



# ラジコン電動マルチコプターを用いた 空間線量率の三次元計測

早崎有香・濱侃・田中圭・近藤昭彦(千葉大学)

# 1、はじめに～福島第一原子力発電所事故

2011年3月11日 東北地方太平洋沖地震 発生  
→東電福島第一原子力発電所 炉心溶融

大気中に放射性物質が放出  
移流拡散

森林



農地



生活圏内への沈着  
→周囲の住民は避難

海域



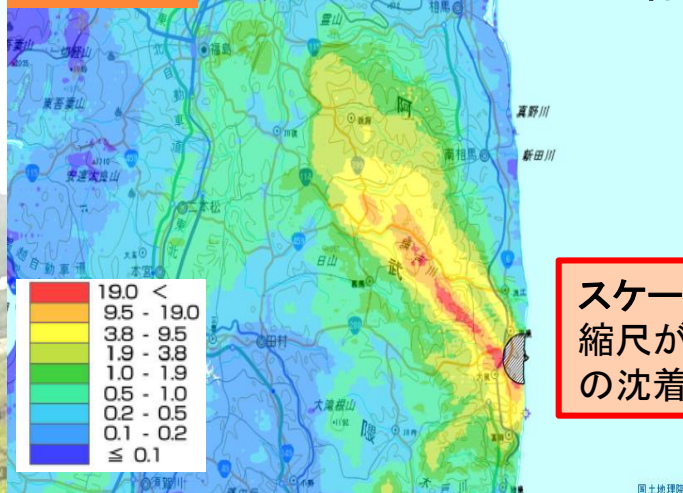
都市



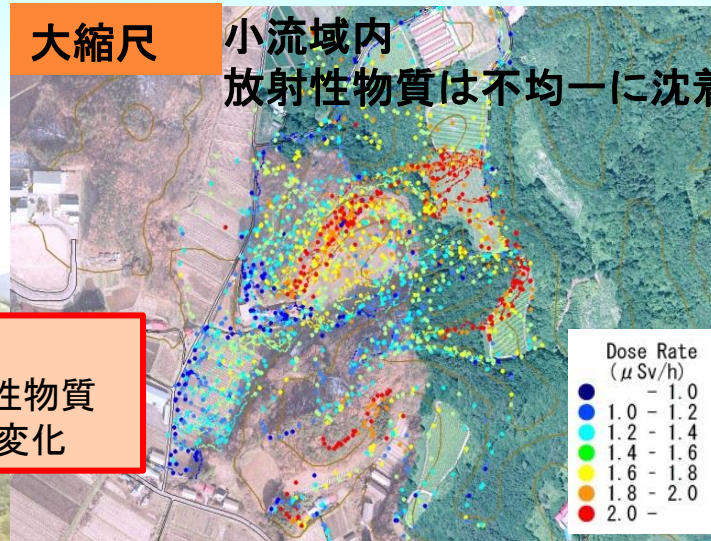
# 1、はじめに～放射性物質モニタリングの必要性

復興へ向け取り組むに当たり、早急に詳細な放射性物質の沈着状況の調査および除染を行うことが必要 (日本学術会議, 2011)

小縮尺 原発から北西方向に沈着



大縮尺 小流域内  
放射性物質は不均一に沈着



スケール依存性  
縮尺が変化することで放射性物質の沈着パターンの見え方が変化

航空機モニタリング2013年11月19日 (文部科学省)

近藤他 (2012)

地域からの要請

暮らしのすぐ傍の状況は？

除染作業の  
効果は？

福島県: 県総面積の7割森林

県内民有林(563千ha)の半分(265千ha)  
追加被ばく線量が年間1mSvを超える

広域に渡り山間部の  
暮らしへの影響

暮らしスケールの放射能モニタリング  
手法の確立が急務

# 1、はじめに～航空機モニタリング

広域を迅速に調査

人の立ち入ることの出来ない場所でも調査が可能

→原子力施設等の事故において有用性が高い(長岡他、1990)

有人航空機



JAEA(2012)

・航空法により低高度の飛行困難

無人航空機(UAV)



JAEA(2013)

・低高度(<150m)の飛行可能  
→高分解能



# 1、はじめに～研究目的

## 研究目的

大縮尺における放射性物質の分布を明らかにするために、簡便で低コストでの運用が可能であるラジコン電動マルチコプターを用いた低高度からのモニタリング手法を確立する

小型UAVを用いる利点

人の立ち入ることの困難な場所での観測

操縦の容易性

低コスト

三次元飛行

小型



## 2、対象地域 (1/2)

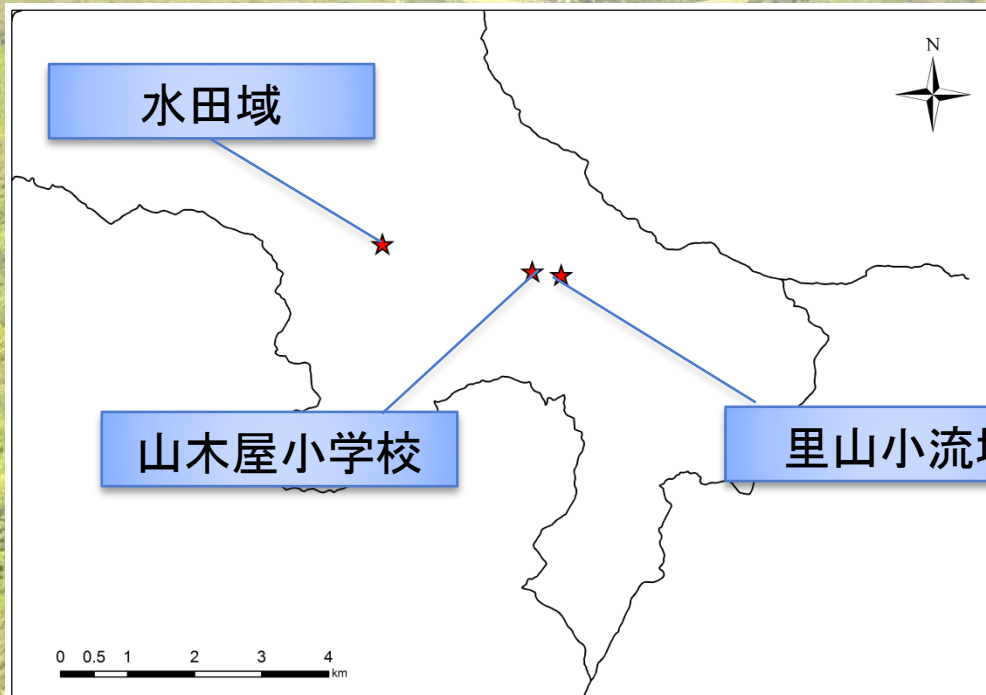
### 福島県伊達郡川俣町山木屋地区

2011年4月22日 計画的避難区域に指定

2013年8月8日 居住制限区域、避難指示解除準備区域に再編

今もなお避難は継続中

原発から  
北西約40km



- ①2014年8月11日  
水田域（除染作業中）
- ②2014年8月30日  
谷津地形を呈する里山小流域
- ③2014年11月22日～24日  
山木屋小学校

## 2、対象地域 (2/2)

### 福島県双葉郡広野町上北迫地区

事故直後：**緊急時避難準備区域**に指定(2011年9月30日解除)

