

Generalized Fuzzy Knowledge Measure を用いた MADM による投資銘柄における非財務情報の 評価要素のウェイト推定

上 原 衛

Abstract

投資家は、企業の CSR (Corporate Social Responsibility), ESG (Environment, Social, Governance) や SDGs などの取り組み姿勢に注目し、これらの非財務情報を考慮して投資先を決定している。非財務情報は与えられた証拠や情報が不十分であることが多く、かつ、企業独自の言葉で開示されているため、そこにはあいまいさが介在している。このような状況にもかかわらず、投資家は CSR, ESG, SDGs の評価要素にウェイトをつけて評価し、意思決定を行わなければならない。

複数の基準に基づいて代替案を評価するという意思決定を支援するために、多属性意思決定 (multi-attribute decision-making: MADM) が、広く研究者や実務家によって研究されている。さらに、多くの実社会の意思決定における問題点として、定量的で明確な情報のみならず、定性的で不確か (uncertainty) であいまい (vagueness) な情報に基づいている点が存在する問題点が指摘されている。この問題点を克服するために、ファジィ集合を使った fuzzy multi-attribute decision-making (FMADM) の手法が数多く提案されている。これによって、意思決定者の評価要素に対する主観的ないしはあいまいな選好度合いである評価要素に対するウェイトを推定することが可能となる。

本研究では、投資家が CSR 評価を非財務情報である属性 (評価要素) に基づいて行う場合、意思決定者である投資家の属性 (評価要素) に対するウェイトを推定するために、ファジィ集合に対する Knowledge Measure (FKM) と FKM を一般化した Generalized Fuzzy Knowledge Measure (GFKM) による、MADM の適用を提示する。さらに、FKM と GFKM で推定されたウェイトを比較・検討する。

Keywords: multi-attribute decision-making; MADM, fuzzy sets, fuzzy knowledge measure, generalized fuzzy knowledge measure

1. はじめに

株式投資において、近年、投資家は企業のCSR (Corporate Social Responsibility)、ESG (Environment, Social, Governance) やSDGsの取り組みに注目している。投資家は、投資銘柄を決定する際には、リターンという経済合理性だけではなく、企業の社会面、環境面、企業統治、SDGsへの取り組み姿勢という非財務情報も考慮に入れて投資判断を行っている [1] [2] [3]。

しかし、現在、調査・評価機関や資産運用会社が様々な手法で企業のCSR・ESG・SDGsを評価してポートフォリオを組成しているが、投資家の選好傾向を反映することが難しいことがある。その要因の一つとして、企業の社会面や環境面などの取り組み姿勢を評価する際に、与えられた証拠や情報が不十分であり、かつ、企業独自の言葉で開示されているため、あいまいさが介在しているにもかかわらず評価の意思決定を行わねばならない状況が考えられる [1] [2]。

本研究では、FKMとGFKMによるMADMを適用し、CSRへの取り組み姿勢について非財務パフォーマンスを判断する投資銘柄選択比率の決定に用いる属性(評価要素)に対するウェイト推定方法を提示する。そのうえで、適用例を用いて、本研究で提示する2つのモデルのメリットとデメリットを示しつつ、FKMとGFKMによるMADMを適用した属性(評価要素)に対するウェイト推定モデルの比較・検討分析を行う。

なお、本研究ではCSRに対する取り組み姿勢によって投資先を決定するSRI (Social Responsibility Investment) スクリーニングを対象とする [1] [2] [3]。また、SRIにおける実際の投資銘柄選択プロセスは、予想配当利益や業績動向、中長期的に高いROEなどの財務的な健全性・成長性や株価の評価と、経済的側面・社会的側面・環境的側面の3つの側面から評価する(いわゆるトリプルボトムライン)などの非財務的CSRスクリーニングを経た評価を経てポートフォリオが組成される [1] [2] [3]。本研究では、後者の非財務パフォーマンスを意思決定者が判断する、経済・社会・環境などのCSR評価を研究の対象とする。

2. 先行研究

2.1 投資銘柄選択比率の意思決定に際してファジィ理論を用いることのメリット

現在、調査・評価機関や資産運用会社が様々な手法で企業のCSR・ESG・SDGsを評価してポートフォリオを組成しているが、投資家の選好傾向を反映させることが難しいことがある。その要因の一つとして、企業の社会面や環境面などの取り組み姿勢を評価する際に、与えられた証拠や情報が不十分であり、かつ、企業独自の言葉で開示されているため、あいまいさが介在しているにもかかわらず評価の意思決定を行わねばならない状況が考えられる。

先行研究 [1] [2] [3] [4] では、SRI (Social Responsibility Investment) スクリーニングの投資銘柄選択と選択比率の意思決定において、投資家、CSRの調査・評価機関、SRI資産

運用会社が企業の CSR 評価を行う際の以下の 4 つの課題を解決するために、ファジィ理論を利用する利点があることが指摘されている。

課題 1：企業側は、投資家側に自社の CSR、ESG や SDGs の取り組み姿勢にかかわる非財務パフォーマンスを提供している。しかし、非財務情報であるがゆえに、企業側が提示している情報の定義やルールの周辺にどうしても表現しきれない不確定な情報がまわりついており、あいまいな境界を持っている。また、投資家側も、自らの価値判断やニーズに合致した CSR、ESG や SDGs の評価について、同様に境界があいまいである。

課題 2：投資家側は、CSR、ESG や SDGs の評価について「各評価要素がどういうものなのか」の境界のあいまいさに加え、「株価はどのように動くのか」そして、その結果「どの銘柄を選択するか」についてのあいまいさのもとで意思決定を行わなければならない。

課題 3：財務データと異なり、非財務データである CSR、ESG や SDGs に関する情報は、企業内でも未整備であることが多く、与えられた情報が不十分であるにもかかわらず投資家側は意思決定を行わねばならないという、「拡大推論」[5] の問題に直面している。

