

単純化ネットワークを用いた大規模道路ネットワーク交通シミュレーションモデルの構築*

Traffic Simulation Model with Simplified Network for Large-scale Networks*

森大祐**・吉井稔雄***・北村隆一****

By Daisuke MORI**・Toshio YOSHII***・Ryuichi KITAMURA****

1. はじめに

近年、TDM やロードプライシング等交通混雑緩和を目的とする広域施策の評価ツールとして交通シミュレーションに期待が寄せられており、すでにいくつかのシミュレーションモデルが提案されている¹⁾²⁾。ただし、これらのシミュレーションでは、交通ネットワーク全体に対する細街路の影響は少ないとの仮定の下、細街路を捨象した幹線道路のみのネットワークが用いられている。これは、ゾーン単位以上に詳細な OD 交通量データを獲得することが困難であることや長距離のトリップを行う際に細街路はその経路として利用されにくいであろうとの判断に基づいている。しかし、東京 23 区における細街路の交通量は 27,365[千台/12h]に上るとの鹿島らの報告³⁾を考慮すると、幹線道路のみのネットワーク上で行うシミュレーションに高い精度を期待することは出来ない。また、詳細な OD 交通量データが獲得できた場合、細街路を含む全道路ネットワークを対象にシミュレーションを実行するということが考えられる。しかしこの場合でも、長距離トリップでは主として幹線道路を対象として経路選択がなされることや、すべての街路を取り扱う場合には計算負荷が非常に大きくなるという問題点がある。そこで、中村ら⁴⁾は、細街路も含めた全ての道路ネットワークを簡略化し、幹線道路と、細街路を表現する集約リンクでネットワークを構成する「単純化ネットワーク」を構築し、さらに、林ら⁵⁾により同単純化ネットワークを用いた配分方法が提案されている。

本研究では、細街路を含め全ての道路を表現する同単純化ネットワークを用い、操作性に優れ、かつ、高い再現性を確保しうる大規模道路ネットワークを対象とした交通シミュレーションモデルの構築を行う。

2. 単純化ネットワーク

単純化ネットワークは、幹線リンクと集約リンクから構成される。また、幹線道路で囲まれたエリア（以下「細街路エリア」）を 1 つの単位と考える。細街路エリア内では幹線道路を幹線リンクとして表し、各幹線道路間を繋ぐエリア内の細街路を「集約リンク」として表現する。この集約リンクは、起点となる幹線道路から終点の幹線道路へと向かう細街路エリア内の全ての経路と等価なリンクである。また、集約リンクは単一の細街路エリア内において隣接する幹線道路間を繋ぐ「隅切り型集約リンク」と「横断型集約リンク」の 2 種類に分類される。

図 1 に一つの細街路エリアから構成される単純化ネットワークの例を示す。この例に示される細街路エリアは 16 本の幹線リンクと 16 本の集約リンクから構成される。

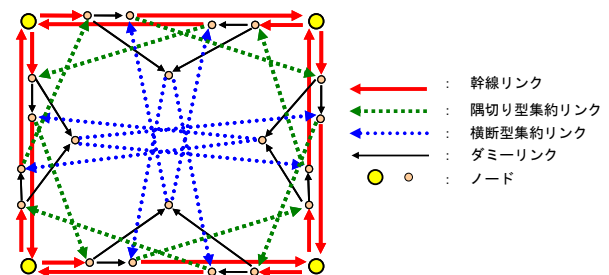


図 1 単純化ネットワーク

* キーワード：交通シミュレーション，配分交通，経路選択

** 学生員，京都大学大学院工学研究科

(京都市西京区京都大学桂，

TEL075-383-3242, FAX075-383-3236)

*** 正員，博士(工学)，京都大学大学院工学研究科

(京都市西京区京都大学桂，

TEL075-383-3249, FAX075-383-3236)

**** Ph. D.，京都大学大学院工学研究科

(京都市西京区京都大学桂，

TEL075-383-3238, FAX075-383-3236)

3. 単純化ネットワークを用いた交通シミュレーションモデル

3.1. モデルの概要

本研究で構築するシミュレーションモデルは、図 2 に示す経路選択サブモデルと車両移動サブモデルから構成される。経路選択サブモデルは、車両移動サブモデルから得られるリンク旅行時間をもとにして、ある一定時間

ごとに各ノードにおける目的地別分流比率を改訂する。車両移動サブモデルは、経路選択サブモデルによって求められた各分岐点での分流比率に基づき、ネットワーク上の車両を移動させることにより、各リンクの旅行時間を得る。これら2つのサブモデルを交互に繰り返し適用することによって動的確率均衡状態を近似的に再現する。

