

交通情報提供の効果計測のためのモデル分析：駐車場情報を例に*

Simulation Model for Evaluating Vehicle Information Systems

-Example of Parking Information Systems-

朝倉康夫**, 柏谷増男***, 森智志****, 坂本志郎****

by ASAKURA Yasuo, KASHIWADANI Masuo, MORI Satoshi and SAKAMOTO Shiro

Vehicle information and guidance(VGI) systems aim to provide travel information to drivers concerning the location, direction and availability of road transport systems. The VGI systems are expected to redistribute travel demand and to reduce congestion in road networks. Using Parking Information System as an example, this paper shows a simulation model for estimating the effects of VGI system on traffic flow. The model consists of three submodels; demand, performance and control. The demand model describes drivers parking choice behavior with and without parking information. The performance submodel determines queuing and congestion of car parks. The control submodel provide information to drivers. Numerical examples are calculated for different information sets and congestion.

1. はじめに

現在、わが国をはじめとする多くの国々で、高度化した情報通信技術を交通分野に導入することによって、道路交通安全の改善、道路交通の効率化、道路環境問題の緩和等を目的とする道路交通情報システムに関する研究開発プロジェクトが積極的に進められている。このような目的を達成するためには、交通情報が利用者の行動に及ぼす影響を的確に把握し、情報システムが利用者および社会に及ぼす影響を予測/評価することが重要であることは言うまでもないであろう。

経路誘導システムの効果について調べた研究報告のうち、英国のNEDOのレポート(1991)によれば、

利用者の時間節約は6-7%, 非利用者は2-3%であるとされている。シミュレーションにより効果を調べた Mahmassani & Jayakrisnan (1991)は、走行時間の短縮効果は車載器の普及率によって異なり最大10%であるとしている。同様の結論は、ネットワークモデルを用いた 森津 et al. (1991)によっても得られている。これらの妥当性はモデル、特に情報提供を受けた場合の経路選択モデルの妥当性にかかっているが、情報と交通行動に関する研究は未だ発展途上の段階にある。

そこで、本研究の目的は、駐車場情報(Parking Guidance and Information, PGI)システムを例に、交通情報が利用者およびシステム全体に及ぼす影響を評価できるシミュレーションモデルの開発を行うことにある。特に、得た情報の種類による利用者の選択行動の差異を需要モデルに反映させることを狙いとしている。駐車場情報を例に挙げた理由は、最近わが国の多くの都市でPGIシステムの導入が行われており、その効果の大きさを知ることは極めて興味ある課題であることに加え、今後、導入される

*Keywords: vehicle information, parking information, traffic simulation

**正会員 工博 愛媛大学助教授 工学部土木海洋工学科 (〒790 松山市文京町)

***正会員 工博 愛媛大学教授 工学部土木海洋工学科

****学生員 愛媛大学大学院 土木海洋工学専攻

であろう動的経路誘導システムの評価のための枠組みを考える上でも有用であると考えたからである。

P G Iシステムに関する最近の状況については、Polak et al.(1990) が報告している。P G Iシステムの評価に関しては、室町 et al.(1991.a), Young et al.(1991)を挙げることができる。前者では交通行動モデルに基づくシミュレーションの結果が報告されているが、満空情報以外の情報の効果の有無による利用者行動の違いがモデル化されているとはいえない。後者はCENCIMMというシミュレーションモデルを紹介しているが、その詳細な構造は示されていない。

本論の構成は以下の通りである。まず、2では情報の違いによる駐車場選択行動の差異について、アンケート調査を用いた分析の結果を示す。なお、ここでいう情報は利用可能性(availability)に関するものに限定し、位置や方向を示す情報は扱わないもの(いいかえれば、利用者にとって既知である)とする。3では情報提供の効果を計測するためのシミュレーションモデルについて述べ、4では数値計算結果をまとめて示す。

