

IV-17

交通流シミュレーションの開発について

開発土木研究所交通研究室 平沢 匡介

" " 高木 秀貴

" " 大沼 秀次

まえがき

昭和30年代後半に500万台を突破したわが国の自動車保有車両数は、その後も自動車の大衆化の波にのり、飛躍的に増大し、ついに平成2年度に6,000万台を超えた。しかし自動車交通需要の伸びは、道路整備の伸びを完全に上回り、道路資産が著しく不足していたわが国にとって交通渋滞、交通事故、エネルギー問題あるいは環境問題といった大きな社会問題を引き起こす結果となった。こうして交通渋滞は最も日常的な交通現象の一つといえる問題となった。

この渋滞問題については、昭和63年7月に「大都市における道路円滑化対策について」が交通対策本部において決定され、建設省は、これを受けた形で、全国37の都市（圏）において、「渋滞対策緊急実行計画（アクションプログラム）」を策定しており、その中で北海道は札幌市を対象地域とし「アクションプログラム」を取りまとめ各種渋滞対策に取り組んでいる。さらに建設省では、その他の地域について渋滞対策の一層の推進を図るため、平成2年に都道府県ごとに「渋滞対策推進計画」を策定しており、北海道においては、北海道開発局、北海道の道路管理者からなる「北海道渋滞対策協議会」を設立し、渋滞に関する検討を進め、「渋滞対策推進計画」を取りまとめた。また同時に休日交通に対応した道路整備を進めるため、全国30地域において「休日ボトルネック解消モデル事業」を策定し、北海道では「北海道渋滞対策協議会」において定山溪〜ルスツ〜洞爺地域を対象として対策を取りまとめ、各種対策を実施している。さらに最近の道路交通の実態をみると渋滞現象は十分改善されているとは言えず、より一層の改善策を検討する必要がある。このため、平成5年度から始まる第11次道路整備五箇年計画を踏まえて、従来までの渋滞対策プログラムで実施していた道路の拡幅やバイパス整備、交差点改良などの交通容量拡大策に加え、既存道路の有効利用や道路交通情報提供の充実、公共交通機関の利便性向上などの交通運用の改善も検討する「新渋滞対策プログラム」を策定した。

交通渋滞対策は、交差点の小規模改良、信号制御、交通規制等のその他交通改善手段といったトラフィックマネージメントから大規模なインフラ整備まで様々であり、対策箇所の現状によって決定される。特に重要なのは部分的な渋滞対策を行ったとしても、その前後の区間の交通容量によっては、渋滞が再度発生する可能性があり、渋滞対策には路線全体の交通容量の把握とアクセスする他の路線の評価を事前に検討しなければならない。また交通渋滞は非常に複雑な構造を持っていることから、施設整備と交通運用の改善とともに、官民一体となった交通需要マネジメントの実施による総合的な対策が必要であり、また各種交通機関との連携を図ったモーダルミックス施策の推進など地域の実情にあった対策の実施が必要である。

こうした背景により電子計算機上で交通流をシミュレート（模倣）し、交通対策を検討することは以前から考えられてきたが、現在の渋滞対策の検討において電子計算機がほとんど、または全く用いられていないのは満足のゆく成果が得られるシミュレーションが構築できなかったことに起因する。精度の良いシミュレーションを完成するためには、電子計算機のCPU（中央処理装置）、メモリというハード面の大きな壁をクリアしなければならない。CPUに負担をかけずメモリを節約するためには、ソフト面である交通流の理論上の複雑に影響しあっている因子の関係を、明らかにしなければならない。結局渋滞現象の因子構造は複雑すぎて、CPU・メモリの問題を満足できるレベルでクリアできるプログラムは制作されていない。結果的に現状では交差点や高速道路の合流部等の部分的なシミュレーションが各機関で制作されている。

本研究は、渋滞対策の検討のために局部的渋滞現象をある程度のネットワークにおいて検討可能な交通流シミュレーションを開発することを目的としている。本報告では、平成5年度がシミュレーションの開発初年度なのでベースとなる理論の検討を中心に報告する。

