

高速道路会社間を跨いだ大都市圏高速道路交通シミュレーションの構築 Building a Metropolitan Expressway Traffic Simulation Model across Multiple Expressway Operators

堀口 良太¹, 村上 雄馬², 甲斐 穂高³, 邢 健⁴, 荒川 太郎⁵, 桂 聡⁶, 大口 敬⁷

Ryota Horiguchi¹, Yuma Murakami², Hodaka Kai³, Jian Xing⁴, Taro Arakawa⁵, Satoshi Katsura⁶, and Takashi Oguchi⁷

首都高速中央環状線, 東京外環自動車道, 首都圏中央連絡自動車道の整備が進んだ首都圏では, 高速道路会社(東日本高速道路株式会社, 中日本高速道路株式会社, 首都高速道路株式会社)を跨いだネットワーク全体での高度な交通運用の必要性が高まっている. ネットワーク全体での高度な交通運用には, 高速道路会社間を跨いで同一の評価手法や評価指標を扱うことが重要である. そこで本研究では, 高速道路間を接続した ETC データを活用し, 高速道路会社間を跨いだ大都市圏全体の交通シミュレーションモデルの構築と, その運用に必要な周辺データ生成などの技術開発を実施した.

Keywords: 高速道路, 交通シミュレーション, 交通管理, 交通運用

1. はじめに

首都高速中央環状線(以下, 中央環状線), 東京外環自動車道(以下, 外環道), 首都圏中央連絡自動車道(以下, 圏央道)の整備により, 首都圏の高速道路ネットワークは複数ルートの選択が可能となった. これにより, 高速道路会社間(東日本高速道路株式会社(以下, NEXCO 東日本), 中日本高速道路株式会社(以下, NEXCO 中日本), 首都高速道路株式会社)を跨いだ首都圏高速道路ネットワーク全体での高度な交通運用・管理の必要性が高まっている.

ネットワーク全体での高度な交通運用・管理には, 車線規制や通行止め等の交通イベントがネットワークに及ぼす影響を評価することが重要であり, これには交通シミュレーションが有効である. そのため, NEXCO 東日本, NEXCO 中日本及び西日本高速道路株式会社(以下, NEXCO3 会社)では, ETC データによる IC 間 OD データを活用し, 都市間高速道路を対象とした交通シミュレーション(Expressway Network Simulation 以下, ENS)を運用している¹⁾. 一方首都高速道路株式会社では, 交通管制システムとオンラインで接続したリアルタイム交通状況予測シミュレーション(Real time traffic Information by dynamic Simulation on urban Expressway 以下, RISE)²⁾を運用している. しかし, これらはそれぞれ独立したシミ

ュレーションであるため, 高速道路会社間を跨いで交通イベントの影響評価をすることはできない. つまり, ネットワーク全体での高度な交通運用・管理は実現できていないのが現状である.

そこで本研究では, 2016 年から関係各社で自主的に形成した首都圏三環状勉強会(METropolitan Three Rings Collaborative Study: METRICS)における取組みとして, 高速道路 6 会社(NEXCO3 会社, 首都高速道路株式会社, 阪神高速道路株式会社, 本州四国連絡高速道路株式会社)間を接続した ETC データ(以下, 接続 ETC データ)を活用し, 高速道路会社間を跨いで同一の評価手法や評価指標を扱うことができる大都市圏高速道路交通シミュレーションと, その運用に必要な周辺データや評価指標の生成を行うソフトウェア群を開発し, これらが連携して効率的にシミュレーションスタディを実施できるエコシステムを構築した. また, 開発したシステムを用いて, 首都圏の範囲を対象とした交通施策の評価スタディを実施しており, 別稿⁴⁾にて報告する.

2. METRICS の大都市圏高速道路交通シミュレーション

図 1 に METRICS でのデータ処理フローを示す. データ処理フローは大きく「道路ネットワーク作成」, 「OD 表作成」, 「シミュレーション計算」のパートに区分され,

1 正会員, 博士(工学)・TOE, (株)アイ・トランスポート・ラボ

〒101-0052 東京都千代田区神田小川町 3-10 新駿河台ビル 9F E-mail: rhoriguchi@i-transportlab.jp Phone: 03-5283-8527

2 正会員, 学士(社会工学), (株)高速道路総合技術研究所

3 正会員, 修士(工学)・TOP, (株)高速道路総合技術研究所

4 正会員, 博士(工学)・TOE, (株)高速道路総合技術研究所

5 正会員, 学士(工学), 首都高速道路(株)

6 正会員, 学士(工学), 首都高速道路(株)

