

A person wearing a blue cap and a light blue shirt is standing in a field, operating a drone. The drone is flying in the sky above. The background shows a green field, trees, and a blue sky with white clouds. A blue and white container is on the ground to the right of the person.

2016.9.21 千葉市藝術文化塾

# いつでも、どこでもリモートセンシング ～ドローンを使った環境計測～

近藤 昭彦(千葉大学環境RS研究センター)  
<http://www.llsci.net/klab/>

# リモートセンシングとは

離れた (remote) ところから、対象を観測 (sensing) して、その種類や性質、状態を推定する技術



どこから見るか

人工衛星リモートセンシング

航空機リモートセンシング

UAVリモートセンシング

UAV: Unmanned Aerial Vehicle

# 地球・地域スケールの環境モニタリング

## 40年以上も観測を続けている その間に様々な変化が起こった



- 1972 ランドサット1号
- 1986 もも1号（海洋観測）
- 1992 JERS-1（資源観測）
- 1996 みどり1号（地球環境観測）
- 2002 みどり2号（地球環境観測）
- 2006 だいち（地図作成、災害観測）

まだまだ  
たくさんある



- 1972 国連人間環境会議（ストックホルム会議）  
人間環境宣言
- 1992 リオデジャネイロ環境サミット  
持続可能な開発のための行動計画
- 2002 ヨハネスブルク環境サミット  
持続可能な開発に関する世界サミット
- 2012 リオafter20  
**たくさんお金を使ったのに地球環境は？**

たとえ人が、  
気がつかなくても、  
いろいろな  
変化が起こっている



# ●リモートセンシングはどのくらい身近か



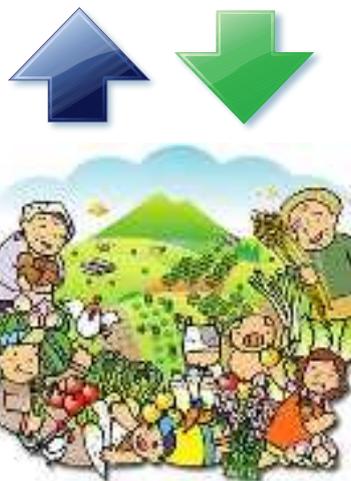
## グローバル・リモートセンシング

- NOAA、MODISクラス  
地球全体がわかる



## リージョナル・リモートセンシング

- ランドサットクラス  
地域が見える



## ローカル・リモートセンシング

- 低高度、近接リモートセンシング  
地域の人と一緒に

知的資産  
の形成

ステークホルダーの階層性

事実と真実

役に立つ  
SHと協働

# ● 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



# ● 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による低高度・近接リモートセンシング

# ● 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

いろいろな可能性  
がいそうだわ！



# 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

# 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  
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

# オートパイロット

あらかじめ設定した飛行コースに沿って自動的に飛行



plxta.jp - 23662383

ラジコンヘリで空間線量を調査  
広野町と千葉大学の調査チーム

住民の帰還に役立つ

上空150mから測定

広野町



15:13  
2016/09/07

# 世界で最も早く商品化されたドローンは・・・日本製



GyroSaucer II E-570

株式会社キーエンスが1991年に発売したGyroSaucer  
本体価格 ¥39,800- でした。  
当時は電動RC円盤と呼ばれていたようです。

# 歴史を作ったドローン

## ドイツ microdrones社のマルチコプター



md-4 200(2006年発売)



md-4 1000(2009年発売)

## MIT卒業生がドイツで立ち上げたベンチャー企業 Ascending Technologiesのマルチコプター



Hummingbird(2007)



Pelican(2019)

研究開発用のプラットフォームとして活躍

## フランス Parrot社のAR Drone ホビーユース開拓



2010年から発売

# 世界を席巻するDJI社Phantom



# 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





# 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



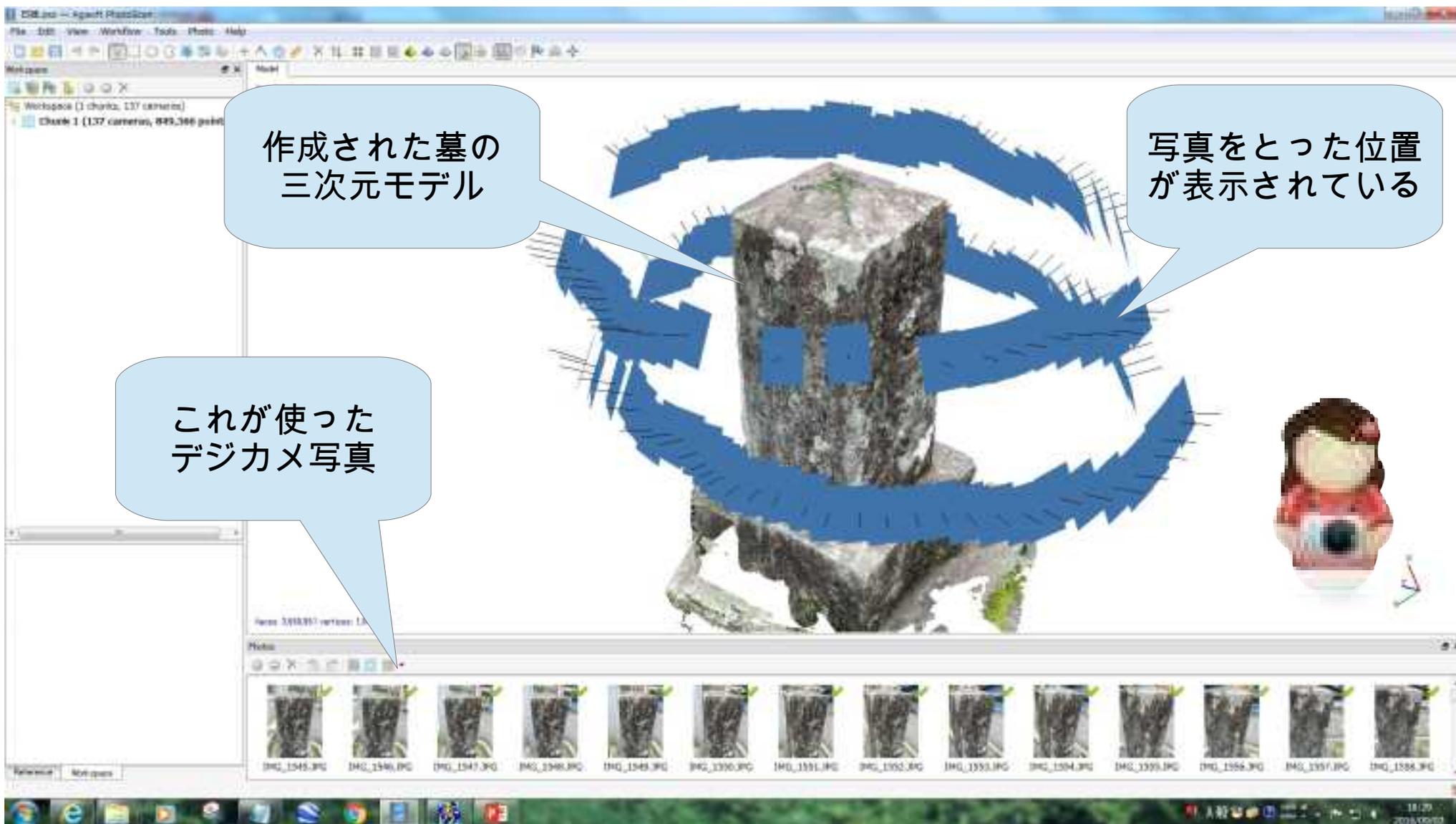
(C)田中圭

# SfM-MVS技術を用いると立体の周囲をデジカメで撮影するだけで、立体モデルを作成することができる。

作成された墓の  
三次元モデル

写真をとった位置  
が表示されている

これが使った  
デジカメ写真



# 近赤外カメラで何がみえるか？



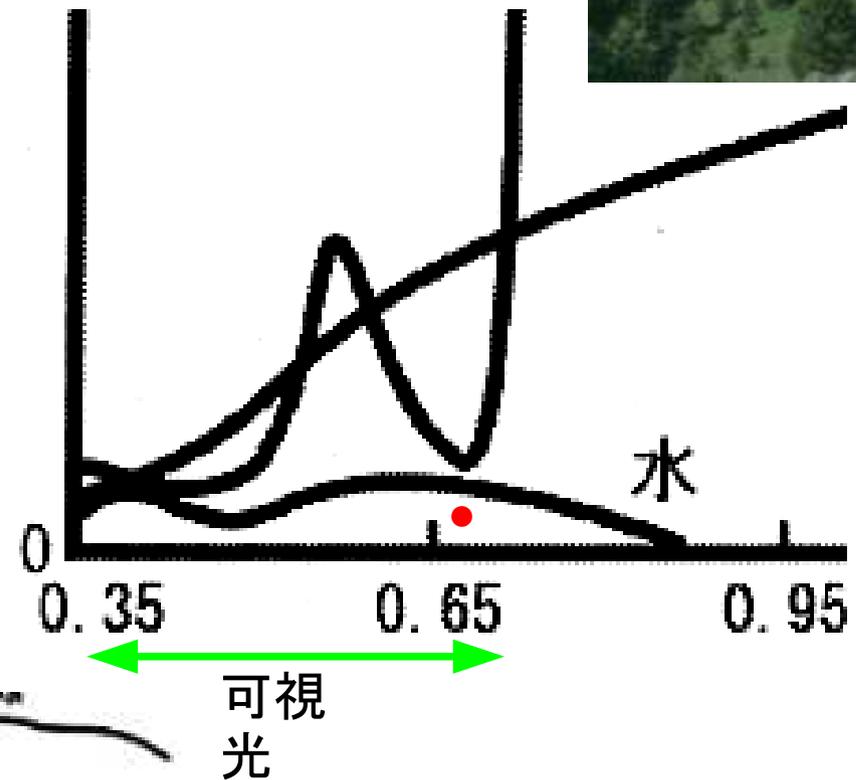
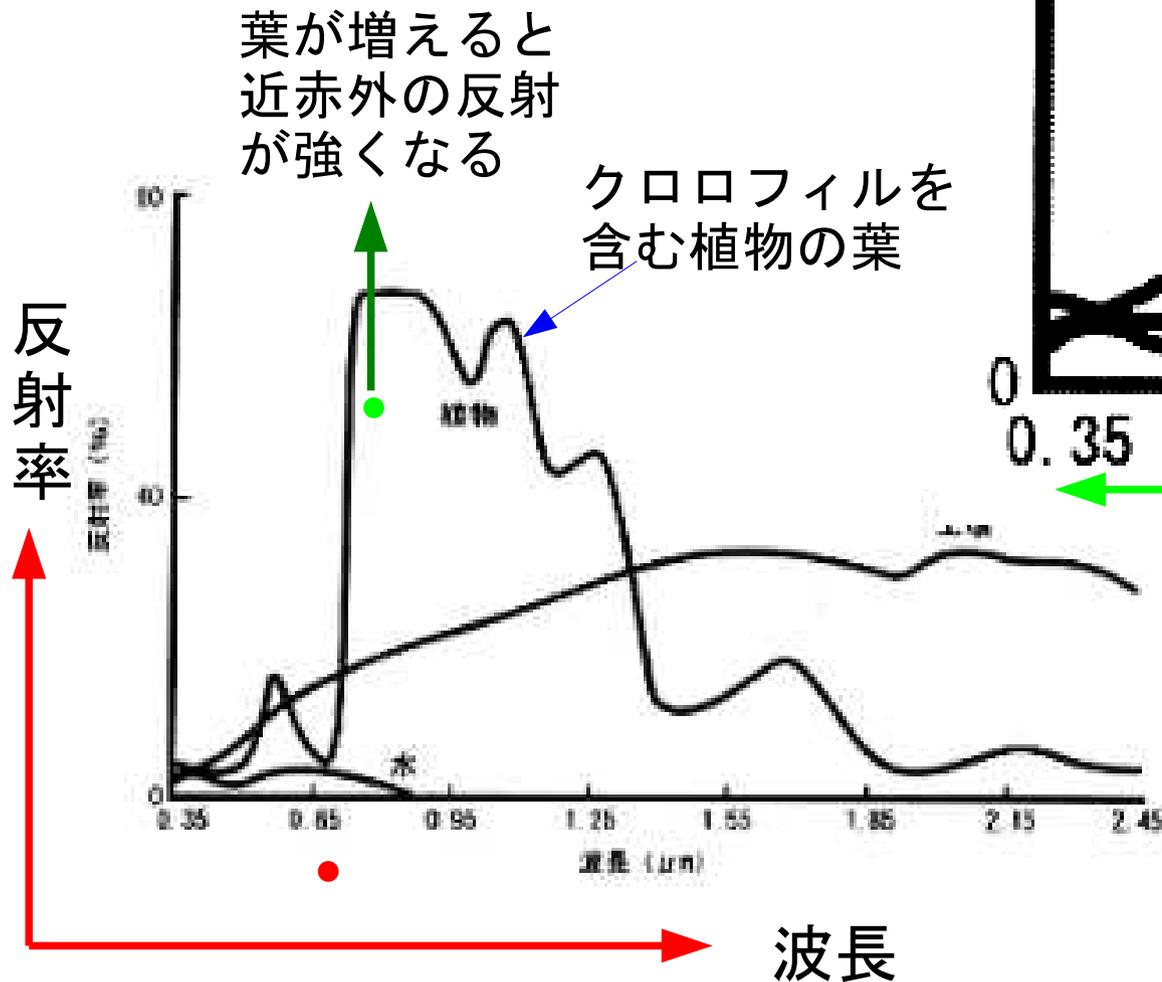
近赤外カメラ : Yubaflex

# 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

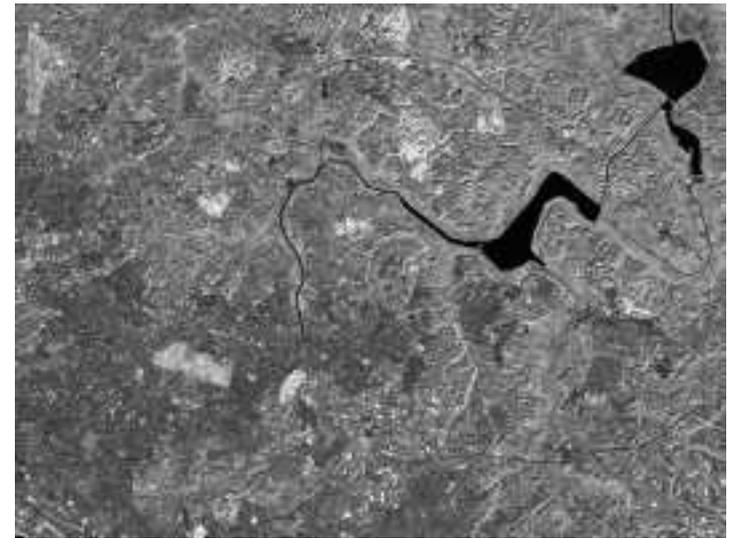
$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

