【土木計画学研究・論文集　No.13　1996年8月】

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

A Study on the Optimal Disposition of Road Sign in Highway Network

野村哲郎*・外井哲志**・清田　勝***

by Tetsuroh NONURA, Satoshi TOI and Masaru KIYOTA

1．まえがき

道路網における案内標識の目的は、地理不案内の運転者に対して迷走することなく、不安なく目的地へ到達できるように誘導することである。そのためには、適切な箇所に適切な標識を提供することが重要である。目的地の案内方法としては、地名方式と路線番号方式とがある[1),2)]が、本研究では、都市間道路網における案内表示を対象として路線番号方式を採用する。

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と、次のようになる。

満田[1)]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、道路網の案内に関する連続網の理論を展開している。栗本[3)]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[4),5)]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を評価するモデルを提案している。大蔵ら[6)]は、案内標識における表示情報量（方向別の表示地名数）と判読性との関係について分析している。また、野作ら[7)]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。

外井[8),9)]は、道路網における地名案内標識の最適配置への数理モデルの導入を目的として、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。本研究は、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という新しい目的関数を導入することにより、前手法をより汎用化するものである。

案内情報の設置効果は、案内方法によって多様に変化し、さらに運転者の迷走を管理することは、交通事故の発生を抑制するとともに、エネルギーの経済的効果および環境保護からも、今後の研究課題として大きな分野であると思われる。その中でも、案内標識の表示内容と道路網上の標識設置位置との関係に基づき、予算制約等のもとに案内標識の最適な配置を決定する手法を構築することは重要であると考えられる。さらに、この問題は、経路誘導の体系化の観点から、現在普及しつつあるナビゲーションシステムとの静的情報に関する分担関係を考えていく上で大切な役割を果たすものと思われる。

2．方面案内の最適化手法

（1）案内誘導の方法

目的地の案内方法としては、都市内道路網を対象とする場合には地名または目的物名案内方式が、都市間道路網においては方面（路線番号及び路線の上り・下り）案内方式が適しているとされている[1)]。

案内標識には、多くの内容を表示するスペース的余裕もなく、その内容を確認する時間的余裕も少ない。さらに視認性の問題もあり、表示内容はできる限り簡潔で的確な表現が必要となる。地名案内方式は、案内すべき目的地名が多い場合には、重要度等に応じて地名が選択されることとなり、表示地名数が制限され、全ての目的地名は表示できなくなる。

都市間道路網においては、出発都市から目的都市に至る途中では、経由地名が分からなくても、整合性のある系統案内があれば、交差点での進むべき方向が判断でき、目的地に到達できる。この系統案内

ｷｰﾜｰﾄﾞ：交通管理、交通情報、ﾈｯﾄﾜｰｸ交通流

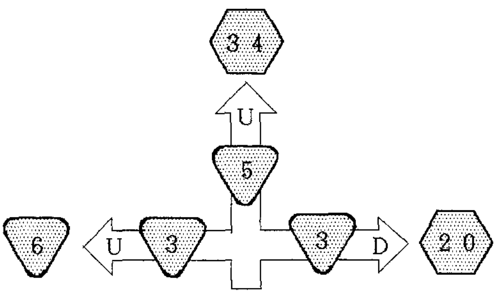
*　正会員　野村鐵工㈱物流ｼｽﾃﾑ部
伊万里市松島町455、TEL 0955-23-2171、FAX 0955-23-2174
**　正会員　工博　九州大学工学部建設都市工学科
福岡市東区箱崎6-10-1、TEL 092-641-1101、FAX 092-651-0190
***　正会員　工博　佐賀大学理工学部建設工学科
佐賀市本庄町1、TEL 0952-24-5191、FAX 0952-29-4409

とは、経路の路線番号案内方式のことである[1)]。

（２）最適化の数学モデル

（ａ）モデル化のための仮定

交通量は、経路別に設定する。同一出発都市・同一目的都市に対して複数の経路が存在する場合も、別々の経路として同様に行う。その経路は、出発都市の出口から目的都市の入口までとする。運転者は、目的都市がどの路線沿いにあるか、また、その目的都市までに走行する路線番号，路線方向およびその順序は既知とする。経由地名や途中の交差路線に関しては既知としない。交差点流入部における標識の表示内容は、図－１に示すように、分岐方向と路線番号(上り・下り)および分岐後の交差路線番号とする。案内標識中の上り(Up)，下り(Down)の表示は、路線の起点，終点の地名で表してもかまわない。したがって、運転者は、交差点流入部での路線に関する案内情報に従って走行すべき路線を進めば、自然と目的都市の入口まで到達できることになる。なお、目的都市入口には、都市名標識が設置してあるものとする。



