

# 分岐点における運転者の進路選択確率に関する研究

外井哲志<sup>1</sup>・辰巳浩<sup>2</sup>・野村哲郎<sup>3</sup>・梶田佳孝<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 九州大学助教授 工学研究院環境都市部門 (〒812-8584 福岡市東区箱崎6-10-1)  
toi@doc.kyushu-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 工博 九州産業大学助教授 土木工学科 (〒813-8503 福岡市東区松香台2-3-1)  
tatsumi@ip.kyusan-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 株式会社コルバック 技術開発室 (〒110-0016 東京都台東区台東4-8-7)  
nomura@corvac.co.jp

<sup>4</sup>正会員 工博 九州大学助手 工学研究院環境都市部門 (〒812-8584 福岡市東区箱崎6-10-1)  
kajita@doc.kyushu-u.ac.jp

著者らが開発した運転者の進路推論モデルでは、経路上の実距離に対する運転者の認知的距離、分岐点間の認知的距離と走行経路の形状に関する記憶に基づいて分岐点を選択する機構、迷走時の進行方向選択確率が重要な役割を果たしている。現実的な進路推論モデルを構築するためには、これらに関する運転者の諸特性が必要である。そこで、本研究は、シミュレータを用いた3種類の室内実験を行い、実験結果を分析することによって、運転者の確率的な諸行動特性を明らかにした。

*Key Words* : course choice , turning point , road sign , inference model , distance

## 1. はじめに

著者らは、これまで、道路網における迷走度を最小化する案内標識の最適配置問題を定式化し<sup>1), 2)</sup>、迷走した運転者を予定経路へ復帰させる機能を組み込んだ案内誘導システム<sup>3)</sup>、運転者の主体的な進路推論を組み込んだ経路走行モデルを構築<sup>4)</sup>してきた。

これらのモデルでは、運転者が分岐点間の認知的距離と走行経路の形状に関する記憶に基づいて分岐点を選択する機構が重要な役割を果たしている。この機構を現実化するには、①運転者の認知的距離の把握、②目標分岐点までの認知的距離の前後の位置にある交差点の選択確率、③迷走時の進路選択確率の把握が必要である。本研究に関連して、運転者の情報処理能力を短期記憶と長期記憶の概念を用いて説明した研究もある<sup>5)</sup>が、上記の3点を明らかにした研究はみられない。

そこで、本研究は、シミュレータを用いた3種類の室内実験を通して、これらに関する運転者の諸確率行動を明らかにしたものである。

## 2. 推論にもとづいた運転者の行動モデル

経路走行における運転者の案内情報の処理、および

推論については、すでに公表した<sup>4)</sup>ので、以下ではその要点のみを述べる。

### (1) 情報と推論

運転者は経路に関する情報と推論にもとづき進路決定を行うと考える。情報としては、出発前に運転者が準備した既知情報と、出発後に案内板やランドマークなどから得る獲得情報の2段階の情報が考えられる。

既知情報は、予定経路という形で統合的に把握され、一方、獲得情報は、文字・記号・ランドマークなどの認知を通して、情報として取り入れられる。運転者は、既知情報にもとづいて獲得情報の内容を吟味し、2段階の情報を比較・対照して、自分の現在位置や走行状況(迷走状況)を確認・判断しながら走行する。

また、迷走状態に陥ったと判断した場合には、直前までの走行経路に関する記憶と案内板などから得た獲得情報を用いて推論し、予定経路への復帰を図る。

#### a) 情報

既知情報の内容には、『地点情報』、『方向情報』、および『距離情報』がある。

地点情報とは、ある中継地点から次の目標となる中継地点への中継順序とその数などである。運転者は、主に走行前に、多くの組み合わせの中から予定経路を走行する上で最低限必要な地名等の要素を記憶する。

方向情報とは、経路の形状、リンクの形状、ターニングポイントでの次の方面への角度、方位などである。運転者は、主に走行前の予定経路の静的形態（屈折などの形状とその出現順序の組み合わせ）を情報として記憶する。

距離情報とは、中継地点間の区間長または経路の総延長である。距離情報には「認知的歪み」があり、本研究の対象となっている。

## b) 推論

運転者は、出発前に想定した予定経路あるいは走行中に更新された予定経路に関する既知情報と、走行中に獲得した情報を比較し、現在予定経路を走行中であるかどうかを推論すると考えられる。これを『比較推論』と呼ぶ。比較推論では、方向情報による比較、地点情報による比較および距離情報による比較が行われる。比較推論が困難なとき、またはその信頼性が低いときには、『代替推論』が行われる。

