

渋滞の延伸を考慮した 動的交通流シミュレーション

A DYNAMIC TRAFFIC SIMULATION MODEL
CONSIDERING A PHENOMENON OF TRAFFIC JAM LENGTHENING

飯田 恭敬* 内田 敬** 藤井 聡*** 鷹尾 和享****

By Yasunori IIDA, Takashi UTIDA, Satoshi FUJII, Kazutaka TAKAO

This paper presents a dynamic traffic simulation model for evaluating traffic control measures. This model simulates drivers' dynamic route choice. The model represents the phenomena of traffic jam lengthening to the upstream links of a road and considers difficulties of right turning in order to make a reproduction of actual traffic flow conscientiously. We examine the performance of the model through the case study on traffic flow on an imaginary road network. Inspections of utilizing this model are also shown.

1. はじめに

都市部における渋滞解消を目的とした交通管理は、道路建設といったハードウェア的な代替案が地価高騰により困難となったために、情報提供による経路誘導・信号制御といったソフトウェア的な代替案が重要視されている。それとともに、ソフトウェア的な代替案の効果を詳細に評価できるような、時間の推移とともに変動する交通パターンを記述する動的な交通配分モデルが必要とされている。

動的な交通配分モデルは従来より研究されてきたが、それらを大別すると静的な交通配分法を動的化するというアプローチのものと、計算機による交通

流シミュレーションによるものがある。後者のアプローチによると時間帯ごとの細かいリンクフローを逐一追っていくことが可能であることに加え、現実的なフローの再現を図ることが容易である。

実用的な動的交通量配分を目的とした計算機によるシミュレーションとしてContram¹⁾があげられる。このモデルは、時間帯を15分もしくは20分の幅に離散化し、同一ODペアを持つフローを「パケット」として取り扱い、パケット単位でフローを表現する。パケットは発生ノードから到着ノードまで分割、統合されることはなく、この点を問題点として指摘できる。さらに、時間帯の幅をさらに細かく離散化する必要がある。本研究では、これらの問題点を解消するような動的交通流シミュレーションを提案する。

動的交通流シミュレーションでは運転者の経路選択行動に着目し、離散化した時間帯ごとに変動する交通状況に対応した配分を行う。下流側のリンクの混雑が上流側のリンクに与える影響を考慮し、渋滞の延伸現象を表現する。このようにして、基本的なモデル化を行う。また、現実の道路上の渋滞を誘発

* 正会員 工博 京都大学教授 工学部交通土木工学教室

** 正会員 工修 京都大学助手 工学部交通土木工学教室

*** 正会員 京都大学大学院 修士課程交通土木工学専攻

(〒606 京都市左京区吉田本町)

**** 正会員 工修 京都府山崎土木事務所

(〒627 京都府中郡山崎町字丹波小字中町855)

以下、2. で本研究で提案する右左折交通を考慮したシミュレーションモデルの内容を説明し、3. でその計算手順を示す。4. では仮想のネットワークに対して数値計算例を示してモデルの挙動を確認し、5. で本稿の結論と今後の課題を述べる。

本研究で提案するシミュレーションモデルの内容を述べる。なお本章以降、右左折交通を考慮しないモデルを「基本モデル」、右左折交通を考慮するモデルを「右左折モデル」と呼ぶこととする。まず、基本モデルの考え方を示し、その後右左折モデルにおける改良点について述べる。

道路交通状態は時間とともに変動しているため、走行中に渋滞に遭遇すればそのリンクを迂回し、出発時に予定していた経路に変更を加える。このような交通行動をモデル化するために、運転者は時々刻々と変動する道路状況に合わせて経路途上で経路選択を逐次行うものと仮定する。また、渋滞はボトルネックを先頭に上流側リンクへと延伸する。そこで、リンクの容量制約条件として、リンク終端からの単位時間当たりの流出量（流出容量）を設定するだけでなく、下流側リンクの混雑度を考慮できるようにリンクに存在でき得る最大の交通量（流入可能容量）を設定する。流入可能容量の設定により、下流側リンクに流入できず上流側リンクに残留する交通量を考慮し、渋滞延伸現象を表現する。

