

画像解析法を用いたコーヒー樹の葉配置表示

岡 正明

宮城教育大学教育学部技術教育講座

作物個体の葉配置は、圃場の受光態勢や収量性に直結する重要な特徴である。作物栽培の技術を学習する中学校・技術においても、生徒に作物の葉量・葉配置の重要性を認識させることが必要であり、筆者は本学にて、三次元デジタイザを用いて取得した教材作物の葉配置データを利用した授業を行っている。本報告では、デジタイザ計測が困難な大型の果樹（コーヒー樹）について、画像解析法により葉量・葉配置の計測を試みた結果を紹介する。コーヒー樹は明確な隔年結果を示し、前年の葉量が翌年の果実量と強く関係することから、葉量の把握が特に重要な作物である。

キーワード：画像解析，コーヒー樹，葉配置，3Dグラフィクス，栽培教育

1. はじめに

作物個体が有する葉量や葉配置は、圃場の受光態勢や収量性に結びつく重要な要因である。個体の葉量は、作物・品種の遺伝的特性、土壌に含まれる地力窒素量、栽培場所の気温・日射強度、生育期間中の施肥量など、多くの要因によって支配され、最適な葉量を実現するために、栽培現場の状況に合致した栽植間隔や管理方法を選択することが重要となる。本研究室では、これまで磁力線式三次元デジタイザ（米国 Polhemus 社、Isotrak II）を用いて、イネなどの個体葉配置を計測し、作物群落の受光効率を推定する手法の開発を進めてきた [1]。これらの成果は、本学での栽培教育にも活用しており、特に、作物栽培技術を学習する中学校・技術教育専攻の学生対象の授業では、実測した三次元葉配置をもとにコンピュータ上で構築したバーチャル畑・水田を用いて、栽培技術の重要性を教えている。

三次元デジタイザ法は、物体の立体構造を精密に計測する場合に有効な手法であるが、計測範囲が狭いという欠点もあり、果樹のような大型の作物を計測することは困難である。精密な三次元計

測ができるデジタイザ法に対し、簡便に物体形状の特徴を捉えることのできる手法として、画像解析法がある。本研究室でも、作物形状の特徴抽出に画像解析法を適用しており、イネ [1] やトマト [2] の形状比較を行っている。画像解析法は、対象物の二次元形状を解析・計測するものであるが、大型作物にも適用可能で、短時間で多数個体の計測ができる利点がある。

本実験では、大型の果樹であるコーヒー樹について、画像解析法による葉量・葉配置の計測、及び計測結果の表示を試みた。対象としたコーヒー樹（アラビカ種）は明確な隔年結果を示し、前年の葉量が翌年の果実量と強く関係することから、葉量の把握が特に重要な作物である。また、前年の結果過多や水分ストレスなどによって受精が大きな影響を受ける。同一個体でも樹体の葉量・葉配置が年によって大きく変化し、隣接した個体であっても葉量が大きく異なることは珍しくない。その年の個体葉量が、翌年の豊作を目指す剪定や切り戻しなどの重要な判断基準となるため、各個体が示す毎年の葉量が、生育診断や栽培管理上の重要なデータとなる。

2. 材料及び方法

米国ハワイ島のコーヒー農園で栽培されているコーヒー樹を計測対象とした。工芸作物としてのコーヒーには数種が知られているが、計測対象としたのはアラビカ種である。生育適温は20～25℃であり[3]、実験場所であるハワイ島の山脈西側傾斜にあるコナ地方で生産されるコーヒー豆は、高級なコナ・コーヒーとして有名である[4]。

実験は、2002年12月2～4日に行った。傾斜地にある広大な農場に植えられているコーヒー樹の中から、やや小型で葉量が比較的少ない個体Aと、大型で葉が生い茂っている個体Bを選び、計測に用いた。図1に、供試2個体の写真を示す。コーヒー樹の近くに置いてある白い2つの球は、カメラ用三脚とそこから垂らした長さ80cmのひもの先に取り付けた球であり、被写体の基準長として、また画像の垂直線に対する角度を記録するために、撮り込んでいる。これらのコーヒー樹について、正面（通路側）と左45°、右45°の角度から、個体側面写真を撮影した。撮影にはズーム付きのデジタルカメラを用いたが、広角レンズによる画像周囲のゆがみを避けるため、なるべく離れた位置からの撮影を行った。