2. 駐車場選択モデル

2.1 従来の研究

ドライバーがP G Iシステムから与えられた駐車場情報をもとに選択行動を行うのは、そのドライバーにとって与えられた情報が有益なものであると感じているからである。また同一の情報を与えた場合でも実際に行われる選択行動はドライバーそれぞれで異なるであろう。そこで、P G Iシステムの評価を行う際には、どのような種類の情報を提供すればより効果的であるのか、またその情報をもとにドライバーがどのような選択行動を行うのかということを的確に捉えていなければならない。

P G Iシステムによる情報提供に関して、具体的な導入実験をもとにした研究としては、栗本 et al.(1989)や 栗田 et al.(1990)を挙げることができる。しかしながら、前者はドライバーに対して与える駐車場情報の詳細が示されておらず、後者は満空情報以外の情報は与えていない。システム全体としての評価も十分ではない。一方、室町 et al.(1991.a)によってシミュレーションによる情報提供の評価の枠

組みが示されているが、情報の種類の違いがモデルに組み込まれているとは言えない。また駐車場選択モデルの説明力があまり高くなく、情報を与えることの効果をうまく説明しているとは言えない。

ここではまず、3種類の情報をそれぞれかまたはその組み合わせとして与える場合と、情報を与えない場合を想定して、情報の種類の違いによる駐車場選択行動の差異をアンケート調査を用いた分析結果によって示す。

2.2 アンケート調査

アンケート調査は、被験者に松山市内の現在地を与え、中心街の目的地へ車で行く際に目的地近辺の5ヵ所の駐車場のどこに駐車するかを選択させるというものである。

質問項目は大きく2つに分かれている。駐車場情報がない場合の選択を尋ねるのが質問1であり、情報が与えられたときの選択を尋ねるのが質問2である。質問1では、各駐車場から目的地までの徒歩距離(m)と駐車料金(円/時間)を与える。したがって、駐車場情報がなくてもドライバーは駐車場の位置と料金を知っていると仮定していることになる。これをCase Oとする。質問2ではこれらの条件が同じであったとして、さらに満空状況、空き台数、待ち時間のいずれかまたはそれらの組合せを提供する。情報の組合せはA～Dの4通りである。

Case A 満空状況のみ

Case B 満空状況+空き台数(台)

Case C 満空状況+待ち時間(分)

Case D 満空状況+空き台数(台)+待ち時間(分)

なお、4回行ったアンケート調査の参加人数は延べ550人であった。

2.3 駐車場選択モデル

非集計マルチラジットモデルにより、駐車場選択に関する選択行動の分析を行った。質問1、2のそれぞれについてパラメータを推定した結果を表-1に示す。Case D については、パラメータの符号条件が満足されなかったため表には記していない。

表を見ると、情報がない場合(Case O)においては、徒歩距離と駐車料金の値はほぼ同じであり、両者の説明力が同じ程度であることがわかる。駐車

表-1 推定パラメータ () 内はt値

変数	O	Case A	B	C
徒歩距離 (m)	-0.0205 (-3.42)	-0.0233 (-3.15)	-0.0164 (-2.58)	-0.0106 (-2.00)
駐車料金 (円/時)	-0.0130 (-3.71)	-0.0123 (-2.89)	-0.0107 (-3.01)	-0.0118 (-2.76)
満空状況 (空=1)	--	4.1548 (3.32)	--	--
空き台数 (台)	--	--	0.2061 (3.91)	--
待ち時間 (分)	--	--	--	-0.5073 (-3.12)

料金に対する徒歩距離のパラメータ比は 1.6 であり、100mの距離を歩くことと160円支払うことが等価であることを示している。この数値について他の研究による分析結果を参考までにまとめると、表-2のようになっている。それぞれの研究によって考慮している条件が異なるので単純には比較できないが、本研究で得られた値は平均よりやや大きめであり、歩くことの抵抗が強いことを示している。

表-2 徒歩距離と駐車料金の関係

	徒歩距離100mに対する 駐車料金 (円)
塚口・小林(1993)	5 0
室町 et al.(1991.a)	8 0 ¹⁾
室町 et al.(1991.b)	1 0 0
吉田・原田(1989)	2 3 0