図－１ 路線番号案内標識案

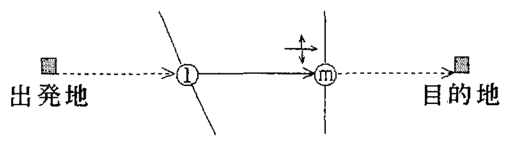
（ｂ）運転者の迷走度の表現[8),9)]

経路上の交差点の流入部で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。しかし、ある交差点で案内が行われなければ、その経路における情報の曖昧さは、経路上で案内が行われていない交差点の進行可能分岐数の積で表される。

ここで、n_mをノードｍに接続するリンク数（隣接ノード数）とすれば、$\log(n_m-1)$（情報エントロピー）は、ノードｍにおける案内情報の曖昧さを表す。このエントロピーを用いると、経路ｋの案内情報の曖昧さH_kは、

$$H_k(\Delta_k) = \sum_{lm \in M_k} \delta_k^{lm} \log(n_m-1) \qquad (1)$$

で表される。ここに、$\delta_k^{lm}=1$は経路ｋのリンクｌｍ上で、ノードｍで交差する路線番号と先で交差する路線番号を案内しないことを意味し、$\delta_k^{lm}=0$は案内することを意味する。Δ_kは経路ｋ上における政策決定列であり、δ_k^{lm}の集合（$\delta_k^{lm} \in \Delta_k$）を表す。$M_k$は経路ｋ上の最後に通過するリンクを除いたリンクの集合を表す。なお、各経路上のリンクは、他の経路上のリンクと重複する場合があるものとする。



図－２ リンクｌｍ上の標識位置

また、このH_kを用いて経路交通量（q_k：定数）を考慮したE_kを導入すると、

$$E_k(\Delta_k) = q_k H_k(\Delta_k) = q_k \sum_{lm \in M_k} \delta_k^{lm} \log(n_m-1) \qquad (2)$$

となる。E_kは、経路ｋをとる利用者にとっての迷走度に関する評価関数である。

（ｃ）最適化の考え方

運転者にとっては、迷走が少なくなるほど能率的であるが、道路管理者にとっては予算制約や管理の手間の面から、案内標識はできるだけ少ない方が好ましい。また、風景の美観や標識の見やすさのためにも標識類の氾濫は出来るだけ避けたい。よって、運転者に提供できる情報量を勘案しながら案内標識の数を決める必要がある。

本研究では、運転者の迷走度に関する指標を目的関数とする次の２つの最適化の立場を考える。

①経路別情報案内サービスを公平化するために、全ての経路間の迷走度を平等化する。この問題は、案内標識の設置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となる（図－３，４，５を用いて説明する）。すなわち、

$$\text{minimize } Z(\Delta) = \sum_k \int_0^{x_k} E_k(\omega)\,d\omega = \sum_k \int_0^{x_k} q_k \sum_{lm \in M_k} \omega \log(n_m-1)\,d\omega \qquad (3)$$

$$\text{s.t.}\quad \sum_k x_k = N_1\ ,\ x_k(\Delta_k) = \sum_{lm \in M_k} \delta_k^{lm} \qquad (4)$$

となる。ここで、Δは全標識設置対象リンク上における政策決定列であり、関数Zのコントロール変数となる。Δ_kは経路k上のリンクにおける政策決定列であり、Δの部分集合（$\Delta_k \subseteq \Delta$）である。$x_k$は経路k上のリンクに関する政策$\delta_k^{lm}$の和であり、$N_1$は複数の経路との重複を含んだ経路別標識非設置リンク数x_kの総和である。重複を加算しない実際の標識非設置リンク数N_2とN_1との関係は、

$$N_1 - \sum_{lm \in L} (\zeta^{lm} - 1) = N_2 \qquad (5)$$

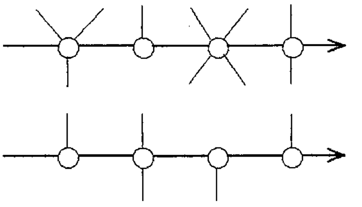
となる。ここで、ζ^{lm}は標識非設置リンクの重複数$\Sigma(\delta_k^{lm})$の内、0でない成分を表す。Lは全標識設置対象リンクの集合を表す。

