

輸送システム適用性の定量的評価

Quantitative Evaluation for Transport System Application

水 間 毅* 曾 根 悟* 木 下 栄 蔵**
Takeshi MIZUMA Satoru SONE Eizo KINOSHITA

1. はじめに

交通サービスの多様化に対応して、新しい都市交通システムが開発されており、また漸次実用化に至っている。しかし、こうした交通システムはどういう路線にその適用性があるのかについての定量的な議論は少ない。

本稿では、各種都市交通システムの特徴を、バス、地下鉄といった既存の交通システムを基に定量的に評価し、これらのシステムをモデル路線に適用した場合の、その適用性について、レーダーチャート、AHPを利用して評価した例について示す。

2. 輸送システムの適用性評価

(1) 適用性評価方法の検討

輸送システムの適用性を考えるにあたり、利用者、事業者、社会性それぞれの視点から評価項目を設定した。表1にその評価項目の一覧を示す。

評価項目は、大項目、中項目、小項目に分類し、例えば、利用者の視点から輸送システムの適用性を考える場合、大項目「旅行時間が短い」については、中項目「高速性」「高頻発性」「定時性」から評価され、これらの中項目を評価するために「表定速度」「最高速度」「加・減速度」「曲線通過速度」といったシステムの特徴を表わす小項目の数値を基準とする。

表1 輸送システム適用性評価項目

視 点	評価項目 (大)	評価項目 (中)	評価項目 (小)
利用者	旅行時間が短い	高速性	表定速度、最高速度、加・減速度等
		高頻発性	最小運転間隔
		定時性	専用、併用軌道、耐気候性
	乗降、乗換の易しさ	駅へのアクセス	駅間距離
		乗降容易性	地表面乗降面までの高さ、ドア数等
		乗換容易性	複数モード、乗り入れ可能性
	快適性	乗り心地	振動加速度、ジャーク、車内騒音
		車内空間確保	車両寸法、乗車定員、座席定員等
		車内設備	空調の容易性
		安心感	閉鎖性、セキュリティ確保の方法、交通事故
事業者	輸送需要への対応	輸送能力	最大輸送力、列車定員、表定速度等
		輸送力の調整	輸送力調整の方法、即応性、動力方式
	導入の易しさ	路線の自由度	高架、地上、地下、路線長、断面空間、曲線半径、専用軌道、建物との一体化
		導入空間	断面空間、建築限界、車両限界等
		1777建設費	地上設備、車両
		1777外建設費	延伸、輸送力増強、地下、高架化
	運営のし易さ	設備建設費	延伸、輸送力増強、地下、高架化
		運転要員	自動化度
		エネルギー消費	車両運転電力量
		保守費	メンテナンス度、保存費、接触時の修理
		信頼性	稼働率
社会性	環境性が良い	異常対応容易	想定故障と対応、避難、誘導方法
		低騒音	車外騒音
		低振動	地盤振動
	景観性	景観性	占有空間、軌道断面、車両寸法等

各輸送システムの評価は、中項目において、バスと地下鉄を基準として、各システムを点数化することにより行った。点数化の例を図1に示すが、例えば輸送システムの「高頻度」を評価するために、バスの最小運行間隔を1本/1分、地下鉄を1本/2分として、連続的に輸送が可能なシステムを最上位にランクし、最小運行間隔が1本/3分以上となるシステムを最下位として4ランクに分類する。そして、それぞれのランクに入るシステムを4, 3, 2, 1点と点数化していく。従って、システムが細分化される項目ほど最高点数が高くなる。

キーワード: 交通計画評価、交通手段選択、AHP

- * 東京大学工学部電気工学科 (電気学会、工博)
(東京都文京区本郷7-3-1, TEL:03-3812-2111ext. 6793, 6678, FAX:03-3818-5706)
- ** 名城大学都市情報学部 (土木学会、工博)
(岐阜県可児市虹ヶ丘4-3-3, TEL:0574-69-0143 FAX:0574-69-0155)

