



CHIBA
UNIVERSITY

UAVリモートセンシングによる 水稻生育モニタリング

近藤 昭彦¹・濱 侃²・田中 圭³・望月 篤⁴・平田 俊之⁵
新井 弘幸⁵・八幡 竜也⁵・鶴岡 康夫⁴

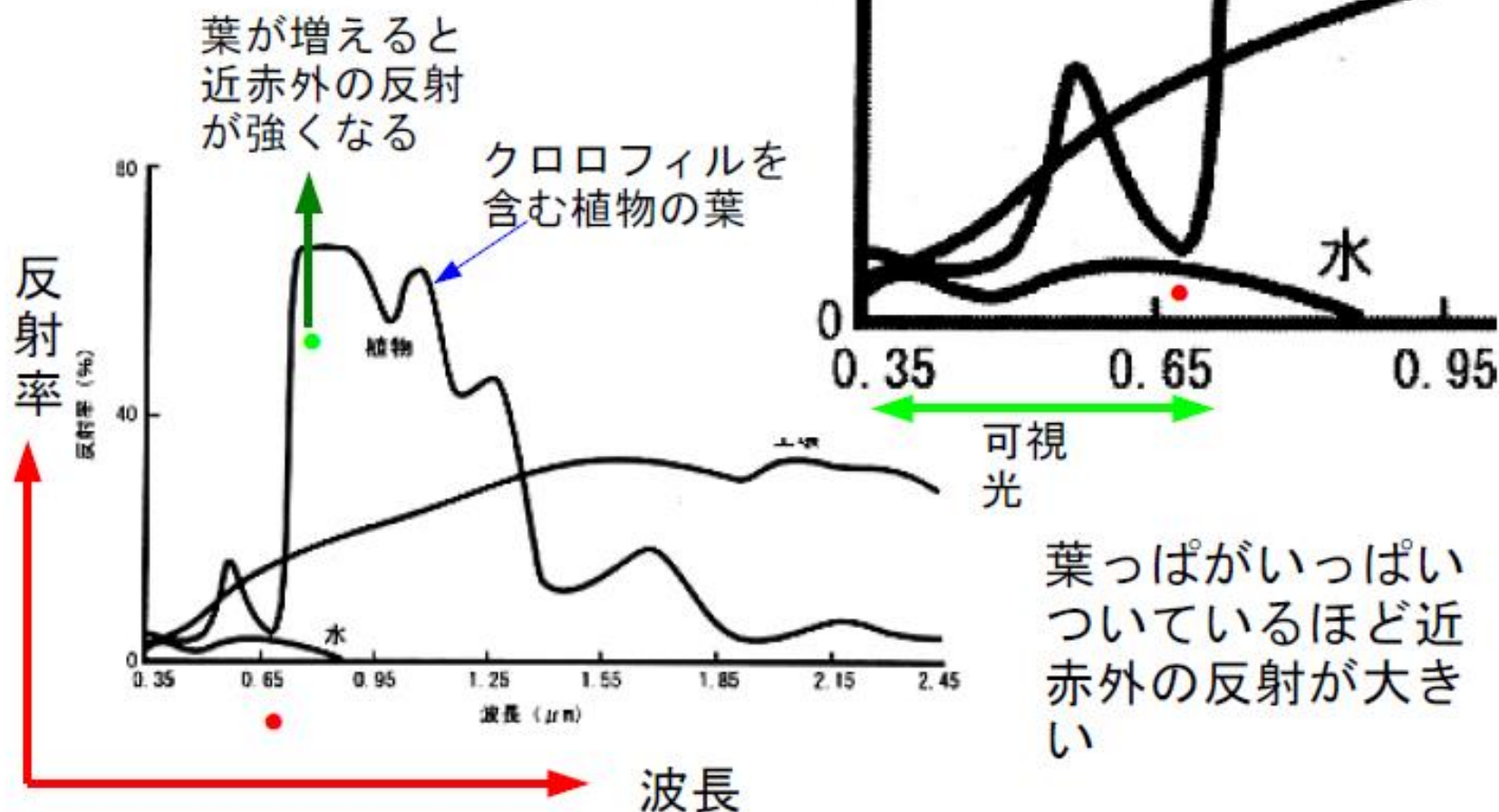
1. 千葉大学 CEReS, 2. 千葉大学 理学研究科, 3. 日本地図センター
4. 千葉県農林総合研究センター, 5. 金井度量衡株式会社

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



正規化差植生指標を定義

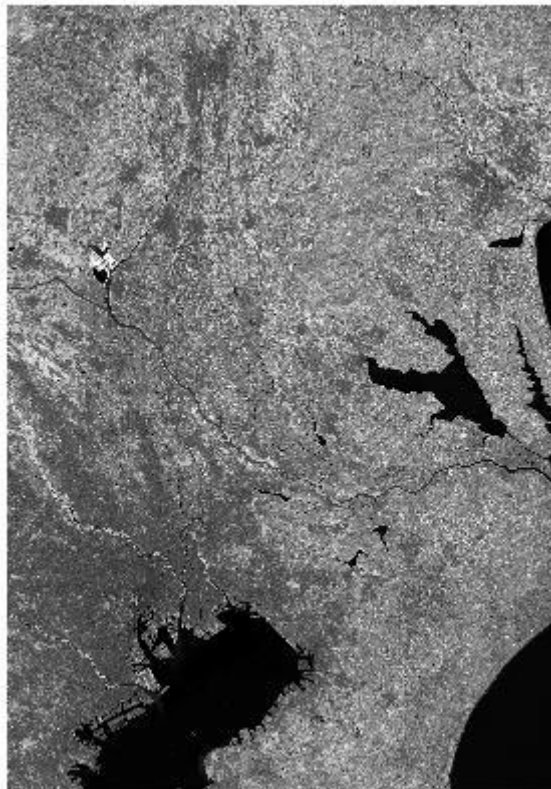
正規化差植生指標 **NDVI**

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)

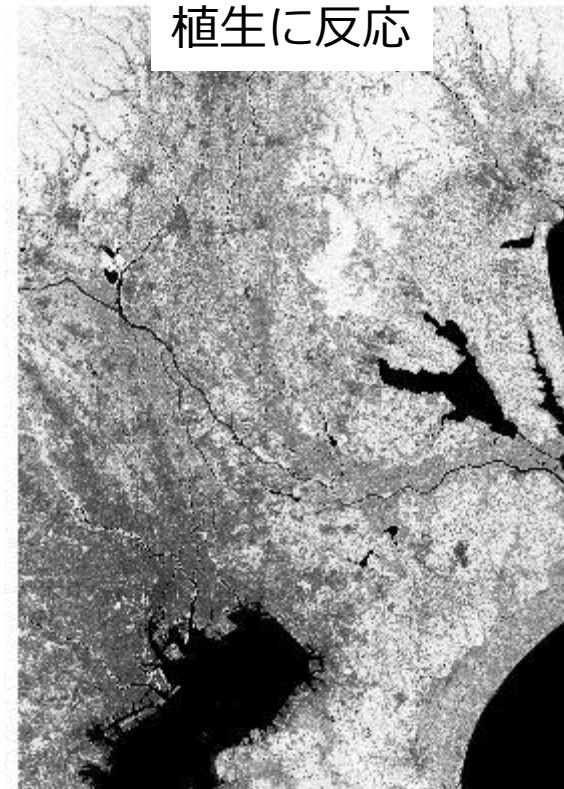


R (赤)



NDVI

植生に反応



農業リモートセンシング

■ 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

- 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」△
- 運用コスト
- なにをみているのか？ 土（田んぼ）？ 稲？

■ 近接リモートセンシング（UAV・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



農業とリモートセンシング（生産の現場）

- ➡ 農家の“経験と知識”とリモセンデータの統合
- ➡ データ（根拠）に基づく農業
- ➡ ベテラン農家の経験，技術の伝承



なにができたのか？

濱ほか, 2016 : 田中&近藤, 2016

田植え

➡ 圃場内の高低差の測量

➡ 生育パラメータ計測

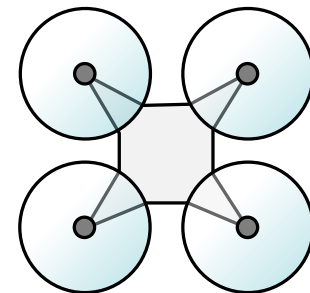
➡ 農作業の適期の決定

➡ 倒伏予測

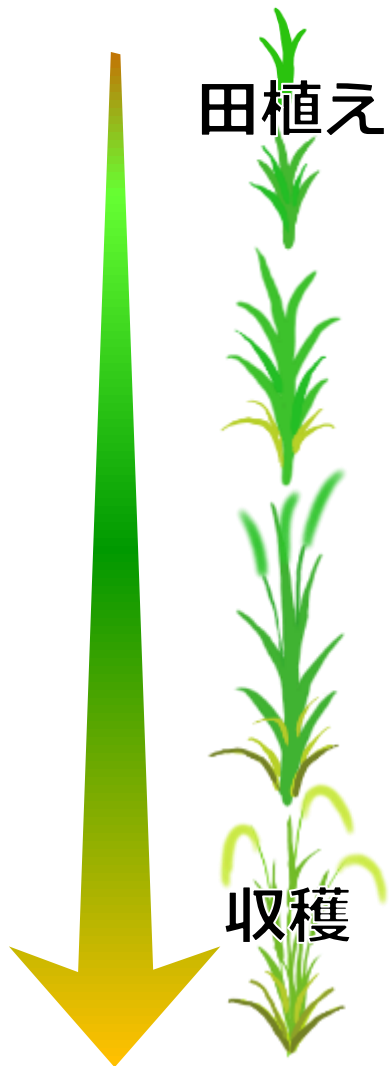
➡ 食味推定（たんぱく質含有量の推定）

➡ 収量予測

➡ 圃場の測量（補助金申請）



収穫



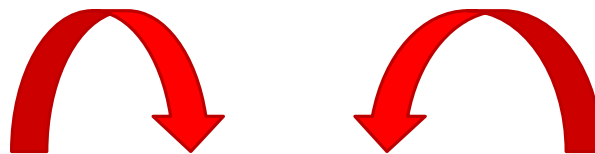
観測方法（2014～）

- UAV（ドローン）にカメラを搭載，空撮

可視画像：GR



近赤外：Yubaflex



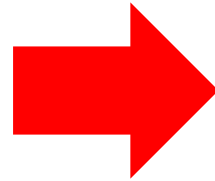
主力機 Zion QC630

最大積載量 2kg 約15分飛行可能



Phantom2

最大積載量 0.5kg 約20分飛行可能



ペンケースジンバルを装着したカメラをドローンに取り付け

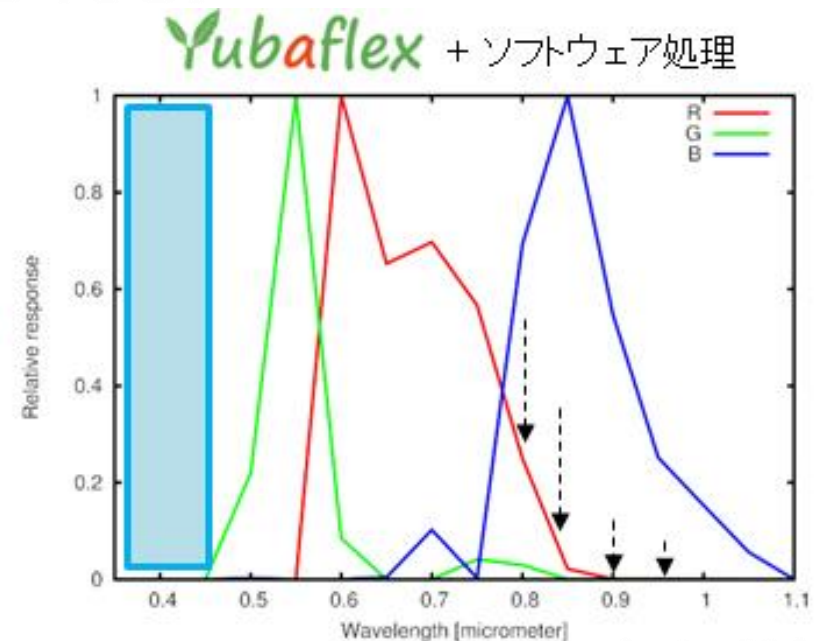
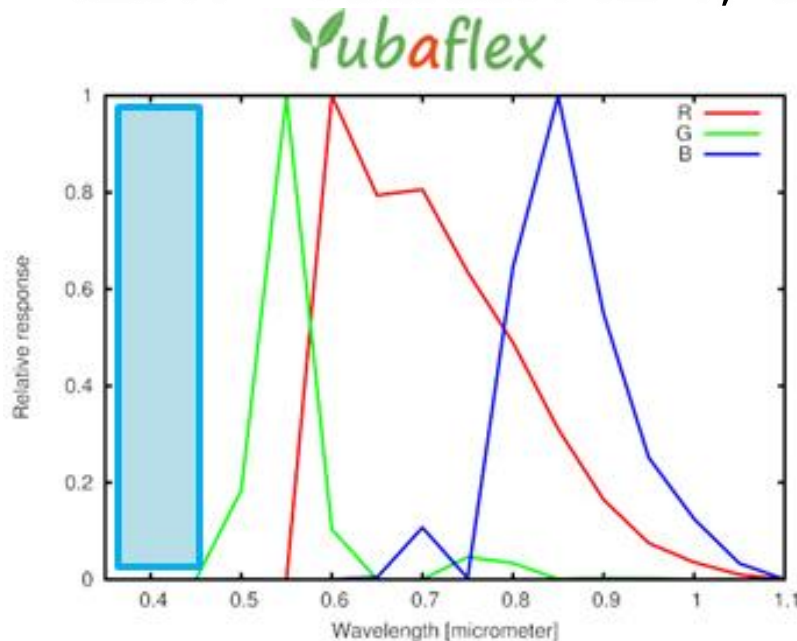
Yubaflex (近赤外カメラ BIZWORKS社)

