Journal of the Operations Research
Society of Japan
Vol. 44, No. 2, June 2001

© 2001 The Operations Research Society of Japan

ファジィ平均分散分析による農作物の作付決定問題への応用

川浦孝之　　和多田淳三
大阪工業大学

(受理 2000 年 4 月 20 日；再受理 2000 年 10 月 23 日)

和文概要　農業生産は売価の変動が不確定である．不確定な売価変動のもとで生産規模を決定するためにはリスクと期待収益を考慮した意思決定が重要である．また，その時の意思決定者の希求水準は，一定値で表現することは困難であろう．本論文では，意思決定者の希求水準を幅を持って考慮するため，ファジィ平均分散分析に基づく農業経営の作付決定法を提案する．ファジィ平均分散分析は，意思決定者の基求水準を一定値で表現することが困難であることから意思決定者の希求水準を幅付きで考慮し，意思決定者の希求水準を実現するモデルである．この手法では意思決定者は期待収益率およびリスクに関して必要レベルと十分レベルの設定を行う．この目標レベルを満足する解を満足解として得るのである．本論文ではファジィ平均分散分析に基づく農作物の作付決定を提案している．

1. はじめに

農業生産は売価の変動が不確定である．不確定な売価変動のもとで生産規模を決定するためには，期待収益を最大にするだけでなく，収益の分散で表されるリスクを最小化することが必要である．図 1に示すきゅうりの生産物数量と生産物価格からも各年度における変動が非常に大きいことがわかる．このような変動によるリスクを考慮した安定的な収益を確保することが農業経営において重要である．

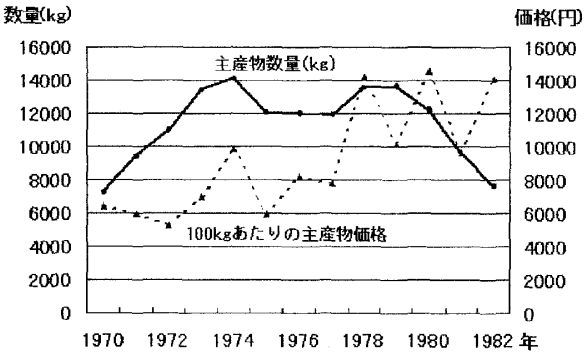

図 1: きゅうりの生産物数量と価格

本論文ではリスクを考慮した作目選択と生産規模の設定方法を提案する．

一般にその時の意思決定者の希求水準は，一定値で表現することは困難であろう．本論文では，意思決定者の希求水準を幅を持って考慮するためファジィ集合の概念を導入し，意思決定者の希求水準の満足化を考慮したモデルであるファジィ平均分散分析 [10] に基づく農業経営の戦略決定法を提案する．

証券への分散投資手法である平均分散分析に関して，意思決定者の漠然とした希求水準を反映させる方法を用いて分析を行う．すなわち，従来のポートフォリオ選択問題では，意思決定者の希求する期待収益率の実現のもとで，リスク（分散）を最小にする2次計画問題として定式化されてきた．この期待収益率とリスクの間には，トレード・オフの関係がある．このため，意思決定者が与える目標期待収益率を固定させた状態でリスクを計測するよりも，期待収益率最大およびリスク最小とする2目的計画問題として定式化する方が適切である．これらのポートフォリオ選択問題は遺伝的アルゴリズムやニューラルネットワークを用いた分析が提案されている [7, 11, 12]．それらを農業問題や販売問題で応用されている [3, 4, 5]．

本論文ではファジィ平均分散分析について論じる．特に，ポートフォリオ選択問題を2目的平均分散分析として定式化を行い，さらに期待収益率とリスクの両指標に対して，意思決定者の漠然とした希求水準を反映させる．本研究では，線形型メンバーシップ関数を適用したときの解の選択時における問題点を解消できるシグモイド型メンバーシップ関数を適用する．すなわち，意思決定者の希求する期待収益率およびリスクの両指標をシグモイド型メンバーシップ関数によって規定したファジィ平均分散分析を解く．この手法では意思決定者は期待収益率およびリスクに関して必要レベルと十分レベルの設定を行う．この目標レベルを満足する解を満足解として得るものである．

