

# 放射線計測データ統合技術の開発

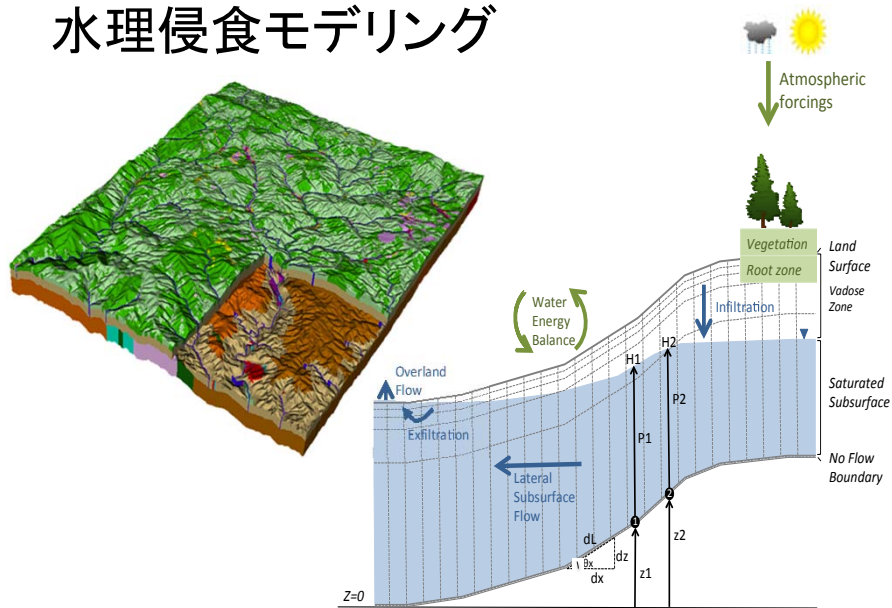
村上 (Wainwright) 治子<sup>1</sup>, Jinsong Chen<sup>1</sup>, 関 暁之<sup>2</sup>,  
三上 智<sup>2</sup>, 安藤 真樹<sup>2</sup>, 斎藤 公明<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Lawrence Berkeley National Laboratory,

