

交通流シミュレーションにおける密度・速度関係の実証的設定方法* An Empirical Method of Calibration of Density-Speed Relationships in Traffic Simulation Model*

小川 圭一**・秋山 孝正***
By Keiichi OGAWA and Takamasa AKIYAMA

1. はじめに

近年、都市高速道路では交通量の増加にともない慢性的な交通渋滞が発生しており、深刻な問題となっている。そのため、効率的な道路利用を行うためには、交通制御や情報提供などの交通管理方策が必要不可欠なものとなっている。

その際、適切な交通管理の検討を行うための交通渋滞状況や旅行時間の推計には、交通流シミュレーションが用いられることが多い。しかしながら、シミュレーションモデルの作成においては、路線特性に対応する多数のパラメータを設定する必要がある。現状では、これら多数のパラメータを適切かつ効率的に設定する方法については明確なものがなく、モデル作成者が試行錯誤によって推計精度が高くなるように設定を行っているのが現状である。

本研究では、効率的な最適化手法の1つである遺伝的アルゴリズム (GA) を用いた、最適なパラメータの設定方法を提案する。ここでは、モデル作成において必要となる数多くのパラメータの中から、対象路線の密度・速度関係 (K-V 関係) に着目し、具体的なパラメータの設定を図るとともに、本方法の有効性と課題について検討を行う。

2. 交通流シミュレーションモデル

本研究で用いるシミュレーションモデルは、阪神

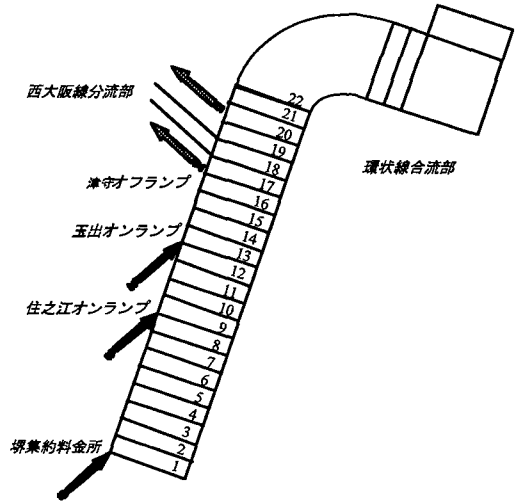


図-1 対象路線 (阪神高速道路堺線) の概念図

高速道路の交通管理の検討のために作成され、既存研究において改良が進められてきたものである¹⁾。対象路線は、都心部の環状線に接続する放射線の1つである、堺線の上り (全長 11.9km) である。図-1に対象路線の概念図を示す。

モデルの基本構造は対象路線を 500m ごとに 24 の区間に分割して、単位時間 (20 秒) ごとに各区間の密度の変化を推計するというものである。ここでは、単位時間ごとに隣接する上流区間から下流区間に流れる車両台数を、上流側の流出需要交通量と下流側の受入可能交通量との関係から求めている。このとき、各区間に対して密度・速度関係を規定する関数を設定し、これを用いて区間ごとの密度から走行速度を算出し、流出需要交通量を求めている。

そのためモデルの作成においては、対象路線の道路特性にもとづいた密度・速度関係 (K-V 関係) に代表される、多数のパラメータを設定する必要がある。既存研究¹⁾のモデルにおいては、各区間の

* キーワード：交通流, 交通管理, シミュレーション
** 正会員, 博(工学), 岐阜大学工学部土木工学科講師
〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1
TEL: 058-293-2446, FAX: 058-230-1528
E-mail: kogawa@cc.gifu-u.ac.jp
*** 正会員, 工博, 岐阜大学工学部土木工学科教授
〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1
TEL: 058-293-2443, FAX: 058-230-1528
E-mail: takamasa@cc.gifu-u.ac.jp

K-V 関係を線形関数によって仮定している。ここでは、各区間に対応する車両検知器の計測値をもとに、対象路線内の区間を4種に分類し、試行錯誤によって各々のパラメータを設定している。

この他にも、対象路線の終端である環状線合流部への流出台数や、2 箇所のオフランプおよび他路線への分流部における分岐率など、性質の異なるさまざまなパラメータを、対象路線の道路構造や走行車両などの特性に応じて同時に設定する必要がある。しかしながら、その設定はシミュレーションの再現性との比較により試行錯誤によって行われることが多く、合理的、効率的な設定方法は確立されていないのが現状である。