式（3），（4），（5）は、変数を連続値としたシンボリックな表現となっている。このような連続関数における制約条件付き最適決定問題は、ラグランジュ未定係数法を用いて理論的には解ける。しかし、本題においては変数が離散値であるので、その解法の考え方について簡単な例を用いて説明する。

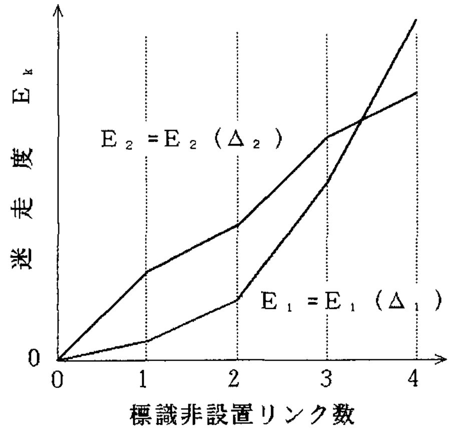
図－3に示すような2本の経路があるとして、経路1における交差路は4箇所，4種類であり、経路2においては4箇所，2種類である。経路1上のリンクと経路2上のリンクとは互いに重複するリンクを含む場合がある。

ある経路において、標識非設置リンク列を1つ与えれば、その経路の迷走度が決まる。これを標識非設置リンク数との関係で観ると、経路迷走度は標識非設置リンク数の関数として、図－4のように表すことができる。これを経路迷走度関数と呼ぶ。ここで、経路迷走度関数の個々の勾配の大きさは、その経路内の個々のリンクの迷走度であり、分岐数が多いほど大きくなり、それらの累積値が縦軸の値として表されている。つまり、経路迷走度関数の形は、その経路内の個々のリンクが持つ迷走度の組み合せによって決まる。

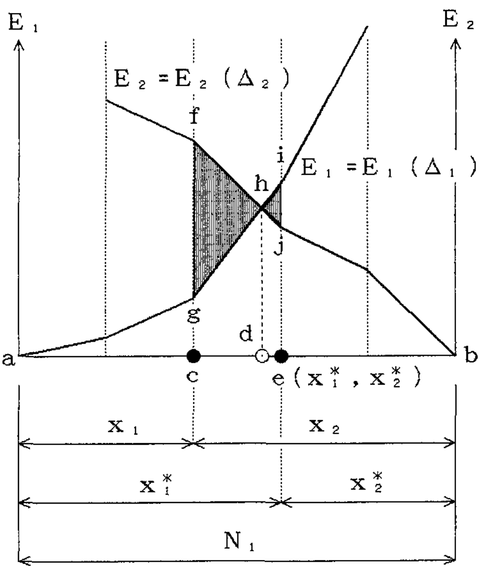
等経路迷走度配分について図－5 [10)] を用いて説明を行う。標識非設置リンク数を経路1については原点を左側aに、経路2については右側bに反転して重ねて表示すると、制約条件である全体の標識非設置リンク数は原点間の固定距離abで表され、2つの経路に対する配分経路迷走度は中間にある交差した点dで示される。ただし、横軸は離散値であるので、その前後のうちで、囲まれた面積の小さい方を選ぶことになる。つまり、面積ａｇｈｉｊｂ＜面積



図－3　経路例



図－4　経路迷走度関数



図－5　式（3）～（5）の説明図

ａｇｆｈｊｂとすると、点ｅ（x_1^*，x_2^*）における各経路の迷走度が均衡迷走度となる。同一制約条件下での、これらの均衡迷走度の中の最小値を最小平等迷走度と呼ぶことにすると、この点ｅが最小平等解の候補の１つとなる。よって、同一経路上の他の標識非設置リンクの組み合せに基づいた経路迷走度関数においても同様の計算を行い、各均衡状態の比較の結果から最小値（面積）を求める。この時、目的関数の最小化が達成され、最小平等経路迷走度配分が成立する。

