

メンタルモデルにもとづく運転者の進路推論に関する研究

野村哲郎¹・外井哲志²・清田 勝³

¹正会員 株式会社コルバック 技術開発室 (〒110-0016 東京都台東区台東4-8-7)

²正会員 工博 九州大学大学院助教 工学研究院環境都市部門 (〒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)

本研究では、案内情報が不十分な状況下で、運転者が分岐点間の認知的距離と走行経路の形状に関する記憶によって進路を推論する機構を認知科学におけるメンタルモデルの考えにもとづいて考察し、この機構を組み込んだ運転者行動モデルを構築した。本研究における進路推論モデルでは、走行前の既知情報および走行中の獲得情報の特性、また案内標識の有無などを進路決定の条件として、数理モデルによる各種の推論を定式化している。さらに、従来の推論を考慮しない場合との比較を行い、進路推論モデル導入による迷走量の変化を分析した。

Key Words : *cognitive map, course choice, inference, mental model, road sign, traffic information*

1. まえがき

道路案内標識の目的は、地理不案内の運転者が迷走することなく、また不安感なく目的地に到達できるように彼らを誘導することである。したがって、案内誘導の検討内容の枢要は運転者の迷走を最小限に抑えるように、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と考えられる。

こうした観点からの道路案内標識に関する研究としては、これまでに、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た連続網の理論¹⁾、交差点流入部に案内標識を設置することの案内誘導効果の評価方法²⁾、道路案内標識による目的地への到達の容易性の定量的評価モデル³⁾⁴⁾などがあつた。

この他、著者の一人である外井⁵⁾は、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、道路網における案内標識の最適配置の検討を可能にした。これに引き続き、著者ら⁶⁾は、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目的関数を導入し、路線番号のみを用いた案内方式に関して外井の方法⁵⁾を進展させ、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を開発し

た⁷⁾。

ところで、これらの研究は、いずれも運転者の迷走を防止することを目的とするに止まり、迷走状態にある運転者に対する配慮が欠けていた。案内誘導システムは、迷走状態に対応できる機能が組み込まれてはじめて、その完備性が確保できると考えられる。そこで著者ら⁸⁾は、迷走した運転者を予定経路へ復帰させる、あるいは、代替経路へ導く『経路復元誘導機能』を提案し、同機能を組み込んだ案内誘導システムの構築法を提案した。

このモデルでは、既知情報に適った案内がなされた場合のみ、運転者は進路を決定できるものと仮定した。しかし、実際には、すべてのODに対して運転者の既知情報に適った完全な経路誘導を行うことは不可能であり、一般に運転者は十分な情報を与えられず、走行の記憶や推論にもとづいた感覚的な判断によって進路を選択せざるを得ないことが多い。このような理由から、上記の仮定は必ずしも現実的ではないと考えられる。

本来望ましい案内誘導システムは、迷走者を含めた運転者の進路選択の推論に対しても十分に対応できるものでなくてはならず、また一方で、運転者のこうした推論能力に依拠できれば、より合理的で経済的な案内誘導システムをめざすことが可能になる。この点に関して、進路選択時の運転者の推論を含んだ意思決定に関する研

究は、ほとんど行われていないのが実情であり、経路選択行動のモデル化への認知科学的取り組みの必要性を示唆した研究⁹⁾があるのみである。

本研究では、このような観点から、従来の評価モデル⁸⁾に組み込むべき推論機能のモデル化に関する考察を行ったものである。このために、認知科学におけるメンタルモデルの考え方にもとづいて、運転者の行動をより正確に表現するために、経路走行に関する情報と進路推論の関係を考察した後、進路推論の演算を組み込んだ経路走行モデルを構築した。さらに、走行距離および到達迷走度⁸⁾などを評価指標として、推論を考慮しない場合との比較にもとづいて、進路推論モデル導入による基礎的な効果を検証したものである。

2. 経路走行におけるメンタルモデル

本研究では、運転者は経路に関する情報と推論にもとづいて進路決定を行うと考える。このときの情報としては、出発前に運転者が準備した既知情報と、出発後に案内板やランドマークなどから得る獲得情報の2種類の情報が考えられる。

既知情報は、予定経路という形で統合的に把握され、運転者は、これにもとづいて認知地図（頭の中の地図）を形成すると考えられる。獲得情報は、文字・記号・ランドマークなどの認知を通して、情報として取り入れられる。なお、標識による案内情報も獲得情報の一部である。

運転者は、既知情報にもとづいて獲得情報の内容を吟味し、2種類の情報を比較することによって、自分の現在位置や走行状況（迷走状況）を確認・判断しながら走行する。また、迷走状態に陥ったと判断した場合には、直前までの走行経路に関する記憶と案内板などから得た獲得情報を用いて推論し、予定経路への復帰を図る。

認知科学では、外界に実在する事物の代わりとして心内に構成され、心的な操作の対象となるものを『メンタルモデル¹⁰⁾』と呼んでいる。これと類似の表現として、『表象』という概念がある。表象は、狭義には『視覚的イメージ』であり、広義にはある対象に対する知識を意味するとされている¹⁰⁾。

メンタルモデルは、表象と比較して、思考の道具として心内で操作し推論に使われるという意味合いが強い。この点から本研究では、メンタルモデルの概念を用いることとし、経路走行中の運転者による上述の一連の情報処理システムを「経路走行のメンタルモデル」（以下、単に「メンタルモデル」と称することとした。また、このモデルの構成要素として認知地図がある。広義の認知地図には、場所の位置に関する情報のみならず、その属

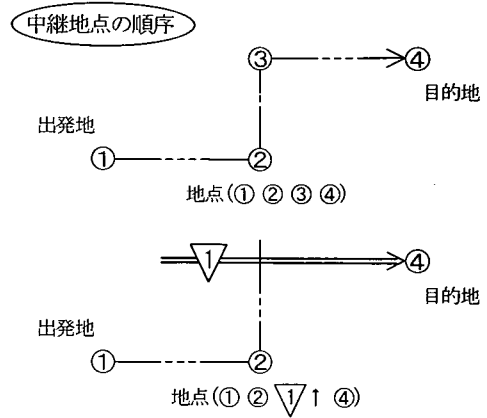


図-1 地点情報

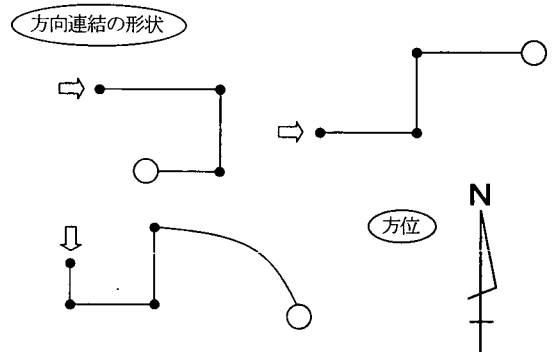


図-2 方向情報

性や情緒的意味の情報も含まれることになるが、本研究で対象とするのは、場所の位置に関わる空間的性質である情報の構造化のみとする。

ところで、メンタルモデル上の推論を観測や実験によって明らかにすることは容易ではない。そこで、本研究では、問題解決における認知プロセス研究の方法論として、機能を再現すればよいという立場から、記号による処理を中心とした「情報处理的アプローチ^{11),12)}」を試みることとした。

ここで、本研究のメンタルモデルにおいて重要な役割をもつ情報、推論、迷走の3要素について、以下に述べる。

(1) 情報

a) 予定経路と既知情報

これから走行しようとする経路を『予定経路』という。また、予定経路に関する中継地名や路線名、経路の形状、中継地点間や経路全体の距離や時間などに関する情報（知識）を『既知情報^{6),7),8)}』と定義する。既知情報には、

