

# 個人のOD所要時間動的算定のための 交通流シミュレータの開発

奥嶋政嗣<sup>1</sup>・藤井聡<sup>2</sup>・菊池輝<sup>3</sup>・北村隆一<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 工修 岐阜大学助手 工学部社会基盤工学科 (〒501-1193岐阜市柳戸1-1)

<sup>2</sup>正会員 工博 東京工業大学大学院助教授 理工学研究科土木工学専攻(〒152-8522東京都目黒区大岡山2-12-1)

<sup>3</sup>正会員 工博 京都大学大学院助手 工学研究科土木システム工学専攻 (〒606-8501京都市左京区吉田本町)

<sup>4</sup>正会員 Ph.D. 京都大学大学院教授 工学研究科土木システム工学専攻 (〒606-8501京都市左京区吉田本町)

本研究では、集計的かつ動的な交通流と個々の生活行動、交通行動との相互作用を考慮した需要予測ツールを開発することを最終的な目的として、各個人のOD所要時間を算定するための、大規模ネットワークを対象とした交通流シミュレータを開発した。本シミュレータでは、マイクロシミュレータの枠組みを採用する一方、計算時間を軽減するためにKV曲線を用いて車両の挙動を表現し、かつ、Event-Based法でシミュレーション時間を更新することとした。また、各車両の経路選択行動は内生的に再現した。そして、仮想ネットワークでの数値計算を通して、大規模な道路網への適用可能性を示した。

**Key Words :** *micro traffic simulation, event-based approach, speed-density curve, travel time*

## 1. はじめに

交通政策として近年注目を集めているフレックスタイムやテレコミュニケーション、混雑料金システムの導入といった、個人の行動に直接的に影響を与える政策を評価するためには、個人の行動に着目した交通モデルが有効であると考えられる。この認識に基づいて、近年では、個人の交通行動や生活行動に着目した様々なモデルが数多く提案されている<sup>1)</sup>。

個人の交通行動や生活行動に大きな影響を及ぼしている要因の一つとして、出発地から目的地までのOD所要時間が挙げられる。実際、様々な行動モデルによって、機関選択や目的地選択、生活時間利用等の様々な局面にOD所要時間が影響を及ぼしていることが統計的に示されている<sup>2)</sup>。

本研究ではこの点に着目し、集計的かつ動的な交通流と個々の生活行動、交通行動との相互作用を考慮した需要予測ツール構築を最終的な目的として、各個人のOD所要時間を算定する動的な交通流シミュレータを開発することとした。

## 2. 交通流シミュレータの概要

### (1) 計算対象

個々のOD所要時間を算定する交通流シミュレータの開発を目指す本研究では、個々の車両の挙動を追跡するマイクロシミュレータのアプローチを採用することとした。一般には、

マイクロシミュレータの方がマクロシミュレータよりも計算コストが大きく、対象とする道路網の規模も限定されたものとなる。本研究では、時空間内での個人の交通・生活行動を再現するモデルを組合せることを最終目標とした交通流シミュレータ構築を目指したため、大規模道路網を対象とできることが不可欠である。そこで、本研究では、マイクロシミュレータの枠組みの中で、車両挙動の再現方法や、計算アルゴリズムに工夫を加えることで、できるだけ計算コストを削減し、大規模道路網を対象とすることが可能なシミュレータの開発を目指した。

### (2) KV曲線を用いた車両の挙動の再現

個々の車両の挙動を再現する場合、追従理論<sup>3)</sup>を適用する方法が考えられる。しかし、この方法では個々の車両の位置、速度、加速度を離散化した時間帯ごとに逐一算定することが必要であり、計算コストが極めて大きなものとなる。本研究では、道路ネットワークにおける各リンクをいくつかのセグメントに分割し(以下、道路セグメント)、個々の道路セグメント内の交通状態は一樣であると仮定して、速度-密度曲線(以下、KV曲線)を用いてセグメント走行時間を算定することとした。

