

サトウキビ選抜過程における育種従事者の判断の特徴抽出

篠田 孝祐^{1,a)} 池田 圭佑¹ 服部 太一郎² 樽本 祐助² 諏訪博彦³ 栗原 聡¹

概要：本研究では、サトウキビの生育評価データを解析することで、サトウキビの育種ノウハウを持つ育種家が行う段階的な品種選抜におけ選抜基準の特徴抽出をおこなった。そして、育種担当者の知見とデータから得られた知見とを比較することで、育種に関わる固有の気付きの抽出が可能であるかを検討した。

The feature extraction of breeders' skill in case of sugarcane selection process

KOSUKE SHINODA^{1,a)} KEISUKE IKEDA¹ TAICHIRO HATTORI² YUSUKE TARUMOTO² HIROHIKO SUWA³
SATOSHI KURIHARA¹

1. はじめに

近年、日本の農業は、就業人口が減少しつつあるため、就業者の高齢化の傾向が著しい(図1)など、次世代の農業就業者の育成が急務となっている。このような状況下において、一定の農業生産を維持するためには、国内農業システムの高度化や生産安定化が重要な課題となっている。世界に対して、日本の農業生産の現場では、生産量は劣っても高品質の農産物が比較的低廉な価格で供給できている。これは世界的に見ても高いレベルの生産技術が生産者の努力によって実現しているといえる[1]。特に優れた育成技術は、熟練農家によって担われているところが多く、その技術も高齢化によって生産者の引退とともに消え去る可能性が高い。このような問題は、農業に限らず人間が経験をへて技術を身につける現場では多々存在する。近年、この問題に対して、熟練者が持つ知識をより多くの農家で共有・発展させる仕組みを整えることで、農業における生産力や品質をより向上させることが、農業分野の主要課題となっている[2], [3]。

農業作業者が持つべき知識とは、その多くが身体

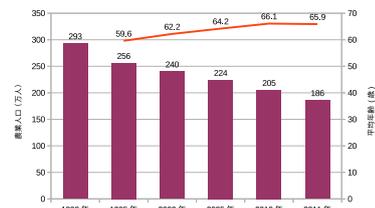


図1 農業人口の推移と平均年齢との比較 [4]

や直感のようなものを通して、農地や作物の状態を把握するために、どのような情報を何から得ているのかであり、そして得た情報をもとに作物に対してどのような対応が可能でどれを選択すべきか決めるということである。熟練者に限らずあらゆる作業者が、何らかの方法で情報を蓄え・活用することで、よりよい知識を形成していくが、それらは、身体を通じた経験であるために、マニュアルのような言語で記述できるモノとすることは容易ではない。本研究では、そのような言語化されていない知識のことを暗黙知と呼ぶ。農業は、あらゆる作業において個人の経験を通じてしか獲得できない知識が多い。そのため暗黙知化している知識の多い分野といえる。つまり、農業における知識の共有とは、他者の経験を共有することに等しく容易ではない。そこで、少しでも他の農業従事者と共有しやすい、文章や図、表、規則のような形式知とすることで、様々な農業知識の共有による議論や進展が見込めるだけでなく、初

¹ 電気通信大学
The University of Electro-Communication, Chofu, Tokyo
158-8585, Japan

² 農研機構 九州沖縄農業研究センター
NARO Kyushu Okinawa Agricultural Research Center

³ 奈良先端科学技術大学院大学

NARA Institute of Science and Technology

a) kosuke.shinoda@uec.ac.jp

心者にも農業へ参入しやすくなり、若手育成へとつながると考える。

知識の暗黙知化による同様の問題は、本研究で対象とするサトウキビ育種の現場にも存在する。サトウキビ育種とは、新品種の開発を目的に、交配・選抜作業を通じて優良な系統を選別している [5]。育種とは、生物の遺伝的な改良であり、同じ遺伝子型の個体を扱える植物の育種では、そうでない動物とは異なり、同じ遺伝型をもつ作物を多数育成することで、環境適応性や耐病性、経済的特性、栽培管理特性などで高い質が期待できる遺伝子型を見つけることが可能である。具体的には、病気に強く多くの糖収量が期待できるのはもちろん、地域の環境条件や生産者を含めた社会的条件への対応も含まれる [6]。そのためには、交配だけでなく、実際の栽培を通して、対象となる遺伝子型の特性の性質を評価する必要がある。