➡ 改造カメラ：G,R,IRが同時に撮影可能

➡ 付属ソフトで放射輝度に変換可能

※赤では近赤外も評価している。

NDVIなどの赤，近赤外のみを使う指数は
近赤外への依存度が大きく，値が小さくなる。



CMOS周辺

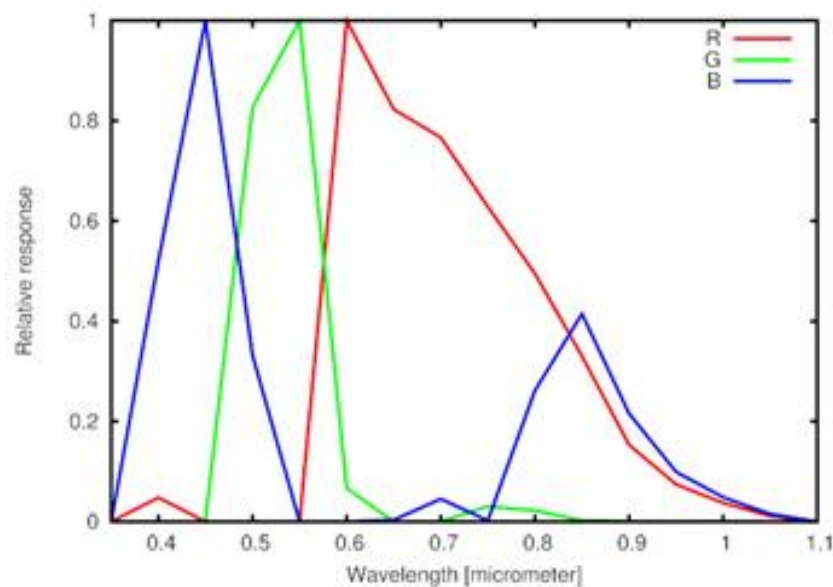
[デジタルレンズオプティマイザの原理]

画像に影響を与える主な光学的要素

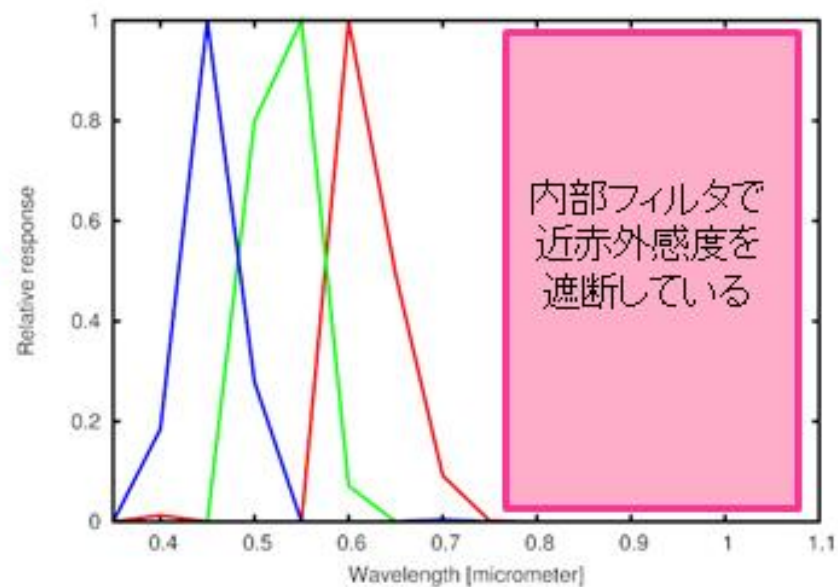


光の伝達係数を関数化・フィルター化し、受光画像に適用することで、光学的な影響を補正

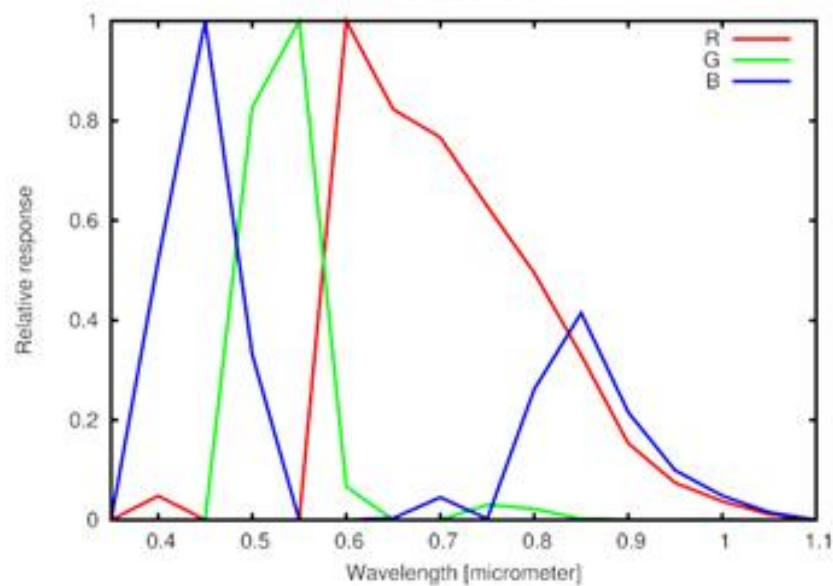
もともとの感度



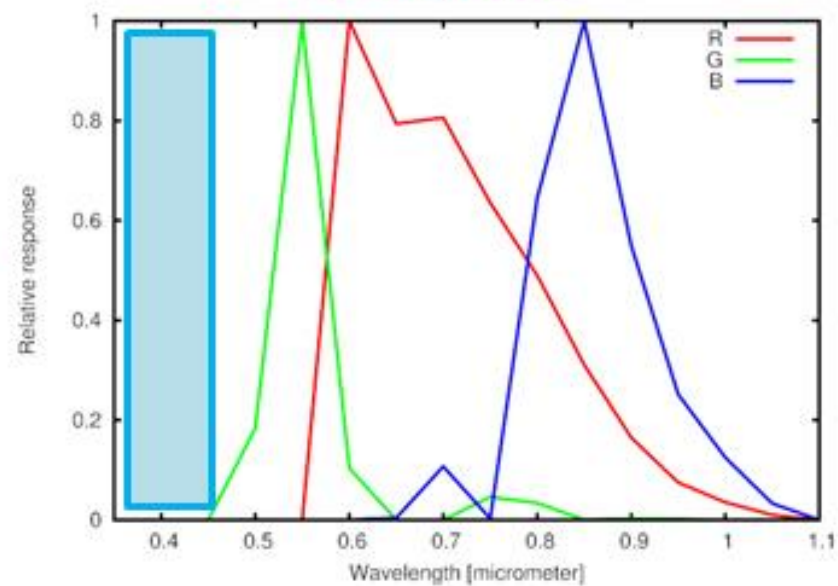
一般に販売されているときの感度



もともとの感度



Yubaflex



植生指数の計算

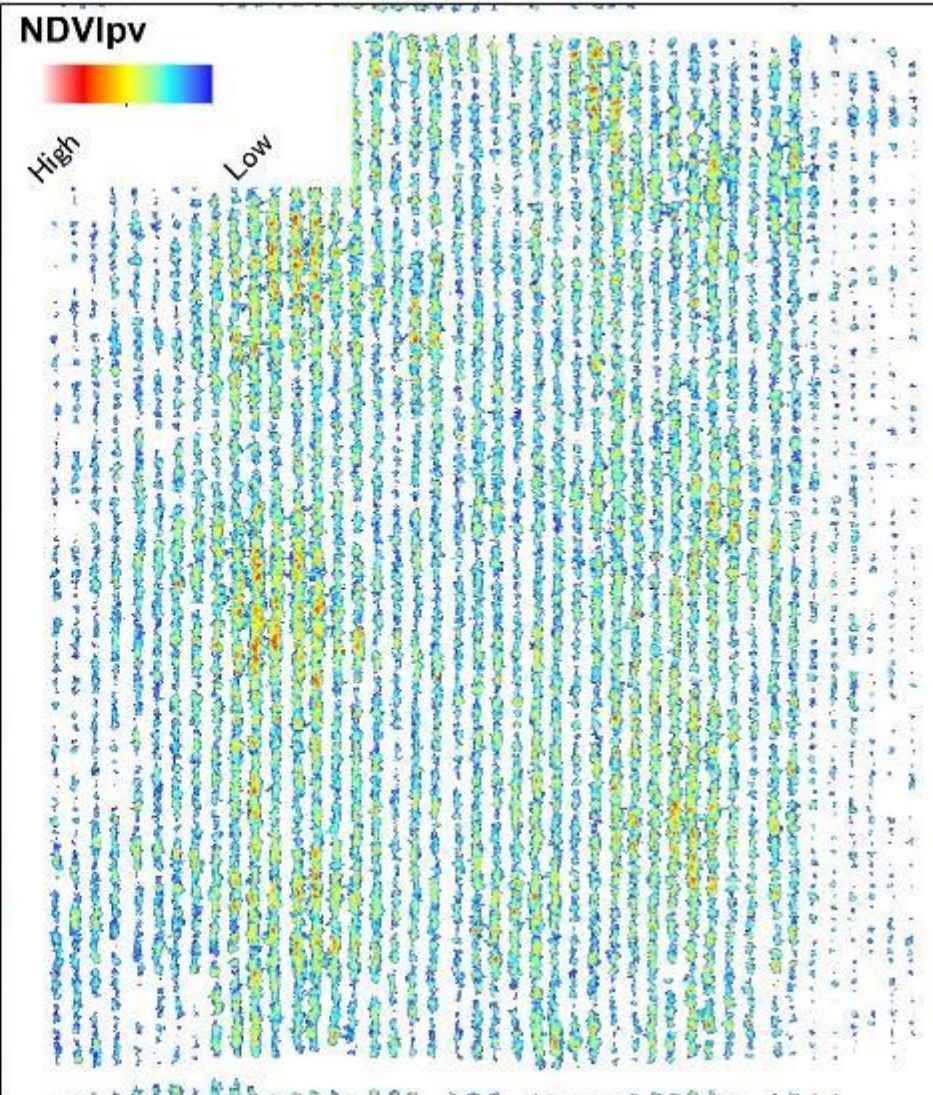
Name	Index	Definition	Reference
Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	$= \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$	Rouse et al., 1974
Normalized Difference Vegetation Index pure vegetation	NDVIpv	$= \frac{NIR - Red}{NIR + Red} > 0$	
Green Normalized Difference Vegetation Index	GNDVI	$= \frac{NIR - Green}{NIR + Green}$	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

カメラ: Yubaflex

植生指数は、反射率でなく、専用ソフトYubaflex3.0で放射輝度に変換したものから計算 (Tokunaga & Moriyama, 2012)

NDVI pure vegetation (NDVI_{pv})

フォールスカラー
resolution: 1.8cm



データ解析

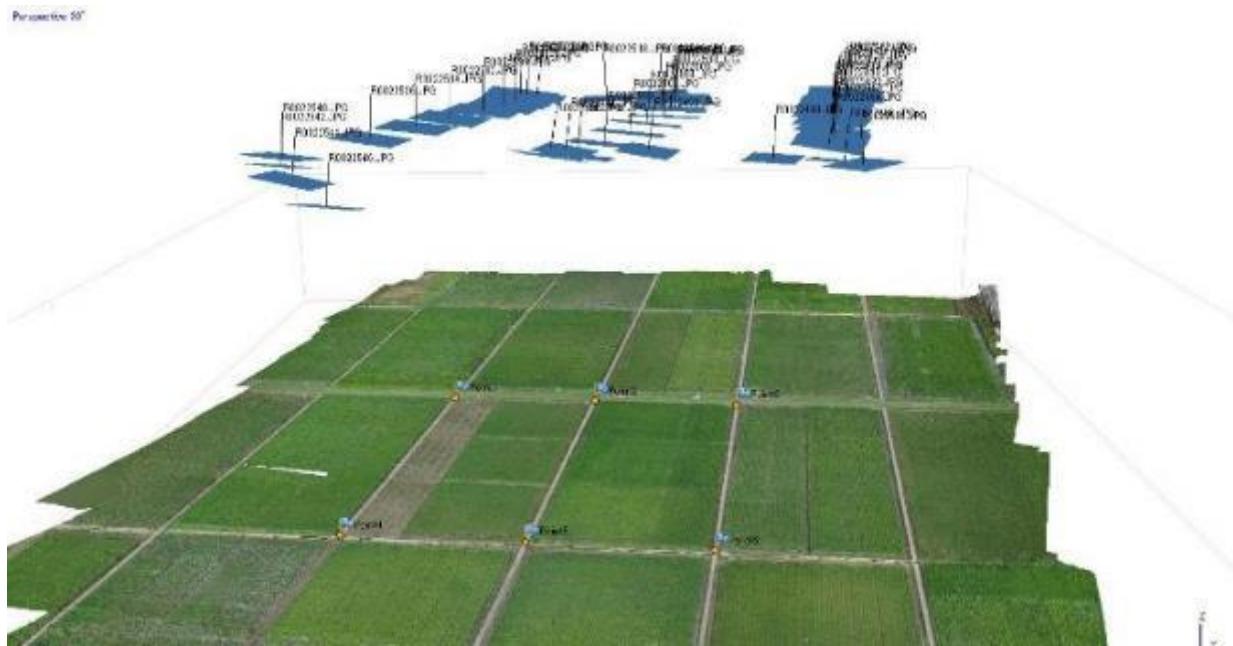
▶ オルソモザイク と Digital Surface Model (DSM)

Structure from Motion/Multi-View Stereo (SfM/MVS) software

Agisoft PhotoScan Professional

▶ データ解析・集積

ArcGIS (commercial), QGIS (free)



