鳥大農研報 (Bull. Fac. Agric., Tottori Univ.) 49 87～94 (1996)

# ファジィゲーム理論による小規模農家の出荷計画について

笠原浩三*・宋　鎮祐**・仙北谷康*

平成8年6月24日受付

# Marketing Planning of Small-Sized Farms by the Fuzzy Game Theory

Kozo KASAHARA*, Jinwoo SONG** and Yasushi SEMBOKUYA*

Recently, the fuzzy programming is applied to the agricultural management. The programming is very useful for the farm planning, because some subject values can be set to the programming such as the fuzzy values. Sometimes, we cannot get the subject values by field , so we can make the farm planning by use of the fuzzy programming.

In this paper, we attempt to modify the fuzzy game theory model for a small size of the mixed crops sector, and apply the modified fuzzy game theory to the tomato market planning by use of a nominal wholesale market price data. Furthermore, we attempt to applies for a real term wholesale market price data. We could get a useful solution for the tomato market by use of the fuzzy game theory. The mixed planning is separating a sale method in several seasons, that is, the first ten days of January, the second ten days and the last ten days of December.

## 緒　　論

農業経営の目標は，様々な経営者行動を引き起こすが結局のところ農業所得の最大化，または農業純収益の最大化にある。そのために生産物の販売に関しては農業所得，農業純収益の拡大を指向して有利な価格条件を追求する。生産物の販売・流通戦略はその目標達成の上からも重要な課題となっている。

しかしながら経営条件によっては短期的成果が要請される当面の販売計画や，長期的視点に立った販売戦略，さらには経営主の意志決定に関する各種特性上からも様々な形で表れてくる。とくに府県の小規模経営における兼業的あるいは複合的経営においては，極限の利益最大化というよりも，一歩退いての被害または損害の最小化を当面の販売目標にしている場合もある。これは，危険を冒しての利益最大化を追求するよりも，一歩退いて控えめな経営戦略によって，さし当たり堅実な利益を確保しようとするもので，このような経営戦略は従来ゲームの

---

*鳥取大学農学部農林総合科学科情報科学講座
*Department of Agricultural Information Science, Faculty of Agriculture, Tottori University
**日本学術振興会外国人特別研究員
**The Postdoctoral Foreign Fellowship, Japan Society for the Promotion of Science

理論によって効果的に対処されてきた。

しかしながらゲーム理論の解法には他の多くの数量計画法と同様に係数確定上の課題が残されてきた。すなわち実態調査に基づいて得られる技術係数や利益係数などが，最適解の導出に際して一定の明確な数値として与えておかなければならないことである。時には明確な数値設定が困難な場合や数値の確定に余り意味のないこともあった。すなわち，従来の各種数理計画法にあってはモデルの中に設定される各種係数には明確な数値を確定しておくことが絶対的に必要なこととなるのである。

さて，これに対して近年ファジィ理論に基づくファジィ数理計画法の研究開発が進んでいる。これは制約条件をファジィな「あいまいな」数値としての取り扱いを可能にしたもので，従来の数理計画法において最大の課題とされてきた係数の設定に極めて実践的な性質を与えたものとして注目されるものである。

本研究では，ゲーム理論の解法にこのファジィ線形計画法を適用し，所得極大目標の追求に代わって一歩退いて堅実な収入を指向する経営目標に特色を有する小規模複合経営部門の出荷販売を検討することを課題とするものである。

## ファジィゲーム理論

### 1）ファジィ線形計画法

ファジィ線形計画法は従来の線形計画法の制約条件式や目的式に設定される諸係数を明確な数値として与えずに，一定の幅を持たせて設定するものである[6)]。その結果モデルの適用に幅が生れて，実践的な対応が可能となる[(注1)]。

いま次のようにC，Xをn次元列ベクトル，Bをm次元列ベクトルとし，

$$C' = [c_1,\ c_2,\ \cdots\cdots,\ c_n],$$
$$X' = [x_1,\ x_2,\ \cdots\cdots,\ x_n],$$
$$B' = [b_1,\ b_2,\ \cdots\cdots,\ b_m],$$

