

# 平成29年度福島研究開発部門 成果報告会

## 環境中の放射線可視化の最前線 -ドローンを使った3次元画像の作成-

平成30年2月14日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構  
福島研究開発部門 福島研究開発拠点  
福島環境安全センター 放射線監視技術開発グループ

佐々木 美雪

範囲	広域 >100 km	準広域 >10 km	中域 >1 km	狭域 ~100 m
機種	ヘリコプター	無人航空機	無人ヘリコプター	マルチコプター
高度	~ 300m	~ 150m	~ 50m	< 10m



航空機モニタリング



無人飛行機モニタリング



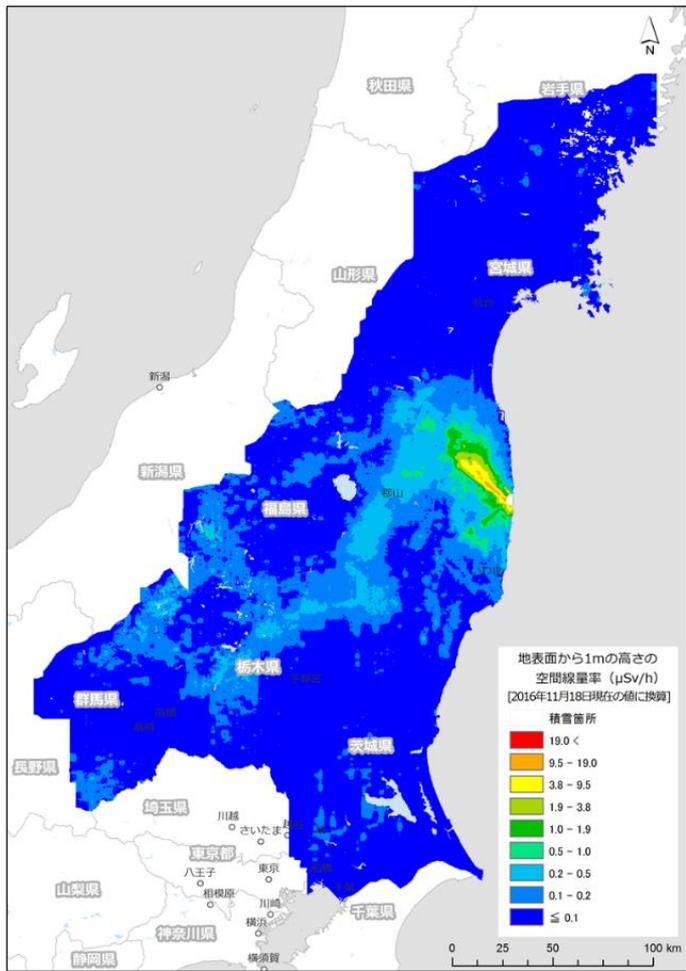
無人ヘリモニタリング



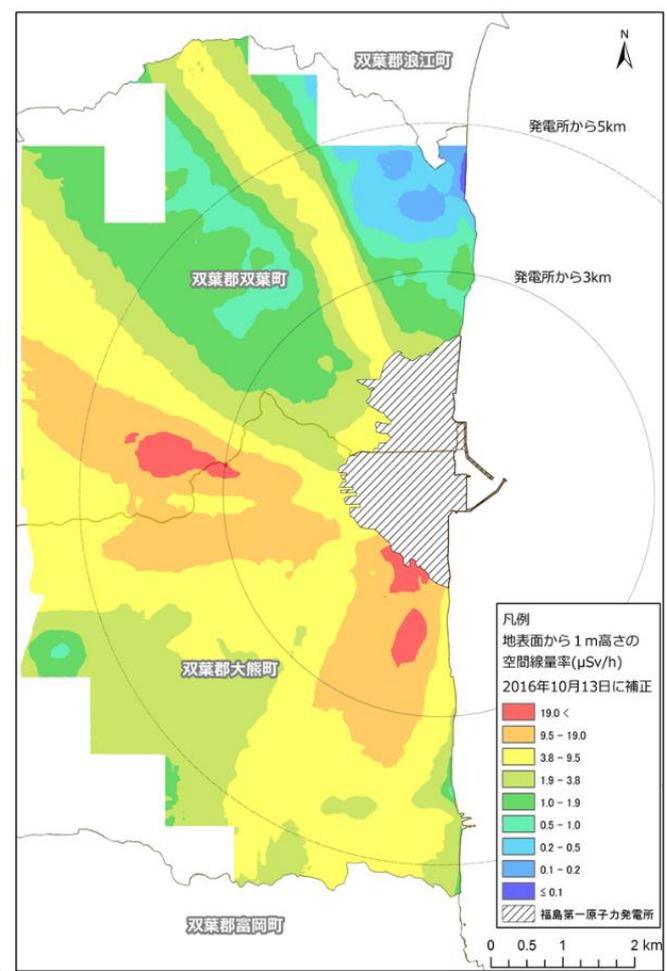
ドローンモニタリング

## 有人ヘリコプターによる空間線量率マップ

## 無人ヘリコプターによる空間線量率マップ

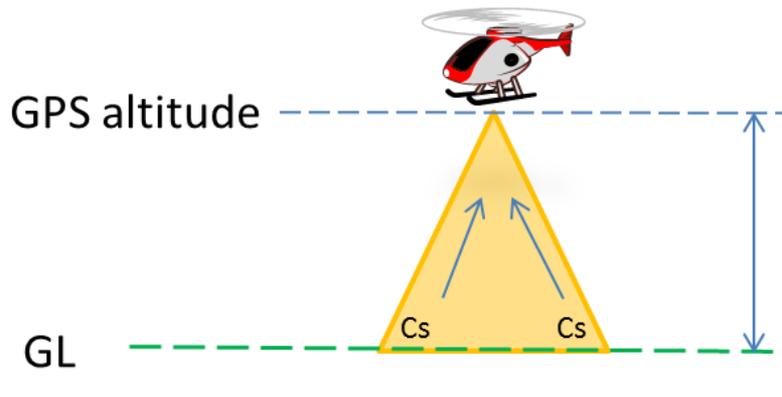


原子力規制庁からの委託事業  
第11次航空機モニタリング及び東日本第7次航空機モニタリング結果  
2016年11月18日に減衰補正



原子力規制庁からの委託事業  
第7回無人ヘリコプターモニタリング結果  
2016年10月13日に減衰補正  
背景地図：ArcGISデータコレクションスタンダードパック (ESRI, Co. Ltd.)

