

バスサービス評価へのファジィ理論の適用*

An Application of Fuzzy Set Theory to Evaluation of Bus Service*

佐藤和彦**・古池弘隆***

By Kazuhiko SATO** and Hirotaka KOIKE***

1. 序 論

(1) 背景

地方都市におけるバス輸送の衰退は近年著しいが、交通弱者への対応や様々な都市内交通問題を緩和する対策としてバス輸送の積極的活用が望まれている。しかし、現在のところバス輸送の持つ特性を十分に発揮し、有効に活用されているとは言えない。

ここで、バス輸送の活性化方策の検討を仮定して既存研究の課題を整理する。まず、活性化方策検討の前提条件として、地方都市のバス事業者の経営状態を勘案すると、確実な収入増により投資分が回収出来る見込みが立たなければ大規模な付加的設備投資を伴う改善を望むことは難しく、現在ある設備を上限とした範囲内で可能な改善を検討することが重要である。次に、サービス評価の問題点として、時間に対する評価のように、個人により判断や感覚に幅がある場合には、より実際に近い判断や思考を表す過程により評価可能な手法の確立が必要である。

(2) 目 的

時間尺度に対する個人の判断や感覚のように、対象とする概念の定義がある範囲で「幅」を持ち、確定的な値による明確な定義が困難な要因をモデルで扱う場合には、ファジィ理論の適用が考えられる。

そこで本研究は、時間尺度を持つ要因に対する感覚的判断をファジィ集合と捉え、ファジィ理論を用いた時間尺度バスサービス評価モデルを提案し、更にアプリケーション・スタディを行い、バス輸送改善の可能性、及び実際問題への適用上の課題について検討することを目的とする。

(3) 方法

本研究のフローを図-1に示す。

まず、本研究においては、「バス停までのアクセス歩行時間」、「バス運行間隔」、「バス乗り継ぎ抵抗」の3つを評価要因(説明変数)とした。次に、意識調査Ⅰの結果をもとにファジィ推論モデルを構築し、メンバシップ関数のパラメータ決定問題と推論ルール構成に関する検討、及び意識調査Ⅱの結果との比較によりモデルの再現精度の検証を行う。

更に、アプリケーション・スタディを行い、モデルの有効性、バス輸送改善の可能性、実際問題への適用上の課題等について考察する。

2. 意識調査

ファジィ推論モデルのメンバシップ関数のパラメータを決定する基礎データを収集する目的で意識調査Ⅰを実施した。意識調査Ⅰの実施概要を表-1に示す。この調査では、各評価要因について、「短い」、「普通」、「長い」(これらを時間感覚レベルと呼ぶ)と感じる時間を調査した。意識調査Ⅰの結果を表-2に示す。また、構築したファジィ推論モデルの再現精度の検証には意識調査Ⅱの結果を用いた。意識調査Ⅱの実施概要を表-3に示す。この調査では、歩行時間と運行間隔の組合せに関する三肢択一の選択率(組み合わせの好感度)に関するデータを収集した。

3. ファジィ推論モデルの構築

本研究ではテストモデルによる検討を通して、メンバシップ関数のパラメータ、推論ルール構成、ファジィ演算方法の決定について検討・分析を行う。

(1) 条件部メンバシップ関数

条件部メンバシップ関数は実際の観測結果や調査結果等の根拠に基づいて決定することが望ましい。本研究では、意識調査Ⅰのデータに基づいて決定す

*キーワーズ: 意識調査分析, 公共交通計画

**正員, 工修, IBS(財)計量計画研究所

(東京都新宿区市ヶ谷本村町2-9,
Tel. 03-3268-9911, Fax. 03-3268-9919)

***正員, Ph.D., 宇都宮大学工学部建設学科

(栃木県宇都宮市石井町2753,
Tel. 0286-61-3401, Fax. 0286-62-6367)