SfM-MVS

(Structure from Motion/Multi-View Stereo)

重なり合う複数枚の画像



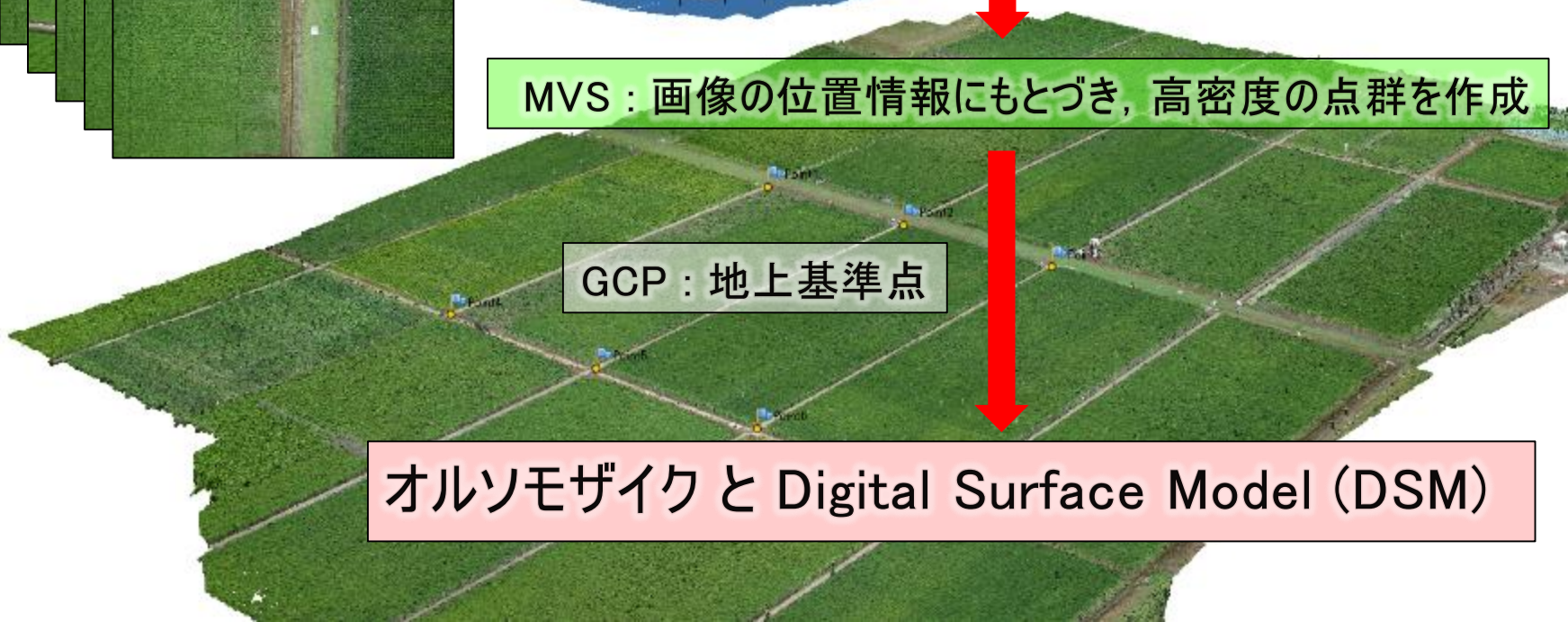
SfM : 撮影位置, 姿勢を計算



MVS : 画像の位置情報にもとづき, 高密度の点群を作成

GCP : 地上基準点

オルソモザイクと Digital Surface Model (DSM)



機材, データ一覧

■ UAV

QC630(enRoute), Phantom2,3(DJI)

■ カメラ

Yubaflex(BIZWORKS), GR, GR II (RICOH)

■ ソフトウェア

PhotoScan Professional(Agisoft), ArcGIS(ESRI), QGIS(無償)

■ 生育調査データ

草丈, 茎数, 葉色 - SPAD502plus (コニカミノルタ)

■ 気象データ

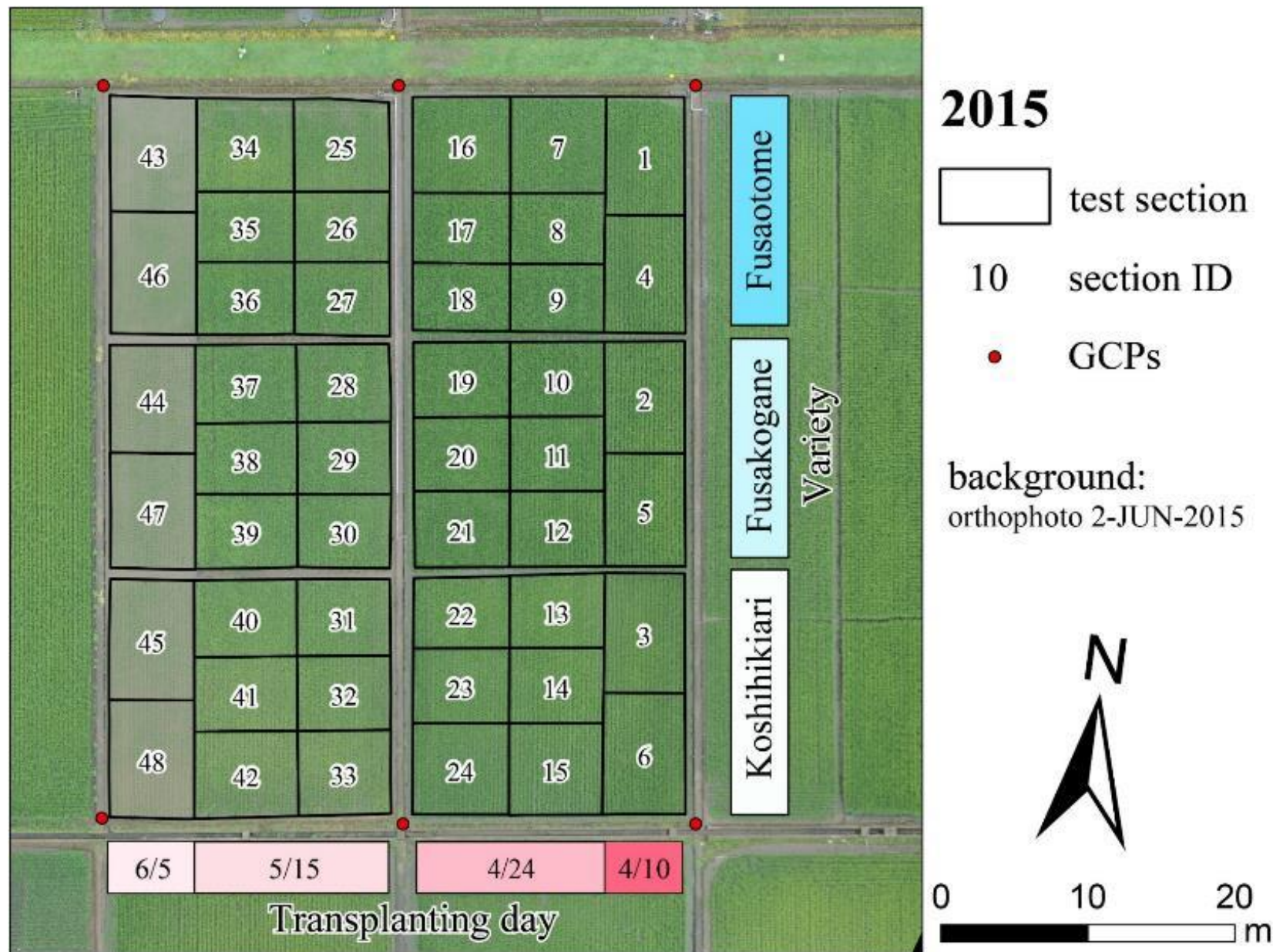
AMeDAS (Automated Meteorological Data Acquisition System)

● 千葉(千葉県), 高田(新潟県)