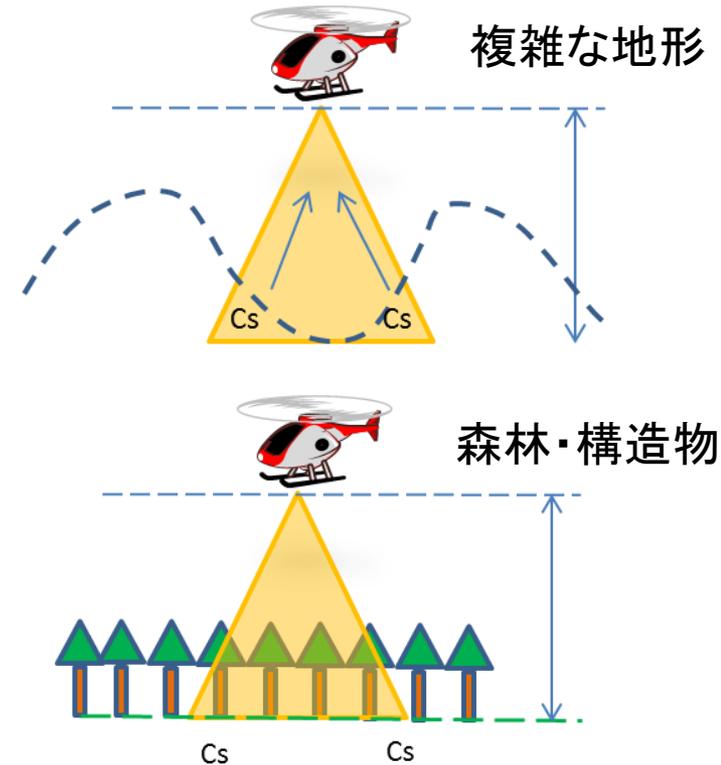
## 従来法の換算



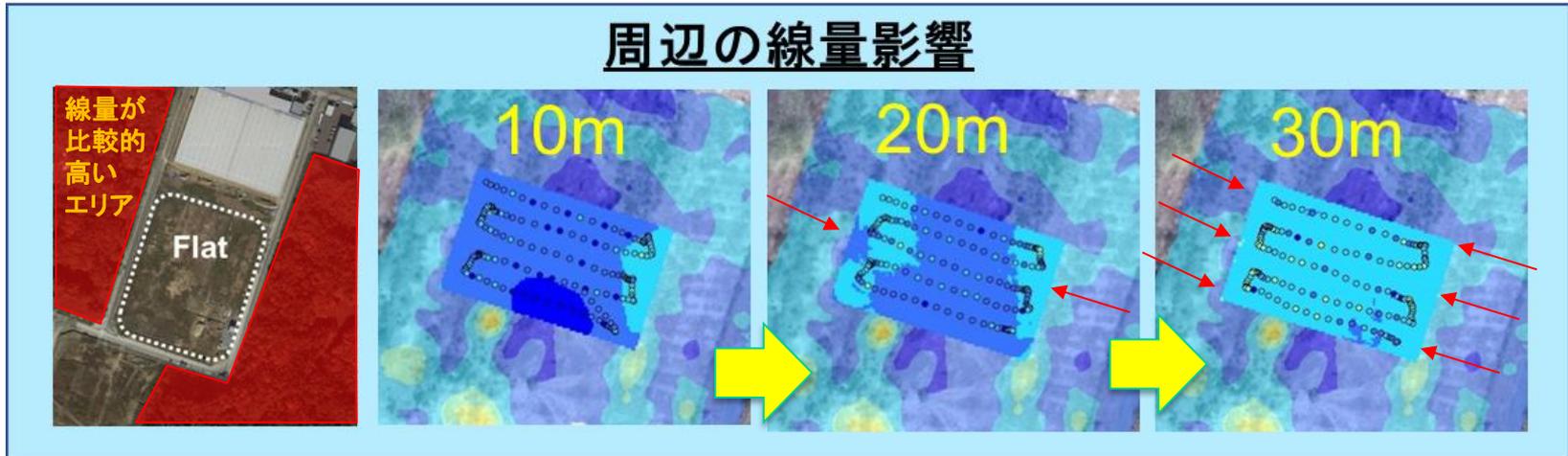
現状の線量換算モデル

上空からの測定のため、地上で測定したような  
 詳細な分布は得られない  
 特にマルチコプター等による低い高度での測定  
 では地形の影響をより受けやすい

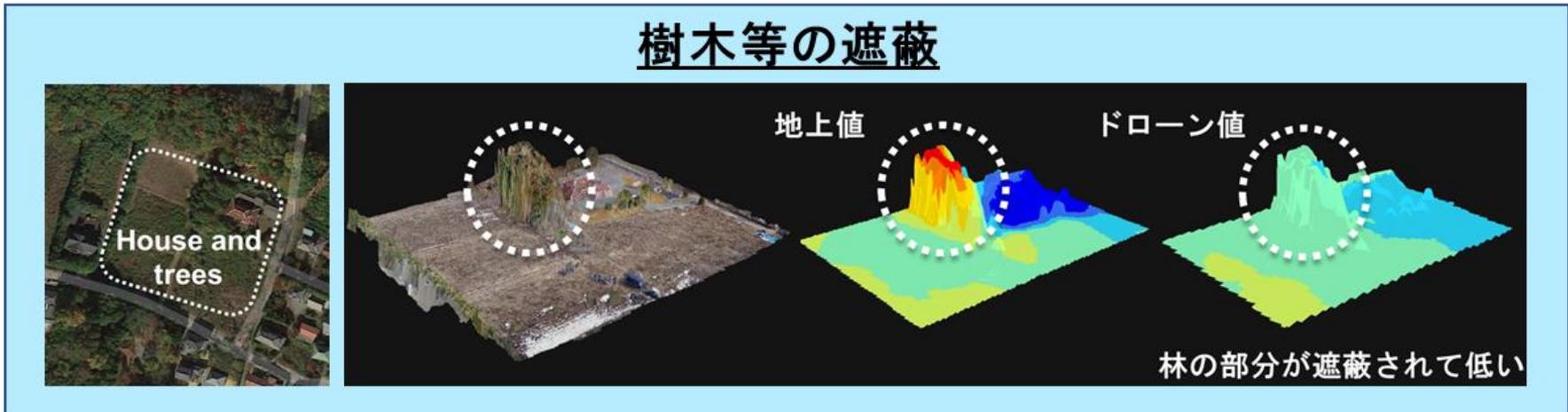
## 実際は…



⇒換算方法及び測定方法を改善しより地上値に  
 近いマップの作成を試みる

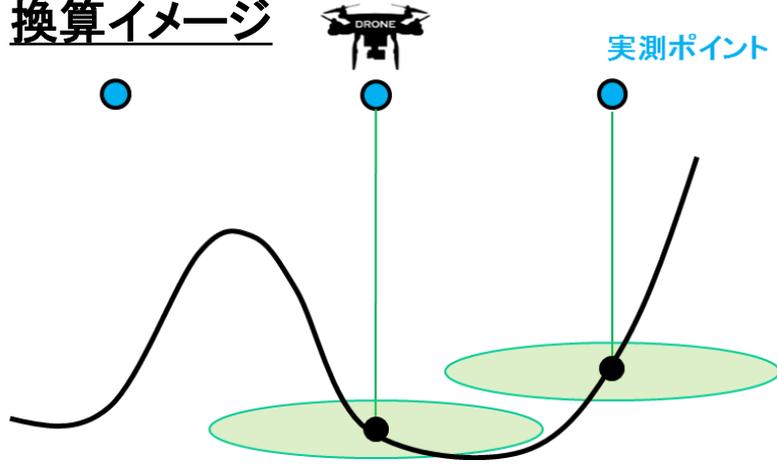


高度が上がるごとに周辺の線量の高いエリアの影響を受ける



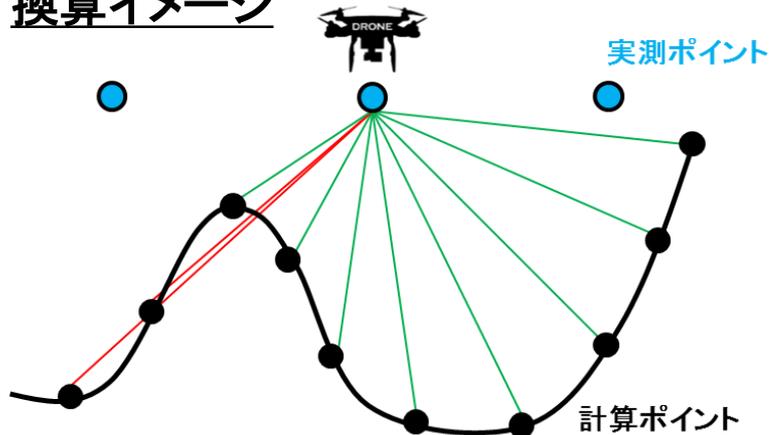
