

SEM による集団 AHP モデル

豊田 秀樹* 米村 大介** 齋藤 朗宏***

本研究の目的は、構造方程式モデリングの表現を用い、新しい集団 AHP モデルを提案することである。集団 AHP における個々の評価基準、代替案に対する重みを算出するために、CALIS などの一般的によく用いられる構造方程式モデリングのプログラムが利用可能であることが示される。本方法には、特筆すべきいくつかの特徴がある、一つには各種統計量を重みの評価として用いることが可能な点。もう一つには重み推定の精度を評価することが可能な点が挙げられる。通常の集団 AHP モデルと比較して、代替案の最終的な重みに関して順序関係が維持されていることが確認される。ここから、本モデルは有用であるように思われる。

キーワード：構造方程式モデリング、集団 AHP, CALIS

目 的

意思決定場面において、多くの評価基準 (criterion) を統合し、直感的に適切な代替案 (alternative) を見つけることができるならば、選択はスムーズに行うことができる。しかし、現実には、ある評価基準から見ればある代替案が優れており、別の評価基準から見れば別の代替案が優れているという場合が多く、合理的な統合は直感的には難しい。そのような場面で、有効に機能するツールとして、Saaty (1980) による AHP (Analytic Hierarchy Process) がある。この手法の特徴は、一対比較法を利用し、複数の代替案を複数の評価基準から評定した結果をまとめ上げ、最良の代替案を決定するという点にある。鈴木 (1996) では、AHP を用いた大学・学部選択における意思決定モデルを提案し、AHP が教育心理学の研究ツールとして有用であることを示している。

代替案 $p_1, \dots, p_i, \dots, p_p$ と、評価基準 $q_1, \dots, q_k, \dots, q_Q$ を用いて、代替案の評価を行う。代替案 p_i と p_j の評価基準 q_k における一対比較の評価を x_{kij} とするとき、一対比較行列の結果は、 $X_1 \cdots X_k \cdots X_Q$ に関し

$$X_k = \begin{bmatrix} x_{k11} & \cdots & x_{k1j} & \cdots & x_{k1P} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{k11} & \cdots & x_{kij} & \cdots & x_{k1P} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{kP1} & \cdots & x_{kPj} & \cdots & x_{kPP} \end{bmatrix}$$

と整理される。この行列の、対角要素を除いた上三角要素には直接評定を与え、下三角要素に関しては、

$$x_{kji} = \frac{1}{x_{kij}} \quad (1)$$

とする。対角要素は、 $x_{kii} = 1$ のように 1 とする。代替案 p_i と p_j を評価基準 q_k に関して比較するとき、Saaty (1980) の評価値は以下の通りである。

- p_i と p_j が等しく重要なとき $x_{kij} = 1$
- p_i が僅かに (weakly) p_j よりも重要なとき (重要でないとき) $x_{kij} = 3$ ($x_{kij} = 1/3$)
- p_i が強く (strongly) p_j よりも重要なとき (重要でないとき) $x_{kij} = 5$ ($x_{kij} = 1/5$)
- p_i が明確に (demonstrably) p_j よりも重要なとき (重要でないとき) $x_{kij} = 7$ ($x_{kij} = 1/7$)
- p_i が絶対的に (absolutely) p_j よりも重要なとき (重要でないとき) $x_{kij} = 9$ ($x_{kij} = 1/9$)

さらに、それぞれの判断の間ぐらいであると感じるときには、それぞれ 2, 4, 6, 8 と、その逆数を用いる。

また、評価基準 q_k と q_l の一対比較の評価 y_{kl} と、それをまとめ上げた一対比較行列 Y (サイズは $Q \times Q$) も、 X_k と同様の方法により作成する。

AHP は、基本的に個人レベルの意思決定に用いられる手法である。一方、集団の意思決定へと拡張され

* 早稲田大学文学部

** 株式会社アスクレップ

*** 早稲田大学大学院文学研究科・早稲田大学メディアネットワークセンター

た AHP は、集団 AHP (Group Analytic Hierarchy Process) と呼ばれている。Saaty (1996) には 2 種類の集団 AHP が紹介されている。1 つは、集団全体で一対比較値を作る方法であり、もう 1 つは、集団個々の成員ごとに一対比較データを作成し、それぞれの比較を幾何平均したものを集団全体の一対比較として利用する方法である。また、木下 (2000, p77) には、許容範囲を用いて集団に対して AHP を実行する方法が示されている。

上述の集団 AHP に共通した特徴は、集団の意見を集約して X_k と Y を決定している点である。これは、プロジェクトの最終案を決めるとか、人事採用など、単一の決定を集団で行う際に使用することを想定しているからである。

一方、個々人が各自の決定をするという意味での集団決定課題がある。例えば、課外活動での行き先を生徒全体で決めるという問題が考えられる。また、先に挙げた大学・学部選択モデルも、集団の傾向を見ることを考えると同様の問題となる。このような決定プロセスの研究は、人間行動の一般法則の定立に貢献する。

一般的な多変量解析の立場では、例えば、集団の意見の集約点を説明するために平均値を用いる。また、その集約点の周辺に、意見がどの程度の広がり分布しているかを見るために分散の値を考察する。あるいは、平均値がどの程度信頼できるかを考察するためにその標準誤差を調べる。更に、ある代替案を好む人が、別の代替案に対してどのような意見を持つかを調べるために、各変数間の相関を用いるというように、多くの統計量が解釈上貴重な情報として用いられる。

