

動的シミュレーションによる 交通情報提供の影響分析

Dynamic Simulation Model to Analyze Effect of Providing Traffic Information

飯田恭敬*, 宇野伸宏**, 松井恵太***

by Yasunori IIDA, Nobuhiro UNO, and Keita MATSUI

In recent years, since area's traffic congestion tends to be more serious, providing motorists with traffic information becomes to be taken notice of, as one of the strategies to cope with this problem. This strategy attempts to affect driver's route choice and to facilitate the efficient use of road network in order to reduce traffic congestion.

This study tries to construct the dynamic simulation model that can predict the route choice behavior and traffic flow, under the operation of providing dynamic traffic information. This model consists of three submodels: dynamic traffic model, route choice model, and providing information model. Through this model, online and real time information provided is tried to analyze.

In this study, so as to testify the performance of this model, some cases of numerical experiments are conducted. This is useful for examining the effect of providing information according to the quality of information and/or the number of drivers with dynamic information.

1. はじめに

近年の自動車交通への依存度の増大により、特に都心部における交通渋滞は非常に深刻化している。この問題に対する解決策の1つとして、ドライバーに対する交通情報の提供が考えられる。これは時々刻々と変動する道路網上の交通状態に関する情報をドライバーに提供することによって経路選択に影響を及ぼし、道路の構造的なボトルネックや事故などの突発事象によるボトルネックの存在する経路の利用を回避させ、既存道路網を効率的に利用しようとするものである。このため、情報提供下のドライバ

一の行動面に関する研究、並びにその成果を取り込んだネットワークレベルでの情報提供の影響評価を継続的に行う必要がある。

ところで、動的な交通情報の提供が道路網上の交通状態に及ぼす影響については、正負両面のインパクトの存在の可能性が考えられ、確たるものとはなっていない。今後実施されるであろう動的な交通情報提供システムに関するフィールドテストの結果も併せて用い、正負各々の影響が生じる場合の条件整理を行う必要がある。

情報提供の効果分析を試みている代表的な研究として以下の研究が挙げられる。森津等は、誘導率や情報の更新周期というパラメータを導入したネットワーク規模でのシミュレーションを行い、経路誘導の効果について考察している。^{1) 2)} 誘導率が高くなると誘導車両の有利性が薄れていき、また経路誘導情報の伝達遅れの影響や情報の更新周期の影響が顕

キーワード：情報提供、シミュレーション、経路選択

* 正会員 工博 京都大学教授 工学部交通土木工学教室 (〒606-01 京都市左京区吉田本町)

** 正会員 工修 京都大学教授 工学部交通土木工学教室 (〒606-01 京都市左京区吉田本町)

*** 学生会員 京都大学大学院工学研究科 応用システム科学専攻 (〒606-01 京都市左京区吉田本町)

著になるとの結果、そして、格子状ネットワークで代替経路が複数ある起終点については経路誘導の効果が期待できるとの結果を得ている。

小林等は、ドライバーの学習行動を明示的に考慮し、経路情報の提供が、経路選択と期待形成に及ぼす影響を合理的期待形成仮説に基づきモデル化している。³⁾ 公共主体が経路誘導情報を提供した場合、その情報の条件付き確率分布であるドライバーの条件付き期待を対象として、経路誘導情報の中立性命題の成立の可否という視点で情報提供の効果を分析している。通過交通のみが情報を有する場合、経路情報の中立性命題は成立せず、経路誘導効果があるとの計算例を示している。

本研究では、VICS等の路車間通信を介したリアルタイムな情報提供が、経路選択や交通流に与える影響を分析できるシミュレーションモデルをドライバーの意志決定機構を明示した形で構築することである。そして、情報利用層の存在割合、「情報の質」を変化させたシミュレーションを行い、構築したモデルの挙動を確認する。

本研究の構成は次の通りである。2章ではシミュレーションモデルの概要を示す。3章ではシミュレーションモデルのサブモデルである動的交通流モデル、経路選択モデル、情報提供モデルの各々についての説明を行う。4章ではいくつかのモデルの適用計算例を示しモデルの挙動を確認する。最後にその成果と今後の課題をまとめる。

