



CHIBA
UNIVERSITY



UAVリモートセンシングによる 水稲生育パラメータの推定に関する研究 (1)

濱 侃¹・田中 圭²・望月 篤³・平田 俊之⁴・新井 弘幸⁴
八幡 竜也⁴・樋口 泰浩⁵・鶴岡 康夫³・近藤 昭彦⁶

1. 千葉大学 理学研究科, 2. 日本地図センター, 3. 千葉県農林総合研究センター
4. 金井度量衡株式会社, 5. 新潟県農業総合研究所, 6. 千葉大学 CReS

UAVリモートセンシングによる 水稻生育パラメータの推定に関する研究

(1) 濱ほか

生育パラメータの推定と検証

(2) 近藤ほか

品種，田植え時期，地域による水稻生育の違い



日本の農業の現状－稲作－

■生産者の減少と高齢化

米 ⇨ 日本の基幹作物

稲作 ⇨ 日本の文化



⇒米農家の平均年齢は、**70歳**

⇒耕作放棄地の増加（農林業センサス, 2015）

✓ 多面的機能の減少（日本学術会議,2001）

「いまの農業は、持続可能性を失った」

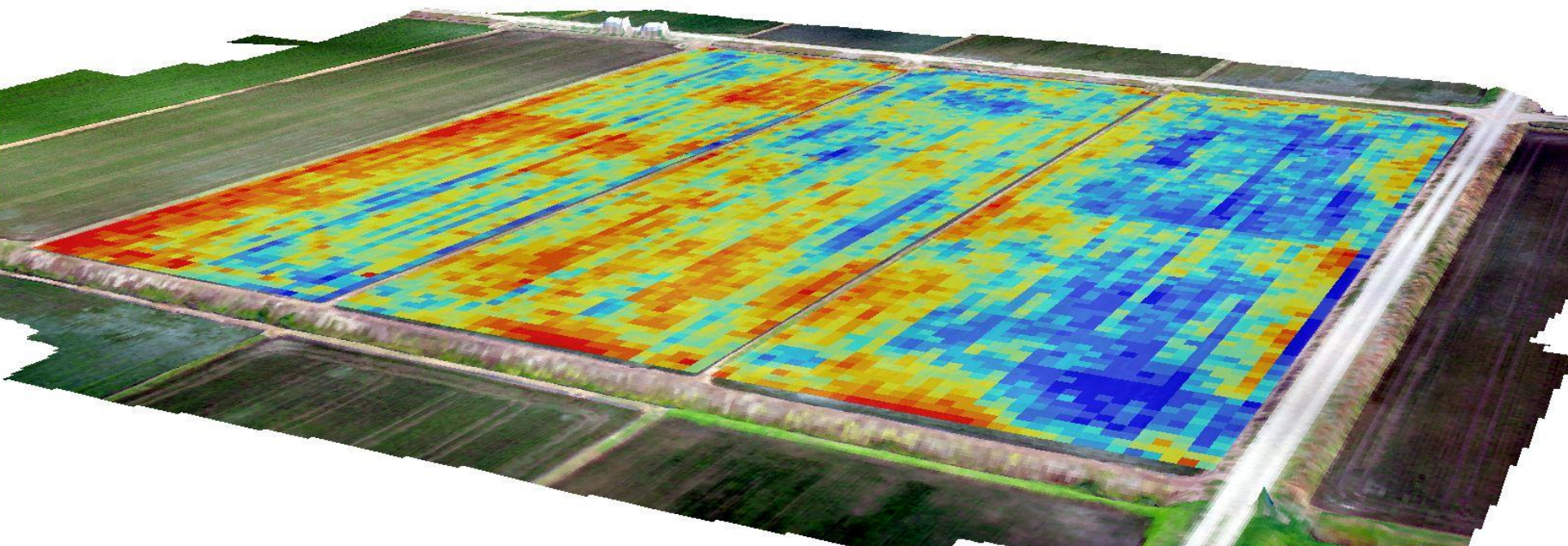
（10/17 衆院 T P P 特別委員会, 小泉氏の発言）

一方・・・

日本の米農家は、長年の経験に基づく“知識と技術”を持っている

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

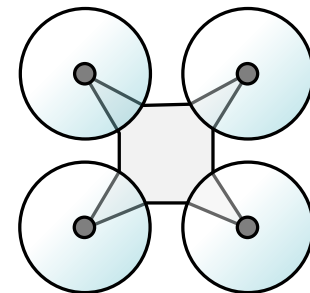
➡ 農作業の適期の決定

➡ 倒伏予測

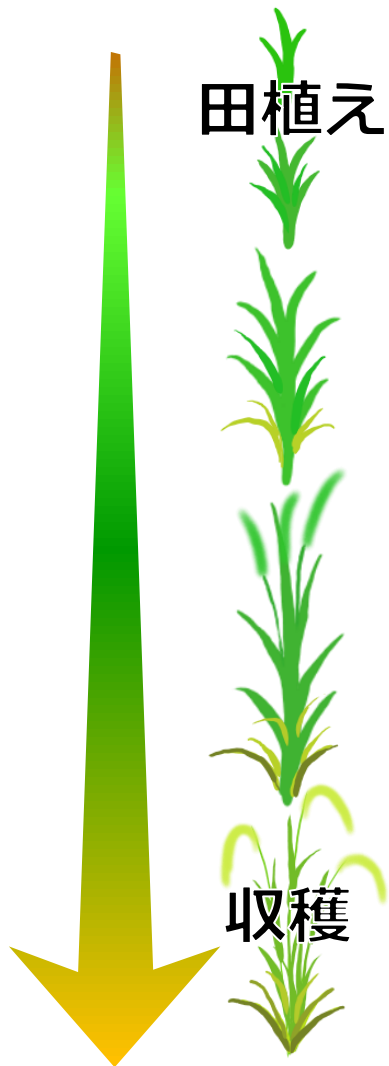
➡ 食味推定（たんぱく質含有量の推定）

➡ 収量予測

➡ 圃場の測量（補助金申請）



収穫



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		育	移			有	最	幼	穂		出	穂	乳		成	
				種		苗	植			効	高	穂			穂	揃	熟		熟	
				期		期	期			分	分	形	ば		期	期	期		期	
										決	げ	成	ら							
										つ	げ	期	み							
										期	期		期							
主な 農 作 業				播	←	育	→	田											収	
				種		苗		植											穫	
					土	管	代	か											製	
				壌	理	き	箱													
				改	→	基	施													
				良	肥	散	薬													
				資	散	布														
				材	布															

