

# 交通シミュレータのデータ構造

## Data Structures for Traffic Simulator

森津 秀夫\*

Hideo Moritsu

交通シミュレーションを適用するには多くのデータが必要であり、データの取り扱いが重要である。そこで交通シミュレータのデータ構造に関して考察を行った。入力データでは定義データと制御データに分ける必要性を述べ、ネットワーク構造を考慮した標準値の導入方法を示した。さらに中間データを含めたデータ作成の流れを示し、データの取り扱いを中心に据えた交通シミュレータのシステム構成を提案した。

キーワード：交通シミュレーション、データ構造、VISITOK

### I. はじめに

交通シミュレーションは交通現象の解析や交通需要予測に役立つ極めて有用なツールである。解析的手法では取り扱いが困難であった複雑な交通現象を対象とすることが可能であり、シミュレーション結果をビジュアルに示すことで高い説得力を得ることができる。交通シミュレーションがこれらの特徴を獲得できたのは、交通量配分など従来から使われてきた需要予測手法と比較して緻密に現象をモデル化できるからである。緻密なモデル化は、一方では交通シミュレーションを適用するために従来の手法よりも多くのデータを準備しなければならないことを意味している。

交通シミュレーションの適用に際してはデータ収集が容易でないとの認識が持たれており、これが交通シミュレーションを普及させるための課題であると考えられてきた。交通シミュレーションの普及を目的として出版された書<sup>1), 2)</sup>では、一般に必要とされるデータ項目とその入手方法などが解説されている。しかしながら、これらにおいて述べられているのは交通シミュレーションで使用するデータ項目に関する一般的な事柄だけであり、データのあり方等を掘り下げて検討したものではない。

データの扱いは交通シミュレータの使い易さを評価する際の重要な要因である。交通シミュレーションの幅広い適用に影響するだけでなく、交通シミュレータの将来をも左右する可能性がある。そこで、この研究では交通シミュレータに組み込まれる交通シミュレーションモデル

の構成要素を検討した上で、入力データ、出力データおよび内部データの構造のあり方を考察するものとする。以下、IIでは必要となるデータを規定する交通シミュレーションモデルの構成要素について述べる。IIIでは入力データ、IVでは出力データ、Vでは交通シミュレータの内部データに関して考察する。

## II. 交通シミュレーションモデルの構成要素

交通シミュレーションに必要なデータは使用される交通シミュレーションモデルに規定される。したがって交通シミュレーションに関わるデータを論じるには、対象とする交通シミュレーションモデルを明確にしなければならない。広義の交通シミュレーションには交通を対象とするあらゆるシミュレーションが含まれるが、近年使われている狭義の交通シミュレーションは道路交通流を対象とするものであり、その多くは道路網のネットワークフローを再現するものである。そこで、ここではネットワーク規模で個々の車両の挙動を取り扱うマイクロシミュレーションモデルを対象とする。特定の交通シミュレータを解説するものではないが、著者が開発を続けているVISITOK<sup>3)</sup>に使われているモデルを中心に一般性を考慮して考察することとする。

道路網を対象にシミュレーションモデルを作成するときに欠かせないものは車両とネットワークである。これらが必須の要素であり、ネットワーク上での車両の動きをモデル化すれば最小限の交通シミュレーションが可能である。実際には現在の交通シミュレーションに対するニーズに応えるには、このような単純なモデルでは不十分である。ネットワークや車両そのものについても多様な挙動に対応する複雑なモデルで表すことが必要であり、周辺の様々な施設やシステムをも組み込まなくてはならない。また人間の判断や意思決定も重要な要素であり、意思決定主体としての人間もモデル化に必要になってきている。

交通シミュレーションモデルに基づいて交通シミュレータが作成される場合、オブジェクト指向プログラミングが用いられるのが一般的である。その際、交通シミュレーションモデルを構成する要素はクラスとして定義されることになる。それらの主要なものを示すと、図1のようになる。図1は対象となる交通システムを構成するサブシステムをクラスとして定義し、それぞれに含まれる代表的な要素であるクラスを表したものである。