『地点情報』、『方向情報』、『結合情報』および『距離情報』がある。

b) 地点情報

地点情報とは、図-1 に示すように、ある中継地点から次の目標となる中継地点または方面への中継順序、つまり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る。この他に、中継地点の大きさや特徴なども地点情報に含まれる。運転者は、主に走行前に、多くの組み合わせの中から予定経路を走行する上で最低限必要な要素を記憶する。

c) 方向情報

方向情報とは、図-2 に示すように、経路の形状、リンクの形状、ターニングポイントでの次の方面への角度、方位などである。運転者は、主に走行前における予定経路の静的形態（屈折などの形状とその出現順序の組み合わせ）を情報として記憶する。

ただし、複雑な形状の記憶は困難であり、認知形状は、おおまかな形となる。すなわち、方向情報には『認知的歪み¹³⁾』がある。

d) 結合情報

結合情報とは、地点情報に関する集合の要素と方向情報に関する集合の要素とを対応させ組み合わせた合成要素の順序集合である。一般に運転者は、地点情報と方向情報を個別にはではなく、結合情報として理解し記憶するものと思われる。ただし、推論を行う場合には地点情報、方向情報を個別に使用することもあり得ると考える。

e) 距離情報

距離情報とは、中継地点間のリンク長または経路の総リンク長である。その数値は、「幾何距離」または「時間距離」を表す。なお、距離情報にも「認知的歪み」がある。

f) 認知的経済性

認知的歪みは、空間的情報が構造化される過程で生じ、その傾向としては、道路網のレイアウト地形が概念的構造化に対して基準線を与え、認知方向はその基準軸に合わせるようなズレを生じる（回転ヒューリスティクス）。また、手書き地図分析からの経験則としては、交差点が実際には斜交していても、直角に描かれ、曲がりくねった道路は直線化される傾向にある（整列ヒューリスティクス）とされている。このような空間的構造化は、運転者が空間的構造の理解を容易にするために、情報の単純化を行った結果であり、認知的経済性と呼ばれる¹⁴⁾。

現実の道路網では、複雑な形状を呈しており、この認知的経済性が働くため、分岐点における方向転換時の角度・方向および走行道路の曲線性などを原因として、認知的歪みは大きくなる。

(2) 推論

運転者は、既知情報と獲得情報との比較によって、①予定経路を走行中であるかどうかを推論する（比較推論）。しかし、②予定経路を走行中でない場合、または情報が不十分で、比較推論では進路を決定できない場合には、代替路（予定経路に復帰する経路）を推論する（代替推論）と考える。

a) 比較推論

運転者は、出発前に想定した予定経路あるいは更新された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と考えられる。これを『比較推論』と呼ぶことにする。比較推論では、結合情報による比較、方向情報による比較、地点情報による比較および距離情報による比較が行われる。

メンタルモデルにおける『比較』は、既知情報をベースとして、獲得情報を対象とした「比較推論」によって行われる。比較推論が困難なとき、またはその信頼性が低いときには、以下に述べる『代替推論』が行われる。

b) 代替推論

既知情報である中継地点名の案内がない場合でも、記憶していた走行形状や間欠的な地点名の順序集合と比較することにより、現在の位置を推定することができる。

また、既知情報の方面と違う方向に予定中継地点の案内があったり、予定よりも長い距離を走行しても目的地点に到達しない場合など、予定経路から外れたと思われるとき、さらに道路の混雑状況や通行止めなどにより、走行途中で経路を変更せざるを得ないときには、「代替推論」によって目的地点への変更経路を推論する。

つまり、「代替推論」とは、中継地点相互のより短い経路での連続性、または予定中継地点を通らない非連続性、各中継地点の逆転関係、接続関係などを注目の対象として、各交差点流入部で次の進行方向を選択した場合、目標地点に到る経路にどのような結果をもたらすか、予定経路に復帰するにはどちらの進行方向を選ぶべきかなどを考察し、予定経路とは異なる経路の検討を行うことを意味する。

大多数の運転者は、走行距離や屈折回数などの記憶にもとづいた感覚的な方角の同定によって進路を決定すると考えられるが、状況によっては、論理的に推論が可能な場合もある。

そこで本研究では、代替推論において一種の論理演算またはそれと同等の効果をもつ推論が行われるものと考え、後述する『方向演算』（主として方位・方角と屈折履歴を用いる代数演算）を導入することとした。

なお、推論は、ヒューリスティクス（“heuristics” 発見的思考）であり、したがって、必ずしも最適な判断とは限らない。すなわち、「人間は不完全な情報をもとに

して推論する能力を持っており、不完全な情報からの推論は、後の情報の増加により結論が翻ることがある。」¹¹⁾ ことをいう。こうした性質をもつ推論は、『非単調推論』と呼ばれている。本研究では、運転者の推論は非単調な性質をもつものとする。

(3) 迷走

本研究では、予定経路からはずれて走行し、代替路を発見することができなくなった状態での走行を『迷走』と定義する。この状態では、進路の決定に論理的根拠は失われ、進路は感覚的に選択される。

しかし、迷走の途中で獲得した情報が既知情報と関連をもつ場合、推論の力を借りて予定経路への復帰路(代替路)を発見できる場合や、迷走しながら偶然に中継地・目的地に到着できることもある。

本研究においては、走行中の運転者の迷走状態を検出し、迷走状態にある場合には、進行方向はランダムに決定されるものとしている。

3. メンタルモデルにおける情報と推論の数学的表現

(1) 既知情報の表現

既知情報の内容は、地点情報に関する順序集合にもとづく出発地および目的地、そして経由する地名・路線番号とその順序であり、属性として方向情報の順序集合にもとづく交差点流入部での直進・右折・左折など方向に関する情報、そして中継地点間または路線までの各リンク長に関する情報を持つものとする。

一般的に、これらのうちで、案内に対して直接対応する既知情報は、案内方向別の地名または路線名(主に番号)であり、案内に対して直接には対応しない既知情報は、中継地点間または路線までの距離などである。

なお、運転者は、経路履歴のすべてを記憶しているのではなく、予定経路に関して運転者が必要と思う最小限の中継地点や方向などを出発前に既知情報として記憶し、その記憶は変化しないとす。よって、それらに対する忘却などは対象としない。

a) 案内情報に対して直接対応する既知情報の表現

案内に対して直接対応する既知情報は、経由地名・路線名および目的地、そしてそれらの方向であり、以下のように表現できる。

地点情報に関する順序集合については、

$$\text{via}(\dots v_i \dots) \quad (1)$$

方向情報に関する順序集合については、

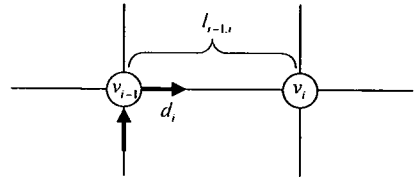


図-3 記号要素の関係

$$\text{direct}(\dots d_i \dots) \quad (2)$$

地点と方向の結合情報に関する順序集合については、

$$\begin{aligned} &\text{concat}(\dots v_i, d_i \dots) \\ &\equiv \text{via}(\dots v_i \dots) \odot \text{direct}(\dots d_i \dots) \quad (3) \\ &i = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

と表すことにする。

ここに、 $\text{via}(\bullet)$ は v_i の順序集合であり、 $\text{direct}(\bullet)$ は d_i の順序集合である。また、 $\text{concat}(\bullet)$ は、 $\text{direct}(\bullet)$ と $\text{via}(\bullet)$ を対応させて組み合わせさせた情報 v_i, d_i の順序集合であり、 \odot は、その代数演算子である。

なお、式(1)~(3)における記号要素の関係を図-3に示す。 v_i は i 番目の中継地名または路線名であり、 d_i は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 は d_i の方向に進めば v_i に到ることを意味する結合情報である。

