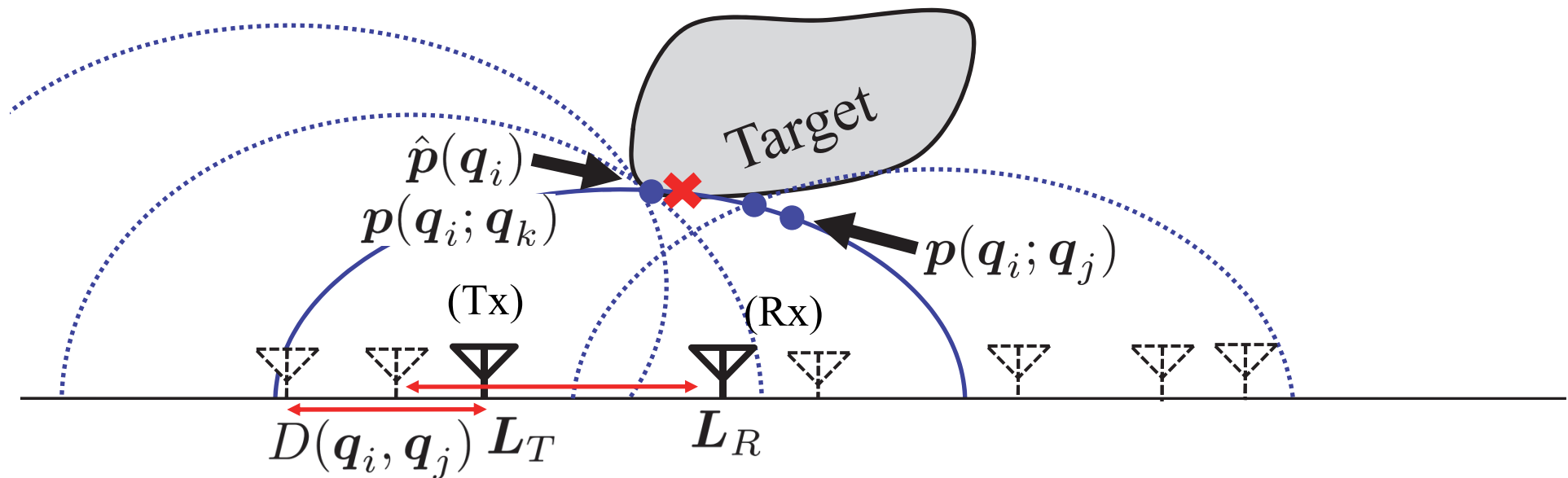
マルチスタティックRPM法^[3] (2次元)

距離点 q_i (素子位置・測定距離) に対する目標境界推定点 $\hat{p}(q_i)$ を次式で決定

$$\hat{p}(q_i) = \arg \max_{p(q_i; q_k)} \sum_{q_j} s(q_j) \exp \left[-\frac{D(q_i, q_j)}{2\sigma_x^2} \right] \exp \left[-\frac{\|p(q_i; q_j) - p(q_i; q_k)\|^2}{2\sigma_r^2} \right]$$

