

画像処理とフィールドサーバ併用による農家支援システムに関する研究

生産システム工学専攻 野田 圭一

Research on Farmer Support System by Using Field Server with Image Processing

Keiichi Noda

Advanced Course of Production System Engineering, Toba National College of Maritime Technology

Abstract

The importance of ubiquitous computing is gained in the agricultural area. Field Servers are developed and used as a remote monitoring tool in recent agricultural industries. The Field Server handles weather data, measuring and taking photo images for analyzing visualized information. However, insufficiency of universal applications for using Field Server and the fact that image data are not adequately used for the automatic control even though the condition of the plants, pests and thieves are detected only from images. As our first proposal we developed the farmer support system. Functions of the Farmer Support System are: 1) browsing Field Server data (weather and image data), 2) show the graph, 3) slideshow of the images, 4) detection of plant wilt, 5) addition optional event (bloom the flower, found a disease of the plant and etc.) to the graph and 6) other function (alarm and send mail if the application found out some crow, constant monitoring of workers in the farm and etc.). This application, "Farmer Support System" will assist all the farmers for its convenience.

Keywords: Ubiquitous, Field Server, Web Application, Database Image Processing, Plant Wilt

1. はじめに

ユビキタスコンピューティングの重要性の認識はさまざまな分野へも波及し、農業分野においても IT 技術の利用を積極的に行うシステムが開発されている。農場の気象データを遠隔地のパーソナルコンピュータ等で閲覧・管理するフィールドサーバ[1・2]と呼ばれるネットワーク接続型の気象データ計測機器が開発され、大規模農場で利用されはじめている。このフィールドサーバは、ネットワーク接続可能な圃場設置型の計測機器であり、気温、湿度、土壌温度、日照量などの計測が可能であるほか、搭載されたネットワークカメラによる圃場画像の取得、周辺機器の制御も可能である。フィールドサーバを圃場内に点在させ、無線 LAN ネットワークで相互接続しておけば圃場のホットスポット化が実現できる。このため、遠隔地からのデータの管理閲覧・周辺機器の制御だけでなく、圃場内においても携帯型情報端末を利用して同様の操作が可能となるなど、その応用システム開発の可能性は非常に高く、大きな期待が寄せられている。

フィールドサーバのその他の利用例として、トンネル内部の遠隔監視に用いた事例もある[3]。住宅地に引かれた FTTH や ADSL などのブロードバンド回線を各地に点在させたフィールドサーバで経由し、ブロードバンド回線の利用ができない場所に繋げる事で、山間部や農村地でもネットワーク環境を整えることができるなどその応用は多岐にわたっている[4]。また、この

フィールドサーバ群に各種センサを繋げることでセンサネットワークを実現できる。

しかし、これらの取組みはごく一部であり、日本における兼業農家を含む比較的小規模な農家であっても、気象データなどを記録・閲覧する必要性を感じている。また、フィールドサーバを有効利用するためのアプリケーションは専用設計であり、各農家が独自で注文する必要があるなどの面倒な作業や費用が必要である。このようなフィールドサーバ用の総合的アプリケーションを充実させることでフィールドサーバの更なる普及が見込まれる。

また、農林水産省が運営する 2005 年農林業センサス[5]が 2000 年に行った統計調査によると、日本の約 80% が兼業農家であるため、日本の多くの農家が農業だけに専念することは難しいことが分かった。

そこで私は、日本の大部分を占める小規模農家を対象にした汎用的なアプリケーションとして、農場の気象データや画像データの蓄積を行う収集プログラムと収集したデータを閲覧するための Web アプリケーションの開発を行った。加えて、これまであまり有効的に利用されていなかったネットワークカメラで取得した画像データに対して画像処理を行い、植物の「しおれ」の検知した。その植物がしおれていた場合には、給水装置を動作させて対象植物に自動給水を行う機能を搭載した。本稿では、フィールドサーバの設置、ネットワークの構成方法やアプリケーションソフトウエ

ア全体をまとめて農家支援システムとして提案する。

2. 開発するシステムの概要

2.1. 搭載する機能

今回開発するシステムに搭載する機能として、現在フィールドサーバを設置させていただいている農家側と打ち合わせた結果に基づいて、必要とされている機能を以下のようにまとめた。