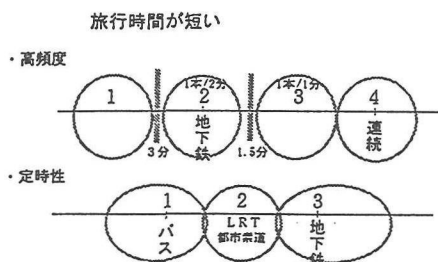


図1 評価項目点数化例

(2) モデル線区と対象システムの選定

輸送システムの適用性を定量的に評価するために具体的な路線を設定し、その路線に適用可能な輸送システムを評価することとした。

モデル路線として、全長5km、駅間距離が約800m、最小曲線半径100m、最急勾配50%の中距離での対1点輸送（中量輸送相当）を想定する。

対象輸送システムとしては、在来の新交通システム、LRT（低床式）、都市バスシステム（低床式）の他に、リニアモータを使用した、スカイトレインとWEDwayP.M.を選択した。

3. 適用性評価定量化の試み

(1) レーダーチャート化の試み

各対象輸送システムをモデル路線に導入すると想定した場合の、中項目別の点数化を2.(1)の方法により行い、それらの点数の和を大項目ごとに正規化（5点満点）して、それらの大項目を各軸（7軸）としたレーダーチャートを作成した。

図2に、このモデル線における各交通システムの適用性に関するレーダーチャート例を示す。

このレーダーチャートにおいては、水平線より上の軸は路線により、各システムの点数が変化する項目、下の軸は各システムに固有の値となるものを示している。このモデル線への適用においては輸送需要への対応、旅行時間の短さという点でスカイトレインが有利なものの、導入のしやすさ、乗降・乗換の易しさにおいてはLRTが優れているという結果を示している。

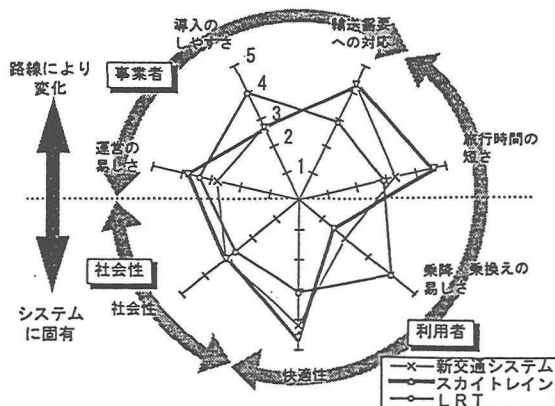


図2 システム適用性に関するレーダーチャート

(2) AHPの適用

レーダーチャートによる輸送システムの評価は2次元的なものであり、各路線に対する適用性の程度は一意に決定されない。これに対して、AHP (Analytic Hierarchy Process) を用いると、各システムの優先度が一意に決定されることになる。

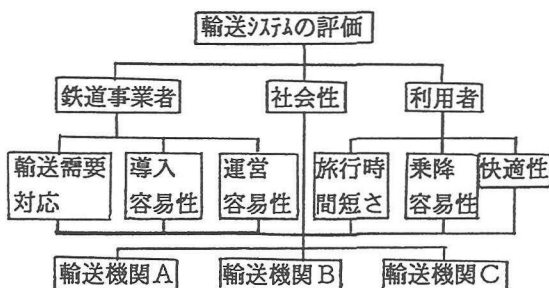


図3 輸送機関適用性評価の階層構造

図3のような階層構造でAHPを適用する。評価項目間のペア比較行列を表2のようにする。

表2 評価項目間のペア比較行列

事業利用社会	対応導入運営	旅行乗降快適
事	利	社
1	1	1
1/3	1/7	1
1/3	1/5	1/7
3	7	1
1	1	1
1	3	1
3	5	1
1	1	1
1	1	1

(第3セクター)

輸送機関を新交通、LRT、バスの3種類とし、これらの代替案の評価項目に対するペア比較行列を表3に示す。

表3 代替案の評価項目に対するペア比較行列

＜輸送需要対応＞				＜導入容易性＞				＜運営容易性＞			
新交 LRTバス				新交 LRTバス				新交 LRTバス			
新	1	3	5	新	1	1/3	1/5	新	1	1/3	3
LR	1/3	1	3	LR	3	1	1/3	LR	3	1	5
バ	1/5	1/3	1	バ	5	3	1	バ	1/3	1/5	1

