

ドライバーの知覚更新過程を考慮した情報提供下における交通量配分シミュレーション分析*

Traffic Assignment Simulation Analysis considering the Drivers' Travel Time Perception Updating Process under the Travel Time Information *

中平恭之**・廣島康裕***・コブピーロン****

By Yasuyuki NAKAHIRA**・Yasuhiro HIROBATA***・Phyrum KOV****

1. はじめに

交通量配分に関する研究は均衡配分手法を主な手段として発展してきた。均衡配分手法ではドライバーは常に利用可能な経路について完全な情報を得ているという強い仮定をおいている。しかし、現実には完全な情報を得ているとは考えにくく、何らかの不確実性を含んだ行動を行っていると思われる。一方、交通量配分の中で情報提供を扱った研究は数多くなされてきたが^{1) 2)}、内生的に変動させたOD交通需要量が取り扱われているものがほとんどである。しかしながら、現実における交通需要量は日々変化しており、それによってネットワークの状態も異なっているものと考えられる。このような問題意識のもと、著者らはこれまでに、所要時間の不確実性の原因の一つであるOD交通需要の外生的確率変動の存在に着目し、そのような交通環境下で所要時間情報が提供されるという状況において交通行動が繰り返される時、経路状態が日々どのように推移し、利用者の知覚所要時間分布がどのように形成されるのかを把握するための交通量配分モデルを構築し、単純なネットワークを対象として数値的な検討を行ってきた³⁾。しかしながら、それらは一定のモデル・パラメータの下での検討にとどまっており、一般性を有するとは言えない。

そこで、本研究では経路特性や交通需要とその変動特性にかかわるパラメータを変化させたときのシミュレーション結果について情報提供される場合とされない場合との比較を通じた考察を加えることにより情報提供が利用者行動とネットワーク・パフォーマンスに及ぼす影響に関してより一般性を有する知見を得るとともに、本シミュレーションモデルを実際の道路網へ適用する上での更なる改良の方向について検討を行う。

*キーワード：経路選択、交通情報、ITS

**正員、工修、近畿大学工業高等専門学校建設システム工学科
(〒519-4395、三重県熊野市有馬町2800、
TEL0597-89-2011、FAX0597-89-1018)

***正員、工博、豊橋技術科学大学建設工学系
(〒441-8580、愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1、
TEL0532-44-6833、FAX0532-44-6831)

****学生員、豊橋技術科学大学建設工学系

2. ドライバーの行動仮説

本研究では、ドライバーの経路選択行動は日間変動する経路交通状態に応じて形成されるドライバーの知覚所要時間分布に基づく不確実性下での意思決定行動であると考え、図-1に示す行動仮説に従って行動しているものとする。

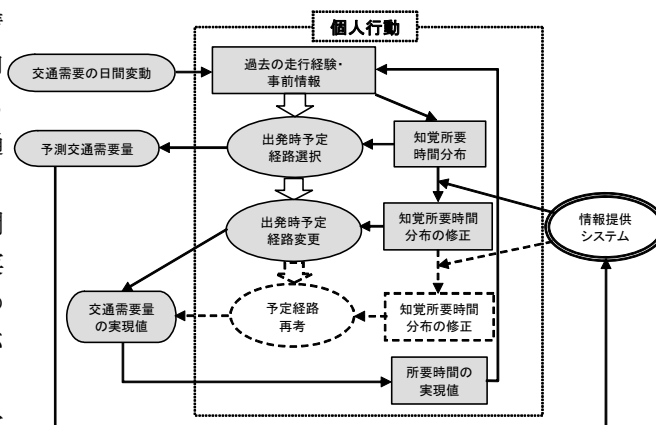


図-1 交通需要の日間変動下における個人の行動仮説

交通量が日間変動しているという状況下では、ある日の自宅出発前時点のドライバーは過去の経験の蓄積を通じて形成している各経路に対する自宅出発前時点の知覚所要時間分布（情報獲得前の知覚所要時間分布）に基づいて予定経路を決定しているが、情報提供システムからその日の経路交通状態に対応する所要時間情報を獲得すると、その所要時間情報と事前知覚所要時間分布から新たな知覚所要時間分布（情報獲得後の知覚所要時間分布）を形成し、それに対応した最適な予定経路を決定し行動を開始するものとする。

さらに、ドライバーは経路走行中に時々刻々と変化する交通状況に関する情報を獲得すると、それまでの知覚所要時間および予定経路に対して再考を加えながら行動するものとする。また、図-1に示すようにドライバーは走行している地点の実際の状況を自分自身が把握しておりそれが予定経路の再考に影響を与え、そこで経路変更した場合には、その後の交通状況に影響する。

