

ドローン・衛星モニタリングを 組み合わせた水稻の収量予測

Ecoらいす解析課（日本大学 経済学部）

3年	佐藤翔太	前田紀香	
2年	松永恵実	高橋栄貴	大川貴文

背景（農業の課題）

日本の農業の課題

1. 高齢化が進み、農業人口が減少

- 農業就業人口は335万人（2005年）から167万人（2020年推定）へと半減。
- 平均年齢は63.2歳（2005年）から66歳超（2020年推定）へと高齢化。



15年間で**168万人減少**

日本の農業の課題

3. 食料自給率が先進国9ヵ国中、最下位

- 日本の食料自給率は37%（2018年・カロリーベース）で先進国では最下位。
- 世界の人口増加にともない、食料の需要も大幅な増加が予想されます。



日本の農業の課題

2. 農地集約にともない、経営規模が拡大化

- 経営規模5ha以上の農家は34.2%（2005年）から43.3%（2015年）へと増加。
- 経営耕地面積は1.6ha（1995年）から2.5ha（2015年）へと20年間で約1.6倍に。



農地集約で**大規模が増加**

日本の農業の課題

4. 新規就農者にとって、熟練を要する作業が多い

- 新規就農者でも熟練者と同じ作業が求められている。
- 熟練農家が持つ経験や技術の継承。



危機を打破するために

そこで登場したのが … ITを駆使し効率を追求した **「スマート農業」**

1 超省力・大規模生産を実現



GPS自動走行システム等の導入による
農業機械の夜間走行・複数走行・
自動走行等で、作業能力の限界を打破

2 作物の能力を最大限に発揮



センシング技術や過去のデータに基づく
きめ細やかな栽培により(精密農業)、
作物のポテンシャルを最大限に引き出し
多収・高品質を実現

スマート農業

ロボット技術、ICTを活用して、超省力・高品質
生産を実現する新たな農業

3 きつい作業、危険な作業から解放



収穫物の積み下ろしなどの重労働を
アシストスーツで軽労化するほか、
除草ロボットなどにより作業を自動化

4 誰もが取り組みやすい農業を実現



農業機械のアシスト装置により経験の浅い
オペレーターでも高精度の作業が可能となる
ほか、ノウハウをデータ化することで若者等が
農業に続々とトライ

5 消費者・実需者に安心と信頼を提供



クラウドシステムにより、生産の詳しい
情報を実需者や消費者にダイレクトに
つなげ、安心と信頼を届ける

農業分野に

IT, ロボット技術, AI等を活用

省力化や大規模生産, 品質の
向上などを目指す新たな農業

異業種や若手が参入

稼げる, カッコいい, 楽しい農業

センシング技術の活用

→ 生育診断, コスト低減
収量・品質の向上を図る



農業経営の高度化に期待

先行研究：収量予測モデル

1) NDVIによる線形回帰

田中ほか(2016), 河野ほか(2019)など
人工衛星やドローンを用いて取得したNDVIと収量との線形回帰
により収量予測

2) NDVIと日射量による線形回帰

脇山ほか(2003), 濱ほか(2018)など
出穂期前後に観測した人工衛星のNDVIと日射量を乗算し,
それと収量との線形回帰により収量予測

3) 生育モデルを用いた収量予測モデル

本間ほか(2003), 牧ほか(2014)など
生育シミュレーションモデル「SIMRIW-RS」を用いて, 作物の
生育ステージ・状態・収量を計算する物理統計モデル

先行研究：1) NDVIによる線形回帰

田中・近藤（2016）

小型マルチコプターを用いた近接リモートセンシングによる 水稻生育マップの作成

ドローンによる出穂期のNDVIを取得 + 収穫直前のイネのサンプリング

→ **出穂期のNDVI**から線形回帰式を作成し、収量を予測

メリット：収量予測モデルが単純
高精度に予測可能

デメリット：複数のサンプリングが必要
初年度に収量予測モデルを利用できない



先行研究：2) NDVIと日射量による線形回帰

脇山 ほか (2003)

水稻の登熟期における衛星データおよびアメダスデータ

を用いた収量予測法

登熟期の気温と収量の関係および登熟期の日射量・NDVIと収量の関係から
収量予測モデルを構築

メリット：LandSatを利用
→ 広域の予測が可能

デメリット：国内は雲量が多いため、利用が制限される
→ 夏場は地域によって、取得不可もある



目的

先行研究

プラットフォーム別（ドローンや人工衛星）の収量予測モデルが中心



ドローンの収量予測モデルと人工衛星の**出穂期前後のNDVI**
を組み合わせることで広域かつ高精度の収量予測モデルの構築

これまでの人工衛星の問題点

時間解像度：16日に一回（LandSat）

梅雨時のデータ：東日本/西日本でデータ
取得が異なる

→ 欲しい時期のデータが揃わない

改善

LandSat, Sentinelの複数機整備

時間解像度：約3日に一回

→ 農作業にとって欲しい時期の
データが入手可能



圃場面積：738.3 ha
(筆ポリゴンより算出)

ドローン計測



0 2 km

対象地域：埼玉県坂戸市

対象地域



使用データ



人工衛星 (2019 ~ 2022)

Sentinel-2 A/B

LandSat 8/9

※ 7月下旬から8月上旬
→ 対象地域の水稲の出穂期



ドローン (2019 ~ 2022)

坂戸市で計測した出穂期のNDVIおよび収量予測モデル

※ 田中・近藤 (2016) で報告されている圃場において、現在も継続中



筆ポリゴンデータ (農林水産省)

圃場 1 枚ごとのGISデータ



作物統計調査 (農林水産省)