②全ての経路の迷走度の総和を最小化する。制約条件は①と同一である。すなわち、

$$\text{minimize } W(\Delta)=\sum_{k} E_k(\Delta_k)$$

$$=\sum_{k} q_k \sum_{lm\in M_k} \delta_k^{lm} \log(n_m-1) \qquad (6)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{k} x_k=N_1 \ , \ x_k(\Delta_k)=\sum_{lm\in M_k} \delta_k^{lm} \qquad (7)$$

$$N_1-\sum_{lm\in L}(\zeta^{lm}-1)=N_2 \qquad (8)$$

となる。

（３）最適化モデルの解法

前節で示した最適化モデルの決定変数は、δ_k^{lm} であり、その値は０または１である。

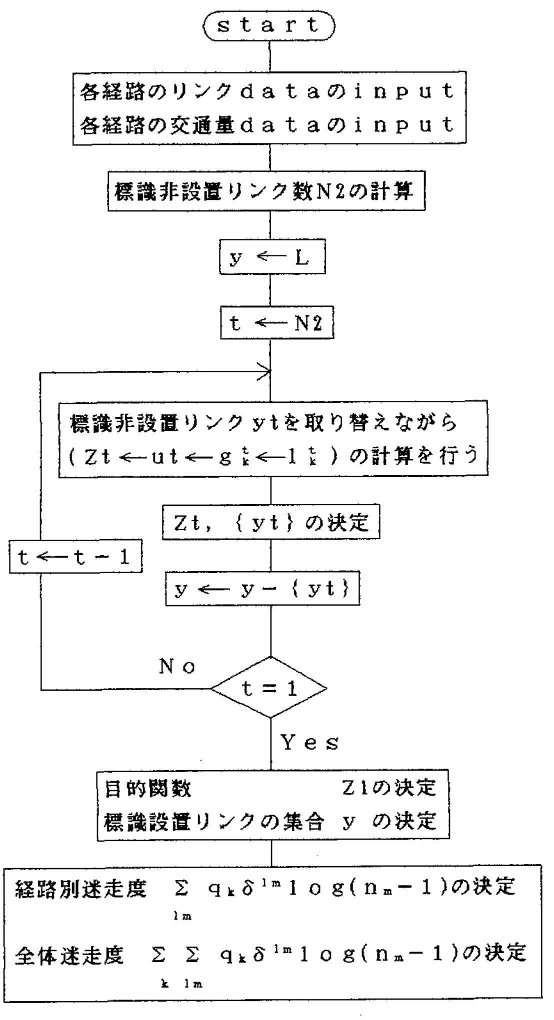
本モデルでは、動的計画法（ＤＰ）を用いて定式化を行う。この方法は、最適性の原理に基づき、与えられた問題に対して、その問題を含む全ての可能な問題についての解を求めることによって、与えられた特定の問題の解（不変埋没原理）を得ようとするものである[11]。つまり、経路迷走度関数の最小平等解を求める場合においては、各々の経路迷走度関数の積分値を評価関数とし、決定の系列 $\{\delta^{lm} \mid \delta^{lm}\in\Delta\}$、または $\{\delta_k^{lm} \mid \delta_k^{lm}\in\Delta_k\}$ を政策として再帰関係式をたて、最初に x_Nの決定を行ない、残りの資源を $x_{N-1}, x_{N-2}, \cdots, x_1$のようなＮ－１段階の多段決定問題に分離して最適解を得るものである。

