

# 災害時経路選択行動モデルの構築と情報提供効果に関する分析\*

柳沢吉保\*\* 高山純一\*\*\*

## Performance Analysis and Estimating the Effect of Dynamic Route Guidance System with Accident Information

YANAGISAWA Yoshiyasu and TAKAYAMA Jun-ichi

In this paper, dynamic framework is developed to study network dynamics under traffic closure and prolonged travel time. The choice of detour is based on the trade-off between travel time and schedule delay. The utility function consists of estimated travel time, wait time at the accident zone, schedule delay, lateness in arrival at work. The estimated travel time includes the safety margin with uncertain travel performance in consideration of traffic closure and prolonged travel time. The model is used to perform simulation experiments, and to analyze the effects of the traffic closure and prolonged travel time information.

キーワード：ITS，緊急情報提供，動的交通行動

### 1. はじめに

ITSプロジェクトとして位置づけられている緊急事態管理システムは、突発事象が発生するネットワークフローを把握し、通過交通を通行可能な迂回経路へ、救急車両・緊急物資などを通行可能な最短経路へ、効果的に誘導することが期待されている。従来から情報提供を考慮した一般的な交通行動の経路誘導効果シミュレーションは行われてきたが、被災ネットワークを対象に、緊急情報による迂回行動特性を分析した研究は少ない。突発事象の発生時には経路所要時間だけでなく、事故地点の通行止め継続時間や、待機車両による渋滞待ち時間などのリアルタイム情報もドライバーには重要で、迂回経路への変更を効果的に促すための情報内容も考慮する必要がある。緊急情報を考慮した既往研究として、永田ら<sup>1)</sup>は高速道路を対象に、通行止情報の提供位置と交通対応行動との関係を整理し、通行止継続時間を用いた迂回効果の試算を行っている。SANSOら<sup>2)</sup>は、事故発生による渋滞遅れを考慮した静的利用者均衡配分モデルの構築と、事故の状態を考慮した都市ネットワーク機能の評価指標の提案を行っている。いずれも交通フローを静的に扱っているが、突発事象により生じた事故地点でのフローは、時々刻々と

変化すると考えられ、ネットワークフローも動的に扱う必要がある。通行止継続時間やボトルネック待ち時間情報など時刻変化する緊急情報に対応した経路選択行動を明らかにする必要がある。

そこで本研究では、突発事象の発生による通行止めを対象に、(1)通行止継続と、事故地点での待ち時間のリアルタイム情報に基づく見積所要時間のモデル化、(2)見積所要時間に基づいた、迂回路選択行動を動的に表現する。(3)モデルネットワークによって、情報の有無と迂回行動を分析する。(4)緊急情報による迂回経路誘導効果の提案を行う。

### 2. 緊急情報による迂回経路選択行動

#### 2-1 モデルネットワーク

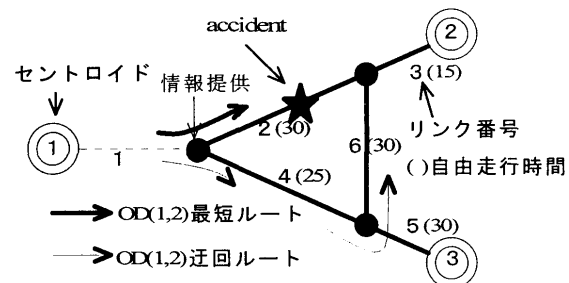


図1 モデルネットワーク

モデルネットワークは図1に示すとおりで、起点を1、終点を2と3とする。OD(1,2)は、リンク1,2,3からなる経路1と、リンク1,4,6,3からなる経路2がある。事故はリンク2で生じ、事故情報は、経路1と2の分岐点で与えられる。以後、この分岐点から目的地までの行動に限定して議論を進める。事故

\* 第26回土木計画学研究発表会にて発表。

\*\* 長野工業高等専門学校環境都市工学科 助教授

\*\*\* 金沢大学大学院自然科学研究科 教授

原稿受付 2005年5月20日

発生前は、OD(1,2)のトリップは最短経路1を利用し、事故が生起すると、事故情報に基づき、事故地点を通過するまでにかかる時間と、迂回路でかかる所要時間を比較し、経路の選択行動が行われる。