2. 動的シミュレーションモデルの概要

(1) 前提条件

分析対象は都市域において代表的と考えられる通勤及び業務目的の交通とする。ドライバーの交通行動は目的地選択、経路選択、出発時刻選択に関する意志決定を行い、その結果として現れる行動と考えることができる。本研究では走行途中でのリアルタイムな情報提供策を対象とする。そのため、目的地、出発時刻は外生的に与え、経路選択のみを対象とする。また経路選択に及ぼす要因として、旅行時間、旅行時間の確実性、費用、安全性等があり、実際にはそれらを総合的に判断して経路選択すると考えられるが、対象トリップが主として通勤・業務目的の交通であることと、旅行時間以外の要因の評価のメ

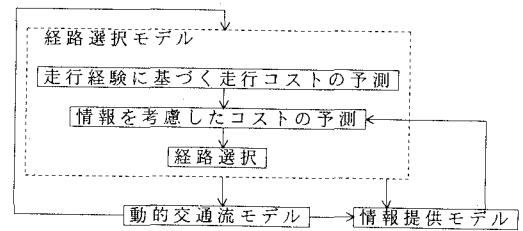


図-1 モデルの全体構造

カニズムが十分に解明されていないことから、旅行時間のみを意志決定要因とする。ここで、ドライバーは、各自の走行経験と交通情報に基づき、代替利用可能な経路のコスト（旅行時間）を予測し、予測値が最小となる経路を選択すると仮定する。

本研究では各ドライバーの経路選択の選好、並びに利用可能情報量の差異を表すために、ドライバーを3つのグループに分類する。常に同一の経路を選択する固定層、過去の各経路における走行経験に基づいて経路選択する経験利用層、過去の経験と外部からの交通情報に基づいて経路選択する情報利用層である。ここで、経験利用層と情報利用層を合わせて経路選択層と定義することもできる。

(2) モデルの基本構造

本モデルは動的交通流モデル、経路選択モデル、情報提供モデルの3つのサブモデルから構成されている（図-1 参照）。各サブモデル間の相互関係を考慮にいれ、各ドライバーの経路選択及び道路網上の交通状態を記述できるモデルとする。各サブモデルの詳細は次章にて述べる。

3. 各サブモデルの構造

(1) 動的交通流モデル

本研究では、動的交通流モデルとしてブロック密度法を採用する。⁴⁾ ブロック密度法ではリンクを物理的な長さや容量を持つ複数のブロックに分割し、以下の3つの基本関係式を用いてブロック内の密度の変化を記述することでフローの動態を示す。

① フローの保存則

$$k_j(t+dt)dL_j = k_j(t)dL_j + q_{j+1}(t)dt - q_j(t)dt \quad (1)$$

② 交通流の基本式

$$Q_j(t) = k_j(t) \cdot v_j(t) \quad (2)$$

③交通密度と平均速度の関係 (k-v式)

$$v_j(t) = f(k) \quad (3)$$

ただし、

$q_j(t)$:時刻tにおけるブロックjからの流出可能量

$Q_j(t)$:時刻tにおけるブロックjからの流出需要量

$k_j(t)$:時刻tにおけるブロックjの交通密度

$v_j(t)$:時刻tにおけるブロックjの平均速度

dL_j :jのブロック長

ここでブロック密度法概念図を図-2に示す。また、k-v式((3)式)については、本研究では(4)式に示す関係式を用いる。(図-3参照)

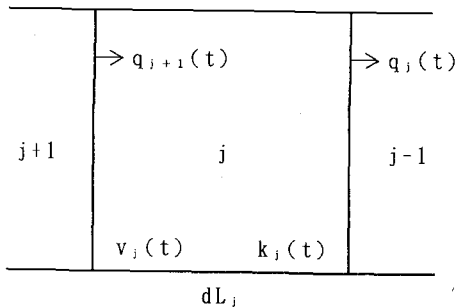
$k_j(t) \leq k_c$ のとき

$$v_j(t) = v_f$$

$k_j(t) > k_c$ のとき (4)

$$v_j(t) = \frac{k_{jam} - k_j(t)}{k_{jam} - k_c} v_f * DEC V$$

[時刻t]



[時刻t+1]

