

経路走行における運転者の進路推論に関する研究 Inference Model of Course Direction on Road Network

野村哲郎^{*1)}, 外井哲志^{*2)}, 清田 勝^{*3)}

by Tetsuroh NOMURA, Satoshi TOI and Masaru KIYOTA

1. はじめに

著者らは、道路網における経路走行時の迷走を最小化する道路案内誘導システム開発^{1)~3)}の一環として、認知科学におけるメンタルモデル⁴⁾の考え方を援用し、案内情報が不十分な状況下で、運転者が分岐点間の認知距離と走行経路の形状に関する記憶に基づいて進路を推論する機構を考察し、推論演算を組み込んだ分岐点での進路推論モデルを構築した。

本研究は、走行距離および到達迷走度を評価指標として、推論を用いない従来のモデルとの比較を通して、進路推論モデルの効果を検証したものである。

2. メンタルモデルにおける情報と推論

(1) 情報とその表現

これから走行しようとする経路を**予定経路**、予定経路に関する情報を**既知情報**と定義する。

既知情報には地点情報、方向情報、結合情報、中継地点間の距離などがある。

地点情報とは、中継となる地点または方面の通過順序とその数などであり、運転者は予定経路を走行する上で最低限必要と思われる要素を記憶する。**方向情報**とは、中継点での次の方面への角度、方位などであり、予定経路の静的形態を知識として記憶する。**結合情報**とは、地点情報と方向情報に関する集合の要素を対応させ、組み合わせた合成要素の順序集合である。

ここで、 v_i を i 番目の中継地名または路線名、 d_i を

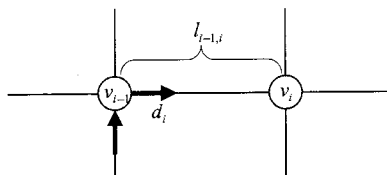


図-1 記号要素の関係

流入部で進むべき方向（直進、右折または左折など）、 $v_i d_i$ を両者の結合情報、 $l_{i-1,i}$ を2点間の距離とし、これらの順序集合を次のように表現する。

地点情報 $\text{via}(\dots v_i \dots)$ (1)

方向情報 $\text{direct}(\dots d_i \dots)$ (2)

結合情報 $\text{concat}(\dots v_i d_i \dots)$ (3)

距離情報 $\text{length}(\dots l_{i-1,i} \dots)$ (4)

($i=1,2,\dots,n$)

以上の記号要素の関係を図-1に示す。同図では v_{i-1} で d_i 方向に $l_{i-1,i}$ の距離を進めば v_i に到るという内容を現している。

(2) 推論と運転者の進路選択基準

運転者は、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。中継地点名の案内が無い場合でも、既知情報における走行形状、地点情報の順序と比較して現在の位置を推論する。これが**比較推論**である。また、既知情報の方面と違う方向に中継地点の案内がある場合や、予定より長い距離を走行しても目的地に到達しない場合など、予定経路から外れたと思われる場合には、予定経路への復帰または目的地への代替経路を推論する。これが**代替推論**である。

進路推論の流れを図-2に示す。走行中に獲得した結合情報が既知情報の部分順序集合になる場合には、運転者は案内の指示どおりに進路を選択する（図-2

キーワード：経路選択、交通行動分析、交通管理、交通情報
*1)：正会員、㈱コルバック、東京都台東区台東 4-8-7 友泉御徒町ビル、Tel. 03-5817-3021, E-mail: nomura@corvac.co.jp *2)：正会員、工博、九州大学大学院工学研究院、福岡市東区箱崎 6-10-1、Tel. 092-642-3277, E-mail: toi@doc.kyushu-u.ac.jp *3)：正会員、工博、佐賀大学理工学部、佐賀市本庄町 1、Tel. 0952-28-8953, E-mail: kiyotam@cc.saga-u.ac.jp

