



2016.2.22 第41回リモートセンシングシンポジウム

UAVリモートセンシングの現状と可能性

いつでも、どこでもリモートセンシング

近藤 昭彦(千葉大学環境RS研究センター)

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



● 衛星リモートセンシング

- ・必要な時に飛んでこない
- ・画像が高い、粗い
- ・検証実験参加は面倒

データあいき研究
研究のための研究？

● UAV利用の可能性を拓いたもの

- ・低価格で、高機能的な機体の登場
- ・高画質コンデジ、小型画像センサーの登場
- ・SfM-MVS (Structure from Motion) 技術
- ・その他、センサー技術の進歩



未来可能性
がいそう！

● UAVリモートセンシングへの道

- ・測量 オルソ空中写真・DSM作成、変化抽出
- ・計測 UAVによる近接リモートセンシング



恐竜足跡化石 (富山県)



視点を空へ！ アイデアの創出

画像＋地理学的知識

法面調査

- ・可視画像による診断
- ・熱赤外画像⇒空洞調査
- ・表面形状⇒SfMの応用
- ・その他

〔C〕田中圭

どんな機体があるか 自律飛行可能マルチコプター

DJI系



PHANTOM 2 Vision+
162,000円



INSPIRE 1
390,000円



S1000 + A2 + DATALINK
600,000円

3DR APM(Pixhawk)系



Quantum NOVA
32,000円



3DR IRIS+
130,000円



Zion EX700
400,000円

近藤研が運用している機体 DJI系、3DR系、MS系



ミニサーベイヤーMS-6L
ハイパースペクトルカメラ搭載



JABO H602
熱赤外カメラ搭載



Zion Pro800
飛行中



DJI PHANTOM2
空間線量率測定中



Zion QC630
着陸体勢



ミニサーベイヤー
低空で計測中



HSFを軽量化
JABO H601に搭載



Zion/EX 一式
オートパイロットで空撮



ZION/EX飛行中
高度80mでタイムラプス撮影

国産マルチコプター ミニサーベイヤー MS-6L



APM (Pixhawk) 系マルチコプターは自作可能

ArduPilot Mega

DIY的な要素が強いー低コスト化可能



機体

組み合わせ
自在



モーター
プロペラ等



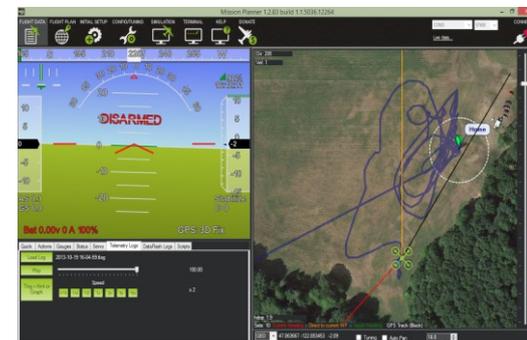
APM



Pixhawk

フライト
コントローラ (FC)

MPによる設定
離陸後はオート
パイロット可能



MissionPlanner
オープンソフトウェア

機体状況の確認
飛行ルートの設定
機体の調整 (ソフト)
システムのバージョンアップ
ログデータの取得

UAVを使って取り組んでいる課題

- | | |
|--------------|------------|
| ① オルソ空中写真の作成 | SfM-MVSの応用 |
| ② 作物の生育診断 | 水稲への応用 |
| ③ 外来生物の分布・動態 | ナガエツルノゲイトウ |
| ④ 地表面・水面温度 | 生育診断、環境計測 |
| ⑤ 空間線量率の分布 | 原子力災害への取組 |
| ⑥ その他 | |



① オルソ空中写真と、DSM (Digital Surface Model) の作成 —技術的には確立、様々な応用へ—



オーバーラップする鉛
直写真をインターバ
ル撮影で取得



SfM-MVS技術の活用－三次元モデルの作成

カメラの位置、視線方向を表す

The screenshot displays a 3D perspective view of a terrain model. The terrain is rendered with a blue sky and a white ground plane. A dense grid of black vertical lines represents the camera positions and their viewing directions. A blue arrow points to this grid. A red arrow points to a specific point on the terrain labeled 'GCP' (Ground Control Point). The terrain features a road, a field, and a forest. A coordinate system (X, Y, Z) is visible in the bottom right corner. The software interface includes a 'Cameras' panel on the left with a list of camera IDs (R0014...), a 'Markers' panel with a list of points and their longitudes, and a 'Photos' panel at the bottom showing a sequence of image thumbnails.

Markers	Longitude
Point1	140.324476
Point2	140.324639
Point3	140.325085
Point6	140.327323
Point7	140.326200
Point8	140.325582
point4	140.325386
point9	140.327878
point11	140.327289
point12	140.326699

faces: 22,378,987 vertices: 11,196,260

Photos

Photo ID
R0014715.JPG
R0014716.JPG
R0014717.JPG
R0014719.JPG
R0014720.JPG
R0014721.JPG
R0014722.JPG
R0014723.JPG
R0014725.JPG
R0014726.JPG
R0014730.JPG

UAV測量で作成した谷津の三次元モデル

のどから手が出るほど
欲しかった、あの
オルソ空中写真が！



構造物

いろいろなアイデアが浮かぶはず！



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



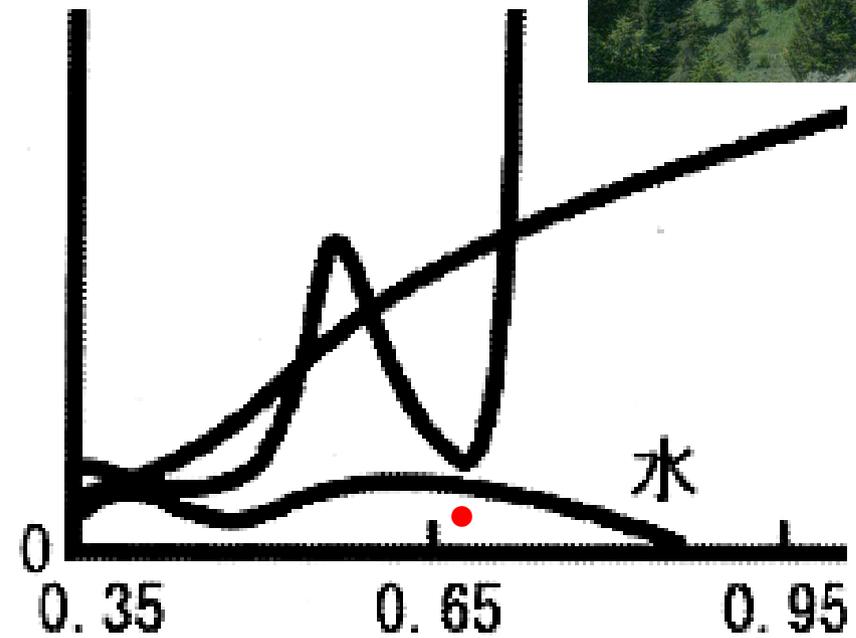
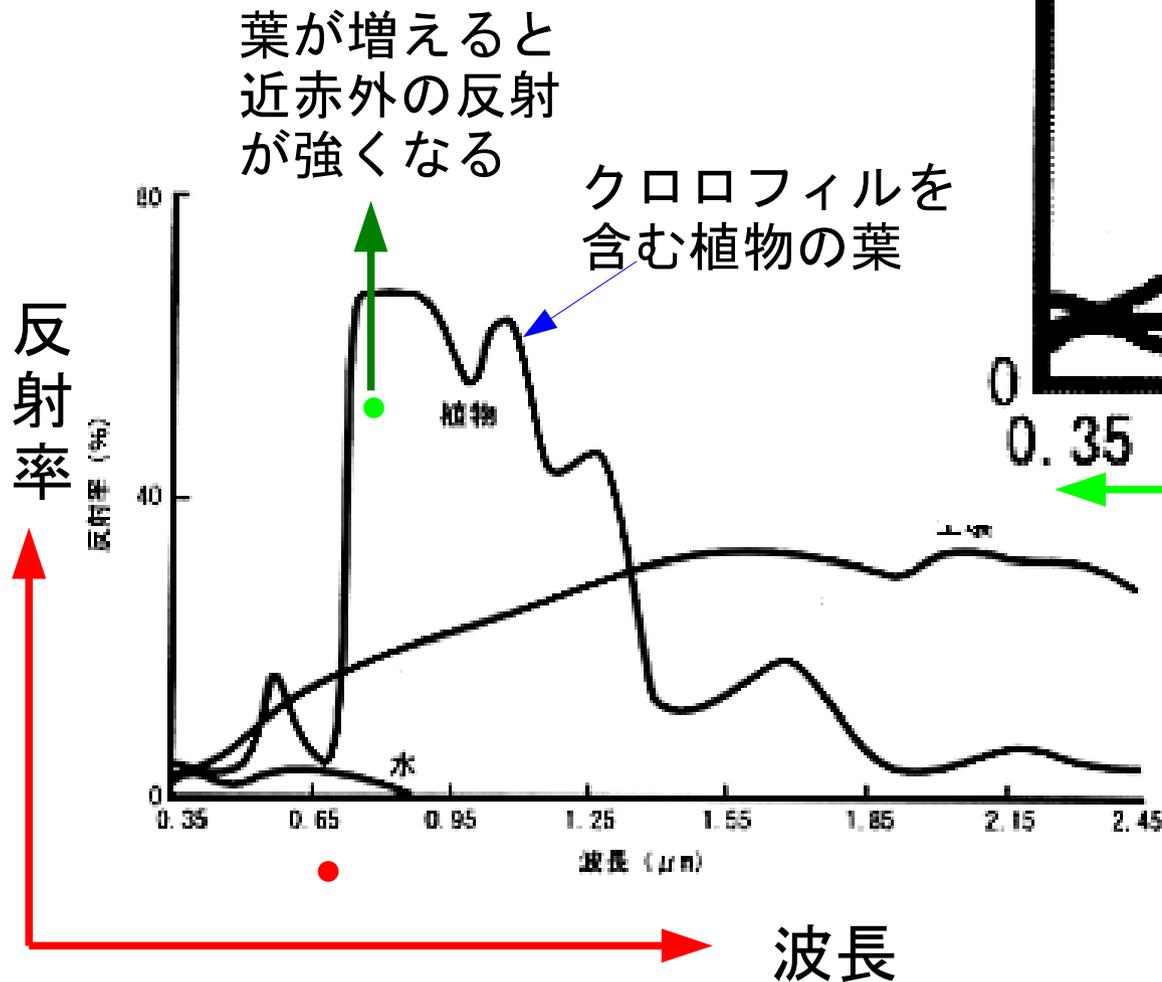
(C)田中圭

