

交通シミュレーションのための車両モデルに関する考察

A Study on Vehicle Models for Traffic Simulation

森津 秀夫*

Hideo Moritsu

交通シミュレーションモデルの基幹を成すのは道路ネットワークモデルと車両走行モデルである。道路交通を取り巻く諸条件は変化しており、それらに対応させるには単純な車両走行モデルを多様な機能を考慮した車両モデルに発展させ、拡張性を高めることが必要である。そこで走行に関わる入力情報を多様化し、運転者側と車両側で行われるプロセスの分離・明確化により自動運転車両への対応を視野に入れた車両モデルの概念を提案した。

キーワード：交通シミュレーション、車両モデル、VISITOK

I. はじめに

一般的な交通シミュレーションは道路ネットワーク上での車両挙動をモデル化し、ネットワークフローを再現しようとするものである。交通シミュレーションの実施目的は時代とともに変化し、シミュレーション結果に求める情報も様々になっている。最近では自動運転車の混在が交通ネットワークフローに与える影響を調べるため、交通シミュレーションを使用することも考えられている。このような交通シミュレーションへのニーズの変化に対応するには使用する交通シミュレーションモデルを見直すことが必要となる。

交通シミュレーションにおける主役は車両であり、個別車両の挙動の総体としての交通流が再現対象である。車両の動きを記述するのが車両走行モデルであり、交通シミュレーションモデルを構成する重要な要素である。しかし車両走行モデルが交通シミュレーションモデルのすべてではなく、車両が走行する道路ネットワークを表現するモデルも欠かせない。車両走行モデルと道路ネットワークモデルが交通シミュレーションモデルの根幹を形成し、その周辺に付随的なモデルが配置されるのが通常の構成である。

交通シミュレーションモデルを構成する主要なサブモデルである道路ネットワークモデルと車両走行モデルのうち、交通シミュレーションへのニーズの変化による影響を大きく受けるのは車両走行モデルである。すでに車両の加速度を決めるだけでは不十分であり、走行に関わる各種の情報処理や運転者の意思決定、操作挙動をも含めて一体的に取り扱うことが求められている。車

両走行モデルを包含した車両モデルとして考えることが適切な段階に至っているのである。そこで、ここでは車両モデルのあり方を検討し、ニーズの変化に対応可能な拡張性の高い車両モデルに関して考察することにする。

IIでは交通シミュレーションにおける車両モデルの位置づけを整理する。IIIでは考察する車両モデルに対して前提となる外部条件に関して述べ、IVにおいて交通シミュレーションの今後の発展動向を考慮した拡張性の高い車両モデルの概念を提案する。なお車両モデルの検討に際しては、VISITOK で用いている道路ネットワーク表現を前提とする。

II. 交通シミュレーションにおける車両モデル

1. 交通シミュレーションの発展経緯

交通シミュレーションは現実が生じる交通現象を再現することを目的としている。一般に、シミュレーションに際しては対象とするシステムの特徴を捉え、モデル化することから始めなければならない。交通シミュレーションにおいても対象とする交通システムをモデル化することが必要であり、作成されたモデルは交通シミュレーションモデルと呼ばれる。実際の交通システムを細部まで完全にモデル化することは不可能であり、様々な制約の下でシミュレーションの目的を果たすために最適なモデルが追求される。

交通シミュレーションの発展経緯を振り返ると、追従走行など単路部での一方向の交通を対象にすることが出発点であったと考えられる。追い越し挙動の検討では対向車との関係を考慮することになり、交差点では相互に交わる複数路線の道路を取り扱うようになった。単独交差点周辺部から隣接する交差点を含む地区内道路へ広がると対象は道路ネットワークを構成するようになり、コンピュータの処理能力の向上に伴いその規模を拡大して現在に至った。

