

## 農作業情報取得のための土壌水分センサを用いた灌水量の推定

Estimating Watering Amount with  
Soil Moisture Sensors to Identify Farming Works

中西 惇<sup>†</sup>      安井 顕誠<sup>‡</sup>      梶原 祐輔<sup>†</sup>      島川 博光<sup>†</sup>  
Sunao Nakanishi      Kenji Yasui      Yusuke Kajiwara      Hiromitsu Shimakawa

## 1. はじめに

近年、新しく農業を始める新規就農への関心が高まりつつある。2007年から2009年にかけて新規就農に関する相談が倍増しており、新規就農に対する関心が高まっているといえる [1]。しかし、実際に新しく農業を始める件数は横ばい傾向である。新規就農者が増えなければ農業人口の減少や農家の後継者の不足といった問題が生じ、日本の農業が衰退する。そのため、新規就農者を増やし、農家の後継者を確保する必要がある。新規就農者は新しく農業を始めるために農業技術を習得する必要がある。しかし、新規就農者にとって、農業技術の習得が困難なために農業を始める上での障壁となっている。

農業技術の取得の困難さは農業技術の性質に原因がある。農業において、必要な農作物の栽培技術は勘や経験に頼った主観的な方法が多い。例えば、作物の葉が悪くなれば施肥などを実施する。作物の葉の色を目視で判断し、発生している問題に対処するといった方法は、農家の主観的な判断であり、すべての農家に適応できる方法ではない。そのため、熟練農家でも農作業のタイミングの判断を誤り、作物の収量が減ったり、品質が落ちるといった失敗をすることがある。作物の栽培に失敗することは農家にとって経済的なリスクを負うことになり、新しく農業を始めるときの障壁となる。また、主観的な情報に頼った方法であるため、新規就農者への技術伝達が困難である。客観的な情報に基づいた農作業実施の判断基準を設定し、新規就農者への技術伝達を容易にすることが重要である。

本論文ではもっとも基本的な農作業である灌水に着目し、土壌水分センサから灌水量を推定する手法を提案する。この手法で予測値から閾値を決定するための実験をした。実験ではプランタに土壌を入れ、土壌水分センサを設置しデータを採取した。実験から得たデータから誤差と含有率に対する閾値を設定し、閾値を用いて灌水量を判別できるかどうかを交差確認法により検証した。マイニングにより得られた適切な閾値を用いて灌水量を判別すると72%の正答率で灌水量を判別できた。そのため、実験における灌水量の違いを、設定した閾値によって判別できることがわかった。

## 2. 農場からの農作業情報の取得

## 2.1 農業技術のマニュアル化

新規就農者への農業技術の伝達と栽培の失敗をなくすために、今まで勘や経験に基づいていた圃場の状態や農作業実施の判断を、客観的な基準に基づく判断に切り替える、農業技術のマニュアル化が必要とされている。例えば、作物の葉の色が悪ければ施肥を実施する、土壌が乾いてきたら灌水を実施するといった農業技術に着目す

る。この時の作物の葉の色が悪い、土壌が乾いているから適切な農作業をするといった判断は、農家の主観的な判断である。このような主観的な農業技術は、農家の勘や経験に基づいているため、状況の判断を誤り、作物にとっての正確な対処ができないことがある。また、勘や経験に頼っているということは新規就農への農業技術の伝授を難しくする。主観的な農業技術を客観的な農業技術にするためには、色や大きさなどの作物の状態、気温や土壌水分などの圃場の状態を定量的に取得することが必要である。得られた圃場の状態と作物の状態を関連付けて、圃場の状態が特定の状態ならば灌水しなければならないといったマニュアルがあれば、農家は正確な判断を下すことができる。加えて、新規就農者は定量的な情報に頼った判断ができ、勘や経験に頼る必要がなくなる。農作業実施の際の判断基準といった農業技術をマニュアル化し、主観的な農業技術ではなく客観的な農業技術ができるため、新規就農者へ正しい農業技術を伝承できる。

