



2017.9.13 インフラセンシングの新たな展開

UAVリモートセンシング技術の 社会的課題への応用

近藤 昭彦

千葉大学環境リモートセンシング研究センター

<http://www.llsci.net/klab/>

田中 圭（日本地図センター）

濱 侃（千葉大学・学振特別研究員）

リモートセンシングとは

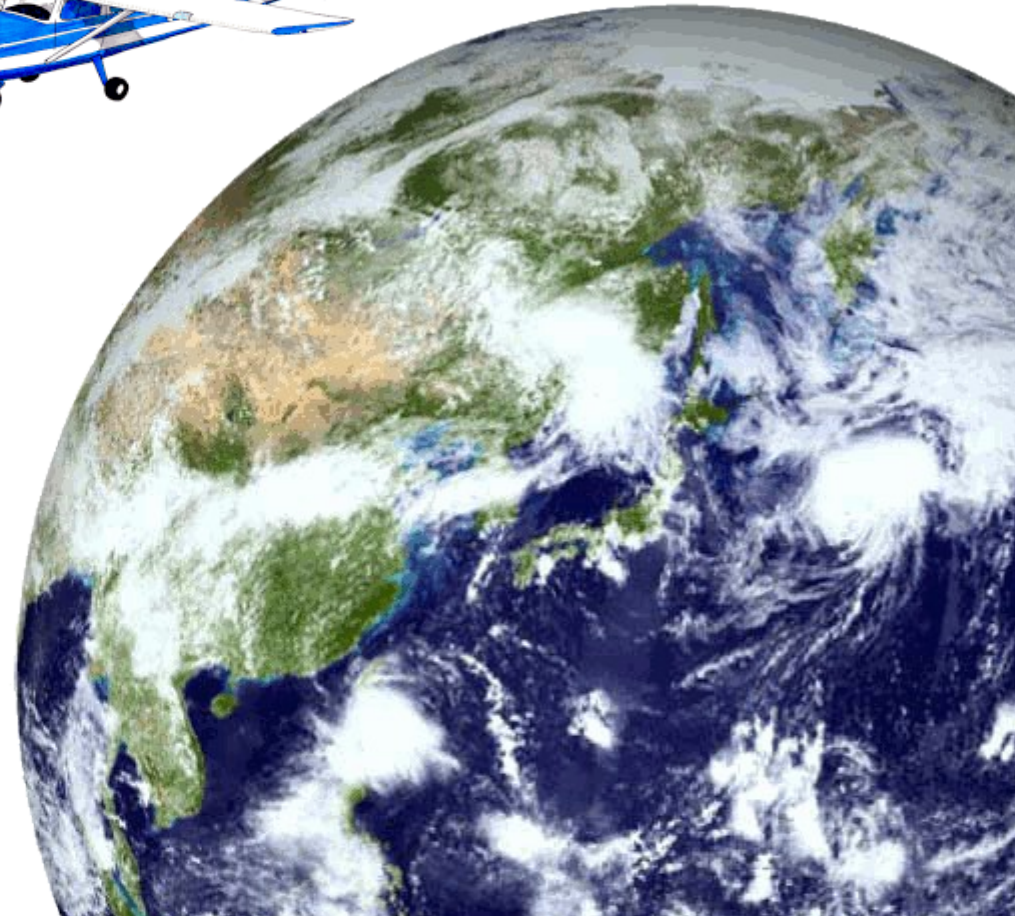
離れた (remote) ところから、対象を観測 (sensing) して、その種類や性質、状態を推定する技術



どこから見るか

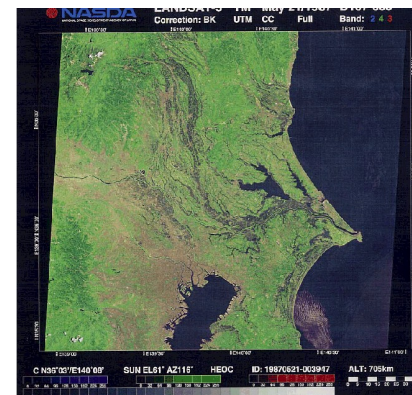
- 人工衛星リモートセンシング
- 航空機リモートセンシング
- UAVリモートセンシング
- 近接リモートセンシング

UAV: Unmanned Aerial Vehicle

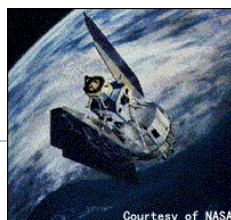


人工衛星による地球環境観測

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

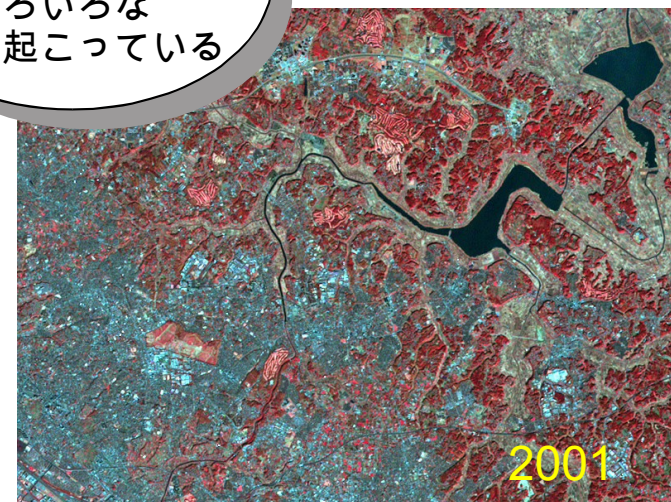


1972

- | | |
|------|------------------------------------|
| 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？

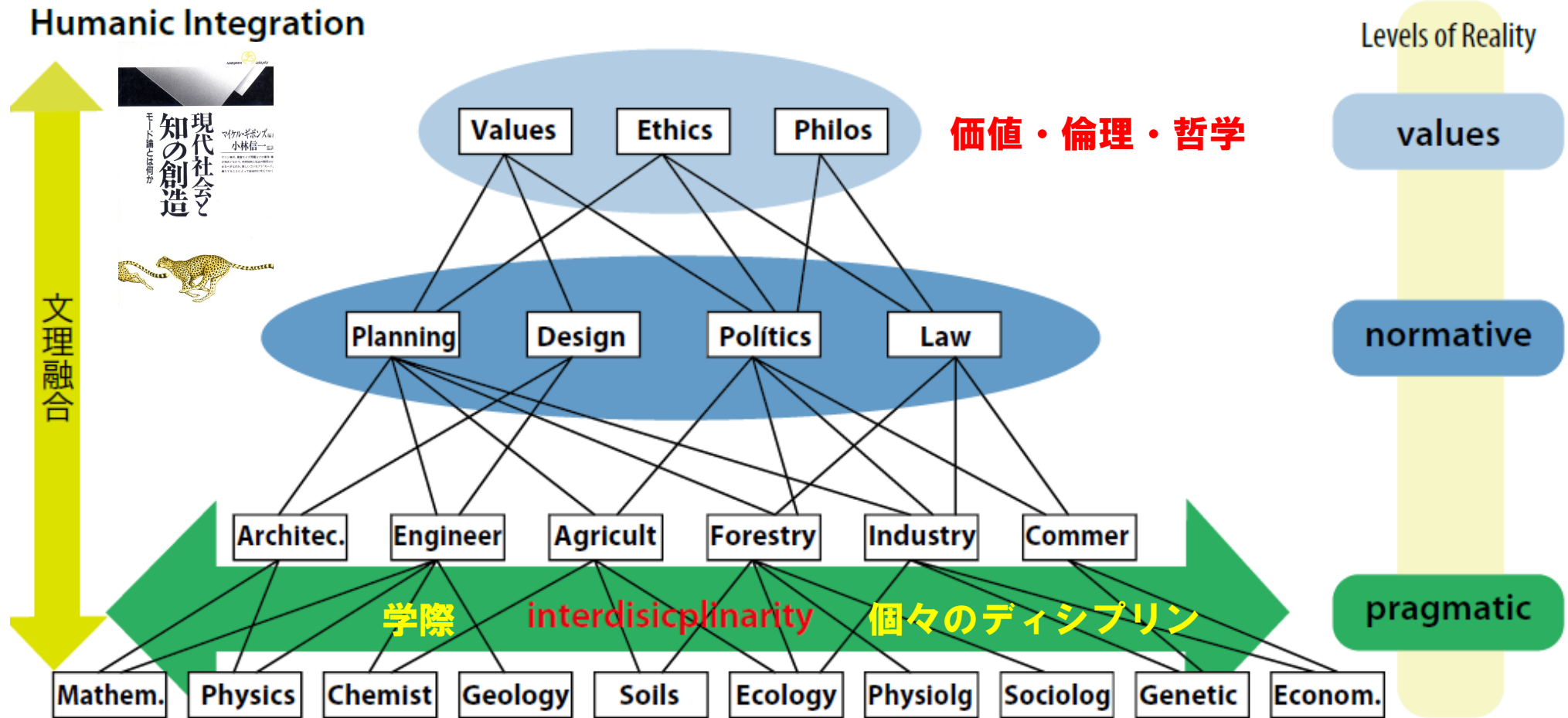
たとえ人が、
気がつかなくても、
いろいろな
変化が起こっている



2001



2014年から始まった地球環境研究イニシアティブ Future Earth —Transdisciplinarity(超学際)—



トランスディシプリナリティー、地球研ニュースNo.36(原図Max-Neef 2005.9)

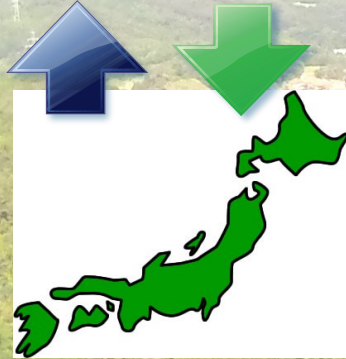
- 課題解決型研究 社会の中の科学、社会のための科学
- ステークホルダーと一緒に立案、実施 超学際の実現

●リモートセンシングによる**超学際**は可能か



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



● UAVリモートセンシングの可能性を拓いたもの

- ・低価格で、高機能な機体の登場
- ・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

いろんな可能性
がいそうだわ！

● 技術の社会的課題への応用

- ・技術は、それを適用できる課題とともにある
- ・最高の技術が、最大の解決能力を持つわけではない



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



Zion QC630
着陸体勢



DJI PHANTOM2
空間線量率測定中



3DR SOLO コンデジ搭載、
オートパイロット



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

UAVリモートセンシングの方法

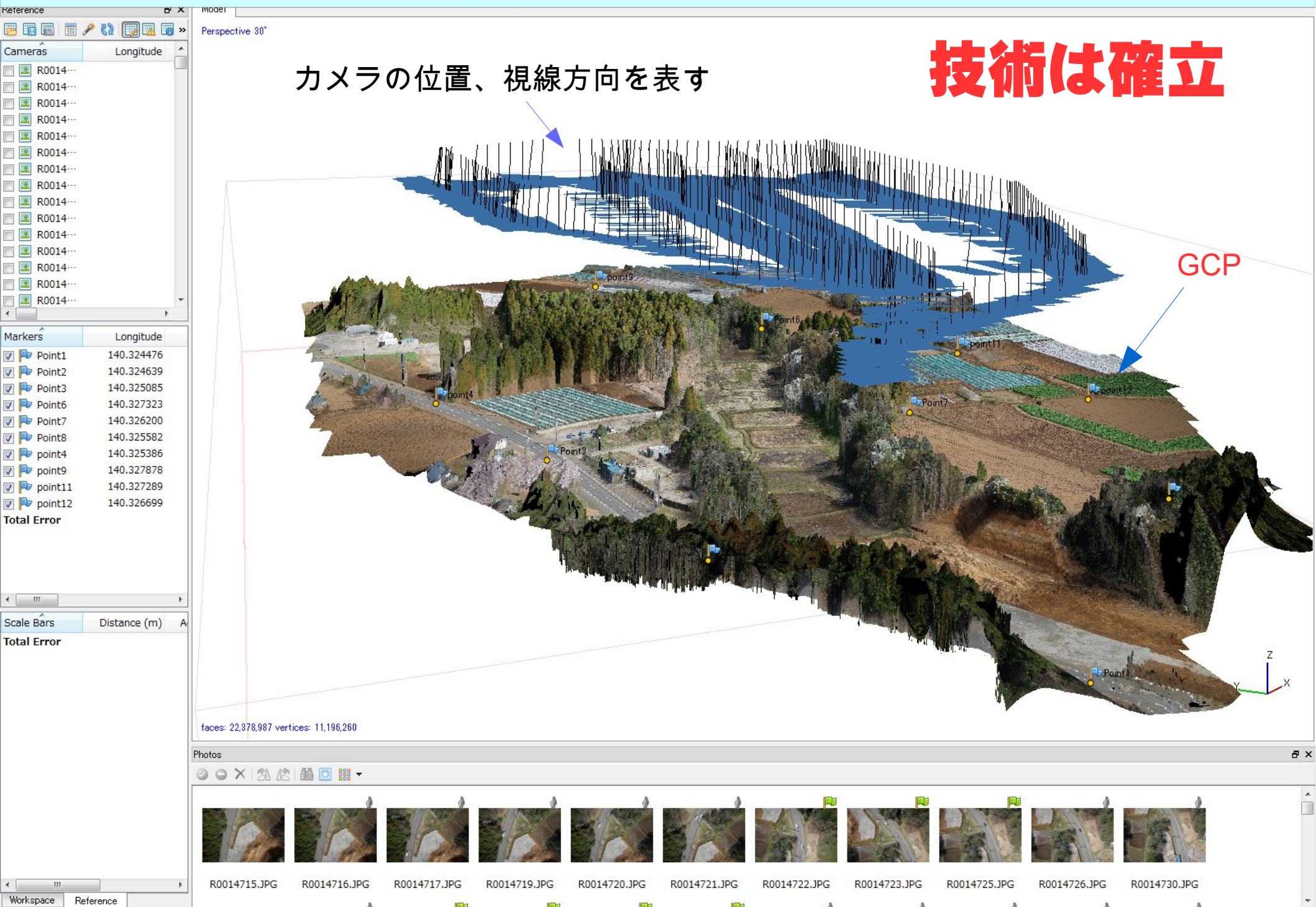
- ① 測量 SfM-MVS技術の活用
- ② 可視・近赤外RS 植生リモートセンシングの蓄積
- ③ 計測 センサー搭載用プラットフォーム
- ④ その他

様々な課題
解決へ活用

取り組み中の課題

- ① 測量 オルソ画像、3Dモデルの作成
外来生物の分布・動態 ナガエツルノゲイトウ
- ② 可視・近赤外RS 農業への応用
水稻の生育診断
- ③ 計測 環境計測
空間線量率の3次元分布計測
- ④ その他