7 正会員, 博士(工学), 東京大学 生産技術研究所

それぞれ複数のソフトウェアがパイプライン形式で連携し、半自動で実行する構成となっている。以下に各パートでの処理内容を示す。

2.1 道路ネットワーク作成パート

(1) 高速道路ネットワークデータの構築

高速道路ネットワークは、ENS と RISE 用にそれぞれ作成され、経年で維持更新されているネットワークデータを活用して作成する。いずれも、キロポスト情報や区間管理番号に基づいてリンクを作成しており、交通管制データとの対応が容易にとれることが特徴である。具体的には、ENS と RISE でそれぞれの接続箇所ノードをリスト化し、同一箇所のノードを対応づけたテーブルを介して、両者を接続するものである。また、METRICS では ETC データに基づく IC・ランプ間 OD 表を扱うため、トリップの発終点として、IC・ランプと一般道が接続するノードを抽出し、ETC 料金所コードと対応づけておく。これらの処理は自動化していないが、GIS 等を用いて効率的に作業できるよう、ネットワーク端点ノードを抽出する等の補助プログラムを用意している。

図 2 に METRICS が対象とした、概ね一都六県をカバーする首都圏高速道路ネットワークを示す。ネットワーク規模はリンク数（往復別）で NEXCO が 8750 本、首都高が 1723 本の計 10473 本、発集ゾーン数で NEXCO が 255 箇所、首都高が 217 箇所の計 472 箇所である。これには各種交通運用策の実施時に高速道路ネットワークを補完すると考えられる一般道ミッシングリンク区間が含まれる。また、将来の供用予定路線も用意しておき、シミュレーションで対象とする期間（エポック）に応じて共用・未供用を使い分ける機能を用意している。

(2) 高速道路ボトルネック容量パラメータの算定

NEXCO と首都高の交通管制システムが取得している 5 分毎の感知器データ（交通量と速度）を用いて、一定期間で「渋滞区間先頭」になる頻度を箇所毎に集計し、高

頻度の箇所毎に該当するリンクを「ボトルネックリンク」として抽出する。ここで「渋滞区間先頭」とは、路線毎の混雑判定閾値速度に対して、当該区間が閾値速度未満のときに下流区間が閾値速度以上になる状態を指す。

容量パラメータは、ボトルネックリンクを先頭とした渋滞が発生し、先詰まりのない状況が 30 分以上継続した状態を「渋滞イベント」として抽出し、渋滞発生時と発生後 30 分時点の流率の代表値（ここでは 85% タイル値）を取得して、それぞれ渋滞発生時容量（Break Down Flow rate, 以下 BDF）と渋滞発生後捌け容量（Queue Discharge Flow rate, 以下 QDF）として、容量パラメータとする。

なお、一般道の交通状況に大きく影響される出口渋滞箇所の容量や、感知器が設置されていない NEXCO の IC・ジャンクションのランプ部容量については、現状では十分に調整できないため、今後の課題としている。

(3) 一般道ネットワークデータの構築

METRICS で扱う IC・ランプ間 OD 表は、平時には必ず高速道路を利用する交通需要と考えられるが、車線規制や通行止めのスタディを行う場合に、高速道路ネットワークだけで扱おうとすると、代替経路が少ないために特定の路線に需要が集中し、グリッドロック状態³⁾になりやすいことが経験的にわかっている。本来であれば、交通規制に伴う高速道路の利用減や利用時間変化等の需要側の行動変化を考慮すべきであるが、事前にその実態を把握することは極めて困難であり、また汎用的なモデルが構築できるかどうか不明である。このため、規制時も IC・ランプ間 OD 表は変えずにそのまま扱い、高速道路ネットワークを補完する一般道路線を追加して、高速道路からの迂回交通量を分担させることで、グリッドロックを回避してスタディの評価ができるよう、実用性を担保する。

