

ファジィ推論を用いた都市鉄道駅乗降客数推計モデルの作成

保田 義之¹・寺内 大樹²・井ノ口 弘昭³・秋山 孝正⁴

¹学生会員 修士課程1年 関西大学大学院理工学研究科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号)
E-mail:k618325@kansai-u.ac.jp

²非会員 関西大学環境都市工学部都市システム工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号)

³正会員 関西大学准教授 環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号)
E-mail:akiyama@kansai-u.ac.jp

⁴正会員 関西大学教授 環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号)
E-mail:inokuchi@kansai-u.ac.jp

人口減少・少子高齢化社会を背景として、都市鉄道需要の長期的な減少傾向が予測される。このように都市鉄道需要変化の要因は多様となっており、将来における都市鉄道需要の予測は難しくなっている。本研究では、人間のあいまい性を考慮したファジィ理論に基づく都市鉄道需要推計モデルの作成により、都市鉄道需要構造を解明し、将来の計画に有用な知見を整理する。最終的にファジィ推論モデルの有用性と鉄道駅の乗降客数変化パターンが整理できた。

Key Words : urban railway traffic demand, fuzzy estimation, decling society

1. はじめに

人口減少・少子高齢化社会を背景として、都市鉄道需要の長期的な減少傾向が予測される。このように都市鉄道需要変化の要因は多様となっており、将来における都市鉄道需要の予測は難しくなっている。本研究では、人間のあいまい性を考慮したファジィ理論に基づく都市鉄道需要推計モデルの作成により、都市鉄道需要構造を解明し、将来の計画に有用な知見を整理する。

具体的に、都市鉄道需要構造を推論ルールにより、説明する。つぎに、それらの要因をあいまい性を含んだメンバシップ関数を定義する。また、都市鉄道需要推計モデル作成し、妥当性を検討する。

2. 都市鉄道乗降客数の変化

(1) 京阪神都市圏鉄道需要の概要

まずの近年における都市鉄道需要の変化について考察する。図-1に京阪神鉄道各社の輸送人員の変化を示す。

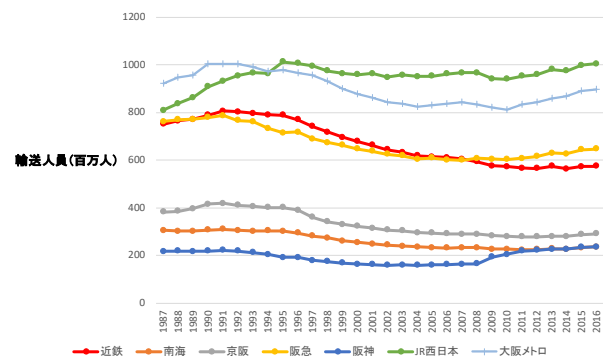


図-1 都市鉄道需要の変化

人口減少・少子高齢化社会を背景として、都市鉄道需要の長期的な減少傾向が予測される。一方で近年は、訪日外国人観光客によるインバウンド需要の高まりから都市鉄道需要は一転して増加傾向が観測されている。

(2) 鉄道駅データベースの展望

本研究では鉄道駅とまちづくりに関する既存研究において構築された「鉄道駅データベース」を利用する²⁾。ここで、既存研究の「鉄道駅データベース」について簡単に紹介する。図-1は鉄道駅データベース(2007)の基本的なデータ構造を示している。

