相対的方向判断における空間記憶の方向特異性と身体の向きの効果

大藤 弘典・菱谷 晋介 (北海道大学)

The effects of orientation specificity in spatial memory and body orientation on directional judgments

Hironori OTO and Shinsuke HISHITANI (*Hokkaido University*)

Two experiments were conducted to examine the effects of orientation specificity in spatial memory and body orientation on directional judgments. In Experiment 1, 27 undergraduates were asked to make judgments concerning relative directions on their campus. They were asked to imagine being at one campus location, facing in a particular direction, and to judge the direction of an unseen target with respect to the imagined position. In Experiment 2, 28 undergraduates were asked to make judgments concerning a path within room. The results indicate that judgments were fastest when the imagined directions were aligned with both preferred orientation of long-term spatial memory and body orientation and were slower when any of these directions were out of alignment.

Key words: alignment effect, orientation specificity, spatial memory, body orientation, judgment of relative direction

本研究では、空間記憶の方向特異性と身体の向きが空間判断に及ぼす効果について検討した。実験1では、27名の大学生に対し、大学構内において相対的方向判断を行うことが求められた。彼らは、構内のある地点にて、特定の方向を向いている場面をイメージし、その向きを基準として目に見えないターゲットの方向判断を行うように伝えられた。実験2では、28名の大学生に対し、室内の経路を対象として判断を行うことが求められた。両実験の結果から、イメージされる方向が長期記憶に貯蔵されている選好的な空間記憶の向きおよび身体の向きの両者と一致する場合に最も判断が速く、いずれか一方とでも向きが不一致だと判断が遅くなることが示された。

キーワード：整列効果、方向特異性、空間記憶、身体の向き、相対的方向判断

本研究では、空間記憶の方向特異性と身体の向きが相対的方向判断に及ぼす効果について検討した。

たとえば、駅の改札口に立っている友人にタクシー乗り場の位置を電話で教える場合のように、地図などを用いずに他者と空間情報のやり取りをしなければならない状況は、日常生活の中でも比較的良好に起こる。このようなとき、われわれは心的な地図を利用して、方向を指示すべき場所、すなわち目的地が友人の立っている向きを基準としてどちらの方向にあるかを把握し、その位置を伝達する。こうした相対的方向判断 (judgment of relative direction)¹⁾を行うとき、どの向きを基準とするかによって判断のしやすさが異なることがある。これは整列効果 (alignment effect)²⁾と呼ばれ、このような現象は、空間記憶の方向特異性 (orientation specificity) や、

自身の身体の向きが判断にかかわることで起こることが知られている (e.g., Kelly, Avraamides, & Loomis, 2007; 松井, 1997a, b; Mou, McNamara, Valiquette, & Rump, 2004; Waller, Montello, Richardson, & Hegarty, 2002)。

Montero, Waller, Hegarty, & Richardson (2004)によると、われわれが地点間の空間関係について学習を行った際に、情報が「単一方向で記憶に貯蔵され、その向きで選好的にアクセスされる」場合があると言われている。本論文では、このような選好的にアクセスされる空間記憶の向きが形成されていることを指して、空間記憶の方向特異性と呼ぶ。空間記憶の方向特異性が存在すると、その向きで配置を考えてしまうため、それとは異なる向きを基準として方向判断を求められると、両者の向きを一致させて判断を行うための余分な時間の付与や、

1) 本研究では、特定の地点と向きを想像したときに別の地点が左右どちらにあるかといったように、相対的になされる方向判断 (e.g., Waller, Montello, Richardson, & Hegarty, 2002) を指して相対的方向判断と呼ぶ。

2) この論文では、Avraamides et al. (2008)、松井 (1997a)、Waller et al. (2002) などにならって、実際の身体の向きと方向判断時に想定される身体の向きとのずれによって生じる効果についても整列効果と呼ぶ。

Figure 1. 4点経路の地図.

その失敗によるエラーの増加が生じることが示唆されている (e.g., Levine, Jankovic, & Palij, 1982; 松井, 2006; Presson, Delange, & Hazelrigg, 1987; Presson, Delange, & Hazelrigg, 1989; Presson & Hazelrigg, 1984; Roskos-Ewoldsen, McNamara, Shelton, & Carr, 1998; Rossano & Warren, 1989, Tlauka & Nairn, 2004). たとえば, Figure 1 のような配置を実験参加者に一方から眺めて学習させた後, この配置を取り除く. その上で, ある地点にいて, 特定の方向を向いている場面をイメージし (e.g., 「1 にいて 2 が前」) その向きを基準 (基準方向) としてターゲット (e.g., 「3」や「4」) の方向判断を行うことを実験参加者に求める. このような相対的方向判断課題を実施すると, 配置に対する学習時の身体の向き (学習方向) と判断時の基準方向が一致する場合と比較して, 不一致の場合に判断の時間やエラーが増加するという結果が得られる (e.g., Levine et al., 1982; 松井, 2006; Presson et al., 1987; Presson et al., 1989; Presson & Hazelrigg, 1984; Roskos-Ewoldsen et al., 1998; Rossano & Warren, 1989, Tlauka & Nairn, 2004).

従来の多くの知見では, さまざまな方向から学習された配置の記憶では方向特異性が形成されていないと言われてきた (e.g., Evans & Pezdek, 1980; Presson et al., 1987; Presson & Hazelrigg, 1984). だが, 近年の Tlauka & Narin (2004) や松井 (2006) の研究では, 個人ごとに選好する配置の向きを分類することで, 複数の方向から配置が学習された場合でも方向特異性が形成され得ることを明らかにしている. たとえば, Tlauka & Narin (2004) は, 地図を用いた研究から, 空間的な配置が一方から学習された場合だけでなく, 複数方向で同一の配置が学習された場合にも, 個々人の選好する向きで地点間の位置関係が符号化され, そのことが整列効果を生起させる原因になることを示した. また, 松井 (2006) は, さまざまな方向へ身体を向けた空間学習が積み重ねられている日常環境においても, 同様の現象が

観察されることを示している. 彼は, 大学生を実験参加者とし, 彼らが通う大学キャンパスを用いて, 相対方向判断課題を実施した. その後, 判断に使用した地点の配置図の描画を求めている. そして, この配置図で上になった方向が, 実験参加者にとって自然な配置の向きであると定義し, それと一致もしくは不一致な向きをイメージさせたときの相対的方向判断課題のパフォーマンスを比較したところ, 不一致な場合は, 一致する場合と比較して判断時間やエラーが増加するという整列効果が観察された. このことは, 日常的に, さまざまな方向へ身体を向けて地点間の位置関係を学習している場合でも, 個々人にとっての自然な向きが存在し, それを基準として地点間の位置関係が符号化され, 方向特異性が形成されることを示唆している. これらの知見は, さまざまな方向から配置が学習される場合でも方向特異性は形成されており, 個々人が選好する向きを分類することでそのことが確認できることを示唆している. したがって, Tlauka & Narin (2004) や松井 (2006) の研究を踏まえると, 空間記憶の方向特異性は, 相対的方向判断に関与する, 比較的一般的な要因であり得ると考えられる.

