

地区交通計画評価のための交通シミュレーションシステム tiss-NET の開発*

Traffic Simulation for Micro-Area Transportation Planning - development of tiss-NET -*

坂本邦宏** 久保田尚*** 門司隆明****

Kunihiro SAKAMOTO, Hisashi KUBOTA, Takaaki MONJI

1. はじめに

コミュニティ・ゾーンなどにおける住民参加など、各種地区レベルの交通計画がにわかに注目を浴びている¹⁾。これらの新しい交通計画アプローチが多様化した結果、政策評価手法が模索状態にあるだけではなく、具体的で詳細な地区交通インパクトの予測方法についての必要性が高まっている。また本来地区交通計画を論じる際は、その地区特性に応じた方法論が重要とされ、マニュアル的な検討方法は有効ではないとされている。つまりある地区における有効な政策評価指標が他の地区で有効であるとは限らないといった問題である。さらに住民参加の場においては、一般市民にも理解されやすい指標が求められるなどの指標の多様化に関する問題も軽視できない。

本研究はこの様な問題意識を背景として、交通アセスメントを含めた地区交通計画の評価手法としての交通シミュレーションに着目した。そこで地区交通計画評価に関する現状と課題の整理を行った上で、地区交通計画を対象とした交通シミュレーションに求められるものを、筆者らが従来から開発を進めている tiss-NET ^{2) 注1)} において実現可能であることを立証することが目的である。

2. 地区交通計画評価システムの現状と課題

本章では、地区交通計画とそのインパクト予測を含めた評価システムについて論じる。本論における地区交通計画の定義としては「住宅地、商業地、あるいは都心部といった特定の地区を対象とした交通計画³⁾」とする。具体的にはコミュニティ・ゾーンの範囲や駅前地区、都市の中心部程度の規模を原則としている。この場合コミュニティ・ゾーンに代表される地区総合交通マネジメントでは歩行者や自転車も含めた交通計画と捉えることにな

るが、本論では自動車交通に重点を置いている。またその評価システムとは、狭義的には必要とされる評価指標を提示するものを指し、広義的には得られた指標に基づく意志決定機構も含むものを示すこととする。

(1) 地区交通計画の主要検討要因

規模の大きなネットワークを対象とした交通計画の場合、ノード間の距離が長いことため交通状態をリンクベースとした分析を行なうことで大きく発展してきた。現在においても都市間交通を主体とした大規模の交通計画では、このリンクベースの分析手法は多くの場で活躍しているが、地区交通計画といった小さな規模を検討するときには必ずしも最適な手法とは言えない。地区レベルの交通状態を考える場合には、規模の大きな交通計画に対して、対象となる主要検討要因の相違を考慮しなければならないからである。地区レベルの交通を考えた場合、自動車行動への影響が圧倒的に高いのはリンクではなく交差点であり、特に渋滞時などのリンク通過時間は交差点の処理能力に依存してしまう。この様に一般に交差点の詳細な解析無しでは地区交通計画を十分に検討することはできない。

この様な意識から、交差点の右左折による時間差の考慮や渋滞状況を検討するために、既存手法の改良という手段が盛んに行なわれている⁴⁾。しかしこの場合も比較的大きな範囲を持った地域を対象とした分析である。路上駐車的位置が交差点付近にあるかまたはリンク中央部にあるかといった小さな違いが、実は交通状況へ与えるインパクトの大きな違いにつながっていることから、本論文で議論する地区交通といったミクロなレベルの交通状況を検討する場合には、詳細な車両挙動を扱う必然性が高い。つまりリンクをベースとする現存手法の改正によるアプローチは、地区交通レベルの主要検討要因の点から考えると不適当といえる。一方では地区交通における主要検討要因としての交差点というより、より詳細な車両挙動や交差点の最適制御などといった事柄を対象として、トラフィックシミュレーションによるという手法も盛んに検討されている。

(2) 自動車の経路選択機構の問題

地区レベルの様な密な道路網では、最少コスト経路に似通った値を持つ代替経路が数多く存在するため運転者

*キーワード：地区交通計画，交通計画評価

** 正会員 工修 埼玉大学工学部建設工学科

浦和市下大久保 255 TEL/FAX 048-855-7833

*** 正会員 工博 埼玉大学大学院理工学研究科

浦和市下大久保 255, TEL/FAX 048-855-7833

**** 正会員 工修 パシフィックコンサルタンツ

大宮市宮町 1-38-1, TEL 048-647-5367 FAX 048-640-1647

は必ずしも最短経路を選択していないか、またはそれらの最小コスト経路を認知しえない場合があるということが言える。山中らは、住宅街区の調査において運転者の選択経路は必ずしも最短経路でないと定量的データによって検証している⁹⁾。これは、等時間原理配分といわれる「個々の自動車が自らの走行所要時間を最小化し、新たな経路選択ができない均衡状態」が地区レベルでは有効に存在しないことを意味し、BPR 関数等の配分理論で検討されるリンクパフォーマンス関数やリンク容量といった論点は、地区交通といった視点からは必ずしもふさわしいとは言えない。

つまり Wardrop 均衡を基本としたモデルには置き換えることが出来ないとと言えるのだが、現実の交通シミュレーションにおいて経路選択機構としてよく用いられるのは、右左折率などで簡易的に表現するものや固定経路を指定するものを除くと、配分理論にドライバーの経路選択特性を考慮したモデル⁶⁾は検討されてはいるが、最短時間経路を選択するものと、Dial 配分などに代表される複数経路を費用に基づいて確率選択するタイプ^{7) 8)}が主流になっている。両者の違いは固定的か確率的かの違いであるが、Dial 配分の場合にはリンク旅行時間などの経路コストの精度とその感度パラメータの与え方で、経路のばらつきを自由に調整できる（例えば感度パラメータを無限大にすれば固定的経路と同様になるなどの）問題が残る。また、両者の基本となる考えは配分理論であり、多くのシミュレータが計算量削減のためにブロック密度法など、交差点の詳細な影響を考慮しきれない手法を採用していることから地区レベルへの適応は苦しい。ただしシミュレーションの結果として算出される交通量が現状再現性を十分に持っているなどの理由で正当化されることがある。この背景には、詳細な経路の情報収集が難しく再現性の確認指標として利用されなかったこともあるが、近年の ITS 技術の発展に伴ってデータの蓄積が計画され、経路理論の問題点が新たに指摘される可能性が高い⁹⁾。本来、自動車運転者の経路選択モデルを人間行動モデルとして取り入れることが望ましいが、交通モデルとして実用的な分析はいまだない。結果として計算負担の軽く、理論的裏付けのある配分理論とその改良手法によって経路を決定せざるを得ないのが現状である。