る。条件部メンバシップ関数のパラメータ決定問題に関しては、以下の4つの項目について検討する。

■検討項目(1) 変数の数

① 5種 → PB, PS, ZO, NS, NB

② 7種 → PB, PM, PS, ZO, NS, NM, NB

{ここ、P:Positive, N:Negative, ZO:Zero
S:Small, M:Medium, B:Big}

■検討項目(2) 関数型

① 三角型 → $\mu(x) = \max\{0, 1 - \frac{1}{a}|x-m|\}$ ($a > 0$) ... (1)

② 釣鐘型 → $\mu(x) = \exp[-\frac{1}{a^2}(x-m)^2]$ ($a \geq 1$) ... (2)

{ここ、a:広がりを表す定数、m:頂点の値
また、両端の変数の頂点より外側については、 $\mu(x) = 1.0$ }

■検討項目(3) 関数の頂点の配置

意識調査Ⅰから得られた時間感覚レベルとファジィ変数を対応させる方法として、「①内側(表-4(a))」と「②外側(表-4(b))」について検討する。

■検討項目(4) 関数の広がり

関数の広がりについては、「①1つ隣の頂点まで」と「②2つ隣の頂点まで」について検討する。

(2) 結論部メンバシップ関数

ファジィ推論の結果は、評価要因の組み合わせに対するサービスレベル(好感度)として出力する。サービスレベルの値の範囲は、0.0(「低い」)から10.0(「高い」)とする。また、結論部の変数の数も条件部と同様に5種と7種を設定する。

(3) 演算方法

条件部の合成は共通集合とし、非ファジィ化については重心法とする。

○共通集合 → $\mu_{sn}(x_s) = \min\{\mu_{wn}(x_w), \mu_{fn}(x_f)\} \dots (3)$

○重心法 → $Z = \frac{\int z \cdot \mu_z(x_z) dx}{\int \mu_z(x_z) dx} \dots (4)$

次に、条件部の結論部への反映と結論部の合成の演算方法については、これを演算方法に関する検討項目として取り上げる。

■検討項目(5) 結論部の演算方法

① 代数積-加算法 → $\mu_{zn}(x_z) = \mu_{sn}(x_s) \cdot \mu_{cn}(x_c) \dots (5)$

$\mu_z(x_z) = \sum \mu_{zn}(x_z) \dots (6)$

② 論理積-和集合 → $\mu_{zn}(x_z) = \min\{\mu_{sn}(x_s), \mu_{cn}(x_c)\} \dots (7)$

$\mu_z(x_z) = \max\{\mu_{z1}(x_z), \dots, \mu_{zn}(x_z)\} \dots (8)$

(4) テストモデルによる検討

まず、上述の合計5つの検討項目の組み合わせから得られる32種のテストモデルについて、基本ルール(完全対称)を用いて意識調査Ⅱと同じ組み合わせの評価を行い、意識調査結果との比較により推論モデルの挙動を分析した。この分析結果をもとに修正ルール(表-5)を作成し、それを用いてもう一度組み合わせ評価を行い、的中率を検証した(表-6)。その結果、[7種, 三角型, 内側, 1つ隣, 論理積-和集合]の的中率が最も高く、全順位的中率が75.0%、1位のみの中率が12.5%で、2つを合わせた的中率が87.5%となり、実用に十分耐え得る精度を得た。

また、5つの検討項目とルール構成を要因アイテム、的中率を外的基準として数量化Ⅰ類を行い、6つの要因がモデルの挙動に与える影響を分析した。数量化Ⅰ類の結果を表-7に示す。結果を見てみると、まず「ルール構成」が大きな影響を与えることが確認でき、また「頂点の配置」が大きな影響を与えて