ただし、サトウキビでは、遺伝子の特性から、遺伝子と各特性との関係性はまだ明確になっておらず、交配した親からうまれる特性も安定的ではない。体系化された理論も存在しない。また、圃場の広さや人員は無限にあるわけではないため、育種において重要な評価の作業は、限られたリソースの中で工夫して行われている。具体的には、多数の交配した新品種に対して1, 2年程度の育成・評価を行い、その評価に基づいた選抜を繰り返すことで徐々に評価の対象を減らしながら、新品種に対する評価の確度を上げている。そして、選別のための評価は、量的評価だけでなく質的評価も含まれている。そのため、育種従事者の経験によって培われた知見によるところが多い [7]。質的評価が含まれる理由とは、天候や土壌など複雑な条件が重なりあう環境で育った品種に対して、それが生来持っている本来の特性を評価するには、長年の体験に基づく体系化と積み重ねられた作物に関する知識が重要な役割を果たすためである。このような知識は、必ずしも言語化が容易ではない暗黙知であることが多々ある。その暗黙知となっている知識を可視化することは、サトウキビの育種の発展にとって重要な課題であるとされている [7]。本研究では、サトウキビの育種ノウハウを持つ熟練育種家の特徴抽出へ向けた最初の一步として、サトウキビの生育データの解析から特徴抽出を行う。また、育種家の知見も抽出し、それら二つを比較することにより育種家が普段は無意識に行っていること（気づき）が得られるかどうか検討を行う。

2. 関連研究

技能の継承を目的とした暗黙知の抽出に関わる研究は数多くの研究者によって取り組まれている。農業分野においては、人工知能の技術の1つであるエキスパートシステムを用いた技能や経営知識の継承が試みられている [8], [9]。しかしながら、様々な技術や評価のノウハウが作業従事者の記憶に頼ったものであることが多く、技能などの継承は

従事者から別の従事者への経験を通じた伝承が主な手段であった。そのため、特に栽培・育成の現場における記録・データが存在していなかったため、収量性の向上などの取り組みが共有されにくいものであった。近年のIT・ICT技術の発展を受け、農業分野においても行動・判断のデータ化とその活用に注目されており、現在の研究・技術開発の多くが分析に必要なデータ収集のために、環境や作物、そして従事者の行動を記録するシステムの構築が中心的課題になっている [10], [11], [12], [13], [14]。具体的な取り組みとして、関口ら [15] は、ハウスの開閉時間の決定に関する作業者の行動を決定木と重回帰式により定式化することを試みている。開閉量を目的変数、気象と育成日数を説明変数とした決定木・重回帰式によって抽出したルールとインタビューに基づく作業者の主観的ルールと比較したところ、ある程度の知見は定式化可能であることを示した。そして、後藤 [16] は、ウェアラブルカメラを活用した技術継承研究を行った。ウェアラブルカメラを用いて普段の作業映像を記録し、記録した映像を見ながらインタビューを行った。作業のコツやポイント、映像だけではわからないノウハウ等を記録し映像と一致させ、それらを組み合わせることで、マニュアル動画を作成することで文字を中心とした作業マニュアルや教科書では伝わらないノウハウを視覚的にわかりやすく伝えることができると提案した。

これら既存研究に対して、本研究で対象フィールドとする農業試験地は品種の特性の把握と特性の発現が目的であり、対象物の成長の最大化による収量の獲得を目的とする作物の育成とは作業の目的が異なる。そのため、より作業者の判断に関する知見が得られやすい対象であると考えられる。また、一般の農作業者とことなり、試験地では科学的な分析をとるためにデータの収集・記録が行われている。以上から、本研究では、育種の評価のために記録されている野帳を対象に、育種従事者の作業に関する知見が抽出可能であるかを検討する

