

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：32305

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K06310

研究課題名(和文) コンピュータシミュレーションによる散乱性被覆資材の有効性の検討

研究課題名(英文) Examination of the effectiveness of diffuse covering materials using computer simulation

研究代表者

石神 靖弘 (Ishigami, Yasuhiro)

高崎健康福祉大学・農学部・准教授

研究者番号：50361415

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：温室内の作物の生産性を向上させるためにはいかに光を有効的に使用できるかが重要な課題である。本研究では、散乱性被覆資材を展張した温室を想定して、温室内の光環境ならびに、群落の受光量のばらつきについて、光シミュレーションの一種であるレイトレーサー法を用いて推定を行った。温室モデル内にトマト 個体を想定した植物モデルを対象とした。群落の層別受光強度について、上層では被覆資材の散乱性によらずに群落上水平面と同様の推移を示した。被覆資材の拡散性が増すと温室内の光強度および植物群落の場所による受光強度の変動が小さくなることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

温室において、植物が受光する光はその生産量に影響を及ぼす最も重要な要因の一つであり、様々な環境制御の手法により光環境をはじめとする温室環境を改善するための研究開発が行われている。しかしながら、温室の光環境について温室内の作物の形状、被覆資材の光透過特性をふくめ、体系的に解析している研究例は少ない。温室内の作物の生産性を向上させるためにはいかに光を有効的に使用できるかが重要な課題であり、本研究の結果は温室の被覆資材の検討を行う上で重要な知見となりうると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Light use effectively is an important issue in order to improve the productivity of crops in greenhouses. In this study, assuming a greenhouse in which the scattering coating material is spread, the light environment in the greenhouse and the variation in the amount of light received in the community were estimated using the ray tracer method, which is a type of optical simulation. We targeted plant models that assumed individual tomatoes in the greenhouse model. Regarding the light receiving intensity of each layer of the canopy, the upper layer showed the same transition as the horizontal plane of the canopy regardless of the scattering property of the covering material. It was shown that as the diffusivity of the covering material increased, the fluctuation of the light intensity in the greenhouse and the light receiving intensity depending on the location of the plant community decreased.

研究分野：植物環境工学

キーワード：温室 植物群落 レイトレーサー法 3Dモデル

## 1. 研究開始当初の背景

温室内において、植物が受光する光はその生産量に影響を及ぼす最も重要な要因の一つであり、様々な環境制御の手法により光環境をはじめとする温室内環境を改善するための研究開発が行われている。温室内の光環境は、季節、時刻、温室の構造、被覆資材、作物そのものの形状等によって変化する。そのため、個々の条件下において、温室内の光環境および作物の受光量を解析する研究開発が行われてきた。被覆資材については、一般建築に用いられるすりガラスのように、透明ではなく光散乱性の高い資材が用いられる場合もある。これは、温室内に入射する光を散乱させることにより、温室構造材による陰の影響を低減し、光環境の均一化を図るとともに、直達光が届きにくい作物群落の下部に光を到達させる目的がある。しかしながら、季節や日射量の変化により期待した効果が得られない場合があり、刻々と変化する温室外の光環境、作物の形状等に対応してその効果を検証することは難しく、有効性や経済性について一様な結論は得られていない。また、作物そのものについても、例えば日射量の大きい時期には枝の数を増やし、葉の密度を上昇させ、日射量の低い時期には葉の密度を低下させるような方法がとられている。しかし、この方法についてもこれまでの経験に基づいた管理がなされており、環境条件と対応した解析が行われている研究例はほとんどない。このように、温室内における光環境について個々の課題を対象として個別に研究が行われているが、ほぼすべての条件下において光環境を取り扱うことのできる手法を開発することにより、より適切な制御が可能となると考えられる。

近年、コンピュータグラフィックの技術を応用した研究が行われつつある。建築分野では室内の明るさを推定するために、コンピュータグラフィック技術の一種であるレイトレーザー法やラジオシティ法を用いて壁面上の照度の推定がなされている。この技術を温室に応用する試みもいくつかあり、Veitch (1997)はレイトレーザー法を用いて植物がない状態での温室内の光環境のシミュレーションを行った。また、Chelle & Andrieu (1998)はラジオシティ法を用いて、屋外圃場における作物の受光量の推定を行った。これ以降、同様の手法を用いて温室内の光環境、植物の受光量を推定する研究が行われている(Soriano et al. (2004); Buck-Solin et al. (2009); de Visser & Buck-Solin (2012); Wiechers et al. (2011))。また、de Visser et al. (2014)は温室内の補光の効果についてシミュレーションを行っている。

しかしながら、温室の被覆資材の光透過特性について取り扱った研究例はほとんどない。

温室の形状やその立地条件は様々であり、個別の条件のみを対象とした計測では、網羅的な解析や、他の条件(異なる温室構造、立地条件等)の場合に応用することは難しい。本研究では、それぞれの温室構造や内部の植物体の状態に応じて、詳細な光環境を推定することができると思われる。この本研究で提案する手法の確立により、散乱性被覆資材の効果的な使用方法について、実際に栽培を行わなくても必要とされる知見が得られると考えられる。さらに、新しい栽培方法(仕立て方)の有効性、最適な群落構造の探索、新規開発資材の効果の推定、補光条件の探索など、本研究で得られる知見は温室内における適切な光環境制御法の開発に寄与し、日本国内だけでなく、世界各地での施設園芸の発展につながると考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究ではレイトレーザーの手法を用い、植物を栽培している温室内の光環境を詳細に推定することが可能な温室内光環境推定法の確立を目指す。被覆資材の光透過特性の違い