リモートセンシングによる植生・作物観測 —原理—

緑の葉は赤の光を吸収し、近赤外の光は反射

赤と近赤外の画像から植生のシグナル抽出

●赤の光を吸収、●近赤外の光を反射



葉っぱがいっぱいついているほど近赤外の反射が大きい

正規化差植生指標を定義

正規化差植生指標 **NDVI**

Normalized Difference Vegetation Index

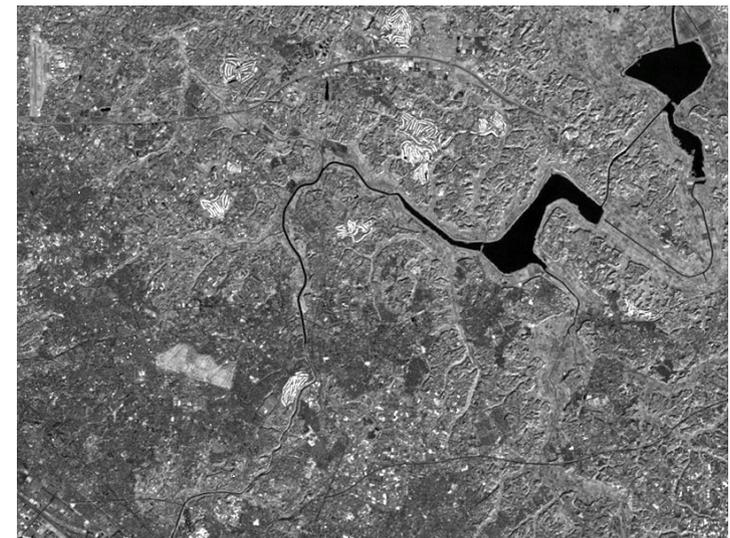
$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

ここで、NIRは近赤外バンドの反射率あるいはDN(Digital Number)、Rは赤バンドの反射率あるいはDN(Digital Number)。



● 左は赤の画像、右は近赤外の画像

● 植生域はどうなっているかな



(2001年11月27日のETM+画像)

近赤外カメラは、市販製品あり、自作も可能



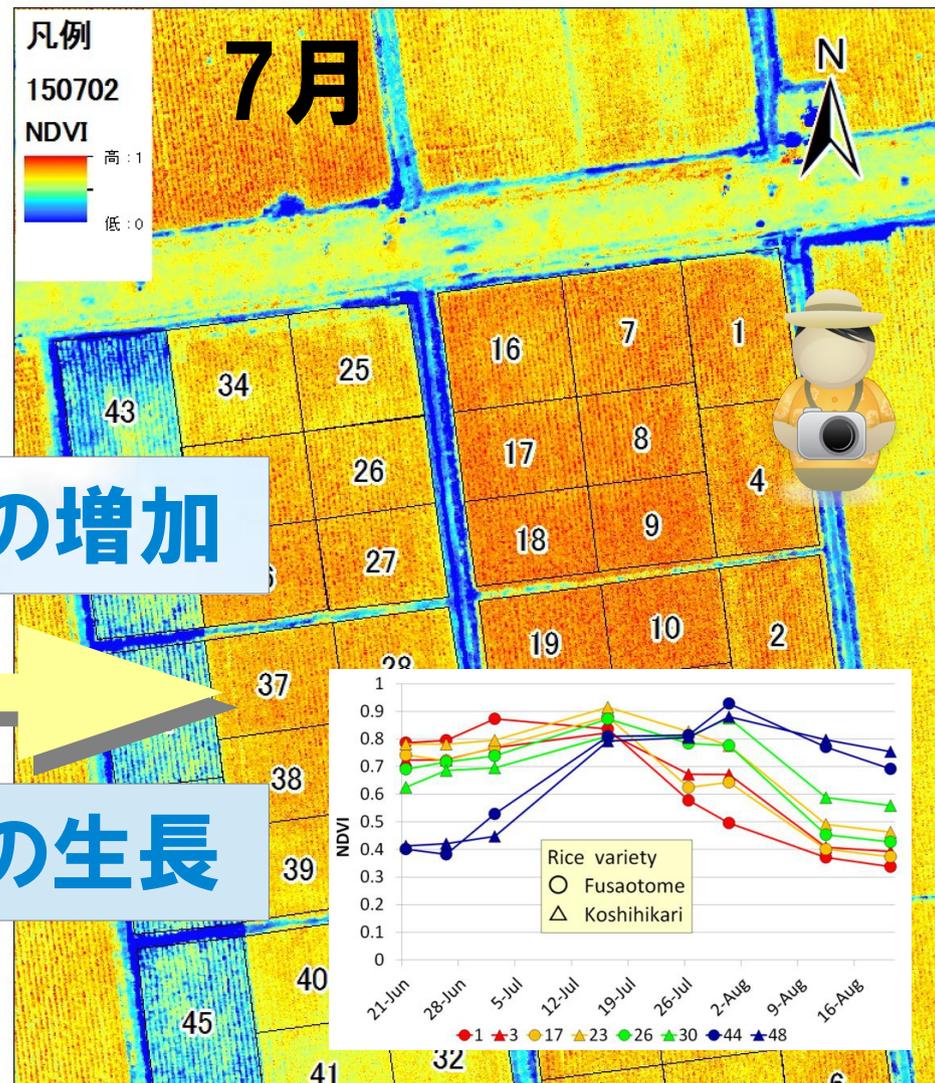
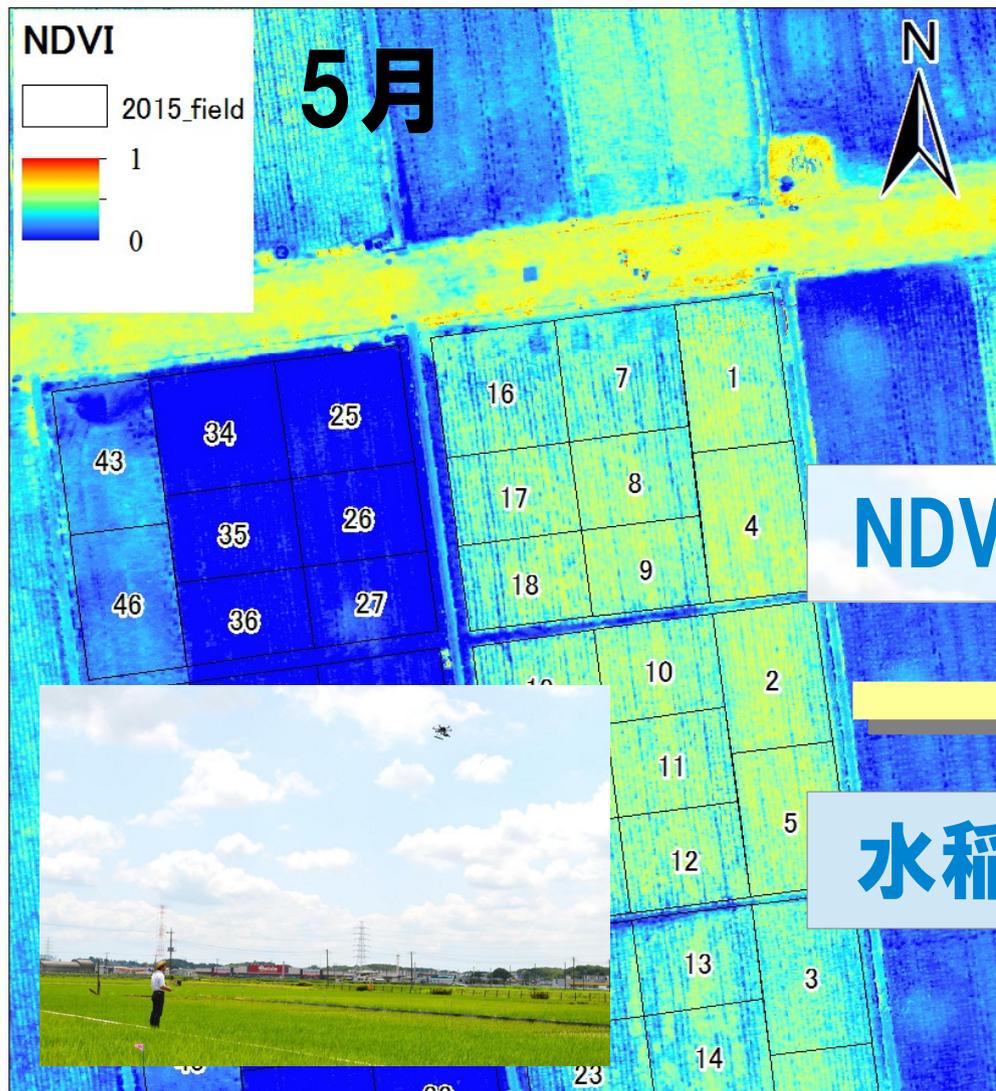
2001年11月27日のNDVI画像

植生域は明るく、都市域は暗く表現



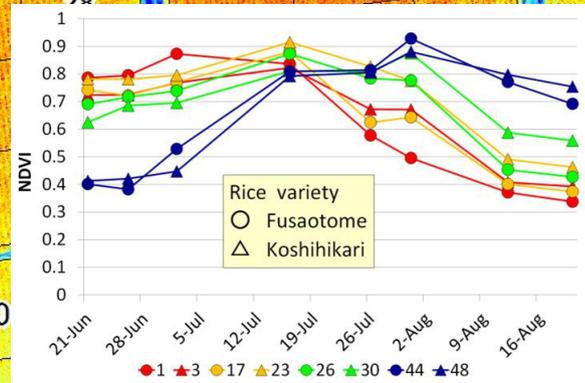
② 水稲生育モニタリング —近赤外カメラによる空撮—

- ・可視・近赤外リモートセンシング
- ・SfMによる草丈計測



NDVIの増加

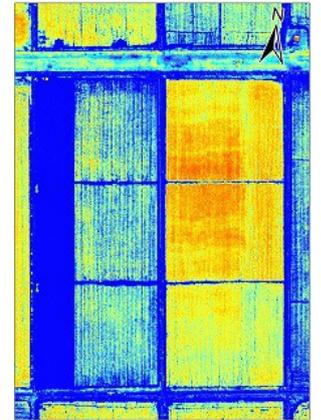
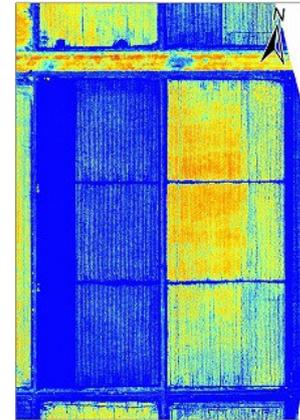
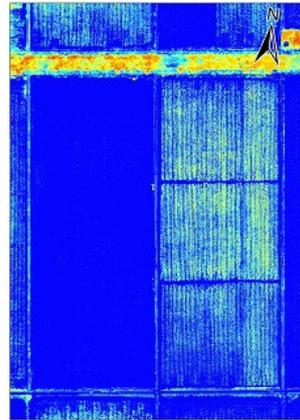
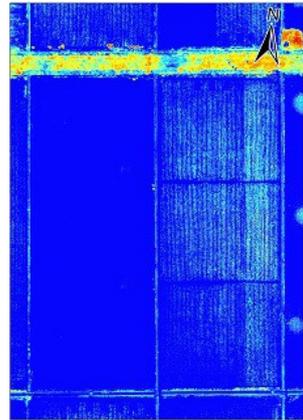
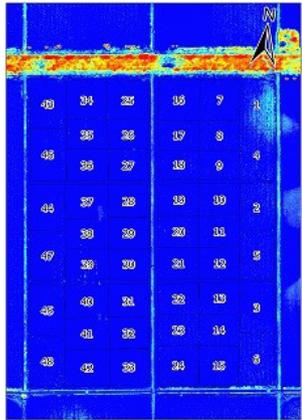
水稲の生長



