

CSIS Discussion Paper No. 38

曲がり角が一つある通路における  
定性的方向推論についての実験による分析  
Qualitative spatial reasoning about directions  
in a corridor containing a single turn

山本 直英<sup>†</sup>・岡部 篤行<sup>‡</sup>

Naohide Yamamoto<sup>†</sup> and Atsuyuki Okabe<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻  
Department of Urban Engineering, University of Tokyo

<sup>‡</sup>東京大学空間情報科学研究センター  
Center for Spatial Information Science, University of Tokyo

July 2001

東京大学空間情報科学研究センター  
〒153-8904 東京都目黒区駒場4-6-1  
Tel: 03-5453-5690 / Fax: 03-5453-5699

# 曲がり角が一つある通路における定性的方向推論についての実験による分析

山本 直英<sup>†</sup>・岡部 篤行<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻

<sup>‡</sup>東京大学空間情報科学研究センター

連絡先：山本 直英

東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻

〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1

Tel: 03-5841-6259

Fax: 03-5841-8521

E-mail: naohide@ua.t.u-tokyo.ac.jp

## 論文の概要

方向推論がどのように行われているのかを調べることを目的に、途中にさまざまな角度の曲がり角(0, 15, 30, 45, 60, 75, 90度の7通り)が1回ある通路を用いて、入口で提示された方向を出口でどれだけ正確に回答できるかについて測定する実験を行った。本研究の実験環境においては、方向を考える際に手がかりとなる情報が乏しく、被験者は自分の身体を基準にして方向を推論することになる(すなわち、自己中心的参照系における推論となる)。そのことを考慮して、仮説として( )方向推論は、参照軸を利用した定性的推論になる;( )方向推論は、常に進行方向を基準に、そこから正解方向までの回転角(これを定位角と呼ぶ)を想起することで行われる、の2つを考えた。さらに、仮説( )については、ここで用いられる参照軸が4方向(身体の前-後, 左-右)からなるものか、これに斜め方向を加えた8方向からなるものかについて検討した。実験の結果、両方の仮説が支持され、かつ参照軸の構成は8方向からなることが明らかになった。

キーワード：方向，定性的推論，自己中心的参照系，参照軸

## Abstract

An experiment was conducted to investigate the process of reasoning about directions in an egocentric space. Each subject walked through a corridor containing an angular turn ranging in size from 0° to 90°, in 15° increments. A direction was given to subjects at the entrance of the corridor and they were asked to answer this direction at the end of this corridor. Considering the fact that subjects had to reason the direction in the featureless corridor, two hypotheses were proposed: (i) reasoning about directions would fall into qualitative reasoning by using a small number of coarse angular categories (four 90° categories or eight 45° categories – 90° categories consisted of front, back, left, right, and 45° categories consisted of 90° categories and the four intermediates) which reference axes generated; (ii) reasoning about directions would be done by recalling the rotation angle from the traveling direction to the direction which subjects tried to answer. In addition, the configuration of reference axes that subjects employed was examined. Both hypotheses were supported, and the data designated that reference axes consisted of eight directions – a pair of orthogonal axes and diagonals.

**Key words:** direction, qualitative reasoning, egocentric reference system, reference axes

## 1. はじめに

人間が空間内を移動するときに用いる情報は、大きく分けて距離と方向の2つである (Hart & Moore, 1973; Piaget & Inhelder, 1956)。それも実際の距離や方向ではなく、人間が知覚し、認知している距離や方向が利用されることになる。したがって、認知された距離や方向に関する情報処理のしくみを調べることは、人間の空間行動の成り立ちを知るうえで非常に重要なこととなる。

距離と方向という2つの要素のうち、距離については、比較的早くから研究の対象とされてきた (例えば Briggs, 1973)。その一方で、方向についてはそれほど多くの研究がなされているわけではない。

これまでに行われてきた方向に関する研究には、いわゆる「方向感覚」を扱ったもの (Bryant, 1982; Kozlowski & Bryant, 1977; 竹内, 1992) や、実際の空間における方向判断特性について調べたもの (Montello, 1991; Okabe, Aoki, & Hamamoto, 1986) がある。しかし、これらの研究の多くは空間行動に現れる行動特性を分析するものであり、方向推論をする際の心的過程について洞察する研究は、あまり見られない。

そのような中であって、Sadalla & Montello (1989) は、方向推論の心的過程を分析したのものとして、注目に値する。ここでは、外部からの情報が乏しい状態で方向推論をするとき (すなわち、自己中心的参照系を用いて方向推論をするとき) 正解方向が斜め方向 (45度および135度) のときに誤差が極大となることから、人間は自分の身体の前、後、左、右からなる参照軸 (図1) を利用して方向推論を行っている結論づけている。すなわち、これら4方向の参照軸のうち、正解方向に最も近いものを起点とし、そこから正解方向までの回転角を想起することで方向推論を行うということである。

