

## 微速度撮影した肥大過程のメロン果実形状変化の特徴抽出

岡 正明<sup>1</sup>, 吉岡 伸<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 宮城教育大学 技術教育講座, <sup>2</sup> 宮城教育大学 技術教育専攻

温室にて栽培したメロンについて、肥大過程の果実を約 50 日間にわたり微速度撮影した。果実の面積（画像上の面積）や形状を簡便に計算することのできるソフトウェアを作成し、取得した画像を用いて果実形状変化の特徴を解析した。メロン果実は、人工受粉後 40 日程度の期間、急激に肥大するものの、その後は肥大が緩慢になること、また肥大初期の縦長の果実形から、次第に横幅の広い楕円形に変化していくことも、把握できた。このソフトウェアを利用することにより、学校現場でも、作物生長の特徴や、気温などの環境要因と果実肥大の関係解析を容易に行うことができるようになると考えられた。

キーワード：栽培教育、微速度撮影、画像計測、メロン、果実形状

### 1. はじめに

多くの小中学校では、各教科や総合的な学習の時間などで、多様な作物を教材とする栽培学習が行われている。作物を栽培する過程で、生徒は単に栽培技術を習得するだけでなく、作物の生長を詳細に観察し、作物の形態的・生理的特徴を理解して、作物がより良い生育状態になるよう、栽培管理をすることが求められる。また、気温や光、肥料、土壌水分などと作物生育との関係を定量的に解析するためには、栽培している作物の計測を行うことが必要となる。小学校では、生育状態の重要な指標である草丈を物差しで計る、また作物体内の水分状態や肥料条件・光合成活性などと直結する葉の角度を分度器を用いて計測する、などの手法が行われる。さらに、葉の長さ・幅から葉面積を推定したり、サンプリングした作物の重量（新鮮重や乾物重）を計測する場合もある。

筆者らの研究室では、これまで新しい手法や機器を用いた作物形状計測法を開発してきた。画像解析法を用いたイネの葉形 [1] や植物形 [2]、トマト植物形 [3] の特徴抽出、また磁力線式三次元デジタルによるイネ [4] やトマト [5] などの植物形立体構造の解析などは、その一例である。

本研究では、メロン果実の肥大過程における形状変化を計測するために、果実を撮影した画像か

ら果実形の特徴を簡便に解析できるソフトウェアを作成した。現在、安価なデジタルカメラが普及しており、学校現場でも作物生育を記録するために頻繁に使用されている。筆者らも作物の生長を記録した画像・動画の教材化について、検討を続けている [6] [7]。デジタルカメラの機種によっては、一定間隔で撮影する微速度撮影が可能な機種もあり、最近ではそのような撮影を屋外でも行うことのできる安価な専用機器も発売されている。本論文では、微速度撮影で取得した肥大過程におけるメロン果実の画像をもとに、その形状変化を解析した結果について、報告する。

### 2. メロンの栽培過程と果実肥大画像の取得

実験には、緑肉ネットメロン（品種：パンナ TF、タキイ種苗）を用いた。平成 23 年 6 月 3 日に育苗用培土を入れた 3.5 号ビニールポットに播種し、発芽までは植物育成用恒温器で、発芽後はガラス温室で育苗を行った。本葉が 3 枚展開した段階で、野菜用粒状培土と 5-7-3 化成肥料 30g を入れた 1/2000a ワグネルポットに苗を植え付けた。以降、ネットメロンの一般的な栽培法に従って、摘芽・摘しん・摘葉・誘引を行いながら栽培を続けた。8 月初旬から開花が始まり、雌雄同株雌雄異花であるメロンの雄花を摘み取り、

