

地区交通計画支援ツールとしての
交通シミュレーションモデルの開発と適用に関する研究

坂本 邦宏

目次

第1章 序論	1
1.1. 研究の背景と目的	1
1.2. 本研究の構成	5
第2章 地区交通の定義と研究の位置付け	7
2.1 概説	7
2.2 地区交通計画の範囲と定義	7
2.3 交通シミュレーションモデルの開発に関する既存研究の整理	8
2.3.1 交通シミュレーションモデルの開発アプローチによる分類	8
2.3.2 交通シミュレーションモデルにおけるモデル構造による分類	9
2.3.3 シミュレーションモデルの計算進行手法による分類	12
2.3.4 既存の交通シミュレーションモデル	13
2.3.5 既存の交通シミュレーションモデルの課題整理	15
2.4 地区交通計画評価ツールとしての交通シミュレーションモデルの整理	15
2.4.1 地区交通計画の主要検討要素	15
2.4.2 地区交通計画における交通量予測	16
2.4.3 地区交通計画における自動車の経路選択機構の問題	17
2.4.4 交通シミュレーションを構成するモデルの方向性	18
2.4.5 地区交通評価システムとしての課題整理	19
2.5 本研究の位置付け	20
3章 地区交通計画評価ツールとしてのシミュレーションモデル tiss-NET の開発	23
3.1 tiss-NET の開発経緯とコンセプト	24
3.1.1 システムの柔軟性	24
3.1.2 システムの使用性	25
3.1.3 システムの透明性	25
3.1.4 システムの行動的モデルによる構築	26
3.2 システムアーキテクチャ	27
3.2.1 分析対象の定義	29
3.2.2 アプリケーション・インターフェース (AI)	33
3.2.3 サブシステムズ・インターフェース (SI)	34
3.2.4 シミュレーション・サブシステムズ (SS)	39
3.3 車両挙動サブシステム	40
3.3.1 自由走行モデル	41
3.3.2 追従挙動モデル	41
3.3.3 発進遅れモデル	42
3.3.4 様子見挙動モデル	43
3.4 経路決定サブシステム	44
3.4.1 固定経路設定モデル	45

3.4.2	出発時最短経路設定モデル	45
3.4.3	ネットワーク知覚モデルに基づく動的経路	49
3.5	シミュレーション計算に必要な入力データ	50
3.5.1	入力データの分類定義	50
3.5.2	システム入力値	51
3.5.3	システム設定値	51
3.5.4	システム調整値 (パラメータ)	52
3.6	tiss-NET を構成するアプリケーション	53
3.6.1	データ入力支援システム - EI、NC-	55
3.6.2	数値計算実行システム - PB、tiss-NET 本体-	59
3.6.3	結果表示システム - GraphicViewer、SuperViewer-	60
第4章	市街地道路の路上駐車対策への適用	64
4.1	概説	64
4.1.1	背景と目的	64
4.1.2	従来の研究と本研究の位置づけ	65
4.2	路上駐車追い越しの基本的分類と本研究の範囲	65
4.3	路上駐車に関する車両挙動モデルの検討	68
4.3.1	車両挙動サブシステムズの改良	68
4.4	路上駐車に関するモデル構築のための実データ収集	70
4.4.1	路上駐車回避挙動に関する基本的な検討のため敷地内実験	70
4.4.2	すり抜け不可能な道路における路上駐車回避車両の挙動に関する実験	72
4.4.3	対向車との相互影響に関する敷地内実験	75
4.4.4	実道路における観測実験	76
4.5	tiss-NET への路上駐車に関連する車両挙動モデルの導入	77
4.5.1	複数駐車時の車両群判断モデル	77
4.5.2	路上駐車回避車両の挙動決定モデル	78
4.5.3	tiss-NET への実装	81
4.6	仮想的な路上駐車対策効果のシミュレーション分析	83
4.6.1	シミュレーションデータの取得	85
4.6.2	現況再現性の確認	85
4.6.3	駐車禁止策の効果予測	87
4.7	結論	89
第5章	駐車場施設のインパクトアセスメントへの適用	92
5.1	概説	92
5.1.1	背景と目的	92
5.1.2	従来の研究と本研究の位置づけ	93
5.2	駐車場に関連する交通アセスメントにおける交通シミュレーション分析の課題	93
5.2.1	入力データの分類と取得に関する問題	93
5.2.2	駐車場の交通需要の問題	94

5.2.3 評価指標の問題	94
5.2.4 シミュレーションモデルの利用の問題	95
5.3 駐車場施設周辺の車両挙動モデルの検討	95
5.3.1 駐車場待ち行列回避行動のモデル化	96
5.3.2 駐車場施設の入出庫ゲートモデル	97
5.4 臨海副都心の現状と交通調査の実施	97
5.4.1 交通調査の実施	98
5.5 駐車場周辺部のシミュレーション分析への適用の検討	98
5.5.1 駐車場施設の概況	98
5.5.2 OD 表作成時の検討	99
5.5.3 駐車場利用時間分布の検討	100
5.5.4 現状再現の確認	101
5.6 仮想施設シミュレーション	103
5.6.1 仮想施設の設定	103
5.6.2 信号待ち回数係数の提案	104
5.6.3 tiss-NET によるシミュレーション分析結果	105
5.7 複数駐車場が存在するネットワークシミュレーション分析	108
5.7.1 シミュレーション条件およびエリア	108
5.7.2 現状再現性の検討とその課題	110
5.8 結論	112
第6章 自動車運転者の経路選択行動の適用	114
6.1 概説	114
6.1.1 背景と目的	114
6.2 交通シミュレーションモデルにおける経路問題の現状と課題	115
6.2.1 交通シミュレーションにおける経路選択メカニズムの分類	115
6.2.2 経路選択メカニズムの課題	116
6.2.3 対応策の方向性	116
6.2.4 本研究の対象範囲	117
6.3 動的経路変更の概念	118
6.3.1 動的経路変更の基本概念	118
6.3.2 2 段式経路変更モデルの特長	119
6.3.3 動的経路変更要因	121
6.4 動的経路変更モデルの構築	122
6.4.1 走行実験の概要	122
6.4.2 初期経路利用判別モデル	123
6.4.3 選択可能リンク判別モデル	124
6.5 動的経路変更モデルの tiss-NET への導入	124
6.5.1 tiss-NET における経路決定システムへの動的経路変更モデルの導入	124
6.5.2 シミュレーション分析	125

6.6 結論	128
7章 公共交通優先政策の評価への適用	131
7.1 概説	131
7.1.1 背景と目的	131
7.2 鎌倉地域におけるバス優先施策	132
7.2.1 鎌倉地域（鎌倉古都地域）の交通状況と対象路線の選定	132
7.2.2 鎌倉地域で導入するバス優先方策	134
7.3 特殊な公共交通優先策のモデル化	135
7.3.1 バス追い越し現示について	135
7.3.2 バス追い越し現示におけるバスの挙動モデル	135
7.4 バス追い越し現示のシミュレーション分析	137
7.4.1 現況再現性の確認	137
7.4.2 バス追い越し現示に関する車両挙動の tiss-NET への導入	137
7.4.3 バス追い越し現示のシミュレーション分析の条件	138
7.4.4 シミュレーション結果	138
7.5 結論	142
第8章 面的な TDM 施策への適用	144
8.1 概説	144
8.1.1 背景と目的	144
8.2 住民参加型の地区交通計画に適した交通シミュレーションモデル	145
8.2.1 地区交通計画評価ツールとしての交通シミュレーションモデルへの要求	145
8.2.2 ツールとしての要求と tiss-NET の基本構成	147
8.2.3 tiss-NET のモデル表現力	147
8.2.4 求められるシミュレーションのアウトプット	148
8.3 鎌倉古都地域におけるシミュレーション分析	149
8.3.1 検討されている交通政策	149
8.3.2 ミクロ交通シミュレーションの位置づけ	149
8.3.3 入力データの取得・作成	150
8.3.4 シミュレーション分析の再現性の確認	150
8.4 交通シミュレーションによる定量的分析	151
8.4.1 住民ニーズに基づいた評価指標の設定	151
8.4.2 ロードプライシング実施に伴う交通環境の変化予測	152
8.4.3 細街路の通行止めによる交通環境の変化	153
8.5 結論	154
第9章 結論	156
9.1. 本研究の成果	156
9.2. 今後の課題及び展望	158

謝辞

第1章 序論

1.1. 研究の背景と目的

本研究は、自動車交通のシミュレーションモデル（以下、交通シミュレーションモデル）について、都市街路を対象としたモデルの開発を行い、地区交通問題への交通シミュレーションモデルの適用を試みることで、その実用化にむけて貢献することを目指したものである。

我が国における交通渋滞は、その決定的な解決策を見出せぬまま、世紀を超える不名誉な難問として交通計画者に重く押し掛かっている。

1960年代からの急速な自動車普及の結果、現在の自動車保有台数は7,000万台を超え、世帯当たりの保有台数も1台以上となっている¹⁾。自動車の移動性を必要とする地域社会や、その利便性・快適性を確保したいという人々の欲求は、自動車の世帯保有から個人保有への意識変化を加速させている。一方、道路の整備状況としては、既に高速自動車国道の延長は6,400kmを超えており、一般国道についても延長約53,000km、舗装率も98.9%と整備は進行している²⁾。この様に整備が進む状況においても、特に都心部や休日の観光地における交通渋滞は深刻な問題を引き起こしている。一般国道では、混雑度1.5以上の道路区間が全体の10.9%（5,874km）に及び、混雑度1.0以上と合わせると全区間の45.8%（25,031km）と多くの区間で日常的な交通渋滞が発生していることがわかる^{脚注a)}。これらの交通渋滞は、自動車利用者の利便性を損なうだけでなく、道路周辺住民の交通行動の制限や、地球レベルで検討しなければならない環境問題の悪化促進など、様々な悪影響を持っている。

今、道路行政、交通計画は大きな転換を迎えている。従来の新規道路建設を中心とした整備手法は、物理的・経済的に現実的な施策ではなくなっており、道路基盤の供給だけではなく、需要側を対象とした交通需要管理（TDM：Transportation Demand Management）に代表される複合的・多面的な手法によって問題解決方法を探っている状態にある。TDMは、フレックスタイム導入などによる需要の時間的分散や、パーク・アンド・ライド（P&R）等の手段変更による需要の空間的分散等、交通需要の調整・工夫を行うことで全体のバランスを取ることが主目的であるが、加えて交通総量を環境容量といった制限で抑制する方策としても重要な概念を保有している。

^{脚注a)}平成11年度全国道路交通センサスにおける混雑度。混雑度が1.0・1.5とは朝夕ピーク時間を中心に渋滞が発生する状態。1.5以上は一日中渋滞の状態。

また、近年の ITS(Intelligent Transport System)の効果的な活用も、渋滞緩和の起爆剤となることが期待されている。我が国におけるカー・ナビゲーション・システムの普及は、VICS (Vehicle Information & Communication System) の 1996 年サービス開始以降から急速に増加し、既に 280 万台以上の VICS 機能を有する車両が存在している³⁾。さらに 2001 年には ETC (自動料金收受システム) の実用化が始まり、自動車交通を取り巻く環境は激変している。

これらの交通環境の変化や、新しい複合的交通政策の進展に伴って、その計画策定にかかわる評価方法の限界が顕在化してきている。道路交通計画評価の中でも最大の評価項目のひとつとなるのは、言うまでも無く道路交通量の推定である。しかし、四段階推定法による静的な交通量配分といった手法は、交通渋滞といった動的に変化する現象を検討することが非常に困難であるため、近年では動的な交通量配分について研究されてきたが、現実の複雑な道路ネットワークにおける解析的な均衡解を求めることが非常に困難なことから、配分原則に基づいた手法として確立されていない。また ITS などの情報提供効果などの影響を考慮する場合、運転者の個人特性を反映する分析手法が求められている。

さらに、交通量推定については、従来手法の適応範囲と言う点でも限界が生じている。道路交通計画をその道路規模から大きさに分類すると、1) 都市間道路網などの広域的な道路計画を対象として扱う幹線道路ネットワーク、2) TDM 施策などを対象として扱う都市内道路ネットワーク、3) 局所的な交通状態の分析が必要とされる複数交差点や駐車場施設などを対象として扱う街路道路ネットワークに分類することができるが、実務の場では配分原則に基づく交通量推定手法が全ての道路規模に用いられてきた。静的な配分原則の理論的な容易さと、容量制限付き分割配分ツールの圧倒的な普及のため、実務の場においては既存の配分交通量算出手法を改良することで利用してきたわけである。しかし、数箇所の交差点などの小さな道路ネットワーク上において、分析対象に必要とされる時間・空間単位では、配分原則が成立しないことが実務の現場でも日常的感覚として存在している。さらに、分析対象の規模に応じて必要とされる評価指標は、その単位やオーダーが異なる。つまり、長期的評価が必要な幹線道路ネットワークにおいては「平均日交通量」による検討が適切でも、局所的・時間限定的に発生する交通渋滞が問題となっている街路道路ネットワークにおいては適切とは言い切れない。日交通量を時間ピーク率等で時間単位に分解した場合でも、従来の配分交通量による予測値が基本となっているため、配分原則に基づいた結果を拡大解釈によって応用しているに過ぎない。同時に、一般的に利用されている「飽和度」といった静的な評価指標は、動的に変化する交通状態を評価したい局所的な交通現象分析には不適な場面も存在し、時間変動を加味した評価指標が求められている。この様に、都市内道路や街路道路のネットワークでは、それに適した新しい交通量推定の理論と手法、評価指標が求められている。

以上の問題意識に対する解決策のひとつとして、自動車を取り扱う交通シミュレーションモデルによるアプローチが近年積極的に研究されているが、これを取り巻く状況として、以下の大きな問題点が存在している。

第一の問題点は、「開発当初のコンセプトからの相違」である。交通シミュレーションモデルは、開発者によって交通現象のモデリングの仕組みやコンセプトが当然異なっている。開発当初の交通シミュレーションモデルの開発の目的・コンセプトは、前述した、1) 動的配分の実用的な手法として用いられ動的な均衡状態の再現を目指したネットワーク交通流シミュレーションモデル、に加えて、2) 交差点解析や信号制御最適化などを対象とした車両の挙動モデルを中心としたミクロ交通シミュレーションモデルの二つに分類できる。両者は異なった開発目的・コンセプトによって各々開発されてきたが、近年では計算機能力の進展などを背景としてモデルの拡張が積極的に行われ、その表現可能な交通現象モデルの境界が曖昧になってきている。ただし、本来の開発目的をベースとして機能拡張を行ってきたケースが殆どであり、都市街路ネットワークにおける交通量推定の理論と手法をもっているわけではない。