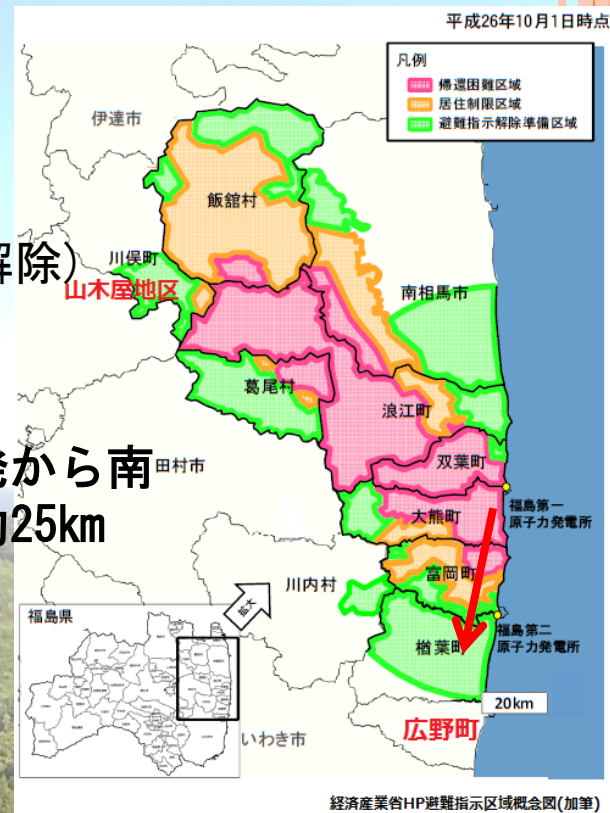
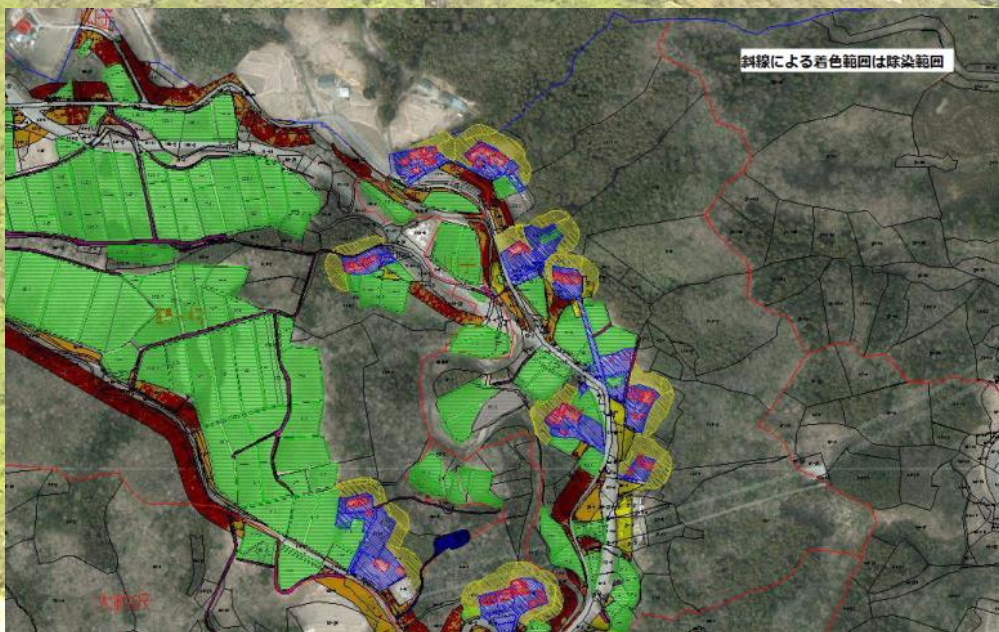
→一時町民全員が避難

現時点で帰還した町民は、事故前の3割程度

②2014年10月30、31日

上北迫地区

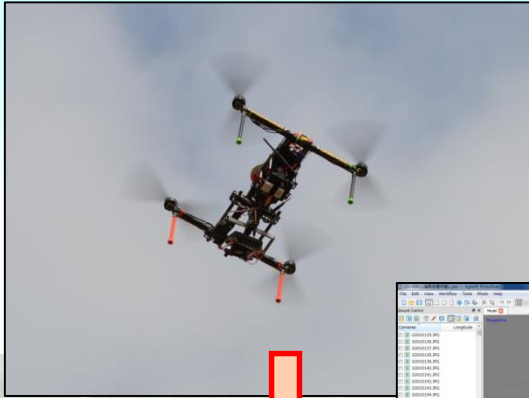
調査地点除染状況(着色部)



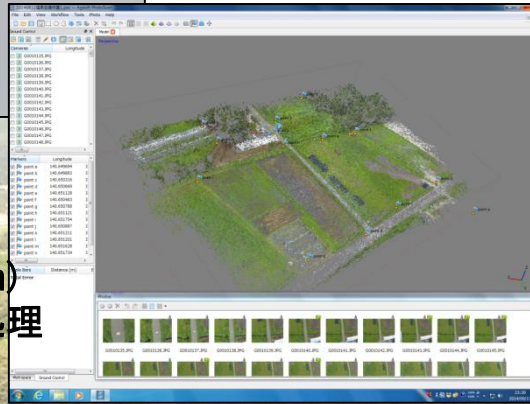
原発から南  
方約25km

除染対象があまり進められていない森林に住宅が隣接

### 3、手法～調査地点のオルソ画像及びDSM作成



UAVより  
鉛直写真撮影

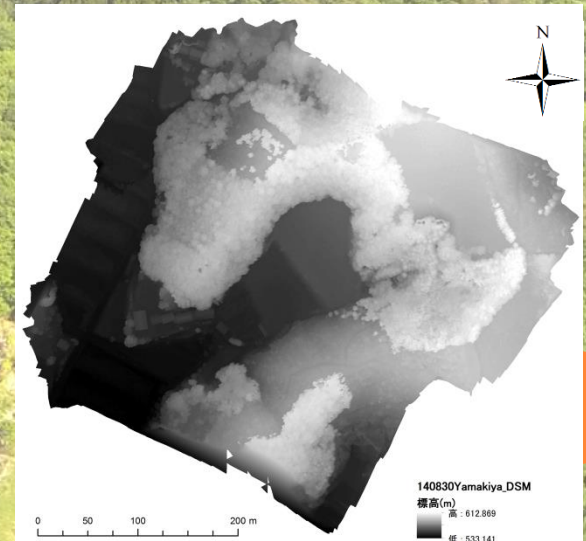


SfMソフトウェア  
(Agisoft社, Photoscan)  
によりUAV鉛直写真を処理

UAVオルソ画像



DSM



使用機器

山木屋地区水田域

- ・ UAV: Phantom2
- ・ カメラ: GoPro
- ・ 撮影間隔: 2秒
- ・ データ形式: JPEG

山木屋地区里山小流域、山木屋小学校、広野町

- ・ UAV: ZionEx700
- ・ カメラ: GR(RICOR)
- ・ 撮影間隔: 1秒
- ・ データ形式: JPEG, RAW



### 3、手法～UAV空間線量率計測：観測方法



#### 無線システム

- ・Xbeeを用いた無線システム(共同研究の過程で開発)
- ・空間線量率計(浜松ホトニクス社,C12137)を搭載
- ・空間線量率、緯度、経度、気温、気圧等を観測
- ・軽量化(385g)  
→小型UAVへ搭載可能