近赤外カメラによる水稲の生育期間における植生指標 (NDVI) の経時変化から、生育状況、施肥管理、食味、等に関する様々な情報が取得できる
—UAVはいつでも計測可能—

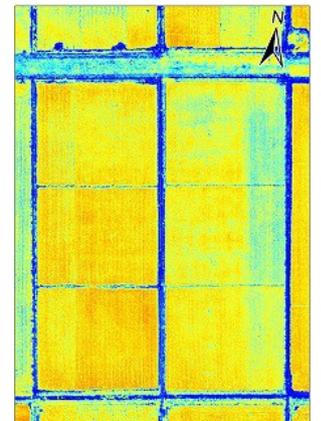
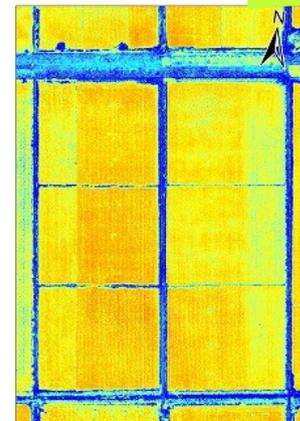
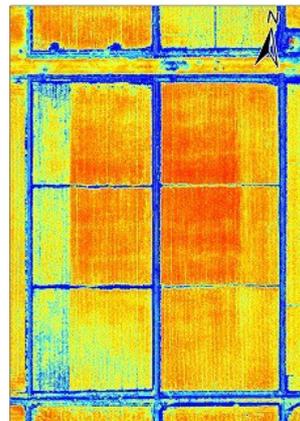
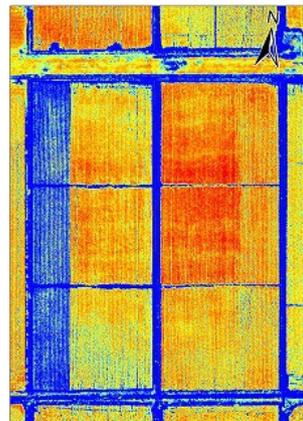
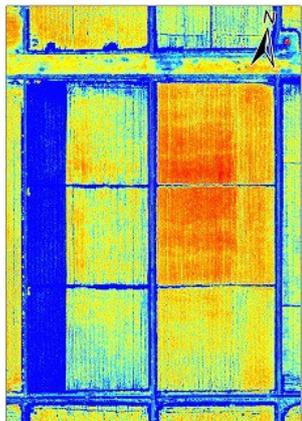
田植え

6月中旬



6月下旬

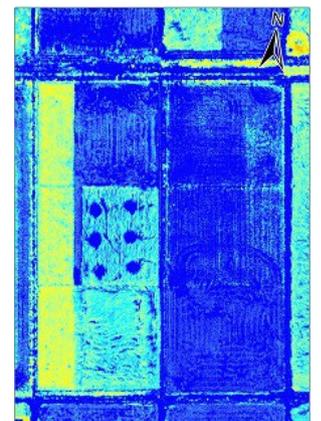
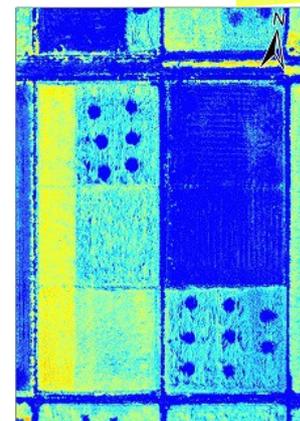
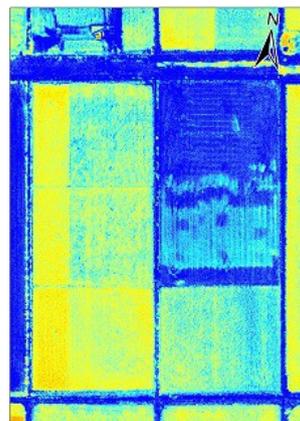
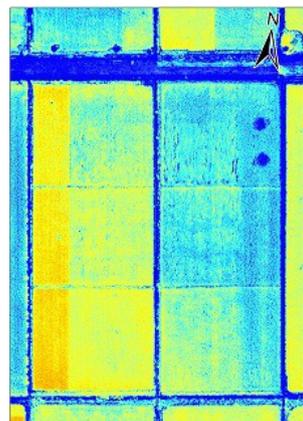
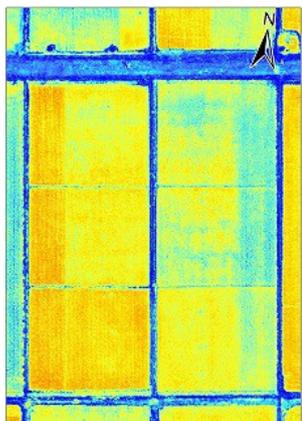
7月下旬



8月初旬

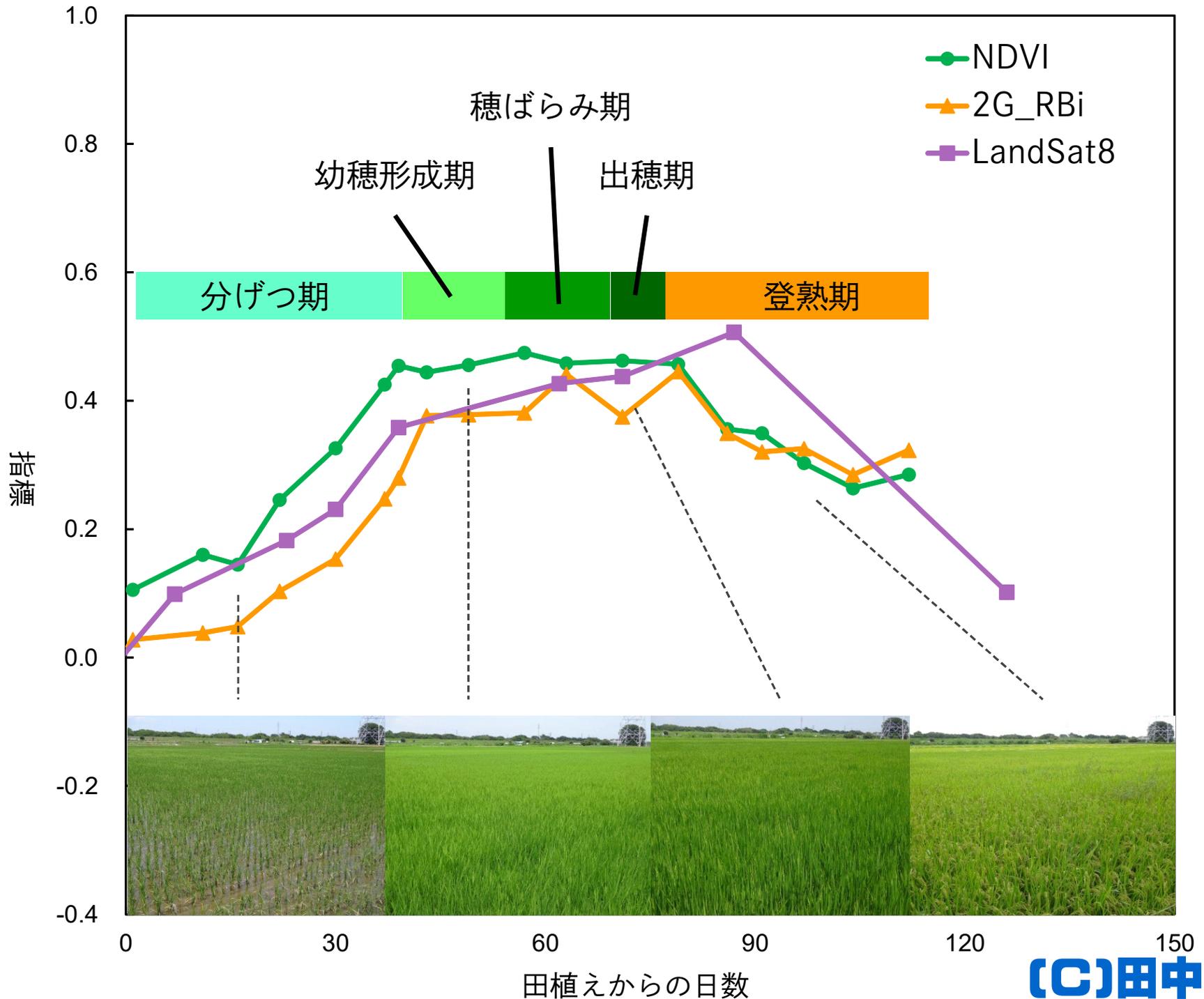
収穫開始

9月初旬



NDVIの季節変化

植生、作物の生育に関する情報



何がわかるか

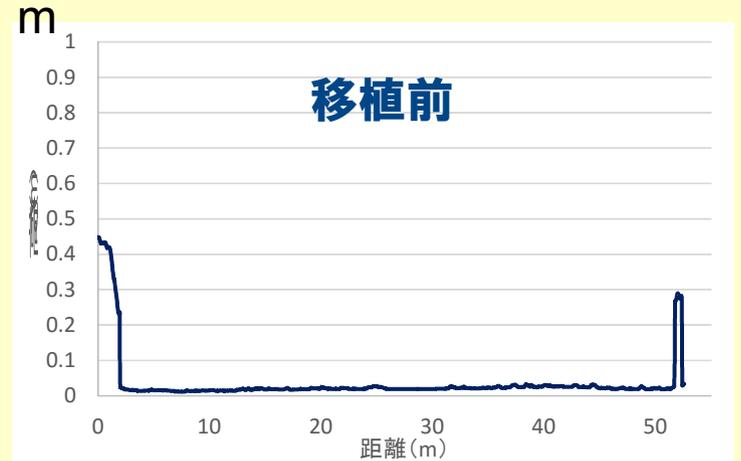
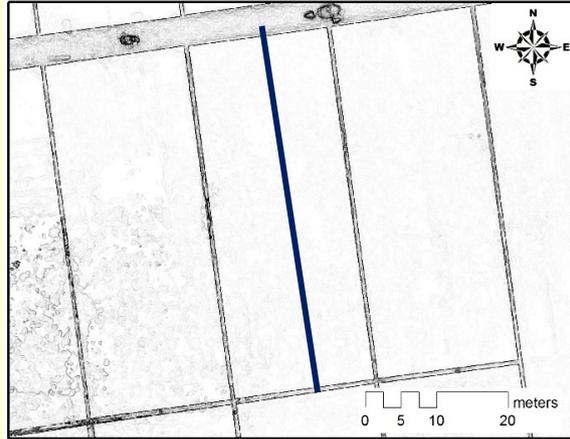


- 代掻き水平精度の確認 SfM-MVSの応用
- 生育むら NDVI利用
- 追肥時期の決定 NDVIフェノロジーの応用
- たんぱく質含有量の推定 NDVI利用
- 収量予測 NDVI利用
- 倒伏予測

