

交通流シミュレーターの API 機能を用いたモデル パラメータの較正と動的 OD 推定に関する研究

近藤 健祐¹・Arulanantham ANBURUVEL²・中辻 隆³

¹ 正会員 北海道十勝総合振興局帯広建設管理部事業課（〒080-8588 北海道帯広市東 3 条南 3 丁目 1 番地）
E-mail: kondou.kensuke@pref.hokkaido.lg.jp

² 正会員 北海道大学大学院工学研究院博士課程（〒060-8628 北海道札幌市北区北 18 条西 8 丁目）
E-mail: aanbu007@eng.hokudai.ac.jp

³ 正会員 北海道大学大学院工学研究院 教授（〒060-8628 北海道札幌市北区北 18 条西 8 丁目）
E-mail: naka@eng.hokudai.ac.jp

本研究は、市販交通流シミュレーターの API 機能を用いることで、シミュレーションモデルのパラメータ較正の問題を解決し、高速に動的 OD 推定を行える事を実証したものである。本研究ではモデルパラメータ自動較正システム及び動的 OD 推定システムを市販交通流シミュレーターに導入した。遺伝的アルゴリズムを用いた自動構成システムでは、数が多く較正の難しいモデルパラメータの最適値を自動的に探索することに成功した。Unscented カルマンフィルタによるフィードバック手法を用いた動的 OD 推定システムでは、従来の動的 OD 推定に比べより高速に OD 推定を行うことに成功している。

Key Words : *traffic simulation, parameter calibration, dynamic OD estimate, feedback, Unscented Kalman Filter, Genetic Algorithm*

1. 本研究の背景と目的

自動車交通は現代社会を支える上で必要不可欠なものとなった。経済活動の大半は自動車交通に強く依存し、交通の効率性が経済に大きく影響する。また交通渋滞による環境影響も課題となっており、交通流の停滞が経済的・環境的に損害となることは明白である。すなわち、効率的な自動車交通を確保することは社会の大きな利益につながる。

交通流の効率化への改善には様々な手法が考えられるが、いずれも効率的に行うためには現状の道路状態の把握が必要である。道路状態を把握する際、道路全てを監視することは難しく、道路の要所のみ遠隔カメラやトラフィックカウンター等で計測し、その情報を使い交通流シミュレーターで道路全体の状況を推定することが大半である。OD に関して言えば、直接的な測定は ETC の普及により以前より容易になったものの、無料高規格道路や ETC の普及していない海外では依然として難しいものである。よって容易に測定可能なデータから OD を間接的に推定出来れば好ましい。

OD を間接推定する方法として交通流シミュレーター

を使ったフィードバック手法が用いられてきたが、汎用性や推定精度という点で問題があることが多かった。また、交通流シミュレーターにはモデルパラメータの較正の問題がある。

交通流シミュレーターは交通流再現モデルに得られた情報とあらかじめ指定したモデルパラメータを入力することで道路状態の推定を行う。この際、モデルパラメータが適切でないと交通流の再現精度が著しく低下してしまう。その為現実に則したモデルパラメータの較正が必要不可欠である。モデルパラメータの較正は一般的に人の手で試行錯誤によって行われる事が多いが、近年の交通流シミュレーターはモデルパラメータの数が膨大となり人の手による較正では多大な時間と労力を要してしまう。

本研究はこれらの課題を踏まえ、市販交通流シミュレーターを利用して高度に道路状況の再現を行うことを目的としている。

市販交通流シミュレーターは高い精度・速い推定速度・高い汎用性が期待できるが膨大なモデルパラメータを較正する必要がある。データを与えるだけで自動較正可能なシステムを作ることによって現在より容易に市販交通流

シミュレーターが利用できるようになる。さらにフィードバック機能を追加することで動的 OD 推定に利用し、高精度・高速度・高汎用性での OD 推定を可能とし、より精細な道路状況の再現を可能とする。

2. 市販交通流シミュレーター

交通流シミュレーターには実用品として市販されているものが多数存在する。長い期間多くの研究成果を取り入れ作成されたモデルを用いての計算を行うために一般に研究で用いられる独自開発シミュレーションより高速で高精度な推定が可能となっている。また汎用性が高くあらゆる道路ネットワークを直感的に構築出来、出力結果も詳細かつ視覚的、加えて他の交通流シミュレーターとのデータ連携も備えている。しかしながらモデルパラメータの数は莫大であり、状況に応じた較正が必要である。

今までフィードバック OD 推定において市販交通流シミュレーターが利用されなかった理由として、市販シミュレーターの動的制御が難しかった点が挙げられる。フィードバックシステムの都合上、シミュレーターの内部状況の動的制御が必要不可欠である。市販交通流シミュレーターではシミュレーション動作中に OD 値などシミュレーション内変数を変更できなかったために市販品は利用されなかった。

