

道路案内標識の経路誘導効果の新しい評価法の開発：サクセスツリー法

A New Evaluation Method of Traffic Guide Sign System of Road Network
by Success Tree Analysis

若 林 拓 史 *

By Hiroshi WAKABAYASHI

Traffic guide signs are essential information source for drivers who are unfamiliar with the geography to reach their destinations safely and smoothly. Thus it is important to construct the guide sign system which provides efficient and effective route information. This paper proposes the method for evaluating the guide sign system in terms of reachability to destination based on Success Tree Analysis and Fuzzy Set Theory. The evaluation model expresses the possibility of success of route guidance formed by interaction between the indication of guide signs and the confidence of drivers about their understanding. The model assumption and the model building process are discussed and numerical analyses for different types of guide sign systems are executed for a simple road network.

1. はじめに

わが国の道路標識に対しては、道路案内標識のみでは目的地へ到達できない、とその体系の不備が従来から指摘されている。従来案内標識の表示方法等については、土木研究所等で多面的・網羅的な研究がなされ、道路案内標識の体系化に関して優れた提案や示唆に富むものが多い^{1)~4)}。しかし、案内標識をシステムとして捉え、目的地までの一般的な誘導効果を定量的に把握しようとする研究は不十分であるのが実状である。これは、誘導効果計測のための適切で有効な数理的手法が未解明であること、および評価モデルのインプットとなる、案内標識が『わかる』『わからない』といった人間の主観的要素のモデル化が困難なことに起因していると考えられる。

本論文では、標識設置の改良によってもたらされ

* 正会員 工博 大阪府立工業高等専門学校 助教授
(〒572 寝屋川市幸町26-12)

る効果の計測や代替案の比較を行うため、道路案内標識体系の経路誘導効果を評価・分析するモデルを提案する。このモデルの特徴は、道路案内標識の種類および設置頻度の評価だけでなく、ドライバーが道路案内標識から得られる情報を理解・活用できるかという人間の判断も含めて評価できる点にある。すなわち、道路管理者と運転者の相互関係から成立する経路誘導を明示的に表現できるモデルとなっている。モデルは、信頼性解析の一手法であるFTA⁵⁾の派生的方法であるサクセスツリーアナリシス(STA)に基づいている。また、標識の設置頻度やドライバーの理解度など、厳密な計測が困難なものをモデル化するために、ファジィ集合理論を用いている。

本モデルは、現地で表示された地名や路線番号が、ドライバーにとって認知されやすいかどうかを、道路地図等の事前情報との関わりから表現できる構造となっている。例えば、都道府県道番号が頻繁に表

示されていても、道路地図上にこの表示が示されていなければ、ドライバーが理解できないことを記述できる。また、一般的なドライバーばかりでなく、外国人ドライバーに対する経路誘導効果の評価も可能な点にも特色を有している。さらに、本研究では静的な情報である案内標識のみを扱っているが、近年研究が行われているナビゲーションシステム等の動的な情報提供システムの効果を検討するためにも本モデルは利用可能である。

本論文で紹介するモデルは初期的な基本モデルであり、対象とした道路ネットワークもきわめて単純なものである。しかしながら、道路案内標識の有効な設置法の一般的規準についての興味ある結果がいくつか導かれている。つまり、個別の標識をどのように設置すべきかではなく、一般的にどの種の標識を設置した方が経路誘導に効果的かを定量化できる。また、道路地図との連携がきわめて重要であることも、定量化を通じて明らかにしている。

2. モデルの前提条件

本評価モデルにおいて仮定した前提条件と記述目的は以下のとおりである。

◆前提条件

(1) ドライバーの過去の走行経験や勘は考慮しない。また、道路標識以外の地物(河川や建物)や表示(看板等)の利用は考えない。したがって、ドライバーは、まったく初めての目的地へ未経験の経路を、道路案内標識のみに基づいて走行する。