第二の問題点は、「局所的（ミクロ）な車両挙動への対応」である。我が国における都市街路における交通渋滞問題の多くは局所的な現象と言える。まず、路上に発生する駐車車両については、都市部の駐車施設不足等の交通環境問題や、道路における駐車空間の不足などの道路構造問題から、その交通インパクトが非常に大きい。道路構造令における第四種第3級までの道路では停車帯を設置することが規定されているが、現実問題として存在する基準を満たしていない道路や停車帯が規定されない第4級道路や、商業施設が立地する郊外の駅前周辺部の道路などでは、路上駐車による交通状態の影響は大きい。しかし、これらを含む分析については、従来の配分手法やネットワーク交通シミュレーションにおけるリンクパフォーマンス関数を操作して検討するものが主流であり、交通シミュレーションモデルに具体的な駐車車両の回避モデルを導入するケースは少ない。同様に、駐車場施設への待ち行列車両についても、その交通インパクトは大きい。平成12年6月に施行された「大規模小売店立地法（以下、大店立地法）」は、我が国における交通アセスメントを初めて法的に位置付けたものである。従来は交通管理者による行政指導が「先行対策」という名で必要に応じて実施されていたが、その法的根拠不在のため十分な効力が発揮できないケースも多かった。しかし、この大店立地法では、第四条に基づいて制定された「指針」によって具体的な交通アセスメントの必要性を明記しており、今後は局地的な交通インパクトの評価が求められる。このインパクト予測においても、交通シミュレーションモデルへの期待は大きい。その適切な交通シミュレーションモデルは十分に存在するとは言えず、手探りの状態である。例えば、本来の解析対象範囲を超えたネットワーク交通流シミュレーションモデルを適用したり、元々路上に発生する待ち行列を想定していない交通シミュレーションモデルを適用したりするなど、十分な対応を取っているとは言いがたい。

第三の問題点は、「ツールとしての適用・利用」である。情報公開法の施行に代表される住民参加システムの浸透が、行政システムの大転換を引き起こしている。あらゆる場面において行政主導型から住民参加へといった計画プロセス自体の改革が行われ、交通計画もまた同様である。大店立地法における住民説明会の開催における受身的参加を始めとして、パブリック・コメントの実施、都市マスタープランの策定、社会実験の公募⁴⁾、さらにコミュニティ・ゾーン形成事業⁵⁾など積極的な住民参加を計画プロセスの必須とするシステムに移行が始まっている。これは、同時に計画策定の根拠の明確な説明力、アカウントビリティの重要性が増すことを意味している。住民参加の場で利用される評価結果は、「なぜ？ どうして？」といった住民の素直な疑問に回答できるだけではなく、利害関係者に対して中立的立場から結果と根拠を提示できる明確な理論武装が要求される。一般に複雑なモデル構成をもつ交通シミュレーションモデルでは、そのモデル化における仮定や値域・定義域、パラメータ設定値などを明確に公開する必要性が迫られ、ブラックボックス化はもはや認められない。また、ツールとしての利用を考えた時には、極めて重要なこととして交通シミュレーションモデルにおける評価ツールとしての表現力も求められる。これはアニメーション表示を中心とするプレゼンテーション力だけではなく、計算結果をどの様に提示するのか、その評価指標の設定についても容易性や理解性が求められ、専門知識をもたない一般市民に理解してもらえ結果を提示することが求められる場合もある。

以上に挙げた「開発当初のコンセプトからの相違」、「局所的（マイクロ）な車両挙動への対応」、「ツールとしての適用・利用」といった交通シミュレーションモデルを取り巻く問題点・背景の元に、本研究の目的を以下に様に設定する。

- ①地区交通計画の支援のための評価ツールといった明確なターゲットを持った交通シミュレーションモデルを提案・構築する。
- ②車両のマイクロな挙動を考慮すべき様々な地区交通計画に対応するために、①で構築した交通シミュレーションモデルに不足するサブモデルについての不足点を明らかにした上で、必要に応じた拡張を行ってその適応の可能性の検討を行う。
- ③交通シミュレーションモデルの拡張と同時に、計画評価ツールとして交通シミュレーションモデルをどの様に適用できるのかといった可能性の検討を行う。

特に、我が国における幅員が比較的狭い道路で構成されることに起因する特徴的な都市交通問題に着目して、路上駐車車両や路上待ち行列による交通インパクト算出の検討、特殊な公共交通優先策の効果の検討について、交通シミュレーションモデル適用の有効性の検討を行う。

この様な目的を達成するために、開発目的を地区交通計画の評価とした新しい交通シミュレーションモデル tiss-NET の開発を行う。また、様々な地区交通計画に必要なサブモデルについては、実際の観測データを用いてモデルの構築を行った上で、tiss-NET への実装を行う。また、意思決

定支援のツールとしての方法論が不在である交通シミュレーションモデルについては、実際のケーススタディーを通してその適用の可能性と課題の検討を行う。

1.2. 本研究の構成

本研究の構成は、図 1.1に示す通り 9 章からなる。

まず、第 1 章では、本研究の背景と目的、全体構成について述べた。第 2 章では、既往の研究について分類整理を行った上で、地区交通計画の評価ツールとしての交通シミュレータ適用の現状・課題を整理し、研究の方向性を検討する。第 3 章では、地区交通計画評価ツールとしてのシミュレーションシステム tiss-NET の開発について、そのコンセプトとシステムアーキテクチャおよび基本となるサブモデルについて論ずる。同時に、交通シミュレーションとしての検証について論ずる。ここでの検証とは、各種サブモデルによって構成されている交通シミュレーションモデルが、実際に期待された状況を表現できるのかといった検証である。

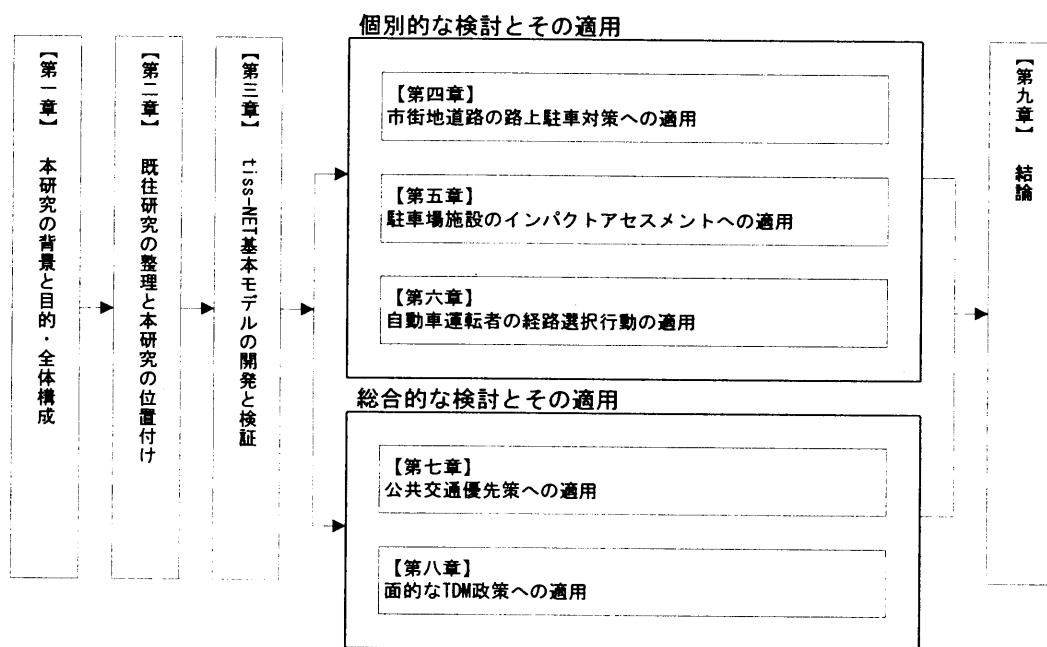


図 1.1 本論文の構成

第 4 章から 8 章までは、大きく二つのブロックに分けた上で、tiss-NET モデルを各種の地区交通計画・施策への適用に関して検討する。これは前節で述べた、問題点 2 と 3 の解決方法である。

第一のブロックは、tiss-NET の基本モデルをさらに個別に拡張することで各種計画への適用を

探る段階であり、モデル自体の技術的検討段階ともいえる。市街地道路における路上駐車回避挙動や駐車場施設周辺のマイクロな車両挙動などの新たなサブモデルの構築・導入を行うことで、複雑な交通状況への対応を行うものである。同時に、マイクロ交通シミュレーションの結果を大きく左右することになる経路問題についても検討する。このブロックには、4章から6章が含まれる。

第4章では、路上駐車の影響といったマイクロの車両挙動モデルについて検討を行った上で、市街地道路の路上駐車問題施策への適用について検討する。

第5章では、路上に発生する車両の待ち行列など、駐車場施設周辺の車両挙動モデルについて検討を行った上で、大規模小売店立地法の法制化に代表される交通アセスメントへの適用について検討する。

第6章では、tiss-NETモデルにおける経路選択挙動モデルについて検討を行った上で、将来的な展望を踏まえたtiss-NETモデルの経路問題について検討する。

第二のブロックは、tiss-NETのモデル群の技術的な検討というよりも、tiss-NETモデルの意思決定支援ツールとしての使い方に関する段階であり、モデル利用の展開的段階といえる。ここでは、公共交通支援策や面的施策といった複合的な施策への適用を行う。このブロックには7章と8章が含まれる。

第7章では、公共交通機関としてバスを取り上げ、バス特有の車両挙動のモデル化を行った上で、各種バス優先策の効果予測を中心とした公共交通優先策への適用について検討する。

第8章では、面的なTDM施策への適用について、実際に検討が進む鎌倉地区における交通政策策検討過程において交通シミュレーションモデルがツールとしてどの様に適用可能なのかについて検討する。

第9章では、本研究の成果をまとめた上で、今後の適用課題について整理する。

【第1章 参考文献】

- 1) 旧運輸省：自動車保有車両数月報、平成11年3月
- 2) 平成11年度道路交通センサス
- 3) <http://www.vics.or.jp/> (財)道路交通情報通信システムセンター(2002年8月)
- 4) 例えば、<http://www.mlit.go.jp/road/> 国土交通省道路局/社会実験の推進(2002年5月)
- 5) コミュニティ・ゾーン形成マニュアル編集委員会：コミュニティ・ゾーン形成マニュアル-地区総合交通マネジメントの展開-、交通工学研究会

第2章 地区交通の定義と研究の位置付け

2.1 概説

本章では、まず本研究における用語の定義を行った上で、交通シミュレーションモデルに関する動向をレビューして本研究の位置付けを行う。本論文のタイトルにもある「地区交通」という用語はその適用範囲が広いために、個人認識における概念のばらつきが大きく定義に整理の必要がある。また、既存の自動車交通を対象とした交通シミュレーションモデルについて整理し、本研究の位置付けを明らかにする。

2.2 地区交通計画の範囲と定義

本研究における地区交通計画の定義を行うにあたっては、「地区」という言葉の範囲を明確に定義する必要がある。本論文における「地区」とは、距離・範囲の概念で分類される単純な定義である。本論文が対象とする距離・範囲は、都市間交通や幹線道路網を対象とする長距離ではなく、駅前地区や住宅地区など小規模な範囲の地区を指す。具体的には、単一の信号交差点や、街路に接する駐車場施設の流出入路などが最小範囲であり、駅前を含む商業地区や、市街地中心部など最大数 km 四方の範囲を最大の範囲とした。

研究対象の地区の定義をこの様に限られた範囲とした理由は、シミュレーションを行う際の計算機演算能力の限界や、処理速度の実用性などといった将来的には十分解決できる問題だけではなく、評価システムの適所適材の問題が大きい。限られた狭い範囲の道路網では、車両そのものの動きを捕まえた上で計画評価を行なう意味が強い。つまり、交通現象としての関心の対象がゾーン間を移動する日や時間といった単位で把握する自動車交通量ではなく、あくまで自動車による交通状態そのものである範囲が地区と設定したためである。また、一般的に地区交通計画と言うと、歩行者や自転車、交通安全といった自動車交通以外の観点に立った「計画」をイメージできるが、本研究では自動車交通のシミュレーションモデルを用いることで地区交通計画を支援することを検討対象としているため、おのずから自動車交通に関する評価を中心とする計画が研究対象となる。よって、本研究における「地区交通計画」の定義としては、住宅地区内の道路における通過車両速度や、局所的な待ち行列の発生などの交通アセスメント的な分析、バス等の公共交通機関の改善などが検討対象となる交通計画全般であり、その主対象は自動車である。空間的定義では「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¹⁾」であり、特定街区や再開発事業といった都市計画的な地区計画の定義とは異なる分類である。言い換えると、地区交通計画という表現は、地区スケールの交通計画と書き直しても間違いでは無い。

2.3 交通シミュレーションモデルの開発に関する既存研究の整理

自動車交通を対象とした交通シミュレーションモデルは国内外でその用途に応じた多くのモデル開発が積極的になされているが、交通シミュレーションモデルの分類方法は、その視点によって異なる。

2.3.1 交通シミュレーションモデルの開発アプローチによる分類

第一の分類としては、開発目的、開発アプローチに関する分類である。分析対象とする交通現象や交通計画に応じてモデルの再現目的も当然異なる。この分類は以下の二つに分類される。

- 1) 「動的配分の実用的手法としての開発アプローチ」
- 2) 「局所的な現象解析手法としての開発アプローチ」

1) 「動的配分の実用的手法としての開発アプローチ」は、静的配分手法の限界を起点として始まった動的配分の実用的な手法としての開発アプローチであり、動的な均衡状態の再現を目指したネットワーク交通シミュレーションモデルと言える。

ここで、従来の起点となった静的配分理論について簡単にまとめると、1952年に Wordrop によって提案された配分原則²⁾により、利用者均衡配分 (User Equilibrium Assignment) とシステム最適化配分 (System Optimum Assignment) が挙げられる。利用者均衡配分は「自動車運転手が完全情報の状況で最短コストの経路を走行する行動になる」といった大きな仮説に基づいているため、この仮定をより現実的に捉えるものとして、利用者均衡配分を拡張した確率的利用者均衡配分 (Stochastic User Equilibrium Assignment) が研究されてきた。確率的利用者均衡配分では、配分原則の仮定について「自動車運転手が経路変更することで自分自身のコストをこれ以上短縮できないと信じる状態」といった解釈に拡大することで、確率的な均衡状態とした³⁾。この確率的利用者均衡配分では、自動車運転手は全ての選択可能な経路について確率的選択を行うことになるが、その計算労力を低減可能な手法が Dial によって提案され⁴⁾、広く利用されている。一方、システム最適化配分は、完全に全てのフローを制御可能な中央制御センターの存在を想定して、ネットワーク全体の総コスト最小化を目指したものだが、システム全体としての最適化は、個々の車両の中には最小コストではない経路を選択することになるため現実的ではない。これらの静的配分理論の内では、近似的に利用者均衡配分を実現できる「容量制限付き分割配分」は、その手法の容易さから実務において圧倒的に普及した。しかし、静的なフレームによる交通現象の分析では時間的変動が考慮できないため、交通渋滞の発生や解消などの時間的変動を記述することができないといった大きな限界があるために、静的配分に時間概念を導入した動的配分手法の研究が開始された。