Simulation of Traffic Flow

by Masayuki HIRASAWA, Hideki TAKAGI and Hidetsugu ONUMA

1. シミュレーションの概要

交通流シミュレーションには、大別するとマクロモデル、ミクロモデルあるいはその2つの混合モデル等がある。マクロモデルはリンク（交差点間の一方向区間）に属性を持たせ、単位時間当たりの交通量等の変数を入力することによりリンクで処理できる交通量が結果として出力され、その結果はノード（交差点）に入力され、処理される。さらにその結果が次のリンクに引き渡される。そうして設定した道路網すべてについて計算し、シミュレート結果を表示する。マクロモデルの長所は、CPU、メモリに負担をかけず、計算時間も速い。よって多くのリンク、ノードを組み合わせた複雑なネットワークの計算ができる。しかし短所として単位時間の処理を一瞬で行うため、時間経過が分からないのでアニメーション表示はできない。またリンクやノードの属性は実測から得られるので、精度を高めるためには膨大な調査が必要である。さらに一つのリンクの中には多くの因子が存在しているが、それらの相関は明らかにされていないので、道路網全体のマクロ的な分析には適しているが、ミクロ的な分析には適さない。

ミクロモデルは、各々の因子に対して車両一台ずつの挙動をシミュレートするので、複雑なシミュレーションや色々な区間に対しプログラムを構築しやすい。また時間経過をアニメーションで表示できるので視覚的に結果を捉えやすいという長所がある。しかし短所としてプログラムが複雑になりやすく、計算時間を少なくするためにメモリも多く必要である。よって今までは大規模なネットワークのシミュレーションはハード面の電子計算機のメモリの関係上断念せざるを得なかったが、最近の1、2年のめざましい電子計算機の進歩、ダウンサイジング（電子計算機の小型・軽量・高機能化）、さらに大容量メモリ開発と低価格化により構築可能となった。

本研究では今後の発展性や応用性を考慮してミクロモデルで視覚効果のあるビジュアル・シミュレーションとした。従ってシミュレーション内においては、各車両1台ずつが、それぞれ意志を持ち、種々の要因に影響を受けて行動を決定する。本年度は、開発初年度なので一般国道230号をケーススタディとして検討するが、図-1のように5交差点の簡単な設定とした。この区間は、平成3、4年度に渋滞調査を行った区間であり、交差点1は主要道道小樽定山溪線との交点、交差点5は主要道道西野真駒内清田線（通称五輪通り）との交点である。

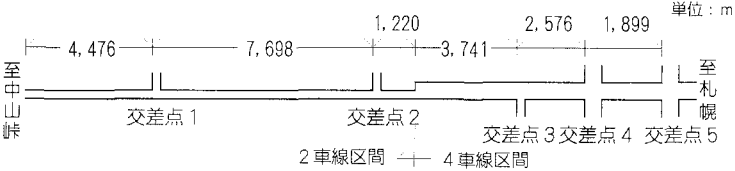


図-1. 設定区間概略図（230号のケーススタディ）

2. 交通流シミュレーションの基本的な考え方

2-1. 車両挙動に影響を与える要因

道路を通行する個々の車両挙動は様々な因子に影響されている。自車の前を走行する車両挙動に対しての影響はもちろんのこと、道路構造、信号などの交通制御施設、気象条件などが影響要因として挙げられる。車両の挙動に影響を与える要因の一覧を表-1に示す。

2-2. 車両挙動

表-1に示した要因に対しての運転者の反応を図に示すと図-2のようになる。個々の車両の運転者は、様々な影響要因から総合的に状況判断を行う。その判断をもとに運転者

表-1. 車両挙動に影響を与える要因

区分	要因		パラメーター	
全体要因	道路条件	平面線形	曲線半径（R）など	
		縦断線形	勾配など	
		道路構造	車線数、トンネルなど	
		交差点形状	流入・流出車線数、右左折専用車線長など	
	交通規制条件	信号	信号サイクル・右折現示など	
		踏切	踏切位置	
		各種規制	禁止行為（追越禁止・速度規制など）	
	気象・時刻条件	天候	晴れ・雨・雪など	
		視界・明るさ	視距	
		路面状況	圧雪・氷盤・湿潤・乾燥など	
内的要因	運転者特性	路面摩擦	摩擦係数	
		希望走行速度	希望走行速度	
	運動神経	運動者反応遅れ		
		車両特性	車種	車種区分
	加速性能		加速性能（車種区分より決定）	
	登坂性能		登坂性能（車種区分より決定）	
	反応性能		車両反応遅れ時間（車種区分より決定）	
	外的要因	前走車両挙動	車種	車種区分
			車両位置	前車間距離
			移動速度	速度
加速度			加速度	
後続車両挙動		灯火類	制動灯点灯・方向指示器点滅	
		車種	車種区分	
		車両位置	後車間距離	
		移動速度	速度	
歩行者・自転車		加速度	加速度	
		灯火類	前照灯点灯・警音	
	位置	距離		
	移動方向	横断・対向・平行		
移動速度	速度			

