



ラジコン電動マルチコプター,SfMを使用した 近接画像からの水稻生育モニタリング

濱 侃, 早崎 有香 (千葉大学), 田中 圭 (日本地図センター),
近藤 昭彦 (千葉大学、CEReS)



はじめに

- ラジコン・マルチコプターは急速に普及。
- 小型化・低価格化、姿勢制御技術。
- UAV(Unmanned Aerial Vehicle)・観測ドローンとしての活用。
- 任意の範囲を、規則正しく飛行・計測を行っている様子は、まさに「**空飛ぶスキャナ**」



リモートセンシングと稲作

- リモートセンシングの重要な課題
- 農作物の生産管理に関わる研究は、多くの研究例が存在。
 - 生育・収量予測、収穫適期など。
 - 解析手法などは、事例・手法が多数ある。
- 水稻においては、**収穫時期**、**収量**と**食味**が重要。

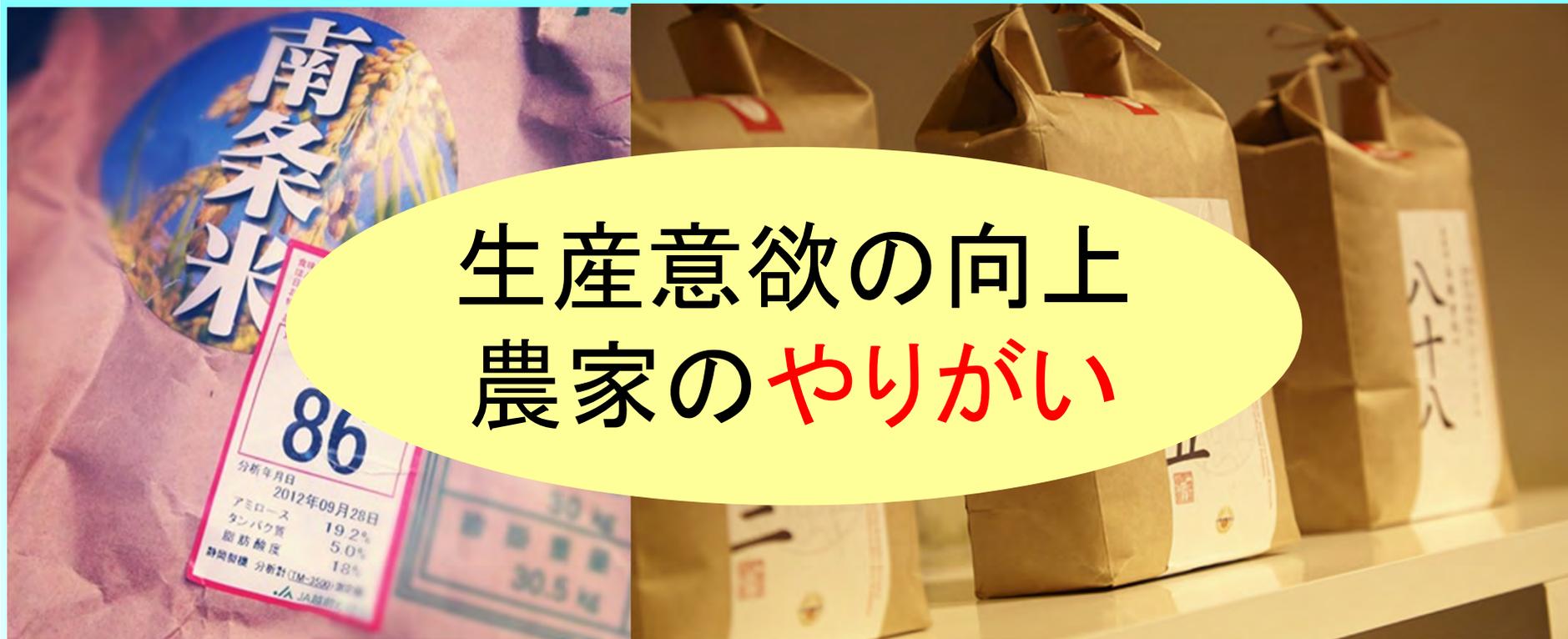
米の等級と食味値



「お米の品質・等級」より

等級	整粒割合	水分含有	死米混入	着色粒混入	もみ混入
1等米	70%~	12%~15%	~7%	~0.1%	~0.3%
2等米	60%~	12%~15%	~10%	~0.3%	~0.5%
3等米	45%~	12%~15%	~20%	~0.7%	~0.1%

米の等級と食味値



一般財団法人 日本穀物検定協会より

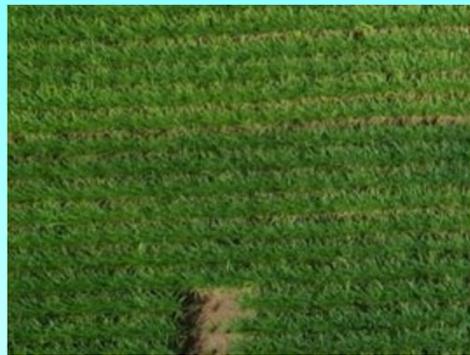
食味値：100点満点（基準値60～65点）

近赤外線分析機で、「アミロース」「タンパク質」「水分」「脂肪酸度（玄米）」の4つの成分を測定

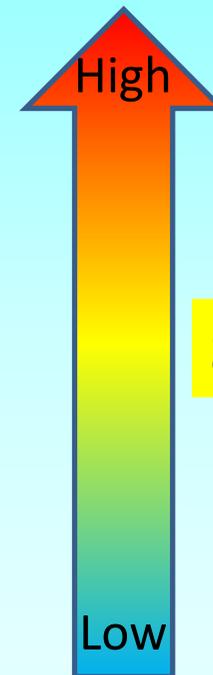
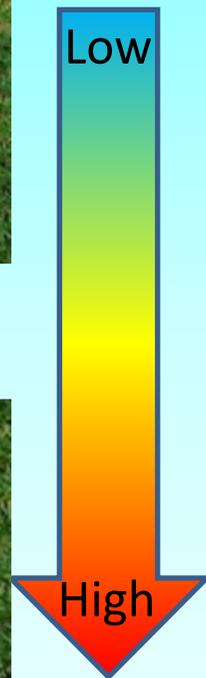
リモートセンシングと稲作

- 2000年周辺は、**収量**の予測が多く行われた。
- 現在は、SAR(Xバンド)を使用した研究も注目されている。(木村ほか(2013))
- ハイパースペクトルカメラを使用したSPAD値推定や食味に関わる**タンパク質含有率**の推定などを、航空機・衛星・UAVから行うことができる。(小田川ほか(2012)、向山ほか(2011)など)

RMAX・HSセンサーを使用したSPAD値推定 向山ほか(2011)



空間分解能



$R^2 = 0.927$

SPAD値推定精度

$R^2 = 0.475$



リモートセンシングと農業



衛星・航空機モニタリング



UAVモニタリング

多数

研究数
>

ほとんどない

目的

作付面積、作況、
収穫量調査



行政のため

目的

生育状況、品質、
収穫量調査

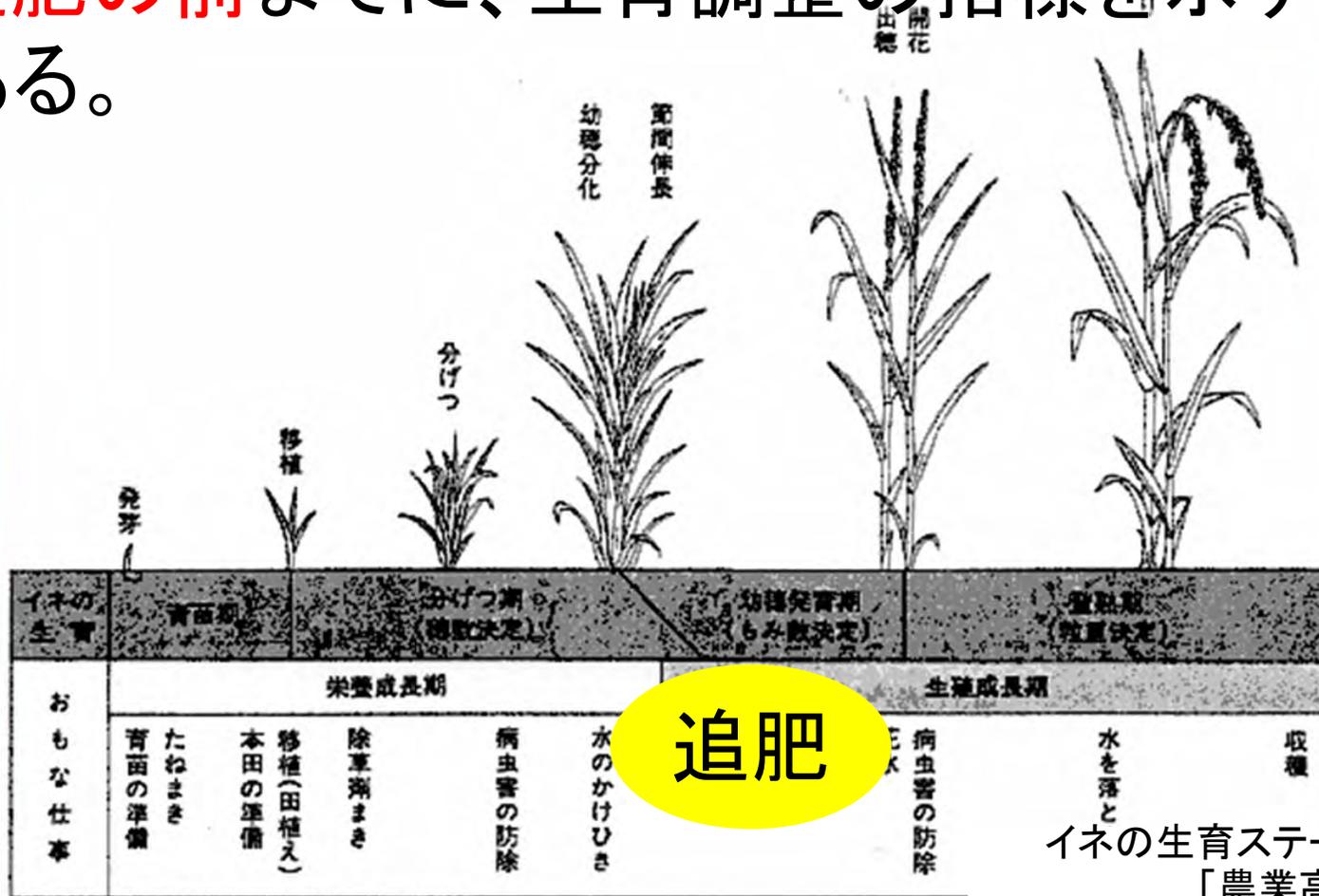


生産者のため

分析手法

水稻の生育調整

- 追肥が主な生育調整である。
- **追肥の前**までに、生育調整の指標を示す必要がある。



イネの生育ステージ(実教出版「農業高校・作物」より)

研究の目的

- 衛星や航空機から行っていた水稻の生育モニタリングにRCマルチコプター・SfM (Structure from Motion)を使用
- 実利用を視野にいれた観測手法の検討・確立
- 既存のアルゴリズム(農業RS手法)の適用
- 観測結果をもとにモデルの構築

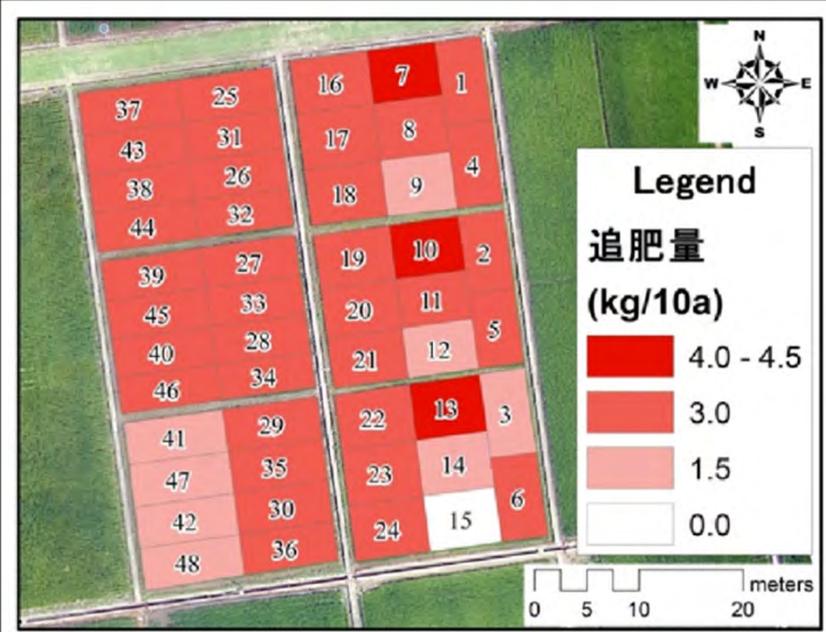
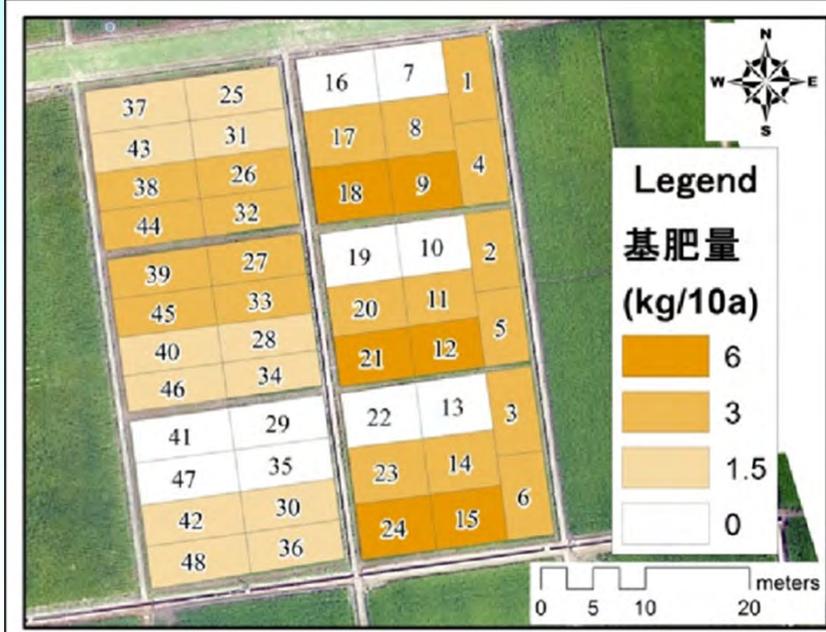


対象地：千葉県 農林総合研究センター
水稲試験場（千葉市緑区）



千葉県農林総合研究センター
水稲試験場の方々たちの多大
なご協力

試験区詳細



観測方法

- 6月中旬(成長期)から9月初旬(登熟期)にかけて観測(空撮)。

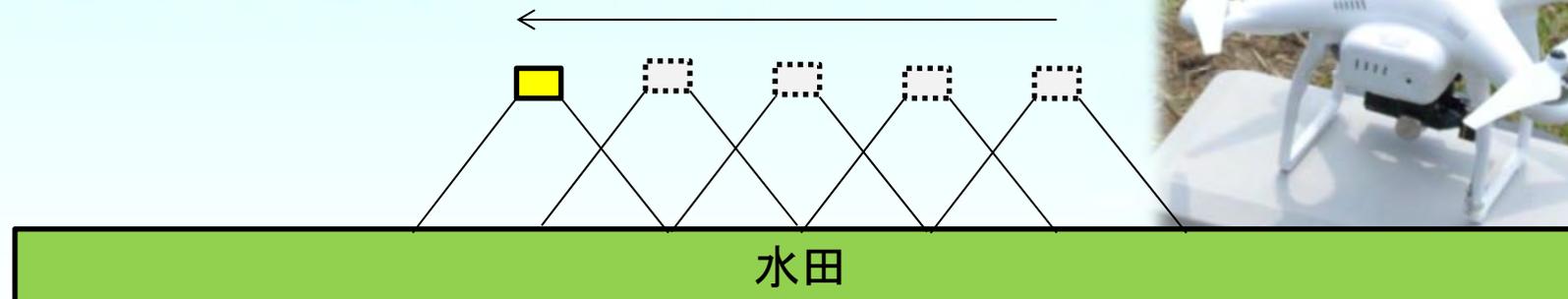
- RC電動マルチコプター
(JABO H601G – ヘキサコプター,
Phantom2 – クワッドコプター)

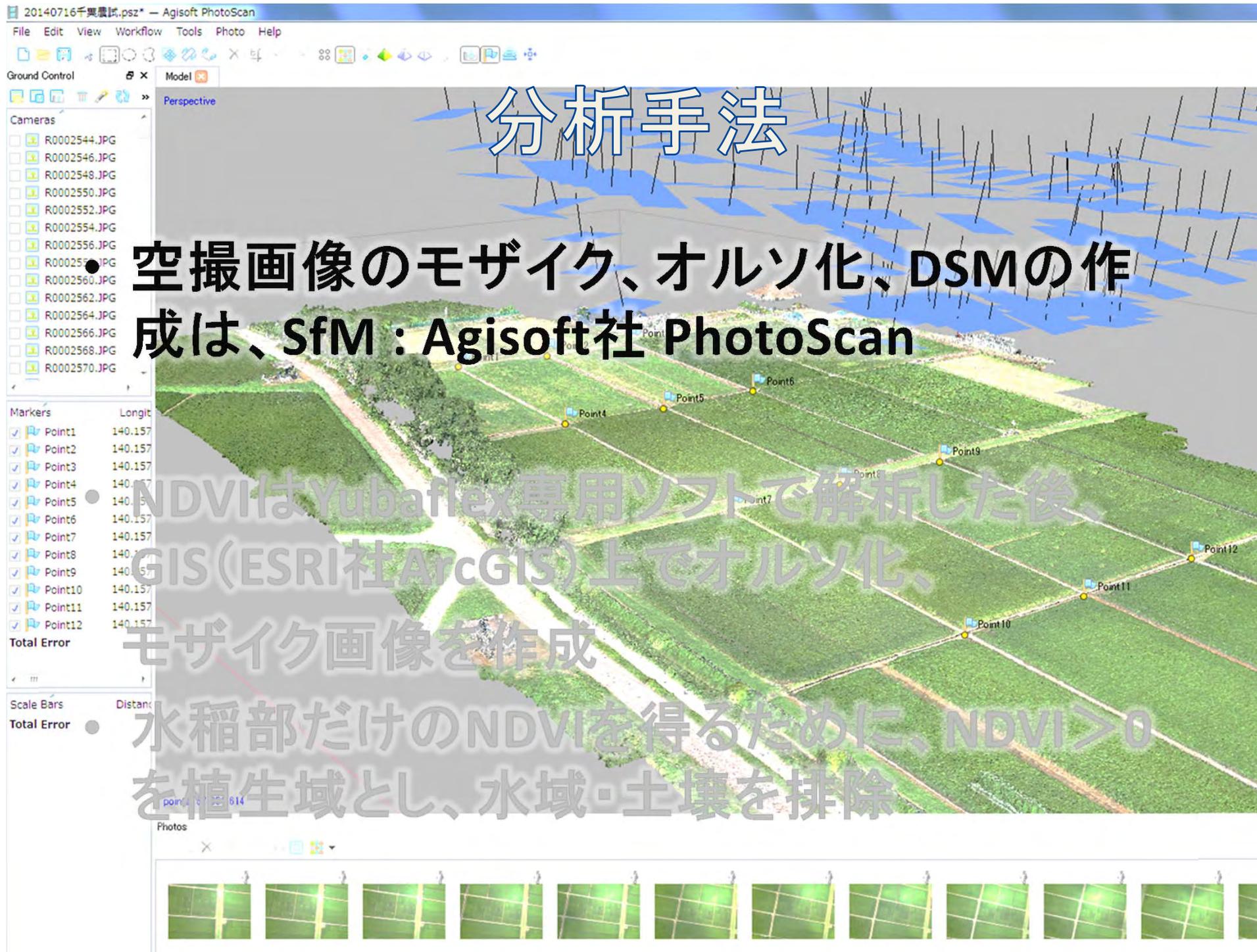


- デジタルカメラ

(可視画像: RICOH社 GR, GoPro社 HERO3.

