

サトウキビ選抜過程における育種従事者の判断の 特徴抽出に関する一考察

篠田 孝祐^{1,a)} 池田 圭佑¹ 服部 太一郎² 樽本 祐助² 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き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。

A consideration of feature extraction of breeders' skill in sugarcane selection process

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

1. はじめに

現在、日本の農業は、農業の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大きい(図1)など、次世代の農業就業者の育成が厳しい状況となっている。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品質化や生産安定化を目指すことが重要となっている。そのため、日本の農業生産の現場では、世界的に見ても高いレベルの技術が広く普及しており、高品質の農産物が比較的低廉な価格で供給できるような農業が生産者の努力によって実現している[1]。しかし、その優れた育成技術は、熟練農家が担うところが多い。その熟練農家ももちろん高齢となりつつあるため、優れた技術も時間の経過とともに消え去る危険性がさらに高まっている。そこで、近年、熟練者が持つ知識をより多くの農家で共有して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]。

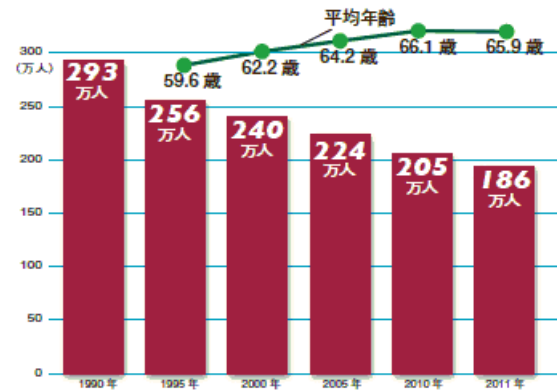


図1 農業人口の推移と平均年齢との比較 [4]

農業従事者の知識とは、農地や作物の状態を把握のための身体の感覚や直感のようなものを通してどのような情報を得るのかであり、その得た情報をもとに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。それは、あらゆる作業者が何らかの方法で、自身の経験などを通して蓄え・活用することでよりよい知識を形成するが、それらは、農業に限らずマニュアルのような言語によって記述できるモノとすることが難しい要素がある。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獲得できる知識が多く、そのため暗黙知化している知識の多い分野といえる。そのため、その農業における知識の共

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

a) kosuke.shinoda@uec.ac.jp

有は、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。

同様の知識の暗黙知化による問題は、日本の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、新品種開発を目的に、交配・選抜作業を通じて優良な系統の選別を行っている [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、栽培管理特性などの向上が期待できる遺伝子型を見つけることが可能となる。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]。そのためは、単に交配をするだけでなく、実際の栽培を通して、対象となる遺伝子型のそれぞれの特性に対する性質を評価する必要がある。サトウキビは、その遺伝子の特性から、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く、体系化された理論も存在しないため、多数の交配した新品種に対して 1, 2 年程度の育成・評価・選抜を繰り返すことで、新品種に対する評価の確度を上げている。

しかしながら、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・選抜のための作業は、限られたリソースの中で工夫して行われている。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るため、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]。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質的に評価するには、長年の体験の体系化と植物知識の積み重ねで構築した知識が重要な役割を果たす。そして、その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]。なお、本文では、量的評価を数値に基づく評価、質的評価を感性に基づく評価の意味で用いているが、サトウキビ分野の研究では、収量性の評価に関わる属性である茎の長さや太さなどに対する評価が「量的評価」と呼び、生産物（ここでは糖）の品質に関わる属性である Brix^{*1} などの糖度、繊維含有量などに対する評価が「質的評価」と呼ばれている。そのため、サトウキビの分野における評価に関して、前者を量的特性評価、後者を品質的的特性評価と呼ぶことで分けて用いる。

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を検討を行う。

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 技術の発展をうけ、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となる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。具体的には、開閉量を目的変数、気象と育成日数を説明変数として定式化をおこない、決定木・重回帰式ともに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。

それに対して、本研究で対象とするフィールドである農業試験地では、育成とは目的がことなるが科学的なアプローチをとるために育種に関するデータの収集・記録が行われている。そのため、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、まずは、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。サトウキビの新しい品種を選定する一連の作業は、系統選

*1 Brix とは糖度を計測する手法の 1 つ

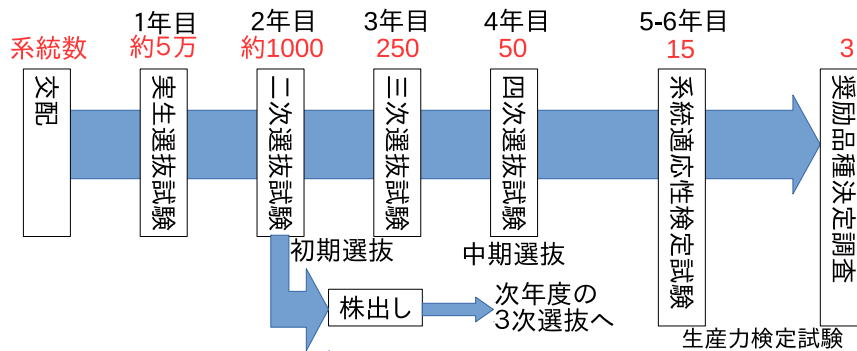


図 2 育種の工程: 実生選抜試験から新配布系統選定までの流れ

抜試験と呼ばれる。その過程は、図 2 にしめすような流れである。図の中の、赤字となっている数字は、各選抜試験で調査をした系統（品種の候補）数である。選抜試験が進むにつれ、段階的に系統数を減らすかわりに調査の母数を増やすことで、評価をより正確にしてより優秀な系統を選別するためである。なお、サトウキビは分けつにより新しい芽を成長させ、糖度などの評価の一部は破壊的に行われるため、同じ系統のものでも評価用と次の試験用とに分けられる。各選抜試験ごとに評価対象となる母数が異なるため、評価指標や項目数は、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 09 シリーズを例に説明をする。