ネットワークはノードとリンクから形成されるが、交通シミュレーションではそれでは十分でないため、独自のネットワークが使われることが多い。図1の例では通常のリンクとノードからなるネットワークと、セクションによるネットワークの2重ネットワークの使用を想定している。さらに周辺システムとして信号、横断歩道、有料道路、駐車場、路線バスあるいは路面電車等を表す公共交通、踏切、道路情報システムを加えている。これらのサブシステムのすべてを同時に使ったシミュレーションを行うことはほとんどないであろうが、あらかじめモデル化しておくことが必要である。

自動車トリップシステムは実在する施設を模するものではないが、ネットワーク上に車両を発生させるためのものであり、交通シミュレーションには必須である。車両と歩行者、乗客は移動体としてシミュレーションの主体となる。公共交通車両は特有の取り扱いが必要になることから、車両のサブクラスとして定義される。また車両には運転者が付随し、意思決定者として車両の挙動を特徴付けることになる。

図1に示したものが交通シミュレーションモデルを構成するすべてではなく、さらに多様な要素が必要に応じて導入されると考えられる。それらの要素の詳細を定義し、相互関係と挙動を記述することによってシミュレーションモデルが完成する。また図1に示したものは交通流を再現するという、交通シミュレーションモデル本来の目的を果たすために必要な要素であるが、それ以外にもシミュレーションの実行過程を可視化することを目的に組み込まれるものがあるかもしれない。たとえば地形や沿道の建物や街路樹などの地物であるが、交通現象と無関係であるときは厳密には交通シミュレーションモデルの構成要素ではない。しかし、現在はシミュレーションに付随して必ず行われるアニメーションにおいてはそれなりの役割を果たすことになる。