しかし、これにつづく Montello & Frank (1996) においては、参照軸が8方向 (前、後、左、右に斜め方向を加えたもの、図1) からなると仮定したシミュ

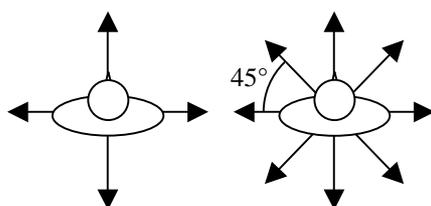


図1 参照軸の構成  
(4方向モデルと8方向モデル)

レーションを行い、8方向モデルのほうが Sadalla & Montello (1989) の実験データをよく再現できることを示している。このように、参照軸が4方向と8方向のいずれからなるものなのか、これらの研究からは結論を導くことができない。また、地理情報科学の立場から方向推論について考察した研究はいくつか見られるが (例えば Frank, 1992; Ligozat, 1993; Zimmermann, 1993)、いずれにおいても4方向もしくは8方向のモデルを経験的に採用するにとどまっている。以上のように、これらのモデルの是非について考察した研究は行われていないのが現状である。

そこで本研究では、方向推論をする際の心的過程を分析することと、ここで用いられる参照軸の構成を検討することを目的に、途中に曲がり角が1回ある通路 (図2) を用いた実験を行う。通路入口で提示された方向 (以下、これを「提示方向」と呼ぶ) を、出口でどれだけ正確に答えられるかを測定することで、方向推論がどのように行われているのか、また参照軸は4方向と8方向のいずれからなるものなのかについて調査する。

## 2. 仮説

本研究で用いた実験用通路は、その両側を白色の塀 (高さ2m) に囲まれており、床は青色のシートで完全に覆われている。このように、歩行環境に方向を知る手がかりが少ないため、被験者は自分の身体を基準として方向推論を行うと推察される。

そして本研究の仮説では、このような状況での方向推論は、参照軸の方向を用いた定性的推論になるものとする。つまり、あらゆる方向をいずれかの参照軸の方向に位置づけて (例えば、85度の方向を90度の方向とみなす) 扱うというもので、本来はあらゆる向きに連続的に存在している方向を、離散的に類別されたものとして取り扱うということである。参照軸が4方向からなる場合、その類別化は前後左右の4通りになり、8方向からなる場合、前後左右に斜め方向を加えた8通りになる (図3)。環境から十

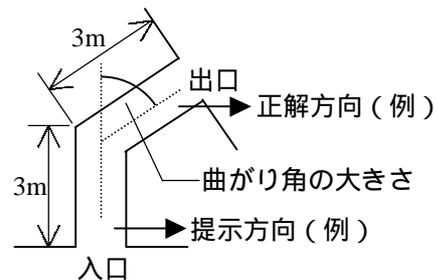


図2 実験用通路の概要

分な情報が与えられ、方向を判断する際に自分の身体以外の様々な判断材料を用いることができるならば、方向を連続的に捉えることができるかもしれない。しかし、本研究の実験環境においてはそれを可能にするだけの十分な情報がなく、したがって方向の取り扱いも離散的なものにとどまるはずである。

さらに、本研究の仮説では、推論の基準としては常に進行方向(身体の前方向)の参照軸が用いられ、そこから正解方向までの回転角(以下、この回転角を「定位角」と呼ぶ)を想起することで、方向推論が行われるものとする(図4)。基準となる方向はいつでも簡単に同定できるものであることが望ましいが、進行方向以外の方向は、それ自体を定めるために必ず1回以上の方向推論を必要とする。したがって、正解方向に関係なく進行方向を基準に用いる方

法は、最も簡便で、認知的負荷の小さい方法の1つであると言える。

以上の仮説により、方向推論の手順をまとめると次のようになる(図5)。

- (1) 入口で、提示方向を記憶する。
- (2) 通路を歩き、曲がり角の大きさを知覚し、記憶する。
- (3) 通路出口において、進行方向を基準に、正解方向までの定位角を想起する。このとき、定位角の起点は実際の出口の方向ではなく、(2)で記憶された曲がり角の大きさにもとづいて知覚された出口の方向となる。
- (4) 定位角の大きさは、正解方向に最も近い参照軸までのものとなり、回答が定まる。

この手順によって方向推論が行われているかどうか

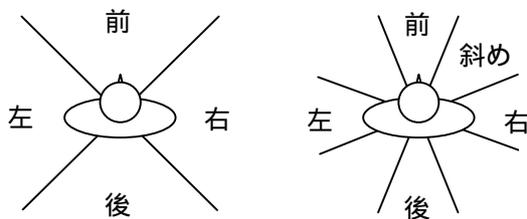


図3 定性的推論の枠組み  
(4方向モデルと8方向モデル)

