

信号交差点と情報提供を考慮した日々の動的ネットワークフロー評価システム*

Evaluation of Day-to-day Dynamic Network Flows under Travel Time Information and Signal Control

柳沢吉保^{**}、高山純一^{***}、中沢伸樹^{****}、飯田恭敬^{*****}

By Yoshiyasu YANAGISAWA^{**}, Jun-ichi TAKAYAMA^{***}, Shinju NAKAZAWA^{****} and Yasunori IIDA^{*****}

1. はじめに

動的経路誘導システムを導入することで、ドライバーを適宜経路誘導し、都市ネットワークの渋滞を緩和することが期待されている。一方、交通渋滞は交差点容量の不足が影響する場合が多いため、ネットワーク上に存在する信号交差点も考慮し、流入フローを行う必要がある。近年、情報提供に対するドライバーの経路選択特性に関する分析は行われているが、情報提供と信号交差点流入制御の両面を考慮した渋滞緩和効果の分析評価は十分行われていない。既往の研究として高山ら¹⁾は、都市ネットワークの信号交差点で発生する渋滞を考慮した交通量配分の動的化を行っている。動的フローシミュレーションモデルを用いた経路誘導効果の評価分析が飯田ら²⁾によって先駆的に行われた。Mahmassaniら³⁾は、リアルタイム情報提供下での、信号制御を考慮した日々のネットワークフローの評価を行っている。しかし過去の走行経験も日々の経路選択に大きな影響を与えると考えられるが、この点が明確にモデル化されていない。M Jha⁴⁾らは過去の走行経験と提供情報による予測所要時間の学習過程を考慮した日々の動的交通行動シミュレーションモデルを開発している。しかし信号制御による交差点容量の変化までは分析されていない。

以上を考慮し本研究では、(1)過去の走行経験の学習による知覚所要時間の更新、(2)提供情報に対する依存度を考慮した知覚所要時間の修正、(3)信号交差点での道路容量の変化、を考慮した動的ネットワークフローの評価システムの開発を試みた。

2. 日々の動的シミュレーションのフレームワーク

本研究における動的ネットワークフロー評価システムは、図1に示すように「日々の動的選択行動」・「動的フローシミュレーション」・「交通管制」の3つのシステムから成っている。

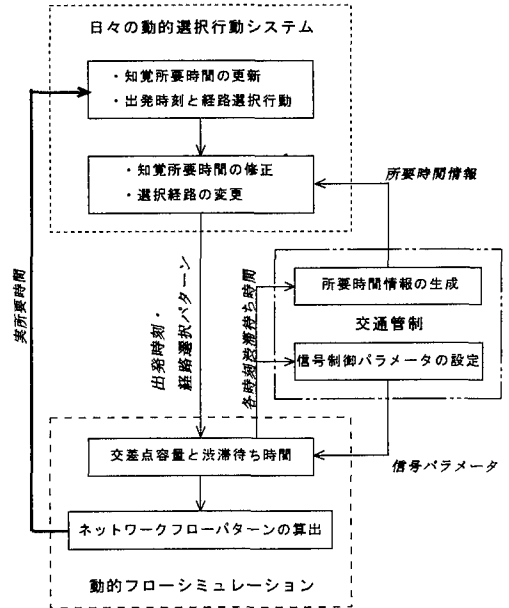


図1 動的ネットワークフローの評価システム

日々の動的選択行動システムでは、①ドライバーは前日までの走行経験に基づいた利用経路の混雑状況を学習し、知覚所要時間の更新を行う。②知覚所要時間に基づいて利用経路を選択する。とくに通勤など始業時刻が存在するトリップの場合、出発時刻も選択する。③さらに情報利用者は、出発時あるいは走行途中に交通管制システムから提供された所要時間情報を考慮し、知覚所要時間を修正し、選択経路の変更を行う。以上①～③までの考え方に基づいたモデルを用いて、各OD、経路の出発時刻分布を算出する。