### (3) Event-Based法を用いたシミュレーション

シミュレータ内の時間の取り扱い方法には、時間を離散化して各々の時間帯ごとの交通状態を再現するInterval-Scan法と、道路網上で生じる各車両のリンク流出や流入等をイベントと捉え、そのイベントが生じる度にシミュレータ内の交通状態

とシミュレーション時間を更新していく Event-Based 法がある<sup>4)</sup>。一般に、Interval-Scan 法でマイクロシミュレーションを実行する場合、個々の車両の位置、速度等を各時間帯で算定する方法が取られる。したがって、時間帯数と道路上の車両台数の積に相当する回数だけ、位置や速度等を計算することが必要となり、KV 曲線を用いた場合でさえ、計算コストが大きくなるものとなる。一方、Event-Based 法を用いた場合には、計算が必要とされる回数はイベントの回数に等しい。リンクをセグメントに分割する本シミュレータでは、各車両が起こすイベントの回数は、その車両の走行経路に含まれるセグメント数に 1 を加えたものと等しく、車両移動に関する計算コストは大幅に減少する。ただし、イベントの順位を管理するため、ソーティングなどの計算コストが必要とされる。イベント数が増加すると飛躍的にソーティングによる計算コストが増加するため、トータルでの計算コストは Interval-Scan 法よりも大きくなる場合も考えられる。ここで、本研究では、セグメント単位でのイベント順位管理と、道路ネットワーク全体における各セグメントの先頭イベントの順位管理の段階的な構成とすることで、イベント順位管理のための計算コストの軽減を図った。

#### (4) 各車両の経路選択行動の再現

大規模ネットワークを対象とする場合には、外生的に経路を与えることが困難であり、シミュレータ内で経路選択を再現することが必要となる。本シミュレータでは、簡便に経路選択行動を再現するために、各運転者はリンクから流出する毎に、経路選択を行い、Dijkstra 法を用いて算定された、その時点での目的地までの最短時間経路に流入するとした<sup>5)</sup>。また、各ドライバーが所有する Cognitive Map (各リンクの知覚旅行時間の情報が記載された道路網地図)は、全てのドライバーについて共通であるとして計算コストの軽減を図った。ここで、各イベントの生起ごとに、リンク所要時間は更新されるが、Cognitive Map についてはその都度更新することはせず、一定時間間隔毎にその時点でのリンク所要時間を反映することとした。

#### (5) シミュレータの入出力

本シミュレータでは、道路網を複数のリンクとノードで表現し、各車両は道路網内のノードを出発地、目的地とすることとした(以下、出発ノード、集中ノードをセントロイドと呼ぶ)。シミュレータの入力データは、道路網を構成する全てのリンクのリンクデータ(上流側ノード番号、下流側ノード番号、セグメント数、KV 曲線)、道路網を利用する全ての車両の車両データ(出発ノード番号、目的ノード番号、出発時刻)であり、これらのデータに基づいて、各車両の到着時刻を出力する。OD 所要時間については、出力された到着時刻と、入力データとして与えられる出発時刻から求められる。また、本シミュレータでは、任意の時点でリンク上の車両台数を出力させることが可

表-1 本研究で提案するシミュレータの概要

枠組み	マイクロシミュレーション
対象道路網規模	大規模道路網
時間更新方法	Event-Based法
リンクの再現方法	リンクを分割し、道路セグメントを構成。各道路セグメント内の交通状態は一樣と仮定。
車両移動の再現方法	KV曲線を用いて速度を算定し、道路セグメント流出時刻を求める。
経路選択の再現方法	経路変更可能地点に到達するたびに最短時間経路を選択すると仮定。

能であり、従って、交通状態の動的な変化の様子を把握することも可能である。

### 3. シミュレーション計算の手順

図-1 に計算手順の概略を示す。入力データをロードした後、算定可能な全てのイベント生起時刻を算定する。ここで、本シミュレータで考慮するイベントは、以下の 3 つである。

- ・車両の出発(以下、出発イベント)
- ・車両の道路セグメント間の移動(以下、移動イベント)
- ・車両の到着(以下、到着イベント)