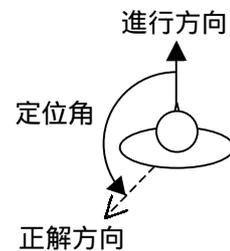


図4 定位角

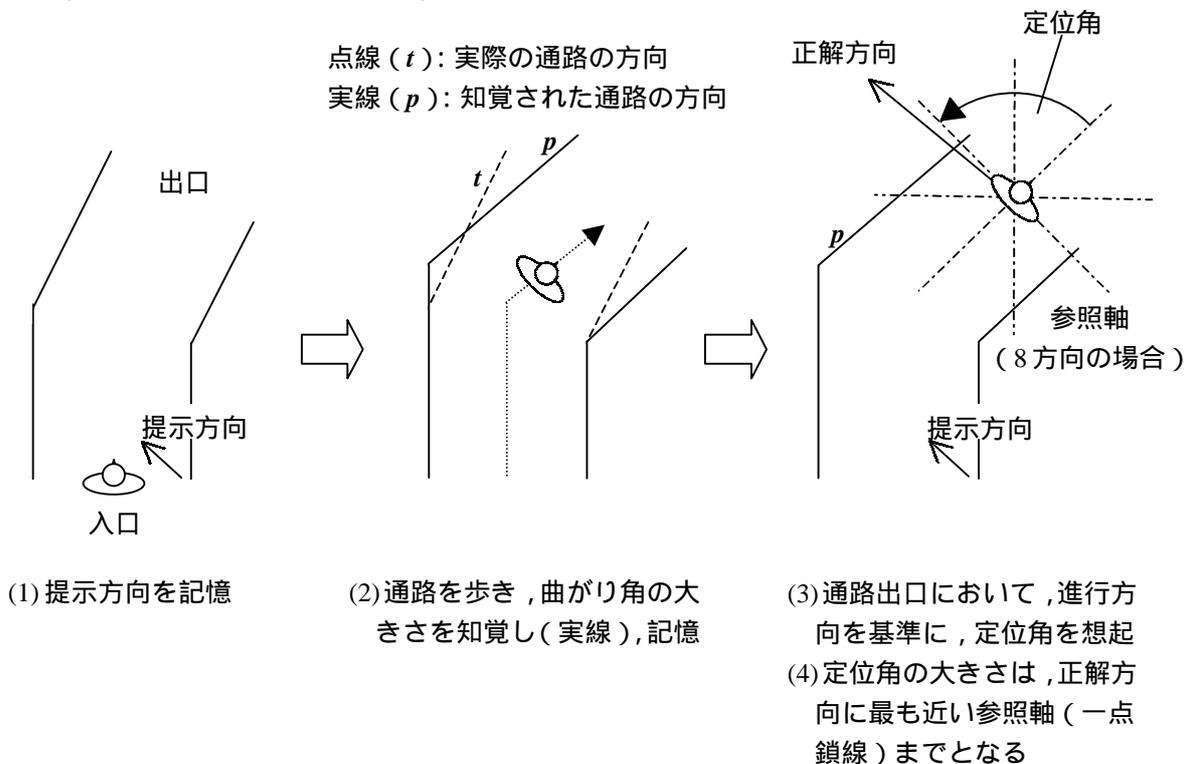


図5 方向推論の手順  
(参照軸が8方向からなる場合)

かは、この手順から導かれる定位角の過大視 / 過小視傾向 (図6) と、実際の被験者の過大視 / 過小視傾向が一致しているかどうかを見ることで検討する (注1)。

また、以上の手順によって方向推論が行われている場合、方向推論の正確さ (これは回答の誤差絶対値で表される) は、図7のようなモデルで表される。参照軸と一致する方向では方向推論が正しく行われ、正解方向が参照軸から離れるにしたがって、推論の結果も不正確なものとなる。また、定位角の想起に際しては、進行方向を起点とした心的回転 (Shepard & Metzler, 1971) が行われるため、正解方向が進行方向から離れるにしたがって (つまり、定位角が大きくなるにつれて) 正確な推論は困難になり、回答の誤差も線形的に増大すると予想される。

### 3. 実験

#### 3.1 被験者

被験者は20歳から33歳の大学生70名 (平均21.9歳) であり、うち女性は12名である。全員が東京大学工学部都市工学科の授業「都市解析」を受講しており、56名は都市工学科の学生である。なお、この実験は授業の一環として行われ、参加した学生にはレポートの単位が与えられた。

#### 3.2 実験環境

実験は、東京大学工学部14号館の1階ホールで行われた。ここに高さ2mの白色の塀を立て、幅1.5m、全長6mの実験用通路を設置した (図2参照)。また、実験会場の床面には模様やつなぎ目のない青色のシートを敷いた。さらに、衝立で通路を覆い、被験者に通路を外側から見られないようにした。このように本研究では、被験者が自分の身体からの情報をもとに方向推論を行うように、遠くに見えるランドマークなど身体以外の情報をできるだけ排除するようにした。完全に身体からの情報のみに限定するためには、環境からの視覚的・聴覚的情報の全てを取り除く必要があるが、それは同時に生態学的妥当性を著しく欠く実験状況を作り出すことにもつながる。本研究で通路を用いたのは、両者のバランスを考慮してのものである。

