

研究背景

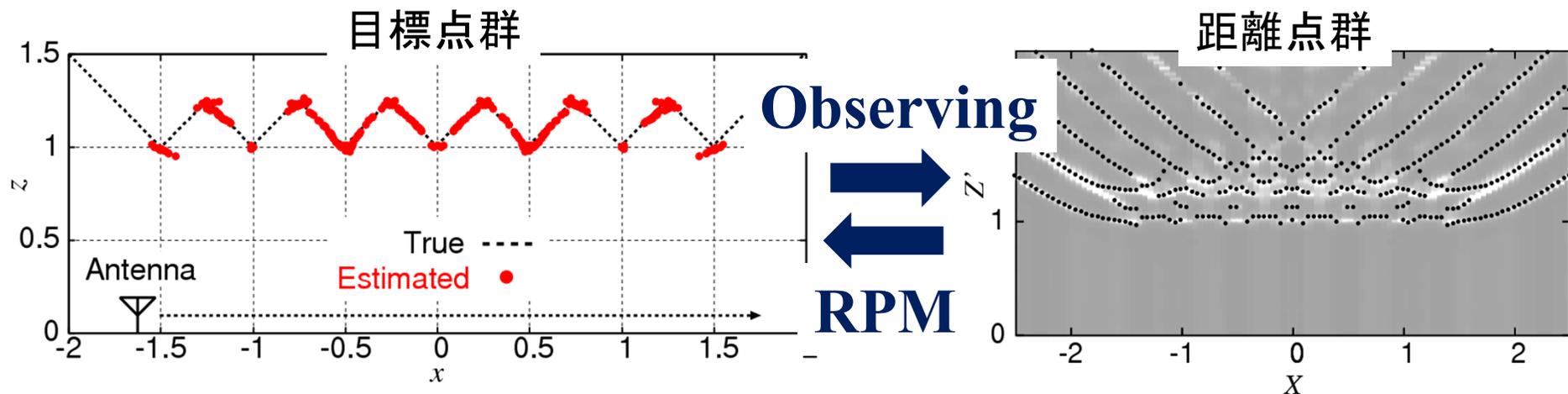
Ultra-wideband(UWB)パルスレーダ

- 高い距離分解能(cm~mm程度)
 - 粉塵, 濃煙環境下で計測可能
- ⇒災害時の救助ロボット等の画像センサとして有用

Range Point Migration(RPM)法 S. Kidera, *et al.*, Apr., 2010.

観測距離点群の大域的な分布を利用した到来角推定法

⇒複雑・複数目標に対して高精度で安定したイメージングを実現



研究背景

Ultra-wideband(UWB)パルスレーダ

- 高い距離分解能(cm~mm程度)
 - 粉塵, 濃煙環境下で計測可能
- ⇒災害時の救助ロボット等の画像センサとして有用

Range Point Migration(RPM)法 S. Kidera, *et al.*, Apr., 2010.

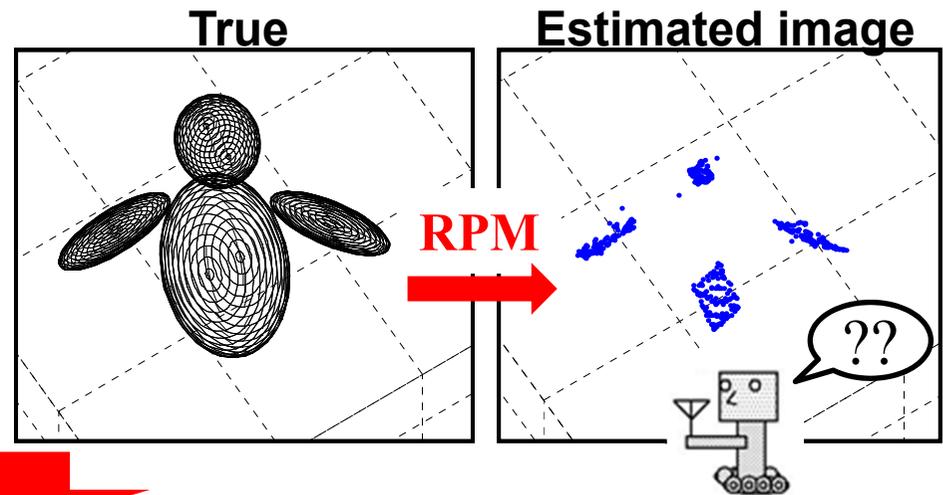
観測距離点群の大域的な分布を利用した到来角推定法

⇒複雑・複数目標に対して高精度で安定したイメージングを実現

問題点

以下の状況では
画像再現領域が著しく狭小化

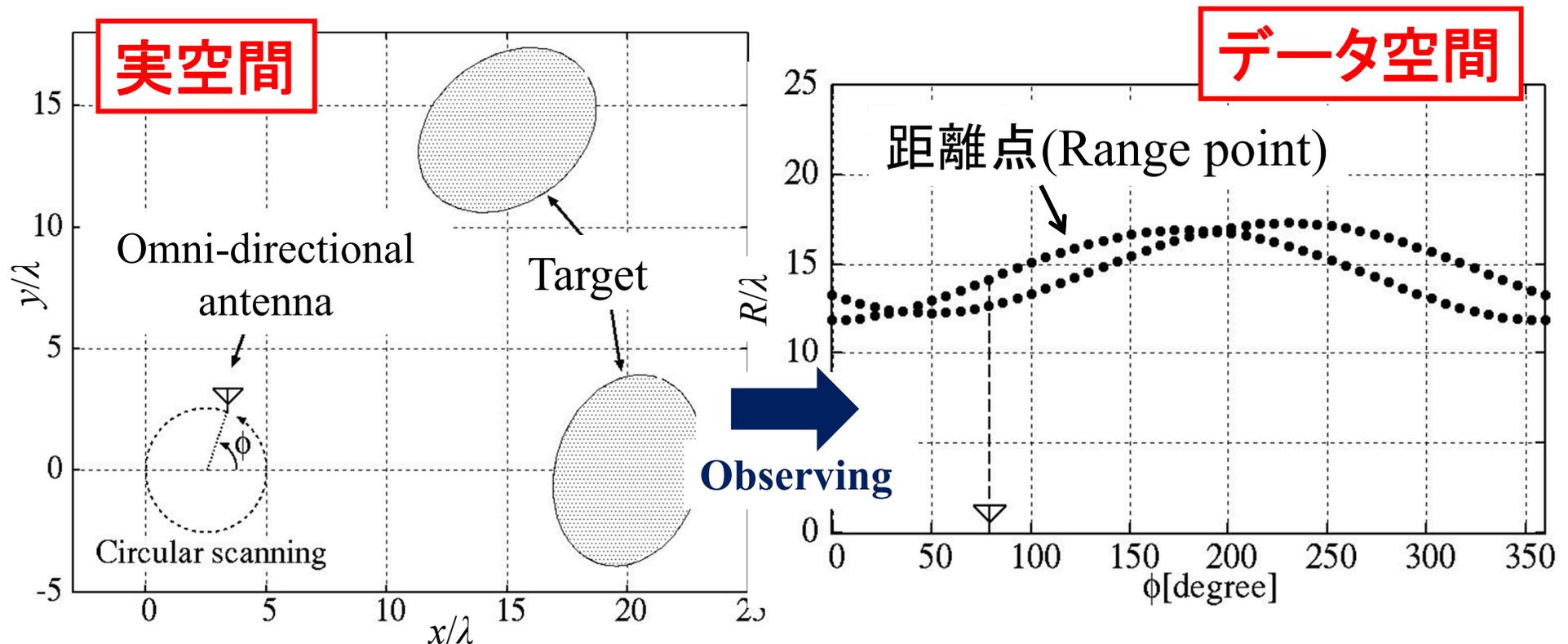
- 観測領域が不十分
- 遠方の目標を観測



楕円外挿法により, 目標境界を高精度に外挿する方法を提案

システムモデル

- 明瞭な境界面を持つ**複数楕円目標**
- 無指向性素子を**曲線走査**
- 送信信号は**モノサイクルパルス**(波長 λ)
- 信号の伝搬速度は**既知かつ一定**