2.2 リンク内フローのモデル化

1)各箱の大きさは単位時間当たりの流出容量に等し

流入可能交通量

待ち時間

走行時間

見込み待ち時間

見込み走行時間

自由走行時間

自由待ち時間

流入前

流入後

今流入するフロー

前の時間帯までに流入したフロー

フローの進行方向

2.3 運転者の経路選択行動

(1) 最短経路探索

経路選択は、運転者の存在しているリンクの終端

ノードから目的地である集中ノードまでの全ての経路の中で各自の所有する走行時間に関する情報の範囲内で最も時間のかからない経路を探索し、最短経路に含まれる隣接リンクへと流入しようとする。流入できるか否かは下流側リンクの状態に制約される。したがって、運転者の所有する走行時間の情報が変化して行けば、予定する経路が変更される可能性があり、出発する時点での予定経路と実際に目的地に到達するまでに通過した経路は必ずしも一致しない。

(2) 走行時間に関する運転者の所有する情報

運転者が予測し、所有する走行時間情報を見込み走行時間と呼ぶ。本モデルでは、運転者は各時点でのネットワーク全体の状況を完全に知っているとは仮定し、最短経路探索を行う時点における各リンクの走行時間を見込み走行時間として採用する。

ここで見込み走行時間について解説する。本モデルではリンクを走行するときに要する時間（リンク走行時間）をそのリンクの自由走行時間とリンク終端における渋滞待ち時間との和として定義した。箱一つを通過するのに要する時間は離散化した単位時間であるため、下流側リンクの制約を無視すれば、ある時間帯にそのリンクに流入した微小のフローが終端ノードから流出するまでには、その時間帯においてフローが存在している箱の個数分の時間（渋滞が存在していない場合は自由走行時間）を要することとなる。この箱の個数をリンクの見込み走行時間とする。つまり、リンクの見込み走行時間はその時点でリンク上に存在するフローに基づいて予測される走行時間であり、実際にそのリンクを走行した場合に要するであろう時間の下限値を与える。

(3) 経路選択単位

計算機によるシミュレーションにおいて、経路選択はドライバー一人一人について行うより、ある程度の集団で行った方が計算時間が短縮でき、構築されたモデルがより扱い易いものとなる。そこで時間を離散化して、時間帯単位で集団を構成させる。その集団を経路選択単位と呼ぶ。

経路選択単位はある時刻において、経路選択を行うフローの中で〔存在している位置、集中ノード〕が同一であるフローと定義する。ここに、存在している位置とは、フローが下流側リンクへ流出する際に通過するノードである。最短経路探索は存在しているリンクの終端ノード、すなわち、下流側リンク

へ流出する際に通過するノードから集中ノードまでの経路を対象とする。したがって、ノードごとに、そのノードを終端ノードとする複数のリンク（十字路では4本、T字路では3本）から流出してくるフローの中で集中ノードを共有する一群のフローについては、いずれのリンクから流出するかにはよらず全て同じリンクへ流出しようとする事となる。下流側リンクの状態により流出できなかったフローは、それぞれの流出元リンクに残留する。

経路選択単位は、リンクから流出しようとする際に構成される。したがって、一旦同じ経路選択単位に属したフローでも、リンクの待ち行列中で分断される可能性があり、たとえ出発時刻が同じでもOD間の走行時間は分布を持つ。

2.4 フローの発生と到着

フローは発生ノード、集中ノードにおいて発生、到着すると仮定する。発生するフロー（発生交通量）は発生ノードにおいて最短経路探索を行って流出先のリンクを決定し、それに流入しようとする。流入できるか否かは、流入先のリンクの状態に制約される。流入できない場合は発生を断念し次の時間帯まで発生を延期する。発生を延期する交通量を発生延期交通量と呼ぶ。目的地へ到着するフロー（以下到着フローと呼ぶ）は、その目的地である集中ノードを終端ノードとするリンクから集中ノードへ流出した時点で到着したと見なす。