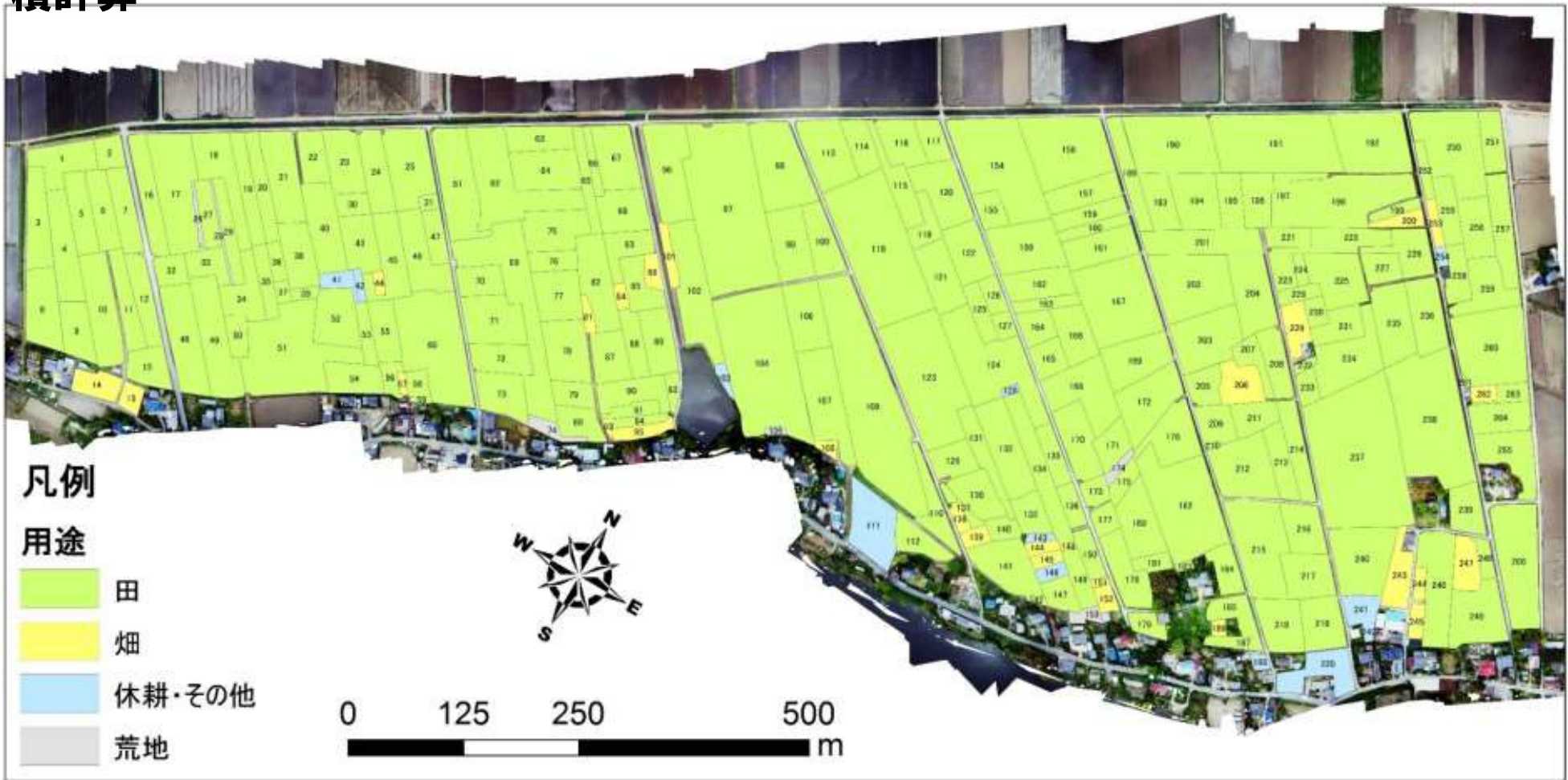
①測量 SfM-MVS技術の活用－3Dモデルの作成



測定の効率化

多面的機能支払いのための測量

- 高度100m、飛行距離約2kmのフライトを6回実施
- 基本図からGCPを得て、画像をPhotoScanでオルソ化
- GISで圃場ごとにポリゴン化、面積計算



●UAV/RSの生態系モニタリングへの応用

特定外来生物(水草)ーナガエツルノゲイトウーの分布 時間変化を空撮でモニタリング



問題点

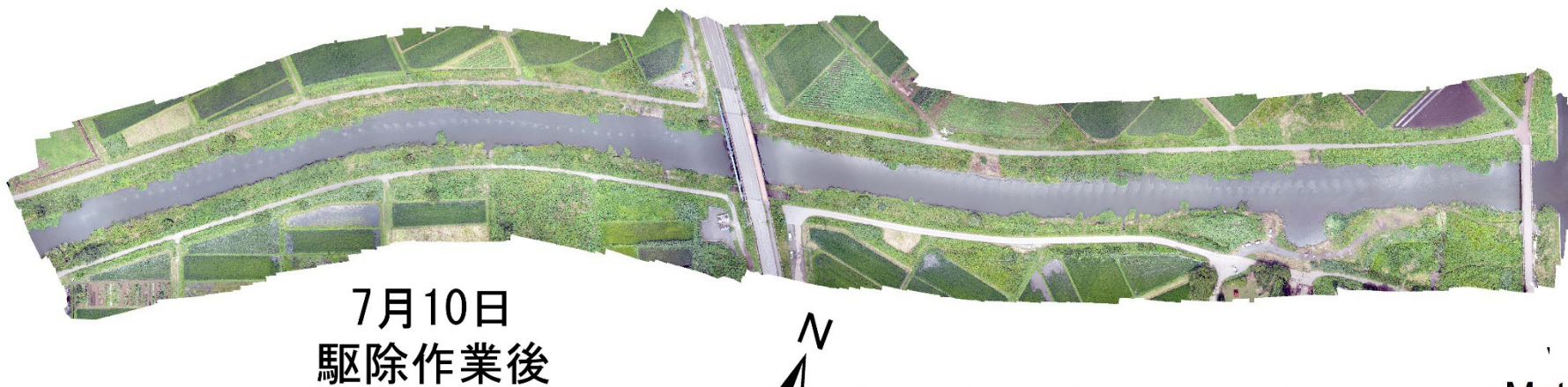
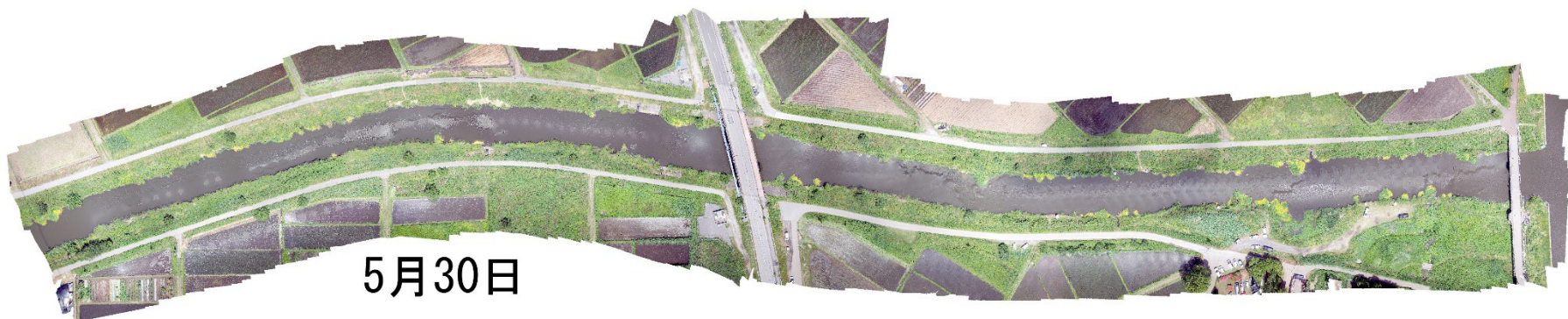
洪水時の疎通障害
排水ポンプの機能不全
水田への侵出
在来生態系への影響
...

