

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

Route Choice Simulation to Analyse Effect of Providing Traffic Information

飯田恭敬* 宇野伸宏** 長谷川哲郎***

by Yasunori IIDA, Nobuhiro UNO, Tetsurō HASEGAWA

In recent years, because urban area's traffic congestion tends to be more serious and electric information and communication technology is kept on improving, providing motorists traffic information is regarded as a possible strategy in order to facilitate the efficient use of road network and reduce traffic congestion. But the effect of providing information on traffic condition generally hasn't been confirmed yet. Then this study attempt to construct the dynamic route choice model that can simulate the route choice behavior and traffic flow under the operation of providing information. Especially, this model is able to consider motorists' travel experiences. Through using this model, the effect of online and real time information provided is tried to analyze.

In this study, a few cases of simulation are conducted and the validity of the performance of this model is testified. This model is useful for examining the effect of providing information according to the feature of motorists' route choice behavior.

1. はじめに

都心部での渋滞緩和の手法として交通情報の提供が注目されている。交通情報をドライバーに提供する事で経路選択に影響を及ぼし、既存道路網の効率的利用を目指すものである。すなわち、道路網の構造的な問題と交通需要とのアンバランスから生じるボトルネック及び事故等の突発事象により生じる一時的なボトルネックの存在経路に関する情報を提供し、その様な経路の利用を回避させるものである。

一方、道路交通では、ドライバーは実旅行時間が分からないまま経路選択を行い、選択結果として自

身および他者の経路選択に依存した旅行時間を負わなければならない。そのため、ドライバーは可能な限り自己の被る不効用を最小化するため、経路選択の判断材料となる情報を積極的に求めており、道路交通情報に対するニーズは非常に高い。

ただし、交通情報の提供による交通管制手法の効果に関しては、議論の余地が多く残されている。例えば、Arnott等¹⁾は道路容量に関する情報と旅行費用の関係を分析を加え、不完全な情報は、情報が無い時よりも費用の増大を招く可能性の存在を指摘している。森津等²⁾は経路誘導の効果を、誘導率や情報の更新周期を変化させたネットワークフローのシミュレーションにより検討している。その際、誘導率は最適経路を、非誘導率は最短距離経路または自由走行時の最短時間経路を走行するとの経路選択原理を仮定している。結果として、誘導率が70%を超過する状況での誘導効果の減少を指摘している。

キーワード: 交通情報、経路選択、シミュレーション

* 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 京都大学助手 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 交通土木工学専攻 (〒606-01 京都市左京区吉田本町)

路車間通信によるオンライン・リアルタイムな情報提供下の交通は、現時点ではALI-SCOUTにおけるベルリンテストやAutoguideでのロンドンテスト等の限定された実証実験の場でのみ実現されている³⁾。そのため実現現象との対応で、実証的に情報提供の効果を分析することは困難である。それ故、本研究でのアプローチは、シミュレーション手法により情報提供の効果を分析する方法を採用する。

本研究の目的は、近年その整備が盛んに唱えられている、VICS等の路車間通信によるナビゲーションシステムを念頭におき、時々刻々変化する交通状態に対応する情報提供が、経路選択や交通流に与える影響を分析できる動的経路選択モデルの構築を試みることである。特に、ドライバーの走行経験の蓄積を考慮したモデルとし、ドライバーの経路選択への対応の違いを内包したモデルとする。

本研究の構成は、次の通りである。2章では、構築するシミュレーションモデルの全体構造を示す。3章では、重要な役割を果たす経路選択、動的交通流、情報提供の各サブモデルについて詳述する。4章では、簡単な計算例を示し、モデルの挙動を確認する。最後に、成果と今後の課題をまとめる。

2. シミュレーションモデルの概要

(1) 前提条件

分析対象としては、都市域において代表的と考えられる通勤・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、出発時刻選択、経路選択に関する意志決定の結果として現れる行動と考えられる。本研究では、簡単のため各ドライバーの目的地及び出発時刻は所与とし、経路選択のみを対象としてシミュレーションモデルを構築する。

