

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

野村哲郎¹・外井哲志²・清田 勝³

¹正会員 株式会社コルバッック 技術開発室（〒160-0022 東京都新宿区新宿1-26-12）

²正会員 工博 九州大学大学院助教授 都市環境システム工学専攻（〒812-8581福岡県福岡市東区箱崎6-10-1）

³正会員 工博 佐賀大学教授 理工学部都市工学科（〒840-8502 佐賀県佐賀市本庄町1）

本研究は、道路網における案内標識の最適配置に関して、ネットワーク上における迷走の最小化をはかることを目的とし、その数理モデルの提案およびアルゴリズムの開発を行ったものである。

目的地の案内方法としては地名または路線番号方式および併用型とし、その設置箇所は交差点流入部に限定している。運転者の迷走度の表現として到達迷走度を導入している。最適化の考え方としては、すべてのODの到達迷走度の和を最小化する立場を提案している。最適化の数理モデルでは、運転者の迷走度に関する指標を目的関数とし、標識設置リンク数および案内1方向あたりの表示数を制約条件として、解法には動的計画法を適用し、計算例により地名、路線および併用型案内の性質を示している。

Key Words : direction of district, direction of place name, road sign, traffic information, traffic management, traffic control, dynamic programing

1. まえがき

道路交通情報の基本は、地名および路線の案内情報^{①②}である。そのために設置される案内標識の目的は、地理不案内の利用者に対して、迷走することなく不安なく目的地に到達できるよう誘導することである。また、道路における案内誘導は、運転者の迷走を減じることにより、交通渋滞の緩和、時間の節約、さらには交通事故の抑制、エネルギーや排ガスの削減など多くの効果をもたらすことが期待できる。

一般的に案内誘導の検討内容は、運転者の迷走を最小限に抑えるよう、道路網上の標識設置位置と表示内容を決定することである。この考え方は数理的な取り扱いを基本としているため、道路網上の案内標識システムの観点からも効果的であり、また、静的情報に関する案内標識システムとカーナビゲーションとの分担関係を考察する上でも重要な役割を果たすものと思われる。

ここで、案内標識による経路誘導に関する従来の研究の内容を整理する。

まず、道路網上の案内システムの評価に関するものとして、次の研究がある。

満田^④は、道路案内標識の表示内容の一貫性を確保するためのルールの確立を目的として、道路網の案内に関して連続網の理論を導入している。栗本^⑤は、交差点流入部に運転者の進路選択のための案内標識を設置することにより得られる案内誘導効果を道路網全体について評価する方法を提案している。若林^{⑥⑦}は、運転者が道路案内標識によってどの程度の容易さで目的地に到達できるかについて、人間的判断も含めて定量化できる評価モデルを提案している。

また、視認性等に関する研究として次のものがあげられる。

大蔵ら^⑧は、案内標識における方向別の表示地名数による表示情報量と判読性との関係について分析している。野作ら^⑨は、標識の視認性に関する実走行調査から標識の形式、反射板種別ごとの視認影響度合いを定量評価している。石渡ら^⑩は、運転者による経路案内標識の評価が可能な模擬走行装置を開発し、被験者の不安度のレベルをアンケートにより調べ、実走行実験との比較を行っている。高松ら^⑪は、アンケート以外の指標として心拍数変動および副次課題成績を提案し、模擬走行装置と実走行実験により検証している。また、木村ら^⑫は、案内標識

の判読性評価として、CG映像を用いて判読に要する距離と時間を検証し、現実空間との対応関係を考察している。

外井^{13),14)}は、道路網における案内標識の最適配置を検討するために、地名案内に限定して、情報エントロピーを用いた迷走度あるいは標識設置数を最小化する最適化手法を提案している。著者ら¹⁵⁾は、この迷走度の最小化に加えて、運転者に提供する案内情報を公平化するために各ODの迷走度を等しくするという新しい目的関数を導入するとともに、路線番号のみを用いた案内方式に関して外井の方法を発展させたが、このモデルでは、地名と路線を同時に取り扱うモデル形式とするには到らなかった。また、路線案内を上位問題、地名案内を下位問題とした数理モデルによる最適化手法¹⁶⁾を提案している。

ところで、これらの研究のほとんどが、運転者が迷走することなしに目的地に到達させることのみを目的にしており、迷走した運転者への対応を考慮したもののは見られない。

元来、すべてのODに対して完全な経路誘導を行うことは現実的には不可能であり、種々の制約によって最短経路を案内できなかったODに対しては、代替経路を案内する機能を有することが望ましい。また、現実には地理不案内の運転者ほど案内情報を見落としがちであるから、たとえ案内システムが理論上完備した道路網においても、運転者の迷走は起こう。本来望ましい案内システムは、こうした迷走者に対してある程度の対応が取れたものであるべきである。すなわち、制約による案内の不備や情報の見落としによって迷走を始めた運転者を予定の経路、あるいはそれに代わるべき経路に誘導する機能、つまり「経路復元誘導機能」が案内システムの中に組み込まれていなければならない。この点を検討するためには、標識の案内が迷走にどの程度影響をおよぼすかを明らかにするとともに、システム最適化によって案内システムを構築する必要がある。

