

画像解析による野菜の認識手法

ー野菜用除草ロボットの視覚部の研究ー

北陸農業試験場 柴田 洋 一

I はじめに

野菜作において、除草剤の出現は労働力不足を解決し、農業生産の基盤技術として定着したかに見えたが、一方で、生産物の安全性、自然生態系の維持、労働者の健康に関する問題を孕んできた。最近では、消費者の要求も厳しく、無農薬、もしくは低農薬栽培野菜の商品価値が相対的に高まりつつあり、全てを除草剤に依存する体系は変更を迫られている。

農薬を使用しない除草法の一つに、雑草を物理的に除去する方法がある。現状では、中耕機を用い、土壌表面を攪拌・混和して雑草を枯死させたり、培土作業機を用いて雑草を埋没させている¹⁾。しかし、最新機といえども、株間の除草は不完全であるとともに、野菜を傷める問題は克服できていない。このため、非効率なホーを用いる人力作業が、一般畑作物においても北海道をはじめ未だに広い範囲で行われている。特に、野菜は、作目が多様であるために専用の除草機開発が遅れているうえ、損傷を与えることが嫌われ、手取り除草を行う地域が多い。機械化の遅れは、除草労働力の確保を困難にしているばかりでなく、クリーンで合理的な作業体系を確立する上で大きな障害となっており、省力的で高精度な物理除草技術の開発が強く望まれている

株間、畦間の雑草を精度良く、高能率に取り

除く物理的な除草技術を実現するためには、高性能なエンドエフェクタが要求されることは言うまでもないが、その前提として、野菜と雑草とを識別し、野菜の位置や大きさを認識する手法を確立する必要がある。筆者らは、屋外圃場に定植された結球性野菜と初期生育段階の雑草を対象に、この手法の研究を行ってきた^{2, 3, 4, 5, 6)}。画像処理技術を圃場作業に供する場合には、作業環境の変化による影響を受けないことが重要である。識別対象となる野菜や雑草の状態は一定ではなく、時間や場所によって色や形、大きさが変化し、柔軟性のない認識手法では対応しきれないからである。開発した技術は、この要件を完全に満たすものではないが、識別条件に植え付け方の規則性を加えるなどにより、環境変動に対する適応性を向上させた。

ここでは、開発した認識手法の概略と、若干の応用例を紹介する。

II 認識手法の概略

システムの全体像を図-1に示す。システムは①RGB画像もしくは熱画像情報からの野菜抽出 ②ファジィ推論手法を用いたノイズの除去の、2つの処理ステージで構成されている。後に述べるが、RGB画像と熱画像は、それぞれ単独で用いることができるが、ある条件下では精度を補完する関係にある。

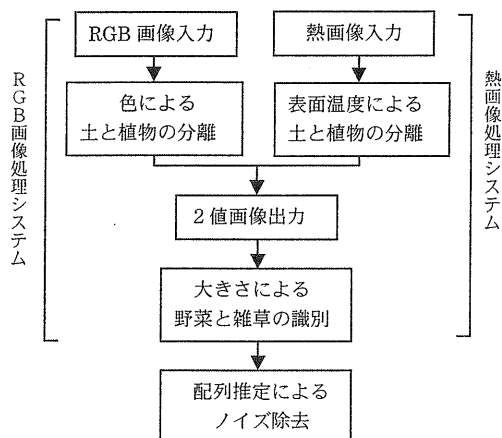
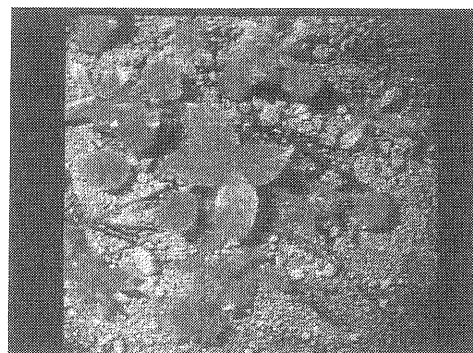