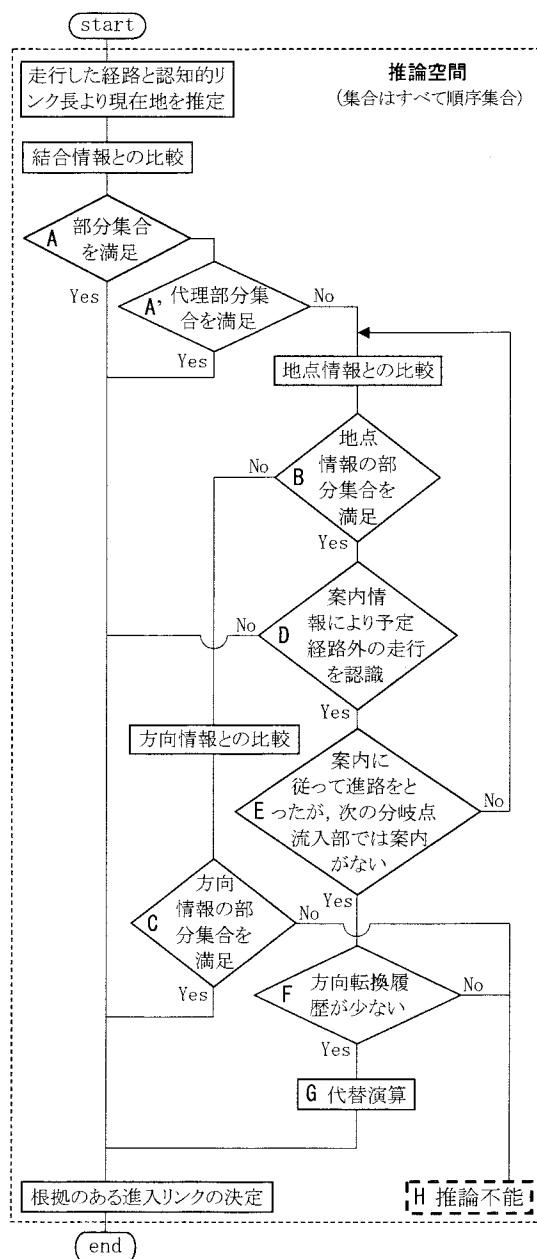


図-2 推論のフロー図

の A Yes). 一方、案内情報が不十分な場合においても、①結合集合の代理部分集合を満足している場合 (図-2 の A' Yes), ②地点情報の部分集合を満足している場合 (図-2 の B Yes), ③認知的距離の位置に予定中継点の案内がないが、方向情報と認知的距離にもとづいて進入リンクを推論する場合 (図-2 の C Yes), ④予想外の方

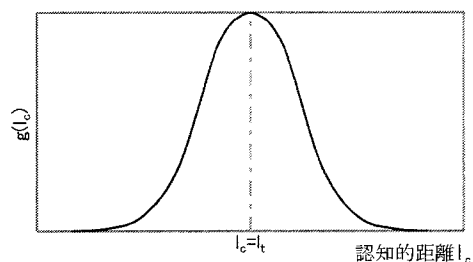


図-3 真の距離に対する認知的距離の分布

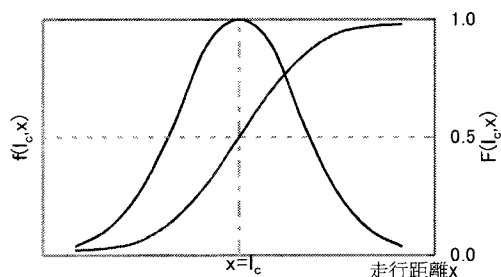


図-4 方向転換同定の確率分布

予定外経路を走行していることを知り、代替経路を推論する場合 (図-2 の D,E,F Yes → G: 代替演算) 等においては、根拠ある進路推論が可能となると考えられる。以下、本研究で導入した 2 つの推論モデルを説明する。

まず、図-2 の C (Yes) に該当する場合を考える。すなわち、運転者が予定経路を走行中に、認知的距離に見合う位置に既知情報の地点情報案内が無い場合 (B で No) に、走行中の方向情報が既知情報の方向情報の完全部分順序集合となる場合である。

図-1 において、運転者は目標分岐点 v_{i-1} と v_i の間の距離 $l_{i-1,i}$ を認知的距離⁵⁾として把握しており、 v_{i-1} を通過してから、この距離を走行した位置に v_i があると期待しているものとする。

ここで、 $l_{i-1,i}$ は各運転者による距離認知の歪み (誤差) を含んだ認知的距離 l_c であるから、図-3 のように真の距離 l_t のまわりに分布する確率変数であると考えることができる。

ある運転者が認知的距離 $l_{i-1,i}$ を走行したとしても、その位置に目標分岐点が存在するとは限らず、その前後に類似の分岐点があれば、誤ってそれらを目標分岐点に同定してしまう場合もありうる。したがって、方向転換位置同定の確率分布は、走行距離 x と認知的距離 l_c に依存するものと考えて、図-4 のごと

