

緊急情報による迂回経路の選択行動分析と誘導効果指標の提案*

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

柳沢吉保**、高山純一***、内蔵 学****

By Yoshiyasu YANAGISAWA**, Jun-ichi TAKAYAMA***, Manabu UCHIKURA****

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。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¹⁾は高速道路を対象に、通行止め情報の提供位置と交通対応行動との関係を整理し、通行止め継続時間を用いた迂回効果の試算を行っている。SANSO ら²⁾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。

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)通行止め継続と、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

(1)モデルネットワーク

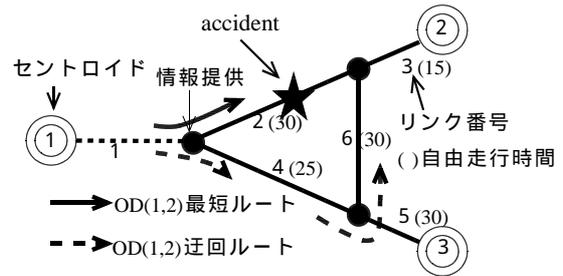


図1 モデルネットワーク

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で生起し、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)事故情報による見積所要時間

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、通行止め継続終了後、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

* キーワード:ITS、緊急情報提供、動的交通行動

** 正会員 博(工) 長野工業高等専門学校 環境都市工学科
〒381-8550 長野市徳間716

*** 正会員 工博 金沢大学工学部土木建設工学科
〒920-8667 金沢市小立野2-40-20

****学生会員 岩手大学工学部建設環境工学科
〒020-8551 盛岡市上田4-3-5

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。

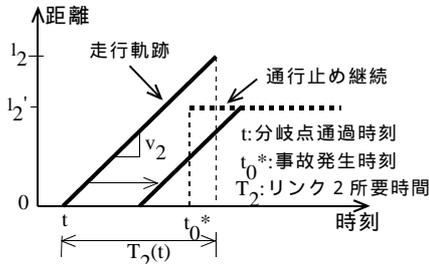


図2 パターン1の走行軌跡

(ii)パターン2:事故発生以後に分岐点を通り、通行止め継続中に事故地点に到達する場合($t > t_0^*, T_2'(t) < T_s(t)$)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、通行止め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。

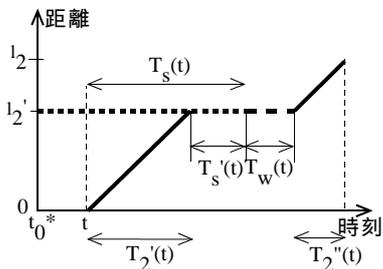


図3 パターン2の走行軌跡

(iii)パターン3: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($t > t_0^*, T_s(t) < T_2'(t) - T_w(t)$)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。

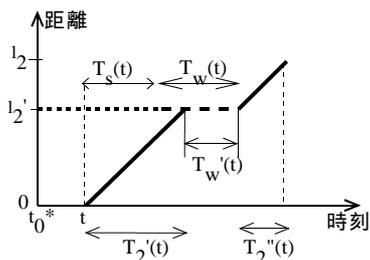


図4 パターン3の走行軌跡

(iv)パターン4:通行止めはす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($t > t_0^*, T_2'(t) > T_w(t)$)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。

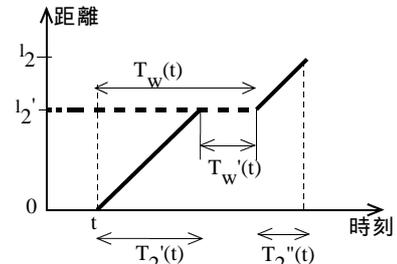


図5 パターン4の走行軌跡

(v)パターン5:事故発生地点到着時には通過待ちは終了している場合($t > t_0^*, T_2'(t) > T_w(t)$)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。

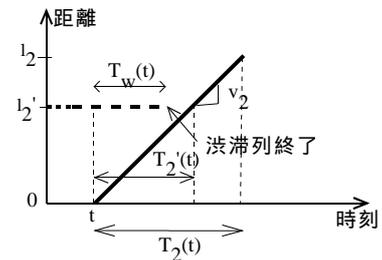


図6 パターン5 走行軌跡

(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 ($t < t_0^*, T_2'(t) + T_w^B(t) < T_s(t)$) 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。