この認識を持った上で、地区レベルの経路問題を再度考えた時、個人の認知と交通状況に応じた経路選択を考慮する必要は高い。そのためには出発時点で最短経路を固定するのではなく、途中で動的な経路変更が重要となることは多くの研究者が述べているが¹⁰⁾、その際に完全全情報下つまり最適経路をシステムティックに決定するのではなく、周囲の交通状況（混雑）と個人属性（ネットワーク認知や心理状態）に基づいた合理的な経路選択をモデル化し、それを利用することが今後の地区交通シミュレータにとって有用と考えることができる。また、ITS によるドライバーの交通情報量の差による影響検討

は、このようなアプローチによって分析が可能となることも重要な点である。

(3) 地区交通計画における交通量予測

評価指標としての自動車交通量の持つ意味は大きく、交通量が減った、増えたという議論はほぼ全ての交通計画で行われている。ただし地区レベルの交通量の予測は非常に難しく、過去の多くの例が示すように正確な交通量の予測を行なうことは極めて困難である。このような背景には、前節で述べた広域的な予測手法であった四段階推定法による段階的な予測に依存する実務レベルとしての問題がある。交通量そのものの予測について整理してみると、交通計画者やコンサルタント技術者が実務において使用する自動車交通量の予測方法は PT 調査等に基づく 4 段階推定法における配分交通計算によって算出されることが一般的である。この場合の問題点の一つ目としては、状況によって 4 段階全ての段階を経て予測する必要がなかったり不可能である場合も多いために、各段階で発生した誤差を順次積み上げ、その結果を最終的に配分交通量予測で検討することになる。この際、分担交通量算出時に検討したパラメータと配分交通量算出時に計算された同じパラメータの値が異なることは珍しくない。これらのことは広域的ネットワークにおける交通量を考える場合は影響度が下がるが、地区レベルで考えた場合は問題は単純ではない。そこで結果を傾向として捉えたり、複数の感度分析から状況を検討することになる。二つ目の問題点としては、安易な配分計算手法の採用が挙げられる。これは交通容量制限付き分割配分手法が一般化・大衆化し、交通量算出ソフトウェアの普及による影響が大きい。既存手法の徹底した利用であり、駅前再開発といった地区レベルの開発であろうが、積極的に採用されている。ただしこの結果算出される交通量はなにかしらリンク容量に支配された計算によって算出される交通量であり、地区レベルの感覚と異なる結果をもたらすことが多いため、実際に実務者からは精度の問題を含めて不満の声が上がっている。

結果が不満なのに既存手法を利用している背景としては、配分手法の容易さとともに、理論的裏付けが挙げられる。交通量の予測に関するアカデミックな分野では、いわゆる Wardrop 原理に基づく配分原則を主流とする理論展開が過去 30 年以上に渡って活発に議論されてきている¹¹⁾¹²⁾。これらの手法は統合モデルも含めてリンクパフォーマンスに基づく均衡問題や最適化問題に帰着させてシステムチックに配分交通量を算出することに意を置いているために、単純に地区レベルの問題に移植することは難しく、またその計算手法も我が国においては残念ながらい十分普及しているとはいえない。

一方これらの配分理論や交通流理論の確立とコンピュータの処理能力の発達に伴って、有効な交通量推計手法として、多くのシミュレーションモデルが開発されてき

た。これらのシミュレーションモデルは大別して以下の2パターンに分類できる。信号最適制御や交差点改良による交通量を検討する局所的なもの、都市間幹線道路網の交通量を求めるような大規模なものである。その後システム需要の変化に対応してそれらの中間的なモデル¹³⁾も開発されている。これらのシミュレーションモデルでは、シミュレーションという特性を生かして、単なる交通量を算出するのみではなく、各システムの特性を生かした出力データを持つ場合が多い。

3. 地区交通計画評価のためのシミュレータ

(1) 交通シミュレータの分類整理

交通シミュレーションモデルは国内外で多くのものが開発されその用途に応じた開発が積極的になされているが、その中でも詳細な車両挙動を表現するものとしては離散的モデルが挙げられる。離散的モデルには厳密に車両一台一台を扱うものと、数台をまとめたパケットとして扱うもの、そしてその中間的なハイブリッドタイプの3タイプに分類できる。車群として扱うパケットタイプや部分的にでもパケットの概念を利用するハイブリッドタイプでは、個々の車両挙動が現象として忠実にモデル化されていないため基本的に交通容量などの外的要因や密度といった概念に制約され、地区レベルで局所的に発生する路上駐車車両などの考慮が十分にできないなどの問題が指摘できる。やはり地区交通レベルの評価を考えた場合は、車両一台一台を厳密に扱えるタイプがもっとも有効であるといえる。このタイプには追従走行や車線選択などの細かい車両挙動を記述するためのパラメータ設定が複雑になり、かつその汎用的な設定が難しいという指摘もあるが¹⁴⁾、追従走行などの現象分析的モデルのパラメータは一定の汎用性を持ち、さらに地区交通を検討する場合は必ずしも汎用的なパラメータの設定は必要条件ではなく地区に適合した設定ができれば十分と言える。このような厳密な離散型モデルとしては、海外では、FHWAのMICROモデルやTRAF-NETSIMの後継として使われているCORSIM、そしてより使いやすいSimTraffic¹⁵⁾などがあげられるが、日本での適応を考えた場合には走行レーン逆転や基本的な道路幅員及び構造の相違点が多いことから単純に導入することはできない。実際の導入にあたっては日本及び対象地区に適した改良が必須であろう。輸入改良されたものには日産自動車がNETSIMを改良した日産交通流シミュレーター¹⁶⁾¹⁷⁾、SSRIのparamics¹⁸⁾¹⁹⁾などがある。日産交通流シミュレーターは路上駐車などの改良を加え、実際の道路ネットワークでの交通運用策評価を行なっている。ただし車両にOD及び経路という概念を持たずに交差点右左折率を用いるNETSIMを基礎とするため経路選択ロジックに関して限界を持っている。paramicsは道路容量などの道路交通に関わる外生要因の概念を持たず、追従挙動