により、植物群落の受光量にどのような影響があるか、また、群落の高さ方向の層別の受光量を把握し、散乱性被覆資材の有効性について明らかにする。

### 3. 研究の方法

#### ・温室の3次元モデルの構築およびレイトレーサー法による光環境推定

検証のために、大学内に保有する実験温室（床面積200 m<sup>2</sup>）を再現する3次元モデルを作成する。作成には市販の3次元モデルソフトを用い、大きさ、構造資材の配置を再現する。作成した3次元モデルを建築分野等で使用されている照明シミュレーションソフトウェア（radiance）に導入し、レイトレーサー法により温室内の光環境（床面や壁面での光強度）を推定する。レイトレーサー法は3次元コンピュータグラフィックス画像を描くレンダリング工程での手法の1つである。この手法は、カメラや観察者に相当する受信点を中心に画角となる2次元方向内の微小な角度ごとのそれぞれの方向から受け取るはずの光線（レイ）を、算術演算処理を行うことにより仮想的に逆方向（光線の照射方向）に追跡し、その方向に何が見えるかを判定する。光源の方向に対して、この演算結果を積算することにより、対象の面における光強度（受光量）の計算を行う。

#### ・温室における光環境の計測

温室内に光センサー（日射計）を設置し、水平方向、垂直方向に光強度の分布を多点計測する。この計測データをもとに、上記の推定結果の検証を行う。温室内の光環境は太陽高度に大きく影響される。そのため、夏季、冬季と異なる時期に計測を行う。温室内の光分布を詳細に調査する場合、実測であればかなり多くの測定点を設ける必要があるが、推定結果の検証であれば限られた代表点について比較を行うことで十分な精度が得られると考えられる。

#### 植物の3次元モデル作成および被覆資材の反射透過特性の把握

対象植物として、温室で栽培される代表的な果菜類の一つであるトマトを対象に3次元モデルを作成する。実際に栽培したトマト群落を対象に、複数方向から写真を撮影し、写真合成ソフトにより3次元モデルを作成する。ただし、植物体は複雑な形状をしており、株全体を一度にモデル化することは困難であると考えられる。そこで、葉ごとに写真撮影および3次元化を行い、同時に、葉のついている節間の長さ、葉の角度を計測して、3次元モデル作成ソフトウェア上で合成することにより、植物体の3次元モデルを作成する。また、各葉は出葉後の日数に応じて、葉色が変化し、透過率等が変化するため、植物体を大まかに高さ方向に層に分けて、層別に、分光放射計と積分球を用いて、波長ごとの反射率、透過率を測定する。また、被覆資材について、透過光の散乱特性を把握するために、球状の測定装置を自作し、ある方向から照射した光が、どの角度にどの程度透過するかを計測する。自作した球状の測定装置の内側に小型の光センサー（フォトダイオード）を設置し、レーザー光源を用いて、測定対象の資材（フィルム）に照射し透過光を測定する。測定した透過光の角度分布から資材の透過特性（双方向散乱分布関数）を得てシミュレーションに反映する。

#### ・温室3次元モデルに植物3次元モデルの組み込み

前年度までに作成した温室3次元モデルに植物3次元モデルを組み込み、実際の栽培温室を再現する。さらに、さまざまな時期における光環境の実測と推定を行い、精度の検証を行う。

#### ・温室における光環境の計測

植物を栽培している温室内に光センサー（日射計）を設置し、水平方向、垂直方向に光強

度の分布を多点計測する。また、トマト群落の葉面上に小型の光センサー（フォトダイオード）を設置して、植物体の代表点における光強度を算定する。この計測データをもとに、上記の推定結果の検証を行う。

・異なる散乱特性を持つ被覆資材下での受光量の推定および検証

既設の温室の一部もしくは全面に散乱性被覆資材を展張し、温室内および植物葉面上の光強度を測定する。同様の条件でシミュレーションを行い、推定精度の検証を行う。また、ことなる温室の立地および季節を想定してシミュレーションを行い、温室内作物の受光量をもとに、散乱性被覆資材の有効性および効果的な使用方法について検討を行う。

#### 4．研究成果

温室モデル内にトマト 個体を想定した植物モデルを4列の栽培列として配置した。市販されている拡散性フィルムの拡散性をB1とし、B1の2倍の範囲に透過光が拡散すると仮定した資材のBSDFを設定した（B2）。さらに、ほとんど光を拡散しない資材（光透過率90%）のBSDFを設定（B0）した。温室内の光強度（光合成有効光量子束密度；PPFD）を推定した。群落上の水平面として、温室の栽培エリアの約半分の49 m<sup>2</sup>について、10cm間隔の格子点を設け、高さ2.2 mの地点の光強度を推定し、変動係数を求めた。また、植物群落を上中下の3層に葉面積が同じになるように分割し、各層について、葉を構成するポリゴンごとに受光量を求め、積算したものを各層の葉面積で除して層別の平均受光強度を推定した。群落上の水平面の光強度について11：30（南中時刻付近）を除いてB0、B1、B2の経時変化は同様の傾向を示した。また、群落上水平面（49 m<sup>2</sup>）の光強度の変動係数（CV）は平均でB0、B1、B2でそれぞれ0.52、0.45、0.41となり、B1、B2でB0より小となった。B1、B2では光が拡散したことにより、群落上水平面の光強度が均斉化したと考えられた。群落の層別受光強度について、上層ではB0、B1、B2共に群落上水平面と同様の推移を示した。B2ではB0よりも受光強度が大となる時間帯があったが、B1ではB0と同程度もしくは小となる被覆資材の拡散性が増すと温室内の光強度および植物群落の場所による受光強度の変動が小さくなることが示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------