

南西諸島におけるサトウキビの収量低下とその対策
Sugarcane Yield Decline and its Countermeasures
in the Nansei Islands, Japan

出花幸之介
2023

目 次

序 章 問題の所在	1
第 1 節 問題の所在	1
第 2 節 既存研究の整理	2
(1) 気象リスクとサトウキビ品種、作型・栽培体系の選択に関する研究	3
(2) 健全種苗による種苗対策とサトウキビわい化病に関する研究	4
(3) 種苗コーティングによる発芽・苗立ちの改善に関する研究	4
(4) 作型選択、省作業によるサトウキビ機械化一貫作業体系に関する研究	5
第 3 節 本論文の課題と構成	6
 第 1 章 沖縄県におけるサトウキビ作経営の現状と問題点	11
第 1 節 本章の課題	11
第 2 節 沖縄県における耕地環境とサトウキビの生産	12
(1) 沖縄県の地形と土壌	12
(2) 沖縄県における農業・農村整備	13
(3) 沖縄県の気象環境とサトウキビ栽培	15
1) 主要なサトウキビ生産地における降水量の季節変動	15
2) サトウキビの水消費量と降水量	16
3) 台風による攪乱	17
4) 日降水量の中央値と四分位値の季節的な変動	19
5) 降水の季節的変動とサトウキビ管理作業	20
(4) 沖縄県における品種と作型の選択、健全種苗の利用	21
(5) サトウキビ作型の動態	23
(6) 現地圃場におけるサトウキビわい化病の罹病率と健全種苗の効果	24
(7) 新植における発芽・苗立ち不良対策	25
第 3 節 沖縄県におけるサトウキビの生産と収益性、生産構造の変化	27
(1) 沖縄県におけるサトウキビ生産の推移	27
(2) サトウキビ単収の漸減とその主要な要因	29
(3) サトウキビ単収の漸減と機械収穫、所得、家族労働報酬の関係	31
(4) 沖縄県におけるサトウキビ生産構造の変化	33
第 5 節 小 括	39

第2章 地域適応性の高い品種の選定と作型・栽培体系の効果	50
第1節 本章の課題	50
第2節 材料および方法	50
第3節 結 果	52
(1) 気象災害と可製糖量の構成要素の変動	52
(2) 可製糖量とその構成要素における作型、品種、 収穫年を要因とした分散分析	53
(3) 可製糖量の構成要素に及ぼす作型と品種の効果	54
1) 作型の効果	54
2) 品種の効果	55
(4) 春株体系と夏株体系における新植と株出しの原料茎数の関係	56
(5) 可製糖量に及ぼす栽培体系と品種の効果	56
第4章 考 察	57
(1) 干ばつや台風と可製糖量の構成要素の変動	57
(2) 作型の効果	59
(3) 品種の効果	60
(4) 栽培体系の効果	61
第5章 小 括	62
第3章 健全種苗によるサトウキビわい化病への対策	65
第1節 本章の課題	65
第2節 材料及び方法	65
(1) 農家圃場と育種事業におけるサトウキビわい化病の罹病率	65
(2) サトウキビ品種のわい化病感受性	66
(3) 健全種苗が収量に及ぼす効果とわい化病の感染防止	66
第3節 結 果	67
(1) 農家圃場と育種事業におけるサトウキビわい化病の罹病率	67
1) 農家圃場におけるわい化病の罹病率	67
2) サトウキビ育種事業におけるわい化病の罹病率	68
(2) サトウキビ品種のわい化病感受性	69
(3) 健全種苗が収量に及ぼす効果とわい化病の感染性	69
1) 健全種苗が収量に及ぼす効果	69
2) 農機具の簡易な殺菌によるわい化病の感染防止効果	70
第4章 考 察	71
(1) 農家圃場と育種事業におけるサトウキビわい化病の罹病率	71
1) 農家圃場におけるわい化病の罹病率	71
2) サトウキビ育種事業におけるわい化病の罹病率	71
(2) サトウキビ品種のわい化病感受性	72
(3) 健全種苗の効果とわい化病の感染性	72
1) 健全種苗が収量に及ぼす効果	72
2) 農機具の簡易な殺菌によるわい化病の感染防止効果	73
第5節 小 括	74

第4章 種苗コーティングによる発芽・苗立ちの改善	77
第1節 本章の課題	77
第2節 材料および方法	77
(1)琉球諸島におけるサトウキビ黒腐病菌の分布	77
(2)チウラム・ベノミル水和剤の種苗コーティングによる黒腐病の予防	78
1)試験設定	78
2)調査・評価方法	78
(3)黒腐病発生圃場におけるチウラム・ベノミル水和剤の種苗コーティングによる黒腐病の予防	79
第3節 結果	80
(1)南西諸島におけるサトウキビ黒腐病菌の分布	80
(2)チウラム・ベノミル水和剤の種苗コーティングによる黒腐病の予防	81
(3)黒腐病発生圃場におけるチウラム・ベノミル水和剤の種苗コーティングによる黒腐病の予防	82
第4節 考察	83
(1)南西諸島におけるサトウキビ黒腐病菌の分布	83
(2)チウラム・ベノミル水和剤の種苗コーティングによる黒腐病の予防	84
(3)黒腐病発生圃場におけるチウラム・ベノミル水和剤の種苗コーティングによる黒腐病の予防	84
第5節 小括	86
第5章 大規模経営における作型選択と減耕起トラッシュマルチ体系の展開	89
第1節 本章の課題	89
第2節 研究対象および方法	90
第3節 久米島町における農業とサトウキビ生産の概要	90
(1)沖縄県のサトウキビ作における久米島の位置	90
(2)久米島町の概要とサトウキビ経営層の変化	90
第4節 A経営における夏植え株出しトラッシュマルチ体系	92
(1)A経営における農業経営の概況	92
(2)A経営における分散錯圃の概況	93
(3)A経営の機械化一貫作業による大規模経営	96
(4)夏植え株出しトラッシュマルチ栽培体系による農作業の調整と省作業化	98
1)春植えから夏植えへの転換について	98
2)株揃えの省略について	99
3)株出しにおける根切り中耕・培土の省略について	100
4)トラッシュマルチについて	101
5)夏植え株出しトラッシュマルチ体系による年間作業の分散と労働生産性	104
(5)夏植え株出しトラッシュマルチ体系による経営の安定化	105
第5節 小括	107
終章 総括	115
謝辞	118

序 章 問題の所在

第 1 節 問題の所在

近年、南西諸島においてサトウキビ生産の縮小傾向が目立っている。サトウキビの生産者価格が停滞する中、担い手の減少や高齢化とそれに伴う栽培の粗放化が進み、単収の低下や不安定化が顕在化してきた。そのような状況に加えて、さらに機械化が促進され、機械収穫の進展によって単収の低下がますます大きな問題となった。収穫作業を中心とする機械化により、生産性の向上を図ろうとしたものの、現実的には単収の低下が顕著となっているのである。

機械化が進展する前から指摘されてきた単収低下の主要な栽培上の技術的問題として、粗放化に伴う茎の伸長不良と欠株の発生があげられる。つまり、新植の発芽・苗立ち不良で欠株が生じて茎数が減少し、そのままの状態ですぐに株出し栽培を続けるため、栽培体系全体を通して原料茎数が減少し、収量が低下することとなる。それに加えて、干ばつなどで茎の伸長不良が発生し、単収低下に結びついていると考えられる。

単収が低下した第 2 の原因として、技術的問題が改善されないままで、収穫を中心とする機械作業の受委託に適する農法の体系化が遅れているという問題がある。本来、機械化は経営規模の拡大に伴って発達すべきであるが、南西諸島のサトウキビ生産の場合、農地の集積や集約化が伴わなかった。最も労働負担が大きい収穫作業についてみると、作業受委託の件数が急激に増えたが、作業規模の拡大に対してコストの低下が伴っていない。発芽・苗立ちや茎の伸長不良が未解決のままで、農法の確立を伴わない機械化一貫作業体系を適用することで、その矛盾が委託側のサトウキビ農家における単収低下という形で発現し、結果としてサトウキビ生産の採算性の悪化を招いてしまった。

南西諸島の農業において、サトウキビは基幹作物と位置付けられており、このような状況に対して、これまでも種々の対策が検討されてきた。例えば、技術的原因に対しては、育種により、干ばつ状況下でも茎が良く伸長し、欠株が少なく、原料茎数の多い品種を育成するとともに、各地域に対する適応性を検定して奨励品種に認定している。またサトウキビわい化病（以下、「わい化病」）

に罹病すると干ばつ耐性が低下し、収量が低下するといわれているが、独立行政法人種苗管理センター沖縄農場(以下、「種苗管理センター」)でわい化病菌(*Leifsonia xyli* subsp. *xyli*)を無菌化した健全種苗を増殖し、沖縄県の種苗対策事業で配布してきた。これにより40年以上も優良品種の健全種苗化とその供給がなされてきた。昨今の生産状況の急激な変化や単収低下を踏まえて、これから事業について技術面、事業機能面から検討する必要がある。

また近年、種苗がサトウキビ黒腐病(以下、「黒腐病」)菌(*Ceratocystis paradoxa*)に犯されて腐敗し、欠株が発生することが明らかにされつつある。技術的な課題の解決には、この黒腐病対策も視野に入れる必要がある。

一方、沖縄県は借地型大規模経営を育成し、近隣農家の作業を受託することで作業規模を拡大し、機械化一貫体系との整合性の確保を図ろうとした。しかしこれも大規模自作地における農法の体系化の遅れから、その多くは事実上のコントラクターへと転換してしまった。そこでは自作地の単収も低下する一方で、コントラクターとしての収益性も改善できず、結果として機械更新費用の積み立てもできないなど、その持続性が問われる事態へと至っている。これらの対策も部分的な効果は発揮されたものの、全体としてはサトウキビ生産における単収低下、それに伴う採算性の悪化、そして生産の縮小という展開をみせている。

ところが、そのような中であって、家族経営でありながらも、借地により規模拡大を図り、しかも栽培体系の変更と省作業により収益性を維持している経営も存在している。機械化一貫作業体系の下での農法を確立するため、多様な実態の中から先進的な事例を探し出し、検討していく必要がある。

以上の通り、南西諸島におけるサトウキビ生産の縮小は、複合的な要因で引き起こされている。この問題へは、技術的にも経営的にも従来のような単発の対策の積み上げでは対策として不十分であり、栽培技術的な課題解決と農法の確立という幅広い視野から複合的なアプローチが求められているのである。

第2節 既存研究の整理

前節の通り本研究の視点は、さとうきび生産における労働力の脆弱化に伴う

栽培の粗放化と機械化一貫作業体系の下での生産の縮小について、その単収低下に着目し、栽培技術的な対策と農法の体系化という経営的な対策の双方から、複合的視点でアプローチしようとするものである。しかし、これまでの対策が単発的だったことにも示唆されるように、研究も個別的な課題の追求を志向しており、複合的視点でサトウキビ作に向き合おうとする研究はなかった。

そこで、以下では、現場において最も重要で解決可能な課題を抽出し、科学的方法による解決策を見出し、学際的、総合的に取り組むため、機械化とサトウキビの単収低下問題について、個別の課題別に研究の到達点を整理する。

(1) 気象リスクとサトウキビ品種、作型・栽培体系の選択に関する研究

茎の伸長と欠株がそれぞれ一茎重と原料茎数に反映し、一茎重×原料茎数で単収が決まる。そして、これらは気象リスクの強い影響を受けるが、品種や作型、栽培体系の選択により一定程度の制御が可能である。

茎数型品種は株出しが安定し、茎重型品種は株出しが不安定であるが、近年は茎重型品種が多い¹⁾（沖縄県，2022）。夏植えは、単収が安定しているが、夏植え株出し体系（以下、「夏株体系」）は春植え株出し体系（以下、「春株体系」）²⁾に比べ株出しが不安定であるといわれている。しかし一方で、春植えは農家圃場において欠株が多く、初期生育が遅れ、茎の伸長が不良で、単収が低く不安定であるともいわれている（杉本ら，2003；杉本，2004 など）。

また、冬春期に雨が多いため、地域の大規模経営や高齢農家は、年作業の平準化のために夏株体系を選択することが多い。このように、茎重型品種、茎数型品種、そして作型や栽培体系に関する情報が錯綜しているため、品種や作型の選択に当たっては、関連情報を整理する必要がある。そのため、タイプの異なる品種と作型、栽培型を同時に比較する必要がある。

しかし株出しの単収は新植の作柄の強い影響を受けて変動する(井上,2017；杉本，2004)。また毎年干ばつや台風のリスクにさらされる中で、品種と作型、栽培体系の評価を信頼性高く行うためには、新植と株出しの連続による多数年の繰り返し試験について解析する必要がある（奥野，1994）、南西諸島のサトウキビに関するこのような報告が求められている。

(2) 健全種苗による種苗対策とサトウキビわい化病に関する研究

わい化病菌に感染したサトウキビでは、干ばつ条件下や株出し栽培で大きく減収するが、外観からわい化病の罹病を判断するのは困難である。また、わい化病は、罹病した茎からの種苗の採取や、カマなどによる維管束液の人為的な接触により、感染が拡大する（Grisham, 2004；大津, 1980；Young and Brumbley, 2004）。

南西諸島ではサトウキビに対する実用的な灌水が可能な地域は未だ多くないため（新井・永田, 2013；沖縄蔗作研究協会, 2016）、健全種苗による収量低下対策は重要である。わい化病対策として、1965 年に種苗管理センター鹿児島農場が、1978 年に同沖縄農場が開設され、干ばつ耐性と株出し能力を強化するため、奨励品種を全て無菌化し、原種圃や採苗圃で健全種苗を増殖して農家へ配布するようになった（大津, 1980；鈴木, 2012）。

しかし、わい化病の分布や被害などは 40 年以上も調査されず、健全種苗の効果や種苗配布事業の機能に関する現場の認識が薄れ、事業の形骸化が危惧されていた。そして、近年になって沖縄県内の製糖工場に搬入されたサトウキビ原料の PCR 検定の結果、依然としてわい化病が存在する圃場が多い可能性が明らかになった（牛尾ら, 2009）。しかし、この方法では個々の圃場におけるわい化病の罹病株率を知ることはできない。

そこで、種苗対策事業の機能と効果に関する情報を刷新し、種苗対策事業を再構築するために、農家圃場におけるわい化病の罹病株率や、最近の品種における健全種苗の効果、農具の消毒による感染拡大の防止などを明らかにする必要がある。

(3) 種苗コーティングによる発芽・苗立ちの改善に関する研究

春植えや夏植えで欠株が発生すると、その収穫後の再生芽を利用する株出しでも欠株になり、新植の欠株の影響で、株出し体系全体で単収が低下する。欠株場所を埋めるための補植や、全て植え替えてしまう改植は、全ての農家や受託業者にとって大きな負担となる。発芽・苗立ちを揃えることは、サトウキビ栽培の基本中の基本である。

サトウキビの発芽・苗立ちの要因は、品種特性、採苗用の蔗茎における蔗苗の節位³⁾、種苗の芽子（節）数、そして植え付け床の温度、水分、酸素濃度などである。発芽・苗立ち向上技術として新鮮な水や石灰水 500 倍液への 1 昼夜の浸漬があるが（Croft, 2000 ; 宮里, 1986）、効果が不安定である。

近年、発芽不良の原因について病理学的な検討を行ったところ、病原が黒腐病菌であること、種苗を殺菌剤に浸漬することにより、発芽不良が予防できる可能性があることが明らかになった（比屋根ら, 2012）。さらに品種間に抵抗性の差異はあるものの、全てのサトウキビ品種が黒腐病に罹病する可能性があることが判明した（出花ら, 2014）。

しかし、各地における欠株の主要な原因が黒腐病であることを証明するために、圃場における黒腐病菌の存在について明らかにする必要がある。

またサトウキビの種苗を浸漬処理する場合、大量の薬液が必要で、廃液による環境汚染も危惧される。野菜などでは発芽・苗立ちの改善のために殺菌剤などによる種子コーティングが一般化しているが、サトウキビでは未開発である（Croft, 2000 ; 末吉ら, 2012）ことから、発芽・苗立ち不良対策として、低コストで環境汚染の少ない種苗の殺菌剤コーティング法を案出し、その効果を明らかにする必要がある。

(4) 作型選択、省作業によるサトウキビ機械化一貫作業体系に関する研究

サトウキビの機械化一貫作業体系では、株出し栽培における中耕などの標準的な管理作業をそのまま高馬力の大型農機により行う一連の機械作業が推奨されている（新里, 2016 ; 沖縄県, 2007）。しかしハーベスタ収穫で単収が低下し（鹿内, 2007 ; 孫ら, 1998 ; 竹ノ内, 2002）、作業受託者の収益性が低く（坂井, 2007）、耕土から肥沃な作土が流出し海洋が汚染され、農業と環境の保全上の問題となっている（比嘉ら, 1995 ; 仲地, 2011 ; 大見謝, 1997 など）。

機械作業は降雨など日々の気象条件の影響を強く受け、その時々作業結果が後作業の方法や精度、作物の生長に異なる影響を及ぼす。そのため、与えられた生産環境の中で、個々の作業の機械化と同時に、全生産過程を通じた新たな体系化が要求される（伊藤, 1979 ; 川延, 1966）。

しかし、南西諸島において、サトウキビの機械化一貫作業により単収を低下させることなく、土壌や環境の保全を可能とする大規模経営の農法に関する報告はない。また、担い手不足が進んでいるため、家族労働力だけで大規模経営を維持する機械化一貫作業体系を構築する必要がある、実証研究の蓄積が求められているが、そのような論考はみられない⁴⁾。

そこで、機械化一貫作業体系で単収が高く、赤土流出も抑制可能な農法を実現した借地型大規模経営を抽出し、そのシステムやメカニズムを解明する必要がある。

第3節 本論文の課題と構成

本論文の課題は南西諸島におけるサトウキビ生産の縮小傾向について、単収の低下に着目し、それに対する技術的な最適解について実証試験を踏まえて提示するとともに、借地によって規模を拡大しつつ収益性を維持している家族経営の事例分析を通じて機械化一貫作業体系の下で、持続可能な経営を実現する農法について明らかにすることである。

これらの課題に応えるために、本論文は以下のような構成をとる。

最初に、南西諸島におけるサトウキビ生産を取り巻く環境ならびに、サトウキビ生産の動向および現状について整理し、現場において最も重要で解決可能な課題を抽出する。

次に、機械化の進展以前からの問題であったサトウキビ単収低下の技術的要因とその対策について次の3点を分析・検討する。

第1に、国内で唯一、サトウキビ夏株体系と春株体系について長年にわたり同一品種で現地適応性検定試験が行われてきた久米島製糖（株）の実験農場のデータに基づいて、干ばつ耐性が高く、原料茎数が多い品種を選択し、作型、栽培体系の評価を信頼性高く行うために、新植と株出しの連続による多数年の繰り返し試験の結果について解析する。

第2に、最近のサトウキビ品種におけるわい化病抵抗性や健全種苗による増収効果、農具の簡易消毒による感染防止効果について検証するとともに、サトウキビ生産現場や育種事業におけるわい化病の罹病率を分析し、健全種苗の効

果と種苗対策事業の機能を明らかにする。また、これらを踏まえて種苗配布体系の改善方策について提示する。

第 3 に、殺菌剤の種苗コーティング処理により、低コストで環境に優しい黒腐病予防技術を開発し、欠株を防止するために、琉球諸島における黒腐病菌の分布状況を把握し、チウラム・ベノミル水和剤の種苗コーティングによる黒腐病の予防効果を明らかにするとともに、黒腐病により発芽・苗立ち不良となった圃場においてその効果を実証する。

最後に、沖縄県久米島町において借地型大規模経営を営む A 経営を事例として聞き取り調査および参与観察を行い、機械化一貫作業体系の下で、持続可能な経営を実現しうる農法について明らかにする。

注

- 1) サトウキビの品種は、大まかに茎重型と茎数型に分けることができる。茎重型品種は茎が太くて長く、重いのが特徴で、株出しで茎数が減少しやすいと言われている。茎数型品種は茎が細くて軽い、分けつが旺盛で原料茎数が多く、株出しが多収だと言われている。
- 2) サトウキビの作型には、春に植え付け 11~14 ヶ月後に収穫する「春植え」、夏に植え付け約 15~18 ヶ月後に収穫する「夏植え」、収穫後の再生芽を育て約 1 年後に収穫する株出しがある。株出しは「春植え株出し（春株）」と「夏植え株出し（夏株）」に分けることができ、すべての作型は 1~3 月に収穫される。またサトウキビの栽培体系は、「春植え株出し体系（春株体系）」と「夏植え株出し体系（夏株体系）」、夏植えだけを繰り返す「夏植え体系（夏体系）」に分けることができる。
- 3) 蔗茎の地際に近い、下位の節位から取った苗では、芽子包の硬化や内生ホルモンの影響で発芽が遅延し、発芽率が低下する（Croft, 2000；照屋・林, 1991）。
- 4) 農業労働力の減少が続く中、熟練した農業者の多くがリタイヤしたため、農業に関わる知識や技能、ノウハウをどのように次世代に継承していくかが大きな課題となっている。農業における知識や技能は地域あるいは経営に固

有のものが多く、地域資源としても重要な意味をもっている。世代交代により失われた知識、地域や経営に固有の知識を形式知化することは重要である（山本，2011）。

引用・参考文献

- [1]新井祥穂・永田淳嗣(2013)『復帰後の沖縄農業 フィールドワークによる沖縄農政論』農林統計協会.
- [2]新井祥穂・永田淳嗣 (2006)「沖縄・石垣島の土地改良事業の停滞」『地理学評論』79(4): 129-153.
- [3]Croft, B. J., (2000) Literature review of methods of improving the germination of sugarcane. BSES Publication Project Report PR00002. <https://elibrary.Sugarresearch.com.au/bitstream/handle/11079/922/BSS208%20Final%20report.pdf?20report.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (2020. 5.5 参照)
- [4]出花幸之介・比屋根真一・與那嶺介功・比嘉正徳・金城栄毅・大城卓也（2016）「さとうきびの発芽改善に関する研究－サトウキビ黒腐病抵抗性の検定法の開発－」『サトウキビ試験研究成績発表会講演要旨』43：17-18.
- [5]Grisham, M. P. (2004) Ratoon Stunting Disease. In Rao, G. P., Saumtally, A. S. and Rott, P. ed., Sugarcane pathology. Science Publishers, Inc. 77-96.
- [6]比嘉栄三郎・大見謝辰男・花城可英・満本裕彰（1995）「沖縄県における年間土砂流出量について」『沖縄県衛生環境研究所報』29：83-88.
- [7]比屋根篤・出花幸之介・伊志嶺弘勝・上地克己・下地浩之・手登根正(2012)「サトウキビ黒腐病菌 (*Ceratocystis paradoxa*) が Ni21 の発芽に及ぼす影響」『沖縄農業』51：41-42.
- [8]井上健一（2017）「期待されるサトウキビ単収改善に向けた取り組み－鹿児島県における対応－」『日本土壌肥料学雑誌』88：158-165.
- [9]入山昭栄（2019）『世界標準の経営理論』ダイヤモンド社
- [10]伊藤嘉雄（1979）『農業の技術と経営』家の光協会.
- [11]川延謹造（1966）『農業機械化技術』養賢堂.

- [12]Meadows, D. H.・枝廣淳子訳 (2015)『世界はシステムで動くーいま起きていることの本質をつかむ考え方ー』英治出版
- [13]宮里清松 (1986)『さとうきびとその栽培』日本分蜜糖工業会.
- [14]仲地宗俊 (2011)「沖縄農業の構造変化と展開方向」矢口芳生・仁平恒夫編『北海道と沖縄の共生農業システム』124-168.
- [15]沖縄県農林水産部『令和3/4年期さとうきび及び甘しゅ糖生産実績』.
- [16]沖縄県農林水産部(2007)『さとうきび機械利用推進の手引き』.
- [17]沖縄蔗作研究協会(2016)「現実的で費用対効果の高いサトウキビへの灌水を実現するために」『第43回サトウキビ試験成績発表会一般講演要旨』付録1-43.
- [18]大見謝辰男 (1997)「沖縄の赤土汚染と農業」『農業と経済』63(12) : 40-48.
- [19]大津善弘 (1980)「病害防除から見たさとうきびの単位収量増加策」『糖価安定事業団月報』165 : 9-14.
- [20]坂井教郎 (2007)「さとうきび作における収穫受託の収益性ー沖縄本島南部地域を対象にー」『九州東海大学応用情報学部・総合教養部紀要』8 : 13-21.
- [21]鹿内健志・南孝幸・官森林・上野正実 (2007)「サトウキビ生産法人に集積された圃場の分散が生産性に及ぼす影響ー地理情報システムを用いた分析ー」『農作業研究』42(1) : 29-36.
- [22]新里良章 (2016)「サトウキビの安定的増収に向けた機械化技術の開発」『沖縄県農業研究センター研究報告』10 : 46-131.
- [23]孫麗婭・上野正実・秋永孝義・永田雅輝 (1998)「作型特性を考慮したサトウキビ収穫法の改善ー収量および糖度特性の解析とそのモデル化ー」『農業機械学会誌』60(6) : 27-34.
- [24]末吉武志・岩崎浩一・白澤繁清 (2012)「切断面にワセリン塗布したサトウキビ1節苗の乾燥抑制効果と生育特性」『農業生産技術管理学会誌』18(4) : 173-178 .
- [25]杉本明 (2004)「栽培改善は進んだか? サトウキビー技術開発の過去と未来」『日本作物学会九州支部会報』70 : 184-190.

- [26]杉本明・官城克浩・末川修・緒方寿明・高江洲賢文・比屋根真一 (2003) 「琉球弧のサトウキビ少収地域における栽培改善に必要な品種特性」『日本作物学会九州支部会報』 69 : 63-66.
- [27]鈴木常司 (2012) 「さとうきび優良種苗の安定供給のために」『砂糖類情報』 190 : 1-6.
- [28]竹ノ内昭一 (2002) 「新たな担い手組織の現状と課題」『九州沖縄農研センター農業経営資料』 2 : 19-26.
- [29]照屋寛由・林満 (1991) 「サトウキビ種茎の発芽力について側芽の物理的要因と内的要因に関する考察」『熱帯農業』 35(1) : 10-15.
- [30]上野正実(2006) 「さとうきび生産法人における機械利用と経営改善」『砂糖類情報』 118 : 4-14.
- [31]上野正実(2005) 「沖縄県におけるさとうきび収穫機械化の課題と対策」『砂糖類情報』 107:7-16.
- [32]上野正実 (1993) 「サトウキビの生産対策と機械化」『沖縄農業』 28(1) : 63-67.
- [33]梅本雅 (1995) 「農業経営管理論の展開と課題－水田作経営及び営農集団を対象として」『農業経営研究』 33(2) : 1-10.
- [34]牛尾裕・牧野正人・石田光之 (2009) 「沖縄県下におけるわい化病の実態調査」『サトウキビ試験成績発表会要旨』 36 : 19-20.
- [35]山本淳子(2011) 「農作業における知識・技能の特質と継承方法」『農業機械学会誌』 73(5) : 276-280 .
- [36] Young, A.J. and Brumbley, S. (2004) Ratoon stunting disease. In Rao, G. P., Saumtally, A. S. and Rott, P. ed., Sugarcane Pathology. Science Publishers, Inc. 97-126.

第 1 章 沖縄県におけるサトウキビ作経営の現状と問題点

第 1 節 本章の課題

島嶼の特徴として、環海性、隔絶性、資源の狭小性があり、島嶼生態系は環境変化に対して脆弱で、経済的には規模の不経済が指摘でき、生産コストが高く、政府援助への依存度が高いことがあげられる（嘉数，2002）。戦後まもなく、南西諸島における商品経済が再構築される端緒にあつて、サトウキビ生産と製糖業が、島嶼の人口を支える主要な産業として選択され、政府支援により育成された（Fukunaka and Oshiro,1983；来間，1979；Nagata, 1992；仲地，2011；斎藤，2002）。

サトウキビ生産と製糖業は車の両輪であり、サトウキビ産業の成立とその維持には、工場の規模に見合った量の原料の確保が必須条件である(新井・永田，2013；斎藤，2002；上野，2005)。しかし、サトウキビ価格が長期低迷し、キビ作農家が減少して高齢化し、生産量が漸減してきた(仲地，2011；坂井・仲地，2003)。また近年、収穫作業の機械化が急速に進んでいるが、受委託組織や借地型大規模法人などにおいて単収の低下が顕在化し(鹿内ら，2007；孫ら，1998；上野，2005)，委託側と受託側両方で収益低下が大きな問題になっている(坂井，2007，2008)。加えて、国頭マージ地域を中心に、肥沃な表土が流出して耕地や環境の保全が問題となっている(仲宗根ら，1998；大見謝，1997)。これらの問題は、基盤整備された分散錯圃における大型農機を用いた農法(作業体系)が未だ発達途上にあるために発生していると思われる。

このような状況の全体的な「問題解決」に当たり、現場において最も重要で解決可能な課題を抽出し、それに対して科学的方法による解決策を見いだす学際的、総合的な取り組みが求められる（Caldwell ら，2000；川喜田，1973；保城，2015；祖田，2000；鈴木，2006；和田，1988；米盛，2007）。

そこで本章では、まず南西諸島におけるサトウキビ生産を取り巻く環境について、またサトウキビ生産対策の動向および現状について整理する。次に、これらの問題を詳細に把握するため、サトウキビの生産と収益性、品目別経営安定対策の対象となった 2007 年以降の生産構造の推移について整理する。そして、サト

ウキビ生産を機械化した場合でも単収の安定向上を実現するために、多くの要因の中から最も重要で解決可能な課題として、干ばつなどによる茎の伸長不良、発芽・苗立ち不良による欠株と原料茎数不足問題、分散錯圃における機械化・大規模経営における作業管理と環境適応を取り上げ、その解決へ向けて、栽培技術面と経営面の両面から問題のありかを整理する。

第2節 沖縄県における耕地環境とサトウキビの生産

(1) 沖縄県の地形と土壌

琉球諸島の大部分は九州から台湾にかけて連なる琉球列島で構成され、大東諸島などの小島嶼群とともに広大な海域に分布している¹⁾。総面積は極小さいが、個々の島が独自の自然環境と歴史を持ち、地形学的観点から高島と低島とに分類できる²⁾。高島には、沖縄本島、久米島、石垣島、西表島などが含まれ、比較的傾斜に富む。低島には宮古諸島、大東諸島などが含まれ、比較的平坦である。また沖縄本島は北部が高島で、本部半島や中南部が低島に分類される（木崎，1985；目崎，1985）。

表Ⅰ－1 に県内に分布する土壌の特性を示した。国頭マージは高島に分布し、土壌物理性（通気性、排水性、保水性など）が全般的に不良である。下層土は特に緻密で透水性が悪く、干害や湿害が生じやすく、サトウキビの生産力³⁾は中～低で、易耕性⁴⁾が不良である。国頭マージ地帯では、雨により圃場の肥沃な表土が傾斜した短い河川に流出し、耕地の肥沃度が低下し、河川・海洋の汚染も頻発している。

島尻マージは低島に分布する細粒質の重粘土で、通気性、排水性などで優れている。サトウキビの生産力の中～低で、有効土層が浅く、保水性が低いため干ばつ害が生じやすい。易耕性は比較的優れている。平坦地に分布しているため、土壌の浸食が少ない。

ジャーガルは細粒質の重粘土壤で透水性が低く、保水力が強く、干ばつの被害が少なく、サトウキビの生産力が高い。しかし乾燥で固結化し、降雨で泥濘化するため易耕性が不良で、土壌侵食もやや多い。

カニクは海岸低地等に小規模ずつ分布し、再堆積物からなる土壌の総称で、粗粒質～細粒質土で地下水位が高い。干ばつ害は少ないが湿害が発生し易く、生産力の中～低である。易耕性は良～不良で、土壌浸食を受けやすい。

表 I - 1 沖縄県内に分布する主要な土壌の特性

土壌の種類	分布地域	土壌の特徴 サトウキビの生産力	浸食性・易耕性
1. 国頭マーヅ 面積53%*	沖縄本島中北部、石垣島、久米島、伊平屋島、伊是名島、慶良間諸島等。	生産力：中～低。強酸性～微アルカリ性、粘性土。物理性（通気性、排水性、保水性）は不良。透水性、通気性が悪く、干害や湿害が多発する。	侵食が激しい。マルチ被覆や圃場の均平化、畦畔の設置、沈砂池などの対策が必要。易耕性は不良。
2. 島尻マーヅ 面積27%	沖縄本島中南部、本部半島、宮古諸島、八重山諸島、南北大東島、久米島等。	生産力：中～低。中性～弱アルカリ性、細粒重粘土。物理性（通気性、排水性などは）優れている。土層が浅く、保水性が低く干害が多発する。	浸食は少ない。易耕性は良い。
3. ジャーガル 面積8%	沖縄本島中南部、宮古島の一部。	生産力：高。アルカリ性、細粒重粘土。透水性が低く、保水力が強く、干ばつ害は少ない。雨が降ると粘着性の泥になり、乾くと固結する。	侵食はやや多い。易耕性は不良。
4. カニク (沖積土壌) 面積10%	沖縄本島と久米島の河岸や海岸地帯	生産力：中～低。強酸性～アルカリ性、粗粒質～細粒質土。地下水位が高く、干ばつ害は少なく、湿害が発生し易い。	侵食が激しい。マルチ被覆や畦畔の設置、沈砂池などの対策が必要。易耕性は良～不良。
5. 大東マーヅ 面積2%	南北大東島	生産力：中～低。酸性～中性。土壌物理性は島尻マーヅに近いが、作土層が深い。	浸食は少ない。易耕性は良い。

資料：池原ら(1974)、翁長・儀保(1984)、大屋(1981)、久場(2009)などから作成。

注：*県内における占有面積率。

(2) 沖縄県における農業・農村整備

農業基盤整備事業と農業の機械化、サトウキビ作・糖業の保護は南西諸島における農業政策の柱とされている（新井・永田，2013）。サトウキビ作における1987年時点の10a当たり作業時間が水稻の4.5倍、労働生産性はハワイの1/4と低かった。労働生産性を高めるための機械の導入と、そのための圃場（区画）整備は緊急な課題であり、基幹作物であるサトウキビの労働生産性の向上を図るため計画基準⁵⁾が検討された。機械の導入により土地生産性と労働生産性を高め、中長期的な農業の体質強化を図る。面整備事業では圃場を整形し、大型化・均質化し、傾斜を緩和し、機械の利用を意識した農道の整備を進め、サトウキビの植え付けから収穫に至る機械化一貫作業体系の実現への布石とした(金城・大城，1987)。

沖縄の本土復帰に伴う特別措置に関する法律、沖縄振興開発特別措置法が1971年に制定され、沖縄の土地改良事業に本土の土地改良法が適用された。これによって他府県よりも高い補助率と採択基準の引き下げ処置で事業が積極的に行われ、2011年度までに圃場整備と灌がい整備が急速に進められた(表I-2)。

気象条件や土壌特性が本土と異なるため、1976年に概定基準、1980年に圃場整備計画指針、1986年には土地改良事業計画指針「畑地整備」が順次制定された。圃場面の土砂流亡を防ぎ管理作業機の利用限界を考慮して圃場勾配は5°以内とした(後に3°以内に改訂)。大東諸島、先島諸島などでは長辺が200m、ジャーガル地域など、小規模離島地域などでも100mで、作土層を40cm、国頭マージでは土砂流出の防止措置が重視された(金城・大城, 1987)。

表 I-2 沖縄県における農業基盤整備事業の進展

要整備量 ¹⁾		復帰前	～1981年	～1991年	～2001年	～2011年	～2019年
灌がい面積(ha)	38,600	0	4,979	6,060	11,233	17,293	19,223
整備率(%) ²⁾		0.5	12.9	15.7	29.1	44.8	49.8
圃場整備面積(ha)	32,800	0	7,249	13,153	17,220	19,319	20,762
整備率(%)		2.7	22.1	40.1	52.5	58.9	63.3

資料：沖縄県農林土木事務所（北部、中部、南部、宮古、八重山）のホームページから作成（2022年7月7日閲覧）。

注：¹⁾沖縄21世紀ビジョン実施計画における要整備量。

²⁾要整備量に対する整備実績の積算値の比率。

その効果として、土地改良区の圃場では機械作業による畝間移動が少なく、実作業場所と収穫されたサトウキビの集積場所までの距離が短く、移動時間が短くなったため、機械収穫作業の作業効率が向上した(鹿内ら, 2019)。しかし、圃場の集積が進まず分散錯圃のままであるため、大規模法人や作業受委託体系における圃場間の移動や個々の圃場の管理などの阻害要因となっている(井元ら, 2013; 鹿内ら, 2007)。

また、圃場整備による問題点として生産力の低下などが指摘され(新井・永田, 2006; 喜名, 1991; 吉永・酒井, 2004)、加えて灌がい整備率も50%近くに達

したが、サトウキビへの実用的な灌水が可能な地域は未だ多くない（新井・永田，2006；沖縄蔗作研究協会，2016）。さらに、基盤整備後の大規模圃場では、肥沃な表土が河川や海洋に流出し、地域農業における持続可能性の低下と環境汚染が問題となった（仲宗根ら，1998；大見謝，1997）。そのため土地利用型のサトウキビ作を中心に、営農的に実施可能な土壌流出防止対策が求められている（坂井ら，2015）。

(3) 沖縄県の気象環境とサトウキビ栽培

1) 主要なサトウキビ生産地における降水量の季節変動

沖縄県内の主要な生産地における年降水量は、那覇、久米島、宮古島、石垣島、南大東島でそれぞれ、2,161、2,244、2,076、2,096、1,640mm/年であり、久米島が最も多く、南大東島は特に少ない。

