



UAVリモートセンシングによる水稲モニタリング

濱 侃 (千葉大学CEReS・学振DC)

田中 圭 (日本地図センター)

近藤 昭彦 (千葉大学CEReS)

農業分野でドローン（UAV）に求められているもの

- 産業用無人ヘリと同じく，施肥，防除作業
 - 生育調査，圃場・生産管理技術
- ⇒ リモートセンシングが必要とされている

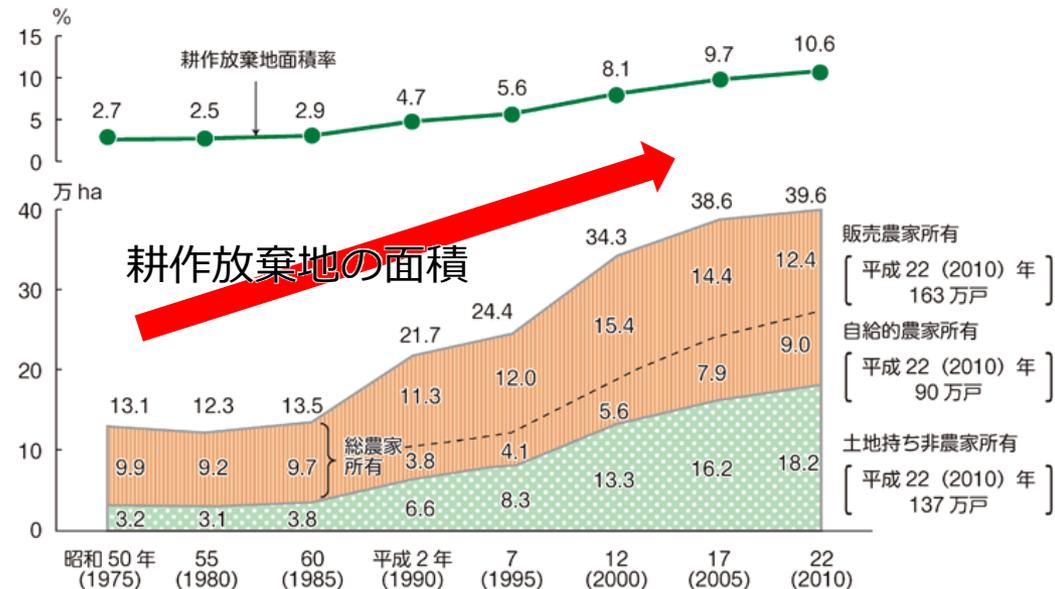
機械の導入による効率化・少労力化

+ 耕作放棄地の増加，農地の集約・少人数管理



東光鉄工ホームページより

図2-1-8 農家等区分別耕作放棄地面積の推移



資料：農林水産省「農林業センサス」

注：1) 右端の[]内は、全体の農家(世帯)数であり、耕作放棄のない農家(世帯)を含む。

2) 昭和60(1985)年以前は、販売農家、自給的農家の区分がない。

3) 耕作放棄地面積率(%) = 耕作放棄地面積 / (経営耕地面積 + 耕作放棄地面積) × 100

農林水産省ホームページより

近藤研グループの取り組み

- ▶ 2014年より、UAV+マルチスペクトルカメラを用いた水稲モニタリングをスタート
- ▶ 4年の観測実績（多年次、他地域での検証）
- ▶ 農業試験場との共同研究

既存のリモセン手法・農学的知見をUAVに応用

+

UAVのプラットフォームとしての優位性 ⇨ 機動性



新しい知識生産

- ・ 手法の開発
- ・ 新しい発見

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



田植え

- ▶ 圃場内の高低差の測量

- ▶ 生育観測（草丈推定, LAI推定）

- ▶ 倒伏予測

- ▶ 食味推定（たんぱく質含有量の推定）

- ▶ 収量予測

収穫

- ▶ 収穫適期の決定（葉色推定）

準リアルタイムで提供可能

穀物（水稲）を対象としたリモートセンシング

プラットフォーム：光学衛星

手法：植生指数と実測値の回帰分析

主なテーマ

推定モデルの適用性

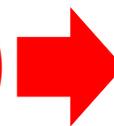
□ バイオマス推定

□ Leaf Area Index(LAI)推定

□ 収量推定

□ タンパク含有率推定

高



Case-1

なぜ適用性に差？



低



Case-2

農業リモセンにおける「Case-1」, 「Case-2」研究

▶ Case-1 : 形状的評価 → 目でわかりそうなこと

リモセン技術のみで推定できるもの

- バイオマス推定・Leaf Area Index(LAI)推定
- 群落クロロフィル含有量推定（窒素吸収量推定）

▶ Case-2 : それ以外の複雑なもの

生理・生態プロセス考慮型推定

リモセン+ α （気象データなど）で推定できるもの

- 収量推定
- タンパク含有率推定



使用機体



Zion QC630 (enRoute)



Zion Pro800 (enRoute)



SOLO (3DR)



Phantom2,3 (DJI)



F550 (自作)

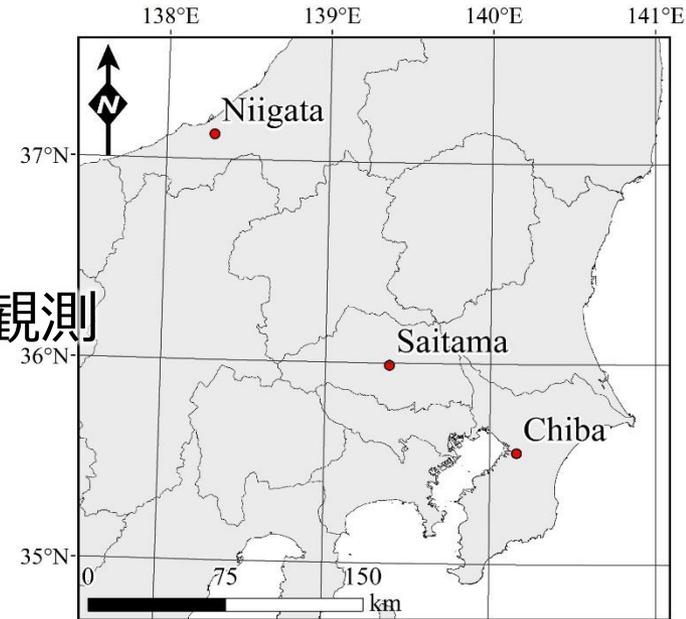


UAVモニタリング方法

- 2014年～（新潟2016年～）
- 観測時刻 10:00～14:00
- 対地高度50m：生育期間中**週1回**の頻度で観測
※研究のため

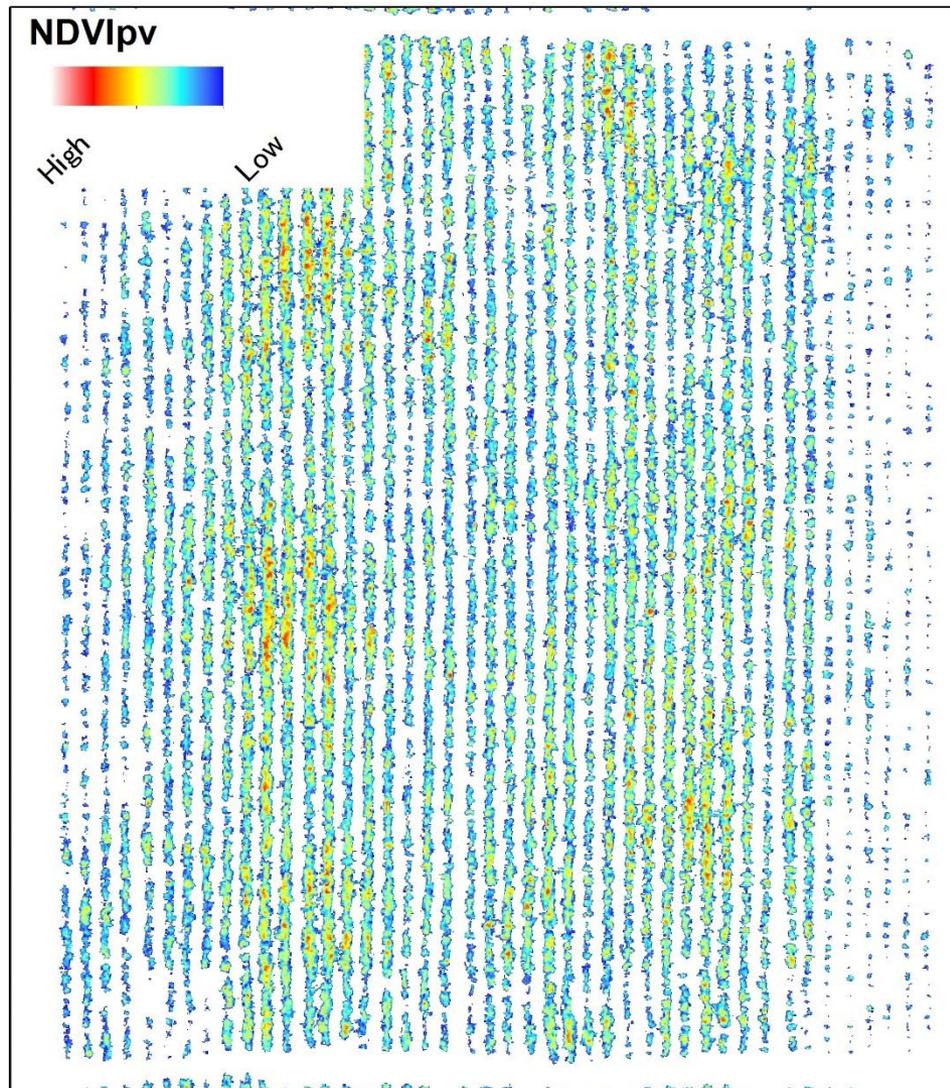
● Yubaflex (BIZWORKS社)

緑,赤,**近赤外**の波長帯を撮影可能



植生を抽出可能

オルソモザイク画像：空間分解能1.8cm



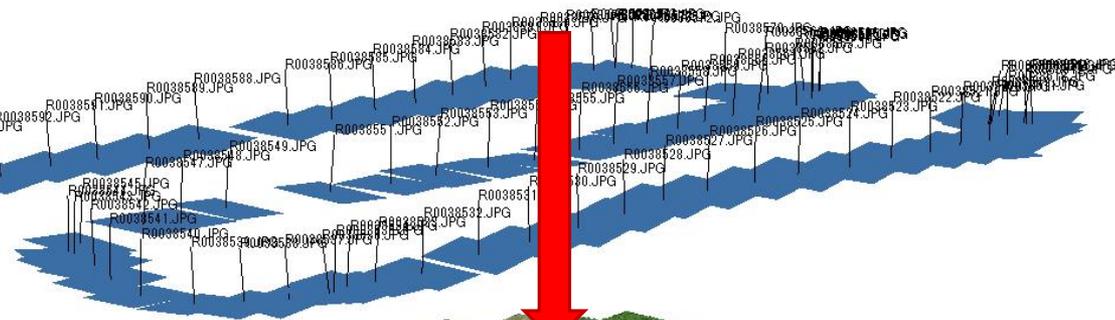
SfM-MVS

(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

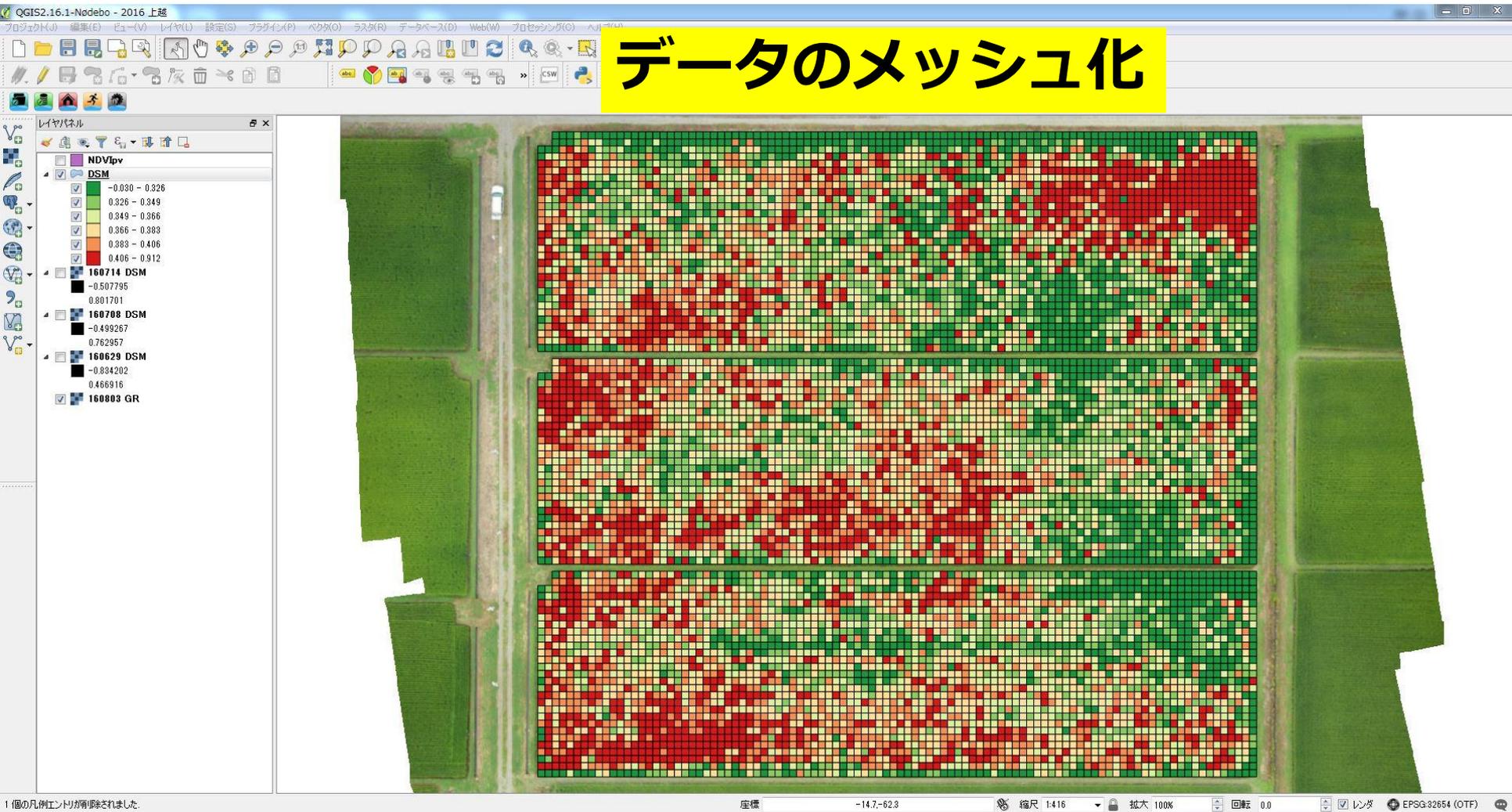
GCP : 地上基準点

オルソモザイクと Digital Surface Model (DSM)

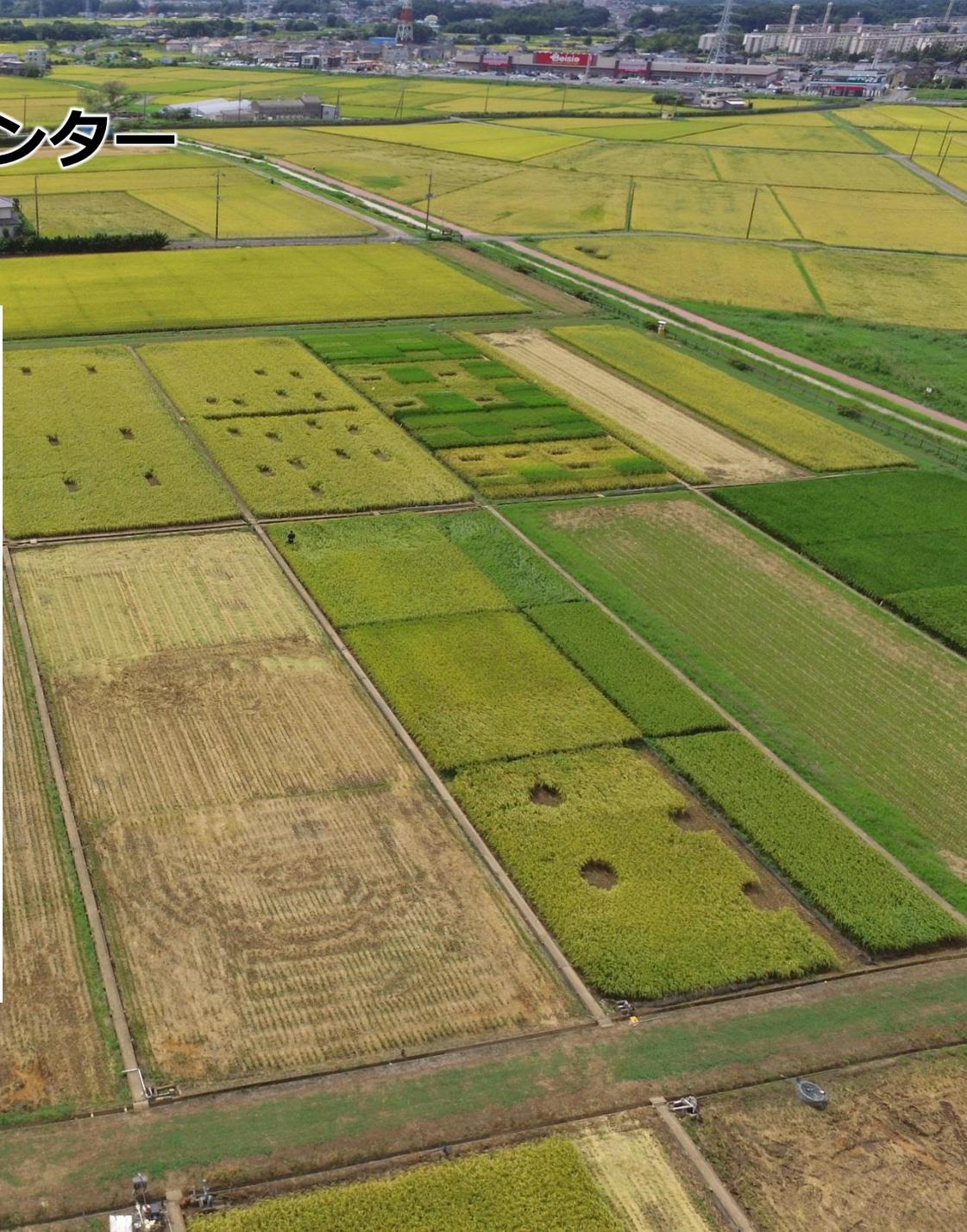
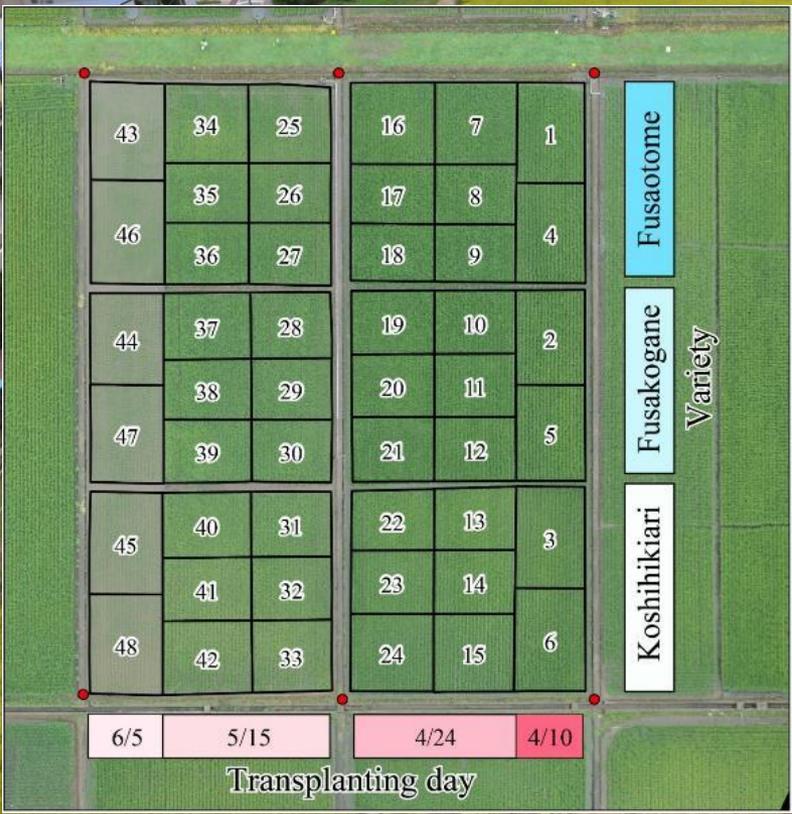