「代替推論」とは、各交差点流入部で次の進行方向を選択した場合、目標地点に到る経路にどのような結果をもたらすか、予定経路に復帰するにはどちらの進行方向を選ぶべきかなどを考察し、予定経路とは異なる経路の検討を行うことを意味する。

## (2) 推論にもとづく運転者の進路選択基準

ここで、情報の充足状況の違いによる運転者の進路推論の流れについて概説する。

### a) 案内が十分な場合(案内どおりに走行)

案内が十分な場合とは、図-1のように既知情報の地点情報  $v_i$  と方向情報  $d_i$  が地点  $v_{i-1}$  の流入部において過不足なく連続して案内されるときをいう。

このとき、運転者は、案内の指示どおりに進路を選択すればよいことになる。

### b) 案内が不十分な場合(推論により情報不足を補う)

有効な案内は常に連続するものではないが、運転者は、走行中に獲得した情報と既知情報が部分的に一致したときには、次の場合のように、案内がなくても推論によって進路を決定できることがある。

①第1には、走行中の運転者が、予定経路上では先に現れるはずの案内  $v_i$  を確認しないうちに、 $v_i$  よりも後で現れるはずの  $v_j$  ( $j > i$ ) の案内に遭遇する場合である。この場合には、 $v_j$  ( $j > i$ ) の案内が  $v_i$  の案内と同等の役割

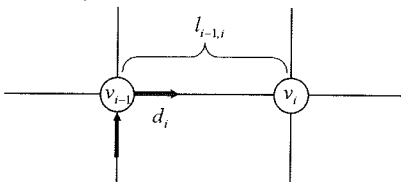


図-1 記号要素の関係

を果たすと考えられる。そのとき運転者が  $v_{i-1}$  に到達したことを認識済みであり、その案内方向が  $d_i$  であれば、そのリンクに進入する。

②第2には、既知情報と異なる方向ではあっても  $v_i$  の案内情報が表示されていれば、結局は  $v_i$  が案内されている方向のリンクを選択することとなる。

③第3には、運転者が予定経路を走行しようとするとき、分岐点間距離に関する既知情報（認知的距離）に見合う位置に地点情報案内が無い場合である。この場合は、運転者は地点情報の順序と過去に案内された情報との関係を分析することにより、現在の位置を推定し、進入すべきリンクの推論を行うこととなる。現在地が予定経路上の方向転換すべき分岐点に近いと判断すれば、運転者が現在地で方向転換する確率が高くなり、離れるにしたがって、その確率は低下すると考えられる。こうした運転者の意志決定を確率的に捉えることが本研究の中心テーマとなる。

### c) 予定経路を逸脱した場合(代替推論で復帰、または迷走)

上記b)の推論が間違っていた場合など、運転者は予定経路を走行しているつもりでも、予想外の方に表示された  $v_i$  の案内によって、自分が予定以外の経路を走行中であることを知ることがある。このとき、 $v_i$  の示されている方向へ進入し、そのリンクには既知情報に関する案内がなく、それまでの方向転換数が少ない場合には、走行経路の履歴にもとづき、予定経路へ復帰するための代替推論が可能となる。しかし、それまでの方向転換数が多い場合には推論不能となる。

推論が不能になる場合（これを迷走状態と定義する）には根拠ある進行方向の決定ができず、ある確率に基づいて進行方向を選択することになる。この点も本研究テーマの一つである。

## 3. 運転者の行動特性に関する実験

この章では、室内実験によって運転者の行動特性に関する、①運転者の認知的距離のばらつき、②目標分岐点までの認知的距離の前後の位置にある交差点の被選択確率、③迷走時の進路選択確率の3つの確率分布を実験的に求めた。

### (1) 経路距離の地図読み取り実験(実験1)

運転者は出発する前に予定経路上の分岐点間の距離を地図などから読みとり、距離情報とすると考えられる。したがって、最初に既知情報としての距離情報がどの程度正確であるかを把握する必要があるが、その精度については明らかにされていない。そこで実験1

