

# マイクロ・コンピュータで三次元表現した3種のウリ科野菜の 維管束走向モデル

誌名	園藝學會雜誌
ISSN	00137626
著者	益子, 亜紀 古在, 豊樹 金浜, 耕基
巻/号	58巻3号
掲載ページ	p. 685-690
発行年月	1989年12月

## マイクロ・コンピュータで三次元表現した 3種のウリ科野菜の維管束走向モデル

益子亜紀<sup>1</sup>・古在豊樹<sup>1</sup>・金浜耕基<sup>2</sup>

<sup>1</sup>千葉大学園芸学部 271 松戸市松戸

<sup>2</sup>山形大学農学部 997 鶴岡市若葉町

### Three-Dimensional Vascular System Model of *Cucurbitaceae* Plants on a Color Video Display Unit of a Micro-Computer

Aki MASUKO<sup>1</sup>, Toyoki KOZAI<sup>1</sup> and Koki KANAHAMA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Horticulture, Chiba University, Matsudo 271

<sup>2</sup>Faculty of Agriculture, Yamagata University, Tsuruoka 997

#### Summary

The three-dimensional vascular system of melon plants was drawn on the video color display screen or the color graphic printer by using the software which we developed (Kozai *et al.*, 1989).

The vascular system can be drawn in various ways perspectively by rotation around the x-, y-, z- and arbitrary axes., by scaling, deformation, clipping and hidden-line elimination etc. For examples, the vascular systems of bottle gourd and cucumber plants were drawn using the software.

Each part of the vascular system can be drawn alone and in combination with each other plant.

#### 緒 言

ウリ科野菜の葉、莖、花ないし果実の形態に多くの変異がみられ、それらは属、種ないし品種の違いとして識別される。それはウリ科野菜の形態に関して色々と認識される要素、言い換えれば「個の形態特性を支配している要素」(9)を識別しているからといえる。

すなわち、ウリ科野菜の各器官にみられる「さまざまな形態の中に、ある規則にしたがった秩序」(9)があり、その秩序を基準としてみると、属、種ないし品種を単位としての共通性が認められる。その共通性とは、属、種ないし品種の間の「理想化した姿」(3)であるともいえる。

生物の形が何らかの規則性に従った相同性が認められる場合には、座標変換など、ある種のパラメータを変えることによって相互の関係が表現されるといわれている(1)。座標変換による相同性は手書きでも表現できるが、それには多くの時間と労力が必要となる。一方、コ

ンピュータ・グラフィックを利用すると、基本となるモデルを一度作成すれば、比較的容易に、かつ多面的に表現することができる。植物の形の場合も同様である。

たとえば、基本モデルに対して、三次元の三つの座標(x軸、y軸、z軸または任意の軸)を中心とする回転処理による任意の角度からの観察図形や、スケーリング処理による拡大図または縮小図、切断処理と陰線処理による切片状の断面図、透視処理による透明化した材料の維管束の走向を表示することが容易にできるとされている(2, 7, 10)。更に、ウリ科野菜の場合、近縁な野菜の形や維管束走向は基本モデルに対するディフォーメーション(変形)処理によって表現することができると考えられている(4, 6)。

以上のような観点にたつて、本研究では、維管束の幾何学的構造とその機能を考慮した、ウリ科野菜の属、種ないし品種間にみられる維管束走向の相同性、相似性を比較、検討することと、各種環境条件下における生長モデルを作成することを目的として、既報(7)で作成したメロンの葉、莖、果実の維管束走向を示す基本モデルに各種の処理を加えて、他のウリ科野菜の維管束走向を表

1989年2月6日 受理

本研究の一部は昭和61年度園芸学会秋季大会で発表した。

現しようとした。

## 材料及び方法

### 1. 材 料

既報(7)で作成したメロンの維管束走向を示す基本モデル(第1図に再掲)を供試した。

### 2. 三次元データの変換方法

操作の多くは既報(7)と同様に行った。回転処理, 透視処理, スケーリング(拡大)処理, 及びディフォーメーション(変形)処理は下記のように行った。

ユーザがディスプレイ画面の図形に対する各処理を希望した場合, 本システムは三次元データの変換を行う。この際, 各処理を行ううえで必要となる回転, スケーリング, 平行移動及び投影に関する変換は, データの変換に伴う演算時間の短縮を考慮し, 同次座標表現による行列を用いる。すなわち, 三次元データを1行4列の行列として示し, 4行4列の変換行列によりこれを変換する方法をとる。この方法では, いくつかの処理を連続して行う際, 何度もの変換を行わずとも, 後に述べる変換の合成により, 各処理に関する変換行列の積である行列を求め, 一度の変換とすることができる。ディフォーメーションに関しては, その変換行列の作成が困難である場合が生じるため, 行列を用いずに, 独立した変換を行う。

任意の点が $\theta$ のx軸回転( $R_x$ ), y軸回転( $R_y$ ), z軸回転( $R_z$ ), 任意軸回転( $R_r$ )する場合の変換行列を第

**Table 1.** Transformation matrix for rotation around x-axis ( $R_x$ ), y-axis ( $R_y$ ), z-axis ( $R_z$ ) and arbitrary-axes ( $R_r$ ).