1)歩行速度を 4 (km/h)として換算

満空状況や空き台数、待ち時間というような駐車場の利用可能性を表す変数が組み込まれた場合、Case Aの徒歩距離を除き、Case A～Cの徒歩距離と駐車料金のパラメータの絶対値はCase Oに比べて小さくなった。また、距離と料金に比べてこれらの変数のt値は大きい。これらのことから相対的に被験者は情報を重視したと言える。

また、Case O、Aを比較すると、Case O (質問1)で自分の選んだ駐車場が、Case A (質問2)で満車であるとわかって、駐車場を変更しなかった被験者が25名中4名いた。現在のPGIシステムは満空状況を提供するのがほとんどであるが、システム利

用者には満空情報を無視する者もいる。このようなドライバーは、満空情報以外の情報を期待しているとも考えられる。

満空情報に限定して、情報が提供されたことによる選択行動の変更の有無を同一被験者について調べ、それを集計したのが表-3である。的中とは、モデルで求めた最大の選択率を与える選択肢を実際にも選択している場合をいう。

表-3 選択行動の変更

	Case A				計
	変更 的中	変更せず 的中	変更せず 不的中	変更せず 不的中	
Case 的中	3	1	1	2	1
O 不的中	3	1	1	3	8
計	6	2	1	3	4
					2
					5

選択を変更した被験者は25名中8名で、変更率は32%である。また、モデルの的中率はCase O、Aでそれぞれ68%、76%でありまずまずの結果が得られた。

以上のことから、①ドライバーは駐車場選択において駐車場情報を重視していること②ドライバーの中には満空情報だけではなく、他の種類の情報を希望しているドライバーもいるのではないかということがわかった。

3. 情報提供効果の計測モデル

3.1 モデルの全体構造

このモデルは、情報と状態が時々刻々変化する動的モデルであり、情報の有無による利用者の駐車場選択の差異、混雑の程度による差異、情報の種類による差異を記述することができる。

モデルの全体構造は図1に示すように、ドライバーの駐車場選択を記述する需要モデル、駐車場の状態を記述するパフォーマンスモデル、システム側での情報の加工と提供を記述する情報提供モデルの3つのサブモデルから構成される。

なお、モデル構造を複雑にしないため、ネットワーク上の経路選択と出発時刻の選択およびそれに伴

うネットワーク交通流の変化は、当面、モデルの対象から除いておく。

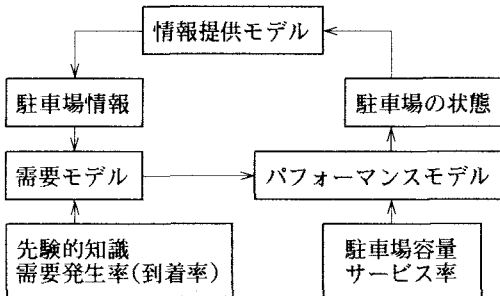


図-1 シミュレーションモデルの枠組み

3.2 需要モデル

外生的に与えられた発生率に応じてランダムに需要を発生させる。発生があったとき、駐車場選択に関する先験的知識と駐車情報に基づいて、駐車場選択確率を求め、その確率の下で実際に駐車する駐車場を決める。

(1) 需要の発生

需要の発生はランダムである、すなわち、ポアソン過程であると仮定し、単位時間 (Δt) 当りの発生率 (λ , $0 < \lambda < 1$) は外生的に与える。なお、発生率が時刻に応じて変化する (需要の時間的変動) とすることも可能である。

(2) 駐車場の選択確率

すべてのドライバーは、駐車場選択に関する先験的な知識 (例えば、駐車場の位置、料金や目的地までの徒歩距離) を持っており、情報提供を受けなければ、先験的知識のみによって駐車場を選択とする。選択行動は非集計ロジットモデルで記述できるとする。すなわち、ドライバー n が駐車場 i を選択する確率は、次式で与えられる。

$$P_{in} = \exp(V_{in}) / \sum_j \exp(V_{jn})$$

ただし、

$$V_{jn} = \sum_k \beta_k X_{jnk}$$

X_{jnk} : 先験的知識 (個人にとっての駐車場 j の k 番目の属性値)