図-1 野菜抽出の方法

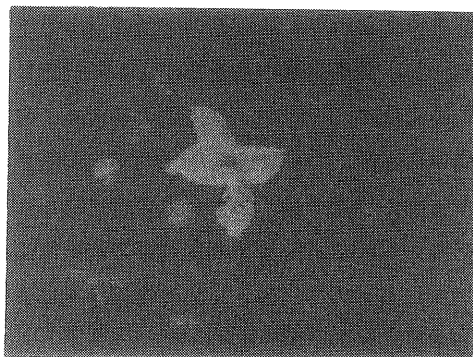
1. 野菜の抽出手法

(1) RGB画像からの抽出

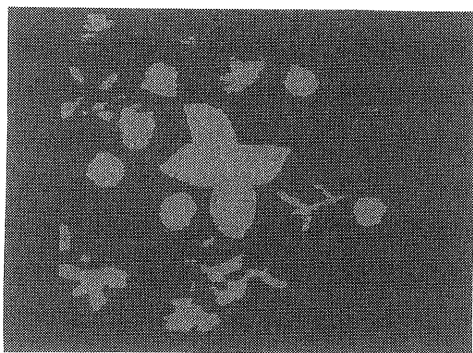
RGB表色系は光の3原色として700.0nm (R) 546.1nm (G), 435.8nm (B) の3つの単色を定め、これらの輝度レベルを考慮して加法混色することにより、すべての色を表現しようとするものである。この表現法は、色を定量的、かつ数学的に扱うことができるため、画像処理技術に数多く用いられている。市販のカラービデオカメラから容易に信号が得られることも特徴の一つである。開発したシステムは、畦上方より撮影したRGB画像から野菜を抽出するもので、まず、土と植物とを色で分離し、2値化した後、野菜と雑草を大きさで識別する。図-2にその処理例を示す。土と植物の分離は、RGB成分間演算により行うが、土の水分状態により反射波長が異なるので、G-R, G-B等幾つかのメニューが用意されている。2値化は、自動しきい値決定法の一つである判別分析法を用いている。この方法は、輝度値分布を2クラスに分割した場合の、クラス間分散が最大になる輝度値をしきい値とする⁷⁾統計的な手法なので、輝度値分布の形に左右されにくく、撮影条件の異なる多数の画像を処理する場合にも、ある程度妥当な



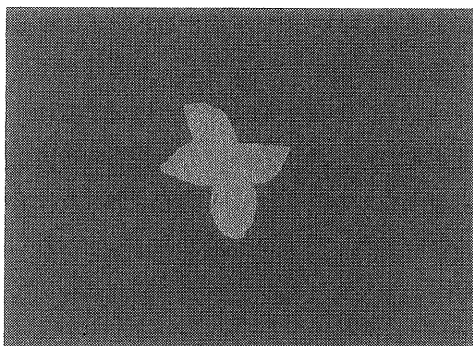
原画像



G-R



判別分析法による2値化



大きさによる識別結果

図-2 処理手順と結果例

結果が得られるものとして用いられる。

野菜と雑草の大きさを示す特徴量としては、投影面積、最大水平弦長および最大垂直弦長の三つを選定し、各々にしきい値を設定して、条件を二つ以上満たしたものを野菜とみなしている(図-3)。最大水平弦長、および最大垂直弦

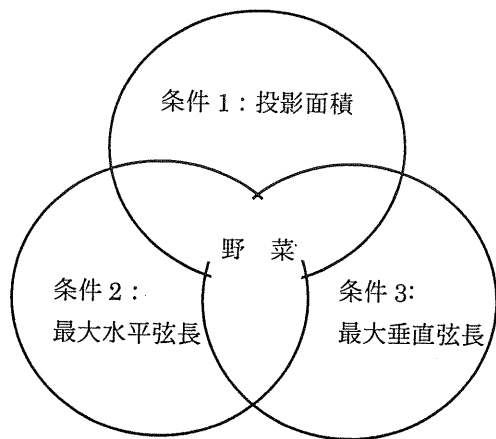


図-3 大きさによる識別

長とは、画面上の物体を水平および垂直に切断したときの最大長である。しきい値は、予め調査した野菜の播種後日数と計量特徴値との関係を数式化してプログラムに入れてあるので、供試野菜の葉齢を入力すれば、自動的に設定されるようになっている。また、しきい値を数値で直接入力することも可能である。当然のことながら、これらの計量特徴値による識別は、耕耘・整地後に発生する雑草よりも、定植された野菜の方が大きいことを前提としている。札幌市羊が丘において野菜と雑草(オオイヌタデ、シロザ、ハコベ)の生長速度を比較した結果、これらの計量特徴を指標として識別できる期間は、レタスで定植から概ね30日まで、キャベツで40日程度まで、ハクサイはそれ以上の期間で可能と推定された。