Aをm×n次元マトリックスとすると，

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots\cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots\cdots & a_{2n} \\ & \cdots\cdots\cdots\cdots & & \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots\cdots & a_{mn} \end{pmatrix} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

一般の線形計画問題は

$$\text{maximize} \quad \Sigma c_i x_i \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

$$\text{subject to}$$
$$\Sigma a_{ij} x_j \leqq b_i, \quad i=1,2,\cdots,m \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$
$$x_j \geqq 0, \quad j=1,2,\cdots,n$$

という形に表現される[5)]。すなわち，行列表示では，

$$\text{maximize} \quad z = c'x \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$
$$\text{subject to}$$
$$Ax \leqq b \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(5)$$
$$x \geqq 0$$

となる。この時の制約条件式はすべてあいまいさのない確定した数値で与えられる。

これに対してファジィ線形計画法の制約式では，制限量を余り越えないというソフトな扱いとなる。すなわち，「余り越えてはいけない」という意味内容を記号「$\gtrsim$」を用いて表現することにすると，ファジィ線形計画法は

$$\text{fuzzy maximize} \quad c'x \gtrsim z \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$
$$\text{fuzzy subject to}$$
$$Ax \lesssim b \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(7)$$
$$x \geqq 0$$

と設定される[6)]。

ここで，記号「$\gtrsim$」は「余り越えてはいけない」という意味内容を表すが，具体的にその範囲を帰属度関数（membership function）によって以下のように設定される。いま第i番目のファジィ制約を規定する帰属度関数を$m_i$とするとそのあいまいな範囲は具体的に次のように表現される。ただし，$e_i$はあいまいな範囲を表す幅である。

$$\left.\begin{array}{lll} m_i(Ax)=0 & \text{if} & (Ax)_i \leqq b_i - e_i \\ 0 < m_i(Ax) < 1 & \text{if} & b_i - e_i < (Ax)_i \leqq b_i \\ m_i(Ax)=1 & \text{if} & b_i < (Ax)_i \end{array}\right\} \cdots\cdots(8)$$

また帰属度関数がとくに線形の場合には

$$b_i - e_i < (Ax)_i \leqq b_i$$

の範囲が$0 < \{((Ax)_i + b_i)/e_i\} \leqq 1$
となることから，次のように表現される。

$$\left.\begin{array}{ll} m_i(Ax)=0, & \text{if}\ (Ax)_i \leqq b_i - e_i \\ m_i(Ax)=1-((Ax)_i+b_i)/e_i, & \text{if}\ b_i - e_i < (Ax)_i \leqq b_i \\ m_i(Ax)=1, & \text{if}\ b_i < (Ax)_i \end{array}\right\}$$
$$\cdots\cdots\cdots(9)$$

ファジィ線形計画法はこのような具体的帰属度関数を

設定の上で(6)式の最大化が行われる。

**2）線形計画法によるファジィゲーム理論**

農民と自然との2人ゼロ和ゲームを想定し，農民が行 i を選び，自然が列 j を選んだときの農民の行動目標となる利得表を行列 $U_{ij}$ とする。

$$U=\begin{pmatrix} u_{11} & u_{12} & \cdots\cdots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \cdots\cdots & u_{2n} \\ & \cdots\cdots & & \\ u_{m1} & u_{m2} & \cdots\cdots & u_{mn} \end{pmatrix} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(10)$$

ここで，自然の選択し得る各々の手の出現割合を $p_j$ とすると，

$$p_1+p_2+\cdots+p_j+\cdots+p_n=1 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(11)$$

となり，さらに最大限に見積もられる自然の損失を v とすると，自然は農民の出す全ての手に対して v 以下になるように $p_j$ を決めようとする。したがって次の不等式が成り立つ。

$$\left.\begin{array}{l} u_{11}p_1+u_{12}p_2+\cdots\cdots+u_{1n}p_n\leqq v \\ u_{21}p_1+u_{22}p_2+\cdots\cdots+u_{2n}p_n\leqq v \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ u_{m1}p_1+u_{m2}p_2+\cdots\cdots+u_{mn}p_n\leqq v \end{array}\right\} \cdots\cdots\cdots(12)$$