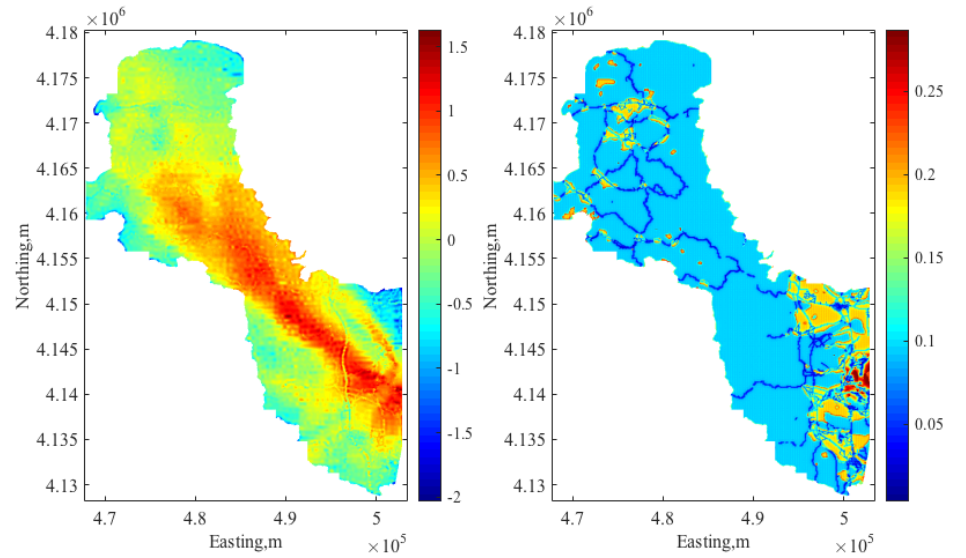
<sup>2</sup>日本原子力機構

# JAEA-LBNL 共同研究

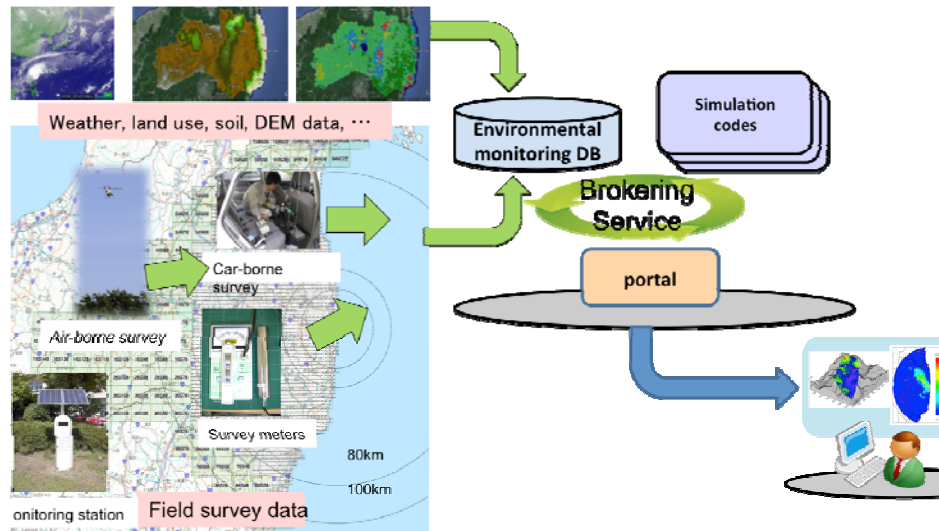
## 水理侵食モデリング



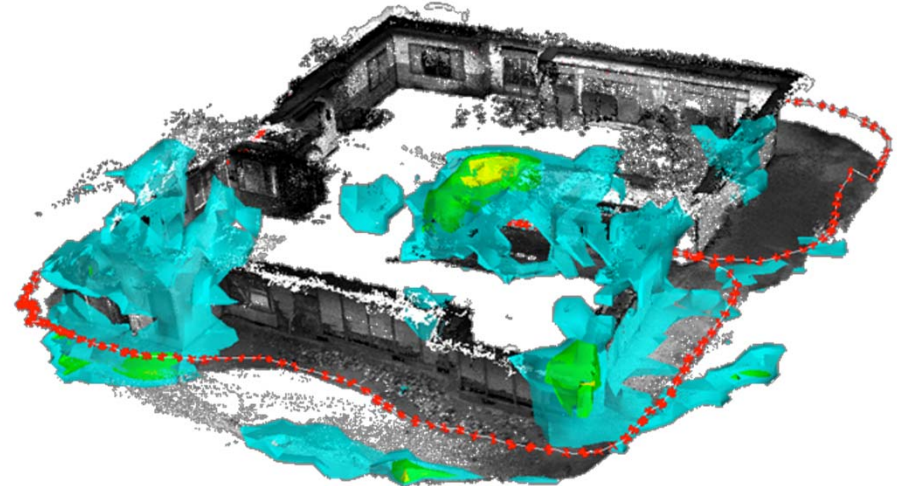
## 統合マップ作成・不確実性定量化



## モデル・データ統合

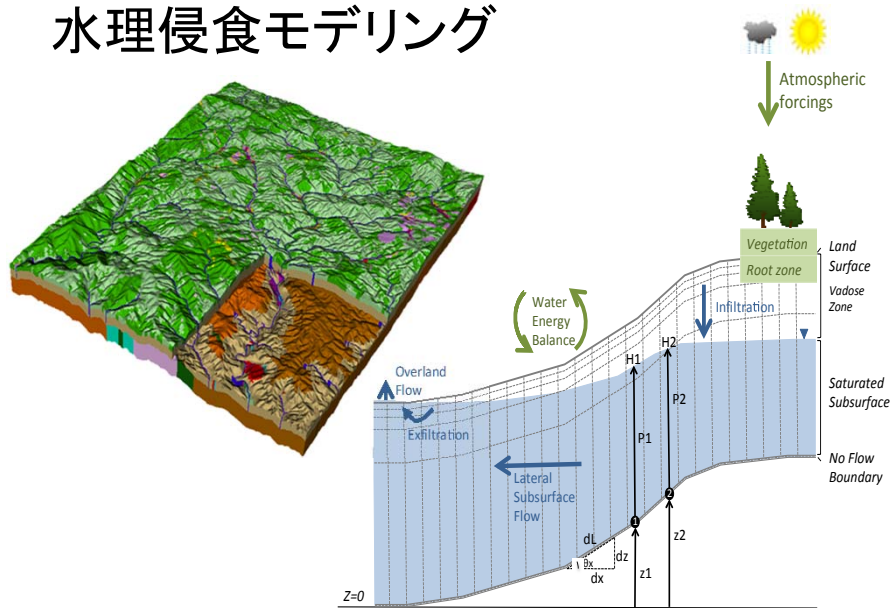


## 3Dリアルタイム・ガンマカメラ

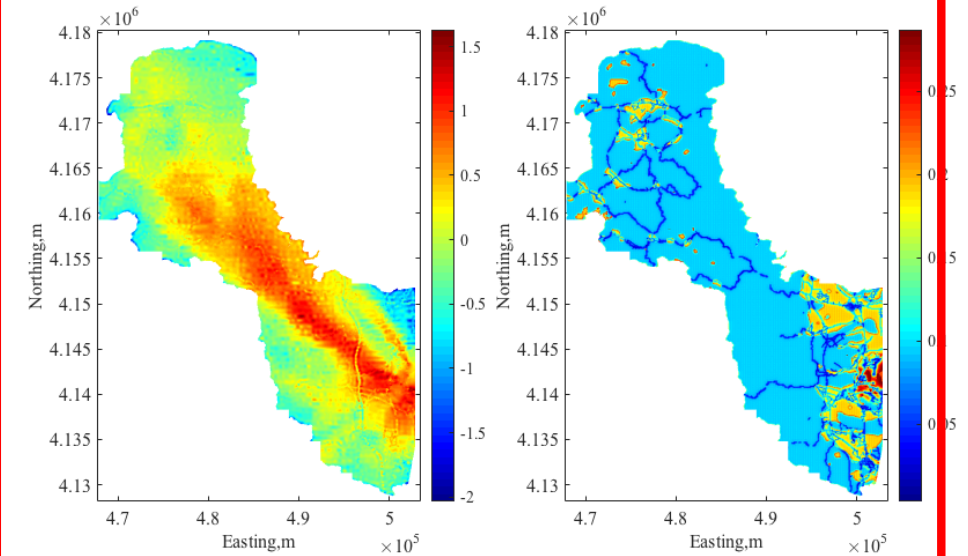


# JAEA-LBNL 共同研究

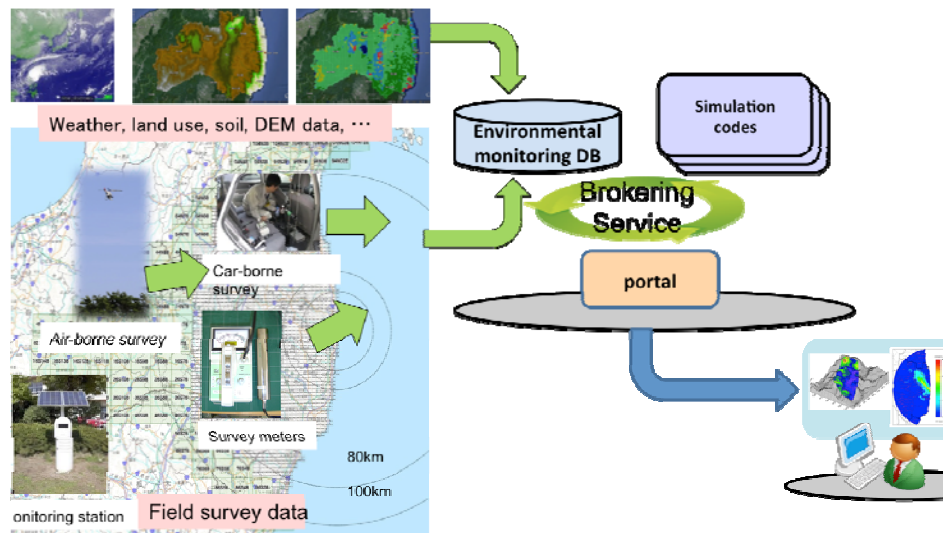
## 水理侵食モデリング



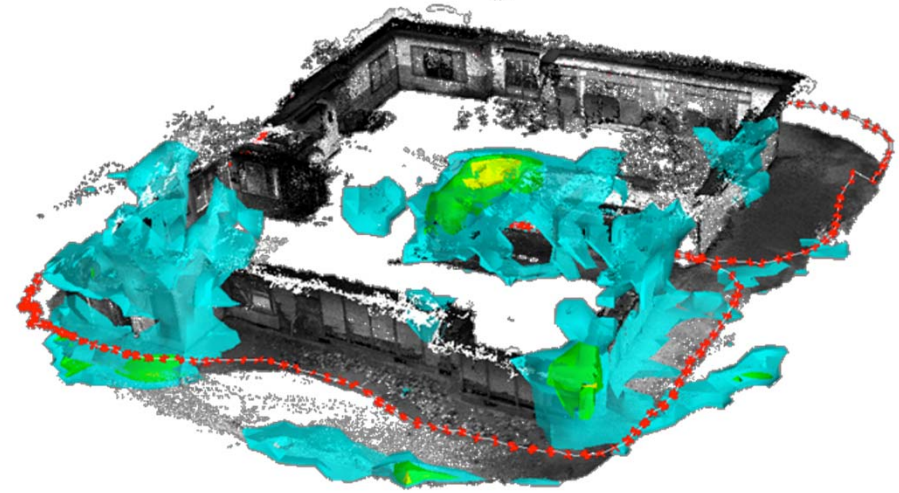
## 統合マップ作成・不確実性定量化



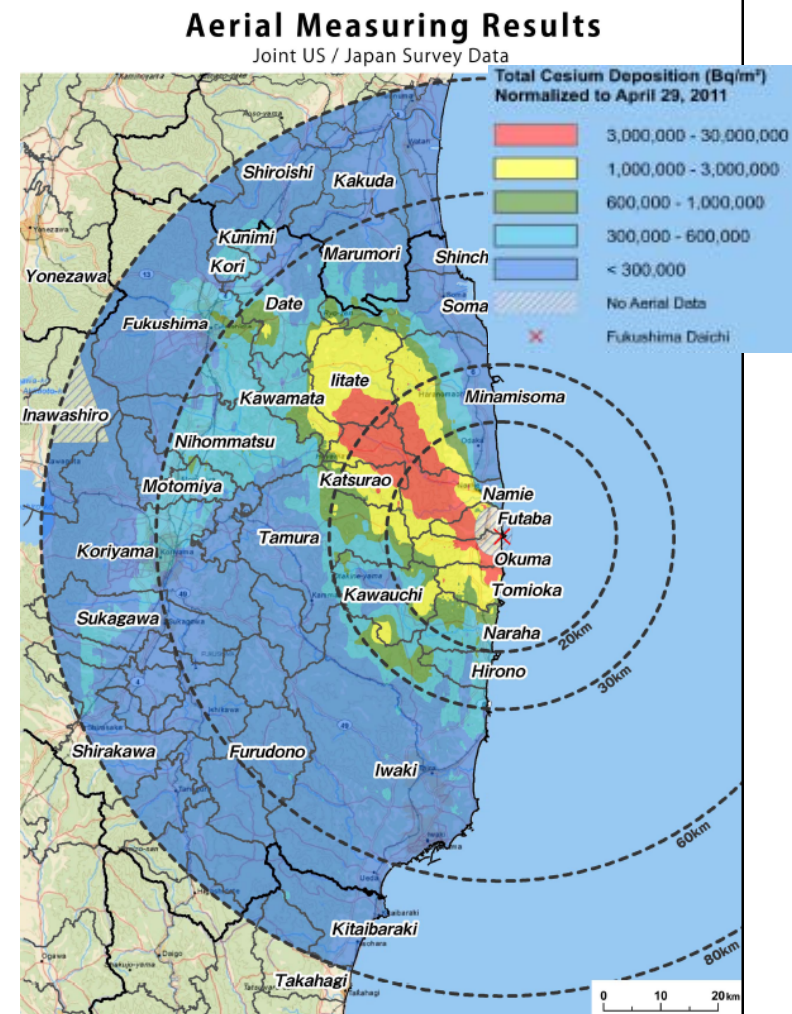
## モデル・データ統合



## 3Dリアルタイム・ガンマカメラ



- 空間線量率のマップ
  - 基礎データ
  - 住民への情報
  - 除染・帰還計画
  - 将来予測への初期値



Total Cs deposition, May 2011

Japan-DOE Airborne Survey

Source: <http://energy.gov/situation-japan-updated-12513>

## Challenge: Multiscale Datasets

- 異なるタイプのサーベイ: 解像度・精度・範囲・密度
  - 同地点でもデータ値にずれ
  - 各サーベイの特徴を補完して、いかにデータを統合するか？



### 歩行サーベイ

- 実際の歩行者の健康影響を想定
- 限定範囲



### 車載サーベイ

- 高いサンプル密度
- 路上のみ



### 航空サーベイ

- 広範囲
- 低解像度

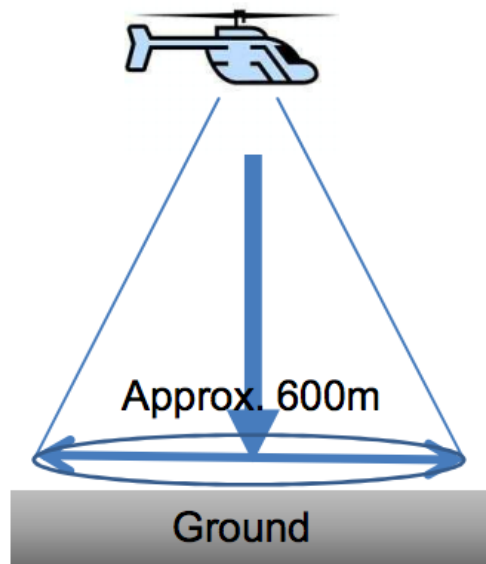
# 目的

- 異なる放射線空間線量率サーベイの統合
  - 歩行サーベイ
  - 車載サーベイ
  - 飛行サーベイ
- 空間線量率の統合マップの作成。
- マップの不確実性を表す信頼範囲の推定
- 各サーベイの特徴を調査。特に、土地利用の影響等。
  - 都市
  - 農地
  - 森林地

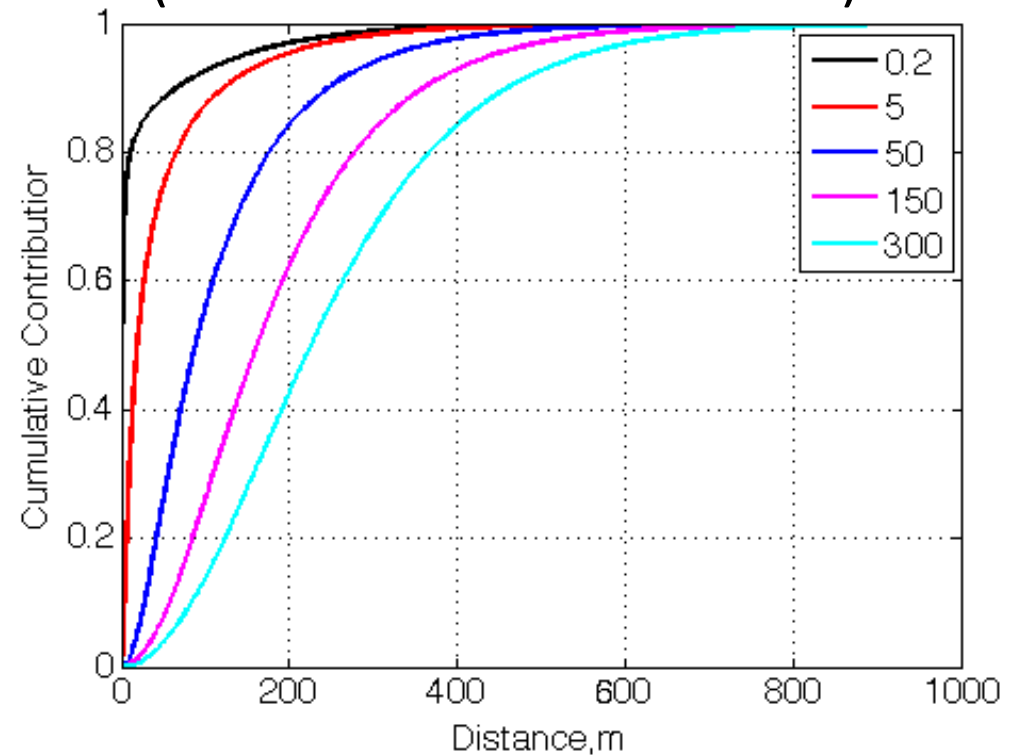
Wainwright H.M, A. Seki and K. Saito, “A Multiscale Bayesian Data Integration Approach for Mapping Air Dose Rates around the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant“, Submitted a paper to Journal of Environmental Radioactivity

# 航空サーベイ: 空間平均と重み

Gamma rays from the ground are detected by NaI scintillators installed in an aircraft (e.g. helicopter) while flying approximately 300m above the ground with every 1 second in a row.



