

UAV 空撮画像を用いたトウモロコシ圃場における 植被率系時変化の推定

小川 健太¹⁾・義平 大樹²⁾・宋 粮²⁾
三枝 俊哉³⁾・金子 正美⁴⁾・鎌形 哲稔⁵⁾

Estimating temporal variation of vegetation fraction in corn fields using UAV images

Kenta OGAWA¹⁾, Taiki YOSHIHIRA²⁾, Song LIANG²⁾,
Toshiya SAIGUSA³⁾, Masami KANEKO⁴⁾ and Noritoshi KAMAGATA⁵⁾
(Accepted 11 December 2020)

1 はじめに

近年、日本国内では農業就労人口は減少する一方 UAV を用いて地表面をモニタリングする技術が著しく進歩し、農業における様々な場面での活用が進んでいる。

本研究の目的は、大学内のデントコーン圃場を対象とし、UAVにより繰り返し撮影を行うことにより、生育初期の作物成長に伴う圃場の被覆率の変化を推定することである。また、さらに現地計測した LAI との比較を行い、デントコーンの植栽密度等による生育の違いを明らかにすることを目指した。

対象とした圃場は、酪農学園大学内の千鳥播 (twin-row) 栽培¹⁾ の効果を検証するための圃場であり、千鳥播の区画と慣行栽培 (single-row) の区画の生育を比較し、分析した。北海道中央部における飼料用トウモロコシに対する千鳥播栽培の増収効果は、以前より確認されていた^{2),3)}。千鳥播では、その播種の配置から個体間の相互遮蔽を緩和すると期待できる。近年の研究^{4),5)}によれば、最適栽植密度における最大収量は、千鳥播栽培と従来の狭畦栽培の間で大きな差異はみられないが、千鳥播 (twin-row) 栽培は狭畦栽培に比べて、栽植密度反応が小

さく、疎植および密植条件では千鳥播 (twin-row) 栽培の子実収量が狭畦栽培に比べて高い。また、この千鳥播 (twin-row) 栽培による増収効果は、早晩性の異なる品種間で差異がみられる。

2 研究方法

2.1 概要

研究の全体の流れを図 1 に示す。まず、UAVにより 1 回につき数十枚で圃場全体をカバーする空撮画像を取得した。そして一連の空撮画像を SfM 処理ソフトである Pix4Dmapper により、地図投影されたオルソ画像を作成した。さらに ArcGIS の教師付き分類により、植生部分と土壌などの植生以外の部分に分類することにより、植被率を算出した。一方で、成長段階ごとに定期的に現地で取得したサンプルから LAI (Leaf Area Index, 葉面積指数) を算出した。そして、植被率の変化と LAI の変化を比較することにより、デントコーンの生育初期の状況を把握した。

対象圃場の場所を図 2 に示す。双方ともデントコーンの千鳥播 (twin-row) 栽培の試験圃場である。

-
- 1) 酪農学園大学農食環境学群環境共生学類環境空間情報学研究室
Environmental Geomatics Laboratory, Department of Environment, College of Agriculture, Food and Environment Sciences, Rakuno Gakuen University
 - 2) 酪農学園大学農食環境学群循環農学類作物学研究室
Crop Science Laboratory, Department of Sustainable Agriculture, College of Agriculture, Food and Environment Sciences, Rakuno Gakuen University
 - 3) 酪農学園大学農食環境学群循環農学類草地・飼料生産学研究室
Grassland Management and Forage Production Laboratory, Department of Sustainable Agriculture, College of Agriculture, Food and Environment Sciences, Rakuno Gakuen University
 - 4) 酪農学園大学農食環境学群環境共生学類環境 GIS 研究室
Environmental GIS Laboratory, Department of Environment, College of Agriculture, Food and Environment Sciences, Rakuno Gakuen University
 - 5) 国際航業株式会社, 東京都千代田区丸の内三丁目 1 番 1 号
Kokusai Kogyo Co., Ltd., Marunouchi 3-1-1, Chiyoda-ku, Tokyo, Japan