一方, これまでの多くの研究では, 実際の身体の向きと相対的方向判断時の基準として想定される方向が一致しないときには, 一致する場合に比べて判断時間やエラーが増加するという, 整列効果の出現を報告している (e.g., Farrell & Robertson, 1998; 松井, 1997a; Rieser, 1989). たとえば, さまざまな向きで配置を学習させた後, その場で目隠しをして相対的方向判断を行わせると, 判断時の基準方向と現実環境内の身体の向きとの角度差が大きくなるほど, 判断時間やエラーが増加することが指摘されている (e.g., Farrell & Robertson, 1998; Rieser, 1989). このことは, 空間記憶の方向特異性とは別に, 自分が現実にとどの方向を向いているかという身体の向きも, 整列効果を生じさせる原因の一つになることを示唆している. こうした相対的方向判断に対する身体の向きの影響は, 実験参加者に対して, 自分が現実にとどの方向を向いているかを無視するように教示した場合 (e.g., Farrell & Robertson, 1998) や, より大規模な日常環境において (e.g., 松井, 1997a) も示唆されている. これらのことは, 方向特異性だけでなく, 身体の向きもまた, 相対的方向判断に関与する一般的な要因であることを示唆している.

上述したように, 基準方向が空間記憶の向きや身体の向きと一致していれば方向判断は容易であり, 不一致であれば相対的に困難であることが明らかにされてきた. したがって, 相対的方向判断のメカニズムをより深く理解するためには, これら両者に注目し, その相互作用の内実まで解明していく必要があると考えられる. しかしながら現段階では, 二つの要因の効果が論理的か, あ

るいは論理的かというような、比較的簡単な疑問についてもまだ答えが得られていない。すなわち、パフォーマンスの低下を抑えるためには、基準方向が、空間記憶の向きと身体の向きのどちらか片方と一致していれば良いのか、それとも、両方と一致することが重要なのかということである。もし、二つ要因の効果が論理的な関係にあるならば、これは、方向特異性をもつ空間記憶、もしくは現実環境における身体の向きのどちらか一方だけに基づいて比較的容易に地点間の位置関係を把握し、方向判断が行われることを意味する。それに対して、もし、二つ要因の効果が論理的な関係にあるならば、これは、一方の要因に基づいて方向判断を行えるように判断の仕方を切り替えることが比較的難しいことを示唆する³⁾。

上述したような、相対的方向判断における二つの要因の関係という問題について、松井(1997b)は先駆的な研究を行っている。彼は、窓から日常環境が見える部屋で相対的方向判断課題を実施し、空間記憶の方向特異性と、実験参加者が課題時に着席していた身体の向きの両者を考慮した検討を行っている。その結果、彼の実験では、判断時の基準方向が実験参加者の身体の向きと一致しないと整列効果が生じることは示されたものの、方向特異性の影響は見られなかった。身体の向きの効果が観察される理由について、松井(1997a)は次のように解釈している。すなわち、相対的方向判断を行う際、自分の身体の向きを基準としてどこに何があるかを考えてしまう。それゆえ、これとは異なる向きを基準とした方向指示を求められると、両者の向きを一致させて判断を行う時間やそのエラーの増加が生じる。このように彼は考察している。その上で、松井(1997a)は、基準方向と空間記憶の向きとの異同がパフォーマンスに影響しなかったのは、こうした身体の向きの効果がより強力に働いたためではないかと考えている。

しかし、松井(1997b)の実験で空間記憶の方向特異性に関する効果が見いだされなかったのは、方向指示の対象となる目的地点を実験参加者に直接見せていたためではないかと考えられる。すなわち、このような状況では、実験参加者は自身の身体と目的地点を直接知覚的に結びつけることが可能であると同時に、空間記憶にほとんど頼ることなく相対的方向判断を行うことが可能である。そのため、方向特異性は相対的方向判断に影響を及ぼさず、身体の向きの効果のみが観察されたのではないかとということである。したがって、相対的方向判断における方向特異性と身体の向きの関係を明らかにするためには、冒頭で述べたタクシー乗り場の位置を電話で教え

る場合のように目的地点の位置を知覚的に把握できない状況を設定する必要があると考えられる。

また、Waller et al. (2002) も、記憶の方向特異性と身体の向きの両者を変数とした実験を行っており、その結果は、実験参加者の自由なやり方で相対的方向判断課題を遂行させた場合にはそれぞれが判断にかかわることを示すものであった。ただし、彼らの実験では、この両者の関係が論理的か論理的かを検討可能であったにもかかわらず、その点について詳細な報告をしていない。それゆえ、彼らの報告からは、二つの要因が判断にどう関与していたのかを明確にできない。この問題を明らかにするためには、前述したとおり、基準方向が両方の向きと一致している場合にのみパフォーマンスが低下しないのか、それとも、どちらか一方と一致していれば低下を免れるのかという点を判別する試みが必要だと考えられる。