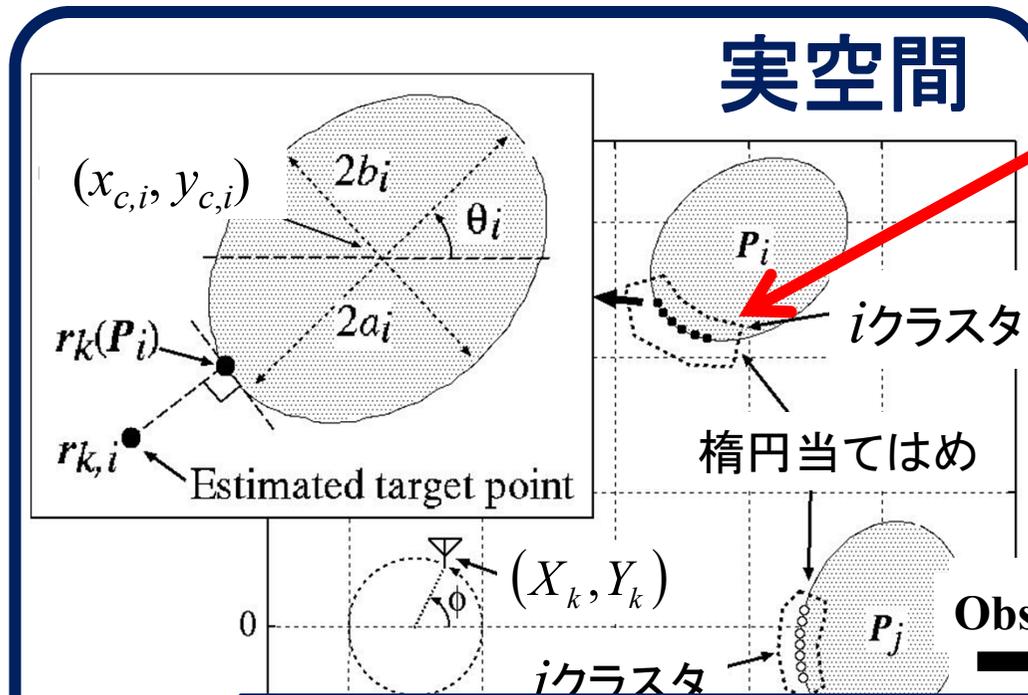
実空間上での楕円外挿法

RPM法による**目標境界推定点群**を用いた楕円当てはめ

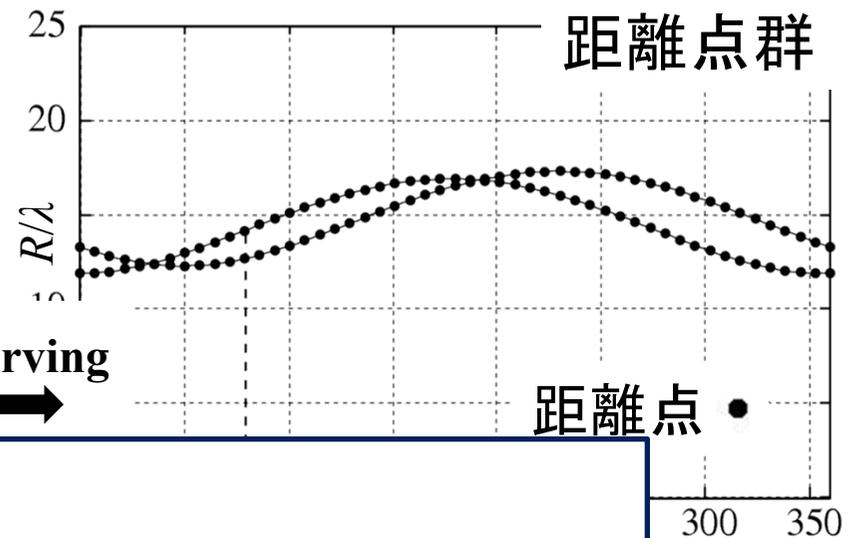
$$P_i = \arg \min_P \sum_{k=1}^{N_i} \|r_{k,i} - r_k(P)\|^2$$

$$P \equiv [a, b, X_c, Y_c, \theta]$$

N_i : クラスタ i の目標境界点数



ユークリッド距離を基準に
目標境界点群をクラスタ化



画像再現領域が狭小

⇒RPM推定誤差により外挿精度が劣化

データ空間上での楕円外挿法

観測データから**直接的に**得られる**距離点群**を用いた楕円当てはめ

$$P_i = \arg \min_P \sum_{k=1}^{N_i} \left\{ R_{k,i} - R_k(P) \right\} \left(\frac{d_{k,i}^2}{\alpha} + 1 \right)^2 w_{k,i}$$