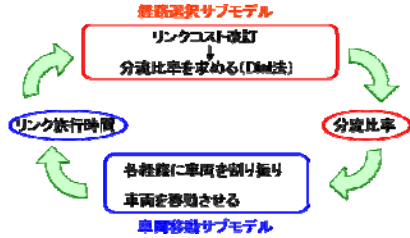


図2 シミュレーションモデルの概要

3.2 入出力データ

本研究で提案するシミュレーションモデルの入力データには、以下のものがある。

- (a) ネットワークデータ：リンクの接続関係，リンク長，車線数，自由流速度，交通容量，飽和密度，集約リンクデータ
- (b) OD データ：時間帯別 OD 交通量
- (c) パラメータデータ：スキャニングインターバル，分流比率改訂時間間隔，経路選択モデルのパラメータ (Dial 配分のパラメータ)

交通容量はリンク全体の交通容量に加えて，リンクの流出方向 (直進・右折・左折) ごとの交通容量を方向別交通容量として用意する。方向別交通容量を用意することで，多車線での右折待ちといった交通現象を間接的に取り扱うことが可能となる。

また，出力データとして，リンク旅行時間とリンク交通量が得られる。

3.3 経路選択サブモデル

経路選択サブモデルは，経路選択確率改訂時間間隔 ΔT ごとに実行する。まず，車両移動サブモデルによって得られる各リンクの旅行時間をもとに，幹線リンクのリンクコストを求める。次に，集約リンクのリンクコストを幹線リンクのリンクコストより算出する。これらのリンクコストに基づいて Dial 配分を行い，各分岐点における目的地別の分流比率を算出する。各車両はこの分流比率に従って分岐方向を決定する。

(1) 幹線リンクのリンクコスト

幹線リンクのリンクコストは，分流比率改訂時間間隔 ΔT の間にそのリンクを通過した車両のリンク旅行時間の平均で表す。ただし， ΔT の間に当該リンクを通過した車両がないときは，当該リンクの自由走行時間をもってリンクコストとする。以上より，リンクコストは式(1)

として定義する。

$$\tilde{c}_a = \begin{cases} \frac{l_a}{v_a} & \text{if } n = 0 \\ \frac{\sum_{i \in \Omega} t_{ia}}{n} & \text{if } n > 0 \end{cases} \quad (1)$$

\tilde{c}_a : リンク a のリンクコスト

l_a : リンク a のリンク長

v_a : リンク a の自由流速度

t_{ia} : 車両 i のリンク a の旅行時間

Ω : ΔT の間にリンク a を流出した車両の集合

n : 集合 Ω に含まれる車両数

(2) 集約リンクのリンクコスト

集約リンクのリンクコストは対応幹線との関係をもとに算定する。対応幹線とは，単一細街路エリア内において，集約リンクを含む経路と同一の起終点をもつ，幹線リンクのみで構成される経路を意味する。図3に对应幹線経路の例を示す。いずれも起点 a 終点 b の集約リンクを含む経路と対応幹線経路を示す。Dial 配分下では，対応幹線に対する集約リンク S を含む経路の選択割合 κ は式(2)で算定される。

$$\kappa = \frac{\exp \left[\sum_{k \in A} (-\theta \cdot \tilde{c}_k) - \theta \cdot \tilde{c}_S \right]}{\exp \left[\sum_{k \in B} (-\theta \cdot \tilde{c}_k) \right]} \quad (2)$$

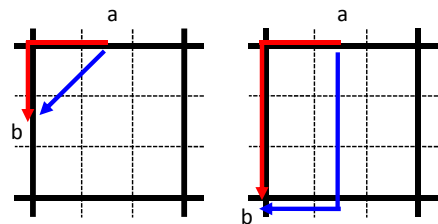
A : 集約リンクを含む経路に含まれる幹線リンクの集合

B : 対応幹線経路に含まれる幹線リンクの集合

θ : Dial 配分のパラメータ

本研究においては，中村ら⁴⁾と同様に κ が経路の交通状況によらない定数であると仮定し，集約リンクのリンクコストを式(3)にて算定する。

$$\tilde{c}_S = \sum_{k \in B} \tilde{c}_k - \sum_{k \in A} \tilde{c}_k - \frac{\ln \kappa}{\theta} \quad (3)$$