以上のことから、本研究では、日常環境(実験1)および実験室(実験2)において、空間記憶の方向特異性と身体の向きが相対的方向判断に及ぼす影響を検討する。具体的には、相対的方向判断時の基準方向が、身体の向きと空間記憶の向きの両者と一致する場合、どちらか一方と一致する場合、どちらとも不一致の場合の計4通りの組み合わせで、どのように判断パフォーマンスが異なるかを検討する。この検討に際して、各実験では、次のように要因操作を行った。実験1では、室内の窓と対面する形で、南向きに実験参加者を着席させた。また、先行研究にならい(天ヶ瀬, 1994; 松井, 2006; 内藤, 2000a), 相対的方向判断後に判断対象となる大学キャンパスの地図を描かせたときに上にして描いた向きを、その環境を記憶する方向特異的な向きであると定義して分類した。したがって、実験1では、現実環境における身体の向きを一方向に固定し、空間記憶の向きと判断時の基準方向を操作することで、前述した4通りの組み合わせを設けたことになる。一方、実験2では、空間記憶の方向特異性をより明確に形成させるため、実験室内の床に設置された配置を、一方向から実験参加者に学習させた。この学習方向は、どの実験参加者も同じであった。また、相対的方向判断時に実験参加者が着席する向きを2通り用意した。したがって、実験2では、現実環境内の身体の向きと判断時の基準方向を操作し、空間記憶の向きを固定することで、実験1と同じく4通りの組み合わせを設けた。

実験 1

実験1では、方向指示の対象となる目的地点が知覚的に把握できない状況を設定し、空間記憶の方向特異性と身体の向きが日常環境内での相対的方向判断に及ぼす効果を検討した。

3) 実験ではまず基準方向を向いていることを想定するように教示で求めるので、予測では実験参加者がこの教示に厳密に従っていると仮定している。

方 法

実験参加者 I大学に半年以上通う大学生27名（男性7名、女性20名）が個別に実験に参加した。

材料と課題 I大学構内の南側に窓がある部屋が、実験室として使用された。また、相対的方向判断課題で使用する地点として、7地点（図書館、守衛所、S会館、講堂、理学部棟、サークル棟、グラウンド）が選ばれた（Appendix）。

I大学は、構内の中央付近に図書館があり、そこを中心として四方に建物が存在していた。相対的方向判断課題の作成において、構内の片隅にある地点を使って判断を行う際の仮想的な現在位置を決めると、特定の方向に偏った地点の中から方向判断のターゲットを選定しなければならないため、ターゲットの方向のバランスが崩れてしまう。そのようなターゲットの方向の偏りが結果に影響することを極力なくす理由から、実験1では、図書館から四方に存在する地点の方向を指示する問題8題が分析対象問題として作成された。こうした方向判断の対象となるターゲットは、いずれも実験室の窓から見渡すことのできないものであった。分析対象問題のうち、図書館を現在位置として身体が南を向いているようにイメージをさせて方向判断を行わせる問題4題が、基準方向S条件とされた。同様に、図書館を現在位置として身体が北を向いているようにイメージをさせて方向判断を行わせる問題4題が、基準方向N条件とされた。また、仮想的な現在位置の決定に使用される地点が課題全体で一箇所に固定されてしまうと、直前の試行で想起した情報を保持したまま、同じ情報を次の試行でも使用するという方略を促す恐れがあることから、さまざまな地点を仮想的な現在位置として方向判断をさせる問題32題が分析対象外の問題として作成された。また、本課題を始める前の練習問題が別に5題作成された。

相対的方向判断課題では、次の3種の画面が順次ディスプレイによって呈示された（Figure 2 参照）。1

枚目は準備画面であった（Figure 2a）。2枚目は、方向指示を行う際の基準方向の決定画面であり、二つの地点名が表示された（Figure 2b）。3枚目は方向指示画面であり、前方地点を示す黒塗りの長方形と円、および長方形の上に、方向判断の対象となるターゲットが表示された（Figure 2c）。また、実験参加者がどの方向を指しているかを分かりやすくするため、円の中心とカーソルの先端を結ぶ線分が表示された。画面呈示と反応の記録には、IBM社製ThinkPadとマウスが用いられた。制御用プログラムは、Visual Basicを用いて作成された。描画課題の記録には、B5版の白紙が使用された。

手続き 実験は実験参加者ごとに行われた。実験参加者は実験室に入ると、窓に対面するよう南向きに座らされた。実験に用いるI大学構内の七つの地点を知っているかどうかを実験参加者に確認したあと、コンピュータを用いた方向判断課題が実施された。まず画面に「準備ができたならマウスを左クリックしてください。」と表示された（Figure 2a）。クリックすると、画面が切り替わり、次に「あなたは〈地点A〉にいます。前方に〈地点B〉があります。」という文章により、実験参加者がイメージする基準方向が呈示された（Figure 2b）。実験参加者は、この方向を向いているところをイメージし、イメージが完成したらマウスをクリックするよう求められた。基準方向の決定画面が呈示されてからマウスがクリックされるまでが、向きの決定に要した時間として計測された（Figure 3）。実験参加者がクリックを行うと、今度は、円と前方地点を表す黒塗りの長方形、およびその上に方向判断のターゲット〈地点C〉が表示された（Figure 2c）。実験参加者は、画面の上方向がイメージ中の前方と考えるよう教示され、それに対するターゲットの方向をマウスを動かして指示し、決定したところでマウスをクリックすることが求められた。その際、円の中心に置かれたカーソルの移動距離を実験参加者ごとに統制するため、できるだけ画面上に表示された円周付近

Figure 2. 相対的方向判断課題での刺激画面例。方向指示画面の黒塗りの長方形は、想像上の前方地点（地点B）を表している。また、実験参加者が指し示す方向を分かりやすくするために円の中心とマウスカーソルの先端を結ぶ線分が表示された。

Figure 3. 反応時間の測定方法.