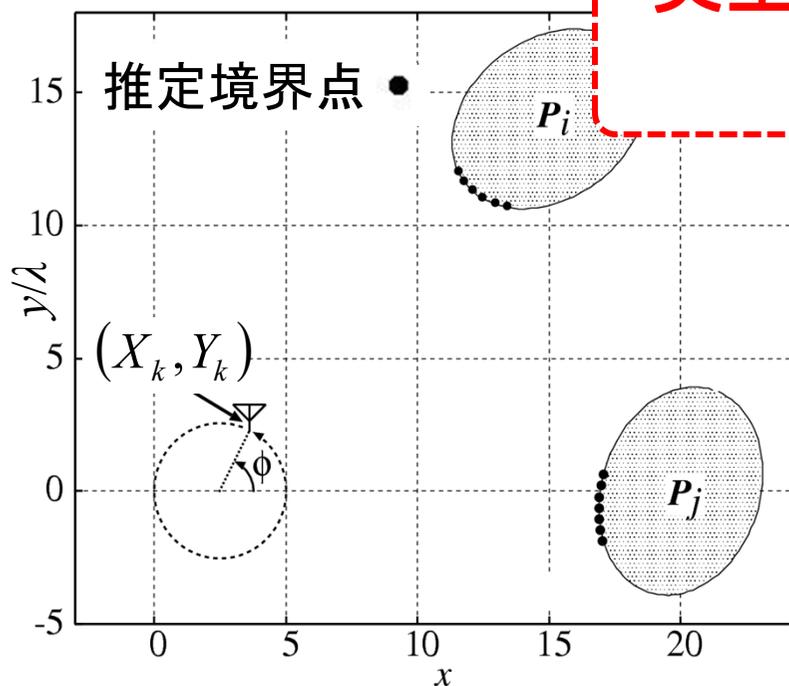
$$P \equiv [a, b, X_c, Z_c, \theta]$$

α : 定数, $R_k(P)$: 直交距離

N_i : 距離点総数 $R_{k,i}$: 距離点

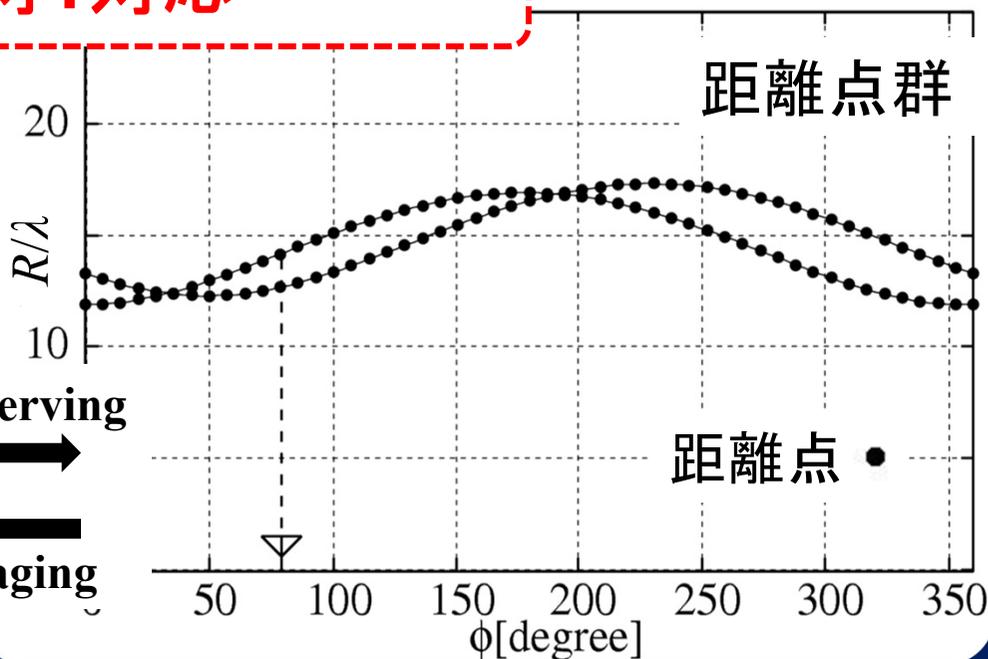
実空間 \leftrightarrow データ空間
1対1対応

データ空間



Observing

Imaging



データ空間上での楕円外挿法

観測データから**直接的に**得られる**距離点群**を用いた楕円当てはめ

$$P_i = \arg \min_P \sum_{k=1}^{N_i} \left\{ R_{k,i} - R_k(P) \right\} \left(\frac{d_{k,i}^2}{\alpha} + 1 \right)^2 w_{k,i}$$

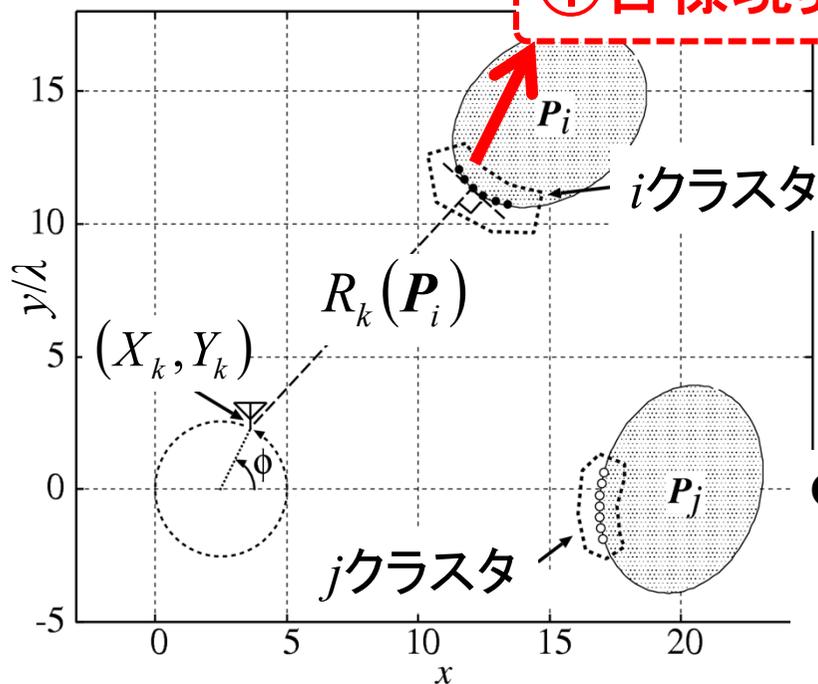
$$P \equiv [a, b, X_c, Z_c, \theta]$$

α : 定数, $R_k(P)$: 直交距離

N_i : 距離点総数 $R_{k,i}$: 距離点

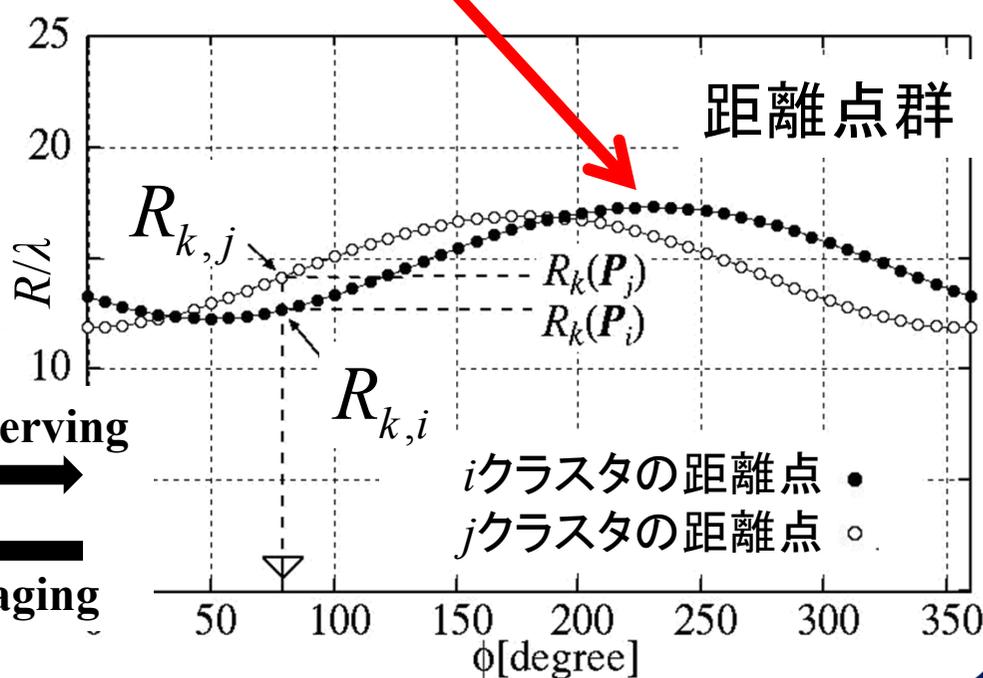
① 目標境界点群をクラスタ化

データ空間



Observing

Imaging



i クラスタの距離点 ●
 j クラスタの距離点 ○

データ空間上での楕円外挿法

観測データから**直接的に**得られる**距離点群**を用いた楕円当てはめ

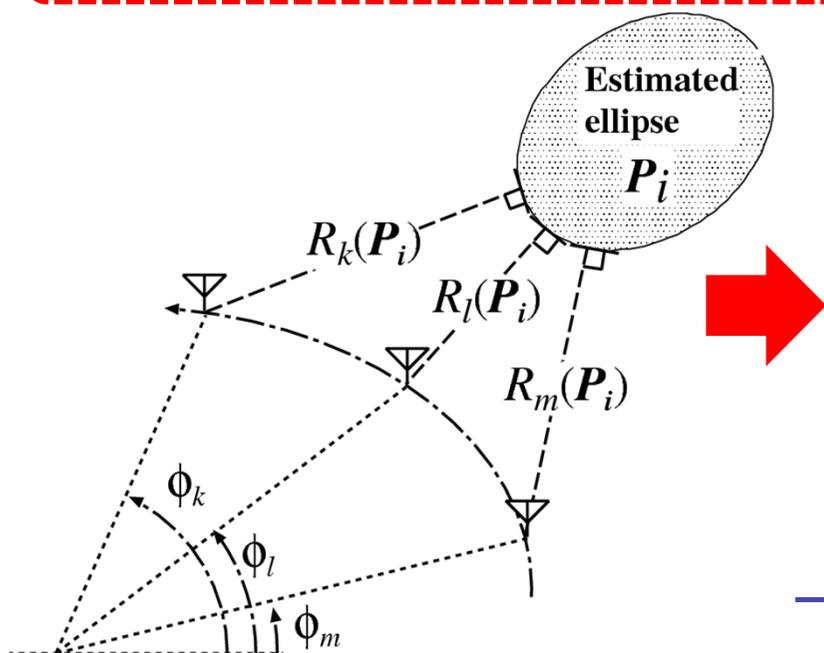
$$P_i = \arg \min_P \sum_{k=1}^{N_i} \left\{ R_{k,i} - R_k(P) \right\} \left(\frac{d_{k,i}^2}{\alpha} + 1 \right)^2 w_{k,i}$$