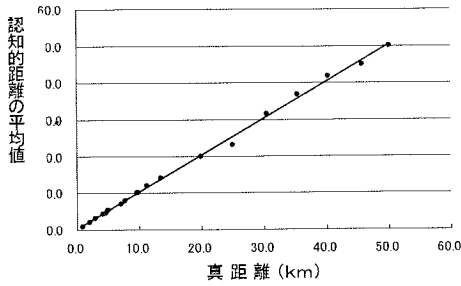


図-2 読み取り距離の平均値

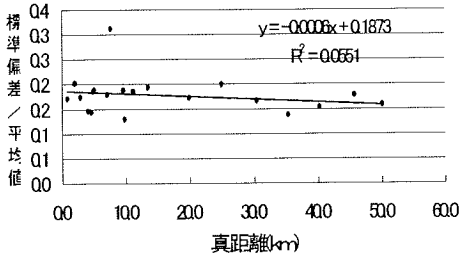


図-3 読み取り距離の変動係数

では、距離スケールに応じてどの程度の精度で分岐点間の距離を読みとり、既知情報として数値を丸めて記憶するか(読み取り誤差と「丸め」誤差)を実験した。

本実験では、0.9km から 50.1km までの長さを持つ 20 本の経路を市販のドライブマップ(縮尺あり)から抽出し、68 名の被験者に示して、各経路の距離を数値で回答させた。このとき、数値の桁数等の指定は一切行わなかった。結果を図-2、図-3に示す。

図-2、は 20 本の経路に対する読みとり距離の平均値と真値の関係を示したものである。これより、両者はほぼ等しく、距離の絶対値による偏りは見られない。

図-3は、読み取り値の標準偏差を平均値で除した変動係数を示したものである。変動係数は距離の絶対値の増加とともにわずかに減少する傾向が見られるが、この傾向は統計的に有意とはいえない。このことから、読み取り誤差(認知の個人差のばらつき)は、距離の大きさにほぼ比例すると考えられる。

以上の2点から、認知距離の把握は個人的には傾向はあるものの、平均値としてみればほぼ真値をとらえており、距離の絶対値に比例する誤差をもつ確率変数であると考えることができよう。

## (2) 認知距離に基づく分岐点選択実験(実験2)

### a) 認知距離と走行距離による分岐点選択の考え方

運転者は、中継地点(目標分岐点)間の距離を認知

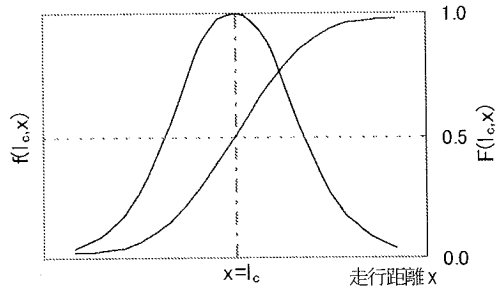


図-4 方向転換位置の確率分布

の距離として把握しており、 $v_{i,j}$  を通過してから、この距離  $l_{i,j}$  を走行した位置に  $v_i$  があると期待しているものとする(図-1参照)。しかし、実験1の結果から明らかのように、認知距離は真の距離のまわりに分布する確率変数であると考えられる。したがって、ある運転者が認知距離  $l_c$  を走行したとしても、その位置に目的分岐点が存在するとは限らない。このとき、目標分岐点の前後に類似の分岐点があれば、それらの1つを目標分岐点と判断し選択する可能性が生じる。そして、その位置が  $l_c$  を走行した位置に近いほど、その分岐点を目標分岐点であると判断する確率は高まるであろう。よって、一般的に、分岐点選択確率は走行距離  $x$  を確率変数とし認知距離  $l_c$  をパラメータとする図-4のような分布を示すと仮定することができる。

### b) 実験の方法

仮定の道路網を用い、主要な分岐点に目的地までの中継地点の案内を配置した経路走行のシミュレータ(走行距離の表示あり)と表-1に示す実験指示書を使用し、シミュレータとの対話にもついて被験者に目的地までの経路走行を行わせた。

実験2では、図-5に例示するようにシミュレータ上の道路網で①②③④と誘導し、④で分岐点の選択を行わせた。すなわち、「区間③④が〇〇km程度の距離(認知距離)であり、そこを右折するのが正規の経路である」という情報のみを事前に被験者に与え、実際には③~④間の認知距離を5km、10km、20km、40km

表-1 実験指示書の例

<p>目的地は**です。          実験は以下の指示に従って下さい。だし、目的地**を示す案内標識が出てきた場合には、案内標識の誘導にしたがって下さい。また、案内標識による誘導は完全ではありません。案内標識がない場合は、各自の判断にお任せします。ここで、〇〇km程度先という表現の場合は、正確な距離はわかりません。          (指示の例)          実験ケース①          リンク1を入力して下さい。          15km先を右折して下さい。(①→②を誘導)          9km先を左折して下さい。(②→③を誘導)          13km先を右折して下さい。(③→④を誘導)          10km程度先を左折して下さい。(認知距離の提示)</p>
--