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**



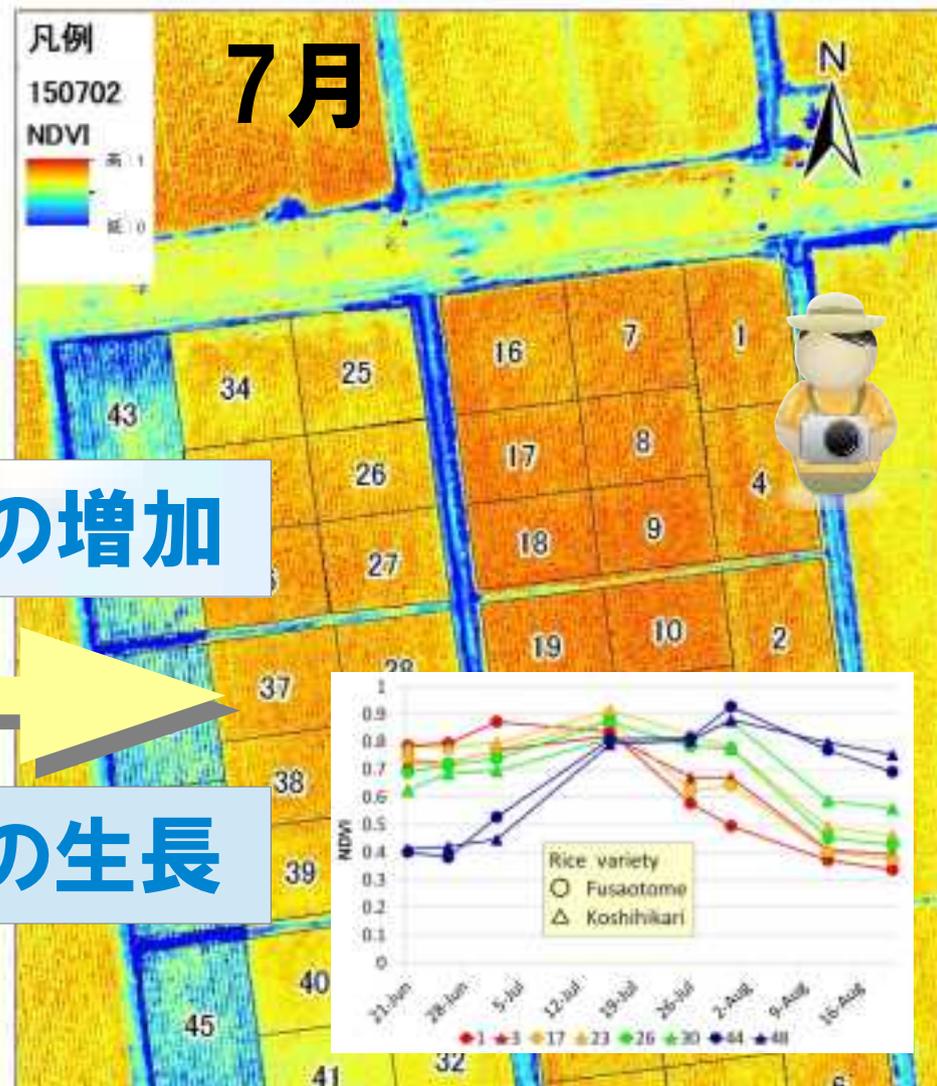
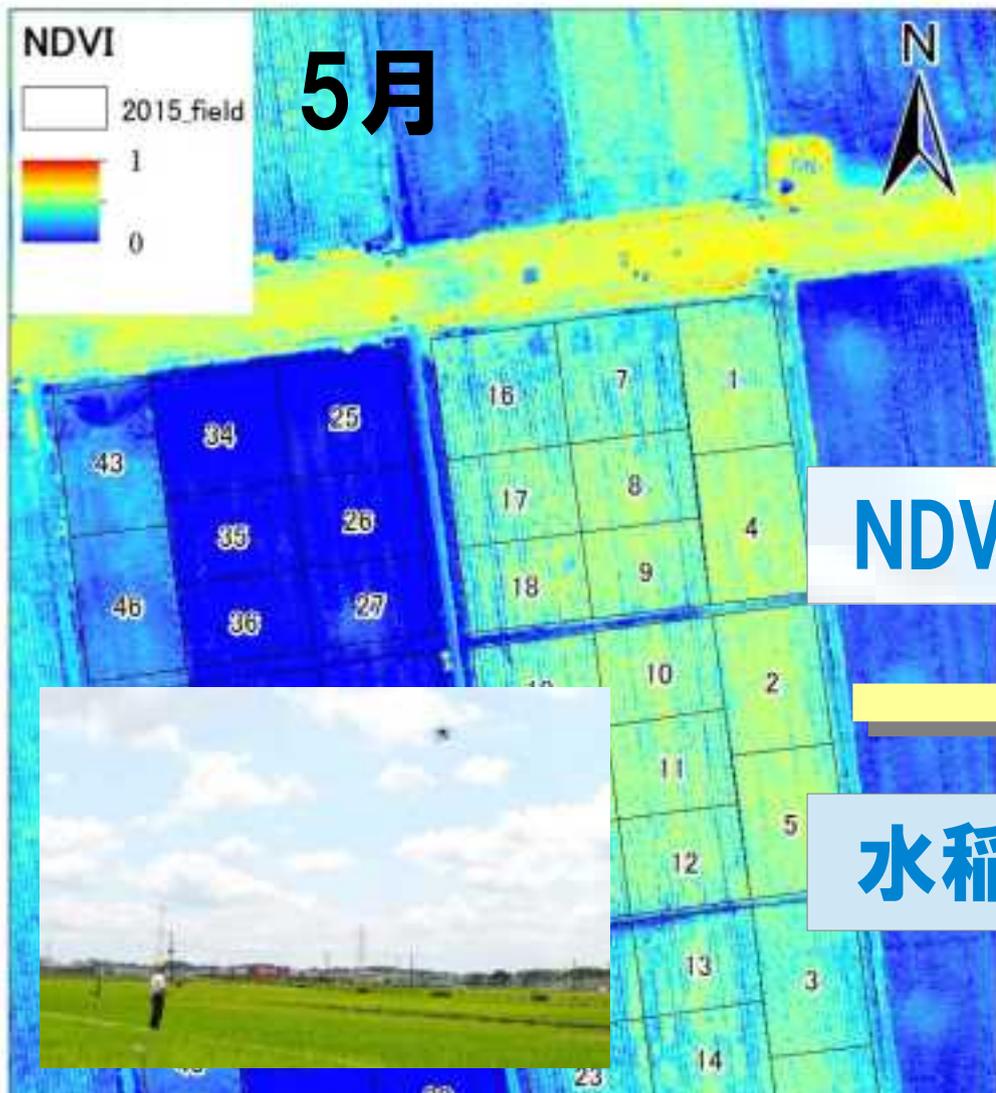
# 2001年11月27日のNDVI画像

植生域は明るく、都市域は暗く表現



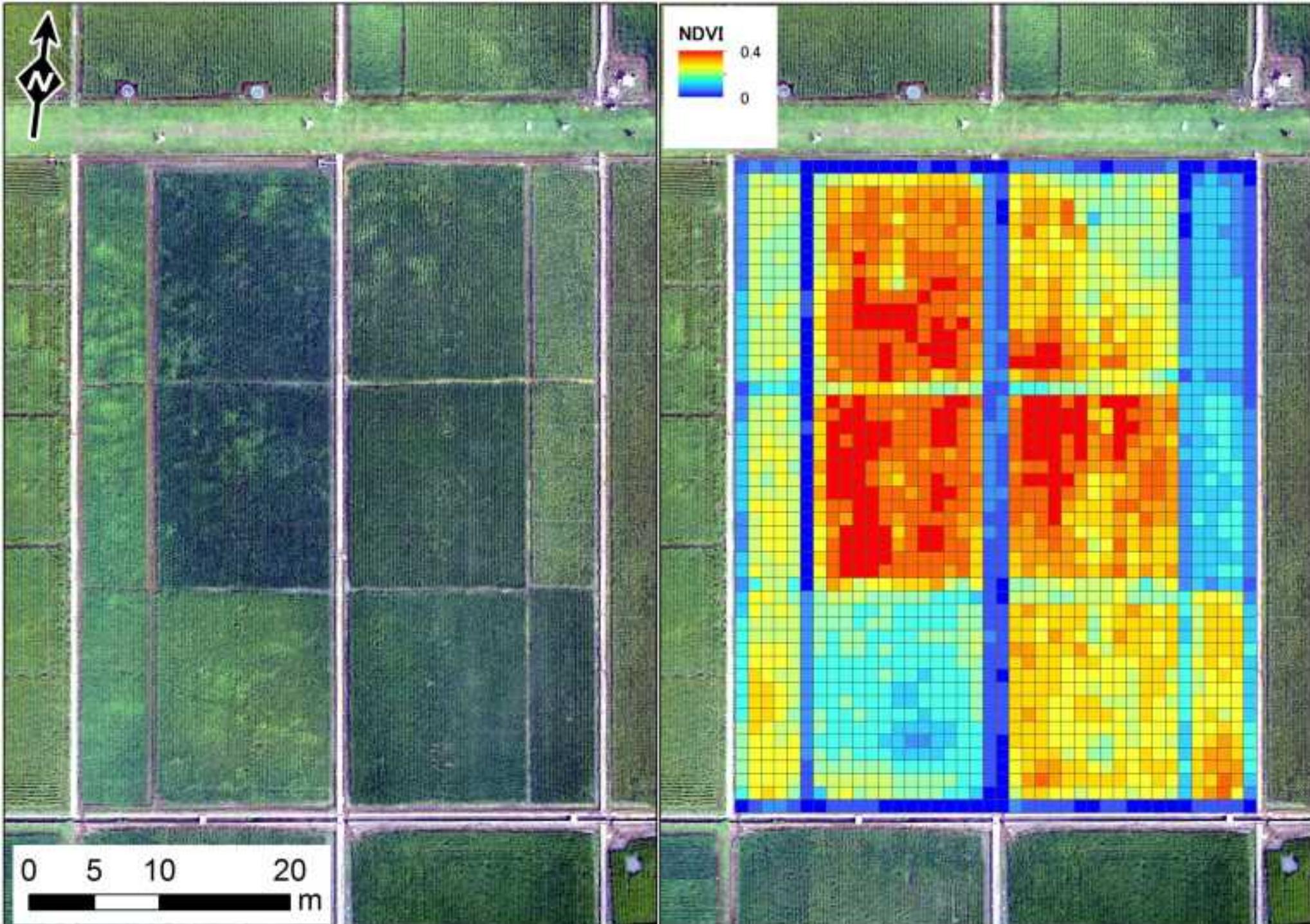
# ② 水稲生育モニタリング —近赤外カメラによる空撮—

- ・可視・近赤外リモートセンシング
- ・SfMによる草丈計測



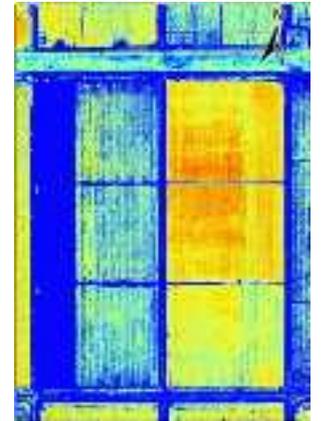
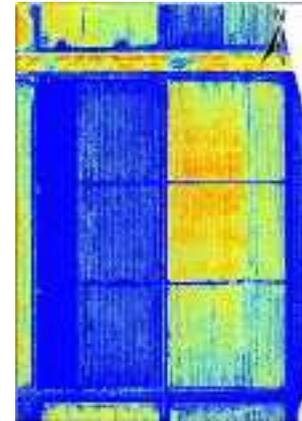
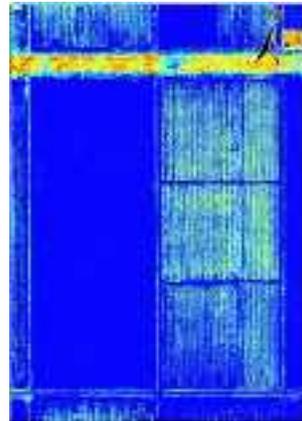
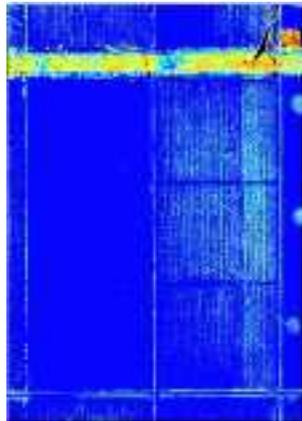
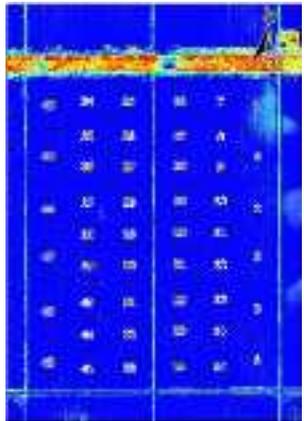
近赤外カメラによる水稲の生育期間における植生指標 (NDVI) の経時変化から、生育状況、施肥管理、食味、等に関する様々な情報が取得できる —UAVはいつでも計測可能—

# 千葉県農業総合研究センターの水田圃場におけるNDVI画像



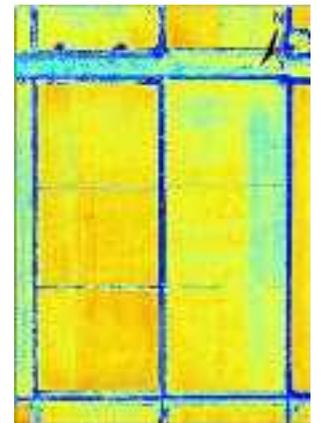
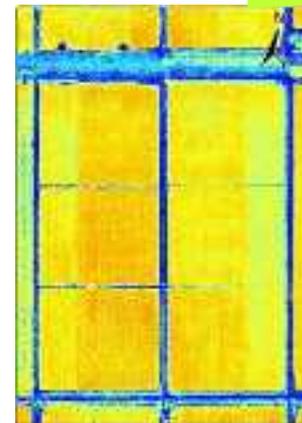
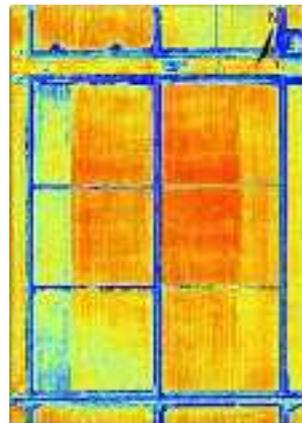
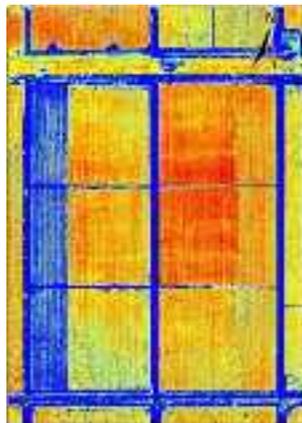
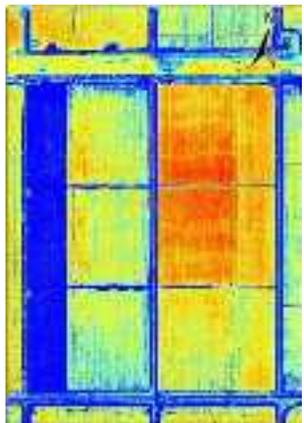
# 田植え

