

詳細な多モードネットワーク交通シミュレーションシステムの構築*

Development of Detailed Multimodal Network Traffic Simulation System*

伊藤幸博**, 内田敬***

by Yukihiro ITO and Takashi UCHIDA

1 はじめに

都市における CBD の交通の状態はその都市全体の交通の様相を大きく支配するものであり, CBD における交通政策の実施は局所的な効果をもたらすだけではなく, その都市全体の交通サービスに対しても大きな影響を及ぼすものとなる。よって, 都市圏全体を取り扱うとともに詳細さも兼ね備えた交通流シミュレーションが望まれる。

これまで自動車交通流シミュレーションシステムに関して数多くの研究がなされてきた¹⁾。しかしながら従来の都市交通モデルのほとんどは粗いゾーン/ネットワークであるか, 狭域を取り出したものであった。詳細かつ大規模なネットワークを対象とすると, データベース作成・管理のコストや複雑さも問題となっていた。しかし最近では地理情報システム (GIS) の空間データ管理・処理能力を利用することにより, 比較的容易にかつ効率的にデータベースを構築することが可能となりつつある。主に自動車と公共交通機関に関しては, 多モードネットワークを表現するためのデータベースを構築する試みもなされている²⁾。

一方で, 歩行者の振る舞いに関しても十分な研究がなされており³⁾, 徒歩モードに着目した交通流のモデル化も可能となっている。しかしながら, これまで徒歩を重要なモードの一つとして扱い, 交差点における自動車と横断歩行者, 同一リンク上の歩行者と自動車の干渉などといった他のモードとの相互影響を考慮に入れ, かつ都市レベルのような比較的

大きなネットワークに対して適用可能なシミュレーションモデルが研究された例はほとんど無い。

本研究は, 交通流制御のための信号制御系統の変更, 時間帯別のバスレーンへの流入規制などといった, 街区や CBD エリア等の詳細なレベルにおいて実施される交通政策による交通条件の変化, および交通モード間の相互影響を含めたパーソントリップを総合的に記述することが可能であるとともに, その政策の評価に適用可能なシミュレーションシステムの構築を目的としている。その主な特徴は,

- 1) 柔軟かつシームレスなネットワーク表現により, CBD のような詳細なレベルにおける交通状態を表現する
 - 2) 徒歩を重要なモードの一つとして取り扱い, モード選択および経路選択行動を記述する
 - 3) モード/リンク間の相互作用, 特に歩車道が分離されていない街路上における歩行者と自動車の混在や交差点での横断歩行者と自動車との干渉を考慮に入れた上で, 交通システムのパフォーマンス (LOS) をモデル化する
- という点である。

本研究で構築するシミュレーションシステムは 3 つの主要なサブシステムから構成され, それぞれ a) データベースシステム, b) リンク・モードパフォーマンスモデル, c) 選択行動モデル となっている。これらのシステムは, GIS をプラットフォームとして統合される。次章ではこれらサブモデルの詳細について説明する。

2 シミュレーションシステムの構成

(1) データベースシステム

シミュレーションは各モードが混在する多モードネットワーク (バーチャルネットワーク) 上で行われる。図 1 にそのネットワーク生成プロセスの概

* キーワード: シミュレーション, 交通計画評価, 総合交通計画, ネットワーク交通流

** 学生員, 東北大学情報科学研究科人間社会情報科学専攻 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 06, TEL.022-217-7478, FAX.022-217-7477, E-mail:ito@rs.civil.tohoku.ac.jp)

*** 正員, 工博, 東北大学, 助教授, 工学研究科土木工学専攻

観を示す。第一段階として基本となるベースネットワークデータの属性が参照され、各モードごと、さらに公共交通機関についてはその経路ごとに、分割されたサブネットワークのレイヤが生成される。レイヤの分割後、第二段階として各レイヤ間で相互参照が行われ、モード間での乗り換えのためのリンクが張られる。以上のプロセスにより、機能的な依存関係で接続されたバーチャルネットワークが生成される。以下、ベースネットワークデザインとバーチャルネットワーク生成プロセスのコンセプトについて詳述する。

