

UAVリモートセンシングによる 水稲のフェノロジー観測

濱 侃	(千葉大学CEReS・学振DC)
田中 圭	(日本地図センター)
望月 篤	(千葉県農林総合研究センター)
鶴岡 康夫	(千葉県農林総合研究センター)
近藤 昭彦	(千葉大学CEReS)

稲作と風土・ランドスケープ

- 水田稲作を行うには、高い気温と豊富な水が必要

モンスーンアジア（インド～東南アジア～東アジアの地域）

- 地表面での水・熱収支，農地，文化，歴史，経済を通じて
モンスーンアジアの風土を形成（吉野，1999）

吉野正敏. (1999). モンスーンアジアの環境変化と稲作社会.
地理学評論 Ser. A, 72(9), 566-588.



水稻の品種（日本）

- アジアイネ (*Oryza sativa*)
 - ・ インディカ種 (*Oryza sativa* subsp. *indica*)
 - ・ ジャポニカ種 (*Oryza sativa* subsp. *japonica*)
 - ・ 温帯ジャポニカ (*Oryza sativa* subsp. *japonica*)
 - ・ 熱帯ジャポニカ (*Oryza sativa* subsp. *javanica*)
- アフリカイネ (*Oryza glaberrima*)



温帯ジャポニカ



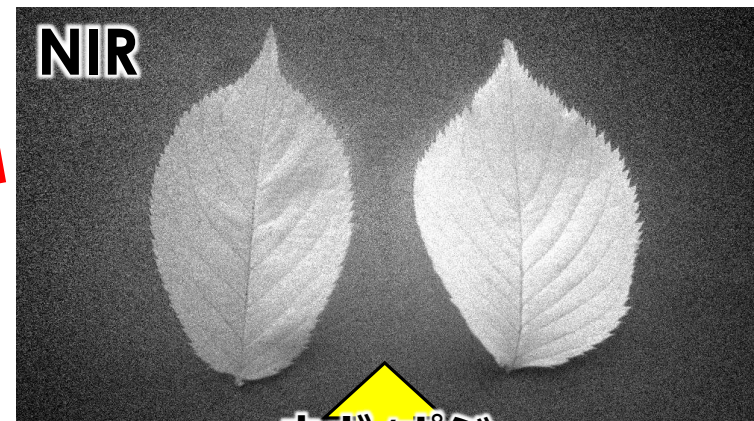
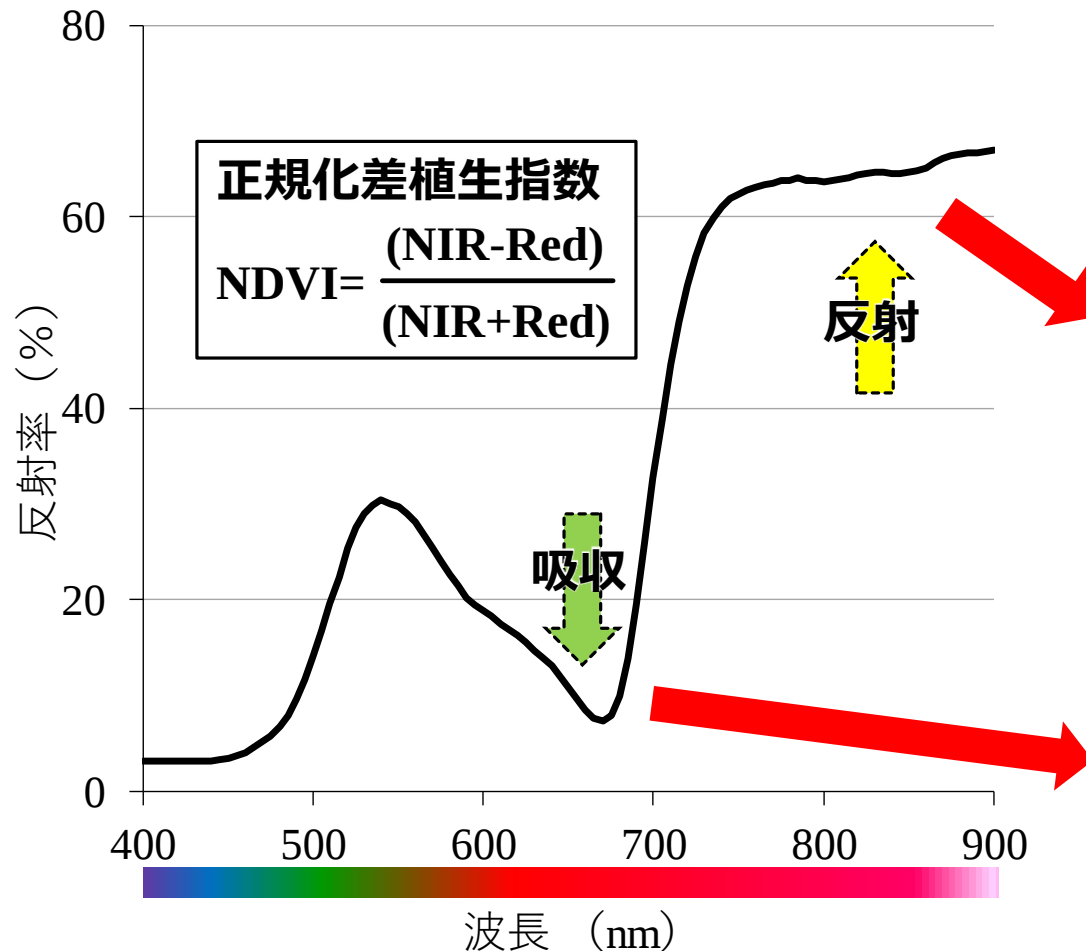
熱帯ジャポニカ

日本晴 ヒノヒカリ コシヒカリ あきたこまち はえぬき ササニシキ ひとめぼれ キヌヒカリ むつほまれ ほしのゆめ きらら397
津軽おとめ つがるロマン 晴天の霹靂 つや姫 ゆめあかり ハナエチゼン 夢つくし ハツシモ あさひの夢 ふさおとめ ふさがね
森田早生 農林1号 上州 撰一 農林22号 農林6号 銀坊主 朝日 農林8号 陸羽2号 亀の尾4号 陸羽132号 初星 青空
関東205号 あきほ まなむすめ はなえちぜん はつしも あけぼの 夢つくし かけはし あいちのかおり ゆきひかり ゆきまる
ほのか224 どんとこい 月の光 シンレイ レイホウ かりの舞 ユメヒカリ 南海121号 こしいぶき だまんなか ミレニシキ
ミネアサヒ トヨニシキ トドロキワセ 黄金晴 黄金錦 秀峰 コガネマサリ ヤマヒカリ フクヒカリ ヤマボウシ 白雪姫 雪の精
わせじまん 越路早生 オオチカラ ひだほまれ とさびか ナツヒカリ アキツホ 中国55号 中系419 露葉風 一本メ

- いずれもC₃植物（ほとんどの植物はC₃植物）
- 日本で栽培されているイネ ➡ 約240品種
 - ➡ 地域の気候や風土に合わせて常に品種改良が行なわれている
- 作付面積の約36%以上が「コシヒカリ」
- 品種によって、形質（フェノタイプ）は異なる