6月中旬



6月下旬

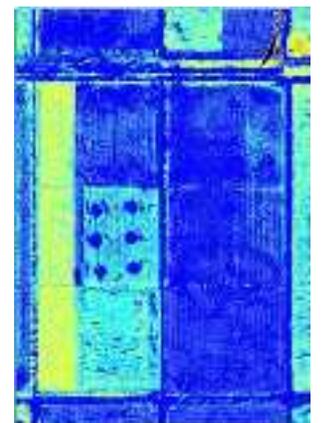
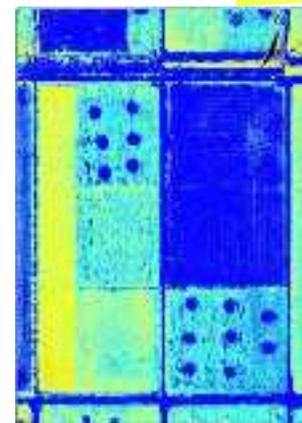
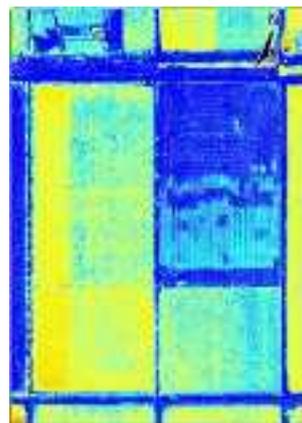
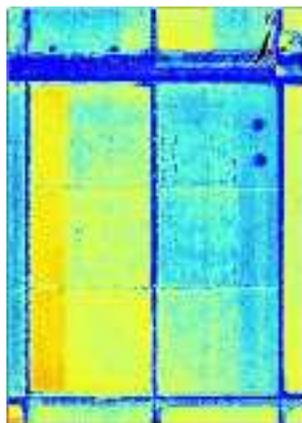
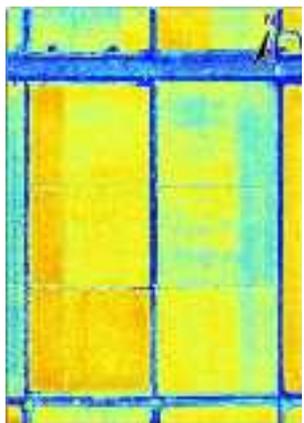
7月下旬



8月初旬

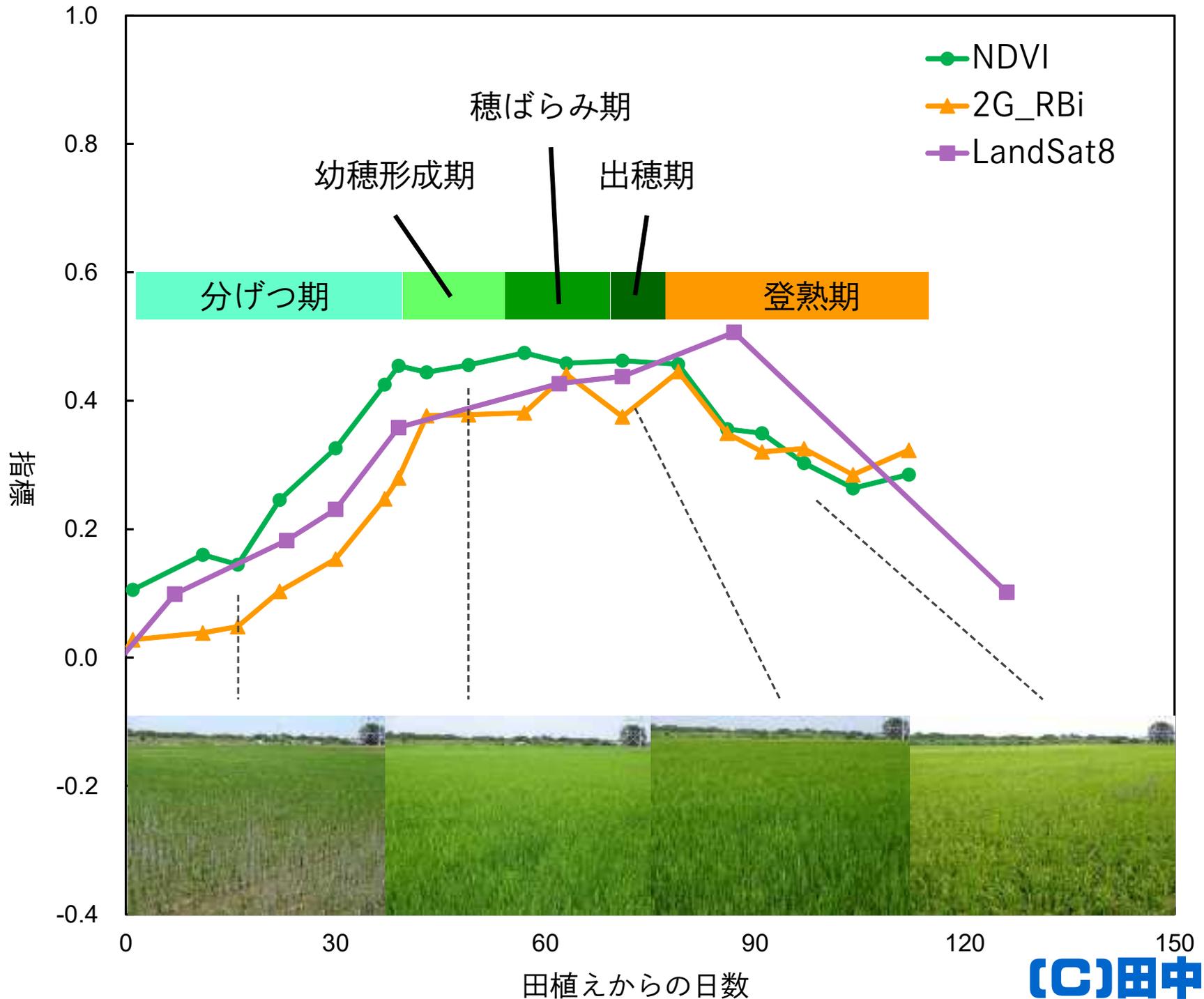
収穫開始

9月初旬

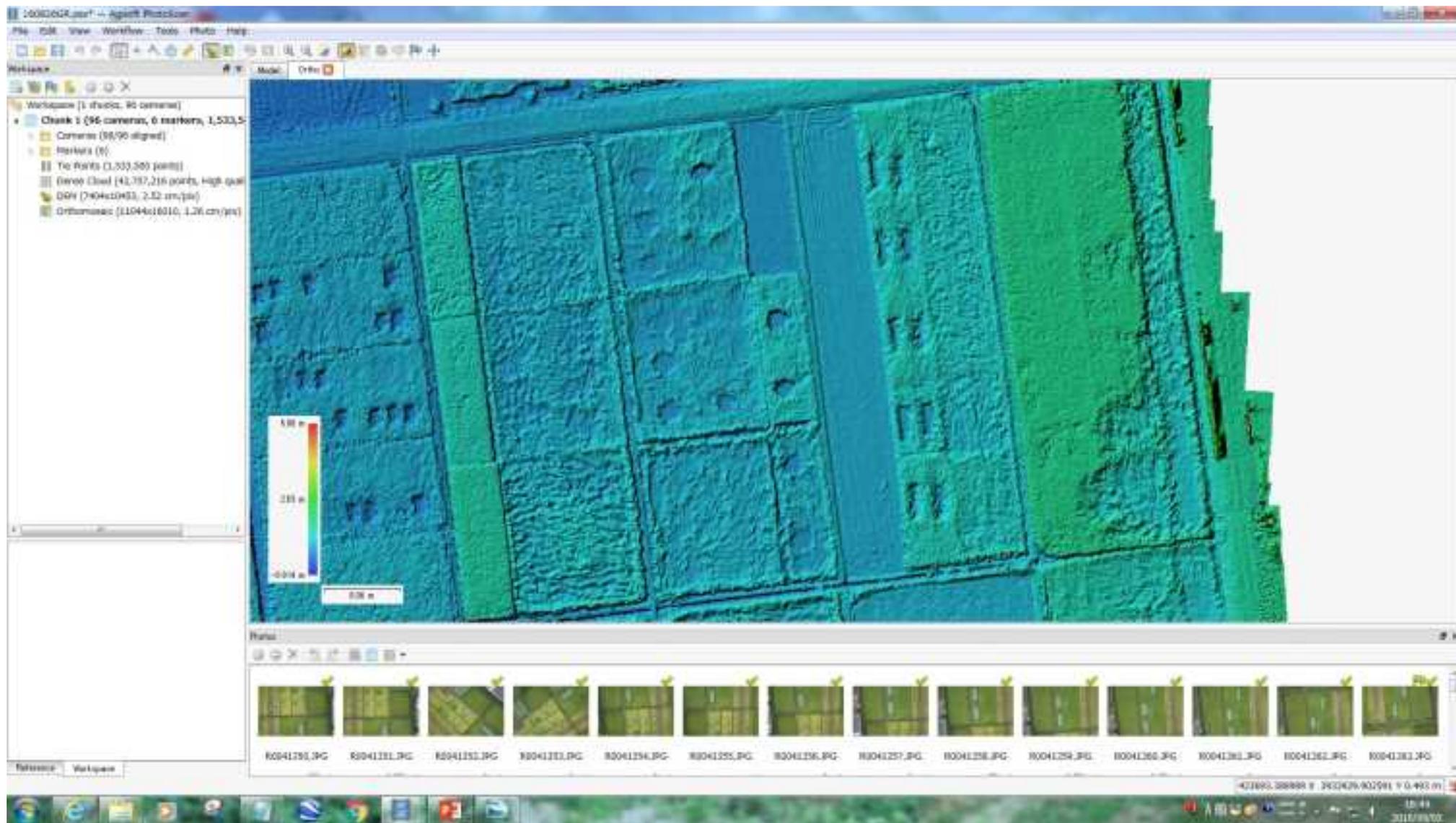


# NDVIの季節変化

# 植生、作物の生育に関する情報



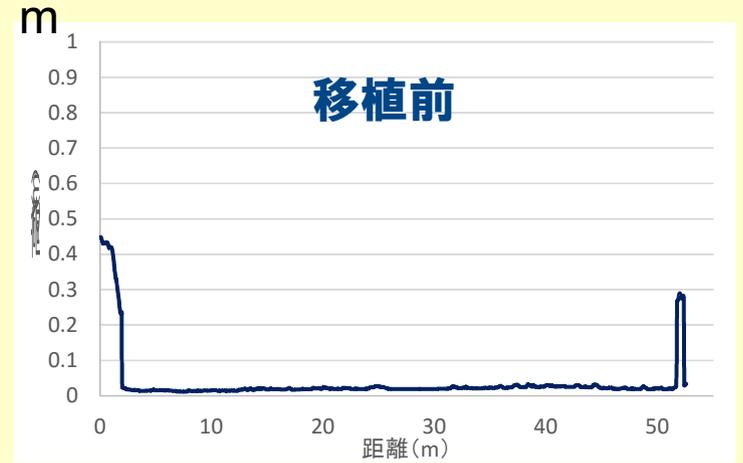
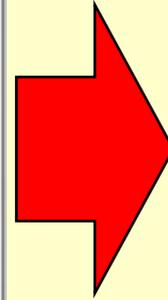
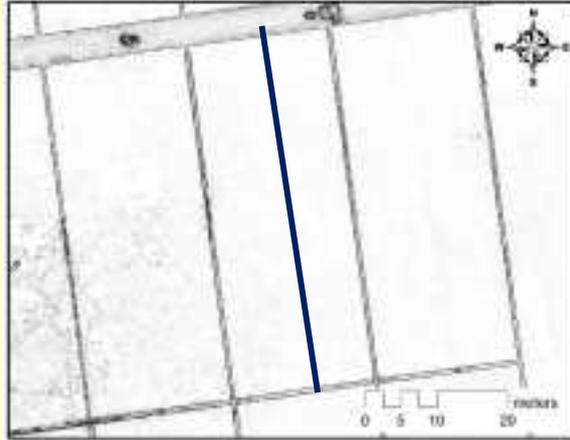
# 台風の通過に伴う倒伏の状況 ドローンで計測した稲のキャノピーの高さ分布 災害被害調査、農業保険等に応用可能



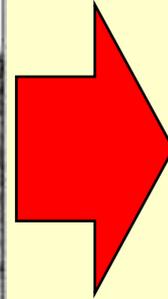
# DSMの変化⇒稲の群落高の変化

DSM

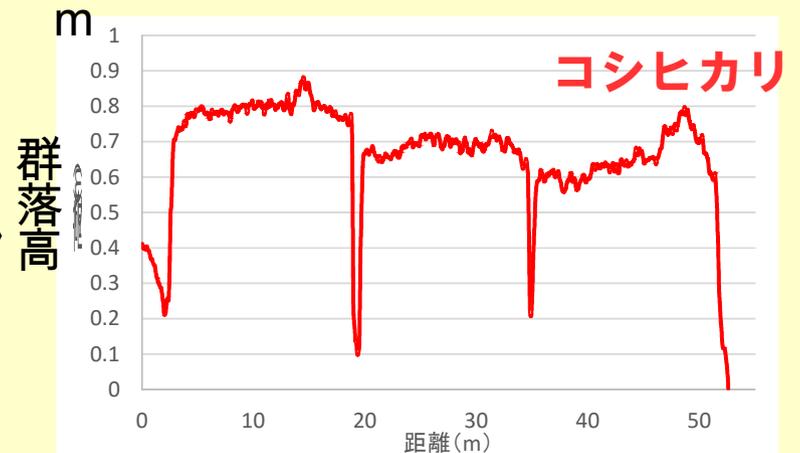
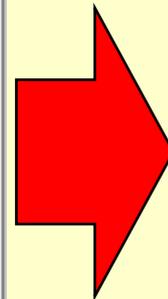
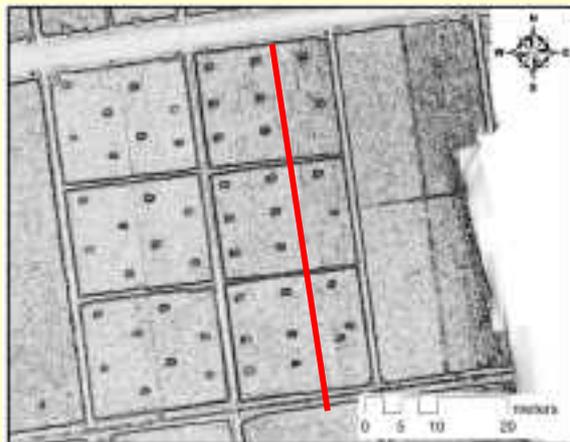
5/13