本論文ではファジィ平均分散分析を用いて，農作物の期待収益を最大化，収穫のリスクを最小化する，意思決定者が満足する農作物の作付け割当てを決定する方法を提案する．

2. 農業経営

農業経営とは，農業生産を手段として最大の収益を実現することを目標とする生産の永続組織体 (going concern)」である.「農業経営」は農業経営行為を指すのではなく,「諸生産要素泉源体の結合組織体」すなわち，農業経営体を指すものである．

農業経営の機能を分類すると図2になる．図2より農業経営機能は管理機能と作業機能に大別され，管理機能は決定機能，経常管理機能，経営評価機能に区分される [1]．本論文では管理機能のうちの決定機能における作目選択と生産規模の決定についてリスクを考慮する方法を提案する．

農業経営の目的には二つの見解があり，その一つは，農業経営の目標を「農業所得」におくものであり，もう一つは「農業純収益」の最大を目指すものである．前者は，農業生産による総水揚高すなわち農業粗収益から，その農業生産のために費した肥料および飼料のような物的支出と，雇用労賃を支払っている場合にはこの労賃支出を差し引いた残額，すなわち農業所得を目標としている．後者は農業粗収益から，単に物的な支出のみならず，自家労賃も雇用労賃と同じように正しく評価し，これを費用として差し引いた残額，すなわち農業純収益を目標としている [2]．

このように農業経営をするにあたって粗収益は重要視されている．本論文では，野菜の粗収益を用いて分析を行った．

3. 平均分散分析

3.1. 作付決定の平均分散分析

平均分散分析 [6] は，H. Markowitz によって提案された証券への分散投資手法である．その方法は，各証券に対する収益率時系列をもとに，意思決定者の希求する目標期待収益率

Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

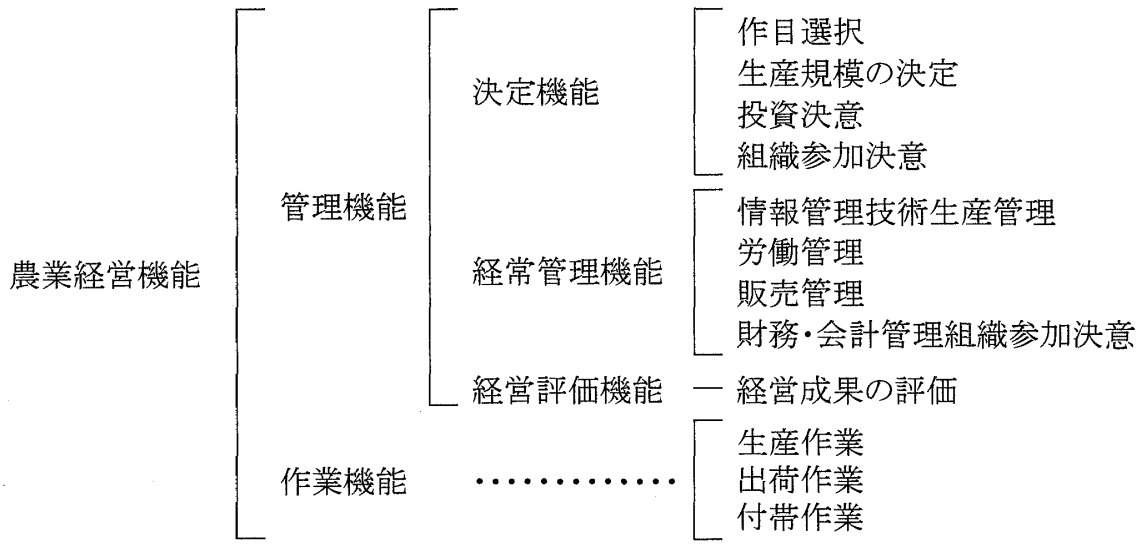

図 2: 農業経営機能の分類

に対して，最小リスク（最小分散）を実現する各証券への投資比率を求める数理的手法である．この平均分散分析は，期待収益率および分散共分散の予測もしくは計算が困難であることや，仮にこれらのデータが得られたとしてもほとんどすべての共分散が 0 にならないため，大規模な数理計画問題を解かなくてはならないという計算上の問題点を有していた．このため，近年，A. Perold や H. Konno らによって大規模な平均分散分析に対する効率的な計算アルゴリズムが提案されてきている．