機器の開発は(株)SWRによる

UAVに無線システムを搭載  
飛行しながら1秒間隔で観測  
手元のタブレット端末でリアルタイムで閲覧、記録



### 3、手法～UAV空間線量率計測：観測方法

#### 使用UAV



Phantom2

飛行時間：約10分/回  
マニュアル飛行



JABO-H601G

飛行時間：約7分/回  
マニュアル飛行



ZionEX700

飛行時間：約7～8分/回  
自律飛行

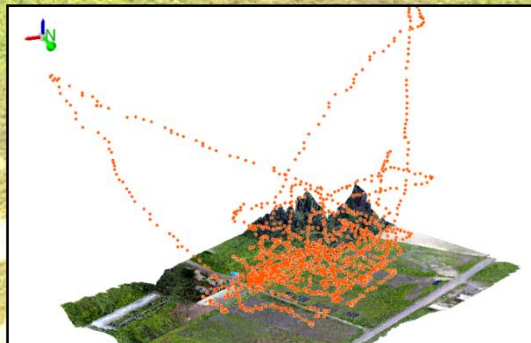


Qc630

飛行時間：約7～8分/回  
自律飛行

#### マニュアル飛行

- ・手動により操縦
- ・様々な高度を三次元的に飛行
- ・高度データは気温・気圧から計算



#### 自律飛行

- ・Mission Plannerにより飛行ルート決定
- ・飛行ルートに沿って自動飛行
- ・一定高度を飛行
- ・高度データはUAV気圧高度を使用

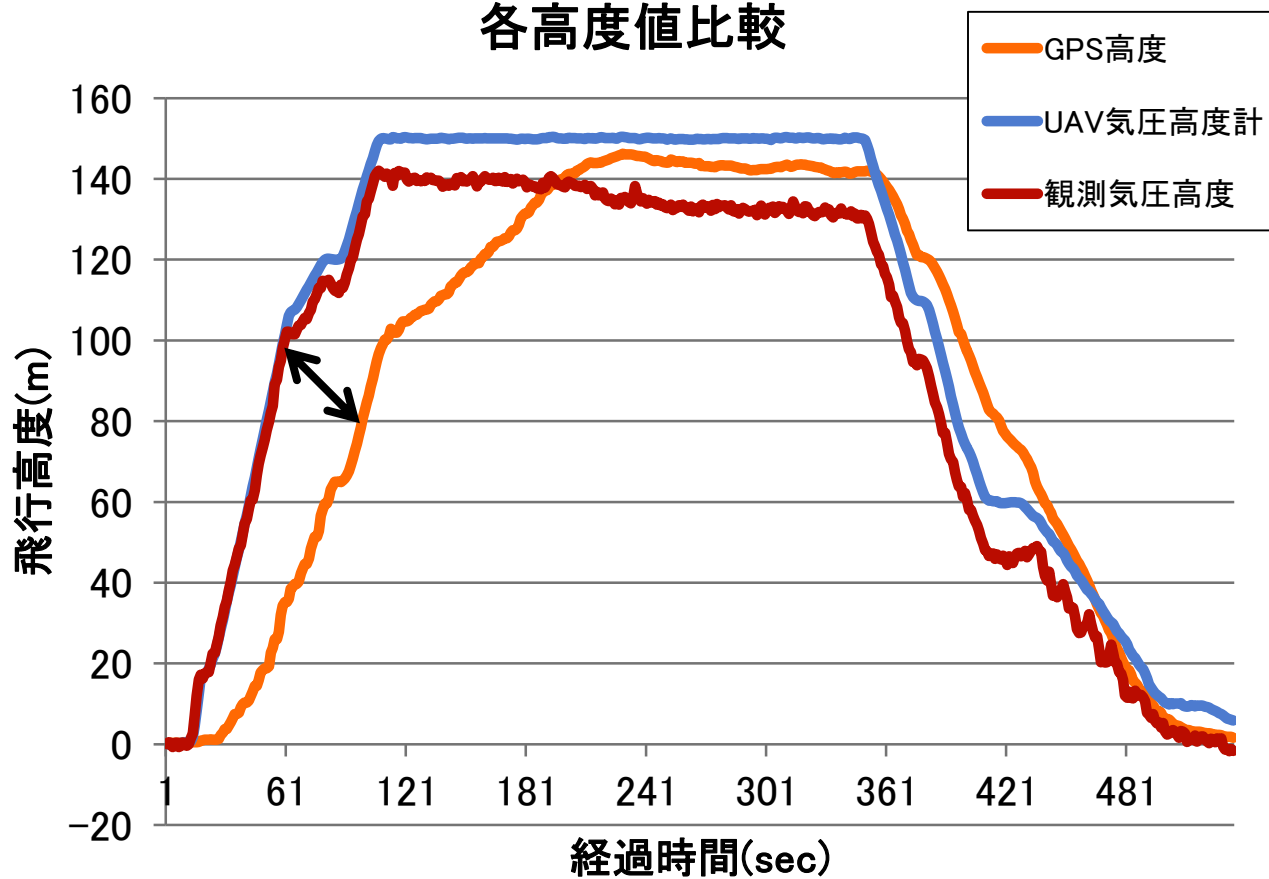


### 3、手法～UAV空間線量率計測：観測方法 飛行高度

GPS高度がうまく観測できないことが多い

→マニュアル飛行では観測した気圧・気温より計算

各高度値比較



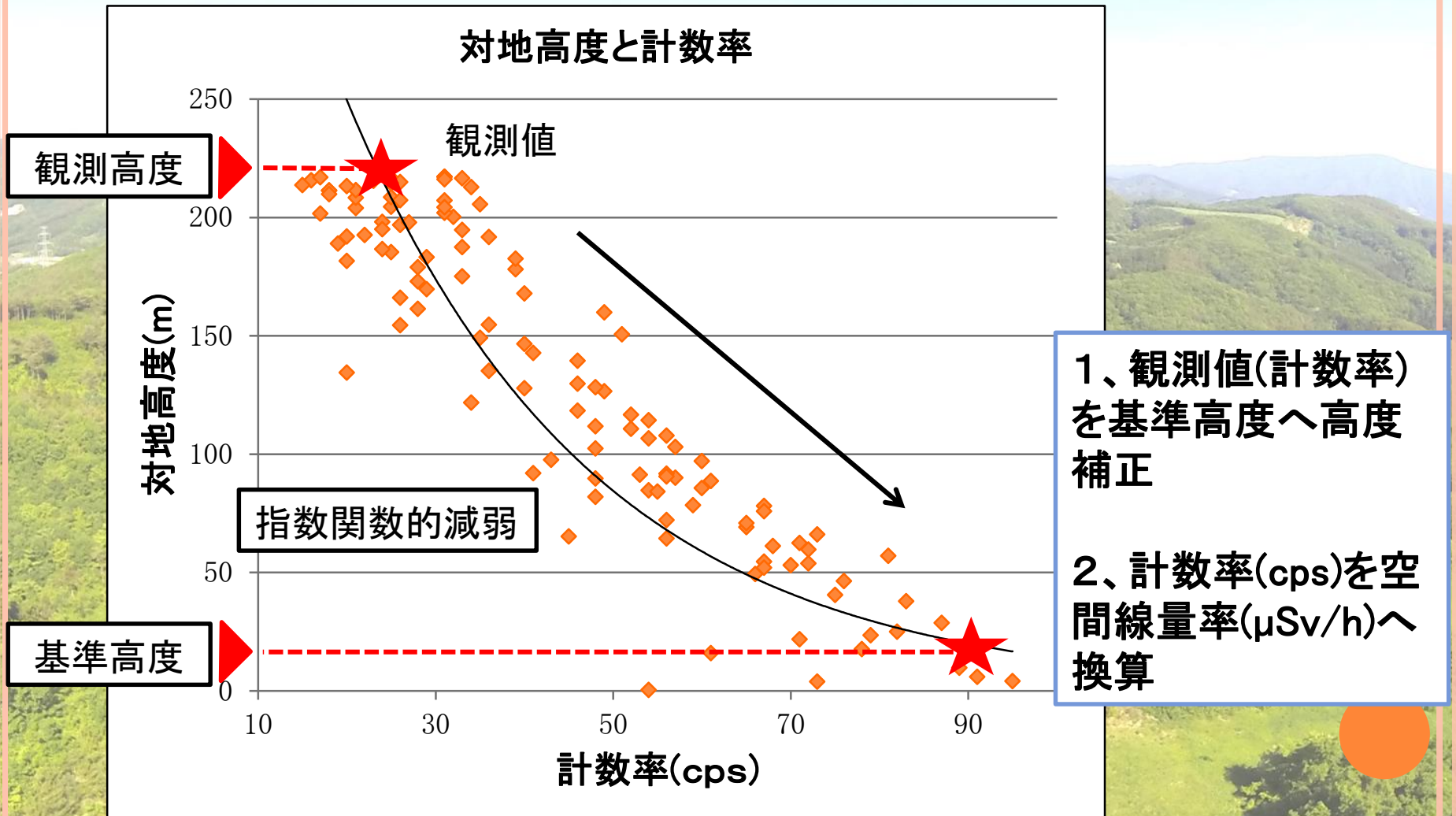
GPS高度  
→離陸後しばらく一致  
せず

観測気圧高度  
→離陸後よく一致



### 3、手法～UAV観測値地上1M高さ換算

計数率(cps: count par second): 測定器が1秒間に計数する放射線の数  
空間線量率( $\mu\text{Sv/h}$ ): 1時間当たり放射線が人体に与える影響を示す指標



### 3、手法～地上空間線量率観測(歩行サーベイ)

地上1m高さとなるよう身につけ歩行しながら観測

観測機器	記録間隔
Hot Spot Finder	1秒
RT-30	30秒

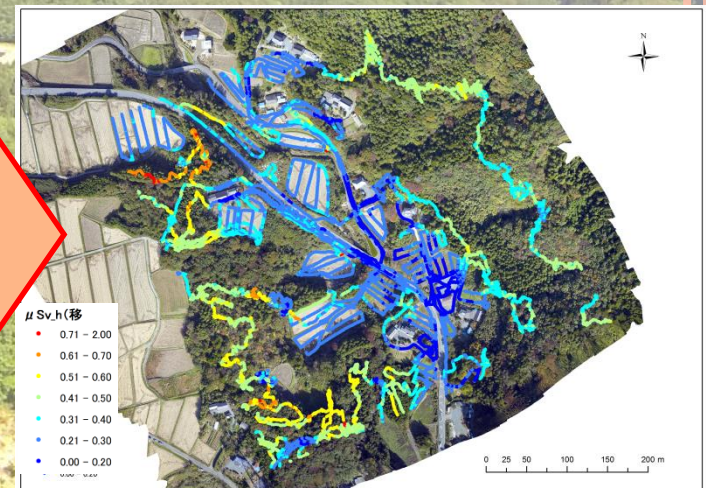
※RT-30 は変換係数1.14を掛け [Gr]→[Sv]に変換



RT-30



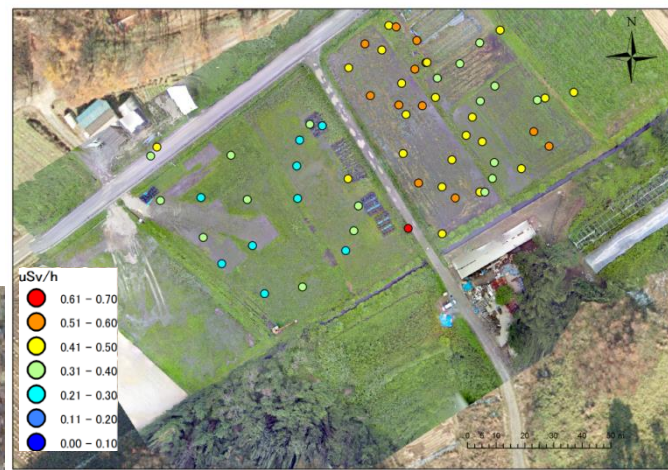
Hot Spot Finder(開発:(株)SWR)