## 2.2 圃場状態の取得

農業技術をマニュアル化するためには、農作業の実施がどのような圃場の状態、作物の状態で実施されたかを明確に表せるよう、それぞれの状態を定量的に取得する必要がある。農作業の前後で観測されたデータを解析することによって、農家の農業技術を抽出する試みがなされている [2]。作物の状態と圃場の状態、農作業の記録を関連付けて、農家がどの情報に頼って農作業を実施する判断をしているのかを抽出することによって、客観的な農業技術を得る。しかし、圃場の状態や作物の状態の取得は圃場センサやカメラなどで自動的に取得できるが、灌水の実施時期や灌水量といった農作業情報の取得は農家自身が手作業で記録しなければならず、農家の負担が大きい。

## 2.3 既存研究

農作業情報の取得時の農家の負担を減らす方法が考えられている。農作業情報を取得する方法として、農家がノートなどの紙媒体に農作業情報を記録するのではなく、PCやスマートフォンやタブレット端末などのIT機器に農作業情報を入力し、記録する方法がある [3]。この方法では、農作業情報を取得し電子化できるが、IT機器への農作業情報の入力には、農家が農作業を実施するたびにを行うため、農作業情報を記録する負担がかかる。前述の例のように、農家に負担をかけないためには、農家が農作業情報を記録するのではなく、自動的に農作業情報を取得して記録する方法が必要である。また、農作業情報を自動的に取得する研究としてICタグを用いて農作業情報を取得する方法がある [4]。この方法は農作業の手首に装着したICタグリーダーで農業施設や農作業用具にICタグを読み取って、いつ、どのような農作業情報を実施したかを取得する。しかし、農家は農作業時に、ICタグリーダーを装着しなければ農作業情報を取得でき

<sup>†</sup>立命館大学情報理工学部<sup>‡</sup>立命館大学大学院情報理工学研究科

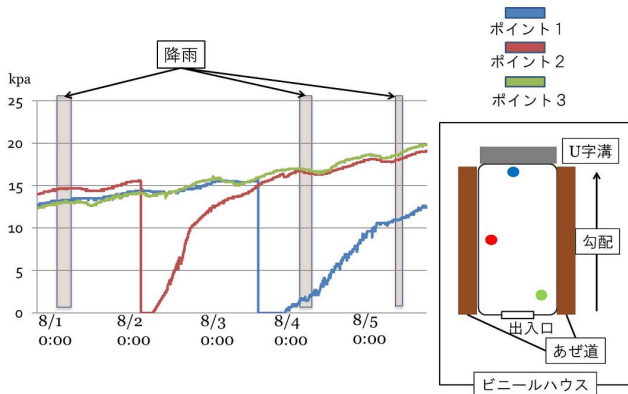


図1: ビニールハウスにおける土壌水分の変化

ないため、農作業時は常にICタグリーダを装着する必要がある。したがって、農作業時に毎回ICタグリーダを手首に装着するのは、農家にとって農作業の邪魔となり負担になる。農家に負担をかけずに農作業情報を取得し記録する方法が必要である。

### 3. 土壌水分の遷移からの灌水量推定

#### 3.1 灌水による土壌水分の変化

農家にとって今までの方法で農作業情報を記録することは大きな負担になるため、負担を減らす方法が必要である。農作業には灌水や施肥、ビニールハウス農家であれば換気といった項目がある。農作業の内、灌水作業はほぼ毎日のように実施される作業である。また、作物に与える影響が大きいので、灌水は他の農作業よりも重要であると考えられる。例えば、施肥といった農作業は、灌水に比べて作業頻度が非常に少なく、農作業情報を記録する際の農家の負担は少ない。したがって、灌水作業の記録を自動化できれば、農家が農作業情報を記録する負担を大きく減らすことができる。そのため、本研究では重要度が高い灌水作業に着目する。