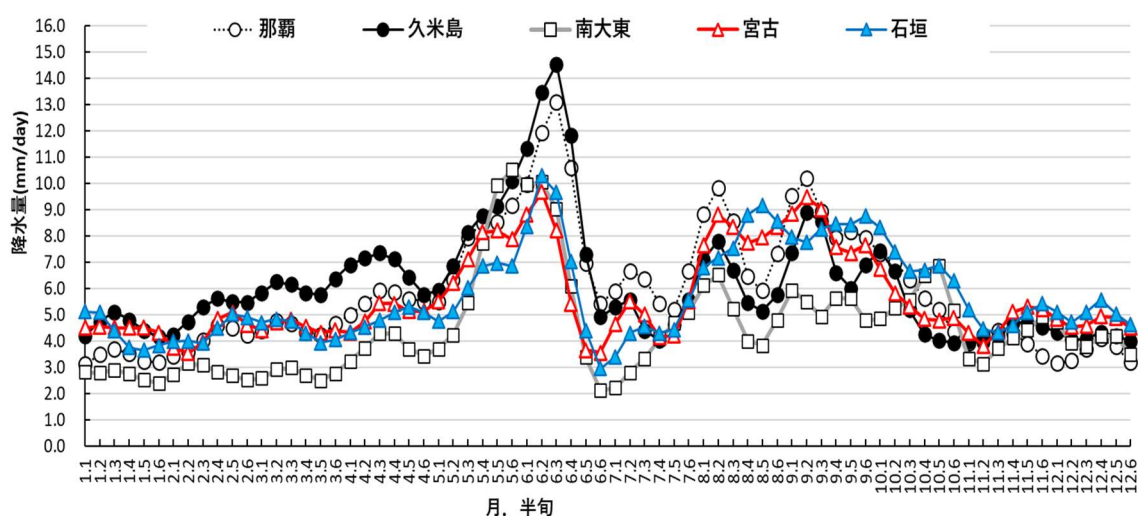


図 I - 1 沖縄県内の主要な観測地点における日降水量の半旬別変動

資料：気象庁「過去の気象データ検索」<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn>（2022年6月6日閲覧）を基に作成。

注：数値は1991～2020年(30年間)の平均値である。

また、図 I - 1 により日降水量を概観すると、多くの地域で1～4月の降水量は3mm/日以上であり、また梅雨期間の降水量は突出して多い。しかし、6月下旬～7月は急激に減少し、那覇以外の地域では5mm/日以下になり、8～9月の降水量は多くの地域で5mm/日以上になる。

本研究の主要なフィールドである久米島では、冬期～梅雨明けまで降水量が多い傾向が続くが、7月以降は宮古や石垣と同等かそれ以下であった。南大東島は年間を通して降水量が少ない傾向が続く。

2) サトウキビの水消費量と降水量

サトウキビは干ばつ耐性が強いが、その生育には年間 1,500～2,000mm の降水量が必要だとされている（渡辺ら，2021）。南西諸島においてサトウキビの生育・収量に影響を及ぼす主な気象要素として、降水量とその季節的分布を挙げることができる（城間，1984）。

図 I-2 に山城（1983）を基にしてサトウキビ畑における日消費水量を示した。消費水量は、作物が正常に生育する状況下で消費される水分量である。前年の夏に植えた夏植えでは、1月の日消費水量が 1mm/日ほどであるが、気温が上昇しサトウキビの生長と共に消費水量が増加し、6～9月に 5mm/日程度になり、その後気温が低下しサトウキビの生長が停滞すると消費水量も低下する。株出しの生長は夏植えよりも遅れるため、消費水量のピークも 7～9月で、春植えは株出しよりもさらに生育と消費水量のピークが遅れる。

気象データは近くの気象庁の観測地点から得られるが、圃場により傾斜や排水性、地下水位の高さ、土壌の保水力、透水性、圃場からの流出などに差異があり、季節や作物の生育段階で消費水量が異なるため、降雨量が作物に及ぼす影響は異なる可能性が高い。

しかし、そのような面は捨像して、ここで示したサトウキビの消費水量と図 I-1 の日降水量を比べると、消費水量が多い生育旺盛期でも、6月下旬～7月以外、南大東島以外の地域では、サトウキビの生育に十分な降水量が得られているように見え、1月～6月中旬、特に梅雨期間は、サトウキビにとって水が潤沢に得られているように見える。しかし、夏場の水はサトウキビにとって「少なくて困る」問題であり、冬春～梅雨期の水は管理作業にとって「多くて困る」問題である。そのことについては、本節の 4) と 5) で議論する。

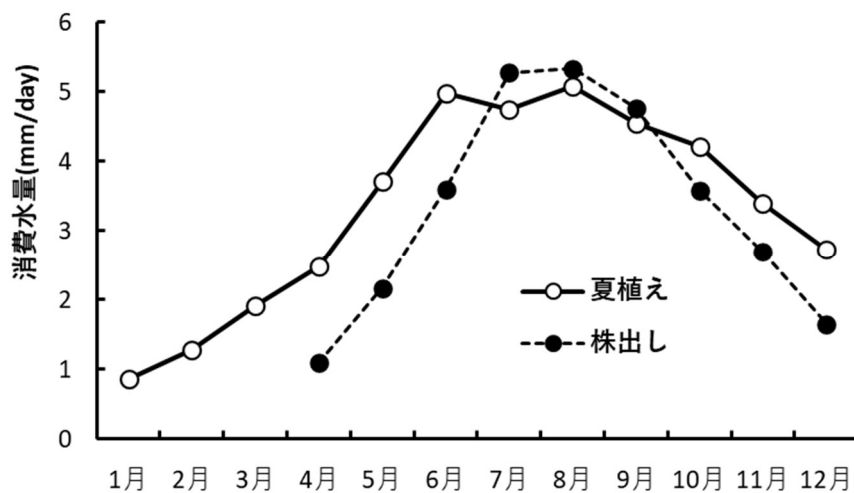


図 I - 2 サトウキビの 1 日当たり消費水量の月別変動

資料：山城 (1983) を基に作成。

3) 台風による攪乱

南西諸島は気温が高く日照と年降雨量が多いので、農業生産にとって有利な条件を備えているように見える（大場ら，2004）。しかし前述したように、降雨は梅雨期を中心として季節的に偏り、サトウキビは低温期間において降雨を成長に利用できないため（Bull，2000）、冬春期～梅雨期の降雨は農作業の阻害要因になるだけである。また、夏秋期の雨量は毎年 2～3 個も接近する台風に依存するが、台風は不定期に接近するとともに、雨量や風速、強風時間も大きく変動し、予測不能である。加えて、台風の転向点にあたる南西諸島では、その進行が停滞し、勢力が最大化することが多い。台風による集中豪雨や強風、潮風害はサトウキビ栽培や土壌流出のリスク要因となるが、一方で台風に伴う降水は貴重な水資源でもある（幸喜，2002；城間，1984）。

図 I - 3 に 2011 年 5 月 28～30 日にかけて、南西諸島沿いを通過した台風 2 号の移動経路の事例を示した。極めてまれな 5 月の台風により、石垣島では最大瞬間風速 40.4m/秒、強風が 11 時間も続き、降水量は 228mm と多く、集中豪雨（87mm/時）があった。宮古島では最大瞬間風速が 59m/秒で強風が 9 時間以上も続き、その間の降水量は 87mm と少なかった。

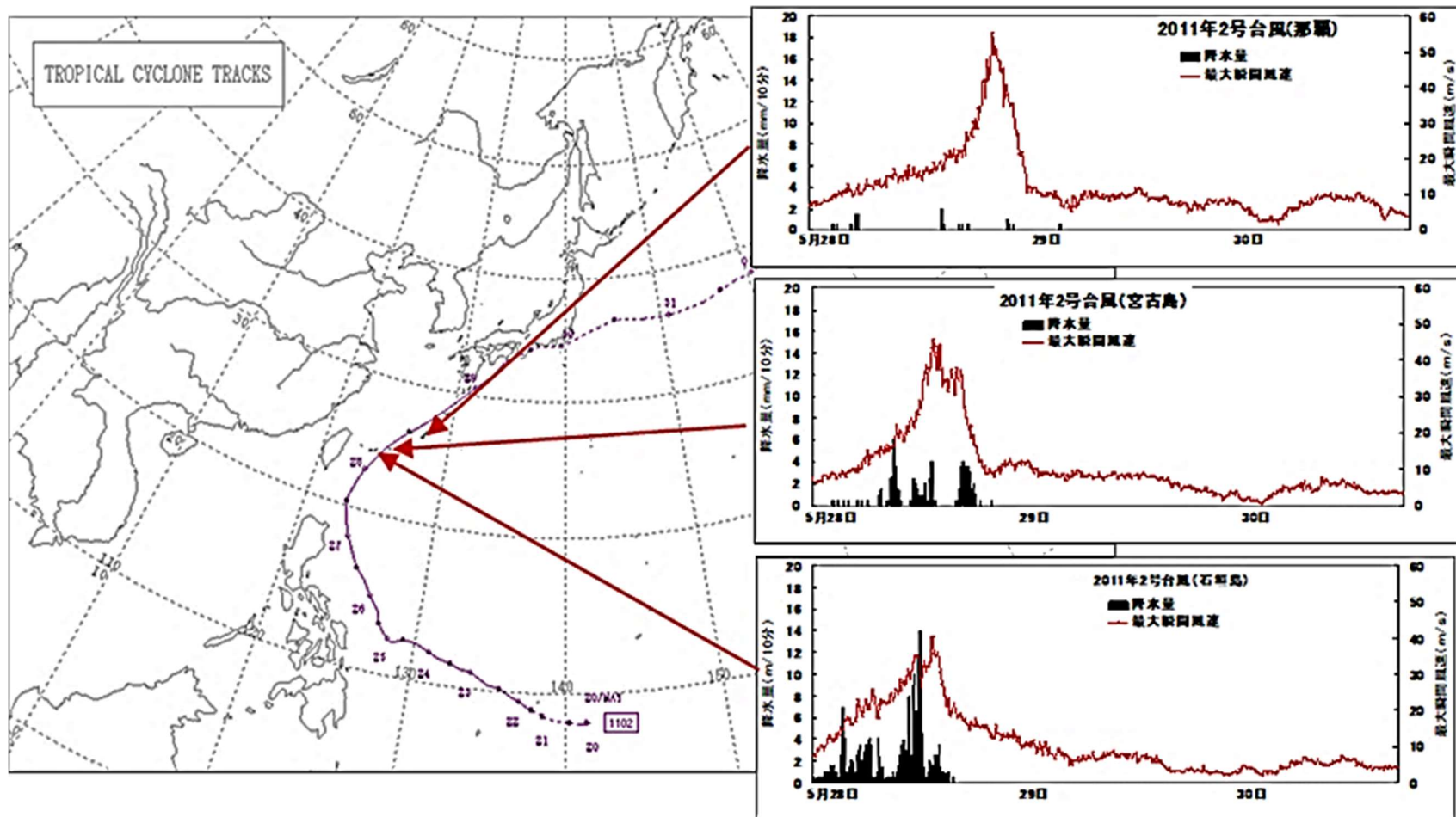


図 I -3 2011 年台風 2 号の移動経路と降水量、最大瞬間風速の事例

資料：気象庁「各種データ資料」<https://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>（2012 年 6 月閲覧）を基に作成。

注：破線は台風の移動経路を示す。

那覇では最大瞬間風速 55.3m/秒、強風は 6 時間と短かったが、降水量が 12mm で極度に少なかった。石垣島では豪雨で春植え圃場を中心に土壌流出が発生し、成育初期のサトウキビは平年よりも少し減収した。しかし宮古島と沖縄本島では土壌流出は無かったものの、サトウキビの折損や倒伏、潮風害が発生し大きく減収した。このように、サトウキビに対する台風のリスクは、接近する時期、風速や影響時間、降水量、潮風の発生等によって大きく変動し、不安定である。

4) 日降水量の中央値と四分位値の季節的な変動

図 I-4 に本研究の主要なフィールドである久米島における日降水量の中央値と第 1 四分位値、第 3 四分位値⁶⁾の季節的な変動を例示した。

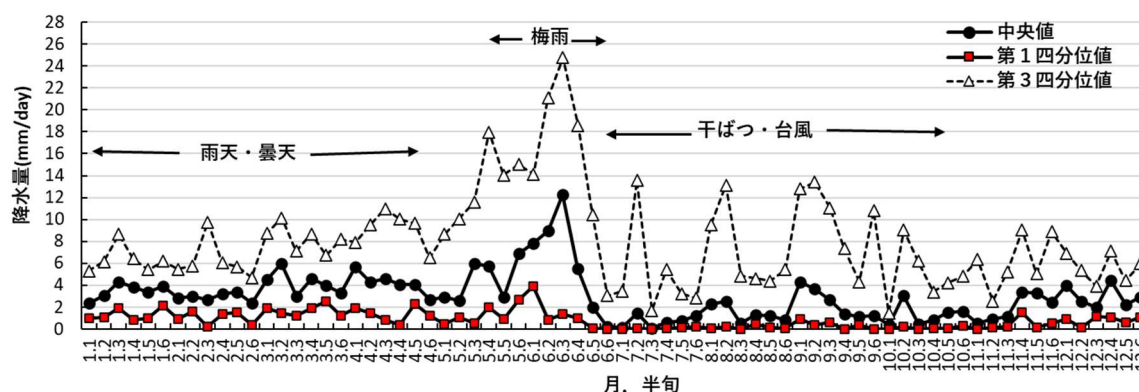


図 I-4 久米島における日降水量の中央値と四分位値の季節的な変動

資料：気象庁「過去の気象データ検索」<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn> (2022 年 6 月 6 日閲覧)

注：1991～2020 年の半旬毎の値から作成。

図を概観すると、高温で蒸発散が多い梅雨明けから 10 月頃における日降水量の中央値は極端に低く、大半が 2mm/日を割っている。また第 1 四分位値が 0 に張り付き、第 3 四分位値が上側に大きく変動している。このことから、梅雨明け～10 月は干ばつ傾向が続くが、台風などがもたらす不規則な予期しない雨の結果として、前掲図 I-1 に示した 8～9 月の平均降水量の平均値 5mm/日が発現したと推測される。

渡辺ら（2021）の南大東島における報告によると、7～9 月におけるサトウキビの生育に対する不足水量は年全体の半分近くにも相当し、もっとも水が必要な生育旺盛期に「水不足」になる。このことから、琉球諸島の多くの地域において、サトウキビは干ばつ耐性能力によってかろうじて干ばつを凌いでいるものの、毎年のように水不足で生育が抑制されていると考えられる。また夏～秋の降雨は台風が伴う集中豪雨型である。台風と梅雨期の大雨で、肥沃な表土が河川や海へ流出し、年々耕土が痩せ衰え、海洋が赤土で汚染されている。

それに比べて1～4 月は雨天・曇天続きで、第1 四分位値、中央値、第3 四分位値がそろって高く、中央値もサトウキビの消費量を超え続け、特に5 月下旬から6 月下旬まではサトウキビにとっては「過剰」なほどの降水量である。

5) 降水の季節的変動とサトウキビ管理作業

図 I－5 にサトウキビ作における主要な作業管理を、図 I－6 に機械化一貫作業体系の事例を示した。図 I－5 のとおり、1～5 月の「過剰な」降水量の期間には、3 作型の収穫、春植えの耕起、砕土、畝立て、植え付け、株出し管理と除草、平均培土、除草などが集中している。中でも重要な収穫作業では手刈り作業が雨天でも可能なことに比べ、ハーベスタ収穫では、土壌が湿ると踏圧で固結し、泥濘化により農機に付着し、水分が過剰な状態では軟弱化して農機が走行不能となる。加えて、大型農機による耕起や砕土、畝立て、平均培土などは、ハーベスタよりも雨天の稼働率が下がる（上野，2002）。そのため、春植えにおけるプラソイラ等による耕起は省略されることが多い。また、春植えや株出しの管理作業の遅れのため、サトウキビの生育も遅れてしまう。その結果、サトウキビは梅雨期の雨を十分に利用して生育することができず、結果的に梅雨明け後の干ばつへの耐性も不十分になり、収量が低下し不安定化する。また、春植えの植え溝や、株出し管理による畝溝の露出により、梅雨期の大雨で赤土問題が発生する。それを避けるために、収穫後～梅雨期の間の土壌の露出を可能な限り避ける、営農的に実施可能な農法が望まれている（坂井ら，2015）。

1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
●夏植え											
		←施肥・高培土									
←収穫											
								←耕起・碎土・畝立て・植え付け(灌水)			
								←灌水・除草			
								←施肥・平均培土			
●春植え											
←耕起・碎土・畝立て・植え付け											
←除草・平均培土・除草											
←収穫											
						←施肥・高培土(灌水)					
●株出し											
←株出管理・除草・平均培土・除草											
						←施肥・高培土(灌水)					
←収穫											

図 I-5 サトウキビの慣行的な作業管理

資料：沖縄県農林水産部（2014）などにより作成。

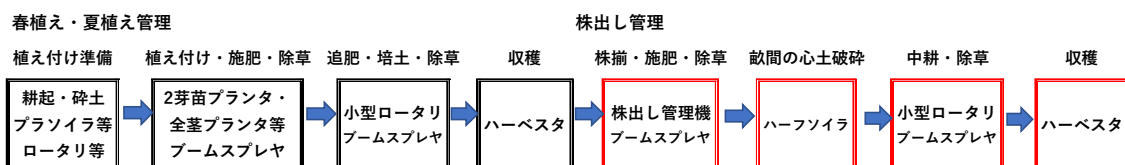


図 I-6 サトウキビ機械化一貫作業体系の事例

資料：沖縄県農林水産部（2007）等により作成。

(4) 沖縄県における品種と作型の選択、健全種苗の利用

古くから「苗半作」といわれるとおり、種苗は全ての経営で利用できる「最も基礎的な農業生産資材」であり、新種苗法の下でもサトウキビ品種の種苗は、自由に自家増殖することができる⁷⁾。ここでは、種苗に関する個別技術である品種、健全種苗化、種苗コーティングを組み合わせる全ての経営で利用可能な「種苗システム」の構築について検討するために、まず品種や作型などの選択と種苗の健全化について述べる。コーティングに関しては、第3節(7)新植における発芽・苗立ち不良対策で詳述する。

図 I-7 にサトウキビにおける育種体系と種苗増殖体系を示した。サトウキビの生産性の向上を図り安定化させる基本的な技術体系として、琉球諸島の生態系に適した優良品種の育種、個々の地域における品種の選択、健全種苗の利

用(仲地，2011)、作型や栽培体系の選択がある。種苗の自家増殖が自由なため、経営規模にかかわらず優良品種の健全種苗が低コストで利用できる。



図 I - 7 サトウキビにおける育種体系と種苗増殖体系
 注 : ゆがふ製糖 1、2 はそれぞれ、沖縄本島南部(ジャーガル地域)、北部(国頭マージ地帯)に対応した現地適応性検定試験。

ただし、地域に対する品種の適応性の範囲には限界があるため、気象、土壌、耕種法など、特定の環境条件に適応する品種を、対象地域と同一または類似環境下で、評価、選定する必要がある。琉球諸島は広い海域に分布しているが、黒潮が流れる暖かい海に囲まれているため、地域による気温差は比較的小さい。しかし年降水量とその季節的分布の地域間差が大きく、またサトウキビの生育旺盛期である梅雨明け～秋の雨量と降雨の分布は年次により大きく変動する。そのため、夏秋の干ばつへの耐性と、台風によりもたらされる不安定な降水や

強風、塩風害などに対する適応性はサトウキビ品種にとって重要な特性である。保水力など土壌条件の差異も収量に顕著に影響する。

このような事情から、沖縄県では主要 11 地域において製糖工場が管理する現地適応性検定圃場を設置し、新品種候補の評価を行っている。このように多くの地域で試験を行うことで、県内全域に対する適応性や、干ばつや台風など不安定な気象リスクへの耐性も同時に評価できる。

サトウキビは干ばつ耐性を有するが、わい化病菌に感染すると、干ばつ条件下、特に株出し栽培で大きく減収する。現実的な対策として 1978 年に種苗管理センター沖縄農場が開設され、奨励品種を全て無菌化し、原種圃や採苗圃で健全種苗を増殖して農家へ配布するようになった（鈴木，2012）。「令和 4 年度 沖縄県さとうきび生産振興計画」では県の奨励する 15 品種について、原種圃（採苗圃；春植え用 108ha、夏植え用 260ha 対象）と採苗圃（一般圃場；春植え用 630ha、夏植え用 2,693ha 対象）が計画されている（沖縄県，2022）。

(5) サトウキビ作型の動態

表 I-3 に本研究の主要なフィールドである久米島におけるサトウキビの作型別の収穫面積、単収、生産量とその変動を示した。収穫面積の 64% が株出しであり、株出し面積の変動係数は 9% で安定しているが、夏植えの平均収穫面積は 22%、春植えは 14% で、両者の年次間変動係数はそれぞれ 26、24% とかなり大きい。久米島製糖や久米島町、JA おきなわ久米島支店では、生産量を維持するために運動を展開し、夏植えと春植えの植え付け面積を調整している。

春植えの平均単収は 4,502kg/10a で年次間の変動が 24% と大きく、夏植えと株出しの平均単収はそれぞれ 6,816kg/10a、4,758kg/10a であり、変動係数は両者とも 17% で、春植えよりも安定している。これは、南西諸島において春植えの単収が不安定であるとの現地調査の結果（杉本，2003；杉本ら，2004）と一致している。また、干ばつや台風の被害が圃場間で大きく異なるため、各作型とも圃場間における単収はさらに不安定で、加えて低収地域や低収年ほど圃場間の単収が不安定だといわれている（向井ら，1979；城間，1984）。

生産量では株出しが 30,402 トンで最も多く、変動係数は 19%で 3 作型ではやや安定している。次に多いのは夏植えであり、生産量が 14,840 トン、変動係数が 28%であった。春植えでは 6,019 トン、変動係数が 32%で、春植えの生産量は最も少なく不安定であった。

表 I-3 サトウキビの作型別の収穫面積、単収、生産量とその変動

	作型	平均値	最大値	最小値	標準偏差	変動係数(%)
収穫面積 (ha)	夏植え	219	341	143	57	26
	春植え	135	185	69	33	24
	株出し	640	767	555	58	9
単 収 (kg/10a)	夏植え	6,816	9,377	4,648	1,181	17
	春植え	4,502	7,283	2,756	1,102	24
	株出し	4,758	6,447	3,249	819	17
生産量 (トン)	夏植え	14,840	21,736	6,628	4,101	28
	春植え	6,019	10,500	3,099	1,909	32
	株出し	30,402	41,047	21,412	5,645	19

資料：沖縄県農林水産部『さとうきび及び甘しゃ糖生産実績』
(2001～2020 年)年度から作成。

(6) 現地圃場におけるサトウキビわい化病の罹病率と健全種苗の効果

沖縄県における灌がい整備事業も伸展したが（前掲表 I-2）、サトウキビの生育旺盛期に毎年のように発生する干ばつに対して、実用的な灌水が困難な地域は未だ多い。

そのため、現実的で費用対効果が高い干ばつ対策として、健全種苗の利用が挙げられる。わい化病に罹病したサトウキビでは干ばつ耐性や株出し能力が低下するが、健全種苗を増殖して圃場を更新することにより、わい化病による収量低下を防止できる。

しかし、南西諸島におけるわい化病の分布や被害による減収などの報告はいずれも 40 年以上も前の、古い品種に関するものである（表 I-4）。加えてわい化病は外観からの判別が極めて難しい。そのため、一部の地域でわい化病の重要性に関する認識が風化し、現地適応性検定試験から無病化せずに直接、奨励品種が地域向けに流出し、種苗対策事業の形骸化が危惧されている。加えて、種苗対策は品種開発と共に、行政部門によるサトウキビ農家への援助が可能な事業である。生産現場におけるわい化病の発生状況を調査し⁸⁾、最近の品種に

おける健全種苗の効果（わい化病の影響）を検証して、健全種苗利用の重要性に対する関係者の認識の強化を促し、種苗対策事業を再整備する必要がある。

表 I－4 サトウキビわい化病の発生状況の調査結果一覧

調査年	調査地域	品種	罹病率（％）	出典
1963	沖縄本島南部	NCo310	85.6	野原・松村, 1965
1966	沖縄本島北部	—	37.3	照屋・宮良, 1966
	沖縄本島中部	—	43.8	
	沖縄本島南部	—	69.5	
	宮古島	—	50.3	
	石垣島	—	69.1	
	平均	—	54.0	
1980	石垣島	NCo310	43.0	大津, 1981
1987, 88	種子島	—	21.1	沼口ら, 1988
	奄美大島	—	33.0	
	喜界島	—	43.6	
	徳之島	—	55.3	
	沖永良部島	—	29.6	
	与論島	—	43.3	
	平均	—	39.7	

資料：沼口ら(1988)、野原・松村(1965)、照屋・宮良(1966)、大津(1981)を基に作成。

注：沼口らは位相差顕微鏡で蔗茎の下部節の維管束液を観察して罹病を判定。他は茎の下部節の維管束の褐変化で判定。

(7) 新植における発芽・苗立ち不良対策

図 I－8 に春植えと夏植え試験における発芽・苗立ち率の発生頻度についてまとめた。これは、比較的ていねいに管理されていると考えられる、沖縄県農業研究センター（本所と3支所）の奨励品種決定試験と製糖工場の現地適応性検定試験の例である。一見して両作型とも発芽・苗立ちが悪い事例が多いことが明らかであるが、特に春植えは発芽・苗立ち不良が多く、全事例のうち発芽率60%以下が45%も存在した。試験研究の場合は補植して試験精度を保持するが、農家圃場ではそのまま放置され、年により欠株で原料茎数が減少する圃場が多発することがある。

春植えの発芽・苗立ちの低さの原因として主に次の2つが考えられる。第1に、春植え用の種苗は夏場の台風被害などを受けて芽子が痛んだ圃場から採苗されることが多く、また芽子が老化した蔗茎から種苗を採苗せざるをえないこ

と。第2に、低温期には発芽が遅延するが、その間の植え床の乾燥や土壌クラスト（土壌皮膜）⁹⁾の発生によるトラブルに遭遇しやすいことなどである。

発芽不良した2芽苗を縦割りすると節間部がスス状に黒ずみ、熟したパイナップルに似た甘い芳香があったため、黒腐病が疑われた（大津・上原，1998）。沖縄県病害虫防除センターで、スス状に黒ずんだ節間部から黒腐病菌が分離同定された。また、2芽苗の両端切り口に黒腐病菌を接種すると、黒腐病の病徴と発芽不良が再現され、その予防策としてチウラム・ベノミル水和剤（以下、「TB 剤」）への浸漬処理が有効である可能性が示された（比屋根ら，2012）。しかしサトウキビの種苗浸漬には多量の薬液が必要で、廃液による環境汚染も危惧されるため、TB 剤の種苗への噴霧コーティングによる黒腐病の予防法を開発する必要がある（Croft，2000）。

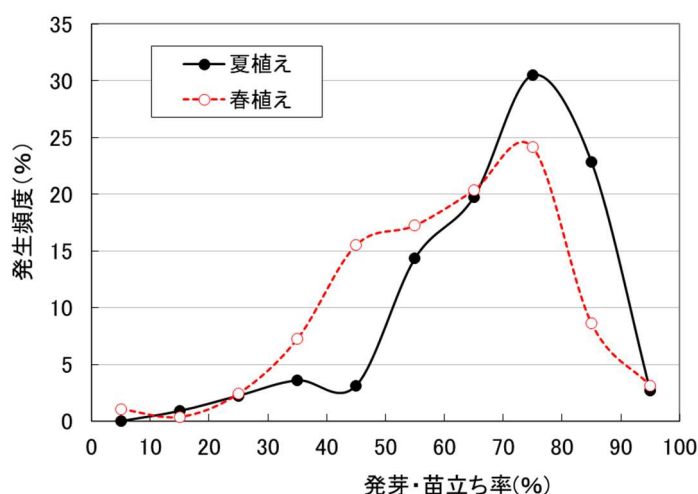


図 I-8 サトウキビの夏植えと春植えにおける発芽・苗立ち率の頻度

資料：沖縄蔗作研究協会『サトウキビ試験成績書害要書』（2002～2010 年度）より作成。

注：沖縄県内 11 カ所におけるサトウキビ奨励品種試験、現地適応性試験の標準比較品種(NCo310 や NiF8 など)の夏植え 266 点、春植え 305 点。

先にも述べたが、種苗は全ての農家が利用できる「最も基礎的な農業生産資材」であり、新種苗法の下でもサトウキビ品種とその健全種苗は、農家が自由に自家増殖できる。第2節 (4)沖縄県における品種と作型の選択、健全種

苗の利用で述べた、「優良品種の健全種苗化」にコーティングを組み込むと、低コストで簡易、環境に優しい「種苗システム」を体系化できる。

図 I - 9 に黒腐病の発生圃場や典型的な病徴、品種における抵抗性の差異、圃場に長期間潜伏する厚膜孢子などについてまとめた。

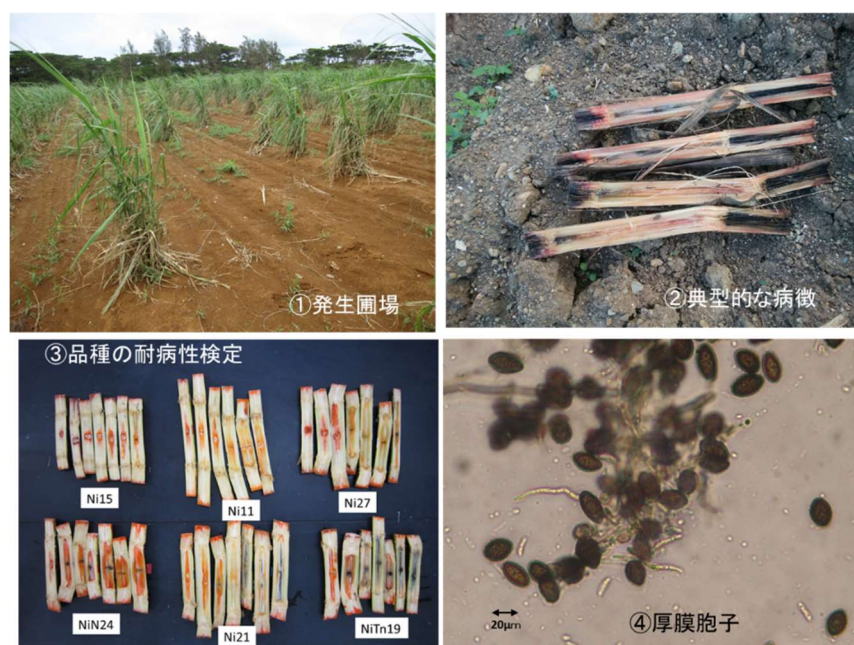


図 I - 9 サトウキビ黒腐病による発芽不良の発生

資料：写真①～③は出花原図、④は金城衣恵（元沖縄県病害虫防除所）による。

注：①伊良部島の黒腐病発生圃場(2014.7)、②罹病した種苗（植え付け1～2ヶ月後・節間がスス状に黒ずむ、③品種により抵抗性が異なり、NiTn19やNi21は弱い、④*C.paradoxa*の厚壁孢子はキビ連作圃場に潜伏している。

第3節 沖縄県におけるサトウキビ生産と収益性、生産構造の変化

(1) 沖縄県におけるサトウキビ生産の推移

サトウキビ生産と製糖業は車の両輪であり、サトウキビ産業の成立とその維持には、工場の規模に見合った量の原料の確保が必須条件である(新井・永田, 2013；斎藤, 2002；上野, 2005)。

図 I - 10 にサトウキビの価格と面積の推移を示した。戦後まもなく、商品経済が再構築される端緒にあって、サトウキビ生産と製糖業は、島嶼の人口を支える主要な産業として選択され、政府の支援により育成された。サトウキビの

急増の要因は、来間（1979）によると、①日本政府の甘味資源自給力強化対策による沖縄産糖の保護(1959 年)、②分蜜工場の増設でサトウキビの換金性が向上したこと、③国際糖価が高水準で、サトウキビ価格が1963年まで急騰したこと、④収益性が他作物よりも有利になったこと、⑤1963年の大干ばつで乾田にサトウキビの作付けが始まったこと、⑥多回株出しで極多収、かつ労力不足や兼業化にも適する品種、NCo310が普及したことである。1972年の本土復帰までの間、実質価格が漸減する中で、サトウキビ単一栽培・連続株出しが強行され、農耕地の70%以上を占めるようになった。そして、復帰前後の経済の混乱、景気浮揚策の連続により労賃がますます上昇し、農村労働力の流出が加速して、正常な管理が困難となった（fukunaka and Oshiro,1983；丸杉，1979）。

復帰ブームの中でも名目価格の引き上げは限られ、第2次生産費すらカバーできない深刻な状況に陥ったため、政府は1973年度から最低生産者価格に加えて原料生産出荷奨励金を交付し、農家手取価格が対前年度比42.9%増となった。それ以降、価格の引き上げが続き、その結果、取引価格ははじめて第2次生産費を上回った。こうした大幅な生産者価格の引き上げは、復帰後の沖縄農業に何ものにも替えがたい大きさと広がりの影響を与えた。しかし、1976年度以降は、取引価格が第2次生産費を上回ったことはない（来間，1981）。そして、その後も高齢化、人手不足と労賃の高騰が深刻化し、サトウキビの実質価格が低下するに伴い、経営規模が小さく兼業化が進んだ沖縄本島を中心に栽培意欲が低下し、粗放化がさらに増幅した（家坂，1991など）。

2007/2008 年期から砂糖でんぷん価格調整法と最低生産者価格が廃止され、サトウキビは経営安定対策による品目別直接支払い支給対象となり、製糖工場が支払う取引価格と国庫の直接支払いである甘味資源作物交付金を受けることになった。しかし、その受給対象者は認定農業者、一定規模以上の生産者、受委託組織に作業を委託する者に限られることになり、経営安定対策の発動によりサトウキビ生産合理化の一層の推進を図る方向である。

このように、農業を取り囲む情勢の変化やそれに誘発された農家行動の変化により、サトウキビの単収の低下が惹起されたとする報告は多い。しかし南西諸島の経済はサトウキビ作と製糖業に強く依存しており、かつ代替的な面積利

用型の作目は現実的に見出しがたいので、サトウキビは南西諸島経済の振興のために必須の作目と位置付けられる(来間, 1998)。甘しや糖産業の占める位置は経済活動ベースではあまり高くないが、雇用の確保や土地利用の面ではより大きな意味を持っている(井上, 2006)。島々における生活の持続性を確保するためには、雇用の維持と、そして何よりも農業の持続による生活環境の持続性の確保が重要である。しかし、人口が減少し、人手不足が深刻化することが見通される中で(家坂, 2001; 永田, 2016)、サトウキビ産業の持続性は失われつつある。このような状況の「問題解決」に向けて、現場において重要かつ解決可能な課題を抽出し、科学的方法による解決策を見いだす学際的、総合的な取り組みが必要である(Caldwellら, 2000; 和田, 1988)。

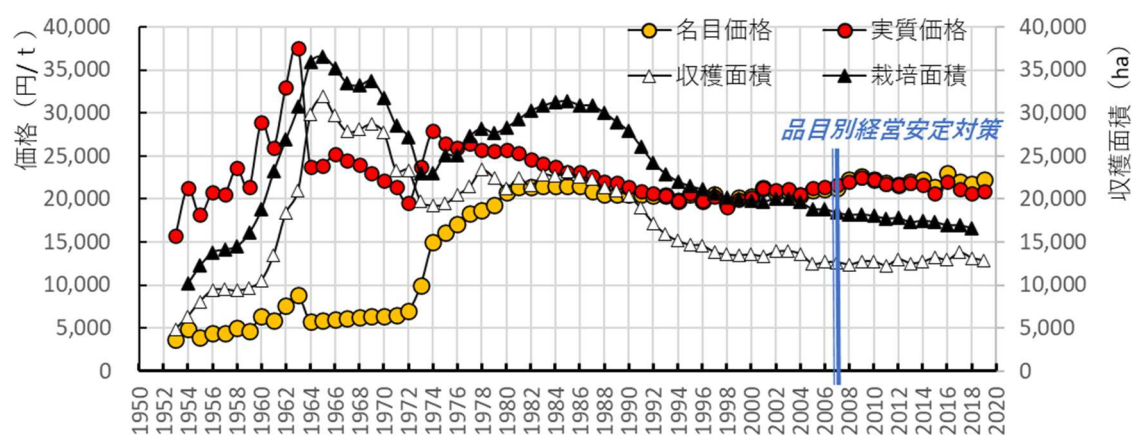


図 I - 10 サトウキビの原料価格と面積の推移

資料：沖縄総合事務局『沖縄農林水産統計年報』、琉球政府経済局『糖業関係資料』などから作成。

注：実質価格は、名目価格を物価指数（沖縄県）で除した値（2010年＝100）。品質取引開始（1994/1995 年）以降は、総取引量を総取引額で除した値。

(2) サトウキビ単収の漸減とその主要因

図 I - 11 に 1980 年代後半以降における、サトウキビの単収、機械収穫率、所得、家族労働報酬の推移を示した。単収と収穫年度の間には $r=-0.51^{**}$ と 1% レベルで有意な負の相関があり、1980 年代後半をピークにして、単収は変動を繰り返しながらも漸減している。回帰式から 1990 年と 2019 年の単収を求

めると、それぞれ 7t/10a と 5.5t/10a になり、20 年間で 1.5t/10a（20％）も低下したことになる。

単収の低下には多数の要因が複雑に関与しており、機械収穫が導入される以前から、農家の世代交代や高齢化による栽培技術の劣化（家坂，1991 など）、窒素施肥量の減少（坂井・仲地，2003）などが報告されている。さらに、実際に現地を調査した結果、栽培技術に関する主要な減収要因として、①発芽・苗立ち不良により欠株が発生し、原料茎数が減少するとともに、②干ばつなどによる原料茎の伸長不良が指摘されている（杉本ら（2003））。

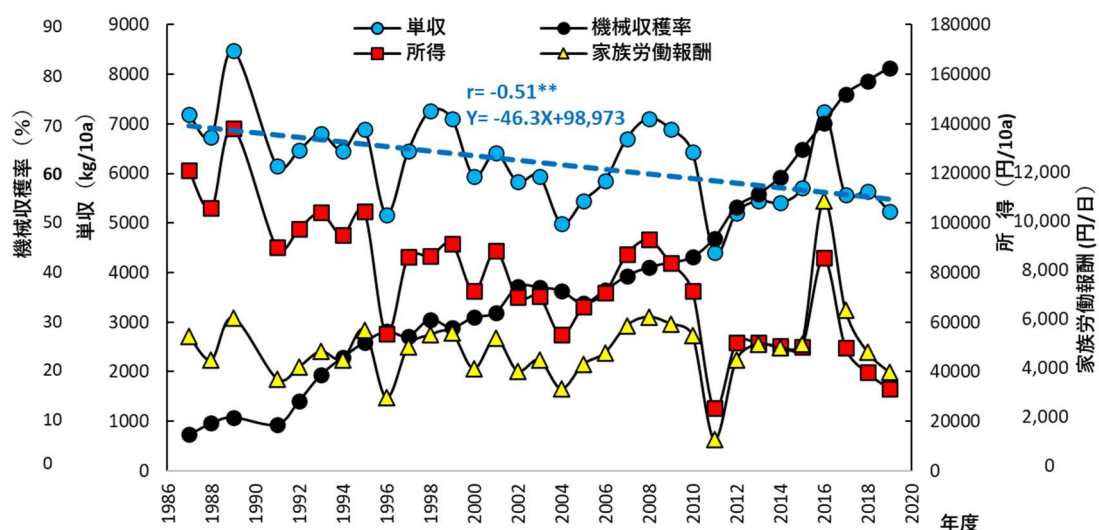


図 I－11 サトウキビの機械収穫率、単収、所得、家族労働報酬の推移

資料：沖縄県農林水産部『沖縄県糖業年報』（各年度）、沖縄総合事務局『沖縄農林水産統計年報』（各年度）。沖縄県統計資料WEBサイト「消費者物価指数」https://www.pref.okinawa.jp/toukeika/long-term/longterm_index.html#5。（2022.6.30 参照）より作成。