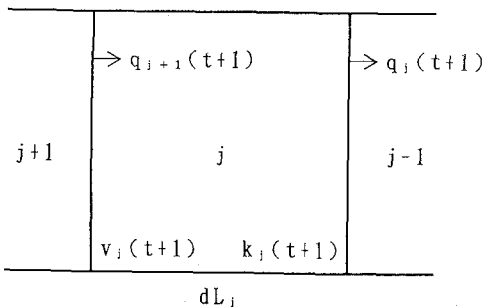


図-2 ブロック密度法概念図

ただし、

k_c :臨界密度、 k_{jam} :飽和密度、 v_f :自由走行速度
DEC V:渋滞領域における平均速度の自由走行速度に

対する減衰率

またブロックjの下流側のブロックj-1の交通状態が渋滞領域にあれば上流側のブロックからの流出需要量 $Q_j(t)$ が全てブロックj-1へと流出できるとは限らない。ここでは流出係数 $c_{j, j-1}$ という係数を導入してk-c曲線を用いてこの関係をモデル化する。本研究ではk-c曲線を(3-5)式のように与える。(図-4参照)

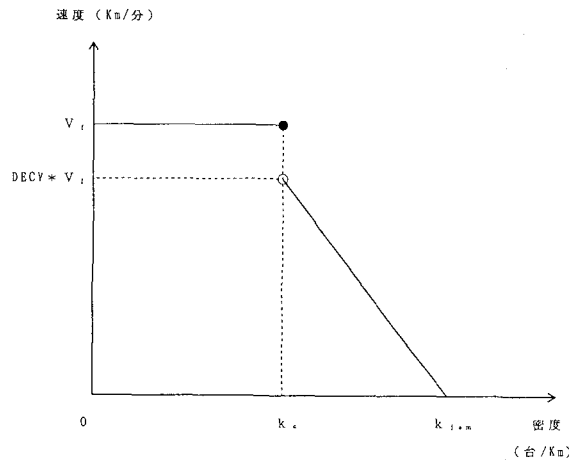


図-3 交通密度と平均速度の関係 (K-V曲線)

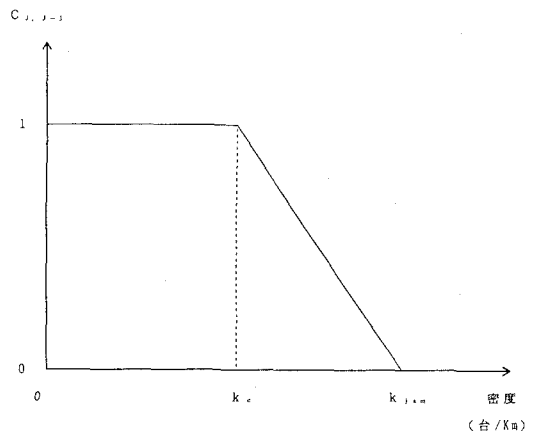


図-4 下流側ブロックの交通密度と流出係数の関係 (K-C曲線)

$k_{j-1}(t) \leq k_c$ のとき

$$c_{j, j-1} = 1$$

$k_{j-1}(t) > k_c$ のとき

(5)

$$c_{j, j-1} = \frac{k_{jam} - k_{j-1}(t)}{k_{jam} - k_c}$$

そして、流出可能量 $q_j(t)$ を流出需要量 $Q_j(t)$ と流出係数 $c_{j, j-1}$ の積として与える。

$$q_j(t) = Q_j(t) * c_{j, j-1} \quad (6)$$

時刻 t における全てのブロックに関する交通密度 $k_j(t)$ が既知であるならば、(4)式、(5)式を各ブロックに順次適用することによって、時刻 $t \sim t+1$ の間の各ブロックの流出需要量に対する流出可能量 $q_j(t)$ が算出される。求められた流出可能量を(1)式の保存則に代入することによって各ブロックの時刻 $t+1$ における交通密度 $k_j(t+1)$ を求めることができる。なお本研究においては、単位時間 dt を1分、ブロック長 dL_j を1kmとした。以上の計算を各経路、下流側ブロックから上流側へと繰り返して行うことにより各経路上の交通状態の時々刻々の変動を記述する。

(2) 経路選択モデル

2章で述べたように経路選択に対する対応別にドライバーを分類したが、各グループの存在比率をパラメータBASE、PERIOを用いて規定する。BASE($0 \leq \text{BASE} \leq 1$)とは全ドライバーにおける固定層の比率であり、PERIO($0 \leq \text{PERIO} \leq 1$)とは経路選択層における情報利用層の比率である。

