

## ポインティング行動における空間表象の位置情報の影響

山崎 隆紀\*・松宮 一道\*\*\*・栗木 一郎\*\*\*・塩入 諭\*\*\*

\* 東北大学 大学院情報科学研究科

\*\* 東北大学 電気通信研究所

\*\*\* 〒 980–8577 仙台市青葉区片平 2–1–1

(受付：2009年10月6日；受理：2010年5月25日)

### The influence of spatial representation on pointing task

Takanori YAMAZAKI\*, Kazumichi MATSUMIYA\*\*\*,  
Ichiro KURIKI\*\*\* and Satoshi SHIOIRI

\* Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

\*\* Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

(Received 6 October 2009; Accepted 25 May 2010)

Song and Nakayama reported that pointing trajectories in a numerical comparison task were influenced by internal competition processes between numeric representations [Cognition 106, 994–1003, 2008]. We tested this phenomenon in two-dimensional representations, such as a clock surface and world map. Our experiments showed that the location of numbers or countries in the representation of the clock surface or the world map influenced the trajectories of pointing task related to the clock surface or the world map. We also found that the influence of the spatial representations on the pointing trajectories for naïve observers was smaller than that for experienced observers at all the phases of the pointing trajectories. The experienced observers in our study had knowledge as to Song and Nakayama's study but the naïve observers did not. Although this may suggest that the phenomenon found by Song and Nakayama might depend on higher cognitive processes such as knowledge, we found that low level implicit processes also play a role. More robust and clearer influence of the spatial representations on pointing trajectories was found at the earlier phase of the pointing trajectories both for naïve and experienced observers. Considering that the pointing action is implicitly and automatically controlled at the earlier phase, our results suggest that two-dimensional spatial representations also influence action implicitly.

#### 1. はじめに

人間はシーンの中の物体や事柄に関する情報を脳内に保持し、それらの情報は物体認識や事象認識に利用されている。たとえば視覚による物体認識は網膜上の画像情報と脳内に保持された情報（内部表象）との対応づけと考えることができる。内部表象としては物体や顔などの形状に関連した表象のほか、数直線などの概念に関連する表象が存在することも知られている。数直線に関する表象については数字の大小の比

較課題の実験において、比較する数字の近さ（2つの数字の差）によって反応時間が異なるという結果が報告されている<sup>2-5)</sup>。たとえば5と6の大小を比較する場合は、1と8の大小を比較する場合よりも判断に要する時間が長くなる（一般に、2つの数字の差が小さくなるにつれて、反応時間が増加する）。被験者は数字の大小関係のみの判断するように求められているため、2つの数字の大小関係が両者の数値的な差の大きさとは無関係に認識されていれば、応答時間に影響するとは考えにくい。その場合、5と6の

比較においても1と8の比較においても、同等に判断をするために応答時間に差がないと考えられる。しかしながら数字の差の大きさとともに応答時間が増加するという事は、数字の大小判断は数字間の距離に従っておこなわれて、その距離が小さくなるほど判断が困難になることを示唆する。この判断過程には心的数直線と呼ばれる、数字の大小関係が距離に従って配置されている心的な表象が活用されていると考えられている。これが空間的な表象の影響であることは、数字の大小と左右位置（方向性）が関連することを示した Dehaene の実験<sup>3,4)</sup>からも支持される。Dehaene らは相対的に小さい数字が呈示された場合に左半身の反応時間が短くなり、相対的に大きい数字が呈示された場合に右半身の反応時間が短くなる現象を報告している。これは、一般的な数直線と同様にその表象では小さな数字が左側に、大きな数字が右側に位置するよう、空間的に符号化されているという考えを支持している。

心的数直線に関する多くの研究では被験者の反応時間を測定している。刺激入力から反応出力までの処理過程には①刺激同定、②反応選択、③反応プログラミングや準備などの段階が含まれ、反応時間は通常それらすべてを含む。それに対して Song と Nakayama<sup>1)</sup>は指でのポインティング課題において心的数直線の影響を明らかにし、心的数直線の行動への直接的な効果の存在を示した。彼らの実験では被験者は画面に直接ポインティングする方法で応答をおこない、指の運動中の軌道が解析されている。被験者は画面に呈示された数字が5より大きいか小さいかで異なる目標位置に指を移動させる。他の心的数直線の実験と同様に、被験者は呈示された数字が5と比較して大きいか小さいかを判断すればよく、数字の差がどれだけ大きいか（呈示された数字と5との差）を評価する必要はない。それにもかかわらず、ポインティングの軌道は5との差に対応して変化した。この指差しの軌道への影響は、被験者が意識的におこなう課題に関連しないものであるため、心的数

直線が直接行動に影響したといえる。

数直線表象が視覚的情報に基づいて獲得・形成されたものと考えられるならば、Song と Nakayama の研究は視覚的な記憶表象が行動過程に強く関連することを示唆する。彼らの実験パラダイムは、視覚表象と運動処理の関連について調べるための有効な手法であり、その結果から視覚情報に基づく行動が無意識的に制御されているかどうかを調べることができる。しかし、彼らの実験は、心的数直線という表象のみを対象としているため、同種の表象による運動処理への効果の一般性を確認することが重要であると考えられる。したがって本研究では、空間表象が行動に影響を与えるという Song と Nakayama の発見に関して、2次元表象への拡張について検討する。被験者が実験前に定規をイメージするか素時計でイメージするかによって、呈示される数字に対する応答時間の依存性が異なるという Bachtold の主張<sup>6)</sup>から、心的表象が何らかの空間的配置や空間的規則性を伴うことは、数直線以外にも存在することが推測される。もしも Song と Nakayama の実験手法により、他の心的表象においても同様の空間的構造を示唆するポインティング軌道の変化が確認できれば、心的表象の持つ空間構造の研究について数直線以外の視覚表象に一般化（視覚表象を1次元から2次元への拡張）させられることが期待できる。特に、本研究では、この視覚表象の一般化において、空間次元数の増加（実験2）と数字に関連しない視覚表象の適用（実験3）を試みる。まず、実験1ではポインティングデバイスとしてマウスを用いた簡易的な実験環境で Song と Nakayama の実験の追試をおこない、マウスを利用した実験環境であっても十分な測定精度や運動処理への影響が得られることを確認する。実験2と実験3ではそれぞれ時計盤と世界地図を刺激として用い、2次元表象のポインティング行動課題への影響を調べる。本実験では、予備的観察において、心理物理学実験の経験被験者と経験のない被験者の間に、ポインティング軌道の変化量に差がみられた。

実際には、経験被験者のほうが、呈示される数字に依存してポインティング軌道がより大きくなる傾向がみられた。この被験者グループによる差異の要因の一つとして、Song と Nakayama の実験についての知識の有無が考えられる。本実験で用いた経験被験者の全員が Song と Nakayama の実験に関する知識を有していた。そのため、経験被験者と経験のない被験者のポインティング軌道の差異を検討することで、あらかじめ実験結果を知っているという知識がポインティング行動に影響を与えるかどうかを調べることができる。実験結果に差がみられたため、両者の被験者グループによる差異についても検討した。いずれの被験者も実験の目的は知らされていないが、経験被験者の全員が Song と Nakayama の実験についての知識があった。両グループの実験結果に差がみられたために、Song と Nakayama の研究についての知識の有無による判断バイアスが実験結果に反映する可能性についての検討をおこなった。