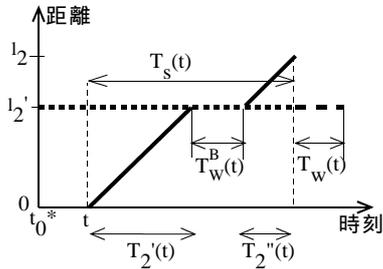


図7 パターン2-1の走行軌跡

(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 ($t < t_0^*, T_2'(t) + T_w^B(t) > T_s(t)$) 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 ($T_2'(t) + T_w^B(t) < T_s(t) + T_w(t)$) 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。

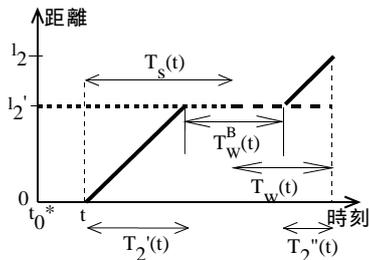


図8 パターン2-2の走行軌跡

(3) 緊急情報による経路選択行動システム

前節で得られた事故リンクの見積所要時間と迂回経路の見積所要時間を説明変数としたロジットモデルにより、各経路の選択率を求める。本システムではまず、動的フローシミュレーションで、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。つぎに、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する。そして、日々の動的交通行動システム³⁾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。

3. 数値実験

(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シミュレーションを行う。2章で設定したODのほかに、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³⁾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	事故は7:20に生起。事故情報提供なし
ケース2	事故は7:20に生起。事故情報提供あり

ケース1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2は、リアルタイムな事故情報提供が行われる。

(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9、10に示す。図の出発時刻は情報提供される分岐点からの出発時刻である。ケース1は、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。ケース2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1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。

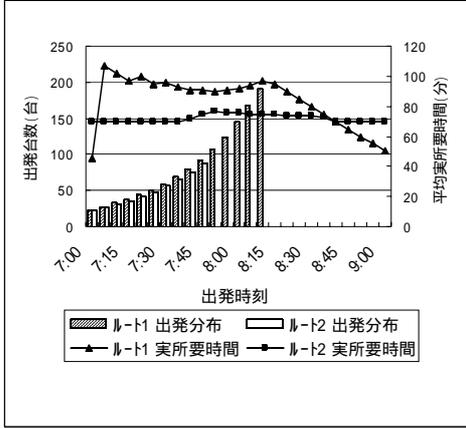


図9 ケース1の経路選択と実所要時間

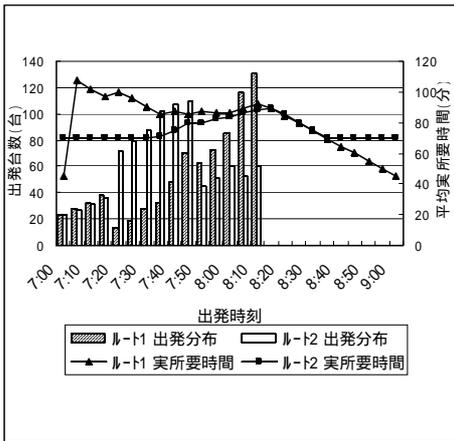


図10 ケース2の経路選択と実所要時間

4. 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。

(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

$i_r(t)$ 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。

$$EC(t) = \sum_{i,r,k} Q_i(t) \cdot i_r(t) \cdot T_{ir}(t|k) \cdot P(k|t_0^*, t)$$

(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。

$$i_r(t) = \frac{\int_0^{T_r} p_j\{T_j(t)\} dT_j}{\int_0^{T_r} p_r\{T_r(t)\} dT_r}$$

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。

$$i_r(t) = \frac{\int_0^{T_r} p_r\{T_r(t)\} dT_r}{\sum_r \int_0^{T_r} p_r\{T_r(t)\} dT_r}$$

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。

5. おわりに

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渋滞待ち時間をリアルタイムに提供すると、ドライバーは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、などの幾つかの効果を確認した。今後、提案した緊急情報による迂回経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, 土木工学研究論文集 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: 迂回交通の経路選択と出発時刻の同時推定法, 土木工学研究論文集 No.9 pp.93-100, 1991