一方でネットワークを対象とした交通シミュレーションの需要は早くからあり、流体モデルが代表するマクロな道路交通流モデルが用いられてきた。単路部や交差点を対象としたミクロな交通シミュレーションでは1台ごとの車両挙動を再現できることが重視されてきたのに対し、大規模ネットワークにおけるマクロな交通シミュレーションでは、交通量配分結果と同様の交通ネットワークフローが求められることが優先されてきたのである。しかし、交通量配分やマクロ交通シミュレーションのような集計的手法では、量的にも質的にも充実されてきたリアルタイムの交通情報をもたらす影響を調べるのが困難であった。その結果として、規模の大きなネットワークであってもできる限りミクロ交通シミュレーションの延長として扱おうとするのが現在の傾向であると考えられる。

自動車に関する新たな技術開発の課題は自動運転の実現であり、完全無人運転も視野に捉えられている。この場合、自動運転車両の混在が交通流に与える影響をあらかじめ明らかにしておくことが、交通流の円滑性および安全性を確保する観点における自動運転実用化のための必要条件

となる。この目的を果たすために最適な手段は交通シミュレーションであり、自動運転の安全性の検証は交通シミュレーションの大きなニーズとなるであろう。したがって、今後の交通シミュレーションモデルはこのような新たな需要に対応できなければならないのである。

2. 車両走行モデルから車両モデルへの変化

大規模道路網を対象とする場合であってもマイクロ交通シミュレーションが適用されることが多くなったが、広域道路網を対象としたマクロ交通シミュレーションの需要が直ちになくなることはない。交通流モデルに流体モデルを使用することも継続されるであろう。しかし、交通シミュレーションが用いられる場面の多くは、個別車両の挙動をモデル化するマイクロ交通シミュレーションの適用が好ましいと考えられる。マイクロ交通シミュレーションにおいては、道路交通流は交通量や交通密度といった特性値が直接的に再現されることはない。1台ごとの車両挙動を再現することにより、総体としての交通流が求められるのである。この意味において、マイクロ交通シミュレーションに対しては交通流モデルではなく車両走行モデルが使われていると考えるのが適切である。

車両走行モデルは当該車両周辺の道路条件、交通条件を入力とし、車両の移動を規定する特性値を出力するものである。車両速度を決定変数としたシミュレーションモデルも存在したが、車両を運転する際に速度を直接制御することはない。速度を制御するためにアクセルやブレーキによって加減速を行うのであり、加速度を決定変数とするのが現実に即している。一般的な車両走行モデルは道路・交通条件から加速度（減速度）を算出するものと考えてよい。

交通シミュレーションの対象は単路部から交差点、道路網へと広がったが、地域的な拡大だけではなかった。交通需要が増加したときに渋滞が発生しないかを調べ、必要ならば対策を探るといったのが交通シミュレーションの基本的な適用方法であった。それに対してナビゲーションシステムの普及、交通情報の提供、さらには高齢運転者の増加による影響を検討するというような新しい需要が生じてきたのである。交通シミュレーションモデルもこれに対応できることが求められた。それが車両走行モデルから車両モデルへの変化である。

古典的な車両走行モデルはその概念を図1に示すように、その瞬間における道路・交通条件を示す情報が与えられたとき、自車両の走行に関する情報を加味して加速度を決定するというものである。自由走行と追従走行に対する加速度決定を基礎に、様々な条件下で適切に車両を制御するための各種モデルが組み込まれている。車両を操作する

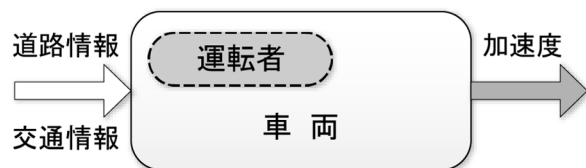


図1. 車両走行モデルの概念

のは運転者であるが、交通シミュレーションにおける関心対象である車両が自ら加速度を決めて走行しているとしても差し支えない。

これに対し、身体的機能や心理的反応など運転者の個人特性を考慮したり、情報の取得と意思決定を表現したりするには運転者の存在を明示的に取り扱うことが必要になる。広義の車両は狭