(2) ドライバーは出発前に、道路地図で経路と目的地を確認し、予定走行経路を決定する。そのとき、

- ① 通るべき経路の路線名があればこれを記憶する。
 - ② 進路を変更すべき地点(交差点, I.C., J.T.等)の名称,あるいは進入する道路の路線名,あるいはその路線が向かっている方面の地名を記憶する。
 - ③ 走行経路の沿線,あるいはその延長上にある著名な都市名と,目的地との位置関係を把握する。
- (3) ドライバーは,走行中にあっては,
- ① 道路標識から得る情報と出発前に得た情報との一致性を判断しながら走行する。
 - ② 交差点やジャンクション等において,道路標識から得る局地的な交差点形状や道路線形と,目の前に展開する現実の交差点形状や道路線形との

一致性を判断しながら走行する。

◆モデルの記述目的

モデルの記述目的は,自分の希望する経路どおり(迷わずに走行して)目的地へ到達できるか,である。モデルの最終アウトプットは,到達の可能性の程度を区間 $[0,1]$ のファジィ数で表したものである。

3. 評価モデルの構築

(1) モデルの構成

本研究で提案する評価モデルは,サクセスツリーアナリシス(STA)と呼ぶものである。STAとは,頂上の成功事象とその構成要因となる基本事象との関連を,サクセスツリー(ST)という基本事象のAND/OR結合構造で表現した樹形図とブール論理とによって解析する方法である。STとは,FTAとよばれる信頼性解析法において,双対FTとして知られているものである。システムが大規模になると数値計算が急激に困難になることが従来の問題点であったが,この数値計算法についても新しい方法を提案するものである。

本研究でのSTでの頂上事象を,『予定していた経路で目的地に到着できる』こととする。また,出発地から目的地までのドライバーの行動は,『道路を直進する』『交差(分岐)点で進路を変更する』『目的地で停止する』の組合せで表現できる。そこで,道路案内標識の経路誘導効果評価モデルを,直進区間モデル,交差点モデル,目的地モデルの各サブモデルに分解して構築した。なお,ここでの直進区間とは単路部より広い意味であり,ドライバーにとって進路変更の必要のない交差点も含んだ直進区間をさしている。ドライバーは上記の3つの『』が連続的に満たされてはじめて目的地へ到達できる。したがって,全体のモデルは各サブモデルのAND結合で構成されている。

(2) 直進区間サブモデル

まず最初に,ドライバーにとって必要な情報は,①いま自分がどこにいて,②何という道路を,③どの方向に向けて走行しているかである⁶⁾。このため,直進区間サブモデルの頂上事象Bを,『ドライバーが今,どこを走行しているかがわかる』とした。このことを,

- ① 地名からの判断,

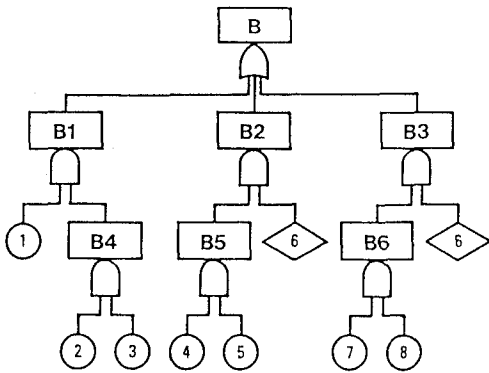


図-1 直進区間サブモデルのST図

② 路線名からの判断，
 ③ 方面を示す地名からの判断，
 のそれぞれについて，
 a) 案内標識が表示されているか，
 b) ドライバーがそれを理解できるか（道路地図で事前に知っているか），
 のAND/OR結合構造で表現した（図-1）．頂上事象Bは中間事象B1，B2，B3のいずれかが成立すれば満たされる．このうち例えば，B1は，現在地名からの判断が可能か否かを表している．すなわち，現在地名の表示がされており（基本事象②）かつそれが理解でき（基本事象③）かつ，走っている方向がわかっていたら（基本事象①），頂上事象Bが成立することを表している．他の中間事象の意味は，表-1に示してある．