さらに，$q_i=p_i/v$ と置き換えると行列表示によって(11)式，(12)式はそれぞれ(13)式，(14)式のように表される[1,2]。

$$Q'=1/v \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(13)$$

$$UQ\leqq I \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(14)$$

これは(14)式を制約式として，目的関数(13)式を最大化する通常の線形計画法の問題となる。かくしてこれを前述のファジィ線形計画法の問題に置きかえると，ファジィゲーム理論による線形計画法は次のようになる。

$$\text{fuzzy maximize} \quad Q' \gtrsim 1/v \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(15)$$

$$\text{fuzzy subject to} \quad UQ\lesssim I \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(16)$$
$$Q\geqq 0$$

ここで，農民の満足度を表す帰属度関数を λ とし，これを具体的に同定するとファジィゲーム理論の線形計画法は最終的に次のようになる。ただし，$u^*_{ij}$ はファジィゲーム理論に変数変換した利得行列の（i，j）要素である。

$$\text{maximize} \quad \lambda \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(17)$$

subject to

$$\left.\begin{array}{l} u^*_{11}p_1+u^*_{12}p_2+\cdots+u^*_{1n}p_n+c\leqq\lambda \\ u^*_{21}p_1+u^*_{22}p_2+\cdots+u^*_{2n}p_n+c\leqq\lambda \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ u^*_{m1}p_1+u^*_{m2}p_2+\cdots+u^*_{mn}p_n+c\leqq\lambda \end{array}\right\} \cdots(18)$$

$$p_1+p_2+\cdots+p_n=1 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(19)$$
$$p_j\geqq 0 \qquad j=1,\ 2,\ \cdots\cdots,\ n$$

かくして帰属度関数が同定された線形計画法によるファジィゲーム理論は(18)式，(19)式の制約条件下で帰属度関数(17)式を最大化させるものとなる。

## 複合農家の概要と利得表データ

**1）複合兼業農家の経営概要**

出荷計画の具体的適用例として鳥取県国府町における兼業農家のトマト複合経営部門を取り上げる。その経営内容は米を中心とし，ハウスによる水耕栽培でトマトを生産している。農外収入に頼る典型的な兼業農家であり，トマト複合部門はこれによって極大の所得拡大を追求するという目的よりも，それほど無理をせずに価格の暴落を避け，そこそこの販売額が得られれば良しとするもので，まさに複合経営のとトマト生産部門はゲーム理論の適用による出荷計画が相当と考えられるものである。平成6年の米部門とトマト部門の経営概要は次のとおりである。

○米部門
品種：ヤマヒカリ60ａ，キヌヒカリ50ａ
収穫量：10当たり480kg前後，10月上旬出荷
○トマト部門
品種：メリーロード，ハウスももたろう
　　　ハウス（10ａ）水耕栽培
収穫量：10当たり約8000kg前後
出荷時期：５月～７月初，10月～12月末

また，生産したトマトは全量ＪＡを通しての共同出荷を行っている。出荷時期は５月～７月初，10月～12月末の２期間に分かれており，露地物が出回る夏秋（７～８月）の期間には出荷されていない。これは地場露地物の市場出荷量の増大による値崩れを避け，高値安定の冬春（９～６月）の時期を計画栽培としているからに他ならない。収量に関しても，露地栽培では約5500kg/10ａで

あるのに対して当農家の水耕栽培では約8000kg/10ａと大幅に増量している。これは気象災害等の回避による生産安定，収穫期間の拡大といったハウス栽培の利点が効率よく発揮されていることを示すものである。

生産されたトマトは共同出荷により主として地元鳥取地方卸売市場に出されるが，価格は競争せりによって決定されるため事前に予測することは困難である。しかし季節性の強い生産物であることや出荷先が地場市場に制限されていることなどから，過去の価格情報を拠り所に一定の出荷戦略が考えられる。合理的な出荷時期の選定が可能になれば効果的であることはいうまでもない。

以下ではこのような経営状況に置かれているトマト生産農家の市場出荷計画にファジィゲームの理論を適用しその有用性を検討するものである。

**２）利得表の市場データと支配概念による整理**

本稿では複合経営のトマト部門について過去数年間の市場価格を基礎にファジィゲーム理論による出荷計画を考えるものであるが，そのために収集，整理した市場データが第１表である。