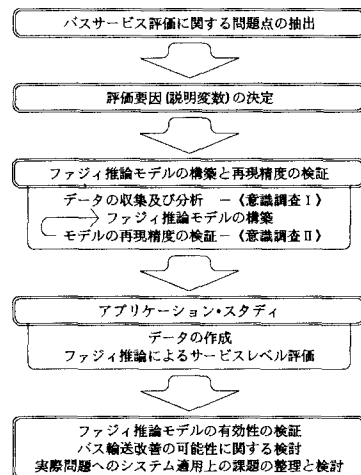


図-1 研究フロー

表-1 意識調査Ⅰの実施概要

調査期間	平成4年12月～平成5年3月
調査対象	宇都宮市内への通勤及び通学者
調査方法	企業及び公共機関への一括配布→一括回収
配布票数	2020票
有効票数	1666票(有効率 82.5%)

表-2 意識調査Ⅰの結果

時間感覚レベル	[短い]	[普通]	[長い]
平均値	3.09	6.75	14.50
標準偏差	2.79	5.02	12.45
平均値	5.59	11.99	26.11
標準偏差	4.75	8.39	22.45
平均値	3.97	8.22	16.19
標準偏差	2.49	4.73	9.38

表-3 意識調査Ⅱの実施概要

調査期間	平成3年11月～平成3年12月
調査対象	宇都宮市内在住者
調査方法	個別訪問調査→訪問回収
配布票数	518票
有効票数	394票(有効率 76.1%)

表-4(a) 関数の頂点の配置①/内側

時間感覚 レベル	[短い]		[普通]		[長い]	
5 種	PB	PS	ZO	NS	NB	
7 種	PB	PM	PS	ZO	NS	NM NB

表-4(b) 関数の頂点の配置②/外側

時間感覚 レベル	[短い]		[普通]		[長い]	
5 種	PB	PS		ZO	NS	NB
7 種	PB	PM	PS	ZO	NS	NM NB

表-5 修正推論ルール

変数	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
PB	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	NS
PM	PB	PM	PM	PS	PS	ZO	NS
PS	PM	PM	PS	PS	ZO	NS	NS
ZO	PM	PS	PS	ZO	NS	NS	NM
NS	PS	ZO	NS	NS	NM	NM	NB
NM	ZO	NS	NS	NM	NM	NB	NB
NB	NS	NS	NM	NM	NB	NB	NB

いることが分かる。

4. アプリケーション・スタディ

構築したバスサービス評価システムを実際のサービス評価に適用し、その実用性を検証すると共にバス輸送の改善に関して検討する。

(1) その1-路線の新設

《その1》として、対象地域に新たにバスサービスを供給する際の計画案評価に適用する。スタディ・エリアは、東京都多摩ニュータウンを取り上げる。

スタディ・エリアに新設するバス路線網のパターンとして、補完路線を設定し6系統の場合(路線パターンA、図-2(a))と補完路線を設定せず4系統の場合(路線パターンB、図-2(b))を想定する。

また、スタディ・エリアに供給するバスの全運行本数については、1時間当たり18本、22本、26本の3種類を設定し、供給する運行本数の違いにより各路線パターンサービスのサービスレベルがどのように変化するかを分析する。また、全運行本数を全ての系統に均等に配分している。

全運行本数18(本/時間)と26(本/時間)の場合について、各路線パターン・メッシュごとのサービスレベル累積割合曲線を図-3に示す。これより、18(本/時間)の場合、路線パターンAでは低いサービスレベルの範囲から累積割合が大きい値になっているのに対し、路線パターンBでは低いサービスレベルの範囲での累積割合が小さい値に押えられており、全体的により高い範囲に分布していることが分かる。しかし、26(本/時間)の場合には、路線を密に設定して運行本数が分散されても系統単位の運行本数が極端に少なくなるという問題が解消され、高いサービスレベルとなる。即ち、全運行本数により、好ましい路線パターンが粗なものから密なものへとシフトしていくことが分かる。

(2) その2-路線の再編

《その2》として、対象地域の既存路線網の再編成をする際の代替案評価に適用する。スタディ・エリアとして、JR宇都宮駅前大通りの伝馬町からJR鶴田駅間の地域を取り上げる。

この地域には現在、経由地の異なる4つの系統があり、他の地域と比べて「(潜在的な)高いバスサ-

表-6 テストモデルのまとめ

変数の数	関数型	変数の配置	関数の広がり	結論部演算法	全順位的中率	1位のみ中率
7種	三角型	内側	1つ隣	論-和	75.0%	12.5%
7種	三角型	内側	1つ隣	代-加	62.5%	25.0%
5種	釣鐘型	内側	2つ隣	論-和	62.5%	12.5%
...	...	...	...	...	...	...