3. サトウキビの選定プロセス

サトウキビの育種データを解析するにあたり、サトウキビの品種が選定されるプロセスに関して述べる。新しい品種を選定する一連の作業は、系統選抜試験と呼ばれる。その工程は、図2に示すような流れで行われる。図の中の、赤字となっている数字は、各選抜試験で調査をする系統（品種の候補）数である。より優秀な系統を選別するために、選抜試験を進めるにつれ段階的に系統数を減らしながら、各系統の調査の母数を増やすことで、評価をより正確にしようと試みている。このような特定の遺伝子型の系統を増やして評価・選抜が可能であるのは、サトウキビが分げつにより新しい芽を成長させる植物であるためである。これにより、糖度などは破壊的な評価方法も同じ系統のものを評価用と次の試験用とに分けて行うことが出来

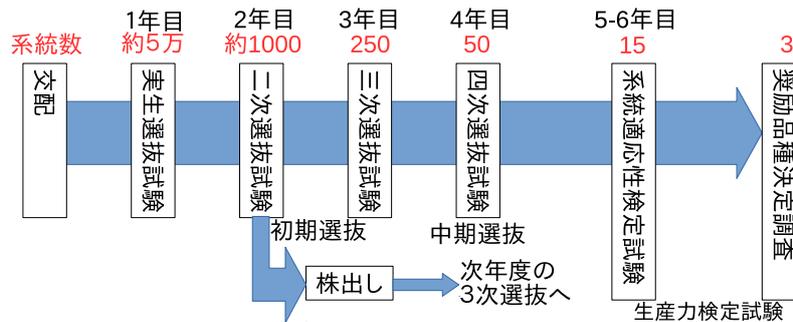


図 2 育種の工程: 実生選抜試験から新配布系統選定までの流れ

る。また、各選抜試験ごとに評価対象となる母数が異なるため、評価指標や項目は各試験ごと異なる。また、三次選抜試験以降の選抜試験では、過年度の選抜試験で一度選抜の対象から外れたものも、翌年度に再評価された系統や、別目的のための交配により作出・選抜された系統が加わる場合もある。

図 2 の各選抜試験における詳しい内容を、種子島試験地で平成 09 年から選抜を開始した K09 シリーズと呼ばれている系統選抜試験の工程を例に説明をする。

- 実生選抜試験: この試験が系統選抜における最初の試験となる。実生選抜試験では、交配した種から約 50000 系統を使用する。このままでは数が多すぎるため、苗を植えてしばらく成長した段階で、予備選抜が行われる。予備選抜では、複数の担当者が分担して見て回り、見た目に成長の悪いものを除く作業である。予備選抜では、2500 個体程度まで絞られ、本選抜へ進む。本選抜では、実際に Brix 値を計測し、その結果を基に半数程度まで選抜する。
- 二次選抜試験: 実生選抜試験で選抜された 1000 ~ 1200 個体は、二次選抜から「系統」として扱われる、これは、サトウキビは茎の節部分に着生する芽子から増殖できるため、実生選抜で選抜した個体については 1 ~ 2 本の茎から 10 株程度の芽子を採取し、二次選抜において 1 系統 10 株程度を植え付けることができるためである。この選抜試験では、複数回に分けて調査と評価を行い、その結果をもとに次の試験へ進む系統を選抜している。
- 三次選抜試験: 二次選抜試験から 190 系統、前年度の 08 シリーズ (2008 年に実生選抜に供試を開始した系統で株出し評価を経たもの) から 10 系統、条件が異なる徳之島試験場で育てた 50 系統の計 250 系統を供試する。この三次選抜試験には特徴があり、種子島で 2 箇所と徳之島 1 箇所の計 3 箇所です生育される。種子島では地力が高い圃場と低い圃場が使用され、そこに徳之島の圃場が加わることで、様々な条件や特徴に合わせた選抜が行われる。三次選抜試験は鹿児島県農業開発総合センター徳之島支場との連携の下で実施しており、種子島と徳之島の担当者間の協議を踏まえて選抜系統が決定される
- 四次選抜試験: 三次選抜試験から選ばれた 50 系統を使用する。この四次選抜試験から実際にサトウキビを収穫し収量性を実測するとともに品質を細かく分析している。また、本選抜と並行して黒穂病といった病気に対する抵抗性の予

