

IV-8

マクロ交通流シミュレーションモデルに基づく街路における右左折率の推定

北海道大学 学生員 輪田 朝亮  
 北海道大学 学生員 渋谷 秀悦  
 北海道大学 正 員 中辻 隆  
 北海道大学 学生員 谷口 綾子

1. まえがき

今日、交通計画や交通管理において交通流シミュレーション解析が重要な役割を果たしている。大きな社会問題となっている交通渋滞を緩和するための方策を検討したり、あるいは各種交通規制が交通流の円滑性や環境の保全に与える影響を定量的に評価するときには不可欠な手段となっている。

交通流シミュレーションの技法、モデルの開発はすでに四半世紀に及ぶ歴史を有するが、交通流においては河川や電気の流れのようにその物理的支配法則が明確な流れとは異なり、人間の介在によりその現象が非線形・非定常な特性を示すことにより完璧な再現は非常に困難である。そのような中で、近年の交通流理論の発展やマイクロコンピュータ技術の発達とともにモデル構造、表現能力は進歩し、再現性の高いモデルが開発されてきた。

これまでのモデルにおいては、シミュレーションにより交通量の配分を行う際に各交差点の右左折率を入力データとして用いている例が多いが、実際にはそれらの値はリアルタイムに変化するもので、以前に観測で得た値が現在のそれらとは必ずしも一致するものではない。そこで、街路に数多く点在する車両感知器によりリアルタイムに得ることのできる交通量をもとに、各交差点の右左折率を推定し、ネットワーク全体を配分することができれば、より実際に近い交通流を再現することが出来ると考えた。そこで Cremer 型の街路におけるマクロモデルと最適化手法を組み合わせて交差点の右左折率を推定するモデルを構築することを試みた。

本論文では先ず街路におけるマクロ交通流モデルと最適化手法として Box のコンプレックス法の理論を簡単に紹介する。次に本手法の有効性を検証するために仮想のミニネットワークにおける推定結果を示し、実際に存在するネットワークに適用した例を紹介する。

2. 推定手法

2. 1 マクロ交通流モデル

ここでは、交通密度と空間平均速度を状態変量とする街路における Cremer 型のマクロモデルを使用している。道路区間を交通状態の等質、定常が仮定できる最小単位である (20~50m) n 個のセグメントに分割し、各セグメント長を L、時間刻みを T とすると、各セグメントにおける交通密度と空間平均速度を状態変量とする状態方程式は以下の式(1)~(3)のように与えられる。

$$C_i(k+1) = C_i(k) + \frac{T}{L} \{q_{i-1}(k) - q_i(k)\} \quad (1)$$

$$v_i(k+1) = \beta \cdot v_i(k) + (1-\beta) \cdot V(\bar{c}(k)) \quad (2)$$

$$q_i(k) = \alpha \cdot c_i(k) \cdot v_i(k) + (1-\alpha) \cdot c_{i+1} \cdot v_{i+1} \quad (3)$$

式(1)は交通状態の連続条件に基づいて密度を定義したものである。式(2)は空間平均速度を表し、前ステップの空間平均速度  $v$  と  $k-v$  曲線によって求められた  $V(c(k))$  を重み付き係数  $\beta$  で平均している。ここで、 $V(c(k))$  は定常状態における空間平均速度であり、式(4)により求められた密度と  $k-v$  曲線から定義される。

$$\bar{c}(k) = \gamma \cdot c(k) + (1-\gamma) \cdot c_{i+1}(k) \quad (4)$$

$c_i(k)$  ; 時刻  $kT$  におけるセグメント  $i$  の交通密度(veh/km)

$v_i(k)$  ; 時刻  $kT$  におけるセグメント  $i$  の空間平均速度(km/h)

$q_i(k)$  ; 時刻  $kT < t < (k+1)T$  の間にセグメント  $i$  から流出する交通量(veh/h)

