

## 線分提示角度差異の視触覚融合に与える効果

飯田 亮介 奥戸 あかね 柳田 康幸 前田 太郎 舘 暲\*<sup>1</sup>

## Effect of Angle Difference between Visual and Haptic Virtual Lines on Sensory Integration

Ryosuke Iida Akane Okuto Yasuyuki Yanagida Taro Maeda Susumu Tachi\*<sup>1</sup>

**Abstract** - In virtual reality systems, which can be operated with a hand, it is necessary to provide not only visual information but also haptic information. In most conventional virtual reality systems, however, visual information and haptic information are displayed separately, which makes it difficult for humans to feel they are the same object. It is desirable if we can touch where we can see. In order to accomplish such systems, it is important to realize how humans perceive real objects. In this paper, human perceptual characteristic when visual information and haptic information are displayed simultaneously, is studied, particularly on the perception of a rotational angle of a line on a certain plane. It is found that the angle difference between a displayed visual line and a displayed haptic line exists in order to fuse the visual and haptic sensation, and it is dependent on a rotational angle of the displayed line. It is also revealed that the proprioception is superior to the cutaneous sensation, and that the characteristics by a right hand and that by a left hand are similar.

**Keywords** : virtual reality, visual sensation, haptic sensation, cutaneous sensation, proprioception, threshold, subjective equivalent angle

## 1. はじめに

仮想世界で視覚情報に加えて手を使った操作が可能になってきた今、仮想世界の中にある仮想物体を操作する場合に触覚のフィードバックが不可欠である。すなわち見ている物体を自分の手で触れ、それを触覚で感じる必要がある。このような視触覚を融合させた形で情報提示を行うディスプレイの研究が盛んになりつつある [1][2]。

現在考えられている仮想空間では視覚と触覚の提示は全く別々に行われているがこのような視覚と触覚の提示を同時に行うバーチャルリアリティシステムを構築する際に、それら別々の対象を如何にして自然に同一のものと人間に認識させるかが大きな課題となっており、より高度な現実感を与えるためには人間の知覚メカニズムの解明が重要である。

こうした視触覚融合の基礎的な研究としては、呉ら [4] や前田ら [3] による研究があり、前者は物体の形状認識、後者は点の位置の認識の、視覚と触覚の差異が調べられている。

我々は呉らと同様に、視覚を提示した際に、視覚に対しての触覚の形状認識について検討するが、本研究では、呉らの物体の長さ、曲率に対し我々は一本の線分を考え、その傾きの認識に焦点をあてて実験を行

なった。

本研究では、人間が視覚と触覚のずれの認識についてどの程度の許容範囲があるか、また、物体の形状を認識する際に皮膚感覚と固有受容感覚のどちらを優先させているかについて実験的に調べる。

## 2. 実 験

## 2.1 実験装置

本実験では、図1のような実験装置を作成した。

## 2.1.1 触覚提示部

- 触覚情報の提示には、アルミの棒を用いた。被験者が触れる部分は線分として認識するために鋭く加工されており、人間が強い力でおしても歪むことがないくらい十分な太さがある (図2参照)。また、この棒はモーターを用いて制御しているがやはり人間が強い力でおしても傾きが変わらない程度のトルクを持っている。

- 棒の両端は触れることが出来ないようになっている。これは被験者が線分の傾きを認知しようとする際に純粋に線分の傾きの情報だけを与え、棒の両端の点の位置の情報を与えないようにするためである。棒の触れることの出来る長さは9cmで、水平面内で回転させる。

- 棒は下から触れるようにした。これは、被験者は棒を上から見、棒は常に全体像が見えているが、上から触れると自分の指によって棒の一部が遮弊さ

\*1: 東京大学 工学部

\*1: Faculty of Engineering, the University of Tokyo

れなくてはならないため棒の全体像が見えているのは現実の環境と矛盾する。一方、下から触れる場合は棒の全体像が完全に見えているはずであり、現実の環境により近くなると考えられるためである。