地上における空間線量率分布

# 4、結果・考察: UAV空間線量率観測結果(マニュアル飛行)

水田域

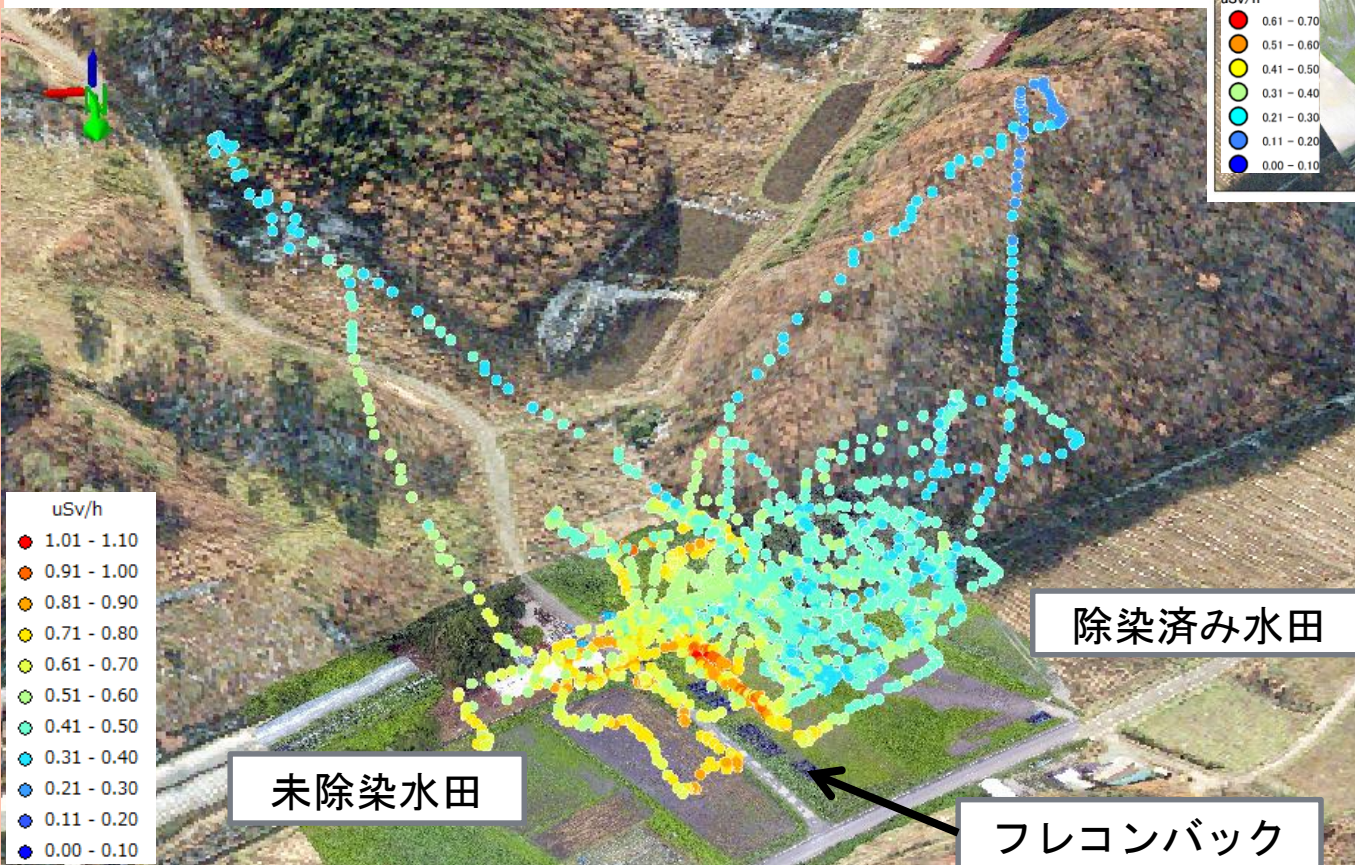


歩行サーベイ

観測範囲: 約200 × 300m

観測回数: 5回

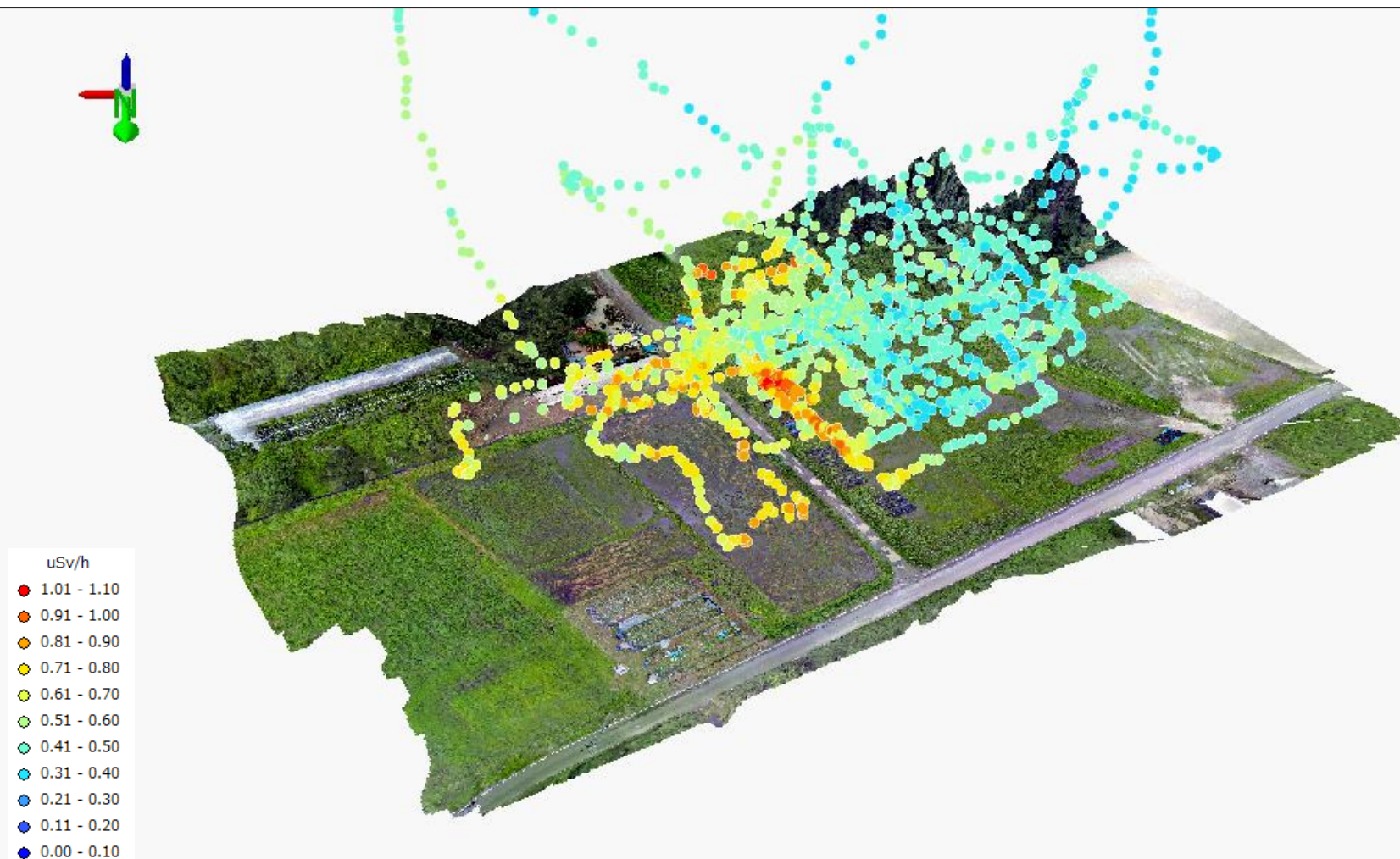
UAV: JABO-H601G



UAV空間線量率3D図

# 4、結果・考察：UAV空間線量率観測結果(マニュアル飛行)

水田域



UAV空間線量率3D動画

# 4、結果・考察：UAV地上1m換算結果(マニュアル飛行)

水田域

フレコンバック

除染済み水田

未除染水田

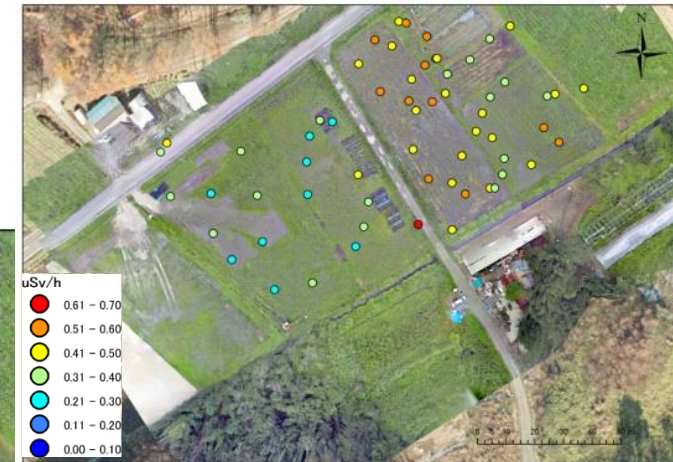
歩行サーベイ



最大値 : 0.678 $\mu$ Sv/h  
(フレコンバック周辺)

最小値 : 0.290 $\mu$ Sv/h  
(除染済み水田内)