DSM ← 圃場均平化 → DSM

ベースマップ

※DSM(数値表層モデル):地表面の高さ

2G_RBi DSM or NDVI NDVI NDVI

追肥時期・箇所判定
10~11月頃に追肥

倒伏予測
出穂13~14日前
幼穂形成期または

収量予測

食味予測
出穂から15日後

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

※UAVによる生育モニタリングは週1回を目安

研究の目的

□ 生育パラメータの計測・推定

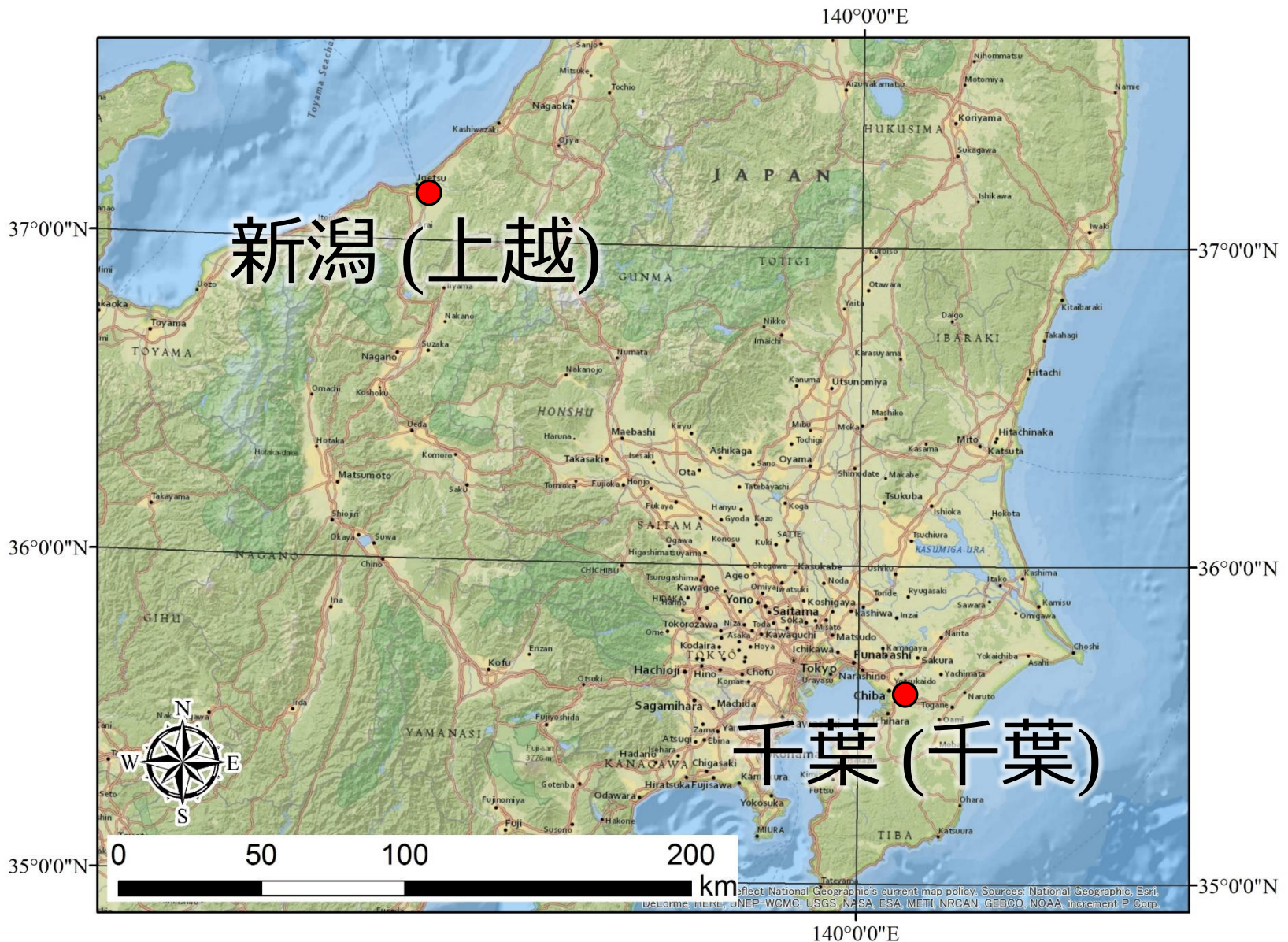
- ◆ UAVを用いた高時間・空間分解能画像の取得

□ 複数年および複数の地域で検証

- ◆ 2014～2016年の3年間の水稻モニタリング（千葉）
- ◆ 千葉，新潟での水稻モニタリング



試験サイト

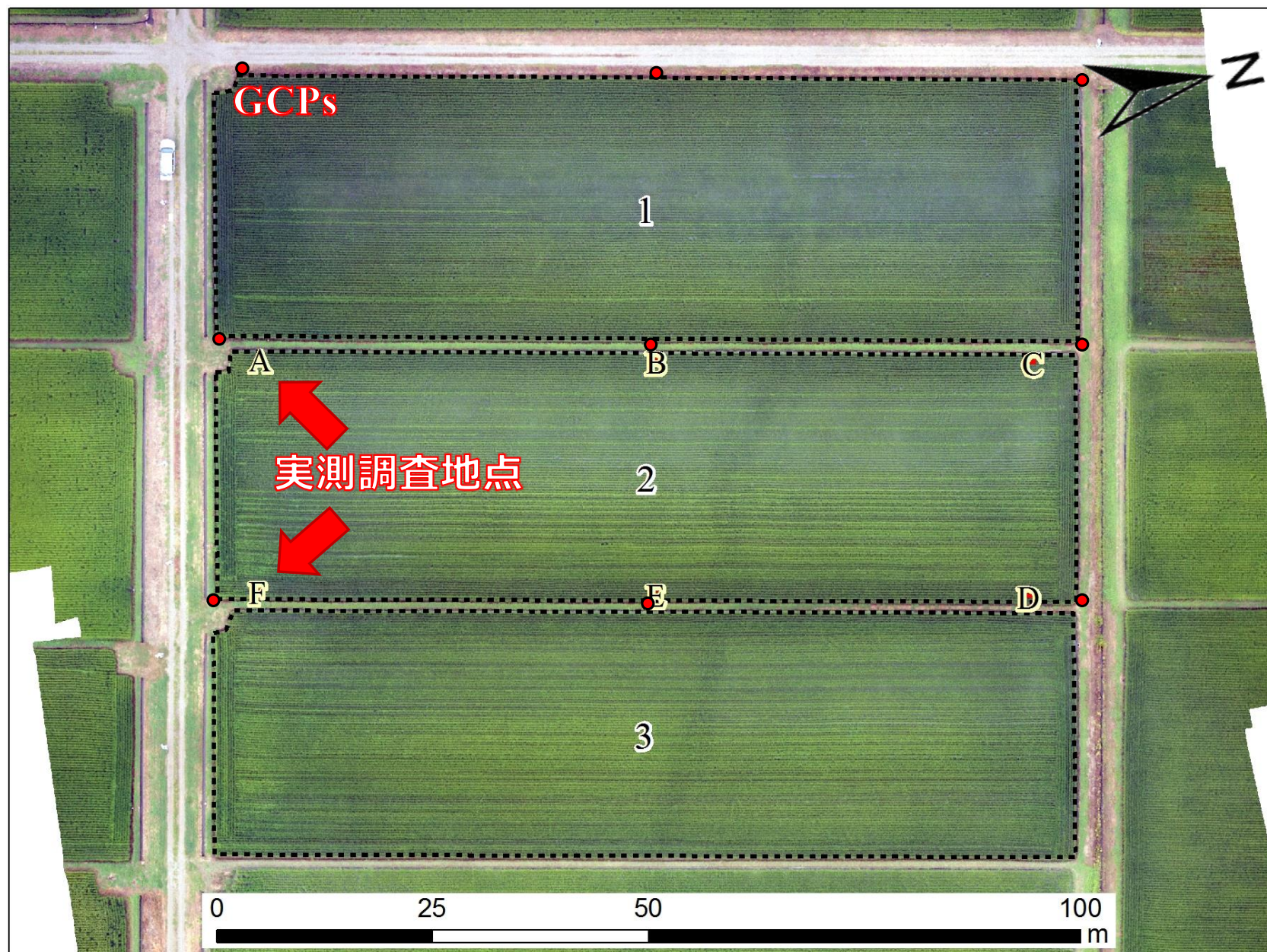


水稻試験場



新潟県上越市 新井圃場

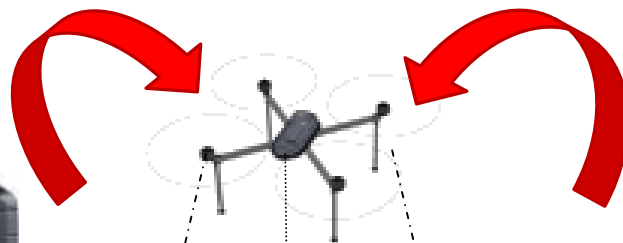
品種：コシヒカリ



UAVモニタリング方法

- 2014年～（新潟2016年～） 観測時刻 10:00～10:15.
- 生育期間中，週1回の頻度で観測
- 撮影高度 50m

可視：GR



50m

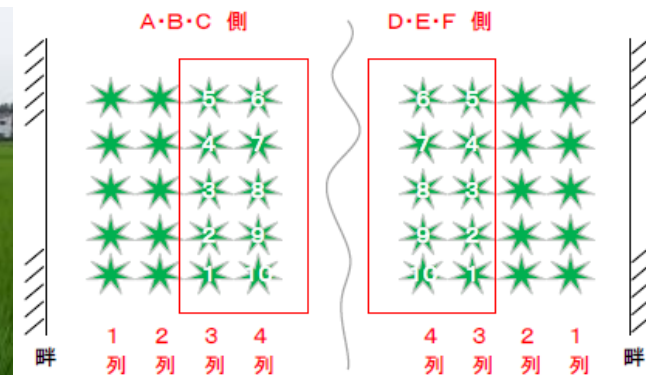
近赤外：Yubaflex



生育調査

UAV観測に同期 した生育調査

※LAIは、刈り取り後、
葉面積計で計測
(千葉のみ)



茎数計測



稲丈計測



葉色 (SPAD値) 計測

データ解析

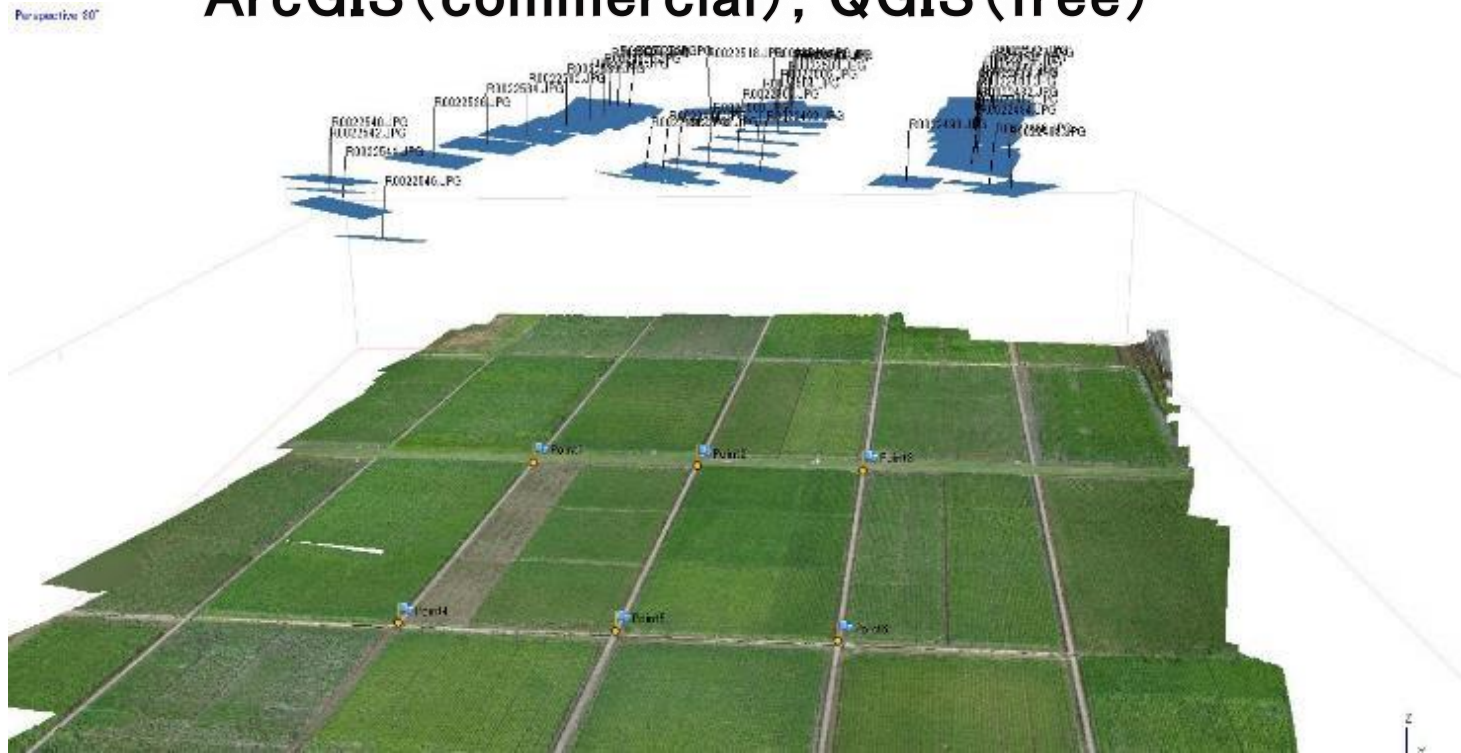
▶ オルソモザイクと Digital Surface Model (DSM)

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

Agisoft PhotoScan Professional

▶ データ解析・集積

ArcGIS (commercial), QGIS (free)



植生指数の計算

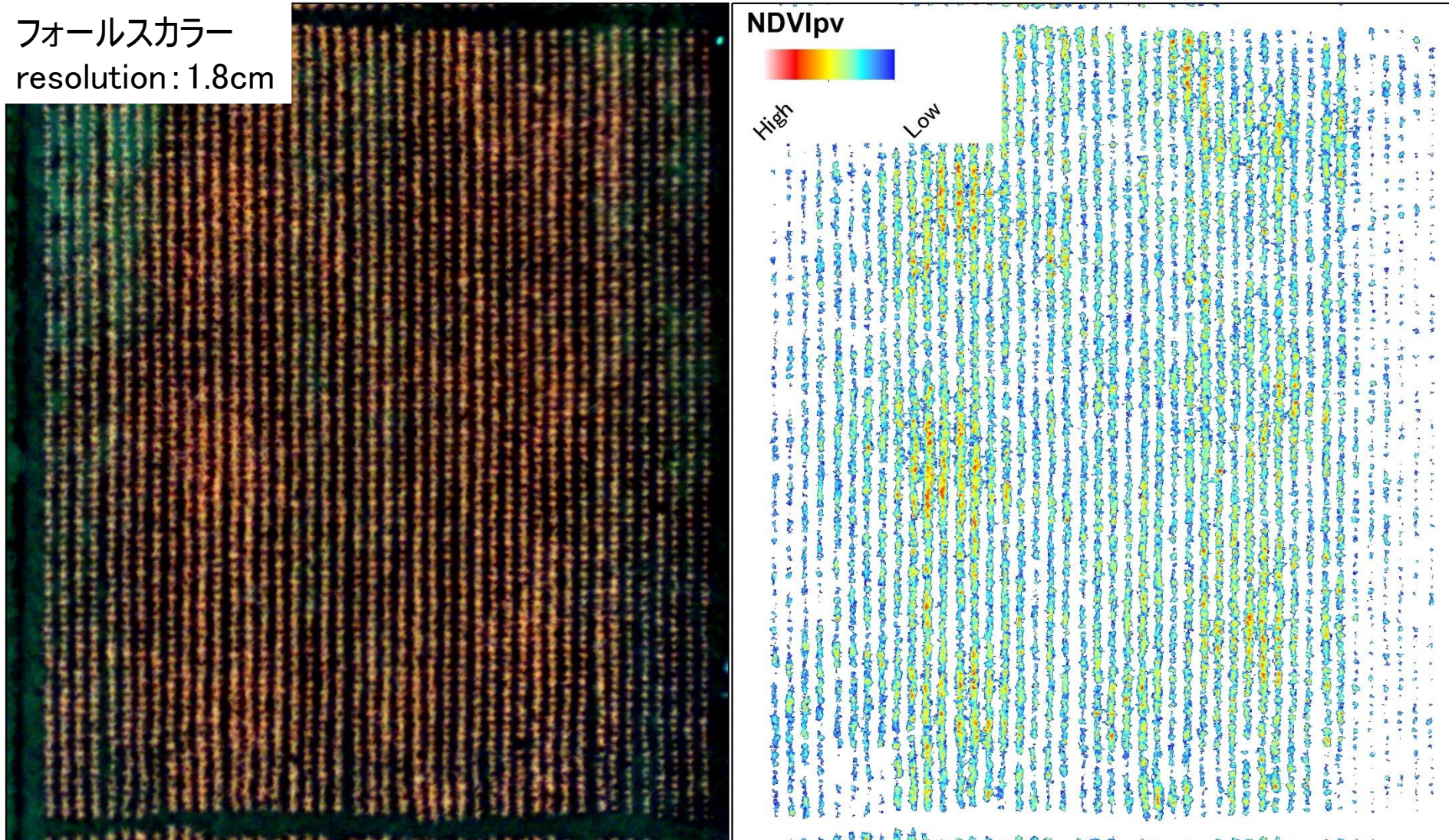
Name	Index	Definition	Reference
Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	$= \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$	Rouse et al., 1974
Normalized Difference Vegetation Index pure vegetation	NDVIpv	$= \frac{NIR - Red}{NIR + Red} > 0$	
Green Normalized Difference Vegetation Index	GNDVI	$= \frac{NIR - Green}{NIR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

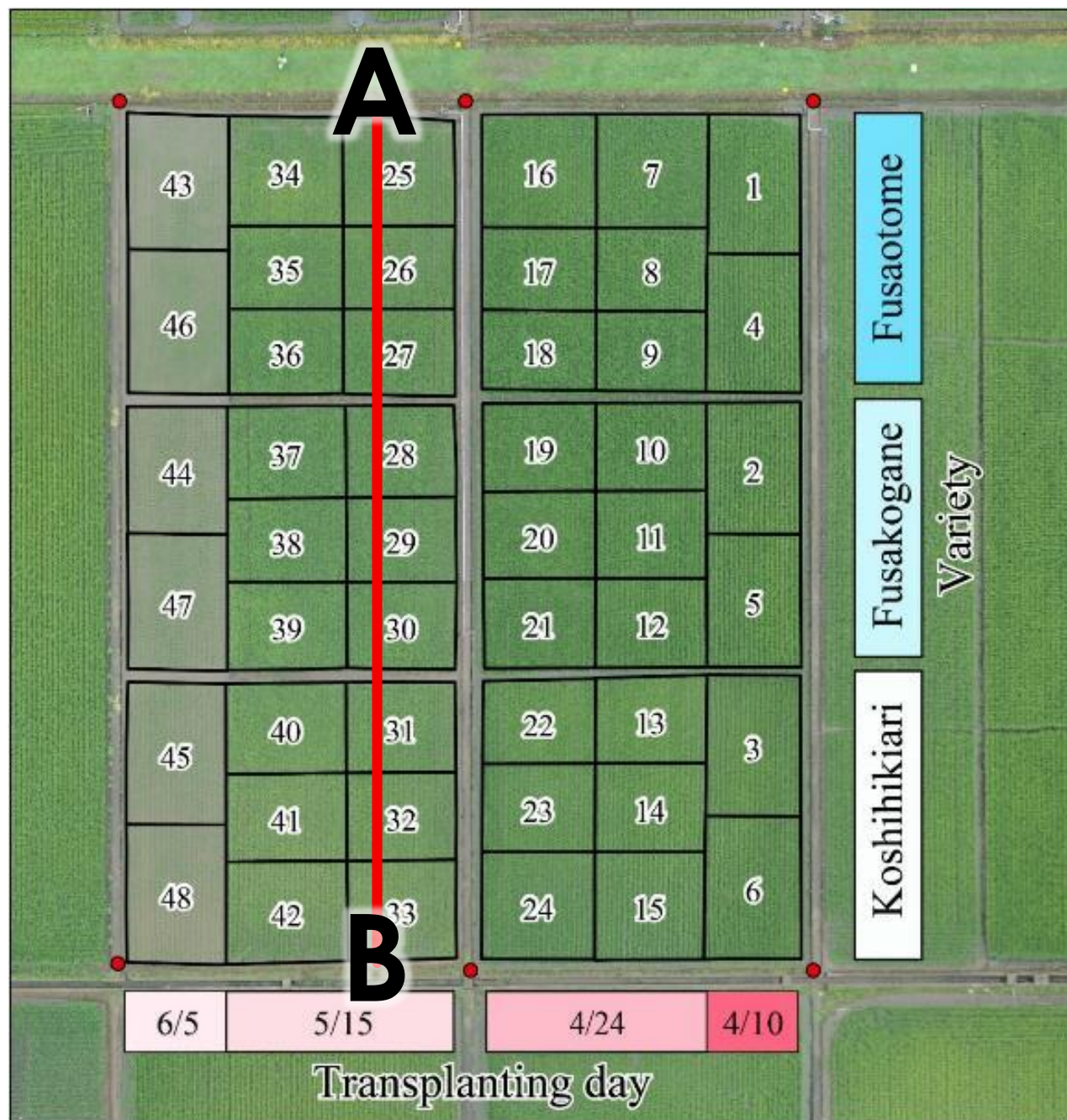
NDVI pure vegetation (NDVI_{pv})

