

野菜苗の自動選別システムに関する研究
— 非接触による苗の生長計測 —

林 圭腕・谷 光・岩尾俊男・藤浦建史
竹山光一・浅尾俊樹

Study on the Automatic Sorting System of Vegetable Seedling
— The Growth Measuring of Seedling by Intact Method —

Gyuwan IM, Kou KOKU, Toshio IWAO, Tateshi FUJIURA,
Koichi TAKEYAMA and Toshiki ASAO

Abstract It is necessary to measure the progress of young vegetables. The image processing and laser sense are effective methods for intact and non-destructive measurement.

The objection of this study was to construct the automatic sorting system by image processing and laser senses.

In this report, it has tested to extract seedling image based on chromaticity in color image of seedling. The indices of property as the size and shape of seedlings were measured by the horizontal projected. And the relations between the property indices and the top fresh weight were inspected.

As the results, it was admitted that there are linear relation between the leaf area, stem diameter and top fresh weight. And there were important factors to reevaluate the quality of the vegetable seedling.

Key words: Seedling; image processing; laser sense; growth measuring.

縮 言

近年、農業生産の高能率化、自動化の重要性が強く求められていることから、野菜の施設栽培、露地栽培の省力化自動作業システムや農業用ロボットなどの研究が急速に展開されつつある。

野菜栽培においては、苗の品質が収穫に影響する大きな要素と考えられている。現在、苗の良し悪しの判断は苗を移植する段階で経験による人の目に頼るのが一般的である。一方、研究においては、苗の生体重による評価の報告あるのみである。¹⁾人の目による評価では、経験的な個人差及び疲労による選別精度の低下等の問題が生じる。これらのことから、野菜栽培において均一優良な苗を選別する技術を開発することが必要であると考えられる。本研究は、トマト苗の生長状態を有効、簡易に計測することを目的し、非接触で連続的な生長計測を行える方法として画像処理技術及びレーザー光センサーにより

苗の計測を行った。トマト苗の各特徴量の計測対象は葉の面積、形状、茎の太さ、生体重である。計測結果に基づいて苗の自動選別の可能性を検討した。

実験装置及び方法

1. 供試材料

供試した苗は普通トマトポンテロザである。トマトの種を育苗培地ウレタン表面の切れ目に蒔き、発芽した苗を水耕ベット上に移植し、本葉を二葉完全に展開するまで育苗する。育苗作業は島根大学農学部を設置した実験用ビニール温室で行った。

育苗期間中の環境条件は室温22~30℃に維持し湿度は昼夜ともに50~70%とした。培養液は園試処方に準じたものをpH5.5, EC1.3ms/cmとして使用した。

トマトの水耕栽培では、一般的に発芽後子葉二枚完全に展開する時苗を水耕ベットに移植し育苗する、また本

谷 光：島根大学大学院農学研究科修士課程

葉二枚頃には第二回の移植を行う。従って、本実験の計測対象苗は発芽後20日目の苗（幼苗期の苗）と発芽後35日目の苗（移植期の苗）である。参考までに、発芽後10、16日目の幼苗についても計測した。²⁾

2. 実験装置

(1) 画像処理装置

図1は本実験で試作した画像処理、計測システムを示したものである。このシステムは、照明室、TVカメラを含む光学系の画像入力部とPC-9801パーソナルコンピュータ、画像入力ボード、モニターを含む周辺機器のコントロールおよび信号（画像）処理部から構成される。³⁾

