

ドライバーの情報依存性を考慮した経路誘導の効果分析

柳沢吉保*・飯田恭敬**・内田 敬***

Effects of Route Guidance System Considering Dependence on Information

Yoshiyasu YANAGISAWA, Yasunori IIDA and Takashi UCHIDA

Due to the recent progress of technology in information and communication systems, the necessity is increasing to make some frameworks to analyze traffic behavior including the information. A modelling framework is developed to analyze the effect of real time information strategies on the performance of a congested traffic commuting corridor. A simple model of the morning rush hour is adopted in which commuters choose a departure time and one of two routes to work, the travel time of which are stochastic. The model is illustrated through a set of simulation experiments that focus on the effect of route guidance.

キーワード：情報提供システム、動的経路誘導、情報信頼性、出発時刻選択

1. ま え が き

近年、情報通信ネットワークの技術の発展に伴って、経路情報による道路交通システムの高度化が図られ、多様な交通問題に対処することが考えられている。とくに交通の円滑化に対しては、路上に配置されたビーコンと車載機との間で路車間通信を行うことによって、自動車を効果的に誘導することが考えられている。この通信技術に動的経路誘導システムを導入することによって、時々刻々と変動する交通状態に対応できる。このシステムによって、(1)ドライバーは混雑や渋滞を回避した最適とされる経路を走行でき、道に迷うことによる無駄な走行が減少する。(2)突発的な事故が発生した場合、一時的に生じるボトルネックに関する情報を提供し、経路誘導によって誘導車を代替経路に誘導し渋滞を緩和することが出来る。(3)車載ディスプレイで情報のやりとりが迅速かつ的確にできると、すべてのドライバーに個別に情報を提供できる可能性も高まり、交通システムとして交通流を制御し、さらに交通渋滞の緩和効果がある可能性がある。(4)道路管理者からみても各車を適切に配分することで混雑の回避や解消

を図り道路を有効に利用できるという利点が考えられる^{1)-3),11)}。

そこで路車間システムを想定した情報提供の一般的な効果分析を行い、有効な経路誘導方を立案する必要がある。

経路誘導を実際に運用するにあたり解決しなければならない課題がいくつかある。

質の高い情報とは、ドライバーが経験した交通状態と情報提供された状態の差が小さいような情報であり、また代替経路のうちどちらが相対的に旅行時間が短いかということが、情報によつて的確に示され、それが代替経路の実旅行時間の相対的な関係と整合していれば利用価値はあると考えられる。このような情報を提供するためには、可能な限り新しいリンク内状況を把握しなければならない。またその状況をタイムラグなしにドライバーに提供しなければならない。これらはハード面での対応となる。しかし道路交通を管理するための有効な経路誘導方を立案するにあたっては、情報提供と交通行動の関係を把握しておかなければならない。すなわち、情報の与え方によって、ネットワーク上のフローがどのように変化してくれるか、である⁴⁾⁻¹⁰⁾。

本研究では、動的に変動する交通需要に適用する、動的な経路誘導システムのための情報提供効果を評価するシステムを構築し、ドライバーの特性として、情報利用者数と提供情報依存度に絞って、経路誘導

* 長野工業高等専門学校環境都市工学科 講師

** 京都大学大学院 教授

*** 東北大学大学院 助教授

原稿受付 1997年9月30日

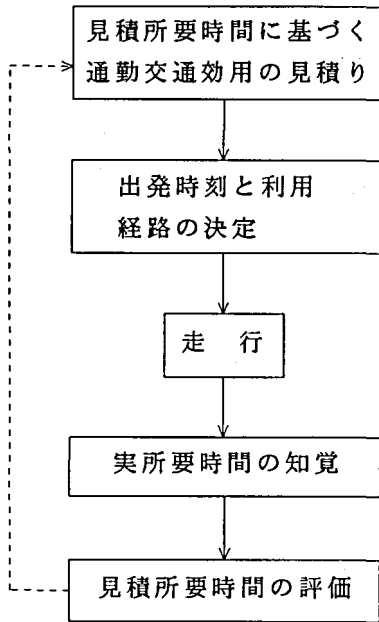


図1 経験情報利用者の意志決定プロセス

効果の一般的な特性を明らかにする。

2. ドライバーの行動決定プロセス

ドライバーは個々が持っている情報に基づいて交通行動を起こしているが、その意志決定が行われるまでのプロセスについて考える。ドライバーが得る情報は、過去の経験により知覚される渋滞状況と、情報提供システムから与えられる最新の渋滞状況がある。したがってドライバーは過去の経験に基づいて行動する経験情報利用者と、車載機から得られる渋滞情報に基づいて行動する提供情報利用者に分けて考えることができる。