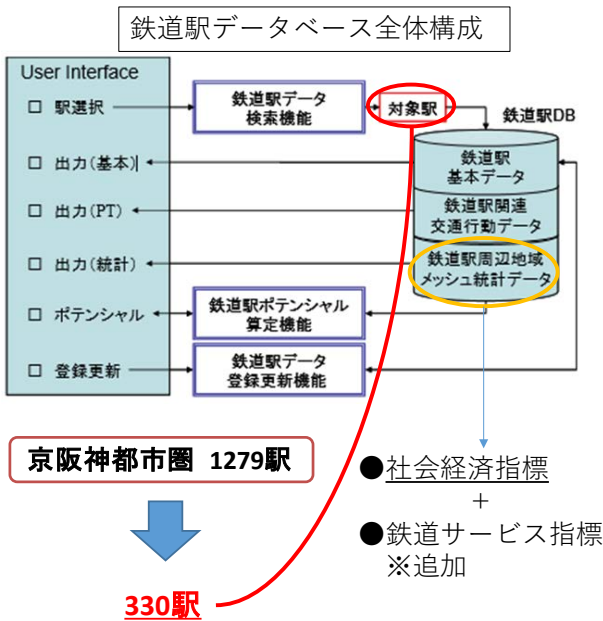


図2 鉄道駅データベースとの関係

この「鉄道駅データベース」は京阪神都市圏の鉄道まちづくりに関する主要鉄道駅および周辺地域の都市活動・交通行動についての集計データを蓄積したものである。具体的には、鉄道駅とまちづくりとの関係から、京阪神都市圏の330駅が収録されている。

この「鉄道駅データベース」を利用した近年の研究として、都市鉄道需要変化の類型化に関する研究があげられる³⁷⁾。これらの研究では、京阪神都市圏における鉄道駅周辺地域の社会経済指標と鉄道サービス水準指標に基づく、代表的な鉄道需要変化メカニズムが整理している。本研究では、鉄道駅データベース(330駅)の鉄道データを利用している。これらは、1200程度の京阪神の鉄道駅から、鉄道駅とまちづくりに関係する乗降客数1万人以下の小規模駅(80%程度)を除いた鉄道駅データである、(詳細は、既存研究に記載しているので、参考にする)。

したがって、すべての鉄道需要変化の範囲に対応していない。

本研究では、既存需要の変化分についての分析を行う。

3. 鉄道駅乗降客数に関する推計モデルの構築

(1) 鉄道駅乗降客数推計プロセス

図-3に乗降客数推計プロセスについて示す。

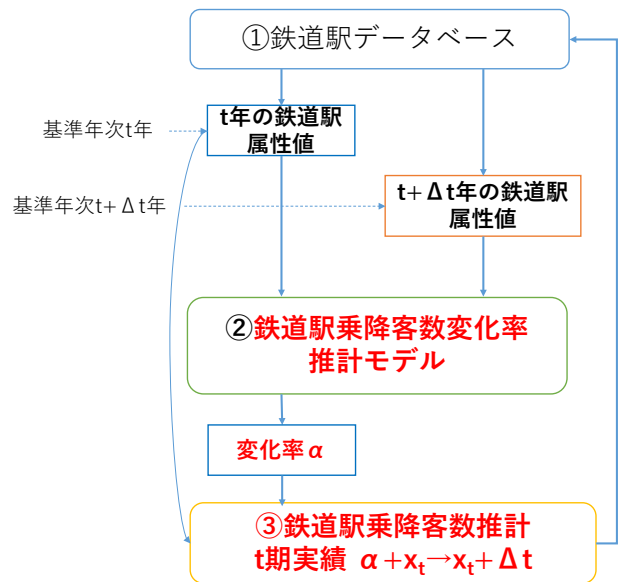


図-3 都市鉄道駅乗降客数推計プロセス

まず①鉄道駅データベースを利用する。基準年次を設定し、鉄道駅乗降客数と各属性値を集計する。つぎに、②対象年次を設定し、鉄道駅乗降客数と属性値に関して基準年次に対する対象年次の変化率を算定する。ここで、対象年次は将来の計画年次を想定している。

以上の属性値を利用して、③将来の鉄道駅乗降客数を推計する。ここでは、回帰モデルとあいまい性を含んだファジィ推論モデルを作成し、t年からt+1年の鉄道駅乗降客数変化率を推計する。最終的に、③の推計結果に基づいて、④t+1年の鉄道駅乗降客数を推計する。

(2) 線形回帰モデルによる鉄道需要推計

表に回帰分析結果を示す。各変数のt値を示している。

表-1 回帰分析結果

	係数	t
切片	0.516	5.854
昼間人口変化率	0.136	3.722
夜間人口変化率	-0.199	-2.592
在学者数変化率	0.173	3.011
65歳以上人口変化率	0.138	3.527
就業者数変化率	0.108	1.113
従業者数変化率	-0.045	-1.990
生徒・学生数変化率	-0.001	-0.216
小売業販売額変化率	0.023	1.350
運行本数変化率	0.087	1.620
都心までの時間(2000年)	-0.003	-2.297

