

サトウキビ生産と製糖工場のシミュレーションモデルの開発

(独) 農業・食品産業技術総合研究機構 九州沖縄農業研究センター
作物開発・利用研究領域 主任研究員 樽本 祐助

1. はじめに

九州沖縄農業研究センターでは、夏植え型秋収穫（秋収穫）に関する技術開発を行っている。通常の収穫期は、12月や1月から始まるが、それよりも早い時期に収穫する技術である。

この技術の狙いは、サトウキビ生産に対しては、気温の高い時期に収穫することで株出しを容易にし、梅雨までに成育量を確保することで安定・多収が可能になる。また農家に対しては、サトウキビ植付けと収穫の労働競合を回避したり、ケーンハーベスタなどの高額な農機具を有効利用したりすることができる。さらに製糖工場に対しては、原料が安定的に増加するとともに、操業日数を増やすことで、粗糖生産の効率化をはかることがある。

このように秋収穫は、収量性や株出し性の向上を通じて、農家や製糖工場にメリットをもたらすと考えられるが、それは実現していない。その原因の一つに、秋収穫では既存の操業期間での収穫に比べ糖度が相対的に低いことがある。つまり製糖工場にとって、糖度が低い時期での操業に抵抗感があるためである。

しかし製糖工場の収益性には、糖度だけでなく、原料の確保も重要であり、秋収穫により安定・多収が実現することのメリットも大きい。

こうしたことから秋収穫を導入するためには、サトウキビ生産だけでなく、製糖工場も含めた検討が必要になっている。そこで、サトウキビ生産と製糖工場からなるシミュレーションモデルの開発に取り組んだ。本稿では、モデルの仕様について紹介するとともに、

具体的な適応事例を紹介する。

2. モデルの仕様

サトウキビ生産における新たな作型の導入は株出しを通じて複数年に影響する。また糖度の時期別の変化を検討するには、時期別の推移も考慮する必要がある。このような時間的要素を考慮できるシミュレーション手法に、システムダイナミックスがある。ここでは、システムダイナミックスのソフトウェアとして Vensim を用いた。

モデルは（1）作型、（2）割当、（3）評価から構成されている（図1）。

作型では、作型別の面積変化をモデル化してい

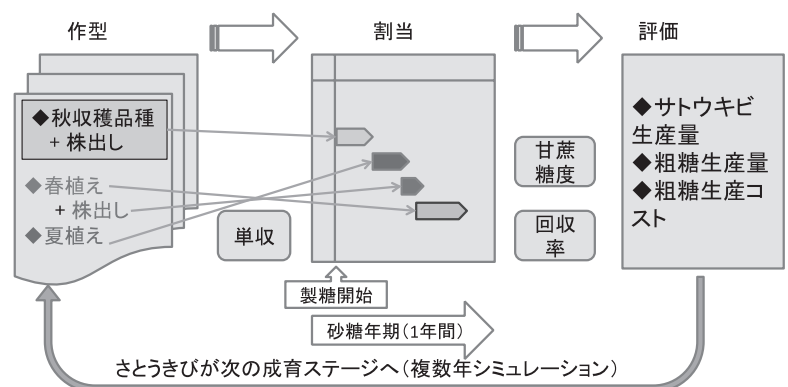
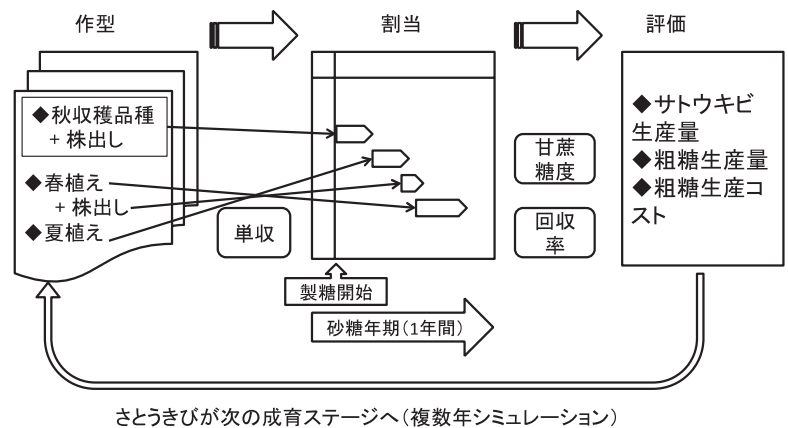


