

ファジィ・エントロピーを用いた SRI 投資銘柄選択比率の決定

上 原 衛

1. はじめに

近年、企業を取り巻くステークホルダーは企業の信頼性・透明性・環境対策も視野に入れた CSR (Corporate Social Responsibility: 企業の社会的責任) を重視した視点から、企業経営のあり方を求め始めている。なかでも、個人投資家や機関投資家は企業に投資する際の基準として、経済合理性のみならず、CSR に対する企業の取り組み姿勢によって投資先を決定する SRI (Socially Responsible Investment: 社会的責任投資) に注目している。CSR は国や地域の価値観、文化、経済、社会情勢によって多様であり、非常に広い概念であり、どのような分野に重点を置くかは、企業によって異なってくる。従って、CSR に対する企業の取り組み姿勢の自主性と多様性は尊重されるべきである。同時に、その各社の姿勢に対する個人投資家や機関投資家の評価のあり方も同様ではなく、SRI スクリーニング・ポートフォリオの銘柄の決定とその投資比率の決定についても多種多様であって然るべきである。

このように、投資家はリターンという経済合理性だけではなく多様な判断に基づいて投資の意思決定を行う必要があるが、その判断によって投資の巧拙が決まるといっても過言ではない。従って、SRI の調査・評価機関や SRI 資産運用会社が SRI スクリーニングを実施する場合には、投資家たちが CSR の評価要素のどの部分を重視しているかを反映させることによって、SRI の投資対象銘柄の選択と投資比率を決定したうえで、投資家たちに提供することが必要である。しかし現状では、必ずしも投資家の価値観とニーズに合致した SRI スクリーニングが行われていないようである。

そこで本研究では、SRI スクリーニングを実施する際に、投資家の SRI に対する多様な価値観やニーズに合致した投資銘柄の選択比率の決定手法に関して検討したい。投資家が SRI ファンドに対する投資の意思決定を行う際には、多くの評価要素に基づき総合的に判断を行うが、投資家が SRI に対する自らの価値観やニーズを重視して投資銘柄選択の意思決定を行おうとすればするほど、おのずから彼らの主観的判断や評価に関わるあいまいさ、すなわち、人間の情報処理過程における偶然性に関するあいまいさと漠然性に関するあいまいさが介在し、客観的な判断のプロセスを経ることは一層困難になる。ここでは、投資家が不十分な証拠に基づく偶然性のあいまいさと漠然性のあいまいさが介在する主観的な判断によって SRI スクリーニングの銘柄選択比率を決定する意思決定過程を表現するために、「ファジィ・エントロピーを用いた一因子情報路モデル」[1]と「ファジィ・エントロピーを用いた多因子情報路モデル」[2]の応用を試みる。これらのモデルは、人間の意思決定において、偶然性に関するあいまいさのみな

らず、漠然性に関するあいまいさも重要な視点となることを示唆している。これによって、人間の自由勝手な選択行動（偶然性+漠然性：ファジィ・エントロピー）と各銘柄（代替案）を特徴づける（CSRの）特性に関する満足感（平均特性値）の両面を加味した投資銘柄の選択比率の推定が可能となる。さらに、アンケート調査による適用例を利用して、SRI投資銘柄の選択比率を推定し実際の選択比率と比較・検討する。

2. CSRとSRIについて

2.1 CSRの自主性と多様性

近年、企業間競争は、高品質・低価格の商品を顧客に提供するだけでなく、企業の信頼性・透明性・環境対策も視野に入れることを求められている。また、企業を取り巻くステークホルダー（利害関係者）の利害のあり方が多様化してきたことにより、社会と調和した新しい企業経営が求められてきている。ステークホルダーはCSRを重視した視点から、企業経営のあり方を求め始めている。

CSRは国や地域の価値観、文化、経済、社会情勢によって多様であり、非常に広い概念である。従って、企業がどのような分野に重点を置くかは企業によって異なってくる。この意味から、企業はCSRに自主的に取り組み、その取り組みの多様性が尊重されることが重要であるとされている[3]。

2.2 SRIの分類[4][5]

SRIを広く捉えると、多様な形態が存在する。一般的には、以下の3種類に分類される。

- ① スクリーニング：企業を財務的指標などの経済的な側面からだけでなく、企業の事業内容や事業活動のプロセスにおいて環境や社会的責任への対応を考慮して投資先を選択すること。
- ② 株主行動：企業の環境や社会的責任への対応に関して、株主として対話を求めたり、議決権の行使や株主提案を行うこと。
- ③ コミュニティ投資：マイノリティや低所得者居住地域の発展を支援するために低利の融資プログラムや投資を行うこと。

本研究では、この3つのSRIの分類のうち、スクリーニングを対象とする。

3. CSRの評価方法とSRIスクリーニングにおける投資銘柄選択について

3.1 SRI投資における二つの評価軸[4]

SRIにおける実際の投資プロセスは、社会的・環境的スクリーニングを経た評価だけで投資対象銘柄が決定されるわけではない。「投資」である以上、財務的な健全性や成長性、株価の評価も考慮されるため、SRIスクリーニング運用では、財務パフォーマンスを判断する財務+株価評価スクリーニングと、非財務パフォーマンスを判断する社会・環境スクリーニングとの2つの評価を通じて銘柄が選択される。

SRIスクリーニング運用においては、基本的に、「通常の評価」＝「財務分析」＋「株価評

価」と、社会・環境スクリーニングの2段階で評価している。しかし、この2つの評価の順番には定まったものがなく、運用会社によってまちまちである。投資信託の一般的な運用手順としては、財務的評価などで対象銘柄群を絞り込んで投資ユニバース（投資候補銘柄群）を作成する。一般的に、SRI 投資信託を作成する場合には、この投資ユニバースを利用して、次に社会的・環境スクリーニングの銘柄選択プロセスが追加されることになる。