林部分が樹木によって遮蔽され、線量が低く測定される

## (a)従来法 換算イメージ



最尤推定-期待値最大化  
ML-EM (maximum likelihood- expectation maximization)

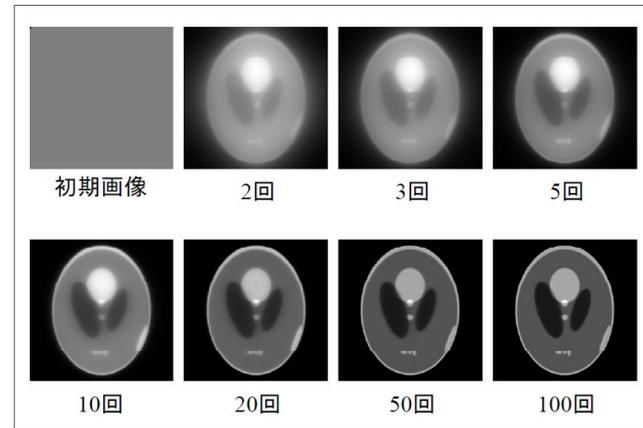
## (b)ML-EM法 換算イメージ



PET等医療用の3D画像再構成に使用される逐次近似法の一つ最尤推定-期待値最大化法 (ML-EM法: maximum likelihood- expectation maximization) を応用し、環境の放射線測定用のアルゴリズムを作成

⇒ 様々なジオメトリにおける測定結果に適用

## ML-EM法の再構成像例



篠原広行 (2014) 「画像再構成: 臨床医のための解説 第2回逐次近似画像再構成法」 『断層映像研究会雑誌』 Vol. 41-2 p.45-57.

