UAVリモートセンシング

CHIBA UNIVERSITY

千葉大学・環境リモートセンシング研究センター

近藤研究室における取組の紹介

- 衛星リモートセンシングからUAVリモートセンシングへ
- 植生情報はリモートセンシングの得意分野
- 作物への応用へ

kondoh@faculty.chiba-u.jp
http://dbx.cr.chiba-u.jp/

CHIBA UNIVERSITY

UAVリモセンの
農業への応用
取組チーム

小型UAVとSfM-MVSを使用した近接画像からの水稲生育モニタリング

濱　侃　（千葉大学 理学研究科）hama@chiba-u.jp
田中 圭　（日本地図センター）
望月 篤　（千葉県 農林総合研究センター）
鶴岡 康夫（千葉県 農林総合研究センター）
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）

日本の農業が直面している問題

- 全国的な農業従事者の高齢化・減少

⇒耕作放棄地の増加問題（特に中山間地域）

- ✓ 病害虫・鳥獣被害
- ✓ 用排水施設の管理
- ✓ 多面的機能の低下（日本学術会議，2001）

↪洪水調節、土砂流出抑制

- 農地の集約化・少人数での適切な管理方法

⇒リモートセンシング技術

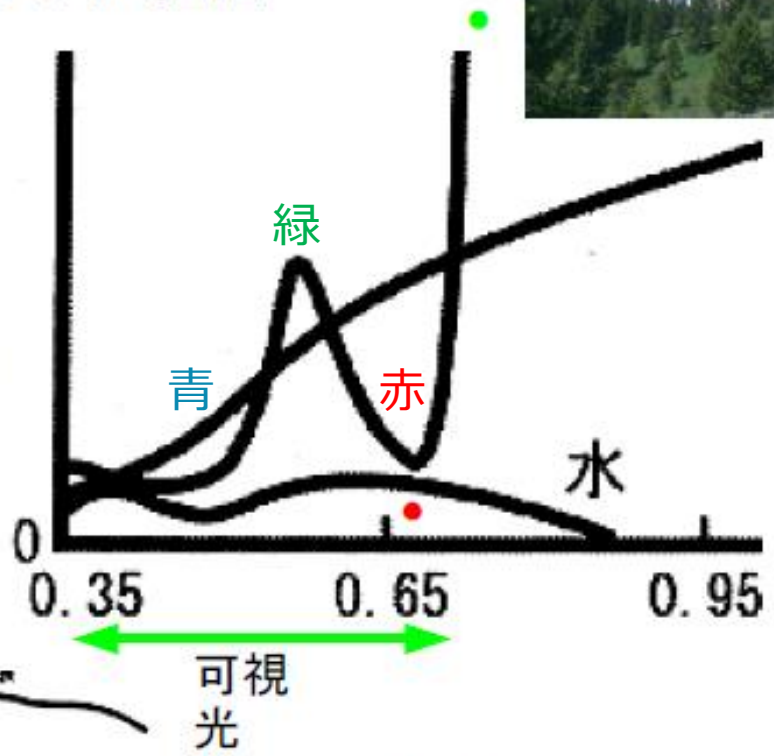
家族農業・楽しい農業

リモートセンシングによる植生・作物観測　ー原理ー

緑の葉は赤の光を吸収し、近赤外の光は反射

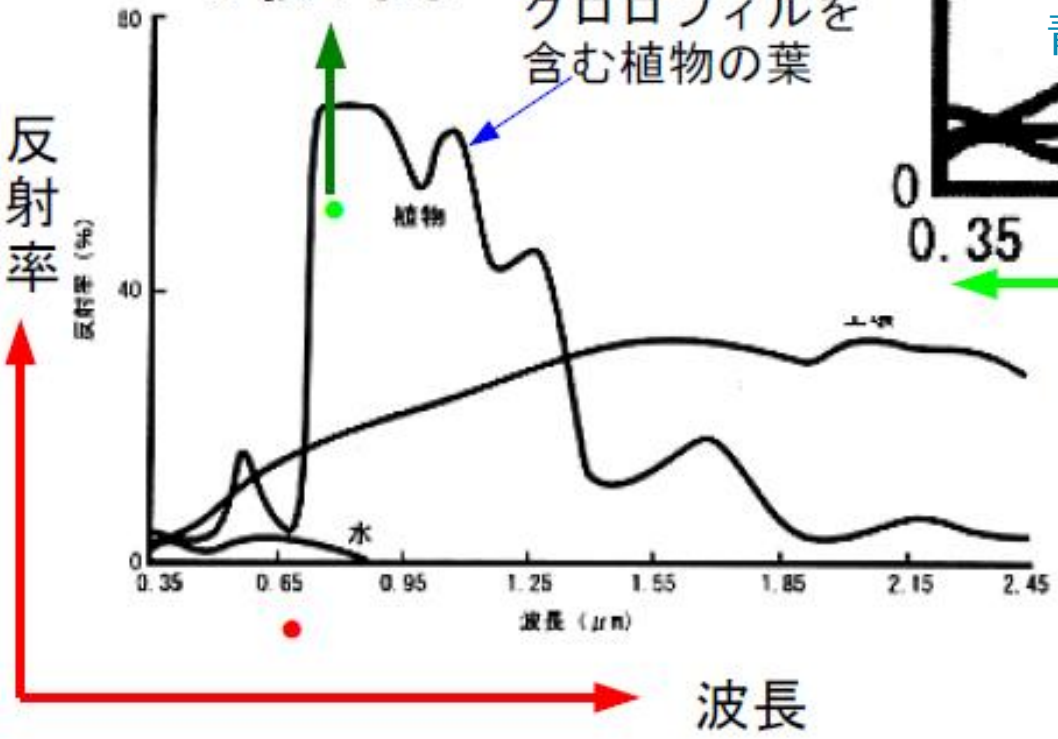
赤と近赤外の画像から植生のシグナル抽出

●赤の光を吸収、●近赤外の光を反射



葉が増えると近赤外の反射が強くなる

クロロフィルを含む植物の葉



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

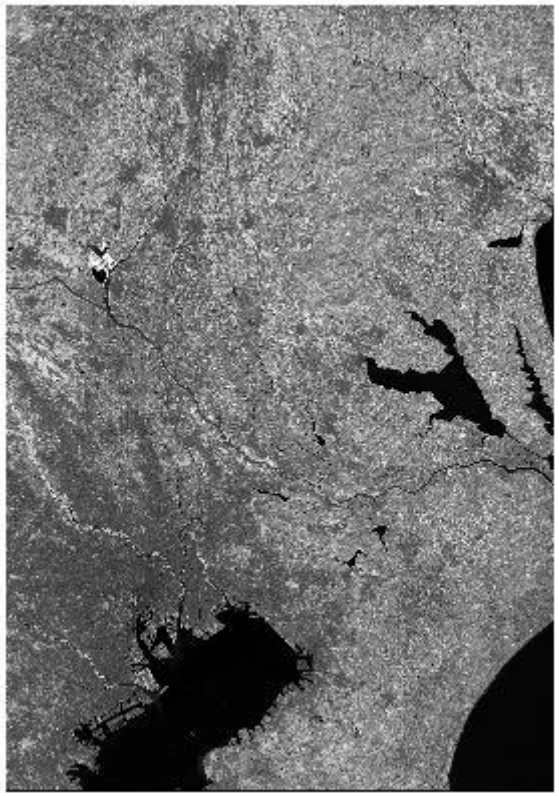
正規化差植生指標を定義

正規化差植生指標　NDVI
Normalized Difference Vegetation Index

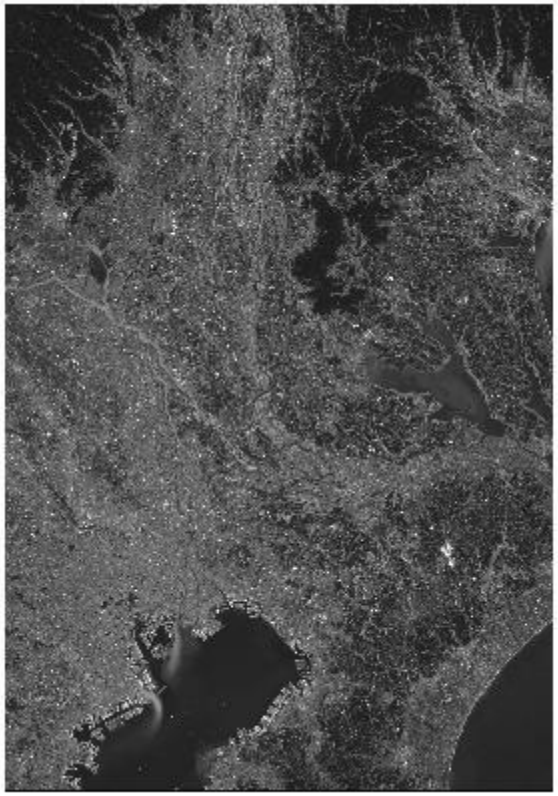
$$NDVI=(NIR-R)/(NIR+R)$$

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)。

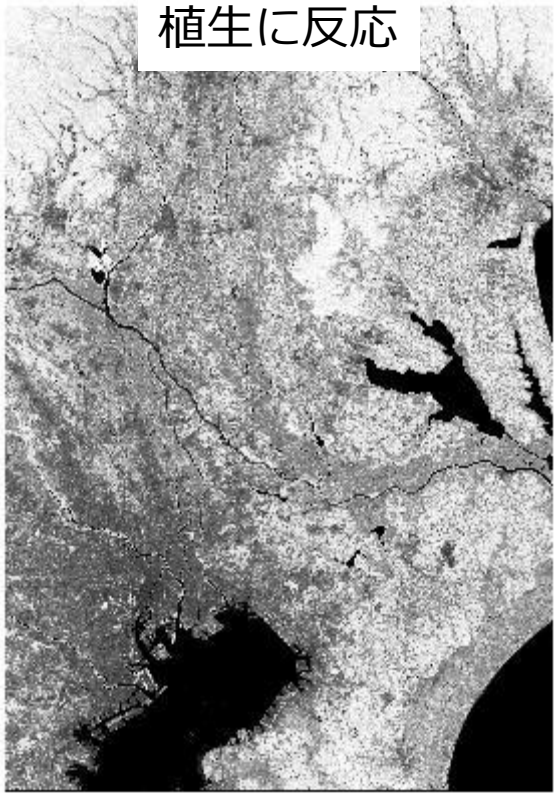
NIR（近赤外）



R（赤）



NDVI
植生に反応



農業リモートセンシング

目的：農業調査，精密農業，産地戦略，生態系・環境資源の定量化

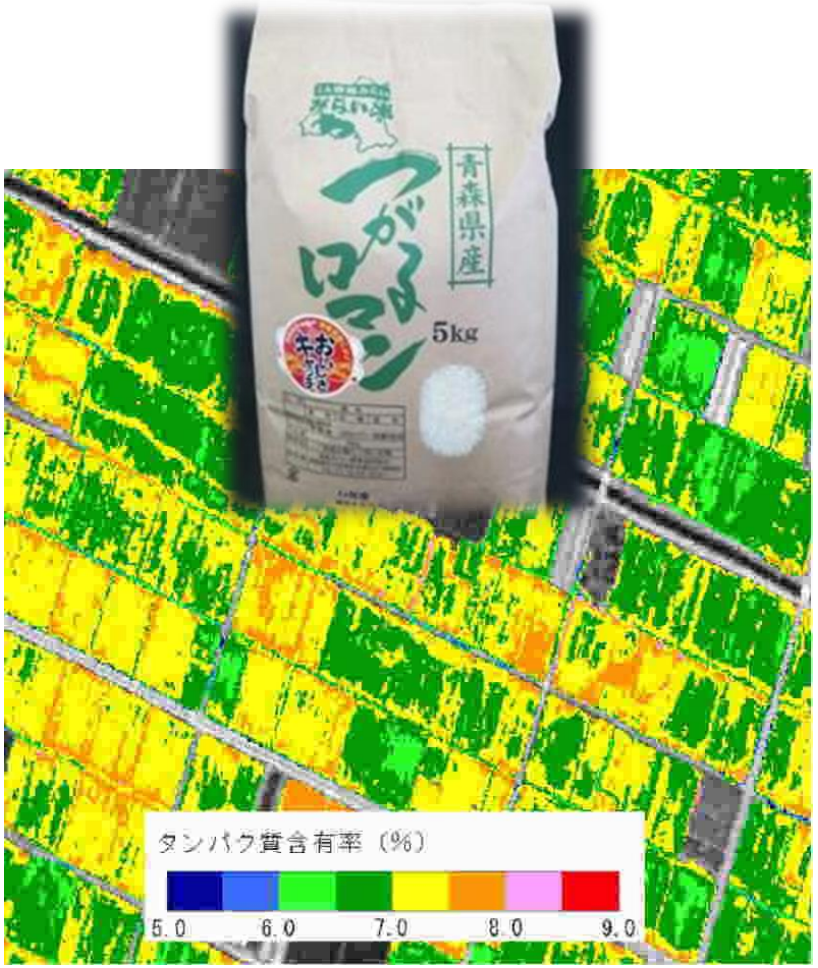
広域リモートセンシング
“キャッチ米”－「タンパクマップ」の利用

- ＪＡ全農あおもり つがるロマン
- たんぱく質含有量の低い圃場を選んで収穫・集荷

- タンパク含有率の推定は北日本では精度が高い。

→田植えの期間が集中

→生育ステージの差が小さい



青森県産業技術センターホームページより

広域・近接リモートセンシング

- 広域リモートセンシング-衛星・有人航空機-

  長所

  - 広域を一度に非破壊で観測可能
  - 解析事例・手法が多数存在（秋山ほか，2006）

  短所

  - 衛星搭載光学センサーでは天候による観測確実性の低下
  - 1つの圃場内の生育不均一性を対象△
  - データ取得の自由度・「速報性」△
  - データコスト・解析コスト
  - なにをみているのか？　土（田んぼ）？稲？

- UAVリモートセンシング（フィールドセンサー）
  - 広域リモートセンシングの短所に対応可能

    →オンデマンド型リモートセンシング

UAVリモートセンシングでなにができたか？

- 圃場内の高低差の確認
- 生育むら（生育量）計測
- 農作業の適期の決定
- たんぱく質含有量の推定（食味）
- 収量予測
- 倒伏予測

ドローンによる「稲作支援」（案）

http://dronerice.jp/

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			有効分げつ決定期	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	除草剤散布		中干し		穂肥散布	病害虫防除				収穫	乾燥調製		
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日間）				