ここでは、全国デジタル道路地図データベース⁴⁾より、一都六県の範囲で道路交通センサスの調査対象である基本道路リンクを選定し、一般道ネットワークとした。そ

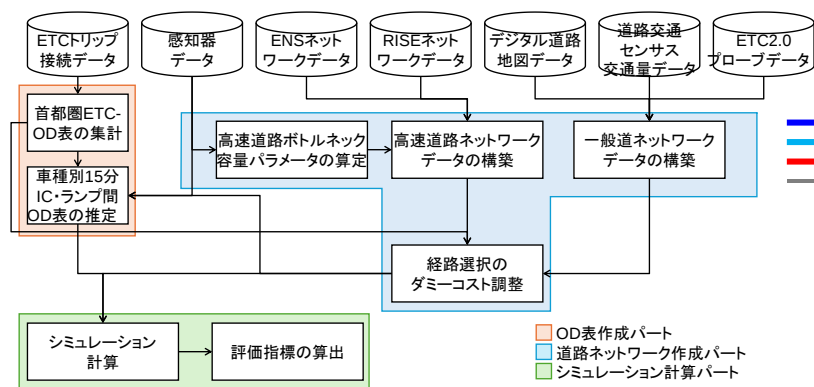


図1 METRICS のデータ処理フロー

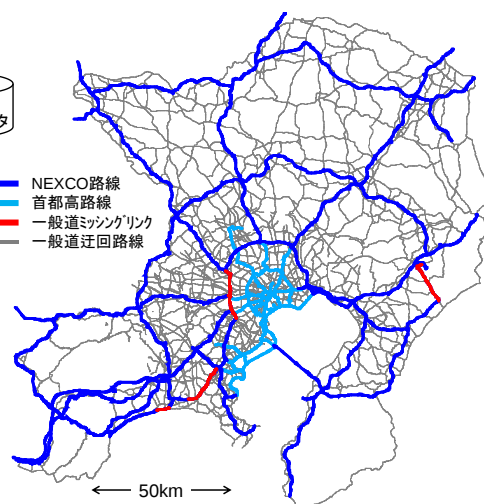


図2 METRICS の道路ネットワーク

の際、トリップ発終点となる IC・ランプ接続箇所のノードがセンサ対象道路に隣接していない場合に、近傍の対象道路までの接続を担保するよう、自動で必要なリンクを抽出するプログラムを用意している。図 2 に一般道ネットワーク合わせて示す。

なお、METRICS では一般道のみを利用するトリップを明示的に扱わないが、後述する一般道フローモデルでこれらのトリップを間接的に考慮するため、センサ時間帯別交通量データと ETC2.0 プローブデータから、一般道リンクの時間帯別交通量・速度データベース（一般道 QV データベース）を作成している。

(4) 経路選択のダミーコスト調整

後述する METRICS のシミュレーション計算では、各車両が現在の位置から目的地に到達するまでの渋滞を考慮した所要時間や高速道路通行料金に基づいて、動的に確率経路選択を行うモデルを採用している。経路選択モデルのパラメータは既往研究⁹⁾でプローブデータを分析して得られた値を用いているが、これをシミュレーションに適用しても、ネットワーク全体での交通量の再現性が担保されるとは限らない。

そこで、ここでは主要な JCT 間を代表するリンクを選定し、それらに経路分担を調整するためのダミーコスト（以下、経路選択補正コスト）を付与して、経路選択確率の計算時に考慮することとした。このコストの調整には、後述する ETC-OD 表を入力としたシミュレーション計算で、代表リンクの感知器交通量とシミュレーション交通量の相関を調べ、シミュレーションが過大評価となるリンクにコストを上乗せし、繰り返し計算で相関係数が高くなるよう、ヒューリスティックな数値探索を行うプログラムを用意している。

図 3 に 2020 年 10 月の平日と休日のデータで経路選択補正コストを調整した例を示す。高いコストを付与した区間ほど選ばれにくくなるが、日常的に混雑している首都高放射線（図中☆★で例示）や通行料金がかからない保土ヶ谷バイパス（図中▲）のような路線が補正されていることがわかる。

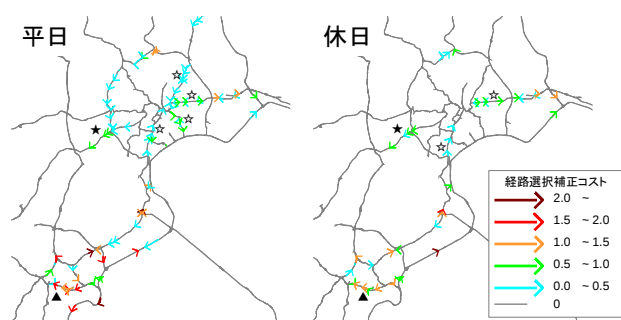


図 3 経路選択補正コストの調整例

METRICS では一般道もネットワークに含まれるため、

高速道路ネットワーク上での経路分担だけでなく、高速道路と一般道の分担についても、経路選択のダミーコストで調整する必要がある。ETC データに基づく IC・ランプ間 OD 表は、平時には一般道を利用しないが、規制に伴う渋滞を避ける場合には一般道も選択肢となるようにさせるため、以下の手順で一般道のコストを調整する。

まず、一般道リンクには、リンク長に比例し、規制速度に半比例するダミーコスト（以下、一般道ダミーコスト）を初期値として付与しておく。次に、後述する ETC-OD 表を用いて、一般道を含む METRICS ネットワークで規制のない平時のシミュレーションを行い、リンク交通量の結果を得る。一般道リンクについて、交通量が許容値（ここでは 100 台/日とした）を超える場合は、設定している一般道ダミーコストを倍に、下回る場合は半分にする。これを所定回数繰り返した後、リンク毎に各回でのダミーコストと交通量の関係を調べ、交通量が許容値未満で最小となるコスト値を、そのリンクの一般道ダミーコストとして設定する。

図 4 に 3 回の繰り返し計算で得られた結果の一般道ダミーコストを 1km あたりで正規化して色分けした。経路選択モデルの時間項パラメータでダミーコストを除すとおよそ 100 ポイントが 2.5 分に相当するが、これを一般道リンクの所要時間に上乗せして経路選択で考慮する。図より、高速道路（水色の太線）に沿った一般道区間や IC・ランプが近接して乗り継ぎしやすいと考えられる路線に相対的に高いコストを付与していることがわかる。また、一般道リンクの交通量が許容値未満となる区間長は全体の 90%であった。