注：¹⁾ 品質取引開始（1994/1995 年）以降の原料価格＝総取引額/総取引量とした。

²⁾ 所得と家族労働報酬は、物価指数（那覇市、2010 年＝100）でデフレートした。

³⁾ 青い破線は単収の目的変数、年次を説明変数とする回帰直線。

また、1990 年～2019 年の間、機械収穫率は 10％から 80％程度まで上昇し、機械収穫率と単収の間には有意な負（図 I－12； $r=-0.46^{**}$ ）の相関があった。ハーベスタによる茎の刈り残しや破砕、飛散などの収穫ロス（2～11％程度（赤

地、1998)とされているため、多く見積もっても 700kg/10a 程度である。収穫ロス以外でも機械幅と畝幅の不適合やサトウキビの倒伏による影響など、機械収穫に関連した減収要因も多い (Kingston, 2003 ; 上野, 2005 など)。しかし、機械化栽培の基準 (規範) が設定されており (沖縄県, 2007 ; 上野, 1993)、機械化の進展とともに一定程度遵守されるようになった。また、基準に適応した栽培である場合、小型ハーベスタの踏圧による畝間の固化は土壌表層に限られ (恩田ら, 2001)、踏圧が根系の伸長や発達に及ぼす影響が小さい可能性も指摘されている (赤地ら, 2020)。しかし、機械収穫が株出しの単収に及ぼす影響に関する実証的な報告はほとんどなく、不十分である。

さらに、機械作業は降雨など日々の気象条件の影響を強く受け、また作業結果が後作業の方法や精度、作物の生長に異なる影響を及ぼす。地域や経営の生産環境の中で、個々の作業の機械化と同時に、全生産過程を通じた新たな体系化が必要となる (池田・高橋, 1971 ; 伊藤, 1979 ; 川延, 1966)。

加えて、南西諸島における機械収穫の大半は作業受委託体系で行われ、その場合は収穫作業の主体が圃場主とは異なる受託業者となる。その結果、両者間で利益の配分や情報の偏在などによる機会主義的な行動¹⁰⁾がみられることなども、単収低下の要因となりうる (樋詰ら, 1996 ; 伊庭, 1999 ; 坂井, 2008)。このように、同じ機械作業であっても、単収低下要因は作業受委託体系と借地型大規模経営とでは異なる側面を持っていることが推測される。

(3) サトウキビ単収の漸減と機械収穫、所得、家族労働報酬の関係

一方、10a 当たりの所得は単収と同じ傾向で変動しながら、単収よりも急速に減少している。しかし、1 日当たりの家族労働報酬には、所得ほどの低下傾向が現れていない。

サトウキビ作の高齢化や労働力不足が深刻化し、収穫の機械化は避けては通れない課題であるが、機械収穫と単収の低下が関連していることは明らかである。しかし、収益性の保持のため、機械化による単収維持は必須条件である (家坂, 1991)。そこで、この相矛盾する問題の回答を得るため、ここでは沖縄県において収量が低下し始めた 1980 年代後半から 2019 年までを対象として、

機械化と単収低下が 10 a 当たり所得と家族労働報酬に及ぼす影響について検討した。

まず、所得に対する影響をみるために、所得(I)を目的変数、機械収穫率(M)と単収(Y)を説明変数とする重回帰分析と経路解析（図 I－12）を行った。

$$I = 20.73 \times Y - 557.3 \times M - 30,705$$

（修正 $R^2=0.960$ 、ダービン・ワトソン比=1.271）

となった。図 I－12 から、機械収穫率と単収の間には $r = -0.456^{**}$ と弱い負の相関関係があり、機械収穫率の標準偏回帰係数がマイナスであることから、機械収穫率が上がると単収が下がる傾向が推察された。

しかし、所得に対して単収がプラスに働き、寄与率は単収の方がやや高い。そこで、機械収穫率を 100% と仮定すると、単収が 6 t 程度の場合の所得が 3.8 万円/10a、単収が 7 t を超えると所得は 5.9 万円/10a 程度になると予測された。

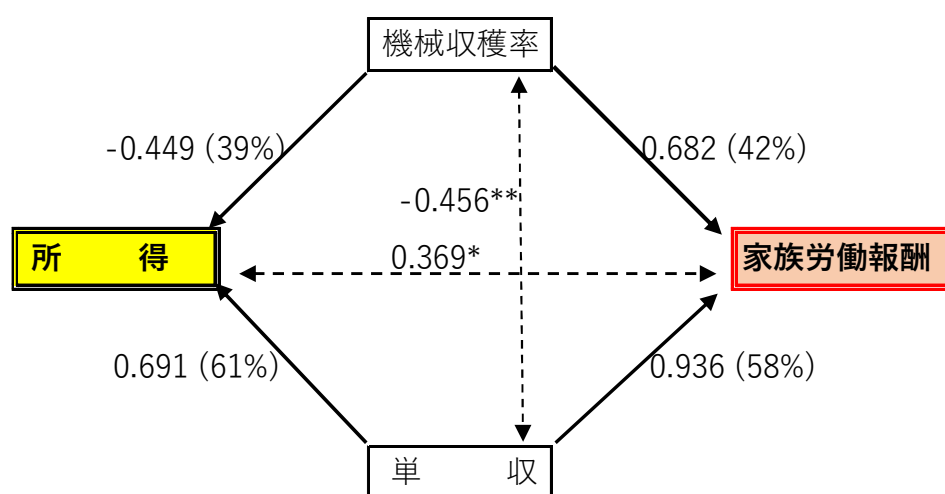


図 I－12 サトウキビ生産の所得と家族労働報酬に対する機械収穫率と単収の経路分析図

資料：図 I－11 に同じ。

注：片方向の矢印に付された数字は標準偏回帰係数（寄与率）、両方向の破線の矢印に付された数字は相関係数で、*、**はそれぞれ 5% と 1% で有意であることを示す。

また、家族労働報酬（F）を目的変数として、機械収穫率（M）と単収（Y）

を説明変数とする重回帰分析を行ったところ、

$$F=50.05 \times M + 1.66 \times Y - 7267.06$$

(修正 $R^2=0.742$ 、ダービン・ワトソン比=1.534)

となり、図 I-12 から、家族労働報酬は機械収穫率が高く、単収も高いときに高くなり、家族労働報酬に対する寄与率は単収の方が高い。沖縄県の2019年の農村標準賃金が男 7,516 円/日、女 6,168 円/日であるが、機械収穫率を 100%と仮定すると、家族労働報酬は単収が 6 t 程度では 7.9 千円/日、単収が 7 t を超えると 9.5 千円/日程度になる。

以上のことから、サトウキビ管理作業の大半を占める収穫作業を機械化しても、単収の維持向上と同時に経営規模を拡大できれば、収穫委託農家にとってもサトウキビ栽培へのインセンティブが働くことが期待できる。一方、上野ら(1997, 1995)のアンケート調査によれば、機械コストを抑えることが可能なら、比較的小規模な農家でも、サトウキビ作からの退出が減る可能性もある。また、省作業や減耕起など作業体系の見直しによる低コスト化も重要な課題である。

(4) 沖縄県におけるサトウキビ生産構造の変化

表 I-5 に沖縄県におけるサトウキビ出荷者の世代構成の推移を示した。サトウキビ出荷者数は、2007 年から 2021 年の 14 年間で 16,923 人から 12,001 人へと 4,922 人 (29.1%) も減少した。しかも、40~50 代の働き盛りで出荷者が顕著に減少しているが、60 代では増減がほとんどない。加えて構成比で見ると、特に近年になって 60 代で一転して増加する傾向が顕著で、60 代以上が増加傾向である。2021 年には 60 代以上の高齢者が占める割合が 74.0%に達しており、14 年間で 16.9 ポイントも上昇した。これは農業に不慣れな高齢就農者が、定年帰農により増加したためだと考えられる。

南西諸島のサトウキビは2007年産から品目別経営安定対策による直接支払の対象になった¹¹⁾。この制度の意図は、機械化と規模拡大、集落内の協業や法人化による生産コストの低減を進め、担い手を育成・確保し、経営の階層分化を進めることであるとされている(新井・永田, 2013)。

数世代に及びサトウキビ栽培が粗放化し（Fukunaka and Oshiro.,1983；仲地, 2011）、熟練した農業者の多くがリタイヤし、サトウキビ作の担い手の減少が続く中で、地域におけるサトウキビ栽培に必要な知識やノウハウが劣化している可能性も高い。作業受託者や60代から農業を始める熟練度の低い就農者に、サトウキビ作に関わる知識や技能、ノウハウをどのように継承していくかが大きな課題となってくる。農業における知識や技能は地域や経営に固有のものが多く、地域資源としても重要な意味をもっている。世代交代により失われつつある知識、地域や経営に固有の知識を形式知化することは重要である(山本, 2011)。加えて、高齢者にも可能なように農作業を軽労化し、省力化して、かつ機械作業と統合して効率化・低コスト化を図る必要もある。

表 I－5 沖縄県における年齢層別サトウキビ出荷者数の推移

表1-2 平成27年度、28年度、29年度、30年度、31年度、32年度、33年度、34年度、35年度、36年度、37年度、38年度、39年度、40年度、41年度、42年度、43年度、44年度、45年度、46年度、47年度、48年度、49年度、50年度、51年度、52年度、53年度、54年度、55年度、56年度、57年度、58年度、59年度、60年度、61年度、62年度、63年度、64年度、65年度、66年度、67年度、68年度、69年度、70年度、71年度、72年度、73年度、74年度、75年度、76年度、77年度、78年度、79年度、80年度、81年度、82年度、83年度、84年度、85年度、86年度、87年度、88年度、89年度、90年度、91年度、92年度、93年度、94年度、95年度、96年度、97年度、98年度、99年度、100年度、101年度、102年度、103年度、104年度、105年度、106年度、107年度、108年度、109年度、110年度、111年度、112年度、113年度、114年度、115年度、116年度、117年度、118年度、119年度、120年度、121年度、122年度、123年度、124年度、125年度、126年度、127年度、128年度、129年度、130年度、131年度、132年度、133年度、134年度、135年度、136年度、137年度、138年度、139年度、140年度、141年度、142年度、143年度、144年度、145年度、146年度、147年度、148年度、149年度、150年度、151年度、152年度、153年度、154年度、155年度、156年度、157年度、158年度、159年度、160年度、161年度、162年度、163年度、164年度、165年度、166年度、167年度、168年度、169年度、170年度、171年度、172年度、173年度、174年度、175年度、176年度、177年度、178年度、179年度、180年度、181年度、182年度、183年度、184年度、185年度、186年度、187年度、188年度、189年度、190年度、191年度、192年度、193年度、194年度、195年度、196年度、197年度、198年度、199年度、200年度、201年度、202年度、203年度、204年度、205年度、206年度、207年度、208年度、209年度、210年度、211年度、212年度、213年度、214年度、215年度、216年度、217年度、218年度、219年度、220年度、221年度、222年度、223年度、224年度、225年度、226年度、227年度、228年度、229年度、230年度、231年度、232年度、233年度、234年度、235年度、236年度、237年度、238年度、239年度、240年度、241年度、242年度、243年度、244年度、245年度、246年度、247年度、248年度、249年度、250年度、251年度、252年度、253年度、254年度、255年度、256年度、257年度、258年度、259年度、260年度、261年度、262年度、263年度、264年度、265年度、266年度、267年度、268年度、269年度、270年度、271年度、272年度、273年度、274年度、275年度、276年度、277年度、278年度、279年度、280年度、281年度、282年度、283年度、284年度、285年度、286年度、287年度、288年度、289年度、290年度、291年度、292年度、293年度、294年度、295年度、296年度、297年度、298年度、299年度、300年度、301年度、302年度、303年度、304年度、305年度、306年度、307年度、308年度、309年度、310年度、311年度、312年度、313年度、314年度、315年度、316年度、317年度、318年度、319年度、320年度、321年度、322年度、323年度、324年度、325年度、326年度、327年度、328年度、329年度、330年度、331年度、332年度、333年度、334年度、335年度、336年度、337年度、338年度、339年度、340年度、341年度、342年度、343年度、344年度、345年度、346年度、347年度、348年度、349年度、350年度、351年度、352年度、353年度、354年度、355年度、356年度、357年度、358年度、359年度、360年度、361年度、362年度、363年度、364年度、365年度、366年度、367年度、368年度、369年度、370年度、371年度、372年度、373年度、374年度、375年度、376年度、377年度、378年度、379年度、380年度、381年度、382年度、383年度、384年度、385年度、386年度、387年度、388年度、389年度、390年度、391年度、392年度、393年度、394年度、395年度、396年度、397年度、398年度、399年度、400年度、401年度、402年度、403年度、404年度、405年度、406年度、407年度、408年度、409年度、410年度、411年度、412年度、413年度、414年度、415年度、416年度、417年度、418年度、419年度、420年度、421年度、422年度、423年度、424年度、425年度、426年度、427年度、428年度、429年度、430年度、431年度、432年度、433年度、434年度、435年度、436年度、437年度、438年度、439年度、440年度、441年度、442年度、443年度、444年度、445年度、446年度、447年度、448年度、449年度、450年度、451年度、452年度、453年度、454年度、455年度、456年度、457年度、458年度、459年度、460年度、461年度、462年度、463年度、464年度、465年度、466年度、467年度、468年度、469年度、470年度、471年度、472年度、473年度、474年度、475年度、476年度、477年度、478年度、479年度、480年度、481年度、482年度、483年度、484年度、485年度、486年度、487年度、488年度、489年度、490年度、491年度、492年度、493年度、494年度、495年度、496年度、497年度、498年度、499年度、500年度、501年度、502年度、503年度、504年度、505年度、506年度、507年度、508年度、509年度、510年度、511年度、512年度、513年度、514年度、515年度、516年度、517年度、518年度、519年度、520年度、521年度、522年度、523年度、524年度、525年度、526年度、527年度、528年度、529年度、530年度、531年度、532年度、533年度、534年度、535年度、536年度、537年度、538年度、539年度、540年度、541年度、542年度、543年度、544年度、545年度、546年度、547年度、548年度、549年度、550年度、551年度、552年度、553年度、554年度、555年度、556年度、557年度、558年度、559年度、560年度、561年度、562年度、563年度、564年度、565年度、566年度、567年度、568年度、569年度、570年度、571年度、572年度、573年度、574年度、575年度、576年度、577年度、578年度、579年度、580年度、581年度、582年度、583年度、584年度、585年度、586年度、587年度、588年度、589年度、590年度、591年度、592年度、593年度、594年度、595年度、596年度、597年度、598年度、599年度、600年度、601年度、602年度、603年度、604年度、605年度、606年度、607年度、608年度、609年度、610年度、611年度、612年度、613年度、614年度、615年度、616年度、617年度、618年度、619年度、620年度、621年度、622年度、623年度、624年度、625年度、626年度、627年度、628年度、629年度、630年度、631年度、632年度、633年度、634年度、635年度、636年度、637年度、638年度、639年度、640年度、641年度、642年度、643年度、644年度、645年度、646年度、647年度、648年度、649年度、650年度、651年度、652年度、653年度、654年度、655年度、656年度、657年度、658年度、659年度、660年度、661年度、662年度、663年度、664年度、665年度、666年度、667年度、668年度、669年度、670年度、671年度、672年度、673年度、674年度、675年度、676年度、677年度、678年度、679年度、680年度、681年度、682年度、683年度、684年度、685年度、686年度、687年度、688年度、689年度、690年度、691年度、692年度、693年度、694年度、695年度、696年度、697年度、698年度、699年度、700年度、701年度、702年度、703年度、704年度、705年度、706年度、707年度、708年度、709年度、710年度、711年度、712年度、713年度、714年度、715年度、716年度、717年度、718年度、719年度、720年度、721年度、722年度、723年度、724年度、725年度、726年度、727年度、728年度、729年度、730年度、731年度、732年度、733年度、734年度、735年度、736年度、737年度、738年度、739年度、740年度、741年度、742年度、743年度、744年度、745年度、746年度、747年度、748年度、749年度、750年度、751年度、752年度、753年度、754年度、755年度、756年度、757年度、758年度、759年度、760年度、761年度、762年度、763年度、764年度、765年度、766年度、767年度、768年度、769年度、770年度、771年度、772年度、773年度、774年度、775年度、776年度、777年度、778年度、779年度、780年度、781年度、782年度、783年度、784年度、785年度、786年度、787年度、788年度、789年度、790年度、791年度、792年度、793年度、794年度、795年度、796年度、797年度、798年度、799年度、800年度、801年度、802年度、803年度、804年度、805年度、806年度、807年度、808年度、809年度、810年度、811年度、812年度、813年度、814年度、815年度、816年度、817年度、818年度、819年度、820年度、821年度、822年度、823年度、824年度、825年度、826年度、827年度、828年度、829年度、830年度、831年度、832年度、833年度、834年度、835年度、836年度、837年度、838年度、839年度、840年度、841年度、842年度、843年度、844年度、845年度、846年度、847年度、848年度、849年度、850年度、851年度、852年度、853年度、854年度、855年度、856年度、857年度、858年度、859年度、860年度、861年度、862年度、863年度、864年度、865年度、866年度、867年度、868年度、869年度、870年度、871年度、872年度、873年度、874年度、875年度、876年度、877年度、878年度、879年度、880年度、881年度、882年度、883年度、884年度、885年度、886年度、887年度、888年度、889年度、890年度、891年度、892年度、893年度、894年度、895年度、896年度、897年度、898年度、899年度、900年度、901年度、902年度、903年度、904年度、905年度、906年度、907年度、908年度、909年度、910年度、911年度、912年度、913年度、914年度、915年度、916年度、917年度、918年度、919年度、920年度、921年度、922年度、923年度、924年度、925年度、926年度、927年度、928年度、929年度、930年度、931年度、932年度、933年度、934年度、935年度、936年度、937年度、938年度、939年度、940年度、941年度、942年度、943年度、944年度、945年度、946年度、947年度、948年度、949年度、950年度、951年度、952年度、953年度、954年度、955年度、956年度、957年度、958年度、959年度、960年度、961年度、962年度、963年度、964年度、965年度、966年度、967年度、968年度、969年度、970年度、971年度、972年度、973年度、974年度、975年度、976年度、977年度、978年度、979年度、980年度、981年度、982年度、983年度、984年度、985年度、986年度、987年度、988年度、989年度、990年度、991年度、992年度、993年度、994年度、995年度、996年度、997年度、998年度、999年度、1000年度、1001年度、1002年度、1003年度、1004年度、1005年度、1006年度、1007年度、1008年度、1009年度、1010年度、1011年度、1012年度、1013年度、1014年度、1015年度、1016年度、1017年度、1018年度、1019年度、1020年度、1021年度、1022年度、1023年度、1024年度、1025年度、1026年度、1027年度、1028年度、1029年度、1030年度、1031年度、1032年度、1033年度、1034年度、1035年度、1036年度、1037年度、1038年度、1039年度、1040年度、1041年度、1042年度、1043年度、1044年度、1045年度、1046年度、1047年度、1048年度、1049年度、1050年度、1051年度、1052年度、1053年度、1054年度、1055年度、1056年度、1057年度、1058年度、1059年度、1060年度、1061年度、1062年度、1063年度、1064年度、1065年度、1066年度、1067年度、1068年度、1069年度、1070年度、1071年度、1072年度、1073年度、1074年度、1075年度、1076年度、1077年度、1078年度、1079年度、1080年度、1081年度、1082年度、1083年度、1084年度、1085年度、1086年度、1087年度、1088年度、1089年度、1090年度、1091年度、1092年度、1093年度、1094年度、1095年度、1096年度、1097年度、1098年度、1099年度、1100年度、1101年度、1102年度、1103年度、1104年度、1105年度、1106年度、1107年度、1108年度、1109年度、1110年度、1111年度、1112年度、1113年度、1114年度、1115年度、1116年度、1117年度、1118年度、1119年度、1120年度、1121年度、1122年度、1123年度、1124年度、1125年度、1126年度、1127年度、1128年度、1129年度、1130年度、1131年度、1132年度、1133年度、1134年度、1135年度、1136年度、1137年度、1138年度、1139年度、1140年度、1141年度、1142年度、1143年度、1144年度、1145年度、1146年度、1147年度、1148年度、1149年度、1150年度、1151年度、1152年度、1153年度、1154年度、1155年度、1156年度、1157年度、1158年度、1159年度、1160年度、1161年度、1162年度、1163年度、1164年度、1165年度、1166年度、1167年度、1168年度、1169年度、1170年度、1171年度、1172年度、1173年度、1174年度、1175年度、1176年度、1177年度、1178年度、1179年度、1180年度、1181年度、1182年度、1183年度、1184年度、1185年度、1186年度、1187年度、1188年度、1189年度、1190年度、1191年度、1192年度、1193年度、1194年度、1195年度、1196年度、1197年度、1198年度、1199年度、1200年度、1201年度、1202年度、1203年度、1204年度、1205年度、1206年度、1207年度、1208年度、1209年度、1210年度、1211年度、1212年度、1213年度、1214年度、1215年度、1216年度、1217年度、1218年度、1219年度、1220年度、1221年度、1222年度、1223年度、1224年度、1225年度、1226年度、1227年度、1228年度、1229年度、1230年度、1231年度、1232年度、1233年度、1234年度、1235年度、1236年度、1237年度、1238年度、1239年度、1240年度、1241年度、1242年度、1243年度、1244年度、1245年度、1246年度、1247年度、1248年度、1249年度、1250年度、1251年度、1252年度、1253年度、1254年度、1255年度、1256年度、1257年度、1258年度、1259年度、1260年度、1261年度、1262年度、1263年度、1264年度、1265年度、1266年度、1267年度、1268年度、1269年度、1270年度、1271年度、1272年度、1273年度、1274年度、1275年度、1276年度、1277年度、1278年度、1279年度、1280年度、1281年度、1282年度、1283年度、1284年度、1285年度、1286年度、1287年度、1288年度、1289年度、1290年度、1291年度、1292年度、1293年度、1294年度、1295年度、1296年度、1297年度、1298年度、1299年度、1300年度、1301年度、1302年度、1303年度、1304年度、1305年度、1306年度、1307年度、1308年度、1309年度、1310年度、1311年度、1312年度、1313年度、1314年度、1315年度、1316年度、1317年度、1318年度、1319年度、1320年度、1321年度、1322年度、1323年度、1324年度、1325年度、1326年度、1327年度、1328年度、1329年度、1330年度、1331年度、1332年度、1333年度、1334年度、1335年度、1336年度、1337年度、1338年度、1339年度、1340年度、1341年度、1342年度、1343年度、1344年度、1345年度、1346年度、1347年度、1348年度、1349年度、1350年度、1351年度、1352年度、1353年度、1354年度、1355年度、1356年度、1357年度、1358年度、1359年度、1360年度、1361年度、1362年度、1363年度、1364年度、1365年度、1366年度、1367年度、1368年度、1369年度、1370年度、1371年度、1372年度、1373年度、1374年度、1375年度、1376年度、1377年度、1378年度、1379年度、1380年度、1381年度、1382年度、1383年度、1384年度、1385年度、1386年度、1387年度、1388年度、1389年度、1390年度、1391年度、1392年度、1393年度、1394年度、1395年度、1396年度、1397年度、1398年度、1399年度、1400年度、1401年度、1402年度、1403年度、1404年度、1405年度、1406年度、1407年度、1408年度、1409年度、1410年度、1411年度、1412年度、1413年度、1414年度、1415年度、1416年度、1417年度、1418年度、1419年度、1420年度、1421年度、1422年度、1423年度、1424年度、1425年度、1426年度、1427年度、1428年度、1429年度、1430年度、1431年度、1432年度、1433年度、1434年度、1435年度、1436年度、1437年度、1438年度、1439年度、1440年度、1441年度、1442年度、1443年度、1444年度、1445年度、1446年度、1447年度、1448年度、1449年度、1450年度、1451年度、1452年度、1453年度、1454年度、1455年度、1456年度、1457年度、1458年度、1459年度、1460年度、1461年度、1462年度、1463年度、1464年度、1465年度、1466年度、1467年度、1468年度、1469年度、1470年度、1471年度、1472年度、1473年度、1474年度、1475年度、1476年度、1477年度、1478年度、1479年度、1480年度、1481年度、1482年度、1483年度、1484年度、1485年度、1486年度、1487年度、1488年度、1489年度、1490年度、1491年度、1492年度、1493年度、1494年度、1495年度、1496年度、1497年度、1498年度、1499年度、1500年度、1501年度、1502年度、1503年度、1504年度、1505年度、1506年度、1507年度、1508年度、1509年度、1510年度、1511年度、1512年度、1513年度、1514年度、1515年度、1516年度、1517年度、1518年度、1519年度、1520年度、1521年度、1522年度、1523年度、1524年度、1525年度、1526年度、1527年度、1528年度、1529年度、1530年度、1531年度、1532年度、1533年度、1534年度、1535年度、1536年度、1537年度、1538年度、1539年度、1540年度、1541年度、1542年度、1543年度、1544年度、1545年度、1546年度、1547年度、1548年度、1549年度、1550年度、1551年度、1552年度、1553年度、1554年度、1555年度、1556年度、1557年度、1558年度、1559年度、1560年度、1561年度、1562年度、1563年度、1564年度、1565年度、1566年度、1567年度、1568年度、1569年度、1570年度、1571年度、1572年度、1573年度、1574年度、1575年度、1576年度、1577年度、1578年度、1579年度、1580年度、1581年度、1582年度、1583年度、1584年度、1585年度、1586年度、1587年度、1588年度、1589年度、1590年度、1591年度、1592年度、1593年度、1594年度、1595年度、1596年度、1597年度、1598年度、1599年度、1600年度、1601年度、1602年度、1603年度、1604年度、1605年度、1606年度、1607年度、1608年度、1609年度、1610年度、1611年度、1612年度、1613年度、1614年度、1615年度、1616年度、1617年度、1618年度、1619年度、1620年度、1621年度、1622年度、1623年度、1624年度、1625年度、1626年度、1627年度、1628年度、1629年度、1630年度、1631年度、1632年度、1633年度、1634年度、1635年度、1636年度、1637年度、1638年度、1639年度、1640年度、1641年度、1642年度、1643年度、1644年度、1645年度、1646年度、1647年度、1648年度、1649年度、1650年度、1651年度、1652年度、1653年度、1654年度、1655年度、1656年度、1657年度、1658年度、1659年度、1660年度、1661年度、1662年度、1663年度、1664年度、1665年度、1666年度、1667年度、1668年度、1669年度、1670年度、1671年度、1672年度、1673年度、1674年度、1675年度、1676年度、1677年度、1678年度、1679年度、1680年度、1681年度、1682年度、1683年度、1684年度、1685年度、1686年度、1687年度、1688年度、1689年度、1690年度、1691年度、1692年度、1693年度、1694年度、1695年度、1696年度、1697年度、1698年度、1699年度、1700年度、1701年度、1702年度、1703年度、1704年度、1705年度、1706年度、1707年度、1708年度、1709年度、1710年度、1711年度、1712年度、1713年度、1714年度、1715年度、1716年度、1717年度、1718年度、1719年度、1720年度、1721年度、1722年度、1723年度、1724年度、1725年度、1726年度、1727年度、1728年度、1729年度、1730年度、1731年度、1732年度、1733年度、1734年度、1735年度、1736年度、1737年度、1738年度、1739年度、1740年度、1741年度、1742年度、1743年度、1744年度、1745年度、1746年度、1747年度、1748年度、1749年度、1750年度、1751年度、1752年度、1753年度、1754年度、1755年度、1756年度、1757年度、1758年度、1759年度、1760年度、1761年度、1762年度、1763年度、1764年度、1765年度、1766年度、1767年度、1768年度、1769年度、1770年度、1771年度、1772年度、1773年度、1774年度、1775年度、1776年度、1777年度、1778年度、1779年度、1780年度、1781年度、1782年度、1783年度、1784年度、1785年度、1786年度、1787年度、1788年度、1789年度、1790年度、1791年度、1792年度、1793年度、1794年度、1795年度、1796年度、1797年度、1798年度、1799年度、1800年度、1801年度、1802年度、1803年度、1804年度、1805年度、1806年度、1807年度、1808年度、1809年度、1810年度、1811年度、1812年度、1813年度、1814年度、1815年度、1816年度、1817年度、1818年度、1819年度、1820年度、1821年度、1822年度、1823年度、1824年度、1825年度、1826年度、1827年度、1828年度、1829年度、1830年度、1831年度、1832年度、1833年度、1834年度、1835年度、1836年度、1837年度、1838年度、1839年度、1840年度、1841年度、1842年度、1843年度、1844年度、1845年度、1846年度、1847年度、1848年度、1849年度、1850年度、1851年度、1852年度、1853年度、1854年度、1855年度、1856年度、1857年度、1858年度、1859年度、1860年度、1861年度、1862年度、1863年度、1864年度、1865年度、1866年度、1867年度、1868年度、1869年度、1870年度、1871年度、1872年度、1873年度、1874年度、1875年度、1876年度、1877年度、1878年度、1879年度、1880年度、1881年度、1882年度、1883年度、1884年度、1885年度、1886年度、1887年度、1888年度、1889年度、1890年度、1891年度、1892年度、1893年度、1894年度、1895年度、1896年度、1897年度、1898年度、1899年度、1900年度、1901年度、1902年度、1903年度、1904年度、1905年度、1906年度、1907年度、1908年度、1909年度、1910年度、1911年度、1912年度、1913年度、1914年度、1915年度、1916年度、1917年度、1918年度、1919年度、1920年度、1921年度、1922年度、1923年度、1924年度、1925年度、1926年度、1927年度、1928年度、1929年度、1930年度、1931年度、1932年度、1933年度、1934年度、1935年度、1936年度、1937年度、1938年度、1939年度、1940年度、1941年度、1942年度、1943年度、1944年度、1945年度、1946年度、1947年度、1948年度、1949年度、1950年度、1951年度、1952年度、1953年度、1954年度、1955年度、1956年度、1957年度、1958年度、1959年度、1960年度、1961年度、1962年度、1963年度、1964年度、1965年度、1966年度、1967年度、1968年度、1969年度、1970年度、1971年度、1972年度、1973年度、1974年度、1975年度、1976年度、1977年度、1978年度、1979年度、1980年度、1981年度、1982年度、1983年度、1984年度、1985年度、1986年度、1987年度、1988年度、1989年度、1990年度、1991年度、1992年度、1993年度、1994年度、1995年度、1996年度、1997年度、1998年度、1999年度、2000年度、2001年度、2002年度、2003年度、2004年度、2005年度、2006年度、2007年度、2008年度、2009年度、2010年度、2011年度、2012年度、2013年度、2014年度、2015年度、2016年度、2017年度、2018年度、2019年度、2020年度、2021年度、2022年度、2023年度、2024年度、2025年度、2026年度、2027年度、2028年度、2029年度、2030年度、2031年度、2032年度、2033年度、2034年度、2035年度、2036年度、2037年度、2038年度、2039年度、2040年度、2041年度、2042年度、2043年度、2044年度、2045年度、2046年度、2047年度、2048年度、2049年度、2050年度、2051年度、2052年度、2053年度、2054年度、2055年度、2056年度、2057年度、2058年度、2059年度、2060年度、2061年度、2062年度、2063年度、2064年度、2065年度、2066年度、2067年度、2068年度、2069年度、2070年度、2071年度、2072年度、2073年度、2074年度、2075年度、2076年度、2077年度、2078年度、2079年度、2080年度、2081年度、2082年度、2083年度、2084年度、2085年度、2086年度、2087年度、2088年度、2089年度、2090年度、2091年度、2092年度、2093年度、2094年度、2095年度、2096年度、2097年度、2098年度、2099年度、2100年度、2101年度、2102年度、2103年度、2104年度、2105年度、2106年度、2107年度、2108年度、2109年度、2110年度、2111年度、2112年度、2113年度、2114年度、2115年度、2116年度、2117年度、2118年度、2119年度、2120年度、2121年度、2122年度、2123年度、2124年度、2125年度、2126年度、2127年度、2128年度、2129年度、2130年度、2131年度、2132年度、2133年度、2134年度、2135年度、2136年度、2137年度、2138年度、2139年度、2140年度、2141年度、2142年度、2143年度、2144年度、2145年度、2146年度、2147年度、2148年度、2149年度、2150年度、2151年度、2152年度、2153年度、2154年度、2155年度、2156年度、2157年度、2158年度、2159年度、2160年度、2161年度、2162年度、2163年度、2164年度、2165年度、2166年度、2167年度、2168年度、2169年度、2170年度、2171年度、2172年度、2173年度、2174年度、2175年度、2176年度、2177年度、2178年度、2179年度、2180年度、2181年度、2182年度、2183年度、2184年度、2185年度、2186年度、2187年度、2188年度、2189年度、2190年度、2191年度、2192年度、2193年度、2194年度、2195年度、2196年度、2197年度、2198年度、2199年度、2200年度、2201年度、2202年度、2203年度、2204年度、2205年度、2206年度、2207年度、2208年度、2209年度、2210年度、2211年度、2212年度、2213年度、2214年度、2215年度、2216年度、2217年度、2218年度、2219年度、2220年度、2221年度、2222年度、2223年度、2224年度、2225年度、2226年度、2227年度、2228年度、2229年度、2230年度、2231年度、2232年度、2233年度、2234年度、2235年度、2236年度、2237年度、2238年度、2239年度、2240年度、2241年度、2242年度、2243年度、2244年度、2245年度、2246年度、2247年度、2248年度、2249年度、2250年度、2251年度、2252年度、2253年度、2254年度、2255年度、2256年度、2257年度、2258年度、2259年度、2260年度、2261年度、2262													
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

資料：農畜産業振興機構 <https://www.alic.go.jp/operation/sugar/operation-producer.html>（2022.6.1 参照）により作成。

注：甘味資源作物交付金の交付実績のあった者。

一方、法人経営の数は139 法人と少ないものの、2016 年からの5 年間で55 法人も増加し、10 年間で2.7 倍になっている点は注目される。

表 I－6 に沖縄県におけるサトウキビ収穫面積規模別農家数(法人含む)の推移を示した。1.0ha 未満層では農家数が減少する一方、1.5ha 以上層では著しく増加する傾向があり、特に2011 年からの5 年間に於いて、それがより顕著である。

コメ作の場合、自家飯米としての直接利用や縁故者へ無償譲渡が可能なため、零細農家が趣味的なコメ作を続けることが可能であり（松本・森田，2006）、その量は国内消費の2割前後もある（昆，2016）。しかし、サトウキビは製糖原料以外の販路がなく、地域における黒糖としての消費や縁故者への譲渡も少ない。加えて、奄美大島以南の地域はサトウキビの単一経営（樽本，2008）が主流で、他に面積利用型の代替作物がない。これらのことから、サトウキビの生産面積の減少は放棄畑の増加に直結する可能性が高い。それは、サトウキビで成り立つ島嶼にとって、社会の崩壊へつながる危機的な状況を意味する。

表 I－6 沖縄県におけるサトウキビ収穫面積規模別農家数の推移

	年度	計	0.5ha未満	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-3.0	3.0-4.0	4.0-5.0	5.0-10	10ha以上
実数 (戸)	2007	17,448	9,650	4,225	1,872	700	467	224	88	179	43
	2011	16,661	8,898	4,192	1,782	726	500	225	117	179	42
	2016	14,693	5,871	2,823	1,947	1,266	1,447	607	310	369	53
	2021	12,629	4,421	2,395	1,605	1,186	1,387	686	386	488	75
構成比 (%)	2007	100.0	55.3	24.2	10.7	4.0	2.7	1.3	0.5	1.0	0.2
	2011	100.0	53.4	25.2	10.7	4.4	3.0	1.4	0.7	1.1	0.3
	2016	100.0	40.0	19.2	13.3	8.6	9.8	4.1	2.1	2.5	0.4
	2021	100.0	35.0	19.0	12.7	9.4	11.0	5.4	3.1	3.9	0.6

資料：沖縄県「さとうきび及び甘しゃ糖生産実績」（各年度）により作成。

注：黒糖生産地域の農家数を含む。

表 I－7 に 2015 年度から公表されるようになった、サトウキビ主産地における生産者の数、収穫面積、平均収穫面積を示した。南北大東島以外で生産者の減少が大きく、特に沖縄本島で大きく減少している。また収穫面積でも沖縄本島が大きく減少し、宮古島を中心に離島で増加の傾向がある。各地域の生産者当たりの収穫面積では北大東島で 0.65ha と増加が大きく、宮古島市と久米島でそれぞれ 0.19、0.18ha とやや増加していたものの、表 I－5 と関連させて見てみると特に本島では小規模農家の減少はサトウキビ作経営規模の増大につながっていない印象である。

以上のことから、本島はもちろん、生産量の多い離島でも小規模経営層から大規模経営層への農地の集積は遅れており、今後とも階層分化が急速に進展することは難しいと考えられる。そのため、中間層、零細層も含めた全階層がサ

トウキビ生産を担う体制を構築し、地域産業としての規模を維持することが重要な課題だと考えられる（永田，2016）。

表 I－7 主要なサトウキビ生産地における生産者数および収穫面積の推移

	年度	本島北部	本島中部	本島南部	久米島	南大東島	北大東島	宮古島市 ²⁾	石垣島	全体
生産者数 ¹⁾ (人)	2015	1,349	1,662	3,243	790	211	109	5,049	1,184	13,597
	2021	984	1,203	2,631	703	234	98	4,721	1,078	11,652
	増減	△ 365	△ 459	△ 612	△ 87	23	△ 11	△ 328	△ 106	△ 1,945
収穫面積 (ha)	2015	969.8	689.3	1,353.1	905.4	1,181.8	388.9	5,086.8	1,518.3	12,093.5
	2021	805.4	604.8	1,266.8	929.8	1,314.7	413.8	5,663.6	1,517.5	12,516.4
	増減	△ 164.4	△ 84.6	△ 86.4	24.4	133.0	24.9	576.8	△ 0.8	422.9
平均収穫面積 (ha/人)	2015	0.7	0.4	0.4	1.1	5.6	3.6	1.0	1.3	0.9
	2021	0.8	0.5	0.5	1.3	5.6	4.2	1.2	1.4	1.1
	増減	0.1	0.1	0.1	0.2	0.0	0.7	0.2	0.1	0.2