測定ポイントデータ  
 ・緯度、経度、高さ、測定計数率

計算ポイントデータ  
 ・緯度、経度、DEM、DSM、初期値

放射線の測定データと、周辺地形データを用いて換算を行う

$$\lambda_j^{k+1} = \frac{\lambda_j^k}{\sum_{i=1}^D C_{ij}} \sum_{i=1}^D \frac{y_i C_{ij}}{\sum_{j=1}^B \lambda_j^k C_{ij}}$$

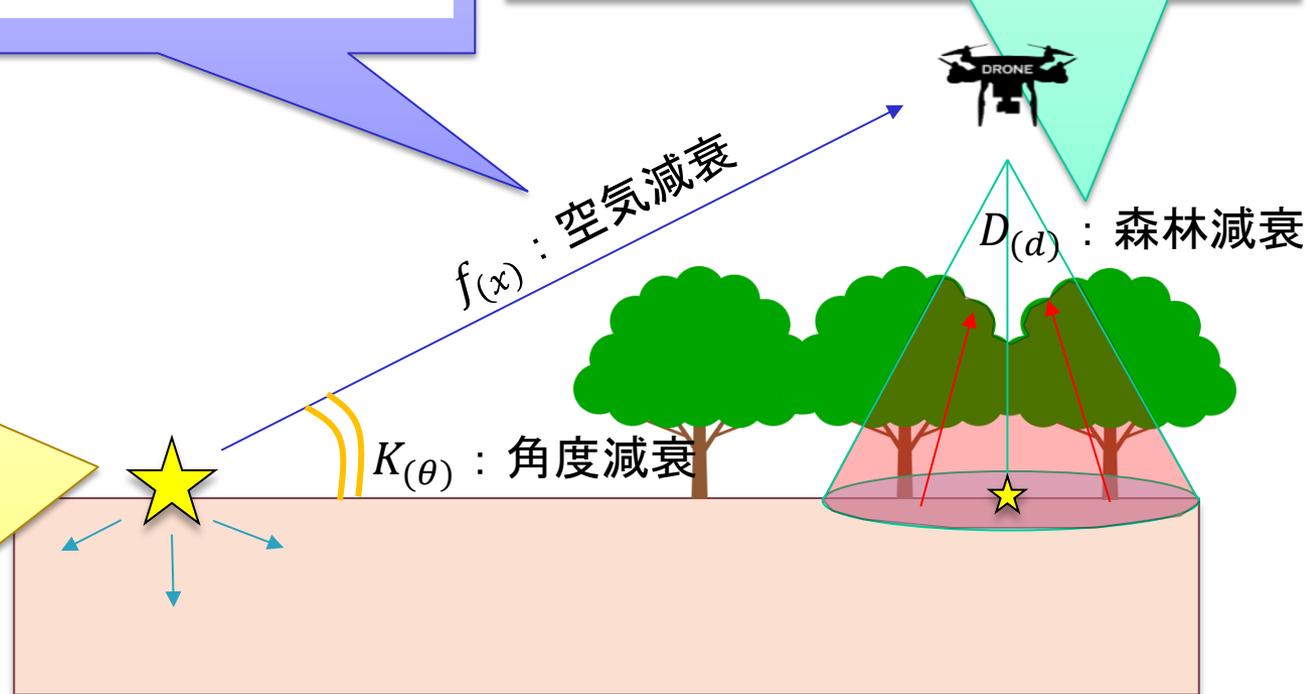
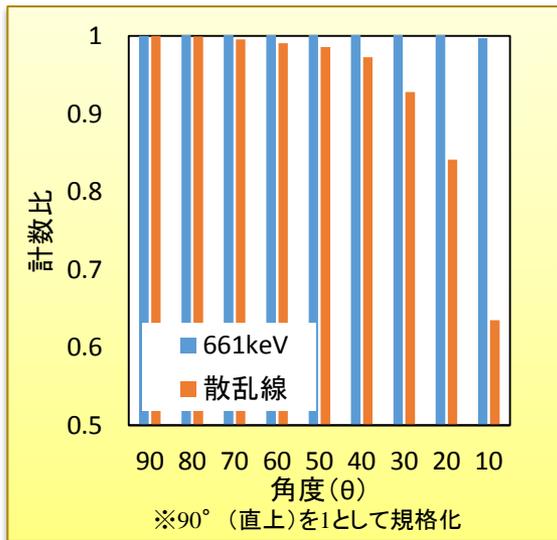
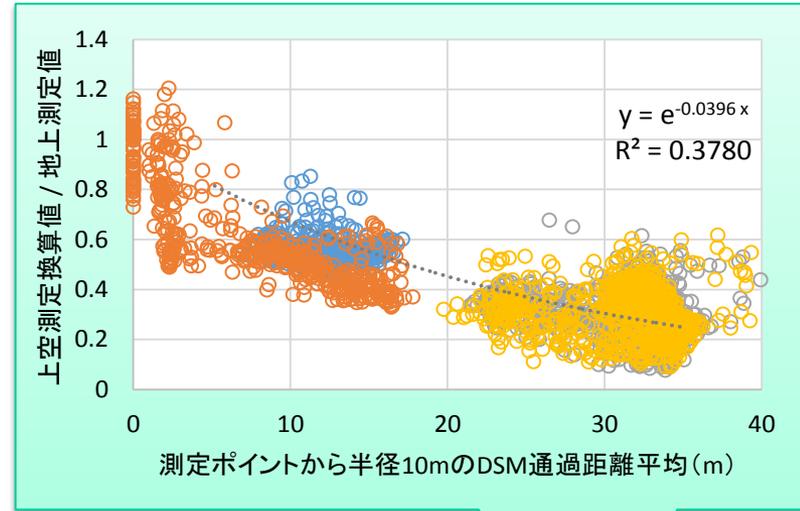
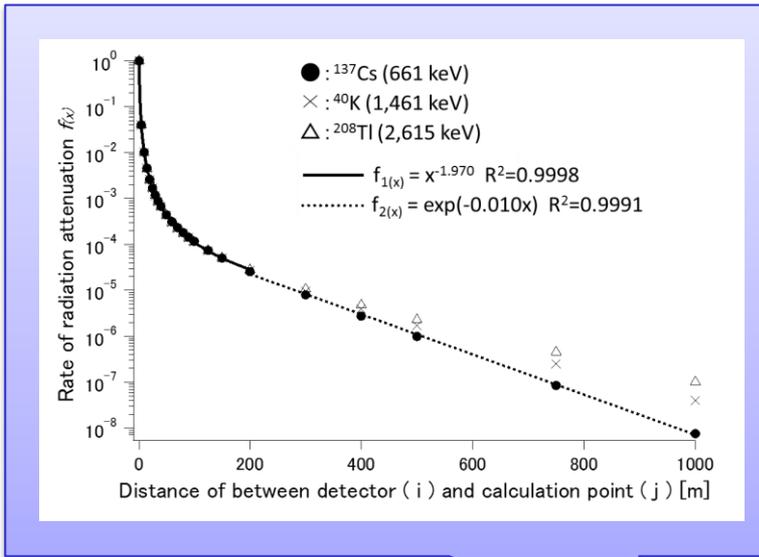
計算で特に重要な部分は  
 検出確率C<sub>ij</sub>のパラメータ部分