近赤外画像: BIZWORKS社 Yubaflex)



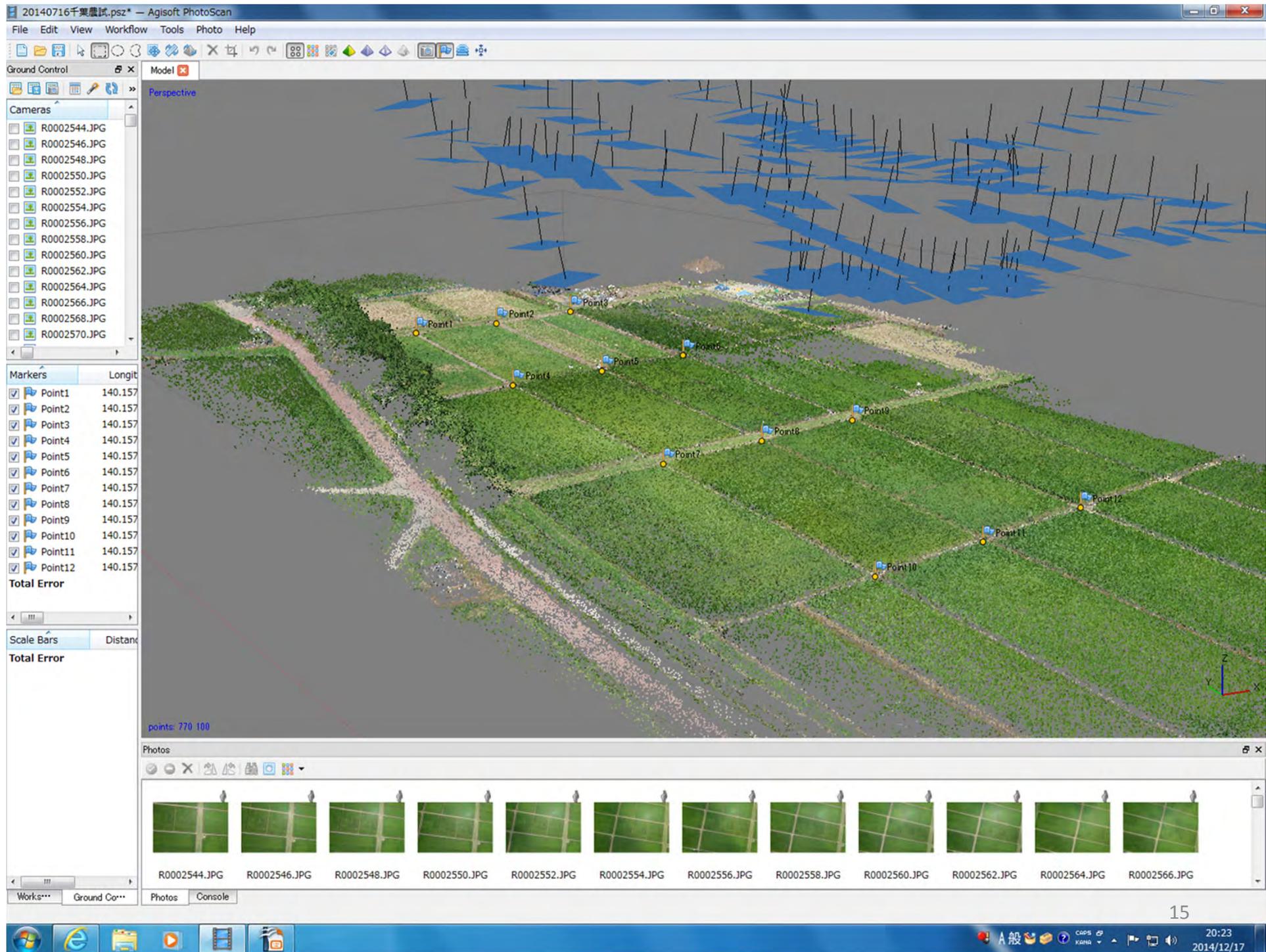


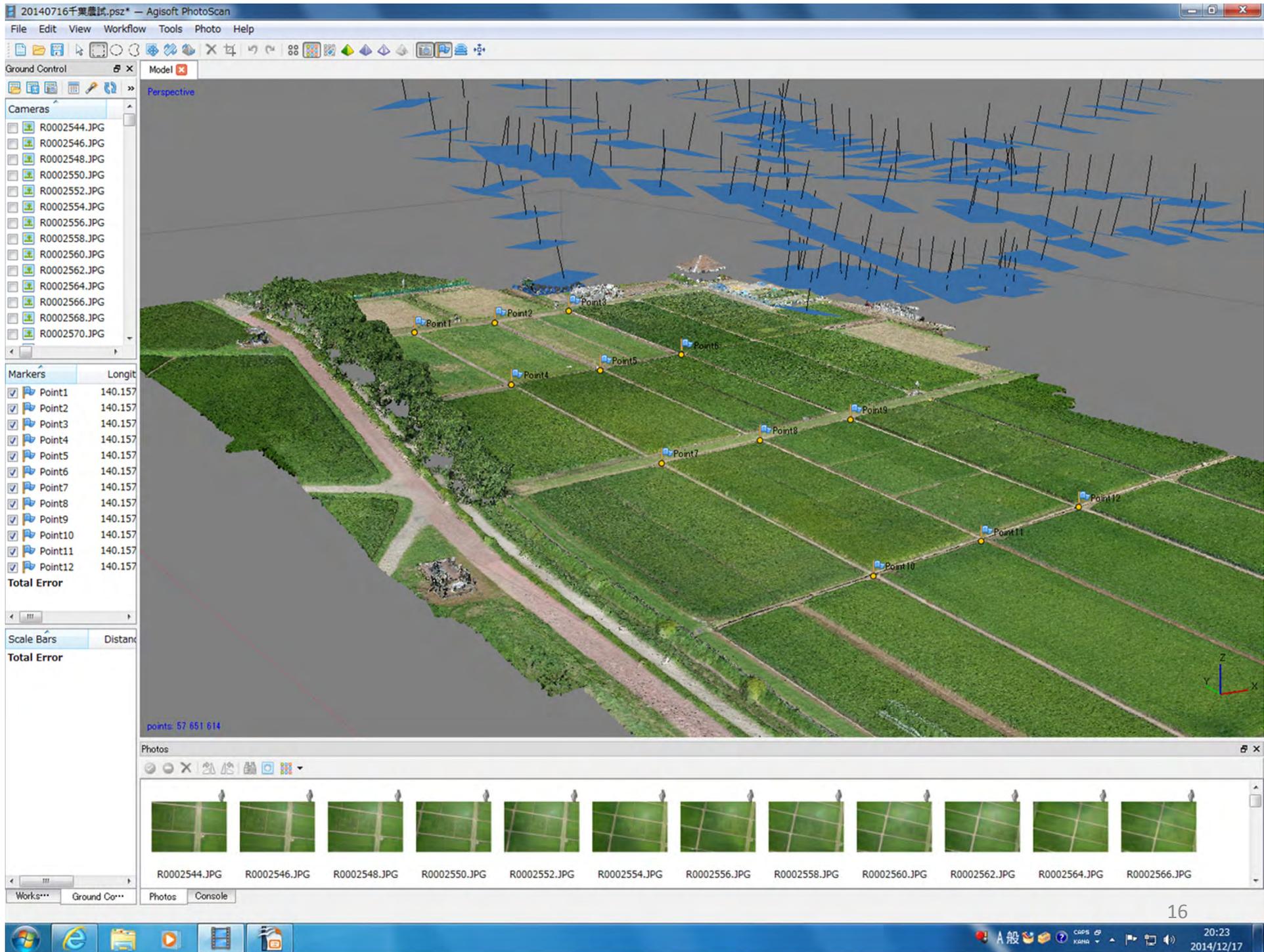
分析手法

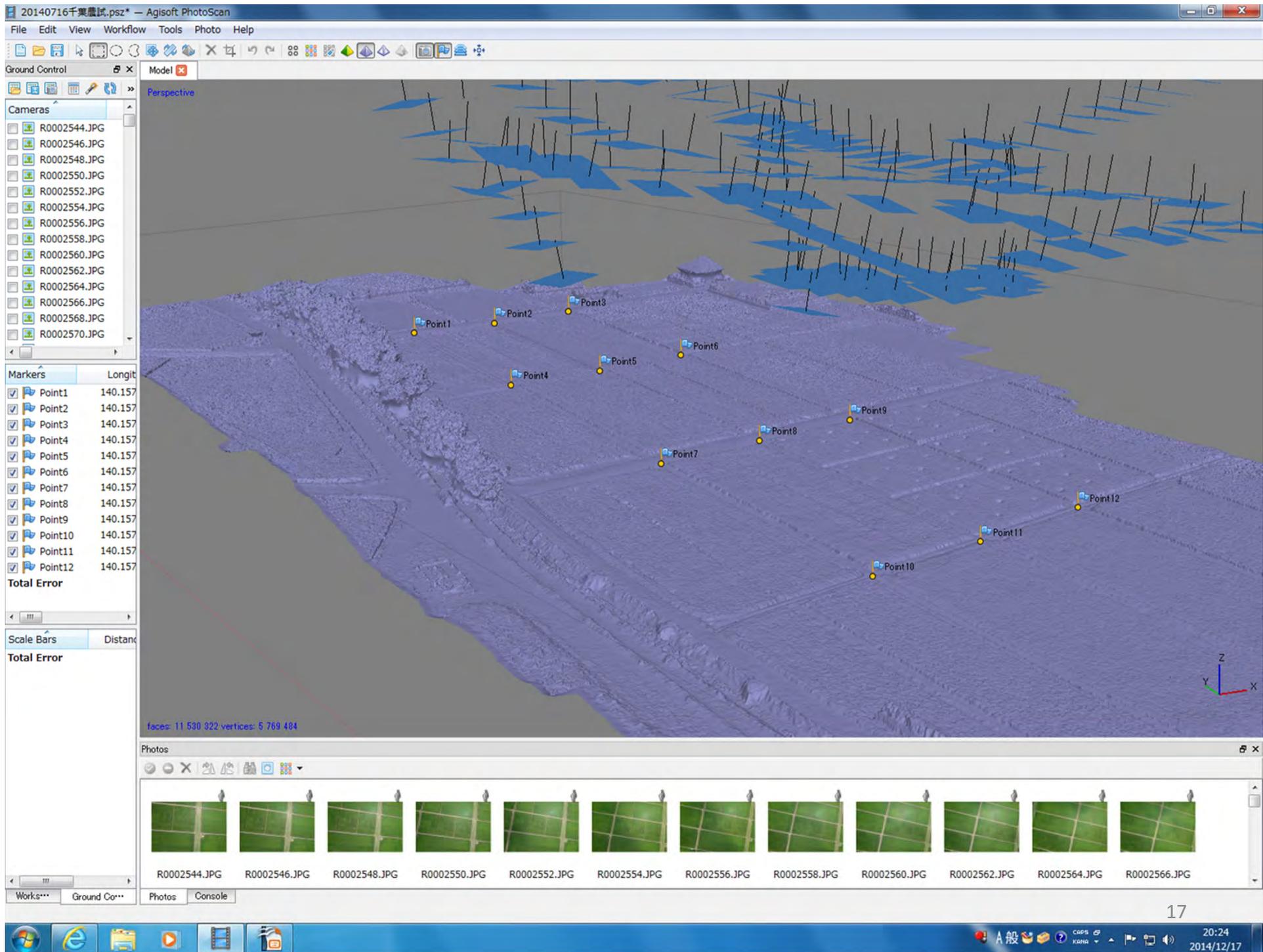
空撮画像のモザイク、オルソ化、DSMの作成は、SfM : Agisoft社 PhotoScan

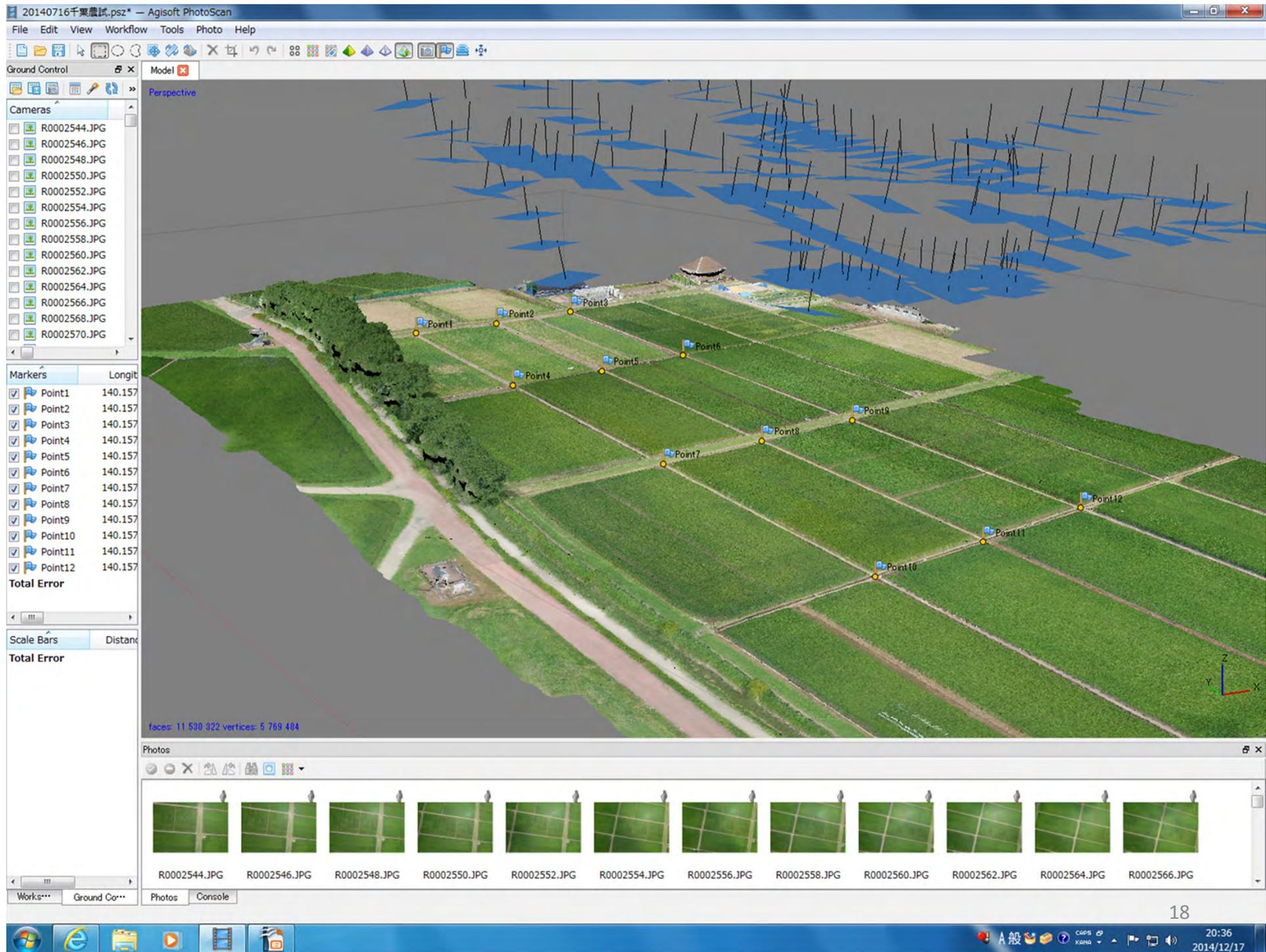
NDVIはYubaflex専用ソフトで解析した後、GIS(ESRI社ArcGIS)上でオルソ化、モザイク画像を作成