除染済み水田で低い  
→ 除染の効果



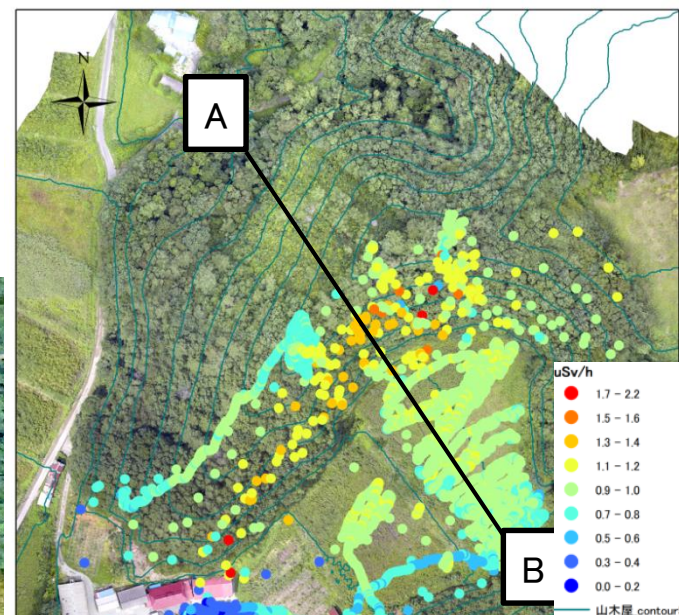


# 4、結果・考察: UAV空間線量率観測結果(マニュアル飛行)

↓ 歩行サーベイ

里山小流域

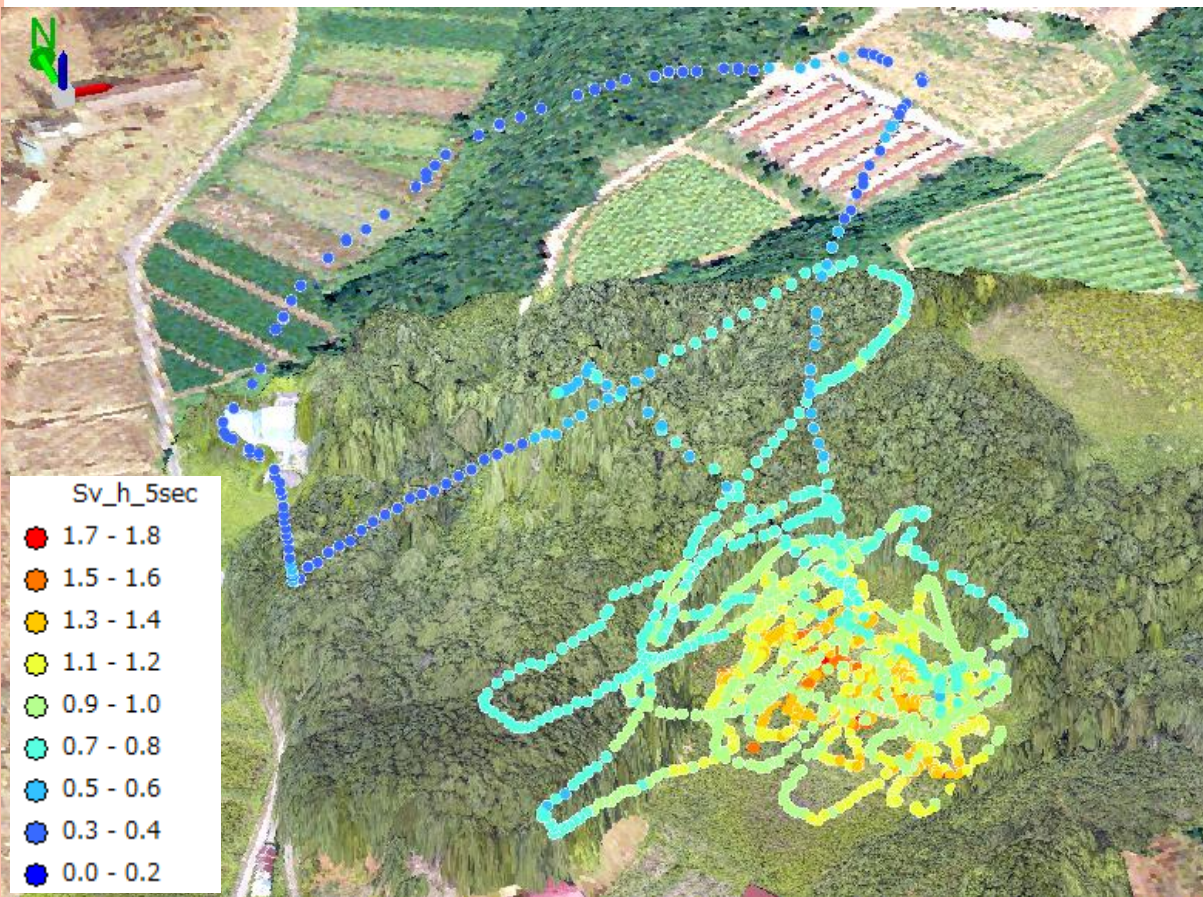
↓ UAV空間線量率3D図



観測範囲: 約250 × 300m

観測回数: 5回

UAV: JABO-H601G