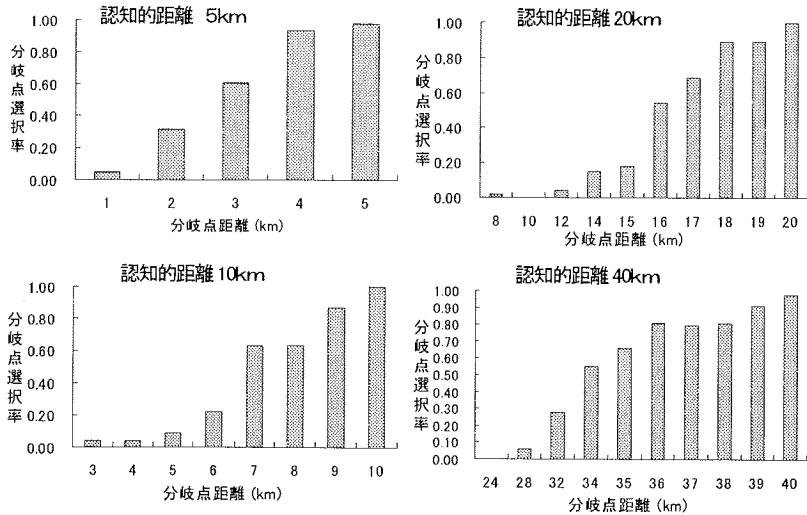


図-6 分岐点選択確率

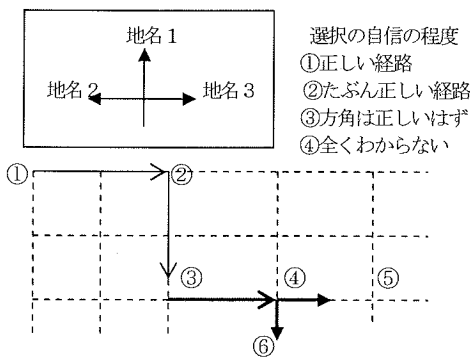


図-5 実験における誘導方法

の4ケース設定し、各認知距離に対し、それを超えない分岐点距離を与え、全部で33の実験ケース設定し(図-6の組合せ)、慣れによるバイアスを防ぐため、ランダムな順序で実験を行った。

また、分岐点選択と同時にその選択に関する自信の程度を回答させた。被験者数は47名であった。

なお、実験2では1区間に交差点が2箇所あるケースについても実験を行っている。

### c) 分岐点選択確率とその標準化

図-6は、分岐点までの実距離によって、選択確率が変化する様子を見たものである。図より、実距離が認知距離に近づくにしながら、選択確率も上昇することがわかる。なお、本実験では、認知距離到達までの間に分岐点が1箇所の場合と複数ある場合が存在するが、被験者は区間内の交差点数に関する情報を持たないので、交差点が出現するたびに、それが目標分岐点かどうかを判断しなければならず、最初に出現した交差点は運転者の選択に関し常に同じ意味を持つ。そこで、まず、最初に出現した分岐点での選択確率のみを取り扱った。それ以前に分岐(右左折)する意思

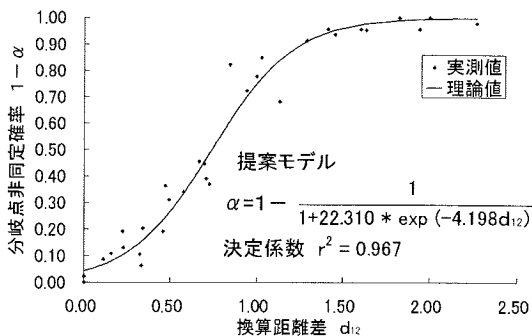


図-7 ロジスティック曲線による回帰

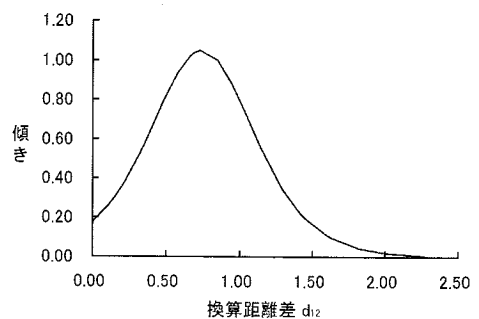


図-8 ロジスティック曲線の傾きの変化

を持つ被験者は、その分岐点で右左折すると考えられ、図-6の選択確率は、対応する分岐点距離までの累積値であるといえる。

実験より求められた分岐点選択確率は、認知的距離と実距離の差および距離の絶対値によって異なると考えられるため、換算時間差モデル<sup>6)</sup>にもとづいて両者を統合した換算距離差を用いて標準化を行った。