水稲部だけのNDVIを得るために、NDVI > 0を植生域とし、水域・土壌を排除



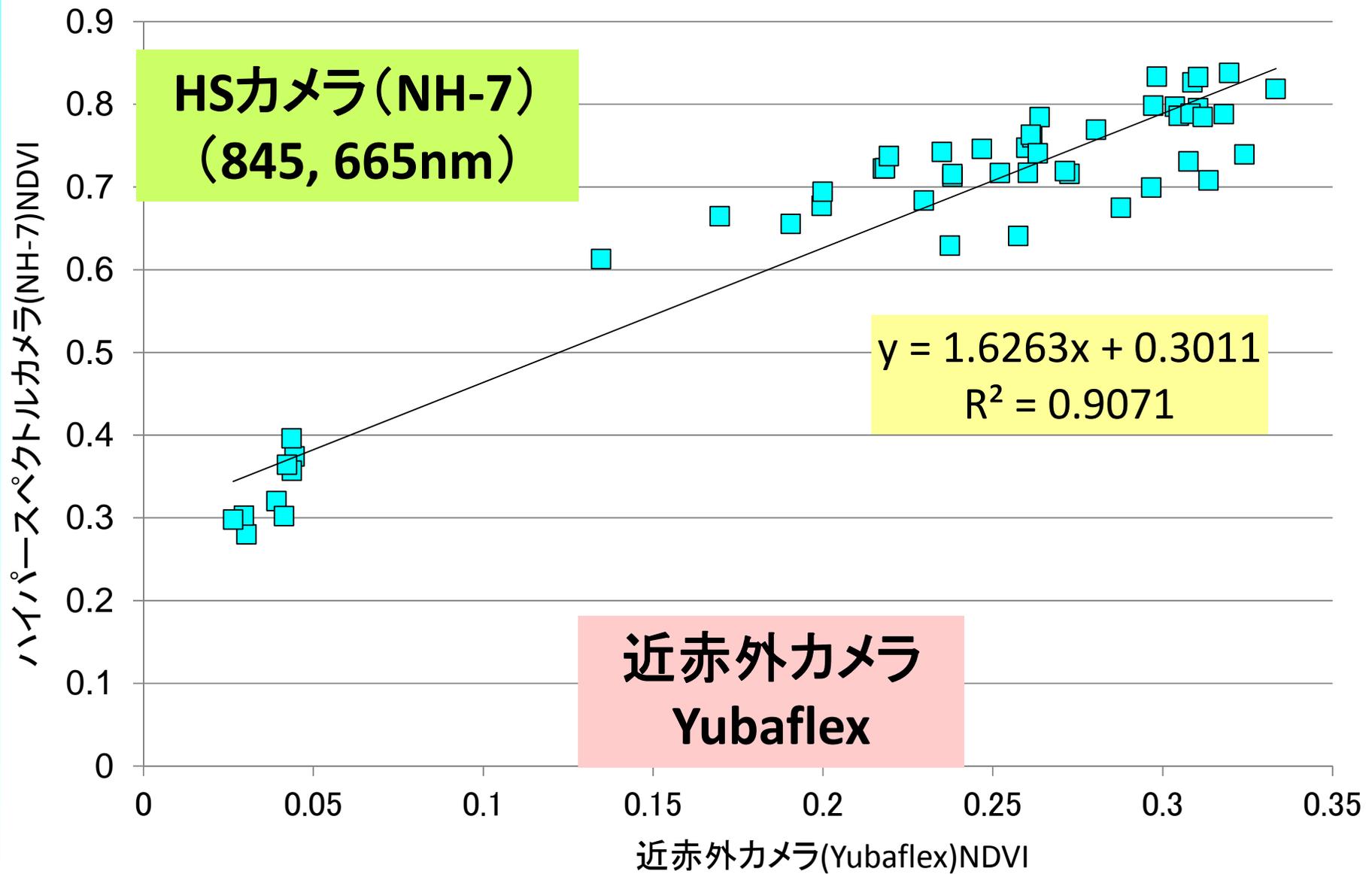








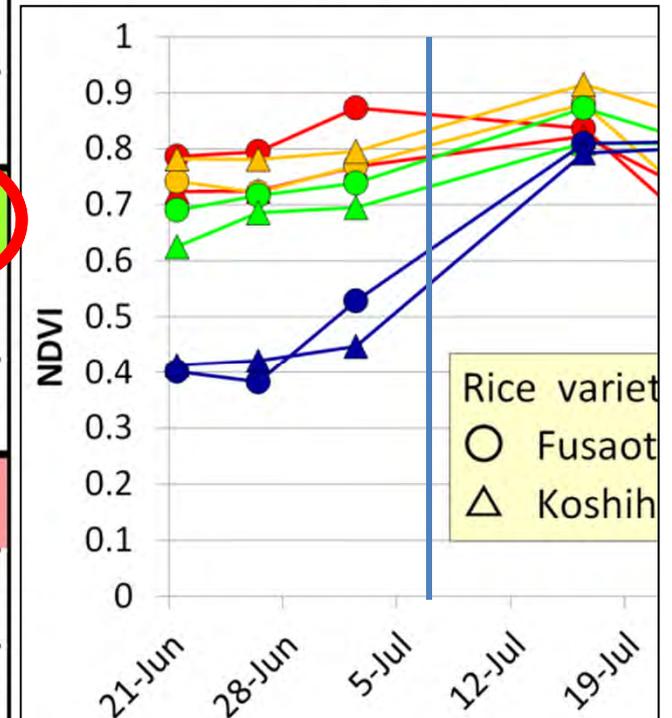
NDVIの補正



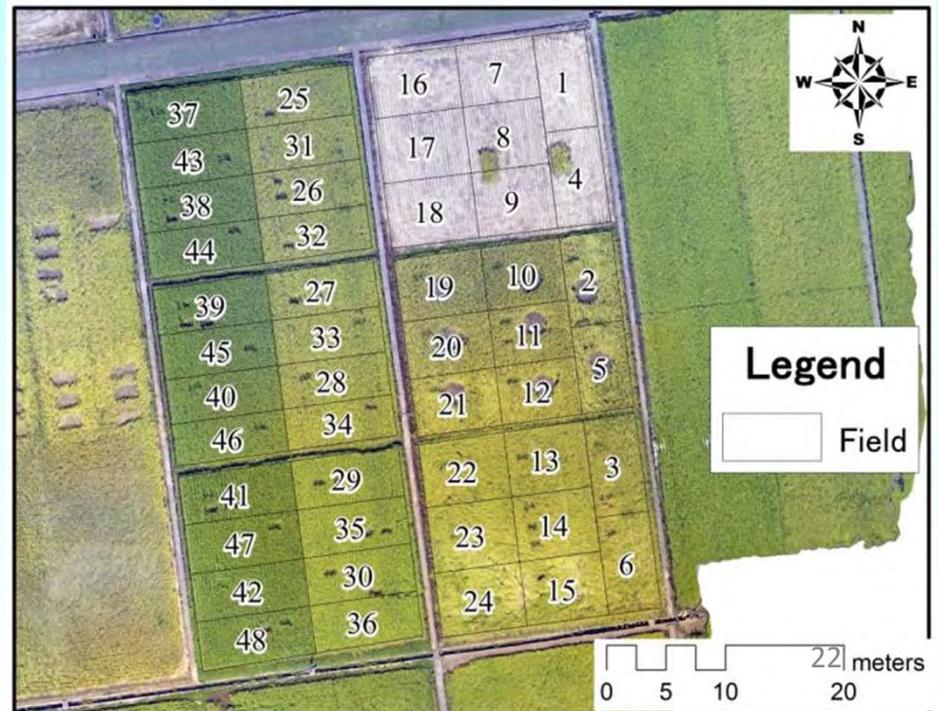
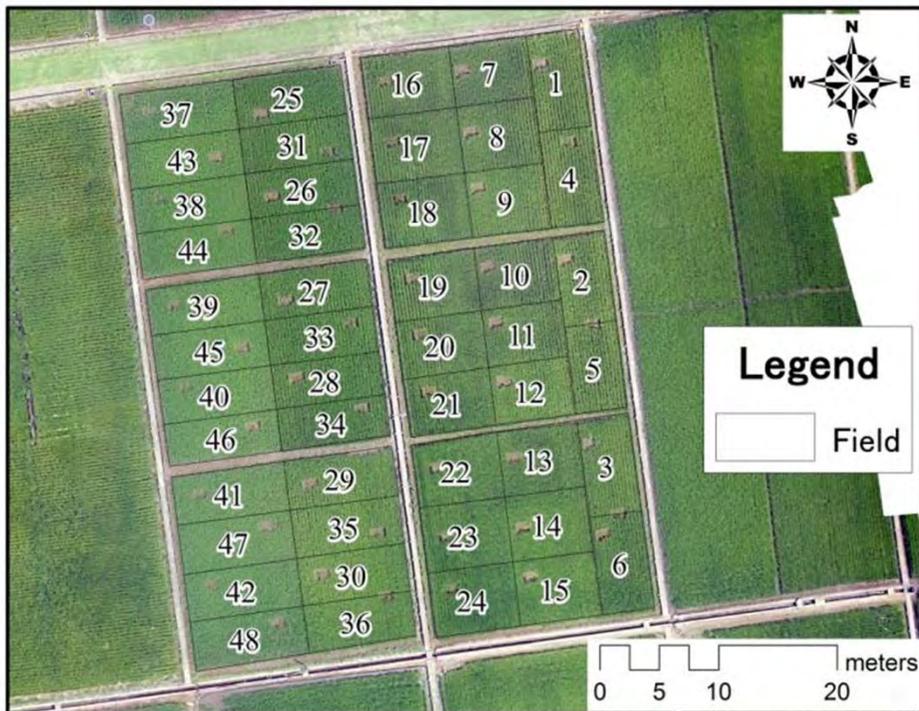
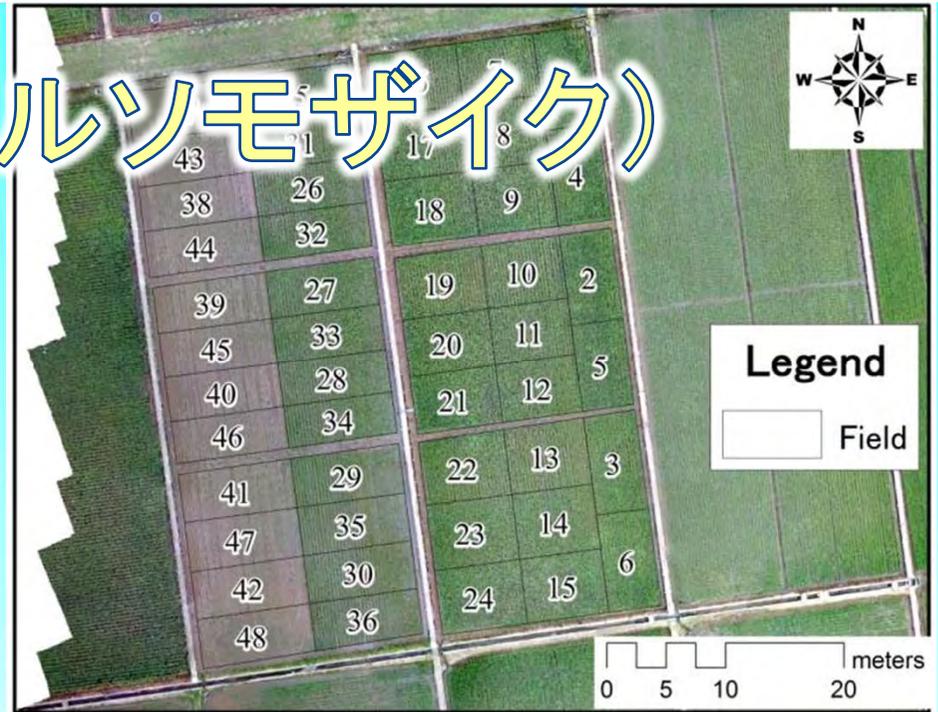
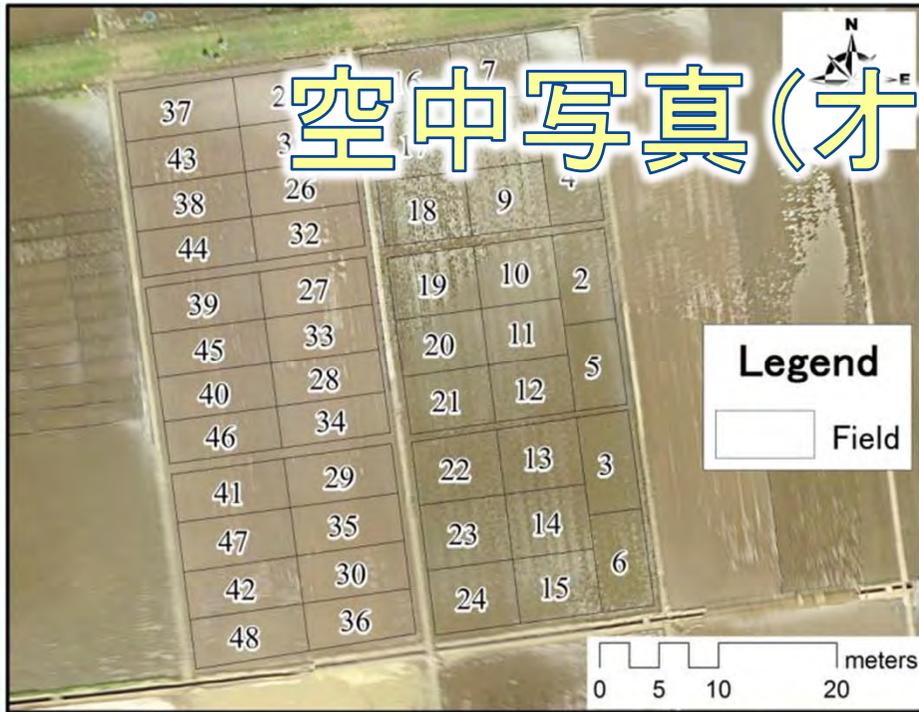
生育状況実測データとUAV観測データ

調査日									
空撮: 赤、生育実測									
5/9	5/10	5/11	5/12	5/13	5/14	5/15	5/16	5/17	5/18
5/19	5/20	5/21	5/22	5/23	5/24	5/25	5/26	5/27	5/28
5/29	5/30	5/31	6/1	6/2	6/3	6/4	6/5	6/6	6/7
6/8	6/9	6/10	6/11	6/12	6/13	6/14	6/15	6/16	6/17
6/18	6/19	6/20	6/21	6/22	6/23	6/24	6/25	6/26	6/27
6/28	6/29	6/30	7/1	7/2	7/3	7/4	7/5	7/6	7/7
7/8	7/9	7/10	7/11	7/12	7/13	7/14	7/15	7/16	7/17
7/18	7/19	7/20	7/21	7/22	7/23	7/24	7/25	7/26	7/27
7/28	7/29	7/30	7/31	8/1	8/2	8/3	8/4	8/5	8/6
8/7	8/8	8/9	8/10	8/11	8/12	8/13	8/14	8/15	8/16
8/17	8/18	8/19	8/20	8/21	8/22	8/23	8/24	8/25	8/26

- 観測日は同じではない。
- 実測日に合わせて線形補間



空中写真(オルソモザイク)

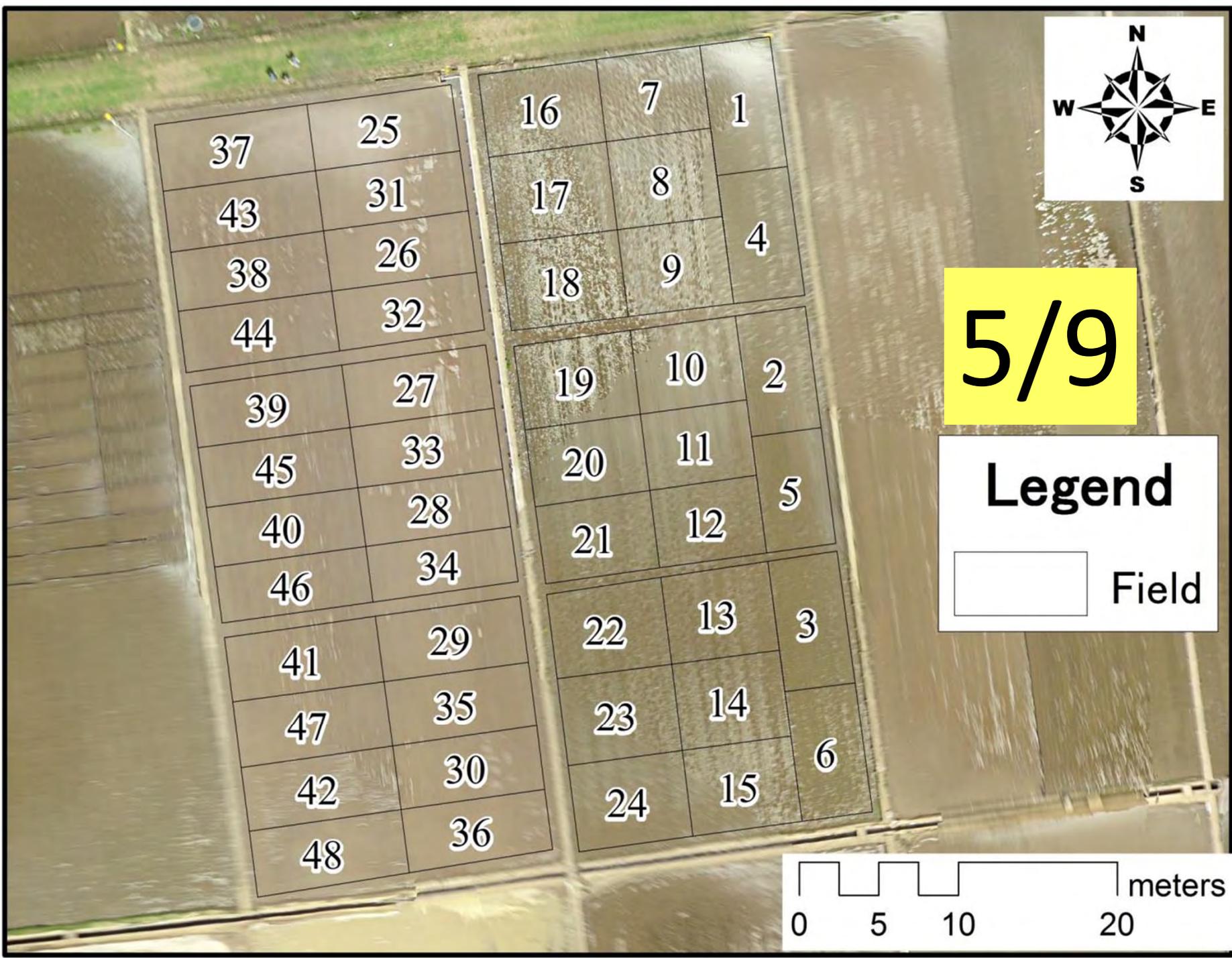
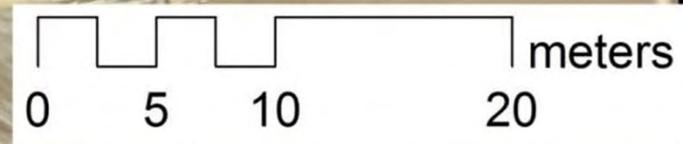




5/9

Legend

 Field

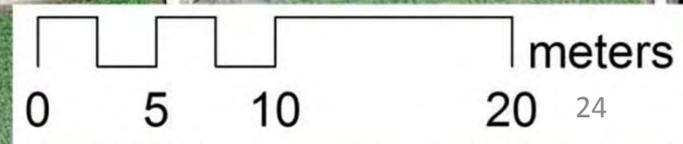




6/21

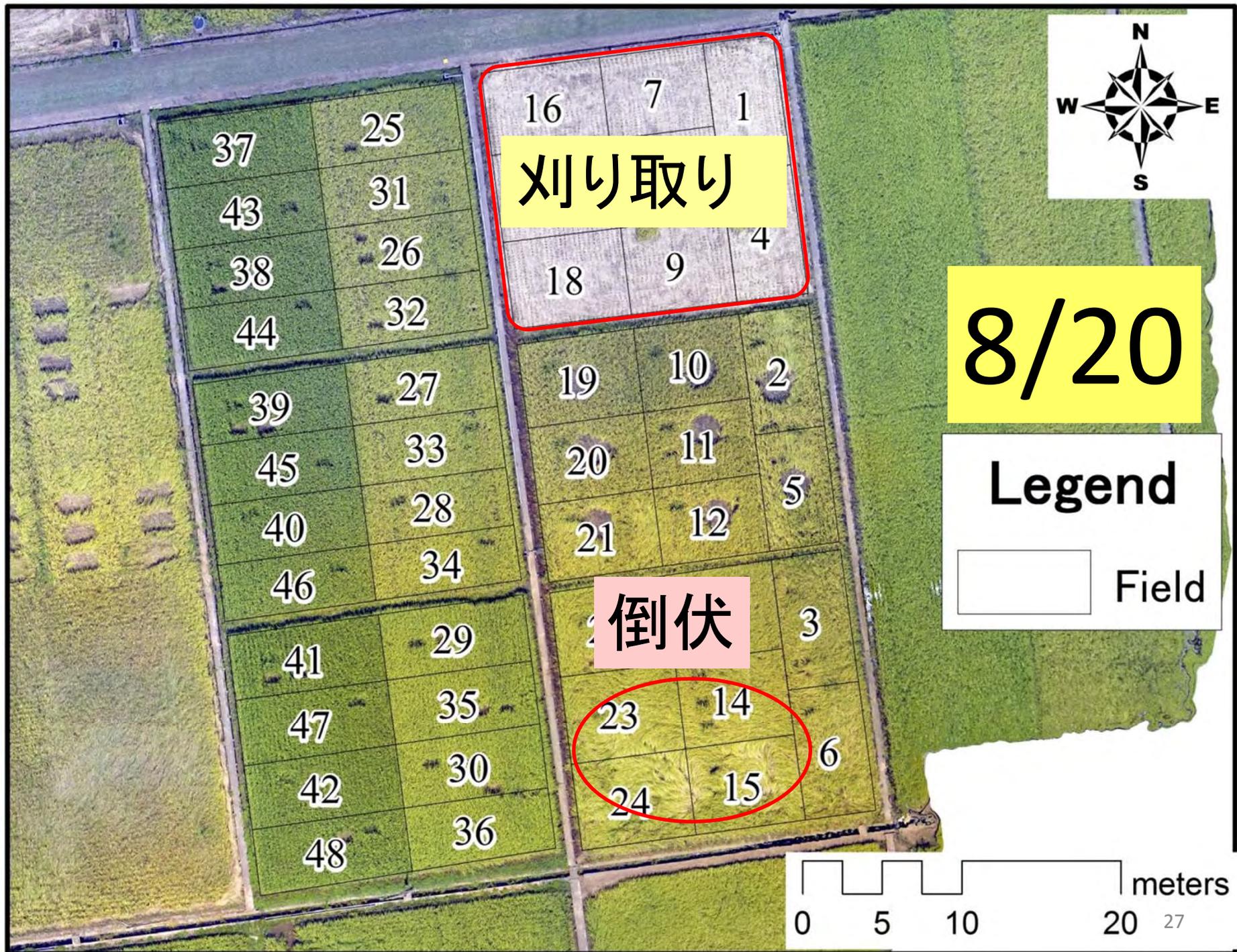
Legend

 Field









刈り取り

8/20

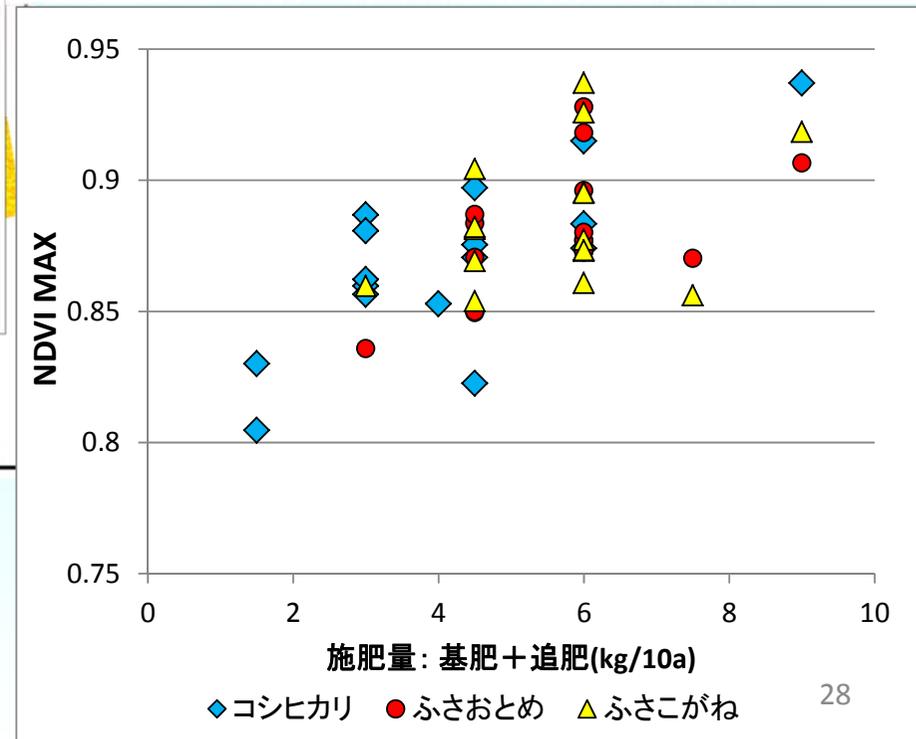
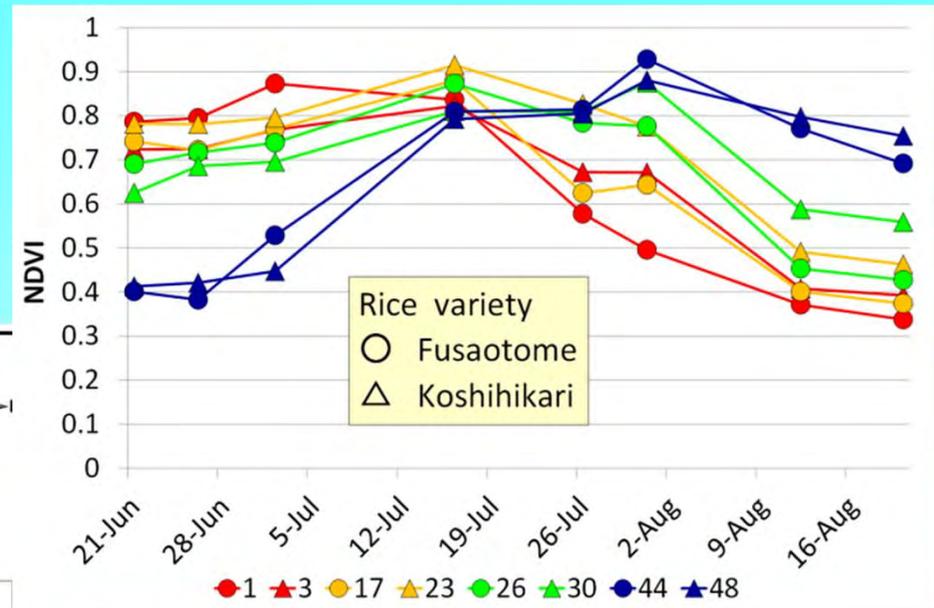
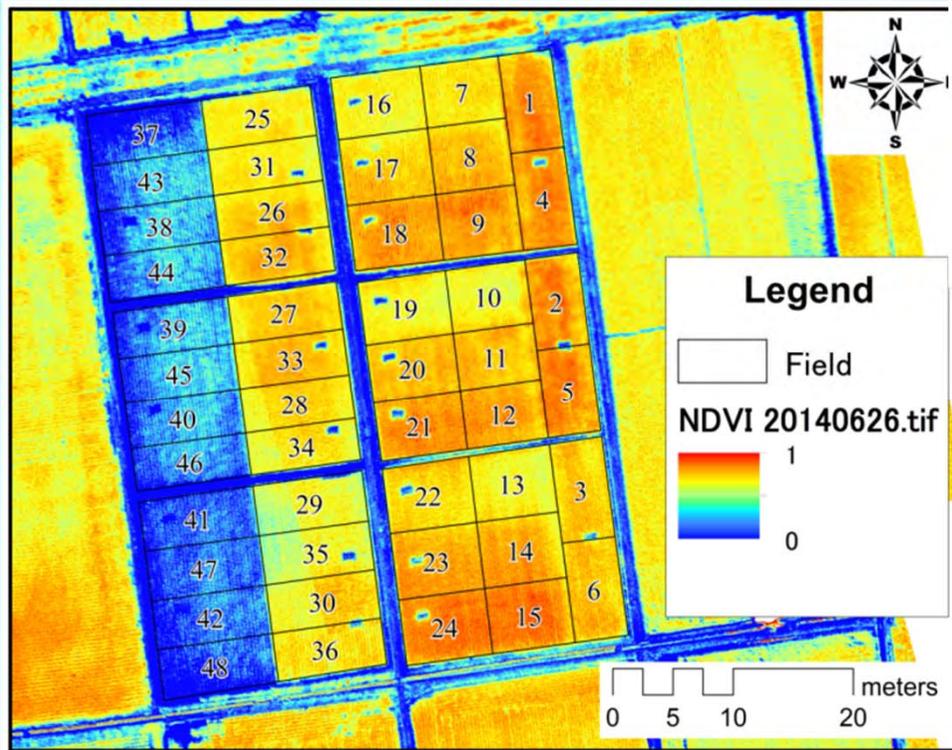
Legend