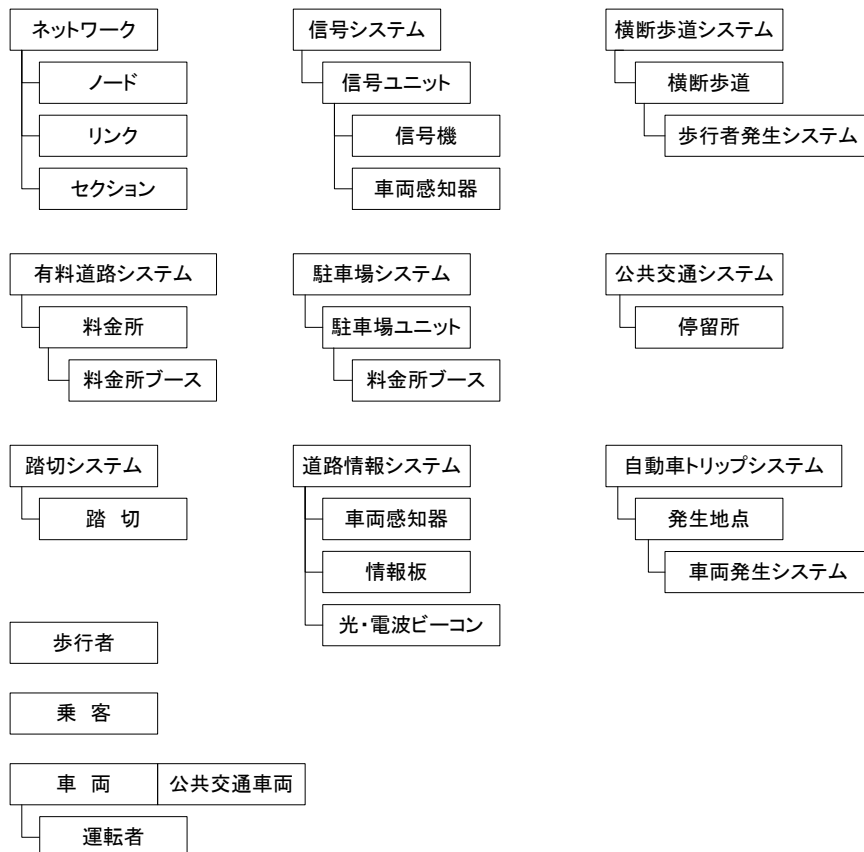


図1. 交通シミュレーションモデルの主要構成要素

### Ⅲ. 交通シミュレータの入力データ

交通シミュレーションを実行するために多種多様なデータが使用され、交通シミュレータによって必要とするデータは異なる。交通工学研究会では交通シミュレーションの普及を目的に交通シミュレーションクリアリングハウス<sup>4)</sup>を設けており、ここではシミュレーションモデルの実用性検証 (validation) のためにベンチマークデータセットが公開されている。しかしながら、準備されたデータセットに様々なシミュレーションモデルを適用した結果が公開され、比較できるようにはなっていないのが現状である。

ベンチマークデータセットの利用が進まない原因は、既存のデータセットを簡単に利用できないことにある。すなわち、どのような項目のデータをどのような定義で用いるかは交通シミュレータごとに独自に決められており、必要なデータのすべてが揃わなければシミュレーションを実施できないためである。交通シミュレータの開発に際しては備える機能が優先され、入力データの問題は重要視されていなかったことの現れであると考えることができる。ここに入力データから交通シミュレータを見直すことの意義を見いだすことができよう。

交通シミュレータの開発過程では交通の基本的な部分に関するシミュレーションモデルから出発し、対象とする交通現象を随時追加してゆくのが一般的である。モデルの拡張にあわせて必要なデータ項目も増加することになり、つぎはぎ的に入力データが追加されることになりがちである。互換性を考慮した歴史ある交通シミュレータほどその傾向が強いと考えられ、入力データの構造が理想的な状態から離れてしまう原因となる。そこで、交通シミュレータの入力データに関し、求められる条件や特性を考慮し、データ構造のあり方を考察することにする。

交通シミュレータに入力しなければならないデータはⅡで述べたシミュレーションモデルの構成要素の属性値とモデルで使われるパラメータである。これらのデータは大きく2種類に分けることができる。すなわち、シミュレーションを実行する際にまったく変化しないデータと、途中で変更するデータである。たとえばリンクとノードの接続関係は通常は固定されており、ある時刻になればリンクの始点が他のノードに変わることはない。それに対し、交通規制は時間や条件によって変更されることがある。ある時間帯だけ大型車の進入が禁止されたり、気象条件によって速度規制されたりというようなものである。これらの2種類のデータを明確に区別することが必要である。

固定的なデータはネットワーク、周辺システムおよび移動体や意思決定者など、シミュレーションモデルの構成要素を定義するものである。実行中に変更される可能性のあるデータはシミュレーションを制御す

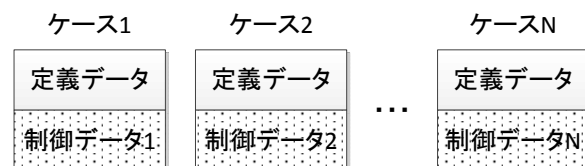


図 2. 定義データと制御データ

るものであり、シミュレーションのシナリオを規定するデータであるとも言える。シミュレーション手法の特徴は感度分析や、パラメータや制御変数を変えて繰り返し実行する分析が行われることである。このような過程を通じて変える必要のないものが定義データであり、分析時に値を変更する可能性を考慮すべきものが制御データである（図2）。

定義データであるのか制御データであるのかを明確にすることを端緒として、交通シミュレータの入力データのあるべき形を考えることにする。その際、入力データとして一般的に求められる以下に示す要件を考慮することが必要である。

- ① 必要最小限のデータであること
- ② データの誤りを容易に発見できること
- ③ 既存データを有効に利用できること
- ④ 他のシステムとの連携が容易であること
- ⑤ システムの改訂に対して互換性を有すること