Web ページとして準備

- (1) 気象データ閲覧画面(現在の様子や過去データの検索など)
- (2) グラフ表示((1)を視覚的に表示)
- (3) イベント入力(花が咲いた,収穫時期などをメモしてグラフ上に表示)
- (4) 動画再生(逐次保存される画像データをスライドショー的に表示,トレーサビリティのひとつとしても利用可能)
- (5) 作業者の作業状態の監視

画像からの特徴抽出による自動化システム

- (1) 植物画像に対し画像処理を用いて植物のしおれを数値化し給水する
- (2) カラスを発見したら警報を鳴らす

これらの機能があれば、農家はわざわざ日々の観察データをノートに直筆でメモする必要がなくなる。また、紙の上では表現できない植物の映像も容易に観る

ことができ、植物の生長の様子を消費者が確認できるなどの利点がある。

今回、これらの情報を表示する Web ページは大きくパーソナルコンピュータ用と携帯電話用に分けた。それぞれの利用される状況などを勘案し、Web ページの設計を行う。

2.2. システムの構成

システムの構成を図 1 に示す。農家(事務所)は汎用の ADSL 回線でインターネットに接続している。ルータ下には Web サーバとデータ処理用のパーソナルコンピュータが稼働している。Web サーバには、気象データ用と画像データ用のデータベースを作成してある。データ処理用パーソナルコンピュータには、定期的に巡回しているエージェント・プログラムがフィールドサーバの各データを取得し、Web サーバ上のデータベースへ書き込んでいる。

圃場にあるフィールドサーバは無線 LAN 接続されており、搭載されている各種センサとネットワークカメラを用いて各データを取得し続けている。

一方、クライアント側では、パーソナルコンピュータや携帯電話の Web ブラウザによって閲覧画面から現在の圃場状態を閲覧することができるようになっている。

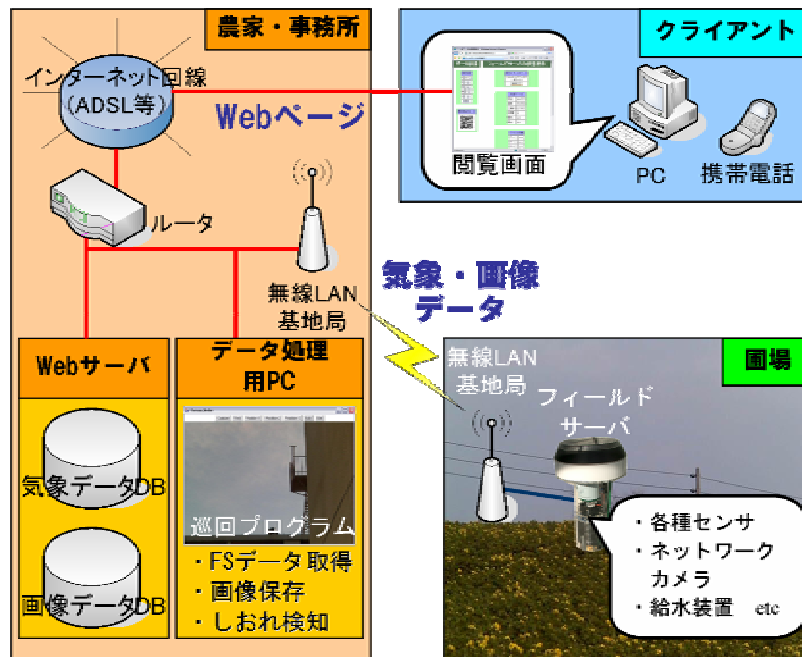


図 1 システムの構成

3. 圃場へのフィールドサーバの設置とネットワーク構築

今回の実験を行うにあたり愛知県知多市南知多町にあるキャベツ農家に LAN を構築し、フィールドサーバや Web サーバを設置した。今回設置したフィールドサーバは、株式会社イーラボ・エクスペリエンス製 FieldServerIII360 度モデル(図 2)である。温度・湿度・日射量・土壌水分量などの気象データを観測できる他、パンチルト・ズーム機能付きのネットワークカメラが搭載されているので、任意ポジションの画像を取得することができる。



