

令和 3 年 6 月 24 日現在

機関番号：82104

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K05593

研究課題名（和文）ハイスループットフェノタイピングによる水稻生育量評価法の開発

研究課題名（英文）Development of a new evaluation method for biomass in rice with a high-throughput phenotyping system

研究代表者

佐々木 和浩（Sasaki, Kazuhiro）

国立研究開発法人国際農林水産業研究センター・生物資源・利用領域・任期付研究員

研究者番号：70513688

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の成果から、無人航空機で撮影した画像データを基に、除草剤散布による水稻の生育への影響を評価できるようになった。薬剤散布の影響は、移植後2週間程度の生育初期のステージから認められた。また、これまでの薬害判定の要素である玄米収量は、出穂期の植生指標と強い相関関係が見られ、出穂期の画像データ解析が薬害判定に有効であることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、水稻の生育状況は、草丈、茎数および葉色などの実測値から生育量を算出し判断されている。しかし、この方法では多地点や多品種の調査は難しい。UAV等を用いた広範囲を短時間かつ高解像度でセンシングできる技術により、画像データを利用した生育診断の効率化や、新奇の診断技術の開発が進むと期待される。

研究成果の概要（英文）：We have developed an evaluation system for effect of herbicide toxicity on rice growth base on image data taken from unmanned aerial vehicles. The effect of chemical spraying was observed from early growth stage around two weeks after transplanting. Brawn rice yield, which is one of determinants of herbicide toxicity, strongly showed correlation with vegetation index around heading stage. Therefore, image data analysis around heading stage is effective in determining herbicide toxicity.

研究分野：作物学

キーワード：イネ ハイスループットフェノタイピング UAV 画像解析 除草剤

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

水稻の生育状況は、草丈、茎数および葉色などの実測値から生育量を算出し判断されている。各都道府県の試験場では、生育量からその後の施肥条件などの栽培管理方針を決定しているところも多い。しかし、こうした形質評価法は、計測する個体数や栽培面積が増えるほど時間も労力もかかる。労力の削減には、画像プラットフォームやコンピュータによる解析ツールを用いた、ハイスループットフェノタイピング技術が有効である (Falgren et al.2015)。作物画像データの収集には、無人航空機 (Unmanned Aerial Vehicle; UAV) の普及が目覚ましい。UAV は、低コストで購入できる、オペレーションの汎用性が高い、広範囲を短時間かつ高解像度でセンシングできる、などの利点がある (Jannoura et al. 2015)。また、非破壊かつ経時的に同じ個体や群落の計測を行える点も、UAV を利用する大きな利点と言える。東京大学大学院農学生命科学研究科附属生態調和農学機構国際フィールドフェノミクス拠点では、画像データから植物の生育状況を数値化する技術開発が進められてきた。Guo et al. (2017)は、麦や水稻を真上から撮影した画像データから、植被率を算出するフリーソフトウェア EasyPCC を開発している。さらに、UAV で撮影したソルガムの平面画像を重ね合わせることで植物体を立体構築し、驚くべき精度で草丈を推定する技術開発にも成功している (Watanabe et al. 2017)。一方、農業現場においても、UAV を用いたイネの生育マップの作成が試みられている (田中と近藤 2016)。田中と近藤は、NDVI (Normalized Difference Vegetation Index: 正規化植生指標) から追肥が必要な生育不良個所を特定し、同一圃場内の生育のばらつきを抑えようとした。同圃場では、観測した NDVI と収量に正の相関が見られている。しかし、こうした取り組みはごく少数の農業従事者で行われ、ハイスループットフェノタイピング技術の現場への導入は、進んでいないのが現状である。

### 2. 研究の目的

本研究課題では、将来的な農業現場への普及を目指し、ハイスループットフェノタイピング技術は農業試験場で行っている生育量の評価法を代替できるのか? という問いを設定した。富山県では、草丈、茎数、葉色から生育量を算出し、栽培技術対策をウェブサイトに掲載している ([http://www.pref.toyama.jp/cms\\_sec/1612/kj00001830.html](http://www.pref.toyama.jp/cms_sec/1612/kj00001830.html))。申請者は、植被率で茎数を、NDVI で葉色を代替できないかと考えた。さらに、植被率を算出した画像から水稻を立体構築させ、草丈を推定することができる。また、生育量の評価法以外への応用は考えられるのか? を第2の課題とした。富山県では、除草剤の水稻への影響試験も請け負っており、毎年 200 プロットにもおよび調査区を設けている。最終的な収量調査を行い、除草剤の影響を評価しているが、プロット数が多いため、途中の生育は達観評価するしかない。達観評価を植被率や NDVI での評価に変えることで、具体的な数値として評価することが可能である。さらに、非破壊で経時的に観測することで、影響が大きい生育ステージの特定もできる可能性がある。本報告では、除草剤の影響評価について実績を報告する。

