

縮約階層分析理論の提案と今後の展望

Proposal of the Concise AHP and future prospect.

北海学園大学大学院 ○学生員 鈴木聡士 (Soushi Suzuki)

1. はじめに

工学の分析モデルには、一般的に「論理性」とともに「実用性」が要求される。

ところで近年、都市・交通環境計画分野における意識調査分析手法の一つとして Analytic Hierarchy Process (AHP: 階層分析法) が注目されてきた。この方法は、問題等を「評価要因: Criteria」と「代替案: Alternative」に分解して評価する意識調査分析手法の一つである。特に都市・交通環境計画分野においては、アンケートを行いその結果を分析するような意識調査分析の場面において多く用いられている。

しかし、この AHP を用いてアンケート調査を行う際に、被験者への過度な評価負担に問題点があった。

そのようなことから、AHP における実用性の向上を目的とした改良の必要性が非常に高くなりつつある。

そこで本研究は、既存の AHP の特徴を保持しつつ、評価プロセスを縮約 (concise) する方法を探究する。すなわち、既存評価方法と同等な評価結果を得ながら、被験者評価負担度を軽減することを目的とした縮約階層分析法 (Concise Analytic Hierarchy Process: コンサイス AHP) を提案し、今後の展望について論述する。

2. 既存研究のレビューと縮約階層分析理論の位置付け

土木学会および日本都市計画学会において発表された論文は、合計 139 論文 (2000 年 11 月) あり、大きく分けて理論的発展を目指した研究と、実際の都市・地域計画および交通計画などへの応用研究、の 2 種類がある (その複合領域の研究も勿論ある)。

ここで、「理論的研究」については、評価手法の高精度化や様々な条件に対応するための展開 (ファジィ AHP、内部・外部従属法等)、アンケート結果信頼性、尺度問題、集団合意形成における集計化問題解決技法 (集団意思決定ストレス法・代替案修正プロセス等)、他手法との組み合わせによるシステムアプローチ、あるいは新しい視点の提案 (支配代替案法・一斉法)、費用便益分析との関連、ロジットモデルと AHP の関係などの方向性である。

また「応用的研究」については、交通計画評価、交通施設機能評価、バス事業活性化方策、交通経路選択問題における他手法との比較・検討・連動、観光地域交通計画、地区計画、イメージ分析、など極めて多岐にわたる。

さて、我々は工学を研究領域としている。工学は、理論的整合性はもとより、「実用性」も大切な要素であり、これを向上させるための研究、すなわち「実用性向上研究」も必要不可欠であると考えられる。

このような観点の研究において注目すべきものとして、木下が「絶対評価法」の適用法等¹⁾について述べている。

さらに、新しい視点による AHP (支配代替案法)²⁾を提案しており、代替案評価の際の負担度が軽減される方法として非常に注目される研究である。

ところで本研究は、「理論的な改良」の側面に加えて「実用性向上研究」の側面についても力点を置いている。従って本研究は「理論」と「応用」、及び「実用性の向上」の三面にわたる研究、という位置付けとなる。すなわち本研究では、「縮約階層分析理論」を構築し、さらにこれを実際の都市・交通環境の評価に応用 (応用的研究) するものである。

以上の領域を図で示せば図-1 のようになり、3つの範囲が重なる部分が、AHP 研究における本研究の位置付けとなる。

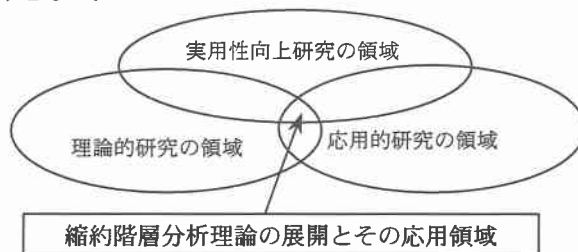


図-1 AHP研究の領域と本研究の位置付け

換言すれば本研究は、「縮約階層分析理論の展開とその応用」という新しい領域を創案するものである。

3. 順位尺度型 AHP³⁾

従来型 AHP (相対評価法) は一対比較による方法である。そのため被験者、特に高齢者等がアンケートを回答する場合は非常に困難と感じる。

そこで、これを緩和するため、従来の AHP を基本にして、順位尺度を導入した新しい AHP を提案する。この方法は一対比較によるものではなく、以下に示すような方法で評価を行う。