はどのような行動をとるべきかを決定する（運転者意志決定）。運転者の意志決定後、車両に対して何らかの行動をとる。状況判断から実際の行動に至るまでのタイムラグが生ずるが、この時間を運転者遅れ時間とすることができる。また運転者の行動に対して車両は実際に開始するが、ここに生ずるタイムラグを車両反応遅れ時間とすることができる。

2-3. 全体要因の設定

①道路条件・交通制御条件

道路構造については、図-3に示すように各車線を線（ライン）として取り扱う。

平面線形・縦断線形・道路構造などの道路条件および信号制御・速度規制・追越し規制などの交通制御条件については、道路中心線（図-3中center）について等間隔（1m毎）にノードを設定し、各ノードに対する属性を与えるものとする。

なお、各車両の位置はライン名と距離によって表す。例えば図-3中の車両L23の位置は、車線LEFT1の3.290km、車両R45の位置は、車線RIGHT2の3.282kmと表す。なお位置は車頭位置をもって表す。

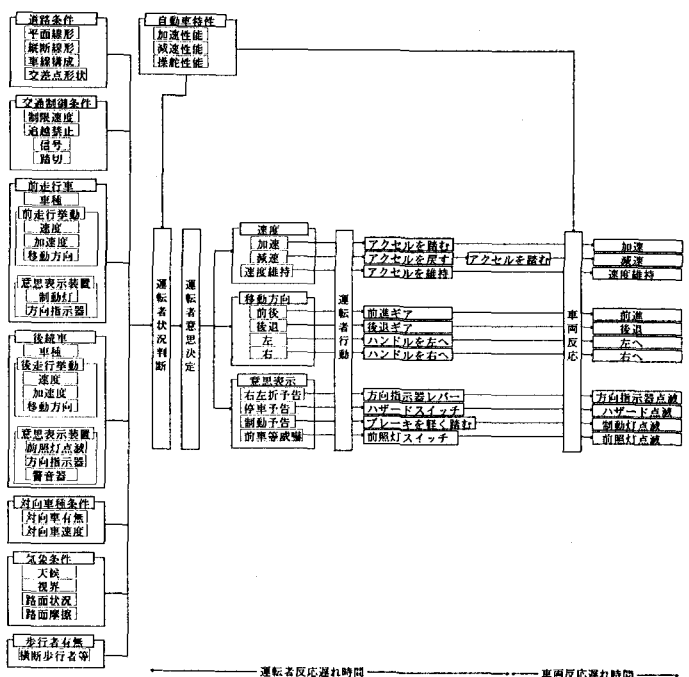


図-2. 車両挙動の考え方

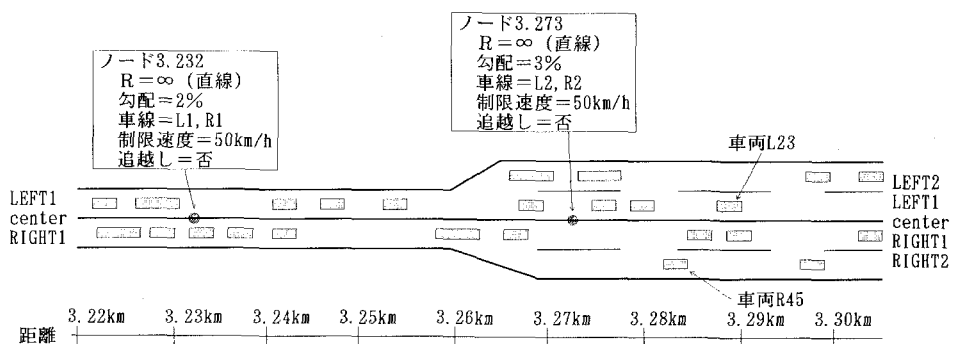


図-3. 道路構造と車両位置の表し方

②気象・時刻条件

気象及び時刻の条件については時系列的に変化するが、シミュレーション区域全体で空間的に等値であるとする。（本年度のシミュレーションにおいては気象条件及び時刻による明るさの変化については基本的には取り扱わない）。

2-4. 内的要因の設定

①運転者特性

運転者特性は、運転者の性格に起因するものと運動神経に起因するものがある。前者としては、加速時・減速時の加速度の程度や走行速度、規制に対する違反率などが数値的に表すことが可能であるが、本年度のシミュレーションにおいては希望走行速度のみを扱うものとする。また後者については運転者反応遅れ時間によって表される。