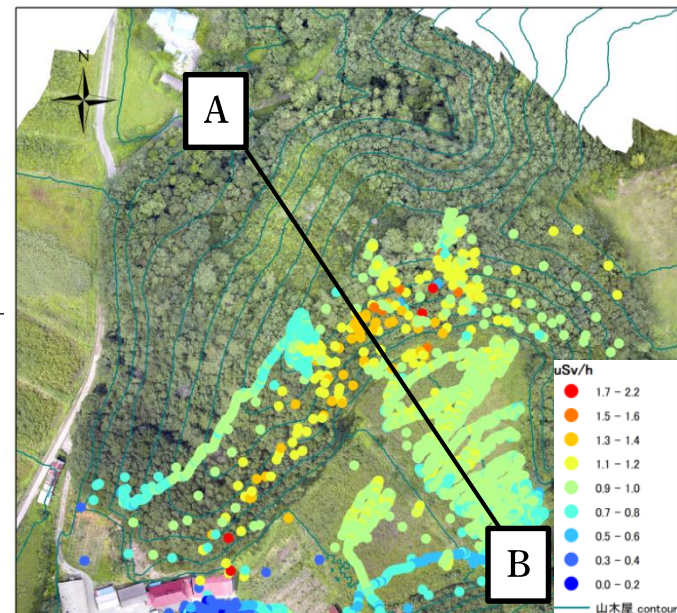
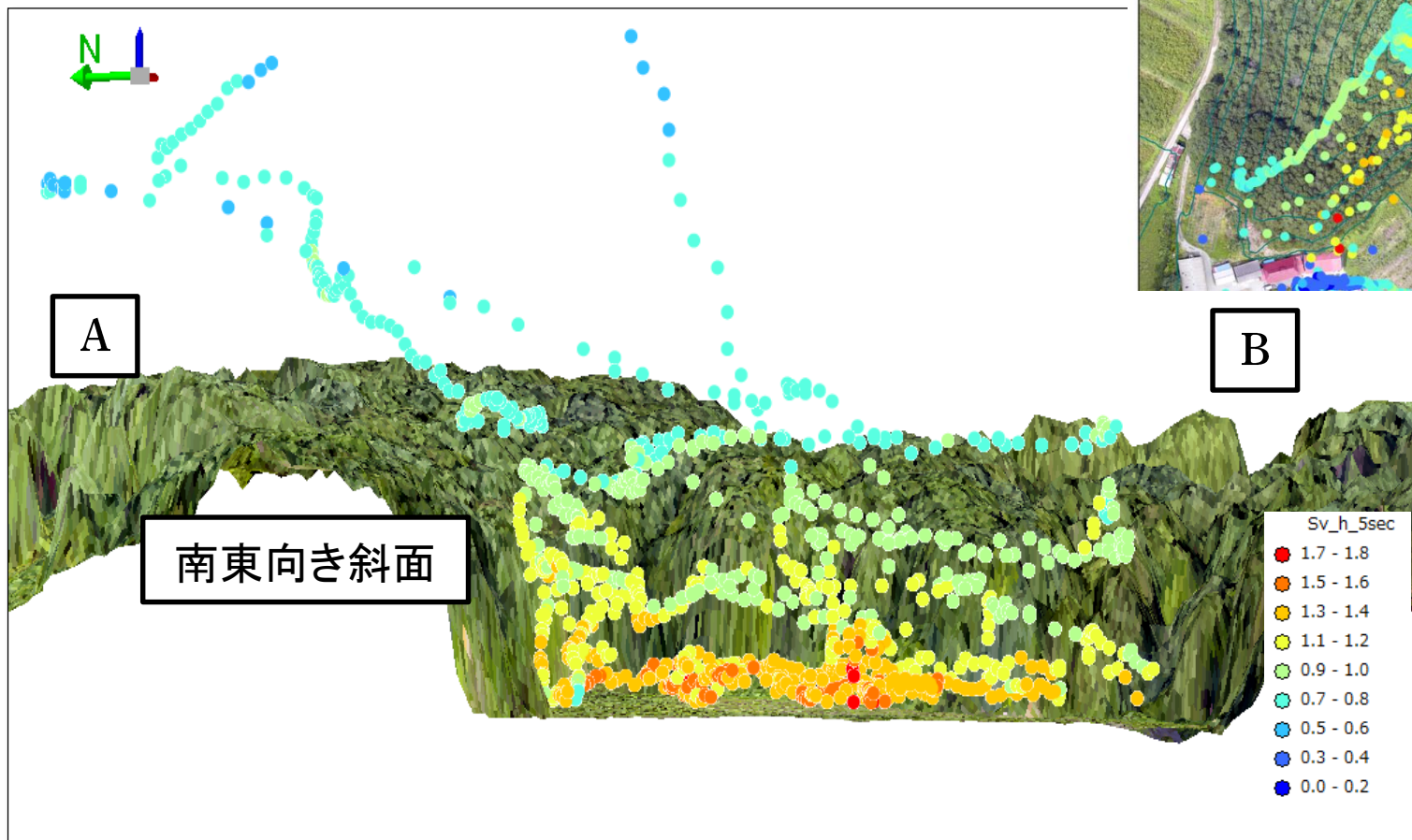


# 4、結果・考察: UAV空間線量率観測結果(マニュアル飛行)

↓ 歩行サーベイ

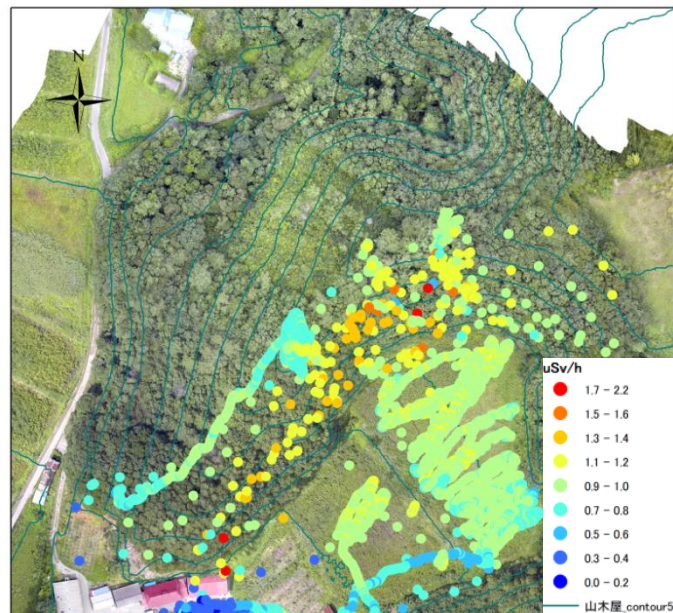
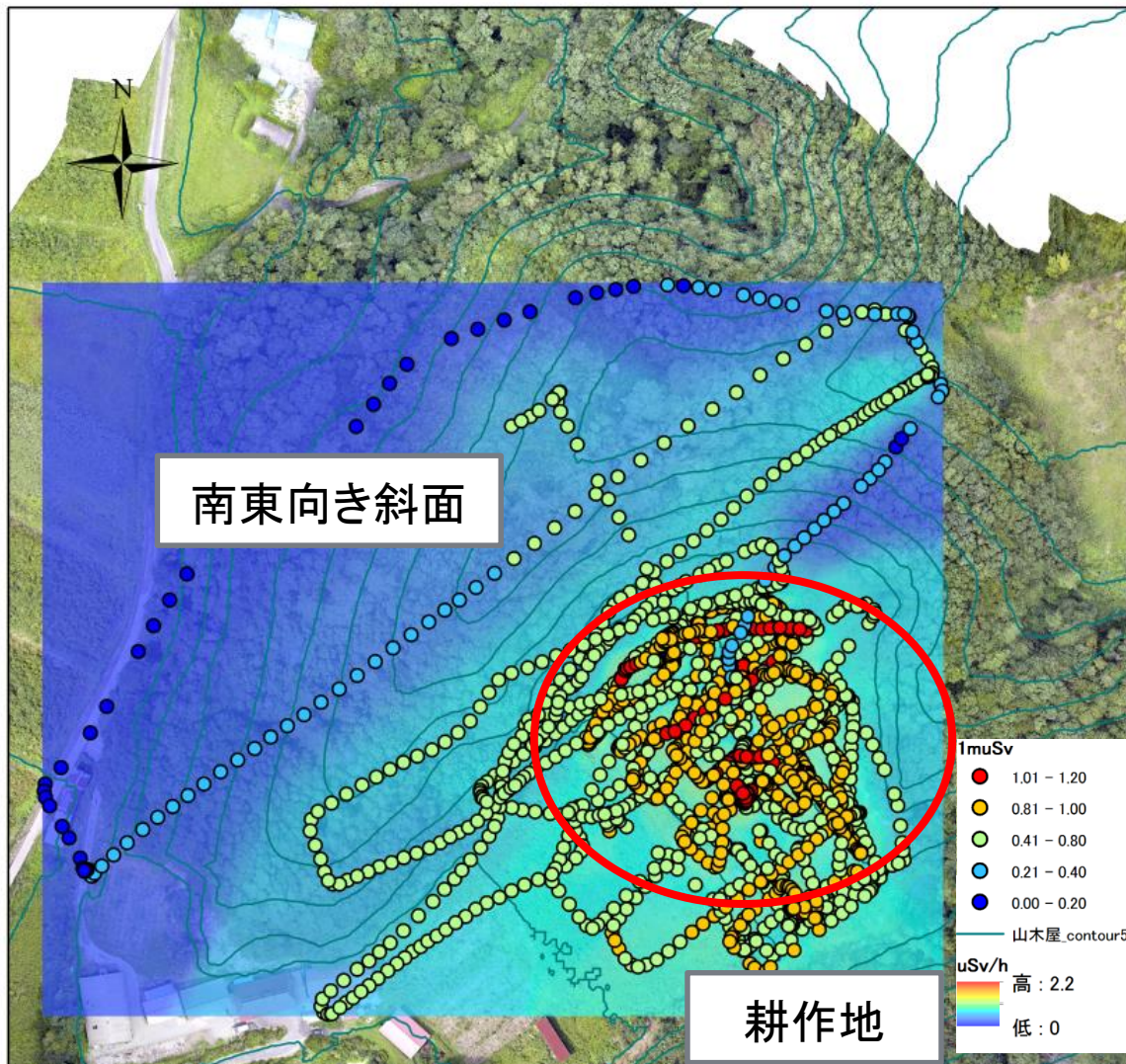
里山小流域