経路選択に影響を及ぼす要因には、旅行時間及びその確実性、金銭的費用、快適性や安全性等の心理的要因が含まれる。実際には各ドライバーはこれらの要因を総合的に評価し、経路を選択すると考えられる。この評価及び選択のメカニズムが、十分には解明されて点及び対象としたトリップの特性を考慮し、旅行時間のみを経路選択の要因として利用する。経路選択の際の行動原理としては、「各自の走行経験及び交通情報に基づき、代替的に利用可能な経路の旅行時間を予測し、予測値が最小となる経路を選

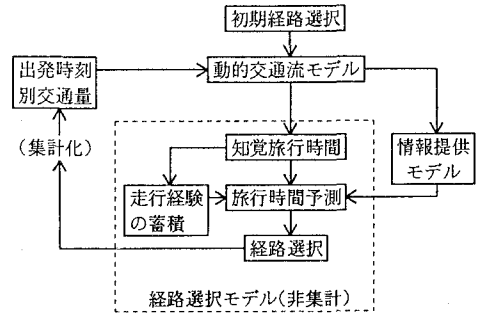


図-1 モデルの全体構造

択する」と仮定する。

(2) モデルの基本構造

図-1にシミュレーションモデルの全体構造を示す。このモデルは、経路選択モデル・動的交通流モデル・情報提供モデルの各サブモデルから構成される。各サブモデル間の相互関係を考慮にいれ、情報提供システム供用時の各ドライバーの経路選択及び、道路網上の交通現象を記述可能なモデルとし、交通管制手法として実効力をもつ情報提供法を設計するための基礎的な知見を得ることを試みる。

経路選択モデルは、個々のドライバーを明確に意識し、各個人の走行経験の蓄積及び情報提供モデルを介して提供される情報と経路選択の関係を明示的にモデル化する。また、経路の交通状態の変動は各個人の意志決定と直接的な関係を有するが、その関係を動的交通流モデルを用いて記述する。各サブモデルの詳細は3章にて述べる。

(3) モデルの動学化

本研究で構築するシミュレーションモデルは、以下の2つの観点から動的なモデルとする。

- ① 各ドライバーが、各自の走行経験の蓄積に基づき経路選択を行うと仮定する。そのため、朝の通勤交通等の様に day-to-day な変動を同一のドライバーが繰り返して経験する状況を対象とする。
- ② 時々刻々変化する交通状態に基づく、オンライン・リアルタイムな情報提供の効果の検討のための道具立てをする。ドライバーの出発時刻分布を仮定し、time-to-time な交通現象を記述できるシミュレーションを提案する。計算上は、連続量である時間を“1分”を単位時間として離散化して取り扱う。

表-1 ドライバーの経路選択に対する対応

経路選択に対する対応の差異			各層の存在比率	
固定層	経路の変更をせず常に同一経路を利用	情報非利用層	BASE	BASE
経路選択層	経験利用層 (走行経験のみに基づき経路選択)		1-BASE	$(1-BASE) \times (1-PERIO)$
	情報利用層 (走行経験及び提供情報に基づき選択)			$(1-BASE) \times PERIO$

3. サブモデルの特徴

(1) 経路選択モデル

a) 経路選択行動の分類

経路選択モデルを構築するにあたり、経路選択に対する対応の差異を表現するため、ドライバーを表-1に示す3グループに分類した。

固定層に属するドライバーは、走行結果としての各自の旅行時間とは無関係に常に同一の経路を利用する。経験利用層のドライバーは、自己の走行経験のみに基づき経路を選択する。彼らは、day-to-dayな経路上の交通状態の変動に対して敏感に反応し意志決定する。これら2層のドライバーの経路選択機構は、シミュレーション対象期間以前の走行経験の蓄積により形成されたものと仮定する。情報利用層は、自己の走行経験に加えて、路車間通信システムを介して提供される旅行時間情報を利用して、経路選択するドライバーのグループである。上記の経験利用層と情報利用層を合わせて、固定層に対する経路選択層と定義することも可能である。同様に、固定層と経験利用層を合わせて、情報利用層に対する情報非利用層と位置づけることもできる。