H. Markowitz によって提案されている平均分散分析では，ほとんどの意思決定者が危険回避者であるとして議論が行われる．この危険回避者とは，横軸 V をリスク，縦軸 E を期待収益率とした場合，下に凸の効用関数を有する意思決定者として定義されている．しかしながら，危険回避型を表す効用関数は，各意思決定者の効用が異なるために同定することが困難である．このため，H. Markowitz モデルは，意思決定者が希求する目標期待収益率を制約条件の一つとして組み込み，リスクを最小にする以下の 2 次計画問題として定式化される．一般にポートフォリオ選択問題と呼ばれている．以下では，平均分散分析を作付決定モデルに応用した場合について説明する．

要因数を n とし，第 i 要因の最近の過去 N 期にわたる収益率の時系列を

$$r_{i1}, r_{r2}, \cdots, r_{iN} \quad (i = 1, 2, \cdots, n) \tag{1}$$

とする．ここで α 期の収益率は，α 期の価格と $(\alpha - 1)$ 期の価格の差を $(\alpha - 1)$ 期の価格で割ったものとし

$$r_{i\alpha} = \frac{P_{i\alpha} - P_{i(\alpha-1)}}{P_{i(\alpha-1)}} \tag{2}$$

となる．ここで価格時系列データは

$$P_{i0}, P_{i1}, P_{i2}, \cdots, P_{iN} \quad (i = 1, 2, \cdots, n) \tag{3}$$

である．

Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

これらの平均が第 i 要因も期待収益率になる．第 i 要因の期待収益率をμ_i とすると，

$$\mu_i = \frac{1}{N}(r_{i1} + r_{i2} + \cdots + r_{iN}) \tag{4}$$

となる．

第 i 要因への投資比率を x_i とし，空売りは考慮しない状況を取り扱う．すなわち，

$$x_i \geq 0 \quad (i = 1, 2, \cdots, n), \tag{5}$$

$$x_1 + x_2 + \cdots + x_n = 1. \tag{6}$$

このようなポートフォリオを $P(x)$ とする． $P(x)$ の期待収益率とリスク（分散）は，過去にこの割合で分散投資を行って来たと想定して，その平均と分散を求めればよい．

$P(x)$ の収益率の想定時系列は

$$\sum_{i=1}^{n} x_i r_{i1}, \sum_{i=1}^{n} x_i r_{i2}, \cdots, \sum_{i=1}^{n} x_i r_{iN} \tag{7}$$

である．

したがって，$P(x)$ の期待収益率 $E(x)$ はこれらの平均

$$E(x) = \frac{1}{N}\{\sum_{i=1}^{n} x_i r_{i1} + \sum_{i=1}^{n} x_i r_{i2} + \cdots + \sum_{i=1}^{n} x_i r_{iN}\} = \sum_{i=1}^{n}(\frac{1}{N}\sum_{\alpha=1}^{N} r_{i\alpha})x_i = \sum_{i=1}^{n} \mu_i x_i \tag{8}$$

になる．

また，リスク $V(x)$ は

$$\begin{aligned} V(x) &= \frac{1}{N}\{(\sum_{i=1}^{n} x_i r_{i1} - \sum_{i=1}^{n} \mu_i x_i)^2 + (\sum_{i=1}^{n} x_i r_{i2} - \sum_{i=1}^{n} \mu_i x_i)^2 + \cdots + (\sum_{i=1}^{n} x_i r_{iN} - \sum_{i=1}^{n} \mu_i x_i)^2\} \\ &= \frac{1}{N}\sum_{\alpha=1}^{N}\{\sum_{i=1}^{n} x_i(r_{i\alpha} - \mu_i)\}^2 = \frac{1}{N}\sum_{\alpha=1}^{N}\{\sum_{i=1}^{n} x_i(r_{i\alpha} - \mu_i)\}\{\sum_{j=1}^{n} x_j(r_{j\alpha} - \mu_j)\} \\ &= \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\sum_{\alpha=1}^{N} x_i x_j (r_{i\alpha} - \mu_i)(r_{j\alpha} - \mu_j) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \sigma_{ij} x_i x_j \\ &\quad (\text{ただし，} \sigma_{ij} = \frac{1}{N}\sum_{\alpha=1}^{N}(r_{i\alpha} - \mu_i)(r_{j\alpha} - \mu_j)) \end{aligned} \tag{9}$$

