

どこでも、いつでも、リモートセンシング
—環境や農業等における利用を話題として—

ラジコン電動マルチコプター による環境計測

近藤昭彦（千葉大学CEReS）
田中 圭（日本地図センター）

<http://dbx.cr.chiba-u.jp>

使用している機体

PHANTOM1/2/**2V+**
JABO H601G
ZION EX700/QC630
MINISURVEYER MS6L

ペイロード約500g
ペイロード約500g
ペイロード約1kg
ペイロード約5kg

約10万円
約30万円
約40万円
約150万円

自律飛行可能

自律飛行可能



空間線量率測定システム
を搭載したヘキサコプター



電動ヘキサコプター
ミニサーベイヤーMS-6L



ミニサーベイヤー
低空で計測中



HSFを軽量化
小型UAVに搭載



ZION/EX700
オートパイロットで空撮



ZION/EX700飛行中
高度80mでタイムラプス撮影

急速に普及し、低コスト、高い操作性を獲得しつつあるラジコン電動マルチコプターにカメラ、センサーを搭載し、環境計測を行った事例を紹介

- ラジコン電動マルチコプターの低価格化と高性能化
カメラやセンサーを搭載し、飛行することができる

- SfM技術の普及

SfM(Surface from Motion)とは:

コンピュータビジョンの分野において開発され、動画や静止画からカメラ撮影位置を推定し、三次元形状を復元する要素技術の1つである
(満上, 2011)

⇒UAVによる撮影画像からオルソ空中写真、DSM (Digital Surface Model) を作成可能



(C)AgiSoft

環境・災害等、様々な利用用途が想定できる

- **写真撮影**

⇒建設現場の空撮、生態系調査、不法投棄調査、
景観撮影、プロモーション撮影、など

- **デジタル写真測量**

⇒地形測量、遺跡調査、河川等の現況調査、
残土容量・土砂堆積量推定、
採石場の形状把握、など

- **架線工事・施設点検関係**

⇒橋脚、鉄塔の点検、法面調査など

- **災害・事故被害調査**

⇒洪水、水害、津波災害、土砂災害、放射線など

事例1 空撮

- ・景観撮影、パノラマ撮影、遺跡・化石調査

事例2-1 写真測量

- ・**SfM** (Surface from Motion) 技術の活用
- ・オルソ空中写真、DSM (Digital Surface Model) の作成

事例2-2 構造物

- ・河川構造物調査

事例3 植生指標

- ・簡易版近赤外カメラによる植生指標画像の撮影
- ・水稻の生育モニタリング

事例4 気象観測

- ・気温・湿度の三次元分布

事例5 放射能モニタリング

- ・空間線量率 ($\mu\text{Sv/h}$) の三次元分布



空撮 (埼玉県坂戸市周辺)



空撮：パノラマ撮影 (2014/02/09)

方法

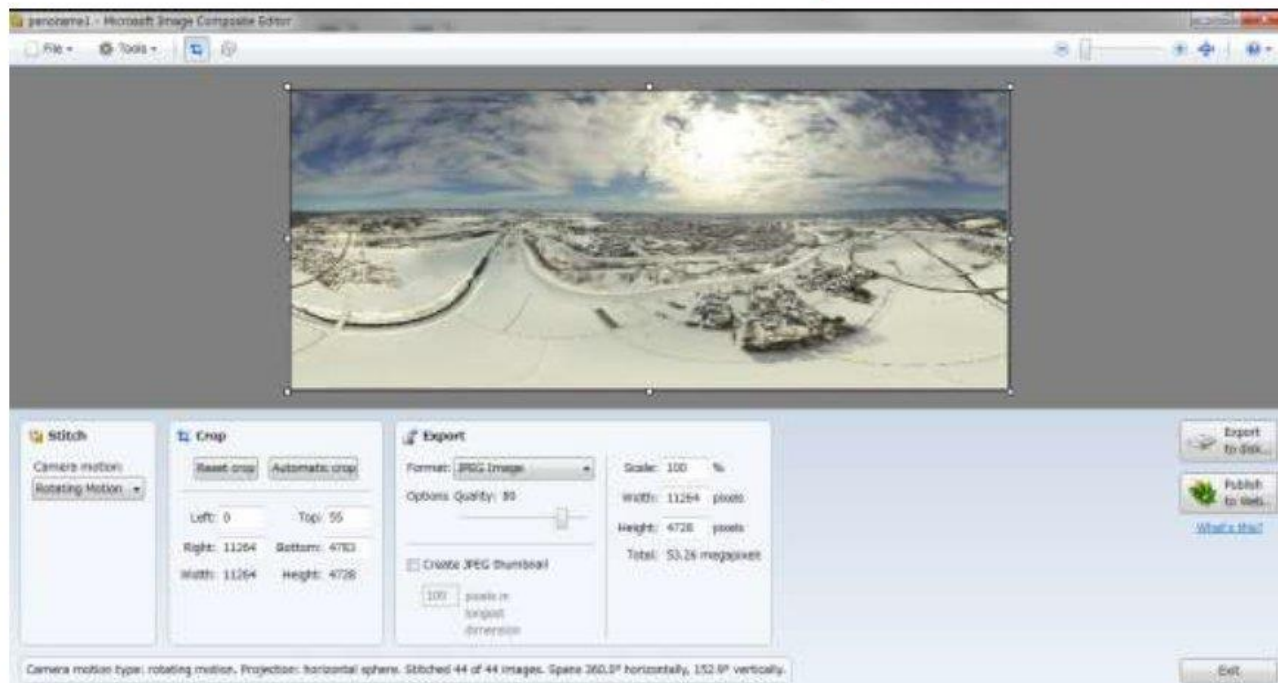
- 1) インターバル (1 秒) 設定で上空を周回撮影
- 2) パノラマ作成ソフトで編集

ICE (Microsoft社：Image Composite Editor)

↑ フリーソフトウェア

- 3) インターネット上で公開可能 (無料)

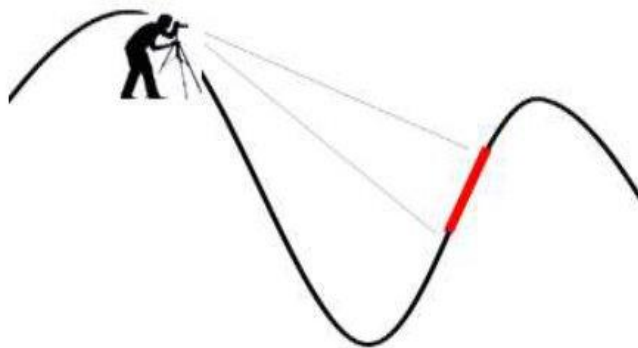
フライト：10分
解析：約1時間



恐竜足跡化石（富山県）

【従来の撮影方法】

- ・ 望遠撮影



- ・ クレーンによる撮影



法面調査



発掘現場では、望遠撮影が主流

歪みの少ない高解像度の映像を撮影できる
調査のたびに用意するのは、難しい

（NHK福井放送局より）

恐竜足跡化石（富山県）



写真測量（オルソ画像・DSM）

方法

- 1) 飛行ルートの設定 **オートパイロットの設定**
- 2) カメラのインターバル撮影の設定
- 3) SfM (PhotoScan) で垂直写真の3D化
→ オルソ画像, DSMの出力 (GeoTIFF)