### 3. 研究の方法

富山県農林水産総合技術センター内水田圃場において、「てんたかく 81」を 2020 年 5 月 18 日に移植した後、波板で 1 区 4×3m の除草剤処理区を設置した。フェントラザミド・ベンゾピシクロン・ベンゾフェナップ水和剤 (A)、ピリミスルファン・フェノキサスルホン粒剤 (B)、ピラクロニル・プロピリスルフロロン・プロモブチド粒剤 (C) を移植日または、移植後 10 日目に散布した。対照区として、ピリブチカルブ・プロモブチド・ベンゾフェナップ水和剤およびシメトリン・モリネート・MCPB 粒剤を 3 日後および 20 日後に散布した。薬害は、精玄米重と薬害程度から判定した。空撮画像の取得は、UAV を高度 18m と 36m で自動飛行させ、三次元再構築による圃場マッピング化して行った (図 1)。生育評価に関する指数として、RGB データから植被率および草丈、マルチスペクトルデータから NDVI および NDRE を利用した。

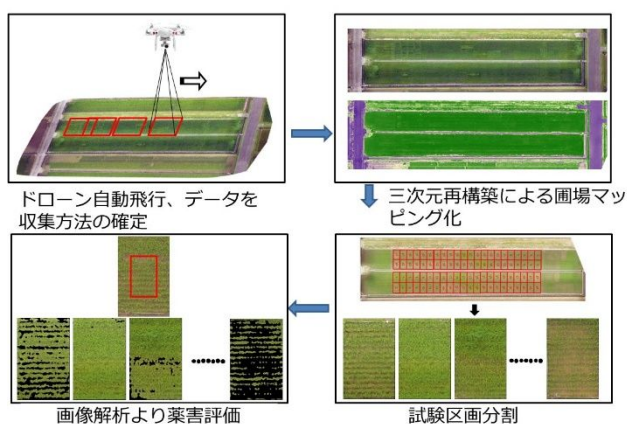


図1 画像解析のバイブライン

### 4. 研究成果

粗玄米重の対照比と薬害症状から薬害の程度を判定した (図 2)。今回用いた除草剤では、薬害判定が中～無のレンジとなった。画像解析の結果、移植から 15 日後に薬害の発生が確認され、植被率では処理間で有意な差が認められた (図 3)。これにより、生育初期のステージでは、除

草剤散布による生育阻害を、植被率を指標としてあらわすことができると考えられる。しかし、植被率と薬害の判定に関わる精玄米重との間に相関関係（相関係数-0.08）が認められなかった。移植 50 日後の茎数に有意差がないことから、生育初期では除草剤による生育抑制が生じたが、その後薬害からの回復または収量の補償作用が影響したと推察される。

薬害判定の基礎となる粗玄米重と相関関係が見られたのは、出穂直前の移植後から 75 日後の 18m の高さから取得した NDVI 値であった（相関係数 0.77\*\*（図 4））。Guan et al. (2019) は、出穂期前後の播種後 91、104 および 110 日後の NDVI 値が収量と高い相関があることを報告している。以上の事から、出穂期前後の NDVI 値は収量に関連が大きく、この生育ステージの NDVI 値を使うことで、薬害を推定できる可能性があることが示された。

| 処理<br>(処理剤, 処理日) | 粗玄米重<br>(g/m <sup>2</sup> ) | 対照比   | 薬害症状 | 判定  |
|------------------|-----------------------------|-------|------|-----|
| A_0              | 671                         | 1.026 | 抑制   |     |
| A_0              | 701                         | 1.065 |      |     |
| A_0              | 635                         | 0.971 |      |     |
| A_10             | 619                         | 0.948 |      |     |
| A_10             | 657                         | 1.000 |      |     |
| A_10             | 637                         | 0.977 |      |     |
| B_0              | 642                         | 0.985 |      |     |
| B_0              | 644                         | 0.978 |      |     |
| B_0              | 627                         | 0.962 | 抑制   | 微   |
| B_10             | 600                         | 0.918 |      | 微   |
| B_10             | 626                         | 0.953 |      | 微   |
| B_10             | 635                         | 0.967 |      |     |
| C_0              | 640                         | 0.978 | 抑制   | 微~小 |
| C_0              | 674                         | 1.024 | 抑制   |     |
| C_0              | 615                         | 0.938 | 抑制   | 小~中 |
| C_10             | 569                         | 0.877 | 抑制   | 小~中 |
| C_10             | 631                         | 0.959 | 抑制   | 微~小 |
| C_10             | 609                         | 0.935 | 黄化   | 微   |
| Cont             | 651                         | 1.000 |      |     |
| Cont             | 659                         | 1.000 |      |     |
| Cont             | 653                         | 1.000 |      |     |