## Radiation Transport Simulation (Effect of Altitude in meter)



Malins et al. (2015)

Nuclear Regulatory Authority  
<https://www.nsr.go.jp/data/000067233.pdf>

# 手法： Bayesian geostatistical methods

## • Geostatistical methods

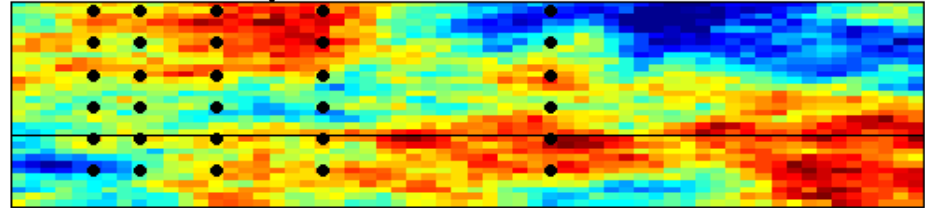
- 空間相関を利用
- 不確実性の定量化
- Used in the Rongelap Island for mapping Cs

## • Bayesian estimation (ベイズ統計)

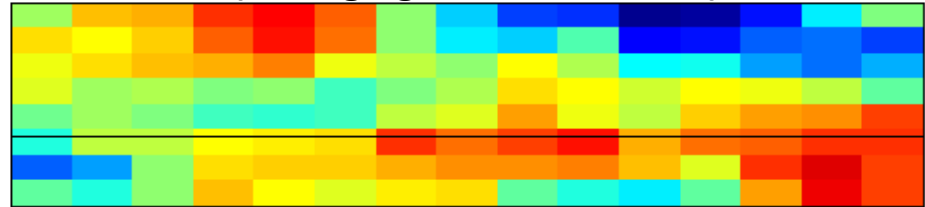
- データ統合の枠組み
- 柔軟で拡張性のある
- 様々な相関や関係式を含むことができる(データと線量率マップとの相関、Radiation transport simulation)

### Synthetic Example

True field and point measurements



Coarse data (averaging; mimic airborne)



# 手法: Bayesian geostatistical methods

## • Geostatistical methods

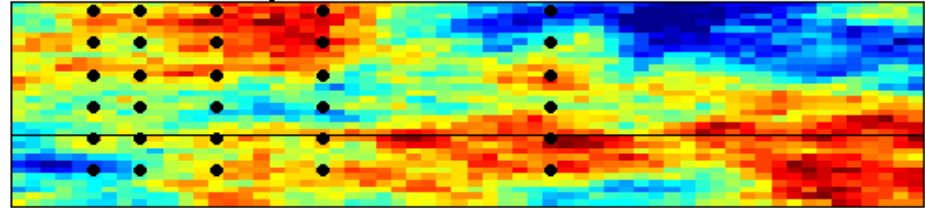
- 空間相関を利用
- 不確実性の定量化
- Used in the Rongelap Island for mapping Cs

## • Bayesian estimation (ベイズ統計)

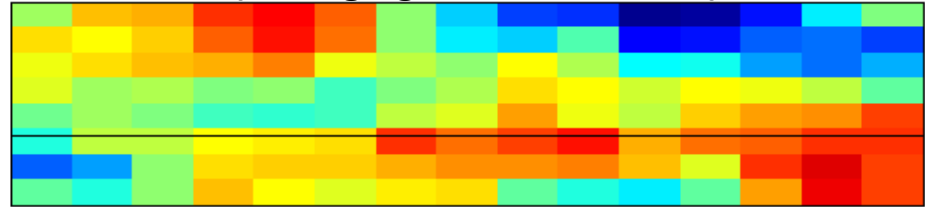
- データ統合の枠組み
- 柔軟で拡張性のある
- 様々な相関や関係式を含むことができる(データと線量率マップとの相関、Radiation transport simulation)

### Synthetic Example

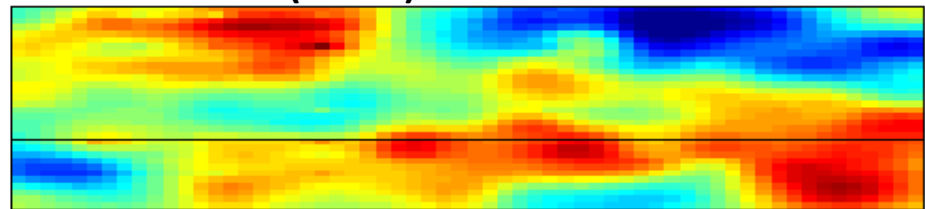
True field and point measurements



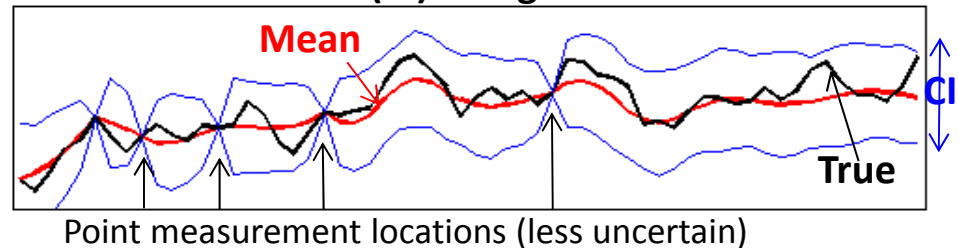
Coarse data (averaging; mimic airborne)



Estimated field (Mean)



Confidence interval (CI) along the line



# Bayesian Geostatistical Framework

- 歩行サーベイに相当する空間線量率をマッピングする
- 空間線量率のマップ  $y$  (各ピクセルごとの値) の条件確率: 歩行サーベイ ( $z_W$ ), 車載サーベイ ( $z_C$ ), 航空サーベイ ( $z_A$ )

$$p(y | z_W, z_C, z_A) \propto p(z_A | y) p(z_C | y) p(y | z_W)$$

- **Prior Model: Geostatistical Model**

- **Data Model**

車載サーベイ

$$z_{C,j} = f_C \left( \sum w_{C,i,j} y_i \right) + \varepsilon_{C,j}$$

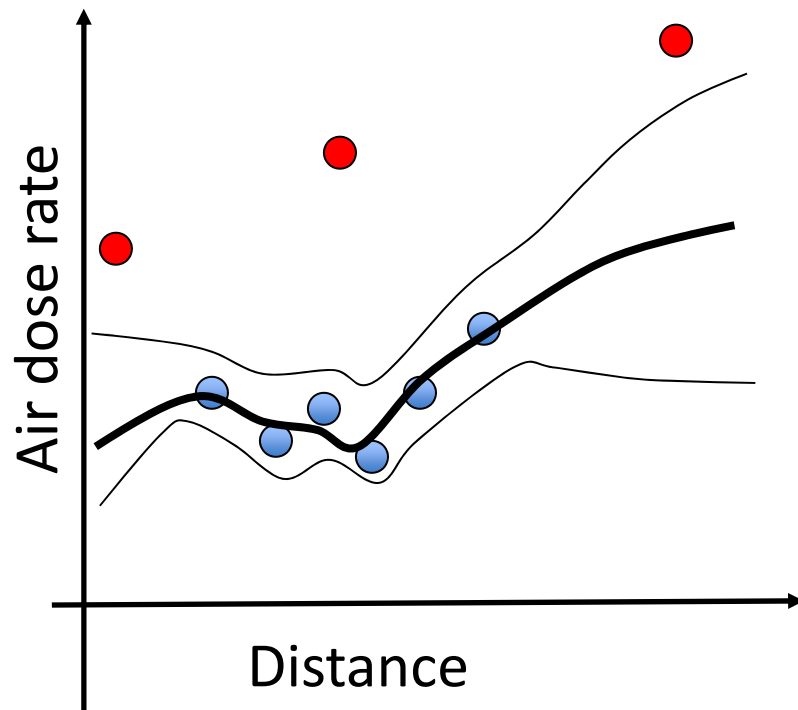
- Linear function
- Simple average (100m)
- Gaussian Error

航空サーベイ

$$z_{A,j} = f_A \left( \sum w_{A,i,j} y_i \right) + \varepsilon_{A,j}$$

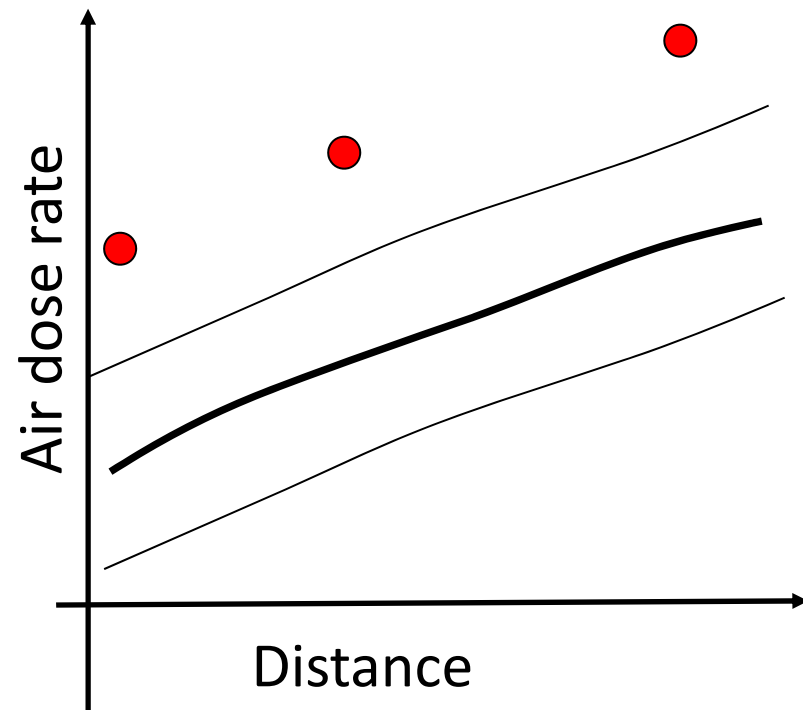
- Linear function
- Weight from the radiation transport simulation
- Gaussian Error

## 歩行サーベイ周辺



歩行サーベイによる高解像度のデータを反映  
(不確実性が小さい)