さらに、 j が既知情報の予定出現順序として、 i よりも後の順序を表すとすると、 j に関する情報が優先される。すなわち、式(1)、(3)が、

$$\text{via}(\dots v_i \dots v_j \dots) \quad (4)$$

$$\text{concat}(\dots v_i, d_i \dots v_j, d_j \dots) \quad (5)$$

のとき、

$$v_i < v_j \quad (6)$$

$$v_i, d_i < v_j, d_j \quad (7)$$

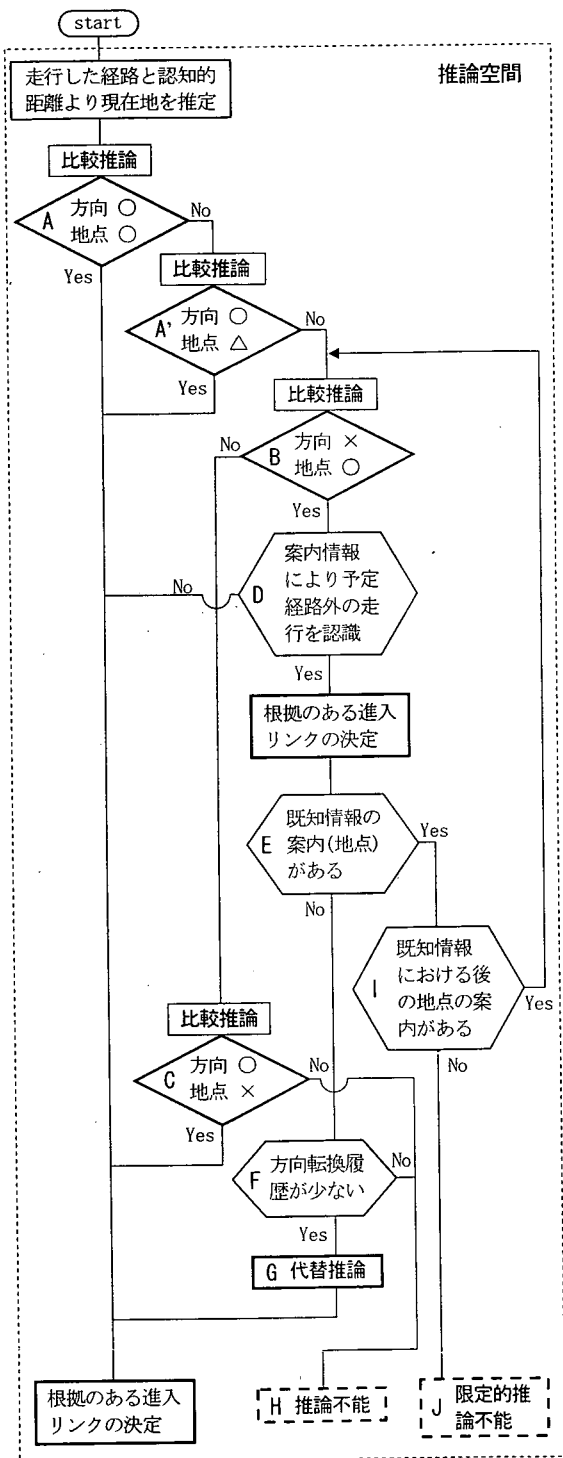
という性質を持つものとする。ここに、 $<$ は、左辺と右辺が同時に案内された場合には、後の項である右辺を優先するという比較演算子とする。なお、方向情報(式(2))に関しては、これは成り立たない。

b) 案内情報に直接対応しない既知情報の表現

案内に対して直接には対応しない既知情報として、中継地点(または路線)間の距離やその所要時間が考えられるが、本検討では距離を対象とし、その順序集合としての表現を、

$$\text{length}(\dots l_{i-1,i} \dots) \quad (8)$$

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



- ◇ : 推論のための判断
- : 獲得情報と既知情報が一致
- △ : 獲得情報と後の既知情報が一致
- : 状況の場合分け
- × : 獲得情報と既知情報が不一致

図-4 推論のフロー図

とする。

ここに、 $i-1=0$ は出発地、 $i=n$ は目的地を表す。また、 $l_{i-1,j}$ は中継地点（または路線）間の認知的距離とする。よって、 $l_{i-1,j}$ は真の距離ではなく、認知的な歪みをもつ。

なお、認知的歪みは、距離情報だけではなく中継地点間の方向情報も考えられるが、本研究では距離情報の認知的歪みのみを対象とし、方向情報に関する認知的歪みは対象外とする。

(2) 運転者の進路選択基準

ここで、情報の充足状況による運転者の進路推論の流れについて考察する。そのための推論フローを図-4 に示す。

a) 案内が十分な場合

案内が十分な場合とは、既知情報の地点情報 v_i と方向情報 d_j が地点 v_{i-1} の流入部において過不足なく連続して案内されるときをいう。つまり、走行中に獲得した結合情報が既知情報の結合情報の部分順序集合になる場合である。このとき、運転者は、案内の指示どおりに進路を選択すればよいことになる。これは、推論の流れを表した図-4 の「A (Yes) : 結合情報の部分集合を満足」に該当する。

b) 案内が不十分な場合

運転者は、走行中に獲得した情報の集合と既知情報に関する順序集合が部分的に一致したときには、次の場合のように、案内がなくても推論によって進路を決定できることがある。

第1には、既知情報における中継地点名が飛び飛びに案内された場合があげられる。

これは走行中の運転者が、予定経路上では先に現れるはずの案内 v_i を確認しないうちに、 v_j よりも後で現れるはずの v_j の案内に遭遇する場合である。

このケースに関しては、 $v_j (j > i)$ の案内が v_i の案内と同等の役割を果たしていると考えられるので、結合情報の代理部分集合を満たしているといえる。

このとき、運転者が v_{i-1} に到達したことを認識済みであり、その案内方向が d_j であれば、そのリンクに進入する。(図-4 の A' Yes : 結合情報の代理部分集合を満足)

なお、方向情報の集合に関しては、要素が間欠した集合は、あり得ないものとする。

第2には、既知情報と異なる方向ではあっても v_i の案内情報が表示されていれば、結局は v_i が案内されている方向のリンクを選択することとなる。(図-4 の B Yes : 地点情報の部分集合を満足)。

第3には、運転者が予定経路を走行しようとするとき、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が考えられる。この場合は、運転者は地点情

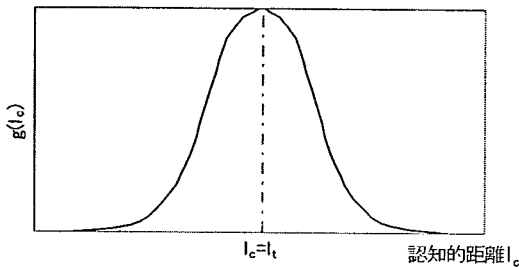


図-5 真の距離に対する認知的距離の分布

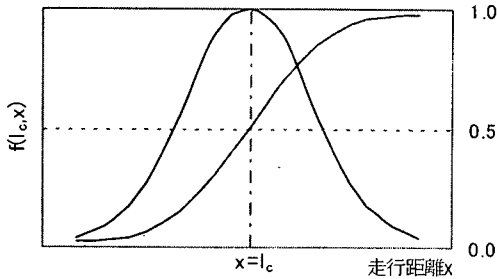


図-6 方向転換同定の確率分布

報の順序と過去に案内された情報との関係を分析することにより、現在の位置を推定し、進入すべきリンクの推論を行うこととなる。

これは、図-4の「C (Yes)」に該当し、運転者は、方向情報と認知的距離をよりどころとして進入すべきリンクを推論することとなる。運転者が、既知情報にもとづいて「距離的にはそろそろ右(左)折すべき場所に近づいた」と考えたとき、直近の分岐点で右(左)折するか、もう少し先まで直進するか迷うであろう。また、運転者が「もしかすると曲がるべき分岐点を通り過ぎたかもしれない」と考えたときには、その分岐点からあまり離れないうちに右(左)折しようとするであろう。いずれの場合にも、現在地が予定経路上の右(左)折すべき分岐点に近ければ、運転者が現在地で右(左)折する確率が高くなり、離れるにしたがって、その確率は低下すると考えられる。

本研究では、こうした運転者の意志決定の近似則を以下のように確率的に捉えることを試みる。

すなわち、運転者は、中継地点(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。

しかし、 $l_{i-1,i}$ は認知的距離であり、各運転者による距離認知の歪み(誤差)を含んでいるから、図-5のように、認知的距離 l_c は真の距離 l_i 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。