坂戸市の収穫量 ← 検証データ

品種栽培シェア率 (JAいるま野)

※ 品種別の重量換算

ドローンモニタリング

P4M(DJI社)

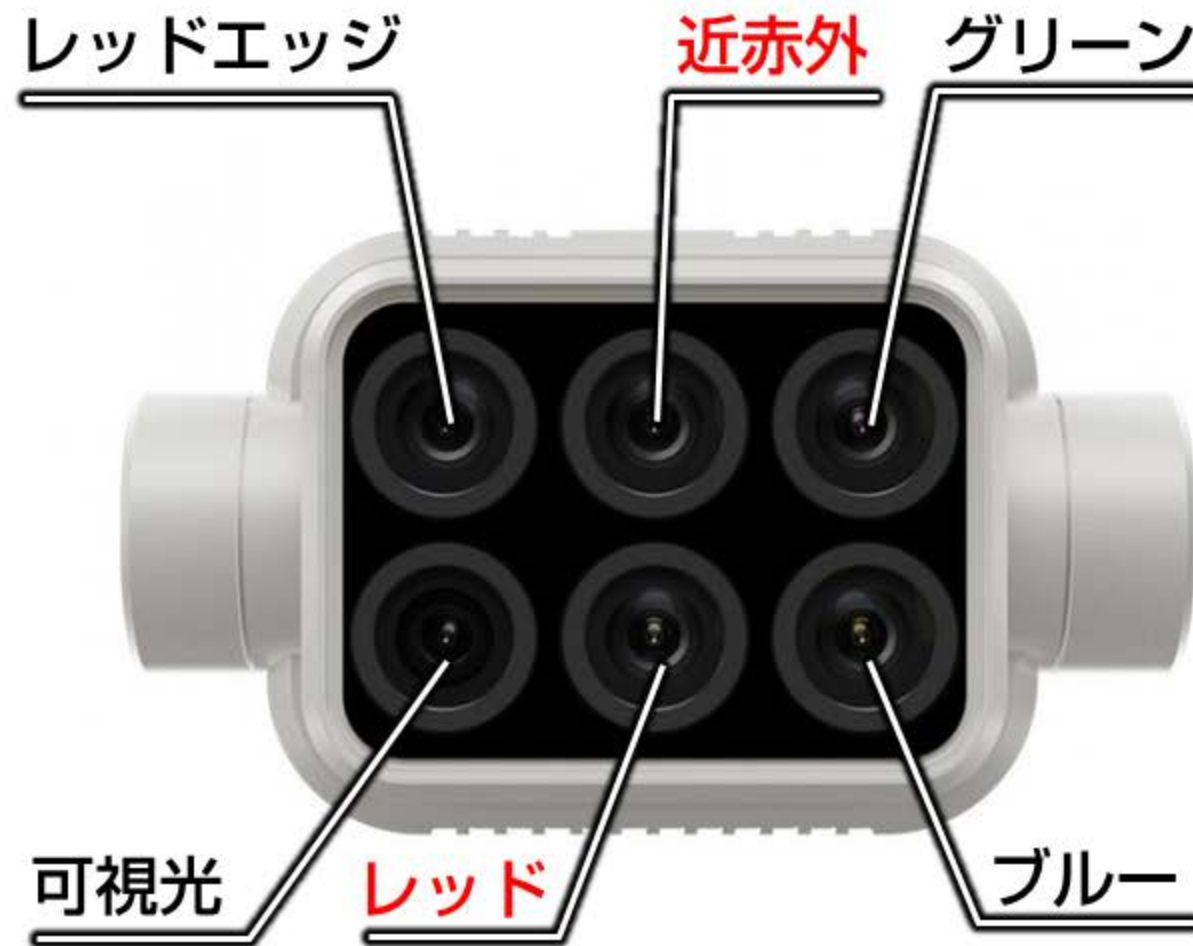
→ モニタリングに特化したドローン



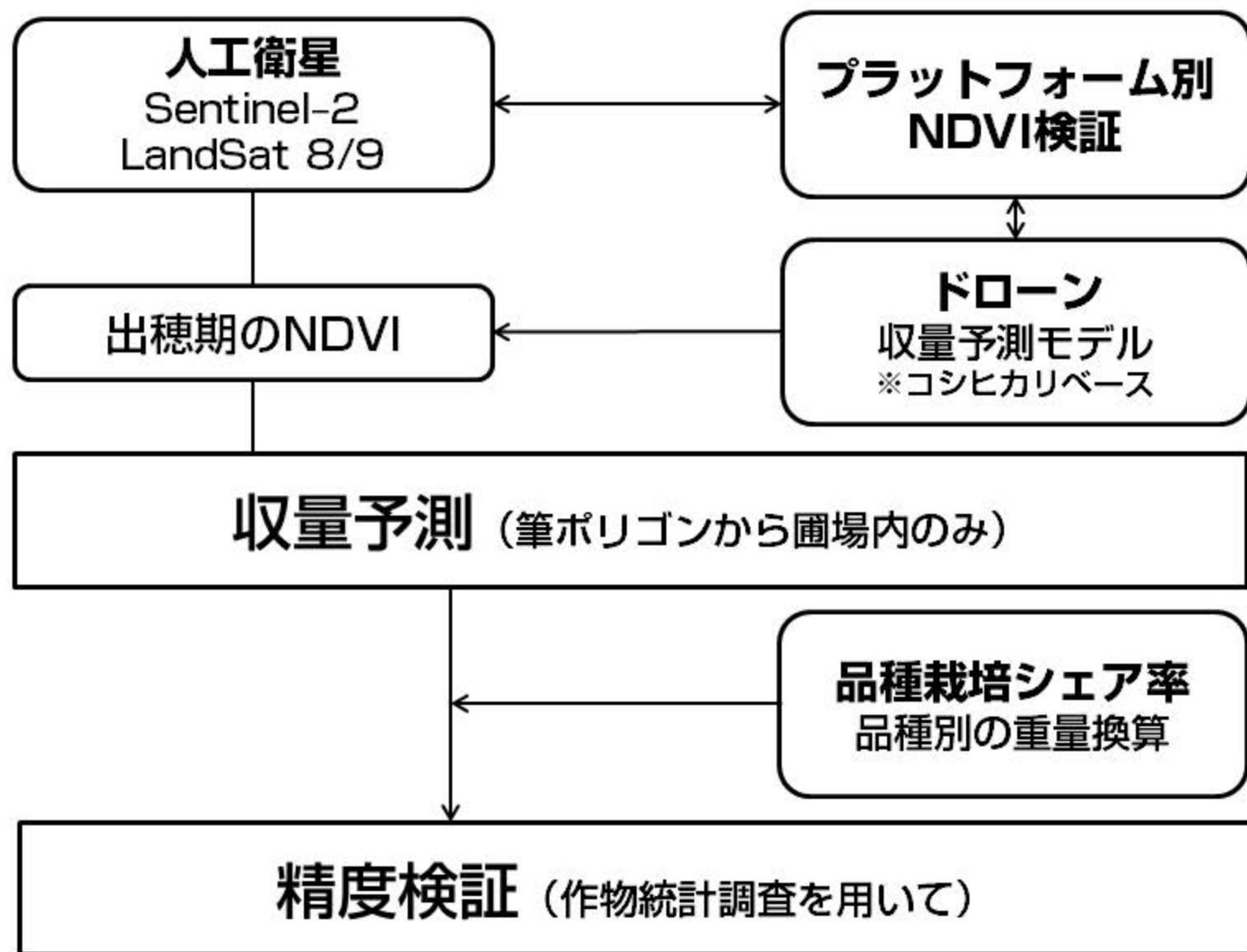
植生の活性度を示す指標

$$\text{NDVI} = \frac{\text{近赤外} - \text{レッド}}{\text{近赤外} + \text{レッド}}$$

(植生指標)



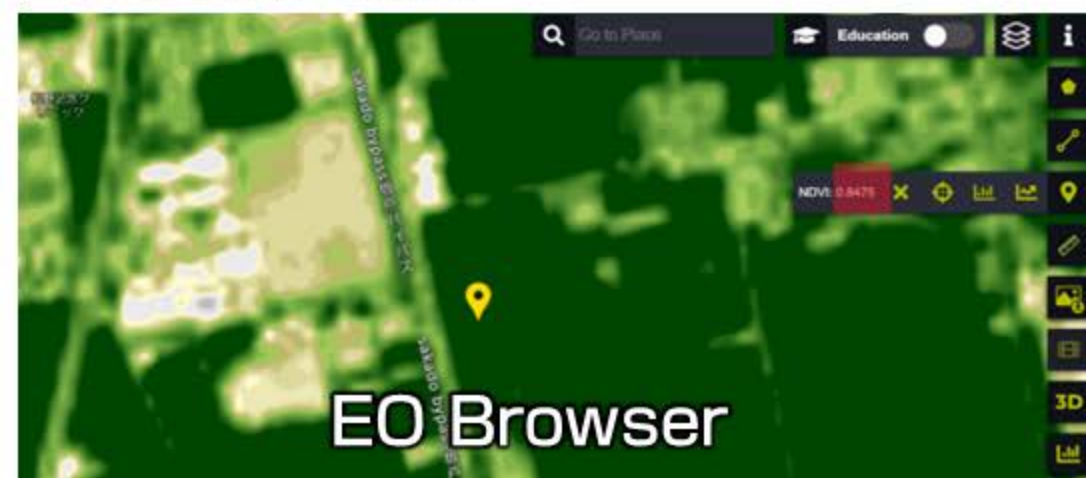
解析方法



NDVI検証：Sentinel-2 と Landsat 8 / 9

観測日	Landsat 8/9	Sentinel-2	一致率
2020/ 9/ 4	0.64	0.68	93.3%
2021/7/21	0.76	0.72	95.3%
2022/7/31	0.81	0.84	97.1%
2023/7/11	0.81	0.84	96.8%
2023/7/26	0.81	0.87	92.6%
2023/8/20	0.75	0.76	98.7%

NDVI検証方法



同時観測



NDVI

一致率90%以上

NDVI検証：ドローンと人工衛星

観測日	ドローン	人工衛星	一致率
2020/ 8/ 5	0.86	0.75	86.6%
2020/8/15	0.80	0.82	97.9%
2020/8/19	0.78	0.74	94.5%
2021/8/30	0.71	0.72	99.1%
2023/7/ 2	0.71	0.74	96.6%
2023/7/16	0.84	0.86	97.7%