動的フローシミュレーションシステムでは、信号

* キーワード:ITS、交通行動分析、ネットワーク交通流
^{**} 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 新潟大学工学部建設学科
 〒950-2181 新潟市五十嵐二の町8050
^{*****} フェロー会員 工博 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻
 〒606-8501 京都市左京区吉田本町

制御に伴うリンク末端の容量変化や、リアルタイム情報提供による経路変更行動に対する渋滞の時刻変化を評価する。そこで短い時間間隔で変化するリンク交通量を扱う一般リンクは、とくに①フローは下流側のトリップ数の影響は受けるが、上流側のトリップ数の影響は受けない。②リンクを移動しているフローはリンク容量を超えない、などの条件を満たす。また交差点から上流側へ延伸する渋滞を扱う交差点リンクは、③ある時刻の交差点流入フローの方が交差点容量よりも小さければ、同時刻に下流リンクに流出させる。④流入フローの方が大きければ交差点容量を超過した分だけ交差点リンクに残留させ、次時点以降に下流リンクに流出させる。一般リンク、交差点リンクともにFIFOの原則は保持する、などの条件を満たしながら、一般リンクフローと交差点リンクフローの時刻変化を表現できるボックス型交差点フローアルゴリズム⁵⁾を適用する。

交通管制システムでは、ドライバーの適正な経路誘導を促すため、道路交通状況の把握・データの収集・加工に基づいたドライバーへの情報提供と信号制御の2つのサブシステムからなっている。情報提供と信号制御のための道路交通状況の把握は、①前日までや当日の前時刻までの実所要時間データが収集されている。②ビーコンを介して、これから交差点に流入する、あるいは交差点から流出するフローの状況、さらには各車両の目的地や利用予定経路が把握される。本システムでは、目的地別の各時刻・各経路の実所要時間と、交差点に残留している、あるいは次時点に交差点に流入する交通量はフローシミュレーションに基づいて得られる。

3. 日々の動的選択行動のモデル化

(1) 知覚所要時間更新のモデル化

ドライバーがn日目の行動を決定するために知覚する目的地までの所要時間 ζ は、前日までに経験した実所要時間 $\tau^{(n)} = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{n-1})$ に基づいていると考えられる。知覚した所要時間に基づいて行動した結果、実際に生じた所要時間が τ_n とする。ドライバーがn+1日目に知覚する所要時間は、実際に生じた所要時間 τ_n と前日までに生じた $\tau^{(n)}$ による、 $\tau^{(n)}$ に基づいて行われると考えられる。このように日々繰り返されるトリップによって所要時間を学習することで、対象道路網の渋滞状況がしだ

いに明らかになる。ここでは学習過程プロセスにベイズの定理を適用する。そこでドライバーの知覚する所要時間のばらつきを正規分布で近似し、n日目における知覚所要時間の確率密度関数 $p(\zeta|\tau^{(n)})$ は $N(\zeta_n, \sigma_{\zeta_n}^2)$ に従うとする。また、実所要時間は知覚所要時間まわりに分布すると仮定すると、n日目の実所要時間の確率密度 $p(\tau_n|\zeta)$ は $N(\tau_n, \sigma_{\tau_n}^2)$ に従うとする。実所要時間 τ_n を得ることで、(n+1)日目の知覚所要時間の確率密度関数 $p(\zeta|\tau^{(n)})$ は $N(\zeta_{n+1}, \sigma_{\zeta_{n+1}}^2)$ に従うとする。以上の確率密度関数を(1)式のベイズの定理に適用する。

$$p(\zeta|\tau^{(n)}) = \frac{p(\zeta|\tau^{(n)}) \cdot p(\tau_n|\zeta)}{\int p(\zeta|\tau^{(n)}) \cdot p(\tau_n|\zeta) d\zeta} \quad (1)$$