本手法の精度は照度に影響される。しかし、

レンズに減光フィルタを装着したり、F値やシャッタ速度を調整することで識別可能な照度範囲を広げることができる。カメラの機種にもよるが、筆者らが行ったアナログの3CCDカメラを用いた実験では、実用に供し得る照度範囲は凡そ4,000lxから60,000lxで、この場合の計測誤差は、投影面積で4%以内、両最大弦長で3%以内であった。

(2) 熱画像からの抽出

照度条件の影響を受けにくい方法として、熱画像装置(放射温度計)を利用して土と植物を分離することができる。熱画像装置は、物体の表面温度に相当する放射赤外線のエネルギー量を非接触で測定し、擬似カラー表示する装置である。熱画像装置で抽出する温度範囲を、植物の葉温を中心とするできるだけ狭い範囲とし、地温など領域外の温度を単一色として表すよう設定することにより、ほぼリアルタイムで土と植物体を分離できる。システムとしては、前項のRGB画像処理システムのビデオカメラを熱画像装置に置き換えただけで、土と植物を分離した後の処理は同じである。

両システムを比較した結果、RGB画像処理システムでは、高照度領域において抽出精度が劣るのに対し、熱画像処理システムは、そのような環境条件下では、地温と葉温の差が大きくなる傾向があり抽出精度が優れることが明らかになった(図-4)。また、熱画像処理システムでは、夜間は、地温と葉温との差が小さくなって、野菜を抽出しにくくなるが、RGB画像処理システムは、夜間照明を行うことにより日中よりも安定した光環境が得られるため、高精度な抽出が可能となることも分かった(図-4)。したがって、両システムは、ある条件下では、その認



原 画 像

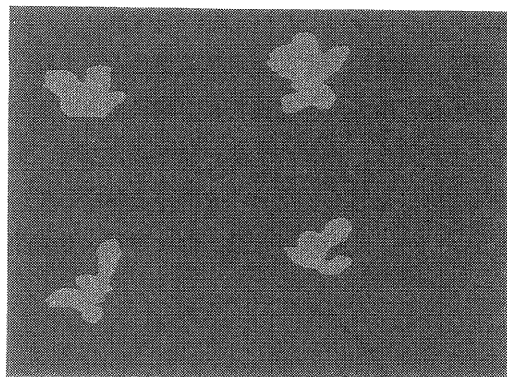
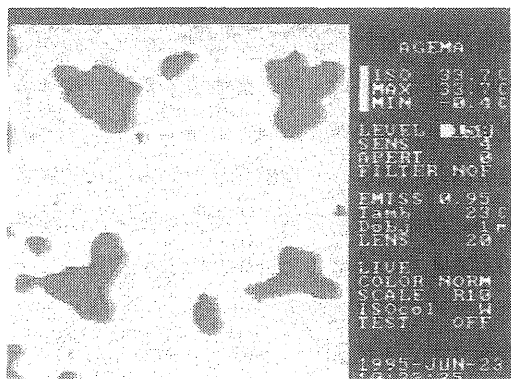
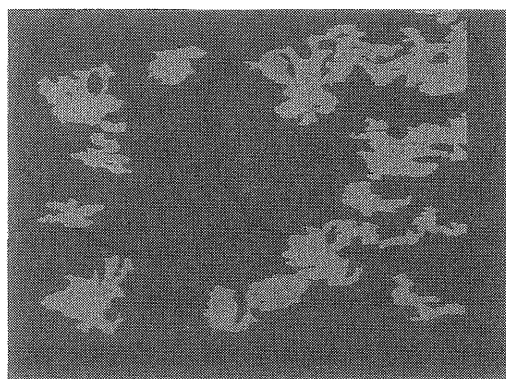
夜間照明によるRGB画像からの検出結果
(照度: 7,300lx)高照度・高日射条件下の熱画像
(6月23日10:32, 日射量: 3.3MJ/m²/h,
照度: 89,300lx, 地温: 38℃, 葉温: 27℃)高照度・高日射条件下のRGB画像からの検出結果
(同左)