灌水作業を取得するためには、灌水によって起こる土壌水分の変化を考える必要がある。土壌水分の変化は灌水以外にも降雨や地下水の上昇によっても引き起こされる。灌水作業を実施すると大量の水が短時間で撒かれるため、土壌水分の急激な上昇が予想できる。一方で、降雨の場合には灌水の場合ほど短時間で大量の水が土壌に染み込まない。また、地下水の上昇でも急激な土壌水分の変化は見られない。灌水による土壌水分の急激な上昇は、灌水時のときのみ起こる、特徴的な変化であるといえる。しかし、土壌の質の違いによって、土壌水分の遷移に違いがあると考えられる。例えば、土壌が砂地であればすみやかに土中の深い地点で水が浸透するため土壌水分が上昇するが、泥地であれば、深部での土壌水分はゆるやかに上昇する。圃場ごとの土質の違いを考慮しなければ実際の圃場で灌水量を推定することはできない。そのため、本論文では、圃場に設置されたセンサを用いて、土壌水分の遷移から灌水量を推定するための手法を提案する。

#### 3.2 土壌水分の変化の要因

土壌水分の変化は、水の蒸散や湿潤などの要因によってモデル化することができる [5]。土壌水分の上昇させ

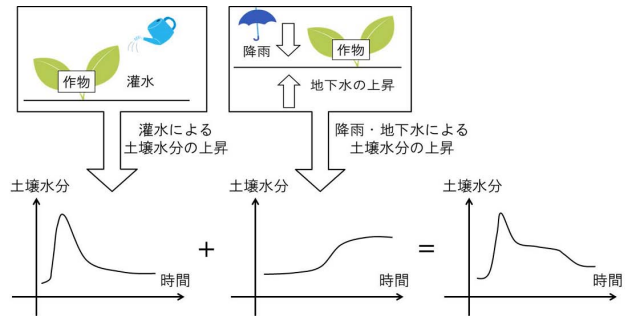


図2: 複合的な要因による土壌水分の上昇

る要因に着目すると、次の要因が考えられる。

- 灌水
- 降雨
- 地下水の上昇

一般に作物は土中に直接植えられていることが多いので、圃場における土壌水分は灌水や降雨の他、地下水の影響も受ける。圃場が地下水の影響を受けた例として、ビニールハウス農家にて実験をしたときの土壌水分のデータを図1に示す。

この実験では、土壌水分の指標として水ポテンシャルセンサを使用した。水ポテンシャルセンサを図1のように、3箇所へ深さ30cmに設置した。水ポテンシャルセンサは値が小さいほど湿潤している状態を示し、値が大きいほど土壌が乾燥していることを示す。図1に示すように、ビニールハウスでは土に雨が直接かからないため、降雨による直接的な土壌水分の上昇はない。しかし、降雨後しばらく経過した後に水ポテンシャルの減少が確認できるため、土壌水分が上昇したと言える。すなわち、ビニールハウス内の土壌水分がなんらかの形で影響されたと考えられる。

ここで図1のビニールハウスのセンサ配置に注目する。ビニールハウスは出入口からU字溝にかけて緩やかな傾斜がある。また、両側はあぜ道となっており、降雨後に水が溜まる。加えて、ポイント2からポイント1の順番で土壌水分が上昇し、ポイント3では上昇しなかった。したがって、あぜ道に溜まった水が、ビニールハウスのあぜ道側から時間をかけて土壌中を湿潤し、ポイント2からポイント1へ勾配に沿って水分が移動したと考えられる。よって、ビニールハウス外の降雨が地下水となってビニールハウス内の土壌水分を上昇させたといえる。

このように、圃場の土壌水分は多様な原因によって上昇する。図2に示すように、灌水による土壌水分の上昇は、多くの原因による土壌水分の上昇分に加算されて、圃場での土壌水分として計測される。複数要因の総和として土壌水分の遷移から灌水による土壌水分の遷移を識別することは困難である。しかし、灌水以外の原因による土壌水分の遷移は緩やかであると考えられる。いま、灌水による遷移と灌水以外の原因による遷移を図2のように区別しそれぞれの遷移の特性を同定できたとする。