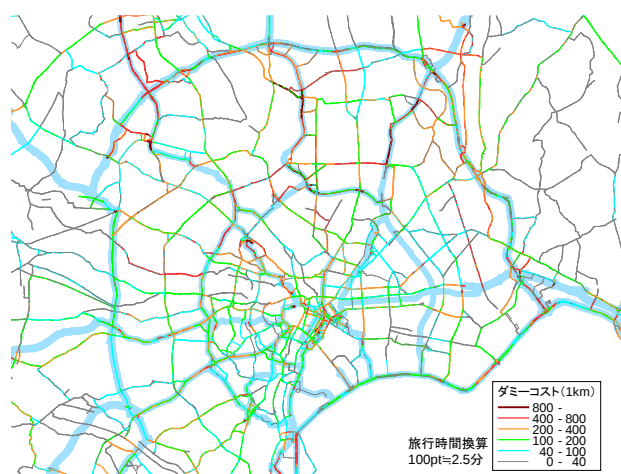


図 4 一般道ダミーコストの調整例（都心部拡大）

2.2 OD 表作成パート

(1) 首都圏 ETC-OD 表の集計

OD 表作成パートでは、まず ETC トリップを集計した ETC-OD 表を作成し、これを初期値として対象日の感知器交通量と整合する OD 表の調整に用いる。

接続 ETC データは全国の範囲で作成しているため、METRICS で扱う範囲のトリップを切り出す必要がある。ここでは、まず ENS で全国規模の高速道路ネットワークシミュレーションを実施⁹⁾し、首都圏外で発集するトリップが、METRICS の高速道路ネットワーク境界部を通過する割合と、出発してから境界部に到達するまでの平均所要時間を箇所毎に集計する。これを元に、首都圏の外外、外内、内外に分けて、内々を除くトリップの発終点をネットワーク端部に確率的に割り付けている。その際、トリップの出発時刻は、実際の発地の出発時刻に境界部までの平均所要時間を加えておく。境界部に割り付けられなかったトリップは集計から除外され、対象とするトリップを 15 分毎に集計して ETC-OD 表とする。

なお、接続 ETC データでは、高速道路会社の接続箇所を通過するトリップには同一のトリップ番号を付与しているが、図 2 に示したミッシングリンク区間を通行した場合は別トリップの扱いとなっている。このため、ETC-OD 表に集計する前に、ミッシングリンク区間の両端に位置する料金所を通過するトリップが前後で連続している場合、その間の所要時間の 85% タイル値未満で乗り継いでいる場合は、一連の連続したトリップと見なして、同一のトリップ番号を振り直している。

ETC-OD 表はサンプルではあるものの、利用率が 95% 近い首都圏⁷⁾では高い信頼性のある実績データと考えられ、シミュレーションだけでなく各種の需要分析に有用である。図 5 に 2019 年 4 月期の毎日における首都圏での ETC-OD 表を高速道路会社間の構成別にトリップ数を集計して、例示している。

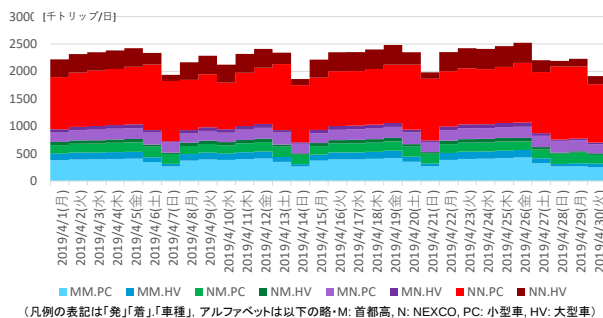


図 5 METRICS ネットワークでの ETC-OD 構成比の例

(2) 車種別 15 分 IC・ランプ間 OD 表の推定

よく言われているように、渋滞現象はボトルネック容量に対して数%から十数%の需要超過で発現する⁸⁾。ETC-OD 表は非常に高いサンプル率ではあるものの、全量に対しては未だ 5%程度過小であり、シミュレーションで各種の渋滞対策を評価する上では、これを補正する必要がある。

その際、単純に ETC-OD 表を平均的な ETC 利用率で割り戻して拡大するのではなく、シミュレーション結果

と感知器データの 15 分交通量が整合するよう、OD 表を推定する手法⁹⁾を簡素化したプログラムで、任意の日における調整済 OD 表を自動的に作成できる仕組みを構築している。これは、時間がかかるシミュレーション計算を何度も繰り返して OD 表を調整するのではなく、まず、ETC-OD 表を初期値としたシミュレーション結果から、調整対象リンクにおける 15 分間交通量と 15 分間 OD 表の関係を近似する式(1)の数学モデルを構築する。

$$\hat{Q}_{ktc} = \sum_{\omega h} p_{kt}^{\omega hc} \hat{q}_{\omega hc} \dots (1)$$