図1 モデルの構造

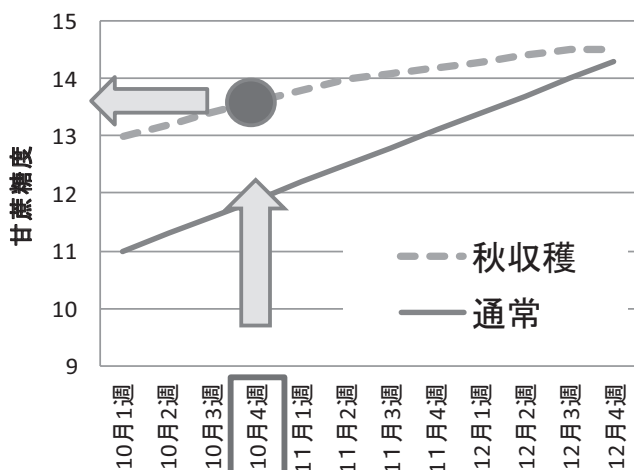


図2 糖度と割当時期との関係

る。その際、植付け面積や株出し率などを考慮する。また一年期（10月から翌年9月まで）が終了すれば、次の作型へと移行する。例えば、春植え面積は、翌年に春植えるの株出し面積になる。

次に、作型別の面積と単収からサトウキビの収穫予定量を算出する。割当では、こうした収穫予定量に対して、製糖工場への搬入計画を操業開始時期や工場の原料処理能力にもとづき作成する。このとき、作型別の優先搬入を考慮することもできる。例えば、早期高糖性をもつ作型の搬入を優先させることなどができる。この割当では、どの作型がいつ収穫されるのかということが重要になる。この割当データを用いて、図2のような時期別の糖度曲線から糖度を特定している。

この糖度を用いて、粗糖生産量やサトウキビ代金、さらにサトウキビ農家への助成金である甘味資源交付金などが算出される。

また製糖工場のコストは、固定費+変動費（サトウキビ代金を除く）+サトウキビ代金として評価している。

3. モデルの適用

(1) 現状モデル

I 製糖管内におけるサトウキビ栽培を対象にモデルを適用した。まず作型については、夏植えとその株出し、春植えとその2回までの株出しを設定した。このモデルを Vensim で表現すると図3のようになる。四角で囲まれた変数が面積になる。また、サトウキビの廃耕（植え替え）面積は、その年度の植付け面積になる。

次に、平成15/16から平成22/23年期までの実データを用いて、I 製糖の操業をシミュレーション

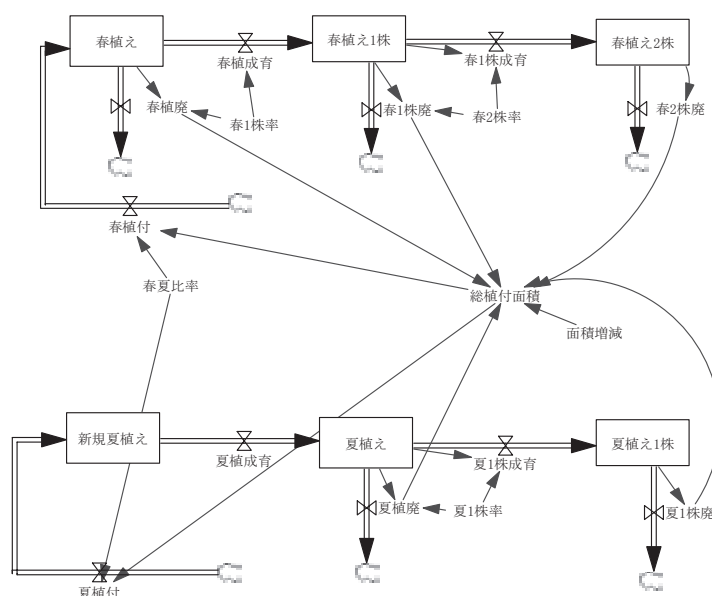


図3 石垣島におけるサトウキビの作型モデル

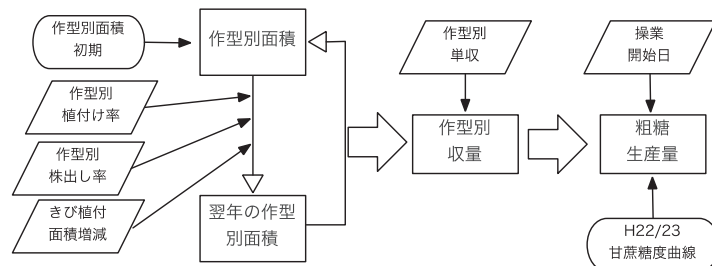


図4 シミュレーションのフローチャート

表1 現状モデルに用いた実績値

	春夏比率%	面積増減 ha	株出し率% 夏植え1株	単収 t/ha			操業開始
				夏植え	春植え	株出し	
H15/16	20	31	32	78	60	54	12月25日
H16/17	21	-8	30	64	38	38	12月20日
H17/18	14	-109	12	62	41	36	12月20日
H18/19	12	-60	11	59	42	40	1月5日
H19/20	12	-162	10	78	53	49	1月5日
H20/21	12	-10	11	69	47	49	1月6日
H21/22	14	41	13	91	60	59	12月16日
H22/23	15	50	15	81	58	51	12月10日