## 2-2 事故情報による見積所要時間

提供された事故情報を考慮し、図1の分岐点からリンク2の終端までの、ドライバーの見積もる所要時間について考察する。ドライバーは時刻 $t$ に分岐点に到着する。日々の繰り返し行動により、リンク2での平均走行速度を $v_2$ と見積もっている。リンク2の距離は $l_2$ 、見積所要時間は $T_2(=l_2/v_2)$ とする。分岐点から事故地点までの距離は $l_2'$ 、見積所要時間は $T_2' (=l_2'/v_2)$ 、事故地点からリンク2終端までの距離は $l_2''$ 、見積所要時間は $T_2'' (=l_2''/v_2)$ とする。事故は時刻 $t_0^*$ に生起し、事故処理による通行止め解除時刻を $t_0^{**}$ とする。基本モデルのため、ここでは情報提供遅れは考えない。

### (a) 事故地点が通行止めの場合

情報内容は、時刻 $t$ における事故解消までの通行止め継続時間 $T_s(t)$ と、通行止継続終了後、事故地点で待機している車両によって生じている渋滞待ち行列が解消するまでの待ち時間 $T_w(t)$ が予測提供されると仮定する。提供された情報に基づくリンク2の見積所要時間は、以下のケースが考えられる。いずれも分岐点通過時の緊急情報に基づいている。

#### (i) パターン1

事故発生以前に分岐点を通過する場合( $t < t_0^*$ )を図2に示す。分岐点通過時には、事故は発生していないので、リンク2の所要時間は日常的な $T_2(t)$ と見積もる。

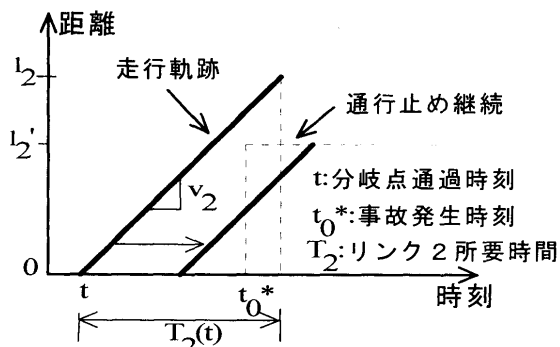


図2 パターン1の走行軌跡

#### (ii) パターン2

事故発生以後に分岐点を通過し、通行止め継続中に事故地点に到達する場合( $t \geq t_0^*, T_2'(t) \leq T_s(t)$ )を図3に示す。リンク2の見積所要時間は、通常かかる走行時間 $T_2(t)$ のほかに、通行止継続終了までの待ち時間 $T_s'(t) (=T_s(t) - T_2(t))$ と、通行止め終了後の事故地点通過待ち時間 $T_w(t)$ を考慮すること

になる。ここで、渋滞長が非常に長く、上流側に延伸する場合、自由走行可能区間は短くなるが、見積の概念を単純化するため、事故地点までの所要時間を、自由走行時間と待ち時間に分けた表記を行った。

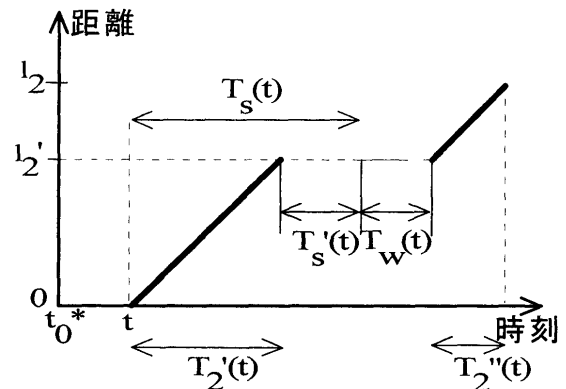


図3 パターン2の走行軌跡

#### (iii) パターン3

分岐点通過時の情報提供により、事故発生地点到達時には通行止めは終了しているが、事故発生地点の渋滞による通過待ちは継続中である場合( $t \geq t_0^*, T_s(t) < T_2'(t) \leq T_s(t) + T_w(t)$ )を図4に示す。ドライバーはリンク2の見積所要時間 $T_2(t)$ のほかに、事故地点渋滞待ち時間 $T_w'(t) (=T_s(t) + T_w(t) - T_2'(t))$ を考慮することになる。

