

# 市街地道路交通を対象とした ナウキャストシミュレーションシステムの構築

花房比佐友<sup>\*1</sup> 小林正人<sup>\*1</sup> 小出勝亮<sup>\*1</sup> 堀口良太<sup>\*1</sup> 大口敬<sup>\*2</sup>  
(株)アイ・トランスポート・ラボ<sup>\*1</sup>  
東京大学生産技術研究所<sup>\*2</sup>

本研究は、プローブやセンサー等で得られた観測データを基に対象地域の交通状態を再現するナウキャストシミュレーションシステムの構築を目的としている。ナウキャストシミュレーションシステムは主に市街地道路を対象としており、そのアウトプットを活用してある区域の交通流動性や特異性の評価、地域全体のCO<sub>2</sub>排出量のモニタリングなど、様々な情報サービスへの展開が期待できる。本稿では、柏市で実施されている実証実験の概要について紹介しながら、ナウキャストシミュレーションの理論を示し、オンライン交通シミュレーションシステムとして一般街路に適用するためのシステム構成について説明する。

## Development of Nowcast Traffic Simulation System for Road Traffic in Urban Area

Hisatomo Hanabusa<sup>\*1</sup> Masato Kobayashi<sup>\*1</sup> Katsuaki Koide<sup>\*1</sup> Ryota Horiguchi<sup>\*1</sup> Takashi Oguchi<sup>\*2</sup>  
i-Transportl Lab. Co.,Ltd.<sup>\*1</sup>  
Institute of Industrial Science, the University of Tokyo<sup>\*2</sup>

We describe a development of an on-line traffic simulation system called “Nowcast Traffic Simulation System” for road traffic in urban area. The system can reproduce the traffic situation based on various types of traffic data in real time such as probe data and traffic sensor data. And the output data is used for several traffic information services including CO<sub>2</sub> monitoring. In this paper, we explain the theoretical concept and the framework of Nowcast Traffic Simulation System giving an example of the demonstration experiment in Kashiwa city.

**Keyword:** Traffic Simulation, Real Time, Probe Data

### 1. はじめに

本研究は、感知器情報やプローブ情報など様々な交通センサーを活用してリアルタイムで一般街路の交通状態を推定する「ナウキャストシミュレーションシステム」の開発を目的としている。

近年、既存の交通センサー情報を活用したオンライン交通シミュレーションは、国内外で様々な研究

がなされており、実用化においても様々な交通運用策評価に用いられている。日本国内においては、武藤ら[1]、宗像ら[2]をはじめとした研究者が都市高速道路におけるオンラインシミュレーションを開発し、リアルタイムでの交通状況把握からの交通管理業務支援、さらには予測による旅行時間提供など様々なサービスに対する研究が進められている。

オンラインシミュレーションシステムにおける要望としては、先に述べた交通状況モニタリングのほかに、事故等の突発事象に対するより詳しい状況把握、予測機能による対策の意思決定支援、CO2排出量モデルや騒音モデルなどを組み合わせることによる自動車交通の環境モニタリングなどが挙げられる。その推定精度・予測精度に関しては今後の課題としても、感知器情報をはじめとしてある断面（またはある区間）でしか把握できなかったことが、渋滞の延伸など空間的にかつ時間的に推定できる仕組みは今後の交通情報提供サービスや道路管理事業においては大きな意味を持つと考えられる。

このように、活用手段に多くの可能性を持つオンラインシミュレーションシステムの多くは、比較的设置密度が高い感知器情報や ETC データ等のセンサーデータを活用して運用されていることが特徴である。そのため、高速道路のようなランプ間で流入出するような限定された道路ネットワークを対象としたもの、あるいは対象ネットワーク端点における交通量が把握可能でその通過交通量自身を需要とした形でシミュレーションを行うなど、インフラ側のセンサーが必要でその設置位置においてもある程度の制約や要求が存在しているものと考えられる。一方で、市街地の道路ネットワークにおいては、空間的あるいは時間的に、高速道路や自動車専用道と同じレベルで全体を網羅できるほどの情報をリアルタイムで収集することは難しい。そのため、一般道路ネットワークに対してオンラインシミュレーションを適用する際はまた新たな仕組みが必要である。