したがって、ある運転者が認知的距離 l_c を走行したとしても、その位置に目的分岐点が存在するとは限らず、このときには、運転者が本来選ぶべき分岐点を正確に選ぶことが困難になる。したがって、目標分岐点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考えられる。

このように考えると、認知的距離 l_c に近い距離を走行した位置に分岐点があれば、その分岐点を目標分岐点であると同定する確率は高まるであろう。よって、走行距離 x と認知的距離 l_c に依存した図-6のような確率分布の存在を仮定することができる。

ところで、運転者は予定経路を走行しているつもりでも、実際には予定経路を逸脱している場合(例えば、後述図-7)に、予想外の方向に表示された v_i の案内によって、自分が予定以外の経路を現在走行中であることを知ることがある(図-4のD Yes)。

このとき、 v_i の示されている方向へ進入し、そのリンクには既知情報に関する案内がなく(図-4のE No)、それまでの方向転換数が少ない場合(図-4のF Yes)には、走行経路の履歴にもとづき、予定経路へ復帰するための代替推論(図-4のG)が可能となる。しかし、それまでの方向転換数が多い場合(図-4のF No)には推論不能(図-4のH)となる。

ところが、 v_i の示されている方向へ進入し、そのリンクには既知情報に関する案内があり、それが v_i 後の既知情報 v_j である場合(図-4のI Yes)には、地点情報に関する比較推論(図-4のB)に戻り、既に通過したと思われる地点または路線名の案内しかない場合(図-4のI No)には、それが示されている方向以外の方向をランダムに選択(図-4のJ: 限定的推論不能)する。

(3) 推論の表現

情報の内容を地名または路線名(記号 v)と方向(記号 d)および距離(記号 l)の3種類に限定し、既知情報と獲得情報の記号表現について説明する。

走行前の既知情報における目的地までの地点情報の順序集合は、

$$v^o \equiv \text{via} \{v_1^o, v_2^o, \dots, v_i^o, \dots, v_q^o\} \quad (9)$$

方向情報の順序集合は、

$$d^o \equiv \text{direct} \{d_1^o, d_2^o, \dots, d_i^o, \dots, d_q^o\} \quad (10)$$

とする。

記号“o”は、既知情報の内容であることを表し、要素の右下添字は、既知情報の予定出現順序を現す。 q は既知情報の番号の最大値である。よって、 v_q^o は目的地であり、 d_q^o は目的地に到る最終の進入方向となる。

結合情報の順序集合は、

$$\mathbf{v}^o \cdot \mathbf{d}^o \equiv \text{concat} \left\{ \begin{array}{l} v_1^o \cdot d_1^o, v_2^o \cdot d_2^o, \dots \\ v_i^o \cdot d_i^o, \dots, v_q^o \cdot d_q^o \end{array} \right\} \quad (11)$$

とする。

現走行時点までの地点情報の順序集合は、

$$\mathbf{v}_r^p \equiv \text{via} \{v_1^p, v_2^p, \dots, v_i^p, \dots, v_r^p\} \quad (12)$$

とし、 \mathbf{v}_r^p の要素は、集合 \mathbf{v}_r^p に属する。

方向情報の順序集合は、

$$\mathbf{d}_r^p \equiv \text{direct} \{d_1^p, d_2^p, \dots, d_i^p, \dots, d_r^p\} \quad (13)$$

とする。

ここに、記号“p”は、現走行時点の獲得情報の内容であることを表し、要素の右下添字は、その獲得順序を現す。また、 r は既知情報と一致した現走行時点までの最新獲得情報の番号であり、 \mathbf{v}_r^p および \mathbf{d}_r^p の要素数でもある。

したがって、 d_r^p は、今まさに、交差点流入部において選択リンクに進入した場合の方向を表し、 v_r^p は、次の中継地名または路線名を表す。

なお、 \mathbf{v}_r^p および \mathbf{d}_r^p の要素は変化しないが、 \mathbf{v}_r^p および \mathbf{d}_r^p の要素は走行にともなって増加していく。

現走行時点までの結合情報の順序集合は、

$$\mathbf{v}_r^p \cdot \mathbf{d}_r^p \equiv \text{concat} \left\{ \begin{array}{l} v_1^p \cdot d_1^p, v_2^p \cdot d_2^p, \dots \\ v_i^p \cdot d_i^p, \dots, v_r^p \cdot d_r^p \end{array} \right\} \quad (14)$$

とする。

したがって、情報集合 $\mathbf{d}_r^p, \mathbf{d}^o, \mathbf{v}_r^p, \mathbf{v}^o$ に対する進入リンク方向 g_r^p は、以下 a)~g)のように表現することができる。

a) 結合情報が一致した場合の推論

結合情報に関する案内情報集合 $\mathbf{v}_r^p \cdot \mathbf{d}_r^p$ が既知情報 $\mathbf{v}^o \cdot \mathbf{d}^o$ の部分順序集合となっているとき、つまり、既知情報の予定中継地点と思われる地点 v_{r-1}^o に到達したところに標識が設置されており、「 d_r^o 方向のリンクに進入すれば v_r^o に到る」という案内がある場合には、進入方向 g_r^p は式(15)で表される。これは、図-4のA(Yes)に該当する。

$$\begin{aligned} g_r^p &= d_r^o & (15) \\ \left(\begin{array}{l} v_r^p = v_r^o, d_r^p = d_r^o, \\ \mathbf{v}_r^p \cdot \mathbf{d}_r^p \in \mathbf{v}^o \cdot \mathbf{d}^o \end{array} \right) \end{aligned}$$

b) 代理結合情報が一致した場合の推論

既知情報の予定中継地点と思われる地点 v_{r-1}^o に到達し、「 d_r^o 方向のリンクに進入すれば $v_{r+\gamma}^o$ に到る」という案内がある場合には、進入方向 g_r^p は式(16)で表される。

ここに、 $v_{r+\gamma}^o$ は、 $v_{r+\gamma}^o > v_r^o$ の関係にあり、 v_r^o の後の既知地点情報である。

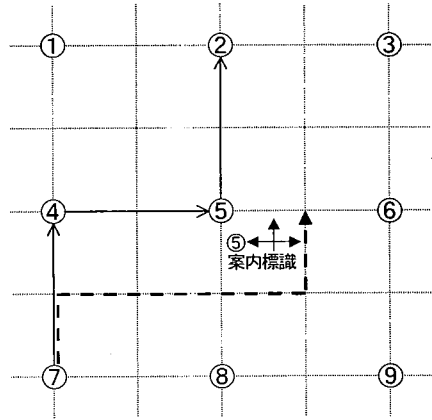


図-7 方向則の説明図

$$g_r^p = d_r^o \quad (16)$$

$$\left(\begin{array}{l} v_r^p = v_{r+\gamma}^o, d_r^p = d_r^o, \\ \mathbf{v}_{r-1}^p \in \mathbf{v}^o, \mathbf{d}_r^p \in \mathbf{d}^o, \mathbf{v}_{r-1}^p \cdot \mathbf{d}_{r-1}^p \in \mathbf{v}^o \cdot \mathbf{d}^o \end{array} \right)$$

よって、走行中の最新の案内内容は、

$$\mathbf{v}_r^p \cdot \mathbf{d}_r^p = v_{r+\gamma}^o \cdot d_r^o \quad (17)$$

となる。

このとき、 v_r^o のあとの地点情報である $v_{r+\gamma}^o$ を v_r^o と見なすとすると、式(17)の右辺を $v_r^o \cdot d_r^o$ と推論できることとなる。したがって、結合情報のレベルの案内情報集合 $\mathbf{v}_r^p \cdot \mathbf{d}_r^p$ が既知情報 $\mathbf{v}^o \cdot \mathbf{d}^o$ の代理部分順序集合となり、この場合は、図-4のA'(Yes)に該当する。