水蒸気の影響を受けている

NDVI検証方法

同時観測



衛星



大気

水蒸気

ドローン



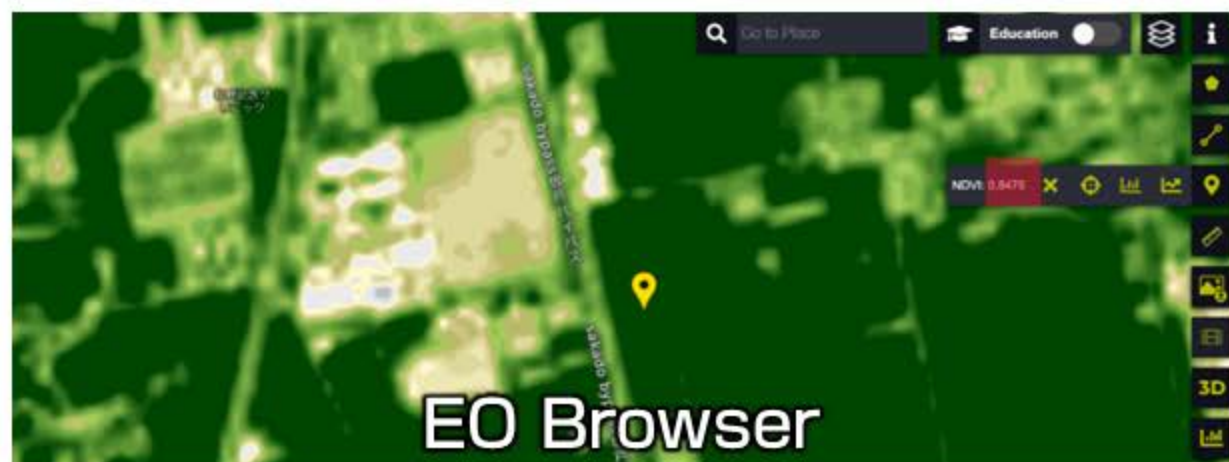
地上



NDVI検証：EO Browserとオリジナルデータ

オリジナルデータ

Sentinel-2 : Copernicus (ESA) からダウンロード
LandSat 8/9 : LandsatLook (USGS) からダウンロード