資料：農畜産業振興機構 <https://www.alic.go.jp/operation/sugar/operation-producer.html>（2022.9.9 参照）により作成。

注：¹⁾ 甘味資源作物交付金の交付実績のあった者。

²⁾ 宮古島市には宮古島、伊良部島、来間島、池間島を含む。

表 I－8 に主要地域におけるサトウキビ生産法人の数、自作地の収穫面積、法人当たり収穫面積を示した。2015 年からの 6 年間で県内の生産法人の数は 71 から 131 へ 60 法人（1.8 倍）も増加した。北大東島を除く地域、なかでも宮古島市や石垣島、久米島、本島南部で増加している。しかし法人数の増加に比べて法人の自作面積の増加は大きくない。その結果、宮古島市と北大東島以外の法人では法人当たり収穫面積が減少し、2021 年における法人全体の自作地面積 665.8ha も全生産者の収穫面積 12,516.4ha（表 I－7）のわずか 5.3%にとどまっている。

2021 年の法人当たりの平均面積は個人生産者よりは大きいものの、南大東島以外では土地の集積が不十分で、作業受託法人が増加している可能性が高い。特に久米島では、この間に増加した法人の多くが受託作業を中心とする法人であると推測される。しかし、今後とも、高齢化と労力の流出が続く可能性が高いなかで、地域におけるサトウキビの生産量を維持するためには、機械化を軸とした借地型の経営受託法人の育成も喫緊の課題である。

表 I - 8 主要産地なサトウキビ生産地における生産法人数および自作面積の推移

	年度	本島北部	本島中部	本島南部	久米島	南大東島	北大東島	宮古島市	石垣島	全体
法人数 (法人)	2015	7	7	12	9	8	1	21	6	71
	2021	9	12	20	17	10	1	48	14	131
	増減	2	5	8	8	2	0	27	8	60
法人の自作 面積 (ha)	2015	18.5	28.1	41.1	144.2	121.2	6.9	62.9	40.1	463.0
	2021	19.3	33.3	66.5	161.9	145.5	7.1	165.2	67.2	665.8
	増減	0.8	5.1	25.4	17.6	24.3	0.2	102.3	27.1	202.9
法人当たり 面積 (ha/法人)	2015	2.6	4.0	3.4	16.0	15.1	6.9	3.0	6.7	6.5
	2021	2.1	2.8	3.3	9.5	14.5	7.1	3.4	4.8	5.1
	増減	△ 0.5	△ 1.2	△ 0.1	△ 6.5	△ 0.6	0.2	0.4	△ 1.9	△ 1.4

資料：表 I - 7 に同じ。

注：甘味資源作物交付金の交付実績のあった法人。

ところが、機械作業を受委託する両者ともサトウキビや個々の圃場の運営について十全な知識やノウハウが無いまま、受委託作業が行われている可能性がある。このような状況では、両者間に機会主義的な行動が発生する可能性も高まると考えられる。特に、これから地域のサトウキビ生産を担うことになる法人は、サトウキビ生産や管理作業に関する知識やノウハウを熟知し、自ら管理する圃場に関する知識を集積していく必要がある。そのための、組織体制を整えてゆく必要がある（上野，2006）。

表 I - 9 に主要な地域におけるサトウキビの生産実績を示した。作型の構成では地域間差が大きく、夏植え株出し体系の先島、春植え株出し体系の本島北部と南部、大東地域、そして両者の中間の本島中部と久米島に分けることができる。また作型構成や単収において本研究の主要フィールドである久米島は県内では平均的な位置にある。

収穫面積当たりの平均単収は宮古島や南大東島が高く、本島中北部が低い。

また、栽培面積当たりの平均単収が最も高い南大東島は、大型ハーベスタの利用率が高く、かつて機械化による深刻な単収低下が報告されたが(孫ら，1998)、ここ数年単収が急激に上がった。それに比べて宮古島は夏植え面積が高く、株出し面積率が低いため、栽培面積当たりの単収はそれほど高くない。

表出はしていないが、他の地域とは異なり、宮古島と南北大東島の栽培面積当たりの生産量は最近急激に上昇している。これは両地域で 40 年も続いた土

壊害虫による株出し不萌芽問題に解決策が見い出され、株出しが増加したためである（新垣，2016）。加えて、大東諸島では直近の数年、降雨分布に恵まれていることが（渡辺ら，2021；吉野，1996）その一因として推察される。

表 I－9 主要な地域におけるサトウキビの生産実績（2011～2020 年）

	単 位 収 量 (kg/ha)					収 穫 面 積 (%)			生 産 量 (%)			平均収	平均栽	生産量
	夏植え	春植え	株出し	平均 ¹⁾	平均 ²⁾	夏植え	春植え	株出し	夏植え	春植え	株出し	穫面積 (a) ³⁾	培面積 (a) ³⁾	
北部	4,961	3,478	3,812	3,830	3,574	7.2	18.8	74.1	9.5	17.2	77.4	77	82	35,301
中部	5,972	4,273	4,482	4,725	3,999	18.2	11.7	70.2	22.9	10.3	66.8	38	45	27,704
南部	7,065	4,887	5,422	5,495	5,025	9.4	14.3	76.3	12.0	12.5	75.5	44	48	73,653
久米島	6,604	4,551	4,640	5,006	4,193	19.4	14.2	66.4	25.7	12.6	61.7	120	143	46,369
南大東島	8,226	5,584	5,716	5,840	5,514	5.9	16.3	77.8	8.0	15.5	76.5	522	552	70,916
北大東島	7,874	4,562	4,674	4,942	4,553	8.5	18.4	73.1	14.1	16.4	69.5	366	397	19,214
宮古島	7,394	4,931	5,180	6,173	4,262	44.9	7.5	47.6	53.4	6.0	40.6	79	114	240,081
石垣島	7,122	5,215	4,863	5,963	4,018	48.4	12.6	39.0	56.9	11.1	32.0	117	174	78,530

資料：沖縄県『さとうきび及び甘しゅ糖生産実績』（2011～2020 年）より作成。

注：¹⁾収穫面積当たりの加重平均値。

²⁾栽培面積当たりの各年度の加重平均値。

³⁾夏植えは 2 年に 1 回の収穫のため、夏植えが多い地域ほど栽培面積は収穫面積よりも広くなる。

かつて最も生産力が高かったのは本島南部であったが、最近では単収の低下傾向が明らかである。沖縄本島の生産量は 1980 年代半ば辺りから急激に減少したが、離島地域の減少は緩やかである（永田，2016）。

畑作の中でも野菜作の場合は、連作障害のため、産地の長期的な存続が困難だといわれている（門間・大畑，1985；大江，1995）。しかし、奄美大島以南では同じ畑作でもサトウキビが連作されており、その長期化による問題が危惧されてきた（Fukunaka，1997；来間，1971；丸杉，1979；仲地，2011 など）。地下害虫による不萌芽問題以外では、センチュウ害について指摘されている（Kawanobe et al.,2019；照屋，1967）。また、連作による土壌 pH の低下や微量元素の減少は土壌により異なる。影響が最も出やすいのは種子島の黒ボク土（江畑，1976）であるため、種子島では一般に春植え後の株出し 2 回とカンショ 1 作との輪作が行われている。島尻マージでもゆっくりと影響が現れるが（後藤・永田，2008）、ジャーガルではそれほど問題ではない（比嘉ら，2011）。

しかし、単収低下が激しく連作障害も危惧される本島北部の国頭マージ地帯における報告はみつからない。このように、地域ごとに収量低下に関連する要因が異なる可能性もある。

第5節 小 括

高齢化などで小規模経営が退出し、法人が急激に増加しているが、そのほとんどは農地の集積を伴わない作業受託法人であると考えられるため、借地型の経営受託法人の育成は喫緊の課題である。一方、生産量の多い離島であっても階層分化が急速に進展することは考え難い。地域産業としてのサトウキビ生産と糖業の規模を維持するためには、借地型生産法人へ円滑に移行していく必要がある。そのため中間、零細層も含めた全階層で活用できる、省力型の個別技術や作業体系の開発は重要である。よって、まず地域に高度に適応した品種を選定し、健全種苗化し、優れた発芽・苗立ち性も組み込み、全ての階層の経営で利用可能な「種苗システム」を開発することは重要である。

また、数世代にわたり栽培の粗放化が進む中で、サトウキビや個々の圃場の運営について十全な知識やノウハウが無いまま、受委託作業が行われている可能性がある。このような状況では、作業受委託に伴い機会主義的な行動が発生する可能性も高まると考えられる。特に、これから地域のサトウキビ生産を担うことになると考えられる法人は、サトウキビ生産や管理作業に関する知識やノウハウを熟知し、自ら管理する圃場に関する知識を集積していく必要がある。

管理作業の大半を占める収穫作業を機械化しても、単収の維持向上と同時に経営規模を拡大できれば、収穫委託農家にとってもサトウキビ栽培へのインセンティブが働くと推測される。一方、機械化コストを抑えることが可能なら、農地の集約がそれほど進まなくても、サトウキビ作の魅力が低下しない可能性もある。減耕起、省作業、作業法の効率化・高度化などによるコストの圧縮も重要な課題である。

そのため、南西諸島におけるサトウキビ作にとって、夏場の「少なくて困る雨」、冬春～梅雨期の「多くて困る雨」を所与の条件としてとらえ、これらの問題に適切な対処が可能な機械化一貫作業体系を構築する必要がある。基盤整

備された圃場とそこで行う機械化農法は未だ発展途上である。広域に分散する島嶼群で発生している問題を学際的な多様な視点から捉え、総合的な解決策を構築する必要がある。

注

- 1) 本研究における「琉球諸島」は、「北緯 24 度～30 度、東経 122 度～130 度にかけて、南北約 1,200km にわたり、鹿児島県のトカラ列島、奄美諸島、沖縄県の沖縄諸島、先島諸島、大東諸島とその周辺海域」である。
- 2) 琉球諸島の島々は、地形的に山地をもつ「高島」と台地主体の「低島」に大別される。「高島」は山地・丘陵を有し河川も形成されている。「低島」のほとんどが、琉球石灰岩からなる低平な島で河川がなく地下水に依存する。
- 3) 生産力：単収の高さと株出しの回数に着目した。主に池原ら（1974）を参考にしているが、第 2 章で詳述するようにサトウキビの単収は生育旺盛期の降水量とその季節分布に強く影響されるため、エルニーニョなどによる降雨量やその分布の変動に強い影響を受けている可能性もある（吉野，1996）。
- 4) 広義には作物生育の培地としての土壌の物理的環境の良さも含むが、狭義狭義には耕うん作業などを容易に行いうる土壌の性質のこと。本報告では主に狭義で用いる。土性は農作業の難易度や精度に強く影響する。例えば、干ばつで土壌が乾燥しすぎると、土壌が硬化し耕耘に馬力が必要になる。雨で過湿になると粘着化し、耕耘で土塊ができる。このように耕耘法が同じでも土性が作業精度に強く影響し、作物に影響し、次の作業にも影響する（森泉，1999）。圃場における農機の走行の難易についても同様である。
- 5) 「計画基準」とは、土地改良事業計画設計基準のことで、土地改良事業の適正かつ効率的な実施が図られるよう、一貫した考え方の下で効率的に事業計画を作成するために必要となる調査・計画の基本的事項、配慮すべき事項等を定めた技術基準である。
- 6) データの分布が正規分布から逸脱し、分布に大きな歪みがある場合、平均値は代表値として不適切である。しかし、外れ値が多く正規分布しないデータの場合でも、中央値は母集団の代表値、また四分位値は分布の歪みの目安

- として概ね妥当であるとされている (鐵, 1989)。
- 7) 販売目的ではなく自家用としてサトウキビ種苗を用いる場合、農研機構の育成品種と沖縄県の育成品種について、それぞれ国内(農研機構, 2021)や沖縄県内で(沖縄県, 2021)農家が自由に自家増殖できるとされている。
- 8) オーストラリアではわい化病を重要病害に指定し、毎年農家圃場でわい化病株のモニタリングを行っている (Sugar Research Australia,2012)。
- 9) 土壌表面に形成される緻密な薄層のこと。雨滴の物理的な衝撃を受けて表土が分散し、1~3mm 程度の厚さの無構造な薄層ができる(構造クラスト)。その結果、透水性が低下して水たまりが生じ、分散した土壌粒子が水流で移動して無構造の厚い沈澱をつくる(堆積クラスト)。降水後の乾燥によってこれらの薄層は固結する。クラスト発生の危険度が高いのは、耕耘直後の被覆されていない土壌である。土壌保全的な観点では表面流去水の増大による土壌侵食が大きな問題で、植え溝などはそれを助長する。またクラストによる土壌表面の硬化や、通気性の低下などにより発芽・苗立ちや根の生育環境が悪化する (ルーラル電子図書館「クラスト」[http://lib.ruralnet. or.jp/nrpd/#koumoku=11424](http://lib.ruralnet.or.jp/nrpd/#koumoku=11424) 《2022 年 5 月 8 日参照》)。
- 10) 機会主義的行動とは、企業や個人が有利な交渉・取引を進めるために、自分側に有利な情報や相手に不利な情報を相手方に隠したり、積極的に開示しようとはしなかったり、場合によっては裏切ったりする、といった行動のことである。
- 11) 農業者の経営安定のための政策で、市場価格に介入せずに、国等から生産者に対して直接支払われる補助金のこと。WTO 農業協定では、生産者に対する直接支払いのうち、生産拡大に直接関連しない収入の支持、環境施策に関するもの、条件不利地域援助等の条件に一致するものは、国などからの助成を削減しなくても良いことになっている。

引用・参考文献

[1]安谷屋隆司 (2010)『沖縄の農業と糖業－基本的性格と近代化の課題－』

LLP 地域農商工振興研究所

- [2]赤地徹・恩田聡・戒能亜紀・米須勇人・玉城磨・井上英二（2020）「沖縄県南北大東島におけるサトウキビの収穫・運搬作業体系のダウンサイジングに関する研究－土壌踏圧がサトウキビの初期生育や根群の発達に及ぼす影響－」『農作業研究』 55 (4) : 247-255.
- [3]赤地徹（2016）「日本におけるサトウキビ収穫機とその利用技術－開発・導入の経緯と今後の展望－」『沖縄県農業研究センター報告』 9:1-14.
- [4]赤地徹（1998）『サトウキビ収穫機械試験データ集－最近7年間のデータから－』 沖縄県農業試験場農業機械研究室
- [5]Akachi, T., (2007) Performance and characteristics of the harvester under green cane harvesting in Okinawa. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol., Vol. 26:181-184.
- [6]新垣則雄（2016）「沖縄県におけるサトウキビ土壌害虫の生態解明と防除技術の開発」『沖縄県農業研究センター報告』 10 : 1-16.
- [7]新井祥穂・永田淳嗣（2013）『復帰後の沖縄農業－フィールドワークによる沖縄農政論』 農林統計協会.
- [8]新井祥穂・永田淳嗣（2006）「沖縄・石垣島の土地改良事業の停滞」『地理学評論』 79(4):129-153.
- [9]Bull, T. (2000) The sugarcane plant. Manual of cane growing.BSES Publications.71-81.
- [10]Caldwell・横山繁樹・後藤淳子（2000）『ファーマーミング・システム研究：理論と実践』 国際農林水産業研究センター.
- [11]Croft,B.J., (2000) Literature review of methods of improving the germination of sugarcane. BSES Publication Project Report PR00002. <https://elibrary.Sugarresearch.com.au/bitstream/handle/11079/922/BSS208%20Final%20report.pdf?sequence=1&isAllowed=y>（2020年5月5日参照）
- [12]出花幸之介・比屋根真一・與那嶺介功・比嘉正徳・金城栄毅・大城卓也（2016）「サトウキビの発芽改善に関する研究－サトウキビ黒腐病抵抗性の検定法の開発－」『サトウキビ試験研究成績発表会講演要旨』 43:17-18.
- [13]江畑正之・東孝行（1976）「連続株出し栽培におけるさとうきびの形質並

- びに土壌の変化について」『熱帯農業』20:77-80.
- [14]Fukunaka, K. (1997) The direction of development in subtropical agriculture in Okinawa. The science bulletin of the College of Agriculture, University of the Ryukyus. 44:177-196.
- [15]Fukunaka, K. and Thuneo Oshiro (1983) Economic development and changes in traditional farming in Okinawa. The science bulletin of the College of Agriculture, University of the Ryukyus. 30:125-136.
- [16]後藤忍・永田茂穂(2008)「亜熱帯地域の暗赤色土畑における堆肥の連用がサトウキビの収量と土壌化学性に及ぼす影響」『日本土壌肥料学雑誌』79(1):9-16.
- [17]比嘉明美・儀間靖・亀谷茂・國吉清・桃原弘(2011)「有機物の長期連用がサトウキビと土壌の理化学性に与える影響」『沖縄県農業研究センター報告』5:11-15.
- [18]樋詰伸之・修震杰・長南史男(1996)「農作業受委託契約における情報の不完全性」『農業経済研究』68(1):20-27.
- [19]比屋根篤・出花幸之介・伊志嶺弘勝・上地克己・下地浩之・手登根正(2012)「サトウキビ黒腐病菌(*Ceratocystis paradoxa*)がNi21の発芽に及ぼす影響」『沖縄農業第51回講演要旨』:41-42.
- [20]保城広至(2015)「帰納/演繹、アブダクション」『歴史から理論を創造する方法 社会科学と歴史学を統合する』勁草書房:67-122.
- [21]伊庭治彦(1999)「共同機械利用組織の効率的事業運営に関する考察ー組織構成員の機会主義的行動を視点としてー」『日本農業経営学会論文集』72-77.
- [22]家坂正光(2001)「沖縄の農業労働力問題とさとうきび生産構造(推移と展望)」『沖縄甘蔗糖年報』32:21-28.
- [23]家坂正光(1991)「サトウキビ作低コスト化研究の現状と課題」『九州地域における低コスト畑作農業の課題 九州農試農村計画研究資料』5:108-147.
- [24]池田弘・高橋保夫(1971)「作業技術体系研究の手法について 第1報作

- 業技術体系研究の領域とその内容」『農作業研究』11：17-21.
- [25] 池原真一・鎮西忠茂・丸杉孝之助 (1974) 『沖縄諸島の土壌区分とサトウキビの収量格差等に関する研究 農林水産業特別試験研究費補助金による研究報告書』農林水産技術会議.
- [26] 井元智子・北本朝展 (2013) 「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』22(4)：236-246.
- [27] 嘉数啓(2002) 「島嶼経済の自立をめぐる諸問題」『島嶼研究』3：1-16.
- [28] 川喜田二郎 (1973) 『野外科学の方法 思考と探検』中公新書.
- [29] Kawanobe, K., Miyamaru, N., Yoshida, K., Kawanaka, T., Fujita, T. and Toyota, K. (2019) Sugarcane yield loss in the ratoon crop carried over from the plant crop damaged by plant-parasitic nematode in a heavy clay field in Okinawa, Japan. *Nematode Research*.49(1):1-6.
- [30] Kingston, G. (2003) Ratooning and ratoon management in overseas cane-sugar industries FINAL REPORT - SRDC PROJECT BSS110 RATOONING AND RATOON MANAGEMENT IN OVERSEAS CANE-SUGAR INDUSTRIES.
- [31] 喜名景秀 (1991) 「沖縄県における造成土壌の実態」『ペドロジスト』35(2):138-144.
- [32] 金城靖昇・大城勝彦(1987) 「沖縄における農業基盤整備の歩みー機械化農業と灌漑農業をめざしてー」『農業土木学会誌』55(7):631-637.
- [33] 木崎甲子郎 (1985) 『琉球弧の地質誌』沖縄タイムス社.
- [34] 昆吉則 (2016) 「縁故米無償譲渡米の実態をどう見るか」『農業経営者』24(2)：45.
- [35] 久場峰子 (2009) 「沖縄県の土壌とさとうきびの施肥」『砂糖類情報』157：7-17.
- [36] 来間泰男 (1981) 「復帰後の沖縄経済と農業」『農業経済論集』32:1-15.
- [37] 来間泰男 (1979) 『沖縄の農業』日本経済評論社.

- [38]鐵健司（1989）『品質管理のための統計的方法入門』日科技連.
- [39]幸喜善福（2002）飛来塩分がさとうきびに及ぼす影響沖縄甘蔗糖年報 第33号 1-12
- [40]丸杉孝之助（1979）『沖縄農業の基本条件と構造改善』琉球大学農学部.
- [41]松本裕子・森田清秀（2006）「コメ生産構造の変化と無償譲渡米の増加」『農村生活研究』129：40-50.
- [42]松山康甫・松久保哲矢（2012）「履帯茶園作業機械の踏圧が茶樹に及ぼす影響」『農業生産技術管理学会誌』19(3)：95-102.
- [43]目崎茂和（1985）『琉球弧をさぐる』沖縄あき書房.
- [44]門間敏幸・大畑貫一(1985)「連作障害の実態に関する統計解析」『植物防疫』39(6)：258-263.
- [45]森泉昭治（1999）「作業関連要因と農作業 土壌」『農作業学』農作業学会編：136-147.
- [46]向井清史（1979）「沖縄における甘蔗作経営の生産力構造とその新動向」『農業経営研究』17（1）：45-54.
- [47]永田淳嗣(2016)「沖縄県のさとうきび農業の構造変化への展望」『砂糖類でんぶん情報』40：51-55.
- [48] Nagata, J. (1992) Government Intervention and Changing Agricultural System in Community on Subtropical Islands in Okinawa. Regional Views.5:23-29.
- [49]仲宗根一哉・比嘉栄三郎・満本裕彰・大見謝辰男 1998「沖縄県における年間土砂流出量（第2報）」（『沖縄県衛生環境研究所報』32:73-82.
- [50]仲地宗俊（2011）「沖縄農業の構造変化と展開方向 亜熱帯島嶼農業の展開と共生の課題」矢口芳生・仁平恒夫編『北海道と沖縄の共生農業システム』農林統計協会：124-168.
- [51]野原堅世・松村猛（1965）「サトウキビわい化病の発生調査」『沖縄農業』4(2):20-21.
- [52]農研機構(2021)「農研機構育成の登録品種の自家用の栽培向け増殖に係る許諾手続きについて（農業者向け）」．<http://www.naro.go.jp/collab/breed>

- /permission/index.html. (2022 年 5 月 5 日参照).
- [53]沼口憲治・氏原邦博・鮫島常喜 (1988)「鹿児島県におけるわい化病り病
実態調査」『種苗管理センター鹿児島農場調査成績書 (S60～H1)』:20-
28.
- [54]沖縄県(2022)『沖縄県さとうきび生産振興計画』
- [55]沖縄県(2021)『種苗法改正に伴う沖縄県登録品種の自家増殖について』
[https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/norin/norinkikaku/kenkyu/documents/
gaiyou2.pdf](https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/norin/norinkikaku/kenkyu/documents/gaiyou2.pdf) (2022 年 5 月 5 日参照).
- [56]沖縄県農林水産部 (2014)『サトウキビ栽培指針』
- [57]沖縄蔗作研究協会(2016)「現実的で費用対効果の高いサトウキビへの灌
水を実現するために」『第 43 回サトウキビ試験成績発表会一般講演要旨』
付録 1-43.
- [58]沖縄県農林水産部(2007)『さとうきび機械利用推進の手引き』.
- [59]翁長謙良・儀保清一 (1984)「日本の特殊土壌 沖縄の特殊土壌 (マー
ジ、ジャーガル)」『農業土木学会誌』 52(6):517-524.
- [60] 恩田聡・東恩納良徳・関塚史郎・玉城暦(2001)「農業用機械の稼働に伴う
踏圧と土壌物理性の変化」『H11 普及に移す技術』 17-18.
- [61]大場和彦・鈴木義則・黒瀬義孝・丸山篤志・中本恭子 (2004)「九州・沖
縄地域における気象災害に関する農業気象学的研究」『九州沖縄農業研究セ
ンター研究資料』 90:1-23.
- [62]大江靖雄 (1995)「野菜指定産地制度下における産地持続性の生存分析」
『農林業問題研究』 31(2): 49-59.
- [63]大見謝辰男(1997)「沖縄の赤土汚染と農業」『農業と経済』 1997 年 10 月
号:40-48.
- [64]大津善弘 (1981)「石垣島におけるサトウキビわい化病の発生状況」『九
州農業研究』 43:87.
- [65]大津善弘・上原勝江 (1998)「サトウキビ黒腐病」『日本植物病害大事典』
全国農村教育協会: 172-173.
- [66]大屋一弘 (1981)「久米島土壌の理化学性概要」『琉球列島における島嶼

- 生態系とその人為的変革Ⅱ』環境科学研究報告集 B113-R12-20 : 91-107.
- [67] 斎藤高宏 (2002) 社団法人糖業協会編『現代日本糖業史』丸善プラネット.
- [68] 坂井教郎 (2008) 「沖縄におけるさとうきび農家の収穫委託の特徴－沖縄本島都市近郊地域を対象に」『農業経済論集』58(2) : 1-12.
- [69] 坂井教郎 (2007) 「さとうきび作における収穫受託の収益性－沖縄本島南部地域を対象に－」『九州東海大学応用情報学部・総合教養部紀要』8 : 13-21.
- [70] 坂井教郎・森高正博・横川洋 (2015) 「赤土流出対策の検証と費用負担問題－石垣島の圃場データの分析から－」『農林業問題研究』51(2) : 65-73.
- [71] 坂井教郎・仲地宗俊(2003) 「亜熱帯島嶼地域における持続的農業の基礎条件－戦後沖縄農業の生産力および環境問題－」『農業経営研究』41(2) : 1-12.
- [72] 鹿内健志・南孝幸・官森林・上野正実 (2007) 「サトウキビ生産法人に集積された圃場の分散が生産性に及ぼす影響－地理情報システムを用いた分析－」『農作業研究』42(1) : 29-36.
- [73] 鹿内健志・世嘉良康太・官森林 (2019) 「沖縄本島南部地域におけるGPS と車載カメラを用いた小型サトウキビ収穫機の作業分析とその利用可能性」『農作業研究』54(2) : 85-92.
- [74] 城間理夫 (1984) 「畑作と自然災害」『日作紀』53(2) : 246-350.
- [75] 祖田修 (2000) 『農学原論』岩波書店.
- [76] 孫麗婭・上野正実・秋永孝義・永田雅輝 (1998) 「作型特性を考慮したサトウキビ収穫法の改善－収量および糖度特性の解析とそのモデル化－」『農業機械学会誌』60(6) : 27-34.
- [77] Sugar Research Australia (2012) Ratoon stunting disease (RSD) BSES Information Sheet IS12007
- [78] 杉本明 (2004) 「栽培改善は進んだか? サトウキビ技術開発の過去と未来」『日本作物学会九州支部会報』70 : 184-190.

- [79]杉本明・宮城克浩・末川修・緒方寿明・高江洲賢文・比屋根真一・外間康洋・玉城盛俊・寺島義文・氏原邦博・福原誠司（2003）「琉球弧のサトウキビ少収地域における栽培改善に必要な品種特性」『日本作物学会九州支部会報』 69：63-66.
- [80]鈴木福松（2006）「わが国農業経営研究の原点、三本木原営農支場での営農試験と調査研究 ―その回顧と評価―」西尾敏彦編『昭和農業技術史への証言 第5集』農林水産技術情報協会：52-102.
- [81]鈴木常司（2012）「さとうきび優良種苗の安定供給のために」『砂糖類情報』 190:1-6.
- [82]樽本祐助（2008）『さとうきび農業の経営分析 ―農業センサスからみる経営展開―』農林統計出版.
- [83]照屋林宏（1967）「サトウキビの初期生育におけるネマトーダの加害について」『熱帯農業』 10(4)：196-201.
- [84]照屋林宏・宮良高忠(1966)「1965/1966 年期におけるサトウキビわい化病の発生と原料茎 1 本の重量による被害推定法の一試案」『糖業振興会報』 10:52-57.
- [85]上野正実(2006)「さとうきび生産法人における機械利用と経営改善」『砂糖類情報』 118：4-14.
- [86]上野正実(2005)「沖縄県におけるさとうきび収穫機械化の課題と対策」『砂糖類情報』 107:7-16.
- [87]上野正実（2002）「重粘土壌における大型農業機械の走行性の問題と解決の試み」『農業機械学会誌』 64(2):18-22.
- [88]上野正実（1993）「サトウキビの生産対策と機械化」『沖縄農業』 28(1)：63-67.
- [89]上野正実・呉屋良奈・孫麗亜（1997）「久米島におけるサトウキビ作の機械化に対する農家の意識」『沖縄甘蔗糖年報』 30:1-30.
- [90]上野正実・鹿内健志・奈良貴夫（1995）「サトウキビ作の機械化に関する本島中部地区の農家の意向」『沖縄農業』 30(1)：20-27.

- [91]和田照男(1988)「ファーミング・システムズ・リサーチ (F・S・R) — 学際的・実践的農業界初調査研究のあり方—」『農業および園芸』 63(1) : 3-4.
- [92]渡邊健太・寶川拓生・福澤康典・上野正実・川満芳信 (2021)「南大東島における水収支と株出しサトウキビの生育および収量との関係」『日本作物学会紀事』 90(3):324-333.
- [93]山本淳子(2011)「農作業における知識・技能の特質と継承方法」『農業機械学会誌』 73(5): 276-280 .
- [94]山城三郎 (1983)「沖縄におけるサトウキビのカンガイ用水量決定に関する 2,3 の要素に関する研究」『琉球大学農学部学術報告』 30:367-448.
- [95]米盛祐二(2007)『アブダクション-仮説と発見の論理』 勁草書房.
- [96]吉永安俊・酒井一人 (2004)「石灰岩地帯の圃場整備における有効土層深に関する研究」『農業土木学会論文集』 72(4):345-353.
- [97]吉野正敏(1996)「アジアにおける農業生産・気象災害・植物季節に及ぼす ENSO の影響:その若干の例」『農業気象』 52 (2) : 163-170.

第2章 地域適応性の高い品種の選定と作型・栽培体系の効果

第1節 本章の課題

南西諸島におけるサトウキビ単収の低下への対策として、干ばつ耐性が強く、発芽・苗立ちが良く原料茎数が多い品種と作型、栽培体系の選択は重要であるため、品種や作型などの評価を信頼性高く行う必要がある。また、夏植え地帯で株出しが急激に増加し、大規模経営などでは、夏植え株出し体系（以下、夏株体系）が有利な面があるが、夏株体系と春植え株出し体系（以下、春株体系）で品種や作型の収量を同一環境で比較した報告はない。

そこで、干ばつや台風など制御困難な気象リスクが常在し、土壌条件や経営環境なども異なる島嶼地域において、サトウキビの品種、作型、栽培体系の選択により糖生産量を最大限に高めるための諸要因を解明する。しかし株出しの単収が新植の作柄の強い影響を受けて変動し(井上, 2017; 杉本, 2004)、また毎年干ばつや台風のリスクにさらされる中で、品種と作型、栽培体系の評価を信頼性高く行うためには、新植と株出しの連続による多数年の繰り返し試験について解析する必要がある(奥野, 1994)。南西諸島のサトウキビに関するこのような報告が求められている。

そのため、国内で唯一、サトウキビ夏株体系と春株体系について、長年にわたり同一品種で現地適応性検定試験が行われてきた久米島製糖(株)の実験農場のデータに基づいて、干ばつ耐性が高く、欠株が少ない品種を選択し、作型、栽培体系の評価を信頼性高く行うために、新植と株出しの連続による多数年の繰り返し試験について解析する。

第2節 材料および方法

夏植えと春植えを、それぞれ2008年と2009年から毎年植え付け、株出し1回目まで栽培し、2018年の収穫まで続けた。解析には2010～2012年度、2014～2018年度の8年分の収穫データを用いた(2013年度は一部データの欠失により解析から除外した)(図Ⅱ-1)。

本研究では、茎重型で高糖の新品種 RK97-14、茎重型でやや高糖の Ni21 と茎

数型で高糖の Ni22 を用いた。春植えは毎年 3 月中旬、夏植えは 9 月下旬に、2 芽苗を畝幅 1.25m、300 本/a で植え付けた。

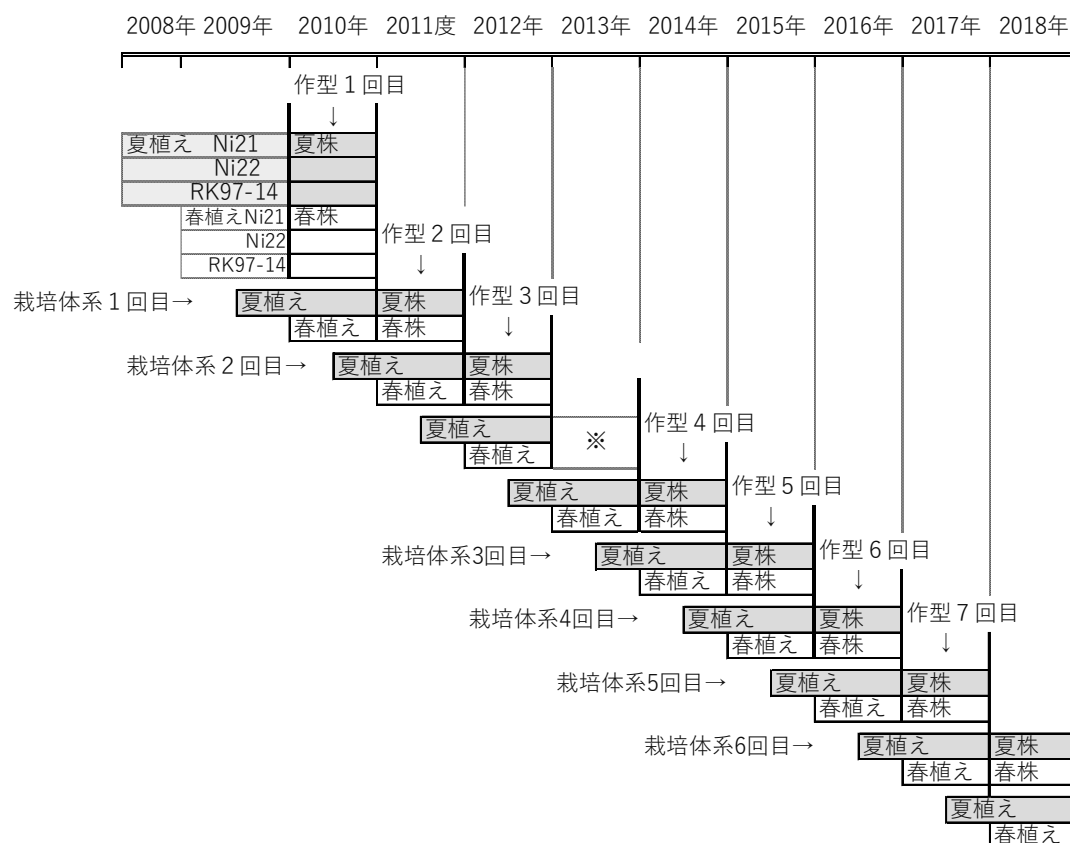


図 II-1 栽培試験設計の概略

注：※はデータ欠失

引用：出花ら(2023)

本章では、新植における欠株防止を前提として、新植ではセル成形苗により発芽・苗立ち 100%の水準まで補植した。そして、サトウキビ栽培指針（沖縄県，2006）に準じて栽培管理し、毎年 3 月中旬に収穫して株出し栽培を行った。作型ごとの施肥量（N、P2O5、K2O）はそれぞれ春植えで 2.0、1.0、1.0 kg/a、夏植えで 2.7、1.2、1.2 kg/a 株出しで 2.3、1.1、1.1 kg/a を 3 回に分けて施用した。灌水はおこなっていないが、試験圃場は国頭マージで土壌 pH6.2 程度、土層が深く、排水性と保水性がやや良い。

各作型とも1区面積15 m²（畝長4m×3畝）の3区制である。毎年1月中旬に中央畝の原料茎数を数え、両端の50cmずつを除いて生育中庸な原料茎を10本

抽出して、一茎重と可製糖率（日本分蜜糖工業会，1981）を測定した。そして、単位面積から回収可能な粗糖の量である可製糖量を、 $\text{可製糖量} = \text{原料茎重} \times \text{可製糖率}$ 、 $\text{原料茎重} = \text{一茎重} \times \text{原料茎数}$ とし、可製糖量とその構成要素に及ぼす作型と品種、収穫年の効果について解析した¹⁾。

得られた結果の統計解析はエクセル統計 2019（Bell Curve 社）を用いて行った。気象要因と可製糖量の構成要素の変動要因の相互関係は経路分析により解析した²⁾。3 元配置分散分析では奥野（1994）や奥野・芳賀（1969）に従い、表Ⅱ-2 において交互作用が有意であっても、主効果の平均平方が交互作用の 4～5 倍以上の場合は、表Ⅱ-3 において主効果と単純主効果の分析を行った。主効果の多重比較検定を Tukey-Kramer 法で、単純主効果を Tukey 法で解析した。

第 3 節 結 果

（1）気象災害と可製糖量の構成要素の変動

表Ⅱ-1 に、試験期間中に発生した気象リスクと可製糖量の構成要素の変動について示した。サトウキビの生育旺盛期である 7～9 月の 92 日間における干天日数は 67～83 日と不安定で、2010、2016、2018 年は干天日数が少なかったため一茎重が重かったが、2011 年と 2017 年は干天日数が多く、2012 年は梅雨明け～7 月の雨量が平年の 20% で極少なかったため一茎重が軽かった。

台風は試験期間中に年平均 1.6 回、5～10 月に偶発的に接近し、年 3 回接近した年が 2 年、また「猛烈な」あるいは「非常に強い」台風が 4 年、「風台風」の潮風害が 4 年もあり回数や強さも様々であった。一方で、2015 年は干ばつ期間に台風がもたらす雨で生育が促進された。また 2011 年と 2015 年は 5 月の風台風による潮風害のため、原料茎数が減少した。逆に 2017、2018 年は春の気象が順調で早い時期の台風も無かったため、原料茎数が多かった。2012、2015 年は干天日数が多く、秋の台風のため可製糖率がやや低下した。