すなわち、 $\hat{Q}_{ktc}$ は時間帯 t におけるリンク k での車種 c のシミュレーション交通量、 $\hat{q}_{\omega hc}$ は OD ペア ω について時間帯 h に出発する車種 c の交通量である。また、 $p_{kt}^{\omega hc}$ はそれらを結びつける選択割合であるが、これを ETC-OD 表に基づくシミュレーション結果から求めておき、式(2)の感知器交通量 Q_{ktc}^* との誤差が小さくなる $\hat{q}_{\omega hc}$ を初期値の近傍で数値探索するものである。

$$E = \sum_{ktc} (Q_{ktc}^* - \hat{Q}_{ktc})^2 \rightarrow \min. \dots (2)$$

数値探索については、ここではヒューリスティックな手法である TABU 探索¹⁰⁾を適用している。探索アルゴリズムの詳細は割愛するが、最も誤差の大きいリンクの推定交通量と感知器交通量が整合するよう OD 交通量を修正し、式(2)が修正前よりも小さくなれば修正を受諾、小さくならなければ拒否して当該リンクを TABU リストに入れる手続きを繰り返すものである。局所的な修正を繰り返すため大局解を求めるものではないが、高い信頼性を持つ初期値の近傍で最良解を求めることで、良好な交通量の再現性が得られることが経験的にわかっている。

図 6 に、ある 1 日の ETC-OD 表と感知器データから推定された調整 OD 表を用いてシミュレーションした結果の 15 分間交通量と感知器交通量との相関をそれぞれ示す。ここでは隣接する IC 間につき 1 つの代表断面を指定し、計 1055 本のリンクを対象とした数値探索を行っており、推定により回帰係数が 0.977 から 0.995 へ、決定係数が 0.942 から 0.984 へと相関が改善されていることがわかる。

2.3 シミュレーション計算エンジン SOUND

METRICS では、シミュレーションの基本エンジンとして、東京大学生産技術研究所での研究をもとに開発・商用化され、ENS と RISE にも採用される「広域道路網交通流シミュレーションシステム・SOUND¹¹⁾ (以下、SOUND)」を使用している。SOUND は、時間変化する

OD 交通量を需要として与え、各車両が 5 分毎の動的経路選択と 1 秒毎の車両移動を逐次繰り返して、道路ネットワーク上の交通状況を再現する。

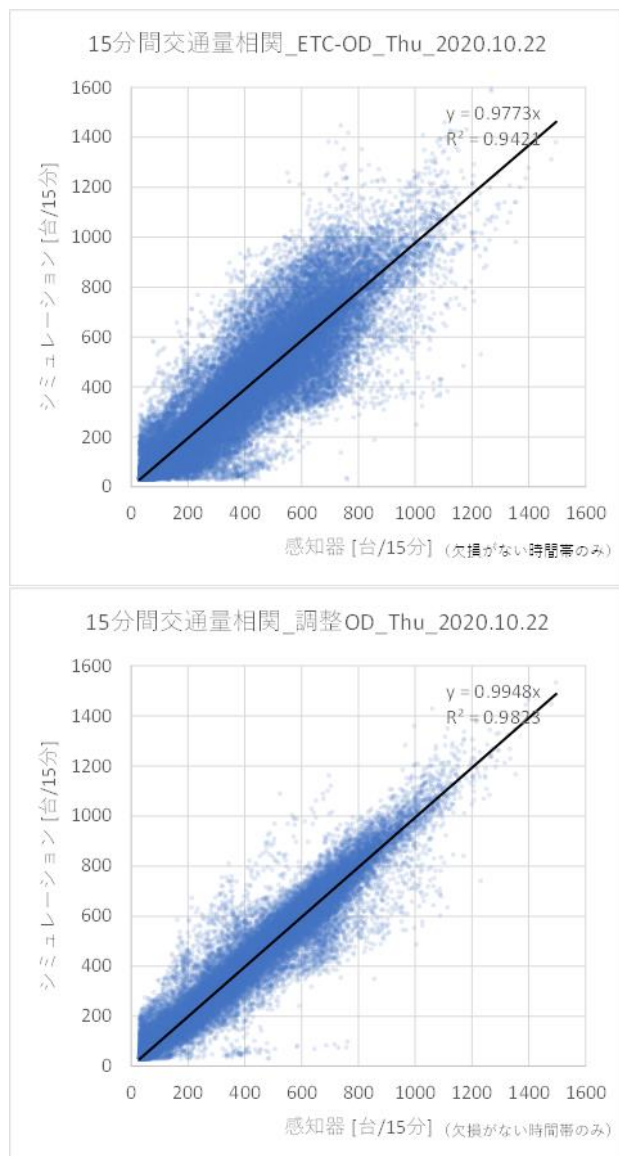


図6 シミュレーション結果交通量相関（上：ETC-OD 表を用いた結果、下：調整済 OD 表を用いた結果）

(1) SOUND の車両移動ロジック

SOUND の車両移動ロジックは、離散的な車両をリンク毎に待ち行列で管理するメソモデルに属するもので、リンク内の交通密度を図 7 の交通流基本特性 (Fundamental Diagram) に基づいて逐次更新している。すなわち、リンク容量 Q_c の範囲で交通量を受け入れ、下流端流出容量 Q_d の範囲で交通量を流出させるものである。自由流状態では、リンク内の交通密度に応じて自由流速度 V_f から臨界速度 V_c の範囲で車両の走行速度を決め、また渋滞流状態では、Simplified Kinematic Theory¹²⁾ に基づいてリンク上流端での受け入れ流率を制御している。

