

ハイブリッド型交通流シミュレーションモデルのパラメータ最適化*

Optimization of Parameters for Hybrid Traffic Flow Simulation Model*

渋谷 秀悦**、 中辻 隆***

By Shuetsu SHIBUYA**, Takashi NAKATSUJI***

1. はじめに

現在交通制御手法としてシミュレーションが広く活用されているがそのモデルの評価値や有効性は、モデルパラメータの設定値によって大きく左右される。特に空間平均速度と交通密度との関係を表すK-V曲線の形状パラメータを使用するシミュレーションモデルでは既往の研究から微小な値の変更でも敏感に結果に対して大きく影響を与えることが判っているので、これらの値を適切に設定する必要がある。

モデルで必要とするパラメータの多くは観測から直接得るのが困難であるため、平均速度、交通量といった観測が容易な評価値からより良い結果が得られるパラメータを最適化法で見つけ出し、モデルの信頼性を高める。

本研究ではシミュレーションモデルの精度をパラメータ値の設定から高めていくという目的でハイブリッドモデルに最適化手法を適用して各パラメータの最適値を推定する。

2. モデルとパラメータ

本研究では最適化手法を適用するシミュレーションモデルとしてハイブリッドモデルの一つであるDYNEMO¹⁾(Dynamic Network Model)を使用した。

以下にこのモデルの手法について述べる。1本の路線を距離 l のセグメント S_i ($i=1, \dots, N$)に分割して計算の際の基本単位とする。それぞれの S_i は時刻 t におけるセグメント S_i の車両台数(密度) ρ_i によって記述されている。すなわち最初に、タイムステップごとに各セグメントの車両台数を数え上げ、その値を交通密度としている。

予めシミュレーションを行う路線では観測を行いその分析結果から速度と密度との関係曲線を求めてモデルに入力しておく。これにより得られた $u=u(\rho)$ の関係を用いてセグメントごとに交通密度 ρ_i から空間平均速度 u_i を求める。渋滞流では関係式に一意的に従い、自由流では関係式から車両ごとに正規乱数で設定された傾向値 δ に応じて分布させて、それぞれ速度 u_i が各セグメントで決定される。

セグメント S_i で時刻 t 、位置 $x(t)$ に速度 $v(t)$ で走行する車両は、その車両が現在走行しているセグメントの車両全体の平均速度 u_i 、その計算対象とした車両の前方にあるセグメントの平均速度 u_{i+1} と時刻 t でのその車両自身の状態(セグメント内の位置 $x(t)$ 、走行速度 $v(t)$ 、固有傾向値 δ :運転者個人の自由流での走行速度の傾向を示している値)に従って、タイムステップ後の位置、走行速度が計算される。そして各車両の速度が決定され、その速度に従って位置が移動される。車両がセグメントの後方を走行していれば、その車両が走行しているセグメントの平均速度の影響を大きく受け、車両がセグメントの前方を走行していれば、前方のセグメントの平均速度の影響を大きく受けるような計算式となっている。

以上のことから大筋としては、セグメントが保持するデータからタイムステップ後の個々の車両の

*キーワード: 交通流、交通制御、交通管理

**学生員、工修、北海道大学大学院工学研究科土木工学専攻
(北海道札幌市北区北13条西8丁目、TEL 011-706-6214)

***正員、工博、北海道大学工学部土木工学科

(北海道札幌市北区北13条西8丁目、TEL 011-706-6215,
FAX 011-726-2 296)

データを決定して、その後個々の車両の統計値をセグメントのデータに返しているという、2つの作業をタイムステップごとに順に行うことで、各セグメントと各車両の間で一方のパラメータを用いてもう片方のパラメータを決定している。

このモデルは、マクロモデルを基礎としたアルゴリズムを組み込んでいるために計算時間が速いことと、個々の車両ごとにもパラメータを持たせているので交通密度・空間平均速度の他に個々の車両データから時間平均速度が容易に得られる点から最適化手法には適していると考えた。

このモデルでは初期設定値として自由流 ($K \rightarrow 0$) の速度分布、 $K-V$ 曲線、計算時間間隔、セグメント長を必要とする。今回はこれら設定値の内、自由流の速度分布を決定するパラメータの中から曲線の形状パラメータ α と最低速度 V_0 、 $K-V$ 曲線を決定するパラメータの中から臨界密度 K_0 と自由速度 V_f の計4つを最適化を行う変数とし、他を固定値（計算時間間隔=10sec、セグメント長=500m）とした。

3. 最適化手法

最適化の手法は数多く存在するが、それらの中から、本研究では M. J. Box によるコンプレックス法²⁾に改良を加えたアルゴリズムを採用した。この、いわゆる Box 法とよばれている手法は、初期地点を適合域全体に乱数的に離散させた多数のコンプレックス（目的関数値）から最小である目的関数値のパラメータをセントロイド等で置き換えて全体を収束させる、最大値探索方法である。