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_y = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_z = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_r = \begin{bmatrix} i^2 \cdot (1 - \cos \theta) + \cos \theta & i \cdot j \cdot (1 - \cos \theta) + k \cdot \sin \theta & & \\ i \cdot j \cdot (1 - \cos \theta) - k \cdot \sin \theta & j^2 \cdot (1 - \cos \theta) + \cos \theta & & \\ k \cdot i \cdot (1 - \cos \theta) + j \cdot \sin \theta & j \cdot k \cdot (1 - \cos \theta) - i \cdot \sin \theta & & \\ 0 & 0 & & \\ & k \cdot i \cdot (1 - \cos \theta) - j \cdot \sin \theta & 0 & \\ & j \cdot k \cdot (1 - \cos \theta) + i \cdot \sin \theta & 0 & \\ & k^2 \cdot (1 - \cos \theta) + \cos \theta & 0 & \\ & 0 & & 1 \end{bmatrix}$$

**Table 2.** Transformation matrix for scaling (S) and translation of axis (T).

$$S = \begin{bmatrix} a & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ a & b & c & 1 \end{bmatrix}$$

**Table 3.** Transformation matrix for parallel projection ( $P_{Da}$ ) and perspective projection ( $P_{De}$ ).

$$P_{Da} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$P_{De} = \begin{bmatrix} -O_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -O_z & 0 & 0 \\ O_x & O_y & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -O_z \end{bmatrix}$$

1表に示す。なお, 任意軸とは, 原点を通り, 任意軸のベクトルを $\vec{e}(i, j, k)$ とする任意の直線を指す。原点を通らない直線に関する回転は, 任意軸回転と, 次に述べる平行移動により可能である。

任意の点が, 原点についてx軸方向にa倍, y軸方向にb倍, z軸方向にc倍される場合の変換行列(S), x軸方向にa, y軸方向にb, z軸方向にc平行移動される場合の変換行列(T)を第2表に示す。

三次元データを二次元データに変換し, x-y平面を視線に平行のディスプレイ上に表示する場合の平行投影行列を第3表に $P_{Da}$ として示す, この場合, 任意の点を平行投影する変換行列は $P_{Da}$ で, 各点はそのz座標を0とすることのみでx-y平面上に投影される。次に, z軸方向に奥行きのある遠近感を表す1点透視法を採用し, 投影面をx-y平面, 投影中心が点O( $O_x, O_y, O_z, 1$ )である場合に, 任意の点を透視投影する変換行列を第3表に $P_{De}$ として示す。

ディフォーメーションに関する変換は, 三次元データとして与えられる各座標成分に, 一定の関数を合成することにより行う。

本システムのユーザが, ディスプレイ上の図形に対し, 連続したいくつかの処理を希望した場合, 変換のための演算時間を短縮する目的で, 変換の合成を行う。変換の合成は, 既に示した各処理に関する変換行列, すなわち $R_x, R_y, R_z, R_r, S, T, P_{Da}$ 及び $P_{De}$ を, その変換を行う順序で, 次々に右側から掛けることにより

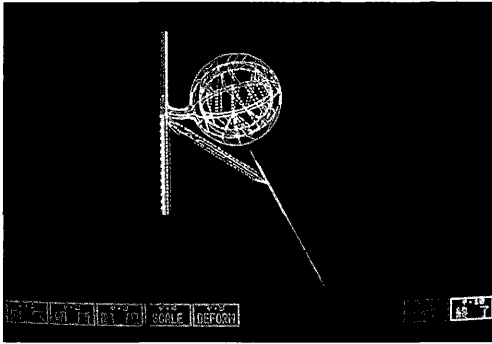


Fig. 1. Fundamental vascular system of melon plant.

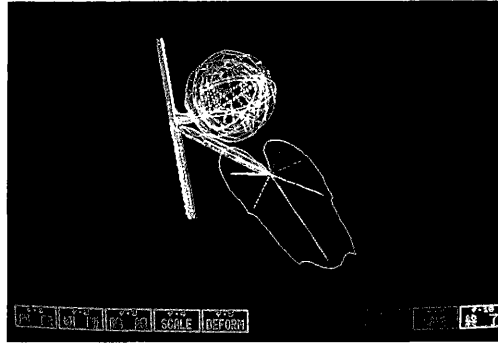


Fig. 2. Vascular system of melon plant drawn by rotation of the fundamental model.