図 2 FieldServerIII360 度モデル

このフィールドサーバを用いて圃場において構成した LAN の IP アドレスとポート番号を表 1 に示す。

表 1 図 1 中の各端末の IP アドレスとポート番号

デバイス	IP アドレス	ポート番号
ルータ	192.168.1.1	
Web サーバ	192.168.1.50	8080
フィールドサーバ	192.168.1.51	8000
ネットワークカメラ	192.168.1.52	8088
データ処理用 PC	192.168.1.100	

構築した LAN は ADSL 回線によりインターネットへ接続されている。外部から Web サーバへアクセスするために DDNS を利用し、設置したルータのポートフォワーディング機能を用いている。今回はルータの製造会社であるバッファロー社の DDNS サービスを利用し、“minamichita.bf1.jp” というドメインを設置農家用に取得している。

DDNS とは、Dynamic Domain Name System の略で変更されたグローバル IP アドレスを動的に DNS サーバ

に登録しなおし、特定のドメイン名によるアクセスを可能とする仕組みである。フィールドサーバを設置した南知多の農家は、ADSL 回線を使用しているため、接続するたびに ISP の DHCP サーバによってグローバル IP アドレスの配布がなされる。したがって、IP アドレスによる常時接続は不可能となるので、DDNS による特定のドメイン名と IP アドレスの結びつけを行っている。

4. フィールドサーバのデータ取得と書込み

4.1. データ取得・書込み巡回プログラム

フィールドサーバの各データを収集する巡回プログラムは、データを取得すると同時にサーバ上のデータベースへの書込みを行っている。データベースへ保存しておくことでデータ検索や変更が容易であり、Web アプリケーションを用いて閲覧することが可能となる。

しかしフィールドサーバは、無線 LAN を利用して接続しているため、電波状況により接続が途切れることがある。そこで、途中で回線が不通となっても巡回プログラムが停止しないように配慮してある。

今回、Web サーバは Tomcat、データベースは MySQL、Web ページは JSP、巡回プログラムには JAVA をそれぞれ利用した。

4.2. 気象データの取得

フィールドサーバから気象データを取得する場合、HTTP プロトコルの“GET”命令によりフィールドサーバ状態の HTML ソースを取得する。図 3 はその HTML のソースをブラウザで表示したものである。ここでソースの中には HTML タグやタイトルなどの unnecessary 文字列が多数含まれているので、文字列操作を行い必要な文字列を抽出する。

PIC Network Interface Card Version 1.2.0.0

I/O Ports

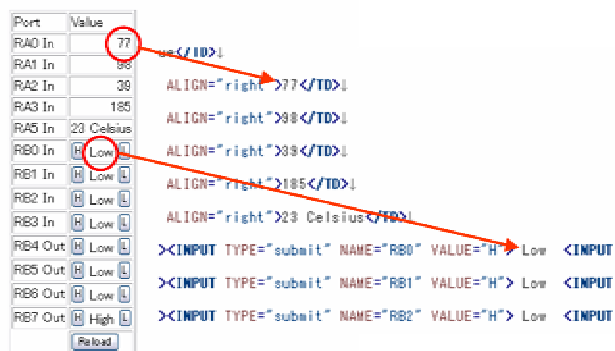


図 3 HTML ソースからのデータ取得

切り出されたデータは、フィールドサーバに搭載さ

れている PICNIC に接続された各センサやデバイスに対応している。つまり、任意のポートにセンサやデバイスを接続することで、データを取得し、デバイスの電源を ON/OFF させることができる。今回は、表 2 に示すようなセンサとデバイスをフィールドサーバに接続した。

表 2 フィールドサーバ上の PICNIC の各ポートに対応したセンサとデバイス

I/O Ports	センサ(デバイス)
RA0 In	温度計
RA1 In	湿度計
RA2 In	土壌水分計
RA3 In	日射量計
RA5 In	フィールドサーバ内部温度計
RB0 ~ 3 In	未使用
RB4 ~ 6 Out	未使用
RB7 Out	ネットワークカメラ

ここで、RA はセンサ類、RB はデバイス類を表している。RB で、“Low” になっているものは電源が OFF 状態が接続されていないことを示し、逆に “High” のときは電源が ON である。