経験情報利用者が行う意志決定プロセスを図1に示す。この利用者はまず過去の経験により見積もった所要時間に基づいた通勤効用の見積もりを行う。つぎに効用を最大にする出発時刻と経路を決定し、走行する。目的地に到着すると、実際に要した所要時間を知覚し、あらためて所要時間の見積もりを行う。これを次の日の行動を決定するための情報とする。このプロセスを日々繰り返し行っている。

提供情報利用者が行う意志決定プロセスは図2に示す。ここでは、実際に走行するまでに2種類の意志決定を行っていると考えられる。まずは経験利用者と同様に、前回走行後に見積もった所要時間からなる通勤効用に基づき、出発時刻と一応の利用経路を決定する。つぎに住居から出発後、車載機をとおり各経路の渋滞状況が提供されると、各ドライバーは情報に対する信頼性に基づく依存度によって情報に従うかどうか決定する。情報に対する依存度が高

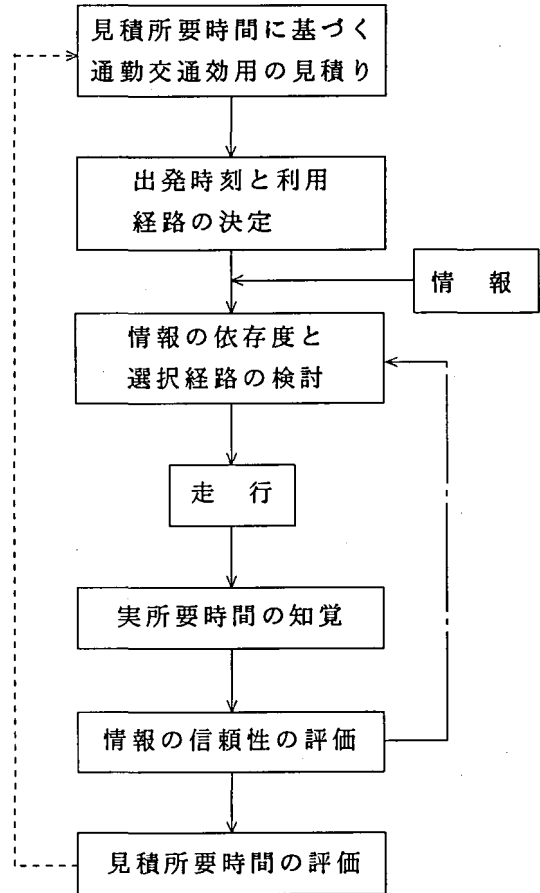


図2 提供情報利用者の意志決定プロセス

い場合は、あらためて所要時間が一番短いとされる経路を選択し、依存度が低い場合は前回走行後に見積もった通勤効用に基づいた経路選択を行う。走行後は、目的地までに実際に要した所要時間を知覚し、提供情報と比較することによって情報の信頼性評価を行い、あらためて所要時間の見積もりを行う。このプロセスを日々繰り返し行っているとする。

以上のプロセスを考慮に入れた情報提供の評価システムを構築する。

3. 情報提供評価システムの枠組みと記述モデル

情報提供効果の評価方法の枠組みとその手順について示す。本章で示す評価システムは2章で示した意志決定プロセスを反映している。本システムの流れは図3に示すとおりで、6つのサブシステムからなっている。情報提供方策としては経路誘導と出発時刻誘導が考えられるが、本システムは特に経路誘導に絞って評価を行う。