図 1 に 3 つの実験の概要を示す。実験 1 では呈示された数字によって、画面中の水平に並ぶ 3 つの正方形のうちポインティングする目標の正方形が決定される (図 1A 左)。Song と Nakayama の実験結果と同様の効果が得られるならば、数直線上の位置と相関するような軌道のずれが生じるはずである。たとえば 1 の場合、4 の場合に比べて被験者の手 (マウス) の運動軌道は左側へとずれると予想される。実験 2 および実験 3 では、呈示された数字あるいは国名によって被験者は上下左右のいずれかの方向にマウスカーソルを移動する (図 1A 中央、右)。被験者の手の運動軌道に関して、実験 2 において時計盤の表象が影響するならば、たとえば 1 の場合には上に、5 の場合には下にずれ、実験 3 において地図表象が影響するならば、たとえばカナダが呈示された場合に上に、ブラジルでは下にずれることが予想される。

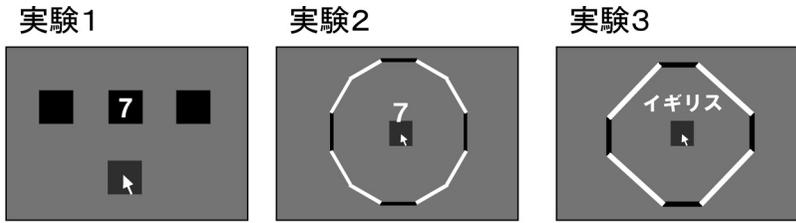
## 2. 実験 1

実験 1 では Song と Nakayama の実験 (2008)

の追試をおこなう。ただし、ポインティングデバイスとしてコンピュータマウスを使用する。実験 1 の主な目的は、コンピュータマウスを使用した環境でも Song と Nakayama の実験手法によって心的数直線の行動への影響を測定できることを確認し、指でポインティングした時の影響との違いについても確認することである。

### 2.1 実験手法

被験者は 9 名 (著者 TY を含む男子大学生) であり、全員正常視力で右利きであった。被験者 9 名のうち経験被験者は 6 名 (22-24 歳, 平均年齢 22.7 歳,  $SD$  は 0.82 歳), ナイーブ被験者は 3 名 (全員 22 歳) であった。経験被験者は心理物理学実験になれているとともに、Song と Nakayama の実験に関する知識もあったが、ナイーブ被験者は心理物理学実験への参加は初めてであり、Song と Nakayama の実験について知識を持っていなかった。刺激呈示画面には上部に 3 つの黒の正方形が水平に並び、中央の正方形の中に 1 から 9 までの数字のいずれかが呈示される (図 1A 左)。試行開始時、マウスカーソルは画面中央下部の赤の正方形の中央にあらわれる。被験者の課題は、4 以下, 5, および 6 以上の数字に対して、それぞれ左, 中央, および右の正方形へできるだけ早くマウスカーソルを動かすことである。経験被験者においてもナイーブ被験者においても、教示は同様であり呈示刺激が 5 と同じか、大きいか小さいかの判断に従って決められた目標位置にできるだけ早くカーソルを移動することである。各試行は、被験者がマウスボタンを押すことで開始され、400ms から 1000ms の間でランダムに決められた間隔の後に刺激が呈示された。刺激呈示まで画面は灰色であった。実験は 64 試行  $\times$  5 ブロックの 320 試行で構成され、半分の 160 試行では基準の数字 5 が呈示され、残り 160 試行では他の 8 数字が各 20 試行で呈示された。刺激呈示の順番は無作為に決められて、これらの試行数は Song と Nakayama の実験条件と同一に設定した。実験に先立ち、被験者は 64 試行の練習をおこなった。5 ブロックは 1 日のうちにおこ



呈示条件	1から9の数字	1から12の数字	8ヶ国の国名
課題	呈示条件により指定された位置へとカーソルをマウスで動かす		
	1 2 3 4 5 6 7 8 9 左 中央 右	11 12 1 10 上 2 9 左 右 3 8 下 4 7 6 5	ロシア 上 イギリス 左 右 カナダ インド 左 右 アメリカ マダガスカル 下 ブラジル オーストラリア
表象の影響があれば	1 2 3 4 5 6 7 8 9 	11 12 1 10 2 9 3 8 4 7 5 6	ロシア イギリス 左 右 カナダ インド 左 右 アメリカ マダガスカル 下 ブラジル オーストラリア

図 1 (A)

実験1

実験2 実験3

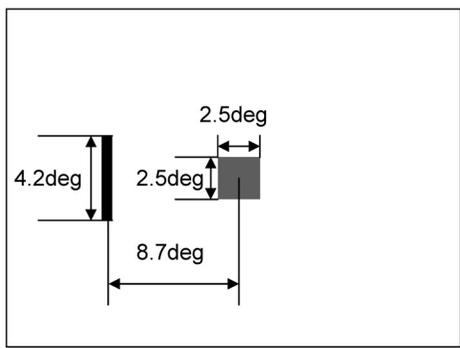
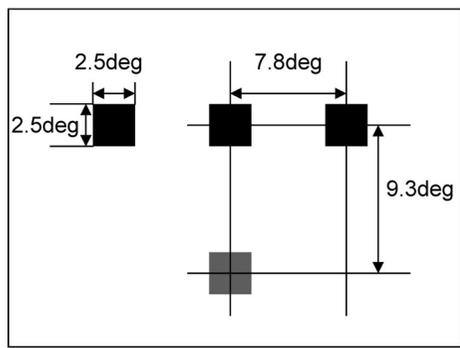


図 1 (B)

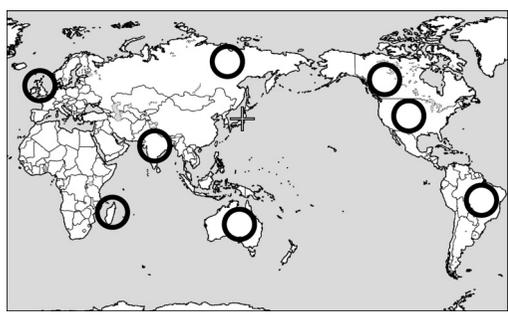


図 1 (C)

図 1 実験で使用した刺激 (A), 刺激サイズの詳細 (B), および実験 3 で呈示された国々の位置 (C). 図 1B には左側に実験 1 の運動開始地点と応答終了地点, 右側に実験 2 と実験 3 の運動開始地点と応答範囲である黒い辺の刺激サイズを示す.