義の車両と運転者から構成されるとすると、図2のように表すことができる。最終的な出力が加速度であることは変わらないが、運転者による判断と意思決定、それに基づく運転操作の位置づけを明確にしたものである。狭義の車両は運転操作に反応する物体であり運転者を移動させる機能を有する。車両走行に関わる部分は運転操作に対する反応以外は運転者側に含まれることになる。図2で表される全体は車両－運転者モデルであると考えることができる。しかし交通シミュレーションでは運転者を包含する広義の車両が関心対象であることに鑑み、ここでは単に車両モデルと呼ぶことにする。すなわち、一体として移動する車両と運転者および車上で行われる処理をまとめて車両モデルと呼ぶことにする。

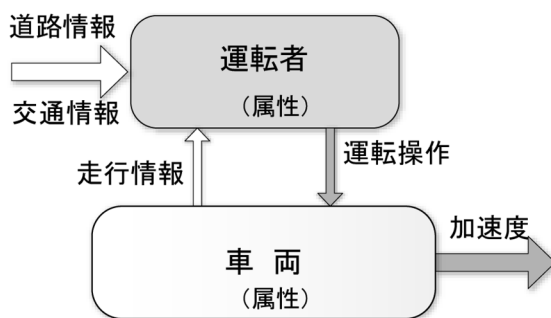


図2. 車両モデルの概念

Ⅲ. 車両モデルの外部条件

道路交通を取り巻く諸条件の変化が激しくなる中でも、交通シミュレーションは有用な結果を生み出すことが可能でなければならない。それを実現する交通シミュレーションモデルの中核をなす車両モデルを考察することがここでの目的である。しかし、車両モデルはそれだけを独立させて構築することはできない。交通シミュレーションモデルの他の構成要素と整合させることが必要である。そこで車両モデルを考察するに際し、前提条件として考慮が必要な外部条件を考察することにする。

交通シミュレーションを行う場合、車両のモデル化は道路ネットワークのモデル化と密接に関わっている。車両モデルに組み込む機能は、その車両が走行する道路ネットワークの表現方法に大きく影響されるのである。道路ネットワークはリンクとノードで構成するのが最も単純な方法であり、交通ネットワークシミュレーションの原点である。しかし、この方法では様々な交通現象を表すには不十分であることから多様な道路ネットワーク表現が考案されてきた経緯がある¹⁾。その究極の形は三次元空間内に定義した道路面上で車両を走行させるものであろうが、そこまでは至っていない。ネットワーク理論における経路探索手法等の適用も必要であり、通常のネットワークと独自のネットワーク構成要素を複合的に併用することも行われている。ここでは著者

が開発した交通シミュレーターである VISITOK で用いているセクションによる道路ネットワーク表現¹⁾を用いることを前提として車両モデルを検討する。

車両は前後左右に自由に移動するものではない。前に進むことが基本であり、左右への動きは付随的である。後退はさらに限定的である。セクションによるネットワークでは車両走行軌跡を考慮した車線中心線が設けられ、車両はそれに従って前方に進む。道路曲線部においては速度規制や視距による制限が必要になることはあっても、車線中心線に沿った動きという点では直線部と変わらない。車線中心線と直交する道路横断方向への動きが必要なのは車線変更、路上駐車、狭幅員部での対向車両や駐車車両の回避といった場合に限られる。したがって、車

両モデルの必要な出力は縦方向すなわち車線中心線方向への加速度であり、特別な場合には横方向の加速度も加わることになる。

道路交通の初期において、走行中の車両が得られる情報は限られていた。入手できるのは運転者が目視できる範囲の道路および交通に関する情報だけである。交通シミュレーションにおいても車両走行に使用する情報は先行車両の位置、速度、加速度といった走行情報だけであった。道路交通分野における情報化が進展するに伴い情報の取得手段は多様になってきた。ラジオからの交通情報に始まり、双方向の路車間通信や車車間通信が導入されると使用可能な情報量は極めて大きくなる。これらの情報通信システムが車両の走行に影響するのは当然であり、交通シミュレーションにおいて考慮すべき重要な要素となることは必然であった。