都心までの運賃 (2000 年)	0.000	1.137
近隣駅数 (2000 年)	0.021	2.680

本表より昼間人口変化率と在学者数変化率、65歳以上人口変化率が比較的有意な変数であることがわかる。

図に回帰分析による鉄道駅乗降客数の推計結果を示す。

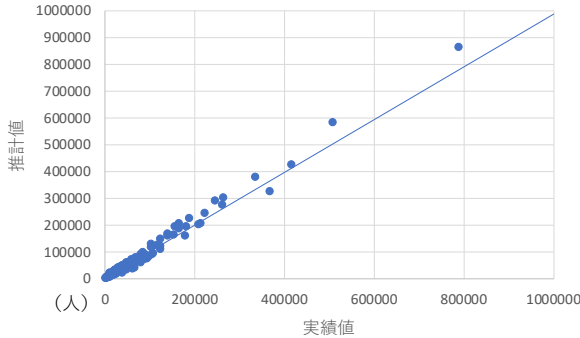


図4 都市鉄道乗降客数推計結果 (対象年次)

鉄道需要が20000人以下の駅では、推計精度は比較的高いが鉄道需要が大規模な駅では推計誤差が大きい。これは、大規模な都心駅では、当該鉄道駅周辺のみならず広範囲に影響を与えているため、今回適用した要因のみでは説明できないことを表しているといえる。

(2) ファジィ推論の基礎理論

ここでは、知的情報処理技術からファジィ推論を用いる。ファジィ推論 (fuzzy reasoning) は近似推論 (approximate reasoning) とも呼ばれるあいまい情報処理の方法である。ここで、人工知能の基本技術である知識ベースシステムのうち、知識をIF/THEN形式で表現をするものをプロダクションシステムという。ファジィ推論手法は、交通行動者の意思決定を表現している。

すなわち推論ルールは

IF x is 2 THEN y is 3

の形で表現される。

ファジィ推論は

x is 2 (xは2ぐらい) , *y is 3* (yは3ぐらい) のような言語変数のあいまい性が包含されている。したがって、推論ルールは以下のように表現できる。

IF x is 2 THEN y is 3

この推論はファジィ集合AとBの関係から以下のように定式化される。

$$B' = A' \circ (A \rightarrow B) = A' \circ R_{A \rightarrow B}$$

$$\begin{aligned} \mu_{B'}(y) &= \bigvee_x \{ \mu_{A'}(x) \wedge \mu_{A \rightarrow B}(x, y) \} \\ &= \bigvee_x \{ \mu_{A'}(x) \wedge [\mu_A(x) \rightarrow \mu_B(y)] \} \end{aligned}$$

ファジィ推論は以下のように定式化できる。

Rule-1 : IF x is A₁ and y is B₁ THEN z is C₁

Rule-2 : IF x is A₂ and y is B₂ THEN z is C₂

Rule-3 : IF x is A₃ and y is B₃ THEN z is C₃

図にいくつかのルールに適用するときのproduct-sum-gravity法の推論過程を示す。

Rule1: IF x is A₁ and y is B₁ THEN z is C₁

Rule2: IF x is A₂ and y is B₂ THEN z is C₂

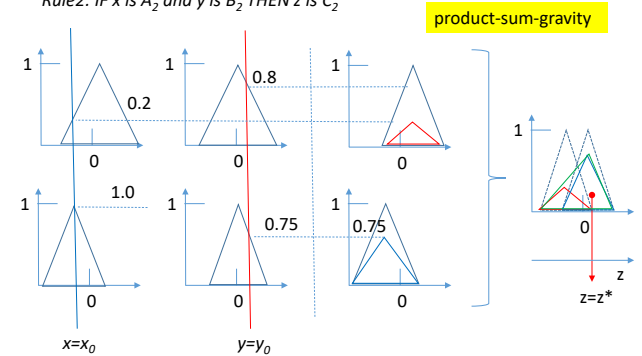


図5 product-sum-gravity法の構造

前件部はxとyの2変数で構成される。前件部の適合度は

$$\mu_A(x) \cdot \mu_B(y)$$

の式で定式化される。したがってルールの適合度は

$$\mu_A(x, y) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(y)$$

で表現され、前件部の適合度が算定される。

ファジィ推論過程は以下のように整理できる。

- i) 前件部において、ノンファジィ数が含まれるとき、 $x = x_0, y = y_0$ のクリस्प数に対応する。
- ii) 推論ルール*i*の前件部の条件の適合度はメンバシップ関数で定義される。
- iii) 推論ルール*i*の後件部の適合度は(7)式にしたがって、前件部の適合結果にしたがって算定される。