しかし近年、動的制御が可能となる機構を実装する市販交通流シミュレーターが表れ始め、ユーザーがシミュレーションを自作プログラムによって動的に制御することが可能となった。

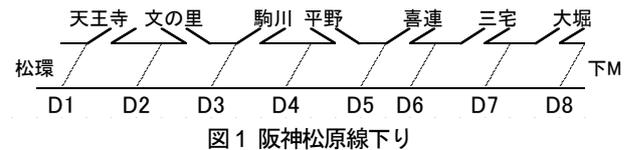
本研究では交通流シミュレーターに市販品である Aimsun を利用した。Aimsun は API(Application Program Interface) という機能を用いて外部からの動的制御に対応している。本研究では Aimsun API を用いてモデルパラメータの較正システム及びフィードバック OD 推定システムを Aimsun に導入する。

3. 研究対象

本研究では研究対象を阪神松原線下り方向 約 11km 区間とする。この区間は交通シミュレーションクリアリングハウス¹⁾がこの区間の実測データを配布している点、Anburuvel 氏による独自シミュレーションを用いた同様の研究²⁾もこの区間を利用して比較ができる点、経路選択を考慮する必要が無い点よりこの区間を選択した。

この研究区間にて測定された 1994 年 11 月 1 日午前 7 時より 2 時間の実測データを用いてモデルパラメータの

較正を、また同日午前 7 時より翌日午前 7 時までのデータを用いて OD の推定を行う。



4. モデルパラメータ較正システム

本研究ではモデルパラメータの自動較正を実現する為に遺伝的アルゴリズムを利用する。遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm, GA) とは、自然界における生物の遺伝子に着目し、生物の「淘汰」と「進化」を模倣するアルゴリズムである。自然における遺伝子の挙動と環境による淘汰を数式としてシミュレーションすることでより適した解を得る。今回はモデルパラメータを遺伝子として、モデルパラメータより得られたトラフィックカウント予測値とトラフィックカウント実測値との RMSE を環境適応度としてシミュレーションする。すると世代を重ねるごとに優秀なパラメータを得ることが出来る。

自動較正システムであってもすべてのパラメータを較正することは難しい。そこで較正パラメータをいくつか選択する。Punzo らによると Aimsun において、反応時間 (Reaction Time)、許容速度 (Speed Acceptance)、最大加速度 (Max Acceleration) の 3 つのパラメータが推定精度に大きく影響していると指摘している³⁾為、本研究ではその 3 つのパラメータを較正することとする。

本システムは次のように動作する。パラメータ 1 組を持つ個体を 40 体作成する。それぞれ個体の持つパラメータを使いシミュレーションを行って RMSE を計測し RMSE が低い順にランキングする。40 体の中から親となる個体を選び、突然変異・交叉させることで子となる個体をつくる。このとき、ランキングが良いほど親として選択される確率が上がる。子が 40 体作成された時点で世代を一つ進め、この計算を繰り返す。世代を進めることにより優秀なパラメータをもった個体が生まれ、全体の RMSE は下がっていく。

このシステムを用いて 1 世代 40 体、45 世代のシミュレーションを行った。それぞれの世代において最も優秀だった個体の RMSE をグラフ 図 2 に示す。

世代が進むごとに RMSE が低下していることが伺える。これは遺伝的アルゴリズムが有効に作用し、より現実に即したパラメータの探索が有効に行われていることを示している。また 30 世代以降は RMSE の低下が停滞しており探索が十分に行われていることも示されている。

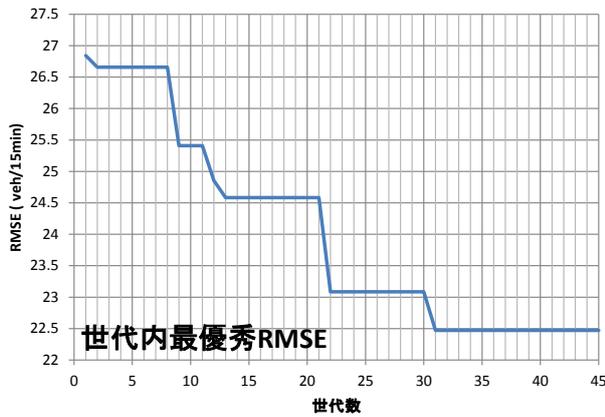


図2 世代ごとのRMSEの推移

すべての世代を合わせ、RMSEが上位40位のパラメータをプロットしたのが図3である。パラメータが近い値で収束していることがこのプロットからも伺え、十分な探索が行えていると言える。