交通シミュレータを使いやすくするには、最小限の入力データで動かせることが望ましい。そのためには入力データの重複を省かなくてはならない。ただし、データに冗長性がないことはデータにおける誤りを発見しにくくすることになる。両方のバランスを考え、重要な項目に関しては敢えて重複入力を求めてもよい。たとえばネットワークの接続データに関しては、ノードに接続するリンクのデータかリンクが接続するノードのデータの片方があればよい。その両方のデータがあれば整合性を調べることができるが、一方だけでは間違いがあっても探すことはできない。

入力データを減らすのに効果的なのは、標準値を用意することである。これは、個々の要素で明示的にデータを入力しなければ、予め定められている標準値を適用するものである。図1で示したノード・リンクとセクションの2重ネットワークを用いたときの車両最高速度を例に説明する。車両走行モデルはセクションネットワークに対して適用されるため、セクションごとに最高速度を与えなくてはならない。普通の入力方法ではすべてのセクションにその最高速度のデータを準備することになる。

セクションはノードまたはリンク内部に設けられ、セクションはノードあるいはリンクに属することになる。そこで、各ノードおよび各リンクに標準最高速度を属性値として与えておき、明示的に個別セクションの最高速度が指定されない場合にはこの値を用いることにすればよい。とくにリンク内では同様の走行条件となるセクションが多いと考えられ、データ入力を省略する効果が期待される。さらに、図3のようにネットワークにおける標準最高速度を与えておけば、これと同じ値の場合にはノードとリンクの標準最高速度の入力も省くことができる。また交通シミュレータに備えられている標準最高速度をそのまま使うのであれば、ネットワークの標準最高速度の入力さえも省略可能である。このような標準値の設定により、入力データの多くを減らすことができるであろう。

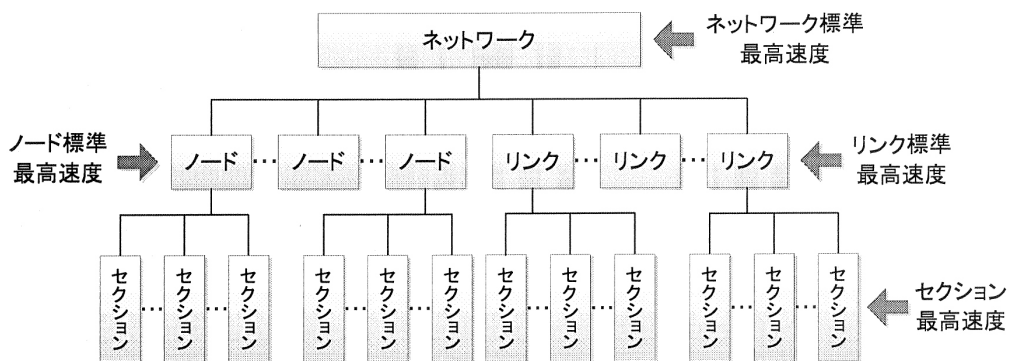


図 3. 標準最高速度の設定

交通シミュレータの開発にあたっては、新たな交通現象を表現するために機能を追加する改訂が随時行われるのが一般的である。改訂されたときにそれまでのデータセットに修正を加えなければならないのでは極めて使い勝手が悪い。旧来のデータセットがそのまま使用でき、その上で追加された機能にも対応

することが求められる。

そこで標準値以外の値を用いるのであればデータ入力を省略するのと同様の考え方が適用できる。

すなわち、すべてのデータがつねに入力されることを前提とせず、必要に応じて選択的にデータを入力する形式を採用して

おけば、柔軟にモデル改良に対応することができる。旧来のデータセットのように該当するデータがなければ、新たに追加された機能を使用しないとするのである。

このような考え方に基づき、ネットワークの基

表 1. ネットワーク定義データ

クラス	必須データ	選択データ
ネットワーク		標準最高速度
ノード	ノード ID	標準最高速度
リンク	リンク ID 始点ノード ID 終点ノード ID	標準最高速度
セクション	セクション ID 帰属ノード/リンク ID セクション長	最高速度