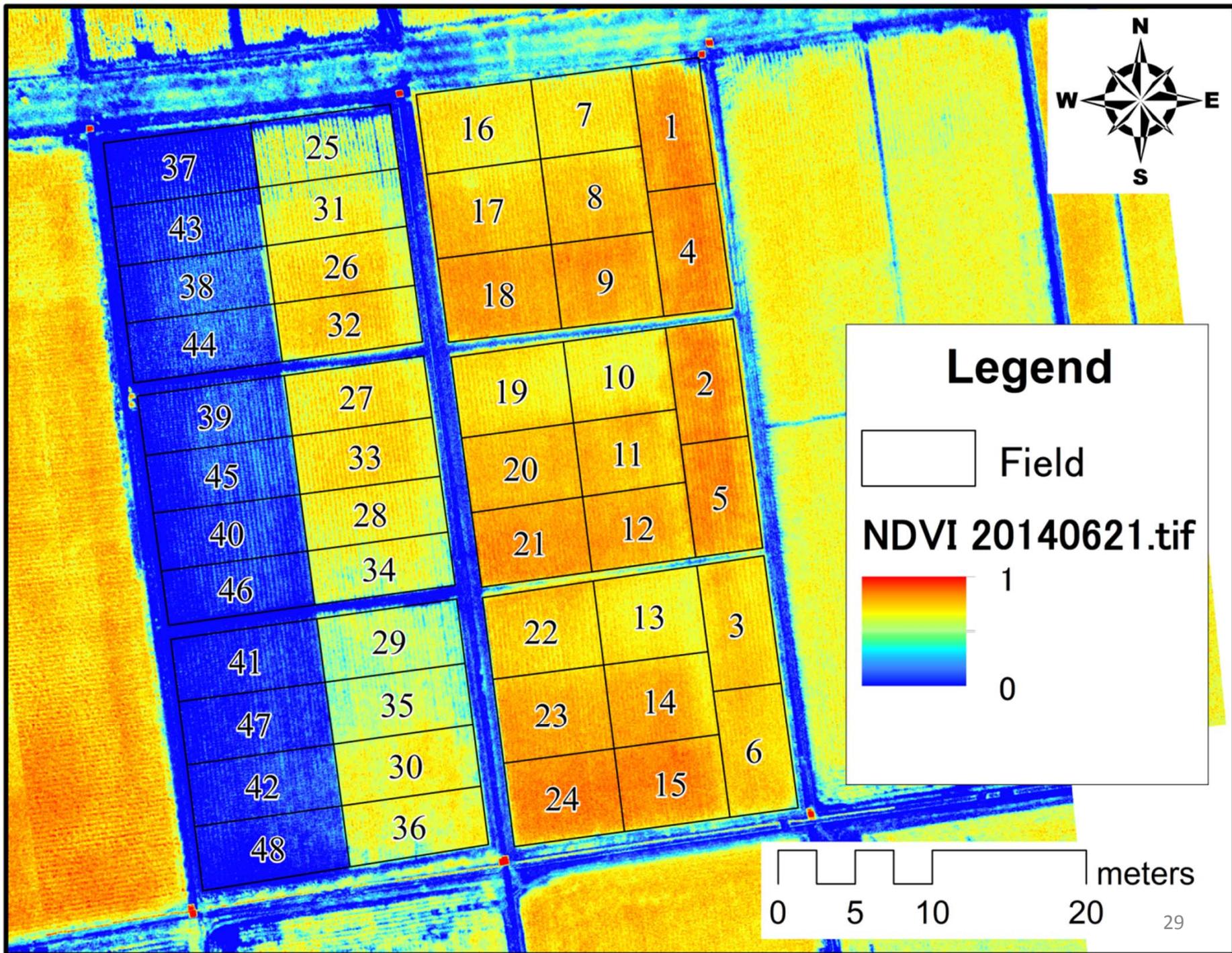
Field

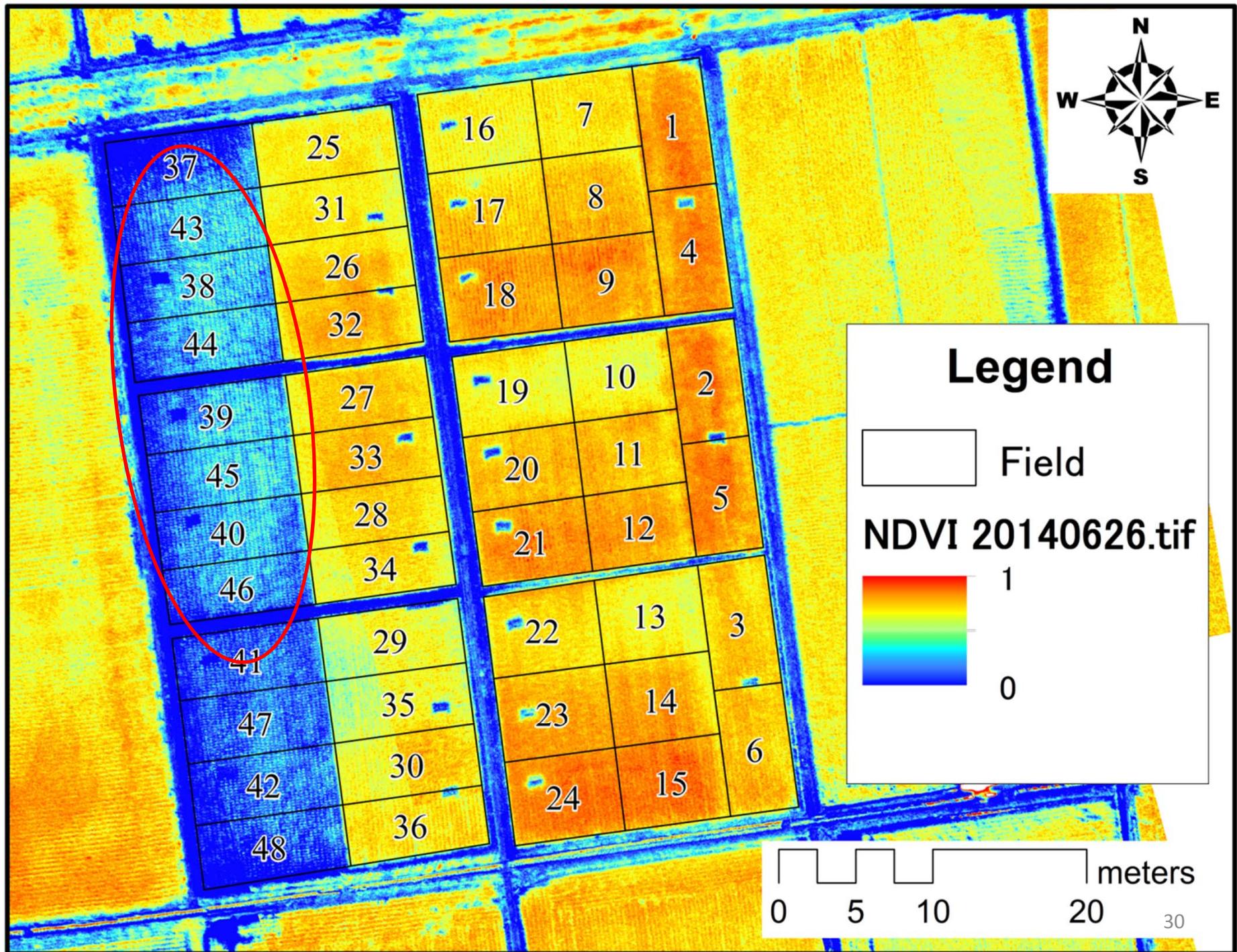
倒伏

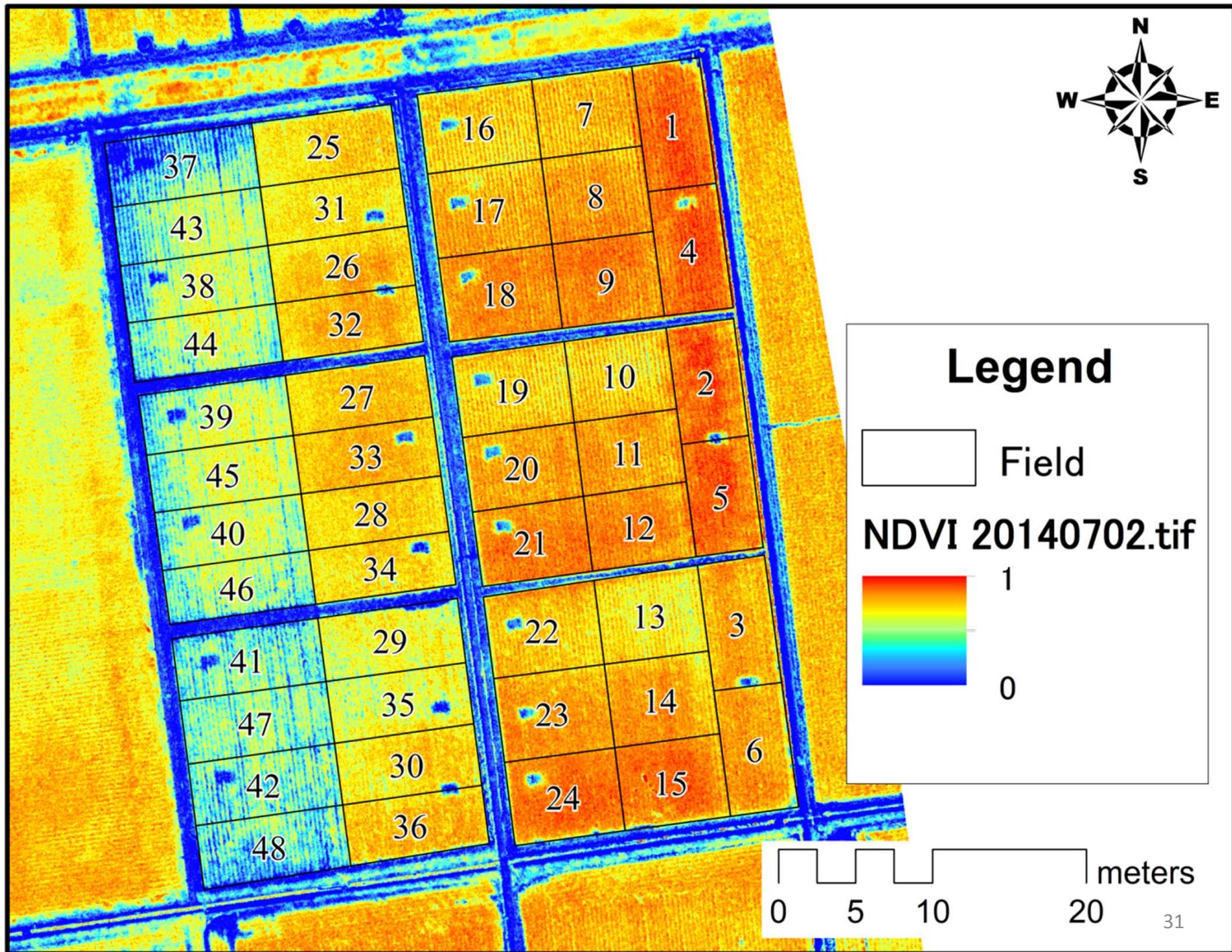
0 5 10 20 27 meters

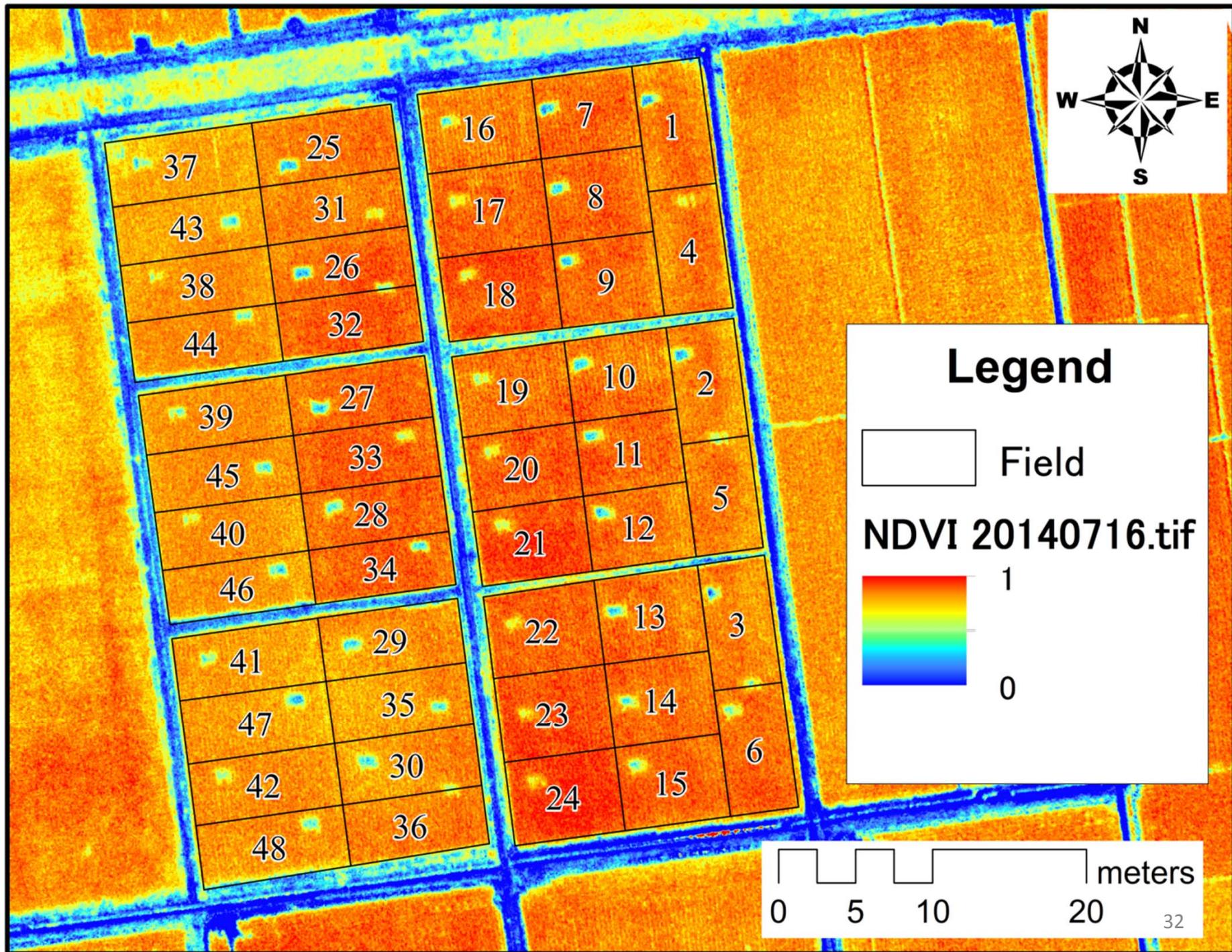
NDVI (植生指数)