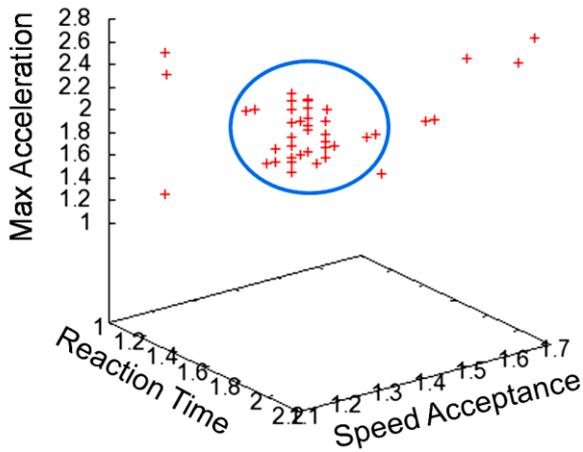


図3 上位40個体のパラメータ

ここで、それぞれのパラメータについて考察する。反応時間は2秒が最適となった。反応時間とはドライバーが周囲状況の変化を感じ取り、それに対して反応するまでにかかる時間を表し、一般に1秒から2秒程度で設定される。大きめの値ではあるものの良好であると言える。

許容速度は1.24が最適となった。許容速度は無次元量であり、その区間の制限速度(km/h)に許容速度を掛けたものが希望巡航速度(km/h)である。この区画は制限速度60km/hであるので、約75km/hで巡航したい車が平均的であることを意味する。これも現実に即していると言える。

最大加速度は2.18m/sec²が最適であった。これはある車が加速する際に用いるパラメータであり、これも無理のない値となっている。

このシステムをCPU Core i5@3.1Ghz, Memory: 4GBのPCで動作させたところ、1個体の計算に約30秒、1世代

の計算に約1200秒、45世代の計算に約15時間を要した。一度パラメータを較正すればしばらくの間同様のパラメータが使えることを考えると十分実用的な速度を有している。較正するパラメータを増やし、世代数や世代毎の個体数をより増やす事で更なるRMSEの低下が期待できる。

5. 動的OD推定システム

本研究ではODを推定するためにフィードバック手法を用いる。フィードバックとはシミュレーションを行う際、実測値を用いてシミュレーション結果を補正する手法である。OD交通量に強く影響を受けていると考えられる観測量であるトラフィックカウンターによる通過車数を用いてOD交通量を間接的に推定する。

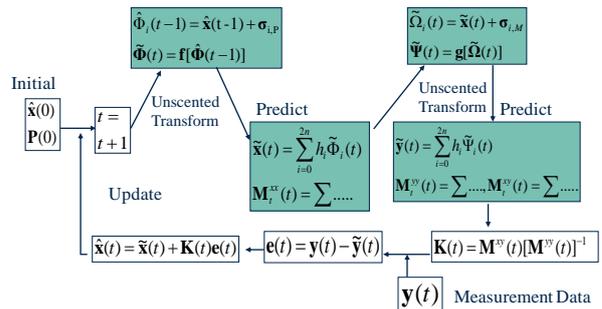


図4 Unscented Kalman Filter

Unscentedカルマンフィルタ(UKF)は拡張カルマンフィルタ(EKF)の問題点を改善したフィルタであり、Unscented Transformという技法によりTaylor2次近似かつ非線形変換関数を微分する必要がないフィルタである。変換関数の微分の必要が無い為、今回利用する市販交通流シミュレーターのように変換関数が微分不可能な場合でも利用できる。

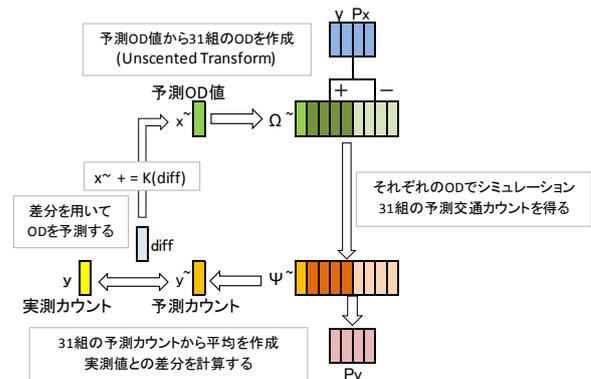


図5 Unscented Transform 技法

このシステムで得られた結果は図6の通りである。松原一下M、松原一駒川、平野一三宅間の車両交通量(veh/h)

