

不確実性下の農業技術評価モデルと支援システム

農林水産省東北農業試験場 南石晃明 (Teruaki NANSEKI)

1. はじめに

農業分野における数理計画法の一つとして、新しく開発された農業技術を導入した場合に、農業経営にどのような効果が期待できるのかといった農業技術評価分析がある。これらの分析では、気象条件や市場動向の不確実性に起因する農業リスクの下で実際の農業経営の行動を擬似的に再現する一種の分析装置として数理計画モデルが利用されている。たとえば、最近では、水稻の移植栽培技術に代わって直播き栽培技術が注目を浴びており、全国各地の国公立農業試験場では直播技術の導入効果を定量的に評価する作業が進められており、数理計画モデルの利用場面が拡大している。

本報告では、不確実性下における農業技術評価のための数理計画モデルを提示すると共に、こうしたモデルを非 OR 専門家が簡易に利用できる支援システムを紹介する。

2. 確率分布の仮定とモデル化

農業経営の特徴の一つは、気象条件などの不確実な条件下で経営が行われる点である。このため、農業技術の評価に際しても、これらのリスクを考慮した分析が不可欠である。農業経営を取り巻く主なリスクは、作業リスク、収益リスク、財務リスクに大別できる。農業技術評価においては特に前の2つのリスクが重要となる。作業リスクは、農作業の多くが野外で行うために生じるものである。農作業は、降雨中は無論、降雨後も一定期間は作業ができないものがある。作業リスクは、作業可能時間変動リスク、作業時間変動リスク、作業時期変動リスクから構成される。収益リスクは、農業では生産量が十分に制御できないことを主要因として生じるものであり、売上リスクと費用リスクからなる。売上リスクは、収量変動リスクと農産物価格変動リスクから構成される。費用リスクは、主に変動費リスクであり、原材料価格変動リスクと原材料使用量変動リスクから構成される。

農業分野で用いられているモデルには、正規分布などの連続型確率分布を仮定したモデルと、離散型確率分布を仮定したモデルの2種類がある。連続分布を仮定するモデルは理論的にエレガントであるが、確率分布の推定に必要な十分なサンプル数のデータが得られない、作業リスクのように制約条件式に確率変数を導入すると解法が複雑になるといった点が、適用上の課題となっている。

一方、離散分布を仮定したモデルでは、確率変数は有限の発生型を想定することで、対象期間の年次のデータを各発生型に対応させることができ、制約条件に確率件数を仮定しても解法が簡易である特徴がある。農業分野で発達してきた MOTAD (Hazell, 1971) モデルや Truncated Maximin (Maruyama, 1972) モデルはこうしたアプローチに従うものである。後者は、最低収益の下限制約の下で期待収益を最大化するものであり、「最悪の年次でも一定の収益を確保する」という常識的に分かりやすい基準である。また、制約条件に関しては Madansky (1962) の "permanently feasible" (恒常的実行可能) の概念を導入することで、「どの年次の降雨パターンが生じても農作業が実施できる」といった実務的に理解しやすい用語で最適解を説明することが可能になる。実際の定式化は、多様な経営目標に対応するため次のような目標計画モデルを用いている。

目標計画問題：

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^L P_i (\sum w_i^+ d_i^+ + w_i^- d_i^-)$$

平均所得目標式 (Average Income Goal)：

$$\underline{E} \leq \bar{c}x - d_i^+ + d_i^- \quad \text{for } i = 1$$

最低所得目標式 (Minimum Income goal)：

$$l \leq c_j x \quad \text{for year } j$$

$$\underline{l} = l - d_i^+ + d_i^- \quad \text{for } i = 2$$

作業可能時間制約式 (Available operation time constraint)：

$$b_i = a_i x - d_i^+ + d_i^- \quad \text{for } i = 3 \text{ to } m$$

その他の制約条件および目標 (Other constraints and Goal)：

$$g_i = e_i x - d_i^+ + d_i^- \quad \text{for } i = m + 1 \text{ to } L$$

$$x \geq 0, d_i^+ \geq 0, d_i^- \geq 0, d_i^+ \cdot d_i^- = 0$$

Where

P_i : 優先順位 (preemptive priority factor)

w_i : 重み (weight factor)

d_i^+ : 超過変数 (over-attainment variable)

d_i^- : 不足変数 (under-attainment variable)

\underline{E} : 平均所得目標水準 (aspiration level for average income)

