

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K07969

研究課題名(和文) ほ場群落における光環境の時空間的不均一性が作物の成長過程に与える影響

研究課題名(英文) Effects of spatiotemporal difference in light environment on crop growth process at field scale

研究代表者

山下 恵 (Yamashita, Megumi)

東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・講師

研究者番号：70523596

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、大気-群落光環境の時空間的不均一性が作物の成長過程においてどのように影響するかを明らかにすることを目的に、(1)ほ場の光環境と3次元群落構造の時空間モニタリング手法を確立、(2)ほ場群落における光環境と3次元群落構造との関係を明らかにし、(3)イネ群落の3次元モデルを用いた光環境およびLAIの時空間的に推定した。これからのスマート農業や気候変動時代における高度栽培管理に向けて、UAV(小型無人飛行機)を用いて作物の生育状況を時空間的にモニタリング手法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

フィールド環境下での時空間モニタリングによる観測データの蓄積とそこから得られる成果・知見は、将来の気候変動下において懸念されている異常気象・極端気象、温暖化に伴う環境変動に頑健な植物の特性把握や作物収量予測の精度向上に向けて寄与でき、また、空間情報技術を用いたモニタリング手法は、異なる地域、気候でも展開可能な基盤技術となる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this project is to clarify how the spatiotemporal difference of the atmosphere-canopy light environment affects the crop growth process at field scale level.(1) The spatio-temporal monitoring methods of the light environment at top and under canopy and three-dimensional community structure were developed.(2) The relationship between temporal and spatial non-uniformity of light environment and canopy height in the rice community was clarified.(3) We estimated light environment and LAI spatially and temporally using canopy surface model generated from UAV (unmanned aerial vehicle) aerial images during the rice cropping. Furthermore, for smart agriculture and advanced cultivation management under changing climate, we proposed a method for spatiotemporally monitoring the growth status of crops using UAV.

研究分野：空間情報学

キーワード：光環境 群落3次元構造 空間情報技術 生育指標 草高 UAV

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ほ場などのフィールド環境下において、植物(作物)の環境ストレスは主として光であり、様々な環境ストレスは、光との複合である場合が多い。すなわち、植物の成長過程において光環境を把握することは、植物の環境応答の理解へ大きく寄与し、温暖化による環境変動に対する植物のストレス応答と成長への影響を知る上でも重要になる。

大気から群落上端へ進入する光(直達光と散乱光)は天気や空の状態によって大きく左右されるため、その時間的不均一性は根を張る植物にとって大きな環境ストレスの要因となる。さらに、葉の形態とその空間配置、個体密度、草丈などの植物群落の3次元構造が、群落内光環境の空間的不均一性をもたらす大きな要因となっている。このような時空間的に不均一な光環境は個体の集まりからなる群落の光合成系を大きく支配しつつ、時間経過と共に植物は馴化し、葉の量、向き、色や草丈などの変化として、その成長過程は目に見える形態として現れる。

一方、光環境を散乱光に限定した群落光合成モデルが提案されて以降、直達光も考慮したモデルや群落内の放射伝達を取り入れたモデル等の改良が国際的に取り組まれている。しかし、フィールド環境下で起こりうる光環境の時間・空間的不均一性の問題は、これら既存の群落光合成モデルでは説明できない点が多く、実際、これらの不均一性が成長過程における個体密度、葉面積、草丈、収量などのばらつきにどう影響するかについては明らかでない。

こうした背景から、ほ場の光環境の時間的・空間的不均一性に着目した作物の成長過程を発芽期から収穫期まで時空間的に体系的にモニタリングする取り組みが必要であり、その際、効率的に3次元計測する空間情報技術は強力なツールとなる。

2. 研究の目的

ほ場群落の光環境および成長過程について空間情報技術を用いた時空間モニタリングを実施し、これら実測データから、大気-群落における光環境の時空間的不均一性が作物の成長過程における個体密度、葉面積、草丈、収量などへ与える影響を明らかにすることを目的とする。さらに、実測データから導かれる経験則と既存の群落光合成モデルとを統合した光環境-成長モデルの構築を目指す。