動的配分⁵⁾についても、利用者均衡配分とシステム最適配分に二分することができる。まず、動的システム最適配分 (Dynamic System Optimum Assignment) については、Exit Function といった「リンク上の車両台数とリンクの流出台数が比例関係にある」という非現実的な仮定の上での数理モデルの定式化が行われており、現実的な道路ネットワークに対応することはできない。一方、利用者均衡配分を動的にした動的利用者均衡配分 (Dynamic User Equilibrium Assignment) についても多くの数理モデルの研究⁶⁾ がなされたが、同時にその理論的困難さについても指摘されており⁷⁾、一般的な道路網に適応可能な現状ではない。また、分割した時間帯別に静的均衡状態を求めることを繰り返すことで近似的な利用者均衡とする準動的利用者均衡配分 (Time-of-day User Equilibrium Assignment) も研究されている。ここでは、数理モデルが実用的なものとして定式化されているが⁸⁾、やはり静的モデルをベースとしているため、渋滞現象を直接的に表現することには限界がある。

そこで、動的利用者均衡状態の近似的な解法として、終起点間における利用者最適を保証しない代わりに、現在位置から終点までの経路について逐次的に最小コストの経路を選択させる、逐次的利用者最適配分静的配分 (Dynamic User Optimal Assignment) の研究が進められ、待ち行列理論による実用的な数理モデルが定式化されている⁹⁾。さらに、静的配分と同様に確率的な均衡概念に拡張した動的確率均衡配分も検討されている。逐次的に経路を検討するというこの概念は、ITS による情報提供の効果分析などにも比較的容易に転用可能であることから、数理モデルだけでなくシミュレーションモデルによる開発アプローチが多く行われことになった。

2) 「局所的な現象解析手法としての開発アプローチ」は、交差点解析や信号制御の最適化などを対象として、ミクロな交通状態を検討するために、車両挙動そのものをモデル化するシミュレーションモデルである。分析における焦点は、車両位置の移動を表す挙動モデルの記述であり、道路ネットワーク全体のフローといった大きな視点ではない。これについては、次節で分類を行う。

2.3.2 交通シミュレーションモデルにおけるモデル構造による分類

次に、交通シミュレーションモデルに導入されているモデル構造による分類を行う。単一リンクや単一交差点を対象とした交通シミュレーションモデルによる分析では、車両の経路選択は検討課題にならないが、多くの検討ケースにおいては道路網、道路ネットワークを対象とするために車両の経路選択行動が必要とされる。この前提条件としては、ネットワーク上を走行する車両をなんらかの単位で明確に識別することが必要である。つまり、ネットワーク上での車両の発生と消滅は、意図された地点 (または区間、範囲) においてのみ行われ、終起点を持った (または結果的に持たされた) 車両 (またはグループ化された車両群) は始点から終点まで移動すること

が保証されなければならない。この前提を持ったシミュレーションモデルでは、一般的なシミュレーションモデル構造として、経路選択ロジックと車両移動ロジックの二本立ての構造をとる場合がほとんどある。

(A) 経路選択ロジック

経路選択ロジックとは、終起点間の走行経路について車両が交差点を右折したり直進したりするといった経路そのものを設定するロジックである。この経路選択ロジックについては、前節で述べた通り配分理論をシミュレーションに導入しているモデルがほとんどであり、例外はほとんどないのが現状である。

(B) 車両走行ロジック

車両走行ロジックとは、道路上で具体的に移動する車両走行を表現するものであり、モデルに応じた計算単位毎にその移動が具体的に算出される。

この車両走行ロジックは車両の扱いについて、

- 1) 道路上の車両移動を流体近似した上で密度の移動としてモデル化した流体モデル
- 2) 車両を一台単位またはある程度のグループ単位として車両の移動そのものをモデル化した離散モデル

の二つに分類することが可能である。

1) の流体モデルでは、道路上の車両は流体に近似してモデル化され、その「密度の移動」として表現されるものであり、密度を管理する単位を大きくするなどのモデル化の工夫によって計算時間が短くてすむという利点はある。しかし、この流体モデルでは、車両毎の特性・属性を区分できないといった問題が存在する。普通車、大型車、バスといった車種による加速減速などの車両性能や車両幅員などの車両属性の違いや、交通情報による自動車運転者の経路選択行動等、個々の車両や自動車運転手を区分した分析はできない。また、車線変更や右折待ちといったミクロな車両挙動については当然表現することができない。

一方、2) 離散型モデルでは、流体モデルに比較して計算負荷は大きい、「車両の移動」として表現されるため、車両個々を区別したモデル化が行える上に、ミクロな車両挙動の表現も可能である。

また、車両移動のそのもののモデル化については、

- a) リンク内は自由状態で走行しリンク流出部で待つ行列を形成させる待ち行列モデル
- b) リンク（又はそれを分割した区間）毎に存在する交通量と交通密度等の関係式を用いて車両の移動を計算するリンク関数モデル

c) 個々の車両の走行挙動を前後に走行する車両の走行状態や道路条件に応じて計算する追従モデル

の3タイプに分類することができる。

a) 待ち行列モデルでは、リンクまたはそれを分割したブロック単位で密度又は車両を移動させ、各リンク内の移動については原則的に自由な状態での移動として、流出端末部において待ち行列を形成させる。この待ち行列の発生はリンクに設定した最大交通密度によって発生が管理され、待ち行列理論のパラメータも外生的に設定することになる。渋滞する状態が常にジャム密度となる単純なモデル構造のため、計算負荷は非常に少ないという利点を持つ。また、交差点がボトルネックとなる一般街路を対象とした場合、信号待ちの車列密度がジャム密度に近いものと考えられるとの指摘¹⁰⁾もあるが、路上駐車や待ち行列の回避挙動といった街路上のミクロな車両挙動は扱えない。

b) リンク関数モデルは、リンクまたはそれを分割したブロック単位で移動を扱うという点ではリンク関数モデルと同一であるが、リンクに設定したパフォーマンス関数によって定義される関係式、例えば交通量と交通密度の関係を用いて、密度又は車両を移動させるものである。つまり、リンク関数モデルは各リンクに設定したパラメータによって車両移動が決定される。この二つのタイプに共通する事項としては、道路上を走行する車両について、その移動を基本的には道路を主体としたモデルによって決定することである。当然、車種等といった車両属性もパラメータと成るが、モデルへの入力には道路に存在する交通量や交通密度といった道路が主体となっており、個々の車両がどの様に加減速したかといった挙動自体を出力するわけではない。

c) 追従モデルでは、モデル化の主体が車両にある。つまり、車両が走行する道路環境と、自車周辺の交通環境によって車両の位置の移動が決定する。つまり車両の加減速といった挙動がモデルによって算出され、その結果車両の座標が変化するということであり、リンク上に何台の車両が存在するかといった交通密度は、モデルによって車両が移動した結果として表現さえる。両者の違いは、そのモデル化の主体の相違であり、結果として車両の移動が表現されることには違いはないが、車両の詳細な挙動を決定するには追従モデルがより適している。

以上をまとめると、表 2.3.1となる。

表 2.3.1 シミュレーションモデルにおける車両走行ロジックの分類

車両の扱い 車両の移動	1) 流体モデル (密度移動)	2) 離散モデル (車両移動)
a) 待ち行列モデル	リンク (又はブロック) を単位として、リンク流出部で待ち行列を形成して密度を移動させるタイプ	リンク (又はブロック) を単位として、リンク流出部で待ち行列を形成して車両を移動させるタイプ
b) リンク関数モデル	リンク (又はブロック) を単位として、QK 関数等によって密度を移動させるタイプ	リンク (又はブロック) 単位として、QK 関数等によって車両を移動させるタイプ
c) 追従モデル		自車の前や周辺を走行する車両の走行状態や道路環境から車両の加減速といった状態を算出して車両を移動させるタイプ

さらに、離散型モデルは、追従モデルの様に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に分類できる。車群として扱うパケットタイプでは、交通流の状態としては的確な表現が可能であっても、リンク関数モデルや待ち行列モデルが車両移動のモデル化として用いられているため、基本的には交通容量などの外的要因や交通密度といった概念に制約されることになり、個々の車両に着目した詳細な交通現象を再現することに限界がある。例えば、局所的に発生する路上駐車車両の交通流へ対する影響の表現は、車両の回避挙動による減速や待機といった行動そのものを表現して、その結果交通状態を表現するといった手法ではなく、道路容量の低下といった状態を記述する設定をせざるを得ない。地区交通計画を検討する際、車両一台一台の挙動自体を考慮する必要が無い場合は、パケットタイプでも十分にツールとしての性能を発揮できるが、様々な状況を検討するケースが想定される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よう。このタイプでは、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¹¹⁾、追従走行などの現象分析的モデルのパラメータは実現象の観測によって設定が可能であり、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。

2.3.3 シミュレーションモデルの計算進行手法による分類

シミュレーションにおける時間進行をどうやって管理するかは、タイムスキャン方式とイベントスキャン方式に区分できる。過去、計算機能力が限定されていた時代においては、その計算負荷の軽減という理由から次の2タイプの選択が多く行われていた。ひとつは、タイムスキャン方

式を採用しそのタイムインターバルを大きくするものである。もう一つはイベントスキャン方式を採用して、そのイベントの発生回数を少なくする方法である。これらの工夫によって計算に要する時間が大幅に削減されることはありえるが、現在の様に大幅な計算機能力の進歩した状況においては、この区分はあまり意味を持たなくなっている。例えば、タイムスキャンのインターバルを、1秒毎にするのか0.1秒毎にするのかといった比較は、その計算所要時間の圧倒的短縮の前には意味を持たなくなっており、分析目的に応じた時間管理手法を用いることで、十分に実用的な対応が可能になっているのが現状である。

2.3.4 既存の交通シミュレーションモデル

ここでは、前節で述べた厳密な離散型モデルによって構成されている既存の交通シミュレーションモデルについて整理を行う。その際、歴史的にも発展過程においても、国内外のモデルの差異がみられたため、まずは国内外の分類を行った上で整理した。

(A) 海外開発モデル

コンピュータの発展の歴史と同様に、複雑な計算モデルを有するシミュレーションモデルの多くがまずは海外で開発されてきた。海外における開発モデルとして厳密な離散型のシミュレーションモデルの中では、も古い歴史をもつものとしてアメリカ Federal Highway Administration (FHWA) の Microscopic Model for Heavy Congested Urban Streets (MICRO)¹²⁾がある。MICROの車両挙動モデルは追従モデルで記述されており、街路を走行する車両挙動が詳細に表現可能である。また多車線における追い越し・追い抜きについてもモデルが導入されている。またスプリットおよびオフセットを用いた信号制御モデルが導入されているため、複数信号交差点の相互影響の評価が可能である。FHWAのモデルとしてはMICRO以外にも、マクロモデルとしてMPSMがあるがこれは同じ属性をもった車両を群として扱うため、厳密な離散型モデルではない。

近年開発された新しいモデルとしては、KLD Associates, Inc.の WATSim (Wide Area Traffic Simulation Model)¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾や、CORSIM (microscopic traffic CORridor SIMulation)¹⁶⁾、SimTraffic¹⁷⁾¹⁸⁾などがある。これらのモデルは、FHWAの街路交通シミュレータのNETSIM、および高速道路シミュレータのFREESIMをベースとして各種機能を拡張してあるため、厳密な離散型モデルによって、車両移動ロジック追従モデルが採用されている。WATSimは、信号制御やHOVレーンの評価などに積極的に用いられており、さらに自動車だけでなく鉄道やLRT(路面電車)を取り入れたシミュレーションが可能な最新のモデルと言える。また、FHWAによるVirtual Reality Training (VRT)といった交通技術者の教育用にも使用されている。また、FHWAによって1994年から開始された戦略的なDTAプロジェクト(Dynamic Traffic Assignment (DTA))

research project) において必要とされる動的交通量予測手法として MIT (Massachusetts Institute of Technology) によって MITSIM¹⁹⁾が開発されている。MISTSIM はリアルタイム交通情報提供の影響評価を分析するために、交通情報の観測モデルと、交通管制センターによる管理モデルを内成している。

これらのモデルは、ITS の進展にともなう情報の利用や、個人の行動に変化をもたらす TDM 等の政策を評価するために、個々の車両または自動車運転手を明確に区分するモデルであり、現在の主流である。ただし、日本の道路事情を加味した上で、そのモデルの適応を考えた場合には、左側走行などの走行車線の逆転や、対向車線へのはみ出しによる追い越し挙動、街路における路上駐車問題など基本的な道路構造・問題の相違点が多いことから単純に導入することは難しく、日本の街路への適応にあたっては十分な改良が必須である。

(B) 輸入開発モデル

歴史的に先行していた海外開発モデルについて輸入改良されたものとしては、日産自動車 NETSIM を改良した日産交通流シミュレーター²⁰⁾²¹⁾の実績が長い。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。また、SSRI は、英国製の Paramics²²⁾²³⁾を輸入販売している。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導入されたために、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については明らかにされていない。また、最近になって Phoenix Research 社によって国内向けに改良された NETSIM の一般販売が開始されている (国内での独占販売権を所有)。

(C) 国内開発モデル

国産としては科学警察研究所の TRAS-TSC^{24) 25)}、建設省土木研究所の SIPA²⁶⁾ などが挙げられる。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 DYTAM-I 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付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モデル構成を検討しているが、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。

2.3.5 既存の交通シミュレーションモデルの課題整理

本節では、既存の交通シミュレーションモデルについてその開発経緯と現状について整理してきた。その際、計算機能力の乏しい時代に開発が開始されたモデルにおける焦点の一つが、計算労力・時間削減の工夫であったことに対し、今日では計算機自体の能力向上によって無視できる問題となっていることが判明した。また、開発アプローチが「動的配分の実用的手法」か「局所的な現象解析」が元となる交通シミュレーションモデルでは、本来の開発目的をベースとして機能拡張を行ってきたケースが殆どであり、都市街路ネットワークにおける交通量推定の理論と手法を直接的にもっているわけではない。都市内道路で問題となる複数交差点を越える渋滞現象や、路上駐車、横断歩行者等の局所的な現象がおよぼす影響については、動的配分の実用的手法の拡張という手法ではおのずから限界がある。一方、局所的な現象解析の拡張をもって、道路ネットワークの評価を行うという場合には、運転者の経路選択をどの様に内生化するのかといった問題等が顕在化してしまう。