↓ UAV空間線量率3D図



# 4、結果・考察: UAV地上1m換算結果(マニュアル飛行)

## 里山小流域



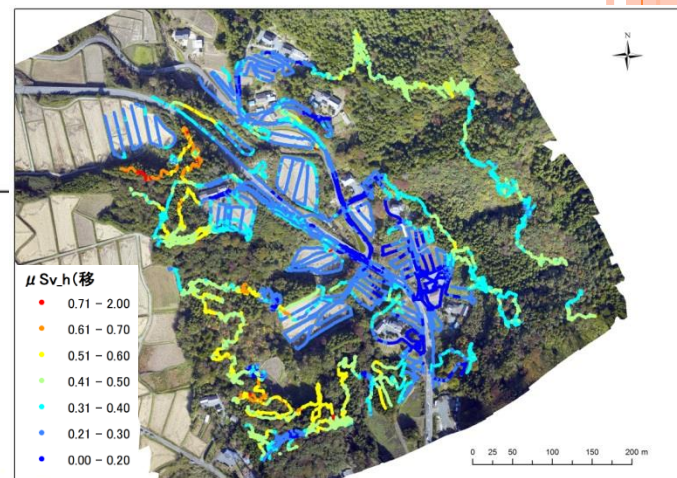
## 歩行サーベイ

最高値: 1.11μSv/h  
(耕作地中央付近)  
最低値: 0.126μSv/h  
(北西側斜面)

南東向き斜面より耕作地の方が値が大きい  
→空間線量率計の検出範囲が影響

# 4、結果・考察：UAV地上1m換算結果(自律飛行)

広野町

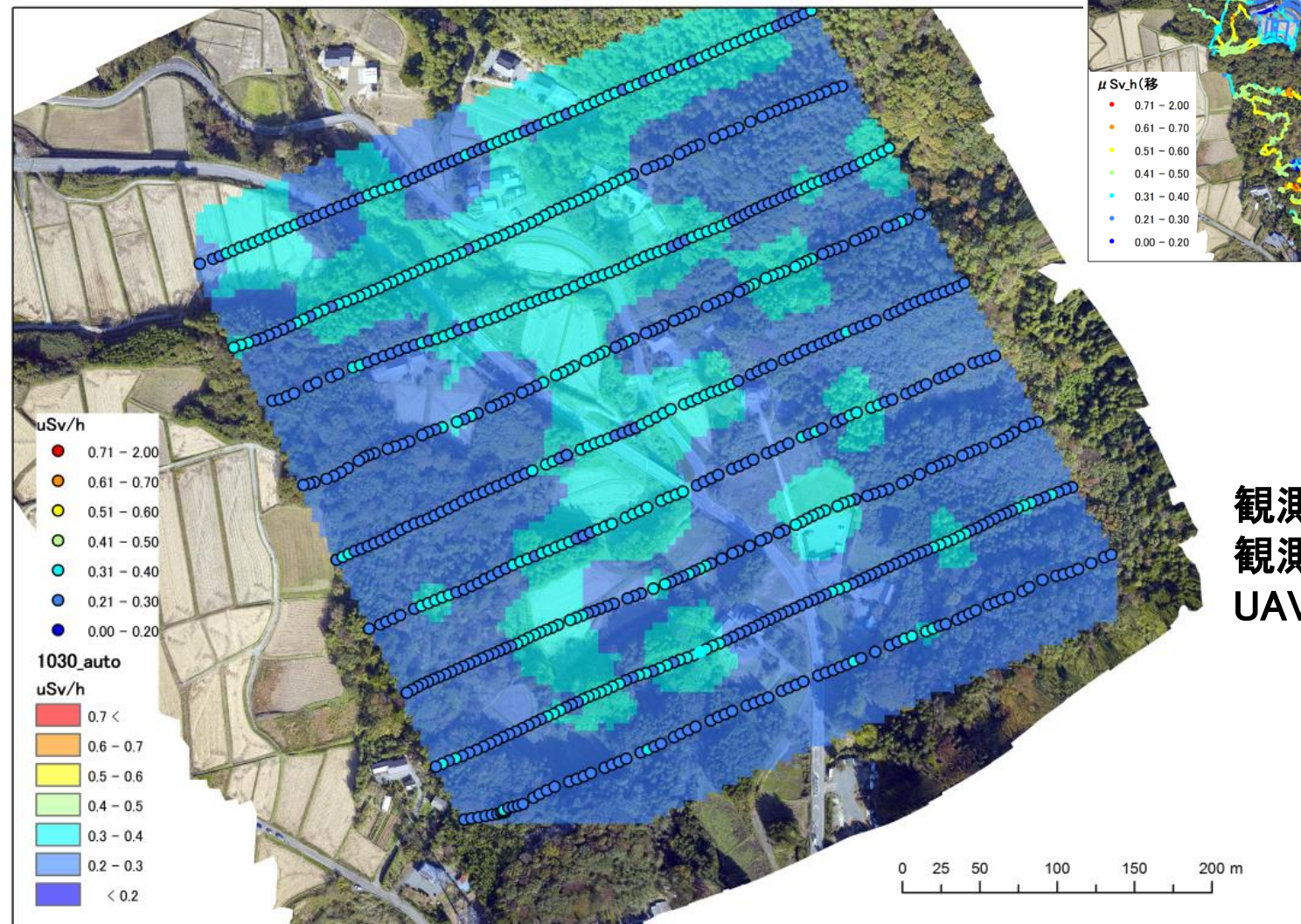


↑ 歩行サーベイ

観測範囲：約450×450m

観測回数：5回

UAV：ZionEX700

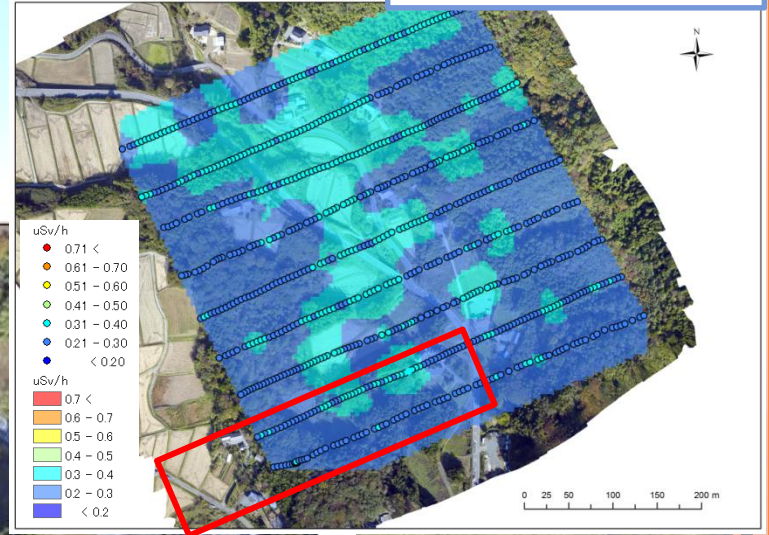
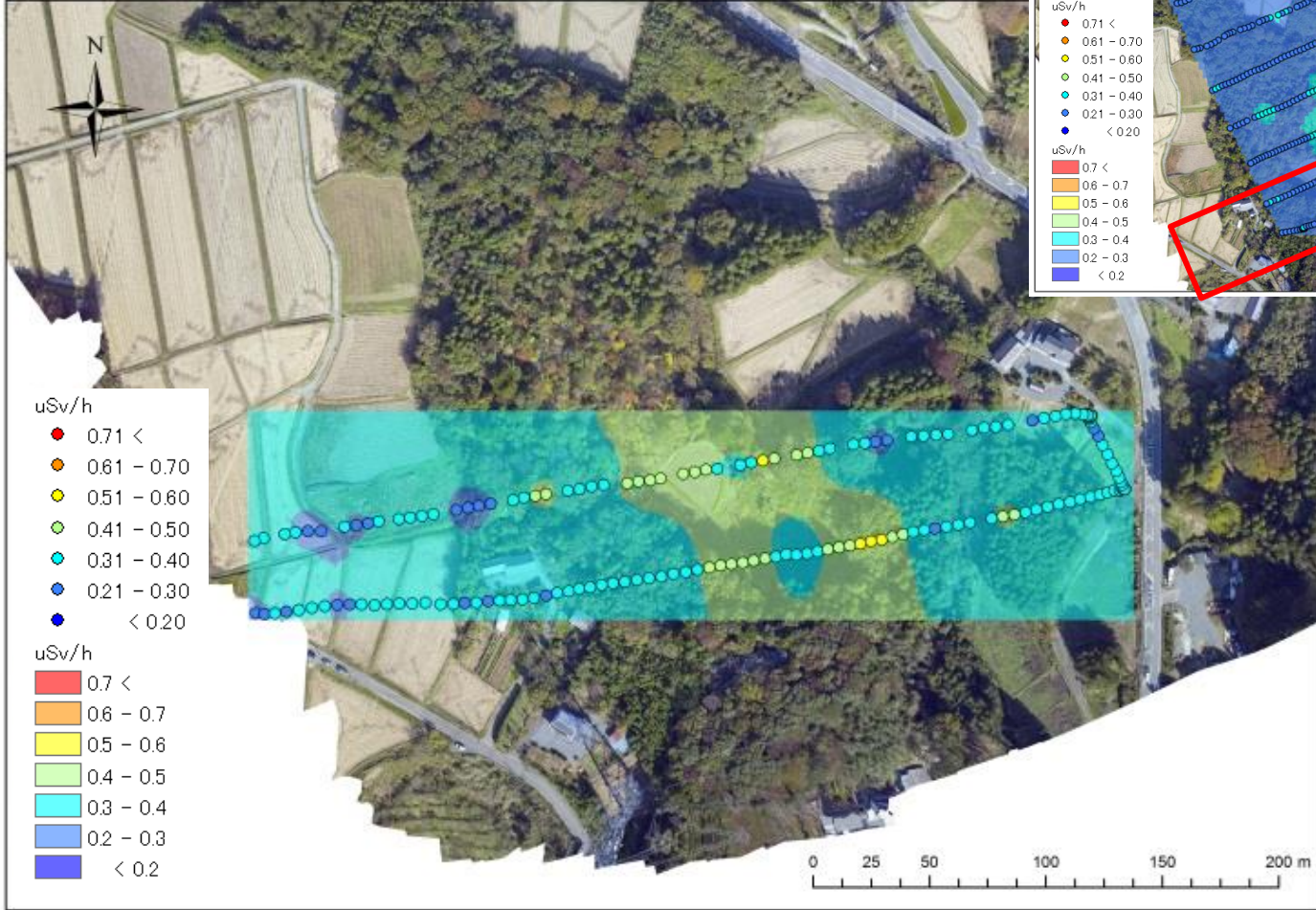