3. 研究の方法

ほ場の光環境-3次元群落構造モニタリングを小型メモリ付き光量子センサや定点カメラ・小型無人飛行機(UAV)搭載カメラを用いて実施し、天気・空の状態に起因する群落上層/下層の光環境の時間的不均一性および3次元群落構造に起因する光環境の空間的不均一性を把握、刈り取り法による葉面積指数(LAI)や地上乾物重等の生育調査を行い、モニタリング・調査から得られる実測データを時空間解析する。

これらの解析を通して明らかにされる光環境と作物の成長過程における個体密度、葉面積指数、草丈・群落高さ等との関連性から、既存モデルの評価検証および実測データに基づく経験モデルの導出へと展開し、フィールド環境下におけるほ場群落レベルの光環境-成長モデルを構築する。

4. 研究成果

(1) ほ場の光環境と3次元群落構造の時空間モニタリング手法の確立

コムギ、ダイズ、イネを対象に、ほ場群落の光環境を1分間隔で測定した結果から、雲の変動が激しい晴天時では群落上層に入射するPPFDの変動が主に群落下層でのPPFDにも影響していることが分かった。一方1分間隔測定値を日中全体で平均すると、空の状態に起因する群落上層のPPFDと群落構造に起因する群落下層のPPFDの時間的変動は均され、群落下層の光環境を経日的にモニタリングすることができた。(図1)

天気や空の状態に直接影響を受けて群落上層に入射する光合成光量子束密度(PPFD)を、日中2分間隔で撮影した全天カメラ画像を用いて直達・散乱成分に分けて推定する手法を開発した。また、全天画像解析によって得られる雲量・太陽出現の有無・空の明るさなどの情報から、作物の栽培期間中における日中の天気や日照時間を時系列データとして記録することができ、アメダス等の気象観測データとの併用により、作物の生育における気象・天候の影響を把握する上で活用できた。

タワーに設定した定点カメラによる10分間隔撮影の可視(RGB)画像を用いて、対象とする領域内の各種植生指標や植被率の1日の代表値を算出した。また、定期的にUAVを飛行させ、対象ほ場を80%重複撮影した空撮画像を用いて写真測量による3次元モデルを作成した。定点カメラやUAVによる空撮画像の時系列解析によって、植生指標や植被率、草高などの変化をモ

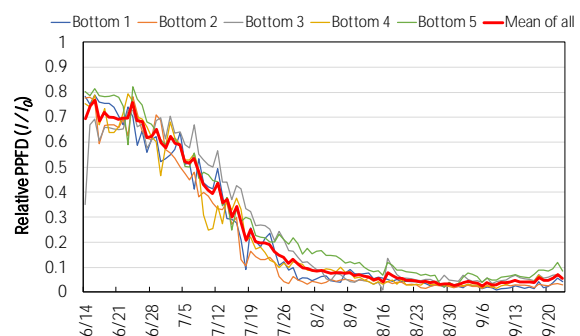


図1.群落下層光環境の経日変化

モニタリングすることができた(図2)。このように、群落下層の光環境と作物の成長過程における時間的・空間的なばらつきや変化を把握するための時空間モニタリング手法を確立した。

(2) 群落下層光環境と群落高さとの関係

3品種(日本晴, IR64, Basmat370)3施肥水準で栽培したイネ群落を対象に,(1)で確立したモニタリング手法を適用し,群落下層の光環境(相対PPFD: 群落下部PPFD÷群落入射PPFD)およびイネ群落の高さデータを取得した。並行して2週に一度実施した刈り取りによるLAI実測値と相対PPFDを用い,それぞれの吸光係数Kを算出した結果,施肥量が少ない群落ほど吸光係数が若干高い(K=0.633)傾向がみられた。成長が遅い分,相対PPFDも高い(下層まで光が届いている)傾向が見られた。また,品種の違いによる吸光係数の違いは,Basmat370(品種改良が進んでいないアフリカの品種)については吸光係数が高い傾向が見られたが,他2種はほぼ近い吸光係数(K=0.561とK=0.569)を示していた。これは,品種の形質に依存するものと考えられる。