表 2. ネットワーク制御データ

クラス	必須データ	選択データ
ネットワーク	適用時刻	制御コマンド
ノード	ノード ID 適用時刻	制御コマンド
リンク	リンク ID 適用時刻	制御コマンド
セクション	セクション ID 適用時刻	制御コマンド

本的構成要素の定義データと制御データの例を示したのが表1と表2である。これらの表では、必ず入力しなければならない必須データと必要な場合においてのみ入力する選択データに分けて示した。表1の定義データでは最高速度に関するものだけを選択データとして例示した。表2の制御データは指定されたシミュレーション時刻に適用されるものである。制御コマンドは最高速度の変更や流入禁止の設定などを指示するものである。異常気象でネットワーク全体に速度規制をかけたり、事故により交差点を表すノードの閉塞による流入禁止を行ったりすることが考えられるが、通常はセクション単位での制御である。定義データはすべてのノードやリンク、セクションのデータを与えなければならないが、制御データは必要なものだけが列挙される。

入力データに関してその他の考慮すべき事項にデータ入力の順序がある。表1のノードとリンクの関係が典型的であり、リンクのデータが入力されるときには始終点ノードが定義されていなければならない。またセクションデータはノード、リンクが定義された後でなければならない。対象システムが複雑になると参照関係が循環してしまうことがあるため、注意が必要である。

#### IV. 交通シミュレータの出力データ

交通シミュレータから出力されるデータはシミュレーションの実行過程や結果を検証、評価、利用するためのものである。生成されたあらゆるデータが出力対象となることはないであろうが、シミュレーションモデルを検証するために必要なデータが出力可能でなければならない。交通シミュレーションはネットワークフローの再現が目的であるので、シミュレーション結果の交通流特性値を調べるのが基本である。すなわち交通量、速度、交通密度を求めるための基礎データを出力しなければならない。さらにモデルの検証を行うときは個々の車両の動きを時間経過とともに追跡することが必要であり、一定の時間間隔ごとに車両の詳細なデータを出力しなければならない。これらを考慮したとき、車両挙動に関して求められる主要な出力データは表3に示すとおりである。

表3において、たとえば車両に関するデータの場合、時刻、車両ID、走行セクションID、走行位置、速度、加速度の組み合わせが1つのレコードを形成し、その時刻にシステム内に存在するすべての車両ごとにこのレコードを出力することを意味している。一般に交通シミュ

表3. 車両挙動に関する主な出力データ

クラス	出力データ
ネットワーク	時刻 滞留台数
セクション	時刻 セクションID 滞留台数 流入台数 流出台数
車両	時刻 車両ID 走行セクションID 走行位置 速度 加速度

レーションでは0.1秒程度の時間間隔でシステムの状態が更新されるが、更新時点ごとにこのデータを出力すると、極めて大きなデータとなる可能性がある。データの出力を特定の時間帯やセクションに限定したり、出力間隔を空けて間引いたりすることが必要である。また図1に示したネットワーク以外のサブシステムの挙動に関しても、同様の出力データを準備すべきである。

出力データの分析や利用は交通シミュレータのシステム内部で行われるとは限らない。したがって、出力データは汎用性の高い形式にすることが望ましい。しかし、シミュレーションの実行過程で順次生成されるデータは利用しやすい形式で出力することが困難であるかもしれない。そのような場合は一時保存を行うことで最終的に望ましい形で出力することも考えられる。

## V. 交通シミュレータの内部データ

交通シミュレータは図1に示すシミュレーションモデルの構成要素を基にオブジェクト指向プログラミングによって構築される。定義されたクラスから生成されるオブジェクトは属性値などのデータをその内部に保持し、それらがオブジェクト外部から直接にアクセスされないことを原則とする。そのため、たとえば交差点での右折時に対向車の位置や速度等の属性値を知りたい場合、図4の手順でデータを得ることになる。車両は走行中のセクションに対向車の検索を依頼し、走行セクションは対向セクションに条件を付与して検索を求める。対向セクションは走行車両リストを検索して該当車両を回答する。走行セクションから対向車の回答を受けた車両は対向車に問い合わせる必要とする属性値を得るのである。対向セクションに該当車両が存在しない場合、後続セクションに検索が回されることもある。