ナガエツルノゲイトウ

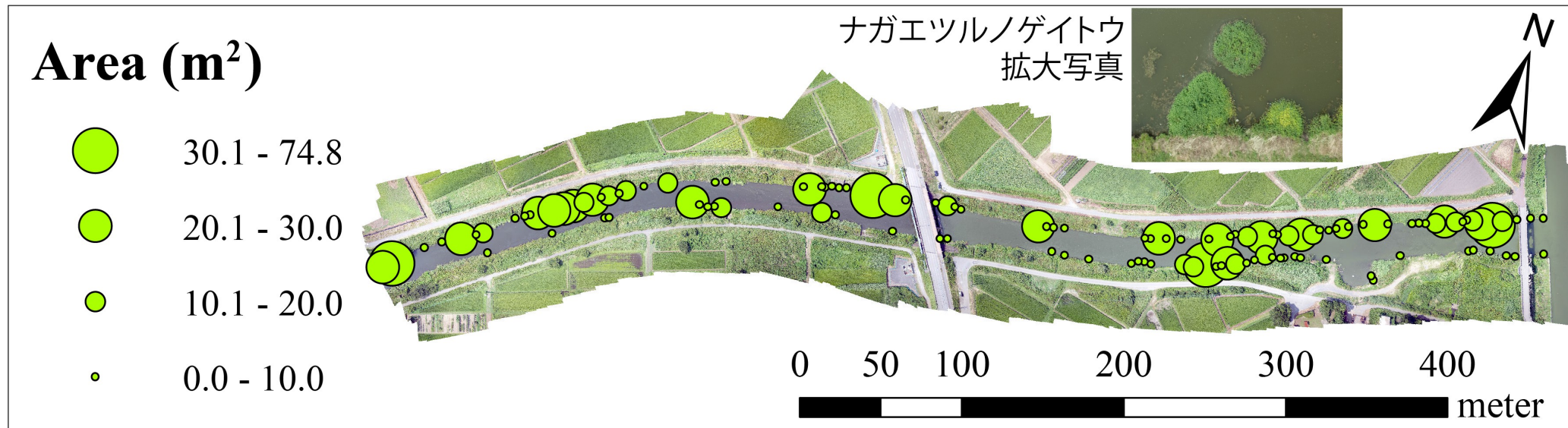


千葉県、印旛沼流域では治水、利水施設の運用や農業に大きな打撃

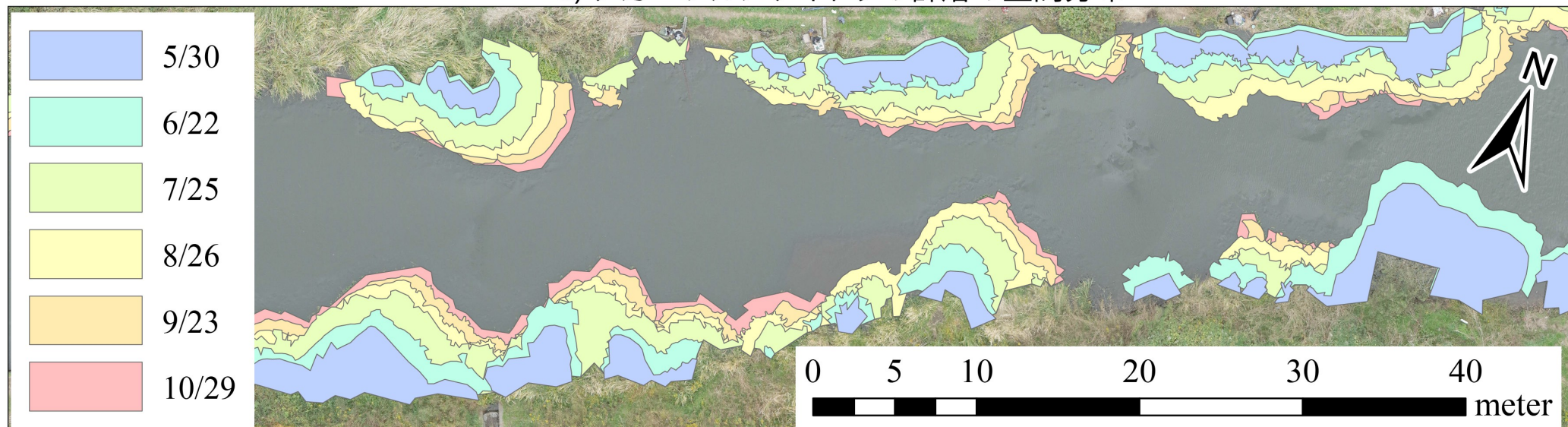
オートパイロットで50m高から河岸を撮影し、オルソ空中写真を作成



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

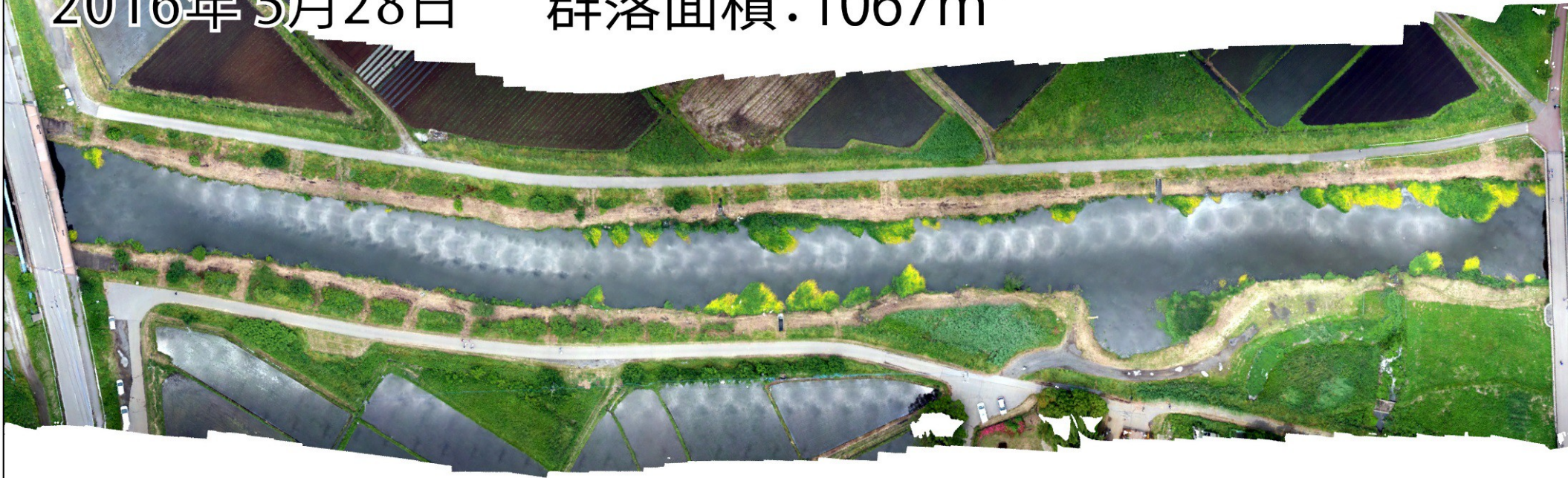


行政、市民共同の駆除作成における基礎データとして活用



2016年 5月28日

群落面積:1067m²



2016年 8月26日

群落面積:248m²



成果が見えて
気分いいわ！



0

50

100

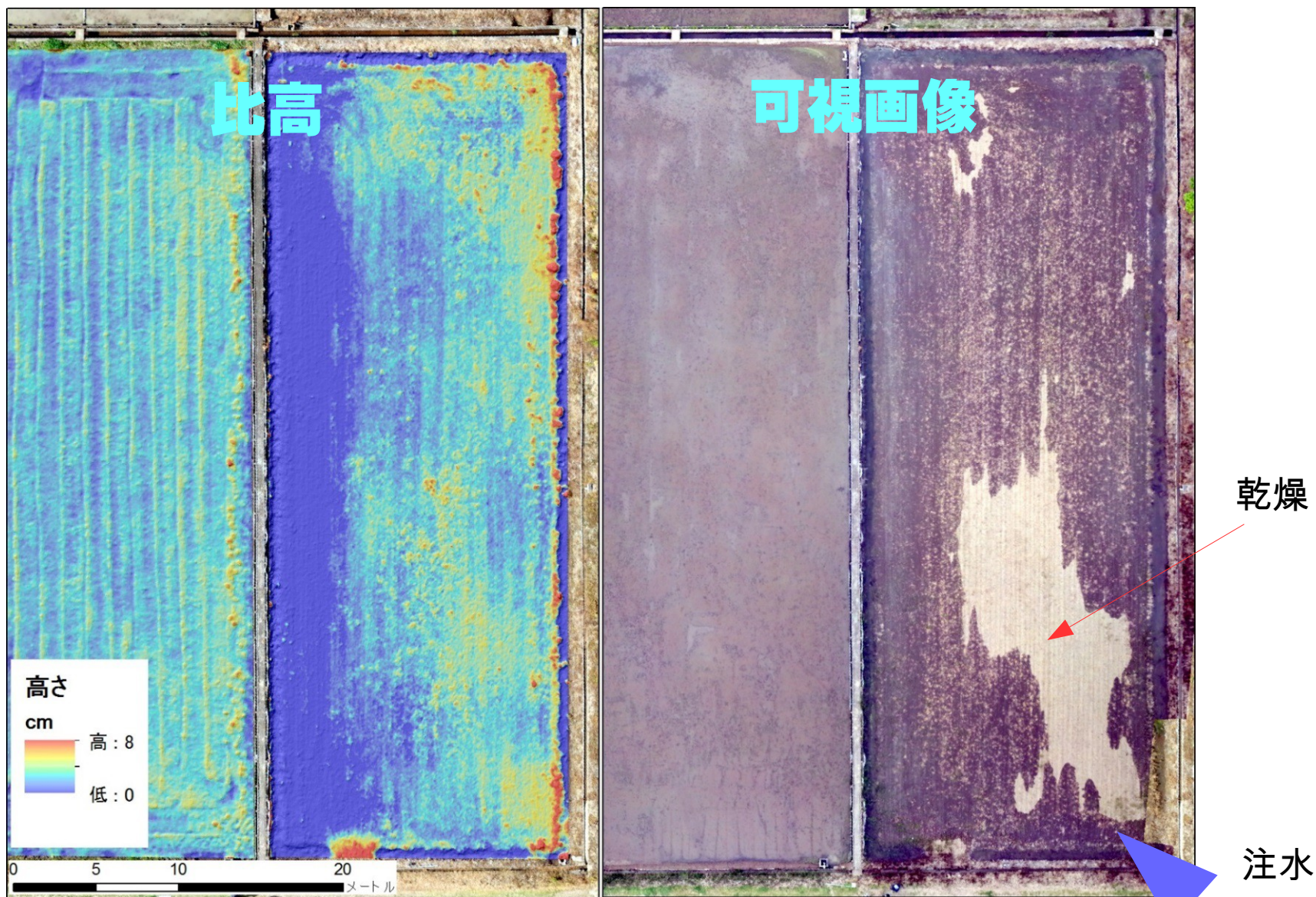
200

m



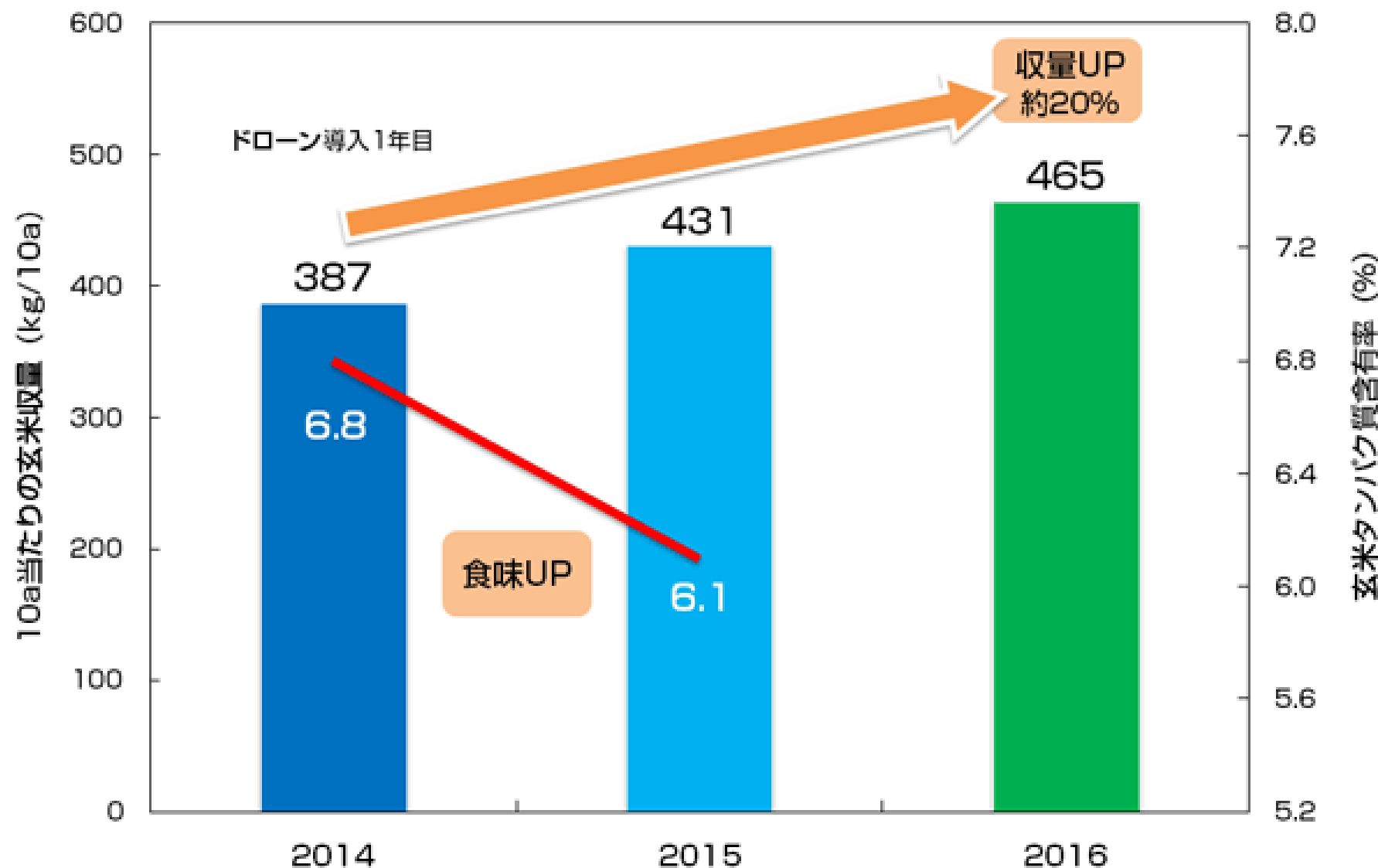
圃場内の高低差計測（SfM-MVSの応用）

- 代掻き前に圃場の高低差マップを作成⇒これを元に均平化
⇒大規模圃場で直播（ちよくは）を行う生産者にとって重要な課題



新規就農者によるUAV/RS活用

圃場均平化の効果が大きい



(現代農業2016年11月号)

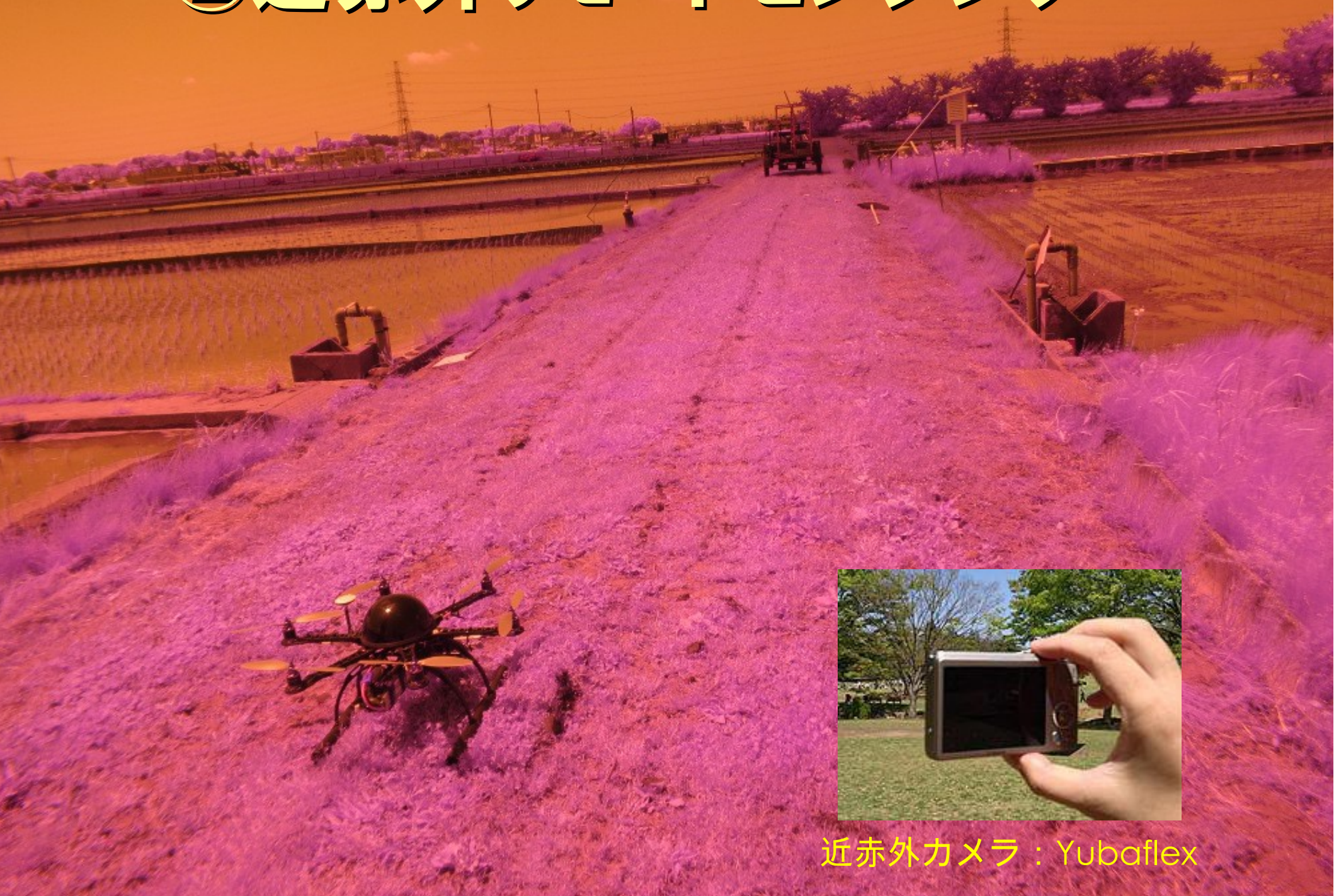
空からイネの生育診断

埼玉・田中圭

新米兼業農家、
どろん米に挑戦中 上



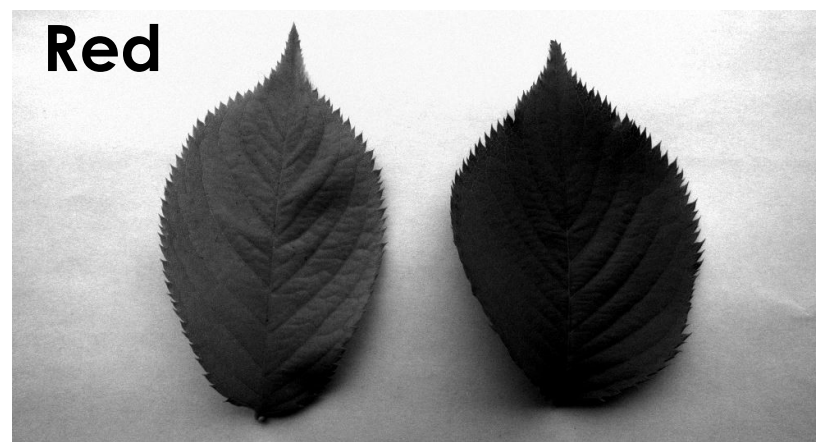
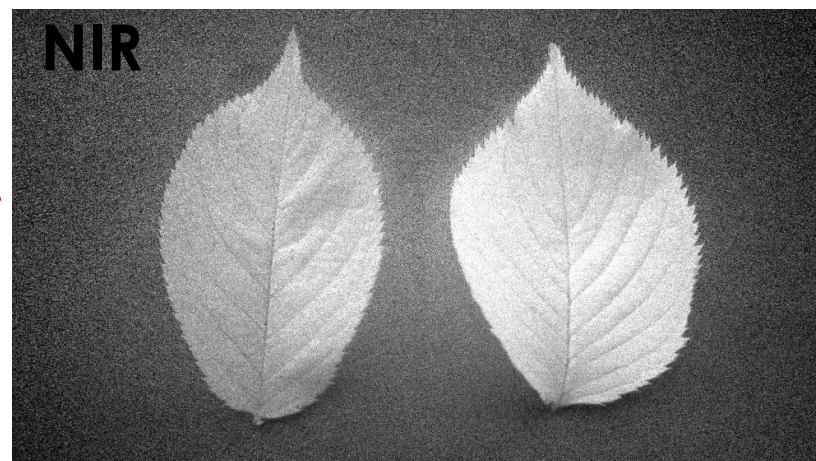
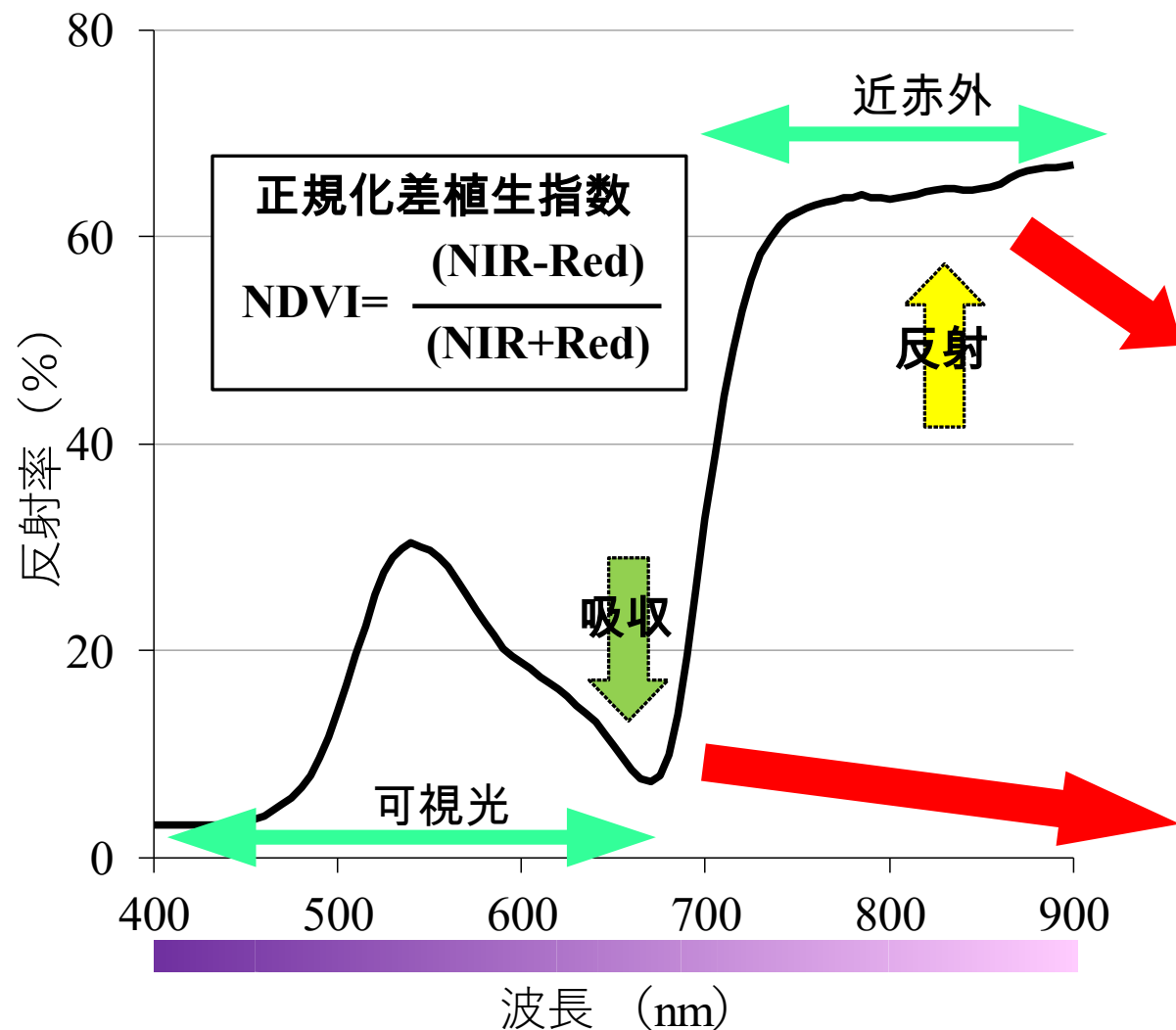
②近赤外リモートセンシング



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 -

- 植物の分光反射特性を利用
→ 植生のシグナルを抽出



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



近赤外カメラ —農業UAV/RSの課題—

- どのカメラ(センサー)を使えば良いのか？

⇒ドローンによる農業支援における最大の壁！

Yubaflex : Bizwarks



RedEdge : MicaSense



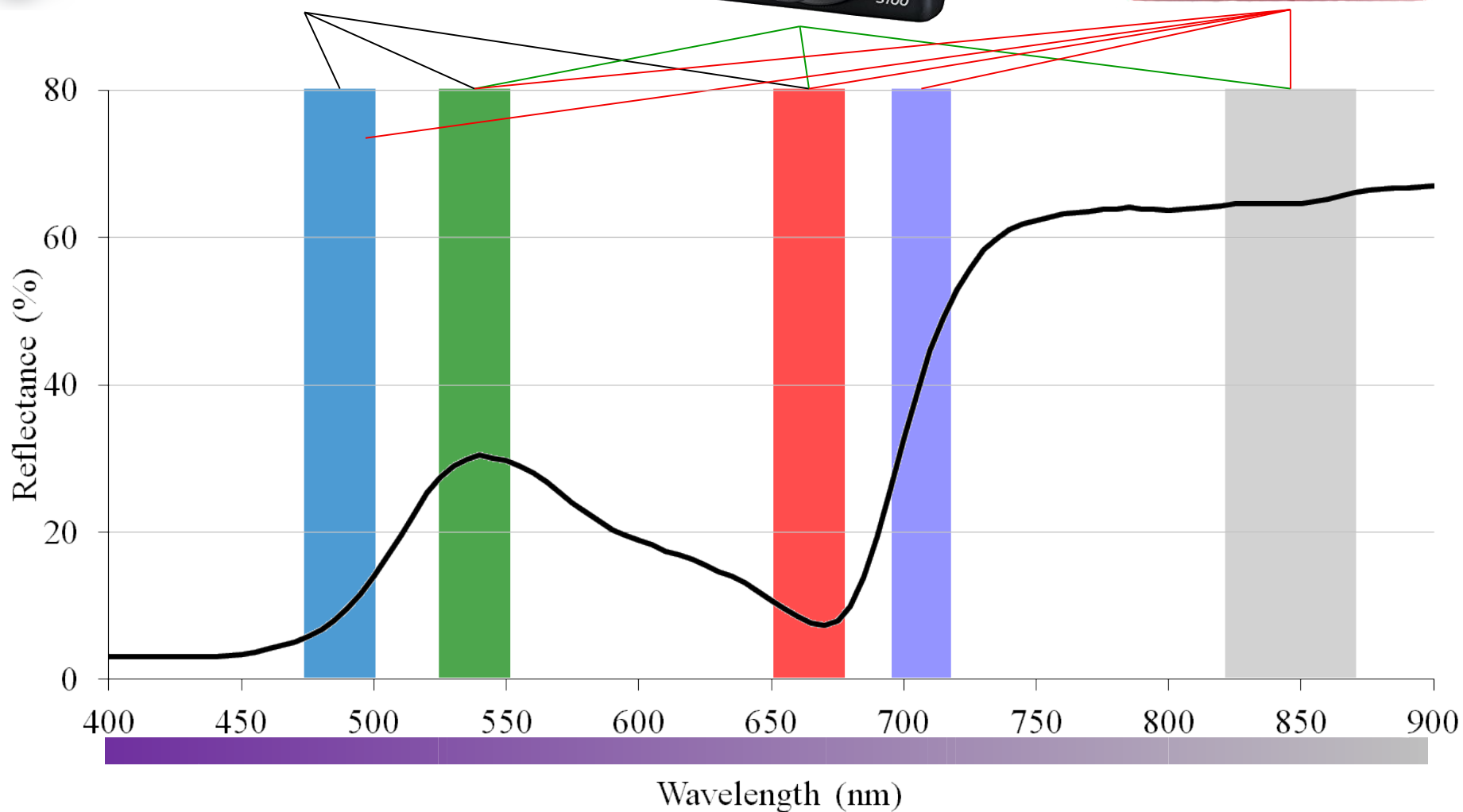
	Yubaflex (BIZW ORKS)	RedEdge (Mica Sense)
価格	27万円	90万円
使いやすさ	◎	△
画角	○	△
解像度	○	△
画像の鮮明さ (ブレ)	△	◎
ファイルサイズ	△	○
画像処理時間	△	◎