式(3)はセグメント境界地点の交通量 $q$ を表し両セグメントにおける交通量 $c v$ を重み付き係数 $\alpha$ によって平均しているものである。

Cremer モデルの特徴はパラメータが比較的少なく、いずれの式も単純でそれぞれ上流、または下流セグメントが相関している。また TRANSYT に代表されるような、1つの交通量に対して2つの交通状態が存在し得るシミュレーションモデルとは異なり、交通状態に対して一価関数を構成する密度、空間平均速度に基づいているので、定常状態だけではなく非定常状態における表現能力に優れている。

しかし逆に Cremer モデルではモデルパラメータの変動に敏感であるが、上の式に述べた重み係数はすべて定数なので、交通状態が軽交通、重交通での密度や速度の影響の違い（軽交通では上流地点、重交通では下流地点の影響大）という交通特性を反映できないという欠点もある。

## 2. 2 Box のコンプレックス法

以下に説明する連続探索手法は M.J.Box による Complex Algorithm をもとに非線型拘束条件下における目的関数の最大値を求める最適化手法である。

まず変数の組み合わせ (Complex Point) を何組にするか設定する、これまでの研究から組の数は独立変数に対して約 10 倍の組み合わせが必要だとされている。次に独立変数 (Explicit Variables) を作成する。独立明示変数は拘束条件と random 変数を使い式(5)のように作成する。ここで $r_{i,j}$ は $j$ 組の変数 $i$ に対する random 変数 (0~1) を、 $g_i$ は拘束条件の下限、 $h_i$ は上限を表す。

$$x_{i,j} = g_i + r_{i,j} \cdot (h_i - g_i) \quad (5)$$

しかしこの際、作成された独立明示変数により定義される従属暗示変数はその拘束条件を各組において満たされているもののみ採用する。

続いて作成された各変数の組において目的関数の評価を行う。そして、評価された関数値の中から最大値および最小値をとる組を選び出し、それらの値の差を計算する。次に最小値を与えた組に対して補正を行う。まず、独立変数が拘束条件を満たさない場合は、満たさない条件から delta 内側の値をとる。そして作成された独立変数より得られる従属変数がその拘束条件を満たさない組に対しては式(6)のように、満たさない暗示従属変数を支配する独立変数を残りの組の独立変数の平均値 (centroid) との平均の値と置き換える。

$$x_{i,j} = [x_{i,j} + x_{centroid}] / 2 \quad (6)$$

以上の補正を終えた後、その組に対して目的関数の再評価を行う。この作業を繰り返すことにより、最大値と最小値の差が一定値以下に収束したところで繰り返し計算を終了する。もし、最低値を持つ組の補正を行い再評価しても、再び同じ組において最低値を繰り返す場合は、各独立変数に対して式(7)に示される補正を行う。この際の $\alpha$ に関して Box は $\alpha=1.3$ を推奨している。さらにある回数以上同じ組で最低値を採る場合は、その組を切り捨てることとする。

$$x_{i,j} = \alpha [x_{centroid} - x_{i,j}] + x_{centroid} \quad (7)$$

## 3. 街路におけるモデルの適用

### 3. 1 モデルの検証

実際の街路にモデルを適用する前にモデルの有効性を実証するために図1のような架空のミニネットワーク (4交差点) においてシミュレーションを行った。その際、コンプレックス法における目的関数を、出口リンクにおける実際の交通量とマクロシミュレーションによるその計算値との差を二乗したものの和とし(8)式のように定義する。ここで、 $\hat{q}_i$ は実際の、 $q_i$ はシミュレーションにより計算された流出交通量を表す。