METRICS では便宜的に V_f を規制速度に合わせ、 V_c は

規制速度が $V_f \geq 80\text{km/h}$ なら 65km/h に、 $V_f < 80\text{km/h}$ なら 55km/h にしている。その他のパラメータについては、ボトルネック箇所以外はデフォルト値 ($Q_c=2000$ 台/時/車線、 $Q_d=1800$ 台/時/車線、 $K_j=80$ 台/km/車線) としているが、ボトルネック箇所については ENS が採用しているボトルネック容量モデル¹³⁾を適用している。これは、ボトルネック箇所のリンクに対して、感知器データから求めた BDF を Q_d に設定しておき、シミュレーション計算中にボトルネックリンクの平均通過速度が閾値を下回る状態が 20 分連続して持続すれば、そこから 30 分かけて Q_d を QDF まで 5 分毎に段階的に低減させるものである。なお、閾値は V_c としている。また、リンク平均速度が閾値を上回った状態が 20 分以上継続すれば、リンク流出容量を BDF に戻している。

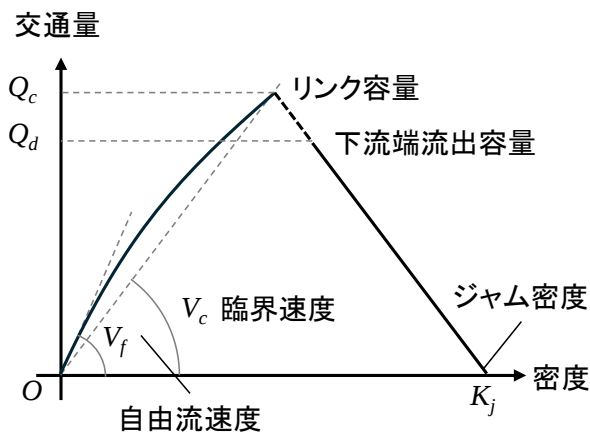


図7 SOUND フローモデルの交通流基本特性

(2) SOUND の経路選択ロジック

SOUND のフレームワークでは数種類の動的経路選択ロジックを用意しているが、METRICS ではこのうちの「二項ロジット型確率選択モデル」を用いている。これは、交差点や分岐部において、目的地に到達可能な複数の分岐候補がある場合、いずれかの分岐後に目的地まで到達する最小費用を求め、そのうちの最も費用が小さい 2 つの選択肢から、ロジット型の確率選択を行うものである。すなわち、分岐部で選択可能な次のリンク a と b が与えられた時、 a を選択する確率 p_a を式(3)で求め、車両毎に擬似乱数を用いて確率的に選択する。

$$p_a = 1 / (1 + \exp(C_a + c_a - C_b - c_b)) \cdots (3)$$

ここで、 C_k はリンク k を選択した場合に、そこから目的地まで到達する最小費用であり、 c_k はリンク k の費用である。

これは Recursive Logit (RL) モデルの特殊な形であり、METRICS ではプローブデータを用いて RL モデルの

経路選択パラメータを推定した既往研究⁹⁾を参考に、表1の係数を用いて、各項の線形和で現在地から目的地までの経路費用を5分毎に求めている。

表1 METRICS で用いる経路選択パラメータ

項目	係数	単位	備考
自由流速度旅行時間	3.56E-01	分	
渋滞考慮旅行時間	2.42E-01	分	
左折回数	1.44E-02	回	
右折回数	7.23E-02	回	
通行料金 (小型)	1.37E-02	円	時間価値 44.5 円/分
(大型)	6.84E-03	円	時間価値 88.9 円/分

(このほか各種ダミーコストが加わる)

なお、通行料金に関しては、SOUND の経路選択ロジックでダイクストラ法によるグラフ探索アルゴリズムを利用していることから、現実の料金体系を厳密に表現することが難しく、METRICS では高速道路入口のオンランプに端末料金を、また高速道路本線リンクに対距離料金を設定して、高速道路料金体系を模擬している。このため、「同一OD 同一料金」のような柔軟な料金施策を厳密に考慮することについては、今後の課題となっている。

(3) 一般道利用交通の考慮

接続ETCデータに基づく高速道路IC・ランプ間OD表は、平時には一般道をしないが、高速道路の通行規制時では、一般道を利用して迂回する経路も選択肢になりうると考えられる。このため、高速道路からの迂回による一般道交通状況への影響についても、ある程度の合理性をもって再現し、経路選択に反映することが求められる。