カメラと観測波長帯 どの波長で撮影すると良いか？

GR : RICOH

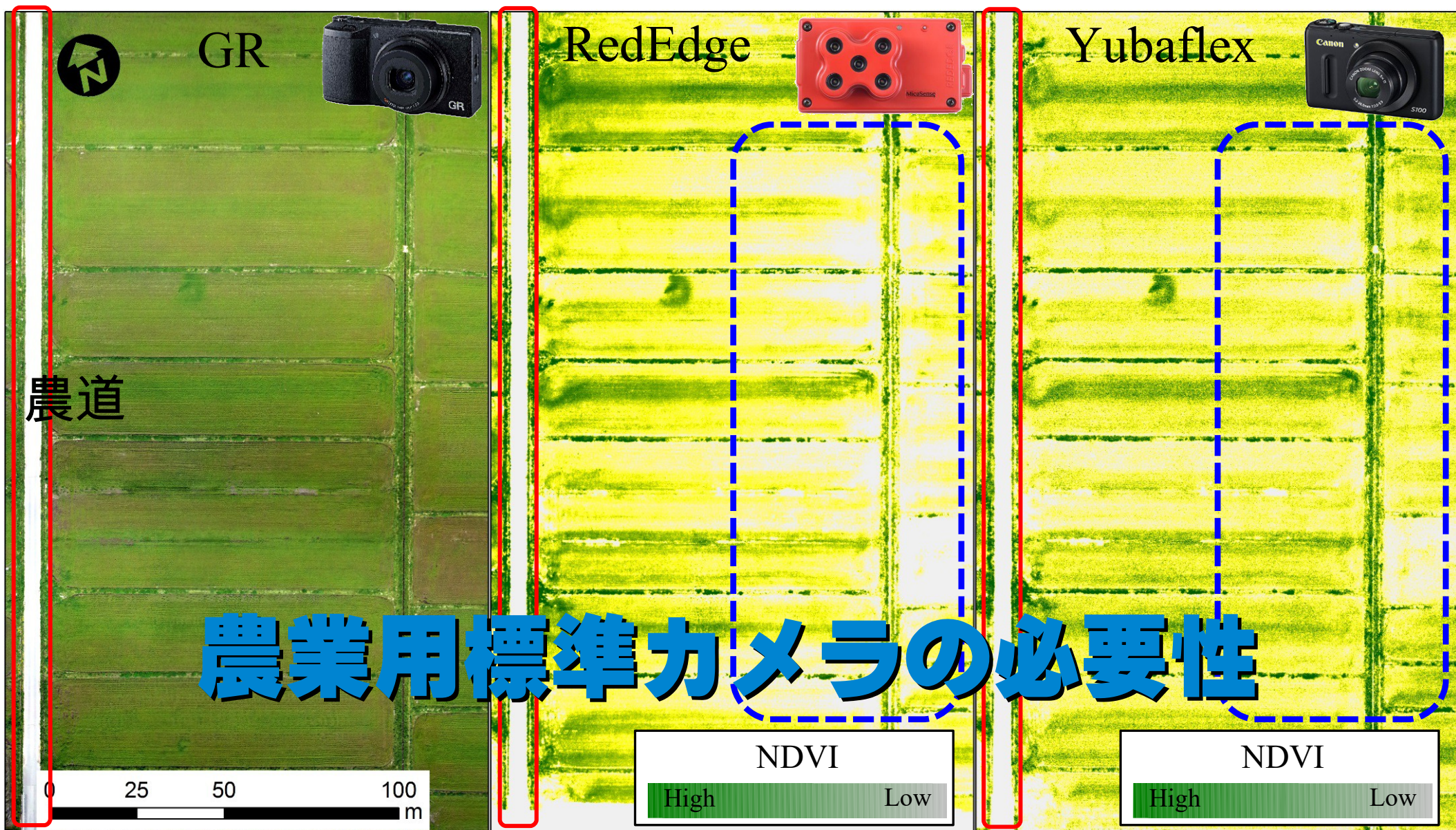
Yubaflex : Bizwarks

RedEdge : MicaSense

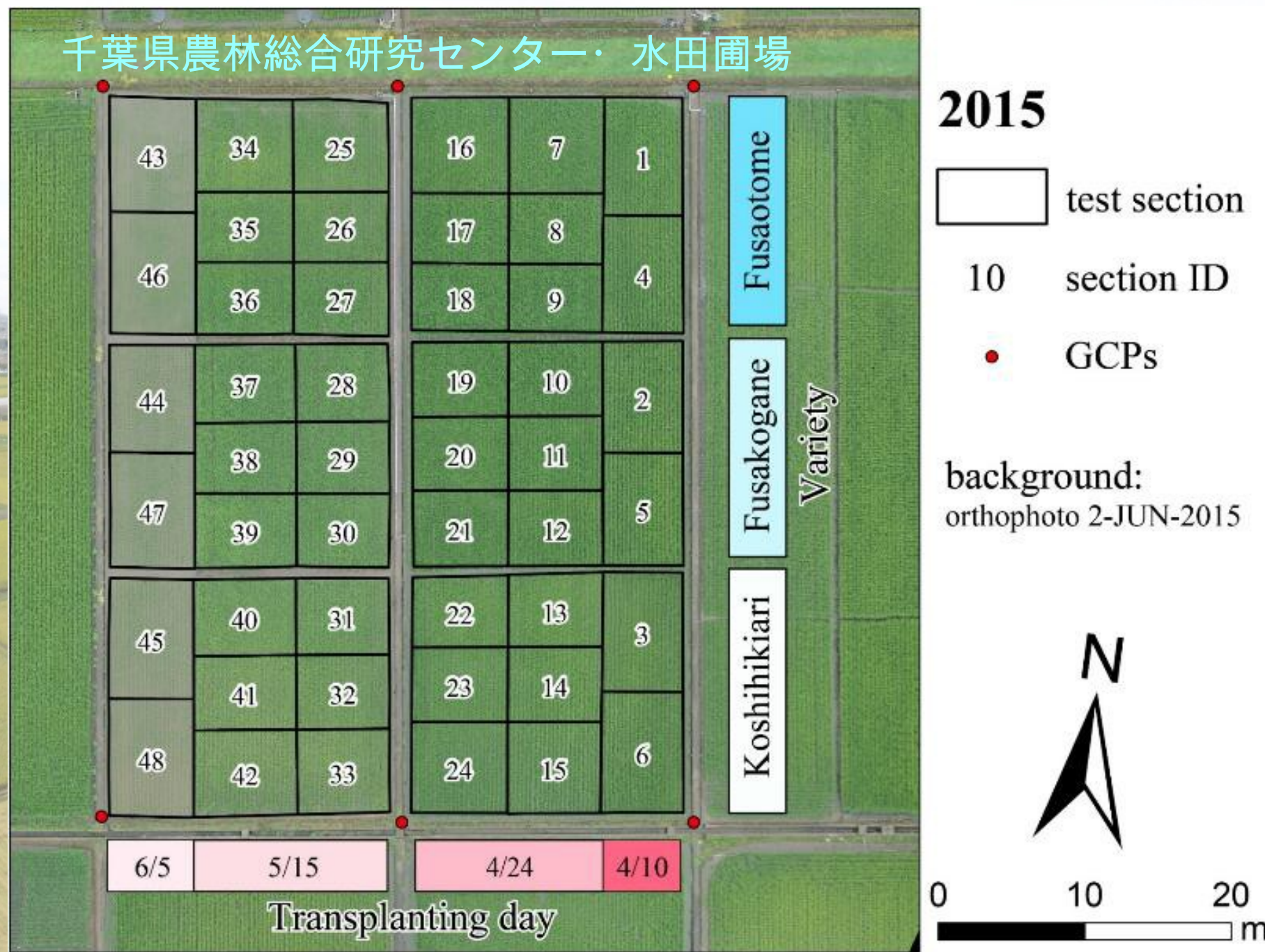


2台のカメラの比較結果 睦沢町の麦畑

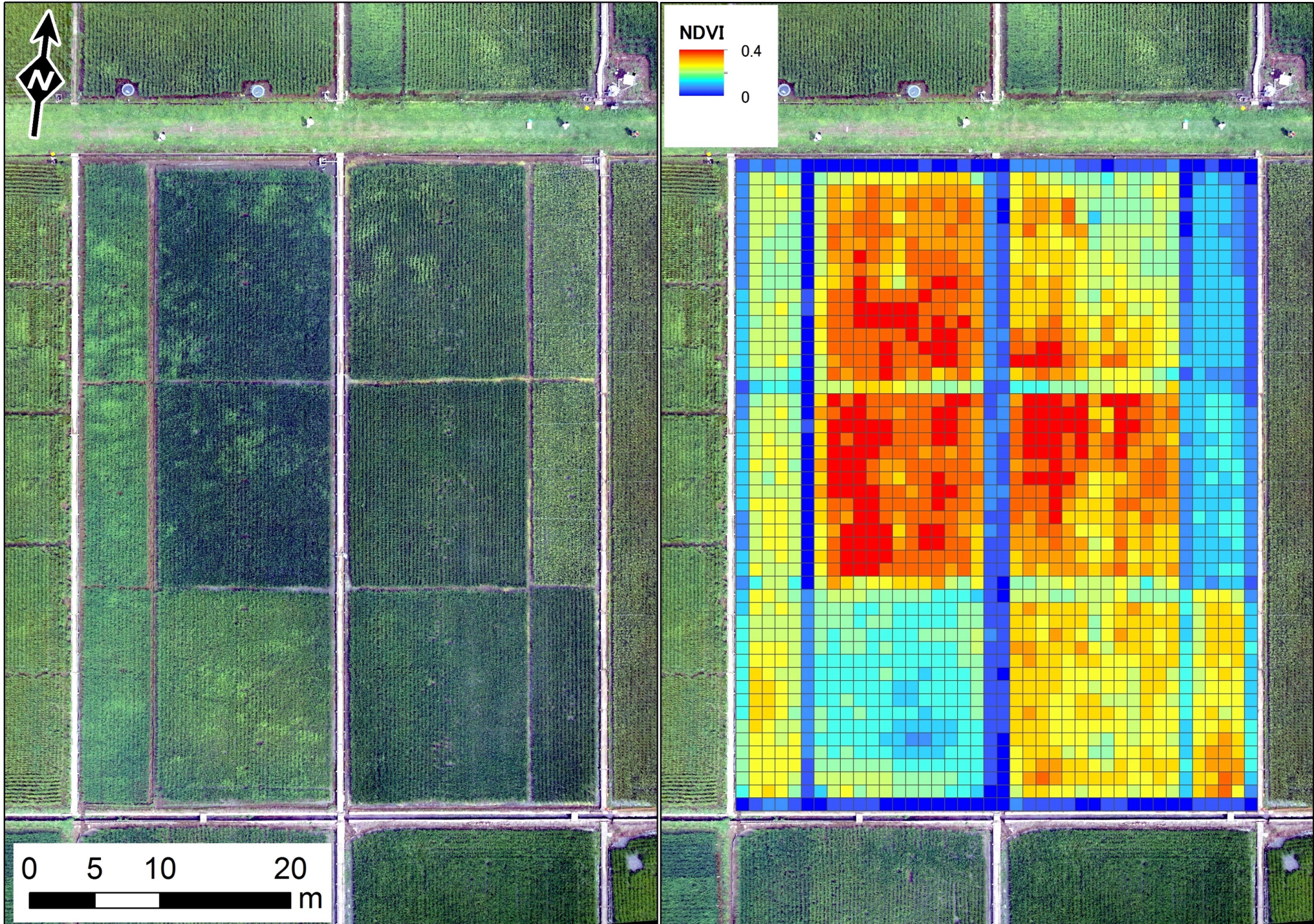
- RedEdge、YubaflexでNDVI分布が異なる



可視・近赤外リモートセンシングの水稲生育モニタリングへの応用



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



観測したコメの品種

千葉の米

コシヒカリ（中生）

1979年（昭和54年）から全国作付面積1位 - 作付比率36.1%(2015)-
米の粘りが強く食味に優れる品種
草丈が高く、倒伏しやすい。

ふさおとめ（早生）

千葉が独自育成し、平成11年（1999）に品種登録
『ひとめぼれ』と『ハナエチゼン』の掛け合わせ
千葉県内で最も早期に収穫可能で、少し粘り気が弱い

ふさこがね（早生）

千葉が独自育成し、平成19年（2007）に品種登録
『ふさおとめ』と『中部64号』の掛け合わせ
気候変化（高温耐性）、台風に強く、ふさおとめの次に収穫可能



水稻のフェノロジー(コシヒカリ, 5月12日植え)

田植え後15日

50日



60日

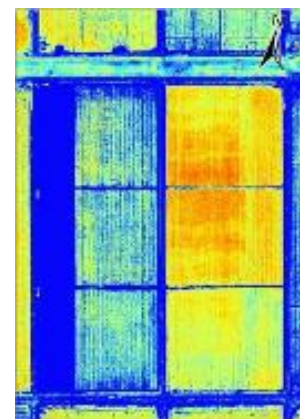
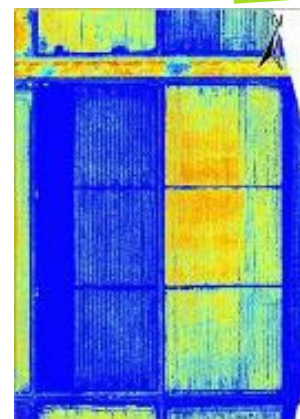
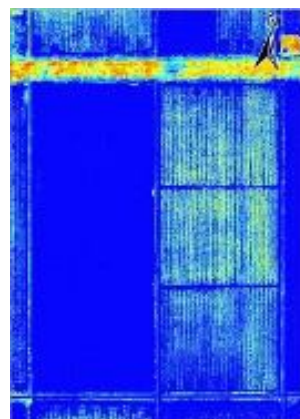
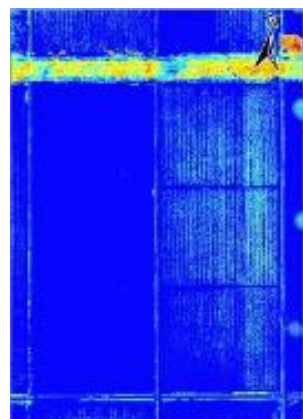
80日