曲がり角は通路の中央、入口から3mのところを作り、その大きさは0、15、30、45、60、75、90度の7通りとした (図2参照)。右折の場合と左折の場合で結果が異なることも考えられるが、類似した実験 (Sadalla & Montello, 1989) でその効果が見られないことを考慮し、本研究では通路を両側から使用し、右折と左折の両方を用いた。

また、通路入口での方向の提示、および通路出口

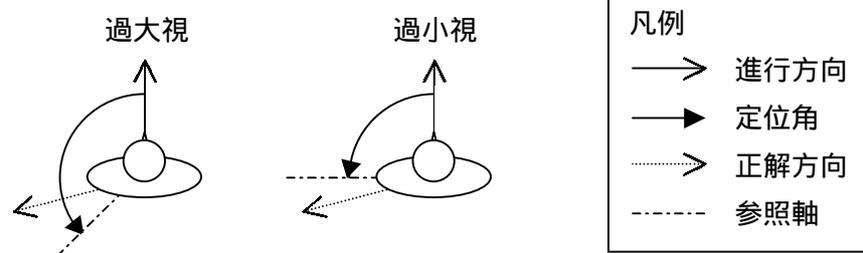


図6 定位角の過大視・過小視

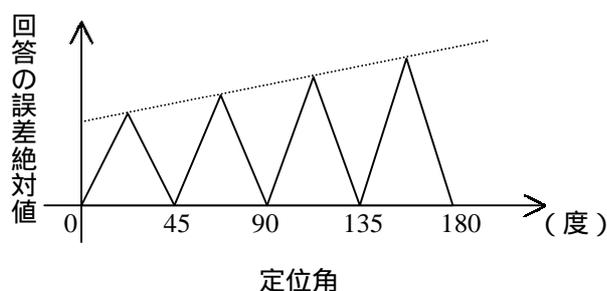


図7 方向推論モデル  
(参照軸が8方向からなる場合)

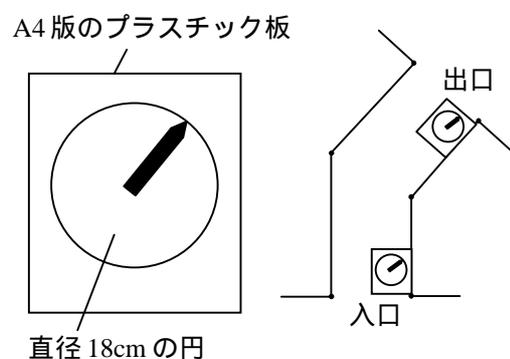


図8 コンパスおよびその設置位置

での被験者の回答には、図8のようなコンパスを床面から70cmの高さに水平に固定し、これを使用した。回答にコンパスなどのポインターを用いると、針を操作する際に一定の誤差が生じるとされているが(Rieser, Hill, Talor, Bradfield, & Rosen, 1992), 結果の記録が容易であり、かつ被験者の認知的負荷が小さいという利点がある。また、Habel, Haber, Penningroth, Novak, & Radgowski (1993)は、ポインターによる回答方法は、被験者の身体の一部を用いる方法に次いで精度の高い方法であるとしており、本研究において回答にコンパスを用いるのは、精度のよさと使用の簡便さの両方を考慮したときに、妥当な方法であると言える。

### 3.3 実験手順

実験開始前に、衝立の外で実験手順に関する教示を受けたあと、被験者は1人ずつ衝立の中に入った。通路入口で図9に示す5方向のうちの1つを提示され、この方向を記憶してから、被験者は通路を出口まで歩いた。このとき、後ろを振り返ることと後戻りすることを禁じ、また普段と同じ速さで歩くことを求めた。

通路出口に到達したら、回答用コンパスの針を被験者自身が動かして、提示方向を回答した。回答には時間の制限を設けず、各被験者のペースで回答できるように配慮した。また、針は被験者の回答を記録した後に適当な位置に動かし、前回の回答を参考にできないよう注意した。

回答が終わったあと、被験者はいったん衝立の外に出て、改めて通路に入りなおした。そして入口で先ほどとは違う方向を提示され、同様にして出口で回答した。この手順を図9に示した5方向すべてについて行ったあと、曲がり角の大きさを変え、同じようにして図9に示した5方向について実験を行った。各被験者は曲がり角の大きさが0, 15, 45, 75度の場合か0, 30, 60, 90度の場合のどちらかについて実験を行い、実験時間は1人あたり約30分であった。なお、順序による効果を取り除くため、提示方向および曲がり角の大きさは、ランダムに変化させた。