GIS（地理情報システム）上にデータ集積

ソフト：ArcGIS（有償）、QGIS（フリー）



千葉県農林総合研究センター





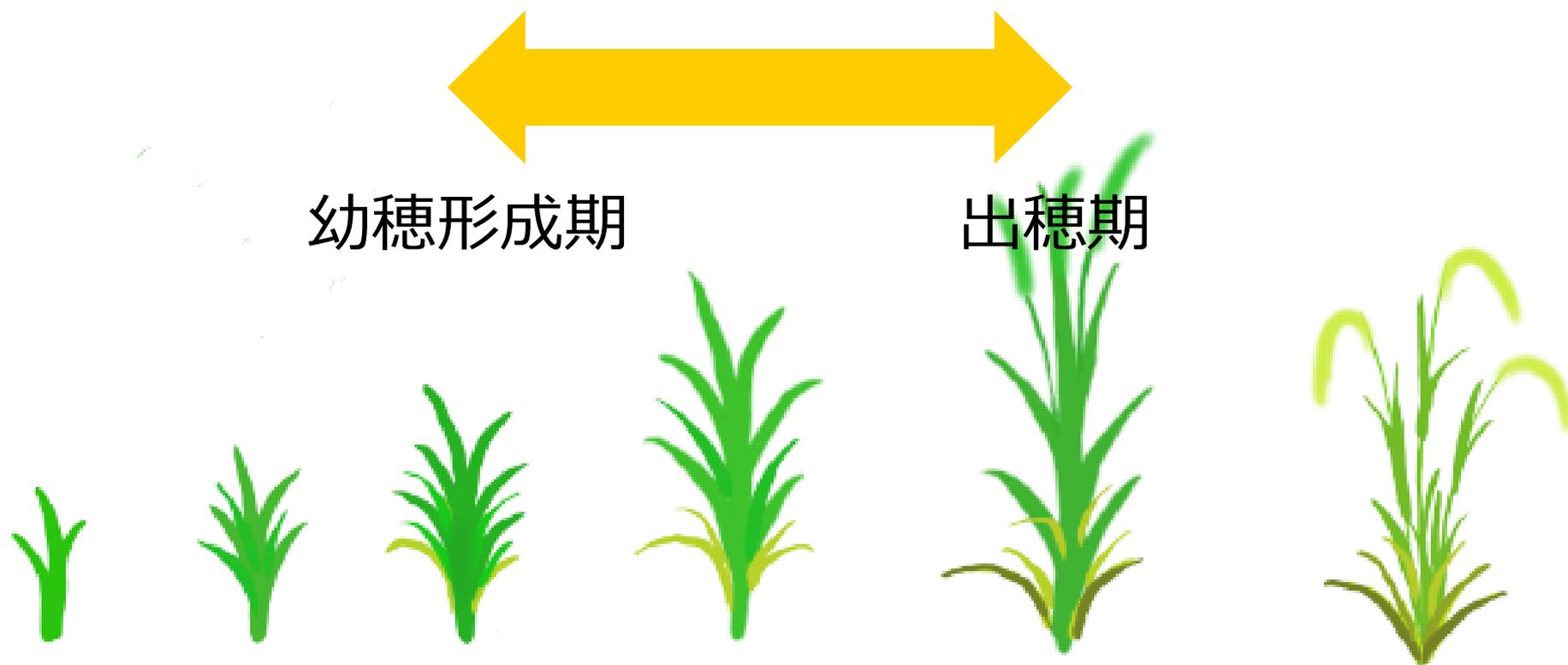
生育観測

草丈・LAI推定

生産者に重要な情報とは？

▶ 追肥（穂肥）の調整

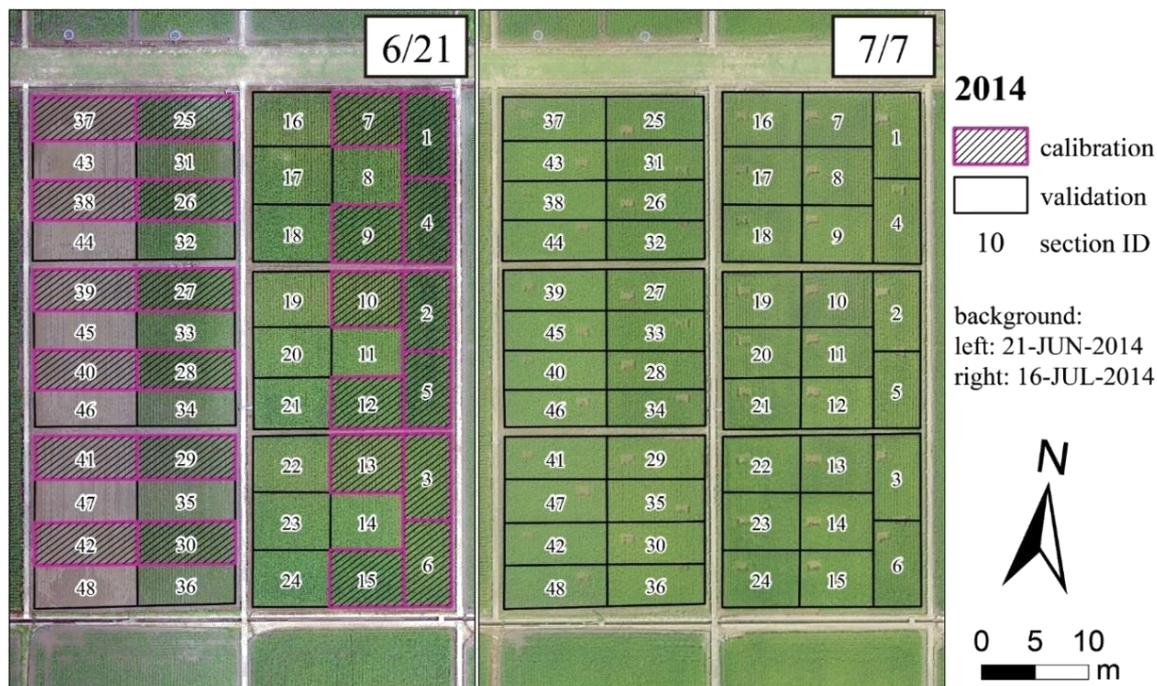
▶ 幼穂形成期～出穂期の生育量



草丈, LAIの推定 (田植え～出穂前を対象)

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

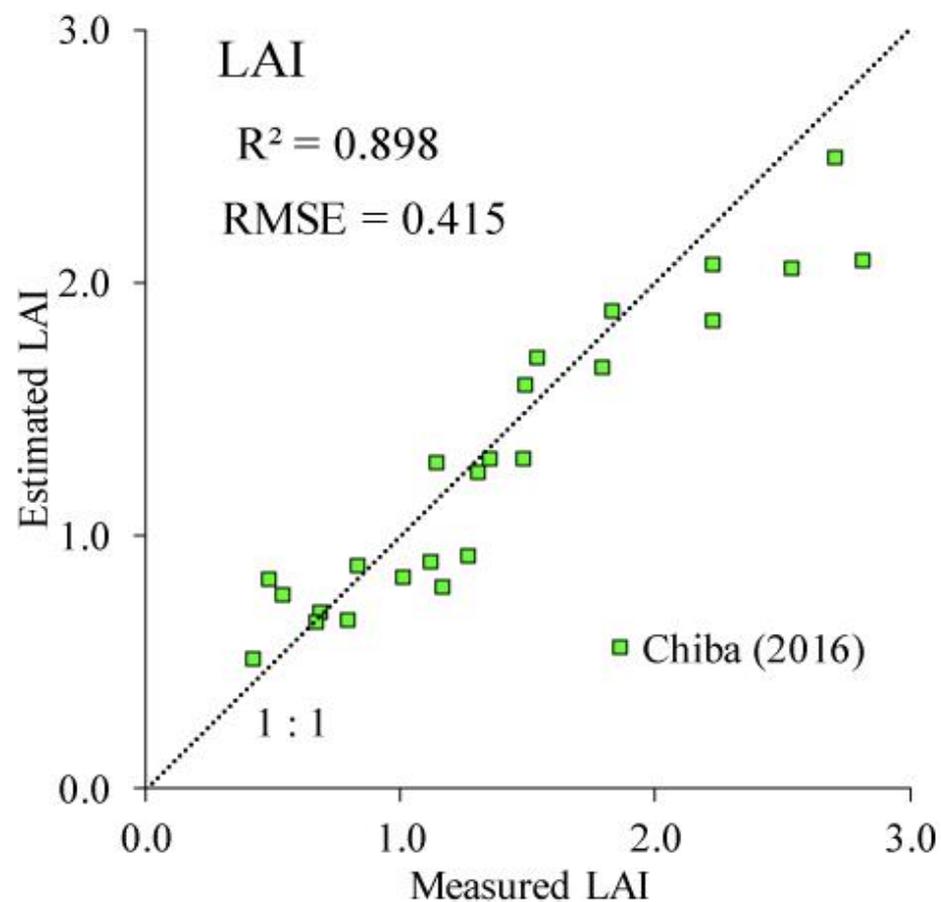
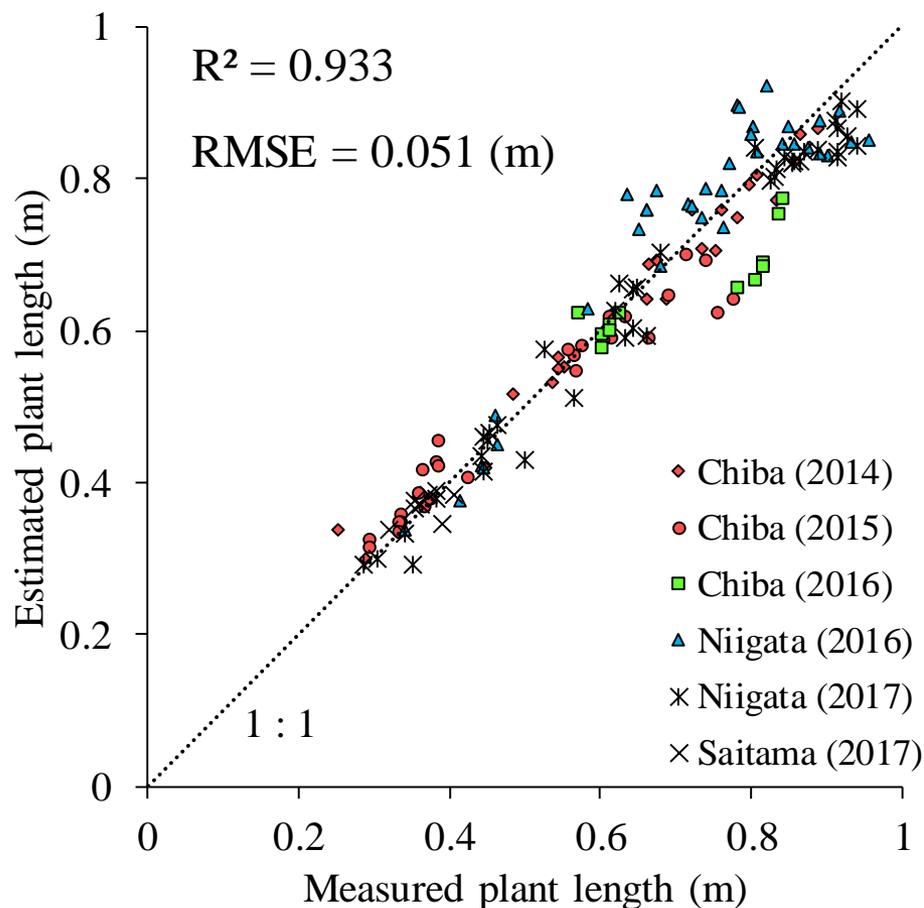
$$\text{草丈 or LAI} = a \cdot \text{NDVI} + b$$



草丈・LAI推定モデルの他年次，他地域での適用

▶ 多年次，他地域に同一の推定式を適用可

※推定式は，品種ごとに作成する必要性がある





倒伏予測

倒伏予測

(濱ほか, 2016, 田中&近藤, 2016)

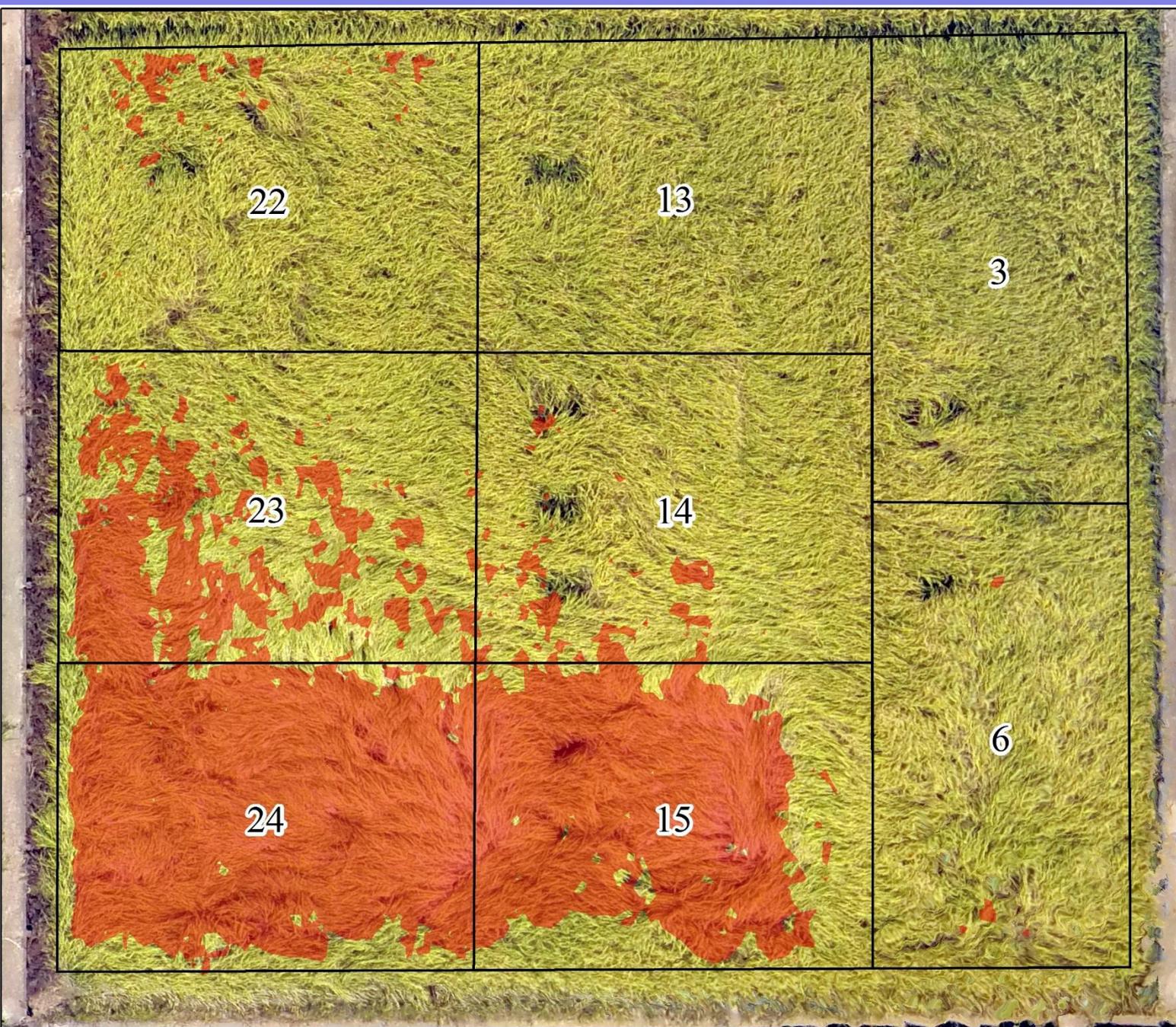
- ▶ コシヒカリは倒伏のリスク大
- ▶ 出穂前の草丈（稲の高さ）からリスクを評価できる
 - ① 幼穂形成期の草丈が70cm以上
 - ② 出穂前13～14日の草丈が84cm以上

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。





□ Compartment
■ Risk Area

Basemap:
orthophoto
2-JULY-2014





収量推定

収量と光合成

光合成



同化産物（炭水化物など）生産

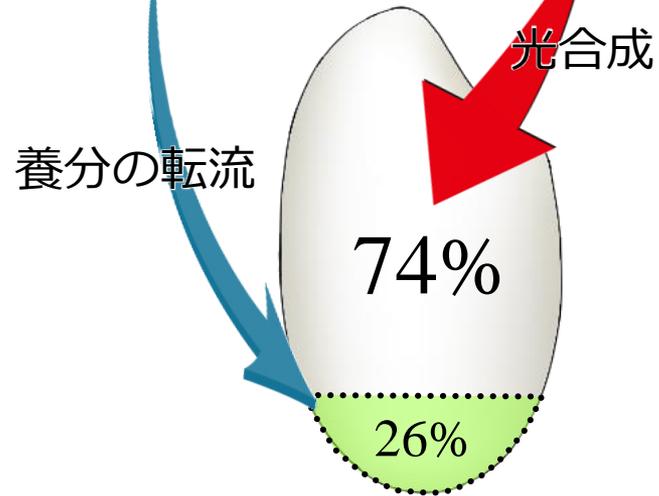
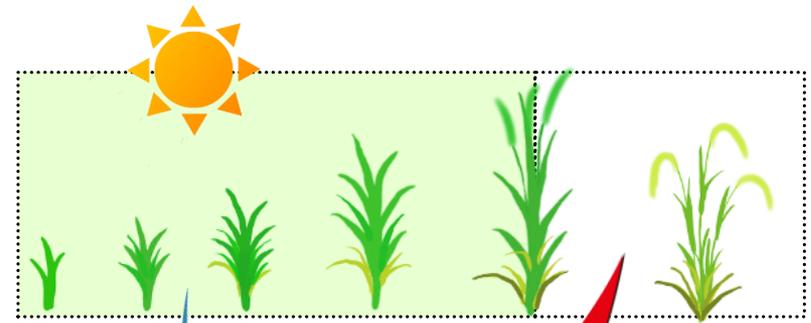
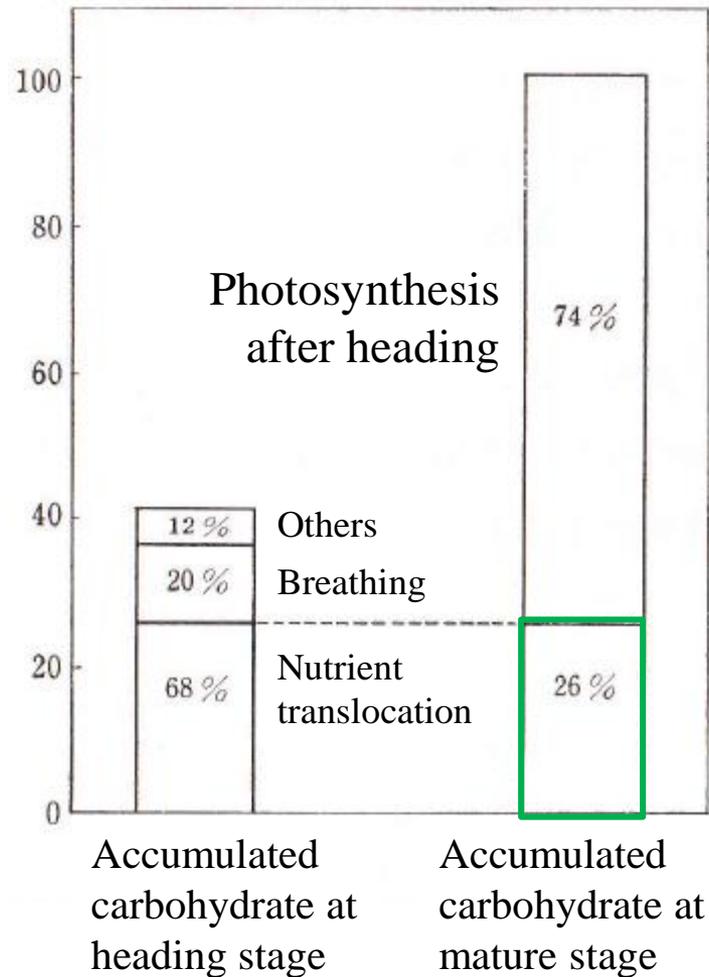
主に生長に使う

種籾の生成に使う

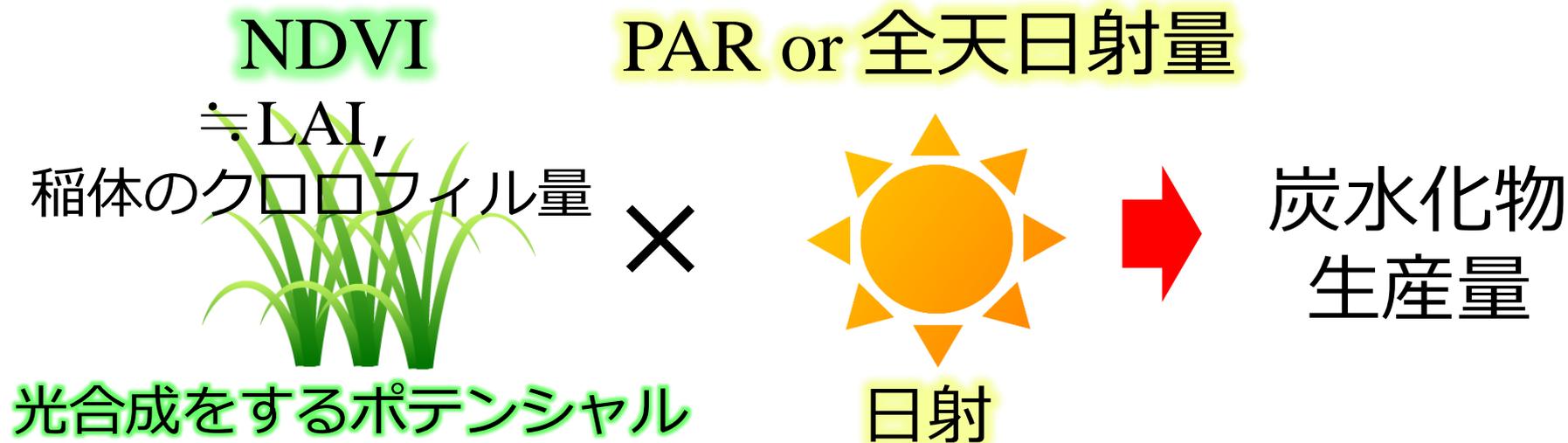


炭水化物の子実収量への貢献 (Cock and Yoshida, 1972)

Relative amount of carbohydrate in grain yield



→ 子実収量は概ね、
開花後の光合成で決まる。



収量とNDVI,日射データの関係

$$Y = a (\text{NDVI} \cdot \text{日射}) + b$$

Y : 収量(g/m²)

a, b : 回帰分析で得られる係数

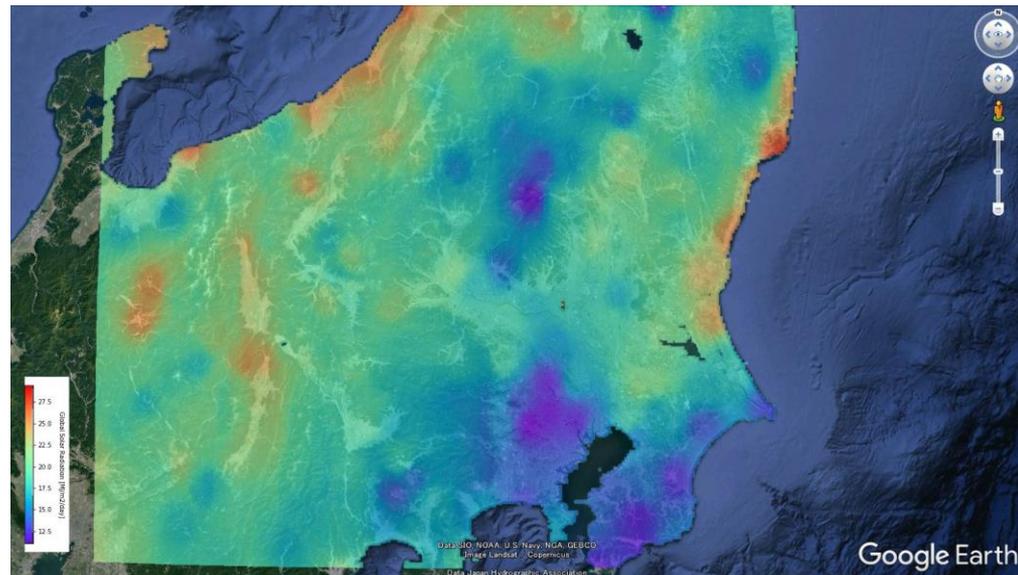
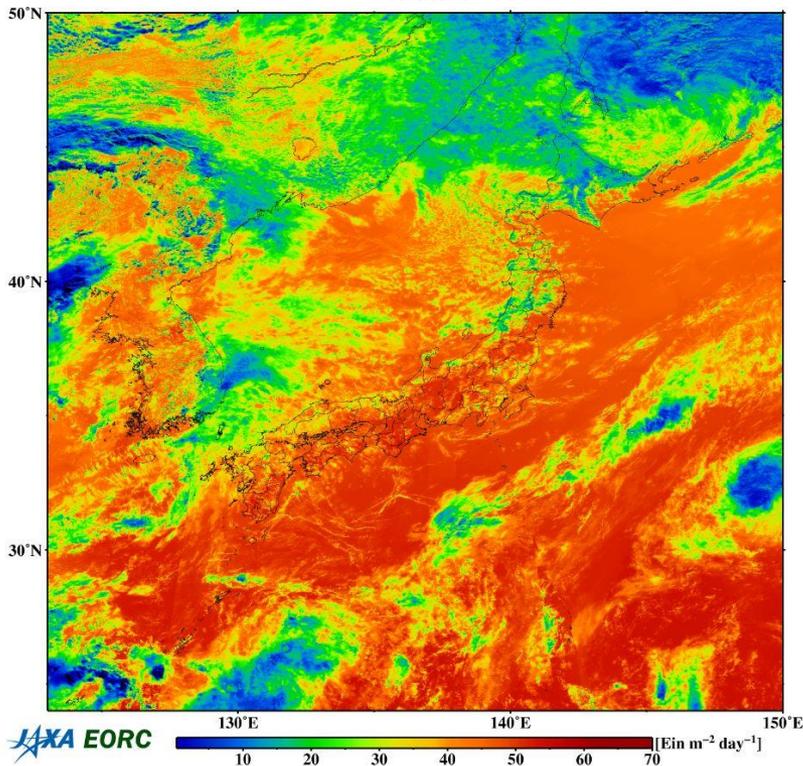
NDVI : 観測期間中のNDVI最大値 (出穂期のNDVI)