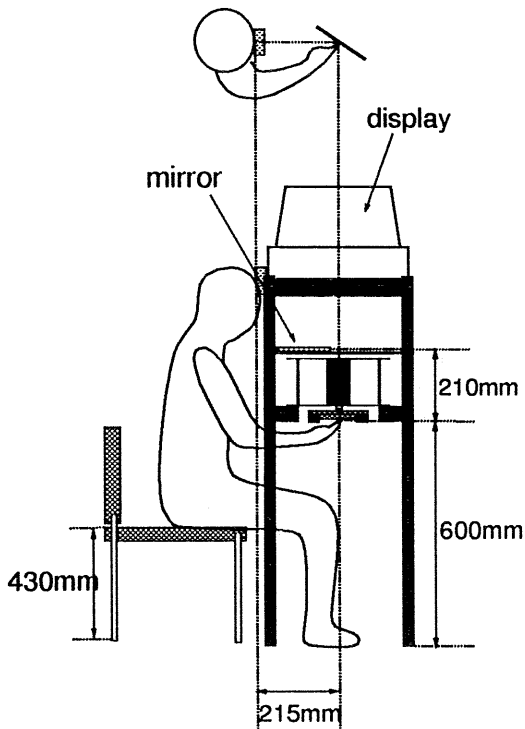


図1 実験装置

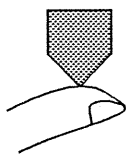


図2 棒の断面図

### 2.1.2 視覚提示部

- 視覚情報の提示には、ディスプレイ上で線分を描き(青)その画像を鏡で反射させて行った。
- 視覚提示の線分も水平面内で回転し、触覚提示の棒との長さ及び回転中心は同じで、各々は傾きだけが異なる。

鏡による重反射の影響を考えて画像の輝度は十分絞った。ディスプレイの歪曲による線分の歪みは人間が知覚出来ない程度であった。

### 2.2 測定法

極限法を用いて実験した。というのはこの手法が精神物理学的測定法の代表的な手法であり各種の恒常誤差が入ってくる可能性があり、想定条件にやや無理なところがあるという短所を持つ反面、手続きが簡単で実施も容易であり、再現可能性の点で優れているなどの長所があるからである[5]。

## 2.3 実験

### 2.3.1 被験者に行わせる作業

- 視覚から得られる線分の傾きが触覚から得られる線分の傾きに対して「大」、「等」、「小」の三つからマウスボタンを用いて回答する。
- 動かすたびに被験者には目を閉じる。

### 2.3.2 実験環境

- あらかじめ被験者には見ている棒と触っている棒の回転中心回転平面及び長さが完全に一致していることを伝えた。
- 回答する際に時間制限をすると的確な判断が困難になると考え時間制限は設けなかった。
- 実験中は部屋を暗くしディスプレイ上の線分以外は何も見えない状態で行った。

### 2.3.3 手順

- 視覚提示の線分は固定させ、触覚提示の棒を動かす。
- 視覚提示より明らかに小さい傾きの触覚提示を与え、触覚提示の傾きを徐々に大きくしていく上昇系列とその逆の下降系列を交互に行ない、これを7回繰り返す。
- 初めの2回は7.2度ずつ動かし、残りの5回は3.6度ずつ動かす。この値は予備実験の結果から決定した。
- 傾きの初期値は実験者がランダムに決める。

これを視覚提示の角度を各々 0.0度、22.5度、45.0度、67.5度、90.0度、112.5度、135.0度、157.5度に設定して、合計8セットの実験を行なう。ここで、0.0度とは被験者の両眼を結ぶ直線に平行な傾きで、それ以外の傾きはその直線から反時計周り(右手)あるいは時計周り(左手)に各々の角度だけ回転させた傾きをいう(図3)。1セットに要する時間は20分~30分程

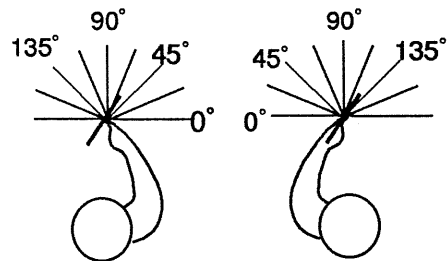


図3 傾きのとり方

度である。手の位置情報の視覚フィードバックを用いないこのような閉ループ系では、手の位置に関する視覚情報を長時間遮断した場合、手動作の位置精度が劣化するが、動作直前に手の目視確認を行うと著しく改善されるということが知られている。従って1セット終了する毎に部屋を明るくし休憩を入れ、手の目視確認を行なった。

## 2.4 被験者

被験者は21～32歳の男性4名、女性1名で全員右利き、眼鏡使用者1名である。

## 2.5 実験の分類

実験は下記の3種類について行った。

### 実験1 右手の人指し指で直接棒に触れる実験

この実験で被験者が傾き知覚に用いる感覚は皮膚感覚と固有受容感覚の両方である。これは人間が物体を触ろうとする最も自然な条件である。実験2及び実験3の結果は、この実験1と比較して考察を行なう。

### 実験2 右手の人指し指の皮膚感覚を遮断して触れる実験

被験者の皮膚感覚を遮断して行なう実験で実験1と比較することで皮膚感覚を失った時にどのような影響が出るか、傾き知覚において固有受容感覚と皮膚感覚のどちらが優位に機能しているかを調べるための実験である。具体的には指の先に厚さ2mmの半筒状の亚克力板をはめ、さらにその上にガーゼをつけた(図4)。亚克力板で皮膚感覚は完全に遮断されるがその上にガーゼをつけたのはガーゼの摩擦を利用して棒を触る時にしっかりと棒に沿って(棒に対して垂直な方向へ動かないように)手を動かしやすいためである。