$$P \equiv [a, b, X_c, Z_c, \theta]$$

α : 定数, $R_k(P)$: 直交距離

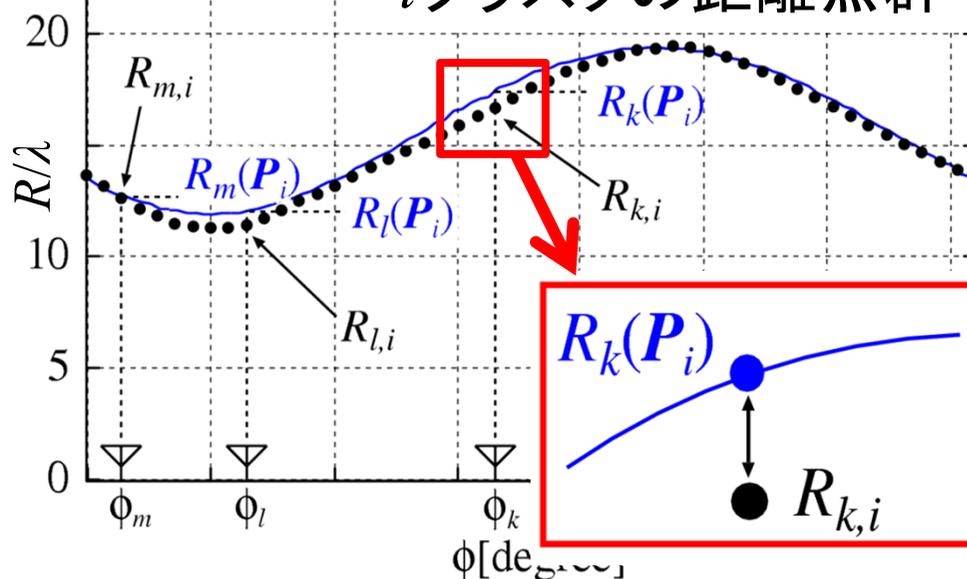
N_i : 距離点総数 $R_{k,i}$: 距離点

②直交距離と距離点の差分を
最小にする楕円パラメータを推定



データ空間

i クラスタの距離点群



データ空間上での楕円外挿法

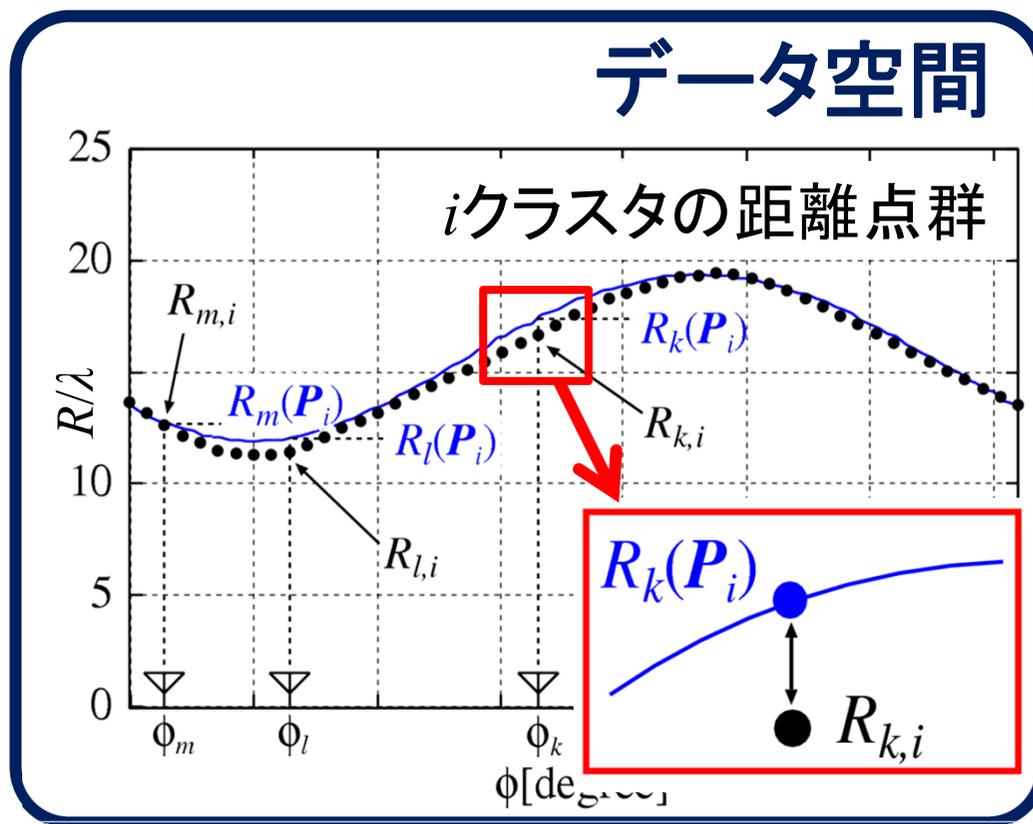
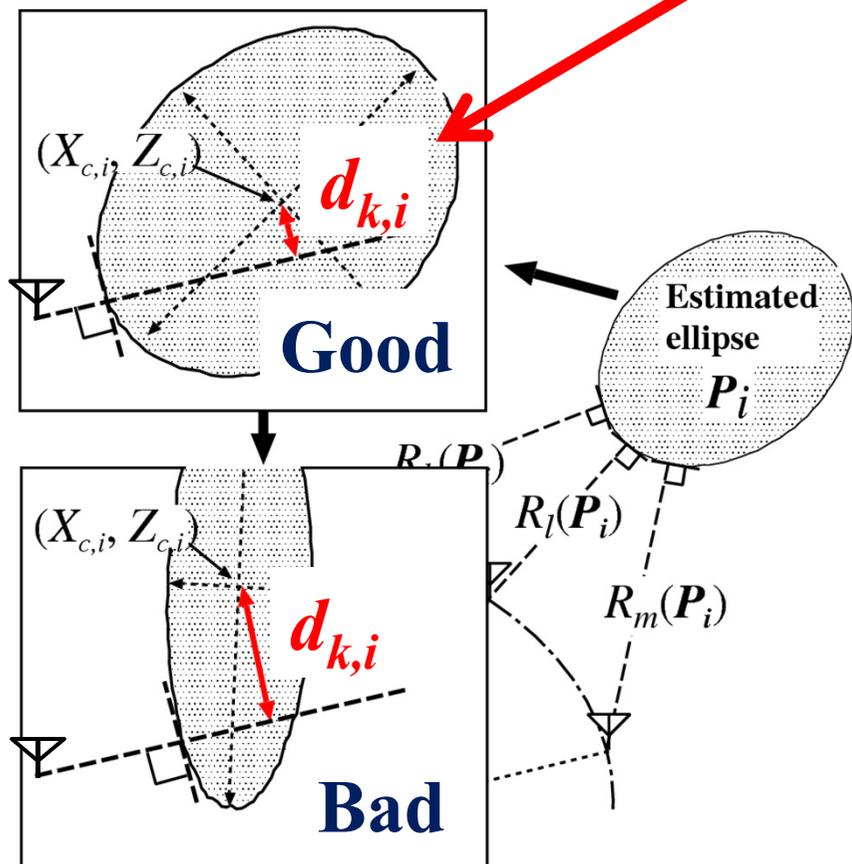
観測データから**直接的に**得られる**距離点群**を用いた楕円当てはめ

$$P_i = \arg \min_P \sum_{k=1}^{N_i} \left\{ R_{k,i} - R_k(P) \right\} \left(\frac{d_{k,i}^2}{\alpha} + 1 \right)^2 w_{k,i}$$

$$P \equiv [a, b, X_c, Z_c, \theta]$$

α : 定数, $R_k(P)$: 直交距離

N_i : 距離点総数 $R_{k,i}$: 距離点



データ空間上での楕円外挿法

観測データから**直接的に**得られる**距離点群**を用いた楕円当てはめ

$$P_i = \arg \min_P \sum_{k=1}^{N_i} \left| \left\{ R_{k,i} - R_k(P) \right\} \left(\frac{d_{k,i}^2}{\alpha} + 1 \right) \right|^2 w_{k,i}$$