→ 対応幹線経路

→ 集約リンクを含む経路

図3 対応幹線経路の例

式(3)より集約リンクのリンクコストは負となる可能性があることがわかる。しかし、分流比率を求める際に用いる Dial 配分法は、負のリンクコストを含むネットワークには適用しえない。そこで、Dial 配分法を一部改変して用いる。以下にその詳細をまとめる。

(3) 負のリンクコストを考慮した Dial 配分法

Dial 配分では、コスト負のリンクが存在する場合に計算アルゴリズムが適切に機能しないという問題が生じる。

そこで、本研究では Dial 配分法を一部改変し以下のステップで分流比率を求める。

Step1 : リンクコストが負となるリンクのコストを 0 とし、ノード r から終点 d までにかかる最小交通費用 $c(r)$ を求める。

Step2 : 任意のノード s に向かうすべてのリンクのリンク尤度 $L[r \rightarrow s]$ を式(4)より求める。

$$L[r \rightarrow s] = \begin{cases} \exp[\theta\{c(r) - c(s) - \phi_{rs}\}] & \text{if } c(r) > c(s) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

ϕ_{rs} : ノード r からノード s に向かうリンクのリンクコスト

Step3 : 最小交通費用の小さいノードから順に、任意のノード s に向かうリンクのリンクウェイト $W[r \rightarrow s]$ を式(5)より求める。

$$W[r \rightarrow s] = \begin{cases} L[r \rightarrow s] & \text{for } s = d \\ L[r \rightarrow s] \sum_{m \in I_s} W[s \rightarrow m] & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

I_s : ノード s から流出するリンクの終点集合

ただし、前述した問題を回避するため、ノード s から流出するリンクに集約リンクが含まれている場合は式(6)よりリンクウェイトを求める。すなわち、リンクコストが負となりうる集約リンクのリンクウェイトは用いずに集約リンクに流入しているリンクのリンクウェイトを用いて、対象リンクのリンクウェイトを求める。

$$W[r \rightarrow s] = L[r \rightarrow s] \left(\sum_{m \in K_s} W[r \rightarrow m] + \sum_{m \in S_s} \left\{ \exp[\theta\{c(s) - c(m) - \phi_{sm}\}] \sum_{n \in I_m} W[m \rightarrow n] \right\} \right) \quad (6)$$

K_s : ノード s から流出する幹線リンクの終点集合

S_s : ノード s から流出する集約リンクの終点集合

Step4 : 各ノードを起点とするリンクのリンクウェイトの比を以て同ノードにおける分岐率とする。

3.4 車両移動サブモデル

車両移動サブモデルは、ネットワーク上での各車両の移動を計算するサブモデルである。本モデルでは、車両を 1 台ずつスキニングインターバル Δt ごとに離散的に移動させる。その際、幹線リンクに関しては、FIFO(First In First Out)を原則とした点待ち行列(point queue)モデルを用いる。一方、集約リンクは複数のリンクを 1 つに集約して表現したリンクであるため、リンクの交通容量やリンク内の車両の走行順位を求めることができない。そこで、車両のリンク走行時間のみを管理して流出判定を行う。以下に詳細を記述する。

(1) 車両発生

車両はセントロイドより一様に発生するとして、与えられた時間帯別の OD 交通量を満たすように一定間隔でセントロイドからネットワークへ流入させる。セントロイドは各細街路エリア内に 1 つずつ設置し、図 1 に示すようにエリア内にある幹線リンク上のダミーノードに接続させ、発生した車両は目的地により近い幹線リンクからエリア外へ流出できるものとする。

(2) 幹線リンク上での車両移動

幹線リンク上では、リンク内での詳細な車両走行位置を管理するのではなく、リンクに流入した順番である走行順位とリンクからリンクへの移動の可否のみを管理する。すなわち、一旦あるリンクに流入した車両は以下の条件(a)~(e)を全て満足する場合のみ、次のリンクへ流出することとする。

(a) リンク内において、先頭車両であること。または、先頭から N 番目以内であり、前方車両が (a), (b), (c)の条件を満たしていること。この条件は、リンクの先頭車両が流出できない場合でも進行方向が異なるときには後続の車両が流出できることを表す。

(b) リンクに流入してからの時間が自由走行時間以上経過していること。

$$T \geq T_{ia}^{in} + t_a^f \quad (7)$$

T_{ij}^{in} : 車両 i がリンク a に流入した時刻

t_j^f : リンク a の自由走行時間

(c) 最後に車両がリンクを流出してからの時間が、リンク容量値の逆数、つまり、最小車頭時間間隔以上経過していること。

$$T \geq T_a^{release} + \frac{1}{Q_a} \quad (8)$$

$T_a^{release}$: リンク a から最後に車両が流出した時刻

Q_a : リンク a の交通容量

上記の(a), (b), (c)の条件が満たされた場合, 経路選択サブモデルによって得られる分流比率にしたがって進行方向を決定し, 以下の条件をさらに判定する.