このように異なる生育段階で多様な気象災害の強い影響を受けて、収穫年度ごとの構成要素の指数は、一茎重が 74～127、原料茎数が 92～112、原料茎重が 71～124、可製糖率が 96～104、可製糖量が 68～126 とばらついた。

可製糖量とその構成要素の変動係数（C.V.）は、可製糖率（2.6%）、原料茎数

(8.0%)、一茎重(18.2%)、原料茎重(20.6%)、可製糖量(22.4%)となり、変動係数を安定性の目安とすると可製糖率は最も安定し、原料茎数はやや安定し、一茎重や原料茎重、可製糖量は不安定であった。

表Ⅱ－１ 試験期間中に発生した気象リスクと可製糖量の構成要素の変動

収獲 年度	7～9月の 干天日数 ¹⁾	台 風 の 諸 要 素				試験期間の平均値に対する指数				
		月日	最大瞬間 風速(m/s)	暴風時 間 ²⁾	雨量 (mm) ³⁾	一茎 重	原料 茎数	原料 茎重	可製 糖率	可製 糖量
2010	67	—	—	—	—	127	98	124	102	126
2011	83	5月28日	46.8	4時間30分	40	84	92	76	99	76
		8月6日	35.8	4時間50分	315					
2012	73	8月6日	30.6	30分	400	74	96	71	96	68
		8月28日	30.7	20分	141					
		9月29日	38.6	6時間50分	342					
2013	—	(データ欠失により解析から除外)				—	—	—	—	—
2014	76	7月8日	36.2	8時間20分	150	93	102	94	99	94
		10月11日	33.5	4時間30分	82					
2015	74	5月12日	35.0	1時間50分	32	100	90	90	97	88
		7月9日	36.9	21間	232					
		8月24日	47.8	6時間	185					
2016	67	10月3日	56.8	6時間20分	89	122	97	117	104	122
2017	83	9月13日	31.2	8時間10分	110	93	112	103	101	105
2018	68	9月29日	45.4	8時間50分	220	108	111	124	102	124
一茎重などのC.V.						18.2	8.0	20.6	2.6	22.4

資料：気象庁久米島特別地域気象観測所（久米島町字謝名堂）における観測値より作成。

注：¹⁾ 降水量 5mm 以下の日を干天日とした、サトウキビの生育旺盛期である 7～9 月の干天日数。

²⁾ 平均風速 17m/s 以上が継続した時間。

³⁾ 台風による降水量。

引用：出花ら (2023)。

(2) 可製糖量とその構成要素における作型、品種、収穫年を要因とした分散分析

表Ⅱ－２ に可製糖量の構成要素における作型、品種、収穫年を要因とした分散の結果を示した。作型と品種の主効果は、作型の可製糖率と品種の原料茎重が 5%水準で有意であった以外では、一茎重などに対して 0.1%水準で有意であった。しかし、作型×品種の交互作用が一茎重と原料茎重において有意（5%水準）であったため、奥野・芳賀（1969）により主効果と交互作用の平均平方を

比較した。その結果、原料茎重に対する品種の主効果の平均平方が作型×交互作用の2倍程度と低かったため、表Ⅱ－3の原料茎重に対する品種の主効果では多重比較をせず、それ以外では主効果の多重比較検定をTukey-Kramer法で、単純主効果をTukey法で解析した。

表Ⅱ－2 可製糖量の構成要素における作型、品種、収穫年を要因とした分散分析

要 因	自由度	平 均 平 方				
		一茎重	原料茎数	原料茎重	可製糖率	可製糖量
作 型	3	279860***	56589***	430393***	1.265*	7284***
品 種	2	750029***	293428***	37252*	3.038***	1037***
収 穫 年 度	6	457271***	38787***	301858***	1.152***	5645***
作型×品種	6	12310*	4432 ^{ns}	18387*	0.233 ^{ns}	335 ^{ns}
作型×収穫年度	18	40406***	17612***	40999***	1.041***	763***
品種×収穫年度	12	9472*	5340 ^{ns}	5930 ^{ns}	1.045***	97 ^{ns}
誤 差	36	3887	3625	7185	0.392	167

注：***：0.1%水準で有意、*：5%水準で有意、ns：有意性無し。
引用：出花ら(2023)。

(3) 可製糖量の構成要素に及ぼす作型と品種の効果

1) 作型の効果

表Ⅱ－3に可製糖量の構成要素に及ぼす作型と品種の効果を示した。品種をプールして夏植えと春植えの主効果を比較した結果、夏植えは春植えよりも一茎重が有意（以下すべて5%水準）に重く、原料茎数が有意に多く、原料茎重が有意に重かった。そのため、可製糖率では両者に有意差が無いものの、夏植えの可製糖量は121 kg/aで春植えの77 kg/aよりも有意に多く1.6倍もあった。また、夏植えと春植えの可製糖量の構成要素のすべてで、両者の変動係数に大きな差異は無かった。

つぎに、品種をプールして夏株と春株の主効果を比較した。夏株と春株の可製糖量の構成要素の全てで有意差は検出されず、夏株の可製糖量は89 kg/a、春株は93 kg/aであった。また株出しの原料茎数は新植よりも変動係数が大きく、原料茎数以外のすべての構成要素で夏株は春株よりも変動係数が大きい傾向があっ

た。

表Ⅱ－3 可製糖量の構成要素に及ぼす作型と品種の効果

構成要素	品種	新 植		株 出 し		平均 (C.V.%)
		春植え	夏植え	春 株	夏 株	
一茎重 (g)	Ni21	869 a z [87]	1210 a x [121]	1093 a y [110]	1063 a y [107]	1058 a (26)
	Ni22	689 b z [69]	914 b x [92]	845 b x [85]	794 b xy [80]	811 b (24)
	RK97-14	1014 a z [102]	1294 a x [130]	1086 a y [109]	1083 a y [109]	1119 a (22)
	平 均 (C.V.%)	858 z (25)	1139 x (22)	1008 y (26)	980 y (31)	996
原料茎数 (本/a)	Ni21	736 b xy [94]	817 b x [104]	708 b y [90]	692 b y [88]	738 b (12)
	Ni22	872 a x [111]	948 a x [121]	908 a x [116]	885 a x [113]	903 a (13)
	RK97-14	696 b y [89]	820 b x [104]	689 b y [88]	658 b y [84]	716 b (16)
	平 均 (C.V.%)	768 y (15)	862 x (13)	769 y (19)	745 y (19)	786
原料茎重 (kg/a)	Ni21	634 a z [82]	990 ab x [128]	766 a y [99]	727 a yz [94]	779 (28)
	Ni22	600 a z [77]	873 b x [113]	767 a xy [99]	707 a yz [91]	737 (30)
	RK97-14	703 a y [91]	1072 a x [138]	740 a y [95]	722 a y [93]	809 (31)
	平 均 (C.V.%)	646 z (21)	978 x (23)	758 y (23)	719 y (32)	775
可製糖率 (%)	Ni21	11.5 a x [95]	11.8 b x [97]	11.9 a x [98]	12.1 a x [99]	11.8 b (8.1)
	Ni22	11.7 a y [96]	12.3 ab xy [101]	12.2 a xy [100]	12.6 a x [104]	12.2 ab (6.0)
	RK97-14	12.2 a x [100]	12.6 a x [104]	12.6 a x [104]	12.4 a x [102]	12.5 a (6.7)
	平 均 (C.V.%)	11.8 x (8.8)	12.3 x (8.4)	12.2 x (5.1)	12.4 x (5.5)	12.2
可製糖量 (kg/a)	Ni21	73 ab z [77]	117 b x [124]	92 a y [97]	87 a y [92]	92 b (31)
	Ni22	70 b z [74]	108 b x [114]	94 a xy [99]	89 a y [94]	90 b (32)
	RK97-14	87 a y [92]	137 a x [145]	93 a y [98]	90 a y [95]	102 a (34)
	平 均 (C.V.%)	77 z (28)	121 x (28)	93 y (25)	89 y (32)	95

注 : 1)作型と品種の主効果について、多重比較を Tukey-Kramer 法で、作型内の品種と品種内の作型の単純主効果を Tukey 法で検定した。

2)行 xyz と列 ab において同一符号が付いた数値の間に有意差 (5%) 無し。

3) [] 内の数字は総平均値に対する指数である。

引用 : 出花ら (2023)。

2) 品種の効果

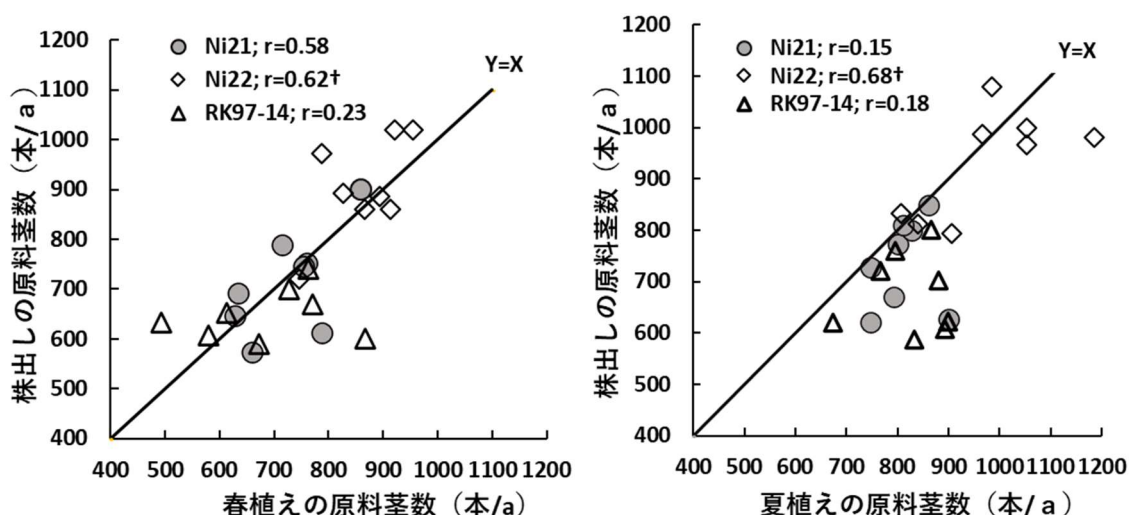
作型をプールして品種の主効果を比較すると、RK97-14 と Ni21 は Ni22 よりも一茎重が有意に重く、原料茎数が有意に少なかった。RK97-14 において、夏植えの原料茎数は他の作型よりも有意に多かったが、Ni22 では 4 作型で有意差が無かった。RK97-14 の原料茎重は夏植えにおいてのみ Ni22 よりも有意に重かったが、他の作型では品種系統間の有意差が無かった。

作型をプールした RK97-14 の可製糖率は Ni21 よりも有意に高く、特に夏植えでは顕著に高かった。作型をプールした RK97-14 の可製糖量は 102 kg/a で、Ni21 の 92 kg/a、Ni22 の 90 kg/a よりも有意に多かった。また RK97-14 は夏植え

で他の品種より、春植えでは Ni22 よりも可製糖量が有意に多かった。しかし夏株と春株では品種系統間に可製糖量の有意差はなかった。

(4) 春株体系と夏株体系における新植と株出しの原料茎数の関係

春株体系と夏株体系における新植と株出しの原料茎数の関係について解析した（図Ⅱ－2）。標本数が少ないため 10%水準ではあるが、春株体系と夏株体系における Ni22 の原料茎数は、新植と株出しの間でそれぞれ $r=0.62^{\dagger}$ 、 0.68^{\dagger} と正の相関（10%水準）があった。しかし Ni21 では、春株体系で $r=0.58$ であったものの、夏株体系では $r=0.15$ と低下した。また、RK97-14 は両栽培体系において相関係数が低く、夏株体系では夏植えに比べて夏株の原料茎数が減る傾向が顕著であった。



図Ⅱ－2 春株体系と夏株体系における新植と株出しの原料茎数の関係。

注：左図は春株体系、右図は夏株体系で $n=8$ 。 † は 10%水準で有意。

引用：出花ら (2023)。

(5) 可製糖量に及ぼす栽培体系と品種の効果

表Ⅱ－4 に可製糖量に及ぼす栽培体系と品種の効果を示した。春株体系と夏株体系における新植と株出し 1 回目（夏体系では夏植えのみ）の可製糖量を合計し、在圃月数と在圃年数で除し、月当たりと年当たりの可製糖量とした。品種をプールした栽培体系の月当たり可製糖量は、春株体系（7.8 kg/a/月）、夏株体系

(7.9 kg/a/月)、夏体系 (8.2 kg/a/月) で、栽培体系間に有意差はなかった。

しかし、夏植えでは、前作の収穫～改植までの間に半年ほどの休閑期があるため、年当たり可製糖量では栽培体系間に有意差があり、春株体系 (85.6 kg/a/年)、夏株体系 (72.1 kg/a/年)、夏植え体系 (63.3 kg/a/年) の順に多かった。

また、栽培体系をプールした品種の可製糖量では、月当たり、年当たりとも、RK97-14 は他の品種よりも可製糖量が有意に多かったが、特に夏体系の中では RK97-14 は優れていた。

表Ⅱ－４ 可製糖量に及ぼす栽培体系と品種の効果

	品種	春株体系	夏株体系	夏体系	平均値
月当たり 可製糖量 (kg/a/月)	Ni21	7.8 a x [99]	7.8 a x [99]	7.9 b x [100]	7.8 b (91)
	Ni22	7.3 a x [92]	7.4 a x [94]	7.2 b x [91]	7.3 b (85)
	RK97-14	8.2 a y [104]	8.4 a xy [106]	9.3 a x [118]	8.6 a (100)
	平均値	7.8 x (100)	7.9 x (101)	8.2 x (105)	7.9
年当たり 可製糖量 (kg/a/年)	Ni21	86.2 a x [117]	71.7 a y [97]	61.6 b z [84]	73.2 b (92)
	Ni22	80.6 a x [109]	68.1 a y [92]	56.1 b z [76]	68.3 b (86)
	RK97-14	90.0 a x [122]	76.6 a y [104]	72.1 a y [98]	79.6 a (100)
	平均値	85.6 x (100)	72.1 y (84)	63.3 z (74)	73.7

注：¹⁾栽培月当たりと栽培年当たりの可製糖量について、多重比較を Tukey-Kramer 法で、栽培体系内の品種と品種内の栽培体系の単純主効果を Turkey 法で検定した。

²⁾行と列において同一符号が付いた数値の間に有意差 (5%) はない。

³⁾ [] 内の数字は総平均値に対する指数、() 内の数字はそれぞれ春株体系と RK97-14 に対する指数である。

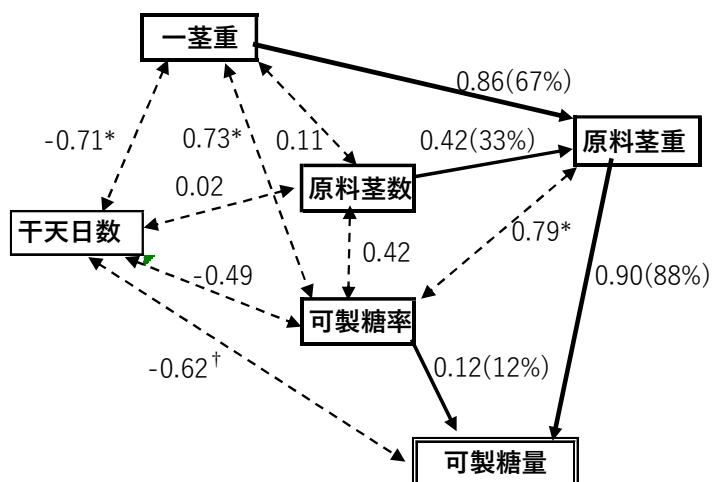
引用：出花ら (2023)。

第 4 節 考察

(1) 干ばつや台風と可製糖量の構成要素の変動

本研究では南西諸島で毎年のように発生する干ばつや台風により、可製糖量の指数が最大で 126、最小で 68 と不安定であった。また、構成要素により年次間の安定性が異なり、可製糖率の変動係数は 2.6% と顕著に安定し、原料茎数は 8.0% とやや安定していたが、一茎重は 18.2% と不安定で、原料茎重や製糖量も不安定であった (表Ⅱ－1)。

一方、可製糖率は干ばつや遅い台風、登熟期の気象条件などの影響で変動するが（宮里，1986）、高糖品種では品質の変動が小さく、原料茎重は地域や栽培年により大きく変動するため、可製糖量は原料茎重の強い影響で決まる（出花・島袋，1993）。しかし、可製糖量とその構成要素に対する干ばつや台風の影響を、同一環境条件下で多年にわたり比較した例は多くない。



図Ⅱ－3 可製糖量の経路分析の結果

注：¹⁾片方向の矢印に添付された数字と括弧内の数字は標準偏回帰係数とその寄与率。

²⁾点線の両方向の矢印は変数間の相関係数。

³⁾†は10%、*は5%水準で有意。

引用：出花ら（2023）.

そこで、重回帰分析に基づく経路分析により、可製糖量の変動に関連する要因の相互関係を解析した（図Ⅱ－3）。原料茎重に対する一茎重の寄与率は67%で原料茎数の2倍も高く、可製糖量に対する原料茎重の寄与率は88%で可製糖率の7倍も高かった。さらに、干天日数と一茎重の間に $r = -0.71^*$ 、一茎重と可製糖率、原料茎重と可製糖率の間にそれぞれ $r = 0.73^*$ 、 $r = 0.79^*$ 、干天日数と可製糖量の間に $r = -0.62^\dagger$ の相関関係があった。これらのことから干天日数が増加すると一茎重が抑制されて原料茎重が減少し、さらに可製糖率も抑制され、可製糖量が減少する傾向があることが推察された。

台風の被害として強風害、潮風害などがあるが、逆に台風の雨で干ばつが解消されることもある。台風の影響は生育ステージで異なり、サトウキビは回復が早

く壊滅的な被害を受けることは少ない（宮里，1986；城間，1984）。

以上のことから、生育旺盛期の干ばつにより一茎重が抑制され、可製糖量の低下が引き起こされることが明らかになった。対策としてサトウキビの干ばつ耐性を増強するための実用的な技術である健全種苗の利用（宮良・上原,1974；大津，1980）や、深耕による根域の拡大（Contreras and Ozawa, 2005）、かん水（大城，1996）、株出しにおけるトラッシュマルチによる蒸散抑制（久貝・荷川取，1967；仲宗根，1976）などが挙げられる。中でも、健全種苗は種苗対策事業で配布され、農家で自家増殖可能なので費用対効果が高い。

(2) 作型の効果

夏植えは発芽～分けつおよび初期生育期間が長いため、生育旺盛期の干ばつに耐え、単収が高く安定しているとされている（宮里，1986）。本研究の結果では、夏植えは春植えに比べて一茎重が重く、原料茎数が多く、原料茎重が重いことが改めて示されたが、両者の安定性に大きな差は無かった（表Ⅱ－3）。

現場調査によると、春植えは一般に欠株が多く、初期生育が遅れ、茎の伸長が不良で、単収が低く不安定だとされている（杉本，2004；杉本ら，2003）。しかし、本研究では春植えの植え付けと補植を適期に適切に行い、梅雨明けまでに十分な生育が確保されたため、干ばつに対する耐性が備わったと考えられる。多くの農家では栽培管理が粗放化し、発芽・苗立ちが不良となり、旺盛な初期成長が確保できなくなっているため、春植えが低収で不安定になったと推察される。

サトウキビ作に対するインセンティブが低下した農家にとって、種苗コーティングのような簡易な方法で、発芽苗立ちを揃えることの重要性がここから推察できる。

また、本研究の結果、春株と夏株の間では一茎重と原料茎数、原料茎重、可製糖率、可製糖量に有意差が無かった（表Ⅱ－3）。しかし、原料茎数は株出しで不安定になり、特に夏株体系では株出しの原料茎数が夏植えよりも減少し（表Ⅱ－3、図Ⅱ－2）、夏株は春株よりも一茎重と原料茎重、可製糖量が不安定であった（表Ⅱ－3）。

しかし、健全種苗を利用するだけで、両栽培体系において、サトウキビの干ば

つ耐性と共に株出し能力の向上により、単収を増加させることが期待できる。また、夏植えの最終施肥が2～3月で春植えよりも4ヶ月も早いため、梅雨の雨や高温時の干ばつ、台風で収穫時の栄養状態が不安定になっているとも考えられる。最終施肥が7月である春植えでさえ、前作の栄養状態が株出しに影響するため（井上，2017）、夏株体系では施肥法の改良などにより、夏株の安定性を改善することも今後の課題である。

(3) 品種の効果

茎重型品種は株出し能力（収穫後の再生芽の発生程度）が低いため、株出しにおいて収量の低下や補植など管理作業の増加が危惧される（宮里，1986）。本研究の結果、RK97-14は4作型とも原料茎数が少なく（表Ⅱ-3）、また夏株体系と春株体系で新植と株出しの相関関係が弱かったことから（図Ⅱ-2）、株出し能力がやや弱いことが推察された。しかしRK97-14は株出しの可製糖量では他品種と差が無く、春植えと夏植えで可製糖量が多かった（表Ⅱ-3）。また夏体系では他品種よりも月当たりと年当たりの可製糖量が有意に多く、栽培体系をブールした場合でも有意に多かった（表Ⅱ-4）。

さらに、沖縄農研センター本所と3支所、県内の現地試験地8場所における春株体系と夏体系の試験の結果でも、RK97-14は全ての場所で標準品種に比べて可製糖量が多かった（下地ら，2015）。しかし、本研究を含め株出し1回目までの検討にとどまっているので、他の地域における夏株体系や2回以上の株出しに関しては別途検討する必要がある。株出し栽培では単収や株出し回数の長期漸減が問題になっていることから（井上，2017）、一茎重が重くて多回株出し多収性の品種を選定することが重要である。

多収性サトウキビ品種の理想型として高緯度の種子島では茎数型、低緯度の台湾では茎重型の品種が地域適応性を持つといわれている（永富ら，1982）。気候条件が台湾に近い沖縄では、茎がやや太い品種で、長い生育期間を通して伸張することが多収の条件になると考えられる。

RK97-14の高糖で太くて伸長が早く、新植の収量が高い特性（下地ら，2015）は、沖縄における春植えや夏植えの理想型に近いと推察されるため、その特長を

十分に生かした栽培管理が求められる。RK97-14 は夏植えと春植え（表Ⅱ－3）、そして3つの栽培体系の平均値（表Ⅱ－4）で可製糖量が多かったが（表Ⅱ－3、4）、夏植えの早植えでは倒伏し易いので（下地ら，2015）、やや遅い夏植えに適している。

(4) 栽培体系の効果

株出しは前作の栄養条件や原料茎数の影響を受けるため（井上，2017；杉本，2004）、また干ばつや台風の中で栽培体系の評価を信頼性高く行うため（奥野，1994）、新植と株出しの連続による繰り返し試験について解析する必要がある。

本研究では、株出し1回目までの結果として、栽培体系間で月当たり可製糖量の差は小さかったが、年当たり可製糖量は春株体系、夏株体系、夏植え体系の順に多かった（表Ⅱ－4）。

しかし、栽培体系の選択に当たっては、経営規模や労働力などの生産体制によって柔軟な対応がなされている。久米島や先島地域では春株体系よりも夏株体系が多く、これは特に大規模経営や高齢農家が春株体系における冬春期の繁忙を避けて夏株体系を選択し、年作業を平準化するためである。株出し回数は久米島で2回程度、先島地域で1回程度であるが（沖縄県，2021）、これは主に地力の差異が原因である（丸杉，1979；宮里，1986）。また、一部地域では夏体系とタバコやカンショとの輪作が実施されている。

単一栽培における持続的で安定的な生産には、一茎重が重くて株出し多収性の品種の選定と、緑肥など休閑作物も含めた栽培体系の検討が重要であり、長期的な視点で考えるべき課題である。夏植えでは収穫～改植までの休閑期間が長いので、株出し栽培に備えて、植え付け前の多年生雑草の防除やプラソイラなどによる深耕などが可能となる。古くからサトウキビ単一作による連作障害が危惧されてきたが（江畑ら，1976；Fukunaka,1997；来間，1971；丸杉，1979；仲地，2011 など）、単収の長期漸減（井上，2017；仲地，2003）が顕在化しているため、夏株体系の栽培技術の向上と共に、休閑期の緑肥導入などにより、サトウキビ単一栽培における持続性の向上を図ることも重要である。

第5節 小 括

干ばつや台風など気象リスクが常在し、土壌条件や経営環境なども異なる島嶼地域において、サトウキビの品種、作型、栽培体系の選択により糖生産量を最大限に高めるための諸要因を解明するため、最終産物である可製糖量を構成要素で表し、 $\text{可製糖量} = \text{原料茎重} \times \text{可製糖率}$ 、 $\text{原料茎重} = \text{一茎重} \times \text{原料茎数}$ として、可製糖量の構成要素に対する気象リスクと作型および品種の影響を解析し、サトウキビの糖生産量を最大限に高めるための諸要因を究明した。

- 1) 全ての構成要素に対する作型、品種の効果が確認された。しかし、構成要素の年次間の安定性は異なり、原料茎重と一茎重は不安定で、原料茎数はやや安定し、可製糖率が最も安定していた。
- 2) 生育旺盛期の干ばつで一茎重が減少し、そのため原料茎重と可製糖量が減少することが明らかになった。干ばつ耐性を増強するための実用的な技術として健全種苗が利用できる。健全種苗は種苗対策事業で配布され、農家で自家増殖可能なので費用対効果が高い。
- 3) 年当たり可製糖量は春株体系、夏株体系、夏体系の順で有意に多かった。ただし栽培体系は、経営規模や労働力などによって柔軟に選択できる。
- 4) 夏植えの株出しは原料茎数が不安定であるが、株出し能力の高い品種を選定し、健全種苗を利用して、施肥法の改善することが重要である。
- 6) RK97-14 は株出し1回目までの可製糖量が顕著に多い傾向があり、特に夏体系では優れていたが、早い夏植えでは倒伏し易いので、やや遅い夏植えに適している。

注

- 1) サトウキビの可製糖量を規定する構成要素は、気象や栽培管理が可製糖量に及ぼす影響を解析する際の指標となる。また目標収量を達成するために栽培方法を計画する場合、個々の構成要素の目標を設定することは有効である。各構成要素はそれぞれ異なる生育時期に決定される。構成要素は品種の改良目標としても重要な指標である。可製糖量を一茎重に主に依存する品種を茎重型品種、原料茎数に依存する品種を茎数型品種と呼ぶ。茎重型と茎数型のどちらが有利

であるかは、植え付け密度や栽培環境などにより異なる。

- 2) 経路分析 (パス分析) では説明変数と目的変数との関係性についてパス図を用いてわかりやすく説明する。今回の分析では説明変数の分散を1に基準化して求めたため、説明変数と目的変数の間のパス係数が大きいほど、当該説明変数が目的変数に及ぼす影響が強いことになる。

引用文献

- [1] Contreras, S.M and K. Ozawa (2005) Hardpan effect on sugarcane transpiration, growth and yield. *Journal of the Agricultural Meteorology*. 61(1):23-28.
- [2] 出花幸之介・友寄昌志・吉永博之 (2023) 「南西諸島におけるサトウキビの糖生産量に及ぼす変動要因の解析」『熱帯農業研究』16(1):
- [3] 出花幸之介・島袋正樹 (1993) 「サトウキビの品質取引における収量増加の必要性和高品質品種の効果」『九州農業研究』55:34.
- [4] 江畑正之・東孝行 (1976) 「連続株出し栽培におけるさとうきびの形質並びに土壌の変化について」『熱帯農業』20:77-80.
- [5] Fukunaka K. (1997) The direction of development in subtropical agriculture in Okinawa. *The science bulletin of the College of Agriculture, University of the Ryukyus*.44:177-196.
- [6] 井上健一 (2017) 「期待されるサトウキビ単収改善に向けた取り組みー鹿児島県における対応ー」『日本土壌肥科学雑誌』88:158-165.
- [7] 久貝晃尋・荷川取勝永 (1967) 「サトウキビ第1次株出し栽培における根切り、敷き草、培土が生育、収量に及ぼす影響」『沖縄農業』6(2):19-24.
- [8] 来間泰男 (1979) 『沖縄の農業』日本経済評論社.
- [9] 丸杉孝之助 (1979) 『沖縄農業の基本条件と構造改善』琉球大学農学部.
- [10] 宮里清松 (1986) 『さとうきびとその栽培』日本分蜜糖工業会.
- [11] 宮良高忠・上原勝江 (1974) 「サトウキビわい化病に対するかんがい、施肥増量が収量に及ぼす影響」『沖縄甘蔗糖年報』15:53-57.
- [12] 仲地宗俊 (2011) 「沖縄農業の構造変化と展開方向 亜熱帯島嶼農業の展開と共生の課題」矢口芳生・仁平恒夫編『北海道と沖縄の共生農業システム』

- 124-168.
- [13]永富成紀・前田浩敬・羅傳成（1982）「サトウキビ育種における選抜方法に関する研究 第 16 報 サトウキビ収量構成要素の解析」『熱帯農業』26：229-238.
- [14]仲宗根盛雄（1976）「サトウキビのマルチ栽培が収量およびほ場の保水性に及ぼす影響について」『沖縄県農業試験場報告』2：5-10.
- [15]日本分蜜糖工業会編（1981）『製糖化学便覧』製糖技術研究会.
- [16]沖縄県（2021）『さとうきび及び甘しや糖生産実績』.
- [17]沖縄県（2016）『サトウキビ栽培指針』.
- [18]奥野忠一（1994）『農業実験計画法小史』日科技連.
- [19]奥野忠一・芳賀敏郎（1969）「交互作用効果の意義とその取り扱い方」『実験計画法』倍風館：115-119.
- [20]大城正市（1996）「島しょ環境と水資源 サトウキビの栽培と水」『熱帯農業』40(3)：139-143.
- [21]大津善弘（1980）「病害防除から見たさとうきびの単位収量増加策」『糖価安定事業団月報』165：9-14.
- [22]坂井教郎・仲地宗俊(2003)「亜熱帯島嶼地域における持続的農業の基礎条件－沖縄農業の生産力および環境問題－」『農業経営研究』41(2)：1-12.
- [23]下地格・伊禮信・出花幸之介・比屋根真一・仲宗根弘晃・大城良計(2015)「3 作型で多収となる沖縄県全域向けサトウキビ新品種候補『RK97-14』」『九州農業試験研究発表会発表要旨』78：36.
- [24]城間理夫（1984）「畑作と自然災害」『日本作物學會紀事』53(3)：346-350.
- [25]杉本明（2004）「栽培改善は進んだか？ サトウキビ技術開発の過去と未来」『日本作物学会九州支部会報』70：184-190.
- [26]杉本明・宮城克浩・末川修・緒方寿明・高江洲賢文・比屋根真一・外間康洋・玉城盛俊・寺島義文・氏原邦博・福原誠司（2003）「琉球弧のサトウキビ少収地域における栽培改善に必要な品種特性」『日本作物学会九州支部会報』69：63-66.

第3章 健全種苗によるサトウキビわい化病への対策

第1節 本章の課題

サトウキビわい化病（以下、「わい化病」）に罹病したサトウキビは干ばつリスクへの耐性が低下し、新植、そしてそれ以上に株出しでは単収が低下する。そのため、種苗管理センターで優良品種をわい化病フリー化して増殖し、種苗対策事業で40年にわたり健全種苗として生産現場へ配布してきた。

しかし、地域におけるわい化病の発生状況や、罹病による減収程度の報告は40年以上も前の古い品種に関するもので、その後一度も更新されていない。また、外観からわい化病の罹病株を判定するのは困難である。そのため、健全種苗の効果や対策事業の重要性に関する現場の認識が風化し、その様な状況で種苗対策事業が継続され、事業の形骸化が懸念されていた。

2009年になって、沖縄県下の製糖工場10カ所において、それぞれトラック100台、合計1,000台のサトウキビ原料からコアサンプルを抽出し、PCRによりわい化病の罹病調査が行われた（牛尾ら，2009）。その結果、わい化病の検出率は全体で40%、高い地域では70%程度であることが明らかとなった。この調査法では圃場における罹病率を直接知ることができないが、依然として沖縄県内全域にわい化病が蔓延していることが疑われる結果であった。

そこで本章では、健全種苗の効果と種苗対策事業の機能を明らかにし、種苗配布体系の改善を目的として、まずサトウキビ生産現場や育種事業におけるわい化病の罹病率を調査する。次に、最近の品種のわい化病抵抗性や健全種苗による増収効果、農具の簡易消毒による感染防止について明らかにする。

第2節 材料及び方法

(1) 農家圃場と育種事業におけるサトウキビわい化病の罹病率

農家圃場の調査は、2013年1～3月に、久米島、伊良部島に加えて、干ばつ害が頻発する南大東島において、それぞれ農家圃場15筆から無作為に20株を選定し、各株から1茎ずつ抽出した。

育種事業の調査では、沖縄県農業研究センター（以下、「沖縄農研センター」）

のサンプルを 2007 年 3 月、同宮古島支所のサンプルを 2012 年 3 月に、奨励品種決定試験の株出し栽培から、無作為に 20 株、もしくは 10 株選定し、各株から 1 茎ずつ抽出した。

茎の基部の 1 節を挟んだ節間を 1 試料とし、長さが 10～20cm になるように両端を切断し、片側から圧縮空気を吹き込んで導管液を 1ml 程度採取し、凍結保存した¹⁾。サトウキビわい化病の PCR 検定は、独立行政法人種苗管理センター沖縄農場により牛尾ら（2008）の方法で行われた。

(2)サトウキビ品種のわい化病感受性

わい化病罹病率の高い品種 Ni9 の搾汁液に NiF8 など健全種苗の 1 節苗を 15 分間浸漬してわい化病菌を接種し²⁾、数年来サトウキビの栽培歴がない圃場に、1 区 60 株の 4 反復で接種苗を春植えした。栽培管理は通常のとおりであるが、各区の収穫はじめに刃物を 70%エタノールで噴霧殺菌し、各試験区内では刃物に付着する導管液によるわい化病菌の感染にまかせ株出し栽培まで継続した。春植え 1 年目と株出し 1 年目の 3 月に各区の 20 株、1 株から 1 茎を無作為に選定して導管液を採取し、PCR 検定を行った。

(3)健全種苗が収量に及ぼす効果とわい化病の感染防止

最近の品種について、健全種苗の効果（わい化病による収量への影響）と、圃場作業における農具の簡易な殺菌による感染防止効果を明らかにするため、わい化病感受性の高い品種 Ni21 と NiH25 を用いて、春植え株出しによる栽培試験を行った。

材料となる種苗についてわい化病の罹病以外の来歴を揃えるため、1 年前から種苗の準備を行った。沖縄農研センターにおいて 2009 年 4 月にわい化病に罹病した品種 NCo310 の搾汁液に Ni21 と NiH25 の健全な一芽苗を 15 分間浸漬してわい化病菌を接種し、健全種苗とは隔離して植え付けた。通常の肥培管理を行い、2010 年 4 月に PCR-RFLP 検定により茎別のわい化病菌の有無を確認して、罹病区と健全区の種苗とした。

宮古島支所において 2010 年 4 月 28 日に、Ni21 と NiH25 の健全種苗と罹病種

苗の2芽苗を畝幅140cm、株間25cm、280本/aで植え付け、発芽率が100%になるように補植を行った。2011年4月14日に春植え栽培の収穫調査を行った。すぐに株出し管理して2012年3月23日に株出し栽培の収穫調査を行った。施肥量(kg/a)は春植え栽培でN:2.0、P:0.6、K:0.6、株出し栽培でN:2.2、P:0.7、K:0.7であり、両作型とも沖縄県サトウキビ栽培基準に準じて管理した。

1試験区は2.8 m² (1畦の長さ2m)とし、各処理は6反復で、健全区と罹病区が交互に織り交ぜ隣接するように構成した。

春植え栽培と株出し栽培における種苗の調整、そして収穫時にはオノやカマに70%エタノールを噴霧して殺菌し、健全種苗区から先に調整、収穫した。収穫時に各試験区の茎を6本ずつ異なる株から取り、圧縮空気で茎の下部の導管液を押し出してサンプリングし凍結保存した。種苗管理センターで解凍した導管液のわい化病菌のPCR検定を行った。また各試験区の全原料茎を収穫し原料茎重を測定し、原料茎数で除して一茎重を算出した。茎長などは各区の10本を調査した。

第3節 結 果

(1) 農家圃場と育種事業におけるサトウキビわい化病の罹病率

1) 農家圃場におけるわい化病の罹病率

地域ごとの罹病率を比較すると、伊良部島は7%と低く、久米島と南大東島で24%と26%でやや高かった。南大東島や久米島では圃場間の罹病率のばらつきが大きかったが、伊良部島では多くの圃場で罹病率が0%であった。伊良部島では種苗管理が比較的機能しており、採苗圃からの継代年限が2~3年程度と短い圃場が中心の調査であった。伊良部島の罹病率100%の「不明品種」は、農家が出所不明の系統を独自に数年かけて増殖した圃場で、管理は行き届いているものの、全体的に明らかに細くて茎数も少なく貧弱な生育であった。南大東島の95%の圃場は、自家増殖と株出しを何度も繰り返していた。品種間や作型間における罹病率の差異は判然としなかった。(表III-1)。

表Ⅲ－1 農家圃場におけるサトウキビわい化病の罹病率

久 米 島			南 大 東 島			伊 良 部 島		
品種	作型	罹病率%	品種	作型	罹病率%	品種	作型	罹病率%
Ni21	春植え	0	F161	春植え	25	Ni15	夏植え	0
Ni21	春植え	20	F161	株出し	95	Ni15	夏植え	0
Ni21	春植え	25	F161	株出し	15	Ni15	夏植え	0
Ni21	春植え	30	Ni11	春植え	5	Ni15	夏植え	0
Ni21	春植え	40	Ni15	春植え	0	Ni15	夏植え	0
Ni21	春植え	40	Ni15	春植え	25	Ni15	夏植え	0
Ni21	夏植え	10	Ni22	春植え	55	Ni15	株出し	0
Ni21	株出し	10	Ni26	春植え	35	Ni17	夏植え	0
Ni21	株出し	5	Ni26	株出し	5	Ni21	夏植え	0
Ni21	株出し	40	Ni28	春植え	5	Ni21	夏植え	0
Ni21	株出し	35	Ni28	春植え	20	宮古1号	夏植え	0
Ni21	株出し	35	Ni28	春植え	15	宮古1号	夏植え	0
Ni21	株出し	50	Ni28	夏植え	60	宮古1号	夏植え	0
Ni22	夏植え	15	Ni29	春植え	0	Ni27	夏植え	0
NiH25	春植え	10	RK96-6054	春植え	30	Ni27	夏植え	0
平均±SD		24±15	平均±SD		26±26	Ni27	夏植え	20
						不明	夏植え	100
						平均±SD		7±24