リモートセンシングによる植生・作物観測 - 原理 -

➡ 植物の分光反射特性を利用
→ 植生のシグナルを抽出



ネガ/ポジ

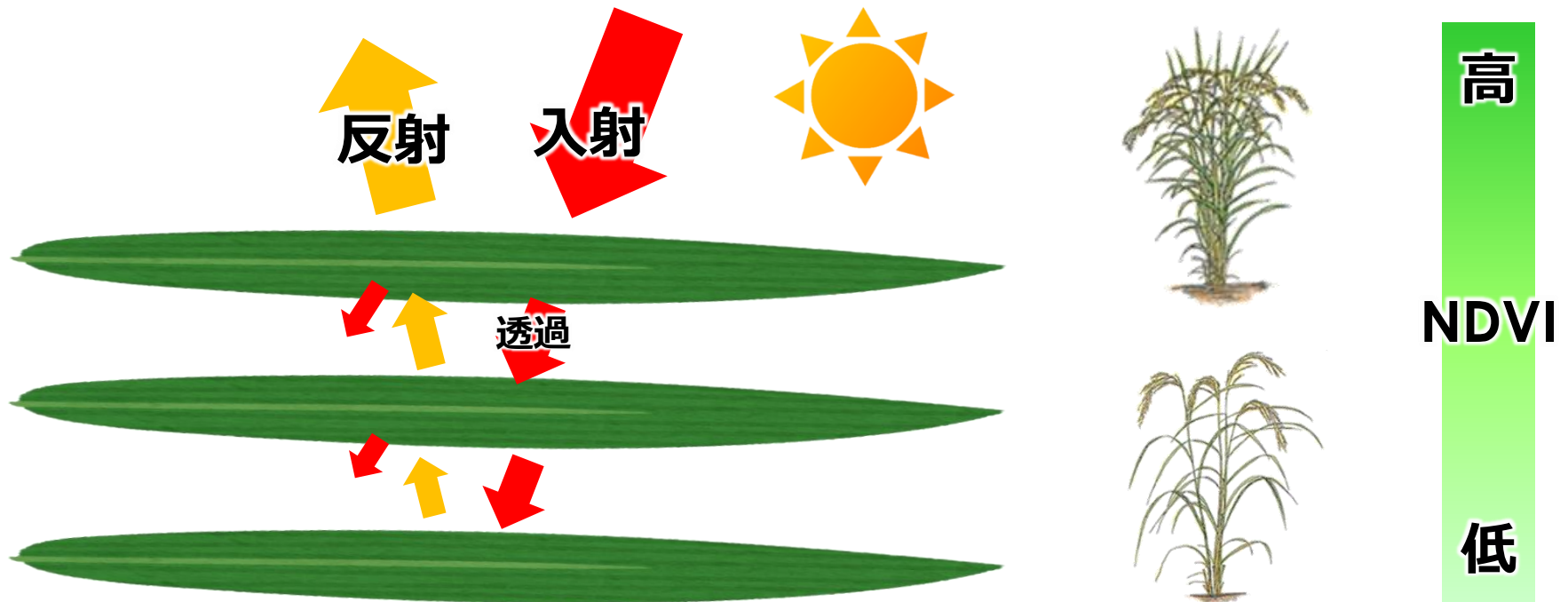
リモートセンシングによる植生・作物観測 - 原理 -

■ 葉の量が多いほど、近赤外の反射は強くなる

⇒ バイオマスや葉面積指数（LAI）などの形態情報を評価

フェノタイピング（発現した現象・形を読み取ること）

$$P_{\text{(フェノタイプ)}} = G_{\text{(ゲノタイプ)}} \times E_{\text{(環境因子)}}$$



フェノロジー・フェノタイプ観測

■ 植物の季節・経年的な変化（フェノロジー）

→  リモートセンシングの得意分野

地上レベル：**定期的観測には、観測施設が必要**

アイソトープ環境動態センター
熱収支・水収支観測圃場

フラックス観測タワー
札幌森林気象試験地



本研究の目的

任意のタイミングで観測可能
任意の場所・範囲を観測可能

なプラットフォーム

UAV（ドローン）リモートセンシング



品種，田植え時期，地域による

水稲フェノロジーの違いを明らかにする



比較項目

■品種間差

➤ 3品種：早生，中生



■田植え時期の差（生育時期・条件の差）

➤ 全4時期：4月初旬～6月初旬

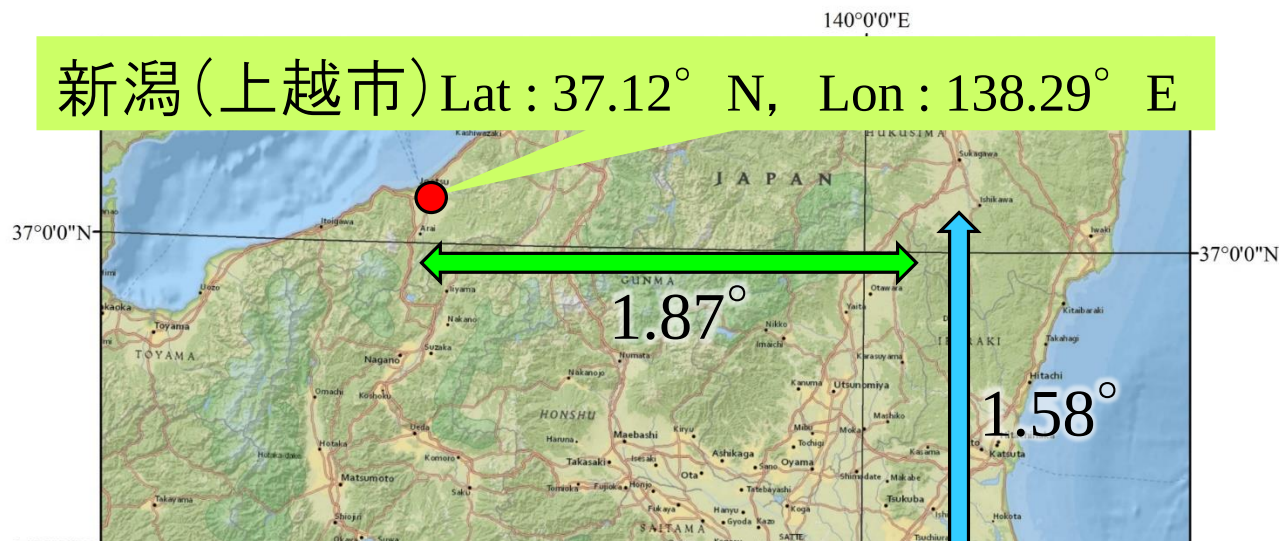
■地域差

➤ 千葉，新潟

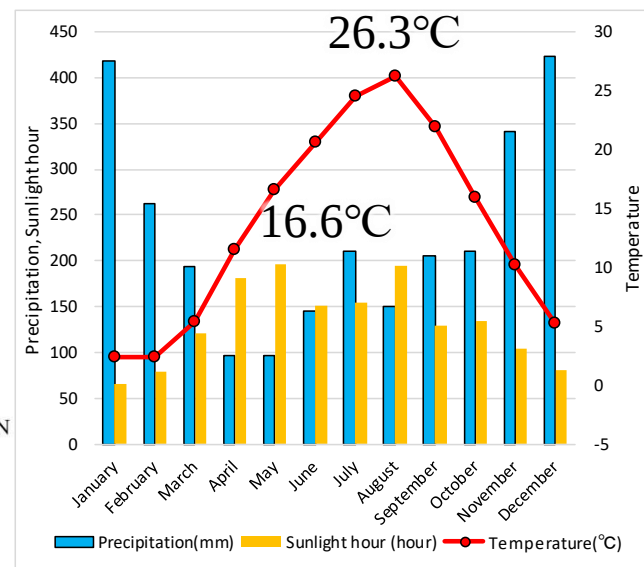


試験サイト

新潟(上越市) Lat : 37.12° N, Lon : 138.29° E



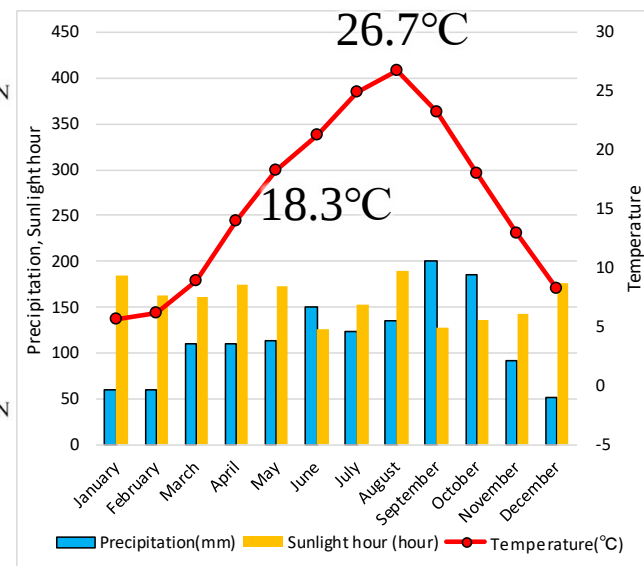
高田 (新潟)



千葉(千葉市緑区) Lat : 35.54° N, Lon : 140.16° E



千葉 (千葉)



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- コシヒカリの孫

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



■ ふさがね(早生) -千葉- コシヒカリのひ孫

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



使用機体

Zion QC630 (enRoute)



Zion Pro800 (enRoute)



Phantom2,3 (DJI)



SOLO (3DR)



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
- **Yubaflex (BIZWORKS社)**
緑,赤,**近赤外**の波長帯を撮影可能



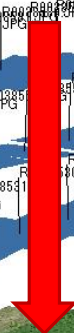
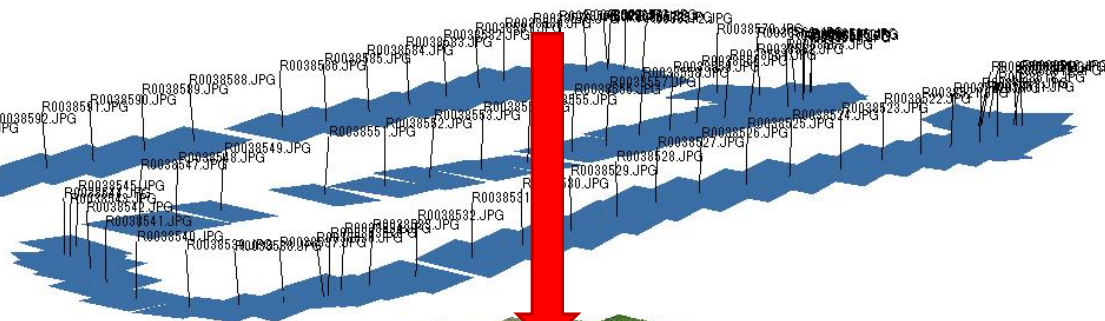
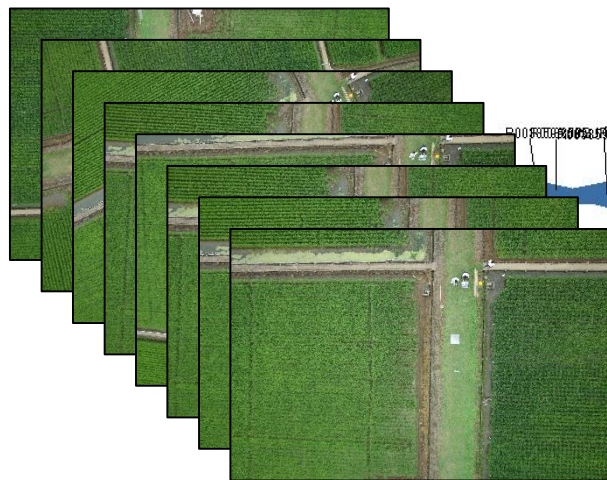
SfM-MVS

(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

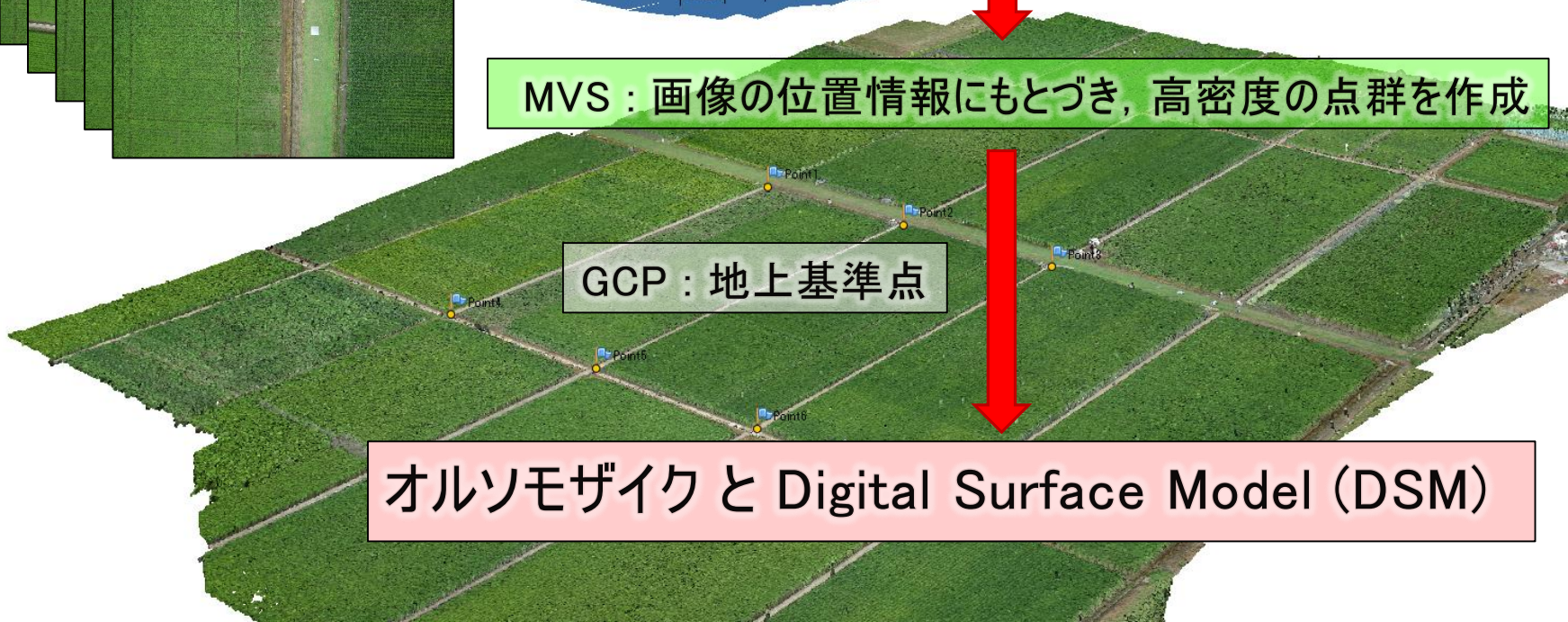


MVS : 画像の位置情報にもとづき, 高密度の点群を作成

GCP : 地上基準点



オルソモザイクと Digital Surface Model (DSM)