3. 2 CSR の評価要素（評価基準とウェイト）

1987年に「環境と開発に関する世界委員会」が公表した報告書「Our Common Future」の中で「持続的開発 (Sustainable Development)」が提唱され、これは、その後の「持続的可能性 (Sustainability)」という言葉として、現在の CSR の基本的な理念の一つになっている [5]。この「持続的可能性」を支える考え方が「トリプルボトムライン」である。「ボトムライン」とは決算書における収益・損失といった最終結果を意味する言葉であるが、「トリプルボトムライン」とは持続的発展の観点から、企業を「経済(財務)」に加え、「環境」「社会」といった3つの面からバランスよく評価し、それぞれの結果を総合的に高めていこうという考え方である [5]。CSR の評価は、多種多様であるがこのトリプルボトムラインを基本になされることが多い。

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)」のパフレットによると、SAM 社（企業の持続発展性を評価し、投資家に情報を提供する、スイスに拠点をおく独立系調査会社）によってサステナビリティ・スクリーニングを実施しているとある。その中に、トリプルボトムラインを基本とした SAM 社の評価基準（評価要素とウェイト）が表1の通り記載されている。

ウェイトは「経済面」「環境面」「社会面」に対してそれぞれ3分の1ずつ等しいウェイトが設定され、さらに、それら3つを「攻め」と「守り」に分け50%ずつのウェイトをつけている。合計6つの評価要素となり、6分の1ずつの等しいウェイトが設定されている。

表1 SAM 社の評価基準・評価要素とウェイト (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 ウェイト 50%	(コスト削減やリスク回避等の)「守り」への評価項目 ウェイト 50%
経済面 (ウェイト 1/3)	<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 (ウェイト 1/3)	<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 (ウェイト 1/3)	<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

また、住友信託銀行が2003年12月に発売した公募投資信託「グッドカンパニー」の評価基準は、非財務部分の評価軸として日本総合研究所の「環境スクリーニング」と「社会的スクリーニング」における評価項目を用いている。そして、「社会的スクリーニング」を「法的責任」と「社会的責任」の2つの評価軸に分け、「環境スクリーニング」から「環境責任」という評価軸を設定している。ウェイト付けについては、「法的責任」25%、「社会的責任」25%、「環境責任」50%として総合得点を算出している [3]。

CSRは2.1で述べたとおり、国や地域の価値観、文化、経済、社会情勢によって多様であり、非常に広い概念であり、どの分野に重点を置くかは各企業の自主性に任されており、それが尊重されるべきである。また、それと同時にその企業の姿勢に対する投資家の評価も、一様ではなく多種多様である。従って、SRIの調査・評価機関やSRI資産運用会社がSRIのスクリーニング・ポートフォリオを作成する際には、投資家たちがCSRの評価要素についてどの部分を重視しているかを把握し、それを各評価要素のウェイトに反映させた上で投資対象銘柄を選択し銘柄に対する投資比率を決定する必要がある。

しかし、現状の評価要素に対するウェイト付けに関しては、それぞれのSRIの調査・評価機関やSRI資産運用会社で種々検討されているのであろうが、上述の例のとおり均一（全て同じウェイト）ないしは画一的（25%、25%、50%などのウェイト）に設定されていることが多い。SRIの調査・評価機関やSRI資産運用会社によっては、投資家がどの評価要素を重視するかをヒアリングした上で投資家のニーズをくみ取り、合議によってウェイトを決定する場合もあるようだが、その合意形成の過程や手法は必ずしも客観的ではない。

3. 3 投資家の多様な価値観に合致したCSRの評価要素に対するウェイト決定と投資銘柄選択比率決定の必要性

SRIは、企業がCSRを実施することに伴い、競争優位性を築くことによる業績アップを通じた株価上昇に寄与するというアップサイド・メリットの享受と、企業不祥事が会社の命運までも左右する昨今、CSRを実施することによるリスクマネジメントの徹底が、企業の信用力を補完して株価の急落を回避するダウンサイド・リスクを抑制する方策につながるといわれている [3]。このように、投資家はSRIスクリーニング・ポートフォリオに投資する際には、リターンという経済合理性だけでなく、企業の社会面や環境面などの問題意識も考慮に入れて投資判断を行っている。

また、投資家がSRIに投資する目的の一つには、投資行動を通じて企業のCSRへの取り組み姿勢を監視し、支援することがある。企業ごとにCSRに対する取り組み姿勢は多様であるため、投資家はこの多様な企業のCSRへの取り組み姿勢を見て、投資家の価値観に基づき企業を監視し、支援するのである。

日本のCSR評価機関の一つであるグッドバンカー社の都築社長は、証券アナリストジャーナル2004年9月号「日本と世界におけるSRIの展望 - エコファンドおよびCSR調査の現場から -」のなかで、「クライテリア（評価項目）は投資家のものであり、どのアイテムにどのような

点数配分するかは投資家の価値観に従って、テラーメイドのファンドをデザインするというのが当社のスタンスである」と述べている。このように、投資家の価値観を重視した評価を行うことこそが重要であることが分かる。

しかし、現状では、前節で述べたとおりウェイト付けに関しては、均一ないしは画一的な比率の設定を行っており、また、投資家の価値観をヒアリングして合議によって決定する場合でも、その合意形成の過程や手法は必ずしも明確ではない。

