



千葉大学《新産業プロデュース活動》
第25回TLOフリートーキング
～園芸へのドローンの活用～



ドローンによる生育診断から収量予測まで

近藤 昭彦（千葉大学CEReS）

濱 侃（千葉大学CEReS・学振DC）

田中 圭（日本地図センター）

園芸にドローンは必要か

- ▶ 誰が判断するのか。
- ▶ 研究者と農家がアイデアを共有し、
- ▶ 様々な「見ためし」を行い、
- ▶ 成果にもとづき、農家が判断する。
- ▶ どんな農をめざすか。
 - 儲かる農業 それとも
 - 強い農村

農の中の科学技術



農の力 - フォース

近代文明人とは



園芸へのドローンの活用 といいながら

▶ 水稲モニタリングの話をしてします。

▶ 園芸への活用は？

- ・ 形を見る
- ・ 反射スペクトルを見る
- ・ 表面温度を見る
- ・ 季節変化を見る
- ・ その他、いろいろ

基本的手法は共通

農業分野でドローン（UAV）に求められているもの

- 施肥，防除作業 ⇒ドローンの性能の向上
- 生育調査，圃場・生産管理技術

⇒リモートセンシングが活用できる課題

機械の導入による効率化・少労力化

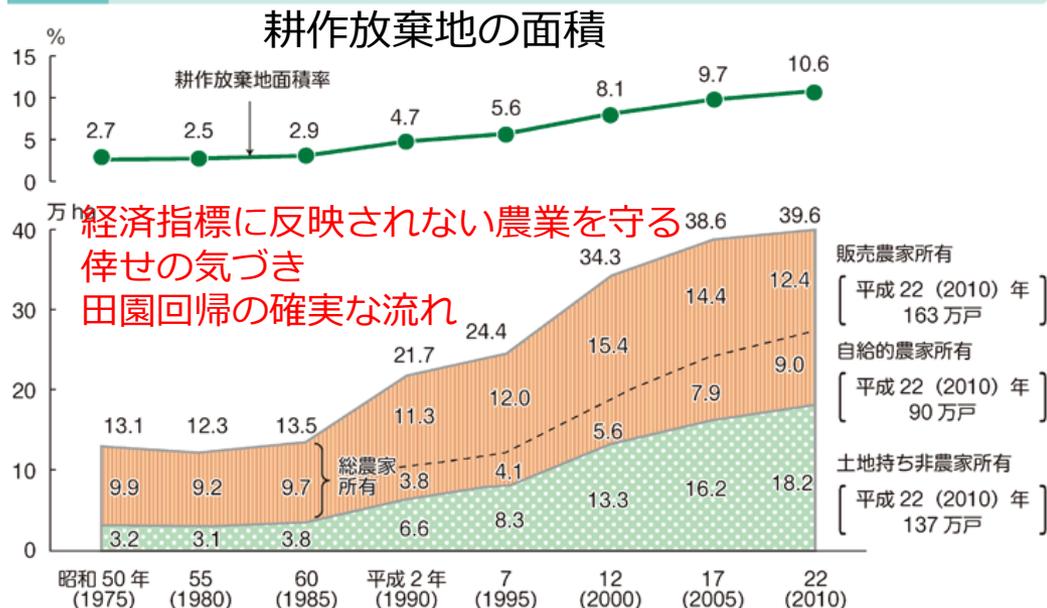
+ 耕作放棄地の増加，農地の集約・少人数管理



東光鉄工(株)開発の農薬散布ドローン
秋田県農林水産業DR研究開発コンソーシアム

楽農のツール

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(近藤・濱・田中)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（千葉県、埼玉県、新潟県）
- ▶ 農業試験機関、企業、農家との共同作業

既存のリモセン手法と農業者の知見を組合せ

+

プラットフォームとしてUAVの機動性を活かす



新しい知識生産

- ・ **手法の開発**
- ・ **役にたつ技術**



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）

結果を準リアルタイムで提供可能

使用機体



Zion QC630 (enRoute)



Zion Pro800 (enRoute)



SOLO (3DR)



Phantom2,3 (DJI)



F550 (自作)

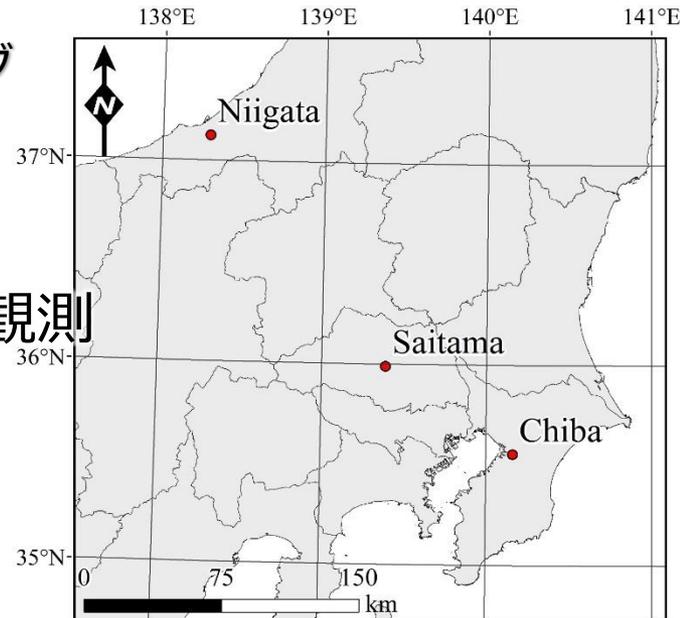


APM, Pixhawk + MissionPlanner

近赤外カメラ 可視・近赤外リモートセンシング

- 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)** CANON PS S100
緑,赤,**近赤外**の波長帯を撮影可能

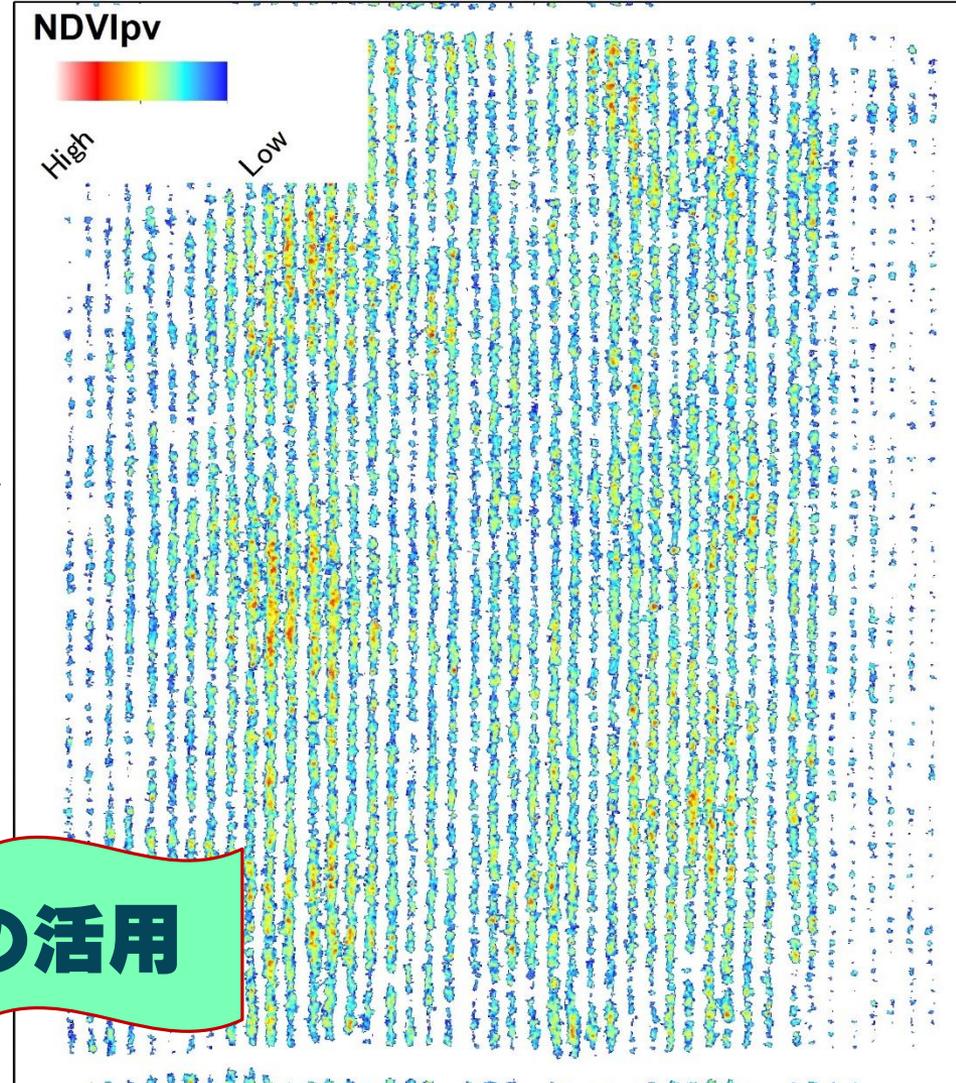


植生だけを抽出可能

オルソモザイク画像：空間分解能1.8cm



GISの活用



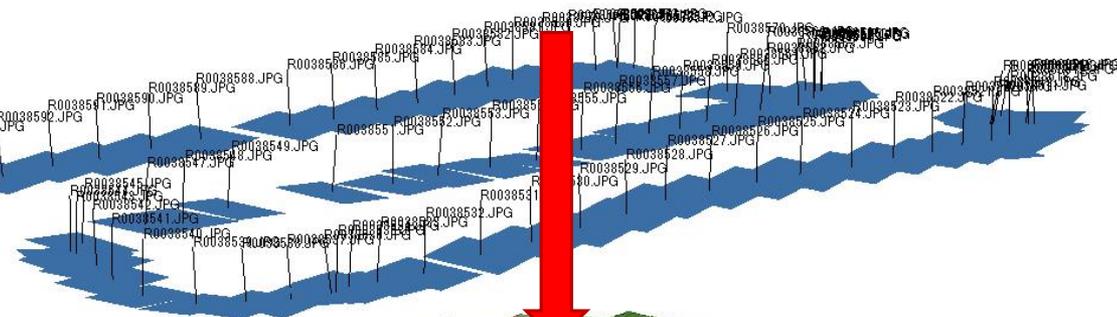
SfM-MVS

(Structure from Motion/Multi-View Stereo)