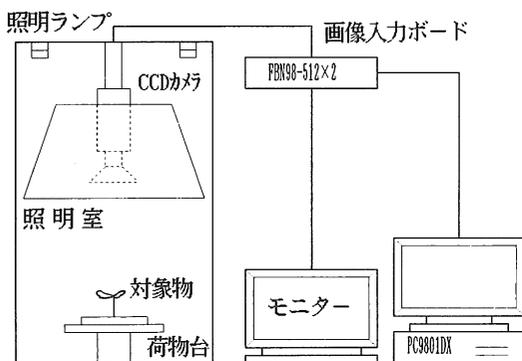


図1 画像処理システムのブロック図

照明室（図1参照）は、幅700×長700×高さ600mmであり、その内部壁の全体を白色塗装されたもので、背景用ゴム板、乳白色（半透明）の傘型プラスチック製電球のカバー、照明ランプ4個とカメラより構成される。背景用ゴム板（黒色）は、背景が入力画像に影響することをできるだけ少なくするためのものである。電球カバーは光のむらをなくすように用いたものである。光源は、可視光領域に放射率がよい150W色温度3070°Kの東芝ブラッド写真用ランプを用いた。カメラは、約26万ピクセルCCD固体撮影素子を有するビクターTK-870CCDカラーカメラであり、RGB原式フィルター方式で色再現性に優れているので採用した。この結果、光が苗に均一照射し、ほぼ色むらのない画像を得られた。

画像処理部は、画像入力ボード、画像処理の本体PC-9801DXパソコンと画像モニターにより構成される。画像入力ボードは、TVカメラからの映像信号をコンピュータで操作できるように数値化して、画像メモリに保存させるものである。本研究は、メイコー・マルチア

ト社製のFBN98-512×2（画像の取り込む速度は1/30秒）を用いた。

(2) 苗の茎径の測定装置

苗の茎径の測定には、キーエンス社製の可視光レーザ式変位センサLB-1000シリーズ（センサヘッドはLB-040）を使用した。測定範囲は±5mmである。

苗の地上部生体重、葉重、茎重（根元から第一本葉の分岐点までの茎部分の重量）の測定には、電子天秤（カールツァイス社製のSartorius-TYPE1419）を使用した。

3. 実験方法

(1) カラー画像処理方法

苗の画像入力は、カメラによって立毛の状態における苗の水平投影を撮影した。撮影された画像は、256階調の濃淡画像（RGBカラ画像）として画像入力ボードに取り込まれ、パソコンにより処理した。

立毛の状態苗の水平投影面積と比較するため、葉の実面積は、葉を背景情報が一定になるよう、黒い紙の上に載せて、更に葉の曲がりや突起による光源に対する試料の陰が生じないように、葉面の上からガラスで押さえて入力した画像により求めた。

カラー画像で、対象画像を抽出するには、雑音、照明むら、色ずれなどにより問題となる。この場合、一般的に、原画像を適当な濃度値で二値化する法がよく用いられるが、ここで、更に抽出画像を鮮明にするために、明度、色彩変換画像を用い苗画像の抽出を試みた。^{4), 5), 6)}

まず、画像のコントラストを明確にして、画像入力を行った。次に、入力された原画像の各画素上で色彩を表現している色彩情報（r, g, b色度値）を求めた。色度r, gの濃淡画像では、苗と背景との間に濃度差が大きく、特に色度gにおいてその差が大きいことが認められ、苗表面と背景の色度データはほぼ二つの集団として分布していることが分かった（図2参照）。従って、苗の画像は、異なった色度分布の差により検出できることが明かになった。苗の抽出は苗原画像の色度分布から分離度が最大になるときの濃度値を最適しきい値として苗画像を抽出した。抽出された苗の二値化画像はラベリングして、苗の各特徴量の計測を行った。

(2) 苗の画像計測処理

計測した画像特徴量は苗のサイズ特徴量と形状特徴量である。サイズ特徴量は、面積（A）、周囲長（S）、葉の最大長（L）と最大幅（W）である。面積は抽出された苗の水平投影画像の面積、周囲長は抽出された苗画像の輪郭の外周長さ、最大長は周上2点間の最大距離、また最

実験結果及び考察

1. 幼苗の計測

(1) 苗のサイズ特徴量と生体重

図4 (a~d) は、トマト幼苗の水平投影画像のサイズ特徴量 (A, S, L, W) と苗の生体重との関係を示す。生体重とサイズ特徴量との相関関係 (20日目の苗) は、それぞれ次の式の通りである。