また、投資銘柄の選択と投資比率決定に関しては、社会面・環境面と財務面の両面で企業を評価しており、いくら社会面・環境面のSRI評価が高くても、財務面に問題があれば投資対象にはならない。さらに、ポートフォリオ理論に基づくリスク分散を考えた場合、特定業種への投資集中を排除するために、同一業種内で相対的にSRI対応に優れている企業を組み入れ銘柄として選択する、ベスト・イン・クラスという方法をとっている場合も多い。これらの評価のプロセスを経ることによって、現状のSRIスクリーニングは「SRI対応がベストである企業を選択する」というよりは、「SRIに配慮しない企業はいかに財務的に魅力的でも排除される」と理解する方が適切であると言われている[4]。しかし、この状況は、投資家にとっては「社会面・環境面でベストな対応を行っている企業が選択されていない」という誤解や不満を生じることになり、必ずしも投資家のSRIに対する多様な価値観やニーズに合致しているとはいえない。

投資家が投資の意思決定を行う際には、前述の通り多様な判断が必要であり、多くの評価要素を総合的に判断することが求められる。投資家が、自らのニーズや価値観を重視して意思決定をしようとするほど、おのずから彼らの主観的判断や評価のあいまい性が介在し、客観的な判断過程を経ることは一層困難になる。そのため、投資家が決定した案に基づき、SRIの調査・評価機関やSRI資産運用会社などの第三者と議論を交わしながら最終的な意思決定を行うことも必要であろう。その際に、投資家たちのニーズと価値観に基づいて主観的に判断した意思決定過程を表現したモデルと、それから導き出される投資銘柄の選択と投資比率を利用して、議論を深めることが必要であろう。すなわち、そのモデルから導き出された評価要素に対するウェイト付けと投資銘柄選択比率を投資家に提示し、その上で彼らとSRIの調査・評価機関や資産運用会社がある結果を確認し、良否を議論して最終決定に至るといったことが重要であると考えられる。

3.4 本研究で取り上げるSRIスクリーニングの銘柄選択における課題

前節で説明したように、現状のSRIスクリーニングの銘柄選択には種々課題があるが、本研究においては以下の課題に注目し、それらを克服するSRIスクリーニングにおける投資銘柄選択比率の決定方法を検討する。

課題1：現状のSRIスクリーニングでは、ポートフォリオ理論に基づく業種分散を考えた場合、特定の業種への投資集中を避けるために、同一業種内で相対的に良い企業を組み入れ銘柄として選択する（ベスト・イン・クラス）。従って、クライテリアの理想とする条件と比較すると、かなり緩い銘柄への投資を余儀なくされることが多い[4]。

課題2：投資家の銘柄選択比率は未知であるため、これを推定するための外的基準を持たない。従って、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の推定モデルを作成することはできない。

課題3：財務データと異なり、社会面・環境面の情報は企業内でも未整備であることが多く、公開される情報は過去に比べて充実しているとはいえ、まだ十分ではない。また、各企業のSRIへの取り組み姿勢が多様であるため、統一的なデータを取得することが不可能に近い。これらは、与えられた証拠が不十分であることを示している。更に、企業のCSRに対する対応が多様であり、かつ、それらの企業の対応を評価する投資家の価値観も多様である。ここには、「どれを選択するか」についてのあいまいさ（偶然性に関するあいまいさ）と、企業や投資家が評価するCSRのあいまいさ（漠然性に関するあいまいさ）の二面性があり、従って、投資家の価値観とニーズに合致したスクリーニングを行うことが極めて難しい状況にある。

4. 人間の意思決定のあいまいさをモデルに取り入れたSRIスクリーニング銘柄選択比率の決定方法

本研究では、3.4で指摘した現状のSRIスクリーニングの銘柄選択に際する課題について、それらの課題を克服するSRI投資銘柄選択比率の決定方法を提示する。

①課題1への対応

ポートフォリオ理論に基づく業種分散の必要性については、まず、財務的評価を先に実施しておき、業種のリスク分散を図った投資ユニバースを作成し、その投資ユニバースの各業種においてベスト・イン・クラスではなく、組み入れ銘柄の選択比率を決定する手法を採ることによって、この問題は解決できるものと考えられる。

②課題2・3への対応

社会科学の研究領域において、現実に生起する複雑かつあいまいな社会現象にアプローチしようとする際、現象の背後に存在するその発生のメカニズムを厳密に記述するという課題が非常に困難であることは、多くの研究者の間の共通した認識であろう [6]。そこで、現実の複雑な社会現象を分析するために、それを簡素化したモデルを作成することになるが、その際に多変量解析が有用な方法論となる [7]。しかし、SRIスクリーニング銘柄選択比率を決定する場合、3.4で述べたとおり、評価要素についてデータがないまたは取得しにくい環境化で意思決定を行わねばならず、また、CSRを評価する際の、偶然性に関するあいまいさと、漠然性に関するあいまいさが介在する。さらに、求めたいSRIスクリーニング銘柄選択比率がわからないため、被説明変数が未知（外的基準を持たない）であり、重回帰分析を利用することができず、また、主成分分析を行ったとしても主成分得点からは投資銘柄の選択比率を求めることはできない。このように、これまで有用とされてきた多変量解析では、SRIスクリーニング銘柄選択比率の推定を行うことができない。

エントロピー・モデルは与えられた制約条件を満足するような確率分布のうち、いちばんエ

ントロピーの大きいもの、換言すれば、あいまいさの大きい分布を推定する問題となる。考えられ得る制約条件をすべて満足してしまえば、そのもとでいちばん無秩序な分布を求める問題であり、きわめて自然な考え方であると考えられる [8]。従って、被説明変数として SRI スクリーニング銘柄選択比率がわからなくても、エントロピー・モデルの考え方を利用することによって、SRI スクリーニング銘柄選択比率を推定することが可能となる。