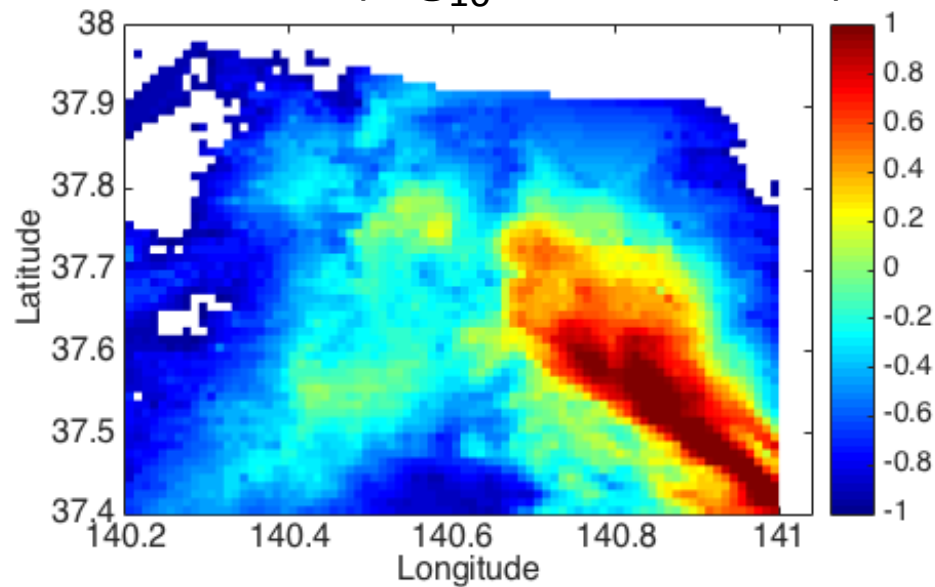
## 航空サーベイのみ



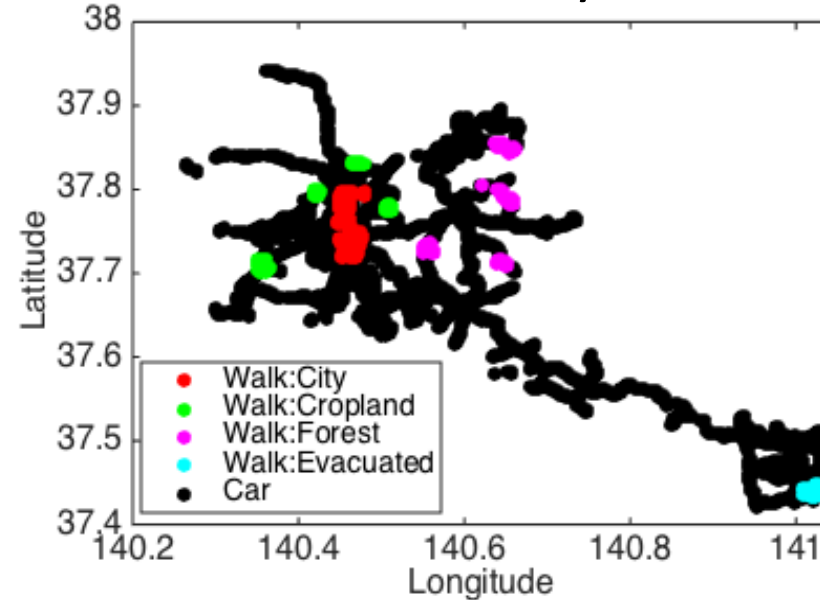
航空サーベイの誤差を補正  
(不確実性が大きい)

# Demonstration Datasets (Nov-2013)

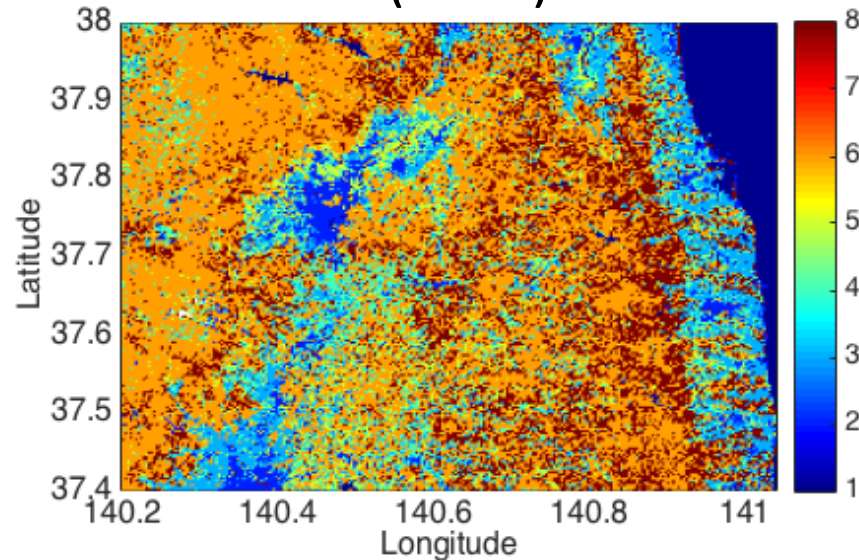
## Airborne ( $\log_{10}$ air dose rate)