しかし、従来の集団 AHP においては、平均値に相当する統計量しか利用することはできなかった。これは、課外活動の例を用いるならば、どの代替案、評価基準がどの程度支持されているかという情報しか与えられないということに相当する。

本研究では AHP 用に収集された一対比較の結果に、従来と異なった得点化を施し、構造方程式モデル (structural equation modeling, SEM) の枠組みで AHP データの持つ情報を、より多く活用することが可能な集団 AHP 手法を提案する。この方法では、SEM の枠組みで分析を行うことにより、代替案の魅力の位置ばかりでなく、その散らばりや同時分布に関する解釈を行うことができる。また、因子スコアを推定することにより、個人の特徴も含めて分析することが出来る。課外活動の例に従えば、ある行き先は安定して好まれているとか、行き先 A を好む人は行き先 B を好む確率

が高い等の情報が与えられるということを意味している。

方 法

Q 個の評価基準 ($q_1, \dots, q_k, \dots, q_Q$) で、 P 個の代替案 ($p_1, \dots, p_i, \dots, p_P$) を一対比較する状況を考える。ここで、評価基準 q_k に関して比較された結果 x_{kij} は、

- p_i と p_j が等しく重要なとき

$$x_{kij}=0$$

- p_i が僅かに p_j よりも重要なとき (重要でないとき)

$$x_{kij}=1 \quad (x_{kij}=-1)$$

- p_i が強く p_j よりも重要なとき (重要でないとき)

$$x_{kij}=2 \quad (x_{kij}=-2)$$

- p_i が明確に p_j よりも重要なとき (重要でないとき)

$$x_{kij}=3 \quad (x_{kij}=-3)$$

- p_i が絶対的に p_j よりも重要なとき (重要でないとき)

$$x_{kij}=4 \quad (x_{kij}=-4)$$

とする。このコーディング法は AHP の原法とは異なっている。AHP という立場からは原法のコーディングが自然だが、コーディング法の優劣の比較は実質的に不可能であり、SEM のモデルとして分析するという立場から上のような一対比較法流のコーディングを採用した。この x_{kij} を表現する観測変数ベクトルを用いて

$$x_k = A_k f_k + e_k \quad (2)$$

と表現する。ここで、観測変数ベクトル x_k は

$$x_k = v[X_k] \quad (3)$$

となる¹。また、本方法では、確率変数として x_k を扱う。

x_k と誤差変数ベクトル e_k のサイズは、共に P ($P-1/2$) であり、因子パターン行列 A_k のサイズは、 P ($P-1/2 \times P$) である。 f_k はサイズ P の因子ベクトルであり、評価基準 q_k における代替案 p_i の魅力 f_{ki} を i 番目の要素とする。例えば $P=4$ の場合には、観測変数ベクトルは

$$x_k = [x_{k12} \quad x_{k13} \quad x_{k14} \quad x_{k23} \quad x_{k24} \quad x_{k34}]' \quad (4)$$

となる。また、この場合因子パターン行列は、

$$A_k = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

¹ $v[X]$ は、行列 X の対角要素を除く上三角要素を行を優先して取り出して、縦ベクトルに並べるオペレータである。

であり、固定母数のみから構成される因子パターン行列である。

次に、 Q 個の評価基準に関する一対比較の結果を表現する観測変数ベクトルを考える。同様に因子分析モデルを用いて、

$$\mathbf{y} = \mathbf{B}\mathbf{g} + \mathbf{d} \quad (6)$$

と表現する。観測変数ベクトル $\mathbf{y}$ は、

$$\mathbf{y} = \mathbf{v}[\mathbf{Y}] \quad (7)$$

である。代替案同様に、 y_{kl} に関して $k < l$ の要素のみを取り出し、確率変数として扱うものとする。

$\mathbf{y}$ と誤差変数ベクトル $\mathbf{d}$ のサイズは、共に $Q(Q-1)/2$ であり、因子パターン行列 $\mathbf{B}$ のサイズは、 $Q(Q-1)/2 \times Q$ である。 $\mathbf{g}$ はサイズ Q の因子ベクトルであり、評価基準 q_k の魅力 g_k を k 番目の要素とする。例えば $Q=3$ の場合には、観測変数ベクトルは

$$\mathbf{y} = [y_{12} \ y_{13} \ y_{23}]' \quad (8)$$

となる。因子パターン行列は、この場合は

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

であり、固定母数のみから構成される。

(2)式と(6)式の因子ベクトルは、それぞれ

$$\mathbf{f}_k = \boldsymbol{\mu}_k + \boldsymbol{\zeta}_k \quad (10)$$

$$\mathbf{g} = \boldsymbol{\mu} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (11)$$

と表現する。ここで $\boldsymbol{\mu}_k$ はサイズ P の期待値ベクトルであり、評価基準 q_k における代替案 p_i の当該集団における魅力 μ_{ki} を i 番目の要素とする。 $\boldsymbol{\zeta}_k$ は、当該集団における魅力を取り除いたときの評価基準 k における代替案 p_i の個人差 ζ_{ki} を i 番目の要素とするサイズ P の確率変数ベクトルである。

