

「水田輪作策定支援システム」の開発と課題

松本 浩一・大石 亘・梅本 雅

I 背景と課題

新たな食料・農業・農村基本計画では、食料自給率の向上に向けて、新規需要米や麦・大豆といった主食用米以外の生産拡大や二毛作などによる水田の高度利用の必要性を提言している。一方、水田作経営においても、主食用米の価格が1994年以降、下落を続ける中で^{注1)}、主食用米以外の生産にも重点をおいた複合経営へと転換していくことが求められている。特に、近年は、水田のブロックローテーションが多く実施されるようになる中で、一作ごとの作物選択のあり方を考えるのではなく、各種の作目、品種、栽培技術（以下、作目等）をどのように組み合わせ、複数年にわたる作付体系をどう構築し、さらに、それらの作付体系自体をどのように組み合わせるかを検討することが重要である^{注2)}。

また、営農現場でも、地域水田の将来像を検討する中で、複数の作目等を体系的に組み合わせた展開が模索されている。そこでは、展開可能な作付体系のみならず、いくつかの作付体系の組み合わせや、既存の体系に新たな作目等を導入した新たな体系の可能性や導入のための条件等に関する情報を必要としている。このために、いくつかの作付体系を組み合わせた営農モデルが容易に構築でき、その時の作付体系別、作物別の作付面積や所得等に関する情報が入手可能になり、また、それを実施していく地域の水田作経営者に分かりやすく説明できるツールが求められている。

従来、合理的な作目等の組み合わせの分析には、主に線形計画法を利用して行われてきた。

この手法によって作付体系を考慮する場合、多くの既存研究では、作目等の前後作関係を考慮した作付制約を条件式に設定するか、二毛作であれば、それを一つのプロセスとして設定する方法で行われてきた^{注3)}。また、複数年にわたる作付体系であっても、それを構成する作目等間の作付比率を設定することで対応可能であり、この方法を発展させることで、いくつかの作付体系の合理的な組み合わせを分析することも可能になるであろう。しかし、このためには、単体表の作成にあたり、分析する作付体系の作目等を作付体系ごとに設定する必要がある^{注4)}。また、ある作付体系内での作付順序の変更や、新規作物の導入を分析したい場合では、それに即した作目等を作付体系単位で新規に追加設定する必要もある。そのため、その営農モデルの構築や修正には、専門的な知識と経験が必要で、多大な労力を要する。

他方、線形計画法を活用した合理的な作物選択の検討を営農現場で実施するための支援ツールには、大石^[4]のBFMなどが開発されてきた。しかし、これらは、単年の作目等単位での組み合わせの検討を支援するものであり、複数年の作付体系へは必ずしも対応していない^{注5)}。そこで、検討したい作付体系をより直接的・直観的に組むことができ、また、柔軟に作付体系の変更も可能であるとともに、営農現場でも利用可能なツールが必要となる。

そこで本稿では、水田作における合理的な作付体系の策定支援や輪作の経営的評価に資するために、検討したい作付体系をより直観的に組むことができ、また、柔軟に作付体系の変更も可能であるとともに、営農現場でも利用可能なツールとして開発した「水田輪作策定支援システム」の意義と特徴を整理するとともに、この

ようなシステムの確立に向けた今後の検討課題を提示する。

- 注1) 松本^[7]によれば、主食用米の米価は、2003年の急激な高騰を除き、1994年の1万8千円台から2007年の1万3千円台へ、ほぼ直線的に下落している。
- 注2) 農業技術の研究開発の側面でも、作付体系として技術の評価・検証を実施していくことが課題となっている。例えば、農林水産省委託プロジェクト研究「担い手の育成に資するIT等を活用した新しい生産システムの開発」では、特定の作目等に対する特定の技術の評価ではなく、各種の要素技術を組み込み、複数の作物を体系的に組み合わせた作付体系としての評価が期待されている。
- 注3) 作目等の前後作関係を条件式に設定する方法は、多くの既存研究で実施されており、例えば、天野^[1]や金岡^[5]の北海道の畑作経営モデルでは、秋播小麦の作付面積は早出しの馬鈴しょと菜豆の作付面積の合計以下とする条件式を加えることで、「早出しの馬鈴しょ—秋播小麦」や「菜豆—秋播小麦」の輪作を表現している。一方、水田作では土田^[6]にみられるように麦後の大豆面積と大豆後の水稲面積の条件式を加えることで「麦—大豆—水稲」の体系を表現している。また、梅本^[2]では「水稲—大麦」の二毛作を一つのプロセスに設定する方法で行っている。
- 注4) 例えば、水稲単作、稲麦二毛作、稲麦大豆2年3作の作付体系を設定する場合、水稲のプロセスは、単作、二毛作、2年3作ごとの3つの設定が必要となり、麦のプロセスも二毛作と2年3作の2つを設定する必要がある。
- 注5) BFMでも作付体系を一つのプロセスとした技術係数等を作成することで、取り扱うことも不可能ではない。ただし、そのためには、検討したい作付体系ごとに、別途、技術係数を試算していく必要がある。