なお、 γ は

$$r+1 \leq r+\gamma \leq q \quad (18)$$

を満足する任意の数である。

c) 地点情報が一致した場合の推論

走行中の中継地点の案内は既知情報の地点情報と一致するが、その示された方向は既知情報の方向情報とは一致しない場合、つまり走行中の地点情報 \mathbf{v}_r^p は既知情報の地点情報 \mathbf{v}^o の部分順序集合とはなるが、走行中の方向情報 \mathbf{d}_r^p は既知情報の方向情報 \mathbf{d}^o の部分順序集合とはならない場合である。このとき運転者の進入方向 g_r^p は、地名または路線名である v_r^p が示されている方向である d_r^p となり、式(19)で表される。これは図-4のB(Yes)に該当する。

$$g_r^p = d_r^p \quad (19)$$

$$\left(\begin{array}{l} v_r^p = v_r^o, \\ \mathbf{v}_r^p \in \mathbf{v}^o, \mathbf{d}_r^p \notin \mathbf{d}^o \end{array} \right)$$

d) 方向情報が一致した場合の推論

有効な案内がなく、走行中の経路形状だけが既知情報の方向情報で描く形状と一致するとき(例えば、図-7

の太破線部(直進→右折→左折),つまり走行中の方向情報 d_r^p が既知情報の方向情報 d^o の完全部分順序集合となる場合には, 進入方向 g_r^p は式(20)で表される. これは図-4のC(Yes)に該当する.

この場合, 運転者は, 式(8)に示す中継地点間の距離情報と走行距離 x にもとづいて, 図-6に示す確率 $F(l_c, x)$ に従って方向転換すべき次の中継地点を同定することとなる. このとき, d_r^o が選択される確率を $P(d_r^o)$ とする.

$$g_r^p = d_r^o \quad (20)$$

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

ここに, l_c^o 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.

e) 予定経路外走行を認識した場合の推論

図-7の例では, 運転者は, 案内情報がない状態で, 既知情報の方向情報と距離情報にしたがって太破線(予定経路外)を走行中である. このとき, 案内標識によって予定経路(細実線)の中継地点である⑤の案内が出現する. しかし, 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認識し, ⑤が案内されている方向に進路をとる. つまり, 予定経路を走行していると思っていた運転者が, 既知情報の地点情報 v_r^o が方向情報 d_r^o とは異なる方向に案内されることにより, 予定経路外を走行していることに気付き, このとき第1段階の推論として, v_r^o で示される中継点に向かって進路を取るようになる.

次に第2段階目の推論に関しては, 進行方向 g_{r+1}^p は, 条件の違いによって式(21)から式(24)に示す推論値が与えられる.

まず, v_r^o と思われる地点に到達する直前に有効な案内はないが, その地点から, さらに進むべき方向 θ を推論する場合があります, 式(21)で表される.

これは, 方向転換数の記憶の上限値 R 以下での方向情報履歴が反映された場合であり, 図-4のD→E→Fを満足した後, Gに至る代替推論(方向演算を用いた推論)に該当する.

式(22)は, 走行中の方向転換数 r が記憶の上限値 R を超えたために状況的推論不能となる場合である. これは, 図-4のD→E→F→Hに該当する.

式(23), (24)は, 式(21), (22)とは図-4のE以後が異なり, 既知情報の地点情報が案内される場合である.

式(23)は, v_r^o と思われる地点に到達する直前に, 後で現れるはずの $v_{r+\gamma}^o$ の案内がなされ, その指示にしたがう場合である. これは, 図-4のD→E→I→Bに該当する.

式(24)は, v_r^o と思われる地点に到達する直前に, v_r^o 以前の地点である $v_{r-\gamma}^o$ の案内がなされ, その案内方向であ

る d_{r+1}^p を避け, それ以外の方向をランダムに選択する場合(限定的推論不能)である. これは, 図-4のD→E→I→Jに該当する.

$$g_r^p = d_r^p, g_{r+1}^p = \begin{cases} \theta(v_{r+1}^p \notin v^o, r \leq R) & (21) \\ \forall d(v_{r+1}^p \notin v^o, r > R) & (22) \\ d_{r+1}^p (v_{r+1}^p = v_{r+\gamma}^o) & (23) \\ \forall d_{r+1}^p (v_{r+1}^p = v_{r-\gamma}^o, r > R) & (24) \end{cases}$$

$$\left(\begin{array}{l} v_r^p \in v^o, \\ v_r^p \in v^o \text{ or } d_{r-1}^p \in d^o \end{array} \right)$$

ここに, θ は代替推論結果にもとづいたその進入すべきリンクの方向を表す. また, $\forall d$ はとりうる進路方向の中から任意の進路を選択することを, $\forall d_{r+1}^p$ は, d_{r+1}^p 以外の任意の進路を選択することを表す.

f) 推論不能

推論不能状態は2種類あり, 1つは式(22)で述べた. もう1つの場合を以下に述べる.

式(25)は, 走行中の地点情報, 方向情報が両者とも既知情報の部分順序集合とならない場合であり, 情報欠如による論理的推論不能状態となる. 運転者は, このときランダムウォークとなる. これは, 図-4のA→A'→B→C→Hに該当する.

$$g_r^p = \forall d \quad (25)$$

$$\left(v_r^p \notin v^o, d_r^p \notin d^o \right)$$

g) 推論不能状態からの復帰

式(26)は, 式(22), (25)に示すランダムウォーク状態のときに, 既知情報に含まれている地点情報 v_r^p が偶然案内される場合である. 運転者は, このとき予定経路に復帰できる可能性が高くなる.

$$g_r^p = d_r^p \quad (26)$$

$$\left(\begin{array}{l} v_r^p \in v^o, \\ v_{r-1}^p \notin v^o, d_r^p \notin d^o \end{array} \right)$$

(4) 代替に関する演算則

本節では, 予定経路をはずれて走行中であることを案内により認識した運転者の推論に限定した「方向演算」を考える. これは図-4のGおよび式(21)に該当する. この場合の代替推論は, 第2章で述べた非単調推論にあたり, 推論結果の最適性を保証するものではない.

図-7の例では, 運転者は予定経路を走行していると思っているが, 実際には予定経路外を走行している. このとき, 案内標識によって予定経路(細実線)の中継地点である⑤の案内が出現し, 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認識する場合である。

この場合には、運転者は左折を選択して⑤に至ることができるが、この運転者が予定経路に復帰するために⑤と思われる地点において選択すべき方向が問題となる。

本研究では、これらを推論値 $\{\theta\}$ として求める演算体系を考察する。

なお、以下の演算体系の適用条件は、次の2点である。

①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。

②予定経路上の既知情報である経由地名または経由路線番号の案内があり、その経由地と思われる地点を何らかの方法(交差点の大きさ・幅、最初に現れた交差点、距離と方向などによるおおよか推論)で特定する。なお、正確な地点に到達できているかどうかの保証は必要としない。

ところで、経路における位置にもとづく進路決定は、格子状(grid map)の認知地図を基本としている¹⁴⁾の一般的なとされている。したがって、格子状に近い形状のネットワークの方が複雑な形状のネットワークよりも本推論の精度は高くなる。

a) 記号

演算体系には、方位および方向転換の向きを要素として用いる。

①方位

方位は、東西南北の4種類とする。本研究では、予定経路の最初の出発方向を N とし、 E, S, W は N に対する相対方位として取り扱う。

②方向転換の向き

直進またはそのままは「 \circ 」、左折は「 \leftarrow 」、右折は「 \rightarrow 」、逆進は「 \downarrow 」の4種類とする。

b) 記号の数値化

本研究では格子型の道路網を想定しているので、演算を容易にするため、上記の記号を数値化することを試みる。

反時計回り90度単位の方向転換が、 $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ であるときの方向は、ド・モアブルの定理より、次式で表現できる。

$$e^{i \cdot 0} = 1, e^{i \cdot \frac{\pi}{2}} = i, e^{i \cdot \pi} = -1, e^{i \cdot \frac{3\pi}{2}} = -i \quad (27)$$