$$d_{12} = \frac{d_1 - d_2}{\sqrt{d_1 + d_2}} \quad (1)$$

ここに、 $d_{12}$ は換算距離差、 $d_1$ は認知的距離、 $d_2$ は実距離である。

また、分岐点選択確率を $\alpha$ とすると、 $1 - \alpha$ の値を算出し、換算距離差との関係についてロジスティック曲線による回帰を行った。その結果は図-7に示すとおりであり、決定係数は0.967と良好なものとなった。

$$\alpha = 1 - \frac{1}{1 + 22.310 \exp(-4.198d_{12})} \quad (2)$$

図-8の曲線は、図-7の理論曲線を微分したものであり、換算距離差の変化による図-7の曲線の傾きの変化、すなわち、分岐点選択意識の高まりの度合いを表している。そこで、図-8の曲線のピークにおける換算距離差を算出したところ、0.74 という結果を得た。式(1)にもとづけば、この値は認知的距離10kmに対して、実距離7kmで最も分岐意欲が高まることを意味しており、認知的距離に対して早めに分岐しようとする傾向が現れている。

#### d) 複数の分岐点がある場合の分岐点選択特性

1区間内に複数の分岐点がある場合、各分岐点の選択確率は前節の結果より推定できる。すなわち、図-9のように認知的距離  $x_0$  に達する前に2ヶ所の交差点 ( $x=x_1, x_2$ ) がある場合、交差点1 ( $x=x_1$ ) が選択される確率は図の①、交差点2 ( $x=x_2$ ) が選択される確率は図の②、真の分岐点を選択される確率は図の③の部分の面積でそれぞれ示される。

そこで、2つの分岐点があるケースに着目し、ドライバーが2番目に遭遇する分岐点の選択確率について、理論値を算出し、実測値と比較した。結果は図-10に示すとおりである。多少、理論値の方が高いケースがあるものの、概ね適合しているといえる。

#### e) 分岐点選択の閾値

次に、ドライバーが目標とする分岐点をどの程度の距離から意識し始めるかについて検討した。ここでは、分岐点同定の閾値を、分岐点非選択確率95パーセント値と定義し、図-7の理論曲線から認知的距離と閾値の関係を求めた。結果は図-11に示すとおりである。関係がほぼ直線的であることから、閾値は認知的距離

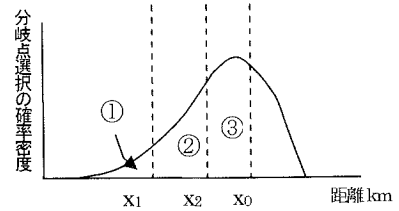


図-9 複数の分岐点がある場合の選択確率

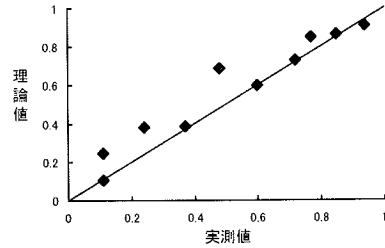


図-10 複数分岐点における選択確率

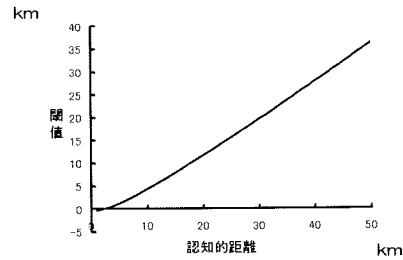


図-11 分岐点選択の閾値

と比例関係にあるといえる。

#### (3) 迷走時の進路選択に関する実験(実験3)

(2)の実験に引き続き、目的地に到着するか、迷走状態が長期にわたるまで経路走行を継続させた。この実験では、各分岐点での進路選択の際に「全く自信がない」と回答した場合を「迷走状態」とし、その際の進路選択状況(直進・右折・左折・Uターン)別に出現頻度を集計し、実験2で、被験者が④と思われる分岐点で分岐した後、迷走状態に陥った運転者が選択する進行方向について、図-12、図-13、図-14に示した。