II 「水田輪作策定支援システム」の特徴

1 システムの特徴

「水田輪作策定支援システム」は、Microsoft Excelのマクロ機能を利用して、分析する作付体系をプロセスとして設定し、線形計画法によって、農業所得を最大化する作付体系の組み

合わせを導出するシステムである。前述したように、線形計画法に精通したものが、作付体系を構成する作目等の関係性を丁寧に単体表に表現することができれば、本システムを利用した場合と同様の最適解を得ることが可能である。しかし、分析する作付体系を柔軟に組み替えながら、適宜、適切な単体表を構築することは容易ではない。そこで、農業経営者等は、本システムを利用することで、簡易に合理的な作付体系の組み合わせを考慮した営農計画案が策定できる。

本システムの特徴は、まず、1年間の作付を夏作と冬作の2作に限定し、輪作年数の上限を4年に設定した上で^{註6)}、その体系内であれば、利用者が様々な作付体系を直観的に構築することが可能であり、新規作物の導入や作付順序の変更などの作目等の組み合わせが簡便にできる点にある(第1図)。また、本システムでは、一度設定したデータは、データベース形式で内部に保存するため、その再利用が容易であるとともに、利用者の実情に応じた作目等の追加設定が行える。加えて、線形計画法に必要な単体表を一定のルールの下で自動的に作成した上で結果を導出するため、線形計画のモデリングに関する知識を有せずとも、簡易に作付体系を考慮した営農計画の結果が導出できる。

2 単体表の作成方法

通常は、作目等のプロセス間で作付体系を考慮した土地利用に関する制約条件を設定するが、作付体系をプロセスにした場合、そのプロセスを構築することが作目等の作付順序や土地利用制約を考慮することになるため、改めてプロセス間での土地利用に関する制約条件を設定する必要がない。その一方で、作付体系をプロセスに設定するために、単体表の作成にあたって、本システムでは、具体的に以下の処理を行っている。

第一に、単作や二毛作以外の複数年にわたる作付体系を設定する場合には、同じ作付体系で

	1年		2年		3年		4年	
	夏作	冬作	夏作	冬作	夏作	冬作	夏作	冬作
1年	大豆 不耕起 タチナガハ	(新規) 馬鈴しょ						
2年	水稻 移植 コシヒカリ	小麦 耕起 61号	大豆 不耕起 タチナガハ					
3年	水稻 移植 コシヒカリ		水稻 乾直 コシヒカリ	小麦 耕起 農林61号	大豆 不耕起 タチナガハ			
4年	水稻 移植 コシヒカリ		水稻 乾直 コシヒカリ	小麦 耕起 農林61号	飼料米 移植	(新規) 大根	大豆 不耕起 タチナガハ	

作物・栽培技術を選択
(新規の場合:(新規)を選択)

品種名を任意に入力
(新規の場合:作物名を入力)

第1図 「水田輪作策定支援システム」の作付体系の設定画面

- 注：1）紙幅の関係で、簡略化したイメージ図で示しており、実際の画面とは、若干異なる。
 2）作付体系の設定行は任意に追加可能である。
 3）作物名等は、イメージを容易にするために簡便的に記載したものである。

あっても、輪作開始年ごとにプロセスを設定した。これは、例えば「水稻一大豆」の交互作の場合、作付体系の表現上は1つだが、作付の事態では、水稻から始まる場合と大豆から始まる場合の2パターンが想定可能であり、それを単体表で再現したものである。

第二に、本システムにおける利益係数は、異なる期間のプロセスを同じ基準期間で比較するために、1年当たりとした。そのため、複数年にまたがる作付体系の係数は、作付体系合計の利益を輪作年数で除したものとした。

第三に、労働係数について、本システムでは、作付体系ごとの労働係数の作成は、その作付体系を実行した場合に、全期間を通じて必要となる労働時間を直接的に表現した。具体的には、第2図に示すように、旬別労働時間を作目等に