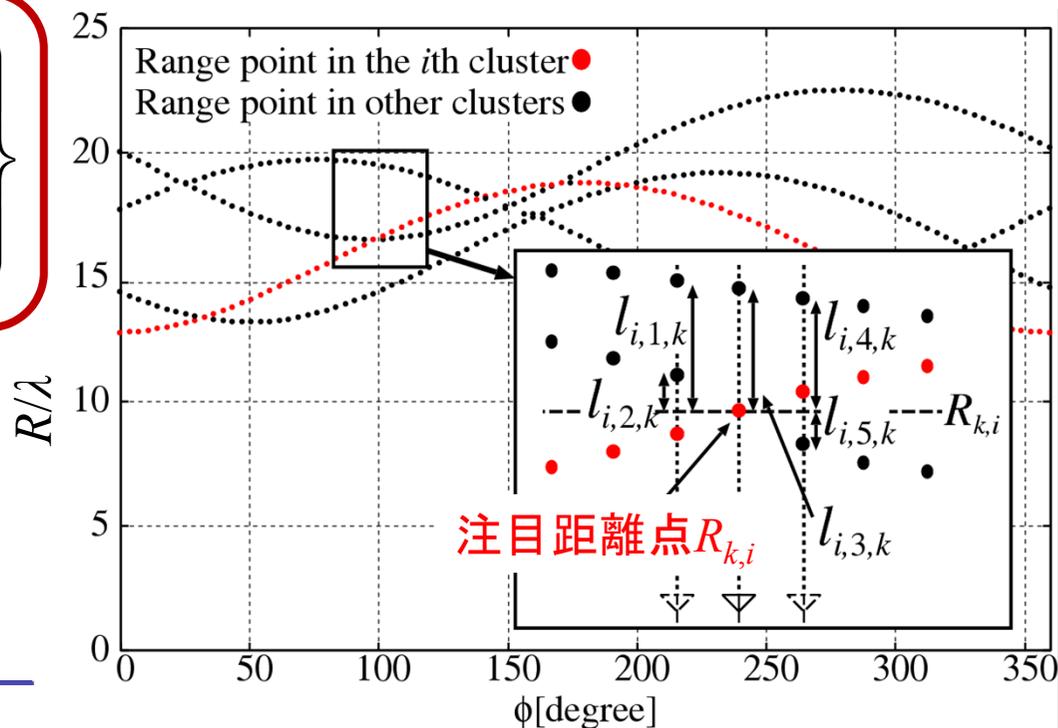
$P \equiv [a, b, X_c, Z_c, \theta]$
 α : 定数, $R_k(P)$: 直交距離
 N_i : 距離点総数 $R_{k,i}$: 距離点

距離点群の局所的な分布に基づき散乱波の干渉を抑圧

$$w_{k,i} = \prod_{j=1}^{M_k} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{l_{i,j,k}^2}{2\sigma^2}\right) \right\}$$

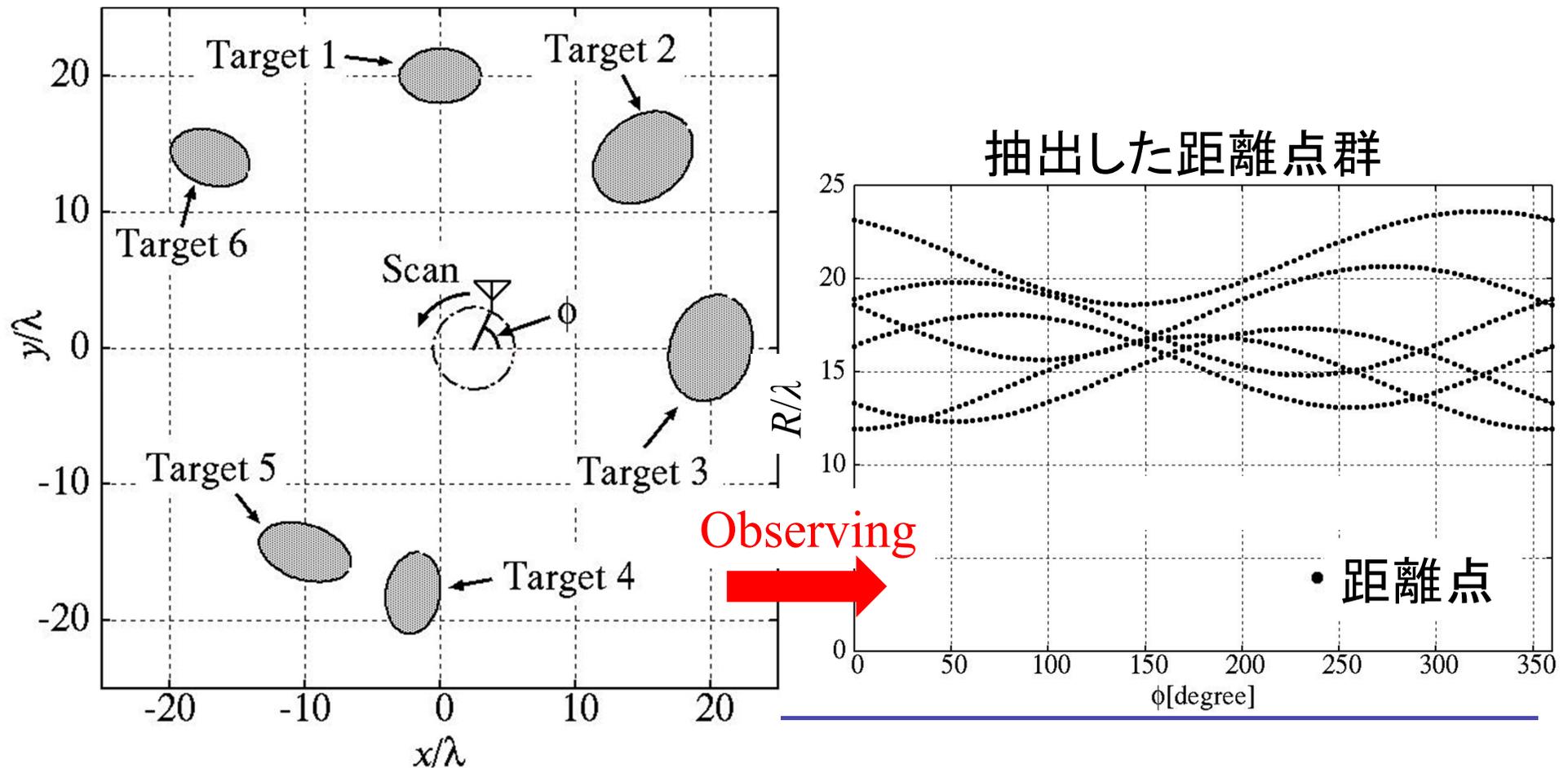
σ : 定数

M_k : 隣接素子位置で得られる
他クラスタ距離点数



数値計算による特性評価

- 幾何光学近似に基づき伝搬減衰を考慮して観測信号を生成
- 多重散乱波は考慮しない
- 最適化手法: 焼鈍し法およびLevenberg-Marquardt法を併用