2) サトウキビ育種事業におけるわい化病の罹病率

表Ⅱ－3 に育種事業におけるわい化病の罹病率を示した。罹病率は品種間で大きくばらついているが、罹病率 50%以上の品種が本所で 10 品種中の 4 品種、宮古島支所では 3 品種中の 2 品種で、平均罹病率は 49%であった。

表Ⅲ－2 育種事業におけるわい化病の罹病率

品種	調査株数	陽性株数	罹病率 (%)
NCo310	20	15	75
F161	10	4	40
NiF8	20	3	15
Ni9	20	17	85
Ni15	20	0	0
Ni17	20	1	5
Ni21	20	4	20
NiN24	10	4	40
NiH25	20	17	85
Ni26	20	11	55
Ni21*	20	16	80
NiH25*	20	20	100
KY99-176*	20	8	40
平 均			49

資料：*は宮古島支所、他は沖縄農研センター

罹病率は Ni15 や Ni17、NiF8 でそれぞれ 0、5、15%と低く、NiH25 の罹病率は本所と宮古島支所で、それぞれ 85、100%と高く、Ni21 は本所が 20%宮古島支所で 80%であった（表Ⅲ－2）。

(2) サトウキビ品種のわい化病感受性

株出しまでの罹病率を平均した結果、Ni15 の罹病率が最も低く、Ni21 が最も高かった。罹病率を逆正弦変換して分散分析した結果、最小有意差 5%で、罹病率の低い Ni15、NiF8、Ni17 のグループと罹病率の高い Ni9、Ni21 のグループに分けることができた。また、Ni17 以外の品種では、春植えよりも株出しで罹病率が上がる傾向があり、全ての品種を合わせると 10%の有意差があった（表Ⅲ－3）。

表Ⅲ－3 サトウキビ品種におけるわい化病の感受性

	春植え (2008)	株出し (2009)	平均
NiF8	38.8	57.5	48.1a
Ni9	64.1	88.8	76.5b
Ni15	20.3	36.3	28.3a
Ni17	53.8	46.3	50.1a
Ni21	77.5	83.8	80.7b
平均	50.9y	62.5z	—

注：数字は罹病率（%）。逆正弦変換して分散分析した結果、a、b 間には 5%の y、z 間には 10%レベルの有意差が認められた。

(3) 健全種苗が収量に及ぼす効果とわい化病の感染性

1) 健全種苗が収量に及ぼす効果

NiH25 の健全区は、春植えと株出しで一茎重などが罹病区に比べて増加し、収量がそれぞれ 59%、72%と大幅に増加した。Ni21 では両作型ともに処理区間の一茎重などの差は小さく春植えでは有意差が検出されなかったが、株出しでは健全種苗で茎数が増加し、その結果収量も 25%増加した（表Ⅲ－4）。

表Ⅲ－４ サトウキビわい化病がサトウキビの収量関連形質に及ぼす影響

作型 年度	品種	処理区	茎 長 cm (%)	茎 径 mm (%)	節 数 数 (%)	一 茎 重 g (%)	茎 数 本 (%)	収 量 kg/a (%)
春植え 2010年	Ni21	健全区	238±6(102)	26.5±0.9(100)	22±1(105)	924±53(97)	885±89(105)	821±104(102)
		罹病区	233±6(100)	26.6±0.5(100)	21±0(100)	957±84(100)	839±100(100)	803±121(100)
			N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
	NiH25	健全区	264±1(106)	26.9±0.7(106)	31±1(106)	1,030±30(122)	1,124±96(130)	1,160±111(159)
		罹病区	247±5(100)	25.4±0.9(100)	29±1(100)	840±63(100)	868±89(100)	728±86(100)
			**	**	**	**	**	**
株出し 2011年	Ni21	健全区	208±11(102)	25.9±0.9(101)	24±2(96)	976±49(98)	653±114(127)	639±114(125)
		罹病区	204±14(100)	25.6±0.4(100)	25±2(100)	993±75(100)	518±121(100)	511±118(100)
			N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	*	*
	NiH25	健全区	238±9(105)	25.7±0.9(100)	33±2(106)	985±56(105)	1,000±236(167)	978±210(172)
		罹病区	227±14(100)	25.6±1.1(100)	31±1(100)	940±64(100)	600±111(100)	564±100(100)
			N.S.	N.S.	*	N.S.	**	**

注 : *, ** ; 作型毎に、品種間において罹病区と健全区間にそれぞれ 5%、1% レベルで有意差あり。NS ; 有意差は無し (t 検定の結果)。

2) 農機具の簡易な殺菌によるわい化病の感染防止効果

健全区と罹病区が隣接し、春植え栽培と株出し栽培において数度の台風の影響を受けながら、互いの葉や茎がふれあう試験環境であった。

表Ⅲ－５ 春植え株出し栽培におけるサトウキビわい化病の罹病率

品種	処理区	調査株数	罹病株数	健全株数	罹病率 %
Ni21	罹病区	35	29	6	83
	健全区	36	0	36	0
NiH25	罹病区	34	34	0	100
	健全区	36	0	36	0

表Ⅲ－５にわい化病菌の PCR 検定の結果を示した。NiH25 では春植え栽培と株出し栽培ともに罹病区では全ての茎が罹病しており、健全区では全ての茎が健全であった。Ni21 の春植え栽培では検定結果が不明瞭な部分があったが、株出しの健全区では全てが健全であり、罹病区では 83% が罹病していた。以上のように春植えと株出しにおいて、健全区では、NiH25 と Ni21 とともに新植と株出しの栽培期間中にわい化病菌に感染することはなかった。

第4節 考 察

(1) 農家圃場と育種事業におけるサトウキビわい化病の罹病率

1) 農家圃場におけるわい化病の罹病率

今回の現地農家圃場の調査結果は、種苗管理センター沖縄農場の設立以前の1960年代、健全種苗配布事業の開始前の罹病率よりも低く、沼口らの種子島の罹病率と比べても同等以下であった（前掲表I-3を参照）。また、県内10地域、各地域100台のトラック積み荷のコアサンプルによる値より低かった（牛尾ら，2009）。このことから、農家圃場におけるわい化病の罹病率が全体としては低下している事が示唆された。わい化病抵抗性の品種が少ない場合、健全種苗により地域におけるわい化病の無病化を図るのには長年月が必要とされており（Grisham, 2004 ; Hoy and Flynn, 2001）、今後とも健全種苗の増殖体系の維持発展を図る必要がある。

本調査の結果から、圃場ごとの罹病率の差異が大きいことが明らかとなった。サトウキビ生産組合や製糖工場の農場などに原種圃が設置され、健全種苗が体系的に増殖配布されている地域もあるが、地域によっては組織的・計画的な健全種苗の配布に問題がある可能性もある。健全種苗に対する個々の農家の取り組みを促し、健全種苗を用いた種苗管理を体系的に整理することが求められる。

また今回は小規模で予備的な調査にとどまったものである。今後は、定期的に農家圃場などのわい化病のモニタリングを行い、被害を最小限に抑えるよう組織的、計画的な種苗対策を進める必要がある。

2) サトウキビ育種事業におけるわい化病の罹病率

育種事業の品種におけるわい化病の罹病率はかなり高く、品種毎の差も大きかった。Ni21の罹病率が本所と宮古島支所で異なる原因は不明である。

育種事業では無病化された記録がない。品種によって罹病率に差異がある原因としては、品種抵抗性や栽培年限の長さなどが考えられる。わい化病の品種抵抗性については多くの報告があり、抵抗性品種が育成されている（Comstock et al., 2013, 2001, 1995 ; Roach, 1992）。国内の主要品種についても品種抵抗性を確認する必要がある。

わい化病菌は元来サトウキビ野生種に寄生していたが、1900 年代の初めにジャワにおけるサトウキビの品種改良の過程で経済品種に感染し、品種 POJ2878 の世界的な普及とともに世界中に伝染したとの仮説が提唱されている (Young, 2016)。品種により熱処理による殺菌効果や発芽障害程度が異なるため、育種事業における多様な品種や系統の完全殺菌は困難で、全面的なわい化病フリー化は不可能に近い (Grisham, 2004 ; Young, 2016)。

そのため、ここでは育種事業で育成された品種において、わい化病フリー化して健全種苗を配布する種苗管理センターと健全種苗配布事業の重要性を強調したい。

(2) サトウキビ品種のわい化病感受性

接種試験における Ni15、NiF8、Ni17 の罹病率が低く (表Ⅲ-3)、Ni9 の罹病率が高いことは、育種事業における調査結果 (表Ⅲ-2) と一致した。このことから、Ni15、NiF8、Ni17 はわい化病抵抗性が高く、Ni9 は抵抗性が低いと推察された。また、Ni21 は育種事業における本所と宮古島支所の罹病率が異なったが (表Ⅲ-2)、接種試験の結果から Ni21 はわい化病抵抗性が低いと推察された。

春植えよりも株出しで、わい化病の罹病率が高くなる傾向があった。通常の手オノによる刈り取りで、株出しにおけるわい化病の罹病率がゆっくりと上昇することが確認された。Ni17 の株出しで罹病率が下がった原因として、サトウキビ維管束内におけるわい化病菌の増殖が遅く、株出し茎への移動が遅い可能性が推察された。

(3) 健全種苗の効果とわい化病の感染性

1) 健全種苗が収量に及ぼす効果

本試験の設計条件では春植えと株出しで複数年の反復がないため、作型と栽培年の効果が分離できない。そのため、本試験の結果からは春植え栽培よりも株出し栽培でより大きく減収するとは必ずしもいえない。しかし、品種 NCo310 の試験では (宮良・上原, 1974)、健全種苗はわい化病に罹病した種苗に比べて 10～30%増収し、特に株出しで増収率が高く、また水不足条件では健全種苗の効果

が高まると報告している。

本試験では特に NiH25 で健全種苗の効果が高い結果となったが、わい化病による減収程度は品種により異なり、また株出し栽培や土壌の乾燥、低温など環境条件が厳しいと大きく減収するといわれている (Comstock,2008)。Ni21 は接種試験の結果ではわい化病に罹病しやすく (表Ⅲ-3)、NiH25 も育種行程における罹病率が高い品種である (表Ⅲ-2)。しかし、罹病した場合の減収の程度をみると NiH25 は Ni21 に比べて大きい。NiH25 のようにわい化病に罹病しやすく、罹病により大きく減収する品種では健全種苗がより重要な役割を果たす。また、このような品種では、種苗への感染防止管理をより厳密に行う必要がある。

近年では多くの品種が栽培されるようになったので、全ての品種において、健全種苗の効果とわい化病の被害程度を確認する必要がある。

2) 農機具の簡易な殺菌によるわい化病の感染防止効果

健全区と罹病区が隣接し、春植え栽培と株出し栽培において数度の台風の影響を受けながら、互いの葉や茎がふれあう試験環境であった。しかし、罹病区から健全区への感染は全く観察されなかった。このことから、沖縄県の栽培環境においても、収穫時の斧や鎌による汁液感染など人為的な要因以外によるわい化病菌の感染頻度がかなり低いことが推察された。

種苗管理センターから出る原原種苗は全て健全であることが確認されている。しかし、サトウキビでは原種圃や採苗圃における防疫管理についての規定がなく、原種圃や採苗圃におけるわい化病のモニタリングもないので、原種圃や採苗圃における再感染が懸念される。わい化病の感染のしやすさは品種によって大きく異なり、抵抗性の品種では原料圃のハーベスタによる多回株出しでもほとんど感染しない場合もある。また、手刈りやハーベスタなどの収穫法や種苗の取り扱い方によっても感染は異なる (Comstock, 2008 ; Comstock et al., 2001 ; Damann, 1992 ; Grisham, 2004 ; Young et al., 2004)。

本試験の結果では、刃物を 70%アルコールで噴霧殺菌するだけで、2 年間の栽培期間において、罹病区から極近接する健全区へのわい化病の自然感染は観察されなかった (表Ⅲ-5)。

オノやカマ、またビレットプランタの場合はハーベスタの刃などを、採苗前に消毒すると、感染を防止することができる。海外では、消毒薬として中性クレゾール溶液、陽イオン性界面活性剤（塩化ベンザルコニウム、塩化ジデシルディメチルアンモニウム）など複数の消毒法が実用化されており(Sugar Research Australia, 2012 ; Grisham, 2004 ; Young et al., 2004)、これらの中には国内で酪農に用いられているものがあり、農器具の消毒薬としては自由に使うことができる。サトウキビ原種圃や採苗圃の防疫管理を円滑に行うために今後の検討が必要である。

原種圃や採苗圃の防疫管理を円滑に行えれば、その株出し栽培からも健全種苗を採苗できる可能性が高まる。健全種苗の配布体系をより効率化するためにも今後の検討が必要である。また、海外では原料圃場間のわい化病の感染を防ぐため、圃場間移動の際にハーベスタのベースカッタを殺菌液で噴霧消毒することや、ビレットプランタ用の種苗を収穫する際は上記の薬剤によるハーベスタの収穫システムの噴霧消毒が推奨されている。

わい化病菌の宿主としてサトウキビ野生種やエリアンサス等が知られているが、これらはキビ畑の雑草ではない。むしろサトウキビ収穫残株中にわい化病菌が数ヶ月残存するので、サトウキビ連作の場合、5ヶ月程度の休閑が効果的である(Grisham, 2004 ; Young and Brumbley, 2004)。この面で、夏植え株出し体系では圃場におけるわい化病の残存を防止できる可能性が高い。

第5節 小括

サトウキビ生産現場におけるわい化病の罹病率は、以前よりも低下している可能性があるが、罹病率が高い圃場も存在した。また、育種事業におけるわい化病の罹病率はかなり高いことが明らかになった。加えて、最近のサトウキビ品種でも、健全種苗による増収効果が高いこと、わい化病の品種抵抗性に差があることが明らかになった。また、農具の簡易な消毒によりわい化病の感染が防止できる可能性が示された。

以上のことから、奨励品種を健全化によりわい化病フリーにすると増収が期待できる。また、健全化前の種苗が地域適応性検定試験から漏出して栽培される事

例が散見されるが、種苗対策事業による健全種苗を効率的に利用することは重要性である。さらに、原種圃や採苗圃、原料圃において、刃物などの簡易な消毒に健全種苗の配布増殖体系が効率化できる可能性が示された。

注

- 1) 方法の詳細は Sugar Research Australia(2012)、与那覇ら(2009) を参照のこと。
- 2) わい化病菌の純粋培養には特殊な培地が必要で、増殖も極めて遅く培養が極めて困難である。手軽な接種法として罹病性品種の搾汁が接種源として用いられる (Grisham, 2004 ; Young, 2004 ; Wen-Feng et al., 2013)。

参考文献

- [1] Comstock, J. C. (2008) Sugarcane yield loss due to ratoon stunt. Journal of the American Society of Sugar Cane Technologists, 28:22-31.
- [2] Comstock, J. C., J. D. Miller, J. M. Shine, Jr. l. and P. Y. P. Tai (1995) Screening for resistance to ratoon stunting disease in Florida. Proc. of ISSCT. 22:520-526.
- [3] Comstock, J.C., J. M. Shine, JR., P. Y. P. Tai and J. D. Miller. (2001) Breeding for ratoon stunting disease resistance: Is it both possible and effective. Proc. of IISCT.,24:471-476.
- [4] Comstock, J. C., Glaz, B., Serge, J., Edmé, R., Davidson, W., Robert. A., Gilbert, N., Glynn, C., Zhao, D., Sood, S., Miller, J.D. and Tai, P. Y. P. (2013) Registration of ‘CP04-1566’ Sugarcane. Journal of Plant Registrations, 7(3):1-7.
- [5] Damann, K. (1992) Effect of sugarcane cultivar susceptibility on spread of ratoon stunting disease by the mechanical harvester. Plant Disease, 76:1148-1149.
- [6] Grisham, M. P. (2004) Ratoon Stunting Disease. In Rao, G. P., Saumtally, A. S. and Rott, P. ed., Sugarcane pathology. Science Publishers, Inc. 77-96.

- [7] Hoy, J.W. and J. L. Flynn (2001) Control of ratoon stunting disease of sugarcane in Louisiana with seed cane produced through micro propagation and resistant cultivars. Proc. ISSCT., 24:417-421.
- [8]宮良高忠・上原勝江 (1974)「サトウキビわい化病に対するかんがい、施肥増量が収量に及ぼす影響」『沖縄甘蔗糖年報』15:53-57.
- [9]沼口憲治・氏原邦博・鮫島常喜 (1988)「鹿児島県におけるわい化病実態調査」『種苗管理センター鹿児島農場調査成績書』(S60～H1):20-28.
- [10] Roach, B. T. (1992) Susceptibility to ratoon stunting disease in the *Saccharum* complex and feasibility of breeding for resistance. Sugar Cane No3:1-11
- [11] Sugar Research Australia (2012) Ratoon stunting disease (RSD). BSES Information Sheet IS12007.
- [12] 牛尾裕・牧野正人・石田光之 (2009)「沖縄県下におけるわい化病の実態調査」『サトウキビ試験成績発表会要旨』第36回:19-20.
- [13] 牛尾裕・木村哲男・与那覇至・内藤孝・伊禮信・比嘉勝彦・又吉康成・宮里貴志・出花幸之介 (2008)「さとうきびわい化病の検定法の開発と罹病実態を解明する試み」『サトウキビ試験成績発表会要旨』第35回:30-31.
- [14] Young, A.J. (2016) Possible origin of ratoon stunting disease following interspecific hybridization of *Saccharum* species. Plant Pathology. Doi:10.1111/ppa.12545.
- [15] Young, A.J. and Brumbley, S. (2004) In Rao, G. P., Saumtally, A. S. and Rott, P. ed., Sugarcane Pathology. Science Publishers, Inc. 97-126.
- [16] 与那覇至・出花幸之介・内藤孝・伊禮信・牛尾裕 (2009)「サトウキビわい化病における罹病性の品種間差異について」『沖縄農業研究会第48回発表会要旨』47-48.

第4章 種苗コーティングによる発芽・苗立ちの改善

第1節 本章の課題

発芽・苗立ち不良はサトウキビの減収の主要因の一つである。発芽不良の種苗から黒腐病菌が分離同定され、黒腐病予防策として TB 剤への浸漬処理が有効である可能性が示された（比屋根ら、2012）。

しかし、サトウキビ黒腐病菌の国内における分布が不明であるため（大津・上原、1998）、南西諸島における黒腐病菌の分布を確認する必要がある。

さらに、種苗の浸漬処理により多量の廃液が発生し、サンゴ礁からなる低島における地下水への浸透や、地表流去水が発生する国頭マージなどでの河川や海洋の汚染を避ける必要がある。そこで、処理廃液とコストの低減を期待して、TB 剤の種苗コーティングによる黒腐病予防効果について明らかにし、黒腐病により発芽・苗立ち不良となった圃場において、その効果を明らかにする。

第2節 材料および方法

(1) 南西諸島におけるサトウキビ黒腐病菌の分布

サトウキビの発芽不良が頻発する原因菌として、黒腐病菌の関与が明らかになった。この菌はサトウキビの連作圃場の土壤中に広く分布すると言われている（Croft, 2000 ; Croft et al., 2000 ; Moutia and Saumtally, 1999 ; 大津・上原, 1998）、土壤中の微生物層から特定の菌だけを純粋分離するのは極めて困難である。そこで、Moutia and Saumtally（1999）の方法を応用して感受性品種 Ni21 の種苗を検体として菌をつり出し、沖縄県内各地のサトウキビ圃場における黒腐病菌の分布を調査する。

- ① 県内の発芽・苗立ち不良の圃場から、発芽不良の種苗と周囲の土壌をビニール袋に採取し室内で保存した。各サンプルから土壌を 100g 取り、滅菌水を 1,000ml 加えて懸濁した。
- ② 感受性品種 Ni21 の 2 節苗の芽をつぶし、70%エタノールに 30 秒間浸漬して殺菌した後、土壌の懸濁液に 5 分間浸漬し、取り出してビニール袋に入れ 27～30℃で 1 ヶ月間保温した。

③種苗を縦割りして中央節間の病徴を観察し、発病度を算出した。

$$\text{発病度} = \Sigma (\text{程度別発病種苗数} \times \text{指数}) \times 100 \div (\text{調査種苗数} \times 5)$$

指数 0：病徴無し、1：節間の半分以下で薄赤、2：節間の半分以上で薄赤、
3：節間全体が赤、4：節間の孔隙が黒色、5：黒色が節間全体に広がる

④病徴が発現した部分の組織や菌糸を刺針で掻き取り、PDA＋クロラムフェニコール培地に接種してシャーレを 25℃で保存し、発生した菌を単離して、その菌相と特有の芳香（過熟パイナップルに似た芳香）の発生などにより黒腐病菌を判定した。

(2) チウラム・ベノミル水和剤の種苗コーティングによる黒腐病の予防

1) 試験設定

70%エタノールに 10 秒間浸漬処理した感受性品種 Ni21 の 2 芽苗を用いた。ハンスプレーを用いて各濃度の TB 薬液を 2 芽苗（70～160g）の両端切り口側から種苗全体に（5ml/種苗）噴霧し、種苗に展着させた。対照区として水を同様に噴霧した。風乾後、黒腐病菌の孢子（濃度 $10^3/\text{ml}$ ）懸濁液を各処理区の 2 芽苗の両切り口側面から噴霧接種した。各処理区の種苗を植え溝に並べて覆土し植え付けた。

畝幅 140cm×株間 8cm で一条植えし、施肥および一般管理は沖縄県栽培基準に準じた。1 区 5.6 m²（4×1.4m）に種苗を 24 本植え付けた。

試験 1 では TB 剤 500、1,000、2,000 倍処理区を 2 反復で設定し、2014 年 11 月 7 日に試験を開始した。低温期間なので 67 日間にわたり発芽・苗立ちを調査し、最後に種苗を掘り出し、縦割りして黒腐病の病徴を観察した。

試験 2 では TB 剤 500、1,000 倍処理区を 3 反復で設定し、2015 年 5 月 22 日に試験を開始し、温度が高い期間なので 46 日間発芽苗立ちを調査して、試験 1 同様に病徴を観察した。両試験とも週 2 回の灌水を行った。

2) 調査・評価方法

植え付け 2 週間後から週 2 回の発芽調査を行い、調査終了時に種苗を縦割りし

て黒腐病の病徴を観察した。

発芽苗率＝1 芽でも発芽した苗数/植え付けた苗数×100

発芽芽子率＝発芽した芽子の数/植え付けた芽子の数×100

発病度＝ Σ （程度別発病種苗数×指数）×100÷（調査種苗数×3）

指数 0：2 芽とも発芽した種苗数

1：1 芽だけ発芽した種苗数

2：2 芽とも発芽せず節間の縦断面が黄色～薄紫色

3：2 芽とも発芽せず節間の縦断面に黒色胞子が発生

防除価＝100－処理区発病度/無処理区発病度×100

(3) 黒腐病発生圃場におけるチウラム・ベノミル水和剤の種苗コーティングによる黒腐病の予防

2020 年秋、久米島町では発芽不良のままで粗放栽培を続けるサトウキビ圃場が多く観察された。夏植えの新植直後の圃場で、相次いだ台風と大雨で植え溝の底に土壌クラスト(土壌皮膜)が形成され、黒腐病が発生したためであると推察された。

久米島町の A 経営でも 10 月初めに、全茎プランタで品種 Ni29 を植え付けた圃場で、大規模な発芽不良(発芽苗率 30～50%程度)が発生した。セル苗の補植では対応不能であるため、3 筆 60a の圃場を全てすき込んで、再度植え付けざるを得ない事態となった。再植え付けの準備、碎土の際に圃場一面で甘酸っぱいパイナップル臭がし、腐敗した種苗には黒腐症状が観察された。そのため、夏植えの植え付け～発芽期間の大雨が誘因となり、黒腐病が発生したことが発芽不良の原因であると推測された。

そこで、黒腐病が多発した圃場における現地実証試験として、TB 剤の種苗コーティングによる現地試験を行った。2020 年 11 月 2 日に品種 Ni29 の茎を 2 芽苗に調苗し、茎の上側節位と下側節位から取った苗をそれぞれ「上部苗」と「下部苗」に分けた。上部苗区と下部苗区で、TB 剤処理区の 70 本について、TB 剤 2,000 倍液で種苗をコーティングし、無処理区として水を噴霧して植え付けた。

植え付けの 30 日後と 50 日後に発芽苗立ちを調査し、一部の種苗を縦割りして

病徴を観察した。

第3節 結 果

(1) 南西諸島におけるサトウキビ黒腐病菌の分布

表Ⅳ－1 の発芽・苗立ち不良が発生した圃場の土壌から黒腐病菌の検出試験を行ったところ、県内各地 41 カ所の圃場の土壌のうち、24 カ所から黒腐病菌が検出された。検出されなかった圃場の内、石垣島は数年の休閑の跡にサトウキビを植え付け、6 ヶ月以上経過した圃場のため、現場で枯死した種苗では黒腐病の病徴が確認されていなかった。糸満市のジャーガル土壌の圃場は区画整備直後で排水が悪く、植え溝が滞水し種苗が窒息枯死した可能性があった。

表Ⅳ－1 サトウキビ発芽・苗立ち不良の圃場からの黒腐病菌の検出結果

No.	場所	土壌	品種	発病度 *	菌 分離	No.	場所	土壌	品種	発病度 *	菌 分離
1	石垣島 大俣	国頭マージ	Ni21	0	－	21	久米島 奥武	カニク	Ni21	0.25	－
2	石垣島 大俣	国頭マージ	NiH25	0	－	22	久米島 島田前	国頭マージ	Ni21	0.4	○
3	石垣島 崎枝	国頭マージ	NiF8	0	－	23	久米島 まがい原	国頭マージ	Ni28	0	－
4	石垣島 崎枝	国頭マージ	RK97-14	0.2	－	24	久米島 山田原	国頭マージ	Ni21	0.2	－
5	多良間島	島尻マージ	NiF8	0	－	25	久米島 東兼久	カニク	Ni21	0	－
6	宮古島 上野 1	島尻マージ	Ni21	0.4	○	26	国頭村 1	国頭マージ	?	0.4	○
7	宮古島 上野 2	島尻マージ	Ni27	0.2	○	27	国頭村 2	国頭マージ	?	0.2	－
8	宮古島 上野 3	島尻マージ	Ni15	0.2	○	28	東村	国頭マージ	NiF8	0.8	○
9	宮古島 友利 1	島尻マージ	NiH25	0.6	○	29	大宜見村 1	国頭マージ	NiF8	0.8	○
10	宮古島 友利 2	島尻マージ	Ni27	2.2	○	30	大宜見村 2	国頭マージ	?	0.4	○
11	伊良部島 1	島尻マージ	Ni27	2.2	○	31	大宜見村 3	国頭マージ	Ni9	0.2	－
12	伊良部島 2	島尻マージ	Ni21	0.2	○	32	名護市 1	国頭マージ	?	0.4	○
13	久米島 西兼久	カニク	Ni23	0.4	○	33	名護市 2	国頭マージ	?	1.6	○
14	久米島 まい原	カニク	Ni21	1.6	○	34	名護市 天仁屋1	国頭マージ	NiF8	0.4	○
15	久米島 まい原	国頭マージ	Ni28	0.2	－	35	名護市 天仁屋2	国頭マージ	NiF8	0.4	○
16	久米島 後原	国頭マージ	Ni21	0.4	－	36	読谷村	島尻マージ	NiH25	0	－
17	久米島 嘉手刈	国頭マージ	Ni21	0.8	○	37	南城市 佐敷	ジャーガル	RK97-14	0	－
18	久米島 大原	島尻マージ	Ni21	0.2	○	38	糸満市 1	ジャーガル	NiF8	0	－
19	久米島 サータ原	カニク	Ni27	0.6	○	39	糸満市 2	ジャーガル	Ni21	0.2	－
20	久米島 大原	島尻マージ	Ni21	0.6	○	40	知念村 1	ジャーガル	RK97-14	3.8	○
						41	知念村 2	ジャーガル	RK97-14	3.8	○

調査圃場で発芽不良の観察された品種は Ni21、Ni23、NiH25、Ni27、Ni28、RK97-14 である。Ni21 や NiH25 では発芽・苗立ち不良が頻発するので黒腐病へ

の抵抗性が弱いと考えられていたが、低温や干ばつなど環境条件の悪化により、ほとんどの品種が黒腐病に罹病する可能性が示唆された。また、土壌の種類は国頭マージ、島尻マージ、ジャーガル、カニク（沖積土）など、県内に分布する全ての土壌で黒腐病が発生する可能性が示唆された。以上のことから黒腐病菌は琉球諸島のサトウキビ圃場の土壌中に広く分布し、多くのサトウキビ品種が感染して発芽・苗立ち不良が発生すると判断された。

また、発生圃場の観察結果から、発芽・苗立ち不良が発生する条件を以下のよう
に推定した。①台風などによる種苗圃の芽子の硬化・老化、②植え付け～発芽
期の大雨で植え溝の側面の土壌が分散し植え溝に土壌クラストが形成されたとき、
③春先の低温や夏場の干ばつにより種苗の発芽が遅延したとき、④全茎プランタ
やビレットプランタ用の種苗で¹⁾、芽子が老化もしくは側枝が芽吹いた茎から種
苗を採取し、種苗が短いため芽子（節）数が少なく、または損傷したとき、⑤フ
ィルターケーキ混合物²⁾を未成熟のままに堆肥として圃場に混入したとき。①
～④は種苗の発芽が阻害もしくは遅延する条件である。⑤は黒腐病菌が増殖する
培地の役割を果たしている可能性がある。

(2) チウラム・ベノミル水和剤の種苗コーティングによる黒腐病の予防

表Ⅳ－2 に TB 剤水溶液の種苗コーティングによる黒腐病の予防効果を示した。
試験 1 と 2 の無処理区では、発芽苗率はそれぞれ 8.3% と 0%、発芽芽子率は
5.7% と 0% であった。また無処理区の発病度は試験 1 と 2 で、それぞれ 93.1%、
98.6% で、農家圃場でもほとんど発生しない厳しい発病条件での試験であると判
断された。

しかし、上記の条件下でも、TB 剤処理区では試験 1 で発芽苗率と発芽芽子率
がそれぞれ 75.0～87.5% と 46.9～60.4% であり、試験 2 では発芽苗率と発芽芽子
率がそれぞれ 68.1～69.7% と 47.9～52.8% でかなり高かった。また、発病度も試
験 1 と試験 2 の TB 剤処理区でそれぞれ 26.4～42.4% と 32.4～41.7% でかなり低
く抑えたと判定された。加えて、試験 1 と 2 で TB 剤の防除価はそれぞれ 54.5～
71.6% と 57.7～67.1% であった。

表Ⅳ－２ チウラム・ベノミル水和剤のサトウキビ黒腐病への効果

試験 1

供試薬剤	希釈倍率	区制	調査種 苗数	程度別発病種苗数				発病率 (%)	発病度	防除価	薬害	発芽苗 率(%)	発芽芽子 率(%)
				0	1	2	3						
チウラム20%、 ベノミル20%	500倍	1区	24	8	14	2	0	66.7	25.0	71.7	-	92	63
		2区	24	9	10	5	0	62.5	27.8			79	58
		平均						64.6	26.4			85.4	60.4
チウラム20%、 ベノミル20%	1000倍	1区	24	4	19	1	0	83.3	29.2	65.7	-	96	56
		2区	24	4	15	5	0	83.3	34.7			79	48
		平均						83.3	32.0			87.5	52.1
チウラム20%、 ベノミル20%	2000倍	1区	24	5	13	1	5	79.2	41.7	54.5	-	75	48
		2区	24	4	14	1	5	83.3	43.1			75	46
		平均						81.3	42.4			75.0	46.9
無処理	-	1区	24	0	0	0	24	100.0	100.0		-	0	0
		2区	24	1	3	1	19	95.8	86.1			17	10
		平均						97.9	93.1			8.3	5.2

試験 2

供試薬剤	希釈倍率	区制	調査種 苗数	程度別発病種苗数				発病率 (%)	発病度	防除価	薬害	発芽苗 率(%)	発芽芽子 率(%)
				0	1	2	3						
チウラム20%、 ベノミル20%	500倍	1区	24	10	10	4	0	58.3	25.0	67.1	-	83	62
		2区	24	8	9	7	0	66.7	31.9			71	52
		3区	24	9	3	10	2	62.5	40.3			50	44
		平均						62.5	32.4			68.1	52.8
チウラム20%、 ベノミル20%	1000倍	1区	24	9	6	5	4	62.5	38.9	57.7	-	82	50
		2区	24	9	7	3	5	62.5	38.9			67	52
		3区	24	8	4	6	6	66.7	47.2			60	42
		平均						63.9	41.7			69.7	47.9
無処理	-	1区	24	0	0	0	24	100.0	100.0		-	0	0
		2区	24	0	0	1	23	100.0	98.6			0	0
			24	0	0	2	22	100.0	97.2			0	0
		平均						100.0	98.6			0.0	0.0

(3)黒腐病発生圃場におけるチウラム・ベノミル水和剤の種苗コーティングによる黒腐病の予防

図Ⅳ－1 に試験圃場におけるコーティング処理種苗と無処理種苗を示した。黒腐病の病徴は種苗の切り口で進行が早く、黒ずみ、節間で進行が遅れる傾向であった。無処理種苗では、蔗茎の下部節位から採取した種苗ほど黒腐病の進行が早く、病徴が切り口から節間へ進んでいるのが認められた。

表Ⅳ－3 から、植え付け 30 日後の無処理区における上部苗と下部苗の発芽率は、それぞれ 17.1%、4.3%であったが、TB 剤処理区ではそれぞれ 74.3%、37.1%となった。また、50 日後では無処理区における上部苗と下部苗の発芽率が 77.0%、29%であったのに対して、TB 剤処理区ではそれぞれ 112.9%、

104.3%になった。以上をまとめると、次のようになる。①TB 剤コーティングにより 2 芽苗の芽子の発芽・苗立ちが早まり、発芽・苗立ち率が上がった。②TB 剤コーティングによる発芽・苗立ちの促進や苗立ち率の向上は、発芽が遅く発芽率が低い下部苗においてより顕著であった。③その結果、TB 剤コーティングにより上部苗と下部苗の発芽・苗立ち率の差が小さくなった。



図Ⅳ－１ チウラム・ベノミル水和剤コーティングの効果

注：¹⁾左 2 点はコーティング処理区、右 4 点は無処理区のもの。

²⁾無処理区では下部苗（右端の 2 本）ほど病徴の進行が早い。

表Ⅳ－３ 発生圃場におけるチウラム・ベノミル水和剤の黒腐病予防効果

苗の節位	チウラム ・ベノミル	2芽苗の本数 (芽子数)	種苗あたりの発芽・苗立ち(%)	
			30日後	50日後
上部苗	処理	70 (140)	74.3	112.9
	無処理	70 (140)	17.1	77.0
下部苗	処理	70 (140)	37.1	104.3
	無処理	70 (140)	4.3	29.0

注：¹⁾11 月～12 月の低温期間における結果である。

²⁾農家圃場のため、種苗の掘り取りができず、発芽苗率と発芽芽子率を分けて調査できなかった。

第 4 節 考 察

(1) 南西諸島におけるサトウキビ黒腐病菌の分布

黒腐病菌は琉球諸島のサトウキビ圃場の土壤中に広く分布し、多くのサトウキ

ビ品種が感染して発芽・苗立ち不良が発生すると判断された（表Ⅳ－1）。圃場に黒腐病菌が広く潜在し、発芽不良の原因になるとしている報告は多い（Croft et al., 2000 ; Moutia and Saumtally, 1999 ; 大津・上原, 1998 など）。南西諸島全域に黒腐病菌が分布する可能性があるため、種苗コーティングによる黒腐病の予防は重要である。また安庭ら（1991）は黒腐病が種子島の黒ボク土（母材が火山灰に由来）のサトウキビの株出しにおける欠株の要因であると報告している。

種苗の芽子の硬化や老化、土壌クラストや低温、乾燥など種苗の発芽が阻害もしくは遅延する条件で、黒腐病菌が種苗の切り口や傷から侵入して発芽・苗立ち不良になるとされている。ハーベスタや株揃え機のベースカッタの刃の鋭利さが失われて、収穫株の切り口がささくると、そこから黒腐病菌が侵入して株出し不萌芽を招く可能性も指定されており（Schroeder et al., 2009）、ベースカッタは日々整備して鋭利に保つ必要がある（SRA Information Sheet B14003; 上野, 2005）。

(2) チウラム・ベノミル水和剤の種苗コーティングによる黒腐病の予防

無処理の種苗がほとんど発芽しないような条件下でも、TB 剤 1,000 倍液を種苗にコーティングすると、黒腐病の予防が実用的な水準で可能であると判定された（表Ⅳ－2）。

また、噴霧コーティングは TB 剤の 1,000 倍液の 5ml/種苗の量で十分である。10a 当たりの種苗数を 3,000 本とすると、必要な液量は 15ℓ/10a、TB 剤は 15g/10a となる。手植えや 2 節苗プランタの場合、一連の作業では簡易な噴霧器を用い、低コストで短時間に実施可能である。

(3) 黒腐病発生圃場におけるチウラム・ベノミル水和剤の種苗コーティングによる黒腐病の予防

黒腐病発生圃場における試験から（表Ⅳ－3）、TB 剤種苗コーティングにより 2 芽苗の芽子の発芽・苗立ちが早まり、発芽・苗立ち率が上がった。その効果は下部苗においてより顕著であるため、TB 剤コーティングにより上部苗と下部苗の発芽・苗立ちの差が小さくなった。これは下部苗では発芽が遅いため、黒腐