（3）交差点サブモデル

交差(分岐)点で，ドライバーが正しい道路に進入するには，①目標の交差点に接近したことがわかる，②目標の交差点を認知する，③標識の表示と現実の交差点形状の一致を確認する，その後選択した進路に進入し，④その進入路が正しいことを確認する，ことがこの順に必要であると考ええる．このため，中間事象Cを，『目標の交差(分岐)点で正しい進入路に進入できる』とし，さらに下位の中間事象として，上記の①②③をそれぞれ中間事象C1，C8，C9で表現した．このSTモデルを図-2，表-2に示す．このうち例えば，中間事象『C1：目標の交差点に接近したことがわかる』ことは，

『C3：行政区域名からの判断』，

表-1 直進区間サブモデルでの中間事象と基本事象

中 間 事 象
B [今、どこを走行しているかわかる] B1 [地名からの判断] B4 [地名の理解] B2 [路線名からの判断] B5 [路線名の理解] B3 [方面を示す地名からの判断] B6 [方面を示す地名の理解]
基 本 事 象
1：走っている方向がわかる 2：現在地名が表示されている 3：2の表示が理解できる 4：路線名が表示されている 5：4の表示が理解できる 6：目標（目的地や経由地）を通過していない確信がある 7：道路の方面を示す地名が表示されている 8：7の表示が理解できる

『C4：付近の地名や前後の交差点で示される路線名からの判断』，
 『C5：当該交差点名そのものからの判断』，
 『C6：進入路線の路線名からの判断』，
 『C7：進入路線の行先の地名』
 のいずれかから可能であると考え，これらのOR結

表-2 交差点サブモデルでの中間事象と基本事象

中 間 事 象
C [目標の交差点で正しく曲がれる] C1 [目標の交差点に接近したことがわかる] C3 [行政区域名からの判断] C4 [付近の地域名や目印的な路線名からの判断] C5 [目標の交差点名からの判断] C6 [進入する道路の路線名からの判断] C7 [進入する道路の方面を示す地名からの判断] C2 [目標の交差点を認知しつつ目標進入路に進入する] C8 [目標の交差点を認知する] C10 [進入する道路の路線名からの判断] C11 [進入する道路の方面を示す地名からの判断] C9 [交差点形状と進入路を確認する]
基 本 事 象
9：該当する行政区域名が表示されている 10：9の表示が理解できる 11：目標の交差点に近づいたことがわかる情報（地域名，目印的な路線名）が表示されている 12：11の表示が理解できる 13：目標の交差点名が表示されている 14：13の表示が理解できる 15：進入する道路の路線名が表示されている 16：15の表示が理解できる 17：進入する道路の方面を示す地名が表示されている 18：17の表示が理解できる 19：地図，実地ともに紛らわしい道路がないために表示はなくても次の経由地へ向かう道路であることがわかる 20：交差している道路の数が一致する 21：交差点形状が一致する 22：道路の大小関係が一致する