なお、情報提供システムから提供される情報としては、時々刻々と変化する交通状況をリアルタイムに提供

する方法と、数分または数時間先の交通状況を時々刻々の交通状況と時刻別交通状況の日間変動とから予測して提供する方法があるが、以下では後者の提供方法を想定したモデル構築・分析を行うものとする。

3. 知覚所要時間分布と期待形成

(1) 情報獲得前の知覚所要時間分布の形成プロセスと推定方法

自宅出発前における情報獲得前の知覚所要時間（事前知覚所要時間）は、過去に走行した経験から得られる所要時間実現値をもとに個人の主観的判断に基づいて形成されるが、この所要時間実現値は道路状況などの影響を受けて日々変化しているため、ドライバーが形成する事前知覚所要時間は不確実性を含んでいると考えられる。従って、本研究ではドライバーは事前知覚所要時間を長期平均的な所要時間の周りに一定のばらつきをもった確率分布として形成していると仮定する。また、本研究では情報獲得後に新たに形成される知覚所要時間分布が過去の経験として蓄積されるのではなく、実際に走行した結果として得られる各経路の所要時間実現値が日々変動する状況下で、日々の繰り返しの経験を通じて長期的に所要時間実現値が蓄積され、それに基づいてドライバーは事前の知覚所要時間分布を形成するものとする。

(2) 情報獲得後の知覚所要時間分布の形成プロセスと推定方法

本研究では、ある日にドライバーが所要時間情報の獲得後に形成する知覚所要時間は、図-2に示すように情報獲得前に形成している事前知覚所要時間分布と提供される所要時間情報からドライバーの主観的判断により合成されたものであると考える。著者らは、情報獲得後の知覚所要時間分布の推定方法の有効性をベイズの定理とファジィ推論を用いて比較検討し、ベイズの定理を用いた推定方法の方が実際の個人の情報獲得による知覚所要時間形成過程を反映できることを明らかにしている⁴⁾。従って、本研究においてもドライバーが情報獲得後に形成する知覚所要時間分布を、ベイズの定理を用いて推定するものとする。すなわち、本研究では、所要時間実現値が日々変動しているという不確実な状況下での過去の走行経験などからドライバーは主観的判断に基づいて情報獲得前の事前知覚所要時間分布を形成しているが、情報提供システムから所要時間情報 ε が提供されると、情報を獲得したドライバーは、情報獲得前の事前知覚所要時間分布と提供された所要時間情報 ε から情報獲得後の知覚所要時間分布を形成すると考える。

情報獲得後のドライバーの知覚所要時間分布を(1)式のベイズの定理を用いて推定する。

$$f'_x(x|\varepsilon) = \frac{f_x(x)g(\varepsilon|x)}{\int_{-\infty}^{\infty} f_x(x)g(\varepsilon|x)dx} \quad (1)$$