したがって、本研究においては市街地を対象としたオンラインシミュレーションとして「ナウキャストシミュレーションモデル」の開発を行った。本稿ではその概要を紹介するとともに、シミュレーションパラメータを同定する理論について解説し、そのシステム仕様について概説する。

## 2. ナウキャストシミュレーションシステムの概要

### 2-1 コンセプト

ナウキャストとは、既に降水量などの予測に使われる「降水ナウキャスト」という言葉で広く知られているように、交通に関して言えば直近の交通状態を推測することであるといえる。よってここでの「ナウキャストシミュレーション」とは、道路交通を対象にセンサーやプローブ等の観測データから継続的に入手できる交通データを活用し、データが得られている今現在の交通状況を逐次推定する仕組みを示

す。本研究で示すものは交通シミュレーションを活用する仕組みで、これにより観測データ間の情報をモデル補完し、道路ネットワーク全体を面的、連続的に推定することができるようになる。図 1 にイメージ図を示す。

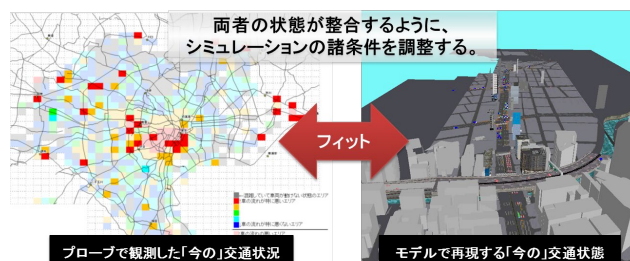


図 1 イメージ図

ナウキャストシミュレーションシステムは、「ベースケースキャリブレーション」と「ナウキャストケースキャリブレーション」の 2 つの技術要素で構成される。

### 2-2 ベースケースキャリブレーション

ベースケースキャリブレーション[3]とは、ある一定期間の交通データの平均値に合うようにキャリブレートしたシミュレーションケースの作成処理のことである。シミュレーション結果はごく平均的な日の交通状態を再現したものと位置づける。このベースケースキャリブレーションから得られるシミュレーション入力データ（以下、ベースケース）は後述のナウキャストシミュレーションに利用される。

### 2-3 ナウキャストキャリブレーション

ナウキャストキャリブレーションとは、継続的に得られた実測データに合うように、ベースシミュレーションケースの OD 交通量やリンクパラメータを調整し、その時々々の交通状態を再現するシミュレーション入力データ（以下、ナウキャストケース）処理である。ナウキャストキャリブレーションでは、継続的に得られた実測データから逐次交通状態をリアルタイムで再現することが可能な仕組みとなっており、ここでは主にプローブ情報を取得することで運用することを想定している。リアルタイム情報については感知器情報でも代用可能である。

図 2 に処理ステップのイメージを示す。

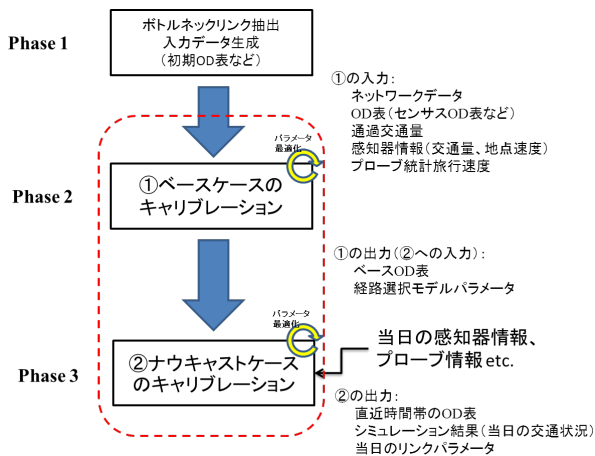


図 2 イメージ図

### 3. 交通状態の推定手法

#### 3-1 パラメータ同定手法のコンセプト

ナウキャストケースのキャリブレーションでは、プローブ情報、または感知器情報（集計されたプローブ情報として代用可能）を利用した単位時間当たりのプローブ走行台数と走行距離から求められる Macroscopic Fundamental Diagram（以下 MFD）上の集計交通量（集計  $Q$ ），集計存在台数（集計  $K$ ）を利用する。ここではこの概念を集計  $QK$  と呼ぶ。集計  $QK$  を利用する際は、対象地域をいくつかのゾーンに分け、そのゾーン単位で集計  $QK$  を求める。