NDVI : 0.8475



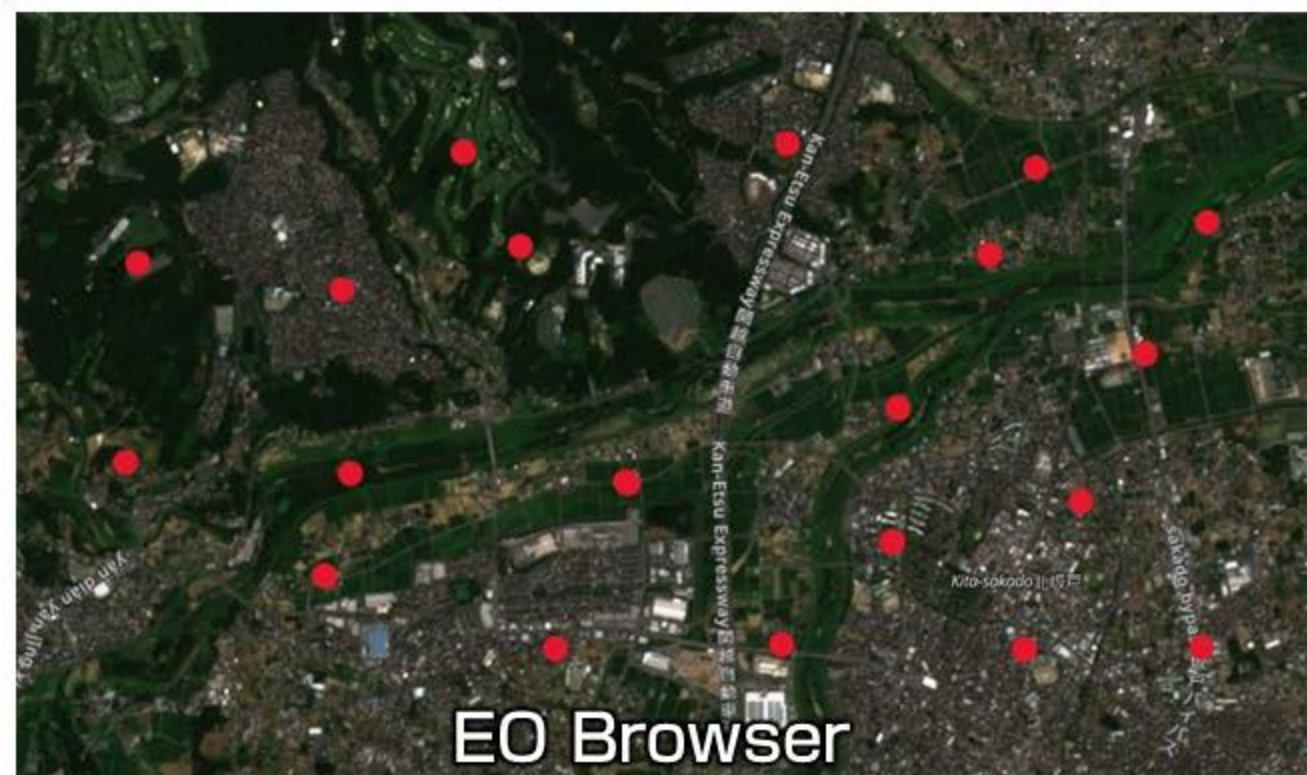
NDVI : 0.7357

NDVIが異なる

EO Browserとオリジナルデータの違い
→ 理由不明 / 現在も調査中

EO Browser のメリット
SentinelとLandSatを一度に検索できる

オリジナルデータの補正

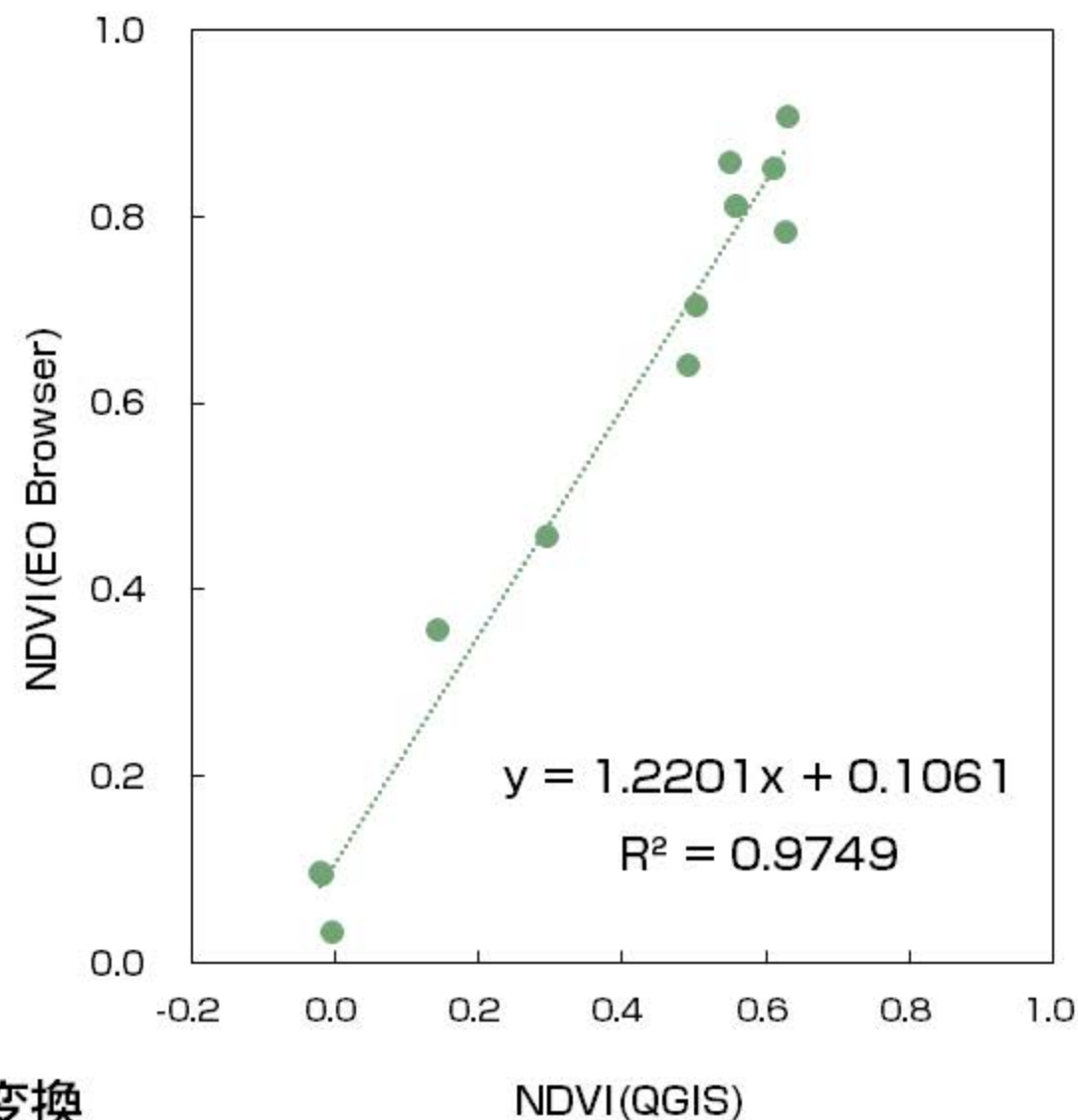