なお、算定可能イベントとは、各車両が次に起こすイベントのことを意味する。そして、算定された各イベントの生起時刻に基づいて、最も早い時刻の未生起イベントを生起させる。すなわち、シミュレーション時刻をそのイベント生起時刻に更新すると共に、そのイベントに関連する各道路セグメント内の車両台数を更新する。そして、そのイベントに関連する車両が次に起こすイベントの生起時刻を算定する。以上を、全てのイベントが終了するまで繰り返す。

#### (1) イベント生起時刻の算出

出発イベントの生起時刻は、入力データとして与えられるものであるため、移動イベントの生起時刻の算定手順を述べる。

隣接する道路セグメント(上流側の道路セグメントを A、下流側を B と呼ぶ)があり、道路セグメント A にある時刻 T に流入した車両を考える。ここに、この車両が起こす複数のイベントの中で時刻 T において生起時刻が算定可能なイベントは、

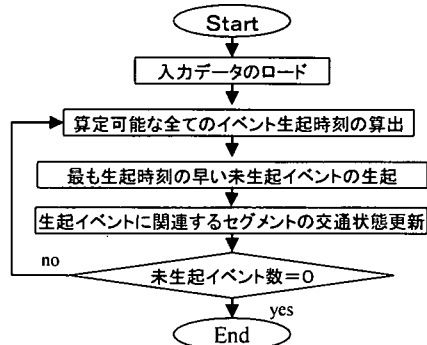


図-1 シミュレーション計算手順の概略

この車両が道路セグメント A から B に移動するイベントである。この移動イベント生起時刻  $T_i'$  は、以下の式で与えられる。

$$T_i' = \max(T_i + D_A, T_{i-1}' + \Delta t) \quad (1)$$

- $D_A$  : この車両の道路セグメント A の走行時間
- $T_{i-1}'$  : 先行車両の移動イベント生起時刻
- $\Delta t$  : 最小車頭時間間隔

このセグメントの走行時間  $D_A$  を算定するにあたり、道路セグメント内の交通状態は一様であり、当該車両はセグメント内では一定の速度で走行すると仮定して、以下のように KV 曲線を用いることとした。また、各リンクの FIFO 条件を満たすため、先行車両の移動イベント生起時刻から、最小車頭時間間隔が経過した時刻と比較して、遅い方の時刻を採用した。

$$D_A = L_A / KV_A(F_A^T / L_A) \quad (2)$$

- $L_A$  : 道路セグメント A の長さ
- $F_A^T$  : 車両が道路セグメント A に流入した時刻 T において、道路セグメント A 内の存在車両台数
- $KV_A(*)$  : 道路セグメント A の車両速度と交通密度との関係を表す関数(なお、 $KV_A(X)$  は交通密度が X の場合の車両速度を意味する)

到着イベントの生起時刻については、先述の例で道路セグメント A がその車両の目的セントロイドと隣接している場合を想定した上で、上述の方法と同様の考え方で算定できる。

なお、式(2)で定義した  $L_A$ 、 $KV_A(\cdot)$  は、入力データとして与えられる。一方、流入時刻 T は、その車両が関連した直前のイベントの生起時刻であり、したがって、その車両が関連するイベントの生起時刻を算定する時点では既知である。

## (2) イベントの生起

イベント生起時刻を算定後に、各イベントを生起時刻順に整理しておく。最も早い生起時刻を持つイベントを検出し、生起させることで、道路網上の交通状態ならびにシミュレーション時刻を更新する。ここでは、出発、移動、到着のそれぞれのイベントを生起させた場合の計算手順について述べる。

### a) 出発イベントの生起

まず、対象イベントに対応する車両(以下、当該車両)の目的セントロイドと出発セントロイド間の最短経路を検出し、流入リンクを決定する。次いで、そのリンクの最上流側の道路セグメント内の車両台数に 1 を加え、現在時刻を当該車両の発生時刻(発生イベント生起時刻)に更新する。その車両が関連する次のイベント、すなわち、下流側道路セグメントへの移動イベントの生起時刻を 3.(1) で述べた方法で算定する。