本研究は、このような観点から、運転者の迷走度を定義し、標識の配置と案内内容に応じた迷走度の逐次計算に基づき、道路網上の迷走度の総量を最小化する案内システムを求める数理モデルを提案したものである。なお、本モデルでは、迷走度の計算はシミュレーション法を用いており、前述の提案モデル^{15),16)}に対して地名案内と路線案内を併用した案内方式を取り入れた数理モデルに改善している。

2. 案内標識の最適化手法

一般に案内標識の第一義的な目的は、運転者を最短経路で目的地に誘導することであり、第二義的な目的として、迷走している運転者の迷走度の最小化が考えられている。しかし、第二義的な目的を達成することによって、ほとんどの場合、第一義的な目的は十分に達成される。さらに、社会的にみて、運転者の迷走量をできるだけ少なくする案内誘導システムは、運転者を最短経路に導くだけの案内誘導システムよりは価値が高いと考えられる。

このような観点から、本研究では、運転者の迷走量を最小化することを目的とする案内誘導システムのあり方を考えるものである。

(1) 案内誘導の方法

目的地の案内方法については、経路誘導の整合性という点では、路線案内方式の方が地名案内方式よりも優れているという見解がある¹⁷⁾。一方、地名案内方式には都市内道路網における目的地や目的施設案内のほか進むべき方向や現在地の確認、本来の経路をはずれた迷走者を正しい経路に復帰させたり、その経路には復帰できなくても正しい目的地に誘導するなどの役割がある。

経路案内に必要な情報は、単路部においては、i)現在位置、ii)現在進行中の道路、iii)現在進行中の方面に関する情報であり、交差点流入部においては、iv)進むべき方向に関する情報等である。しかし、これらの中には進行方向を決定するのに不可欠な情報と確認のための情報がある。これらのすべてを同時に考慮するのが望ましいが、本研究では、最初のステップとして、道路網上の案内情報の基本として最低限必要である上記iv)を対象にしてモデル化を行うことにする。

利用者の立場から考えた場合には、必要なすべての路線番号と目的地名が表示されることが望ましいが、案内標識には、多くの目的地名等を表示するスペース的余裕もなく、運転者にとっては多くの表示内容を確認する時間的余裕もない。さらに視認性の面から、表示内容はできる限り簡潔で的確な表現が必要となる。そこで、本研究では地名および路線案内の両者の利点を最大限に活用するために、適切な位置に地名および路線番号を適切に組み合せて表示し、迷走度を最小にするための案内システムを構築する方法について提案する。

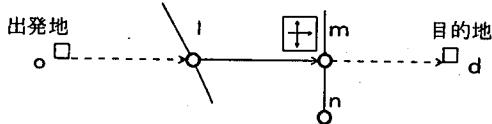
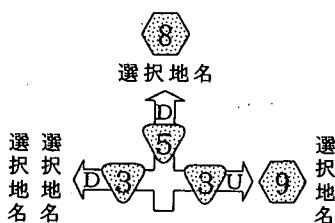


図-1 リンク上の標識位置



「U」は「上り」、「D」は「下り」を意味する。

図-2 案内標識案

(2) モデル化のための仮定

標識による案内経路はODの組み合せ別に設定する。また、各ODの組み合せ毎に最短経路を求め、これを基本案内経路とする。案内標識の設置位置は図-1に示すように交差点流入部とする。リンク l_m 上で $m \rightarrow n$ の方向に対する案内地名または路線番号の候補群 S_{mn} は、各ODの目的地、目的地を経由する路線の番号および運転者の既知情報の中の地名、路線番号より構成される。運転者の既知情報は、地名案内に関しては経由地名とその順序であり、路線案内に関しては走行する路線番号とその方向である上り・下りおよび順序であるとする。運転者は、この既知情報と標識から得られる情報のみによって行動するものとする。ここで、「上り」、「下り」の表示を導入したのは、表示地名によって適切な情報を得られない運転者にとって、補助情報としての路線番号に加えて「上り」、「下り」を表示することが、進行すべき方向を知る上で効果的であると考えられるからである。

表示内容は図-2に示すように、分岐交差路線に関しては路線番号とその上り・下りとし、分岐後に関しては方向別に重複しないように地名または路線番号を選択する。その地名または路線番号の制限数は方向別に一律 n_a 個と定める。図-2の例においては $n_a = 2$ である。