### 3.4 結果

本研究では、被験者の回答の誤差と、その絶対値を測定した。誤差の符号は、定位角を過大視した場合を正、過小視した場合を負として定義している。

#### 3.4.1 提示方向の知覚

はじめに、被験者が提示方向をどのように知覚していたのかを調べるため、曲がり角の大きさが0度の場合の結果について見てみる。ここでは通路は完全な直線となるため、被験者の回答は提示方向がどのように知覚されていたかを表している。その結果を図10に示す。

Rosch(1975)の実験1によると、紙に描かれた線分の角度を知覚する際には、直交方向と斜め45度の方向が基準として用いられ、これらの方向については正確に知覚される傾向がある。紙に描かれた線分か、コンパスの針かという違いはあるものの、本研究での方向の提示のしかたは、この実験とほぼ同じ状況のものである。本研究の提示方向はいずれも基準として用いられる方向に一致するものであるから、5方向は全て正確に知覚されると予想される。

図10を見てみると、若干の誤差が生じているものの、いずれの方向についてもそれは小さなものである。そこで本研究では、これら5方向はみな正確に知覚されていたとものとする。

#### 3.4.2 曲がり角の大きさの知覚

次に、被験者が曲がり角の大きさをどのように知覚していたのかを見るために、入口で方向 (図9

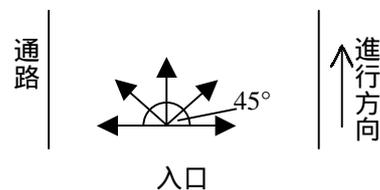


図9 提示方向

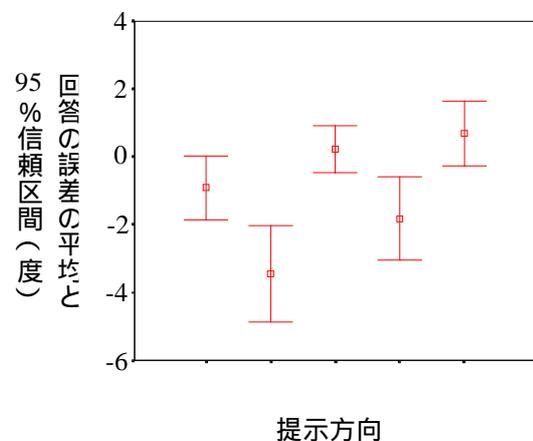


図10 提示方向の知覚 (曲がり角の大きさが0度の際の誤差の平均)

参照)を提示したときの結果について見てみる。この場合、被験者は知覚した曲がり角の大きさと等しくなるように定位角を想起するため、結果は曲がり角の大きさがどのように知覚されていたのかを表すことになる。その結果を図11に示す。

図11を見ると、曲がり角の大きさが0度、45度、90度ときには、その大きさはほぼ正確に知覚されている。それ以外の場合は、45度を中心に、それよりも小さな曲がり角ではその大きさが過大視され、大きな曲がり角では過小視されている傾向を読みとることができる。

### 3.4.3 定位角の過大視/過小視傾向の分析

以上の結果をふまえて、被験者の回答に現れた定位角の過大視/過小視傾向について見てみる。なお、以降は35通りすべて(提示方向5通り×曲がり角の大きさ7通り)が分析の対象となる。

被験者の回答が過大視と過小視のどちらになって

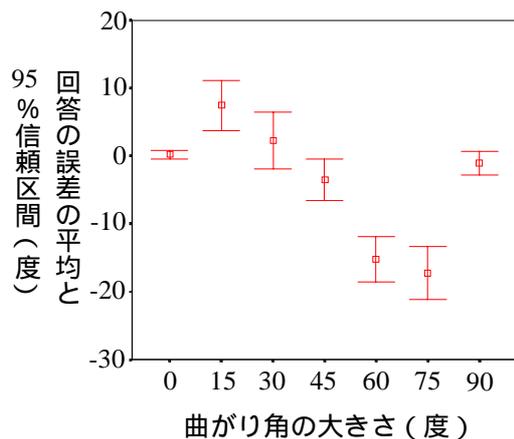


図11 曲がり角の大きさの知覚  
(方向を提示したときの誤差の平均)

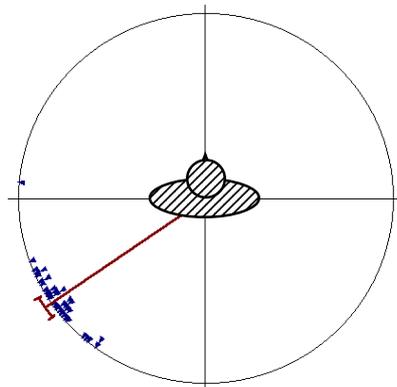


図12 被験者の回答の分布と平均方向の例  
(入口で提示した方向が , 曲がり角の大きさが30度するとき)

いたのかを見るために、方向データを分析するための統計的手法(circular statistics)を用いて回答の平均方向(図12)を求め(表1)、それが仮説によって説明できる結果となっているかどうかを検討した。なお、circular statisticsについては、Fisher(1993)に詳しい。