90日

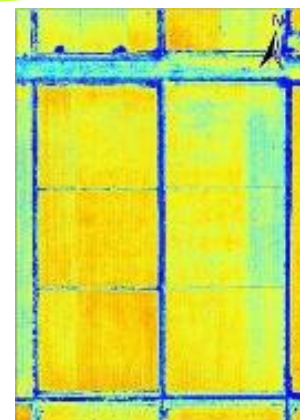
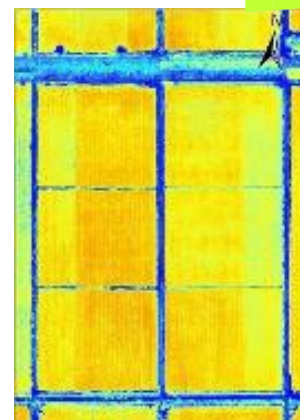
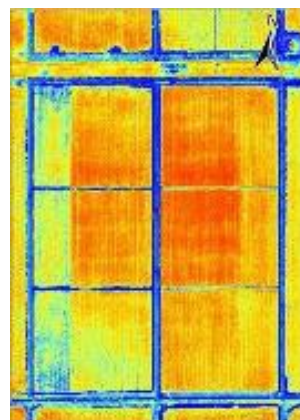
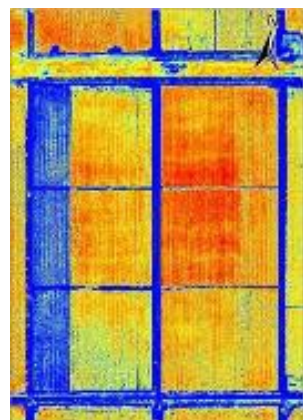
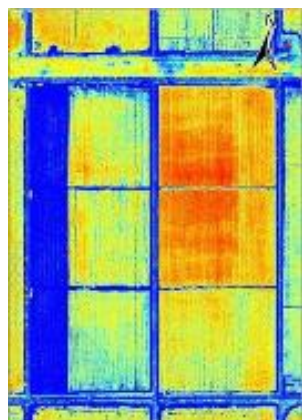
110日





6月下旬

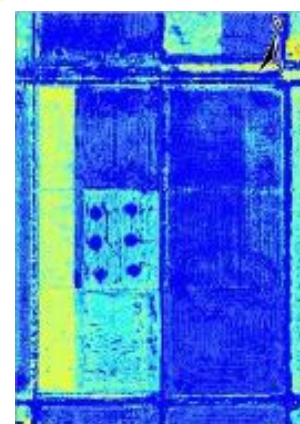
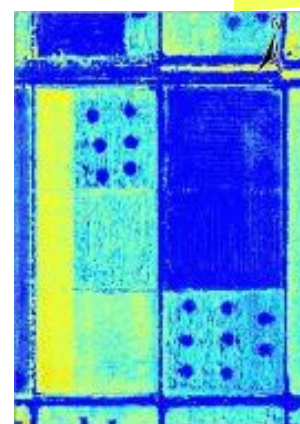
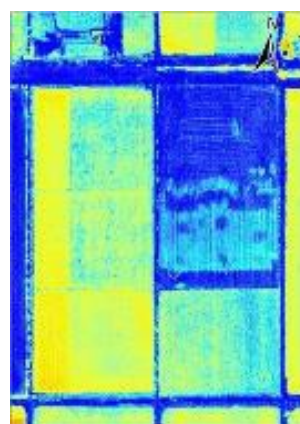
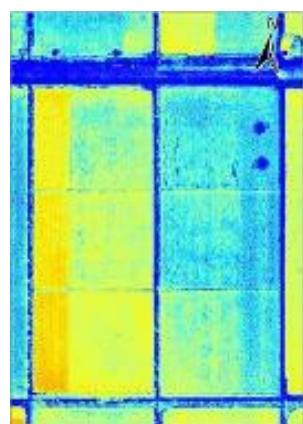
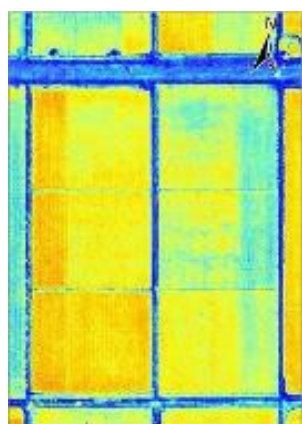
7月下旬



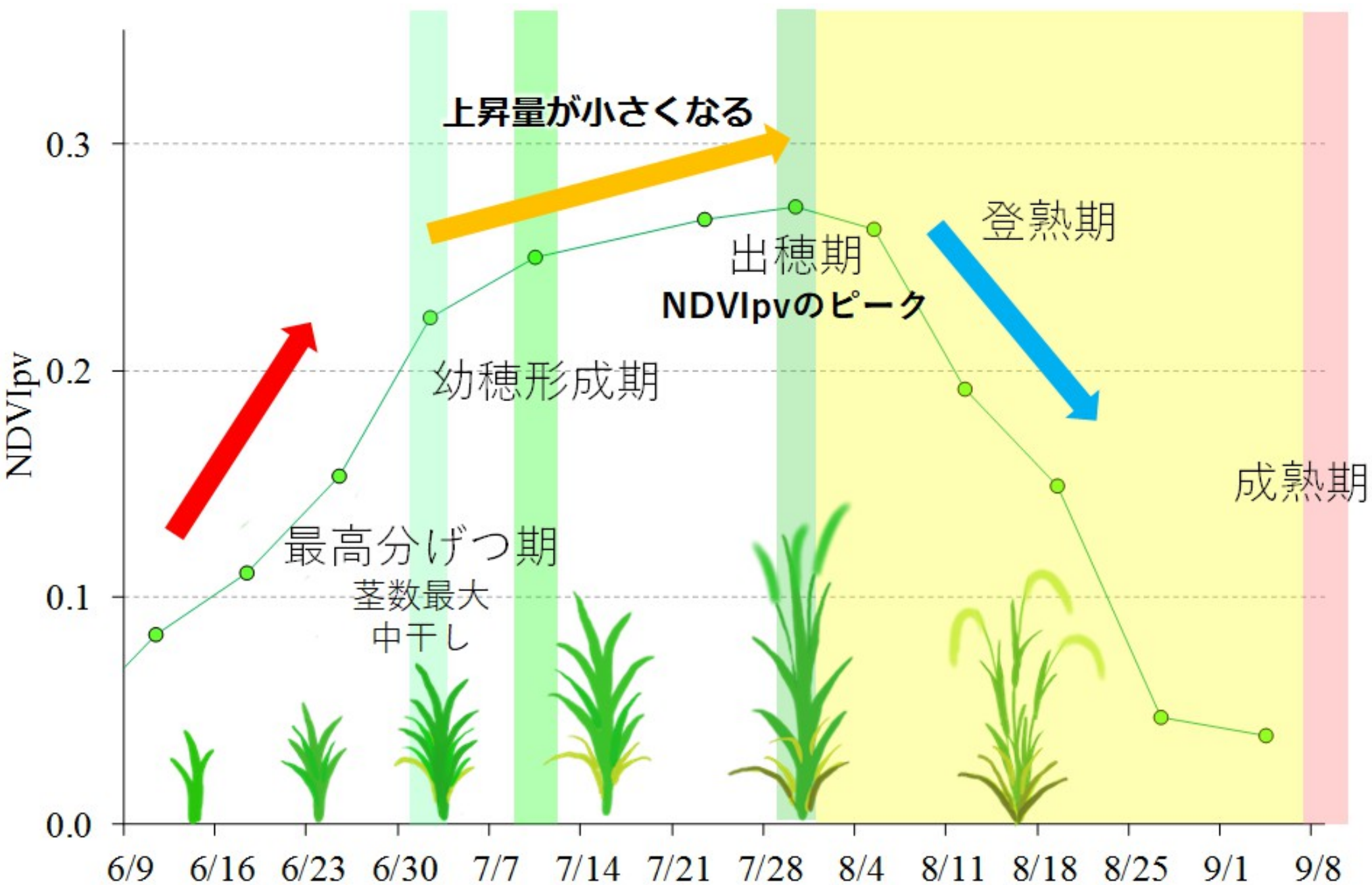
8月初旬

収穫開始

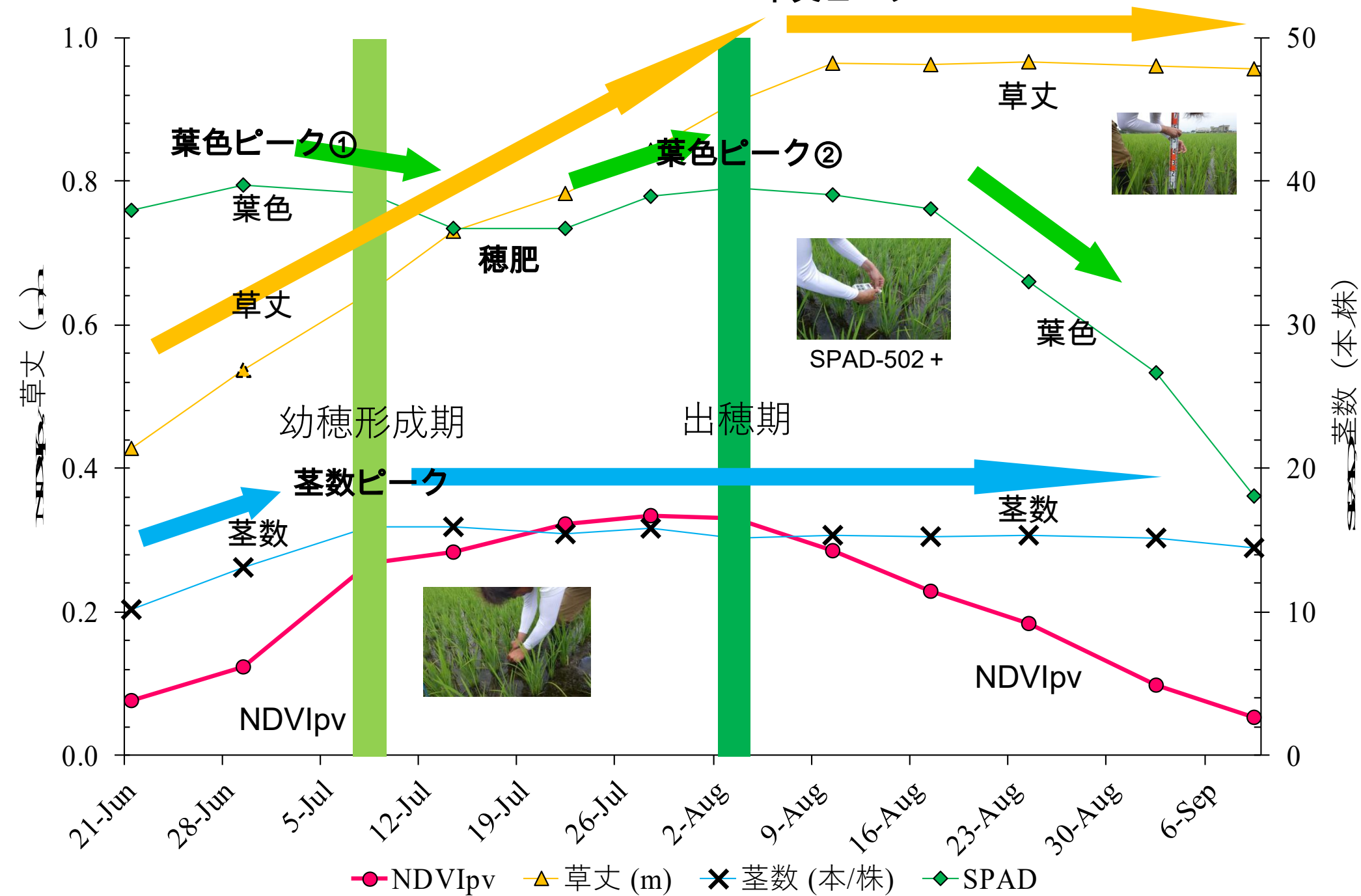
9月初旬



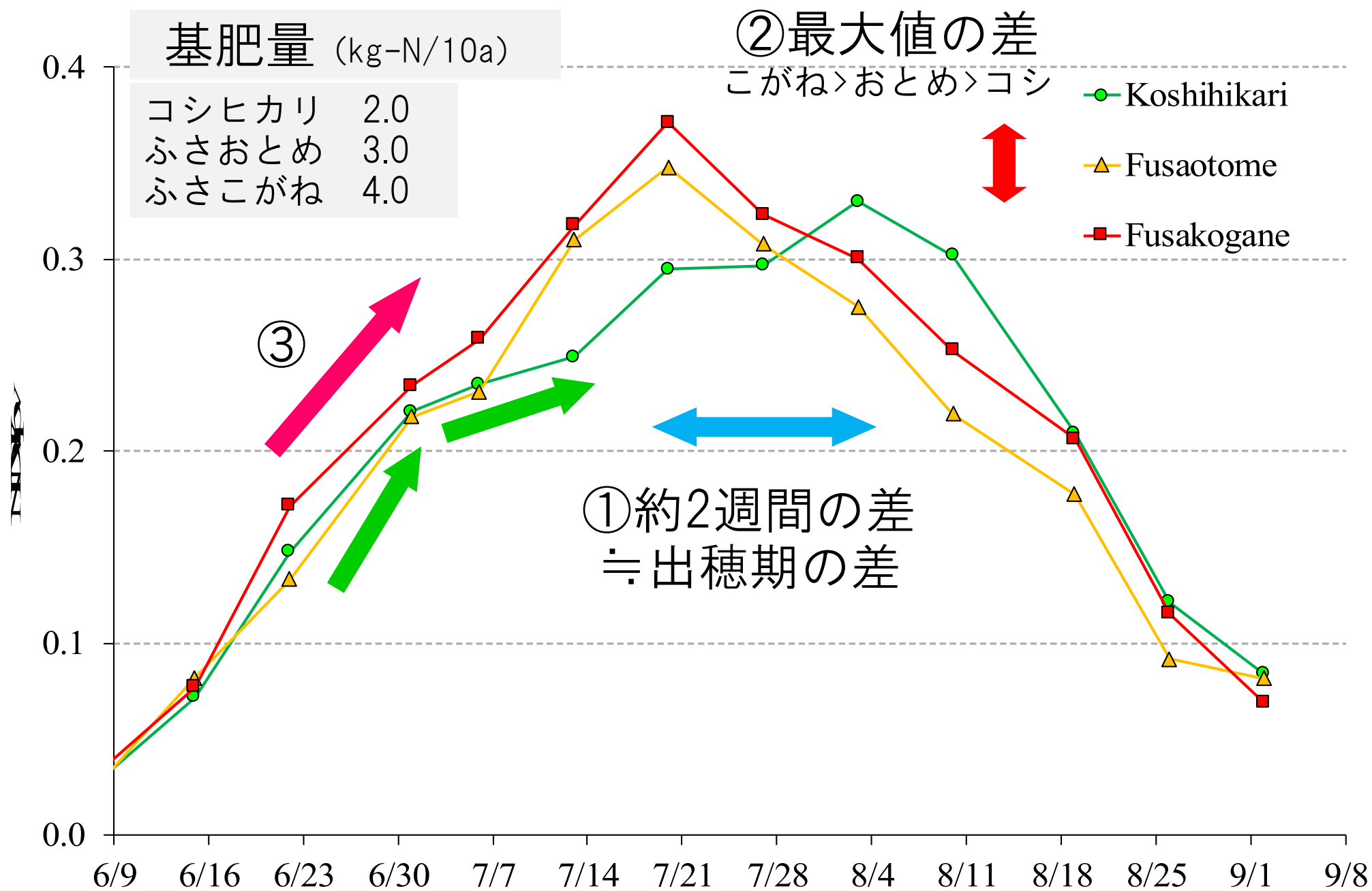
水稻のフェノロジー(コシヒカリ)