6/21

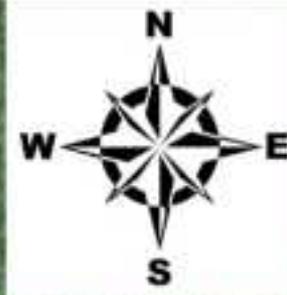


7/16



# コシヒカリの倒伏予測

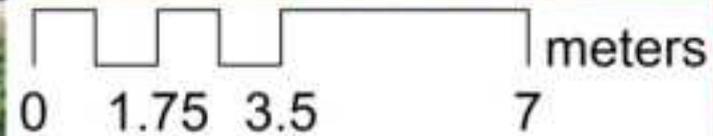
- 追肥時期の草丈84cm以上
- 幼穂形成期の草丈70cm以上



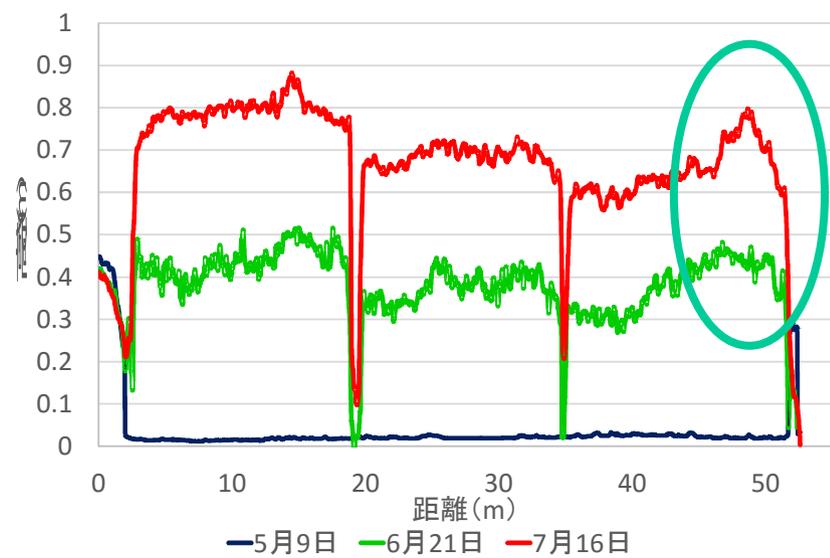
## Legend

 Risk\_area

20140702.tif



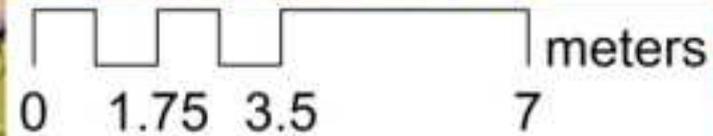
# コシヒカリの倒伏予測



## Legend

 Risk\_area

20140820.tif



# 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

# 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

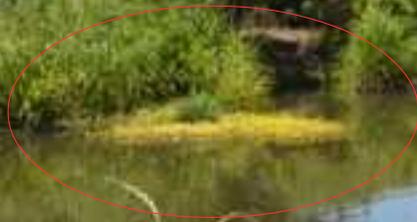
## 外来水草 — ナガエツルノゲイトウ — の分布状況、 時間変化を空撮でモニタリング



#### 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



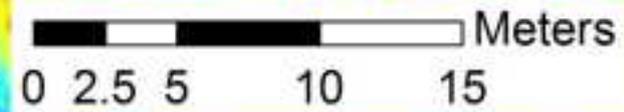
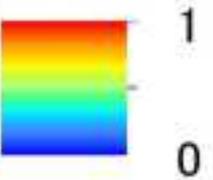
拡大写真