$\boldsymbol{\mu}$ はサイズ Q の期待値ベクトルであり、評価基準 q_k の当該集団における魅力 μ_k を k 番目の要素とする。 $\boldsymbol{\varepsilon}$ は、当該集団における魅力を取り除いたときの評価基準 q_k の個人差 ε_k を k 番目の要素とするサイズ Q の確率変数ベクトルである。

ここで外生変数の期待値は $E[\mathbf{e}_k] = \mathbf{0}$, $E[\mathbf{d}] = \mathbf{0}$, $E[\boldsymbol{\zeta}_k] = \mathbf{0}$, $E[\boldsymbol{\varepsilon}] = \mathbf{0}$ のようにすべて $\mathbf{0}$ とし、外生変数の変数内共分散行列は $V[\mathbf{e}_k]$ と $V[\mathbf{d}]$ を対角行列とし、残りを、 $V[\boldsymbol{\varepsilon}_k] = \boldsymbol{\Phi}_k$, $E[\boldsymbol{\varepsilon}] = \boldsymbol{\Psi}$ のように対称行列として推定する。外生変数の変数間共分散行列は

$$E[\boldsymbol{\zeta}_k \boldsymbol{\zeta}_l'] = \mathbf{D}_{kl}, \quad (k \neq l) \quad (12)$$

のように対角行列とする。

これらのデータから、代替案の最終的な評価を行う。まず評価基準ごとの代替案の魅力ベクトルを横につないで

$$\mathbf{F} = [\mathbf{f}_1 \cdots \mathbf{f}_k \cdots \mathbf{f}_Q] \quad (13)$$

のようにサイズ $P \times Q$ の確率変数行列を作る。また、

$$\mathbf{M} = [\boldsymbol{\mu}_1 \cdots \boldsymbol{\mu}_k \cdots \boldsymbol{\mu}_Q] \quad (14)$$

のように、サイズ $P \times Q$ の期待値行列をつくる。(13)式の行列を

$$\mathbf{h} = \mathbf{F}\boldsymbol{\mu}_q^* \quad (15)$$

のように重み付けて、最終個人評価を表現するためのサイズ P の確率変数ベクトルを構成する。ただし $\boldsymbol{\mu}_q^*$ の k 番目の要素 μ_k^* は

$$\mu_k^* = \frac{\exp(\mu_k)}{\sum_{k=1}^Q \exp(\mu_k)} \quad (16)$$

のように $\boldsymbol{\mu}_q$ の要素と非線形の (ロジット変換の) 制約を持つものとする。評価基準は重みとして用いるので、正の範囲で区切る必要がある。そこで、 $-\infty$ から ∞ の範囲で存在していた評価基準の重要度を、 0 から 1 の範囲に順序関係を維持したまま変換する方法として最も一般的なロジット変換を用いることとした。(15)式の期待値、

$$E[\mathbf{h}] = E[\mathbf{F}]\boldsymbol{\mu}_q^* = \mathbf{M}\boldsymbol{\mu}_q^* \quad (17)$$

をもって集団全体における代替案の最終評価とし、値が最大になったものを最良の代替案とする。(16)式以降には、推定すべき母数がないので、非線形制約の可能な SEM のソフトウェアで表現しても自由度を消費しないために、あってもなくても適合度には変化がない。そこで(16)式以降は、因子スコアの推定値を求めてから、SEM のソフトウェアの外で計算してもよい。本方法を、ここでは GAS (Group AHP by SEM) と呼ぶ。

一般的な AHP の場合、評価基準の重要度、代替案の魅力度の双方は正の値となり、その積和が最終的な重要度となるが、本方法では、評価基準ごとの重要度も代替案の魅力度も平均 0 であり、負の値を有する。このため、重要度と魅力度の積和を計算することは望ましくない。しかし、ロジット変換された評価基準の重みは常に正の値を取り、最終段階における重要度の大小関係は積和を求めた場合にも維持されることが期待される。

実験：GAS の適用例

目的

Kahneman & Tversky (1979) のプロスペクト理論 (Prospect Theory) においては、フレーム (Frame) という考え方が重視されている。フレームとは、問題を記述する形式を意味し、本質的には同じ問題でも、フレームが異なると人は異なる選択をする (角田, 2001)。例えば極めてハイリスクな商品である宝くじを考えると、

“宝くじ購入時の利益の期待値が-200円”というように、利益という評価基準から提示されれば好まれず、“最高で3億円当たる”というように、楽しさの評価基準から示されれば好まれる。

同様に、Kahneman & Tversky (1979) では、ある事象に対する評価の基準として、リファレンス・ポイント (Reference Point) という点から、それより高い水準の結果は利益とみなされ、それより低いレベルの結果は損失とみなされると説明している。具体的に言えば、180万円する商品であっても、200万円から下がった結果と160万円から上がった結果では、前者の方が受け容れられやすい。これは、前者はリファレンス・ポイントが200万円にあるのに対し、後者は160万円にあり、200万円から見れば180万円は安く見えるが、160万円から見れば180万円は高く見えるからである。

ここでは、GASを用いて、このようなリファレンス・ポイントによる好悪の違いと、リスク認識に関するフレームの効果を検出することで、GASの有用性を検証する。

方法

被験者 18歳から58歳まで395人。

刺激 まず、評価基準として以下の3点を考える。

“**安心感**”：この評価基準では、リスクという観点からどの代替案が優れているかを判断する。Goldberg & von Nitzsch (2002) にも示されているように、同程度の利益と損失では、損失の方が大きく評価される傾向がある。よって、リスクの高いフレームにおける代替案は避けられやすい評価基準であると予想される。