その雄しべを雌花に擦りつける人工受粉を行った。結実した果実のうち、11～15節に着生しており生育良好であるものを選抜し、他の果実を摘果して1株1果のみを残した。果実の肥大と果実表面のネット形成を促すため、土壌水分計(サーモ902、アイシー)・葉色計(SPAD II、ユニカミノルタ)を用いて、適正な土壌水分と肥料条件を維持した。収穫適期は、果実の熟度を評価するための自作カラスケール(緑～黄色の7段階の色見本)を用いて判定した。このスケールの評価値と果肉の糖度は、高い正の相関があることを確認している(未発表)。

栽培を行った10株のうち、標準的な1株に着生する1果について、受粉後14日目の8月24日から収穫期の10月7日まで、果実の側面画像を1時間に1枚取得する微速度撮影を行った。撮影には、GardenWatchCam(Brinno社)を用いた。この機器は、1.3メガピクセルのCMOSカメラを搭載しており、明瞭な画質で1分から24時間までの設定間隔で微速度撮影を行うことができる。防水機能もあり、暗くなると自動で撮影を休止する設定も可能で、撮影画像は内蔵USBメモリに記録されるなど、植物生長の画像記録に適した機器である。この機器を果実から約30cm離れた位置に設置し(図1)、大きさの基準となる10cmのマーカーとともに撮影した(図2)。

紐で吊り下げた果実が重量増加に伴って位置が下がってくることが予想されたので、初期の画像は果実周囲に十分な余白を取るよう、注意した。また、画像を用いた計測の誤差を無くすため、カ



図1 果実側面に設置した GardenWatchCam



図2 メロン果実の肥大過程を撮影した画像  
(左側の黒棒:基準長10cmのマーカー)

上図:受粉19日後

中図:受粉24日後

下図:受粉54日後

メラが水平に設置できていることを、水準器を用いて確認した。

### 3. 果実形状解析ソフトウェアの作成

取得した果実画像をもとに、果実形状の特徴を計算するためのソフトウェアを作成した(図3)(Visual Basic2010)。画像から対象物の計測を行う場合、画像を直接入力データとする画像解析法を用いる場合が多いが、緑色の果実と背景の葉の