※DSM（数値表層モデル）：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

田中ほか（未発表）

資料：JAいるま野発行の営農情報を加筆

品種：コシヒカリ

フライト回数

基準点測量

①　②　③ ⟷ ⑧　⑨　⑩

計10回

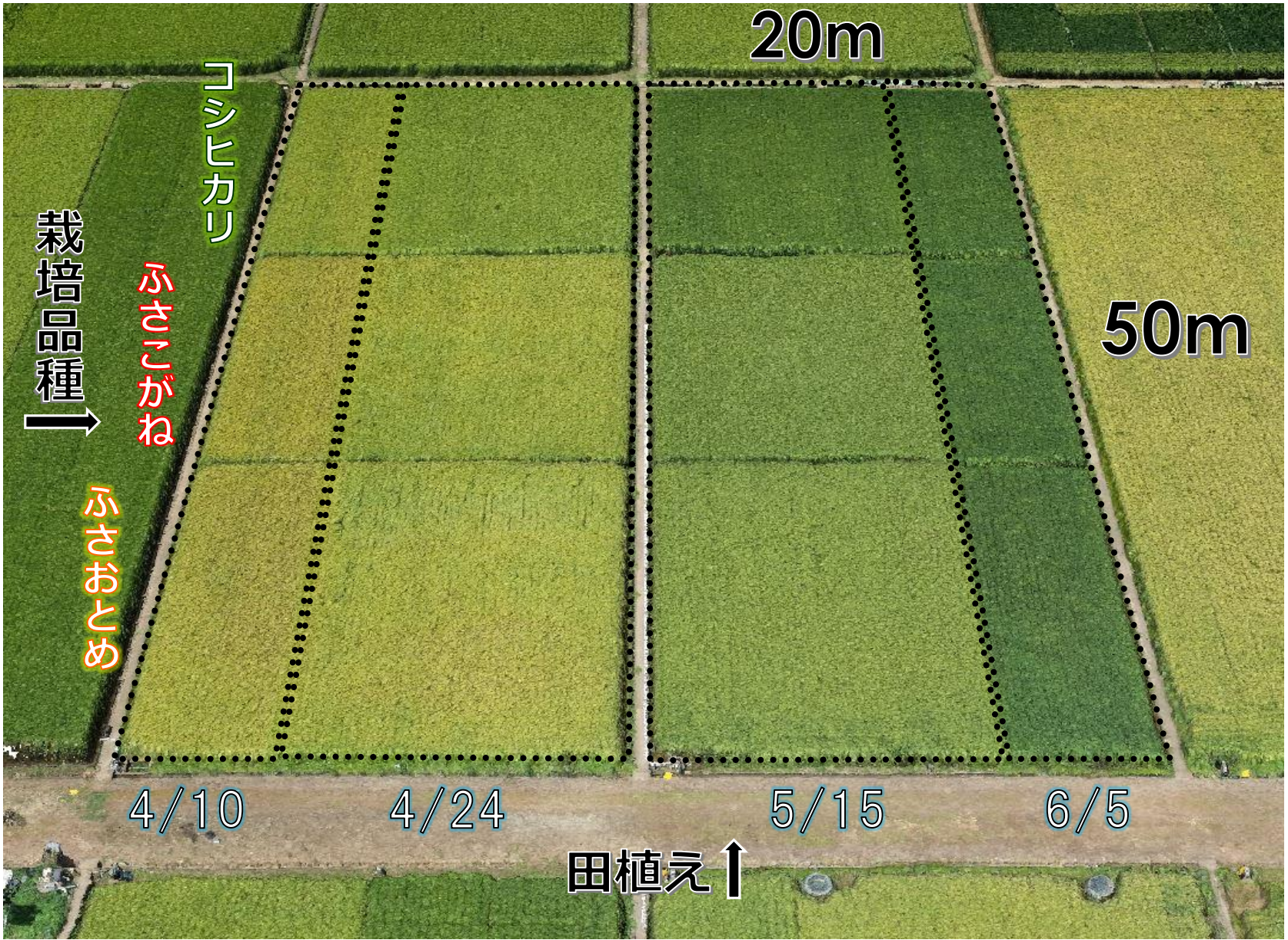
※最低回数を想定

圃場内の高低差計測
圃場の均平化支援

週1回の観測
生育計測

追肥効果の計測
収量・食味予測

観測圃場 千葉県農林総合研究センター水稲温暖化対策研究室



水田計測使用機材

・QC630　オートパイロット飛行
・Phantom2　マニュアル飛行

- 電動マルチコプター

enRoute社 Zion QC630 , DJI社 Phantom2, メディックス社 JABO H601G

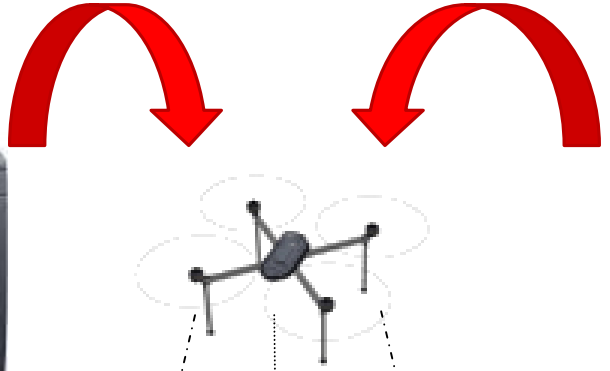
最大積載量　2kg	0.5kg	1.0kg
約15分飛行可能	約20分飛行可能	約5分飛行可能

観測方法

- 水稲の成長期～登熟期　おおむね週1回観測

可視画像：GR

群落高、ほかの計測



50m

近赤外：Yubaflex

稲の生育モニタリング

分析手法

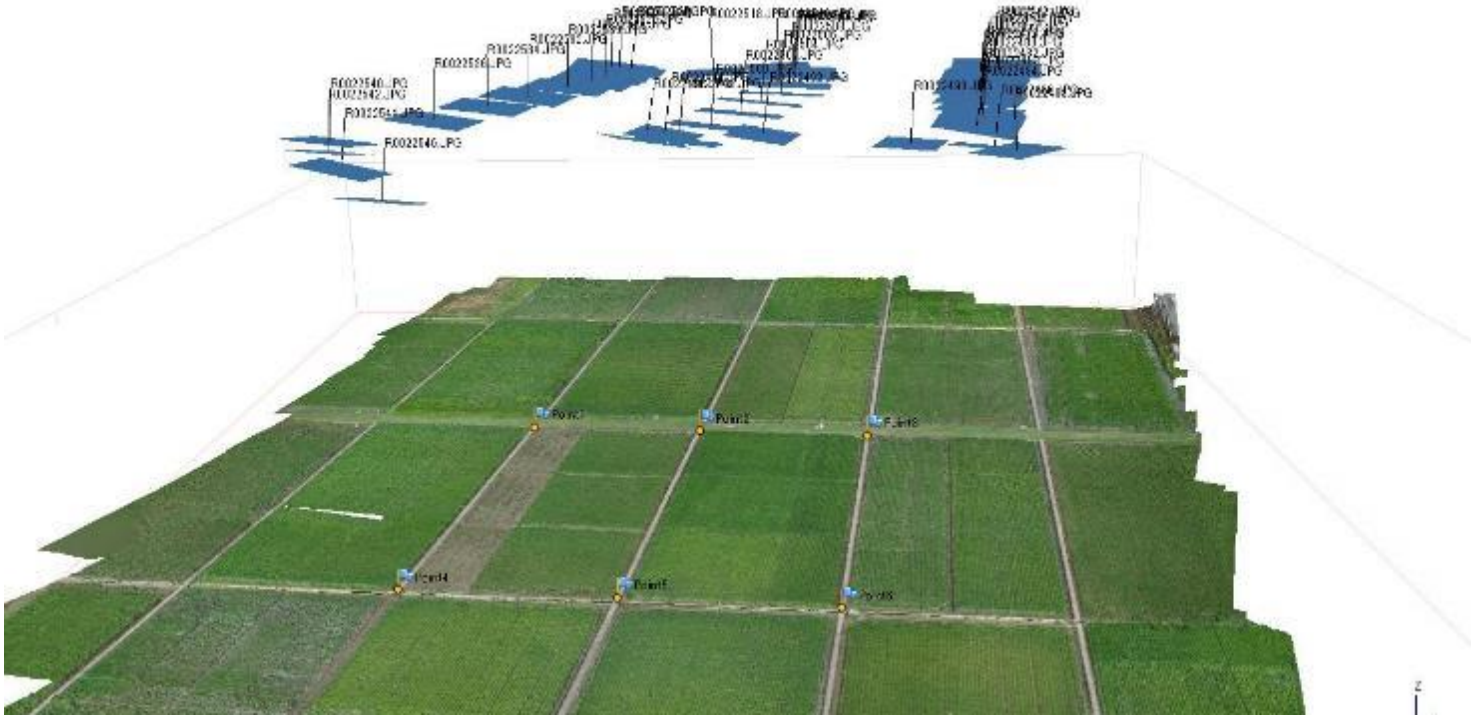
- オルソモザイクフォト，DSM(群落高)の作成

  SfM-MVS (Structure from Motion and Multi-View Stereo)

  Agisoft社 PhotoScan professional 1.0

- データ解析・集積

  GIS（地理情報システム）ArcGIS（有料），QGIS（無料）



様々な植生指数

近赤外：Yubaflex

Name	Index	Definition	Reference
Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	$=\frac{NIR-Red}{NIR+Red}$	Rouse et al., 1974
Green Normalized Difference Vegetation Index	GNDVI	$=\frac{NIR-Green}{NIR+Green}$	Moges et al., 2004
Soil-Adjusted Vegetation Index	SAVI	$=\frac{NIR-Red}{NIR+Red+L}(1+L)$	Huete, 1988
Modified Soil-Adjusted Vegetation Index 2	MSAVI2	$=\frac{2*NIR+1-\sqrt{(2*NIR+1)^2-8*(NIR-Red)}}{NIR+Red}$	Qi et al., 1994
Normalized Green Red Difference Index	NGRDI	$=\frac{Green-Red}{Green+Red}$	Tucker, 1979
Green Leaf Index	GLI	$=\frac{2*Green-Red-Blue}{Green+Red+Blue}$	Louhaichi et al., 2001