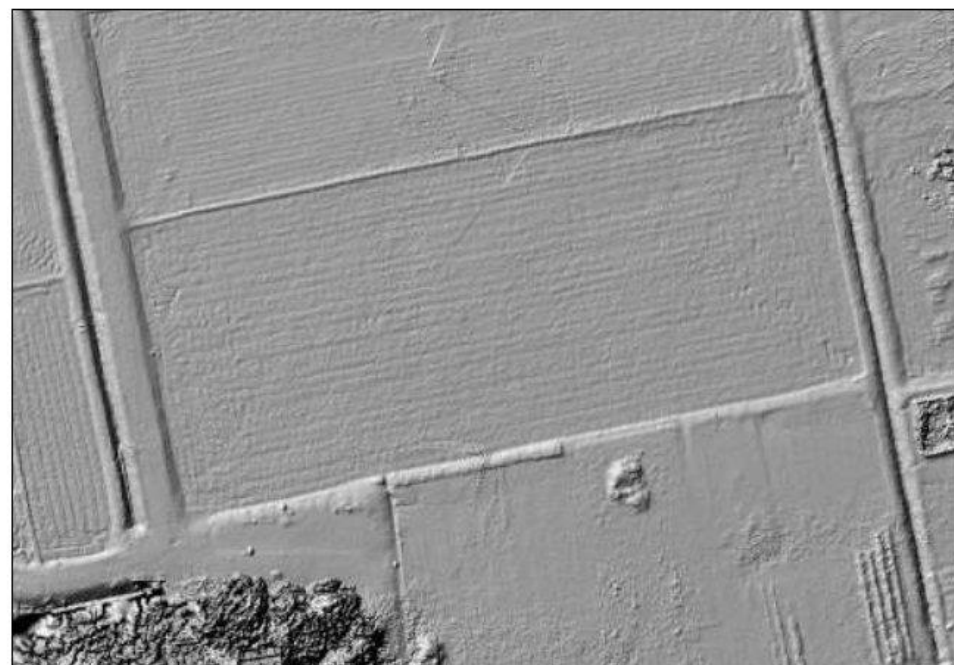
カメラを鉛直下
方に向けてイン
ターバル撮影

フライト：10分
解析：約4時間

対地高度 約30m



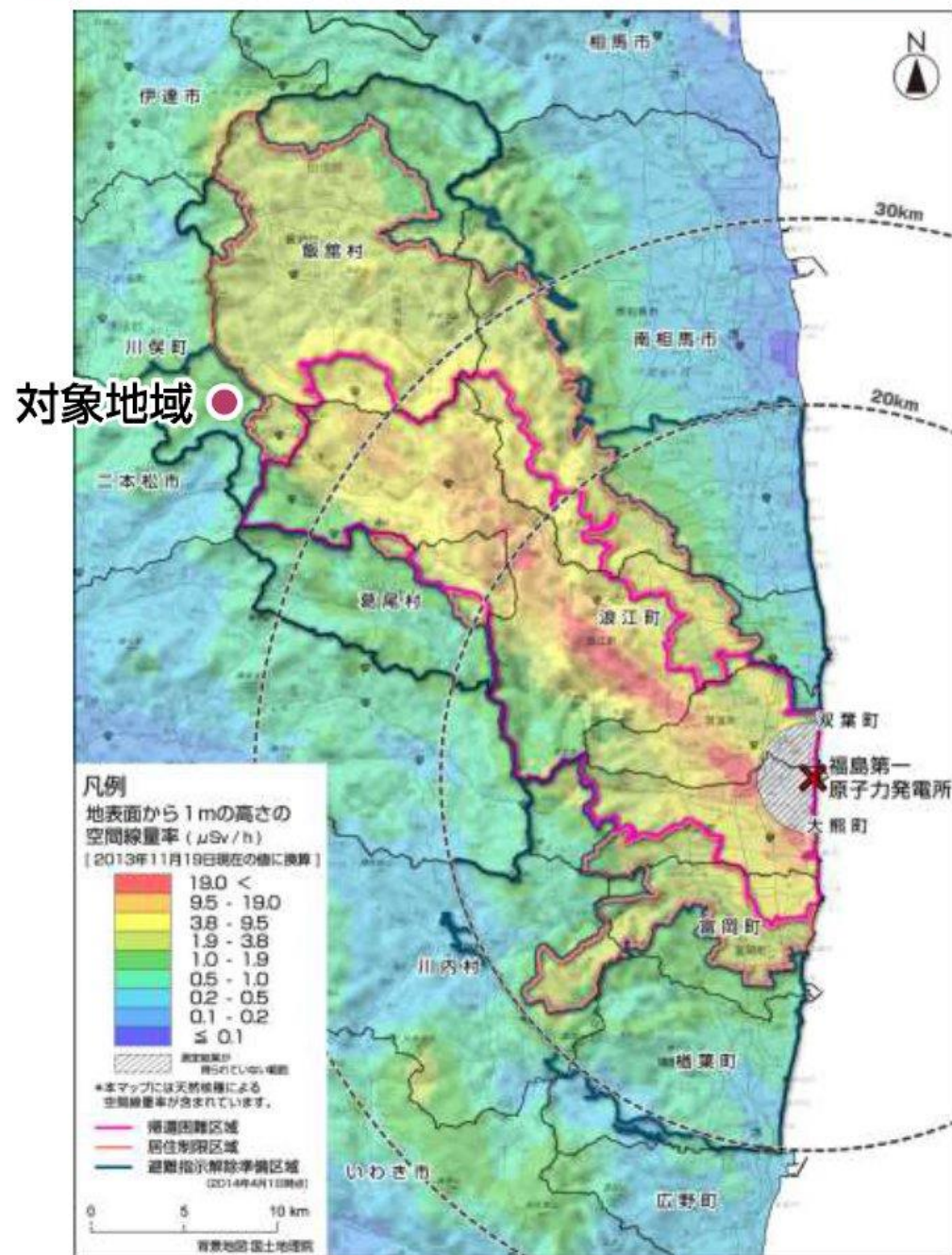
解像度 0.7cm



解像度 2cm

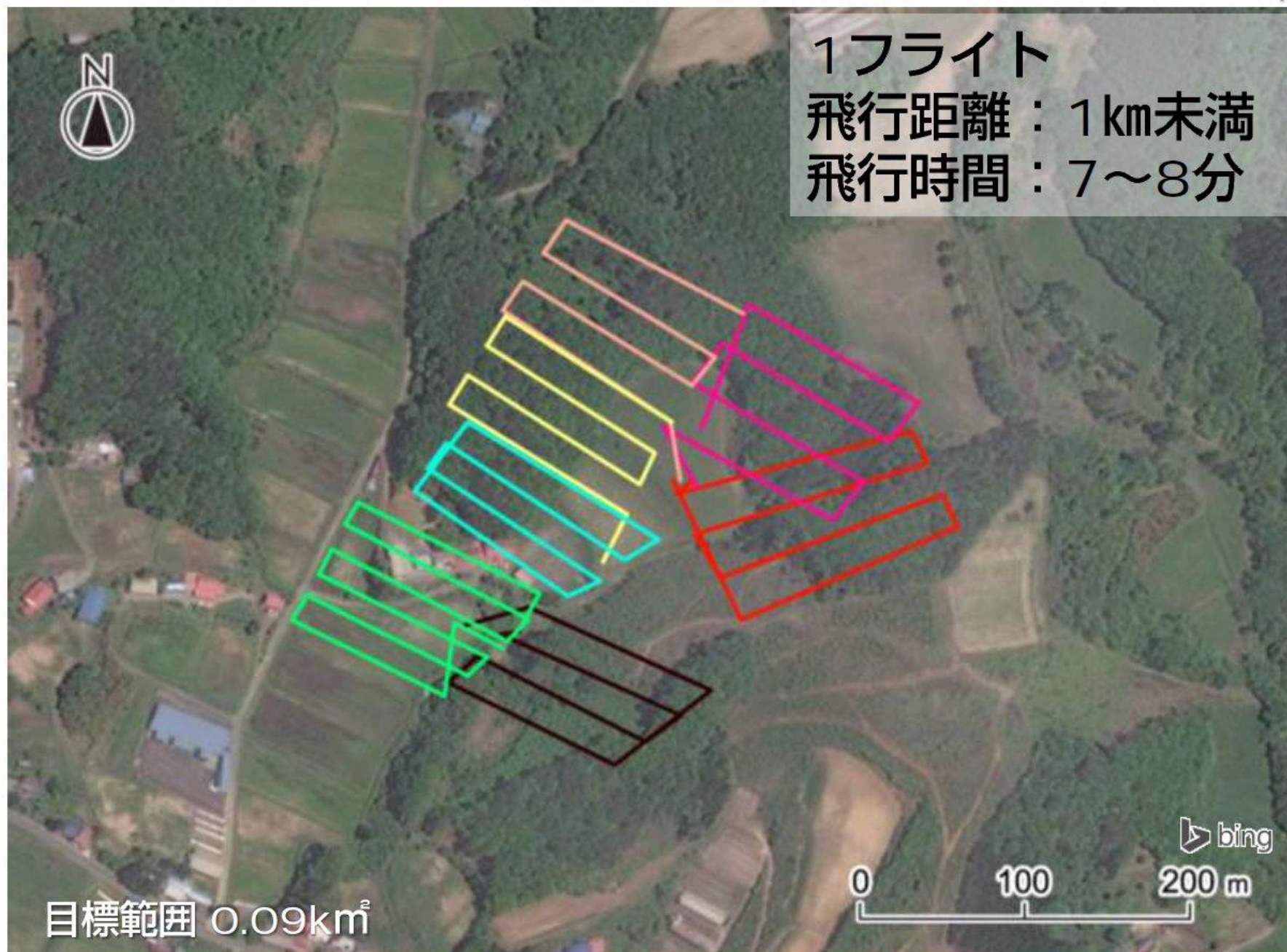
福島県川俣町山木屋地区

避難指示解除準備区域