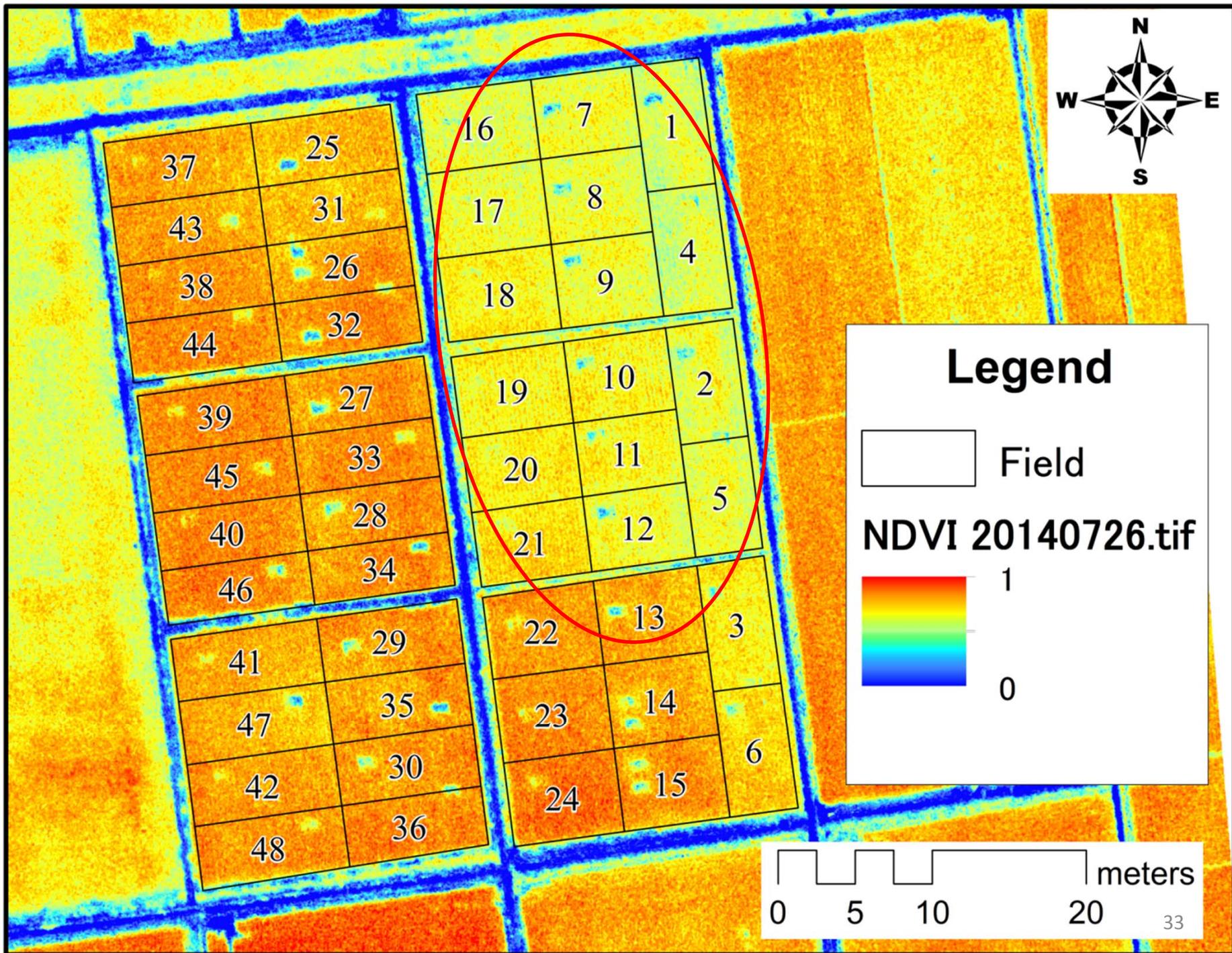


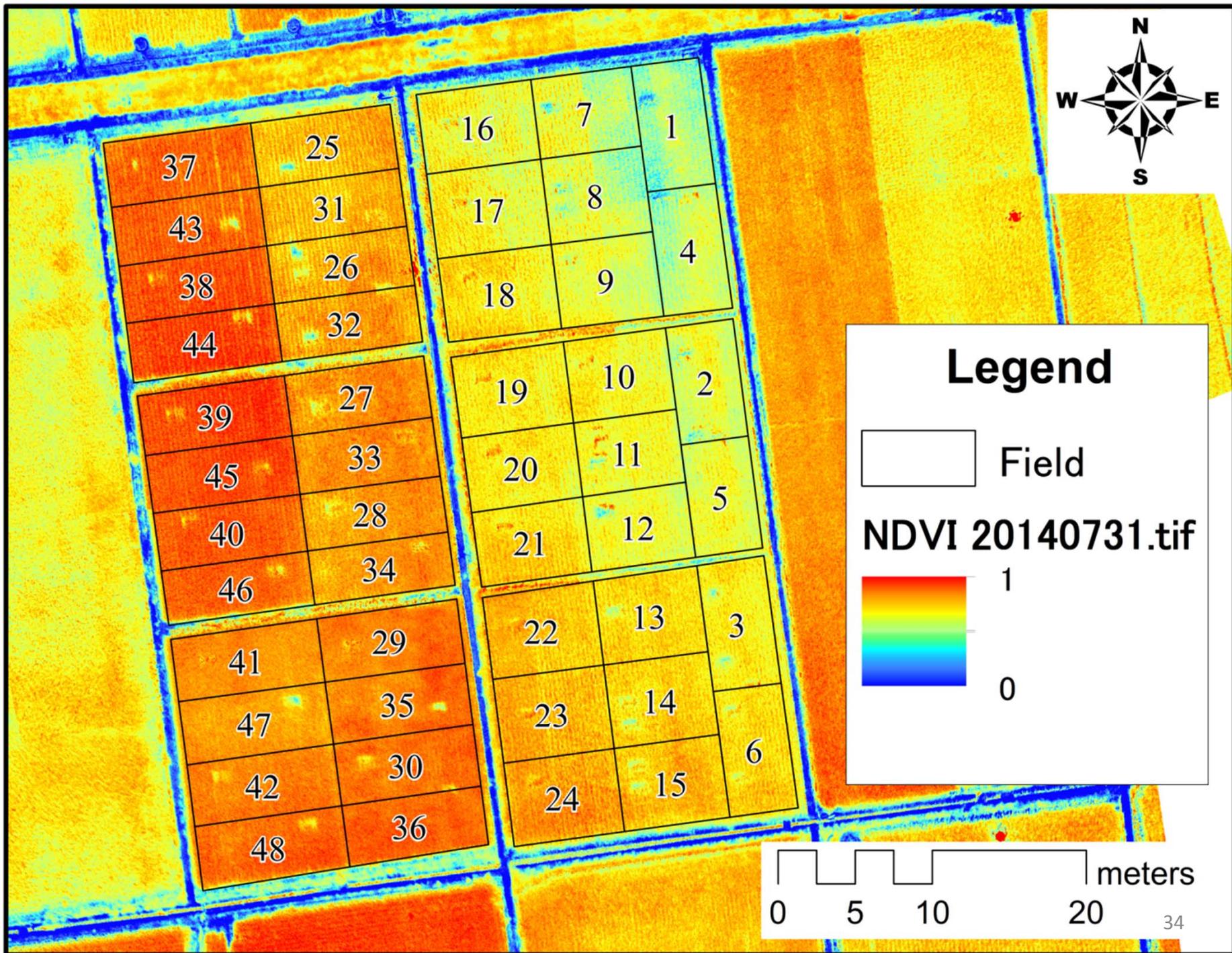


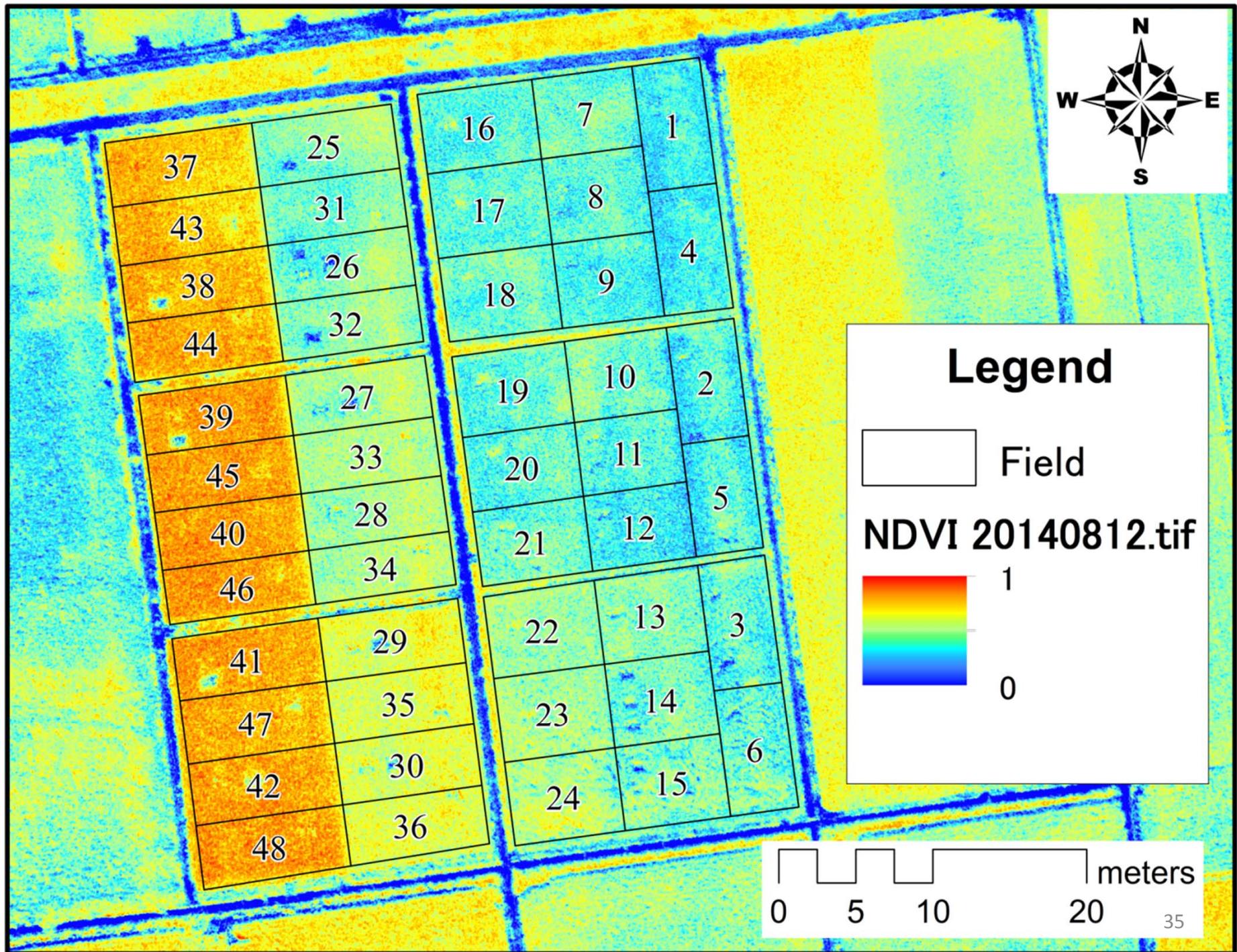


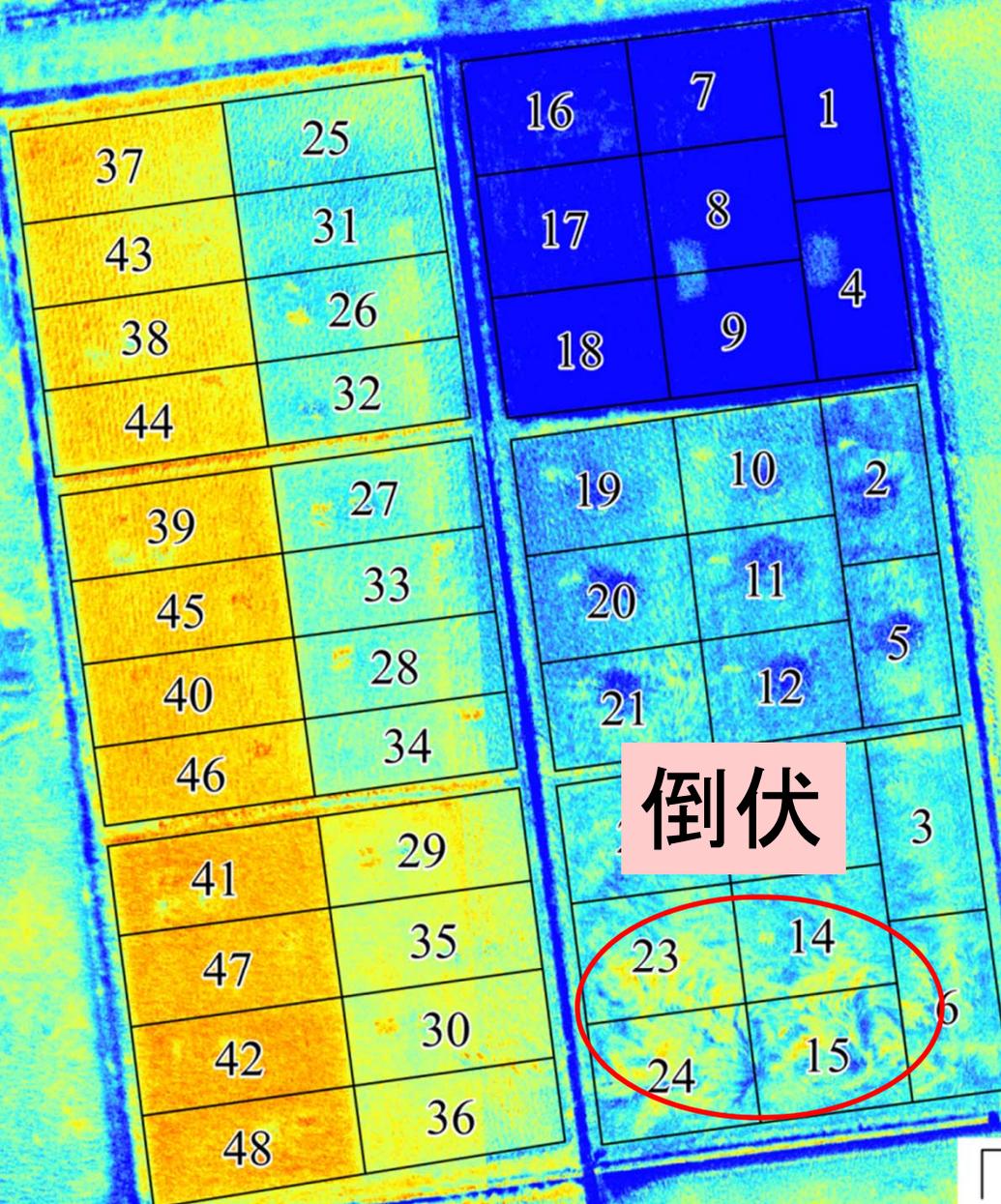




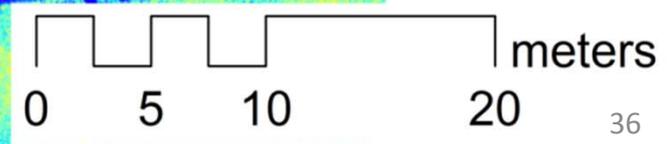
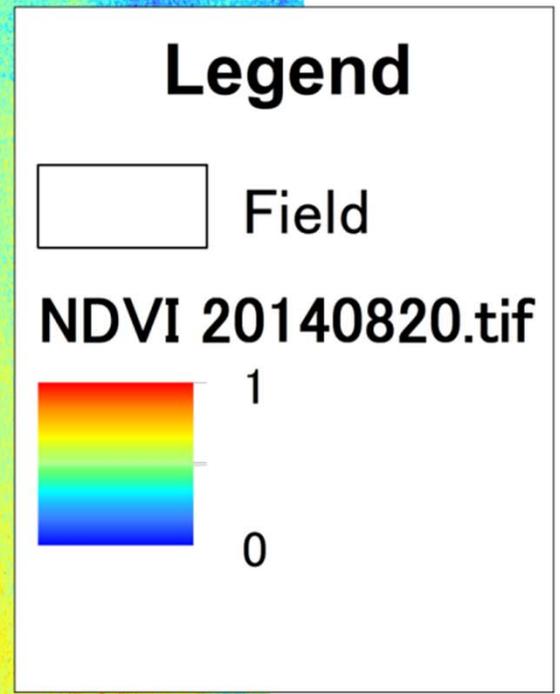






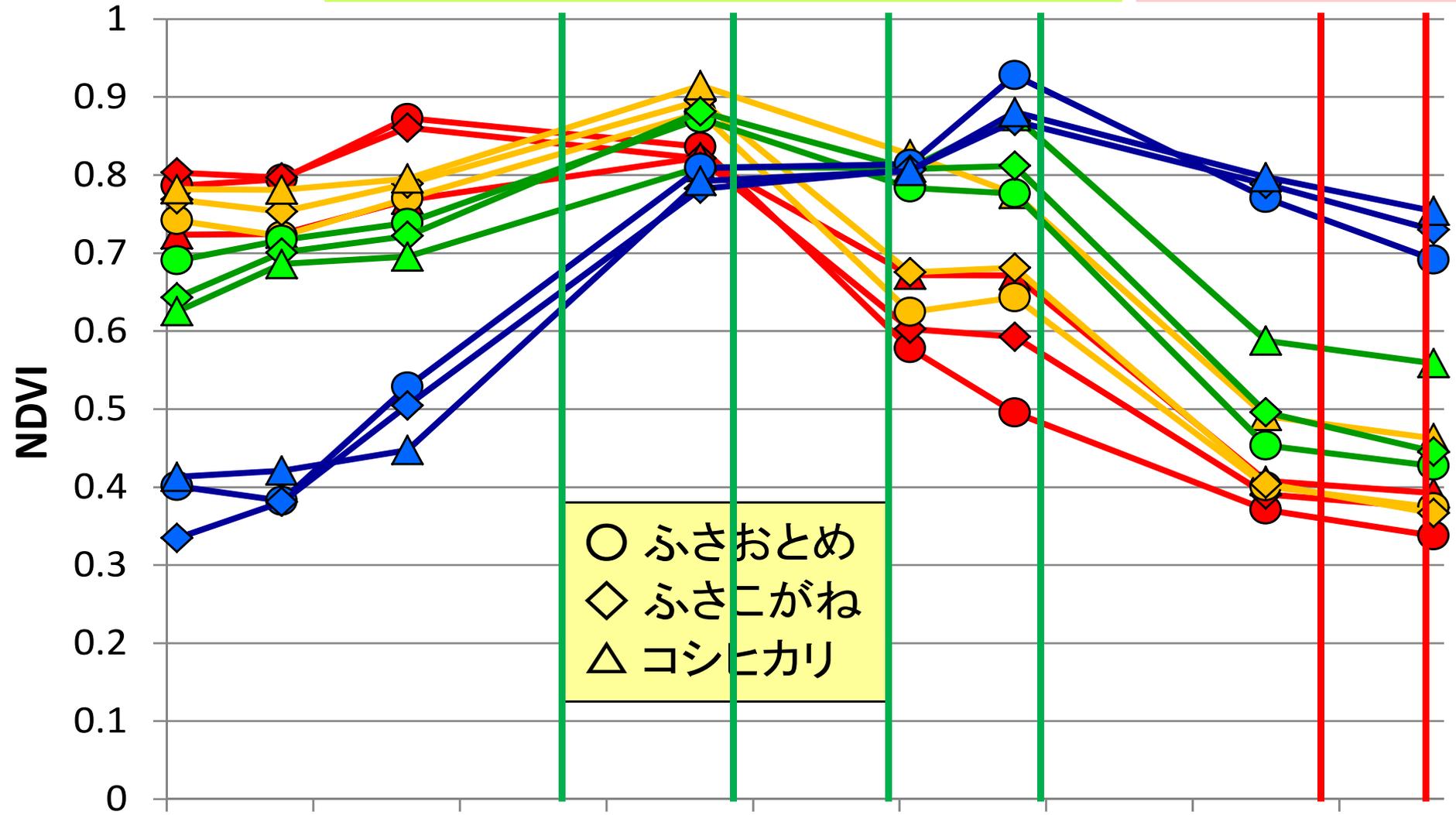


倒伏



成熟:
I期 II期

出穂: I期 II期 III期 IV期

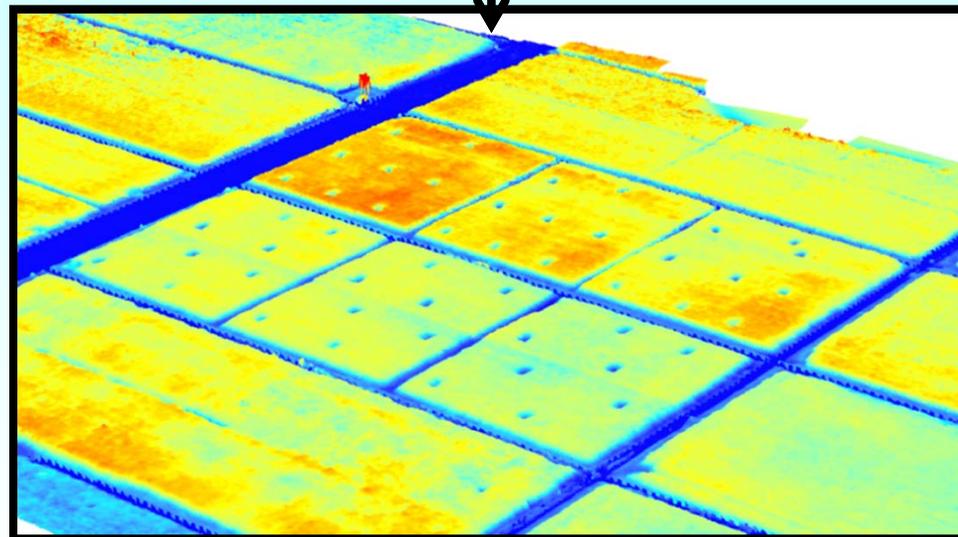
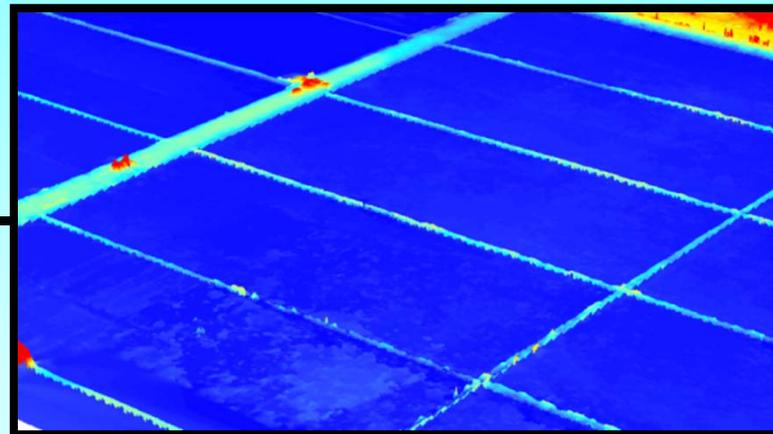
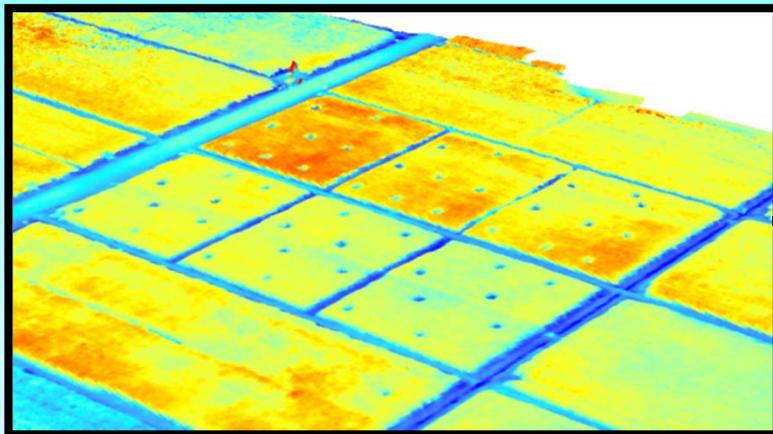


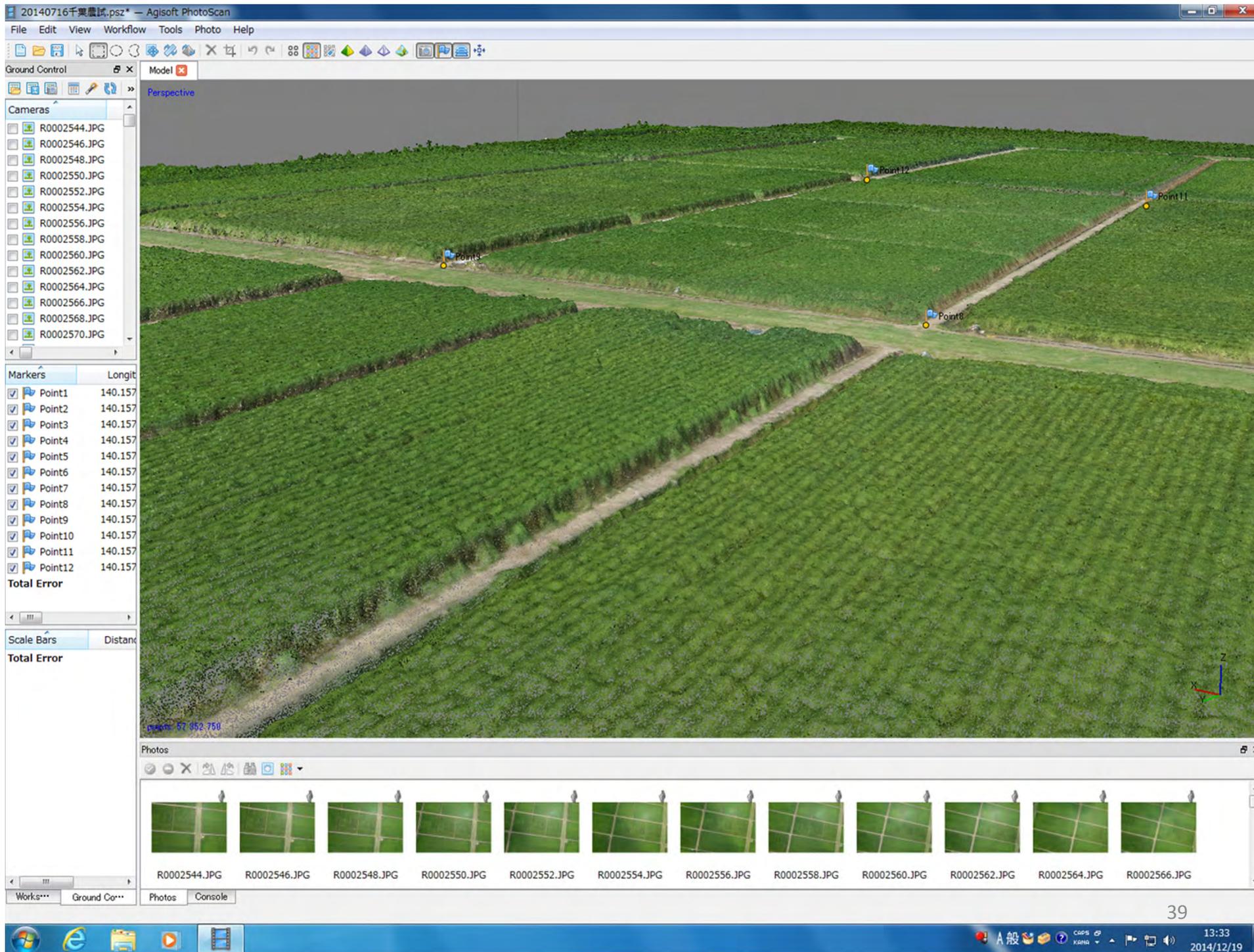
〇 ふさおとめ
◇ ふさこがね
△ コシヒカリ

● 1 ● 2 ▲ 3 ● 17 ◆ 20 ▲ 23 ● 26 ◆ 28 ▲ 30 ● 44 ◆ 46 ▲ 48

DSM (稲の高さ)