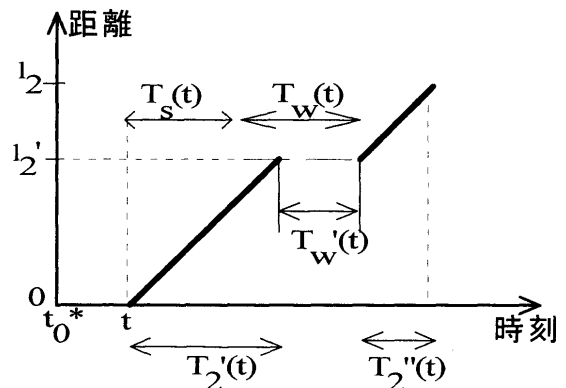


図4 パターン3の走行軌跡

#### (iv) パターン4

分岐点通過時の情報提供において、通行止めはす

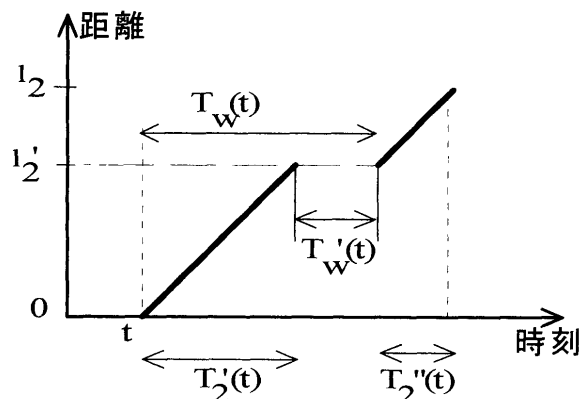


図5 パターン4の走行軌跡

でに終了しているが、事故発生地点到着時にはまだ通過待ちは継続中である場合 ( $t \geq t_0^{**}, T_2'(t) \leq T_w(t)$ ) を図5に示す。事故地点での渋滞行列長が非常に長い場合で、ドライバーはリンク2の見積所要時間  $T_2(t)$  のほかに、事故地点通過待ち時間  $T_w'(t) (=T_w(t) - T_2'(t))$  を考慮することになる。

(v) パターン5

分岐点通過時の情報提供で、事故発生地点到着時には通過待ちも終了している場合 ( $t \geq t_0^{**}, T_2'(t) > T_w(t)$ ) を図6に示す。ドライバーは事故地点到着時には、待機車両による渋滞行列長がすでに解消されていると認識し、日々の行動と同様に、リンク2の所要時間は  $T_2(t)$  と見積もる。

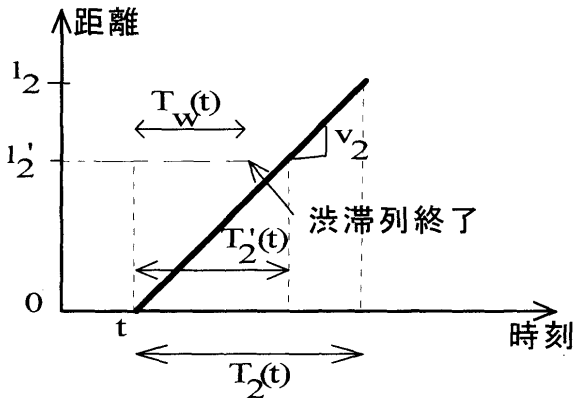


図6 パターン5 走行軌跡

以上まとめると見積所要時間は次式で表される。

$$T_2^*(t) = \begin{cases} T_2(t) & (t < t_0^*) \\ T_2''(t) + T_s(t) + T_w(t) & (t_0^* \leq t < t_0^{**}, T_2'(t) \leq T_s(t) + T_w(t)) \\ T_2''(t) + T_w(t) & (t \geq t_0^{**}, T_2'(t) \leq T_w(t)) \\ T_2(t) & (t \geq t_0^{**}, T_2'(t) > T_w(t)) \end{cases} \quad \dots (1)$$

(b) 事故地点が通行可能な場合

事故地点が通行止めではなく、事故により容量は大幅に減少しているが、通行可能な場合を考える。提供情報は事故処理継続時間  $T_s(t)$ 、処理継続中にボトルネックを通過するまでの待ち時間  $T_w^B(t)$ 、そのほか時刻  $t$  に事故処理が完了した場合の、渋滞待ち行列の解消時間  $T_w(t)$  も提供されると仮定する。この情報は、後述の図8のようなパターンで必要となるため、本ケースで導入を仮定した。本ケースにおいても、全面通行止めのパターン1と3~5は同様に考えることができる。したがって提供された情報に基づいて、事故処理継続中にボトルネックに到着する場合を以下で説明する。