# 4、結果・考察: UAV地上1m換算結果(自律飛行)

広野町

飛行高度150m

飛行高度60m



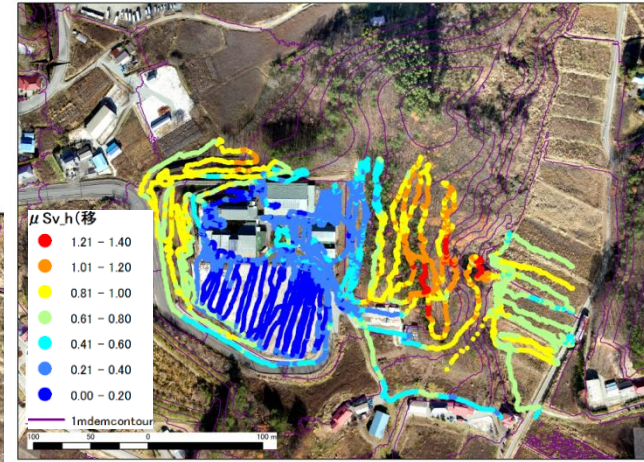
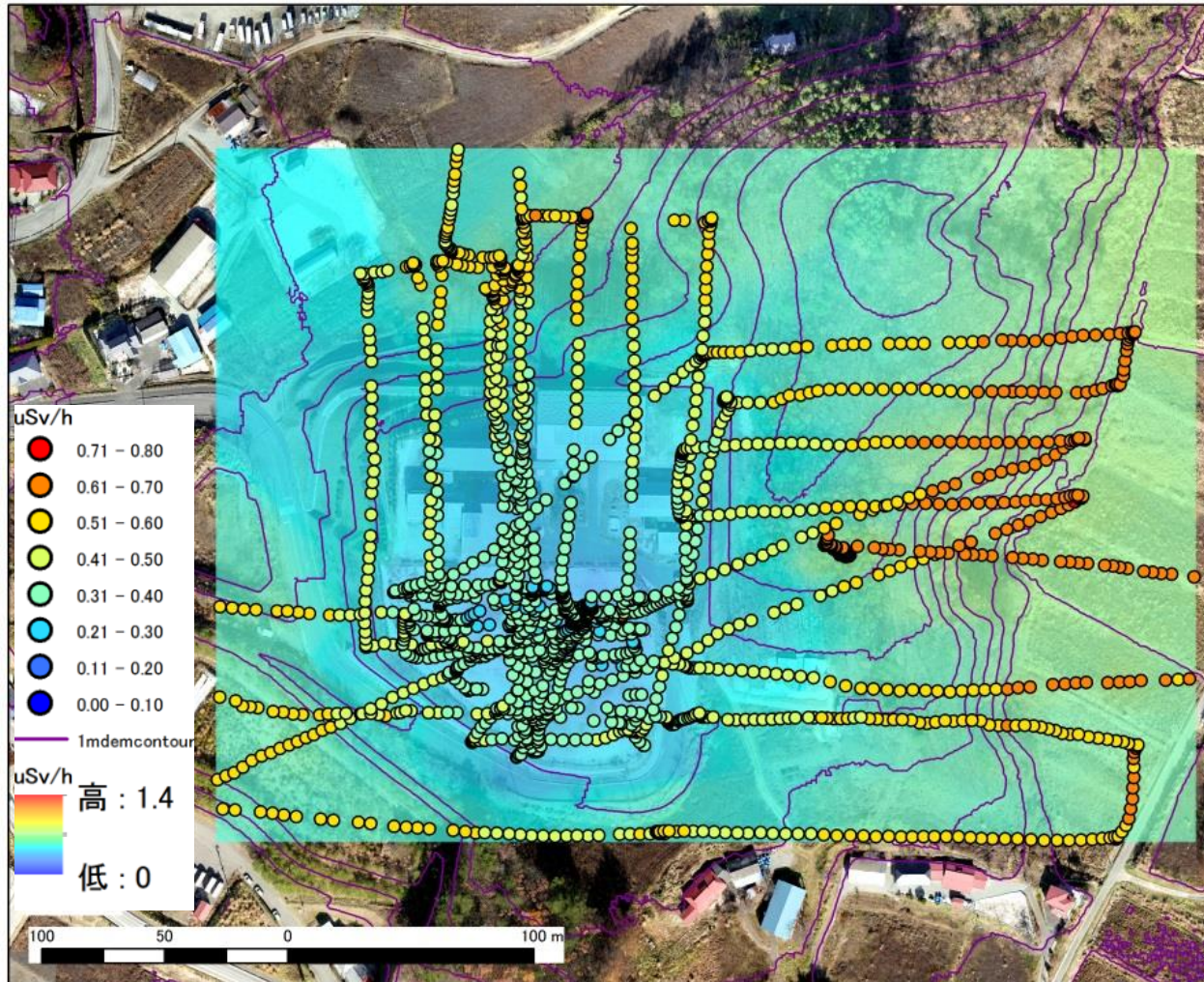
飛行高度を下げ観測  
→歩行サーベイと似た  
分布

飛行高度を高く設定  
したことが原因



# 4、結果・考察：UAV地上1m換算結果(自律飛行)

## 山木屋小学校



↑ 歩行サーベイ

観測範囲：約400 × 300m  
観測回数：8回  
UAV：ZionEx700,Qc630

最高値：0.714 $\mu$ Sv/h  
(校舎北東側に位置する森林)  
最小値：0.262 $\mu$ Sv/h  
(グラウンド上空)

歩行サーベイと同様の分布

## 5、結論

- ・小型UAVであるラジコン電動マルチコプターを用いた空間線量率観測により、地表面における空間線量率の分布を把握することが可能であることが明らかとなった
  - 放射性物質のモニタリング手法として有効である
- ・UAV観測において飛行高度が高い場合、換算値結果が地上における値と一致しない場合がある
  - 調査地点における安全な飛行高度を踏まえた適切な高度設定が必要

### モニタリング手法としての小型UAVの活用

(1)UAV空撮によりオルソ画像・DSMの作成

→土地被覆現況の記録

安全な飛行高度の把握

(2)小型UAVによる空間線量率モニタリング

→DSMの結果をもとに飛行ルートを決定

低高度からのモニタリングを実施



ご清聴ありがとうございました

この研究はチーム千葉大学、山木屋地区の協働で実施しました