注) 春植え1株の株出し率は50%、春植え2株の株出し率は20%に固定した。

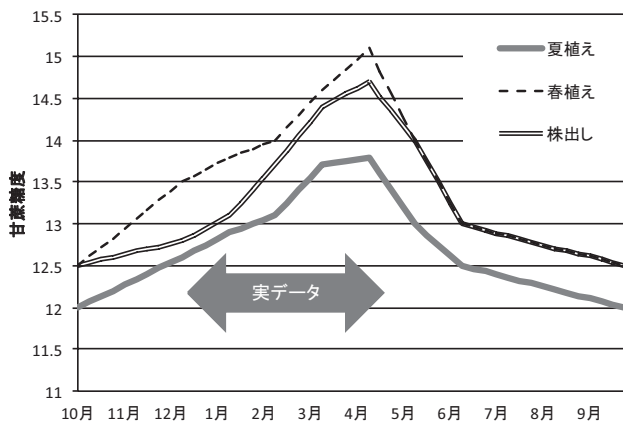


図5 時期別糖度曲線の設定

ンする。そのために図4のようなフローチャートにもとづき実データを用いた。つまり作型別面積の初期値に対して、作型別の植付け比率や株出し率などから作型別の面積をシミュレーションする。これらの値は表1に整理した。

表1を詳細にみると、「春夏比率」では、平成15/16年期の春植えは20%あったが、その後減少し、近年は15%にまで増えている。「株出し率；夏植え1株」では、当初32%あった株出し率が急

減し、近年は回復傾向にある。株出しを可能にするバイト剤の普及が影響していると考えられる。「面積増減」では、平成17/18年期から3年間の減少があり、サトウキビ畑の他作物への転用がみられた。しかし近年、サトウキビ畑の増加がみられ、増産キャンペーンの効果と考えられる。

このような作型別の面積データに加えて、作型別の単収や操業開始時期、糖度曲線に実データを用いた。ただし、糖度曲線は平成22/23年期的実績値を代表値として用いた(図5)。この糖度曲線において、12月から4月は実データであるが、それ以外の期間の値は仮置きしたものである。

(2) 現状モデルの再現性

シミュレーションで得られた結果を整理すると表2のようになった。シミュレーションでは、サトウキビ栽培面積、その生産量、粗糖生産量などに加えて、サトウキビ代金や甘味資源交付金の総額も表示される。また製糖工場における収益性に関する指標も得られる。

この現状モデルの再現性を粗糖生産および収穫

表2 シミュレーションによる操業の再現性

	H15/16年期	H16/17年期	H17/18年期	H18/19年期	H19/20年期	H20/21年期	H21/22年期	H22/23年期
総収穫面積 ha	1,438	1,450	1,227	1,259	1,139	1,095	1,161	1,183
春植え	214	223	155	117	111	116	134	151
春植え1株	94	107	111	77	59	56	58	67
春植え2株	15	19	21	22	15	12	11	12
夏植え	816	857	837	951	859	817	851	826
夏植え1株	300	245	103	92	95	94	106	128
きび生産量 t	98,541	77,363	66,731	68,668	81,164	69,751	95,873	86,176
春植え	12,849	8,457	6,344	4,918	5,904	5,455	8,068	8,739
春植え1株	5,049	4,069	4,006	3,095	2,869	2,729	3,424	3,429
春植え2株	821	711	771	890	758	574	657	592
夏植え	63,648	54,824	51,909	56,081	66,975	56,365	77,458	66,904
夏植え1株	16,174	9,302	3,701	3,684	4,658	4,628	6,265	6,512
甘味交付金 億円	16	13	11	11	13	11	16	14
きび代 億円	4	3	3	3	4	3	4	4
原料当たりきび代 円	4,417	4,339	4,295	4,352	4,380	4,357	4,361	4,322
原料当たり固定費 円	8,000	10,190	11,814	11,480	9,713	11,302	8,223	9,148
原料当たり比例費 円	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
粗糖生産量 t	11,516	8,881	7,582	7,906	9,404	8,040	11,061	9,853
粗糖販売金額 億円	9	7	6	6	7	6	9	8
国内産糖交付金 億円	7	5	5	5	6	5	7	6
製品当たりコスト 円/t	131,926	152,704	168,170	163,569	147,524	161,876	135,071	144,045
平均歩留り %	11.69	11.48	11.36	11.51	11.59	11.53	11.54	11.43
実績収穫面積 ha	1430.48	1451.92	1230.16	1260.69	1132.23	1085.91	1167.5	1184.63
実績きび生産量 t	98118	77427	66713	68834	80383	68996	96184	85898
実績甘糖糖度	12.5	12.42	12.51	12.73	12.23	13.78	13.43	11.87
実績歩留	12.11	11.51	11.44	12.26	11.5	13.2	12.64	11.5
実績粗糖生産量 t	11879	8913	7631	8438	9246	9110	12155	9882
粗糖生産(シム/実績)	97	100	99	94	102	88	91	100
収穫面積(シム/実績)	101	100	100	100	101	101	99	100