2.5 右左折交通の考慮

以上、基本モデルの考え方を述べた。ここでは、フローの再現性を高めるために「右折の困難さ」をモデル化するために以下の変更を加える。

1) 右左折直進交通の取扱い

実際の道路上において一般に右折は困難であり、単位時間当りの右折台数は、直進台数、左折台数に比べて少ない。また、右折車の待ち行列が直進車、左折車の進行の妨げになり、渋滞を誘発してしまう。そこで本研究においては、交通流シミュレーションの中で直進車、左折車、右折車を区別してとり扱い、「右折の困難さ」を表現し、フローの再現性を高める。これを実現するために、基本モデルでは各リンク終端からの流出容量は右折・左折・直進の各方向別に区別せずに単一の値で与えられていたものを、右左折モデルにおいては、方向別にそれぞれの流出容量を設定する。これを方向別流出容量と呼び、合

計すると流出容量と同一値となる。これは、図1における先頭の箱を図2の様に3つの方向別流出容量の大きさを持つ箱に分割することに対応している。

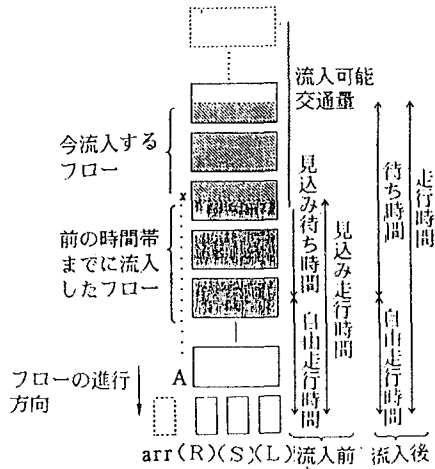


図2 リンク内フローのモデル化(右左折モデル)

例えば、流出容量=1000, 右折容量=100, 左折容量=300, 直進容量=600のリンクとそれに対して右折車が500台、左折車が200台、直進車が300台、の合計1000台の交通需要が発生している場合を想定すると、基本モデルでは、単位時間あたり1000台の交通量が全て通過できる。ところが、方向別の容量制約があれば、右折車が400台も残留してしまうこととなる。さらに、先頭の3つに分割された箱のどれか一つでも詰まることにより、先頭より後方の箱からの流入量が制約されることになる。これにより右折車(もしくは左折車、直進車)の待ち行列が他の方向の交通に対しても妨げになるということを表現する。

2) 経路選択行動のモデル化

基本モデルでは、経路選択の意思決定は待ち行列の先頭になって初めて行われる。しかし、右左折モデルでは待ち行列先頭の箱を方向別に分割するために、待ち行列の先頭の箱に流入する時点で予め右折・左折・直進の区別をつけておかなければならない。したがって、先頭の箱に流入する直前、つまり、図2に例をとると先頭より2つめの箱Aから待ち行列の先頭へ流出する時点で意思決定を行うと仮定する。

経路選択単位ごとに最短経路探索を行い、下流側流出先リンクを決定し、流出方向を決定した上で、リンク下流端にある方向別の箱に流入する。

3) フローの発生と到着

発生フローに関しては基本モデルの考え方と同一であるが、到着フローに関しては変更を加える。

到着フローはその集中ノードを終端ノードとするリンクから集中ノードへ流出した時点で到着したと見なす。この場合には、流出先のリンクはないため、右左折直進の流出方向もない。すなわち、到着フローは箱Aから交差点の箱(R), (S), (L)に流出するのではないため、交差点に到着用の箱を用意しておく必要がある。この到着用の箱は図2では箱arrと示している。箱arrの大きさは無限大とする。これは、実際の到着フローはノードに到着するのではないため、到着する際にリンク終端からの流出容量を設定する必要がないと判断したからである。計算において、到着フローは箱Aから箱arrに流入し、箱arrよりリンク終端ノードに流出した時点で到着したとみなす。