希望走行時間は、運転者が自由に走行した時の走行速度と等しい。従来の研究によって、自由流における車両走行速度については、以下のことが知られている。

- ・車両が比較的自由に走行している場合の速度分布は、ほぼ正規分布とみなすことができる。
- ・トラックに比べ乗用車の速度分布の方がばらつきが大きくなる傾向がある。
- ・制限速度が低く設定されている道路では、各車両の走行速度は制限速度付近を平均値として、その周辺にばらつく。

以上のことから、本年度のシミュレーションにおいては、運転者反応遅れ時間についても、正規分布を用いて個々の車両の属性として与えるものとする。

②車両特性

車両特性は、同一車種でも車両メーカー・型式などによってさまざまであるが、ここでは個々の車両によって異なるが、本年度のシミュレーションにおいては、道路構造令の設計車両に従って、表－２の通り区分する。なお、各車両の登坂性能は表－３の通りとした。

2－5. 外的要因の設定

①前方車両挙動

自車の前方である一定距離内に走行車両が存在する場合、自由走行が阻害される。従って、運転者は、前方車両に対し追従あるいは追越しなどの行動をとることを余儀なくされる。

運転者が前方車両が得る情報には次のものがある。

- ・前方車両車種
- ・車両位置（車両間隔）
- ・移動速度
- ・加速度
- ・灯火類（方向指示器、制動灯など）

以上のうち、前方車両車種及び灯火類については本年度のシミュレーションでは考慮しないものとする。

②後続車両挙動

運転者は、バックミラー（あるいはルームミラー）を通して後続車両の挙動を得ることが可能である。多くの場合、運転者は後続車両の挙動にはそれほど大きく影響を受けない。しかし、後続車両が自車の加速度を大きく上回る場合、車間距離を極端に小さくとった場合、前照灯を点滅させたりあるいは警音器をならした場合には、運転者は走行車線を変更したり、自車の走行速度を上げるなどの行動をとる。なお後続車両については本年度のシミュレーションでは考慮しないものとする。

③歩行者・自転車

車両は交通弱者である歩行者あるいは自転車の挙動に大きく影響を受ける。特に道路を横断している歩行者や自転車が存在する場合には、減速あるいは停止する必要がある。本年度のシミュレーションでは交差点を横断する歩行者を考慮して、右左折時のタイミングの設定を行う。

3. 基本的なモデルの構造

シミュレーションの基本的なモデルの構造のフローを図－４に示す。このモデルの特徴は、各ドライバーが目的地までの目標時間を設定し、走行中の旅行時間とその目標時間との差を損失時間と設定し、その損失時間がある設定単位時間を超えると車線変更を行うための動作を開始するという点である。この動作は他車、道路条件、自車車両位置、前時点車両走行速度などの条件を考慮して決定される。このフローは１台の車両のある時間における動作を表している。さらに動作を決定する時の加速ルーチンと減速ルーチンを図－５、６に示す。これらの

表－２. 車両区分

車両区分	長さ	幅	高さ	最小回転半径	出力重量比
小型自動車	4.7m	1.7m	2m	6m	50ps/t
普通自動車	12.0m	2.5m	3.8m	12m	10ps/t
セミトレーラ連結車	16.5m	2.5m	3.8m	12m	8.5ps/t

※日本道路協会「道路構造令の解説と運用」（昭和58年）より作成

表－３. 登坂可能勾配

設計速度 (km/h)		120	100	80	60	50	40	30	20
許容速度 (km/h)	セミトレーラトラック	60	50	40	30	30	20	15	15
	乗用車	90	90	80	60	50	20	20	20
	セミトレーラー（満載）	1.5	1.5	2.5	3.5	3.5	5.5	6.0	9.5
	セミトレーラー（半載）	3.5	4.0	6.5	7.5	7.5	11.0		
	普通トラック（満載）	2.0	2.5	4.5	5.0	5.0	8.0	9.0	
	普通トラック（半載）	3.5	4.0	6.5	7.5	7.5	11.5		
	乗用車（2,000cc級）	4.5	4.5	10.0	11.0	11.5	11.5		

※日本道路協会「道路構造令の解説と運用」（昭和58年）

基本ルーチン

4-1. データ入力

4-2. 出力結果

図-4. 基本的な干デルの構造のフロー

行うと計算時間が非常にかかることから、シミュレーションとアニメーションは分離することとする。最初に設定した単位時間（例えば1秒）ごとの各車両の位置をメモリに記憶して、一定時間のデータが溜まったハードディスクに書き込む。シミュレーションの計算が終了するとそのデータを読み込んでアニメーション表示を行う。