“**楽しさ**”：予想を伴う収益には、その収益の大きさとは別に楽しさが行動の選択に影響する。本命一大穴バイアス (Overweight Low Probability) などがその典型であり、非常に低い確率は過大評価される (角田, 2001)。例えば0.1%で100万円の利益が期待される場合、その0.1%は過大評価されるが、90%の確率で1000円の利益であるなら、その90%は過小評価されるというものである。大穴バイアスの生じるフレームの下では、リスク回避傾向の仮定を否定すると考えられ、逆にリスクをとりやすいと予想される。

“**幸運感**”：収益を受けるときには、自己の能力外の作用を感じることがある。その効果がプラスに感じられるか、マイナスに感じられるかは被験者が基準とする点からみた損得によって異なると考えられる。なぜならば、自己がリファレンス・ポイントからみて、得をしていると感じるときには、“安心感”で見たように、ファイナンス的にリスクのない状態を選好するが、一

方で、リファレンス・ポイントから見て、損をしていると感じるときには、“確実な損失よりもギャンブルを好む” (Goldberg & von Nitzsch, 2002) のである。このようなリファレンス・ポイントからリスクに対する嗜好を見る評価基準である。

実験要因 4つの収益過程の場面の代替案を作成した。この4つの代替案は次のように2要因2水準で構成されている。

- ・リスク要因：収益過程におけるリスクの有無の要因 (“リスクあり”, “リスクなし”の2水準, リスクありは25%の確率で収益にプラスの作用をもたらす)

- ・基準点要因：収益過程を2段階で分け、[収益小, 収益小], で収益を得るか, [収益大, 損失小] で収益を得るか。この2要因により、TABLE 1のように代替案A, B, C, Dを設定した。これらの組み合わせをすべての代替案の期待値が等しく、かつ期待値の計算を瞬時にはしにくい状況設定を行った上で代替案とした。

測定法 代替案同士の一对比較による9段階の評定を評価基準ごとに、代替案の組み合わせの数である6回ずつ行う。また、評価基準同士の一对比較による9段階の評定を、評価基準の組み合わせの数である3回行う。項目への回答は個別に行う。

手続き 6通りの一对比較の質問項目を記載した質問用紙と解答用紙を被験者に渡し、まず安心感についてどちらの代替案を重視するか回答させる。次に楽しさに関して同様の質問項目、さらにその次に幸運感に関して同様の質問項目に回答させ、最後に金銭的な収益に関してどの評価基準が重要であるかを、一对比較で回答させた。

結果・考察

適合度はGFIが0.840, RMSEAが0.099となった。GFIはあまり良いとは言えないが、これはすべての項目が因子に対して等質に測定されるという制約の厳しさが原因であると考えられる。これは、1自由度あたりの誤差を評価するRMSEAでは悪い値でないことから確認できる。

GASでは、評価基準を1つの因子として扱っているので、まず、因子ごとの平均値と標準偏差を示す。各代替案の選好度はTABLE 2の通りとなった。

TABLE 1 代替案の構造

収益 (大) + 損失 (小)		収益 (小) + 収益 (小)
リスクなし	代替案A	代替案C
リスクあり	代替案B	代替案D

安心感の評価基準から評価した代替案の選好度は、 $C > D > A > B$ の順番であった。また、その分布はFIGURE 1 となった。基準となる点の効果が大きく、その中でリスクのない代替案が好まれている。安心感は、そもそもリスクの有無を評価する基準なので、本来、リスクの低いA、Cが高く評価されることが予想されるが、リスクはないがリファレンス・ポイントの高いAは、リスクはあるがリファレンス・ポイントの低いDよりも好まれなかった。ここから、リスクに関しては、リファレンス・ポイントの影響が大きいと言える。

ただ、分布が互いに重なっている面積も多く、人によっては評価が逆転することも少なくないとわかる。標準偏差では代替案Aが一番安定した評価を受けており、逆に代替案Dが一番評価がばらついている。同じリファレンス・ポイントの中では、どちらもリスクのある代替案の評価がばらついている。これはリスクに対する評価が人ごとに異なりやすかったからだといえる。一方で、同じリスク同士では、リファレンス・ポイントの変化のない代替案で、評価が分かれている。ただし、平均値の95%信頼区間はFIGURE 2の通りとな

TABLE 2 安心感因子、楽しさ因子、幸運感因子の平均値と標準偏差 (上から安心感、楽しさ、幸運感)

	A	B	C	D
平均	-0.462	-1.006	1.202	0.265
(平均の標準誤差)	0.091	0.095	0.103	0.102
標準偏差	0.614	0.753	0.763	0.885
平均	-0.999	-0.188	0.186	1.001
(平均の標準誤差)	0.100	0.113	0.124	0.098
標準偏差	0.457	0.599	0.782	0.749
平均	-0.841	-0.656	0.863	0.634
(平均の標準誤差)	0.073	0.096	0.113	0.124
標準偏差	0.671	0.606	0.618	0.879