$f'_x(x|\varepsilon)$: 情報獲得後の知覚所要時間分布の確率密度関数

$f_x(x)$: 情報獲得前の事前知覚所要時間分布の確率密度関数

$g(\varepsilon|x)$: 所要時間 x が実現したとき所要時間情報 ε が提供される条件付確率密度関数

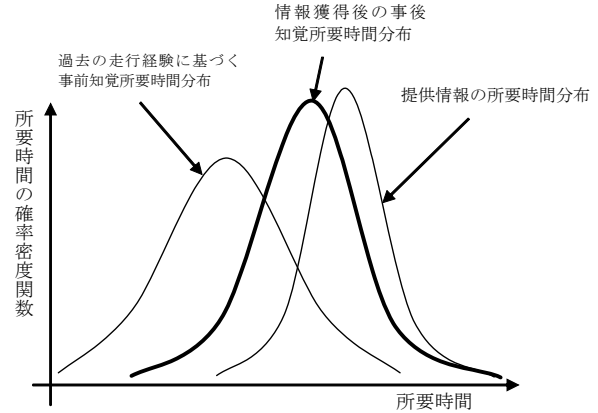


図-2 情報獲得後の知覚所要時間分布

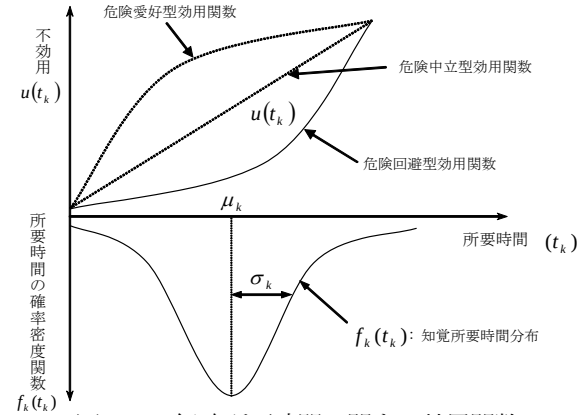


図-3 経路所要時間に関する効用関数

$$u(t_k) = e^{\lambda t_k} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} EU_k &= \int_{-\infty}^{\infty} u(t_k) f_k(t_k) dt_k \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} e^{\lambda t_k} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_k} \cdot \exp\left\{-\frac{1}{2} \left(\frac{t_k - \mu_k}{\sigma_k}\right)^2\right\} dt_k \\ &= \exp\left(\lambda \mu_k + \frac{1}{2} \lambda^2 \sigma_k^2\right) \end{aligned} \quad (3)$$

$u(t_k)$: 経路の不効用関数

EU_k : 経路の期待不効用

$f_k(t_k)$: 知覚所要時間分布の確率密度関数 λ : 不効用関数のパラメータ

μ_k : 経路 k の知覚所要時間分布の期待値

σ_k : 経路 k の知覚所要時間分布の標準偏差

(3) 各経路の不効用関数と期待効用の推定

本研究では、ドライバーは期待効用最大化基準（期待不効用最小化基準）に基づいて利用経路の決定を行うものと仮定する。つまり、自宅出発前のドライバーは、各経路の所要時間や交通状況による所要時間の変動量などを考慮して効用が最大となる経路を決定して行動を開始するものとする。人の危険（不確実性）に対する態度は概ね危険回避的な行動を取ることが知られている（図

ー3)。本研究では、ドライバーの危険に対する態度は危険回避的であると仮定し、所要時間の増加に従って不効用が指数関数的に増加していくものと考え、(2)式のような効用関数を仮定する。このとき、知覚所要時間分布として正規分布を仮定すれば、経路 k の期待不効用 EU_k は(3)式となる。

4. シミュレーションの概要

本研究では、図-4に示すような1 OD 2経路の簡単なモデルネットワークを対象として、経路特性や交通需要変動特性のパラメータを変化させたときのシミュレーションモデルによる交通量配分を行うものである。その詳細を以下に示す。

- ① OD 交通需要量は、常に一定ではなく日々変動しているものと考えられる。そのため、潜在 OD 交通量から正規乱数を用いてある日の OD 交通需要量を与えるものとする。このとき、ある日の OD 交通需要量の日間変動幅が大きすぎると、現実の交通状態を反映しているとはいえないため、ある日の OD 交通需要量が潜在 OD 交通量の75%を下回らないように乱数を発生させる。
- ② 事前知覚所要時間分布を用いたランダム期待効用最大化基準に従ってある日の経路選択確率を推定し、推定された経路選択確率とある日の OD 交通需要量から各経路の予測集計交通量を求める。

- ③ 情報提供を行う場合には、②で求めた予測集計交通量から、所要時間関数を用いてドライバーに提供する経路所要時間情報を推定する。一般的に、情報提供主体は得られるだけの不完全な情報を利用して所要時間情報を推定して提供するものと考えられる。そのため、提供する所要時間情報は情報の精度を考慮して確率分布の形として与えるものとする。
- ④ ある日の提供される所要時間情報と事前知覚所要時間分布からベイズの定理を用いて情報獲得後の知覚所要時間分布を推定する。
- ⑤ ④で推定した情報獲得後の知覚所要時間分布を用いてランダム期待効用最大化基準により最終的な各経路の選択確率を推定し、ある日の経路交通量実現値を算出する。また、得られた経路交通量実現値から所要時間関数を用いて経路所要時間の実現値を推定する。

- ⑥ ⑤で得られたある日の経路所要時間実現値を過去の経験として蓄積させ、事前知覚所要時間分布を修正する。

本研究では、経路特性や交通需要変動特性のパラメータを変化させながら、①～⑥の手順を情報提供する場合としない場合について一定期間繰り返し、各経路状態の推移やドライバーの知覚所要時間形成過程を把握する。