まず、3.4.1節の結果をふまえ、提示方向は正確に知覚されるものとする。すると、正解方向は提示方向それ自体となる。また、3.4.2節の結果から、曲がり角の大きさについては、0、45、90度ときには正確に知覚され、それ以外ときには過大視、過小視されるという知覚特性があるものとする。すると、定位角の起点はこの知覚特性に応じて定められることになり、これによって、正解方向に最も近い参照軸が過大視、過小視のどちら側になるかを決定することができる。

以上のように考えると、参照軸が8方向からなる場合、曲がり角の大きさが0、45、90度ときは正確に方向を推論できることになる。そこで誤差絶対値の平均を調べてみると、曲がり角の大きさが0、45、90度の場合は4.58度となっており、それ以外の場合と比べて小さな値になっていることが分かる(表2)。また、これらの平均の差を調べてみると、 $t(1310) = -18.1, p < .001$ となっており、曲がり角の大きさが0、45、90度ときに平均が有意に小さくなっていることが分かる。以上の結果から、曲がり角の大きさが0、45、90度ときには、ほぼ正確に方向推論が行われているとすることができる。

また、曲がり角の大きさが0、45、90度以外の20通りについて、仮説に基づく推論手順からの予測と、回答の平均方向に現れた過大視/過小視傾向が一致しているかどうか検討した。表1では、参照軸

表1 回答の平均方向

通路の角度	提示方向	回答の平均方向
0		-0.13
		-1.8
		0.23
		-3.5
		-0.91
15		5.5 †
		-5.8 †
		7.5 †
		-7.3 †‡
		-3.0 †
30		4.6 †
		-8.6
		2.5 †
		-2.8 †‡
		0.38 ‡
45		-2.6
		-13
		-5.5
		-0.030
		3.4
60		-11 †‡
		-13 †
		-15 †‡
		-3.7 †
		5.0 †‡
75		-15 †
		-14 †‡
		-17 †
		7.0
		4.3 †
90		-9.5
		-9.0
		-2.7
		-3.9
		3.0

(単位: 度)

注 提示方向については図9参照。

回答した方向は正解方向に対する値である(過大視を正, 過小視を負として表している)。

表2 曲がり角の大きさによる比較

曲がり角の大きさ	誤差絶対値の平均
0, 45, 90	4.58
15, 30, 60, 75	12.5

(単位: 度)

が8方向からなるとした場合に両者が一致するものに†を, 参照軸が4方向からなるとした場合に両者が一致するものに‡を付してある。これを見ると, 参照軸が8方向からなるとする場合には17通りが一致しており, これは全体の85%にあたる。一方, 参照軸が4方向からなるとする場合に両者が一致したのは7通りのみであり, これは全体の35%に相当する。

### 3.4.4 方向推論モデルの検証

被験者の回答の誤差絶対値について, 図7に示したモデルが成り立っているかどうか検討した。参照軸が4方向からなる場合と8方向からなる場合でモデルの形が変わってくるが, 3.4.3節の結果をふまえ, ここでは参照軸が8方向からなる場合のモデルについて検討する。

まず, グラフの4つの頂点を与える方向は, 隣り合う参照軸の中間方向(22.5度, 67.5度など)であると仮定する。方向推論が定位角の想起によって行われ, かつ定位角の起点が常に進行方向であることを考慮すると, 厳密にはグラフが頂点に達するのは参照軸の中間点ではなく, それよりも後方の点となる。また, Montello & Frank (1996) は, 8つの参照軸のすべてが均等に働くのではなく, 方向推論に及ぼす影響は, 前-後, 左-右の軸の方が斜め方向の軸よりも強いと述べている。このように, 頂点をどこに定めるかについては検討の余地が残されているが, ここでは簡単のために参照軸の中間方向であるとする。すると, モデルは2つのパラメータ(図7の点線の切片と傾き)で表現できることになる。

その上で, 最小二乗法によってパラメータを推定すると, 切片が14.8, 傾きが0.06となり, このときの決定係数は0.588であった。なお, 定位角の大きさを誤差絶対値の平均をとり, これらの値とモデルによる予測値の相関係数を調べると, 0.942と高い値を示し, このモデルが平均の分布をよく説明していることが分かる(図13)。このように, 参照軸は8方向からなるとする場合のモデルが実験データによく当てはまることから, ここでも参照軸は8方向からなると言うことができる。また, 傾きが有意に正の値であったことから ( $t(1310) = 8.86, p < .001$ ), 定位角の想起が進行方向を起点に行われていることが明らかになった。

### 4. 考察

本研究では, 方向推論について2つの仮説を検討

してきた。すなわち、( )方向推論は参照軸を用いた定性的推論になる。( )推論の基準には、常に進行方向(身体の前方向)が用いられ、そこから正解方向までの回転角(これを、本研究では定位角と呼んだ)を想起することで方向推論が行われる、の2つである。さらに、( )についてはこの参照軸が4方向と8方向のどちらからなるものなのかについて、実験データの分析を通じて検討してきた。