(3) 標識設置および表示内容に関する表現

まず、標識設置および表示内容の表現のために、いくつかの記号を導入する。図-1に示す区間において、 $x_{lm} = 1$ はリンク l_m 上でノード m 側の交差点流入部に案内標識を設置することを意味し、 $x_{lm} = 0$ は設置しないことを意味するものとする。また、 $\xi_{lmn} = 1$ はリンク l_m 上でノード m の隣接ノード n の方向へ地名または路線番号 j を案内することを意味し、 $\xi_{lmn} = 0$ は案内しないことを意味するものとする。

このような記号にもとづくと、ネットワーク上のリンクにおける標識設置有無の政策 x 、および x を前提とした地名または路線案内の政策 $\Xi(x)$ は次式のように表現することができる。すなわち、

$$x = \{\dots x_{lm} \dots\} \quad (1)$$

$$\Xi(x) = \{\dots C_{lm} \dots\}, \quad l \in M_a \quad (2)$$

$$C_{lm} = \begin{matrix} & j \\ & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & & \cdot & \\ \cdot & \xi_{lmn} & \cdot & \\ & \cdot & \cdot & \cdot \end{matrix}, \quad n \in N_m \quad (3)$$

ここに、 M_a はノード o とノード d の間の走行対象リンクの集合、 N_m はノード m における隣接ノード n の集合である。

(4) 制約条件の表現

各方向へ案内する地名または路線番号は、その候補の集合 S_{mn} の中から選ばれるので、

$$C_{lm} \leq x_{lm} \cdot \omega_m \quad (4)$$

$$\omega_m = \begin{matrix} & j \\ & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & & \omega_{mnj} & \cdot \\ & \cdot & \cdot & \cdot \end{matrix} \quad (5)$$

または、

$$\xi_{lmn} \leq x_{lm} \cdot \omega_{mnj} \quad (6)$$

ここに、 $\omega_{mnj} = 1$ は地名または路線番号 j が S_{mn} に含まれることを意味し、 $\omega_{mnj} = 0$ は含まれないことを意味する。

各方向へ案内する地名または路線番号の制限数は n_a であるので、

$$\sum_j \xi_{lmn} \leq n_a \quad (7)$$

さらに、標識設置数の上限値を n_s とすると、

$$\sum_l x_{lm} \leq n_s \quad (8)$$

ここに、 L はネットワークに関する標識設置対象リンクの集合である。

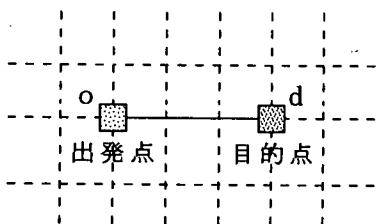


図-3 ネットワーク例

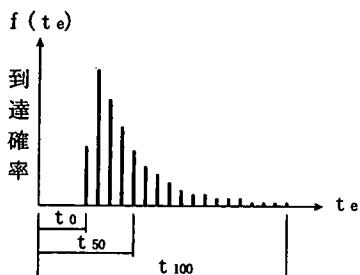


図-4 到達確率分布の概念

(5) 到達迷走度の表現

経路上の交差点流入部で有効な案内誘導が逐次行われれば、経路案内情報の曖昧さは0となる。ここで、リンク長を任意とする無限ネットワークを考える(図-3)。このネットワーク上を案内誘導なしに地理不案内の利用者が目的点に向かうとき、目的点に到達する時間または距離は確率分布するものと考えられる。このときの時間または距離の確率分布は、図-4に示すような形になるであろう。ここで、 t_0 はODの最小到達経路長である第1波(迷走せずに最短経路で目的地に到達した運転者)までの時間または距離、 t_∞ は迷走の程度に応じた到達経路長であり、累計で $e\%$ の運転者が到達する時間または距離とする。このとき、 t_0 に対する t_∞ の比が大きいほど、ODに関する迷走度が大きくなると考えられる。そこで、評価関数を次式のように定義し、これを「到達迷走度」と呼ぶことにする。すなわち、

$$H(\pi(x)) = \sum_{\ell} \left(\frac{t_\ell(\pi(x))}{t_0(\pi(x))} - 1 \right) \quad (9)$$

ここで、 $H(\pi(x))$ 、 $t_\ell(\pi(x))$ 、 $t_0(\pi(x))$ は政策 $\pi(x)$ のもとでの値である。また、到達迷走度 $H(\cdot)$ は非負であり、図-4に示す分布形が左寄りになるほど迷走の度合いが小さくなり、望ましい状態となる。さらに、 $H(\cdot)=0$ とは、政策 (\cdot) のも

とに、あるODのすべての運転者が図-4の第1波になる場合であり、迷走がない状態を表す。到達迷走度は運転者の迷走の度合いを表すので、政策 $\pi(x)$ に対する到達迷走度の変化をみるとことによって、一旦迷走を始めた運転者を正しい目的地に誘導できる案内効果を把握できることになる。