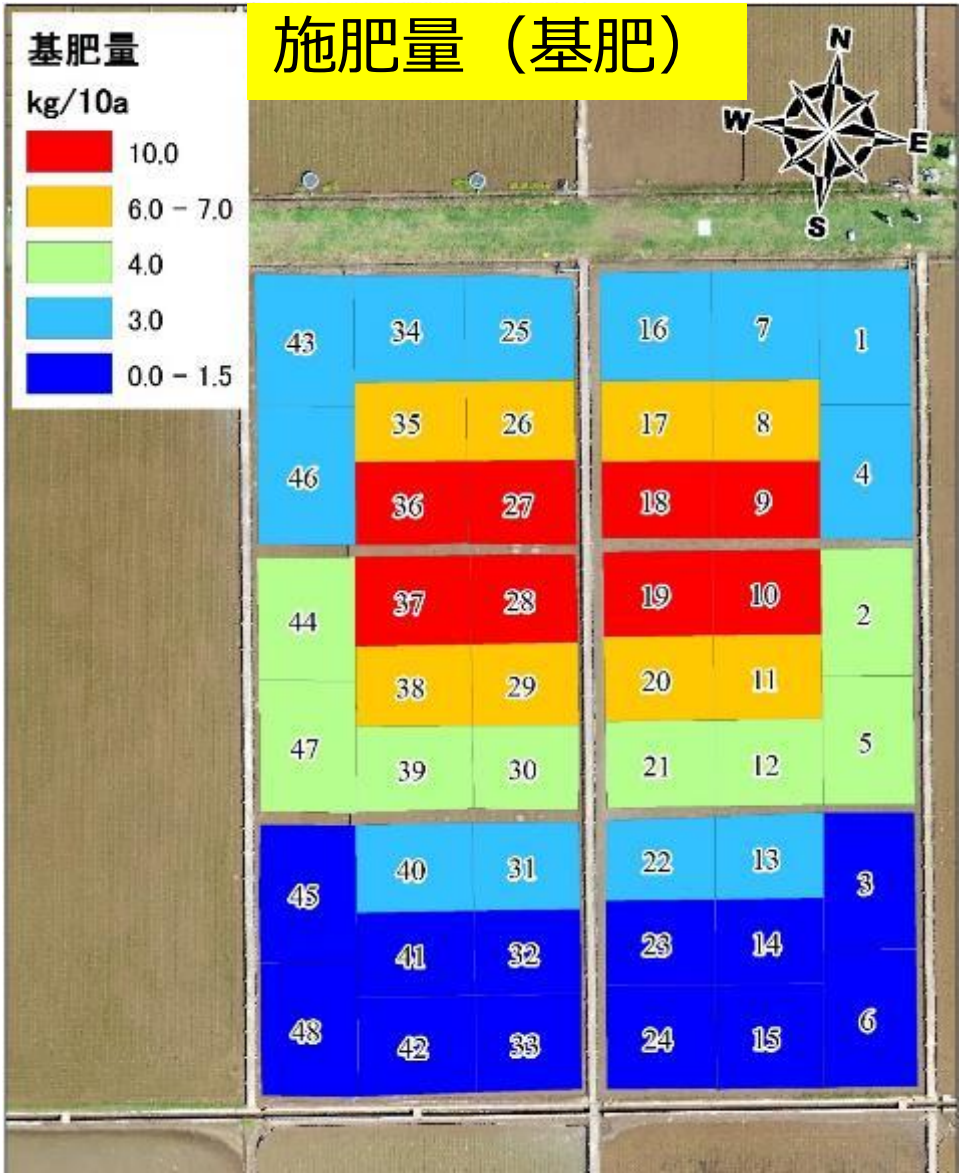
可視：GR

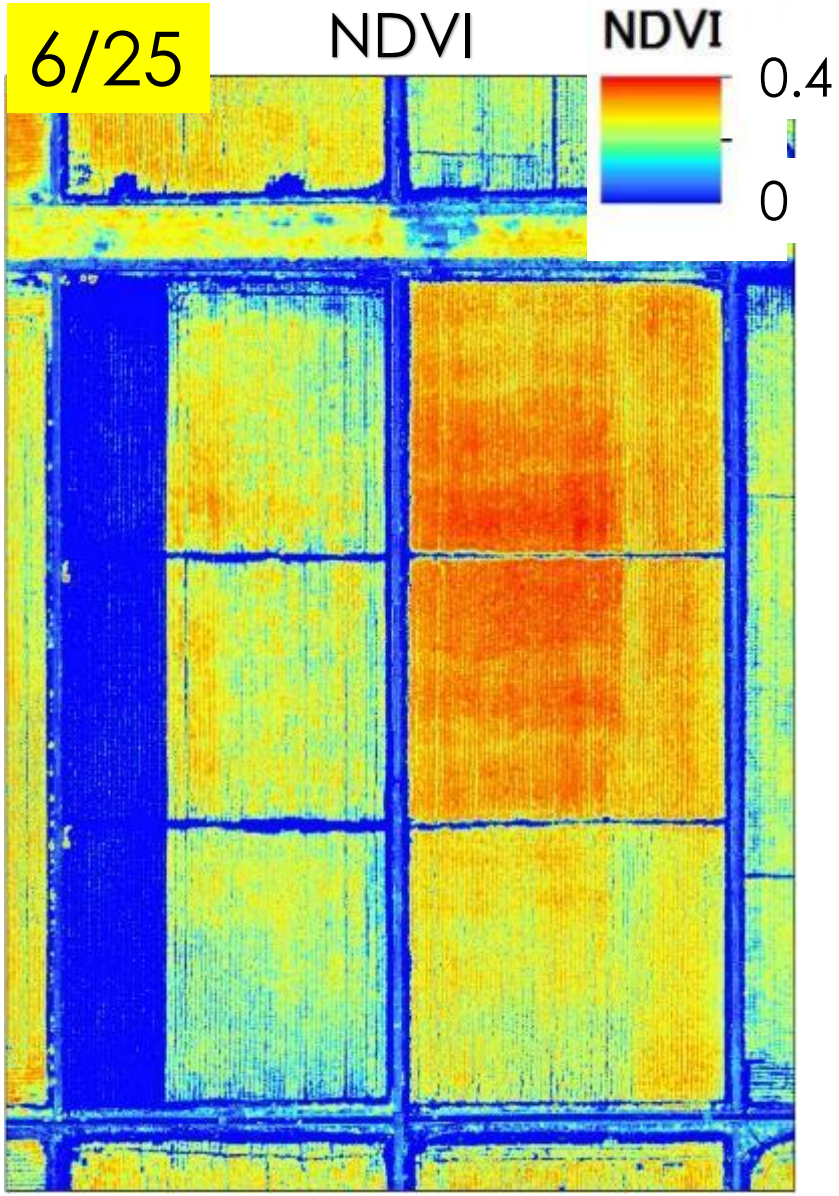
- 2つのカメラで撮影した画像をもとに植生指数を計算

→その後、区画ごとに区画内の平均値を算出

※植生域だけを抽出したNDVI$_{pure\ vegetation}$(NDVI$_{pv}$)も作成

NDVIの空間分布　生育の差がわかる

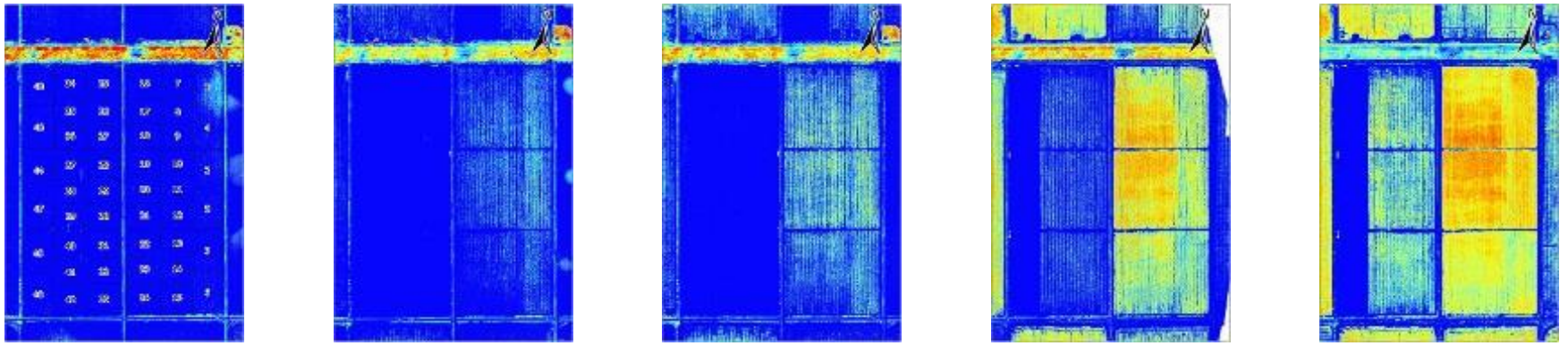




赤くなるほど、NDVIの値が大きい

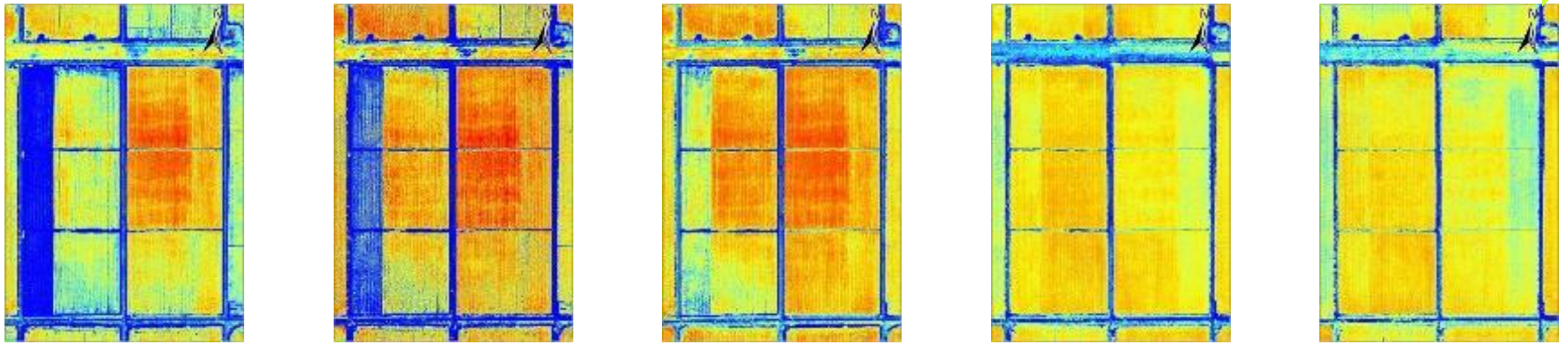
田植え

6月中旬



6月下旬

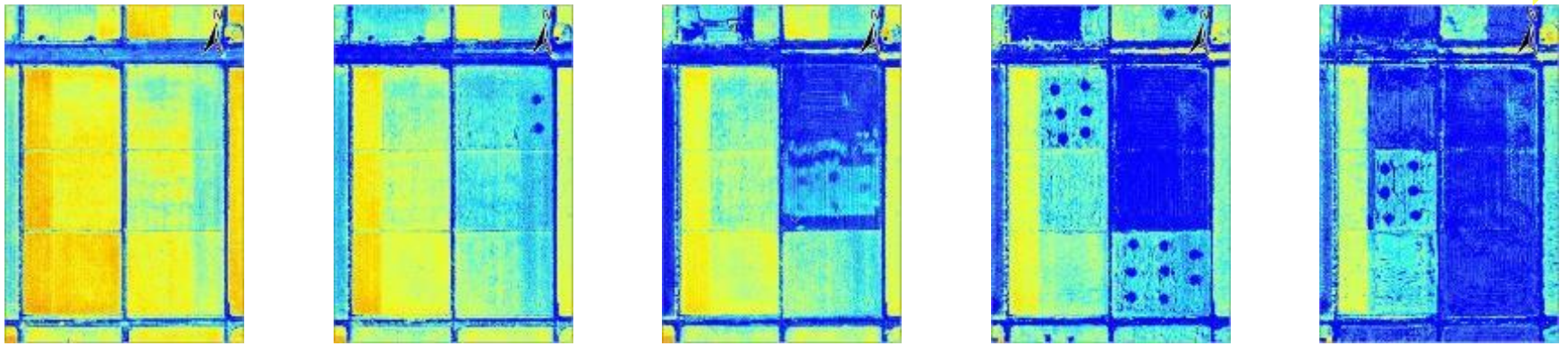
7月下旬



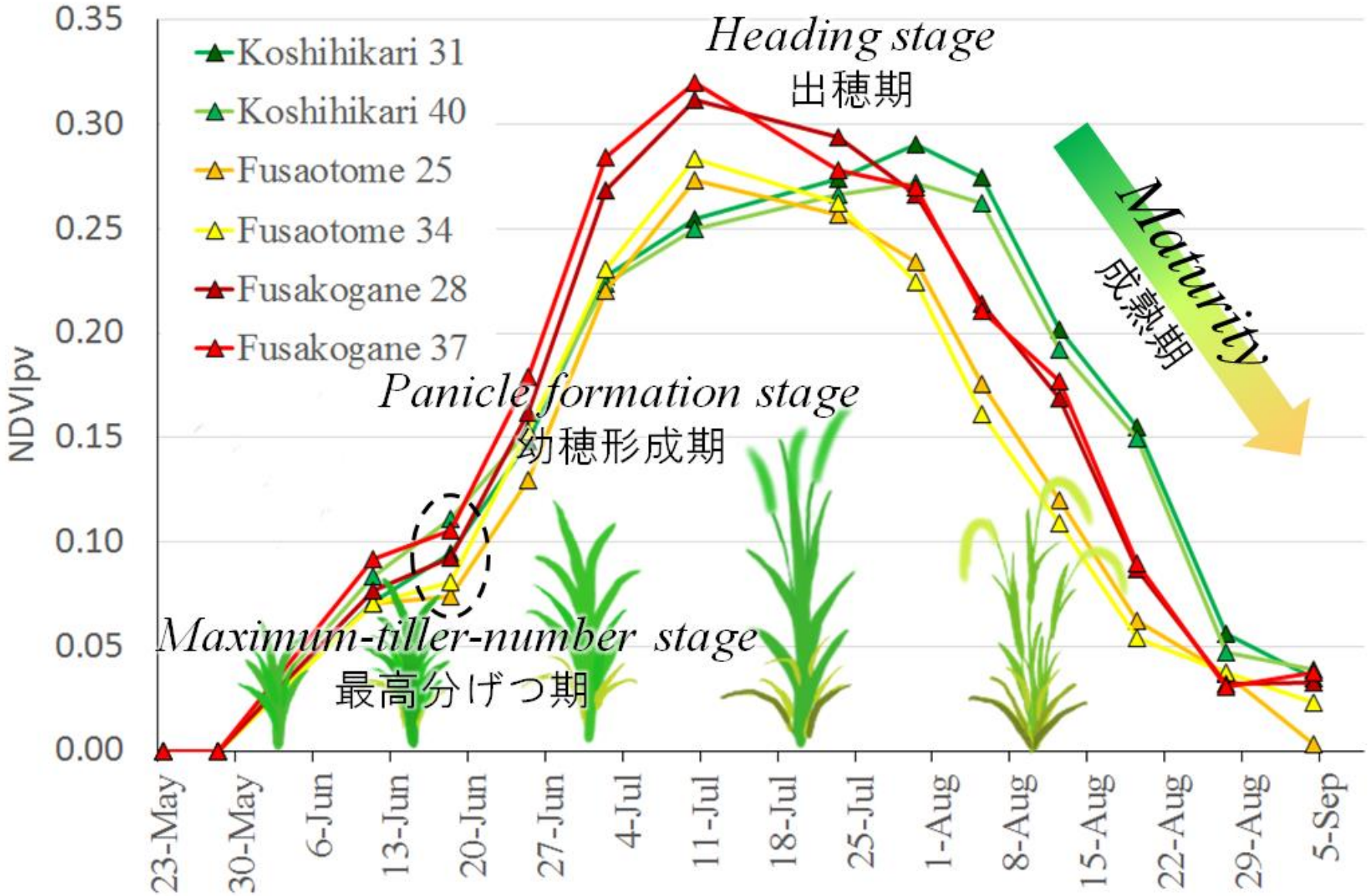
8月初旬

収穫開始

9月初旬

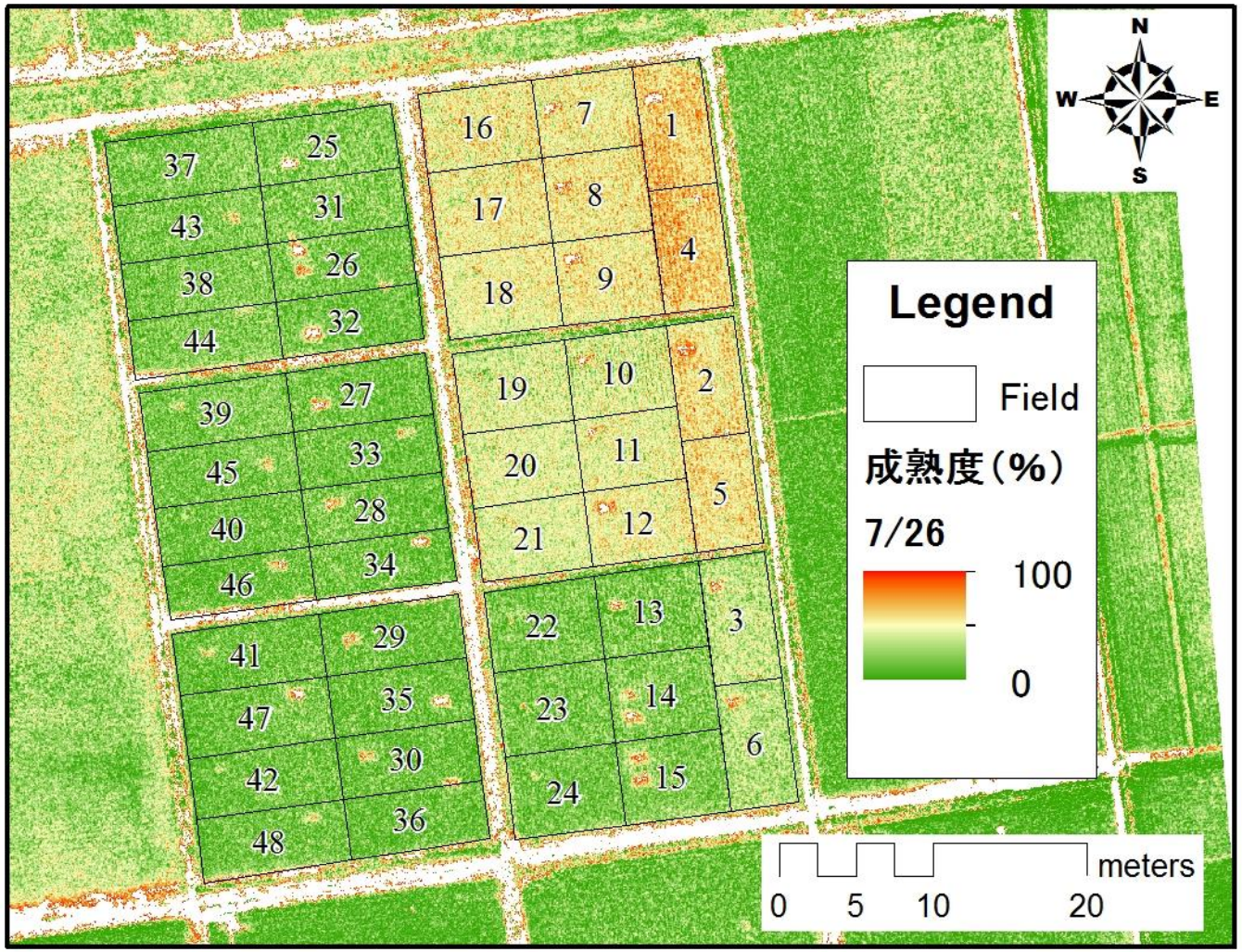


稲のフェノロジーとNDVI時系列変化



生育ステージの把握（成熟度）

- NDVIは、登熟期に減少する。（最大値の約55%で成熟＝収穫適期）
- 減少率で成熟度がわかる。⇒収穫適期がわかる。



草丈推定モデルの作成

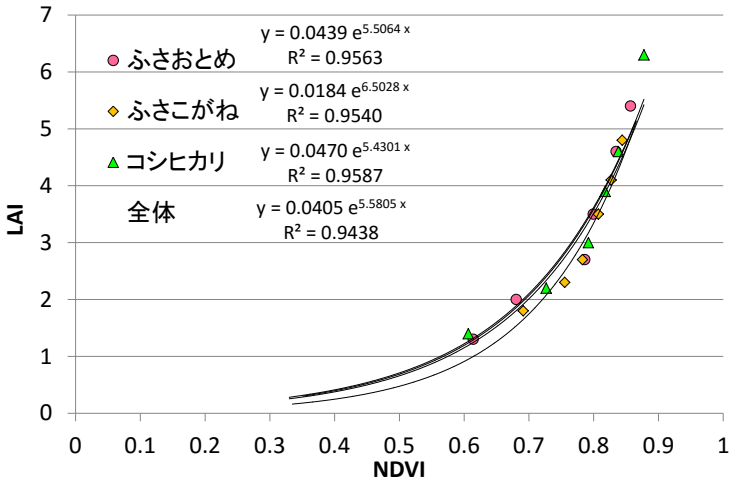
- 出穂前の草丈を推定

現地での実測値
・草丈，ＬＡＩ

Name	Index	Definition
Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	$=\frac{NIR-Red}{NIR+Red}$
Green Normalized Difference Vegetation Index	GNDVI	$=\frac{NIR-Green}{NIR+Green}$
Soil-Adjusted Vegetation Index	SAVI	$=\frac{NIR-Red}{NIR+Red+L}(1+L)$
Modified Soil-Adjusted Vegetation Index 2	MSAVI2	$=\frac{2*NIR+1-\sqrt{(2*NIR+1)^2-8*(NIR-Red)}}{NIR+Red}$
Normalized Green Red Difference Index	NGRDI	$=\frac{Green-Red}{Green+Red}$
Green Leaf Index	GLI	$=\frac{2*Green-Red-Blue}{Green+Red+Blue}$

NDVIpv（植生域だけ抽出）

生育量推定モデル

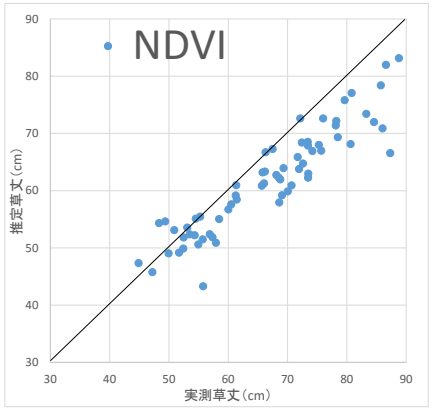


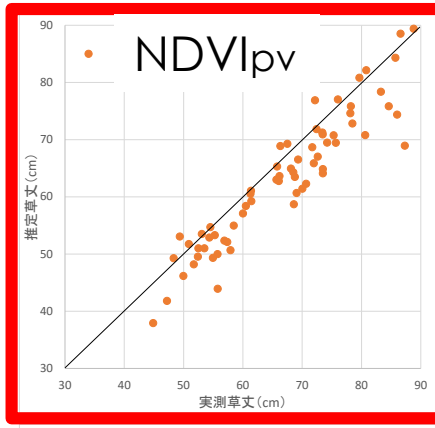
草丈の推定（推定精度検証）

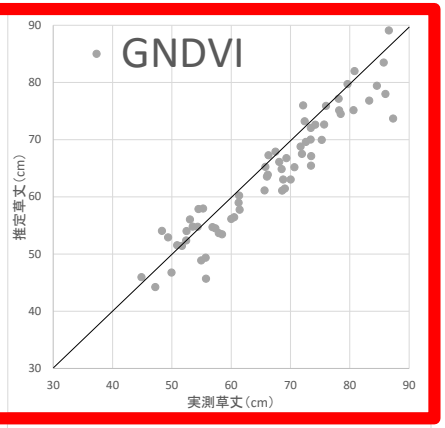
- GNDVI，NDVIpv で推定誤差約5cm

※縦：推定値，　横：実測値

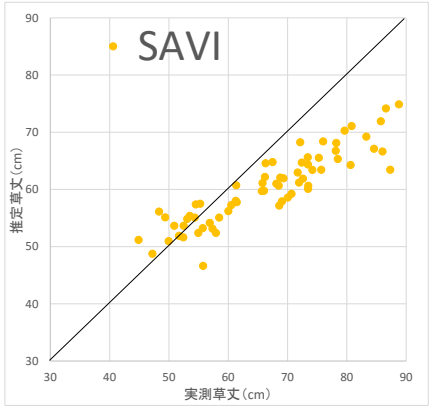
RMSE(cm)						
NDVI	NDVIpv	GNDVI	SAVI	MSAVI2	NGRDI	GLI
6.6	5.3	4.3	8.7	9.0	16.6	21.7