フォールスカラー
resolution: 1.8cm



DSMを使用した計測（草丈計測）





2015

 test section

10 section ID

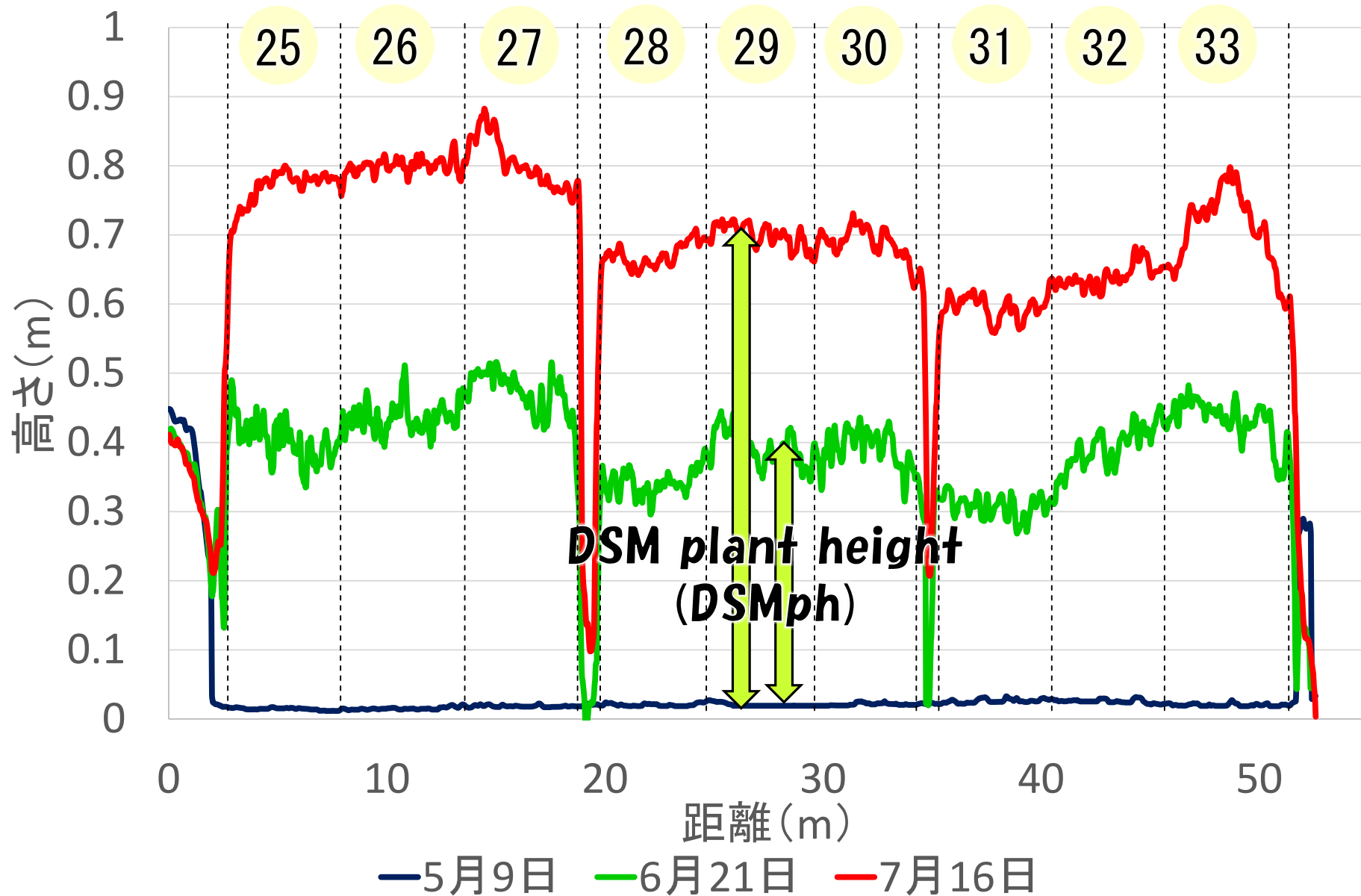
 GCPs

background:
orthophoto 2-JUN-2015

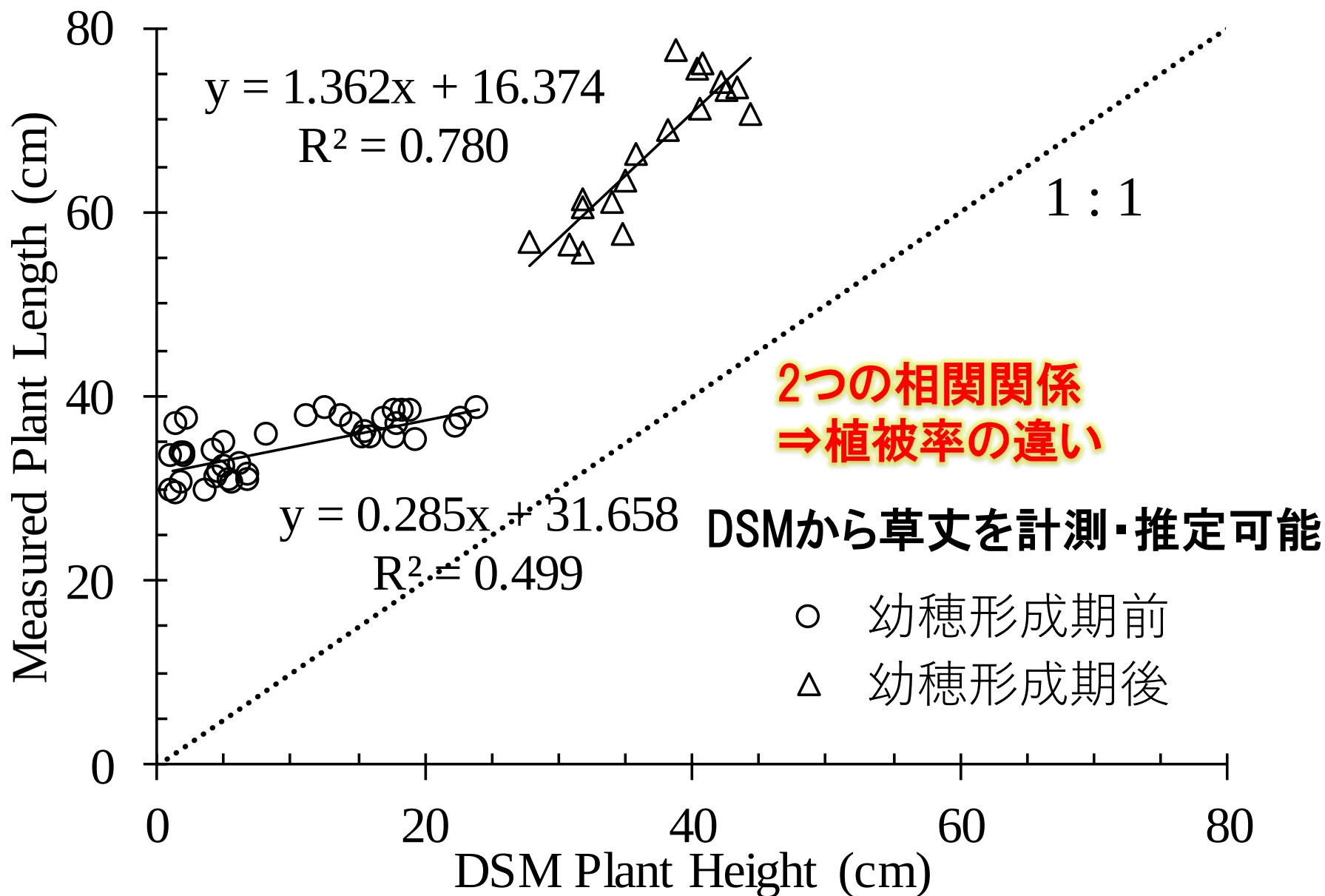


0 10 20
m

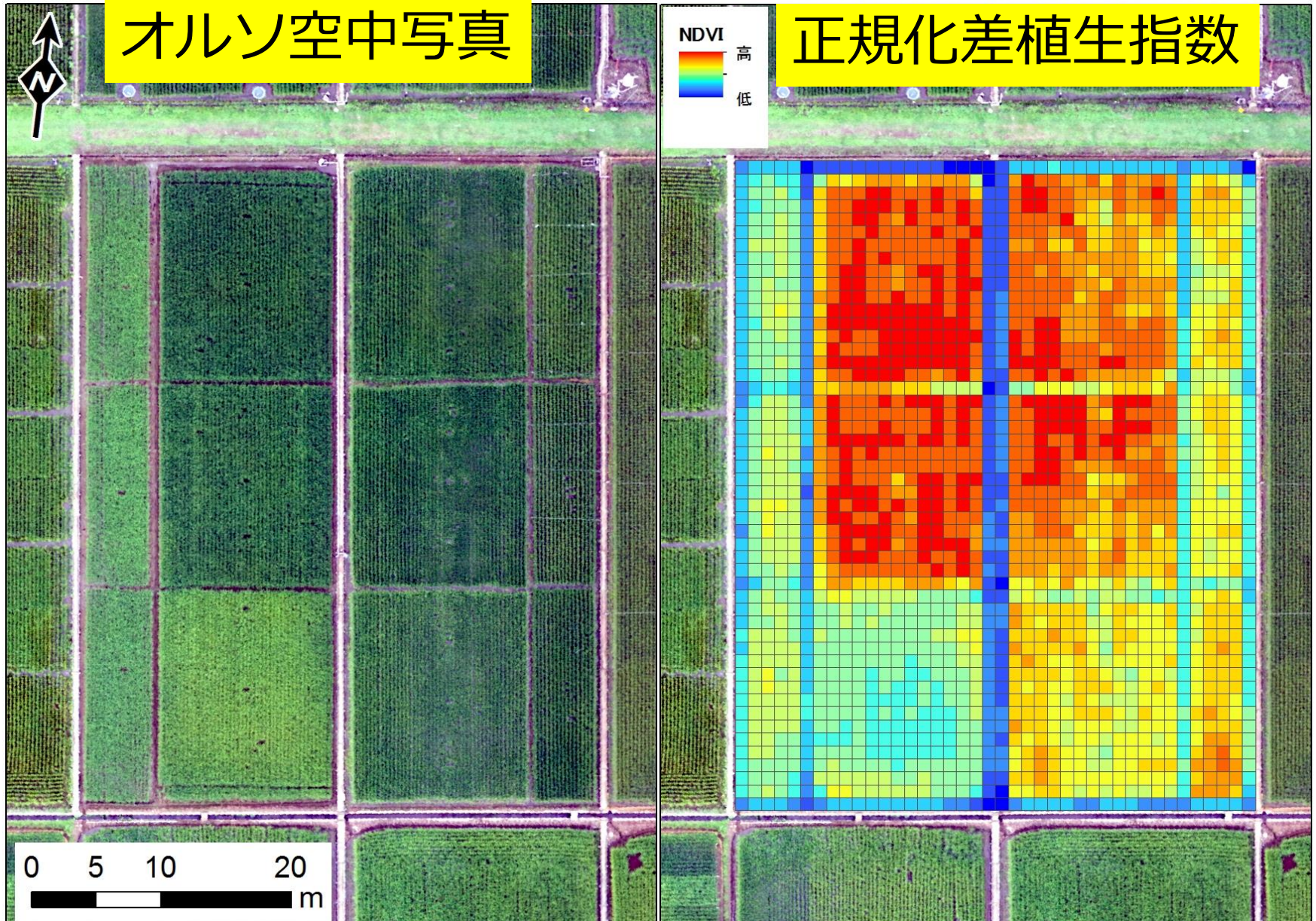
DSM断面 (A→B)



実測草丈とDSMph（群落高）

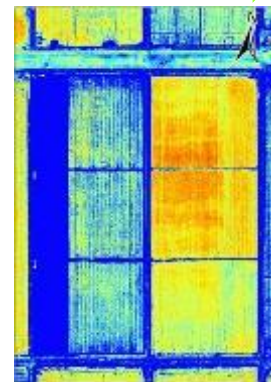
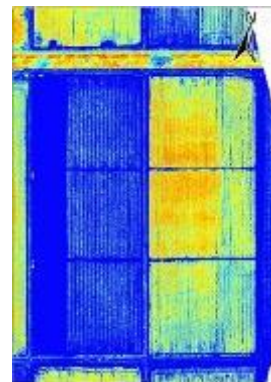
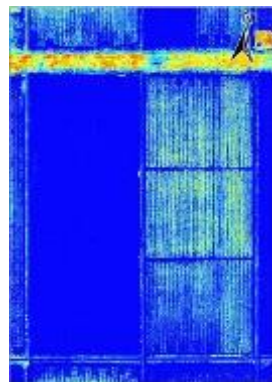
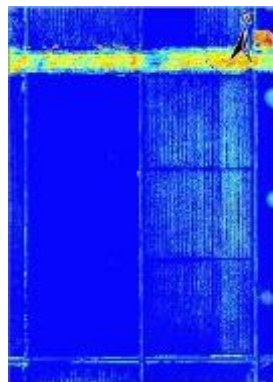