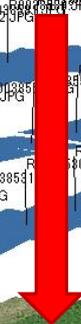
重なり合う複数枚の画像



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

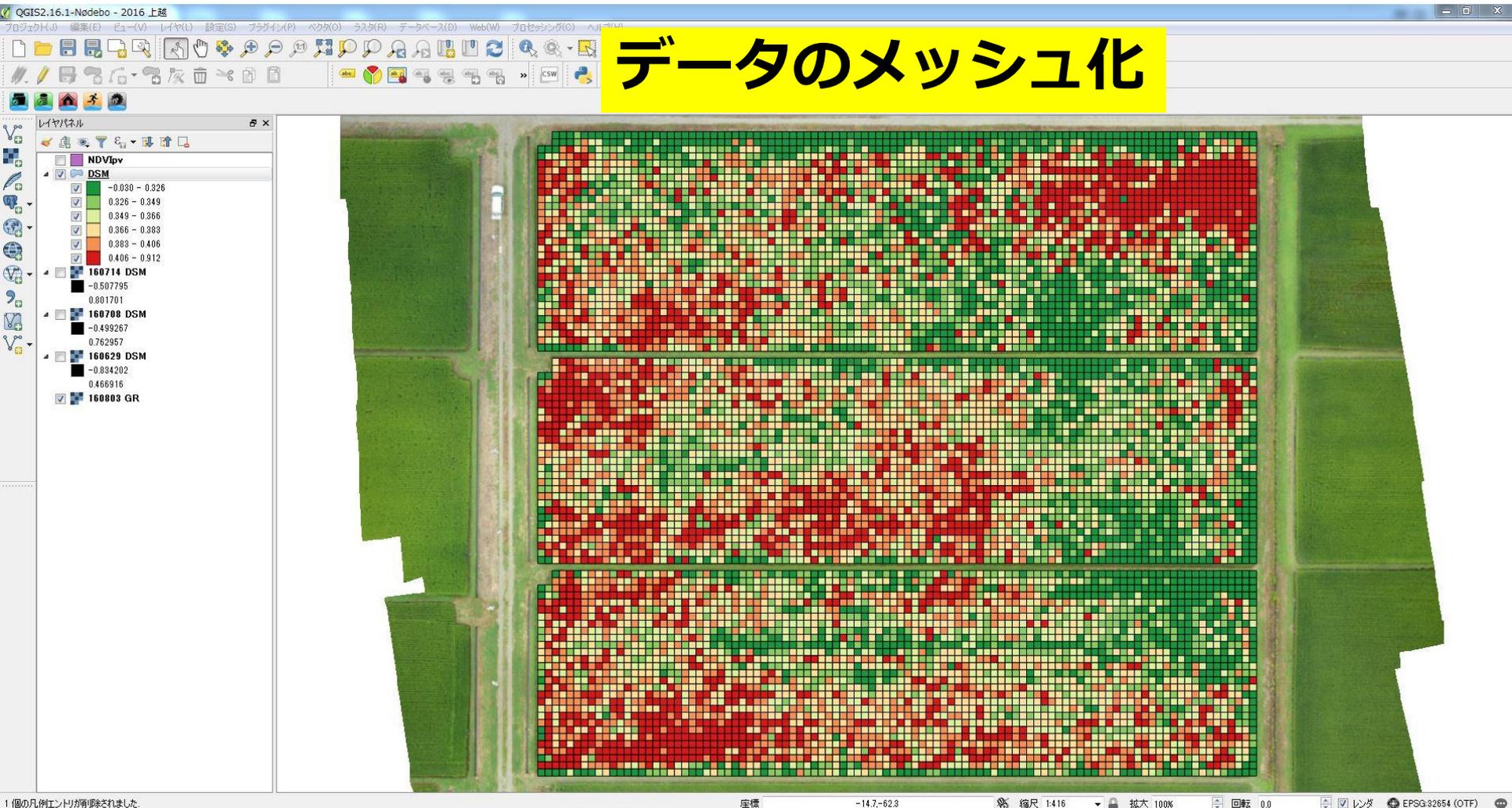


オルソモザイクと Digital Surface Model (DSM)



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





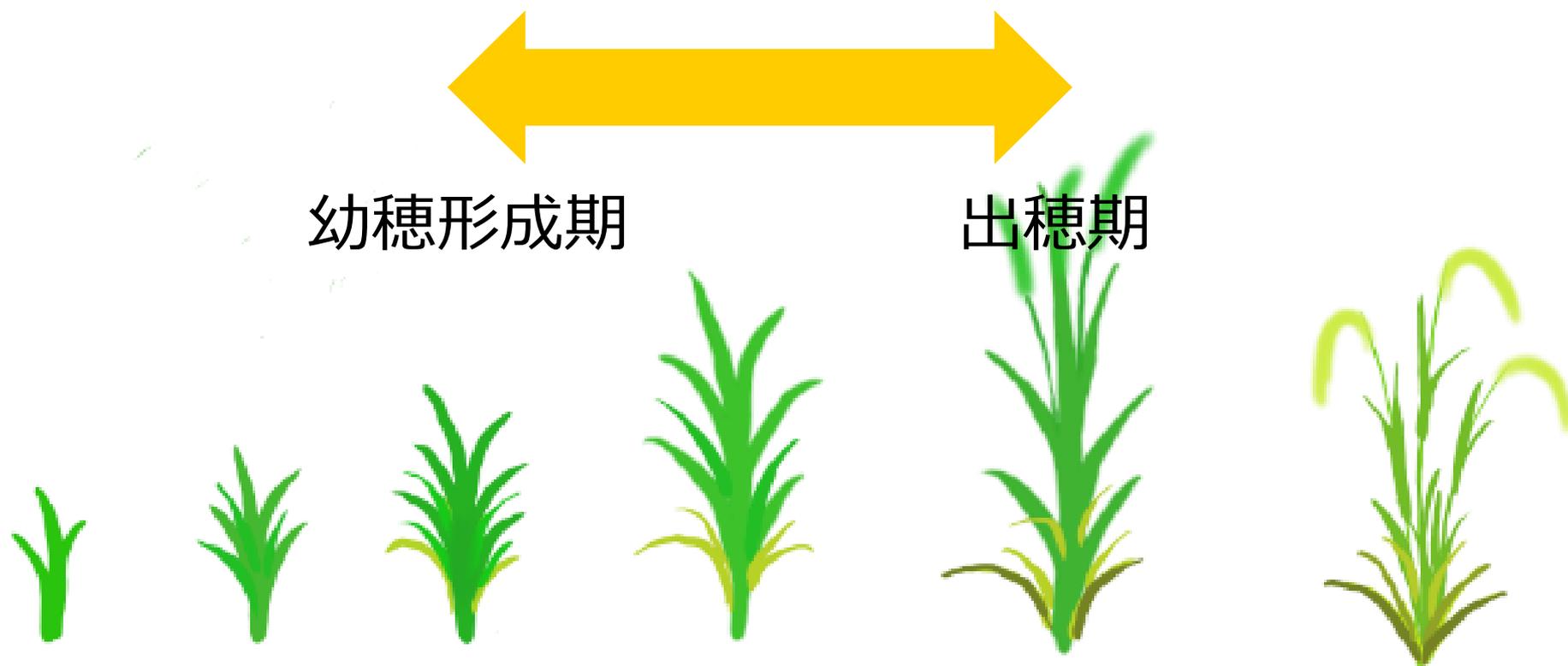
生育観測

草丈・LAI推定

生産者に重要な情報とは？

➡ 追肥（穂肥）の調整

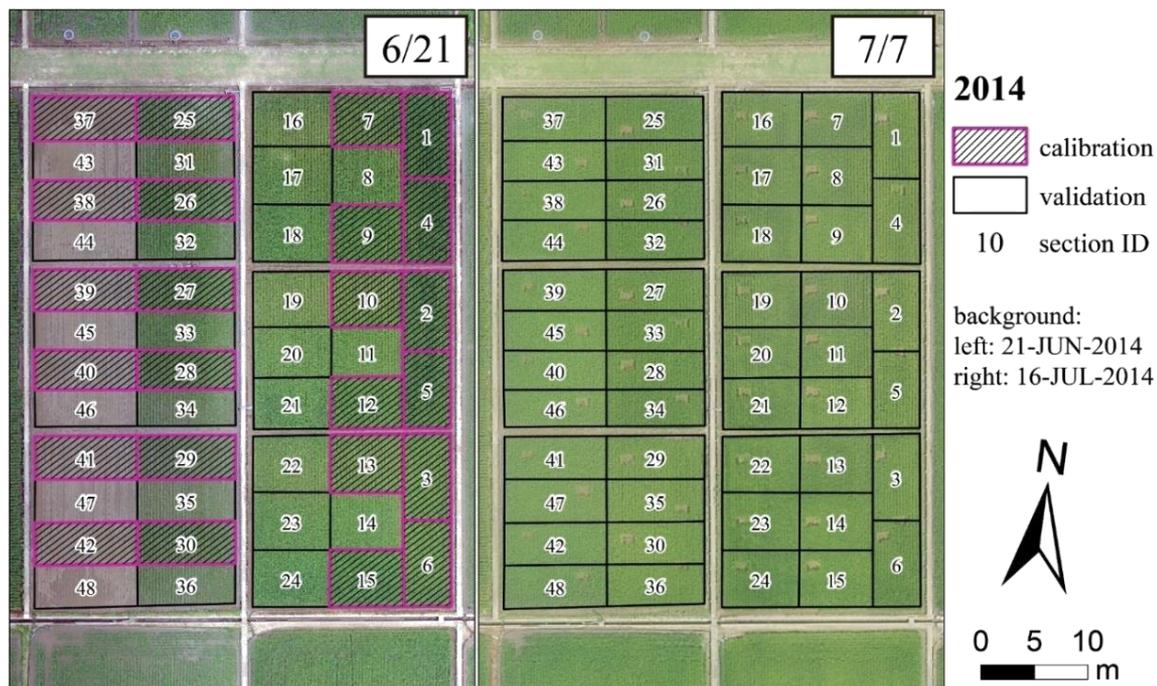
➤ 幼穂形成期～出穂期の生育量



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)

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



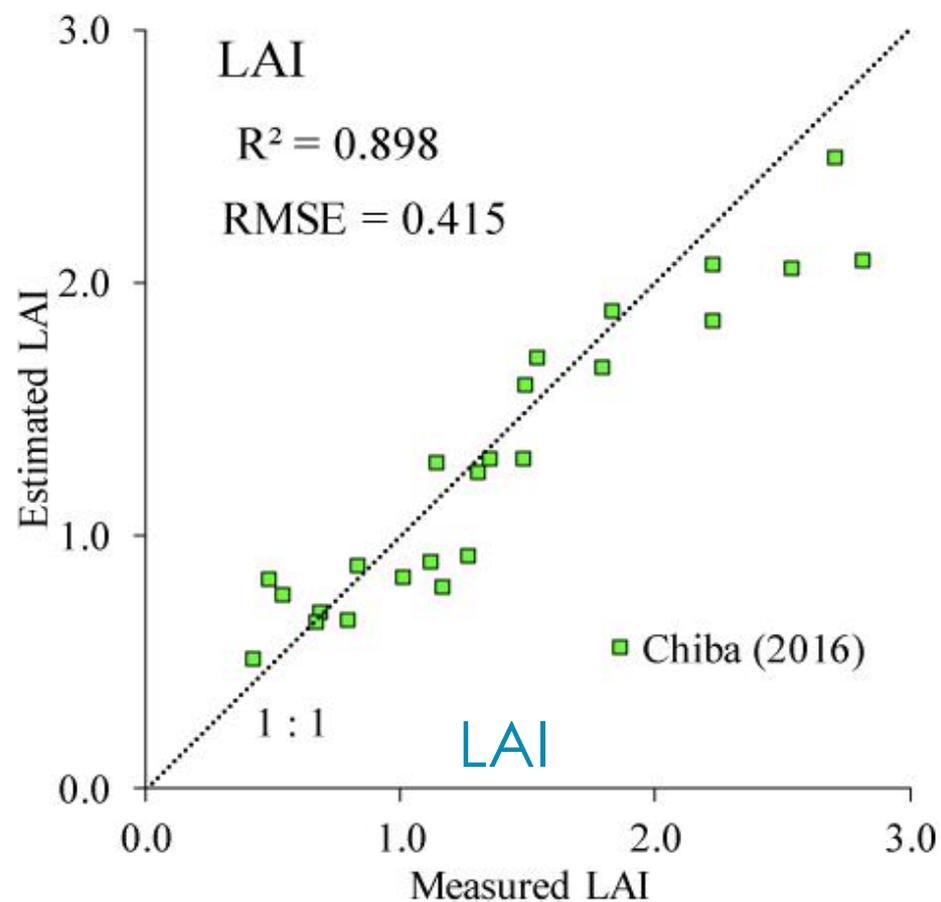
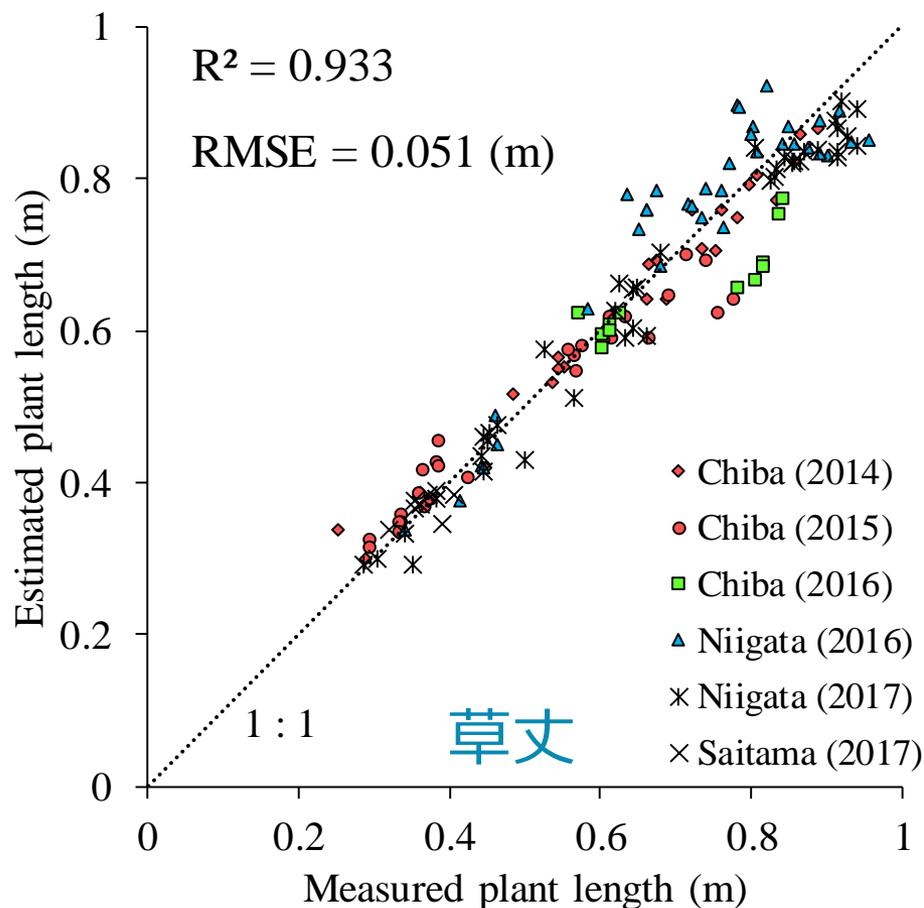
定量的指標の取得