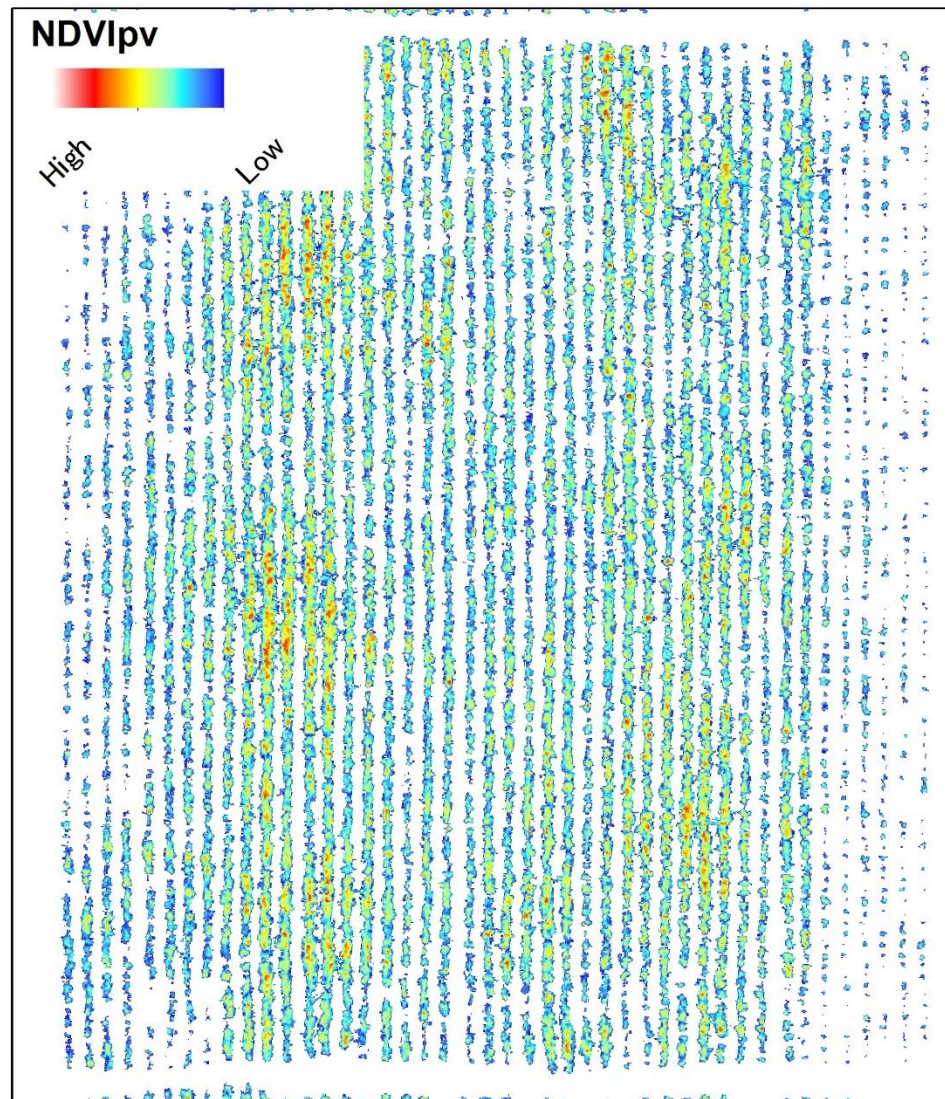


植生を抽出可能

オルソモザイク画像：空間分解能1.8cm



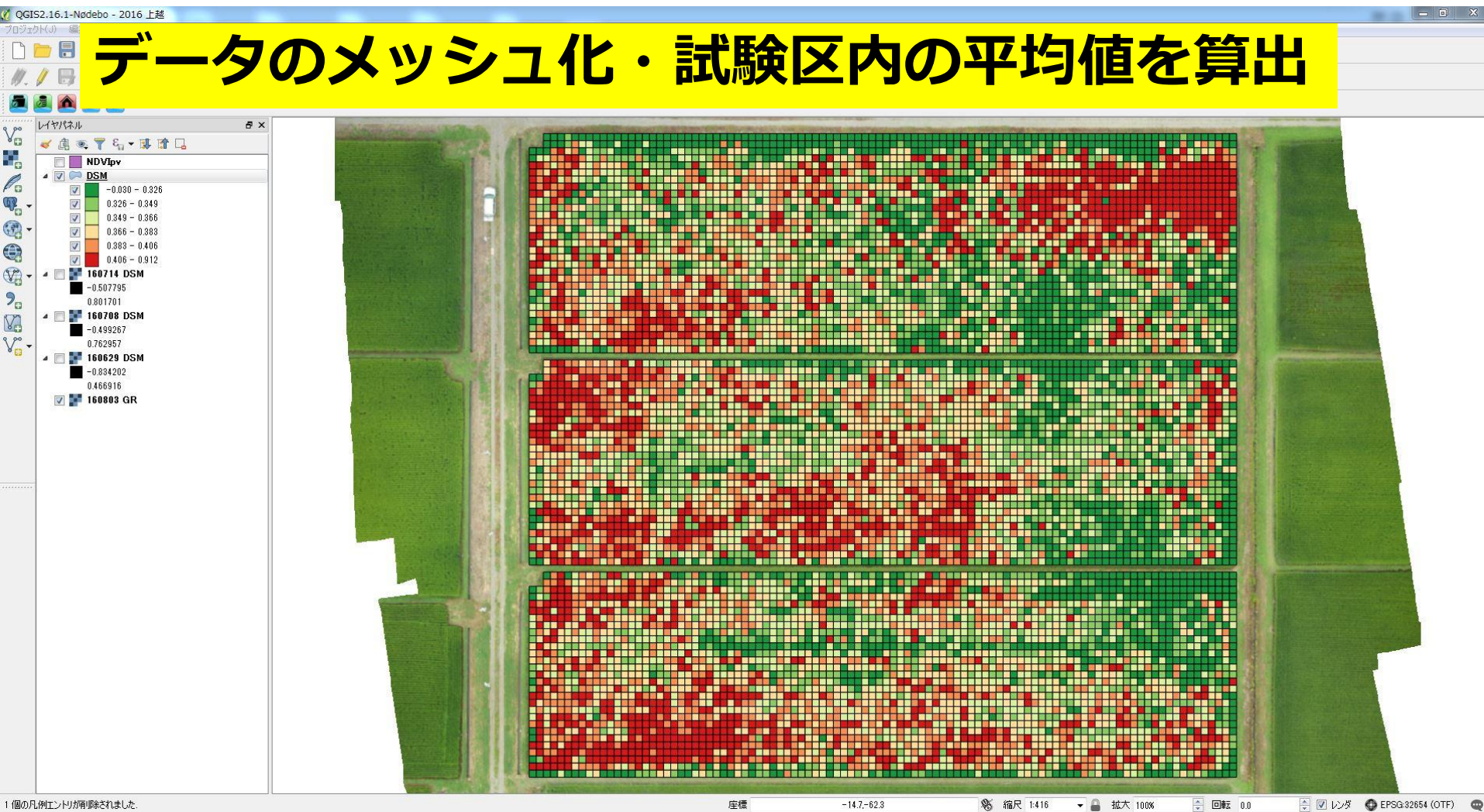
抽出



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)

データのメッシュ化・試験区内の平均値を算出

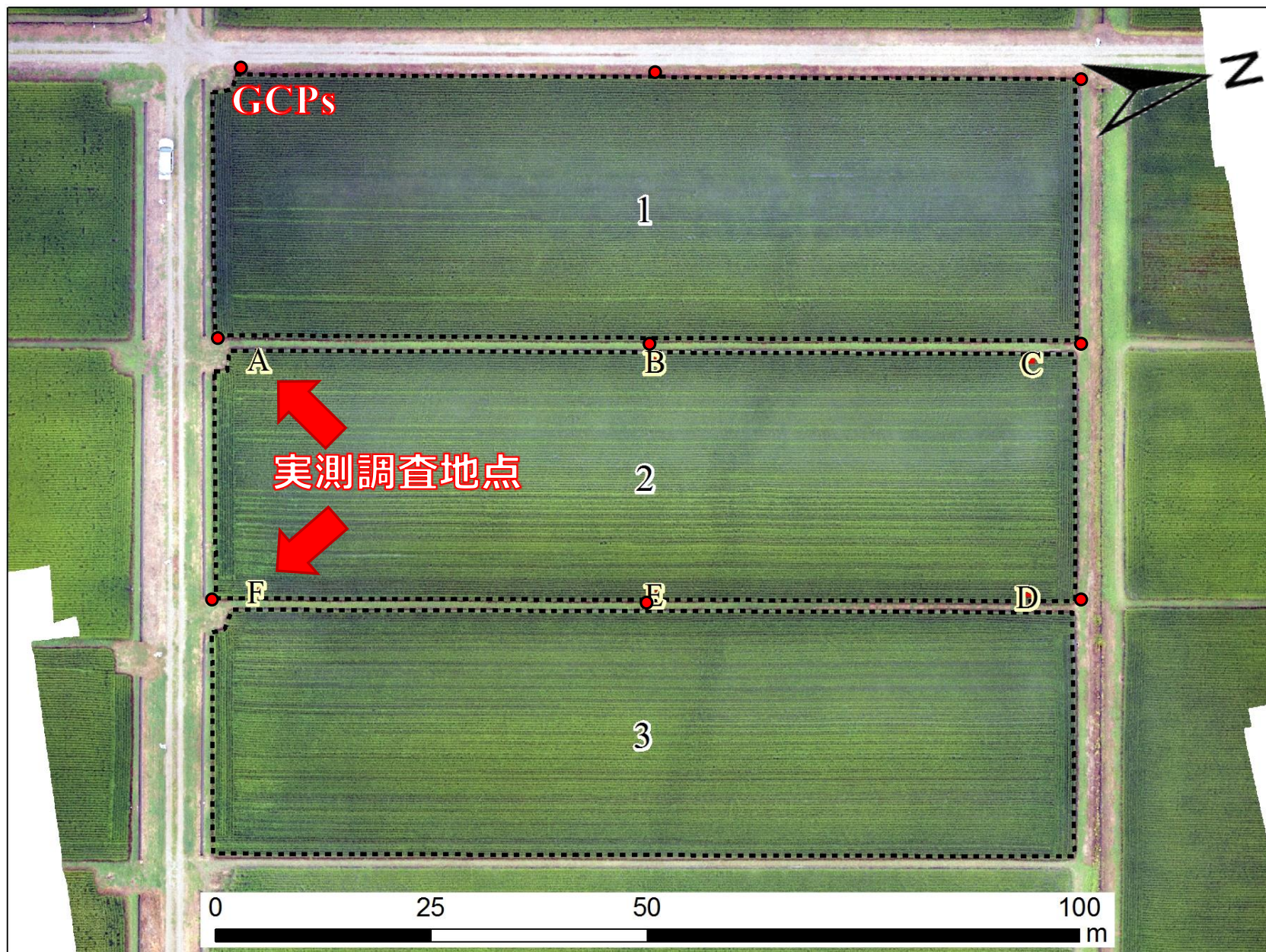


千葉県農林総合研究センター



新潟県上越市 新井圃場

品種：コシヒカリ



生育調査

UAV観測に同期した生育調査 **※重要**



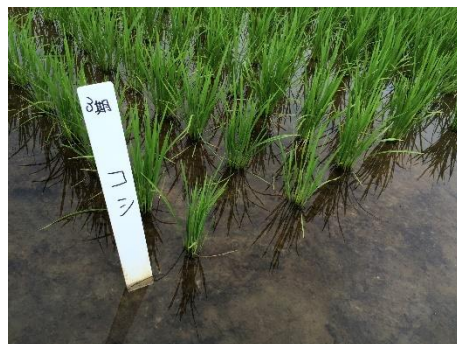
水稻のフェノロジー



水稻のフェノロジー(コシヒカリ)