備的検定を実施している。

- 系統適応性検定試験: 種子島試験地での 4 次選抜試験から選ばれた 15 系統を供試する。種子島以外の 4 力所でも同じ系統を栽培し、それぞれの地域に適応性の高い系統を選抜する。種子島と徳之島では 2 年間、沖縄県の 3 地域では 1 年間試験が行われる。
- 奨励品種決定調査: 系統適応性試験の結果、それぞれの地域で成績が優れていた少数の系統を供試する。その地域で奨励品種化して普及する価値があるかを、2 年間の栽培サイクルを数回繰り返しながら評価する。特定の地域に対して適応性の高い系統を配布して試験することから、奨励品種決定調査に供試する系統を「新配布系統」と呼ぶことがある。

上記の工程において、育種従事者は、系統の特性を評価するために量的評価として茎長や茎数、Brix などと、茎長・茎数、分けつ^{*1}の状況などを主観的に判断する質的評価をおこなう。この選抜において特に前者は、同じ遺伝子型をもつ個体数が限られているため質的評価の精度が重要となる。なお、選抜工程をどう設計するかで、サトウキビの系統のどのような特性を把握できるかが異なる。そのため、工程の設計も選定の手段の 1 つである。例えば、2 次選抜試験までは 1 年ごとに行っていると、複数年収穫可能なサトウキビが、収穫の翌年も成長する「株出し」の能力を持たない系統が多く選抜されてしまい、複数年の育成を行った段階で、そもそも評価の対象にならない系統が多数残っていると選抜の体を為さないこともある。それを確認するには、現在の工程で何が評価できていて、「株出し」を重視するには、どのように選抜工程を修正すると良いのかを把握するために、育種従事者の知見を形式的な知識として可視化出来ることが望ましい。本研究では、この質的評価を行う際の記録である「野帳」をデータセットとして用いて、育種家の評価手法が形式化可能であるかを検討する。

4. 解析

4.1 データセット

サトウキビの育種に関する評価に関わる情報は、「野帳」に記録されてきた。具体的には、各選抜試験の決まった時

*1 根元の付近で新芽が伸びて株分れしている

期に、生育状況や糖生産量に関連する調査データや育種家による評価などが記入されている。生育状況の評価の「野帳」への記入は、圃場では紙面に手書きで記入しており、その内容は電子データとしても保存されている。本研究では、この電子データとして記録された「野帳」を対象として分析する。しかしながら、この野帳は、基本的に人手による作業での利用を前提とした記録であり、機械的な可読性は考慮されていないデータである(図3参照)。そのため、機械的な処理を行うためにデータの事前処理が必要である。

圃場 No.	畦 No.	2次選抜組み合わせ		4月初期評価	5月Brix	7月		備考
		♀	♂			茎長	総合評価	
1	1	1	a1 x b1	○	13.2	短	○△	
1	1	2	a1 x b1	○○	14.5	並	○○	
1	1	3	a1 x b1	x	18.1	ヤヤ短~並	△	
1	1	4	a2 x b1	△	9.5	並	x	
1	1	5	a2 x b1	○	11.3	ヤヤ長	○	
1	2	6	a2 x b1	x	15.4	ヤヤ短	△x	
1	2	7	c3 x d4	△x	8.2	並	△	
1	2	8	c3 x d4	○	17.4	並~ヤヤ長	○	
1	2	9	c3 x d4	○	20.4	長	◎	

図3 野帳データ例(データは架空のもの)