車両自体も変化し、様々なセンサーやカメラが装備されて運転者を介さずに車内・車外の情報

表 1. 車両モデルの入力情報

必要性	入力情報
必須情報	先行車両の走行情報 位置、速度、加速度
	前方の道路情報 道路属性、交通規制
準必須情報	進行方向の詳細な道路情報 交差点、横断歩道
	前方の信号情報 信号表示
	道路ネットワークに関する情報 接続関係
選択的情報	周辺車両の走行情報
	周辺二輪車の走行情報
	周辺歩行者の情報
	リアルタイムの交通情報
	周辺の公共交通機関に関する情報 バス停位置
	周辺の駐車場情報
	前方の料金所情報
前方の踏切情報	

を直接に車両が取得するようになった。このような技術開発の動向は今後も継続し、車両を取り巻く情報通信環境はより高度化すると考えられる。交通シミュレーションを行うための車両モデルはこのような変化に対応し、新たな技術が適用されたときの交通流への影響や効果を検討できなければならない。そこで車両モデルの要件となる入出力のうち、対応が必要な入力に関してまとめると表1のようになる。

表1では車両モデルの入力情報を交通シミュレーションでの必要性によって分類した。先行車両の位置や速度、加速度といった走行情報は追従走行させるためには必須であり、マイクロ交通シミュレーションには欠かせない。前方の道路属性や交通規制に関する情報も同様である。準必須情報としたものは必ず使用するとは限らないが、ほぼすべてのシミュレーションで用いられるものである。交差点や信号表示に関する情報は一般道路を対象とするシミュレーションでは不可欠と言ってよい。また交通ネットワークシミュレーションにおいては目的地までの経路を決める必要があり、道路ネットワークの接続関係等の情報が必要である。道路幅員や車線構成のような道路関係の詳細な情報も多くの場合に使用される。

選択的情報は比較的限られた場面で使用されるものである。たとえば交通ネットワークフローが対象であるときには取り扱わないことが多いが、追い越し挙動を再現する場合には先行車両だけでなく周辺他車両の走行状態を把握しなければならない。ナビゲーションシステムを通じた経路誘導効果の検討にはリアルタイムで配信される交通情報も必要である。

IV. 拡張性を考慮した車両モデル

交通シミュレーションの観点から着目すべき自動車に関する技術開発の動向は、情報獲得手段の多様化と高度化、情報処理結果の車両制御への反映である。ラジオで放送される道路混雑等の交通情報は時間遅れを伴う少ない情報量でしかなかったが、双方向通信を行う VICS や ETC2.0 などのシステムを使用すればデジタル化された即時性の高い大量の交通情報を入手可能である。これらの情報は運転者の経路選択に影響を与え、交通ネットワークフローにも影響することになる。

道路上での車両挙動を左右する道路や交通に関する情報は、運転者が前方を監視して取得するものであった。近年は各種センサーやカメラが搭載され、車両周辺の道路情報や交通情報を車両側で収集することが可能になっている。それらを処理して必要な場合に運転者に警告を発するのに使われるほか、運転者を介さずに直接車両を制御することも行われている。高速道路でのアダプティブクルーズコントロールや衝突軽減ブレーキ、いわゆる自動ブレーキとして導入され始めた自動運転機能であり、完全自動運転の実現も近いとされている。このような車両は人間が運転する車両とは異なった動きをすることが考えられ、交通流に対する影響を否定できない。

交通ネットワークシミュレーションは道路網における交通流を再現することを目的とするもの

である。着目する交通流の変動が必要な精度で得られるのであれば車両内部で行われる処理に関心はなく、それらをモデル化する必要はなかった。一方で車両挙動に関する入力情報が多様化し、運転者と車両の役割分担は変わりつつある。新たに開発されたシステムの導入に際して交通流に及ぼす影響を明らかにすることが求められるようになると、交通シミュレーションモデルに対する要件は変わったと考えなければならない。入力された情報を処理するプロセスを現実に即して表現し、車両モデルに組み込まなければならなくなったのである。