時々刻々変化する駐車場情報がドライバーに与え

られるが、情報メディアの制約など (例えば、車載器の有無、情報の見過ごし) から、情報を受けるドライバーと、受けないドライバーが存在するものとする。情報提供を受けないドライバーは先験的知識のみで駐車場を選択するが、情報を得たドライバーは、先験的知識に加えて駐車場情報も考慮して選択行動を行う。すなわち、情報を得たドライバーの効用関数は、次式となる。

$$V_{jn} = \sum_k \beta_k X_{jnk} + \sum_h \gamma_h I_{jnh}$$

I_{jnh} : 提供された情報 (駐車場 j の h 番目の情報の値)

情報提供を受けるドライバーの割合 ($0 \leq \theta \leq 1$) は、外生的に与える。

(3) 駐車場への割り付け

区間 $[0, 1]$ の一様乱数を発生させ、 P_{in} の値に基づいて、特定の駐車場へ車を割り付ける。

3.3 パフォーマンスモデル

需要が発生したか否かにかかわらず、すべての駐車場における ($t \sim t + \Delta t$) 間の状態変化を記述する。需要が割り付けられた駐車場には、事前にその処理を付け加える。

それぞれの駐車場に対し、駐車可能台数 (C) と平均駐車時間 ($1/\mu$) は外生的に与える。駐車時間は指数分布に従うとする。

駐車場 j の状態は、待ち台数 (NQ_j) と駐車中の台数 (NS_j) で表す。

(1) $t \sim t + \Delta t$ に新たな需要が発生した場合の新しい車の処理: 割り付けられた駐車場のみが対象

a) 割り付けられた駐車場 i が満車の場合 ($NQ_i > 0$)、待ち台数を 1 台増やす。

b) 駐車場 i に空車がある場合、駐車を開始する。駐車中の車両を 1 台増やすとともに、その車の駐車終了時刻を求める。

(2) 時刻 t において既に駐車中、あるいは待ち行列中の車の処理: 需要の発生の有無にかかわらず、すべての駐車場が対象、

a) $t \sim t + \Delta t$ に駐車を終了する車がいる場合。該当する車を駐車場から出し、待ち行列があれば、行列の先頭の車を駐車場に入れ、その車の

駐車終了時刻を求める。さらに、駐車を開始した車の分だけ、待ち台数を減らしておく。

- b) 駐車を終了する車がない場合、時刻 t の状態を継続させる。

3.4 情報提供モデル

駐車状態を加工することによって、提供できる情報の種類は、「満空情報」、「空き台数情報」「待ち時間情報」である。基本的には、現況（あるいは近い過去）の駐車場の状況をドライバーにそのまま提供する。

(1) 満空情報

$NQ_j = 0$ なら空車で、 $NQ_j > 0$ なら満車であるとする。しかし、空車情報を知ったドライバーが駐車場に到着したとき満車であれば、情報提供システムに対する信頼度は落ちる。情報の信頼性を確保するためには、安全側の情報提供、すなわち、 $(C_j - NS_j) / C_j < \varepsilon$ なら満車（例えば $\varepsilon = 0.1$ ）とするなどの工夫が必要となろう。

(2) 空き台数情報

空き台数情報は、 $C_j - NS_j$ である。

(3) 待ち時間情報

待ち時間は、行列の最後尾についたとしたときの待ち時間の期待値で、 $NQ_j = 0$ のとき、明らかに、待ち時間 $(W_j) = 0$ であり、 $NQ_j > 0$ のとき、

$$W_j = (NQ_j - 0.5) / (\mu C_j)$$

である。

なお、情報の平滑化（情報の安定性を考慮するために複数の時間帯にまたがって状態を平均化すること）、情報の遅れ（駐車状態の集計遅れ、および伝達遅れを考慮すること）に関してはモデルにとりいれることは可能であるが、ここでは扱わないこととする。