（ａ）迷走度の最小平等化

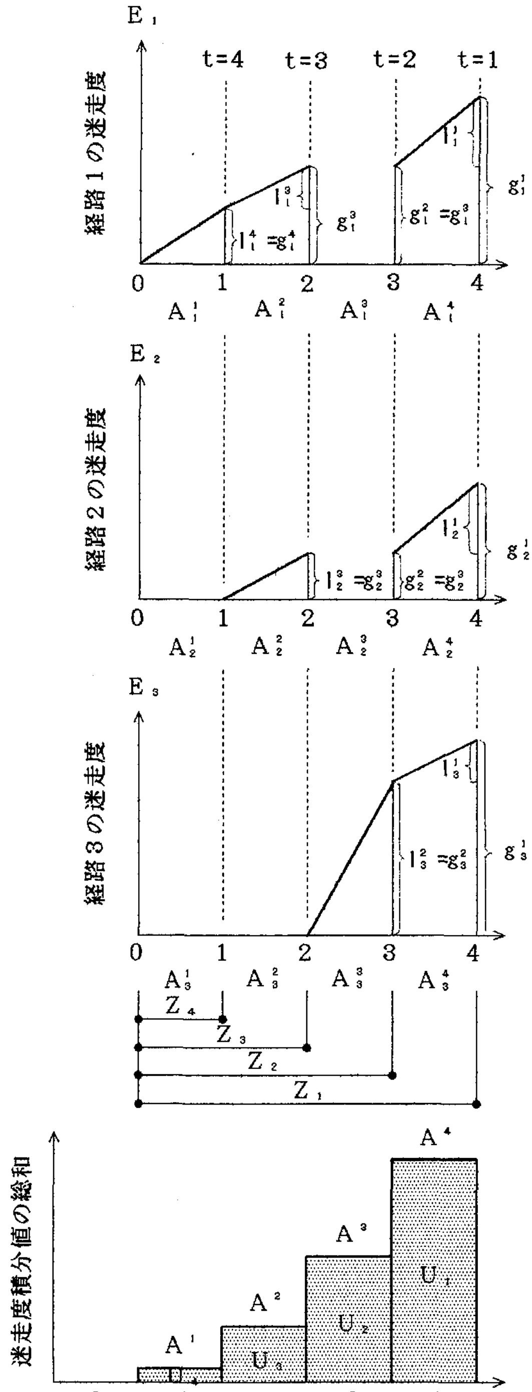
本問題は、標識設置対象リンク数を有限な資源として、それを経路間に最適配分する資源配分問題と考えられる。一般に、資源配分問題にＤＰを適用する利点としては、ラグランジュ係数が簡単に求められることである[12]。本題では、これに相当するものは均衡迷走度であり、その時の段階変数は経路となるが、重複したリンクの処理の仕方が複雑になる。この問題を解決するために、本項では経路を段階変数とせずに、制約条件である標識非設置リンク数を段階変数とすることによって、段階ごとに最小平等解を決定するように、前節式（３）～（５）に関して、ＤＰを用いて定式化する。

政策決定列を $\{\delta^{lm}\}$ $(lm\in L)$ とし、標識非設置リンク数を段階変数ｔ（$t=1,2,\cdots,N_2$）とすると以下のようになる。

$Z_t(y)$＝全標識設置対象リンクの集合 $L=\{1, 2,\cdots,n\}$ の内で、標識非設置リンク数がｔ（$t=1,2,\cdots,N_2$）であり、その候補箇所が集合ｙ（$y\subset L$）の時の経路別迷走度積分値総和の最小値　(9)



図－６　式（９）～（１８）のフロー図



$A_1^1 = \frac{1}{2} l_1^4$ $\quad$ $A_1^2 = g_1^4 + \frac{1}{2} l_1^3$

$A_2^1 = 0$ $\quad$ $A_2^2 = \frac{1}{2} l_2^3$

$A_3^1 = 0$ $\quad$ $A_3^2 = 0$

$A^1 = \sum_i A_i^1$ $\quad$ $A^2 = \sum_i A_i^2$

$Z_4 = \min[U_4] = \min[A^1]$ $\quad$ $Z_3 = \min[Z_4 + U_3] = \min[Z_4 + A^2]$

$A_1^3 = 0$ $\quad$ $A_1^4 = g_1^2 + \frac{1}{2} l_1^1$

$A_2^3 = 0$ $\quad$ $A_2^4 = g_2^2 + \frac{1}{2} l_2^1$

$A_3^3 = \frac{1}{2} l_3^2$ $\quad$ $A_3^4 = g_3^2 + \frac{1}{2} l_3^1$

$A^3 = \sum_i A_i^3$ $\quad$ $A^4 = \sum_i A_i^4$

$Z_2 = \min[Z_3 + U_2] = \min[Z_3 + A^3]$ $\quad$ $Z_1 = \min[Z_2 + U_1] = \min[Z_2 + A^4]$