3-1 経路情報に基づく行動の意志決定システム

ドライバーは情報提供前は、過去の知覚効用に基づいて意志決定を行っている。本サブシステムは、

経験情報と提供情報利用者が前日までに経験した渋滞状況をふまえて、居住地を出発する前に行う出発時刻と経路選択を記述している。

通勤ドライバーは過去の経験から見積もった所要時間に基づき、始業時刻に遅刻しないように、また所要時間と到着余裕時間からなる実行旅行時間損失を小さくするように出発時刻 t_s と経路 r を決定する。この段階では、ドライバーは完全な所要時間情報は得ていないので、見積もった所要時間も不確実である。そこで見積もった所要時間は平均値 λ 、分散 σ^2 の正規確率分布に従って変動しているとす。出発時刻 t_s 、経路 r を選択したときの通勤不効用 $V(r, t_s)$ は、見積もった所要時間に基づく実効旅行時間と遅刻ペナルティのトレードオフの関係を考慮して、以下の式から算出する。

$$V(r, t_s) = \beta(t_d - t_s) + \gamma F(t_d | r, t_s) \quad (1)$$

$(t_d - t_s)$: 出発時刻から始業時刻までの実効旅行時間

$F(t_d | r, t_s)$: 経路 r 、出発時刻 t_s を選択したときの遅刻確率

β, γ : 不効用に関するパラメーター

ドライバーの出発時刻と経路選択確率は、通勤不効用関数に基づき、確率効用最大化原理を適用し、(2)式より算出する。

$$P(r, t_s) = P(t_s | r) \cdot P(r) \quad (2)$$

$P(t_s | r)$: 出発時刻の選択確率

$P(r)$: 経路 r の選択確率

以上の記述モデルによって、各出発時刻の選択トリップ数と情報提供前の選択確率を算出する。

3-2 提供情報に基づく行動の意志決定システム
本システムでは、情報提供後の選択経路の更新について記述している。

車載機を搭載していない経験情報利用者の経路選択確率は、情報を提供されないので前システムで記述された選択確率に従う。提供情報利用者は提供される経路情報の信頼性によって、情報に依存するかどうかを決める。依存しなければ経験情報利用者と同様に前システムで得られた選択確率に従って行動することになる。依存するならば、提供された経路所要時間に従って新たに経路を選択することになる。そこでまず情報への依存について、情報の依存度に関する記述モデルを示す。

ドライバーは事前に知覚した所要時間と走行後の実所要時間との差が小さくなるように経路選択行動を行う。すなわち、経験による見積もった所要時間と提供される所要時間のうち、より信頼性の高い情報に依

存すると考える。情報の信頼性は事前情報（見積もった所要時間または提供所要時間）と事後結果（実所要時間）の相関によって表すことが可能である。またこの相関は経験情報と提供情報を選択するときのドライバーの効用と考えられる。すなわち相関が高くなると効用も高くなり、相関が低くなると効用も低くなる。

そこで情報への依存度は事前情報と事後結果からなる相関に基づく効用関数で表すことを考える。

ドライバーはより相関の高い情報を利用すると考えると、(3)式に示す相関効用 U を最大にするように行動すると考えられる。

$$\max U = \log(\exp V_\lambda^* + \exp V_\eta^*) \quad (3)$$

V_λ^* : 経験情報と事後結果の最大相関効用

V_η^* : 提供情報と事後結果の最大相関効用

ここで、 V_λ^* 、 V_η^* は r を経路、 μ をスケールパラメータ、 $\rho_{\lambda r}$ を経路 r の事前情報・と実所要時間との相関とすると、確率最大効用理論のロジットモデルの特性によって次式で表すことができる。

$$V_\lambda^* = \max \{V_\lambda(r)\} = 1/\mu \cdot \ln(\sum_r \exp \mu \rho_{\lambda r}) \quad (4)$$

$$V_\eta^* = \max \{V_\eta(r)\} = 1/\mu \cdot \ln(\sum_r \exp \mu \rho_{\eta r}) \quad (5)$$

ドライバーは相関効用が最大となる情報を選択するので、ロジットモデルによってそれぞれの選択確率を依存度として算出する。

提供情報依存度 p_η は(6)式のように表す。

$$p_\eta = \frac{\exp V_\eta^*}{\exp V_\lambda^* + \exp V_\eta^*} \quad (6)$$

情報の選択確率は $p_\eta + p_\lambda = 1$ を満すので経験情報依存度 p_λ は(6)式を用いて(7)式で表すことができる。

$$p_\lambda = 1 - \frac{\exp V_\eta^*}{\exp V_\lambda^* + \exp V_\eta^*} \quad (7)$$