課題 4：投資家側の投資銘柄選択比率（ならびに評価要素に対するウェイト）は未知であるため、これを推定するための外的基準を持たない。したがって、外的基準に近づけるような、例えば、最小二乗基準や最大尤度基準に基づく多変量解析を利用したモデルによって選択比率（ならびに評価要素に対するのウェイト）の推定モデルを作成することはできない。

上原 [1]、上原ら [2] は、上記の 4 つの課題を解決するために、まず、ファジィ・エントロピーを用いた多因子情報路モデルの導入による解決策を提示している。しかし、ファジィ・エントロピーは、あいまいさの平均的な量であるため、メンバーシップ値が 0.5 のときに最大となり、0.5 から 0 に減少する、または、0.5 から 1 に増加するに従ってあいまいさは減少する。これを用いて投資銘柄選択比率を決定することを考えると、評価者が「各社の評価要素を 0 点から 1 点の間」で評価するような場合、メンバーシップ値が 0.5 の「どちらともいえない」が最大となることは、人間の直感に合致しない。そこで、上原・脇田 [3] は、ファジィ・エントロピーの双対尺度である FKM を用いた多因子情報路モデルによる投資銘柄選択比率の決定方法を提示している。FKM は、「全く知らない」場合（メンバーシップ値が 0）と、「完全に知っている」場合（メンバーシップ値が 1）が最大となり、「どちらともいえない」（メンバーシップ値が 0.5）が最小になるため、評価者の直感が反映されるメリットがある。

さらに、投資銘柄選択比率を意思決定者が決める場合、属性（評価要素）にウェイトをつけて評価を行うが、そのウェイトは意思決定者の主観的ないしはあいまいな選好によって決定されることが多い。また、意思決定者も自らの属性（評価要素）に対するウェイトが未知であるため、これを推定するための外的基準を持たない。このような場合に、FKM や GFKM を用いた MADM を用いるメリットがある（詳細は 3 節で述べる）。

2.2 Fuzzy 集合に対する Knowledge Measure

Arya & Kumar [6] は、エントロピーの機能と Knowledge Measure (KM) は、どちらもファジィ集合の研究において重要な道具であると指摘している。そして、ファジィ・エントロピーはファジィ集合に対する不確実性、無秩序、不規則性の程度を推定するものであると指摘したうえで、FKM を、ファジィ集合に対する確実性、秩序、規則性の程度を測定するものとしての存在であると定義している。すなわち、ファジィ・エントロピーの値は、あるデータセットに存在するあいまいさの平均的な値を示しており、これと同様にファジィ集合に存在する Knowledge の平均的な量について考えることができると述べている。そのうえで、このような FKM はファジィ・エントロピーの双対尺度 (Dual Measure of Fuzzy Entropy) と捉えている [6]。そして、Singh et al. [7] は、FKM を以下の (1) 式として提示している。

$$K(A) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 2 \left[\Omega_A^2(x_i) + (1 - \Omega_A(x_i))^2 \right] - 1 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 n はサンプルサイズ、 $\Omega_A(x_i)$ はメンバーシップ値である。

2.3 Fuzzy 集合に対する Generalized Knowledge Measure

Singh et al. [8] は、Singh et al. [7] の FKM を拡張し、一般化した GFKM を (2) 式として提案している。すなわち、パラメータ α の値が変化すると、属性 (評価要素) のウェイトの範囲が変化することで一般化として拡張している。 $\alpha=2$ の場合が、FKM に一致しているところから、FKM は GFKM の特殊なケースである。

$$K\alpha(A) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 2 \left[((\Omega_A(x_i))^\alpha + (1 - \Omega_A(x_i))^\alpha) \right] - 1 \quad \alpha > 1 \quad \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 n はサンプルサイズ、 $\Omega_A(x_i)$ はメンバーシップ値である。

ここで、パラメータ α は、意思決定者の選好度合いの優先的な姿勢を示す指標として働き、ファジィな状況に対する許容の度合いとして働く [8]。

3. FKM と GFKM の特徴・優位性

意思決定者は、ある属性に対して主観的ないしはあいまいな選好を持つことがある。このような場合、FKM が、その属性に対する意思決定者のウェイトを求めるために用いられる。そして、意思決定者が一人の場合で選好度合いが比較的明確な場合や、意思決定者が複数の場合でそれらの意思決定者の選好度合いを何らかの代表値 (例えば、平均値) を用いて集約する必要がある際に、FKM を用いる優位性がある。さらに、FKM に基づく MADM の計算は、

FKM を用いた多因子情報路モデル [3] [9] よりも計算量が少ないという特徴がある。

GFKM も、ある属性に対する意思決定者のウェイトを求めるために用いられる。そして、FKM と同様に意思決定者が一人の場合で選好度合いが比較的確な場合や、意思決定者が複数の場合でそれらの意思決定者の選好度合いを何らかの代表値を用いて集約する必要がある際に、GFKM を用いる優位性がある。また、GFKM に基づく MADM の計算は、FKM と同様に計算量が少ないという特徴がある。

一方、GFKM は、パラメータ α を変更することによって、GFKM を用いた MADM においてパラメータ α の値に対応した属性のウェイトが推定できるという点に特徴がある。パラメータ α の値が変化すると、属性のウェイトも変化する。例えば、 $\alpha=1.2$ の場合、属性に対するウェイトの値は非常に近い範囲にある（分散が小さい）。これらのウェイトは、属性に対する明確な選好を持たない意思決定者の判断を表現できる。一方、 $\alpha=1.8$ では、属性に対するウェイトの変動幅（分散）が大きくなる。このウェイトは、属性に対する選好が明確な意思決定者の判断を表現できている。したがって、パラメータ α は、MADM 問題における意思決定者の選好的強度の尺度であるといえる。このように GFKM は、意思決定者の属性の選好的強度を反映した、MADM のウェイトを推定することが可能である点に優位性がある。