田植え後15日

50日



60日

80日

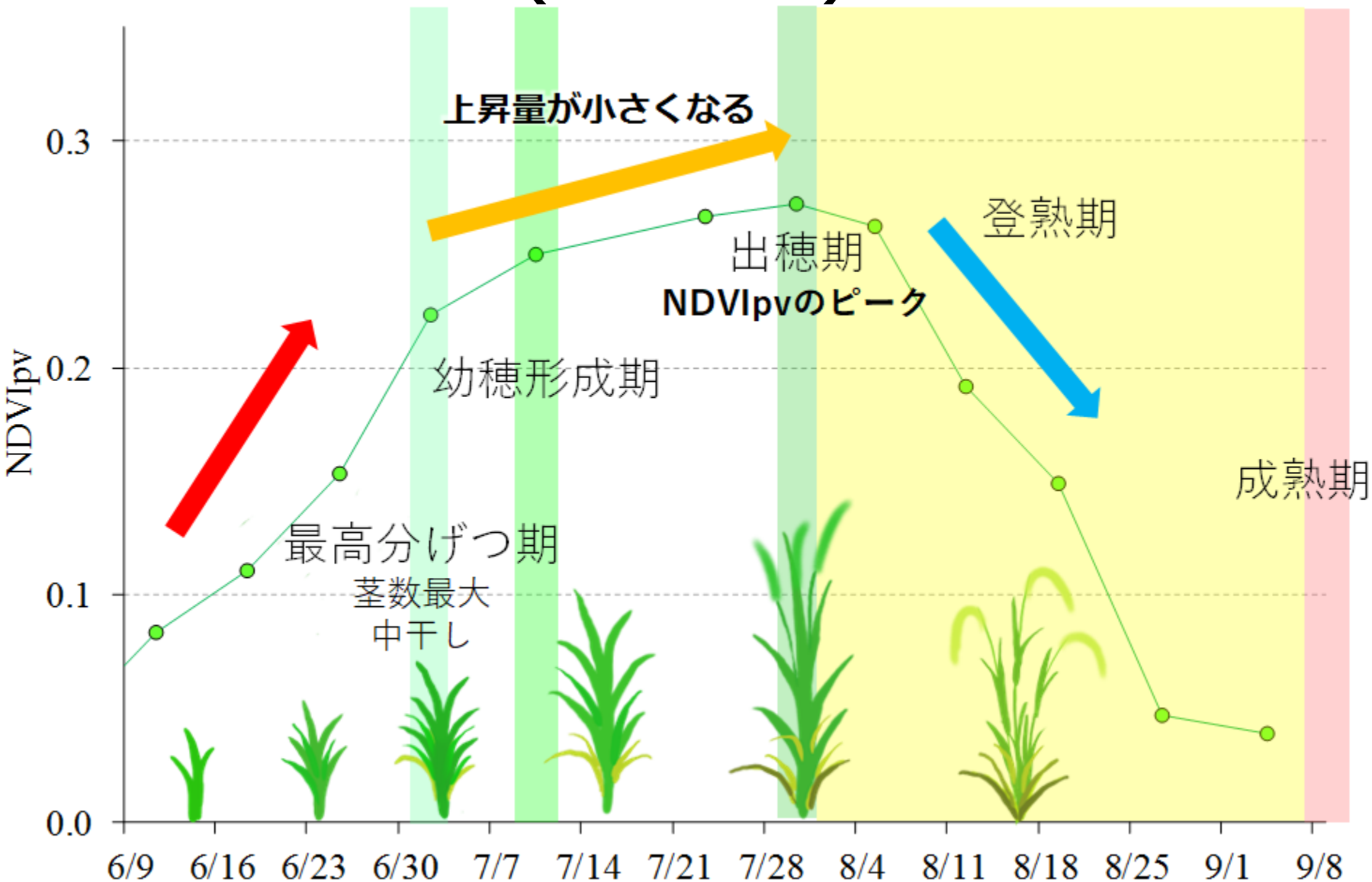


90日

110日

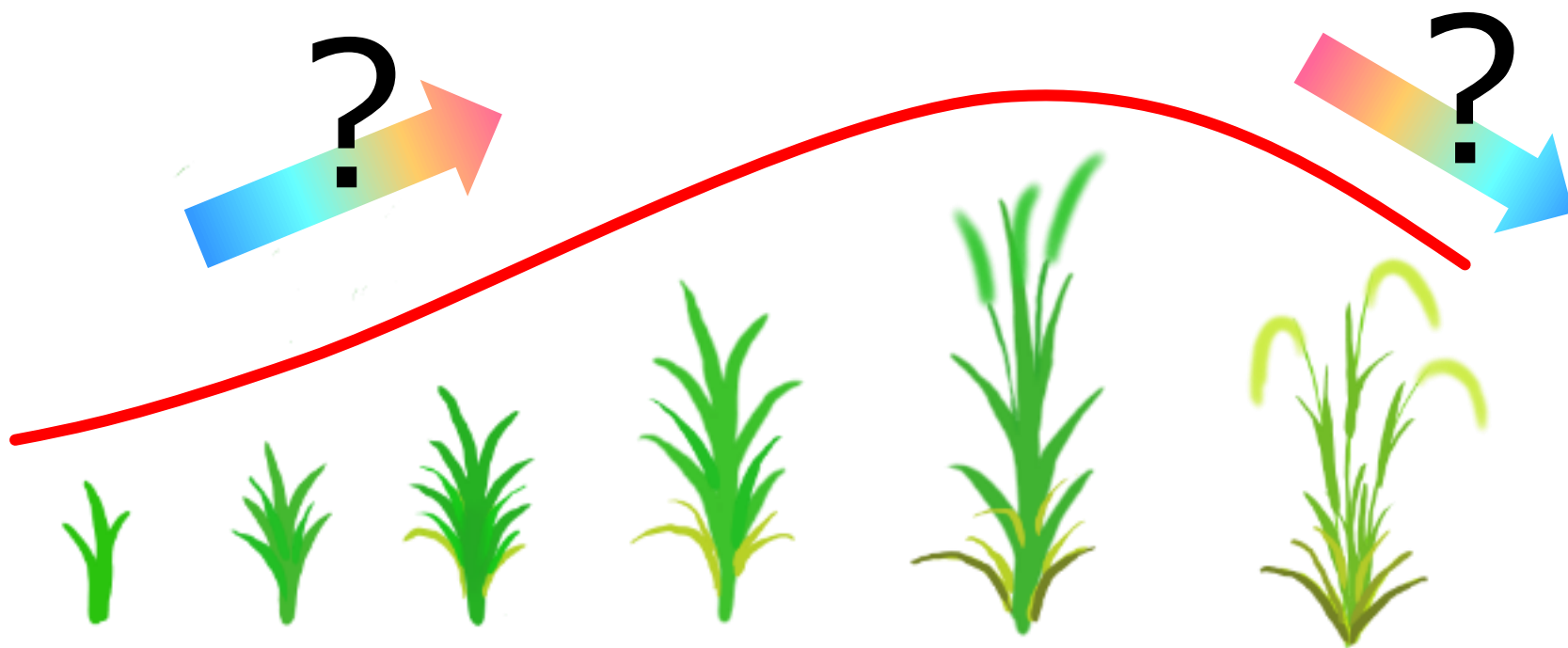


水稻のフェノロジー(コシヒカリ)