モデル等を内生化し車両挙動の結果として交通容量等が算出できるだけでなく、ドライバーの特性をパラメータとして設定でき車両挙動としての個人属性の考慮が可能である。経路選択については車両属性として該当道路網の認知ラベルを設定し、ラベルに応じた道路ネットワーク上でのノイズを加えた最短経路を走行することになっている。元々AHS評価システムとして採用したために交通状況及び個人属性による経路変更判断で渋滞を回避する行動のモデルなどのついては明らかにされていない。国産としては科学警察研究所のTRAS-TSC²⁰⁾²¹⁾、建設省土木研究所のSIPA²²⁾、埼玉大のtiss-NETなどがある。TRAS-TSCは非常に細かな車両挙動を表現可能である。その基礎となるDYTAM²³⁾は比較的広範囲の道路網を対象としたモデルのため30分程度の時間間隔ごとにDial配分に従っていたが、TRAS-TSCの開発目的が信号制御の高度化のため経路選択機構の検討は重要視されていない。SIPAはITS評価システムとしての位置づけから開発されており、1998年から開発が始まった後発モデルのため既存シミュレータの短所を克服するシステムアーキテクチャを検討しているが、現時点では開発段階にあるため具体的なモデル構成等の詳細は不明である。tiss-NETは当初から地区交通計画の支援システムとして設計開発してきたため、地区レベルの表現に必要な車両挙動モデルと経路選択モデルを組み入れることが可能である。

(2) シミュレーションを構成するモデルの方向性

交通状況の仮定としての均衡状態に興味を置かない地区交通でも、有効な経路決定機構がない現状においては、代替手段がないという立場から配分理論を基本とする経路決定機構に頼らざるを得ない。ただしパッケージ化されたアプリケーションに見られる経路選択理論の不透明性は、問題検討の際に大きな障害となるため極力透明化するべきである。つまり、Black-Boxを持ったシミュレータによる直接的な数字による解は、意志決定時にその理論構成を共有化することができないために、導入された仮定やモデル、計算過程を無視して、計算結果そのものだけの議論に陥る危険性がある。この問題は経路選択モデルだけではないが、「なぜその道を通ったのか?」、「どうしてそこで減速したのか?」などの単純な疑問に解答できる導入理論の透明性が必要不可欠である。

このことは、シミュレータに外的に与えるパラメータ(データ)にも同様のことが言える。ネットワークシミュレーション計算を行なう場合に与える外的数値は、データファイルとしてインプットする場合が多いが、OD表や規制速度、道路幅員、信号データなど明示的で測定可能な設定が可能なものだけにすることが望ましい。つまり、測定可能なデータに基づいて判断・計算を実施する行動分析的なモデリングを導入することで、入力パラメータとモデルの透明性が高まり、理論の共有化が可能

となる。同時に、現況再現性チェックにおいては、交通量やその変動だけでなく、車両の旅行時間と経路のトリプルチェックによって、個々のモデルの説明力と全体としての再現性判定が重要になってくる。

(3) 地区交通評価システムとしての限界

この様な人間にとって理解しやすい行動モデルなどの現象分析的なモデル構成を導入することは、モデリング自体に多くの雑音が入る場合が多く、実現象を正確にモデル化することはできない点への考慮も十分に必要である。また入力データや導入したモデル推定値の誤差がシミュレーションの進行にともなって増加・増幅される場合への対応も重要となる。システムの骨格をなす基本モデル自体の再現性や説明力が高くても、それらをサブモデルとして構成されるシミュレーションシステム全体では誤差項の増幅はさけられない場合がある。この修正法として計算結果と実測値の比較によるパラメータ・チューニングが一般的であるが、現象分析的モデルを核としたシステムの場合、各々の現象分析モデルの精度にも重点を置く必要があるためパラメータ・チューニングが適当な方法とならない場合がある。チューニングによってそのモデル自体（例えば車両挙動モデルなど）をある意味勝手に変更することは止め、当初の現象分析モデリング自体に問題があったことを素直に認めて、再度全体像を再作成する姿勢が必要である。これは新しいタイプの交通政策が導入される場合の事前検討にも当てはまる。つまり、なんだか中身はよくわからないが、結果は正確であるというシステムは、少なくとも地区交通計画の評価システムとしては不適で、必要な現象を純粋にモデル化することで透明性を前面にださなければならない。特に今後の住民参加が進展すれば、多くの人間による主観的判断では、説明力の無い結果は一蹴される可能性も高いため、できる限りの透明性確保が重要となってくるであろう。ただし現象分析型のモデリングには自ずと限界があり、完全なモデル化は当然不可能といった認識を理解した上での微妙なバランスによる判断が必要となる。

現在のところシミュレータが前述の広義の評価システムとなることはありえないであろうが、地区交通計画における複雑な条件の元で、詳細な判断材料として指標の出力を求められることになり、ここに論じた様な性格をもったシミュレータが有効である。

4. tiss-NET による地区交通計画評価

筆者らが従来から開発を進めている tiss-NET は、今までの議論を踏まえたコンセプトによって設計され、地区交通計画評価システムに特化したシステムアーキテクチャを採用している。

(1) サブシステム構成の概念

tiss-NET(traffic impact simulation sub-systems for loadNETwork)は、図 1が示すような4つのサブシステムとそれらを総合的に管理・進行させる「イベント進行サブシステム」によって構成され、複雑な地区交通計画への拡張性を持っている。なお網掛けのモデルは現在導入を検討中のものである。

「車両挙動サブシステム」は実際の車両挙動を決定するサブシステムで、追従走行モデルなどの各種のモデルが組み込まれている。これらは外生的に交差点内の走行位置などを決める交差点通過モデルのような決定モデルと、実際の挙動を車両属性と後述の交通状況から行動を決定する行動モデル、及びその中間モデルによって構成され、分析対象に応じて順次必要なモデルを追加している。「経路決定サブシステム」は発生時に最短時間経路算出モデルや固定経路設定モデルを用いて車両に具体的な経路を設定する。また動的経路算出モデルやネットワーク知覚モデルは車両の走行途中で必要に応じて呼び出す設定が可能である。「シミュレーション制御サブシステム」は経路決定や挙動決定に必要な交通状態の維持や交通信号制御等を行なう。車両挙動以外の交通環境全般を取り扱うサブシステムで、今後は交通情報提供モデル等を導入する予定である。上記3つのサブシステムは「イベント進行サブシステム」によって相互に結ばれ、逐次事象を進行させることでシミュレーション時間が更新される。「外部リンクサブシステム」は必要に応じて tiss-NET 以外の外部モデルを取り込める拡張性を持っている。このサブシステム構成はあくまで tiss-NET シミュレーションにおけるシステムアーキテクチャの概念の説明であるため、次節で具体的な現象とモデルの対応を説明する。

(2) tiss-NET における地区交通検討要因と導入モデル

tiss-NET が具体的にどのような検討要因について対応しているか、また実際に導入されているモデルについてを概説する(表 1)。なお、ここでは自動車車両の行動(走行挙動や経路など)に関して、実際の行動・行為自体に着目して分析・モデル化したものについて、行動自体を仮想的に記述したものとして「行動モデル」と表現している。