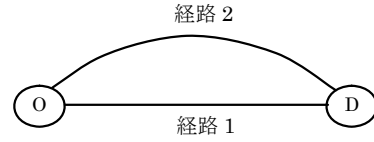


図-4 モデルネットワーク

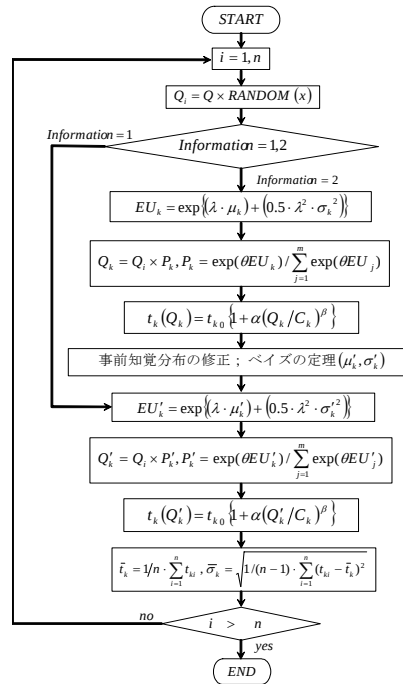


図-5 シミュレーションの計算手順

i : 繰り返し回数
 Q : 潜在OD交通量
 Q_i : i 日目のOD需要交通量
 $\text{RANDOM}(x)$: 乱数の生成
 Information : 1 情報提供なし, 2 情報提供あり
 EU_k : 経路 k の期待不効用
 μ_k : 経路 k の事前知覚所要時間分布の期待値
 σ_k : 経路 k の事前知覚所要時間分布の標準偏差
 λ : 効用関数のパラメータ
 Q_k : 経路 k の予測交通量
 P_k : 経路 k の選択確率
 θ : 経路選択確率の不効用の分散パラメータ
 $t_k(Q_k)$: 経路 k の予測交通量に対応する所要時間
 α, β : BPR関数のパラメータ
 C_k : 経路 k の交通容量
 μ'_k : 情報獲得後の知覚所要時間分布の期待値
 σ'_k : 情報獲得後の知覚所要時間分布の標準偏差
 EU'_k : 情報獲得後の経路 k の期待不効用
 Q'_k : 情報獲得後の経路 k の交通量
 P'_k : 情報獲得後の経路 k の選択確率
 $t_k(Q'_k)$: 所要時間実現値
 $\bar{t}_k$: 修正された事前知覚所要時間分布の期待値
 $\bar{\sigma}_k$: 修正された事前知覚所要時間分布の標準偏差

事前知覚所要時間分布のパラメータはドライバーによって異なると考えられるが、本研究では、その集団平均は n 日繰り返した時の客観的所要時間分布と一致するものと仮定し、 n 日までに実現した所要時間の標本平均値と標本標準偏差を事前知覚所要時間分布の期待値および標準偏差としてそれぞれ(4)式、(5)式として与えている。

$$\bar{t}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{ki} \quad (4)$$

$$\bar{\sigma}_k = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (t_{ki} - \bar{t}_k)^2} \quad (5)$$

$\bar{t}_k$: 経路 k の所要時間実現値の平均値
 t_{ki} : 経路 k の i 日目の所要時間実現値
 $\bar{\sigma}_k$: 経路 k の所要時間実現値の標準偏差
 n : シミュレーションの繰り返し回数

なお、本研究ではこの仮定を置くため、個人ごとに利用したあるいは利用しなかった経路の所要時間の更新

過程の違いを考慮していないが、これらを考慮し、利用しなかった経路の所要時間を更新しないなどの改良を加えることで、個人ごとの分析が可能となる。

また、ドライバーの行動結果としての経路交通量を用いた所要時間の推定には、米国道路局で開発されたBPR 関数を用いる。これは、(6)式に示す関数形をしており、本研究では、パラメータ $\alpha=0.15$ 、 $\beta=4$ として分析に用いている。

$$t_k(Q_k) = t_{k0} \left\{ 1 + \alpha (Q_k / C_k)^\beta \right\} \quad (6)$$

t_{k0} : フリーフロー時の所要時間 Q_k : 経路 k の交通量
 C_k : 経路 k の交通容量 α, β : パラメータ

5. 交通量シミュレーション実行結果

シミュレーションの実行結果の一例として表-1に示す条件のもとで一定期間(1000日)を繰り返したとき、情報提供ありの場合となしの場合の実行結果を縦軸に収束時の事前知覚所要時間分布の期待値、横軸に変化させた不効用関数のパラメータ λ としたときの結果を図-6に示す。

