

動的交通手段分担モデルに関する一考察

名古屋工業大学 正員 松井 寛
名古屋工業大学 学生員 Oダム トン ヒップ

1. はじめに

最近、交通需要予測のダイナミックモデルに関する研究がかなり多く見られるようになってきた。本研究では手段別分担交通量予測のための、ダイナミックモデルを定式化し、モデルのパラメーターを決定する方法についても研究する。

2. モデルの定式化

本研究で提案するモデルの考え方は交通手段選択における現時点の変化の速度、方向は過去の状態と安定状態の差異に依存しているということである。この考え方は次の微分方程式で表される。

$$dx_k(t)/dt = \varepsilon_k (D_k - x_k(t)) \quad k=1,2,3,\dots,m \quad (2.1)$$

ここで、 $x_k(t)$: 時点 t における交通手段 k のトリップ数、 D_k : 安定状態における交通手段 k のトリップ数 ($x_k(t)$ が変化してないと仮定する時点)、 ε_k : パラメーター、 m : 交通手段の数
 D_k は次式によって決定する:

$$D_k = (A_k / \sum_i A_i) \cdot D \quad k=1,2,3,\dots,m; i=1,2,3,\dots,m \quad (2.2)$$

ここで、 D : 総トリップ数、 A_k : 交通手段 k の魅力度

一般に仮定される安定状態のトリップ数は旅行者自身の属性と交通システムの特性のみによっている。しかし、ここではダイナミック動作を研究するため、その安定トリップ数は過去から現在にかけての各時点のトリップ数にもよっていると考える。

すなわち、

$$A_k = (x_k(t))^{\alpha_k} / (\gamma_k + \theta_k x_k(t)) \cdot \exp(\sum_{j=1,2,\dots,n} \beta_{kj} z_{kj}(t)) \quad k=1,2,3,\dots,m; j=1,2,\dots,n \quad (2.3)$$

と仮定する。ここに、 $z_{kj}(t)$: 時点 t の交通手段 k における j 番目の説明要因の値; $\alpha_k, \gamma_k, \theta_k, \beta_{kj}$: パラメーター、 n : 説明要因の数。式(2.3)は次のように解釈できる。 $\exp(\sum_{j=1,2,\dots,n} \beta_{kj} z_{kj}(t))$ によって魅力度 A_k が旅行者と交通システムの特性に依存していることを示している。 $x_k(t)^{\alpha_k}$ では需要に交通システムが反応することそして心理原因のために、トリップ数 $x_k(t)$ が増加すれば魅力度 A_k も増す。 $1/(\gamma_k + \theta_k \cdot x_k(t))$ でトリップ数 $x_k(t)$ が増加すれば交通システムが混雑するために、魅力度 A_k は減るということを示している。式(2.1)に式(2.2)と式(2.3)を代入して次の式を得る。

$$dx_k(t)/dt = \varepsilon_k ((A_k / \sum_i A_i) \cdot D - x_k(t)) \quad k=1,2,3,\dots,m; i=1,2,3,\dots,m \quad (2.4)$$

3. パラメーターの決定方法

式(2.4)を離散化すると次式で表される($\Delta t=1$ とする)。

$$x_{k,t+1} = x_{k,t} + \varepsilon_k ((A_{k,t} / \sum_i A_{i,t}) \cdot D - x_{k,t}) \quad k=1,2,3,\dots,m; i=1,2,3,\dots,m \quad (3.1)$$

ここに、 $x_{k,t}$: 時点 t における交通手段 k のトリップ数、 $A_{k,t}$: 時点 t における交通手段 k の魅力度。

最小2乗法を使用して次式によってパラメーターを決定する。

$$\min_{(\varepsilon_k, \alpha_k, \gamma_k, \theta_k, \beta_{kj})} \sum_{k=1,2,3,\dots,m} \sum_{j=1,2,3,\dots,n} \sum_{t=1,2,3,\dots,T} (x_{k,t}^0 - x_{k,t})^2 \quad (3.2)$$

制約式 :

(3.1) 式

 $\varepsilon_k > 0, \alpha_k > 0, \gamma_k > 0, \theta_k > 0$

(3.3)

 $\beta_{kj} > 0$ または < 0 (説明変数 Z_{kj} の意味によって)ここに、 $x_{k,t}^0$: 時点 t の観察トリップ数、 T : 観察時点の数。

パラメーターの値を直接解析的に決定することはできないため次の計算アルゴリズムを使用する :

