

## 交通シミュレーションモデルの実用化に向けての課題

赤羽弘和\*, 大口敬\*\*, 吉井稔雄\*\*\*, 堀口良太\*\*\*\*

Hirokazu AKAHANE, Takashi OGUCHI, Toshio YOSHII, Ryota HORIGUCHI

### 1. はじめに

このスペシャルセッションでは、交通シミュレーションモデルが再現すべきものは何か、また実用化の際に確認されるべきものは何かについて、開発者と利用者が共通の認識を持つことを目的としている。すなわち、モデル開発者が常に留意すべき、標準的な開発手順と、利用者が目的に応じてモデルを評価し、使い分けるための判断基準を提供するための議論の場である。

以下、本稿においてシミュレーションの分類とモデル開発に関する枠組みを述べた後、つづく5編の論文で、開発者あるいは利用者としてのそれぞれの観点からみた、実用化に向けての現状や課題を紹介する。

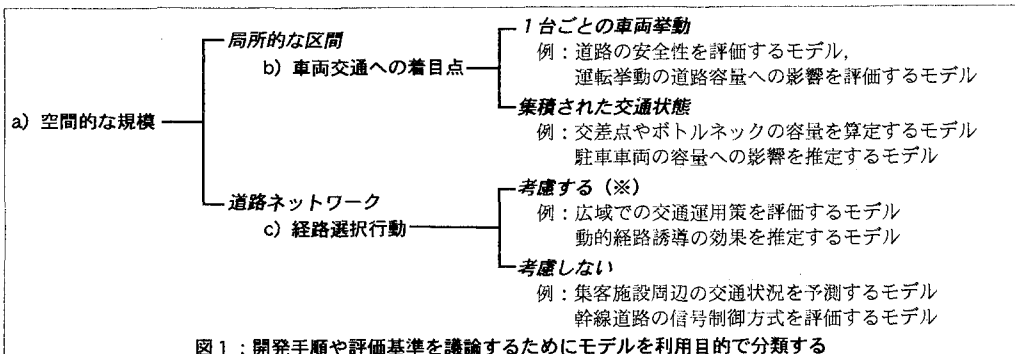
### 2. 利用目的でモデルを分類する

シミュレーションは一定の理論に基づいて、動的に状態が変化している対象を逐次再現する手法である。解析的手法や近似解の数値解法とは異なり、求められる機能要件を満足する限り、その手法の内容は問わない。また、はじめに目的ありきで、その目的からはずれない使い方をしていく限り、同様に内

容は問わない。したがって、従来しばしばみられたような、交通のモデリングがミクロ/マクロのかという、方法論による分類は本質的ではない。

ここではモデルの標準的な開発手順と評価基準を議論するために、利用目的によって分類することを試みる。しかしながら、シミュレーションの利用目的は細目多岐にわたっており、これでもって直接分類するのは不適切である。そこで、より具体性があり、利用目的に対応して選ばれていると考えられるシミュレーションの適用対象について、次の3つの視点からモデルを分類する。

- a) 空間的な規模 … 単路部や織込み区間、単独交差点などの局所的な交通流を扱うのか、複数の交差点、合分流区間を含む道路ネットワークの面的な交通流を扱うのか。
- b) 車両交通への着目点 … 1台ごとの速度、加速度といった詳細な車両挙動の再現が必要なものか、集積結果としての交通流の状態を評価するものか（車両を離散的に表現しているか、流体で近似しているかは問わなくてもよいのではないか）。
- c) 経路選択行動 … 経路選択の再現を必要とし



キーワード：シミュレーション、標準仕様、実用化、ベンチマークデータ

\* 正会員 千葉工業大学, \*\* 正会員 東京都立大学, \*\*\* 正会員 東京大学生産技術研究所, \*\*\*\* 正会員 (株)熊谷組

ているのか、交通状況の表面的な再現で十分なもののなのか。

ただし3つの視点はそれぞれ独立ではなく、図1のように階層化して整理すべきであろう。

今後は、このそれぞれのカテゴリについて、モデルの標準的な開発手順と評価基準を、より具体的に確立していく必要があると考えられる。

### 3. 標準的な開発手順とは…

シミュレーションモデルの一般的な開発手順は、表1に示すような工程からなると考えられる。以下ではそれぞれの工程について、図1の(※)で示した「道路ネットワーク上の交通流を対象とする経路選択行動を考慮したシミュレーションモデル（以下ネットワークモデル<sup>91)</sup>」を例として、その標準的な開発手順がどうあるべきかについて述べる。

表1：シミュレーションモデルの開発工程

|                  |              |
|------------------|--------------|
| ① Specification  | モデル仕様の決定     |
| ② Modeling       | モデル動作原理の考案   |
| ③ Implementation | プログラミングとデバッグ |
| ④ Verification   | 仮想データを用いた検証  |
| ⑤ Validation     | 実データを用いた検証   |

#### ① Specification（モデル仕様の決定）

利用者の立場からシミュレーションを考えると、図2のような入出力で規定されるブラックボックス的なシステムと捉えることができる。このようなシステムが一般に広く使われるためには、

- 1) システムの入出力項目
- 2) システムが最低限保証すべき挙動

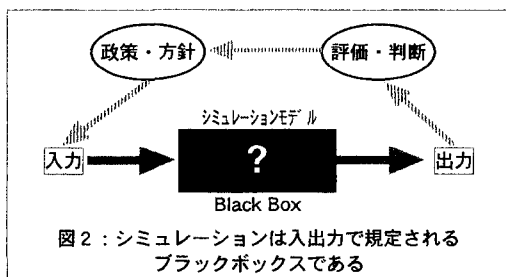


表2：ネットワークモデルに共通する仕様

|             |                                          |
|-------------|------------------------------------------|
| 入力項目        | リンク幾何形状、接続関係、OD交通需要、経路選択基準               |
| 出力項目        | リンク交通量、リンク旅行時間、経路交通量、経路旅行時間              |
| モデルが保証すべき挙動 | 交通流特性（非渋滞時／渋滞時）<br>経路選択挙動（DUO/DUE, etc.） |