$$\mu_c(z) = w_i \times \mu_c(z)$$

- iv) 全ルールの後件部の適合度は、各ルールにおける前件部の適合度の合計として算定される。

$$\mu_c(z) = \sum_{\mu=1}^n \mu_c(z)$$

- v) ファジィ推論はメンバシップ関数の度合いの重心に

対応する。

$$z^* = \int \mu_{C^*}(z) dz / \int \mu_{C^*}(z) dz$$

(3) ファジィ推論モデルの構造

ここでは、鉄道駅乗降客数変化の推計のため、ファジィ推論モデルを構築する。

メンバシップ関数の定義をつぎのように示す。図-6に昼間人口のメンバシップ関数を示す。

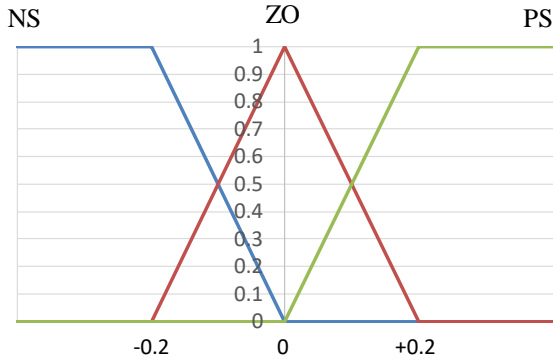


図-6 昼間人口のメンバシップ関数

つぎに図-7に都心までの時間のメンバシップ関数を示す。

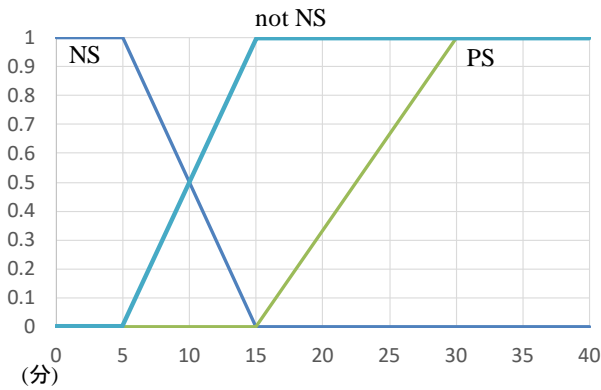


図-7 都心までの時間のメンバシップ関数

後件部の乗降客数変化のメンバシップ関数を示す。

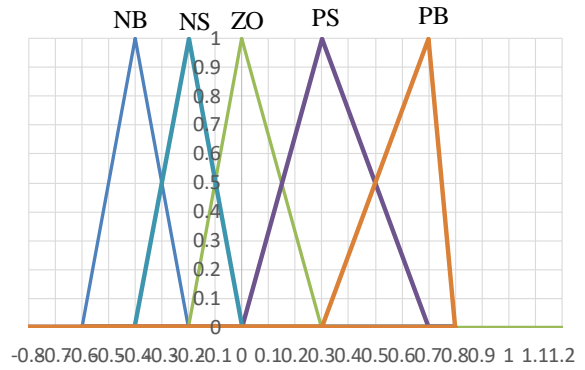


図-8 鉄道駅乗降客数変化のメンバシップ関数

表-2に本研究のモデルで作成したファジィ推論ルールを示す。

(4) 都市鉄道需要推計結果

ここまでのファジィ推論モデルを適用して、鉄道駅乗降客数の推計結果を算出した。推計結果を図-9に示す。

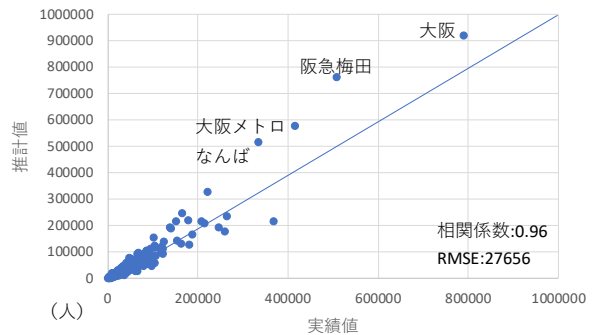


図-9 都市鉄道駅乗降客数推計結果

本図より、比較的高い推計精度であることがわかる。一方で大規模駅では誤差が大きい。

表-2 ファジィ推論ルール群

1	IF	都心までの時間	is	NS	AND	昼間人口変化率	is	PS	AND	夜間人口変化率	is	PS
									THEN	乗降客数変化率	is	NB
2	IF	都心までの時間	is	Not NS					THEN	乗降客数変化率	is	NB
	3	IF	都心までの時間	is	PS	AND	昼間人口変化率	is	PS	AND	夜間人口変化率	is
									THEN	乗降客数変化率	is	PS
4	IF	昼間人口変化率	is	ZO	AND	夜間人口変化率	is	ZO	THEN	乗降客数変化率	is	ZO
5	IF	小売販売額変化率	is	PS					THEN	乗降客数変化率	is	PB
6	IF	小売販売額変化率	is	PS	AND	在学者数変化率			THEN	乗降客数変化率	is	PB
7	IF	運行本数変化率	is	PS					THEN	乗降客数変化率	is	PB

NS:negative small, ZO:zero, PS:positive small, PB:positive big, NB:negative big