3. 計算手順

図3 に計算手順をフローチャートの形で示す。

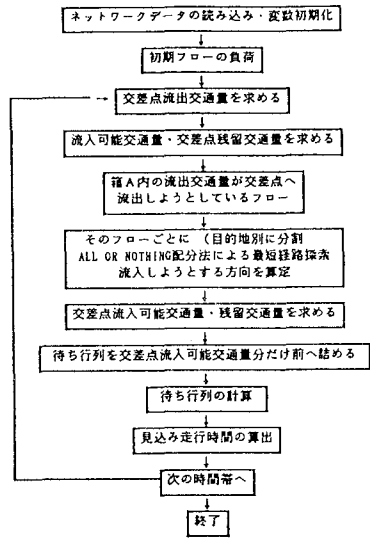


図3 フローチャート

- 1) ネットワークのデータを読み込む。また、変数の初期設定を行なう。
- 2) ネットワーク上の各リンクに初期フロー、つまり、計算を開始する時点においてネットワーク上に存在するフローを負荷する。したがって、本モデルでは、必ずしもネットワーク上にフローが一切存在しない状況から計算を始める必要はない。
- 3) 待ち行列の先頭の、3つに分割された各方向別の

箱（図 2 箱(R)(S)(L)）内に存在している交通量（交差点流出交通量）と、発生交通量から下流側リンクへの潜在的流出交通量を求める。

4) 下流側リンクの状態（流入可能容量）から、下流側リンクへの潜在的流出交通量（交差点流出交通量 + 発生交通量）の内、下流側リンクへ流入可能な交通量（流入可能交通量）と、上流側リンクに残留する交通量（交差点残留交通量）を求める。

ここで、フローの保存関係を示す。（図 4 参照）

< 上流リンクと下流リンクの関係 > (A)

$$\begin{aligned} & (\text{交差点流出交通量}) + (\text{発生交通量}) \\ & = (\text{潜在的流出交通量}) \\ & = (\text{流入可能交通量}) + (\text{交差点残留交通量}) + (\text{発生延期交通量}) \end{aligned}$$

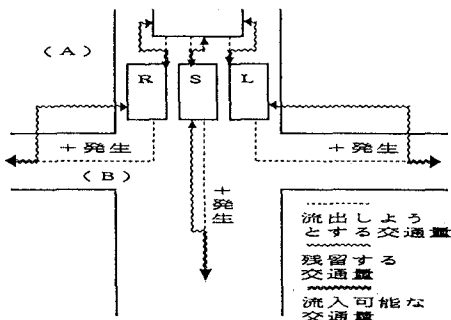


図 4 フローの保存関係

5) 先頭から二つ目の箱（図 2 箱 A）内に存在しているフロー（流出交通量）が交差点に進入しようとしているフロー（交差点流入交通量）を示している。
6) 交差点流入交通量から定められる経路選択単位ごとに、見込みリンク走行時間に基づいて ALL OR NOTHING 配分を行い流出先リンクを決定する。流出先リンクが決定されると右左折直進の方向が決まり、それに応じた交差点方向別箱に流入しようとする。この時点での、交差点流入フローは潜在的な流入交通量であり、全てが流入できるとは限らない。

7) 交差点の状態（交差点流入可能容量）より、流出交通量の内、交差点に流入できる交通量（交差点流入可能交通量）と、待ち行列の先頭から二つ目の箱（図 2 箱 A）に残留する交通量（残留交通量）を求める。

ここで、フローの保存関係を示す。（図 4 参照）

< 箱 A → 交差点(箱(R)(S)(L)) > (B)

$$(\text{流出交通量}) = (\text{交差点流入交通量})$$

$$\begin{aligned} & (\text{交差点流入交通量}) = (\text{残留交通量}) + \\ & (\text{交差点流入可能交通量}) \end{aligned}$$