応じ、その作目等の作業が開始される時期も含めて設定した。これらの設定による作付体系別の旬別労働時間は、当年作の作業開始時期から12月下旬までの労働時間に、前年作の1月上旬から作業開始時期までの労働時間を加算したものになる。

また、それらの労働係数を単体表に設定するに当たっては、利益係数と同様に、異なる年数の作付体系を同じ年数で実施した場合を想定し、本システムで設定可能な輪作年数（1～4年）の最小公倍数の期間である12年間の労働係数を設定した^{注7)}。

第四に、水田転作制約についても、12年間分の設定を行うことで、常に水田転作制約が遵守された作付体系の選択と、その面積が導出されるようにした。

年	月	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		
		旬	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
1年	大豆																									
	水稻																									
	麦																									
2年	麦																									
	大豆																									

※作付体系としての旬別の労働係数=当該旬における作目別の10a労働時間の総和

第2図 労働係数の設定方法—稲麦大豆2年3作の場合—

- 注：1）矢印は、表側に示した作目の作業期間を示す。
 2）輪作最終年（例では2年目）の年内に作業が終了しない場合、年越し後の作業は1年目の労働係数に反映される。

定数項	関係式	専従者	経営面積	稲単作	稲麦二毛作	稲麦大豆2年3作 ₁	稲麦大豆2年3作 ₂	...	4年輪作 ₁	4年輪作 ₂	4年輪作 ₃	4年輪作 ₄
	利益係数			P ₁	P ₂	P ₃	P ₃	...	P _n	P _n	P _n	P _n
水田面積	a ≥			1	1	1	1	...	1	1	1	1
経営面積	=		-1	1	1	1	1	...	1	1	1	1
水稲作付制約 ₁ 年目	≧		c-1	1	1	1	0	...	水稲が作付される年に「1」を設定			
水稲作付制約 ₂ 年目	≧		c-1	1	1	0	1	...				
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮				
水稲作付制約 ₁₁ 年目	≧		c-1	1	1	1	0	...				
水稲作付制約 ₁₂ 年目	≧		c-1	1	1	0	1	...				
基幹労働力	b ≧	1										
1月上旬労働 ₁ 年目	≧	-60		各プロセスの労働係数								
1月中旬労働 ₁ 年目	≧	-60										
1月下旬労働 ₁ 年目	≧	-60										
⋮	⋮	⋮										
12月上旬労働 ₁₂ 年目	≧	-60										
12月中旬労働 ₁₂ 年目	≧	-60										
12月下旬労働 ₁₂ 年目	≧	-60										

第3図 「水田輪作策定支援システム」における単体表の模式図

注：1) 斜体のプロセスが作付体系別のプロセスであり、ここでは一事例として示しているのみであり、実際の分析では設定に応じて任意に変更される。

2) pは各プロセスの利益係数を示し、同じ添字は同じ利益係数であることを示す。

3) aは水田面積の上限値、bは基幹労働人数の上限値、cは転作率を示し、それぞれ任意に設定する。

4) 転作率の分母は、水田面積ではなく、経営面積である。

5) 労働時間の制約は、旬別に12年間設定されるが、各プロセスの労働係数は、想定する輪作年数の旬別労働係数に基づいて12年間に拡張処理される。例えば、単作や二毛作は輪作年数が1年なので、1年分の労働係数を用いて12回繰り返し設定される一方で、4年輪作の場合は4年分の労働係数を用いて3回繰り返し設定される。

以上の点に基づいて作成される単体表の構造を模式的に示すと第3図のようになる。なお、本システムで単体表の作成にかかわる上記以外のルールとして、まず、地目は水田のみとし、それはすべて借地として取り扱い、地代は各作物別の費用に計上する。また、旬当たりの労働時間は、専従者1人当たり上限60時間として設定し、臨時雇用は考慮していない。ただし、これらのルールは、システム設計上の簡便さに起因するものであり、今後、利用者の意見等を踏まえながら修正する余地がある。

注6) 本システムでは、この設定によって4年8作までの作付体系が分析できる。この限定は、システム設計上の課題に起因しているが、4年8作までという想定は、水田の作付体系に概ね対応できるものと考えている。

注7) 分析対象とする作付体系の輪作年数によっては、常に12年間の労働係数は必要とならない。例えば、4年輪作を分析対象に加えていない場合は、6年間の労働係数でよい。しかし、本システムでは、常に12年間の労働係数