生育判断の定量的指標：草丈・LAI推定モデル

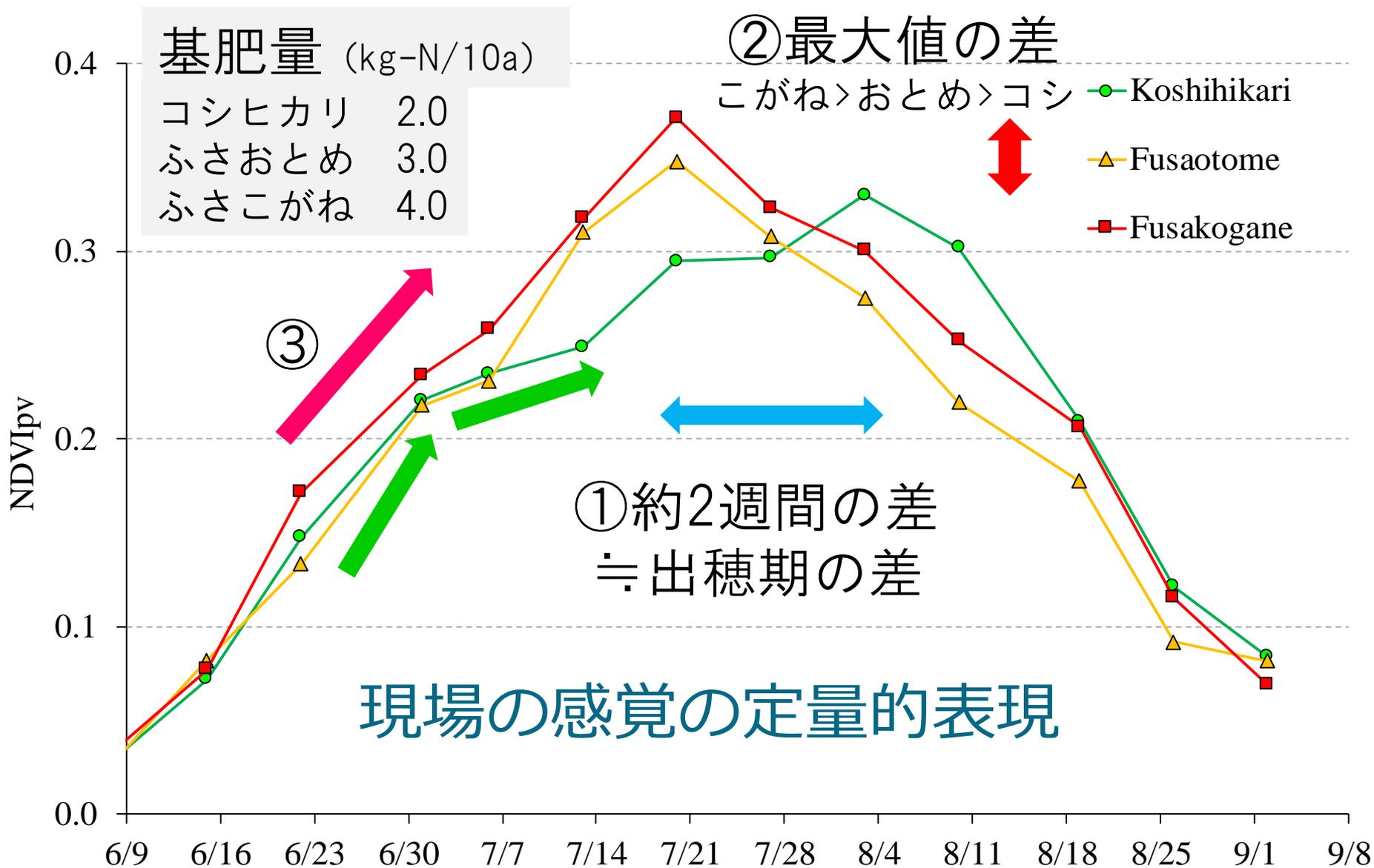
▶ 多年次，他地域に同一の推定式を適用可

※推定式は，品種ごとに作成する必要性がある

コシヒカリの事例



品種によるフェノロジーの違い (2016年5月12日植え)





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

① 幼穂形成期の草丈が70cm以上

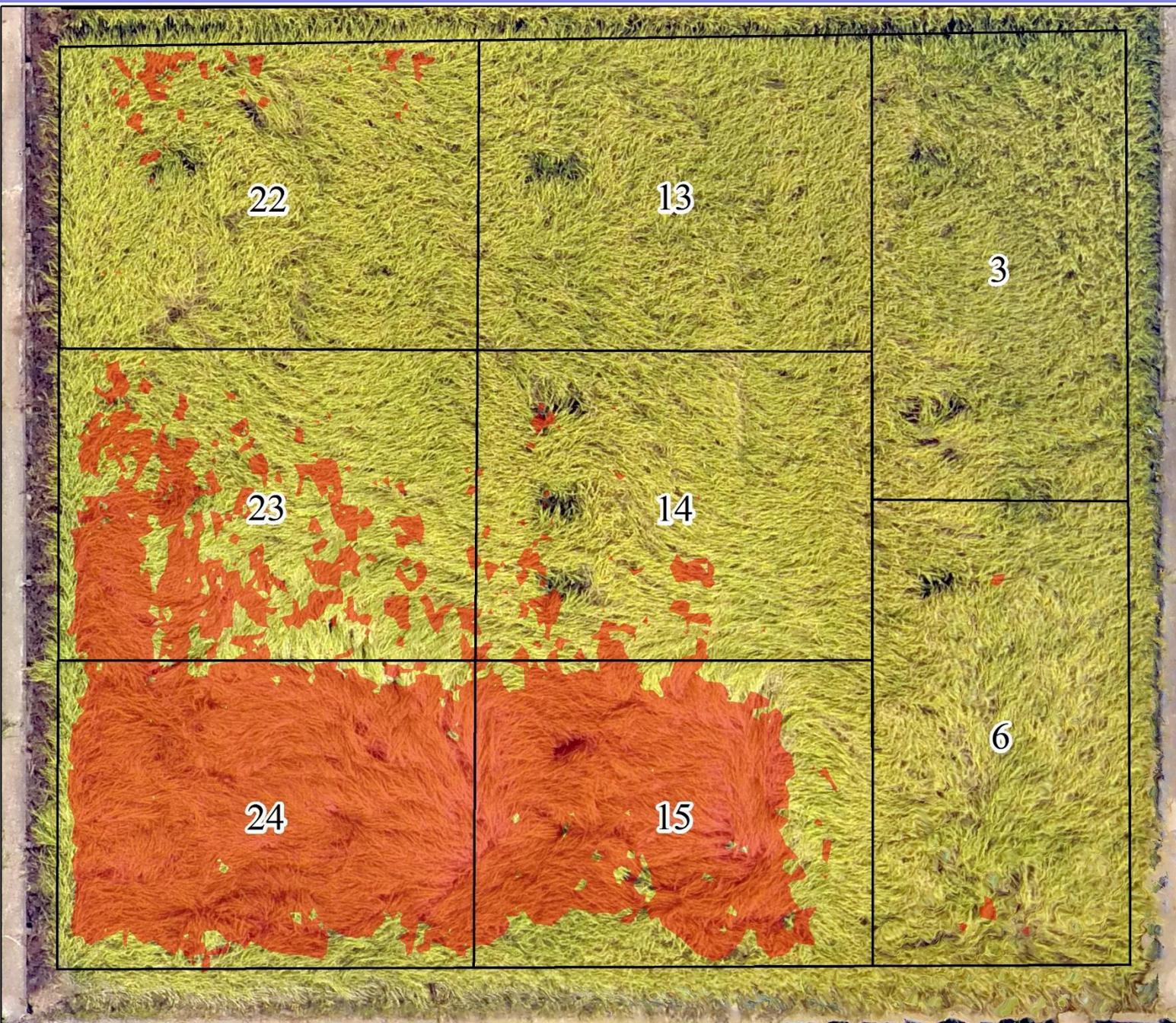
② 出穂前13~14日の草丈が84cm以上

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。





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

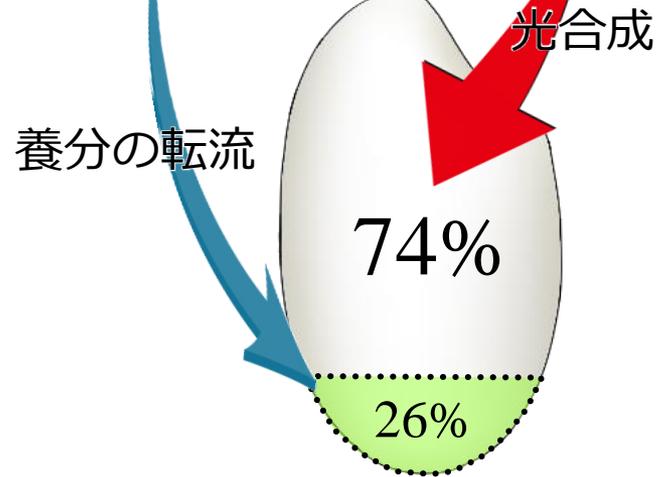
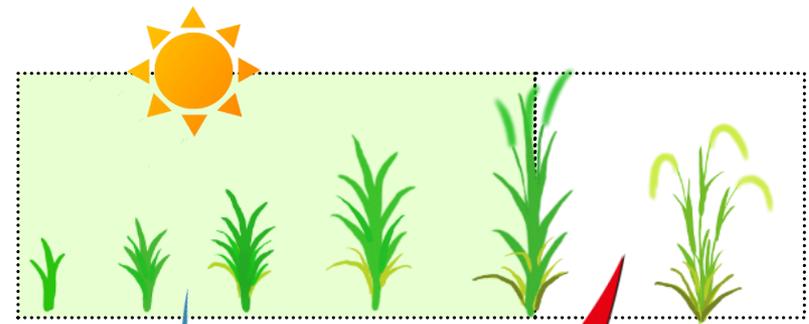
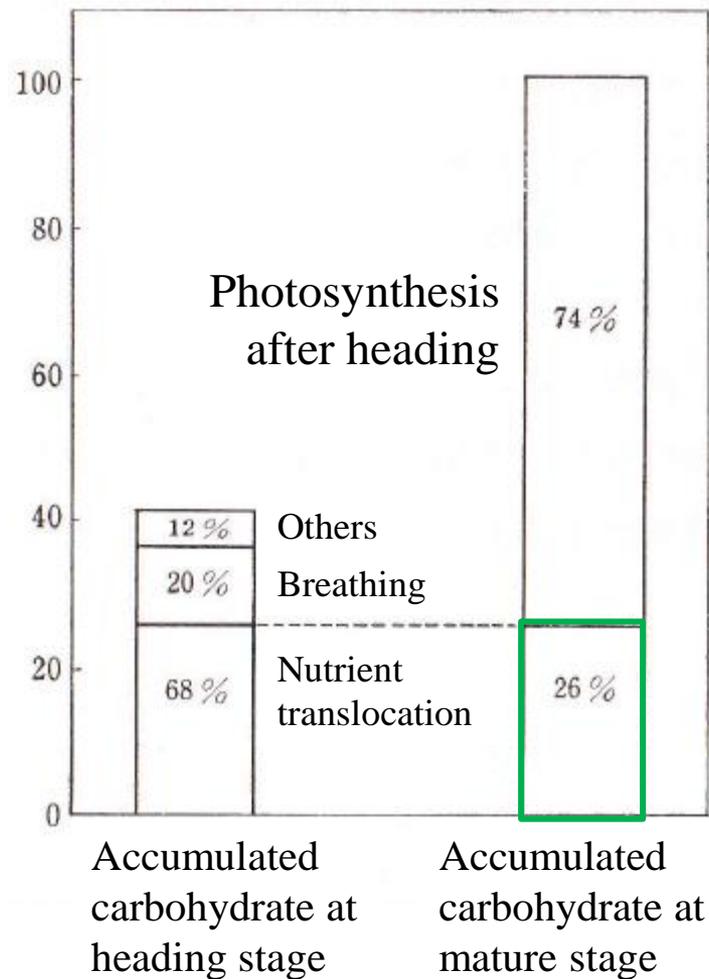
主に生長に使う