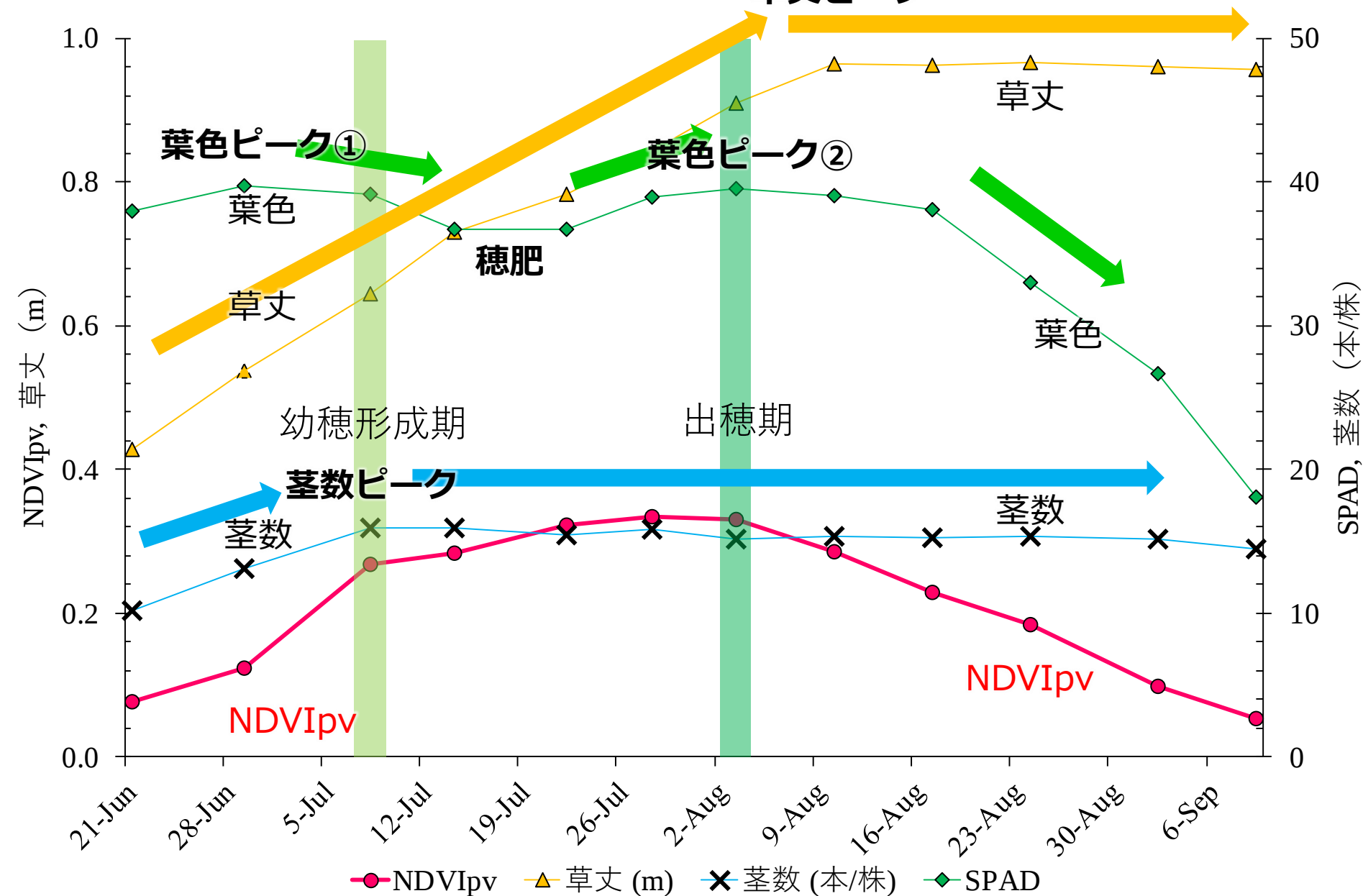


NDVIpvの時系列変化の要因について

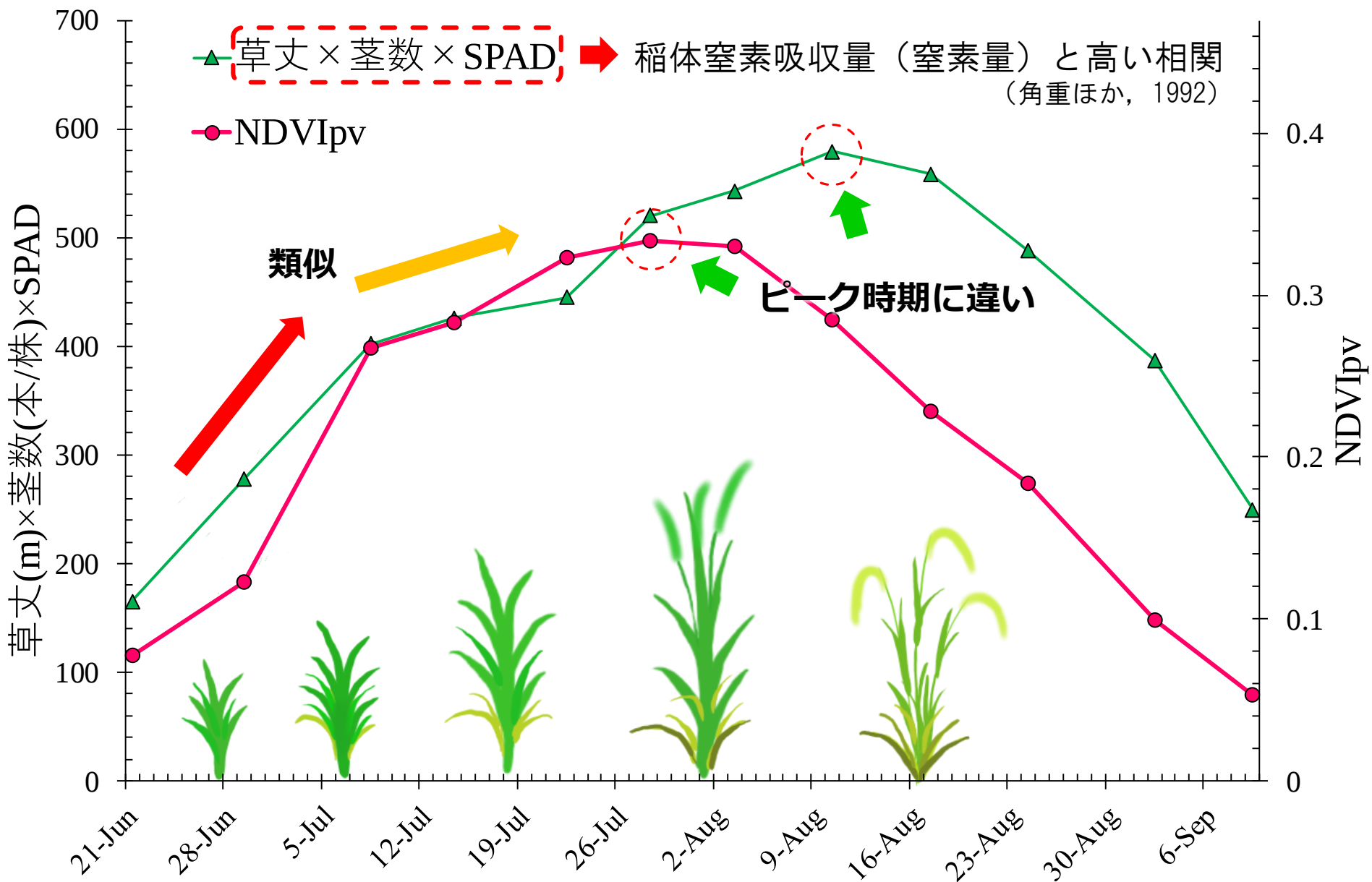
- 葉色（葉緑素の量）？
- 植物の形態（草丈，茎数≡ LAI）？



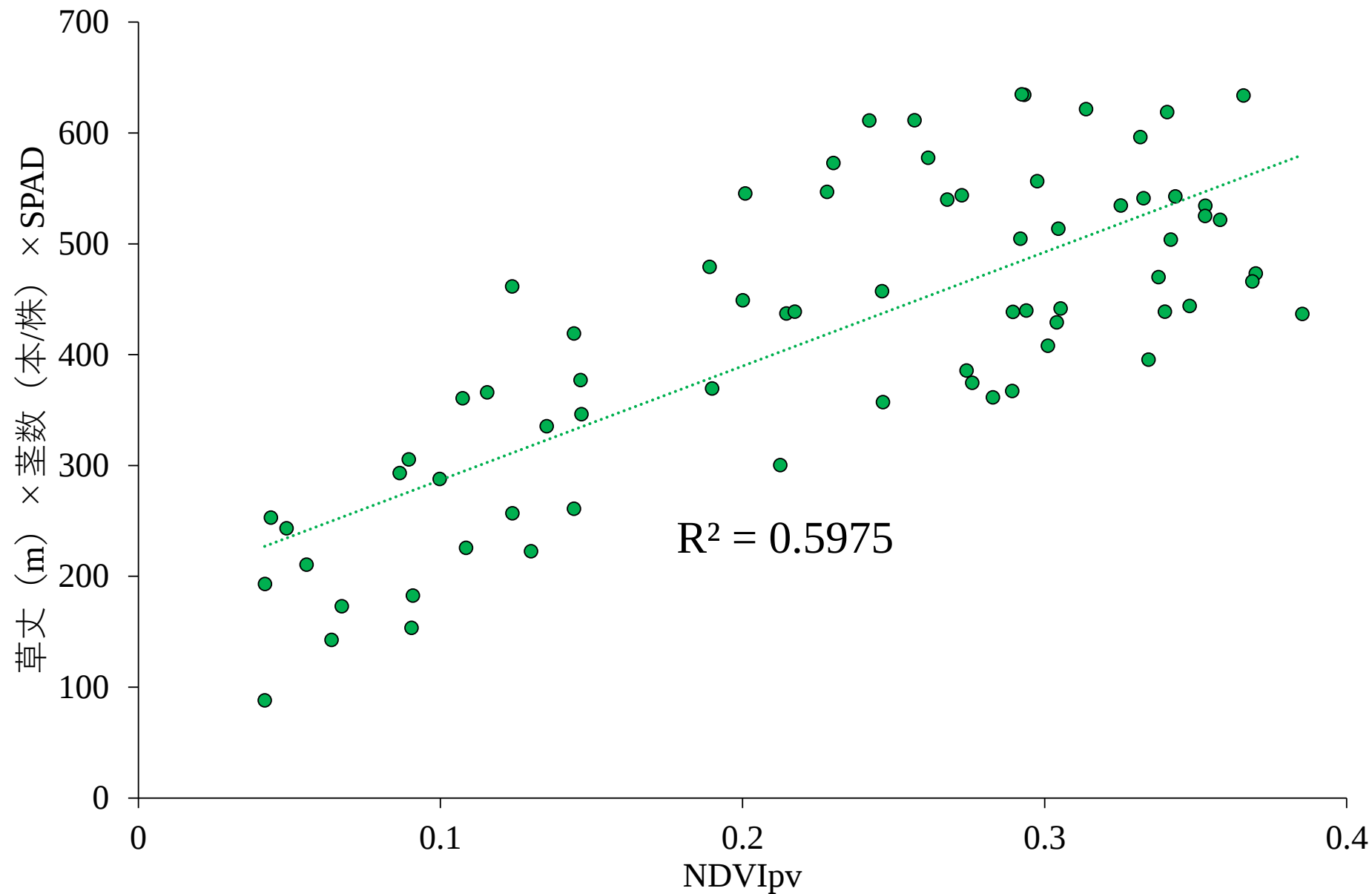
■ NDVIpvと生育パラメータの関係



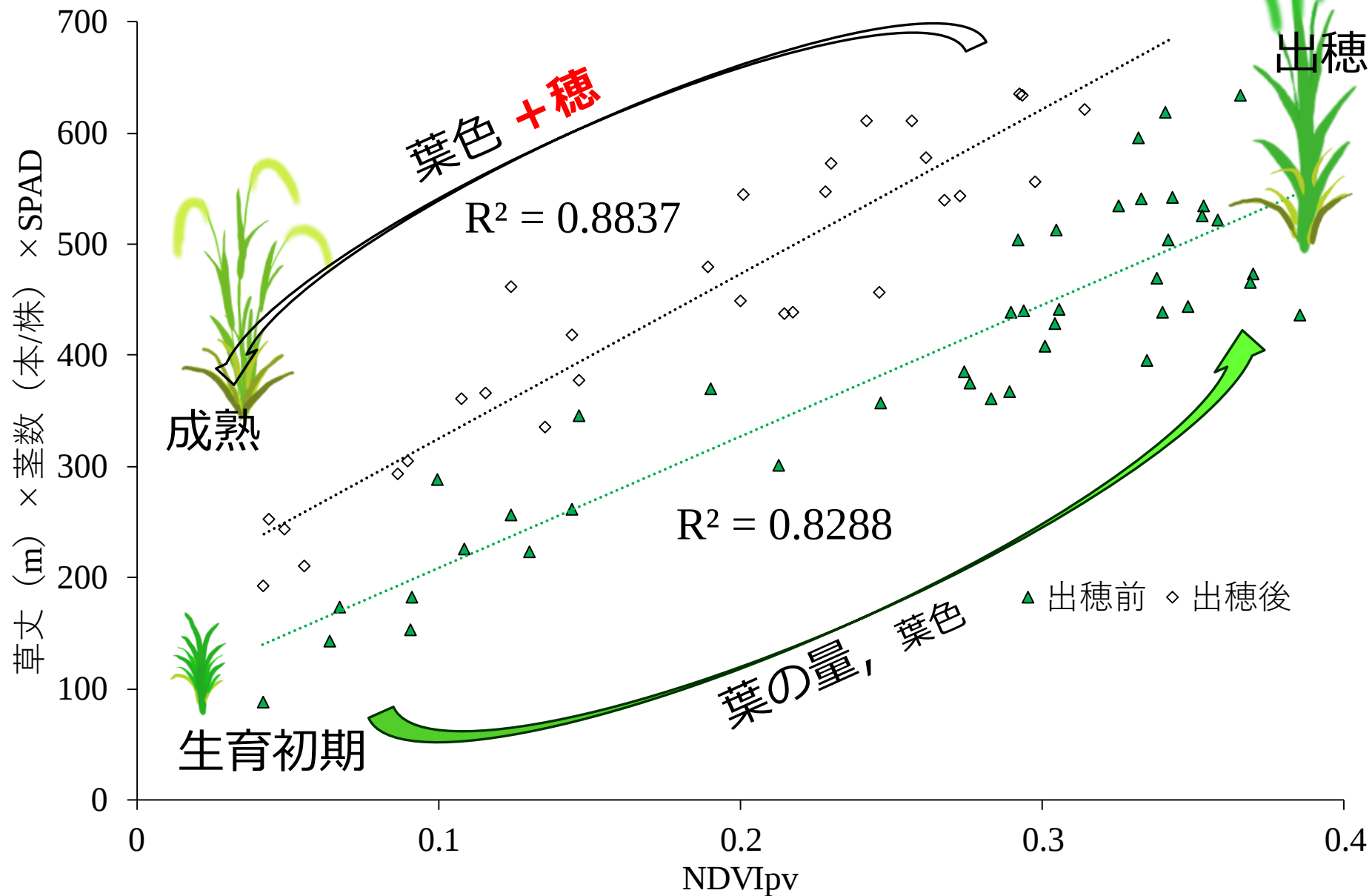
■ NDVIpvと生育量の関係



■ NDVIpvと生育量の関係（生育初期～成熟）