第１表　トマトの市場価格に関する利得表
（名目価格円／kg）

| 月・旬 | 元年 | ２年 | ３年 | ４年 | ５年 | ６年 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| １月 上 | 468 | 434 | 641 | 810 | 495 | 732 |
| ３月 中 | 451 | 446 | 537 | 560 | 603 | 532 |
| ３月 下 | 411 | 409 | 422 | 562 | 613 | 572 |
| ４月 上 | 515 | 413 | 319 | 569 | 561 | 566 |
| ４月 中 | 506 | 552 | 433 | 540 | 485 | 469 |
| ９月 中 | 267 | 439 | 528 | 510 | 805 | 608 |
| 12月 上 | 743 | 434 | 669 | 402 | 516 | 493 |
| 12月 中 | 684 | 494 | 556 | 367 | 669 | 548 |
| 12月 下 | 665 | 644 | 905 | 507 | 809 | 690 |

注1)「鳥取農林水産統計年報」中国四国農政局鳥取統計情報事務所。
2)欠落旬についてはゲームマトリックスの支配概念によって整理したことによるものである。

これによると，市場価格は概して１月～３月または９月～12月の春冬季で高く，ゲーム・マトリックスの支配概念によって振り落とされている月旬を含めて夏場の価格は全般的に低位である。しかしながら平成元年の１月，３月または平成４年の12月などはむしろ夏場の価格を下回る状態となっている。さりとて，期間中の最高価格905円/kgを狙って12月下旬に出荷した場合には，予定通り「自然」側が平成３年型を選んでくれば最高価格で販売が可能になるが，もし平成4年型を選んだ場合には507円/kgとなって，他の月旬の価格を下回る結果となる。

かくて，ゲームの理論に基づく最適解を求めてみると，次のようになる。

農民について：$\max\min u_{ij}=507$（12下旬，平成４年）
自然について：$\min\max u_{ij}=644$（12下旬，平成２年）

となり，$\max\min u_{ij}\neq\min\max u_{ij}$であるから純粋戦略でこのゲームの解を解くことはできない。よって混合戦略による解を求めることになるが，これについては以下の項においてファジィゲーム解と関連して検討することとしたい。

**３）複数の利得目標設定**

さてこれまでの検討モデルでは目標とする利得表は市場価格のみであった。普通であれば価格条件が良ければ所得・収益は上昇するものであるが，そのためには出荷時期に関係なく生産条件が一定であることが必要である。本稿では価格条件の利得表のみを用いているが，単位当たり生産コストが異なる場合には経営費や，労働生産性などの要素条件を考慮する必要がある。そのようなより精緻な条件を考慮した出荷計画に当たっては価格利得表の他に，経営費に関する利得表や労働生産性に関する利得表などを総合的に考慮しつつゲーム解を導出することが必要となる。それは複数利得をもつファジィ２人ゼロ和ゲームとして定式化がなされている[3,4,7]。

いま，目的ｋに対するファジィ目標を考え，農民の選択する手をｘ，自然の選択する手をｙとし，戦略の組（ｘ，ｙ）に対するファジィ目標の帰属度関数を次のように表すとき（Aは行動目標となる利得表である），

$$\mu^k(x,\ y)=\mu^k(xA^ky)$$

すべての目標を考慮した農民の満足度を表すファジィ目標の帰属度関数は次のようになる。

$$\mu^k(x,\ y)=\min_k \mu^k(xA^ky)$$

この満足度を農民は最大化し，自然は最小化する戦略をとる。したがって，

$$\max_x \min_y \mu(x,\ y)=\max_x \min_y \min_k \mu^k(xA^ky)$$

を満たす戦略がファジィ目標を考慮した複数行列ゲームのマクシミン戦略となる。

価格情報以外に経営費に関する利得表や労働生産性に関する利得表などが得られる場合には，価格利得表と共にこれらの目標条件を総合的に考慮しつつ複数行列ゲーム解を導出することとなる。