1) 各評価要因間の評価

各評価要因間の評価は、順位尺度を設定し、それによって評価を行う。

ここで、順位尺度のウエイト設定法は、ある任意の順位尺度を設定し、(評価要因数が m の場合には自動的に順位尺度は m 個となる) それを 10 点満点方式で複数の被験者が点数付けを行う。そして、各順位尺度の点数の合計を CP_i とし、その正規化した値を順位尺度ウエイト RSW_i とする。すなわち、

$$RSW_i = \frac{CP_i}{\sum_{i=1}^m CP_i} \quad (1)$$

となる。この RSW_i によって各評価要因の評価を行えば (2) 式のようなになる。

つまり、一対比較は全く必要としないことから、困難は相当に緩和される。

$$C = [c_i] = \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_m \end{matrix} \begin{bmatrix} RSW_i \\ RSW_i \\ \vdots \\ RSW_i \end{bmatrix} \quad (2)$$

2) 各評価要因に対する各代替案の評価

各評価要因に対する各代替案の評価は、ある評価基準を設定し、それによって評価を行う。

評価基準のウエイト設定法は、まず評価基準（ここでは、「1.とても見やすい」、「2.見やすい」、「3.普通」、「4.見にくい」、…「g.とても見にくい」とする）を設定し、それを10点満点方式で複数の被験者が点数付けを行う。そして、各評価基準の点数の合計を AP_g とし、最上位の合計点 $AP_{\max}$ で各合計点を除した値(ここでは、「1.とても見やすい」の合計点で各合計点を割ることとなる)を評価基準ウエイト CEW_g とする(これは、AHPの絶対評価法と同様の方法である)。すなわち、

$$CEW_g = \frac{AP_g}{\sum_{g=1}^h AP_g} \quad (3)$$

となる。そして、(3)によって評価要因 i に対する各代替案の評価を行えば

$$A_i = [a_k]_i = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} \begin{bmatrix} CEW_g \\ CEW_g \\ \vdots \\ CEW_g \end{bmatrix}_i \quad (4)$$

となり、この評価も一対比較を全く必要としない。

4. 意味論的評価法⁴⁾

従来から提案されていた「相対評価法」では、代替案などが多数となった場合、被験者に対する負担が増加し、評価が過度に煩雑となる問題点があった。そこで、Saatyは新たに「絶対評価法」の考え方を提案した。これは、ある絶対的評価水準を設定し、それを被験者に評価させることによってその重み付けを行うか、あるいは状況に応じて分析者が評価水準間の一対比較を行い、ウエイトを設定する。そして、この結果を基に各評価要因に対する各代替案の評価を行う方法である。

ところが、その方法においても、絶対的評価水準の重み付けのプロセスにおいて、被験者がウエイトを設定する場合には依然としてかなりの煩雑性が残されており、かつ分析者がウエイトを設定する場合には、個人の主観的ウエイトであることから、その客観性が問題となる。

そこで、これらの問題を解決する方法として、以下に示す意味論的評価法を新たに提案する。

1) 評価水準ウエイト理論の導出

絶対評価法において、絶対的評価水準を表現する形容詞的言語(良い-悪い、遅い-速い、等)の意味論的な刺激は、ほぼ同一な価値観を持っていると考えられる同一文化圏内においては、ある同様な刺激を持つと考えられる。つまり、「とても良い」という形容詞的言語は、同

一文化圏においてほぼ同様の刺激を我々に与えると考えられるのである。

そこで本研究では、その意味論的な刺激を理論的に設定することを試みる。

ここで、本研究では精神物理学の成果に着目した。

精神物理学者 Fechner, G.T. は、その著書『精神物理学提要: Elemente der Psychophysik (1860)』の序文において、「精神物理学とは身体と精神の関係に関する精密理論であり、物理学と同様に、経験と経験的諸事実の数学的結合の上に基礎づけられなければならない」としている。つまり、物質世界と精神世界、物理的世界と心理的世界との関連の解明を目指したのである。

さて、弁別閾(ようやく区別できる2つの刺激強度の差)に関する Weber の研究の中で、刺激強度 I における弁別閾を ΔI とすると、

$$\frac{\Delta I}{I} = \text{const} \quad (5)$$

が成り立つことが一般的に知られている。

このように、知覚に対する物理的な刺激と同様に、言語による意味論的な刺激についても(5)の関係が成り立つとすれば、「形容詞的言語の刺激の増分 dy に対応する評価水準のウエイトの増分 dz に関しても成り立つ」と考えられる。すなわち、

$$\frac{dz}{z} = k dy = C, \quad k > 0 \quad (6)$$

とおける。(6)より、

$$z = \alpha \exp(\beta y) \quad (7)$$

が導出される。

ここで、 y は評価水準を表現する形容詞的言語の刺激、 z は評価水準のウエイト、 dy, dz はそれぞれの微小増分、 k は比例定数、 α は評価水準ウエイト弁別閾、 β はパラメータである。