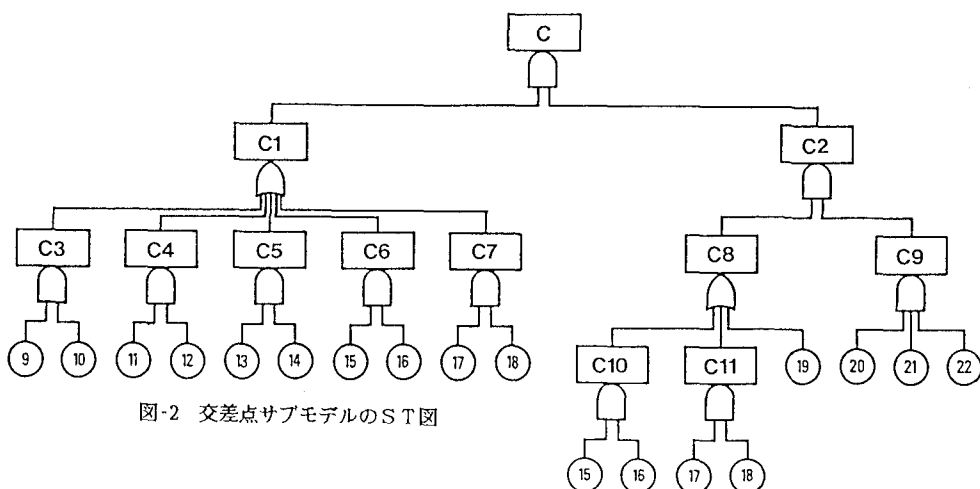


図-2 交差点サブモデルのST図

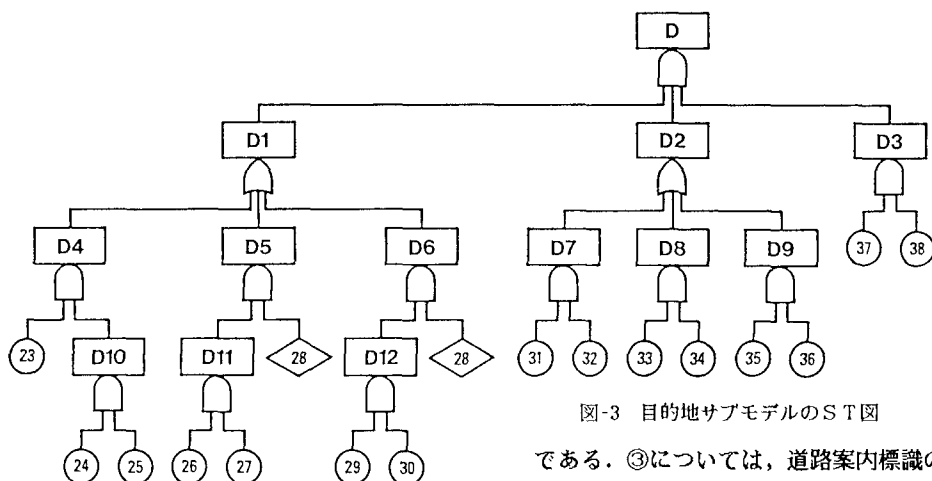


図-3 目的地サブモデルのST図

合によってこの中間事象C1を構築した。なお、④すなわち交差点通過後、選択した路線の確認のための案内は、直後の直進区間モデル、あるいは目的地モデルで記述可能なので省略した。

(4) 目的地サブモデル

ドライバーの目的地は最後の直進区間上にあるものとする。したがって、本モデルは、直進区間モデルに目的地で停止するモデルを追加した形となっている。すなわち、この場合、ドライバーが必要としている情報は、

- ① 最終の交差点で進路変更した後の直進区間を認知する情報、
- ② 目的地に近づいたことがわかる情報
- ③ 目的地で止まれる情報

である。③については、道路案内標識の守備範囲を越えてしまう（極端な場合は各個人の住宅を示す情報が必要）問題点があるので、今回は詳しいモデル構築を省き、目的地は例えば「著名な交差点」等としてモデル構築している。このSTモデルを図-3、表-3に示す。

4. データの与え方

本研究では、標識の設置頻度やドライバーの理解度など、厳密な計測が困難なものをモデル化するために、ファジィ集合理論を用いている。例えば、標識類の設置頻度については、「まったく表示されていない／ほとんど表示されていない／あまり表示されていない／時々表示されている／頻繁に表示されている」のLabel=1～5の5段階のラベル表現でファジィ数を設定した。また、地名表示等に対するドラ