## Walk/Car Survey Data

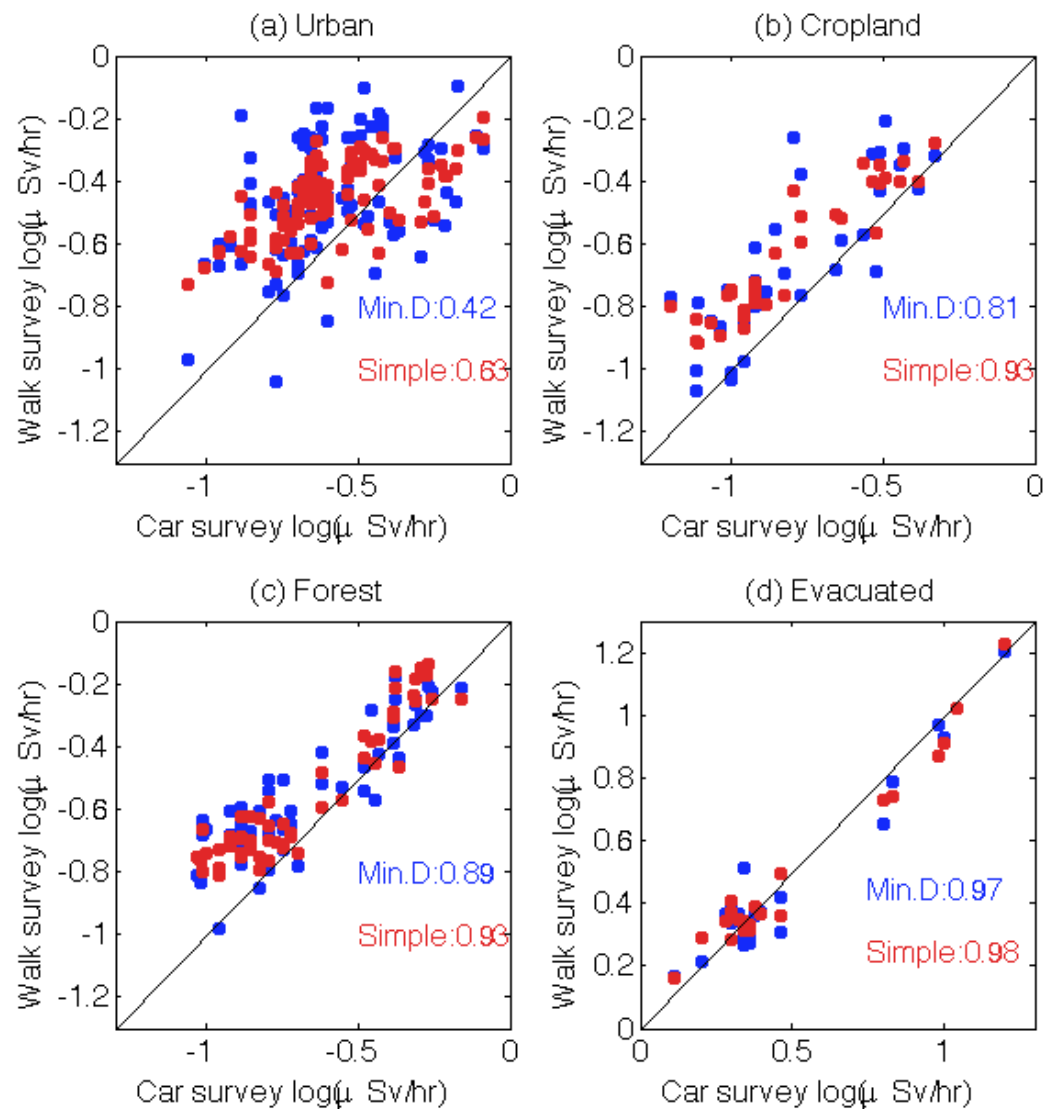


## Land-use (JAXA)



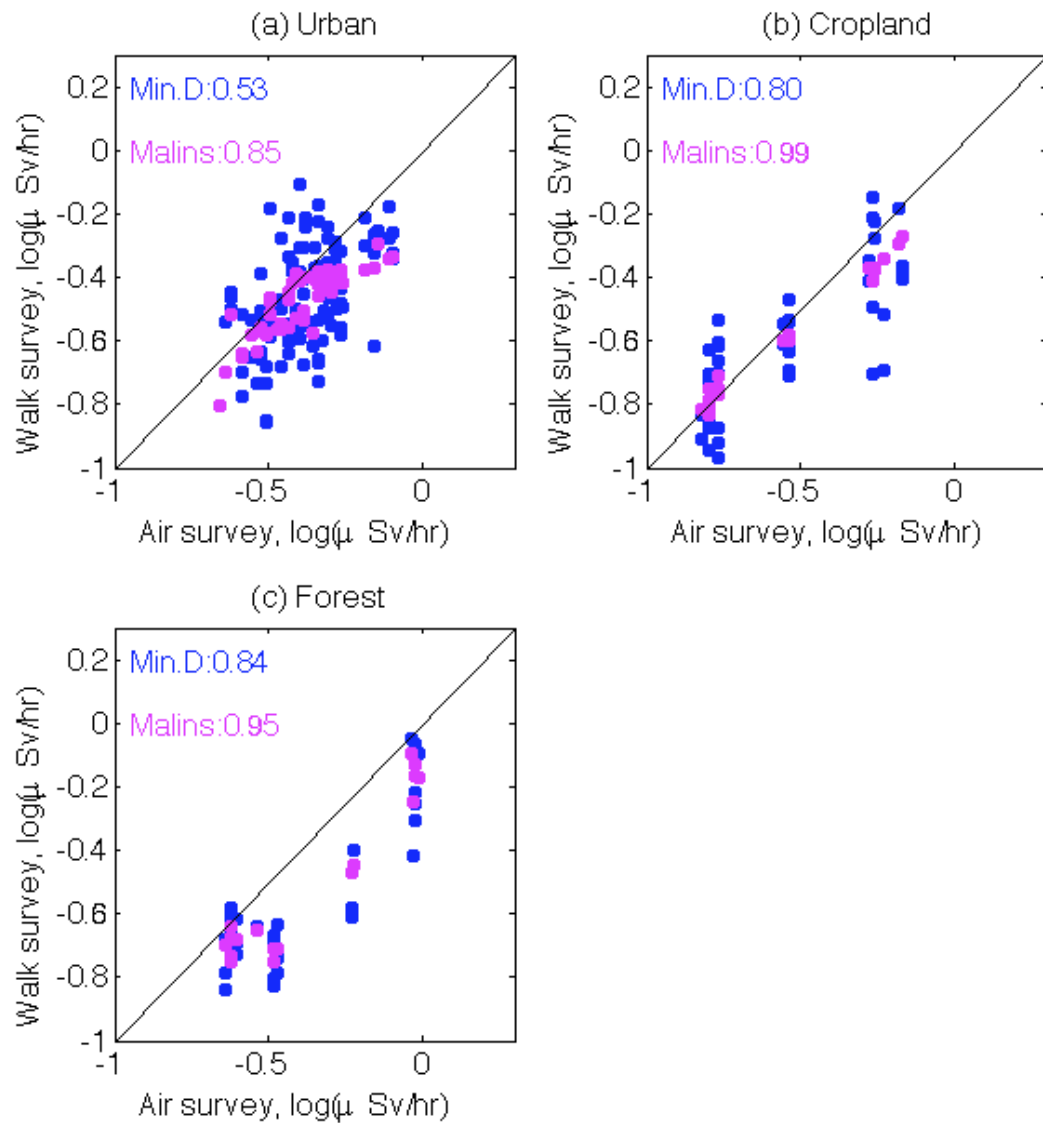
- |    |                |      |
|----|----------------|------|
| 1. | Water          |      |
| 2. | City/Urban     | 都市部  |
| 3. | Rice paddle    | } 農地 |
| 4. | Other cropland |      |
| 5. | Grassland      |      |
| 6. | Deciduous      | } 森林 |
| 7. | Evergreen      |      |
| 8. | Bare           |      |

# 歩行 vs 車載サーベイ (2013)



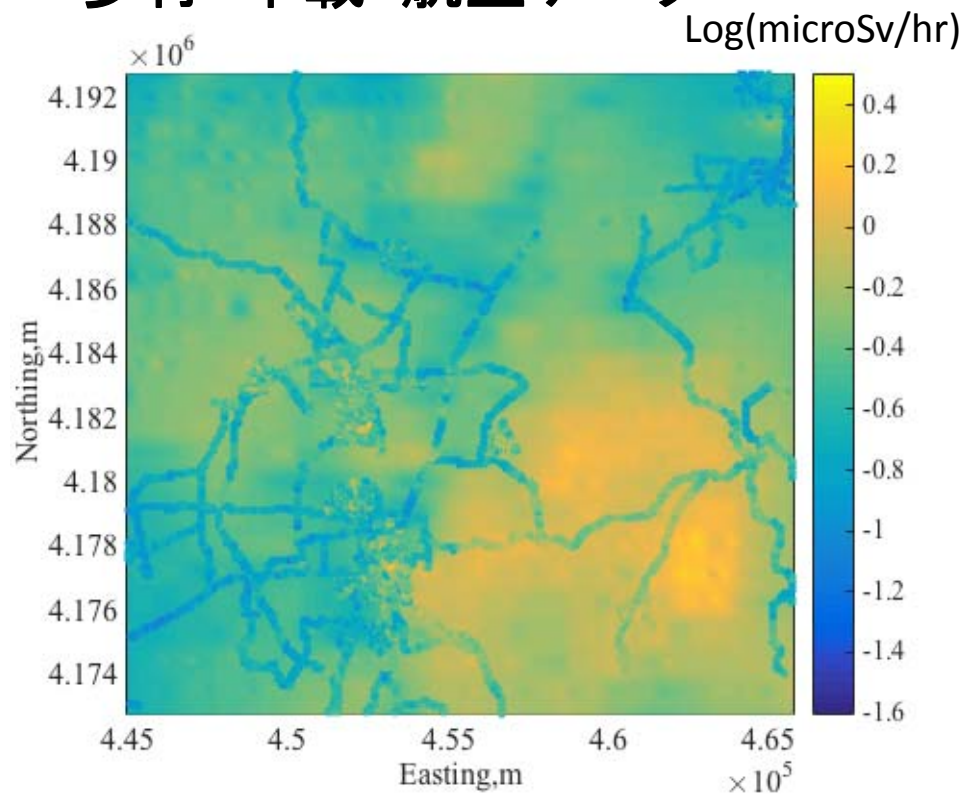
- 車載サーベイはUnderestimate
  - 道路の中心は低い傾向
- 都市部のばらつきが大きい
  - 建物の遮蔽
  - 非均質性
  - 人間の活動
- 高線量領域
  - 高い相関
- 単純平均が相関を向上

# 歩行 vs 航空サーベイ (2013)



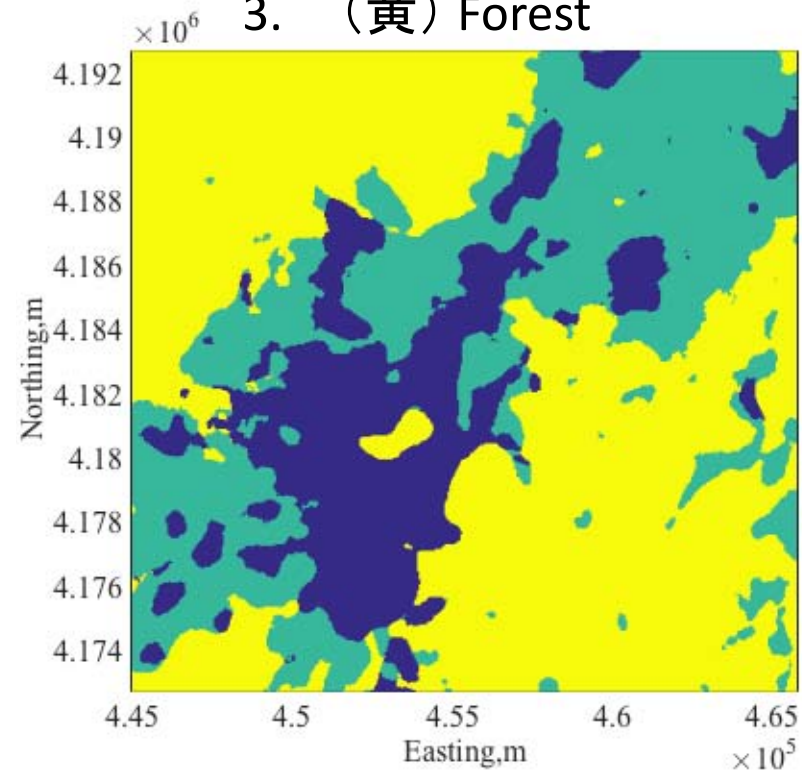
- 航空サーベイは Overestimate
- 都市部のばらつきが大きい
- 重み平均が相関を向上

## 歩行・車載・航空データ

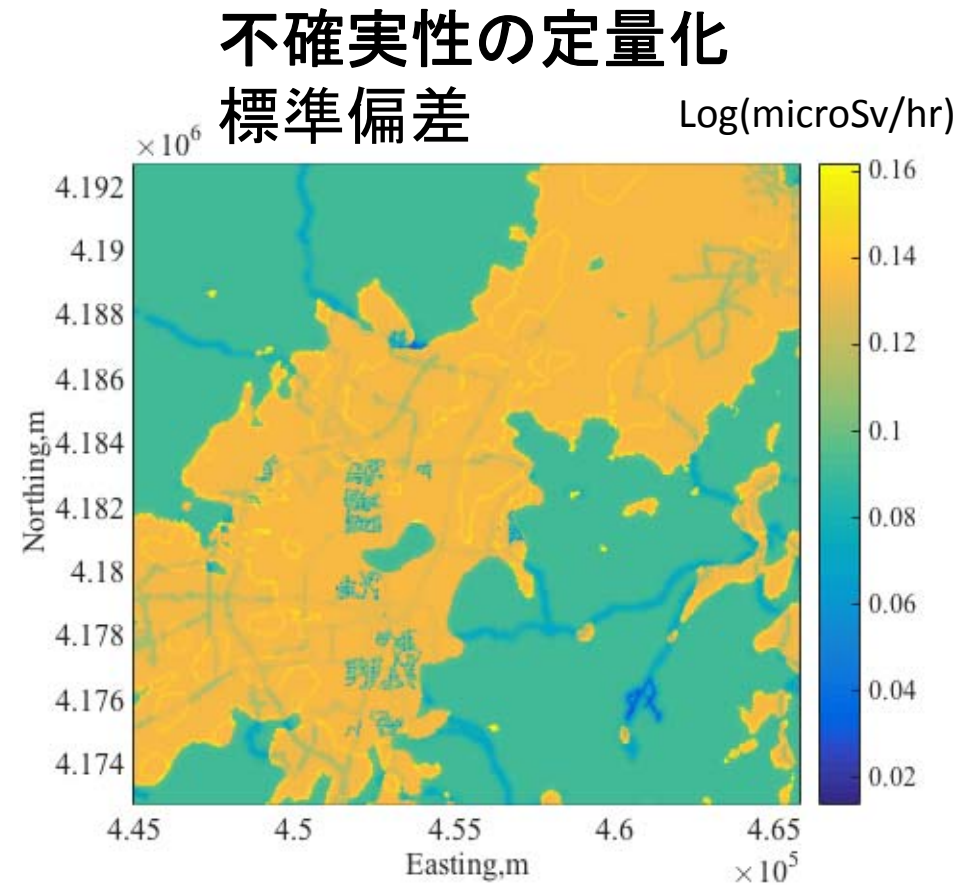
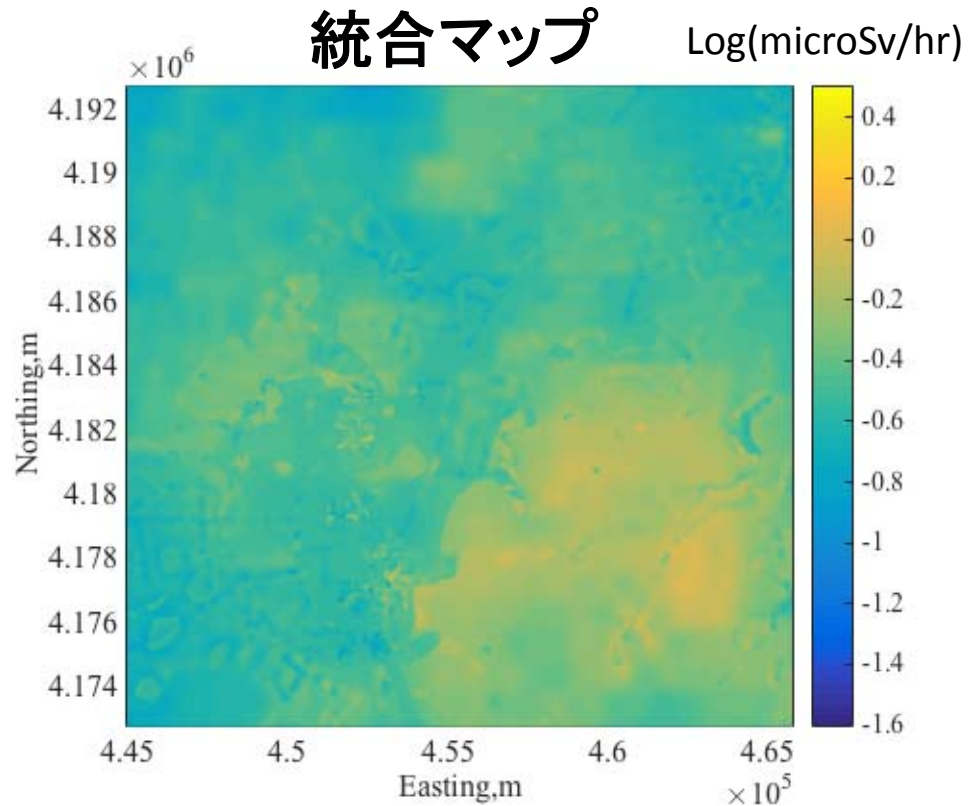