(6) 最適化の考え方

運転者にとって既知情報量が少ない場合においても、迷走が発生しにくい方が望ましい。一方、道路管理者にとって予算制約、管理の手間、美観の面から案内標識はできるだけ少ない方が好ましい。したがって、最適化の立場としては次の2つが考えられる。

- i) 運転者の迷走度に関する指標を目的関数とし、これを最小化する。または、迷走度の減少量を最大化する。このとき案内標識設置数の上限値、方向別表示数の上限値、既知情報の量および表示内容に関する制約条件を考慮しなければならない。
- ii) 案内標識の設置数を目的関数とし、これを最小化する。このとき各OD上での案内サービス水準としての迷走度の許容値、方向別表示数の上限値、既知情報の量および表示内容に関する制約条件を設ける必要がある。

i)とii)は、目的関数と制約条件を入れ替えれば同じ問題となる。しかし、案内標識をすべてのリンクに設置することが許される場合には、i)では表示内容を決定する問題になるが、ii)では問題として成立しなくなる。また、迷走度を制約条件として用いる場合、上限値を決定することが難しいので、i)の方が一般性が高いといえる。よって、本研究ではi)の立場にもとづき、すべての利用者の到達迷走度の総和を目的関数として、これを最小化する最適化の立場をとることとする。

この問題は、案内標識の設置数および方向別案内表示数に関する制約条件のもとで、関数 Z を最小化する極値問題である。すなわち、ネットワーク全体における標識設置箇所を含んだ方向別案内内容の政策集合を $\Pi(x)$ とし、すでに記載した各種制約条件を再掲併記して最適化問題として定式化すれば、

$$\underset{x \in \Pi(x)}{\text{minimize}} \quad Z(\pi(x)) \quad (10)$$

$$Z(\pi(x)) = \sum_k H_k(\pi(x)) \quad (11)$$

以下、前記の式(1)～(2)、(5)、(7)、(8)

ここに、 k はODの番号である。

なお、式(10)、(11)に示す最適化モデルの決定変数は、 x_{im} および π_{imn} である。

3. 解法

(1) 動的計画法の適用

本問題は、標識設置リンク、案内方向および案内する内容を有限な資源とする入れ子構造の最適資源配分問題と考えられる。本モデルの求解にあたっては、この点を考慮し、解法として適した動的計画法を用いる。動的計画法^{17),18)}は、非線形問題の複雑な構造を単純な形に定式化しやすく、合理的な定式化は計算時間を短縮する。

ここで、段階変数の選び方としては、ODまたはリンクが候補として考えられる¹⁹⁾。しかし、1つのODに対して複数の経路が存在するので、異なるOD間だけではなく同一OD間でもリンクの重複が発生する。したがって、標識設置箇所数が多くなると、リンクを段階変数とする場合においては高次元問題となり、その処理が複雑になる。一方、ODを段階変数とした場合には、多段階一次元問題となり、計算量も少なくなる。よって、ODを段階変数とし、案内内容の政策 $\Xi(x)$ を状態変数とする。

制約条件である式(4)～(8)を満たす第 k 段階の可能な標識設置リンク状態を表す案内標識設置の政策を x^k 、そのときの案内内容の政策を $\Xi_k(x^k)$ で表すとき、 $x_{im} \in x^k, \xi_{imn} \in \Xi_k(x^k)$ に対するOD別到達迷走度総和の最小値は、最適性の原理にもとづいて動的計画法により定式化すると、次式で表される。

$$Z_k(\Xi_k(x^k)) = \min_{\Xi_{k-1}(x^{k-1}) \in \Xi_k(x^k)} [H_k(\Xi_k(x^k) - \Xi_{k-1}(x^{k-1})) + Z_{k-1}(\Xi_{k-1}(x^{k-1}))] \quad (12)$$

$$\text{b.c. } Z_1(\Xi_1(x^1)) = H_1(\Xi_1(x^1)) \quad (13)$$

ここで、 $Z_k(\Xi_k(x^k))$ は、第 k 段階までのOD別到達迷走度総和の最小値である。

以上に関する概略フロー図を図-5に示す。

(2) 到達迷走度のシミュレーション

実際のネットワークではリンク長も交差点での分岐数も一定ではなく、図-4における第2波以降も考慮した迷走度を解析的に求めることは困難であるので、式(9)の値はシミュレーションにより求める。以下にシミュレーション上の仮定を述べる。

まず、交差点の進行方向に関する仮定としては、第1に、出発点から向かう方向は、最短経路上の1番目のノード方向とし、迷走者が出発点まで戻って来た場合も同様とする。よって、走行リンク長の計算にあたっては、出発点から次のノードまでのリンク長は迷走距離から控除する。