日射 : 出穂後, ○日のPARもしくは, 全天日射量の平均値

日射量 (衛星ベース, AMeDASベース)

- Aqua/MODIS Daily 1km resolution PAR product (JAXA)
 - ※ PAR : 光合成有効放射量
- 全天日射量 : 1kmメッシュ農業気象データ (農研機構)

MODIS / Photosynthetically Available Radiation
2016/09/10

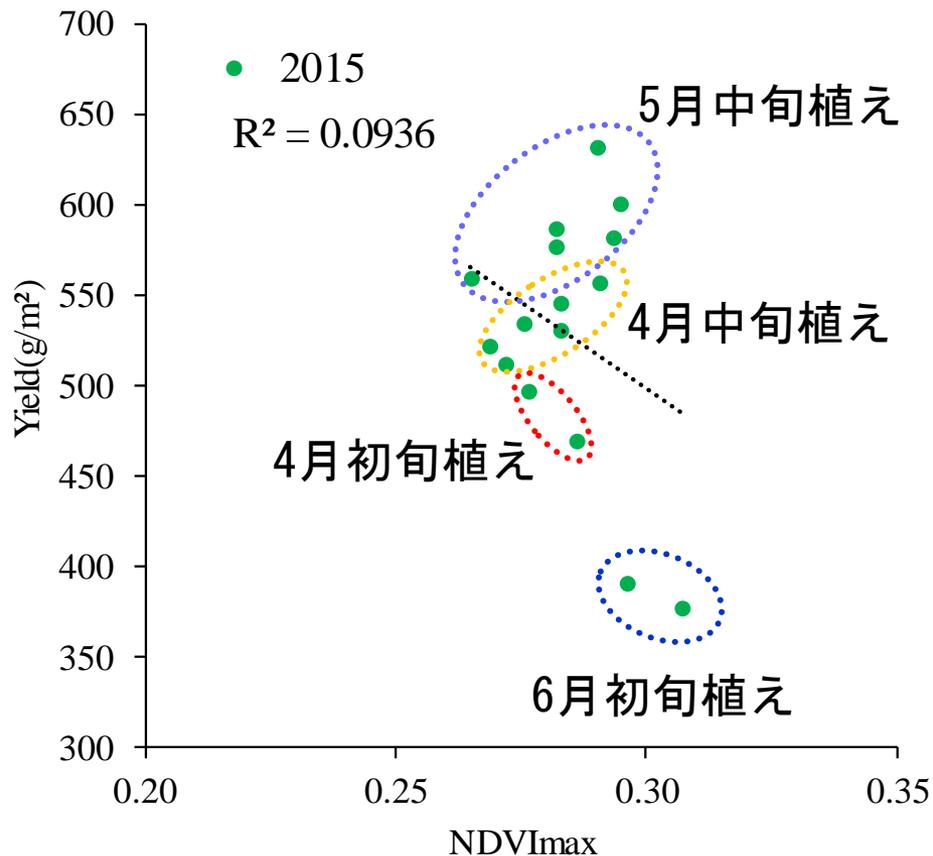


説明変数と収量の関係（コシヒカリ）

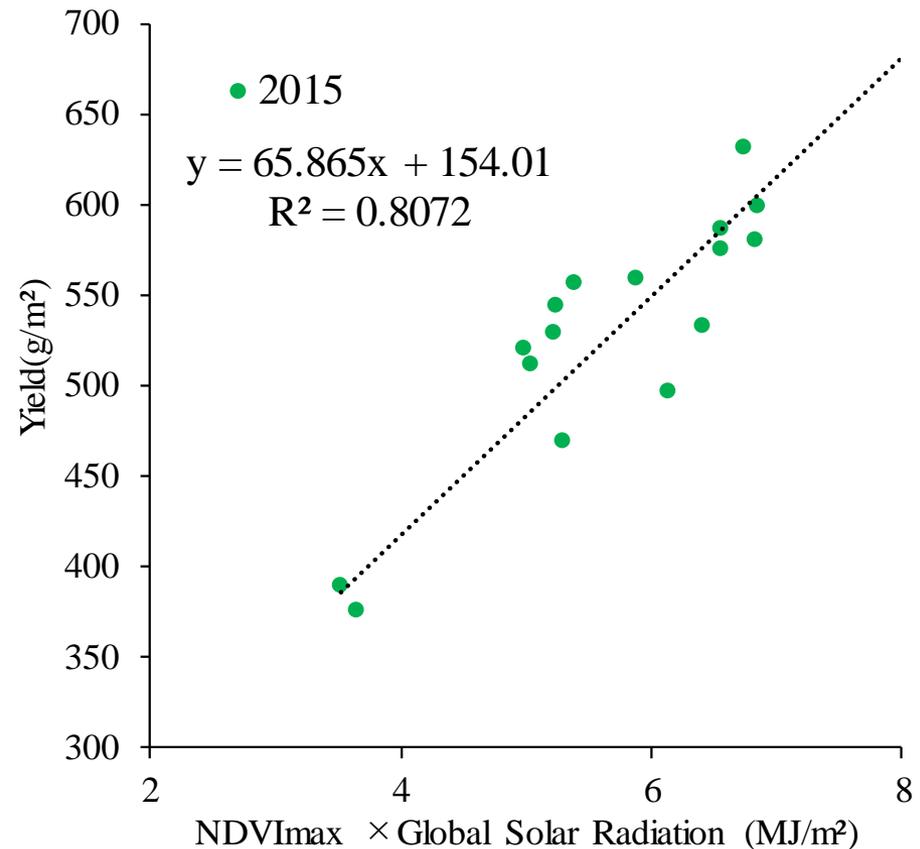
▶ NDVIのみと収量の相関は、**田植え時期の影響が大きい**

⇒ **生育期間の生育条件（特に日射量）が異なるため**

出穂期のNDVIのみ（従来）

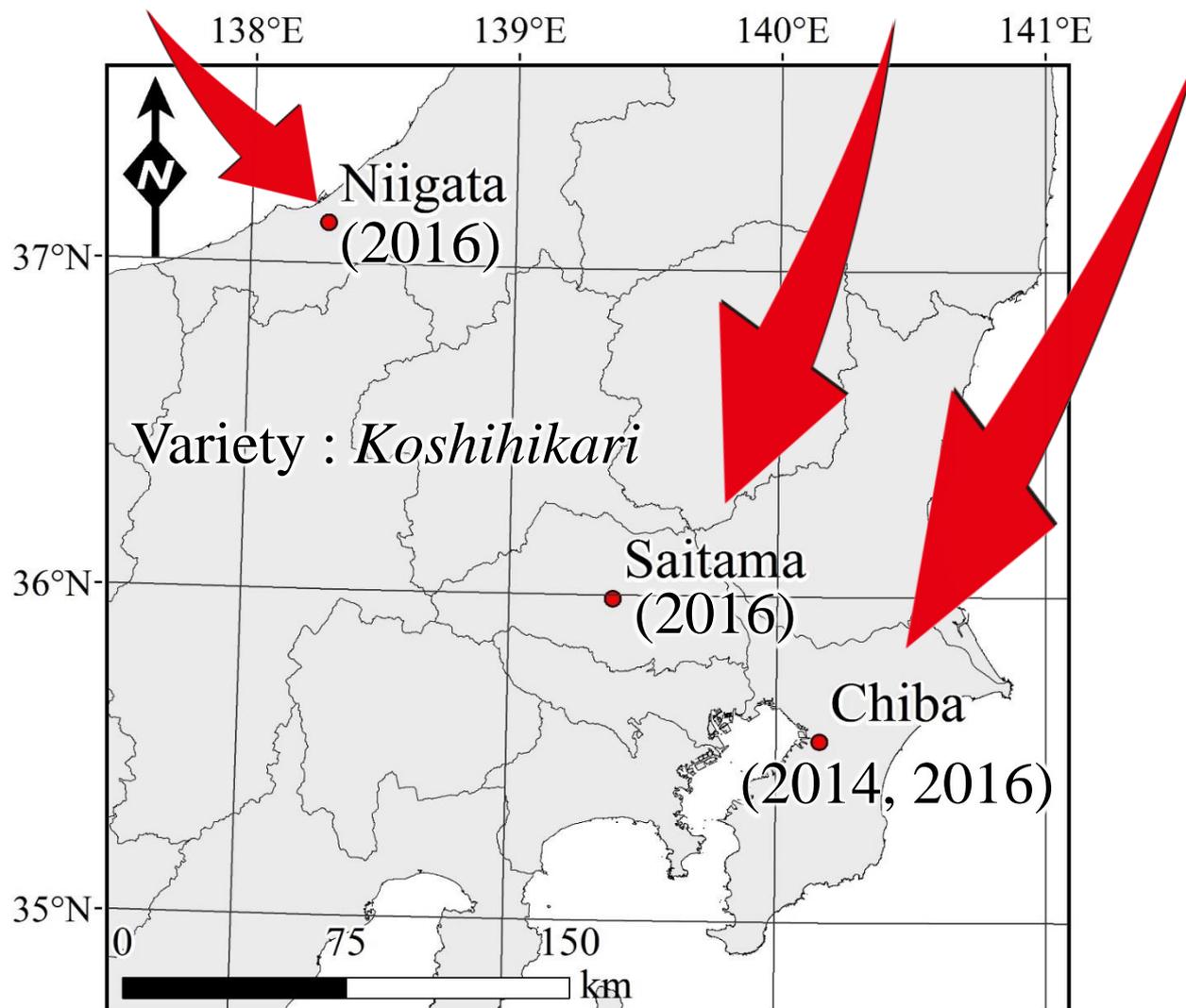


出穂期のNDVI × 日射量（本研究）



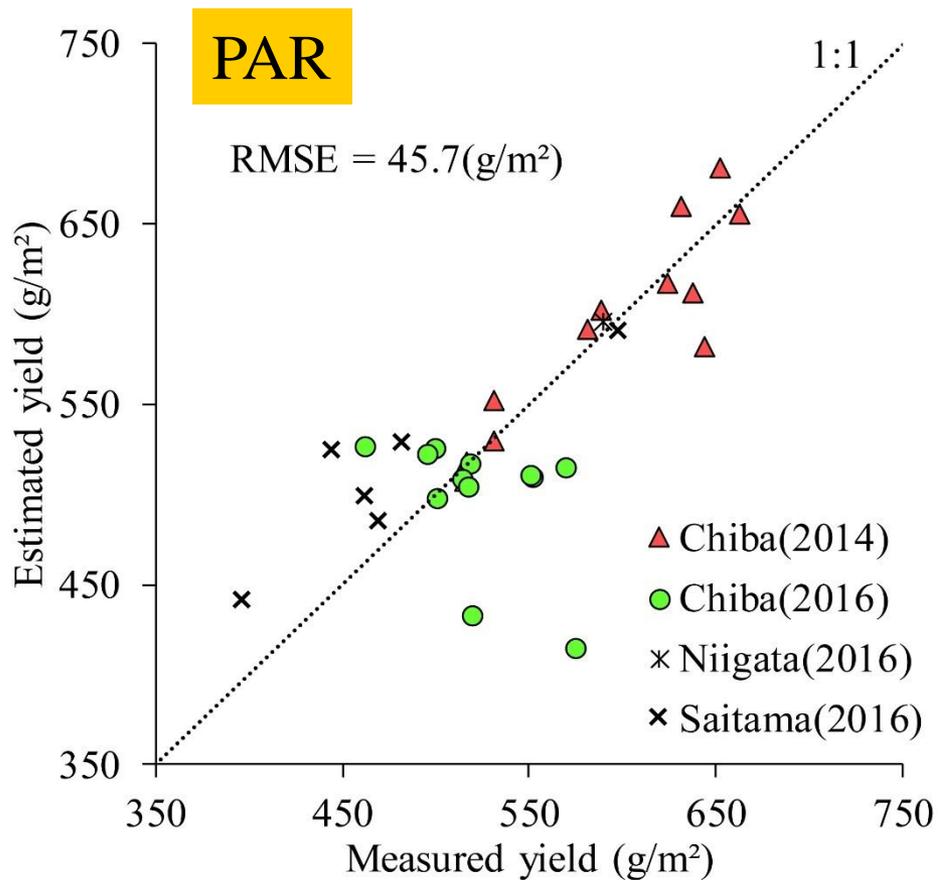
収量推定モデルの他地域, 他年次への適用

▶ 収量推定モデルは千葉での2015年観測結果をもとに導出

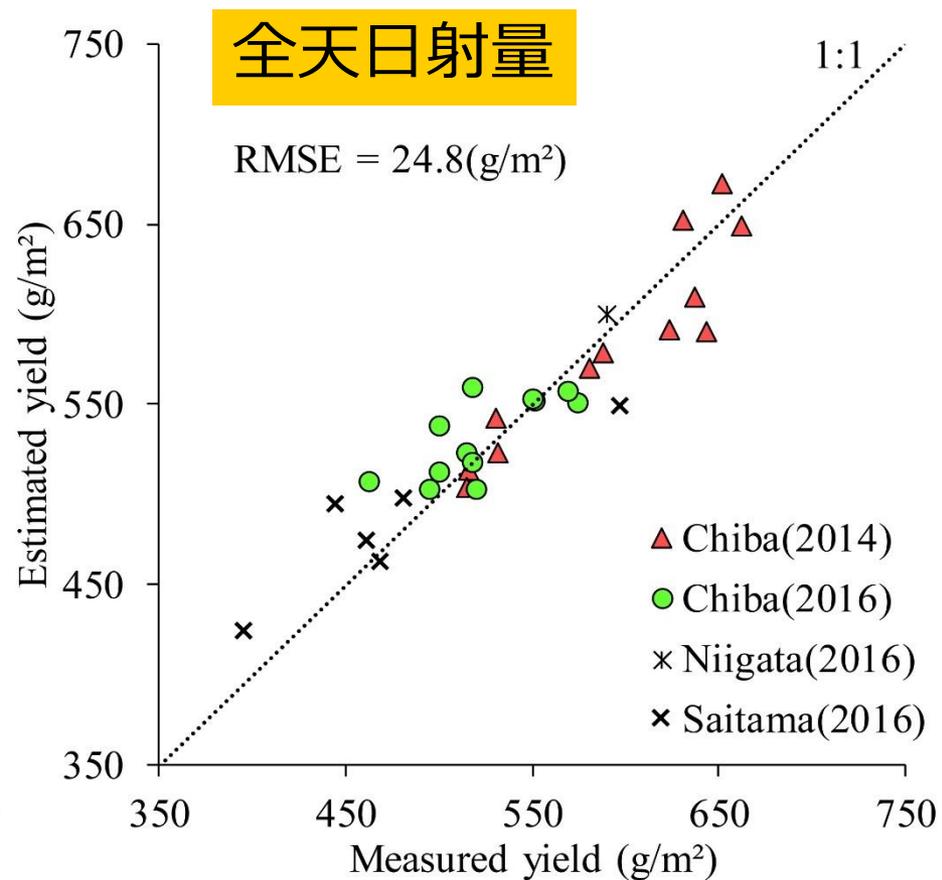


収量予測 (コシヒカリ)

- ▶ 他年次, 他地域に適用可能
- ▶ 全天日射量を用いた場合の方が推定精度が高い



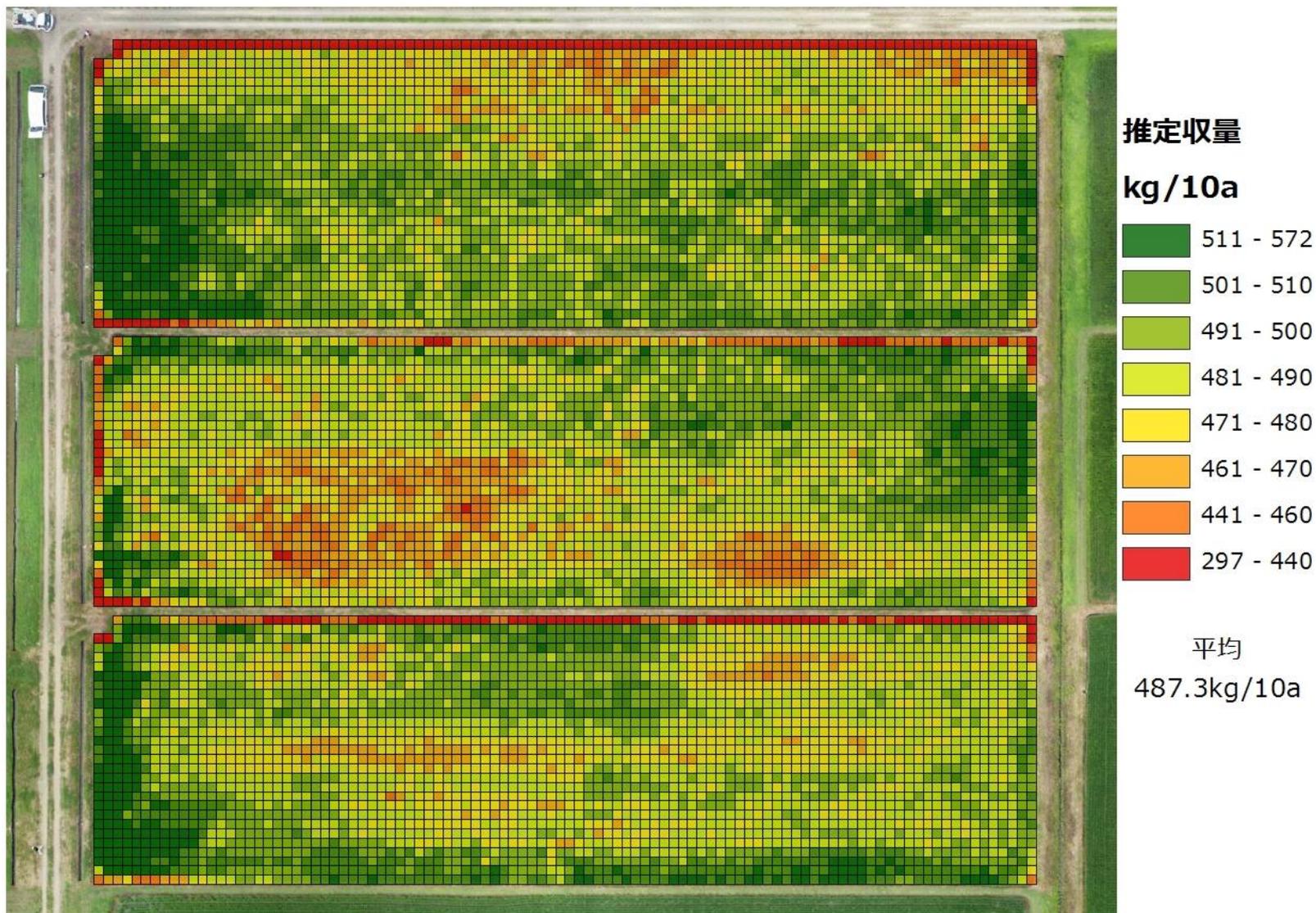
a) Yield estimation using PAR



b) Yield estimation using global solar radiation

収量推定マップ

➡ 出穂20日後には提供可能





タンパク含有率推定

タンパク含有率の推定

- 出穂期の窒素含有量が同量でも登熟期の気温が高いほどタンパク含有率は低くなる (大友ほか, 1992)



タンパク含有率推定式 (概念モデル)

タンパク含有と植生指数の関係

気温の影響を評価

$$PC = (a \cdot NDVI + b) - (c \cdot T)$$

PC : タンパク含有率 (%)

a, b, c : 重回帰分析で得られる係数

NDVI : 観測期間中のNDVI最大値 (出穂期のNDVI)

T : 出穂後, ○日の平均気温

生育ステージの影響を小さくするため

タンパク含有率の推定

$$\text{タンパク含有率} = (15.48 \cdot \text{NDVI} + 4.64) - (0.094 \cdot \text{平均気温})$$

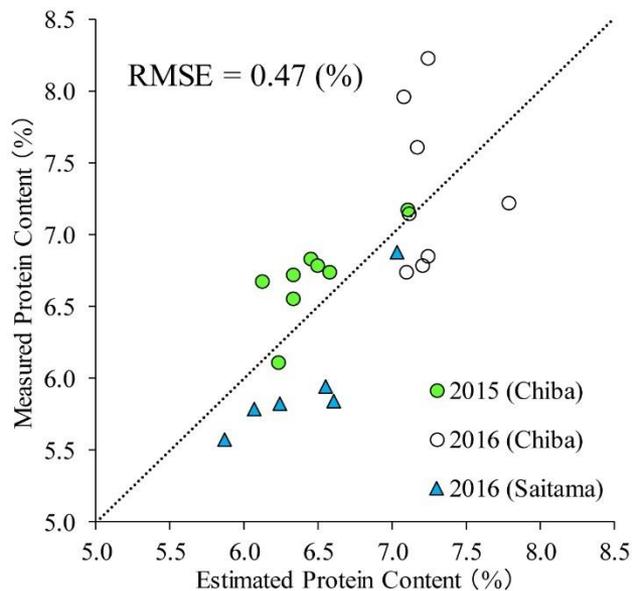
- 他年次, 他地域に推定モデルを適用

(コシヒカリ)