ドライバーが、自身の走行経験に基づき各経路の旅行時間を予測するメカニズムをモデル化する。ドライバーは走行経験として選択経路の旅行時間を蓄積し、これに基づいて各経路の旅行時間を予測すると仮定する。従って、経路選択層は過去 n 日分(本研究では $n = 5$)の各経路の知覚旅行時間を走行経験として持つと仮定する。またドライバーの知覚旅行時間は実旅行時間を平均に持つ正規分布に従うと仮定する。経路選択層は走行経験に基づき第 k 日目の予測をするとき、 $k-1$ 日目の選択経路の予測旅行時間は $k-1$ 日目の知覚旅行時間によって更新される。それは $k-1$ 日目に選択された経路と同一経路において知覚旅行時間の加重平均を取る方法で行われる。ここで記憶の薄れを考慮し、より新しい経験ほど意志決定に大きな影響を与えると考え、過去に遡るほど小さな値を取るウェイトを導入する。ま

た $k-1$ 日目の非選択経路の予測旅行時間は $k-1$ 日目の予測値をそのまま k 日目の予測旅行時間とする。定式化すると以下ようになる。

《 $\delta_{i1} = 1$ のとき》

$$\hat{t}_{i, k} = \sum_{L=1}^5 \delta_{iL} W_L \tilde{t}_{i, k-L} / \sum_{L=1}^5 \delta_{iL} W_L \quad (7)$$

《 $\delta_{i1} = 0$ のとき》

$$\hat{t}_{i, k} = \hat{t}_{i, k-1} \quad (8)$$

δ_{iL} : L 日前($L=1, 2, 3, 4, 5$)に経路 i を選択して
いれば1、そうでなければ0

W_L : L 日目のウェイト

$\hat{t}_{i, k}$: 経路 i 、 k 日目の予測旅行時間

$\tilde{t}_{i, k-L}$: L 日目の知覚旅行時間

また情報利用層の経路選択の判断材料である各経路に関する最終的な予測旅行時間(修正予測旅行時間)については、情報に対する依存度を表す外挿的なパラメータPERCON($0 \leq \text{PERCON} \leq 1$)を導入し、経験に基づく予測旅行時間と外部から提供される情報の線形和として算出する。⁵⁾

$$\hat{t} = (\text{PERCON}) * \hat{t} + (1 - \text{PERCON}) * t_{inf} \quad (9)$$

$\hat{t}$: 修正予測旅行時間

$\hat{t}$: 過去の経験に基づく予測旅行時間

t_{inf} : 旅行時間情報

(3) 情報提供モデル

一般的にドライバーは経路選択に際し、自己が被るコスト(旅行時間)の実現値がわからないまま意志決定しなければならないため、選択可能な各経路の交通状態についての情報を積極的に入手しようとする。また利用者側から見た場合、価値のある情報とは過去や現在の交通情報ではなく、ある経路を仮に選択したときに、遭遇すると予測された交通状態に関するものである。ここで「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との差が小さいような情報と定義する。本研究では2種類の情報提供モデルを構築し、情報の質の違いが道路網状の交通状態に及ぼす影響について比較検討する。

a) 情報提供モデル 1

時刻 t に出発するドライバーに対して、時刻 $t-1$ に

おける各ブロックの平均速度とブロック長の関係から得られる各ブロックの平均旅行時間を全ブロックについて単純にたし合わせて、それをその経路の交通状態を代表する指標として提供する。以上の考え方を定式化すると以下になる。

$$t_{inf}(t) = \sum_{j=1}^N dL_j / V_j(t-1) \quad (10)$$

$t_{inf}(t)$: 時刻 t における旅行時間情報

N : ブロック数

この旅行時間情報は、予測情報ではなく現在の交通状態の記述であるため、時間の経過とともにドライバーが経路上を進むにつれて劣化すると考えられる。

b) 情報提供モデルⅡ

時刻 t に出発するドライバーに対して、3分前の時刻 $t-3$ に出発したドライバーの実旅行時間を情報として与える。この方法では、ブロック密度法の考え方に基づき時刻 $t-3$ に出発したドライバーの仮の実旅行時間をシミュレートし予測するため、情報提供モデルⅠの様にドライバーが経路上を進むにつれて情報の質が大きく悪化する可能性が少ない。