交通量配分計算では、転換率モデルを適用して、OD表をあらかじめ高速道路利用と一般道利用に分けて扱う方式¹⁴⁾がよく知られているが、同様の方式を採れば一般道利用の時間帯別OD表推定や、一般道での交通状況を再現するための各種パラメータ調整など煩雑な作業が必要となり、実用性を損なうことが懸念される。このため、METRICS では、以下のように一般道QVデータベースを利用して交通状況を簡便に再現する。

まず、1時間ごとに一般道リンクの自由流速度と臨界速度パラメータをQVデータベースの時間帯別速度に合わせ、実勢速度で通行できるようにする。次に、その時間帯のセンサス交通量に合わせて、当該センサス区間のみを通行する車両（以下、ベース車両）を5分毎に発生させることで、平時における一般道の交通状況を再現する。このとき、一般道リンクに設定した容量とセンサス交通量との差が「余剰容量」となり、高速道路からの迂回交通量がこれを超えれば渋滞が発生して一般道リンクの速度が実勢速度よりも低下し、経路選択に反映される。

このような簡便な方式では、一般道利用層の経路変更は考慮できないが、実績に基づいた平時の交通状況再現と交通流特性式に従った動学的な渋滞メカニズムの考慮により、迂回時の影響評価に一定の説明性を担保できると考える。

(4) 渋滞状況の現況再現性

シミュレーションでの渋滞状況再現性検証として、2020年10月22日（木）と10月25日（日）の平日、休日それぞれ1日ずつを対象に、調整OD交通量とボトルネック容量を用いてシミュレーションを実施した。再現性の確認にあたっては、シミュレーション結果と車両感知器データによる渋滞発生統計図及び渋滞イベント図と比較した。渋滞発生統計図は、箇所別の渋滞イベント発生回数を縦軸に、キロポストを横軸にして渋滞発生箇所と最大渋滞長の平均値をプロットした図をいう。渋滞イベント図は、渋滞イベントの先頭箇所、発生・終了時刻、及び最大渋滞長を時空間でプロットした図をいい、最大渋滞長となる時刻は、便宜的に渋滞発生・終了時刻の間とした。

図8に首都高3号渋谷線上り（図3★の都心方向）の渋滞発生統計図を、図9に渋滞イベント図を示す。ここではボトルネック容量を2年間の車両感知器データを用いて平均的な値を求めているため、ある特定日の渋滞とは完全には一致していないが、実際の渋滞状況を比較的良好に再現している。

3. まとめ

本稿では、METRICS で開発したシミュレーションシステムについて、その概略構成と処理フローの内容を述べた。これにより、開発動機でもある接続ETCデータを活用することで、別稿⁴⁾で述べる通り、高速道路会社間で影響を及ぼす交通運用やイベントの評価ができるようになった。また、NEXCOと首都高が継続的に取得、更新している交通管制データやシミュレーション関連データを活用して、任意の日の交通状況をベースとした影響評価のスタディを効率的に実施できるソフトウェアエコシステムを整備し、実用性の向上を図った。今後は、本文中で述べた容量モデルの精緻化や現実的な料金施策のモデル化に取り組んでいく。

なお、高速道路規制時の一般道への迂回については、計量行動分析的なモデル化を行っているわけではないが、「平時には一般道を利用しないが、規制時には選択肢となりうる」よう、高速道路と一般道の分担を調整することで、スタディ結果に一定の説明力を与える思想となっている。これは規制時の利用者行動について、分析可能なデータを取得する労力の大きさや、様々な規制に対して汎用性のあるモデル化が実現困難であることを考えると、実用的なアプローチであると考えられる。これについては、

各種規制時のシミュレーションスタディを通して、予測した高速道路交通状況の変化が実績と整合するかどうか、事後検証を重ね、さらなる課題の洗い出しや改良を重ねることで、METRICS に対する信頼性の認知を高めていくことが、実務面で重要である。

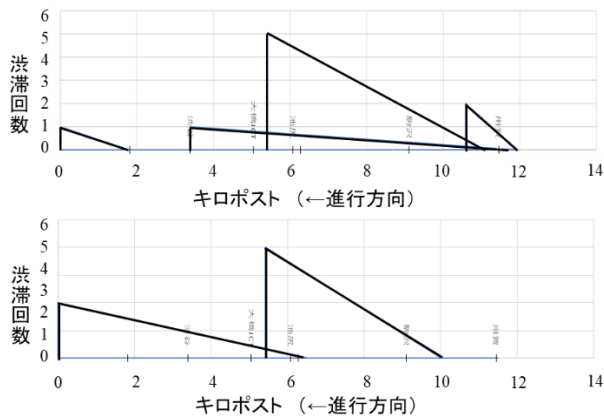


図8 首都高3号渋谷線 渋滞発生統計図
(上：実績，下：シミュレーション結果)