(a) ベースデータデザイン

本システムでは、物理的なネットワークの属性および接続関係のみを保持するデータをベースデータとする。ただし、後述する多モード化されたバーチャルネットワークを生成するために必要となるリンクおよびノードの属性がこれに付随し、また別途に各公共交通機関システムに関するデータベースが結合される。図2にその主なデータの内容を示す。このデータベース構造の大きな特徴は、各ベースノードが持つ「駐車場有無」「PT Stop（公共交通機関の駅・バス停など）」といった属性である。各々のノードは、バーチャルネットワーク生成時に自己のこれらの属性を参照することにより、トリップの発生集中点としてのセントロイド、交差点ノード、あるいは単なるリンク結節点と、様々な形態をとる。

(b) 自動車ネットワークレイヤ

図3は、ある交差点における自動車ネットワークレイヤの生成プロセスを示している。ベースリンクデータの車線数属性を参照することにより、自動車レイヤが生成される。その際各リンク、ノードはベースデータから属性を継承し、また同時にそれを用いてリンク交通容量など、追加的な自己の初期属性を決定する。第二段階として、交差点ノードは各方

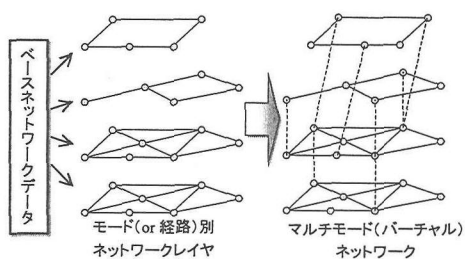


図1 バーチャルネットワーク生成過程の概観

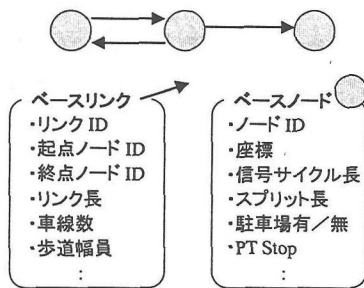


図2 ベースデータ構造

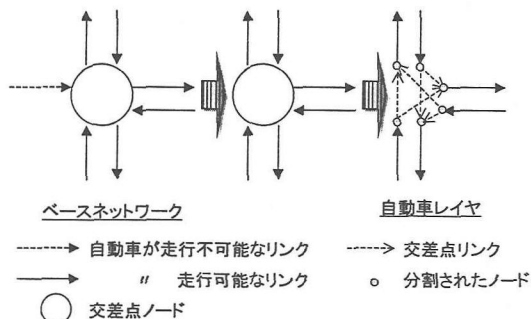


図3 自動車ネットワークレイヤ生成過程

向への曲がり抵抗を表現するため、分割されたノードと交差点リンクで構成されるサブネットワークにモデル化される。各々のノードおよびリンクはベースとなる交差点ノードの「ID」を継承する。

(c) 歩行者ネットワークレイヤ

自動車の場合とは異なり、歩行者はベースリンクの方向とは無関係に歩くことが可能であるため、歩行者レイヤにおいてはベースリンクに沿って両方向に平行なリンクが生成される。その後自動車レイヤと同様に、交差点ノードは分割されたノードと横断歩道リンクによってモデル化され、それぞれ交差点ノードの「ID」を継承する。このことにより、自動車レイヤと歩行者レイヤの間でそれぞれ継承した「ID」を参照することで、お互いの干渉を考慮することが可能となっている。図4に歩行者レイヤの生