小実の形成に使う

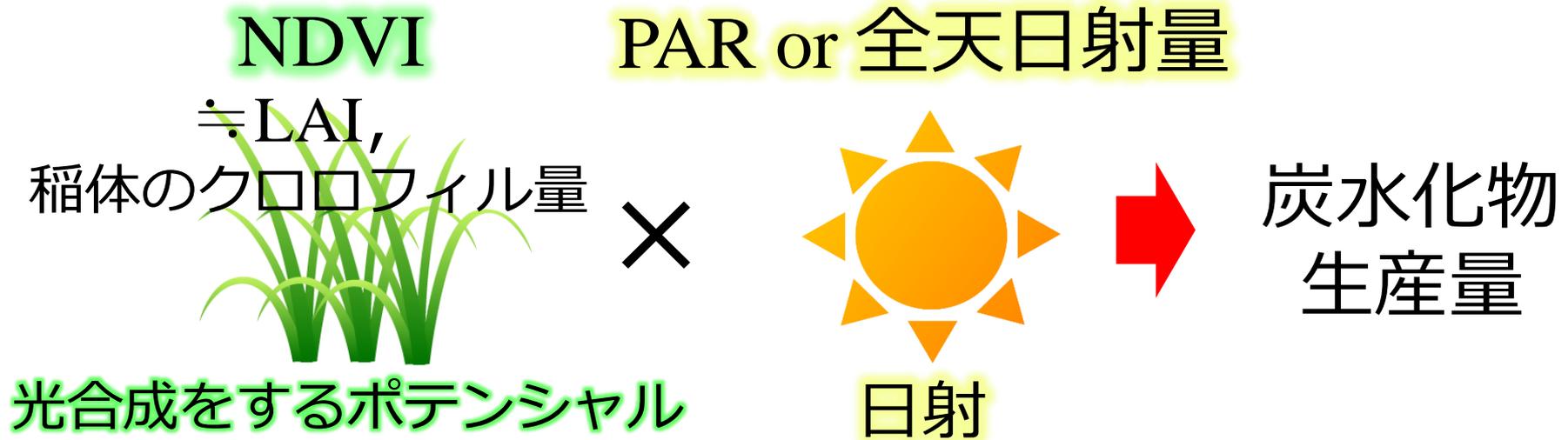


炭水化物の子実収量への貢献 (Cock and Yoshida, 1972)

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)