(d) 進行方向 (直進・右折・左折) 別の方向別容量について, 最後に進行方向に車両が流出してから時間が, 方向別交通容量値の逆数以上経過している.

$$T \geq T_{i_{dir,a}}^{release} + \frac{1}{Q_{i_{dir,a}}} \quad (9)$$

$T_{i_{dir,a}}^{release}$: 車両 i の進行方向にリンク a から最後に車両が流出した時刻

$Q_{i_{dir,a}}$: 車両 i の進行方向に対するリンク a の方向別交通容量

(e) 流出先リンクの交通密度が飽和密度未満である.

$$k_a < k_a^{jam} \quad (10)$$

k_a : 流出先リンク a の交通密度

k_a^{jam} : 流出先リンク a の飽和交通密度

上記の条件を全て満たす場合に, 車両は次のリンクへ向けて流出する. 車両が流出するときの時刻を T_{ia}^{out} とするとリンク旅行時間は以下の式で表せ, これを経路選択サブモデルに引き渡すことによってリンクコストが求まる.

$$t_{ia} = T_{ia}^{out} - T_{ia}^{in} \quad (11)$$

(3) 集約リンク上での車両移動

集約リンク上は, 幹線リンク上での車両移動と異なり, 交通容量を考慮せず旅行時間と流出先リンクの密度のみを条件として, 流出判定を行う. 具体的には, あらかじめ集約リンクの自由走行時間を式(12)にて設定し, 設定した自由走行時間に基づいて前記(b)の判定を行う.

$$T \geq T_{ia}^{in} + \sum_{k \in \Psi} t_k^f - \sum_{k \in \Phi} t_k^f \quad (12)$$

Φ : 集約リンクを含む経路に含まれる幹線リンクの集合

Ψ : 対応幹線に含まれる幹線リンクの集合

(b)の条件が満たされた場合には, 進行方向を決定し, (2)で述べた(e)の条件を判定する. 条件(e)も満たされれば, 車両は次のリンクへ流出する.

(4) 合流部での車両挙動

飽和状態にある流出先リンクに対して複数の流入リンクが存在すれば, どのリンクから順に車両を飽和リンクに流入させるかが問題となる. 本モデルでは, 式(13)に示す値 J_a を流入順序判定の際に用い, 全流入リンクのうち最もこの値の小さいリンクに優先的に飽和リンク流入の通行権を与える. このルールに従えば, 流出先リンクが飽和している状態では, 合流部における各リンクからの流入車両数はリンクの交通容量比によって決定される.

ただし, 集約リンクから流入する車両は, J_a の値に関わらず常に優先的に通行権をもたせることとする.

$$J_a = \frac{l}{Q_a} \quad (13)$$

l : リンク a から飽和リンクに流入した, 飽和開始からの累積車両数

4. おわりに

本研究では, 細街路も含めた全ての道路に相当する単純化ネットワークを用いた交通シミュレーションモデルの構築を行った.

今後, 実ネットワークにおいて再現性の検証を行い, 大規模ネットワークへ適用していくことを考えている.

参考文献

- 1)後藤亮, 白濱好文, 屋井鉄雄: 広域ネットワークを対象とした交通・環境マイクロシミュレーション; 第22回交通工学研究発表会論文報告集, pp.129-132, 2002.
- 2)村上康紀, 小根山裕之, 桑原雅夫: 東京23区ロードプライシング導入に伴う交通運用政策に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.26, 2002.
- 3)鹿島茂, 鳥海重喜, 棚橋巖, 國見均: GISを用いた細街路交通量の推計, 交通工学, Vol.42, No.1, pp.69-77, 2007.
- 4)中村俊之, 吉井稔雄, 北村隆一: 単純化ネットワークを用いた経路選択モデルの構築と適用, 第60回年次学術講演会講演概要集 (CD-ROM), 2005.
- 5)林裕真, 吉井稔雄, 北村隆一: 単純化ネットワークを用いた交通量配分手法に関する研究, 第33回土木計画学研究発表会講演集 (CD-ROM), 2006.