そして、気象データ用記録用のデータベースにおけるフィールドを表 3 に示す。フィールドサーバの気象データは、データベース内には表 3 に従って書き込んでいる。ここで、“id” は主キーであり、“auto_increment” に設定して、自動的に通し番号が振られるようにした。

表 3 気象データ用データベースのフィールド

フィールド	タイプ	意味
Id	int(11)	通し番号
address	char(30)	フィールドサーバの IP アドレス
Port	int(11)	ネットワークポート番号
Date	char(10)	日付(YYYY-MM-DD)
Time	char(8)	時間(hh:mm:ss)
temperature	int(11)	温度
humidity	int(11)	湿度
soil_moisture	int(11)	土壌水分
solar_amount	int(11)	日射量
wind_direction	int(11)	風向
wind_velocity	int(11)	風速
Port1 ~ port8	char(4)	各デバイスの ON/OFF 状態

今回は、これらのデータを 10 分間隔で取得し保存することにした。このとき、保存される気温や湿度の値はセンサで取得されたそのままのセンサ値であり、実際の値とは異なっている。Web ページに表示する際に補正を行って実際の気温や湿度の値に変換する。

4.3. 画像データの取得

今回使用したフィールドサーバには、東芝製ネットワークカメラ IK-WB21 が搭載されている。このネットワークカメラには標準で制御用 CGI が内蔵されており、HTTP プロトコルにより GET 命令を送ることによって、カメラのパン・チルトやズームイン・アウトなど、さまざまな動作をさせることができる。さらに、オートパイロット機能に含まれるプリセット機能によって、レンズの方向、ズーム位置を複数登録可能である。このように登録しておけば、必要なときに必要なポジションに移動してその画像を取得することができる。これらの機能は管理者権限が必要なため、Basic 認証でのログインが必要となる。

IK-WB21 に撮影ポジションを追加する場合、出荷時に搭載されている CGI にブラウザからログインし、ネットワークカメラの映像を見ながらマウス操作でパンチルト・ズームの状態を変更して追加できる。これにはポジション番号が付けられ、ブラウザやプログラムから IK-WB21 の CGI プログラムに “GET /api/wbpresetapi.cgi?cont_4=[position_number] HTTP/1.0” のように、GET 命令で [position_number] を指定することによって、あらかじめ登録した撮影ポジションへ移動させることができる。

そして、画像データは HTTP プロトコルを利用して、http://[address_cam]:[port_cam]/admin/__live.jpg を GET することにより取得可能である。したがって、Java プログラムからこのアドレスに接続し、こちらも Basic 認証によるコネクションを確立(InputStream の取得)することで画像を取得できる。このとき、[address_cam] にはネットワークカメラのアドレス、[port_cam] にはポート番号が入ることになる。

撮影された画像データも気象データ同様に、データベースへ保存する。画像データ用データベースのフィールドを表 4 に示す。画像データは毎時 0 分と 30 分の 2 回ずつ取得することとした。

表 4 画像データ用データベースのフィールド

フィールド	タイプ	意味
Id	int(11)	通し番号
Img_name	char(25)	JPG 画像の名前
date	char(10)	日付(YYYY-MM-DD)
time	char(8)	時間(hh:mm:ss)

4.4. データベースへの書き込み

4.1.と 4.2.で説明したデータベースへデータを書き込む際には、JDBC と呼ばれるコンテナを事前にデータ取得用パソコンにインストールしておく必要がある。例として “Class.forName(“com.mysql.jdbc.Driver”);” のように MySQL-JDBC 間のドライバを呼び出して、

“ jdbc:mysql://[host_name]/[database_name]?user=[user_id]&password=[user_password]&useUnicode=true&characterEncoding=cp932 ” でコネクションを確立する。ここで、[host_name]はデータベースが保存されているサーバアドレス、[database_name]にはデータを書き込みたいデータベースの名前、[user_id]と[user_password]にはそのデータベースへアクセスするための ID とパスワードを入力する。“ cp932 ” は、Shift-JIS 形式の文字コードであることを表している。あとは、SQL 文(ここでは、INSERT 文)を入力してクエリ(データベースへの検索要求)を送ればコマンドラインでデータベース操作するかのようデータ書き込みが可能である。読み出しの場合も SELECT 文を用いれば行うことができる。