となる．σ_{ij} は，$i = j$ のときは第 i 要因の収益率の分散であり，$i \neq j$ のときは，第 i 要因と第 j 要因の共分散である．

以上の記号を用いると Morkowitz の定式は以下で与えられる．

[定式 1]

$$\begin{aligned} \text{minimize} \quad & \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \sigma_{ij} x_i x_j \\ \text{subject to} \quad & \sum_{i=1}^{n} \mu_i x_i \geq R \\ & \sum_{i=1}^{n} x_i = 1, \quad x_i \geq 0 \ (i = 1, 2, \cdots, n) \end{aligned}$$

Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

ただし，R は目標期待収益率，σ_{ij} は第 i 作物と第 j 作物の収益率の共分散，μ_i は第 i 作物の収益率，x_i は第 i 作物への作付割当率である．

定式 1 において目標期待収益率を変化させたときの解の変化を図示すると，一般に図 3 に示す $E-V$ 領域が得られる．ただし，図中の E 軸は期待収益率，V 軸はリスク（分散）を表している．

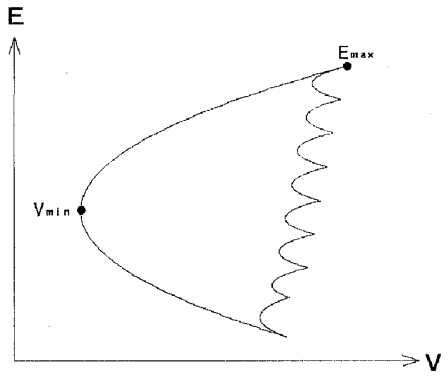

図 3: $E-V$ 領域

この定式 1 の特徴は，作付分散化を行うことによってリスクを軽減することにある．理解を容易にするために，2 作物への分散作付を例に説明する．$E-V$ 領域に存在する任意の作物 A および B に対して，両作物の相関係数が 1 である場合には，2 点（作物 A および作物 B の各々の点）を結んだ直線上にその目標期待収益率とリスクが存在する．さらに，相関係数が -1 である場合には，無リスクを実現する点が 1 点存在し，それを実現する点と作物 A および作物 B の各々の点を結んだ 2 直線上にその目標期待収益率とリスクが存在する．このため，対象となる各作物間の相関係数の絶対値がすべて 1 でない限り，分散化作付を行うことによってリスクを軽減することが可能となる．

3.2. 作付決定のファジィ平均分散分析

ファジィ目標およびファジィ制約に対するメンバーシップ関数として，一般的に用いられている線形型メンバーシップ関数の有する理論的問題点を解決するために，シグモイド型メンバーシップ関数を適用する [8]．ここで，シグモイド型メンバーシップ関数は非線形関数であるが，このメンバーシップ関数の性質を利用することにより，比較的容易に扱えることが判っている．このシグモイド型メンバーシップ関数によっ規定される意思決定を説明する．

一方，平均分散分析における意思決定に関しては，意思決定者の希求する期待収益率の実現の下で，リスクを最小にするように定式化されている．しかしながら，実際には，期待収益率とリスクの両者の間には，効率的フロンティアとよばれるパレート領域が存在（図 3 中の曲線 $V_{\min}E_{\max}$ 上）が存在するため，以下に示すような目標期待収益率最大化，目標リスク最小化の 2 目的モデルの方が望ましい．

[定式 2]

$$\text{minimize} \quad \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\sigma_{ij}x_ix_j$$

$$\text{maximize} \quad \sum_{i=1}^{n}\mu_ix_i$$

Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

$$\text{subject to} \qquad \sum_{i=1}^{n} x_i = 1, \quad x_i \geq 0 \ (i = 1, 2, \cdots, n)$$

さらに，意思決定者はリスクの下で代替案の選択を行う際に，過去の経験と現状とを照らし合わせて，得られた結果を評価している．このため意思決定者はあらかじめ期待収益率およびリスクに対してある目標値を有している．ただし，目標値である期待収益率およびリスクは，必然的に幅を有するあいまいな値としてとらえていると考えられる．このため，この2目的ポートフォリオ選択問題に対して，意思決定者の希求水準の満足化を考慮したファジィ平均分散分析を導入する．

3.2.1. シグモイド型メンバーシップ関数

シグモイド関数は，ニューラル・ネットワーク・システムのしきい値関数としてよく用いられており，ロジスティック関数ともよばれている．その一般式は，以下に示すとおりである．