以上の様に、国内外を問わず、2.2で定義した「地区交通計画」を主たる対象として開発・構築されている交通シミュレーションモデルは不在という状況である。

2.4 地区交通計画評価ツールとしての交通シミュレーションモデルの整理

2.4.1 地区交通計画の主要検討要素

規模の大きな道路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素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。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付近にあるかといった差異が、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、本研究で議論する地区交通といったマイ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素の点から考えると不適當といえる。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信号最適制御などといった事柄を対象として、マイクロ交通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。

2.4.2 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、広域的で長期的なスパンにおける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してい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 調査等に基づく四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。この場合の問題点は二つある。

一つ目の問題点としては、状況によって四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、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したりすることになる。

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の一般化・大衆化、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、渋滞といった時間的な変動を表現できない静的なモデルによって算出される交通量であり、地区レベルの感覚的認識と異なる結果をもたらすことが多い。当然、配分原則における第一原則、「利用される経路の旅行時間は全て等しく、利用されない旅行時間よりも小さいか等しい」といった利用者均衡配分を、地区レベルに適應しているため、実際に実務者からは精度の問題を含めて不満を聞くことがよくある。

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。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マティックに配分交通量を算出することに一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十分普及しているとはいえない。

一方、前述したように、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、多くの交通シミュレーションモデルが開発されてきた。これらの交通シミュレーションモデルは、適用問題について大別して以下の 2 パターンに分類できる。1) 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、2) 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、各システムの特徴を生かした出力データを持つ場合が多い。

2.4.3 地区交通計画における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代替経路が数多く存在するため運転者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²⁷⁾。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少化し、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適合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²⁸⁾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^{29) 30)}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

る考えはやはり配分理論であり、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難しい。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³¹⁾。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に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³²⁾、その際に完全情報下、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、この様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。

2.4.4 交通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のが現状である。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望まれている。

このことは、交通シミュレーションモデル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。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機会が多いが、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。

2.4.5 地区交通評価システムとしての課題整理

上記に述べた様な、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の適用範囲を超えた変更（例えば、車両挙動モデルなどで路上駐車に関する挙動モデルがない場合に、それを既存モデルだけで表現する工夫）を行わず、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ことが望まれる。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、中身・ロジック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、必要な現象を純粹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。

現在のところ交通シミュレーションモデルがそのまま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交通シミュレーションモデルが有効である。

2.5 本研究の位置付け

以上のことから、本研究は以下の様に位置付けられる。

- 1) 開発目的を、地区交通計画の評価ツールと当初から位置付けて、交通シミュレーションモデルの開発を行う。この適用事例からみて、そのモデル構造としては、車両を個別に識別することが必要であることから、一台一台の挙動モデルを内生できる厳密な離散型モデルとする。
- 2) 地区交通計画の評価ツールとしての課題や限界を考慮した上で、開発した交通シミュレーションモデルをツールとしての適切な利用について、特定の状況・場面についての具体的な適用を通して、その有効性を確認する。

【第2章 参考文献】

- 1) 新谷洋二（編著）：都市交通計画，1993
- 2) Wardrop J.G. : Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research, Proceedings of the Institute of Civil Engineers Part II, pp.325-378, 1952
- 3) Fisk C. : Some Developments In Equilibrium Traffic Assignment, Transportation Research 14B, pp.253-274, 1980
- 4) Dial R.B. : A Probabilistic Multipath Traffic Assignment Algorithm Which Obviates Path Enumeration, Transportation Research 5, pp.83-111, 1971
- 5) 桑原雅夫、赤松隆：動的ネットワーク解析－これまでの知見とこれからの展望－，土木学会論文集，No.653/IV-48, pp.3-16, 土木学会 2000
- 6) 例えば、松井寛：総走行時間最小化配分と等時間配分原則の動的化，土木学会論文集，No.339, pp.239-242, 1988
- 7) 桑原雅夫：渋滞したネットワークにおける動的均衡配分に関する考察，土木学会論文集，No.419, pp.123-126, 1990
- 8) 藤田泰弘、山本幸司、松井寛：時間帯別分割配分方の開発と実用化，交通工学，Vol.25 No.5, pp.25-33, 1990
- 9) 桑原雅夫、赤松隆：多起点多終点 OD における渋滞延伸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，No.555, pp.99-102, 1997
- 10) 吉井稔雄：大規模ネットワークに適応可能な動的配分シミュレーションモデルの開発と適応，東京大学学位論文，1999
- 11) 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

- ¹²⁾ Gang-Len Chang, G.L., Junchaya, T., and Santiago, A.J.: A real-time network traffic simulation model for ATMS applications. Part I -Simulation methodologies-, IVHS journal. Vol. 1 No. 3, pp.227-241, 1994
- ¹³⁾ <http://www.kldassociates.com/watsim.htm>
- ¹⁴⁾ Prevedouros, P., and Wang, Y., : Simulation of a Large Freeway/Arterial Network with CORSIM, INTEGRATION, AND WATSim, presented at 78th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January 1999, and accepted for subsequent publication in the Transportation Research Record Series
- ¹⁵⁾ Dynamic Change of Left Turn Phase Sequence between Time-Of-Day Patterns ・ Operational and Safety Impacts, L. Kanth Nandam, P.E. and T. Douglas Hess, P.E., Copyright 2000 Institute of Transportation Engineers.
- ¹⁶⁾ <http://www.fhwa-tsis.com/corsim/>
- ¹⁷⁾ <http://www.trafficware.com/>
- ¹⁸⁾ Michael T. Trueblood, P.E. : Should I use CORSIM and SimTraffic? (<http://www.trafficware.com/>)
- ¹⁹⁾ <http://www.dynamictrafficassignment.org/mitsimfl.htm>
- ²⁰⁾ 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 1 4 回交通工学研究発表会論文集, pp.49-52, 1994
- ²¹⁾ 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 1 5 回交通工学研究発表会論文集, pp.41-44, 1995
- ²²⁾ Cameron, G., Brian J.N. Wylie and David McArthur : PARAMIX-Moving Vehicles on the Connection Machine, IEEE Conference, 1994
- ²³⁾ <http://www.paramics.com/>
- ²⁴⁾ 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
- ²⁵⁾ 齋藤威: 交通流評価用シミュレーターの開発, 月間交通, 1997年7月号, pp.82-100
- ²⁶⁾ <http://www.nilim.go.jp/japanese/its/fields/sipa/sip1.htm> (2002年10月)
- ²⁷⁾ 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
- ²⁸⁾ 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 1 6 回交通工学研究発表会論文集, pp.101-104, 1996
- ²⁹⁾ 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 1 6 回交通工学研究発表会論文集, pp.93-96, 1996
- ³⁰⁾ 北岡広宣, 寺本英二, 滝澤衣子, 齋藤威: 交通流シミュレータ NETSTREAM を用いた長野オ

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

³¹⁾ 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

³²⁾ 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

3章 地区交通計画評価ツールとしての交通シミュレーションモデル tiss-NET の開発

3.1 概説

前章では、コミュニティ・ゾーンなどにおける住民参加など、従来の交通計画とは異なった種類の地区交通計画の内容・計画プロセスを論じた上で、必要とされるシミュレーション評価手法について述べた。本章では、それを受けて地区交通計画の評価ツールとしての「マイクロな自動車交通シミュレーションシステム-^{ティス ネット}tiss-NET(traffic impact simulation sub-systems for Road NETWORK)」の構成と基本モデルの開発を行う。

現在、交通計画の現場で問題となっている事を一言で述べれば「新しいタイプの計画に、従来の計画で利用されていた評価システムを利用していることの歪が、限界を超えた。」ということであろう。言い換えれば、交通計画のアプローチが多様化した結果、政策評価手法が模索状態となっているとも言える。交通シミュレーションモデルを用いた分析の有用性は、市販の交通シミュレーション・ソフトウェアが存在することからも明らかであるが、個々のシミュレーションが持つモデルの特性や能力は開発目的によって設定されるため、異なった目的の分析には自ずとロジックの異なったモデルが必要とされる。また、分析に際しては予めシミュレーションモデルで準備されている項目以外のアウトプットが求められることも多く、利用ライセンスの関係やモデル構造などから、本当に必要とされる分析を行うことが難しい場合がある^{脚注a)}。

tiss-NET の開発は、これらの要因を重視した上で、モデルの柔軟性と透明性、そしてシステムとしての使用性を最大のコンセプトとして、完全な独自開発を行っている。開発開始当初のコンセプト立案時から想像できない位のハードウェアの進歩に伴うシステムの拡張、そして研究対象としての分析要求に応じたシステムの改良を行うことで、地区交通に特化した交通現象を再現可能な交通シミュレーションモデルとして一応の完成を目指している。

本章では、tiss-NET の開発コンセプトを紹介した上で、将来系を含んだ tiss-NET のシステムアーキテクチャを提案する。システムアーキテクチャには現在の tiss-NET に実装されていないモデル群も存在するため、本章以降の各章では、実装済みのモデル群で検討が可能な事象について検討を行っている。

^a tiss-NET は開発当初(1991年)からPC(パーソナルコンピュータ)での利用を前提としていたため、環境はPC9801上のMicrosoft® MS-DOS® operating system で行われていた。その後 Microsoft® Windows® Version 3.1 operating system を経て Microsoft® Windows NT® operating system で開発を行っている。CPUの動作周波数は数十倍、メモリ使用量は100倍以上となった。なお、MS-DOS® 及び Windows® Version 3.1, Windows NT®は、米国 Microsoft Corporation の、米国およびその他の国における登録商標または商標である

3.2 tiss-NETの開発経緯とコンセプト

tiss-NETにおける開発基本コンセプトは、「システムの柔軟性」「システムの使用性」「システムの透明性」「システムの行動的モデルによる構築」の4つである。tiss-NETのようなシミュレーションシステムは、時間の進展と共にその開発目的や存在意義が何度も書き換えられ、それに従ってコンセプトも遷移することが多いが、この4つのコンセプトは開発初期から一貫した骨格となっているものである。

3.2.1 システムの柔軟性

第一は、様々な研究対象に対応するための「システムの柔軟性」である。tiss-NET開発の初期段階は、tiss-NETではなく単なるtiss(traffic impact simulation sub-systems)であった。文字通り、端路部における自動車交通インパクトのシミュレーションシステムであり、ネットワークは対象外であった。具体的には片側一車線の二車線道路側に発生する路上の駐車待ち行列の影響を検討することであった(図 3.2.1)。分析アプローチは、待ち行列を発生させる駐車施設の需要(OD交通量)と供給(駐車台数)及び通過車両の需要(OD交通量)を変化させて、発生する待ち行列台数によるインパクト評価を通過車両台数と旅行時間で検討した。この様に対向車線の影響を考慮していた点や交通発生量をODとして設定するなど、開発当初から日本の道路事情^bを考慮した上で道路網への適応を狙った柔軟性を持っていた。この「システムの柔軟性」というコンセプトを支えるモデル群(sub-systems)の詳細は3.3で述べる。

研究対象が道路網となると、車両位置を記述したコンパートメント(3.3.3(A)参照)の座標情報と、道路ネットワークをリンクとノードで記述したネットワーク構成情報を同期させることで、具体的な車両経路を表現してきた。しかしネットワーク構成が複雑になるにつれて、二つの情報を同期させる記述も同様に複雑となるため、コンパートメントを拡張したパーツ概念(リンクパーツやノードパーツ等の道路を構成するもの)を採用し、現在に至っている。

^b この場合の日本の道路事情とは、市街地道路が物理的な中央分離帯を持たないことで発生する対向車線車両との相互影響の事である。特に片側一車線道路では、路上駐車の回避などで対向車線へのはみ出しや譲り合いなどが頻繁に行われていることもあり、地区レベルの交通インパクトを考えると重要な検討要因となる。

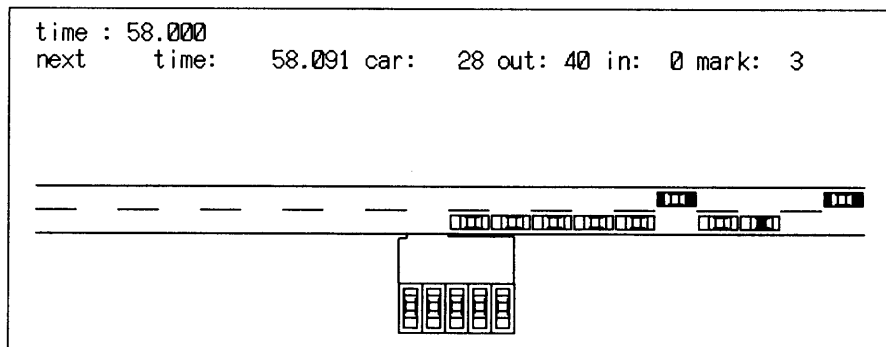


図 3.2.1 初代 tiss による駐車場待ち行列分析のスクリーンショット

3.2.2 システムの使用性

第二の開発コンセプトは、「システムの使用性」である。tiss-NET では開発当初から、システムの利用者である交通計画者（行政担当者やコンサルタント技術者）がコンピュータに精通する必要はないと考えていた。つまり誰もが使えるシステムが必要であり、具体的には、スーパーコンピュータや専用コンピュータの様に一般的な利用が不可能なハードウェアではなく、購入も利用も安価な PC(Personal Computer)で利用できることや、熟練しないと操作が難しい CUI(Command-Line Interface)ではなく、直感的に操作可能な GUI(Graphical User Interface)を積極的に採用してきた。近年盛んになってきている住民参加の場においては、システムの利用者が交通計画者に限定されることさえ無くなってきており、誰にでも理解しやすいアウトプットを表示できるような使用性の重要度は、この点でも高まりを見せている。

3.2.3 システムの透明性

第三の開発コンセプトは、「システムの透明性」である。シミュレーションによる計算結果と実測が一致しないことは珍しくないが、この修正法としてシミュレーション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。モデルに投入するパラメータを修正することでモデルによる現象の再現性を高める手法であるが、しばしば聞かれるのが、明確な理由がわからないがある設定をすると再現性が高まったという話である。これは特に市販されている交通シミュレータに多いが、この理由は大きく分けて二つある。

一つ目は、システムを構成しているモデルの詳細が不明であり、ブラックボックス化しているケースである。企業秘密等の理由によりインプットされたデータがどうやって処理されているかが不明では実際の説明力に欠けており、少なくとも地区交通計画の評価システムとしては不向きであろう。特に今後の住民参加の場における利用が想定された場合、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。