(a) 実証済みモデル

まず tiss-NET に実装されている各種検討要因で既に実証されているモデルを明記する。現時点での tiss-NET で表現可能な交通構成は、普通車とバスの二種類で、それぞれ異なった走行挙動モデルを有している²⁴⁾。車両の走行挙動は、全て行動モデルとして記述されており、希望速度で走れる「自由挙動」と、前方車からの影響を受けながら走る「追従挙動」の二種類の挙動に大分類される。さらに自由挙動には、赤信号などの障害物手前での緩やかな減速挙動である「様子見挙動」が含まれている^{25) 注2}。

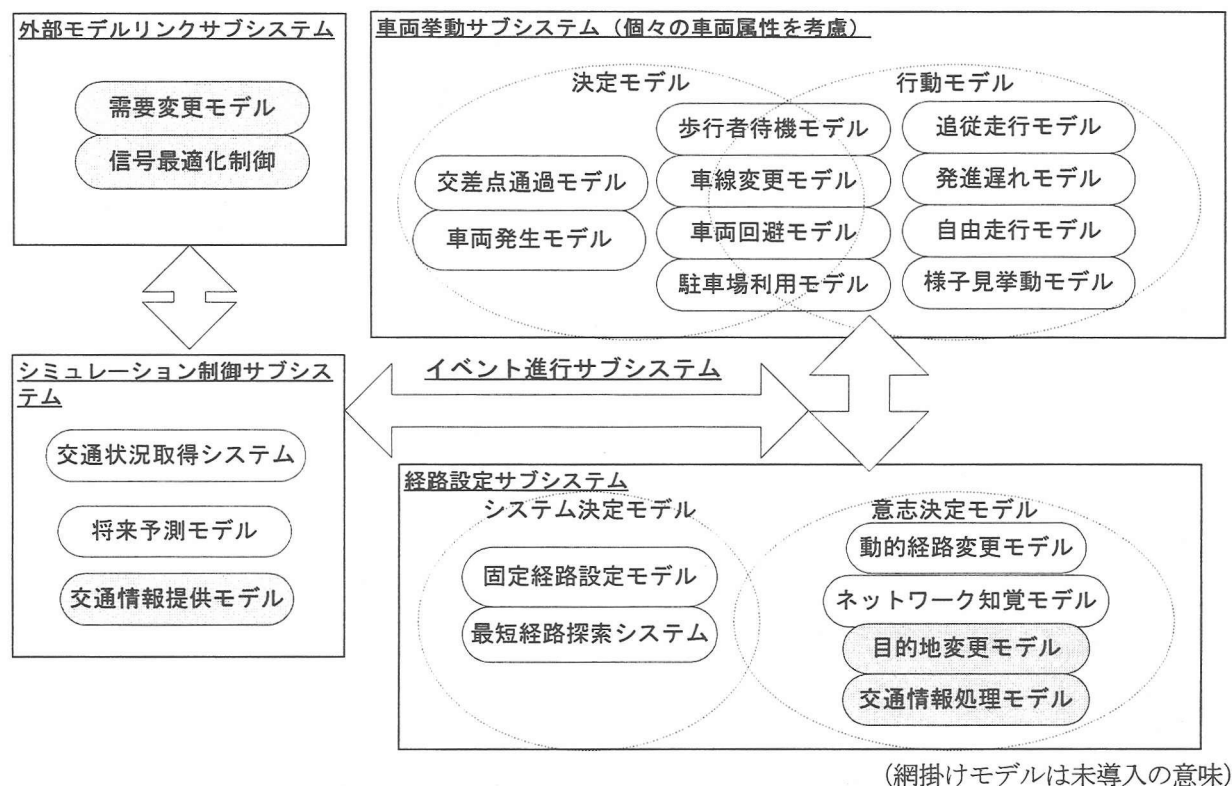


図 1 tiss-NET のサブシステム構成

また信号待ちからの発進などに見られる「発進後れモデル」については非行動モデルとしてはあるが、その分布形について別途検討され実装されている。

道路上における車両挙動について、特に大きな影響要因である路上駐車の影響に関しては、路上駐車車両が存在する場合の車両挙動を分類・モデル化した²⁶⁾上で、特に我が国に多く見られる片側1車線道路に対応するために対向車線へのはみ出しを含めた路上駐車拡張回避モデルを導入した²⁷⁾。

地区内の交通に絶大な影響を与える交差点・信号についても各種検討を行っている。信号については、あらゆるステップ（信号パターン）をファイルデータとして与えている。現実問題としては信号データの取得の煩雑さが挙げられるが、現時点では実観測によるデータを与えることが原則である。交差点内の停止位置（停止線）や車両走行位置、すりぬけの可能性、対向車からの待機地点なども VTR 等の実観測によってデータ化され、行動モデル決定する状況データとなっている。また右折車両が対向車を待ち交差点内で待機する現象については「ギャップ判別モデル」を²⁸⁾、横断歩道上の歩行者による影響についてはその存在による「横断歩行者による車両停止モデル」がそれぞれ行動モデルとして検証を行った²⁹⁾。無信号交差点については、非優先道路の車両の一時停止を前提として優先道路側の車両が優先的に走行するが、優先道路側が渋滞している場合の非優先道路からの流入

に関する行動モデルである「譲り合いモデル」が検討済みである³⁰⁾。また、海外事情への適応可能性を検討する中で、アジア諸国の都市で顕著に観測される自転車による影響を対象として自転車と自動車の相互影響の行動モデルである「混合交通状況モデル」も分析を行った³¹⁾。

商業施設などの大規模駐車場の待ち行列が路上に達することで大きな交通インパクトを与えている状況は多い。この現象を表現するために駐車場の利用時間を確率分布によって与えている。これは、tiss-NET の原則である行動モデルと異なるが、施設規模やサービスレベルなどによる利用時間のモデル化は非常に精度が悪いこと（適合度検定を行ってもあまり良い適合を示さない場合が多い）、立地条件や時間帯による差が大きいこと、また利用時間分布形の調査が比較的分容易なことなどの理由で非行動モデルを採用している。

経路に関しては、交差点の進入方向と退出方向を区別したセクションネットワークモデルを導入して、詳細な最短経路を算出可能とした³²⁾。また従来からの分割配分手法に類似した経路決定手法を改良するために、個人属性と交通状況に応じた動的経路変更モデルを検討した³³⁾。この結果、渋滞時などの観察される U ターンを使った最短経路が算出可能となった。また上記の動的経路変更モデルは予測外の渋滞発生による途中経路変更だけでなく、そのサブモデルとして経路認知モデルを含むため、初心者や土地感の無いドライバーが認知し得ない細街路への