4. FKM と GFKM の MADM への応用

複数の基準に基づいて代替案を評価し選択するという意思決定を支援するために、多属性意思決定 (MADM) が、広く研究者や実務家によって研究されている。さらに、多くの実社会の意思決定における問題点として、定量的で明確な情報のみならず、定性的で不確か (uncertainty) であいまい (vagueness) な情報に基づいている点が存在する問題点が指摘されている。この問題点を克服するために、ファジィ集合を使った FMADM の手法が数多く提案されていることが、文献調査を行った論文で紹介されている (Zavadskas & Turskis [10], Liou & Tzeng [11], Zavadskas et al. [12])。

MADM をモデル化する際に、不確実性の側面をどのように捉えるかが問題となるが、その不確実性がランダム性によるものであれば確率論によってモデル化される。一方、あいまいさや主観によるものであればファジィ理論によってモデル化される。したがって、あいまいさや主観による情報に基づく MADM 問題に対して、ファジィ理論を取り入れることで代替案の選択に対する現実的な解を提供することが可能になる。また、代替案の選択に際して、その属性に対する評価のウェイトは未知であるため、これを推定するための外的基準を持たないことが多い。このように、「近づけるべき外的基準がない」場合、与えられた証拠のみでは本来は結論が得られないような「拡大推論」[5] の問題に相当する。この問題に対してファジィ集合を使った FMADM を用いて属性に対するウェイト推定が可能となる。

そして、Arya & Kumar [6] は、ファジィ・エントロピーの双対 (dual) である、ファジィ集合に対する Knowledge Measure を用いて属性に対するウェイトを決定するモデルを以下の

ように示している。

意思決定の際の知識不足や制限が存在する場合、ファジィ形式は各属性の下で提供される選好や評価情報をファジィ決定行列によって表現することができる。意思決定者によって与えられるファジィ決定行列 $F = [\mu(x_i, a_j)]$ は以下のように定義される。

$$F = \begin{matrix} & a_1 & \cdots & a_m \\ \begin{matrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} \mu_{11} & \cdots & \mu_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{n1} & \cdots & \mu_{nm} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 x_i : 選択肢 ($i=1, 2, \dots, n$), a_j : 属性 ($j=1, 2, \dots, m$), μ_{ij} : 属性 a_j の下での選択肢 x_i のメンバーシップ値。

MADM問題を解くとき、属性(評価要素)に対するウェイトづけは重要である。現実の意思決定においては、属性(評価要素)に対するウェイトは通常、部分的に分かっているか、完全に分かっていないケースが多い。そこで、Arya & Kumar [6] は、(1)式のFKMに基づいて、(5)式のように、属性(評価要素)に対するウェイトを決定するモデルを提示している。

一般に、一つの属性(評価要素)の下ですべての代替案の評価結果が、意思決定を容易にするために充分区別されることを望む。そこで、FKMの総和(T)を最適化の目標関数として設定することができる。すべての属性(評価要素)の下での属性(評価要素)のFKMの総和(T)を最大化することで、以下のようなモデルを構築している。

$$Max T = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n w_j \cdot S(\mu_{ij}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

ただし、 $w \in H, \sum_{j=1}^m w_j = 1, w_j \geq 0, j=1, 2, \dots, m$

ここで、 H は属性(評価要素)に対するウェイト w_j の未確認情報/不完全情報の集合を示し、 $S(\mu_{ij})$ は(1)式で計算したFKMである。属性(評価要素)に対するウェイトが全く分からない場合、FKMの総和が大きい属性(評価要素)に大きなウェイトが与えられるべきであるという考えに基づき、属性(評価要素)に対するウェイト w_j を以下の(5)式で定義している。

$$w_j = \frac{\sum_{i=1}^n S(\mu_{ij})}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n S(\mu_{ij})} \quad \dots\dots\dots (5)$$

さらに、Singh et al. [8] は、GFKMにおけるMADM問題に対して、Arya & Kumar [6]と同様に、(4)式と(5)式に(2)式のGFKMの適用を提示している。

本研究では、CSRに対する取り組み姿勢によって投資先を決定するSRIスクリーニングを対象とし、非財務パフォーマンスを判断する投資銘柄選択比率の決定に用いる属性(評価要素)に対するウェイト推定に際して、FKMとGFKMを用いてMADM問題の解決を試みる。

MADM問題についてFKM, GFKMを適用した既存研究には、経営システムの研究領域での両者の比較検討がなされている研究が存在しない。したがって、経営システムにおけるあい

まいさの定量化と実務への適用を試みるうえで、MADM 問題における FKM, GKFM の比較研究が必要であり、本研究の独自性がここに存在する。

5. 一対比較法による固有ベクトル法を用いた投資銘柄選択における属性（評価要素）に対するウェイト推定方法

2.1 節および 4 節でも述べたとおり、意思決定者の属性（評価要素）に対する評価のウェイトは、意思決定者自身も未知であるため、これを推定するための外的基準を持たないことが多い。このように、「近づけるべき外的基準がない」場合、与えられた証拠のみでは本来は結論が得られないような「拡大推論」[5] の問題に相当する。そこで、本研究で提示する FKM と GKFM による MADM を用いた属性（評価要素）に対するウェイト推定と比較するために、一対比較法による固有ベクトル法によってウェイトを求める。意思決定者にあえて一対比較法を用いたアンケートを行い、以下の方法（Step1&Step2）で意思決定者の属性（評価要素）に対する評価のウェイトを推定し、その結果と、FKM と GKFM による MADM を用いた属性（評価要素）に対するウェイト推定値と比較し、その推定結果を比較・検討することにする。

先行研究 [2] [4] [13] では、CSR 活動項目に投資家の価値判断を反映させるために、一対比較法を用いて、以下のとおり、固有ベクトル法によって回答者別（投資家別） i の各評価要素のウェイト w_j^i を求める方法が提示されている。

[Step1] CSR 活動評価項目の重要性の比の一対比較

一対比較法により、各 CSR 活動評価項目の重要性の比をウェイト決定者 i （以下、回答者と呼ぶ）ごとに答えてもらいそれを $a_{jj'}^i$ ($j \cdot j'$ は評価要素) とする（CSR 活動評価項目の重要度の比を用いた一対比較法の質問は Appendix に示す）。