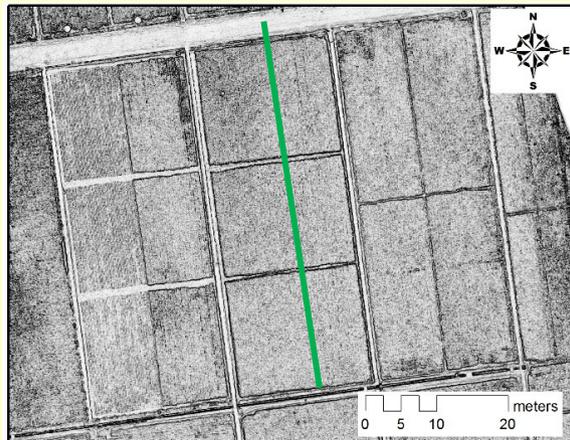
DSMの変化⇒稲の群落高の変化

DSM

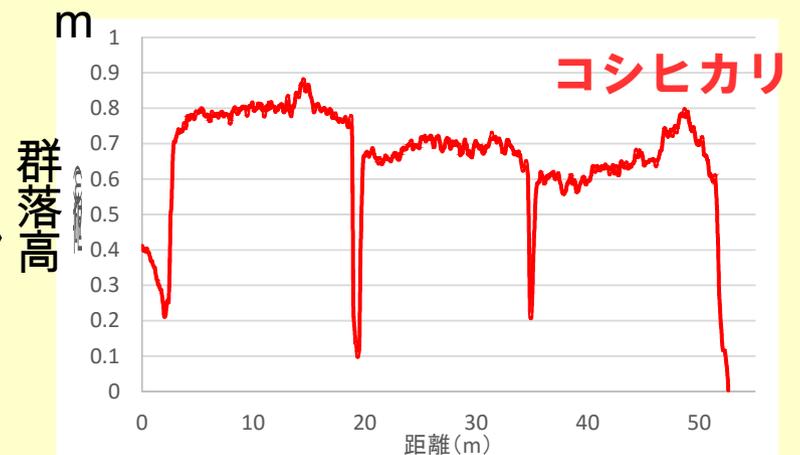
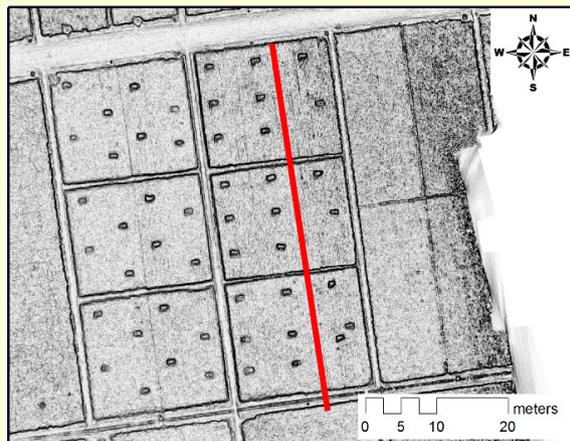
5/13



6/21

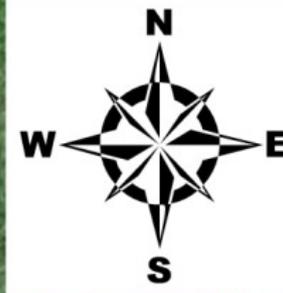


7/16



コシヒカリの倒伏予測

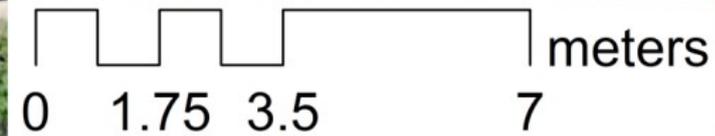
- 追肥時期の草丈84cm以上
- 幼穂形成期の草丈70cm以上



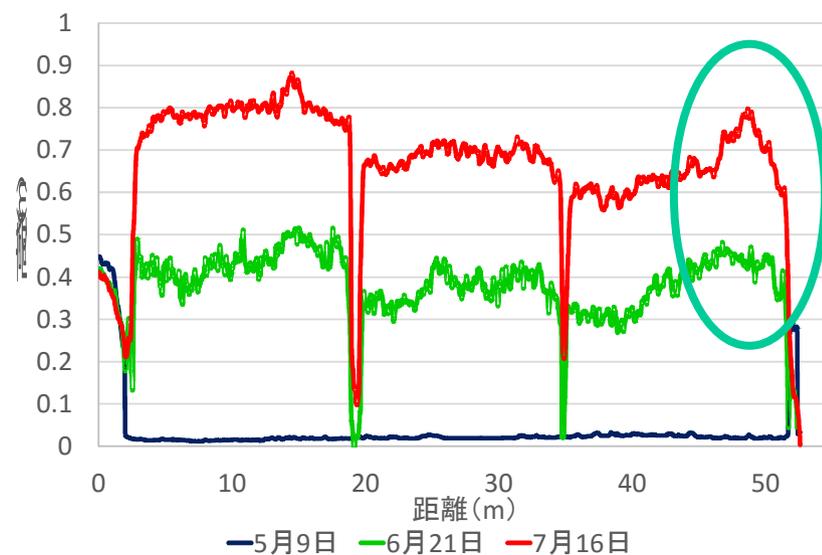
Legend

 Risk_area

20140702.tif



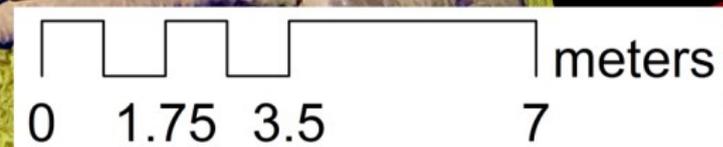
コシヒカリの倒伏予測



Legend

 Risk_area

20140820.tif



日本の稲作への応用

大規模圃場

直播⇒生育むらの把握
ピンポイント施肥管理

個別の農家

個別圃場ごとの対応
ブランド創成

③ 生態系モニタリング — 特定外来生物の分布、動態解析

外来水草 — ナガエツルノゲイトウ — の分布状況、 時間変化を空撮でモニタリング



問題点

洪水時の疎通障害
排水ポンプの機能不全
水田への侵出
在来生態系への影響

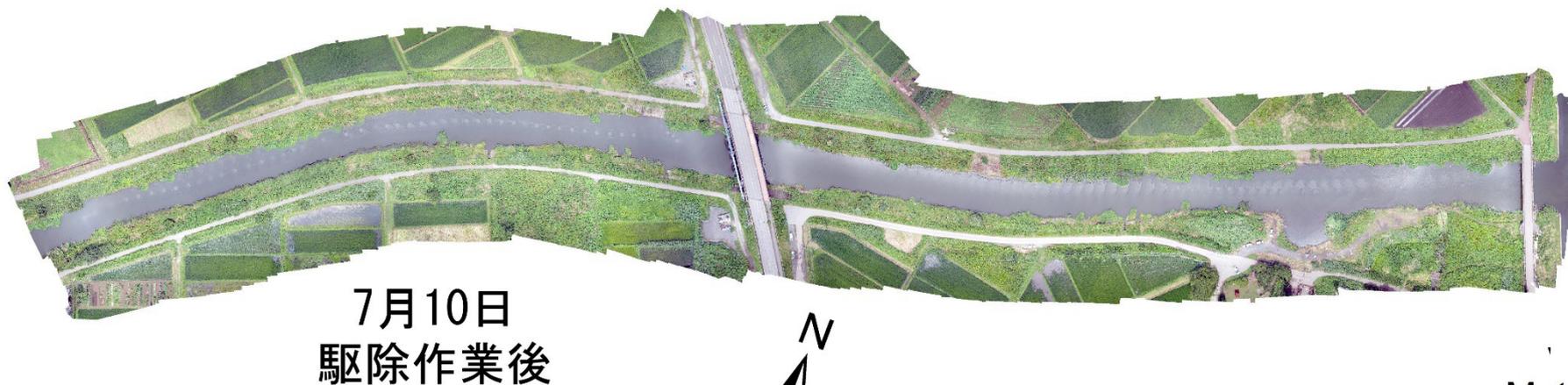
...

ナガエツルノゲイトウ



千葉県、印旛沼流域では治水、利水施設の運用や農業に大きな打撃

オートパイロットで50m高から河岸を撮影し、オルソ空中写真を作成



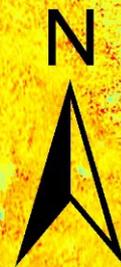
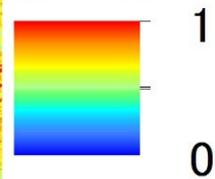
拡大写真