なわれ、5ブロックの所要時間は約15分間であった。

## 2.2 実験装置

被験者は個々に暗室で実験をおこなった。32.5 cm×24.5 cm（視角 36.0 deg×27.5 deg）のCRT ディスプレイ（Iiyama 社製，HF703U，リフレッシュレート 75 Hz）を用い，パーソナルコンピュータ上（DELL 社製，Precision 384）で OpenGL を用いて実験刺激の呈示をおこなった。視距離は約 50 cm として頭部の固定はおこなっていない。応答はマウス（Elecom 社製，M-M1UP2RBK）を用いてカーソル移動をおこなった。実験刺激で用いられた白は 133 cd/m<sup>2</sup>，黒は 0.75 cd/m<sup>2</sup>，灰色は 21.3 cd/m<sup>2</sup>，赤は 19.8 cd/m<sup>2</sup>，CIE (1931) による xy 色度は白，黒，灰，赤の順にそれぞれ (x, y)=(0.288, 0.299), (0.274, 0.307), (0.285, 0.301), (0.398, 0.313) であった。

## 2.3 データ解析

マウスの軌道は，ディスプレイのリフレッシュレートと等しいサンプリング周波数 75 Hz で記録した。運動の開始は，画面上のカーソル速度が 30 mm/s を超えたときと定義し，刺激呈示開始から運動開始までの間隔を開始潜時，運動開始からポインティング終了までの間隔を運動持続時間と定義した。開始潜時が 100 ms 以下もしくは 1500 ms 以上のデータは予期した動きもしくは，通常のリアクションがでなかった外れ値として除外された。それらの試行に選択ミスを加えた不正試行については解析の対象外とした。すべての条件で解析に用いた試行数を等しくするため，不正試行はブロック最後に再度おこなった。

## 2.4 実験結果および考察

図2に，1名の被験者の各条件におけるマウス軌道を示す。1や9が提示された条件に対しては，運動軌道はほぼ直線的に目標位置に向かうが，5に近い数字では中央に向かって湾曲した軌道が増える様子がわかる。この被験者については，Song と Nakayama の研究と同様な結果が得られたといえる。

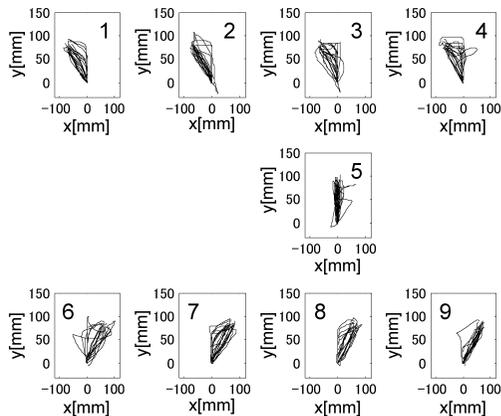


図2 経験被験者 TI の実験 1 の 1 から 5 までの呈示条件別の運動軌道。

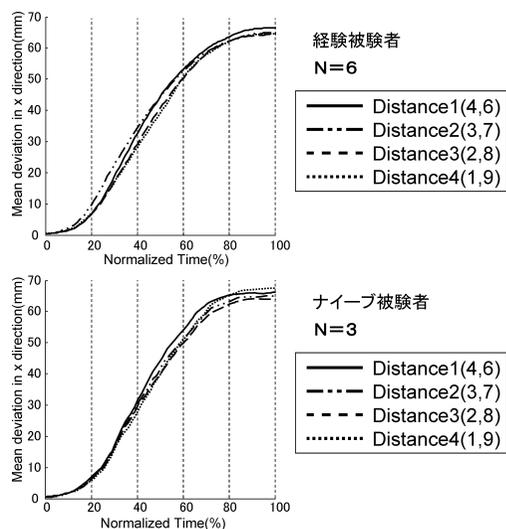


図3 実験 1 の経験被験者 6 人（上）とナイブ被験者 3 人（下）の運動軌跡の平均偏差。縦軸は運動開始地点からの水平方向の偏差を，横軸は正規時間を示す。

運動時間は，各被験者の試行ごとに異なるため，単純に平均することができないため，Song と Nakayama の解析方法を用いて，被験者内および被験者間の平均的な軌跡を求めた。その方法では，まず各軌道の始点から終点までを等間隔の 0 から 100 までの 101 個の時間間隔に分割し，100 までの正規時間とした。その正規時間ごとに被験者が動かすマウスの空間位置を試行間および被験者間で平均した（図3）。正規時間 0 から 100 までのマウスの x 軸方向の空間位置

の平均値と y 軸方向の空間位置の平均値の 2 次元情報に対して、呈示条件を要因とした 1 要因多変量分散分析をおこなった結果、有意差がみられた ( $F(14, 126)=40.48, p<0.001$ )。なお、被験者グループを経験被験者とナイーブ被験者に分けてもおおのこのグループで有意差がみられた (経験被験者  $F(14, 78)=41.25, p<0.001$ ; ナイーブ被験者  $F(14, 30)=16.91, p<0.001$ )。

条件間の軌跡についての違いをみるために、次の解析をおこなった。正規時間 5% ごとの x 座標に対して、呈示条件を要因とした 1 要因分散分析をおこなった結果、条件間において時間帯 10-90% で有意差がみられた ( $F(7, 64)>2.15, \text{all } ps<0.05$ )<sup>\*</sup>。一方、y 座標についての同じ分析では有意な差がみられなかった。この x 方向に関する分析は、Song と Nakayama がおこなったものと同様であり、呈示条件が軌道に影響する点で実験結果も彼らのものと同様である (彼らの結果は、35-95% で有意)。なお、経験被験者グループのみでは時間帯 25-65% で有意差がみられた ( $F(7, 40)>2.24, \text{all } ps<0.05$ ) が、ナイーブ被験者グループでは 5% の時間間隔を超える範囲で連続的に有意差がみられる範囲はなかった ( $F(7, 16)<2.65, \text{all } ps>0.05$ )。また条件によるずれの大きさも経験被験者グループでは 5 との差に依存して変化するが、ナイーブ被験者においては必ずしもそうではない。図 3 からわかるように、経験被験者では、目標となる数字の違いが軌道に大きく影響するのに対して、ナイーブ被験者での軌道への影響はそれほど顕著ではない。この被験者グループによる差についての考察は後述する。なお、ここでの有意差は、時間変化、被験者間の差、Song と Nakayama らとの違いについての指標であり、絶対的な意味はない (実験 2, 3 についても同様である)。これは、時間系列のデータは独立ではないためである。

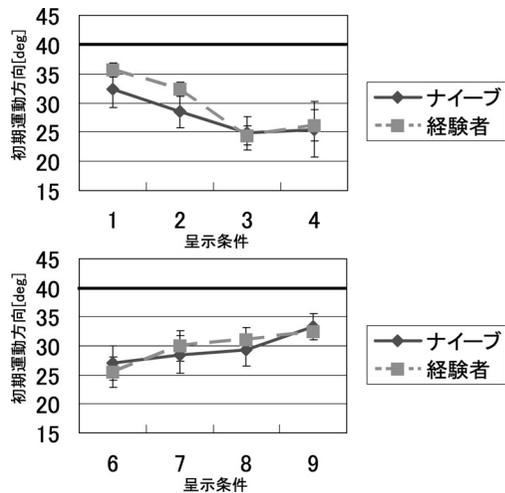


図 4 実験 1 の各条件における初期の運動方向。実線が経験被験者 6 名の、破線がナイーブ被験者 3 名の平均値を示す。縦軸は初期運動方向を、横軸は呈示された数字の条件を示す。なお始点からみたゴールの方向は 40.0 deg である。

次に運動開始直後の運動方向の解析をおこなった (図 4)。運動初期の軌道を解析したのは、Song と Nakayama の指摘する数直線の行動への影響は無意識的であり、さらに知識など高次過程や課題への習熟度の影響と異なり行動の開始直後で顕著であると考えられるためである。ここで、運動方向として正規化された時間帯 0-20% の xy 平面における軌道の近似直線が垂直方向となす角度の絶対値を用いた。この角度が小さければ軌道が中央に向かって動き出したことを意味している。