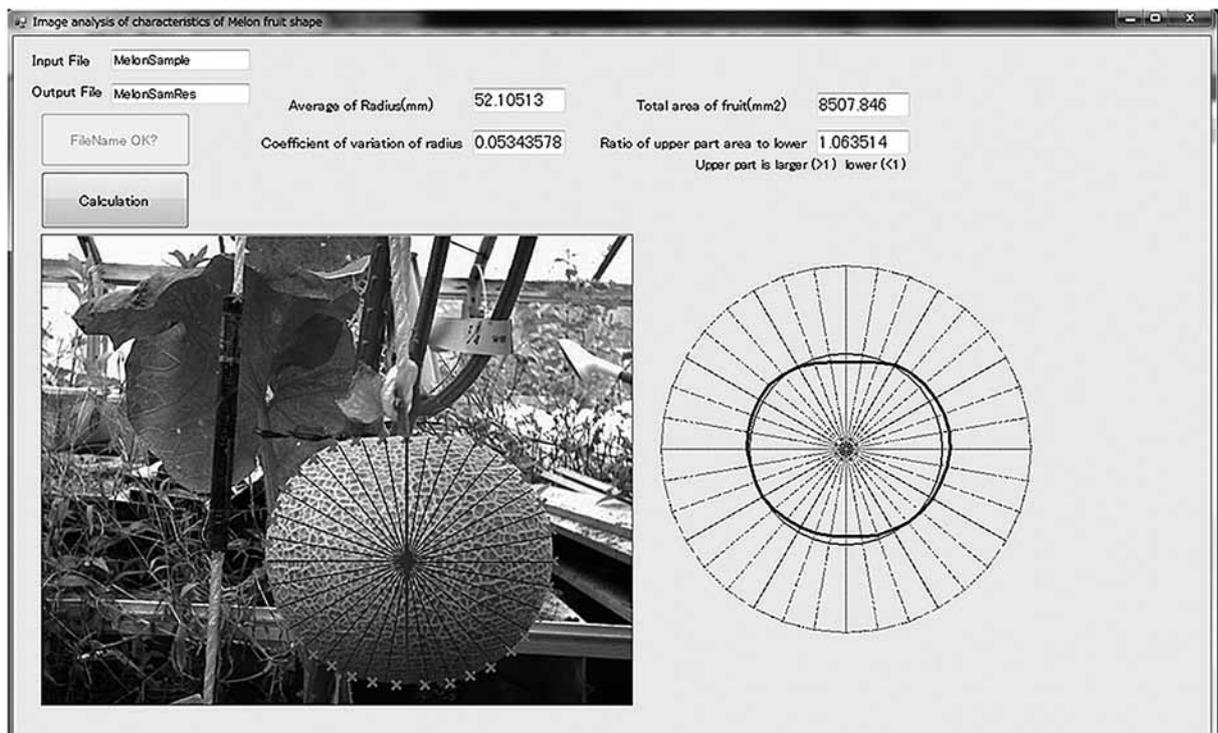


図 3 果実形状解析ソフトウェアの実行画面

識別が困難であったため、マウスによる入力操作を採用することとした。ソフトウェアは、以下の手順で実行する。

(1) 画像ファイル名と計算結果を書き出すファイル名を入力し、[FileName OK?] のボタンを押す。

(2) PictureBox に入力画像が表示されるので、基準長 (10cm) となるマーカーの両端 2 点を、マウスでクリックする。クリックした点の位置には、赤字の×が表示される。

(3) 果実輪郭をマウスでクリックする。最初の点を果柄の位置とし、右回りに最初の点の手前までクリックしていく。測定点の個数は任意であるが、隣接する点を直線で結んで計算するため、20 以上が望ましい。最後に [Calculation] のボタンを押す。

以降、次の計算が実行される。

(1) マウスでクリックした点の画像上の二次元座標は、ファイルに一時保存されている。

(2) 輪郭線上の隣り合った計測点を直線で結び、その間を 100 等分した座標を求める。マウスで指定した果実輪郭上の測定点を  $n$  個とすると、 $n$

$\times 100$  個の点の座標が算出される。

(3) 輪郭上で最初に指定した果柄位置から垂線を下ろし、輪郭下端と交わった点を求め、それらの中点を果実の中心点とする。

(4) 中心点と果柄位置とを結ぶ直線の角度を  $0^\circ$  として、右回り  $10^\circ$  毎に 36 個の点を算出する。(  $n \times 100$  個の点から、それぞれの角度に最も近い点を選ぶ。)

(5) 中心点と算出した 36 個の点を結んだ直線の長さを求め、 $10^\circ$  毎の半径とする。基準長 10cm のマーカーの両端 2 点間の画像上の距離 (画素数) を計算し、36 個の半径を実際の長さに換算する。半径の平均と変動係数を、画面上に表示する。また、36 個の半径の値を、出力用ファイルに書き出す。

(6) 輪郭線上の隣接する 2 点と中心点からなる 36 個の小三角形の面積を、ヘロンの公式で求める。それらの総和が、果実の面積 (二次元画像上の面積) である。

(7) 中心点を基準として果実を上・下に二分し、それぞれの面積を算出して、その比率を求める。(1 以上であれば下部と比較し上部面積の方が大

きく、1以下であればその逆である。) 果実の面積と、上部・下部の面積比率を、画面上に表示する。(8) 計測が正常に行われたか否かを確認するため、計算された36個の半径をもとに描いた果実形を、PictureBoxの右側に表示させる。

#### 4. 肥大に伴う果実形状変化の特徴

図4に受粉後日数と果実面積の関係を示す。果実は撮影を始めた受粉14日後から急速に肥大するが、次第にその速度は緩やかとなり、40日後以降は穏やかな変化となる。外観的には、その時期以降に果皮の黄化が認められるようになり、果肉糖度が増加するなど熟度が進行する時期であると推察される。また、ネットメロンの特徴である果皮の網目状模様は、受粉後24日から34日頃に形成された。果皮の模様は、表皮の亀裂が癒合する際に、亀裂を癒合組織が埋めることによって生じるものである[8]が、模様の形成が果実肥大が盛んな時期と重なることが確認できた。