坂戸市市内の約20地点のNDVIをそれぞれ取得

※ EO Browserとオリジナルデータ

相関が高い変換式

オリジナルデータのNDVI → EO BrowserのNDVIに変換



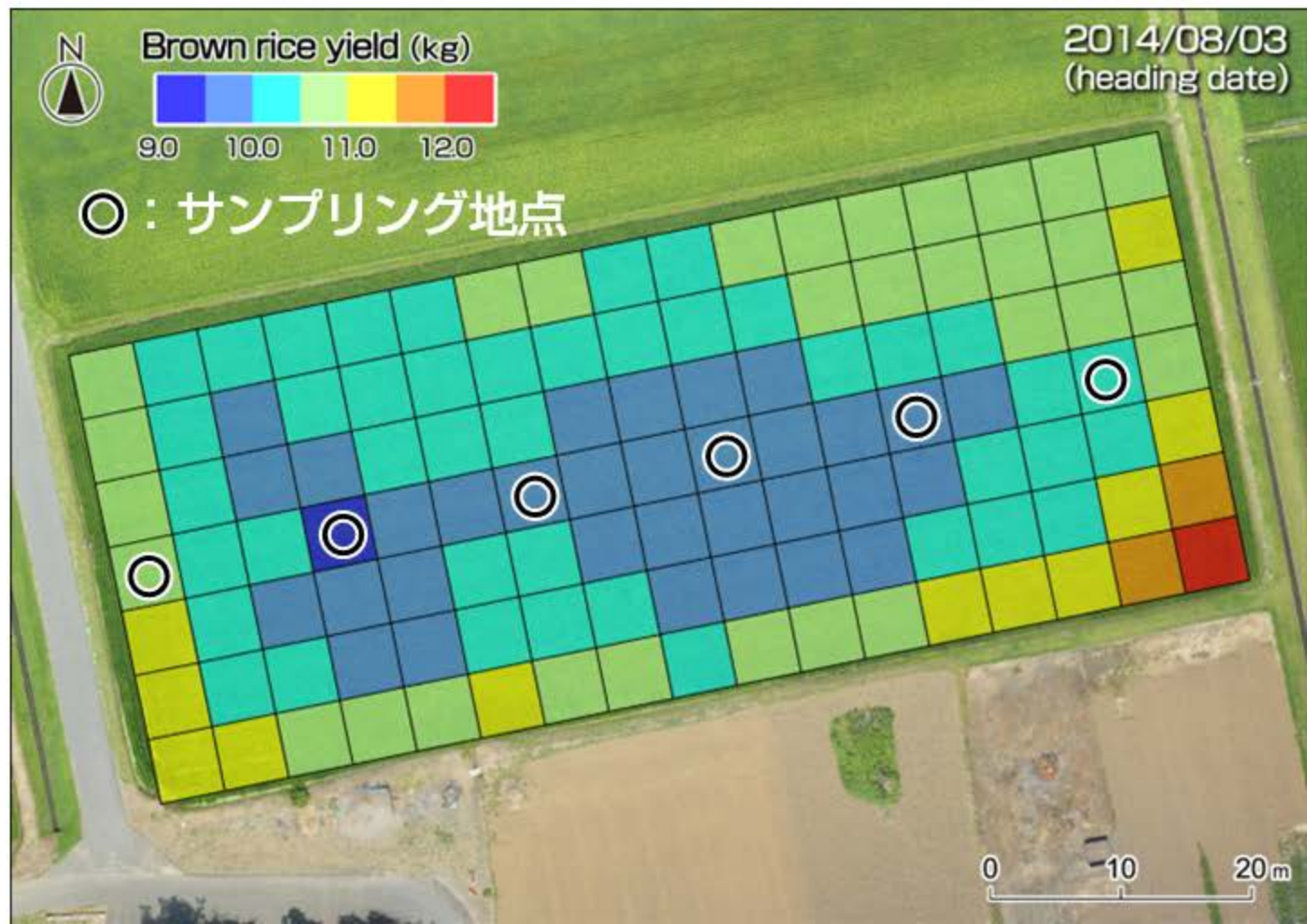
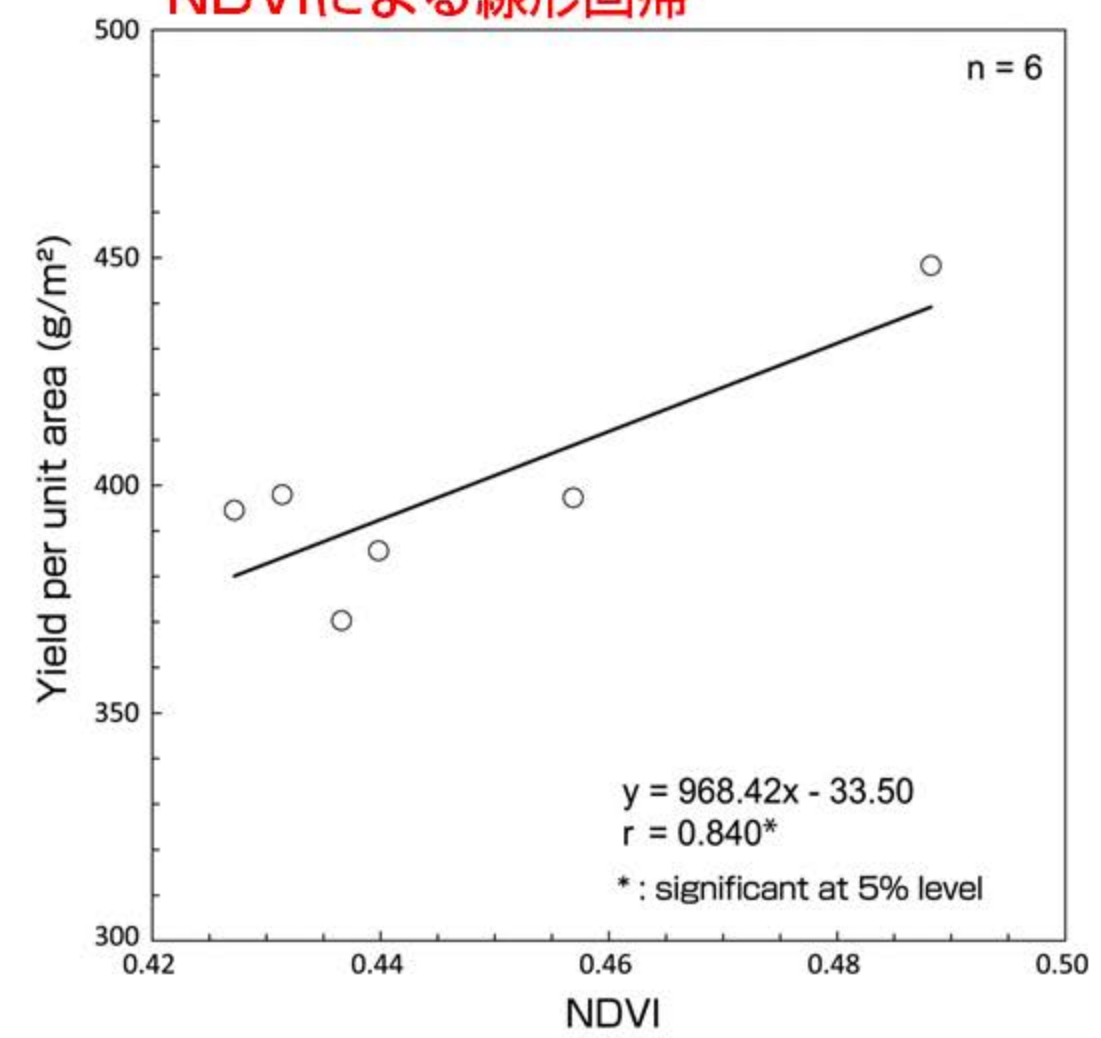
田中・近藤 (2016)