ここでは、不効用関数のパラメータ λ を0.02~0.10まで0.02刻みで変化させてシミュレーションを実行した。不効用関数のパラメータ λ が大きくなることは危険回避度が大きくなることを意味している。図-6からわかるように情報提供ありの場合には、第一経路で不効用関数のパラメータ λ が0.08から0.10の前後で大きく変動している。この詳細を把握するために情報提供ありの場合の不効用関数のパラメータ λ が0.08と0.10の第一経路のシミュレーション過程を図-7に示す。不効用関数のパラメータ λ が0.10の場合には、 λ が0.08の場合と比較して情報獲得前後で事前知覚所要時間期待値が大きく異なり、その差はシミュレーション開始直後から大きく(第一経路が長く、第二経路が短い)50日程度で最大の差となる。その後は、徐々に減少していくものの1000日繰り返しても大きな差は残したままである。情報提供ありの場合に大きく変動するのは、不効用関数のパラメータ λ が大きくなることでシミュレーション開始直後から第一・第二経路の事前知覚所要時間に大きな差ができ(第一経路が長く、第二経路が短い)、情報提供システムは第一経路を選択するドライバーが少なくなるものと判断し第一経路の所要時間を第二経路より短い所要時間として提供する。さらに、獲得した第一経路の情報が短い所要時間であるため、ドライバーは第一経路に集中してしまい、結果としての所要時間実現値が大きくなり、事前知覚所要時間も大きくなるという過程を繰り返すこ

とになる。このような過程を繰り返すのは、不効用関数のパラメータ λ が大きすぎる場合、小さい場合と比較して知覚所要時間の大小による危険回避度の影響が大きくなり、知覚所要時間の大きい経路は小さい経路よりも危険回避度の影響が大きくなるため、情報提供ありの場合にはシミュレーション開始直後から知覚所要時間の大きい第一経路での変化が大きくなるものと思われる。このように、危険回避度が大きすぎる場合、情報提供する場合にはしない場合よりもかえってネットワークの状態を悪化させてしまうことがあることを示唆している。

表-1 シミュレーション条件

経路	フリーフロー時の経路所要時間	交通容量	潜在需要量	効用の分散パラメータ θ	不効用関数のパラメータ λ
1	5	500	2500	-0.15	変化
2	10	1000			

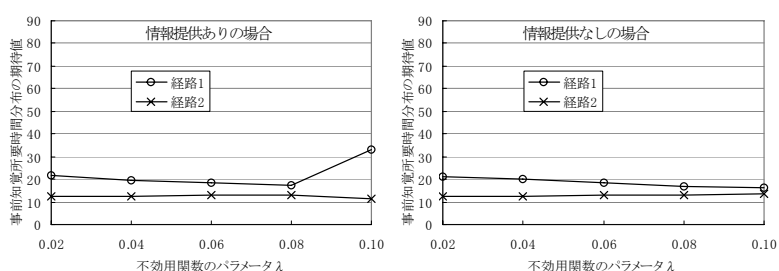


図-6 不効用関数のパラメータ λ を変化させたときの実行結果

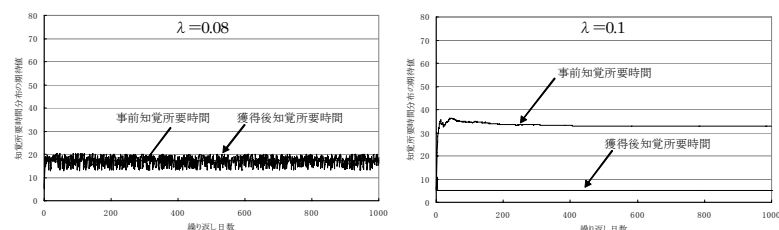


図-7 第一経路の知覚所要時間分布期待値の実行過程

6. おわりに

本研究では経路特性や交通需要とその変動特性にかかわるパラメータを変化させたときの交通量配分シミュレーションを行い、ネットワークに及ぼす影響についてより一般性を有する知見が得られたものと考えている。今後は、ここで得られた成果を現在取り組んでいる個人単位でのシミュレーションモデルに活かしていきたい。

参考文献

- 1) 吉井稔雄、桑原雅夫：リアルタイム交通情報の提供効果、『土木学会論文集』No.653/IV-48, pp.39-48, 2000.7.
- 2) 溝上章志、本田秀太：多種流確率均衡配分理論を用いたVICS情報の利用率予測と効果計測の方法、『土木学会論文集』No.709/IV-56, pp.105-115, 2002.7.
- 3) 中平恭之、廣島康裕：交通需要の日間変動下での所要時間知覚形成を考慮した情報提供効果の分析、『地域学研究』、第35巻第4号, pp.803-817, 2006.2.
- 4) 中平恭之、廣島康裕：所要時間情報提供下における経路選択意識の分析、『地域学研究』第34巻第1号, pp.411-427, 2004.10.