図－7　式（9）～（18）の説明図

$$Z_t(y) = \min_{y_t \in y} [u_t(y_t) + Z_{t+1}(y - \{y_t\})] \tag{10}$$

$$u_t(y_t) = \sum_k (l_k^t(y_t)/2 + \delta_t^{lm} g_k^{t+1}(y - \{y_t\})) \tag{11}$$

$$g_k^t(y_t) = l_k^t(y_t) + g_k^{t+1}(y - \{y_t\}) \tag{12}$$

$$l_k^t(y_t) = q_k \delta_t^{lm} \log(n_m - 1) \tag{13}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{lm \in L} \delta^{lm} = N_2 \tag{14}$$

$$\text{b.c.} \quad g_k^{N2}(y_{N2}) = l_k^{N2}(y_{N2}) = q_k \delta^{lm} \log(n_m - 1) \tag{15}$$

$$u_{N2}(y_{N2}) = \sum_k l_k^{N2}(y_{N2})/2 \tag{16}$$

$$Z_{N2}(L) = \min_{y_{N2} \in L} [u_{N2}(y_{N2})] \tag{17}$$

$$\text{ans.} \quad \min_{y \subset L} [Z_1(y)] \tag{18}$$

式（9）～（18）の概略フロー図を図－6に示す。また、その説明を図－7を用いて行う。横軸は全体の標識非設置リンク数を示す。簡単のために、標識設置対象リンク数nを5以上、標識非設置リンク数N_2を4、経路数Kを3とする。各経路の個々の勾配の高さが、式（13）のlに相当し、個々のリンクの迷走度を表わしている。式（12）のgは、新しいlが発生する以前のgに対して、新しく発生したlを加えたものである。式（11）のuは、以前のgと新しいgを上底,下底とした台形の面積になる。このuが、目的関数Zの評価関数となる。

（b）迷走度総和の最小化

前節式（6）～（8）をDPにより定式化する。（a）と同様に政策決定列を｛δ^{lm}｝($lm \in L$)とし、標識非設置リンク数を段階変数tとすると、以下のようになる。

$W_t(y)$=全標識設置対象リンクの集合L＝{1, 2, ･･･, n} の内で, 標識非設置リンク数がt (t=1, 2, ･･･, N_2) であり, その候補箇所が集合y（y⊂L）の時の全迷走度総和の最小値 (19)

$$W_t(y)=\min_{y_t \in y}\left[s_t(y_t)\right]+W_{t+1}(y-\{y_t\}) \tag{20}$$

$$s_t(y_t)=\sum_k q_k \delta_t^{lm} \log(n_m-1) \tag{21}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{lm \in L} \delta^{lm}=N_2 \tag{22}$$

$$\text{b.c.} \quad W_{N2}(L)=\min_{y_{N2} \in L}\left[s_{N2}(y_{N2})\right] \tag{23}$$

$$\text{ans.} \quad W_1(y) \tag{24}$$

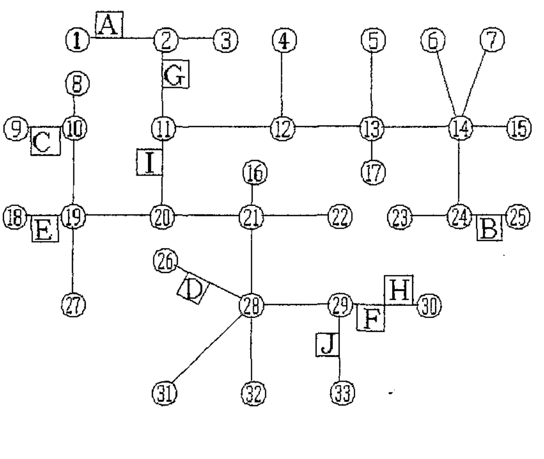
式（１９）～（２４）の解法においては、重ね合わせた潜在迷走度の低いリンクから順にy_tに繰り入れることにより、容易に解を求めることができる。

３．計算例

図－８に示すノード数３３，リンク数３２，標識設置対象リンク数１４，経路数５の道路網における案内標識の設置問題を考察する。これらの経路表を表－１に示す。具体例として、経路１の通過路線を図－９に、リンク⑬⑭上の案内標識を図－１０に示す。