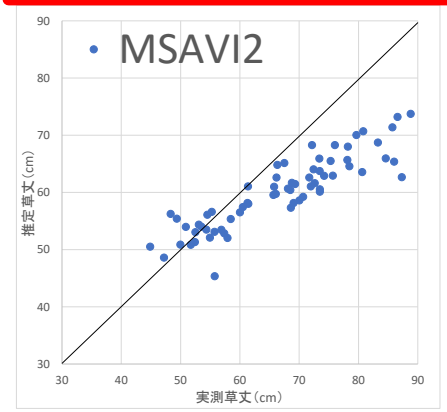


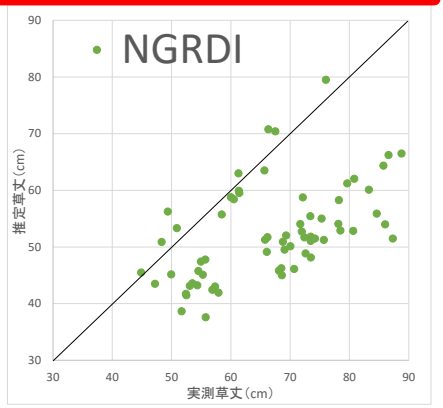


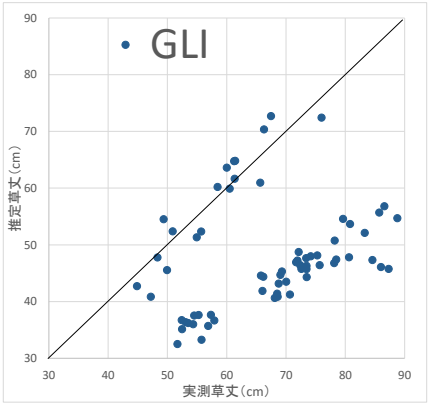


※ＲＭＳＥは０に近いほど推定精度が高い



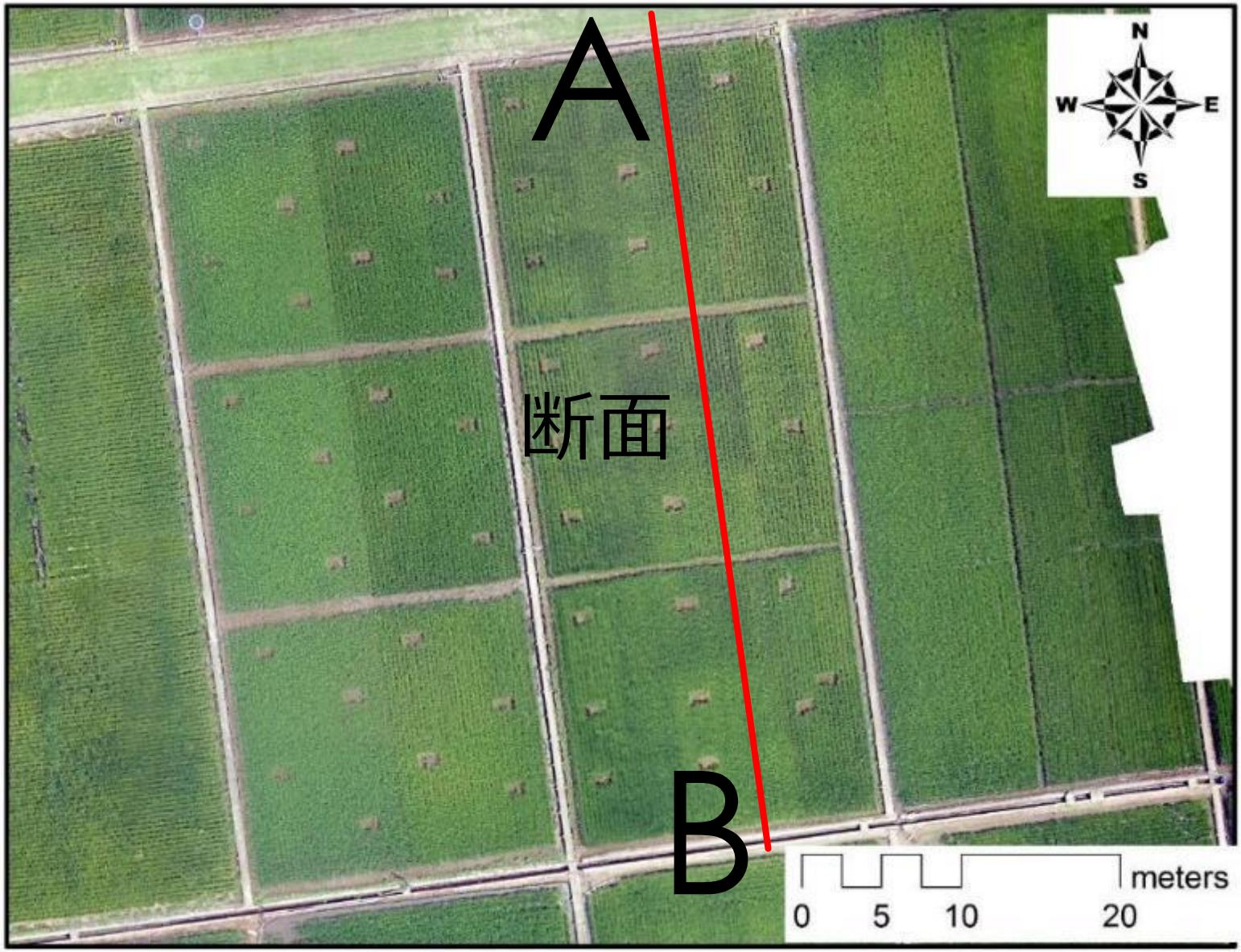




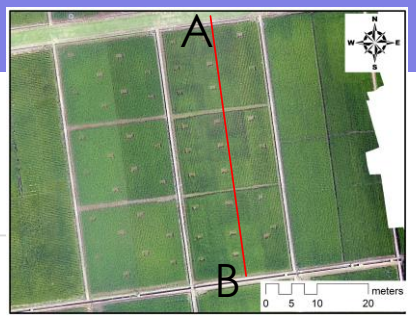


3次元モデルを使用した計測（草丈，圃場の高低差）

DSMを用いた草丈計測（群落高）



DSM断面（A→B）


A
B
meters
0 5 10 20

1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
高さ（m）
施肥量
施肥量
施肥量
0
10
20
30
40
50
距離（m）
5月9日
6月21日
7月16日