野帳に記述されている具体的な内容は、新品種の候補となる系統を管理・識別するための何種類かの番号と親の組み合わせなどの基本的な情報、茎長・茎数・茎径やBrixなど糖生産力に関わる項目に加え、病気や欠株など評価に関わる情報が記載されている。それらをもとにした育種家による評価が加えられている。対象とする株の多さから、個々の株に対する詳細な数量評価は基本的になされておらず、(三次以降は特に)同一遺伝子型で植えられた区画単位でまとめて量的・質的評価が記録されている。質的評価は、「」「」「x」や、「短」「並」「長」のような形である程度の段階で行われているが、必ずしも育種家の間で統一した基準ではないため、その記述や段階も評価者により異なる。また、気象条件や栽培する圃場など育成の環境条件は一定ではないため、標準品種と呼ばれる普及した品種も同時に育成することで、年度ごとの指標の均質化も図っているようではあるが、正規化されているわけではないため評価担当者や異なる年度での評価には注意が必要である。

本研究では、「K09シリーズ」と呼ばれる選抜プロセスで記録されたデータを分析対象とする。K09シリーズの09とは、2009年という意味であり、2009年に最初の選抜試験に供試したという意味である。具体的には、2007年に交配で作出した種子を2008年に播種・育苗し、2009年に圃場に植え付けて最初の選抜(実生選抜試験)に供試した系統を対象としたデータである。そして、このシリーズを対象とした野帳データをもとに、評価者の経験的知識の抽出が可能であるか検討する。

この野帳データには、各選抜段階ごとに複数回の調査・評価が記録されている。今回は、実生選抜試験と、二次選抜試験の2つの選抜試験をまず対象とした。

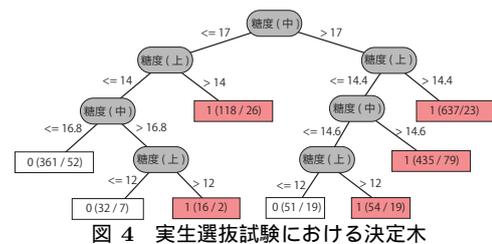


図4 実生選抜試験における決定木

4.2 分析手法

野帳データを分析するにあたり、前処理として、育種家の評価に関わるであろう項目を抽出して、分析可能なデータに変換をした。例えば、「」「」「x」で書かれた記号の順序関係の整理と数値化を行った。本研究では、まず第一歩として、各段階での選抜において評価者の意思決定においてどの項目を潜在的に重視しているのかを検討するために、決定木を用いる。決定木を用いる理由は、判別に用いる項目間の関係性が可読であるためである。なお、決定木は Weka にて作成し、アルゴリズムは C4.5 ベースの J48 を用いた。

5. 解析結果

5.1 実生選抜試験

実生選抜試験では、早期の段階で成長の良くない系統は除かれており、外観で成長が優れた個体のみを計測の対象としている。よって、糖度を計測する対象を選んでいる時点で、すでに評価が始まっているといえる。だが、この段階での評価の記録は、極めて断片的な記録のみである。よって、本論文では、糖度計測後の選別のみを対象とする。

実生選抜における Brix 計測は、サトウキビの上部と中央部を対象に計測している。図4は Weka を用いて作成した決定木であり、円形のノードが属性を矩形のノードがクラス(ここでは0が非選抜,1が選抜)とカッコ内はそのラベルでの(正例数/負例数)を示し、枝のラベルが上のノードの属性に対する閾値を示している。Brixの中央部の値のほうが上部の値より比較的重視されている傾向があると判断できる。そして、基本的には、Brixがより高いものが選抜されているという解釈ができる。