□ 日平均気温, 日降水量, 日照時間

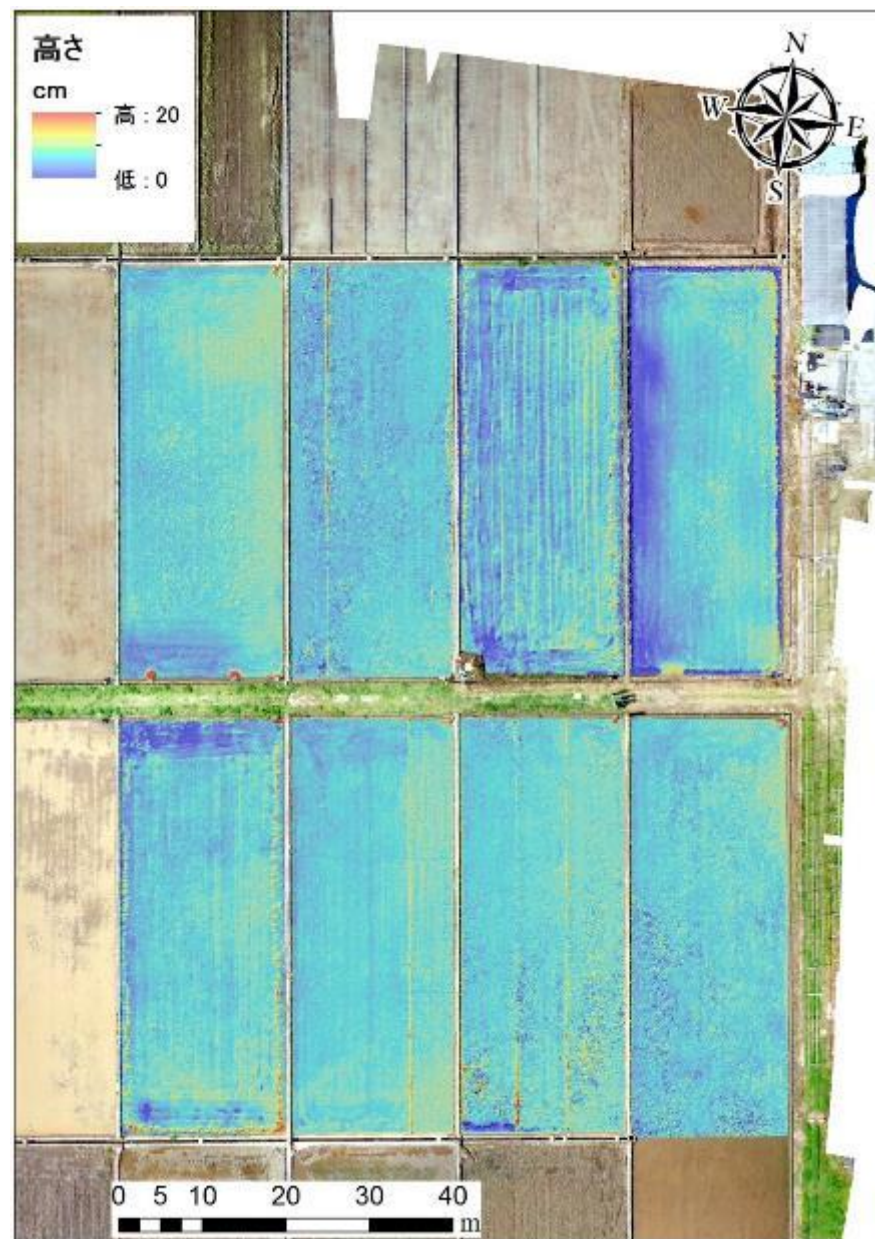


千葉県農林総合研究センター 水稻試験場



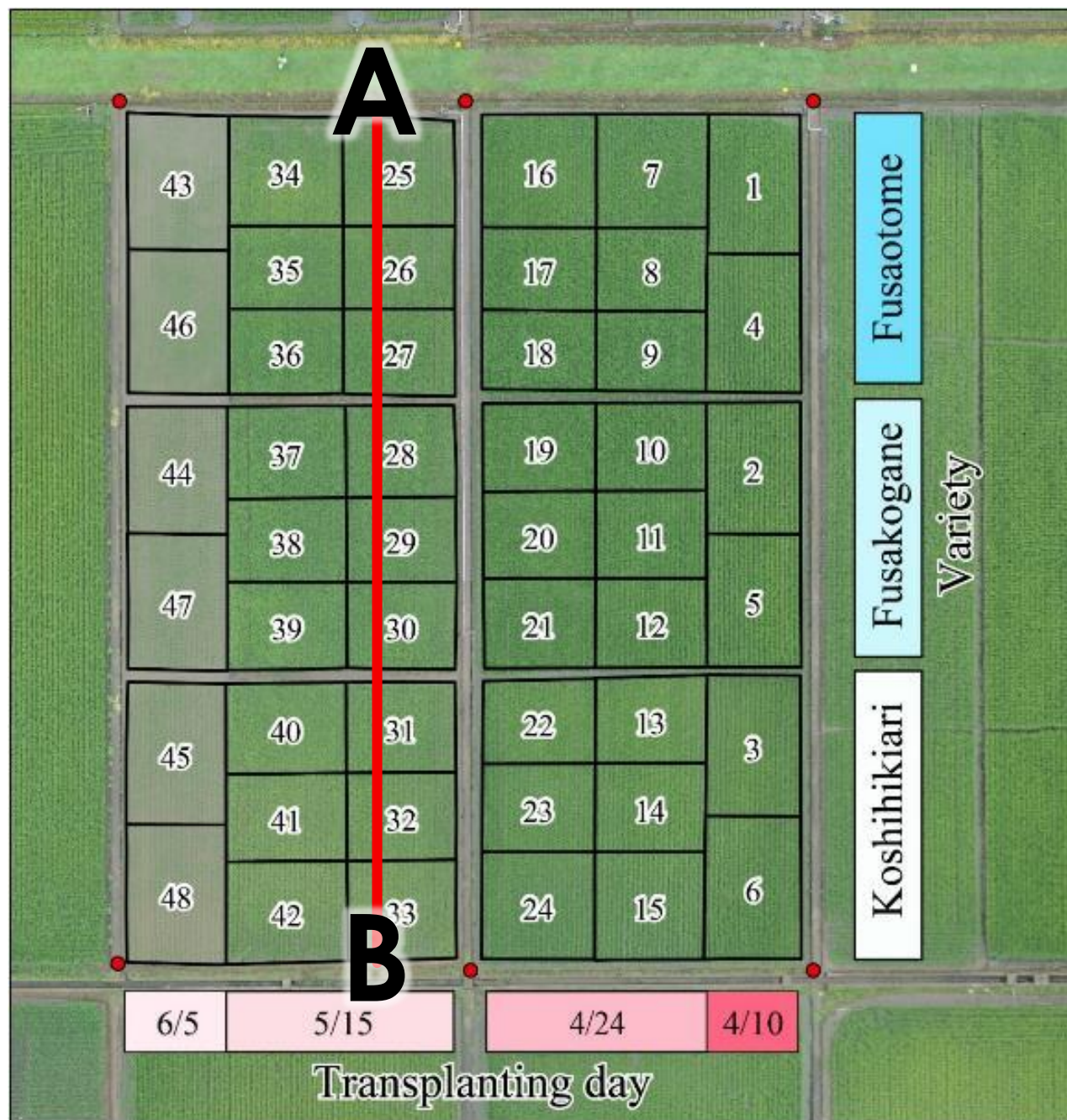
圃場内の高低差計測

- ➡ 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



DSMを使用した計測（草丈計測）





2015

 test section

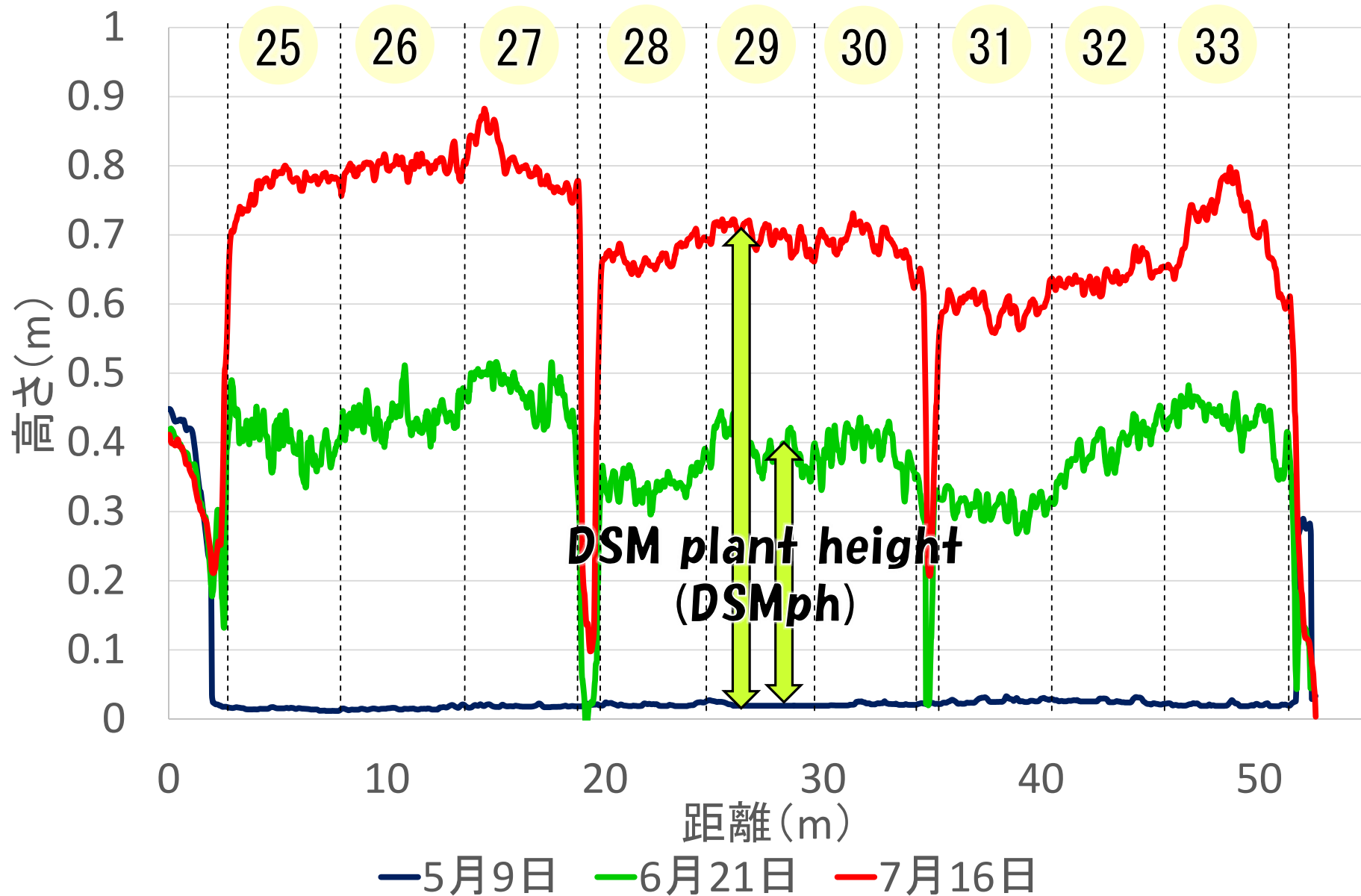
10 section ID

 GCPs

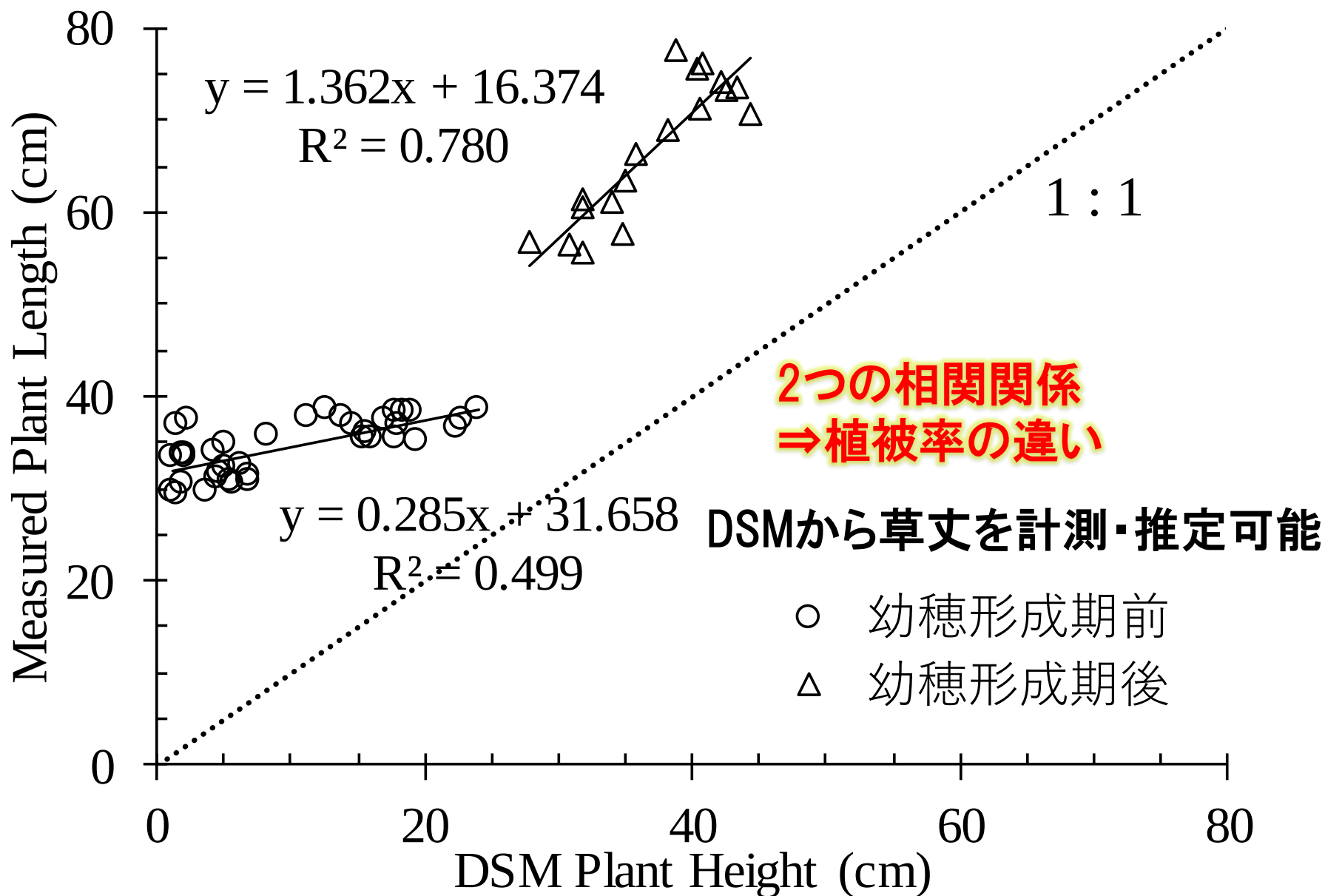
background:
orthophoto 2-JUN-2015



DSM断面 (A→B)



実測草丈とDSMph (群落高)



生育むらの計測

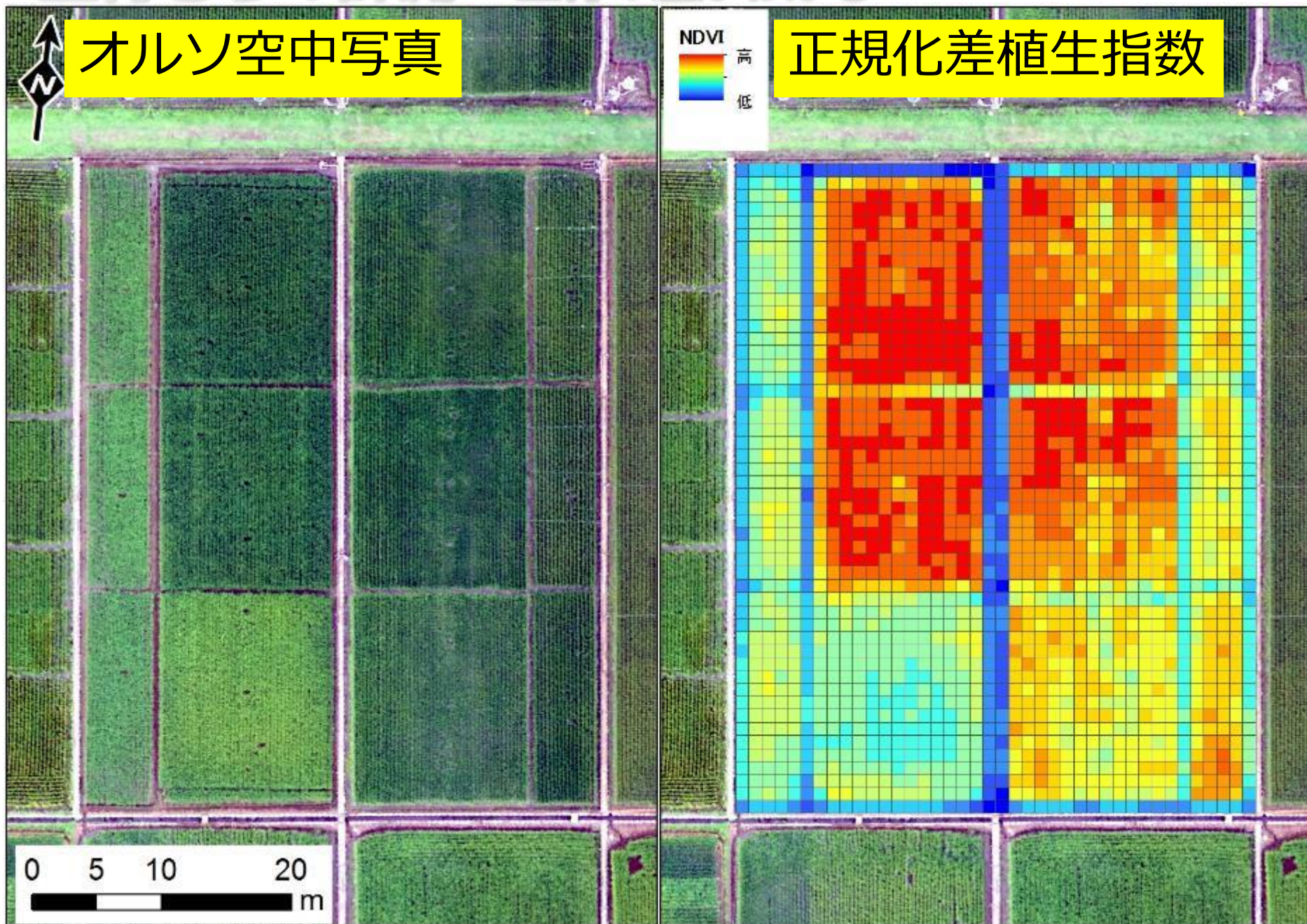
生育の差がわかる



オルソ空中写真

NDVI
高
低

正規化差植生指数

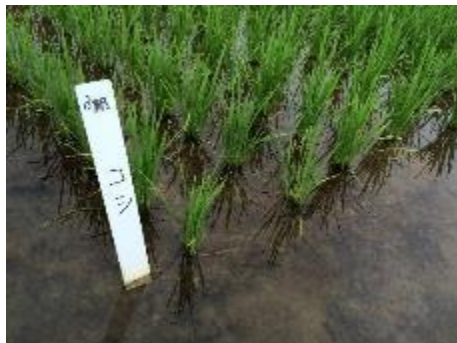


0 5 10 20
m

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



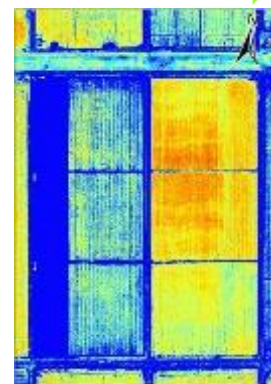
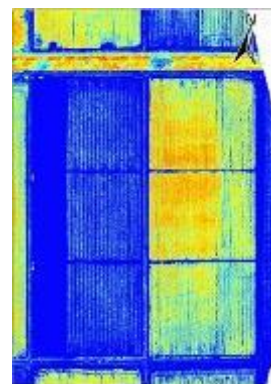
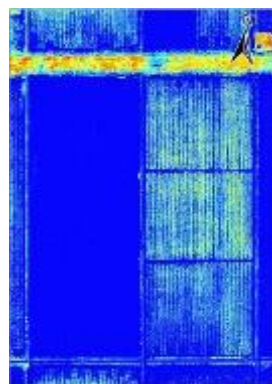
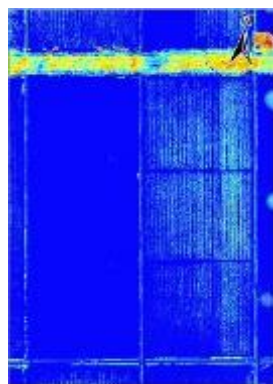
90日