図-4 日射時間及び照度条件別の抽出結果例

識精度を互いに補完し合う関係にあり、コスト面の問題が改善されれば、これらの併用により多様な自然環境条件下での適用範囲の拡大が期待できる。

また、近赤画像等、異なる画像情報を同時に入力し、得られた情報を融合して、より信頼性の高い情報として再構成するセンサフュージョン手法の導入により、認識精度の向上が実現できる。

2. ファジイ推論手法を用いたノイズの除去

画像処理手法によって野菜を抽出する際に生じるエラーのパターンには、①野菜を消去する

②ノイズを残す ③野菜を消去しかつノイズを残す、という三つがある。野菜を消去することは許されないので、きびしい環境条件下で野菜を確実に抽出するためには、大きさによる識別条件を緩やかにするなど②のパターンが発生しやすいアルゴリズムを選択せざるをえない。

この問題を改善する方法として、定植された野菜には、個体間の距離や方向性等、その配列に規則性があることを利用し、ノイズと野菜とを識別することが考えられる。実際の圃場では、植え付け間隔のばらつきなどにより規則性には誤差があるが、ファジイ理論を応用することによって、多少のずれにも対応できる⁸⁾。

野菜が設定通りの間隔で格子状に配置されていれば、全ての野菜個体に共通する次のような規則性がある。

『設定通りの条間(株間)で隣合う二つの野菜個体を結ぶ線分の端点から 90° 、もしくは、 -90° の方向には別の野菜個体が必ず存在し、端点とこの野菜個体との距離は株間(条間)に等しい(図-5)。』

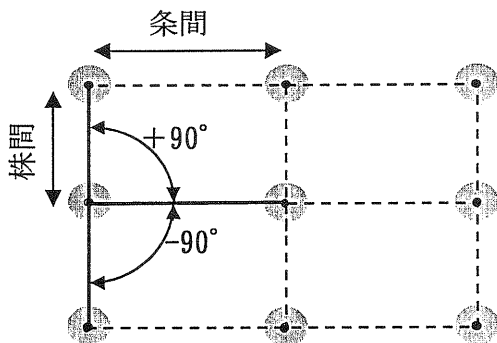
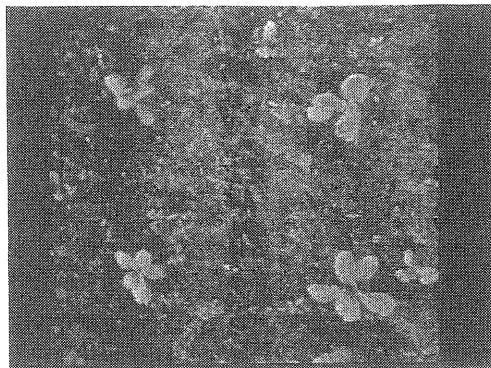


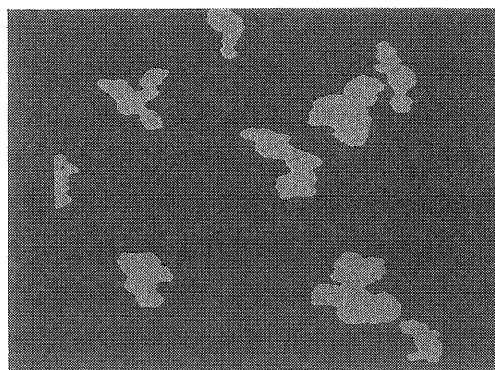
図-5 野菜配列の規則性

開発した手法は、上記の規則に基づき、株間、条間および三つの物体を結んでできる角度を入力変数とし、設定配列への適合度を出力変数とする3入力1出力のファジィ推論であり、設定した野菜配列に最も近い位置関係を成す物体を野菜とみなす。画面上における各物体の位置は、それぞれの重心のXY座標で表わす。推論の実行にあたっては、設定条間、設定株間、1画面内で処理する条数および1画面内の1条当たりの野菜個体数を定数として入力する。1画面で識別できる野菜個体数は4個以上である。