表-1に示した各グループの存在比率を2種類の外挿的なパラメータ BASE、PERIOを用いて規定する。BASE ($0 \leq \text{BASE} \leq 1$)は、全ドライバーに対する固定層の存在割合を決定するパラメータである。本研究では、BASE = 0.50と仮定してシミュレーションを行う。また、経路選択層に占める情報利用層の割合をパラメータ PERIO ($0 \leq \text{PERIO} \leq 1$)を用いて外生的に与える。このパラメータは路車間通信システムの普及の程度に対応するものとみなすことが可能である。

b) 前提条件

経路選択モデルの構築に際し、設定した前提条件は以下の通りである。

① 個々のドライバーの経路選択を明示的に取り扱

うため、非集計タイプのモデルとする。

② 対象となるドライバーは、情報提供システムの供用開始以前に対象道路網を多数回トリップしており、意志決定のメカニズムは安定している。

③ ドライバーは同一ODペア間で複数回トリップする。1回のトリップは、朝のある1日の通勤交通に相当する。

④ 経路選択層に属するドライバーは、旅行時間、特に、予測旅行時間を経路選択要因として重視する。

⑤ 経路選択層のうち、経験利用層は各自の(k-1)日以前の走行経験に基づきk日目の旅行時間を予測し、情報利用層は走行経験に加えてk日目の旅行時間情報に基づき旅行時間を予測する。そして、各自の予測値が最小の経路を第k日の選択経路とする。

⑥ ドライバーは外生的に与えられた出発時刻に従いトリップする。つまり、現段階では出発時刻の変更は、交通行動の選択肢として含まないと仮定する。

走行経験に基づく旅行時間予測のメカニズムとして、知覚旅行時間モデルと旅行時間予測誤差モデルの2つのケースを設定する。このメカニズムは、経験利用層及び情報利用層に適用される。この2つのメカニズムに関して、以下で各々詳しく説明する。

c) 知覚旅行時間モデル⁴⁾

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、この経験に基づき旅行時間を予測すると仮定する。ドライバーは過去1日分(本研究では1-5)の利用経路の知覚旅行時間を、走行経験として持つと仮定する。ところで、現実の交通現象の中で物理的な実旅行時間と、走行結果として各個人が知覚する旅行時間が、完全に一致するとは考えられない。むしろ、実旅行時間の周りに分布すると考える方が合理的である。本研究では、知覚旅行時間の概念を導入し、その値は実旅行時間を平均に持つ正規分布に従うと仮定する。

$$\tilde{t}_i = t_i + \varepsilon\{0, f(t_i)\} \quad (1)$$

ただし、 $\tilde{t}_i$: 経路 i の知覚旅行時間

t_i : 経路 i の実旅行時間

$\varepsilon\{0, f(t_i)\}$: 正規確率変数

経路選択層に属するドライバーが、走行経験に基づき第 k 日目の旅行時間を予測する場合、前回($k-1$ 日目)の選択経路の予測旅行時間は、新たな走行経験の蓄積に伴い更新される。その更新方法は、外生的に与えられる l 日分($l=5$)のウェイトにより、前回($k-1$ 日目)に選択された経路と同一経路について、走行経験としての知覚旅行時間の加重平均をとるものである。このウェイトは、記憶の薄れを考慮して過去に遡るほど小さな値となる。

一方、前回($k-1$ 日目)の非選択経路の予測旅行時間は、その経路に関する新たな走行経験の蓄積がないので更新されず、前回($k-1$ 日目)の予測値がそのまま今回(k 日目)の予測旅行時間として用いられる。

定式化すると以下の通りに表すことができる。

[$\delta_{il}=1$ の場合]

$$\hat{t}_{i,k} = \sum_{l=1}^5 \delta_{il} w_l \tilde{t}_{i,k-l} / \sum_{l=1}^5 \delta_{il} w_l \quad (2-1)$$

[$\delta_{il}=0$ の場合]

$$\hat{t}_{i,k} = \hat{t}_{i,k-1} \quad (2-2)$$

ただし、 δ_{il} : l 日前($l=1,2,3,4,5$)に

経路 i を選択した場合 1、さもなければ 0

w_l : l 日前のウェイト

$\hat{t}_{i,k}$: 経路 i 、 k 日目の予測旅行時間

$\tilde{t}_{i,k-l}$: l 日前の経路 i の知覚旅行時間

ところで、情報利用層の意志決定の根拠となる予測値は、情報への依存度を表す外挿的なパラメータ PERCON ($0 \leq \text{PERCON} \leq 1$)により規定される。(2-1)、(2-2)式で得られる経験に基づく予測旅行時間と、情報として提供される旅行時間を以下の式を用いて合成することで求められると考える。

$$\hat{t}^* = (1-\text{PERCON}) * \hat{t} + (\text{PERCON}) * t_{inf} \quad (3)$$