また、CSR を評価する際の、偶然性に関するあいまいさと、漠然性に関するあいまいさに関しては、あいまいさの二面性を構成するファジィネスとランダムネスの両面を捉えた、「ファジィ・エントロピーを用いた一因子情報路モデル」[1]と「ファジィ・エントロピーを用いた多因子情報路モデル」[2]によって、人間の自由勝手な選択行動（偶然性+漠然性：ファジィ・エントロピー）とサンプルの特性に関する満足感（平均特性値）の両面を加味した投資銘柄の選択比率の推定が可能となるものと考ええる。

5. 人間の意思決定のあいまいさについて

5. 1 情報量とエントロピー・モデル [6]

人間や組織における情報処理過程を考える際、「情報のあいまいさ」を避けて通ることはできない。なぜならば、人間や組織のコミュニケーションを通して流れる情報には、殆どの場合「何らかのあいまいさ」が介在しているためである [2]。このような人間や組織の情報処理過程におけるあいまいさを捉えるときに、しばしば「エントロピー」という概念が用いられる。このエントロピーは(1)式のように表され、シャノンの情報理論においては「情報量」として位置づけられるものである。

$$E = - \sum_{i=1}^n p_i \cdot \log p_i \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 i ：対象（代替案，サンプル）， p ：選択確率

これにより、不確実な現実に対して、その不確実さの程度を知ることが可能となると同時に、その事象が生じたことを知ることによって期待される情報量の大きさが計量化されるのである。

我々が複雑かつあいまいな現実の世界の中で、与えられた証拠を基礎にして何らかの意思決定を行う場面を考えてみることにする。その場合、与えられた証拠が十分であることはごくまれなことであり、ほとんどの場合は不十分な証拠から何らかの意思決定を行うことになる。このように証拠が不十分であることが意思決定の際のあいまいさをもたらすのである。

これは、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」の問題に相当する。情報理論の枠組みの中で、拡大推論における一般原理を確率論的に展開した原理として「最大エントロピー原理」がある [9]。これは、不十分な証拠から確率分布を推定しようとする場合、証拠が「不十分」であることを「十分」に認識するために、その証拠に従ったすべての確率分布の中から最大の不確実さ（エントロピー）を持つ分布を選択しようとするものであり [10] 熱

力学の第2法則の「エントロピーの増大」の思想がその基礎となっている。そこでは、エントロピーが最大化されることで平衡状態が達成される。

たとえば、意思決定を行うべき対象（代替案） i が複数（ n 個）存在し、これらの対象には証拠 x_i が与えられているとき、どのような確率でそれぞれの意思決定の対象を選択するか、という問題が与えられる。この問題に対して「エントロピー・モデル」では、与えられた証拠を制約としてエントロピーを最大にする確率分布を推定することになる。エントロピー・モデルは、シャノンの情報理論の応用によって、人間の自由勝手な選択行動を簡潔なかたちで表現しようという意図から作成された一連のモデルの総称である。このような自由勝手な選択行動の視点を、大衆行動へと拡張した場合、大衆各自の自由意思などはだれも計り知ることのできないのであり [8]、不確実性の高いあいまいな（エントロピーの大きい）選択を行っているように見えるわけである。

エントロピー・モデルの範疇に属するモデルの中で、最も基本的なモデルが「一因子情報路モデル」である。これは、当初、消費者行動を捉えるためのモデルとして構築され、その後、多くの社会現象を比較的簡単な形式で捉えるモデルとして広く用いられるようになった。このモデルの特徴は、「各銘柄（代替案）を特徴付ける特性に関する満足感」と「自由勝手な行動」の両面を考慮する点にある。そして、これらの両面を下記の2つの仮定 [8] により表現している。

- ① 大衆は銘柄を選択するに当たり、できるだけ自己の金銭的支出を小さくしたい（一般的には、ある因子に関してその特性値をなるべく小さくしたい）。
- ② 大衆は銘柄を選択するに当たり、何の制約もなく各自の自由意思によって、できるだけ自由勝手な選択をしたい。

一因子情報路モデルでは、前者の仮定①を(2)式の平均特性値 L によって、後者の仮定②を(3)式のエントロピー E によって、それぞれ捉えている。

$$L = - \sum_{i=1}^n p_i \cdot x_i \dots\dots\dots (2)$$

$$E = - \sum_{i=1}^n p_i \cdot \log p_i \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 i ：銘柄、 x ：特性値

そして、(2)式と(3)式の両面を考慮して、平均特性値 L をなるべく小さく、エントロピー E を大きくするために、ラグランジュの未定乗数を用いて、(4)式のように定式化する。

$$R = \frac{E}{L} - \lambda \left(\sum_{i=1}^n p_i - 1 \right) \rightarrow \max \dots\dots\dots (4)$$

(4)式は p_i に関して上に凸であるため、 R を p_i で偏微分して0とおき、式を整理することにより、

$$p_i = w^{-x_i} \dots \dots \dots (5)$$

$$\text{但し, } w = e^{\lambda} \dots \dots \dots (6)$$

が得られる。さらに、選択確率の和が1であることを利用して、

$$\sum_{i=1}^n w^{-x_i} = 1 \dots \dots \dots (7)$$

を満たす w 数値的に求め、それを(5)式に代入することにより、(4)式を満足する選択確率 p_i を求めることができる。

5. 2 ファジィ・エントロピー [6]