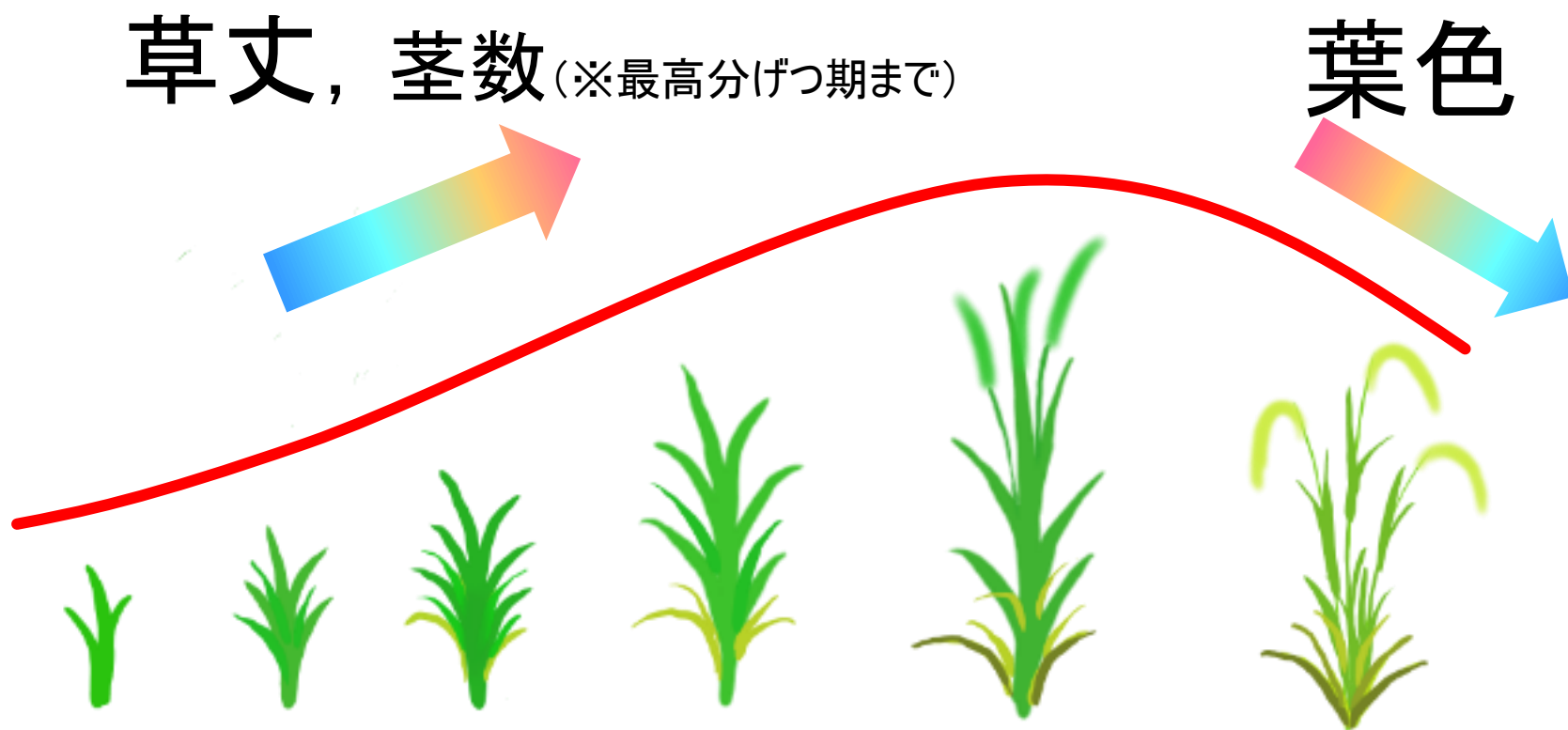


■ NDVI_{pv}と生育量の関係（出穂前と出穂後）

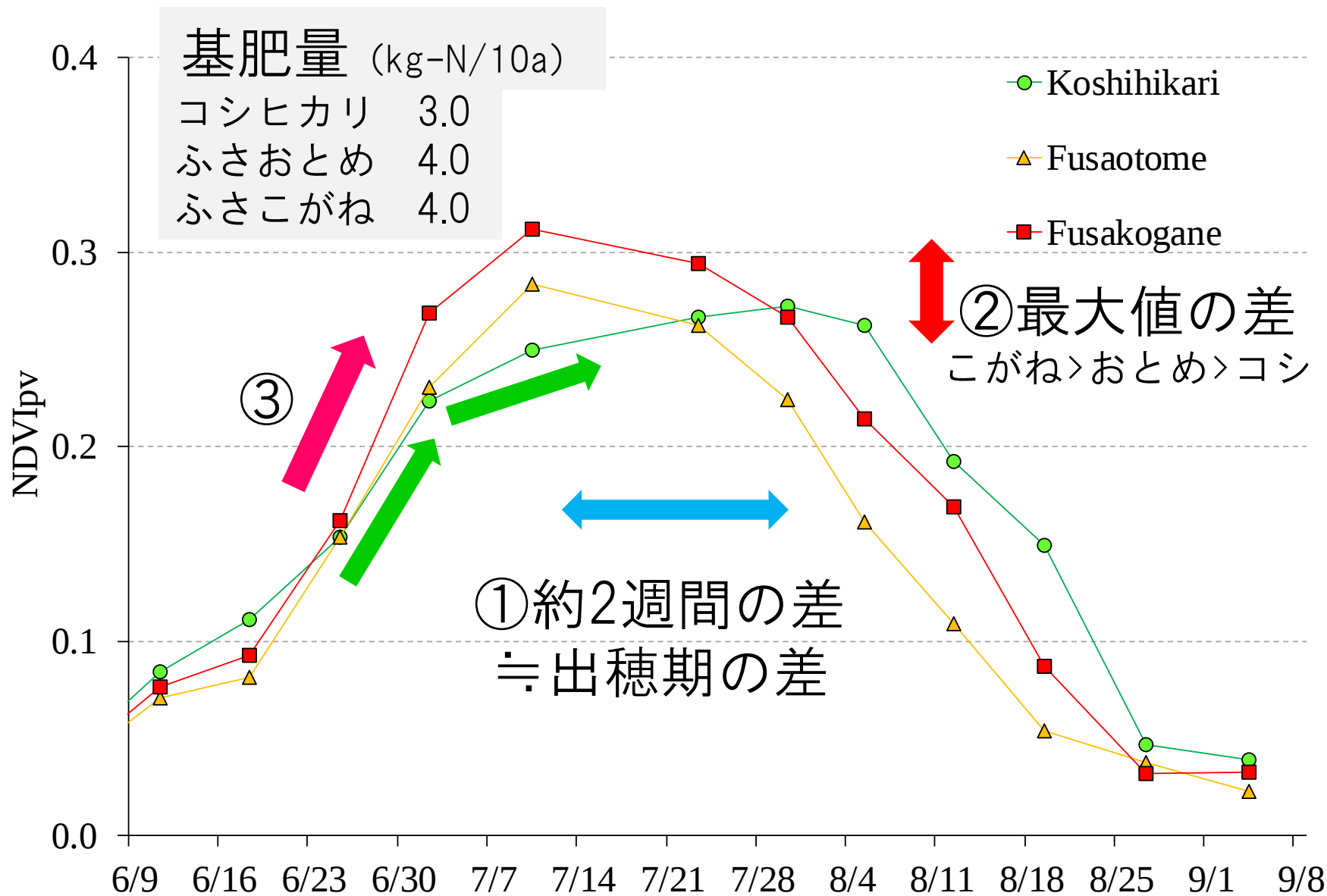


NDVIpvの時系列変化の要因について

- **出穂前：形態の変化**
- **出穂後：葉色の変化**



品種によるフェノロジーの違い（2015年5月15日植え）



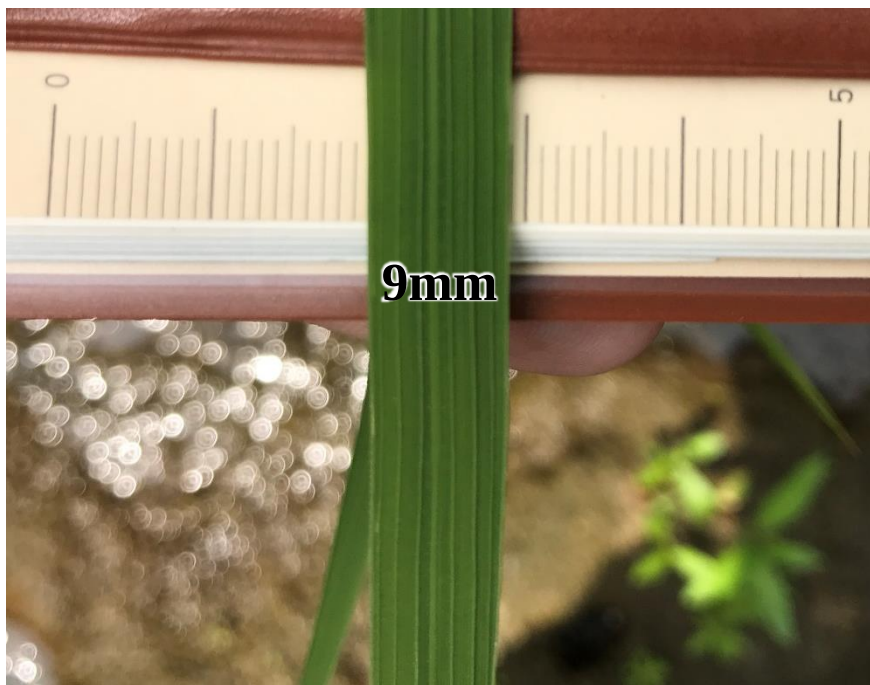
コシヒカリ

草丈が高く、
葉は細く、薄い

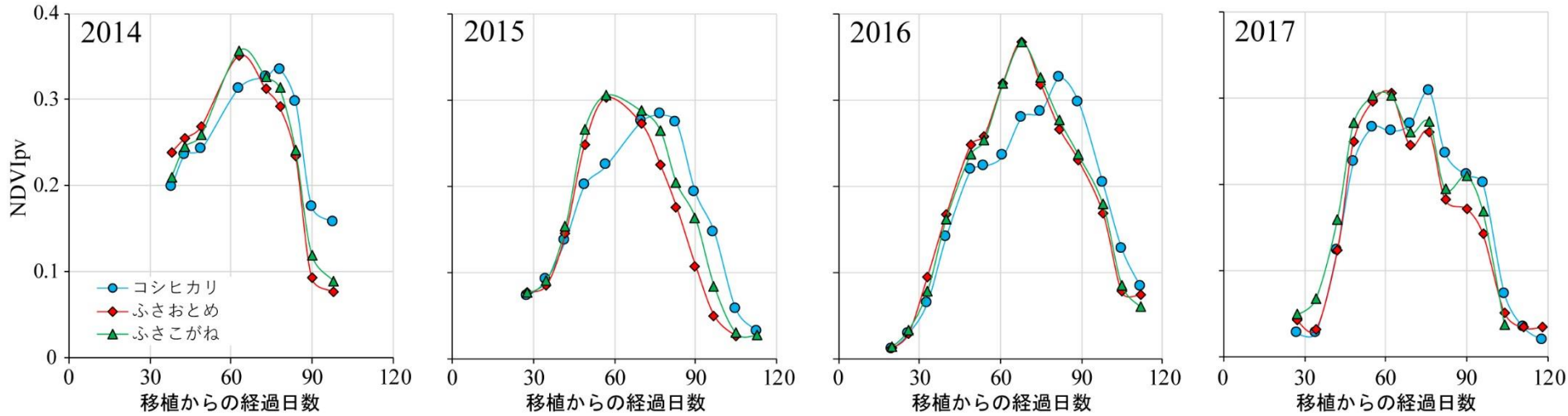


ふさおとめ ふさこがね