く定義することができよう。

運転者が、走行距離 x までに方向転換すべき次の中継地点を同定する確率を $F(l_c, x)$ で表わし、中継地点 v_i で既知情報における方向 d_r^o が選択される確率を $P(d_r^o)$ とすると、当該分岐点での進入リンク方向 g_r^p は、次式のように表現することができる。

$$g_r^p = d_r^o \quad (5)$$

$$\left(\begin{array}{l} \text{via}(v_r^p) \notin \text{via}(v^o) \\ , \text{direct}(d_r^p) \in \text{direct}(d^o) \\ , P(d_r^o) = F(l_r^c, x_r) \end{array} \right)$$

ここに、 l_r^c は当該区間 r における認知的距離を表し、 x_r は実際の走行距離を表す。また、記号“o”は、既知情報の内容であることを、記号“p”は、現走行時点の獲得情報の内容であることを表す。

次に、代替推論(演算)について述べる。

十分な案内情報がない状態で、運転者が既知情報の方向情報にしたがって走行中であるとする。予定経路上の中継地点(A)の地名案内が出現したが、その方向が既知情報の方向と違うことから、予定経路外を走行していることを運転者が認識し、予定経路に復帰するために地点(A)において進行すべき方向を推論すると考えよう。このとき、①道路網は格子型またはこれに近い形状である。②予定経路をはずれたことを案内により認識した運転者を対象とする。③予定経路上の既知情報である経由地名(A)または経由路線番号の案内があり、その経由地(A)と思われる地点までは到達できる。④走行中の方向転換数が多すぎるときは、推論不能となる。これらの4条件のもとに進行方向の推論値 $\{\theta\}$ を演算で求めるものとする。

演算には、方位および方向転換の向きを要素として用い、演算を容易にするため、方位・方向値を与える。方位はNWSE(北西南東)の4種類とし、それぞれの方位値を $\{\{ \} \{ \} \{ \} \{ \} \}$ とする。予定経路の最初の出発方向をNとする。方向転換の向きについては、直進・そのまま、左折、右折、逆進の4種類とし、それぞれに方向値 $\{\{ \} \{ \} \{ \} \{ \} \}$ を与える。

ここで用いた方位・方向値 $\{\{ \} \{ \} \{ \} \{ \} \}$ は、平面座標における反時計回りの角度が $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ に対応し、ド・モアブルの定理より導出される。

$$e^{i \cdot 0} = 1, e^{i \cdot \pi/2} = i, e^{i \cdot \pi} = -1, e^{i \cdot 3\pi/2} = -i \quad (6)$$

さて、このような記号体系を設定すると、予定経

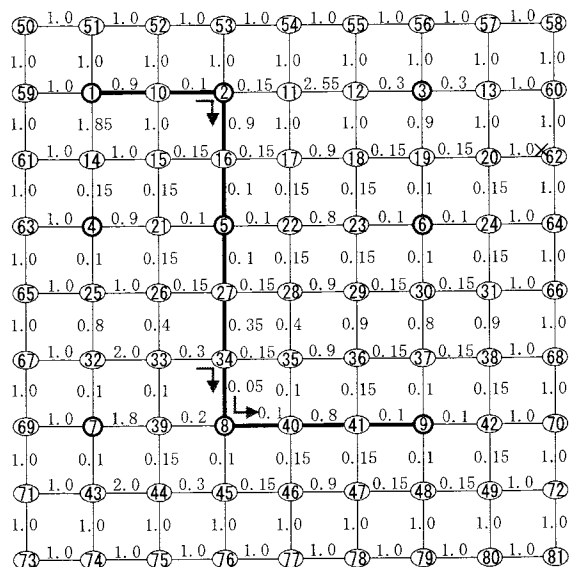


図-5 例題の道路網

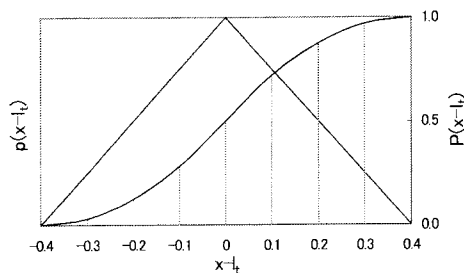


図-6 分岐点同定の確率密度

路外を走行している運転者が、予定経路に復帰するために、地点(A)において進むべき方向の推論値は、「予定経路における(A)点での進行すべき方位の値=実走行経路における(A)点までの進行方位・方向値 $\times \{\theta\}$ 」という関係方程式の解として、 $\{\{ \} \{ \} \{ \} \{ \} \}$ のいずれかの値が得られる。