面積 (A) : $Y = -5.62 + 19.61x$

周囲長 (S) : $Y = -21.26 + 5.09x$

最大長 (L) : $Y = -34.7 + 1.72x$

最大幅 (W) : $Y = 14.22 + 2.19x$

ここに、Y:生体重、x:各サイズ特徴量、

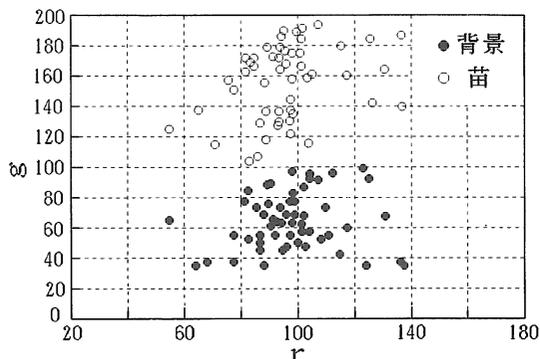


図2 苗画像の色度分布

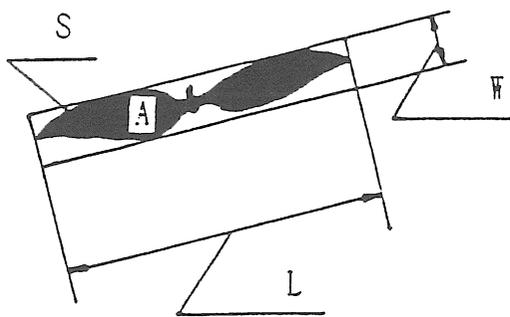


図3 分析に用いた苗のサイズ特徴量

A : 面積, S : 周囲長, L : 最大長, W : 最大幅。

大幅は最大長に垂直な方向の最大距離である。⁷⁾これらの特徴量は図3に示す。

野菜苗は、成長条件によって株の形や枝の太さ、向きや葉の形状などが異なるが、画像による面積が等しい場合であっても、苗の性状によってその形状は大きく異なる場合があることから、より正確に苗の形状を表現するために、前述のサイズ特徴量のほかに、形状特徴量を導入する必要があると考える。^{7), 8)}ここに、用いた形状特徴量は、円相当径Ds, 円度係数Rm, 複雑度eであり、それぞれ次の式で定義される。

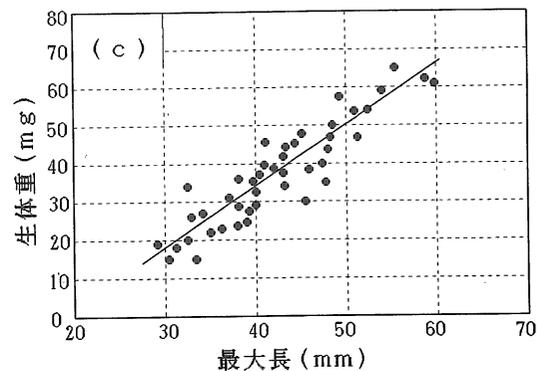
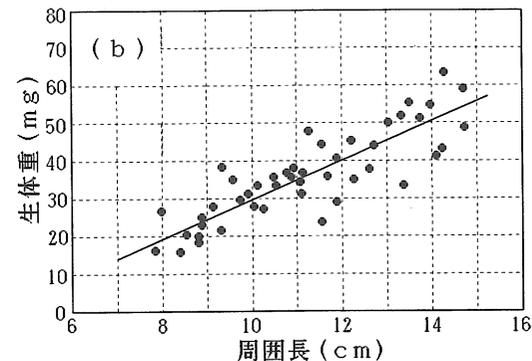
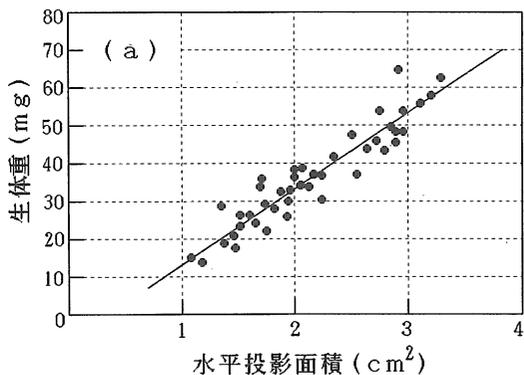
$Ds = (4/\pi A)^{1/2}$ (1)

$Rm = (4\pi A/S^2)^{1/2}$ (2)

$e = S^2/A$ (3)