植生指数と生育パラメータの関係



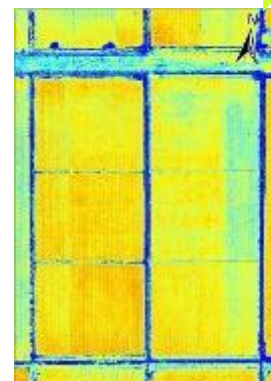
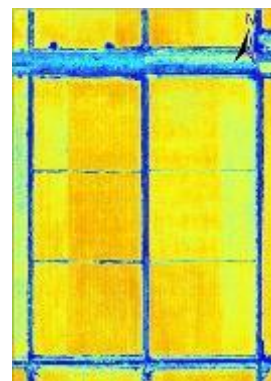
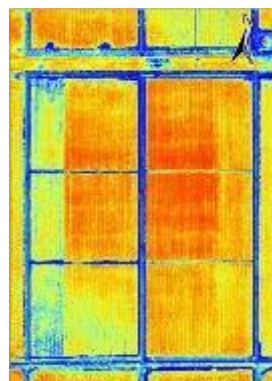
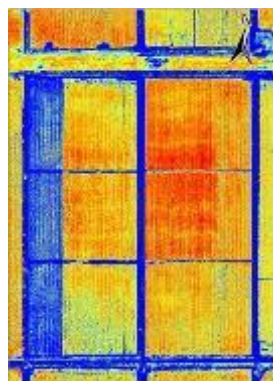
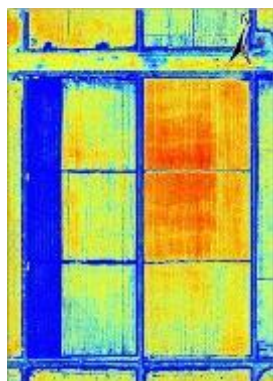
田植え

6月中旬



6月下旬

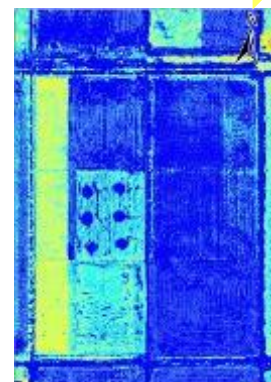
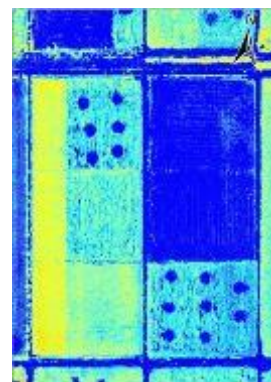
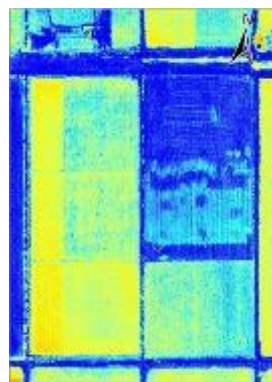
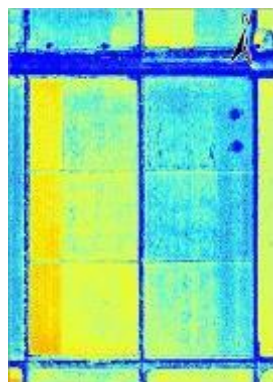
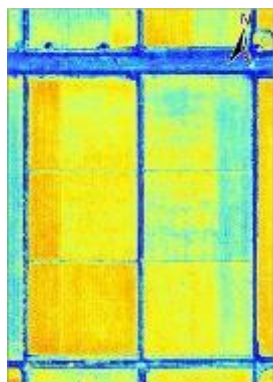
7月下旬



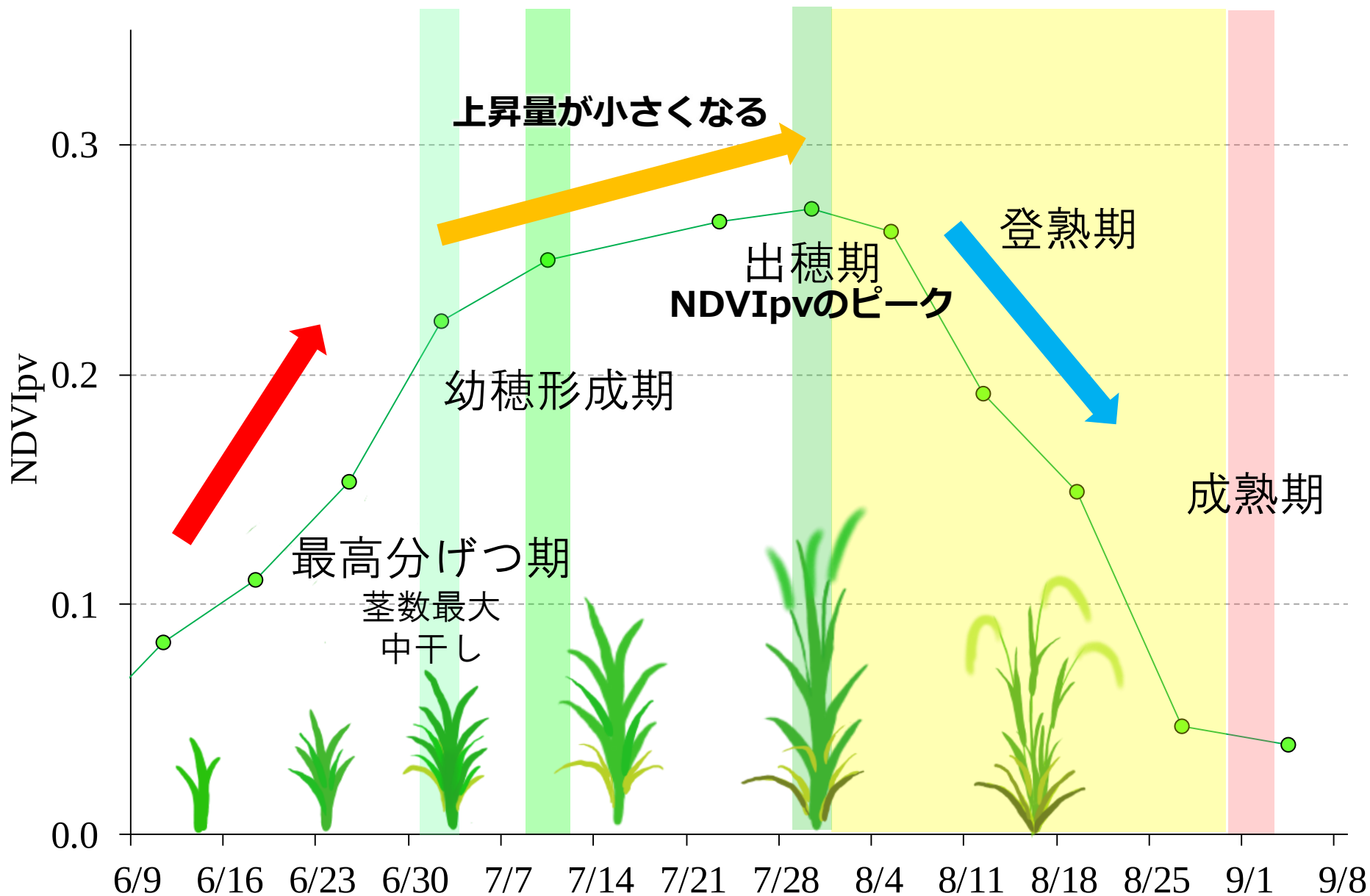
8月初旬

収穫開始

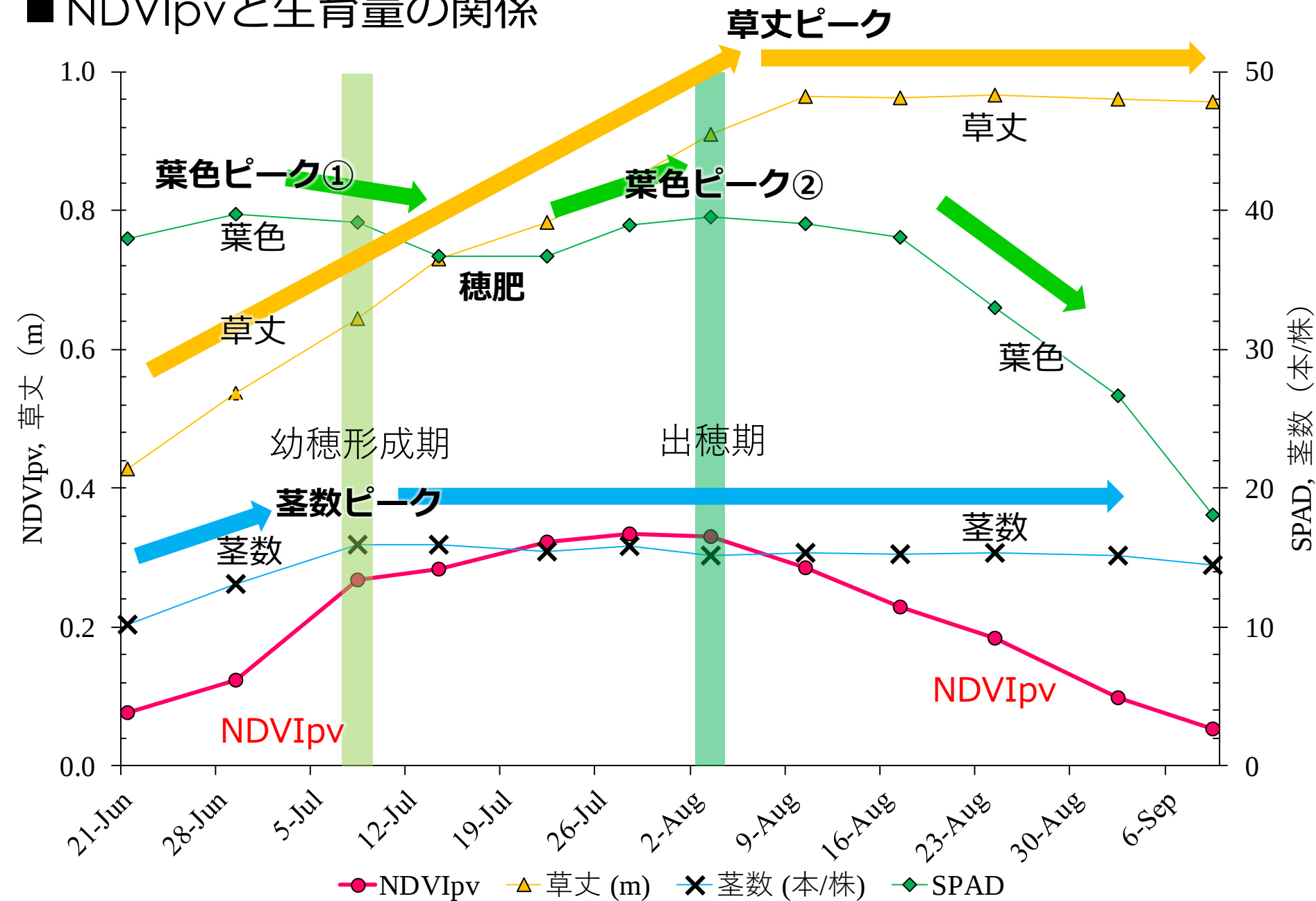
9月初旬



水稻のフェノロジー(コシヒカリ)