表 1 tiss-NET における地区交通の検討現象とその対応

分類	検討現象	対応状況	tiss-NET の導入モデル・手法	備考	文献
全般	車種構成	○ 普通車とバス, 横断歩行者	走行モデルの区別		
	信号パターン	○ あらゆるパターン可	ステップデータの入力	状況データ	
	大規模駐車場	○ 利用時間を分布で与える	駐車場利用時間モデル	非行動モデル	
挙動全般	車両の基本走行	○ 車種別の走行挙動モデル	「自由走行モデル」: 車両が追従状態にない場合の挙動 (設定された追従範囲の内外で判定) 「追従挙動モデル」: 車両が追従状態にある場合の挙動 「様子見挙動モデル」: 前方に赤信号や停止車両といった停止しなければならぬ要素があった場合, 様子を見ながら障害要素が取り除かれるのを待つ挙動	行動モデル	25) 24) 注2
	発進遅れ	○ 分布で与える	「発進遅れモデル」: 信号等における発進遅れ時間	非行動モデル	25)
	速度のばらつき	○ 分布で与える	「希望速度モデル」 発進時に平均 1.0, 分散 0.1 の正規分布として決定	非行動モデル	
	車線選択	× 分析中	(暫定モデル)		
交差点	停止線位置	○ 位置を厳密に設定可能	コンパートメント概念	状況データ	
	走行位置	○ 位置を厳密に設定可能	コンパートメント概念	状況データ	
	右左折待機	○ ギャップ時間により判断	ギャップ判断モデル	状況データ	28)
	すり抜け	○ 幅員・車幅・速度等から判断	コンパートメントの可変幅員概念	行動モデル	29) 26)
	横断歩行者の影響	○ 歩行者量により判断	横断歩道による車両停止モデル	行動モデル	29)
	譲り合い	○ 無信号交差点での譲り合い	譲り合いモデル	行動モデル	30)
リンク	車線変更	× 分析中	(暫定モデル)		
	路上駐車回避	○ 回避挙動の類型とモデル化	路上駐車回避モデル	行動モデル	26)
	対向車線はみだし	○ 路上駐車の影響	路上駐車拡張回避モデル	行動モデル	27)
	様子見挙動	○ 信号変化を期待して速度変化	様子見挙動モデル	行動モデル	25)
	専用レーン	○ 車種別に専用レーンを設定可	コンパートメント概念, パーツ概念		
経路	自動車経路	○ 最短経路, 状況と属性に応じた経路決定	セクションネットワークモデル, 厳密な最短経路設定, 動的経路変更モデル	融合を検討	2)
	U ターン	○ U ターンを含めた経路決定	セクションネットワークモデル	行動モデル	
	渋滞回避	○ 途中経路変更	動的経路変更モデル	行動モデル	33)
	細街路の回避	○ 道路属性に応じた経路判断	経路判断モデル	行動モデル	33)

進入抑制も表現している。

また, 全般的な事としては, コンパートメント概念と一定区間ごとのパーツ化という手法を用いて, バス専用レーンや右左折専用帯を容易に設定可能である。

(b) 検討中のモデル

個々の車両の個性を表すものとして「希望速度モデル」を暫定的に組み入れ, 行動モデルである走行挙動モデルのベースとなっている。本来の行動モデルの考え方ではもっとも重要なポイントであるが, 走行挙動を決定する個性や気分などといった条件は, 観測やモデル化が極めて困難なため, 現在の tiss-NET では透明性を持たせるために規制速度に対する希望速度を指数として与えることに留まっている。結果的に恣意的な操作は可能であるが, 実測に基づく再現性は現在まで一定の分布形で確認されており, この点についてはいわゆるパラメータチューニングといった不透明性は存在しない。また, 前述した発進遅れモデルや, 多車線道路における車線選択

といった行動モデルについては現在解析中であり, 現時点では観測に基づく確率分布として内生化することで, 暫定的に対応している。

(3) シミュレーションフロー

tiss-NET における地区交通シミュレーションの分析フローを以下に示す。tiss-NET に内生されたモデルに与える外的パラメータは, OD 交通量および規制速度など原則的に観測・測定可能な物理量に原則として限られている。そのため対象地区で実際に測定された外的パラメータを導入した場合の現況再現性を確認した後に, 検討すべき交通計画・政策のシミュレーションを実施することになり, 地域特性が強いなどの理由で十分な再現性が得られない場合に始めて既存の内生モデルの改良を行なうことになる。現在までに導入されたモデルが著しく再現性に欠くために既存モデルの変更を行なったことはないが, 例えばバスなどの大型車挙動が必要になった場合に

その挙動モデルを観測の上で導入するなど適時内生モデルを強化してきた。同様に導入予定の計画についてもモデルが不足するサブシステムに関しては適時新しいモデルを導入することで対処していく。需要モデルなどの大規模なサブシステムが必要となった場合は、無理に内生化することは行わず、外部モデルとして扱いことでシステムの肥大を防いでいる。

(4) tiss-NET による地区交通計画評価

現在までの tiss-NET の研究・開発においては、ある意味必要に迫られた現象に限っての議論展開を行ってきた。例えば路上駐車インパクト分析では、その分類・モデル化そのものに重点を置いてきたために、地区交通計画全体の中で tiss-NET の位置づけが十分議論されずにいた。これは、一方で表 1 に示しているような地区交通評価に必用不可欠な現象のモデル化について、その全貌が初めて明らかになってきたとも言える。よって、必要なモデル群を実装することで始めて明らかになった点もあるために、ここで tiss-NET を用いた地区交通の評価の可能性・方向性を再度検討してみる。この再検討は、筆者らが検討している広義に地区交通計画の評価手法について、現時点で可能な点と不可能な点を明らかにし、今後検討が必用な事項・問題点を明らかにする意味でも重要である。

(a) Traffic Impact(TI)アセスメント

この場合の TI は商業地区における新規施設や再開発、土地利用変化による自動車需要の増加・変動及び交通環境（交差点改良等）の変化によるインパクトに関するものとする。tiss-NET の原形は TI 評価手法として小規模な駐車場インパクト評価から開発に着手していることや、車両の挙動を行動モデルとして記述することで、単路部および駅前地区等の小規模な道路網と駐車場の組み合わせは得意とする分野であり従来から分析を行なってきた³⁴⁾。ただしこの場合は、駐車場を終起点とする OD 調査・予測が不可欠であり、また駐車場の利用時間分布などは地域依存性が強いために詳細な地区の交通調査が必要となる場合が多い。また、駅前地区などで問題となる路上駐車の影響は対向車線への回避挙動モデルによって表現し、歩行者の多い交差点の左折待ちによる影響も考慮可能である。以上のことから、tiss-NET による TI 評価は、車両の挙動を行動モデルとして記述している透明性（どうしてその地点でその時減速したかが明白）を持った上での交通量が算出できる点が挙げられ、これは2(3)で論述した交通量予測の問題点だけでも大きな意味があることがわかる。さらに、別の評価指標として算出可能なものは個々の車両軌跡を時間とともに追跡可能である点も非常に重要である。いつどの車両がどこをどうやって走行したかを厳格に追跡・分析可能ということのもつ意味は非常に大きい。