倒伏予測　（生育予測）

- コシヒカリは倒伏のリスク大

- 出穂前の草丈（稲の高さ）からリスクを評価できる

  ①幼穂形成期の草丈が，70cm以上

  ②出穂前13～14日の草丈が84cm以上

追肥の適期

（県央農林総合事務所;水稲栽培管理情報, ＪＡ金沢市版より）

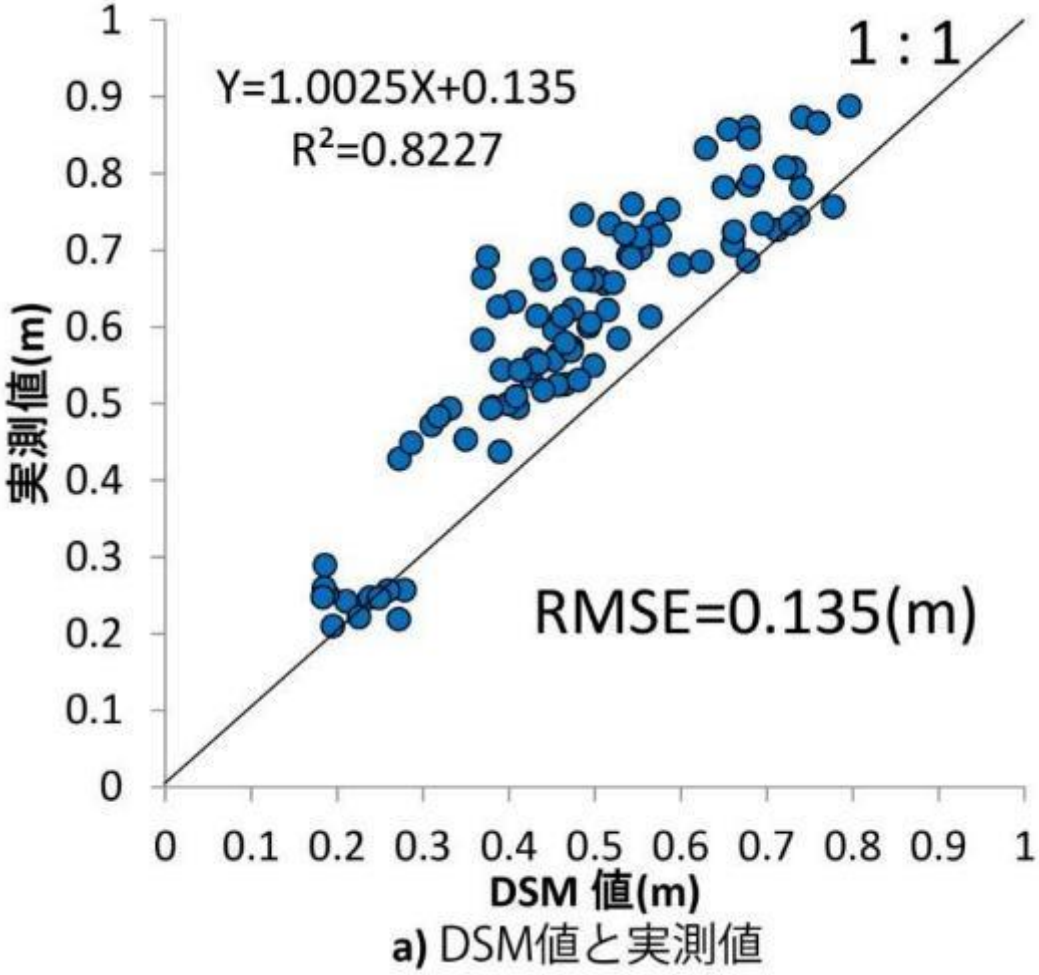
①or②のどちらか一方でも当てはまれば，

倒伏リスクエリアとする。

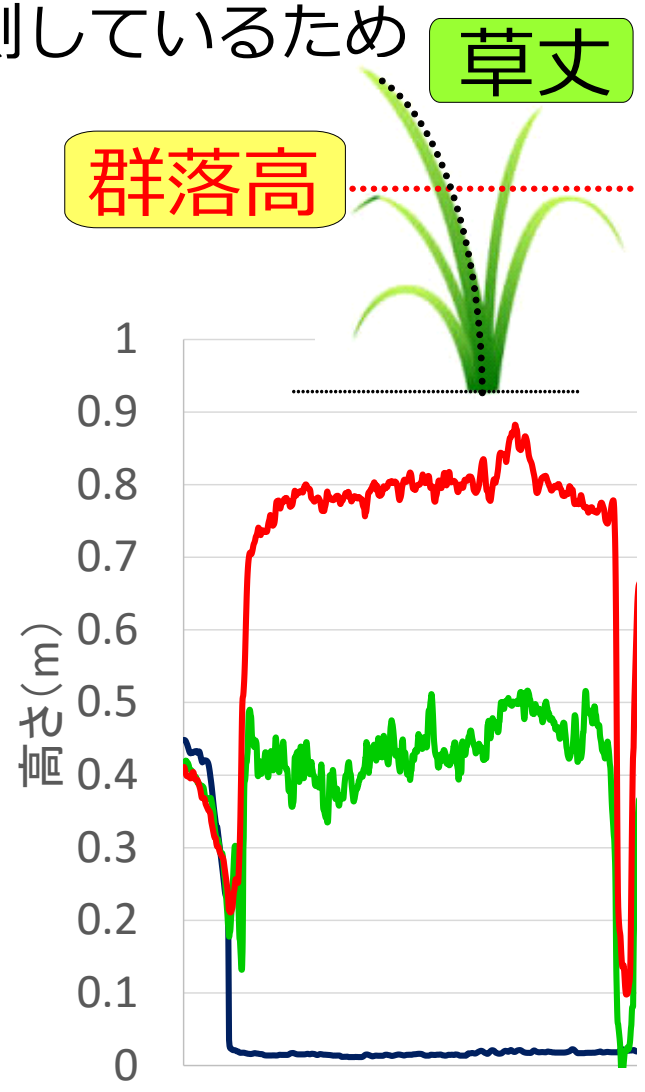
DSMと実測草丈の相関

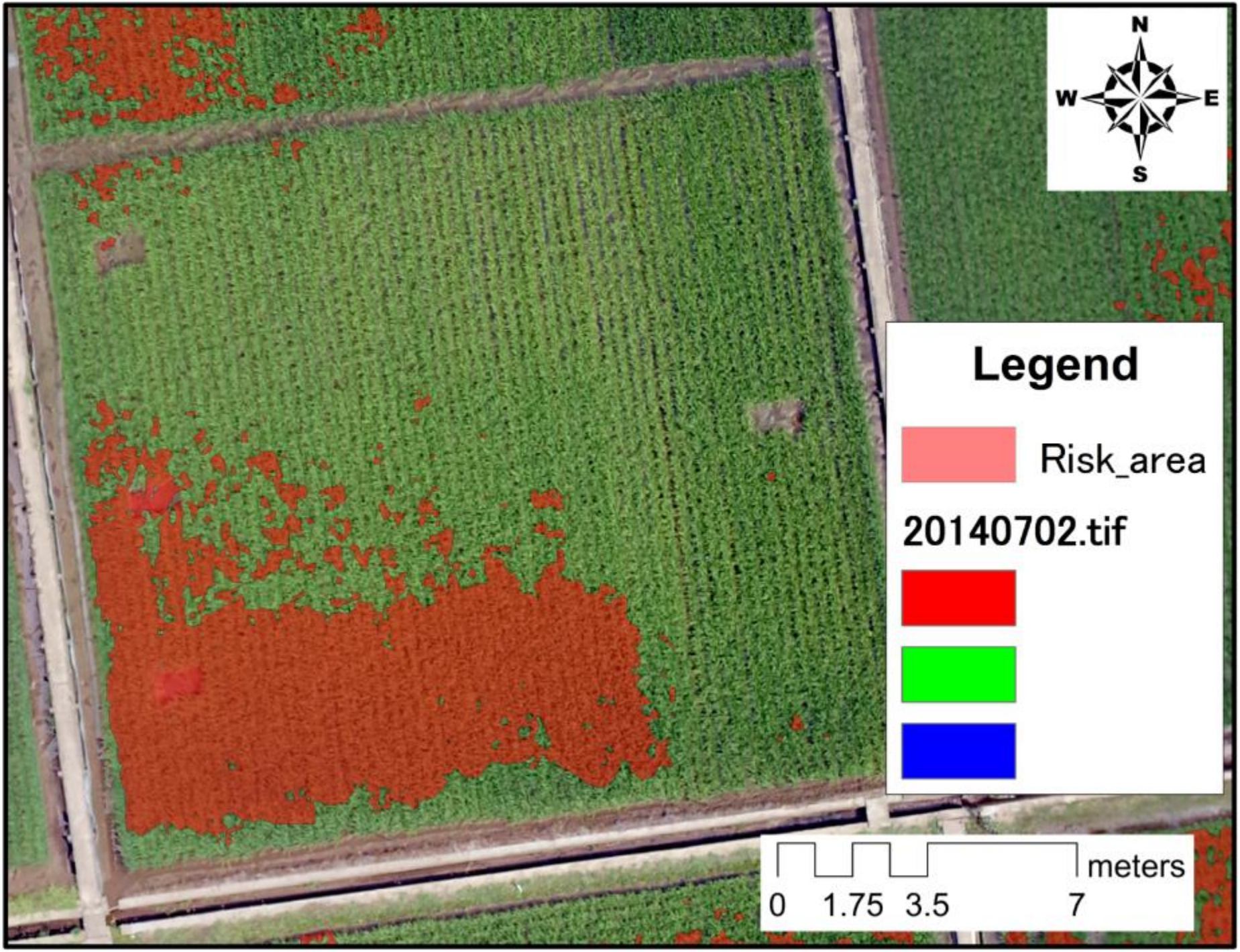
- **実測値 ＞ DSM**

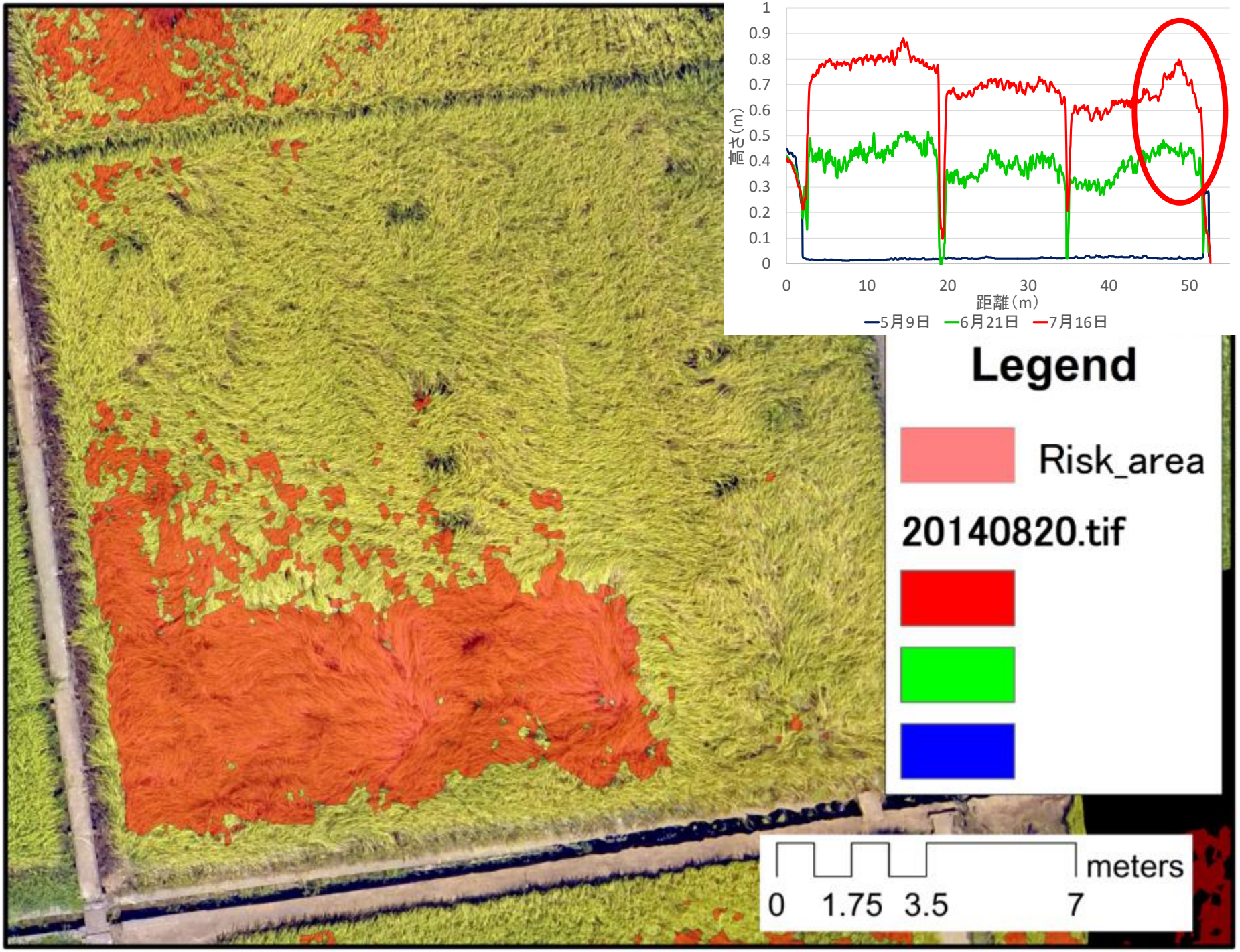
→群落高（キャノピー高）の平均を計測しているため



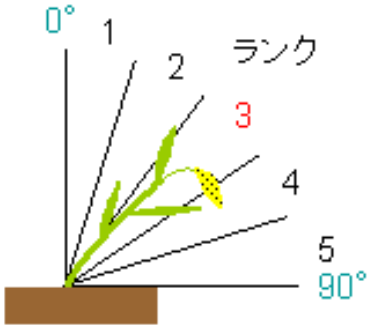
a) DSM値と実測値




N
W
E
S
Legend
Risk_area
20140702.tif
meters
0
1.75
3.5
7


1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
高さ(m)
0
10
20
30
40
50
距離(m)
5月9日
6月21日
7月16日
Legend
Risk_area
20140820.tif
meters
0
1.75
3.5
7

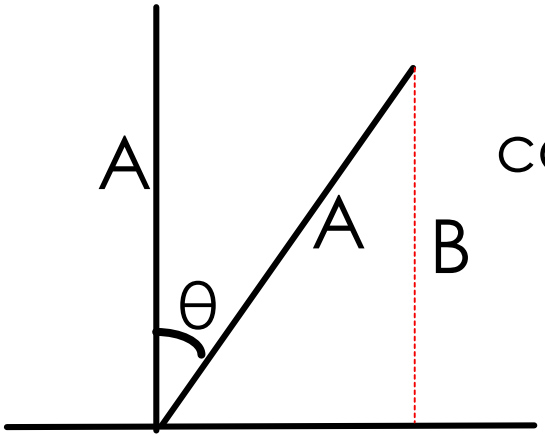
DSMを用いた倒伏計測



角度で倒伏程度として計測

DSMの最大値と刈り取り直前のDSMを比較

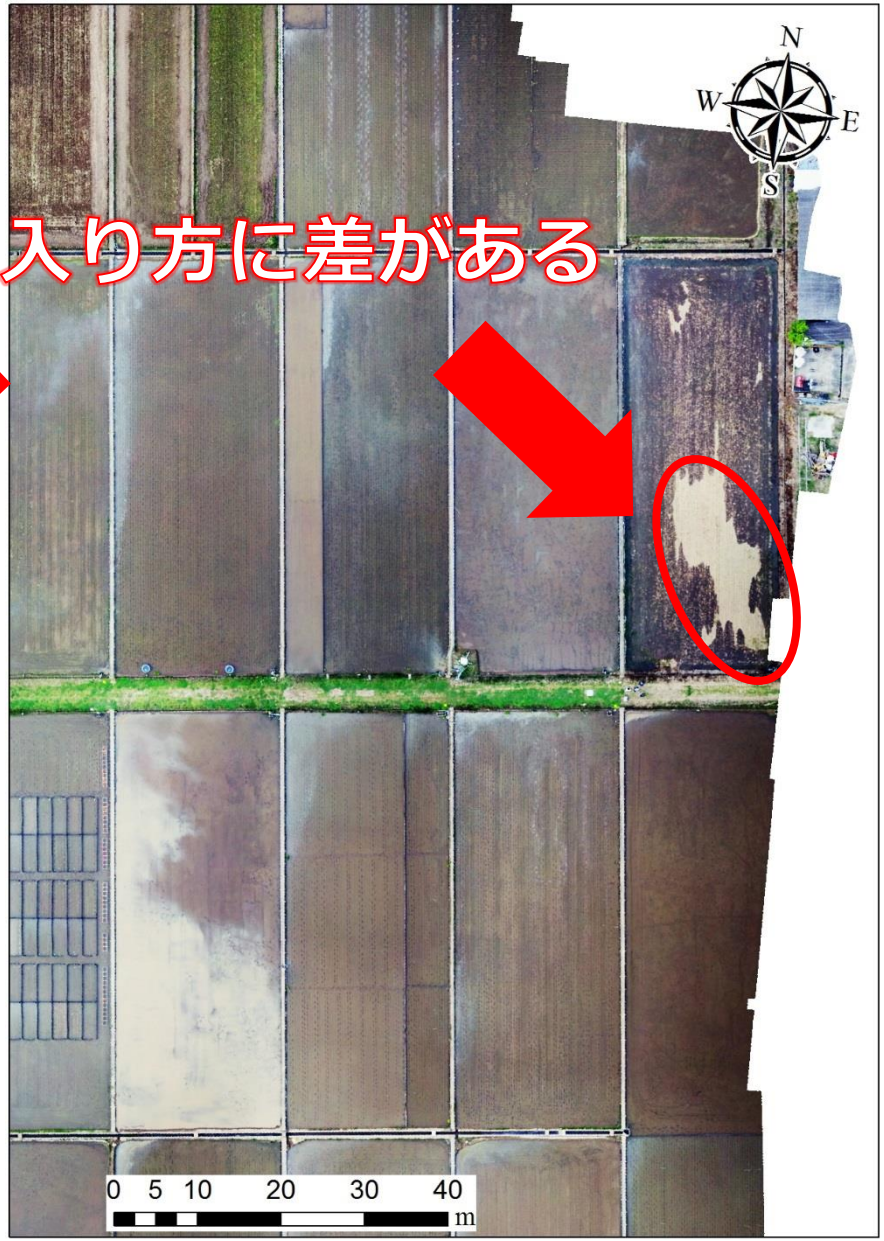
→倒伏角度を求める



$\cos\theta = B/A$

圃場の高低差計測

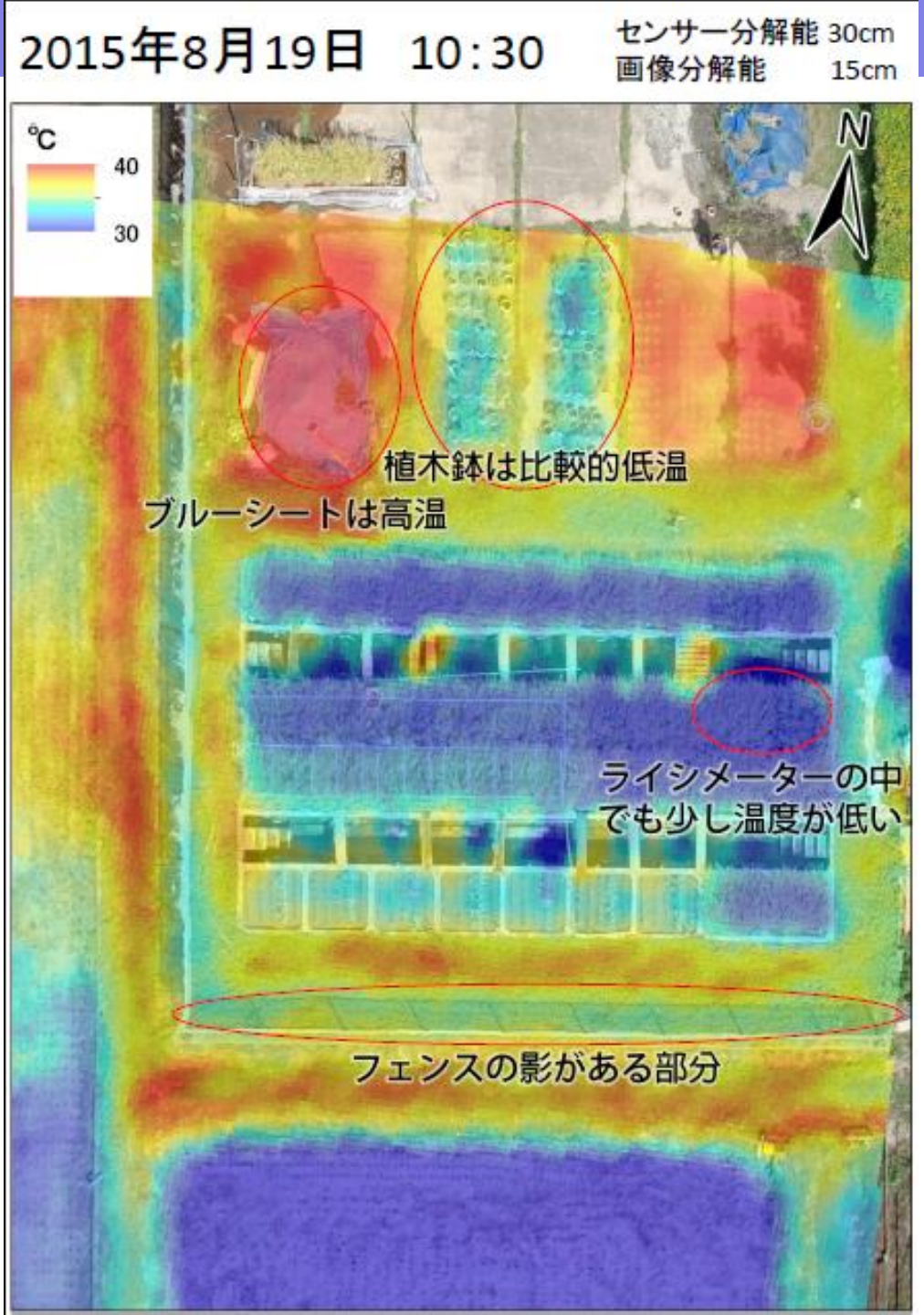
水の入り方に差がある



熱赤外撮影用改造機

JABO H602 (改造S900)