飛行ルート設定

オートパイロットルート設定



オートパイロットで飛行中のマルチコプター



離陸地点から
対地高度 約80m
機体までの距離 約180m

マップ AgiSoft PhotoScanによる処理

解像度 オルソ 2cm
DSM 5cm

習熟すれば数km²の範囲の
オルソ空中写真・DSM作成
は一日で可能



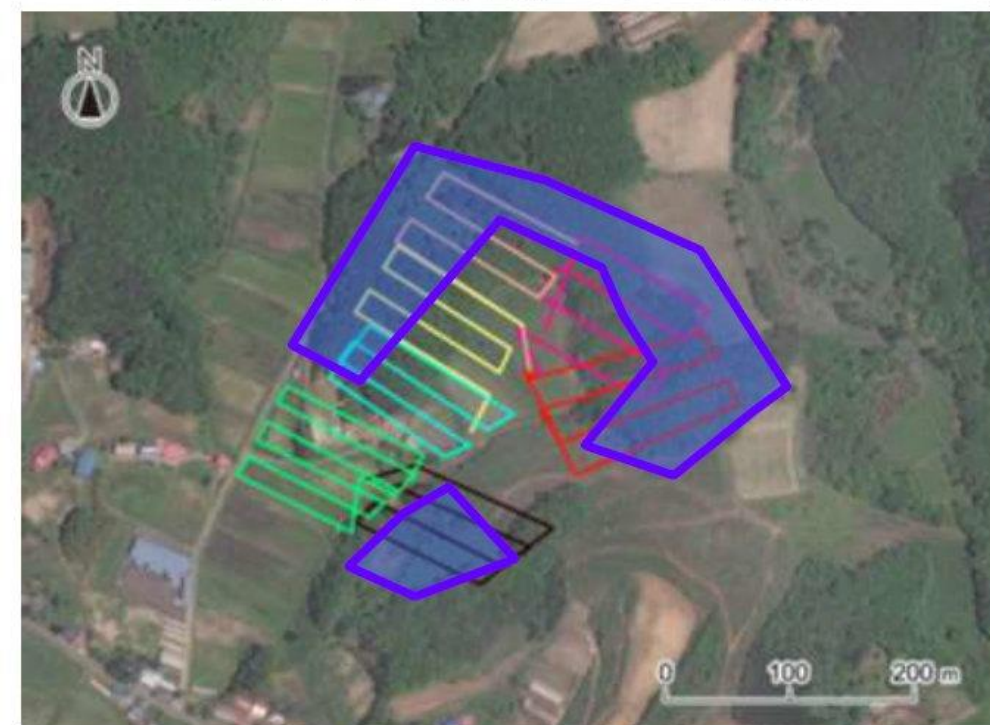
課題

SfM (PhotoScan)