(i) パターン2-1

事故発生以後に分岐点を通り、事故処理継続中に事故地点に到達し、ボトルネック通過待ち時間

$T_w^B(t)$  を経過しても、事故処理が続いている場合 ( $t \geq t_0^*, T_2'(t) + T_w^B(t) \leq T_s(t)$ ) で、概念を図7に示す。したがってリンク2の見積所要時間は、通常かかる走行時間  $T_2(t)$  のほかに、ボトルネック通行待ち時間  $T_w^B(t)$  を考慮することになる。

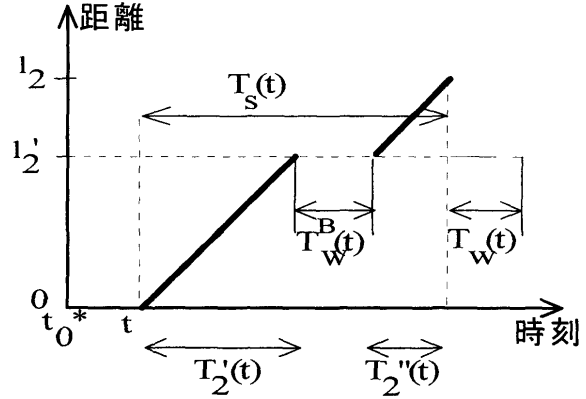


図7 パターン2-1の走行軌跡

(ii) パターン2-2

事故処理継続中に事故地点に到達し、提供されたボトルネック通過待ち時間  $T_w^B(t)$  中には、事故処置が終了している場合 ( $t \geq t_0^*, T_2'(t) + T_w^B(t) > T_s(t)$ ) で、概念を図8に示す。ここでは、さらにボトルネックに早く到着し、事故処理終了時刻後すぐに、ボトルネック待ち時間が終了する ( $T_2'(t) + T_w^B(t) \leq T_s(t) + T_w(t)$ ) と、事故処理終了間際に事故地点に到着し、事故処理終了後比較的短い時間で渋滞待ちが解消される ( $T_2'(t) + T_w^B(t) > T_s(t) + T_w(t)$ ) の2つのパターンが考えられる。いずれもボトルネック待ち終了時刻、渋滞待ち終了時刻のいずれか早い時刻で所要時間を見積もると考えられる。

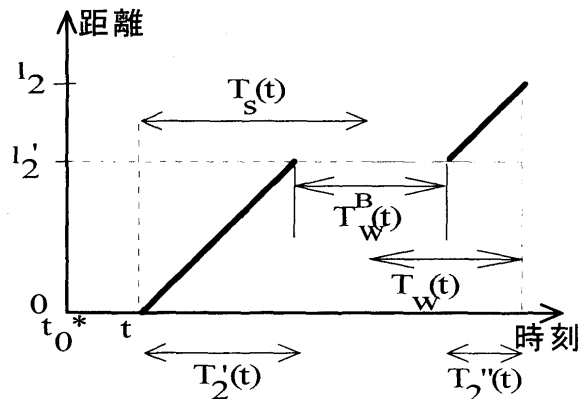


図8 パターン2-2の走行軌跡

2-3 経路選択行動モデル

OD(1,2)に着目し、分岐点から目的地までの経路1と2の見積所要時間に基づく経路選択モデル化する。OD(1,2)の道路網を構成するリンク3,4,6は日々の行動による見積所要時間を、リンク2は、事故情報による見積所要時間を用いる。時刻  $t$  の経路1と

2の分岐点からの見積所要時間はそれぞれ  $T_{r,1}(t)=T_2^*(t)+T_3(t)$ ,  $T_{r,2}(t)=T_3(t)+T_4(t)+T_6(t)$  により算出される。各経路選択はロジット型の行動モデルで表すこととする。ある経路  $i$  の選択確率は、次式で与えられる。分母  $j$  は  $j=1,2$  である。