第2に、何も案内がないリンクに進入した場合

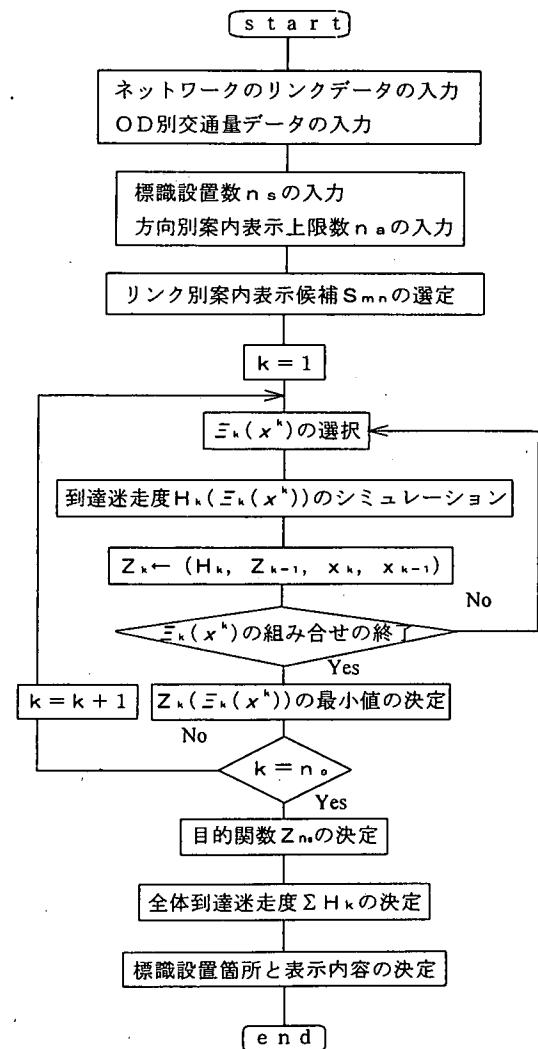


図-5 解法のフロー図

の交差点での進行方向は、直進、右・左折、戻りの4方向からランダムに選ぶ。案内に従って進入したリンクの交差点に案内が無い場合は、直進、右・左折の3方向とする。出発点から次のノードでの進行方向も同様であり、戻りはないものとする。また、このとき路線番号付きのリンクを走行してきた運転者が路線番号の付いていないリンクと交差する場合には、その交差道路は進行方向として選択されないものとする。

案内の表示内容に関する仮定としては、第1に、同一の案内板上では、同一地名または同一路線番号の案内を複数の方向に表示しないものとする。第

表-1 案内候補

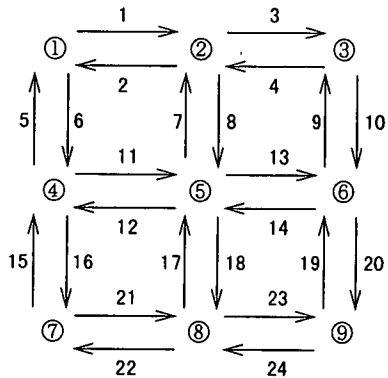


図-6 例題の道路網(リンク, ノード番号)

△	出発地	目的地	案内候補	
			地名	路線番号
OD 1	⑦	②	④, ⑤, ②	▽
OD 2	④	③	⑤, ⑥, ③	-
OD 3	①	⑨	②, ⑤, ⑧, ⑨	▽, ▷, △

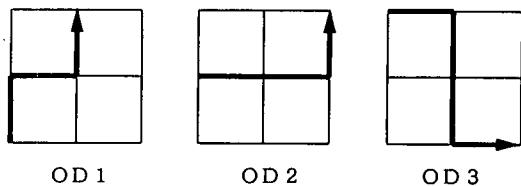


図-9 基本案内経路

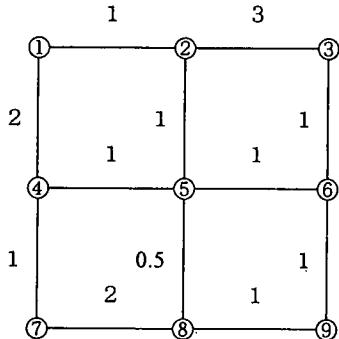


図-7 隣接ノード間のリンク長

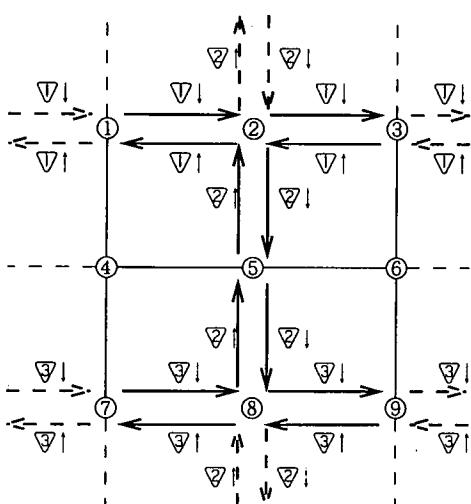


図-8 路線番号とその方向

2に、同一ODに対して地名と路線番号のどちらか、または両者を用いても到達迷走度が同一値の場合は、地名案内を優先する。

4. 計算例

(1) 例題

図-6に示す往復24リンク、9ノードの道路網における案内標識の設置問題を考える。対象とする道路網は、図-6を中心として4差路のネットワークが一様に広がっているものとする。