このようなニーズの変化に対応させるには車両走行に関わる機能を明確にし、それぞれを細分化して車両モデルを組み立て直すことが必要である。このようにすれば、分離明確化した個々のプロセスが高度化され自動化されることになっても、その部分のみを修正することで対応が可能となる。プロセス細分化の基礎になるのは著者が提案した追従モデルのモジュール化²⁾である。モジュール化追従モデルは運転者が関わる部分と車両に関わる部分を明確に分け、従来の追従モデルを車両観測、現況把握、運転操作、車両反応のサブモデルから構成したものである。追従走行以外に必要なプロセスを増やし、図2に示した車両モデルの概念を発展させたものが図3である。

図3では情報の入出力と運転者側、車両側で行われるプロセスを詳細に示した。これらの運転

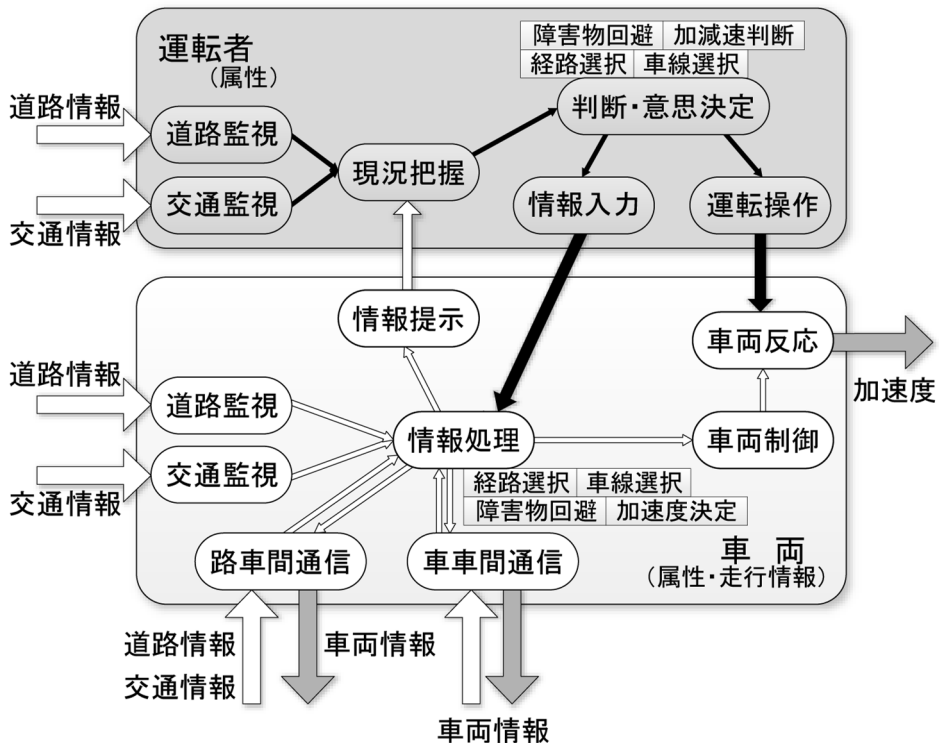


図3. 拡張性を考慮した車両モデルの概念

表 2. 車両モデルの主な入力情報と用途

情報	取得主体	取得手段	主な用途
先行車両の走行情報	運転者	目視	加減速判断
	車両	センサー、カメラ、 車車間通信	情報提示、加速度決定
周辺車両の走行情報	運転者	目視、情報提示	車線選択、追越判断
	車両	センサー、カメラ、 車車間通信	情報提示、車線選択、追越判断
前方の道路情報	運転者	目視、情報提示	加減速判断、車線選択、経路選択
	車両	センサー、カメラ、路 車間通信、地理情報 データベース	情報提示、加速度決定、車線選択、 経路選択
前方の信号情報	運転者	目視、情報提示	加減速判断
	車両	カメラ、路車間通信	情報提示、加速度決定
リアルタイム交通情報	車両	路車間通信	情報提示、経路選択、車線選択

操作プロセスと車両制御プロセスを明示的に取り扱うことが車両モデルの拡張性を高めることにつながるのである。道路情報や交通情報の取得経路は運転者と車両の道路監視・交通監視に加えて路車間通信と車車間通信も含めた。これも拡張性を考慮したためであり、それらのすべてが常に使用されるわけではない。また運転者側の運転操作と車両側の車両制御に関しても同様に拡張性を考慮して複数の伝達経路を設けた。情報取得経路や伝達経路において複数の経路の存在を許容するか、どちらを優先させるかは車両システム構築の要点になると考えられる。