著者は(7)を「評価水準ウエイト理論」と名付ける。

2) 評価水準ウエイト理論の検証

1)で導出した評価水準ウエイト理論の適合性を検証するため、心理実験的方法により理論値と実測値を比較・分析した。このとき、有意水準を $\alpha = 0.05$ として χ^2 -分布検定を行った。その結果、すべての項目について、 $\chi^2 \leq \chi^2_{0.05}$ となったことから、評価水準ウエイト理論の適合性が実証された。

3) 意味論的評価法の提案

絶対評価法の特長を維持し、加えて意味論的観点から改良した新たな評価方法を提案した。これは、評価水準ウエイト理論を用いて、評価水準を表現する形容詞的言語に意味論的なウエイトを設定し、それにより代替案を評価する方法である。この方法によって、AHPにおける評価プロセスの簡略化(被験者評価負担の軽減)と、評価水準のウエイト設定における理論的根拠の提案が可能となった。

4) 意味論的評価法の評価結果の信頼性に関する実証⁵⁾

札幌都市圏にあるショッピング・コンプレックスを評価対象として、意味論的評価法の評価結果と絶対評価法による評価結果を比較し、信頼性について実証する。

このとき、評価要因は(1.品揃え 2.楽しさ 3.駐車場機能 4.飲食機能 5.快適性)であり、代替案は札幌圏の代表的なSC0を5箇所選定した。そして、73名の被験者を対象として事前調査を実施した。この調査結果から、絶対評価法と意味論的評価法の総合ウエイト集計結果はほぼ一致していることがわかった(図-2 参照)。このことから、意味論的評価法の信頼性が非常に高いことが実証された。

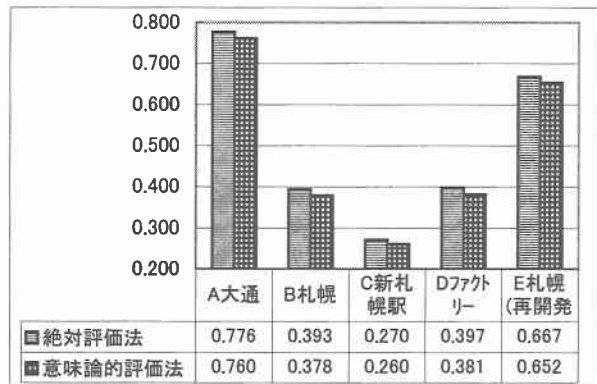


図-2 意味論的評価法と絶対評価法の結果比較

5. 相対位置評価法⁵⁾

評価要因の重要度を「位置」で評価し、その位置データをもとに各評価要因のウエイトを算出する新しい評価法を提案する。この手法は被験者の負担度を軽減することが可能と考えられる新しい評価方法である。

1) 相対位置評価法の提案

任意の被験者がある評価要因群 $(C_1, C_2, \dots, C_x, \dots, C_n)$ の評価をおこなう際には、まず各評価要因の順位付けが行われ、さらにそれらの重要度について相互間比較を行いながら各評価要因の重要度が決定されていくと考えられる。

そこで、被験者のこのような評価意識構造を、数直線上の「位置」で直接表現させることによって一対比較と同様の評価が可能になると考えた。すなわち、数直線上の位置データをもとに、評価ウエイトの算出が可能であると考えたのである。

以下に、相対位置評価法の方法と手順を述べる。

Step.1: まず、被験者の意識構造の整理を目的として、評価要因の重要度について表-1のように順位付け(1位, 2位, 3位, ..., ϕ 位, ..., ω 位)を行う。このとき同順位のものがあっても良い(同順位の評価がない場合には $n = \omega$)。

表-1 各評価要因の順位評価付けの例

評価要因	C_1	C_2	...	C_n
順位評価	α 位	β 位	...	1位

Step.2: 次に、数直線上で、各評価要因の重要度を相対的に考慮しながら図-3のように「位置」で評価する。

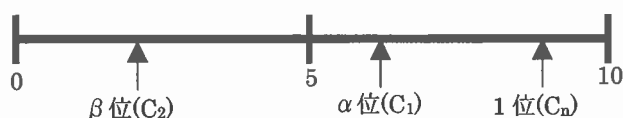


図-3 相対位置評価の例

ここで、数直線の長さは10とし、評価の制約条件は、

最大評価位置 $e_{\max} \leq 10$ 、最小評価位置 $e_{\min} > 0$ とし、この範囲内で被験者は自由に評価することができる。また、最大評価値を10とした理由は、被験者が評価する際にイメージし易いと考えたからである。