5. 圃場状態の表示 Web ページの作成

5.1. 温度と湿度の補正

データベース内に保存されている気温や湿度の値は、4.1.でも述べたようにセンサ値である。よって、閲覧者が分かるように気温や湿度の値に補正しなくてはならない。そのため、温度・湿度計をフィールドサーバ横に設置し、数値の比較を行った。そして、計算によって補正した値をブラウザに表示した。

フィールドサーバで計測した温度値と温度計で読み取った温度の比較を行った。それぞれを一次近似すると、温度 $T[^\circ]$ は温度センサ値(電圧値) $Sns(tmp)$ から式(1)のように算出される。

$$T = -0.2863 \times Sns(tmp) + 43.131 \quad [^\circ] \dots (1)$$

次に、湿度に補正する場合は、飽和水蒸気圧 $E(T)[hPa]$ を求めなければならない。その温度 $T[^\circ]$ での飽和水蒸気圧は式(2)により求まる。そして、 T と $E(T)$ の関係[6]は図4になる。

$$E(T) = 6.11 \times 10^{\frac{7.5T}{T+237.3}} \quad [hPa] \dots (2)$$

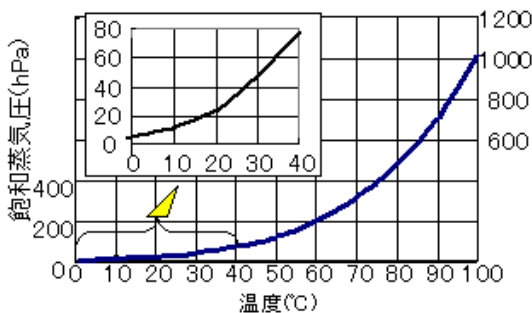


図4 温度と飽和水蒸気圧の関係

この湿度の割合と湿度計の値を一次近似すると式(3)が得られる。ここで、湿度の割合とはフィールドサーバで測定した湿度センサ値(その空気の水蒸気圧) $Sns(hum)$ を $E(T)$ で除算した値である。

$$H = 4.6521 \times \frac{Sns(hum)}{E(T)} + 7.6737 \quad [\%] \dots (3)$$

5.2. パーソナルコンピュータ用ページ的设计

パーソナルコンピュータでは、グラフやイベント情報の表示や JavaScript による高度な処理などさまざまな GUI が実現可能であり、ビジュアル的にも可能なことが多い。

パーソナルコンピュータ用の画面構成としては、図5のように、フレームを利用して画面の左側にメニューを、右側にフィールドサーバの状態を表示するものとした。左側のメニューには、「最新のデータ」、「グラフ表示」、「動画表示」、「過去データの検索」、「携帯用 QR コード」が用意されており、それぞれをクリックすると左下にサブメニューが表示される。サブメニューから見たい表示方法などを選ぶと、右側のフレームに結果が表示されるようにしている。



図5 パーソナルコンピュータ用 Web ページ

5.3. 携帯電話用ページ的设计

携帯電話用の Web ページは表示領域が少ない上、パケット量やそれに対する料金の制約などがあるため極力シンプルなものとした。フィールドサーバの現在の気象データをはじめに表示し、必要に応じて過去データや画像データ等を参照できるようなページ構成とした。図6に携帯電話用ページを示す。



図6 携帯電話用の Web ページ

6. 自動給水システムについて

撮影された画像データには、病虫害や害獣・泥棒などの早期に発見しなくてはならない要素が含まれている可能性があるにもかかわらず、自動処理にはあまり利用されていない。たいていは利用者が後で目視するのみに使用されているのが現状である。インゲンとキュウリのしおれ検知[7]の研究は画像データを自動処理し、ロボット制御に応用した例であるが、大規模農場が対象である。小規模農家を対象とする以上、もっと汎用的で、かつ低コストに実現できるシステムを考えなければならない。