＜運営容易性＞				＜旅行時間短＞				＜乗降容易性＞			
新交 LRTバス				新交 LRTバス				新交 LRTバス			
新	1	1/3	3	新	1	3	5	新	1	1/5	1/3
LR	3	1	5	LR	1/3	1	3	LR	5	1	3
バ	1/3	1/5	1	バ	1/5	1/3	1	バ	3	1/3	1

＜快適性＞				＜社会性＞			
新交 LRTバス				新交 LRTバス			
新	1	3	5	新	1	3	5
LR	1/3	1	3	LR	1/3	1	3
バ	1/5	1/3	1	バ	1/5	1/3	1

ここで、代替案の比較行列の各固有ベクトルを列ベクトルとした行列(A)を作成し、評価項目間の比較行列の各固有ベクトルを1列ベクトルに作成(X)したものと掛け合わせ、代替案の優先度を計算すると、

$$\begin{aligned}
 & \text{対応導入運営旅行乗換快適社会} \\
 Y \begin{bmatrix} \text{新交通} \\ \text{LRT} \\ \text{バス} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} .637 & .105 & .258 & .637 & .105 & .637 & .637 \\ .258 & .258 & .637 & .258 & .637 & .258 & .258 \\ .105 & .637 & .105 & .105 & .258 & .105 & .105 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.010 \\ 0.093 \\ 0.040 \\ 0.287 \\ 0.038 \\ 0.104 \\ 0.429 \end{bmatrix} \\
 &= A \cdot X \\
 &= \begin{bmatrix} 0.553 \\ 0.288 \\ 0.160 \end{bmatrix} \quad \dots (1)
 \end{aligned}$$

となる。

(3) AHPの応用

①Absolute Measurement法

AHPでは、各評価項目に対する各代替案の評価を相対的(1,3,5,7,9)に行っていたが、2.において各代替案の評価を点数化(5点満点)により行っているため、それをそのまま評価点数とする方法で計算を実施した(以後、この方法を絶対評価AHPと記す。)。表4に各代替案(輸送機関)の評価項目ごとの絶対値(点数)を示す。

表4 各代替案における評価項目ごとの点数化

	需要	導入	運営	旅行	乗降	快適	社会
新交	4.3	2.7	2.8	3.3	2.0	4.2	3.1
LRT	2.9	4.0	3.4	2.9	4.0	3.1	2.7
バス	2.1	5.0	2.5	2.5	3.5	2.7	2.3

この行列(B)に(1)式の評価項目間の比較行列の固有ベクトルを1列に並べたベクトルを乗ずれば、

$$Y = \begin{bmatrix} \text{新交通} \\ \text{LRT} \\ \text{バス} \end{bmatrix} = B \cdot X = \begin{bmatrix} 3.196 \\ 3.002 \\ 2.704 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.359 \\ 0.337 \\ 0.304 \end{bmatrix} \quad \dots (2)$$

となる。この結果から、絶対値を使用した場合の方が各交通機関の優先度の差が縮まっているということが確認できるが、これは、交通機関の絶対値評価を行うと、交通機関間の差が大きく現れないためである。

②等比級数を利用したAHP

AHPでは、評価項目、代替案間の比較は、重要度1(同じくらい重要)、3(やや重要)、5(かなり重要)、7(非常に重要)、9(極めて重要)という等差数列的に評価することにより行ったが、人間の感覚は等比級数的に表現できるという例(dB表示等)を考慮して、比較を1、2(やや重要)、4(かなり重要)、8(非常に重要)、16(極めて重要)という等比級数的評価に変更してAHPを行う(以後、この方法を等比AHPと記す)。