以上の2つの情報提供モデルにおいて、情報の更新周期は1分である。

4. モデルの適用計算例

(1) 計算条件の設定

構築したモデルの挙動を確認するため数値計算をいくつか行う。モデルの挙動を明確にするため、対象道路網は代替利用可能な経路が存在する最小単位である1OD2ルートとし、経路長を30kmとする。自由走行時(60km/h)の旅行時間は両経路ともに30分とする。長さ1kmの均質なブロックから構成されると考え、両経路ともブロック数を30個とする。また各ブロックの臨界密度、飽和密度を各々100台/km、300台/kmとし、最下流のブロック70台/km、210台/kmとする。これは渋滞が下流側から上流側への遡上を表現するためである。

各ドライバーの出発時刻は外生的に与えられるとする。発生交通量の時間的変化を図-5に示す。この発生交通量を固定層の割合を表すパラメータBASEによって固定層と経路選択層に分ける(ここで固定層は各経路に1:1に配分されると仮定する)。さらに

発生交通量(台/分)

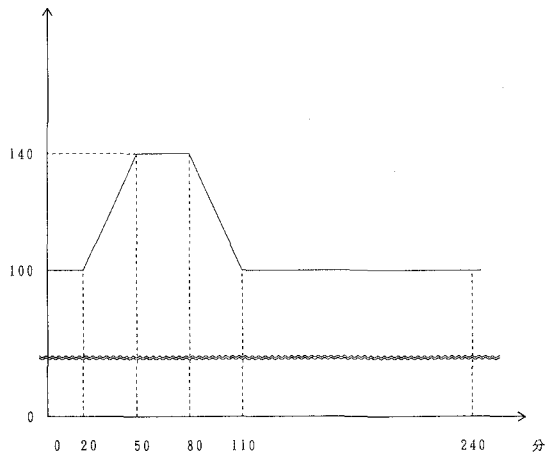


図-5 発生交通量パターン

情報利用層の割合を表すパラメータPERIOによって経験利用層と情報利用層に経路選択層に分ける。

本研究では、ドライバーの経路選択を説明する主要な要因として走行経験を導入している。したがって繰り返しのシミュレーションが必要であり本研究では30日分のシミュレーションを行う。また経路選択モデルで用いられる過去の走行経験に対するウェイトを以下のように定める。

$$W_L = (6-L)^2$$

W_L : L 日目の走行経験に対するウェイト

(2) 情報の価値に関する検討

情報の質については、実旅行時間と旅行時間情報の差が小さいほど質の高い情報と言うことができる。しかし、どちらの経路が相対的に旅行時間が短いということが、情報によつて的確に示され、それが実旅行時間の相対的な関係と整合していれば、実旅行時間と旅行時間情報の差が存在しても、それは情報利用層にとっては、利用価値のある情報と考えることも可能である。ここでは情報の利用価値について検討する。情報利用層が比較的多く、また情報依存度が高いケースすなわちPERIO=0.6, PERCON=0.8の場合を想定して、各経路の実旅行時間の差と旅行時間情報の差を出発時刻ごとに追ったグラフを図-6、図-7に示す。

情報提供モデルⅠでは、タイムラグが大きいため、実旅行時間と旅行時間情報に大きなギャップが生じ、

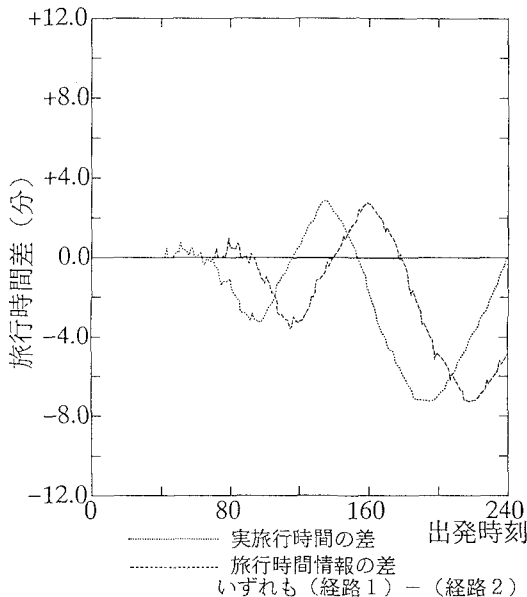


図-6 情報提供モデルⅠに関する各経路の実旅行時間の差と旅行時間情報の差 (PERIO=0.6, PERCON=0.8)