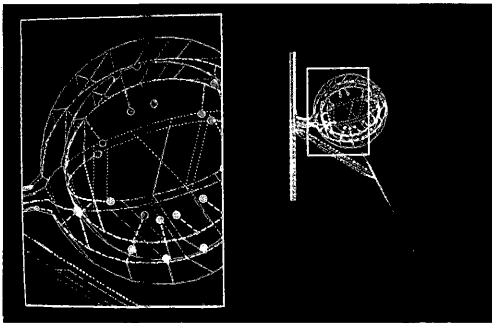


Fig. 3. Vascular system of melon plant drawn by clipping (right) and enlarging (left) the fundamental model.

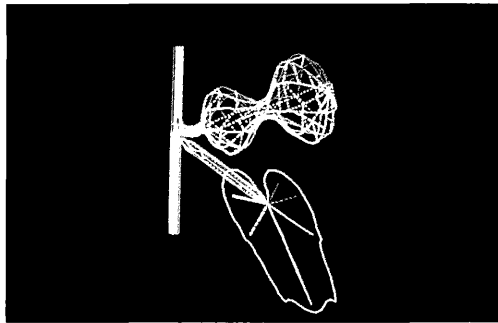


Fig. 4. Vascular system of bottle gourd plant *Lagenaria siceraria* Stand. var. *gourda* Hara drawn by deformation of the fundamental model.

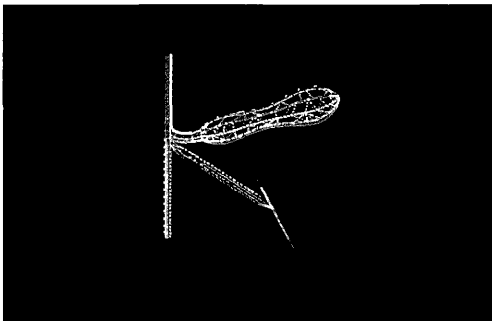


Fig. 5. Vascular system of cucumber plant *Cucumis sativus* L. drawn by deformation of the fundamental model.

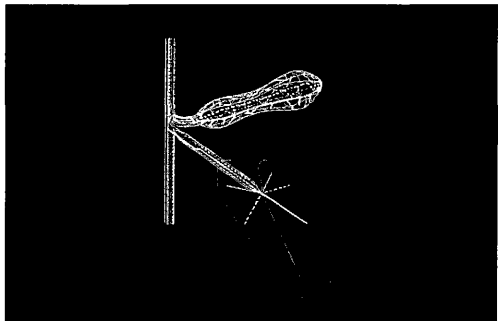


Fig. 6. Vascular system of cucumber plant drawn by deformation and rotation of the fundamental model.

行う。このとき最終的に作成される4行4列の行列をMATとすると、実際に三次元データの変換に使用する変換行列は、このMATのみである。ただし、ディフォーメーションに関する変換は、行列を用いずに行うので、ユーザが希望する連続した処理の最初または最後以外にディフォーメーション処理が含まれる場合には、変換行列MATは複数個となり(MAT<sub>1</sub>, MAT<sub>2</sub>, ..., MAT<sub>n</sub>)、三次元データのための演算時間も長くなる。

### 結 果

基本モデル(第1図)に対して、x軸、y軸、z軸に関して、それぞれ-5度、30度、5度の回転処理を行った図形を第2図に示す。

ディスプレイにウィンドウを開いて、基本モデルの果実の一部分を切断処理した図形を表示するとともに、その一部分を拡大した図形を第3図に示す。この場合、維管束の切断面は丸い点で示してある。

基本モデルの果実の形についてヒョウタン及びキュウリの果実のようにディフォーメーション処理した図形を第4、5図に示す。

パラメータの取り方によって、任意の種類のウリ科野菜の形を表すことができる。更に、ディフォーメーション処理した図形に対して任意の軸で回転処理(第6図)、任意の位置で切断処理、任意の大きさにスケール処理などを単独ないしは組み合わせて行うことが可能である。なお、本プログラムにおいては、各組織の各維管束について1本単位で色を指定することも可能である(第1図~第6図)。

### 考 察

高等植物は、それを構成する器官としてみれば、いずれの種類も葉、茎、根の3器官で構成されているといわれている(2)。その最も単純化されたものが原型植物“Urpflanze”と呼ばれている(2,8)。「原型とは個々の自然現象や自然物に直接具体化されることのない」、「それ自体は明示不可能な理念である」(8)から、自然界に存在するとは限らない。しかし、原型植物を介して異なる形態を示す植物の関連づけが行われる(8)。