3. 車両検知器計測値による K-V 関係の設定

(1) 密度・速度関係

対象路線である堺線上りには、約 500m 間隔で車両検知器が設置され、5 分間ごとの交通量と時間オキュパンシーが計測されている。上述のシミュレーションモデルにおける各区間は、この車両検知器に対応したものとなっている。ここでは平成 9 年 10 月 14 日～19 日の計測値を用い、各区間の K-V 関係を設定することにする。

図-2 は、環状線合流部から 4.5kp の地点における追越車線の K-V 関係を示したものである。なお、ここでは既存調査²⁾より得られている平均車長を用いて、交通量と時間オキュパンシーから各区間の空間平均密度を算出している。

K-V 関係の表現には、実測値への適合性や流体力学理論の適用により、さまざまな関数が提唱されている³⁾。本研究ではこれまでに提案されてきた各種の関数を比較した結果、最も実測値への適合性のよい Drake 式を用いることとした。

$$V = V_f \times e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{K}{K_0} \right)^2} \quad (1)$$

Drake 式には自由速度 V_f 、臨界密度 K_0 の 2 つのパラメータが存在するが、このうち自由速度についてはシミュレーション設定上 90(km/h) に固定する必要があるため、臨界密度 K_0 についてのみ、各区間

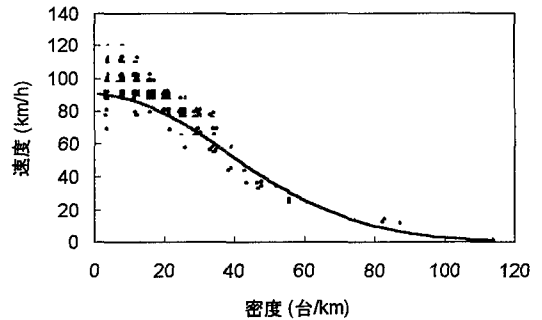


図-2 K-V 関係と Drake 式による回帰 (4.5kp)

の実測値にあわせて最小 2 乗法により設定を行う。

表-1 にこの結果を示す。これを見ると、環状線合流部を先頭とした渋滞の多発区間である 0.5kp から 3.0kp にかけての区間では、他の区間に比較してやや臨界密度が小さくなっている様子が分かる。対象路線は全線を通じてほぼ平坦な路線であるが、この区間には 0.5kp 付近に半径の小さな平面曲線が含まれており、これによる走行速度への影響が表れているものと推察される。

(2) シミュレーションによる渋滞の再現性

表-1 で得られた各区間の K-V 関係が当該区間の特性を表現しているものと仮定すると、これを用いてシミュレーション計算を行うことにより高い再現性が得られるはずである。そこで、この K-V 関係を用いてシミュレーション計算を行い、その再現性の確認を行った。対象時間帯は平成 9 年 10 月 14 日午前 9 時～11 時とし、シミュレーションによる渋滞状況の推計値と実測値を比較する。なお、ここでは走行速度が 30(km/h) 以下の区間を「渋滞」と定義している。また、モデルの再現性を評価する指標として、対象時間帯における堺線内の全対象区間に対する、5 分間ごとの渋滞判定の一致区間の割合を用いることとする。具体的には、以下のような式により算出される。

$$\text{適合率} = \frac{\text{(渋滞一致区間数)}}{\text{(対象区間数)} \times \text{(対象時点数)}} \quad (2)$$

図-3 にこの結果を示す。このときの渋滞判定の適合率は 0.847 (=488/756) であり、実測値に比較して渋滞長が若干過大に推計される傾向にあるが、実

用的には良好な推計精度が得られているといえる。

実際には、このような実測値によるパラメータ設定をもとに、試行錯誤によってパラメータの微調整を行うことにより、より推計精度を向上させることができる。しかしながら、このようなパラメータの体系的な設定方法は確立されていないため、合理的な設定方法を以下で検討することとする。