表-3 目的地サブモデルでの中間事象と基本事象

中間事象
D 【目的地に到着したことがわかる】
D 1 【今、どこを走行しているかがわかる】
D 4 【地名からの判断】
D 10 【地名の理解】
D 5 【路線名からの判断】
D 11 【路線名の理解】
D 6 【方面を示す地名からの判断】
D 12 【方面を示す地名の理解】
D 2 【目的地に近づいたことがわかる】
D 7 【行政区域名からの判断】
D 8 【目的地までの距離表示からの判断】
D 9 【目的地付近の地名からの判断】
D 3 【目的地で止まる】
基本事象
基本事象23～30は、直進区間サブモデルでの基本事象1～6と同じ
31：目的地の行政区域名が表示されている
32：31の表示が理解できる
33：目的地までの距離が表示されている
34：33の表示が理解できる
35：目的地に近づいたことがわかる情報（地域名、目印的な路線名）が表示されている
36：目的地に近づいたことが理解できる
37：目的地の地名が表示されている
38：37の表示が理解できる

イバーの理解度（確信をもって判断できるかどうかの程度）も、「まったくわからない／ほとんどわからない／あまりわからない／だいたいわかる／よくわかる」をLabel=1～5として表現した（図-4参照）。

ドライバーの標識理解の確信度に関するファジィ性は、案内標識の種別に応じて以下に述べるように異なると考えられる。まず、地名表示そのものにファジィ性が存在する。地名が点を表している場合には、ファジィ性は少ないが、面的広がりをもっている場合、遠方からはよく理解できるが、近距離から、あるいは到達するとその地名は判明でなくなり、ファジィ性が増す。また、地名が路線から離れた地点にある場合も同様である。さらに、経路上の地名数は路線数に比較して多いので、記憶の困難さがドライバーにとっての認識の不確かさの原因となる。また、走行時間の経過にともなって忘却したり、不安や迷いの入り込む余地があることもファジィ性の一因となる。これに対し、路線番号の記憶は、数が少ないという意味から比較的容易であると考えられる。また路線番号の提供は、同一の情報が継続しているという意味で、ドライバーに安心感を与えるといえる。以上のことから、路線表示の方が地点表示に比較して、理解と行動の確信性のファジィ性が少ない

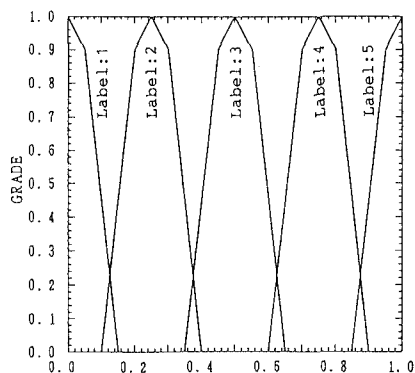


図-4 ファジィ数のラベル設定

と考えられる。もっとも、路線名が、県道〇〇-〇〇線のように、地名で表されている場合には、地名と同様のファジィ性が存在する。

しかし本研究では、路線名の表示に関しては、番号表示（国道番号、都道府県道番号）にのみ着目し、地図上で覚えた番号と実際に表示されている番号とが一致するかしないかのみを「理解できない／理解できる」という確定表現で表し、クリスプ数で与えた。また、地名であっても交差点名や行政区画のような限られた場所の表示に関しては、「表示されていない／表示されている」の確定表現により、クリスプ数を与えている。

5. 数値計算法

STAにおいて、基本事象のうちのどのような組合せが、頂上事象の成立に大きな影響をもっているかを知ることはきわめて重要である。このため、ミニマルパス・ミニマルカットの考え方を導入する。ミニマルパスとは、頂上事象を機能させるのに必要にして十分な基本事象の組合せをいう。ミニマルカットとは、頂上事象が不成立となるための、必要十分な基本原因の組合せをいう。ミニマルパスを求めるには、頂上事象から順々に、上段の事象を、ANDゲート、ORゲートを考慮しながら下段の事象の組合せで置き換える。ANDゲートの場合は、上位事象を下位事象のAND構造で置き換える。ORゲートの場合は、上位事象をそれぞれの下位事象で置き換える（この場合、OR構造のためにバスセット数が増加する）。このようにして、すべての要素が基本事象で置き換えられた場合に、バスセットの探索が終了する。カッ