隣接ノード間の時間または距離を表すリンク長は、図-7に示すとおりであり、このエリア外の隣接ノード間のリンク長は1とする。路線番号とその方向については図-8に示すとおりであり、丸枠内の数字はノードを表し地名を兼ねる。三角枠内の数字は路線番号を表す。破線は図-6エリア外の隣接リンクを現し、点線矢印はそのリンクに路線番号が付いている場合の路線の連続方向を示す。さらに、ネットワークの左または上方向を「上り」とする。「↑」は「上り」、「↓」は「下り」を意味する。また、各OD交通量はすべて等しいとし、制約条件である標識設置数の上限値 n_s は2、案内板の1方向に示すことができる地名または路線番号の制限数 n_a は2とする。

案内候補の集合 S_{mn} は、本来は各リンク毎に設定すべきであるが、例題では対象エリアが小さいのでリンク別には設定せずに、表-1に示すように、図-9に示す基本案内経路である各ODの最短経路上

表-2 例題の到達迷走度

	OD1	OD2	OD3	計
案内なし	30.25	29.75	171.12	231.12
地名のみ	23.00	2.50	4.00	29.50
方面のみ	2.50	29.75	8.60	40.85
併用型	2.50	6.00	8.60	17.10

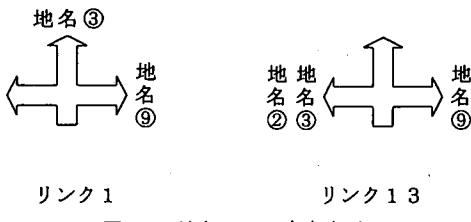


図-10 地名のみの案内表示

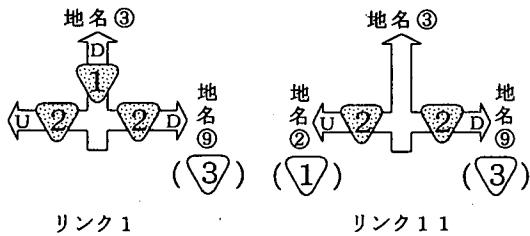


図-11 併用型の案内表示



図-12 路線番号のみの案内表示

のすべての経由地名、路線番号および目的地名を選択の対象とする。

評価関数の計算に関しては、式(9)の到達時間比 t_e / t_0 が非常に大きくなる部分を検討することは現実問題として無意味と考えられる。また、図-4の 100%近くまでの波を対象とすると、短時間での計算が困難となる。よって、時間 t_e の e の値は十分位点として 10% できざみ、対象とする分位点は第 5 分位点、つまり中央値である 50% までとする。

(2) 計算結果

例題における案内方向別の到達迷走度（数値が小さいほど、設置効果が高い）の計算結果を、表-2 に示す。そのときの標識設置リンクと表示内容については図-10～12 に示すとおりとなった。これらの図においては、案内すべき地名または路線番号が表示されてない方向があるが、これは本例題では案内対象の OD 数を限定したためである。

a) 標識の位置に関して

i) OD との関係は、最短経路上にリンク数が多いか、または分岐数が多い OD の最短経路上のリンク、ii) 最短経路上のリンクとの関係は、リンク長が大きいリンクの直前のリンク、iii) 最短経路（図-4 の第 1 波）ではなくても、それに続く比較的短い経路（図-4 の第 2 波以降）上のリンクで他の OD のリンクと重なっている交通量の大きいリンクに設置される傾向にある。

i) に関しては、OD 3 の最短経路上のリンクが該当する。以下、OD 3 を例にとると、i) に関しては、最短経路上のリンクであってもリンク長が小さいリンクの直前のリンクは非効果的ともいえる。これには、リンク 8 が該当し、標識設置数が少ない場合には設置されないことになる。iii) に関しては、図-10 に示すリンク 13 が該当する。このリンクは、OD 2 の最短経路上のリンクであり、OD 3 の最短経路上のリンクではないが、右折に OD 3 の目的地名⑨が案内されている。