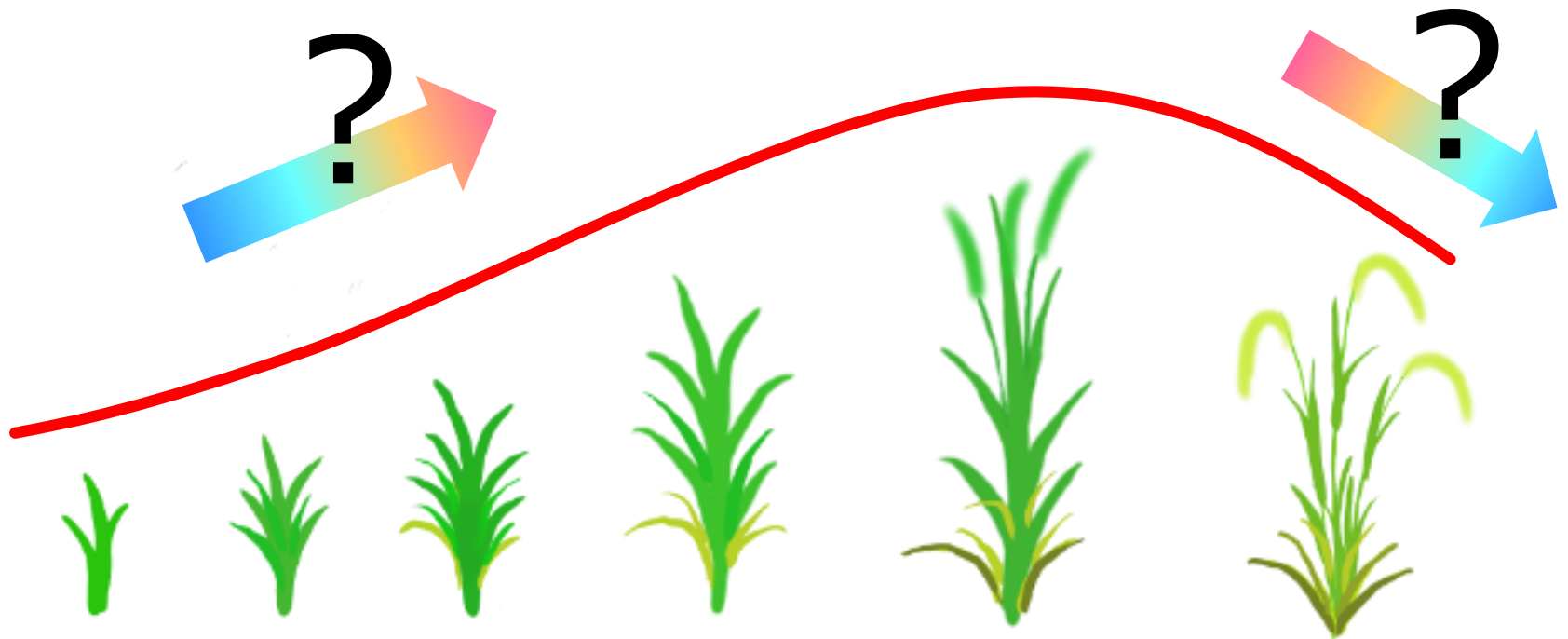


■ NDVIpvと生育量の関係

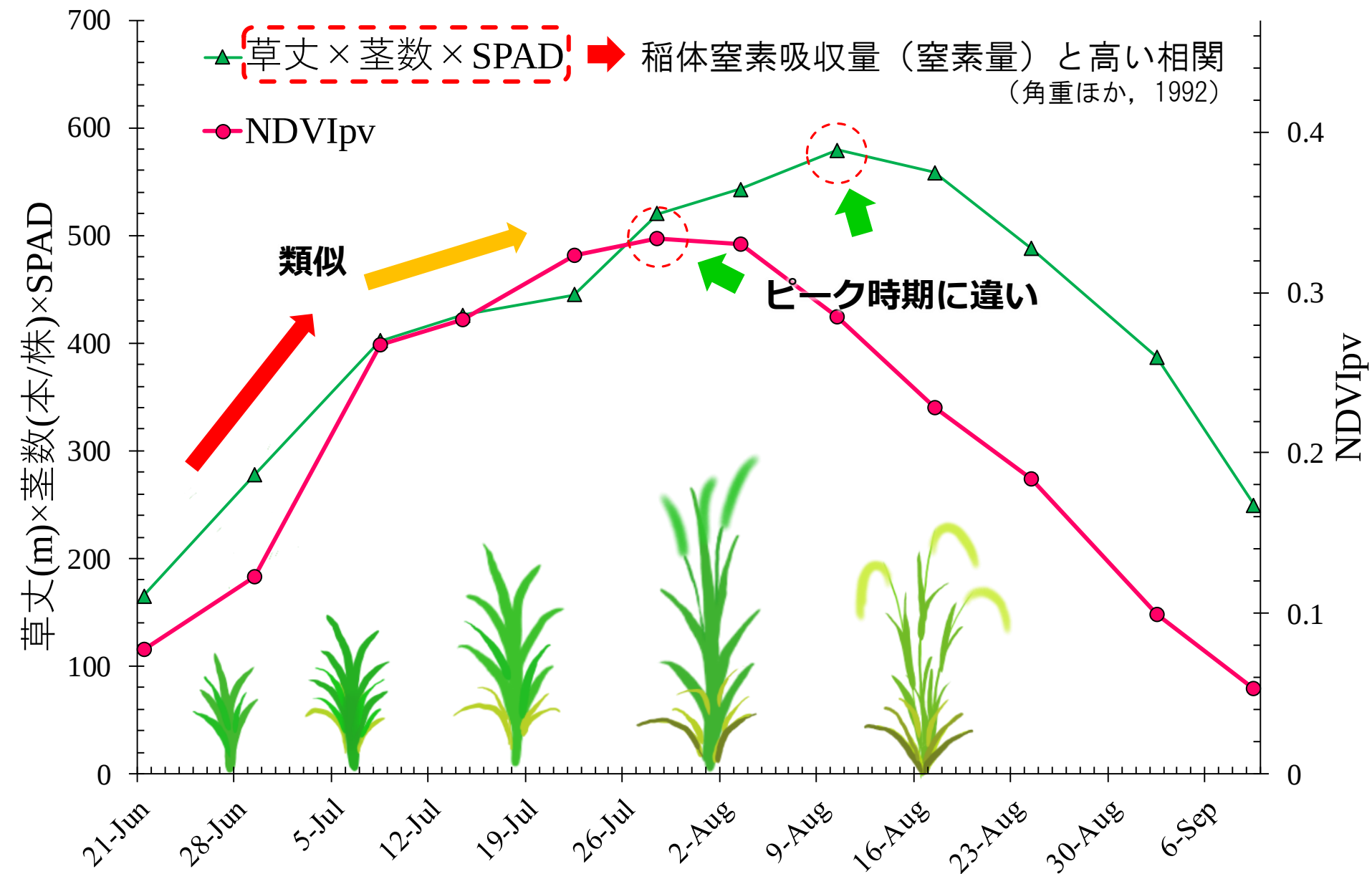


NDVI_{pv}の時系列変化の要因について

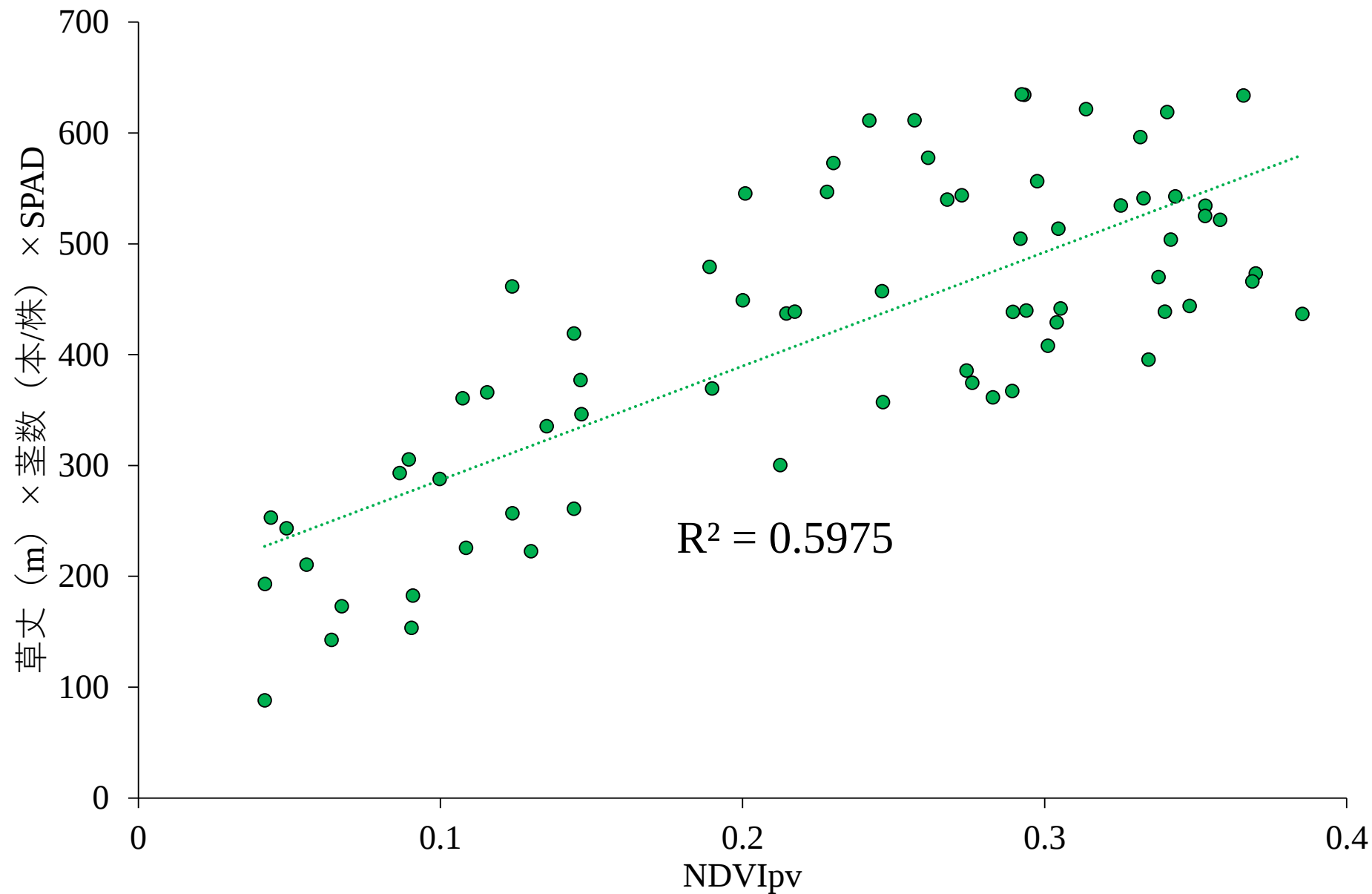
- 葉色（葉緑素の量）
- 植物の構造（LAI, 草丈, 茎数）



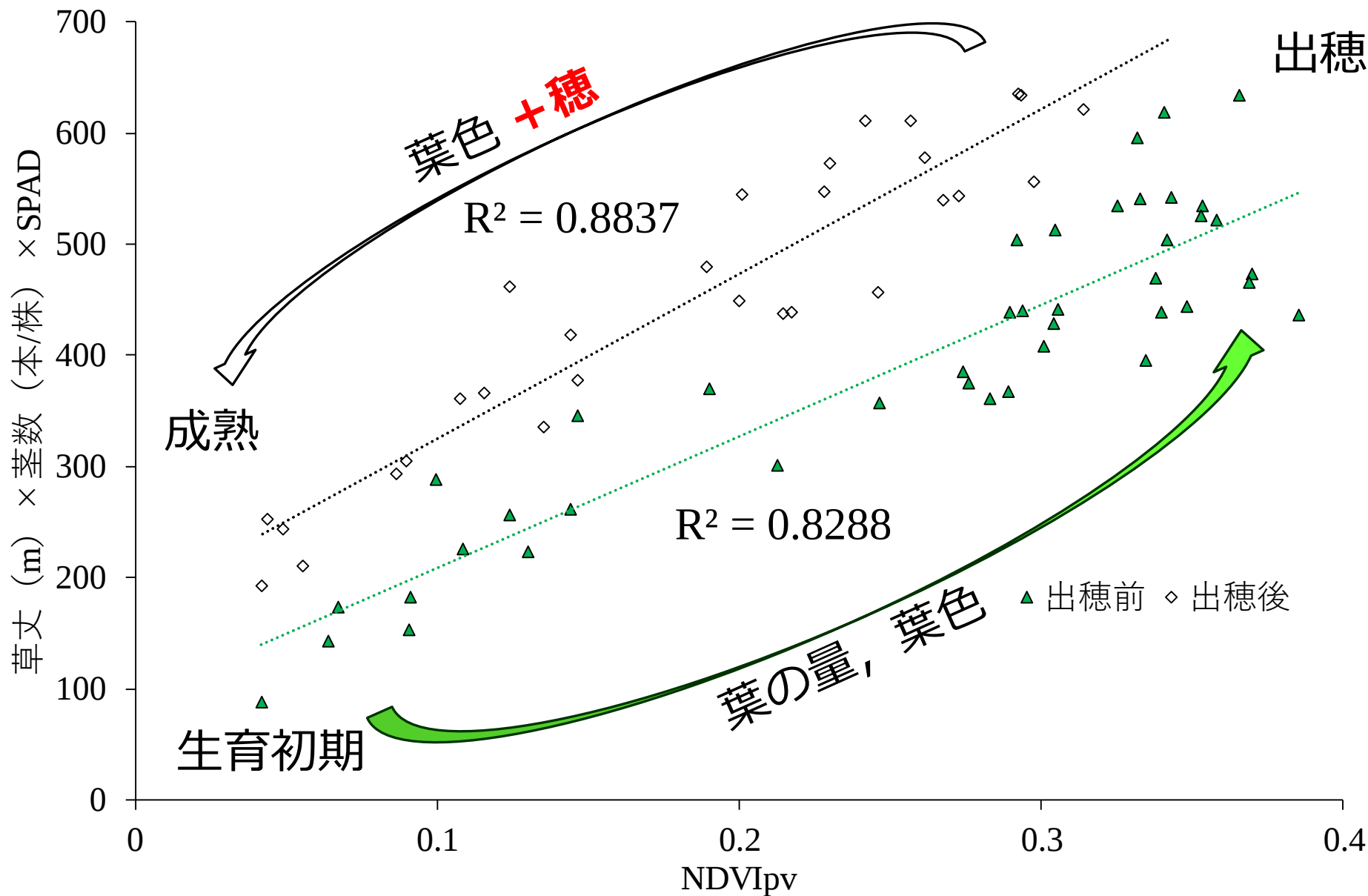
■ NDVIpvと生育量の関係



■ NDVIpvと生育量の関係（生育初期～成熟）