4. 遺伝的アルゴリズムによる K-V 関係の設定

(1) GA によるパラメータの設定

図-2 からも分かるように、実際の K-V 関係は曲線の周りに帯状に分布している。これは、K-V 関係が本来、交通状況や各車両の走行特性の違いによりある程度のばらつきをもって分布していることを示している。しかしながら、シミュレーション計算上では各区間の交通状況を一律と仮定し、これらを単一曲線によって表現している。そのため、シミュレーションの推計精度を向上させるためには、試行錯誤によって実測値の分布の周辺で各区間のパラメータの値を変化させ、最適なパラメータの組合せを求めることが必要となる。

この問題は非線形の組合せ最適化問題として捉えることができる。そこで、具体的な最適化の方法として、遺伝的アルゴリズム (GA) を用いる⁴⁾。

表-1 を見ると、実測値にもとづく堺線内での臨界密度 K_0 の値は、最小で 30.61(台/km)、最大で 40.87(台/km)となっている。また、各区間の K-V 関係の散布図を見ると、実測値は回帰曲線の周りに帯状に分布しており、その幅は回帰曲線に対しておおむね $\pm 4 \sim 5$ (台/km)程度の範囲であることが分かる。そこで、対象とする堺線 24 区間と環状線 2 区間の K-V 関係について、25.00~45.00(台/km)の範囲で 0.25(台/km)刻みで臨界密度 K_0 の候補値を設定し、その中で適合率が最大となる組合せを探索することとした。すなわち、各区間で 81 通りの候補値が存在することから、全体で 81^{26} 通りの組合せの中から最適解を探索することになる。

GA の設定としては、個体数を 25、淘汰率を 0.2、エリート保存率を 0.2 とし、個体ごとの交差率を

表-1 最小 2 乗法による各区間の臨界密度パラメータ

地点	環状線	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	
K_0	42.56	42.56	30.61	31.37	32.90	34.08	34.50	33.82	37.48	37.93
地点	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0
K_0	38.02	37.68	36.16	40.87	38.69	39.08	36.24	39.96	35.91	33.37

時刻	環状線									kp	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8		9
9:00	*	*	*	*	-	-	-	+	+	+	+
9:05	*	*	*	*	-	*	+	+	+	+	+
9:10	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
9:15	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
9:20	*	*	*	*	-	+	+	+	+	*	+
9:25	*	*	*	*	-	-	+	+	+	+	+
9:30	*	*	*	*	-	*	-	-	-	+	+
9:35	*	*	*	*	-	*	-	-	-	+	+
9:40	*	*	*	*	-	*	+	+	+	+	+
9:45	*	*	*	*	-	+	+	+	+	+	+
9:50	*	*	*	*	-	*	-	-	-	-	-
9:55	*	*	*	*	*	*	+	+	+	+	+
10:00	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10:05	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10:10	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10:15	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10:20	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10:25	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10:30	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10:35	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10:40	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10:45	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10:50	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10:55	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

* : 渋滞一致区間
+ : 推計値のみ渋滞
- : 実測値のみ渋滞

図-3 最小 2 乗法によって得られたパラメータによるシミュレーション再現状況

0.8、遺伝子ごとの突然変異率を 0.07 とした。この設定の下で GA を行い、200 世代に渡って適合率が変化しない場合に最適解が得られたものと判断した。

これにより得られた各区間の最適なパラメータを表-2 に示す。また、これらを用いてシミュレーション計算を行った場合の渋滞再現状況を図-4 に示す。渋滞判定の適合率は 0.971 (=559/756) となり、GA を用いることによって推計精度が向上していることが分かる。特に、図-3 では実測値では見られない、6kp 付近の玉出オンランプを先頭とした渋滞が発生しているなど、渋滞長が過大推計される傾向にあったのに対し、図-4 ではほぼ実測値に近い渋滞長が推計されている様子が分かる。

(2) GA によるパラメータ設定の妥当性の検証

GA による設定の妥当性を検証するため、上に示した 81^{26} 通りの中から乱数発生によりランダムに選択したパラメータの組合せについてシミュレーション計算を行い、その適合率の分布を求めた。この結果を図-5 に示す。適合率は 86~97%程度の範囲に分布しており、GA によって得られたパラメータの組合せが、十分に高い適合率(0.971)となっている