例）（経済面の攻め：環境面の守り）=（3：2）

$$\Rightarrow a_{jj'}^i = 3/2 = 1.5$$

[Step2] 回答者別に CSR 活動項目に対するウェイト w_j^i を算出

一対比較結果の $a_{jj'}^i$ を利用して、ウェイト算出手法として広く用いられている固有ベクトル法によって w_j^i を求める。

一対比較結果を一つの行列 $A^i = \{a_{jj'}^i\}_{i=1,2,\dots,n, j, j'=1, 2, \dots, m}$ （一対比較行列と呼ぶ）にまとめる。そして、一対比較値 $a_{jj'}^i$ は $a_{jj'}^i = w_j^i/w_{j'}^i$ であると考え、次式を満たすことになる。

$$\begin{pmatrix} a_{11}^i & a_{12}^i & \cdots & a_{1n}^i \\ a_{21}^i & a_{22}^i & \cdots & a_{2n}^i \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1}^i & a_{n2}^i & \cdots & a_{nn}^i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{w_1^i}{w_1^i} & \frac{w_1^i}{w_2^i} & \cdots & \frac{w_1^i}{w_n^i} \\ \frac{w_2^i}{w_1^i} & \frac{w_2^i}{w_2^i} & \cdots & \frac{w_2^i}{w_n^i} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n^i}{w_1^i} & \frac{w_n^i}{w_2^i} & \cdots & \frac{w_n^i}{w_n^i} \end{pmatrix} \dots\dots\dots (6)$$

Saaty が提唱している固有ベクトル法は、一対比較行列 A^i の最大固有値 λ_{\max} と固有ベクトル \hat{w} を求め、その固有ベクトルをウェイトとする方法である。

さらに、各回答者のウェイトベクトルは等しいと仮定し、最終的なウェイトベクトル w_j を推定する。

6. 適用例による分析と考察

6.1 データの収集と分析方法・分析結果

本研究では、先行研究 [1] [2] [3] [4] と同じ 2005 年 3 月に実施したアンケート調査データを用いた(調査対象は某投資信託会社の企画担当者(5名)、営業担当者(9名)の合計 14名)。なお、本来であれば投資家の SRI 投資銘柄を選択する際の評価要素に対するウェイトは未知であるが、5 節で述べたとおり、一対比較法によって評価要素を比較した回答をしてもらった [4]。評価要素は表 1 に示した SAM 社の評価要素を利用し、CSR 活動評価項目の重要度の比を用いた一対比較法の質問は Appendix に示した。

アンケートの評価要素の質問は、当時の日本の家電メーカー 7 社に対して、「各社の各評価要素を 0 点から 1 点(満点)で評価してください」とし、その評価値をメンバーシップ値とした。また、先行研究 [4] の一対比較法による固有ベクトル法と、本研究の FKM と GFKM を用いた MADM では 14 名のメンバーシップ値の平均値を評価値として用いた。

アンケート結果に基づく投資銘柄の選択における、各属性(評価要素)に対するメンバーシップ値の平均値は表 2 のとおりである。

ファジィ決定行列 ((3) 式) の選択肢(企業) x_1, x_2, \dots, x_7 が日立・ソニー・松下・東芝・三菱電機・三洋電機・シャープに対応し、属性(評価要素) a_1, a_2, \dots, a_6 が経済(攻め)・経済(守り)・環境(攻め)・環境(守り)・社会(攻め)・社会(守り)に対応する。そして、 $\mu_{11}, \mu_{12}, \dots, \mu_{16}$ が日立に対する 6 つの評価要素のメンバーシップ値、 $\mu_{21}, \mu_{22}, \dots, \mu_{26}$ がソニーに対する 6 つの評価要素のメンバーシップ値、 $\dots, \mu_{71}, \mu_{72}, \dots, \mu_{76}$ がシャープに対する 6 つの評価要素のメンバーシップ値である。

表 2 のデータに 4 節で提示した FKM と GFKM を用いた MADM、ならびに、5 節で提示した一対比較法による固有ベクトル法を利用して、投資銘柄選択における各属性(評価要素)に対するウェイトを推定した結果を表 3、4 と図 1, 2, 3 に示す。

表 1 SAM 社の評価基準 (日興アセットマネジメントの「ダウジョーンズ・サステナビリティ・インデックス (ジャパン)」のパフレットより抜粋)

	(持続可能性のある商品やサービスの開発につながる戦略運営等の「攻め」への評価項目)	(コスト削減やリスク回避等の「守り」への評価項目)
経済面	<ul style="list-style-type: none"> ・ 戦略的事業計画, 組織展開力 ・ IT 展開, 品質の向上 ・ 研究開発投資 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 適切なコーポレートガバナンス体制 ・ 危機管理体制, 社内ルールの整備 ・ 商品リコール体制
環境面	<ul style="list-style-type: none"> ・ 環境戦略の存在 ・ 環境に関するディスクロージャー, 環境会計 ・ エコデザイン, 環境効率性を追及した商品 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 環境政策, 環境問題に対する責任者の存在 ・ 環境マネジメントシステム, 環境パフォーマンス ・ 危険物質, 環境問題に関する負の遺産
社会面	<ul style="list-style-type: none"> ・ 関係者との調和 ・ サステナビリティ・レポート, 雇用者の福利厚生, 報酬体系 ・ コミュニティ対策 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 社会問題政策, 社会問題に対する責任者 ・ IT 展開, 品質の向上労働問題対策, 紛争対策, 従業員に対する差別的処遇, 女性問題, レイオフ・組合対策 ・ 社員教育

表 2 SRI スクリーニング投資銘柄選択における各属性 (評価要素) に対するメンバーシップ値 (平均値)