**線形計画法によるファジィゲーム理論の解**

**1）通常のゲーム理論のＬＰによる解**

先述の第⑿，⒀式に示した通常の線形計画法によって自然の選択する手についての最適解を求める。単体表実働方式のマトリックスは第１表より，

$$Q=\begin{pmatrix} 486 & 433 & \cdots\cdots & 732 \\ 451 & 446 & \cdots\cdots & 532 \\ & \cdots\cdots & \cdots\cdots & \\ 665 & 644 & \cdots\cdots & 690 \end{pmatrix}$$

となる[注2]。その最適解は次のようになり，

平成２年型を59.064％

平成４年型を40.936％

自然はこの割合で選択することによって，農民がどのような出荷戦略を選ぼうとも自然の損失を最小限にくいとめることができる。そして自然がこの割合で選択してくる時農民の出荷時期別期待価格は第２表（左）のようになり，自然は農民がどのような手を選択しようとも最大587円/kg以上の支払いをすることはない。

同様に農民の選択する出荷時期について最小化問題によって最適解を得ることができる。ただし，マトリックスＷの最大要素 $q_{ijmax}$ から全ての要素 $q_{ij}$ を差引いて得られるマトリックスを次のようにＷ*とすると，

$$W^{*}=q_{ijmax}-W=\begin{pmatrix} 437 & 471 & \cdots\cdots & 173 \\ 454 & 459 & \cdots\cdots & 373 \\ & \cdots\cdots & \cdots\cdots & \\ 240 & 261 & \cdots\cdots & 215 \end{pmatrix}$$

ＷをＷ*に置き代えて最大化問題として解くことができる[注3]。かくして農民の選択すべき最適解は，

１月上旬型を73.294％

12月下旬型を26.706％

となる。また農民がこの割合で出荷時期を選択する時，自然の出す手によって得られる期待価格は第２表（右）のとおりである。すなわち，農民は年間出荷量をこの割合で振り分けることによって自然の出してくる手に関係なく最小限１kg当たり587円の価格が保証されることになる。

また，その価格は農民がどのような手を選択しようとも自然が失う最大支払い587円に一致する。

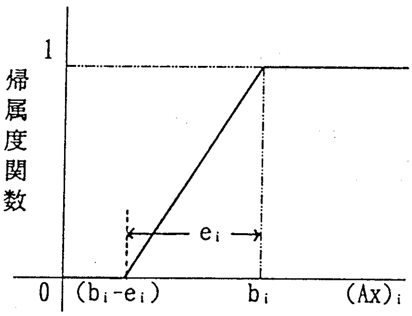
第２表　ゲーム基礎解に対する期待価格
（名目価格円／kg）

| 自然の選択する手に対する期待価格 | | 農民の選択する手に対する期待価格 | |
|---|---|---|---|
| 農民の選択する手 | 期待価格 | 自然の選択する手 | 期待価格 |
| １月上旬型 | 587 | 平成元年型 | 617 |
| ３月中旬型 | 492 | 平成２年型 | 587 |
| ３月下旬型 | 471 | 平成３年型 | 834 |
| ４月上旬型 | 476 | 平成４年型 | 587 |
| ４月中旬型 | 547 | 平成５年型 | 725 |
| ９月中旬型 | 468 | 平成６年型 | 701 |
| 12月上旬型 | 420 | | |
| 12月中旬型 | 442 | | |
| 12月下旬型 | 587 | | |

注）自然が支払う最大見積予想価格は農民が受け取る最小期待価格に一致する。
すなわち，$y_{max}=x_{min}=587$ となる。

**2）ファジィゲーム理論のＬＰによる解**

ここでは先に定式化したファジィ線形計画法によるゲーム理論の解を検討することとする。第⑼式の帰属度関数の同定を第１図のように $(Ax)_i<b_i-e_i$ の場合が０，$(Ax)_i>b_i$ の場合が１，それ以外の場合は $1+((Ax)_i-b_i)/e_i$ となる線形関数で与えられるものとする。




第１図　農民の線形帰属度関数

さらにここでは，第１表の利得表で考察したようにトマト市場価格は春冬の品薄な時期に市況が良くなっている。ここではこれを配慮して１月，12月の月に限り他の時期に比べて相対的に２割増の出荷を許容するものとする。

