

キュウリ群落の三次元葉配置計測と 3DCG 描画

岡 正明¹, 佐藤 正和²

¹宮城教育大学技術教育講座, ²元・宮城教育大学技術教育専攻

作物群落の葉配置は、受光態勢や収量性と関連する重要な栽培要素である。本研究室ではこれまで、三次元デジタイザ法や画像解析法を用いた葉配置計測手法を開発してきた。今回供試したキュウリ群落は比較的大型の群落であり、従来の手法では計測が困難である。そこで、(1)群落側面写真を用いて計測した個葉の二次元座標(葉の中心点の座標)を三次元座標に換算する手法、と、(2)画像解析法により個葉写真から葉面積を算出する手法、を組み合わせた群落葉配置計測法を開発し、その結果を3DCGで描画した。

キーワード: 栽培教育, キュウリ, 葉配置, 画像計測, 受光態勢

1. はじめに

作物群落内の葉配置は太陽光受光効率と関係し、作物の収量性に直結する重要な栽培要素である。作物栽培技術を学ぶ学生にも、個体草型および群落葉配置の重要性を認識させる必要がある。私たちの研究室では、作物個体の三次元構造を計測し、葉配置と受光態勢の関係を解析するためのソフトウェア“受光量シミュレータ”[1][2]の開発を行っている。また、プログラミングの知識が豊富で無い利用者が手軽に利用できるよう、対話型ソフトウェアも作成している[3]。

これまで、作物の三次元構造や群落葉配置を計測する際には、様々な方法が用いられてきた。例えば、物差しや分度器を使用する軌跡法[4]、また回転画像から計測する方法[5]などがある。本研究室では、磁力線式三次元デジタイザ計測法[6]を用いて、イネ・トマトなどの個体葉配置を計測してきた。しかしながら、本研究室で保有する機器(Polhemus Patriot)では、三次元座標の原点となる磁気発信源装置から半径約100cm以内の半球内でのみ座標計測が可能であり、大型の植物計測には適さない。本実験で計測対象としたキュウリ群落は、支柱の高さが190cmと大型であり、本機器での計測は困難であった。そこで、(1)群落側面写真を用いて計測した個葉

の画像上の二次元座標を三次元座標に換算する手法、(2)画像解析法により個葉写真から葉面積を算出する手法、を組み合わせた大型作物群落の葉配置計測法を開発した。また、その結果を3DCGで描画し、キュウリのバーチャルフィールド[7]を作成した。

2. 供試材料の栽培

キュウリ(品種:VR 夏すずみ)を供試した。2011年6月10日、培養土(スーパーミックス A, サカタのタネ)を入れた3号ビニールポットに播種し、30℃にセットした植物育成用ガラス恒温器内で発芽させた。発芽後は、無加温温室にて育苗を行った。

6月29日に、本葉2枚が展開した苗を宮城教育大学構内のビニールハウスに定植した。中央通路を挟んで、幅160cm、長さ600cmの畝(東西方向の畝)を2本作り、畝の両側(計4列)に株間50cmとなるよう、計48の苗を植え付けた。列間は全て120cmとなるよう、圃場設計した。元肥として、堆肥(約2kg/m²)と化成肥料(8・8・8 化成肥料, 窒素成分として15kg/10aの量)を施した。以降、追肥(家庭園芸用液肥ハイポネックス 500倍水溶液の散布)や病害虫防除(アブラムシ, うどんこ病などに対する農薬散布)を慣行法に則って行った。

農家栽培で行われている誘引・整枝を、本実験でも行った。2本の畝の中央に、地際の幅100cm、高さ

190cm の逆 U 字型の支柱を立て(列方向 100cm 間隔に1本ずつ),そこにキュウリネット(合目 18cm)を緩みの無いように張り,キュウリの茎を誘引した。整枝については,農家で一般的に行われている様式を採用した。主茎を一本仕立てで伸ばし,主茎の生長点が支柱の上部まで達した時点で摘しんを行った(主茎の 18~20 節に当たる)。主茎の 8 節までのわき芽は全て摘芽し,それより上部の側枝については摘芽せず,伸ばした側枝が 2 節に達した時点で摘しんした。側枝のわき芽から発生した孫蔓は全て切除した。初期生育を確保するため,主茎の 5 節より下位に着生した花芽は,全て切除した。