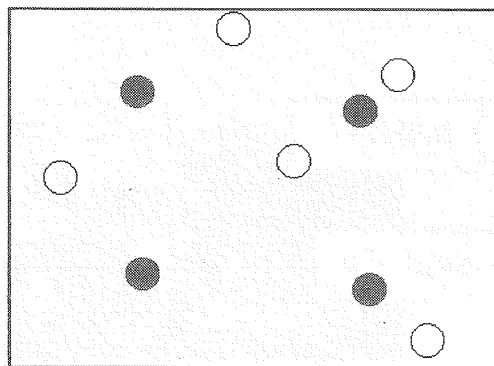
土と植物とを色の違いにより分離し、野菜と雑草とを大きさで識別するこれまでの画像処理手法に、開発した推論手法を加えると、野菜の認識精度は向上する。図-6に処理例を示す。この手法を適用することにより、従来の認識アルゴリズムによる処理過程でノイズを完全に除去する必要はなくなる。したがって、2値画像



原画像



2値画像



配列推定結果

図-6 配列推定による野菜とノイズの識別結果例

作成のために必要な色、形状、大きさ等特徴量のしきい値は緩やかに、また、大まかに設定でき、野菜が消去される危険性も減る(表-1)。さらに、「野菜が雑草よりも大きいこと」とい

表-1 認識精度

単位：％（認識成功画面数の割合）

結果 作目	RGB画像処理								配列推定			
	計量特徴しきい値変更無し				計量特徴しきい値緩和*				計量特徴しきい値緩和*			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
ハクサイ	84	13	3	0	83	0	17	0	97	0	0	3
キャベツ	53	0	47	0	47	0	53	0	93	0	0	7

*：作物とノイズを大きさに識別する際、面積のしきい値を緩和した。

注1：A：認識成功 B：野菜消去 C：ノイズ残存 D：野菜消去かつノイズ残存

注2：供試画面数はハクサイ、キャベツそれぞれ40画面。1画面に4個の作物個体。

う、前項までの制約も解消され、システムとしての柔軟性が増す。この手法は、前述の2つの画像処理システムに適用できるばかりでなく、あらゆる抽出原理による2値画像に対して有効と考えられる。ただし、当然のことながら、配列の規則性を利用した野菜とノイズの識別精度は、実際の野菜の配列精度に影響される。したがって、この手法を利用して除草作業の自動化を実現するためには、多条植えの機械移植技術

の導入を図ることが望ましい。

III 応用例と今後の展望

物理除草ロボットを実現するためには、雑草を除去するエンドエフェクタ等のハードウェア、および、それらを制御するソフトウェアが必要であり、開発にはなお時間を要する。しかし、ここで紹介した野菜の認識手法は、物理除草だけではなく、薬剤のスポット散布の技術化、収