表－１　例題の経路表

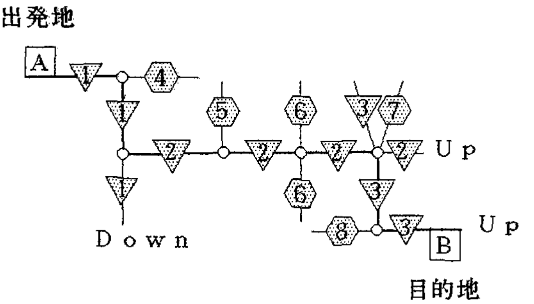
経路	交通量	出発地	中 継 点	目的地
1	40	A	②⑪⑫⑬⑭㉔	B
2	50	C	⑩⑲⑳㉑㉘	D
3	70	E	⑲⑳㉑㉘㉙	F
4	110	G	⑪⑳㉑㉘㉙	H
5	120	I	⑳㉑㉘㉙	J



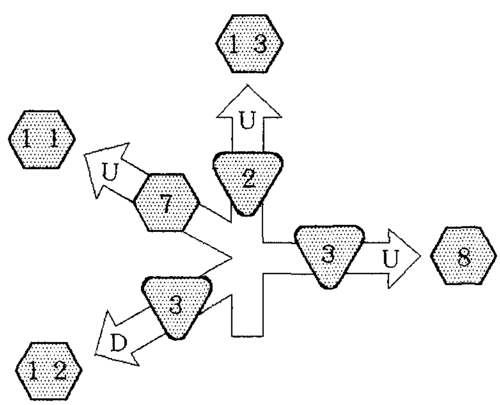
図－８　例題の道路網

経路１は、図－９に示すように出発地Ａから目的地Ｂに至るまでには８本の路線と遭遇し、その既知情報としては、目的地名Ｂと走行路線番号１号線下り，２号線上り，３号線上りとなる。

制約条件として、標識設置リンク数を７とする。



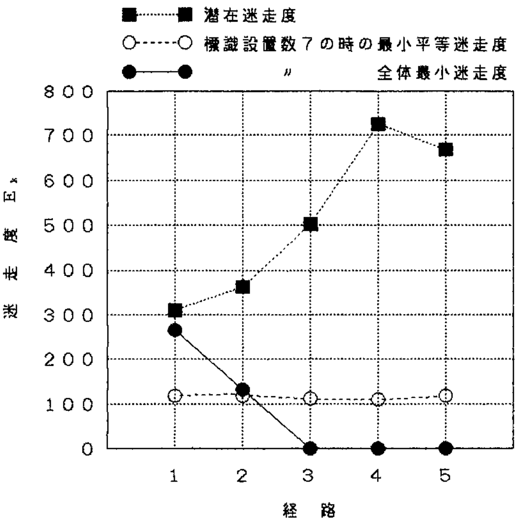
図－９　経路１の路線



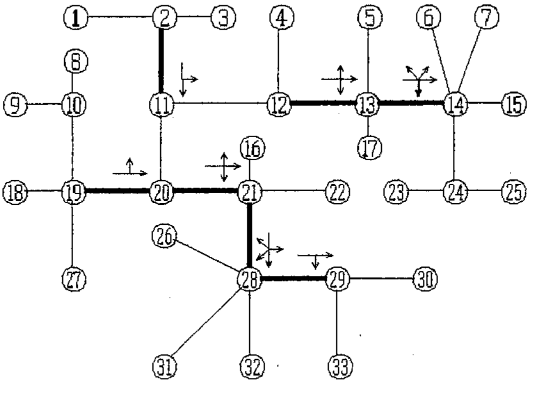
図－１０　リンク⑬⑭上の案内標識

表－２　例題の迷走度

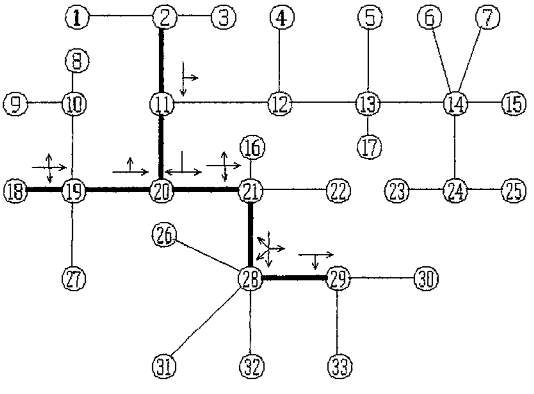
	潜 在	最小平等	全体最小
経路１	303.398	120	263.398
経路２	358.496	129.248	129.248
経路３	501.895	110.947	0
経路４	724.346	110	0
経路５	670.196	120	0
計	2558.331	590.196	392.646