企業名	メンバーシップ値 (平均)					
	経済 (攻め)	経済 (守り)	環境 (攻め)	環境 (守り)	社会 (攻め)	社会 (守り)
日立	0.63	0.56	0.60	0.54	0.56	0.51
ソニー	0.61	0.58	0.55	0.58	0.62	0.58
松下	0.74	0.66	0.64	0.58	0.60	0.56
東芝	0.60	0.57	0.58	0.56	0.52	0.51
三菱電機	0.59	0.59	0.59	0.55	0.53	0.48
三洋電機	0.57	0.57	0.62	0.59	0.55	0.51
シャープ	0.71	0.63	0.70	0.62	0.59	0.53

表 3 SRI スクリーニング投資銘柄選択における各モデルによる属性 (評価要素) に対するウェイト推定値 (固有ベクトル法, FKM ($GFKM \alpha=2$), $GFKM (\alpha=1.2)$, $GFKM (\alpha=1.4)$, $GFKM (\alpha=1.6)$, $GFKM (\alpha=1.7)$, $GFKM (\alpha=1.8)$)

	固有ベクトル法	FKM ($GFKM \alpha=2$)	$GFKM (\alpha=1.2)$	$GFKM (\alpha=1.4)$	$GFKM (\alpha=1.6)$	$GFKM (\alpha=1.7)$	$GFKM (\alpha=1.8)$
経済面(攻め)	0.194	0.368	0.169	0.173	0.182	0.189	0.203
経済面(守り)	0.175	0.169	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167
環境面(攻め)	0.178	0.242	0.168	0.169	0.172	0.175	0.180
環境面(守り)	0.152	0.098	0.166	0.164	0.162	0.159	0.154
社会面(攻め)	0.149	0.096	0.166	0.164	0.161	0.159	0.154
社会面(守り)	0.152	0.028	0.165	0.162	0.156	0.151	0.141
分散	0.018	0.123	0.001	0.004	0.009	0.014	0.022

表4 SRIスクリーニング投資銘柄選択における各モデルによる属性（評価要素）に対するウェイト推定値（固有ベクトル法, FKM (GFKM $\alpha=2$), GFKM ($\alpha=3, 4, 5$))

	固有ベクトル法	FKM (GFKM $\alpha=2$)	GFKM ($\alpha=3$)	GFKM ($\alpha=4$)	GFKM ($\alpha=5$)
経済面（攻め）	0.194	0.368	0.139	0.149	0.153
経済面（守り）	0.175	0.169	0.166	0.167	0.167
環境面（攻め）	0.178	0.242	0.156	0.160	0.162
環境面（守り）	0.152	0.098	0.176	0.173	0.171
社会面（攻め）	0.149	0.096	0.176	0.173	0.171
社会面（守り）	0.152	0.028	0.185	0.179	0.176
分散	0.018	0.123	0.017	0.011	0.008