NDVIpvと生育パラメータの関係

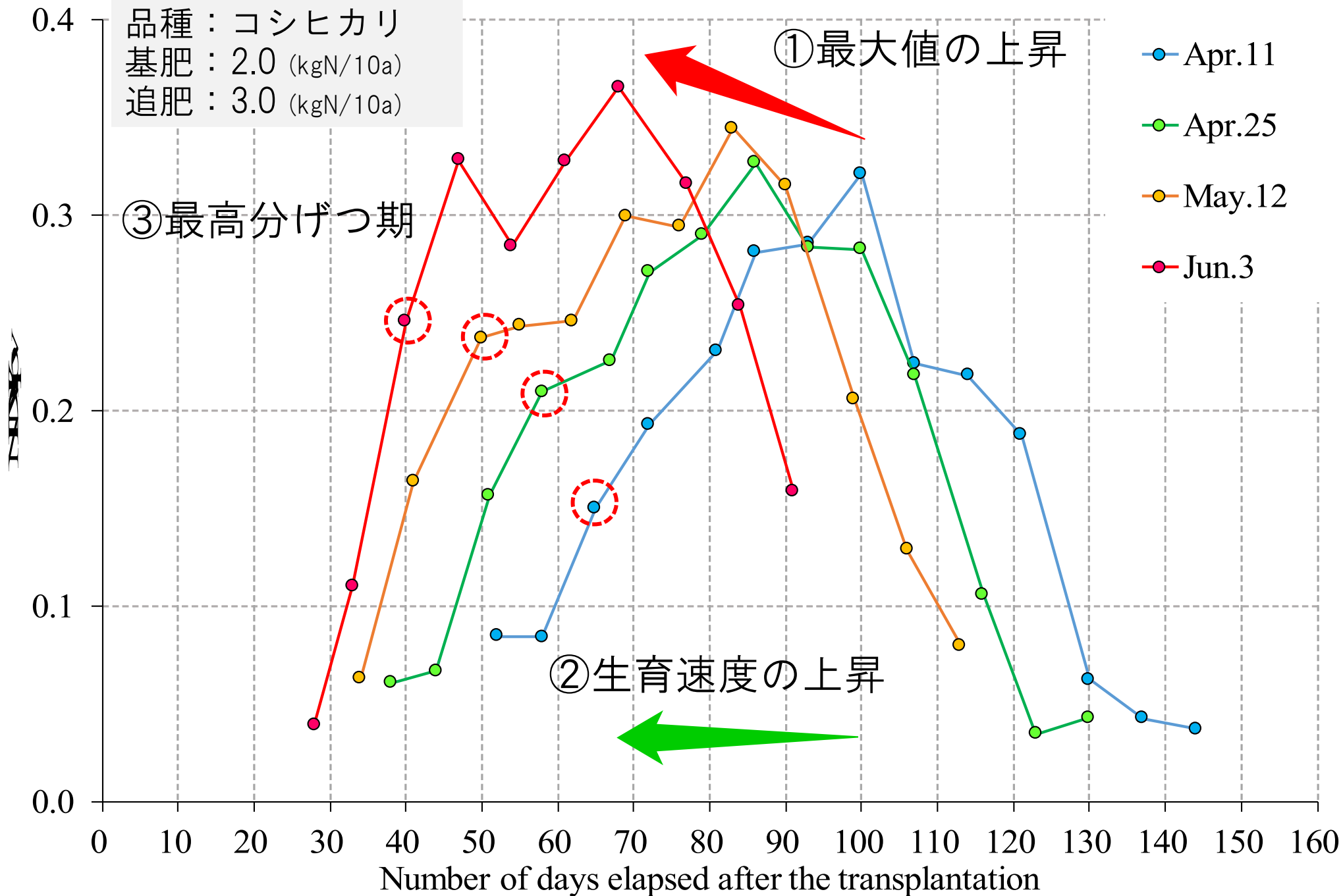


品種によるフェノロジーの違い（2016年5月12日植え）



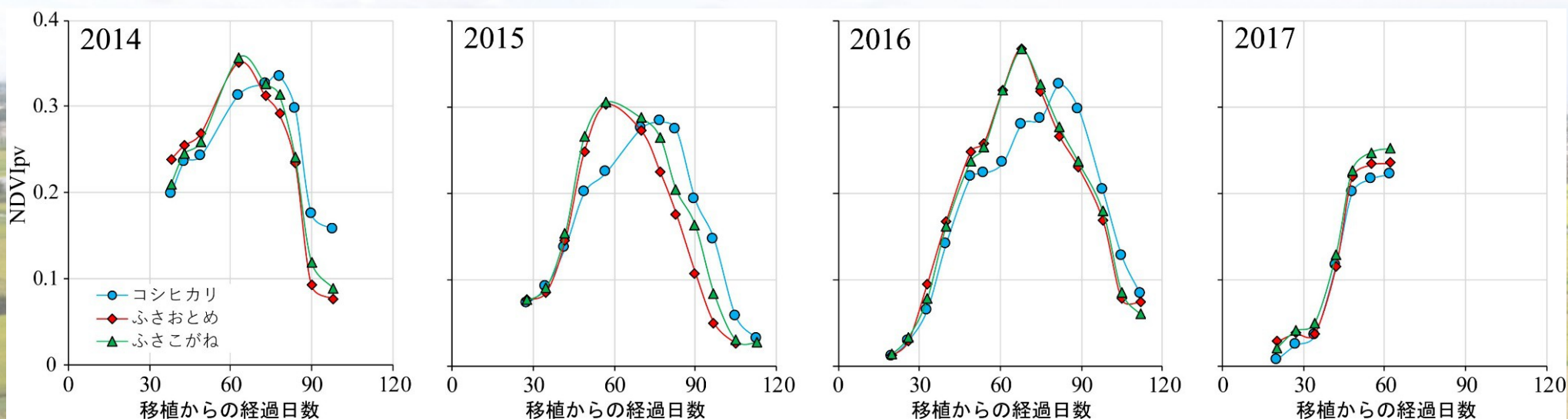
移植時期の違いによるフェノロジーの違い(2016年)

品種：コシヒカリ
基肥：2.0 (kgN/10a)
追肥：3.0 (kgN/10a)



異なる年度のフェノロジーの違い

毎年，時系列変化は概ね類似している。
▶観測時の天候のカメラへの影響は小さい。



初夏の低温

過剰な追肥

空梅雨

その年の生育・栽培条件の違いを反映している。

UAVリモセンによる“稲作支援”

■ 農作業にあわせたUAVリモセンの利活用

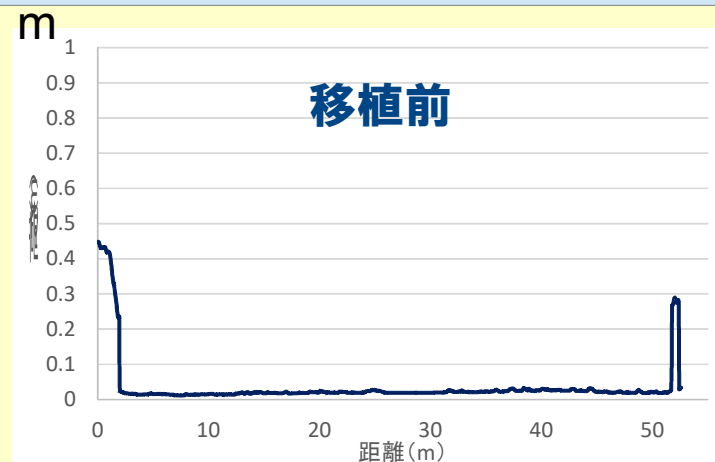
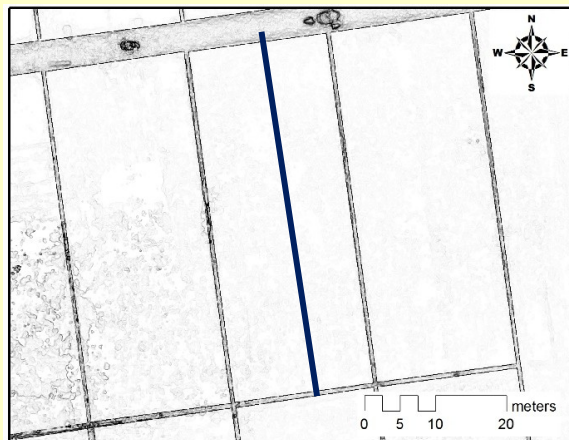
オンデマンド・リモートセンシング

月	4 月			5 月			6 月			7 月			8 月			9 月			10月
旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬
生育ステージ			播 種 期		育 苗 期	移 植 期			有 効 分 げ 決 つ 期	最 高 分 げ つ 期	幼 穂 形 成 期	穂 ば ら み 期	出 穂 期	穂 揃 期	乳 熟 期		成 熟 期		
主な農作業	床土準備	種子消毒	播種	育苗管理 ← 土壌改良資材散布	→ 基肥散布	田植・箱施薬 代かき	除草剤散布		中干し		穂肥散布	病害虫防除					収穫	乾燥調整	
UAV	DSM ← 圃場均平化 → DSM			ベースマップ			2G_RBi 追肥時期・箇所判定 10/15日後に追肥			DSM or NDVI 倒伏予測 出穂13/14日前 幼穂形成期または			NDVI 収量予測			NDVI 食味予測 出穂から15日後			田中ほか（未発表）
	※DSM(数値表面モデル):地表面の高さ						※UAVによる生育モニタリングは週1回を目安												資料：JAいるま野発行の営農情報を加筆 品種：コシヒカリ

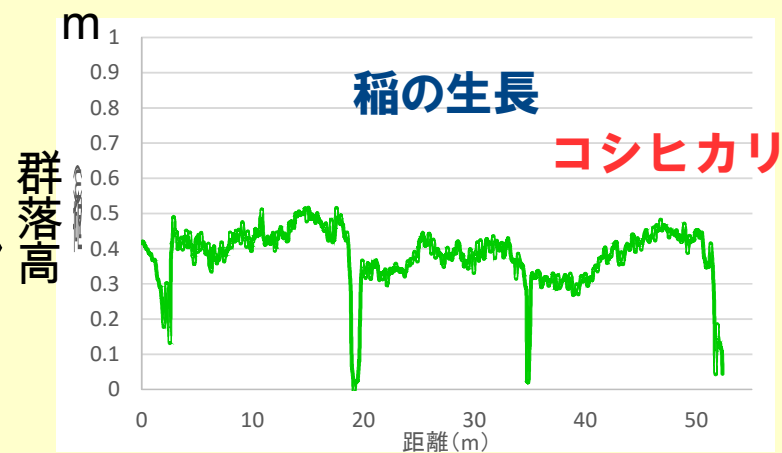
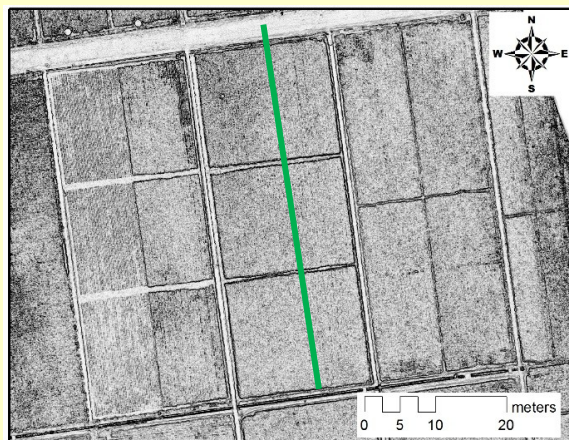
稲の群落高の変化⇒倒伏予測

DSM

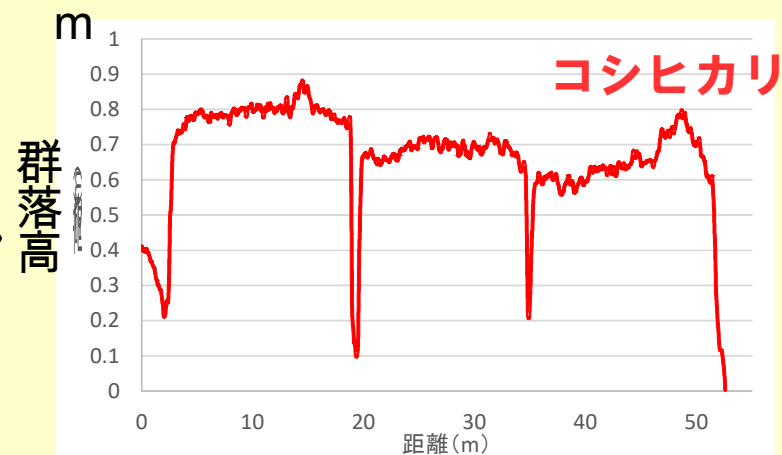
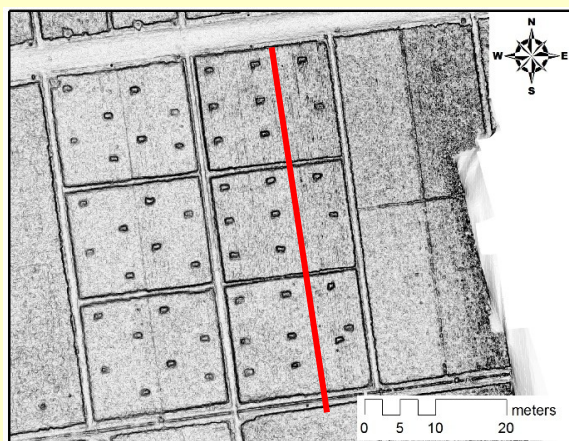
5/13



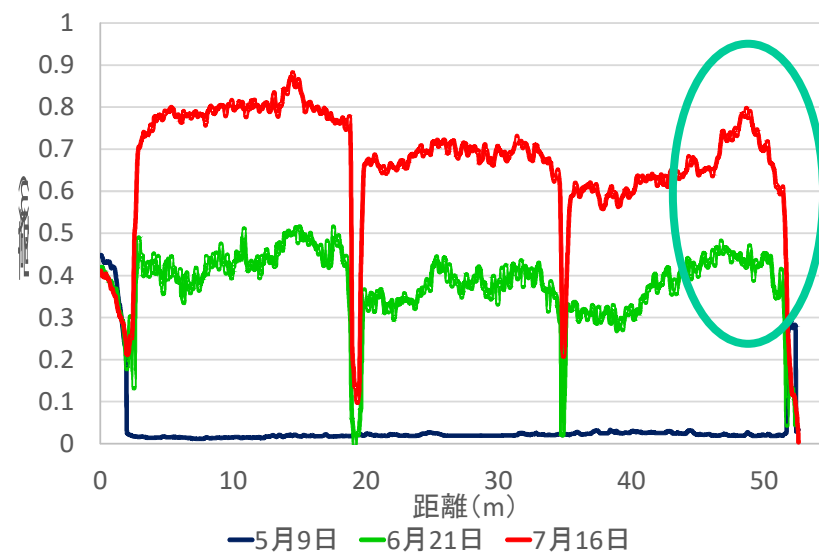
6/21



7/16



コシヒカリの倒伏予測



Legend

 Risk_area

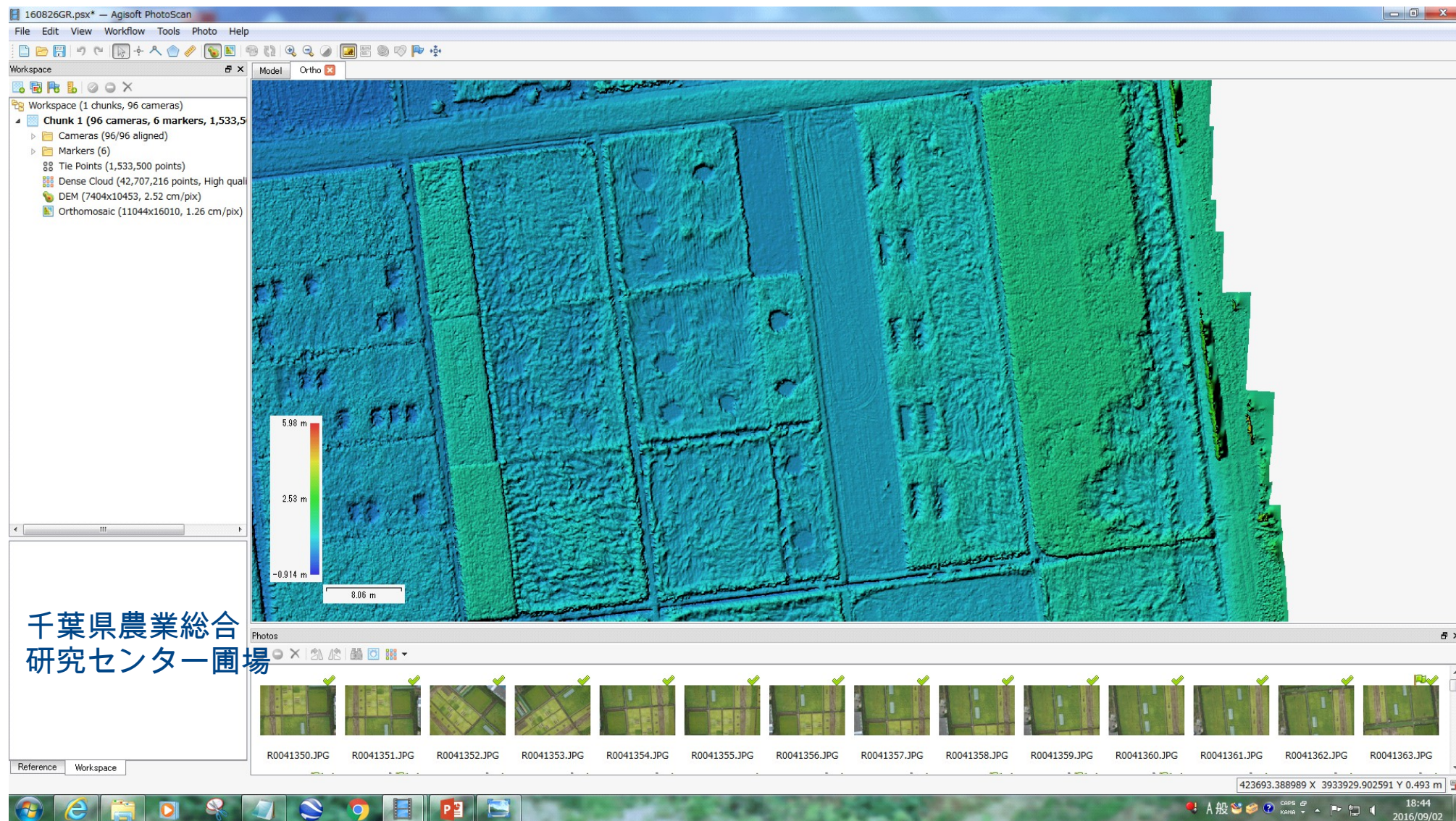
20140820.tif



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



千葉県農業総合
研究センター圃場

何がわかったか



- 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

田中 圭・近藤昭彦(2016)：小型マルチコプターを用いた近接リモートセンシングによる水稻生育マップの作成、日本リモートセンシング学会誌、36(4)、373-387.