Zadeh[11] 以来、人間の情報処理過程における意味面でのあいまいさ (漠然性) をファジィ理論によって捉えようとする試みが数多くなされている。山下 [1] は、「ファジィ・エントロピーを用いた一因子情報路モデル」を提示している。これは、一因子情報路モデルに対して、サンプルの特性に関するあいまいさを考慮したモデルであり、「どれを選択するか」についてのあいまいさ (偶然性に関するあいまいさ) を確率によって、また各サンプルが示す特性のあいまいさ (漠然性に関するあいまいさ) をファジィ集合に対するメンバーシップ値によって捉えている。そして、それらのあいまいさの二面性 [12][13] の総合的な指標としてファジィ・エントロピーを導入し、「自由勝手な選択行動」の意味する偶然性に、漠然性を加味することにより、人間の情報処理過程におけるあいまいさの二面性を考慮したモデルへと一因子情報路モデルを拡張している。

さらに、山下はこの「ファジィ・エントロピーを用いた一因子情報路モデル」を「多因子」へと拡張している [2]。これは、選択の対象となるサンプルの持つ特性を、ただ1つの因子によって捉えるのではなく、複数の因子によって捉えることを意味する。すなわち、サンプルを特徴づける情報を複数の因子について知っている場合には、それらの情報の中から1つの因子のみを抽出して分析を行うよりも、それらの情報をすべて活用する方が望ましいという考え方に根ざしている。これにより、複数の因子を考慮したもとの、人間の自由勝手な選択行動 (偶然性+漠然性：ファジィ・エントロピー) とサンプルの特性に関する満足感 (平均特性値) の両面を加味した選択確率の推定が可能となる。

5. 3 人間の情報処理過程における偶然性と漠然性 [2]

人間は、情報を認知したとき、何らかの情報処理を行い、出力情報を生成している。西川ら [12]、山下 [13] は、人間のこの情報処理過程において、偶然性 (ランダムネス) と漠然性 (ファジィネス) の両面でのあいまいさが介在しているという「あいまいさの二面性」を指摘している。それでは、あいまいさの二面性を構成するファジィネスとランダムネスの両面を捉えるには、どのような方法があるのであろうか。

この問題に対して西川ら [12] は、選択確率 p_i の偶然性とメンバーシップ値 μ_i の漠然性が複合

した出力情報のあいまいさを、「行動エントロピー」として位置づけ、ファジィ・エントロピー F により以下のように定式化している。

$$F = \frac{1}{n} - \sum_{i=1}^n [-p_i \cdot \mu_i \cdot \log(p_i \cdot \mu_i) - p_i \cdot (1 - \mu_i) \cdot \log\{p_i \cdot (1 - \mu_i)\}] \dots \dots \dots (8)$$

但し、 n ：サンプル数

ここで、(8)式を p_i と μ_i について整理すると、(9)式のように変換される。

$$F = - \sum_{i=1}^n p_i \cdot \log p_i + \sum_{i=1}^n p_i \cdot H_i \dots \dots \dots (9)$$

但し、

$$H = - \mu_i \cdot \log \mu_i - (1 - \mu_i) \cdot \log(1 - \mu_i) \dots \dots \dots (10)$$

(9)式の右辺の第1項は偶然性(ランダムネス)に関するエントロピー、第2項は漠然性(ファジィネス)に関するエントロピーを表している。第1項の偶然性に関するエントロピーは、「何が起こるのか?」についてのあいまいさを表現しており、シャノンの情報理論における通常のエントロピー(=平均情報量)に相当する。従って、何が起こったかを知ったときに得られる情報量の平均を意味する。また、第2項は「サンプル i が、ファジィ集合に属するの属さないのか」についてのサンプル i 別のエントロピー(10式)を選択確率で重みづけしたものであり、漠然性(ファジィネス)に関するエントロピーの平均と解釈することができる。

5.4 ファジィ・エントロピーを用いた一因子情報路モデル [1]

通常の一因子情報路モデルで用いられる特性値は、価格・時間に代表される明確(クリस्प)な情報として与えられ、

$$\frac{\text{エントロピー } I}{\text{平均特性値 } U} \dots \dots \dots (11)$$

を最大化する選択確率を推定するモデルであったが、この特性値が「てま」、「むずかしさ」のようにあいまいな情報として与えられることも多いものと思われる。

そこで、山下ら [1] は確率変数 x を、「てまのかかる商品の集合」といった、その境界がぼやけている集合(ファジィ集合)に対するメンバーシップ値 μ に置き換えたモデルを提案している。この場合、通常の一因子情報モデルの仮説①と②は、あいまいさの二面性(偶然性と漠然性)を加味した下記のような仮説へと拡張される。

- ① 人間や組織は対象となるサンプルを選択するに当たり、できるだけその特性値(メンバーシップ値 μ_i) を小さくしたい。
- ② 人間や組織は対象となるサンプルを選択するに当たり、何の制約もなく各自の自由意思により、偶然性と漠然性の両面についてできるだけ自由勝手な選択をしたい。

具体的には、(11)式を(12)式に置き換えることになる。その際、分母の平均特性値は、メンバーシップ値の平均であると同時に、ファジィ事象の確率を意味する。

$$\frac{\text{ファジィ・エントロピー } F}{\text{平均特性値 } U} \dots\dots\dots (12)$$

そこで、(12)式の最大化問題として、(13)式のように定式化している。

$$R = \frac{F}{L} - \lambda \left(\sum_{i=1}^n p_i - 1 \right) \rightarrow \max \dots\dots\dots (13)$$