$$p_i(t)=\exp(-\alpha T_{r,i}(t))/\sum \exp(-\alpha T_{r,j}(t)) \quad (2)$$

ここで  $\alpha$  は、時間損失コストパラメータである。

### 3. 緊急情報による迂回路誘導システムフロー

緊急情報による迂回路誘導システムは図9に示すように、「動的フローシミュレーション」、「緊急情報提供システム」、「経路変更システム」の3つのサブシステムからなる。動的フローシミュレーションでは、事故発生地点のリンク容量の低下と、事故地点での待機車両による渋滞待ち行列長の時刻変化を算出する。これらを緊急情報提供システムに受け渡し、各時刻の通行止め継続時間と、渋滞待ち行列長に基づいたボトルネックでの待ち時間情報を生成し、経路変更システムへ受け渡す。経路変更システムでは、日々の動的交通行動システム<sup>3)</sup>で算出された目的地までの見積所要時間と各時刻ごとの経路選択パターンを初期値とし、前章で示した緊急情報による事故リンクの見積所要時間の変更と、変更後の見積所要時間に基づく経路の変更パターンを算出する。事故情報は、自宅を出発したのち、分岐点で与えられると仮定し、ここでは、経路変更行動のみを対象とする。以上を、全時間帯でシミュレーションを行い、ネットワークフローパターンを求める。

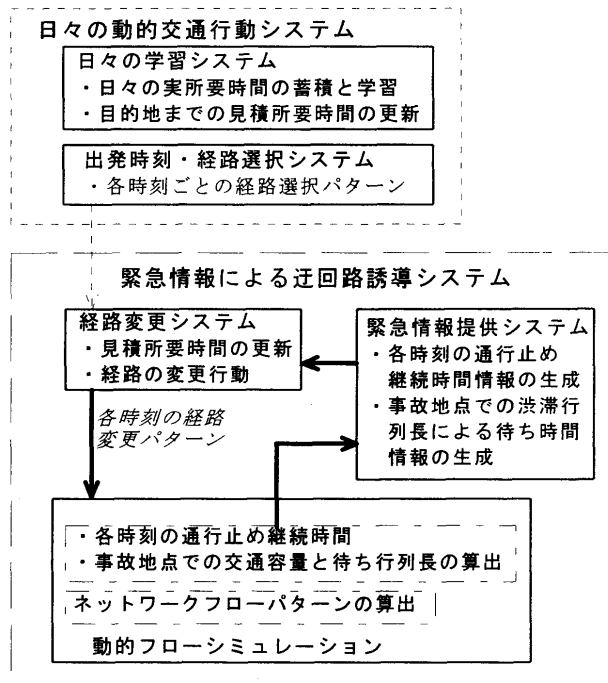


図9 緊急情報による迂回路誘導評価システム

## 4. 数値実験

### 4-1 数値実験条件とケースの設定

図1で示したネットワークを走行する通勤交通を想定し、情報提供される分岐点から各目的地までの動的フローシミュレーションを行う。2章で設定したODのほか、OD(1,3)と、事故地点を4番目のセントロイドとしたOD(1,4)も設定する。OD(1,2)以外はいずれも経路は1つである。各OD経路の自由走行時間を表1に、需要量を表2に示す。各リンクの自由走行時間は図1に示した。始業時刻を9:00とする。出発時刻と経路選択行動は、目的地までの所要時間、始業時刻に対する早着・遅着時間を要因とする効用関数に基づいて日々の動的交通行動システム<sup>3)</sup>より算出される。ここで、算出した出発時刻・経路選択パターンが、本分析の初期状態として用いられる。

表1 各OD・経路の情報提供地点からの自由走行時間(分)

OD(1,2) ルート1	OD(1,2) ルート2	OD(1,3)	OD(1,4)
45	70	55	15

表2 各OD需要量(台)

OD(1,2):1750	OD(1,3):550	OD(1,4):500
--------------	-------------	-------------

表3 ケースの設定(通行止継続時間は1時間)

ケース1	事故なし。情報なし。基本ケース
ケース2	事故は7:20に生起。事故情報提供なし
ケース3	事故は7:20に生起。事故情報提供あり

ケース1は事故の発生はなく、日常的な交通行動が行われる場合、ケース2は事故は生起しているが、ドライバーに事故情報提供が行われず、日々の行動と同様な経路選択が行われる場合に相当する。ケース3は、リアルタイムな事故情報提供が行われる。経路選択モデルの時間損失コスト  $\alpha$  は0.1を与えた。