でクリックを行うように教示された。方向指示画面が呈示されてからマウスがクリックされるまでが、判断時間として計測された (Figure 3)。また、円の中心で直交する座標軸が分割する四象限のうち、クリック時のカーソル位置がどの象限にあったかが記録された。この一連の作業は、練習試行で 5 題、本試行で 40 題実施された。なお、本試行では、問題の呈示順序は実験参加者ごとにランダム化されていた。また、方向判断課題終了後、使用した構内 7 地点の配置を白紙の B5 用紙に描くという描画課題が実験参加者に対して課された。

結果

描画課題に基づいて、南向きに地図を描いた場合を地図の向き S 群 (16 名)、北向きに地図を描いた場合を地図の向き N 群 (11 名) とする群分けを行った。八つの分析対象問題 (基準方向 S 条件が 4 題、基準方向 N 条件が 4 題) については、正位置と同じ象限がクリックされた場合を正答、それ以外を誤答とし、実験参加者ごとに誤答率、正答試行の向き決定時間および判断時間を算出した。二つの時間の指標に関しては、次の手順で個人の代表値を算出した。実験 1 では、1 人の実験参加者に対して基準方向 S 条件と基準方向 N 条件で 4 試行ずつを行い、同一個人について各条件で四つのデータを得た。このように試行数が少ない場合、極端な値の影響をできるだけ受けない代表値を得ることが望ましい。このため、そうした極端な値に影響をされにくいと一般的に考えられている中央値を同一個人の条件ごとに算出し、各条件における個人の代表値とした。

誤答率、向き決定時間、判断時間の三つの指標について、地図の向き (地図の向き S、地図の向き N) を被験者間要因、判断時の基準方向 (基準方向 S、基準方向 N) を被験者内要因とする 2 要因混合分散分析を行った (Table 1 参照)。その結果、誤答率では、判断時の基準

Figure 4. 実験参加者が描画した地図の向きおよび判断時の基準方向の違いによる誤答率の変化 (実験 1)。

方向と地図の向きの交互作用が有意であった ($F(1, 25) = 19.52, p < .0005, MSE = 217.33$) (Figure 4 参照)。単純主効果の検定を行ったところ、地図の向き S では、判断時の基準方向が北向きのときには、南向きの場合と比較して誤答が増加した ($F(1, 50) = 7.32, p < .005, MSE = 217.33$)。一方、地図の向き N では、地図の向き S とは逆傾向の結果であった ($F(1, 50) = 12.55, p < .0005, MSE = 217.33$)。向き決定時間では、主効果や交互作用は何も検出されなかった。判断時間では、判断時の基準方向と地図の向きの交互作用が有意であった ($F(1, 25) = 7.256, p < .05, MSE = 15.9$) (Figure 5 参照)。単純主効果の検定を行ったところ、地図の向き S では、判断時の基準方向が北向きの場合、南向きである場合と比較して判断が長くなった ($F(1, 25) = 9.626, p < .05, MSE = 15.9$)。他方の地図の向き N では、両者間の判断時間に差異は生じていなかった ($F(1, 25) = 0.5, n.s.$)。また、判断時の基準方向が南向きのときは、地図の向き S と比較して、地図の向き N での判断時間が有意に長くなったが ($F(1, 50) = 4.805, p < .05, MSE = 27.7$)、北向きのときには、そのような差異はみられなかった。

Table 1
実験 1, 2 の誤答率、正答の向き決定時間および正答の判断時間 (括弧内は標準偏差)

実験	条件	誤答率		向き決定時間		判断時間	
		基準方向 S	基準方向 N	基準方向 S	基準方向 N	基準方向 S	基準方向 N
1	地図の向き S	1.6 (6.25)	17.2 (17.6)	4.70 (2.28)	4.85 (1.03)	6.92 (2.78)	11.77 (6.86)
	地図の向き N	20.5 (27.0)	0.00 (0.00)	5.57 (3.78)	4.35 (1.62)	11.44 (5.32)	10.34 (5.30)
2	身体の向き S	10.7 (11.0)	13.7 (13.6)	1.26 (0.72)	1.55 (0.96)	1.90 (0.61)	2.12 (0.97)
	身体の向き N	10.7 (9.05)	13.6 (12.4)	1.42 (0.83)	1.53 (0.88)	2.19 (0.81)	2.03 (1.03)

Figure 5. 実験参加者が描画した地図の向きおよび判断時の基準方向の違いによる正答判断時間の変化 (実験1).

($F(1, 50) = 0.482, n.s.$).

速さと正確さのトレードオフの有無を調べるため、条件ごとに、向き決定時間と誤答率、および判断時間と誤答率との間の積率相関係数を求めた。ただし、地図の向きS-基準方向S条件では誤答があった者が1名であり相関係数を求める意味がない、また、地図の向きN-基準方向N条件では誤答をした者が全くおらず相関係数を算出できないという理由から、これら二つの条件については分析から除外した。その他の条件について得られた結果は、いずれもトレードオフを示唆するものではなかった。具体的には、向き決定時間では、地図の向きS-基準方向N条件 $r(14) = .338$ ($n.s.$)、地図の向きN-基準方向S条件 $r(9) = .282$ ($n.s.$) という結果となった。一方、判断時間では、地図の向きS-基準方向N条件 $r(14) = -.081$ ($n.s.$)、地図の向きN-基準方向S条件 $r(9) = -.153$ ($n.s.$) という結果となった。

考察

実験1では、方向判断の対象となる目的地点が知覚的に把握できない状況を設定した上で、相対的方向判断

課題を実施した。

空間記憶の方向特異性と身体の向きが相対的方向判断に及ぼす影響を調べるため、Figure 4, 5 に表されている四つの条件において、地図の向き、身体の向き、判断時の基準方向の向きの組み合わせがどうなっていたかを表に整理した (Table 2 参照)。

誤答率では、地図の向きS、地図の向きNの両方で整列効果が観察され、前者では、判断時の基準方向が北向きのときに、南向きの場合と比較して誤答が増加したのに対し、後者では、それとは傾向が逆であった。この誤答率の結果 (Figure 4) を Table 2 と対照させると、身体の向きとは無関係に、判断時の基準方向が地図の向きと不一致の場合に誤答が多くなることが示された。つまり、誤答率では、実験参加者が保持する空間記憶の方向特異性の影響のみが観察され、身体の向きの影響は観察されなかった。

次に向き決定時間および判断時間の指標について同様の分析を行った。まず、向き決定時間では、一切の有意差が観察されず、空間記憶の方向特異性と身体の向きのいずれの効果も示唆されなかった。一方、判断時間では、地図の向きSにおいてのみ、判断時の基準方向が北向きである場合に判断時間が長くなるという整列効果が観察された。この判断時間の結果 (Figure 5) を Table 2 と対照させると、3者の向きが全て合致した場合に最も判断時間が短く、基準方向が地図の向きと身体の向きの一方とでも不一致の場合は判断時間が長くなることが示された。つまり、論理的な効果が示唆された。すなわち、どちらか一方に基づいて方向判断を行えるように判断の仕方を切り替えることが比較的難しかったと考えられる。