ここで、あるゾーンにおけるパラメータ同定を考える。ベースケースの集計  $QK$  カーブが、プローブ情報から得られる集計  $QK$  のカーブと相似であると仮定すると、ある時間帯における集計  $QK$  上の状態はシミュレーションで得られるものと実測値（プローブの集計  $QK$ ）と同じであると考え。このとき、ベースケース集計  $QK$  の状態がプローブによる集計  $QK$  の状態に近づくように「時間帯別車種別 OD 交通量」，「リンク容量低減率」の調整を行う。図 3 にパラメータ調整のためのイメージ図を示す。

#### 3-2 集計 $QK$ の算出

集計  $QK$  は、ある領域（ゾーン）で囲まれた道路ネットワークの集計値である。ある集計時間帯  $\tau$  における、あるゾーンの集計交通量  $Q_\tau$ ，エリア存在台数  $K_\tau$  は以下のように計算される。

$$Q_\tau = \sum_{j \in J} l_j n_{j\tau} \quad (1)$$

$$K_\tau = \sum_{j \in J} T_{j\tau} n_{j\tau} \quad (2)$$

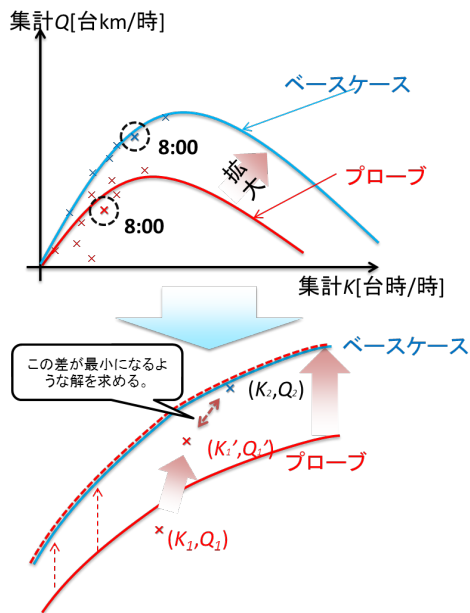


図 3 パラメータ調整のコンセプト

ここで、

$J$  : あるゾーンに属するリンクの集合。

$l_j$  : リンク  $j$  の長さ [km].

$n_{j\tau}$  : リンク  $j$  の時間帯  $\tau$  におけるプローブ通過台数 [台].

$T_{j\tau}$  : リンク  $j$  の時間帯  $\tau$  における平均旅行時間 [時].

これにより、プローブ情報による集計  $QK$ ，またシミュレーションによる集計  $QK$  を MFD 上に展開することができる。ただし、プローブ情報は全体の一部から推定されるものであるため、全数の車両から求められるシミュレーション結果の集計  $QK$  よりも値が小さくなる。そのため、実測データから求められる集計  $QK$  を拡大することによってシミュレーション値との比較を可能にする。

#### 3-3 実測データから求められる集計 $QK$ の拡大

集計  $QK$  を拡大するための方法を以下に示す。

- 1) 集計  $QK$  のパターンを上に乗った 2 次曲線と仮定し、実測データから得られた集計  $QK$  のプロットから曲線パラメータを求める（図 4 参照）。
- 2) 同様に、シミュレーション結果の集計  $QK$  においても 2 次曲線と仮定した際の曲線パラメータを求める（図 4 参照）。

3) このとき、各集計 QK 曲線は相似の関係にあるため、実測データの集計 QK 曲線の拡大率を求め、それを構成する各集計 QK の値を拡大する。

いま、実測データによる集計 QK の曲線を

$$y = a_1 x^2 + b_1 x \quad (a_1 < 0, b_1 > 0) \quad (3)$$

とし、シミュレーションによる集計 QK の曲線を

$$y = a_2 x^2 + b_2 x \quad (a_2 < 0, b_2 > 0) \quad (4)$$

とする。このとき、実測データの集計 QK 曲線をシミュレーション結果の集計 QK 曲線へ拡大するための  $x$  軸、 $y$  軸それぞれの拡大率  $\alpha$ 、 $\beta$  が以下のように計算される。

$$\alpha = \frac{a_1 b_2}{a_2 b_1}, \quad \beta = \frac{a_1 b_2^2}{a_2 b_1^2} \quad (5)$$