面積でみると、「粗糖生産（シム/実績）」では、甘蔗糖度が高かった平成20/21年期や平成21/22年期では、シミュレーションでは過小になっているが、おおむね粗糖生産量は合致している。また「収穫面積（シム/実績）」の一致率も高い。

以上のように、サトウキビ収穫面積を、(1) 作型別の面積初期値、(2) 春植えと夏植えの植付け比率、(3) 夏植え株出し率、(4) サトウキビ面積の増減で再現することができた。こうしたことから今後、作型の変化や株出し率の変化などを伴う技術導入の影響を、このモデルを使って検討できる。

(3) 将来予測モデル

将来予測モデルでは、平成22/23年期の作型別の面積とその株出し率を初期値とする。また単収は、春植えが55t/ha、夏植えが75t/ha、株出しがそれぞれ50t/haとする。

こうした条件のもとで、製糖開始時期の変化が、製品（粗糖）当たりの製糖コストに及ぼす影響をみると、2月1週に操業を開始し、5月3週に製糖が終わる場合のコストが最も低い結果となった。これは図5に示した甘蔗糖度の変化が、4月2週をピークとしており、そのピークを挟む期間が最も粗糖を得られるためである。

しかし、製糖終了が遅れるほど、収穫後の株出し管理や春植えの植付けが遅れる。その際、翌年の単収が減少する。そこでモデルにおいて、4月を過ぎた収穫に対して、単収を下げる設定を加えた。具体的には、1週当たり3 t/haの単収低下とした。つまり4月末までの4週が超過すれば、12t/haの株出しおよび春植え単収の低下をもたらす設定となる。この条件のもとで、最適な製糖開始時期は12月3週となり、製糖終了は3月4週となった。

以上の分析で得られた製糖コストの年次変化を比較すると図6のようになった。初年目を見ると、操業開始が2月1週の方が低コストになる。しかし2年目以降は、収量の安定・多収という点

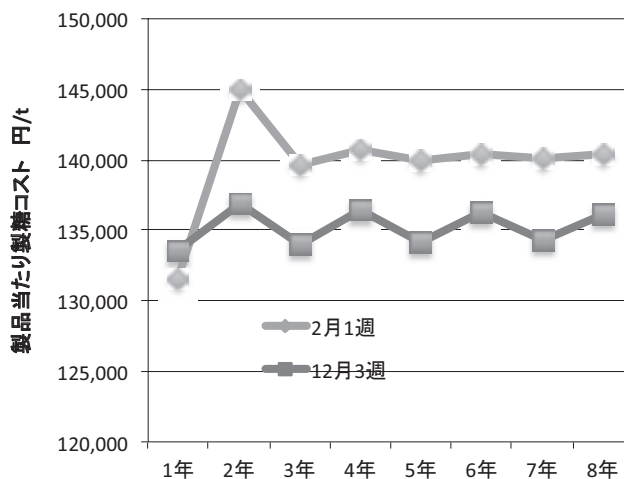


図6 製糖開始の違いが製糖コストに及ぼす影響

で12月3週に操業することが望ましいという結果になっている。このようにシミュレーションを用いることで、短期的・長期的な評価が可能になる。

4. おわりに

このモデルは、新たな作型や株出し性、収量性の向上といった新技術の評価をサトウキビ生産だけでなく製糖工場への影響も含めて検討できる。また製糖工場における操業開始時期や生産振興方針、施設投資の有効性などに関する経営戦略にも活用できると考えている。さらに製糖工場を核としたサトウキビ産業の将来像を考察する地域戦略にも有効だと思っている。

しかし、このモデルには、サトウキビ生産に関する技術データや製糖工場に関するデータなどで不十分な点もある。今後、研究機関や製糖工場などとさらに連携を深めて、モデルの精度を高めるとともに、活用を進めていきたい。

参考文献：

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. 日作九70 :184-190
 樽本祐助 2011. さとうきび生産と製糖工場のシミュレーションモデル: システムダイナミクスを活用して. 九州沖縄農業研究センター資料: 1-102.