(6)式の依存度によって提供情報に従うトリップ数を算出する。

次に、提供情報に従うトリップの選択経路について記述する。提供情報に従うドライバーは、提供される各経路の所要時間に基づき、損失時間を最小にする経路を選択する。経路選択確率についてもロジットモデルによって次式で表すことができる。

$$P_{r|\eta} = \frac{\exp \eta_r}{\sum_r \exp \eta_r} \quad (8)$$

η_r : 提供された経路 r の所要時間情報

3-3 道路網上の渋滞状態記述システム

時々刻々と変動する渋滞状況を記述するため、リンクを単位時間の容量で表される箱で置き換えるボ

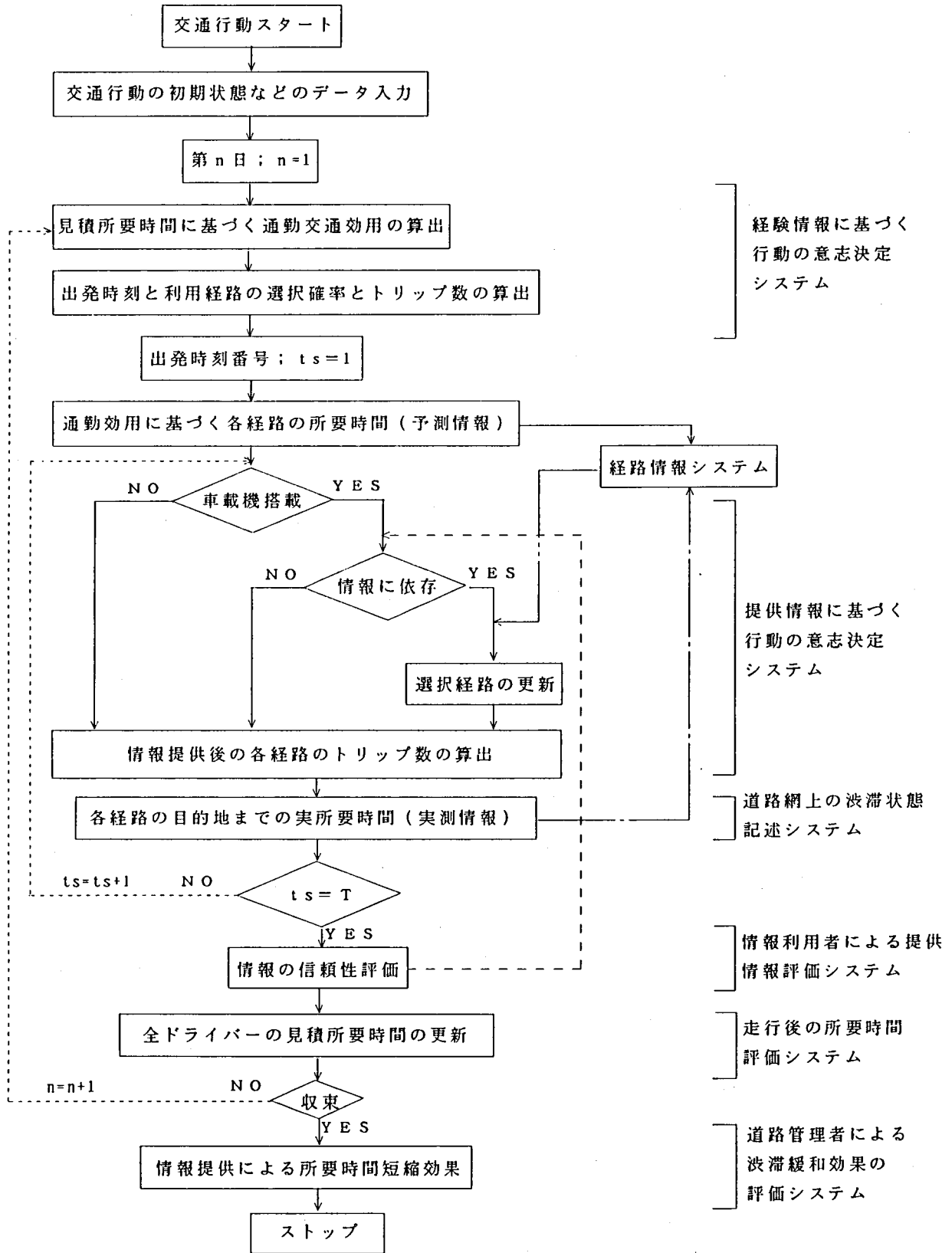


図3 情報提供評価システムフロー

ックスモデルを用いる。ボックスモデルの詳細は他の参考文献に譲る^{4),6)}。

本研究では、情報提供効果をシミュレーションによって評価するため、経路情報システムはボックスモデルより算出される所要時間を用いる。

本シミュレーションでは以下の2通りの経路情報が提供可能となる。

提供1：経験情報に基づく意志決定システムで算出されたトリップ数を用い、経験情報によって行動した場合の渋滞状況を提供する。情報を提供しなかった場合に生じる渋滞を予測するシステムである。