3.5 情報提供による効果の計測指標値

情報の種類（ I ）、混雑水準（発生率 λ ）、情報保有者割合（ θ ）を変えて、平均待ち台数、平均待ち時間、平均サービス時間、システム内の平均滞在時間およびそれに占める待ち時間の割合、待たされる確率などの指標値を計算する。なお、情報の有無によるグループ別にこれらの指標値を推計することもできる。

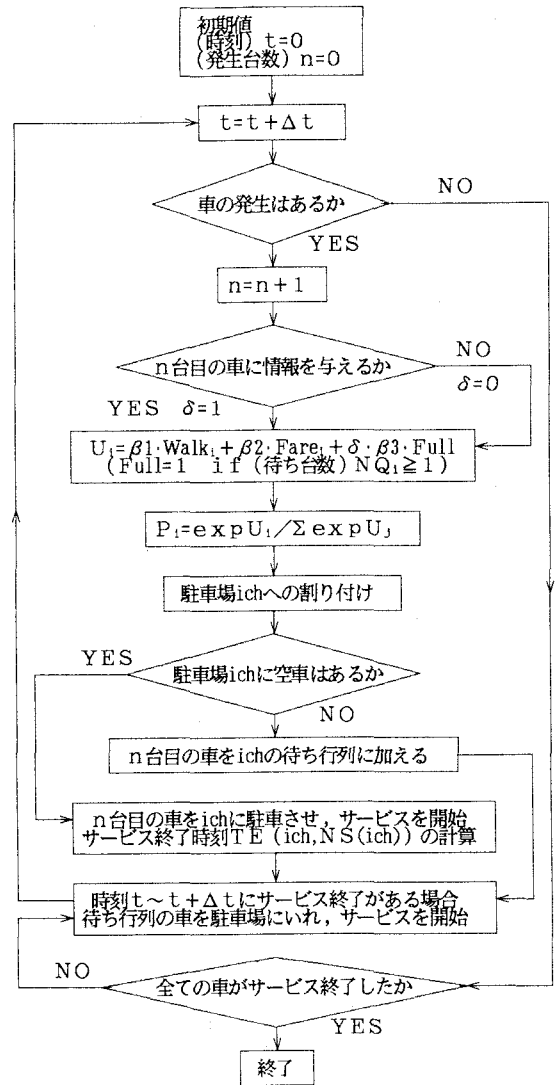


図-2 シミュレーションモデルのフロー

4. 数値計算

4.1 実験ケースの設定

ここでは、2で述べたアンケート調査により得られた駐車場選択の効用関数と3で述べた駐車場選択シミュレーションモデルを用いて、満空情報、空き台数情報、待ち時間情報の違いによる情報の効果計測を行う。なお、情報を持たないドライバーの効用関数はCase 0で与える。

基本設定について述べると、駐車場数は3つ、駐車

容量についてはそれぞれ15台、13台、11台とし、平均駐車時間は60分とした。また、駐車料金は200円/時、徒歩距離は目的地からそれぞれの駐車場までの距離とした。なお、目的地は3ヶ所設定し、ランダムに選ぶようにした。このような仮定の下で10,000台の車を発生させ、シミュレーションを行った。

4.2 計算結果と考察

図3は、駐車場選択の効用関数に徒歩距離、駐車料金、満空情報（Case A）をとり入れ、情報を持つ車両の割合を変化させた場合の待ち時間の変化を表したグラフである。このグラフはシミュレーションにより得られた待ち時間のばらつきの大きさをみるために待ち時間の最大値、最小値、平均値を描いた。ちなみに、今回のシミュレーションは1つの設定につき、10回行っている。