濱 侃・早崎有香・望月 篤・鶴岡康夫・田中 圭・近藤昭彦(2016)：小型UAVとSfM-MVSを使用した近接画像からの水稻生育モニタリング、水文・水資源学会誌、29(2)、44-54.

現場に実装 埼玉県、秋田県、新潟県で「どろん米」

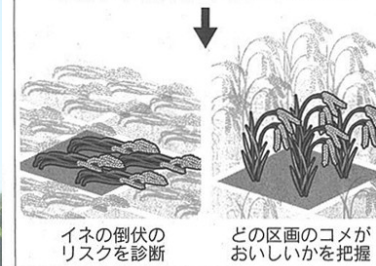
日経産業新聞

2016年(平成28年)9月15日(木曜日)

ドローンでコメの生育状況を把握する



可視光と近赤外線の画像を撮影し分析



ヘリコプターのようなプロペラを4枚持つ回転翼機(マルチコプター)のドローンを使い、自律飛行で週に1回、空から水田を撮影する。通常の可視光の画像を撮影するカメラのほか、市販のデジタルカメラを改造した近赤外線カメラも利用する。近赤外線カメラでは、イネの葉に含まれる葉緑素(クロロフィル)を測定する。通常のデジタルカメラで撮影した画像を3次元加工すると、イネの草丈が分かる。2つのデータからイネの生育の状態を定量的に把握できる。イネの草丈が一定以上の高さになると風雨などで倒伏する恐れが強ま

コメ生育ドローンで管理 画像で収量や味を推定

日本地図センター(東京・目黒)の田中圭上級研究員は千葉大学と共同で、ドローンを使ってコメの生育を管理する手法を開発した。ドローンが撮影した画像から収量低下につながるイネの倒伏の恐れや、味を左右するたんばく質の含有量などを推定する。農作業の効率化やコメの付加価値の向上につなげる狙いで、農業関係者への提供を目指す。

倒伏すると食味が悪くなり、収穫作業にも支障が出る。早い段階で倒伏の可能性を察知できれば、刈り取りなどの対処がしやすくなる。定期的な観察により、いもち病などのイネの病気を面的に検出することもできるという。2つのカメラで撮影した画像を分析すると、イネの葉の色などから健康状態が分かる。含有するたんばく質が多いか少ないかが推定でき、同じ水田でも、どの区画でおいしいコメが育っているかが分かるという。農家に与えるのは味の特徴などを打ち出しやすくなる。玉県などの水田で、ドローンを使った生育管理の試験を重ねてきた。数年かけてデータを集めれば、健康状態を元にたんばく質の含有率も測定できる。生育状況から収穫の1カ月ほど前に収量を予測することも可能になるとみている。(生川 曉)



<http://dronerice.jp/>
で販売中

農業分野でドローン活用へ (秋田県)



動画をみる

防災や観光など様々な分野で注目されている小型無人機ドローンを農業の分野で役立てようと大館市の企業などが稲の生育状況を把握できるドローンの開発に取り組むことになりました。開発は、ドローンの製造やメンテナンスを手がける大館市の東光鉄工と千葉大学の教授、農家などが連携して行います。24日の

会議では事業の内容や役割、スケジュールなどを確認しました。東光鉄工などではドローンを使って上空から田んぼを撮影し、その画像データをもとに稲の生育状況を把握し、収穫量や食味の予測ができるソフトウェアの開発を行います。また得られた予測をもとに農業を散布できるドローンの開発も行うことにしていて、来年3月には製品化したい考えです。これまでは農家が自らの経験をもとに生育管理を行ってきましたが、東光鉄工では、この開発が実用化されることで「後継者の育成につながれば」と話しています。

[6/24 19:45 秋田放送]

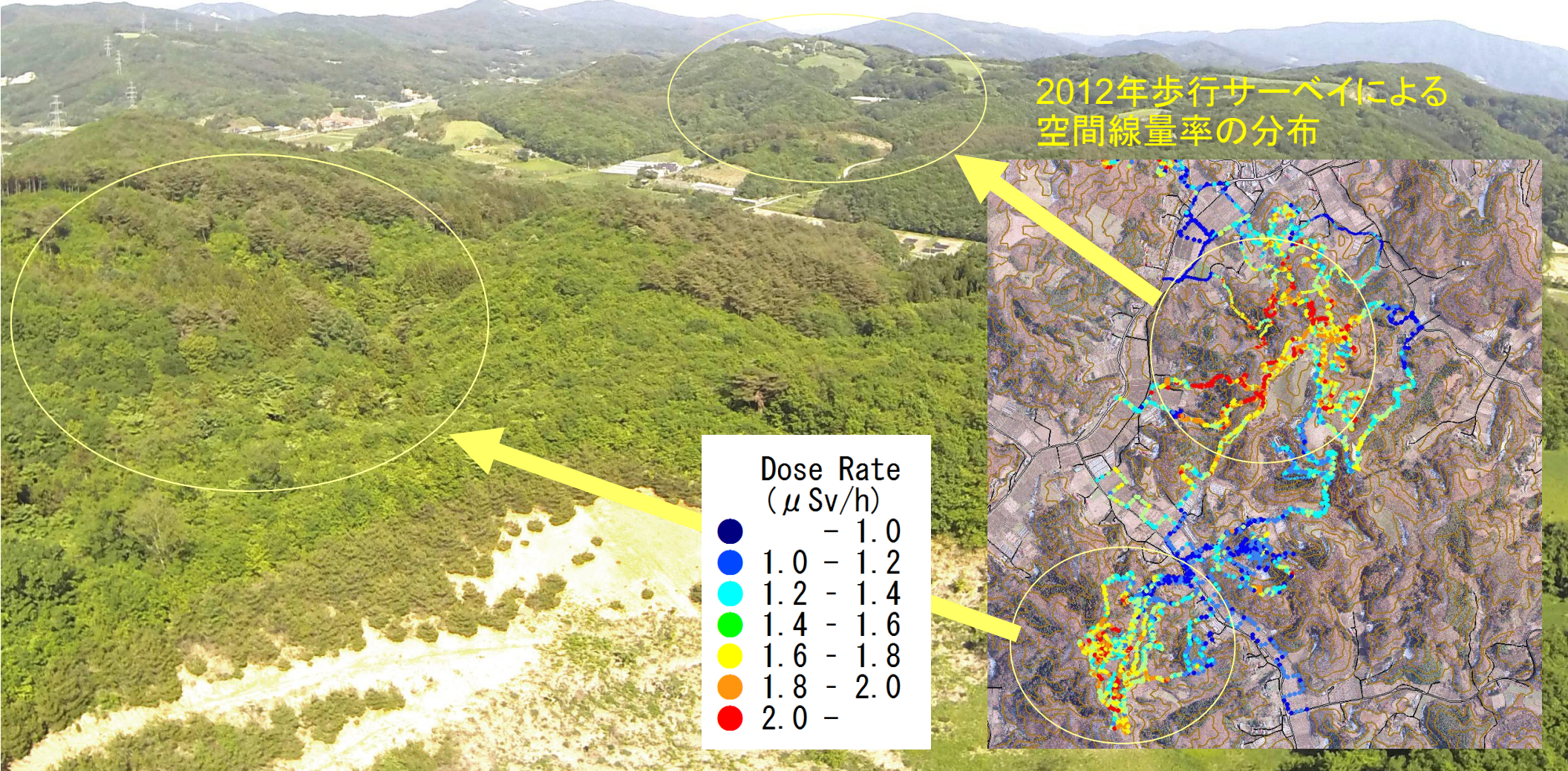


オンデマンド・農業リモートセンシング
~ UAVリモートセンシングによる農業支援 ~

③ UAVによる環境計測 — 空間線量率の計測 —

●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—

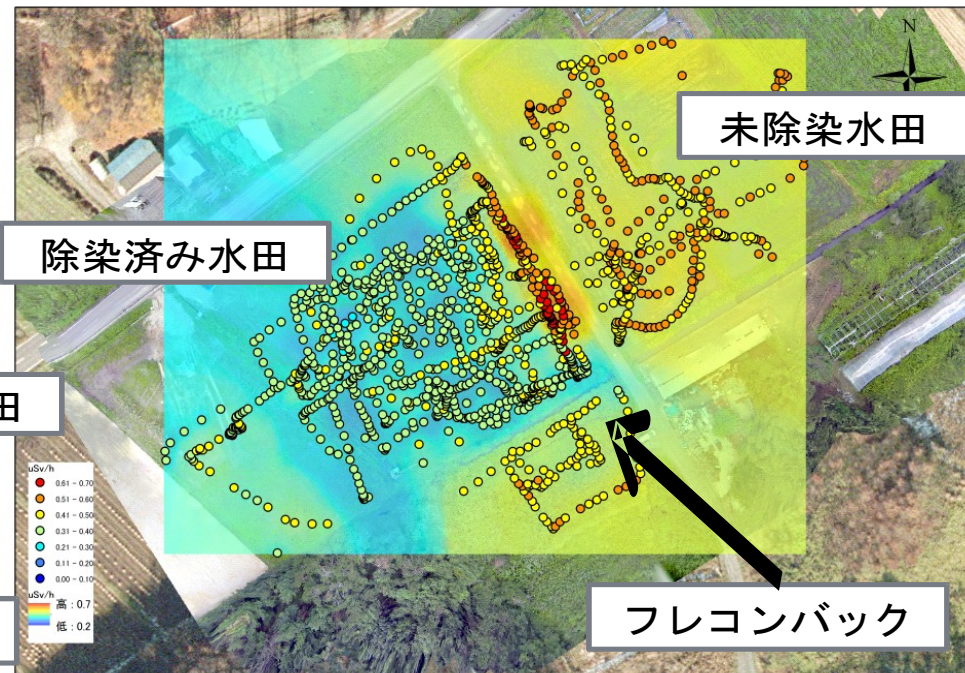
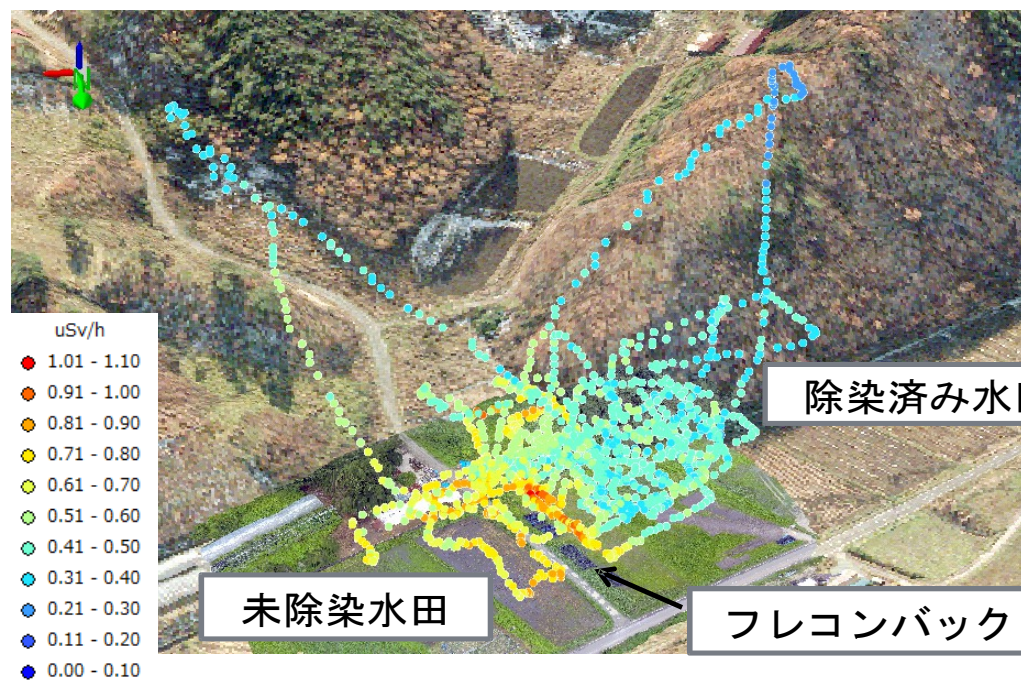
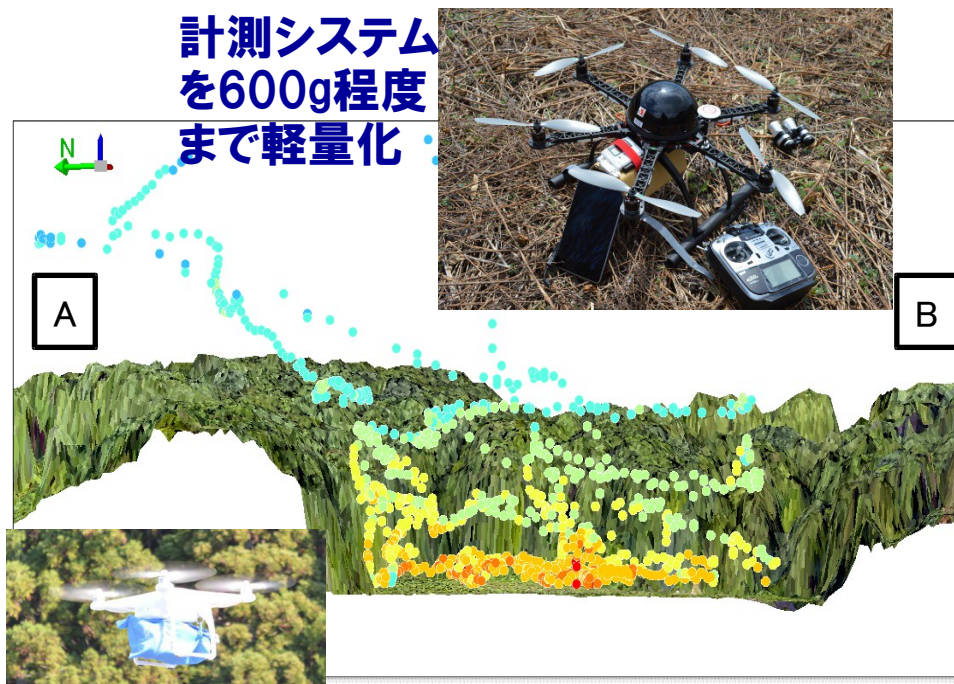
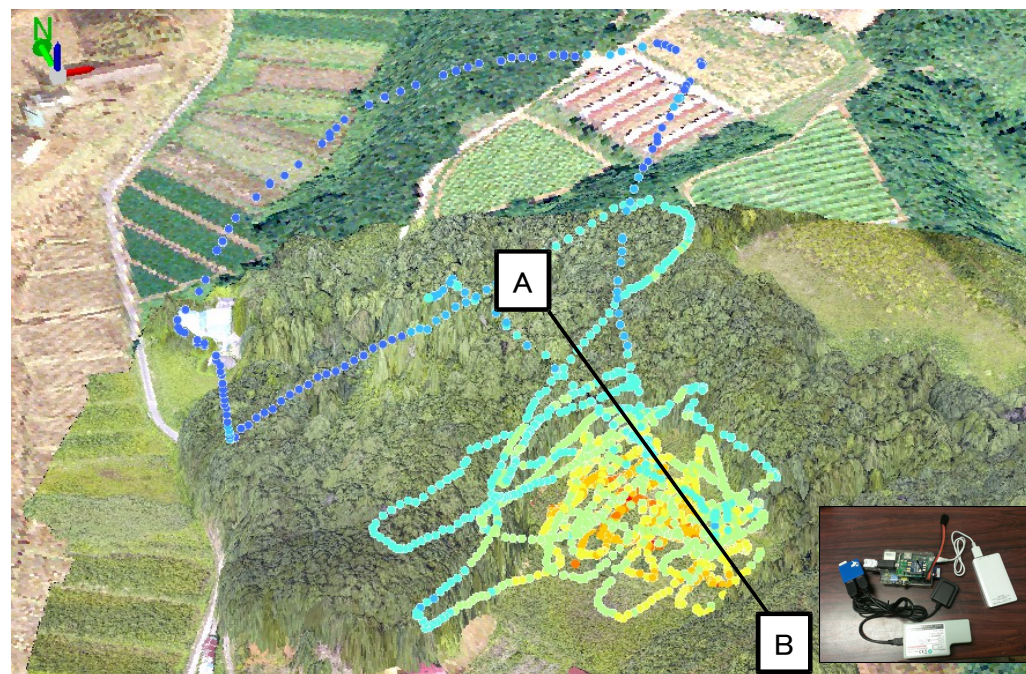