- ・ 樹林域（特に落葉樹林）でマッチングができなかった。
 - 撮影された枝の画像では、マッチングは困難
 - 対地高度が低い（今回は約30～40m）

【対策】 新緑時に撮影する / 対地高度を高くする

その後、徐々に課題解決
経験の共有により、価値増大



青色範囲内（マッチング不可）



樹林域上空の撮影画像

ヒヤリハット事例



【状況】

目視飛行時に、高台の松と接触し、墜落の危険性が生じた。結果的には帰還することができた。

【原因】

操縦者が機体と松との位置関係を正確に把握していなかったため。



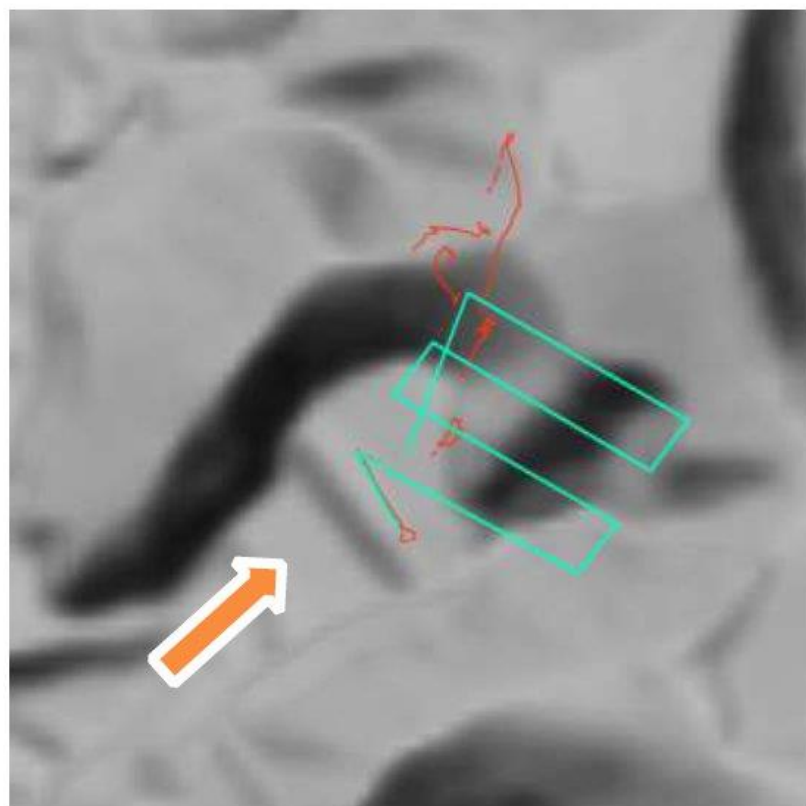
【対策】

十分な高度を保った上で、樹林域の飛行を行うこと。

【被害】

カーボンプロペラの破損
機体全体に松ヤニの付着

ヒヤリハット事例



【状況】

AUTOパイロットにおいて、機体がホバリング状態に陥り、操縦が困難な状況になった。

【原因】

地形によって、上昇気流が生じていたため。

【対策】

事前に風の影響（風上に向かわないように）を考慮したルート設定を行うこと。

UAVにおける安全管理・確保のため、墜落やヒヤリハット事例をデータベース化

多くの事例内容から、未然に危険を察知する知識を身につけ、安全に配慮した運用の実施

構造物

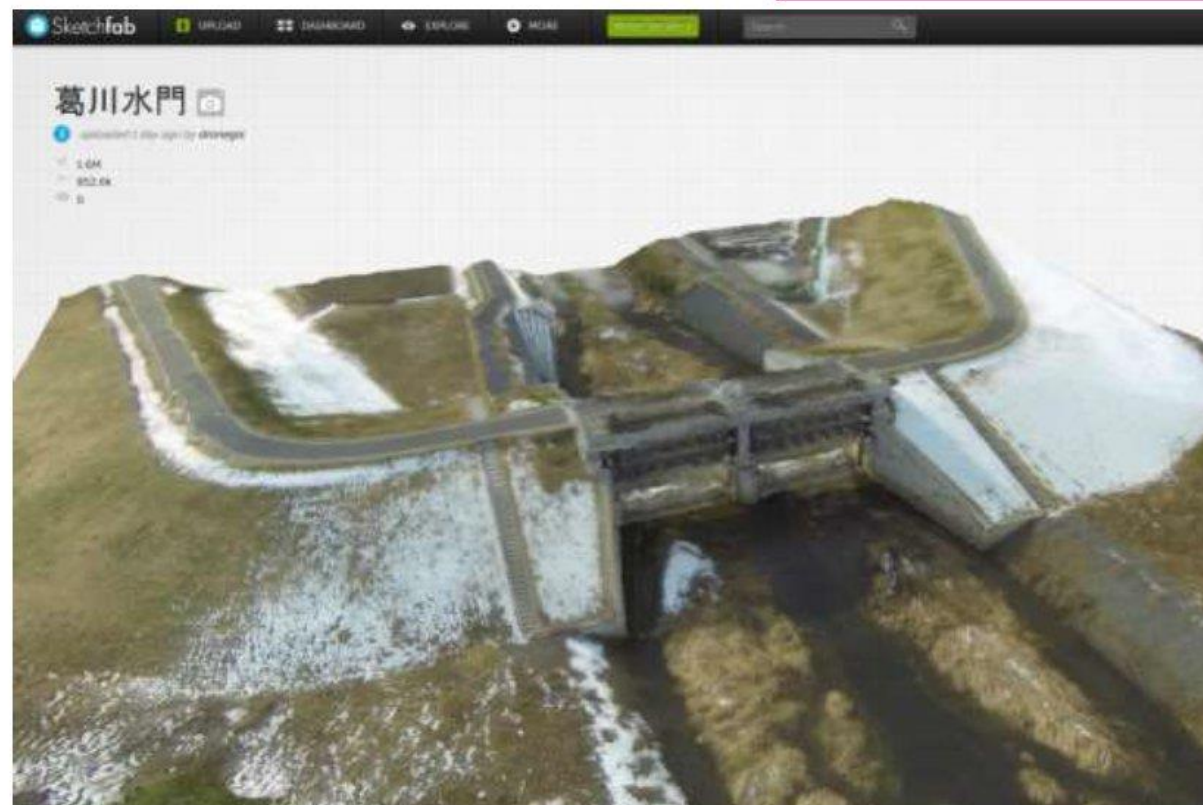
方法

- 1) 対象とする構造物を中心になるように飛行ルート設定
- 2) SfM (PhotoScan) で斜め写真を3Dモデル化



東北太平洋沖地震による堤防の損傷調査をUAVを用いて行った実績(国土交通省)

フライト：10分
解析：約3時間



植生指標

方法

- 1) レンズに赤外線透過フィルターを取り付け
- 2) 2台のカメラのインターバル撮影の設定
- 3) 撮影後の画像データを同期，合成
→ フォルスカラー (RGB=近赤外, 可視光の赤, 可視光の緑)
- 4) SfM (PhotoScan) で合成データのオルソ化



簡易型赤外カメラの作成

フライト：10分
解析：約6時間



富士フィルム(FUJIFILM)
IR-78 光吸収・赤外線透過フィルター



重量約300g



0 25 50 m

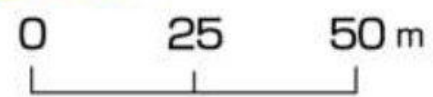
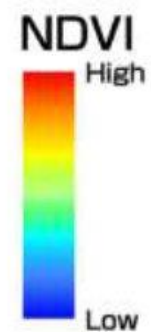
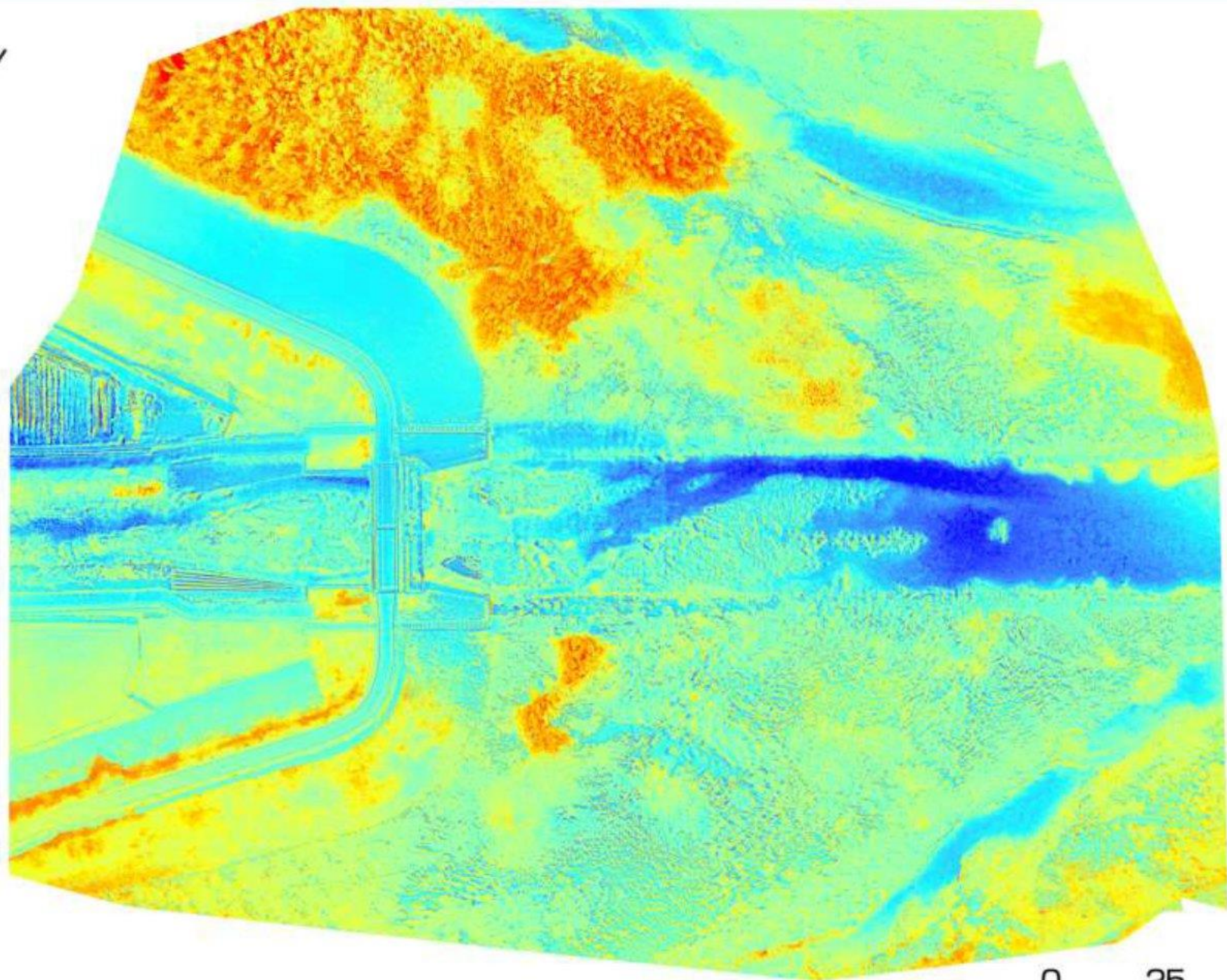
解像度 3cm ; 範囲 0.06km²