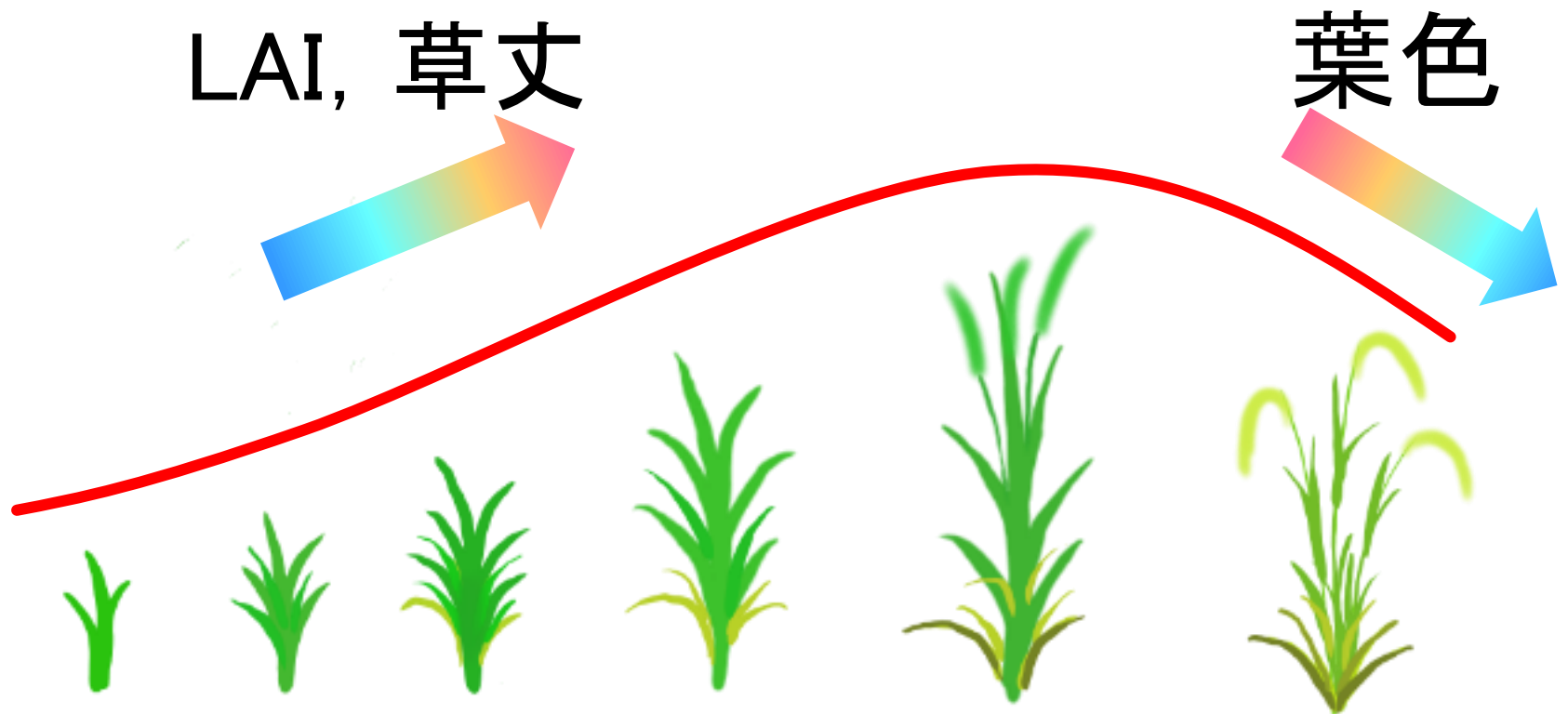


■ NDVI_{pv}と生育量の関係（出穂前と出穂後）



NDVI_{pv}の時系列変化の要因について

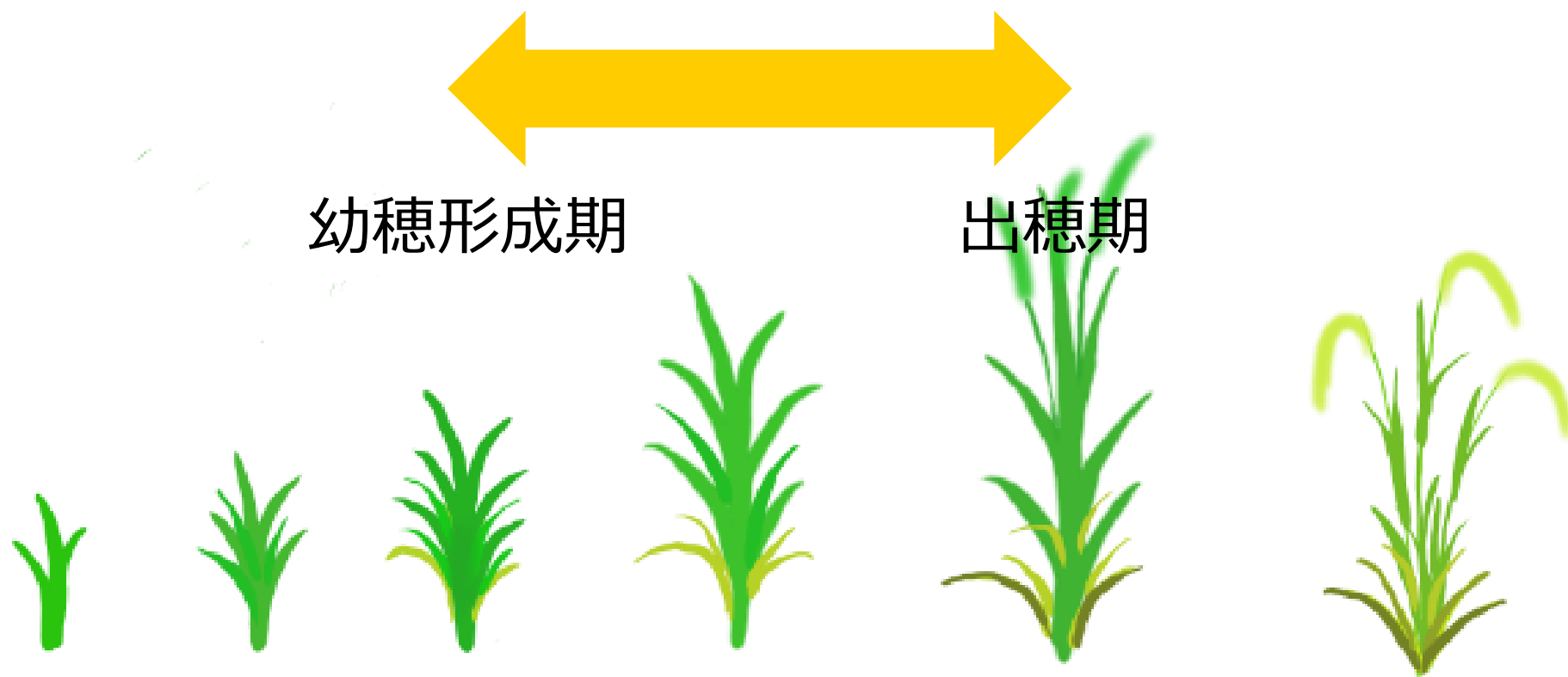
- 出穂前：LAI, 草丈の相関大
- 出穂後：葉色との相関大



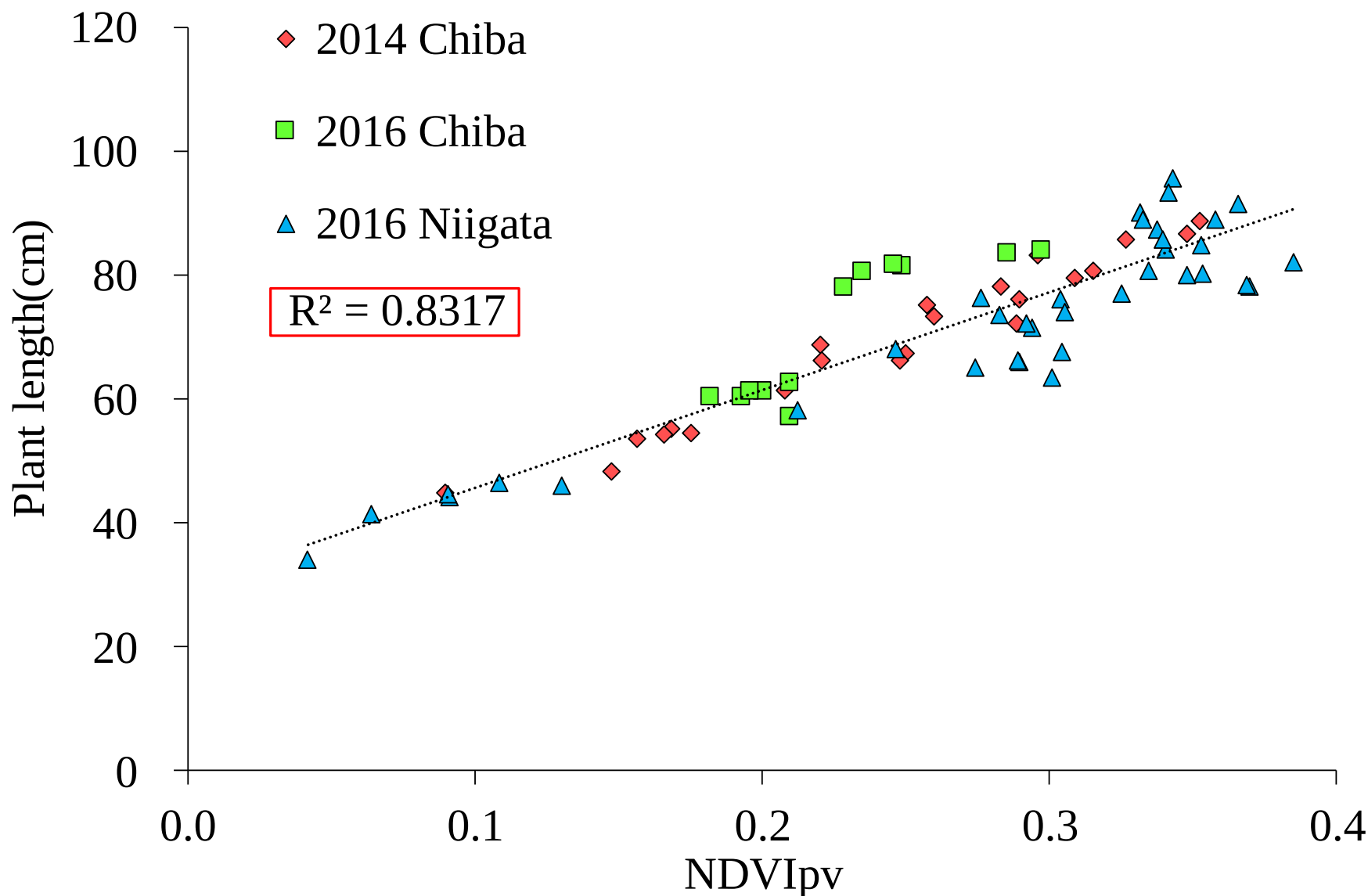
生産者に重要な情報とは？

■追肥（穂肥）の調整

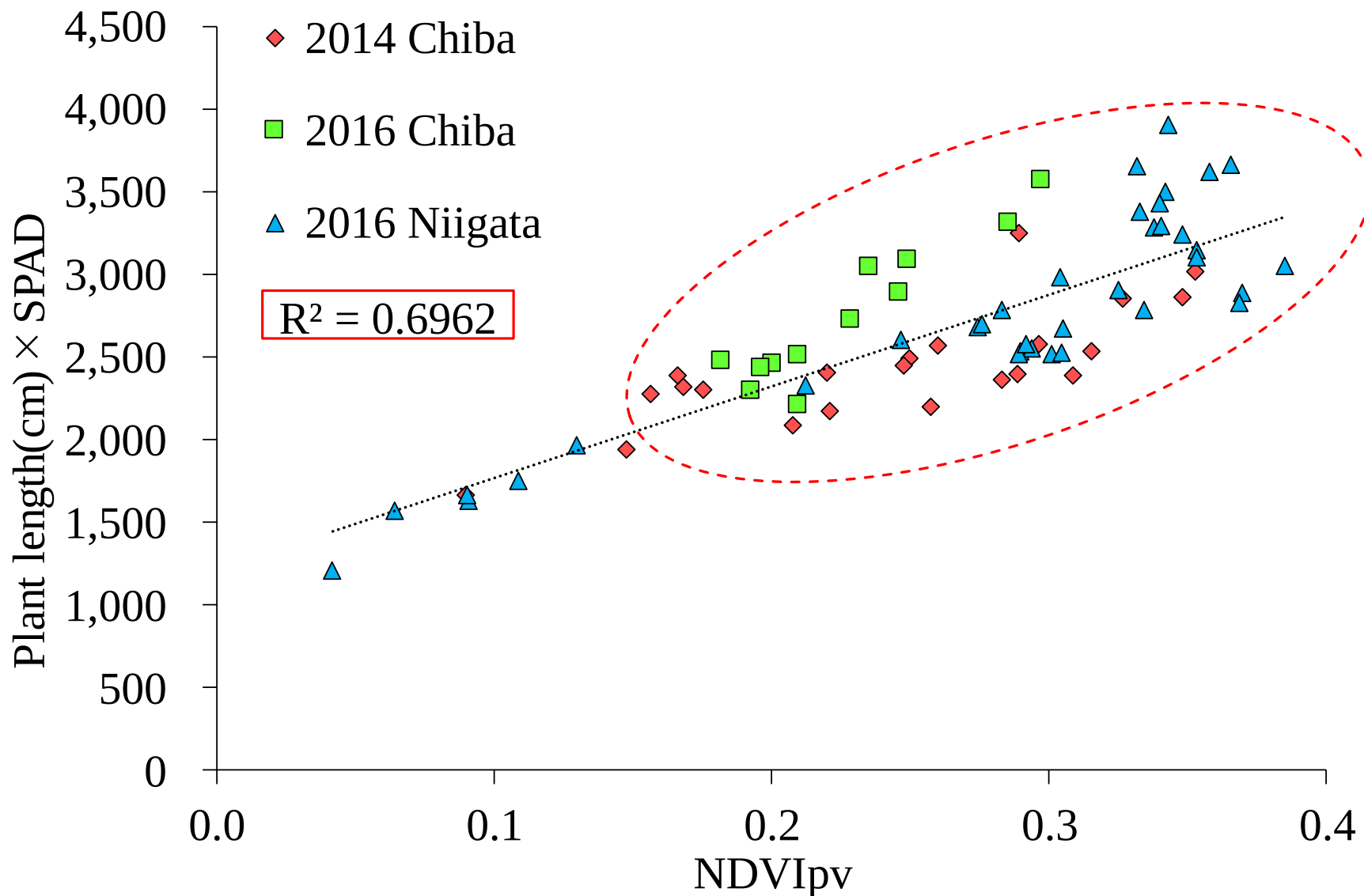
➤ 幼穂形成期～出穂期の生育量



草丈とNDVI_{pv}の関係 (幼穂形成期～出穂期)