5.2 二次選抜試験

二次選抜では、7月の育成評価、10月にBrixの調査を含めた評価を行い、3月に再びBrixを含めて総合評価を行って次の段階への選抜を行う。よって選抜の段階としては、3段階あるが、それぞれの段階で評価対象となる株が減らされている。具体的には、7月の評価後に54/1502(3%)が10月の評価後に1001/1448(67%)が調査対象から外れている。そのため、10月のBrixは多くの系統が調査されているが、その大半が3月のBrixのデータを持っていない。よって、決定木の作成を、10月の評価と、3月の評価に対するものの2つに分けて行う。なお、3月のデータに関しては、10月の評価後対象から外れた系統は決定木作成

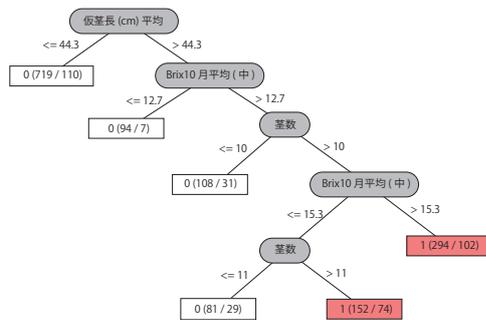


図 5 二次選抜 (10 月評価) における決定木

の対象から外している。

図 5 から 10 月時点での選抜では Brix でも上部の値は重視されておらず、茎長と Brix(中) と糖収量への期待が選抜の基準となっているのではないかと予測される。そして、図 6 の 3 月の評価 (次の三次選抜へ進む) 段階では、茎数や茎長、茎径などが重視され、こちらも糖収量への期待が基本的な選抜基準ではないかと考えられる。ただし、この決定木の説明変数から除外している「株予想」と呼ばれる次年度の株の強さを評価された系統の中から選ばれているため、株への評価が最も重視されている可能性も高い。なお、この株予測を除外した理由は、最終的に選抜された系統のほぼすべてが「株予測」の評価がされた系統から選ばれており、「株予測」そのものが実質的な選抜とも言えるため除外した。

6. 野帳データ分析に対する考察

6.1 サトウキビ育種従事者へのインタビュー

系統の選抜における野帳の活用などについて図 4, 5, 6 などの分析結果を参照しながら、育種従事者にインタビューを行った。まず、各選抜段階において重視している項目を確認したところ、表 1 のような回答を得た。

表 1 育種家が各選抜試験にて重視している項目

選抜試験	重要項目
実生選抜試験	Brix 値, バイオマス生産性
2 次選抜試験	原料茎重, Brix 値
3 次選抜試験	原料茎重, Brix 値
4 次選抜試験	可製糖量, 黒穂病抵抗性, 原料茎重, 蔗汁糖度, (3 次の) 株出し能力

育種従事者から得られた、実生選抜試験と二次選抜試験における評価基準として以下のコメントを受けた。

“実生選抜試験では種子から育てた個体の評価が目的である。この実生選抜の段階での生育は、節部分についている芽子から育てる通常のサトウキビとは生育のスタートが異なる。そのため、一般的に生育されたサトウキビの生育とは、茎の長さや数、太さが異なってくる。一方で、過去の知見から、Brix のような品質的特性の評価は、一般的な生育との相関が高いことがわかっている。このことから、実生選抜試験では Brix をより重視して選抜を行っている。

他方、二次選抜試験と三次選抜試験では、Brix と見た

目での判断による収量性 (原料茎重) の両者から糖の生産能力を推定しその評価を基に選抜している。四次選抜試験以降は実際にサトウキビを収穫して実測データを得ることができるため、その結果に基づいて評価を行っている。”

実生試験に関しては、Brix のみが野帳に記録されており、それに基づく決定木を 4 では 8 割ちかくが決定木でも説明可能であることがわかった。ただし、2 割もの選別が説明ができていないため、そこに Brix 以外の判断要素が含まれている可能性がある。

そして、図 5, 6 の二次選抜の決定木では、Brix のような品質的特性の評価ではなく、収量性に関わる項目が上位のノードとなっている。このことは、育種従事者が、収量性の達観評価と Brix の実測値を基づく糖生産性を推定した評価を行っている、とある程度一致するが、同時に、育種従事者がまずはしっかりと生育して一定の収量性が期待できることを前提とした一次ふるいを行っているという可能性を示唆する結果である。つまり、Brix と収量性とのバランスから糖生産性を推定しているという育種従事者の認識とは異なり、評価に対する優先順序が存在する可能性が示唆された。これらの知見は、育種従事者への新しい気付きにつながる可能性があると考えられる。