取得例 3



0 25 50 m

解像度 3 cm ; 範囲 0.06 km²



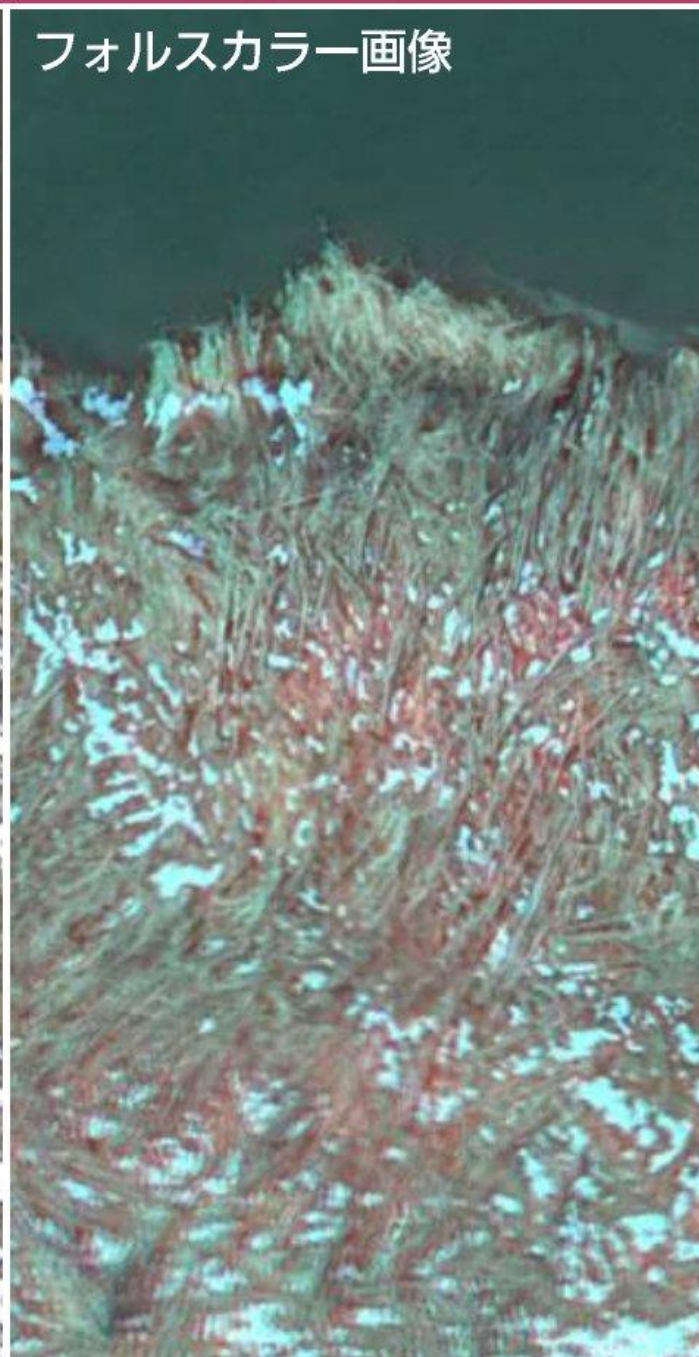
解像度 3cm ; 範囲 0.06km²

取得例 3

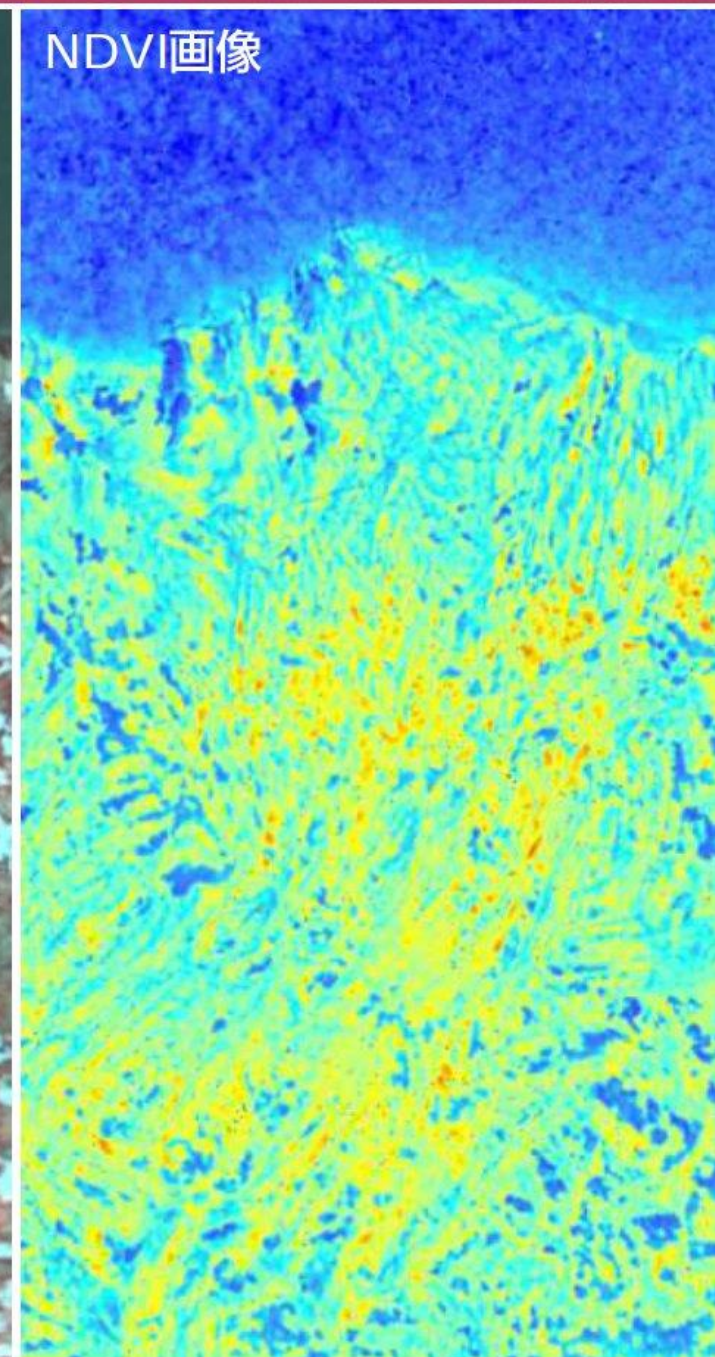
可視画像



フォルスカラー画像



NDVI画像



解像度 3 cm

0 2.5 5 m

土地利用現況調査、土地被覆・植生変化、を市販の空中写真に頼らず、自前で地図化可能



2007年6月16日撮影（国土地理院）



UAV撮影 + 国土地理院
(2014年2月13日) (2007年6月16日)