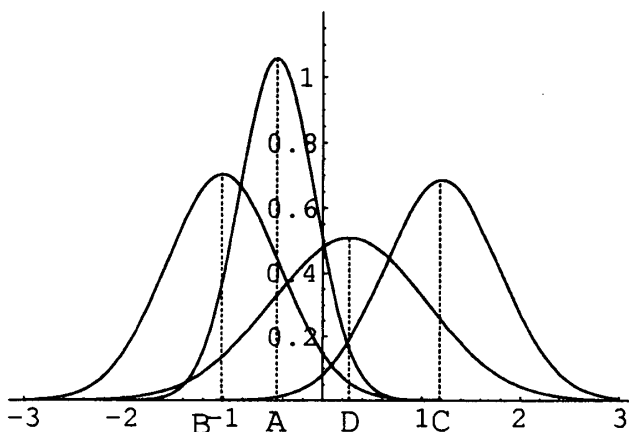


FIGURE 1 安心感から見た重要度の分布
代替案の好みに正規分布を仮定した。

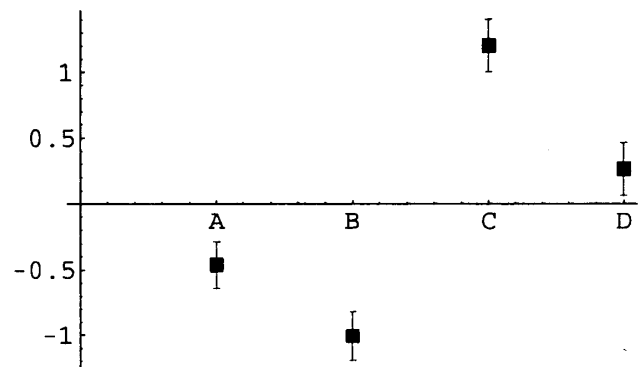


FIGURE 2 安心感から見た点推定値とその95%信頼区間

り、区間が重なることはない。これは、個人によって評価が逆転することはあるが、総合的に見れば、順序関係に確信を持てるということを意味している。このように散らばりと平均値の安定度を別々に考察できるところが、GASの特筆すべき長所である。

楽しさの評価基準から評価した代替案の選好度は、 $D > C > B > A$ の順番であった。リファレンス・ポイントの効果が大きく、同じリファレンス・ポイントの変化をする代替案の中では、リスクをとる代替案が好まれる結果となった。ただし、信頼区間から、BとCの順序関係については確信がない。標準偏差は代替案Aが一番小さく、安定して楽しさを感じられない代替案であることがわかる。一方で、リファレンス・ポイントが変化しない代替案で、評価が分かれている。

幸運感の評価基準から評価した代替案の選好度は、 $C > D > B > A$ の順番であった。リファレンス・ポイントの効果が大きく、さらに、リファレンス・ポイントとリスクの結果に交互作用が表れている。具体的には、収益が重なる代替案では、リスクをとることが好まれ、収益の後、損失となる代替案では、リスクを取らない代替案が好まれた。ただし、信頼区間から、AとB、CとDの順序関係については確信がない。標準偏差は、リファレンス・ポイントの変化しない代替案2つの間では、リスクのない代替案の方が、大きな標準偏差を示した。一方で、リファレンス・ポイントの変化する代替案では、リスクのある代替案の方が、多少大きな標準偏差を示した。具体的には、収益を得て、さらに収益を得る代替案は、確定した代替案が好まれる一方で、収益を得てから損失を被る代替案では、リスクのある代替案が好まれているといえる。

また、評価基準間の評価はTABLE 3の通りとなり、金銭の収益で大事な感覚は安心感、幸運感、楽しさの

TABLE 3 評価基準の平均値と標準偏差

	安心感	楽しさ	幸運感
平均	0.920	-0.988	0.068
(平均の標準誤差)	0.087	0.084	0.080
標準偏差	1.121	0.555	0.352
基準化後	0.635	0.094	0.271

順であった。割合的には、安心感が6割強という結果を示しており、大部分が金銭には安心感が重要であると考えている。一方で、楽しさの影響は小さいという点も見取れる。評価基準間の評価に関しては、安定していることが確認できる。

評価基準の重要度で重み付けをした最終的な代替案の評価はFIGURE 3の通りとなり、C (平均=1.014, SD=0.625), D (平均=0.434, SD=0.719), A (平均=-0.615, SD=0.394), B (平均=-0.834, SD=0.624)の順番であった。この結果から、リファレンス・ポイントの影響が大きく、その中ではリスク回避傾向があることが示唆された。また、この結果は、安心感が重要な意味をもつということを受け、安心感から評価した場合と同様の結果である。その他に、A, Bというリファレンス・ポイントの高い代替案は標準偏差が小さくC, Dのリファレンス・ポイントの低い代替案は標準偏差がやや大きくなることが確認された。

最後に、代替案や評価基準の好みに関して相関や分散を調べる。代替案の好みの相関は、TABLE 4の通りとなった。安心感に関しては、全体的に正の相関が高くなった。楽しさに関しては、リファレンス・ポイントの異なるA, BとC, Dの間で負の相関が高くなっ