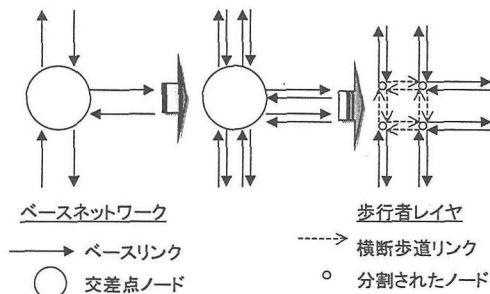


図4 歩行者ネットワークレイヤ生成過程

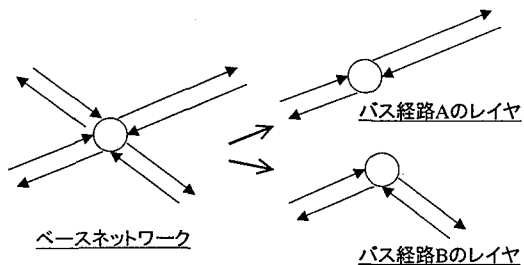


図5 経路別公共交通機関レイヤ群生成過程

成プロセスを示す。

(d) 公共交通機関ネットワークレイヤ群

ベースリンクが所属する公共交通機関系統を参照することにより、公共交通機関ネットワークレイヤは各経路ごとに分割されたレイヤの集合として表現される。このプロセスは非常に簡単であるが、後述の通り、データベースの一貫性に関して重要な意味を持っている。図5に例として2つのバス経路が存在する簡単な場合のこのプロセスを示す。

(e) パーチャルネットワーク

個々のモード別ネットワークの生成が終わると、それぞれのネットワークレイヤ間で相互参照を行い、乗換えが可能であるかを決定する。例として、ある地下鉄ネットワークレイヤと歩行者レイヤ間で、それぞれベースノードから継承した「ID」、「PT Stop」の属性を参照し、乗り換えを表すダミーリンクが張られる。これらのダミーリンクはその乗り換えコスト、待ち時間などをリンクコストとして保持する。

従来の研究では、ベースデータは多モードネットワークを表現するために、各モードに対して分割されたサブネットワークとそれらの間のダミーリンクを保持するものがほとんどであった。しかしこの方法では、サブネットワーク間の依存関係が存在するため、データベースの更新時に一貫性を失うことが起こりうる。例えば、自動車ネットワークのリンクを削除したにもかかわらずそれに対応するバスネットワークのリンクを削除しなかった場合、データベースに矛盾が生じることになる。本システムにおいてはベースネットワークは物理的な属性のみで構成され、それらを参照することで副次的に各モードのネットワークレイヤが生成されるために、データベースに行われた変更は必ず各ネットワークレイヤに反映されることから、そのような不整合が生じることは無い。

(2) リンク・モードパフォーマンスモデル

リンクパフォーマンスは交通量と交通容量の比の関数としてモデル化する。このパフォーマンスの決定には前節で示したレイヤ生成過程が深く関わっている。すなわち、あるモードのリンクは、ベースデータから継承したID等のデータを参照することで、別レイヤのリンクと交差している、共有されている等の情報を得て、自己のパフォーマンスを変化させることができる。このように、属性の継承によって、バーチャルネットワークにおけるモード間の相互作用が容易に表現される。

(3) 選択行動モデル

選択行動モデルはそれ自身、ODトリップモデル、機関選択モデル、経路選択モデルという3つのサブモデルによって構成される。シミュレーションが実行される際、OD交通量は外性的に与えられる。また機関分担率はロジットモデルを用いて、経路選択は最短経路の確定的選択として決定される。

現在のシステムは、これらサブモデルは各々独立した外部モジュールとして実装するように設計されている。すなわち、分析者が場合に依りて自由に他のモジュールに変更することが可能となっている。

3 適用

仙台市のCBDを想定したテストネットワーク、およびOD交通量を用い、実際にシステムのプロトタイピングを行い、適用を行った。ただし現在GISエンジンの整備が完全でないために、いくつかの属性データは仮想的に与えた。図6にテストネットワーク（191リンク、74ノード）の構造を示す。ネットワーク上には当初1つのバス経路