JABO H601G

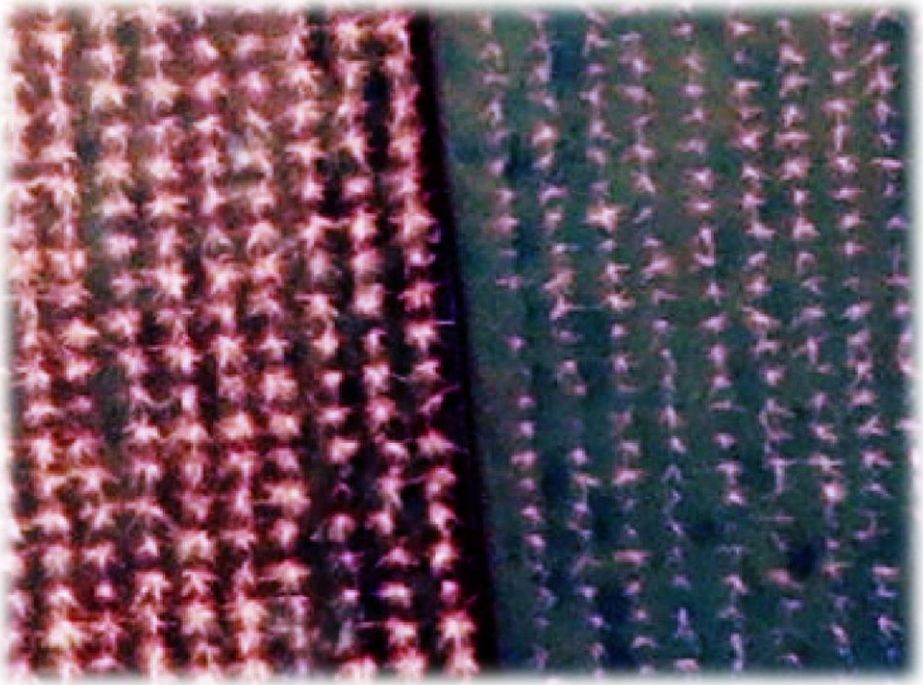


圃場の植被率計測

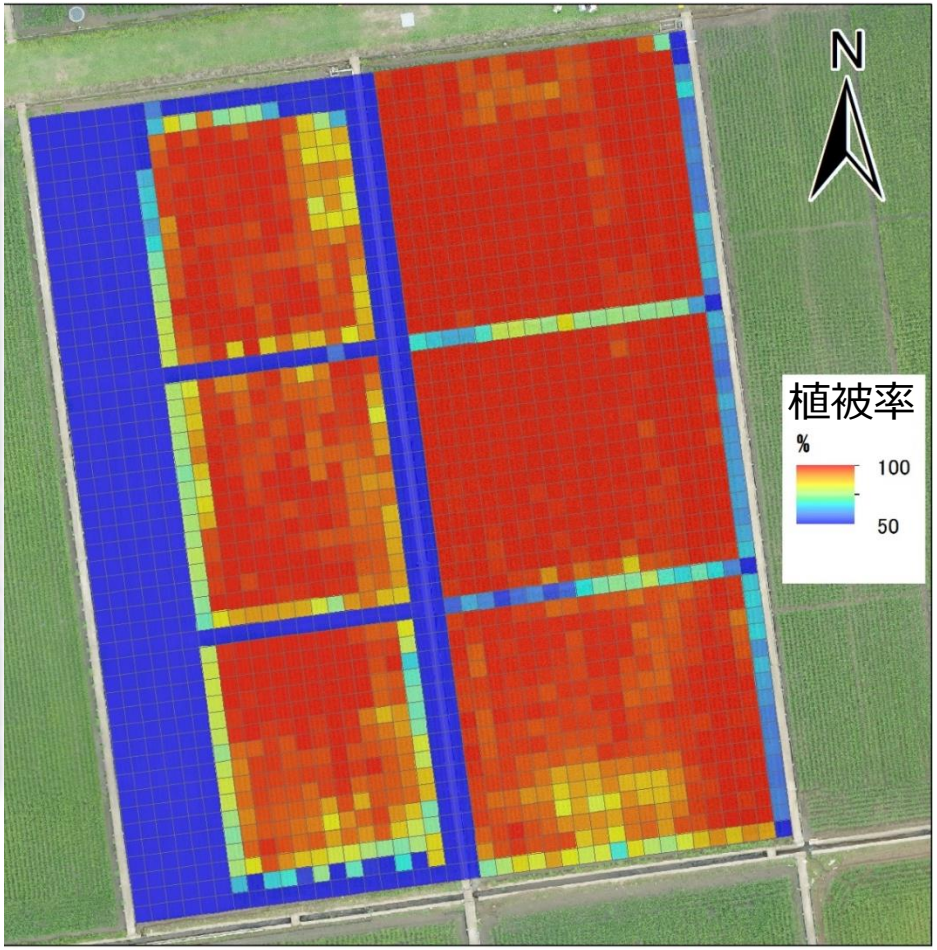
土壌・水域と植生部が明瞭に分かる。

植被率=メッシュ内のNDVI＞０の面積 / メッシュの面積

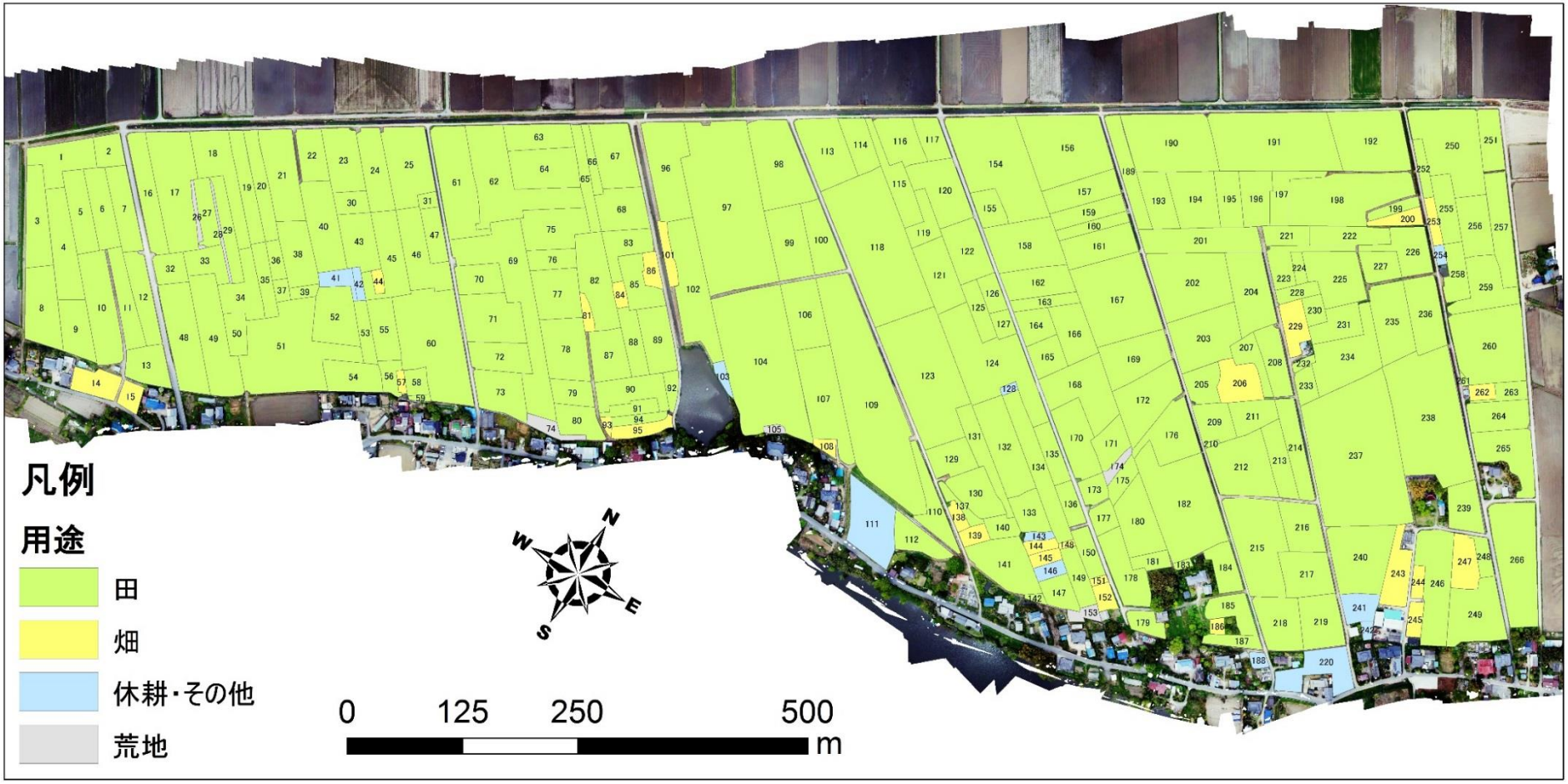
空間分解能：約1.8cm



Yubaflex フォールスカラー



圃場の測量（土地改良区より依頼）
→多面的機能支払い申請の根拠



UAVリモートセンシングが農業を大きく変える可能性

課題
・仕様がはっきりした安価な農業用カメラの開発
・圃場管理のための地理情報システムの導入
・UAV運用の確実性、安全性
・その他

千葉県印旛沼流域,桑納川における多時期近接空撮による外来水生植物モニタリング

濱　侃　　（千葉大学 理学研究科）
浜田 慎也（千葉大学 理学研究科）
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）

はじめに

- 千葉県印旛沼流域
- **外来水生植物ナガエツルノゲイ**
  - ➡ 特定外来生物　**大繁殖**

茎の切片から栄養繁殖

節から根がでる

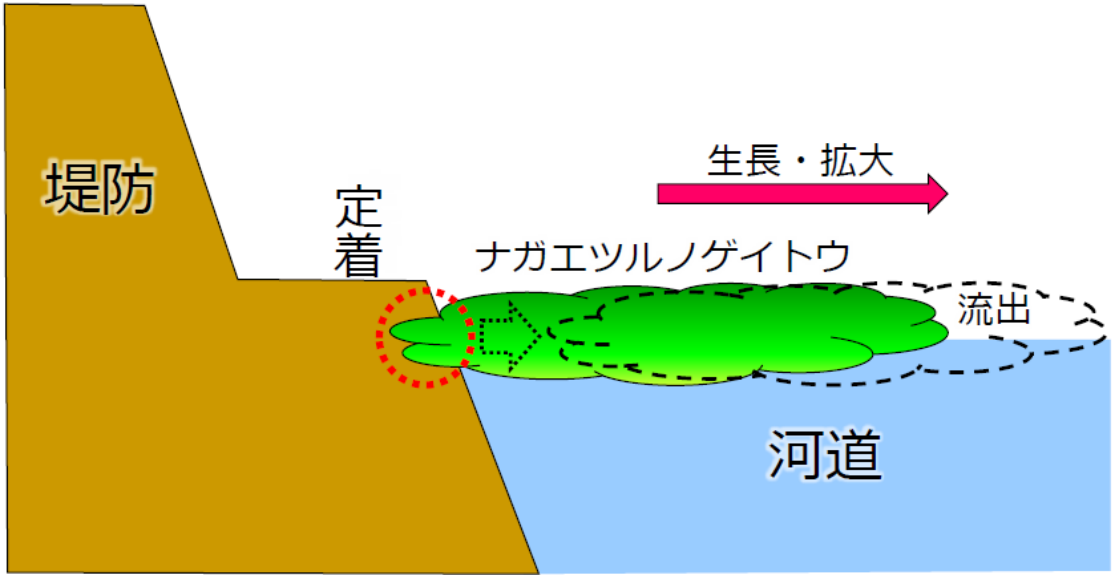
- ✓ 生物多様性への影響
- ✓ 農作業への影響
- ✓ 治水リスクの上昇

ナガエツルノゲイトウ Alligator weed

- 多年生草本
- 流れの停滞的な場所に生育
- 浮遊して下流へ移動，定着，拡大
- 群落面積が5年で**25倍**になった事例も　290㎡ ➡ 7300㎡

➡ 経**“年”**変化の研究が中心

(Sainty et al. 1997; Julien and Stanley1999; Clements et al. 2011)



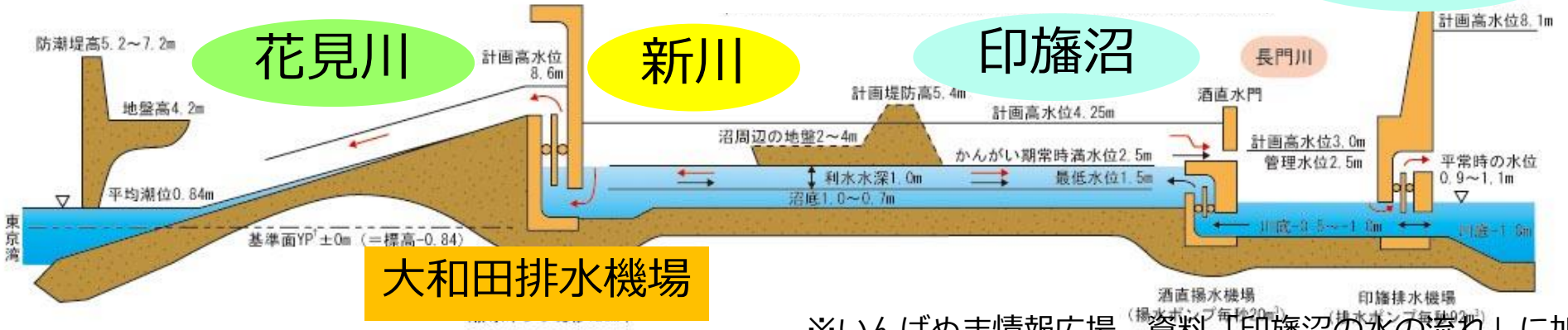
マットが移動している様子

印旛沼の水の流れ

大雨

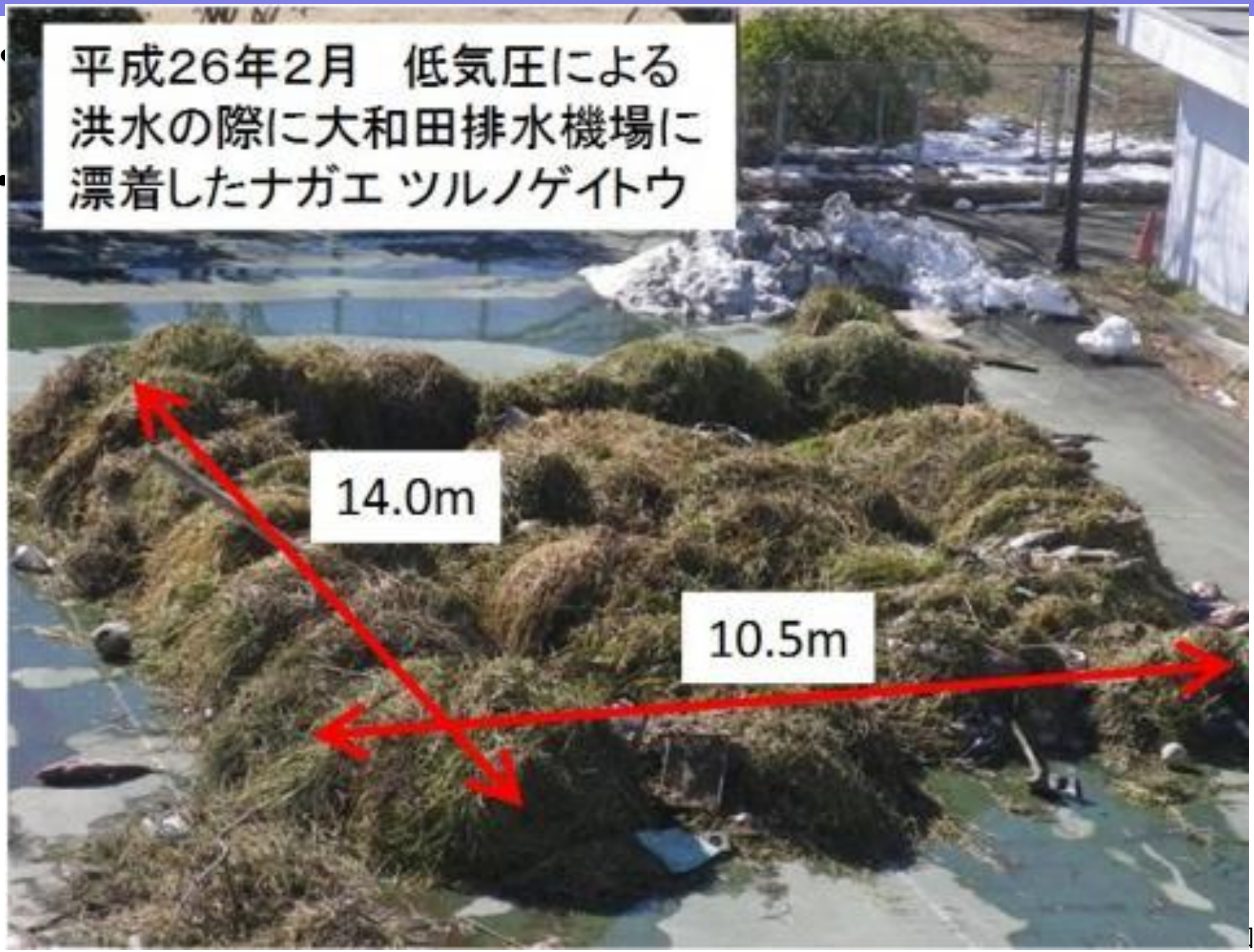
平水時

利根川



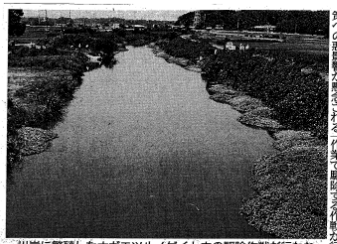
※いんばぬま情報広場　資料「印旛沼の水の流れ」に加

調査場所（桑納川（かんのうがわ））


平成26年2月　低気圧による
洪水の際に大和田排水機場に
漂着したナガエ ツルノゲイトウ
14.0m
10.5m

産官学民での協働駆除作戦

- 産：パシフィックコンサルタンツ、水資源機構など
- 官：千葉県、八千代市など
- 学：東邦大学、千葉大学など
- 民：NPOなど



川岸に繁殖したナガエツルノゲイトウの駆除作戦が行われている桑納川＝27日、八千代市

特定外来植物を駆除

八千代 桑納川 洪水対策に影響

八千代市の桑納川（かんのうがわ）で27日、洪水対策への悪影響が懸念される特定外来生物の多年草「ナガエツルノゲイトウ」を手作業で駆除する作戦が行われた。県や大学、市民団体などによる協働事業。10月まで繁殖場所の一部を刈り取り除き、駆除方法を模索する。

ナガエツルノゲイトウは南米原産の植物で、水面にマット状に繁茂、繁殖力が強く、生態系を脅かすとともに水流の停滞などが問題視されている。

県河川環境課によると、桑納川では新川に注ぐ河口周辺に繁殖しており、台風や大雨で水位があがると一部が新川へ流出、印旛沼の水を花見川へ排水する「大和田排水機場」まで流れ、排水運転が困難になる事態が発生している。

この日は関係者約30人が集合。6月末に重機で大々的に取り除いたものの、再び発芽した群落を手作業で茎から刈り取った。10月まで月1回ペースで駆除を繰り返す。

作業の有効性が確認されれば、その他の群落も同様に駆除していく方針。地域住民への参加呼び掛けも検討しており、県の担当職員は「行政だけで駆除すると大変（ばくだい）な金がかかる。川も地域を構成する一要素。関心を持って考えてもらえたら」と話した。