トセットの探索は、もとのSTの双対なSTを考え、このバスセットを探索することで求められる。

頂上事象すなわち経路誘導効果の計測値を、ここでは到達可能度と呼ぶこととする。到達可能度の推定法は、信頼性解析の分野で筆者らが提案した交点法^{7),8)}を用いる。交点法とは、ミニマルパスおよびカットによって表現された2関数が、バス・カット数に関してそれぞれ単調増加、単調減少する性質を利用し、この2曲線の交点を到達可能度の推定値とする方法である。ここに、バス・カットによる関数はそれぞれ、

$$R_p = 1 - \prod_{s=1}^{p'} (1 - \prod_{a \in P_s} r_a), \quad (1)$$

$$R_k = \prod_{s=1}^{k'} \{1 - \prod_{a \in K_s} (1 - r_a)\}, \quad (2)$$

で記述される。ここに、 P_s 、 K_s はバスセット、カットセットであり、 p' 、 k' は計算に利用するバス・カット数、 r_a は各基本事象の生起する度合（ここではファジィ測度）である。交点法には、計算が簡単であるうえ計算量も少なく、実用上の解精度も保証される特徴がある。なお、この計算法はクリスプ数に対するものであるが、ファジィ数の演算に対する拡張は、 α -カットの概念⁹⁾を用いている。

6. 数値計算例

2単路部1交差点からなるT字型道路を対象に数値計算を行う。この道路網での経路誘導評価モデルは、直進区間サブモデル、交差点サブモデル、目的地サブモデル各1個から構成される（図-5）。目的地の認知に関しては、既に述べたようにこの部分の詳細なモデル構築を行っていないため、「著名な交差点」のようにどのような情報でも到着できる地点を想定した。

まず最初に、本研究での入力データにはファジィ数が含まれているため、到達可能度の最大値と最小値のメンバーシップ関数を明らかにし、モデルの挙動範囲を明らかにする。このため、入力情報である各基本事象のラベルに最高値と最低値とを与えて計算した。図-6に結果を示す。最大値は、到達可能度が1.0となる可能性が最も高いが、到達可能度が0.55である可能性もあることを示している。最小値では到達可能度はほとんど0である。そして、種々の計

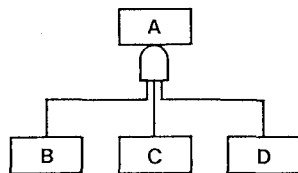


図-5 2単路部1交差点からなるT字型道路でのST図

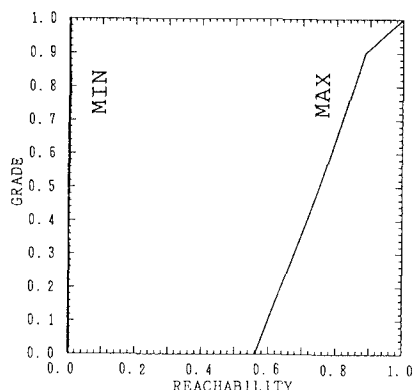


図-6 到達可能度の最大値と最小値のメンバーシップ関数

算例に対する到達可能度はこの最大値と最小値の間に存在するということである。

次に、ドライバーを『路線番号標識』のみによって誘導し、他の案内標識はまったく示さない場合の到達可能度を計算する。標識の設置頻度を表すラベルと理解度のラベルの種々の組合せに対し、数値計算を行った。図-7は、路線番号を『頻繁』に示し、かつ『理解がなされる』場合である。最大値にかなり近いメンバーシップ関数が得られている。国道番号等はそれがはっきりと理解されるために、理解の確信性に関するファジィ性は少ないからと考えられる。なお、『理解がなされない』場合の到達可能度は当然ながらほとんど0に近くなる。次に、標識設置頻度に関するラベルを1段階落とすと、図-8の結果が得られた。