ただし、 $\hat{t}^*$: 修正予測旅行時間

$\hat{t}$: 走行経験に基づく予測旅行時間

t_{inf} : 情報提供される予測旅行時間

(3)式より、PERCON=1.0 の場合は情報利用層のド

ライバーは t_{inf} のみに基づき経路選択する。これは一種の経路誘導が行われている状態と見なすこともできる。

d) 旅行時間予測誤差モデル

この旅行時間予測のメカニズムでは、経路選択層のドライバーは、前回の予測旅行時間と知覚旅行時間を走行経験として蓄積すると仮定する。飯田等⁶⁾は経路選択行動に関する屋内実験を行い、得られたデータより旅行時間予測モデルを推定した。そして、旅行時間予測誤差(予測旅行時間と知覚旅行時間、ただし、実験では実旅行時間に一致、の差)を説明変数とするモデルの方が、実旅行時間を説明変数とするモデルよりその説明力が高いとの結果を得た。

本研究ではこの結果を参考にし、経路選択層のドライバーが今回(第 k 日)の旅行時間を予測する際、前回($k-1$ 日目)の選択経路に関しては、過去 l 日分(本研究では $l=5$)の予測誤差から求められる補正量を前回の選択経路の知覚旅行時間に加えて、今回(第 k 日)の予測旅行時間へと更新する機構を仮定する。旅行時間予測補正量は、前回($k-1$ 日目)と同一の経路を過去 l 日前までに選択したときの旅行時間予測誤差と外生的に与えられるウェイトとの積を加えた形で求められる。このウェイトは既に述べた知覚旅行時間モデルと同様に、過去に遡るほど走行経験に関する記憶の薄れを反映して小さい値となる。

また、前回($k-1$ 日目)の非選択経路の予測旅行時間は、知覚旅行時間モデルと同様に更新されず、前回の予測値をそのまま今回(第 k 日)の予測旅行時間として用いる。定式化すると以下の通りとなる。

[$\delta_{il}=1$ の場合]

$$\hat{t}_{i,k} = \tilde{t}_{i,k-1} + \sum_{l=1}^5 \delta_{il} w_l (\hat{t}_{i,k-l} - \tilde{t}_{i,k-l}) \quad (4-1)$$

[$\delta_{il}=0$ の場合]

$$\hat{t}_{i,k} = \hat{t}_{i,k-1} \quad (4-2)$$

経路選択層のうち情報利用層に属するドライバーは、知覚旅行時間モデルと同様に、(4-1)、(4-2)式で求められる経験に基づく予測旅行時間に加えて、(3)式に示される方法で、提供される情報を考慮し、最終的な予測値を求める。経路選択モデルに関して、第 k 日目の任意の時刻に出発する経路選択層のドライバーについての計算手順を参考のため図-2に示す。

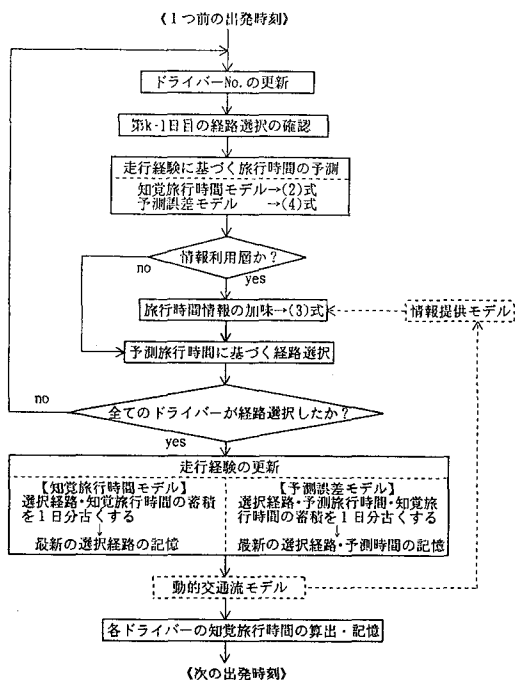


図-2 経路選択モデルの計算手順

(2) 動的交通流モデル

交通流モデルの役割は、各出発時刻の非集計レベルの経路選択を集計し、同一出発時刻、同一経路選択の複数の車両を一つの車群として取扱い、各経路上の交通状態の動的な変化を記述し、走行結果としての旅行時間を算出することである。本研究では動的交通流モデルとして、渋滞の延伸・解消の過程を比較的容易に表現できるボックスモデルを用いる⁶⁾。