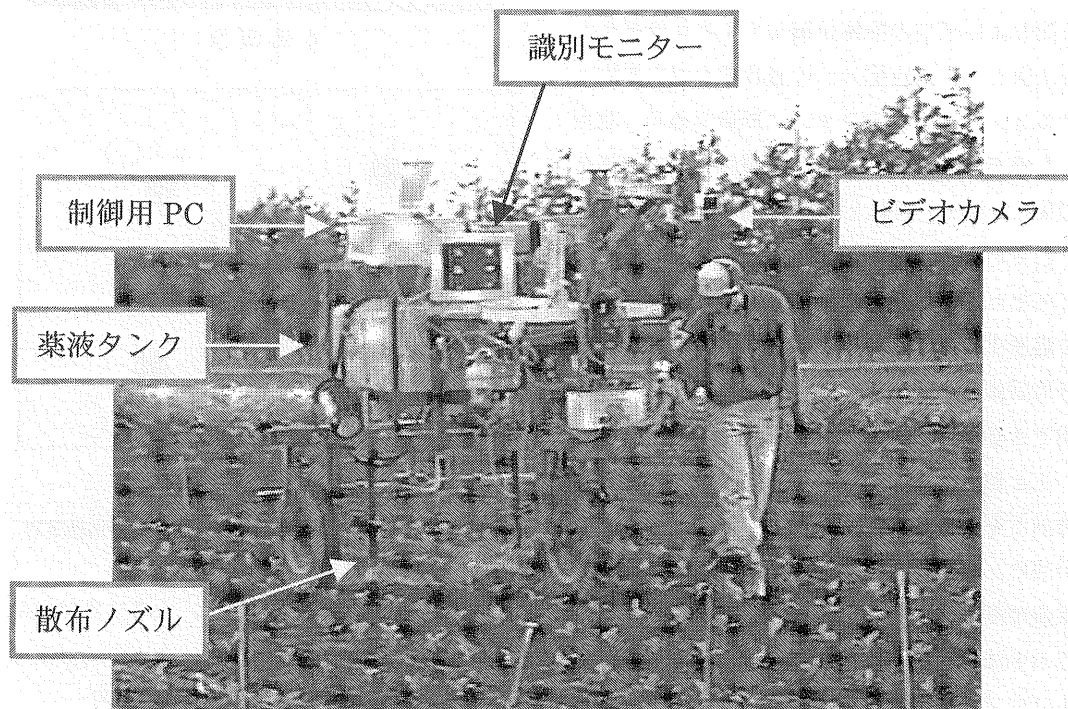


図-7 スポット散布の試験風景（1999年8月，北海道農試畑作研究センター）

穫の自動化など他の多くの農作業の自動化を図る上で活用できる。

図-7は、北海道農試が開発中の薬剤スポット散布装置に、野菜認識システムを搭載した試験風景である。この試験では、0.42m/sの進行速度で、株間35cm、条間60cmに植え付けられたキャベツ苗を2条ずつ認識し、電磁バルブの開閉制御により、株間のみに除草剤を散布することに成功した。さらに、システムを改良し、認識した作物体のみに薬剤を散布する機能を加え実験を成功させた。薬剤のドリフト防止など解決すべき問題は残されているが、実用化への道は遠くないものと考えている。

引用文献

- 1) 機械除草研究会：機械除草に関する試験報告書，1-37，1994
- 2) 柴田洋一，西崎邦夫，大谷隆二：無農薬除草のための基礎的研究（第1報）－画像処理手法による作物と雑草の識別－，農機誌，56(6)，95-102，1994
- 3) 柴田洋一，西崎邦夫，大谷隆二：無農薬除草のための基礎的研究（第2報）－ファジイ推論による作物配列の推定－，農機誌，57(6)，125-132，1995
- 4) 柴田洋一，西崎邦夫，横地泰宏，唐牛敦，荒木 幹：無農薬除草のための基礎的研究（第3報）－識別処理の連続化－，農機誌，60(3)，87-95，1998
- 5) Y. SHIBATA and K. NISHIZAKI, Yasuhiro YOKOCHI, Atsushi KARAUSHI, Kan ARAKI, Crop Recognition System for Physical Weeding Robot, Proc. of 13th CIGR Congress, Vol3 p453-459, Rabat, 1998
- 6) 柴田洋一，西崎邦夫，大谷隆二，横地泰宏：温度情報処理による作物検出，農業機械学会北海道支部会報・第35号，P15-19, 1995
- 7) 高木幹生，下田陽久監修：画像解析ハンドブック，東京大学出版会，503，1991
- 8) 日本ファジイ学会：講座ファジイ10・ファジイ画像処理，日刊工業新聞社，88-100，1993

新刊!

SHIBUYA INDEX

—8th Edition—

1999年版

渋谷成美・ほか／編集 A4版 936頁 定価40,000円(税込)

1978年に第1版を発行して以来、簡便に使える農薬リストとして知られていた本書の第8版。世界の農薬すべてを網羅し、一般名、商品名、コードナンバー、メーカー名、構造式、適用場面、特性を記載。単剤3,600種を構造別に整理し、関連化合物の検索も容易にできる。また、混合剤で4,600余種も掲載。

呈内容見本

全国農村教育協会

〒110-0016 東京都台東区台東1-26-6(植調会館) 電話/03-3833-1821 FAX/03-3833-1665