次に、『方面を示す地名』のみを表示し、他の案内標識はまったく示さない場合の到達可能度を計算する。数値計算のラベルの組合せは上と同様である。図-9は、行き先地名を『頻繁』に示し、かつそれが『よく理解される』場合である。到達可能度が1.0である点は上と同様であるが、到達可能度が0.34ぐらいとなる可能性もあることを示しており、図-7と比較して到達可能度がかなり悪くなることがわかる。

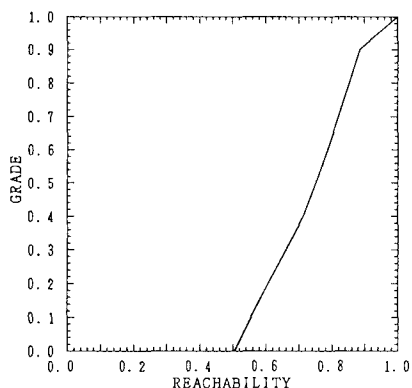


図-7 路線番号表示に関する到達可能度
(案内表示『頻繁』・ドライバー『よくわかる』)

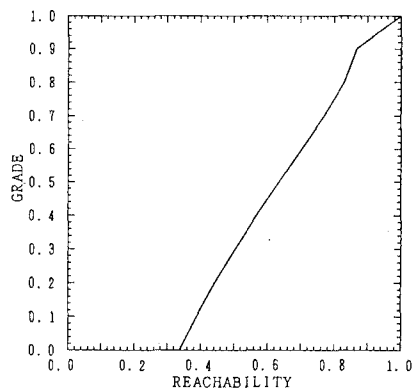


図-9 行き先地名表示に関する到達可能度
(案内表示『頻繁』・ドライバー『よくわかる』)

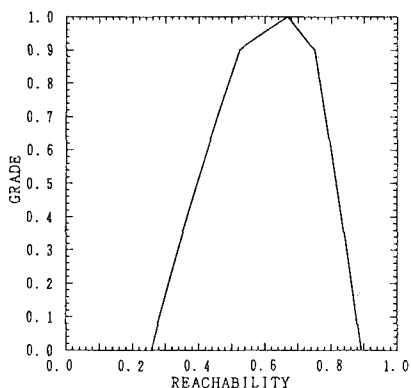


図-8 路線番号表示に関する到達可能度
(案内表示『時々』・ドライバー『よくわかる』)

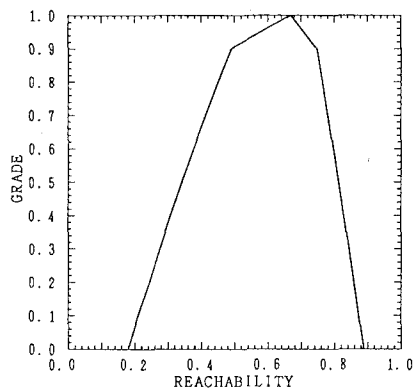


図-10 行き先地名表示に関する到達可能度
(案内表示『時々』・ドライバー『よくわかる』)

この理由は、地名表示と地名理解の確信性に関するファジィ性に起因している。標識設置頻度に関するラベルのみを1段階落とすと、図-10のようになり、図-8に比べ到達可能度が若干悪くなることがわかる。また、標識設置頻度を『頻繁』にしたままで、理解の確信度を『だいたいわかる』にすると、図-11の結果が得られ、明らかに到達の可能性が大きく低下することがわかる。このことは、方面を示す地名を頻繁に表示しても、ドライバーの理解の確信度が低ければ誘導効果は小さなものとなり、地名表示には一定の限界があることを示している。これに対して、路線番号は道路地図に明記さえしてあれば、誰にも理解と活用が可能であるといえ、比較的有効に経路誘導が果たされるものと考えられる。