以下では、ボックスモデルによる経路上の交通流のモデル化の方法について述べる。単位時間(本研究では1分間)当たりの経路容量に相当する車群を収納可能なボックスを用いて、各経路を表現する。このボックスは、自由走行領域のボックスと混雑領域を代表する待ちのボックスの2種類に大別される。各経路のゼロフロー時の旅行時間は、この自由走行領域のボックス数に一致する。

図-3にボックスモデルの基本概念を示す。図-3では連続する2時点の車両の存在状態を示すことで、経路上の車群の挙動を説明する。同一時刻に出発した車群は、図中の待ちのボックスの左端より各

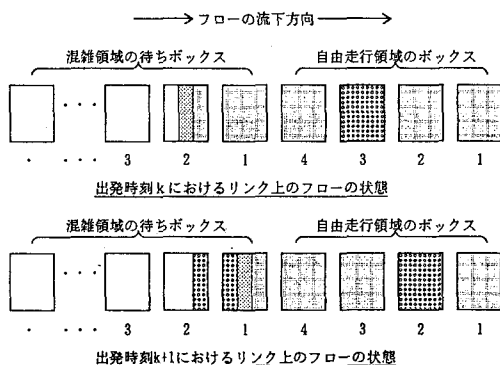


図-3 ボックスモデルの基本概念

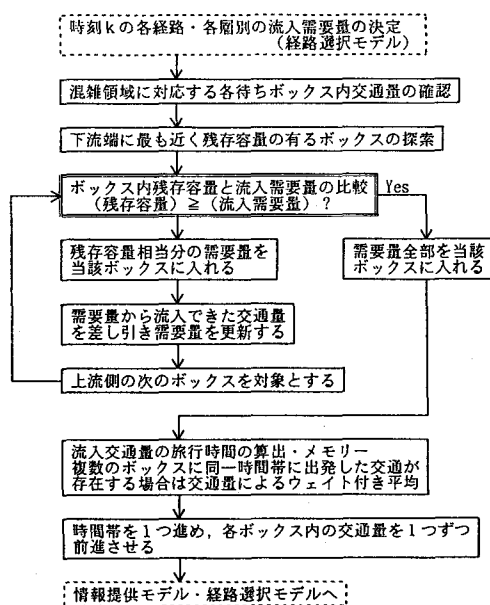


図-4 動的交通流モデルの計算手順

経路に流入し、容量に余裕があり、かつ、自由走行領域のボックスに最も近い待ちのボックスに収納される。車両の走行は、単位時間である1分ごとに、車群が待ちのボックス、自由走行領域のボックスを1つずつ移動することで表現される。そのため、流入時点で車群が存在するボックス数を数えることで、その時刻の各経路の旅行時間が求められる。参考のため、図-4に動的交通流モデルの計算手順を示す。

(3) 情報提供モデル

ドライバーが真に必要なとする情報は、過去や現在

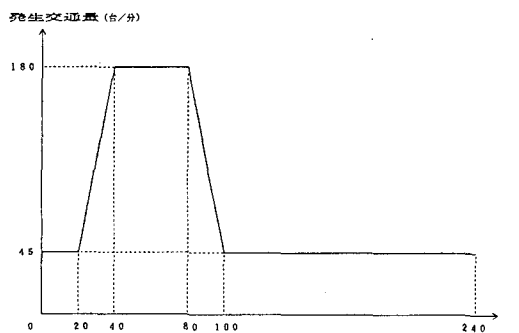


図-5 発生交通量パターン

の記述的情報ではなく、これからトリップを行った場合の確度の高い予測旅行時間であると考えられる。本研究では、予測情報の提供は困難なので、可能な限り最新の情報を情報利用層に提供する。そこで、時刻Tに出発するドライバーに対しては、時刻T-1に出発したドライバーの実旅行時間を動的交通流モデルを介して求め、情報として提供する。

