

広域ネットワーク交通流シミュレーションモデル SOUND の開発

桑原雅夫\*, 吉井稔雄\*, 森田綽之\*\*, 岡村寛明\*\*\*

\* ) 東京大学生産技術研究所 第5部

\*\* ) 首都高速道路公団 交通管制部

\*\*\* ) (株)熊谷組 エンジニアリング部

1. はじめに

道路の新設や交通規制の変更、あるいは車両の誘導を行った場合に、交通状況がどのように変化するかを評価するために、交通状況の変化を精度良く予測することが求められている。そこで本研究では、広域な道路網を対象として、時間的に変化する交通状況を精度良く再現できるシミュレーションモデル SOUND(a Simulation model On Urban road Networks with Dynamic route choice)の開発を行った。

2. モデルの概要

モデルは、経路選択サブモデルと車両移動サブモデルの2種類のサブモデルから構成され、図1に示すようにこの2種類のサブモデルを繰り返し適用する構造になっている。経路選択サブモデルでは、車両移動サブモデルによって計算されたリンク旅行時間をもとに、各ODごとの経路選択率をある一定時間ごとに改定し、車両移動サブモデルでは経路選択サブモデルによって求められた経路選択率をもとに各車両の経路を決定し、ネットワーク上のすべての車両についてそれぞれの経路上を移動させることによりリンク旅行時間を決定するという構造である。本モデルは厳密な意味での利用者均衡状態を再現するものではなく、シミュレーションと確率配分(Dial配分)による経路選択を繰り返すことにより、近似的な均衡交通流の時間変化を得ようとするものである。

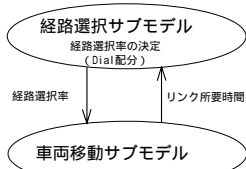


図1 SOUNDモデルの構造

2.1 経路選択サブモデル

経路選択の際には、まず利用者を、旅行時間に応じて経路を選択する**経路選択層**と、旅行時間に関係なくあらかじめ経路を決定している**経路固定層**との2種類に分類し、経路選択層の割合を(0, 1)とした。経路選択層については、ある一定の時間間隔( $T$ ,  $t$ : スキャンインターバル)おきに車両移動サブモデルから得られる旅行時間を用いてDial配分を行い、各経路の選択確率を改訂する。一方、経路固定層については、自由流速度(60km/h)で移動したときの旅行時間に基づいて経路を選択すると仮定し、経路選択層の配分の時に用いたのと同じパラメータを用いてDial配分を行い、各経路の経路選択率を決定する。Dial配分とは、経路が $n$ 本あり、それぞれの経路 $k$ の旅行時間が $T_k$ で与えられるとき、経路 $k$ の選

択確率を( /秒)をパラメータとして

$$\text{Prob}(k) = \frac{\exp(-\theta \cdot T_k)}{\sum_{i=1}^n \exp(-\theta \cdot T_i)}$$

で与えるものである。

次にこの計算された経路選択率をもとに、各分流ノードにおける各層別、目的地別の分流比率を算出する。そしてこの分流比率により、各車両が経路を選択することになる。従って経路選択層については、経路選択率の改訂時刻にネットワーク上に存在する交通はその時刻から新たな経路選択率によって経路を選択することになる。

2.2 車両移動サブモデル

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。車両を数台まとめたパケットを単位として、ネットワーク上のすべてのパケットをスキャンインターバル $\Delta t$ 毎に離散的に移動させるシミュレーションモデルである。また、対象とするネットワークの違いによって交通流の性格も異なるため、高速道路ネットワークと一般街路ネットワークでは違うロジックを用いて車両の移動を行う。以下では、この2種類の異なるロジックについて順に説明する。

(1) SOUND (高速用)

SOUND (高速用)はネットワーク上のすべてのパケットについて、スキャンインターバル $\Delta t$ 毎に簡単な追従モデルに従ってパケットを移動させていくモデルである。パケットはリンクに流入した順にリンクから流出するFIFO(First In First Out)を原則としているため、モデル上ではリンク上に1列に並んでいる。各リンクごとに図2のような車頭距離( $S$ )と速度( $V$ )の関係を定めておき、この関係を用いて、リンク上のすべてのパケットを下流側より順次移動させる。すなわち時刻 $t$ に、あるリンク上に図3のようにパケットA、Bが存在した場合に、スキャンインターバル $\Delta t$ 後の時刻 $t + \Delta t$ では、まず下流側のパケットAの移動が完了した状況を考える。このとき、パケットBがもし $L (= V \Delta t)$ だけ移動したとすると、時刻 $t + \Delta t$ におけるA、B間の車頭距離は $S$ となる。この $L$ に対応する速度 $V$ と車頭距離 $S$ との関係が、先に定めた $S - V$ 関係に従うようにパケットBを移動させるのである。