110日



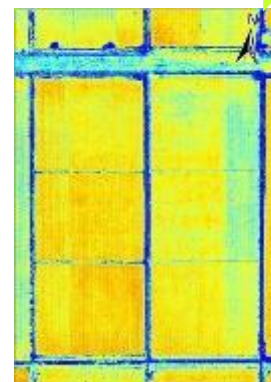
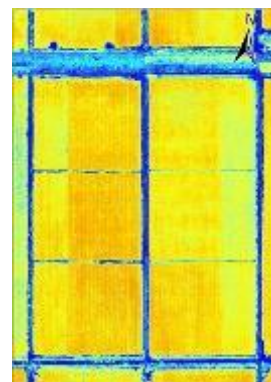
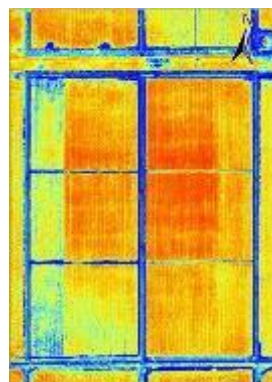
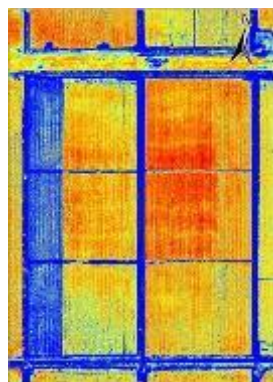
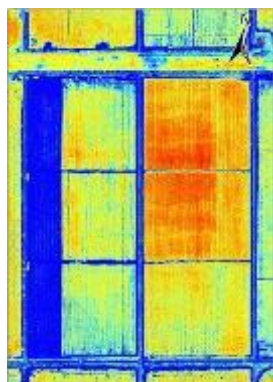
田植え

6月中旬



6月下旬

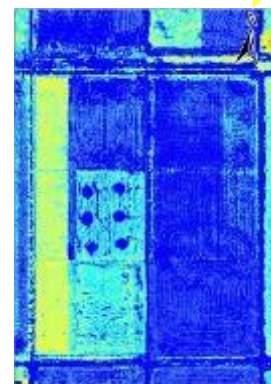
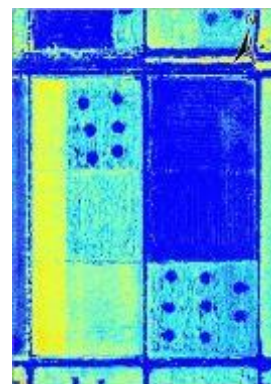
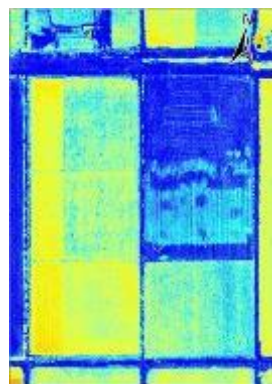
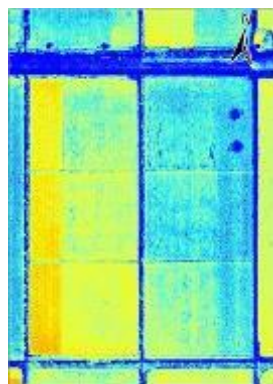
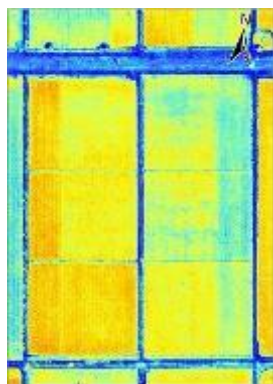
7月下旬



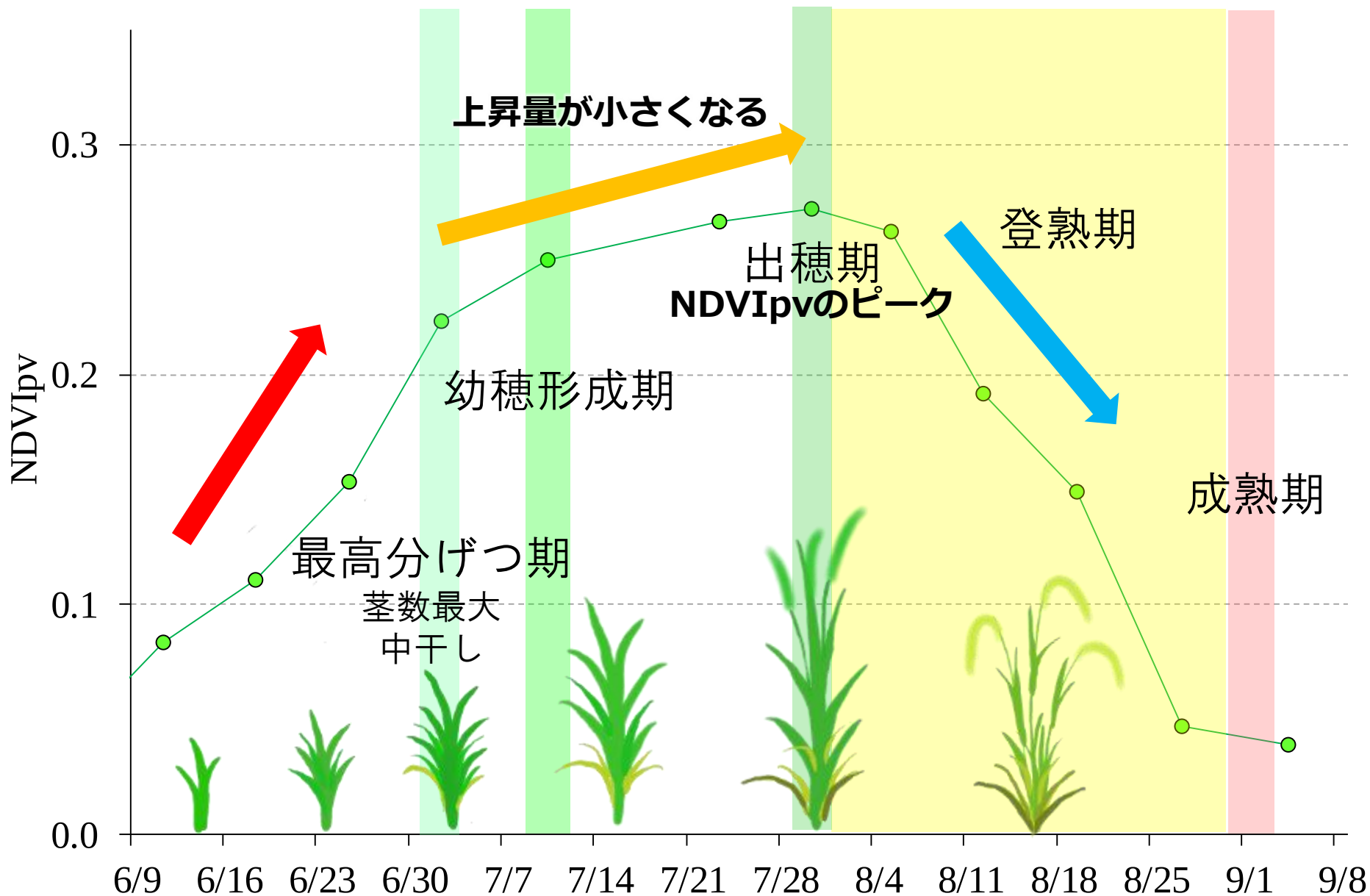
8月初旬

収穫開始

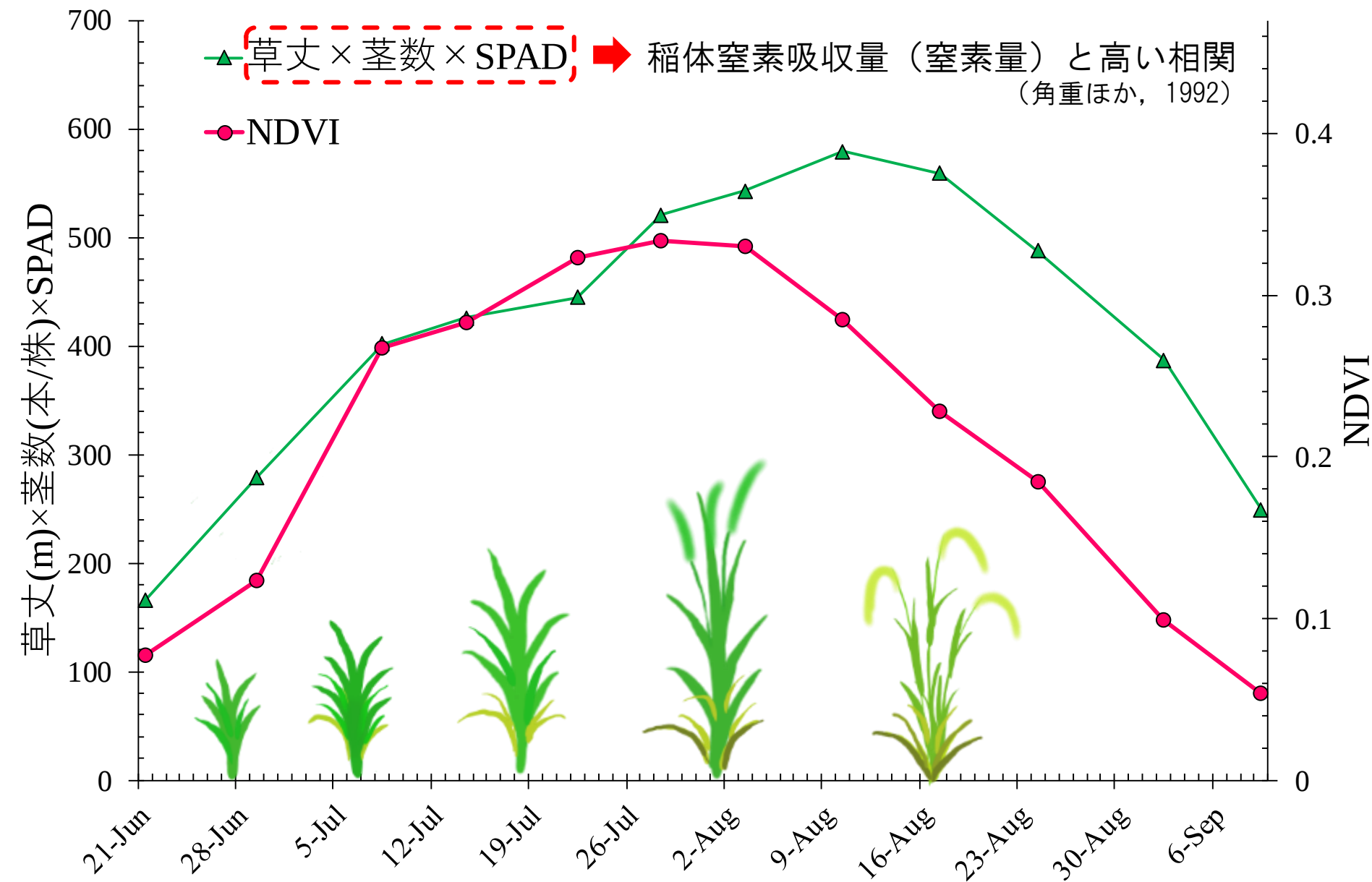
9月初旬



水稻のフェノロジー(コシヒカリ)