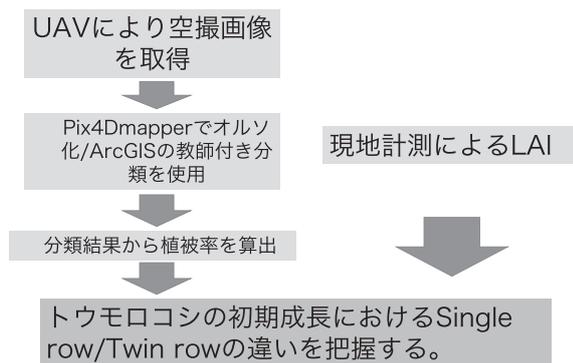


図1 研究手法の全体像

2.2 使用した UAV 画像及び LAI 計測結果

本研究で使用した UAV は 2014 年には DJI 社 Phantom2 にカメラとして GoPro 社 HERO3+ Silver Edition を搭載したものであり、2015 年には、カメラ標準装備の Phantom2 Vision+ である。飛行高度は約 15 m とした。地表での 1 画素のサイズは、2014 年は 0.8 cm 程度、2015 年は 0.4 cm 程度であった。マニュアル操作または自動操縦にて、1 フライトあたり数十枚の撮影を行い、圃場全体を撮影した。撮影日および LAI の計測日は表 1 のとおりである。

LAI の計測方法は以下のとおりである。計測手法としては、日により (1) 破壊的方法、と (2) 非破壊的方法で行った。(1) については、生育中庸な 3 個体をサンプリングし、茎と葉、穂に分け、葉について 3 個体まとめて、葉面積を卓上葉面積計

表 1 UAV 撮影日および対応する LAI 計測日

年	UAV 撮影日	LAI 計測日
2014	7/3	7/2
	7/7	7/8
	7/16	7/15
2015	7/3	7/2
	7/8	7/10
	7/15	7/15
	8/3	8/5

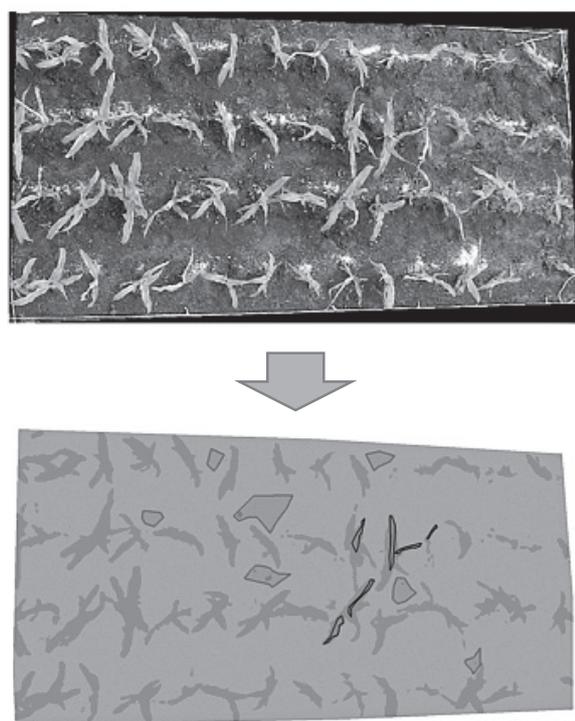
LI-3200 で測定し、個体占有面積 (畦幅×株間) × 3 個体分で割ることにより算出した；(2) について、生育中庸な 3 個体を選び、下位葉から葉長と葉幅を測定する。それを $\pi \times \text{葉長} \times \text{葉幅} / 4$ (楕円の面積 = $\pi / 4 \times \text{長径} \times \text{短径}$) で面積にして、これを積算した。晩生品種では 18 枚程度、早生品種で 14 枚程度、葉があるので、この積算値を同じように個体占有面積で割りかえて、葉面積指数とした。