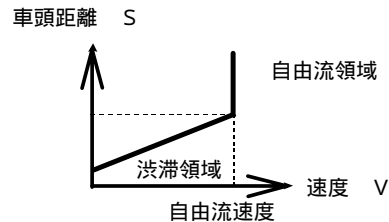


図2 S - V関係

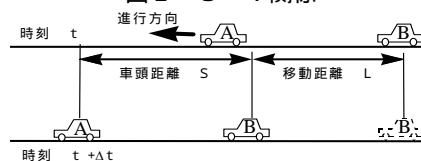


図3 パケットの移動方法（高速用）

(2) 一般街路用の車両移動サブモデル

高速モデルとの違いは、一般街路に適用する場合には分岐数を3以上可能なようにすることと、大幅に増えるリンク、ノード数に対応するために計算時間を簡略化するためが必要であることである。

本モデルにおいても、 $\Delta t$ ごとにリンク上のパケット移動を行うが、SOUND(高速用)のように1台1台を追従移動させるのではなく、FIFO(First In First Out)を原則とした待ち行列モデルを採用して、計算時間の短縮を試みた。まず、図4のようにパケットをリンク内走行車両群と流出可能車両群の2つの車両群に分ける。

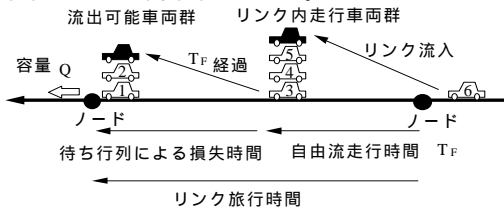


図4 パケットの移動方法（一般外路用）

- ・ **リンク内走行車両群**: リンク内走行車両群は、リンクに流入してからの経過時間が当該リンクの自由走行時間  $T_F$  に達しておらず、リンクから流出する可能性のない車両群である。図4のようにリンクに流入したパケットは、まずこの車両群にFIFOで積み上げられる。
- ・ **流出可能車両群**: 流出可能車両群は、当該リンクに流入してから自由走行時間  $T_F$  以上経過している車両群で、下記のような流出条件を満たせば、リンクから流出する可能性のある車両群である。

流出可能車両群は、交差点での待ち行列であり、交差点の容量に従ってリンクから流出させる。すなわち、流出可能車両群の先頭パケットがリンクから流出できるためには、その前のパケットが流出してから時間が、容量値の逆数である車頭間隔以上に経過していることが条件(流出条件)となる。リンクの容量は、左折・直進・右折の方向別に、その方向の飽和交通流率と信号スプリットの積で与えるので、流出条件も各方向別に判定する。

上記のようにパケットの移動については、2つの車両群のどちらかに属するかの判定と、流出可能車両群のパケットの流出条件の判定を計算するだけなので、従来に比べて大幅に計算時間が短縮される。計算時間を同一条件で比較したところ、計算時間はSOUND(高速用)の約1/10に減少した。

3. モデルの検証

3.1 高速道路への適用

(1) 適用条件

高速道路ネットワークとしては、図7, 8に示す首都高速道路ネットワークを用いた。ネットワークの詳細ならびにシミュレーションの設定条件は表1に示す。

表1 ネットワーク詳細および設定条件(高速道路)

ネットワーク	
総延長	約240km
リンク数	820
ノード数	778
発生ノード数	142
集中ノード数	149
シミュレーション設定条件	
パケットサイズ	3台
スキャン t	3秒
経路更新間隔 T	5分
経路選択層の割合	推定
Dialパラメータ	推定

(2) 適用結果

経路選択モデルに与える以下の2種類のパラメータ推定を行った結果を図5, 6に示す。

経路選択モデルにおけるDial 配分のパラメータ ( )  
経路固定層と経路選択層の割合 ( )