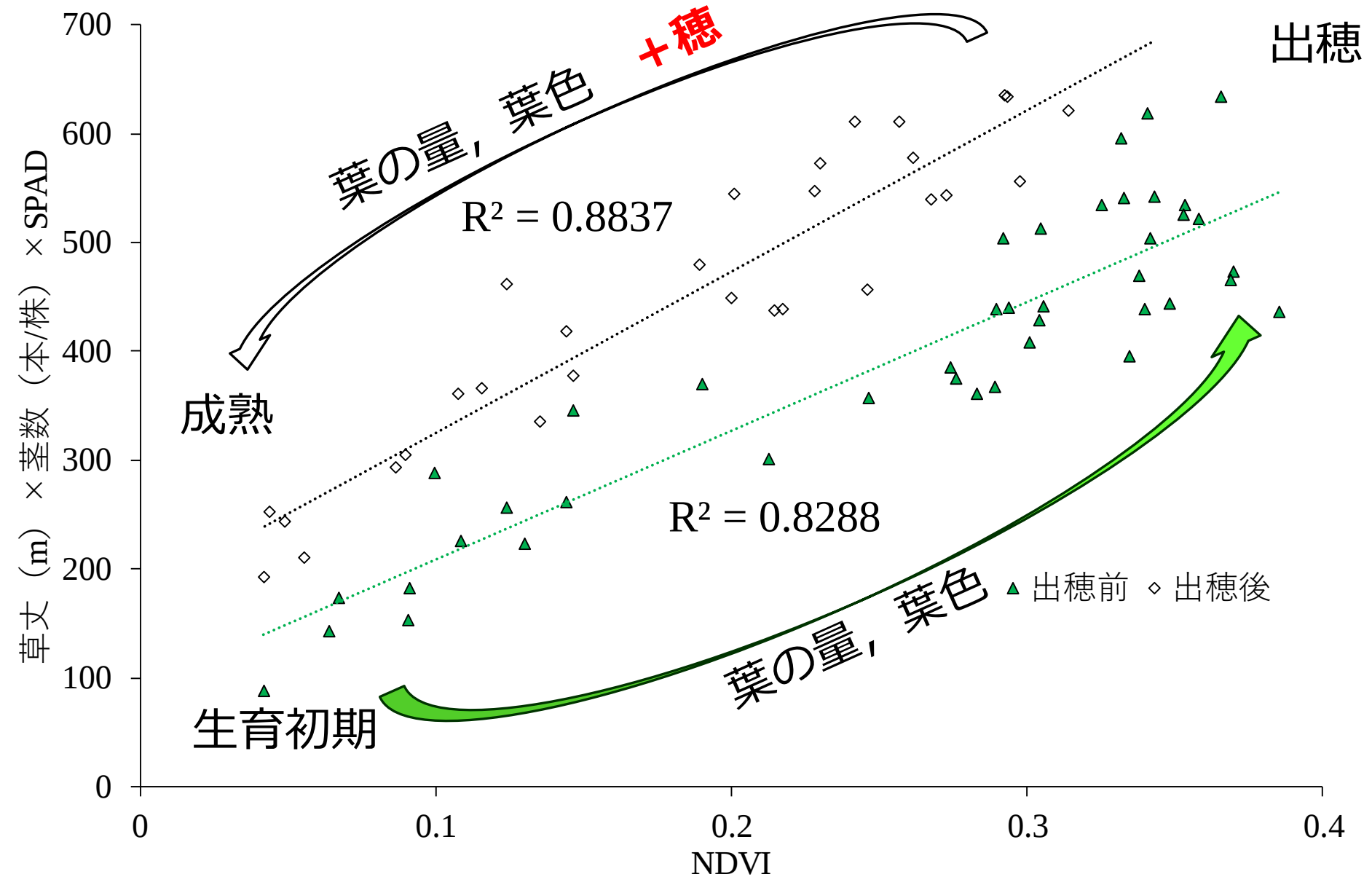


■ NDVIと生育量の関係



■ NDVIと生育量の関係

NDVIで稲体窒素吸収量（窒素量）を評価可能



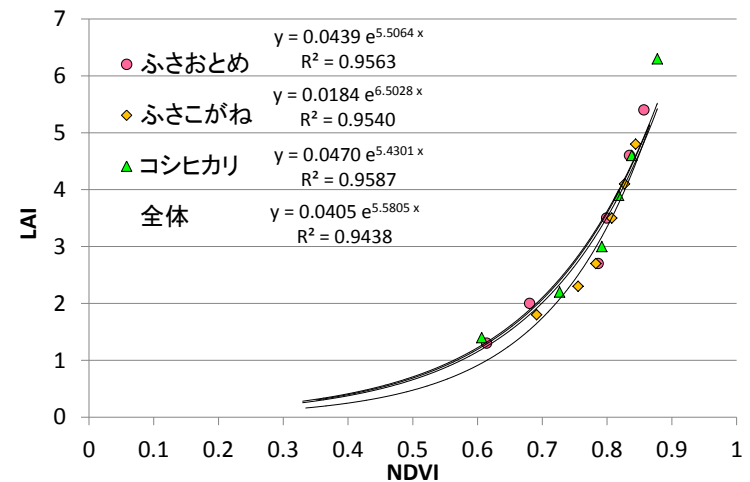
生育パラメータの推定

▶ Leaf Area Index (LAI)と草丈を推定

実測データ
LAI, 草丈

植生指数
NDVI, GNDVI...

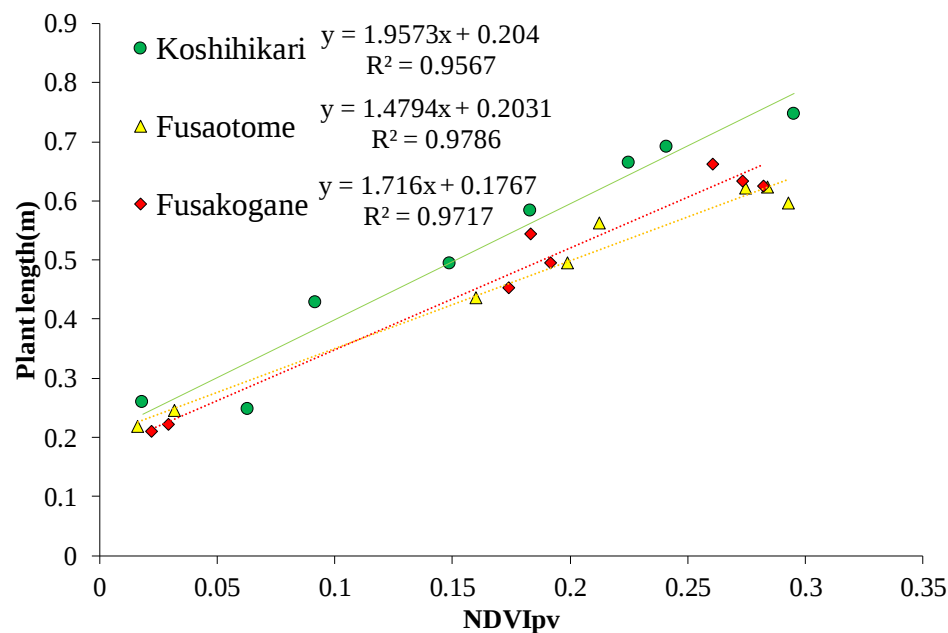
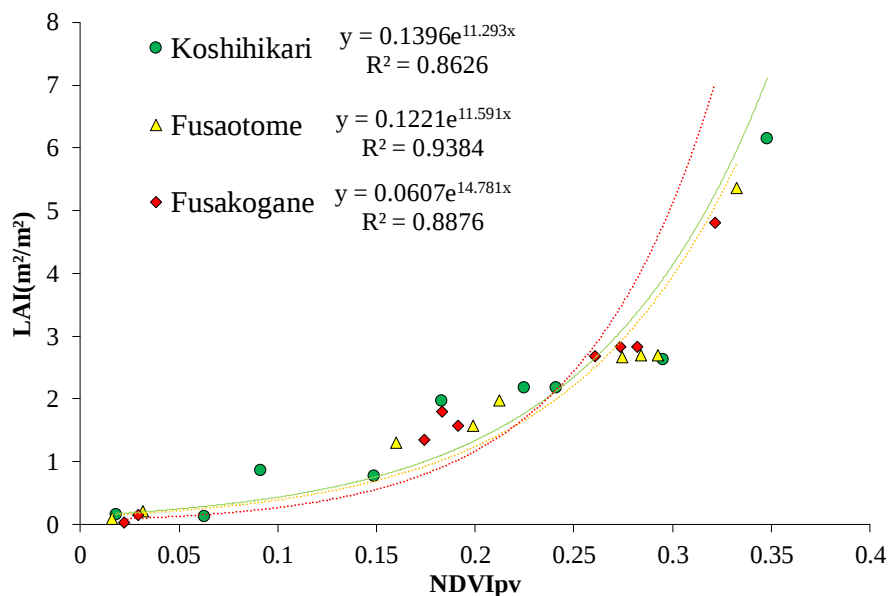
Regression analysis



LAI, 草丈の推定（千葉，出穂前を対象）

- ➡ 6/21(2014)のデータを用いてLAI, 草丈推定式を作成
 - ➡ 7/7(2014)のデータで検証
 - ➡ 精度評価：Root Mean Square Error (RMSE)
- ※品種ごとに作成**

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\text{Estimation} - \text{Observation})^2}$$

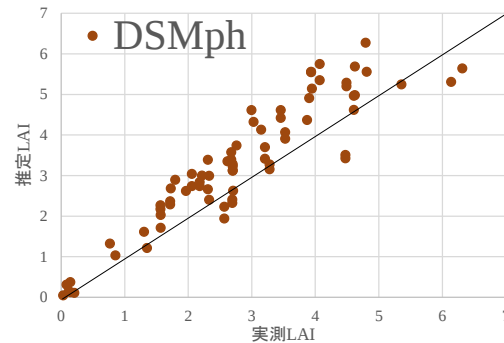
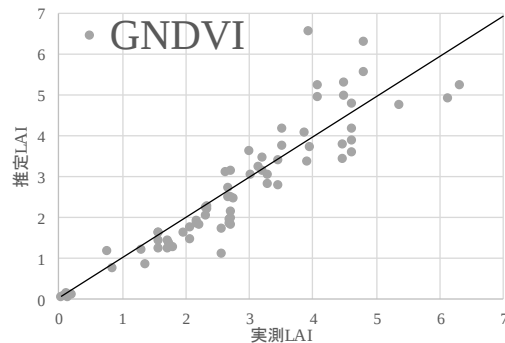
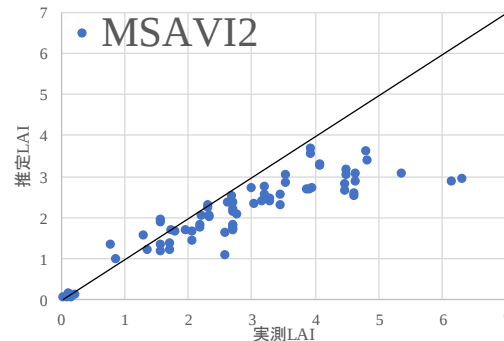
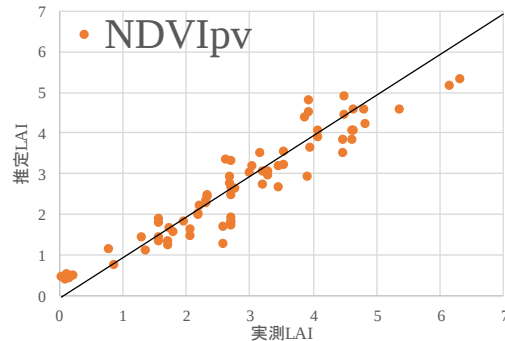
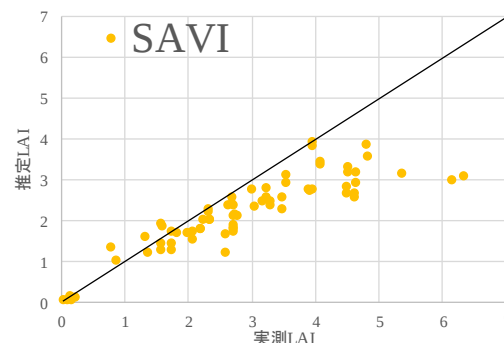
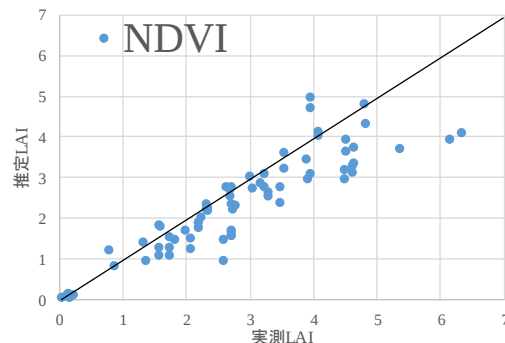


LAIの推定（推定精度検証）

➡ NDVI_{pv}, GNDVI, NDVI, DSM_{ph}の順で推定精度がよい

※縦軸：推定値，横軸：実測値

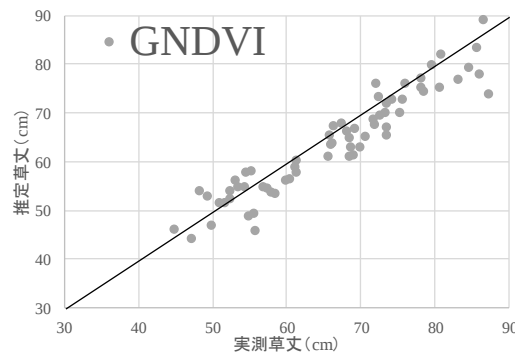
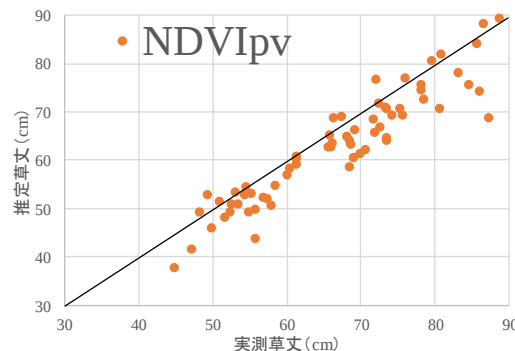
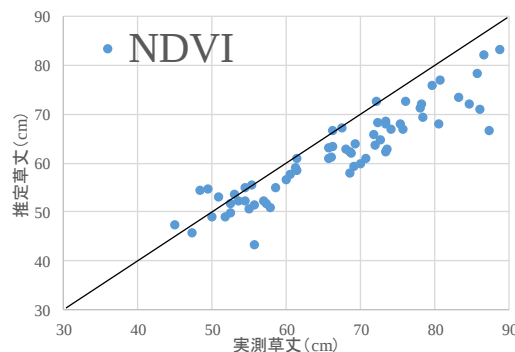
	RMSE
NDVI	0.759
NDVI _{pv}	0.499
GNDVI	0.735
SAVI	0.977
MSAVI2	1.021
DSM _{ph}	0.775



