

時系列データによる交通ネットワークの右左折率推定に関する研究*

Estimation of the Turning Ratios of Traffic Network Using Time Series Data*

仲野賢治** 中辻隆*** 末松孝司****

By Kenji NAKANO** Takashi NATATSUJI*** Kohji SUEMATSU****

1. はじめに

交差点における自動車の直進率・右左折率の計測をするには、各交差点で1台1台の動向を観測しなければならない。仮に測定が容易な交通量データから右左折率を高い精度で推定することが可能になれば、大幅な労力の削減が期待できる。

本研究は、車両感知器の交通量データを用いて、右左折率を推定し、その精度を検証することを目的としている。推定は単独交差点に限らず、実際には全てのリンクで交通量データが存在するとは限らないので複数の交差点でも推定を行った。推定手法としては、右左折率の時間的変動がないと仮定した「最小二乗法」や、Hyunmyungら¹⁾によるOD表の推定で感度分析法より精度が高いとされた「遺伝的アルゴリズム(GA)」、さらに右左折率の時間的変動があると仮定した「カルマンフィルター」の3手法を用いた。

2. 推定理論

(1) 推定モデル

(a) 流入・流出交通量表

右左折率を推定する際、表-1に示す流入・流出交通量表を設定した²⁾。ここで x_{ij} は流入部*i*から流出部*j*への分布交通量(同じ路線から流入・流出しないと仮定すると*i=j*のとき $x_{ii}=0$)、 p_i は流入部*i*の流入交通量、 q_j は流出部*j*の流出交通量、 X は総交通量を表す。

* キーワーズ: 交通流, 交通制御, 交通管理, ITS
 ** 学生員, 北海道大学大学院工学研究科
 (北海道札幌市北区北13条西8丁目, TEL011-706-6217, FAX011-706-6216)
 *** 正員, 工博, 北海道大学大学院工学研究科
 (北海道札幌市北区北13条西8丁目, TEL&FAX011-706-6215)
 **** 正員, 工修, 株式会社東急総合研究所
 (東京都渋谷区道玄坂1丁目10番7号, TEL03-3464-7019 FAX03-3464-7031)

表-1 流入・流出量表

		流出リンク				流入量	
		1	..	j	..		m
流入リンク	1	X_{11}	..	X_{1j}	..	X_{1m}	p_1
	:	:		:		:	:
	i	X_{i1}	..	X_{ij}	..	X_{im}	p_i
:	:		:		:	:	:
n	X_{n1}	..	X_{nj}	..	X_{nm}	p_n	
流出量	q	..	q	..	q	X	

実際の推定では、表-1の x_{ij} を直接推定するのではなく、式(1)のように無次元化した $h_{ij}(i=j$ のとき $h_{ii}=0)$ を推定した。

$$h_{ij} = x_{ij} / p_i \quad (1)$$

このとき制約条件は以下の通りである。

$$\sum_{j=1}^m h_{ij} = 1 \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (2)$$

(b) 単独交差点

表-1において $n=4$ のとき、4差路交差点の推定モデルとなる。具体的には、流入部1において $h_{12} \cdot h_{13} \cdot h_{14}$ がそれぞれ左折・直進・右折率になる。

(c) 複数交差点³⁾

交通量データの一部が存在しない場合、複数の交差点で区域内の路線の右左折率を推定する。仮定としては図-1の格子状4交差点のように、推定区域の境界部の交通量データ($p_i \cdot q_j$)は存在し(実矢印)、内部の交通量データ($v_k \cdot w_k$)が存在しない(点線矢印)ものとする。

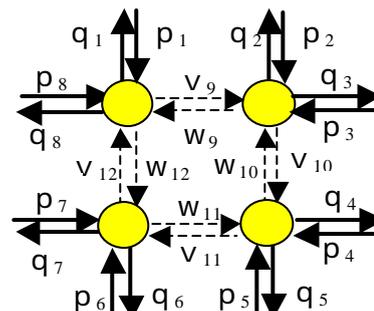


図-1 複数交差点の例

この仮定から、実際の推定の流れを図 - 2 に示す。



図 - 2 経路選択が存在する場合の推定フロー

分布交通量の推定

ある境界から別の境界への分布交通量は、内部交通量を無視し、右左折率推定と同様に推定した。

配分交通量の計算

経路選択が可能な分布交通量を経路毎に配分し、通過する経路の内部交通量に加算することで、右左折率推定での交通量データとして扱う。道路網が小さいので経路は予め決め、配分率はどの経路でも等しいものと仮定した。