2.3 UAV 画像からオルソ画像を作成する処理について

UAV で撮影した画像を Pix4D 社の Pix4Dmapper にて SfM 処理を行い、地図投影されたオルソ画像を作成した。なおオルソ画像作成にあたっては圃場の 4 隅付近に設置した GCP (Ground Control Point) を用いて処理を行った。GCP の座標計測においては、RTK-GNSS を使用することにより 2 cm 程度の水平および垂直精度の数値を取得した。



図2 研究対象圃場の位置



$$\text{植被率} = (\text{植生の画素数}) \div (\text{区画画素数})$$

図3 植被率の算出手法のイメージ。上はドローンによる撮影画像を1区画分切り抜いたもの。下は画像分類処理の結果画像。濃色は葉、淡色は土壌の分類結果を示す。なお、黒枠部分は葉の教師データ、グレー枠部分は土壌の教師データ、のエリアを示す。

2.4 植被率の算出

オルソ画像を分類することにより植生部分と非植生部分（土壌など）の面積を算出した。分類処理には ArcMap の教師付き分類機能を使用した。この処理のイメージを図3に示す。なお、本論文で紹介する UAV 画像と植被率算出結果のうち 2014 年分については、一部はすでに著者らが発表した論文⁶⁾に含まれており、手法の詳細についてはそちらの論文を参照されたい。

3 結果と考察

3.1 UAV による撮影画像について

上記手法による撮影結果の一例として、2015 年 7 月 21 日の例を図4示す。北側が千鳥播区、南側が慣行区である。この様にすべての撮影日に対し、前述の Pix4Dmapper を用いて、オルソ画像を作成することできた。

それぞれ、畦幅、栽植密度、品種に差異をもたせた 36 区画が設置されている。その区画の領域をドローン画像上で目視判読により矩形（ポリゴン）を

作成し、区画毎に画像の分析ができるようにした。その後、前述の方法により区画ごとの植被率を算出した。図3に示されるように画像との目視判断による葉と土壌の区別と分類結果はよく一致しており、全ての日に対し問題なく処理ができた。ただし、一部影の部分については分類精度が落ちる場合があることに注意が必要である。

3.2 生育に伴う植被率と LAI の変化について

生育に伴って植被率および LAI はともに増加する様子を 2014 年については図5に 2015 年については図6に示す。それぞれの撮影時期の千鳥播区（Twin）と慣行区（Single）、それぞれの3種の栽植密度に対応する3点をグラフに示している。

2014 年を詳しく見ると、7/3-7/2（7/3に UAV 撮影、7/2に LAI 計測）の慣行区と千鳥播区を比較すると千鳥播区の方がグラフ上側に位置するので、LAI は同程度であるが、植被率が高いことが分かる。7/7-7/8（7/7に UAV 撮影、7/8に LAI 計測）を見ると重複はあるが、千鳥播区が右上側に位置する。そのため概ね植被率および LAI が高いことが分かる。7/16-7/15（7/16に UAV 撮影、7/15に LAI 計測）は慣行栽培と千鳥播区のいずれも植被率が 80% を越えているが、千鳥播区の方が LAI が高いことが示された。

2015 年では最初の 3 回の植被率が 50% 程度までの撮影には顕著な差は見られないが、最後の 8/3-8/5 を見ると千鳥播が上側に位置し、植被率がやや高いことが伺える。

両年の結果を一つのグラフに示した（図7）。楕円で囲った植被率が 60% を越え、また LAI が 3 程度以下の領域では、慣行栽培と千鳥播栽培を比較した場合、千鳥播栽培の区画では概ね植被率がやや高い傾向がある。

3.3 まとめ及び考察

上記を総括すると、個体の LAI が同程度の時、植被率はおおむね千鳥播区が優っていた。その傾向は植被率が 60% を越えた程度の生育初期に明瞭で、生育の進捗に従ってやや不明瞭になった。また、同じ調査日では千鳥播区の LAI が慣行区を上回ることが多かった。