そこで、4.2 で取得された植物画像を元に、その植物がしおれていないかを検知するシステムを考える。今回実現した機能は、葉領域のみを抽出した画像から植物のしおれ具合を数値化し、その植物がしおれていると判断される場合に自動給水を行うシステムである。以下に詳細な処理の流れを示す。2006年に韓国のプサンで発表した資料[8]を参考に述べる。

6.1. 前処理

しおれ検知に必要な葉領域のみを残すために前処理を行う。今回利用した前処理は以下の順に施す。

カラーメディアンフィルタ

葉領域抽出フィルタ

カラーメディアンフィルタ(二度目)

それぞれの処理についての説明を下記に示す。

カラーメディアンフィルタ

メディアンフィルタとは、注目点を中心に 3×3 の近傍領域中で濃度値を降順に並べ、中央値をその注目点と置き換える処理である。この処理を行うと、こま塩ノイズを効率よく除去できる。

しかし、通常のメディアンフィルタはグレースケー

ル画像に対してかける処理であり、この処理で葉領域を抽出するためにはカラー画像のままである必要がある。したがって、色要素である RGB に対し、メディアンフィルタをそれぞれにかけた。

葉領域抽出フィルタ

背景や鉢を除去して葉領域のみを抽出するために色相によるフィルタを施す。この処理を簡単に行うためには植物の背面に黒い板を設置し、背景画像を単純なものにしておく。

ここで用いたフィルタは HSL 色空間(図 7)の色相を表す H が定義している黄色よりの緑($30 \sim 100^\circ$)を抽出するものである。色相 H とは、色を 0° を赤(#FF0000)とした角度で表したものである。また、彩度 S は中心軸からの距離、明度 L は高さである。

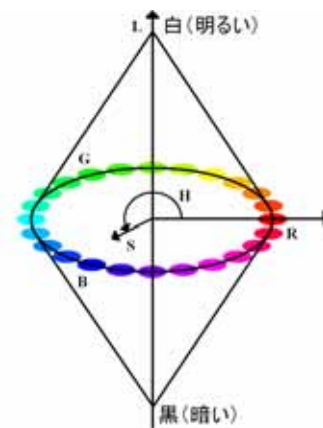


図7 HSL 色空間のイメージ

カラーメディアンフィルタ(二度目)

原画像にカラーメディアンフィルタと葉領域抽出フィルタをかけた結果、葉領域以外の小領域が残る場合が見受けられたので、再びカラーメディアンフィルタを施す。

前処理の結果、出力された画像を図 8(b)に示す。

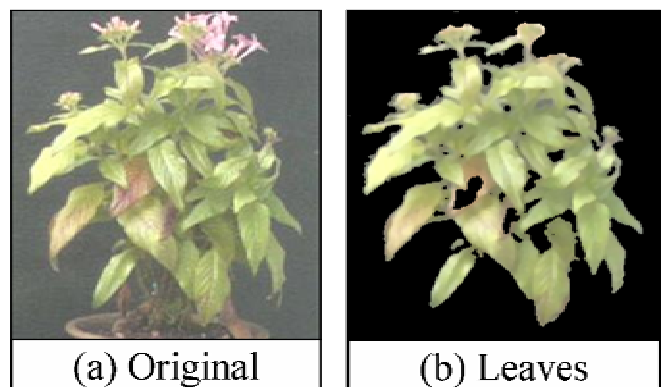


図8 原画像と葉領域のみの画像

6.2. 植物のしおれ具合の数値化

6.1.で出力された画像に対し,以下の2つの指標を用いて植物のしおれを数値化する.

葉っぱの肩の角度

葉領域を覆う長方形の面積

それぞれの指標算出を以下で述べる.

葉っぱの肩の角度

葉の開き具合は,葉領域の頂点から両肩に向けての角度を算出する.図9のように元気な植物(a)の角度 θ_1 としおれている植物(b)の角度 θ_2 では明らかに θ_2 のほうが狭くなっている.この角度を求めれば,しおれの指標の1つとなると考えた.