(2) 推定手法

右左折率に変動がない静的な状態と仮定した「最小二乗法」と「遺伝的アルゴリズム」、また変動がある動的な状態と仮定した場合に「カルマンフィルター」を使用し推定する。

(a) 最小二乗法

本研究では式(2)の n 本の制約条件を直接組み入れるために Lagrange の未定係数法を使用した。

(b) 遺伝的アルゴリズム (GA)

本研究では、任意の数の等式制約条件と不等式制約条件下のもとで最適化を行うことが可能な Genocop というプログラムを使用した。

(c) カルマンフィルター

$$y_k = C_k x_k + w_k \quad (\text{観測方程式}) \quad (3)$$

$$x_{k+1} = A_k x_k + B_k v_k \quad (\text{状態方程式}) \quad (4)$$

y_k : 観測量(交通量)

$x_{k+1} \cdot x_k$: 求める状態量(右左折率)

以上の 2 つの式から誤差を考慮したカルマンゲイン K_k を求め、以下の式から現在の \hat{x}_k (右左折率) を推定した。

$$\hat{x}_k = \tilde{x}_k + K_k (y_k - \tilde{y}_k) \quad (5)$$

$\tilde{x}_k \cdot \tilde{y}_k$: 観測値 y_k が入力される前の予測値

3. 推定に使用した交通量データ

本研究では右左折率推定には以下の交通量データを使用した。

仮想データ

精度に関わると考えられる要因として「流入交通量 p の変動」と「流出交通量 q のノイズ」を考え、その要因をもとに作成されたデータ。

実測データ

実際に直進・右左折台数を観測したデータをもとに変換された、1 時間平均右左折率が既知である 5 分間交通量データ。

感知器データ

車両感知器で実際に計測された 5 分間交通量データ。

4. 数値解析

(1) 推定の検証に使用した指標

推定精度を検証するため、以下の 2 つの指標を用いて定量化を行った。

1) 推定右左折率と仮想データの元の右左折率との誤差の平均値「 E_h 」

2) 流出交通量 q_j と、推定右左折率 h_{ij} から算出された計算上の流出交通量 \tilde{q}_j から計算できる e_j (式(6)) の平均値「 E 」

$$e_j = \frac{|\tilde{q}_j - q_j|}{q_j} \times 100(\%) \quad (6)$$

(2) 単独交差点の推定

(a) 仮想データによる検証

ここでは、4 差路交差点による仮想データを作成、「最小二乗法」と「GA」により推定し、精度を検証した。

表 - 2、表 - 3 の結果から E については 2 手法とも、 p の変動にも変化が少なく、 q のノイズの影響だけを受けていると言える。

E_h については、「GA」は p の変動が小さい場合や、 q のノイズが大きい場合でも、全体的に精度は高い。「最小二乗法」は p の変動が大きく q のノイズが小さい条件の場合であると非常に高い精度であるのに対し、 p の変動が小さい場合や、 q のノイズが大きい場合は急激に誤差が大きくなり、推定にはあまり

向かないと言える。

表 - 2 仮想データによる推定指標値(最小二乗法)

q の ノイズ	q (%)	Eh					E				
		pの変動					pの変動				
		1	2	5	10	30	1	2	5	10	30
0	3.2	2.9	2.8	2.5	0.8	0.17	0.28	0.33	0.30	0.31	
2	1.8	1.9	4.1	1.6	1.4	0.88	0.96	0.99	0.93	1.02	
5	5.5	5.7	2.8	1.9	2.2	2.52	2.06	2.51	2.19	2.76	
10	4.8	3.5	3.6	4.6	3.2	4.55	4.82	4.26	5.31	4.54	

表 - 3 仮想データによる推定指標値(GA)

q の ノイズ	q (%)	Eh					E				
		pの変動					pの変動				
		1	2	5	10	30	1	2	5	10	30
0	22.8	8.8	1.6	0.7	0.3	0.05	0.21	0.27	0.26	0.25	
2	39.2	33.4	6.7	2.9	0.8	0.78	0.92	0.93	0.87	1.01	
5	69.7	41.4	15.8	14.2	3.4	2.42	2.16	2.35	1.99	2.64	
10	194.9	109.2	26.9	23.9	4.5	4.09	5.17	3.96	4.96	4.49	