このことから、千鳥播によって個体間の相互遮蔽が緩和され、個体の LAI が同じでも群落として高い植被率を獲得することで、土地面積あたりの日射を効率よく受けることができたと考えられる。同じ調査日で千鳥播の LAI が優る傾向を得た理由は、



図4 UAV画像から作成したオルソ画像の一例。上方が北向きである。

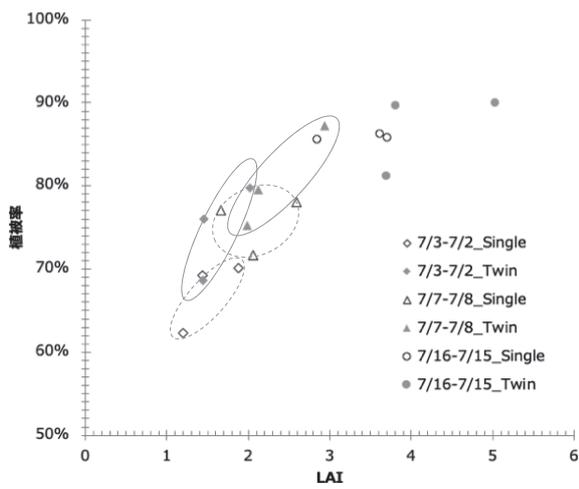


図5 植被率と LAI の関係 (2014 年)

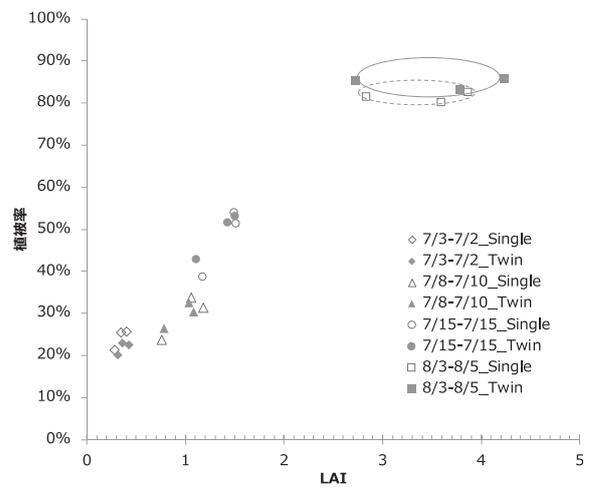


図6 植被率と LAI の関係 (2015 年)

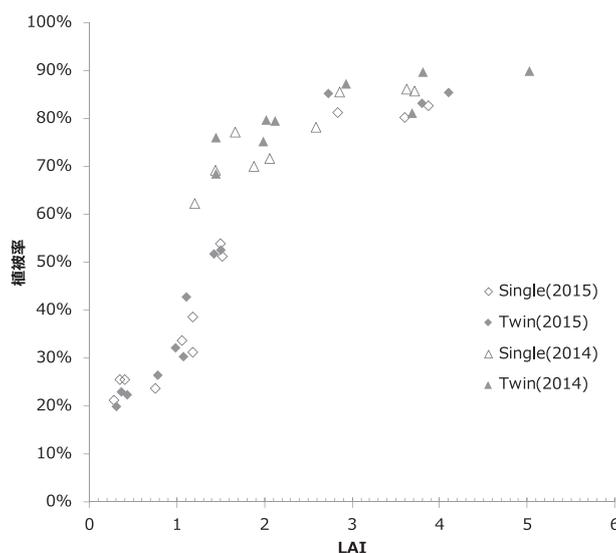


図7 植被率と LAI の関係 (2014 及び 2015 両年)

上記のように効率よく日射を享受できた結果と推察できる。千鳥播による相互遮蔽の緩和機能は、植被率が高まるにしたがって必然的に不明瞭になる。しかし、初期生育段階で千鳥播の優位性を確保できることは、生育期間の短い北海道の飼料用トウモロコシ生産の安定性に寄与し、高位生産に至る確率を高めることを示唆する。