地上計数(λ)

地上1m空間線量

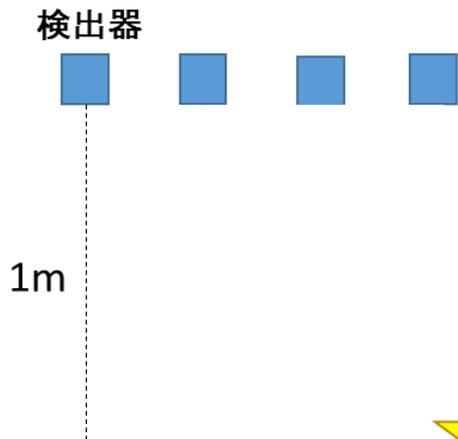
○検出確率  $C = f(x) \times K(\theta) \times D(d)$

- $f(x)$  **空気減弱係数**
  - ・ ・ ・ 測定ポイントと計算ポイントの距離から算出
- $K(\theta)$  **角度補正係数**
  - ・ ・ ・ 測定ポイントと計算ポイントの地面との角度から算出
- $D(d)$  **森林減弱係数**
  - ・ ・ ・ 測定ポイントと樹高の関係から算出
  - ※森林の減弱係数は樹種や季節、樹木自体の放射能で変化するが、ここでは簡略的に樹高を使用

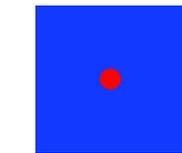


- ・室内(6m×6m)の中心に線源を置き線量を測定したデータに適用
- ・正解値(地上1cmの値)と比較し、手法の妥当性を検証

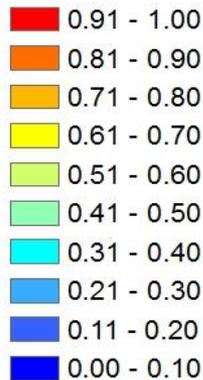
Normalized Mean Square Error : NMSE によりマップを評価(G:地上値、V:換算値)