一方,イネ群落下層の相対PPFDと草高との関係は,非常にきれいに指数関数で近似でき,品種間の有意な差異はみられなかった(図3)。3品種での比較結果ではあるが,イネ群落の光環境は,群落高さとの強い関係があることが明らかになった。このことから,3次元群落構造を代表する群落高さから,群落内光環境を空間的に推定することが可能になることが示唆された。

(3) イネ群落の3次元モデルを用いた光環境およびLAIの時系列面的推定

イネ3品種3施肥水準3反復の27区画ほ場(15m x 40m)を対象に,約10日間隔で撮影したUAV画像から作成したイネ群落3次元モデルを用いて,群落下層の光環境およびLAIの時系列面的推定を試みた。ここでは,イネ群落3次元モデルを2株に相当する30cm四方でメッシュ化し,メッシュ平均値をイネ草高として,群落下層光環境と草高との関係式(相対PPFD = $\exp(-4.27 \times \text{草高})$)を適用した。さらに(2)で得られた3品種それぞれの吸光係数Kを用いて,LAIを推定した(図4)。品種の違いや施肥の違いによる生育の違いが視覚的に把握できることがよくわかる。

LAIの推定精度は,刈り取り調査によるLAI実測値とその領域メッシュにおけるLAI推定値とを比較すると,非常によく一致していることがわかる(図5)。日本晴とIR64の2品種がBasmat370と比べて,若干少なく推定する傾向がみられたが,3品種全体で,平方根平均二乗誤差は0.79(m^2/m^2)と,従来手法によるLAI推定結果と同等あるいはそれ以上の精度で推定できることが分かった。