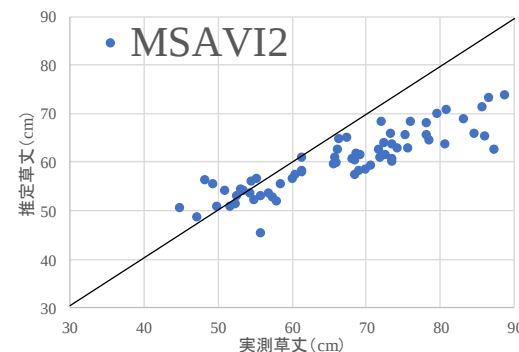
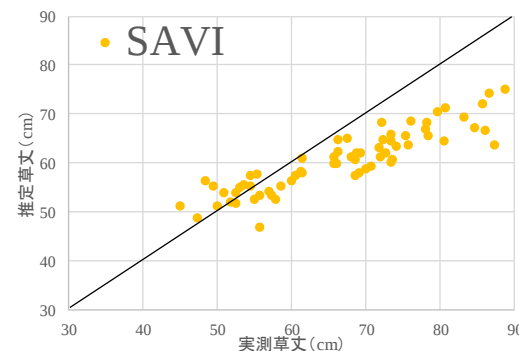
草丈の推定（推定精度検証）

➡ GNDVI, NDVI_{pv} で推定誤差約5cm

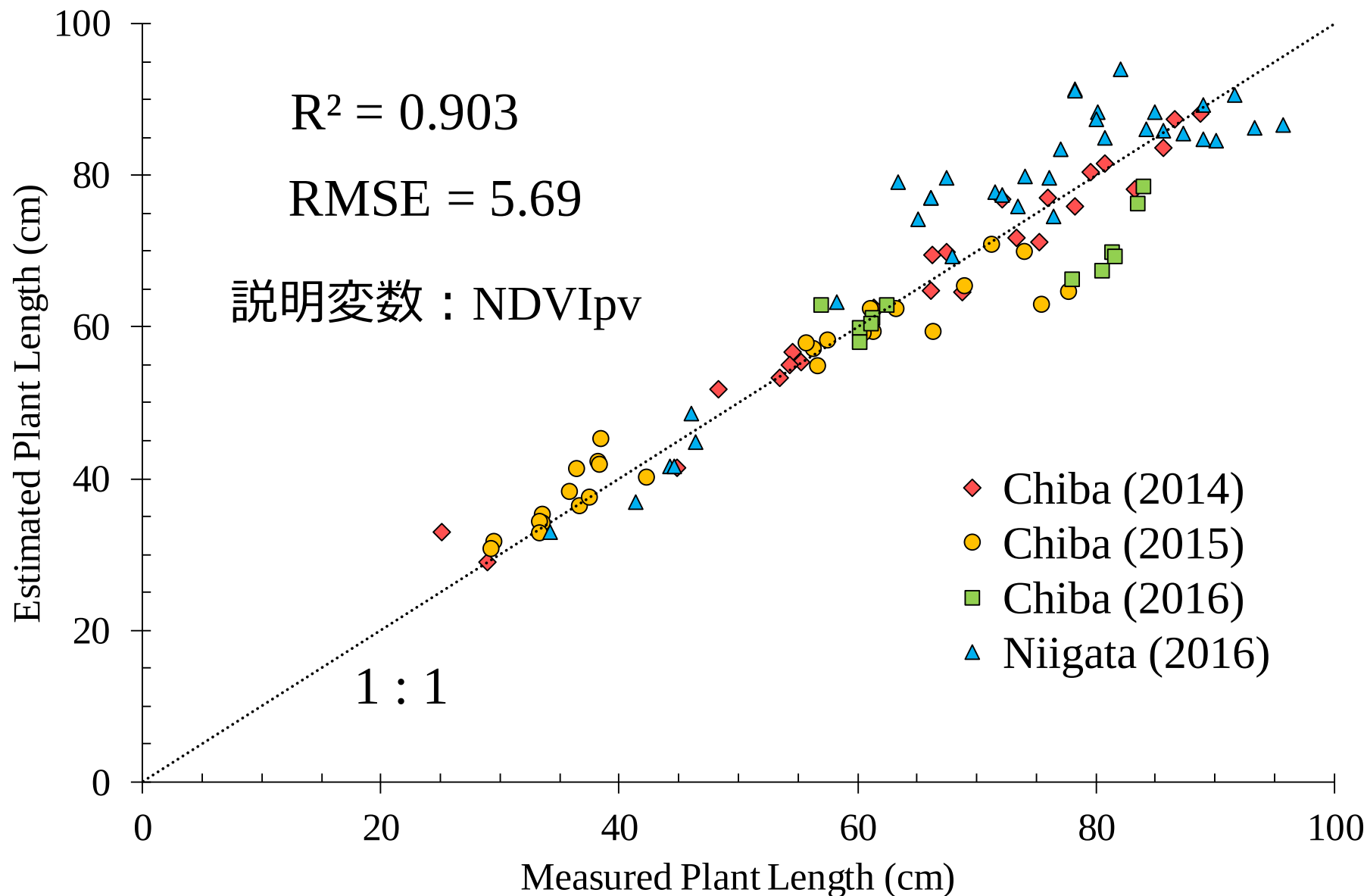
	RMSE
NDVI	6.609
NDVI _{pv}	5.309
GNDVI	4.311
SAVI	8.685
MSAVI2	8.992



※縦軸：推定値，横軸：実測値



草丈推定モデルの複数年度，複数地域での適用





手法の応用

倒伏予測

倒伏予測

(濱ほか, 2016, 田中 & 近藤, 2016)

- 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

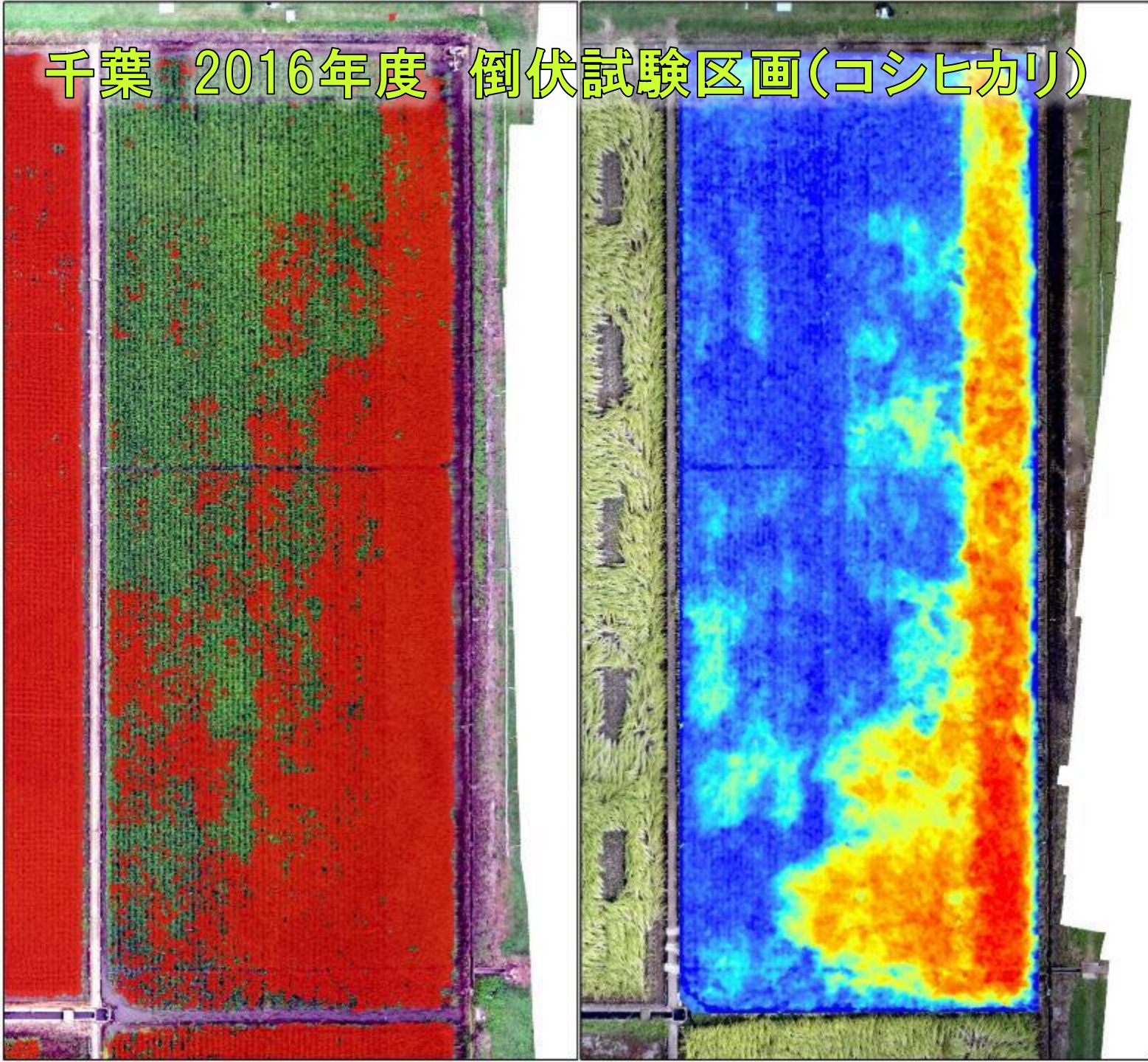
穂肥（追肥）
の適期

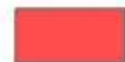
（県央農林総合事務所；水稻栽培管理情報，J A 金沢市版より）

①or②の一方でも当てはまれば，倒伏リスクエリアとする。



千葉 2016年度 倒伏試験区画(コシヒカリ)



 Risk Area

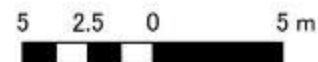
Logding rate



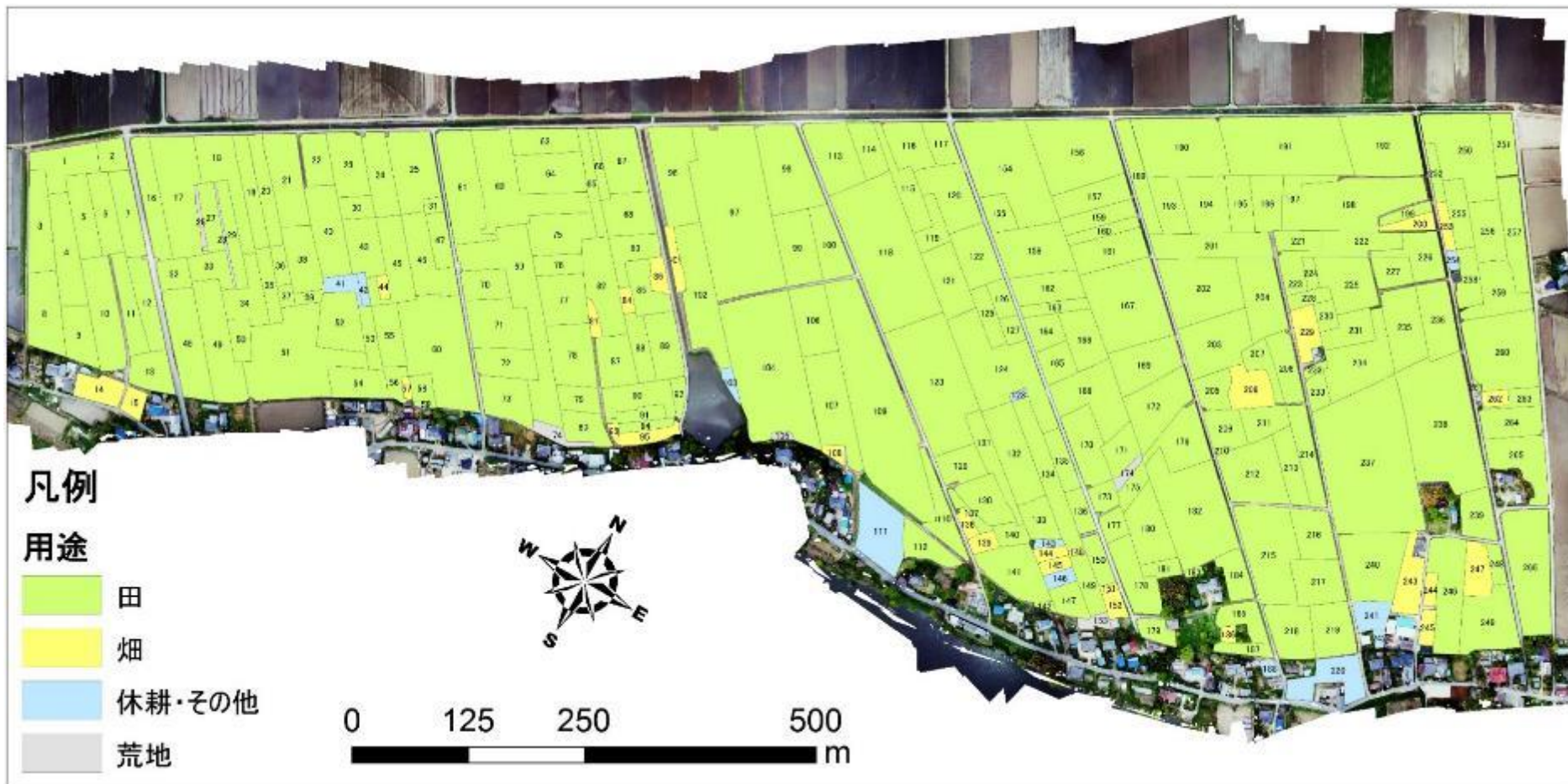
Low High

Left:
Lodging prediction

Right:
DSM(2.Sep-3.Aug)