二つ目は、入力するパラメータが実際に計測不能なデータを扱っている場合である。例えばドライバーの性格や道路網の認知状態などであるが、それらのパラメータが実際にどうやって処理され結果が算出されるかといった基本的な疑問点に加えて、どうやって計測するのかわからないデータを使うこと自体が疑問感を高め、透明性を低下させている。この場合も、なぜ再現性が確保できたかの説明力が乏しい場合、一つ目の理由と同様に結果の信頼性が大幅に低下するため、モデリング自体の透明性はやはり重要と考えられる。また、この事項は第四のコンセプトとも深く関連するため、そちらでも述べることにする。

3.2.4 システムの行動的モデルによる構築

最後である第四の開発コンセプトは、「システムの行動的モデルによる構築」である。第三の「コンセプト「システムの透明性」の担保のためのアプローチとも言えるコンセプトで、システムを構成する主要なモデルについて、極力、自動車または自動車運転者を主体とした行動的モデルを適用しようという考えである。

交通現象をシミュレータに取り入れる際、開発目的に応じて様々なモデルが作成されているが、tiss-NETでは、モデルの主体を車両の挙動と捕らえた上で、運転者の行動そのものをモデル化して、その集積の結果が交通現象を表現するべきだという考えをもっている^{脚注c)}。つまり、信号現示や車線数などの実際に計測可能な入力データ以外のパラメータ（例えば、ドライバーの性格など）は、開発者の設定したモデルにおいてなんらかの作用を及ぼす入力値であり、これを変化させれば当然結果は異なる。結果ありきの場合、これをチューニングと称して任意に修正を行うことは、本来のモデリング手順が間違っていると言える。例えば、交差点の捌け台数が実測と異なるからといって任意に容量やドライバー特性をパラメータとして修正するのではなく、本来は計測した容量を入力データとして与えることで再現性を確保するモデリングをすることがシミュレーションを使った交通計画の検討手順であろう。tiss-NETではこのような検討の末、極力運転者（又は自動車）の行動を記述するようなモデル、つまり「行動（記述的）的モデル」によるシステム構築を目指している。

^{c)} 運転者の行動そのものをモデリングするといっても、tiss-NETでは機械工学的な視点による「運転者のステアリング操作が車の進行方向を決める」や「ブレーキ性能による停止距離の差」などといったものではない。自動車の挙動そのものを「車両が走行する」といった交通工学的な視点で捕らえると共に、車両の経路選択行動については、運転者の判断によって最終的に決定するといった心理学的なモデルを組み入れる仕組みを作成している。

3.3 システムアーキテクチャ

近年のシステム開発に欠かせないものがシステムアーキテクチャであるが、tiss-NETにおけるシステムアーキテクチャ^{脚注d)}の構造は、前述の4つのコンセプトを実現するために、以下に示す4段階の構成となっている。

- ・分析対象の定義
- ・アプリケーション・インターフェース (AI)
- ・サブシステムズ・インターフェース (SI)
- ・シミュレーション・サブシステムズ (SS)

まず、第一段階の「分析対象の定義」は、現実世界の交通現象について tiss-NET の分析対象範囲を定義する。

最終の第4段階の「シミュレーション・サブシステムズ (以下 SS)」は、コンピュータ世界における車両の動きを表現する段階であり、具体的や車両挙動や経路を決定するモデル群 (サブシステム) が含まれている。

この第1段階の「現実世界」と、第4段階の「コンピュータ世界」を具体的に橋渡しするものが、第2段階の「アプリケーション・インターフェース (以下 AI)」と、第3段階の「サブシステムズ・インターフェース (以下 SI)」である。

AIは、コンピュータ世界でシミュレートされた結果を、使用者に対して実社会の交通現象のように情報伝達する段階、もしくは現実世界の状況をコンピュータ世界に変換する段階であり、計算結果表示や計算用データの作成を行うアプリケーション・ソフトウェア及び各種データのフォーマットを包括している。

SIは、現実社会とシミュレーション世界の座標系概念を相互変換するものである。このAIとSIを用いることで、現実世界の交通現象とコンピュータ世界のシミュレーション計算が結びつくことになる。

^{d)} 本研究におけるシステムアーキテクチャとは、tiss-NETが分析対象とする現実世界の交通現象がどのようにコンピュータ上のシミュレーション計算で行われるのか (逆に、シミュレーション計算がどのように現実社会の交通現象として表現されるのか) を説明するためのものであり、シミュレーションシステムとしての tiss-NET システム全体の構造を意味している。

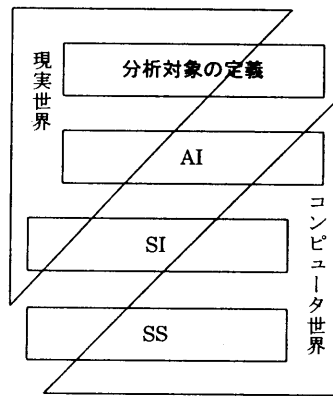


図 3.3.1 システムアーキテクチャの段階構成

システムアーキテクチャの各段階は、それを支える構成要素によって支えられ、全体として tiss-NET の骨格を構成している。表 3.3.1に、システムアーキテクチャの段階とそれを構成する各要素を示す。各構成要素及び補助構成要素の詳細については、本章の各節を参考にいただきたい。

表 3.3.1 システムアーキテクチャの構成要素

システムアーキテクチャの段階	構成要素	補助構成要素
分析対象の定義	■交通現象の詳細定義	●車両 ●交通環境 ●道路環境
アプリケーション インターフェース (AI)	■アプリケーション・スイート	●データ入力支援 ●数値計算実行 ●結果表示
	■データ構造	●システム入力値 ●システム設定値 ●システム調整値
サブシステムズ インターフェース (SI)	■コンパートメント	
	■パーツ化	
シミュレーション サブシステムズ (SS)	■車両挙動サブシステム	●自由走行モデル ●追従走行モデル ●発進遅れモデル ●様子見挙動モデル
	■経路設定サブシステム	●固定経路設定モデル ●出発時最短経路設定モデル 【セクションタイム】 【セクションネットワーク】 ●ネットワーク知覚モデルに基づく動的経路
	■シミュレーション制御サブシステム	
	■イベント進行サブシステム	
	■外部リンクモデルサブシステム	

3.3.1 分析対象の定義

将来予測や計画評価を目的としたシミュレーションの開発を行う場合、その分析対象を詳細に定義することが非常に重要になる。オールマイティーな自動車交通シミュレーションモデルが作成できるに越したことは無いが、分子運動のモデルをそのまま自動車の挙動モデルに適応するには過大な仮定が必要になる様に、シミュレーションが持つモデルの特性から自ずと有限な適応範

囲が定められる。シミュレーションの開発目的が自動車交通に関連する交通計画評価のツールとするならば、その対象事象を明確に定義しない限り、システムアーキテクチャは安定したものにならず、変更されるたびに文字通り骨格が揺らぐことになる。

tiss-NET では、まず分析対象とする自動車に関連する交通現象の範囲を定義した上で、その範囲の中で検討すべき交通現象の定義を行った。なお、季節や天候、時間帯などによる自然条件の変化は現在のところ適応させる交通現象の適応範囲としていない。

(A) 自動車車種構成上の範囲

tiss-NET は、自動車交通シミュレーションモデルであるため、まず取り扱う交通現象の主体となる車両の構成を「一般車（道路構造令上の小型自動車を想定）」の一車種と設定した。その後、信号改良や点的・線的・面的な交通規制、又は開発にともなう交通インパクトアセスメントなどの地区交通の問題を検討する上で、必要に応じて車種分類の導入を検討してきた。その中でも、公共交通としてのバスに着目した検討の重要性が高まってきたために、現在の tiss-NET では、一般車とバスを含む大型車（道路構造令上の普通自動車を想定）を導入している。ただし、tiss-NET では、実世界の車両一台一台は、シミュレーション内部でも一台一台明確に区分されるため、車両性能や車両幅員などの諸元を必要に応じて詳細に区分することは可能である。

(B) 道路級種区分上の範囲

tiss-NET における交通現象の範囲を、道路構造令に従った道路区分別に行うと、設計速度が高い高速自動車国道及び自動車専用道路である第1種及び2種は基本的に対象外となる。tiss-NET に実装している車両挙動モデル群の適正な速度範囲である時速50kmを基準として考えた場合、設計速度が最大時速60kmとなる第3種3級又は第4種2級程度が、現在の tiss-NET の上限である。よって、最適な適応範囲は第3種の4・5級と第4種の3・4級となっている。

また、屈曲部などの道路線形や視距の違いなどを考慮するモデルが実装されていないため、山岳部のカーブが多い道路やサグ部などによる渋滞発生等を検討する計画には現時点ではそのままでは適応できない。

(C) 道路の横断面構成上の範囲

道路の横断面を構成する要素別に、tiss-NET の適応範囲を検討する。まず、路肩及び車線幅員は、tiss-NET の入力データとして取り入れられる。具体的には、路肩幅員、車線幅員と車両の幅員との関係から、路上駐車車両の回避挙動等を判断するモデルを導入している（5章）。また、我が国で日常的に観測される対向車線へのはみ出し挙動を考慮するために、中央分離帯の有無による影響も対象範囲となる。

また、歩車分離された道路断面上では、自動車の車両挙動への影響が無いと判断した上で、リンク部における歩行者・自転車の影響は原則的に範囲外としている。

(D) 交通現象の空間的・時間的な範囲

tiss-NET が分析対象とする交通現象の範囲を、空間的・時間的な単位を用いることで適用範囲を図示すると、図 3.3.2の実線が tiss-NET の対象となる。

座標軸にある日常的な間隔尺度によって説明すると、横軸の空間的な単位では、人間から地区及び地域と呼ばれる範囲までが相当し、この場合の人間とは横断歩道を渡る歩行者や車両を運転する運転手などである。ただし、この範囲は tiss-NET に含まれるモデルの入力値や出力値を図示しているわけではなく、tiss-NET 全体として扱う交通現象の範囲を図示しているに過ぎない。つまり、横断歩行者の挙動を表現するモデルでは、入力値が人間（個人）の心理状態や移動目的といったものになることを表現しているのではなく、横断歩行者がいた場合に車両が一時停止するなどの交通現象をシミュレーション上で表現するという程度である。また、この対象範囲については、シミュレーションを行う計算機の進歩に伴って、適時右方向に成長してきたが、現在は地区と地域の間（数 km 四方のエリア）が限界である。

縦軸は時間的な単位を表しているが、これはシミュレーションによる動的な結果の解釈のための変動単位を示している。つまり秒単位（またはそれ以下）で見た車両の動き（＝変動）や、道路交通量の分単位の変動を tiss-NET の分析対象とするという意味である。その結果、秒から年までの広い範囲が対象となる。空間的な単位と併せて見ると、車両の挙動は、秒（又はそれ以下）単位で扱う範囲を対象となっている。一方、人間についてはその経路選択行動の範疇として月単位の変動のような長いものが対象範囲となっているが、現在の tiss-NET においては実装されていないこともあり、範囲としては存在するが付属的な意味として破線で示している。この中でもメインとなる交通現象の範囲は、車両が道路ネットワークを走行することであり、秒単位の交通状態を動的に捉えることが可能となる。さらにそれらの動的状態を時間単位で集計分析することで、1時間当りの交通量や旅行時間の変化といったや静的・統計的な捉え方も可能となる。

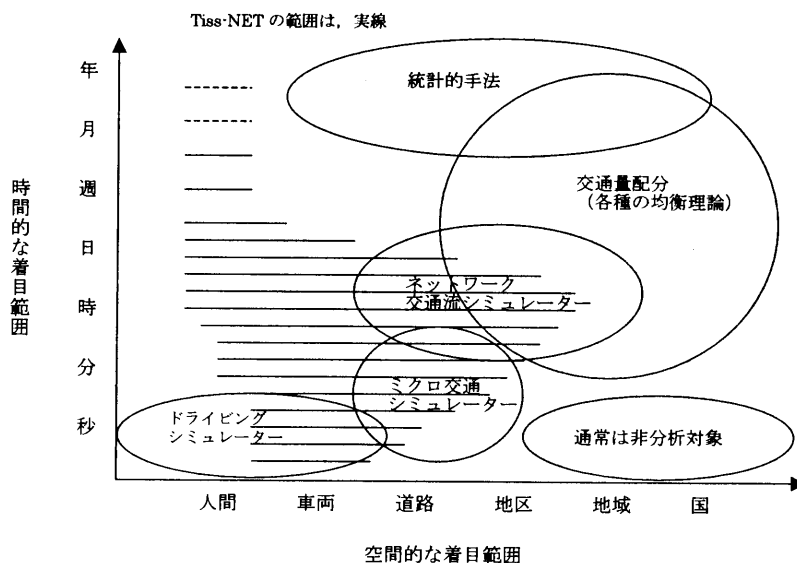


図 3.3.2 tiss-NET の空間的・時間的な適用範囲の概念図

(E) 交通現象の詳細分類

tiss-NET で表現すべき交通現象の詳細分類は表 3.3.2 に示すように「車両」「交通環境」「道路環境」の3つの視点（主体）で分類されている。また、複雑な交通現象となる「交差点」を独立させるために、交通現象の発生場所については「交差点」「リンク」及び「全般」の3種類に分類する。

交通環境の列で下線の付いている「ITS による情報提供」及び「動的（感応式）信号制御」は、現在の tiss-NET には十分なモデルが導入されていないものである。これは、例えば動的信号制御の機構自体が交通管理者によってブラックボックス化されており、一般に実際の動的信号制御をモデル化して再現することが難しい。たとえ観測によって連続的に変動する信号制御をパラメータとしてシミュレーションに入力したとしても、実際の動的信号制御は交通状態によって制御が文字通り動的に変動するため、シミュレーション上で実際と同じ交通状態が表現されない限り不整合が発生することは明らかである。また、情報に対する行動モデル化は容易ではなく、現時点で汎用性のあるモデルは提案されていない。

しかし、上記の未実装の項目以外は、複雑なモデル設定の必要がないことが分かる。交通環境の視点からは「追い越し禁止」等の交通規制のデータを設定すれば十分であり、同様に道路環境についても「幅員 4m」といった観測に基づくデータを作成すればよい。ITS による情報提供や信号機制御については、情報収集や最適制御など交通状態との相互影響を考慮する必要があるため、実際の交通現象を再現するためには何らかのモデルを作成しなければならないために例外となっているが、交通現象を再現するためには主に車両の視点にたったモデル、つまり車両を主体とす

るモデルを実装する必要があることが明らかである。この車両挙動に関するモデル群については3.4で詳細に述べる。ただし、車両の列にある「情報提供による経路変更」「ITSによる運転支援」および「車線変更・車線選択・車線選択」も下線が引いてある通り、運転者の行動をモデル化したものは導入されておらず、簡易的なモデルを導入している。