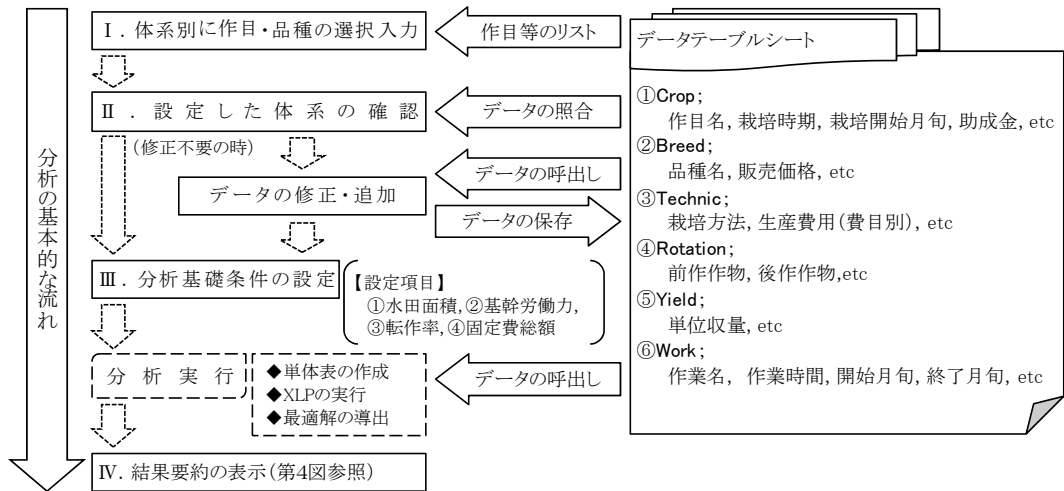
を設定しても、それによって最適解が影響を受けないこと、また、プログラミングの簡便さを考慮し、常に12年間の労働係数を設定するようにした。

III 「水田輪作策定支援システム」の基本構造

本システムにおける分析の基本的な流れは第4図に示すとおりである。

まず、1～4年までの輪作年数別に作目^{注8)}と品種を入力することで、分析する作付体系を設定する(前掲第1図も参照)。なお、作目は、本システムのデータテーブルシート^{注9)}へ登録済みのものから選択入力する。もし、そのリストに無い場合は、「(新規)」を選択入力した上で、作目名を任意に入力する。

次に、分析対象に設定した作付体系の確認作業を行う。この段階で、既存の作目等も含めて、農産物価格、単収、変動費、作業時間等のデー



第4図 「水田輪作策定支援システム」の基本的な構成

タの追加・修正を行う。ここで設定されたデータは、データテーブルシートへ反映され、次回以降の分析に活用できる。また、分析の基礎条件として、別途、水田面積、基幹労働力、転作率、固定費総額の設定を行う。

以上のデータを設定した後で、「分析実行」を行うと、線形計画モデルの単体表を自動作成した上で、線形計画法プログラム「XLP」^{注10)}によって最適解を導出し、要約した結果を表示する(第5図)。

表示する結果の内容は、農業所得と専従者1人当たりの農業所得、専従者の人数、経営面積ならびに耕地利用率(作付延べ面積÷経営面積)、作付面積、旬別労働時間(1年目)として表示

する。なお、作付面積については、作目等の組み合わせ、および作付体系としての組み合わせなど、分析対象の設定方法によって様々な情報を得ることが可能であるが、反面、それらの直接的な結果をそのまま提供しても有意義な情報提供にならない。そのため、作付面積の結果表示は、全体の作付延べ面積に加えて、作目と輪作年数という二つの軸で集計した結果を表示するようにした。ただし、これらの結果表示の内容についても、利用者の意見等を踏まえた修正を図っていく必要がある。

注8) ここでの作目は、栽培技術を考慮した作目である。例えば、本システムの初期設定で水稻を選択する場合は、移植の水稻か乾田直播

最適営農計画

【収益性】		【作付面積(ha)】							
農業所得	3,303 万円	体系計	水稻	小麦	大麦	大豆	飼料米	馬鈴しょ	
1人当たり所得	816 万円	作物計	69.9	9.1	3.6	15.6	38.2	2.7	0.7
【労働力】		1年1作_1	18.2				18.2		
専従者	3 人	1年2作_1	7.4			7.4	7.4		
【土地】		1年2作_2	0.7				0.7		0.7
経営面積	50.0 ha	2年3作_1	7.2	3.6	3.6		3.6		
耕地利用率	139.9 %	2年3作_2	11.0	5.5		5.5	5.5		
		2年3作_3	5.4			2.7	2.7	2.7	