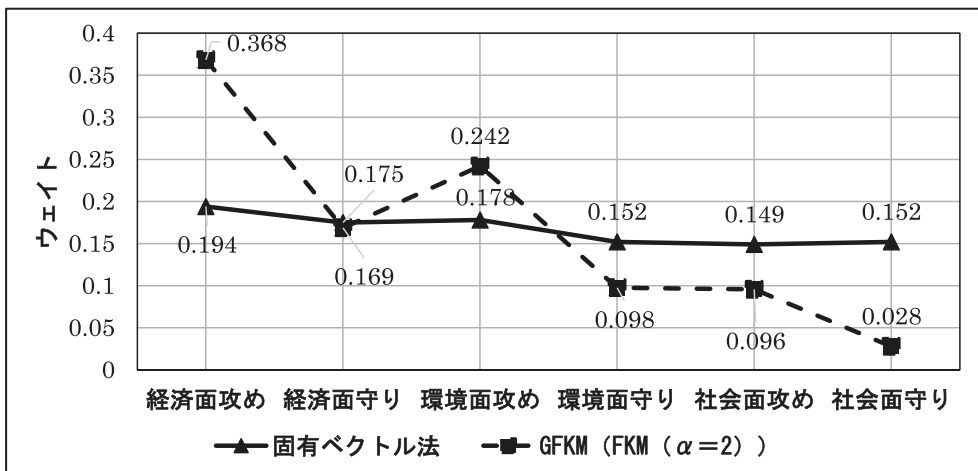


図1 固有ベクトル法とFKM (GFKM ($\alpha=2$)) の評価要素に対するウェイトの推定値

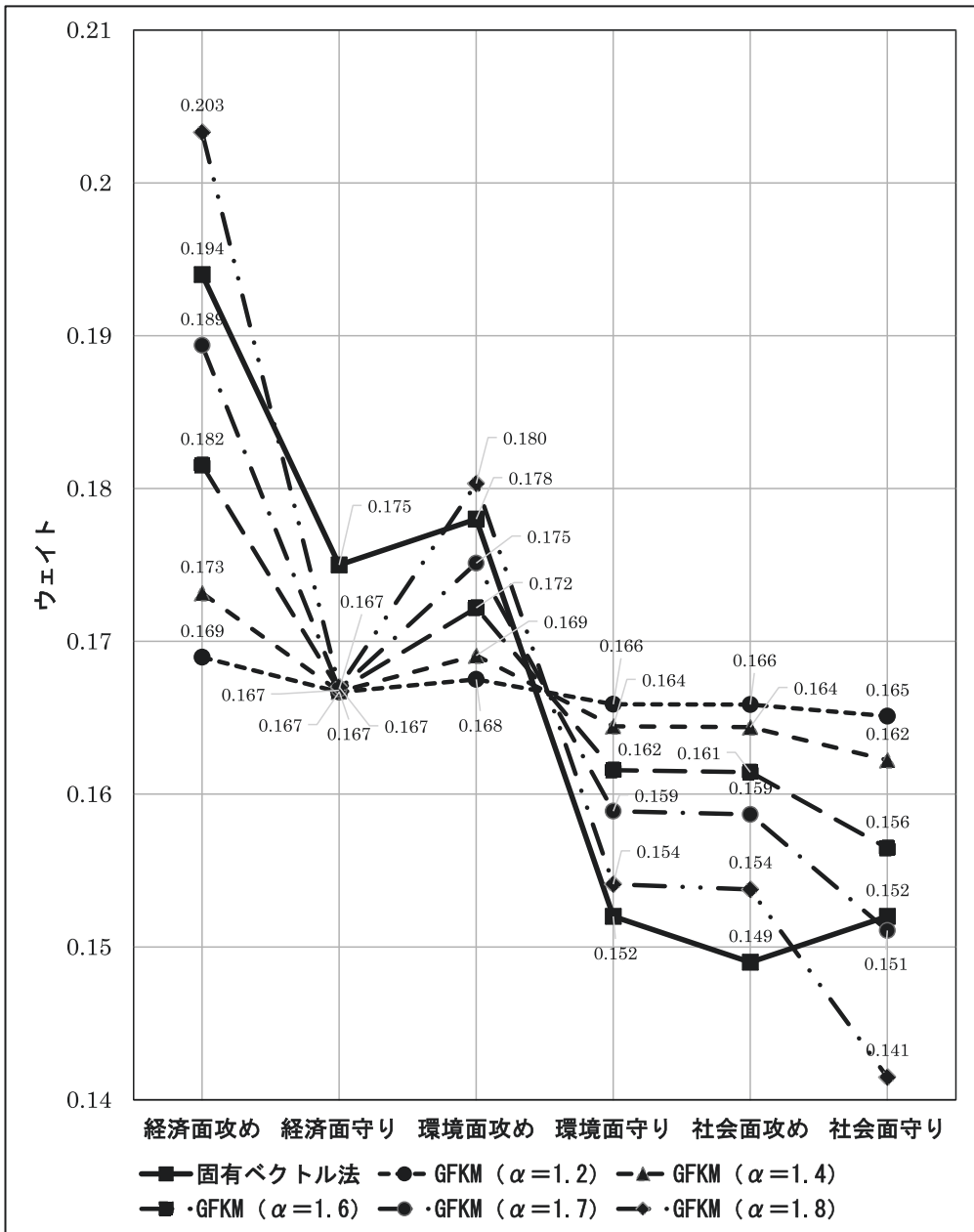


図2 固有ベクトル法とGFKM ($\alpha=1.2, 1.4, 1.6, 1.7, 1.8$) の評価要素に対するウェイトの推定値

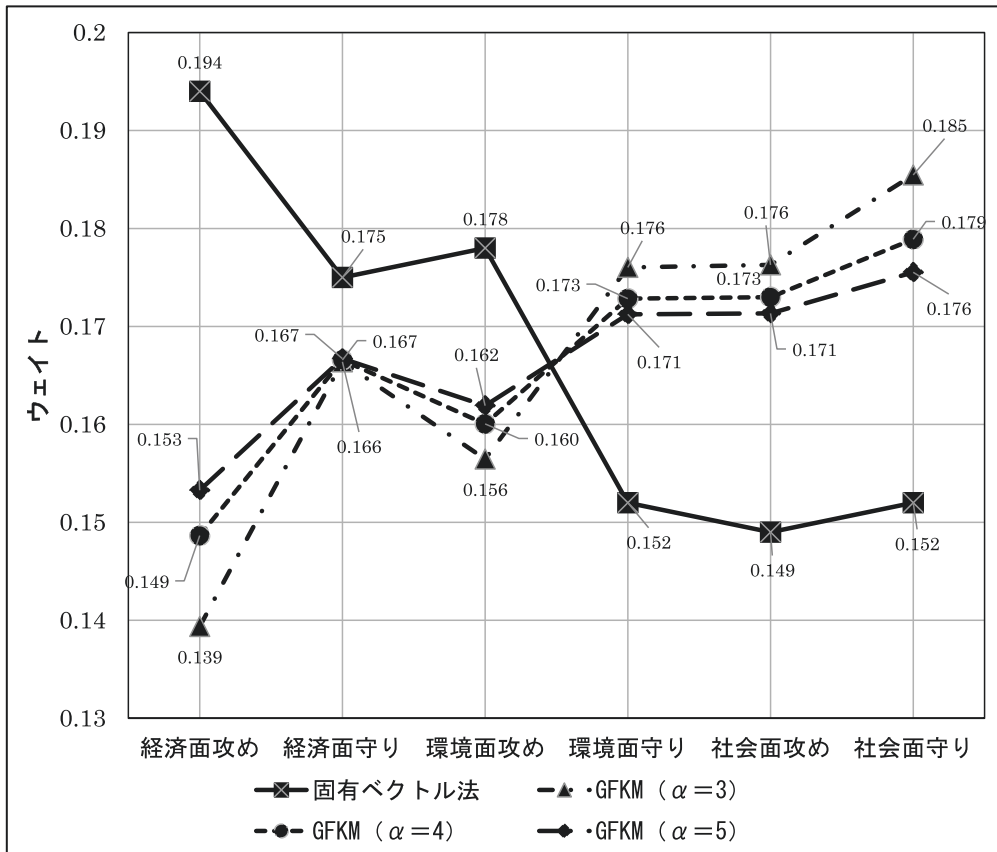


図3 固有ベクトル法とFKM (GFKM (α=2)), GFKM (α=3, 4, 5) の評価要素に対するウェイトの推定値

6.2 考察

一対比較法を用いた固有ベクトル法による投資銘柄選択における意思決定者(投資家)のウェイト推定値は、意思決定者の各評価要素におけるウェイトをある程度正確に推定できているものとする。一方、表3と図1・図2から、「近づけるべき外的基準がない」という2.1節で提示した課題を考慮すれば、FKM (GFKMの $\alpha=2$ の場合)とGFKMの $\alpha=1.2, 1.4, 1.6, 1.7, 1.8$ のMADMで得られた評価要素におけるウェイト推定値は、一対比較法を用いた固有ベクトル法と比較的近い推定結果である。また、GFKMの $\alpha=1.2, 1.4, 1.6, 1.7, 1.8$ のMADMで得られた評価要素におけるウェイト推定値は、3節で述べたとおり、パラメータ α が、MADM問題における意思決定者の選好的強度の尺度であることを表現できている。例えば、 $\alpha=1.2$ の場合、属性に対するウェイトの値は非常に近い範囲にある(分散が0.001と小さい)。これらのウェイトは、属性に対する明確な選好を持たない意思決定者の判断を表現できていると考える。一方、 $\alpha=1.8$ では、属性に対するウェイトの変動幅(分散)が0.022と大きくなる。このウェイトは、属性に対する選好が明確な意思決定者の判断を表現できていると考える。とくに、一