運転者にとっては、目的地に対して最短で到達できるように誘導されるのが望ましいが、すべての OD の到達迷走度の総和を最小化しようとするときは、リンク 13 のように、最短とならない経路に誘導される運転者が現れる場合があり、これは図-4 の第 2 波以降の経路に誘導された運転者に該当する。

b) 表示方法に関して

地名または路線案内のみの場合と併用型案内の場合の案内効果については、表-2 に示すように、地名案内の到達迷走度は 29.50、路線案内の場合は 40.85、併用型案内の場合は 17.1 となり、併用型案内の効果が顕著に現れている。しかし、到達迷走度の総和を最小化しているので、個別の OD に関しては、必ずしもこの傾向は成り立たない。なお、併用型案内の計算結果では、リンクは 1 と 11 が選択されており、その表示内容は図-11 に示すとおりである。リンク 1 の右折では路線番号③より地名⑨が、リンク 11 の右折では路線番号▽より地名⑨、左折では路線番号▽より地名②が選択されている。これは、同一方向に地名または路線番号のどちらを用いても到達迷走度が同一値の場合は地

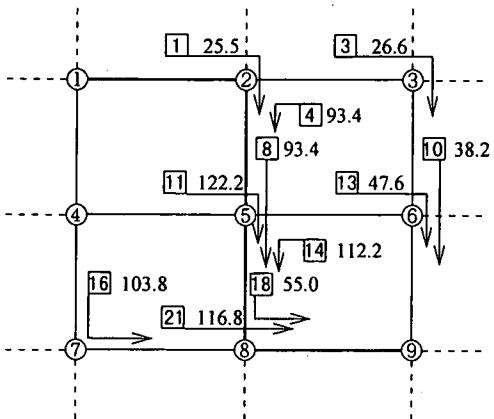


図-13 OD 3 の到達迷走度 ($n_s = 1$)

名を優先したためである。

次に、上り・下り表示の効果について述べる。

OD 3 の最短経路上では、リンク 8 と 18 は路線番号がリンクをまたがって同一であり、路線番号付きのリンクと交差していないので、図-12に示すように、その直前のリンクであるリンク 1 上での右折の矢印上の路線番号 [Down] と表示することによって、交差点⑧まで連続した誘導が可能となっている。さらに、分岐後の案内である路線番号⑨と連係した連続案内となって、効果的な誘導が行われている。

(3) 考察

前節で述べたように、最短経路上にないリンクに案内がなされることがあるが、これは次のような理由によるものである。

全交差点において、連続した案内がある場合には、最短経路上のリンクで最短経路に案内され、到達迷走度は 0 となる。しかし、標識設置数や 1 方向の案内表示数に制限がある場合には、最短経路以外のリンクにも標識設置の効果的なリンクがある場合がある。

ここで、例題のOD 3 の地名案内に限り、標識設置数の上限値 n_s を 1 として標識設置リンク別に到達迷走度を求め、小さい値の主なものを示すと図-13のようになる。四角枠内の数字はリンク番号であり、矢印の始まりは標識の設置箇所リンクを、矢印の方向は目的地名⑨の案内方向を示す。

最短経路上のリンクに標識を設置した場合の到達迷走度の最小値は、リンク 1 の 25.5 である。最短経路上以外のリンクでも、リンク 3, 10, 13 の 3 つのケースでは、リンク 8 の 93.4 およびリ

ンク 18 の 55.0 よりも小さい値をとっており、最短経路上のリンクよりも標識設置効果が高いリンクの存在が少なくないことがわかる。

さらに、標識設置数の上限値 n_s を 2 として、設置効果の高い組み合せの順に並べると以下のようになる。

$$H_3(\text{リンク } 1 \text{ 右折, リンク } 18 \text{ 左折}) = 2.75$$

$$H_3(\text{リンク } 1 \text{ 右折, リンク } 13 \text{ 右折}) = 4.0$$

$$H_3(\text{リンク } 1 \text{ 直進, リンク } 10 \text{ 直進}) = 13.5$$

$$H_3(\text{リンク } 1 \text{ 右折, リンク } 8 \text{ 直進}) = 23.75$$

最も設置効果が高い組み合せは、1番目（リンク 1, 18）であり、最短経路上のリンクの組み合せとなっている。これらの組み合せで最短経路上のリンク以外のリンクに標識が設置されているのは、2番目（リンク 13）と3番目（リンク 10）である。これらは最短経路上のリンク同士である4番目（リンク 1, 8）の組み合せよりも効果的であるという結果となっている。

例題では、他のODも含めて各ODの到達迷走度の総和を最小化したため、上記の2番目のリンク 1 と 13 の組み合せ（図-10）が選択されている。そのリンク 13 上の案内内容は、右折に地名⑨、左折に地名②が表示され、いずれのODに対して最も最短経路上の誘導とはなっていない。

これは最短経路からはずれた経路を走行している運転者を対象とした案内を行うことによって、式(9)の評価関数の値を小さくする原理が働いていることによるものである。すなわち、最短経路で目的地に到達できる運転者とそれ以外の運転者の比率、または代替経路の長さの大小によっては、必ずしも最短経路上に案内することが式(9)の評価関数を小さくすることにはならないのである。このように、迷走を始めた運転者を元の経路に復帰させる、または代替経路へ誘導する効果をもつ案内システムを構築することができるが、本モデルの特徴である。