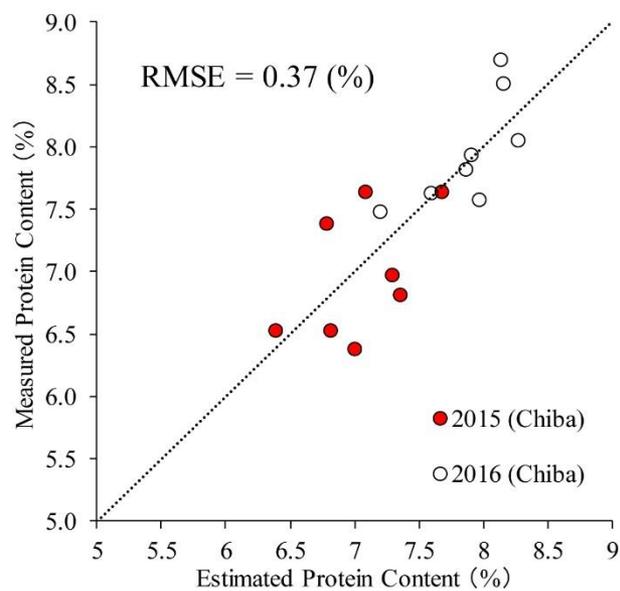
- 出穂期のNDVI
- 出穂後5~20日の平均気温

- 推定精度は, 5~7%の誤差

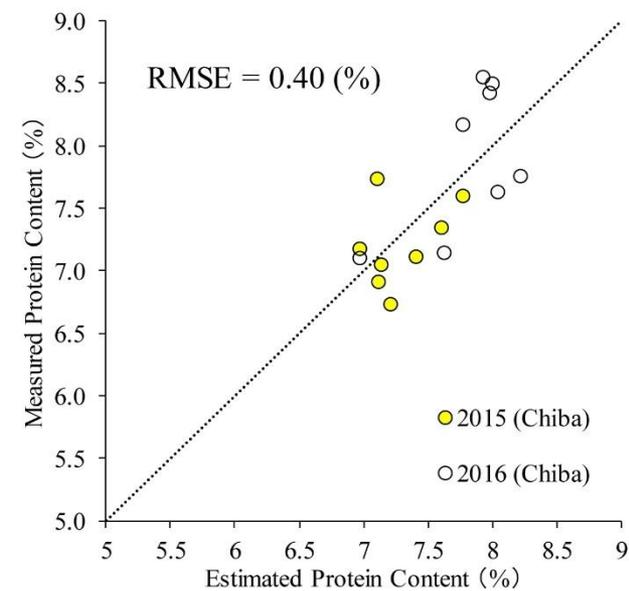
コシヒカリ



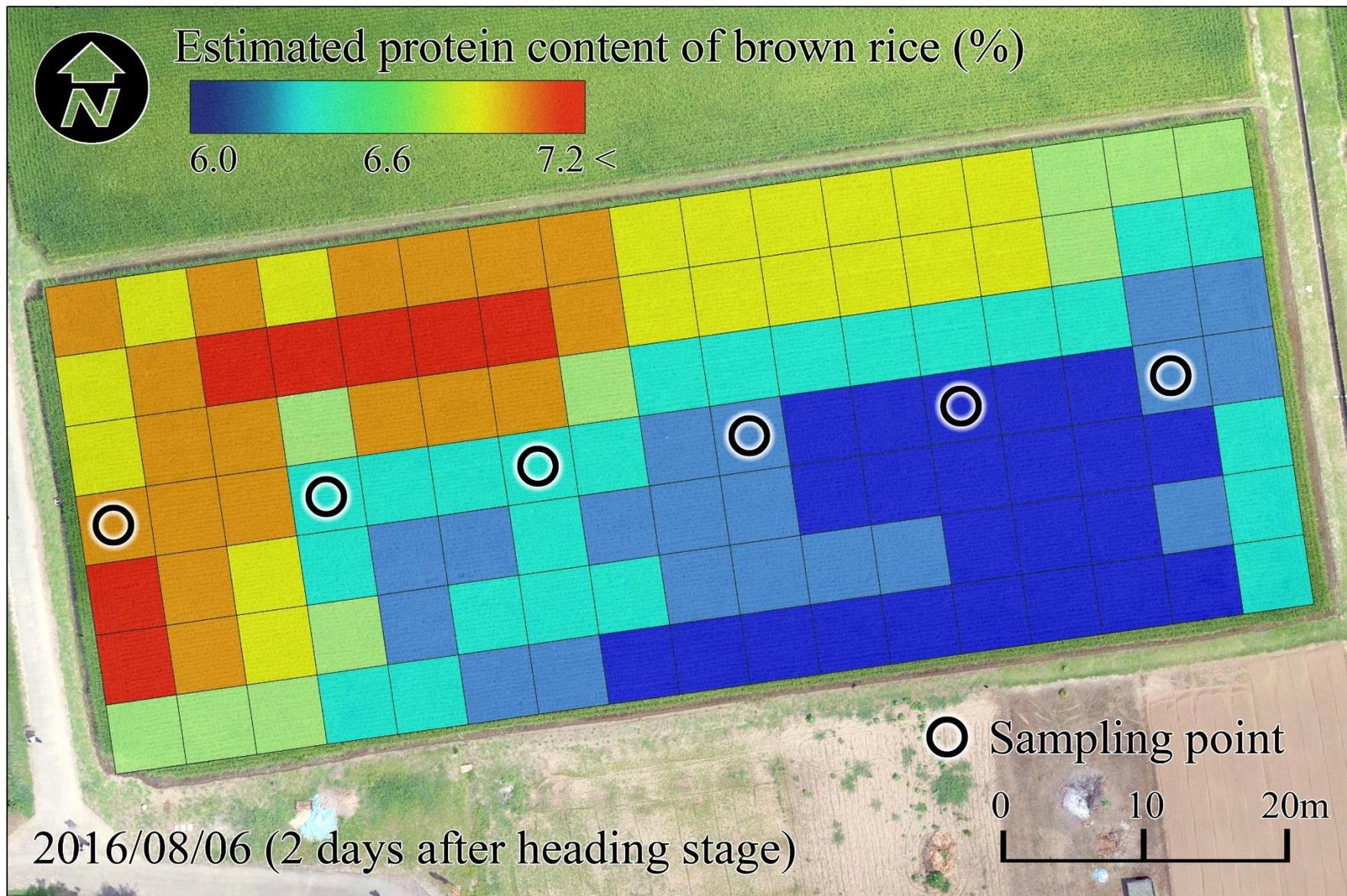
ふさおとめ



ふさこがね



タンパク含有率推定





收穫適期予測
葉色推定

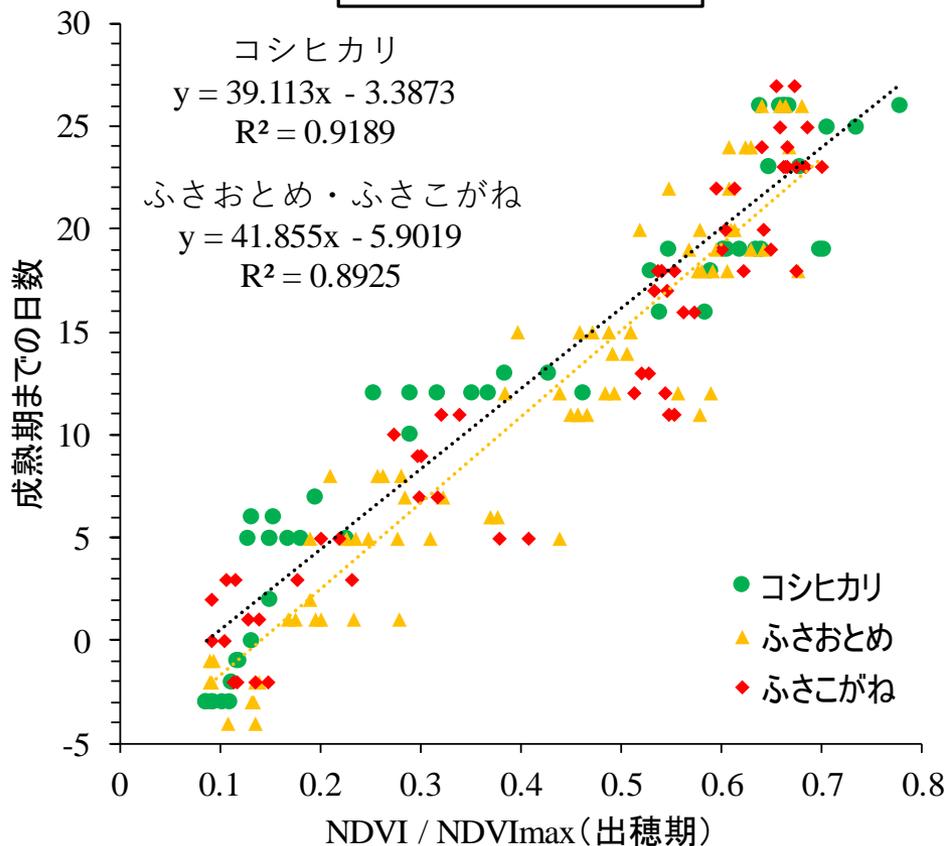
収穫適期予測・葉色推定（登熟期：出穂～成熟）

NDVI ⇒ 草丈×莖数×葉色 = 稲体クロロフィル量が影響している

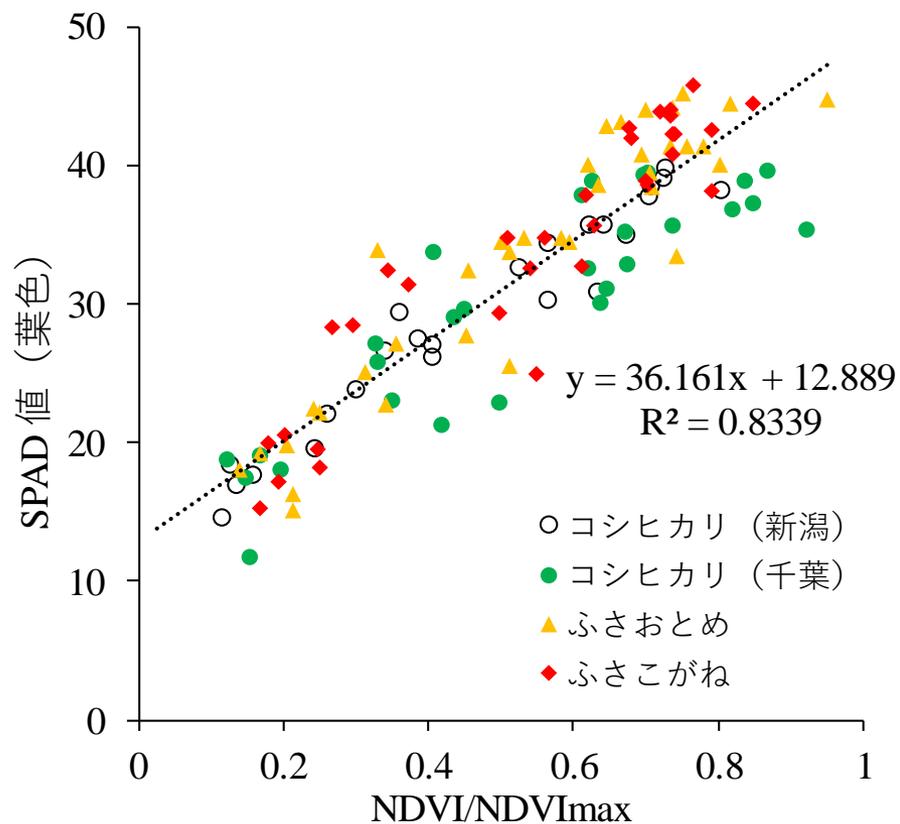
▶ 登熟期のNDVI ÷ 出穂期のNDVI

⇒ 葉色をより反映し，登熟期の葉色を推定，評価できる。

収穫適期予測



葉色推定



余談：カメラの話 4年間の観測での気付き

● 結局、どのカメラ（センサー）を使えば良いのか？

⇒ 業界的、最大の課題！

Yubaflex : Bizworks



RedEdge : MicaSense



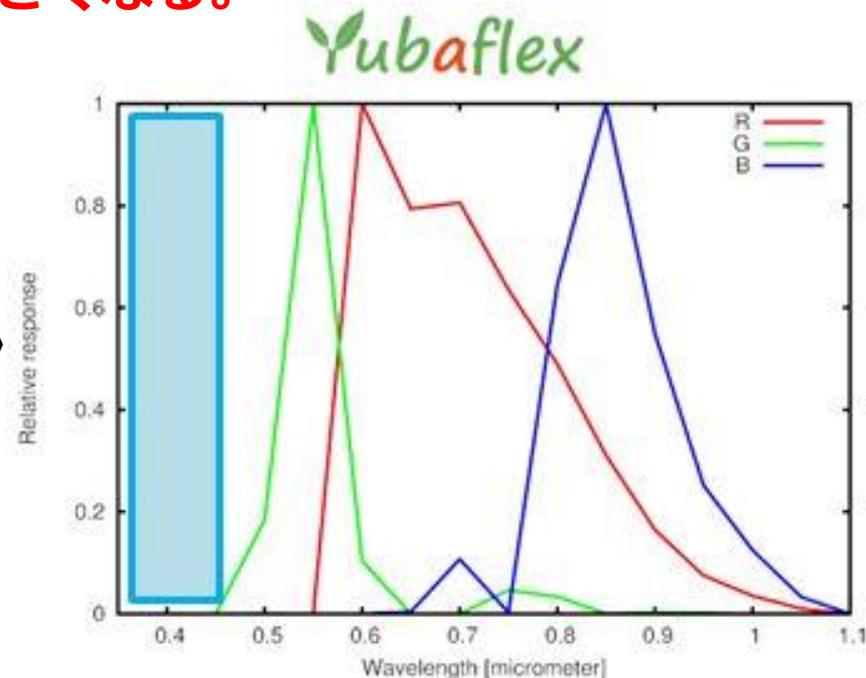
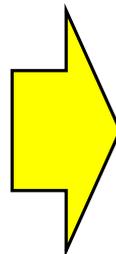
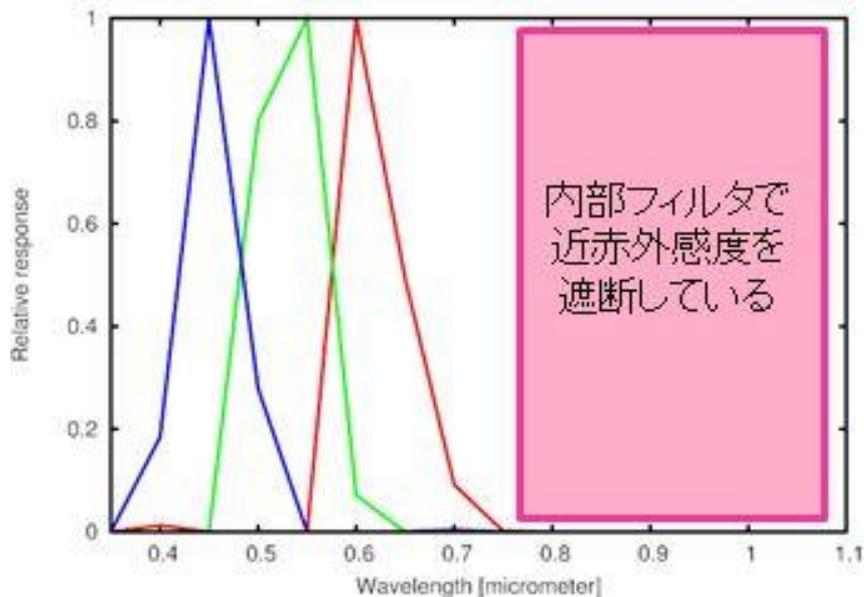
	Yubaflex (BIZWORKS)	RedEdge (MicaSense)
価格	27万円	90万円
使いやすさ	◎	△
画角	○	△
解像度	○	△
画像の鮮明さ (ブレ)	△	◎
ファイルサイズ	△	○
画像処理時間	△	◎

Yubaflex (近赤外カメラ BIZWORKS社)

- ▶ 改造カメラ：緑・赤・近赤外が同時に撮影可能
- ▶ 付属ソフトで放射輝度に変換可能

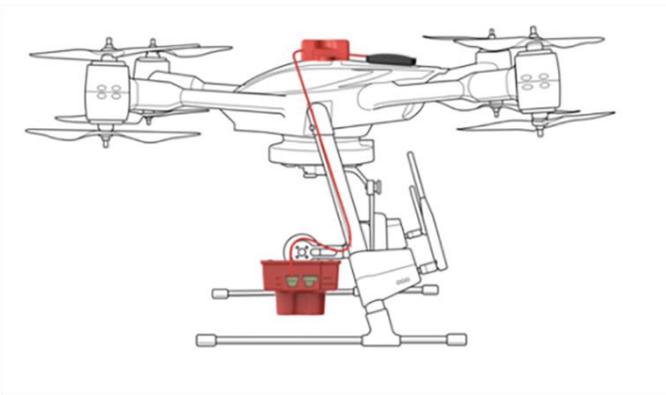
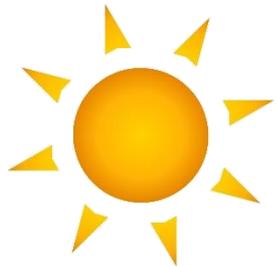
※赤では近赤外も評価している。

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。



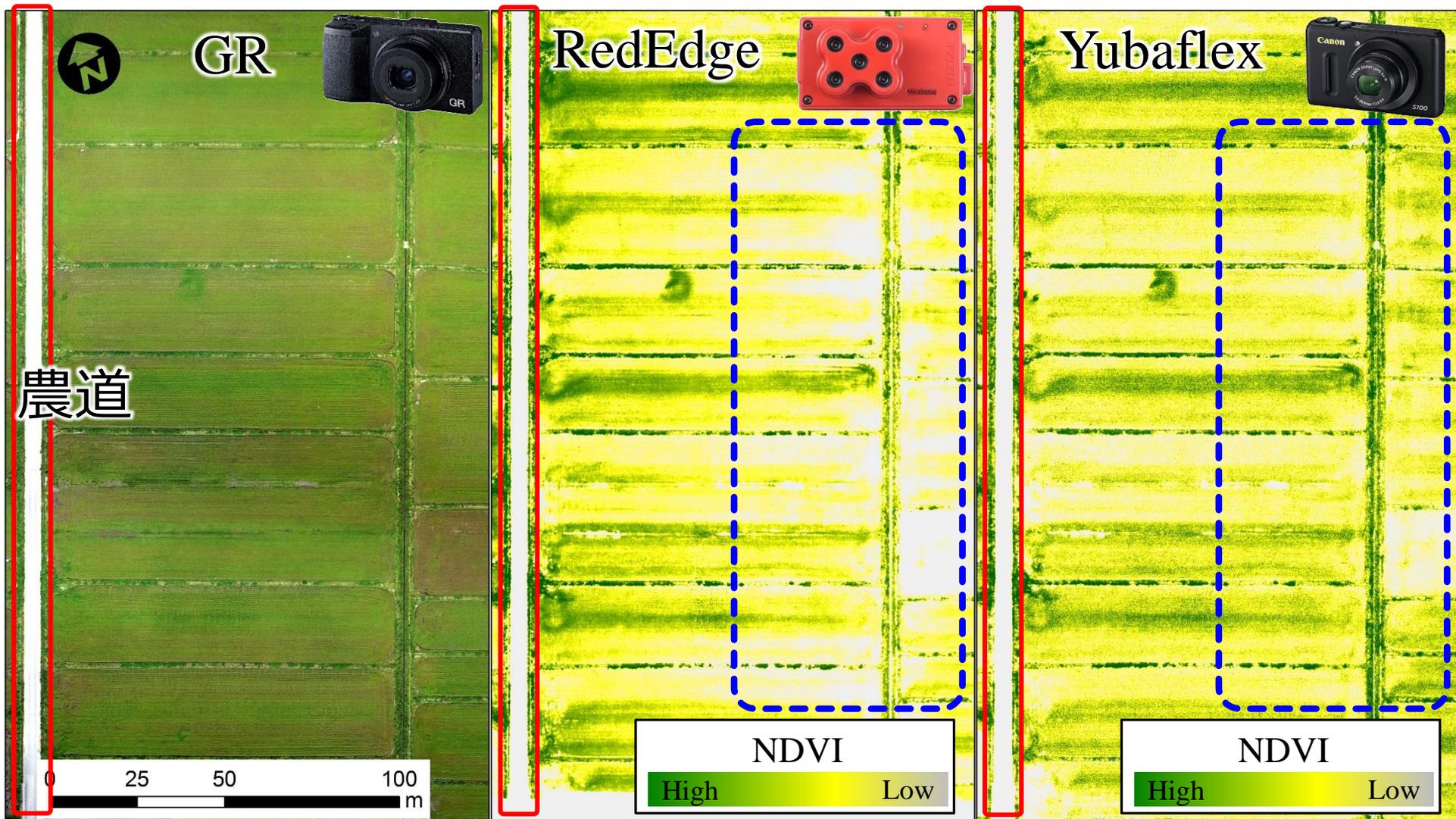
RedEdge (マルチスペクトルカメラ MicaSense社)

- ▶ 青・緑・赤・近赤外・レッドエッジが同時に撮影可能
- ▶ 照度センサーで画像を正規化 (反射率に変換)



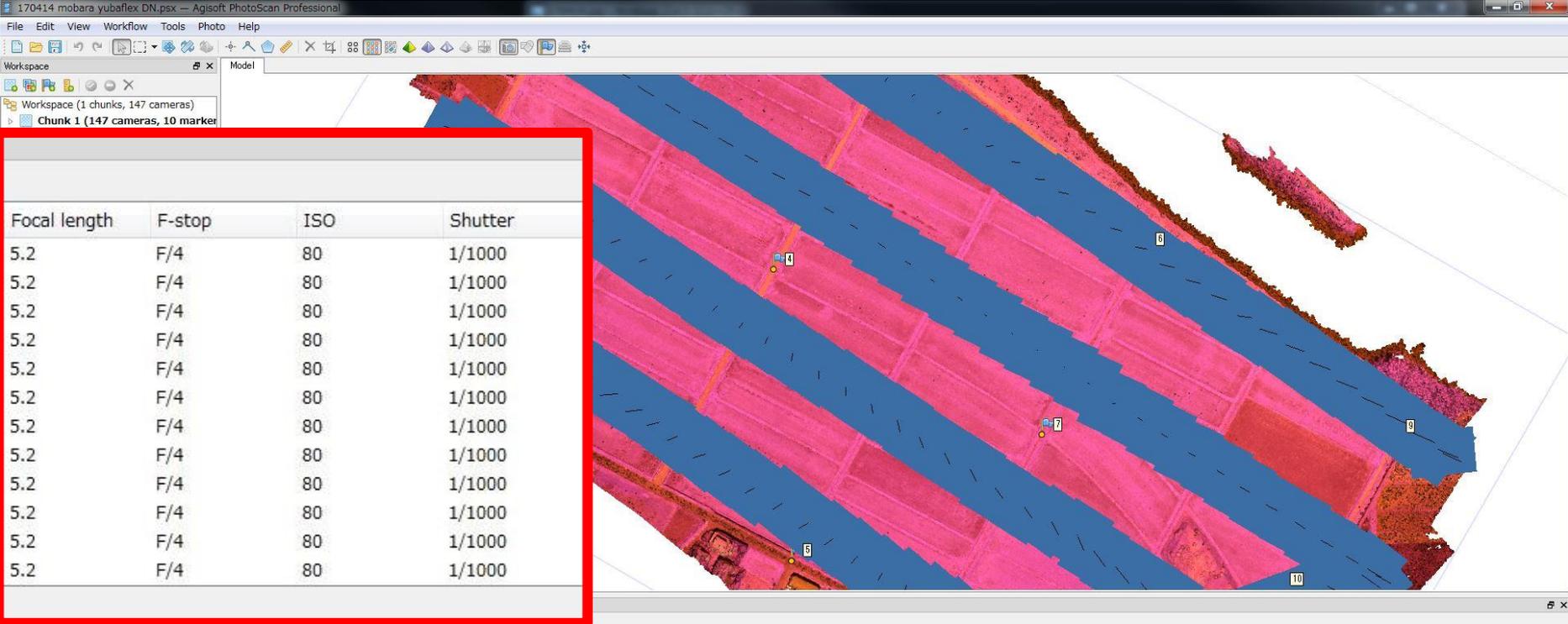
観測結果

▶ RedEdgeとYubaflexのNDVI分布に差がある



撮影画像の設定の変化について (Yubaflex)

▶ 快晴条件下では，設定は変化していない。



The screenshot shows the Agisoft PhotoScan Professional interface. A 3D model of a field is visible in the background, with several camera positions marked with numbered icons (4, 5, 6, 7, 8, 9, 10). A red-bordered table is overlaid on the left side of the interface, displaying camera settings for 14 images. The settings are consistent across all images, indicating stable conditions.