\bar{c} : 利益係数の平均値ベクトル (vector of average profit coefficient)

x : 計画変数ベクトル (planning variable vector)

\underline{l} : 最低所得目標水準 (aspiration level for minimum income)

c_j : j 年の利益係数ベクトル (vector of profit coefficient)

b_i : i 年の作業可能時間ベクトル (available operation time of year i)

a_i : i 年の制約係数行列 (operation coefficient matrix)

g_i : 資源制約量 (available resource of other constraint)

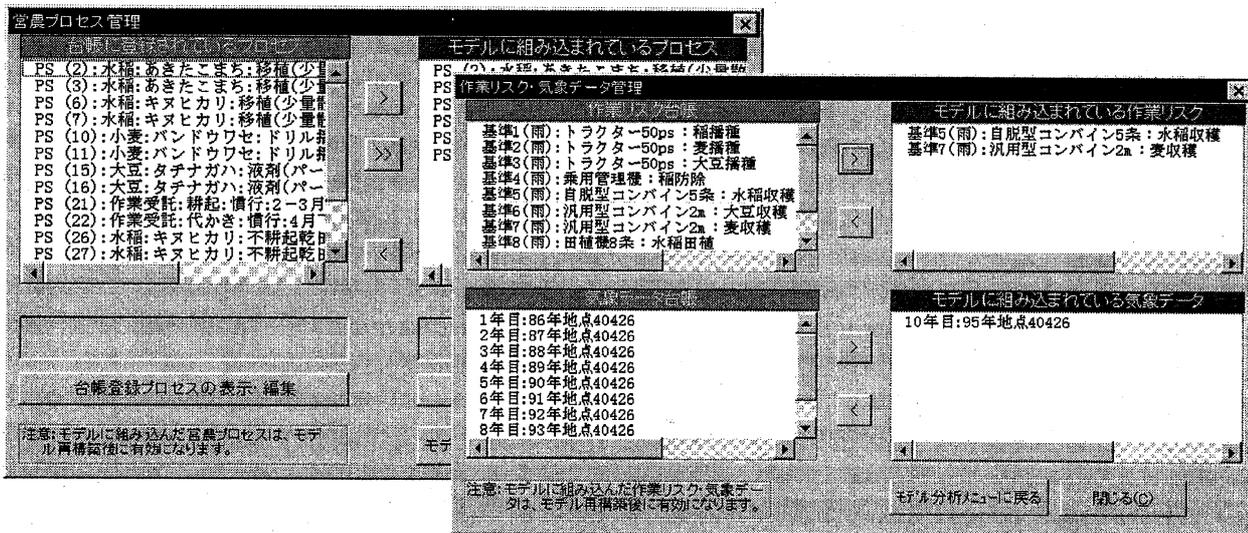
e_i : その他の資源制約量 (constraint coefficient vector of other constraint.)

このモデルの特長としては以下の点があげられる。変数(基本変数54)としては、各作物・品種・栽培様式毎の作付面積、旬別の臨時雇用時間、水田・畑の借地面積、パイプ・ハウス(簡易温室)増設面積、乾燥施設増設規模などがあり、制約条件・目標式(基本式305式)としては、水田・畑の土地制約、労働制約、機械作業制約、ハウス・乾燥機施設制約、市場環境条件などがある。また、目標制約では、農業所得や農業労働時間といった目標の優先順位や目標値を設定することが可能である。

3. 支援システム

農業経営を対象とした数理計画モデル利用には、a.モデルが小規模であるものが多い、b.対象毎に変数や制約などのモデルの構造が異なる、c. 利用希望者の多くは数理計画の予備知識を持たない、といった特徴がある。また、数理計画法の入門的な知識を持つ利用者からは、「モデルの作り方がわからない」、「モデル係数の整理の仕方がわからない」、といった意見が寄せられている。このため、次のような機能を持つ支援システムを開発している。

- a. 経営資源、経営目標、制約条件、降水パターン(最大10年間)、作物の年次を登録・選択することにより、これに対応する数理計画モデルの自動生成が可能である(図1)。