提供2：これから走行するドライバーに直前に行われたトリップによって生じた渋滞状況を提供する。過去の所要時間を提供するので、情報の時間遅れと提供効果を分析することができる。

3-4 情報利用者による提供情報評価システム

前節までのシステムで記述されたモデルによって各経路の実所要時間が算出される。そこでドライバーは走行前の経路情報と実所要時間を比較し、情報の依存度を求めるための情報の信頼性評価を行う。ここで示す信頼性は、事前情報と事後結果の相関で表すことにする。

まず、走行前の経験情報と走行後に実現した所要時間との相関について考える。実所要時間は正規分布に従って変動していると仮定する。また経験情報である見積所要時間は実所要時間の平均値まわりに分布していると仮定する。そこで、経験情報 λ と実現所要時間 θ はそれぞれ $N(\bar{\theta}, \sigma_\theta^2)$ 、 $N(\bar{\lambda}, \sigma_\lambda^2)$ の正規分布に従うとする。 λ と θ の同時生起確率を $P(\theta, \lambda)$ とすると、経験情報 λ が与えられたとき実現する所要時間が θ となる確率 $P(\theta|\lambda)$ は、

$$P(\theta|\lambda) = P(\theta, \lambda) / P(\lambda) \quad (9)$$

となる。2変量正規分布の性質から、 $P(\theta|\lambda)$ の期待値は(10)式で表される。

$$E[\theta|\lambda] = \bar{\theta} + (\sigma_\theta / \sigma_\lambda) \cdot \rho_\lambda (\lambda - \bar{\lambda}) \quad (10)$$

ρ_λ ：見積所要時間と実所要時間との相関係数

ここで、 $K_\lambda = \sigma_\theta / \sigma_\lambda$ とおくと、経験情報による経路 r の相関 $\rho_{\lambda r}$ は(11)式となる。

$$\rho_{\lambda r} = (1/K_\lambda) \cdot (E[\theta_r|\lambda_r] - \bar{\theta}_r) / (\lambda_r - \bar{\lambda}_r) \quad (11)$$

これは、経験情報と、それに基づいて行動した結果、生じた実所要時間がどれだけ近い値を示すかを評価する関数であり、経験情報 λ と実所要時間の期待値 $E[\theta|\lambda]$ の値が近いほど相関は高くなる。

同様の考え方で、提供情報 η と実所要時間 θ との相関 $\rho_{\eta r}$ は、 $K_\eta = \sigma_\theta / \sigma_\eta$ とおくと(12)式となる。

$$\rho_{\eta r} = (1/K_\eta) \cdot (E[\theta_r|\eta_r] - \bar{\theta}_r) / (\eta_r - \bar{\eta}_r) \quad (12)$$

3-5 走行後の所要時間評価システム

全てのドライバーは走行後に知覚した実所要時間と、走行前の見積所要時間を比較し、次の見積所要時間の更新を行う。所要時間評価システムでは、所要時間更新モデルの記述を行う。

見積所要時間は以下に示す式によって更新するものとする。

$$\lambda_{r,n} = \lambda_{r,n-1} + \alpha (\theta_{r,n-1} - \lambda_{r,n-1}) \quad (13)$$

ただし、 $0.0 \leq \alpha \leq 1.0$

$\lambda_{r,n}$ ：第 n 日目の経路 r の見積所要時間

$\theta_{r,n}$ ：第 n 日目の経路 r の実所要時間

この式は、ドライバーの第 n 日の見積所要時間とその日の実所要時間との差の大きさによって次の日の見積所要時間を更新することを表している。パラメータ α は実所要時間に対する依存度で、 α の値が大きいほど、実所要時間に従って更新することを意味している。