### 4-2 通行止めの場合の実験結果

各ケースのOD(1,2)の経路選択行動結果を図10～12に示す。

ケース1(図10)は日常的な交通行動が行われる例で、経路1の所要時間ピークは、8:10に現れる。迂回路のトリップは始業時刻に間に合わせるため、経路1より早めの7:50に現れているのが分かる。迂回路変更特性を明確に出すため、日々の動的行動システムの通勤効用を構成する遅刻ペナルティを大きめに設定した。この影響で、ピーク需要が発生した次の

時刻では需要量がゼロとなっている。

ケース2は、事故情報が提供されていないため、経路変更は行われず、出発時刻・経路選択パターンはケース1と同じである。実所要時間分布を見ると、7:05に出発したトリップがピークとなっている。ここでは、全面通行止めを仮定しているため、早めに出発するほど、事故継続が終了するまで事故地点で待機することとなり、待ち時間も長くなる。経路2の所要時間分布のピークがケース1と比較し、なだらかなのが分かる。これは、経路1を利用するトリップが事故による通行止めでリンク3に流出せず、経路2のトリップと遭遇しないためである。

ケース3は、7:25分に提供される事故情報により、経路1のトリップが経路2へ大きく変更されている。ケース2と比較すると、経路1の実所要時間分布は小さいことが分かる。これは経路変更により、ボトルネックでの待機車両数が少なく、通行止めが解除されてからの渋滞待ち時間が短いためである。このことより、通行止めが解除される少し前から、再び経路1のトリップが増加していることが分かる。

## 5. 緊急情報の迂回経路誘導効果指標の提案

時刻  $t$  に提供された緊急情報後によって決定された迂回行動に基づいて、ネットワークに実際の渋滞状況が生じる。しかしその規模も、様々な要因によって変動すると考えられる。ここでは、2章(a)の通行止めの場合に絞り、通行止め継続時間と渋滞待ち時間が変動する場合を想定した、2つの最短経路誘導効果の評価指標の提案を行う。

### 5-1 期待時間損失指標

情報提供後に実際に生起する通行止め継続時間と渋滞待ち時間の変動の組み合わせで生じる状態を  $k$  とする。事故が時刻  $t_0^*$  に発生し、時刻  $t$  に状態  $k$  が生じる確率を  $P(k|t_0^*, t)$  とし、この確率は外生的に与えられるものとする。OD  $i$ 、経路  $r$  の選択確率  $\omega_{ir}(t)$  は、2章で示した見積所要時間に基づきロジットモデルにより与えられる。状態  $k$  が生じたときの実所要時間  $T_{ir}(t|k)$  は本システムの動的交通流シミュレーションによって得られる。時刻  $t$  のOD  $i$  の総需要量を  $Q_i(t)$  とすると、情報提供による期待時間損失費用は次式で表される。

$$EC(t) = \sum_i \sum_r \sum_k Q_i(t) \cdot \omega_{ir}(t) \cdot T_{ir}(t|k) \cdot P(k|t_0^*, t) \quad \dots (3)$$