ここに、 e は自然対数の底であり、 i は虚数単位である。

したがって、方位に関しては、

$$N = \{1\}, W = \{i\}, S = \{-1\}, E = \{-i\} \quad (28)$$

同様に、方向転換の向きは、

$$\begin{aligned} \text{直進またはそのまま} \text{「}\circ\text{」} &= 1, \text{左折} \text{「}\leftarrow\text{」} = i, \\ \text{逆進} \text{「}\downarrow\text{」} &= -1, \text{右折} \text{「}\rightarrow\text{」} = -i \end{aligned} \quad (29)$$

とする。

c) 記号の合成則と代数演算則

いくつかの方向転換を組み合わせた後の方向、すなわち進行方向の合成則および方位と方向転換の合成則、そして、それらの代数演算則について以下に例示する。

進行方向相互の合成に関しては、

$$\{\circ \leftarrow\} = 1 \times i = i = \{\leftarrow\} \quad (30)$$

$$\{\rightarrow \leftarrow\} = (-i) \times i = 1 = \{\circ\} \quad (31)$$

$$\{\rightarrow \downarrow\} = (-i) \times (-1) = i = \{\leftarrow\} \quad (32)$$

また、左折と左折、右折と右折など、同方向転換の合成に関しては、

$$\{\leftarrow \leftarrow\} = i \times i = -1 = \{\downarrow\} \quad (33)$$

$$\{\downarrow \downarrow\} = (-1) \times (-1) = 1 = \{\circ\} \quad (34)$$

式(30)~(32)に関しては、交換則が成り立つ。

方位と方向転換の合成に関しては、

$$N\{\rightarrow\} = \{1\} \times (-i) = \{-i\} = E \quad (35)$$

$$S\{\rightarrow\} = \{-1\} \times (-i) = \{i\} = W \quad (36)$$

d) 計算例

ここで、以上の演算則を図-7のケースへ適用してみる。

まず、細実線で示す予定経路にしたがって⑤に到達し、⑤で進行方向を決定するまでの動きと、その結果進行する方位に関する演算式を表すと、次のようになる。

$$N\{\circ \rightarrow \leftarrow\} = \{1\} \times 1 \times (-i) \times i = \{1\} \quad (37)$$

式(37)は、出発点⑦から N の方位に向かい、右折、左折と方向を2回転換すると、結局は元の方位 N に向かって進むことになることを表している。

次に、予定経路外の経路である太破線を走行中に、⑤に到る案内を既知情報の方向と異なる方向に案内された場合を考える。

⑤に到着した後の進行方向を $\{\theta\}$ とすれば、一連の動きと⑤到着以降の進行方向は、次式で表される。

$$\begin{aligned} N\{\circ \rightarrow \leftarrow \leftarrow \theta\} &= \{1\} \times (-i) \times i \times i \times \theta \\ &= \{i\} \times \theta \end{aligned} \quad (38)$$

これが、予定経路と同じ方位にならなければならない。

つまり、式(37)と式(38)の値は等しく、

$$\{1\} = \{i\} \times \theta \quad (39)$$

よって、

$$\theta = \frac{\{1\}}{\{i\}} = \frac{1}{i} = -i \quad (40)$$

すなわち、「⑤と思われる分岐点を右折する」と推論することとなる。

このようにして、運転者の進行方向を演算することができる。ただし、式(21)に示すように、走行中の方向

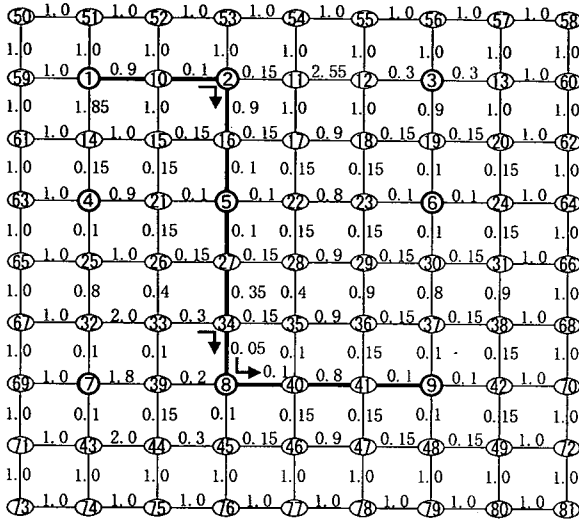


図-8 例題の道路網

転換数を制約条件とするので、方向転換数が多すぎる場合には、この推論は成立しない。

ところで、ここで示したような数理的な演算が、そのまま運転者の頭の中で行われているとは考えられない。しかし一方で、メンタルモデルの立場に立てば、一定の条件の下でこうした代替演算が可能である以上、運転者がこれと類似の機能を持つ何らかの推論を行いうると考えられる。

4. 迷走に対する推論の影響

本章では、これまで述べてきた運転者の推論が、迷走の抑止にどのように影響しているかを明らかにするために、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ものである。

(1) 道路網

計算例に用いる道路網は、図-8 に示す往復 288 リンク、81 ノードの道路網である。丸枠ゴシック体数字はノードを表し、他の数字はノード間の距離を表す。

分析対象とするODの出発ノードを①、目的ノードを⑨とし、①から⑨に至る最短経路は、太線で示す①→⑩→②→⑬→⑤→⑭→⑮→⑯→⑰→⑱→⑲→⑳→㉑→㉒→㉓→㉔→㉕→㉖→㉗→㉘→㉙→㉚→㉛→㉜→㉝→㉞→㉟→㊱→㊲→㊳→㊴→㊵→㊶→㊷→㊸→㊹→㊺→㊻→㊼→㊽→㊾→㊿→①とする。その経路長は3.5である。また、通過すべき交差点およびリンクの数は9箇所であり、方向転換箇所は、②および⑧の2箇所である。

最短経路上で案内標識を設置する位置は、リンク(⑩→②)の②流入部およびリンク(⑳→⑧)の⑧流入部の2箇所であり、その内容は、『右折すると「⑧」(または

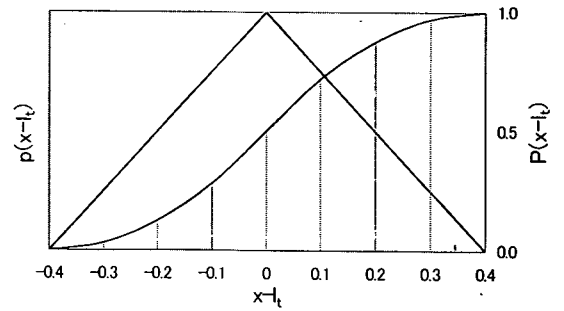


図-9 方向転換ノード選択の確率分布

「⑨」に至る』および『左折すると「⑧」に至る』とする。

最短経路以外のリンクに関しては、リンク(㉓→㉔)の㉓流入部の1箇所であり、その内容は、『右折すると「⑧」に至る』とする。この案内は、最短経路以外の経路を走行中の運転者にそのことを自覚させ、最短経路に復帰するための代替推論を可能にする。

例題のODは1組であるが、現実の道路網では多数のODが存在し、それらに対する案内誘導も混在している。そのとき、ある経路の案内が他の経路への案内を兼ねたり、または予定経路へ復帰させたりする効果をもつ場合がある。後者の効果を検証するために、本例では最短経路以外のリンクにも案内することとした。

(2) 既知情報

案内情報に対して直接対応する既知情報は、地点情報に関して、

$$\text{via}(\textcircled{2}, \textcircled{8}, \textcircled{9}) \quad (41)$$

方向情報に関しては、

$$\text{direct}(\text{右}, \text{左}) \quad (42)$$

結合情報に関しては、

$$\text{concat}(\textcircled{2}, \text{右}, \textcircled{8}, \text{左}, \textcircled{9}) \quad (43)$$

案内情報に対応しない既知情報としては、中継地点間の距離があり、

$$\text{length}(l_{1,2}, l_{2,8}, l_{8,9}) \quad (44)$$

とする。

(3) 方向転換位置の同定

式(20)で用いた各運転者の方向転換位置同定に関する分布関数 $F(l_c, x_i)$ の確率変数を、走行距離 x と各リンクの認知的距離 l_c との差と仮定する。