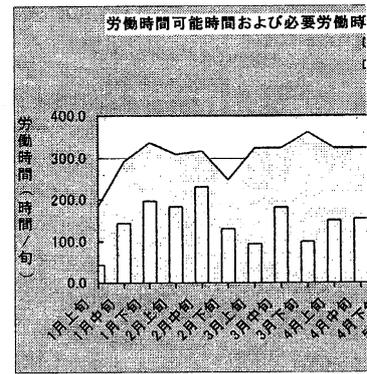


第1図 降水パターンおよび作物の選択画面

- b. 部門・作物データを、Excel97 ワークシートを利用した「営農プロセスシート」に入力することにより、データの蓄積・共有が可能である。労働係数は、旬別・作業項目別に表形式で入力し、費用・収益については項目ごとに最大10年間の設定が可能である。
- c. Excel97 ワークシートの利用により問題別インターフェースの作成が容易である。また、アメダス降水量データから機械作業可能時間を推定する機能も有している。
- d. モデルの妥当性検定を支援するため、試算分析による簡易検定が行える。
- e. 分析機能としては、価格や収量変動に起因する所得変動を分析する「収益リスク分析」や降水に起因する機械作業可能時間変動を分析する「作業リスク分析」ができる。計算結果は Excel97 の図表で表示される。これらの分析は、作付計画を利用者自身が設定する「試算分析」においても適用できるし、逆に収益変動目標や作業可能時間制約を満たすように最適な「作付計画」をシステムで算出することもできる(図2)。

<< 戻る 進む >> 初期メニュー モデル分析メニュー 結果比較メニュー 最適解を試算分析へ復写 営農プロセス・リセット	
数理計画分析メニュー	
利用法 労働時間グラフ 経営指標 水田利用状況 費用・収益 畑利用状況 労働時間 ハウス稼働状況 損益分岐点・費用曲線分析 乾燥機稼働状況	営農目標 目標水準 平均所得目標 4250.0 以上(万円) 平均粗収益目標 0.0 以上(万円) 年間総労働時間 9200.0 以下(時間/年) 水稲作付面積目標 0.0 以上(ha) 最低所得目標 4250.0 以上(万円)
達成値 達成度 2819.1 未達成 9038.1 達成 6569.6 達成 30.0 達成	経営指標 収益・費用 万円 1 所得(=2-5) 2819.1 2 粗収益(=3+4) 9038.1 3 売上高 7866.4 4 水田転作助成金 1371.7 5 経営費(=6+7+12) 6219.0 6 第1変動費計 1356.9 7 第2変動費計(=8~11) 3316.7 8 支払い雇用労賃 0.0 9 支払い地代 3316.7 10 ハウス増設費用 0.0 11 乾燥機増設費用 0.0 12 固定費(現有分) 1545.4 13 14
施設稼働状況 稼働率等 現有ハウス面積 2,259 1000㎡ 利用率 43.11907% 増設必要面積 0 1000㎡ 現有乾燥機能力 120 トン/旬 利用率 88.41574% 増設必要能力 0.0 トン/旬	耕地面積 水田 畑 合計 所有面積 0.00 0.00 0.00 ha 経営面積 56.41 0.00 56.41 ha 借地面積 56.41 0.00 56.41 ha 水田転作面積 26.38 ha 水田転作率 46.76%

プロセス名	作物名	品種名	技術体系名	作期名	備考	最適面積(単位10a)
PS (2)	水稲	あきたこまち	移植(少量散布)	4月下旬	4月下旬移植	41.4
PS (3)	水稲	あきたこまち	移植(少量散布)	5月上旬	5月上旬移植	89.271
PS (4)	水稲	コシヒカリ	移植(少量散布)	5月上旬	5月上旬移植	0
PS (5)	水稲	コシヒカリ	移植(少量散布)	5月中旬	5月中旬移植	0
PS (7)	水稲	キヌヒカリ	移植(少量散布)	5月中旬	5月中旬移植	62.49
PS (8)	水稲	キヌヒカリ	移植(少量散布)	5月下旬	5月下旬移植	62.057
PS (10)	水稲	月の光	移植(少量散布)	6月上旬	6月上旬移植、表跡	26.349
PS (12)	水稲	チヨニシキ	移植(少量散布)	5月上旬	5月上旬移植	0
PS (17)	小麦	バンドウセ	ドリル播き	11月上旬	11月上旬播種	80.254
PS (18)	小麦	バンドウセ	ドリル播き	11月中旬	11月中旬播種	68.789
PS (19)	小麦	バンドウセ	ドリル播き	11月下旬	11月下旬播種	0
PS (20)	大麦	カシマムギ	ドリル播き	10月下旬	10月下旬播種	99.192
PS (21)	大麦	カシマムギ	ドリル播き	11月上旬	11月上旬播種	41.896
PS (22)	大豆	タチナガハ	液剤(パーマチオン)	6月中旬	6月中旬播種	28.091
PS (23)	大豆	タチナガハ	液剤(パーマチオン)	6月下旬	6月下旬播種	23.058
PS (24)	イチゴ	女峰	慣行	5月中旬	5月までに収穫終了	0
PS (25)	イチゴ	女峰	慣行	3月下旬	3月までに収穫終了	0
PS (26)	イチゴ	慣行	慣行	10月上旬		0.877
PS (27)	味噌加工	慣行	慣行	3月中旬	100kg単位	31.97
PS (28)	作業受託	耕起	慣行	2-3月		23.8
PS (29)	作業受託	代かき	慣行	4月下旬		5.422
PS (30)	作業受託	田植	慣行	5月上旬		0
PS (31)	作業受託	収穫	慣行	8月下旬		0