7. まとめ

本研究では、従来モデル化が困難であった道路案

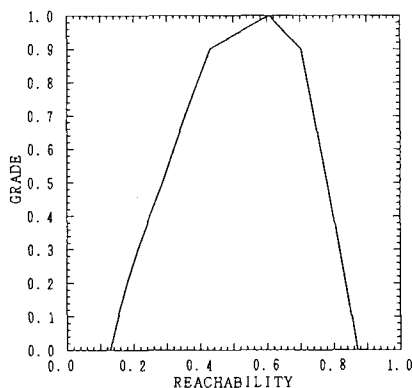


図-11 行き先地名表示に関する到達可能度
(案内表示『頻繁』・ドライバー『だいたいわかる』)

内標識の経路誘導効果を、ドライバーの人間の判断も含めて定量化できる評価モデルを提案した。このモデルは、標識の設置頻度とドライバーの理解との相互作用によって経路誘導が成立することを表現で

きる構造となっている。

数値計算の結果、案内標識の設置頻度と理解度が両方とも高い値であれば、経路誘導効果はそれほど悪くないが、片方がよくてももう一方が悪ければ、経路誘導効果が低下するというモデル挙動が確認された。また、本文中でも考察したように、地名表示に対するドライバーの理解度は、路線番号表示に比べて必ずしも高くないという問題点がある。この点を反映して、ドライバーが完全な情報と確信性を保持している場合には地名表示と路線番号表示による到達可能性に大きな差は生じないが、ドライバーの地名理解の確信度が低下するにつれて両者の差が大きくなることが明らかとなった。このような結果は、従来からしばしば指摘されてきたことであるが、本評価モデルによってその程度の差異を定量化することができたといえる。また、本研究ではドライバーの『理解』ということ、道路地図からの情報と標識からの情報との一致性で定義づけており、道路地図と道路案内標識との連携がきわめて重要であることが示されている。本研究で対象とした道路網はきわめて簡単なものでありながら、以上の一般的特性を明らかにすることができたと考えられる。

今後の研究を進める上での課題は以下のようにまとめることができる。

- (1) 現実の道路網における実証的な研究を進める必要がある。
- (2) 大規模道路網に対する適用性を向上させる必要がある。また、経路が複数個ある場合の考慮も必要である。
- (3) 実際の標識設置間隔が、ドライバーにとってどの程度のサービスレベルの認識に対応するか（例えば、交差点と交差点の間に同一の案内標識は何個あれば十分か）の把握が必要である。

本研究を進めるにあたり、末吉順司（阪神高速道路公団）、奥田直輝（東京都）の両兄に御協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 満田 喬：『案内標識の表示手法に関する一考察』，土木研究所資料第2072号，昭和59年3月。
- 2) 栗本典彦・梶 太郎：案内標識の配置方法に関する研究，土木研究所報告，No.161-2，1984。
- 3) 霜上民生・天野光一・望月博夫・大友恭也：『案内標識の表示内容に関する評価分析（その2）』，土木研究所資料第2351号，昭和61年3月。
- 4) 濱田俊一：道路標識管理システムの開発について，交通工学，Vol.24，No.1，pp.58-69，1989。
- 5) 井上統一：FTAの基礎理論と数値的解析法，井上威恭監修，総合安全工学研究所編『FTA安全工学』，第2章，pp.69-118，日刊工業新聞社，昭和54年。
- 6) 村西正実・増田博行：道路標識等解説『1. 道路標識等の体系』，交通工学，Vol.22，No.6，pp.71-79，1987。
- 7) 飯田恭敬・若林拓史・吉木 務：ミニマルパス・カットを用いた道路網信頼度の近似計算法，交通工学，Vol.23，No.4，pp.3-13，1988。
- 8) Iida, Y. and Wakabayashi, H.: An Approximation Method of Terminal Reliability of Road Network Using Partial Minimal Path and Cut Sets, Transport Policy, Management and Technology Towards 2001, Vol.4, pp.2185-2198, Western Periodicals, Co., 1990。
- 9) 寺野寿郎・浅居喜代治・菅野道夫：ファジィシステム入門，pp.27-35，オーム社，昭和62年。