計測を行った 9 月上旬まで天候は概ね良好に推移し,日平均気温は 20℃から 30℃の間であった。

3. 葉配置計測方法および結果

3.1. 群落内葉配置

9 月 6 日に,中央通路に面する 1 列(南北に並んだ 4 列のうち,南側から 3 列目)の葉配置を計測するため,他の 3 列の植物体を除去した。次に,この計測対象列の南側(列と直角方向)から側面写真を撮影した。その際,広角レンズで広範囲の画像を取得すると画像の周辺部分にゆがみが生じるため,これを避けるために,列と並行に移動しながら狭い範囲の画像を連続して撮影した。これらの画像をディスプレイ上で重ね合わせて,計測対象列の側面画像を作成した(図 1)。印刷したこの画像に,半透明な方眼紙を重ね合わせて,群落を構成する個々の葉の葉身中心点の二次元座標を取得した(図 2)。

ここで取得した座標データは,画像平面上の二次元座標である。葉の中心点が逆 U 字型の支柱に張ったネットに沿って存在するものとし,二次元座標を三次元座標に換算する操作を行った。具体的には,支柱軌跡の関数(直線部分は回帰直線,

アーチ部は二次元の回帰曲線:図 3 の左図)を用いて,二次元座標の高さデータ(図 3 右図の Y 軸)から三次元座標の垂直位置(列と直角方向の奥行き,図 3 右図の Z 軸)を計算し,平面上の二次元座標を空間内の三次元座標に変換した。また,葉の枚数の垂直分布も計算した。

3.2 個葉面積

垂直方向 30cm 間隔の層毎に標準的な 8 枚の葉をサンプリングし,平面上に広げ,標準長とともに真上からデジタルカメラで撮影した。画像解析法により作物個葉の葉面積を算出するソフトウェア(図 4)を自作し(MS-Visual Basic),個葉面積を求めた。このソフトウェアの操作手順は,以下の通りである。

- (1)基準長マーカーとともに撮影した個葉のカラー画像を読み込む。
- (2)カラー画像を白黒画像に変換し,構成画素の濃度値ヒストグラムを表示する。
- (3)使用者がヒストグラムから判断した葉と背景を判別する閾値を入力すると,二値化された画像が表示される。閾値が不適と考えられる場合は,別の閾値の入力と二値化画像表示を繰り返すことができる。
- (4)二値化画像が適当であると判断された時点で[Calculation]のボタンを押すと,葉面積が計算できる。算出されるのは画像上の面積ではなく,基準長を元に換算された実際の葉面積である。

3.3 群落葉面積の垂直分布

垂直方向 30cm 毎の層に存在する多数の葉について,3.1 で求めた平均葉数と 3.2 で計算した個葉面積を積算し,層別葉面積を求めた。列の中央部 300cm の区画に含まれる層別合計葉面積の垂直分布を図 5 に示す。生育初期に展開した面積の小さな葉が多く含まれる群落下位部の層別葉面



図1 キュウリ群落の側面画像(多数枚の写真の組み合わせ)