知覚所要時間 ζ の期待値と分散を以下に示す。

$$\zeta_{n+1} = \zeta_n + \frac{\tau_n - \zeta_n}{\sigma_{\zeta_n}^2 + \sigma_{\tau_n}^2} \cdot \sigma_{\zeta_n}^2 \quad (2)$$

$$\sigma_{\zeta_{n+1}}^2 = \sigma_{\zeta_n}^2 - \frac{\sigma_{\zeta_n}^4}{\sigma_{\zeta_n}^2 + \sigma_{\tau_n}^2} \quad (3)$$

分散を示す(3)式を見ると、右辺第2項の符号が正であることから、経験回数nが増すほど、分散の値が小さくなることがわかる。これは走行経験が増し、実所要時間情報が蓄積されるほど知覚のばらつきが小さくなり、交通状態が明らかになることに対応する。期待値を示す(2)式では、右辺第2項は知覚と実所要時間の差と、知覚の分散からなる。知覚と実所要時間差が小さくなれば、右辺第2項はゼロに近づき、日々の知覚所要時間の変化は小さくなる。また走行経験回数が増すと、分散はゼロに近づくことから、やはり右辺第2項が小さくなり、知覚所要時間の変化が小さくなる。

経路あるいは出発時刻選択行動は、以上の特性を持つ知覚所要時間に基づいた交通選択行動モデル⁶⁾により求める。

(2) 所要時間情報による知覚所要時間の修正

情報提供を受けるドライバーは、走行途中で提供される情報に基づき、出発前に知覚した所要時間を修正する。前節の通り、 $N(\zeta_n, \sigma_{\zeta_n}^2)$ に従う出発前の知覚所要時間の確率密度 $p(\zeta|\tau^{(n)})$ は、走行途中で提供される所要時間情報 λ によって、知覚所要時間は $N(\zeta_n, \tilde{\sigma}_{\zeta_n}^2)$ に従う確率密度 $p(\zeta|\tau^{(n)}, \lambda)$ に変更される。情報所要時間は実所要時間に基づいて

提供されるため、実所要時間の平均値まわりに分布すると考えられ、情報所要時間の確率密度 $p(\lambda)$ は $N(\tau, \sigma_\lambda^2)$ に従うとする。ここで、 n 日目の知覚所要時間 ζ と情報所要時間 λ の同時確率 $p(\zeta, \lambda | \tau^{n-1})$ は、(4) 式あるいは (5) 式の関係がある。

$$p(\zeta, \lambda | \tau^{n-1}) = p(\zeta | \tau^{n-1}, \lambda) p(\lambda) \quad (4)$$

$$p(\zeta | \tau^{n-1}, \lambda) = p(\zeta, \lambda | \tau^{n-1}) / p(\lambda) \quad (5)$$

式 (5) より、情報提供後に更新された知覚所要時間の期待値は式 (6) で、分散は (7) 式で表される。

$$\tilde{\zeta}_n = \zeta_n + \rho \frac{\sigma_{\zeta_n}^2}{\sigma_\lambda^2} (\lambda - \hat{\zeta}) \quad (6)$$

$$\tilde{\sigma}_{\zeta_n}^2 = \sigma_{\zeta_n}^2 (1 - \rho^2) \quad (7)$$

式 (6)、(7) の ρ は ζ と λ の相関係数であり、知覚所要時間の修正における提供情報への依存度と解釈する。したがって ρ の値が大きいき、情報が大ききめであれば、知覚所要時間は大ききめに修正する。もし ρ の値が小さければ、提供された情報はあまり関係せず、知覚所要時間は大きき修正されることはない。知覚の分散は、情報に対する依存度 ρ が大きいほど情報提供後の分散は小さくなる。ドライバーは修正された所要時間の短い経路に変更する。ただし情報提供を受けないドライバーは、前節 (1) で示したように、過去の走行実績のみで知覚する所要時間に基づいて経路選択などを行う。