4. 計算例

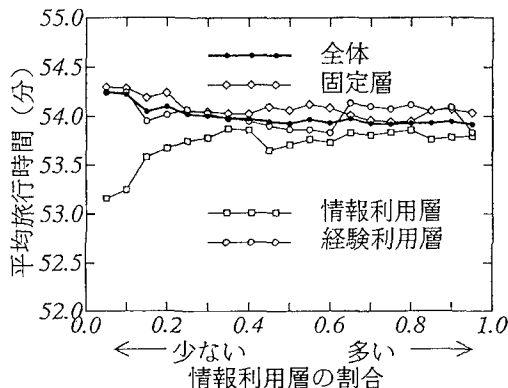
(1) 計算条件

簡単のため対象道路網は1OD2リンクとする。これは経路の選択次第では走行結果としての旅行時間が異なる状況の中で、最も単純な場合である。単位時間当たりの容量は経路1が60台/分、経路2が30台/分、ゼロフロー時の旅行時間は両経路とも31分とする。ドライバーは外生的に決められた出発時刻に基づきトリップを行い、道路網に流入する発生交通量は既知かつ日変動のない一定のパターンを持つと仮定する。この1日分の発生交通量を図-5に示す。1日分のシミュレーション時間は240分とし、この発生交通量パターンを30日分(30回)繰り返す。また、固定層に属するドライバーの経路1及び経路2への流入比率は、1:1に設定する。前述の経験に基づく予測旅行時間算出に要する、時間の経過に伴う過去の走行経験の記憶の薄れを表現するウェイトを表-2に示す通りに仮定する。

構築したモデルの挙動の確認のため、次節以降、旅行時間予測モデルとして知覚旅行時間モデル及び旅行時間予測誤差モデルを用いた計算例に、各々分析を加える。特に、経路選択層中に情報利用層が占める割合の変化が、交通状態に及ぼす影響を本モデ

表-2 走行経験の薄れを表現するウェイト

モデル\I	1	2	3	4	5
知覚旅行時間	25	16	9	4	1
旅行時間予測誤差	0.50	0.25	0.125	0.0625	0.03125



知覚旅行時間モデル (PERIO変化)

図-6 PERIOの差異の交通状態への影響

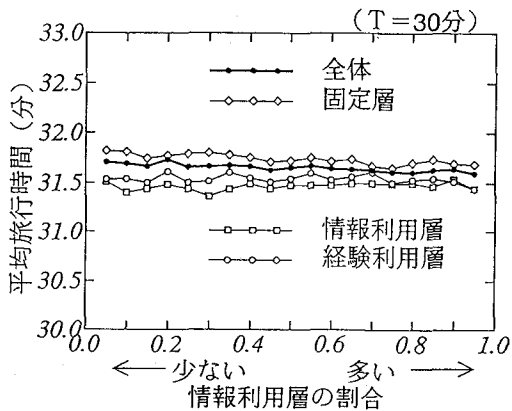
ルを通して分析可能か否か検討するため、パラメータ PERIO を変化させた計算例を示す。また、情報利用層に属するドライバーの提供情報への依存度を記述するパラメータ PERCON を変化させて計算した例もあわせて示す。この時PERIO=0.50として計算する。

(2) 知覚旅行時間モデルによる計算例

a) 情報利用層の存在割合の影響

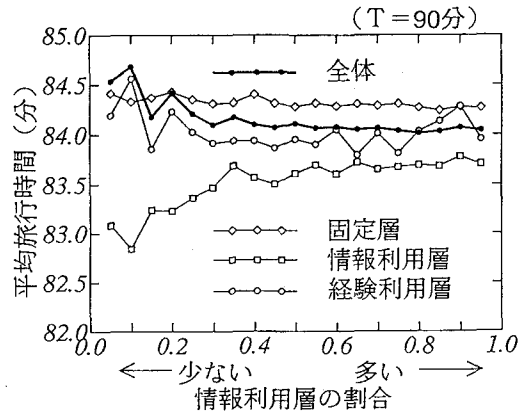
旅行時間予測モデルとして知覚旅行時間モデルを用い、PERIO を5%から95%まで5%刻みで変化させた計算例を図-6に示す。PERIO の変化は、路車間通信システムを介した交通情報提供の普及程度を代表するとも考えられる。横軸には情報利用層の割合を、縦軸には全シミュレーション期間(30日分)、全出発時刻(240分)に関して平均化した実旅行時間を示す。