ことが分かる。

このように、GAを用いることによって、効率的に再現性の高いパラメータを

設定することができることが分かった。しかしながら、表-2を見ると、設定されたパラメータは候補値の中でも比較的小さな値、もしくは大きな値に偏ったものとなっており、必ずしも当該区間の代表的な交通特性を反映したものであるとはいえないことが分かる。さらに、異なる設定のGAにより同様に最適化を行った結果、複数の最適解が存在するために、必ずしも安定したパラメータの組合せが得られない場合も存在することが分かった。

これは、本研究では限られた時間帯の実測値を用いてモデルの再現性を検討しているために、各区間の交通状況の実現値に偏りがあることと、シミュレーションの適合率のみを目的関数としたために、当該路線の特性を無視した結果が得られてしまうことによると考えられる。

本研究では渋滞判定の適合率のみを目的関数としたが、モデルの実用化に当たっては各区間の渋滞判定のみならず、走行速度、渋滞長、渋滞継続時間など、利用目的に応じてさまざまな評価指標についての再現性を検討する必要がある。また、最適化方法としてのGAの適用性を検証するためには、GAの設定に依存しない、安定した最適解が得られることを確認する必要がある。これらの検討結果については講演時に示したい。

5. おわりに

本研究では、交通流シミュレーションのパラメータ設定をGAを用いて行うことを提案した。これにより、合理的なパラメータ設定によってモデルの推計精度を向上できることを示した。しかしながら、より実用的なパラメータの設定を行うためには、今後解決すべき課題も存在することが示された。

なお、本研究に用いたデータの収集に当たっては、阪神高速道路公団および株式会社都市交通計画研究所にご協力頂いた。また、計算に当たっては稲垣篤志氏（元岐阜大学学生・現岡崎市役所勤務）にご協

表-2 GAによって設定された臨界密度パラメータの最適組合せ

地点	環状線	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5		
K ₀		39.25	42.50	26.00	28.50	25.00	25.50	26.50	28.75	42.25	36.50	43.00	27.75	41.50
地点		6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0
K ₀		31.75	36.75	40.25	32.00	44.75	44.00	31.25	33.75	34.50	40.50	44.75	41.25	38.50

時刻	環状線									kp
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
9:00	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
9:05	*	*	*	*	*	*	*	*	+	*
9:10	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-
9:15	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-
9:20	*	*	*	*	*	*	*	+	+	+
9:25	*	*	*	*	*	*	*	+	+	-
9:30	*	*	*	*	*	*	*	+	*	-
9:35	*	*	*	*	*	*	*	+	*	-
9:40	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
9:45	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
9:50	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
9:55	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10:00	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10:05	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10:10	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10:15	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10:20	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10:25	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10:30	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10:35	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10:40	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10:45	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10:50	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-
10:55	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-

* : 渋滞一致区間
+ : 推計値のみ渋滞
- : 実測値のみ渋滞

図-4 GAによって設定されたパラメータによるシミュレーション再現状況

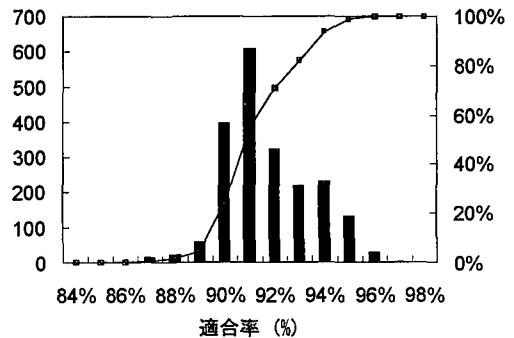


図-5 乱数発生によるパラメータ設定にもとづく適合率の分布

力頂いた。ここに記して謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 土田貴義・横山剛士・秋山孝正：渋滞シミュレーションを用いた交通管理支援システムの構築，土木計画学研究・論文集，No.16，pp.879-886，1999.
- 2) 佐佐木綱：都市高速道路の旅行時間予測システムによる情報提供に関する研究，平成3年度科学研究費・試験研究(B)(1)研究成果報告書，1993.
- 3) 佐佐木綱 監修，飯田恭敬 編著：交通工学，国民科学社，1992.
- 4) 安居院猛・長尾智晴 共著：ジェネティックアルゴリズム，昭晃堂，1993.