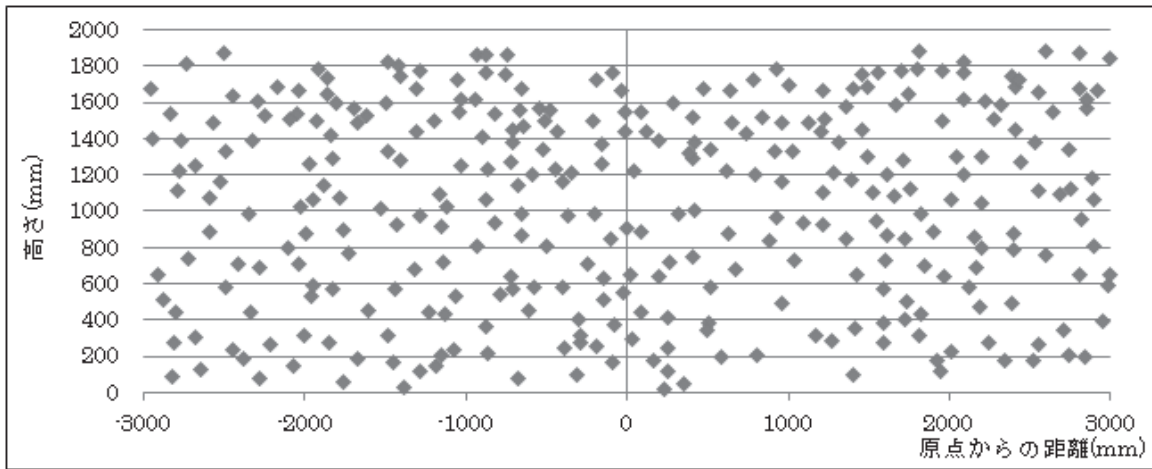


図2 群落側面画像上のキュウリ葉中心点の二次元座標分布

積は小さく、高さ 80cm より上位の層別葉面積はほぼ一定となった。群落上位部の層別葉面積が小さくなっているのは、葉数が少なく、かつ展開途中の小さな葉が含まれるためである。

3.4 葉角度の垂直分布

作物個体を構成する葉身の角度は、単位葉面積当たりの受光エネルギー量、群落内部へ透過する光量、個葉間・個体間の相互遮蔽などに関係する形態的特徴であり、群落の生産性に深く関わる要因として、農学分野では重要視されてきた。本実験は、キュウリ群落の葉配置から受光態勢を推定し、群落物質生産性を評価する研究の側面もあることから、葉角度についても計測を行うこととした。