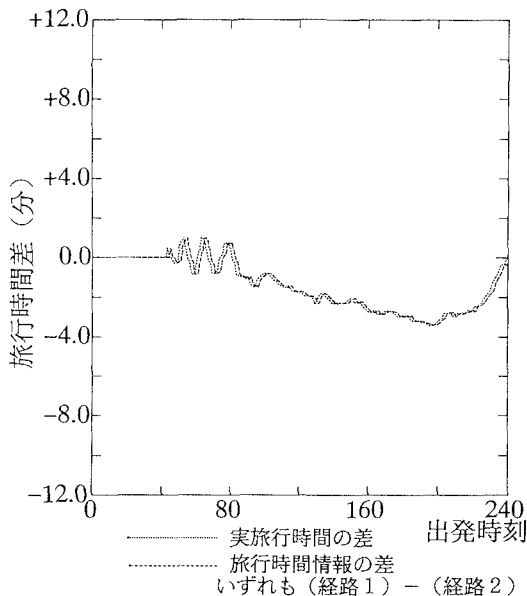


図-7 情報提供モデルⅡに関する各経路の実旅行時間の差と旅行時間情報の差 (PERIO=0.6, PERCON=0.8)

各経路の実旅行時間の差は、ある周期を持って振動する。そのため、実旅行時間の大小関係と旅行時間情報のそれとが逆転してしまう時間帯が、かなりの

割合を占めていると考えられる。この場合、情報利用の価値は小さいと考えられ、ドライバーが繰り返し情報を受容した場合、その情報は信頼性の低いものと考えられ、結果的に情報利用層の情報依存度は低下すると推測される。

情報提供モデルⅡでは、実旅行時間と情報は、3分の位相のズレを持った波形を描いている。タイムラグの小さい情報であるため、実旅行時間の差と旅行時間情報の差の逆転現象の起きている時間帯は非常に少なく、利用価値の高い情報であるということが言える。

(3) 情報利用層の割合が交通流に及ぼす影響

ここでは、経路選択層に対する情報利用層の割合すなわちPERIOの変化が各層の平均旅行時間に及ぼす影響を分析し、情報提供の効用をその帰属主体を明示して評価できるかどうか検討する。全ドライバーに対する固定層の割合を表すパラメータBASEについては0.6に固定し、また情報利用層の情報に対する依存度を表すパラメータPERCONが0.4、0.8のケースについて計算する。

まず情報提供モデルⅠ、Ⅱのそれぞれを用いて、PERCON=0.8、すなわち情報依存度が高い状態で計算を行った結果が図-8、図-9である。いずれの場合も、PERIOが増加するとともに、システム全体としては旅行時間の若干の短縮効果が見られる。情報利用層に関しては、PERIO=0.1~0.4までの間は、旅行時間が他層のドライバーより小さく、その差は情報利用層の増加とともに減少する。しかし、PERIO=

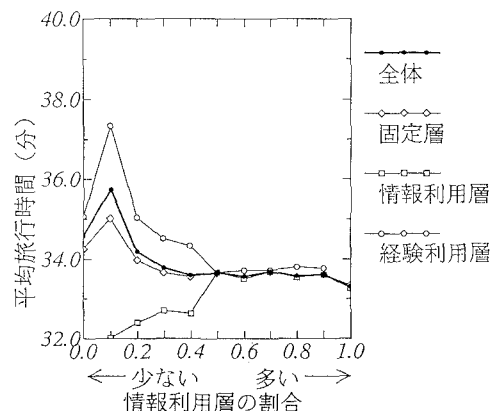


図-8 PERIOの変化と層別平均旅行時間 (情報提供モデルⅠ, PERCON=0.8)

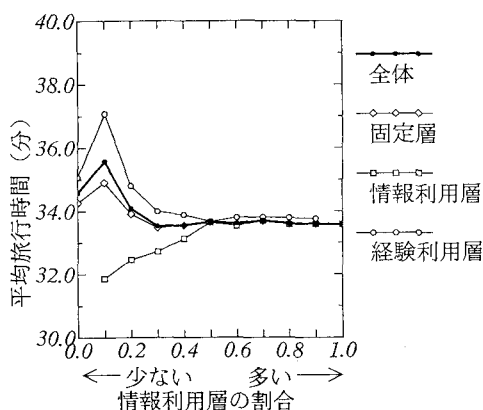


図-9 PERIOの変化と層別平均旅行時間
(情報提供モデルⅡ, PERCON=0.8)