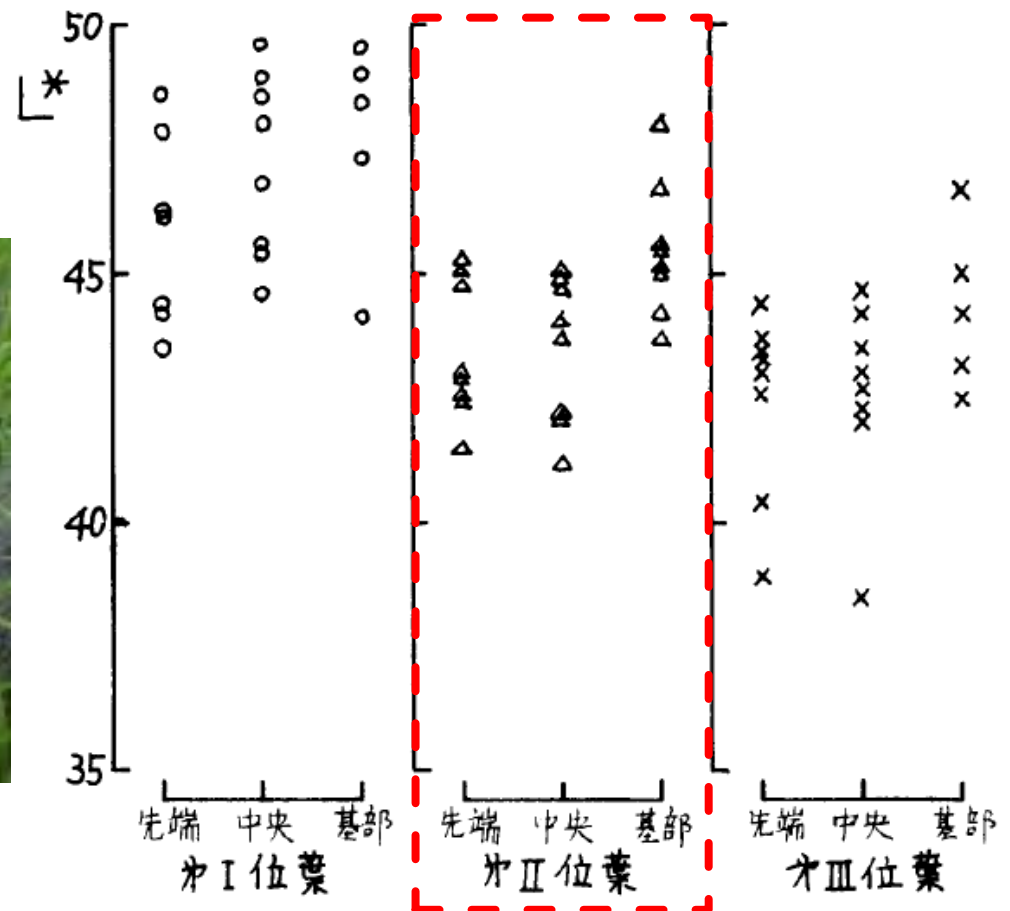
草丈×SPADとNDVI_{pv}の関係 (幼穂形成期～出穂期)



葉色と葉位の関係

➡ 株の中での葉色の違い (秋吉ほか, 1978)

✓ 完全展開第2葉を計測



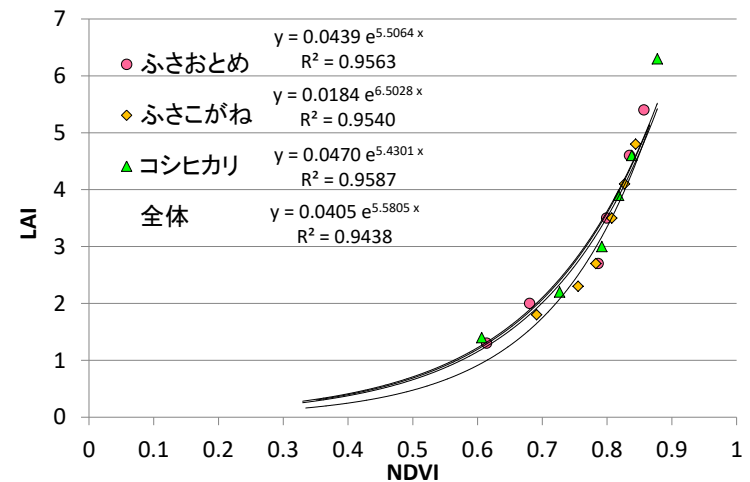
生育パラメータの推定

▶ Leaf Area Index (LAI)と草丈を推定

実測データ
LAI, 草丈

植生指数
NDVI, GNDVI...

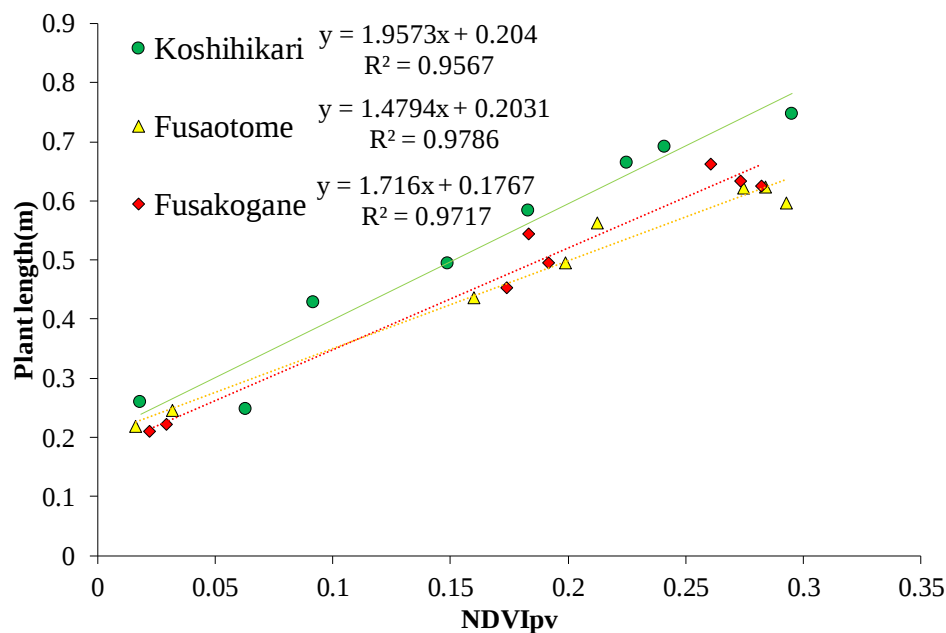
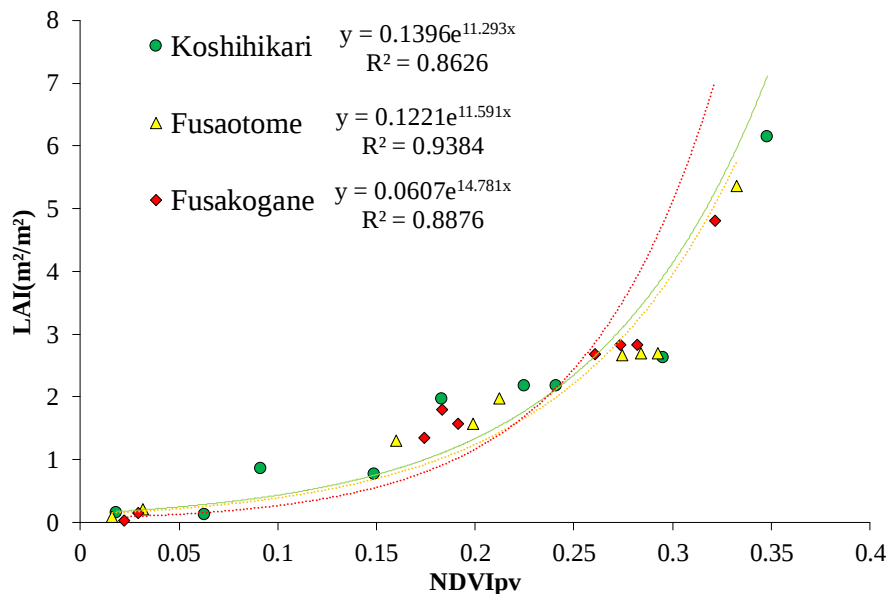
Regression analysis



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**

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

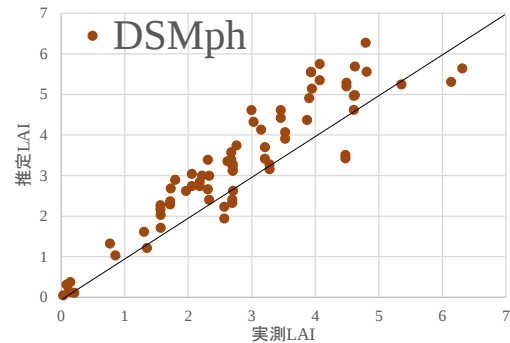
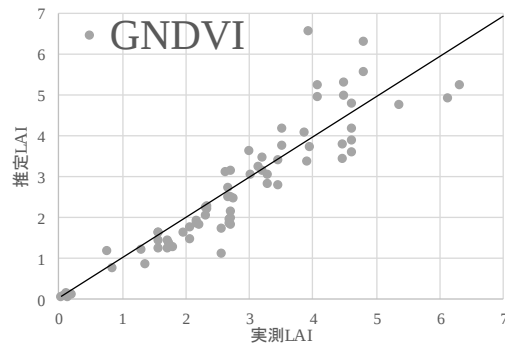
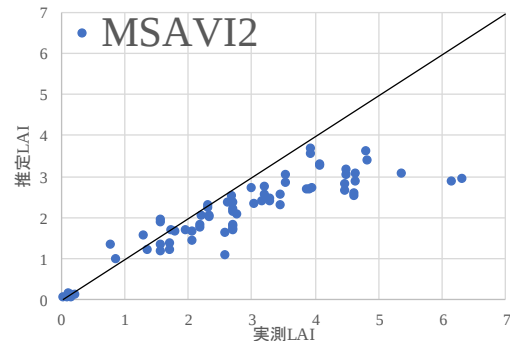
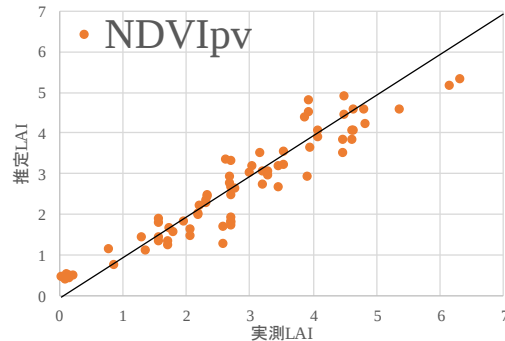
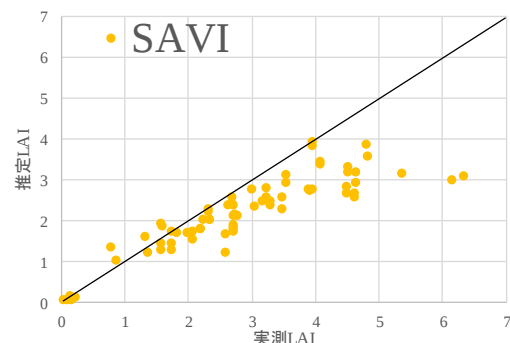
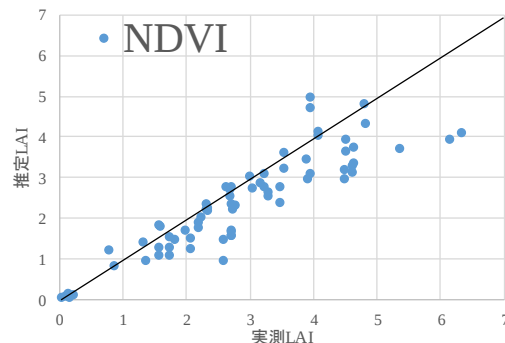


LAIの推定（推定精度検証）

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

※縦軸：推定値，横軸：実測値

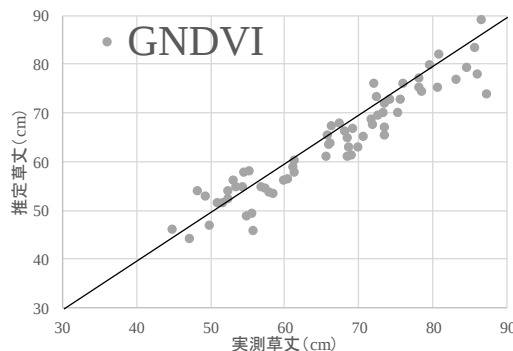
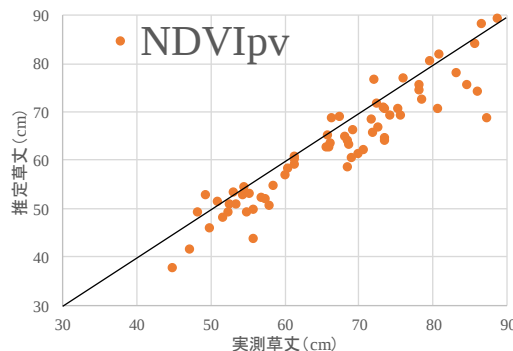
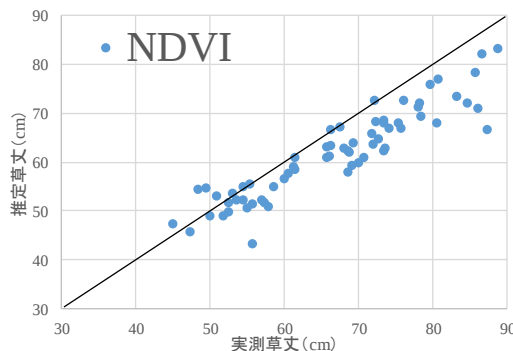
	RMSE
NDVI	0.759
NDVI _{pv}	0.499
GNDVI	0.735
SAVI	0.977
MSAVI2	1.021
DSMph	0.775