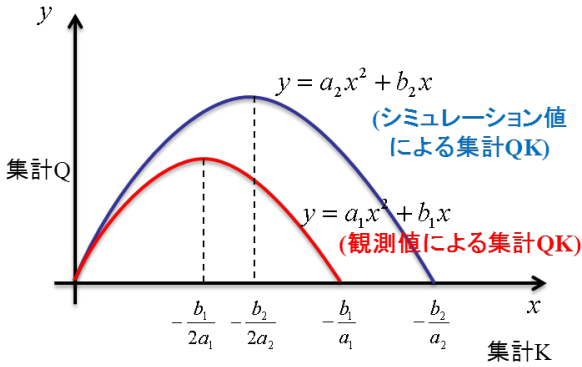


図 4 集計 QK 曲線

### 3-4 パラメータ同定のための評価関数

ここで、パラメータ同定のための評価関数について説明する。あるゾーン  $z$  の時刻  $h$  における、観測値による集計 QK 曲線を、シミュレーション結果から求められる集計 QK 曲線に合わせて相似拡大させたときの集計 QK の状態が、正規化されたシミュレーションにおける QK 状態とのマハラノビス平方距離の累積和が最小になったときが最も現況に近づくと仮定する。そのとき、時間帯別 OD 交通量とリンク容量低減率を未知の変数として最適な状態を推定する。ナウキャストケースのパラメータ探索のための評価関数  $E$  は以下のとおりである。

To minimize

$$E = \sum_z \sum_\tau \sqrt{\left( \hat{\mathbf{u}}^{z\tau} - \vec{\mathbf{u}}^{z\tau} \right)^T \mathbf{\Omega}^{-1} \left( \hat{\mathbf{u}}^{z\tau} - \vec{\mathbf{u}}^{z\tau} \right)} \quad (6)$$

ここで、

$\hat{\mathbf{u}}^{z\tau}$  : 時間帯  $\tau$  における、集計 QK ゾーン  $z$  についてのプローブ情報（観測値）から集計され、シミュレーション結果の集計 QK カーブに合わせて相似拡大された集計 QK ベクトル。

$\vec{\mathbf{u}}^{z\tau}$  : 時間帯  $\tau$  における、集計 QK ゾーン  $z$  についてのシミュレーション結果から集計される集計 QK ベクトル。

$\mathbf{\Omega}^{-1}$  : プローブ（観測値）による集計 QK 群とシミュレーション集計 QK 群から求められる分散共分散行列の逆行列。

一方、評価のためのシミュレーション結果から集計される集計 QK は、時間帯別車種別 OD 交通量とリンク容量低減率の式で表現することができる。まず集計 QK の通過交通量については、リンク通過交通量とリンク長の積和で表現される。このとき、リンク通過交通量は以下のように定式化できる。

$$n_{j\tau} = \begin{cases} \alpha \hat{q}_{j\tau} & \text{Bottleneck link} \\ q_{j\tau} & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

$$q_{j\tau} = \sum_{rs} \sum_{j\tau} \hat{p}_{j\tau}^{rsh} Q^{rsh} \quad (8)$$

ここで、

$$Q^{rsh} \geq 0, \left| 1 - \frac{Q^{rsh}}{Q_0^{rsh}} \right| \leq \beta$$

$\alpha$  : あるゾーンに対するリンク流出容量に対する一律の調整率 [0-1.0].  
(未知変数)

$\beta$  : ある時間帯の OD 交通量の初期値からの変化率についての制約条件。

$\hat{q}_{j\tau}$  : リンク  $j$  のリンク通過交通量 (シミュレーション結果)。

$\hat{p}_{kr}^{rsh}$  : ある出発時間帯  $h$  に出発する OD ペア  $rs$  がリンク  $k$  を時間帯  $t$  に通過する確率 (既知: ベースキャリブレーションで計算済み).

$Q^{rsh}$  : ある集計時間帯  $h$  に出発する OD ペア  $rs$  の交通量 (未知変数).

$Q_0^{rsh}$  : ある集計時間帯  $h$  に出発する OD ペア  $rs$  の交通量 (既知: ベースキャリブレーションで計算済み)

このとき, ボトルネックリンクはあらかじめ特定されているものをする.