近赤外カメラ(YubaFlex)による水稻生育モニタリング



(株)BIZWORK製YubaFlex(近赤外カメラ)を
UAVに搭載し、遠隔でシャッター操作

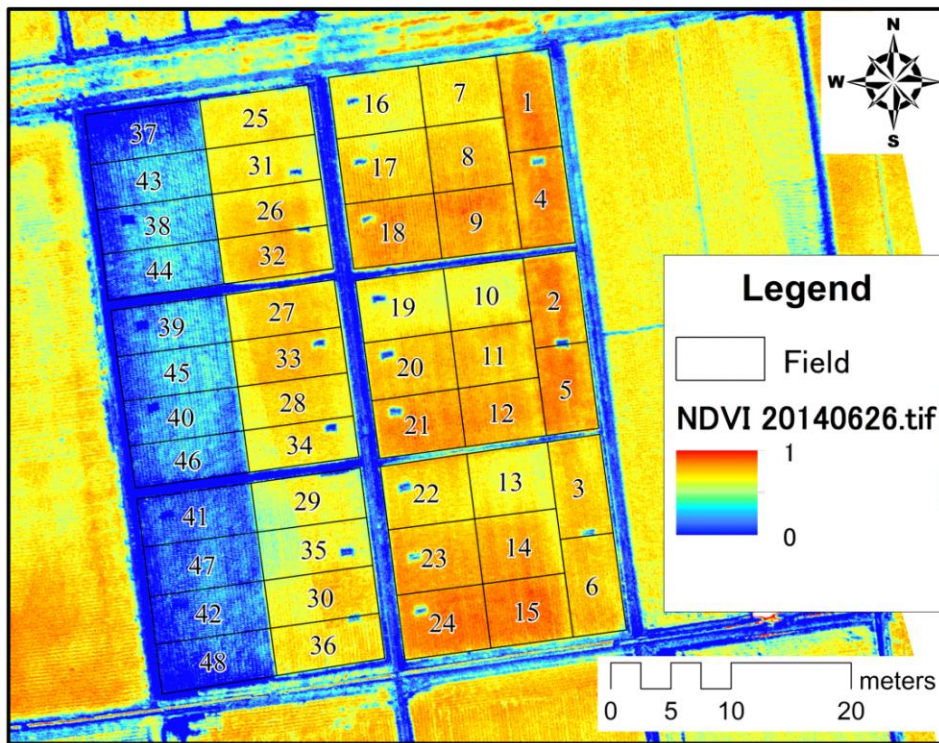
高コストのシステムと比較し
た時のパフォーマンスは



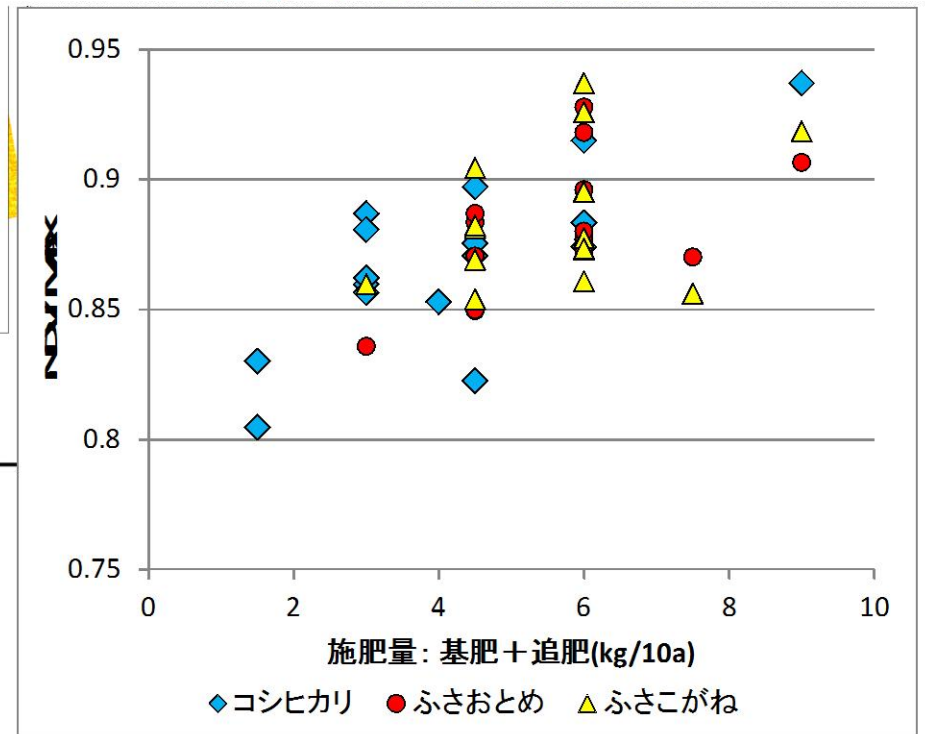
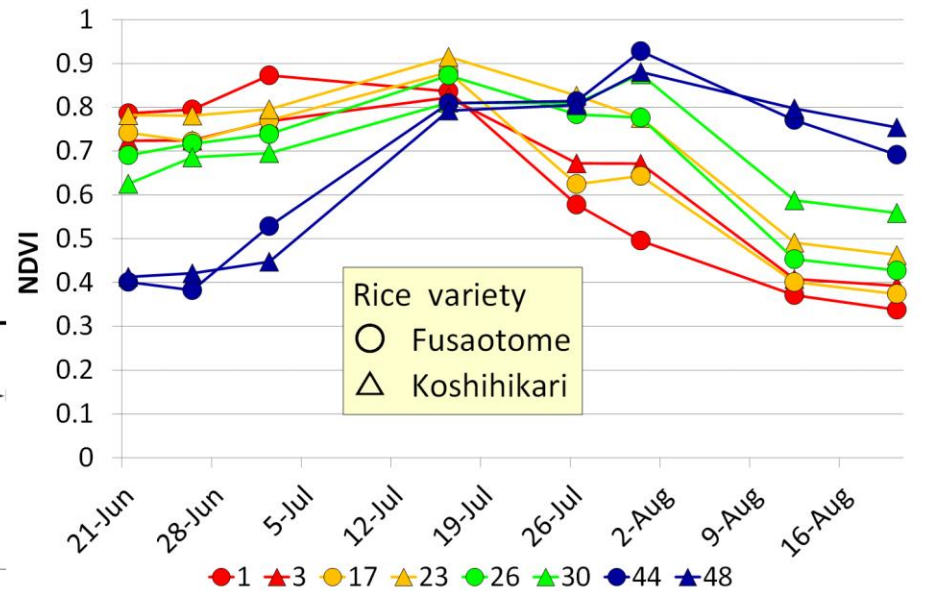
NDVI(Normalized Diference Vegetation Index)計測

現場到着から撮影終了まで30分以内で作業完了

NDVI (植生指数)



NDVIとは、緑の植生は赤の光を吸収、近赤外の光を反射させることに基づき、 $(NIR - R) / (NIR + R)$ で計算できる指数。ここで、NIRとRは、それぞれ近赤外と赤の反射率



気温観測（三次元分布）



- 方法

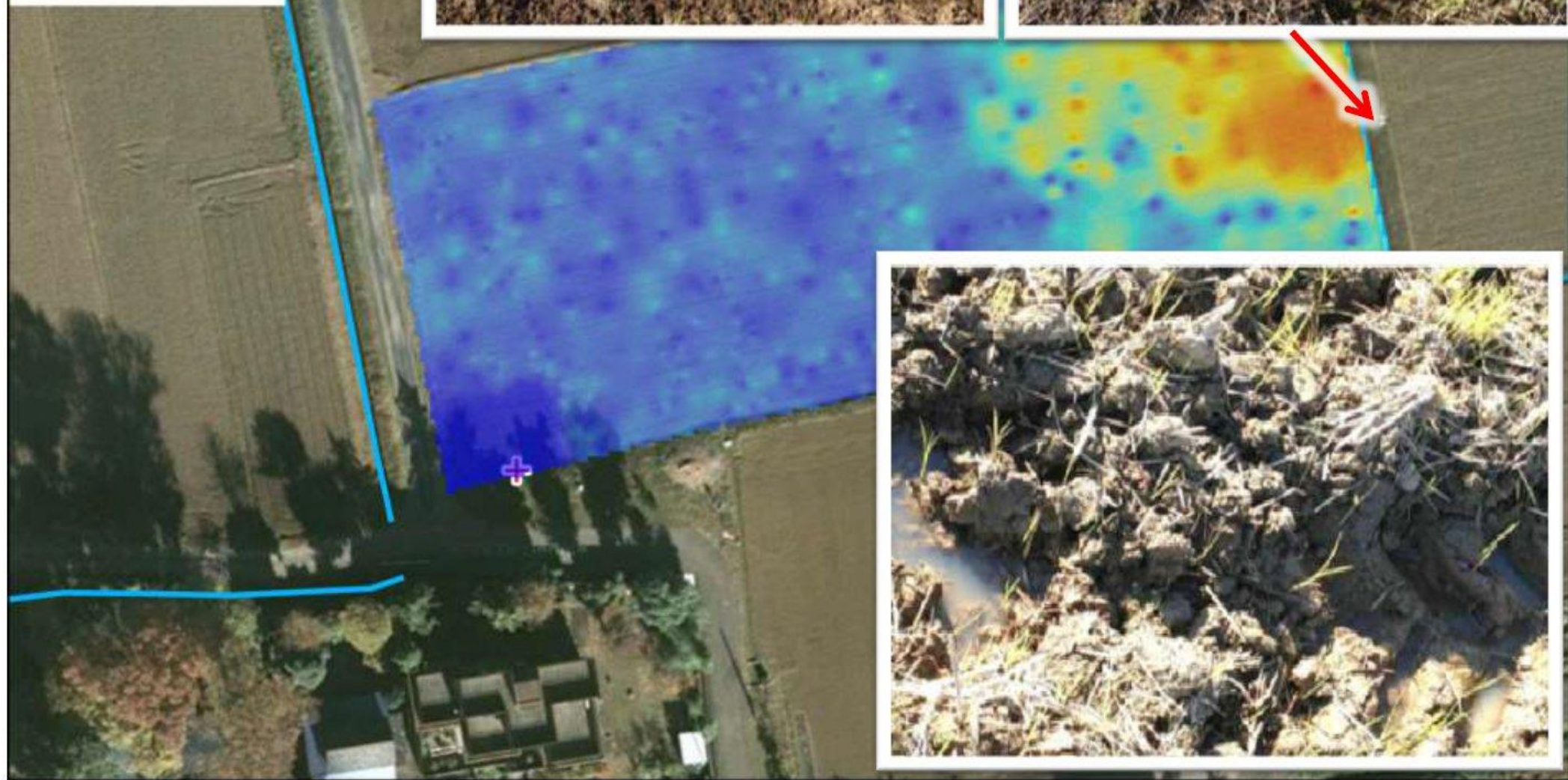
- 1) 温度データロガーおよびGPSの記録時間を1秒で設定
 - 2) 記録時間で両者を同期
- 位置情報と気温のリンク