なお、Step.2はStep.1において順位付けされた各評価要因の相互重要度関係の評価を行うものとする。また被験者はStep.2までのプロセスを行う。

Step.3: そして、この評価結果を基に、ある評価要因 x (順位は ϕ 位とする)について、原点0からの位置データ d_x^ϕ を測定する(図-4 参照)。同様に全ての評価要因の位置データを測定する。

Step.4: 次に評価要因ウエイトの算出を行う。

図-2の位置データから、既存評価方法における一対比較マトリックスに対応する「位置比較マトリックス」を構築する。

ここで、順位 α の評価要因 C_i^α と、順位 β の評価要因 C_j^β との位置比較評価値: $D_{ij}^{\alpha\beta}$ は、位置データの差をもって定義する。すなわち、

$$D_{ij}^{\alpha\beta} = (d_i^\alpha - d_j^\beta) \quad (8)$$

$$(i, j = 1, 2, \dots, x, \dots, n)$$

$$(\alpha, \beta = 1 \text{ 位}, 2 \text{ 位}, \dots, \phi \text{ 位}, \dots, \omega \text{ 位})$$

となり、図-4のようになる。

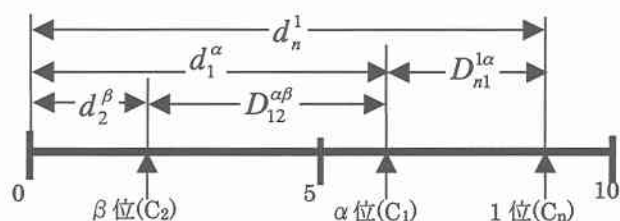


図-4 位置データの計測

しかし、同順位の評価要因がある場合は $D_{ij}^{\alpha\beta}$ が0となることから、そのまま位置比較マトリックスを構築しても、その固有ベクトルが0となる。そこで、位置比較評価値は全て1を加えた値とする。これによって、同順位の場合は1となり、また既存評価法の一対比較における評価尺度の「同じくらい重要=1」と同義となる。

以上より、 α と β の順位の関係によって、位置比較評価値 p_{ij} は次のように定義される。

$$\cdot \alpha > \beta (D_{ij}^{\alpha\beta} > 0) \text{ の場合、 } p_{ij} = D_{ij}^{\alpha\beta} + 1 \quad (9)$$

$$\cdot \alpha < \beta (D_{ij}^{\alpha\beta} < 0) \text{ の場合、 } p_{ij} = \frac{1}{-D_{ij}^{\alpha\beta} + 1} \quad (10)$$

$$\cdot \alpha = \beta (D_{ij}^{\alpha\beta} = 0) \text{ の場合、 } p_{ij} = 1 \quad (11)$$

これらの結果を基に位置比較マトリックス P を構築すれば、(12)となる。

$$P = [p_{ij}] = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & p_{21} & \dots & p_{n1} \\ 1/p_{21} & 1 & \dots & p_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/p_{n1} & 1/p_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (12)$$

そして(12)式の最大固有値に対する固有ベクトルが各評価要因 C_i のウエイト W となり、理論的背景については、既存評価法の固有値法と同様である。

Step. 5 代替案の評価については、被験者の評価負担度が少ない絶対評価法と同様の評価方法とし、それと同様の方法で総合ウエイトを算出すればよい。

2) 相対位置評価法の評価結果信頼性

札幌市内にある歴史的建築物の評価を対象として、相対位置評価法の評価結果信頼性について実証する。

そこで、一般住民を対象に平成 12 年 12 月 3 日（日）から平成 12 年 12 月 13 日（水）までアンケートを実施した。配布回収方法は各世帯へ手渡し、直接回収した。また、配布数 130、回収数 83（男性 53、女性 30）で回収率 63.8%であった。