圃場の測量（土地改良区より依頼） →これを元に助成金を申請



熱赤外撮影用改造機

JABO H602 (改造S900)

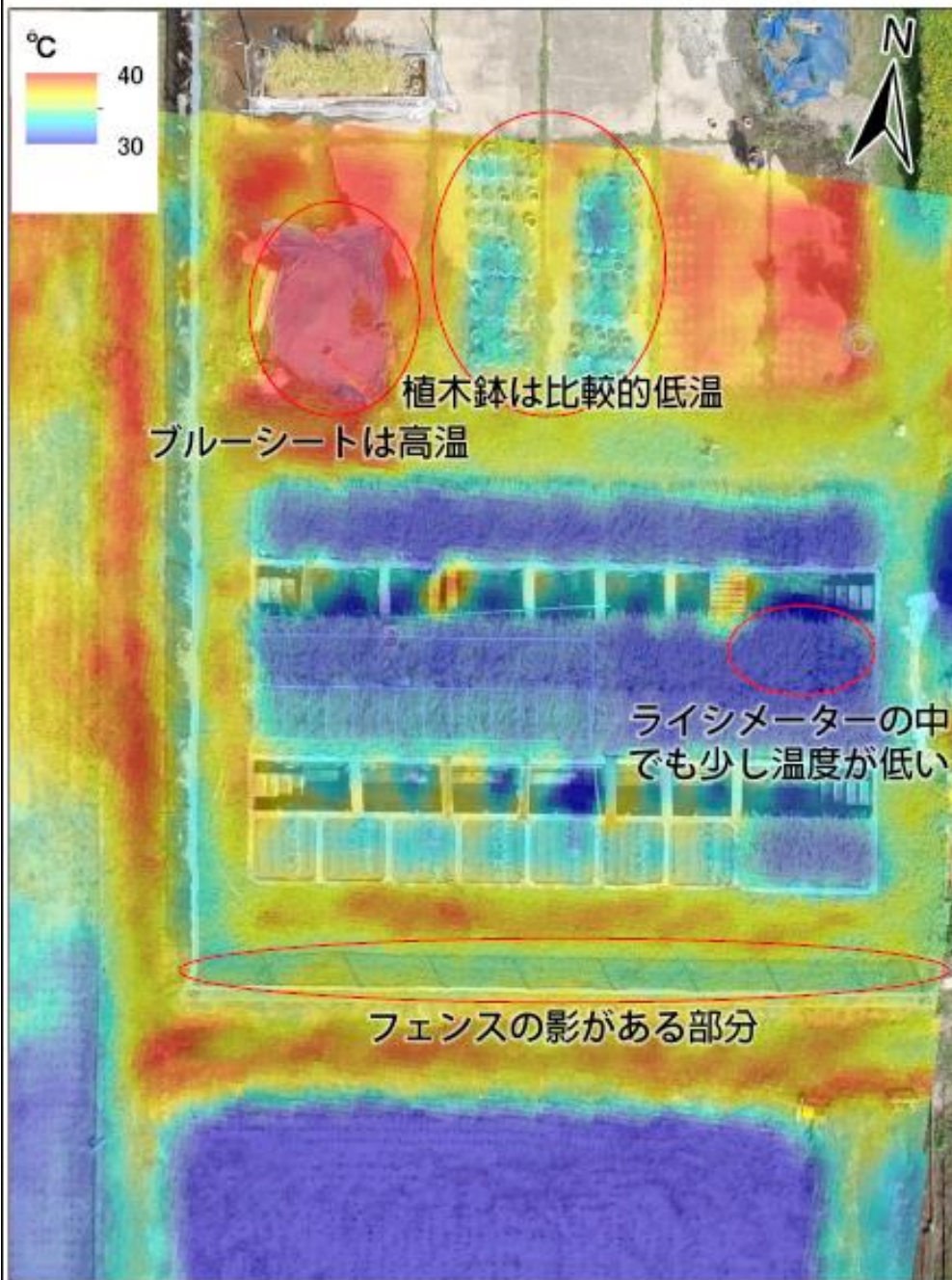


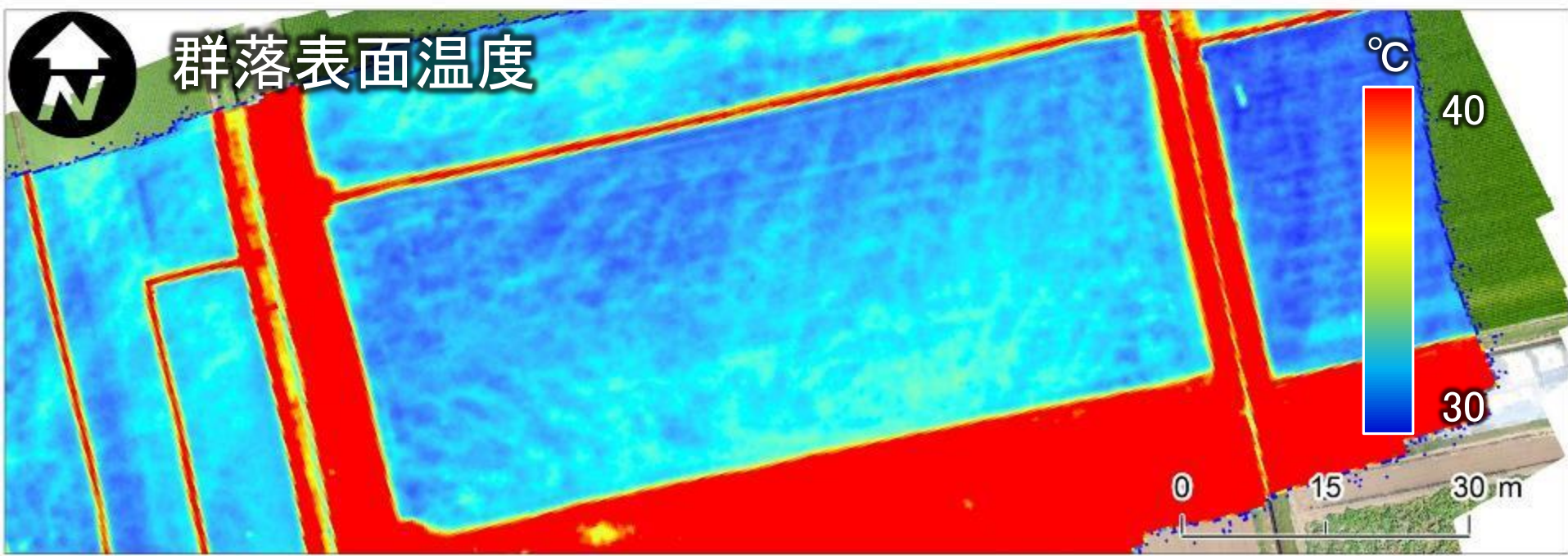
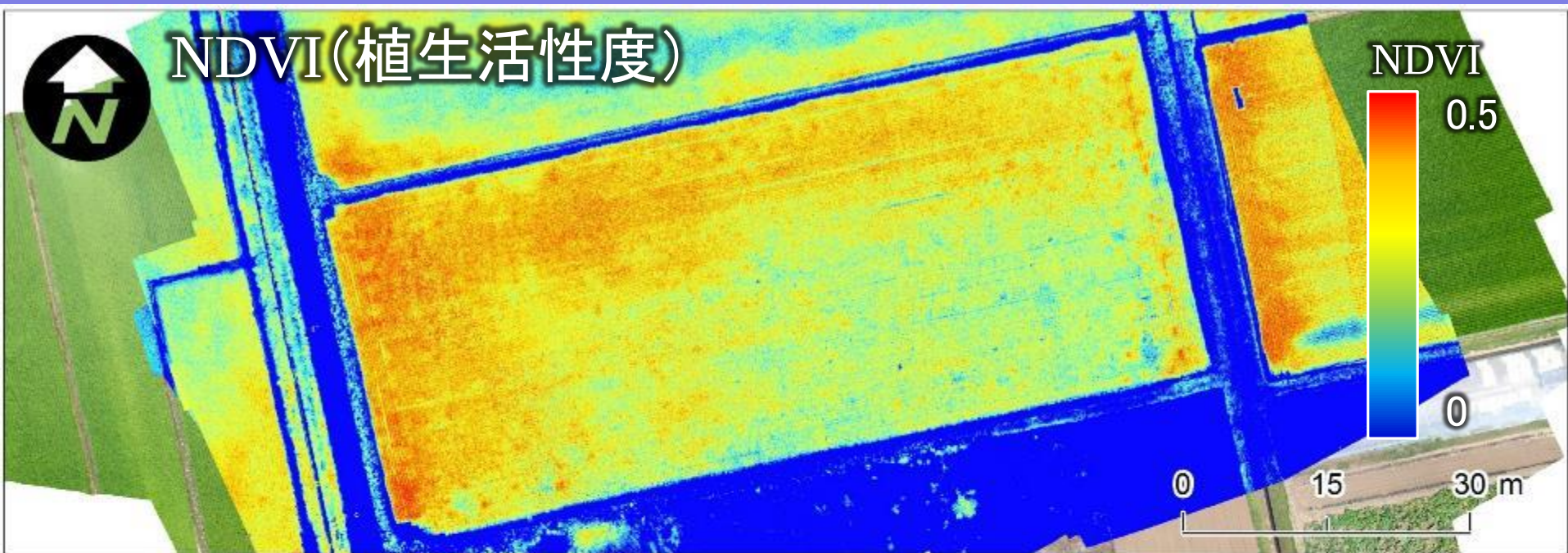
JABO H601G



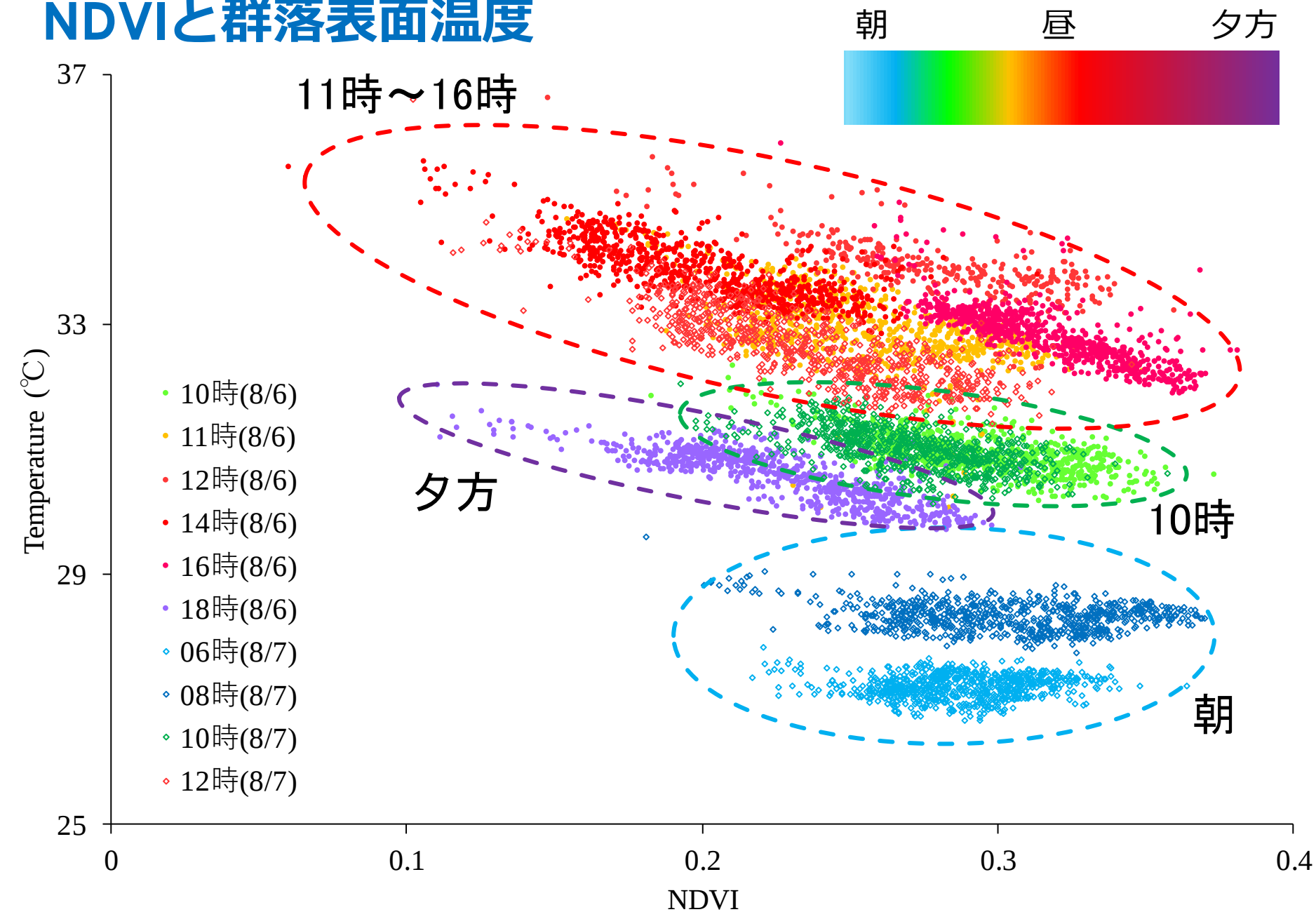
2015年8月19日 10:30

センサー分解能 30cm
画像分解能 15cm





NDVIと群落表面温度



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	乳 穂 揃 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月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												資料：JAいるま野発行の営農情報を加筆 品種：コシヒカリ		

どろーん米 10kg : 4500円 (税込) 食味値81



天視の米：新潟コシヒカリ（ネット販売なし）