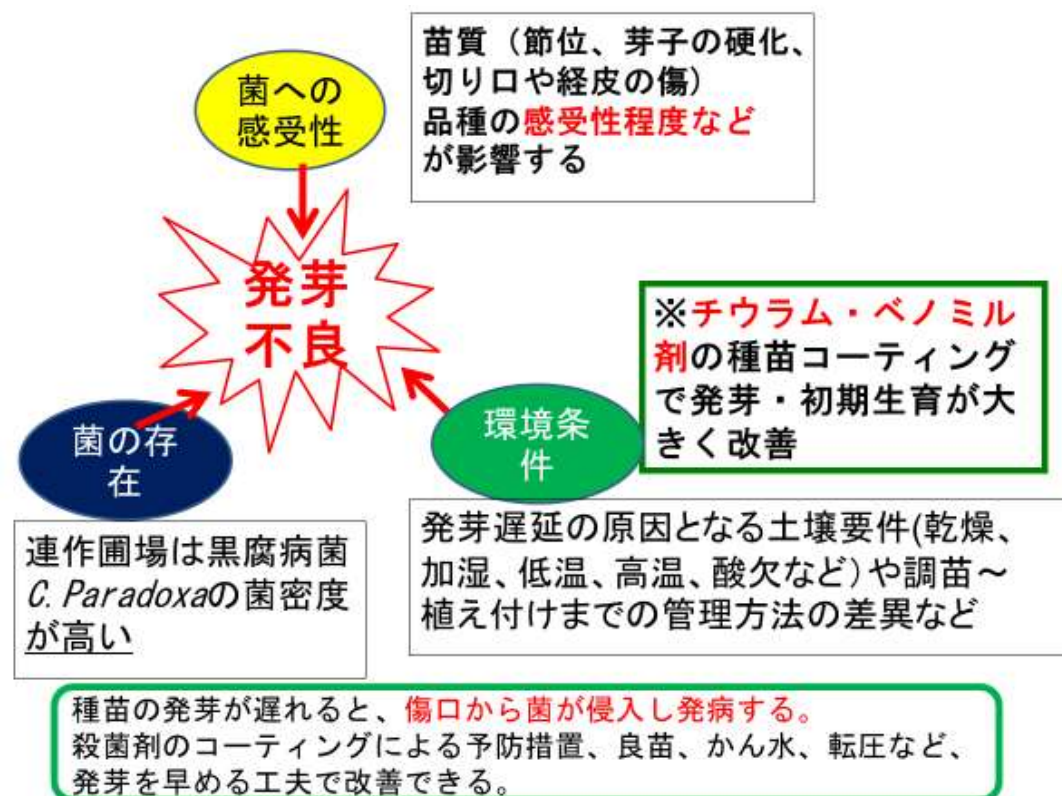
病によりさらに発芽が遅延し発芽率が低下し、TB 剤コーティングの効果が上部苗よりも顕著に表れるためだと推察された。

サトウキビの発芽の最適温度は 32℃付近であり、低温では発芽が遅れ、発芽率が低下する。また、十分な温度と酸素と水分が存在すると、1 週間から 10 日で発芽揃いになるが、下部苗は上部苗よりも発芽が遅く、発芽率もやや低い (Croft, 2000 ; 照屋・林, 1991)。加えて、種苗の発芽はクラストや滞水による酸欠、地温の低下などで遅延する。しかも、種苗の両端の切り口や茎皮の傷などから侵入した *C. paradoxa* の菌糸は、21~22℃付近で最も活発で、滞水や酸欠などサトウキビの発芽が遅延する環境でも種苗内で伸長する。そのため、黒腐病菌が発芽前の種苗を犯すことにより、発芽・苗立ち不良が発生する (Wismer and Bailey, 1989)。

Croft et al., (2000) によると、種苗の節部が菌糸の伸長を抑制する壁になるので、1 芽苗よりは 2 芽苗、2 芽苗よりは 3 芽苗と節が多い種苗ほど黒腐病による発芽不良への抵抗性が高い (SRA Information Sheet IS 13106)。よって、ビレットプランタの場合、種苗の長さが長くなるタイプのハーベスタを用い、全茎プランタや手植えの場合も芽子が多い種苗を用いると欠株が減少する。また、プランタ用の種苗圃では、節間が短くなるような栽培法を考えるべきである (SRA Information Sheet B14003)。このような種苗と TB 剤のコーティングを組み合わせることにより、発芽・苗立ちに対する相乗効果が期待できる。

種苗コーティングは地域に適した品種を選択し、その健全種苗にコーティング処理を組み合わせることで、その効果が増幅される。本研究は 2 芽苗のコーティングで行われたため、手植えや 2 芽苗プランタで植え付ける場合はすぐに利用できる。しかし、ビレットプランタや全茎プランタを用いる場合は、その機構に噴霧システムを組み込む必要があり、今後の検討課題である。

図 IV-2 に黒腐病の発生要因とチウラム・ベノミル水和剤による予防についてまとめた。TB 剤の種苗コーティングはサトウキビの発芽不良に著効があるものの、発芽・苗立ち不良は多くの要因が関与する複雑な過程である。発芽・苗立ちのリスクを回避するために、経営や地域においては種苗圃の設置場所や管理法などから種苗コーティングまでの体系化を検討していく必要がある。



図Ⅳ－２ 黒腐病の発生要因とチウラム・ベノミル水和剤による予防

第5節 小 括

サトウキビの発芽・苗立ち不良が発生した圃場の土壌の調査結果から、黒腐病菌が琉球諸島のサトウキビ圃場の土壌中に広く分布し、多くのサトウキビ品種が感染して発芽・苗立ち不良が発生する可能性があることが明らかになった。

また、低コストで簡易、環境にも優しい発芽・苗立ち対策である、チウラム・ベノミル水和剤 1,000 倍液のサトウキビ種苗への噴霧によるコーティングは、サトウキビ黒腐病の予防に対する実用性が高い事が明らかになった。さらに、黒腐病により発芽・苗立ち不良となった圃場において、その効果を実証した結果、2 芽苗の発芽・苗立ちが早まり、発芽・苗立ち率が上がり、よく揃うことも明らかになった。

残された課題として、地域適応性の高い品種と健全種苗、コーティングの体系化および、ビレットプランタや全茎プランタの機構への噴霧システムの組み込み

を検討する必要がある。

注

- 1) 国内のサトウキビプランタのうち、全茎プランタでは蔗苗圃から刈り取った茎をそのまま使い、プランタの機構内で所定の長さに切断しながら植え付ける。ビレットプランタでは、蔗苗圃からハーベスタで刈り取り・切断された茎を種苗として用いる（沖縄県，2007）。
- 2) フィルターケーキはサトウキビ原料の搾汁液から不純物を取り除く清浄工程で生成される沈殿物のことで、主成分は石灰とサトウキビに含まれる絞りクズなど有機物である。堆肥の代替としてサトウキビ畑に混入されたフィルターケーキとバガス（絞るかす）などの混合物の中で、黒腐病菌が増殖している可能性がある。

参考文献

- [1] Croft, B. J., (2000) Literature review of methods of improving the germination of sugarcane. BSES Publication Project Report PR00002. <https://elibrary.Sugarresearch.com.au/bitstream/handle/11079/922/BSS208%20Final%20report.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (2020 年 5 月 5 日参照)
- [2] Croft, B., Magarey, R., and Whittle, P. (2000) Disease Management. in Manual of cane growing. Bureau of Sugar Experiment Stations. BSBS. 276-277.
- [3] 比屋根篤・出花幸之介・伊志嶺弘勝・上地克己・下地浩之・手登根正 (2012) 「サトウキビ黒腐病菌 (*Ceratocystis paradoxa*) が Ni21 の発芽に及ぼす影響」『沖縄農業第 51 回講演要旨』: 41-42.
- [4] 出花幸之介・比屋根真一・與那嶺介功・比嘉正徳・金城栄毅・大城卓也 (2016) 「さとうきびの発芽改善に関する研究－サトウキビ黒腐病抵抗性の検定法の開発－」『サトウキビ試験研究成績発表会講演要旨』 43 : 17-18.
- [5] Moutia and Saumtally (1999) Detection from soil and distribution of *Ceratocystis paradoxa*. AMAS 1999. Food and Agricultural Research Council, Reduit, Mauritius, 75- 82

- [6] 大津善弘・上原勝江 (1998) 「サトウキビ黒腐病」『日本植物病害大事典』全国農村教育協会 : 172-173.
- [7] Schroeder, B., Panitz1, J., Linedale1, T., Whiteing, C., Callow, B., Samson, P., Hurney, A., Calcino, D. and Allsopp, P. (2009) SmartCane Harvesting and Ratoon Management.by BSES Limited. CANEGROWERS and the State of Queensland.
- [8] SRA Information Sheet IS13106. Billet quality—a key element for planting success. https://sugarresearch.com.au/sugar_files/2017/02/Billet_Quality_IS13106.pdf. (2022 年 6 月 3 日参照).
- [9] SRA Information Sheet B14003. Guide for sugarcane planting. https://sugarresearch.com.au/sugar_files/2019/02/Guide-for-sugarcane-planting-B14003.pdf. (2022 年 6 月 6 日参照).
- [10] 照屋寛由・林満 (1991) 「サトウキビ種茎の発芽力について側芽の物理的要因と内的要因に関する考察」『熱帯農業』35(1) : 10-15.
- [11] 上野正実 (2005) 「沖縄県におけるサトウキビ収穫機械化の課題と対策」『砂糖類情報』107 : 7-16.
- [12] Wismer, C.A. and Bailey, R.A. (1989). Pineapple disease. In: Diseases of sugarcane – Major diseases. Eds. Ricaud, C., Egan, B.T., Gillaspie, A.G. and Hughes, C.G. Elsevier, Amsterdam. 145-151.
- [13] 安庭誠・町田道正・上蘭傳・上妻道紀・神門達也・和泉勝一・美園中 (1991) 「種子島におけるサトウキビ株出園の生産力向上技術の確立に関する研究」『鹿児島県農業試験場研究報告』19 : 1-16.

第5章 大規模経営における作型選択と減耕起トラッシュマルチ体系の展開

第1節 本章の課題

サトウキビの機械化一貫作業体系では、株出し栽培における中耕などの標準的な管理作業を、そのまま高馬力の大型農機により行う一連の機械作業が推奨されている。しかし、ハーベスタによる土壌の踏圧や再生芽の損傷、無理な作業スケジュールなどにより単収低下が惹起されることも多く、耕地からの肥沃な作土の流出や赤土による海洋汚染が発生し、耕土と環境を保全する上の問題となっている。

農作業では作物の生育に合わせて性質の異なる作業を順番に行なうが、手作業に比べて機械作業では前後作業が互いに規定し合うことが多くなる。そのため、地域や経営に与えられた環境の中で、個々の作業の機械化と同時に、全生産過程を通じた新たな体系化が要求される（家坂，1991；伊藤，1979；川延，1966；上野，1993）。高齢化や担い手不足が進むサトウキビ生産現場、その分散錯圃の下で大規模経営が維持できる機械化一貫作業体系を構築する必要がある、実証研究の蓄積が求められているが、そのような論考はみられない¹⁾。

農業経営は個別技術の総合的組み合わせで成り立つが、個別技術を組み合わせ、経営環境に適応する最適な組み合わせに挙に到達することは不可能である。個々の地域や経営において、個別技術を組み合わせ、試行錯誤的に積み上げるしか方法がない（鈴木，2006）。しかし、経営における真似は2番煎じだが、技術はまねることによって進歩する。先端事例を知ること、「できることだ」ということを理解するだけで（大輪，1997）、地域や経営において最適な高収益かつ持続可能なサトウキビ機械化一貫作業システムの完成に一步も二歩も近づく。農業における知識や技能は地域あるいは経営に固有のものが多く、地域資源としても重要な意味をもっている。

そこで本章では、沖縄県久米島町のA経営を事例とし、分散錯圃において大規模サトウキビ作経営を維持しうる生産管理について、作型の転換および省力技術の導入とそれによる労働力配分などに着目して明らかにする。

第 2 節 研究対象および方法

A 経営は地域のサトウキビ農家の 15 倍の面積、90 筆の分散錯圃において、機械化一貫作業により家族 2 人だけでサトウキビを生産し、手刈り農家よりも単収が高い。その主要因として、A 経営は①他の多くの農家で失われた篤農技術を保持しつつ、②個別技術の合理化と同時に、全生産過程を通じた新たな体系化を可能としている可能性がある。

A 経営の技術体系とその効果を解明するために、2017 年 4 月～2020 年 3 月に A 経営、久米島町役場、久米島農業生産法人事務所、JA おきなわ久米島支店、久米島製糖（株）に対する聞き取り調査および A 経営の参与観察を行った。

第 3 節 久米島町における農業とサトウキビ生産の概要

(1) 沖縄県のサトウキビ作における久米島の位置

久米島は高島であり、主要な土壌として国頭マージ、島尻マージ、沖積土壌（カニク）が分布する。降水量とその季節的分布は沖縄本島や先島地域等、大東地域以外の地域とほぼ類似している。単収の水準は主要地域の中では平均に近く、収穫面積などの作型の比率も先島地域と他の地域の間である。

沖縄本島周辺離島の例に漏れず、久米島は県内でも農地の流動化が進んでいたため、2000 年に借地型大規模法人が設立された。しかし、その法人の多くが自作地の単収が低く、また収穫作業を委託する農家の単収も低いことは（坂井，2008；鹿内ら，2007）、県内の他の地域と似ている。

(2) 久米島町の概要とサトウキビ経営層の変化

那覇市の西方約 100km に位置する久米島町は、久米島本島、奥武島などで構成され、総面積は 6,358ha である。久米島の年平均気温は 23.1℃、年降水量は 2,077mm であるが、梅雨明けから雨量が急減し、8 月になるとやや回復するものの、夏場の雨は台風でもたらされることが多い。全就業人口 3,918 人のうち 21.6%が農業に携わっており、サトウキビ作を中心に肉用牛、キク、サヤインゲンなどが生産されている。サトウキビは 2017 年度には耕地面積約 1,500ha の 76%、全農産物販売金額の 45%を占めている（久米島町，2017）。

表V-1 に久米島町におけるサトウキビ収穫面積別の農家数を示した。久米島町のサトウキビ生産農家は、品目別経営安定対策が導入された 2007 年の 993 戸から 2021 年の 760 戸へ 23%減少した。また、栽培面積は 2007 年の 1,031ha から 2021 年の 930ha へ 10%減少した。サトウキビ収穫面積別でみると、2ha 以下の小規模層が減少する一方、2ha 以上の層がやや増加する傾向である。

表V-1 久米島町におけるサトウキビ収穫面積規模別農家数

年度	農 家 数 (戸)										合計面積(ha)
	計	0.5未満	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-3.0	3.0-4.0	4.0-5.0	5.0-10	10以上	
2007	993	330	305	189	90	55	10	3	4	7	1,031
2021	717	225	197	117	75	60	18	7	10	8	930
増減	△ 276	△ 105	△ 108	△ 72	△ 15	5	8	4	6	1	△ 101

資料：沖縄県『さとうきび及び甘しゅ糖生産実績』（2007、2021年度）により作成。

引用：出花ら (2019)を改変。

表V-2 に久米島町における年齢層別の生産者数と収穫面積を示した。農畜産業振興機構により公表された 2017～2021 年のデータによると、この間に久米島町ではサトウキビ生産者が 26 人減った。その内訳は 59 歳以下の生産者が 33 人減少し、60 歳以上の変化は小さく、また 8 法人が増加した。収穫面積は 45ha 増加したが、59 歳以下では 30ha 減少し、60 歳以上が 56ha 増加した。

久米島町では 2000 年に県の補助により現在では実質的に家族経営となった A 経営など借地型大規模法人経営が 6 法人設立された。久米島製糖（株）によると、これら法人は小型ハーベスタ、トラクタ、株出し管理機などを保有し、1 法人当たり経営耕地面積が 16.9ha、収穫作業の受託面積が 9.6ha であった。しかし、これら法人では経営耕地の単収低下などにより収益性が悪化し、経営安定化のために機械化一貫作業による合理的な生産管理体系の確立が必要となっている²⁾。

近年法人の数が 17 法人に増加し、2021 年における久米島町のサトウキビ収穫面積の 17.4%は法人経営によるものであるが、法人の自営農場は全体で

19ha 増加しただけである。このことから、作業受託法人が増加したと推察されるが、地域において高齢化や労働力不足がますます進むことにより、これら作業受託法人の多くもいずれ経営受託を行うことになる予想される。A 経営の事例を理論化して汎用性を持たせることは、サトウキビ受委託体系の運営や経営受託大規模法人にとって重要である。

表 V-2 久米島町における年齢層別の生産者数と収穫面積

(単位：人，ha，%)

収穫年度 合 計			年 齢										法人
			20代	30代	40代	50代	60代	70代	80代	90代	59歳以下	60歳以上	
生産者数 (人)	2017	746	3	29	47	153	277	160	58	10	232 (31.1)	505 (67.7)	9 (1.2)
	2021	720	11	33	40	115	264	169	61	10	199 (27.6)	504 (70.0)	17 (2.4)
収穫面積 (ha)	2017	885	1	18	44	165	308	148	46	11	228 (25.8)	514 (58.0)	143 (16.2)
	2021	930	6	22	39	130	340	168	54	8	198 (21.3)	570 (61.3)	162 (17.4)

資料：農畜産業振興機構 (<https://www.alic.go.jp/operation/sugar/operation-producer.html>) により作成。

注：¹⁾甘味資源作物交付金の交付実績のあった者。

²⁾括弧内の数字は合計生産者数と合計面積に対する%。

第 4 節 A 経営における夏植え株出しトラッシュマルチ体系

(1) A 経営における農業経営の概況

A 経営における経営概況を表 V-3 に示した。A 経営は 2000 年に農家 4 戸によって設立された農業生産法人（農地所有適格法人）である。2020 年現在、ほとんどすべての作業を経営主の B 氏（60 歳）とその妻（50 歳）で行い、農機のオペレータは B 氏のみで、妻は補助作業が中心である。

B 氏は機械に詳しく整備も丁寧に行っており、中型トラクタや耕耘機は 25 年以上、法人の設立時に装備したハーベスタや大型トラクタなども 20 年間も継続使用して、固定費を節減している。ハーベスタは法定耐用年数が 8 年とされているが、一般に故障しやすく、島内での修繕も困難なため、シーズンオフに念入りに整備点検を行っている。農繁期の限られた作業期間のトラブルに対応するための保険的対応として、トラクタやトラックなどは重複所有している。ハーベスタは数年後に高性能の新機種に補助事業により取り替え、大型トラクタはその後に自力で更新する予定である。

A 経営におけるサトウキビ作の経営面積は 18.7ha であるが、自作地は

4.0ha で借地が 14.7ha と大半を占めている。この他に近隣農家のサトウキビの収穫作業を約 4～8ha（2013～2016 年度）受託している。

久米島には「預け預かり」慣行³⁾が機能しており、農外への他出や高齢化に伴い遊休化する農地を借地することは比較的容易であった。借地の相手はかつて共同経営者であった農家、そして不在地主や年金生活者で、法人設立前後の短期間で農地が集積でき、その後も圃場のほとんどを継続使用している。小作料として基盤整備された圃場ではその負担金を代替支払し、その他の圃場の小作料は 6,000 円/10a ほどである。

A 経営はサトウキビ以外に繁殖母牛を 9 頭飼育し、年間 8 頭程度の子牛を出荷している。自給用にトランスバーラを 2ha 栽培（収穫と調製はコントラクタに委託）し、不足分は購入飼料で補填している。牛糞堆肥は自作地のサトウキビ圃場の一部に供給し、全体としては配合肥料を中心とした施肥である。

表 V－3 A 経営におけるサトウキビ作の経営概況

労働力	経営主 B 氏と妻の 2 人（2013～2016 年の雇用は数日程度）
経営面積	自作地 4.0ha（19 筆），借地 14.7ha（70 筆），経営面積 18.7ha（89 筆）
主な 所有機械	小型ケーンハーベスタ 120ps，トラクタ 90ps，トラクタ 60ps， トラクタ 20ps，全茎プランタ，プラソイラ，ロータリ，株出し管理機， カセットロータ，ストローチョップパ，耕耘機，動力噴霧機， トラック 1t，トラック 1.5t，軽トラック，灌水用ポンプ 2 台
管理面積	収穫：夏植え 440a，春植え 29a，株出し 832a，夏植え新植 430a， 種苗圃など 140a，収穫作業の受託 450a


資料：A 経営への聞き取りおよび JA おきなわ久米島支店、久米島製糖（株）の資料により作成。

注：¹⁾経営面積は 2013～2016 年度平均。

²⁾サトウキビ作以外に繁殖母牛を 9 頭飼育し、飼料作物を 2ha 栽培している。

引用：出花ら（2019）。

(2) A 経営における分散錯圃の概況

図 V－1 に A 経営の経営耕地の分布とその概要を示した。A 経営の圃場の大半が基盤整備地区にあり、それら原（はる）⁴⁾に分布する 89 筆の圃場は長辺が 60～100m で、一筆面積が 21±14a、最大 60a、最小 4a である。本拠地（)

マーク) を中心にして、遠い方から G 団地が 4.9km、F 団地が 4.4km、E 団地
が 2.4km の範囲にあり、遠距離の圃場は一筆面積が大きい。B や D 団地など
水田跡地の圃場は傾斜がほとんどなく、整然と並んでいる。

基盤整備された全ての圃場では、ハーベスタの旋回や収穫物の集積などの機
械作業の運用効率を上げるため、圃場の短辺に側道が設置されている。B 氏は
作業効率を向上させるため、側道が未整備の圃場では枕地を設置し、借地であ
っても可能な場合は隣接圃場を連担して、圃場の集積・集約化に努め、圃場の
石礫などを除去するなど、サトウキビの機械化栽培基準(沖縄県, 2007; 上
野, 1993)の基本的な部分を踏襲している。

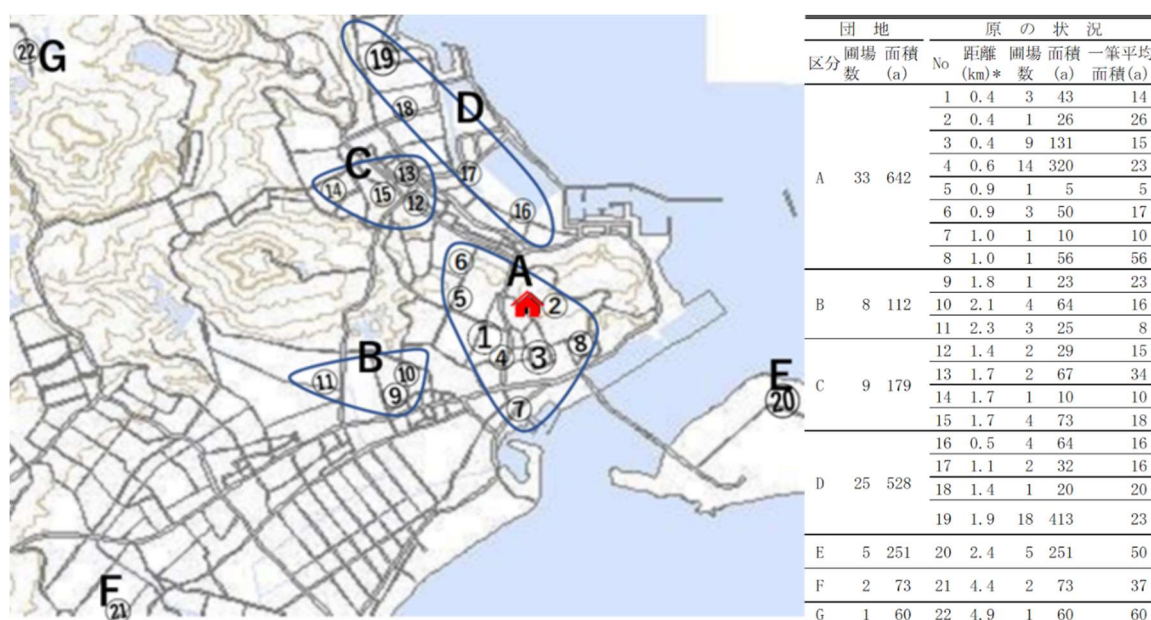


図 V-1 A 経営経営における圃場の分布とその概要

注 : 圃場位置と圃場間距離の確認は GPS 装置(Holux ez tour for logger と
wireless GPS logger M241)とゼンリン地図情報システム
<https://www.itsmo.com/map/> (2018 年 10 月 1 日参照) により計測した。
*経営体の本拠地(赤い家)から原の中心までの距離。

久米島の土壌の多くは花崗岩を母岩とする国頭マージであるが、A 経営の圃
場の多くは種々の沖積土壌(カニク)が錯綜して分布する地域にあり(松坂ら,
1971)、低湿地の一部は酸性硫酸塩土壌が分布していた(川崎ら, 1978)。しか
し、1970 年代後半から改良山成工法による基盤(区画)整備が行われ、B 団地
や D 団地など水田跡の低湿地では近くの傾斜地から国頭マージなどが客土され

た。また、表土の流亡による圃場の凹地を補填するため、農家が独自で異なる土質の土壌で客土を行うことも多いようである。

図 V-2 に A 経営の圃場ごとの土壌酸度の度数分布を示した。作物生育にとっての好適土壌 pH は、おおむね 5.5～6.5 の範囲である。しかし、A 経営の圃場における土壌 pH の度数分布図は双峰型を示し、pH5.5～6.5 は 5 筆程度で、5.5 以下が 14 筆、6.5 以上が 23 筆と多かった。沖積土（カニク）は強酸性～アルカリ性だといわれているが、基盤整備や農家の客土による人為的な攪乱もあり、隣接の圃場間のみならず同一圃場内でも、土壌酸度が大きく異なる圃場が散見された。サトウキビは土壌酸度に対して比較的鈍感な作物であるが、緑肥作物や野菜などとの輪作を行う場合は大きな問題となる可能性がある。

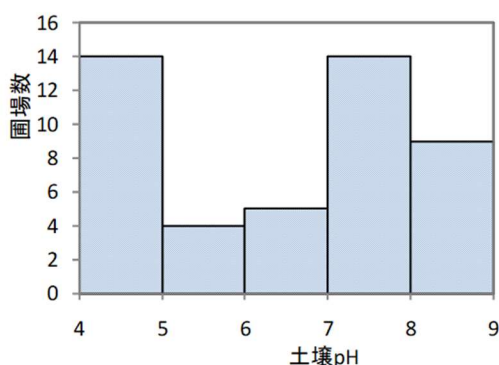


図 V-2 A 経営の圃場ごとの土壌 pH の度数分布

注：46 筆の圃場から土壌を採取し、pH(H₂O)を測定した。

また、高 pH のマージ土壌は降雨などで土壌水分が高まると粘着性が高くなり、逆に乾燥すると固結しやすいが（久保寺，2003）、これら特性は土壌の易耕性に直結し農業機械の稼働性に影響する。さらに、排水性や保水性なども圃場ごと、圃場内でも異なるため、圃場ごとあるいは圃場内で、易耕性に大きな差が生じる。そのため、長年にわたる管理作業によって個々の圃場に関する知識を集積することは、大型農機による圃場管理を円滑に行うための必須条件である。B 氏は全ての圃場について豊富な知識を保持し、そこで生長する作物や雑草などの推移についてよく把握しているため、場所・時期・場面に応じて適切な措置を選択することができる。

(3) A 経営の機械化一貫作業による大規模経営

サトウキビ機械化一貫作業に用いられるプラソイラ、全茎プランタ、ハーベスタ、複数工程同時株出し管理機などは 1990 年代までに開発され、植え付け準備～植え付け～収穫～株出し管理の一連の作業の機械化が可能となった。このうち収穫作業に関しては、小型ハーベスタを使うと、原料茎の刈り取り、切り揃え、脱葉、梢頭部の除去、トラッシュの排出、原料茎の側道までの搬出など複数工程が同時作業でき、大幅に効率化された（赤地，2016；新里，2016；上野，2005，1996）。また、株出し栽培における再生芽の発生の促進、雑草の防除、施肥、土壌の膨軟化を目的として、株揃え、根切り排土、施肥、除草剤散布などの多工程を同時に行う株出し管理機が開発された（沖縄県農林水産部，2007；新里，2016）。

A 経営では法人設立に当たりこれら最新鋭の農機を高率補助で揃え、個々の管理作業が大幅に効率化された。機械では繊細な農作業は期待できないが、深耕や心土破碎など手作業では不可能であった整地作業が一定強度で均一に長時間持続的にできるようになり、作業効率が飛躍的に向上した。しかし、法人化によって経営面積と筆数が 10 倍近くになり、管理圃場も大幅に分散するようになった。加えて、ハーベスタなどの農機の運用は降雨によって影響を受けるが、気象が日々変化するだけでなく、年々変動する中で、開発された個別技術を合理的に結合し、経営の中で総合化すること自体が至難の業になった。そのため、個々の管理作業の意味や効果を経営の中で良く吟味し、取捨選択して再構成する必要に迫られた。営農は多くの要因が相互に関連し合う複雑な体系から成っているため、それらすべての要因を考慮して効率的・科学的な生産管理体系を構築することは多年数を要する困難な過程である。そのため、B 氏は自らの篤農技術を基に、経営の中で経験則を利用して試行錯誤を繰り返しながら、効率的な管理体系を探ってきた。

サトウキビは深根性で、草丈が 4 m にも達するが、新植や株出し栽培において発芽後の 2～3 ヶ月間の雑草害で 40% も減収することがある（大城，1987）。機械化のための必須条件として、A 経営では植え付け前にプラソイラで深耕し、丹念に荒砕土と仕上げ砕土を行い、排水と保水性に優れた圃場に仕上げ、プラ

ンタで深溝に植え、細やかな雑草防除を行い⁵⁾ 分けつの揃いを待ってかまばこ形に高培土してサトウキビの倒伏を防いでいる。夏植えや春植えなど新植では、適期の適切な培土作業により、季節風や台風で乱雑に倒伏して収穫作業が困難になることを軽減しているのである。

図 V-3 A 経営のサトウキビ春植え株出し機械化一貫作業体系

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
	上中下	上中下	上中下	上中下	上中下	上中下	上中下	上中下	上中下	上中下	上中下	上中下
前作収穫	←	←	←	←								
残株の畦崩し (ロータリ)		←	←	←								
心土破碎 (プラソイラ)		←	←	←								
粗い砕土 (ロータリ)		←	←	←								
細かい砕土 (ロータリ)		←	←	←								
調苗・植え付け (プランタ)・除草剤 (土壌処理)		←	←	←								
補植 (手作業)					←	←						
中間培土 (耕耘機)					←	←						
高培土 (耕耘機)・施肥・除草剤						←	←					
収穫 (ハーベスタ)	←	←	←	←								
株揃え・株出し管理				←	←							
畝間の心土破碎 (プラソイラ)				←	←							
中耕・施肥・除草剤散布・補植				←	←							
高培土・施肥・除草剤散布						←	←					
収穫	←	←	←	←								

資料：聞き取りにより作成。

引用：出花ら (2019)。

A 経営が法人設立当初に導入していた機械化一貫作業による春植え株出し体系を図 V-3 に示した。当初は春植えと夏植えの植え付け面積を毎年同程度としていた。しかし、春株体系では雨の多い 1～4 月に収穫、株出し管理と中耕、同時平行して春植え栽培のための植え付け準備、植え付け、中耕除草作業などが集中するため、労働力が限られている中、10 倍にも及ぶ規模拡大によって適期で適正な作業が困難となった。中でも株出し管理作業では収穫直後の株揃えが推奨されているが、不安定な天候が続く中で収穫に追われてしまい、株揃えは全圃場の収穫が終わった後になる。収穫後に日数を経たからの株揃え作業では、せっかく発芽した再生芽を切り戻してしまうことになり、逆に単収を下げる結果になる (竹牟禮, 2005)。

このように、A 経営では経営規模の拡大と大型農機の導入に伴って降雨により適期で適正な作業が困難となり、サトウキビの生育に悪影響が強く表れ、単収が低下するとともに、その年次変動も大きくなったのである。

(4) 夏植え株出しトラッシュマルチ栽培体系による農作業の調整と省作業化

A経営の機械化一貫作業による夏植え株出しトラッシュマルチ体系を図V-4に示した。A経営では生産管理の試行錯誤により夏植え株出しトラッシュマルチ体系にたどり着いたおかげで、夫婦2人だけですべての作業を無理なく行い、法人化前の10倍の面積を円滑に運営できるようになった。

まず作型を転換して年間の労働力と機械の稼働を平準化し、また株揃えや根切り、中耕・培土を省略してトラッシュをそのままマルチとして利用することにより、単収を下げずに土壌保全も期待できるようになった。以下にその詳細を説明する。

図V-4 A経営のサトウキビ夏植え株出しトラッシュマルチ体系

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
	上中下	上中下	上中下	上中下	上中下	上中下	上中下	上中下	上中下	上中下	上中下	上中下
前作収穫	←											
トラッシュマルチ		←	←	←	←	←	←	←				
残株の畦崩し(ロータリ)						←	←					
心土破碎(ブラソイラ)						←	←	←				
粗い砕土(ロータリ)							←	←	←			
細かい砕土(ロータリ)								←	←	←		
調苗・植え付け(プランタ)・灌水(ポンプ)・除草剤(土壌処理)								←	←	←	←	
補植(手作業)									←	←	←	
中間培土(耕耘機)									←	←	←	←
高培土(耕耘機)・施肥・除草剤			←	←							←	←
収穫(ハーベスタ)	←	←	←									
株出し												
トラッシュマルチ	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
施肥・除草剤散布・補植			←	←	←	←	←					
収穫	←	←	←									

資料：聞き取りにより作成。

引用：出花ら(2019)。

1) 春植えから夏植えへの転換について

春植えは夏植えよりも年当たりの単収が高いため、小規模経営で1～4月の労力に余裕がある場合、あるいは複数のオペレータが得られる条件では春植えが選択される。しかし、A経営は規模拡大で生じた春植え株出しにおける1～4月の作業管理の繁忙を解消し、年間の作業時間の平準化を図るため、ほぼすべての植え付けを8～10月の夏植えに変更した。

熱暑による肉体的な作業能率の低下や、植え付け直後の台風の大雨による発芽不良や土壌流亡などを除けば、夏植えでは3ヶ月間にわたって植え付け作業と補植、培土などの初期管理作業だけに専念でき、しかも大型農機による作業

に適した土壌条件が得られやすい。さらに、高温によりサトウキビの発芽や生長が促進され、雑草の発生もごく少ない。種苗圃における増殖効率はA経営の場合、春植え用種苗で約8倍、夏植え用では14倍程度で、夏植え用の増殖効率の方が高い。

種苗圃のサトウキビが台風で倒伏すると種苗の発芽力が低下し、茎が曲がるのでプランタでの植え付けが困難となる。そのため、台風の影響が少ない場所に位置した小規模な圃場を種苗圃とし、前年の9～10月に植え付け時期を分散して植え、種苗生産の効率化を図っている。また、植え付け予定の圃場から多年生雑草を排除するため、夏植前の休閑期間が有効に利用できる。大型農機による耕起や碎土、畝立て、平均培土などは、ハーベスタよりも雨天の稼働率が下がる（上野，2002）ため、春植え前の深耕は困難である。しかし、夏植えでは植え付け準備のための畦崩しや心土破碎、2回にわたる碎土が可能となる。夏植えでは作業期間が3ヶ月もあり、他の作業との競合もなく、年間を通してゆとりを持って計画的な作業が可能となる⁶⁾。

2) 株揃えの省略について

夏株体系への移行後も1～3月の繁忙の解消がまだまだ不十分なため、雨天が多い年は収穫作業が4月まで伸びることもあるが、株揃え作業は全圃場の収穫を終えた後になる。しかし、製糖期の終了後に株揃えを行うと再生芽を傷つけ単収が低下し、株揃え時の遅れた施肥も単収低下の原因となるため（竹牟禮ら，2005）、A経営は株揃えを実施していない⁷⁾。

株出しの単収を上げ、株出し回数を増やすことは、サトウキビ生産の要諦である。株出しではまず萌芽数を確保し、原料茎数の安定を図ることが重要である。手刈り収穫では株出し単収の向上を図るために、原料茎を選別して地際で収穫し、再生芽はそのまま残して、株出し単収の向上を図ることが慣行的に行われている。しかし、機械収穫では原料茎が高刈りされると再生芽の発芽位置が上がり、そのため株出しで株上がりが生じ、単収が低下するといわれており、それを防ぐために機械収穫では株揃えが必要であるとされている（沖縄県，2007；新里，2016）。しかし、B氏はまず新植前に圃場を均平化し、植え付け

から高培土までの作業を適期に行い、収穫までの全作業の精度を上げることに
より、サトウキビを地際から揃えて収穫できるため、株揃えが必要ないと認識
している。ハーベスタで精度高く収穫できれば、作業適期を逸脱した株揃えよ
りも、株出し単収に良い効果をもたらすのである。

株出し管理や中耕では土壌湿度が高いと作業可能期間が制限される。しかし、
これら作業の省略により、A経営では早めの雑草防除や施肥が可能となった。
株出し萌芽の初期の2ヶ月間に雑草を放置すると、原料茎数が減少し、単収が
2〜4割も低下するといわれている。また、イネ科雑草を早めに除草すること
で、イネヨトウやバッタ類の発生を抑制することもできる。加えて、A経営が
慣行農法から引き継ぐ土壌表面への施肥では、土壌が湿っており施肥直後に降
雨があると窒素分の気散が防げる。

3) 株出しにおける根切り中耕・培土の省略について

畝間の中耕と株元への培土の主要な目的は雑草防除であり、中耕・培土は適
期に行うことにより雑草を抑制し、根群の発達を促し、作物の生育促進や倒伏
防止にも効果が期待できる。サトウキビ株出し栽培では、中耕により踏圧で硬
化した土壌の物理性を改善し、収穫残渣の土壌混入により土壌中の有機物も増
加するといわれている。しかし、条件によりハーベスタの踏圧による土壌の硬
化が表土付近に限られることも多く（恩田，2001）、根群の発達に対する影響
がない可能性も指摘されている（赤地ら，2020）。中耕・培土の効果は作業時
期や作業精度、圃場の条件などによって変わり、場合によっては逆効果となり、
作物の生育を停滞・阻害させる（戸沢，1986）。サトウキビ大規模経営や作業
受委託体系では、春植え株出し体系のみならず夏植え株出し体系でさえも、収
穫直後の短期間に心土破砕、中耕、培土について適期かつ適正な作業を行うの
は困難である。雨天で収穫が遅れ、中耕では収穫作業よりも土壌が乾いている
必要があるため、中耕作業も大幅に遅れ、梅雨期になる。そのため、A経営で
は試行錯誤を繰り返した結果、思い切ってハーベスタ収穫後の根切り、中耕・
培土作業を省略した。