第5図 「水田輪作策定支援システム」の結果表示画面(一部)

- 注：1) 作付面積の作物名や作付体系名は、データ設定状況で任意に変更される。
 2) 作物計の合計は作付延べ面積、各作付体系の合計はその作付体系が毎年利用する土地面積である。
 3) 紙幅の関係で、旬別労働時間のグラフの表示は省略している。

の水稲かを選択することになる。

注9) 本システムにおけるデータテーブルシートとは、データベースのテーブルを Microsoft Excel のワークシートで擬似的に再現したものである。

注10) 「XLP」は大石亘が開発した線形計画法を簡易に実行するための Excel アドイン (<http://cse.naro.affrc.go.jp/ooisi/xlp.html>) であり、その詳細は大石^[3]を参照。

IV 実用性の向上に向けた課題

本稿では、作付体系を考慮した経営計画の策定に対する必要性が高まる中で、それに応えるために開発した「水田輪作策定支援システム」の特徴を明らかにした。しかし、本システムの開発は端緒を開いたばかりであり、実用性の向上に向けたさらなる改良を図る必要がある。

特に、本システムは、作付体系を取り扱うという有効性を十分に発揮できていない。その一つに作付体系としてのデータの問題がある。本システムでは、品種や栽培方法が同一であれば、単収や生産費用も同じものとして取り扱うように設定している。しかし、営農実態を考慮すれば、品種や栽培方法が同一でも、その前後の作目等によって単収や生産費は異なるであろう。そのため、作付体系ということを踏まえた単収や生産費用等の客観的データを用意する必要があるが、現状では、作付体系技術としての開発や普及が求められ始めた状況であり、そのようなデータの整備が十分とはいえない。しかし、今後、作付体系を考慮したデータの重要性が益々高まるものと想定されることから、技術開発研究者にそのようなデータの収集・蓄積のための実証試験を働きかけ、協力してデータを整備していく必要がある。

また、以上に加えて、利用者との意見交換を踏まえて、経営条件等の設定内容や計算結果の表示内容などの改良を進めることで、実用性の向上を図る一方で、今後は、作付体系をプロセスに設定するという特徴を生かしながら、以下の点でシステムの改良を図っていく必要がある。

第一に、本システムでは、作付体系プロセスの技術係数を 12 年間で正確に再現させているが、最適解を導出するという視点に立てば、その必要性は低いものと考えられる。そのため、単体表での表現形式の相違にともなう最適解への影響に関する検証を進め、より単純化した単体表を効率的に作成できよう改良することである。第二に、価格が不安定な状況が増す中で、計画策定に当たって毎年の利益の変動も考慮していく必要がある、そのために、例えば、輪作年数ごとの多段階線形計画法への展開を検討することである。第三に、より精密な生産を実施していくために、圃場単位で複数年間の作付計画が可能なシステムへの発展を図ることである。以上のようなシステムの展開・深化によって、より効率的な営農計画の策定を支援する手法へ向上させていくことができるであろう。

[引用文献]

- [1] 天野哲郎 (1985) : 「畑作経営の作物選択と技術評価」、『農業生産の計画モデル—意思決定問題へのアプローチ (総合農業研究叢書第6号)』、pp. 1-30.
- [2] 梅本雅 (1996) : 「水田複合経営における水稲乾田直播栽培技術導入の経営的評価」、『農業研究センター経営研究』、35、pp. 25-40.
- [3] 大石亘 (2006) : 「営農計画のための線形計画法プログラム XLP」、『農業情報研究』、15(3)、pp. 319-330.
- [4] 大石亘 (2008) : 「営農計画モデル作成自動化プログラム BFM」、『農業情報研究』、17(2)、pp. 319-330.
- [5] 金岡正樹 (1998) : 「普通畑作経営における作物選択と雇用利用」、農業研究センター(編)、『線形計画法による農業経営の設計と分析マニュアル』、農林統計協会.
- [6] 土田志郎 (1998) : 「水田作経営を対象とした線形計画モデルの構築と利活用」、農業研究センター(編)、『線形計画法による農業経営の設計と分析マニュアル』、農林統計協会.
- [7] 松本浩一 (2009) : 「制度変革下における地域水田農業の動向予測手法構築に向けた課題」、関野幸二・梅本雅・平野信之(編著)、『制度変革下における水田農業の展開と課題』、農林統計協会.