$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp(-\alpha x)}. \tag{10}$$

このシグモイド型メンバーシップ関数を用いると，目標期待収益率に関しては次のようになる．

$$\mu_E(E(\boldsymbol{x})) = \frac{1}{1 + \exp(-\alpha_E(E(\boldsymbol{x}) - E_M))}. \tag{11}$$

また，目標リスクに関しては，次のとおりである．

$$\mu_V(V\boldsymbol{x})) = \frac{1}{1 + \exp(\alpha_V(V(\boldsymbol{x}) - V_M))}. \tag{12}$$

ここで，$E(x)$ および $V(x)$ は，$E(x) = \sum_{i=1}^{n} \mu_i x_i$ および $V(x) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \sigma_{ij} x_i x_j$，$E_M$ は目標期待収益率に対する帰属度λが 0.5 となる期待収益率の値，V_M は目標リスクに対する帰属度 λ が 0.5 となるリスクの値，α_E および α_V はメンバーシップ関数の形状を決定するパラメータで，ともに $\alpha_E > 0, \alpha_V > 0$ である．ただし，パラメータ α_E および α_V とも値を大きくすれば，あいまいさの幅は小さくなる．またこれらのパラメータは，意志決定者によって経験的に決められる．

これらのメンバーシップ関数を適用して，Bellman-Zadeh の最大化決定に従えば，以下のように定式化される．

[定式 3]

$$\begin{aligned} &\text{maximize} && \lambda \\ &\text{subject to} && \lambda + \exp(\alpha_V(V(\boldsymbol{x}) - V_M))\lambda \leq 1 \\ & && \lambda + \exp(-\alpha_E(E(\boldsymbol{x}) - E_M))\lambda \leq 1 \\ & && \sum_{i=1}^{n} x_i = 1, \quad \lambda, x_i \geq 0 \ (i = 1, 2, \cdots, n) \end{aligned}$$

ここで，シグモイド関数 $f(x)$ は $f(x) = 0$ を漸近線とすることから，$\lambda > 0$ である．このため，定式 3 の指数関数を含む制約条件式は，次の変形を行うことでより容易な数理計画問題に変換できる．

Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

目標期待収益率に関しては以下のとおりである．

$$\alpha_E(E(\boldsymbol{x}) - E_M) \geq \log \frac{\lambda}{1-\lambda}. \tag{13}$$

また，目標リスクに関しては以下のとおりである．

$$-\alpha_V(V(\boldsymbol{x}) - V_M) \geq \log \frac{\lambda}{1-\lambda}. \tag{14}$$

よって定式 3 は，等価的に定式 4 のように表現できる．

[定式 4]

$$\begin{array}{ll} \text{maximize} & \lambda_t \\ \text{subject to} & \alpha_V V(\boldsymbol{x}) + \lambda_t \leq \alpha_V V_M \\ & \alpha_E E(\boldsymbol{x}) - \lambda_t \geq \alpha_E E_M \\ & \displaystyle\sum_{i=1}^{n} x_i = 1, \quad \lambda_t, x_i \geq 0 \ (i = 1, 2, \cdots, n) \end{array}$$

シグモイド型メンバーシップ関数を用いたファジィ平均分散分析の制約条件より

$$V(\boldsymbol{x}) = V_M - \frac{\lambda_m}{\alpha_V}, \tag{15}$$

$$E(\boldsymbol{x}) = E_M + \frac{\lambda_m}{\alpha_E}. \tag{16}$$

ここで，$\lambda_m > \lambda_s$ なる任意のλ_s に対して，(15) 式および (16) 式の各々の右辺の大小関係は，それぞれ (17) 式および (18) 式となる．

$$\frac{-\lambda_m + \lambda_s}{\alpha_V} < 0, \tag{17}$$

$$\frac{\lambda_m - \lambda_s}{\alpha_E} > 0. \tag{18}$$

よって，目的関数 λ_t の値を増加させることによって，リスクの値は減少し，かつ期待収益率の値は増加する．また，定式 4 で用いられるシグモイド型メンバーシップ関数は，$\lambda = 1$ および $\lambda = 0$ を漸近線とすること，および$\sum_{i=1}^{n} x_i = 1$ なる制約条件から定式 4 より得られる解は，定式 1 もしくは定式 2 で得られる解（効率的フロンティア上の解）と同値である．