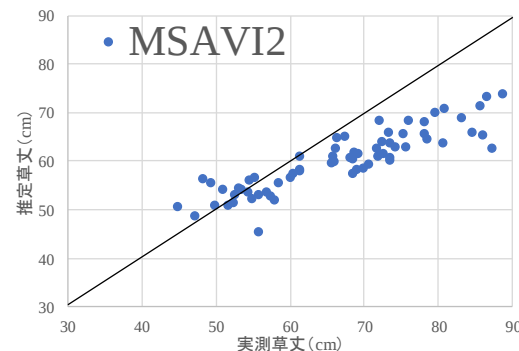
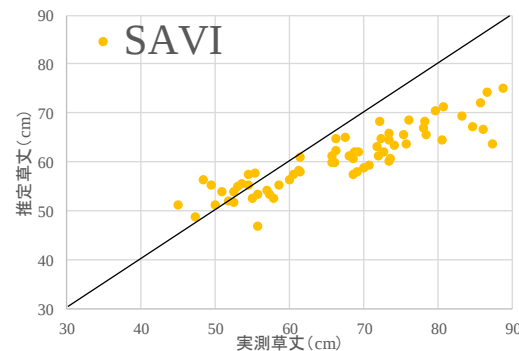
草丈の推定（推定精度検証）

➡ GNDVI, NDVI_{pv} で推定誤差約5cm

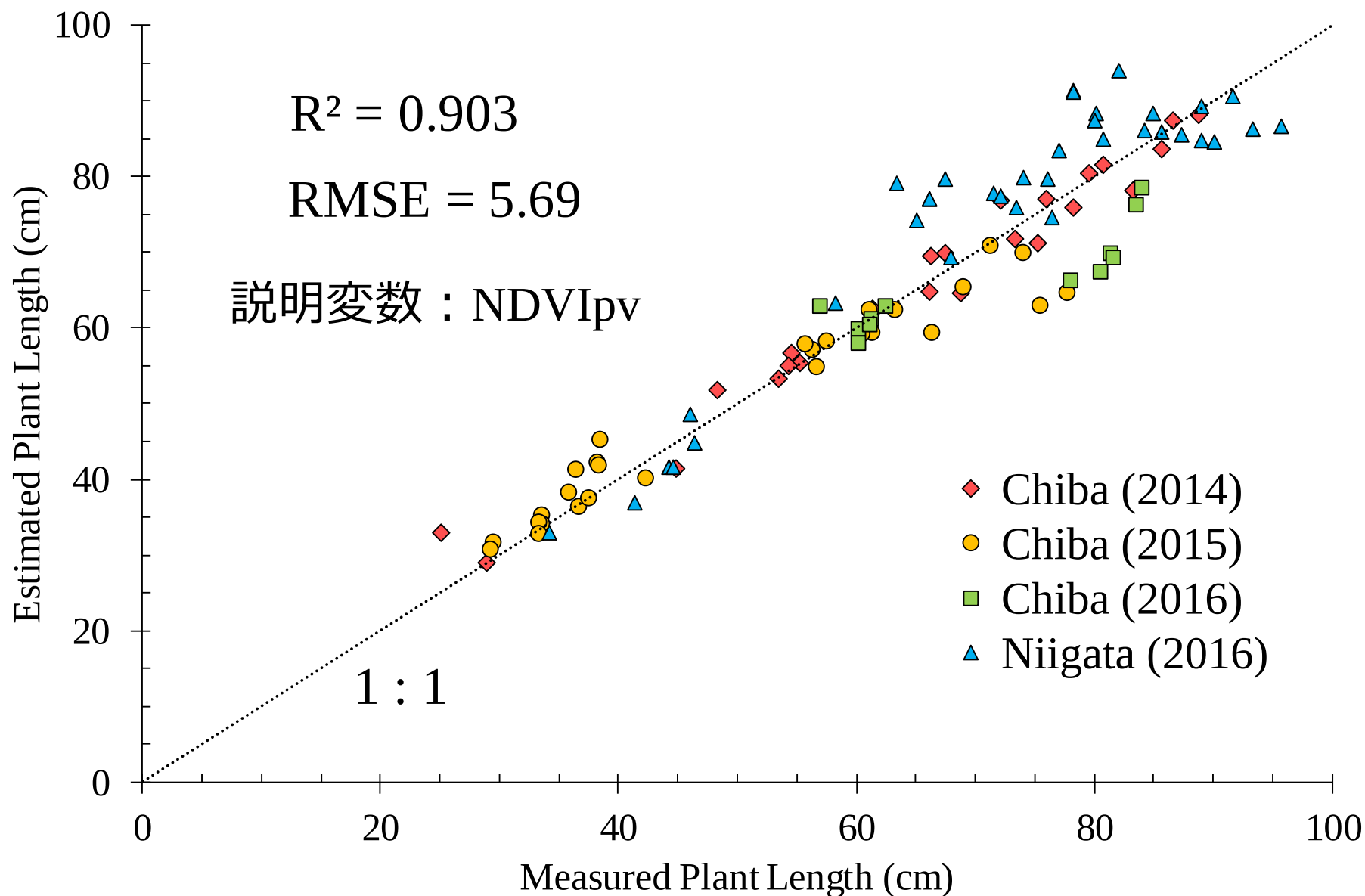
	RMSE
NDVI	6.609
NDVI _{pv}	5.309
GNDVI	4.311
SAVI	8.685
MSAVI2	8.992



※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 2014年度 コシヒカリ区画

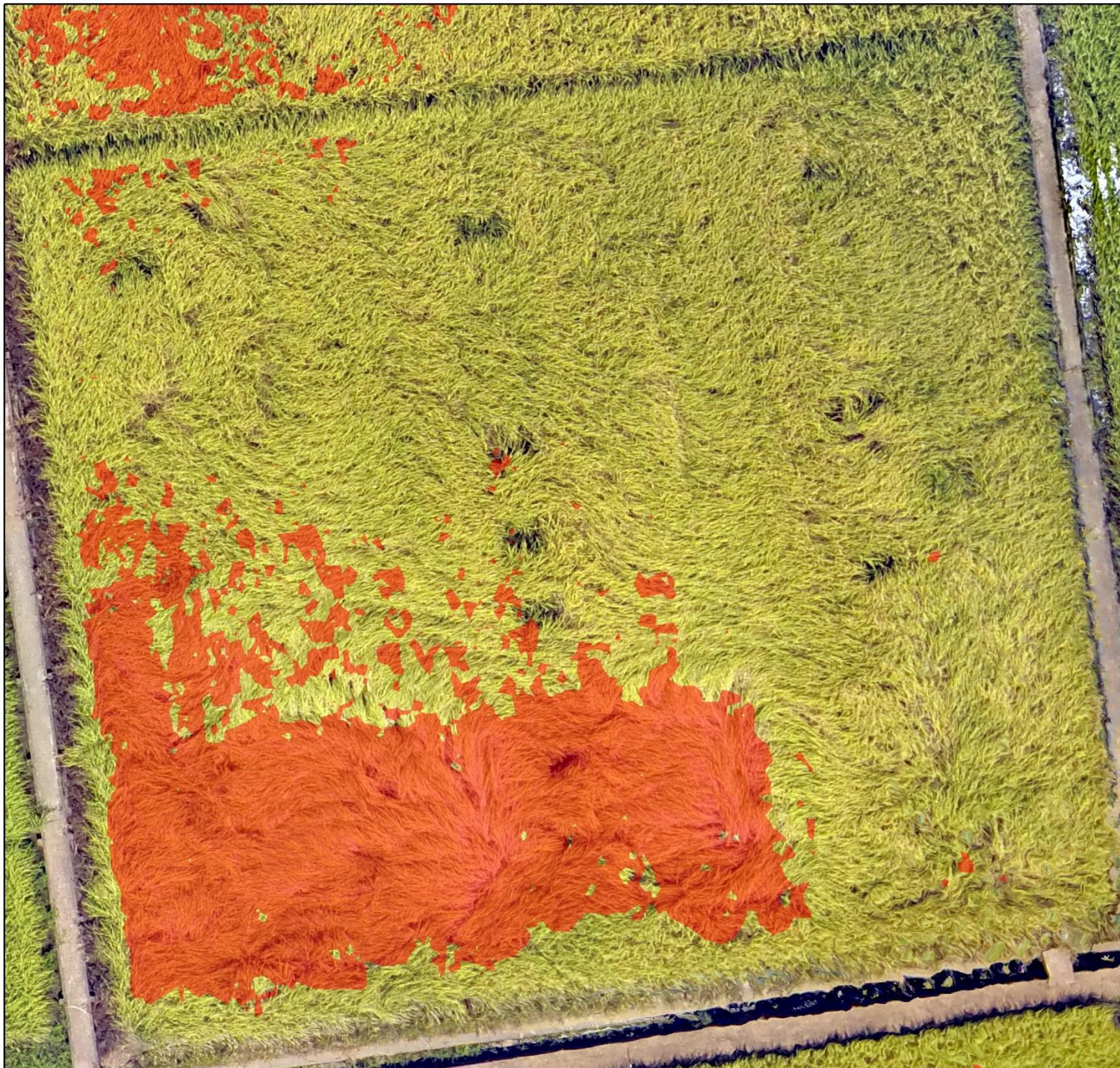


risk area

Basemap:
orthophoto
7-Jul-2014



0 1 2 4
m

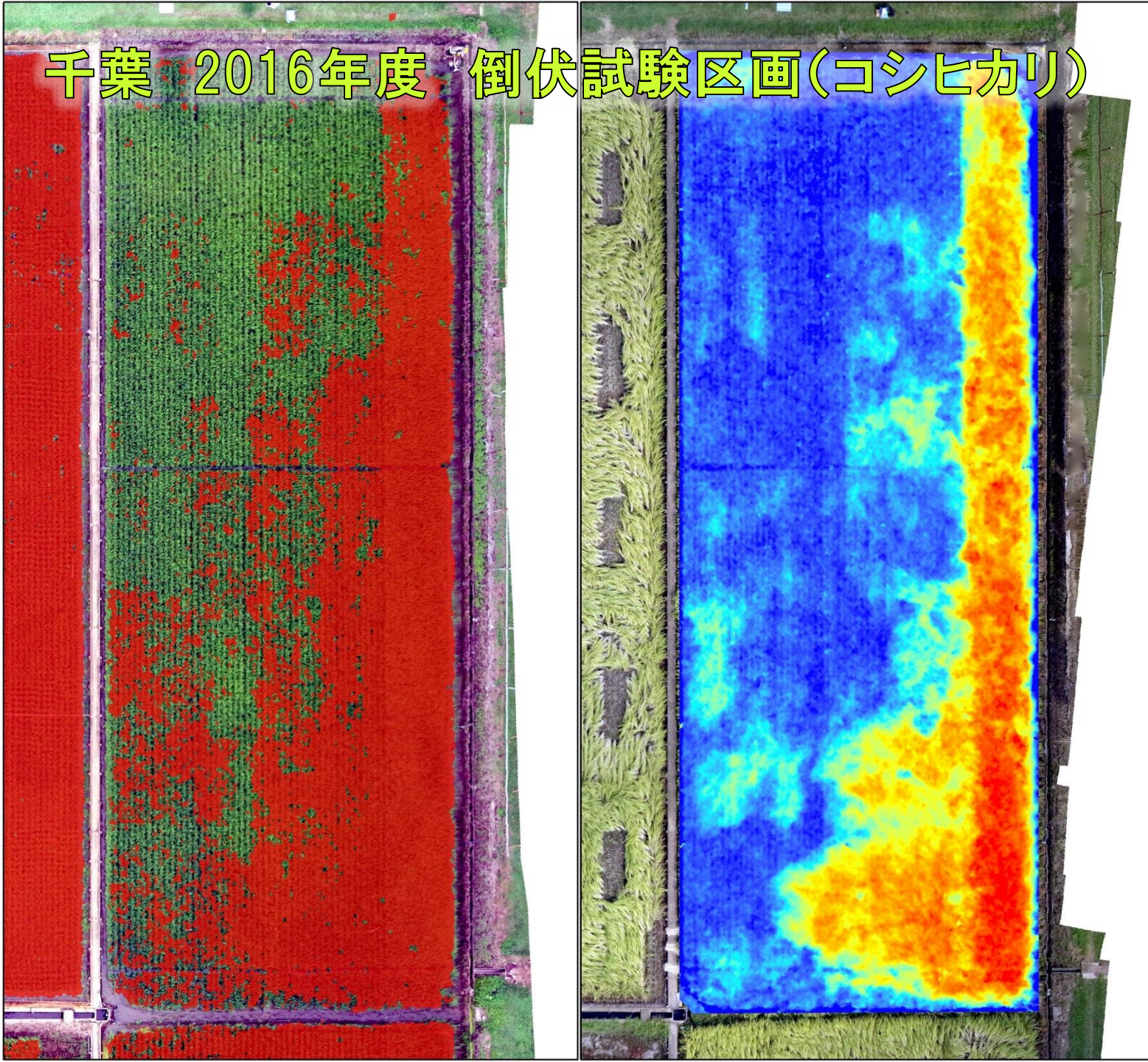


risk area

Basemap:
orthophoto
20-AUG-2014



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)



新潟 2016年度 コシヒカリ区画

9/9DSM - 8/3DSM

大

小

10 5 0 10 m



結論

■ NDVI_{pv}の時系列変化

- 生育ステージによって、変化要因が異なる

出穂前：LAI,草丈の影響大 出穂後：葉色の影響大

■ LAI・草丈の計測，推定（出穂前）

- DSM, 植生指数（NDVI_{pv}, GNDVI）を用いて計測・推定可能
 - ✓ NDVI_{pv}, GNDVIで高い推定精度

■ 倒伏予測

- 上述の計測・推定方法を用いて求めた草丈を適用可能
 - ✓ 複数年，複数地点へ適用 → 概ね良好な結果

◆ 推定式，予測手法は他年度，他地域で使用できる可能性