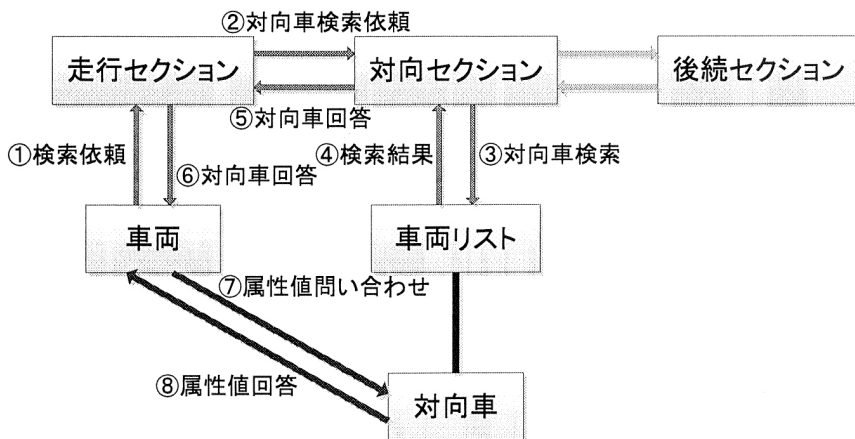


図4. 対向車の属性値の取得手順

オブジェクト指向プログラミングを用いて交通シミュレータを作成すると、上記の例のように



データの扱いは回りくどいものになる。しかしながら、これによってデータの独立性は高くなり、アクセスできるデータの範囲を現実に即したものに限定することも容易となる。シミュレーションモデルの改良や機能の追加に適した特性が得られると言えよう。

交通シミュレータは必ずしも単一のプログラムではなく、複数のプログラムからシステムが形成される場合がある。たとえばシミュレーションを実行して経過を記録するシミュレータ本体とアニメーション表示すなわち記録の再生を行う部分を分離することがある。対象が大規模であればシミュレーションを実行しながらアニメーション表示することが困難になることもあり、分析やプレゼンテーションのために何度も再生を繰り返すには分離されている方が都合がよい。このようなとき、交通シミュレータのシステム内でやりとりするための中間データが必要になる。中間データは外部から変更されないことや効率よくアクセスできることが必要である。これらを考慮したデータ作成の流れを持つ交通シミュレータの例を図5に示す。