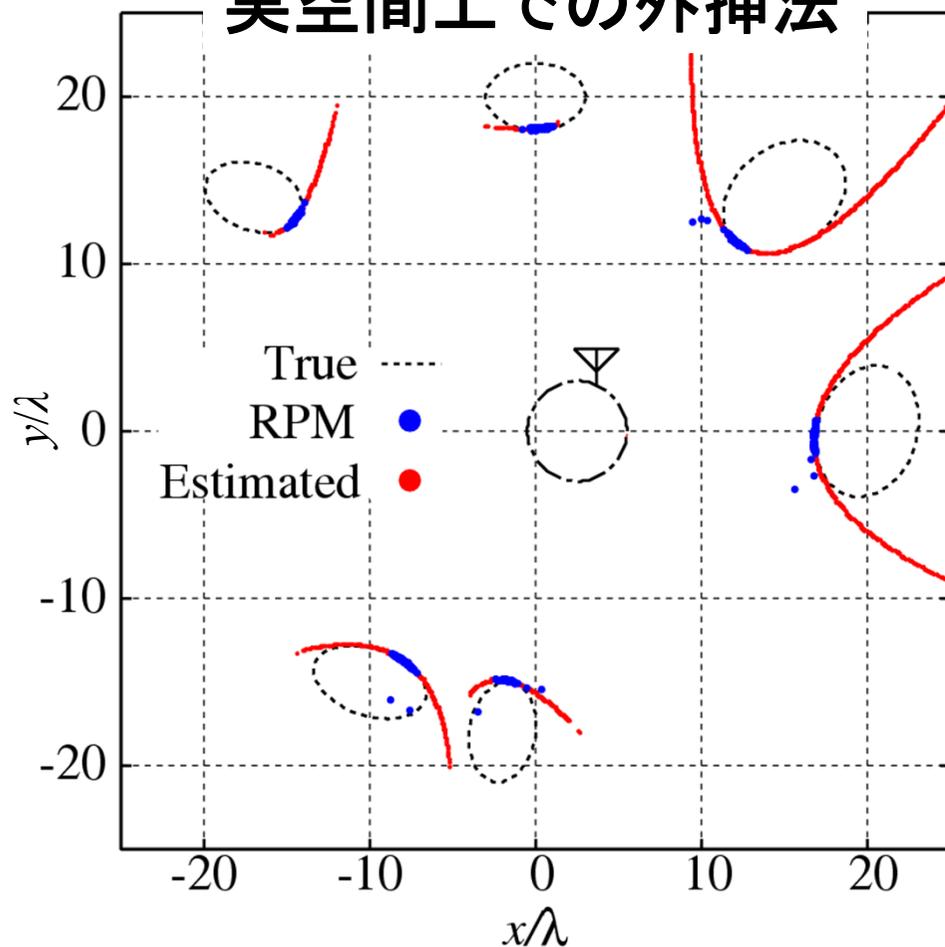


雑音環境下での特性評価(S/N=30dB)

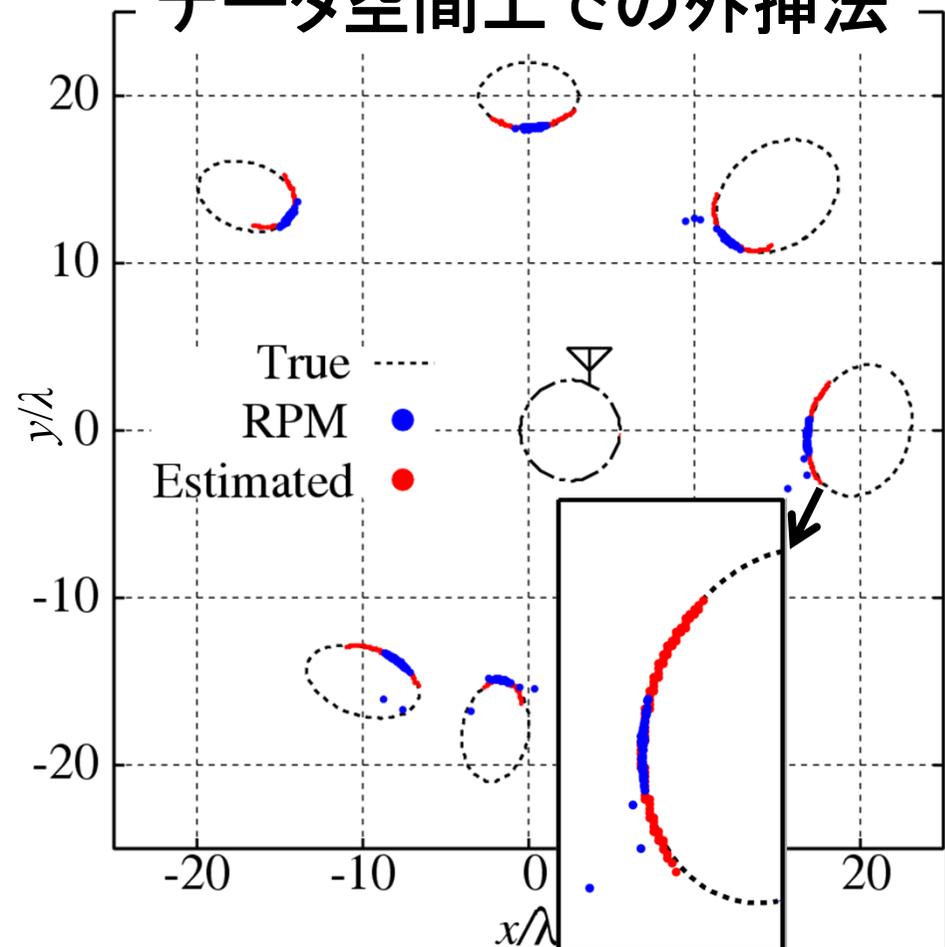
信号電力S : 整合フィルタ通過時の最大瞬時電力
雑音電力N : 整合フィルタ通過時の雑音平均電力

評価値が設定閾値を下回る出力結果を重ねて表示

実空間上での外挿法



データ空間上での外挿法



推定精度の定量評価

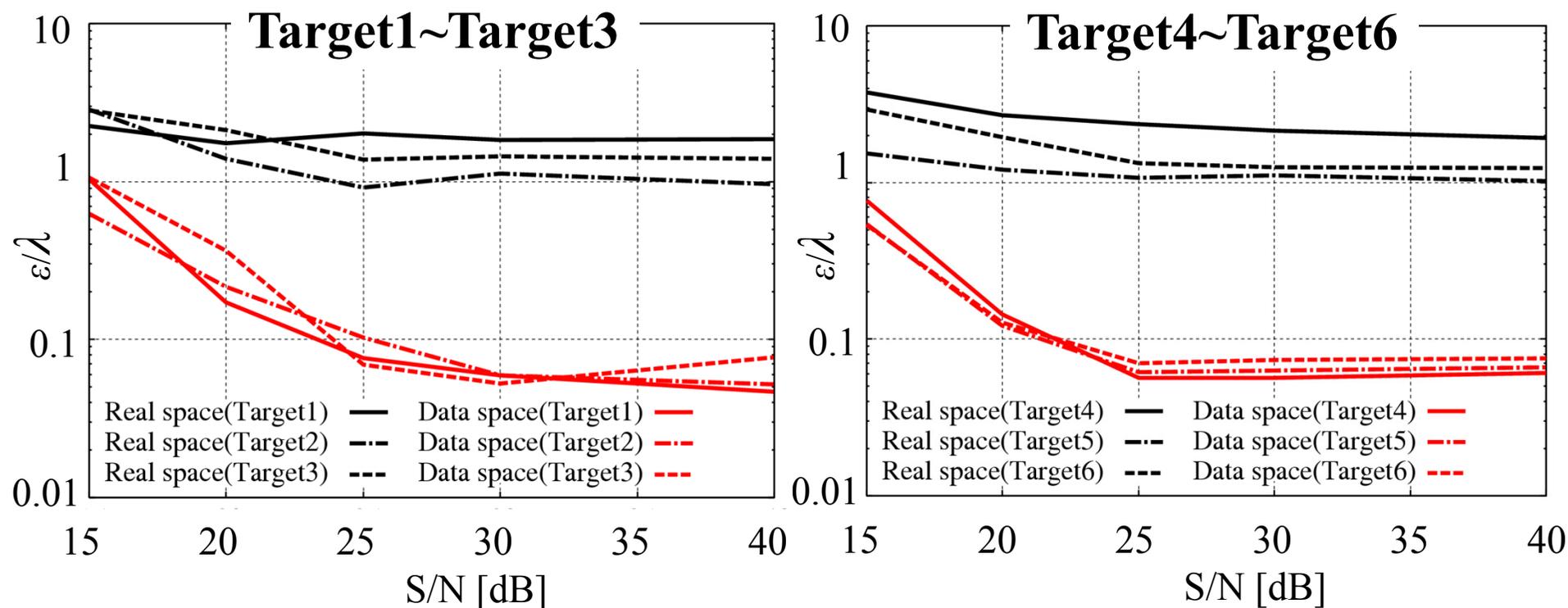
真の目標境界に対する最近接距離

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \min_x \|\mathbf{x} - \mathbf{x}_e^i\|^2}{N}}$$