Focal length	F-stop	ISO	Shutter
5.2	F/4	80	1/1000
5.2	F/4	80	1/1000
5.2	F/4	80	1/1000
5.2	F/4	80	1/1000
5.2	F/4	80	1/1000
5.2	F/4	80	1/1000
5.2	F/4	80	1/1000
5.2	F/4	80	1/1000
5.2	F/4	80	1/1000
5.2	F/4	80	1/1000
5.2	F/4	80	1/1000
5.2	F/4	80	1/1000
5.2	F/4	80	1/1000
5.2	F/4	80	1/1000

Label	Size	Aligned	Quality	Date & time	Make	Model	Focal length	F-stop	ISO	Shutter	35mm focal	Sensor X res	Sensor Y res	Orientation (deg)
IMG_5384...	4000x3000	✓		2017:04:14 1...	Canon	Canon Power...	5.2	F/4	80	1/1000		537.475	536.865	0
IMG_5385...	4000x3000	✓		2017:04:14 1...	Canon	Canon Power...	5.2	F/4	80	1/1000		537.475	536.865	0
IMG_5386...	4000x3000	✓		2017:04:14 1...	Canon	Canon Power...	5.2	F/4	80	1/1000		537.475	536.865	0
IMG_5387...	4000x3000	✓		2017:04:14 1...	Canon	Canon Power...	5.2	F/4	80	1/1000		537.475	536.865	0
IMG_5388...	4000x3000	✓		2017:04:14 1...	Canon	Canon Power...	5.2	F/4	80	1/1000		537.475	536.865	0
IMG_5389...	4000x3000	✓		2017:04:14 1...	Canon	Canon Power...	5.2	F/4	80	1/1000		537.475	536.865	0
IMG_5390...	4000x3000	✓		2017:04:14 1...	Canon	Canon Power...	5.2	F/4	80	1/1000		537.475	536.865	0
IMG_5391...	4000x3000	✓		2017:04:14 1...	Canon	Canon Power...	5.2	F/4	80	1/1000		537.475	536.865	0
IMG_5392...	4000x3000	✓		2017:04:14 1...	Canon	Canon Power...	5.2	F/4	80	1/1000		537.475	536.865	0
IMG_5393...	4000x3000	✓		2017:04:14 1...	Canon	Canon Power...	5.2	F/4	80	1/1000		537.475	536.865	0
IMG_5394...	4000x3000	✓		2017:04:14 1...	Canon	Canon Power...	5.2	F/4	80	1/1000		537.475	536.865	0
IMG_5395...	4000x3000	✓		2017:04:14 1...	Canon	Canon Power...	5.2	F/4	80	1/1000		537.475	536.865	0

撮影画像の設定の変化について (RedEdge)

▶ 快晴条件下だが、シャッタースピードが変化している

※RedEdgeはシャッタースピードでゲインを調整する

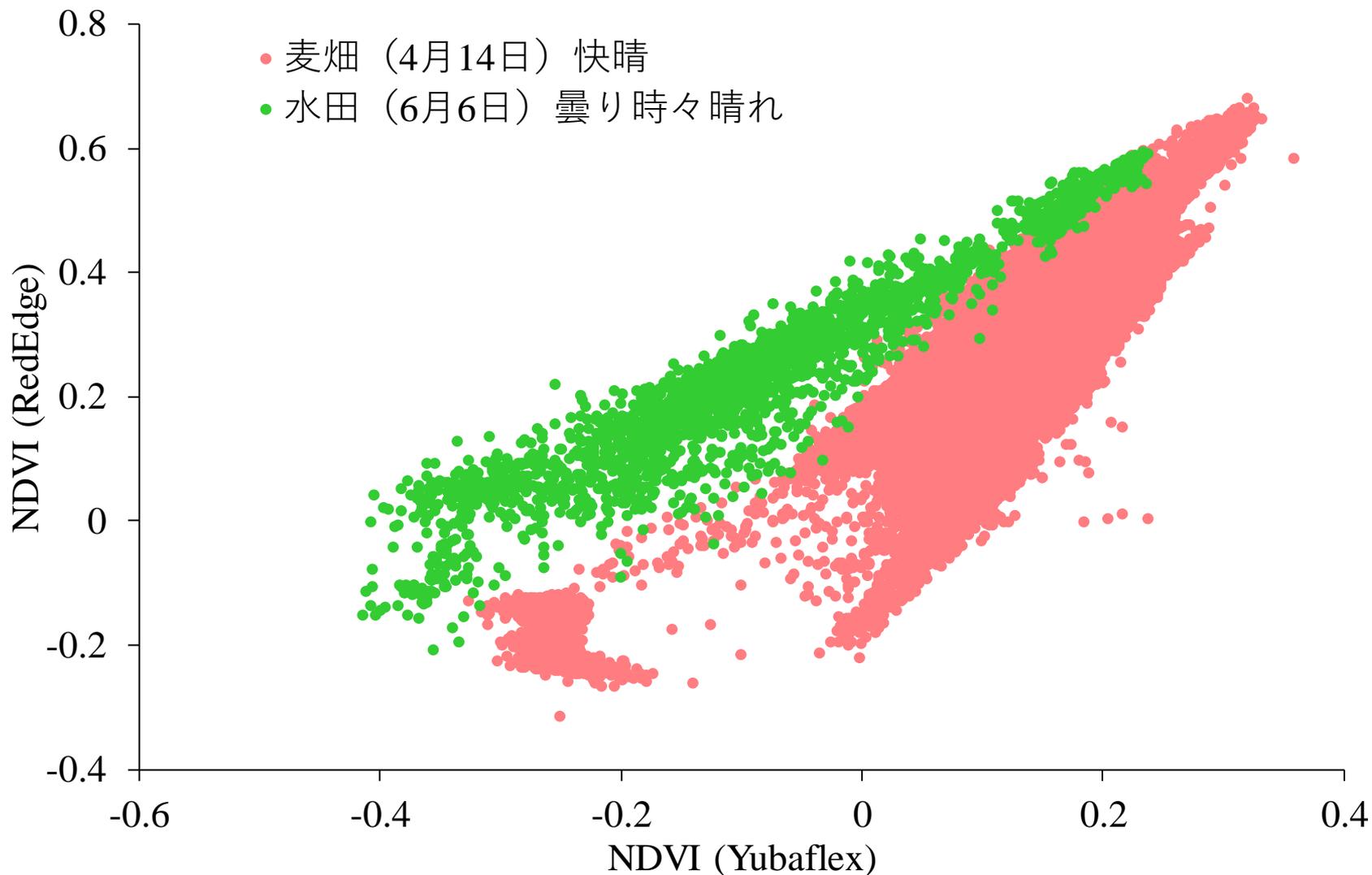
The screenshot shows the Agisoft PhotoScan Professional interface. The main window displays a 3D model of a field with blue flight paths. A table in the foreground lists camera settings for various images, highlighting changes in shutter speed. The table is highlighted with a red border.

Focal length	F-stop	ISO	Shutter
5.5	F/2.8		1/838.223
5.5	F/2.8		1/838.223
5.5	F/2.8		1/555.556
5.5	F/2.8		1/1307.19
5.5	F/2.8		1/617.284
5.5	F/2.8		1/529.101
5.5	F/2.8		1/906.618

Label	Size	Aligned	Quality	Date & time	Make	Model	Focal length	F-stop	ISO	Shutter	35mm focal	Sensor X res	Sensor Y res	Orientation (deg)
IMG_0000...	1280x960	✓		2017:04:14 0...	MicaSense	RedEdge	5.5	F/2.8		1/838.223		266.667	266.667	0
IMG_0001...	1280x960	✓		2017:04:14 0...	MicaSense	RedEdge	5.5	F/2.8		1/838.223		266.667	266.667	0
IMG_0002...	1280x960	✓		2017:04:14 0...	MicaSense	RedEdge	5.5	F/2.8		1/555.556		266.667	266.667	0
IMG_0003...	1280x960	✓		2017:04:14 0...	MicaSense	RedEdge	5.5	F/2.8		1/1307.19		266.667	266.667	0
IMG_0004...	1280x960	✓		2017:04:14 0...	MicaSense	RedEdge	5.5	F/2.8		1/617.284		266.667	266.667	0
IMG_0005...	1280x960	✓		2017:04:14 0...	MicaSense	RedEdge	5.5	F/2.8		1/617.284		266.667	266.667	0
IMG_0006...	1280x960	✓		2017:04:14 0...	MicaSense	RedEdge	5.5	F/2.8		1/617.284		266.667	266.667	0
IMG_0007...	1280x960	✓		2017:04:14 0...	MicaSense	RedEdge	5.5	F/2.8		1/617.284		266.667	266.667	0
IMG_0008...	1280x960	✓		2017:04:14 0...	MicaSense	RedEdge	5.5	F/2.8		1/617.284		266.667	266.667	0
IMG_0009...	1280x960	✓		2017:04:14 0...	MicaSense	RedEdge	5.5	F/2.8		1/617.284		266.667	266.667	0
IMG_0010...	1280x960	✓		2017:04:14 0...	MicaSense	RedEdge	5.5	F/2.8		1/529.101		266.667	266.667	0
IMG_0011...	1280x960	✓		2017:04:14 0...	MicaSense	RedEdge	5.5	F/2.8		1/906.618		266.667	266.667	0

RedEdge vs Yubaflex

- RedEdgeでは天候に変化がない場合でもEV値が一定になっておらず、NDVIが**撮影した画像の明るさ（EV値）**に左右される。



UAVリモセンが可能にしたこと

▶ On-demand remote sensing

⇒センサー次第で好きなようにデータがとれる。

▶ フィールドレベルの知識とリモセンデータの統合・解釈

⇒この点に, UAVリモセンの可能性がある。



最少限のフライト回数

4回

① 田植え前（4月下旬）

✓ 圃場の均平化，基準面測量

② 幼穂形成期～出穂期（7月初旬～中旬）

✓ 生育むらの計測，倒伏予測

③ 出穂期（7月下旬～8月初旬）

✓ 収量推定，食味（タンパク含有率）推定

④ 登熟期（8月中旬以降～）

✓ 収穫適期の決定（葉色推定）

最後に

本研究で導出された推定モデル・モニタリング手法

➡いずれもシンプルなモデル・手法

他年次，他地域で適用することができた。

簡易な手法で運用可能で，迅速かつある程度の精度を確保できる点で優位性がある。



埼玉での協働 ～新規就農者とともに～



<http://dronerice.jp/> にて購入可能 5kg 3,100円

天視の米：新潟コシヒカリ（ネット販売なし）



ホームページ

キーワード：水稲， UAV， モニタリング， 濱尻で検索



Google 翻訳 on-demand-agri-rs

保護された通信 | https://a4k4i8r8a.wixsite.com/on-demand-agri-rs

アプリ Google Search Console Search Console - ホ JASMES Portal TOP 千葉大学Webメール /pub/JASMES/Japan/ www.llsci.net/klab/ ロロボップ!ユーザー kuroshio.eorc.jaxa.jp 陸水物理研究会 Jape Google Scholar 緯度の書き方 - Word 作況調査 (水陸稲)

WIX サイトを作ろう!

 UAVリモートセンシングによる作物モニタリング
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

 K-Lub
編集担当：濱 侃

ホーム 農業とリモートセンシング UAV (ドローン) で水稲モニタリング 連絡先 研究ブログ



リモートセンシングで「農業支援」

農業は農地・文化・歴史・経済を通じてその地域の風土を形成していますが、日本の農業は、生産者の高齢化・減少、それに伴う耕作放棄地の増加が顕著です。現在、日本の耕作放棄地の面積は、400,000haを越え東京都の面積の2倍にも及んでおり、なお増え続けています。この問題は、生産者だけの問題ではありません。耕作放棄地の増加による農業の持つ多面的機能の損失は、食糧生産だけでなく、地域の景観の悪化、さらには自然災害の甚大化（畦に囲まれた田や耕作された畑の土壌の持つ、雨水を一時的に貯留する働き・役割の喪失）にも関係しています。持続可能性が危機的な状況にある農業・農地をどのように保全・管理していくのかという課題は現代社会の喫緊の課題の一つです。

今後の持続可能な農業を考えたとき、生産ノウハウの伝承、農地を小労力、低コスト、そして楽しく農業を行うための“楽”農技術の必要性は、より一層高まると考えられます。そこで作物の生育に関するデータの取得方法としては、リモートセンシング（対象を遠隔から計測する技術）を活用することができます。

現在、UAV(Unmanned Aerial Vehicle)いわゆるドローンを使用したUAVリモートセンシング

研究ブログ

「成金」の坊ちゃん・お嬢様
April 6, 2017

ホームページの更新
April 6, 2017

進まない農業分野へのリモセンの普及
April 3, 2017

今年度の終わり
March 31, 2017

面白い研究とは？
March 30, 2017

埼玉での協働 ～新規就農者とともに～

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



日本地図センターと千葉大

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・自民)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。

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使用する。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



新米兼業農家、
どろん米に挑戦中上

空からイネの生育診断

埼玉・田中圭

わが家の圃場では、コシヒカリの生産管理を効率的に行なうために、ドローンを用いて上空から水稲のモニタリングを行なっています。二〇一四年から千葉大学近藤研究室と共同研究でドローンによる水稲のモニタリングを実施し、水稲栽培のイロハやドローンの運用方法を学びました。二〇一五年には、祖父・父からの代替わりを機に自ら水稲栽培を行ない、前年から得た知見を栽培に活かすことができるようになりました。現在はドローン計測・生産管理・農作業・販売の一連の作業を一人で実施しています。ここでは、新

米兼業農家の奮闘ぶりを紹介していきます。

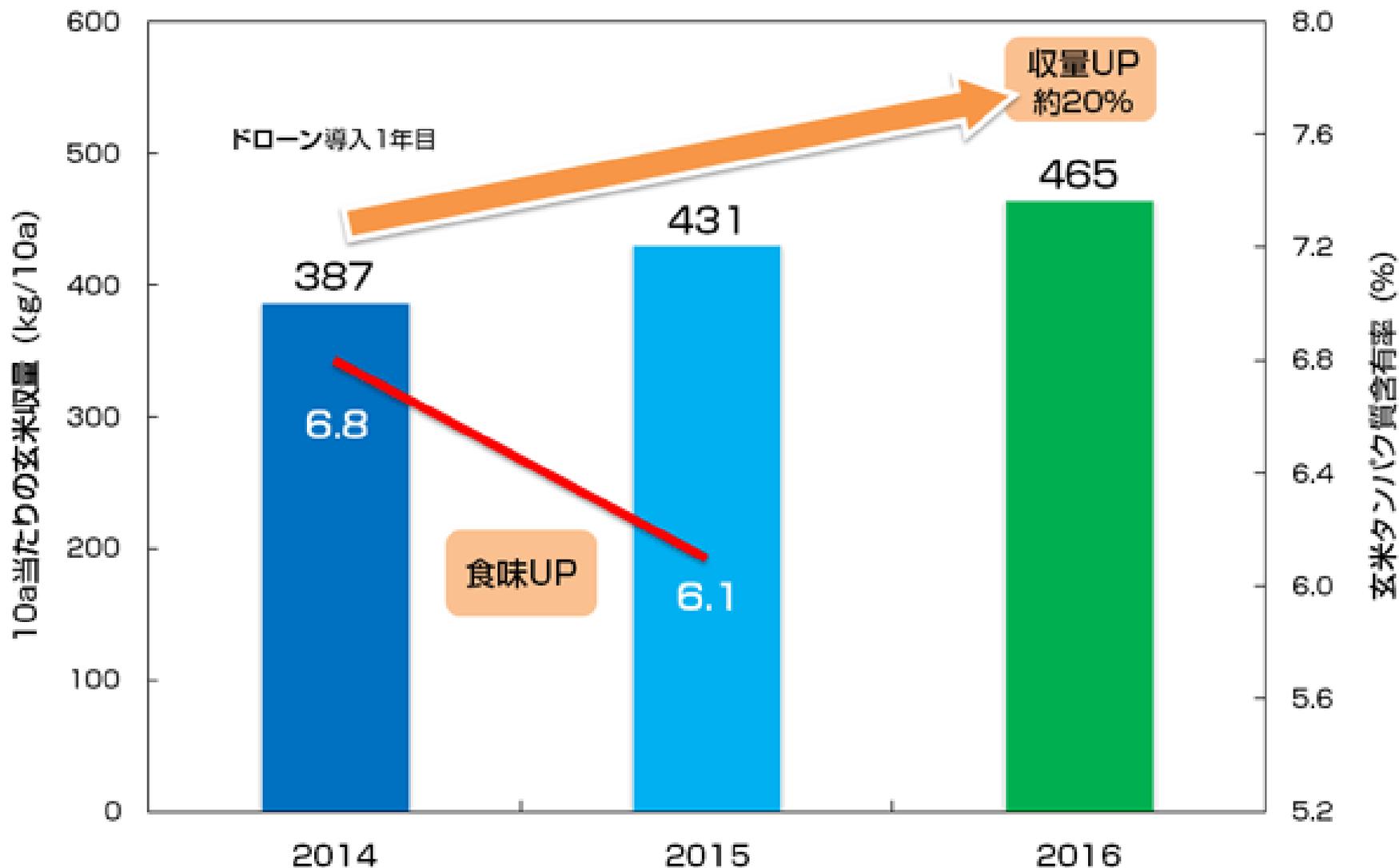
衛星画像よりも
自分で空から
観測

現在のわが国の農業は、農業用ロボットやICT(情報通信)技術を活用して生育管理を行なう精密農業の導入が各地で進み始めています。生産者の「勘と経験」を数値として情報化すること



ドローンを使って空からイネの生育診断中の筆者

埼玉での協働 ～新規就農者とともに～



衛星リモセンの弱点

▶ 雲量による観測確実性

⇒ 稲作はモンスーンアジアが中心

UAVリモセンの特徴

▶ フィールドワークのツール・機動性

▶ 目（現場）の感覚に近いデータが取得可能

▶ 圃場レベルの観測にリモセンが使える

▶ リモセン技術の現場での活用

トラクターによる均平化

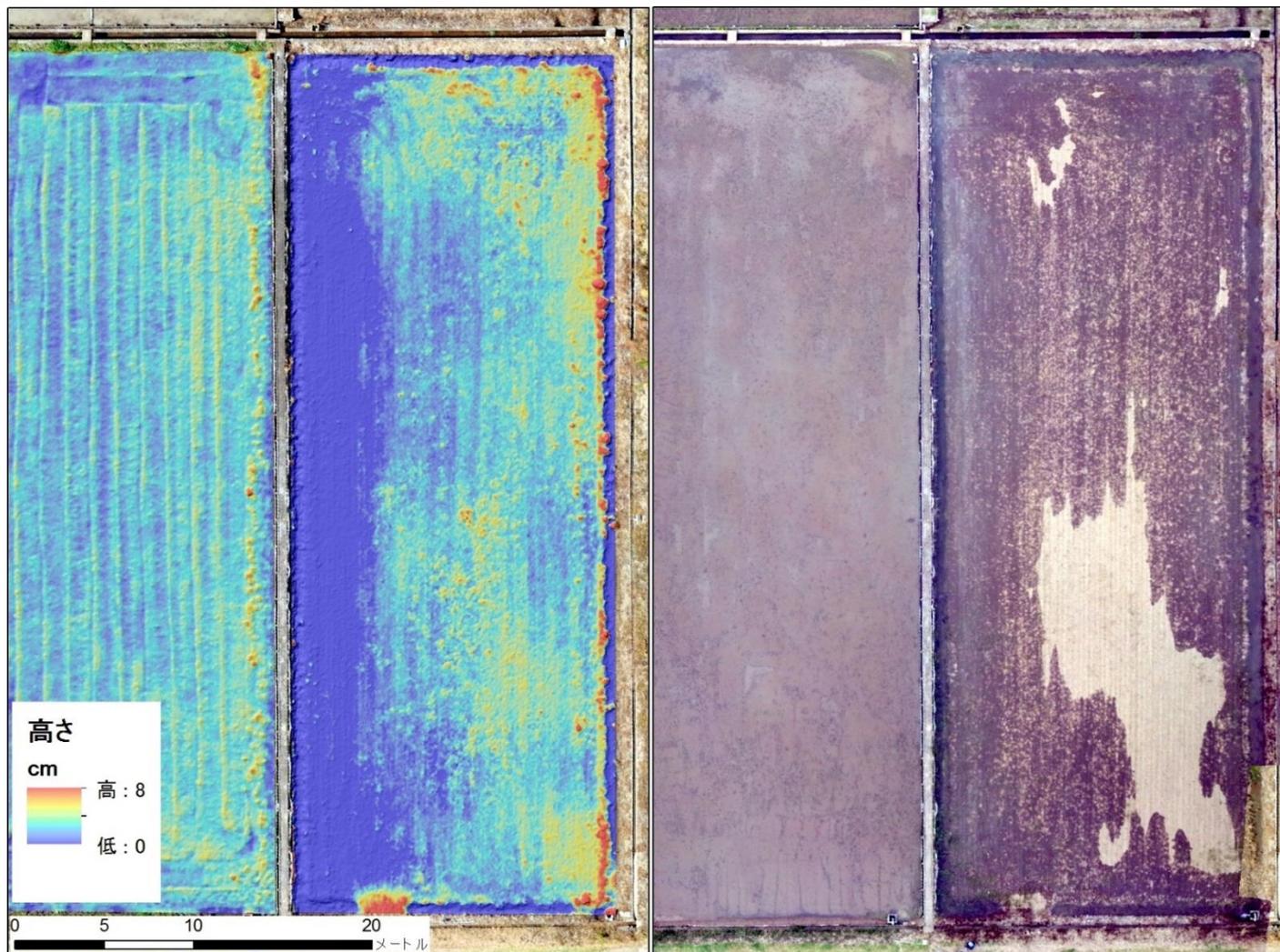
圃場の均平化

(PhotoScanの活用)



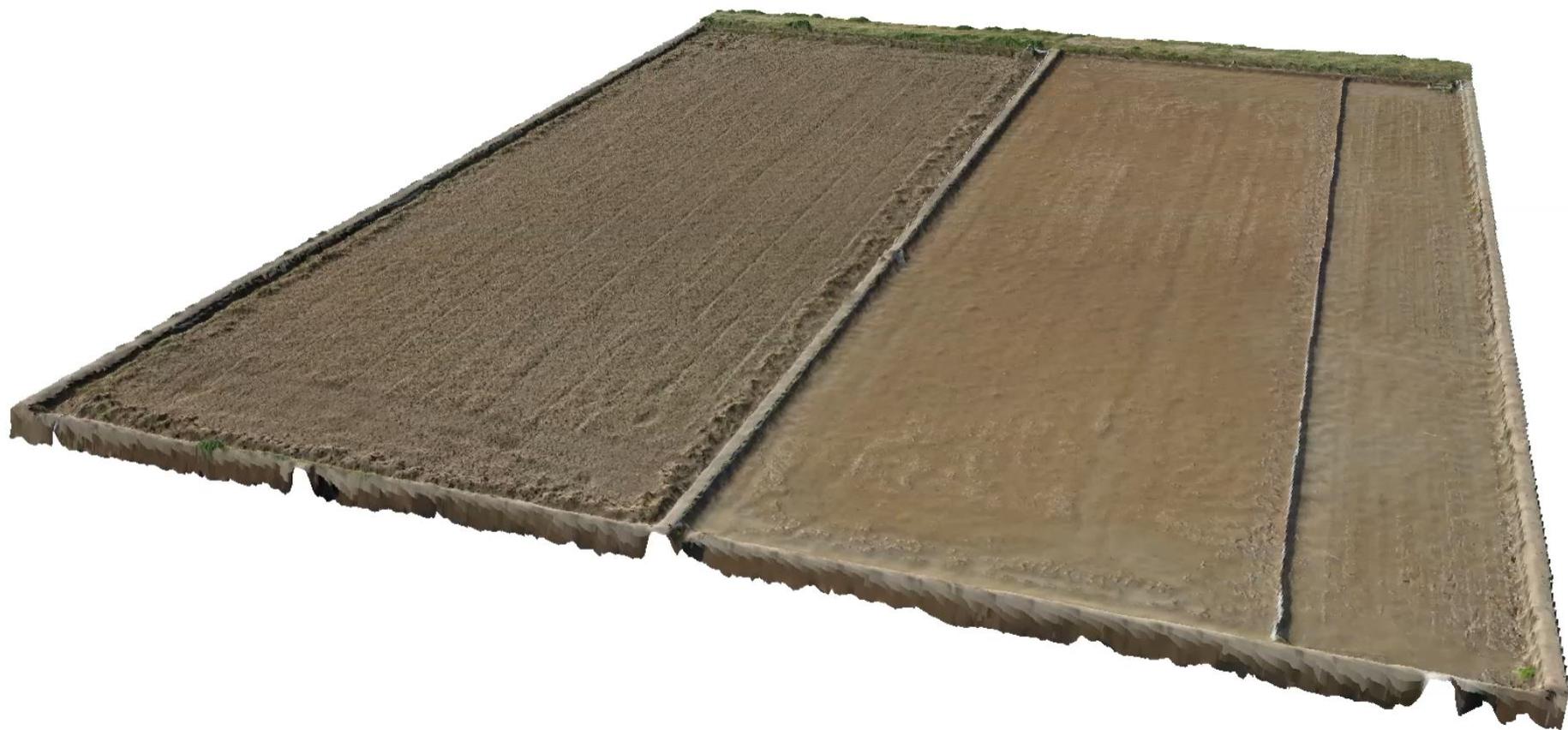
圃場内の高低差計測（PhotoScanの活用）

- ▶ 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
⇒直播（ちよくは）を行う生産者からの需要がある