8) 手順 7) で交差点に流入できた分（交差点流入可能交通量）だけ待ち行列を後ろからつめていく。

ここまでは、リンク終端ノードからフローが流出する様子を表現する計算であった。以下に、リンク始点から流入してきたフローを加える様子を表現する計算手順を解説する。

9) 交差点に流入するフロー（交差点流入可能交通量 手順 7) で求めたもの）を、交差点に残留している交通量（交差点残留交通量 4) で求めたもの）に加え、次の時間帯に下流側リンクに流出しようとするフロー（交差点流出交通量）を求める。

10) 上流側リンクから流入するフロー（流入可能交通量 手順 4) で求めたもの）を待ち行列に加え、次の時間帯の流出交通量と流入可能容量を求める。

11) 次の時間帯の最短経路探索のための見込みリンク走行時間を求める。

12) 次の時間帯に移行する。

13) 所定の時間帯数だけ、もしくは総発生量と総到着量が等しくなるまで、手順 3) ~ 12) の計算を繰り返す。

4. 数値計算例

4.1 前提条件

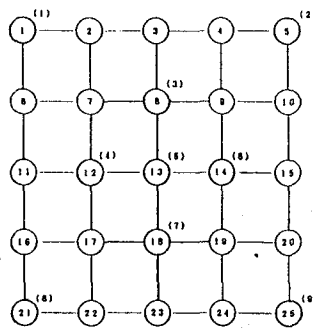


図 5 ネットワーク

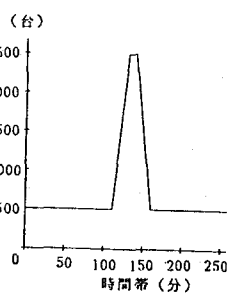


図 6 発生パターン

配分対象の仮想ネットワーク（有向リンク数 80，セントロイド数 9，ノード数 25）を図 5 に示す。時間帯の幅を 1 分とし、リンクの自由走行時間は 3 分から 6 分の間で乱数的に与えた。また、発生交通量は同一時間帯では各セントロイドから同一の交通量が発生するように与えた。OD 交通量は OD 間の距離には反比例する形で与えた。また、時間帯により発生量は変化していくようにした。本章において以

下に示す計算にはすべて発生交通量の時間分布として図6の発生パターンを用いた。

4.2 リンクにおけるフロー

渋滞が発生する時点でのあるリンクにおけるフローの動きを示し、右左折モデルにおいて渋滞が延伸する様子を確認する。その状況を図7に示す。このリンクの流出容量は3000台、方向別流出容量は右折750台、左折750台、直進1500台である。また、自由走行時間は5分、最大待ち行列時間は7分である。すなわち、自由走行時間に対応する箱の数は交差点を表す箱を含めてリンクの流れ方向に5個、許されている最大の箱の数（最大待ち行列長）は自由走行時間に対応する箱を含めて7個である。

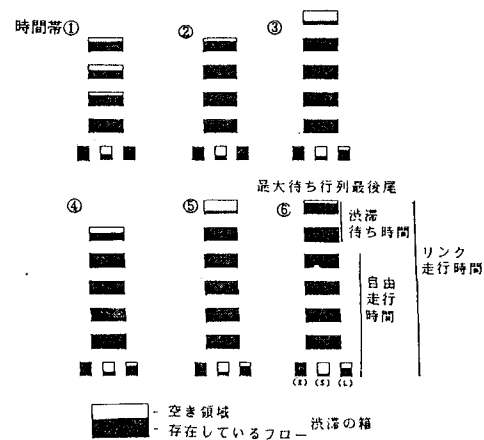


図7 リンク内フローの流れ

図7には時間帯①～⑥までのリンク内待ち行列の図を示しているが、これは離散化した時間帯の幅1分ごとにフローの流れを追っていったものである。時間帯①から⑥にかけて渋滞が発生する。交差点の3つに分割された箱は左から順に、右折用（箱R）、直進用（箱S）、左折用（箱L）である。