図 4 に初期運動方向の刺激条件による変動を示す。図 4 よりいずれの被験者グループにおいても、呈示される数字が 5 に近づくにつれて、0 度の方向 (5 に対する応答方向) に近づいていることがわかる。また被験者グループの違い (経験被験者、ナイーブ被験者) と呈示条件 (1-4, 6-9) を要因として初期運動方向に対する 2 要因分散分析をおこなった。その結果、呈示

<sup>\*</sup>  $F$  値の不等号表記は、分析に用いた 5% ごとの正規時間に対する  $F$  値のすべてが 2.15 より大きかったことを示す。all ps という表記は、その各  $F$  値から算出される  $p$  値のすべてが 0.05 より小さかったことを示す。これ以降に本文中に現れる  $F$  値の不等号表記および all ps という表記は同様の使い方をしていいる。

条件の主効果は有意であったが ( $F(7, 49)=3.73, p<0.001$ ), 被験者グループの違いの主効果は有意でなかった ( $F(1, 7)=0.563, p=0.478$  *n.s.*). 被験者グループと呈示条件の交互作用は有意でなかった ( $F(7, 49)=0.310, p=0.946$  *n.s.*). また, 呈示条件の主効果に関して, 下位検定 (Ryan 法) をおこなった結果, 呈示条件 1 と 3 ( $t=3.996, p<0.001$ ), 呈示条件 1 と 4 ( $t=3.485, p<0.005$ ), 呈示条件 9 と 3 ( $t=3.544, p<0.001$ ), 呈示条件 1 と 6 ( $t=3.320, p<0.001$ ) のときに有意な差があった. 数字の差が大きい場合に有意な差がある傾向がみられる. これは, 基準数字との差の大きさが, ポインティング行動に影響するという考えと一致する. このことを確認するために, 初期運動方向と基準数字からの数値的な差との間に有意な相関があるかどうかを無相関検定により解析した. その結果, 有意に相関があることが示された (すべての被験者の場合,  $r=0.532, N=72, p<0.01$ ; 経験被験者のみの場合,  $r=0.566, N=48, p<0.01$ ; ナイブ被験者のみの場合,  $r=0.465, N=24, p<0.05$ ). なお, この解析は, 個人差要因と条件要因を混在したものであるため, 次のように個人差を誤差変動とした検定も試みた. まず初期運動方向と基準数字からの数値的な差との間の相関係数を算出した後に, その値が 0 より有意に大きい  $t$  検定により解析した結果, 有意に正の相関があることが示された (平均相関係数  $r=0.15, t(8)=3.25, p<0.05$ ). ただし, ナイブ被験者のみによる相関についての検定からは有意な差は得られない (平均相関係数  $r=0.12, t(2)=1.03, p>0.1$ ). これは, 被験者数が少ないためと考えられる.

全体の軌道の解析においては, 経験被験者では刺激となる数字の違いの影響が明確にあらわれたが, ナイブ被験者では顕著な効果は得られなかった. それに対して初期の運動方向は, どちらの被験者群でも同様の傾向が示された. 被験者グループの差の要因として研究に対する知識の有無に起因すると考えることができる (考察に後述). もしそうであるならば, ポイン

表 1-a 1-4 の下位検定  
《要因 [呈示条件] の主効果における多重比較》  
(Ryan's method)

pair	<i>t</i>	<i>p</i>	sig.
1-3	5.405	0.000	s.
1-4	4.714	0.000	s.
2-3	3.359	0.003	s.
1-2	2.046	0.054	<i>n.s.</i>
2-4	2.668	0.014	s.
4-3	0.691	0.496	<i>n.s.</i>

MSe=13.46, *df*=21, significance level=0.05

表 1-b 6-9 の下位検定  
《要因 [呈示条件] の主効果における多重比較》  
(Ryan's method)

pair	<i>t</i>	<i>p</i>	sig.
9-6	3.953	0.000	s.
9-7	2.158	0.043	<i>n.s.</i>
8-6	2.344	0.029	<i>n.s.</i>
9-8	1.608	0.123	<i>n.s.</i>
8-7	0.549	0.589	<i>n.s.</i>
7-6	1.795	0.087	<i>n.s.</i>

MSe=12.96, *df*=21, significance level=0.05

ティングの軌跡全体には知識など高次処理の結果が影響しやすいのに対して, 初期運動方向ではその影響が小さいため被験者群の間の差が小さかったと考えることができる. つまり, ポインティング軌跡には, 知識など高次処理過程の影響が含まれるかもしれないが, 初期運動方向に注目し解析することで, そのような高次過程の影響が小さくなると考えられる. これらの結果より, マウスをデバイスとして用いた本研究の実験環境においても, 数直線の表象によるポインティング行動への影響を確認することが可能であり, Song と Nakayama の先行研究の結果と同様の効果を取り出すことができると考えられる.

### 3. 実験 2

実験 1 では数直線を扱ったが, これは 1 次元の表象である. 実験 2 では 2 次元の視覚的な空間表象として, 時計盤の数字配置を連想する刺激

を用いて、その行動への影響について検討する。

### 3.1 実験手法

被験者は実験1の被験者9名を含む12名で、全員正常視力で右利きであった。経験被験者6名は実験1と同一で、ナイブ被験者は6名(22-23歳、平均年齢22.5歳、SDは0.55歳)であった。刺激呈示画面には上下左右方向の辺が黒で他の辺が白の正12角形があり、その中央の正方形の上部に1から12までの数字のいずれかが呈示される(図1A中央)。試行開始時、マウスカーソルは画面中央の正方形の中央にあられる。被験者の課題は、1から5, 6, 7から11, および12の提示された数字に対して、それぞれ右(3時方向)、下(6時方向)、左(9時方向)および上(12時方向)の黒の辺の位置へできるだけ早くマウスカーソルを移動させることである。各試行は、被験者がマウスボタンを押すことで開始され、400msから1000msの間で無作為に決められた間隔の後に刺激が呈示された。刺激呈示まで画面は灰色であった。実験は80試行×5ブロックの400試行で構成され、全試行の半分は垂直方向応答の6と12(それぞれ100試行)であり、被験者は試行中に呈示される数字を予測することができなかった。実験に先立ち被験者は80試行の練習をおこなった。また被験者に課題を説明する際に「3時方向へ」「9時方向へ」などの用語を用いて、刺激配置が時計盤を模したものであることを伝えた。5ブロックは1日のうちにおこなわれ、5ブロックの所要時間は約15分間であった。なお、実験装置とデータ解析は実験1と同様である。

### 3.2 実験結果および考察

図5に1名の被験者による応答のマウス軌道を示す。図5から、左右方向への応答が求められているにもかかわらず、1の数字が呈示された条件では上方向に、5の数字が呈示された条件では下方向に手の運動軌道が偏る傾向があることがわかる。この結果は、実験1と同様にポインティングの方向が数字の関連する表象の影響を受けていることを示唆する。