表-7 数量化I類の結果

要因アイテム	カテゴリー	範囲	偏相関係数
ルール構成	基本修正	2.3.0.5	0.8.5
頂点の配置	内側外側	1.5.6.3	0.7.3
変数の数	5種7種	5.0.8	0.3.3
関数型	三角型釣鐘型	4.6.9	0.3.1
関数の広がり	1つ隣2つ隣	3.9.1	0.2.6
演算法	代数量-演算法論演算-代量合	1.9.5	0.1.3

[重相関係数 R = 0.8.9, 決定係数 R² = 0.8.0]

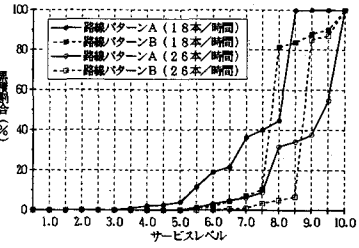


図-3 サービスレベル累積割合曲線

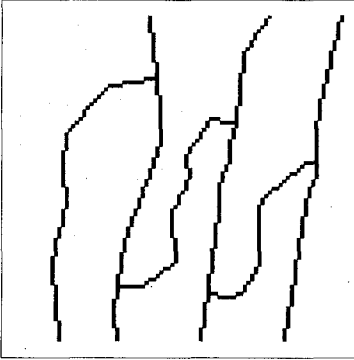


図-2(a) 路線メッシュマップ/路線パターンA

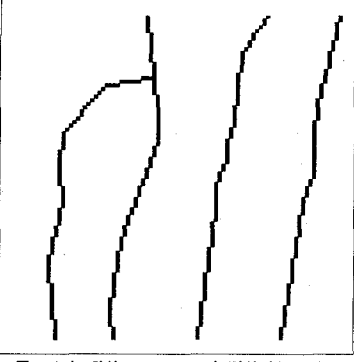


図-2(b) 路線メッシュマップ/路線パターンB

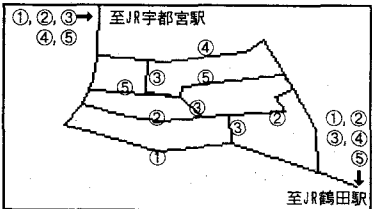


図-4 路線メッシュマップ

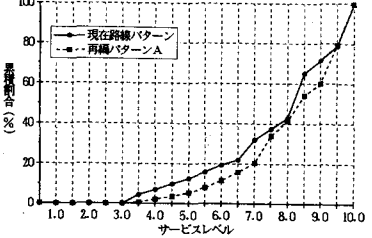


図-5 サービスレベル累積割合曲線

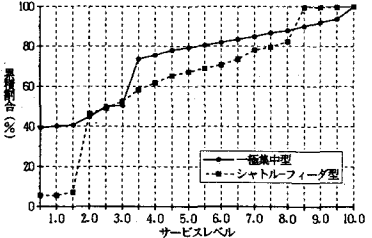


図-6 サービスレベル累積割合曲線

ビスの提供能力」を有すると考えられる。そこで、再編成による、より有効な活用について検討する。

現在の路線パターンは図-4中の系統番号で①, ②, ③, ④である。また、再編パターンについては3種類を設定した。ここではその内の一つ、図-4中の番号で①, ④, ⑤(再編パターンA)の場合について示す。運行間隔については、現在の時刻表から対象時間内(午前7:00~午前9:00)の運行本数を調査し、それを再編後の系統に配分した。