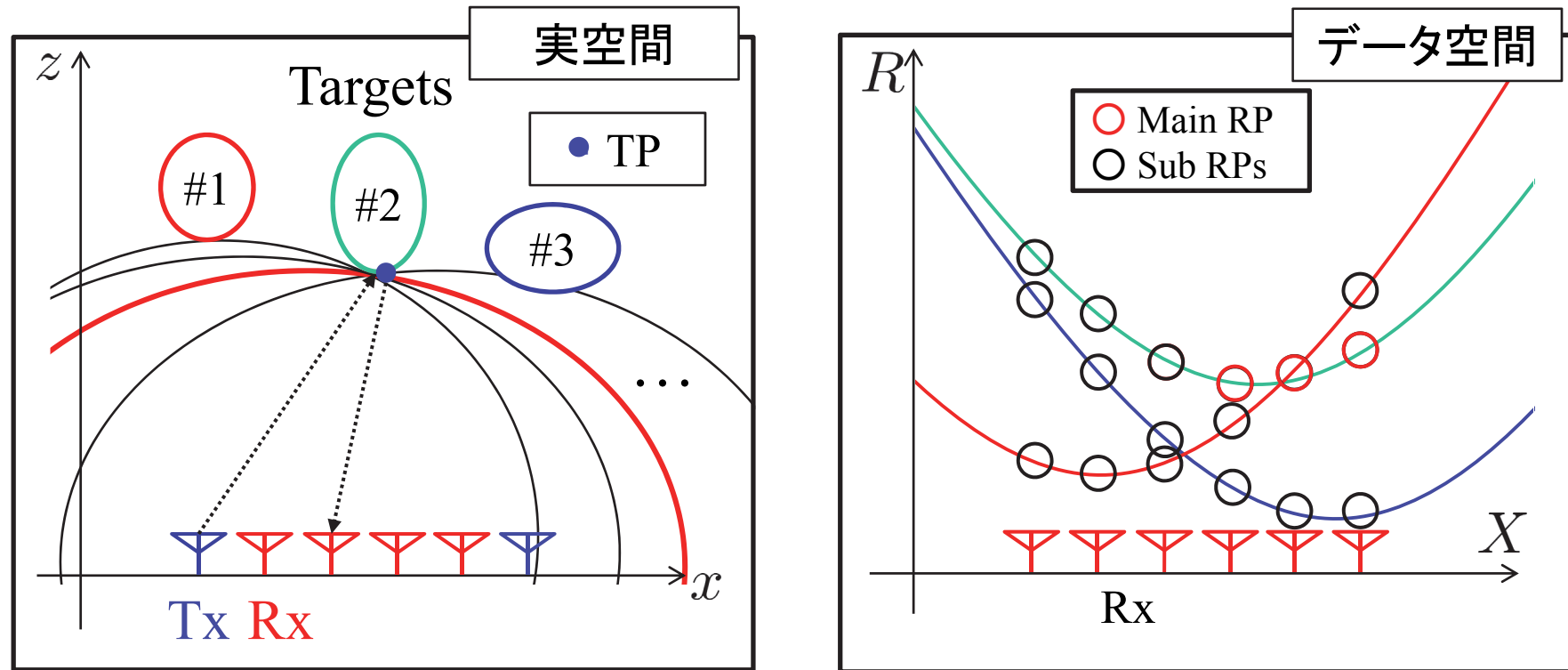
素子間距離重み付け
楕円交点間密集度の重み付け

[3] R. Yamaguchi, et. al., *IEICE Trans. Commun.*, vol. E96-B, No.7, pp.2014-2023, Jul, 2013.



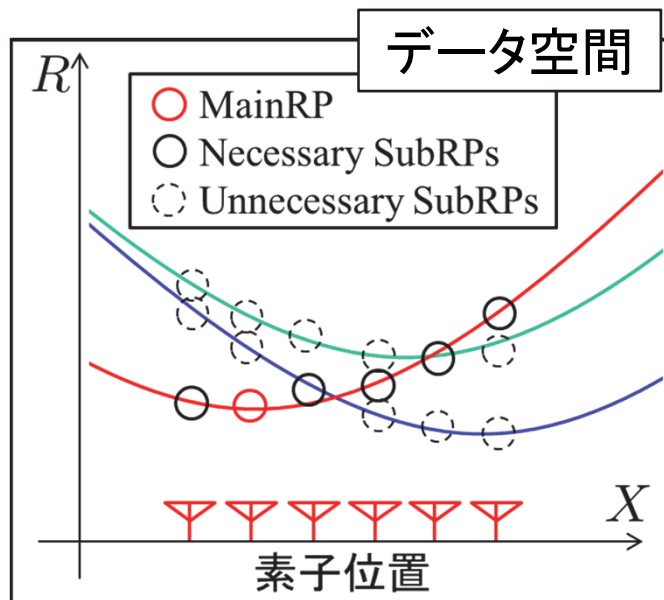
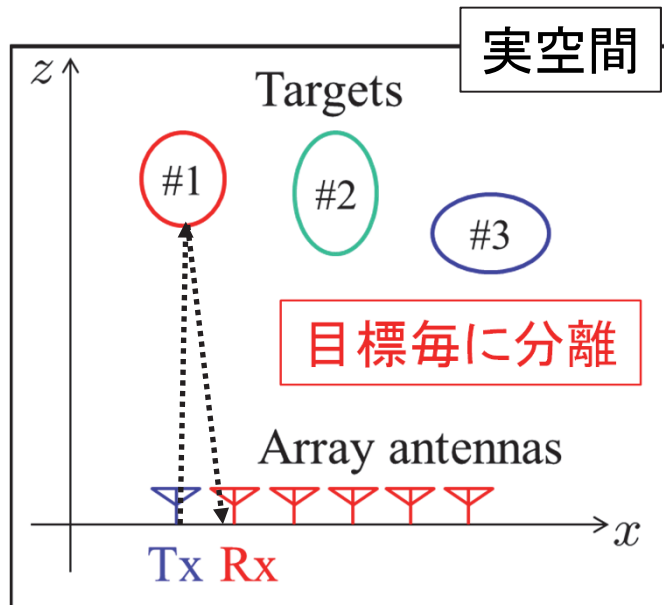
→3次元問題: 3回転楕円体の交点を評価