草丈(DSM) = 任意の日のDSM - 移植前のDSM

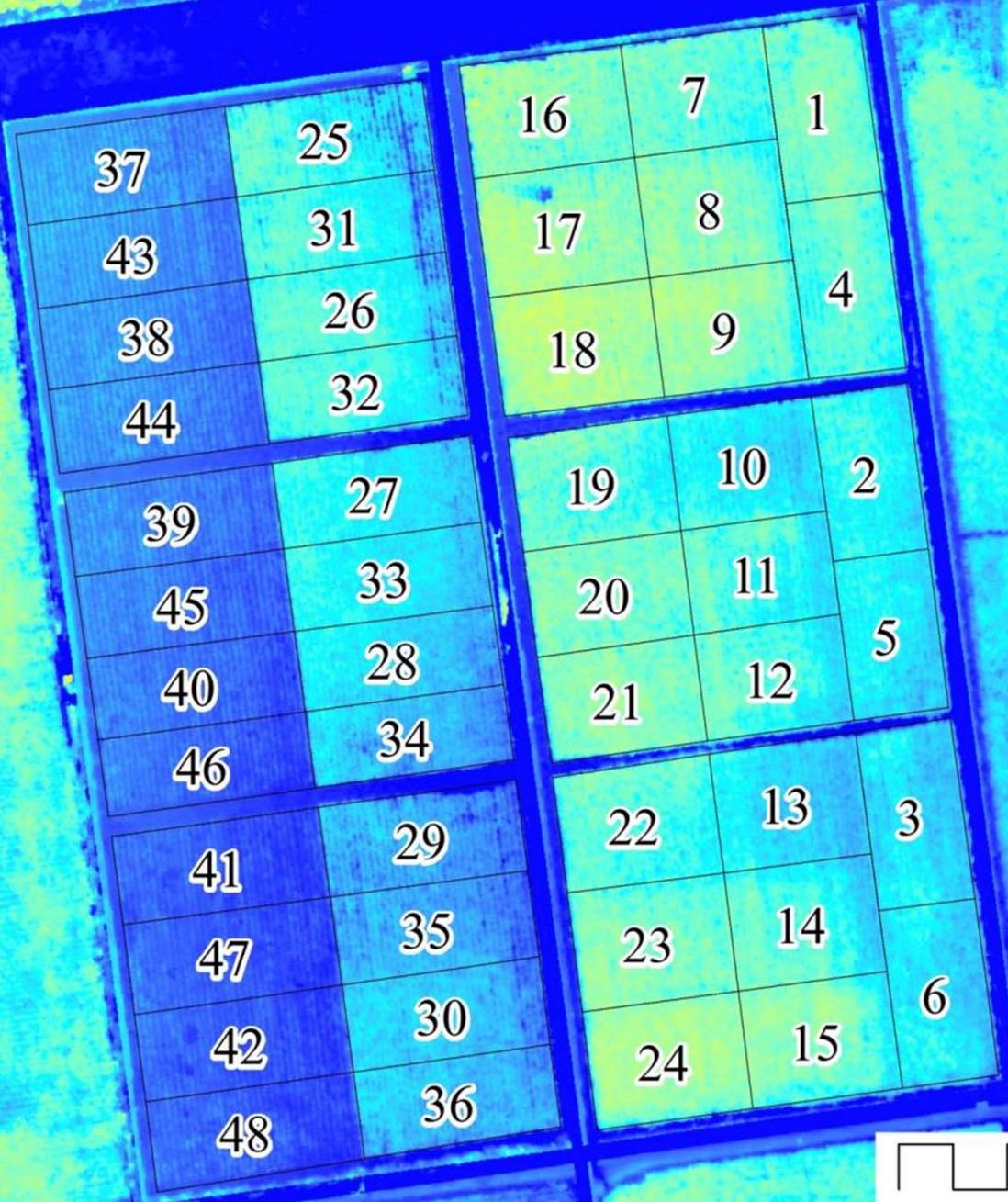
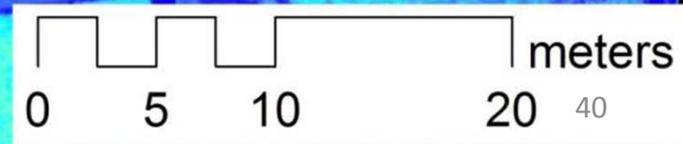
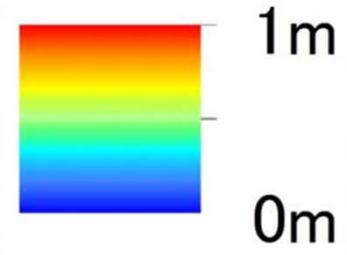


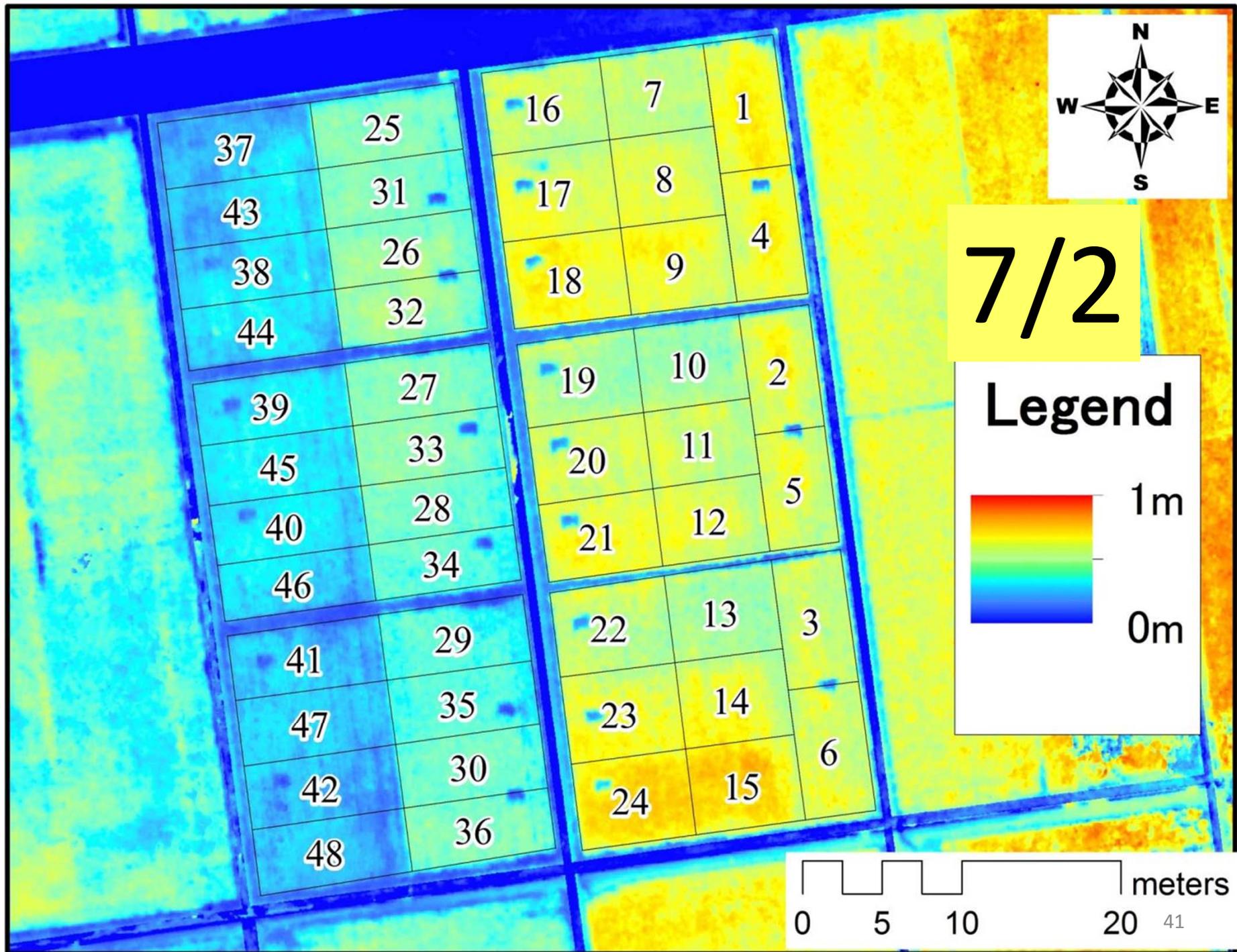


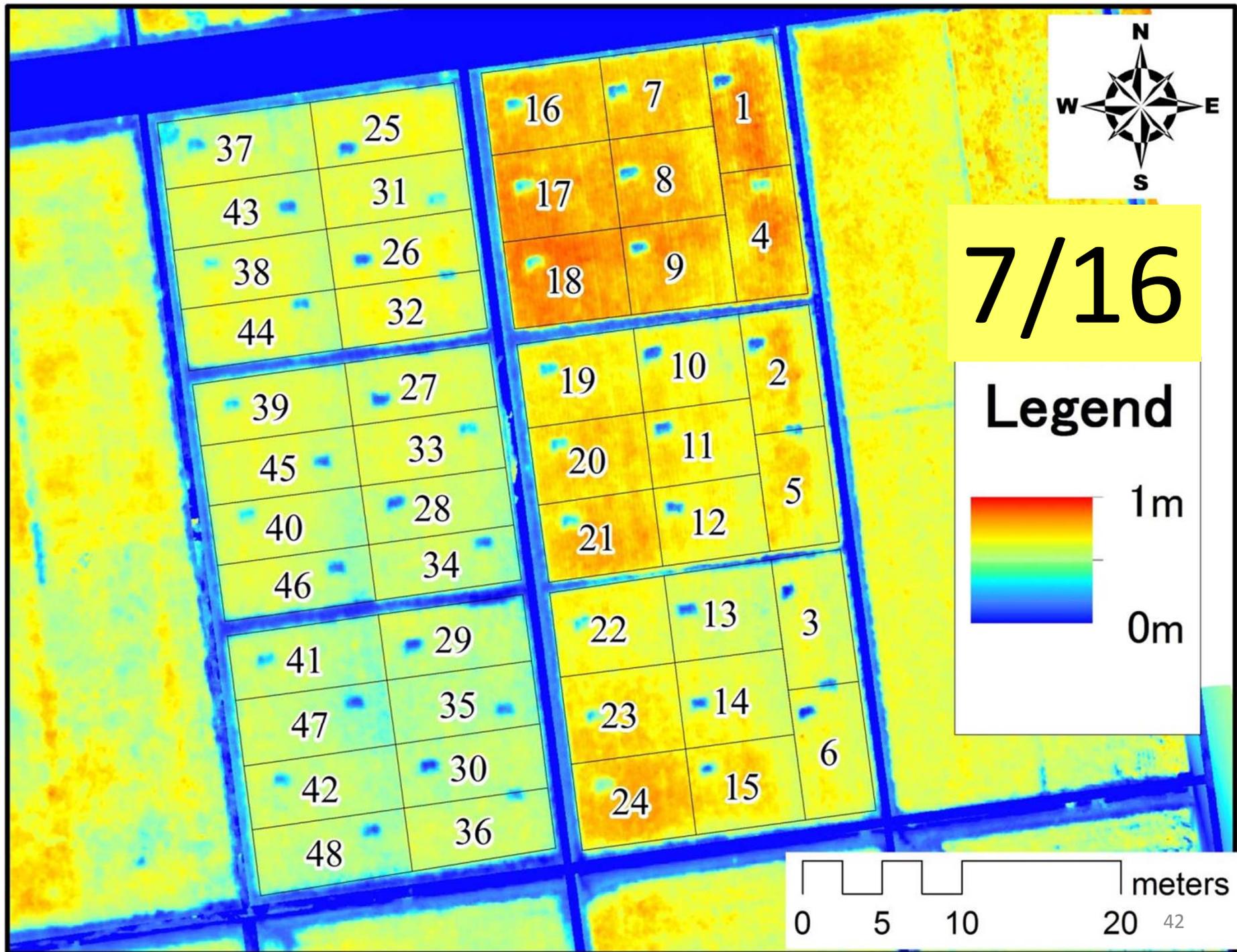


6/21

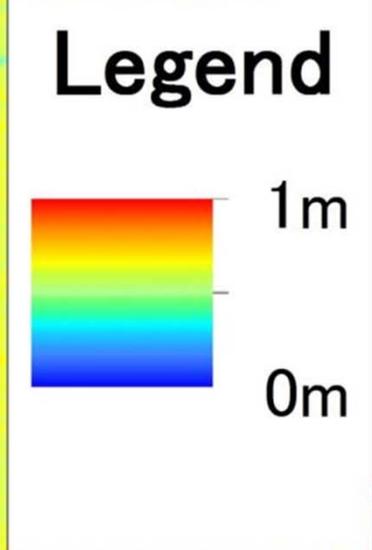
Legend





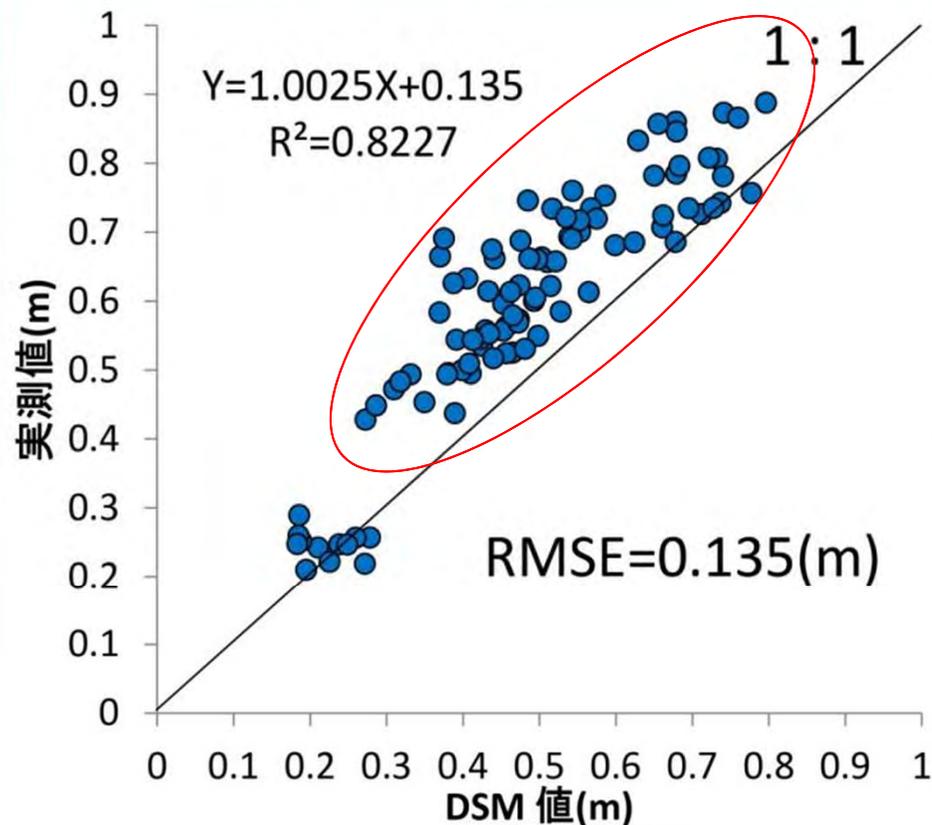


7/16

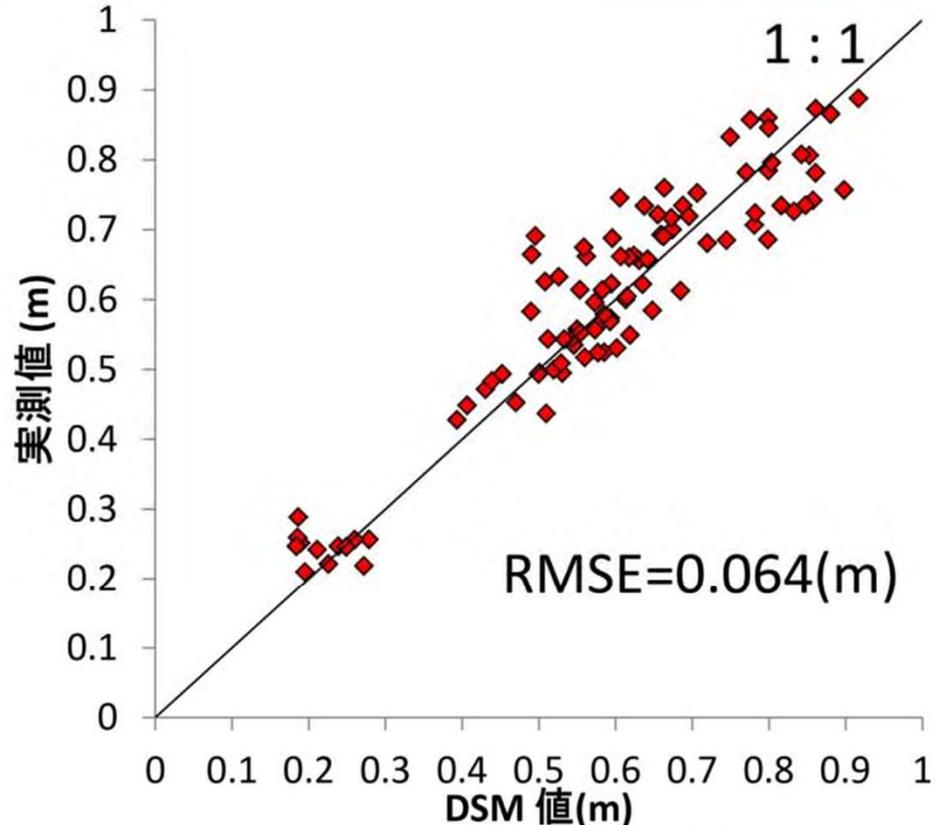


DSMと実測草丈の相関

- ほぼ傾きが1の相関がある。
→切片の分だけ、補正を行うことで精度向上(草丈 $\geq 0.4\text{m}$)



a) DSM値と実測値



b) 補正DSM値と実測値

既存の生育推定手法の適用 (倒伏リスク、収量予測)



倒伏リスク評価

倒伏リスク評価

- 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
- （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のどちらか一方でも当てはまれば、リスクエリアとする。

草丈はDSMを使用。



Legend

 Risk_area

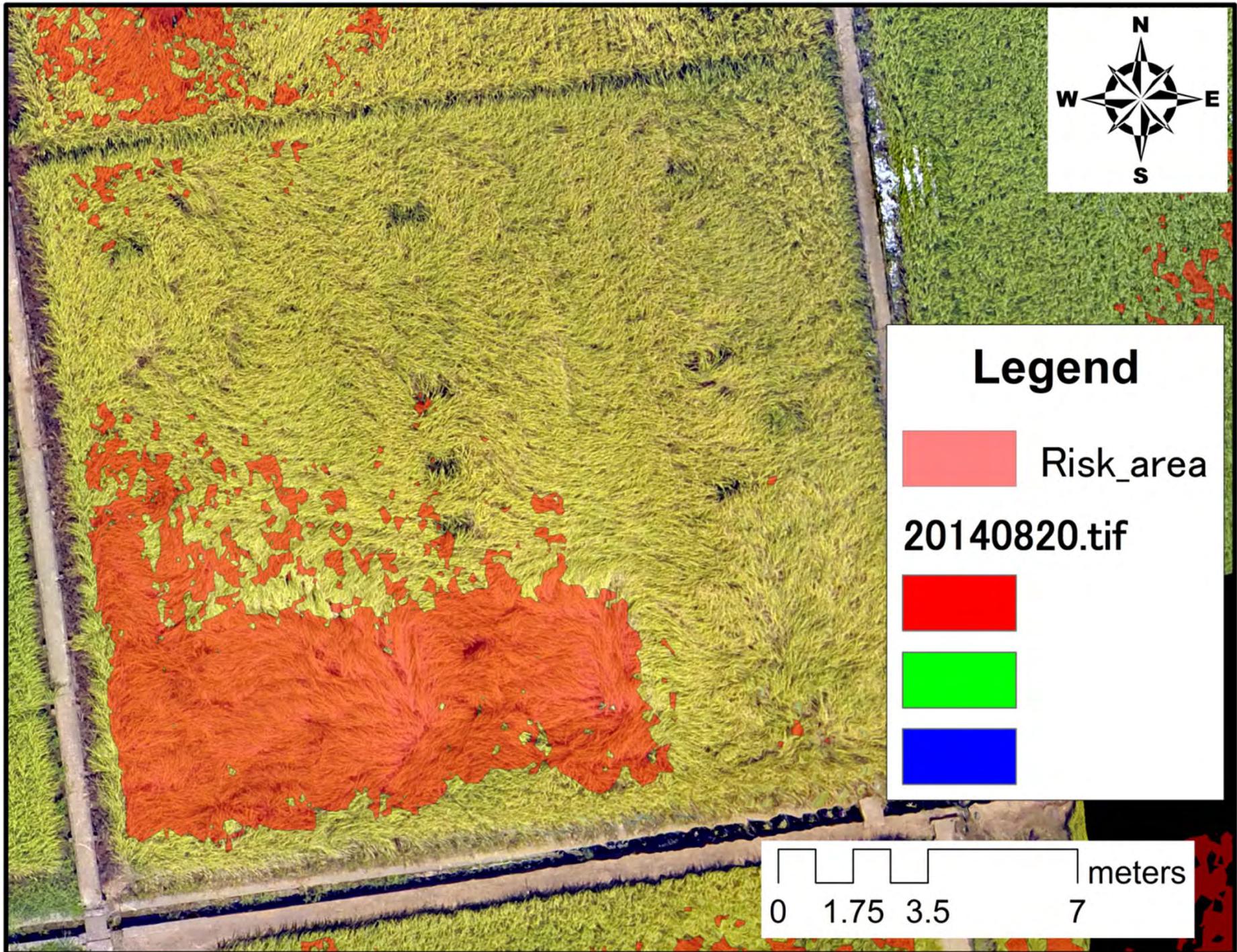
20140702.tif











収量の予測

- 収量 $=0.7828 \times SR \times NDVI - 2.04(T - 21.3)^2 + 282$

SR=登熟期間中の日射量

T=登熟期間の平均気温

NDVI(出穂期)