群落の面積と体積
変化が計測可能

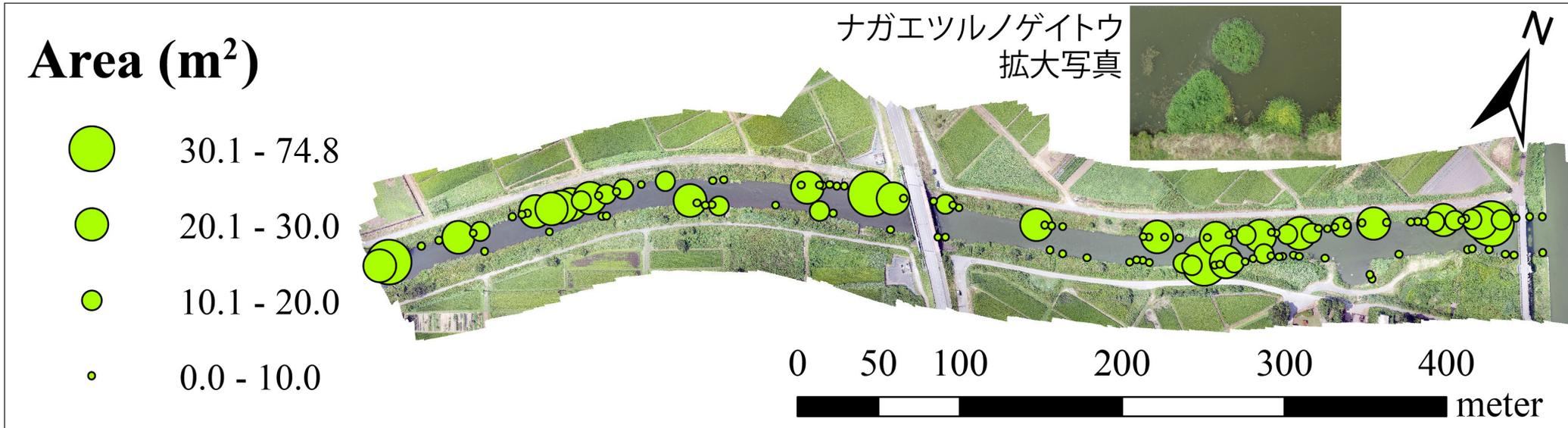
産官民学協働の駆除作戦を実施中
ヒシ、アオコ、クロロフィル、等へ応用

凡例

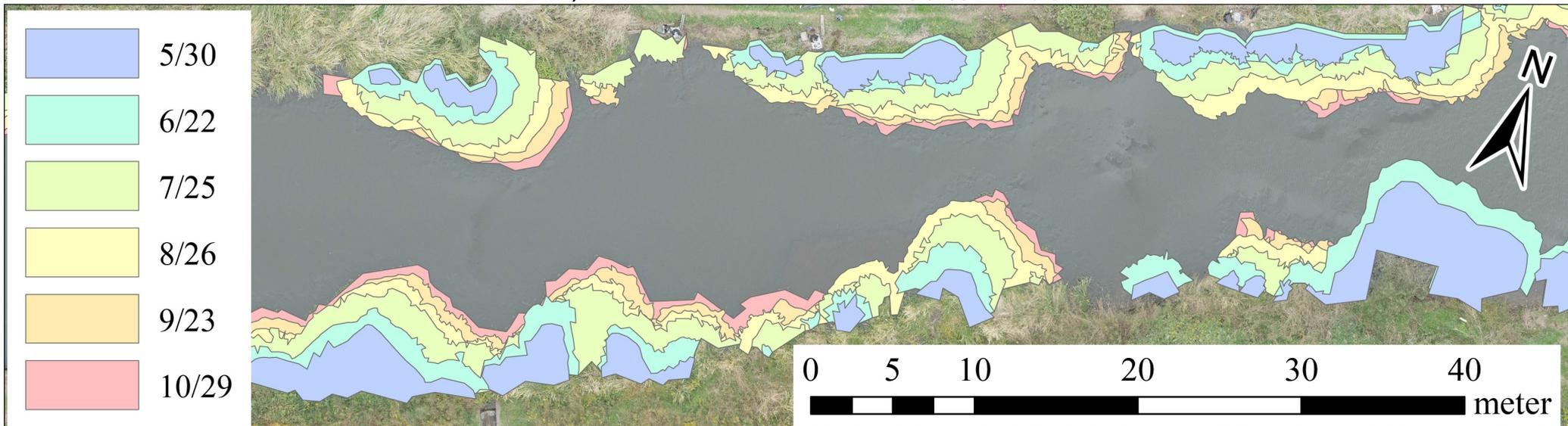
NDVI



繁茂面積の計測、経時変化、成長特性、...