かくして，ファジィゲーム理論に組み上げられた線形計画問題の基本形は，

maximize　$\lambda$
subject to

$$468/638x_1-451/638x_2+\cdots+665/638x_9+267/638 \geqq \lambda$$
$$434/638x_1-446/638x_2+\cdots+644/638x_9+267/638 \geqq \lambda$$
$$\cdots\cdots$$
$$732/638x_1-532/638x_2+\cdots+690/638x_9+267/638 \geqq \lambda$$
$$x_1+x_2+\cdots\cdots+x_9=1$$

となる。かくして1月，12月に限り2割増の出荷を許容するものとして最適混合戦略を求めると次のとおりである。

平成元年型を46.089％
平成3年型を14.050％
平成4年型を39.406％
平成6年型を 0.455％
$\lambda=0.6207$

すなわち，第1図のように制約式にファジィ幅を持たせ，さらに1月，12月に2割増の許容条件を付与した場合に，自然はこのような割合で選択することによって農民がどのような手を出してこようとも彼の損失を最小限にくいとめることができることとなる。そしてその時の期待価格は第3表に示すように農民がどのような手を選択したとしても最大637円以上の支払いをすることがない。

第3表　最適選択手に対する期待価格
（名目価格円／kg）

| 自然の選択する手に対する期待価格 | | 農民の選択する手に対する期待価格 | |
|---|---|---|---|
| 農民の選択する手 | 期待価格 | 自然の選択する手 | 期待価格 |
| 1月上旬型 | 637 | 平成元年型 | 594 |
| 3月中旬型 | 506 | 平成2年型 | 561 |
| 3月下旬型 | 472 | 平成3年型 | 802 |
| 4月上旬型 | 509 | 平成4年型 | 626 |
| 4月中旬型 | 509 | 平成5年型 | 686 |
| 9月中旬型 | 401 | 平成6年型 | 706 |
| 12月上旬型 | 597 | | |
| 12月中旬型 | 554 | | |
| 12月下旬型 | 637 | | |

注1）自然が選択するゲーム解の帰属度関数 $\lambda=0.6207$
　　農民が選択するゲーム解の帰属度関数 $\lambda=0.7305$
2）自然及び農民の選択種の条件が異なるため $y_{max}(637) \neq x_{min}(561)$ となる。

一方同様にして農民の最適選択手について最適手を求めると次のようになる。ただし，自然の出してくる手については最近年次に近づくほど選択する確率が高くなるように想定した（注4）。

1月上旬型を39.142％
12月下旬型を60.858％
$\lambda=0.7306$

ファジィ制約を設定しない場合に比較して，12月に出荷する割合が増加する。帰属度関数 $\lambda$ は0.7306であり，必ずしも大満足という結果ではないものの，1月，12月出荷割合に2割増を許容する条件を与えたため12月下旬出荷割合が高まったものと解される。また農民がこの割合で出荷時期を選択する時，自然の出す手によって得られる期待価格は第3表（右）のとおりである。すなわち，農民の選択する手をこの割合で振り分けることによって自然の出してくる手に関係なく1kg当たり最小限561円の価格が保証されることになる。

ただしこの場合は，自然の選択する最適解の導出条件と農民の最適解の導出の条件式が同一ではなく，設定したファジィ値が異なるため，自然が覚悟しなければならない最大限支払いの期待価格637円と，農民が手にすることのできる最小限期待価格561円とは必ずしも一致することにはならない。

さてこれまでの考察では，トマトの市場価格は実勢価格であり名目表示によっている。この間の物価は比較的安定していた時期であったとはいえ，将来の出荷計画に異なる貨幣価値の価格水準を用いていては説明がつかないであろう。よって以下では市場価格の利得表を実質価格表示に変換した上でファジィゲーム理論を適用することとする。

第4表は先の第1表を農産物生産者価格指数（平成2年＝100）によって実質化したトマト市場価格の利得表である。これに基づいて以下同様なファジィ条件を付して最適ゲーム解を求めることとする。第5表その結果をまとめたものである。これによると自然の最適選択手は，