$$NMSE = \frac{\sum_{i=1}^N (G_i - V_i)^2}{\sum_{i=1}^N G_i^2}$$


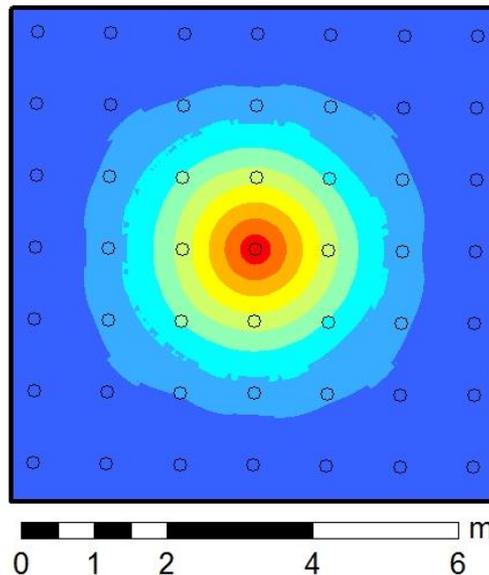
Original value



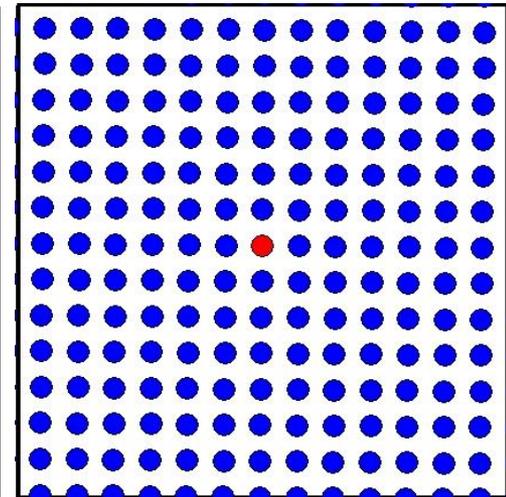
Intensity



(a)従来法

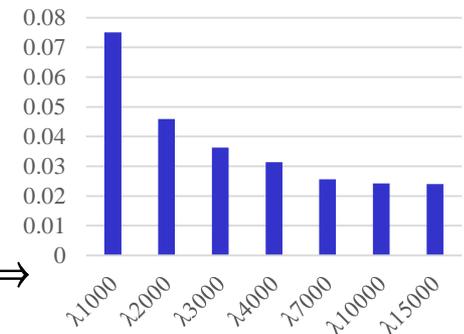


(b)ML-EM法



※計算は0.5m間隔で12×12mで計算  
 ※地上1cm換算計算

計算回数を重ねるごとに正解値に近づく⇒



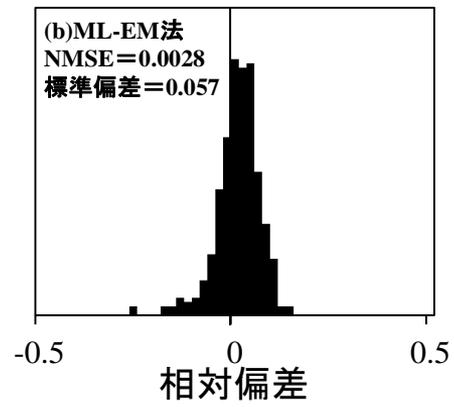
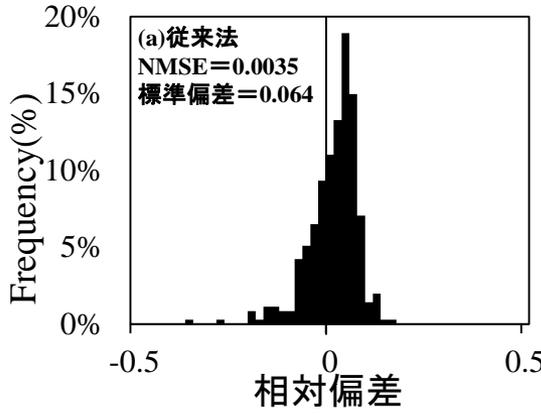
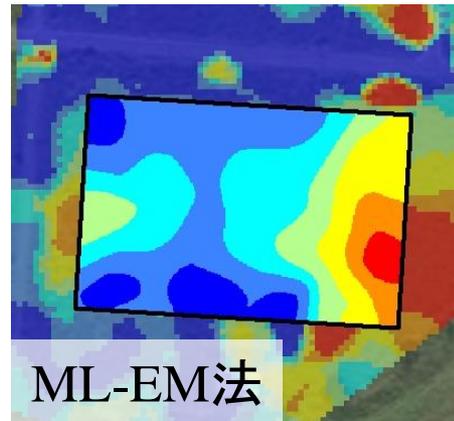
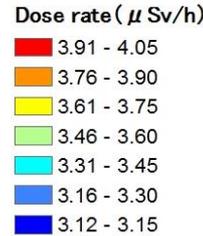
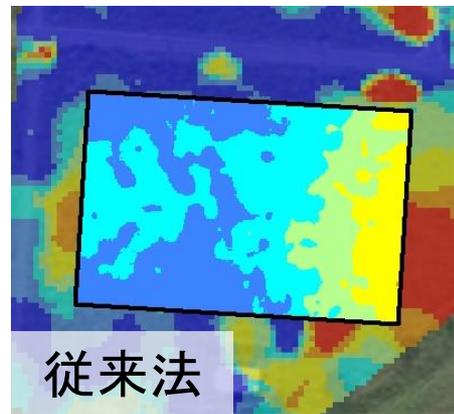
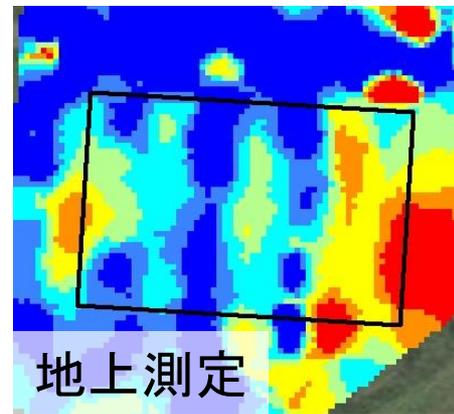
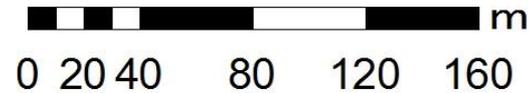
**Example 1**  
 「実施日」 2017年10月10日  
 「機器」 無人ヘリR-MAX (GAGG)  
 「測定項目」  
 低高度放射線測定フライト (10m)  
 ☆地上測定：GPS付サーベータ  
 (CsI) を用いて全域を実施

**Example 2**  
 「実施日」 2016年7月4日  
 「機器」 ドローン (GAGG)  
 「測定項目」  
 中高度放射線測定フライト (40m)  
 ☆地上測定：GPS付サーベータ  
 (CsI) を用いて全域を実施