### b) 移動イベントの生起

移動イベントの上流側道路セグメントが、リンク下流端の道路セグメントである場合、目的セントロイドまでの最短経路探索を行い、下流側リンク、すなわち、下流側道路セグメントを決定する。そして、上流側道路セグメント内の車両台数から 1 を減じ、下流側道路セグメント内の車両台数に 1 を加える。

同時に、シミュレーション時刻を当該移動イベント時刻に更新する。このとき、先に当該セグメントに流入した車両については後続車両の流入による所要時間への影響はないものとする。最後に、当該車両が関連する次のイベント生起時刻を 3.(1) で述べた方法で算定する。

### c) 到着イベントの生起

上流側道路セグメント内の車両台数から 1 を減じ、シミュレーション時刻を当該到着イベント時刻に更新する。そして、当該車両の到着時刻を、その車両の出発時刻と共に出力する。この両出力の差から、当該車両の OD 所要時間を算定する。

## 4. 数値計算例

ここでは、本研究で提案するシミュレータを用いて、簡単な数値計算例を示し、挙動の確認を行う。

数値計算を行うにあたり、図-2 に示した 120 リンクの仮想的なネットワークを用いて、2 時間のシミュレーションを実行した。各リンクの道路セグメント数は一律 3 個、各道路セグメントの長さはいずれも 500m とした。また、関数  $KV_A(\cdot)$  としては次のドゥルー型関数<sup>6)</sup>を用いた。

$$V = V_0 \left\{ 1.0 - (K/K_j)^\phi \right\} \quad (3)$$

ここに、 $V$  は走行速度、 $V_0$  は自由走行速度、 $K$  は交通密度、 $K_j$  は最高交通密度、 $\phi$  はパラメータである。数値計算では、 $V_0$  として 60 (km/h)、 $\phi$  として 0.826、 $K_j$  としては幹線街路の場合に 400 (台/km)、非幹線街路の場合に 200 (台/km) を用いた。

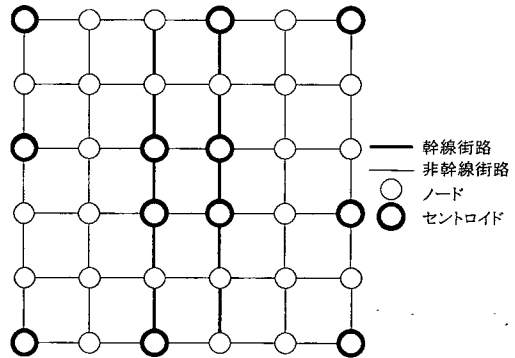


図-2 仮想ネットワーク

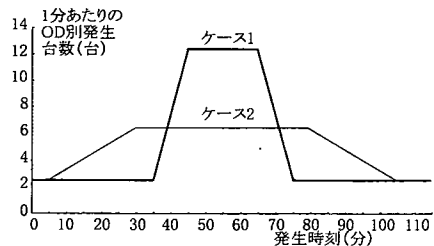


図-3 仮想的に設定した発生台数分布

ただし、ここでは交通容量による制約条件を考慮できていないため、 $K > K_j$  となる場合があり、速度が負の値となるのを回避するために最低速度を 1 (km/h) と設定した。

この仮想ネットワークには、図-2 に示した 12 箇のセントロイドが存在しており、1 分あたりの OD 別の発生台数は同一として、車両データを作成した。ただし、1 分あたりの OD 別の発生台数は時間によって推移していった。推移パターンとしては、図-3 に示したケース 1 とケース 2 を与えた。なお、2 ケースとも総発生台数は 76,032 台と同一とした。以上の前提に基づいて、パーソナルコンピュータ上で計算を行った。