\mathbf{x} : 目標境界の座標

\mathbf{x}_e^i : 推定点の座標

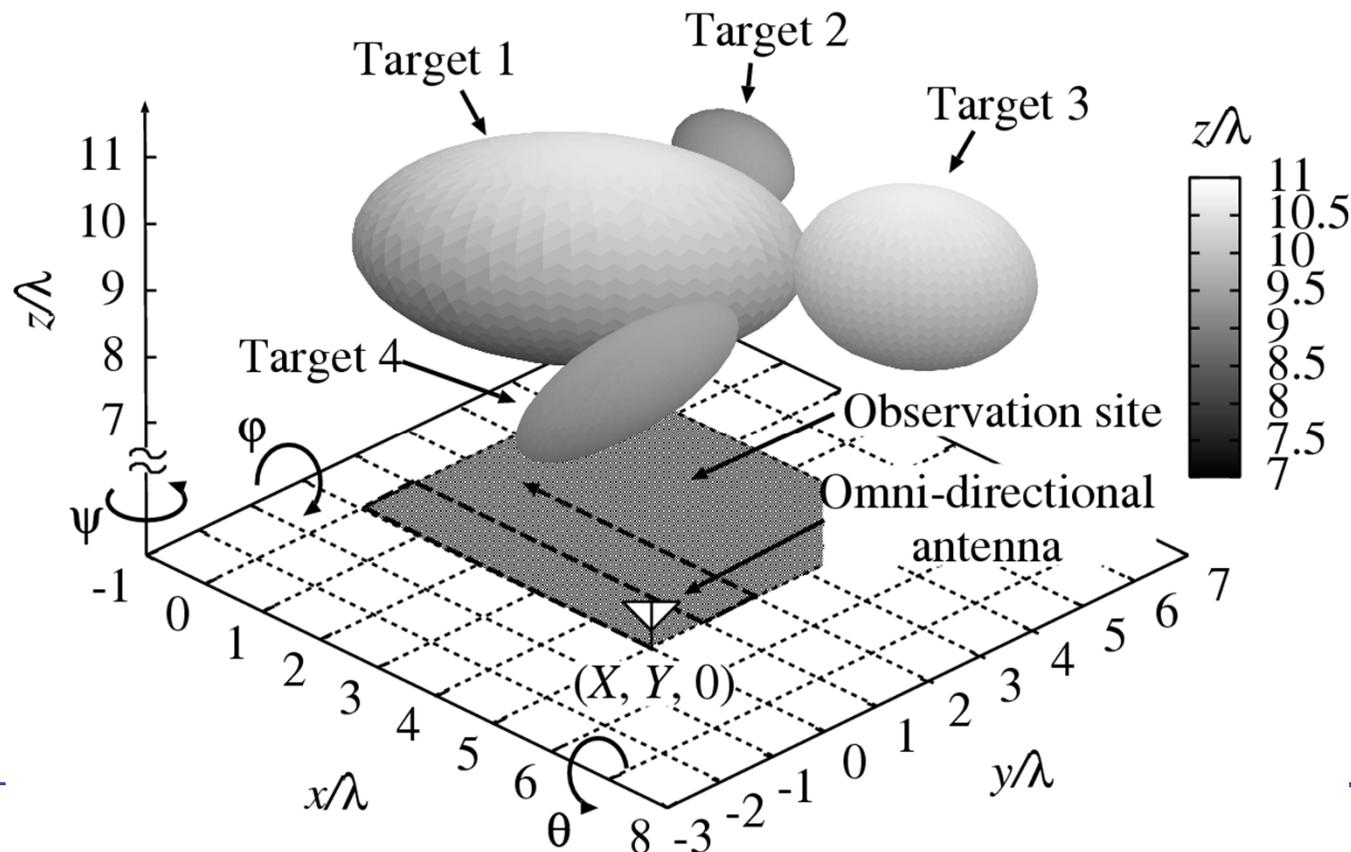
N : \mathbf{x}_e^i の総数



データ空間上での楕円外挿法はS/N=15~40[dB]で高精度に外挿

システムモデル(3次元問題)

- 明瞭な境界面を持つ**複数楕円体目標**
- 無指向性素子を**平面走査**($z = 0$)
- 送信信号は**モノサイクルパルス**(波長 λ)
- 信号の伝搬速度は**既知かつ一定**



3次元問題への拡張

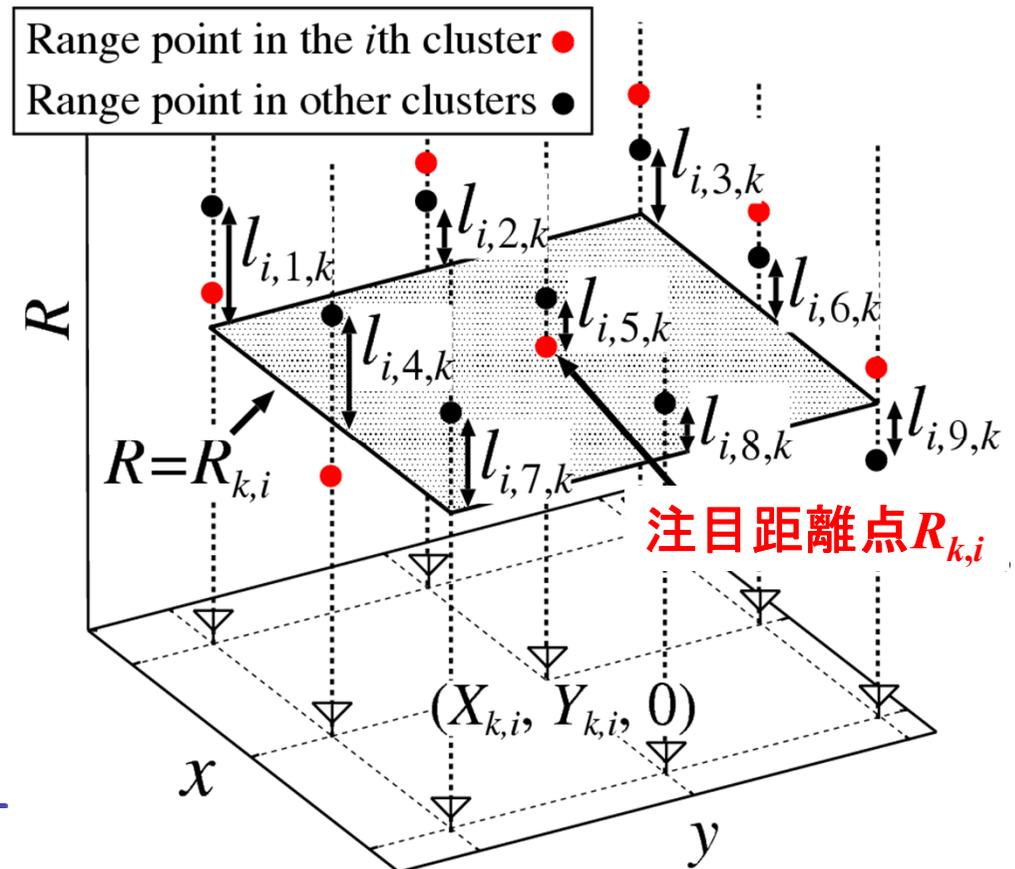
- 実空間上での楕円外挿法
 - データ空間上での楕円外挿法
- ⇒ z軸成分を加えることで容易に3次元問題に拡張可能