3. 推論の効果

モデル道路網を対象として、推論機能の有無による走行状況の比較を行う。計算例に用いる道路網は、往復 288 リンク、81 ノードである。出発点①、目的地⑨のODを対象とし、最短経路は図-5の太線に示すとおりで、その経路長は 3.5 としている。案内の設置位置は、最短経路上は②と⑧の流入部とし、それぞれ『右折すると⑧』、『左折すると⑨』とした。

最短経路以外では、最短経路と並行するリンクに

表-1 計算結果

計算ケース	①	②	③	④	⑤
案内	無し	無し	有り	有り	有り
認知距離	無し	有り	無し	有り	有り
代替推論	無し	無し	無し	無し	有り
使用情報	ランダム	方向	ランダム	方向 結合 地点	方向 結合 地点
最短到達率[%]	0.0004	11.1	0.006	44.3	44.3
最短到達距離	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
90%到達迷走度	271.5	67.1	248.7	45.8	16.6
e % 到達 距離	10%	26.3	3.5	22.85	3.5
	20%	41.15	4.2	36.75	3.5
	30%	56.0	7.15	50.35	3.5
	40%	72.0	10.75	65.55	3.5
	50%	90.85	15.75	83.15	6.35
	60%	113.6	23.85	104.35	13.4
	70%	143.0	37.9	131.85	25.35
	80%	183.9	61.25	170.3	46.8
	90%	254.9	102.15	236.7	85.9

1 箇所配置し、中継地、目的地の案内を設定した。運転者の既知情報は、図-5 の太線上の一桁丸囲み数字に対する地点情報、方向情報および結合情報であるとする。また、運転者の分岐点同定確率の密度関数を図-6 に示す。この場合の確率変数は、走行距離と認知的距離との差とする。

走行状況（迷走）の程度の評価には、最短到達率（最短距離で到達した運転者の割合）、e%到達距離（累計 e%の運転者が目的地に到達するまでに走行した距離）および次式の到達迷走度³⁾を用いる。

$$H(\Xi) = \sum_e \left(\frac{t_e(\Xi)}{t_0(\Xi)} - 1 \right) \quad (7)$$

ここに、 Ξ は、地名または路線名案内の政策である。また $t_0(\Xi)$ は O.D. の最短到達距離であり、 $t_e(\Xi)$ は累計で e % の運転者が到達する距離である。

到達迷走度は、目的地に到達するまでに走行する距離の長い運転者が多い程、値が大きくなる。全運転者が最短距離で到達する場合、つまり、迷走する運転者が皆無の場合には、到達迷走度は 0 となる。

なお、到達迷走度の計算では、計算時間の制約から、運転者の 90% を対象とした(90%到達迷走度)。

情報と推論機能の有無による 5 ケースの計算結果を表-1 および図-7 に示す。最短到達率では、推論機

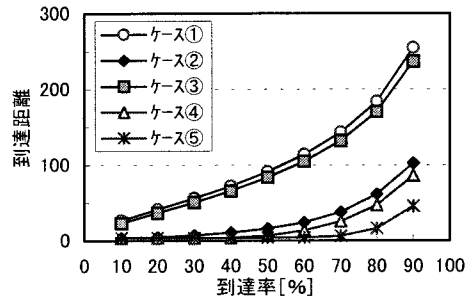


図-7 到達率と到達距離の関係

能のない①と③で極めて低い結果となったが、情報がなくても距離認知による推論機能があれば、11%が最短距離で到達しており、さらに情報が追加されれば、④と⑤のように 44%が最短距離で到達している。90%到達迷走度および e%到達距離でも②、④、⑤のケースでは、①、③に比べて迷走が少なく、大多数の運転者が到達できる距離が短い。このことから、推論機能の有無の影響が大きいことがわかる。案内情報の効果を①と③、②と④の比較で見ると、90%到達迷走度と e%到達距離に現れている。また、⑤のケースでは④より到達迷走度が減少しており、代替推論の効果がみられる。

4. あとがき

本研究では、分岐点での運転者の進路推論機能をモデル化し、推論機能が案内標識による誘導効果に及ぼす影響をモデルケースで分析した結果、推論機能の効果が大きいことがわかった。今後は、現実の認知距離の分布や運転者の分岐点同定確率に関する実験・調査によって詳細な現象把握を行うとともに、代替路の発見メカニズムについても研究を深めたい。

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.
- 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) 安西祐一郎，市川伸一，外山敬介，川人光男，橋田浩一：脳と心のモデル，認知科学第 2 巻，岩波書店，pp. 11-36，1994.
- 5) 長山泰久，矢守一彦：空間移動の心理学，福村出版，pp. 104-117，1992.