時間帯 ①, ②において、渋滞の発生はなく、リンク走行時間は自由走行時間に等しい。ところが、右折方向の交通需要が右折交差点容量を上回っているため渋滞が発生する。したがって、時間帯③④においてリンク走行時間は6分、時間帯⑤⑥において7分と、③～⑥にかけて渋滞待ち行列が徐々に延伸し、最大待ち行列長にまで達する。この時点においてこのリンク内ではそれ以上の待ち行列は存在できないため、上流側リンクにまで渋滞が延伸することとなる。また、右折交通が渋滞の起因であるために、交

差点内の右折用の箱は常に容量いっぱいのフローが存在しているのに対し、左折用、直進用の箱の中のフローは渋滞が延びていくにしたがってむしろ減少していく。これは、右折交通車が下流側リンクへ流出できず交差点内に残留するため、交差点における右折車の割合が増加し、それが他方向（左折、直進）への交通の妨げとなるためである。

4.3 基本モデルとの比較

基本モデルの数値計算例により、渋滞延伸現象をモデル化するとネットワーク全体の混雑がさらに増し、渋滞が連なって発生している様子が確認されている³⁾。これは、渋滞延伸現象のモデル化により、現実的なフローの再現がなされたことを示している。

ここでは、右左折モデルと基本モデルとの比較を行う。基本的な両モデルの相違点は右左折交通を考慮するか否かという点であるため、以下に示す両モデルの比較は、右左折交通の考慮による影響の観察が目的である。また、方向別流出容量割合として、右折：直進：左折＝1:2:1を使用した。

(1) 計算時間

計算に要した時間の比較を表1に示す。なお、計算は離散化した時間帯250まで行った。初期設定、出力に要する時間は余り差異はないが、フローの流れの計算には、方向別交通を考慮することにより計算上新たな手順を導入したために、右左折モデルは基本モデルの約5倍もの計算時間を費やしている。一方、最短経路探索は右左折モデルの方が短くなっている。これは、右左折モデルの方が（2）総存在台数推移の項で述べるように混雑した結果となるために、大きな走行時間を要する経路が増え、最短経路探索を計算し易くなったためと考えられる。

表1 計算時間

	基本モデル	右左折モデル
初期設定	2 0 1 (15.2%)	1 7 7 (5.2%)
フローの流れ	6 1 1 (46.1%)	2 6 9 2 (83.3%)
最短経路探索	5 0 0 (37.7%)	3 5 9 (11.0%)
計算結果出力	1 1 (1.1%)	1 5 (0.5%)
トータル	1 3 2 8 (100.0%)	3 2 3 4 (100.0%)

(単位 ミリ秒)

(2) 総存在台数推移

図8にフローの総存在台数の推移を示す。総存在台数は総発生台数から総到着台数を差し引いたものであり、ネットワーク上に存在している全てのフロ

ーを意味する。

両モデルは比較的似通った推移をしている。発生交通量がピークを迎える時間帯（130分～140分）において大きな値を示し、発生交通量が500台へと減少した後も減少せず、逆に増加している。これは、基本モデルも右左折モデルも渋滞延伸を考慮しているためである。しかし、右左折モデルの方が全ての時間帯を通じて1割から3割ほど大きな値を示している。これは、交差点の3つの方向別箱のうちどれか一つにでも容量を超過するフローが流入しようとすると、基本モデルでは発生しなかった渋滞が発生するからである。このように、右左折モデルでは渋滞現象をより忠実に再現することができる。