たとえば、高等植物はゲータの原型植物を介してみれば全ての植物が関係づけられるのと同様に、分類項目に従って、種子植物(門)、被子植物(亜門)、双子葉類(綱)、古生花被類(亜綱)、ウリ目、ウリ科などについて、それぞれの基準(項目)に従った新たな原型植物が導かれることになる。この場合、原型植物の意味もそれによって変化する。

原型植物を数式で表現することができれば、植物の多様性を原型植物からの変異として数理的に捉えることに

よって(10)相互の関係を表現することができると考えられたので、本実験では3属3種のウリ科野菜について維管束走向としての関連性をみだしたうえで(4,5,6)、それを具体的に表現してみた。

果実は多くの場合、葉から変態した何枚かの花葉と茎の変態した花軸で構成されている(2)と理解されることから、葉や茎の組織に近縁な植物ほど高い共通性がみられるのと同様に、植物の種類によって違って見える果実の形態も、それを構成する各組織の配列としてみることによってその間の共通性が認められることがある。本実験においても、ウリ科野菜を材料として葉、茎、果実(果托、外果皮、中果皮、内果皮、隔壁、果心、胎座)、果柄の形をみるとさまざまに違って見えるものの、いずれの器官においても、それを構成する主たる維管束の走向として比較すると、高い類似性が認められている(4,5,6)。このような場合、それぞれの器官について維管束走向としてモデル化すると、果実などの形が著しく異なるメロン、ヒョウタン、キュウリについて、維管束走向の基本モデルから座標変換するだけで相互に変形可能であることが示された。

本実験では、3属3種のウリ科野菜について相互関係を表現したが、トカドヘチマ、ツルレイシ、ターバンスカッシュのような特異な形のウリ科野菜についても、維管束走向としてみることによって、主として座標変換による変形で相互関係を表示することが可能であることを示すものである。

ウリ科野菜の植物体は、本実験で表現した基本モデルを一つの単位として、葉序の左右性に従って1節ごとに144度回転した位置に積み重なった形となっている(4,5,6)ので、基本モデルの積み重ね処理とスケール処理によって一つの個体の生長の様子も表現できるであろう。また、維管束の走向に相同性が認められることは、その中を移動する光合成産物や土壌養水分の移動経路も同じ様に行われていると考えられるので、その様な観点からの表現も可能である。

なお、本実験で行った切断と非透視は画面に平行に切った切片に相当し、切断と透視は、切断した材料を透明化した場合、拡大は顕微鏡などで観察した場合に相当する。組織細部の表現や、葉、茎、果実の表面処理などによって更に有効なプログラムになると考えられる。

### 摘 要

1. ウリ科野菜の葉、茎、果実などの維管束走向による基本モデルに対して、x軸、y軸、z軸及び任意の軸を中心として回転処理を行った。

2. 基本モデルに対し、スケール(拡大)、切断、

ディフォーメーション(変形)処理を行った。

3. ディフォーメーション処理によって、3属3種のウリ科野菜の形を表現した。

4. 上記の処理は単独でも、また、いくつか組み合わせで行うことも可能であった。

5. 各部位の各維管束ごとに色指定を行うことが可能であることから、光合成産物の転流経路や、土壌養水分の移動経路を維管束単位で表現することができるものと考えられた。

#### 引用文献

1. ダーシー・トムソン. 1984. 生物のかたち(柳田友道ら訳). p.173-199. 東京大学出版会. 東京.
2. ゲーテ. 1980. 植物変態論(野村一郎訳). 登張正實ら編. ゲーテ全集 14. p.55-104. 潮出版. 東京.
3. ハワード, E. グルーバー. 1986. ダーウィンの「自然の樹」—大きな広がりをもったイメージについて. p.193-234. ジュディス・ヴェクスター編. 形・モデル・構造—現代科学にひそむ美意識と直感(金子務監訳). 白楊社. 東京.
4. 金浜耕基・斎藤 隆. 1985. ウリ科野菜の左右性. 山形農林学会報. 42:7-12.
5. 金浜耕基・斎藤 隆. 1986. キュウリの主茎における維管束の配列. 園学雑. 55:181-186.
6. 金浜耕基・斎藤 隆. 1987. メロン, キュウリ, トカドヘチマの果実における維管束と心皮の配列. 園学雑. 55:476-483.
7. 古在豊樹・益子亜紀・金浜耕基. 1989. メロンの維管束走向のマイクロ・コンピュータによる三次元表現. 園学雑. 58:679-684.
8. 河本英夫. 1984. 自然の解釈学—ゲーテ自然学再考一. p.1-88. 海鳴社. 東京.
9. 田中基八郎. 1984. 植物のデザイナー—形と力学. p.1-188. 共立出版. 東京.
10. 養老孟司. 1986. 形を読む—生物の形態をめぐって. p.1-226. 培風館. 東京.