取得した画像には、背景や隣接個体も写り込んでいるので、対象個体のみを残す画像処理を行った。これまでの経験から、緑色の植物と背景とを識別する際、RGBのうち、青色単色画像による二値化処理が有効であることがわかっており、空や地面部分の除去にはこの手法を用いた。しかし、同色の隣接個体の葉の除去にはこの手法は適用できなかったため、Adobe Photoshop6.0に読み込み、ペン機能で不必要な部分を白く塗りつぶした。この際、太い幹の部分は消し、細い枝は処理が難しかったので消去しなかった。個体A・個体Bについて、葉を中心とする植物体部分のみを抜き出した画像が図2である。

これらの画像を二値化処理し、葉量の垂直分布・水平分布を計算するため、図3のソフトウェアを作成した。このソフトウェアでは、白い背景と植



図1 計測に用いたコーヒー樹
左図：個体A 右図：個体B



図2 植物体部分のみを抜き出した画像

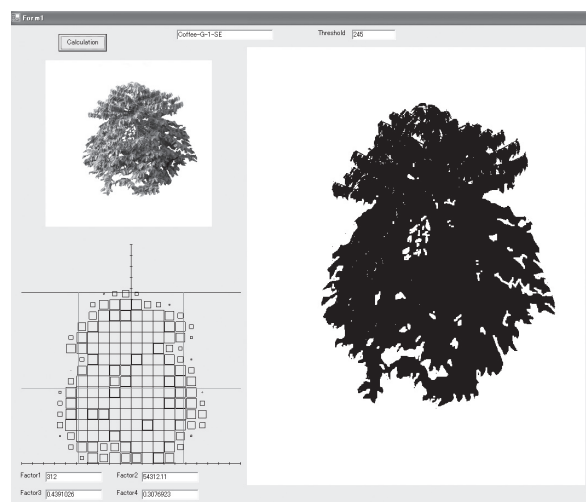


図3 コーヒー樹の葉密度分布を求めるソフトウェア
左上図：入力画像 右図：二値化画像
左下図：10cm四方に区切った区画内の植物体密度分布

物体部分を明度の閾値により判別し、元画像（左上図）と二値化画像（右図）を表示させる。その際、二値化処理が不正確であると判断されれば、閾値を調節して再度実行する。次に、あらかじめ入力しておいた株元の位置と基準長をもとに、株元から水平方向・垂直方向 10cm 毎に区切った区画内の植物体密度（区画面積に対する植物体部分の面積の割合）を算出・表示する（左下図では、各区画の正方形の大きさで表示）とともに、数値をファイルに書き出す。また、このソフトウェアでは、植物体密度分布の特徴を表す数値要因として、植物体面積が上下等しくなる高さ（左下図の水平線で表示）と、植物体面積の 90% が含まれる株中央線からの位置（同図の垂直線で表示）、および画像上の植物体部分の総面積も計算している。

このソフトウェアで算出された植物体密度分布をもとに、2 個体の比較を行った。

3. 結果および考察

上記のソフトウェアを用いて、個体 A と個体 B を撮影した正面・左 45°・右 45° の画像についての計算を行った。コーヒー樹は左右対称の形状ではないので、1 枚の画像を、株中央に引いた垂直線で左右に分け、2 つの画像（半面）からそれぞれの密度分布を算出した。植物体密度分布の一例を、図 4 に示す。個体 A・B について、それぞれ 6 つの密度分布（半面）が得られるが、それらを平均することにより、各個体の平均植物体密度分布を求めた。

植物体密度分布は、図 4 の数値表で示すこともできるが、より視覚的に認識しやすいように三次元グラフィックソフト“Shade Personal R5”を使用して、立体図を描いた。図 4 のような平均植物体密度分布を示す数値表について、高さ 10cm の層毎に、株中央線から外側へ植物体密度を積算していき、その高さにおける全区画の密度総和に対する積算値が 80% および 95% になる位置（個体中央線からの距離）を求めた。各小区画内では、水平方向に密度が直線的に減少するとして、

計算を行った。植物体密度が存在する全ての高さについて、同様の計算を行い、得られた点を結んだ 2 本の折れ線グラフを求め、Shade を用いて回転体として描いたものが図 5 である。内側が植物体密度 80% の範囲を、外側の半透明な回転体が 95% の範囲を表している。下部の小さな三角錐は、株元の位置を示している。