こうした二つの時間の指標間の結果の相違は、課題遂行の難易度の違いによるものではないかと考えられる。本実験の場合、向き決定の段階では、一つの場面を思い浮かべるだけで良かったのに対し、方向判断の段階では、その場面を保持しながらさらに目的地点の方向をできる限り正確に心内で推測しなければならなかった。したがって、後者の方がよりイメージの生成や操作を行う必要があったため、空間記憶の向きや身体の向きがより判

Table 2
地図の向き、身体の向き、判断時の基準方向の3者の向き (実験1)

課題条件	地図の向き	身体の向き	判断時の基準方向
地図の向きS-基準方向S	↓ S	↓ S	↓ S
地図の向きS-基準方向N	↓ S	↓ S	↓ N
地図の向きN-基準方向S	↓ N	↓ S	↓ S
地図の向きN-基準方向N	↓ N	↓ S	↓ N

断にかかわりやすかったと推測される。

実験1では、実験参加者が記憶している最も自然な向きを基準として地図描画がなされると仮定していた(天ヶ瀬, 1994; 松井, 2006; 内藤, 2000a)。しかしながら、地図を描画する際には、描画者が把握する身体の方きを基準として、この向きが地図の上向きと一致するように描かれやすいことを示唆する知見(e.g., 天ヶ瀬, 1993)や正門からキャンパスに入る方向(実験1のキャンパスでは北の方角)を上にして地図が描かれやすいことを示唆する知見も存在する(e.g., 内藤, 2000b)。そのため、本来、北向きでキャンパスの配置を符号化している実験参加者が身体の方きにに合わせて南を上にした地図を描いた可能性がある。また、南向きで配置を符号化している実験参加者が、習慣に従って北を上にして地図を描いた可能性がある。それらによって、本実験で想定していた地図分類の前提が崩れてしまった疑いがある。しかし、空間記憶の方向特異性を前提とする限り、そのようなデータの汚染はいずれの場合も交互作用を減少させることになるため、むしろ本実験のような結果を得られにくくする。したがって、当初の地図分類の仮定に立って本結果を解釈しても、それほど的外れではないと考えられる。

ただし、本実験の結果を確認するには、やはり、より厳密に統制された条件下で実験を行うことが望ましいであろう。そこで実験2では、室内環境において、実験参加者が配置を符号化する向きを厳密に統制した上で実験1と同様の検討を行った。

実験 2

実験2では、実験1に引き続き、空間記憶の方向特異性と身体の方きが相対的方向判断にどう効果を及ぼすのかという問題について、実験室内でより厳密に条件統制をした上で検討を行った。

実験1では、実験参加者がどの向きを上にして地図を描いたかによって、空間記憶の方向特異性が推定されたため、描画方向が方向特異性をどこまで正確に反映しているのかという点でわずかながら不確実さを残した。そこで、実験2では、先行知見にならい(e.g., 松井, 1997b; Mou & McNamara, 2004; Presson & Hazelrigg, 1984; Presson et al., 1987; Waller et al., 2002)、実験参加者に対し、方向判断の対象となる配置を一つの方角からの観察でのみ学習させることで、彼らが配置を符号化する向きを統制した。

なお、本実験では、Waller et al. (2002)が行ったように、学習時の配置の方きを全実験参加者で同じ方向に固定し、課題遂行時の彼らの身体の方きを操作した。その上で、実験1と同じく、空間記憶の方きと身体の方き、ならびに判断時の基準方向の3者の方きの異同を

分類し、それぞれのパフォーマンスを比較した。また、判断地点を視認できない状況を設定するため、本実験では、実験参加者に目隠しをさせた状態で相対的方向判断課題を実施した。

方法

実験参加者 28名の大学生(男性12名、女性16名)が個別に実験に参加した。

材料と装置 観察によって学習される配置として、Pressonら(Presson & Hazelrigg, 1984; Presson et al., 1987)が実験に使用したのと同様の4点経路が使用された。その具体例をFigure 6に示す。この4点経路は、数字の付いた四つの地点と1.65 m, 2.05 m, 3 mの3本の線分からなり、その形状は実験参加者から見て逆U字型であった(2線分間の角度は共に90°)。また、これに加えて、経路の前後を反転させたU字型のパターンが作成された。同様にして、実験参加者から見て逆U字型に135°、45°の角度(各線分の長さは、0.95 m, 2.7 m, 3 m)で構成された4点経路と、そのU字型のパターンが別に作成され、計4種類の配置が課題で使用された。

課題で使用される問題は、各経路に含まれる四つの地点を用いて一つの経路配置につき16題作成された。すなわち、4地点それぞれにおいて南北どちらかの向きで立っているとして、正面または真後ろになる地点以外の2地点の方向判断を求めた。正面または真後ろになる地点は、例えば、「4にいて3が前」というように、配置に対する実験参加者の身体の方き(基準方向)を教示するために用いた。南向きを基準として判断を行う問題8題が基準方向S条件、北向きを基準として判断を行う問題8題が基準方向N条件とされた。相対的方向判断

Figure 6. 実験室内における刺激配置の学習例。

課題における判断時の基準方向の形成、ならびに方向判断のターゲットの提示を行うために、音声刺激が用意された。また、試行開始の合図として ping 音、反応完了の合図として beep 音が準備された。合図を示す音声の提示と反応記録には、Apple 社製 iBook G4 およびマウスが用いられた。制御プログラムは、Real Basic を用いて作成された。課題時の音声刺激を常に同じ位置から実験参加者に提示するため、ヘッドフォンが使用された。実験参加者の身体の向きへの操作には、回転椅子が使用された。また、相対的方向判断を行う際に、実験参加者が配置を見渡せなくするために目隠しが使用された。