これらの遷移を加えることができれば、実圃場における土壌水分の遷移を把握できると考えられる。

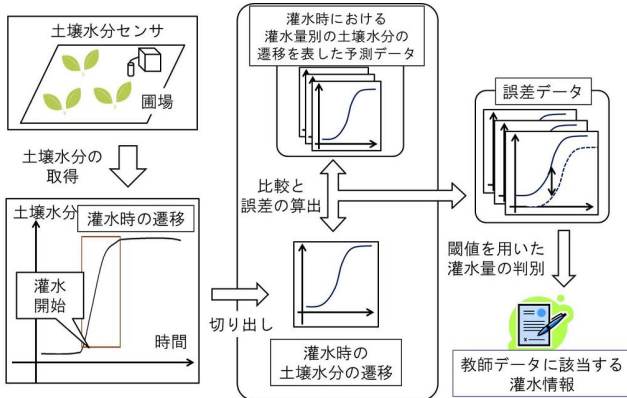


図3: 灌水量推定手法の概要図

そこで本研究では、

1. 灌水による土壌水分の遷移は、人為的に他の原因を取り除いた環境灌水作業を実施したときの土壌水分の遷移データから回帰分析により予測する。
2. 灌水以外の原因による土壌水分の遷移は、灌水を実施しない環境での土壌水分の遷移データを回帰分析し、予測する。
3. 両者の遷移の速度には、大きな違いがあるため、短期間での遷移の特性に着目することで、灌水作業を識別するというアプローチをとる。

灌水以外の原因による土壌水分の遷移を記録するためには、長時間の観測期間が必要である。本研究では1の灌水による遷移を予測する回帰分析に注力する。

### 3.3 土壌水分の遷移からの灌水量推定手法

本手法では、灌水時の土壌水分の遷移に着目し灌水量を推定する。灌水量推定の概要図を図3に示す。

農家が圃場に灌水を実施したとき、土壌水分の急激な上昇が発生する。灌水による土壌水分の変化を計測するために、土壌水分センサを用いて圃場から土壌水分を計測する。圃場から取得した土壌水分のデータから灌水量を識別するために、数種類の灌水量に対して灌水時の土壌水分の遷移を計測する。灌水による土壌水分の上昇直前から、土壌水分が安定するまでの期間を切り出し、これを分析の対象とする。複数回の施行によって得られた分析対象の期間の遷移データを訓練データとテストデータに分ける。訓練データを回帰分析することにより、回帰式を得る。回帰式は灌水開始からの時間が指定されたときに、その時点での土壌水分の予測値を算出する。ある特定の灌水量に対して、土壌水分の遷移を示すテストデータと予測値の遷移を比較し、各時点での誤差を算出する。算出した誤差が、閾値以内に収まっている割合が高ければ、対応する灌水量で灌水が実施されたと判別する。このときの得られる農作業情報はどれだけの量が灌水されたかという情報である。このように、灌水量を圃場センサだけを用いて取得できれば、農家が灌水情報を記録する負担をなくすることができる。

