

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 Tetsurou Nomura, 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事である。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^{3), 10)}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いるので路線番号方式を採用することにする。

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³⁾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、道路の網関係の案内に関する理論を展開している。栗本⁷⁾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⁸⁾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。また、大蔵⁹⁾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。

外井^{1), 2)}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及び環境保護からも、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配置に対する方法論に関する研究は重要であると考えられる。さらに、この問題は、現在発達中のナビゲーションシステムとも関連して、案内標識の体系化にとっても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おいては地名又は目的物名案内方式であり、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³⁾。

案内標識には、あまり多くの内容を表示する時間的余裕もスペース的余裕もなく、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、部分系統案内があれば、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。この系統案内とは、経路の路線番号案内方式のことである。

(2) 最適化の数学モデル

(a) モデル化のための仮定

キーワード：交通管理、交通情報

・正会員、野村建設物流システム部（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（福岡市東区箱崎6-1 0-1、TEL 092-641-1101、FAX 092-651-0190）、*** 正会員、工博 佐賀大学理工学部（佐賀市本庄町1、TEL 0952-24-5191、FAX 0952-29-4409）

本研究では、出発都市・目的都市の組合せ毎に1つの経路を設定する。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、その目的都市までの路線順序・方向のうち、走行すべき路線に関しては確認できるものとする。交差点流入部の標識の表示内容は、図-1に示すように、分岐方向と路線番号(上り・下り)及び分岐後の次の交差路線番号とすると、運転者は、交差点流入部での路線に関する

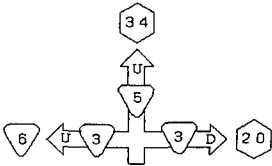


図-1 路線番号案内標識

案内情報に従って進めば、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。

(b) 運転者の迷走度の表現^{1), 2)}

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々々における進行可能分岐数の積で表わされる。

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わす。このエントロピーを用いると、 i, j 間の経路の案内情報の曖昧さは、

$$H_{ij}(\delta_{ij}^{lm}) = \sum_{lm \in M_{ij}} \delta_{ij}^{lm} \log(n_m-1) \quad (1)$$

で表される。ここに、 $\delta_{ij}^{lm} = 1$ はリンク lm 上でノード m の隣接ノード方向へ、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、 $\delta_{ij}^{lm} = 0$ は案内することを意味する。 M_{ij} はノード i, j 間の経路上のリンクの集合 $\{i, m_1, m_2, m_3, \dots, m_k, j\}$ である。

また、 i, j 間の経路の案内情報の曖昧さに対して、交通量(q_{ij} :定数)を用いて重み付けすれば、次のようになる。

$$E_{ij}(\delta_{ij}^{lm}) = q_{ij} \sum_{lm \in M_{ij}} \delta_{ij}^{lm} \log(n_m-1) \quad (2)$$

上式は、迷走度に関する評価関数であり、経路に関して線形である。

(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効果的であるが、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。すなわち、

$$\begin{aligned} \text{minimize } Z &= \sum_{ij} \sum_{lm \in M_{ij}} \delta_{ij}^{lm} E_{ij}(\omega) d\omega \\ &= \sum_{ij} \sum_{lm \in M_{ij}} q_{ij} \sum_{lm \in M_{ij}} \omega \log(n_m-1) d\omega \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{s. t. } \sum_{ij} x_{ij} = N_1, \quad x_{ij} = \sum_{lm \in M_{ij}} \delta_{ij}^{lm} \quad (4)$$

x_{ij} は経路に関する δ_{ij}^{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非標識設置リンク数 x_{ij} の総和とすると

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

ζ^{lm} は非標識設置箇所の重複数 $\sum_{ij} (\delta_{ij}^{lm})$ 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、 N_2 は重複を加算しない実際の非標識設置リンク数を表す。

②全ての経路の迷走度の総和を最小化する。このとき、①と同様に案内標識の設置数などに関する制約条件を設ける必要がある。

$$\begin{aligned} \text{minimize } W &= \sum_{ij} E_{ij}(\delta_{ij}^{lm}) \\ &= \sum_{ij} q_{ij} \sum_{lm \in M_{ij}} \delta_{ij}^{lm} \log(n_m-1) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{s. t. } \sum_{ij} \sum_{lm \in M_{ij}} \delta_{ij}^{lm} = N_1 \quad (7)$$

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

(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_{ij}^{lm} であり、その値は0又は1である。

本モデルでは、経路の重なりを考慮して、動的計画法(DP)の考え方をを用いた解法を採用する。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⁶⁾。つまり、経路別迷走度の最小平等解を求める場合においては、各々の交差点における迷走度の積分値を評価関数とし、決定の系列 $\{\delta^{im}\}$ 、又は $\{\delta^{im}\}$ 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 $x_{N-1}, x_{N-2}, \dots, x_1$ のような $N-1$ 段階の多段階決定問題に分離して最適解を得るものである。

(a) 前節式(3)をDPを用いて表わす。政策決定列を $\{\delta^{im}\}$ ($im \in L$) とし、非標識設置リンク数を段階変数 t ($t=1, 2, \dots, N_2$) とすると、以下のようなになる。

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

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

$$u_t(y_t) = \sum_k (1_k^t(y_t) / 2 + \delta_t^{im} g_k^{t+1}(y - \{y_t\})) \quad (11)$$