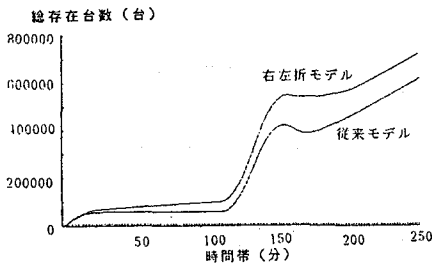


図8 総存在台数推移

4.4 方向別流出容量割合の影響

方向別流出容量の割合を変化させ、そのネットワークに対して及ぼす影響を調べる。

(1) 全てのリンクに対しての同一の方向別流出容量割合を与えた場合

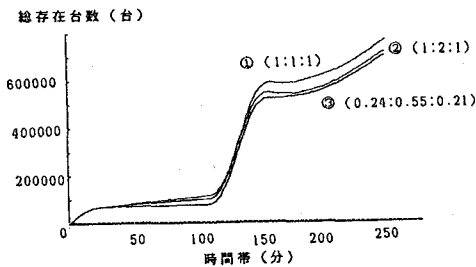


図9 全リンクの方向別流出容量割合の影響

全てのリンクに同一の割合を与えた。右折：左折：直進の方向別流出容量の割合に対して、①基本交通容量である1:2:1、②全ての方向に同じ値を与える1:1:1、の2ケースに加えケース③として、計算終了までのネットワーク全体での方向別総交通需要

を求め、その割合（左折：直進：右折=0.24:0.55:0.21）をそのまま方向別流出容量割合に当てはめた。以上3ケースの結果（総存在台数）を図9に示す。

図からわかるように、③（0.24:0.55:0.21）の場合が総存在台数は最も低い値を示している。また、②（1:2:1）も①（1:1:1）に比較して③（0.24:0.55:0.21）と似通った推移を示しているが、これは、②と③の割合がほぼ同じ値であるからだと考えられる。このように、方向別流出容量の割合がネットワークフローに対して影響を与えるということがモデル化されている。

(2) 特定リンクの方向別流出容量割合を変化させた場合

交通運用方策の評価の仮想的な一例を示す。渋滞の原因であると思われる特定の一つのリンクの方向別流出容量割合を総交通需要に合わせて変化させ（以下、これをリンクの改良と呼ぶ）、ネットワーク上のフローに対するその影響を調べて、特定の一つのリンクを改良するという代替案を評価する。ここでは最も混雑の激しかったケース①方向別割合（1:1:1）を全てのリンクに対して与えた。

渋滞リンク数が最も多い時間帯（時間帯 157分）において、ネットワーク中央部で連なって渋滞が発生している渋滞列（以下これを渋滞列と呼ぶ、図10参照）の混雑を緩和するために、渋滞列の先頭リンク（改良1）と先頭より2つ目のリンクの改良（改良2）を行う。改良1と改良2を施した後の総存在台数推移図を、それぞれ図11、図12に示す。

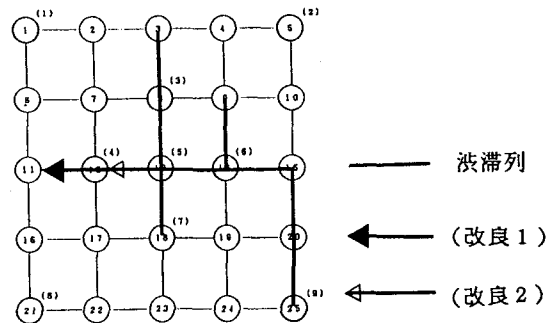


図10 混雑ピーク時における渋滞列

まず、改良1の影響を述べる。渋滞リンク数が最も多い時間帯付近（時間帯150～200、以下、混雑ピーク時と呼ぶ）において、改良前と比較して若干大きな値となっている。一方、セントロイドからの発

生量が時間帯当り500台へと減少し（図6発生パターン図参照）、かつ、改良前において総存在台数が増加していく時間帯200分以降からは、総存在台数、渋滞リンク数は改良前よりも減少している。この理由を以下に示す。