各代替案の評価項目ごとの点数化は絶対値を用いて行い、評価項目間の比較は等比級数を利用した行列計算により固有ベクトルを求めて行うと、(3)式のようになる。

$$Y = \begin{bmatrix} \text{新交通} \\ \text{LRT} \\ \text{バス} \end{bmatrix} = B * \begin{bmatrix} 0.015 \\ 0.123 \\ 0.062 \\ 0.257 \\ 0.040 \\ 0.102 \\ 0.400 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.167 \\ 3.048 \\ 2.779 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.352 \\ 0.339 \\ 0.309 \end{bmatrix} \dots\dots (3)$$

こうした、代替案の評価の差が大きくないケースでは、等比AHPでは、評価値2、4が多くなり、従来のAHPでの評価値3、5に比して、代替案間の差が小さくなり、(2)に比してさらに代替案間の差が縮まるという結果となった。

図3に、モデル線Fにおける、新交通、LRT、バスの適用性の優先度割合を、従来AHP、絶対評価AHP、等比AHPで比較した結果を示す。

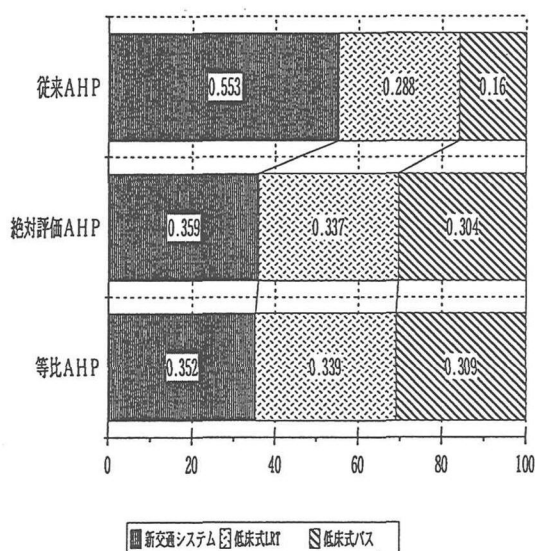


図3 モデル線Fにおける代替案優先度比較

この結果によると、モデル線Fにおけるこれらの代替案では、もともと優劣の差が大きくないため、等比AHP（絶対値評価と等比級数）による計算が最も代替案間の優先度の差が小さくなっているものの、システム間の優先順位は全ての場合で同じである。

これに対して、同じモデルFに、代替案として新交通システム、LRTの他にWEDwayピープルムーバーを選択する。このWEDway P.M.は地上側にインパターとリニア誘導モータを分散配置して、車両を簡易にした、無人自動運転の短距離用都市内交通システムであるが、モデルFのように全長5 kmとなると導入のし易さの点で著しく不利となってくる。

詳細な計算は省略するが、絶対評価AHPと等比AHPによる、新交通、LRT、WEDway P.M.の優先度の度合いの差は以下ようになる（図4参照）。

	絶対評価AHP	等比AHP
新交通	0.372	0.370
LRT	0.349	0.356
WEDway	0.279	0.273

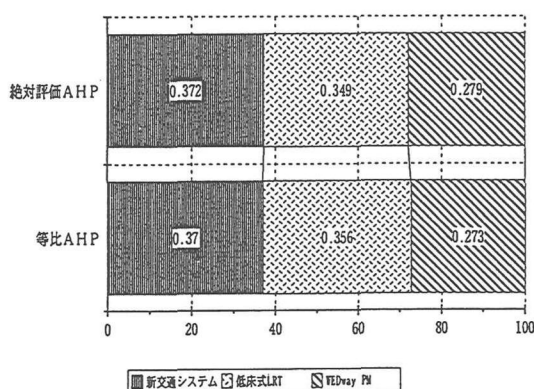


図4 絶対評価AHPと等比AHPの比較

これによると、等比級数を用いることにより、優先度の低いWEDwayシステムがさらに優先度の度合いが低下していることがわかる。

4. おわりに

以上、新方式の輸送システムの適用性を定量化する試みとして、レーダーチャートによる方法とAHPによる方法を実施し、ある程度輸送システムの特徴を明らかにすることが可能となった。

参考文献 水間他「輸送システム適用性の定量的評価」平成7年電気学会 産業応用部門全国大会