群落の面積と体積  
変化が計測可能

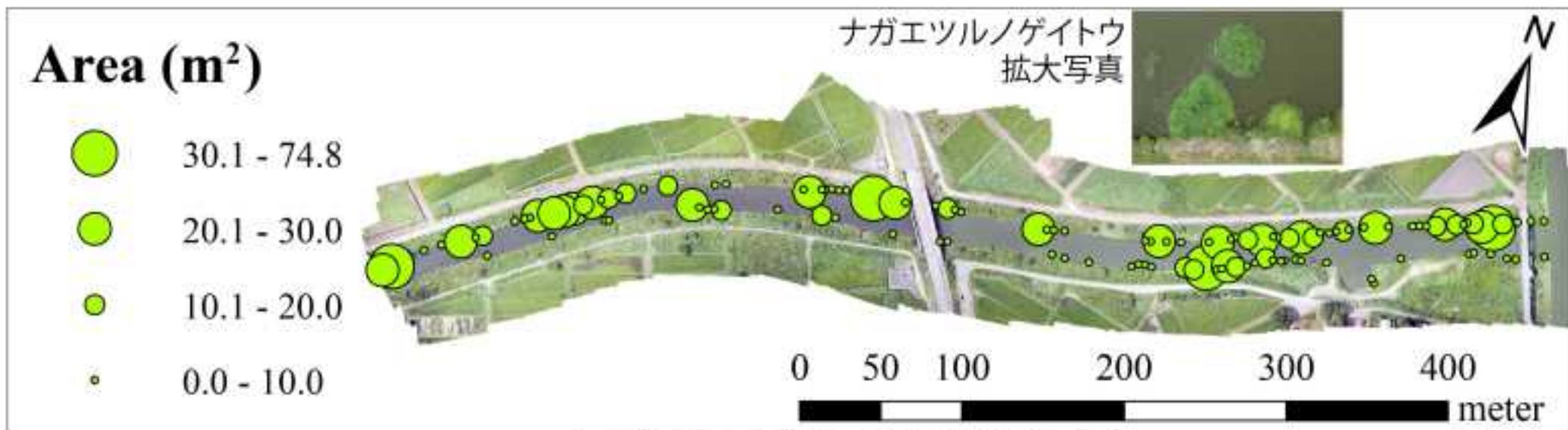
産官民学協働の駆除作戦を実施中  
ヒシ、アオコ、クロロフィル、等へ応用

凡例

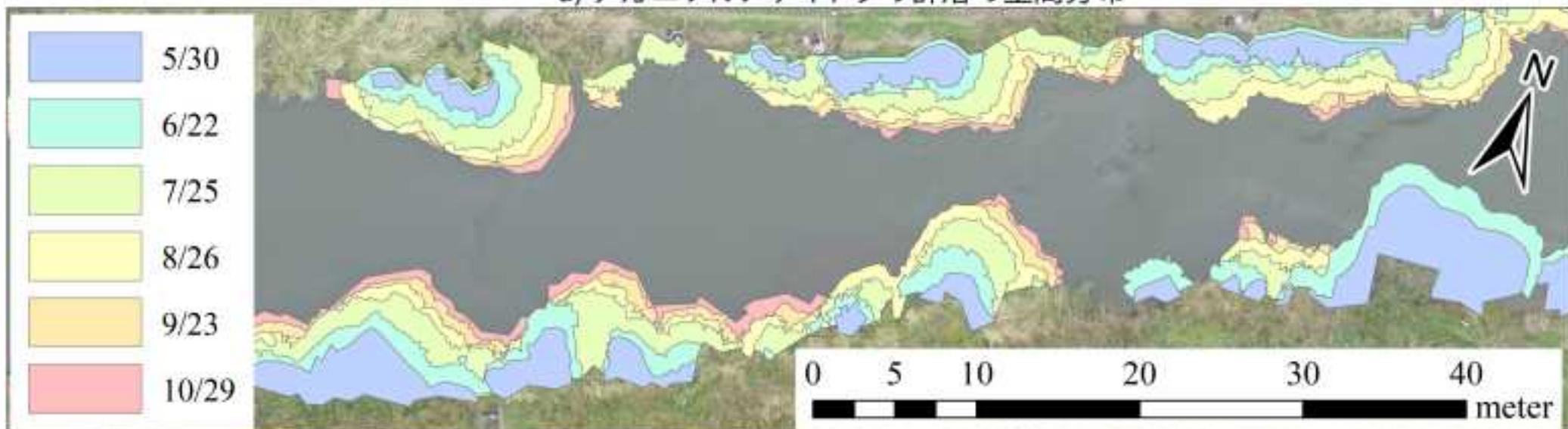
NDVI



# 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

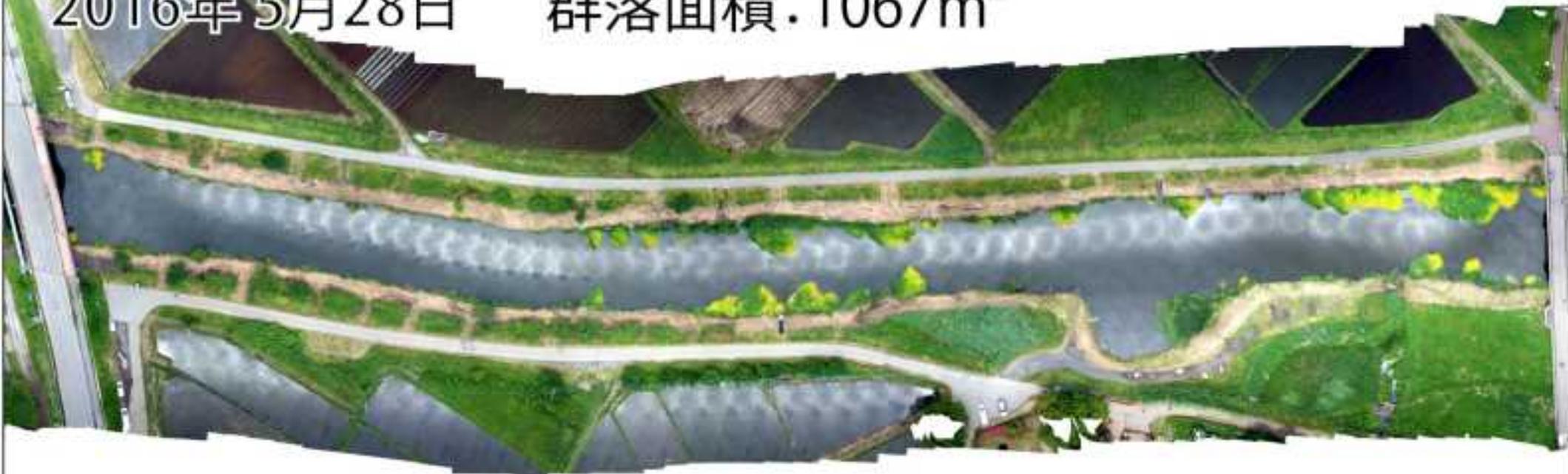


b) ナガエツルノゲイトウの群落の生長



2016年5月28日

群落面積:1067m<sup>2</sup>



2016年8月26日

群落面積:248m<sup>2</sup>



0

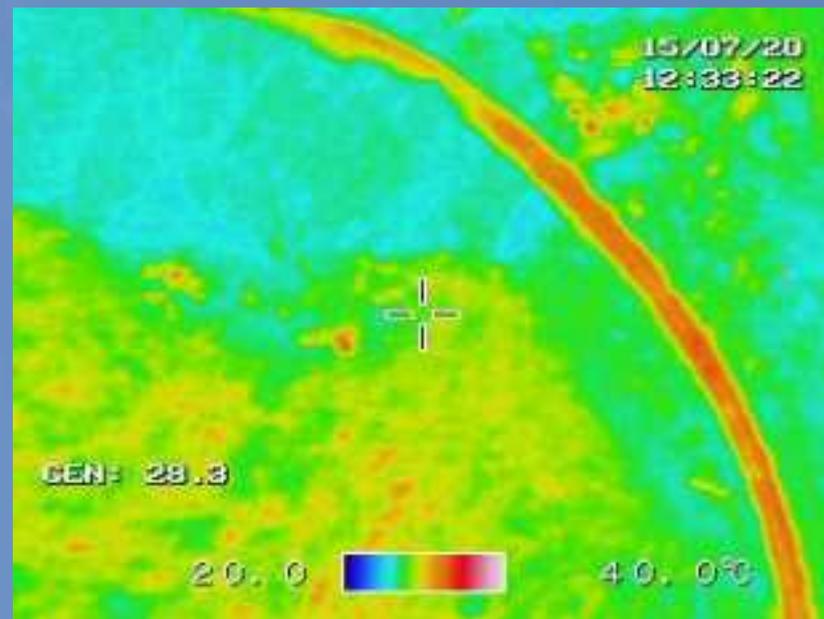
50

100

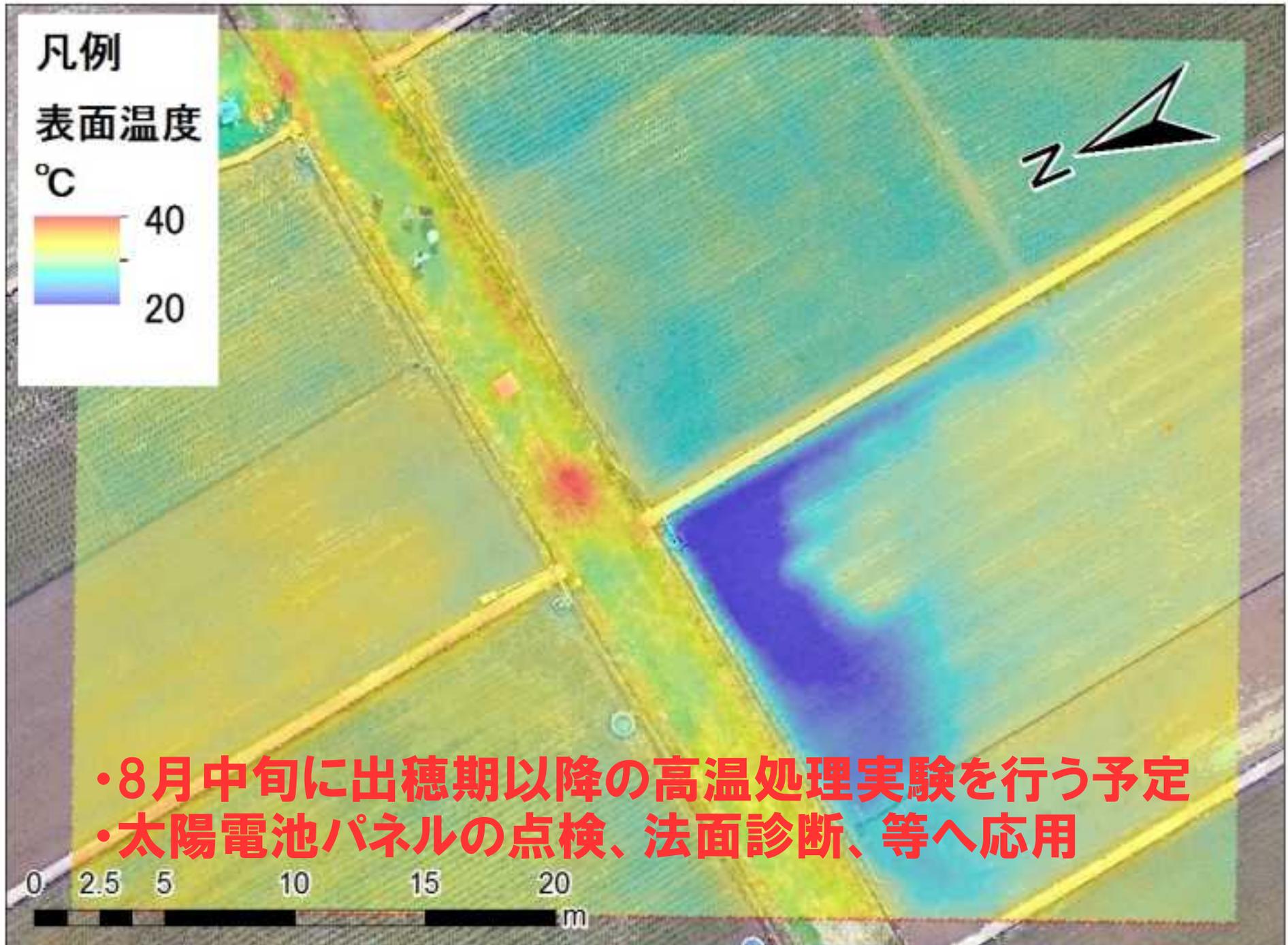
200

m

# ④ UAVで地表面温度を測る



# 水田圃場の地表面温度分布

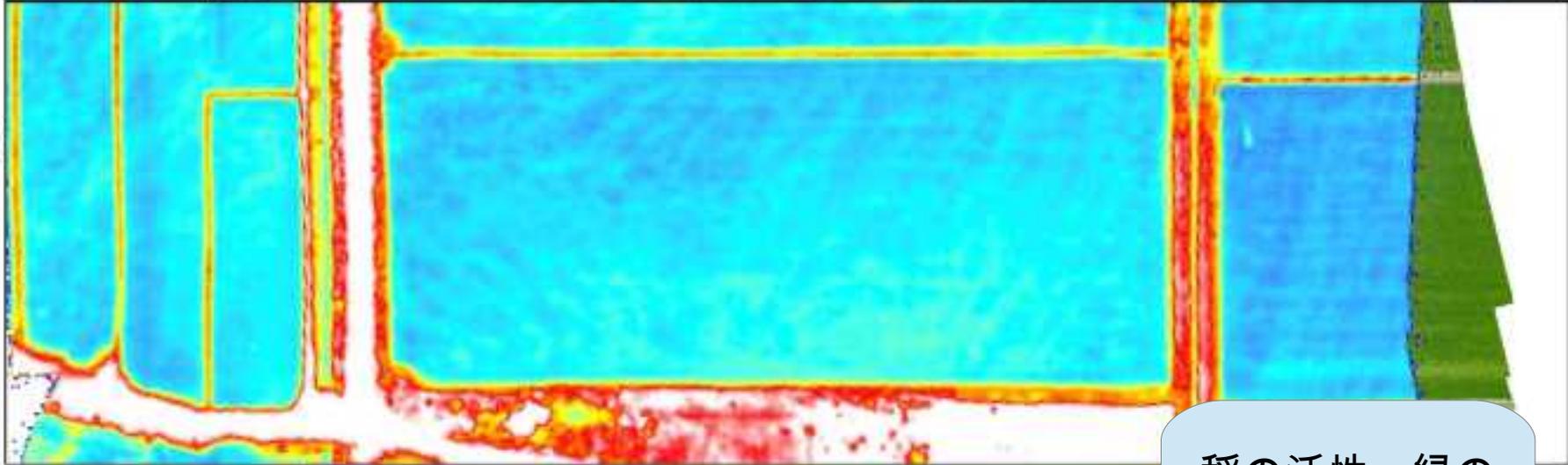
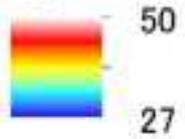


オルソ空中写真



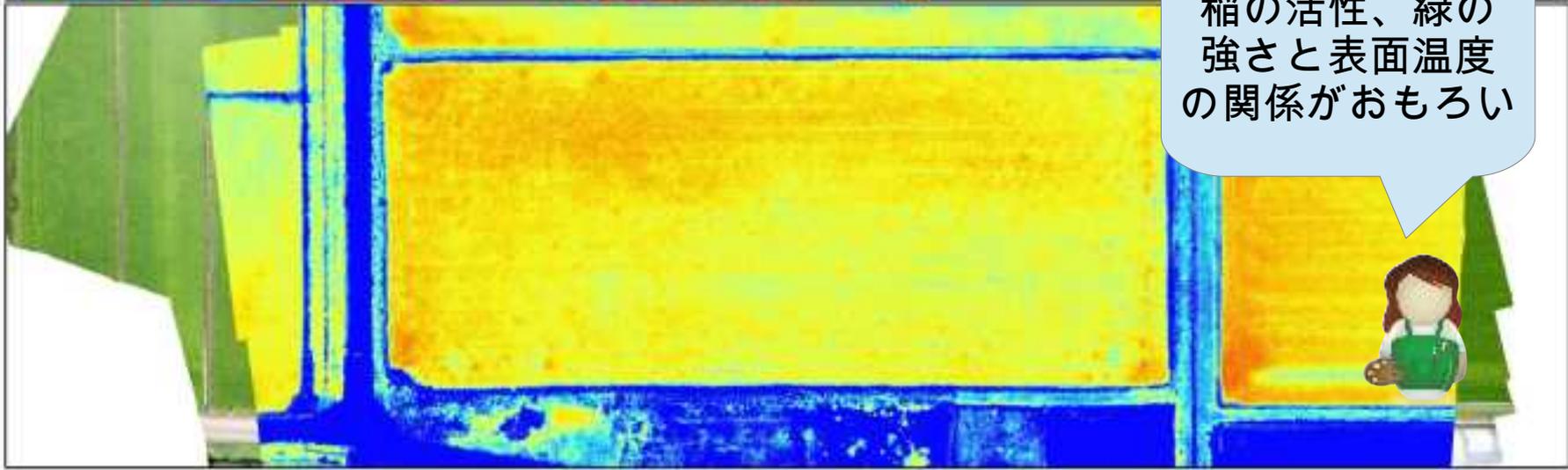
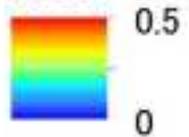
表面温度(12時)

°C



植生活性度

NDVI



稲の活性、緑の強さと表面温度の関係がおもしろい



# 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

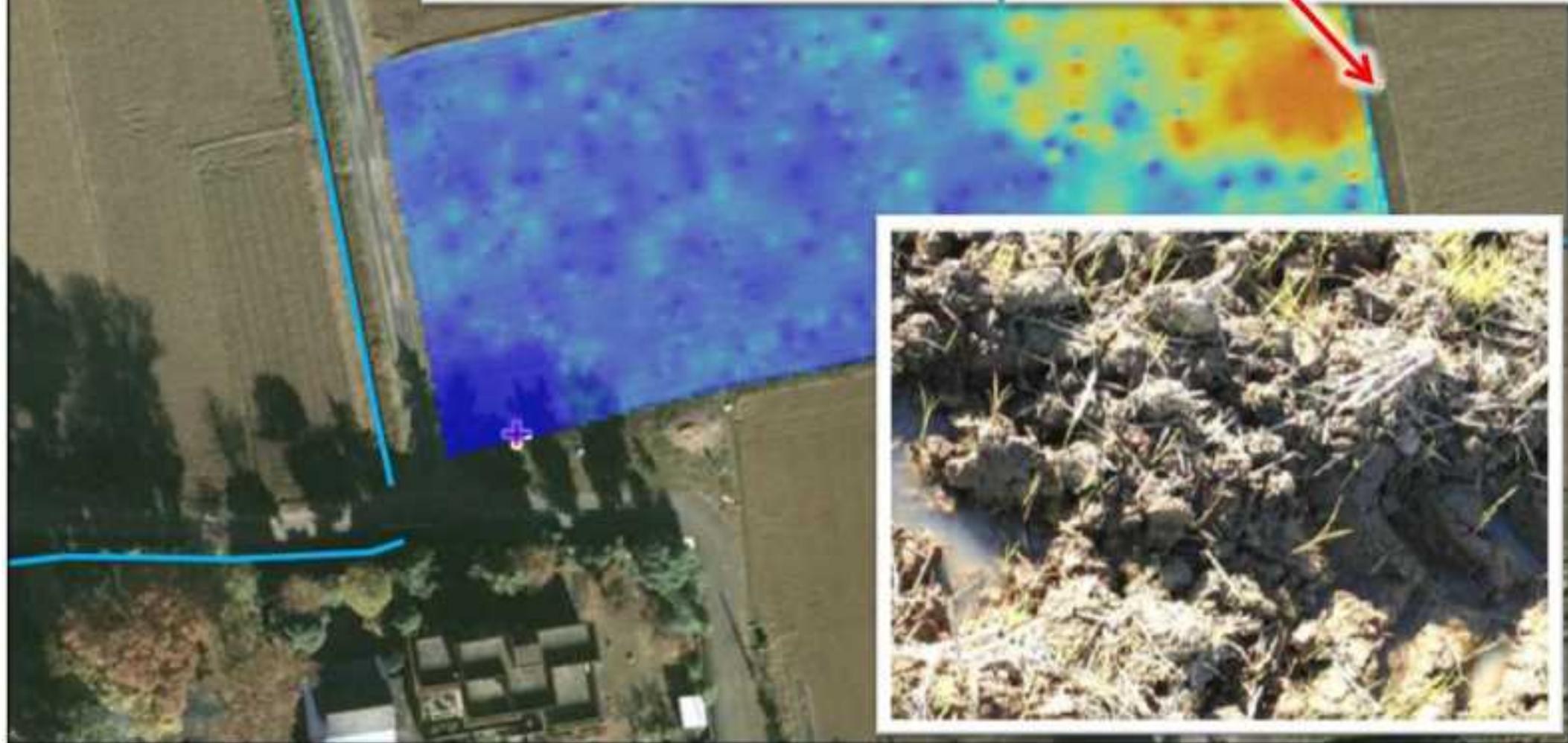
フライト：30分  
解析：約2時間



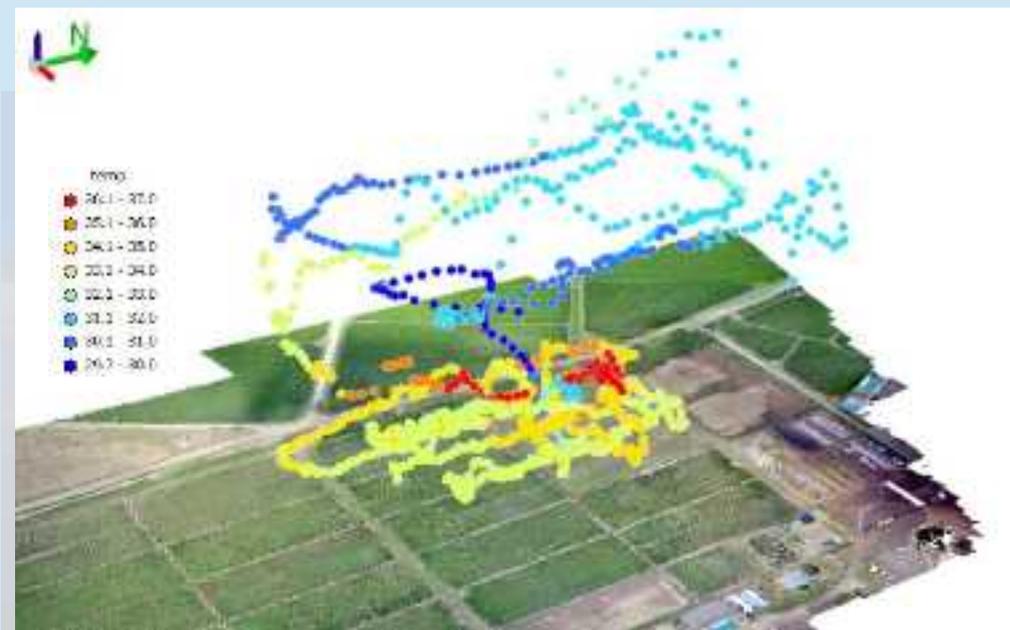
**(C)田中圭**

# 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



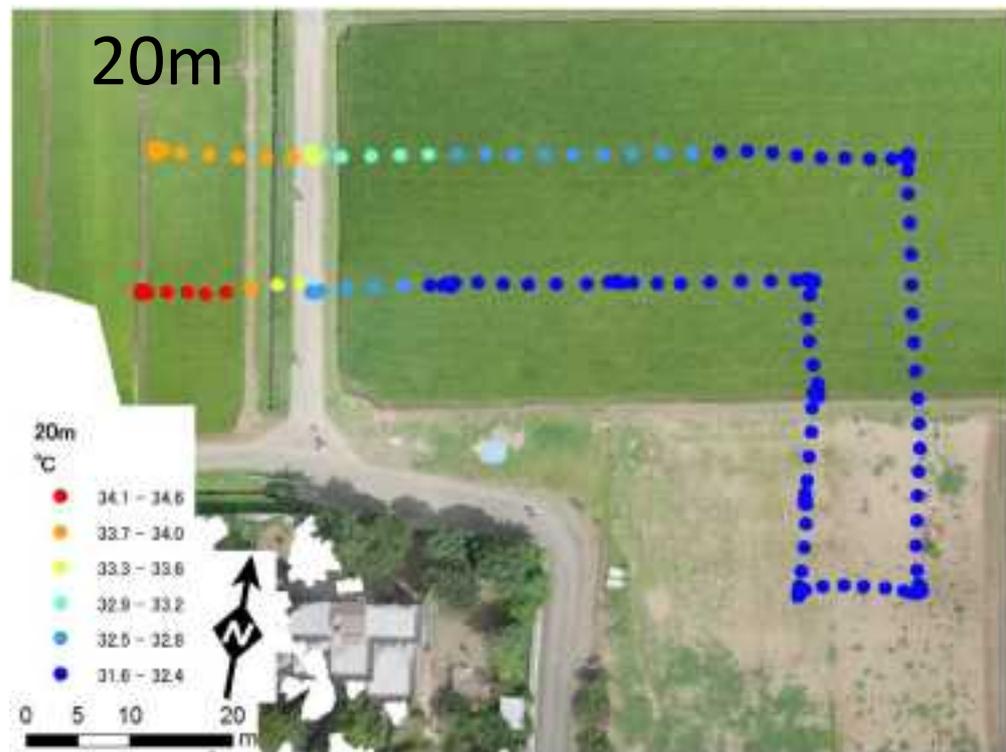
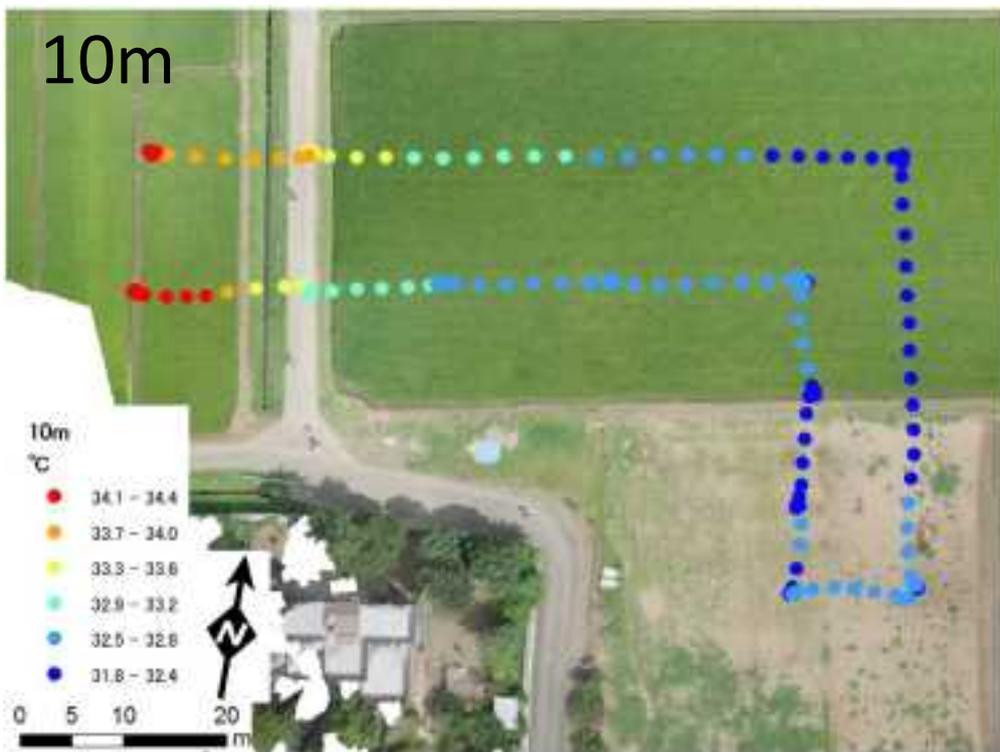
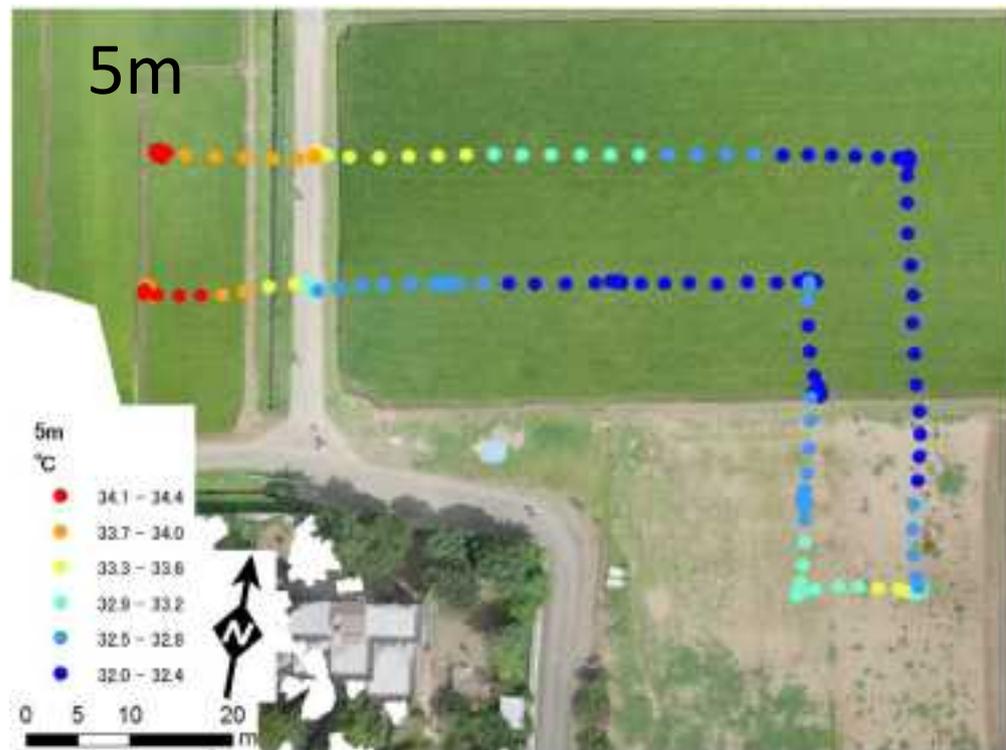
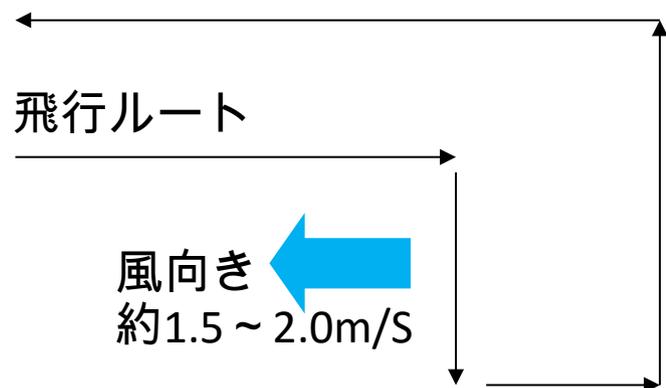
# 温湿度計測