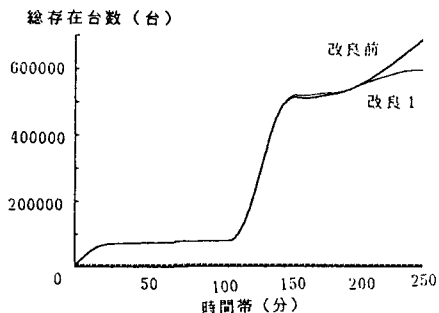


図1-1 改良1の効果（総存在台数）

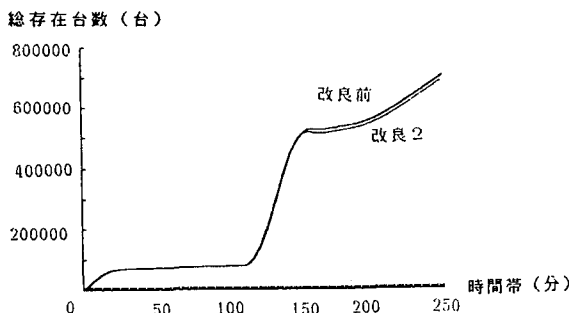


図1-2 改良2の効果（総存在台数）

まず、改良1により渋滞列の先頭リンクからの流出量が増大する。しかし、流出先の下流側リンクの容量が小さい（流出容量1000）ために、新たな渋滞が発生し、渋滞ピーク時においてさらに混雑する。ところが、渋滞ピークをこえて発生交通量が減少する時間帯になると、渋滞列の下流側に位置するリンクの上流セントロイドからの発生交通量も減少するために、渋滞列下流側リンクの混雑が緩和される。したがって、渋滞列先頭リンクからの流出量は渋滞列の下流側リンクの容量を超過しないため、渋滞列の下流側リンクの渋滞も解消され渋滞列の混雑も緩和することとなる。

次に、改良2の影響を述べる。総存在台数は改良前と比較して混雑ピーク時以降若干小さな値となっている。また、総存在台数推移を見ると改良1の場合とは異なり、改良前と改良後の推移の形は互いに類似している。これは、改良2により下流側リンクへの流出フローが増大し、渋滞列の最後尾のリンク

が解消したためである。また、下流側リンクは幹線道路（流出容量2000台）であり改良1と異なり容量に余裕があったために新たに渋滞が発生しなかったためである。

以上より、仮想ネットワークにおける混雑を緩和するための代替案として、混雑の程度のみを評価基準とし、改良1をするか改良2をするかのどちらかに限定した場合、混雑ピーク時における効果を期待するならば改良2が、発生交通量が減少し始めてからの渋滞の速やかな解消を図るためには改良1が得策といえる。このように、動的配分は静的配分より細やかな配分が可能であり、本モデルを使用することにより、特定リンクの方向別流出容量割合を変化させるというソフトウェア的な代替案を評価することが可能である。

5. 右左折モデルの特徴と今後の課題点

本研究は、動的交通量配分シミュレーションモデルに右左折交通の容量を導入し、フローの再現性を高めようとするものであった。以下に、本モデルの特徴を示す。

- 1) 各リンクごとに方向別流出容量を与えることができ、現実のネットワーク特性を細かく反映できる。
 - 2) 方向別交通需要は、任意のリンク、任意の時間帯において求めることができる。
 - 3) 運転者はネットワークの状況を全て把握して経路選択をするという仮定を緩和することが容易である。たとえば、見込み走行時間の与え方を変化させることにより、情報提供による交通運用方を評価する手段として利用できる。
- 一方、以下の点が今後の課題として残される。
- 1) 実際に観測されたフローと照らし合わせ、モデルを検証する必要がある。
 - 2) 任意のOD、任意の出発時刻についてのOD所要時間を得られるようにする必要がある。

【参考文献】

- 1) R. D. Coombe: Review of computer software for traffic engineers
Transport Reviews, 1989, Vol. 9, No. 3, 218-234, 1989.
- 2) 井上博司: 混雑した道路網における交通均衡及びその数値解法, 土木学会論文集, No. 365, pp. 125-133, 1986.
- 3) 廣尾, 飯田, 内田: 経路選択シミュレーションによる動的交通量配分, 土木学会第45回年次学術講演会講演要集 4, pp. 482-483, 1990.