以上,本研究課題を通して,これからのスマート農業や気候変動時代における高度栽培管理に向けた生育モニタリング手法における空間情報技術の可能性を示すことができた。

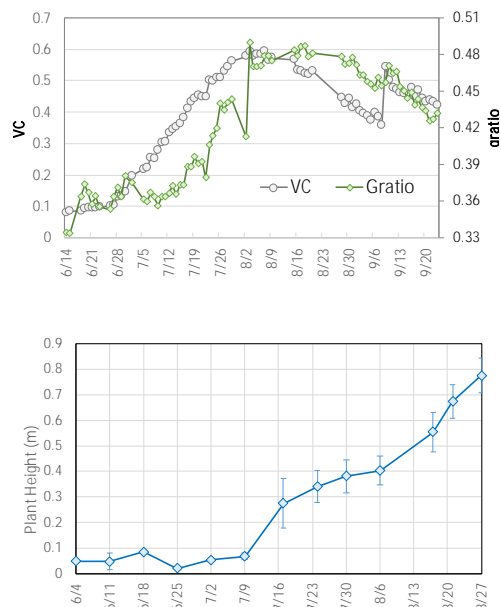


図2. 植生指標(Gratio)・植被率(VC)
(上), 草高(下)の時系列変化

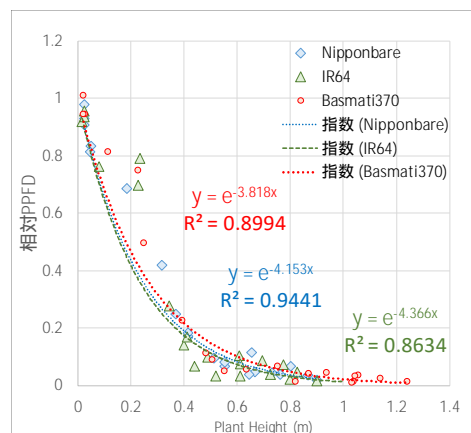


図3. 群落下層光環境(相対PPFD)と草高との関係

2018/8/7

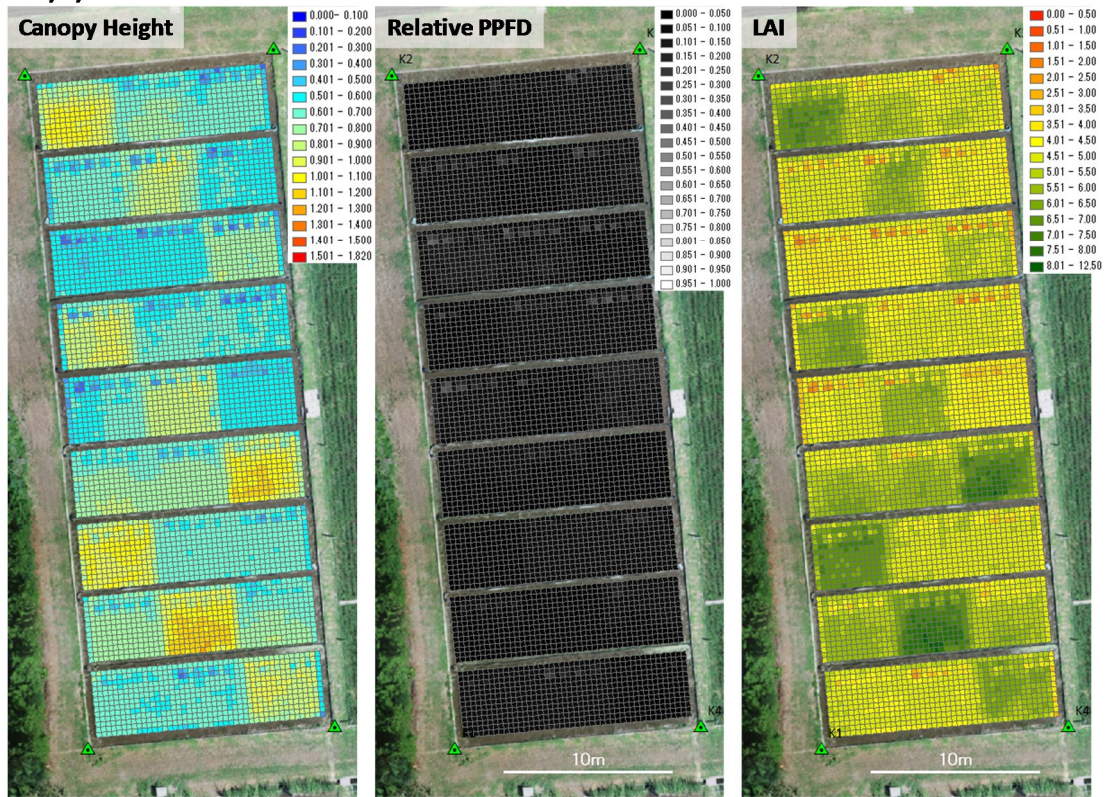


図 4. UAV 空撮画像から作成したイネ草高（左）を用いて推定した群落内光環境（中）と LAI（右）の面的推定結果（2018/8/7 の例）. 各区画の北側は刈り取り調査の痕跡