情報を持つ車両の割合が0～10%のときはばらつきが大きい、それ以外では、それほど大きくない。この結果は待ち時間情報（Case C）の場合でも同様であった。空き台数情報（Case B）に関しては、全体的にばらつきの幅が大きくなるが、Case A、Cと似たような傾向であった。このような結果から情報提供効果を測る指標である待ち時間は、10回のシミュレーションの平均値をとって比較していくことにする。

図4は、車両の発生率を0.5台/分に固定し、それぞれ満空情報、空き台数情報、待ち時間情報を取り入れた場合、情報を持つ車両の割合の大きさによって、待ち時間がどのように変化するかをみたものである。このグラフから、情報を持つ車両の割合が多くなれば待ち時間が短くなっており、全てのケースにおいて情報を与えることの有用性がいえる。その情報のうちでは、情報を持つ車両の割合にかかわらず、満空情報が最も効果的で、次に待ち時間情報、空き台数情報であった。また、0～10%の車両が情報を持つときが最も待ち時間が減少することから情報を持つ車両が少なくとも混雑がかなり緩和できるといえる。

図5は、情報を持つ車両の割合を50%に固定し、発生率を変動させたとき、すなわち、混雑度を変えたとき、それぞれの情報による待ち時間の変化をみたものである。ここでは図3での発生率0.5台/分を

中心に設定した。満空情報と空き台数情報については、発生率が高くなるにつれて似たような増加の形をとっていて、発生率が0.55台/分からは急激に増加している。一方、待ち時間情報は、緩やかに増加していて、発生率0.55台/分からは満空情報と逆転している。このことから、混雑時には待ち時間情報が最も効果的であることがわかる。

以上の計算結果から、慢性的な満空状態になるまでは満空情報を提供し、それ以後は、待ち時間情報を提供することが効果的であるといえる。

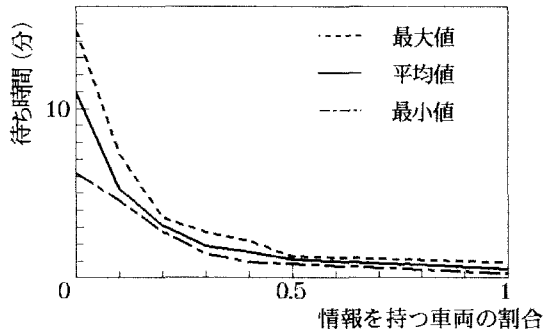


図-3 待ち時間のばらつき

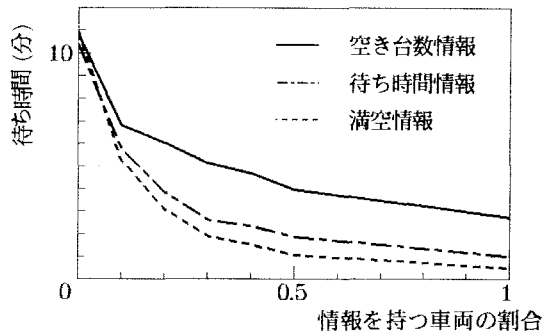


図-4 情報の種類による差

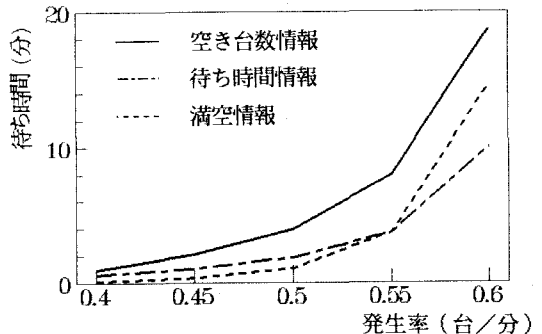


図-5 混雑による差

5. おわりに

本研究の目的は、PGIシステムを例に、交通情報が利用者およびシステム全体に及ぼす影響を評価できるシミュレーションモデルの開発を行うことにあった。得られた主な成果は以下のようにまとめることができる。