6.2 野帳データにおける属性間の関係性

決定木により抽出されたルールの妥当性を検証するために、野帳データの特性を確認する。図 7 は、実生選抜における Brix の (上)(中) の分布と選抜の可否を色で分けたものである。赤色の菱型の点は選抜された系統、青色の四角は非選抜の系統になる。重なりがある領域もあるが、基本的に高い値をもつ系統が選抜されていることから、Brix の値が選抜で重視されていることが推測される。

だが、重なりがあることから Brix が絶対的な基準ではナイことがわかる。そこで、Brix の上中の値をもとにクラスタリングすると、図 8 のように比較的選抜されているクラスタとそうでないものに分けられる。このクラスタには Brix の値が高くても選抜されていないクラスタが存在していることを示している。このことから、野帳にある情報に親同士の情報があり、親の情報を選抜非選抜の偏りを生じさせている可能性が考えられる。ただし、図 8 では特定の組み合わせが偏っていると思われるクラスタは確認できなかった。

7. まとめと今後の予定

本論文では、サトウキビ育種従事者が記録する野帳データから、新しい品種を選抜する工程における評価の知見を抽出可能であるかを検討するために、選抜の可否が目的変数で野帳に記録されたデータを説明変数とした決定木の作成を試みた。説明変数の少ない実生選抜の段階では、説明

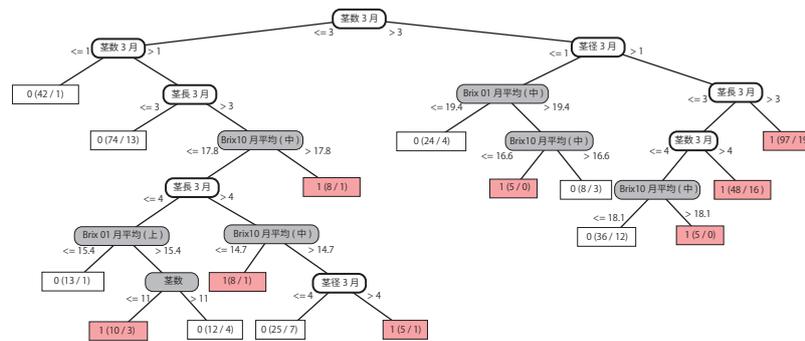


図6 二次選抜(03月評価)における決定木

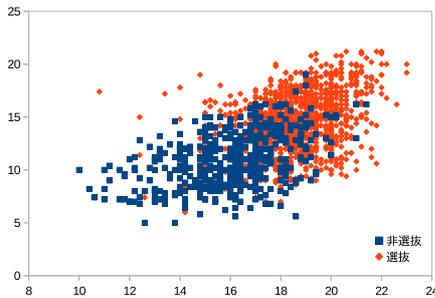


図7 実生選抜のBrix(中)(上)の分布(赤が選抜, 青が非選抜)

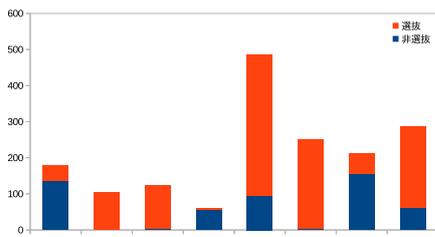


図8 EMアルゴリズムにより分割したクラスタごとの選抜・非選抜

変数が少なくデータの分布から作成された決定木の根拠が明確であるが、二次選抜の時点で目的変数が多少増えただけで、木の構造は複雑なものとなるため枝刈りなどを検討する必要がある。