情報利用層が少ない場合ほど、その層に属するドライバーの旅行時間は、他の層より相対的に小さい。この結果は、情報を少数のドライバーが独占的に利用することで直接的な便益を情報利用層が受ける可能性を示唆している。また、情報利用層の存在割合の増加とともに、情報利用層に帰属する直接的便益は減少の傾向にあるが、ドライバー全体としての旅行時間は減少の傾向にある。これは、情報利用層の増加に伴う情報の価値の相対的な低下により、情報



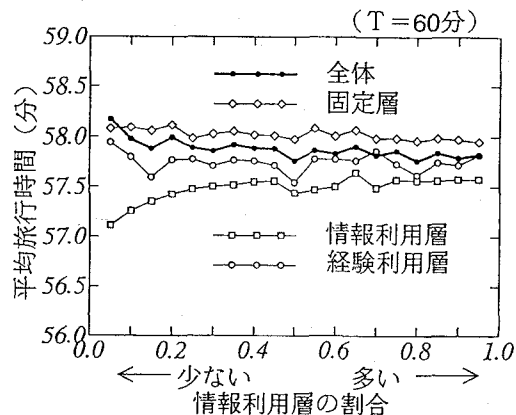
知覚旅行時間モデル (PERIO変化)

図-7(a) PERIOの差異の交通状態への影響(T=30)



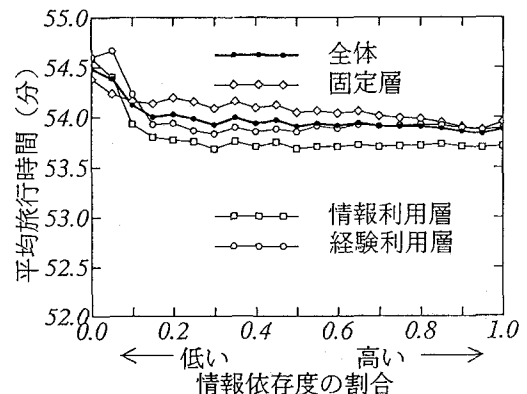
知覚旅行時間モデル (PERIO変化)

図-7(c) PERIOの差異の交通状態への影響(T=90)



知覚旅行時間モデル (PERIO変化)

図-7(b) PERIOの差異の交通状態への影響(T=60)



知覚旅行時間モデル (PERCON変化)

図-8 情報依存度が交通状態へ及ぼす影響

利用層が享受していた直接的便益が他の層に分配されたためと推察される。

発生交通量の(図-5参照)と対応づけたモデルの挙動の検討を行う目的で、時刻T=30分、T=60分、T=90分に出発したドライバーの実旅行時間を図-7(a)、(b)、(c)に示した。T=30分は、発生交通量が上昇している途中を代表し、T=60分の時点は発生交通量が最大の状態にある。T=90分は発生交通量は減少中であるが、経路の交通状態は渋滞のピークである。3つの時刻の結果を比較すると、発生交通量の増加に伴い、実旅行時間は増加を続けるが、各層間の旅行時間の差も増加する。どのような交通状態においても、情報利用層の旅行時間が最小である。情報利用層に属するドライバーが少ないほど、そして交通状態が悪いほど、情報の直接的効果は増

大する傾向を示している。

b) 情報依存度が交通流に及ぼす影響

情報依存度 PERCON は、ドライバーの交通情報提供に対する評価の現れと考えられる。提供情報が確度の高いものであるほど、情報依存度は結果的に高まると考えられる。そこで、情報の質の良否に間接的に対応したこのパラメータを、0%から100%まで変化させたシミュレーションを行う。図-8は横軸に情報依存度を、縦軸には全シミュレーション期間、全出発時刻に関して平均化した実旅行時間を示す。

情報依存度が上昇とともに、ドライバー全体の旅行時間は減少する傾向にある。また、情報依存度が10%以上では情報利用層の旅行時間が常に他の層より小さく、情報を考慮した意志決定の優位性が量的には僅かであるが見受けられる。