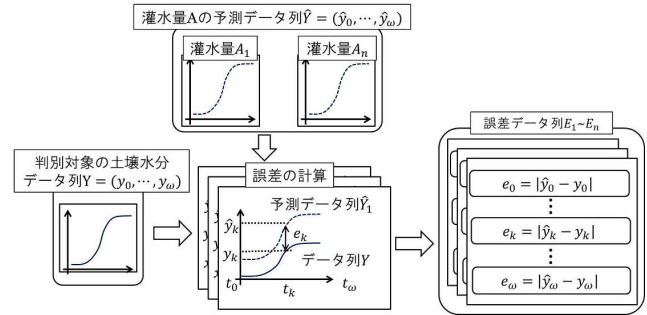


図4: 誤差の計算方法

### 3.4 土壌水分データの切り出しと回帰曲線の決定

土壌水分データの切り出し方法について述べる。切り出したデータ列を  $Y = (y_0, \dots, y_\omega)$  とする。

土壌に水分が浸透するとき、土壌水分の変化はロジスティック曲線に従った変化を示すと想定し、灌水量ごとの土壌水分の遷移をロジスティック曲線で回帰する。

回帰曲線のもととなるロジスティック曲線は次式で表すことができる。また、 $a, b, c$  はロジスティック関数のパラメータである。

$$f = a \frac{1}{1 + e^{\frac{b-x}{c}}} \quad (1)$$

回帰したロジスティック関数  $f$  のデータ列を  $\hat{Y} = (\hat{y}_0, \dots, \hat{y}_\omega)$  とする。灌水量ごとの土壌水分データをロジスティック回帰した曲線で予測値を計算する。

### 3.5 誤差の計算と閾値

誤差データ列の計算の概要図を図4に示す。

ロジスティック回帰で求めた曲線と切り出したデータを比較、誤差の計算をする。ロジスティック回帰曲線のデータ列  $\hat{Y} = (\hat{y}_0, \dots, \hat{y}_\omega)$  と比較対象のテストデータ列  $Y = (y_0, \dots, y_\omega)$  とする。

データ列  $Y$  と回帰データ  $\hat{Y}$  の誤差列  $E = (e_0, \dots, e_\omega)$  は次式で計算できる。

$$e_i = |\hat{y}_i - y_i| \quad (2)$$

$$E = \sum_{i=0}^{\omega} e_i \quad (3)$$

灌水量を判別するために、誤差に対する閾値を設定する必要がある。比較するためには誤差に対する閾値が必要である。正しい灌水量を識別するため  $e_i$  に対する閾値  $W$  を設定する。ここで  $e_i$  が閾値  $W$  以内である  $i$  の数を  $d$  とする。データ列  $Y$  と回帰データ列  $\hat{Y}$  の類似度を判別するために含有率  $r$  を次式で計算する。

$$r = \frac{d}{\omega} \quad (4)$$

含有率  $r$  の値が高ければ、予測値に該当する灌水量で灌水が実施されたと判別する。灌水量を判別するために含有率  $r$  に対する閾値  $R$  を設定する。

設定した2つの閾値  $W, R$  によって、該当する灌水量で実施されたかどうかを判断する。



図 5: 実験風景

## 4. 実験・解析

### 4.1 使用するセンサ

本手法では灌水量を推定するために土壌水分を計測する必要がある。土壌水分を計測するために、土壌を採取し乾燥させることによって土壌水分を計測する方法がある。しかし、土壌を採取し土壌水分を計測することは農家にとって負担となる。また、灌水によって変化する土壌水分を連続的に取得することが困難である。農家に負担をかけずに土壌水分の変化を取得するために、本実験では地面にセンサを差すだけで土壌水分を計測できる土壌水分センサ Spectrum 社製 SMEC300 を用いた。

### 4.2 実験

実験では、本手法に必要な灌水量ごとのロジスティック回帰曲線の設定と、灌水量を判別するための閾値を設定することを目的とした。圃場に灌水を行った状態を再現するために、プランタに土壌を入れたものにジョウロによって灌水する実験を行った。灌水による体積含水率 (%) の変化を見るために土にセンサを設置した。センサ付近の土壌の隙間によって値が変動する可能性があるため、センサを土にさした後に隙間ができないように設置した。ベニヤ板を用いて 30 cm 四方のプランタを作製し、土を高さ 10 cm まで入れた。(図 5)