図2 粗玄米重と薬害症状からの薬害判定

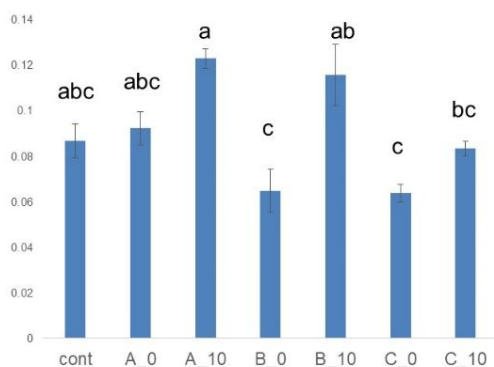


図3 移植後15日後の植被率  
異なる小文字のアルファベットは5%水準での有意差を表す (Tukey's test)。大文字のアルファベットは除草剤の種類、数字は播種後除草剤処理日

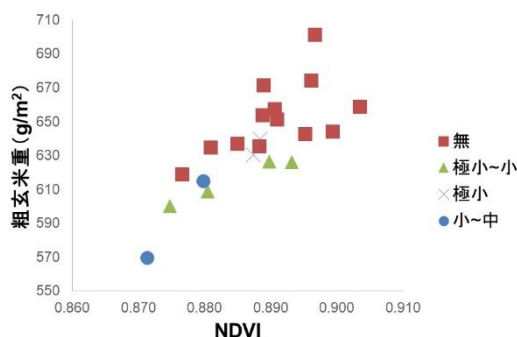


図4 粗玄米重と移植後から75日NDVI値の関係

### 引用文献：

- Fahlgren, N., Gehan, M. A., & Baxter, I. (2015). Lights, camera, action: high-throughput plant phenotyping is ready for a close-up. *Current opinion in plant biology*, 24, 93-99.
- Guan, S., Fukami, K., Matsunaka, H., Okami, M., Tanaka, R., Nakano, H., ... & Takahashi, K. (2019). Assessing correlation of high-resolution NDVI with fertilizer application level and yield of rice and wheat crops using small UAVs. *Remote Sensing*, 11(2), 112.
- Guo, W., Zheng, B., Duan, T., Fukatsu, T., Chapman, S., & Ninomiya, S. (2017). EasyPCC: benchmark datasets and tools for high-throughput measurement of the plant canopy coverage ratio under field conditions. *Sensors*, 17(4), 798.
- Jannoura, R., Brinkmann, K., Uteau, D., Bruns, C., & Joergensen, R. G. (2015). Monitoring of crop biomass using true colour aerial photographs taken from a remote controlled hexacopter. *Biosystems Engineering*, 129, 341-351.
- 田中圭, & 近藤昭彦. (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. *日本リモートセンシング学会誌*, 36(4), 373-387.
- Watanabe, K., Guo, W., Arai, K., Takanashi, H., Kajiya-Kanegae, H., Kobayashi, M., ... & Iwata, H. (2017). High-throughput phenotyping of sorghum plant height using an unmanned aerial vehicle and its application to genomic prediction modeling. *Frontiers in plant science*, 8, 421.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>佐々木和浩・吉野真弘・板谷恭兵・野村幹雄・郭威               |
| 2. 発表標題<br>ハイスループットフェノタイプングシステムによるイネに対する除草剤の影響評価 |
| 3. 学会等名<br>日本作物学会第251回講演会                        |
| 4. 発表年<br>2021年                                  |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                         | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)   | 備考 |
|-------|---|---|----|
| 研究分担者 | 郭 威<br><br>(Guo Wei)<br><br>(70745455)            | 東京大学・大学院農学生命科学研究科（農学部）・助教<br><br><br>(12601)                  |    |
| 研究分担者 | 板谷 恭兵<br><br>(Itaya Kyohei)<br><br>(90730763)     | 富山県農林水産総合技術センター・富山県農林水産総合技術センター農業研究所・研究員<br><br><br>(83207)   |    |
| 研究分担者 | 吉野 真弘<br><br>(Yoshino Masahiro)<br><br>(10871353) | 富山県農林水産総合技術センター・富山県農林水産総合技術センター農業研究所・主任研究員<br><br><br>(83207) |    |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

|         |         |
|---------|---------|
| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|