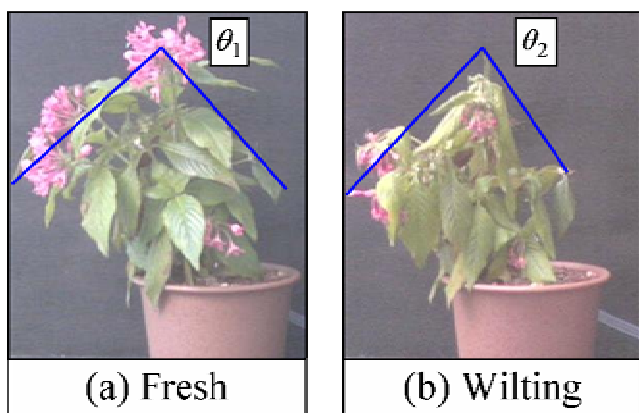


図9 元気な状態としおれている状態

まず,この角度を求めるために左上から走査し,葉っぱの頂点 (x_{top}, y_{top}) と左右端点 $(x_{left}, y_{left}), (x_{right}, y_{right})$ の3点を定める.このとき,頂点 (x_{top}, y_{top}) の x_{top} は処理範囲の中間点とし, y_{top} はそのまま走査して決定した値とした. x_{top} を中間点とした理由は,植物の頂点は風や光の影響を受けやすく,画像処理をかけたときに左右のブレが大きかったためである.このブレが大きいと,3点が成す角度にばらつきが出て安定した測定ができなかったからである.この角度を求める式を式(4)に示す.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{y_{left} - y_{top}}{x_{top} - x_{left}} + \tan^{-1} \frac{y_{right} - y_{top}}{x_{right} - x_{top}} \quad \dots (4)$$

(x_{top}, y_{top}) から縦に垂線を引き,左側の角度と右側の角度を足したものが θ である.図10は3点とそれらが成す角度を視覚的に表した図である.図が2値画像になっているのは,図式的に見やすくするためである.

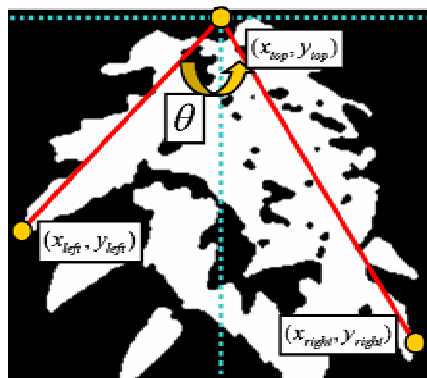


図10 視覚的に表した3点による角度

葉領域を覆う長方形の面積

ここでいう面積とは,葉領域中のピクセル数の合計である.葉領域を覆う長方形のピクセル数は,葉領域すべてを覆う長方形を考える.図11に示すように,葉っぱの肩の角度で求めた $(x_{top}, y_{top}), (x_{left}, y_{left}), (x_{right}, y_{right})$ に加え,下端 (x_{bottom}, y_{bottom}) を求める.これらの4点から式(5)によって面積 S を算出することができる.

$$S = (x_{right} - x_{left}) \times (y_{bottom} - y_{top}) \quad \dots (5)$$

この指標では,植物の高さが下がる,または左右の幅が狭くなるときに面積 S が少なくなるので,しおれの検知にはかなり有効であると考えられる.

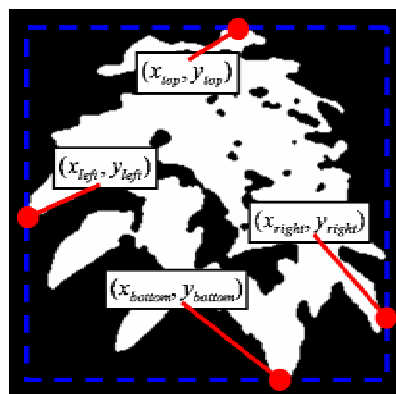


図11 上下左右4点を含む長方形

6.3. 自動給水

以上で求めた結果を元に自動給水を行う.提案した2つの指標は共に,似たようなグラフを示し,植物のしおれとして有効であると言える.