手続き 実験は実験参加者ごとに行われた。実験室に案内された実験参加者は、課題の一連の流れを説明された後、北向きに着席させられた。次いで、彼らの背後の床に最初に学習する 4 点経路が設置された。設置が完了すると、実験参加者は目隠しを付け、その状態で椅子を 180°回転させて南を向いた (Figure 6 参照)。実験参加者は、実験者の合図とともに目隠しを外して配置の学習を開始し、30 秒後の終了の合図とともに再び目隠しを付けることが求められた。学習終了後、彼らは、そのまま南を向いた状態を保つか、あるいは椅子を 180°回転させて北を向いた状態になるかのいずれかの指示を受けた。

そして、彼らは、ヘッドフォンを装着して相対的方向判断課題を行うことが求められた。実験参加者がマウスをクリックすると、2 秒後に ping 音となり、試行が開始された。まず、「〈地点番号〉にいて〈地点番号〉が前(または後)」といった音声により、実験参加者がイメージする地点と向きが提示された。実験参加者は、この方向を向いているところをイメージし、イメージが完成したらマウスをクリックするよう求められた。実験参加者がクリックを行うと方向指示の対象となるターゲット〈地点番号〉が音声提示された。実験参加者は、先ほどイメージした地点からターゲットの方向に向けてマウスを動かすことが求められた。約 3 cm 動かすと、beep 音によって反応完了の合図がされた。この課題は、16 題実施された。

その後、実験参加者は、ヘッドフォンを一度外してから椅子を 180°回転するように伝えられた。そして、再度、彼らはヘッドフォンを装着し、先ほど同一の課題を行うよう求められた。このような学習と課題遂行の一連の作業は、四つの異なる経路配置について行われた。4 種類の経路配置の学習順序と、課題時に提示される問題の順番は、実験参加者ごとにそれぞれランダム化された。また、南北どちらに身体が向いた状態で最初に課題が実施されるかは、実験参加者ごとにカウンターバランスが取られた。

結果

実験 2 では、身体の向き 2 種類×基準方向 2 種類の組み合わせからなる四つの条件下で、32 試行 (8 試行×四つの経路配置) ずつ課題を実施した。こうして得られた 128 試行のデータについて、正位置と同じ象限がクリックされた場合を正答、それ以外を誤答とし、実験参加者ごとに、誤答率と、正答試行の向き決定時間および判断時間を算出した。二つの反応時間における個人の代表値は、それぞれ実験 1 と同じやり方で算出した。

誤答率、向き決定時間、判断時間の三つの指標について、実験参加者の身体の向き (身体の向き S、身体の向き N) と判断時の基準方向 (基準方向 S、基準方向 N) を被験者内要因とする 2 要因分散分析を行った (Table 1 参照)。その結果、誤答率では、基準方向の主効果のみが有意であり、($F(1, 27)=5.784, p<.05, MSE=42.9$) 判断時の基準となる向きが北向きの場合、南向きの場合と比較して誤答が多かった (Figure 7 参照)。向き決定時間では、判断時の基準方向の主効果のみ有意となり、判断時の基準となる向きが北向きの場合、南向きの場合と比較して時間が長かった ($F(1, 27)=8.463, p<.01, MSE=0.13$)。一方、判断時間では、判断時の基準方向と身体の向きの交互作用が有意であった ($F(1, 27)=8.906, p<.01, MSE=0.12$) (Figure 8 参照)。単純主効果の検定を行ったところ、まず、身体の向き S 条件では、判断時の基準となる向きが北向きの場合、南向きの場合と比較して判断により時間がかかった ($F(1, 54)=4.97, p<.0005, MSE=0.14$)。一方、身体の向き N 条件では、両者間の判断時間に差異は生じなかった ($F(1, 54)=2.79, n.s.$)。また、判断時の基準方向が南向きのときは、身体の向き S 条件と比較して、身

Figure 7. 課題遂行時の実験参加者の身体の向きおよび判断時の基準方向の違いによる誤答率の変化 (実験 2)。

Figure 8. 課題遂行時の実験参加者の身体の向きおよび判断時の基準方向の違いによる正答判断時間の変化 (実験 2)。

体の向き N 条件の判断により時間がかかった ($F(1, 54)=10.94, p<.005, MSE=0.11$). 基準方向が北向きのときには、そのような差異は見られなかった ($F(1, 54)=0.95, n.s.$). 先に南北どちらに身体を向けて課題を行ったかが課題に影響を及ぼしたかどうかを確かめるため課題実施順を含めた 3 要因被験者内分散分析も行ったが、課題実施順の主効果および他の要因との交互作用のいずれも有意ではなかった。

速さと正確さのトレードオフの有無を調べるため、条件ごとに向き決定時間と誤答率、および判断時間と誤答率との間の積率相関係数を求めた。その結果は、いずれもトレードオフを示唆するものではなかった。具体的には、向き決定時間では、身体の向き S-基準方向 S 条件 $r(26)=-.138$ ($n.s.$)、身体の向き S-基準方向 N 条件 $r(26)=-.119$ ($n.s.$)、身体の向き N-基準方向 S 条件 $r(26)=.115$ ($n.s.$)、身体の向き N-基準方向 N 条件 $r(26)=-.099$ ($n.s.$) という結果となった。一方、判断時間では、身体の向き S-基準方向 S 条件 $r(26)=-.018$ ($n.s.$)、身体の向き S-基準方向 N 条件 $r(26)=-.150$

($n.s.$)、身体の向き N-基準方向 S 条件 $r(26)=-.088$ ($n.s.$)、身体の向き N-基準方向 N 条件 $r(26)=.299$ ($n.s.$) という結果となった。

考 察

実験 2 では、実験室内において、配置を一方向からのみ学習させた上で相対的方向判断課題を実施した。

この実験において、学習方向、身体の向き、判断時の基準方向の向きの組み合わせがどうなっていたかを表に整理した (Table 3 参照)。

誤答率では、課題遂行時の実験参加者の身体の向きに関係なく基準方向が北向きのときに誤答が増加するという整列効果が観察された。Table 3 と対照させると、身体の向きとは無関係に、判断時の基準方向が学習方向と不一致の場合に誤答が多くなることが示された。つまり、誤答率では、実験 1 と同様に空間記憶の方向特異性の効果のみが観察された。

次に、向き決定時間および判断時間の指標について同様の分析を行った。向き決定時間では、実験参加者の身体の向きに関係なく、判断時の基準方向が北向きである場合に時間が長くなるという整列効果が観察された。