果柄位置を0°とし、右回り10°毎に計算した半径の変化を、図5に示した。図4の果実面積の変化と同様、それぞれの角度における半径も受粉39日後までは急激な増加が見られ、それ以降は増加速度が小さくなった。

図6は、図5から受粉後14日・24日・54日のデータを取り出し、それぞれの日の半径の平均を求め、その平均値に対する各角度の半径の比を示したものである。受粉後14日は、0°付近と200°付近の値が大きくなっており、果実がやや縦長の楕円になっていることがわかる。果実肥大が進むにつれ、0°・180°付近の値は小さくなり、逆に90°・270°付近の値が大きくなる。このような解析から、肥大期初期には縦長であった果実が、次第に横幅の広い楕円に変形していくことが数値的に把握できた。

#### 5. 考察

本研究では、果実形を解析するソフトウェアを

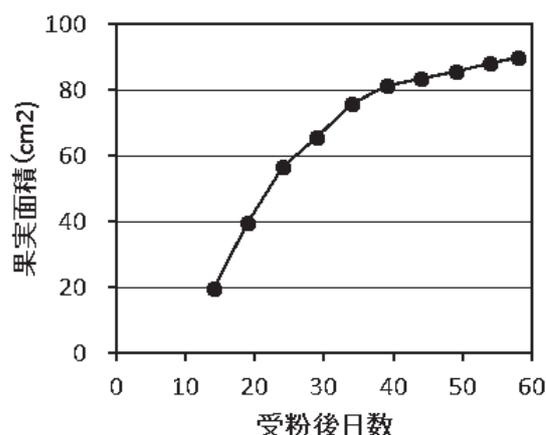


図4 受粉後日数の経過に伴う果実面積の増加

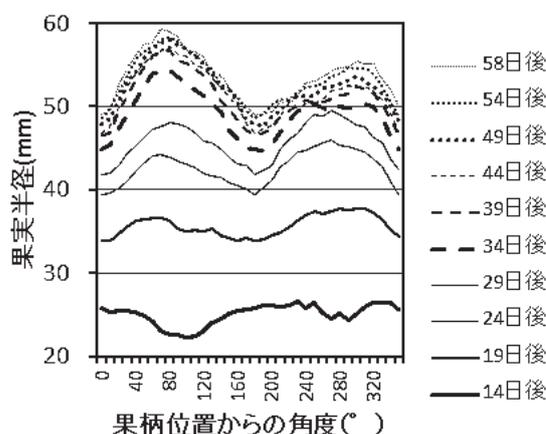


図5 受粉後日数の経過に伴う各角度における半径の変化

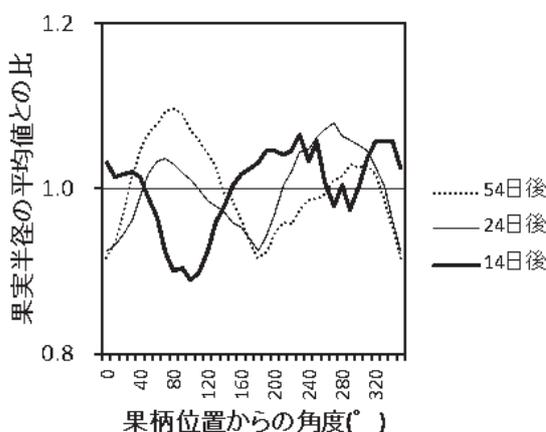


図6 受粉14日・24日・54日後の各角度における半径の変化 (それぞれの半径平均との比で表示)

作成し、肥大過程におけるメロン果実の形態的变化を解析した。半径や面積を算出することにより、果実が急激に肥大する時期とその速度が緩慢になる時期に分けられること、果実形が縦長から横幅の広い楕円に変形していくこと、などが、認められた。