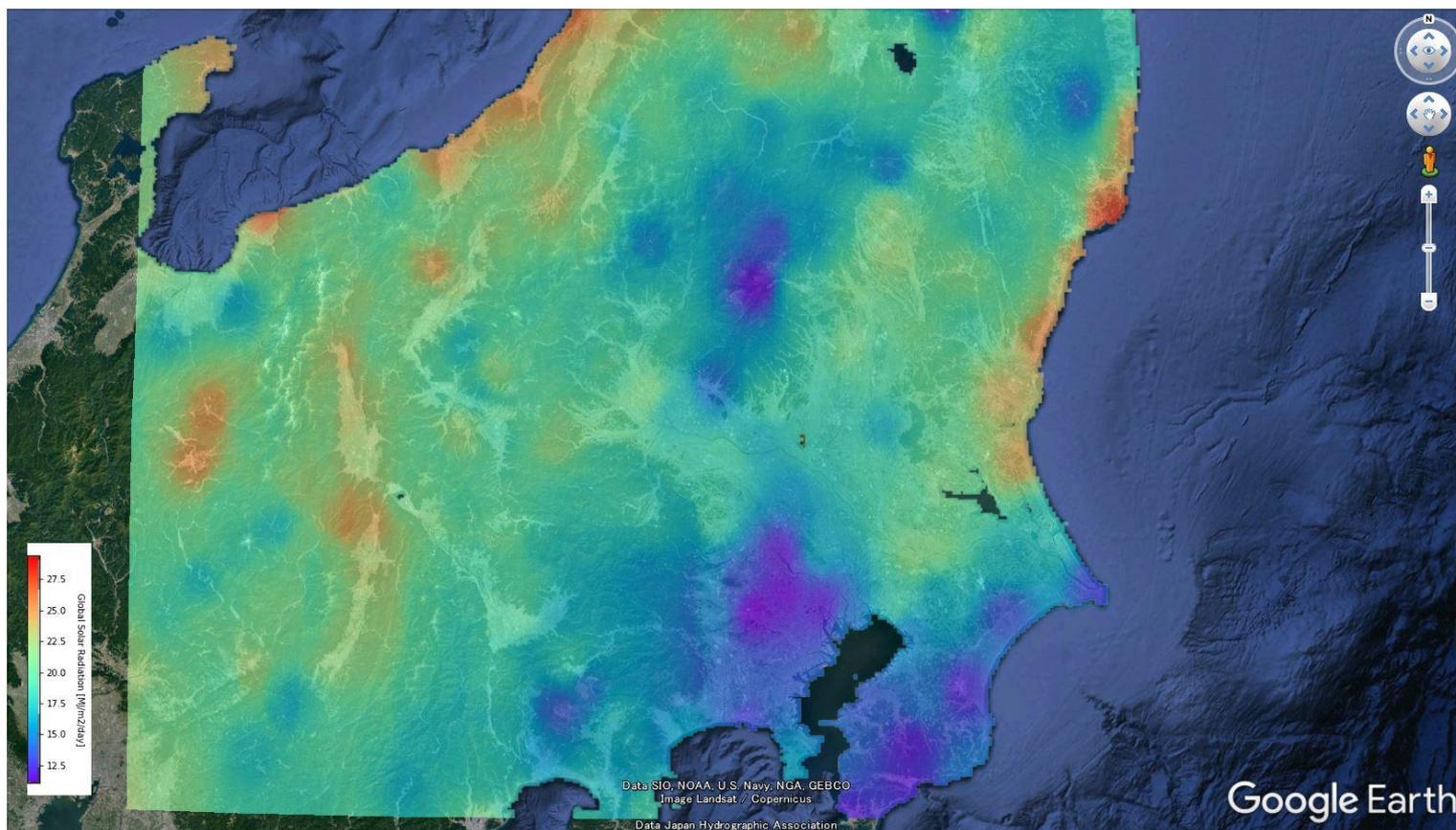
a, b : 回帰分析で得られる係数

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）

- 全天日射量：1kmメッシュ農業気象データ（農研機構）



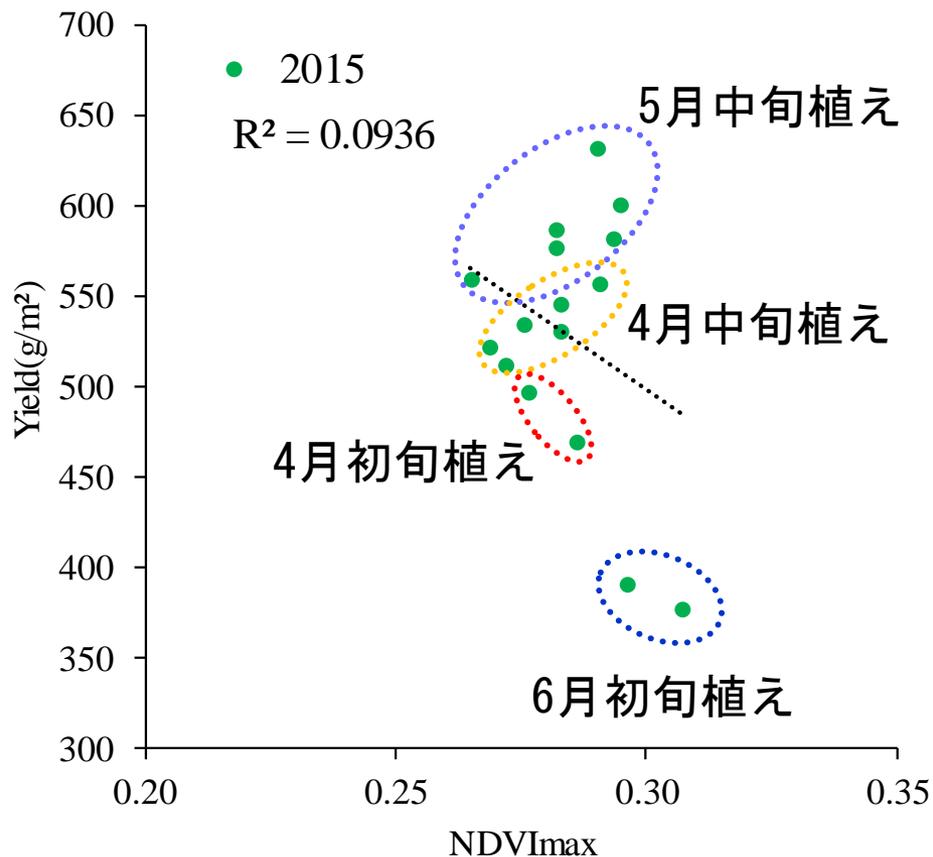
農家が直接利用可能な情報

説明変数と収量の関係（コシヒカリ）

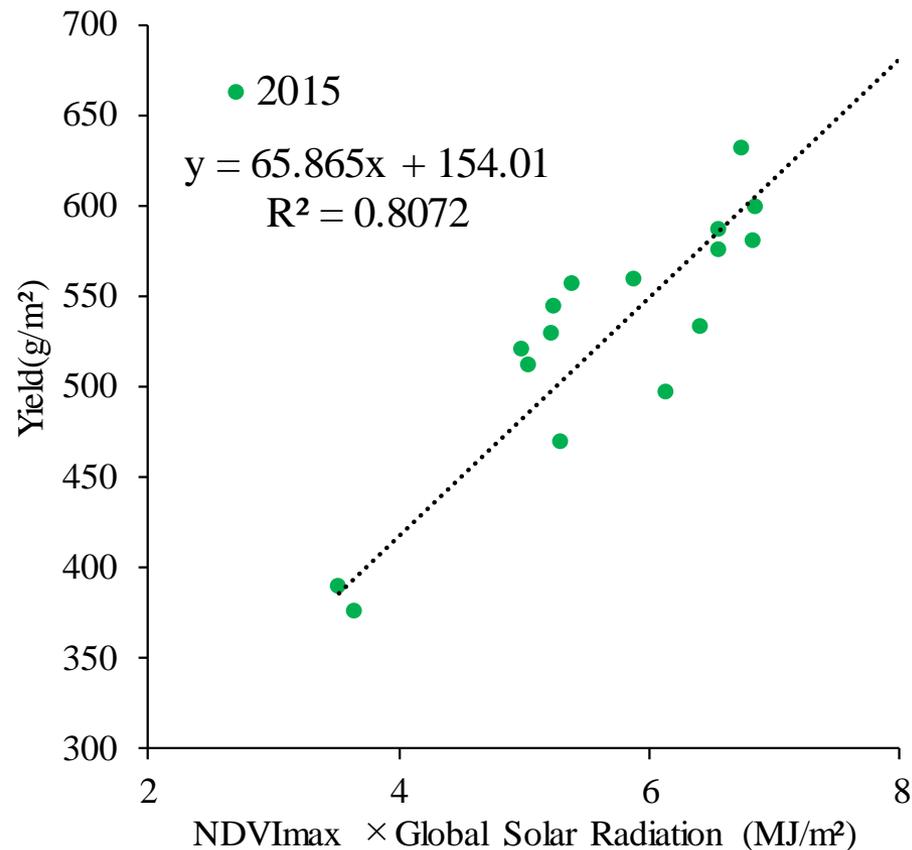
▶ NDVIのみと収量の相関は、田植え時期の影響が大きい

⇒ 生育期間の生育条件（特に日射量）が異なるため

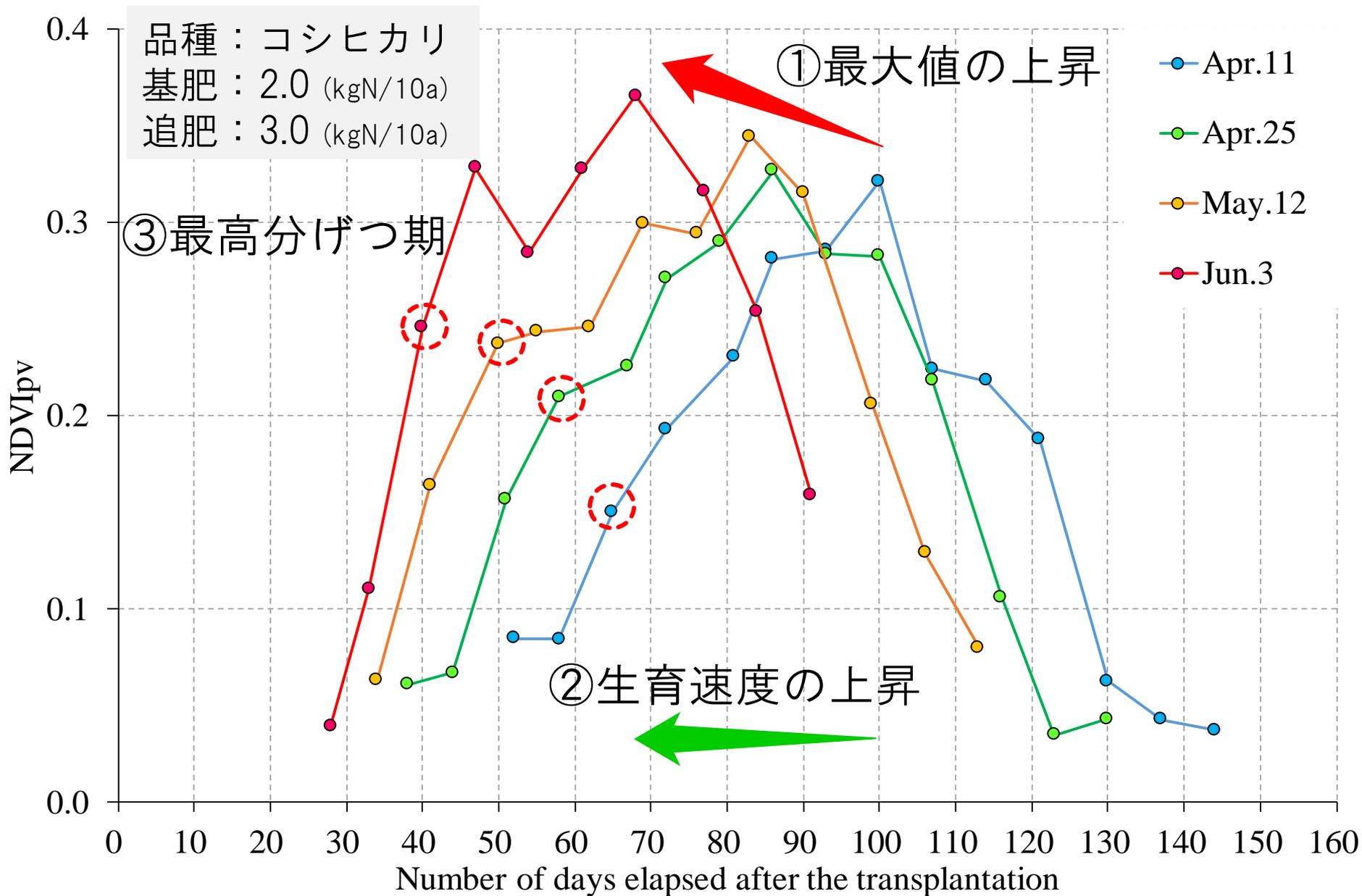
出穂期のNDVIのみ（従来）



出穂期のNDVI × 日射量（本研究）

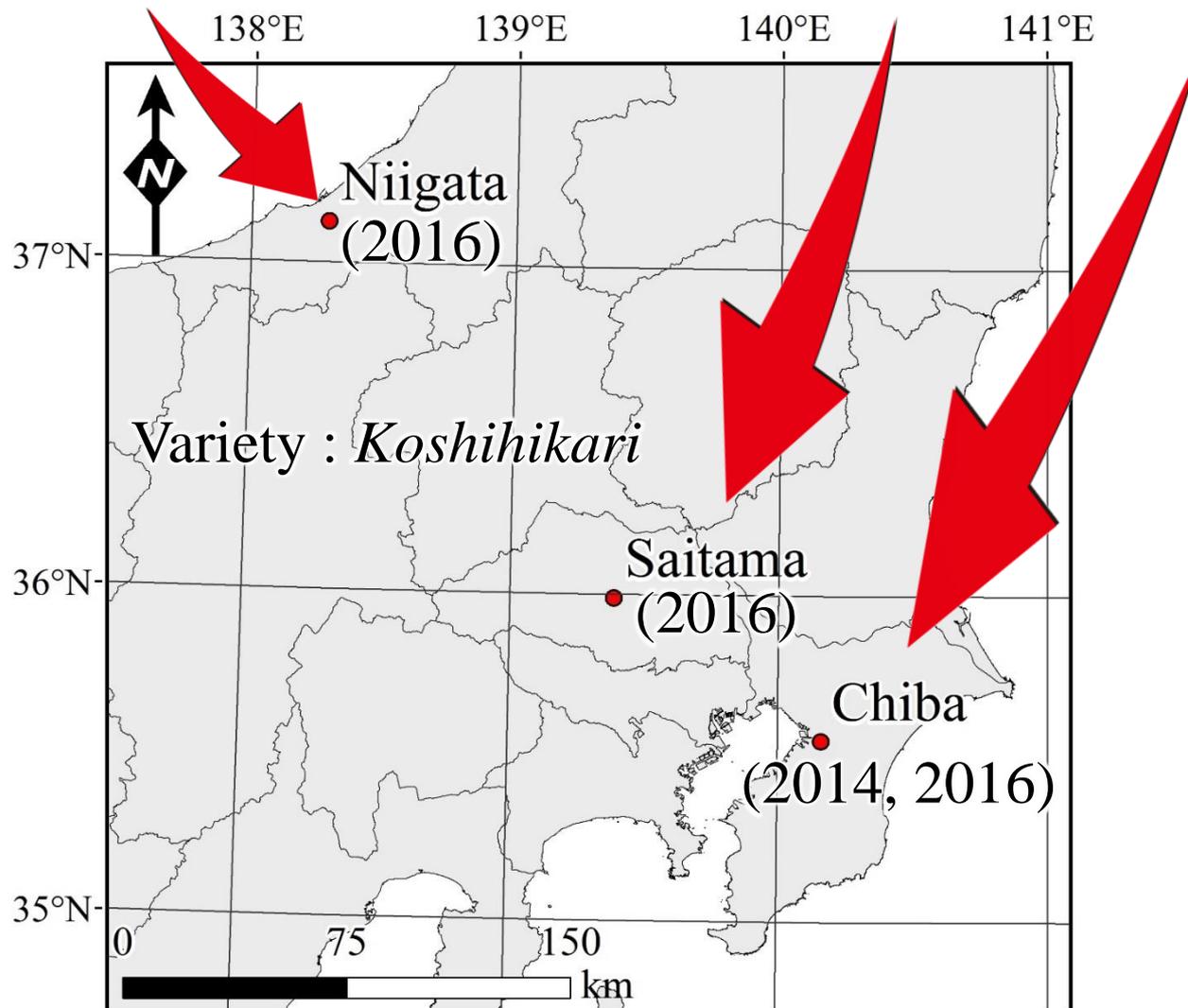


移植時期の違いによるフェノロジーの違い（2016年）



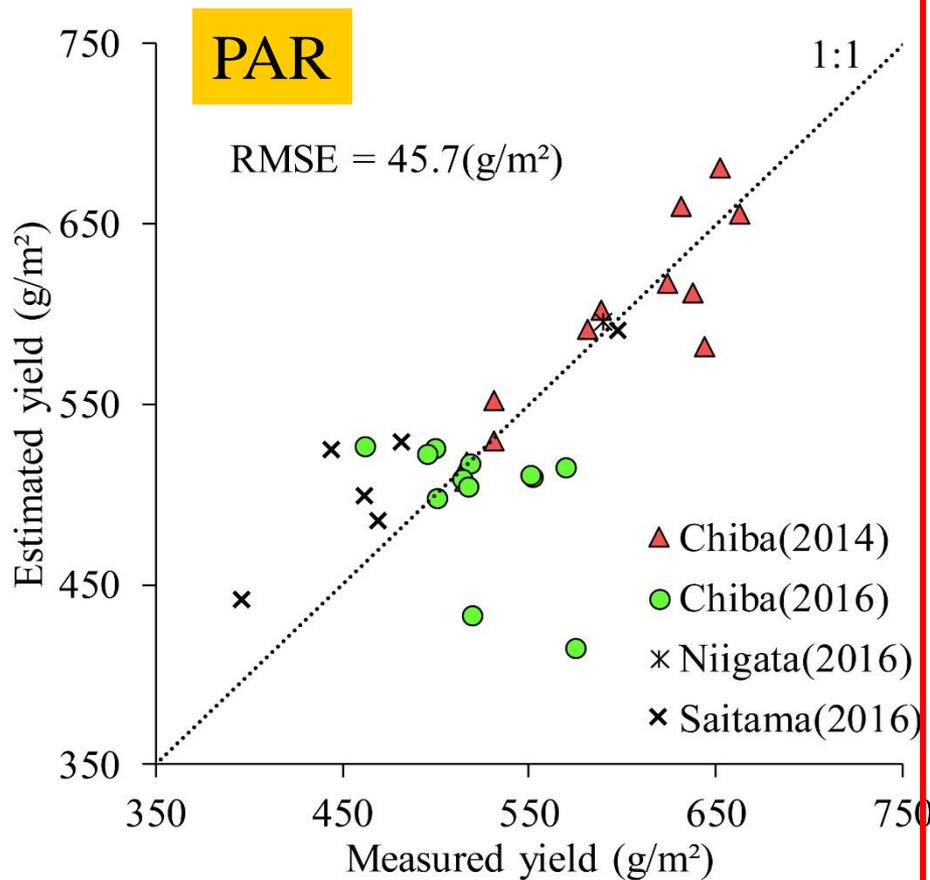
収量推定モデルの他地域，他年次への適用

▶ 収量推定モデルは千葉での2015年観測結果をもとに導出

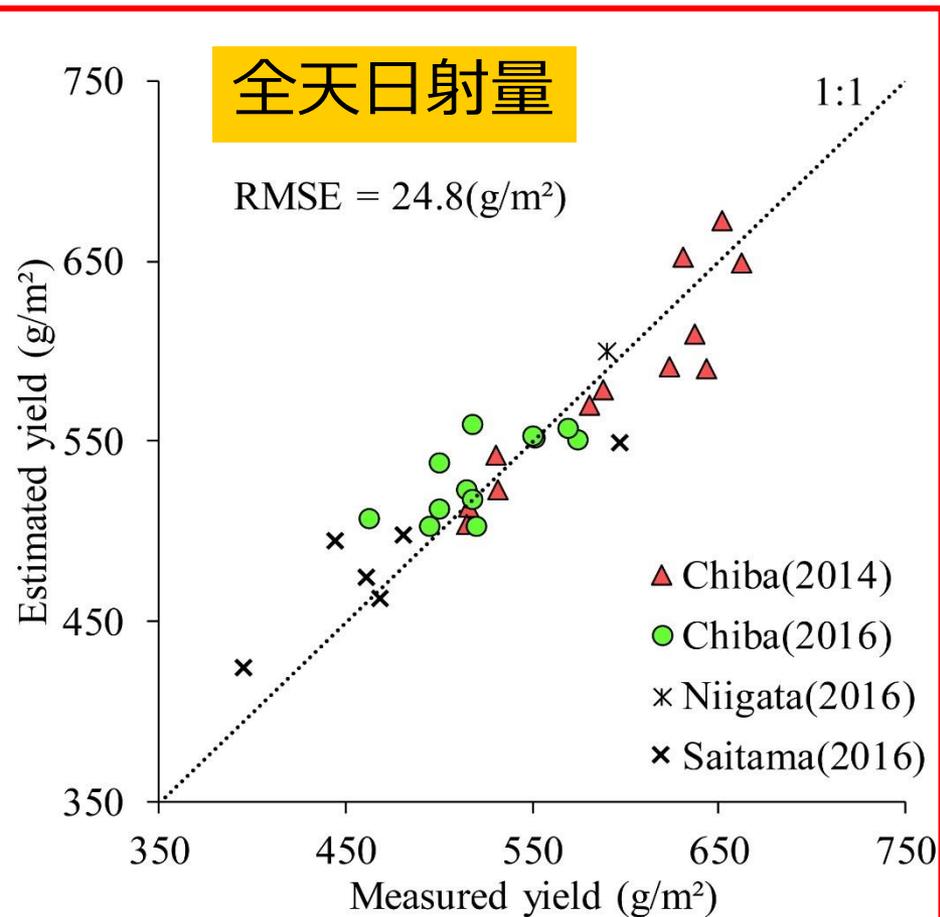


収量予測 (コシヒカリ)