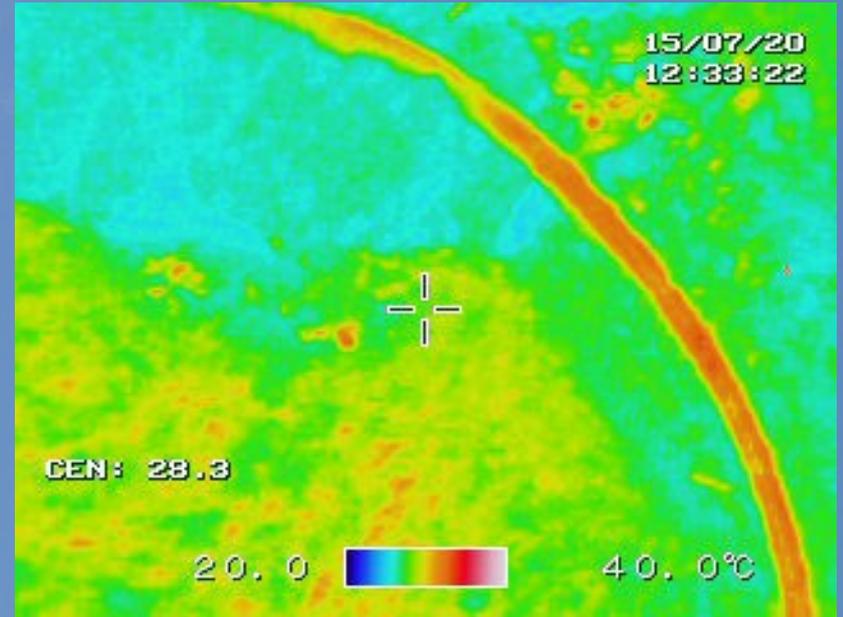


a) ナガエツルノゲイトウの群落の空間分布

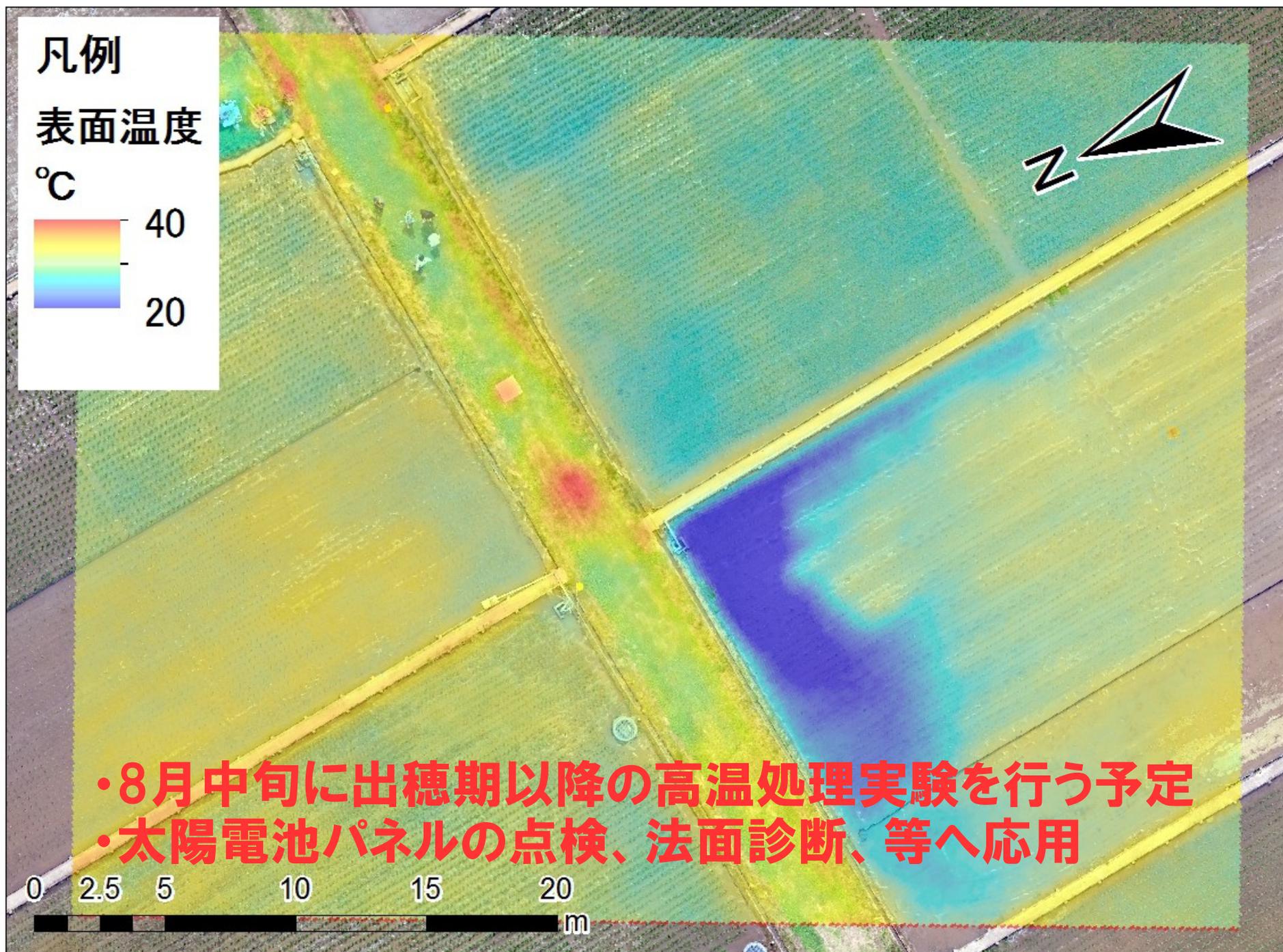


b) ナガエツルノゲイトウの群落の生長

④ UAVで地表面温度を測る



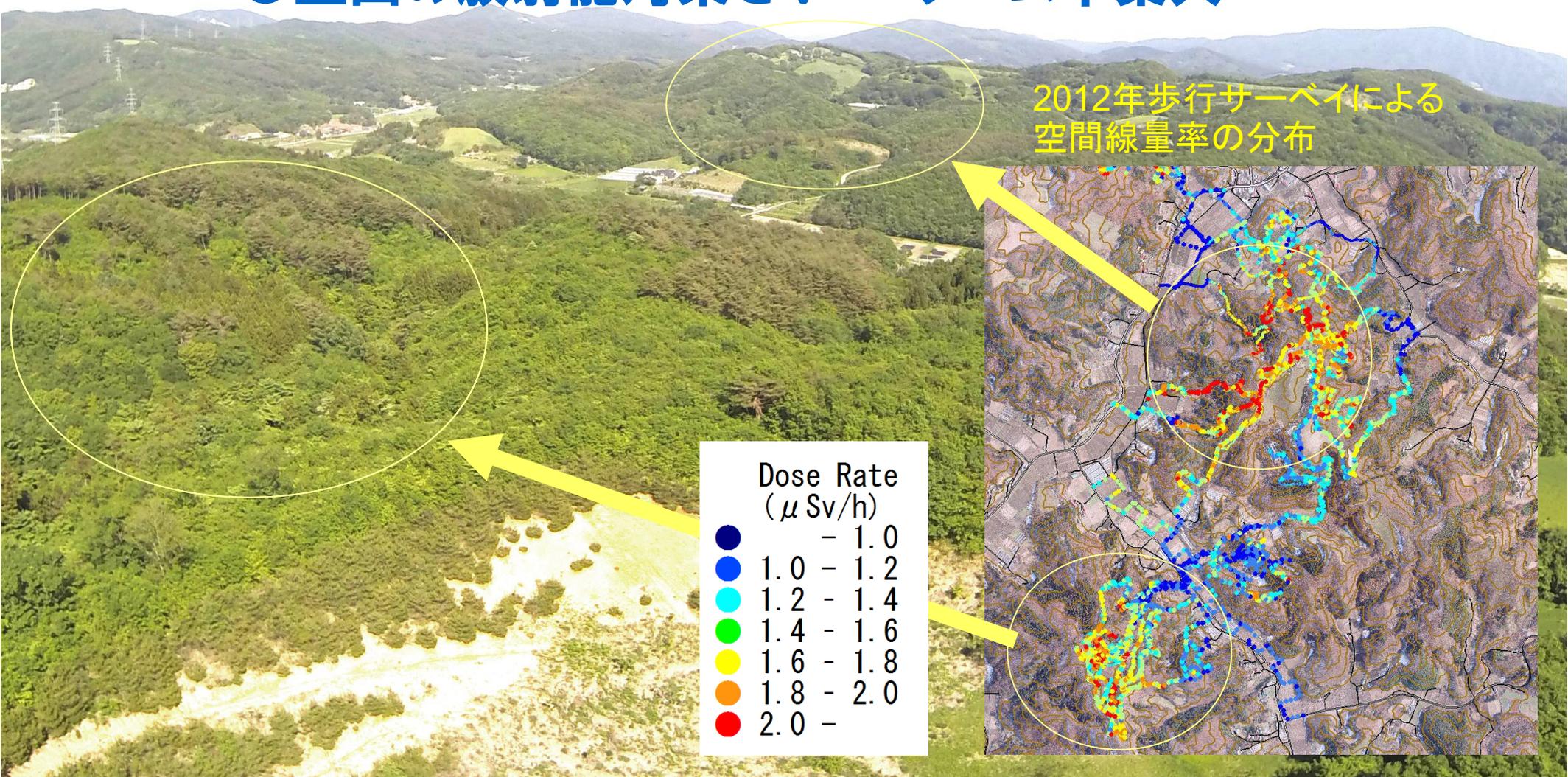
水田圃場の地表面温度分布



⑤ 空間線量率の計測 —原子力災害への取組—

●山村の暮らしは田畑、住居、里山を含む小流域における水・物質循環のもとで成り立っている

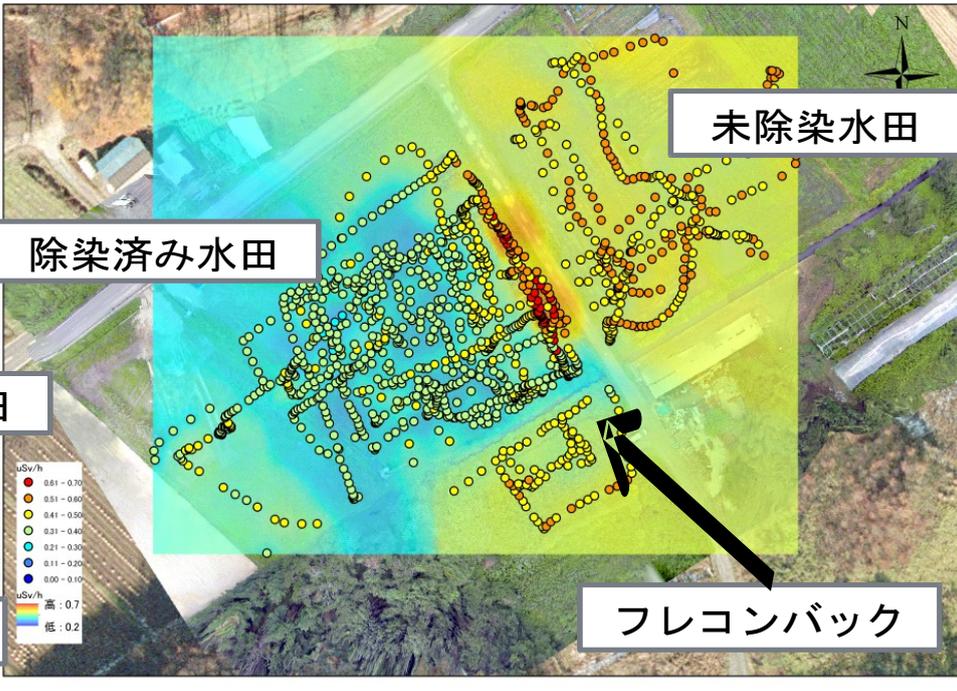
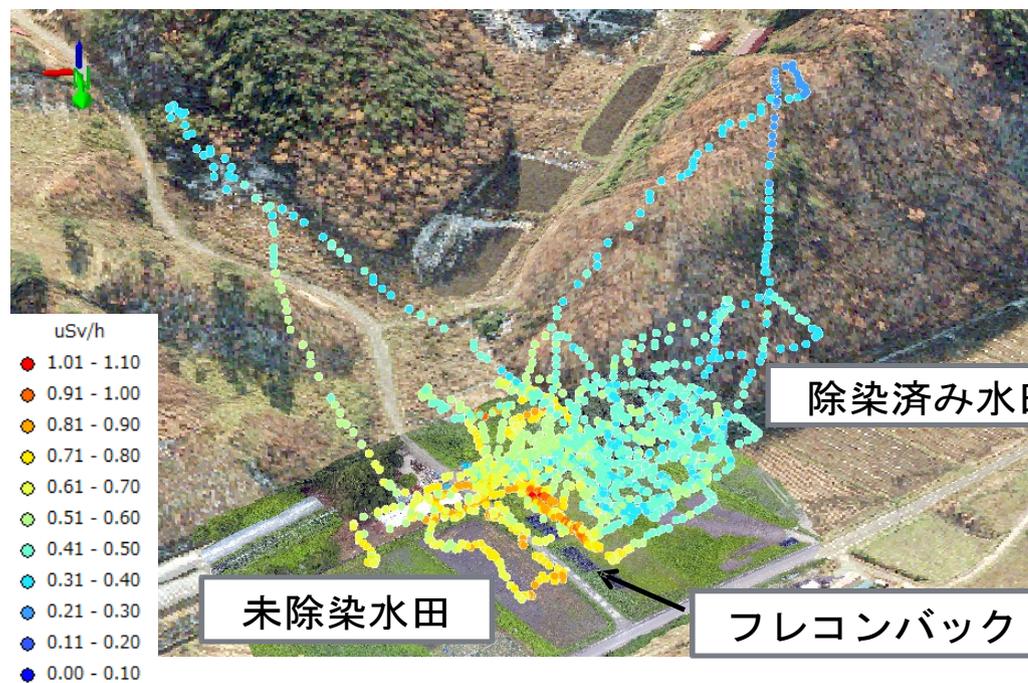
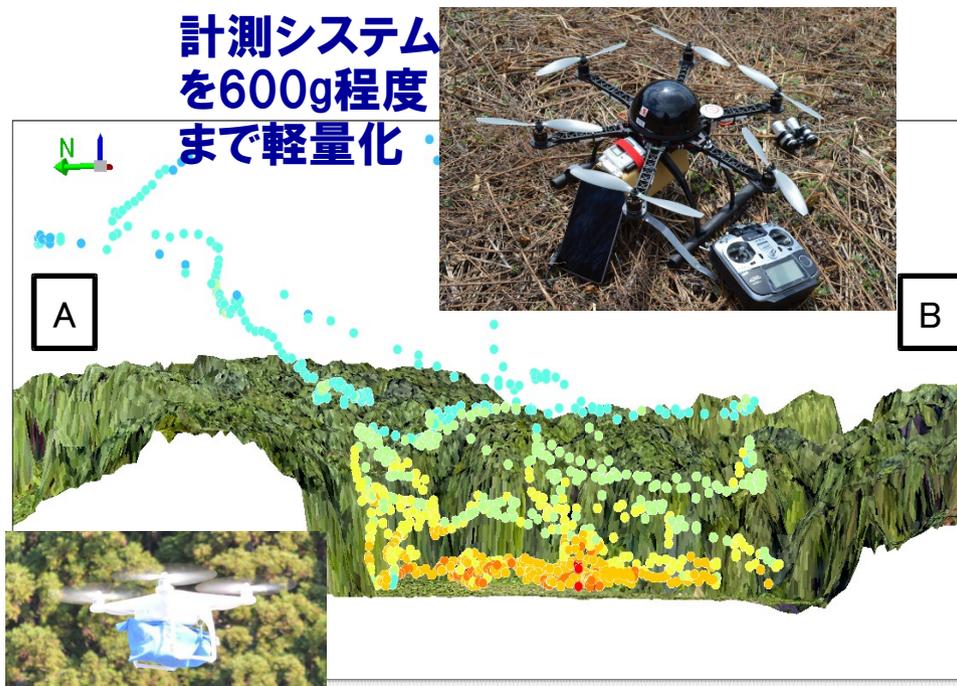
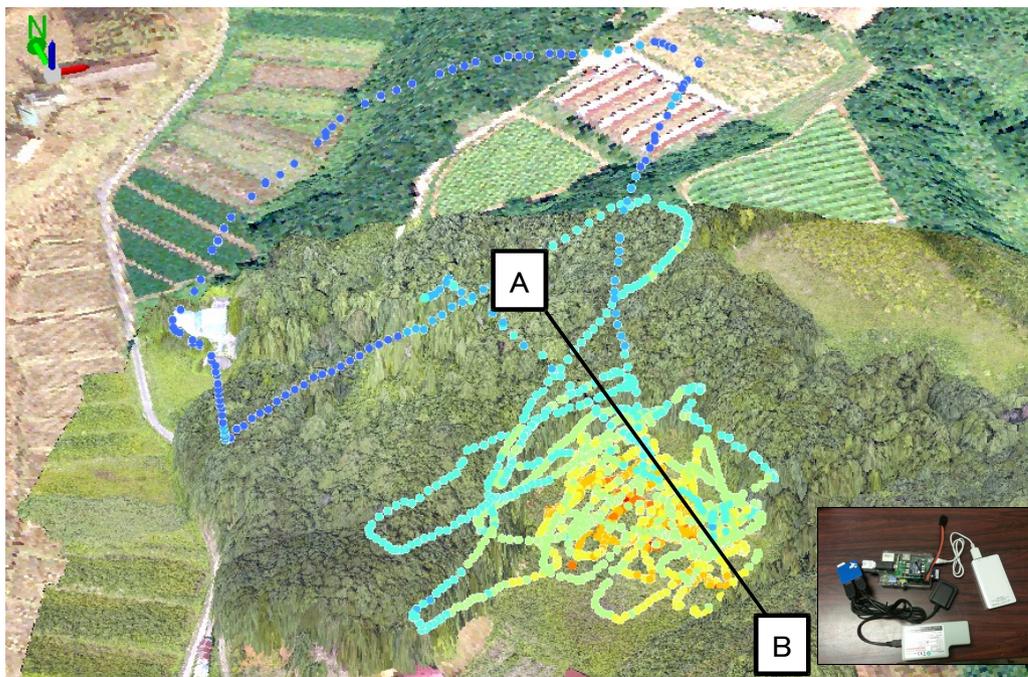
●里山の放射能対策を！ —チーム千葉大—