ここで絶対評価法における有効回答数は 54（男性 34、女性 20）であり、さらに相対位置評価法における有効回答数は 81（男性 51、女性 30）であった。

ここで、絶対評価法と相対位置評価法の両方法により有効回答となった 54 名（男性 34 名、女性 20 名）の集計した評価結果を比較すれば図-5、6 である。

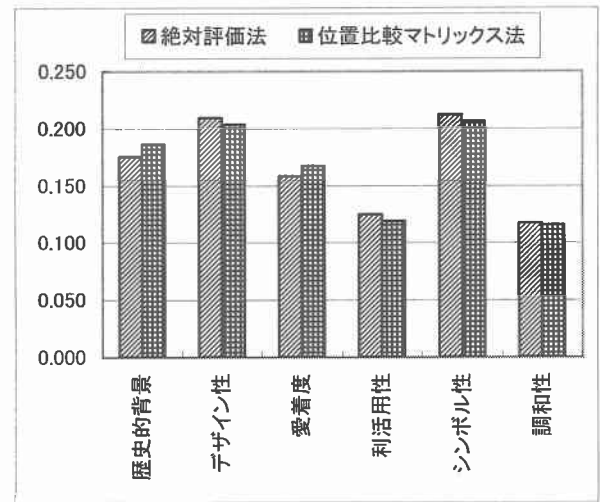


図-5 評価要因ウエイトの比較

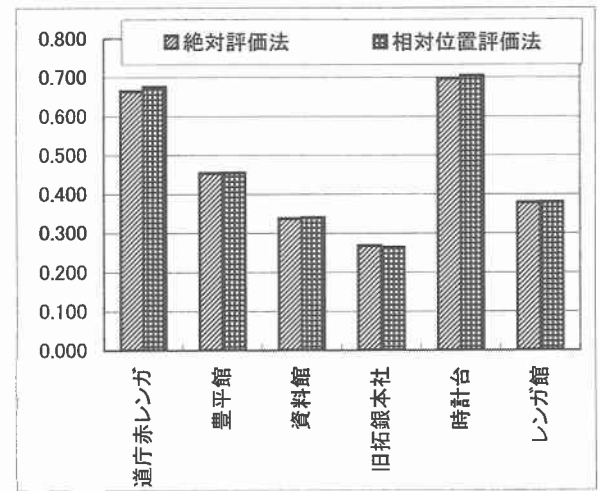


図-6 総合ウエイトの比較

以上のとおり、ほとんど一致する結果が得られた。また、上記を対象とした評価以外に、ショッピング・コンプレックスを対象とした場合についても同様の結果が得られた。

6. 縮約階層分析理論の今後の展望

以上で提案した各手法の特徴と今後の課題をまとめれば以下の表のとおりである。

表-2 各手法の特徴と今後の課題

手法名	特徴	課題
順位尺度型 AHP	評価負担度がか なり低い。	評価結果信頼性を実証 する必要がある。
意味論的 評価法	代替案の評価ブ ロセスにおける 評価負担度軽減 が可能。評価結果 の信頼性につい て担保される。	都市・交通計画分野で用 いられると考えられる 様々な評価水準のウエ イトを設定する必要あ り。
相対位置 評価法	順位尺度型に比 べて評価負担度 は高いが、評価結 果の信頼性につ いて担保される。	代替案評価にも拡張し た際の評価結果信頼性 を実証する必要がある。評 価負担度軽減効果を分 析する必要がある。

実際の問題への適用については、各手法の特徴を十分に勘案して、各問題の条件に合わせて手法を使い分けられ

ばよい。

さて、階層分析法（AHP）は、土木計画の分野において非常に多く適用されつつある。特に近年では「道路投資の評価に関する指針検討委員会編：道路投資の評価に関する指針（案）第2編 総合評価、2000.1」の第4章「非貨幣的項目を考慮した評価(多基準分析)」において、AHPを用いた評価例提示の実績がある。これが、今後の適用におけるひとつの指針となるであろう。しかし、近年におけるPIを重視する状況においては、特に一般住民への適用性についても十分考慮する必要がある。その意味で、本研究において提案している縮約階層分析理論をより一層発展させる必要がある。

今後は、相対位置評価法で実現できたように、信頼性と精密性（加えて柔軟性・自由性）などをトレードオフさせることなく、高次元でバランスさせることができる手法の開発が望まれる。

【参考文献】

- 1)木下栄蔵他：拡張AHP手法を利用したリニューアルのコストベネフィット分析、日本オペレーションズリサーチ学会誌、Vol.40、No.8、pp.24～29、1995
- 2)木下栄蔵・中西昌武：AHPにおける新しい視点の提案、土木学会論文集 No.569/IV-36、pp.1～8、1997
- 3)鈴木聡士：順位尺度型 AHP による交通案内表示の評価に関する研究－高齢者の交通行動特性を対象として－、第 34 回日本都市計画学会学術研究論文集、pp.889-894、1999
- 4) 鈴木聡士：AHP における意味論的評価法の提案、土木計画学研究・論文集 No.16、pp.147-154、1999.9
- 5)鈴木聡士：センシャス・ポテンシャルモデルによる中心市街地再開発事業の評価に関する研究、第 35 回日本都市計画学会学術研究論文集、pp.163-168、2000.11
- 6)盛亜也子・鈴木聡士：AHP における相対位置評価法に関する研究、土木計画学研究・論文集 Vol.18/No.1、pp129-138、2001.10