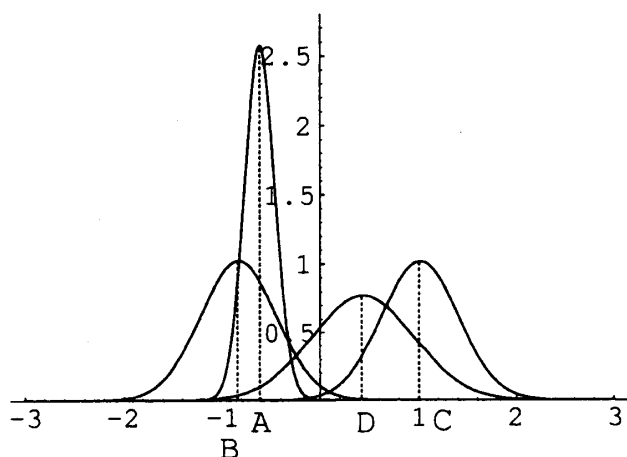


FIGURE 3 最終評価

FIGURE 1 同様に正規分布を仮定。各代替案の平均と標準偏差はA (平均=-0.615, SD=0.394), B (平均=-0.834, SD=0.624), C (平均=1.014, SD=0.625), D (平均=0.434, SD=0.719)

TABLE 4 代替案の好みの相関

	A	B	C	D
A	1.000	0.628	0.614	0.484
B	0.083	1.000	0.165	0.370
C	-0.389	-0.342	1.000	0.416
D	-0.344	-0.277	-0.093	1.000

注) 上半分の上三角行列が安心感因子, 下三角行列が楽しさ因子。下半分の上三角要素が幸運感因子, 下三角要素が総合的な好み。

た他は、あまり相関が見られなかった。幸運感に関しても、楽しさと近い傾向が見られた。また、全体的に見ると、リファレンス・ポイントが同じ項目に関する相関であるA, B間, C, D間の相関は高いが、リスクが同じ項目に関する相関であるA, C間, B, D間の相関は低くなり、リファレンス・ポイントの影響の方が大きいという点が示唆された。

TABLE 5は評価基準間、同一代替案同士の相関である。ここから、多くの代替案では、どの評価基準から見ても同じような評価を下すことが確認された。ただし、代替案Aに関してのみ、安心感と幸運感で負の相関が見られた。

また、評価基準同士の相関はTABLE 6となった。ここでは、楽しさと幸運感に負の相関がかなり高く、安心感と幸運感に正の相関が見られた。ここから、安心感と幸運感に近い傾向があり、楽しさはやや離れた傾向があることが確認された。

各代替案、評価基準の誤差分散はTABLE 7、各一対比較項目の誤差分散はTABLE 8の通りとなった。どちらも誤差分散ではあるが、意味が異なる。一対比較項目 x_{kij} を考えると、代替案 p_{hi} と p_{hj} の誤差分散は評価基準 k におけるそれぞれの代替案の好みの分散を

TABLE 5 評価基準間の好みの相関行列

	安心感	楽しさ	幸運感
安心感	1.000	0.089	-0.251
楽しさ	0.477	1.000	0.074
幸運感	0.640	0.245	1.000

注) 上半分の上三角行列が代替案A, 下三角行列が代替案B, 下半分の上三角行列が代替案C, 下三角行列が代替案Dに関する評価基準間の好みの相関行列。

TABLE 6 評価基準の好みの相関行列

	安心感	楽しさ	幸運感
安心感	1.000	-0.698	0.353
楽しさ	-0.698	1.000	-0.917
幸運感	0.353	-0.917	1.000

TABLE 7 各代替案，評価基準の誤差分散

	A	B	C	D
安心感	7.091	8.240	8.109	7.330
楽しさ	7.553	7.419	7.789	7.751
幸運感	7.229	7.812	7.630	7.602
	安心感	楽しさ	幸運感	
	15.342	14.207	13.984	

TABLE 8 各一対比較項目の誤差分散

	A-B	A-C	A-D	B-C	B-D	C-D
安心感	3.216	2.691	3.667	1.485	2.969	4.047
楽しさ	3.295	2.895	2.821	3.427	3.212	3.498
幸運感	3.956	2.868	2.589	2.116	3.275	4.536
	安心感-楽しさ	楽しさ-幸運感	幸運感-安心感			
	0.671	3.417	3.433			

意味する。言い換えれば，一対比較項目 x_{kij} の分散のうち，各代替案の好みで説明できる部分である。それに対して一対比較項目の誤差分散 ϕ_{kij} は，一対比較項目 x_{kij} の分散のうち，各代替案の好みでは説明できない部分である。つまり，測定誤差などこのモデルでは説明できない部分とも言える。よって，TABLE 7 と TABLE 8 から，各一対比較項目は，モデルによってよく説明されるということが確認できる。

この結果と，幾何平均を用いた通常集団 AHP とを比較すると選好順序だけは，すべての観点において一致する結果となった。以上のことから，GAS は通常の AHP のようにデータをコーディングした上で推定した従来の集団 AHP と同じような結果をもたらし，しかも解釈のためのより多くの材料が提供されることが確認されたと言える。これらの利点から，教育のように，単一の決定のみならず，個々人に対する配慮も重視されるべき場面において本方法はより有用であると思われる。

ただ，今回の研究においては GAS と一般的な集団 AHP で選好順序が同一になったが，このことが一般的に言えるかという点については明らかになっていない。この点について，理論・実証の両面から今後一層の検討が必要であろう。