(3) レーザー光により苗の茎径の測定

茎径の測定には、両側から供試トマト苗にレーザー光を照射し、茎までの距離を計測し、その二つの距離の差により茎の直径を求める。



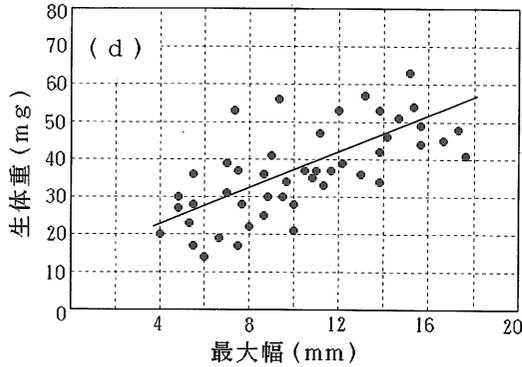


図4 サイズ特徴量と生体重との関係

サイズ特徴量と生体重との相関係数は表1に示す。これらの特徴量の中で、特に生体重と投影面積との間の相関関係は最も高い、これらのことから、幼苗の評価項目として、投影面積は、従来の生長指標である生体重のかわりに比較要素となり得るものであろう。

表1 苗のサイズ特徴量と生体重との相関係数

項目	面積	周囲長	最大長	最大幅
発芽10日目の苗	0.965	0.921	0.907	0.742
発芽16日目の苗	0.950	0.932	0.941	0.597
発芽20日目の苗	0.943	0.915	0.927	0.315

(2) 苗の形状特徴量と生体重

図5(a~c)は、苗の形状特徴量と地上部生体重との関係である。特に、円相当径と生体重との間には高い相関関係が認められた。円相当径は投影像の面積に相当した円の直径と投影面積との比であるから、生体重の増加につれて葉の面積も増大するので、式(1)より明らかなように分母が増大し円相当径が減少する。また、円度係数、複雑度と生体重の間には明確な相関関係が認められなかったが、しかし、円度係数は、水平投影画像の面積と投影面積に相当する円の面積との比であり、一方、複雑度は、投影像の周囲長と投影面積に相当する円の周囲長との比であることから、幼苗期においては、生体重が増加しても形状における特徴量の著しい変化が生じないことによるものと考えられる。ただし、これらの二つの係数は、生体重が増加しても円度係数、複雑度ともに狭い範囲に分布していることから、苗の形状特徴を評価する要因となるだろうと考える。ここに、発芽20日目の幼苗について、信頼係数を95%にとった場合、求めた円度係数、

複雑度の信頼区間はそれぞれ (0.528, 0.552), (40.76, 45.03)である。以上のことから、苗の形状特徴量、葉の形状特徴、展開状態を表すものであるが、将来、苗の形態的な品質を評価する手法としても活用されてゆくことが期待できる。

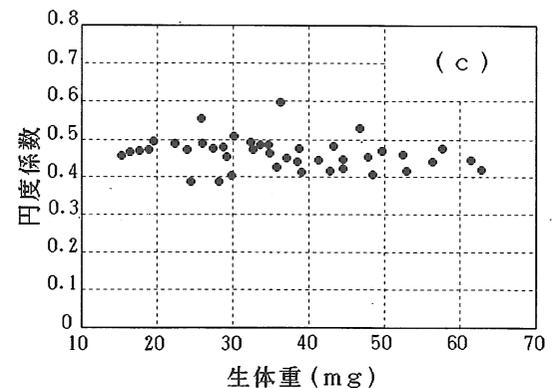
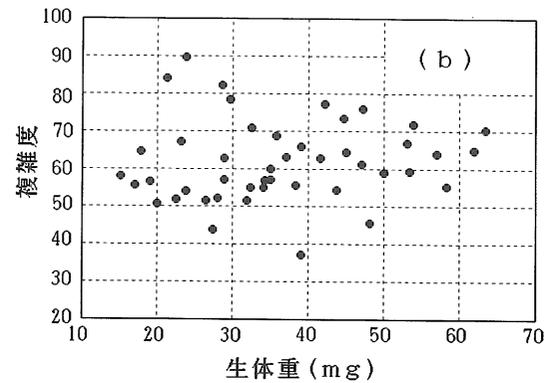
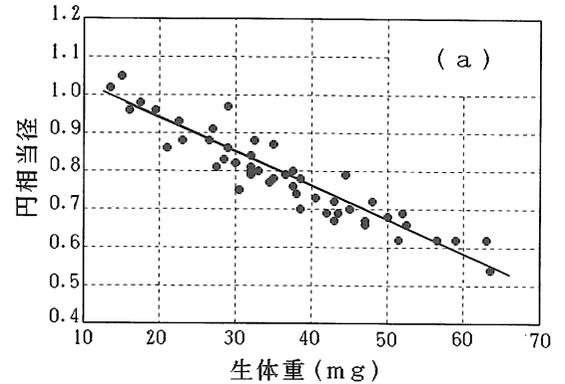