フライト：30分
解析：約2時間

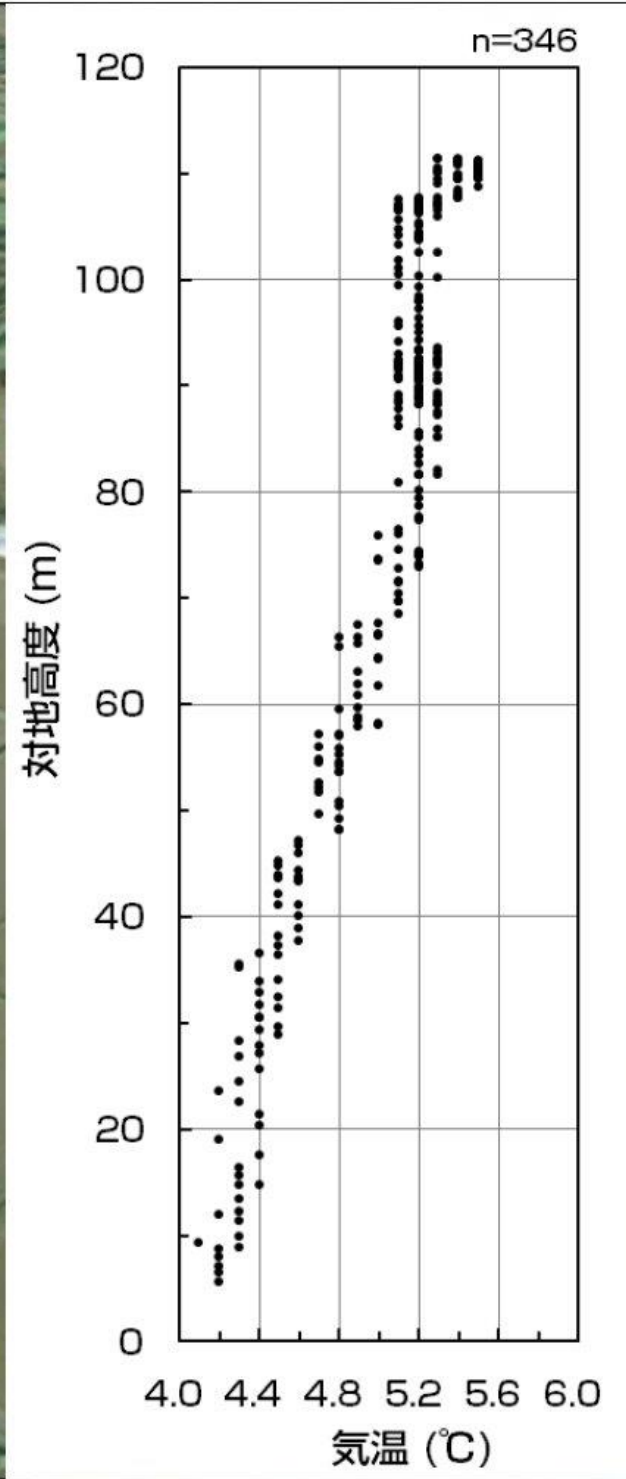
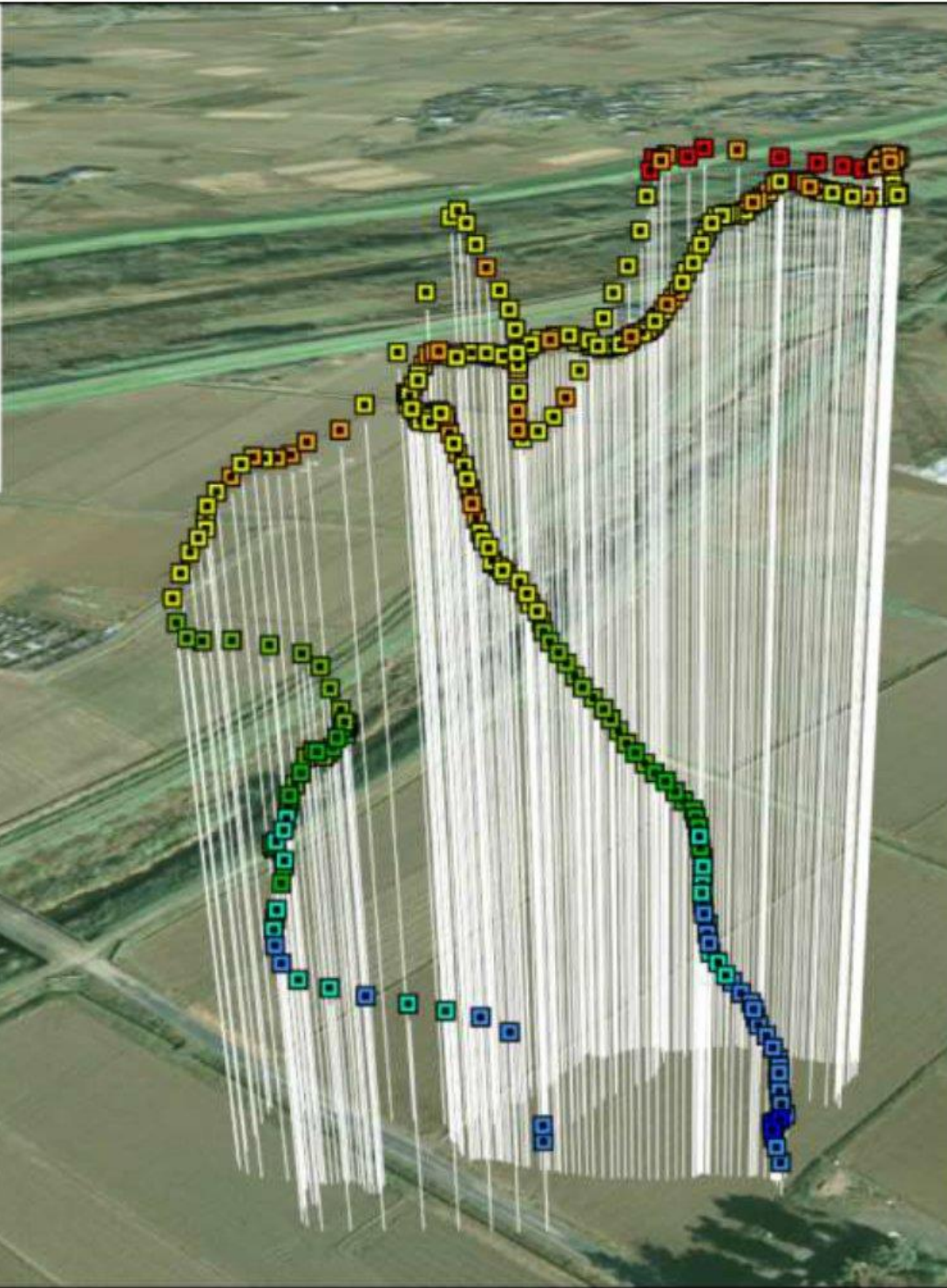
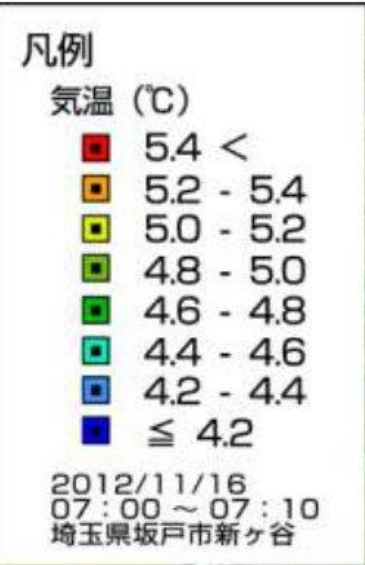