- ▶ 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



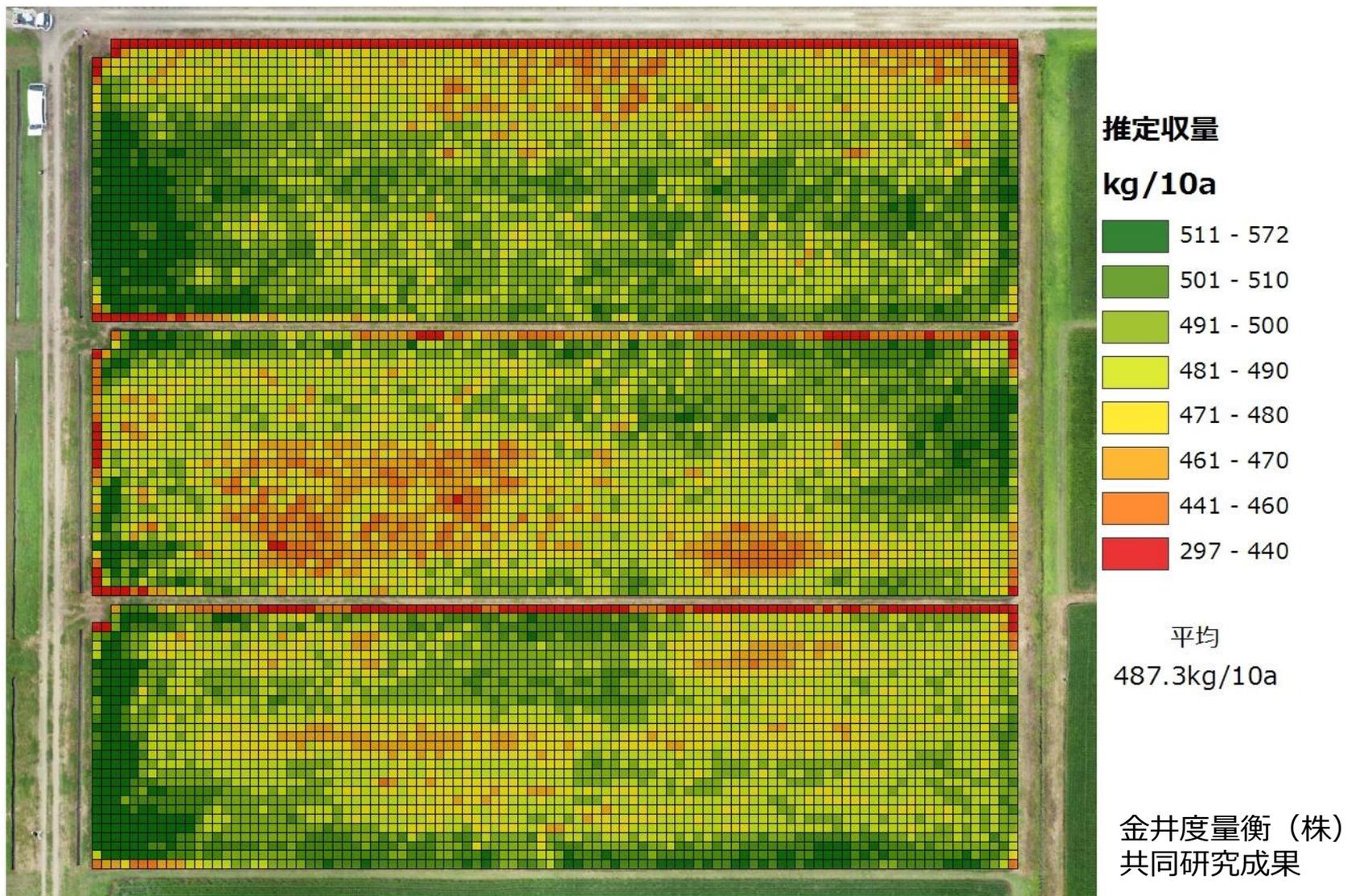
a) Yield estimation using PAR



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

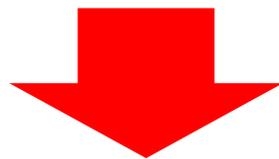




タンパク含有率推定

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, ○日間の平均気温

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

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

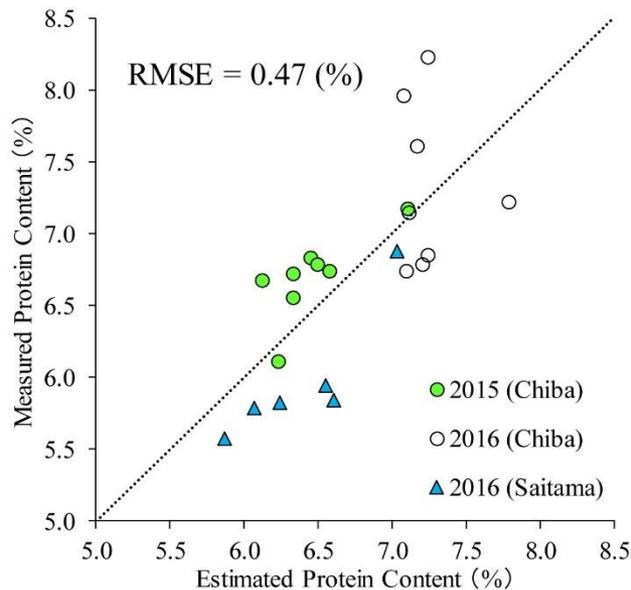
- 他年次, 他地域に推定モデルを適用

(コシヒカリ)