図-5, 6 で示した考え方を推論モデルに適用するには、 $g(l_c)$ と $f(x-l_c)$ の合成分布を決定すべきであるが、現段階では、 $g(l_c)$ および $f(x-l_c)$ とともに具体的な分布型

が不明であるので、本例では図-9 に示すように、認知的距離のピーク値（平均値）は各リンクの真の距離 l_i に等しいと仮定し、確率変数を $x - l_i$ とし、方向転換位置同定の確率密度関数 $p(x - l_i)$ を三角分布型で仮定した上で、その分布関数 $P(x - l_i)$ を求めた。

なお、図-9 は現実の走行において検証したものではない。しかし、走行シミュレータを用いた仮想の進路選択実験では、真の距離近くに分岐点をピークとした分布が得られており¹⁹⁾、現時点では、図-9 の仮定は妥当と考える。

(4) 評価指標

迷走の程度を表す評価指標としては、最短距離（予定走行経路）で到達した台数、 $e\%$ 到達距離、および著者が定義した次式の到達迷走度⁸⁾を用いる。

$$H(\Xi) = \sum_e \left(\frac{t_e(\Xi)}{t_0(\Xi)} - 1 \right) \quad (45)$$

ここに、 Ξ は、地名または路線名案内の政策である。また $t_e(\Xi)$ は OD の最短到達距離であり、 $t_0(\Xi)$ 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、予定経路以外を走行した運転者の走行距離の度合いを考慮しているので、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、予定経路以外を走行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、試行回数（車両台数）は 100 万回とし、到達迷走度の算定には、そのうちの、目的地への到達順に早い方から 90% を対象とした。

(5) 推論機能の組み合わせケース

推論機能の計算例は、案内がない場合が 2 ケース、案内がある場合が 3 ケースの計 5 ケースとする。

ケース 1：推論機能がなく、案内情報も与えられていない。

ケース 2：推論機能として、予定分岐点間の認知的距離にもとづく方向推論機能のみがあり、案内情報はない。

ケース 3：ケース 1 に案内情報が加えられている。

ケース 4：ケース 2 に案内情報が加えられている。

ケース 5：ケース 4 に代替推論機能が加えられている。

ただし、方向転換数が R を超える場合は、次に遭遇する分岐点ではランダムウォークとなる。また、方向転換数の上限値 R には、直接短期記憶容量の標準項目数⁹⁾である 4 を用いる。なお、本例題では第 3 章(3)の「経由地と思われる地点（例えば、図-7 では地点⑤

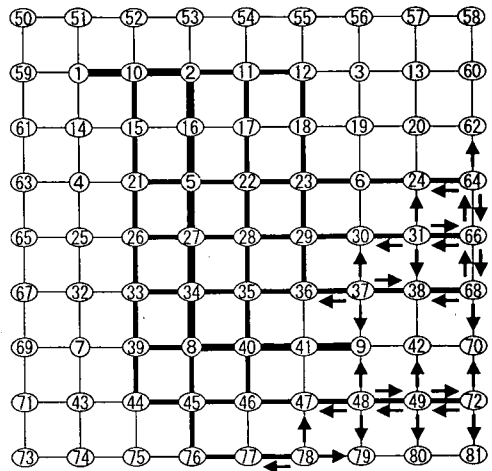


図-10 推論不能状態になるまでの走行経路(ケース 2)

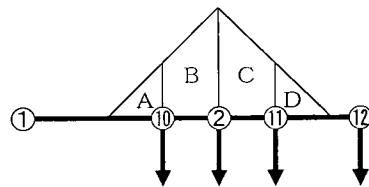


図-11 方向情報による方向転換

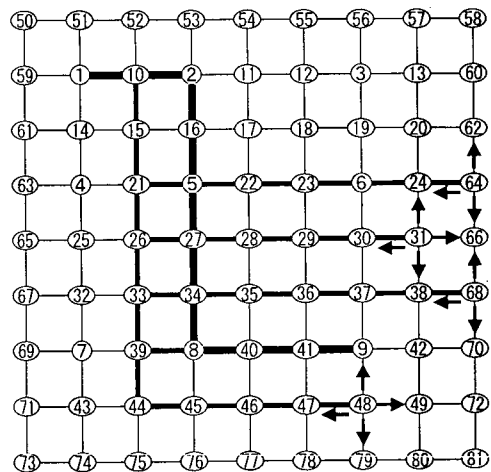


図-12 推論不能状態になるまでの走行経路(ケース 5)

に該当する.)」は、案内にしたがって進入したリンクでの次の交差点とした。

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	
最短到達台数[%]	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	3.5
	20%	41.15	4.2	36.75	3.5	3.5
	30%	56.0	7.15	50.35	3.5	3.5
	40%	72.0	10.75	65.55	3.5	3.5
	50%	90.85	15.75	83.15	6.35	3.95
	60%	113.6	23.85	104.35	13.4	3.95
	70%	143.0	37.9	131.85	25.35	6.05
	80%	183.9	61.25	170.3	46.8	16.1
	90%	254.9	102.15	236.7	85.9	45.55

(6) 計算結果

各ケースの計算結果は、表-1 および図-10~14 に示す。推論が機能しないケースは、1 および 3 であり、機能するケースは、2, 4 および 5 である。

a) 方向情報と認知的距離にもとづく方向転換

方向情報と認知的距離にもとづく推論が機能するケース 2 において、推論不能状態になるまでの経路を図-10 に示す。太線は、そのときの走行経路であり、その内の最太線は予定走行経路である。案内がないにもかかわらず、推論の効果として、走行する主要なリンクが絞り込まれているのがわかる。なお、矢印が各方向に出ているノードは、推論不能になるノードであり、すべての運転者がランダムに進路を取り始めることを示している。

ケース 2 において、予定経路の最初の方向転換は、「分岐点②を右折」である。しかし、その直前の分岐点⑩を右折する運転者が、0.28 (図-11 の面積A) の確率で発生している。また、予定分岐点②を右折する運転者は、0.22 (面積B) の確率で発生し、直後の分岐点⑪およびその後の分岐点⑫での右折車の発生確率は、0.30 (面積C) および 0.20 (面積D) となる。

なお、最短到達台数は、図-9 の x 軸分布幅の設定により変化し、分布幅が狭くなると、予定分岐点②を右折する運転者数は増加する。

案内が設置された場合であるケース 5 において、推論不能状態になるまでの経路を図-12 に示す。この場合に

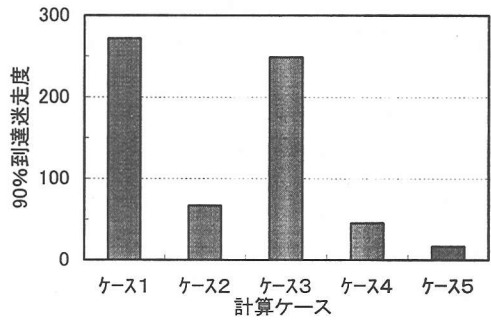


図-13 90%到達迷走度

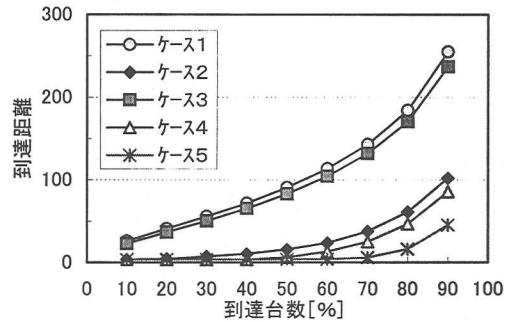


図-14 到達台数と到達距離の関係

は、リンク(⑩→②)に案内が設置されているので、図-11 の面積CおよびDの分も予定分岐点②を右折することとなり、右折分岐点の発生確率は分岐点⑩では 0.28、分岐点②では 0.72 となる。ケース 4 でも同様である。

b) 最短到達台数

まず、案内がない場合について考察する。

最短経路上の通過分岐点数は 9 であるので、表-1 に示すように、ケース 1 での最短到達台数は、 $1/4^9 \approx 0.0004\%$ となる。現実には、案内が皆無でも、ほとんどすべての運転者が予定経路からはずれて迷走するということは考えにくく、ケース 1 の計算結果は、現実的な値ではない。