RPMの手順



1. 一つの距離点を選択 (Main RPと呼称)
2. 他の距離点(Sub RPsと呼称)を用いてMain RPを写像
3. 手順 1, 2 を全ての距離点に対して行う

RPM法の問題点



精度

- MainRP の写像に不必要なSubRPを含む → 精度劣化の要因

計算量

- 楕円体の交点計算回数:
SubRP の数の二乗に比例
→ 計算量の増大

不要なSubRPの削除

⇒ クラスタリングの必要性

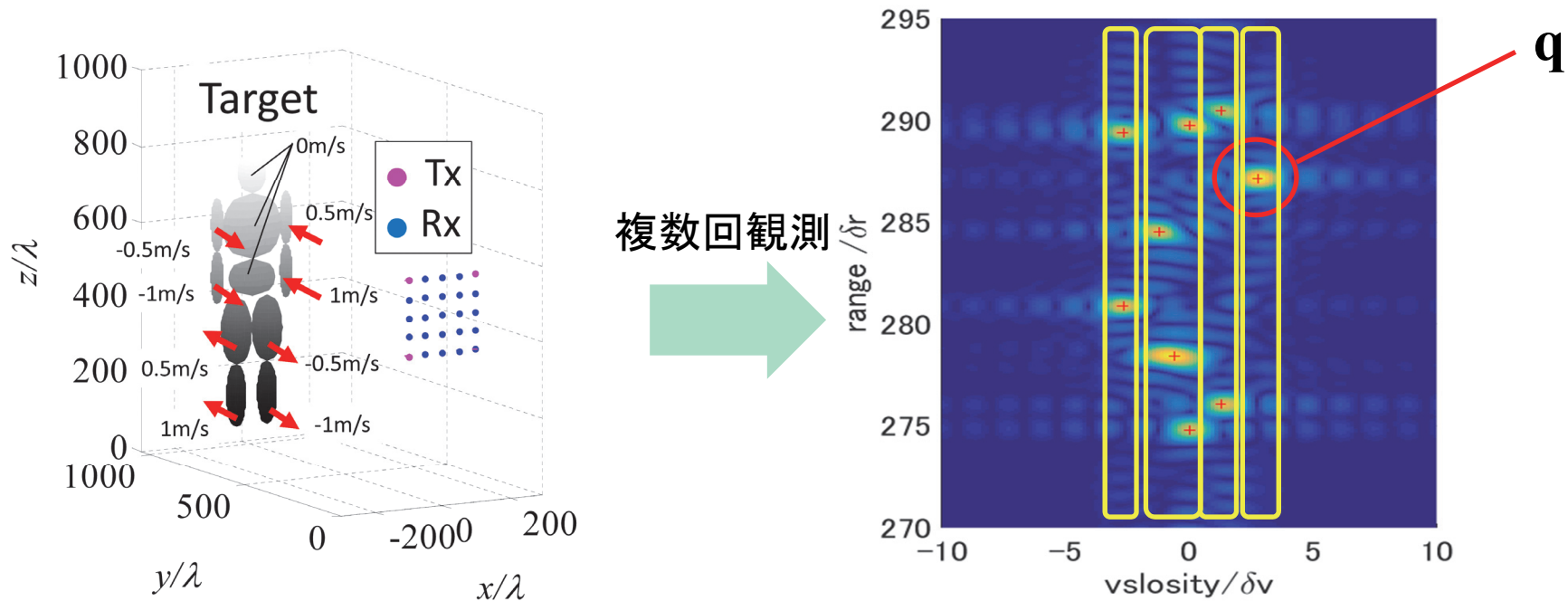
データ空間上のクラスタリング

- 距離情報のみでは分離が困難
→ 速度情報によるクラスタリング

提案法

■ 移動目標を仮定

- 速度-レンジ分布上の極大値を抽出
- (素子位置, 距離, 速度)を含むベクトル(距離点 q)を取得
- 速度情報を基準に距離点をクラスタリング



速度-レンジ分布(Tx/Rx固定)