平成2年型を42.219％
平成4年型を17.554％
平成6年型を40.226％
$\lambda=0.6331$

の混合解となり，名目価格表示による結果と比較して平成元年，平成3年型の出荷計画が姿を消し，代わって平成2年型が採用される結果となっている。とくに平成6年型は名目表示による場合は選択確率の低い戦略となっていたが，実質化表示の場合には選択確率が比較的高い

戦略となっている。これは平成2年度を基準とした物価指数が平成4年，平成6年で相対的にやや低目の水準にあったことから実質価格表示では相対的にやや高い水準にデフレートされ，その結果農民が選択する手として有利になってきたことによるものと思われる(注5)。

第4表　トマトの市場実質価格に関する利得表
（実質価格円／kg）

| 月・旬 | 元年 | 2年 | 3年 | 4年 | 5年 | 6年 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1月 上 | 564 | 434 | 607 | 889 | 441 | 699 |
| 3月 中 | 524 | 446 | 509 | 615 | 537 | 508 |
| 3月 下 | 477 | 409 | 400 | 617 | 546 | 546 |
| 4月 上 | 598 | 413 | 302 | 625 | 500 | 541 |
| 4月 中 | 588 | 552 | 410 | 593 | 432 | 448 |
| 9月 中 | 310 | 439 | 500 | 560 | 717 | 581 |
| 12月 上 | 863 | 434 | 434 | 441 | 459 | 471 |
| 12月 中 | 794 | 494 | 621 | 403 | 596 | 523 |
| 12月 下 | 772 | 644 | 857 | 557 | 720 | 659 |

注1)第1表を農産物生産者価格指数（平成2年=100）を用いてデフレート。
2)欠落旬についてはゲームマトリックスの支配概念によって整理したことによるものである。

一方農民の最適選択手は，

1月上旬型を28.323%
12月下旬型を71.677%
$\lambda=0.7919$

第5表　実質価格によるファジィゲーム最適解

| 自然の選択最適手 | | 農民の選択最適手 | |
|---|---|---|---|
| 平成2年型 | 42.219% | 1月上旬型 | 28.322% |
| 平成4年型 | 17.554% | 12月中旬型 | 71.677% |
| 平成6年型 | 40.226% | $\lambda=.7919$ | |
| $\lambda=.6331$ | | | |

| 自然の選択する手に対する期待価格 | | 農民の選択する手に対する期待価格 | |
|---|---|---|---|
| 農民の選択する手 | 期待価格 | 自然の選択する手 | 期待価格 |
| 1月上旬型 | 620 | 平成元年型 | 713 |
| 3月中旬型 | 501 | 平成2年型 | 585 |
| 3月下旬型 | 501 | 平成3年型 | 786 |
| 4月上旬型 | 502 | 平成4年型 | 651 |
| 4月中旬型 | 517 | 平成5年型 | 641 |
| 9月中旬型 | 517 | 平成6年型 | 670 |
| 12月上旬型 | 450 | | |
| 12月中旬型 | 490 | | |
| 12月下旬型 | 635 | | |

注）必ずしも農民の最小期待価格と自然の最大見積支払額とは一致しない。すなわちここでは、$x_{min}$ (585) $\neq$ $y_{max}$ (635)である。

となる。名目価格表示の場合に比較して，いずれも1月，12月出荷戦略が採用されるものの12月の出荷割合がやや高まる結果となっている。また，帰属度関数$\lambda$もやや上昇して$\lambda=0.7919$となっている。さらに農民がこの割合で出荷時期を選択する時，自然の出す手によって得られる期待価格は名目表示の時の1kg当たり561円よりやや上昇する。すなわち，農民は年間出荷量をこの割合で振り分けることによって自然の出してくる手に関係なく最小限1kg当たり585円の価格が保証されることになる。

## 総　括

近年数理計画法を基礎とするファジィ計画法の適用例が農業経営，経済の分野にもみられるようになり，その有用性が注目されている。これまでの線形計画法を中心とする各種規範分析においては，資源制約量や諸技術係数を明確な数値として設定しておく必要があった。それらの設定数値は各種の調査結果を基に慎重に吟味し検討されるものであるが，数値設定の如何が直接最適解に影響を与えることから，数値確定がそのまま最適解を決定するというこの種計画法においては致命的な課題が残されていた。