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（全年）



・ 最大値の低下
⇒ 初夏の低温

・ 最大値の上昇
⇒ 過剰な追肥

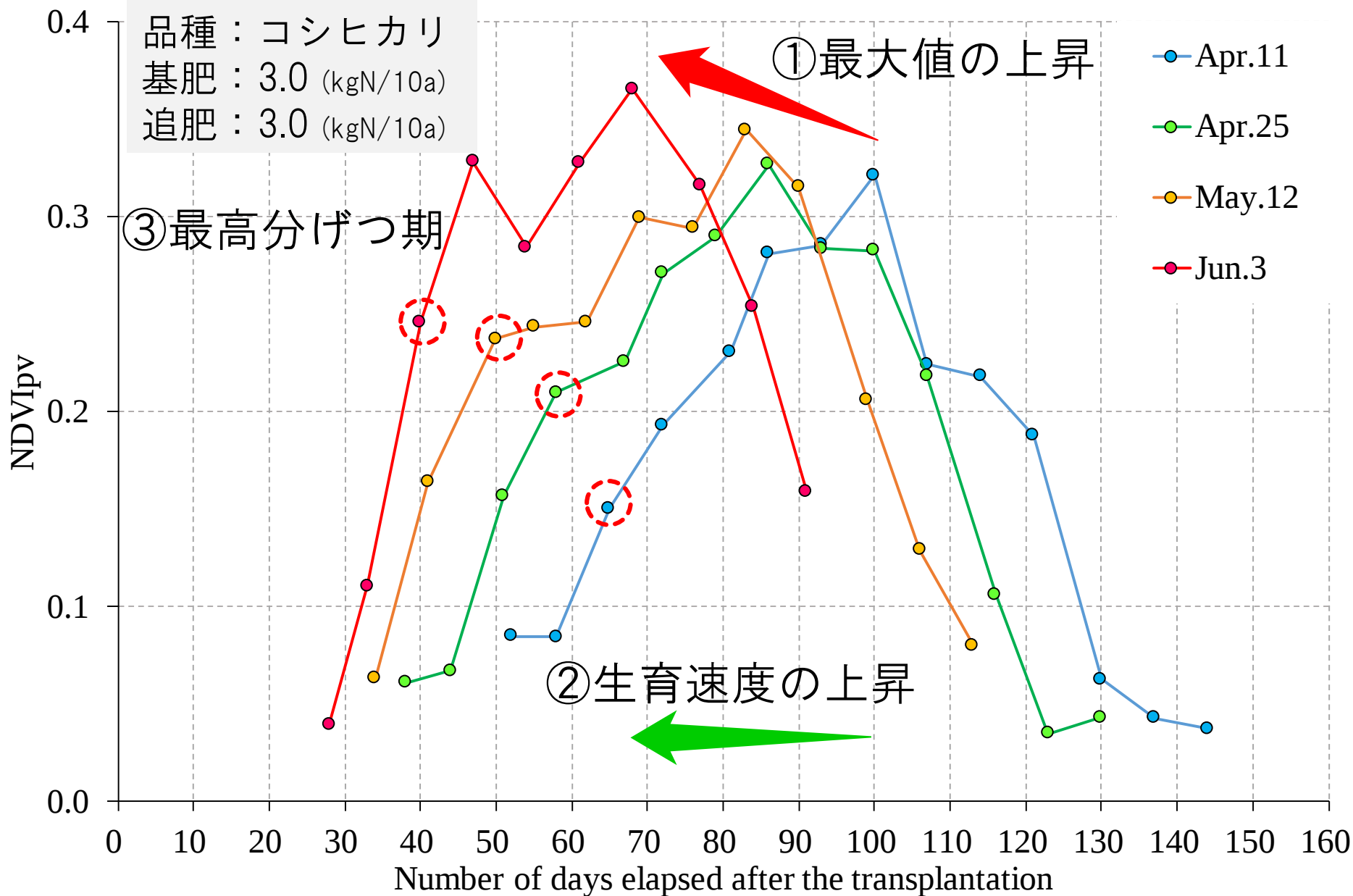
空梅雨
記録的日照不足

毎年、時系列変化は概ね類似している。

その年の生育・栽培条件の違いを反映している。

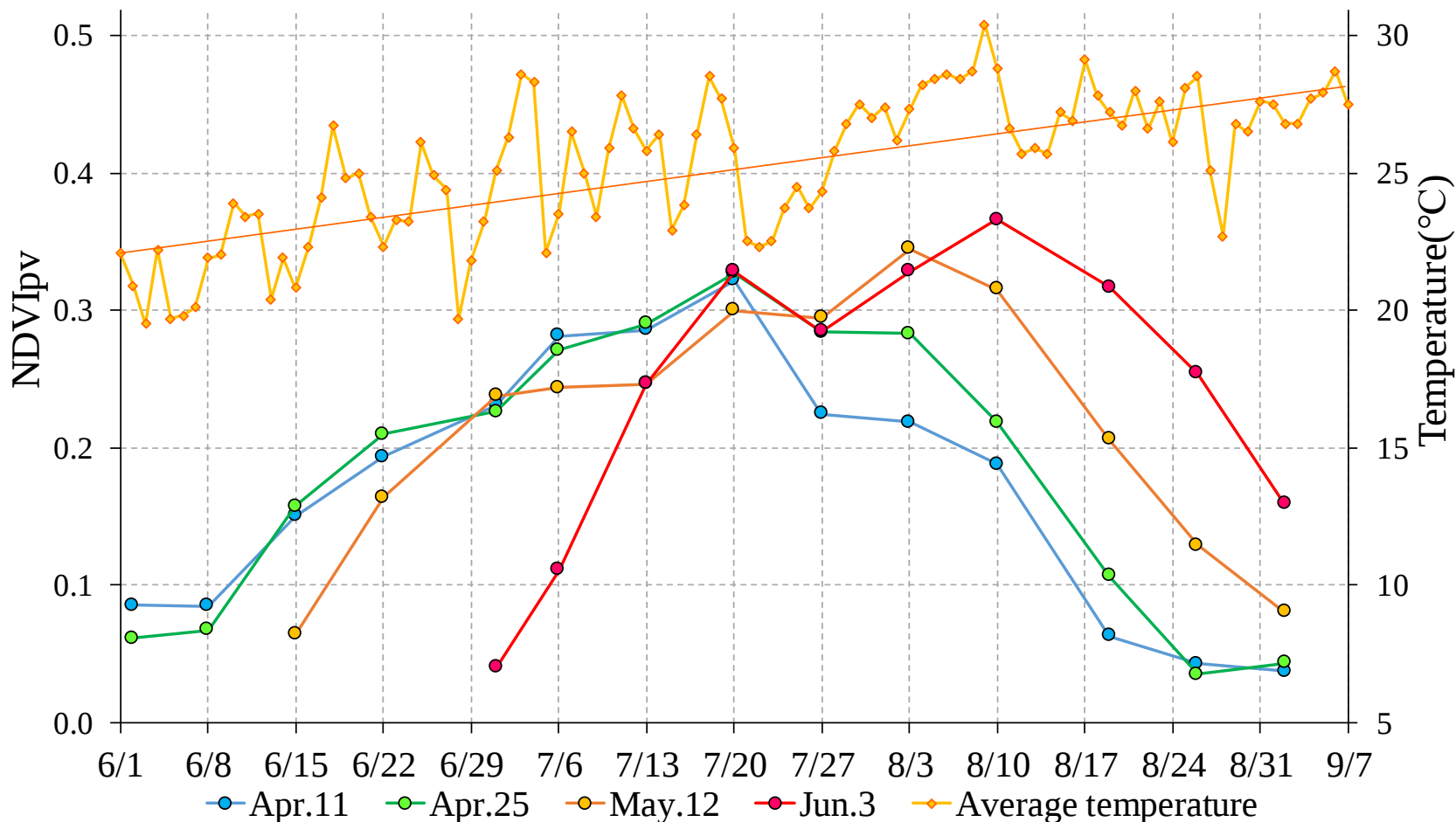
生育時期の違いによるフェノロジーの違い

品種：コシヒカリ
基肥：3.0 (kgN/10a)
追肥：3.0 (kgN/10a)