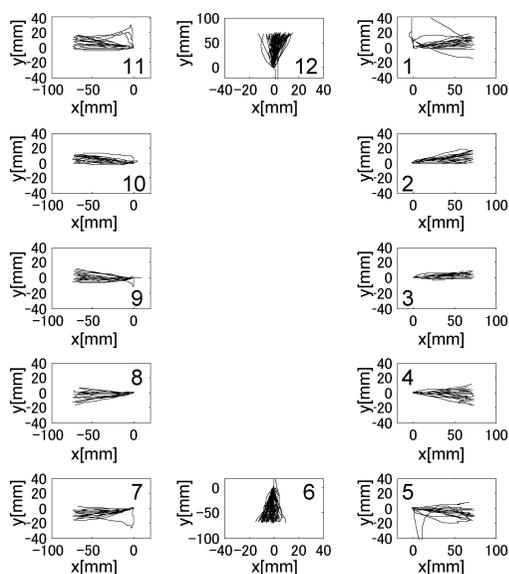


図5 経験被験者HNの実験2の1から6までの呈示条件別の運動軌道。

平均的な軌道を求めるために、実験1と同様に0-100%の正規化された時間に対して、被験者ごとに空間位置の平均偏差を算出し、被験者間で平均した(図6)。正規時間0から100までのマウスのx軸方向の空間位置の平均値とy軸方向の空間位置の平均値の2次元情報に対して呈示条件を要因とした多変量分散分析をおこなうと、有意差がみられた( $F(18, 218)=58.15$ ,  $p<0.001$ )。次に、軌道に対する差をみるために、正規時間5%ごとの分散分析をおこなうと、x方向で有意な差がみられなかった。一方、y方向で被験者12名全員に対して、条件間において正規化された時間帯の5-100%で有意差がみられた( $F(9, 110)>2.57$ , all  $ps<0.01$ )。この結果は、ポインティングに時計盤の空間配置が影響したことを示唆する。また、実験1と同様に被験者群による差異もみられた。経験被験者は5-100%で数字配置の影響と考えられる軌跡の違いがみられる(図6上)。それに対してナイブ被験者では、より狭い40-60%の範囲で数字配置の影響が見られるが、11と5に対する軌跡を除くと、軌跡の違いは時計盤の数字配置に対応しているとはいえない。

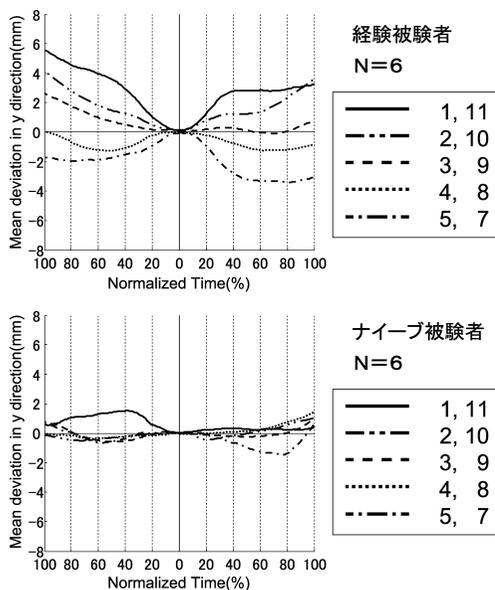


図6 実験2の経験被験者6人(上)とナイーブ被験者6人(下)の運動軌跡の平均偏差。縦軸は運動開始地点からの垂直方向の偏差を、横軸は正規時間を示す。中央から右側に1から5までの数字が呈示されたときの偏差を、中央から左側に7から11までの数字が呈示されたときの偏差を示す。

実験1と同様に、全被験者に共通の傾向を示す指標として、初期運動方向の解析をおこなった(図7)。ここでは初期運動方向を正規化時間帯0-20%のxy平面における軌道の近似直線がx軸(水平方向)となす角度として定義している。つまり角度が小さければ軌道は下方方向に、角度が大きければ軌道は上方方向に動き出したことを意味している。図7より1から5へ、11から7へと左右切り替わりの基準数字6に近づくにつれて初期運動方向の角度が減少していく結果があらわれて、運動初期において時計盤上の呈示された数字の空間的な配置へ向かって運動していることがわかる。実験1と同様に被験者グループの違い(経験被験者、ナイーブ被験者)と呈示条件(1-5, 7-11)を要因として初期運動方向に対する2要因分散分析をおこなった。その結果、呈示条件の主効果は有意であったが( $F(9, 90)=3.41, p<0.001$ )、被験者グループの違いの主効果は有意でなかった( $F(1, 10)=$

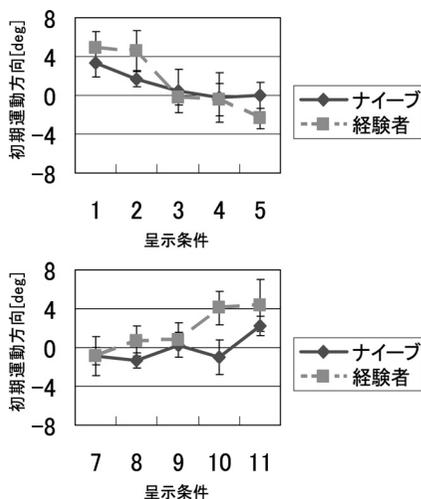


図7 実験2の各条件における初期の運動方向。実線が経験被験者6名の、破線がナイーブ被験者6名の平均値を示す。縦軸は初期運動方向を、横軸は呈示された数字の条件である。

$0.754, p=0.406$  n.s.). 被験者グループと呈示条件の交互作用は有意でなかった( $F(9, 90)=1.03, p=0.423$  n.s.). また、呈示条件の主効果に関して、下位検定(Ryan法)をおこなった結果、呈示条件1と5( $t=3.643, p<0.001$ )、呈示条件1と7( $t=3.437, p<0.001$ )のときに有意な差があった。実験1と同様に、数字の差が大きい場合に有意な差がある傾向がみられる。これは、時計盤表象についても、基準の数字6との差の大きさが、ポインティング行動に影響することを示唆する。このことを確認するために初期運動方向と基準数字からの数値的な差との間に有意な相関があるかどうかを無相関検定により解析した。その結果、有意に相関があることが示された(すべての被験者の場合、 $r=0.402, N=120, p<0.01$ ; 経験被験者のみの場合、 $r=0.502, N=60, p<0.01$ ; ナイーブ被験者のみの場合、 $r=0.290, N=60, p<0.05$ )。さらに実験1と同様に、初期運動方向と基準数字6からの数値的な距離との相関係数を算出した後に、その値が0より有意に上かどうかt検定により解析した。その結果、有意に正の相関があることがわかった(経験者: 平均相関係数  $r=0.14, t(5)=3.00, p<0.05$ ; ナイーブ: 平均相関係数

表 2-a 1-5 の下位検定  
《要因 [呈示条件] の主効果における多重比較》  
(Ryan's method)

pair	<i>t</i>	<i>p</i>	sig.
1-5	3.410	0.001	s.
1-4	2.869	0.007	s.
2-5	2.773	0.008	<i>n.s.</i>
1-3	2.588	0.013	<i>n.s.</i>
2-4	2.233	0.031	<i>n.s.</i>
3-5	0.822	0.415	<i>n.s.</i>
2-3	1.951	0.058	<i>n.s.</i>
1-2	0.637	0.527	<i>n.s.</i>
3-4	0.282	0.779	<i>n.s.</i>
4-5	0.540	0.591	<i>n.s.</i>

MSe=14.49, *df*=40, significance level=0.05

表 2-b 7-11 の下位検定  
《要因 [呈示条件] の主効果における多重比較》  
(Ryan's method)

pair	<i>t</i>	<i>p</i>	sig.
11-7	3.936	0.000	s.
11-8	3.383	0.001	s.
10-7	2.319	0.025	<i>n.s.</i>
11-9	2.601	0.013	<i>n.s.</i>
10-8	1.766	0.085	<i>n.s.</i>
9-7	1.335	0.189	<i>n.s.</i>
10-9	0.984	0.331	<i>n.s.</i>
11-10	1.616	0.114	<i>n.s.</i>
9-8	0.782	0.439	<i>n.s.</i>
8-7	0.553	0.583	<i>n.s.</i>

MSe=6.60, *df*=40, significance level=0.05

$r=0.18, t(5)=3.43, p<0.01$ ).