（太線のリンク）が存在し、もう1つの経路（破線のリンク）が追加されるという政策を想定した。OD交通量は仙台都市圏PT調査のデータ

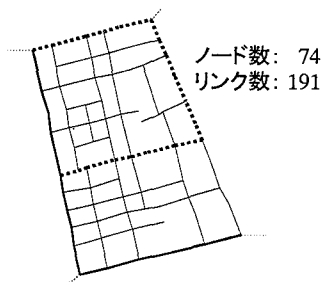


図6 テストネットワーク

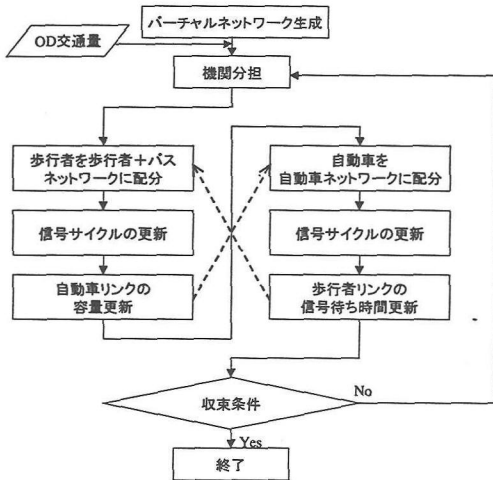


図7 シミュレーションの計算手順

を元に、詳細な街区レベルデータに変換⁴⁾したものを用いた。

(1) シミュレーションの計算手順

現在のプロトタイプシステムによる計算手順の概略を図7に示す。まずはじめにベースデータからバーチャルネットワークが生成される。現在の実装では、利用可能なデータの制限等により、自動車ネットワークレイヤと、歩行者およびバスネットワークレイヤが混在するバーチャルネットワークは分割されており、これらの間での乗換えは考えていない。その後所与のODトリップが機関選択モジュールを介してそれぞれのネットワークに分担される。そして経路選択モジュールを用いて各々のネットワークに交通量の負荷がなされる。同時に、各レイヤのリンクコストは自分自身の、さらに他のレイヤの交通状態の影響を受け、変化する。図7中の破線矢印はこの相互影響を示している。この計算を繰り返し、最終的に均衡する交通状態を求める。

(2) シミュレーション結果

表1は、政策の前後において、新バス経路に沿った歩行者リンク（図6破線のリンク）の交通量 $Q(P/h)$ と旅行時間 $T(min)$ をそれぞれ合計したものである。旅行時間にはあまり変化が無いのに対して、交通量は大きく減少している。これはバスの導入による徒歩からバスへのモー

表1 シミュレーション結果

政策実施前		政策実施後	
Q(P/h)	T(min)	Q(P/h)	T(min)
2842.795	20.928	2326.370	22.498

ド変化を本システムが適切に表現していることを示している。図8は現在開発中のプロトタイプシステムによる画面表示例で、表1に属するリンクのみを抜き出し歩行者交通量の変化率を表示している。

4 おわりに

本研究において構築されたシミュレーションシステムは、データベースデザインの工夫によって効果的に多モードネットワークを表現することができ、またその交通政策評価ツールとしての適用可能性を確認できた。

しかし現在もいくつかの機能は開発中であり、それらの実装を進めなければならない。またさらに今後の研究においては、各サブシステムのキャリブレーション、およびデータベースデザインの更なる改良などを行い、実用化への検討を行う必要がある。

<参考文献>

- 1) e.g. 坂本邦弘, 久保田尚, 門司隆明 (1998) 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, 土木計画学研究・講演集, No.21(2), pp. 791-794.
- 2) Miller, H. J. and J. D. Storm (1996) Geographic information system design for network equilibrium-based travel demand models. Transportation Research, Vol. 4-C, pp. 373-389.
- 3) e.g. Lovas, G. G. (1994) Modeling and simulation of pedestrian traffic flow. Transportation Research, Vol. 28-B, pp. 429-443.
- 4) Uchida, T., K. Miyamoto, N. Sugiki, and M. Nakano (1999) A Data Integration System for a Comprehensive Urban Analysis, Proceedings of the CUPUM '99, (in printing).

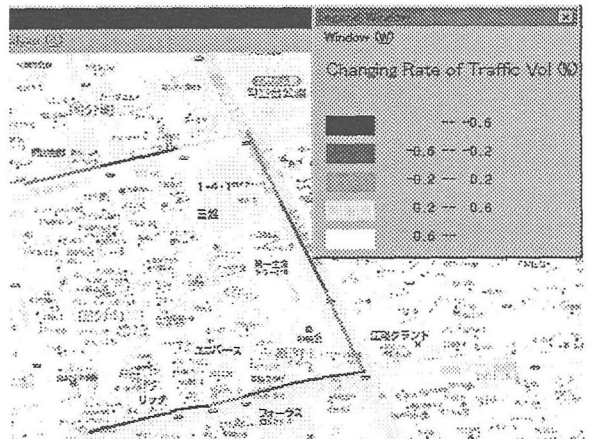


図8 プロトタイプシステムによる画面表示例