PHANTOM1に温湿度ロガー、GPSを搭載し、飛行



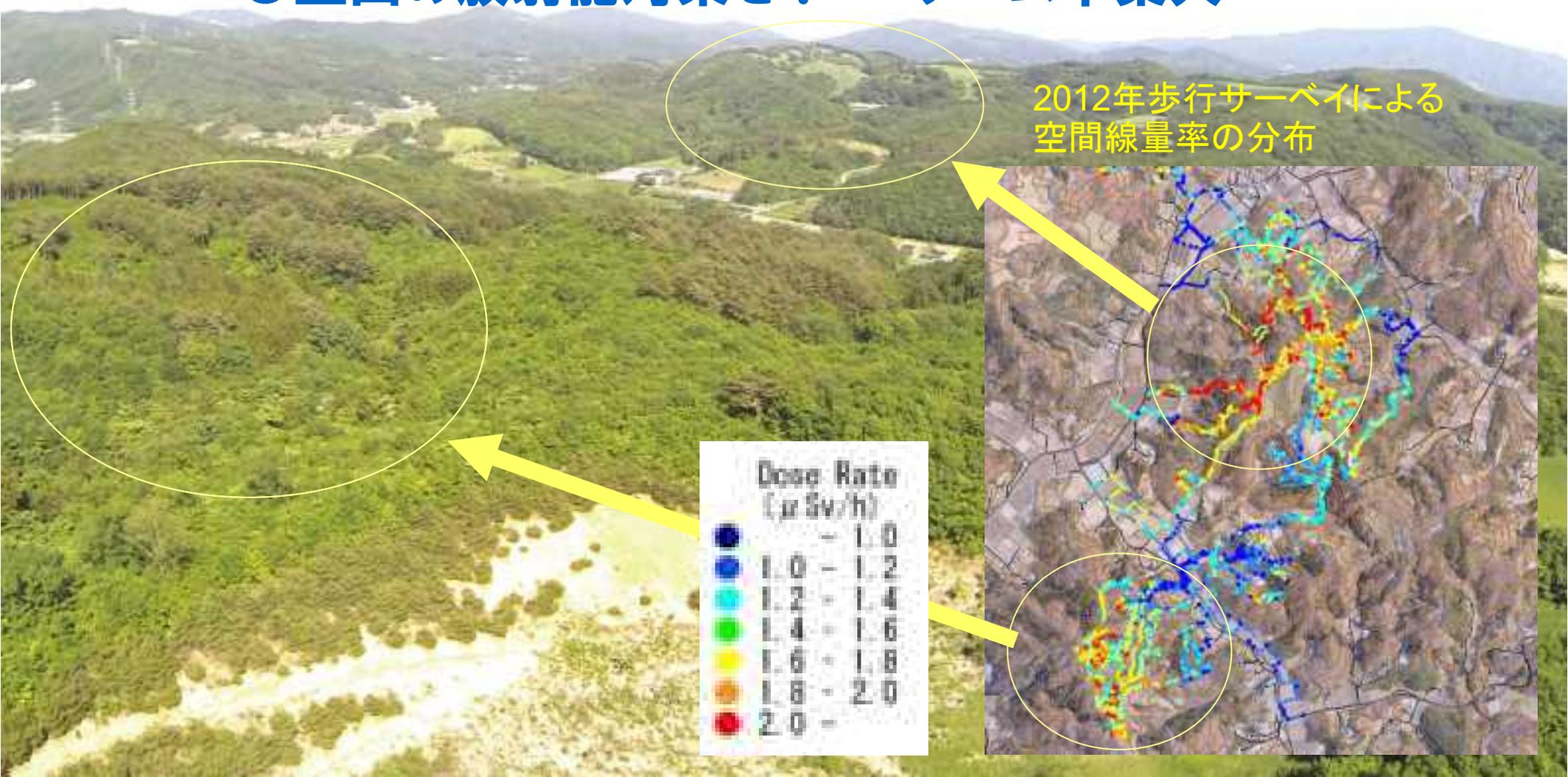
2016/8/7 12:30 ~ 温湿度計測  
機材：おんどとり



# ⑤ 空間線量率の計測 —原子力災害への取組—

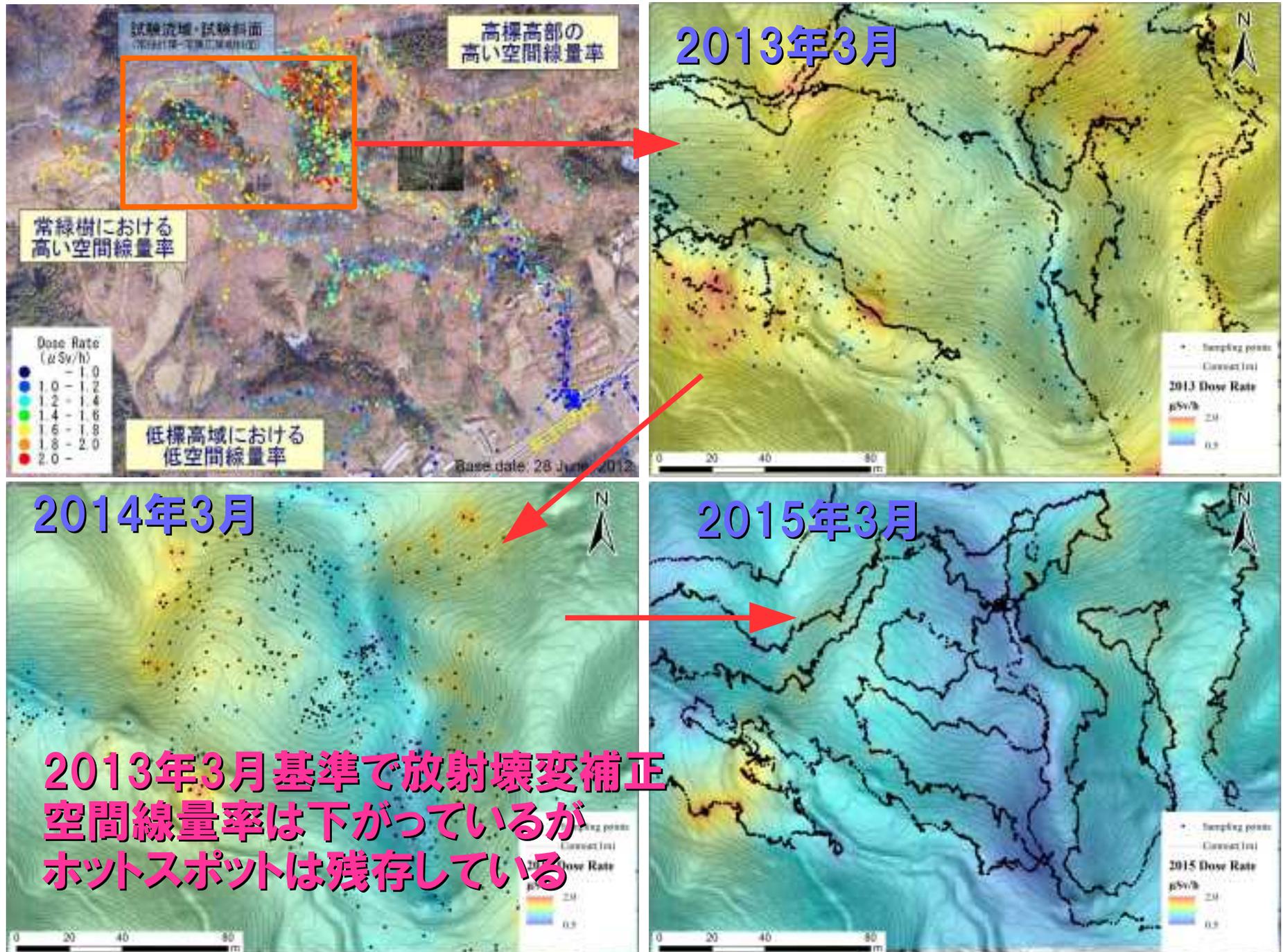
●山村の暮らしは田畑、住居、里山を含む小流域における水・物質循環のもとで成り立っている