しかしこの手法だけでは目的関数の最大値がローカルミニマムで収束してしまう可能性が出てくるので、その原因となるコンプレックスを一定の条件下で切り捨てて残りのコンプレックスで計算を続けるアルゴリズムを加えて改良を施した。

表 1 最適化前後の目的関数値

	初期値	最適化後
交通量	-0.150000	-0.090100
速度	-0.560362	-0.074795
交通量+速度	-0.710361	-0.181499

表 2 各パラメータ値

	速度累加曲線P	臨界密度 [veh/km]	最低速度 [km/h]	自由速度 [km/h]
初期値	2000.0000	44.7200	80.0000	113.0000
交通量	3959.5293	68.6863	74.6052	107.7516
速度	2089.8208	94.3231	69.7064	100.6034
交通量+速度	4449.3662	85.6418	82.8195	101.7833

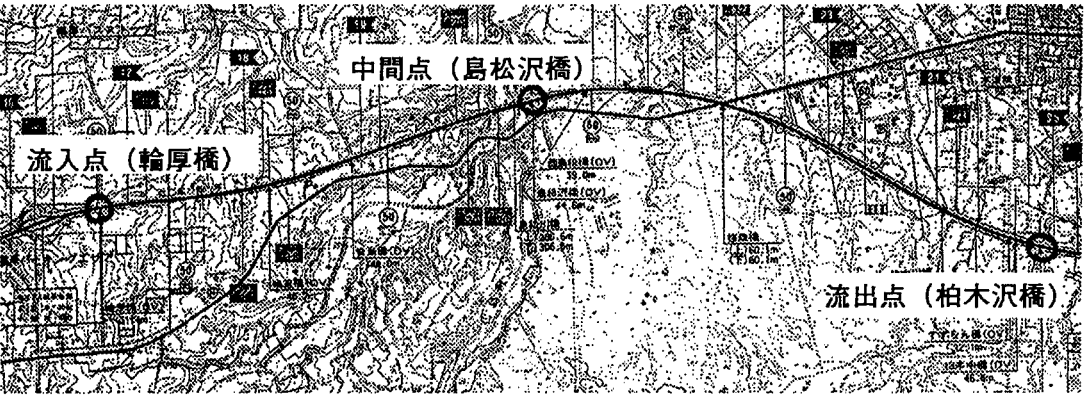


図 1 シミュレーション対象区間（出典：道央自動車道路線図：日本道路公団札幌建設局）

4. 実験の詳細

シミュレーションの対象区間はビデオ映像により分析することを考慮して、道央自動車道の北広島 I.C～恵庭 I.C間の苫小牧向き 8.0kmの、途中の流出入のない閉区間とした。観測は図1に示してある3カ所で、オーバークロスからビデオ撮影を行なった。その映像から1コマごと(1/30秒)に解析した結果から算出された交通量と時間平均速度を観測値とし、これらを入力値、計算値、評価値として使用した。

シミュレーションは流入点(輪厚橋)の観測値を入力値として実行している。最適化を行う目的関数値は、8.0km先の流出点(柏木沢橋)での観測値とシミュレーション結果との差を正規化した二乗値を、1分ごとに60分後まで加算した合計値である。目的関数値としては1分間の交通量、時間平均速度、2つの合計の3種類を用いてそれぞれ最適化を行った。