実験 2 では 2 次元の空間表象（時計盤表象）においても 1 次元の表象（心的数直線）と同様に、ポインティング行動への影響が存在することを確認した。Song と Nakayama の実験結果から報告された心的数直線のポインティングへの影響は、心的数直線に特別な現象ではなく、他の表象でも同様の効果を及ぼすことを意味している。また実験 1 と同様に、被験者群によらず初期運動方向に表象の影響がみられるが、その後の軌跡には経験被験者のみで顕著な表象の影響がみられた。これは、運動初期には無意識的な表象から行動への影響が得られ、その後之高

次処理の影響が強くなるとの考えに一致する。

## 4. 実験 3

実験 1, 2 ではいずれも数字に関連する表象を扱ったが、実験 3 では数字が関連しない空間表象として世界地図を想定した実験をおこなった。

### 4.1 実験手法

被験者は 12 名で、経験被験者は実験 2 に参加した 5 名と新たに加わった 1 名を加えた 6 名（22-24 歳、平均年齢 22.8 歳、*SD* は 0.98 歳）であり、ナイーブ被験者 6 名は実験 2 と同一である。新たに加わった経験被験者は、正常視力で左利きの男子大学生であった。刺激呈示画面には上下左右方向の辺が黒で他の辺が白の 8 角形が示され、その中央の正方形の中に 8 つの国名（図 1C 参照）のうちのいずれかがカタカナで呈示される（図 1A 右）。試行開始時に、マウスカーソルは画面中央下部の赤の正方形の中央にあらわれる。被験者の課題は、「カナダ」「アメリカ」「ブラジル」は右、「オーストラリア」は下、「マダガスカル」「インド」「イギリス」は左、「ロシア」は上の黒い辺へマウスカーソルをできるだけ早く移動させることである。各試行は、被験者がマウスボタンを押すことで開始され、400 ms から 1000 ms の間でのランダムに決められた間隔の後に国名が呈示された。刺激呈示まで画面は灰色であった。実験は 48 試行 × 5 ブロックの 240 試行で構成され、全試行の半分の 120 試行では南北方向の基準となる国名「ロシア」「オーストラリア」が 60 試行ずつ呈示され、残り 120 試行では他 6 つの国名に対しては各 20 試行ずつ呈示された。国名呈示の順番は無作為に決められ、被験者は予測することはできなかった。実験に先立ち被験者は 48 試行の練習をおこなった。被験者に課題を説明する際には、「東方向へ」「西方向へ」などの用語を用いて、日本を基準として判断するように伝えた。このように、実験 3 においては世界地図の空間表象が喚起されるように促した。なお、実験装置とデータ解析は実験 1 と同様である。

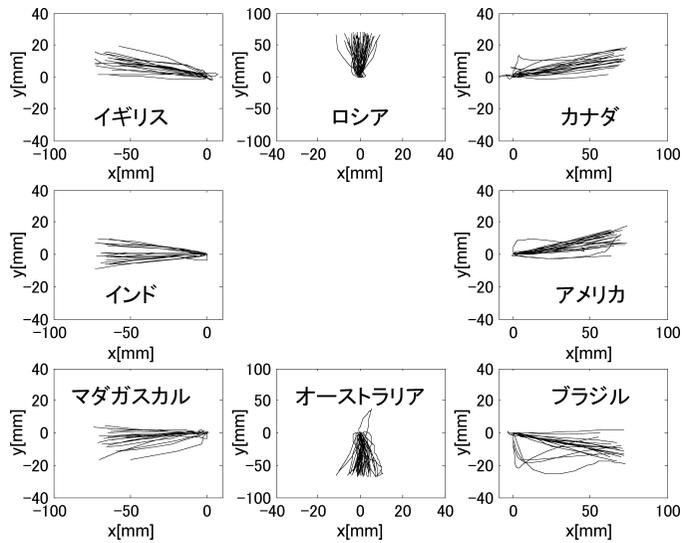


図8 経験被験者 HT の実験3の8つの国名に対する呈示条件別の運動軌道。

#### 4.2 実験結果および考察

図8に1名の被験者のマウス軌道について示す。「アメリカ」「イギリス」の条件においては上方方向に向いた軌道が多く、「ブラジル」「マダガスカル」については下方方向の軌道が多い、これは地図上でのそれぞれの国の位置方向への運動軌道がずれることを意味し、数直線や時計盤と同様な効果があることがわかる。

図9に、正規時間に対するy成分（垂直方向）偏差を示す。なお、実験2と同様にx成分（水平方向）偏差においてほとんど差がみられなかった。被験者12名全員に対して実験2と同様に正規時間0から100までのマウスのx軸方向の空間位置の平均値とy軸方向の空間位置の平均値の2次元情報に対して呈示条件を要因とした1要因多変量分散分析をおこなうと、有意差がみられ ( $F(10, 130) > 69.28, p < 0.001$ ), 世界地図の空間配置に対応した軌跡の分離があらわれた。次に、軌道に対する差をみるために、正規時間5%ごとの分散分析をおこなうと、x方向で有意な差がみられなかった一方で、y方向で被験者12名全員に対して、条件間において正規化された時間帯の5-100%で有意差がみられ ( $F(5, 66) > 3.31, \text{all } ps < 0.01$ ), 世界地図の空間配置とに対応した軌跡の分離があらわれた。

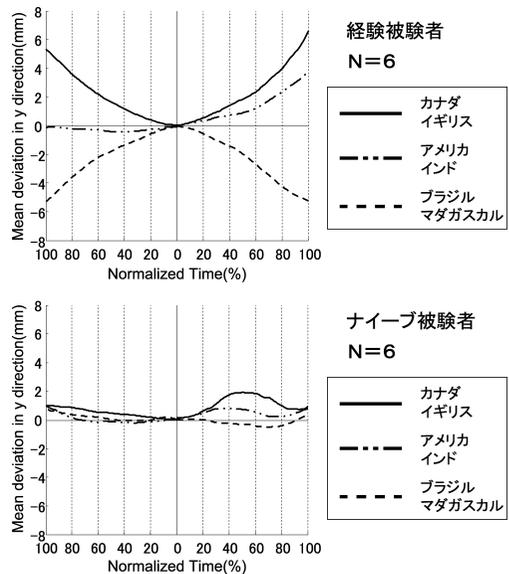


図9 実験3の経験被験者6人（上）とナীব被験者6人（下）の運動軌跡の平均偏差。縦軸は運動開始地点からの垂直方向の偏差を、横軸は正規時間を示す。中央から右側に「カナダ」「アメリカ」、および「ブラジル」の国名が呈示されたときの偏差を、中央から左側に「イギリス」「インド」、および「マダガスカル」の国名が呈示されたときの偏差を示す。

しかし、ここでも経験被験者とナীব被験者には差がみられた。経験被験者の軌跡は、明らかな地図上の位置の影響がみられるが、ナীব

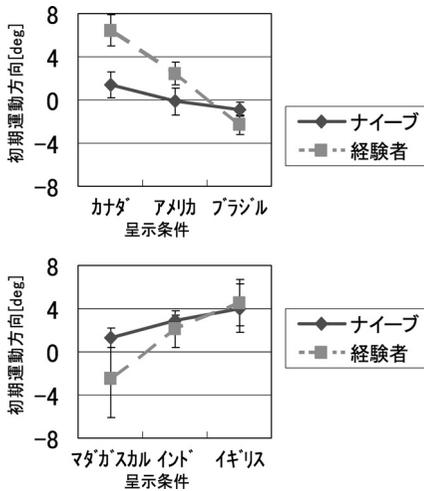


図 10 実験 3 の各条件における初期の運動方向. 実線が経験被験者 6 名の, 破線がナイーブ被験者 6 名の平均値を示す. 縦軸は初期運動方向を, 横軸は呈示された国名の条件を示す.