(13)式を最大化する p_i を求めるために偏微分して0とおき、 λ を消去し

$W = \exp[F/L]$ とおけば、次のように簡単な式に変換される。

$$p_i = \exp[H_i] \cdot W^{-\mu_i} \dots\dots\dots (14)$$

従って、(15)式を満たす W を数値的に求め、それを(14)式に代入すれば、選択確率 p_i の推定値を得ることができる。

$$\sum_{i=1}^n \exp[H_i] \cdot W^{-\mu_i} = 1 \dots\dots\dots (15)$$

(14)式を(15)式と比較すると、ファジィ・エントロピーを用いた一因子情報路モデルから得られる選択確率は、通常の一因子情報路モデルの選択確率に対して、 e の H_i (漠然性に関するエントロピー) 乗で重みづけしたものであり、自然な拡張形となっていることがわかる。

5. 5 ファジィ・エントロピーを利用した多因子情報路モデル [2]

「ファジィ・エントロピーを用いた一因子情報路モデル」は、各銘柄を特徴づけるあいまいな特性として、1つの因子だけ考慮していたが、このような因子を複数個 (m 個の因子) 考慮した場合のモデルを考えることにする。そして、山下 [2] はそのモデルを「ファジィ・エントロピーを用いた多因子情報路モデル」として提唱している。

まず、一因子情報路モデルの2つの仮説を次のように拡張する。

- ① 人間や組織は対象となるサンプルを選択するに当たり、考慮すべき複数の因子に関して、それらの特性値 (メンバーシップ値) の和をなるべく小さくしたい。
- ② 人間や組織は対象となるサンプルを選択するに当たり、何の制約もなく各自の自由意思により、偶然性と漠然性の両面についてできるだけ自由勝手な選択をしたい。

具体的には、①の仮説を「平均特性値の和」によって、また②の仮説を「ファジィ・エントロピーの和」によって捉える。従って、(12)式の分子のファジィ・エントロピーを「ファジィ・エントロピーの和」に、また分母の平均特性値を「平均特性値の和」に拡張することになる。このことは、(12)式を(16)式に置き換えることを意味する。

$$\frac{\text{ファジィ・エントロピーの和}}{\text{平均特性値の和}} \dots\dots\dots (16)$$

ここで、メンバーシップ値 μ_{ij} (j : 因子, $j = 1, 2, \dots, m$) が与えられているものとすれば、因子 j についてのファジィ・エントロピー F_j は、次式によって与えられる。

$$F_j = - \sum_{i=1}^n p_i \cdot \log p_i + \sum_{i=1}^n p_i \cdot H_{ij} \dots\dots\dots (17)$$

但し,

$$H_{ij} = -\mu_{ij} \cdot \log \mu_{ij} - (1 - \mu_{ij}) \cdot \log(1 - \mu_{ij}) \dots \dots \dots (18)$$

(17)式を因子 j で足し込めば, ファジィ・エントロピーの和 F^* は次式のようになる:

$$F^* = \sum_{j=1}^m F_j = \sum_{j=1}^m \left\{ -\sum_{i=1}^n p_i \cdot \log p_i + \sum_{i=1}^n p_i \cdot H_{ij} \right\} = -m \sum_{i=1}^n p_i \cdot \log p_i + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n p_i \cdot H_{ij} \dots \dots \dots (19)$$

一方, 因子別の平均特性値を L_j とすれば, 平均特性値の和 L^* は次のようになる. このとき, 前節のモデル (ファジィ・エントロピーを用いた一因子情報路モデル) と同様に, L_j は因子 j についての平均特性値を意味すると同時に, 因子 j に関するファジィ事象の確率を意味することになる.

$$L^* = \sum_{j=1}^m L_j = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \mu_{ij} \cdot p_i \dots \dots \dots (20)$$

そこで, 前節と同様に(16)式の最大化問題として, (20)式のように定式化する.

$$R^* = \frac{F^*}{L^*} - \lambda \cdot \left(\sum_{i=1}^n p_i - 1 \right) \rightarrow \max \dots \dots \dots (21)$$

(21)式を最大化する p_i を求めるために, 偏微分して 0 とおく.

$$\frac{\delta R^*}{\delta p_i} = \frac{-(m \log p_i + m - \sum_{j=1}^m H_{ij}) \cdot L^* - \sum_{j=1}^m \mu_{ij} \cdot F^*}{(L^*)^2} - \lambda = 0 \dots \dots \dots (22)$$

(22)式の方程式から(23)式が得られる.

$$\lambda = -\frac{m}{L^*} \dots \dots \dots (23)$$

さらに, この λ を(22)式に代入することによって, 選択確率 p_i を求めることができる.

$$p_i = \exp \left[\sum_{j=1}^m H_{ij}/m - \sum_{j=1}^m \mu_{ij} \cdot F^*/(m \cdot L^*) \right] \dots \dots \dots (24)$$

ここで, $V = \exp[F^*/(m \cdot L^*)]$ とおけば, (24)式は簡単な形に変換される.

$$p_i = \exp \left[\sum_{j=1}^m H_{ij}/m \right] \cdot V^{-\sum_{j=1}^m \mu_{ij}} \dots \dots \dots (25)$$

従って, (24)式を満たす V を求め, それを(25)式に代入すれば(21)式を満たす選択確率 p_i の推定値を得ることができる.

$$\sum_{i=1}^n \exp \left[\sum_{j=1}^m H_{ij}/m \right] \cdot V^{-\mu_i^*} = 1 \dots \dots \dots (26)$$

但し,

$$\mu_i^* = \sum_{j=1}^m \mu_{ij} \dots \dots \dots (27)$$

(26)式を(15)式と比較すると、ファジィ・エントロピーを用いた一因子情報路モデルの H_i を H_{ij} の平均に、また μ_i を μ_i^* (μ_{ij} の和) にそれぞれ置き換えたものであり、(15)式の自然な拡張形となっていることがわかる。