この様に、この示した全ての交通現象について、既に tiss-NET に実装されているわけではなく、システムアーキテクチャの第一段階として、近未来の将来系を含めた交通現象の詳細定義を行っているに過ぎない。

表 3.3.2 交通現象の詳細定義

視点 場所	車両	交通環境	道路環境
全般	【基本的車両挙動】 車種別の走行性能の相違 自由走行・追従走行・様子見挙動・ 発進遅れ 【車両経路】 走行経路の決定 Uターン・渋滞回避・細街路の回避 <u>情報提供による経路変更</u> <u>ITSによる運転支援</u>	<u>ITSによる情報提供</u> (駐車場案内システム等)	車両の発生・消滅 車両の道路外施設での 駐車
交差点	信号現示に従った車両挙動 無信号時の車両挙動 右左折待機・横断歩行者の待機 すり抜け・譲り合い	既定信号機制御 <u>動的(感応式)信号制御</u> 非信号交差点	右左折車線 停止線位置 横断歩道
リンク	路上駐車回避・対向車線はみだし 車種別専用レーン <u>車線変更・車線選択・車線選択</u> バス停・バスベイにおける車両挙動	最高速度規制 追い越し・追い抜き禁止規制 駐車・停車禁止規制	中央分離帯有無 車線数 車線数の増減 車線幅員 バス停・バスベイ等

注：下線の項目は、現在の tiss-NET ではまだ十分なモデル化がされておらず、簡易モデルでの対応や非対応のものである。

3.3.2 アプリケーション・インターフェース (AI)

アプリケーション・インターフェース・アーキテクチャ (AI) では、tiss-NET の使用者が直接に接する部分であり、具体的には結果表示やデータ入力のための複数アプリケーション・ソフトウェアで構成されている。これらのアプリケーションについて、この節での詳細な説明は行わな

いが、利用者の視点に立ったうえで3.7において詳細に述べる。また入力するデータや算出される結果の種類やフォーマットもAIの段階において詳細に定義されが、この点については3.6で述べる。

3.3.3 サブシステムズ・インターフェース (SI)

サブシステムズ・インターフェース・アーキテクチャ (以下 SI) は、現実世界とコンピュータ世界を結びつける要素であり、具体的には「コンパートメント」と「パーツ化」の二つのモデルによって構成されている。つまり、コンピュータ上で車両をどのように扱うのかという最も基本となるモデルである。

コンパートメントとは、現実社会の道路を車両一台が存在可能な空間に分割するモデルであり、コンピュータ上のシミュレーション計算では車両はコンパートメント間を移動することになる。また、パーツ化はコンパートメントを道路ネットワークとして扱うための工夫である。

(A) コンパートメント

SIを構成する最も基本的なモデルは「コンパートメント」である。tiss-NETはイベントスキヤニング方式でシミュレーションを進行させる。つまり、車両が、ある場所からある場所へ移動することをイベントと認識させている。そのために、道路を長さ(進行方向)5mの「コンパートメント」に道路を分割して、そのコンパートメント間の移動をイベントとして認識させた(図 3.3.3)。この長さは、車両が停止する場合に占有する長さに起因した。

この結果、車両の長さについての精度が5m単位となる。普通小型乗用車や軽自動車は、全て5mとして取り扱われる。また、バスやトラックなどの大型車は二つのコンパートメントを占有して10mの長さとなっている。これば現在のtiss-NETでは、車両の長さとしては2種類しか対応できないことを意味している。

また、1つのコンパートメントには唯一1台の車両が割り当てられるが、路上駐車や交差点内での右左折車両へのすり抜け挙動を表現するため、裏コンパートメントという概念^{脚注e)}を用いて一つのコンパートメントに特別に2台の車両が存在することで対処している(図 3.3.4、図 3.3.5)。裏コンパートメントの「裏」という言葉は、コンパートメントの裏側という意味ではなく、同一コンパートメント上に相互影響を考慮する2台の車両が存在するためのものである。例えば、片側一車線道路上に路上駐車車両が発生した場合、路上駐車車両はコンパートメントを占有している。路上駐車車両に接近する車両は、駐車車両(コンパートメント)を避けて裏コンパートメント

e)。本章ではtiss-NETを構成する基本モデルについて記述しているが、裏コンパートメントについては、第4章においてもその概念説明と、導入について詳細に記述している。

を走行する。ここでは、本来の走行を行うとする車両が進行先のコンパートメントを参照することで、そこに路上駐車が存在することを感知し、結果として裏コンパートメントを利用して回避することが表現される。当然、幅員が狭い場合などは裏コンパートメントが存在しないケースもある。

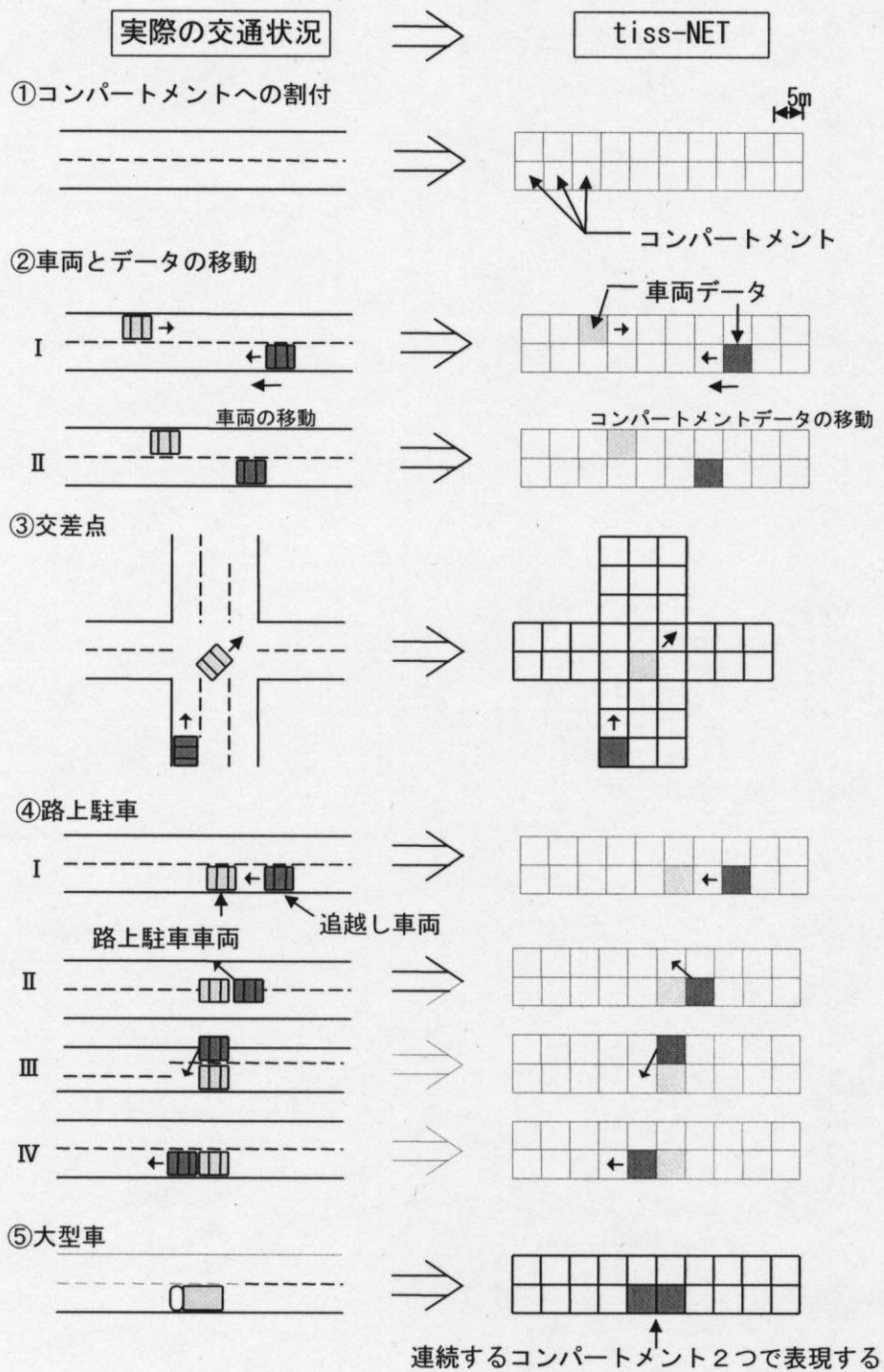
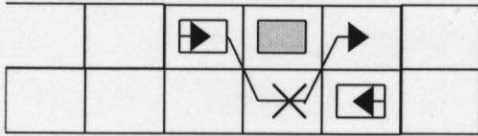


図 3.3.3 コンパートメント概念の適応

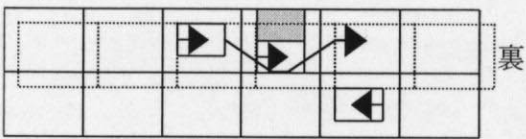
裏コンパートメントなし



■ : 駐車車両

対向車のために
すり抜け不可能

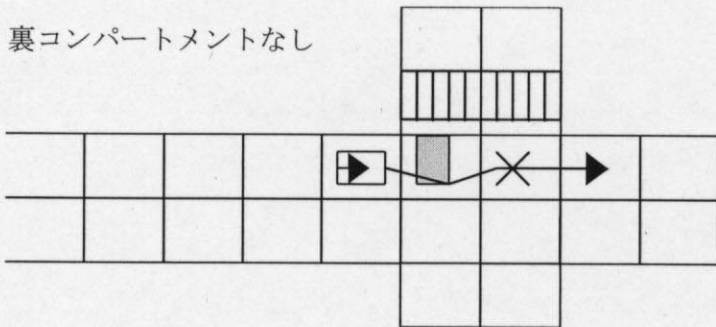
裏コンパートメントの利用



駐車車両は「表」にいるため、
後続車は「裏」を使ってすり抜け可能

図 3.3.4 表と裏のコンパートメント (路上駐車回避)

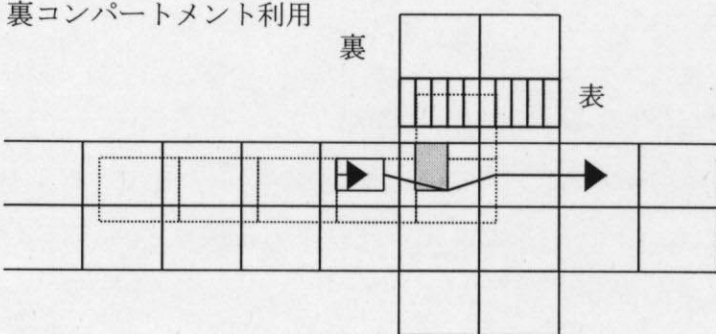
裏コンパートメントなし



左折車のために
すり抜け不可能

■ : 左折車両

裏コンパートメント利用



左折車両は「表」にあるため、
「裏」を利用してすり抜け可能

図 3.3.5 表と裏のコンパートメント (左折待ち回避)

(B) パーツ化

ネットワークが大きくまた複雑になるに従って、その記述の複雑性を解消するために、その属性により5種類のパーツ化による分類を行って対応した(表 3.3.3、図 3.3.6)。コンパートメント一つ一つにはそれぞれ8桁の番号(コンパートメント番号)がつけられ、異なるコンパートメントに同一の番号がつけられることは決してない。パーツ化によって、これらのコンパートメント番号がもつ意味が理解しやすくなり、パーツ種、車線、方向などの情報が付加されている。また、各パーツ間はジョインと呼ばれる結合情報で結ばれ、データの受け渡しを行っている。

表 3.3.3 パーツの種類と説明

パーツ種類	説明
エントランス	車両の発生・消滅地点
エントランス・ノード	エントランスとリンクを結ぶ部分
ノード	交差点。原則として1つの交差点はひとつのノードパーツになる。ノードパーツは停止線がある場合は、停止する位置から交差点内側のコンパートメント群とする。無信号交差点で優先道路の(停止線無し)場合は、譲り合い時の停止位置を仮想的に設定してその内側とする。
リンク	駐車場を除くその他の部分。リンクパーツは原則としてノード間でひとつであるが、道路構造が変化する場合(例えば、車線数に変更、車線幅員に変更)には複数のパーツとする。
パーキング	駐車場部分

8桁のコンパートメントは、その桁の数字が意味を持つようにコード化されている。表 3.3.4に、コンパートメント番号の第二段階までの区分の意味を示す。

区分1では、上下4桁ずつに分割される。表 3.3.4の例では、「10040123」のコンパートメント番号は、「1004」と「0123」に分割される。上4桁の「1004」がパーツ番号で、下4桁の「0123」ローカル番号である。ローカル番号とはパーツ内ローカルの番号のことで、基本的に進行方向に向かって1増加するように設定される。

区分2では、「1004」のパーツ番号を1桁と3桁に分解する。この場合「1」のパーツ種類と「004」のパーツ別番号に分割されることになる。パーツ番号とは、現在は表 3.3.3に示した5種類のパーツ種類のことで、それぞれが数としてコード化されている。パーツ別番号とは、各パーツ種類に設定される通し番号のことで、最大999である。つまり現在の tiss-NET の最大ノード数は999個である(リンク数も同様)。ローカル番号も1桁と3桁に分解する。1桁目はそのコンパートメントのが表裏を判断するもので0なら表、1なら裏とコード化されている。

例えば 10040125 の裏コンパートメントは 10041125 となる。ただし、ローカル番号については、3桁でも4桁でも同様にローカル番号と呼んでいる。

このコード化によってコンパートメント番号は明確な理由付けを持ったデータとなり、コンパートメントとパーツ化を用いることで道路構造の変更や長さ変更など、シミュレーション条件の変更に対応可能となった。