2012年歩行サーベイによる空間線量率の分布

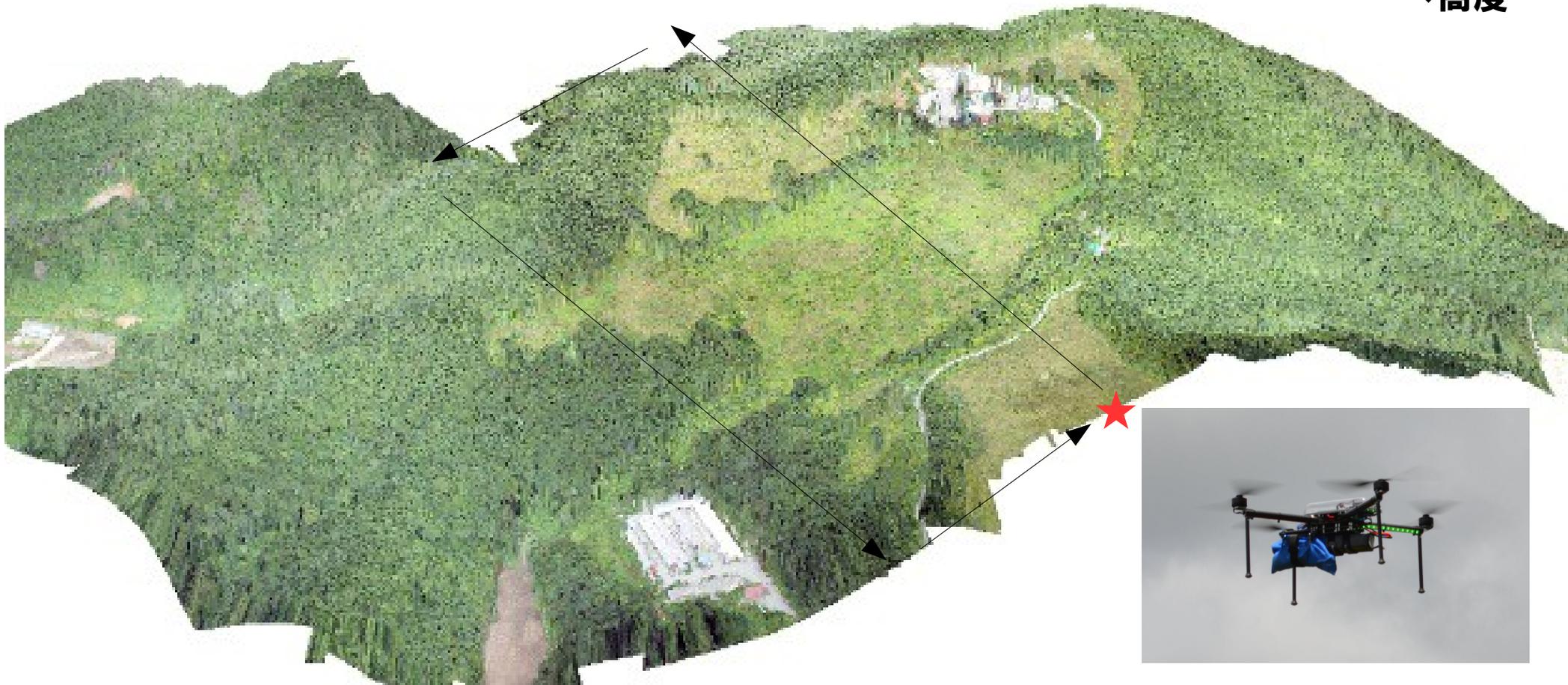
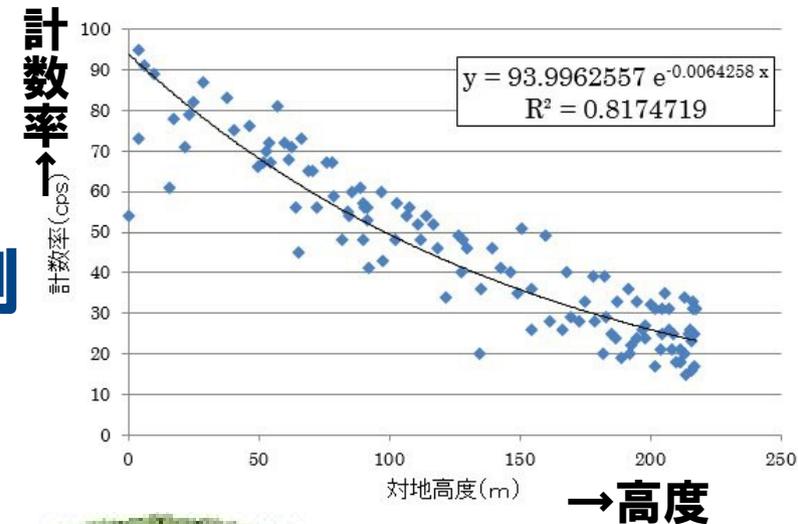
Dose Rate ($\mu\text{Sv/h}$)	
●	- 1.0
●	1.0 - 1.2
●	1.2 - 1.4
●	1.4 - 1.6
●	1.6 - 1.8
●	1.8 - 2.0
●	2.0 -

マニュアル飛行による空間線量率の三次元分布



山林域における空間線量率計測の手順の確立

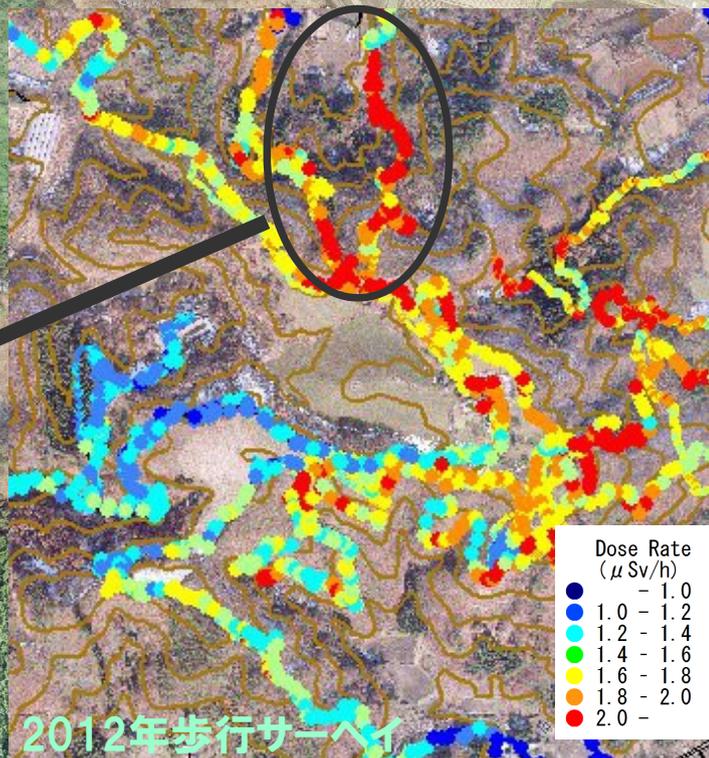
- ①DSMの作成—飛行高度設定
- ②飛行ルート設定-衝突防止
- ③空間線量率の鉛直分布の計測
- ④オートパイロットによる飛行・計測
- ⑤1m高空間線量率へ変換