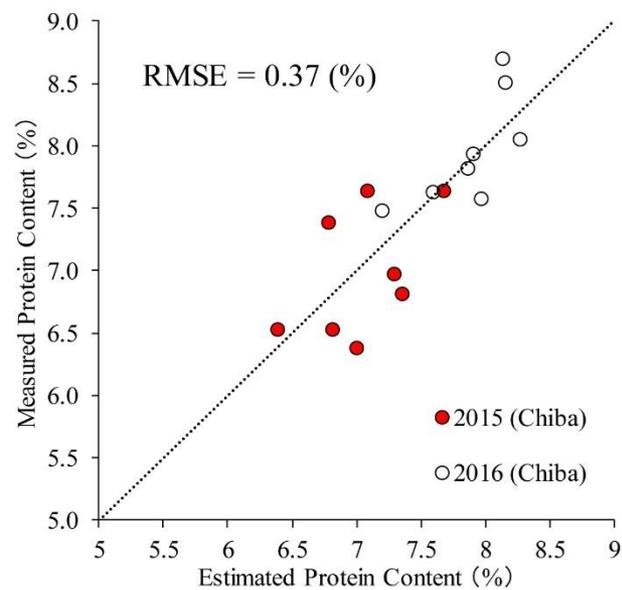
- 出穂期のNDVI
- 出穂後5~20日の平均気温

- 推定精度は, 5~7%の誤差

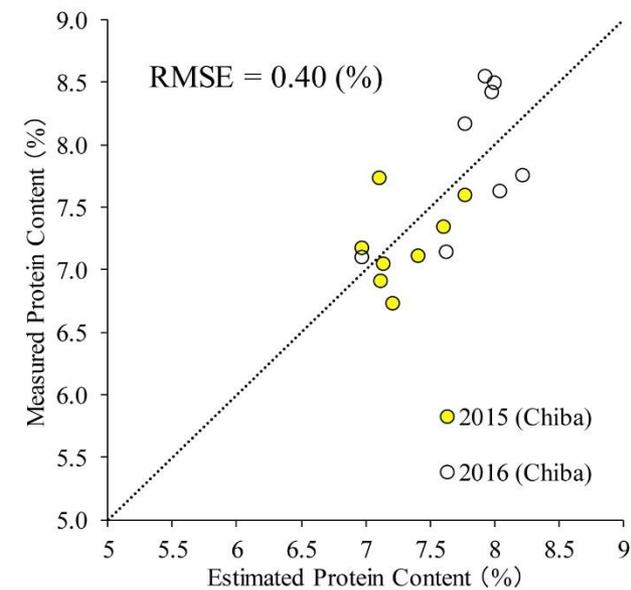
コシヒカリ



ふさおとめ

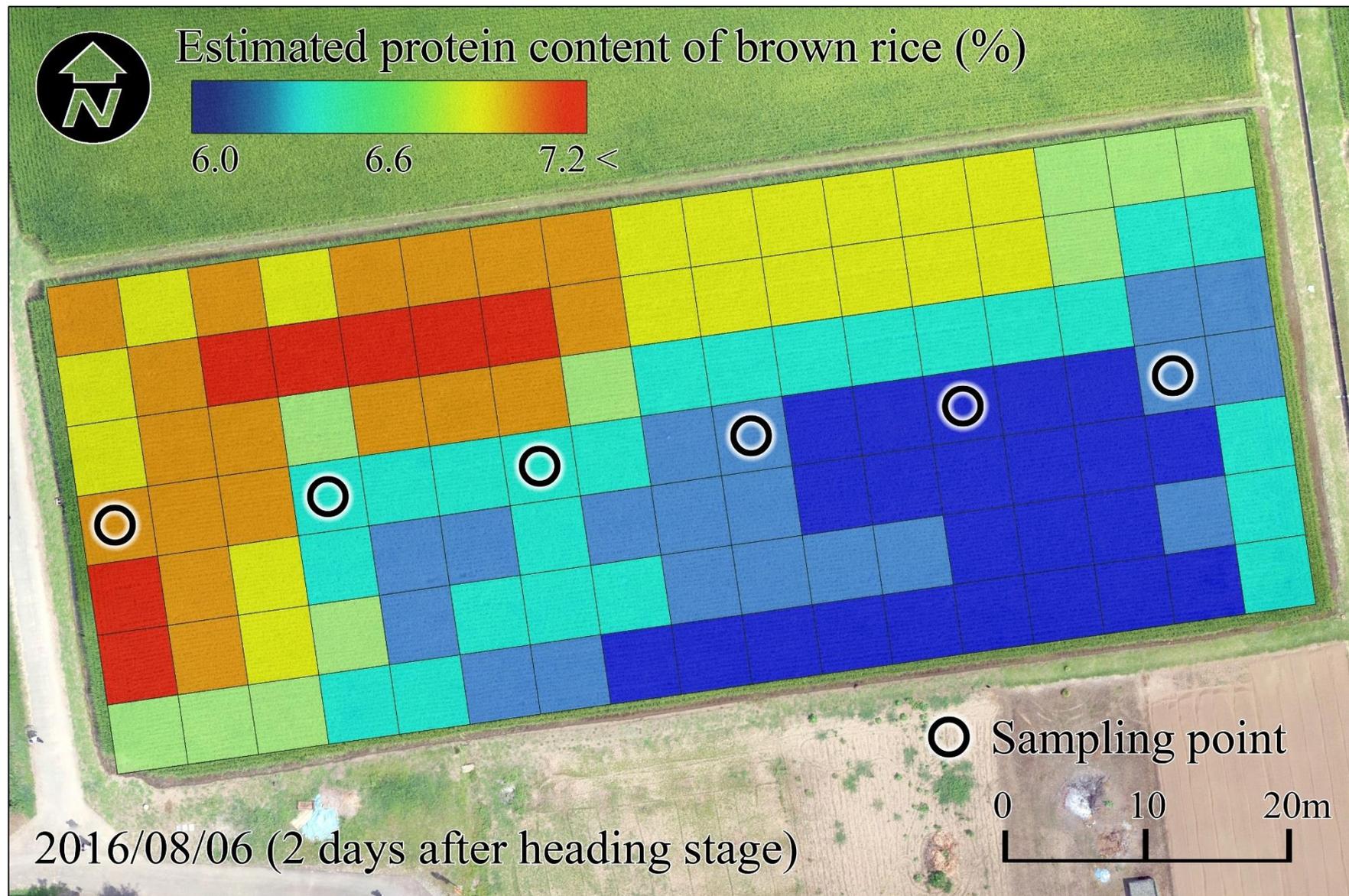


ふさこがね



タンパク含有率推定

埼玉坂戸 田中農場共同研究成果





収穫適期予測
葉色推定

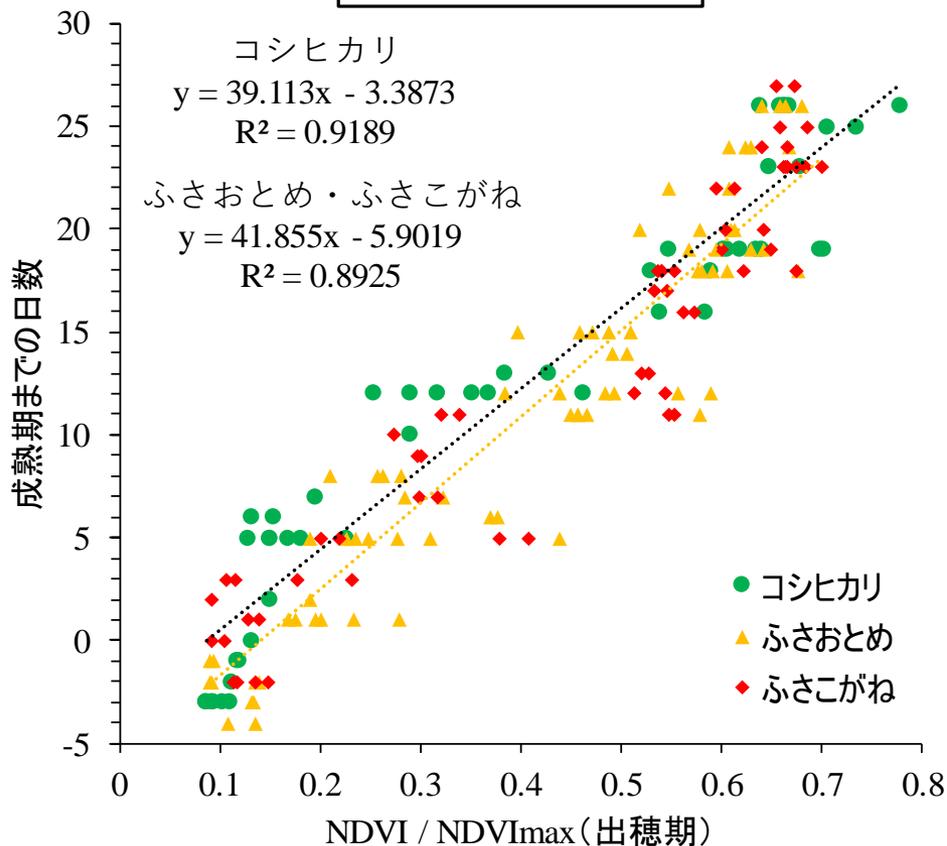
収穫適期予測・葉色推定（登熟期：出穂～成熟）

NDVI ⇒ 草丈×莖数×葉色 = 稲体クロロフィル量が影響している

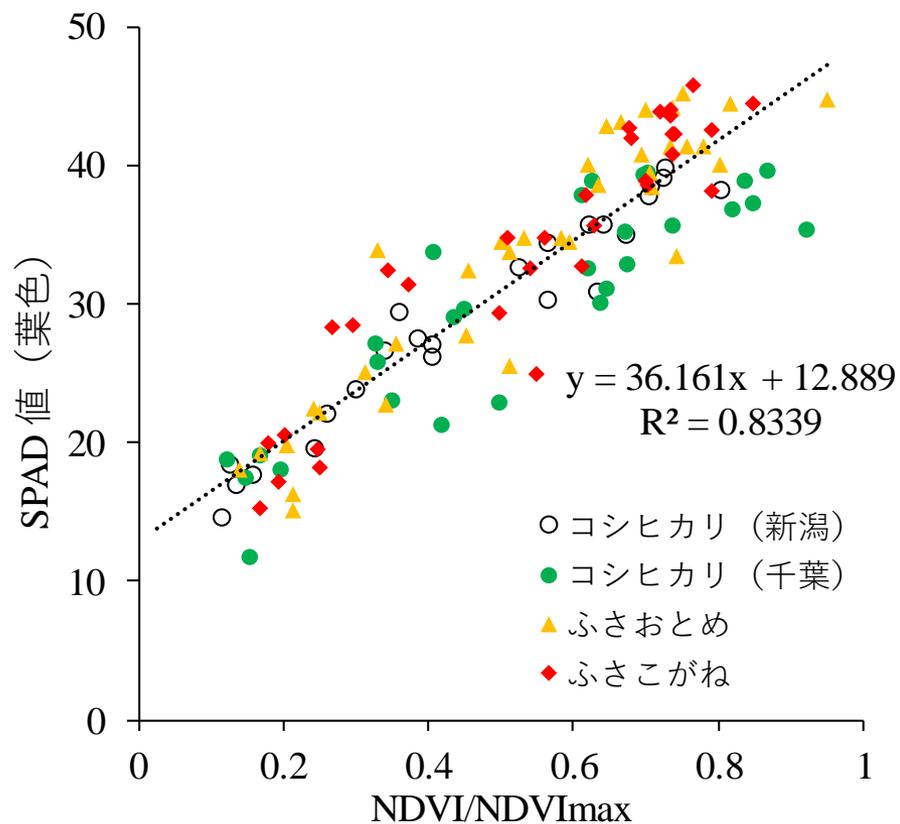
▶ 登熟期のNDVI÷出穂期のNDVI

⇒ 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

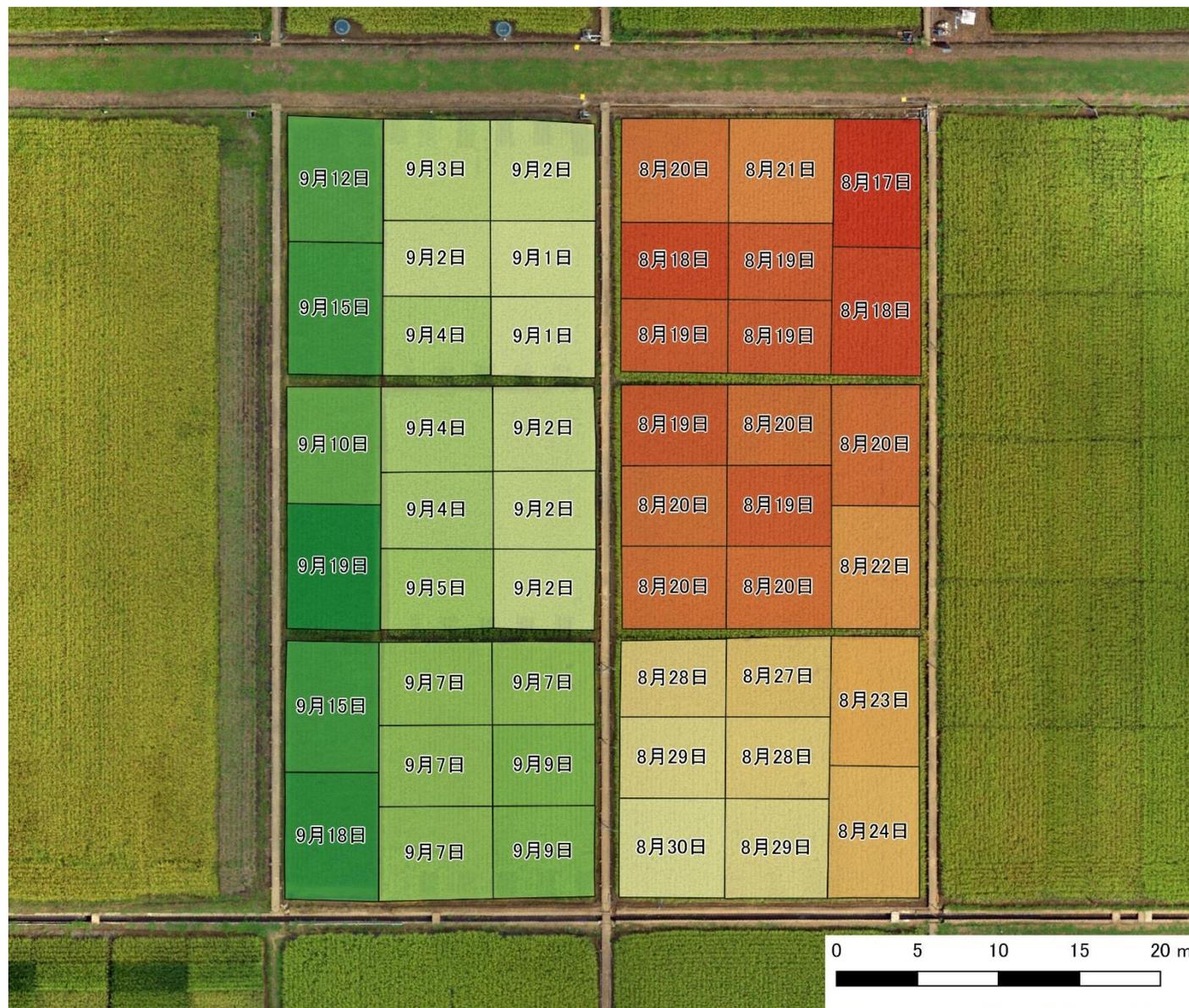


葉色推定



収穫適期予測マップ

8月16日の観測結果より



予測成熟期(収穫適期)

- 8月17日
- 8月18日
- 8月19日
- 8月20日
- 8月21日
- 8月22日
- 8月23日
- 8月24日
- 8月27日
- 8月28日
- 8月29日
- 8月30日
- 9月1日
- 9月2日
- 9月3日
- 9月4日
- 9月5日
- 9月7日
- 9月9日
- 9月10日
- 9月12日
- 9月15日
- 9月18日
- 9月19日