ドローン：収量予測モデル

収量は出穂期のNDVIと相関が高い

※出穂期～出穂8日後

NDVIによる線形回帰



収量予測モデル

人工衛星

Sentinel-2
LandSat 8/9

ドローン圃場 出穂日	人工衛星_観測日
2019/ 8/ 2	2019/ 8/ 1 (Sentinel-2)
2020/ 8/ 5	2020/ 8/ 5 (Sentinel-2)
2021/ 8/ 2	2021/ 8/ 5 (Sentinel-2)
2022/ 8/ 4	2022/ 8/ 1 (LandSat 9)



イネの出穂
※ NDVIがピークを迎える

出穂期のNDVI

代表値：圃場内に含まれる画素の平均値
精度：Sentinel-2 > LandSat 8/9

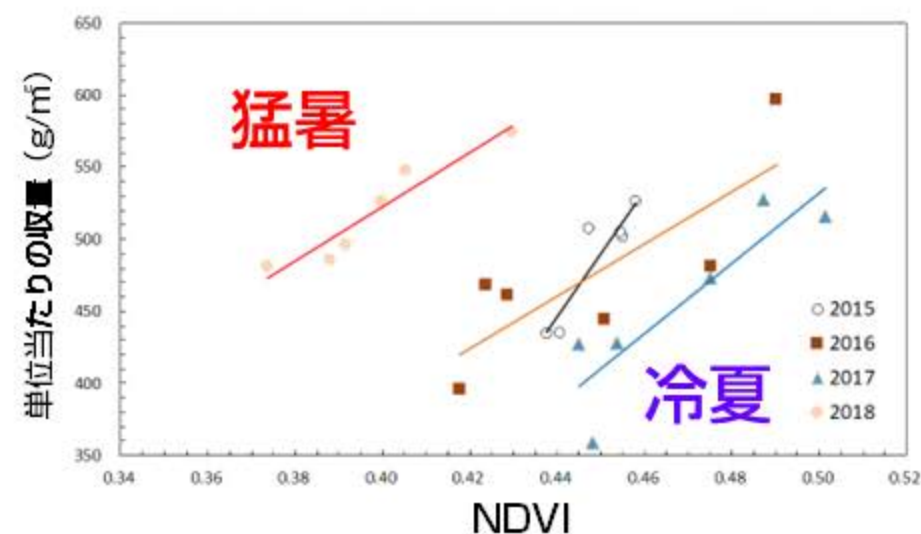


出穂期における圃場ごとのNDVI
2022/8/5

収量予測モデル

ドローン：収量予測モデル

※コシヒカリベース 田中・近藤 (2016)