ステップ 1: パラメーター $\varepsilon_k, \alpha_k, \gamma_k, \theta_k, \beta_{kj}$ の初期値を与える。ステップ 2: 式 (3.1) と式 (2.3) でトリップ数 $x_{k,t}$ を決定する。ステップ 3: 非線形計画問題 $\min (3.2)$ 、制約式 (3.3) を解きパラメーターの新しい値を求める。

ステップ 4: もし仮定した収束基準を満足させているならば計算を終わりそうでなければ、パラメーターの初期値にステップ 3 で得た値をしてステップ 2 へ戻る。

4. 適用の例

名古屋の市営高速度鉄道と市営バスのデータに(昭和47年から62年まで)上記のダイナミックモデルを適用する。説明要因は在籍車両数、走行キロと平均運賃とする。すべての初期値は 1 として収束基準 $= 10^{-5}$ と使用している。38反復で次の結果を得る (mode 1: 市営高速度、mode 2: 市営バス) :

$\varepsilon_1 = 1.124, \varepsilon_2 = 1.04415, \alpha_1 = 1.09791, \alpha_2 = 0.62178, \gamma_1 = 1.19212, \gamma_2 = 1.13351, \theta_1 = 1.29332, \theta_2 = 1.14252, \beta_{11} = 0.679018, \beta_{12} = 0.93694, \beta_{13} = -1.20671, \beta_{21} = 0.930824, \beta_{22} = 1.09264, \beta_{23} = -1.19248$ 。

表4.1は実績乗車人員数とモデルで推定した乗車人員数と比べて示している。表4.2はダイナミックモデルをあらかじめ設定した計画の代替案の例に適用して得られた将来の交通手段別乗車人員数を示している。ここで、総トリップ数を予測するため関数には $D_t = D_{t-1} + b/t^c$ を使用している。ここに、 D_t : 時点 t の総トリップ数 ; a, b, c : パラメーター。最小2乗法を使用して $a = 0.885965, b = 8.42946, c = 0.108162$ を得る。

表4.1: 実績乗車人員数とモデルで推定した乗車人員数比較
単位: 百万人

年 別	高速度鉄道			バス		
	実績	計算	差	実績	計算	差
昭和47年	208.942	208.942	0.000	302.669	302.668	0.000
48	219.450	218.685	-0.771	286.308	287.313	1.205
49	257.715	260.304	2.589	308.710	311.736	3.026
50	264.166	268.476	4.310	310.283	306.661	-3.622
51	264.664	273.038	8.174	318.379	310.887	-7.492
52	301.142	297.694	-3.448	308.046	314.380	6.316
53	301.531	299.592	-1.939	282.246	283.071	0.825
54	314.444	310.674	-3.770	271.403	276.101	4.698
55	323.924	319.677	-4.247	263.181	268.081	4.900
56	327.722	322.105	-5.617	249.516	254.841	5.325
57	326.919	337.051	10.132	239.121	231.657	-7.464
58	329.914	327.203	-2.711	224.532	225.915	1.383
59	333.999	336.087	2.088	221.017	219.644	-1.373
60	338.202	340.250	2.048	220.233	218.599	-1.634
61	341.122	343.530	2.408	220.971	218.939	-2.032
62	347.771	349.647	1.876	221.190	220.593	-0.597

5. 結論

伝統的なモデル(cross-sectional model)に比べて交通需要予測のためダイナミックモデルは次の利点と盛っている :

・環境の変化による交通需要の変化を予測することは短い期間でも長い期間でもできる。

・計画の代替案は連続的な時点における評価が可能となる。

以上のことから需要予測のためダイナミックモデルはより現実的な結果を得られると思われる。

参考文献 :

1. 河上省吾, 松井 寛 : 交通工学, 森北出版株式会社, 1987
2. R. Kitamura: Panel Analysis In Transportation Planning: Overview, International Conference on Dynamic Travel Analysis, Kyoto University, 1989
3. A.G Wilson: Catastrophe Theory and Bifurcation, California Press, Berkley and Los Angeles, 1981

表4.2: 計画の代替案推計例

年 別	在籍車両数		走行キロ(10 ⁴ km)		平均運賃(¥/km)		乗車人員数(10 ⁴ 人)	
	高速度鉄道	バス	高速度鉄道	バス	高速度鉄道	バス	高速度鉄道	バス
昭和63年	523	1400	50	50	65	65	336.324	229.513
平成元年	523	1450	50	52	65	60	325.011	237.381
2	540	1500	52	58	65	55	309.094	249.889
3	540	1550	52	62	65	50	298.954	257.626
4	540	1600	52	65	65	50	287.064	266.458