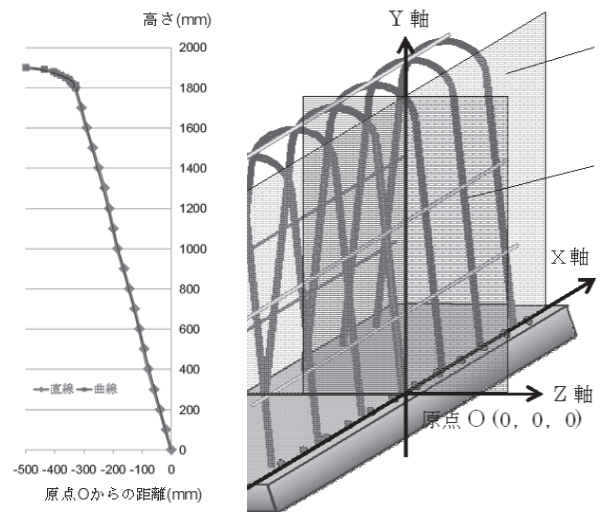


図3 葉配置の三次元座標への変換

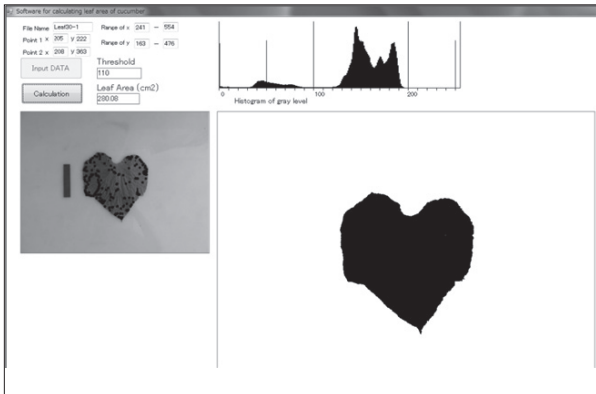


図4 個葉葉面積算出ソフトウェア

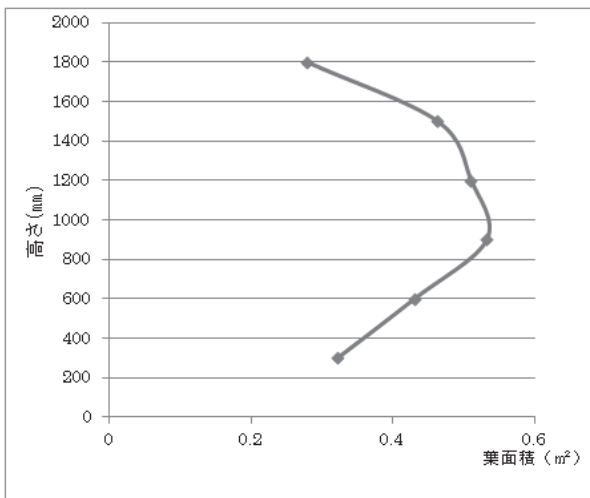


図5 列方向 300cm の区画に存在する層別合計葉面積の垂直分布

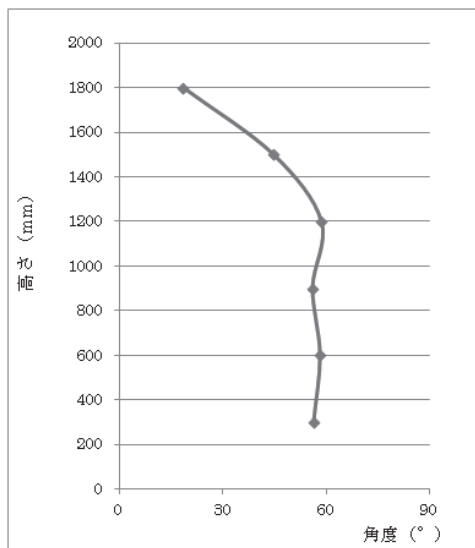


図6 葉角度(水平面に対する俯角)の垂直分布

垂直方向 30cm 毎の各層に存在する標準的な葉について、水準器を用いて、水平面に対する個葉の俯角を実測した。計測した各層 8 枚の葉の平均

値を、図 6 に示す。上位部の葉ほど水平に近く、群落下位部の葉は大きく傾いていた。

3.5 3DCG による群落葉配置の描画と群落内光強度との関係

算出した個葉の三次元座標と、個葉葉面積・葉角度の垂直分布をもとに、3DCG 作成ソフトウェア“Shade” (e-frontier) を用いて、計測したキュウリ群落の葉配置を描画した (図 7)。計測した 1 列の葉配置を描画し、それをコピーして 4 列を描いている (葉は常に畝の外側に向くように配置)。描いているのは、列の中央部 4 個体分の区画である。計測開始前に、対象とした群落を多方向から撮影していたが、それらの写真と比較して、実際の群落の状態が精度良く再現されていることを確認した。

前述の様に、群落葉配置は群落内光状態と密接な関係があることが知られている。本実験では、計測のために 3 列のキュウリ群落を除去する直前に、群落内光状態を計測した。計測にはロング光量子計 (LP-80AccuPAR セプトメーター、直線状に 80 個の光量子束密度センサーを有する計測部と、外部の光量子束密度を計測するセンサー部、および測定値を表示するデータロガー部から構成される) を用い、群落外部の光量子束密度を 100% とした群落内の光合成有効光量子束密度の相対値の分布を実測した。南北に並ぶ 4 列のうち、中央 2 列の間の空間について、垂直方向 10cm の高さ毎に行き、それぞれの高さでは列間を 5 等分した位置 (水平方向 30cm 間隔) のデータを得た。計測値 (高さ毎に 5 箇所の平均値) の垂直分布を図 8 右図に示す。葉が疎らに存在し、かつ個葉葉面積も小さい高さ 160cm 以上の層では、外部とほぼ同程度の光強度であったが、160cm 以下から 40cm までの間では光減衰の程度が大きいことが

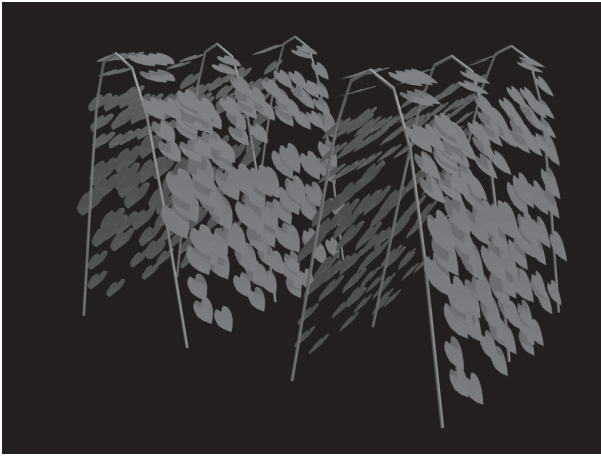
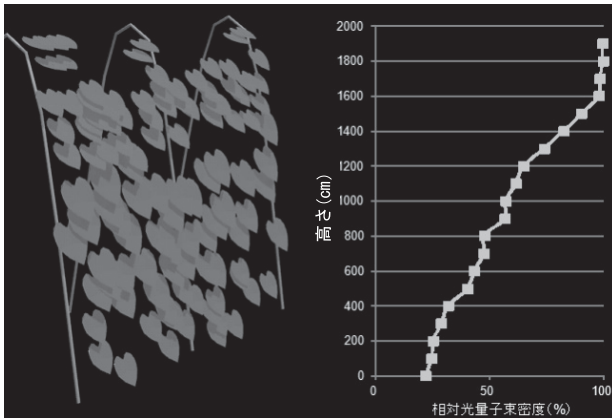