車両モデルにおける情報の取り扱いが今後の交通シミュレーションモデルの有用性を決定すると考えられる。図3に概念を示した車両モデルで想定される主な入力情報に関する取得主体と取得手段、用途は表2のようになる。運転者の情報取得手段は目視であるが、車載の情報機器がこれに追加される。カメラやセンサーを装備することにより、車両は量的にも質的にも運転者を上回る情報を持つようになる。集約した情報を適切な方法で運転者に提示して運転を支援することが初歩的な情報の使用方法である。十分な情報を取得できることが前提であるが、運転操作では安全上の問題が生じると予想されたときに介入し、直接に車両を制御するのが次の段階である。これをさらに進めると自動運転となる。このように情報取得と車両制御に関する新たな技術導入に対応できるようにしていることが車両モデル拡張の要点である。

運転者と車両の役割の観点でまとめると、次のとおりである。運転者が果たす機能は、自身が目視等により直接得た情報と車載装置によって提示された情報を元に判断、意思決定することで

ある。その結果はアクセルやブレーキなど運転操作として車両に指示する。選択した経路を車載装置に入力するというようなことも考えられる。車両はセンサーやカメラ、路車間通信、車車間通信などを用いて継続的に道路情報と交通情報を収集し、車載装置によって運転者に情報を提示する。この間の情報処理では評価・判断が加えられることもある。運転操作に応じて車両が反応することになるが、誤操作等を検知して操作を無視する機能も考えられる。なお完全自動運転では図3の運転者側の部分がなくなり、車両側だけが意味を持つことになる。

図3では車両モデルの概念を示したに過ぎない。交通ネットワークシミュレーションが目的の場合にこれらの要素のすべてが必要であるかは議論の余地があるが、この枠組みにしたがってプロセスごとの処理内容を記述することにより、交通シミュレーションモデルに適用できる形式になる。加減速の実施を判断して車両を走行させることには過去に蓄積された研究成果が活用できるが、経路選択や車線選択に関して運転者の行動をより正確に表現することにはこれからの研究を待つ部分も残されている。むしろ完全自動運転をモデル化の方が容易であり、そのアルゴリズムを導入すれば精度の高い交通シミュレーション結果が得られることになるが、人間が運転する車両が存在しない状態は考えにくいであろう。

V. おわりに

道路ネットワーク上での車両挙動をモデル化し、ネットワークフローを再現しようとする交通シミュレーションモデルの基幹を成すのは道路ネットワークモデルと車両走行モデルである。道路交通を取り巻く諸条件は変化しており、交通シミュレーションに対するニーズも変化している。それに対応させるには従来の車両走行モデルを車両モデルに発展させ、様々な機能を明示的に取り扱うことが必要である。そこで、ここでは拡張性の高い車両モデルの概念を提案することを目的とした。

最初に交通シミュレーションにおける車両モデルの位置づけを整理した。次に車両モデルに対して前提となる外部条件、とくに入力情報の多様化について述べた。交通シミュレーションの今後の発展動向を考慮した拡張性の高い車両モデルの概念を提案した。これは運転者側と車両側のそれぞれで行われる車両走行に関わるプロセスを分離し、明示的にモデル化すべきことを示したものである。ここで提案した概念に基づいた車両モデルを交通シミュレーションモデルに適用し、実用的な交通シミュレーションシステムを構築することが今後の課題である。車両モデルを検討するには道路ネットワーク表現などにおいて VISITOK に用いられている考え方を前提としていることから、VISITOK に適用して拡張した車両モデル概念の実用性を検証することになるであろう。

参考文献

- 1) 森津秀夫：「交通シミュレーションのためのネットワークモデル」、『流通科学大学論集－経済・経営情報編－』14, No.3 (2006), 43-56.
- 2) 森津秀夫：「追従モデルのモジュール化」、『流通科学大学論集－経済・情報・政策編－』23, No.2 (2015), 85-94.