藤沼流域水循環健全化会議を調整役に県や八千代市、千葉市、千葉大、東邦大など9機関・団体が協働で取り組む。桑納川の桑納橋―富士見橋間約400メートルに繁殖する群落6カ所を試験的に除去し、千葉大の無人航空機（UAV）で空撮、経過観察する計画。

問題,課題の解決に向けて

新技術（UAV, SfM/MVS）

研究的課題

・生物多様性
・生育特性

駆除
防除方法

社会的課題

・農業
・治水

問題，課題の解決へ

目的（千葉大学の役割）

研究

- ✓ **ナガエツルノゲイトウ**の動態を明らかにする。
  （生長，分布）

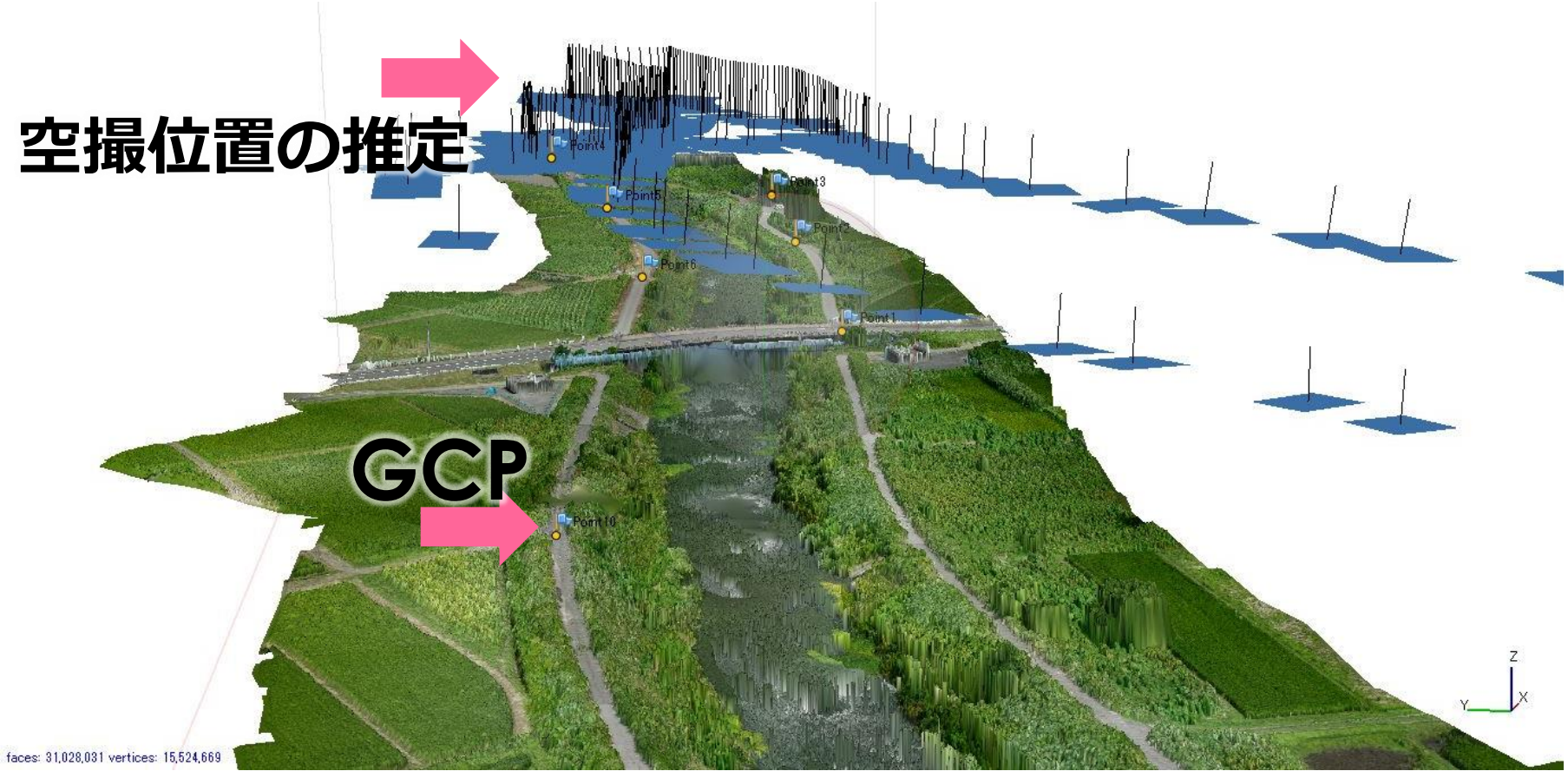
社会

- ✓ 群落面積の記録
- ✓ 駆除作業
  - ➡結果の記録
  - ➡効果の検証

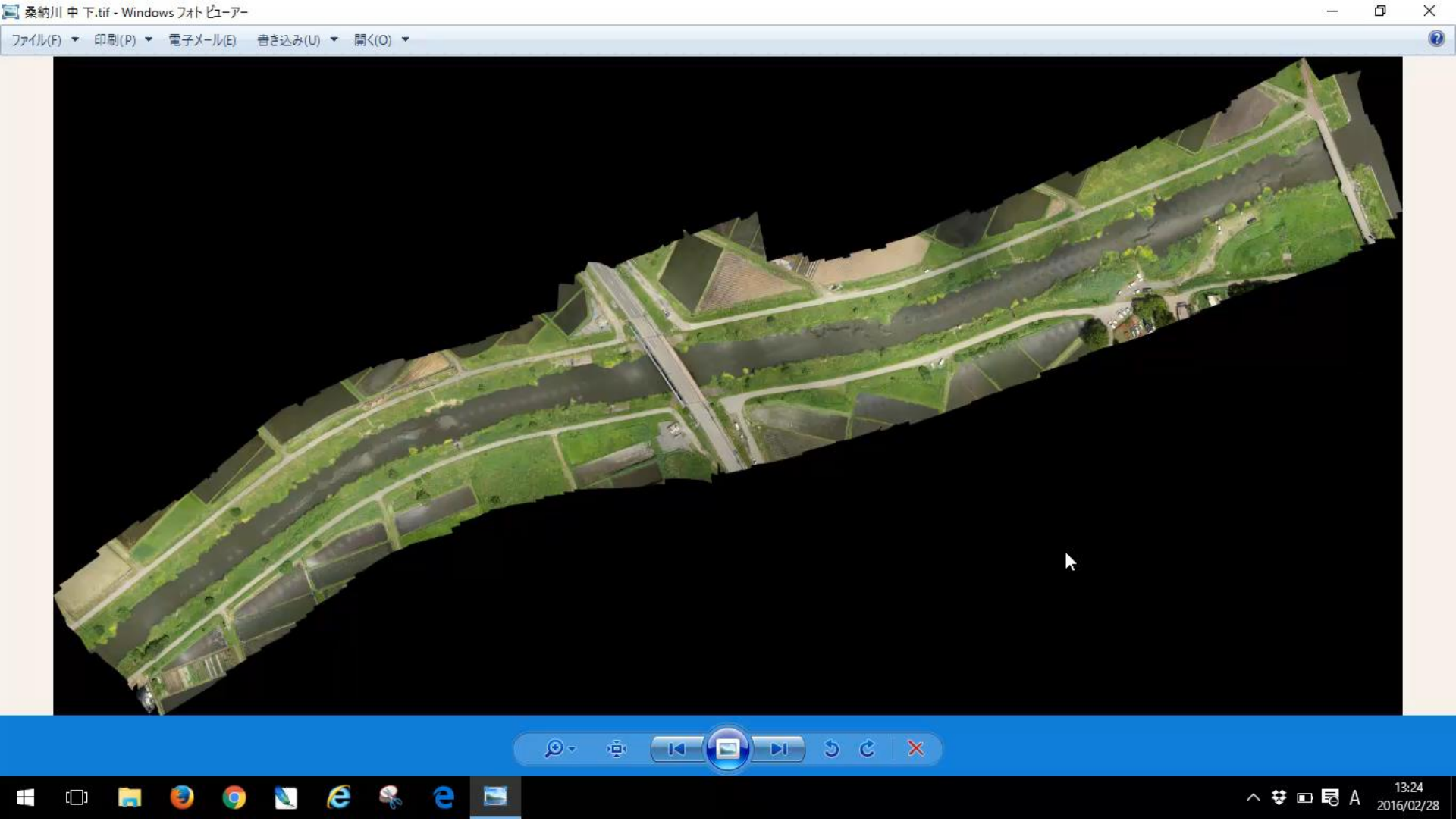
UAV(**U**nmanned **A**erial **V**ehicle)空撮，

SfM/MVS(**S**tructure **f**rom **M**otion / **M**ulti-**V**iew **S**tereo)