図5 形状特徴量と生体重との関係

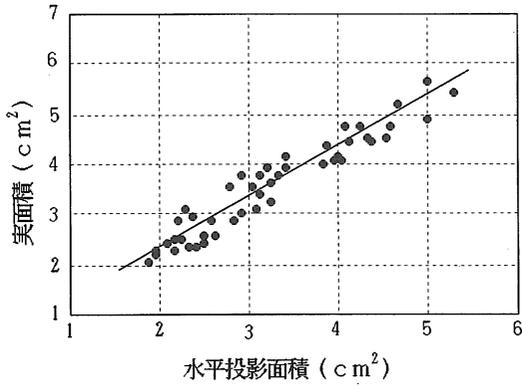


図6 移植期苗の投影面積と実面積との関係

2. 移植期苗の計測

(1) 苗の水平投影面積について

図6は、移植期苗の投影面積と実面積との関係である。移植時の植え付け角度の不均一さからもたらされる茎の曲がり、葉の展開方向等の違いのあることが予想されたが、結果として、水平投影面積と実面積の間には高い相関関係が認められた。この場合は、移植期苗の投影面積による実面積の推定が可能であることが分かった。

図7、8は、投影面積と生体重、苗の葉重との関係を示す。両者ともに高い相関が認められた。これは、トマトの葉が相互生であるので、葉の展開に応じて生体重と葉重が増加することによるものと考えられる。従って、投影面積を測定することにより生体重及び葉重の推定が可能となる。

(2) 苗の茎径について

図9は、茎径と生体重との関係を示す。茎径は、茎の位置により異なるものであるから、本実験に用いた茎径測定位置は、根元より1cm高さとした。この場合、苗の生体重が茎径の増大と共に増加する傾向がある。両者の間には相関関係があることが認められた。図10は、茎径と葉重との関係を示したものである。両者の間にも相関関係が認められた。以上、茎径が生体重、葉重に関係することから、苗の評価には、茎径を一つ有力な指標として用いることが可能であると考えられる。