●里山の放射能対策を！ —チーム千葉大—

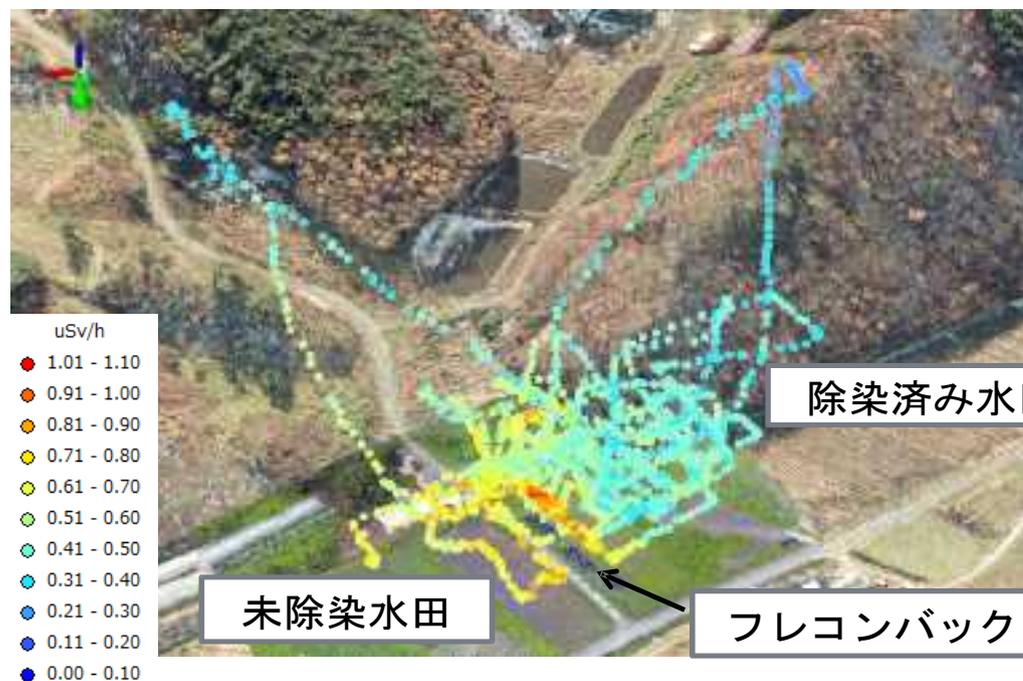
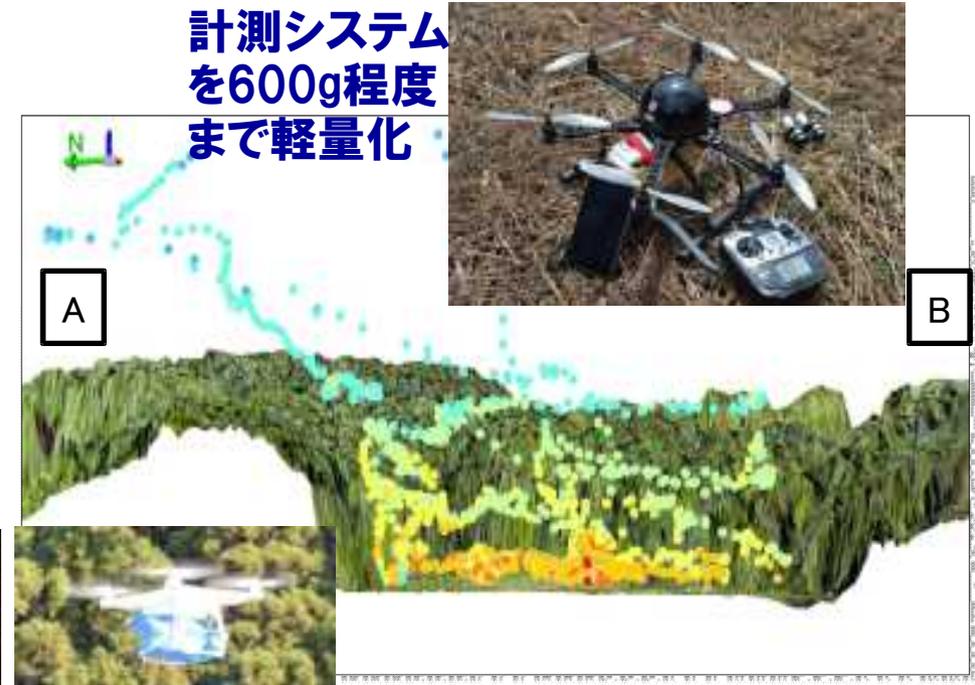
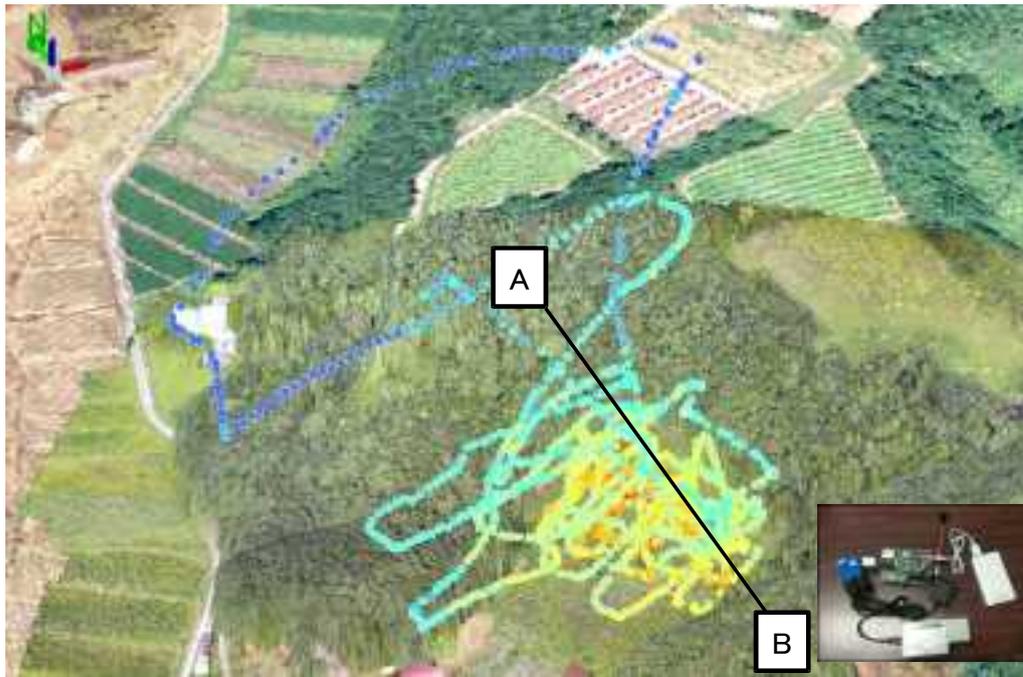




# 里山流域の空間線量率の分布と減衰

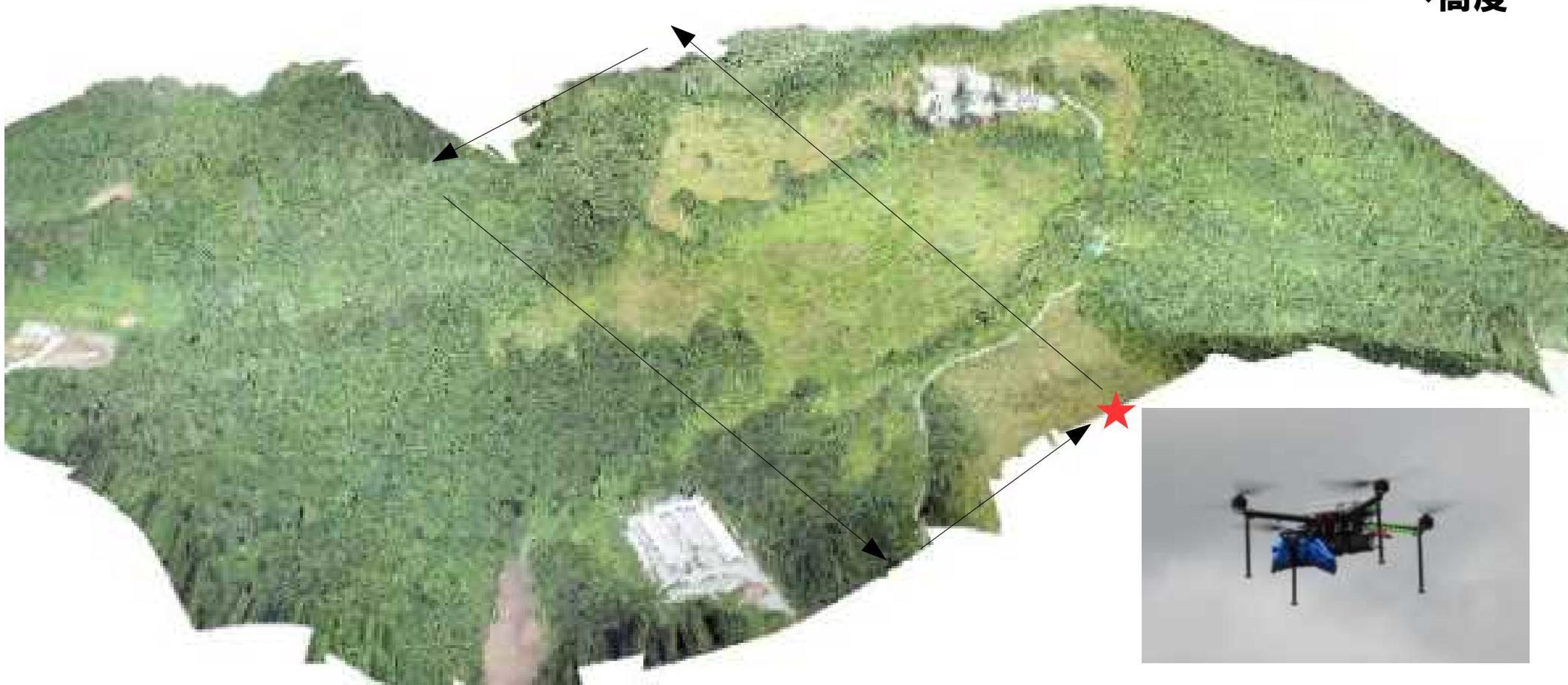
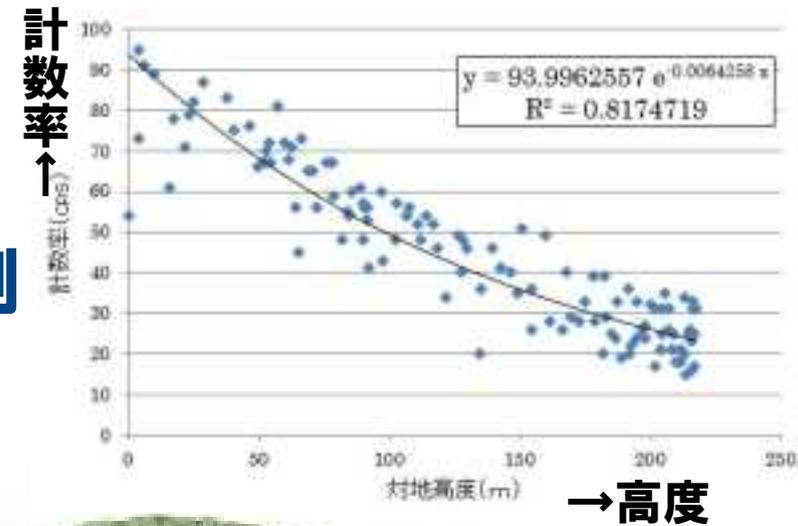


# マニュアル飛行による空間線量率の三次元分布



# 山林域における空間線量率計測の手順の確立

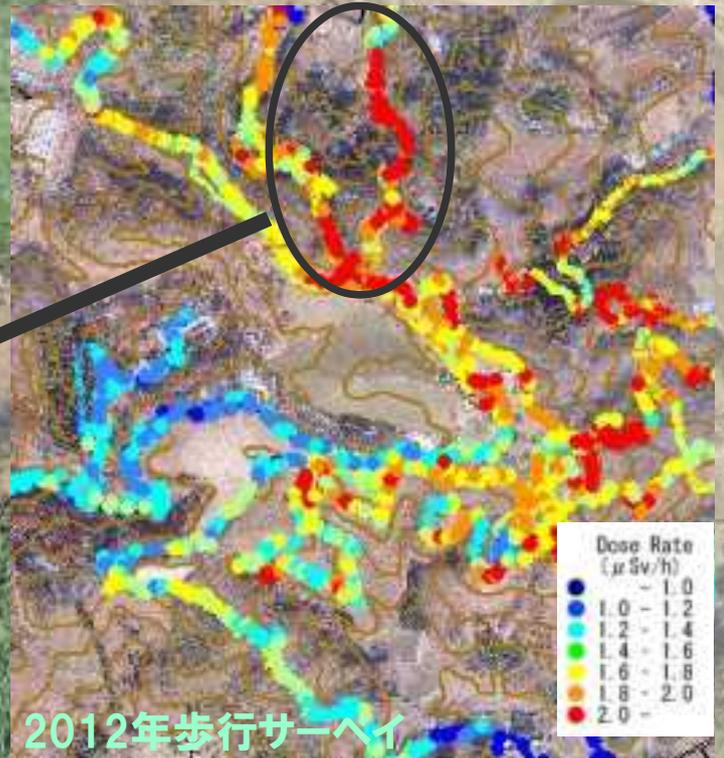
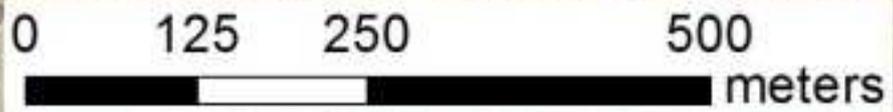
- ①DSMの作成—飛行高度設定
- ②飛行ルート設定-衝突防止
- ③空間線量率の鉛直分布の計測
- ④オートパイロットによる飛行・計測
- ⑤1m高空間線量率へ変換



N

# 1m高空間線量率分布

離発着地点より30m高で測定

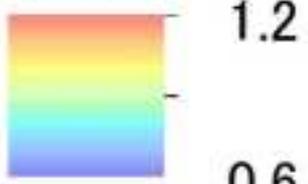


2012年歩行サーベイ

## 凡例

UAV 1m高換算

$\mu\text{Sv/h}$



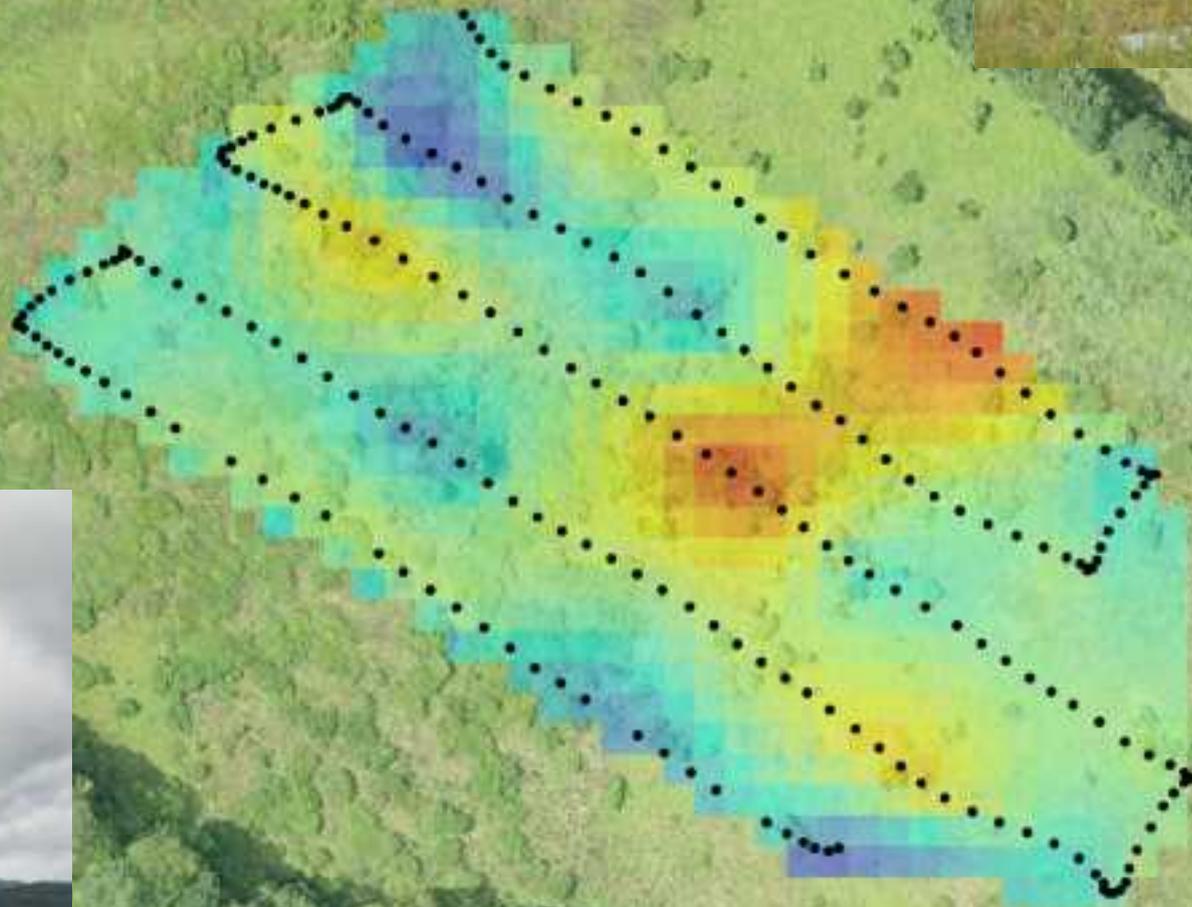
0.6

1.2



# 1m高空間線量率分布

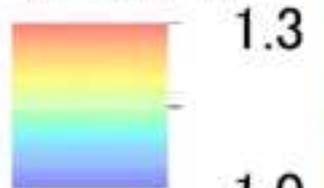
離発着地点より10m高で測定



凡例

150719

$\mu\text{Sv/h}$



課題は斜面に沿った飛行—勇気！—

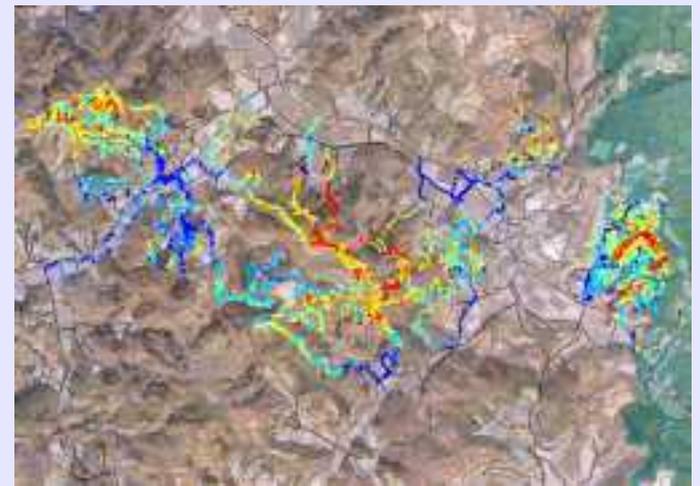


# 山木屋小学校周辺の空間線量率計測





# 放射能対策：どうやるか



歩けばわかる、空間線量率分布

## ◎里山・里地の放射能モニタリング

## ◎小技術・中技術で対策を 隔離、封じ込め：落葉かき、横筋工、粗朶工、など

## ◎落葉かき 落葉直前に実施 その後、新たな落葉、積雪が地表面を保護

## ◎山に関わり続けること ここに何らかの経済的価値を付与できないか

# 未来へ提案

◎放射能汚染マップの作成

◎森林の放射能対策

◎ワンストップ相談室

◎暮らしの基盤の確立

◎市場対応



ドローンによる計測もできます(山木屋小学校)