(b) 実測データによる検証

札幌市北区北24条西2丁目周辺の交差点における交通量データを使用し、「GA」によって右左折率を推定した。推定値と実測値との比較を図-3に示す。

この推定で、Eは仮想データの時より大きくなっている。これは、このデータが朝ラッシュ時に観測されたもので時間内の右左折率の変動が大きく、さらに、南北方向の交通量が東西方向と比べ非常に多いものであった。その結果、実測での右左折率が制約条件の境界付近に偏り、推定でも境界値の0%という値が出たと考えられる。

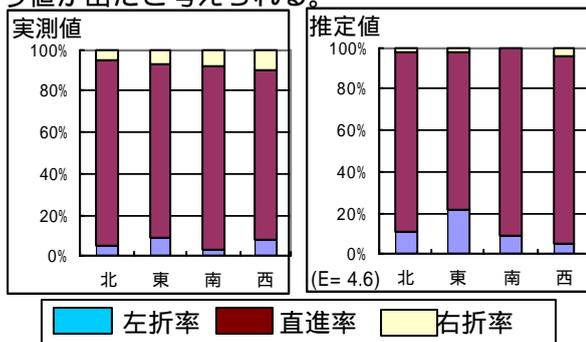


図 - 3 実測値と推定値の比較
(横軸：流入方向，縦軸：右左折率)

(3) 複数交差点の推定

(a) 仮想データによる検証

ここでは、単独交差点と同様に経路選択のある4交差点による仮想データを作成、「GA」により推定し、単独交差点と同様の指標を用いて精度を検証した。

表-4の結果を見ると、単独交差点よりも多少精度が落ちるが、右左折率の誤差平均E_hは低く精度

が高いと言える。流出交通量の誤差平均Eについても同様なことが言え、比較的高い精度であると言える。

表 - 4 4交差点による推定指標値

q の ノイズ	q (%)	Eh			E		
		pの変動			pの変動		
		2	5	10	2	5	10
0	1.82	1.54	1.53	0.26	0.38	0.53	
2	1.56	1.58	1.74	2.03	2.09	2.08	
5	1.40	1.61	1.56	5.05	5.13	5.11	
10	1.58	1.67	1.58	10.14	10.15	10.11	

(b) 実測データによる検証

札幌市北区北10条西3丁目周辺の図-1と同様の4交差点において、交通量データから「GA」による2

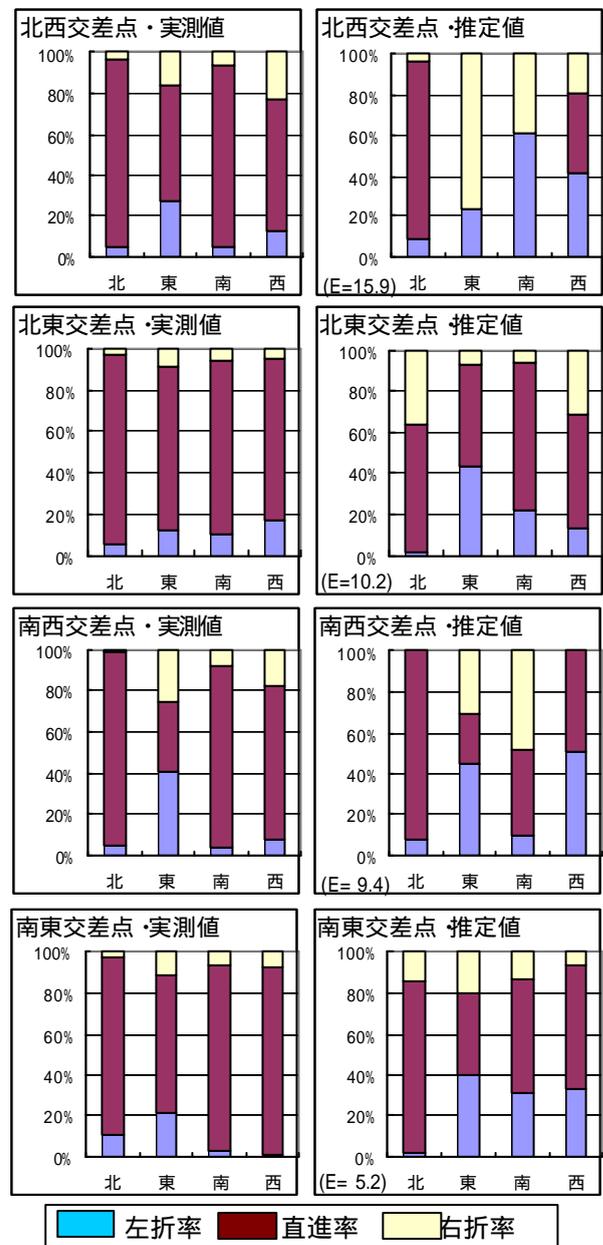


図 - 4 GAによる右左折率推定の比較
(横軸：流入方向，縦軸：右左折率)