4 結 論

以上の結果より、UAV 空撮画像を用いてトウモロコシ圃場を複数回撮影することにより植被率を時系列変化に追うことが可能であることが示された。

また、その時系列植被率データを LAI の地上計測結果と比較した。千鳥播栽培を慣行栽培と比較した場合、千鳥播栽培の方が7月前半の植被率は両年ともほとんどの場合で高いことが示された。LAIについても2014年の最初の2回を除くと千鳥播栽培の方が高いことが示された。

本研究での2年間の実験のみで計測回数が十分とは言えず、統計的分析が難しいものの、千鳥播栽培は慣行栽培に比べて収量が増加すると言われているが、その原因を考察し、検証するうえで有用な情報が得られたと考えている。

今後さらなるデータの収集により今回の傾向が得られるか検証を行う必要があると考えている。

5 謝 辞

本研究の一部の実施にあたっては、2015年度学内共同研究の研究費を使用した。また、UAVの飛行撮影、データの処理に協力いただいた皆様に感謝す

る。

6 引 用 文 献

- 1) 義平大樹, 宋 粮, 土屋恭平, 佐藤智宏, 小川健太, 柳原孝二, 他: 千鳥播, 狭畦栽培が子実用トウモロコシの収量に及ぼす影響: 長沼町における機械播種による実規模試験, 日本草地学会誌, **62**(別), pp.25, 2016.
- 2) 義平大樹, 石川弘大, 小阪進一, 佐藤智宏: 北海道中央部における飼料用トウモロコシに対する千鳥播栽培が収量に及ぼす影響 — 中生品種(相対熟度 100 日)における千鳥播効果と栽植密度の関係, 日本草地学会誌, **58**(別), pp.115, 2012.
- 3) 義平大樹, 石川弘大, 小阪進一, 佐藤智宏: 北海道中央部における飼料用トウモロコシに対する千鳥播栽培が収量に及ぼす影響 — 早生品種(RM85-95)における千鳥播効果と栽植密度の関係, 日本草地学会誌, **58**(別), pp.116, 2012.
- 4) Liang Song, Yoshihira Taiki, Sato Chihiro: Grain yield responses to planting density in twin and narrow row cultivation of early cultivars in maize, *Grassland Science*, **66**(3), pp.183-193, 2019.
- 5) Liang Song, Yoshihira Taiki, Sato Chihiro: Differences in grain yield responses to planting density in twin and narrow row cultivation between early and late maize cultivars, *Grassland Science*, **67**, pp.1-13, 2020.
- 6) 吉村暢彦, 古川フラビオ, 渡辺悠, 宋 粮,

大原譽丈, 小川健太, 他: ドローンを用いたデントコーン圃場における緑被率の高頻度モニタリングの試行, 水土の知: 農業農村工学会誌, **84**(9), pp.773-776, 2016.

要 約

本研究は, 大学内のデントコーン圃場を対象とし, UAV (Unmanned Aerial Vehicle) により繰り返し撮影を行うことにより, 生育初期の作物成長に伴う圃場の被覆率の変化を推定することを目的して行っ

た。また, さらに現地計測した LAI (Leaf Area Index) との比較を行い, デントコーンの植栽密度等による生育の違いについて考察した。結果として, 撮影画像を SfM (Structure from Motion) 処理により接合し, 画像分類を行うことにより植被率が算出できることを示した。また, その時系列植被率データを LAI の地上計測結果と比較し結果, 千鳥播栽培を慣行栽培と比較した場合, 千鳥播栽培の方が7月前半の植被率は両年ともほとんどの場合で高いことが示された。

Abstract:

Recently, the number of agricultural workers in Japan has been decreasing. But the technology for agricultural field monitoring using UAVs (Unmanned Aerial Vehicle) has made remarkable progress, and is being used in various agricultural applications.

This study aimed to estimate the changes of vegetation fraction in the early stage of crop growth by repeatedly taking UAV images above corn fields in the university. In addition, the results were compared with the LAI (Leaf Area Index) measured in the fields in order to clarify the differences in growth of corn based on planting density and other factors.