脇山ほか(2003)より

今回は最寄りのアメダス観測点(千葉)のデータを使用。

日射量データは無いため、日照時間より推定。

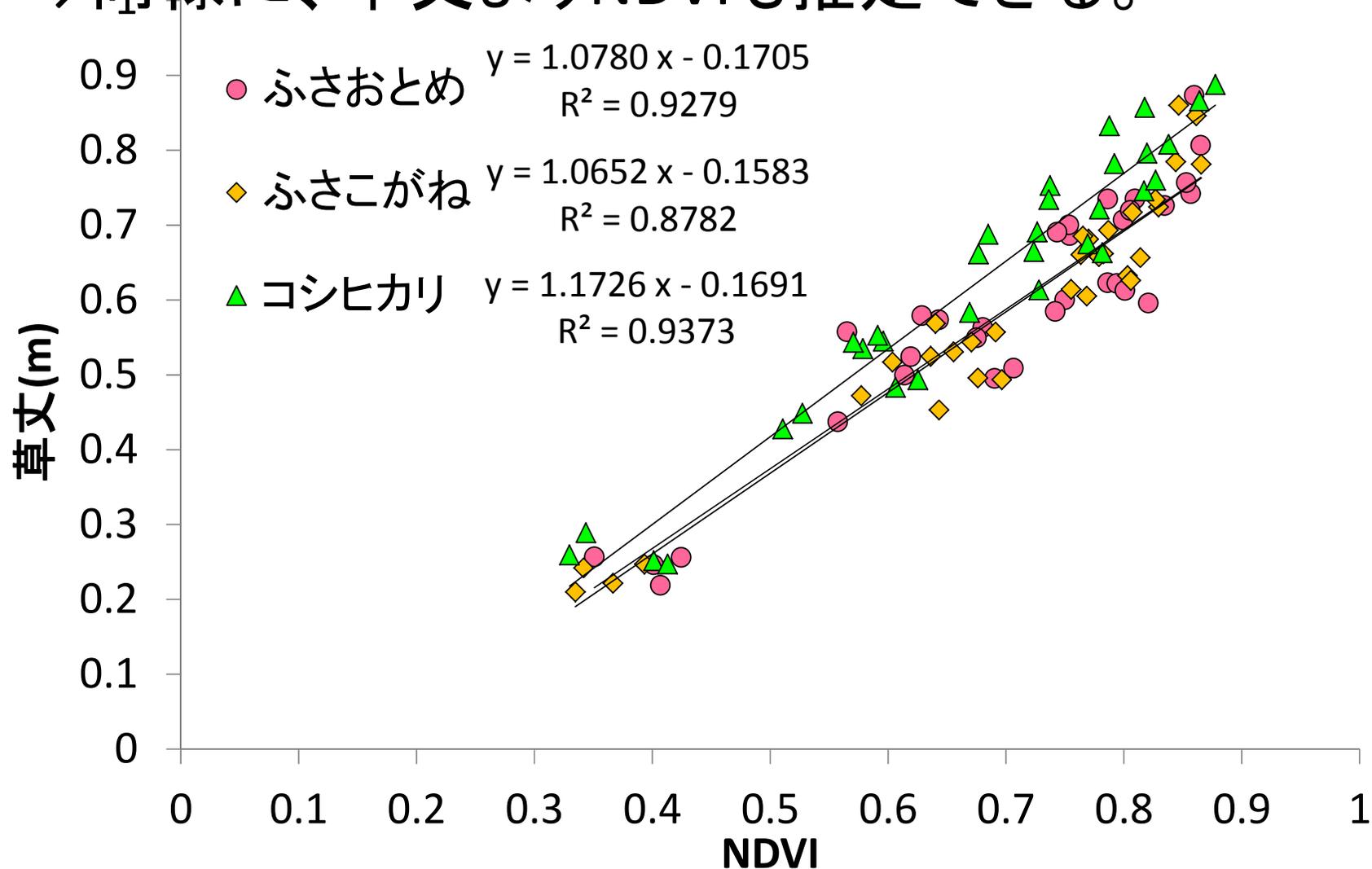
(桑形(2005)の推定式を利用)

生育推定手法の考案 (草丈、倒伏リスク、LAI)

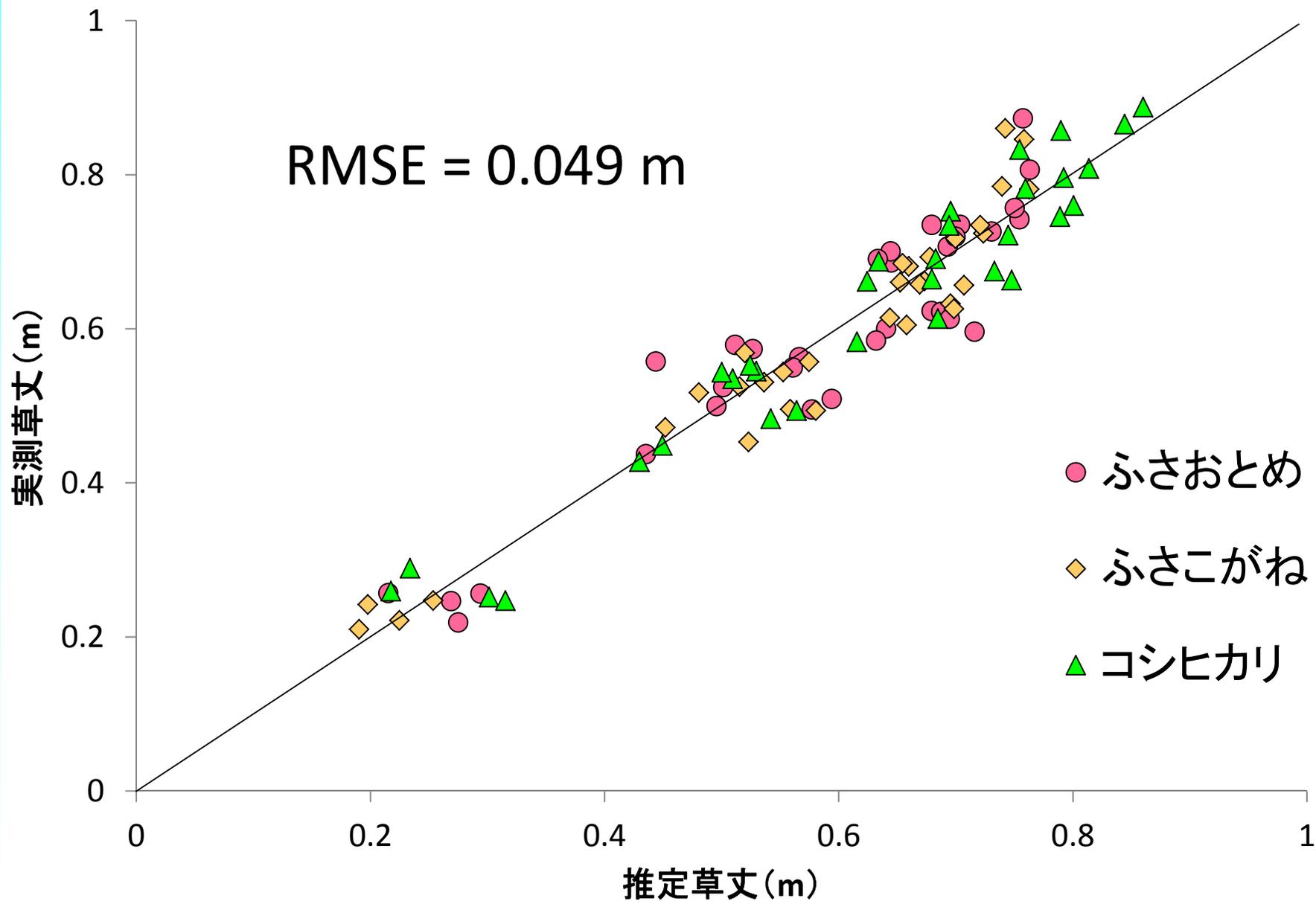
草丈の推定

- NDVI観測値をもとに、出穂までの草丈を推定

→同様に、草丈よりNDVIも推定できる。



草丈の推定：実測値と推定値

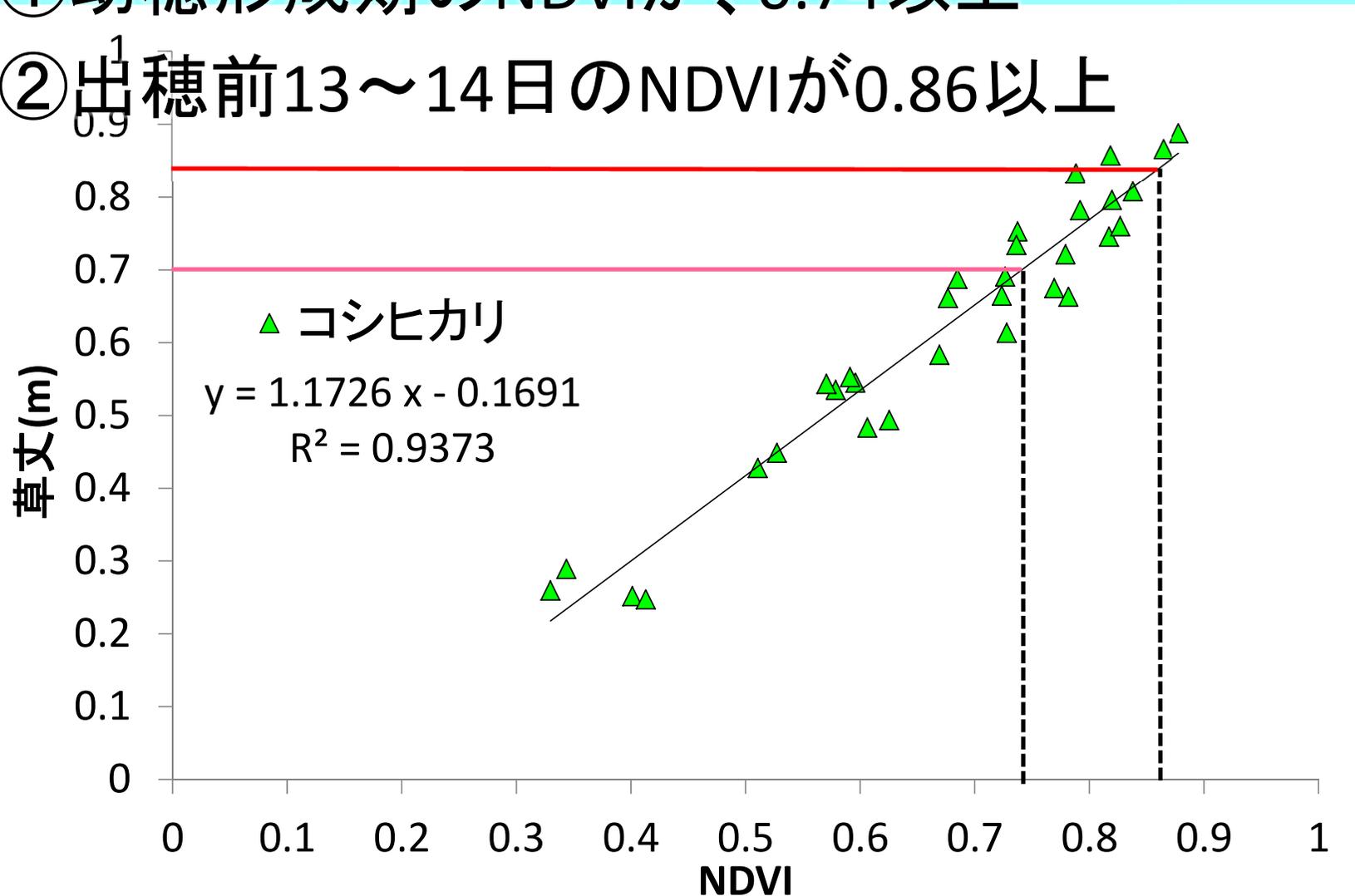


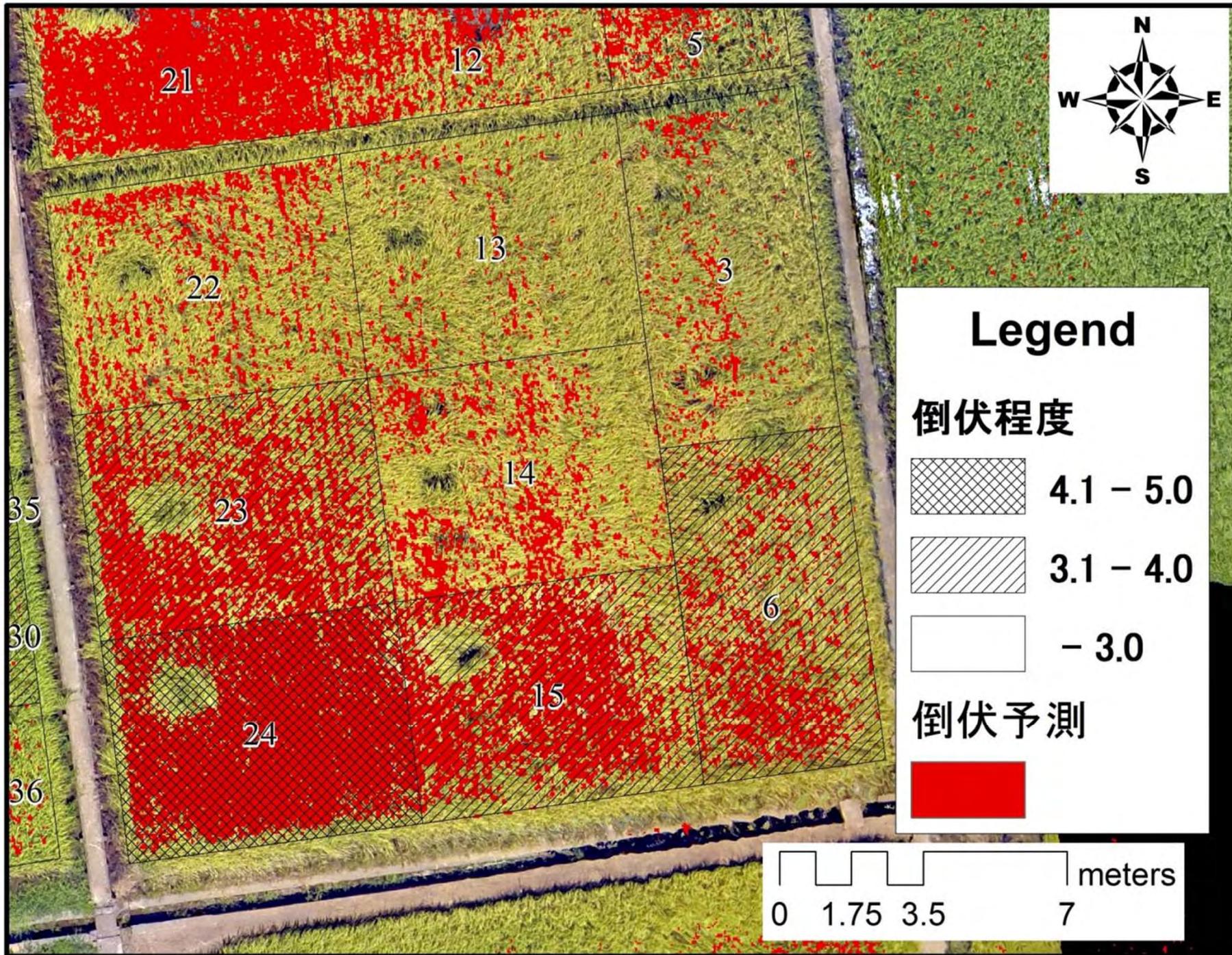
コシヒカリの倒伏リスク推定

- 草丈での推定手法に基づきNDVIを用いて推定。

① 幼穂形成期のNDVIが、0.74以上

② 出穂前¹13～14日のNDVIが0.86以上





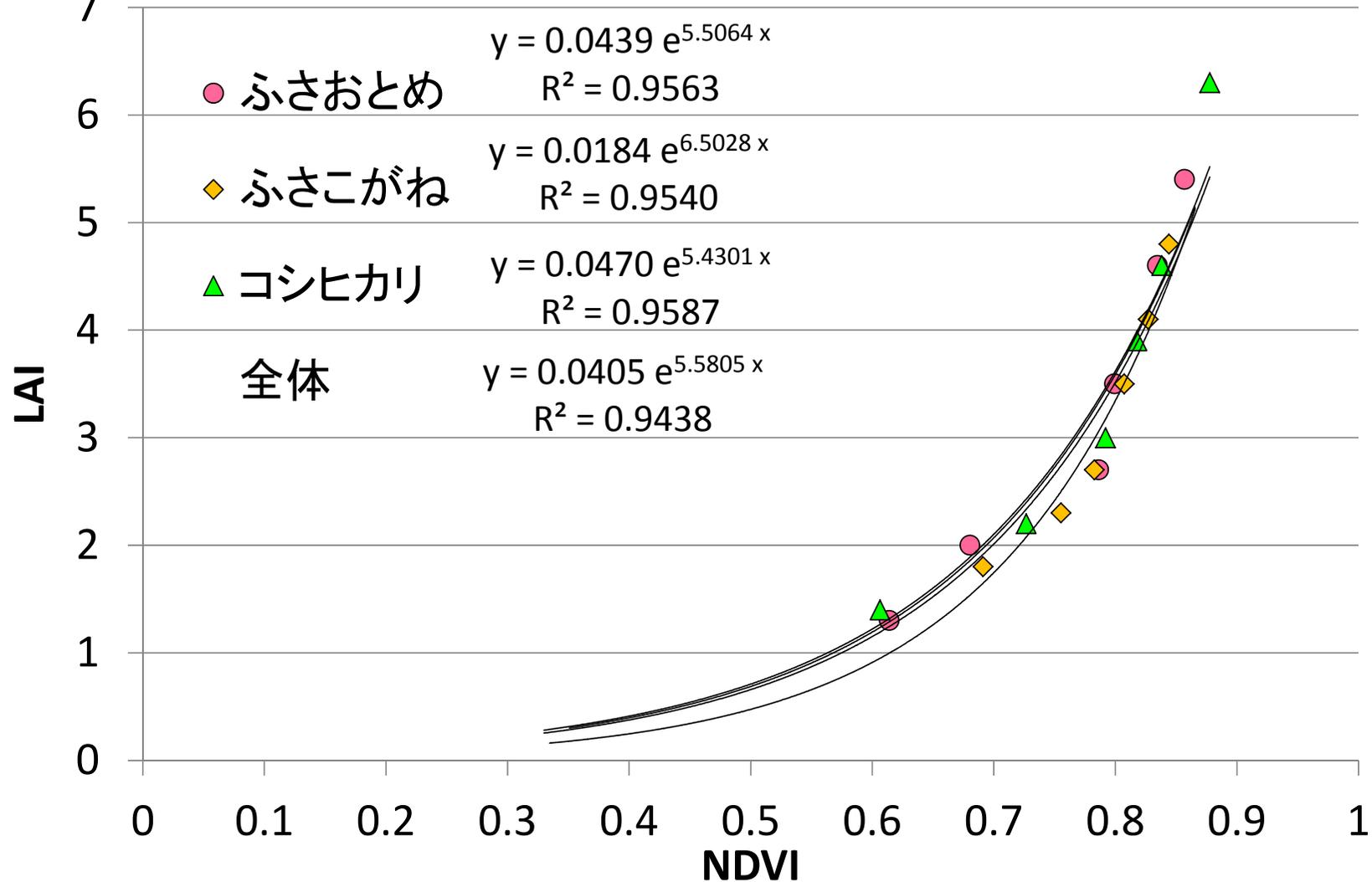
LAI(葉面積指標)の推定

- NDVIからのLAIを推定する手法がリモートセンシングではよく用いられる。
 - 衛星画像からの推定
- LAIは地表面の状態を示す、データの1つでフラックスモデル、バイオマス推定などのインプットデータとしても重要
- NDVIとLAI実測データとの相関関係からLAI推定モデル(回帰式)を構築した。