### 5-2 最短経路誘導効果指標

時刻  $t$  に緊急情報を得たドライバーの選択した経路  $r$  の、事故リンクの通行止め継続、渋滞待ち時間の

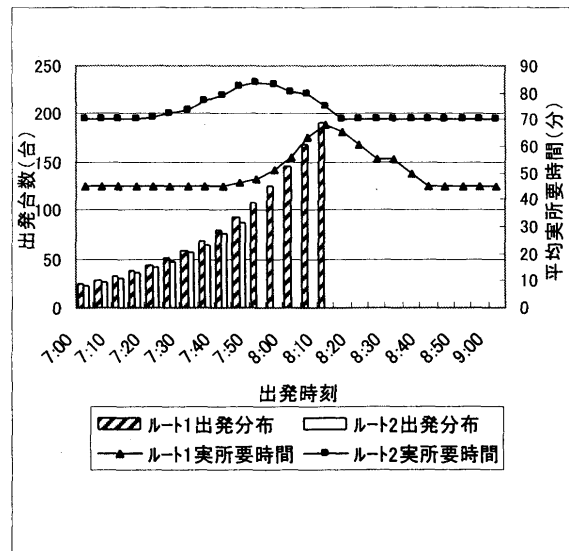


図10 ケース1の経路選択と実所要時間

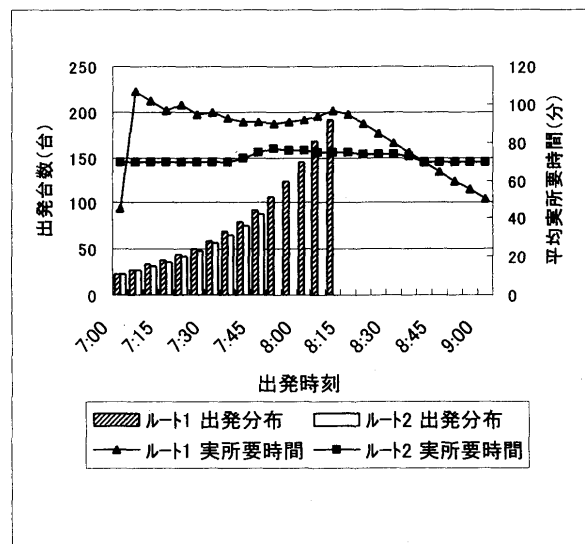


図11 ケース2の経路選択と実所要時間

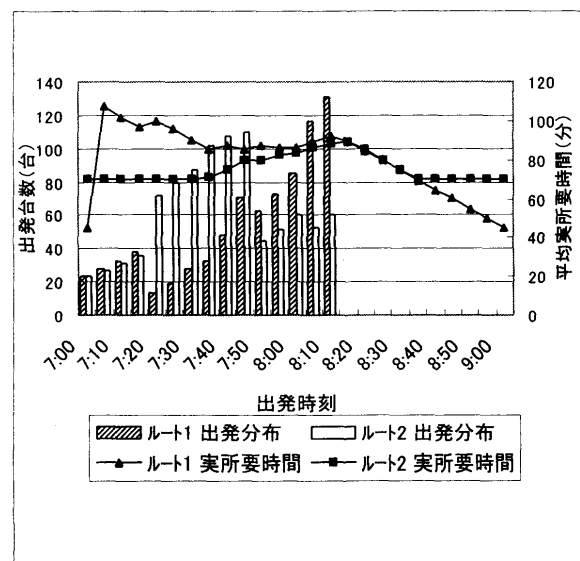


図12 ケース3の経路選択と実所要時間

変動、あるいは迂回代替経路交通量の変動に伴う、実所要時間確率密度を $p_r\{T_r(t)\}$ とする。このとき、経路 $r$ の方が、他の経路 $j$ よりも所要時間が短い確率は、以下の式で表される。

$$\phi_r(t) = \int_0^{\infty} \left[ \prod_{j=1}^{\infty} p_j\{T_j(t)\} dT_j \right] p_r\{T_r(t)\} dT_r \quad \dots(4)$$

事故リンクとその代替経路に着目し、情報提供によって最短経路を選択する確率は、以下の通りである。

$$\tau_r(t) = \sum_r (\omega_r(t) \times \phi_r(t)) \quad (5)$$

以上、2つの評価指標により、緊急情報の誘導効果の計測を行う。

## 6. 結 論

突発事象に関するリアルタイム情報に基づく動的迂回路選択行動モデルを構築し、シミュレーションによって、本システムの基本的なパフォーマンスを検討した。その結果、通行止め継続時間や事故地点での渋滞など、待ち時間に関する内容をリアルタイムに提供することで、ドライバーは事故地点到着時

の通行止め待ち時間と、待機車両による渋滞待ち時間損失を考慮した柔軟な経路選択を行う。その結果、渋滞地点を効果的に回避するため、事故地点での待機車両は減少し、事故発生経路と迂回路の所要時間差が小さくなるが可能性が高いことが確認できた。また、突発事象の発生前に、事故リンクに流入してしまい、事故が発生するまでに、通過できない車両が、通行止めによって大きな時間損失を被る可能性も再現できた。今後、提案した緊急情報による迂回路誘導評価指標を用いて、事故の規模と、渋滞の確率的な変動の影響を分析する。また車両の最短経路誘導システムへの展開も行う。

## 参考文献

- 1) 永田恭祐, 川上光彦, 高山純一: 高速道路における通行止め情報の提供位置に関する研究, 土木計画学研究・論文集 No.14 pp.935-942
- 2) Sanso, B and Milot, L: Performability of a Congested Urban Transportation Network when Accident Information is Available, Transpn Sci Vol.33, No.1, pp.68-79, 1999
- 3) 飯田恭敬, 柳沢吉保, 内田 敬: 通勤交通の経路選択と出発時刻の同時推定法, 土木計画学研究・論文集 No.9 pp.93-100, 1991