表-3 ファジィ推論ルール (追加)

8	IF	従業者数変化率	is	ps					THEN	乗降客数	is	positive small
9	IF	運行本数変化率	is	zero	AND	運行本数変化率	is	zero	THEN	乗降客数	is	zero

4. 都市鉄道駅乗降客数推計モデルの適用

ここでは3章で作成したファジィ推論モデルの改良を行う。新たに追加した推論ルールを表-3に示す。新たに推計した結果を図-10に示す。

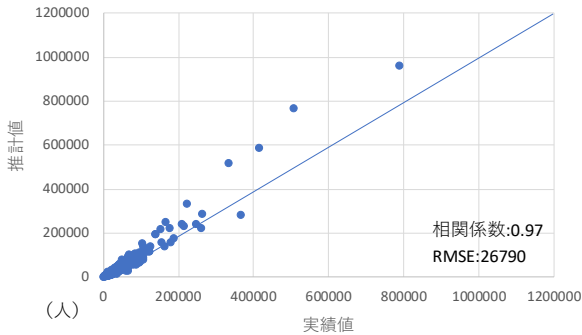


図-10 都市鉄道駅乗降客数推計結果 (修正)

本図より、推計精度の改善したことがわかる。

5. おわり

本研究の成果は以下のように整理できる。

- 1) 近年における都市鉄道需要変化を鉄道駅乗降客数変化に基づいて整理できた
- 2) ファジィ推論を用いたルールベースの推計モデルの作成により、鉄道駅乗降客数変化について汎用性の高いモデルが作成できた
- 3) 鉄道駅のタイプによる有効な要因について抽出したとともに課題が整理できた。

参考文献

- 1) 秋山孝正・奥嶋政嗣・北村隆一：都市活動に着目した鉄道駅とまちづくりに関する実証的分析・交通学研究／2007年研究年報（通巻 51 号），pp.99-108, 2008
- 2) 秋山孝正・井ノ口弘昭：都市活動に着目した鉄道需要変化に関する要因分析・交通学研究／2016年研究年報（通巻 60 号），pp.23-30, 2017
- 3) 井ノ口弘昭・奥嶋政嗣・秋山孝正：京阪神都市鉄道ネットワーク経年変化による旅客流動への影響分析・交通学研究／2015年研究年報（通巻 59 号），pp.133-140, 2015
- 4) 秋山孝正・井ノ口弘昭・保田義之：知的情報処理を用いた都市鉄道需要変化の推計に関する研究・交通学研究／2017年研究年報（通巻 61 号）
- 5) 古田均・秋山孝正他：ファジィ理論の土木工学への応用，森北出版，1992
- 6) 保田義之・秋山孝正・井ノ口弘昭：都市鉄道需要変化メカニズムに関する実証的分析・土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集，CD-ROM IV-4, 2017
- 7) 保田義之・秋山孝正・井ノ口弘昭：都市圏の鉄道駅乗降客数に関する経年変化パターンの類型化・土木学会第 72 回年次学術講演会講演概要集，CD-ROM IV-55, 2017
- 8) Y. Yasuda, T. Akiyama, H. Inokuchi: The traffic demand analysis for urban railway networks in population declining society, 12th International Conference of EASTS, PP1592, 2017

(2018. 7. 31 受付)