3-6 渋滞緩和効果の評価システム

本評価システムでは、道路管理者からみた指標として総所要時間と、道路利用者の総不効用によって情報提供の効果分析とドライバーの通勤行動分析を行う。総所要時間が小さくなれば渋滞は解消されたことになる。また総不効用が小さくなれば、ドライバーの通勤効用が改善されたことになる。

4. 数値計算例

ここでは、車載機を搭載しているドライバーの割合である情報利用者存在比率と、情報依存度、渋滞緩和効果など、情報提供によるドライバーの一般的な行動特性をシミュレーションによって検討する。なお経路情報は3-3の提供1の方式に従うものとする。

3-1 モデルネットワークの設定

モデルネットワークは1 OD 2 経路とする。各経路の自由走行時の所要時間は経路1が25分、経路2が30分である。各経路の交通容量は、経路1が90台、経路2が100台とする。このモデルネットワークの特徴は、経路1は経路2に比べて所要時間が短く、交通容量は経路2の法が経路1よりも大きく設定してある。

3-2 モデルケースの設定

情報存在比率、見積所要時間の標準偏差、提供情報の標準偏差の各パラメーターを次のように設定する。情報存在比率は0.0から0.25まで0.05刻みで変化させる。ドライバーの見積もる所要時間の標準偏差が大きいと、ばらつきが大きく不確実であるため、予測精度が低いことになる。また提供される所要時間情報の場合も、標準偏差と不確実性の大きさは比

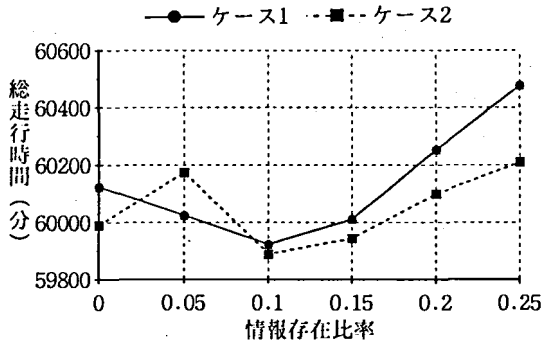


図4 情報利用者存在比率と総所要時間

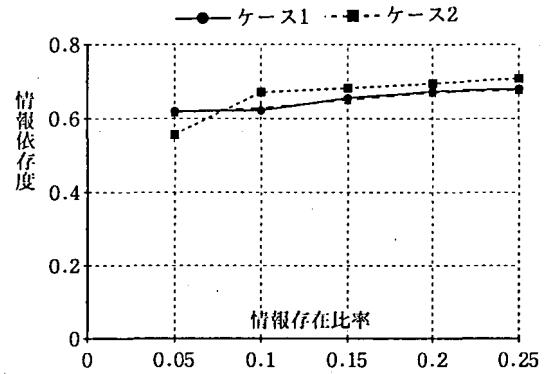


図6 情報利用者存在比率と情報依存度

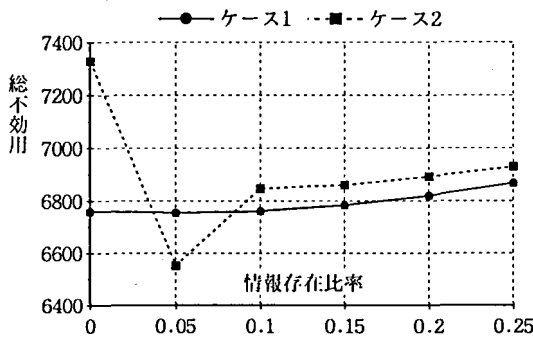


図5 情報利用者存在比率と総不効用

例関係にある。そこで事前情報精度としてそれぞれの所要時間の標準偏差を以下のように設定する。

ケース1：経験と提供情報の精度は同じであるとして、同一の標準偏差を与える。

ケース2：経験情報の方が精度が低くとし、見積所要時間の標準偏差を大きめに与える。

シミュレーションでは、事前情報の値を具体的に与えなければならないため、それぞれの情報の平均値と、ここで設定した標準偏差をもとに正規乱数を発生させて与えている。

3-3 数値実験結果と考察

(1) 情報利用者存在比率と総所要時間の関係

結果を図4に示す。情報が提供されることによって情報利用者が所要時間の短い経路に分散するため、総所要時間が小さくなることわかる。しかし、存在比率が大きくなると、所要時間が短いとされる経路に集中するトリップ数が多くなり渋滞が大きくなることがわかる。