4. 数値実験

(1) モデルネットワークの設定

モデルネットワークを図 2 に示す。図のノードを信号交差点とする⁷⁾。OD 1 経路 1 は幹線ルートとし、自由走行時間が比較的短く、リンク容量を大きく設定しているが、主要交差点が 3 つあり、混雑を起しやすくしている。一方、OD 1 経路 2 は経路 1 の迂回路であり、自由走行時間が長く、リンク容量は小さい。幹線と迂回路はリンク 4 のところで合流している。シミュレーション時間帯にかかる全需要量は OD 1 が 1350 台、OD 2 が 250 台、OD 3 が 500 台、OD 4 が 250 台とする。また対向車需要量は 50 (台/5min) と設定した。

(2) ドライバーの交通行動特性の設定

通勤交通を想定し、通勤効用関数⁶⁾のパラメータは所要時間に関し 0.05、始業時刻に対する早着時間に関し 0.05、遅着時間に関し 0.16 と設定した。ま

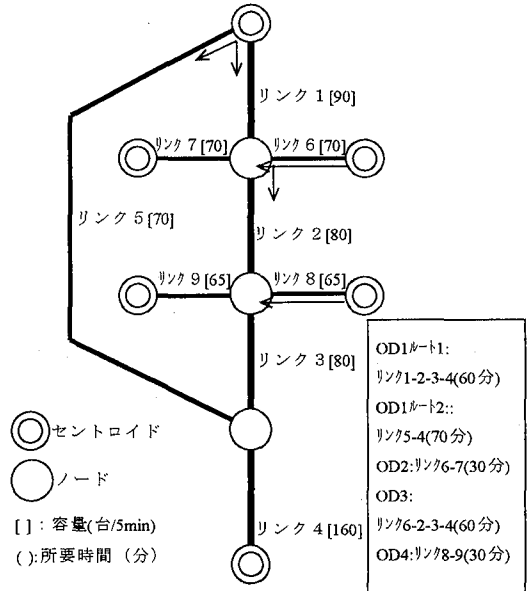


図 2 モデルネットワーク

た情報利用者は全需要の 70 % とし、ドライバーの情報提供に対する依存度を 0.75 とした。そして 1 単位時間 5 分間隔でシミュレーションを行った。

(3) ケースの設定

ここでは、情報提供あるいは信号制御の有無が、経路や出発時刻選択に与える影響を分析する。情報が提供される場合、情報利用者は式 (6)、(7) に従って知覚所要時間を修正し、事前の選択経路を変更する。信号制御が行われる場合は、交差点流入フローに応じた青時間が設定され⁷⁾、交差点容量が変化する。信号制御が行われない場合、交差点容量は 60 (台/5min) に固定する。表 1 に設定したケースを示す。

表 1 ケースの設定(行う: ○、行わない: ×)

ケース	1	2	3	4
情報提供	×	○	×	○
信号制御	×	×	○	○

(4) 実験結果と考察

ここでは、道路容量の大きい幹線道路と迂回路からなる OD 1 の経路選択行動と渋滞緩和効果について検討する。表 2 に各経路の平均所要時間とネットワーク総所要時間を示す。またケース 3 と 4 の出発時刻と実所要時間分布を図 3 に示す。なお結果は、日々の選択行動において出発時刻分布が前回に対して変化がなくなった収束状態を示したものである。

表2 各経路平均所要時間と総所要時間(分)

ケース	ルート1	ルート2	総所要時間
1	72.4	72.8	112465
2	82.7	70.1	123666
3	66.1	80.0	111224
4	67.9	75.3	108999