メッシュごとのサービスレベル累積割合曲線を図-5に示す。

(3) その3-路線網形態の改編

《その3》として、JR宇都宮駅西側地域の既存路線網形態改編の代替案評価に適用し、一極集中型路線網の問題点改善の可能性を検討する。

改編方法は、JR宇都宮駅から桜十文字までをシャトル区間とし、それ以外をフィーダ区間とする。

スタディ・エリアは20kmの正方形、評価の為のメッシュサイズは40mとした。路線メッシュマップを図-6に示す。また、対象時間内(午前7:00~午前9:00)の運行能力(路線長×運行本数)は1121.90(km・本/2時間)となった。その運行能力を改編後の路線長で除した結果、系統ごとの運行本数は9.75(本/2時間)となった。

路線網形態を改編した場合、シャトルからフィーダへの乗り継ぎ抵抗が生ずる。本研究においては以下のような考えに基づいて乗り継ぎ抵抗を変換統合した。

○意識抵抗→「徒歩抵抗」と「待ち抵抗」に分解し、徒歩時間と待ち時間を抵抗に変換することで考慮。

○徒歩抵抗→意識抵抗分も考慮して、「降車」と「乗

車」で合計2分とする。

○待ち抵抗→シャトルとフィーダの運行間隔が同じであるので待ち時間を3分以内に出来ると仮定。

更に、意識調査結果の乗り継ぎ待ち時間1分=初乗り待ち時間1.49分を用いて意識抵抗分を考慮。

改編前後のサービスレベル・メッシュマップを図-7(a), 図-7(b)にそれぞれ示す。また、サービスレベル累積割合曲線を図-8に示す。

これらの結果より、改編により郊外へ向かう路線でサービスレベルが改善され、スタディ・エリア内の公平性が達成されることが分かる。

5. 結論

①歩行時間、運行間隔、乗り継ぎ時間の時間感覚に関するいくつかの知見が得られた。②時間尺度を持つ評価要因をファジィ理論を用いてモデルに取り入れることにより、再現精度の高いモデルを構築できた。③モデル構築の過程において、ファジィ推論モデルのパラメータ決定問題に関する分析・検討が行えた。④構築した評価システムを実際的な問題へ適用し、バス輸送改善策としてのバス路線の新設、再編、改編問題に関して指標となるデータを示せた。

◆◆◆ 参考文献 ◆◆◆

- 1) 水本雅晴：ファジィ理論とその応用，サイエンス社，1991。
- 2) 秋山孝正，et al.：ファジィ流入制御モデルを用いた交通制御方法の評価と検討，土木学会論文集，第413号/IV-12，1990。
- 3) 秋山孝正，et al.：ファジィ理論を用いた転換率推計モデルについての比較研究，土木計画学研究・論文集，No.8，1990。

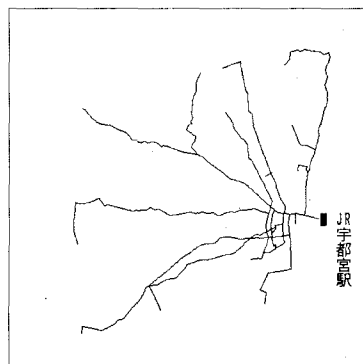


図-6 路線メッシュマップ

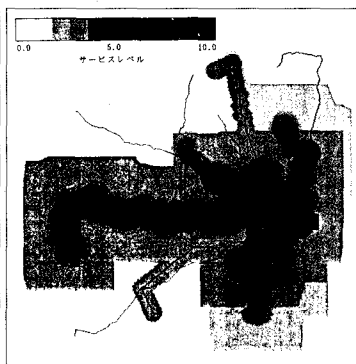


図-7(a) サービスレベル・メッシュマップ／一極集中型



図-7(b) サービスレベル・メッシュマップ／シャトル・フィーダ型