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

$$1_k^t(y_t) = q_k \delta_t^{im} \log(n_m - 1) \quad (13)$$

$$s.t. \sum_{im \in L} \delta^{im} = N_2 \quad (14)$$

$$b.c. g_k^{N_2}(y_{N_2}) = 1_k^{N_2}(y_{N_2}) = q_k \delta^{im} \log(n_m - 1) \quad (15)$$

$$u_{N_2}(y_{N_2}) = \sum_k 1_k^{N_2}(y_{N_2}) / 2 \quad (16)$$

$$Z_{N_2}(L) = \min_{y_{N_2} \in L} [u_{N_2}(y_{N_2})] \quad (17)$$

$$ans. Z_1(y) \quad (18)$$

式(10)の概略フロー図を図-2にしめす。
(b) 式(6)をDPを用いて表わす。(a)と同様に政策決定列を $\{\delta^{im}\}$ ($im \in L$) とし、非標識設置リンク数を段階変数 t とすると、以下のようなになる。

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

$$W_t(y) = \min_{y_t \in y, y \subseteq L} [s_t(y_t)] + W_{t+1}(y - \{y_t\}) \quad (20)$$

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

$$s.t. \sum_{im \in L} \delta^{im} = N_2 \quad (22)$$

$$b.c. W_{N_2}(L) = \min_{y_{N_2} \in L} [S_{N_2}(y_{N_2})] \quad (23)$$

$$ans. W_1(y) \quad (24)$$

式(20)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。

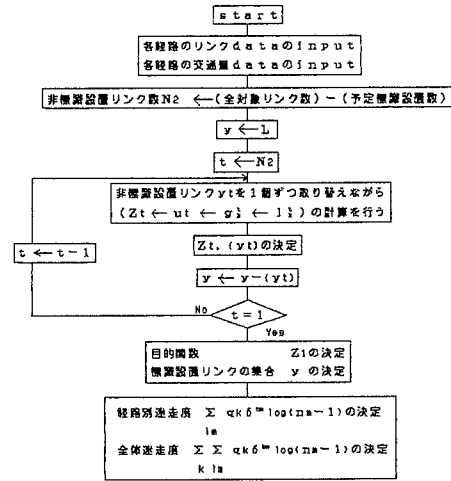


図-2 式(10)のフロー図

3. 計算例

図-4, 5に示す31ノード30リンクの道路網における案内標識の設置問題を考察する。これらのノード間のOD表を表-1に示す。

表-1 例題のOD表

経路	交通量	出発点	中継点	目的点
1	40	①	②⑨⑩⑪⑫⑬	⑭
2	50	③	②⑨⑬⑯⑳	㉑
3	70	⑮	⑯⑰⑱㉒㉓	㉔
4	100	②	⑨⑬⑱㉒㉓	㉔
5	120	⑨	⑬⑱㉒㉓	㉔

有効リンク数14に対して標識設置数を7とし、logの底を2とした場合の計算結果を図-3, 4, 5に示す。ここで、 $E_{13}=100$ とは、交通量が100の時には到着確率が1/2、すなわち経路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。

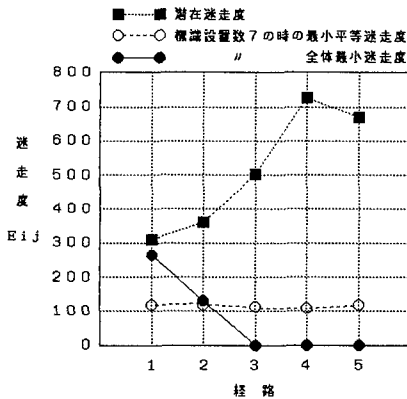


図-3 例題の迷走度

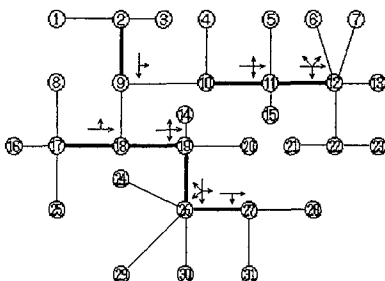


図-4 例題の最小平等解

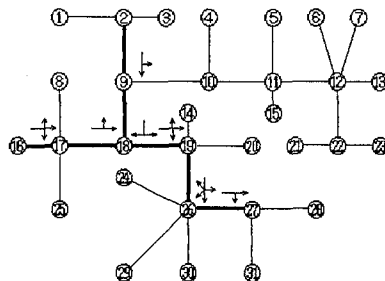


図-5 例題の全体最小解

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。全体最小解では、交通量の少ない所、または分岐数が少ない所には案内標識が設置されないこととなる。

4. まとめと今後の課題

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はかることを目的とし、その数理モデルの提案及びアルゴリズムの開発を行ったものである。

例題の計算結果では、方面案内及び最小平等解、又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、次のような問題点が残されている。

(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) 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年11月
- 2) 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、平成4年9月
- 3) 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
- 4) Stuart E. Dreyfus, Averill M. Law: THE ART AND THEORY OF DYNAMIC PROGRAMING, ACADEMIC PRESS, INC., 1977
- 5) Yosef Sheffi: URBAN TRANSPORTATION NETWORKS, Prentice-Hall, Inc., 1985
- 6) 岩本誠一：動的計画論、九州大学出版会、1987
- 7) 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
- 8) 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、平成3年10月
- 9) 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
- 10) (社)日本道路協会：道路標識設置基準・同解説、昭和53年9月