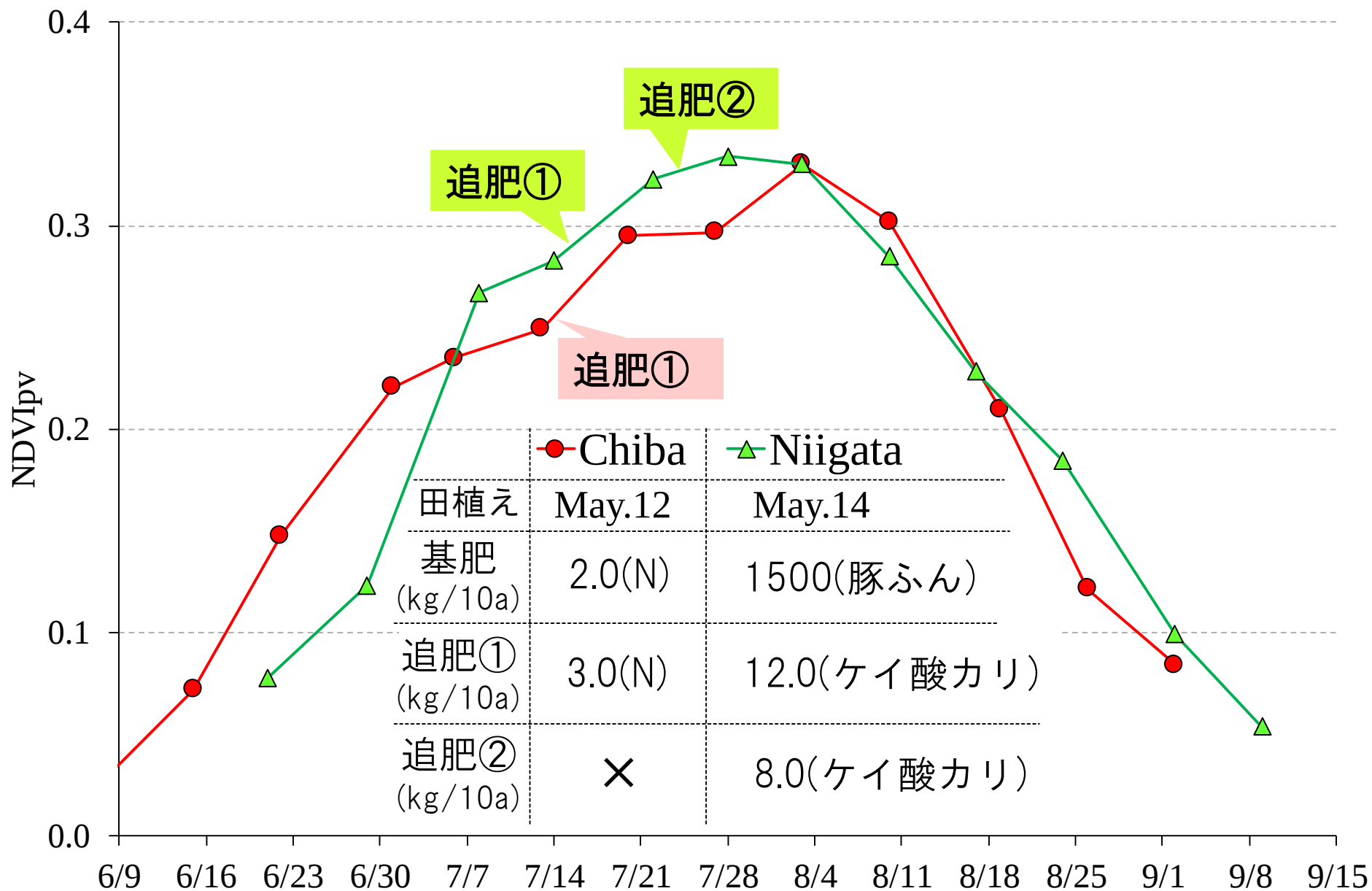
気象条件と生育速度

水稻の生育速度は、ほぼ温度・日照時間に比例し、有効積算温度、日照時間で生育ステージを把握できる（堀江，1986）

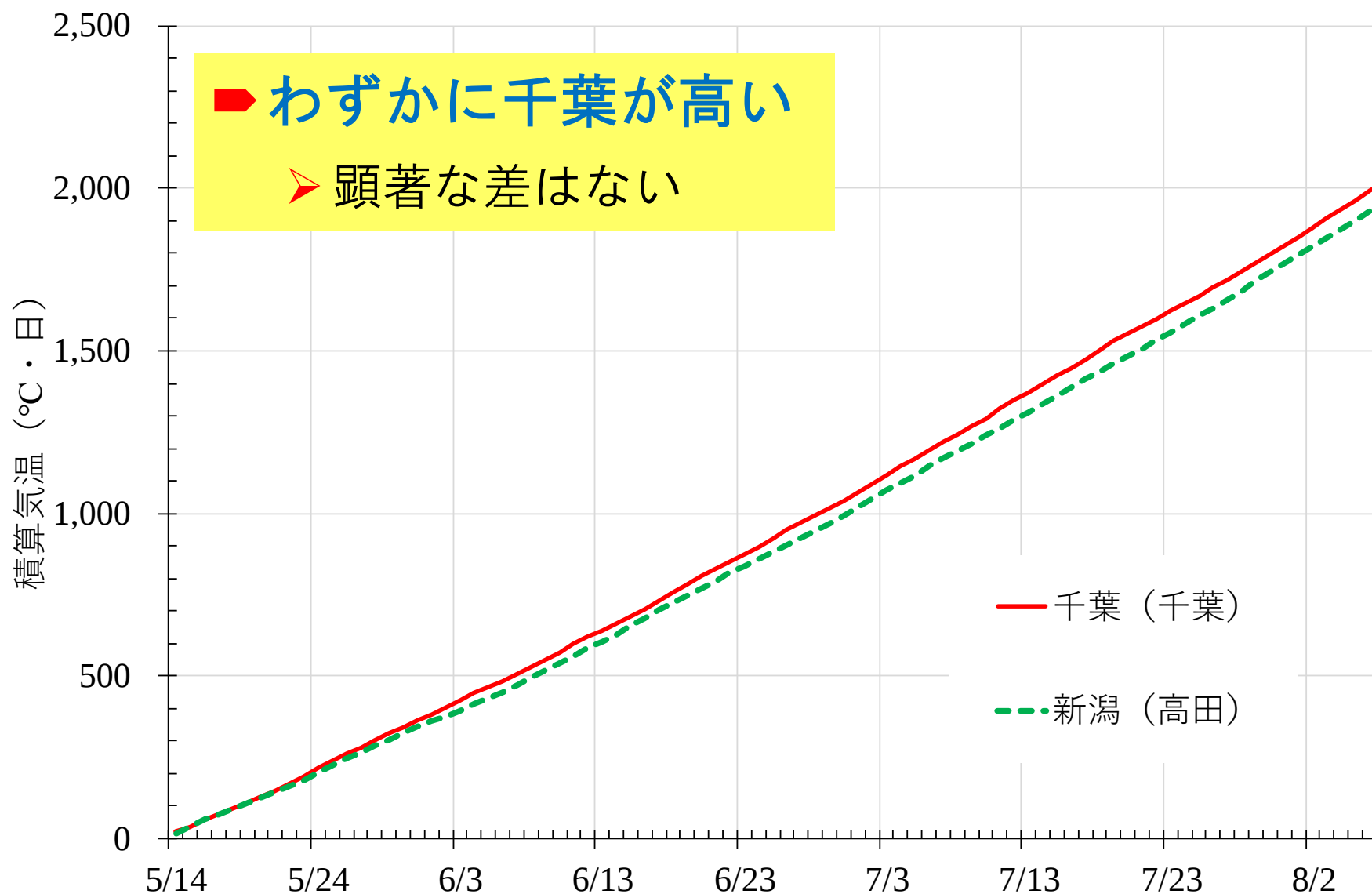


堀江武. (1986). 気象と作物の生産過程との関係についてのシステム生態学的研究.
農業気象, 42(2), 165-170.

千葉，新潟のフェノロジーの比較（コシヒカリ）

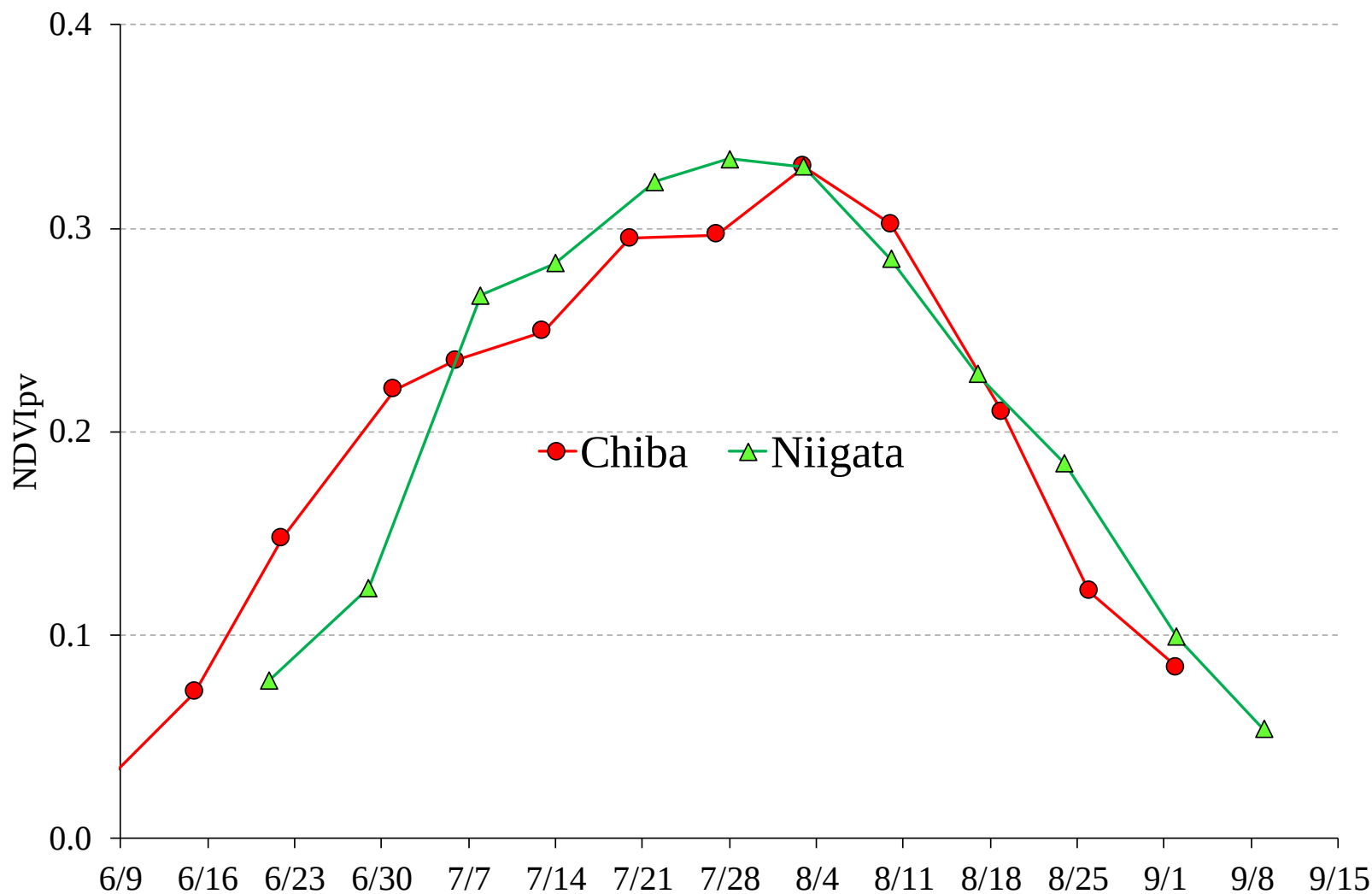


生育期間の積算気温（田植えから出穂まで）



千葉, 新潟のフェノロジーの比較 (コシヒカリ)

■ フェノロジーに明瞭な差はない



結論

UAVリモセンによるフェノロジー（NDVI_{pv}の季節変化）観測

➡ 品種間差

- NDVI_{pv}のピーク時期および値に差

- 生育速度，形質（フェノタイプ）の差

➡ 田植え時期の差（生育時期の差）

- 生育期間の気温が高いほど，生育が促進される

- NDVI_{pv}の時系列変化，最大値の差として表れる

➡ 地域差

- 出穂期までの2地点の気温に大きな差はない

フェノロジーに明瞭な差はなかった



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。

環境研究における様々な利活用・応用が考えられる。

■ フィールドレベルの知識とリモセンデータの統合・解釈

本研究ではフェノタイピング（発現した現象・形を読み取る）

⇒この点に, UAVリモセンの可能性がある。