6. 適用例による分析

6.1 データの収集と分析方法

本研究では、分析に必要なデータの収集を、某投資信託会社および某大学大学院において実施した。調査対象は投資信託会社については企画担当者(5名)、営業担当者(9名)の合計14名と、大学院については商学研究科(同分野を研究している大学院生)の7名に対してアンケート調査を実施した。財務的評価を先に実施しておき、ポートフォリオ理論のリスク分散を図った投資ユニバースを作成し、その投資ユニバースの各業種において組み入れ銘柄の選択比率を決定することを想定した。従って、アンケートにおいては「企業の成長性、財務体質などの財務面でのスクリーニングは勘案せず、あくまでも CSR 評価のみ」の回答を求めている。また、本来であれば投資家の SRI 投資銘柄選択比率は未知であるが、選択比率の推定値と比較するために、あえて各自の CSR 評価に基づいた SRI 投資の投資比率を回答してもらった。評価要素は表 1 に示した SAM 社の評価要素を利用した。調査対象(回答者集団)と評価要素を表 2 に示す。

アンケート結果に基づく投資銘柄の選択比率と、各要因に対するメンバーシップ値は表 3 のとおりである。そこで、表 3 のデータにファジィ・エントロピーを用いた一因子情報路モデル(以下、「一因子」)とファジィ・エントロピーを用いた多因子情報路モデル(以下、「多因子」)、重回帰分析(以下、「重回帰」)の3つの手法を適用して、SRI 投資銘柄選択比率を推定する。

一因子と多因子においては、6つの評価要素すべては、メンバーシップ値が大きいほうが望ましいため、分析には1からメンバーシップ値を減じた値($1 - \mu_{ij}$; これはファジィ集合の補集合に対するメンバーシップ値に相当する)を用いることにする。また、モデルのフィットネスを一因子と多因子で比較するために、各企業について各評価要素のメンバーシップ値を足しこんだ値 μ_i^* を一因子に入力した場合の分析を行うこととする。そして、選択比率の実測値に対する、一因子と多因子のフィットネスを比較・検討する。

また、重回帰については、各回答者の SRI 投資の投資比率を外的基準とし、あえて6つの評価要素すべてを利用して重回帰を作成した(本来、6つの評価要素にはそれぞれ相関があるため多重共線性もあり、かつ、実施結果には偏回帰係数の符号の整合性がなかったが、あえて比較のために実施した)。

表2 調査対象(回答者集団)と評価要素

調査対象 (回答者集団)	某投資信託会社	企画担当者
	社員	営業担当者
	某大学大学院(商学研究科)大学院生	
評価要素	経済面/攻め	W_1
	経済面/守り	W_2
	環境面/攻め	W_3
	環境面/守り	W_4
	社会面/攻め	W_5
	社会面/守り	W_6

表3 SRIスクリーニング投資銘柄選択比率と各要因に対するメンバーシップ値

某投資信託会社社員

	企業名	選択比率 (実測値)	メンバーシップ値					
			経済面/攻め	経済面/守り	環境面/攻め	環境面/守り	社会面/攻め	社会面/守り
家電業界	日立	0.130	0.37	0.44	0.40	0.46	0.44	0.49
	ソニー	0.134	0.39	0.42	0.45	0.42	0.38	0.42
	松下	0.213	0.26	0.34	0.36	0.42	0.40	0.44
	東芝	0.093	0.40	0.43	0.42	0.44	0.48	0.49
	三菱電機	0.096	0.41	0.41	0.41	0.45	0.47	0.52
	三洋電機	0.116	0.43	0.43	0.38	0.41	0.45	0.49
	シャープ	0.218	0.29	0.37	0.30	0.39	0.41	0.47
コンビニ業界	セブンイレブン	0.479	0.20	0.30	0.36	0.36	0.39	0.40
	ローソン	0.226	0.35	0.39	0.40	0.39	0.45	0.43
	ファミリーマート	0.171	0.43	0.45	0.40	0.39	0.46	0.46
	サークル・サンクス	0.124	0.50	0.45	0.45	0.45	0.49	0.50

某大学大学院(商学研究科)大学院生

	企業名	選択比率 (実測値)	メンバーシップ値					
			経済面/攻め	経済面/守り	環境面/攻め	環境面/守り	社会面/攻め	社会面/守り
家電業界	日立	0.149	0.37	0.41	0.37	0.37	0.39	0.43
	ソニー	0.207	0.33	0.34	0.29	0.33	0.27	0.30
	松下	0.136	0.41	0.47	0.30	0.31	0.39	0.39
	東芝	0.139	0.41	0.44	0.40	0.39	0.43	0.40
	三菱電機	0.066	0.53	0.54	0.54	0.49	0.54	0.53
	三洋電機	0.119	0.43	0.46	0.47	0.47	0.51	0.51
	シャープ	0.186	0.24	0.37	0.31	0.37	0.40	0.44
コンビニ業界	セブンイレブン	0.436	0.17	0.20	0.26	0.31	0.27	0.31
	ローソン	0.234	0.29	0.31	0.29	0.33	0.33	0.39
	ファミリーマート	0.216	0.33	0.39	0.34	0.40	0.41	0.49
	サークル・サンクス	0.114	0.44	0.46	0.46	0.50	0.49	0.51