段階で右左折率を推定した。その推定値と実測値の比較を行い、結果を図 - 4 に示す。

一部の路線で推定右左折率(右側)が実際の右左折率(左側)と大きく離れてしまう結果になった。原因として考えられることは、区域内の通過時間が実際には長いために、無視できないほどの q の観測時間遅れが生じたこと 配分交通量は均等に配分したが、実際には経路の選択確率に大きな変動があるということである。

(4) 動的手法による推定

(a) 仮想データによる検証

ここでは、「カルマンフィルター」により単独交差点の仮想データを使用し、式(3)の観測時の誤差 w_k と式(4)のモデル自体に含まれる誤差 v_k による精度の変化を検証した。

表 - 5 の結果を見ると、E は観測誤差項の影響が大きく、モデルの誤差項の影響はあまり影響しないことがわかる。しかし、実際の推定結果を見るとモデルの誤差項が大きく、また右左折率の変動が多少大きいことが明らかになった。これにより、この項は時間的変動に大きく影響していると考えられる。

表 - 5 仮想データによる推定結果

		E			
		モデルの誤差 v			
観測誤差 w	(%)	0.05	0.10	0.15	0.20
	0.05	4.1	4.0	3.9	3.9
	0.10	5.2	5.3	5.4	5.5
	0.15	6.5	6.1	5.9	5.8
	0.20	9.1	8.7	8.5	8.4

(b) 感知器データによる検証

大分市寿町周辺の交差点における 1 時間分の車両

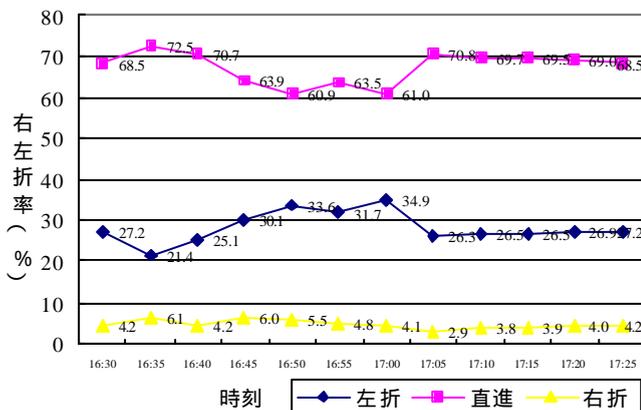


図 - 5 寿町交差点北方面の右左折率推定結果

感知器における 5 分間データから、5 分毎の右左折率の推定を行った。

図 - 5 は 4 差路のうち北方面からの右左折率の結果であるが、右左折率の 1 時間内の変動がおおむね 10% 程度であり、他方面からの結果も少なくとも 5% 以上の変動があり、中には 30% 以上の箇所もあった。

このことから、実際の道路状況では右左折率が短時間の間に大きく変動していることがわかる。

5 . おわりに

本研究の成果としては、以下の通りである。

- 1) 静的手法による単独交差点・仮想データでの推定において「遺伝的アルゴリズム」の優位性を示し、実データでも高い推定精度が出た。
- 2) 複数交差点による推定において、仮想データでは比較的高い精度であったが、実データではあまり良い結果が得られなかった。
- 3) 動的手法であるカルマンフィルターの誤差項による精度の検証も行い、大分市内の感知器データでは、右左折率の時間変動が大きかった。

今後の課題としては、以下が挙げられる。

- 1) 複数交差点の推定において、一部の境界部の交通量が未知な代わりに、内部の交通量が既知である場合の右左折率を推定する手法を確立する必要がある。
- 2) カルマンフィルターによる通過時間遅れを考慮したモデルを構築する。
- 3) Probe Car の交通データから右左折率を推定する手法の構築をする。

参考文献

- 1) Hyunmyung Kim et al. : Origin-destination matrices estimated with a genetic algorithm from link traffic counts , Transp. res. rec , No.01-0120 , pp.156-163 , 2001 .
- 2) 飯田恭敬 : 交通工学 , 国民科学社 , 1992 .
- 3) Carlos Sun : Dynamic origin/destination estimation using true section densities , California path research report , 2000 .
- 4) M.Cremer : A new class of dynamic methods for the identification of origin -destination flows , Transp. res.-B, Vol.21B , No.2 , pp117-132 , 1987 .