これに対してファジィ線形計画法では設定すべき諸係数を一定の幅をもたせた「あいまいな」形で設定することが可能であり，従来からの線形計画法の課題を大きく改善することとなる。とくに通常の経営分析に適用する線形計画問題に比較して，モデルの中に確定数値を含むゲーム理論や輸送問題ではファジィ計画法の効果が一層大きいものと考えられる。

本稿では具体的に稲作複合経営におけるトマト複合部門にファジィゲーム理論を適用し，合理的な出荷戦略を考えてみた。いくつか明らかになった点を整理すると次のようである。

① 通常のゲーム理論にでは比較的市場価格の良い春・冬場の混合戦略が選択され，農民が期待できる最小限の価格と自然が期待する最大限支払い見積額は通常通り一致する。

② ファジィゲーム理論では帰属度関数によるファジィ制約条件の設定如何にも依存するが，採択確率が0と1の間を線形で結ぶ1次形式で設定した場合には通常のゲーム理論の解と一致する。これは最適解が，未知数を絶対値の形ではなく相対的な大きさを表す選択確率の形で導出されるからである。

③ また，最適解が相対的な大きさで与えられることから，一般の技術係数に相当する利得表に変数変換を施

すことによって，プレイヤー1，プレイヤー2共に最大化問題の手法で最適解を得ることができた。

④　ファジィ制約式の与え方は意志決定者である経営主の考え方にも依存するものであり，その設定は慎重に行わなければならないが，利得表を実質表示化するなどの吟味を行うことによってファジィゲーム理論を一層有用なものとすることができる。

＜注＞

1）すなわちファジィ計画法ではこの一定の幅を帰属度関数（membership function）として設定することになるが，この帰属度関数の設定の仕方が経営者の意志決定と密接に関係してくる。したがって，ファジィ計画法では帰属度関数の設定が決定的に重要な新たな課題となってくる。

2）ここでは選択する手の割合を未知数にしているため変数の絶対値そのものには意味が無く，最終解では相対比を求めることとなる。または最初の利得表データマトリックスUを次のように変換しておくとLPの最終解が直接相対比を表すこととなる。

$u_{ij} = u_{ij} / (u_{max} - u_{min})$

ただし，$u_{max}$，$u_{min}$はマトリックスUの最大値，最小値の要素である。

3）勿論通常のようにプレイヤー1の最小化問題として解くことができるが，ここでは変数変換を行い最大化問題として解いた。このような解法はゲーム理論のように相対比を未知数とする場合に限り有効である。

4）具体的には平成元年から平成6年まで等差数列による次のような制約条件を与えている。

$\Delta\lambda' = (0.05 \quad 0.10 \quad 0.15 \quad \cdots \quad 0.30)$

これは情報のもつ重みを背景に，直近年次になるほど市場価格の再現の可能性のあることを配慮したものである。このような配慮は市場価格を実質化する方法によってもある程度は接近できる。

5）平成2年＝100とする農産物生産者価格指数は次のとおりである（順次平成元年度より）。

86.1，100.0，105.6，91.1，112.3，104.7

## 参考文献


1）小山昭雄：ゲームの理論入門．日本経済新聞社，東京（1991）pp.100－125

2）ギボンズ，R.：応用経済学のためのゲーム理論入門．木村憲二訳，マグロウヒル，東京（1994）pp.31－57

3）西崎一郎，坂和正敏：複数のファジィ目標をもつ2人ゼロ和ゲーム．日本ファジィ学会誌，**4－3** 106－113（1992）

4）西崎一郎，坂和正敏：n人協力ゲームにおけるファジィ決定に基づく解の概念．日本ファジィ学会誌，**4－2** 316－324（1992）

5）森口繁一：線形計画法入門．日科技連，東京（1991）pp.100－125

6）竹田英二，西田俊夫：ファジィ集合とその応用．森北出版，東京（1989）pp.102－117

7）W.D. Cook : Zero－Sum Games with Multiple Goals. *Naval Research Logistics Quartery,* 23 615－622（1976）