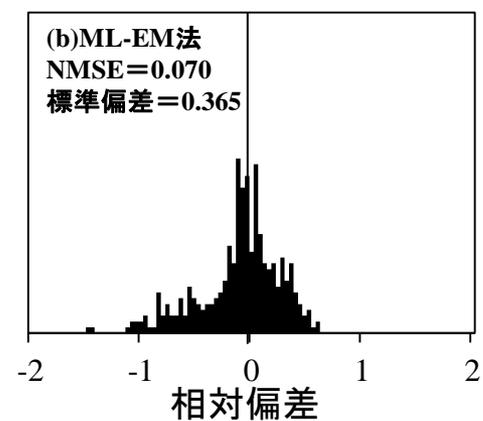
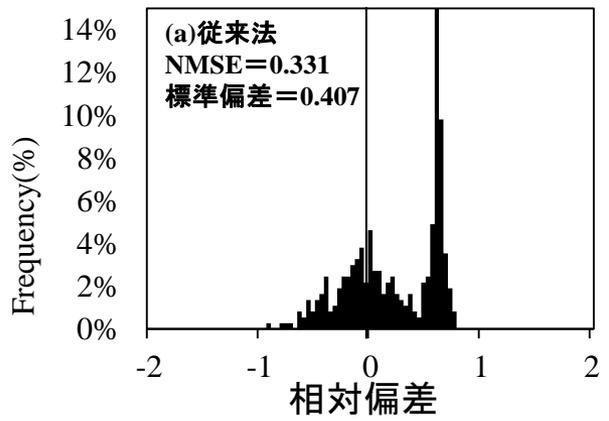
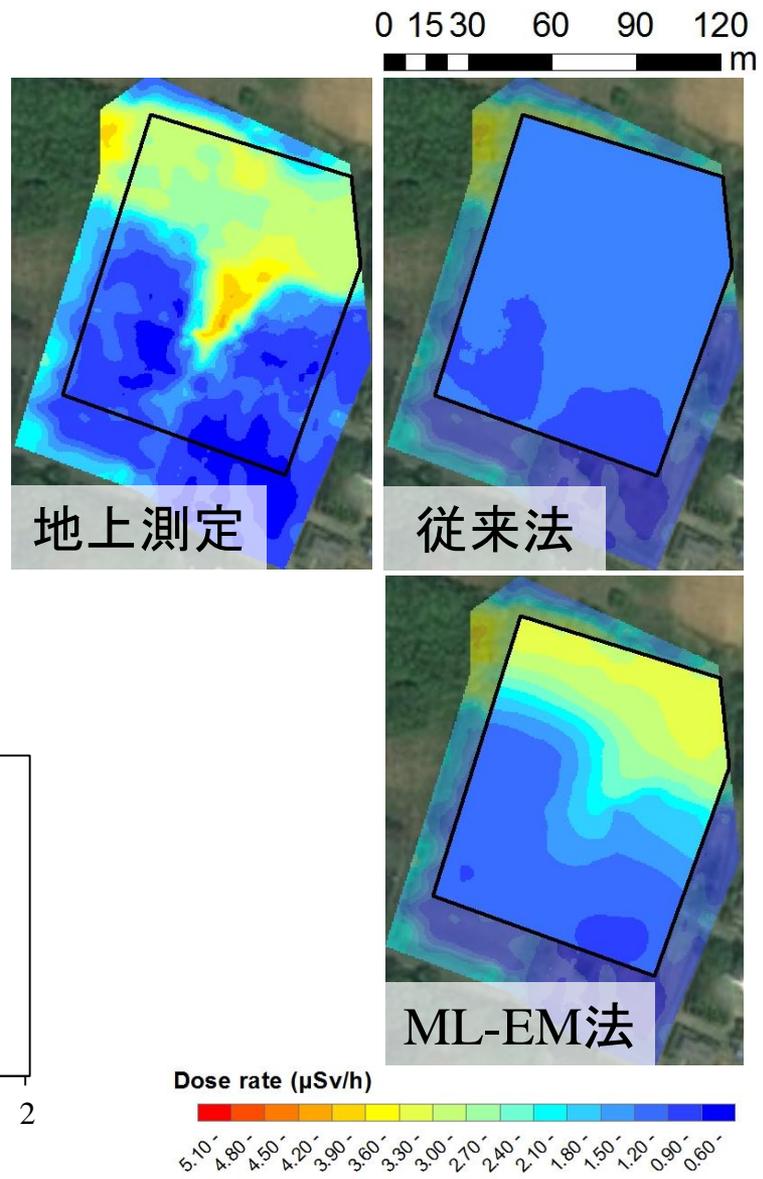
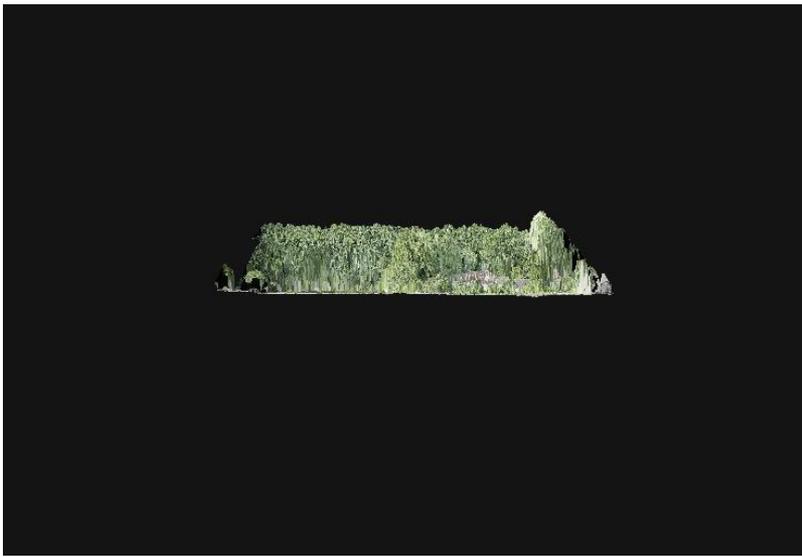
**Example 3**  
 「実施日」 2017年4月21日  
 「機器」 無人ヘリR-MAX (GAGG)  
 「測定項目」  
 中高度放射線測定フライト (50m)  
 ☆地上測定：GPS付サーベータ  
 (CsI) を用いて全域を実施