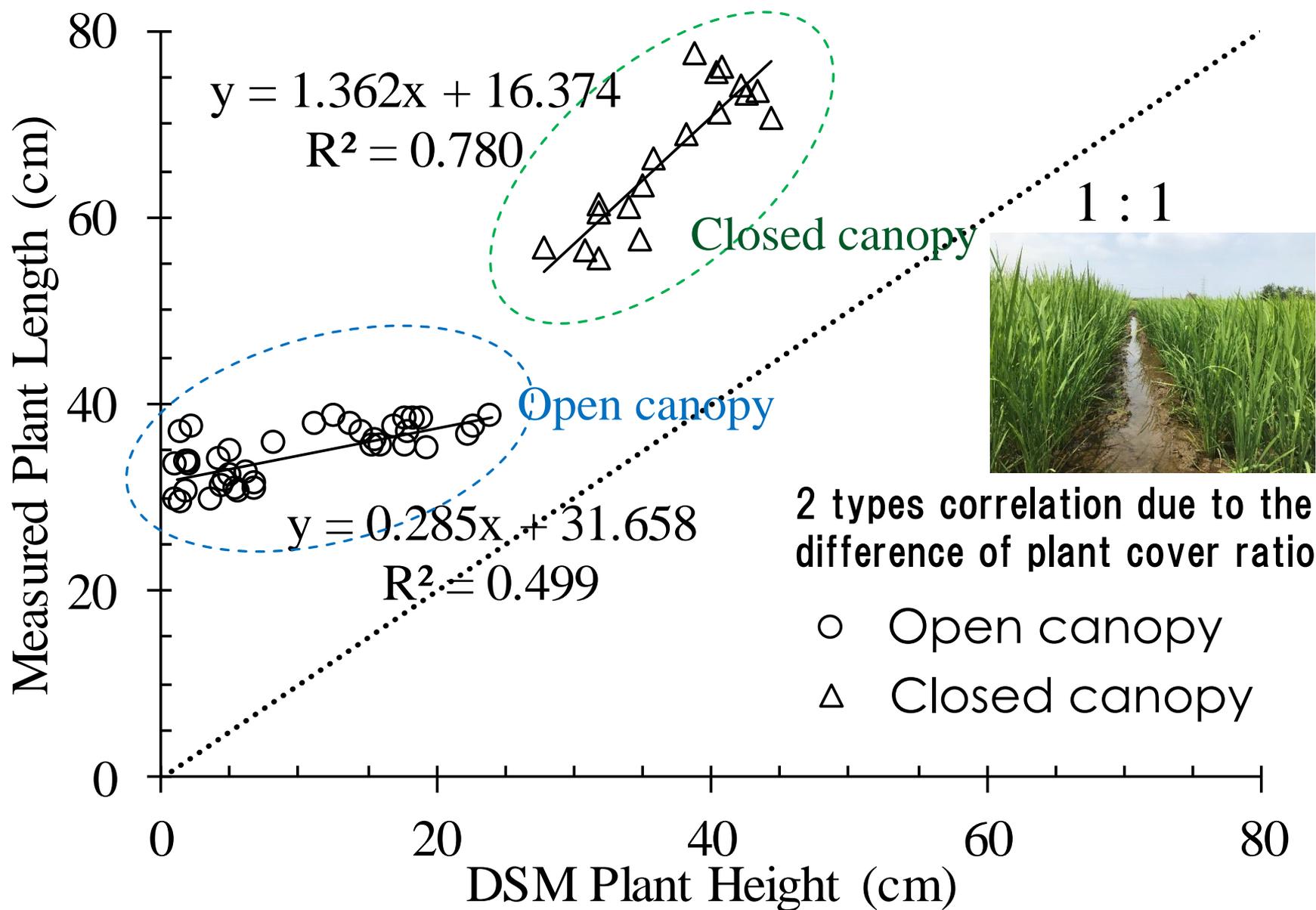


DSMで草高計測

- ▶ 実測草丈よりも約15~20cm低くなる



DSMで草高計測





水稲のフェノロジー

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



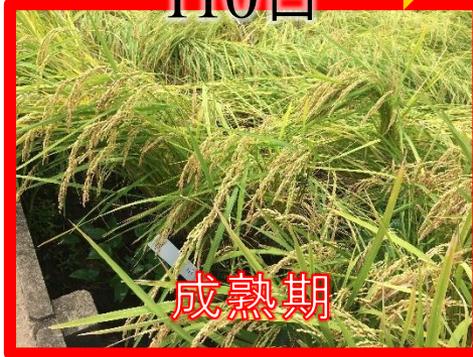
60日

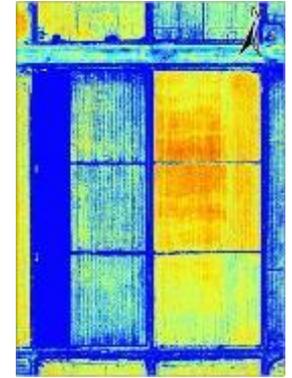
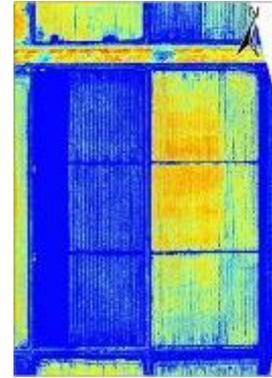
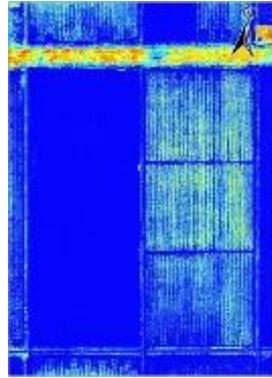
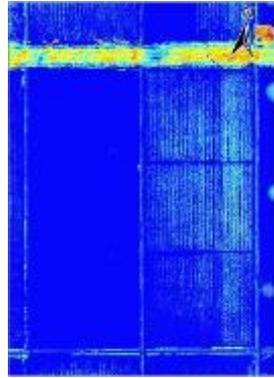
80日



90日

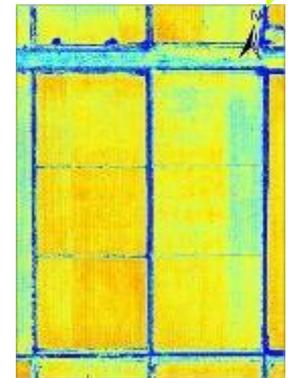
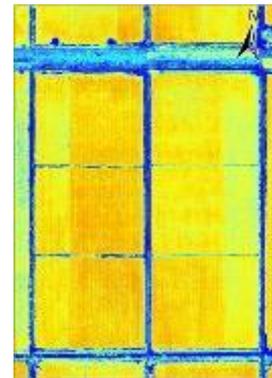
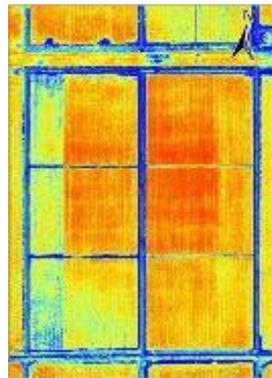
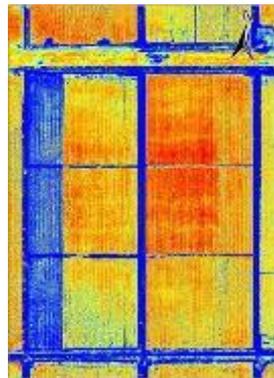
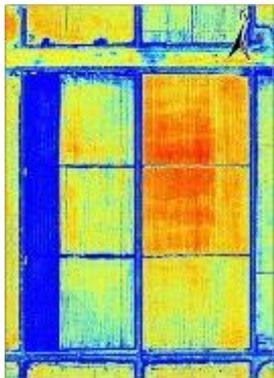
110日





6月下旬

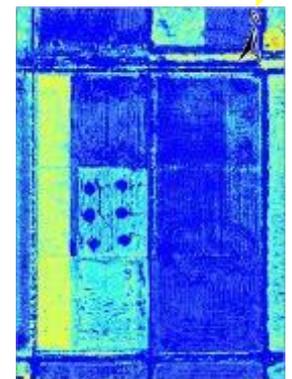
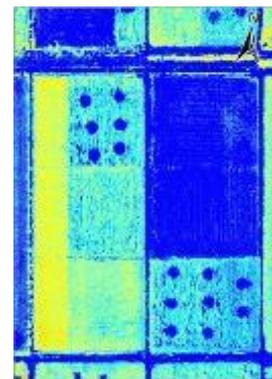
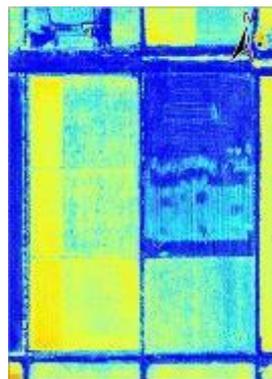
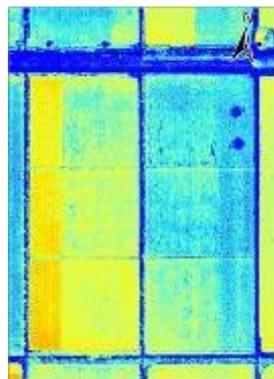
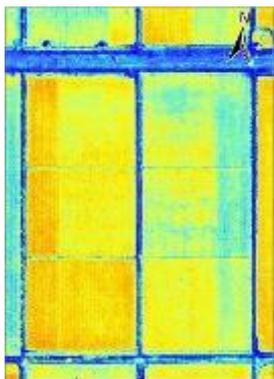
7月下旬



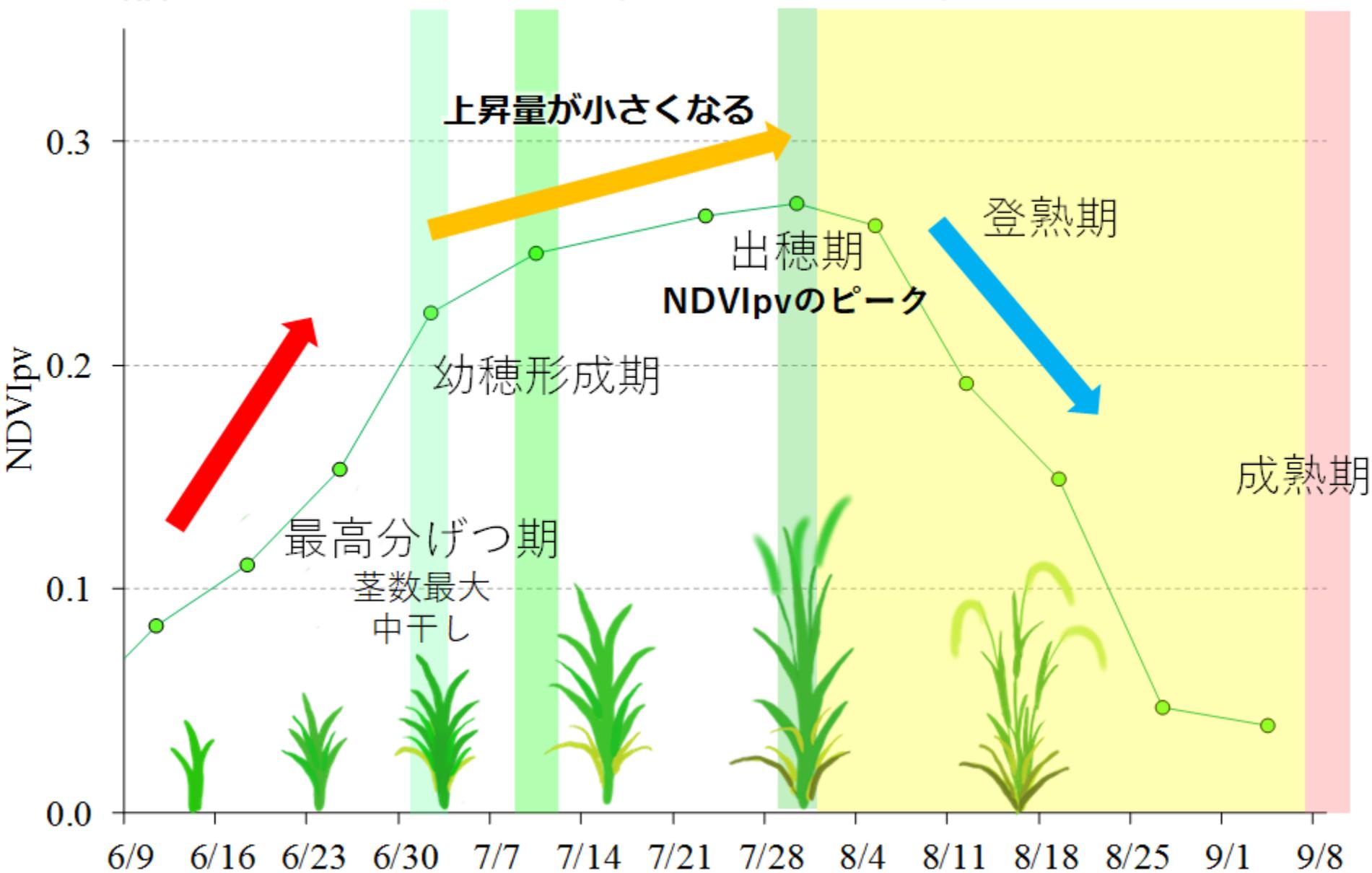
8月初旬

収穫開始

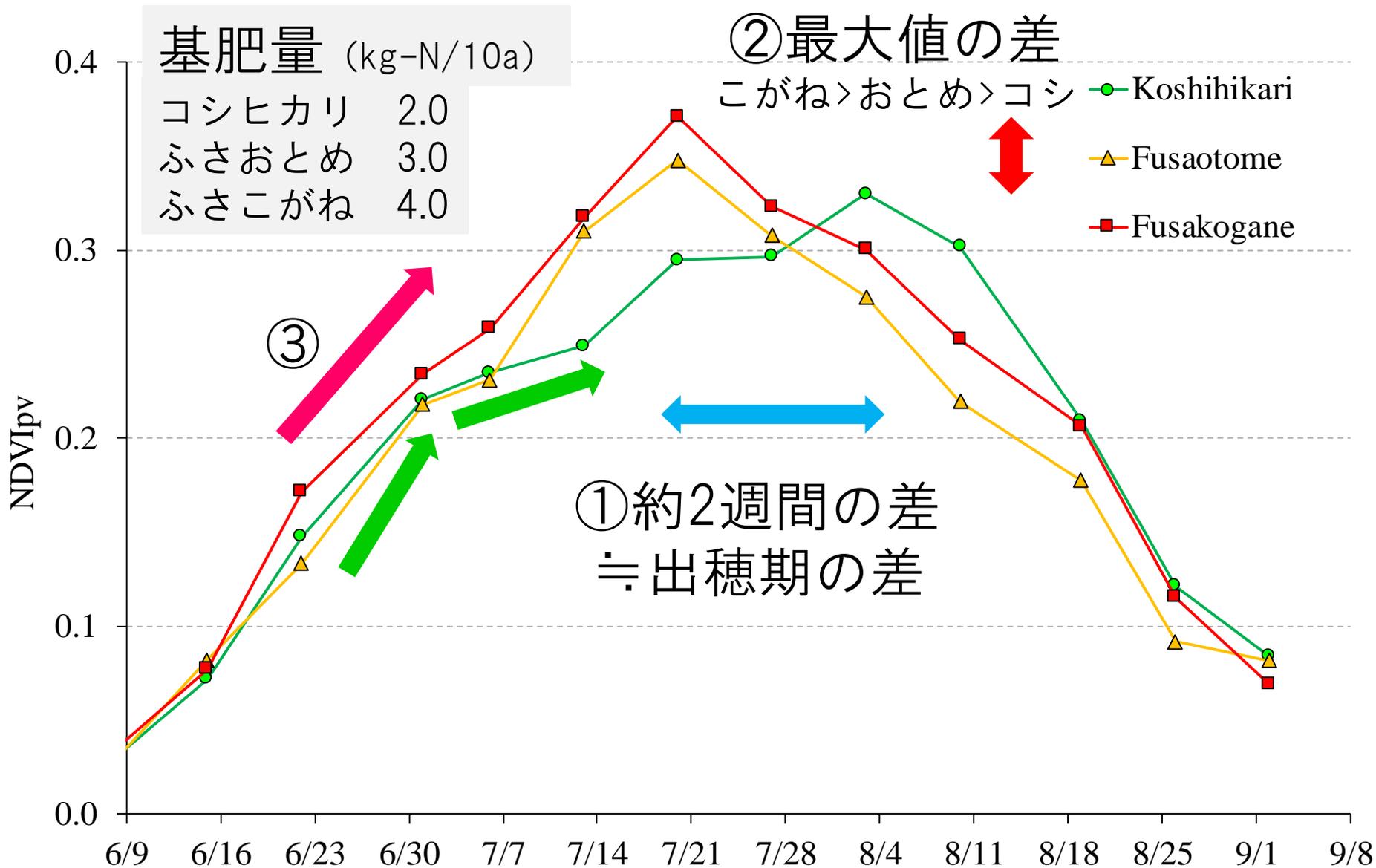
9月初旬



水稻のフェノロジー(コシヒカリ)



品種によるフェノロジーの違い (2016年5月12日植え)



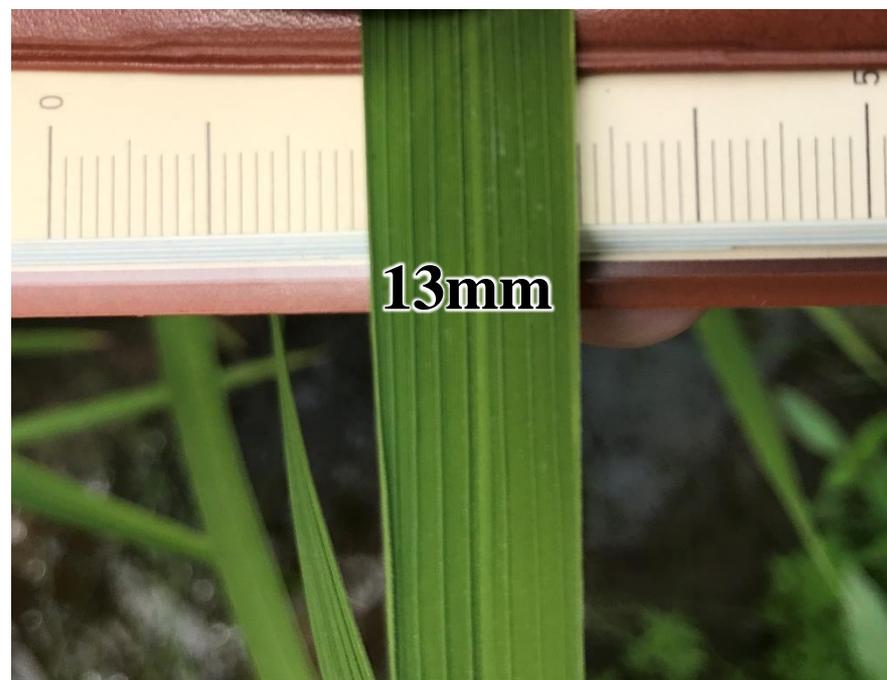
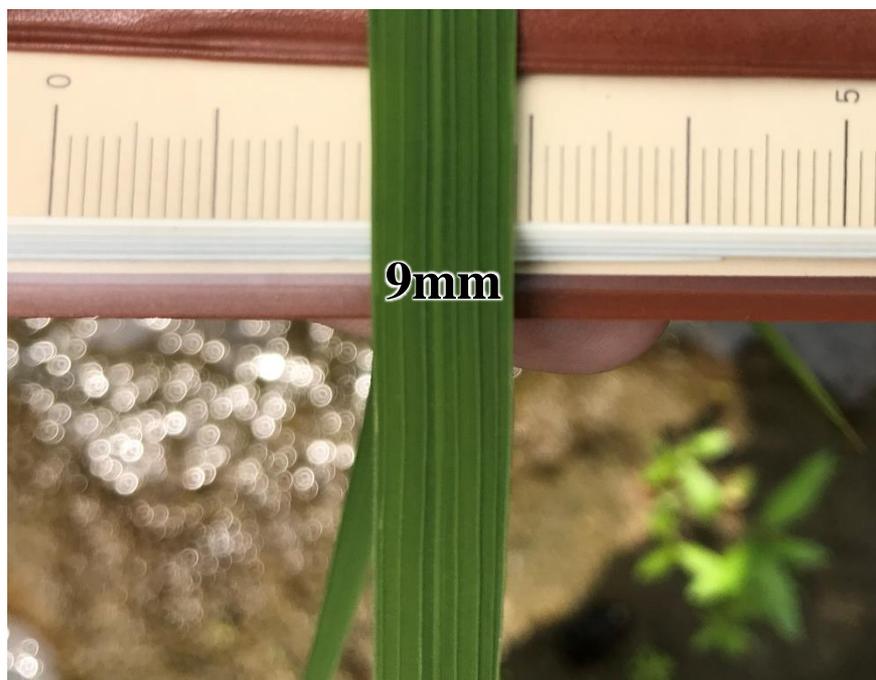
コシヒカリ