収穫日の決定は株出しの単収に重大な影響を及ぼすとB氏は考えているため、

土壌湿度や再生芽の発生を観察しながら、圃場ごとに適切な収穫日を選択している。ハーベスタ収穫が外注される場合、受託者は圃場や作物の状況をよく知ることができず、また作業の順番などでも効率性と公平性の相克があり、株出しへの影響を考慮した作業日時の選択は困難である。しかし、A経営では植え付け前の心土破碎と2回の碎土で排水の良い均平な圃場を作り上げ、植え付けから高培土まで適期の適正な管理でハーベスタ収穫に適するようにサトウキビを整え、圃場ごとの作物の状態や作業条件を知悉した上で、次作の株出しへの影響を十分に考えて収穫適期を自由に選択できる。土壌が乾いている時には根群域の土壌のハーベスタによる硬化を防ぐことが可能で、株出しにおける心土破碎や中耕、培土を省略しても悪影響が少ないとB氏は考えている。

4) トラッシュマルチについて

手刈り収穫では、再生芽の根を傷つける根切りや培土よりも、枯れ葉などサトウキビの収穫残渣で畝間をマルチングし、省作業とともに、雑草抑制や土壌物理性の向上により単収を上げ（久貝・荷川取，1967；仲宗根，1976）、土壌保全などを図る低コスト技術が報告されている（乃田ら，2009）。慣行の手刈り収穫圃場では、収穫残渣マルチと雑草防除、施肥だけで、場合によっては5回以上の多回株出しで多収を実現している事例も多い。

写真V-1にA経営のトラッシュマルチの効果を示した。正常な生育を示す圃場におけるハーベスタ収穫では、10a当たり約2～3トンのトラッシュが発生し、畝間に10cmほどの厚さで堆積される。前述のとおりハーベスタ収穫のあと、心土破碎と中耕が奨励されている。しかし、心土破碎や中耕により土壌表面に凹凸が発生し、それにより受委託体系の中で、委託農家が除草剤や殺虫剤の散布を人力で行う場合は疲労しやすく、機械作業では車体の揺れで作業精度や効率が低下する。そのため、A経営では株揃えだけでなく、畝間の心土破碎や中耕、培土なども省略し、トラッシュをそのままマルチとして活用して、省力化と同時に雑草抑制と適期作業による単収向上ならびに土壌保全効果を導出している。

サトウキビの収穫残渣は、収穫茎とほぼ同量にもなるため、その有効利用に

より、サトウキビ畑では堆肥を投入することなく、土壌有機物の確保が可能である（野瀬，1996）。しかし、残渣や堆肥などを土壌に混入すると、亜熱帯の土壌中では速やかに分解され、土壌有機物の長期的な集積はみられない（Calcino et al., 2008 ; Garside, 2000 ; 比嘉ら，2011 ; 松中，2005 ; Schroeder et al., 2009）。



写真V-1 **トラッシュマルチの効果**

注　：¹⁾ 近隣の農家圃場。株揃えと中耕で表土が露出し雨で流出し、雑草が発生し、畝間の凹凸により、施肥、除草など後作業が困難になる。
²⁾ トラッシュマルチで土壌流出と雑草を抑制し、畝間作業が容易になる。
³⁾ トラッシュマルチの効果は収穫期まで持続する。
⁴⁾ トラッシュマルチが土壌の付着防止材になり、作業可能期間が延びる。

ところが、マルチングにより混入されることなく土壌面に集積された有機物は、年間を通して緩慢に分解され、前作の根の腐敗や土壌生物の活動によるバイオポアなど⁸⁾を通して雨水とともに土壌表面から地中深く浸透していくといわれている（Calcino et al., 2008 ; Garside, 2000 ; Schroeder et al., 2009）。A経営の株出しトラッシュマルチ下の土壌表面は黒ずみ、ミミズなどの土壌生物が多く団粒化も進み、自然草地に近い好適な土壌環境が長い間保たれていることが確認されている。

土壌や作物へのマルチは一般に次のような効果があるとされている。(1) 雑草の抑制、(2) 土壌水分の保持と作物の水利用効率の向上、(3) 土壌表面の保護と土壌侵食と肥料分の流亡の防止、(4) 団粒構造の維持と保水性の向上、(5) 遮熱効果による低温期の地温低下と高温期の地温上昇の防止、(6)

有機物マルチでは腐食分解によって土壤生物相が豊化する。それらに加えて、A経営では株出し管理機による株揃えと根切り、プラソイラによる畝間の心土破碎、トラクタによる中耕作業が省略化されるとともに、トラッシュマルチで雑草が抑制されるため⁹⁾、畝間への除草剤の散布量も低減する。

さらに、B氏によると、ハーベスタのクローラによって土壤表面が均平化された上に厚さ約 10cm のトラッシュが被覆するため、降雨直後でも靴や農機に土壤が付着せず、適期の施肥が可能となった。多くの手刈り慣行農法と同じく、A経営は株出し栽培において配合肥料を株元に表面施用している。この方法では窒素の気散によるロスを防ぐため、雨の前後の土壤が濡れている時の施肥が望ましい。もちろん補植、除草剤や殺虫剤の散布などの作業可能期間も大幅に拡大した。さらに、これらのトラッシュは次の収穫期まで残存することも多く、雨で土壤表面のトラッシュが多少濡れているような場合でも、トラッシュで土壤の付着が防止されるため、従来と比べてハーベスタが稼働しやすくなった。

サトウキビ圃場における営農的赤土流出対策として、新植の畝間を枯れ葉によってマルチすると赤土流出抑制効果が 90%に達するが（大見謝，1997；坂西，2002）、他所からマルチ資材を運ぶとしたら経費や労力が嵩むので問題である（坂井ら，2015）。赤土流出を防止するには、営農的に実施可能で費用対効果が高い管理技術であることが望ましい。ハーベスタ収穫後のトラッシュを中耕などによって土壤に混入せず、そのままマルチとして利用する、省力化と残渣利用の多面的な作用による効果は非常に高いといえよう。

沖縄県内の慣行的な株出し手刈り体系では収穫残渣によるマルチがむしろ主流であるが、それにもかかわらず、その研究報告は極少なく、また機械収穫におけるトラッシュマルチの研究例も国内ではみられない。しかし、機械収穫におけるトラッシュマルチの効果に関しては、オーストラリアなどで大規模に研究され、奨励されている（Garside, 2000；Garside et al., 2005；Schroeder et al., 2009）。トラッシュマルチの前提である減耕起の問題点として（1）高度な雑草防除技術の必要性、（2）除草剤使用量が多い場合の経費と環境汚染、（3）病虫害発生の増大のおそれ、（4）作土の硬化、（5）排水不良地における排水対策の必要性などが挙げられる（小川，1987；大城ら，2001）。A経営では雑

草や病害虫の防除が適期に行われ、新植前の深耕や碎土、土壌乾燥時の機械作業による排水や作土の硬化への対策など、A経営の管理技術の水準はかなり高度である。大規模化による収益向上のインテンシブもあり、A経営では新植や株出しにおいて高水準の管理が行われているが、トラッシュマルチはむしろ綿密な適期管理が必要な部分がある。他への奨励の際はトラッシュマルチが粗放管理にならないよう充分に注意する必要がある¹⁰⁾。

トラッシュマルチと病害虫の発生や防除との関係について考察する。トラッシュはさび病などの温床になるとの報告があるものの、耐病性品種で対応可能であり、手刈り収穫では枯れ葉マルチが慣行的であるが問題はない。イネヨトウやバッタ、イナゴなどの被害を抑制するため、発生源であるイネ科雑草の早期防除が重要であり、この面ではトラッシュマルチの抑草効果が期待できる。また、カンシャコバネナガカメムシやワタアブラムシの防除適期は3～4月であるが、トラッシュマルチ体系では適期防除が可能となる。しかし、ケブカアカチャコガネの被害が多い宮古地域の一部などでは、土壌中のケブカアカチャコガネの幼虫を殺すために1～3月の碎土が奨励されている。新植や株出しにおいて著効のある殺虫剤が開発されたが、トラッシュマルチ体系とケブカアカチャコガネの生態、防除との関係を検討する必要がある（貴島・太郎良，2010）。

5) 夏植え株出しトラッシュマルチ体系による年間作業の分散と労働生産性

図V-5にA経営の主たる作業者であるB氏について夏植え株出しトラッシュマルチ体系における旬別作業時間を示した。高コストの機械化一貫作業体系に見合う大規模な借地型経営が志向されたわけであるが、春植え株出しを行っていたときは、年によっては1～5月の旬別作業時間が100時間を大幅に超過し、休むこともできず、疲労が蓄積して経営の継続に支障を来しかねない状況であった。また、雨で計画的な適期作業ができず、結果的に単収の減少を招いた。

しかし、夏植え株出し体系への変更により、年間の管理作業が分散され、労働時間が平準化でき、農機の操業効率も上がった。また、株出しでは株揃えや

心土破碎、中耕をやめ、余剰残渣物のトラッシュをそのまま畝間に放置して雑草を抑制する、減耕起・省力管理も導入され、作型の変更とトラッシュマルチ体系の導入によって季節作業を平準化した結果、大幅な省作業化が実現され、多忙で考える暇もなかった農繁期が解消されて農業経営にゆとりが生まれた。

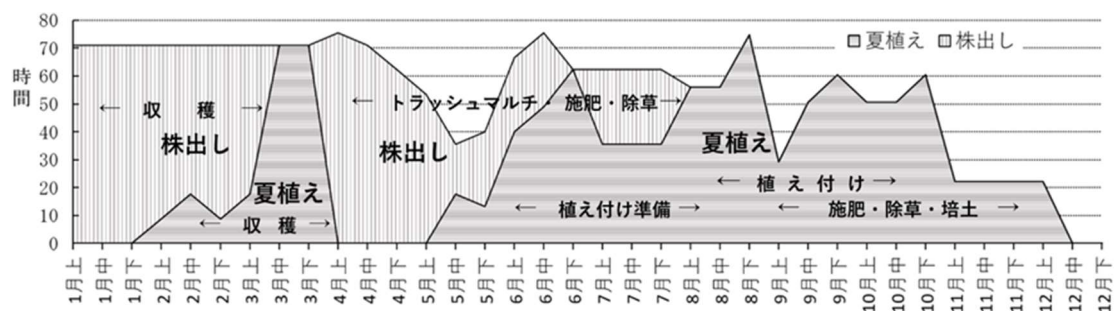


図 V-5 夏植え株出しトラッシュマルチ体系における旬別作業時間

資料：A経営の作業日誌と聞き取りにより作成。

注：A経営の主たる作業者であるB氏の作業時間である（2015年度）。

引用：出花ら（2019）。

(5) 夏植え株出しトラッシュマルチ体系による経営の安定化

沖縄県では革新的な技術体系と大規模化により他産業並みの所得を確保するため、パイロットファーム育成事業を推進した。夏植え株出しと春植え株出しが可能な地域では、サトウキビ生産法人の収益性指標として春植え、夏植え、株出しをそれぞれ 2.8ha、5.6ha、8.4ha、合計で 16.8ha 栽培し、それぞれ 5.7t/10a、8.0t/10a、7.1t/10a の単収を得ることを掲げていた（宮平，2002）。これら法人は小型ハーベスタを機械化一貫作業体系の中核に据え、当面は作業受託を中心に運営し、最終的に自営農場をめざすことが設立当時の目標であった。しかし、受託作業や法人の自営にかかわらず、ハーベスタ収穫の単収は手作業よりも下がること明らかに（鹿内ら，2007；孫ら，1998；竹ノ内，2002）、大半の法人は作業受託の収入に依存しているのが現状である。

そのような中で、表 V-6 に示すとおり A 経営はほぼ夫婦 2 人の労働力のみで機械化一貫作業により高単収を実現している。2013～2015 年度はサトウキビの単収が全県的に高いとはいえず、A 経営でもこの間の単収は収益性指標に達していないが、豊作であった 2016 年度の夏植えと株出しはこれに到達して

いる（表出していないが2017年度も達成）。ハーベスタで収穫を行う他の大規模経営と比べると、A経営の単収は夏植え、春植え、株出しで、それぞれ1.8 t、2.2 t、2.4 tも高く、特に春植えと株出しの単収が高い。さらに、久米島町平均の単収に比べても、A経営の単収は特に株出しで1.4 tも高く、株出し面積率も地域平均と同程度である¹¹⁾。

表V-6 A経営の単収と収穫面積率（他の大規模経営・久米島平均との比較）
（単位：kg/10a、%）

年度	夏 植 え			春 植 え			株 出 し			
	A経営	大規模経営	久米島	A経営	大規模経営	久米島	A経営	大規模経営	久米島	
単収	2013	6,895	5,056	5,791	4,060	2,420	4,330	5,162	3,706	4,723
	2014	6,835	5,317	6,271	6,371	3,292	3,992	6,009	3,494	4,406
	2015	6,432	5,409	6,848	－	2,797	3,931	6,136	3,243	4,427
	2016	8,841	6,132	7,808	5,455	3,723	5,963	7,296	4,702	5,553
	平均	7,251	5,479	6,680	5,295	3,145	4,762	6,151	3,786	4,777
収穫面積率	2013	40.3	27.7	21.5	7.0	16.5	12.9	52.7	55.8	65.5
	2014	38.7	31.8	27.1	3.5	18.8	13.0	58.8	49.4	59.9
	2015	25.5	19.3	18.5	－	15.8	15.1	74.5	64.9	66.4
	2016	31.8	24.2	21.4	0.6	14.8	12.4	67.7	61.1	66.2
	平均	34.3	25.8	22.1	2.5	15.7	13.5	63.4	57.8	64.5

資料：JAおきなわ久米島支店サトウキビ生産者圃場明細データと生産者搬入明細データ（2013～2016度）、A経営と久米島製糖への聞き取りにより作成。

注：¹⁾「大規模経営」はA経営以外のハーベスタを保持する大規模7経営（久米島製糖の子会社は除く）の平均値、「久米島」は久米島町全体の平均値。

²⁾ 収穫面積率(%)＝各作型の面積/3作型の面積(%)である。

³⁾ A経営の単収の春植えの平均値に2015年度の値は含まれていない。

引用：出花ら（2019）。

このように、規模拡大と機械化一貫作業の組み合わせの不適合によって多くの経営が単収低下に陥る中で、A経営が高単収を実現できた要因として次の4点が挙げられる。第1に、春植え株出し体系をやめてほぼ夏植え株出し体系のみにしたことで適期作業が可能となり、特に単収が向上したのである。第2に、規模拡大によって適期作業が困難になった株揃えを取りやめたことで株出しの単収低下を防いだことである。第3に、トラッシュマルチ体系により雑草を抑制できたことなどにより株出しの単収が向上したのである。第4に、トラッシュマルチ体系により作業可能期間が拡大し、適期作業が可能となったことで夏植え、株出しともに単収が向上したのである。

第5節 小 括

本章では沖縄県久米島町において夫婦2人だけでほとんど雇用を導入することなく機械化一貫作業によってサトウキビ大規模経営を実践しているA経営を事例として、その生産管理について作型の転換および省力化技術の導入とそれによる労働力配分の観点から明らかにすることを目的とした。

サトウキビ作の担い手の弱体化が進む下で、ハーベスタを中心とするサトウキビ機械化一貫作業体系が開発されたが、生産現場ではその導入による単収の低下が問題となっている。特に、従来から推奨されてきた春植え株出し体系では、雨天が多い1～4月に収穫と春植えの植え付け、そして株出し管理作業などが集中するため、大規模経営では適期作業が困難であった。

これまで手作業や小型農機による中小零細規模のサトウキビ作経営では、より収量の多い春植え株出し体系を中心とした経営を志向していたが、経営規模を大幅に拡大してもそれを踏襲してきた。しかし、このような冬春期の繁忙を解消して年間の農作業を分散させ、前後作業を合理的に調整し、大型農機の操業効率を上げ、同時に単収と農業の持続可能性の低下を防ぐために、作型の組み合わせを変更し作業調整や省力化により収益性が高く、持続可能な農法に転換する必要があった。

そこで、A経営では、第1に、春植え株出し体系から夏植え株出し体系に作型を変更した。これによって冬春期の農作業の繁忙が解消され、年間の労働配分が適宜分散され、機械の操業効率も格段に向上した。夏植えでは作業期間が3ヶ月もあり、植え付けと初期管理に専念でき、他の作業との競合も少ないため、年間を通して計画的な作業が可能となる。そして第2に、株出し栽培においてサトウキビのトラッシュをそのまま畝間に残して有機物マルチとして活用する省力化技術を導入した。トラッシュマルチ体系の導入により株出し管理作業や心土破碎、中耕・培土を省略しても、トラッシュマルチの多面的な効果で雑草の発生が抑制され、除草剤散布量が減少し、作業可能期間が拡大して農薬散布などの適期作業が可能となり、単収の高位安定が期待できるようになったと考えられる。加えて、トラッシュマルチは営農的な赤土流出対策としても有効で、土壌保全効果による農業の持続可能性の向上にも寄与しているといえよ

う。

残された課題として、南西諸島には島ごと、地域ごとに性質が異なる特殊な土壌が分布し、降水量や年間の降雨分布にも大きな地域間差があり、農家の経営規模なども異なる。夏植え株出しなど作型バランスの変更や、株出し栽培におけるトラッシュマルチ農法の有効性は、地域ごとに検討する必要がある。

注

- 1) サトウキビ作における収穫委託の収益性や作業受託組織の経済効率性に関して坂井（2007，2008）などが、大規模経営における単収低下などについて鹿内ら（2007）や竹ノ内（2002）などが報告している。また、家坂（1991）は中型ハーベスタを用いた大規模経営の生産管理のシミュレーションを行い、気象や土壌条件に地域差があり、降雨の変動も大きいため、実際経営における可動性の検討が必要だとしている。しかし、分散錯圃における機械作業や圃場間の異動に関する分析はいくつかあるものの（井元・北本，2013；鹿内・官，2015；鹿内ら，2007；上野，2002 上野，1993）、農法や栽培体系に関する実証分析はみられない。
- 2) 他の生産法人は単収が著しく低く、収益の多くを作業受託に依存している中で、A経営のみが生産管理の合理化により沖縄県の育成目標に近い成績を挙げるようになった。本稿では A 経営を革新的なサトウキビ大規模経営としてとらえ、作型の転換と省力技術の面から分析しようとする。
- 3) 沖縄農業における農地の所有と利用の形態として、戦前期から海外への移民、県外への出稼ぎ者の農地が「預け・預かり」という形態で利用され、最近でも在村の親せきなどの間で、無償同様に「預かって」耕作する形態が存在する（仲地，2018）。
- 4) 沖縄における「原（ハル・バル）」とは墾(ハリ)のことで、開墾によって拓いた土地、屋敷内の畑(アタイ)に対して屋敷外にある畑・耕地のこと（国立国語研究所，1963）。九州では「原（ハラ・バラ）」は平地のうち、耕作地として利用していないところを指すようである。
- 5) 株出し栽培では 3～4 年間も収穫・株出しを繰り返す場合が多いため、季

節的に多様な雑草が発生し、株出し更新とともに一年生雑草から多年生雑草に変遷しやすく、一度防除を誤ると当該作のみならず後作でも被害が拡大する。A経営では植え付け準備で宿根性雑草を防除し、複数回の碎土により碎土率を上げることで土壌処理剤の除草効果を上げ、株出しではトラッシュマルチにより畝間の雑草を抑制し、数種の除草剤を混用して株間の雑草防除を集中的に行っている。

- 6) 夏植え体系のデメリットとして、植え付け直後の台風による大雨で発芽不良や土壌流亡が発生することがあるので、十分な注意が必要である（出花，2014）。しかし、春植えで問題となる梅雨期における土壌流亡は、夏植えでは可能な限り植え付け直前までトラッシュを残せば、その被覆効果により少なくなる。また、土壌流亡は梅雨期前のプラソイラによる心土破碎や、緑肥によっても防ぐことができ（Hurney et al., 2008）、つる性の在来ダイズであるゲダイズにより、春先から 11 月までの長期の被覆が可能である（出花ら，2021）。
- 7) 竹牟禮ら（2005）では、株揃えとして収穫時に稚けつを除去し、収穫残渣を畝間に集め、根切り機で根切り・排土し、施肥を行い、収穫直後の株揃えは製糖期終了後よりも株出しの単収が高いとしている。この結果だけから、収穫直後の株揃えの効果について判断するのは困難であるが、他に株揃えの効果に関する報告は見られない。しかし、天候や労力などに恵まれ適期作業が可能であれば、高刈りの後における株揃えの効果は期待できる。
- 8) ミミズなどの土壌小動物の活動や植物根の枯死・腐敗により発生する土壌中の空隙のこと。土壌表面に堆積した有機物がゆっくりと分解され、雨水とともにバイオポアを通して下層土に浸透し、土壌中に自然生態系に近い環境が創成されるとされている（Garside, 2000 ; Garside et al., 2005 ; Schroeder et al., 2009）。
- 9) 最近ではトラッシュによる雑草に対するアレロパシーや自己毒性、およびホルミシス効果（しみ出した物質が高濃度、あるいは大量の場合は有害な作用であるのに、低濃度あるいは微量であれば逆に有益な作用をもたらす）などが報告されている（Viator et al., 2006 ; Webber et al., 2018）。

- 10) 例えば、収穫時の圃場にセンダングサや宿根性の大型の雑草が繁茂していると、トラッシュマルチによる雑草抑制効果は低下する。畝間では雑草の上にトラッシュが堆積し、その上をクローラが通過するため、雑草が抑制できる。しかし、株間に一定程度育った雑草が存在すると、それをトラッシュマルチで完全に被覆するのは困難で、除草剤の効果も低下する。そのため、トラッシュマルチの効果を安定させるには、欠株を極力少なくし、大型の雑草が収穫時前にきちんと抑えられていることが重要である。
- 11) 久米島町ではサトウキビ収穫面積のうち6割程度が手刈り収穫であり、久米島町平均の単収は機械収穫を行う大規模経営と比べて高いが、兼業化・高齢化に伴う管理不足によって1980年代半ば以降単収が漸減している。特に管理不足の影響が強く表れる株出しで単収の低下傾向が顕著である（久米島町，2017）。

参考・引用文献

- [1]赤地徹（2016）「日本におけるサトウキビ収穫機とその利用技術－開発・導入の経緯と今後の展望－」『沖縄県農業研究センター研究報告』9：1-14.
- [2]赤地徹・恩田聡・戒能亜紀・米須勇人・玉城磨・井上英二（2020）「沖縄県南北大東島におけるサトウキビの収穫・運搬作業体系のダウンサイジングに関する研究－土壌踏圧がサトウキビの初期生育や根群の発達に及ぼす影響－」『農作業研究』55（4）：247-255.
- [3]Calcino, D. , Schroeder, B., Hurney, A. and Allsopp, P. (2008) SmartCane Plant Cane Establishment and Management, by BSES Limited, CANE GROWERS and the State of Queensland.
- [4]出花幸之介（2014）「さとうきび機械化と単収の向上－沖縄本島北部を中心とした－」『サトウキビ試験成績発表会（付録）第40回シンポジウムのまとめ』13-18.
- [5]出花幸之介・親川司・親泊貴志・崎間浩・比嘉基昌・平良慧（2021）「国頭マージにおけるつる性緑肥のゲダイズの特性 https://www.pref.okinawa.jp/site/kikaku/kagaku/shuseki/sikenkenkyu/documents/02_r3_sakumotsu_

- bunya. pdf. (2022.5.5 参照).
- [6]出花幸之介・内藤重之・杉村泰彦 (2019)「サトウキビ大規模経営における夏植え株出しトラッシュマルチ体系の展開」『食農資源経済学論集』70(2) : 1-14.
- [7]Garside, A.L. (2000) Sugar yield decline joint venture :Technical summary report phase 1, <http://hdl.handle.net/11079/923> Downloaded from Sugar Research Australia Ltd eLibra (2018.9.19 参照)
- [8]Garside, A. L., M. J. Bell, B. G. Robotham, R. C. Magarey, and G. R. Stirling (2005) Managing yield decline in sugarcane cropping systems. International Sugar Journal,107(1273) : 16-26.
- [9]Hurney, A., Schroeder, B., Calcino, D. and Allsopp, Peter (2008) Smart Cane Fallow and Land Management. by BSES Limited, CANEGROWERS and the State of Queensland.
- [10]比嘉明美・儀間靖・亀谷茂・國吉清・桃原弘 (2011)「有機物の長期連用がサトウキビと土壌の理化学性に与える影響」『沖縄県農業研究センター研究報告』5 : 11-15.
- [11]家坂正光 (1991)「サトウキビ作低コスト化研究の現状と課題」『九州農試農村計画研究資料』、5 : 108-147.
- [12]井元智子・北本朝展 (2013)「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』22(4) : 236-246.
- [13]伊藤嘉雄 (1979)『農業の技術と経営』家の光協会.
- [14]川延謹造 (1966)『農業機械化技術』養賢堂
- [15]川崎弘・銘苅敏夫(1978)「沖縄における酸性硫酸塩土壌」『九州農業試験場研究報告』19(4):383-403.
- [16]貴島圭介・太郎良和彦 (2010)「砕土によるサトウキビ害虫ケブカアカチャコガネ幼虫の物理的防除」『日本応動動物昆虫学会誌』24(1) : 23-27.
- [17]国立国語研究所 (1963)『沖縄語辞典』大蔵省印刷局 <http://doi.org/10.15084/00002265> (2023 年 1 月 5 日参照)

- [18]久保寺秀夫（2003）「多様な理化学性の土壌が混在する地域での土壌管理とペドロジー沖縄本島のマージ土壌の乾燥に伴う硬化の問題を例にして」『ペドロジスト』：47(1)41-45.
- [19]久貝晃尋・荷川取勝永（1967）「サトウキビ第1次株出し栽培における根切り、敷き草、培土が生育、収量に及ぼす影響」『沖縄農業』6(2)：19-24.
- [20]久米島町（2017）『平成28年度産業の概況』久米島町.
- [21]松中照夫（2005）『土壌学の基礎』農山漁村文化協会.
- [22]松山康甫・松久保哲矢（2012）「履帯茶園作業機械の踏圧が茶樹に及ぼす影響」『農業生産技術管理学会誌』19(3)：95-102.
- [23]松坂泰明・音羽道三・山田裕・浜崎忠雄（1971）「沖縄本島・久米島の土壌の分類について」『農業技術研究所報告 B 土壌肥料』22：305-404.
- [24]宮平良廣（2002）「さとうきび生産の現状と新たな担い手組織育成の意義」『九州沖縄農研センター農業経営研究資料』2：5-12.
- [25]仲宗根盛雄（1976）「サトウキビのマルチ栽培が収量およびほ場の保水性に及ぼす影響について」『沖縄県農業試験場研究報告』2：5-10.
- [26]仲地宗俊（2018）「沖縄県における農地中間管理事業の取り組みと今後の課題」『土地と農業』48：98-113.
- [27]乃田啓吾・大澤和敏・池田駿介・小沢 聖（2009）「サトウキビ畑における営農的侵食抑制対策の評価」『農業農村工学会論文集』77（2）：153-162.
- [28]野瀬昭博（1996）「サトウキビのバイオマス生産特性と環境保全面からの評価」『熱帯農業』40(4)：222-228.
- [29]小川和夫・渡辺治郎（1987）「簡易耕栽培の意義と問題点」『土壌の物理性』55：13-24.
- [30]恩田聡（2001）「農業用機械の稼働に伴う踏圧と土壌物理性の変化」『H11普及に移す技術』沖縄県農林水産部：17-18.
- [31]大見謝辰男（1997）「沖縄の赤土汚染と農業」『農業と経済』63(12)：40-48.
- [32]大城幸尚（1987）「サトウキビ作雑草防除の現状と問題点」『雑草研究』

32(4) : 239-242.

- [33]大城正市・伊佐真純・大田守也・大城幸尚・上原数見(2001)「サトウキビを中心とした低コスト・環境保全型農法-さとうきびの減耕起更新法」『沖縄県農業試験場報告』23 : 21-25.
- [34]大輪武司 (1997)『技術とは何か』オーム社出版局.
- [35]沖縄県農林水産部 (2016)『さとうきび栽培指針』.
- [36]沖縄県農林水産部 (2007)『さとうきび機械利用推進の手引き』.
- [37]Schroeder, B., Panitz1, J., Linedale1, T., Whiteing, C., Callow, B., Samson, P., Hurney, A., Calcino, D. and Allsopp, P. (2009) SmartCane Harvesting and Ratoon Management.by BSES Limited. CANEGROWERS and the State of Queensland.
- [38]坂井教郎 (2008)「沖縄におけるさとうきび農家の収穫委託の特徴－沖縄本島都市近郊地域を対象に」『農業経済論集』58(2) : 1-12.
- [39]坂井教郎 (2007)「さとうきび作における収穫受託の収益性－沖縄本島南部地域を対象に－」『九州東海大学応用情報学部・総合教養部紀要』8 : 13-21.
- [40]坂井教郎・森高正博・横川洋 (2015)「赤土流出対策の検証と費用負担問題－石垣島の圃場データの分析から」『農林業問題研究』51(2) : 65-73.
- [41]坂西研二 (2002)「島嶼地域での赤土流出の発生と対策について」『熱帯農業』46(5) : 329-333.
- [42]鹿内健志、官森林 (2015)「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』24(4) : 101-111
- [43]鹿内健志・南孝幸・官森林・上野正実 (2007)「サトウキビ生産法人に集積された圃場の分散が生産性に及ぼす影響－地理情報システムを用いた分析－」『農作業研究』42(1) : 29-36.
- [44]鹿内健志、大城梨実、官森林、赤地徹 (2017)「沖縄県北大東島のサトウキビの中・小型収穫機と搬出機の連携作業に着目した作業能率分析」『農業情報研究』26(4) : 142-154.
- [45]新里良章 (2016)「サトウキビの安定的増収に向けた機械化技術の開発」

- 『沖縄県農業研究センター研究報告』10：46-131.
- [46]孫麗婭・上野正実・秋永孝義・永田雅輝（1998）「作型特性を考慮したサトウキビ収穫法の改善－収量および糖度特性の解析とそのモデル化－」
『農業機械学会誌』60(6)：27-34.
- [47]鈴木福松 2006 「わが国農業経営研究の原点、三本木原営農支場での営農試験調査研究－その回顧と評価－」西尾敏彦編『昭和農業技術史への証言 第5集』農林水産技術情報協会：52-102.
- [48]竹牟禮穰・緒方寿明・神門達也・末川修・西裕之(2005)「サトウキビの株出管理時期が萌芽および生育収量に及ぼす影響」『九州農業試験研究発表会発表要旨』68：32.
- [49]竹ノ内昭一（2002）「新たな担い手組織の現状と課題」『九州沖縄農業研究センター農業経営資料』2：19-26.
- [50]戸沢英男（1986）「中耕・培土の考え方と実際」『農業技術体系 土壌施肥編 5-① 土壌管理 畑』195-196.
- [51]上野正実(2005)「沖縄県におけるさとうきび収穫機械化の課題と対策」
『砂糖類情報』107：7-16.
- [52]上野正実（2002）「重粘土壌における大型農業機械の走行性の問題と解決の試み」『農業機械学会誌』64(2):18-22.
- [53]上野正実（1996）『さとうきび収穫機械化に関する報告書』、南大東村・琉球大学農業機械学研究室.
- [54]上野正実（1993）「サトウキビの生産対策と機械化」『沖縄農業』28(1)：63-67.
- [55]Viator, R. P. Richard M. Johnson, Casey C. G. and Edward P. R. Jr. (2006) Allelopathic, Autotoxic, and Hormetic Effects of Postharvest Sugarcane Residue, *Agronomy Journal*. 98：1526-1531.
- [56]Webber, III. C. L., White, Jr. P. M., Landrum, D. S., Spaunhorst, D. J., Wayment, D. G. and Emmanuel Dorvil (2018) Sugarcane Field Residue and Root Allelopathic Impact on Weed Seed Germination. *Journal of Agricultural Science*. 10(1):66-72.

終章 総 括

サトウキビ原料価格が長期低迷し、サトウキビ作農家が減少し、高齢化も進む中で、生産構造の弱体化に伴う栽培の粗放化により、単収が漸減し、不安定化している。加えて、機械収穫も単収低下の要因の一つであり、収穫作業を中心とする機械化で、生産性の向上を図ろうとしたが、現実的にはますます単収が低下し不安定化している。

単収低下の技術的要因として、粗放化に伴う茎の伸長不良と欠株の発生が指摘されている。つまり、新植の発芽・苗立ち不良によって欠株が生じ、株出し体系を通してより多くの欠株が生じ、収量が低下する。それに加えて、干ばつなどで茎の伸長不良が発生し、それらの相乗作用が単収低下に結びついていると考えられる。

また、小規模経営が急激に減少し、作業受託法人が増えたが、農地の集積は進んでいない。地域産業としての規模を維持するため、あらゆる層のサトウキビ農家が活用できる省力的で基盤的な技術を開発し、体系化する必要がある。また借地型の経営受託法人の育成と機械化一貫作業体系による農法の創生は喫緊の課題である。

以上の通り、南西諸島におけるサトウキビ生産の縮小は、複合的な要因で引き起こされている。その解決には従来のような個別技術の積み上げだけでは不十分であり、技術的な課題解決と農法の確立という幅広い視野から複合的なアプローチが求められている。そのため、本論文ではまず、従来から行われてきた地域適応性検定試験における品種や作型の選択と、種苗管理センターと県の種苗対策事業により地域に配布されてきた健全種苗の機能と効果について解析し、加えて発芽・苗立ち不良の原因を明らかにし、対策として種苗コーティングを開発した。最後に、機械化一貫作業体系による単収低下や赤土問題などへの対策に資するため、機械化一貫作業体系で単収が高く、赤土流出も抑制する農法を実現した借地型大規模経営を抽出し、その作業体系について参与観察と聞き取り調査を行い、得られた事実と科学的報告を関連付けて、そのシステムとメカニズムを解明した。

第1に、干ばつや台風などのリスクに対して、サトウキビの品種、作型、栽培体系の選択により糖生産量を最大限に高め、安定化させるための諸要因について解析した。その結果、生育旺盛期の干ばつで一茎重が減少し、原料茎重と可製糖量が減少することが明らかになった。また、夏植えの株出しは原料茎数が不安定であるが、干ばつ耐性を強化し株出しの増収を図るため、健全種苗が利用できる。加えて、年当たり可製糖量は春植え株出し体系、夏植え株出し体系、夏植え体系の順に多かったが、栽培体系の選択は、経営規模や労働力などによって柔軟に行うことができる。

第2に、健全種苗によるサトウキビわい化病への対策について検討した。健全種苗を用いると高い増収効果が得られるが、サトウキビ生産現場には、わい化病の罹病率が高い圃場も存在することが明らかになったことから、種苗対策事業により健全種苗を効率的に利用することは重要である。さらに、原種圃や採苗圃、原料圃において、刃物などの簡易な消毒により健全種苗の配布増殖体系が効率化できる可能性も示された。

第3に、サトウキビの発芽・苗立ち不良の原因菌であるサトウキビ黒腐病菌は南西諸島のサトウキビ圃場の土壌中に広く分布し、多くの品種が感染して発芽・苗立ち不良が発生することが明らかになった。また、低コストで、かつ環境にも優しい黒腐病予防法として、種苗コーティング法を開発した。チウラム・ベノミル水和剤の種苗へのコーティングにより発芽・苗立ちが早まり、発芽・苗立ち率が上がり、発芽が良く揃うことも明らかになった。

第4に、機械化一貫作業で大規模経営を行う場合の、全生産過程を通じた新たな体系化、作型の選択や省作業とその多面的な効果について明らかにした。まず、冬春期の農作業の繁忙を解消し、年間の労働配分を適宜分散し、機械の操業効率を向上させるため、春株体系から夏株体系に作型を変更した。そのため、夏植えでは作業期間が3ヶ月もあるため、植え付けと初期管理に専念でき、他の作業との競合も少なく、年間を通して計画的な作業が可能となる。次に株出し管理における株揃え、中耕、高培土作業などを省略して、トラッシュ(収穫残渣)をそのまま畝間に残して有機物マルチとして活用する省力化技術を導入した。その結果、これら一連の作業を省略しても、トラッシュマルチの多面

的な効果で雑草の発生が抑制され、除草剤散布量が減少し、作業可能期間が拡大して農薬散布などの適期作業が可能となり、単収の高位安定が期待できるようになった。加えて、トラッシュマルチは営農的な赤土流出対策としても有効で、土壌保全効果による農業の持続可能性の向上も期待できる。

謝辞

退職の直前、無謀にも連大に社会人入学した私が、このような形で学位論文をまとめることができるまでには、多くの方々のお世話になってきた。琉球大学、内藤重之教授、杉村泰彦教授には、基本的なことから懇切なご指導をいただき、特に内藤重之先生には実に長年月にわたり、懇切なご指導と励ましをいただいた。杉村泰彦教授には、多様な論点から多くの示唆をいただいた。仲地宗俊名誉教授、上野正実名誉教授、鹿児島大学の坂井教郎教授には貴重な示唆をいただいた。心から厚くお礼を申しあげたい。

永富成紀博士（元農研機構放射線育種場長）には、多数回にわたり、遠距離電話で深夜まで懇切・丁寧なご指導をいただいた。仲地宗俊会長、来間泰男（沖縄国際大学名誉教授）、島袋正樹博士（元沖縄県農業研究センター長）、安谷屋隆司さんをはじめとする、沖縄農業経済学会の諸先生の面前で毎年行う講演は、本論文をまとめる道程で大きな励みとなった。

2015年頃に久米糖の友寄昌志さんと共に尋ねた赤平ファームの玉城学さんには、その後6年以上にわたり大変多くのことを学んだ。衷心よりお礼を申しあげたい。上江洲智一会長、吉永博之社長をはじめ久米島製糖の皆さん JAおきなわ久米島支店の泉宏樹さん、安里宙知さん、久米島町役場の島袋良之さん、山里直哉さんにも大変お世話になった。厚くお礼を申し上げたい。

サトウキビわい化病の試験では、沖縄県農業研究センターの与那覇至、農研機構種苗管理センターの加藤雅明、牛尾裕の諸氏に助けていただいた。サトウキビ黒腐病では比屋根篤（現茨城県庁）、金城衣恵（元沖縄県病害虫防除所）の諸氏に援助を頂き、実験に当たっては金城栄輝さんに助けてもらった。TB剤による種苗コーティングは、最終的に沖縄農研センターの比屋根真一博士、大城篤博士の尽力により農薬登録された。厚く感謝申しあげたい。

沖縄農業研センター土壌環境班で、再任用職員として研究の機会を得、比嘉基昌班長、崎間浩班長、親川司、平良慧さんらにお世話になった。農業経済学講座の先輩・学友、伊村達児博士、大城健さん、前田藍博士、大城秀斗さん、古くからの友人の新里良章博士、赤地徹先輩のご支援にも感謝したい。

最後に、長きにわたり寛容の精神で支えてくれた妻秀子に感謝したい。