また、サトウキビの育種では必ずしも糖収量の最大化を目指すだけでなくいくつかのタイプの希望する特性をしめす系統(希望型)を想定した選抜が行われている[7]。そのため、新配布まで選抜された系統をもとに類似する特性を示す系統をさかのぼってまとめることで、選抜・非選抜の2値ではなく、希望型のごとのクラスに分けた上での選抜・非選抜を検討する必要がある。また、決定木での識別率はおよそ8割程度であり、2割程度のエラーが野帳に記載されていないデータ(もしくは今回用いていない属性)によるものなのかをどのように検討したら良いのかを再考する必要がある。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 JP26240032 の助成を受けたものです。また、野帳データの整理ならびに調査を担当した荻原氏(現在、富士通)に感謝します。

参考文献

- [1] 農林水産省(編): AI 農業の展開について(農業分野における情報科学の活用等に係る研究会報告書), 農林水産省(2009).
- [2] 農林水産省(編): AI 農業の取組について, 農林水産省(2012).
- [3] 全国新規就農相談センター(編): 新規就農者(新規参入者)の就農実態に関する調査結果, 全国新規就農相談センター(2011).
- [4] 財団法人農林統計協会(編): 食料・農業・農村白書 平成24年版, 農林水産省(2012).
- [5] 寺内方克, 松岡 誠, 寺島義文, 境垣内岳雄, 杉本 明, 伊禮 信, 氏原邦博, 下田 聡, 平良正彦, 前田剛希, 下地 格, 宮城克浩: サトウキビ多収品種「Ni27」の育成とその特性, 技術報告62, 九州沖縄農業研究センター(2014).
- [6] 樽本祐助, 服部太一郎, 田中 穰, 境垣内岳雄, 早野美智子: サトウキビ育種のための系譜情報管理システムの開発, 農業情報研究, Vol. 25, No. 2 (2016).
- [7] 杉本 明, 寺島義文: 行為としてのサトウキビ育種, 人工知能学会誌, Vol. 30, No. 2, pp. 151-156 (2015).
- [8] 長谷部正: エキスパートシステムの認識論的基礎-農業者技能習得支援システム構築のために-, 農業経済研究報告, Vol. 26, pp. 29-44 (1993).
- [9] 佐藤祐子: パラ栽培経営における技能形成と経営効率格差, 農業経済研究報告, Vol. 33, pp. 1-24 (2002).
- [10] 神谷俊之, 沼野なぎさ, 柳生弘之, 島津秀雄: 携帯電話によるミカンほ場からの栽培データの収集と栽培データの地域での共有のための Web インタフェース, 農業情報研究, Vol. 20, No. 3, pp. 95-101 (2011).
- [11] 鈴木剛伸, 深津時広, 小林一樹, 木浦卓治: 圃場におけるアグリサーバの運用実績および保守管理手法, 農業情報研究, Vol. 22, No. 1, pp. 39-49 (2013).
- [12] 戸田翔平, 小林一樹, 斎藤保典, 深津木浦, 平藤雅之: 主観的情報を付与可能な Web 農場情報公開システム「農ライブ」, 農業情報研究, Vol. 22, No. 1, pp. 12-13 (2013).
- [13] 井元智子, 北本朝展: 情報の可視化・共有化のためのサトウキビ収穫支援アプリ「しゅがなび」の開発と導入における問題点, 農業情報研究, Vol. 22, pp. 236-246 (2013).
- [14] 鹿内健志, 官 森林: 車載情報システムを用いたサトウキビ収穫機の作業記録と作業能率分析, 農業情報研究, Vol. 24, No. 4, pp. 101-111 (2015).
- [15] 関口英紀, 砂子幸二, 前田 潤, 藤井吉隆, 南石晃明: 水稲育苗ハウスサイド開閉ルールのデータマイニング, 農業情報研究, Vol. 22, No. 4, pp. 212-227 (2013).
- [16] 後藤一寿: ウェアラブルカメラを活用した篤農技術の映像化による技術継承研究の提案, 生物工学会誌, Vol. 92, No. 7, pp. 347-349 (2014).