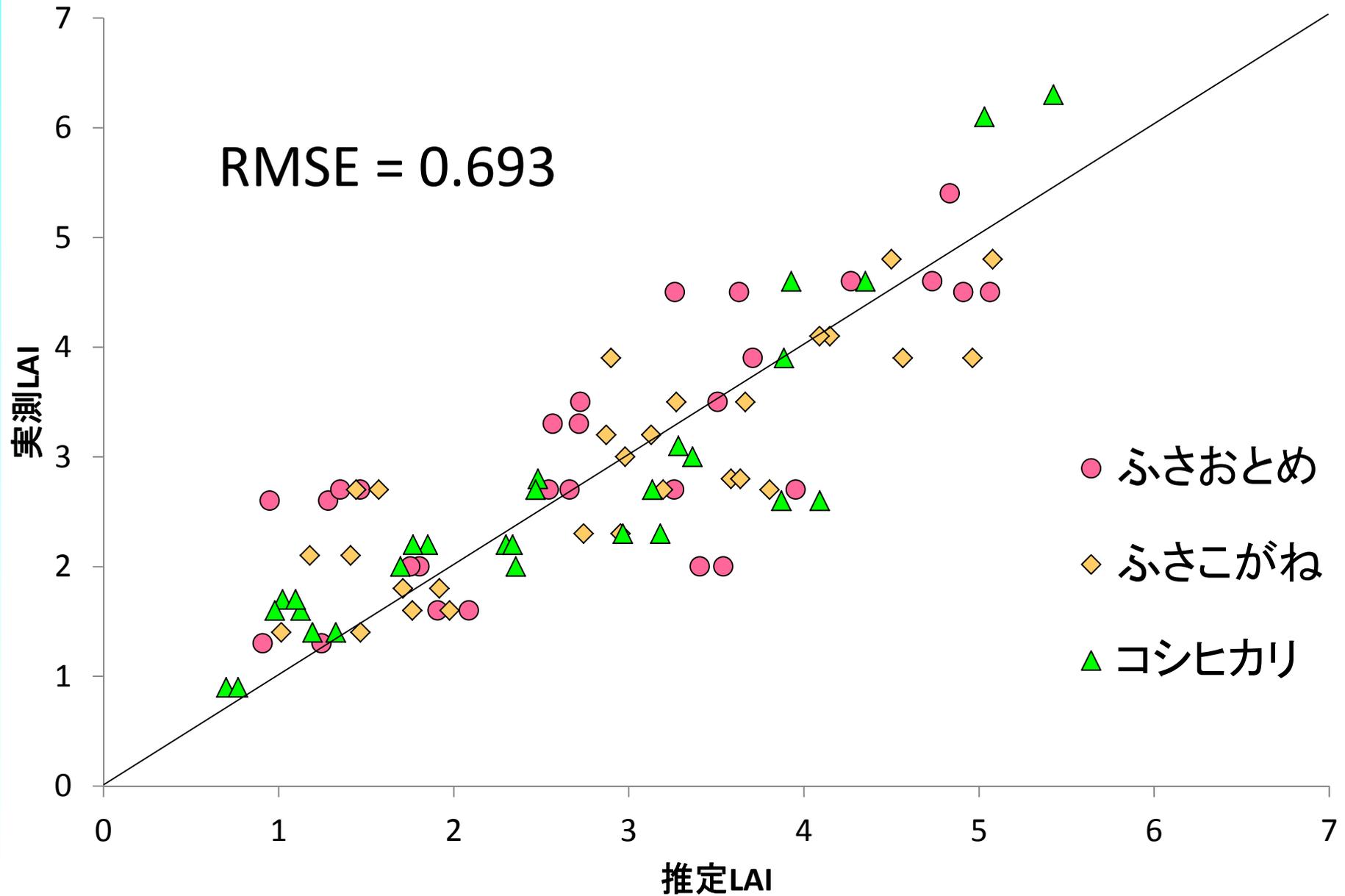
LAI(葉面積指標)の推定

◎ 指数近似や対数近似を使用した回帰分析。

1 < LAI < 7が対象。



LAI(葉面積指標)の推定: 実測値と推定値



考察: NDVI観測

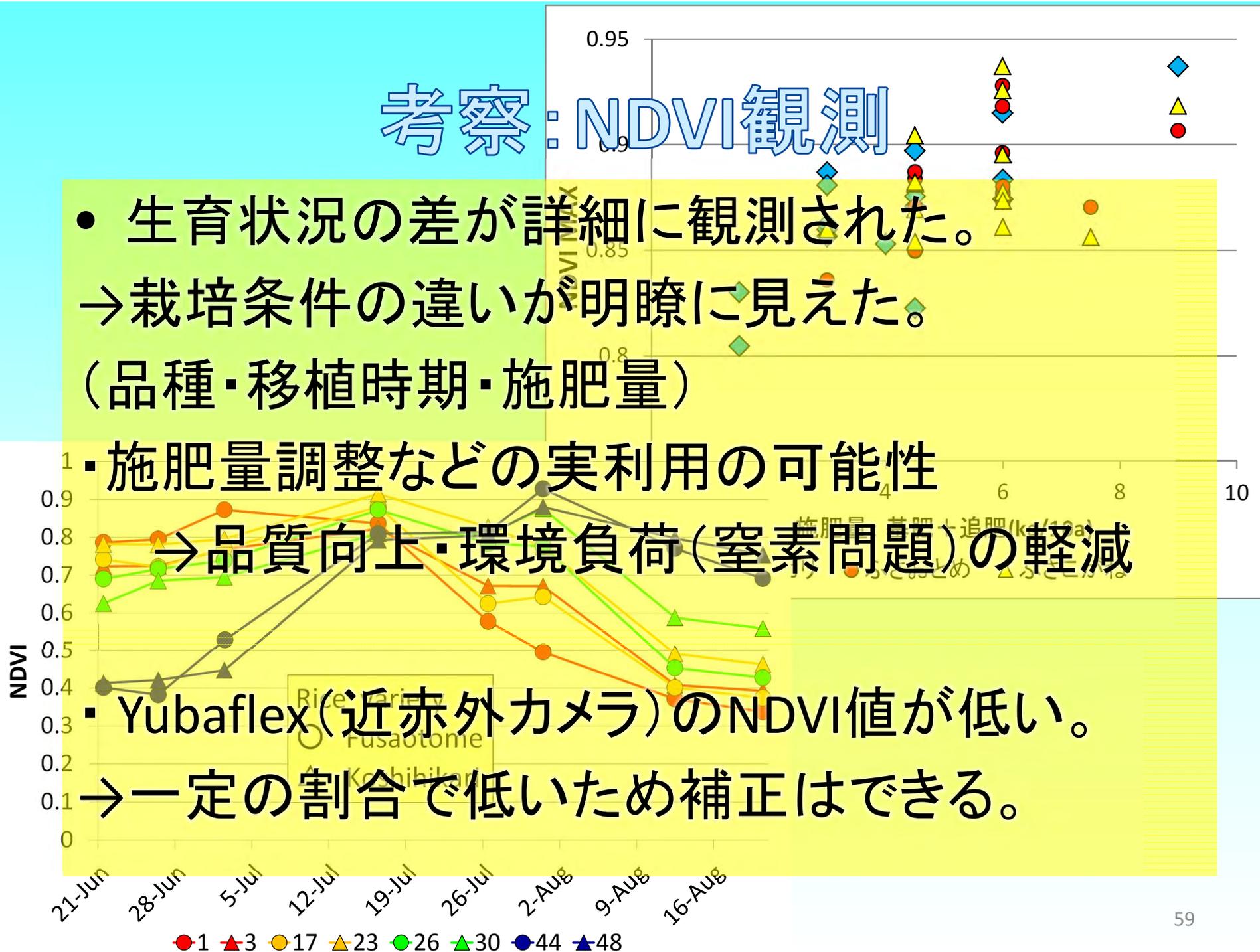
- 生育状況の差が詳細に観測された。
→栽培条件の違いが明瞭に見えた。
(品種・移植時期・施肥量)

■ 施肥量調整などの実利用の可能性

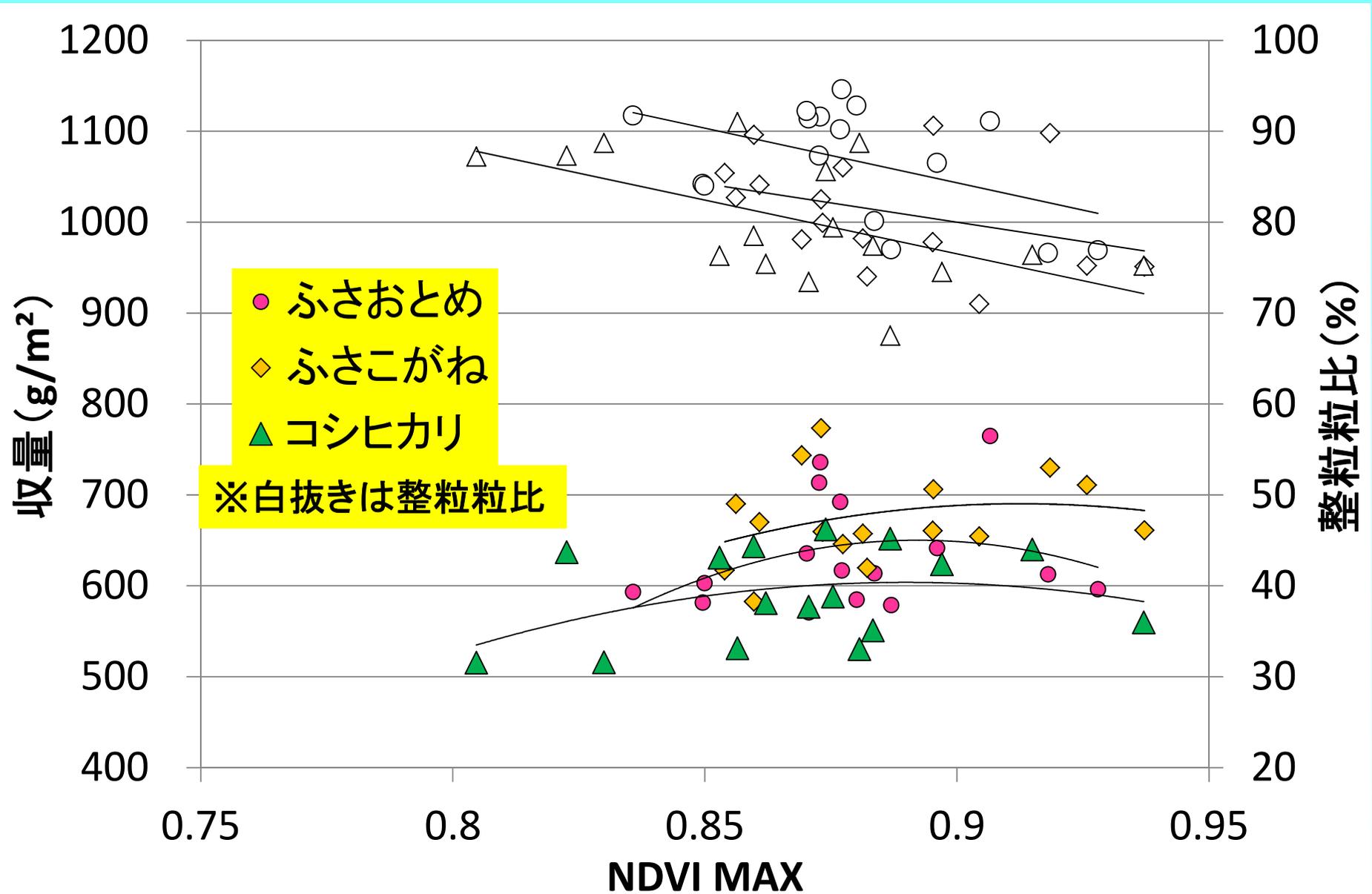
→品質向上・環境負荷(窒素問題)の軽減

■ Yubaflex(近赤外カメラ)のNDVI値が低い。

→一定の割合で低いため補正はできる。



NDVIの最適値の検討



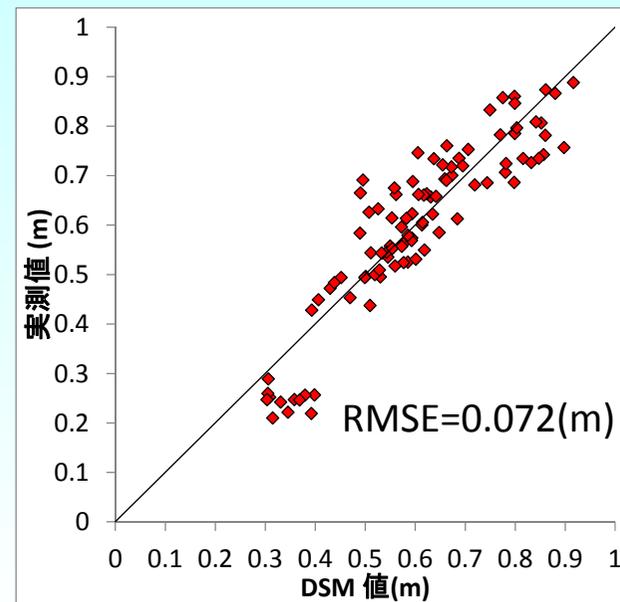
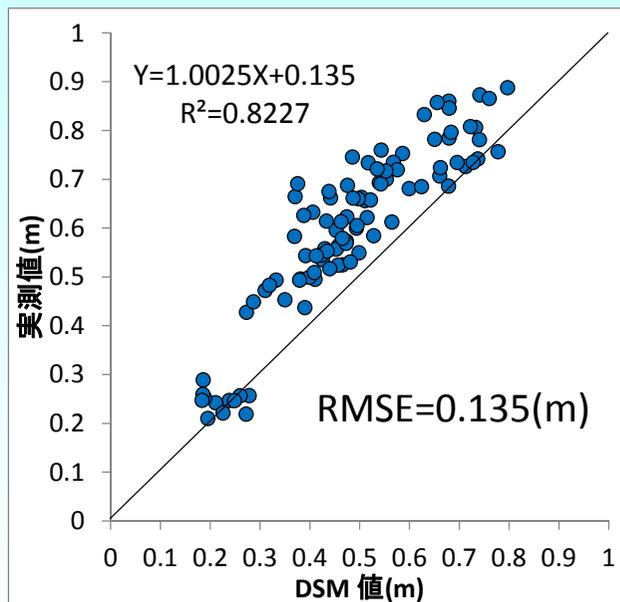
考察:DSM観測

- 稲丈を高い精度で観測することができた。

問題点・課題

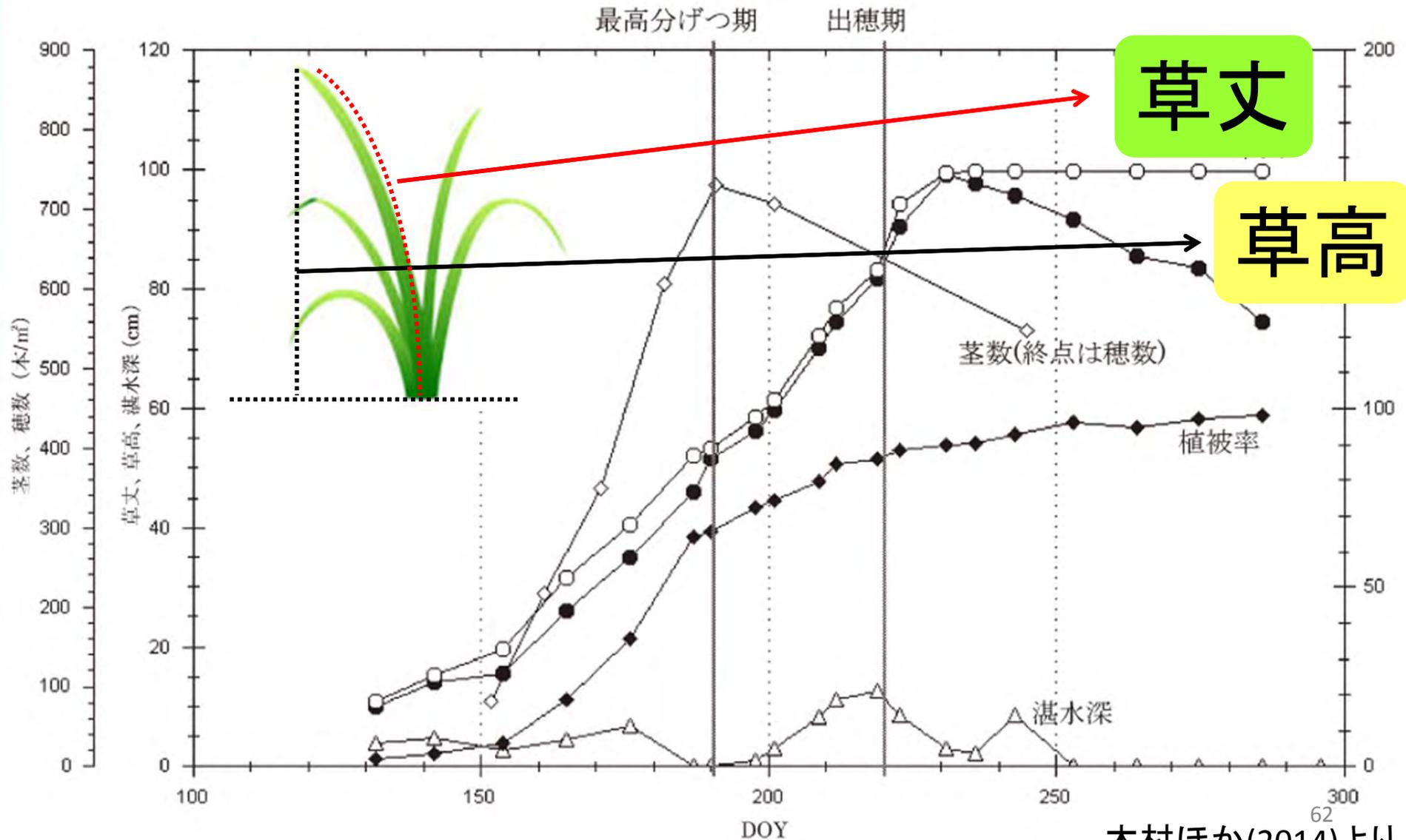
全体的に実測値に比べて低い値を計測したものが多かった。

→DSMと地上観測の草丈の観測方法の差
稲の状況の差(風や、たわみ)、 **草丈と草高**



草丈と草高

Plant length and plant height

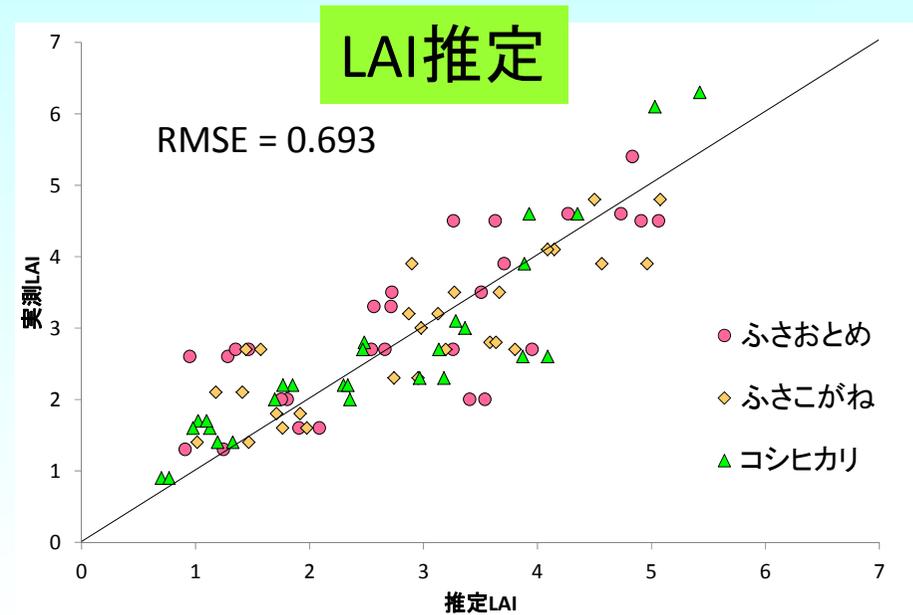
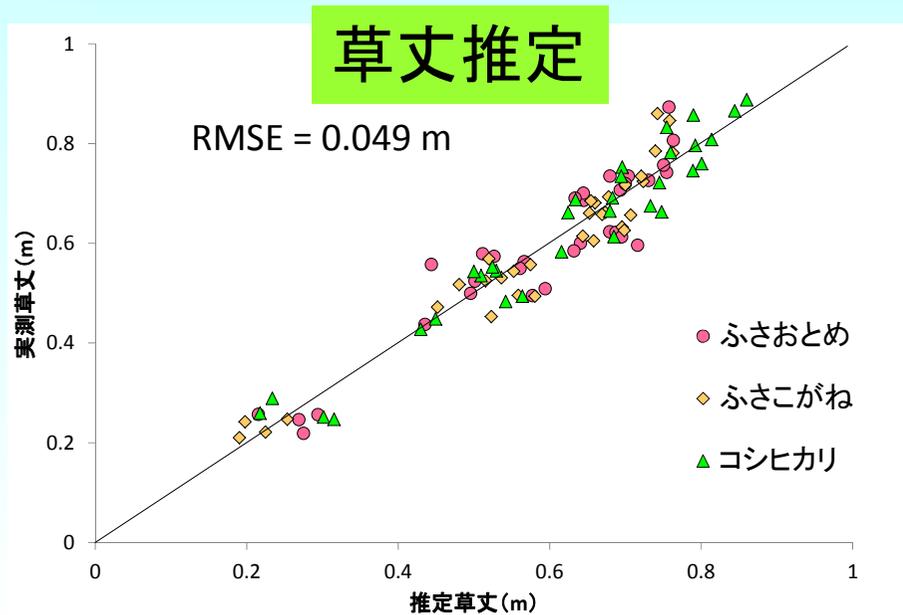


考察：生育推定

- 草丈、倒伏予測、LAIともに精度は高い。
- LAIは草丈の推定などと比較して、推定精度が劣る。

→作成した回帰式の問題。

実測データは一部を刈り取ったもので計測。



結論

- 栽培条件の異なる区画ごとに生育状況の差がNDVI観測結果に現れている。
⇒ 施肥管理に利用可能。草丈、LAIの推定が可能
- DSMでは誤差数cmで、草丈を計測できた。
⇒ 倒伏予測が可能(コシヒカリ)
- 収量予測では、品種ごとに予測モデルを構築する必要性が示唆された。
- 以上のように、RCマルチコプターでの観測は、データ品質も良く、観測だけでなく観測結果をもとに、モデルの検証や構築を行うことができる。

RCマルチコプター(UAV)観測の利点

- ①非破壊で面的(広範囲)な観測が可能
- ②撮影した画像に雲などは入らない
⇒観測・データの確実性
- ③雨・風さえなければいつでも観測可
⇒任意のタイミングのデータ
- ④高い時間・空間分解能の画像
- ⑤観測にかかるコストは安価
- ⑥観測から解析までの速度
SfMを有効利用⇒準リアルタイムデータ

おわりに

- 今回は簡便な方法であるが、生育状況の違いが確実に観測されていることを確認した。
- 確立された計測方法をもとに、モニタリングを継続し、観測事例を積み重ねる。
- 推定モデルの向上のため、複数日で実測データと同時観測を行う。