表 3.3.4 コンパートメント番号の意味

例	1	0	0	4	0	1	2	5
区分1	パーツ番号				ローカル番号			
区分2	パーツ種類	パーツ別番号			表裏区別	ローカル番号		

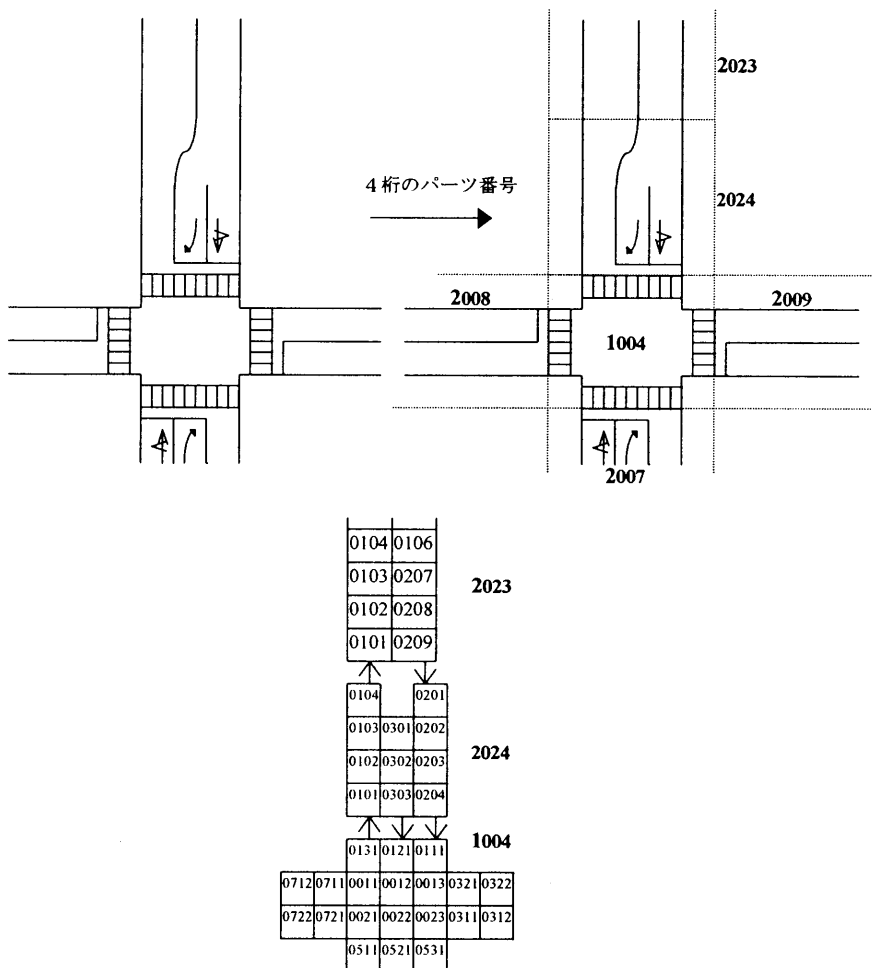


図 3.3.6 道路ネットワークのパーツ化

3.3.4 シミュレーション・サブシステムズ (SS)

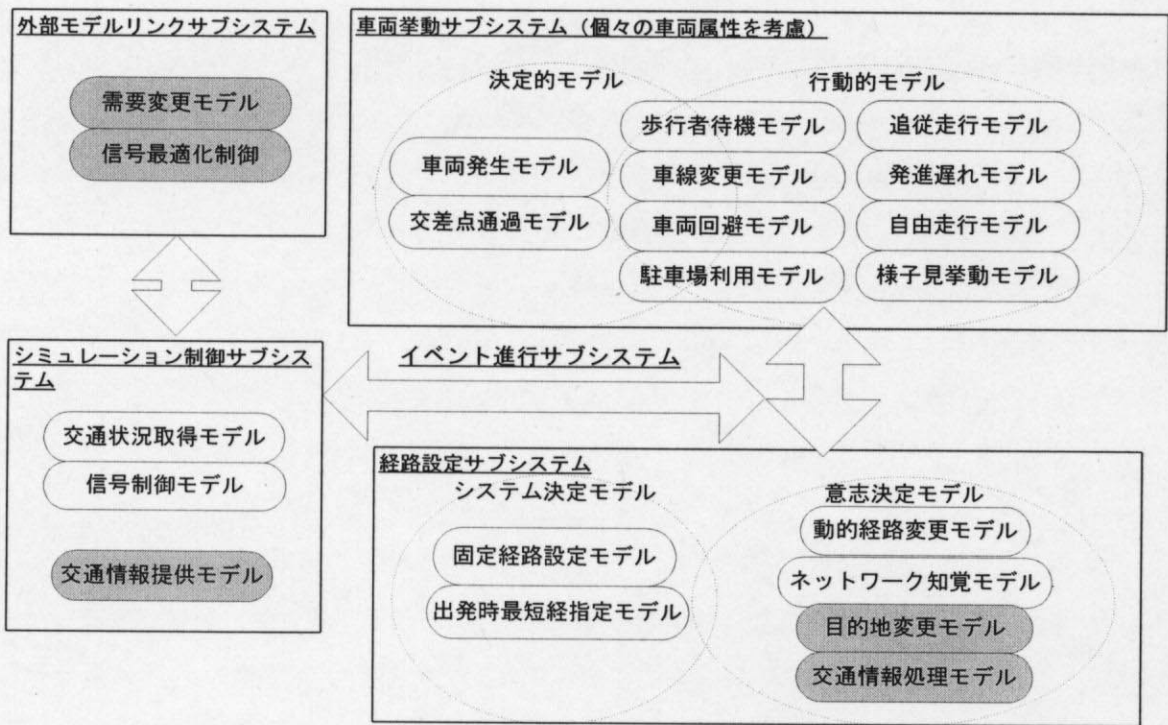
実際の道路上の車両挙動を SI (コンパート及びパーツ化) によってコンピュータ内部に取り込んだ後は、コンピュータ内部に展開した仮想空間上の交通現象をシミュレーション・サブシステムズ (以下 SS) によって決定する。SS は名前が示すように、図 3.3.7 に示す「車両行動サブシステム」「経路設定サブシステム」「シミュレーション制御サブシステム」「外部リンクモデルサブシステム」の 4 つのサブシステムと、それらを総合的に管理・進行させる「イベント進行サブシステム」によって構成されている。なお図中の網掛けのモデルは将来的に導入を検討中のものであり、現在のシステムには実装されていない。

「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。これらは外生的な OD 表に基づいて車両発生時刻を決定する車両発生モデルのような決定的モデルと、実際の車両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きている。

「経路決定サブシステム」は発生時に出発時最短経路設定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 shortest 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。詳細は 3.5 で述べる。

「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、将来的に交通情報提供モデル等を導入する余裕を与えてある。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たしている。



(網掛けモデルは将来的に導入するための余裕)

図 3.3.7 tiss-NET のサブシステム構成

これらのサブシステム構成についての詳細な説明は、次節以降で述べる。

3.4 車両挙動サブシステム

tiss-NETにおける車両の走行挙動は、一台一台の挙動が明確に区分された上でコンパートメント間の動きを表現している「車両挙動サブシステム」で構築されている。この走行挙動サブシステムは、tiss-NETの研究対象の変化に応じて、適時サブシステムの追加・改良が実施されてきた。ここでは、その中でも最も基本的な走行挙動を決定する以下の3つのモデルについて述べる。これ以外の車両挙動を表すモデル、例えば駐車車両の回避モデル等は別章で述べる。

- ・自由走行モデル：車両が他車からの影響を受けずに自由に走行する挙動
- ・追従挙動モデル：先行する車両の影響化にある挙動。
- ・発進遅れモデル：停止状態からの発進時の反応遅れ。
- ・様子見挙動モデル：赤信号などの停止を必要とする障害物の手前で減速する挙動。

これらのモデルの適応範囲は、あくまで市街地レベルの道路における車両挙動であり、都市間高速道路などは範疇としていない。具体的には、4つの基本モデルを構築した際、規制速度であ

る時速40~50km/h程度の渋滞時を含む市街地道路に適応するものである。また区画道路のような交通量が少なく規制速度も低速の道路では、挙動決定モデルの適応性の明確な検証は実施していないが、制限速度が40km/hと30km/hの場合に発生する車両挙動の差異は、追従状態の微小な違い程度であり、厳密な旅行時間を検討する場合以外は、そのまま適用しても問題がないとしている。車種の区別は、普通車と大型車（バス）の二種類となっている。走行挙動に関する各モデルは、それぞれの車種別のモデルを持ち、異なった車両挙動が表現されている。

また、各モデルの定式化については、筆者及び他の研究者によってなされた本研究に先立つ既存研究の中で分析・構築およびその検証作業が実施されているため、本論文内にはそのモデル式と説明のみを記載した。詳細については、既発表途論及び文末参考資料を参照して頂きたい。

3.4.1 自由走行モデル

自由走行モデルは、最も基本となる車両挙動モデルであり、他車からの影響を受けずに走行する挙動を決定する。自由走行状態にある車両は、以下のような挙動となる。

- ・加減速時：規制速度に応じた希望速度まで等加速度によって加減速する。
- ・定常走行時：希望速度を維持できる状態で、等速運動となる。

3.4.2 追従挙動モデル

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車種・速度・加速度・車間距離・相対速度等の値を条件として、追従車の加速度（又は速度）を決定する。

tiss-NETでは、後方を走行する車両が

- ・追従状態にあるかどうかの判断を行う
- ・追従状態であれば追従挙動決定モデルにより加速度や速度が決定される
- ・追従状態でない場合は基本的に自由走行の挙動をとる。

また、これらの追従挙動モデルは、先行する車両と追従する車両の車種による相違があり、車種別の定式化が必要となったため、追従車と被追従者の関係から以下の3パターンに整理してモデル化とその検証を行った^{1) 2)}。

表 3.4.1 追従モデル

追従車と被追従車の関係	モデル式
「被追従車と追従車が共に普通車」の場合	減速時 $a_{k+1}(t+T) = -0.64 \frac{v_{k+1}^{1.30}(t+T)}{\{x_k(t) - x_{k+1}(t)\}^{0.70}}$ ($R^2=0.71$) 加速時 $a_{k+1}(t+T) = 0.34 \cdot v_{k+1}^{0.49}(t+T) \cdot \{x_k(t) - x_{k+1}(t)\}^{0.15}$ ($R^2=0.56$) 追従範囲 (m) $\leq 5 / 3 \times$ 追従車速度 (m/s) + 15
「追従車が大型車、追従車が普通車」の場合	減速時 $a_{k+1}(t+T) = -0.80 \frac{v_{k+1}^{0.31}(t+T) \{v_{k+1}(t) - v_k(t)\}^{0.55}}{\{x_k(t) - x_{k+1}(t)\}^{0.37}}$ ($R^2=0.46$) (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) + 20
「追従車が普通車、被追従車が大型車」の場合	減速時 $a_{k+1}(t+T) = -0.73 \frac{v_{k+1}^{0.09}(t+T) \{v_{k+1}(t) - v_k(t)\}^{0.52}}{\{x_k(t) - x_{k+1}(t)\}^{0.09}}$ ($R^2=0.59$) 減速追従範囲 (m) $\leq 5 / 3 \times$ 追従車速度 (m/s) + 15 加速時 $a_{k+1}(t+T) = 0.20 \frac{v_{k+1}^{0.83}(t+T) \{v_{k+1}(t) - v_k(t)\}^{0.32}}{\{x_k(t) - x_{k+1}(t)\}^{0.05}}$ ($R^2=0.56$) 加速追従範囲 (m) $\leq 5 / 3 \times$ 追従車速度 (m/s) + 10
パラメータの説明 $a_k(t)$: k 番目の車の時刻 t のときの加速度 (m/s^2) $v_k(t)$: 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)	

3.4.3 発進遅れモデル

発進遅れとは、信号・混雑・待ち行列等により車両が停止した場合に、前方の1台目の車が発進してから自車の発進までにかかる時間のことをいう。発信遅れがない場合、信号が青になると、全ての車両が一斉に走行を開始することになり、交通工学的に大きな矛盾を持つことになる。tiss-NET では追従挙動と同様に車種別の相互作用が大きいことを考慮して、表 3.4.2に示す3つの種類の発進遅れモデルを導入している。

表 3.4.2 発進遅れモデル

車種	発進遅れモデル式
普通車 普通車によって影響を受ける	平均：1.27（秒）標準偏差：0.61（秒）k=2 のアーラン分布
普通車 大型車によって影響を受ける	平均：1.12（秒）標準偏差：0.60（秒）k=3 のアーラン分布を 0.63（秒）遅らせた分布
大型車 （先行車の種類は問わない）	平均：1.55（秒）標準偏差：0.82（秒）k=3 のアーラン分布を 0.07（秒）遅らせた分布

3.4.4 様子見挙動モデル

追従走行をしていない車両は、いわゆる「自由走行」状態にある。例えば、普通自動車の単独走行や、集団先頭のバスなどの走行状態が自由走行である。これらの挙動は、設定速度（走行地点の制限速度）まで、自由加速（等加速度運動）し、設定速度に達するとその速度を維持する挙動としてモデル化してある。しかし、たとえ自由走行状態であっても、進行方向前方に赤信号や信号待ちの車両などの障害物がある際には、運転者が通常の減速加速度による停止を嫌って、手前の位置から事前にスピードを落とす挙動が観測された。そこで tiss-NET では、それらの挙動を「様子見挙動モデル」としてモデル化している。

様子見挙動の概念を図 3.4.1 に示す。また、車両が前方の状況・様子を予測する挙動についても、車種による相違が見られたため、車種別の「様子見挙動モデル」を作成した（表 3.4.3）。

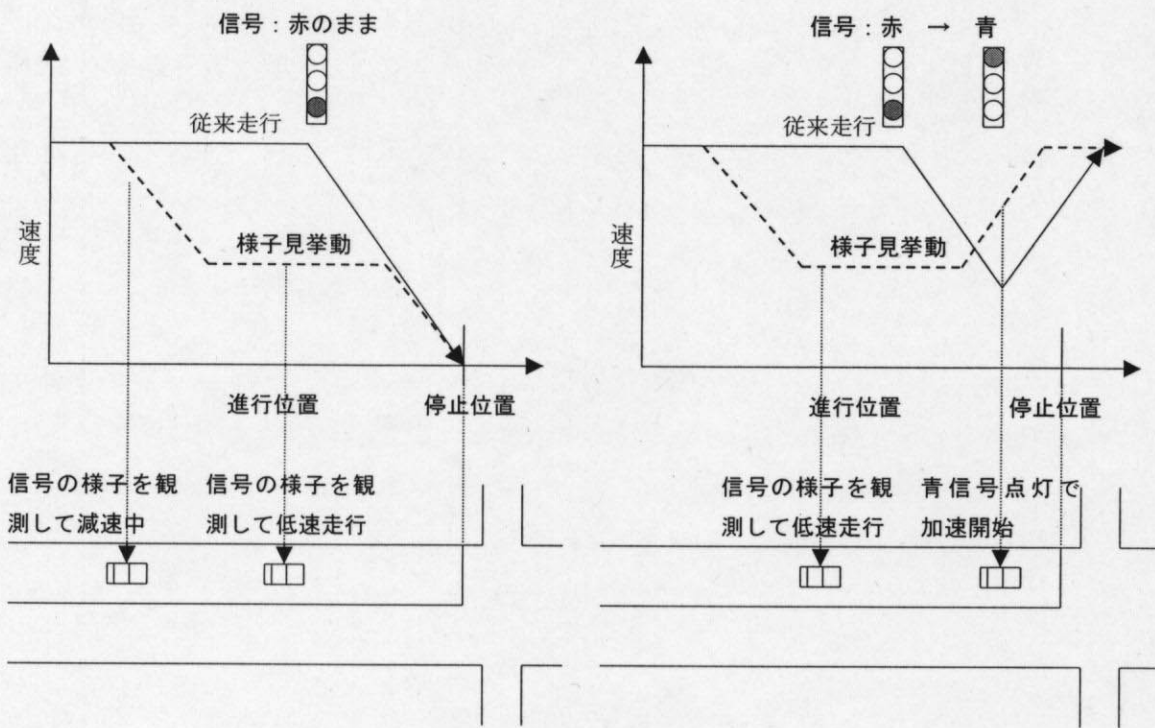


図 3.4.1 様子見挙動モデルの概念

表 3.4.3 様子見挙動モデル

車種	様子見挙動モデル式
普通車	$V = 0.02D + 5.70$ $V : \text{走行速度 (m/s)} \quad D : \text{障害までの距離 (m)}$
大型車	$V = 0.03D + 5.35$ $V : \text{走行速度 (m/s)} \quad D : \text{障害までの距離 (m)}$