## 土地利用

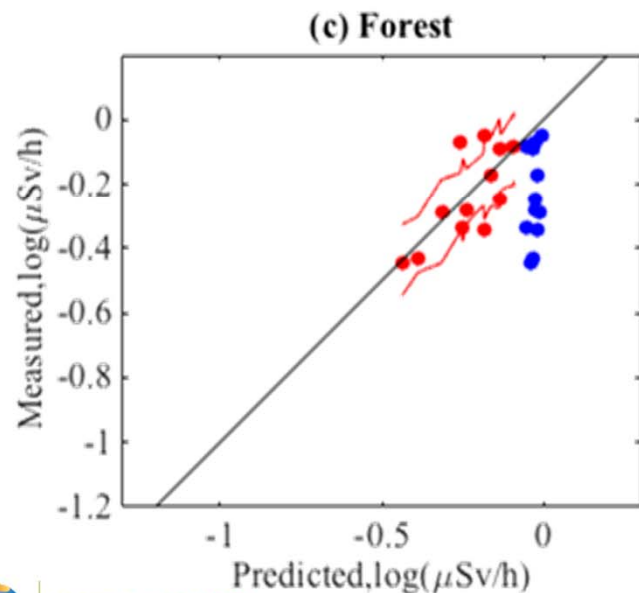
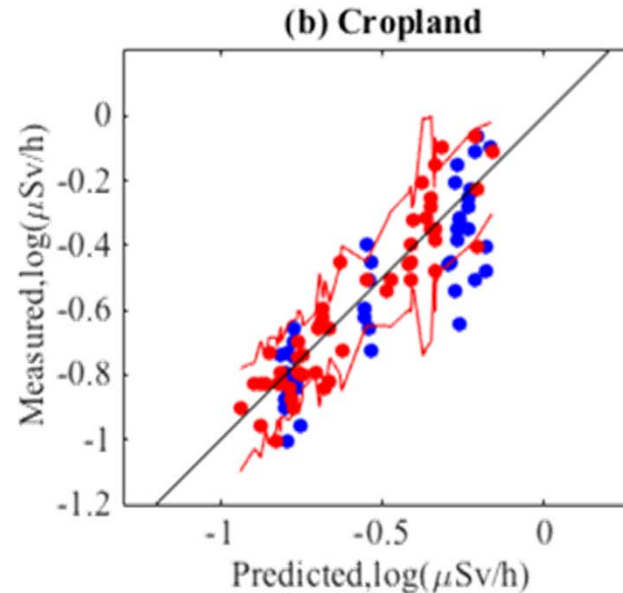
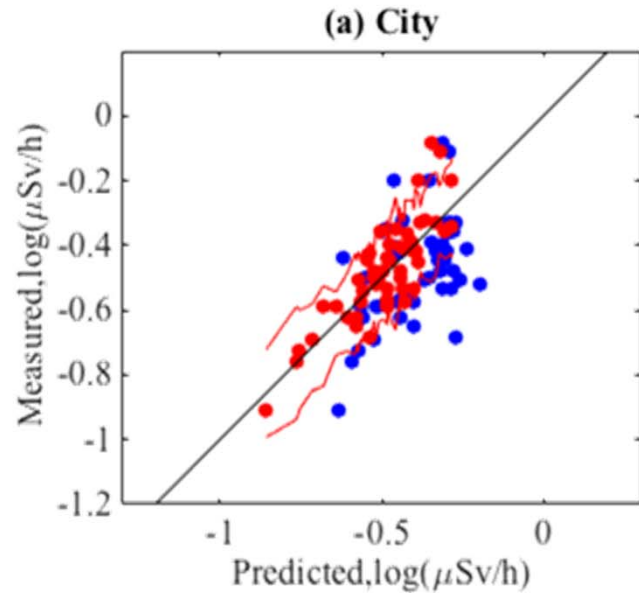
1. (青) Urban
2. (緑) Cropland
3. (黄) Forest



# 統合結果: 2013



# Validation (パフォーマンス評価): 2013

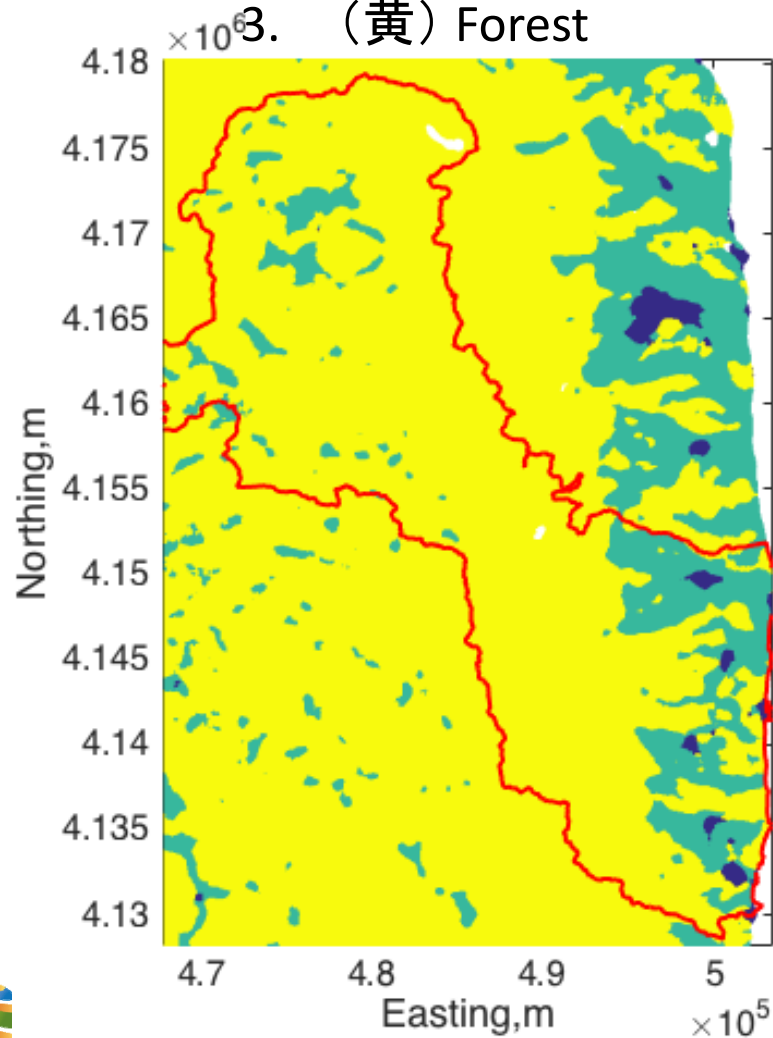


- 推定に含まれなかったデータ:
- (blue) 同地点での航空データ
  - (red) 統合マップ
  - バイアスが補正(forest)
  - 信頼範囲