ブ被験者ではそうではない.

図 10 に運動開始直後の運動方向, 初期運動方向の解析結果を示す. 実験 2 と同様に, カーソルを左右に移動する各条件に対して, 正規時間 20% 以下のマウス軌道の近似直線と x 軸のなす角度を初期運動方向としている. 指定された方向に移動した場合は角度が 0 付近であり, 地図上の位置の影響があるならば, それらの位置に依存して軌道の運動方向がずれることが予想される. 図 10 より「カナダ」から「ブラジル」へ, 「イギリス」から「マダガスカル」へと世界地図上で地理的に南へシフトするにつれて初期方向の角度が減少していく様子が示された. 運動初期において世界地図上の呈示された国の空間的な位置へ向かって運動していることがわかる. 実験 1 および実験 2 と同様に被験者グループの違い (経験被験者, ナイーブ被験者) と呈示条件 (カナダ, アメリカ, ブラジル, イギリス, インド, マダガスカル) を要因として初期運動方向に対する 2 要因分散分析をおこなった. その結果, 呈示条件の主効果は有意であったが ( $F(5, 50)=4.763, p<0.001$ ), 被験者グループの違いの主効果は有意でなかった ( $F(1, 10)=0.072, p=0.794$  n.s.), 被験者グループと呈

表 3-a 「カナダ」「アメリカ」「ブラジル」の下位検定  
《要因 [呈示条件] の主効果における多重比較》  
(Ryan's method)

pair	t	p	sig.
1-3	5.604	0.000	s.
1-2	2.829	0.010	s.
2-3	2.779	0.012	s.

MSe=5.72, df=20, significance level=0.05

変数 1 : カナダ 変数 2 : アメリカ 変数 3 : ブラジル

表 3-b 「マダガスカル」「インド」「イギリス」の下位検定  
《要因 [呈示条件] の主効果における多重比較》  
(Ryan's method)

pair	t	p	sig.
3-1	3.187	0.005	s.
3-2	1.165	0.258	n.s.
2-1	2.023	0.057	n.s.

MSe=13.95, df=20, significance level=0.05

変数 1: マダガスカル 変数 2: インド 変数 3: イギリス

示条件の交互作用は有意傾向があった ( $F(5, 50)=2.063, p=0.0858$ ). また, 呈示条件の主効果に関して, 下位検定 (Ryan 法) をおこなった結果, 呈示条件イギリスとブラジル ( $t=3.791, p<0.001$ ), 呈示条件イギリスとマダガスカル ( $t=3.153, p<0.005$ ), 呈示条件カナダとブラジル ( $t=3.551, p<0.001$ ), 呈示条件カナダとマダガスカル ( $t=2.913, p<0.01$ ) のときに有意な差があった. このポインティング行動の影響を確認するために, 初期運動方向と基準の国 (オーストラリア) からの順序的な距離との間に有意な相関があるかどうかを無相関検定により解析した. その結果, 有意に相関があることが示された (すべての被験者の場合,  $r=0.462, N=72, p<0.01$ ; 経験被験者のみの場合,  $r=0.577, N=36, p<0.01$ ; ナイーブ被験者のみの場合,  $r=0.309, N=36, p=0.0665$  有意傾向). さらに, 初期運動方向と基準の国 (オーストラリア) からの順序的な距離との相関係数を解析した結果, 有意に正の相関があることがわかった (経験者: 平均相関係数  $r=0.32, t(5)=5.01, p<$

0.01 ; ナイーブ : 平均相関係数  $r=0.22$ ,  $t(5)=12.05$ ,  $p<0.01$ ).

本実験から世界地図上の国々の地理的な位置関係 (世界地図の表象) が被験者の運動軌道の結果に反映していることが示された。これは Song と Nakayama の実験および実験 1, 2 で示された数字のかかわる脳内の視覚的な表象の行動への影響と同様の効果が、地図の表象へも拡張できることを意味する。

## 5. 総合考察

実験 1 では、Song と Nakayama のポインティングの実験をマウスによるカーソルの移動で追試し、数直線の表象 (心的数直線) が運動軌道に影響することを確認した。この影響を確認するために、(1) 呈示された数字ごとの 0-100% に正規化された時間に対するマウスの空間位置の平均偏差、(2) 呈示された数字ごとの正規化時間帯 0-20% のマウスの初期運動方向、(3) マウスの初期運動方向と基準数字から呈示された数字との差の間の相関、の 3 つを分析した。その結果、呈示された数字に依存してマウスの空間位置の平均偏差および初期運動方向が有意に変化し、マウスの初期運動方向と基準数字から呈示された数字との差の間に有意な相関がみられた。この結果は、与えられた課題がある目標点へのカーソルの移動であるにもかかわらず、数直線の位置に対応して手の運動軌道がずれることを示唆する。被験者は、目標点へのカーソル移動をできるだけ早くおこなうことに専念していることを考えると、このずれは意識的な行動計画とは独立なものであり、行動に対する心的数直線の無意識的な影響と考えられる。実験 2 では、数直線以外の 2 次元表象を用いて、実験 1 と同様の分析をおこなうことでこの効果を検討した。その結果、数直線の場合と同様に時計盤状の配置に対応して軌道がずれる傾向があることが明らかになった。実験 3 では、数字に関連しない 2 次元表象として世界地図を利用し、実験 1 と同様の分析をおこなった。ここでは国名とカーソル移動の方向に関連づけた課題

を設定し、世界地図の表象のカーソル移動への影響について検討した。時計盤の場合と同様に地図上の位置に対応したマウス移動方向のずれが確認され、世界地図の表象がポインティング行動、特に行動初期の運動方向に影響することが明らかになった。以上の結果から、Song と Nakayama の発見した心的数直線のポインティング行動への影響は、2 次元の視覚表象についても同様にあらわれるということができ、視覚表象一般がそれと関連する行動に無意識的な影響を与える可能性を示す。特に、行動開始の初期においてその影響が顕著であることは、行動に対して意識的な制御に先立つ無意識的な制御があり、そこに視覚表象が関連していると考えられる。これは視覚情報に基づき行動する際の特性であると考えられるが、詳細なメカニズムについては今後の検討課題である。