十字路の場合、直進が半数を超え、右折・左折が20%前後で拮抗しているが、Uターンも6%程度見られる。T字型では、直進・左折タイプで直進65%、左折32%、直進・右折タイプでも同様に直進65%、右折32%、左・右折タイプでは左折41%、右折52%となっている。

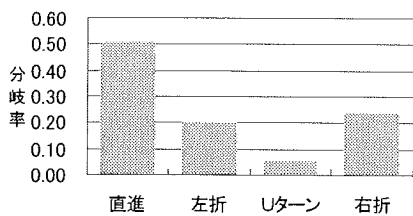


図-12 迷走状態における進路選択状況 (十字路)

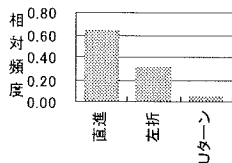


図-13 T字路(直進左折)

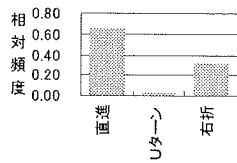


図-14 T字路(直進右折)

十字路とT字路で共通するのは、直進が過半数を占め、残りの大部分は右折と左折に二分されるが、右折の占める割合がやや高いこと、Uターンは5~6%程度であること、などである。

#### 4. おわりに

本論文では、著者らの既往研究より、推論にもとづいた運転者の進路推論モデルについて述べた後、実験によって、①運転者の分岐点間の認知的距離の誤差、②目標分岐点までの認知的距離の前後の位置にある交差点の選択確率の分布、③迷走時の進路選択確率の分布を求めた。本研究によって次の点が明らかになった。(1)読み取り距離の平均値は、真の経路距離とほぼ等しく、絶対値による偏りは見られない。したがって、読み取り誤差は、距離の大きさに比例するといえる。(2)実距離が認知的距離に近づくにしたがって、分岐点の選択確率も上昇する傾向が得られた。実距離と認知

的距離で定義される換算距離差を用いると、分岐点の選択確率は換算距離差を変数とするロジスティック曲線にきわめてよく適合することが明らかとなった。また、ロジスティック曲線の勾配が最大の点(分岐点選択意識の高まりの度合いを表す)は、換算距離差で0.74である。このことは、少し早めに分岐点を選択しようという意識が働いていることを意味する。

(3)迷走状態にある運転者が選択する進行方向は、直進が過半数を占め、残りの大部分は右折と左折に二分されるが右折の占める割合がやや高い。Uターンは5~6%程度の割合である。迷走状態といえども進行方向はランダムではなく1/2の確率で直進する傾向があることがわかった。

今後は、本研究で得られた各種の確率分布を既存のモデルに導入し、現実的な進路推論モデルを構築するとともに、それにもとづいた案内誘導標識の最適配置のモデルに関する研究を進める予定である。

#### 参考文献

- 1) 外井哲志：道路網における地名案内標識の最適配置に関する研究 第12回交通工学研究発表会論文集, pp. 53-56, 1992.
- 2) 野村哲郎, 外井哲志, 清田勝：都市間道路網における案内標識の最適配置に関する基礎的研究, 土木計画学研究・論文集, No. 13, pp. 877-884, 1996.
- 3) 野村哲郎, 外井哲志, 清田勝：経路復元誘導機能を考慮した道路案内標識システムに関する研究, 土木学会論文集, No. 625/IV-44, pp. 125-134, 1999.
- 4) 野村哲郎, 外井哲志, 清田勝：メンタルモデルに基づいた運転者の進路推論に関する研究, 土木学会論文集 No. 695/IV-54, pp. 45-58, 2002
- 5) 徳永ロベルト, 萩原亨, 中川剛士：自動車運転時におけるドライバーの情報処理能力に関する研究, 第21回交通工学研究発表会論文報告集, pp. 217-220, 2001.
- 6) 用語解説集編集グループ：総合交通体系調査関係用語集, 九州大学出版会, p. 19, 1982

(2003. 8. 13 受付)

## DRIVER'S COURSE CHOICE PROBABILITY AT TURNING POINTS

Satoshi TOI, Hiroshi TATSUMI, Tetsuroh NOMURA and Yoshitaka KAJITA

In the driver's course inference models which authors developed, three points play the important role. They are □the cognitive distance of drivers to the real route distance, □the mechanism by which drivers select the turning point based on memories concerning the cognitive distances between two turning points and shape of routes, and □the selection probability of the direction in straying. These characteristics of drivers are indispensable to construct a realistic course inference model. Then, in this research three kinds of indoor experiments were conducted with a simulator, and driver's some probabilistic characteristics were clarified by analyzing the result.