集計  $QK$  の存在台数を求めるための平均旅行時間については, 各リンクの流入, 流出における累積交通量曲線を用いて時間帯別 OD 交通量とリンク容量低減率を未知変数とした定式化を行う. あるリンク  $j$  のある時間帯  $\tau$  において, 累積曲線は図 5 のようになる.

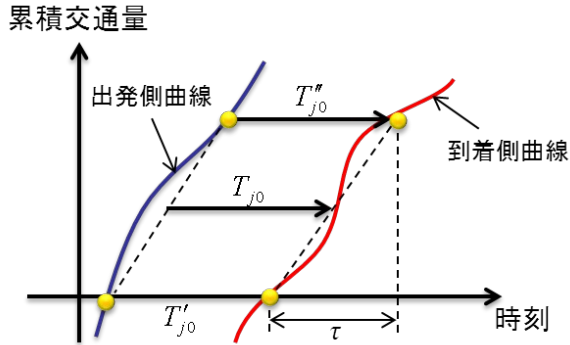


図 5 累積曲線

このとき, 時間帯  $\tau$  内において

$T'_{j0}$  : 最初に流出した車両の旅行時間.

$T''_{j0}$  : 最後に流出した車両の旅行時間.

としたとき, その間の累積曲線を直線と仮定すると時間帯  $\tau$  におけるリンク  $j$  の平均旅行時間  $T_{j0}$  は以下の式となる.

$$T_{j0} = \frac{1}{2} (T'_{j0} + T''_{j0}) \quad (9)$$

このとき, シミュレーションで求められたリンク

$$\hat{T}_{j0}$$

平均旅行時間結果を とすると,

$$\hat{T}_{j0} = \frac{1}{2} (T'_{j0} + T''_{j0}) \quad (10)$$

となる. 一方, リンク交通量とリンク容量低減率が調整された場合の推定される平均旅行時間  $\bar{T}_{j0}$  は調整時間  $x$  を用いて以下の通りである (図 6 参照).

$$\bar{T}_{j0} = \frac{1}{2} (T'_{j0} + T''_{j0}) \quad (11)$$

$$T''_{j0} = T''_{j0} + x \quad (12)$$

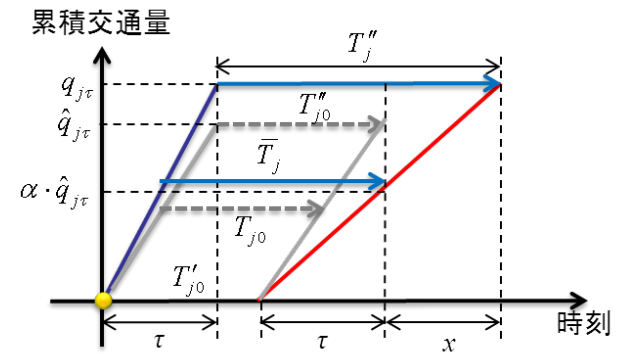


図 6 累積曲線からの平均旅行時間算出の

ここで, 調整時間  $x$  は, 出発側曲線と到着曲線から以下のように求めることができる.

$$x = \tau \left( \frac{q_{j\tau}}{\alpha \cdot \hat{q}_{j\tau}} - 1 \right) \quad (13)$$

したがって, 求めるリンク平均旅行時間は式(11), 式(12), 式(13)から以下ようになる.

$$\bar{T}_{j0} = \frac{1}{2} (T'_{j0} + T''_{j0}) + \frac{\tau}{2} \left( \frac{q_{j\tau}}{\alpha \cdot \hat{q}_{j\tau}} - 1 \right) \quad (14)$$

よって, 式(10)と式(14)から, 最終的にリンク平均旅行時間と通過交通量, リンク容量通減率の関係式が以下のように求められる.

$$\bar{T}_{j0} = \hat{T}_{j0} + \frac{\tau}{2} \left( \frac{q_{j\tau}}{\alpha \cdot \hat{q}_{j\tau}} - 1 \right) \quad (15)$$

以上の式を用いて, ナウキャストキャリブレーションが実行される.