2つの仮説のうち、( )については、定位角の過大視/過小視傾向の分析と誤差絶対値の分析、いずれにおいても8方向の参照軸を用いた定性的推論を行っていると言える結果が得られた。また、( )についても、進行方向を基準として用いる推論手順(図5に示すもの)が定位角の過大視/過小視傾向をよく説明することや、定位角が大きくなるにつれて誤差絶対値が有意に増大していることから、推論の基準には常に進行方向が用いられると言える結果を得ている。

このように、本研究の実験結果はいずれの仮説も支持するものであったが、類似の課題を扱っている既往研究の結果は、必ずしも本研究と一致するものではない。

前述のSadalla & Montello (1989)は、被験者の視界を遮り、床に貼られたテープをたどるという方法で、さまざまな角度の曲がり角を歩く実験を行った。ここでは3つの課題(曲がり角の大きさを答える、はじめに歩き出した方向を答える、歩き終わったところから出発点の方向を指示する、の3つ)が行われているが、いずれにおいても斜め方向(45度および135度)が正解となるとときに誤差が極大となり、このことから参照軸は4方向からなるものであると結論づけている。これと同じデータを用いたMontello

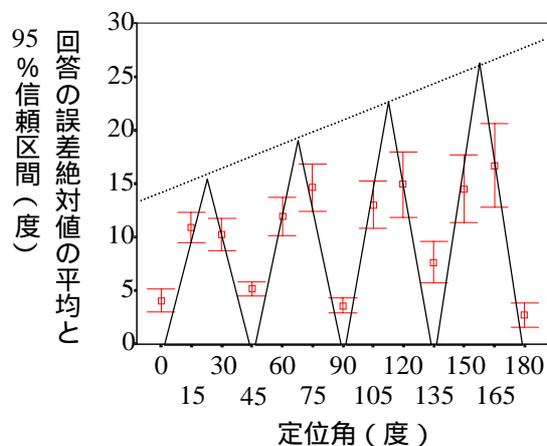


図13 誤差絶対値の平均とモデルの適用

& Frank (1996)において、8方向の参照軸を仮定してシミュレーションを行うと、4方向の参照軸を仮定したとき以上に実験データをよく再現できることが示されているものの、これも参照軸が8方向からなることを直接証明する研究ではない。

このように、これらの研究と本研究では結果が異なっているが、その原因の一つとして視覚的情報の量の違いを挙げることができる。Sadalla & Montello (1989)の実験では、被験者の前方への視野は0.5mまでに制限されており、周辺視野は完全に塞がれていた。一方、本研究の実験では、被験者は通路内を自由に見回すことができた。その結果、被験者は通路の壁面や、床に現れる曲がり角の角度などを歩行中に体験することができ、方向推論のために必要な情報をより多く取り入れることができた。その結果、前後左右の4方向に加えて、新たに斜め方向の参照軸も利用されるようになったのではないだろうか。

Sadalla & Montello (1989)の実験のように、視覚的情報に乏しい状態でも4方向の参照軸が利用されていることから、前後左右の参照軸がより基本的な参照系として存在し、第二の参照系として斜め方向の参照軸が存在するという、参照軸の段階構成を予想することができる。本研究によってこの段階構成を実証することはできないが、その可能性をここに示すことができたと言えるだろう。

また、本研究においては、推論の基準として進行方向のみが用いられるという実験結果を得たが、これもより多くの情報を推論に利用できた結果であろう。多くの情報を用いて方向推論を行う場合、一つの結論を導き出すためには効率よく情報を統合しなければならない。その際、情報を統合するための基準としては、最も簡単に同定できる進行方向の参照軸がふさわしく、そのため情報が多い状況下では進行方向の参照軸の重要性がさらに高まるものと予想される。本研究で推論の基準として進行方向のみが用いられたのは、このようにして進行方向の参照軸の重要性が増した結果であると推察される。

## 5. おわりに

本研究では、方向推論の心的過程と、方向推論に用いられる参照軸の構成について実験を通して考察してきた。その結果、方向推論は8方向の参照軸を用いた定性的推論になること、さらに方向推論は進行方向を起点に定位角を想起することで行われることの2点を明らかにした。しかし、いくつか今後の

検討課題と言える問題も残っている。

3.4.1節において、提示方向はいずれも正確に知覚されるものとしたが、これはRosch(1975)の実験結果に基づく判断であり、本研究で実際に得られたデータを用いた検証は行われていない。したがって、この仮定が妥当なものであったかどうかについては検討が必要である。

また、3.4.4節では、モデルの適用に際して参照軸の中心においてグラフが頂点に達すると仮定したが、すでに述べたように、厳密に考えると必ずしもこの仮定は成立しない。得られた傾きが0.06と小さな値であったので、結果的にこの仮定が成り立つ可能性はあるが、やはりより詳細な検討がなされるべきであろう。