# 避難区域内の統合マップ (2015)

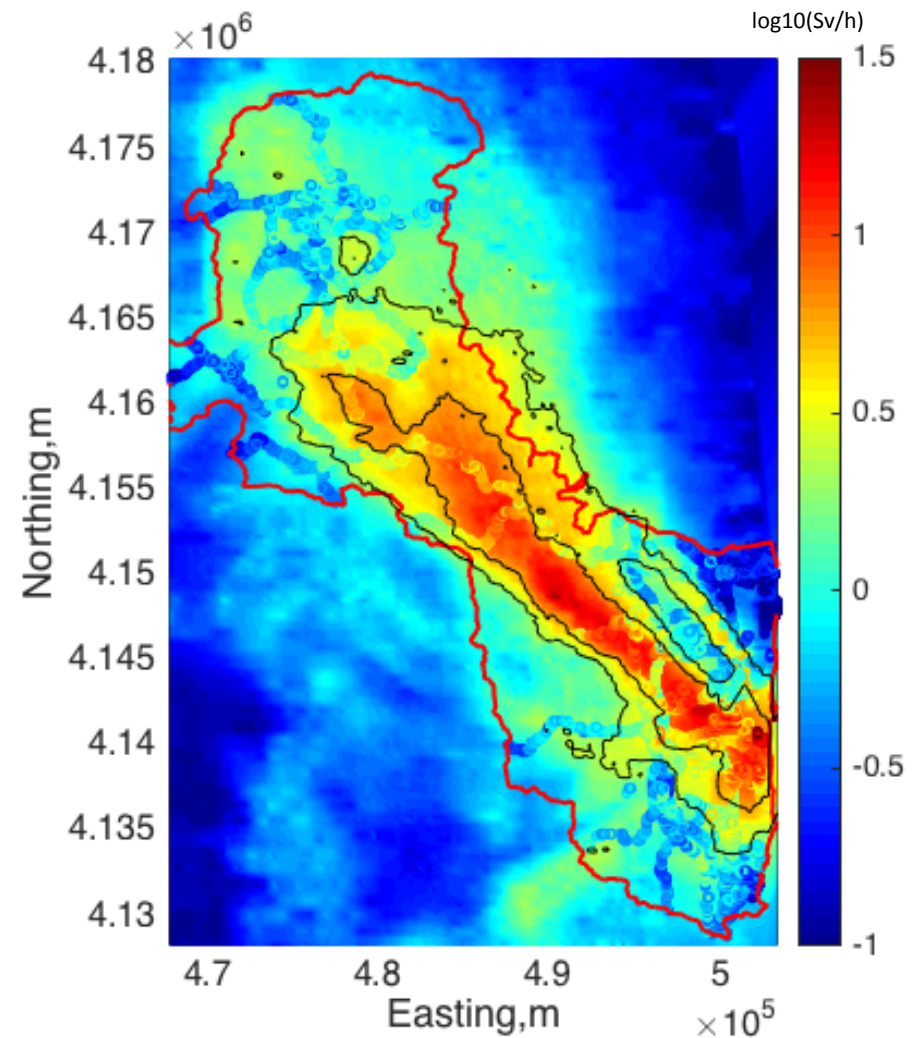
## 土地利用

1. (青) Urban
2. (緑) Cropland
3. (黄) Forest



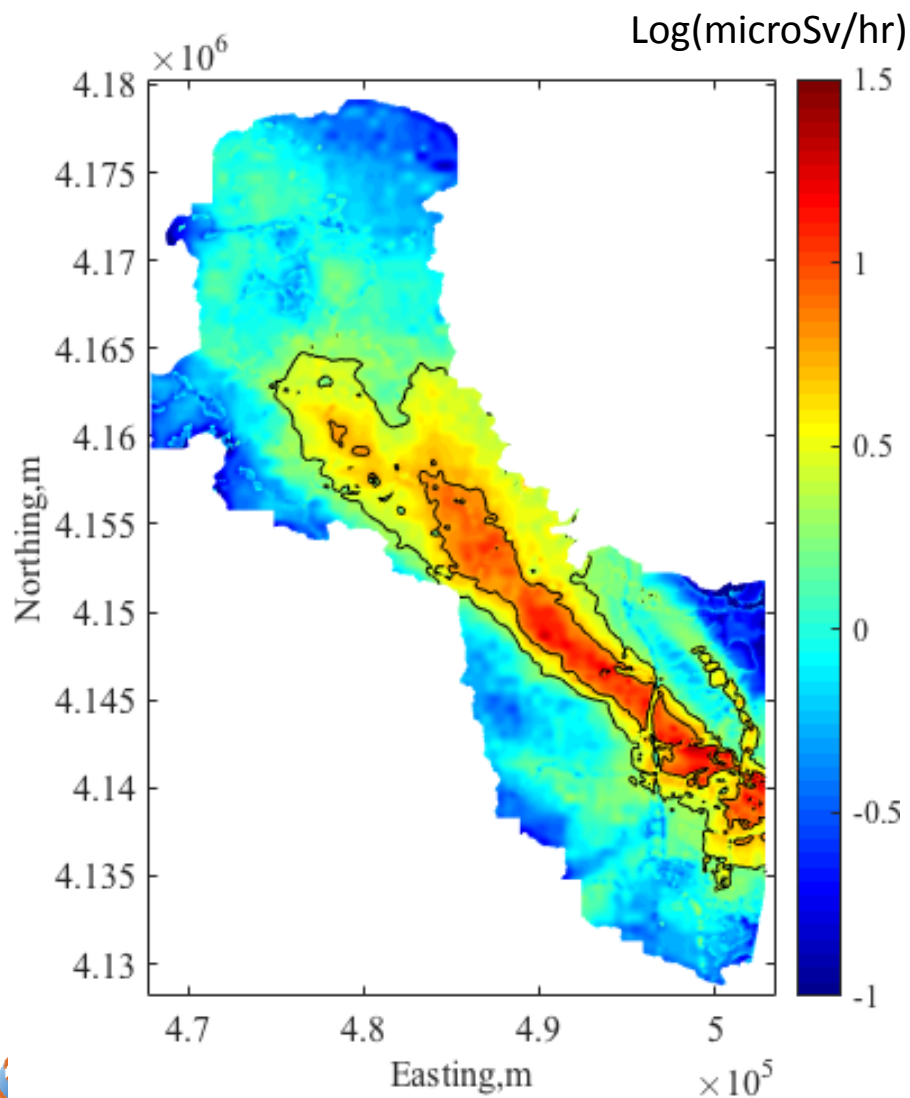
## 歩行・車載・航空データ

領域  $> 20\text{mSv/y} = 305\text{km}^2$

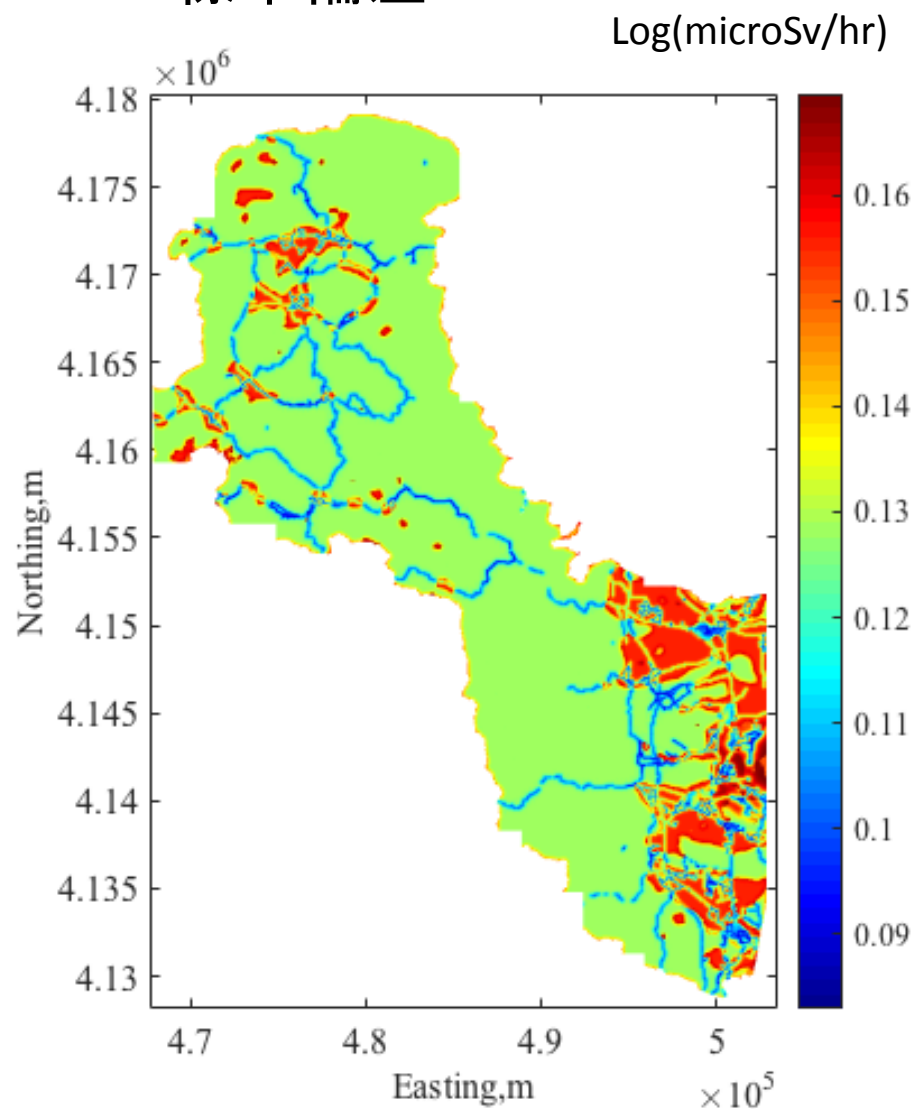


# 避難区域内の統合マップ (2015)

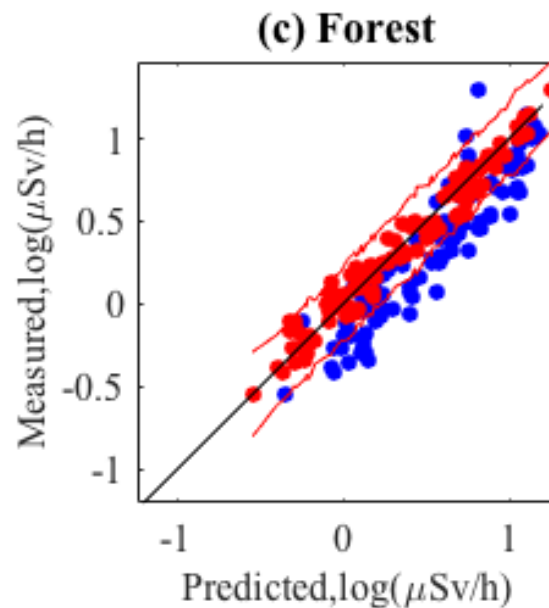
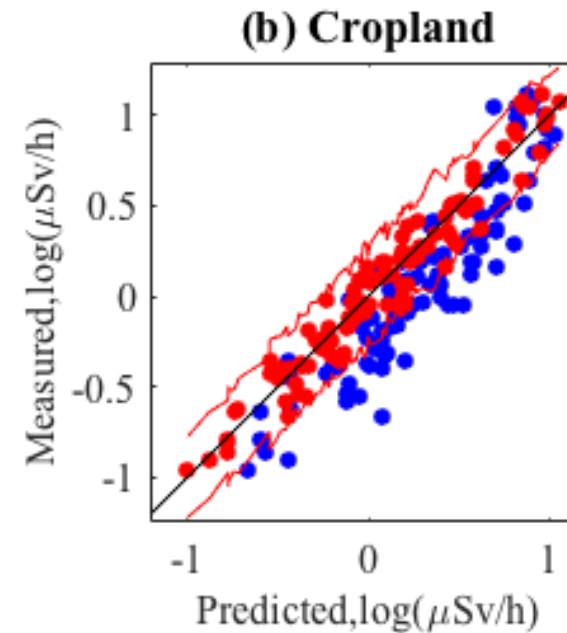
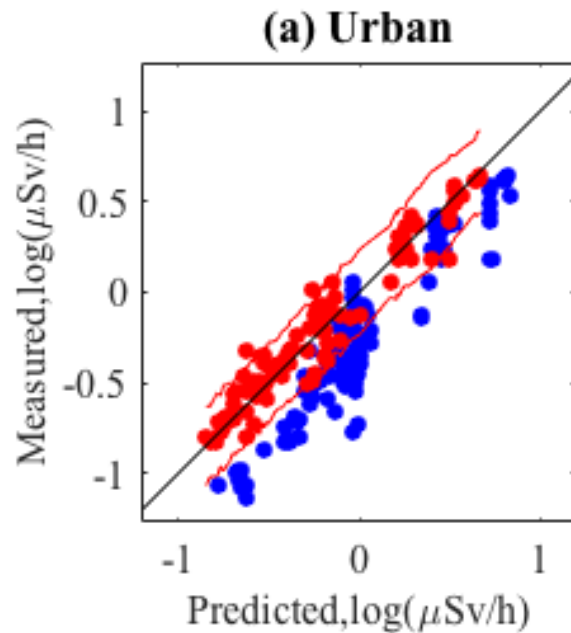
統合マップ  
領域  $> 20\text{mSv/y} = 218\text{km}^2$