草丈が高く、
葉は細く、薄い

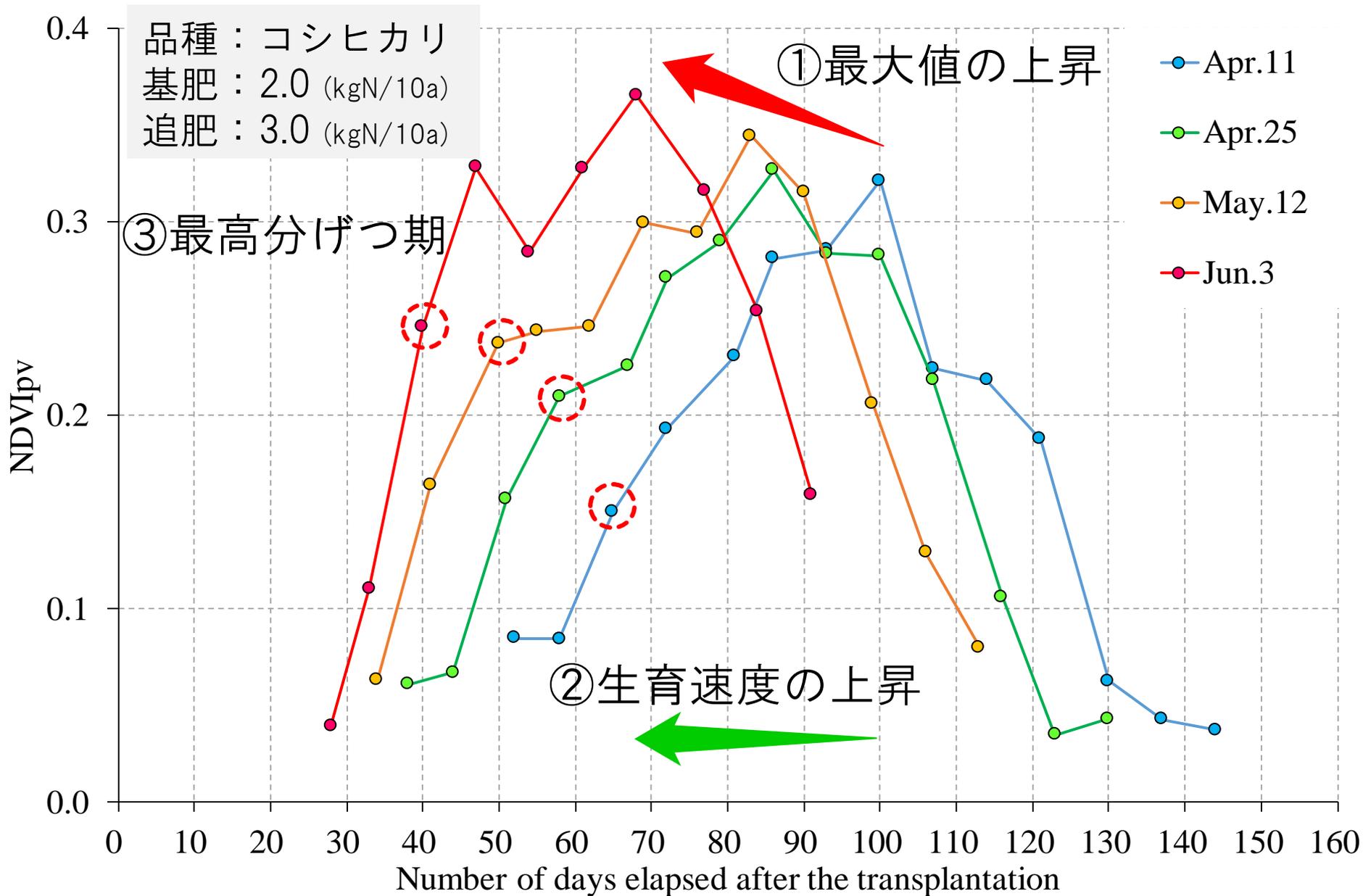


ふさおとめ ふさこがね

草丈が低く、
葉は太く、厚い



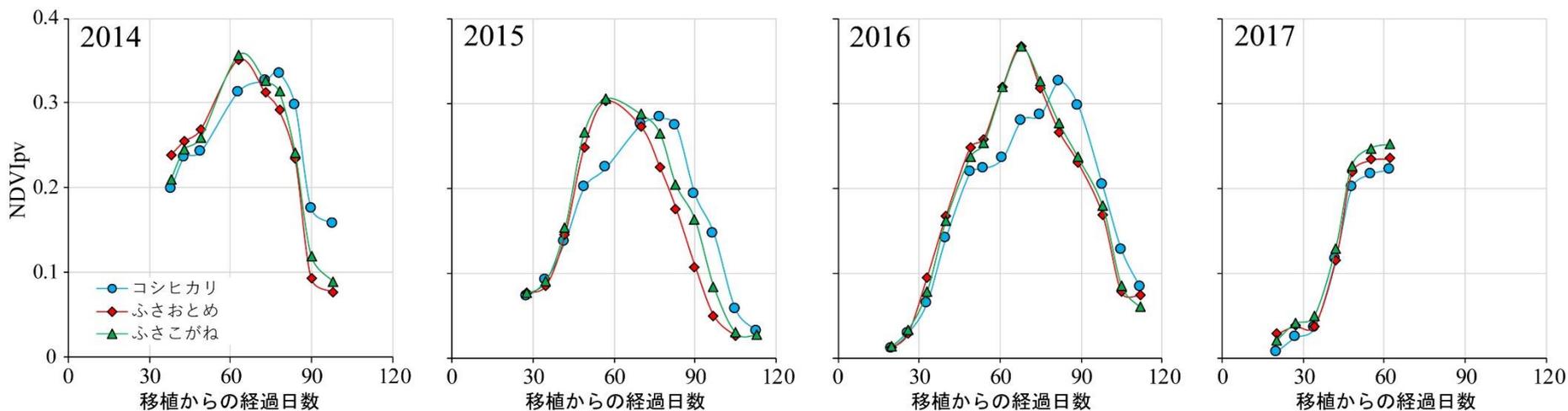
生育時期の違いによるフェノロジーの違い（2016年）



生育時期の違いによるフェノロジーの違い（全年）

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

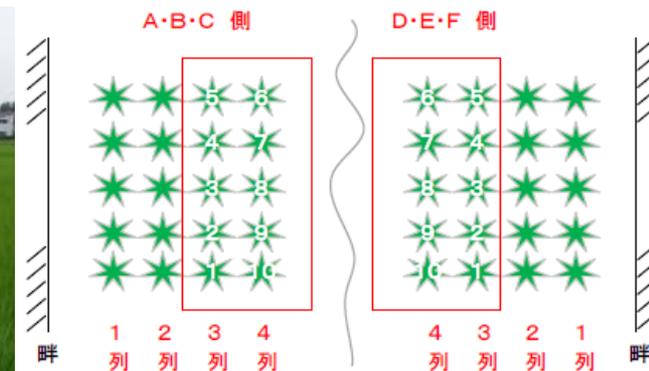
空梅雨

その年の生育・栽培条件の違いを反映している。

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)



莖数計測



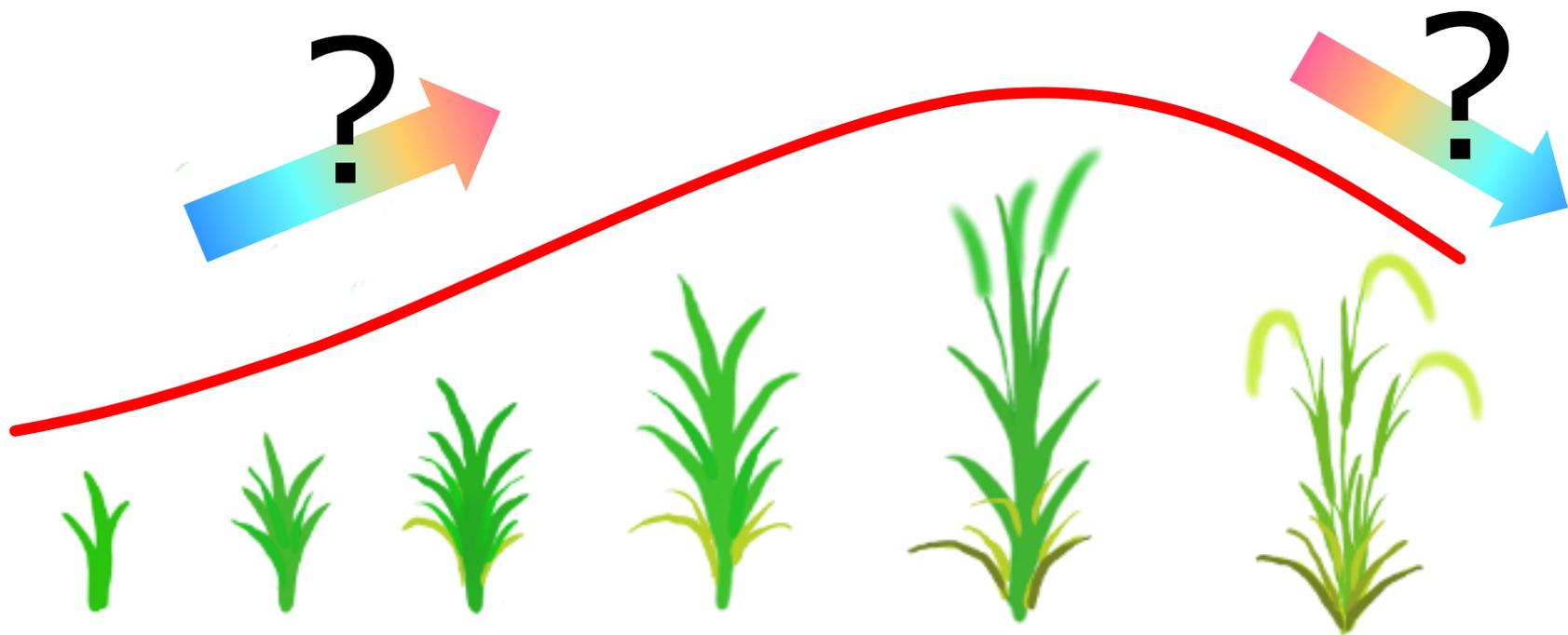
稲丈計測



葉色 (SPAD値) 計測

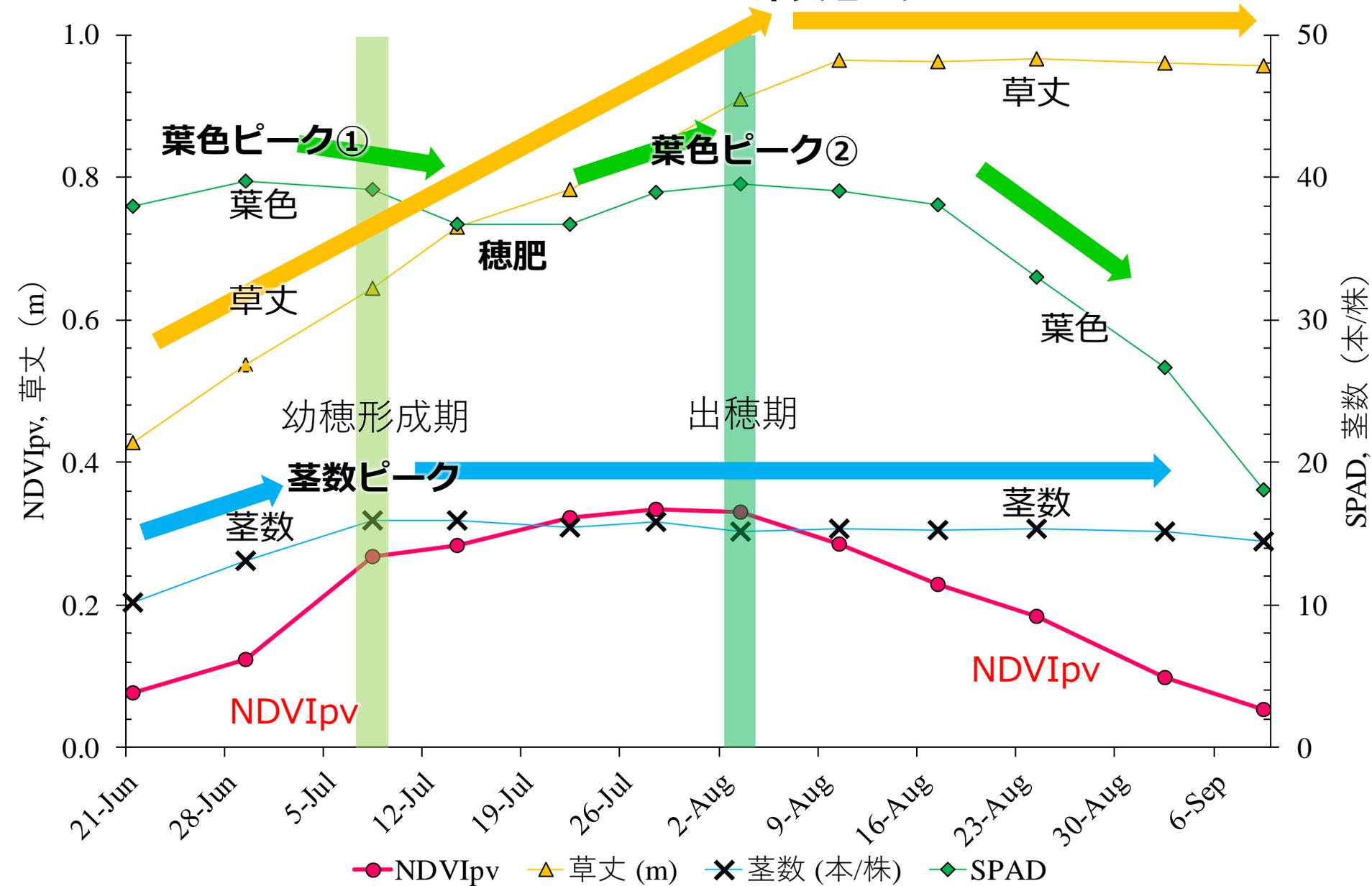
NDVI_{pv}の時系列変化の要因について

- 葉色 (葉緑素の量) ?
- 植物の構造 (草丈, 茎数 \div LAI) ?