現時点での課題としては、郊外道路沿いの大規模小売

り店舗の出店に伴う TI 予測の場合などに、誘発交通量を予測する外部リンクサブシステムの充実が必要となるであろう³⁵⁾。

(b) 公共交通優先策

今後も路面電車の復活やバス専用レーンなどの公共交通機関の優先政策支援は活発になることが予測できる。tiss-NET は、鎌倉地域で実際に検討されているバス追い越し現示（対向車線を利用してバスが追い越す信号システム³⁶⁾）の事前評価の実施²⁴⁾や、バス専用レーンについて、社会実験計画時の検討資料作成などを通してその有効性を確認してきた。ただし、専用レーンの場合はその後に実施された社会実験によってシミュレーションの予測精度が検討できたが、バス追い越しシステムの様な特殊な交通計画はすぐには実施されず、シミュレーション結果が宙ぶりの（再現性の確認ができない）状態になることもありえる。この結果、数字だけの一人歩きを防止すること、シミュレーションによる評価指標の提案の不信感を薄くすることを目的として、多くのシミュレート成果を提案しその整合性を確認するといった作業を繰り返すことで地区交通シミュレーションモデルとしてのコンセンサスを得ることが必要となることと考えられる。

今後は、このような特殊な交通状況を予測する場合にも tiss-NET の持つ柔軟なサブシステム構成が容易に対応できるという期待がある。また、今後検討が必用な改良点としては、バス優先政策と制御サブシステムにおける信号最適制御システムが挙げられる。

(c) コミュニティーゾーン

コミュニティゾーンは、第6次交通安全施設等整備事業5ヶ年計画の重点施策とされ今後の導入が大幅に見込まれる地区計画であるが³⁷⁾、交通規制などのソフト的手法とハンプなどのハード的手法を面的に組み合わせた過去に例を見ない複雑な地区計画となっている。このため検討要因も、通過交通の排除や地区内の速度変化、また周辺部への影響度の把握などを面的に、そして詳細に捉える必要があるためにミクロな表現力が要求される。

単純な速度抑制や通行規制程度については、現在のサブシステム構成でも検討を行ってきたが³⁸⁾、より詳細な検討のためには、まず物理的デバイスを考慮した車両挙動の行動モデルとしてのモデル化が必要となるであろう。さらに、物理的デバイスと面的な交通規制が影響する心理的要因を含んだ経路決定モデルとサブシステムの実装が必要であろう。

(5) サブモデルの再構築による拡張性

交通アセスメントの法制化への動きや計画場面への住民参加の浸透などによって、地区交通計画は需要増加と共に内容もより複雑になることが予測される。tiss-NET は既存サブシステムにモデルを追加したり、サブシステムを再構成して各種の計画評価への対応が将来的に可能である。以下に tiss-NET を用いた検討中の地区交通計画

についての解決方針を示す。これは、現存する方法・手法では説得力のある評価が行えないためにすみやかな解決が強く望まれているということを意味しており、筆者らは希望的観測と捉えられがちではあるが、その解決のためのコンセプト及びアイデア自体が非常に重要であると考え、現実可能な方法として検討を行っている。

(a) Road Pricing(RP)等の TDM 政策

料金等によって地区・地域への進入車両を制限する RP の場合、政策評価のためには交通需要の変動を予測することが必須となるが、その需要予測モデル自体に地区内の交通状況がパラメータとして組み込まれるのが一般である。つまりモード転換の予測には、地域内の交通状況がパラメータとして入力される。言い換えれば、運転者は料金に見合った交通状態を検討してから、実際に支払って地域内に進入するか、それとも公共交通機関を使うか、または行かなくなるなどの決定するであろう。SP 調査などによってモード転換や旅行取り止めといったモデルは構築可能であるが、それは RP 実施時の交通状況を行える交通シミュレーションとのデータのキャッチボールを行うことで始めて有効になると言える。

tiss-NET では外部モデルリンクサブシステムにこれらの需要予測モデルを組み込むことでこの問題を解決する方針である。tiss-NET によって計算された地域内の交通状況を需要予測モデルに受け渡し、推定された需要量をさらに tiss-NET に戻すことを繰り返すことで、需要モデルと交通状況の均衡的な状況を得ることを期待している。

(b) 道路交通情報の高度化への対応

地区交通と ITS の直接の接点としては、まず TI 軽減のための駐車場案内誘導システムなどが挙げられる。tiss-NET の経路選択モデルはまだ発展途上にあるが、個々の車両が厳密に個人属性を保有可能なため、ドライバーとしての情報処理・反応モデルを行動モデルとして作成し、サブモデルに追加することが可能である。このコンセプトは、単に自動車運転者の性格付けを任意に実施したり、さらにその性格の重み付けを任意に行うといった、既存アプリケーションに見られる手法とは完全に異なっている。またシミュレーション制御サブシステム内に、交通情報収集・提供モデルを構築することで、各々の車両へ異なったレベルの交通情報を提供することが可能である。これは、情報提供の効果分析といった意味で ITS の評価システムとしても機能することが期待できる。ただしこのためには、透明性を持った経路選択機構をモデル化する必要が当然でくるために、本研究の範囲を超えた基礎的な研究が必用になるであろう。

5. おわりに

本研究では駅前地区などの比較的小さな範囲から古都鎌倉地域の規模までの地区交通計画にとって必要となる評価システムについて、その現状と課題を議論した。

まず、交通量算出方法や自動車の経路選択機構を整理した上で、現在もっとも有効な手段とされているシミュレーションシステム構成についてまとめた。以上を踏まえた上で、従来から筆者らが開発を行なっている tiss-NET に導入されている柔軟なサブシステム構成をベースとした地区交通の検討要因と実際に導入されているモデルを紹介した。最後に現在までに実施した地区交通評価事例と、今後実施されるであろう交通政策への対応例を検討することで、本研究の目的である tiss-NET による地区交通計画評価が可能な点を立証することができた。

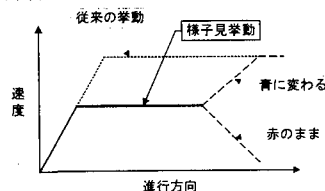
柔軟なモデリングが可能なシミュレーションは、パラメータ・チューニングに終止徹することもしばしば指摘される。今後は汎用性を持たせる固定的モデルと、対象地域や計画内容に柔軟に対応する変動的モデルを明らかにし、同時に経路選択機構を中心に現象分析型行動モデルの分析をされにすすめていく予定である。