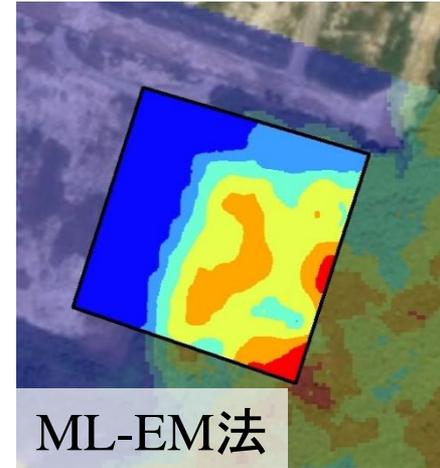
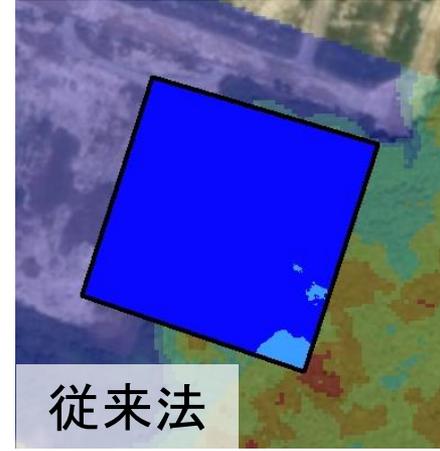
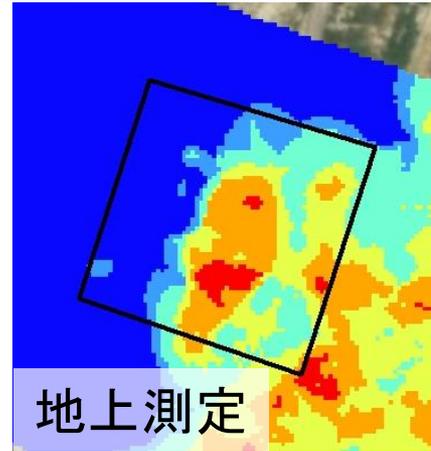
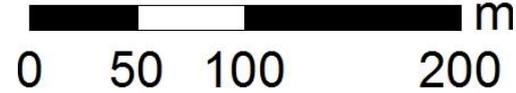
機器：無人ヘリ（GAGG-9）  
 測定項目：低高度放射線測定フライト（10m）



機器：マルチコプター（GAGG-1）  
 測定項目：中高度放射線測定フライト（50m）

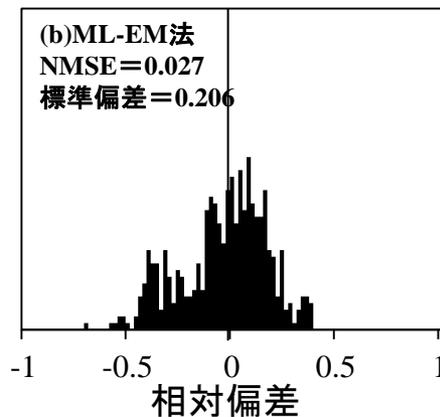
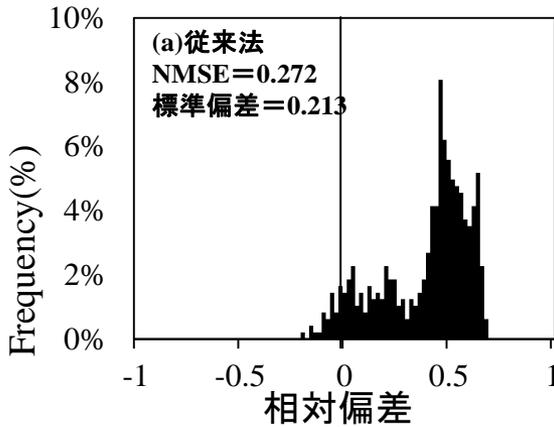


機器：無人ヘリ（GAGG-9）  
 測定項目：中高度放射線測定フライト（50m）



Dose rate ( $\mu$  Sv/h)

- 0.351 - 0.400
- 0.301 - 0.350
- 0.251 - 0.300
- 0.201 - 0.250
- 0.151 - 0.200
- 0.106 - 0.150



森林部分は今後更なる改良が必要  
 ⇒樹種、森林の密度、葉の有り無し等

- 医療分野における3D画像再構成の手法を応用し、上空からの放射線測定技術に適用
  - ・・・従来法に比べ、より地上で測定した値に近い値を算出が可能になった

### 今後の課題

- 細かな分布を捉えるには検出器の改良が必要
- 森林においては樹高情報だけでなく樹種、森林の密度等を踏まえた換算が必要
- 今後、検出器の改良、計算手法及びパラメータの改善により、更なる換算手法の高度化が期待できると考えられる