0.5～1.0では情報利用層についての旅行時間短縮効果は見られない。これは情報利用層が増えることによって、情報の直接的な価値が薄れていることによると考えられる。

図-8、図-9は一見すると大きな差異がなく、どちらの情報提供モデルを用いても効果は変わらないように見える。しかし、情報提供モデルⅠは、非常にタイムラグの大きな旅行時間情報を提供しているため、すいているはずの経路に情報利用層が流入しない時間帯が存在し、各経路の旅行時間の大小関係は大きな振幅を持って一定の周期で入れ替わる。しかし渋滞している経路を走行したドライバーとすいている経路を走行したドライバーの実旅行時間の平均で表すと、結局各経路の旅行時間の大小関係が小さな振幅でかつ比較的短い周期で入れ替わる情報提供モデルⅡの平均旅行時間と比べても、大きな差が生じなくなってしまう、図-8のような結果が得られたのである。ただし、長期的に見た場合、情報提供モデルⅠを用いて提供された情報、すなわち質の低い情報をドライバーが繰り返し受け取ると情報依存度が徐々に低下し、すなわちPERCONの値の低下を招くと推測され、図-10のような状況を引き起こすことも考えられる。この場合、情報利用層の増加に伴うシステム全体での旅行時間の短縮効果、情報利用層の少ない場合の利用層についての旅行時間の短縮効果はほとんど見られない。従って、情報提供の方法としては、情報提供モデルⅡで代表される

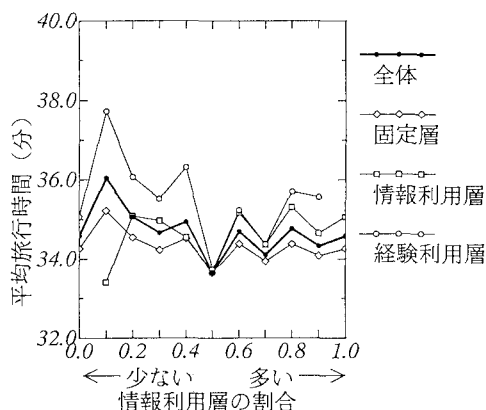


図-10 PERIOの変化と層別平均旅行時間
(情報提供モデルⅠ, PERCON=0.4)

精度の高い予測情報の方が優れていると考えられる。

(4) 突発事象発生時における情報提供の効果

情報の提供が特に有効と考えられるケースは、交通事故等の突発事象が生じたときであろう。一つの例として、ある日の時刻60分～時刻90分の30分間において1つの経路のあるブロックの臨界密度及び飽和密度を半分にして突発的にボトルネックを生じさせ、各層がどれだけの実旅行時間を被るかについての考察を行う。ここでは情報利用層が比較的多く、また情報依存度の高い状況すなわちPERIO=0.8, PERCON=0.8の場合について、各情報提供モデルを適用した計算結果を示す(図-11、図-12参照)。

情報提供モデルⅠの場合、時刻60分～時刻80分では情報利用層は他層と比較して若干有利である。しかし時刻80分～100分では逆に不利な状況になる。これは、比較的大きな時間遅れを伴う情報が提供されることから、情報利用層の割合が大きいと、ボトルネックのない経路2の方に情報利用層が集中し、経路1のボトルネックによる旅行時間増よりも、経路2の混雑の影響の方が上回るためである。また時刻100分～時刻240分では、情報利用層の実旅行時間は、周期的に振動している。これは上述のように経路2の旅行時間が経路1の旅行時間を上回ったということを、情報利用層が伝達遅れをとまって受け取ったときに、既にボトルネックの解消した経路1は経路2に比べてかなり旅行時間が短いので、その情報を受け取った直後のドライバーは、かなりの旅行時