引用文献

- Goldberg, J., & von Nitzsch, R. V., 眞壁昭夫監訳
2002 行動ファイナンス—市場の非合理性を解き明かす新しい金融理論—ダイヤモンド社
(Goldberg, J., & von Nitzsch, R. V. 2001 *Behavioral finance*. Chichester, West Sussex, England : John Wiley & Sons Inc.)
- Kahneman, D., & Tversky, A. 1979 Prospect theory : An analysis of decision under risk *Econometrica*, **47**, 263-291.
- 角田康夫 2001 行動ファイナンス—金融市場と投資家心理のパズル— 社団法人金融財政事情研究会
(Kakuta, Y. 2001 *Introduction to behavioral finance*. Kinzai.)
- 木下栄蔵 2000 AHP の理論と実際 日科技連
- Saaty, T.L. 1980 *The analytic hierarchy process*. New York : McGraw-Hill.
- Saaty, T.L. 1996 *The analytic network process*. Pittsburgh : RWS Publications.
- 鈴木規夫 1996 AHP による大学・学部選択における意思決定モデルの構成 教育心理学研究, **44**, 287-295. (Suzuki, N. 1996 A model construction for career decision making in selecting universities / faculties using analytic hierarchy process. *Japanese Journal of Educational Psychology*, **44**, 287-295.)
- (2003.5.26 受稿, '04.2.26 受理)

付 録 1

実験に使用した刺激文は，以下の通りである。4つの項目で一対比較を行う場合，その組み合わせは $4 \times 3/2 = 6$ 通りとなり，その6通りを提示した。

- A 投資家の田中さんはT社の株で4万円の利益がでたので，さらにA社の株を買いました。しかし株価が予想に反して下落してしまったので，損が拡大する前に売り注文をだしたところ，1万5千円の損失となりました。
- B 投資家の田中さんはT社の株で4万円の利益がでたので，さらにB社の株を買いました。しかし株価が予想に反して下落したので，損が拡大する前に成り行きで売り注文を出しました。価格は確定していませんが，75%の確率で2万円損をして，25%の確率で損失なしであると見積もられています。
- C 投資家の山田さんはW社の株で2万円の利益がでたので，さらにC社の株を買いました。そこで株価が予想通り値上がりしたので即座に売り注文を出しました。その結果5千円の利益が得られました。

D 投資家の山田さんはW社の株で2万円の利益がでたので、さらにD社の株を買いました。そこで株価が予想通り値上がりしたので即座に成り行きで売り注文を出しました。価格は確定していませんが、25%の確率で2万円の利益となり、75%の確率で利益なしであると見積もられています。