3.5 経路決定サブシステム

tiss-NETにおける車両の具体的な経路決定方法は、「固定経路設定モデル」「出発時最短経路設定モデル」「ネットワーク知覚モデルに基づく動的経路」の3パターンに分けられる。なお、全てのパターンにおいて各車両は各々が経路情報を保持して走行している。

3.5.1 固定経路設定モデル

バスなどの固定経路を走行する車両の経路指定を行うもので、シミュレーション計算前に利用者が「ノードツリー」形式^fのファイルを準備することで固定経路が設定できる。通常のシミュレーションでは路線バスなど場合を除いてこの経路設定モデルを利用されること一般的にはない。

3.5.2 出発時最短経路設定モデル

tiss-NETにおける規定値（デフォルト）の経路決定方法で、車両は出発時に具体的な経路（ノードツリー形式）が指定される。ここで指定される経路は、シミュレーション上で計測されたコストを利用して、図 3.5.1に示す様に任意時間（フェーズ）ごとに再計算によって更新されている。現在は、前章で述べたように実現象を明確に説明できる適切な経路指定方法が不在のため、「コスト＝所要時間」として扱って最短時間経路を設定するようにしている。

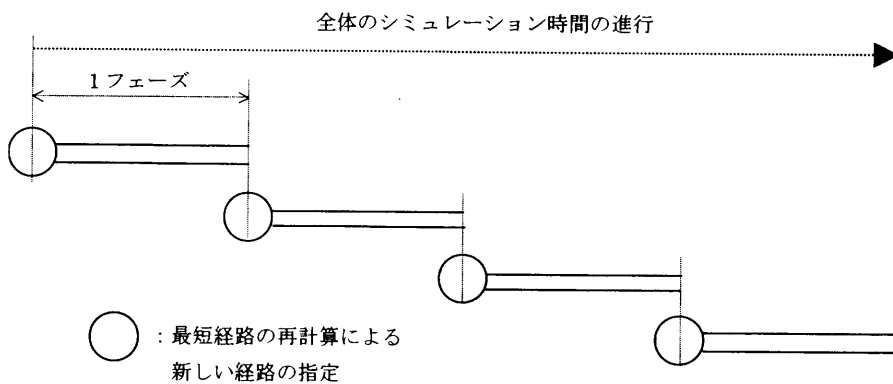


図 3.5.1 シミュレーション時間の進行と経路設定

(A) セクションとセクションタイムの定義

詳細な車両挙動を扱う交通流シミュレーションを想定すると、一般的なリンク所要時間による最短時間経路はもちろん、交差点通過時間に重み付けを持った程度の最短時間経路算出方法では十分とは言えない場合がある。車両の所要時間に影響を及ぼす要因をマイクロな目で見れば、例えば、路上駐車車両や駐車場の空き待ち待ち行列、交差点での信号現示および進行方向別の交差点通過時間などがある。特に交差点の右折車両は対向車両の影響を大きく受け、また従属車両へ影

^f ここでのノードツリー形式とは、一般的なネットワークモデル記述と同様に、ノードの番号を順番に列挙することでその車両の走行経路を指示する形式のことである。

響を与える場合も多い。同様に、歩行者の多い交差点では左折車の先詰まりによる後続車の影響も大きい。出発時最短経路指設定モデルでは、この点に注目して、交差点での進入・進行方向別の通過所要時間の違いを考慮した最短経路を算出するために、セクション、セクションタイム及びセクションネットワークという新しいモデルを導入した。

セクションとは、リンクと交差点を関連づけたもので、1つの単路部と両端の2交差点を含めた区間である。図 3.5.2の場合、二つの四差路には含まれたリンクで、セクションのパターンは、入口交差点の進入3パターン（直進、左折、右折）と、出口交差点の3パターン（直進、左折、右折）で、合計9パターン存在することになる。この場合、「セクションABは9つのパターンを持つ」と表現できる。

また、これらのセクションは、入口交差点の退出時から出口交差点の退出時までの所要時間（セクションタイム計測区間）をセクションタイムとして記録される。一般的なリンク所要時間では、交差点における右左折待ちなどの時間考慮が難しいが、このセクションタイムを計測することで、交差点通過パターンごとの所要時間を把握することができる。

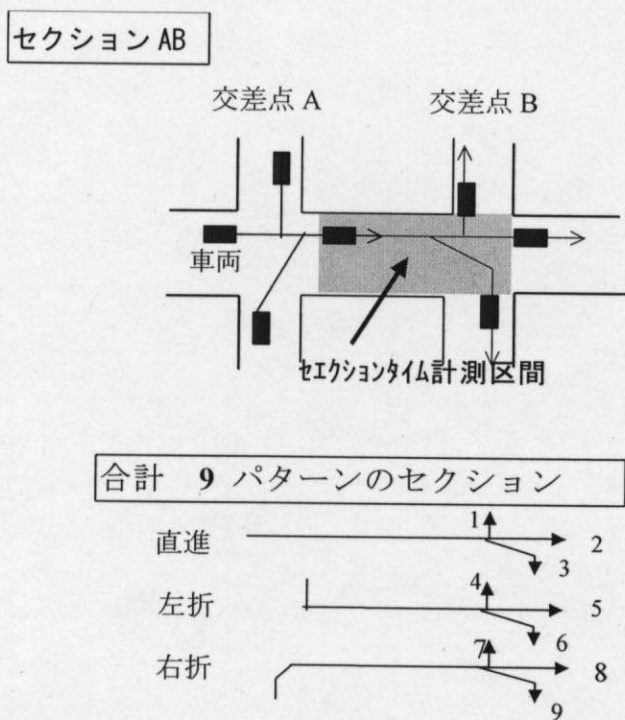


図 3.5.2 セクションとセクションタイム計測区間

(B) セクションネットワークによる最短経路の算出

シミュレーション上で走行している車両からセクションタイムを得て、その後最短経路を検索するわけであるが、セクションタイムのままでは通常の最短経路検索が出来ないために、セクションネットワークを構築して対応した。セクションネットワークを構築することで、セクションタイムとセクションを利用した通常のダイクストラ法による最短経路検索に帰着することになる手順を以下に述べる。

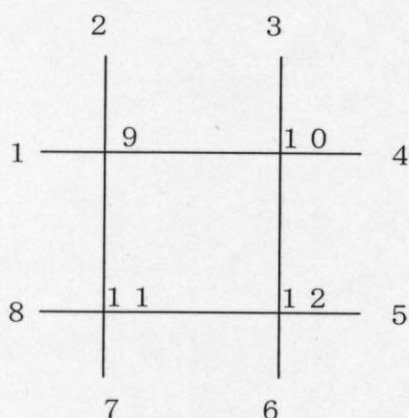


図 3.5.3 ネットワークの例

図 3.5.3を、対象とするネットワークと仮定する。番号は交差点番号（ノード番号）である。そこで、「セクション9-10」に着目するとセクションパターンは、表 3.5.1 のように分類できる。

表 3.5.1 セクションパターンの分類

退出方向	2から進入	1から進入	1 1から進入
3へ向かう	2-9-10-3	1-9-10-13	11-9-10-13
4へ向かう	2-9-10-4	1-9-10-4	11-9-10-4
1 2へ向かう	2-9-10-12	1-9-10-12	11-9-10-12

網掛けをおこなったものは、1 2へ向かう「セクション9-10」である。同様に1 2へ向かう「セクション8-10」及び「セクション4-10」では、進入してくる方向が1つしか無いために、当然1 2へ向かうセクションはそれぞれ1つになる。これらの1 2へ向かう5つのセクションは、の下にあるような、セクション10-12につながることになる。さらにこれらは、10からの「セクション12-11」、「セクション12-6」、「セクション12-5」につながる。この結果、これらのセクションをノードと置き換えることによって「セクションとセクションがつながる」ことが可能とな

り、図 3.5.5に見られるようなセクションネットワークが完成する。このネットワークの最短経路を求めたあと、通常のノーツツリーダーデータに戻してやれば、一般的に利用可能となる(図 3.5.6)。

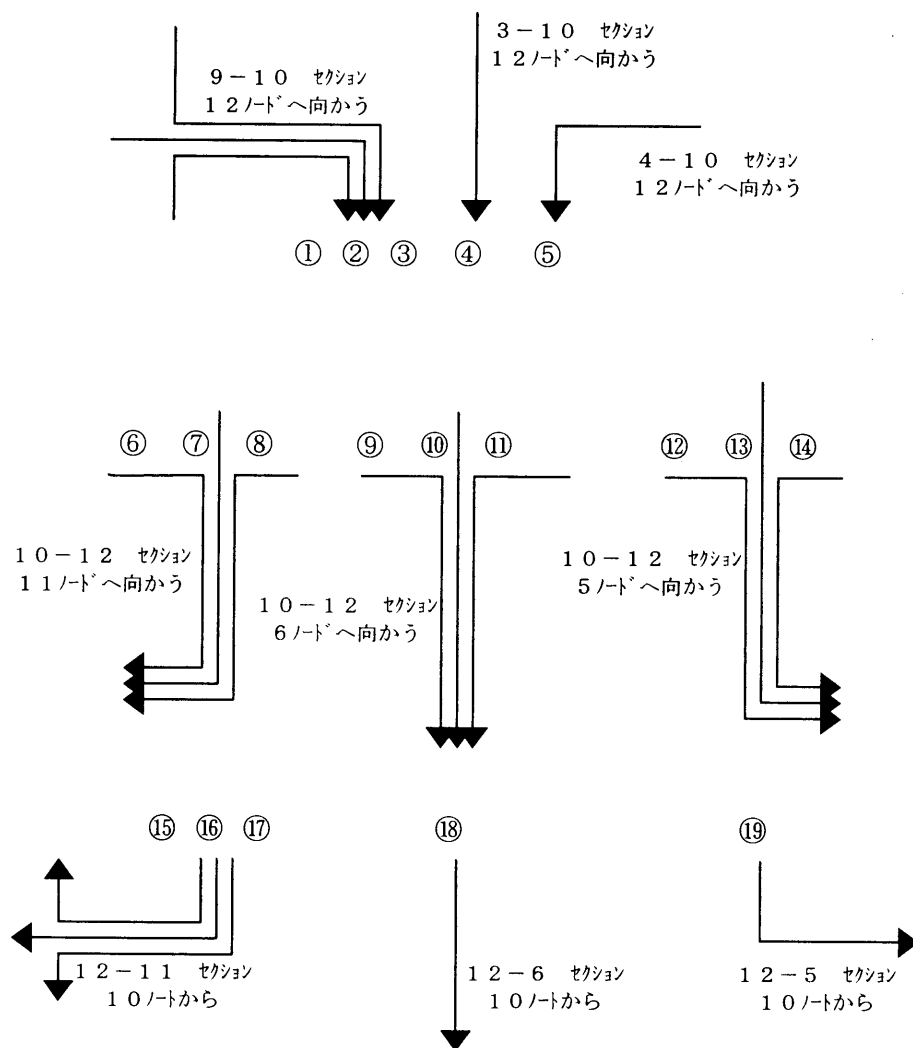


図 3.5.4 セクションへの分解図

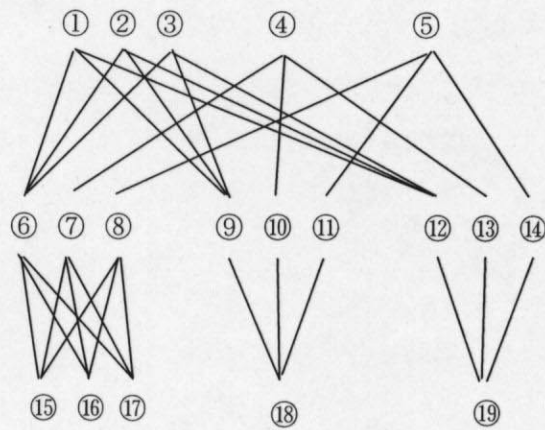


図 3.5.5 セクションネットワークの完成

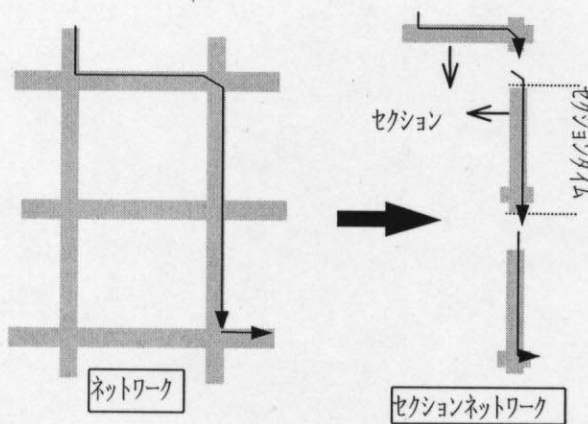


図 3.5.6 セクションネットワークの概念図

3.5.3 ネットワーク知覚モデルに基づく動的経路

ネットワーク知覚モデルに基づく動的経路の詳細は6章で述べるため、ここでは概要のみとする。本節までで述べている経路設定モデルは、ドライバーの経路選択機構のモデル化を行ったものではなく、あくまでシステムとして経路を設定しているに過ぎない。つまり本来の tiss-NET のねらいである行動的モデリングによる経路設定を行っていない。そこで、ドライバーの属性と、道路交通状況を判断材料として、自ら経路を設定するモデルの適用を検討する。ただし、取得したデータ種類の関係から構築したモデルについての一般的な利用は、現在の tiss-NET では行われていない。