計算時間については、データ入出力時間を除くと、ケース1 で約 40 秒、ケース2 で約 30 秒であった。仮に各セグメントの交通状態に大きな偏りがないと考えると、本シミュレータの計算時間はセグメント数に最も大きく依存して増減する。この結果は、本シミュレータを用いて実際の大規模道路網を対象とした数値計算を行うことが十分可能であることを示していると考えられる。次に、ケース1、ケース2のそれぞれでの全車両の OD 所要時間平均を求めたところ、ケース1では 605.93 秒、ケース2では 556.26 秒となった。両ケースの総発生台数(総自動車需要量)が等しいことを考えると、交通需要を時間的に分散させることで移動時間が短縮されることを示す妥当な結果となっている。このことは、このシミュレーションモデルが基本的な交通現象記述について、妥当な構造となっていることを示す一例と考えられる。

## 5. おわりに

本研究では、集計的かつ動的な交通流と個々人の生活行動、交通行動との相互作用を考慮した需要予測ツールを開発することを最終的な目的として、各個人の OD 所要時間を出力するための、大規模ネットワークを対象とした交通流シミュレータを開発した。個々の OD 所要時間の算定を目指した本シミュレータでは、マイクロシミュレータの枠組みを採用する一方、計算時間を軽減するために KV 曲線を用いて車両の挙

動を再現し、かつ、Event-Based 法でシミュレーション時間を更新することとした。また、各車両の経路選択行動も内生的に再現した。そして、仮想ネットワークでの自動車の挙動を再現し、計算時間について問題ないことを確認した。

ただし、本シミュレータは、計算コストを削減するためにいくつかの簡略化を図っており、それに伴った問題も存在する。一つには、リンク上に存在可能な車両台数についての制約条件を考慮しておらず、容量を表現できていないため、渋滞が上流側リンクに延伸する現象<sup>3)</sup>を再現することができない。交差点における右左折による時間遅れの影響なども考慮できていない。今後は、本シミュレータの限界を考慮しつつ、最終的には行動モデルと組み合わせた需要予測ツールを構築することを念頭において、本シミュレータの改良を推進する予定である。また、実際のネットワークへの適用を通して、キャリブレーションを行い、15分間程度範囲で集計された交通量や平均所要時間について、現況再現性を高める必要がある。

## 参考文献

- 1) 北村隆一：交通需要予測の課題—次世代手法の構築にむけて、土木学会論文集，No. 530/IV-30, pp. 17-30, 1996.
- 2) 門間俊幸，大塚祐一郎，藤井 聡，北村隆一：時間的空間的制約条件を考慮した生活行動軌跡を再現するための行動シミュレーションモデルの構築，土木計画学研究・講演集 No. 19, pp. 779-782, 1996.
- 3) Pipes, L.A.: An Operational Analysis of Traffic Dynamics, Journal of Applied Physics, Vol. 24, No. 3, pp. 274-281, 1953.
- 4) Yu, T., Han, L.D. and Hobeika, A.G. : Dynamic Modeling of Network Traffic Flow, prepared for Transportation Research Board 72<sup>nd</sup> Annual Meeting, 1993.
- 5) 飯田恭敬，藤井聡，内田敬：道路網における経路選択を考慮した動的交通流シミュレーション，土木学会論文集，No. 536/IV-31, pp. 37-47, 1996.
- 6) Drew, D.R.: Deterministic Aspects of Freeway Operations and Control, Texas Transportation Institute, Research Report, pp. 24-4, 1996.

(2002. 1. 30 受付)

## DEVELOPMENT OF A TRAFFIC SIMULATOR FOR DYNAMIC CALCULATING INDIVIDUAL'S TRAVEL TIME

Masashi OKUSHIMA, Satoshi FUJII, Akira KIKUCHI and Ryuichi KITAMURA

The conclusive aim of this study is to develop an aggregative estimate tool for traffic demand with considering the mutual interaction between dynamic network flow and activity-travel behavior. A traffic simulator was developed for estimate of each individual's travel time on large scale road network.

In this traffic simulator, the structure of micro traffic simulation was adopted. On the other hand, this simulator formulated flow of vehicle using K-V curve and made update of simulation-time by Event-Based approach, for reduction in calculation cost. In consequence, through the calculation test on virtual network, this simulator was able to be adopted on large scale network.