閑話休題：カメラ 4年間の観測での気付き

● どのカメラ（画像センサー）を使えば良いのか？

⇒ **ドローン農業における最大の課題！**

Yubaflex : Bizworks



RedEdge : MicaSense



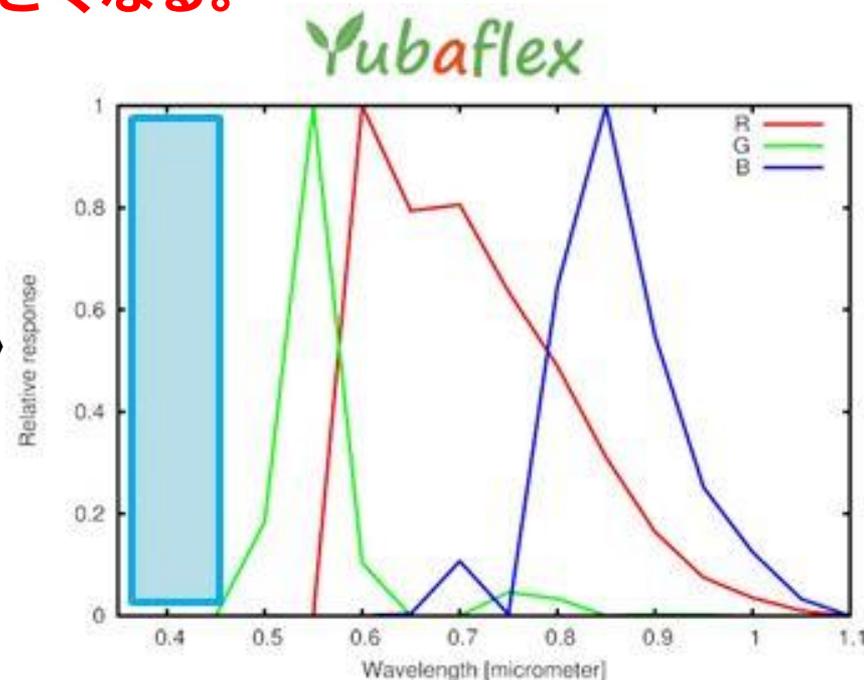
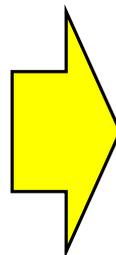
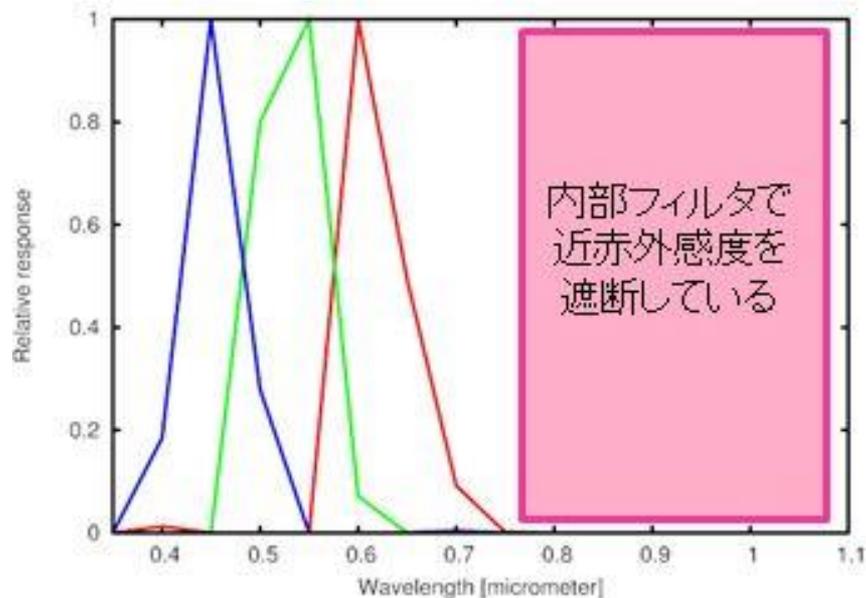
	Yubaflex (BIZWORKS)	RedEdge (MicaSense)
価格	27万円	90万円
使いやすさ	◎	△
画角	○	△
解像度	○	△
画像の鮮明さ (ブレ)	△	◎
ファイルサイズ	△	○
画像処理時間	△	◎

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

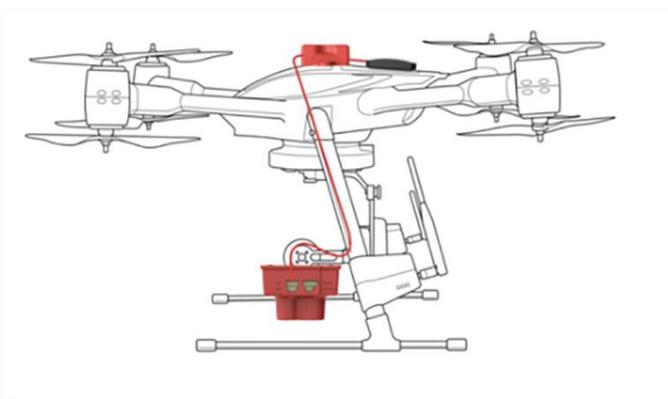
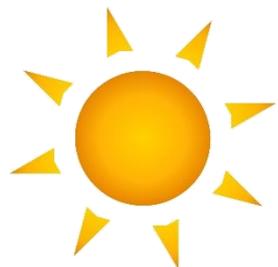
※赤では近赤外も評価している。

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。



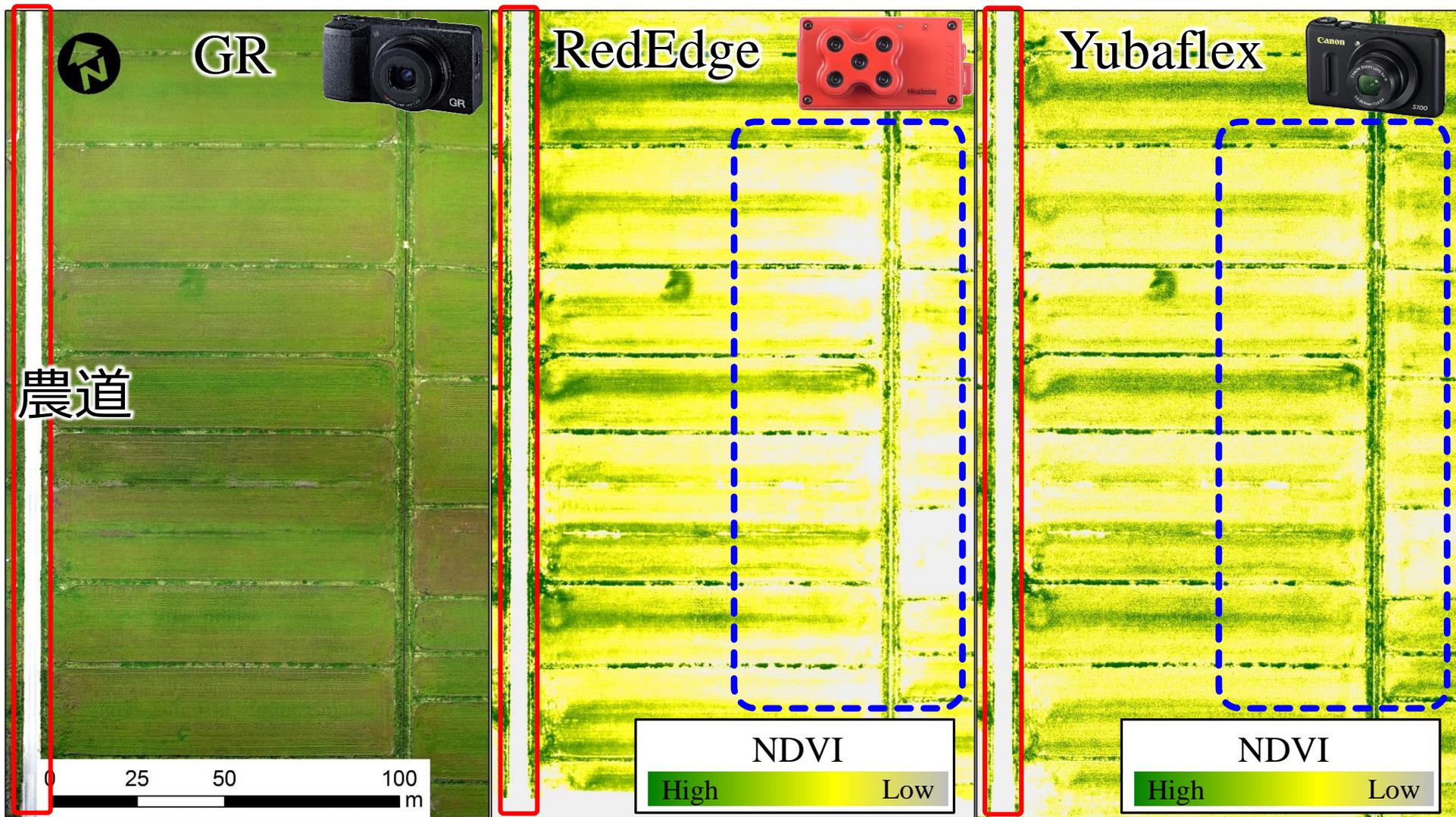
RedEdge (マルチスペクトルカメラ MicaSense社)

- ▶ 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



撮影画像の露出条件の変化 (RedEdge)

▶ 快晴条件下だが、シャッタースピードが変化している

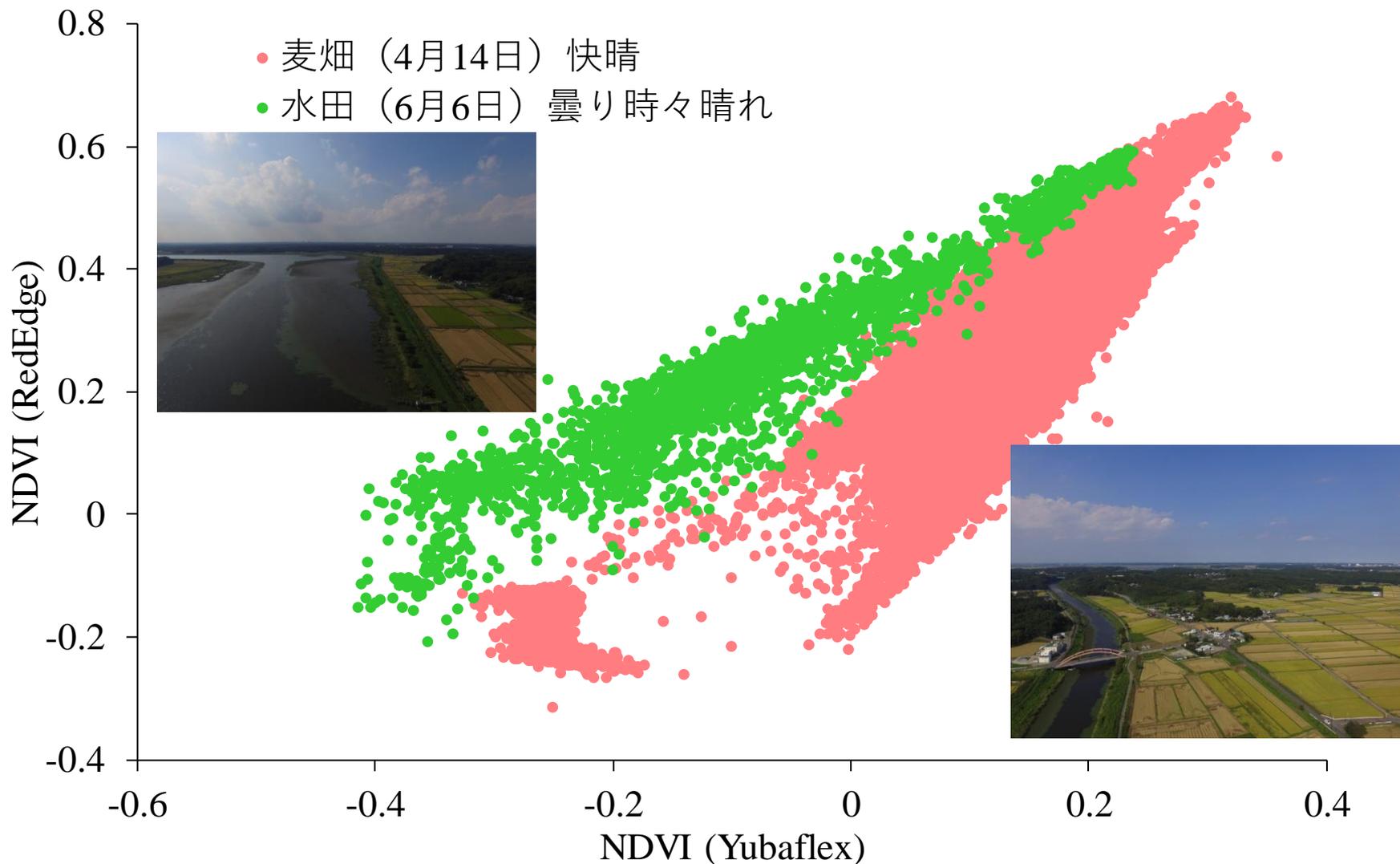
※RedEdgeはシャッタースピードでゲインを調整する

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。



まだ解決すべき問題もありますが、

UAVリモセンが可能にしたこと

▶ On-demand remote sensing

⇒センサーを搭載し、作業者の意思に基づきデータ収集。

▶ フィールドレベルの知識とリモセンデータの統合・解釈

⇒UAVリモセンの可能性 — 超学際の実現 —。



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

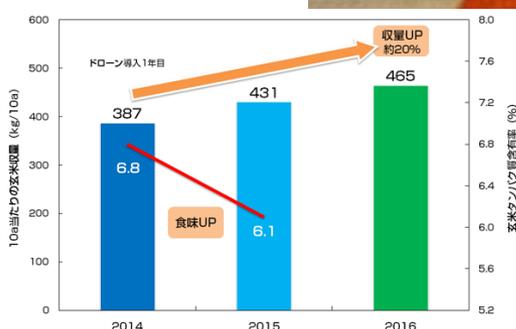
⇒シンプルかつ低コスト

年度を超えても適用可能，他地域でも適用可能。

農家が自ら運用可能で，迅速かつ実用的な精度を確保でき、背景には科学的根拠がある。



埼玉における協働 ～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）



おわりに

UAVリモセン



農業者の解釈

UAV農業管理システム

地域カスタマイズ

ドローンを汎用農機へ