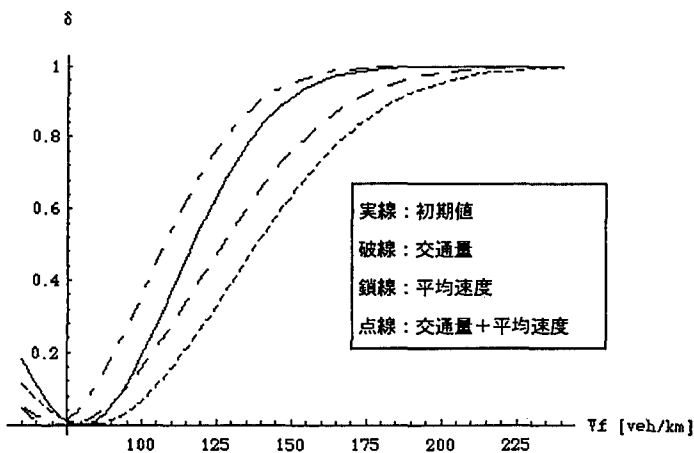


図2 自由速度累加曲線

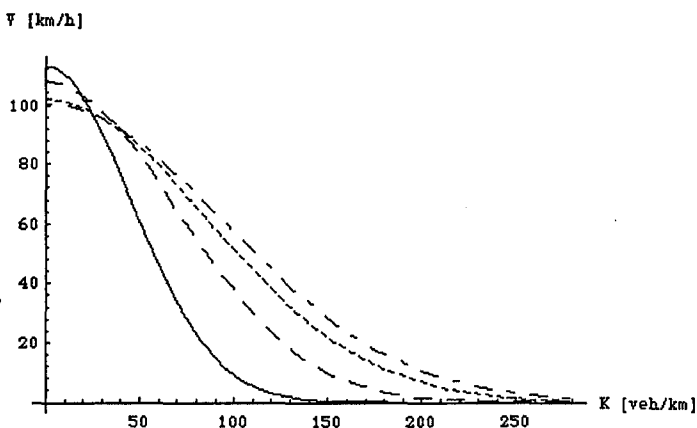


図3 K-V曲線

5. 実験結果

最適化前後での目的関数値の変化は表1に初期値と最適化後での各パラメータ値は表2に示す。

また、それぞれの目的関数値で求められ最適化された各パラメータ値の結果から得られる自由速度累加曲線

$$\delta = 1 - e^{-\frac{(V_f - V_0)^2}{\alpha}}$$

は図2に、K-V曲線

$$V = V_{fe} - \frac{1}{2} \left(\frac{K}{K_0} \right)^2$$

は図3にそれぞれまとめた。

自由速度累加曲線では目的関数によって曲線のばらつきが大きく決まった傾向はみられない。平均

速度を目的関数とした場合では初期値より速度分布が低い方へ偏っている。

K-V曲線ではどの目的関数でも交通容量が大きくなる結果を示している。そのため渋滞密度は初期値に比べかなり大きくなっているがこれは観測データが自由流に偏っていたことの影響によると考えられる。

最適化されたパラメータの評価は、流入点から3.5km先の中間点(島松沢橋)の観測値と、それぞれの目的関数で最適化されたパラメータによるシミュレーションでの計算値との比較で行った。

中間点での交通量の比較グラフを図4に平均速度の比較グラフを図5にそれぞれ示す。

交通量の比較グラフでは1分間ごとの交通量に

も関わらず初期値での結果も含めどの場合でもあまり大きな違いはなく、だいたい観測値をトレースしていると見て取れる。しかし目的関数の値が最適化によってより良くなったのが交通量では最適化前から適合性が高いために反映はされていないようである。

一方時間平均速度は、目的関数の値が速度を含んでいるものでは初期値や交通量を目的関数にした最適化での値に比べ、観測値に近づいている。だが、どの目的関数でも観測値に比べて全体的に平均速度は高くなってしまった。また、観測値では平均速度の時間変動がかなり大きいのに比べて最適化されたパラメータでの平均速度は全体に変動が小さくなってしまっていてハイブリッドモデルのミクロモデル的な部分の特徴があまり反映されていないような結果となっている。

6. 最後に

今後、この研究手法とその結果を踏まえて、ハイブリッドモデルの精度をより高めるべくより有効な手法開発と実験、検討を重ねていく。

またこの最適化手法は交通流シミュレーションでもあらゆるパラメータで応用させていくことが可能なので、信号パラメータ等、信号交差点で構成される街路網の制御変量へも適用させていければと考えている。

参考文献

- 1) Thomas Schwerdtfeger: DYNEMO: A Model for the Simulation of Traffic Flow in Motorway Networks
- 2) James L. Kuester, Joe H. Mize: Optimization Techniques with Fortran

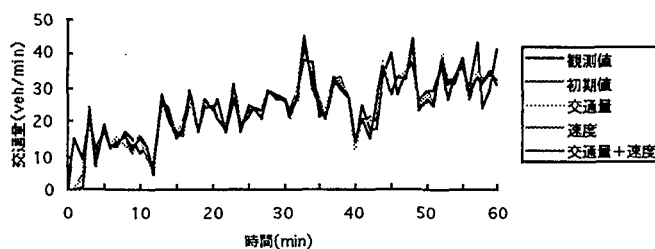


図 4 交通量比較 (中間点)

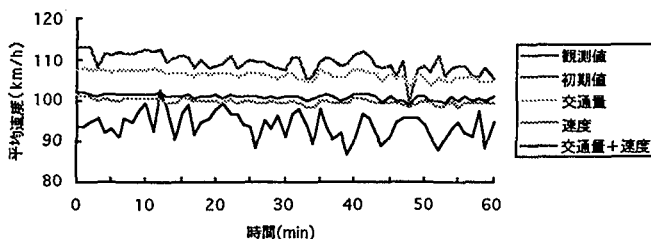


図 5 時間平均速度比較 (中間点)