この結果のパターンは誤答率の場合と同じであり、空間記憶の方向特異性の効果のみが観察されたことを示唆している。一方、判断時間の場合、実験参加者が南向きの条件では、基準方向が北のときにより時間がかかった。しかし、実験参加者が北向きの条件では、基準方向による判断時間の違いはなく、そのような整列効果は見いだされなかった。Table 3 と対照したところ、3 者の向きが全て合致した場合に、最も判断時間が短く、それ以外の場合は、いずれも同程度の時間であった。つまり、実験 1 同様、論理的な効果が示唆された。すなわち、基準方向が学習時の向きか実際の身体の向きかのどちらか一方と一致しているだけでは、判断を行うことが難しかったと考えられる。

ただし、実験 2 では実験 1 とは異なり、向きを決定する段階で学習方向の影響が見られており、これは、両実験で用いられた空間記憶の機能が必ずしも完全に同じではないことを示唆している (e.g., 松井, 1997b)。だが、身体の向きに関しては、実験 1 同様、この段階で

Table 3
学習方向、身体の向き、判断時の基準方向の 3 者の向き (実験 2)

課題条件	学習条件	身体の向き	判断時の基準方向
身体の向き S-基準方向 S	↓ S	↓ S	↓ S
身体の向き S-基準方向 N	↓ S	↓ S	↓ N
身体の向き N-基準方向 S	↓ S	↓ N	↓ S
身体の向き N-基準方向 N	↓ S	↓ N	↓ N

は効果が見られなかった。また、判断を行う段階では、上記のとおり、3者の向きがすべて合致した場合にのみ判断時間が短かった。これらのことから、両実験で測定された方向特異性は、その性質が根本的に異なっていたのではなく、課題への影響力に違いがあったのではないかと考えられる。すなわち、さまざまな向きから配置の学習が積み重ねられる場合と比較して、単一方向から配置が学習される場合のほうが、空間記憶の方向特異性がより強く形成されるということである。そのため、実験2では、想像上の地点に特定の向きでいる場面を想起させる段階でも、学習方向の影響が見られたのではないかと考えられる。一方、身体の向きも含めた両者の効果については、実験1と同様、目的地点の方向判断を行うための地点間の位置関係の想起や心的操作が必要とされる判断段階においてのみ生じると推測される。

総合考察

本研究では、空間記憶の方向特異性と身体の向きが相対的方向判断に及ぼす効果について検討した。

まず、誤答率の指標を見ると、日常環境（実験1）および実験室内（実験2）のいずれの実験においても、身体の向きに関係なく、判断時の基準方向が空間記憶の向きと一致するか否かでパフォーマンスが変化することが示された。すなわち、相対的方向判断に対する空間記憶の向きの効果だけが示唆され、身体の向きの効果は示唆されなかった。したがって、誤答率だけを指標として見るならば、現実環境における実験参加者の身体の向きは判断に何の関与もしなかったように見える。しかし、実験1, 2の考察において検討したとおり、判断時間の結果において、論理的な効果を示された。一方、向き決定時間は、実験1では何の変化もなく、実験2では方向判断の基準方向が学習時の向きと不一致の場合に長くなった。この二つの反応時間指標で示される実験室内と実験室間での結果の相違は、各段階における課題遂行の難しさの違いによるものと考えられる。すなわち基準方向を決定する段階では、ある場面を思いうかべることだけが求められたのに対し、実際に方向判断を行う段階では、その場面を保持しながら目的地点の正確な方向まで判断する必要があった。このように、判断段階の方がイメージの想起や操作をより求められたため、判断に対する空間記憶の方向特異性と身体の向きの両方の効果が結果に表れやすかったのだと解釈される。

また、実験1, 2の結果を合わせて考えると、両実験で用いられた空間記憶は、方向特異性それ自体の特性が全く異なっていたのではなく、その影響力の程度に差があったのではないかと考えられる。つまり、さまざまな方向から配置を眺める経験をしている場合（実験1）よりも、単に一方から配置を観察するだけの場合（実験

2）のほうが、空間記憶の方向特異性がより強く形成されるということである。そのため、実験2でのみ、判断に対する方向特異性の効果が向き決定時間で観察されたのではないかと推測される。

判断時間で論理的な結果が得られた理由として、環境内の配置を考える際に、記憶している選好的な配置の向き（e.g., 松井, 2006; Tlauka & Nairn, 2004）と現実環境における身体の向き（e.g., 天ヶ瀬, 1993; 松井, 1997a, b; Waller et al., 2002）がともに意識されてしまうという可能性が考えられる。この場合、それぞれの向きで地点間の位置関係を考えることが促されることになる。このことは、相対的方向判断時の基準方向が両方の向きと一致しているときには問題にならない。しかし、基準方向がいずれか一方とでも不一致であるときには、二つの異なる視点で捉えられた配置が混在して想起されてしまうため、判断に支障をきたすことになると考えられるのである。

一方、実験状況や教示の仕方によっては、相対的方向判断に対して、空間記憶の方向特異性や身体の向きが実質的に機能しない場合があるというデータも存在している（e.g., 大藤・菱谷, 2004; Waller et al., 2002）。たとえば、大藤・菱谷（2004）は、想起の対象となる領域の外で課題を実施した場合には、どちらの効果も観察されないことを示唆する結果を報告している。また、Waller et al. (2002)の報告によると、実験参加者の自由なやり方で課題を行わせた場合には、判断に対する両者の効果が観察されたのに対し、課題遂行のやり方を教示で指定した別の実験では、どちらの効果も実質的に消失している。これらのことは、想起対象となる環境内に判断者が現実存在することが、移動や観察によって獲得された記憶や、その環境において自分がどちらを向いているかという意識を強力、かつ、きわめて自然に喚起する上で重要であることを示唆しているのかもしれない。したがって、相対的方向判断メカニズムの全体像を明らかにするためには、空間記憶の向きや身体の向きに加え、判断方略や実験状況等も併せてさらに詳細な検討を行うことが必要であろう。