本実験では同一の畑の土壌を用いた。プランタに決められた水量を灌水することによって、水量ごとの土壌体積含水率の変化を 1 分間隔で観測した。実験では、灌水量を 1 L、1.5 L、2 L とし、灌水量別の灌水をそれぞれ 5 回実施し、計 15 回の灌水を実施した。灌水実施ごとに土壌が湿って初期値が大きく変わってしまうため、毎回土を入れ替えた。

### 4.3 解析

本実験において取得した体積含水率データから、灌水量を判別できるかどうかを検証した。 $\omega = 15$  とし、体積含水率の遷移データを切り出した。実験データの解析において、true positive 判別のために、3 種類の灌水量の中の、5 個の体積含水率の遷移データから 1 個を選び出し、テストデータとした。残った体積含水率の遷移データ 4 個をロジスティック回帰し回帰曲線を算出する。回帰曲線で算出した予測値の遷移データとテストデータである 1 個の体積含水率の遷移データを本手法で比較し誤差を計算した。次に true negative 判別のために他の

二種類の灌水量の体積含水率の遷移データ 10 個を予測値と比較し誤差列を計算した。このように、灌水量ごとに 5 回、合計 15 回体積含水率データを選び出し、true positive 判別のための誤差列と true negative 判別のための誤差列を計算した。計算した誤差列に対して、閾値  $W$  を 0% から 10% まで、0.1 刻みで変化させ、含有率  $r$  に対する閾値  $R$  についても 50 から 100 まで 5% 刻みで変動させた。2 つの閾値を変動させて、正答率が高くなる閾値  $W, R$  の組み合わせを求めた。ここで、灌水量を正しく判別できた割合を正答率  $C$  とする。

$$C = \frac{\text{true positive 判別の正答数}}{\text{true positive の正答数}} + \frac{\text{true negative 判別の正答数}}{\text{true negative の正答数}}$$

閾値が  $7.8 \leq W \leq 7.9$  かつ  $R = 85\%$  のときにもっとも高い正答率  $C = 72\%$  で判別できた。

したがって、土壌水分センサによって土壌体積含水率を計測し、解析することによって灌水量を判別できるといえる。また、灌水量を 72% の精度で識別できれば、灌水量に関する農作業情報を取得できたと考えられる。本手法で得られた農作業情報と、農作物の状態や他の農作業情報と組み合わせることによって、農業技術のマニュアル化に貢献できるといえる。

## 5. おわりに

本論文では土壌水分センサから灌水量を推定する手法を提案した。本手法では、圃場に土壌水分センサを設置し、灌水によって起こる圃場の土壌水分の遷移を取得する。圃場から取得した土壌水分の遷移を、灌水量別の土壌水分の遷移ごとの予測値と比較し誤差を計算する。計算した誤差に対して閾値を設定し、予測値に該当する灌水量で灌水が実施されたかどうかを判別する。

実験において、3 種類の灌水量で灌水時のデータを取得した。実験データに対して、灌水量の予測値と灌水データを比較し誤差を計算した。計算した誤差に対する閾値を変動させてもっとも正確に灌水量を判別できる閾値の組を求めた。適切な閾値を設定すれば、72% の正答率で灌水量を判別できることが確認された。

## 参考文献

- [1] 全国新規就農相談センター:” 新規就農者 (新規参加者) の就農実態に関する調査結果”, 2011
- [2] 農作業の軽労化に向けた農業自動化・アシストシステムの開発 農林水産省平成 22 年度委託プロジェクト <http://www.s.affrc.go.jp/docs/project/2010/project2010.htm>
- [3] P.K.S.C. Jayasinghe, et.al. :”Development of a Fieldwork Reminder System to Help Field Management”, World Conference on Agricultural Information, 1095-1099, 2008
- [4] 南石晃明, 菅原幸治, 深津時広:”RFID を用いた農作業自動認識システム”, 農業情報学会, 16(3), 132-140, 2007
- [5] 本間香貴 岡井仁志ら ”水収支モデルの”丹波黒”ダイズ栽培農家圃場への適用” 作物研究 (55), 27-32, 2010