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.15	0.14	0.17	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.70	0.72	0.53	0.19	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.98	0.97	0.84	0.56	0.28	0.13	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0
0.98	0.98	0.88	0.77	0.62	0.44	0.14	0.02	0	0	0	0	0	0	0
0.93	0.97	0.94	0.88	0.77	0.64	0.43	0.18	0.05	0	0	0	0	0	0
0.97	0.96	0.87	0.88	0.79	0.70	0.56	0.30	0.12	0	0	0	0	0	0
0.95	0.97	0.87	0.98	0.93	0.90	0.56	0.26	0.08	0	0	0	0	0	0
0.91	0.92	0.91	0.95	0.97	0.77	0.50	0.32	0.05	0	0	0	0	0	0
0.89	1.00	0.93	0.95	0.99	0.74	0.37	0.33	0.24	0.03	0	0	0	0	0
0.97	0.89	0.95	0.93	0.86	0.95	0.70	0.36	0.28	0.13	0	0	0	0	0
0.97	0.93	0.91	0.83	0.72	0.74	0.71	0.57	0.28	0.14	0.01	0	0	0	0
0.95	0.91	0.87	0.76	0.70	0.64	0.59	0.57	0.37	0.17	0.05	0	0	0	0
0.90	0.82	0.80	0.82	0.44	0.54	0.62	0.32	0.17	0.11	0.07	0	0	0	0
0.89	0.77	0.64	0.76	0.58	0.46	0.28	0.33	0.13	0.04	0.00	0	0	0	0
0.46	0.48	0.53	0.52	0.26	0.34	0.16	0.27	0.19	0	0	0	0	0	0
0.04	0.16	0.23	0.37	0.21	0.39	0.21	0.15	0.11	0	0	0	0	0	0
0	0.00	0.05	0.08	0.12	0.18	0.14	0.06	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0.09	0.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

図 4 植物体密度分布の算出結果の例
数字は、10 × 10cm の区画の
植物体密度 (0.00 ~ 1.00) を示す
Y 軸が株の中央線である



図 5 回転体で表示したコーヒー樹の植物体密度分布
上図：個体 A 下図：個体 B
下部の赤い三角錐は株元の位置を表す

本実験の手法で得た植物体密度分布は、前述のように太い幹は除いているので、個体の有する葉の密度分布とほぼ一致している。供試2個体の葉量や葉配置は、撮影した個体写真からもある程度比較できるが、本手法のように数方向からの画像を数値的に平均し、三次元グラフィクスとして表示することで、より詳細な比較が可能となる。また、前述のようにコーヒー農場では、毎年の各個体の葉量データを記録・蓄積しておくことが栽培管理上、非常に重要な作業であるが、本手法は、そのような場面に適用することも可能である。実用的な技術として栽培現場に取り入れられるためには、より使いやすいシステムに作り上げる必要があり、現在、背景除去の簡便化など、ソフトウェアの改良を進めている。

画像解析法は、迅速かつ簡便に植物形の特徴や葉量・葉配置を算出できる有用なツールである。ただし、葉と細い枝などを明確に区別した計測は困難であり、内部の隠れた葉も認識できない。植物体の立体構造を正確に計測する場合は三次元デジタイザなどの利用、多数の植物体形状の特徴を大まかに把握するには画像解析法と、目的により手法を使い分ける必要がある。

2008年3月に公表された新しい学習指導要領において、中学校・技術の「生物育成」が必修化された。従来の「栽培」と比較し、実習対象が動物・魚類など多様な生物に範囲は広がったが、多くの中学校では従来の作物栽培が実施されると予想される。その際、単に作物栽培を体験するだけでなく、作物の生長量を数値的に把握し、施した栽培技術（育苗・施肥・灌水・整枝・誘引等々の多くの技術）と作物生育量との関係を、また作物の葉量・葉配置（生育不良か、過繁茂か）と群落光合成・生産性との関係を、科学的に考えさせることが重要である。一般的なデジタルカメラとパソコンがあれば実行可能な画像解析法は、中学校現場におけるこれからの栽培教育ツールとして有用であると考えている。

4. 謝辞

本研究は、2002年度・2003年度農水省受託研究「データベース・モデル協調システムの開発」の一部として行ったものです。また、供試したコーヒー樹は、UCC上島珈琲(株)ハワイ島・コーヒー農園の個体を使わせていただきました。

5. 引用文献

- [1] Oka, M. and T. Ogawa : Measurement and evaluation of rice plant type by means of an image analysis method and 3-D digitizer, Proc. of WRRC04, pp.148-150(2005).
- [2] 岡正明・菊池信孝：画像解析法によるトマト2品種の植物形の比較, 日作紀 76(別 1), pp.344-345(2007).
- [3] 山口禎：コーヒー生産の科学 第5章 コーヒーの生育と環境①, 食品工業, 2000年5月30日号, pp.65-74(2000).
- [4] 広瀬幸夫・星田宏司著：コーヒー学講義, pp.45-54, 人間の科学社(2002).