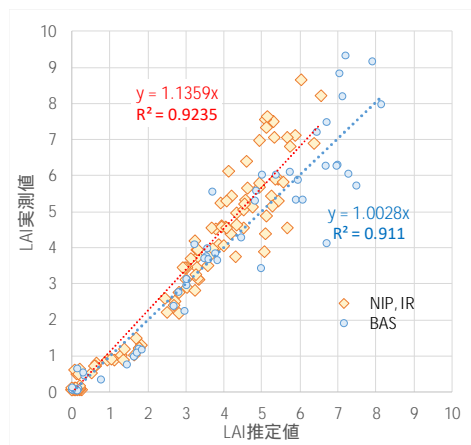


図 5. LAI 実測値と推定値との比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 関野良, 桂圭祐, 山下恵	4. 巻
2. 論文標題 イネの高度栽培管理に向けたUAVによる生育量モニタリング	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本写真測量学会令和元年度年次学術講演会発表論文集	6. 最初と最後の頁 89-92
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 田中雪絵, 桂圭祐, 山下恵	4. 巻
2. 論文標題 デジタルカメラによるイネ生育指標推定に向けた画像指標算出手法の検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本写真測量学会令和元年度年次学術講演会発表論文集	6. 最初と最後の頁 39-42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yamashita Megumi, Yoshimura Mitsunori	4. 巻 11
2. 論文標題 Estimation of Global and Diffuse Photosynthetic Photon Flux Density under Various Sky Conditions Using Ground-Based Whole-Sky Images	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 932 ~ 932
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs11080932	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Yamashita M., Shinomiya Y., Yoshimura M.	4. 巻 IV-3/W1
2. 論文標題 DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR PLANT PHENOLOGY MONITORING BY GROUND-BASED OBSERVATION USING DIGITAL CAMERA	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences	6. 最初と最後の頁 65 ~ 70
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/isprs-annals-IV-3-W1-65-2019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yamashita M., Yoshimura M.	4. 巻 XLII-3
2. 論文標題 INFLUENCE OF SKY CONDITIONS ON ESTIMATION OF PHOTOSYNTHETIC PHOTON FLUX DENSITY FOR AGRICULTURAL ECOSYSTEM	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences	6. 最初と最後の頁 2041 ~ 2045
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/isprs-archives-XLII-3-2041-2018	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計9件(うち招待講演 0件/うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Tanaka, Y., Katsura, K., Yamashita, M.
2. 発表標題 Verification of color indices obtained from digital cameras for estimation of rice growth statuses under various conditions
3. 学会等名 The 40th Asian Conference on Remote Sensing (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yamashita M.
2. 発表標題 INFLUENCE OF SKY CONDITIONS ON ESTIMATION OF PHOTOSYNTHETIC PHOTON FLUX DENSITY FOR AGRICULTURAL ECOSYSTEM
3. 学会等名 ISPRS TC III Mid-term Symposium "Developments, Technologies and Applications in Remote Sensing" (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山下恵
2. 発表標題 地上リモートセンシングによる生育モニタリング
3. 学会等名 農業環境工学関連5学会合同大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Megumi Yamashita
2. 発表標題 Estimation of Global and Diffuse Photosynthetic Photon Flux Density by Ground-Based Whole-Sky Imageries
3. 学会等名 The 39th Asian Conference on Remote Sensing (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yamashita M.
2. 発表標題 DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR PLANT PHENOLOGY MONITORING BY GROUND-BASED OBSERVATION USING DIGITAL CAMERA
3. 学会等名 ISPRS TC III WG III/2,10 Joint Workshop “Multidisciplinary Remote Sensing for Environmental Monitoring” (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yumi Shinomiya, Megumi Yamashita
2. 発表標題 CHARACTERISTICS OF VEGETATION INDICES FROM VISIBLE IMAGES FOR GROUND-BASED PHENOLOGY OBSERVATION
3. 学会等名 Asian Association on Remote Sensing (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山下 恵
2. 発表標題 作物生育モニタリングにおけるデジタルカメラの利用可能性
3. 学会等名 農業食料工学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山下 恵
2. 発表標題 デジタルカメラを用いた作物成長モニタリング
3. 学会等名 第75回農業食料工学会年次大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山下 恵
2. 発表標題 農業環境モニタリングのための地上リモートセンシング
3. 学会等名 空間情報セミナー / 金沢工業大学・日本写真測量学会北信越支部
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	本林 隆 (Motobayashi Takashi) (20262230)	東京農工大学・農学部・准教授 (12605)	