除染等検証委員会の報告書に書いた提案の実現！

# 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 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 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 温湿度分布
- ⑦ その他



# 無人航空機(ドローンを含む)の飛行禁止空域

## ① 空港等周辺

滑走路からの位置に応じた飛行禁止空域が設定されている



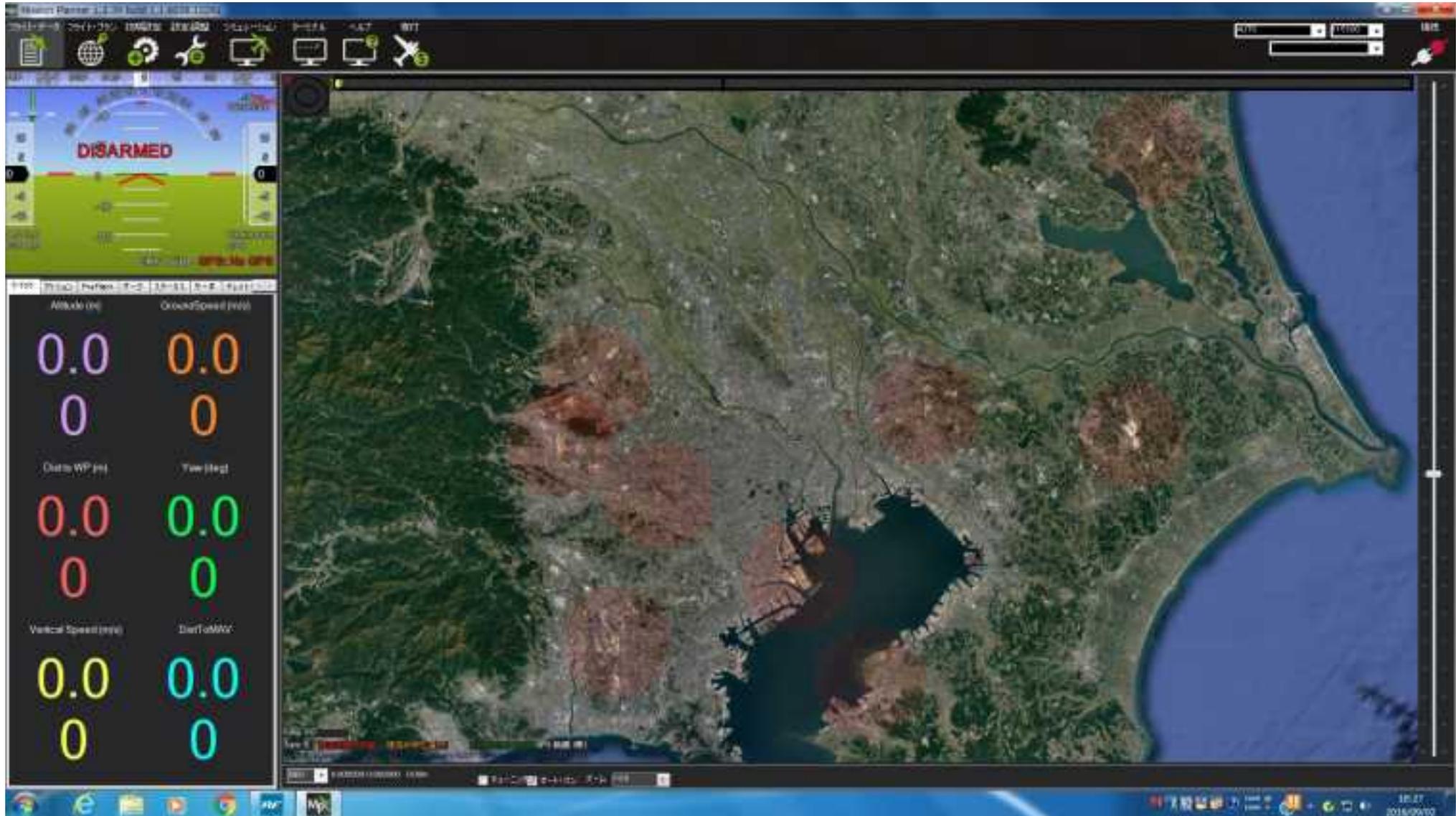
## ② 高さ150m以上の空域

これより上は有人飛行機の領域

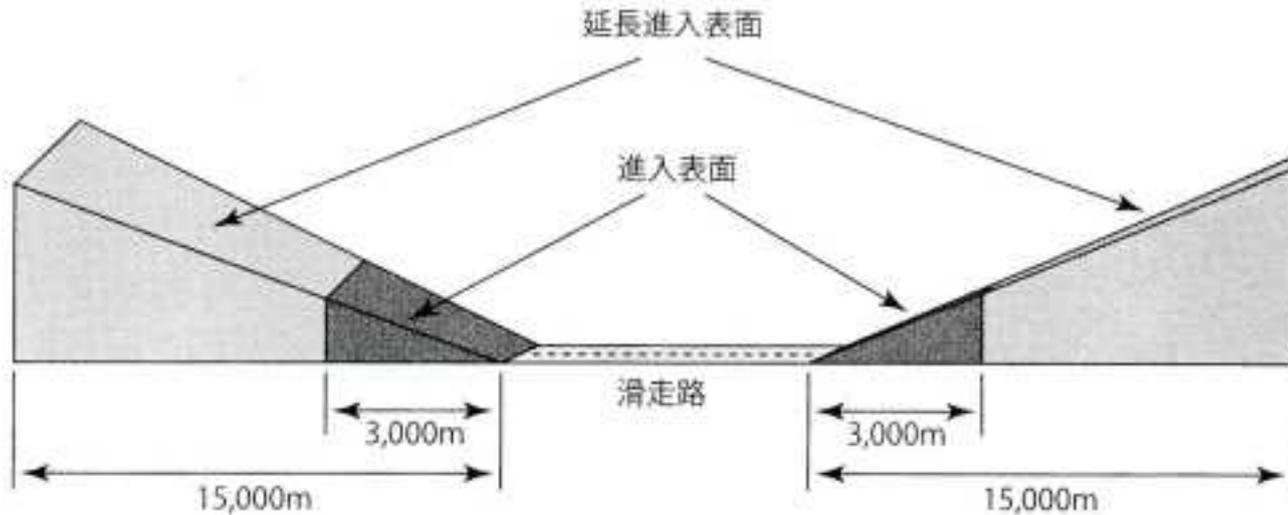
## ③ 人口集中地区の上空

市街地は飛行禁止

# 空港の周辺におけるドローンの飛行は注意

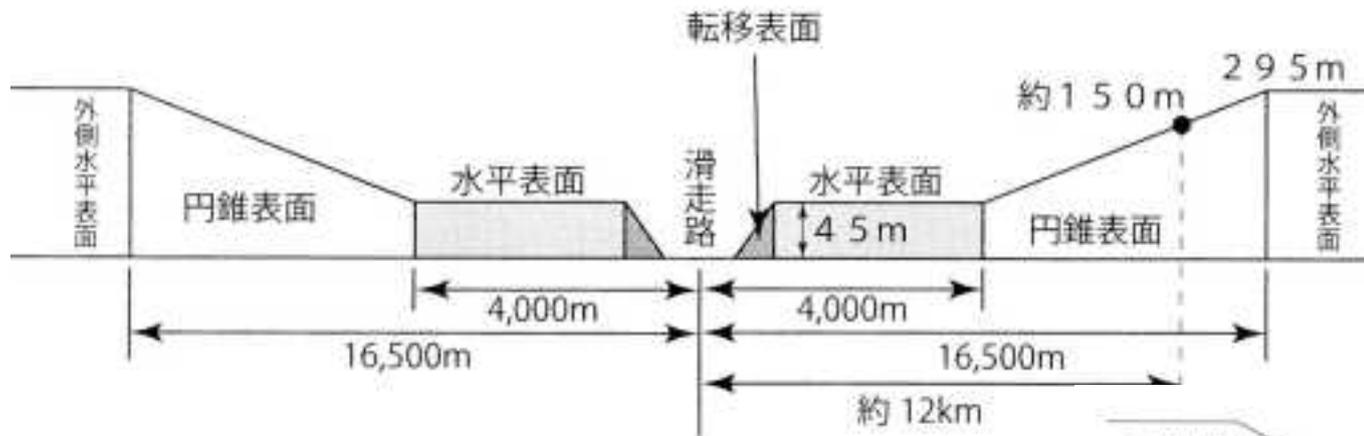


# 無人航空機(ドローンを含む)の飛行禁止空域

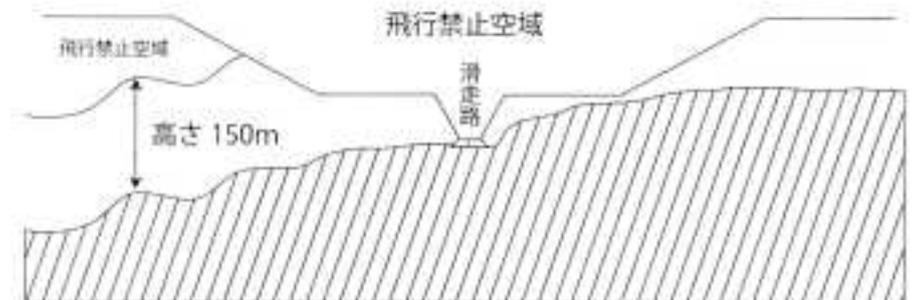


定められた「表面」  
の上空は飛行禁止

最大高度は150m

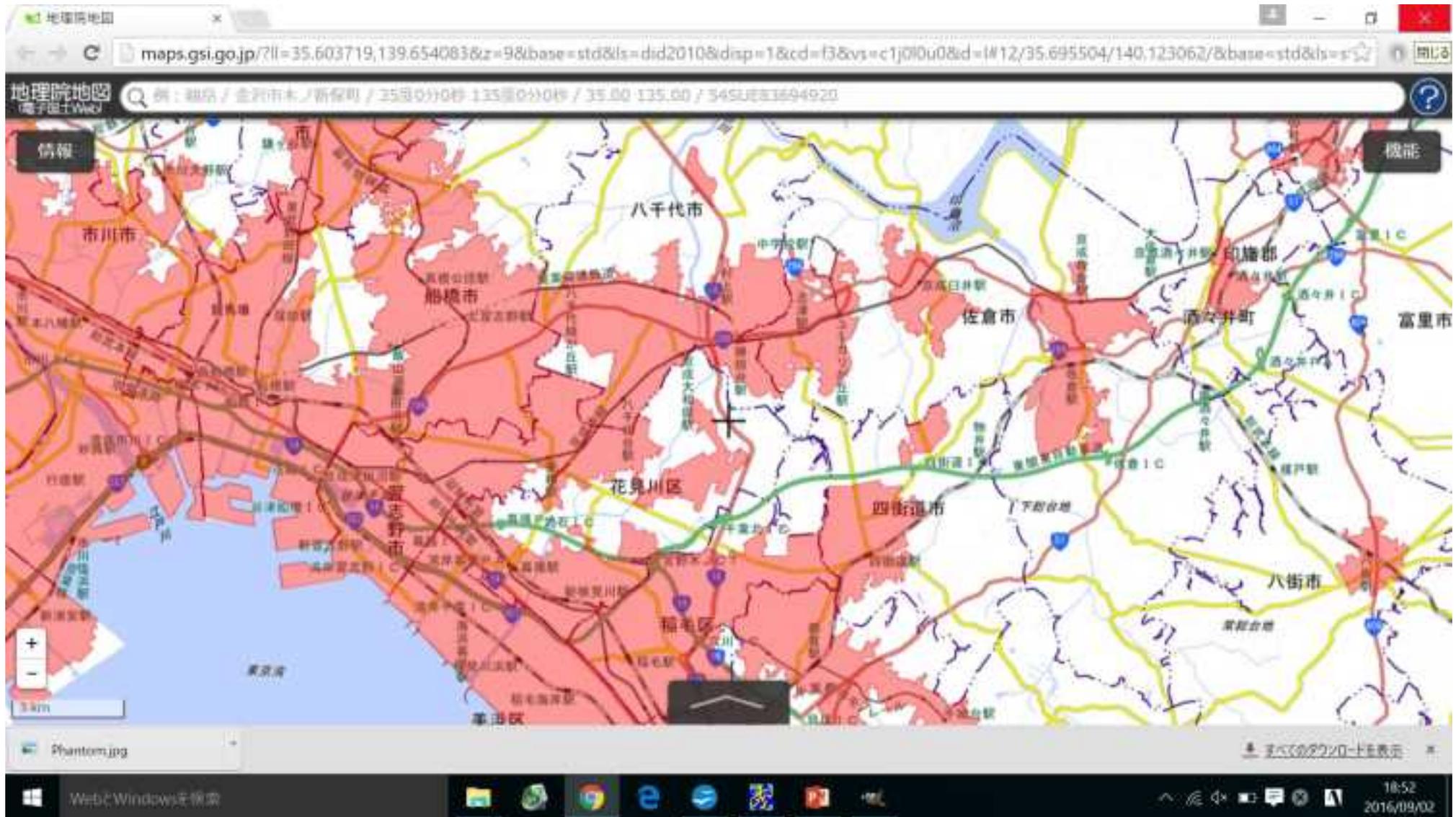


周辺の地形に傾斜がある空港では、滑走路を基準として「表面」が定義され、その上空は飛行禁止



# 人口集中地区(Densely Inhabited District)

国勢調査の結果によって定義された、人口密度約4,000人/km<sup>2</sup>以上の国勢調査基本単位区がいくつか隣接し、合わせて人口5,000人以上を有する地域



**DID地区で飛行させるには許可が必要です！飛行が可能か、地理院地図で確認しましょう！**

# 今後の挑戦 固定翼機による長距離飛行





**近代文明人って何だろう  
仕組みを知り、自分で組み立て、修理できる  
機材を暮らしに活かすことができる人**