さらにこのモデルでは、3.4.2節で得られた曲がり角の大きさの知覚特性が十分に考慮されないままになっている。曲がり角の大きさに応じてデータを補正し、その上でモデルを適用すると、さらに説明力が向上するのではないだろうか。

他にも、心的回転が行われているかを検証するために反応時間を計測するなど、さまざまな拡張の可能性が残されている。これらの問題を一つひとつ解決していくことで、方向推論の心的過程がより詳細に解明されていくことになるだろう。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、東京大学の浅見泰司教授、貞広幸雄助教授、増山篤助手から多くのご助言をいただいた。また、カリフォルニア大学サンタバーバラ校の石川徹氏には、論文全般について丁寧なご意見をいただいた。さらに、実験に際しては被験者をお願いした学生の皆様をはじめとして、多くの方にご協力いただいた。紙面を借りて、深く御礼申し上げます。

なお、本研究の一部は、人間・環境学会第7回大会(2000年6月2日、東京大学)において発表したものである(山本・岡部,2000)。その際、東京工業大学の野野隆造教授に有益なコメントをいただいた。ここに記して感謝の意を表したい。

## 注

1 より詳細な検討のためには、過大視/過小視といった大まかな傾向だけでなく、誤差の大きさをういた分析が必要である。そのためには、被験者の回答の誤差を、推論が定性的であるため

に生じた誤差と、定位角の想起に際して生じた誤差の2つに分類する必要がある。しかし本研究で得られた誤差のデータには両者が混ざりあって現れており、この2つを区別することができない。そのため、推論手順の検証は大まかな傾向の分析にとどめることにした。被験者の回答をこの2つの誤差に分類する方法については、今後の重要な検討課題であろう。

## 引用文献

- Briggs, R. (1973). Urban cognitive distance. In R. M. Downs & D. Stea (Eds.), *Image and environment: Cognitive mapping and spatial behavior* (pp. 361-388). Chicago: Aldine.
- Bryant, K. J. (1982). Personality correlates of sense of direction and geographical orientation. *Journal of Personality and Social Psychology*, **43**, 1318-1324.
- Fisher, N. I. (1993). *Statistical analysis of circular data*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Frank, A. U. (1992). Qualitative spatial reasoning about distances and directions in geographic space. *Journal of Visual Languages and Computing*, **3**, 343-371.
- Habel, L., Haber, R. N., Penningroth, S., Novak, K., & Radgowski, H. (1993). Comparison of nine methods of indicating the direction to objects: Data from blind adults. *Perception*, **22**, 35-47.
- Hart, R. A., & Moore, G. T. (1973). The development of spatial cognition: A review. In R. M. Downs & D. Stea (Eds.), *Image and environment: Cognitive mapping and spatial behavior* (pp. 246-288). Chicago: Aldine.
- Kozlowski, L. T., & Bryant, K. J. (1977). Sense of direction, spatial orientation, and cognitive maps. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **3**, 590-598.
- Ligozat, G. F. (1993). Qualitative triangulation for spatial reasoning. In A. U. Frank & I. Campari (Eds.), *Spatial information theory: A theoretical basis for GIS* (pp. 54-68). Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Montello, D. R. (1991). Spatial orientation and the angularity of urban routes: A field study. *Environment & Behavior*, **23**, 47-69.
- Montello, D. R., & Frank, A. U. (1996). Modeling directional knowledge and reasoning in environmental space: Testing qualitative metrics. In J. Portugali (Ed.), *The construction of cognitive maps* (pp. 321-344).

Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic.

- Okabe, A., Aoki, K., & Hamamoto, W. (1986). Distance and direction judgment in a large-scale natural environment: Effects of a slope and winding trail. *Environment & Behavior*, **18**, 755-772.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1956). *The child's conception of space*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Rieser, J. J., Hill, E. W., Talor, C. R., Bradfield, A., & Rosen, S. (1992). Visual experience, visual field size, and the development of nonvisual sensitivity to the spatial structure of outdoor neighborhoods explored by walking. *Journal of Experimental Psychology: General*, **121**, 210-221.
- Rosch, E. (1975). Cognitive reference points. *Cognitive Psychology*, **7**, 532-547.
- Sadalla, E. K., & Montello, D. R. (1989). Remembering changes in direction. *Environment & Behavior*, **21**, 346-363.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, **171**, 701-703.
- 竹内 謙彰 (1992) . 方向感覚と方位評定 , 人格特性及び知的能力との関連 . 教育心理学研究 , **40**, 47-53 .
- 山本 直英 , 岡部 篤行 (2000) . 曲がり角のある通路における方向定位 . 人間・環境学会誌 , **6**(2), 32 .
- Zimmermann, K. (1993). Enhancing qualitative spatial reasoning – combining orientation and distance. In A. U. Frank & I. Campari (Eds.), *Spatial information theory: A theoretical basis for GIS* (pp. 69-76). Berlin, Germany: Springer-Verlag.