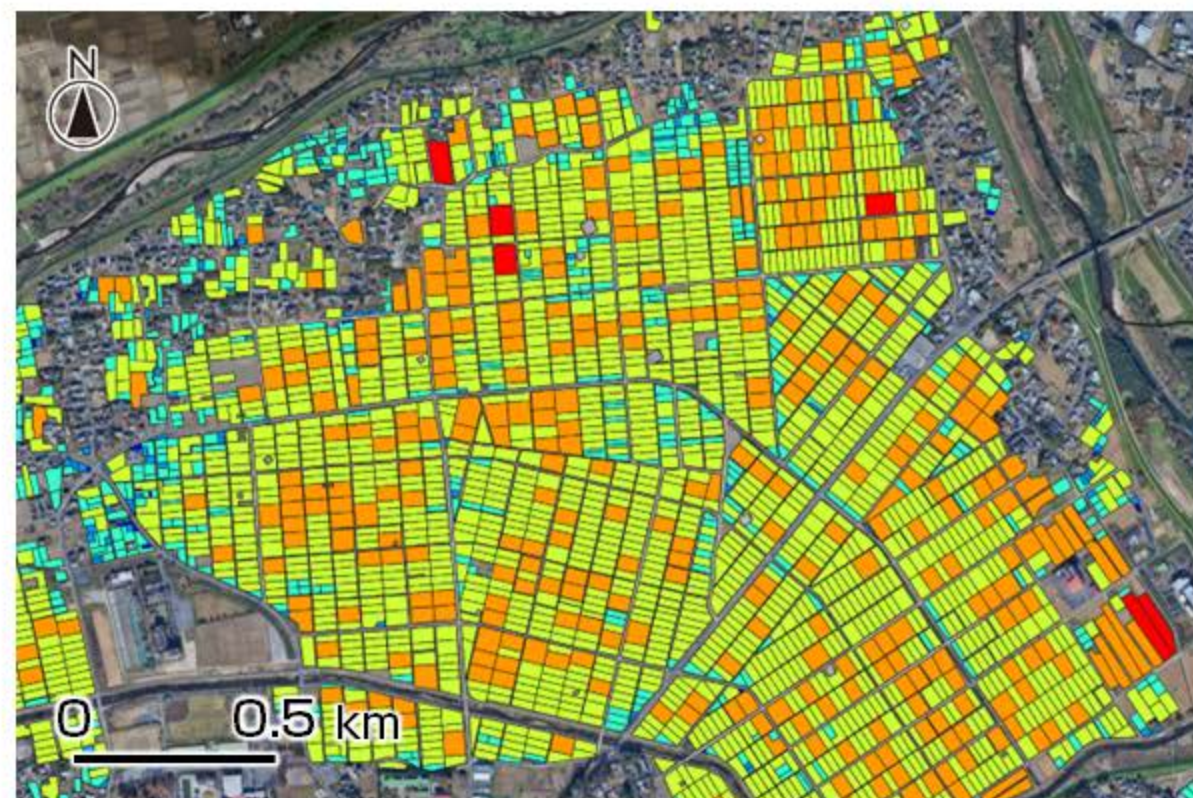
ドローン収量予測モデル

単位：g/m² → 圃場のGISデータが必要

品種：コシヒカリ → 品種による収量の違いを
考慮しなければならない

天候：単純なモデル ← 天候条件が反映されない

収量予測



2022年 収量予測マップ

※ 品種の違いは考慮せず

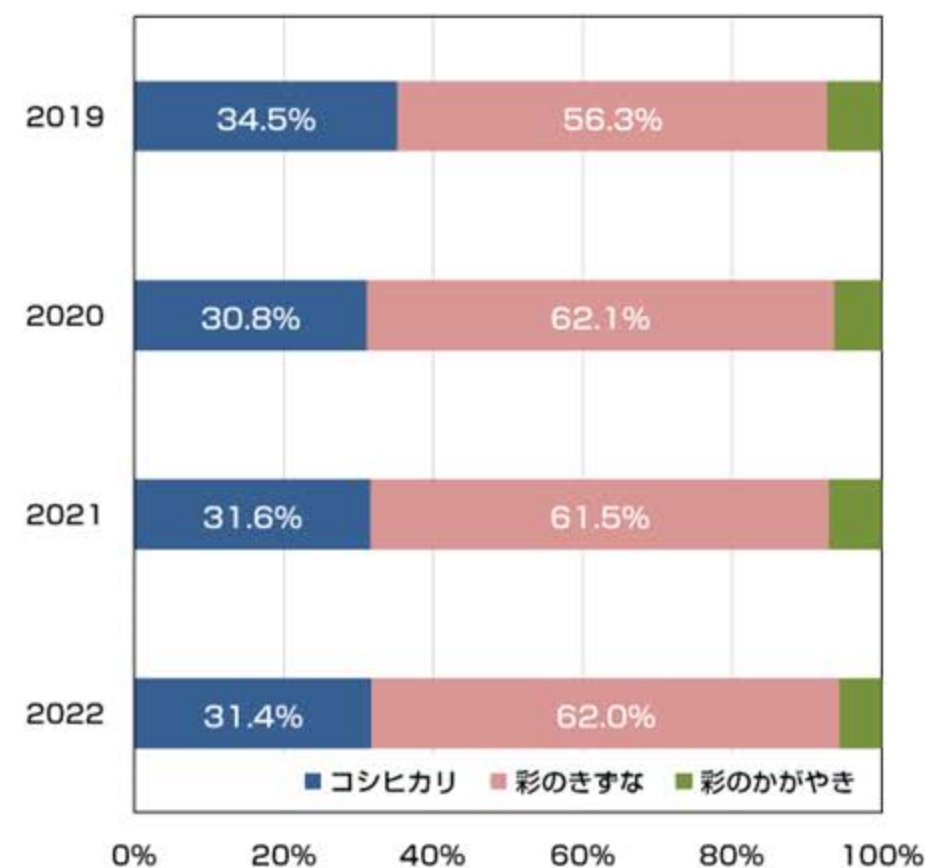
精度検証

収量予測モデルの検証結果

	2019年	2020年	2021年	2022年
作物統計調査	2,820.0t	2,840.0t	2,790.0t	2,730.0t
収量予測モデル ※コシヒカリベース	2,634.8t	2,616.8t	3,040.5t	2,884.5t
誤差	- 6.6 %	- 7.9 %	9.0 %	5.7 %
収量予測モデル ※品種考慮	2,736.4t	2,758.4t	3,241.2t	2,861.8t
誤差	- 3.1 %	- 2.9 %	16.2 %	4.8 %

彩のきずな : 埼玉県独自ブランド米
コシヒカリの10~20% 多収品種

彩のかがやき : コシヒカリの10%程度 多収品種



品種栽培シェア率 (JAいるま野管内)

※JAいるま野が公表しているカンントリーエレベータ
直接買入れ実績から算出

2018年にシェア率トップ交代
コシヒカリ → 彩のきずな

まとめ

ドローン・衛星モニタリングを組み合わせた水稻収量予測モデルを構築し、埼玉県坂戸市の収量予測を行った

本研究では、品種重量を考慮した結果 → 高精度な収量予測モデル
(±5%程度) ※2021年を除く

単純なモデルのため、複数年の蓄積によって、精度の向上が見込める

課題点

栽培スケジュール：生育ステージが同じ地域での適応可能

→ 西日本ほど収量予測モデルの精度が落ちると考えられる

参考文献

- ・農林水産省「農業機械メーカーが考えるスマート農業について」

https://www.maff.go.jp/kyusyu/seisan/gizyutu/attach/pdf/sumatonougousamitto_suidensaku-6.pdf

(最終閲覧日:2023年11月11日)

- ・農林水産省「スマート農業」

<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/> (最終閲覧日:2023年11月11日)

- ・小型マルチコプターを用いた近接リモートセンシングによる水稻生育マップの作成(田中ほか,2016年)
- ・UAVリモートセンシングおよび日射量を用いた水稻の草丈と収量の推定(濱ら,2018)
- ・水稻の登熟期における衛星データおよびアメダスデータを用いた収量予測法(脇山ほか,2003)
- ・令和2年度スマート農業における水稻収量予測の高度化のための実証調査委託事業(一般財団法人 リモート・センシング技術センター,2021)