$$F = \sum (\hat{q}_i - q_i)^2 \quad (8)$$

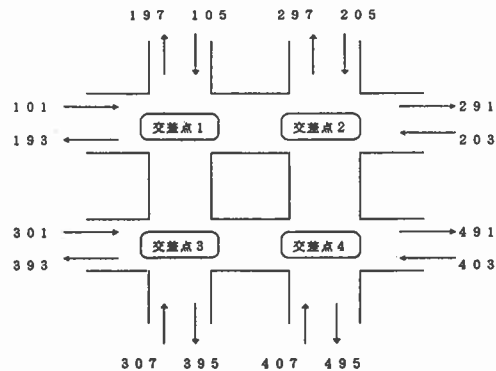


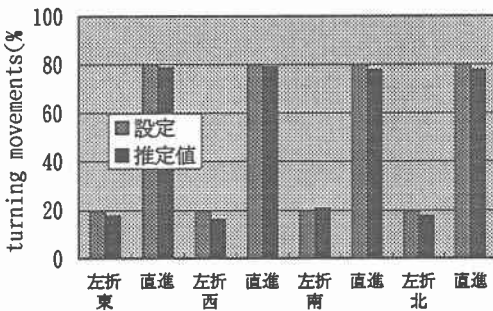
図1 右左折率推定のための仮想ネットワーク

表1 右左折率の設定値

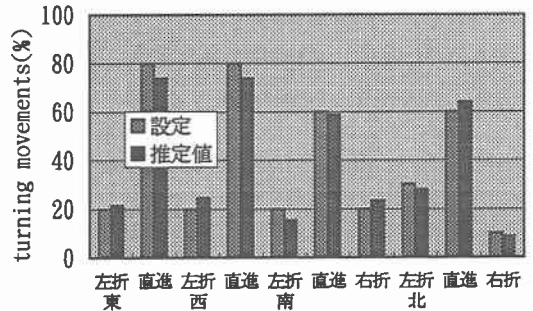
		交差点	交差点
東	左折	20	20
	直進	80	80
西	左折	20	20
	直進	80	80
南	左折	20	20
	直進	80	60
	右折		20
北	左折	20	30
	直進	80	60
	右折		10

交差点1と2において右左折率の推定を行った。右左折率の設定値は表1に表す通りである。推定の際の右左折率に対する拘束条件は直進に対して±10%、右折・左折には±5%とした。仮定値と計算値を比較したものが図(2)である。

解析における4交差点の場合、8分間のシミュレーションではほぼ定常状態に落ち着くので、各組におけるシミュレーション時間を8分(4サイクル)とした。ここで各サイクルの流入量は一定とした。



(1) 交差点1



(2) 交差点2

図2 推定右左折率の設定値との差

解析の結果、交差点1において直進での誤差は2.5%以内、左折においては西からの流入部で3.8%の誤差と幾分誤差が大きいが、他の流入部においては2.5%以内となった。交差点2では西からの流入部で6.1%とやや誤差が大きいが他の方向では4.5%以内、右左折では4.5%以内に入り、十分な推定精度を得られた。すなわち、このような小さなネットワークにおいて本モデルが有効であるといえる。

### 3. 2 実際のネットワークに対する適用

解析の対象とするネットワーク(図3)は14交差点で構成される主要幹線道を多く含む一般街路である。その14交差点の中から交差点1,2,11,13において4交差点の場合と同様の手法で右左折率の推定を行った。この際の拘束条件も同様に直進において±10%、右折・左折には±5%とした。比較を行う際の各交差点の実際の右左折率は、感知器からは得ることが出来ないので観測を実施しデータを得た。シミュレーション時間は14交差点の場合定常状態に落ち着くのに20分間必要となる。解析による推定値と実際の右左折率を比較したものが図(4)である。