対比較法を用いた固有ベクトル法によるウェイトの推定値は、表 3 と図 2 から $\alpha=1.7$ と $\alpha=1.8$ の推定値に近い。適用例の意思決定者の投資銘柄選択における各属性（評価要素）に対する選好的強度は、GFKM の $\alpha=1.7$ と $\alpha=1.8$ あたりであることが分かる。このように、パラメータ α は、MADM 問題における意思決定者の選好的強度の尺度が表現できているものと考えられる。したがって、GFKM は意思決定者の属性の選好的強度を反映した、属性（評価要素）のウェイトを推定することが可能となる。

一方、表 4 と図 3 から、GFKM の $\alpha=3, 4, 5$ の MADM で得られた評価要素におけるウェイト推定値は、図 3 では右上がりの傾向があり、一対比較法を用いた固有ベクトル法の推定値は右下がりの傾向があるところから、逆の傾向の推定結果（ウェイトの大きさの順序もほぼ逆）となっていることが分かる。このことから、GFKM の α が 2 より大きい場合（今回の適用例では GFKM の $\alpha=3, 4, 5$ のとき）は、意思決定者の属性（評価要素）におけるウェイト推定には適していないものと考えられる。

3 節で FKM と GFKM の特徴・優位点を説明したが、本研究の適用例において、これらの特徴と優位性を用いることのメリットとデメリットが、以下のとおり確認できた。

まず、MADM (FKM) における特徴と優位性による、非財務情報を用いた投資銘柄選択比率の決定に用いる属性（評価要素）に対するウェイト推定の際の、メリットは以下のとおりである。投資銘柄を選択する人が一人の場合で、トリプルボトムラインの各評価要素に対する選好度合いが比較的明確な場合や、投資銘柄を判断する人が複数の場合でそれらの人々の選好度合いを何らかの代表値（例えば、平均値）を用いて集約する必要がある場合に適しており、この際に MADM (FKM (GFKM の $\alpha=2$ のとき)) を用いるメリットがある。また、FKM に基づく MADM の計算は、計算量が少ないというメリットもある。

つぎに、MADM (GFKM) における特徴と優位性による、非財務情報を用いた投資銘柄選択比率の決定に用いる属性（評価要素）に対するウェイト推定の際の、メリットとデメリットは以下のとおりである。まず、GFKM の $\alpha=2$ 以下（適用例では $\alpha=1.2, 1.4, 1.6, 1.7, 1.8$) の MADM で得られた評価要素に対するウェイト推定値は、投資銘柄比率を選択する人が一人の場合で、各属性（評価要素）に対する選好的強度が存在している場合に、この選好的強度を反映させることができる。選択比率選択者のすべての選好傾向を反映させた、特徴的な属性（評価要素）に対するウェイトの推定が可能となる点がメリットである。また、GFKM に基づく MADM の計算も、FKM と同様に計算量が少ないという特徴があるため、属性（評価要素）に対するウェイトの推定においても計算量が少ないというメリットがある。

しかし、GFKM の α が 2 より大きい場合（今回の適用例では GFKM の $\alpha=3, 4, 5$ のとき）の MADM で得られた評価要素に対するウェイト推定値は、今回の適用例の意思決定者の属性（評価要素）におけるウェイト推定では、一対比較法を用いた固有ベクトル法の推定値と異なる（ウェイトの推定値の大きさが、ほぼ逆）傾向となり、今回の意思決定者の属性（評価要素）におけるウェイト推定には適していないものと考えられる。このように、GFKM の α が 2 より大きい場合は、属性（評価要素）に対するウェイトの推定に用いる場合には、意思決定者の選

的強度を示す尺度としては用いることは、必ずしも適切でないということが明らかとなった。

7. おわりに

本研究では、CSR、ESGやSDGsなどの取り組み姿勢を投資家側が評価する際に生じる、非財務データを評価して意思決定を行う際の問題に注目した。そして、その問題を解決するためにFKM、GFKMを用いたMADMを適用して、投資銘柄の選択比率の決定に用いる属性(評価要素)に対するウェイトを推定する方法を提示した。そのうえで、適用例を用いて、先行研究[2][4][13]で提示した対比較法を用いた固有ベクトル法と、今回提示したFKM、GFKMを用いたMADMの推定値を比較・検討した。その結果、FKM(GFKMの $\alpha=2$ の場合)とGFKMの $\alpha=1.2, 1.4, 1.6, 1.7, 1.8$ のMADMで得られた評価要素におけるウェイト推定値は、対比較法を用いた固有ベクトル法で求めたウェイト推定値と、比較的近い推定値を得ることができ、拡大推論として捉えたFKM、GFKMを用いたMADMから導き出された推定値は、投資家側の価値観とニーズに合致した選択比率の決定に用いる属性(評価要素)に対するウェイトの有効な選択肢の一つとなりうるということを示すことができた。とくに、GFKMの $\alpha=1.2, 1.4, 1.6, 1.7, 1.8$ を用いたMADMでは、意思決定者(評価者)がいくつかの選択銘柄に対して選好的強度を持っている場合や、複数の評定者の選好度合いに差がある場合は、評価者の各属性(評価要素)に対する特徴的な選好傾向を反映させた選択比率の決定に用いる属性(評価要素)に対するウェイトの推定が可能であることを示唆することができた。一方、GFKMの α が2より大きい場合のMADMで得られた評価要素に対するウェイト推定値は、意思決定者の選好的強度を示す尺度としては用いることは、必ずしも適切でないということが明らかとなった。