避難は解除、暮らしの回復、生業再建が次の課題

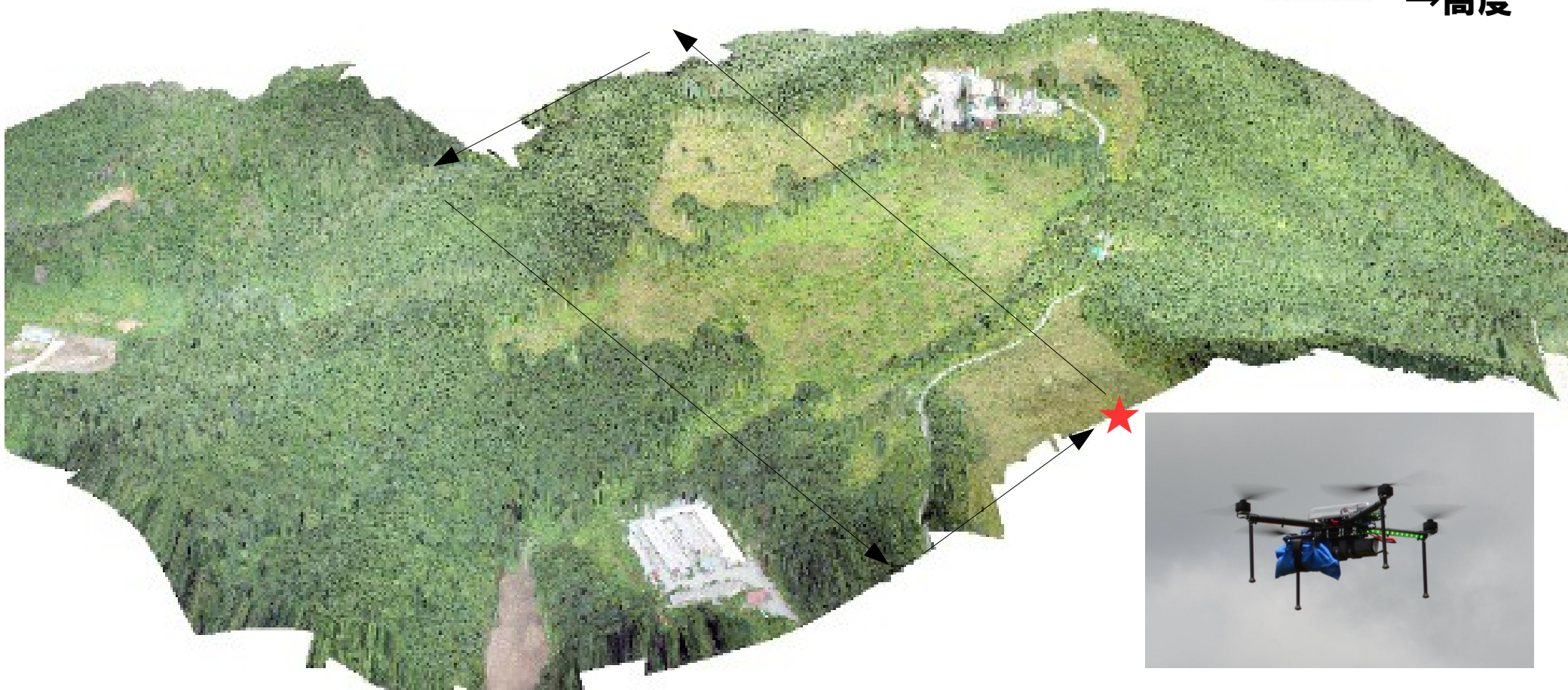
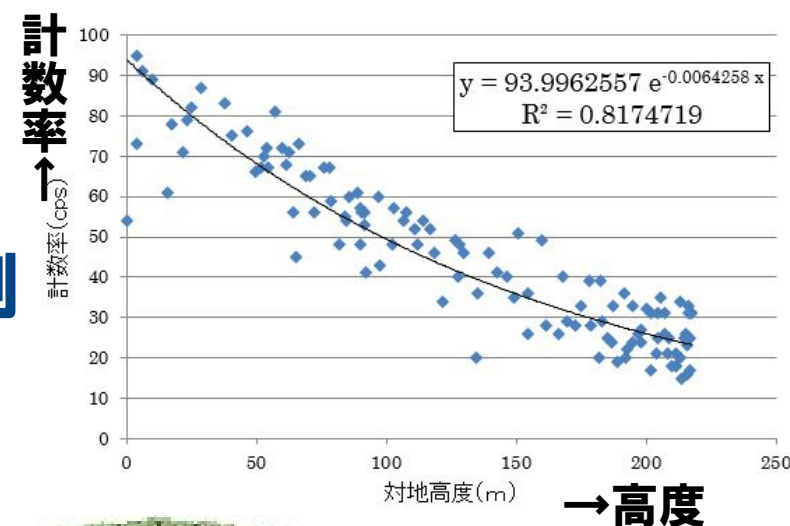


マニュアル飛行による空間線量率の三次元分布



山林域における空間線量率計測の手順の確立

- ①DSMの作成ー飛行高度設定
- 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



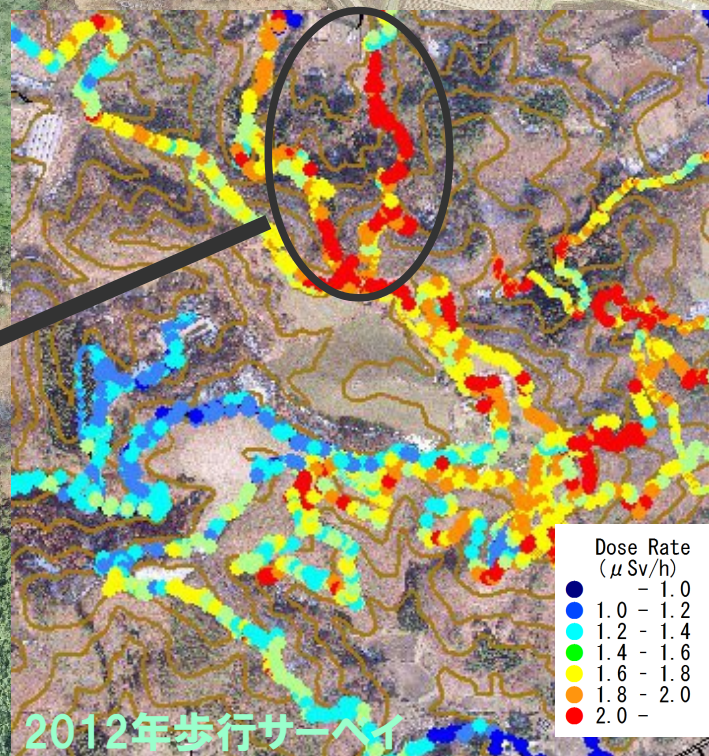
N

1m高空間線量率分布

離発着地点より30m高で測定



0 125 250 500 meters



凡例

UAV 1m高換算

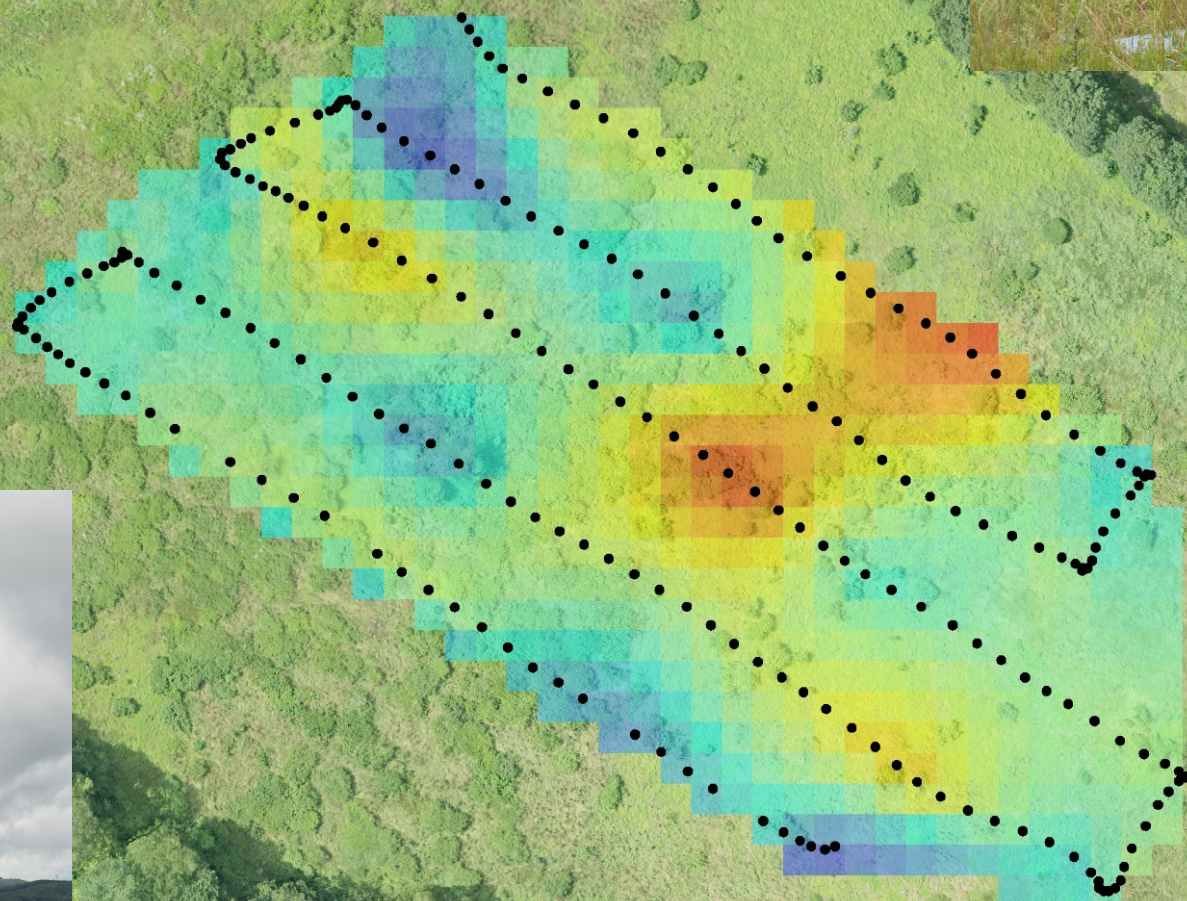
$\mu\text{Sv/h}$





1m高空間線量率分布

離発着地点より10m高で測定



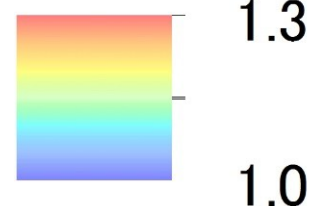
課題は斜面に沿った飛行—勇気！—

0 25 50 100 meters

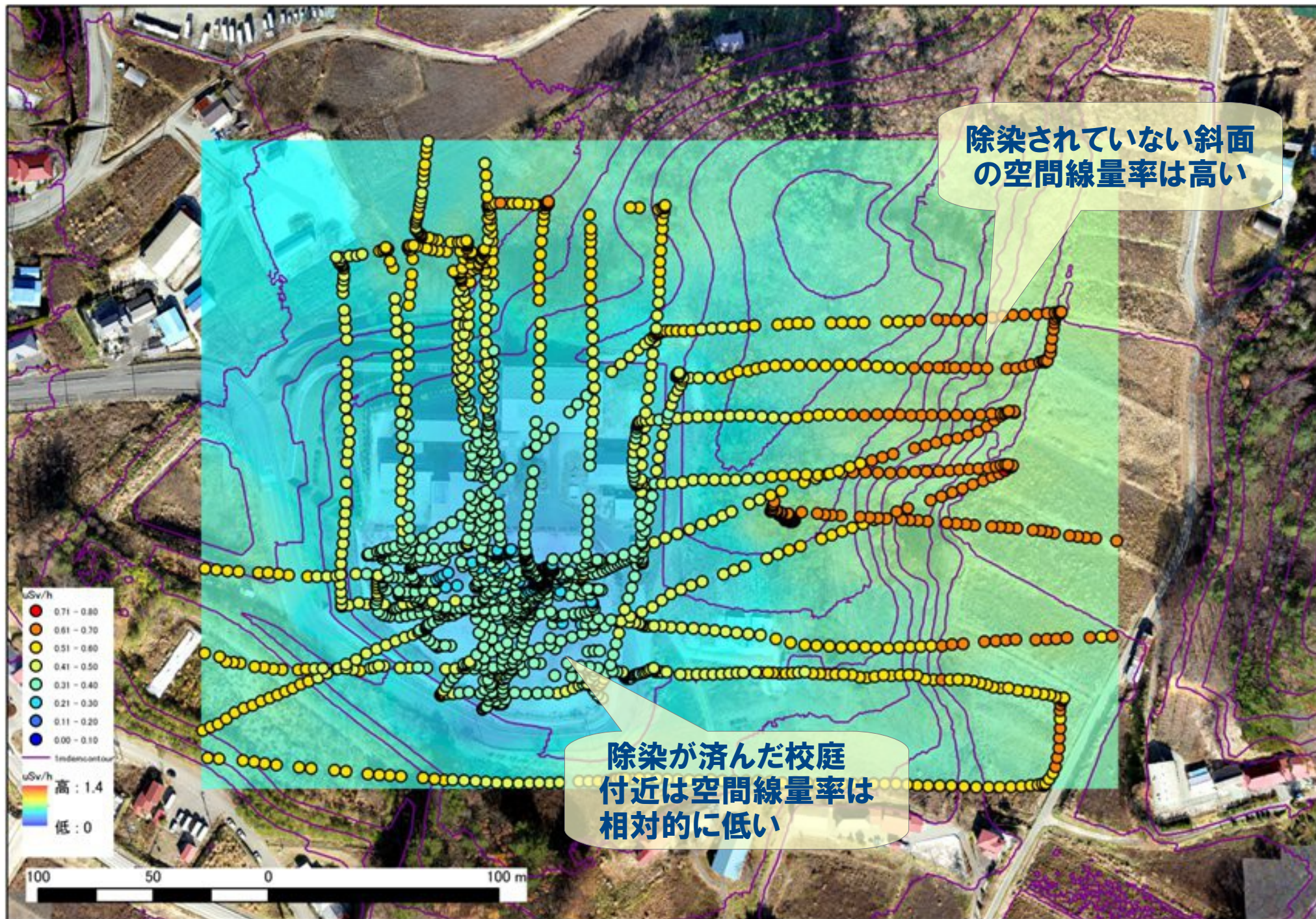
凡例

150719

$\mu\text{Sv/h}$

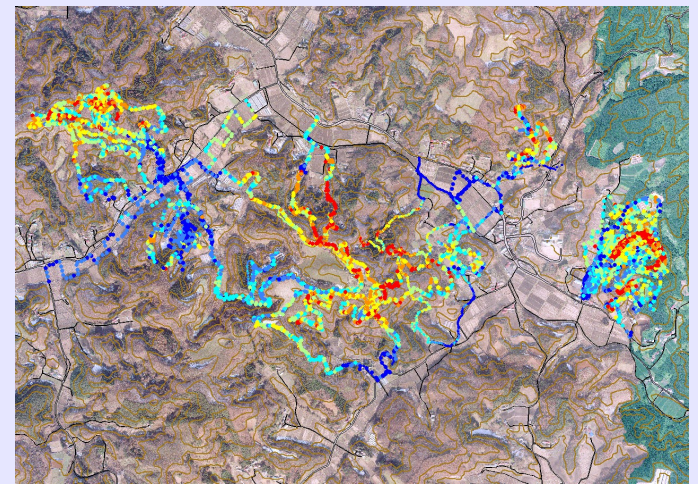


山木屋小学校周辺の空間線量率計測



放射能対策：どうやるか

◎里山・里地の放射能モニタリング



歩けばわかる、空間線量率分布

◎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

川俣町山木屋地区除染等検証委員会、山木屋地域のコミュニティーに提案

UAVリモートセンシングの実装について 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・活用
- ② 作物の生育診断
- ③ 外来生物の分布
- ④ 空間線量率の分布
- ⑥ その他

近代文明人って何だろう
技術の成り立ちを知る人
技術のベネフィットとリスクを知る人
技術を暮らしに活かすことができる人