図－１１　例題の迷走度



図－１２　例題の最小平等解



図－１３　例題の全体最小解

したがって、標識設置対象リンク数１４に対して標識非設置リンク数は、N_2＝１４－７＝７となる。ｌｏｇの底を２とした場合の計算結果を表－２，図－１１，１２，１３に示す。ここで、E_k＝１００とは、たとえば経路ｋの交通量が１００の時には到着確率が１／２、すなわち経路ｋの途中で案内標識によらず運転者の判断で方向を決めなければならない２分岐が１箇所あることを意味する。

例題の計算結果は、各々の経路の潜在迷走度の和は2558.3であり、最小平等迷走度の和は590.2、全体最小迷走度の和は392.6となった。最小平等解では、交通量が同じ場合は分岐数の積に依存し、分岐数の積が同じ場合は交通量に依存する形になっている。具体的には、リンク⑲⑳，⑳㉑，㉑㉘，㉘㉙では経路２～５の内の複数の経路が重なっており、交通量も多いため標識が設置される結果となっている。一方、リンク⑫⑬，⑬⑭については、交通量は少ないが他の経路との重複がないために、最小平等解の性質上、標識が設置される結果となっている。全体最小解では、交通量の多いリンク、または分岐数が多いリンクには案内標識が設置されることとなる。

４．あとがき

本研究は、都市間道路網における方面案内標識の最適配置に関して、経路間の迷走度の最小平等化を図ることを目的とし、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。

数理モデルの解法においては、能率のよいＤＰの定式化ができた。さらに、例題の計算結果では、方面案内および最小平等解、または全体最小解の性質を示すことができた。

本モデルは、都市間道路網において方面案内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、以下について現在検討中であり、今後の課題にしたい。

（１）路線案内と地名案内との両方を用いた案内方法に関する数理モデルの開発。

（２）単路部における案内誘導効果の数理モデルへの適用。

（３）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システムのありかた。

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)(社)日本道路協会：道路標識設置基準・同解説、昭和53年9月
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、1979
4)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、1991
5)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、1991
6)大蔵・宇留野・内海：案内標識の情報量に関する一分析、交通工学 Vol.16,No.3,1981
7)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、1988
8)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、1992
9)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、1992
10)飯田恭敬：交通工学、国民科学社、1992、pp.83-86
11)岩本誠一：動的計画論、九州大学出版会、1987、pp.19-25
12)大川 勉・荒木英一：統計と数理計画法、HBJ出版局、1990、pp.188-197
13)Stuart E.Dreyfus,Averill M.law：THE ART AND THEORY OF DYNAMIC PROGRAMING、ACADEMIC PRESS, INC.、1977、pp.33-49
14)Yosef Sheffi：URBAN TRANSPORTATION NETWORKS、Prentice-Hall,Inc.、1985、pp.1-132

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

野村哲郎・外井哲志・清田 勝

本研究は、都市間道路網における方面案内標識の最適配置に関して、経路別情報案内サービスの公平化、または全経路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路線番号方式とし、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、情報エントロピーを用いた経路迷走度関数を導入している。最適化の考え方としては、①経路間の迷走度を最小平等化する②全ての経路迷走度の和を最小化する２つの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、標識非設置リンク数を制約条件として、動的計画法を適用して解法を行い、計算例により各解の性質を示している。

A Study on the Optimal Disposition of Road Sign in Highway Network

by Tetsuroh NOMURA, Satoshi TOI and Masaru KIYOTA

Traffic guid 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 c-onstract the efficient road signs at the effective places. This paper proposes the meth-ods for the optimal disposition of road sign in highway network. The first optimal mode-l expresses the minimum equilibrium value of entropy and the second one expresses the m-inimum total value of entropy by dynamic programming. The model assumtion and the model building process are discussed and numerical analyses for two types of optimization are executed for a simple road network.