経営システムの研究領域において、現状、FKMとGFKMに関連した研究は少ない。したがって、経営システムにおけるあいまいさの定量化を試みるうえで、こうした比較研究の必要性があり、本研究はこうした研究に貢献できるものと考えられる。

参考文献

- [1] 上原衛, CSR評価とSRI投資銘柄選択比率決定方法—ファジィ・エントロピーに基づく拡大推論の導入—, 日本経営システム学会誌, Vol. 23, No. 2, pp. 15-22, 2007
- [2] 上原衛, 山下洋史, 大野高裕, 投資家の価値判断を反映したSRI投資銘柄選択比率の決定方法—ファジィ・エントロピーを用いた重みつき多因子情報路モデル—, 日本経営工学会論文誌, Vol. 58, No. 2, pp. 125-135, 2007
- [3] 上原衛, 脇田邦裕, ファジィ集合に対するKnowledge Measureを用いた多因子情報路モデルによる投資銘柄選択比率の決定, 日本経営システム学会誌, Vol. 40, No. 1, pp. 89-96, 2023
- [4] 上原衛, 経営支援のためのCSR活動の重要度推定モデル, 愛知淑徳大学—ビジネス学部・ビジネス研究科篇—, 第7号, pp. 31-45, 2011

- [5] G. J. Klir and T. A. Folger, 本多中二訳：ファジィ情報学, 日刊工業新聞社, 1993
- [6] V. Arya and S. Kumar, Knowledge measure and entropy: a complementary concept in fuzzy theory, *Granular Computing*, Vol. 6, No. 3, pp. 631–643, 2021
- [7] S. Singh, S. Lalotra and S. Sharma, Dual concepts in fuzzy theory: Entropy and knowledge measure, *International Journal of Intelligent Systems*, Vol. 34, pp. 1034–1059, 2019
- [8] S. Singh, A. H. Ganie, Generalized hesitant fuzzy knowledge measure with its application to multi-criteria decision-making, *Granular Computing*, No. 7, pp. 239–252, 2022
- [9] 上原衛, 脇田邦裕, 山下洋史, ファジィ集合に対する Knowledge Measure を用いた多因子情報路モデル, 日本経営システム学会誌, Vol. 40, No. 1, pp. 79–85, 2023
- [10] E. K. Zavadskas and Z. Turskis, Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: An overview. *Technol. Econ. Dev. Econ.* Vo. 17, No. 2, pp. 397–427, 2011
- [11] J. J. H. Liou and G. H. Tzeng, Comments on “Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: an overview”. *Technol. Econ. Dev. Econ.* Vol. 18, No. 4, pp. 672–695, 2012
- [12] E. K. Zavadskas, Z. Turskis and S. Kildiene, State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods, *Technological and Economic Development of Economy*, Vol. 20, No. 1, pp. 165–179, 2014
- [13] 上原衛, 企業の社会的責任 (CSR) の評価における投資家の意思決定プロセスに関する研究—SRI における評価要素のウェイト推定方法—, 愛知淑徳大学—ビジネス学部・ビジネス研究科 篇一, 第 10 号, pp. 41–59, 2014

Appendix

CSR 活動評価項目の重要度の比の一対比較に関するアンケート内容

6つの評価要素のうち、評価項目を2つずつ比較した場合、どちらの項目をどの程度重視しますか。比率で回答してください。下記の例のケース1のように整数で回答していただいても結構ですし、ケース2のように小数点を利用した実数で回答していただいても結構です。

(例) (ケース1) [1. 経済面 (攻め) : 2. 経済面 (守り)] = [3 : 2]

(ケース2) [3. 環境面 (攻め) : 6. 社会面 (守り)] = [0.9 : 1.2]

- | | | | | | | | |
|---|-------------|---|-------------|---|----------------------|---|----------------------|
| ① | 1. 経済面 (攻め) | : | 2. 経済面 (守り) | = | <input type="text"/> | : | <input type="text"/> |
| ② | 1. 経済面 (攻め) | : | 3. 環境面 (攻め) | = | <input type="text"/> | : | <input type="text"/> |
| ③ | 1. 経済面 (攻め) | : | 4. 環境面 (守り) | = | <input type="text"/> | : | <input type="text"/> |
| ④ | 1. 経済面 (攻め) | : | 5. 社会面 (攻め) | = | <input type="text"/> | : | <input type="text"/> |
| ⑤ | 1. 経済面 (攻め) | : | 6. 社会面 (守り) | = | <input type="text"/> | : | <input type="text"/> |
| ⑥ | 2. 経済面 (守り) | : | 3. 環境面 (攻め) | = | <input type="text"/> | : | <input type="text"/> |
| ⑦ | 2. 経済面 (守り) | : | 4. 環境面 (守り) | = | <input type="text"/> | : | <input type="text"/> |
| ⑧ | 2. 経済面 (守り) | : | 5. 社会面 (攻め) | = | <input type="text"/> | : | <input type="text"/> |
| ⑨ | 2. 経済面 (守り) | : | 6. 社会面 (守り) | = | <input type="text"/> | : | <input type="text"/> |
| ⑩ | 3. 環境面 (攻め) | : | 4. 環境面 (守り) | = | <input type="text"/> | : | <input type="text"/> |
| ⑪ | 3. 環境面 (攻め) | : | 5. 社会面 (攻め) | = | <input type="text"/> | : | <input type="text"/> |
| ⑫ | 3. 環境面 (攻め) | : | 6. 社会面 (守り) | = | <input type="text"/> | : | <input type="text"/> |
| ⑬ | 4. 環境面 (守り) | : | 5. 社会面 (攻め) | = | <input type="text"/> | : | <input type="text"/> |
| ⑭ | 4. 環境面 (守り) | : | 6. 社会面 (守り) | = | <input type="text"/> | : | <input type="text"/> |
| ⑮ | 5. 社会面 (攻め) | : | 6. 社会面 (守り) | = | <input type="text"/> | : | <input type="text"/> |