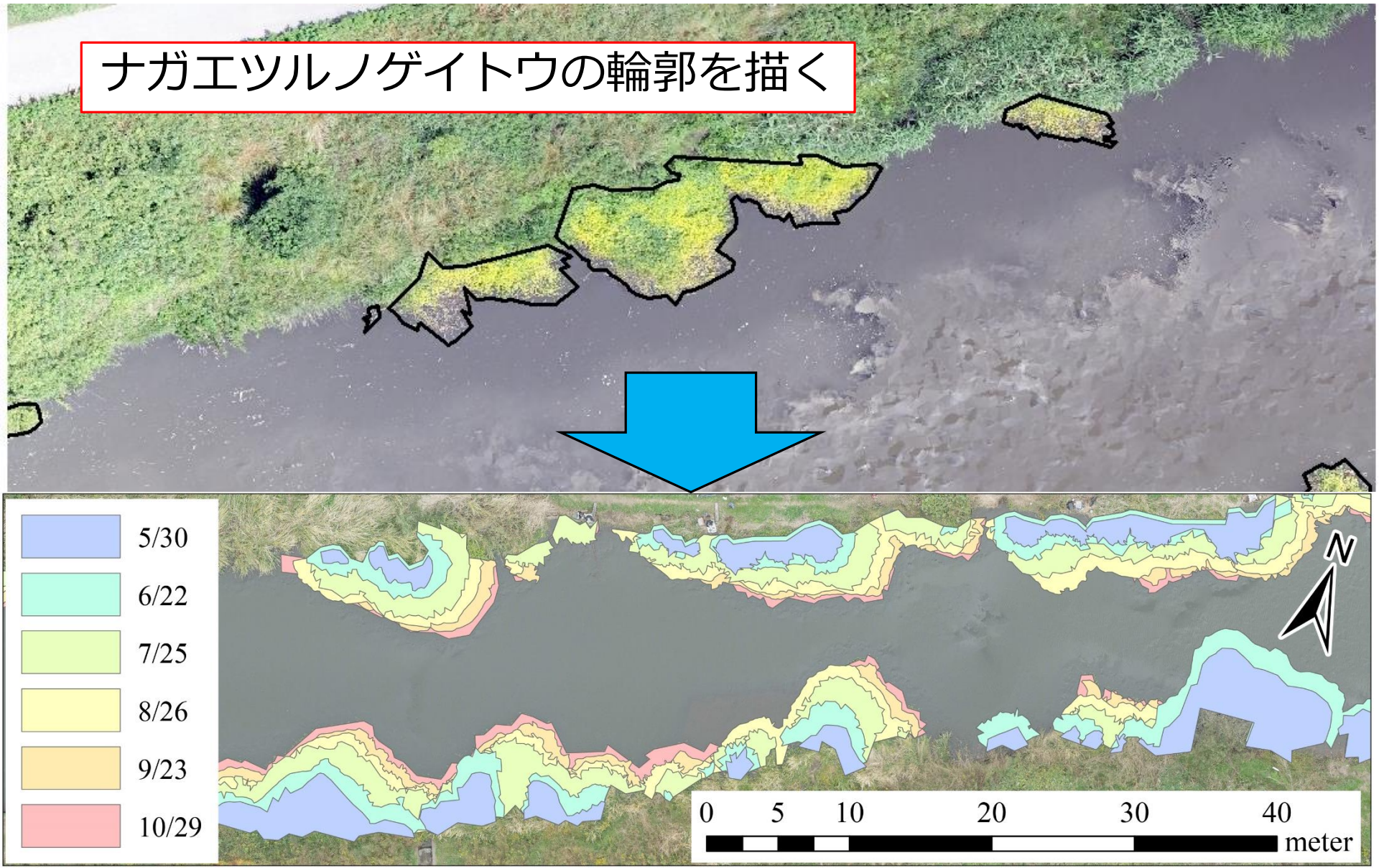
➡ 調査区間の地図化　2015年5月末～（月1回）



空間分解能約1cm（約400枚使用）



GISを用いて群落の分布を地図化



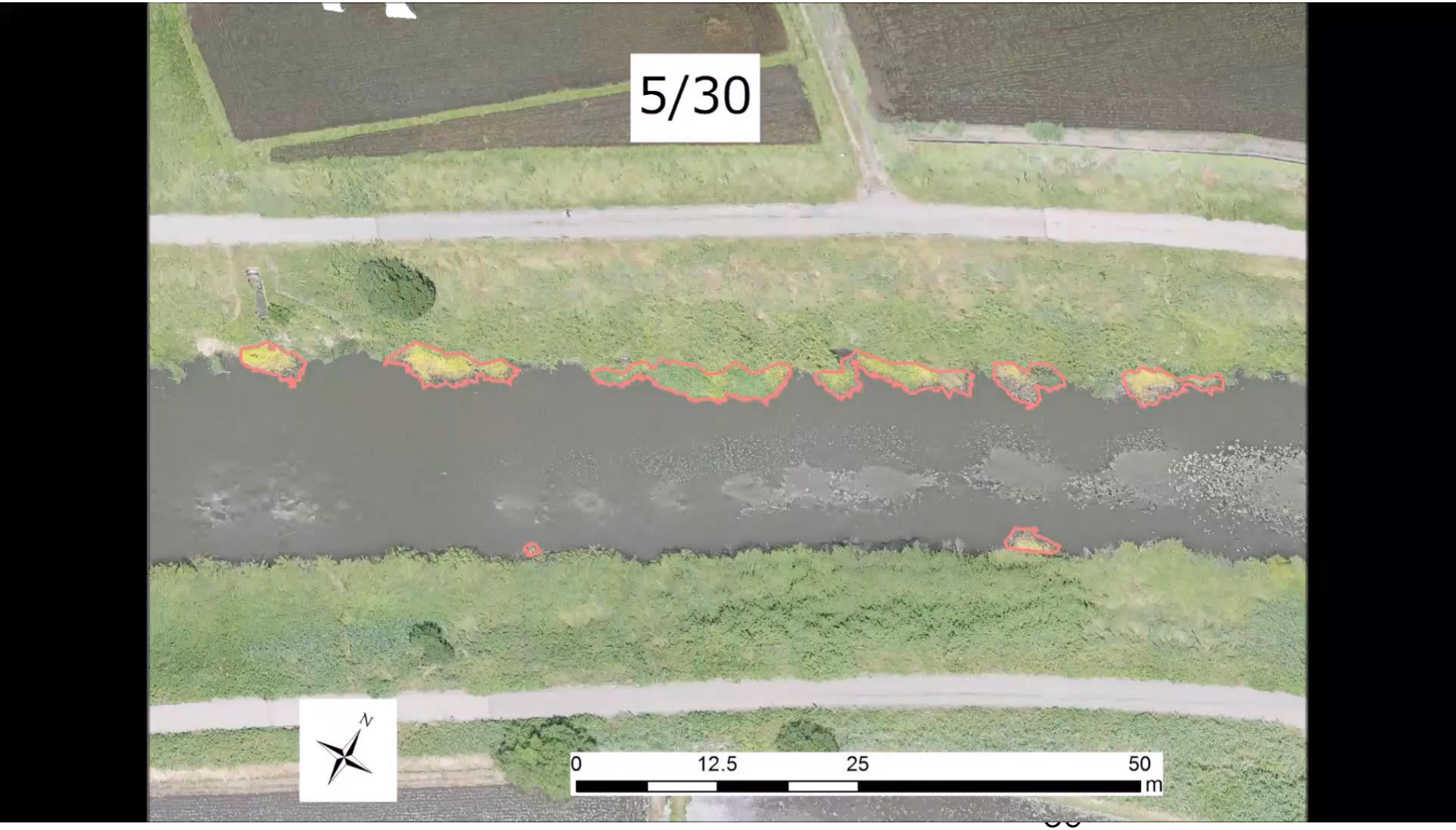
定点カメラ（TLC）による群落のモニタリング

定点カメラのサンプル動画
10分間隔で静止画を撮影

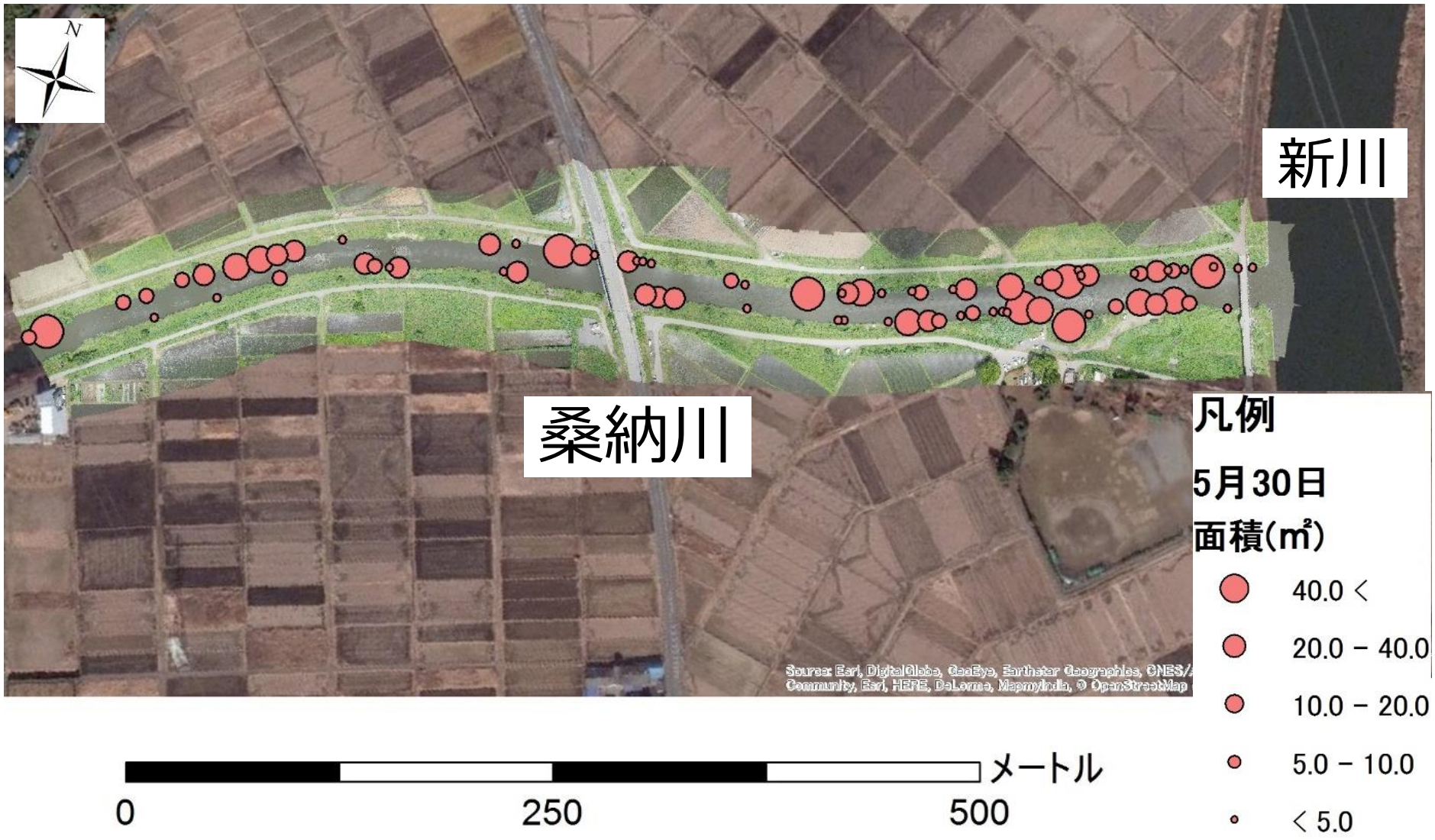
UAVの空撮から分かる
ナガエツルノゲイトウ群落の動態

- **分布**
- **再生**
- **流出**
- **駆除**
- **生長**
- **出現**

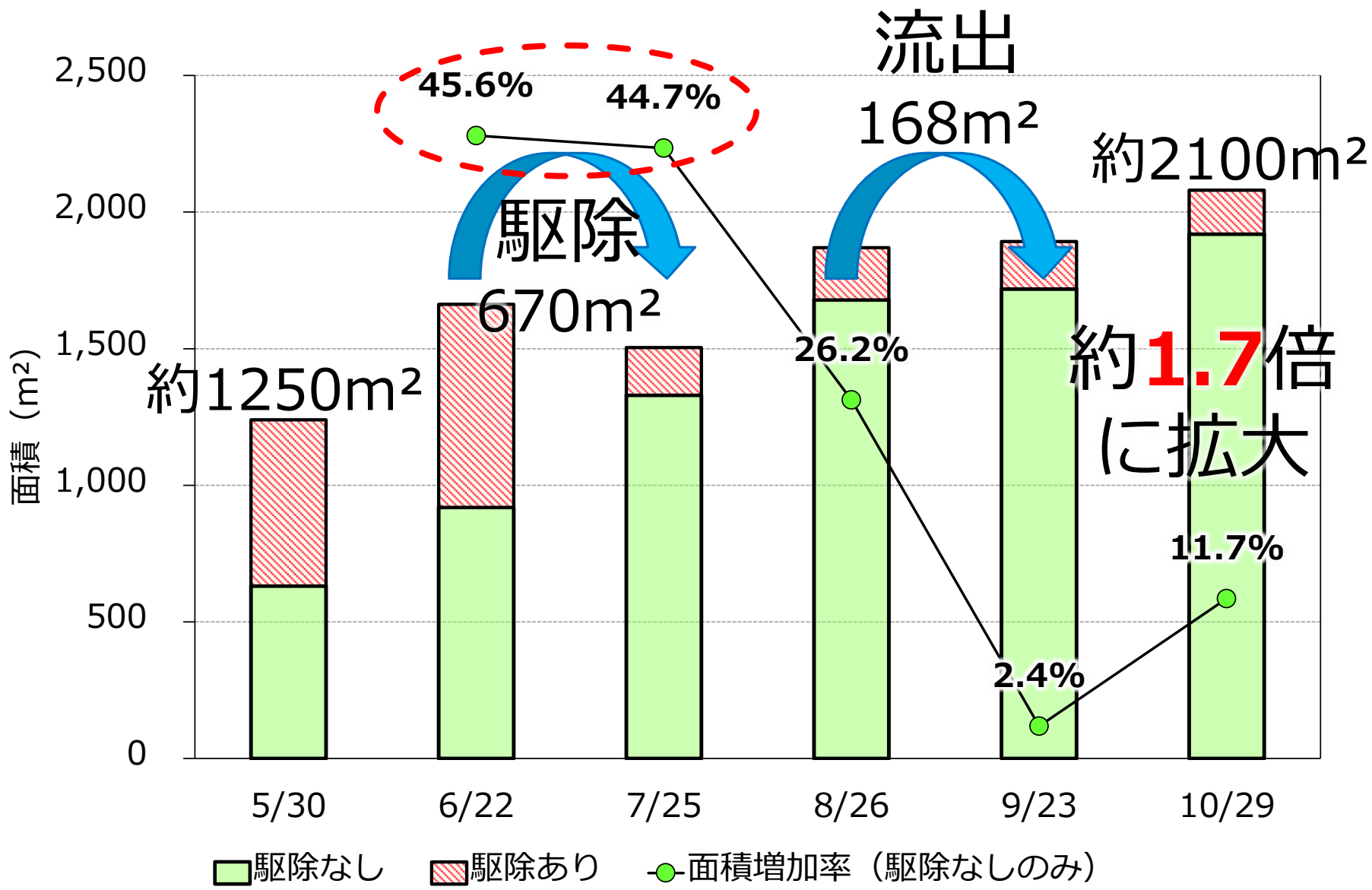
ナガエツルノゲイトウ群落の生長



ナガエツルノゲイトウ群落分布

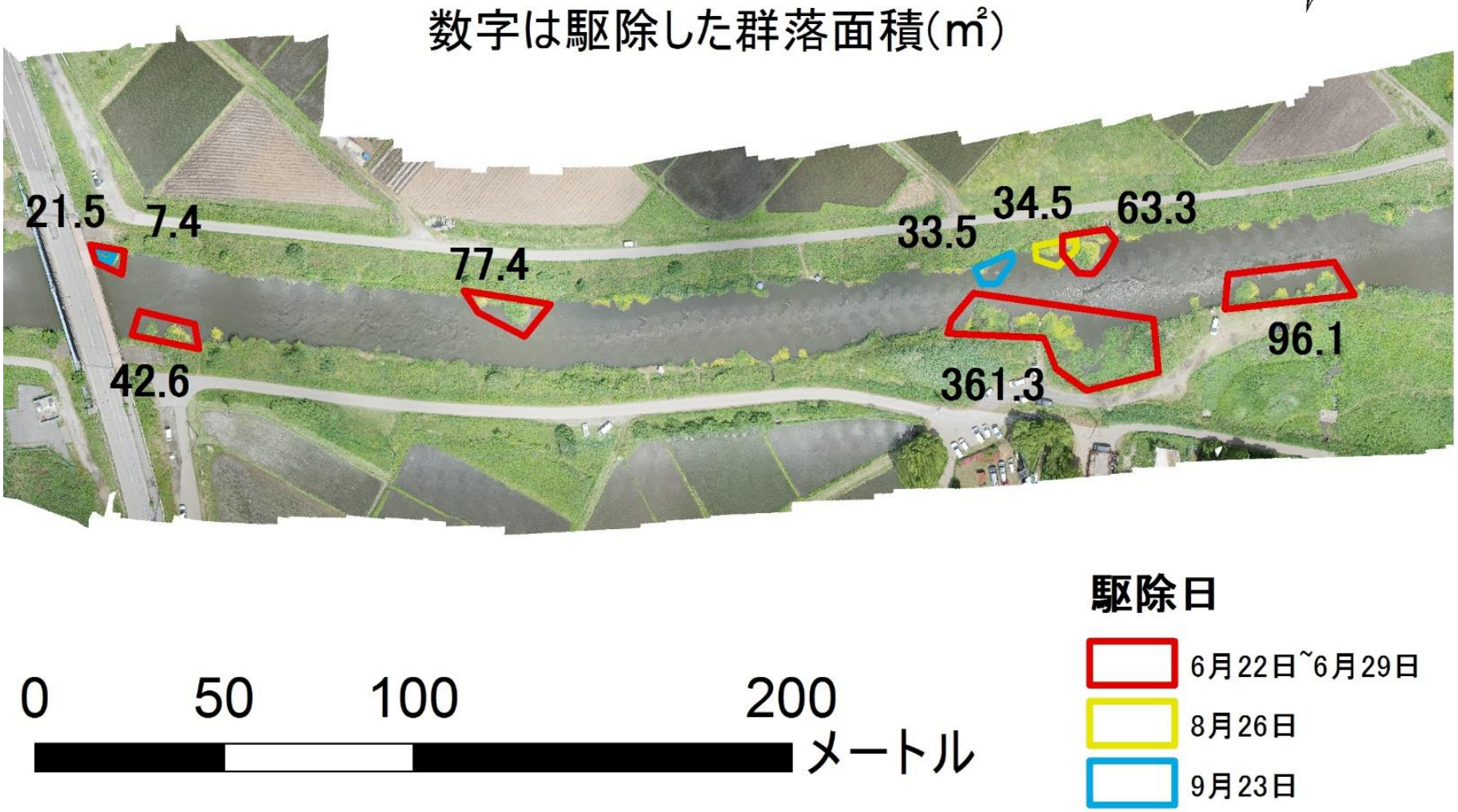


群落面積の時系列変化

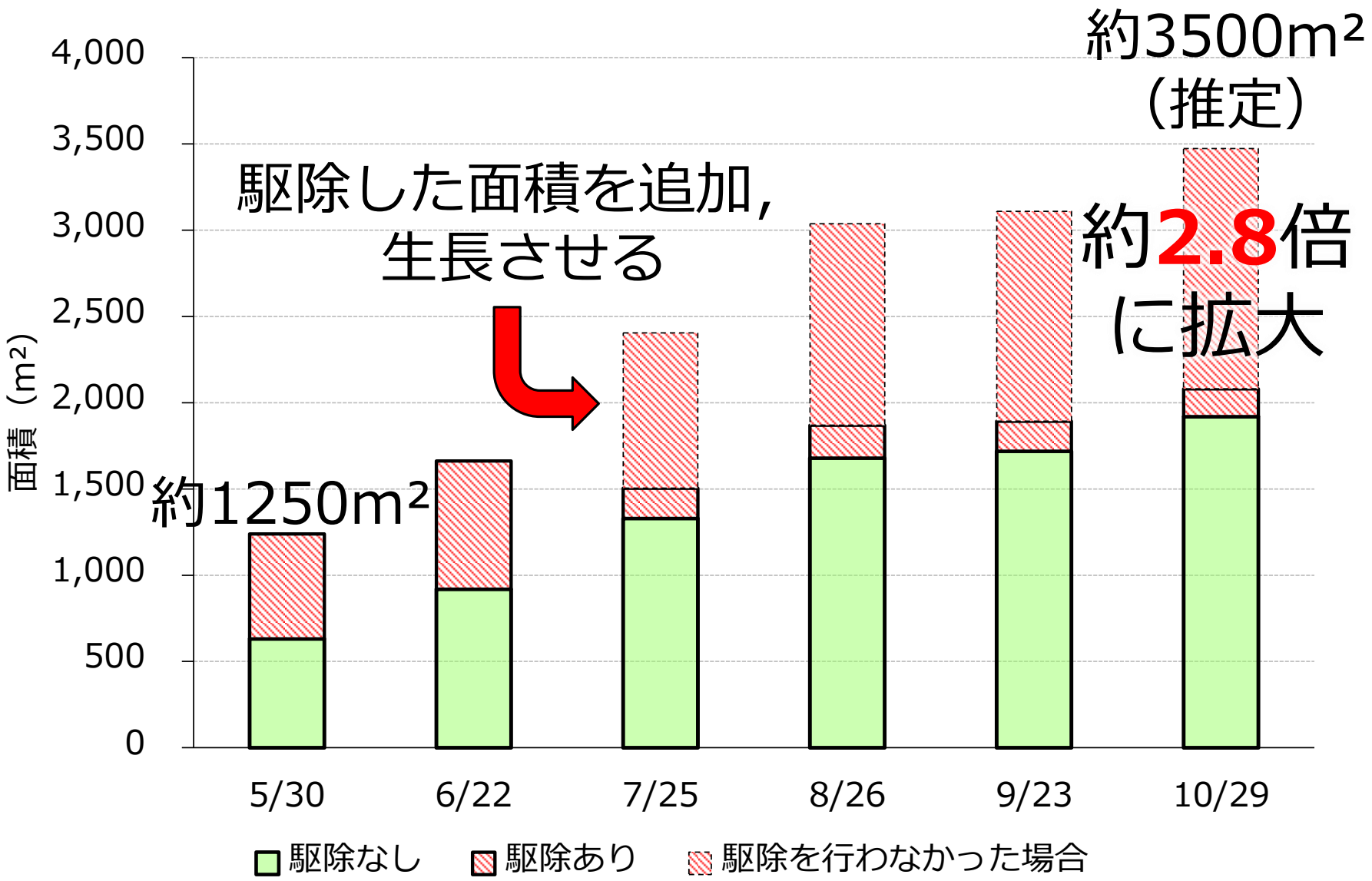

流出
168m²
約2100m²
45.6%
44.7%
駆除
670m²
約1250m²
26.2%
約1.7倍
に拡大
11.7%
2.4%
面積（m²）
2,500
2,000
1,500
1,000
500
0
5/30
6/22
7/25
8/26
9/23
10/29
駆除なし
駆除あり
面積増加率（駆除なしのみ）

駆除した群落

- 駆除総面積は約740㎡



駆除を行わなかった場合の面積変化を推定



作業結果の記録

Before

After

まずは・・・

- データを定期的にとる。
  →あとから解析はなんとでもなる。
  →この地域の稲の生育特性の把握。

- 時系列データの重要性
  →各バンドがどんな変化を示すか？
  葉色がどんな変化を示すか？