付 録 2

因子平均の推定など、本分析で行った計算はすべて以下のSAS スクリプトで行った。このうち、平均・共分散構造分析の部分に関しては、CALIS プロシジャを用いている。

```
options ls=75; run;
data dat1;
infile 'd:\ahp.dat';
input (x1-x6 y1-y6 z1-z6 g1-g3) (1.);
array xx {*} x1-x6 y1-y6 z1-z6 g1-g3;
do i=1 to 21; xx {i} = (xx {i} -5) * (-1); end;
label
x1 = 'A-B' x2 = 'C-A' x3 = 'A-D'
x4 = 'B-C' x5 = 'D-B' x6 = 'C-D';
; run;
proc calis ucov aug noint
method=ml all nomod maxfunc=5000 outstat=aaa;
lineqs
/* x は安心感, y は楽しさ, z は幸運感, g は評価基準間の比較
を示す。a, b, c, d はそれぞれの代替案。1 は A と B, 2 は C と
A, 3 は A と D, 4 は B と C, 5 は D と B, 6 は C と D の一対比
較をそれぞれ意味する。0 はその評価基準に関する全平均。これ
を置くことで、4 つの代替案の因子平均の平均を 0 に基準化して
いる。f は因子, ff は代替案に関して因子をまとめる上位の因
子, fg は評価基準に関して因子をまとめる上位の因子, e は観測
変数の誤差, d は因子の誤差。*/
x1 = fx0 + fxa - fxb + ex1,
/* 上式は、安心感に関する代替案 A と B の一対比較は、安心感
に対する A の評価 fxa と B の評価 fxb との差に、安心感から見た
因子平均の平均と誤差を伴って測定されるということを示す。以
下同様。*/
x2 = fx0 + fxc - fxa + ex2,
x3 = fx0 + fxa - fxd + ex3,
x4 = fx0 + fxb - fxc + ex4,
x5 = fx0 + fxd - fxb + ex5,
x6 = fx0 + fxc - fxd + ex6,
y1 = fy0 + fya - fyb + ey1,
y2 = fy0 + fyc - fya + ey2,
y3 = fy0 + fya - fyd + ey3,
y4 = fy0 + fyb - fyc + ey4,
y5 = fy0 + fyd - fyb + ey5,
y6 = fy0 + fyc - fyd + ey6,
```

```
z1 = fz0 + fza - fzb + ez1,
z2 = fz0 + fzc - fza + ez2,
z3 = fz0 + fza - fzd + ez3,
z4 = fz0 + fzb - fzc + ez4,
z5 = fz0 + fzd - fzb + ez5,
z6 = fz0 + fzc - fzd + ez6,
g1 = fg0 + fgx - fgy + eg1,
/* 評価基準安心感と楽しさの一対比較は、安心感と楽しさの差
に、全平均と誤差を伴って測定される。*/
g2 = fg0 + fgy - fgz + eg2,
g3 = fg0 + fgz - fgx + eg3,
fx0 = mx0 intercept + ffx0 + dx0,
/* fx0, つまり安心感から見た因子平均の平均は、ffx0 と dx0 の
分散が 0 のため (std 参照) 定数 mx0 となる。*/
fxa = mxa intercept + ffxa + dxa,
/* fxa の因子平均 (mx) が安心感の代替案 A に関する好み、
因子平均の標準誤差が平均の標準誤差となる。*/
fxb = mxb intercept + ffbx + dxb,
fxc = mxc intercept + ffcx + dxc,
fxd = mxd intercept + ffdx + dxd,
fy0 = my0 intercept + ffy0 + dy0,
fya = mya intercept + ffya + dya,
fyb = myb intercept + ffyb + dyb,
fyc = myc intercept + ffyc + dyc,
fyd = myd intercept + ffyd + dyd,
fz0 = mz0 intercept + ffz0 + dz0,
fza = mza intercept + ffza + dza,
fzb = mzb intercept + ffzb + dzb,
fzc = mzc intercept + ffzc + dzc,
fzd = mzd intercept + ffzd + dzd,
fg0 = mg0 intercept + ffg0 + dg0,
fgx = mgx intercept + ffgx + dgx,
fgy = mgy intercept + ffgy + dgy,
fgz = mgz intercept + ffgz + dgz,
fa = 1.0 fxa + 1.0 fya + 1.0 fza + da,
fb = 1.0 fxb + 1.0 fyb + 1.0 fzb + db,
fc = 1.0 fxc + 1.0 fyc + 1.0 fzc + dc,
fd = 1.0 fxd + 1.0 fyd + 1.0 fzd + dd;
std
ex1-ex6 ey1-ey6 ez1-ez6 eg1-eg3
=del1-del21,
ffx0 ffxa ffbx ffcx ffdx
ffy0 ffya ffyb ffyc ffyd
ffz0 ffza ffzb ffzc ffzd
ffg0 ffgx ffgy ffgz =0
sffxa sffxb sffxc sffxd
0 sffya sffyb sffyc sffyd
0 sffza sffzb sffzc sffzd
0 sffgx sffgy sffgz,
```



```

dx0 dxa dxb dxc dx0 dy0 dya
dyb dyc dyd dz0 dza dzb
dzc dzd dg0 dgx dgy dgz =19*0,
da db dc dd=4*0, intercept=1;
cov
ffxa ffxb ffxc ffxd =phix; ,
ffya ffyb ffyc ffyd =phiy; ,
ffza ffzb ffzc ffzd =phiz; ,
ffgx ffgy ffgz =phig; ,
ffxa ffya ffza =phia; ,
ffxb ffyb ffzb =phib; ,
ffxc ffyc ffzc =phic; ,
ffxd ffyd ffzd =phid; ;
mxa= (mxb+mxcmxd) * (-1);
mya= (myb+mycmymd) * (-1);
mza= (mzb+mzc+mzd) * (-1);
mgx= (mgy+mgz) * (-1);
run;
proc score data=data1 score=aaa
type=SCORE out=bbb; run;
data ccc; set bbb;
fxa = fxa -0.4615;
/* この式で計算される fxa に関する因子スコアの標準偏差が
個々人の好みの散らばりとなる。 */
fxb = fxb -1.0058;
fxc = fxc +1.2026;
fxd = fxd +0.2648;
fya = fya -0.9993;
fyb = fyb -0.1879;
fyc = fyc +0.1862;
fyd = fyd +1.0010;
fza = fza -0.8408;
fzb = fzb -0.6562;
fzc = fzc +0.8633;
fzd = fzd +0.6337;
fgx = fgx +0.9198;
fgy = fgy -0.9882;
fgz = fgz +0.0684;
x=exp (+0.9198)/(exp (+0.9198)
+exp (-0.9882)+exp (+0.0684));
/* 3つの評価基準の重要度をロジット変換し、最終的な重みを
算出 */
y=exp (-0.9882)/(exp (+0.9198)
+exp (-0.9882)+exp (+0.0684));
z=exp (+0.0684)/(exp (+0.9198)
+exp (-0.9882)+exp (+0.0684));
a=x * fxa+y * fya+z * fza;
b=x * fxb+y * fyb+z * fzb;
c=x * fxc+y * fyc+z * fzc;
d=x * fxd+y * fyd+z * fzd;
keep x y z a b c d fxa fxb fxc fxd
fya fyb fyc fyd fza fzb fzc fzd
fgx fgy fgz; run;
proc print; run;
proc corr;
var a b c d;
run;
proc means; run;

```

A New Group Analytic Hierarchy Process (AHP) Model Using Structural Equation Modeling

HIDEKI TOYODA (WASEDA UNIVERSITY), DAISUKE YONEMURA (ASKLEP INC.) AND AKIHIRO SAITO (WASEDA UNIVERSITY)

JAPANESE JOURNAL OF EDUCATIONAL PSYCHOLOGY, 2004, 52, 139–147

The present study proposes a new group analytic hierarchy process (AHP) model, using the notation of structural equation modeling (SEM). It is shown that commonly available computer programs for structural equation modeling, such as CALIS, can be used to estimate the weights of several criteria and alternatives for group AHP models. This method has several important features: (1) Various statistics can be used in order to evaluate these weights. (2) Evaluation of accuracy for weight estimation is possible. (3) Compared to the present group AHP model, the order of mature weights between several alternatives is kept. Therefore, it is concluded that the proposed method has adequate utility.

Key Words: structural equation modeling (SEM), group analytic hierarchy process (AHP), CALIS