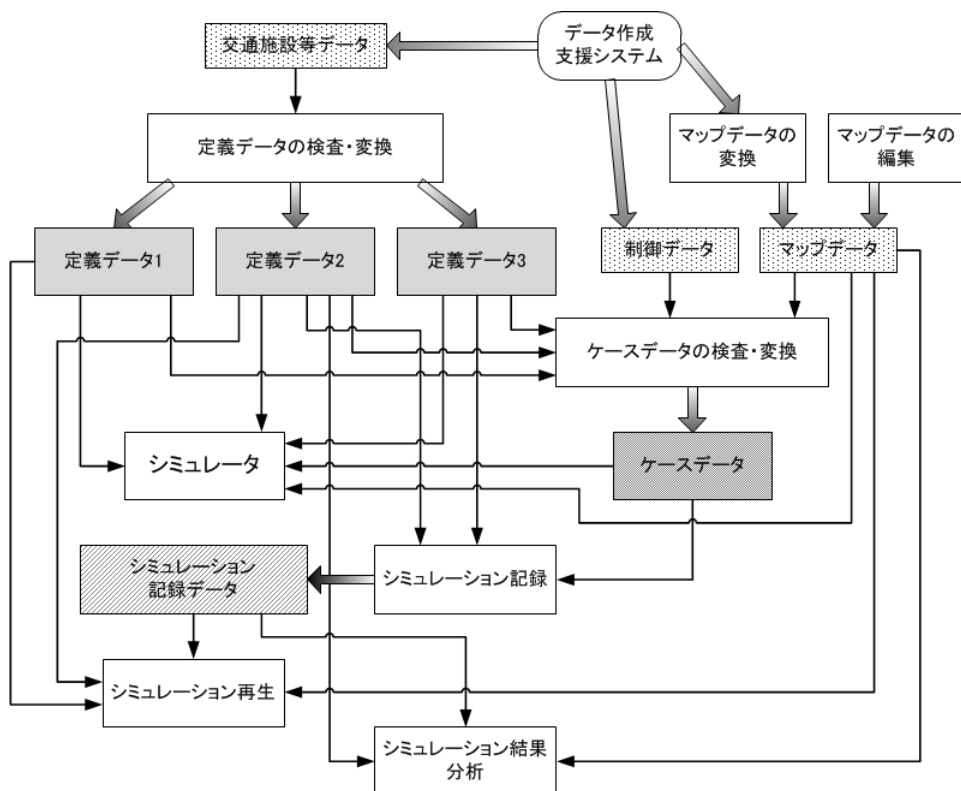


図5. 交通シミュレータ・システムにおけるデータ作成の流れ

図5は VISITOK のシステム構成を参考にしたもので、シミュレーションの実行とアニメーションを同時に行うシミュレータ、シミュレーションの実行と記録、再生のみをそれぞれ行うプログ

ラムを設けたものである。定義データ 1~3、ケースデータ、シミュレーション記録データが内部データであり、用途に応じて定義データは 3 種類に分けている。検査を終えた入力データは非公開の内部データに変換し、その後の外部からの変更を避けるものとしている。マップデータは交通シミュレーションの実行には不要であるが、シミュレーション結果の表示に使われるデータの代表例である。

## VI. おわりに

交通シミュレーションは様々な交通需要予測手法の中でも多くのデータを要する手法のひとつである。必要なデータを揃えることができればシミュレーションの実行に支障はなく、結果が左右されることもない。そのため入力データ項目に関心が持たれることはあったが、データ構造のあり方が検討されることはなかった。そこで、この研究では交通シミュレーションモデルの構成要素について述べた後、入力データ、出力データ、交通シミュレータの内部データに関して考察を行った。

入力データに関しては、交通シミュレーションモデル構成要素の定義データとシミュレーションの実行ごとに変更される可能性がある制御データに分けることが必要であることを述べた。またネットワーク構造を考慮し、標準値を用いてデータ入力を省略する方法を示し、交通シミュレータの改良に伴う追加データの取り扱いにも言及した。出力データについては交通シミュレーションモデルが検証可能なデータを出力できるようにするべきであることを述べた。そしてシステムとしての交通シミュレータにおける中間データを含めたデータ作成の流れを示した。

これはデータの扱いから検討した交通シミュレータのシステム構成を提案するものと位置づけることができる。簡単なシステムから出発して機能を増やすことにより交通シミュレータは発展してきたが、その発展経緯がデータの取り扱いを複雑化してきた面がある。それを見直すものであり、この提案に基づく交通シミュレータが作成されれば既存の交通シミュレータと比較して入力データは整理され、交通シミュレータの改良を継続する上で大きな効果を発揮すると考えられる。これにより交通シミュレーションをさらに発展させる基盤を確立できることになり、その実現は今後の課題と言えよう。

### 参考文献

- 1) 交通工学研究会：『交通シミュレーション適用のススメ』（交通工学研究会，2004）。
- 2) 交通工学研究会：『交通シミュレーション活用のススメ』（交通工学研究会，2012）。
- 3) 宇陀正志，森津秀夫：「小規模道路網を対象とした交通シミュレーションモデル」、『第 19 回交通工学研究発表会論文報告集』（1999），69-72。
- 4) 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/>