#### 4. ナウキャストシミュレーションシステムの実装

ナウキャストシミュレーションシステムは大きく分けて3つのモジュールに分けられる。1つ目は外部システムとの接続を行いデータの送受信を行うインターフェース機能である。2つ目は取得した観測値とナウキャストシミュレーションシステム内で実行されたシミュレーション結果を用いて集計QKを計算、および観測データ集計QKの拡大率を求める機能である。3つ目はナウキャストケースを作成するためのパラメータ同定処理（ナウキャストキャリブレーション）機能である。システム構成概要を図7に示す。パラメータ同定機能においては、交通シミュレーションを利用しており、本システムにおいてはSOUNDを適用している。

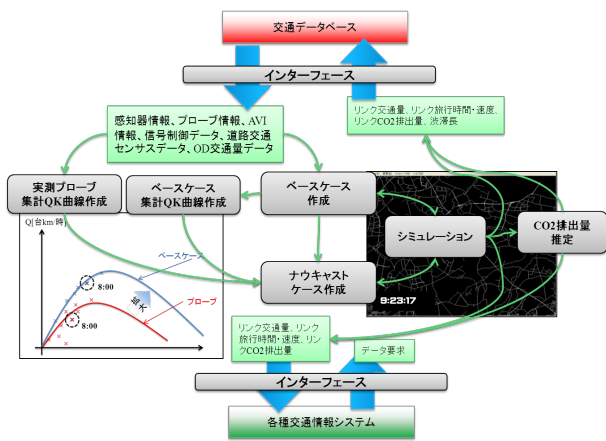


図7 システムの構成概要

また、ナウキャストキャリブレーションにおける計算のステップを図8に示す。この処理においてはシミュレーションを実行する工程が含まれるが、初期値を出力するとき1回、最適化計算後のパラメータを評価する毎にシミュレーション計算を行うようにしている。そのため最適パートでパラメータを変更するごとに実行する必要はなく、探索アルゴリズムによってある程度収束計算を行ってからパラメータ同定することで計算時間の短縮を図っている。

#### 5. 今後の展開

今後は柏市のネットワークを対象に、実データを用いた際の交通状態の推定精度を検証するとともに、オンラインシステム機能の検証を重ねて全体システムの安定化を図り、実用に向けた改良を行っていくことが課題である。

なお、本稿で紹介したナウキャストシミュレーション

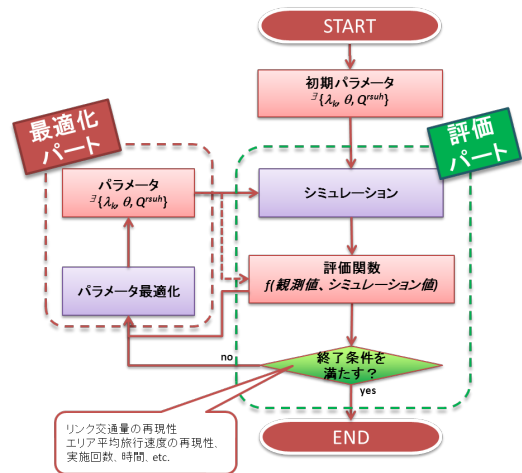


図8 計算ステップ

システムを含めた生活交通情報フィードバックシステムについては、2013年のITS世界会議に向けて長期実証実験を行い、その際にオンラインデモを公開する予定である。

#### 6. 謝辞

本研究は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構のエネルギーITS推進事業「国際的に信頼される効果評価方法の確立」において開発した技術を、総務省戦略的情報通信研究開発推進制度（SCOPE）「市民の交通行動変容を促進する持続可能な生活交通情報フィードバックシステムの研究開発」において活用した成果を報告するものである。活動の推進にあたっては、協議会において貴重な意見を賜った東京大学池内先生をはじめ参加メンバー各位、及びデータ利用等についての便宜を図っていただいた千葉国道事務所様、千葉県警察本部様に、ここで深甚なる謝意を表します。加えて、交通データの収集に関して様々なご助言をいただいた株式会社社長大の岸氏、佐々木氏、萬氏に深甚なる謝意を表します。

#### 参考文献

- [1]大藤武彦、小澤友記子、吉村敏志、石井康裕：交通管制システムにおけるオンライン・リアルタイム交通流シミュレーションの活用、第33回土木計画学研究発表会(春大会)、2006。
- [2]宗像恵子、田村勇二、割田博、白石知良：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、第29回交通工学研究発表会講演論文集、2009.11。
- [3]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、第32回交通工学研究発表会論文集、2012年9月、2012。