- 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 3 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。3 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 4 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に優れ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。

上記の過程において、育種家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^{*2}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。そのため、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。

*2 根元の付近で新芽が伸びて株分れしている

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データは、「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期に調査した結果や育種家による評価などが記入されている。「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。だが、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は、データの事前処理がある程度必要である。

圃場 No.	畦 No.	2次選抜 No.	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・質の評価が記録されている。質の評価は、「」「」「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・

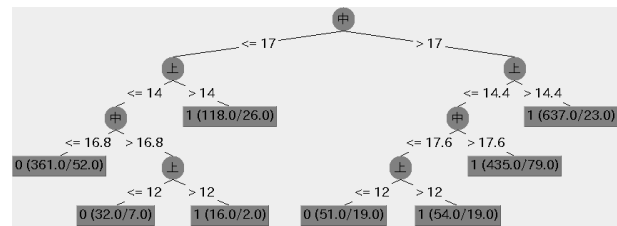


図4 実生選抜試験における決定木

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。

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た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、

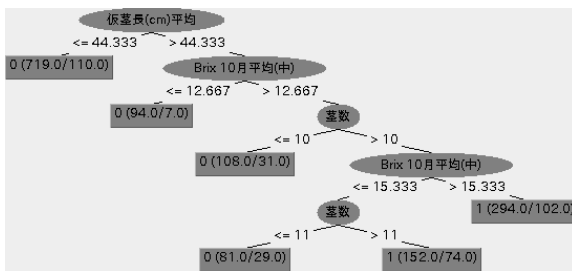


図 5 二次選抜 (10 月評価) における決定木

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した除外している「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、最終的な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) 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とでの評価基準は以下である。

実生選抜試験では種子から育てた個体を評価するが目的である。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

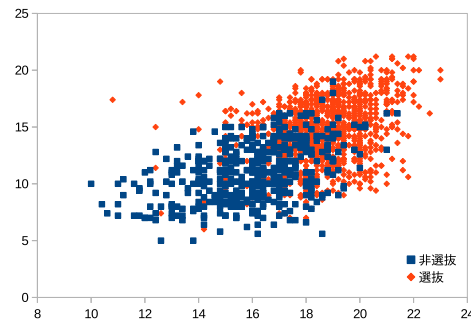


図 7 実生選抜試験における Brix(中)(上)における選抜の可否の分布 (赤が選抜, 青が非選抜)

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) 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。

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、育種従事者へのインタビューで得られた、収量性の達観評価と Brix の実測値に基づく糖生産性を推定した評価を行っている、と一致する。そして、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意見とも一致している。また、次に個々の系統に対する評価が、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、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関係性

では、野帳データから決定木がどのように作られたのか、詳細を確認する。

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。一部重なりがあるが、上中ともに比較的高い値をもつ系統が選抜されていることがあり Brix が重視されていることが推測される。

この Brix を元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選抜されていないクラスタに分けられる。図 7 と合わせて考察すると、必ずしも Brix のみが選抜の基準でないことが推測される。野帳にある情報としては、親の組み合わせのみであるが、片親だけでは選抜・非選抜に優位な偏りがあるとは言えないが、親同士との組み合わせには選抜非選抜の偏りがあるように思われる。

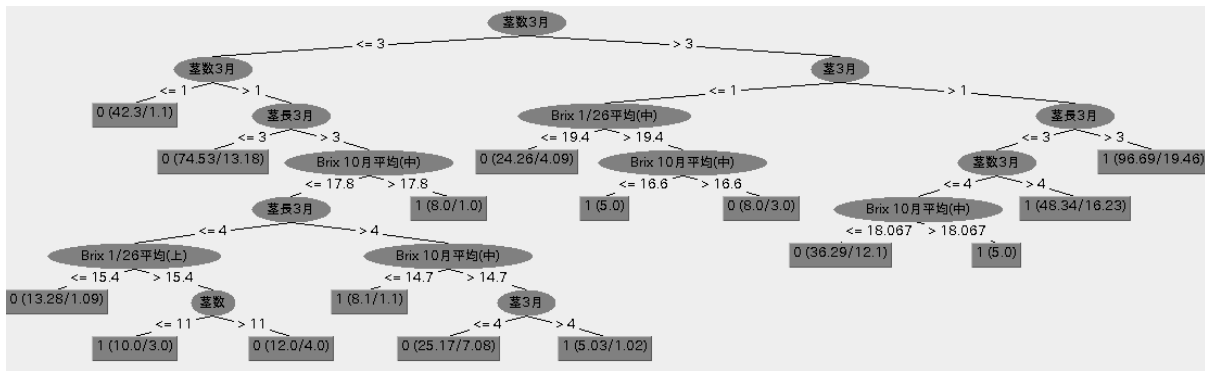


図 6 二次選抜 (03月評価) における決定木

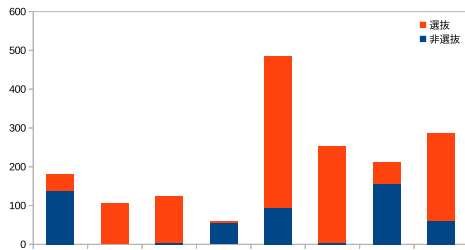


図 8 EM アルゴリズムにより分割したクラスタごとの選抜・非選抜が、図 8 のクラスでは特定の組み合わせが偏って含まれているとは限らない。

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仮定における評価の見解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、電気通信大学の修了生である荻原拓也さんが作成した修士論文での研究をもとに、加筆・修正いたしました。

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 (新規参加者) 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, 齊藤保典, 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「農ライプ」, 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).