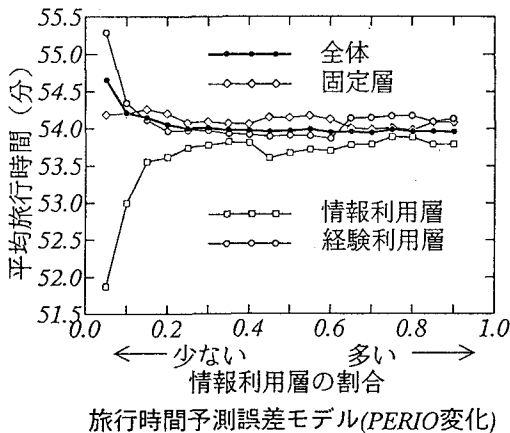
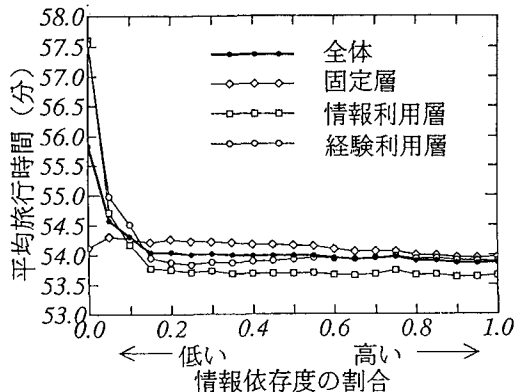


図-9 PERIOの差異の交通状態への影響



旅行時間予測誤差モデル(PERCON変化)

図-10 情報依存度が交通状態へ及ぼす影響

(3) 旅行時間予測誤差モデルによる計算例

a) 情報利用層の存在割合の影響

旅行時間予測機構として、旅行時間予測誤差モデルを用い、PERIOを前述の知覚旅行時間モデルと同様に变化させた結果を図-9に示す。モデルの挙動は、前節で示した知覚旅行時間モデルを用いた計算ケースとほぼ同じである。各ドライバーの実旅行時間は、そのドライバーの経路選択への対応ごとに異なっている。情報利用層が少ない場合に、その層の受ける直接的な便益が、知覚旅行時間モデルを利用した場合より大きく、その一方で、経験利用層の実旅行時間が非常に大きくなっている。これは、今回仮定した経験利用層の旅行時間予測機構の予測精度が、あまり高くないことに起因すると考えられる。設定したウェイトの更なる検討が必要と思われる。

b) 情報依存度が交通流に及ぼす影響

旅行時間予測誤差モデルを利用し、PERCONをパラメトリックに変化させた場合の計算例を図-10に示す。情報依存度が非常に低い場合(PERCON<1.0)の経路選択層の旅行時間が非常に大きいことを除けば、知覚旅行時間モデルを旅行時間予測モデルとして利用した計算ケースで得られた結果と酷似している。

5. おわりに

本研究では路車間通信システムを介したオンライン・リアルタイムな交通情報提供が、交通状態に及ぼす影響を検討するためのモデルを構築し、数少ないケースではあるがシミュレーションを行い、その挙動について確認した。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、その便益を享受する主体を明確にした形で分析できる可能性が確認された。特に、情報へのアクセス可能なドライバーの割合の変化を考慮した分析への適用は有効と思われる。しかし、本モデルはまだ初歩的な段階にあり、今後継続的な研究が必要であり、主として、以下の課題について検討を加えたい。

- ① 操作パラメータ、ネットワークの諸元及び発生交通量が異なる計算ケースを追加し、モデルの挙動をより明らかにする。
- ② 情報提供のタイミングの効果を分析するため、道路網の形状を拡大し、逐次的な意志決定が検討できるようにする。

【参考文献】

- 1) Arnott, R., de Palma, A., & Lindsey R.: Does providing information to driver reduce traffic congestion?, Transpn. Res.-A Vol. 25A, No. 1, 1991
- 2) 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
- 3) French, R.L.: I V H Sの動向(下)、高速道路と自動車、Vol. 34, No. 9, pp. 53-58, 1991
- 4) Horowitz, J.L.: The Stability of Stochastic Equilibrium in a Two-Link Transportation Network, Transpn. Res.-B Vol. 18B, No. 1, 1984
- 5) 飯田恭敬、内田 敬、宇野伸宏: 通勤者の旅行時間予測機構に関する実験分析、土木計画学研究講演集、No. 13, pp. 335-342, 1990.
- 6) 飯田恭敬、内田 敬、鷹尾和享、藤井 聡: 渋滞の延伸を考慮した動的交通流シミュレーションモデル、土木計画学講演集、No. 14(1), pp. 301-308, 1991