距離点群の局所的な分布に基づく干渉抑圧法の拡張

$$w_{k,i} = \prod_{j=1}^{M_k} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{l_{i,j,k}^2}{2\sigma^2}\right) \right\}$$

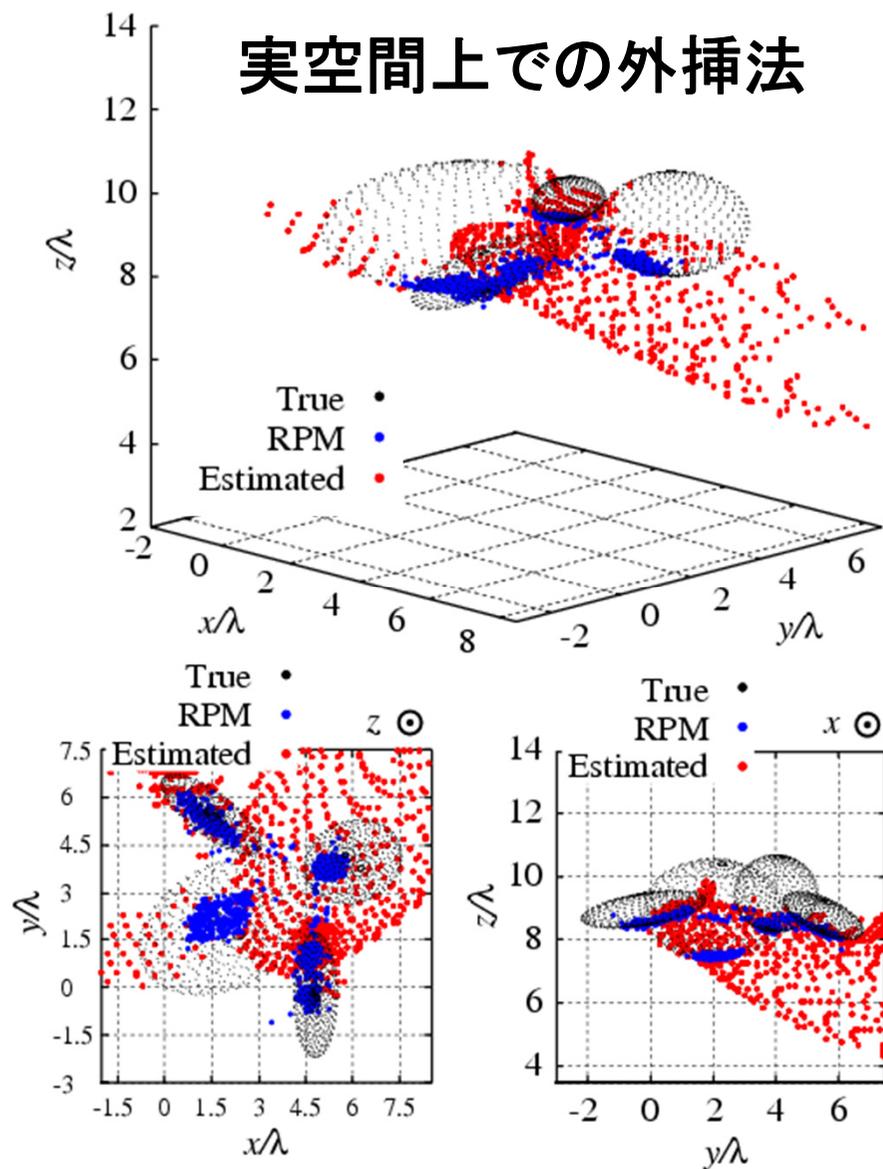
σ : 定数

M_k : 隣接素子位置で得られる
他クラスタ距離点数



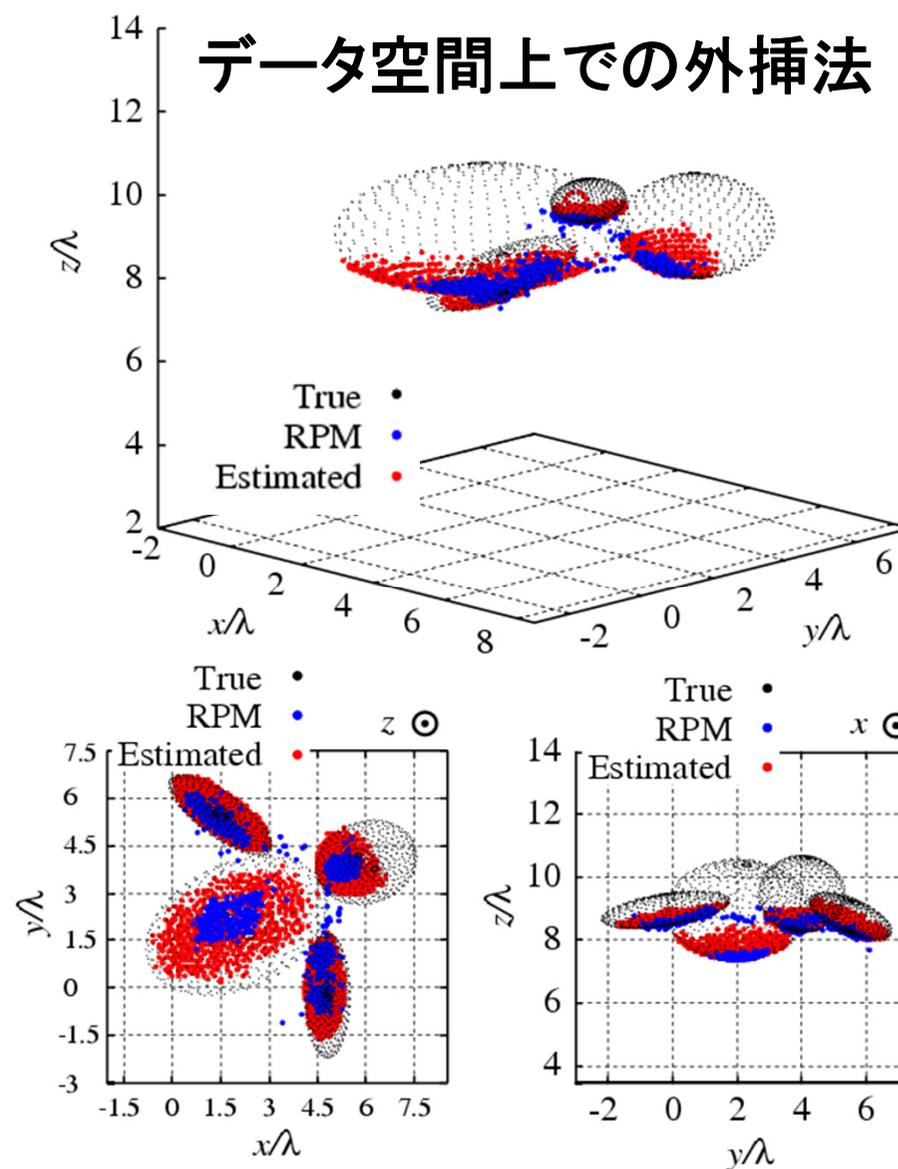
数値計算による特性評価(S/N=30dB)

実空間上での外挿法



推定精度平均 $3.2 \times 10^0 \lambda$

データ空間上での外挿法



推定精度平均 $2.8 \times 10^{-2} \lambda$

結論

データ空間上での楕円外挿法を提案

特徴

- 観測データから直接的に抽出される距離点群を利用
- 外挿精度は観測距離誤差のみに依存
- 距離点群の局所的な分布に基づく干渉抑圧法を導入

数値計算による特性評価

- 画像再現領域が狭小な場合でも高精度に外挿可能
- 実空間上での楕円外挿法に比べ高い対雑音性能

今後の課題

- 任意の目標形状への対応
- 実験的検討