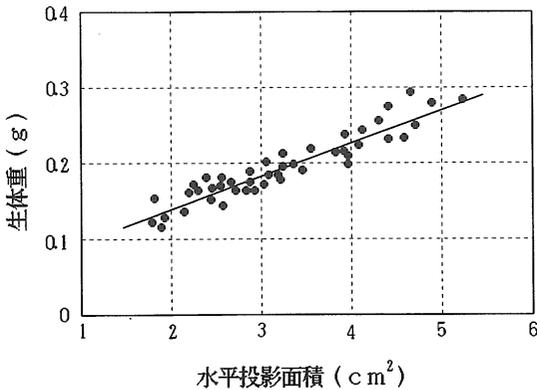


図7 移植期苗の投影面積と生体重との関係

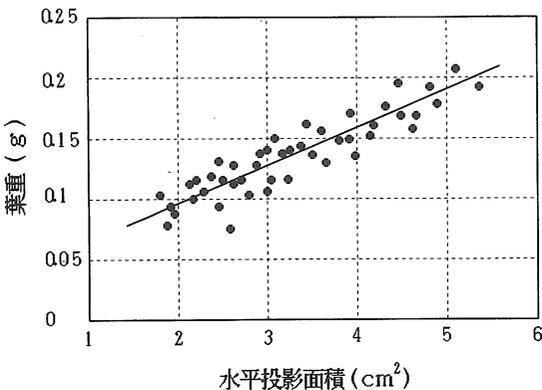


図8 移植期苗の投影面積と葉重との関係

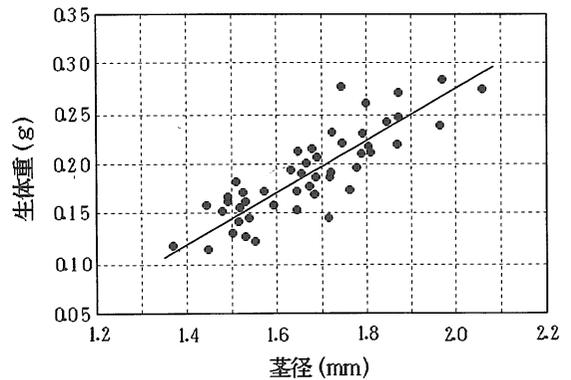


図9 移植期苗の茎径と生体重との関係

今度計測した苗の特徴量は、ある程度苗の成長状態を表され、苗の品質評価の要素として用いられるが、苗の品種、生長環境によって性状が異なるから、葉、径茎など要因の相互関係を更に検討する必要がある。

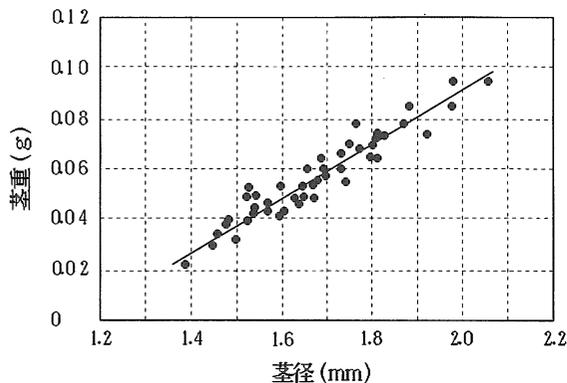


図10 移植期苗の茎径と茎重との関係

摘 要

本研究は、苗の自動選別システムを開発するための基礎研究として、画像処理装置とレーザー光センサを用いたトマト苗の生長計測を行い、計測されたトマトの特徴量により苗自動選別の可能性について検討した。以上の実験結果から次のことが明らかになった。

(1) 幼苗期の苗において、サイズ特徴量(面積, 周囲長, 最大長と最大幅)は、生体重との間に高い相関関係が認められたが、その中で投影面積と生体重との相関係数は $r=0.94$ 以上で最も高い値を示した。生体重と形状特徴量(円相当径, 円度係数, 複雑度)との関係においては、生体重と円相当径の間には高い相関関係が認められたが、一方、複雑度と円度係数においては有意な相関関係が認められなかった。

(2) 移植期の苗において、苗の投影面積と実面積との間

には、高い相関係数で($r=0.93$)比率関係が認められた。投影面積は、生体重、葉重との間にも高い相関があることから、生体重、葉重を投影面積により推定することができる。茎径は、生体重及び茎重との間に相関関係があることから、苗を自動選別する際のひとつ有効な判別要素として利用できるものと考えられる。

(3) 植物体はかなりばらつきがあるから、測定した特徴量を単独でなく適宜組み合わせ分析し使用すれば苗の選別を行う際に有効なデータになると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 加藤 徹, 野菜の生育診断—その理論と観察法—農山漁村文化協会, 東京, 314 pp., 1975.
- 2) 大正謙次・近藤矩朗・井上頼直, 植物の計測と診断. 朝倉書店. 東京, 239 pp., 1988.
- 3) 岩尾俊男・李 曉明・渋沢 栄・藤浦建史・竹山光一・毛利健太郎・遠藤準二, 画像処理システムによる青果物の傷検出に関する研究(1). 島根大農研報, 26: 33-38, 1992.
- 4) MEYER, G. E. and D. A. DAVISON, An electronic image plant growth measurement system Trans. ASAE 30: 242-248, 1987.
- 5) 長谷川純一・興水大和・中山 晶・横井茂樹, 画像処理の基本技法. 技術評論社, 東京, 232 pp., 1986.
- 6) 木内雄二, 画像入力技術ハンドブック. 日刊工業新聞社, 東京, 396 pp., 1992.
- 7) 柴田孝信・岩尾憲三・高野泰吉, 画像処理による自動生長計測装置の開発. 生物環境調節, 31: 29-35, 1993.
- 8) 近藤 直・芝野保徳, 果菜類の画像認識に関する研究—二値画像における果菜類の特徴量の抽出— 農業機械学会誌, 53(5): 51-58, 1991.