N

1m高空間線量率分布

離発着地点より30m高で測定

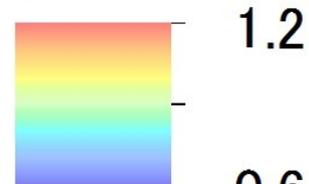


2012年歩行サーベイ

凡例

UAV 1m高換算

$\mu\text{Sv/h}$



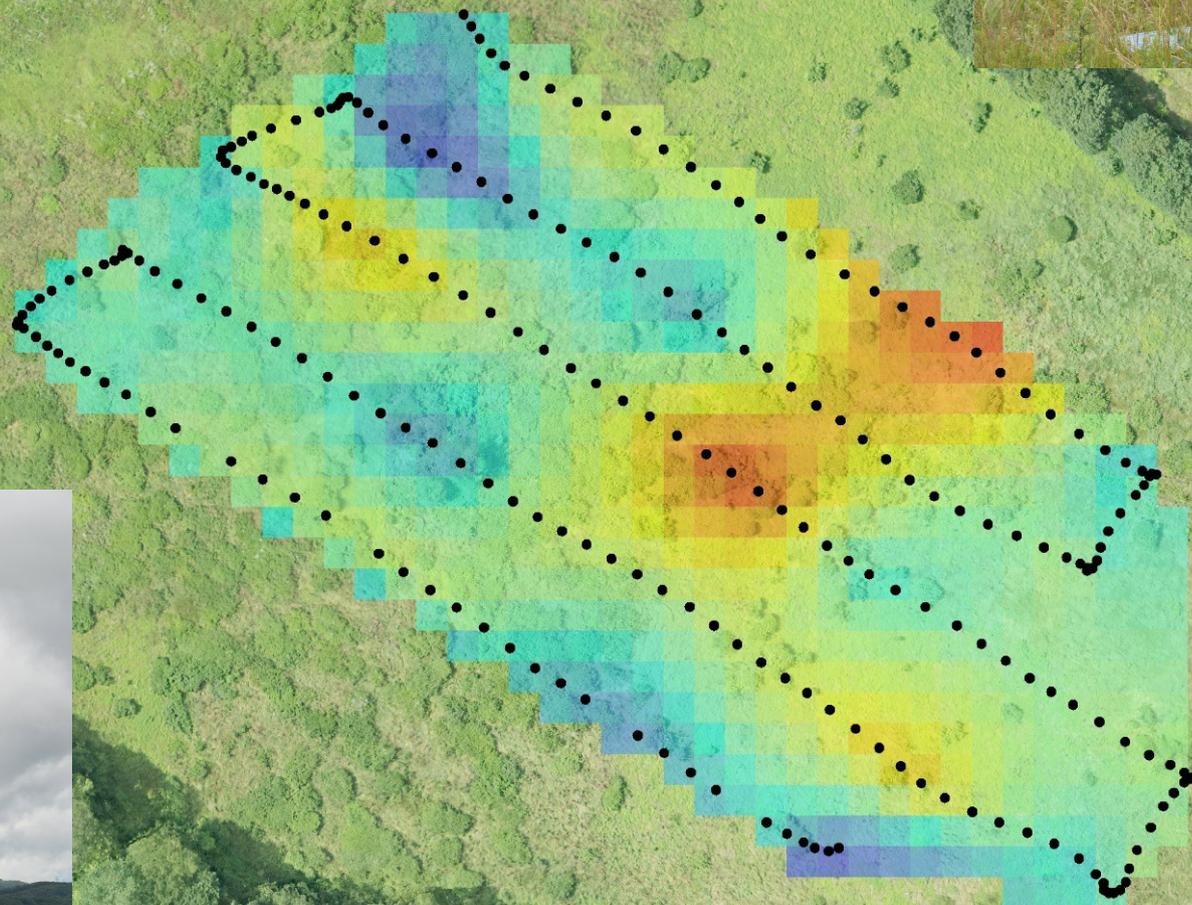
0.6

1.2

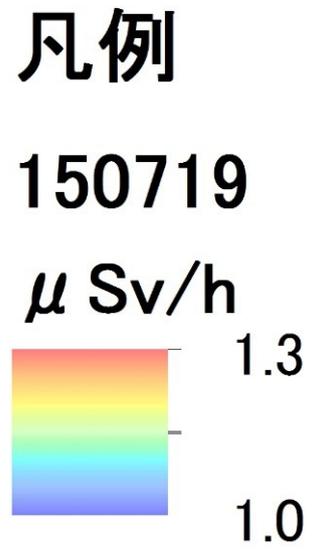


1m高空間線量率分布

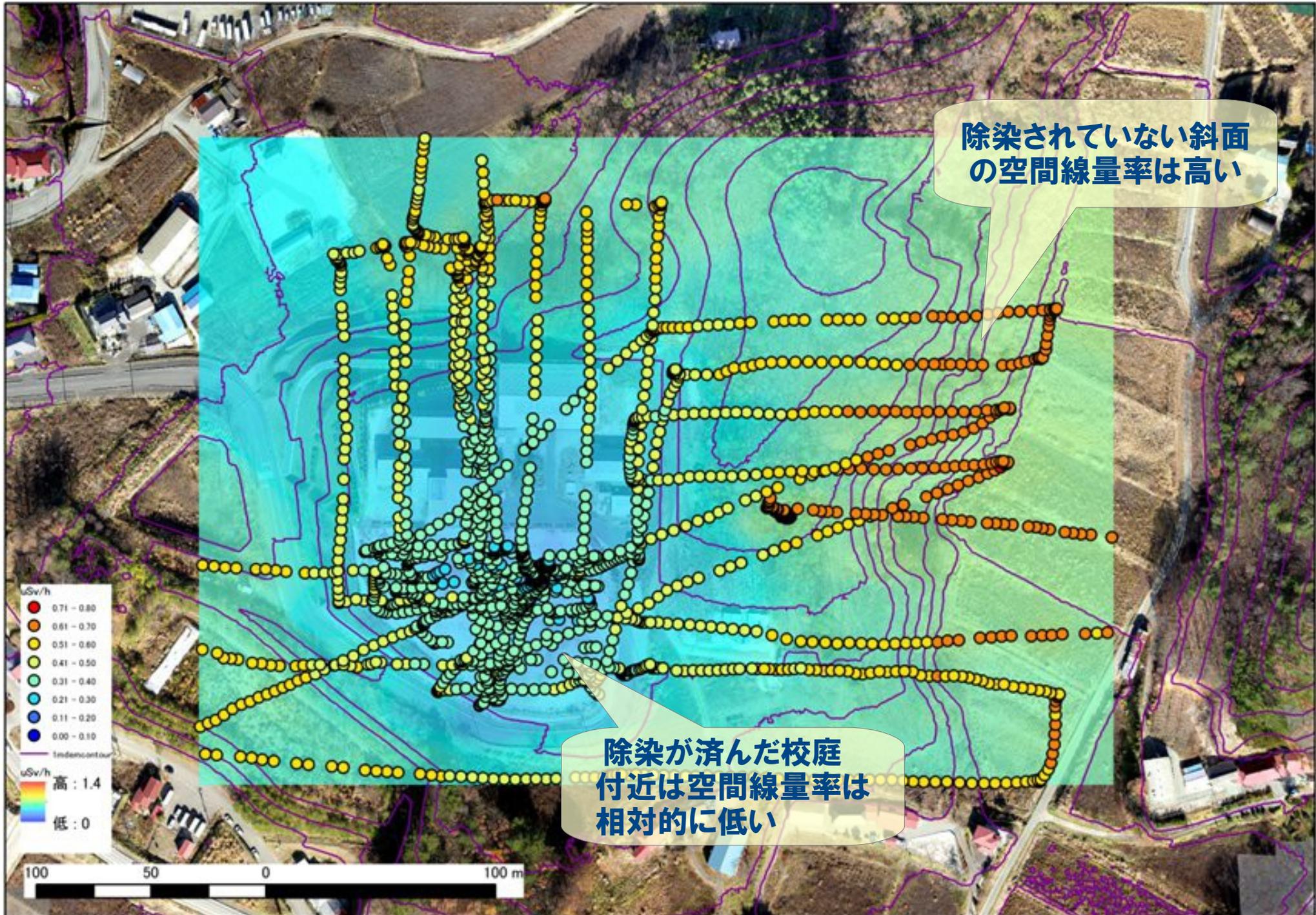
離発着地点より10m高で測定



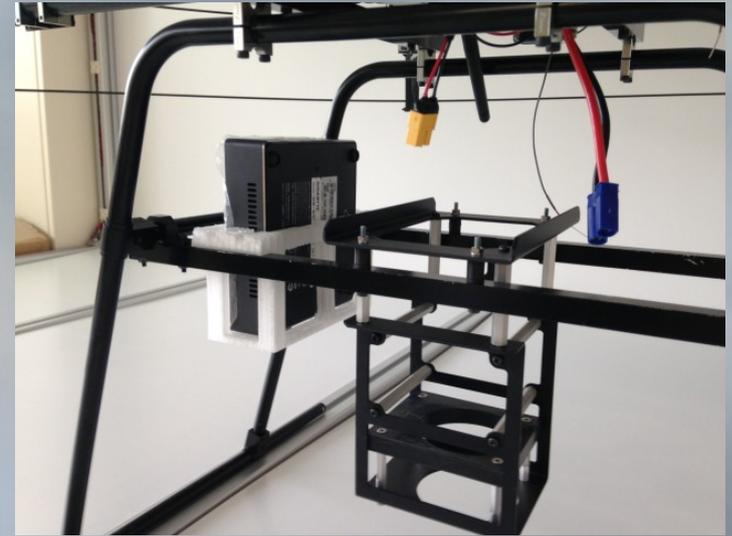
課題は斜面に沿った飛行—勇気！—



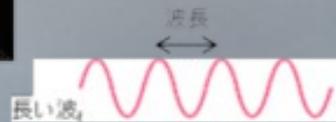
山木屋小学校周辺の空間線量率計測



MS-6L ハイパースペクトルカメラ搭載準備中



今年の課題: HyperSpectrumによる様々な計測の可能性を追求



(C)エバ・ジャパン株式会社



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

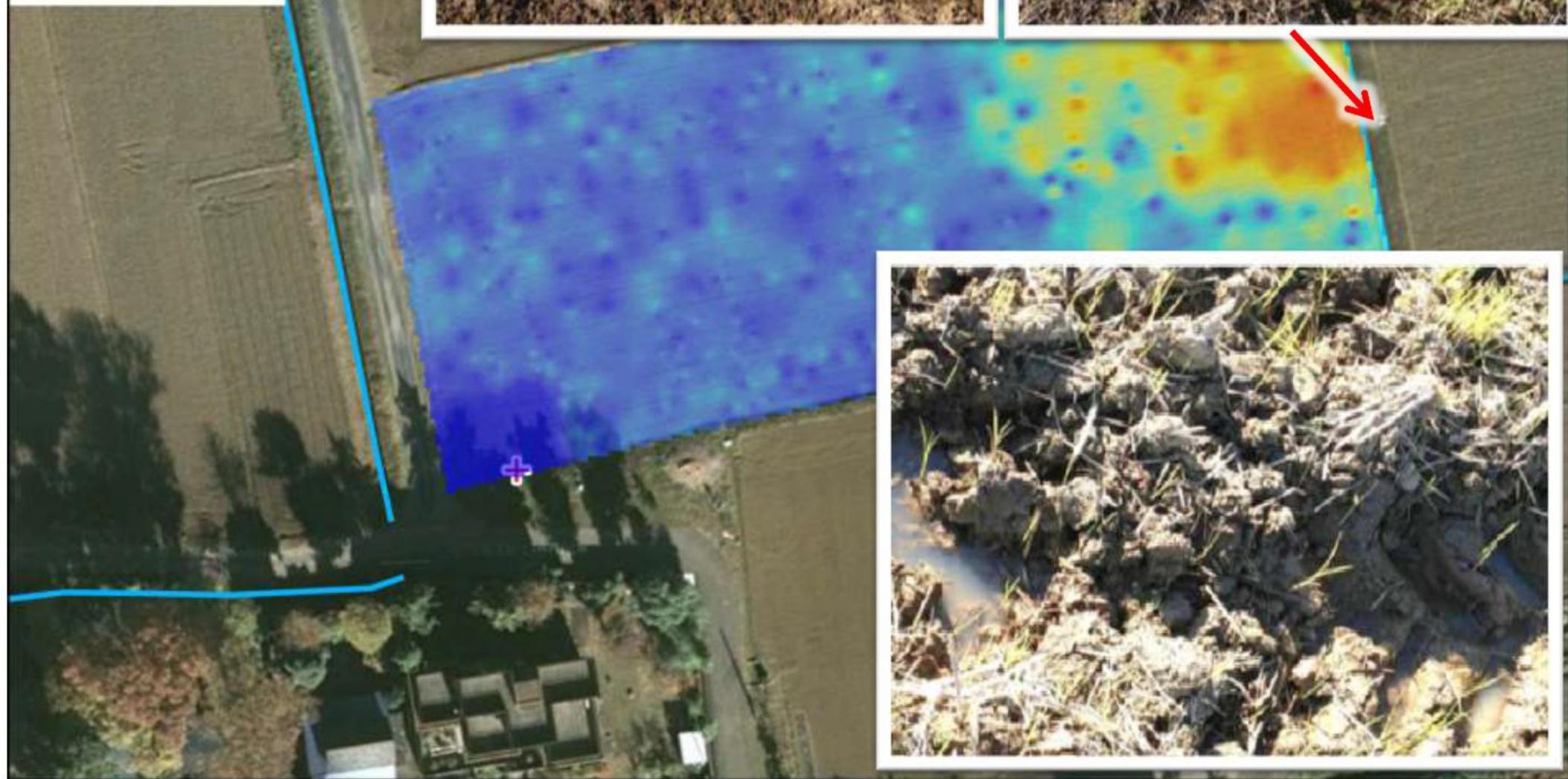
フライト：30分
解析：約2時間



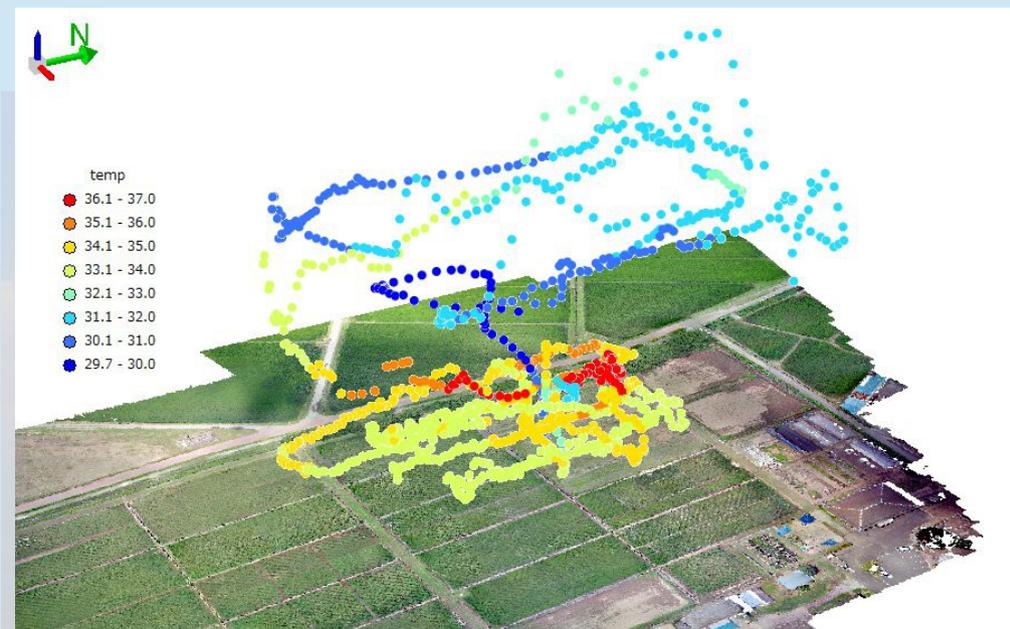
(C)田中圭

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



温湿度計測



PHANTOM1に温湿度ロガー、GPSを搭載し、飛行



いくつかの事例を紹介してきました

- ① オルソ空中写真の作成
 - ② 作物の生育診断
 - ③ 外来生物の分布
 - ④ 地表面・水面温度
 - ⑤ 空間線量率の分布
 - ⑥ 温湿度分布
 - ⑦ その他
- SfM-MVSの応用
 - 水稲への応用
 - ナガエツルノゲイトウ
 - 生育診断、環境計測
 - 原子力災害への取組



**UAVリモートセンシングとして
様々な応用が可能です！**



**測量・環境計測のツールとして
UAVの可能性を皆さんと一緒に
拓いていきたいと思えます！**

講演資料：<http://dbx.cr.chiba-u.jp/>