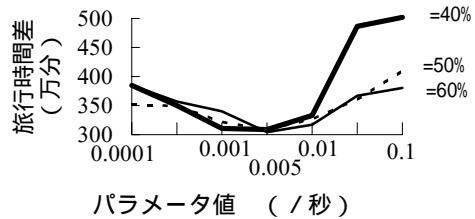


図5 パラメータの値 の推定

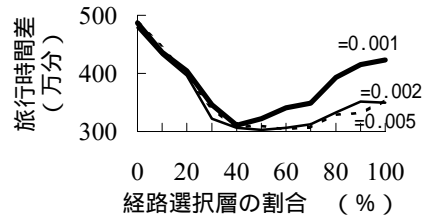


図6 経路選択層の割合 の推定

いずれも各リンク、各時間帯(30分単位)ごとに実測値(平成2年10月首都高速道路交通起終点調査)とシミュレーション値との旅行時間差を計算し、その絶対値に通過交通量を乗じて、合計した値でパラメータ値を評価したものである。シミュレーションを行った午前4時から11時までの間の実測による総旅行時間は約1000万分で、シミュレーションでは約1100万分程度である。このうち、図5はDial 配分のパラメータを推定した結果で、経路選択層の割合をそれぞれ40%, 50%, 60%とした。図よりパラメータの値は0.001から0.005(1/秒)程度であると判断できる。また、図6は経路選択層の割合を推定した結果である。Dial 配分のパラメータはそれぞれ0.001, 0.002, 0.005に固定した。図より、時間で経路選択する経路選択層の割合は、40%から60%程度であると判断できる。また、首都高速のアンケート調査では約60%となっており、本モデルの結果とほぼ一致している。また、いずれの図も旅行時間差は300万分以上となっているが、これは差の絶対値を加算しているためである。現在、経路選択においては首都高速の場合、約半数程度が旅行時間をもとに選択しており、残りの半数は交通状況に関係なく決まった経路を選択しているようである。

また、午前8時~午前10時までの速度の平均値を各リンクごとにシミュレーション値と実測値とを比較したものが図7と図8である。リンクごとの平均速度の相関係数は0.81、平均速度差は3.5[km/h]となった。

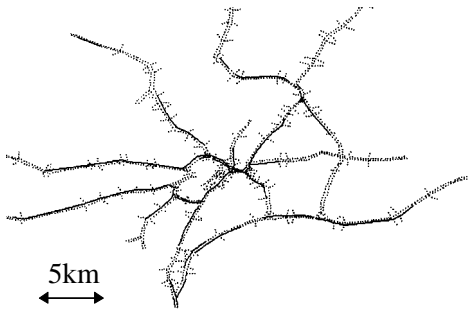


図7 各リンクの平均速度  
(実測値)

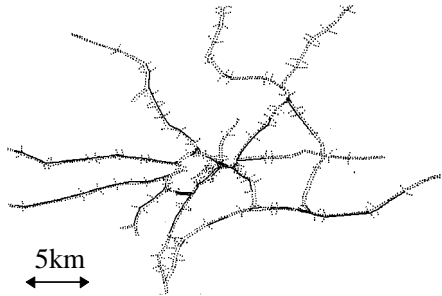


図8 各リンクの平均速度  
(シミュレーション値)

### 3.2 一般街路への適用

#### (1) 適用条件

一般街路ネットワークとしては、図9に示す東京都南西部の地域を対象とした。ネットワークの詳細ならびにシミュレーションの設定条件は表2に示す。

表2 ネットワーク詳細および設定条件(一般街路)

ネットワーク	
リンク数	623
ノード数	249
発生ノード数	72
集中ノード数	69
シミュレーション設定条件	
パケットサイズ	3台
スキャン t	3秒
経路更新間隔 T	5分
経路選択層の割合	0.5(50%)
Dialパラメータ	0.01[1/秒]

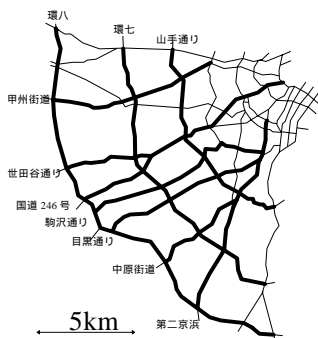


図9 東京都南西部地域ネットワーク

#### (2) 適用結果

実旅行時間は、フローティングカーによって図9の太線で描かれている10路線(両方向)について、起点を午前6:30と午前9:00発の2つの時刻について観測されている。図1