メンバーシップ関数の形状を決定するパラメータ α_E および α_V に関しては，ヒューリスティックな方法で意思決定者が設定を行わなければならない．

一方，V_M および E_M の設定に関しては，意思決定者の設定する必要レベル V_L と E_L および十分レベル V_U と E_U を用いて決定することができる．つまり，V_M および E_M は，意思決定者の希求するリスク値および期待収益率に対するメンバーシップ値が 0.5 を有する値を示すため，それぞれの必要レベルと十分レベルの中間の値を採用すればよい．ただし，リスクおよび期待収益率のそれぞれに関する必要レベルおよび十分レベルは，メンバーシップ関数が線形型の場合においては 0 もしくは 1 のメンバーシップ値を有する点となるが，シグモイド型メンバーシップ関数に対してはこの限りではない．このため，必要レベルおよび十分レベルを 0.01 もしくは 0.99 などと近似しなければならない．

Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

以上の観点より，必要レベルと十分レベルの中間値を V_M および E_M であるとみなせば，パラメータ α_V および α_E に関して以下のことがいえる．

定式 4 より任意の解 λ_m が得られると，リスクおよび期待収益率のそれぞれは，(19) 式および (20) 式を満たす．

$$\lambda_m = -\alpha_V(V(\boldsymbol{x}) - V_M), \tag{19}$$

$$\lambda_m = \alpha_E(E(\boldsymbol{x}) - E_M). \tag{20}$$

よって，(19) 式および (20) 式より (21) 式が得られる．

$$\frac{\alpha_V}{\alpha_E} = -\frac{E(\boldsymbol{x}) - E_M}{V(\boldsymbol{x}) - V_M}. \tag{21}$$

ここで，メンバーシップ値の基準点を 0.5 とすると，$\lambda_m - 0.5$ の変化量に対して，リスクおよび期待収益率のそれぞれの変化量は$-(V(\boldsymbol{x}) - V_M)$ および $E(\boldsymbol{x}) - E_M$ である．したがって，リスク $V(\boldsymbol{x})$ および期待収益率 $E(\boldsymbol{x})$ のそれぞれが，近似的に与えられた十分レベル（V_U および E_U），もしくは近似的に与えられた必要レベル（V_L および E_L）を得たと仮定すれば，(22) 式もしくは (23) 式が得られる．

$$\frac{\alpha_V}{\alpha_E} = -\frac{E_U - E_M}{V_U - V_M}, \tag{22}$$

$$\frac{\alpha_V}{\alpha_E} = -\frac{E_L - E_M}{V_L - V_M}. \tag{23}$$

同様に，メンバーシップ値の基準点を近似的に与えられた必要レベル，もしくは近似的に与えられた十分レベルとすることにより，(24) 式もしくは (25) 式が得られる．

$$\frac{\alpha_V}{\alpha_E} = -\frac{E_U - E_L}{V_U - V_L}, \tag{24}$$

$$\frac{\alpha_V}{\alpha_E} = -\frac{E_L - E_U}{V_L - V_U}. \tag{25}$$

ゆえに，リスクおよび期待収益率に対する両者のあいまいさの尺度は同じである．

リスクおよび期待収益率に対する必要レベル V_L と E_L および十分レベル V_U と E_U が，意思決定者によって近似的に与えられるならば，メンバーシップ関数の形状を決定するパラメータ α_E および α_V は，それぞれ (26) 式および (27) 式によって決定できる．

$$\alpha_E = \frac{\log \dfrac{\lambda}{1-\lambda}}{E(\boldsymbol{x}) - E_M}, \tag{26}$$

$$\alpha_V = -\frac{\log \dfrac{\lambda}{1-\lambda}}{V(\boldsymbol{x}) - V_M}. \tag{27}$$

4. 野菜の作付け割当問題への適応

本論文ではファジィ平均分散分析を用いてきゅうり，キャベツ，はくさい，レタス，トマト，だいこん，たまねぎの 7 品目の作物割り当ての決定を行う．本数値例では農産物生産費調査報告の野菜生産費 [9] から，長野県の 1970 年から 1982 年の野菜の粗収益のデータを用いて分析を行った．期待収益率を表 1 に，分散共分散を表 2 に，帰属度 λ，リスクおよび期待収益率を表 3 に，各作物の作付け割当は表 4 にそれぞれ示す．

Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

4.1. 初期設定

本数値例ではパラメータを以下のように設定する.