すなわちモデル仕様についての共通認識が形成されなければならない。このためモデル仕様の決定には、開発の背景や利用目的を考慮して要求事項が整理されることが求められる。

表2は各種のネットワークモデルに共通するモデル仕様である。当然ながら、実際のモデル仕様ではこれらがより詳細に規定される。たとえば、リンク幾何形状には車線構成も含まれるとか、OD交通量はセントロイド間で時間帯別／利用者層別に与えられるなどである。また利用目的によってはリンク容量や信号制御パラメータ、合分流の比率などの入力項目や、感知器情報やサンプル車両の走行軌跡、環境評価指標などの出力項目が求められる。

#### ② Modeling（モデル動作原理の考案）

モデル動作原理の考案とは、①でのモデル仕様を満足するような動的なメカニズムを構築し、モデルにどう組み込むかを決定する工程である。ここはモデル開発者の独自性によるところが大きいので、本稿での議論の対象としない。

#### ③ Implementation（プログラミングとデバッグ）

この工程は②で考案した動作原理を計算機上に実現する工程で、それが厳密に動作原理にしたがっているか、すなわち②を保証しているかどうかを確認するためのデバッグも含まれる。通常のソフトウェアの開発はこの段階までと考えられる。

#### ④ Verification（仮想データを用いた検証）

この工程は、③の成果が①でのモデル仕様を満足していることを明らかにし、ひいては②での動作原理が正当であることを証明するものである。シミュレーションモデルの開発においては、この工程は開発者の義務であるといえよう。

<sup>91)</sup> ネットワーク交通流理論での用語と異なることに注意

実際の作業では、データへのアクセス性などの現実存在する諸々の制約を排除するため、理想的な条件を備えた仮想データを用いて行われる。

表3に、ネットワークモデルの開発者が、少なくとも再現性を明らかにしなければならない項目を示す。その検証方法は一般的に次のようになされる。

- 1) 単路部の交通現象 … ボトルネックを含む単路部において、上流からの需要の変動に応じた交通状態を再現できるか。
- 2) 合分流部の交通現象 … 信号のない場合／ある場合ともに、単独の合分流部に対する方面別交通需要の変動に応じた交通状態を再現できるか。
- 3) ネットワーク上の交通現象 … ネットワーク上の交通現象においては、経路選択挙動の影響も重要となるため、1OD2経路や格子状の単純なネットワークで、与えられたOD交通需要に応じて、DUOやDUEといった交通状態が再現できるか。

表3：仮想データを用いたネットワークモデルの検証項目

|                |                                                                                                         |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 単路部            | 上流からの到着パターン<br>リンク容量／リンクパフォーマンス<br>マクロな交通特性 (ex. Q-K関係)<br>ショックウェーブの伝播状況<br>(渋滞の延伸／解消、発進波／<br>停止波の伝播など) |
| 合分流部<br>(信号なし) | 渋滞時の合流比／分流比<br>合流による容量低下の度合い                                                                            |
| 合分流部<br>(信号あり) | 飽和交通流率、交差点容量<br>非飽和時の遅れ時間<br>動線交錯による容量低下 (右折など)                                                         |
| ネットワーク         | 先詰まりによる容量低下<br>経路コストと経路選択確率の関係<br>経路コストと経路交通量の関係<br>経路選択に用いられたコストと運転者<br>が実際に経験するコストの関係                 |

⑤ Validation (実データを使った検証)

この工程では、そのモデルの実用性を評価するために、実世界において得られるデータを用いて、設定したモデル仕様が妥当であるか、あるいはモデルの出力項目の精度が十分なものであるかを検証する工程である。たとえ④においてモデルの正当性が検

証されていても、入力データの現実的な精度やアクセス性が問題となり、実際の交通状況を十分に再現できない場合は、実用性があるとは言えない。さらに、実用に足る時間内で実行可能か、適切な規模のハードウェアで稼働するか、など実際の使用上の性能についても確認されるべきである。

表4に、ネットワークモデルでの実データと比較評価されなければならない項目を、必須のものと、可能であれば望ましいものにわけて示す。通常はシミュレーション結果と観測値の相関や誤差を指標として比較される。また時間変動についても検証が必要である。

表4：実データを用いたネットワークモデルの検証項目

|        |                                             |
|--------|---------------------------------------------|
| 必須項目   | リンク交通量<br>合分流部や交差点の方向別交通量<br>リンク旅行時間／区間旅行時間 |
| 望ましい項目 | 経路交通量、経路旅行時間<br>渋滞長、待ち行列長<br>各車両の経路選択結果     |

4. ベンチマークデータの整備

とくに妥当性の検証については、現状では十分信頼性のあるデータセットの入手が非常に困難であることから、多くのモデル開発において、十分に妥当性が検証されているとはいいがたい状況にある。このため現在筆者らを中心に、ネットワークモデルの妥当性検証のためにベンチマークとなりうるデータセットの整備を進めている<sup>1)</sup>。このデータセットはシミュレーションモデルの開発者／利用者に広く公開される予定である。

【参考文献】

- 1) 花房ほか：交通シミュレーションシステムの再現性検証用データセットの構築，土木計画学研究・講演集 20（本講演集），1997，掲載予定