数値による出力結果は、データ入力の際に決定した任意の地点における平均走行速度、交通量等の数値、渋滞地点の分布や任意区間の旅行時間、平均追越回数などとする。次年度ではさらにグラフ表示の機能を追加予定である。

あとがき

コンピュータによる交通流シミュレーションは古くから考えられており、昭和40年頃既に発表されていた。もちろんコンピュータといってもアナログ型からやつ

とデジタル型に変換していった頃であり、マイクロモデル、マクロモデルといった次元の話ではない。手計算でシミュレーションを行っていた簡単なモデルを、少々規模を大きくしたモデルのシミュレーションを試みていた。よって信号交差点や高速道路のランプ、トンネルその他隘路におけるシミュレーションなどの簡所的なものであった。しかしシミュレーションを実施することは、実際のシステムについて観測あるいは実験を行うよりも、てっとりばやくかつ安上がりであること、および実際にある方法を実行したり施設を建設・供用したりする場合に前もってシステム特性に及ぼす影響を知ることが出来るという長所があった。しかしマクロモデルのために構築した区間のシミュレーションはできるが、他の区間のシミュレーションへの適用は整合性が得られないことが多かった。

最近になってパソコン用の大容量メモリが発売され、それまで数Mから15M程度であった搭載メモリが100M前後まで搭載できるパソコンが発売された。もちろん大容量ハードディスク、超高速CPU搭載を伴っているから、少し前のEWS（エンジニア・ワークステーション）や一昔前のミニコンピュータを凌駕する実力を持っている。こうした背景により現在マイクロモデルの交通流シミュレーションを構築中であるが、これらの検討により、今まで以上に精密で実際の交通流にできるだけ近い形で再現可能なシミュレーションを目指したいと考えている。

シミュレーションは、道路拡幅・改良の整備効果、交差点改良の整備効果、バイパスルートの決定、バイパスの道路構造の決定、路線全体の将来構想の策定等に非常に有用であると考えられ、さらに将来の拡大利用も含め、当面は特定の区間の渋滞対策の立案、評価が可能となり得るシミュレーションの構築を目標としている。

参考文献

- 1) 交通工学研究会, 「交通工学ハンドブック」, 技報堂出版, 1984
- 2) 土木学会, 「土木工学ハンドブック」, 技報堂出版, 1989

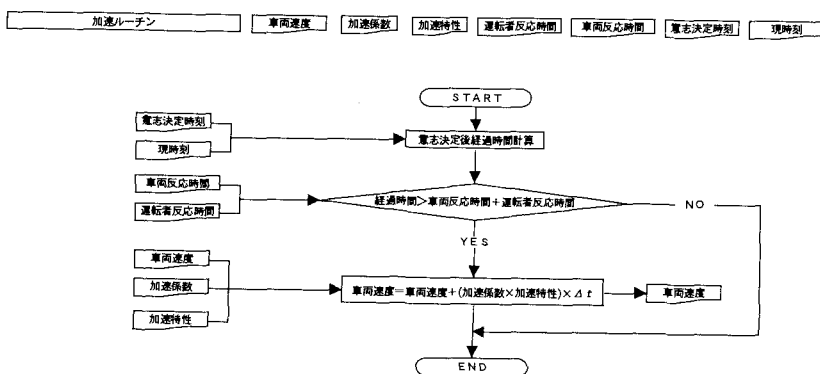


図-5. 加速ルーチン

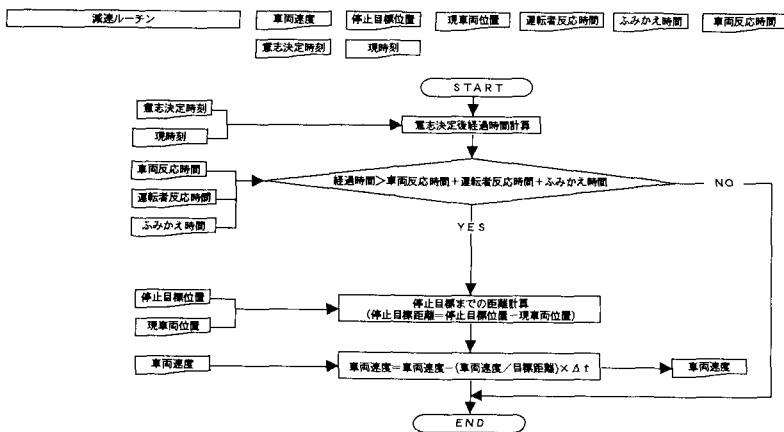


図-6. 減速ルーチン