また、本研究では、判断時間で見られたような身体の向きの影響が誤答率では示唆されなかった。これには、二つの解釈が考えられる。一つは、方向判断の過程で多少の混乱が生じたとしても、それがすべてエラーに反映されるわけではない（e.g., Kelly et al., 2007）という解釈である。一方、もう一つの解釈として、判断時間と誤答率に反映されるプロセスが少なくとも部分的に異なっている可能性を指摘できる。この二つのうちのどちらの解釈がより妥当であるかという問題は、各指標が反映する判断プロセスがどこまで重なり合うのかというより高次の問題と深くかかわっている。この問題については、

今後、注意深く調べていく必要がある。

最後に、本研究に対する批判点として、次のことが考えられる。すなわち、実験1において判断課題をディスプレイに図示した (Figure 2c) ため、それに合わせて地図的なイメージを思いうかべて方向判断をすることが促された可能性である。それゆえ、方向特異性の効果が観察されやすくなったと考えられるのである。ただし、この場合、基準方向をイメージする段階で方向特異性の効果が観察されやすくなると考えられる。すなわち向き決定時間で、基準方向と地図の向きとの違いによる整列効果が観察されやすくなると考えられる。だが、実験1の向き決定時間では、何のパフォーマンスの変化も見られなかった。それゆえ、地図的なイメージは使用されてはいない、あるいは少なくともそれほど強く誘導されることはなかったと推測される。

本研究では、実験環境上の制約から、実験1, 2のいずれも、選択的にアクセスされる空間記憶の向きおよび身体の向きのどちらか一方向だけを操作し、代わりに認知課題のパターンを両実験で同一にするという方法を採用した。そのため、今後、両者の向きを操作した実験データが蓄積される必要がある。また、空間記憶の向きは個人内の心的な向きであるため、実験操作によって空間記憶の向きをどこまで正しく抽出できているのかという問題が生じる。身体の向きだけでなく、空間記憶の方向特異性にも着目した検討を進めていくためには、今後、このような問題についても取り組んでいかななくてはならないだろう。

引用文献

- 天ヶ瀬正博 (1993). 熟知した環境での定位行動
人文研究 (大阪市立大学文学部紀要), **45**, 23-58.
(Amagase, M.)
- 天ヶ瀬正博 (1994). 熟知した環境の地図に対する正誤判断 人文研究 (大阪市立大学文学部紀要), **46**, 565-586.
(Amagase, M.)
- Avraamides, M. N., & Kelly, J. W. (2008). Multiple systems of spatial memory and action. *Cognitive Processing*, **9**, 93-106.
- Evans, G. W., & Pezdek, K. (1980). Cognitive mapping: Knowledge of real-world distance and location information. *Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, **6**, 13-24.
- Farrell, M. J., & Robertson, I. H. (1998). Mental rotation and the automatic updating of body-centered spatial relationships. *Journal*

- of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **24**, 227-233.
- Kelly, J. W., Avraamides, M. N., & Loomis, J. M. (2007). Sensorimotor alignment effects in the learning environment and in novel environments. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **33**, 1092-1107.
- Levine, M., Jankovic, I. N., & Palij, M. (1982). Principles of spatial problem solving. *Journal of Experimental Psychology: General*, **111**, 157-175.
- 松井孝雄 (1997a). 空間認知における異方性の研究 慶應義塾大学大学院社会学研究科博士論文. (Matsui, T.)
- 松井孝雄 (1997b). 現実の空間における整列効果 (2) 日本心理学会第61回大会論文集, 595.
(Matsui, T.)
- 松井孝雄 (2006). 現実の環境における空間認知の異方性 東海心理学研究, **2**, 40-43.
(Matsui, T. (2006). Orientation specificity of spatial cognition in realistic environment. *Toukai Journal of Psychology*, **2**, 40-43.)
- Montello, D. R., Waller, D., Hegarty, M., & Richardson, A., E. (2004). Spatial Memory of Real Environments, Virtual Environments, and Maps. In G. Allen (Ed.), *Human spatial memory: Remembering where*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. pp. 251-285.
- Mou, W., McNamara, T. P., Valiquette, C. M., & Rump, B. (2004). Allocentric and egocentric updating of spatial memories. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **30**, 142-157.
- 内藤健一 (2000a). 熟知した環境の配置図の正誤判断における心的回転と視点移動—移動によって学習される認知地図に異方性はあるか?— 認知地図の心理学 V— 関西大学大学院『人間科学』, **53**, 183-199.
(Naitoh, K.)
- 内藤健一 (2000b). スケッチマップの向きの規定因—自己中心的・慣習的参照系の利用に関する検討— 心理学研究, **71**, 219-226.
(Naitoh, K. (2000). Determinants of sketch-map orientation: An examination into the adoption of egocentric and conventional systems of reference to sketch-map drawing. *The Japanese Journal of Psychology*, **71**,

- 219-226.)
- 大藤弘典・菱谷晋介 (2004). 大規模空間における整列効果出現に関する諸要因 日本イメージ心理学会第5回大会, 8-9.
(Oto, H., & Hishitani, S.)
- Presson, C. C., DeLange, N., & Hazelrigg, M. D. (1987). Orientation-specificity in kinesthetic spatial learning: The role of multiple orientations. *Memory and Cognition*, **15**, 225-229.
- Presson, C. C., DeLange, N., & Hazelrigg, M. D. (1989). Orientation specificity in spatial memory: What makes a path different from a map of the path. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **15**, 887-897.
- Presson, C. C., & Hazelrigg, M. D. (1984). Building spatial representations through primary and secondary learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **10**, 716-722.
- Rieser, J. J. (1989). Access to knowledge of spatial structure at novel points of observation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **15**, 1157-1165.
- Roskos-Ewoldsen, B., McNamara, T. P., Shelton, A. L., & Carr, W. (1998). Mental representations of large and small spatial layouts are orientation dependent. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **24**, 215-226.
- Rossano, M. J., & Warren, D. H. (1989). Misaligned maps lead to predictable errors. *Perception*, **18**, 215-229.
- Tlauka, M., & Nairn, M. J. (2004). Encoding of multiple map orientations. *Spatial Cognition and Computation*, **4**, 359-372.
- Waller, D., Montello, D. R., Richardson, A. E., & Hegarty, M. (2002). Orientation specificity and spatial updating of memories for layouts. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **28**, 1051-1063.
- (2008年7月28日受稿, 2009年6月12日受理)

Appendix 本実験で使ったI大学構内図