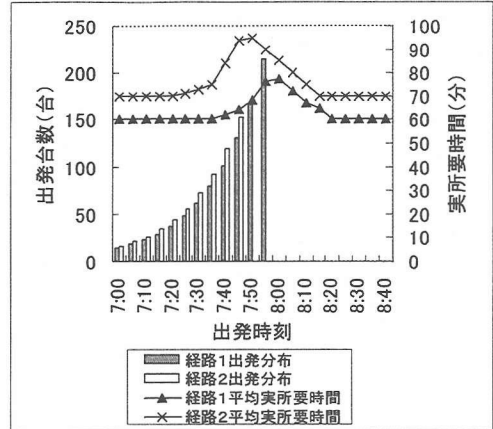
表1からケース1のように交差点容量が日々の変化も時刻変化も起こさず一定で、情報提供もされないと、ドライバーは各自の走行経験から最も通勤不効用が小さくなるような交通選択行動が行われる。その結果各ルートの平均所要時間が等しく、ほぼ均衡に近い状態が生じていることがわかる。ところが他のケースのように情報提供や信号制御を行うと均衡状態が崩れ、各経路の所要時間差が大きくなる。ケース2のように情報依存度の高いドライバーに情報提供のみ行った場合は、所要時間の短い経路にトリップが集中し、より大きな渋滞を生起させる可能性があることを示唆している。ケース3は情報が提供されないが、信号制御は行われている。したがって自由走行時間が短く、トリップが集中しやすい経路1の交差点容量が大きく設定されやすいため、経路間の所要時間差が大きくなることが図3の所要時間分布からも分かる。ケース4では、所要時間情報がドライバーに提供されるため、所要時間の大きい経路2が回避されていることが図3の出発時刻分布からも分かる。したがって経路2の所要時間が大きく改善され、総所要時間が最も小さくなった。

5. まとめ

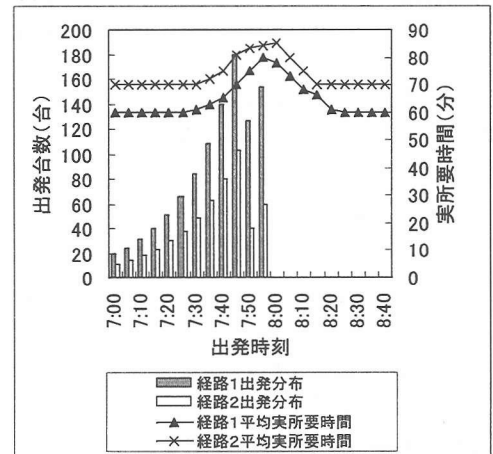
本研究の成果は次の通りである。

- (1) 情報提供だけでは、一部の経路に交通量が集中してしまい、大きな渋滞が生じる可能性がある。
- (2) 信号制御のみを行った場合も、交差点流入交通量の多い方向に青時間が長く与えられるため経路間の所要時間に大きな差が生じるおそれがある。
- (3) 信号制御と情報提供を組み合わせることで、更なる渋滞緩和効果が期待できる。

本論文では、簡単な例題を通して、提案したシステムの基本的なパフォーマンスを検討してみた。今後の課題として、さらに実際のネットワークに適用し、動的フローシミュレーションシステムの精緻化を図るとともに、高度交通管理システムへの展開を試みたい。



(a) ケース3



(b) ケース4

図3 出発時刻分布と所要時間分布

<参考文献>

- 1) 井上、高山：信号交差点を組み込んだ時間交通量配分モデルの動的化に関する研究、第30回日本都市計画学会学術論文集、pp.637-642、1995
- 2) 飯田、藤井、内田：動的交通流シミュレーションを用いた道路網における情報提供効果に関する分析、交通工学 Vol.31 No.6, pp.19-28, 1996年
- 3) TA-YIN HU, H S.MAHMASSANI: Day-to-Day Evolution Network Flows under Real-Time Information and Reactive Signal Control, Transpn.Res.-C, Vol.5, pp.51-69, 1997
- 4) M Jha et al.: Perception updating and day-to-day travel choice dynamics in traffic networks with information provision, Transpn Res.-C, Vol.6, pp.189-212, 1998
- 5) 柳沢、高山：信号交差点を考慮した高度交通管理のためのネットワークフローの評価、第19回交通工学研究発表会論文報告集、pp.29-32、1999年12月
- 6) 飯田、柳沢、内田：通勤交通の経路選択と出発時刻分布の同時推定法、土木計画学研究・論文集 No.9 pp.93-100, 1991年11月
- 7) 例えば藤田大二編交通工学実務双書：交通現象と交通容量、第4章 道路の各区間における交通容量