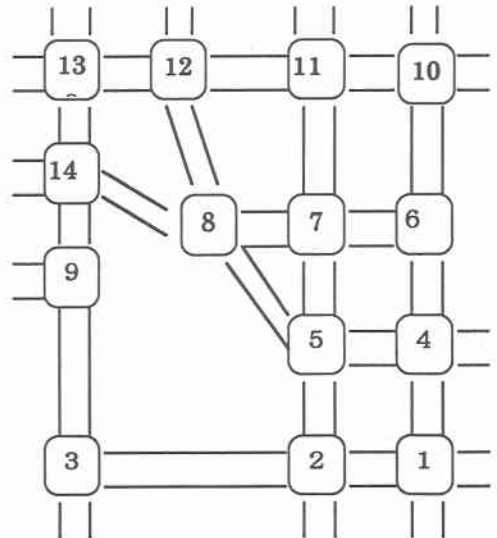
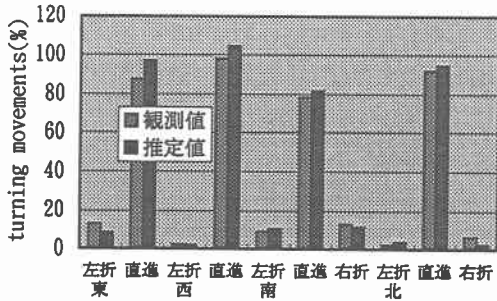
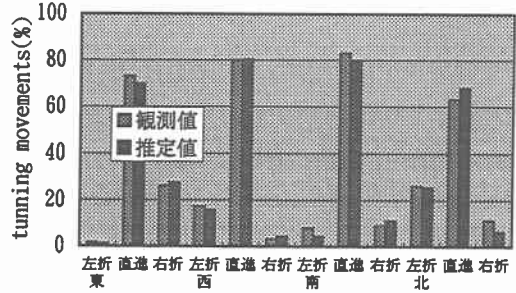


図3 解析の対象としたネットワークの概要

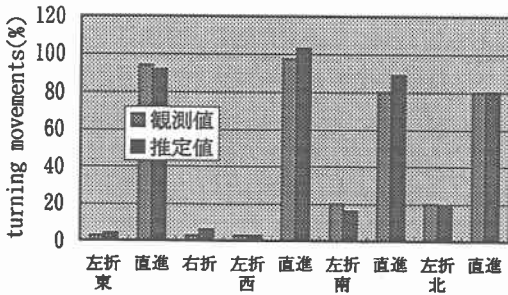
これらのグラフからも分かるように 4 交差点の場合より推定値と実際のものとの間の差が大きくなっていることが分かる。例えば、交差点 1 の東の流入部では直進において 10%、交差点 11 の南の流入部においては 9%の誤差が生じている。これらのことから解析を行うネットワーク内の交差点の数が増加し、またはネットワーク内で解析の対象とする交差点の数を増加すると推定精度は低下すると考えられる。



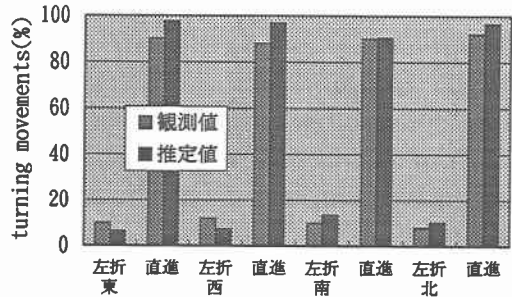
(1) 交差点 1



(2) 交差点 2



(3) 交差点 11



(4) 交差点 13

図4 推定右左折率の設定値との差

#### 4 まとめ

本手法においてネットワークの配分を行うことは可能であることが示されたが、ネットワークが大きくなるにつれ推定精度は落ち、さらにネットワーク内の解析の対象とする交差点を増やすことによっても精度は落ちることが分かった。なお、今回は流入・流出も一定値としたが、理論上は車両感知器のデータを用いてリアルタイムの推定も可能である。しかし、現在の計算速度ではリアルタイムの推定に迫っていくことは不可能である。この問題に対する解決策として計算時間の速い最適化手法を研究することは今後の大きな課題である。

#### 参考文献

M. Cremer: A Macroscopic Simulation Model of Urban Traffic Flow and its Application for Traffic Control System  
 Technical University Hamburg-Harburg

J.L. Kuester: McGRAW-HILL BOOK COMPANY  
 Optimization Techniques with Fortran