1. 期待収益率およびリスクに関する必要レベル，十分レベルは $V_L = 0.12, V_U = 0.05$, $E_L = 0.20$ および $E_U = 0.27$ と設定する.
2. α_V と α_E の関係は (24) 式もしくは (25) 式より$\alpha_V = \alpha_E$ とする．このとき，リスク及び期待収益に関して双方のあいまいさの幅をもたない.
3. $\alpha_V = 130, \alpha_E = 130$ を基準とする.

4.2. 考察

表 3 より，意思決定者の希求水準が最も満たされる意思決定は$\alpha_V = 130, \alpha_E = 130$ の場合である.

この場合は，はくさいに 35.7%，トマトに 32.2%，たまねぎに 27.0% およびキャベツに 4.9% 作付けするのが望ましいと考えられる.

また，意思決定者がリスク回避型の意思決定 ($\alpha_V = 100, \alpha_E = 160$) をする場合は，はくさいに 35.5%，トマトに 32.7%，たまねぎに 26.9% およびキャベツに 4.8%，作付けするのが望ましいと考えられる.

意思決定者が収益重視型の意思決定 ($\alpha_V = 160, \alpha_E = 100$) をする場合は，はくさいに 36.0%，トマトに 31.7%，たまねぎに 27.1% およびキャベツに 5.0%，作付けするのが望ましいと考えられる.

表 1: 期待収益率

銘柄	きゅうり	キャベツ	はくさい	レタス	トマト	だいこん	たまねぎ
収益率	0.15941	0.29281	0.29325	0.26042	0.11035	0.20180	0.31127

表 2: 分散共分散

	きゅうり	キャベツ	はくさい	レタス	トマト	だいこん	たまねぎ
きゅうり	0.19060	0.13996	0.12894	0.09257	0.10995	0.10309	0.02760
キャベツ	0.13996	0.59583	0.17917	0.57262	-0.00881	0.19717	0.07705
はくさい	0.12894	0.17917	0.44327	0.11826	-0.01367	0.13484	-0.18952
レタス	0.09257	0.57262	0.11826	0.87864	-0.09679	0.24961	0.33014
トマト	0.10995	-0.00881	-0.01367	-0.09679	0.19717	-0.00043	-0.18873
だいこん	0.10309	0.19717	0.13484	0.24961	-0.00043	0.17266	0.11189
たまねぎ	0.02760	0.07705	-0.18952	0.33014	-0.18873	0.11189	0.91191

次に，農作物の特性について考察する．表 4 より，すべての場合においてキャベツ，はくさい，トマト，たまねぎの 4 品目を作付けすればよいことが分かる.

α_Vを増加させるとトマトへの作付け割当が減少し，逆にα_Vを減少させると作付け割当が増加している．よって，トマトは低収益低リスクの作物であると考えられる．キャベツ，はくさい，たまねぎはα_Vを増加させると作付け割当も増加し，逆にα_Vを減少させると作付け割当も減少している．よって，高収益高リスクの作物であると考えられる.

Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

表 3: 帰属度 λ, リスクと期待収益率

α_V	α_E	帰属度	リスク	期待収益率
100	160	0.62777	0.07977	0.23827
110	150	0.63102	0.08012	0.23858
120	140	0.63269	0.08047	0.23888
130	130	0.63280	0.08081	0.23919
140	120	0.63139	0.08116	0.23949
150	110	0.62846	0.08150	0.23978
160	100	0.62404	0.08183	0.24007

表 4: 各作物の作付け割当

α_V	α_E	きゅうり	キャベツ	はくさい	レタス	トマト	だいこん	たまねぎ
100	160	0.00000	0.04820	0.35513	0.00000	0.32706	0.00000	0.26962
110	150	0.00000	0.04856	0.35605	0.00000	0.32540	0.00000	0.26999
120	140	0.00000	0.04891	0.35696	0.00000	0.32376	0.00000	0.27037
130	130	0.00000	0.04926	0.35787	0.00000	0.32214	0.00000	0.27073
140	120	0.00000	0.04961	0.35875	0.00000	0.32054	0.00000	0.27109
150	110	0.00000	0.04995	0.35963	0.00000	0.31897	0.00000	0.27145
160	100	0.00000	0.05029	0.36049	0.00000	0.31743	0.00000	0.27180