ケース 2 では、運転者は、方向転換で描く走行形状と認知的距離にもとづいて進路を決定しているため、最短距離で到達する運転者は、ケース 1 よりも多くなり、約 11% となっている。ケース 2 の計算結果は、ケース 1 よりも現実に近いと思われる。

次に、案内がある場合について考察する。

ケース 3 では、最短経路上に 2 箇所の案内があるので、最短到達台数は、 $1/4^7 \approx 0.006\%$ となるが、ケース 1 と同様に、ほとんどの運転者が最短経路では到達していないといえる。

ケース 4 では、案内がないときには、ケース 2 と同じく、方向情報にもとづき推論し、案内があるときには、

結合または代理結合情報、および地点情報にもとづき推論する。この場合の最短距離での到達台数は、ケース2より増え、約44%となっている。

ケース5では、さらに代替推論も機能しているが、代替推論は予定経路以外の走行を含んでいるので、最短到達台数の増加には貢献しない。よって、最短到達台数は、ケース4と同数となる。

c) 90%到達迷走度およびe%到達距離

表-1 および図-13 に示すように、90%到達迷走度が大きいのは、ケース1および3であり、迷走状態が顕著に現れている。次いで、ケース2、4、5の順に小さくなっている。また、到達台数と到達距離の関係を図-14 に示す。長い距離で到達する運転者が多いほど、到達迷走度は大きくなるという関係があり、図-14 でもケース1および3の到達距離は、他のケースより大きな値となっている。

ケース1と2の違いは、認知的距離にもとづいた方向推論の効果であり、ケース2と4の違いは、案内標識の誘導効果である。

ケース4と5は、ケース3よりも到達迷走度が小さくなっている。ケース3、4、5は、いずれも案内があり、その内容も同一であるので、この差は推論（特に、認知的距離にもとづいた方向推論）の効果である。

また、予定経路以外に設置されているリンク⑬→⑭の案内の機能は、ケース3および4では、予定中継地点⑩に復帰させるだけであるが、ケース5では、代替推論である式(21)の条件を満足する場合には、その後の進むべき方向を「左折」と推論することができる。よって、ケース4と5の到達迷走度の違いは、代替推論による効果である。

なお、ケース4および5においては、方向転換の案内が設置してあるリンクの直前のリンクで方向転換して予定経路以外のリンクを走行する運転者が発生している。これは、図-9、11 に示すように、真の距離より短い走行距離で、方向転換してしまう運転者が存在しているために起こる現象である。

したがって、迷走車を減少させるには、方向転換すべき交差点の流入部だけではなく、その前のリンクで、まだ方向転換するときではなく「直進である」という案内を設置すべきことが理解できる。これは、現実の道路での案内板に見られる直進案内の有効性を裏付けるものと考えられる。

5. あとがき

本研究は、予定経路を走行するときのリンク選択における進路決定推論に関して、情報处理的取り組みの立場

から、メンタルモデルを構築することを目的として、数理モデルの提案および定式化を行い、各推論の特性を示したものである。本論文で明らかになったことと今後の課題について以下に述べる。

(1) 推論システムの機構

情報の種別は、出発前の情報を既知情報とし、走行中に標識などから得られた情報を獲得情報とした。それらの構成要素として、地点情報、方向情報および距離情報を考え、それらにもとづき、結合情報および代理結合情報を定義した。なお、情報の構造は、時間・位置的な順序を表す順序集合とし、距離情報は認知的歪みを持つものとした。

これらの情報を入力とした推論の機能は、獲得情報がない場合には、認知的距離と既知の方向情報にもとづき走行形状を認識し、方向転換箇所を推論するものとした。また、獲得情報がある場合には、結合情報、代理結合情報、地点情報のいずれかにより、方向転換箇所を推論するものとした。

さらに、運転者が予定経路外を走行していることを認識した場合には、条件が満足すれば、代替推論を行うものとした。

(2) 推論の効果

例題の結果から、案内が全くない場合でも、認知的距離にもとづいた方向推論により、ランダムウォークの確率値よりも非常に多数の運転者が予定経路上を走行することが判明した。また、有効な案内により比較推論が機能し、より多数の運転者が予定経路上を走行することになる。さらに、予定経路外走行を認識した運転者が代替推論により予定経路に復帰することも示すことができた。

これらの結果は計算条件（道路網、OD数、経路、標識の設置箇所・内容）によって変化すると思われるが、各評価項目値の大小関係は変化せず、予定経路以外の走行リンク絞り込みの順序も変わらず、定性的一般性はあると考える。

また、推論機能が働く結果、予定経路外の主要な経路が判明する。それらのリンクと予定経路上のリンクが案内誘導箇所の候補となり、有効でない案内箇所の候補が排除でき、無駄な標識の設置を防止できることになる。また、このことにより最適化計算時の組み合わせ数が大幅に減少するので、案内誘導の条件付き最適化問題の求解困難性が改善される。

本研究により、推論が案内情報の不完全さを補いつつ、運転者を目的地に導く効果をもつことが判明した。その中でも認知的距離にもとづく方向推論の機能の効果は大きく、推論の中心的役割を果たすのではないかと考

えられる。

以上より、本モデルを従来の案内誘導システムに組み込み、それを再構築することは有意義なことと思われる。

(3) 今後の課題

本論文では、論理性のある推論モデルをシステム化できた。しかし、認知的歪みの分布特性は未解明であり、計算例では認知的距離の歪みを三角形分布で仮定したので、定量的には必ずしも十分ではない。

このような認知的歪みを定量化することは容易ではないが、今後本モデルをより現実的なモデルとするためには、認知的歪みを原因とした認知的距離の確率分布の特性および定常性を検証し、適切な分布パラメータを求めることは重要と考えられる。このため、走行シミュレータによる室内実験を現在実施中であり、代替推論の検証を含めた実走行実験も計画中である。

また、本研究により、案内設置箇所候補の絞り込みの可能性を示すことができたが、さらに案内名とその案内方向候補の絞り込みの原理を解明する必要がある。この点については、案内誘導システムの最適化問題へ適用する場合に効果を発揮すると思われるので、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) 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.
- 3) 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.
- 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，pp. 117-120, 1991.

- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 朝倉康夫，羽藤英二：交通ネットワーク上の経路選択行動：観測と理論，土木学会論文集，No. 660/IV-49, pp. 3-13, 2000.
- 10) 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.
- 11) 中島秀之，高野陽太郎，伊藤正雄：思考，認知科学第8巻，岩波書店，pp. 109-149, 1994.
- 12) 佐伯 胖，戸田正直：認知科学の方法，認知科学選書第10巻，東京大学出版会，pp. 129-172, 1997.
- 13) 長山泰久，矢守一彦：空間移動の心理学，福村出版，pp. 104-117, 1992.
- 14) 若林芳樹：認知地図の空間分析，地人書房，pp. 81-124, 1999.
- 15) 今田邦明，辰巳 浩，外井哲志，野村哲郎：認知距離にもとづいた交差点の進路選択特性に関する研究，土木学会西部支部研究発表会，pp. B260- B261, 2001.

(2001. 2. 13 受付)

INFERENCE MODEL OF COURSE DIRECTION ON ROAD NETWORK

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. But the contents of the traffic guide signs are not complete because all drivers' destinations are not shown. Thus it is important to establish an inference model of the course direction on driving road network.

This paper proposes a mental model method for the inference with the shape of concatenated links and cognitive length. This model evaluates the effect of the inferences by simulating. The model assumption and the model building process are discussed and numerical analyses are executed for a road network.