取得例 4

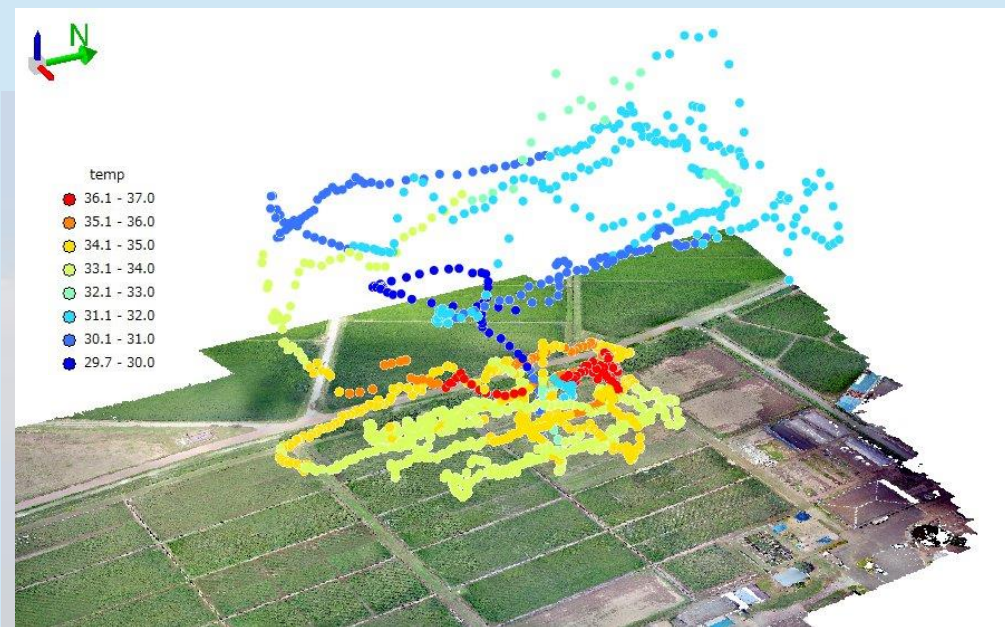
凡例
気温 (°C)
4.7
4.0
2012/11/16
06:40 ~ 07:00
埼玉県坂戸市新ヶ谷



取得例 4



温湿度計測



PHANTOM1に温湿度ロガー、
GPSを搭載し、飛行

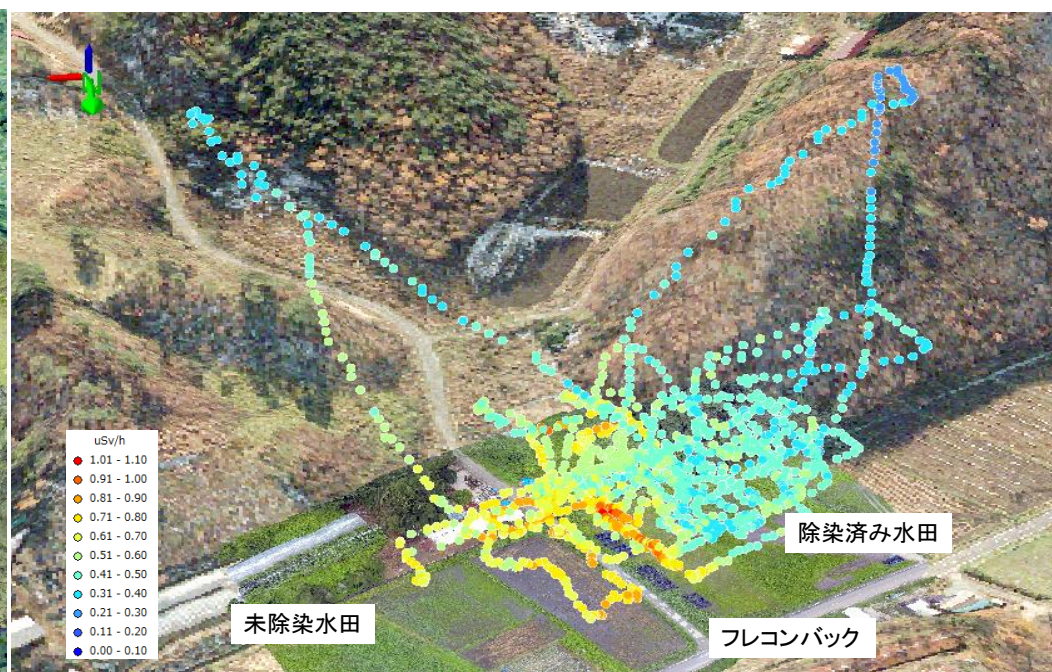
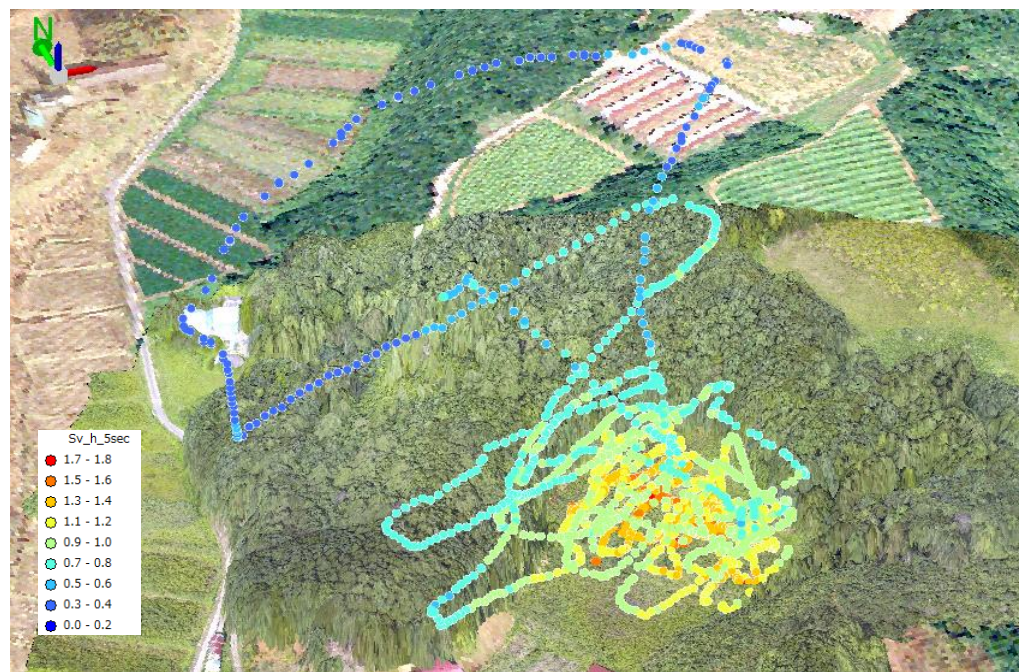


ラジコン電動マルチコプターに計測システムを搭載し、緯度・経度・高度（気圧・気温）・空間線量率を計測しながら飛行



- 計測したデータはXBeeで地上にダウンロード
- 軽量化によりPHANTOM2に搭載可能
- その後、オートパイロットシステムに搭載し、規則性のある飛行
- SfMによるオルソ画像に重ねた空間線量率マップを提供

広野町で計測



**カメラ、センサーを空中に持ち上げることで
できる電動マルチコプターの高機能化、
低価格により様々な計測が可能となった**

**SfM技術に基づくアプリケーションの登場により、
航空測量分野に革命が起きつつある**

この大切な技術を大事に育てていきたい

**そのためにも、運用のルールを守り、絶対に
事故は起こさない心構えが必要**