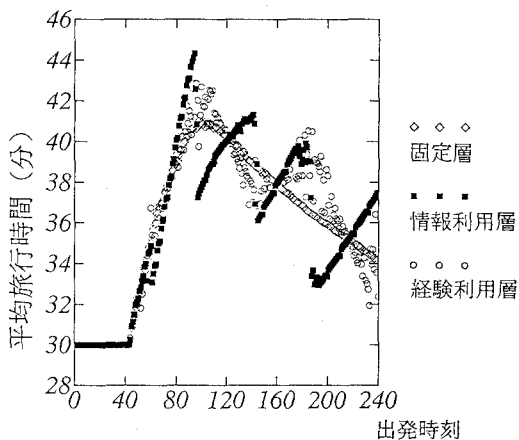


図-1 1 突発事象発生時の層別平均旅行時間
(情報提供モデルⅠ, PERIO=0.8, PERCON=0.8)

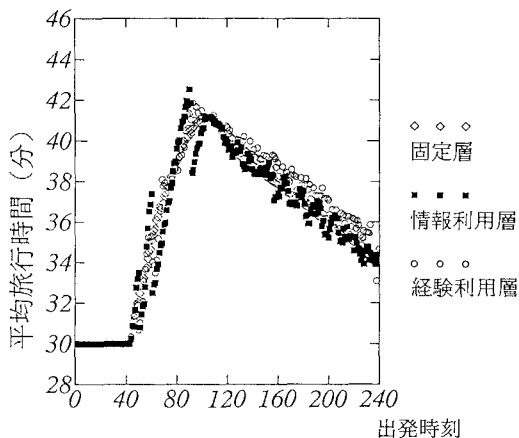


図-1 2 突発事象発生時の層別平均旅行時間
(情報提供モデルⅡ, PERIO=0.8, PERCON=0.8)

間短縮の効果を得ているためである。しかし、時間の経過に伴う情報利用層の過度の流入により経路1の旅行時間は経路2の旅行時間より再び大きくなる。この繰り返しの結果により情報利用層の旅行時間の周期的な振動現象が生じると考えられる。

一方、情報提供モデルⅡの場合、時刻100分程度までは情報提供モデルⅠとほぼ同様の現象が記述されるが、時刻100分～240分では情報利用層の旅行時間は短い周期で振動する。これは、情報のタイムラグが短いために生じる現象と考えられる。

情報を利用することによって大きな不利益を被る可能性があるのは、情報提供モデルⅠから与えられるような出発時点での交通状態を記述した情報であると考えられる。一方、多くのドライバーが情報にアクセスできる時点では、情報提供モデルⅡから与えられる様な予測の情報の方がドライバーに信頼され、情報提供効果を発揮できる可能性を持つと考えられる。ただし、この結果は、高精度な予測が可能の場合にのみ成立すると考えられる。

5. おわりに

本研究では都心部における渋滞緩和のための1つの方策として路車間通信システムを介した交通情報提供が実施されたときに旅行時間情報が道路網上のフローに与える影響について検討するため、シミュレーションモデルを構築した。そして数例の適用計算を行いその挙動について確認した。特に情報の質の差異がフローに及ぼす影響を検討するため、2種の情報提供モデルを構築し、それぞれを適用した。その結果、本研究において構築したモデルを通して、情報提供の効果を経路選択に対する対応の異なるドライバーの存在割合の差異及び情報の質を考慮して分析できる可能性が確認された。本研究の今後の課題としては、以下のものが挙げられる。

- ①対象道路網の拡大に対応するため経路選択メカニズムの簡略化を図り、リアルタイムな情報提供下でのドライバーの逐次意志決定を考慮可能なモデルとする。
- ②ドライバーの出発時刻の調整過程を考慮したモデルに改良し、より忠実にドライバーの意志決定過程をモデル化する。

【参考文献】

- 1) 森津秀夫, 大原竜也, 多田典史, 井上琢弥: 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, 土木計画学研究・論文集, No. 9, pp. 37-44, 1991
- 2) 森津秀夫, 松田洋二, 高橋宏和: 交通状態と経路誘導効果に関する研究, 土木計画学研究・講演集, No. 15, pp. 55-60, 1992
- 3) 小林潔司: 情報提供によるドライバーの経路誘導に関する研究, 土木計画学研究・講演集, No. 15(2), pp. 85-90, 1992
- 4) 松井寛: 高速道路交通流の動的記述モデル, 交通工学, Vol. 18, No. 2, pp. 17-26, 1983
- 5) Ben-Akiva, M., de Palma A., Kaysi, I.: Dynamic Network Models and Driver Information Systems, Transpn. Res. -A, Vol. 25A, No. 5, pp. 251-266, 1991