不確実性の定量化  
標準偏差



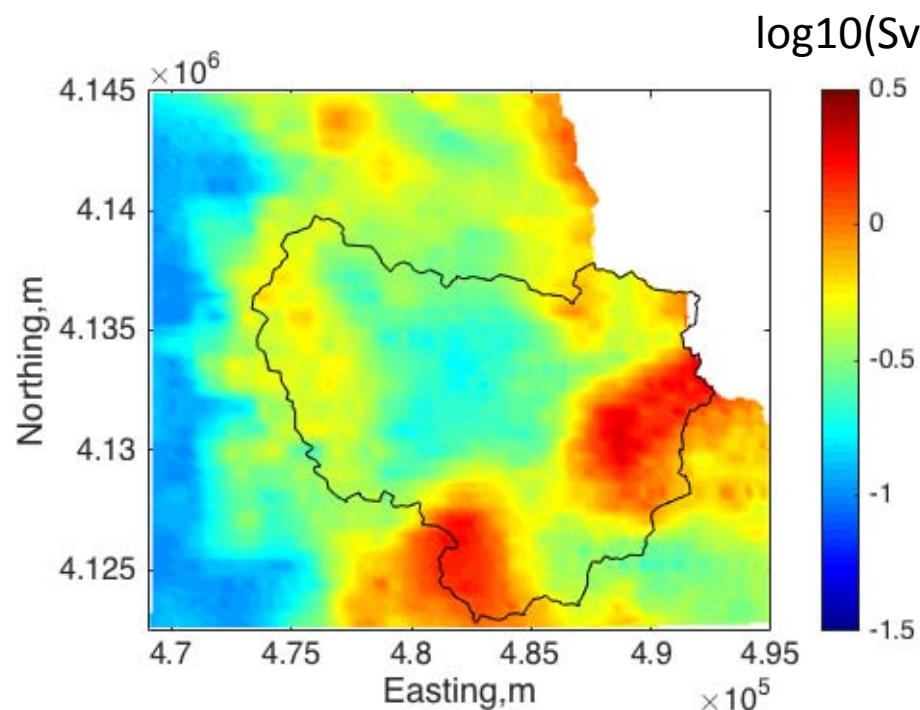
# パフォーマンス評価



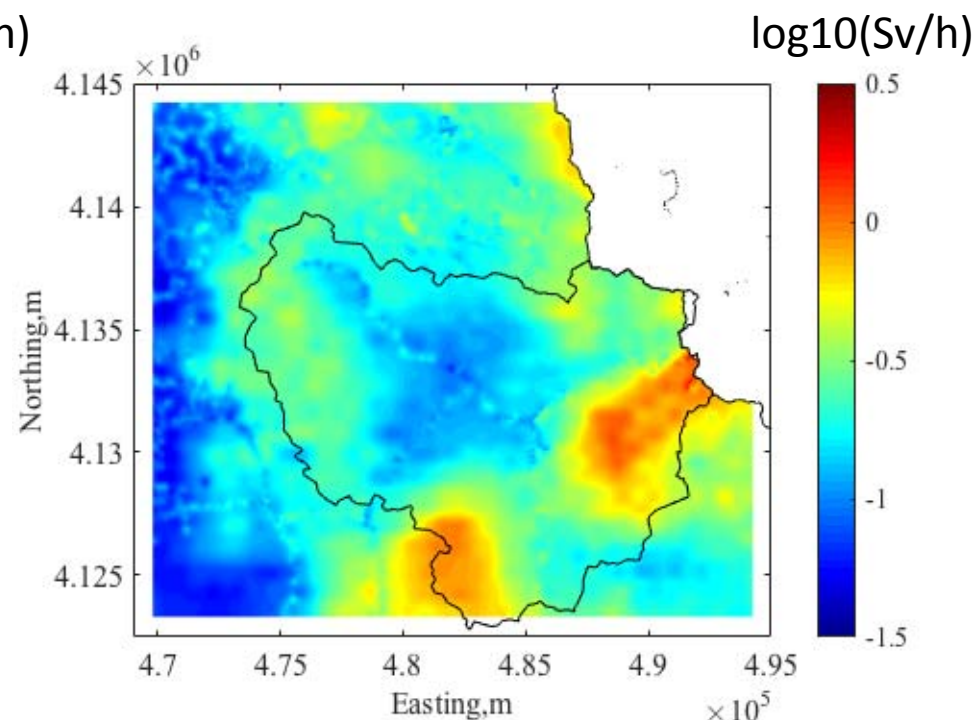
- 推定に含まれなかったデータ:
- (blue) 同地点での航空データ
  - (red) 統合マップ
- バイアスが補正(forest)
  - 信頼範囲

## 炭焼き再開のための川内村森林部のマップ

- 航空機サーベイ

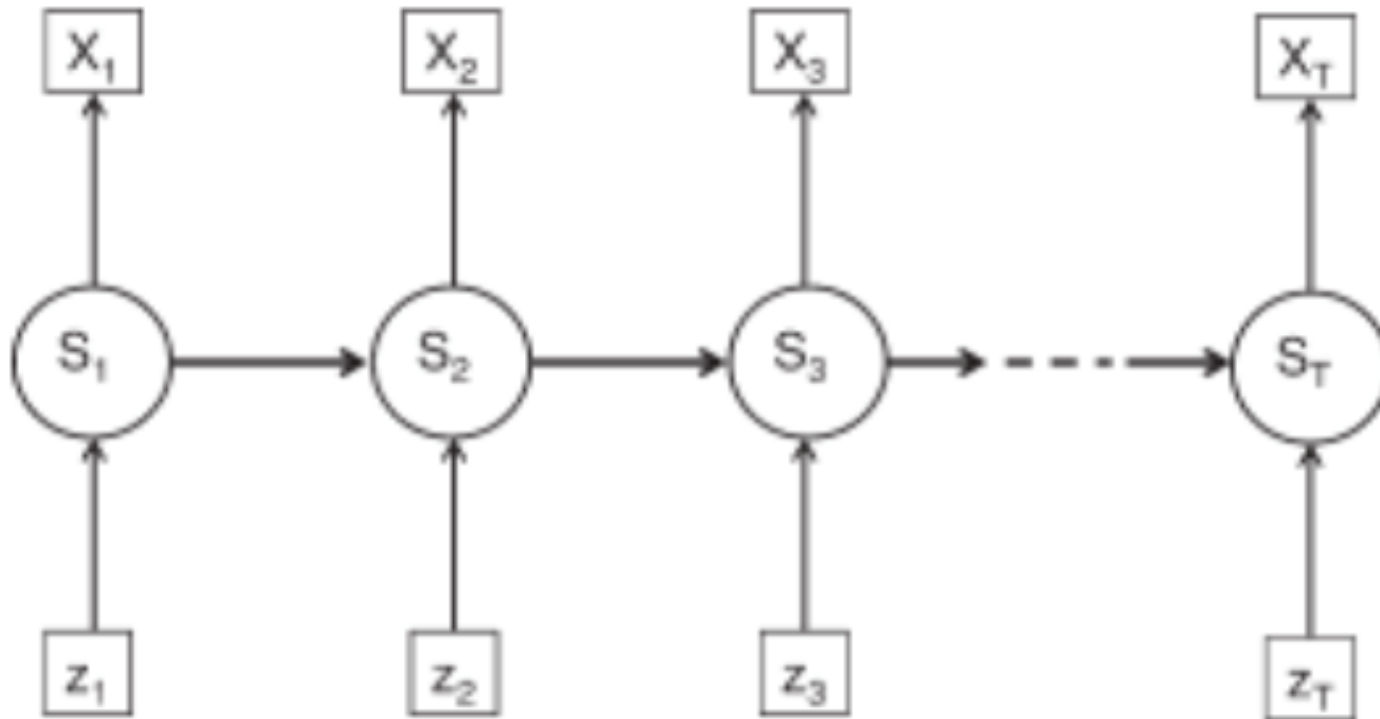


- 統合マップ



## 今後の発展

- 時間変化（航空機サーベイを含む）
- 時間・空間データの統合



Chen et al., 2013

- より詳細な空間放射線率のマップ
  - 住民帰還計画
  - 除染計画・効果
  - (例)炭焼き再開のための川内村森林部のマップ
- 土壌沈着量のマップ
- 将来予測の初期値
- 住民の初期被曝量の推定(2011年春)

- 異なる空間線量率サーベイを統合する手法の開発: **Bayesian geostatistical method**
  - 各サーベイごとの特徴を調査。また、サーベイ間の定量的比較
  - 統合マップを作成
  - 不確実性の定量化(データのエラー、また、小さいスケールの非均質による不確実性)
- デモンストレーション
  - 2013年福島市周辺
  - 2015年避難区域
- オープンソースコード(Fortran)の作成

# ご清聴ありがとうございました

Wainwright H.M, J. Chen, A. Seki and K. Saito, “A Multiscale Bayesian Data Integration Approach for Mapping Air Dose Rates around the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant“, Journal of Environmental Radioactivity