5. あとがき

本研究は、道路網における案内標識の最適配置に関して、ネットワーク上における到達迷走度の提案とその最小化を図ることを目的とし、数理モデルの提案およびアルゴリズムの開発を行ったものである。

数理モデルの解法においては、能率のよい動的計画法の定式化ができた。さらに、例題の計算結果では、次のような性質を示すことができた。

i) 地名、路線番号および併用型案内では、併用型

案内の効果が高い。

- i) 案内効果が高い標識設置リンクとしては、最短経路上のリンクまたは分岐数が多いOD経路上のリンク、リンク長の大きいリンクの直前のリンクが選ばれる傾向にある。また、最短経路上にないリンクにも案内効果の高いリンクがある。
- ii) 最短経路上に、同一路線番号のリンクが続いている、途中の交差リンクと区別できる場合には路線番号案内は効果が高い。それが連続案内であれば、さらに有効となる。

全体を通して、本研究により最適化された案内標識体系は、最短経路から逸脱した運転者を復帰させる機能ばかりではなく、案内標識の設置制約により最短経路を示すことができないOD交通に対しても代替経路を案内する機能を有すること、あるいは代替経路の案内が、到達迷走度総和の最小化というシステム最適の所産であることが確認できた。

本モデルは、道路網における案内誘導システムの最適化を図る上できわめて効果的であると思われるが、現在、運転者の既知情報の内容分析および単路部における案内誘導効果の数理モデルへの導入、さらには、ナビゲーションシステムとの静的情報としての役割分担について検討中であり、これらについては今後の課題としたい。

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、pp.27-71、1984.
- 2) (社)日本道路協会：道路標識設置基準・同解説、pp.47-167、1978.
- 3) 栗本典彦：案内標識の設置効果に関する評価手法、交通工学、Vol.14 No.2、pp.3-9、1979.
- 4) 若林拓史：サクセスツリーとファジィ理論を用いた道路案内標識の経路誘導効果評価モデル、第10回交通工学研究発表会論文集、pp.121-124、1990.
- 5) 若林拓史：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、土木計画学研究・講演集、No.13、pp.249-256、1990.
- 6) 若林拓史：サクセスツリー法による道路案内標識の経路誘導効果評価モデルの適用、第11回交通工学研究発表会論文集、pp.117-120、1991.
- 7) 若林拓史：道路案内標識の経路誘導効果評価法：サクセスツリー法の一般道路網への適用、土木計画学研究・講演集、No.14、pp.345-352、1991.
- 8) 大蔵泉、宇留野藤雄、内海正和：案内標識の情報量に関する一分析、交通工学、Vol.16/ No.3、pp.23-30、1981.
- 9) 野作哲弘、河野英一：案内標識の視認性に関する研究、高速道路と自動車、第31巻/第3号、pp.37-46、1988.
- 10) 石渡章浩、飯島護久、赤羽弘和、桑原雅夫：道路案内標識評価システムの開発、土木計画学研究・講演集、No.20(2)、pp.867-870、1997.
- 11) 高松誠治、桑原雅夫、赤羽弘和、吉井稔雄：道路案内標識評価システムの開発、土木計画学研究・講演集、No.20(2)、pp.871-874、1997.
- 12) 木村一裕、清水浩志郎、末岡真純、伊藤元一：CGを用いた案内標識の判読性評価、土木計画学研究・講演集、No.20(2)、pp.875-878、1997.
- 13) 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基礎的研究、土木学会第47回年次学術講演会、pp.92-93、1992.
- 14) 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.
- 15) 野村哲郎、外井哲志、清田勝：都市間道路網における方面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.
- 16) 野村哲郎、外井哲志、清田勝：道路網における案内標識の最適配置に関する研究、土木学会西部支部研究発表会、pp.652-653、1997.
- 17) 岩本誠一：動的計画論、九州大学出版会、pp.19-25、1987.
- 18) Stuart E.Dreyfus and Averill M.Law: *The Art and Theory of Dynamic Programming*, Academic Press, Inc., pp.33-49, 1977.

(1998.6.22 受付)

A STUDY ON THE OPTIMAL ROAD SIGN SYSTEM IN HIGHWAY NETWORK USING VALUE OF STRAY

Tetsuroh NOMURA, Satoshi TOI and Masaru KIYOTA

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 establish the efficient road signs at the effective places. This paper proposes the methods for the optimal road sign system in highway network. The optimal model evaluates the minimum total Value of Stray by simulating method, and optimize the sign system by Dynamic Programing. The model assumption and the model building process are discussed and numerical analyses for the optimization are executed for a simple road network.