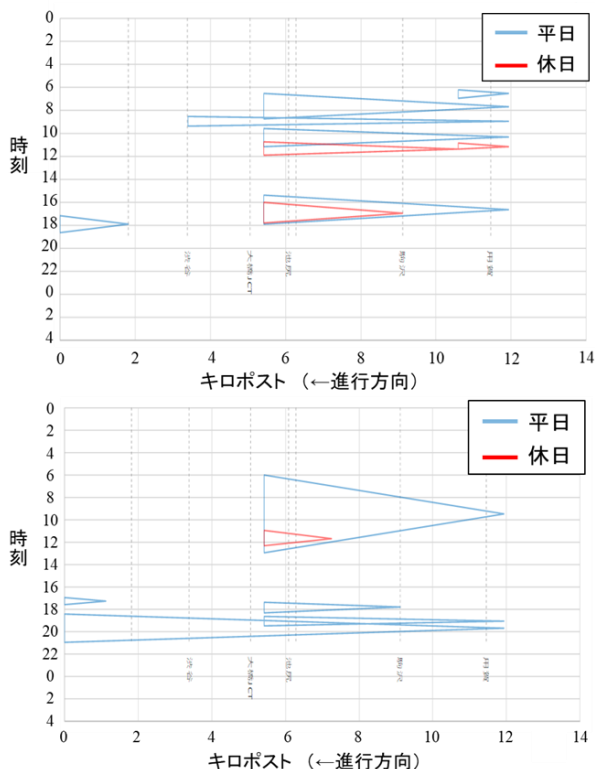


図9 首都高3号渋谷線 渋滞イベント図
(上：実績，下：シミュレーション結果)

参考文献

- 1) 平井章一, Jian XING, 高橋亮介, 堀口良太, 白石智良, 小林正人: 都市間高速道路ネットワークを対象とした交通流シミュレーションの開発, 土木計画学研究・講演集, Vol. 50, No. 49, 2014.
- 2) 宗像恵子, 割田博, 田村勇二, 白石智良: 首都高速道路におけるリアルタイム予測シミュレーションの開発, 交通工学研究発表会講演論文集, Vol. 29, pp.293-296, 2009.
- 3) C. F. Daganzo: Urban gridlock: Macroscopic modeling and mitigation approaches, Transportation Research Part B, 41(1), pp.49-62, 2006.
- 4) 村上雄馬, 甲斐穂高, 邢健, 荒川太郎, 桂聡, 堀口良太, 大口敬: 高速道路会社間を跨いだ大都市圏高速道路交通シミュレーションの適用検討, 交通工学研究発表会講演論文集 (投稿中), Vol. 45, 2025.
- 5) 日本デジタル道路地図協会: DRM データベース, <https://www.drm.jp/database/>, (最終閲覧日: 2025 年 5 月 1 日)
- 6) 大口敬, 力石真, 飯島護久, 岡英紀, 堀口良太, 田名部淳, 毛利雄一: 首都圏3環状高速道路における交通マネジメント評価シミュレーションの開発, 土木学会論文集 D3, Vol.74 No.5, pp.I_1255-I_1263, 2019.
- 7) NEXCO 東日本: ETC 都道府県別利用状況, https://www.e-nexco.co.jp/activity/safety/detail_05/etc_diffusion/usage_by_pref/, (最終閲覧日: 2025 年 5 月 1 日)
- 8) 越正毅, 赤羽弘和, 桑原雅夫: 渋滞のメカニズムと対策, 生産研究, Vol. 41, No. 10, pp.753-760, 1989.
- 9) 小林正人, 堀口良太, 花房比佐友, 小出勝亮: ネットワーク交通シミュレーションのための時間帯別 OD 交通量と確率経路選択モデルのロジット感度パラメータ一括推定プログラムの開発, 交通工学研究発表会講演論文集, Vol. 32, 2012.
- 10) 例えば, 橋本英樹, 野々部宏司: 入門タブー探索法, オペレーションズ・リサーチ, Vol. 58, No. 12, pp.703-707, 2013.
- 11) 株式会社アイ・トランスポート・ラボ: 広域道路網交通流シミュレーションシステム SOUND Ver.5, <https://www.i-transportlab.jp/index/products/sound/>, 2014. (最終閲覧日: 2025 年 5 月 1 日)
- 12) G. F. Newell : A simplified theory of kinematic waves in highway traffic, Part I: General theory, Transpn. Res.-B, Vol. 278, No. 4, pp. 281-287, 1993.
- 13) S. Hirai, J. Xing, R. Horiguchi, T. Shiraishi, M. Kobayashi: Development of a Network Traffic Simulator for the Entire Inter-urban Expressway Network in Japan, Transportation Research Procedia, Vol. 6, pp. 285-296, 2015.
- 14) 河上省吾, 金森亮: 高速道路を含む道路網におけるピーク時間帯配分交通量予測法の比較-料金抵抗法と高速転換率法の比較, 地域学研究, Vol. 32, No. 1, pp.75-83, 2001.