5. おわりに

農業生産は売価の変動が不確定であるため，期待収益を最大にするだけでなく，収益の分散で表されるリスクを最小化することが必要であることから，リスクを考慮した安定的な収益の確保が望まれる．本論文ではリスクを考慮した作目選択と生産規模の設定方法を提案した．一般にその時の意思決定者の希求水準は，一定値で表現することは困難であることから，本論文では，意思決定者の希求水準を幅を持って考慮するためファジィ集合の概念を導入し，意思決定者の希求水準の満足化を考慮したモデルであるファジィ平均分散分析に基づく農業経営の戦略決定法を提案した．

本論文ではファジィ平均分散分析を用いて，農作物の期待収益を最大化，収穫のリスクを最小化にする，意思決定者が満足する農作物の作付け割当てを決定する方法を提案した．

参考文献

[1] 藤谷築次: 現代農業の経営と経済. 富民協会, 1998.

[2] 金沢夏樹: 現代の農業経営, 東京大学出版会, 1967.

[3] Takayuki Kawaura and Junzo Watada: Mean-variance analysis of agricultural management based on Boltzman machine. *Proceedings of 1999 IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, **II** (1999) 1196-1201.

[4] Takayuki Kawaura, Junzo Watada and Teruyuki Watanabe: Neural network approach to sales portfolio management. *The International Symposium on Medical Informatics*

Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

and Fuzzy Technology Proceedings (Hanoi, 1999), 120–123.

[5] 川浦孝之, 渡辺輝幸, 和多田淳三: ファジィポートフォリオ理論に基づく農業経営の戦略決定. 平成 11 年度春季大会予稿集, 社団法人日本経営工学会 (1999), 111–112.

[6] 今野浩: 理財工学 I. 日科技連出版社, 1995.

[7] 水沼洋人, 松田浩, 和多田淳三: ファジィ平均・分散分析による経営意思決定. 日本ファジィ学会誌, **8**-5 (1996) 854–860.

[8] 水沼洋人, 和多田淳三: ファジィポートフォリオセレクション—意思決定者の希求水準の実現—. システム制御情報学会論文誌, **8**-12 (1995) 667–684.

[9] 農産物生産費調査報告 野菜生産費. 農林水産省統計情報部. 1970–1994.

[10] Junzo Watada: Fuzzy portfolio selection and its applications to decision making. *Tatra Mountains Math. Publ.*, **13** (1997) 219–248.

[11] Junzo Watada and Kenji Oda: Formulation of a two-layered Boltzmann machine for portfolio selection. *International Journal of Fuzzy Systems*, **2**-1 (2000) 39–44.

[12] Teruyuki Watanabe, Junzo Watada and Kenji Oda: Strategic decision of investment by a Boltzmam machine. *Proceeding of Vietnam-Japan Bilateral Symposium on Systems and Applications*, (1998) 201–208.

和多田淳三
大阪工業大学経営工学科
〒 535-8585 大阪市旭区大宮 5-16-1
E-mail: watada@dim.oit.ac.jp

Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

ABSTRACT

FUZZY MEAN-VARIANCE APPROACH TO STRATEGIC DECISION IN AGRICULTURAL MANAGEMENT

Takayuki Kawaura Junzo Watada
Osaka Institute of Technology

When we decide the production of each agricultural product in the uncertain circumstance where its sell price, climate, consumers' preference and so on are not known previously, we should take its risk as well as the best expected selling volume or its interest into consideration. In this paper we employ fuzzy mean-variance analysis to decide the optimal solution in agricultural management which minimizes the risk and maximizes the expected selling volume.

The mean-variance analysis is proposed by H. Markowitz and widely employed in stock investment. Nevertheless, it is also hard to treat an aspiration beheld by a decision-maker, because the formulation given by H. Markowitz is written using constant rigid values.

In this paper a fuzzy number is employed to deal with a vague aspiration level and a fuzzy goal given by a decision-maker, that is, the fuzzy mean-variance analysis enables us to obtain the best solution which is realized within a vague aspiration level and a fuzzy goal. In the method, the decision maker defines a necessity level and a sufficient level for each of expected interest rate and risk. The decision-maker can obtain a solution that satisfies an aspiration level and a fuzzy goal required.

The effectiveness of our method is shown using a numerical example.

Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.