6.2 分析結果

上記の3つの方法によって推定した選択比率と、目的関数(ファジィ・エントロピーの和/平均特性値の和)の値を表4に示す。

表4 SRIスクリーニング投資銘柄選択比率と各モデルによる推定選択比率

	企業名	某投資信託会社社員				某大学大学院(商学研究科)大学院生			
		選択比率 (実測値)	推定選択比率			選択比率 (実測値)	推定選択比率		
			一因子	多因子	重回帰		一因子	多因子	重回帰
家電業界	日立	0.130	0.130	0.127	0.142	0.149	0.147	0.148	0.151
	ソニー	0.134	0.143	0.143	0.118	0.207	0.225	0.240	0.181
	松下	0.213	0.178	0.184	0.156	0.136	0.157	0.158	0.159
	東芝	0.093	0.121	0.118	0.134	0.139	0.132	0.129	0.137
	三菱電機	0.096	0.122	0.119	0.130	0.066	0.070	0.061	0.082
	三洋電機	0.116	0.128	0.126	0.132	0.119	0.093	0.086	0.110
	シャープ	0.218	0.178	0.184	0.166	0.186	0.176	0.179	0.181
	ファジィ・エントロピーの和/ 平均特性値の和	—	4.875	6.344	—	—	5.075	6.610	—
コンビニ業界	セブンイレブン	0.479	0.333	0.343	0.349	0.436	0.385	0.395	0.379
	ローソン	0.226	0.255	0.256	0.256	0.234	0.283	0.286	0.265
	ファミリーマート	0.171	0.225	0.222	0.213	0.216	0.201	0.196	0.225
	サークルK・サンクス	0.124	0.187	0.179	0.151	0.114	0.132	0.123	0.131
	ファジィ・エントロピーの和/ 平均特性値の和	—	3.640	5.067	—	—	4.243	5.843	—

6.3 考察

表4から、一因子と多因子の方が、重回帰よりも選択比率の実測値に近い推定値となることが分かる。

ただし、一因子と多因子によって推定した選択比率は、重回帰よりも実測値に近いだけであって、実測値によくフィットしているといえるほどの精度ではない。これは、一因子と多因子が回帰系のモデルではない、すなわち外的基準を持たないため、外的基準に近づけるように（例えば、最小二乗基準や最大尤度基準）パラメータを推定していないことに起因している。本研究では、SRI投資銘柄選択比率の決定に際して、外的基準がない状況において、選択比率を推定するモデルを作成することを目的とした。従って、このような「近づけるべき外的基準がない」という本研究の前提を考慮すれば、ここで得られた選択比率は比較的良好な結果として捉えることができる。

また、ファジィ・エントロピーを用いた「一因子」情報路モデルと「多因子」情報路モデルを比較した場合、目的関数である「ファジィ・エントロピーの和/平均特性値の和」を比較すると、多因子の方が大きい値となっており、サンプルを特徴づける情報を複数の因子について知っている場合には、それらの情報の中から1つの因子のみを抽出して分析を行うよりも、それらの情報をすべて活用する方が望ましいという考え方を、実証することができている。

7. おわりに

SRIスクリーニング銘柄選択比率を決定する場合、評価要素についてデータがないまたは取

得しにくい環境化で意思決定を行わねばならず、また、CSRを評価する際、投資家自身の偶然性に関するあいまいさと、漠然性に関するあいまいさが介在する。さらに、求めたいSRIスクリーニング銘柄選択比率がわからないため、外的基準が存在しない。本研究では、これらの問題点を解決するために、「ファジィ・エントロピーを用いた一因子情報路モデル」と「ファジィ・エントロピーを用いた多因子情報路モデル」の応用を試みたが、選択比率の実測値に近い推定値を得ることができ、両モデルから導き出された推定値は投資家の価値観とニーズに合致した選択比率決定の有効な選択肢の一つとなりうるものであることが分かった。投資家は、SRIの調査・評価機関などの第三者と議論を交わしながら最終的な意思決定を行うことが重要であろうが、これらのモデルから導き出された投資銘柄選択比率はその議論の重要な材料になりうると思われる。

(本研究は、2005年度愛知淑徳大学研究助成費の一環として行われたものである。)

<参考文献>

- [1] 山下洋史, 尾関守: “ファジィ・エントロピーを用いた一因子情報路モデル”, 経営情報学会春季大会予稿集, pp.191-194(1993)
- [2] 山下洋史: “ファジィ・エントロピーを用いた多因子情報路モデル”, 明大商学論叢, Vo.83, No.1, pp.167-183(2001)
- [3] 足達英一郎, 金井司: 「CSR経営とSRI 企業の社会的責任とその評価軸」, 金融財政事情研究会 (2004)
- [4] 谷本寛治編著: 「SRI 社会的責任投資入門」, 日本経済新聞社 (2003)
- [5] 経済産業省: “企業の社会的責任 (CSR) に関する懇談会 (中間報告書)” (2004)
- [6] 山下洋史: “エントロピー・モデルにおけるエントロピーの役割”, 明大商学論叢, Vo.84, No.2, pp.71-88(2002)
- [7] 山本昌弘, 山下洋史: “情報理論に基づく会計測定の実証研究 - 会計情報によるポートフォリオ選択のモデル試論 -”, 明大商学論叢, Vo.86, No.2, pp.43-61(2004)
- [8] 国沢清典: 「エントロピー・モデル」, 日科技連 (1975)
- [9] Klir, G.J. and Folger, T.A., 本多中二訳: 「ファジィ情報学」, 日刊工業新聞社 (1993)
- [10] 山下洋史: “ファジィ・エントロピーを用いた情報管理モデル”, 明大商学論叢, Vo.81, No.1・2, pp.235-254(1999)
- [11] Zadeh, L.A.: “Fuzzy Sets”, Information and Control, Vol.8, pp.338-353(1965)
- [12] 西川智登, 清水静江, 宮本日出雄: “意思決定過程における入力情報に関する判断力の構造”, 日本経営システム学会誌, Vol.9, No.1, pp.35-41(1992)
- [13] 山下洋史: “ファジィ事象の偶然性と漠然性”, 日本経営システム学会誌, Vol.12, No.2, pp.41-46(1995)