0と11には9:00における、環状8号線(外廻り)と第二京浜(上り)の時間距離図を示す。また、図12は全10路線の実旅行時間とシミュレーション値を比較したものである。環状8号線(外廻り)については、路線全体を通してかなり旅行時間の再現性はよいが、第二京浜(上り)の松原橋から中原口間のように渋滞が始まると再現性が悪くなる区間もあった。全体的には、図12にあるように10路線の旅行時間の実測とシミュレーション値の相関係数は0.886で、まずまずの一致を見ている。

断面交通量については、図13に感知器により得られた9時台のリンク断面交通量の实測値とシミュレーション値の比較を示す。相関係数は0.873、RMS誤差は343[台/時]であるが、交通量が小さいリンクの誤差の割合が大きいため、パーセントRMSは46%と大きかった。

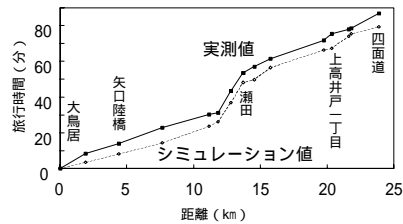


図10 環状八号(外廻り) 9時出発

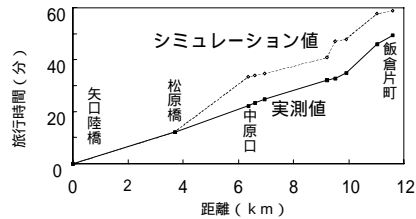


図11 第二京浜(上り) 9時出発

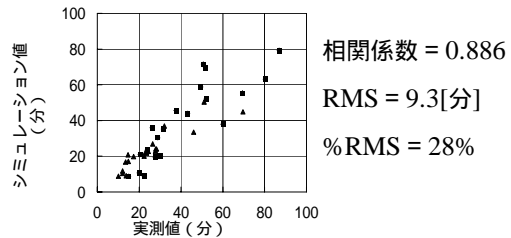


図12 10路線における旅行時間の比較

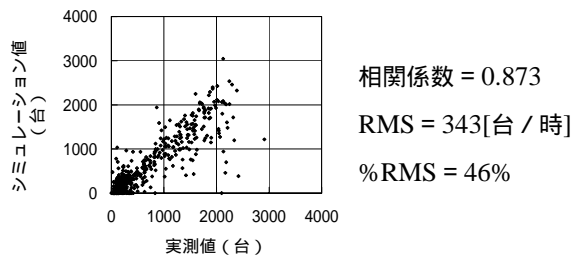


図13 リンク交通量の比較(9時台)

### 4. 終わりに

本研究では、時間的に変化する交通状況を再現する交通流シミュレーションモデルの開発を行い、その再現性につ

いての検証を行った。今後の課題としては、  
精度を向上させるためのロジックの改良  
交通容量などのパラメーターの微調整が必要であるが、  
これに相当の労力を要するので、それらを簡易に調整で  
きるアルゴリズムの開発  
経路選択サブモデルではDial配分によって経路選択率を  
決定したが、現実の経路の選択とは異なると思われる経  
路選択が生じており、選択行動の見直し  
モデルの入力となるかなり細かな街区レベルのゾーン  
における各時間のOD交通量について、簡便な推定方法  
を調査方法とペアで確立する  
ことが必要であり、これらについて研究を進めていきたい。

謝辞

本論文を進めるにあたり、首都高速道路公団の計画部調  
査課、交通管制部管制技術課、ならびに東京保全部調査課  
の方々には、資料の提供をはじめ、いろいろと御協力を頂  
きました。改めて感謝の念とともに心からお礼を申し上げ  
ます

参考文献

- 1) 吉井稔雄、桑原雅夫、森田綽之：都市内高速道路にお  
ける過飽和ネットワークシミュレーションモデルの  
開発、交通工学Vol.30、No.1、1995
- 2) 岡村寛明、吉井稔雄、桑原雅夫：過飽和ネットワー  
クシミュレーションモデルの一般街路への拡張、第50  
回年次学術講演会講演概要、1995.9
- 3) 小根山裕之、桑原 雅夫：路側観測交通量からの時間  
変化するOD交通量の推定、交通工学(投稿中)、1996
- 4) 首都高速道路公団：第20回首都高速道路交通起終点  
調査報告書(平日編)