図7 3DCG で描画したキュウリ群落

図8 群落内相対光量子束密度
(外部を100%とした)の垂直分布

示された。その範囲の高さにおいては、葉が水平面から大きく傾いているにもかかわらず(図6)、高い葉面積によって多くの光が遮蔽されていることが推察された。

4. 考察

本実験では、従来の三次元計測法では葉配置の把握が困難であった比較的大型のキュウリ群落について、群落側面写真から個葉の三次元座標を取得する手法、画像解析法による個葉葉面積算出法、および葉角度の実測値を組み合わせて、群落葉配置の計測を行った。その結果を3DCGで描画し、精度良くキュウリ群落の構造が再現できていることを確認した。本実験の手法は、垂直方向に高く誘引してい

る作物や、匍匐茎で水平方向に広がっているような作物にも適用できると考える。

本実験で得られたキュウリ群落の三次元葉配置は、本研究室で開発中の“受光量シミュレータ”及び“バーチャルフィールド”の基礎データとして活用する予定である。“受光量シミュレータ”は、栽培技術を学ぶ学生・生徒に、作物の形(群落葉配置)と太陽光の利用効率(群落内部への直達光・散乱光の透過状態)を理解させるために有効な教材用ソフトウェアである。また、“バーチャルフィールド”[7]は、計算上で作られた仮想空間で生育する畑・花壇であり、時間軸を含めた四次元植物観察や仮想実験を可能とするシステムである。これまで、これらのシステムに組み込んだ作物構造データは、三次元デジタイザ法で計測できる比較的小型の作物のみであったが、本実験で開発した手法を用いることで、大型の作物についても、これらの栽培教育用システムに適用することが可能となった。

今後は、本実験で得られたキュウリ群落葉配置モデルを上記のシステムに適用するとともに、他の大型の作物群落の葉配置計測にも取り組み、多様な作物の形態と太陽光利用効率の関係を学生・生徒にわかりやすく理解させることのできる、新たな栽培教育ツールの開発に繋げていく予定である。

5. 謝辞

本研究は、科学研究費(基盤研究(C):No.21500864及びNo.24501088)対象研究の一部として行いました。

6. 引用文献

- [1] Oka M., M. Yamauchi: Development of the virtual paddy field system for researching a light-interception efficiency of a rice plant, Proc. of WCCA2006, pp.341-345 (2006)

- [2] 岡 正明: トマト葉配置モデルを用いた群落内直達光・散乱光分布の計算, 園芸学研究, Vol.8(別2), p.462 (2009)
- [3] 岡 正明: 個体葉配置の特徴をもとにトマト群落受講状態を推定する対話式ソフトウェアの作成, 園芸学研究, Vol.9(別2), p.449 (2010)
- [4] 伊藤綾子, 宇田川武俊, 内嶋善兵衛: 作物群落の計量植物学的研究 第2報 品種・生育段階による水稻の群落構造の変化, 日作紀, vol. 42, pp.334-342 (1973)
- [5] Suzuki K., Z. Zheng, Y. Tamura, Y. Hirata: Analysis of the rice plant-type by using P-type fourier descriptors, Proc. of BioAsia2007, pp.88-91 (2007)
- [6] Oka M., T. Ogawa: Measurement and evaluation of rice plant type by means of an image analysis method and 3-D digitizer, Proc. of WRRC2004, pp.148-150 (2005)
- [7] Oka M.: Development of the virtual tomato field system for researching light-intercepting efficiency of tomato canopy, Abstracts of IHC2010/Volume1, p.260 (2010)