を予測値を線で、実測値を点で表している。予測値の線が実測値の点に近ければより現実に近い推定がなされていると考えられる。

研究対象区間の中で最も交通量が多い松原一下Mは7時から17時までは良好な結果を示したもののそれ以降誤差が大きくなっていく。この傾向は他の区間でも同様であり、局所的に推定精度が落ちている。

RMSEは全体で146veh/hとなった。Anburuvel氏によるECSモデルを用いたミクロ交通流シミュレーターを用いた同様の研究では108veh/hであり、本研究のシステムの方が悪い結果となってしまった。これはUKFパラメータの設定に問題があったために誤差が大きくなってしまったと考えられ、今後改良の必要がある。

このシステムをモデルパラメータ較正システムと同様のPCで動作させたところ、24時間分の推定におよそ40分を要した。Anburuvel氏によるプログラムが同様の条件で約5時間であり、比較してかなりの高速推定が行えていると言える。動的推定を行う際に高速であることは利点が多く、実用性の面から優れていると考えられる。

また、本システムは市販品を用いたために汎用性が高い。他の路線の推定を行いたい場合でも道路状況等の設定が視覚的に行える為、必要なデータさえ用意出来れば本OD推定システムを容易に移植することが出来る。

表1 本システムと既存研究との比較

	本システム	ECSモデル
推定精度 (全RMSE)	146 veh/h	108 veh/h
測定所要時間 (24時間分推定)	40分	5時間
汎用性	高い	—

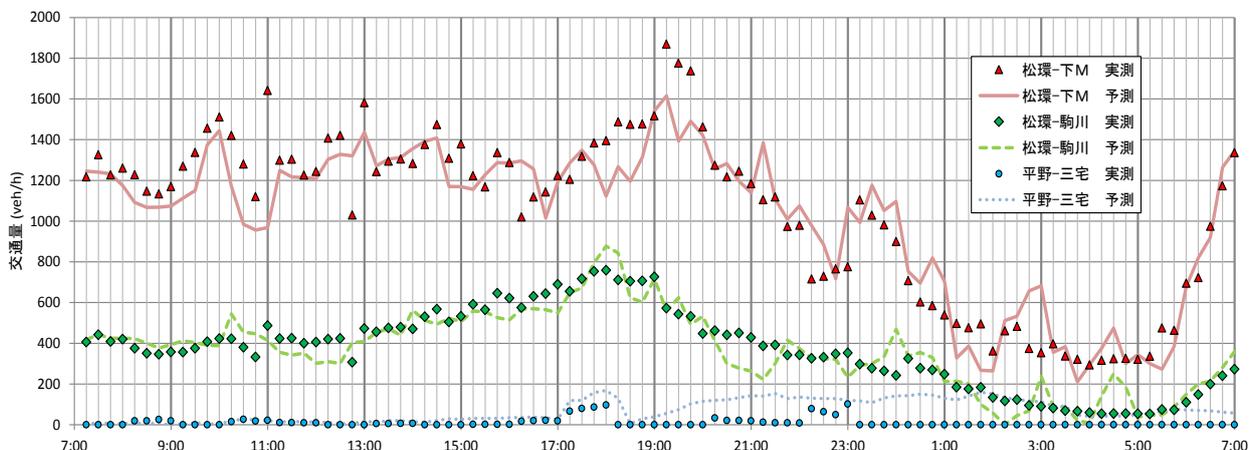


図6 OD推定結果

6. おわりに

本研究によって道路状況の推定に市販交通流シミュレーター及び拡張システムを用いることが有効であることを示せた。本研究では精度的に十分満足な値を得ることができなかったものの、パラメータの設定を見直すことで十分に精度の向上を図れるものと考えている。また、今回はトラフィックカウントのみを用いてODを推定したが、今回利用しなかったETC等別のデータを利用して推定を行えば高い精度での推定が期待できる。

本研究ではAimsunを利用したが、動的制御が可能な市販交通流シミュレーターは他にも存在する。他市販交通流シミュレーターへの本システムの導入といった発展も考えられる。

また、本研究ではODのみ動的推定を行い、モデルパラメータは固定している。本来モデルパラメータも道路状況と同時に動的に変化していると考えられる。ODとモデルパラメータを同時に動的推定出来ればより高度な再現が可能であると確信している。

参考文献

- 1) 交通シミュレーションクリアリングハウス
(<http://www.jste.or.jp/sim/index.htm>)
- 2) Anburuvel: A Comprehensive Approach for Real-Time Feedback Origin-Destination (OD) Matric Estimation, 2011
- 3) Vincenzo Punzo, Biagio Ciuffo, Vincenzo Torrieri: How parameters of microscopic traffic flow models relate to traffic dynamics in simulation; implication for model calibration TRB 2009 Annual Meeting