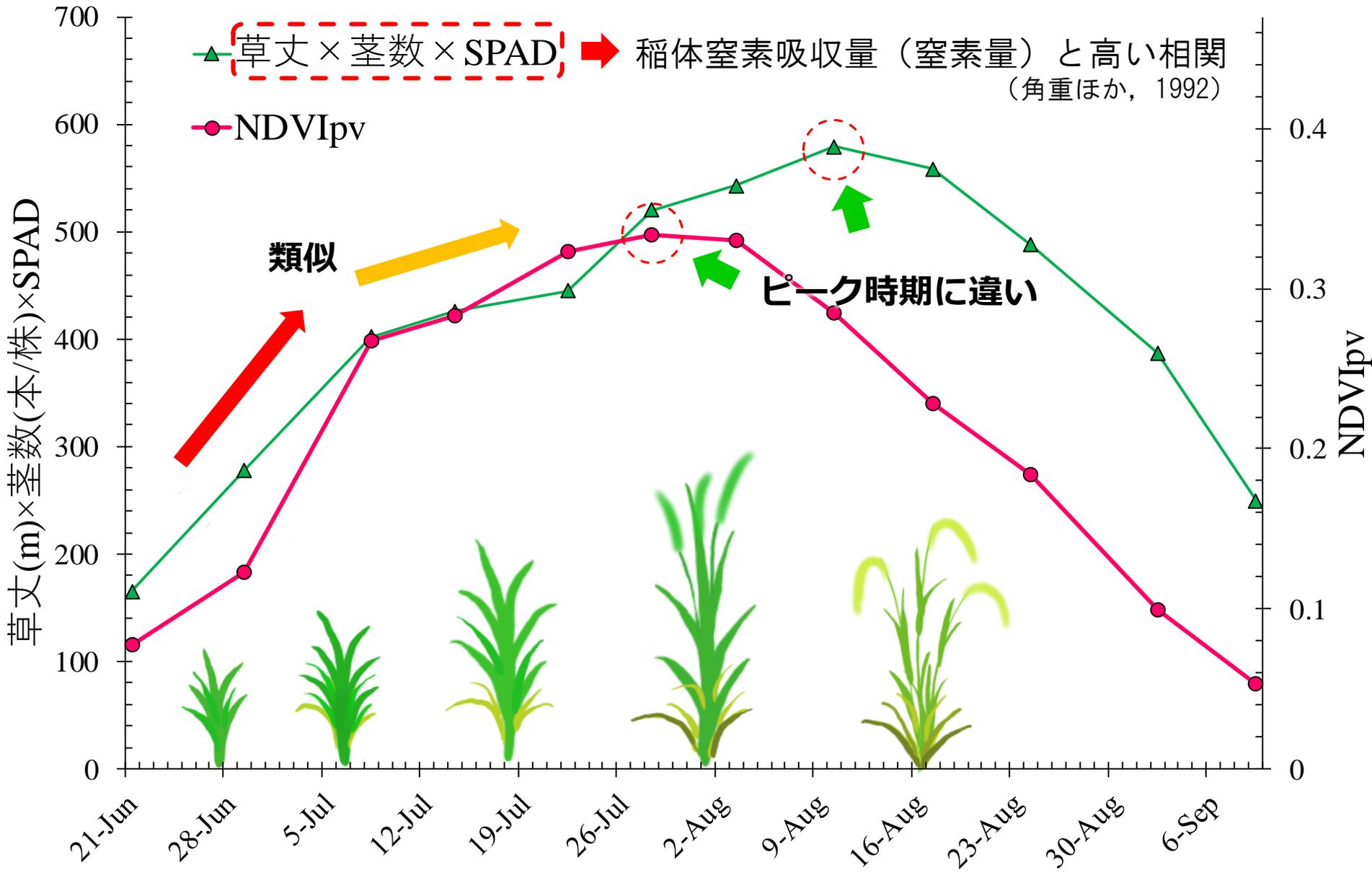


■ NDVIpvと生育パラメータの関係

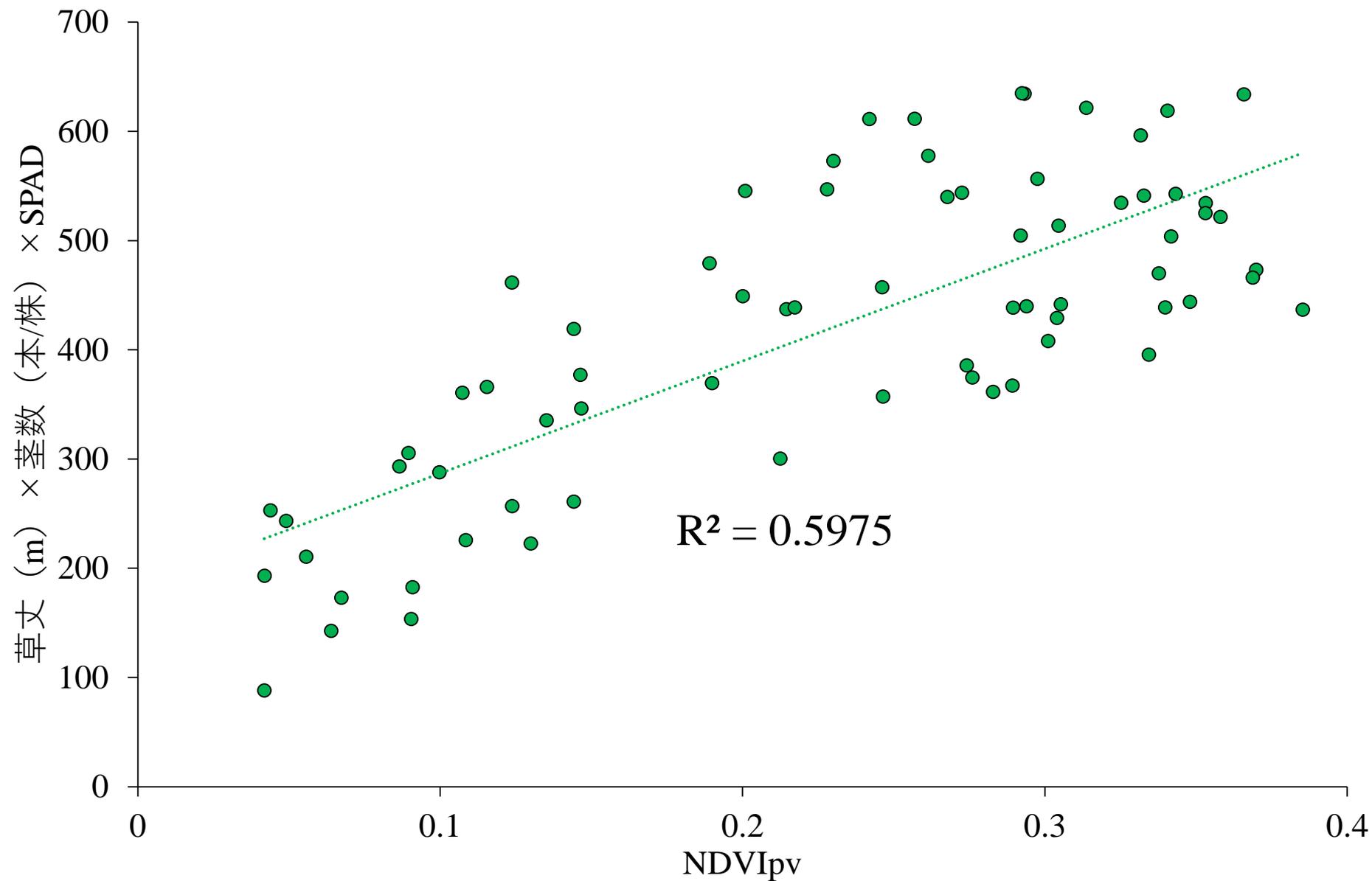
草丈ピーク



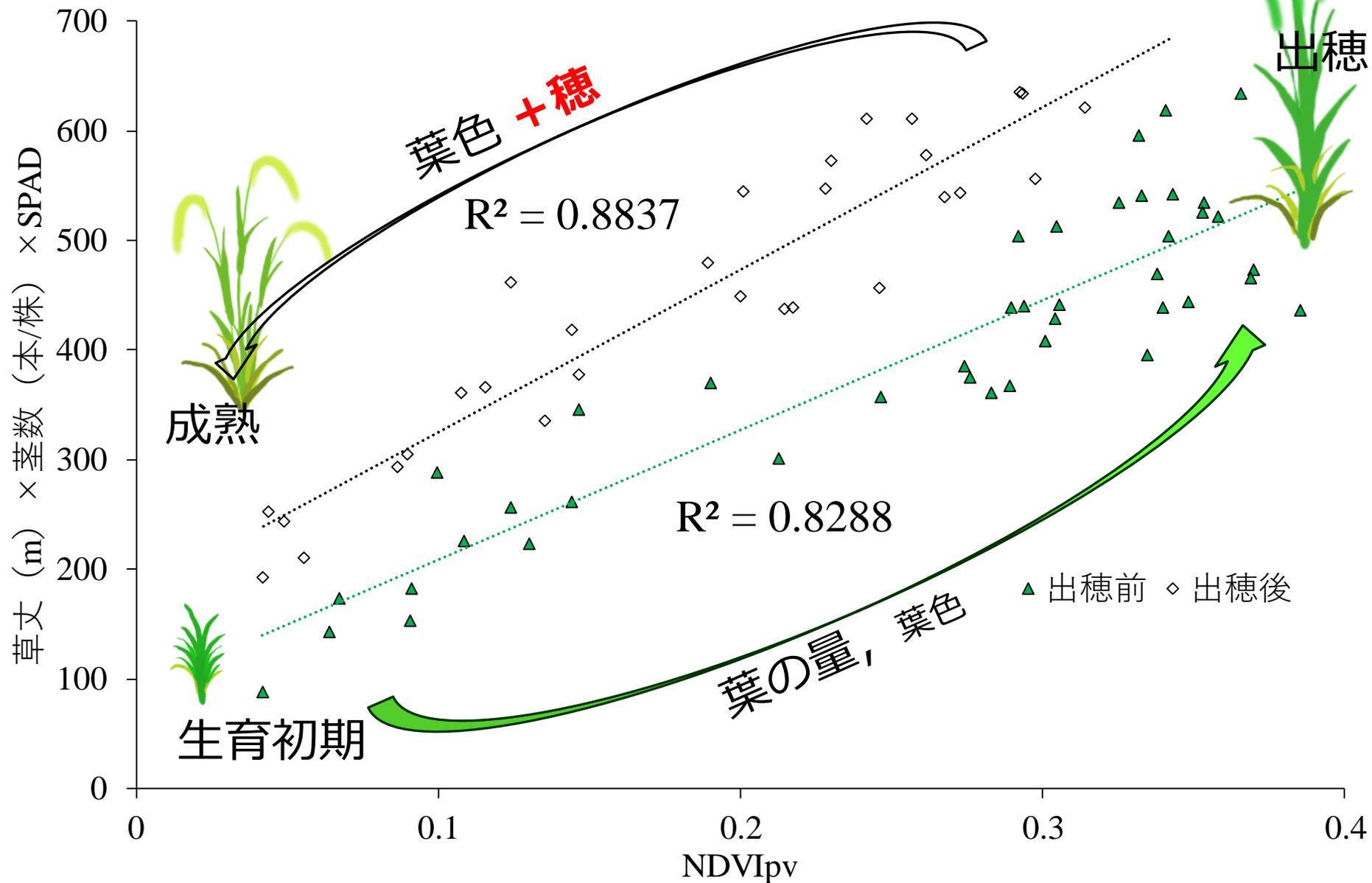
■ NDVIpvと生育量の関係



■ NDVI_{pv}と生育量の関係（生育初期～成熟）

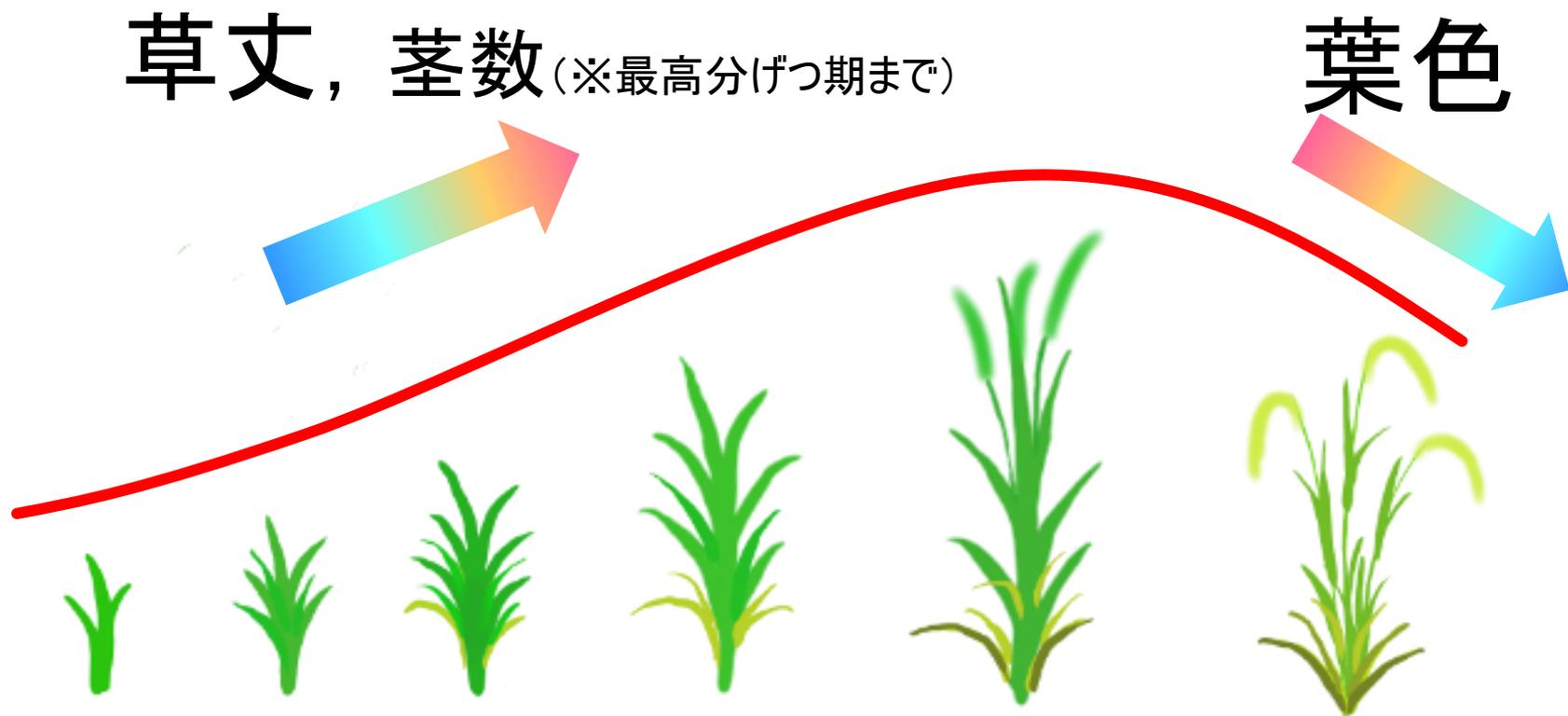


■ NDVI_{pv}と生育量の関係（出穂前と出穂後）



NDVI_{pv}の時系列変化の要因について

- 出穂前：草丈，葉の量の変化
- 出穂後：葉色の変化



今回の講演

多年次，他地域に適用可能な推定式の導出

▶ Case-1：形状的評価

リモセン技術のみで推定できるもの

- 草丈推定・Leaf Area Index(LAI)推定

▶ Case-2：それ以外の複雑なもの

リモセン+ α （気象データなど）で推定できるもの

- 収量推定
- タンパク含有率推定



日射量のデータ期間の検討

➡ 既存研究は、**出穂前10日～出穂後30日の計40日**

(脇山ほか,2003)

➡ 本研究での検討結果

➤ コシヒカリ：出穂後20日間の日射量

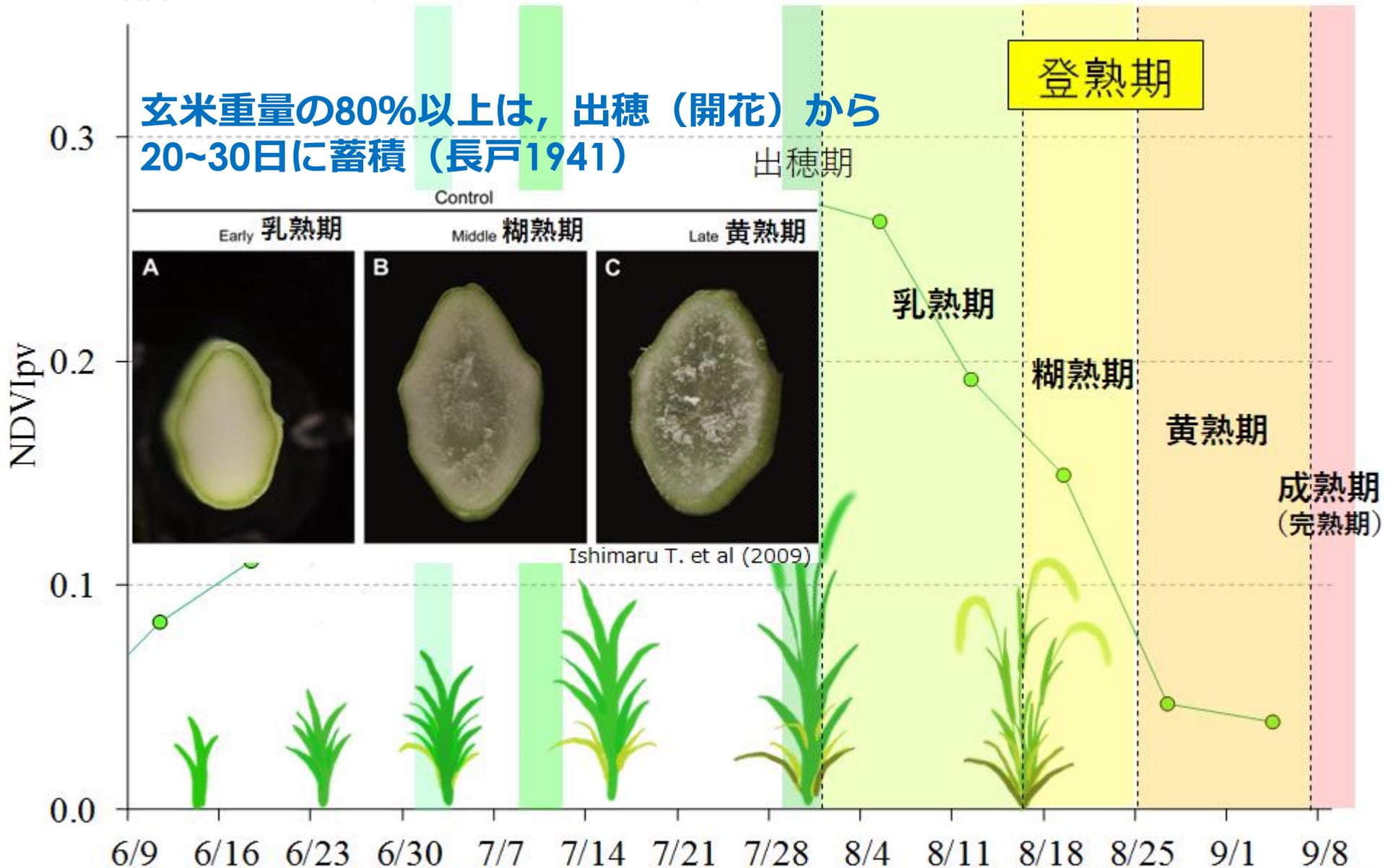
➤ ふさおとめ：出穂後30日間の日射量

➤ ふさこがね：出穂後30日間の日射量

表：決定係数 R^2 一覧

説明変数	日数 品種	標本数（出穂前A日から出穂後B日）														
		0+10	0+15	0+20	0+25	0+30	5+10	5+15	5+20	5+25	5+30	10+10	10+15	10+20	10+25	10+30
PAR × NDVIpv	コシヒカリ	0.426	0.378	0.740	0.638	0.489	0.188	0.176	0.554	0.594	0.514	0.056	0.067	0.322	0.372	0.391
	ふさおとめ	0.003	0.007	0.050	0.136	0.158	0.015	0.003	0.007	0.064	0.093	0.055	0.025	0.001	0.018	0.040
	ふさこがね	0.064	0.071	0.134	0.195	0.204	0.004	0.016	0.064	0.146	0.163	0.022	0.002	0.005	0.053	0.068
全天日射量 × NDVIpv	コシヒカリ	0.359	0.617	0.798	0.718	0.569	0.332	0.571	0.769	0.726	0.639	0.124	0.290	0.612	0.628	0.612
	ふさおとめ	0.011	0.049	0.137	0.292	0.329	0.003	0.011	0.068	0.236	0.297	0.040	0.002	0.011	0.128	0.203
	ふさこがね	0.129	0.134	0.209	0.281	0.355	0.023	0.066	0.147	0.260	0.343	0.022	0.000	0.022	0.132	0.247

水稻の登熟(コシヒカリ)



PAR vs 全天日射量

▶ 全天日射量

→ AMeDAS観測値から推定, 内挿された連続データ

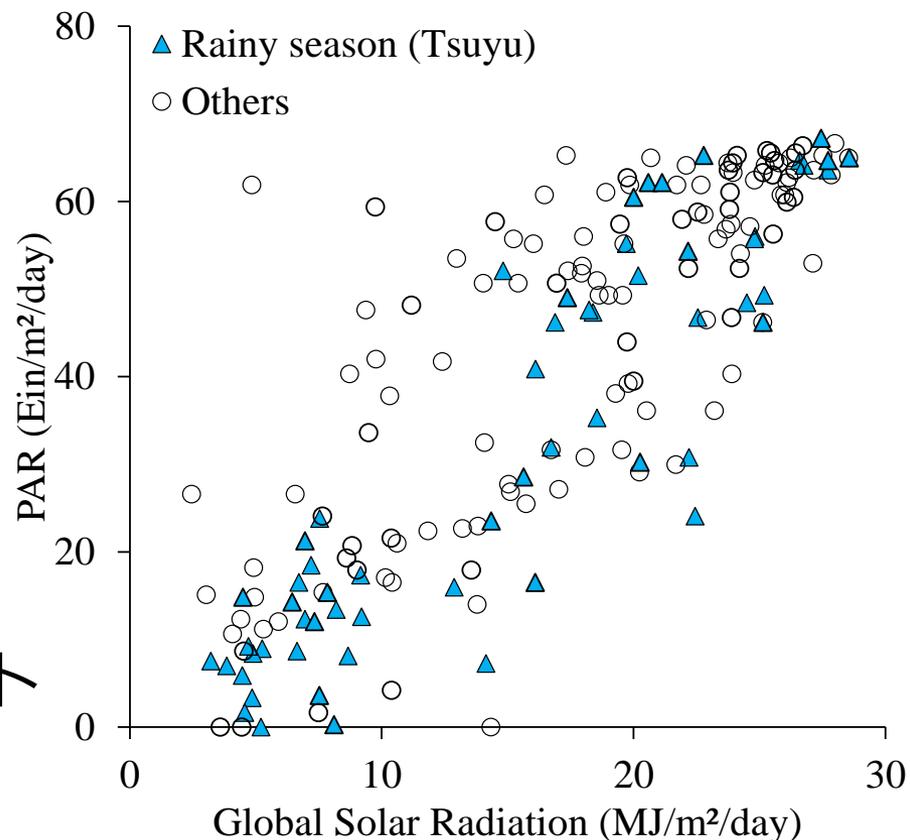
▶ PAR

→ 衛星飛来時のスナップショットに基づく推定データ

※ 日単位のPAR推定値を地上実測値で検証

→ 約23%の誤差があったことが報告されている

(Frouin and Murakami, 2007)



全天日射量の方がデータの精度が高い可能性

→ 収量推定の精度も高い

推定モデルの持つ意味

type1

$$Y = 65.9(NDVI_{pv} \cdot GSR) + 154.0 \text{ (Koshihikari)}$$

type2

$$Y = 37.0(NDVI_{pv} \cdot GSR) + 395.8 \text{ (Fusaotome)}$$

$$Y = 39.1(NDVI_{pv} \cdot GSR) + 425.4 \text{ (Fusakogane)}$$

where

Y = yield (g/m²)

$NDVI_{pv}$ = $NDVI_{pv}$ at heading stage.

GSR = average global solar radiation during mature stage (MJ/m²/day)

品種により、オフセット値に大きな差がある。

⇒type2の品種は、気候変化への耐性を示している可能性

推定モデルを導出した際の決定係数

コシヒカリ : 0.807, ふさおとめ : 0.33, ふさこがね : 0.361

コシヒカリの収量は、より光合成量に依存する

観測品種について

▶ コシヒカリ(中生) -千葉, 新潟-

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。いもち病などに弱い（BL米除く）

▶ ふさおとめ（早生）-千葉-

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-

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



シンク能とソース能

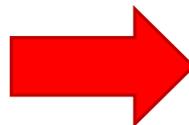
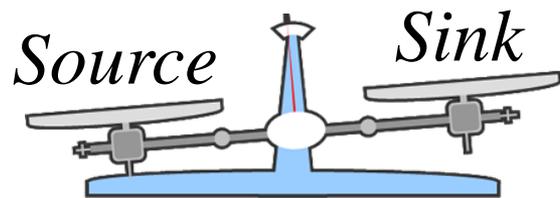
子実収量



シンク能 (入れ物) = 子実の数

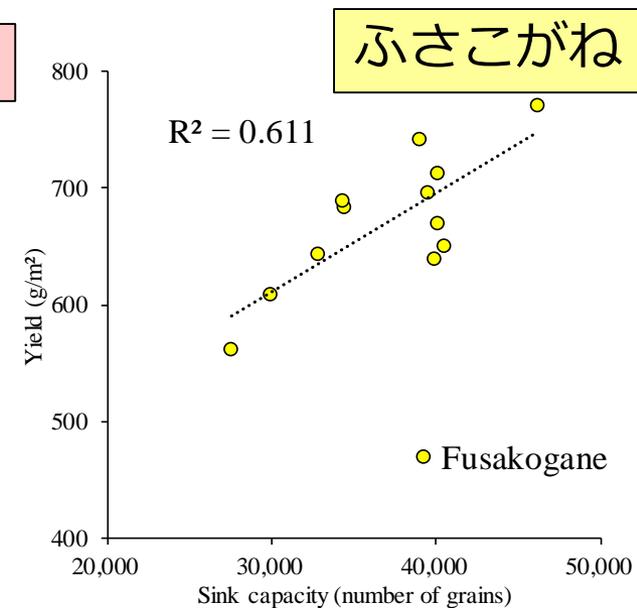
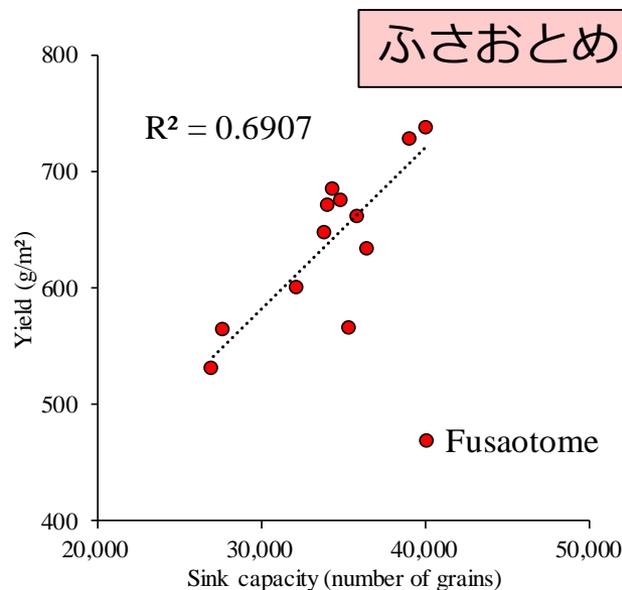
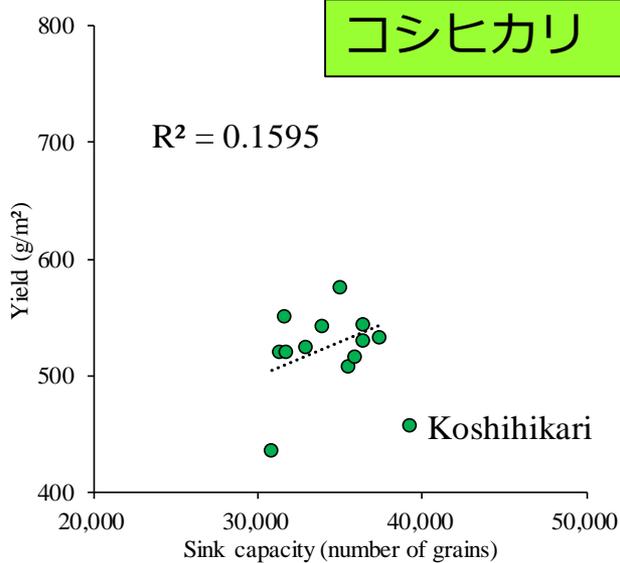


ソース能 = 光合成能力



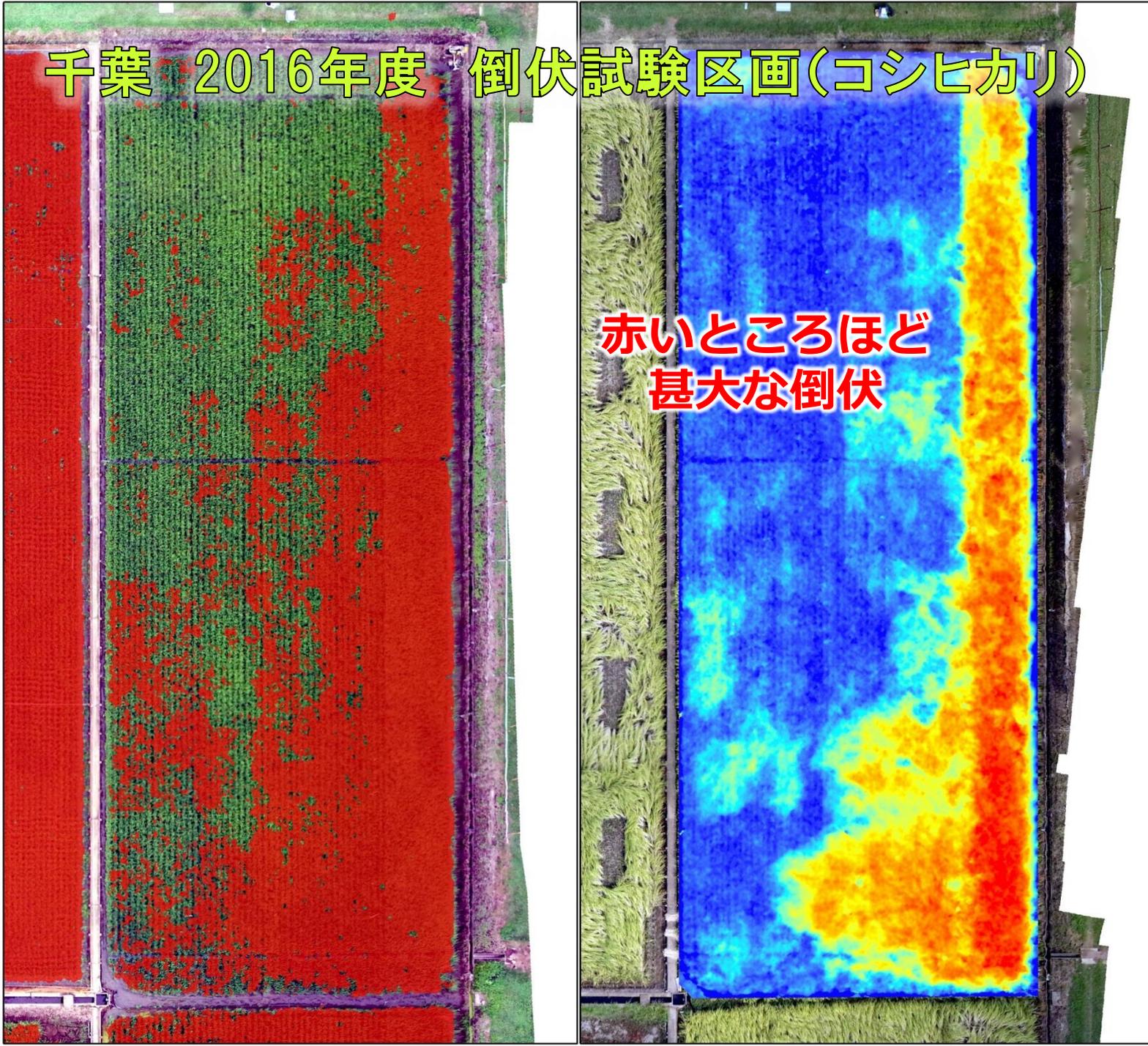
収量に影響

(Mann, 1999)



コシヒカリ ⇒ ソース能 < シンク能
おとめ, こがね ⇒ ソース能 > シンク能

千葉 2016年度 倒伏試験区画(コシヒカリ)



 Risk Area

倒伏度



Low High

Left:
Lodging prediction

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

赤いところほど
甚大な倒伏