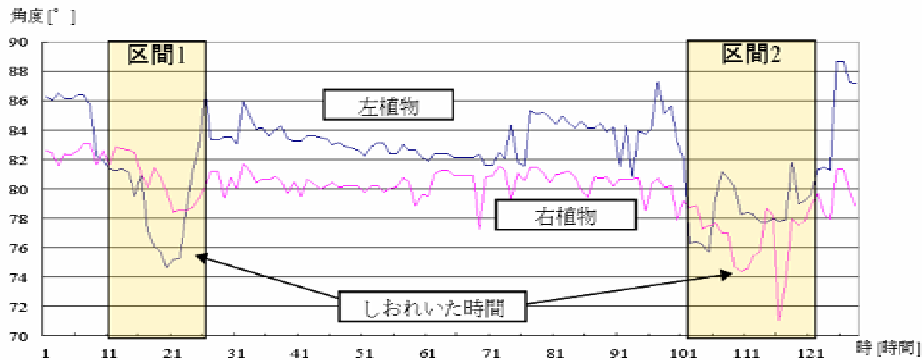


図 12 葉っぱの肩の角度の変化

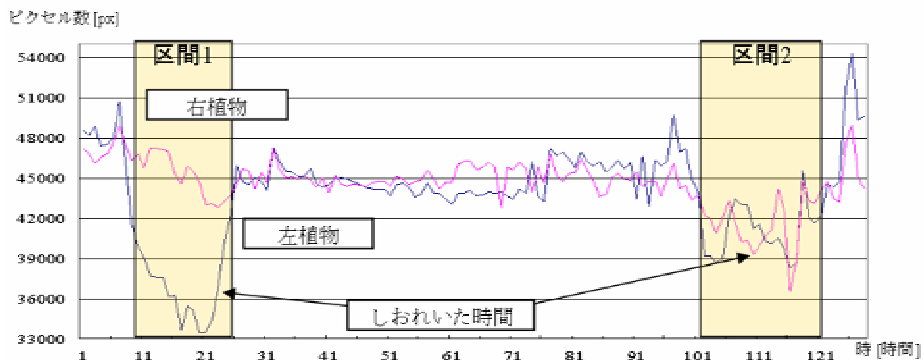


図 13 葉領域を覆う長方形の面積の変化

7. おわりに

今回、南知多にあるキャベツ農場にフィールドサーバを設置、ネットワーク環境を整備して実際の農家での実証実験を行った。フィールドサーバの気象データと画像データをサーバ上のデータベースへの自動書き込みを行い、その各データ表示用 Web ページの開発と保存された植物画像を元に画像処理によってしおれ検知を行った。そして、これらの機能を総合して、農家支援システムとして提案した。

今後は、Google Map APIs を利用し、Google Map 上に設置したフィールドサーバと連動して各地にあるフィールドサーバの気象データや画像データを閲覧できるようにしたい。将来的には、システムの設定マニュアルを作成し、これらのプログラムソースとともに農家へ提供していきたい。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、本校講師・江崎修央教員には、ネットワーク技術や LINUX 系 OS の管理、画像処理において多大なご支援とご指導をいただいたので、ここに感謝の意を表する。

参 考 文 献

- [1] 中央農研・農業情報研究部・モデリング研究室，“フィールドサーバによる気象データおよび作物画像の計測技術”，関東東海北陸農業研究成果情報，pp.174-175，2002
- [2] 平藤雅之，“フィールドサーバによる圃場情報モニタリング”，農業および園芸，第 78 巻，第 1 号，pp.182-188，2003
- [3] 佐々木浩二，“画像情報を取り入れたフィールドサーバの進展と遠隔監視事例”，計装，Vol.45-1，pp.65-68，2002
- [4] 平藤雅之，“フィールドサーバによるユビキタス環境とセンサネットワークの構築”，<http://narc.naro.affrc.go.jp/jyoho/>
- [5] 「2005 年農林業センサス」：<http://www.maff.go.jp/census/index.html>
- [6] 「Wikipedia」：<http://ja.wikipedia.org/>
- [7] 田附明夫，亀井清紀，大倉更織，水谷友香梨，塩光輝，“しおれ自動識別のための植物画像からの葉領域抽出法”，農業情報研究，Vol11-1，pp.27-40，2002
- [8] Keiichi Noda, Nobuo Ezaki, Hotaka Takizawa, Shinji Mizuno and Shinji Yamamoto, “Detection of Plant Saplessness with Image Processing”, SICE-ICASE International Joint Conference 2006, Oct. 18-21, 2006 in Bexco, Busan, Korea