このソフトウェアは、内側に大きな凹みのない楕円形の対象物に適用することができる。例えば、米の粒形には多様な変異があるが[9]、基準長を撮し込んだマクロ撮影の画像が得られれば、籾・玄米の大きさや縦横比の比較も、容易に行うことができる。また、その他の作物の種子形・葉形・花卉形・果実形などにも適用可能である。使用者は、プログラミングを意識することなく画面上の入力とマウス操作だけで、手軽に計測を行うことができる。

栽培学習を行う多くの小中学校では、作物の生長記録にデジタルカメラを使用しており、多くの画像が残されているであろう。過去の画像も含め、異なる年度・地域・生育段階における作物形の定量的な比較を行うことにより、学校現場でも、作物形状の特徴や、気温などの環境要因と作物生育との関係解析を容易に行うことができるようになると考えられる。また、Web上に情報を発信できるネットワークカメラを用いれば、遠隔地で栽培されている作物のリアルタイム計測も可能である[10]。

本実験では、GardenWatchCamという微速度撮影専用の機器を用いたが、最近では5000円程度で同様の機能が備わった撮影機器（例えば、インターバルレコーダー「レコロ」：KingJim）なども販売されており、また一般的な小型デジタルカメラの中にも微速度撮影の機能が備わっているものがある。同じ作物体や作物器官を長期間連続撮影することにより、本実験で計測したメロン果実のように、通常では気づかない小さな形状変化も数値的に把握することが可能となる。

著者らの研究室では、これまで植物形状を計測するためのソフトウェアを、多数報告してきた。作物の観察は、学校現場でも、また農家でも、視

覚的・感覚的に行われることが多いが、小中学生でも容易に使用できるソフトウェアを用いて作物生育状態を定量的に解析することにより、作物栽培に対するより科学的な理解が進むと思われる。学校現場の先生方には、当研究室で作成したものを含む多様な作物計測ソフトウェアを積極的に導入し、子ども達の科学的な思考力を向上させていただくことを期待している。

## 6. 謝辞

本研究は、科学研究費補助金（基盤研究(C) No.21500864）対象研究の一部として、実施しました。

## 7. 引用文献

- [1] Oka and Taira: Comparison of the flag leaf shapes between F1 lines and their parental varieties for a hybrid rice breeding, Proc. of 10<sup>th</sup> International Congress of SABRAO, G19, pp. 1-2 (2006).
- [2] Oka and Hinata: An application of computer image analysis for characterization of plant type in rice cultivars, Japan. J. Breed., 38, pp.449-458 (1988).
- [3] 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).
- [4] Oka and Ogawa: Measurement and evaluation of rice plant type by means of an image analysis method and 3D digitizer, Proc. of WRRC04, pp. 148-150 (2005).
- [5] Oka and Yagi: Measurement of spatial leaf distribution by using 3D digitizer and evaluation of light receiving efficiency of tomato plant, Proc. of the Frutic05, No. 78, pp. 1-7 (2005).

- [6] 岡 正明, 雁部朱美, 佐藤牧子: 小中学校における栽培学習のための植物生長動画の収集, 日本産業技術教育学会第 53 回全国大会講演要旨集, p. 173 (2010).
- [7] 岡 正明, 雁部朱美: 種子発芽動画を用いた e ラーニング教材の作成, 宮城教育大学情報処理センター研究紀要, 18, pp. 35-40 (2011).
- [8] 鈴木芳夫編著: 野菜栽培の基礎知識, 農文協, p. 152 (1996).
- [9] 岡 正明, 倉田一平, 赤井澤研: えるふえ貸出教材としてのイネ籾・玄米見本の作成と形態的多様性, 宮城教育大学環境教育研究紀要, 12, pp. 29-32 (2010).
- [10] 岡 正明, 小野寺俊一: ネットワークカメラを用いたトマト生育状況の把握, 園芸学研究, 6 (別 2), p. 551 (2007).