ケース2はケース1と比較すると見積所要時間のばらつきが大きく、ドライバーはより大きい安全余裕時間をみて出発時刻と経路選択を行うため、交通需要のピークはなだらかになると考えられる。したがって総所要時間も他のケースよりも小さい。

なおケース2における存在比率が0.05のときの総不効用の値は、出発時刻分布が収束しなかったためここでは無視することにする。

(2) 情報利用者存在比率と総不効用の関係

結果を図5に示す。ケース1は存在比率がゼロのとき、総不効用が最小となっている。これはどのドライバーが出発時刻と経路の選択枝を変えても不効用はこれ以上小さくならない利用者均衡状態が実現している。しかし情報が提供され、ドライバーが選択枝を変えることによって利用者均衡状態がくずれてフロー全体の総不効用は大きくなることわかる。

ケース2では、情報利用者存在比率がゼロのとき総不効用は大きい。これは、見積所要時間の分散が大きいために安全余裕時間を大きめに取ることによって損失が増加したためで、これに情報を提供すると不効用は大きく改善されている。この現象は、経験情報の精度が低く、所要時間の不確実性が大きいために、ドライバーが提供情報を信頼して不効用の小さい選択行動を行ったためと考えられる。経験情報の予測精度が低い場合には情報を提供した方がよいことがわかる。

(3) 情報利用者存在比率と情報依存度との関係

結果は図6に示す。情報存在比率が大きくなると総所要時間すなわち混雑が大きくなる。すなわち所要時間の散らばりは大きくなる。これより、見積所要時間と実所要時間との差も大きく、予測精度が低くなるので、情報への依存度は高くなる。

ケース2は、ケース1と比較すると経験情報の精度が低いために情報依存度は高くなっている。ドライバーが低い経験よりも高い情報を信頼し情報に依存したためであり、経験情報の分散が大きくなるほど情報への依存度は高くなる。

4. 結 論

本研究では、動的経路誘導効果を計測するための、

情報提供評価システムの構築を行った。また簡単な例題を設定し、情報提供の効果特性について検討した。その結果、つぎのことが分かった。

- (1) 情報利用者の存在比率が大きくなると、渋滞も大きくなる。
- (2) ある程度の予測精度を持った経験情報であれば、ドライバーはそれに従った方が通勤不効用は小さい。
- (3) 予測精度の低い経験情報しか持たないドライバーには情報を提供した方がよい。
- (4) 大きな渋滞が生じて所要時間のばらつきが大きくなると、提供情報への依存度が高くなる。

参考文献

- 1) 飯田恭敬：私の考える21世紀のクルマ社会，交通工学，Vol.30 No.1 1995年1月
- 2) 越 正毅：交通運輸システムのインテリジェント化 ITSの概観，交通工学，Vol.30 No.6 1995年
- 3) 角本，福井：交通運輸システムのインテリジェント化 インテリジェント化のコアテクノロジー，交通工学，Vol.31 No.4 1996年
- 4) 飯田，宇野，松井：動的シミュレーションによる交通情報提供の影響分析，土木計画学 No.16(1) pp.13-20 1993
- 5) 森津，松田，市原：経路誘導における交通情報提供の問題点，土木計画学 No.16(1) pp.1-6 1993
- 6) 飯田，宇野，長谷川：情報提供効果の分析のための経路選択シミュレーション，土木計画学 No.15(1) pp.67-74 1992
- 7) 森津，松田，高野：交通状況と経路誘導効果に関する研究，土木計画学 No.15(1) pp.55-60 1992
- 8) 飯田，宇野，長谷川：情報提供効果の分析のための経路選択シミュレーション，土木計画学 No.15(1) pp.61-66 1992
- 9) 森津，大原，多田：経路誘導による交通ネットワークフローの変化に関する分析，土木計画学論文集 No.9 pp.37-44 1991
- 10) 谷口，羽藤，杉恵：経路選択における道路交通情報の有効性，土木計画学研究 No.16(1) pp.89-94 1993
- 11) 高羽：交通運輸システムのインテリジェント化わが国におけるインテリジェント化の経緯と動向，交通工学，Vol.31 No.3 1996年