画像化手順

観測



受信信号

距離点の抽出



距離点群

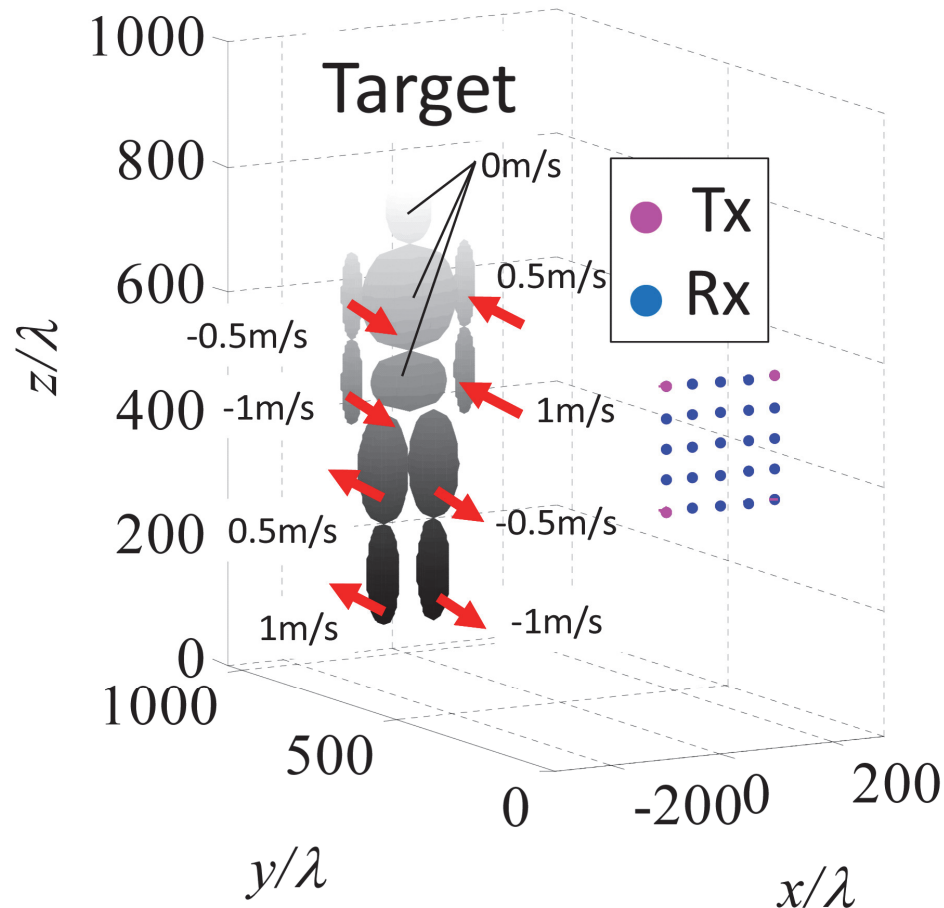
ドップラによる距離点クラスタリング



クラスタ化距離点群

マルチスタティックRPM

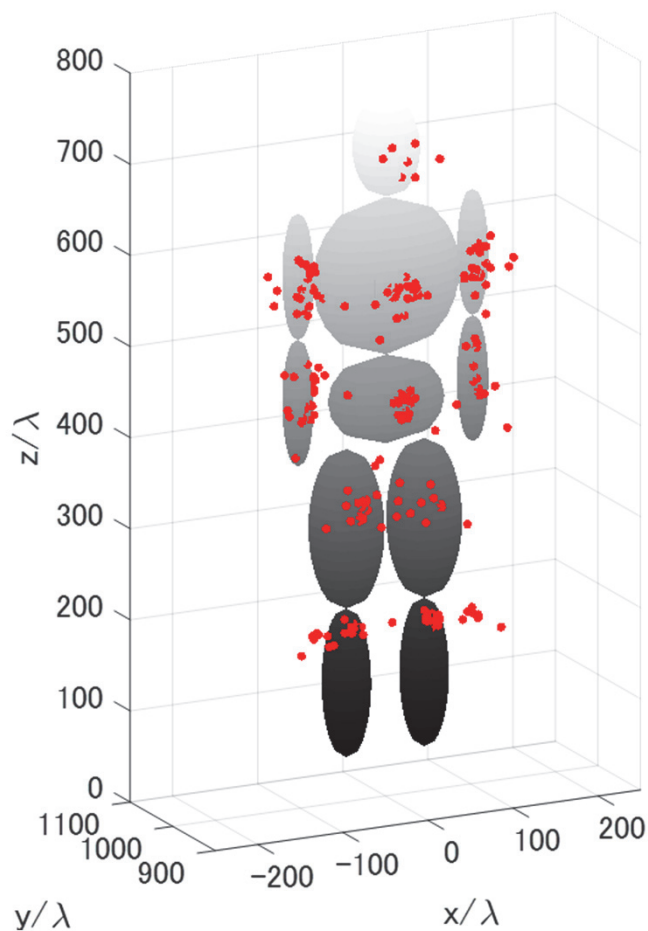
数値計算モデル



シミュレーション条件:

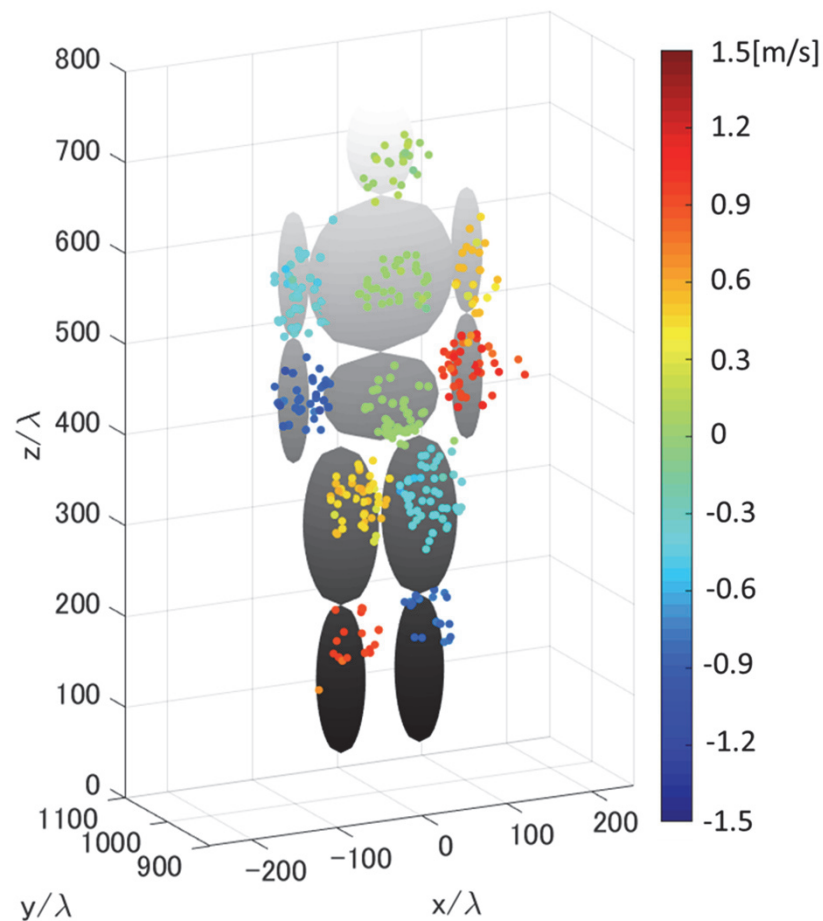
- 素子
 - 送信4点 受信 25点
 - 最小素子間隔 50λ
 - 接線方向分解能
約 4λ , 8.5mm
- 送信信号
 - 中心周波数 140GHz
 - 3dB帯域幅 10GHz
 - PRI $37.5\mu\text{s}$
 - パルスヒット56
- 受信信号
幾何光学近似により生成

数値計算結果(雑音なし)



従来法

処理時間/推定点数:
551秒/211点



提案法(RPM1回)