第2図 結果表示画面例(基本画面)

支援システムは利用実験を行うため希望者に配布すると共に、ホームページで情報提供を行い (<http://kws144.narc.affrc.go.jp>)、メーリングリストで情報交換を行っている。1999 年末における FAPS 利用申込者は 400 人を越え (図3)、多様な分野で 50 以上の適用事例も報告されている。利用者の構成比は、農業改良普及センター26%、公立農業試験場 22%、都道府県庁(専門技術員など) 21%、大学・農業大学校 11%、農業者・新規就農予定者 4%、企業等 4%、国立農業試験場 4%、農林水産省行政機関 4%となっているおり、利用者の7割近くが都道府県の内農業改良普及および試験研究の関係者である。

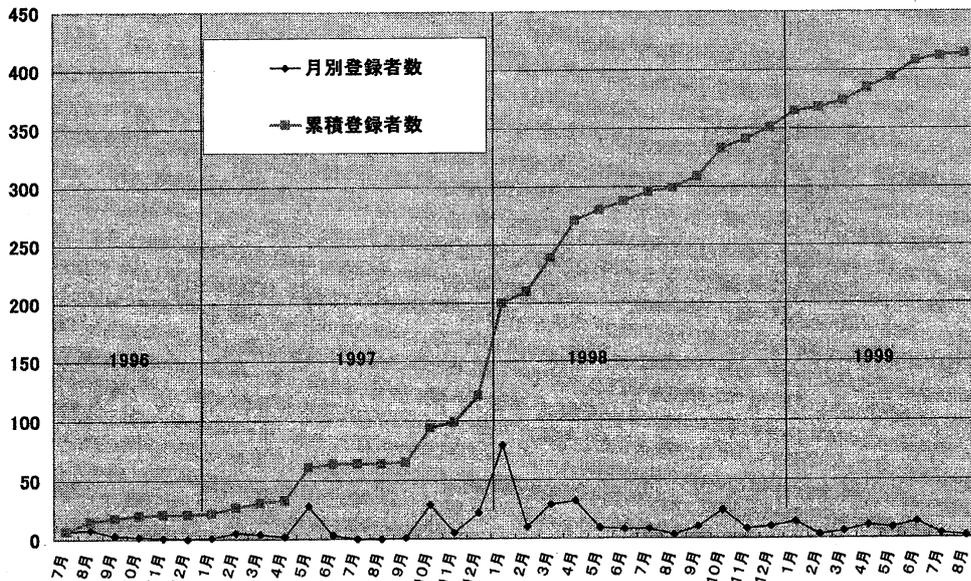


図3 FAPS 利用申込者数の推移

4. 終わりに

本報告では、農業技術評価に適用できる数理計画モデルを提示し、多様な適用例からその有効性を示唆した。本報告で提示した数理計画モデルは一定の汎用性をもち、支援システムに内蔵することによってOR非専門家の関心も高く、その利用も可能であることを示している。ただし、実際上有益な分析を行うためには、システムの操作性向上などの他に、必要なデータ収集が困難である、経験的に想定されるのと大きく異なる最適解が得られた場合の原因説明が困難である。離散分布アプローチでは、発生型として具体的にどの年次を対応させるかによって、最適解が大きく変化する場合がある。多雨年を発生型の一つとして含めると、水稻収穫作業可能時間がゼロとなり、水稻が全く採用されない場合もあり、対象年次の選択を如何に行うかが利用上の課題である。モデルに組み込む発生型（年次）によって最適解が大きく異なる、といった課題が残されている。

(以上)