マウス移動の軌跡全体への影響に関しては、経験被験者でのみ Song と Nakayama の報告に類似した効果がみられ、ナイーブ被験者のみの軌道からは統計的には有意な傾向が得られるが、経験被験者ほど明らかな影響は得られなかった。この傾向は、得られた効果が視覚表象の行動への無意識的な効果であるとの Song と Nakayama の主張とは一致しない。被験者グループの違いとしては、実験環境への慣れや実験課題の理解の程度などのほかに、Song と Nakayama の研究についての知識の有無があった。Song と Nakayama の研究に対する知識などの高次の処理が問題であれば、行動応答のより早い段階ではそのような高次処理の効果は小さいものと思われる。そこでわれわれは、より無意識的あるいは自動的な影響が反映すると考えられる行動開始直後の運動方向についての解析をおこなった。その結果はすべての実験において、経験被験者とナイーブ被験者両群で有意に空間表象に対応する軌道のずれがみられた。この結果は、心的数直線、時計盤表象、および世界地図表象が、行動に対して無意識的な影響を与えることを強く支持する。本研究において刺激呈示から運動開始までの反応時間は実験 1 から順に経験被

験者の平均で 369 ms, 513 ms, 605 ms であった。これらの時間と、意識的な感覚を引き出すのに 500 ms 必要であるとの Libet の主張<sup>7)</sup>を考慮すると、運動初期の段階に高次の判断が含まれる可能性は低い。

軌道全体についてナイーブ被験者で大きな影響がみられなかった理由は明らかではない。Song と Nakayama の実験は、ナイーブ被験者のみが参加していることから、知識の影響がなくても軌道のずれが生じるはずである。われわれの実験で、同様の傾向がみられなかった原因は Song と Nakayama の実験との違いにあるはずである。Song と Nakayama の実験との大きな違いは、彼らは指先によるポインティング課題を利用しているのに対して、われわれはマウスカーソルの移動を測定した点である。指によるポインティング行動はマウスによるカーソル移動よりも、より多くの経験に基づく直接的なものといえる。すなわちポインティング行動のほうがより自然な行動であるため、無意識的な効果をより強く反映するとの推測が成り立つ。被験者グループにより違いがあらわれた原因としては、経験者全員が数直線の研究についての知識があり、それが結果に影響した可能性が挙げられる。しかし、被験者が故意に軌跡を制御したとは考えにくい。運動までの開始潜時を比較すると、実験 1 と実験 2 では経験被験者群が有意に小さく、実験 3 では有意な差がみられず、経験被験者はナイーブ被験者よりも早く応答を開始する傾向がある。実験結果を意図して行動したとすれば、経験被験者の応答時間はむしろ長くなると考えられる。一方で初期運動方向では、両被験者群において明らかな視覚表象の影響がみられたことを考えると、その後の運動方向補正の有無や程度が、被験者群に依存した可能性がある。ナイーブ被験者は、正確にマウスを移動するためにずれの修正に多くの注意を払った可能性があるのに対して経験被験者は、軌道がずれることが問題にならないと知っていたため、軌道修正よりも目標位置に早くカーソルを移動することにより多くの努力を払った可能性がある。

さらに、経験被験者は研究についての知識があるため、課題実行中のイメージの想起のしやすさや、運動課題への習熟度が高いことなどが影響した可能性もある。いずれにしても、行動の初期段階では視覚表象の無意識的な影響が優勢であり、その後は知識に基づく判断や課題への習熟などの影響がより顕著に生じると考えると、実験結果と整合する。もちろん、この推測の妥当性については、ナイーブ被験者に本実験以上に訓練する、あるいは後に実験をおこなうなど実験的な検討が必要であり、今後の検討課題である。

次に各表象の反応時間（行動開始潜時）への影響について考察する。実験 1 の開始潜時は、基準数字（5）との差が大きくなると減少する傾向が両被験者群においてみられた。これは、Song と Nakayama の研究を含む心的数直線に関する先行研究と一致した結果である。実験 2, 3 では呈示条件による応答時間の違いはほとんどなかった。これは、反応時間への時計盤の表象の影響を示した Bachtold の研究と異なる<sup>6)</sup>。この違いは、おそらく課題の違いで説明できると考えられ、Bachtold の研究ではボタン押しの反応時間を測定しているが、本実験ではマウスカーソルの移動による応答を測定した。マウス操作においては、応答時間を優先させたときに運動軌道の制御、特に意識的な制御がより不正確になるような反応時間と運動軌道の正確さのトレードオフがあり、条件間の差は、軌道のみにも現れることがあり得る。ボタン押しと違い、ポインティング課題では運動開始後に被験者は運動（応答）を修正することができるため、被験者は応答時間を一定に保ったまま十分な精度で課題を遂行することが可能である。

実験 3 では、国名を刺激としたが、文字刺激そのものがポインティング課題に影響することが Spivey らによって報告されている<sup>8)</sup>。彼らは、目標に対して類似した名称の妨害物が存在すると、目標に向かう運動軌道は大きく湾曲して妨害物に引き寄せられることを報告した。たとえば、“candy” に対してある位置、それ以外では

別の位置を指さす課題において，“candle”という妨害刺激によって“candy”に対するポインティング位置へ軌道がずれる。これは、視覚表象と同様に文字認識と感覚行動系の親密な関係があることを示唆している<sup>9)</sup>。そのような点を考慮して、われわれは実験3において「東」「西」「南」「北」のような方角を含む国名を除外した。それでも国名が文字としての影響を全く与えなかったと断言することはできないが、それが地理的な配置と同じ影響を偶然に与える可能性を考える必要はないと考えられる。実験3の結果は、世界地図の視覚表象が、行動に対しておそらく無意識的な影響を与えることを示すといつてよいであろう。

## 6. 結 論

本研究では、数直線、時計盤、世界地図などに対する内部表象が、行動に対して与えられた課題とは無関係な影響を与えることを示した。これらの表象の影響は、被験者がおこなうべき課題と相反するものであり排除すべきものだが、意識的には排除できないことを意味する。すなわち無意識的な影響であるといえる。特に運動初期において安定した影響がある点も無意識的な処理の影響である可能性を支持する。これらの結果は、行動に際して関連する視覚表象が無意識的に参照され、行動に影響を与えることを意味する。これは、敵や捕食者からの逃走など、瞬時の判断が必要な場合において有効な機能であると考えられるが、一方で数と行動という一見関係のなさそうなところにも効果がある点は興味深い。今後さらなる検討によって、その詳細が明らかにされることが期待される。

## 文 献

- 1) J. H. Song and K. Nakayama: Numeric comparison in a visually-guided manual reaching task. *Cognition*, **106**, 994–1003, 2008.
- 2) S. Dehaene, E. Dupoux and J. Mehler: Is numerical comparison digital? Analogical and symbolic effects in two-digit number comparison. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **16**, 626–641, 1990.
- 3) S. Dehaene, S. Bossini and P. Giraux: The mental representation of parity and numerical magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General*, **122**, 371–396, 1993.
- 4) S. Dehaene, Dehaene-Lambertz and L. Cohen: Abstract representations of numbers in the animal and human brain. *Trends Neuroscience*, **121**, 355–361, 1998.
- 5) R. S. Moyer and T. K. Landauer: Times required for judgments of numerical inequality. *Nature*, **215**, 1519–1520, 1967.
- 6) D. Bachtold: Stimulus response compatibility in representational space. *Neuropsychologia*, **36**, 731–735, 1998.
- 7) B. Libet: The Timing of Mental Events: Libet's Experimental Findings and Their Implications. *Consciousness and Cognition*, **11**, 291–299, 2002.
- 8) M. Spivey, M. Grosjean and G. Knoblich: Continuous attraction toward phonological competitors: Thinking with your hands. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **102**, 10393–10398, 2005.