現象分析型のモデリングには、極力正確に現象を分析できる客観的なデータが必須である。しかし個々の車両の経路追跡を実際に行なうことを考えると、現在有効な手法は不在であり、ITS 技術の進歩無くしては不可能である。tiss-NET における現象分析型の行動モデルの完成も、詳細な行動記録の蓄積があつて始めてなされるであろう。また、近年における計算機性能の向上によって、従来まで厳密な車両区分を行なっていなかったシミュレータが計算タスクといった足枷がはずれることによってよりミクロな現象分析のシミュレータとして発展することも考えられる。

最後に、今後の住民参加が活発になる交通計画へのシミュレーション適応については、専門家だけではなく一般市民の感覚に訴えかける具体的な指標を含めた評価方法が重要になる。その際にはシミュレーションという手法が魔法の箱にも悪魔の箱にもならないように、結果に対するコンセンサスを得る場を多くするとともに、モデルの透明性の維持が重要となってくるであろう。

【注釈】

- 1 従来は開発環境に伴い tiss-NET WIN の名称で開発を行なってきたが、今後のシステム名称を tiss-NET に改めた。
- 2 車両の挙動モデルは参考文献（普通車については25、大型車については24）が詳しいが、それらは個別に検討されているためここで一括して掲載した。「自由走行モデル」は、普通自動車が単独で走行したり、集団先頭のバスなどの走行であるためにモデル化は容易であるが、その中に含まれる「様子見挙動モデル」が理解しにくい。様子見挙動の概念を図で示すと以下の図になる。従来では進行方向に停止せざるをえない障害物（赤信号）などがあつた場合でも停止できる直前まで高い速度を維持していた。しかし観測からこのような状態では自由挙動をとっている車両は前方の状況・様子を予測する挙動をとることが判明したために、障害までの距離に応じた速度をとるモデルを作成した。



また、「追従挙動モデル」は、前方に走行している車の影響を受けながら走行（追従走行）する車の挙動であり、追従している車と追従されている車のそれぞれの速度・加速度・車間距離・相対速度等の値を変数として追従車の速度あるいは加速度を導くために複雑である。tiss-NETに関連する一連の研究で用いられている追従走行モデルは以下である。加速と減速の区別は、追従状態になりさえすれば速度差によって単純に決定される。

「被追従車と追従車が共に普通車」の場合は

$$\text{減速時} \quad a_{k+1}(t+T) = -0.64 \frac{v_{k+1}^{1.30}(t+T)}{\{x_k(t) - x_{k+1}(t)\}^{0.70}} \quad (R^2=0.71)$$

$$\text{加速時} \quad a_{k+1}(t+T) = 0.34 \cdot v_{k+1}^{0.49}(t+T) \cdot \{x_k(t) - x_{k+1}(t)\}^{0.15} \quad (R^2=0.56)$$

追従範囲 (m) $\leq 5 / 3 \times$ 追従車速度 (m/s) + 1.5

$a_k(t)$: k 番目の車の時刻 t のときの加速度 (m/s²)

$v_k(t)$: k 番目の車の時刻 t のときの速度 (m/s)

$x_k(t)$: k 番目の車の時刻 t のときの位置 (m)

T : 反応遅れ時間 (=1 秒)

「追従車が大型車、追従車が普通車」の場合は、

$$\text{減速時} \quad a_{k+1}(t+T) = -0.80 \frac{v_{k+1}^{0.31}(t+T) \{v_{k+1}(t) - v_k(t)\}^{0.55}}{\{x_k(t) - x_{k+1}(t)\}^{0.37}} \quad (R^2=0.46)$$

(大型車による追従加速は無く、加速時は常に自由加速となる)

追従範囲 (m) $\leq 10 / 3 \times$ 追従車速度 (m/s) + 2.0

「追従車が普通車、被追従車が大型車」の場合は

$$\text{減速時} \quad a_{k+1}(t+T) = -0.73 \frac{v_{k+1}^{0.09}(t+T) \{v_{k+1}(t) - v_k(t)\}^{0.52}}{\{x_k(t) - x_{k+1}(t)\}^{0.09}} \quad (R^2=0.59)$$

減速追従範囲 (m) $\leq 5 / 3 \times$ 追従車速度 (m/s) + 1.5

$$\text{加速時} \quad a_{k+1}(t+T) = 0.20 \frac{v_{k+1}^{0.83}(t+T) \{v_{k+1}(t) - v_k(t)\}^{0.32}}{\{x_k(t) - x_{k+1}(t)\}^{0.05}} \quad (R^2=0.56)$$

加速追従範囲 (m) $\leq 5 / 3 \times$ 追従車速度 (m/s) + 1.0

となっている。大型車が追従した場合は、遠い車間距離から追従状態（追従減速）となるなど、一般的にも納得の行く結果となった。なお、これらのモデル式の検証は別途実施している。

【参考文献】

- 1 太田勝敏 編著：新しい交通まちづくりの思想 コミュニティからのアプローチ、鹿島出版会、1998
- 2 坂本邦宏、高橋伸夫、久保田尚：セクションを利用した地区交通のための交通インパクト評価システムの開発、土木計画学研究・講演集、20(1)、pp.493-496、1997
- 3 新谷洋二 編著：都市交通計画、技報堂出版、1993
- 4 例えば、碓丈巨、河上省吾：追い越しを考慮した動的交通量配分モデル、土木計画学・講演集、No.21(2)、pp.765-768、1998
- 5 山中英生、天野光三、渡瀬誠：住区内交通への多経路確率配分モデルの適応に関する研究、土木計画学研究・講演集、No.9、pp.465-472、1986
- 6 馬場美也子、平子智明、寺本英二：ドライバの経路選択特性を考慮した交通量配分システム、第 16 回交通工学研究発表会論文集、pp.101-104、1996
- 7 岡村寛明、桑原雅夫、吉井稔雄、西川功：一般街路シミュレーションモデルの開発と検証、第 16 回交通工学研究発表会論文集、pp.93-96、1996
- 8 北岡広宣、寺本英二、滝澤衣子、斎藤威：交通流シミュレータ NETSTREAM を用いた長野オリンピック開催時の交通状況予測、第 18 回交通工学研究発表会論文集、pp.29-32、1998
- 9 赤羽弘和、他：交通シミュレーションの実用化に向けての課題—ベンチマークデータを用いた検証の推進—、土木計画学研究・講演集、No.21(1)、pp.609-614、1998
- 10 井上博司：道路網における交通流動の動的シミュレーション手法、土木学会論文集IV、No.470、pp.87-95、1993
- 11 加藤晃：交通量配分理論の系譜と展望、土木学会論文集IV、NO.389、pp.15-27、1988
- 12 桑原雅夫、赤松隆：多起点多終点 OD における渋滞延長を考慮したリアクティブ動的利用者最適交通量配分、土木学会論文集IV、NO.555、