160秒/445点

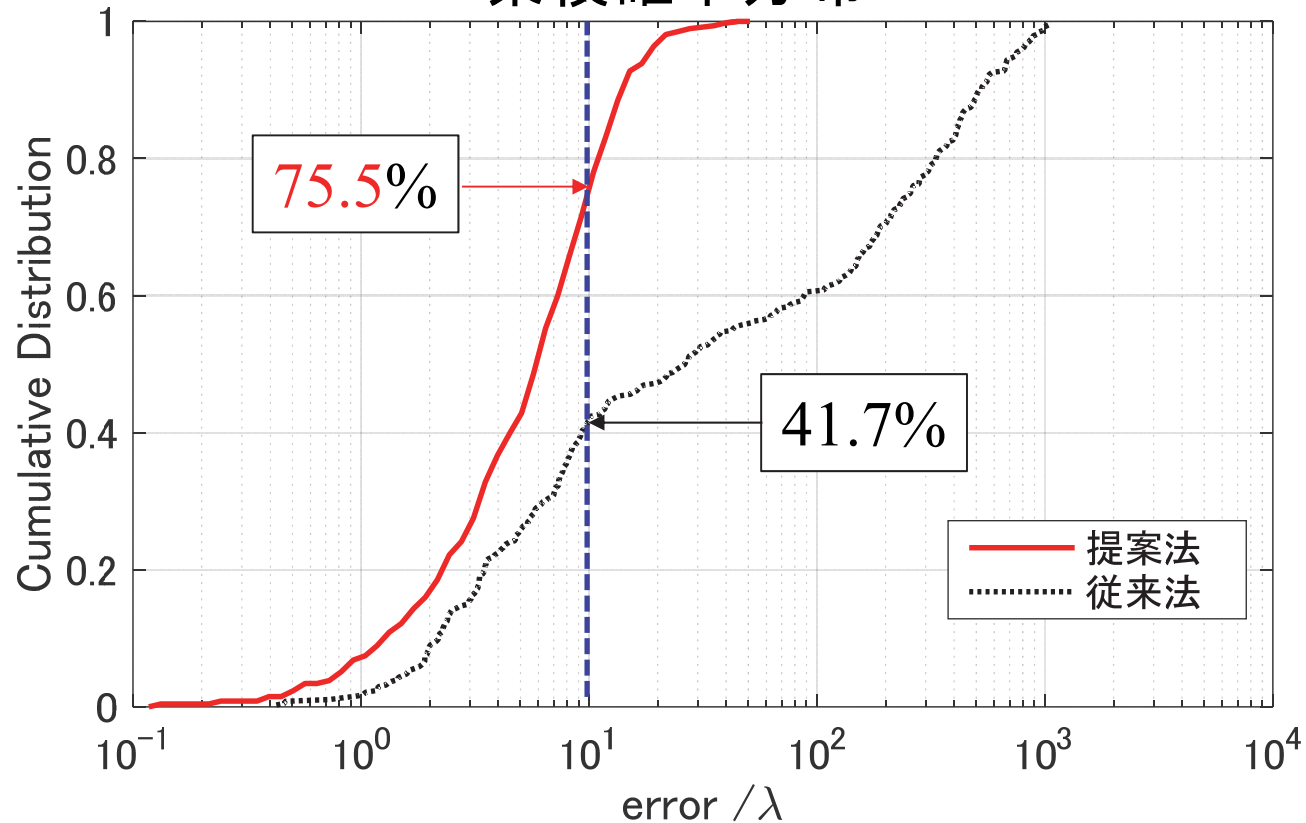
定量評価: 誤差の評価

誤差 $e(p_i^{\text{est}})$ の定義

$$e(p_i^{\text{est}}) = \min_{p^{\text{true}}} \|p_i^{\text{est}} - p^{\text{true}}\|_2$$

目標真値

累積確率分布



まとめ

本研究の目的

多目標環境下におけるRPM法の高速度化・高精度化と性能評価

■ 提案法

- RPM法のためのドップラによる距離点クラスタリング法を提案
- 数値計算結果：
 - 高精度化と高速化を同時に実現
 - 推定点数の増大

■ 今後の課題

- 実機実験を用いた性能評価
- さらなる計算速度の向上

■ 謝辞

- 本研究は、総務省委託事業「140GHz帯高精度レーダーの研究開発」の支援により実施している。