(1)情報の種類の違いによる駐車場選択行動の差異について、非集計モデルを用いて分析した結果、ドライバーは駐車場選択において満空情報を重視しているが、さらに詳細な情報に期待するものも少なくないことがわかった。

(2)情報提供効果を計測するために、需要モデル、パフォーマンスモデル、情報提供モデルのサブモデルから構成される動的モデルを構築した。モデルの特徴は情報の有無や情報の種類によるドライバーの駐車場選択行動の違いを反映できることにあり、情報の種類や普及度による提供効果の違いを比較することができる。

(3)利用可能性情報に限定して情報提供効果を調べたところ、情報を受けたドライバーの割合がそれほど多くない場合でも提供効果があることがわかった。混雑がひどくない場合は「満空情報」が最も効果的で、次いで「待ち時間情報」、「空き台数情報」の順であるが、混雑が厳しくなると「待ち時間情報」と「満空情報」の順位が入れ替わることが示された。現行のPGIシステムが提供しうる情報は「満空情報」が主体であるが、混雑時には利用者の不満が少なくないことをこの結果は裏付けている。

しかしながら、本論で示したモデルは極めてプリミティブなものであるため、改良の余地は多く残されている。このうち、ネットワークモデルとの結合については、森 et al.(1993)、需要モデルについては Asakura and Morikawa(1993)においてそれぞれ検討を進めているので稿を改めて発表する予定である。

謝辞：本研究の一部は文部省科学研究費一般研究C（代表：柏谷増男，#04650485）の助成を受けたものである。また、需要モデルの構築においては、愛媛大学学生、森下直樹君（現、名古屋市役所）に協力いただいた。ここに記して感謝いたします。

【参考文献】

- Asakura Y. & Morikawa T.(1993): Evaluation of Parking Information Systems Using Behavioral Choice Models, Proc. 26th ISATA (forthcoming)
- 栗本謙, 荻野弘, 野田宏治(1989): 豊田市中心市街地の駐車場案内・誘導システム導入実験と駐車場利用実態調査, 第24回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.547-552
- 栗田博喜, 佐川悌一, 根田隆夫, 伊東成一, 清水浩志郎(1990): 駐車場案内システムによるドライバーの交通行動について, 土木計画学研究・講演集, NO.13, pp.711-718
- Mahmassani H. & Jayakrisnan R.(1991): Urban Traffic Networks under Information: A Dynamic Simulation Assignment Model, Proc.24th ISATA, pp.451-458
- 森智志, 朝倉康夫, 柏谷増男(1993): 駐車場を含む道路網を対象とした交通量配分モデル, 第45回土木学会中国四国支部研究発表会講演概要集, pp.566-567
- 森津秀夫, 大原竜也, 多田典史, 井上琢弥(1991): 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
- 室町泰徳, 原田昇, 太田勝敏(1991.a): 情報案内を考慮した駐車場選択モデルに関する研究, 土木計画学研究・講演集 NO.14(1), pp.139-146
- 室町泰徳, 原田昇, 吉田朗(1991.b): 駐車需要の時間変動を考慮した駐車場選択モデルに関する研究, 第26回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.289-294
- National Economic Development Office (1991): Amber Alert, Relieving Urban Traffic Congestion
- Polak J.W., Hilton I.C., Axhausen K.W. and Young W.(1990): Parking Guidance and Information Systems: Performance and Capability, Traffic Eng. & Control, Vol.31, No.10, pp.519-524
- 塚口博司, 小林雅文(1993): 駐車管理のための駐車場所選択行動のモデル化, 土木学会論文集, NO.458 IV-18, pp.27-34
- 吉田朗, 原田昇(1989): 混雑度を考慮した駐車場利用均衡モデルの研究, 第24回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.271-276
- Young W., Taylor M.A.P., Thompson R.G., Thompson R.G., Ker I. and Foster J.(1991): CENCIMM, a Software Package for the Evaluation of Parking Systems in Central City Areas, Traffic Eng. & Control, Vol.32, No.4, pp.186-193