pp.91-102、1997-1

- 13 平子智明、馬場美也子、寺本英二：交通情報システム評価用広域交通シミュレータ、第 16 回交通工学研究発表会論文集、pp.97-100、1996
- 14 堀口良太：交通運用政策評価のための街路網交通シミュレーションモデルの開発、東京大学学位論文、1996
- 15 <http://www.trafficware.com/>
- 16 羽藤英二、香月伸一、貴志泰久：シミュレーションによる交通制御の最適化とそれに伴う交通流の変化、第 14 回交通工学研究発表会論文集、pp.49-52、1994
- 17 羽藤英二、香月伸一、吉川康雄、森田育宏：GUI を用いた交通流シミュレーションの入力データ作成プログラムの開発、第 15 回交通工学研究発表会論文集、pp.41-44、1995
- 18 Cameron, G, Brian J.N. Wylie and David McArthur : PARAMIX-Moving Vehicles on the Connection Machine, IEEE Conference, 1994
- 19 <http://www.paramix.com/>
- 20 Takeshi Saito, Kazuhiko Yasui, Satoshi Fujii, Hiroyuki Okamoto, Seiji Itakura, Hiroshi Gamada : Improvement of the Traffic-Flow Simulator for Evaluation of Traffic-Signal Control (TRAS-TSC), Proceedings of the Third Annual World Congress on Intelligent Transport Systems, CD-ROM, 1996
- 21 齋藤威：交通流評価用シミュレータの開発、月間交通、1997 年 7 月号、pp.82-100
- 22 横田敏幸、横地和彦：交通流シミュレータ“SIPA”の開発、土木計画学研究・講演集、No.21(2)、pp.893-896、1998
- 23 木戸伴雄、池之上慶一郎、斎藤威：街路網における経路探索・交通量配分モデル(DYTAM-I)、科学警察研究所報告交通編、Vol.19 No.1、pp.1-10、1978
- 24 小原誠、坂本邦宏、久保田尚、高橋洋二：tiss-NET によるバス優先方策の効果分析、土木計画学研究・講演集、No.21(2)、pp.297-300、1998
- 25 曾田信行、久保田尚、高橋伸夫：混雑時の市街地における車両挙動シミュレーション、第 15 回交通工学研究発表会論文報告集、pp.45-48、1995
- 26 小原誠、高橋伸夫、坂本邦宏、久保田尚：路上駐車への追い越し挙動の類型化とシミュレーションシステムの開発、第 16 回交通工学研究発表会論文集、pp.109-112、1996
- 27 竹内恭一、小原誠、坂本邦宏、久保田尚：片側一車線における路上駐車の影響分析、第 17 回交通工学研究発表会論文集、pp.237-240、1997
- 28 高橋伸夫、久保田尚、坂本邦宏、杉浦孝臣：ミクロな交通状況を考慮した交差点シミュレーションシステムの開発、第 15 回交通工学研究発表会論文報告集 pp.49-52、1995 年 11 月
- 29 田中淳、高橋伸夫、坂本邦宏、久保田尚：交差点内の横断歩道者が左折交通流に与える影響に関するシミュレーション分析、第 17 回交通工学研究発表会論文集、pp.37-40、1997
- 30 酒井貴之、田中淳、坂本邦宏、久保田尚：渋滞時の譲り合いを考慮した無信号交差点の分析とシステム化、第 20 回交通工学研究発表会論文集、pp.57-60、1998
- 31 大川紀幸、坂本邦宏、久保田尚：中国の市街地交差点を対象とする混合交通シミュレーションの開発と分析に関する研究、第 19 回交通工学研究発表会論文集（投稿中）
- 32 K.SAKAMOTO, H.KUBOTA, N.TAKAHASHI, T.SUGIURA, N.IWASAKI : Micro Simulation for Traffic Assignment Model Applicable to On-Trip Driver Information System - tiss-NET WIN-, 2nd ITS World Congress pp.1926-1933, 1995
- 33 菊池守久、坂本邦宏、久保田尚：個人の経路変更可能性に着目した動的地区交通シミュレーションモデルの開発、土木計画学研究・講演集、No.21(2)、pp.261-264、1998
- 34 小宮秀彦、中島敬介、久保田尚、坂本邦宏：主要鉄道駅周辺の大規模店舗に関するインパクトスタディー、第 49 回土木学会年次学術講演会講演概要集第 4 部、pp.356-357、1994
- 35 大規模小売店舗を設置する者が配慮すべき事項に関する指針（案）：<http://www.miti.go.jp/feedback-j/idaik00j.html> (1999/7 月)
- 36 赤羽弘和：街路におけるバス優先方策の高度化、国際交通安全学会誌、18 巻 3 号、pp.19-27、1992
- 37 警察庁交通局、建設省都市局・道路局 監修：コミュニティ・ゾーン形成マニュアル<地区交通総合マネジメントの展開>、社団法人交通工学研究会、1996
- 38 蛭澤隆行、坂本邦宏、久保田尚、杉山健一：tiss-NET を用いたコミュニティゾーンの交通量推計に関する研究、土木計画学研究・講演集、No.21(2)、pp.795-798、1998

検討要因の複雑な交通現象を解析する場合、シミュレーション手法が有効であることが事例報告とともに明らかになってきている。本研究は地区交通計画に焦点を当て、まずシミュレータとしての現状と課題を整理してから、地区交通計画の評価システムとして必要なシミュレーションシステム構成についてまとめた。その後、筆者らが従来から開発を行なっている tiss-NET に導入されているモデルと地区交通の検討要因を比較し、コンセプトに基づく柔軟なサブシステム構成を示した。現在までに tiss-NET で検討してきた地区交通評価事例を整理し、また今後の適応可能性を探ることで、tiss-NET が地区交通計画の評価システムとして有効であることを立証した。

Traffic Simulation for Micro-level Transportation Planning -developing tiss-NET-

Kunihiro SAKAMOTO, Hisashi KUBOTA, Takaaki MONJI

Traffic simulation system is one of the most effective methods to analysis micro-level traffic situation. Authors developed an innovative system for personal computers named tiss-NET (traffic impact study system for road NETwork), which is the traffic simulation system which include driver's route choice mechanism and vehicle behavior models. The purpose of this study is to prove that tiss-NET system can work effectively for traffic impact estimation. The tiss-NET with flexible system architecture is designed for micro-level traffic phenomena such as on-streets parking and intersection movement with crossing person. We can get conviction through case studies.