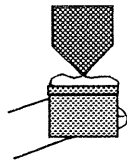


図4 指先につけるキャップ

### 実験3 左手の人指し指で直接棒に触れる実験

実験1と比較することで右手と左手の間、もしくは利き腕とそうでない腕との間にどのような相違が見られるかを調べるために行う。なお、実験3については男2人、女1人の合計3人の被験者に対して実験を行った。

各々の実験について弁別閾と主観的等価点の平均と標準偏差を求めた。この研究では弁別閾と主観的等価点は一般的な方法にならない以下のように定めている。

**弁別閾** 相違が認識できるところとできないところの境界に当たる刺激変化量。通常の測定条件では一つの標準刺激が与えられこれに対し若干の刺激の増加または減少が気づかれるか気づかれないかのちょうど境界にあたる値が上弁別閾、下弁別閾にあたる値であり、これらの値と標準刺激値または等価刺激値との差が上弁別閾または下弁別閾といわれる。上弁別閾と下弁別閾を平均したものを平均弁別閾という。本実験では弁別閾とは「大」反応と「等」反応

の境界値と「小」反応と「等」反応の境界値の差を2で割った値をいう。

**主観的等価点** 標準刺激と主観的に等しいと感じられる刺激値。「大」反応と「等」反応の境界値と「小」反応と「等」反応の境界値をたして2で割った値とした。

## 3. 結果と考察

実験では上昇系列、下降系列を7回づつ行なったが、3.6度づつ動かした5回のデータのみを用いて解析を行なった。横軸は視覚提示の実際の傾きである。

### 3.1 弁別閾

被験者全員の平均を図5に示す。弁別閾はどの実験についても4～6度位で、提示角度が異なっても、また実験1から実験3についても特に注目するような違いは見られなかった。

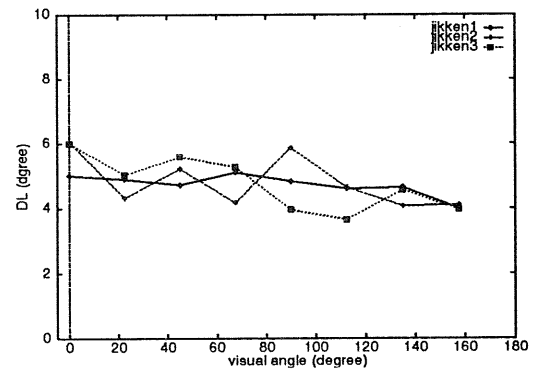


図5 各実験の弁別閾

### 3.2 主観的等価点

#### 3.2.1 実験1

図6は被験者Iの結果である。縦軸は視覚提示に対する触覚提示の相対的な傾き、横軸は視覚提示の傾きを示す(以下同様)。左から上昇系列、下降系列、両

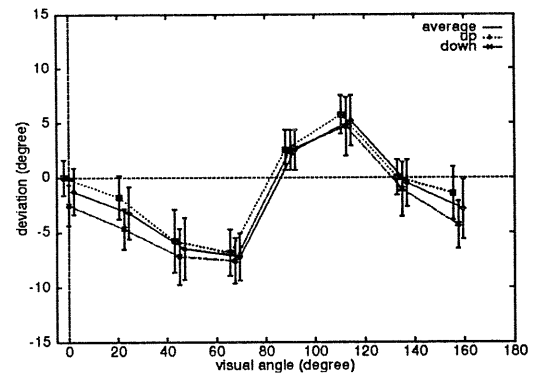


図6 被験者Iの実験1の結果

方の平均である。上昇系列、下降系列に優位な差は見られなかった。以後(図7～9)は、被験者全員の上昇

系列と下降系列の平均と標準偏差についてのみ、結果を示す。

被験者全員に以下に述べるような共通の傾向が見られた(図7)。縦の棒は被験者個人間の標準偏差である。

90度付近まではマイナスに、それ以降ではプラスになりさらに135度を過ぎると再びマイナスに戻るという傾向がほぼ全員に見られた。また、0度から90度までに比べて90度以降は被験者による個人差が非常に少なくなっていることが分かる。

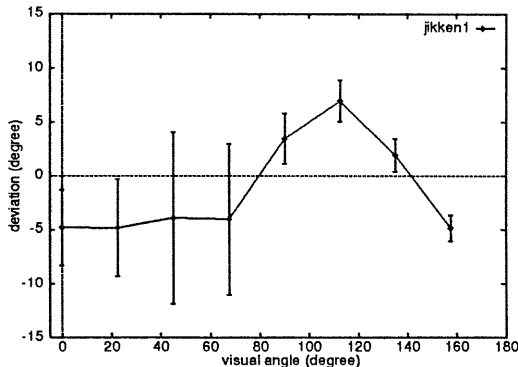


図7 実験1の主観的等価点

### 3.2.2 実験2

前述したようにここでは指先の感覚を遮断して実験を行った。90度付近までは実験1とほとんど変わらない。

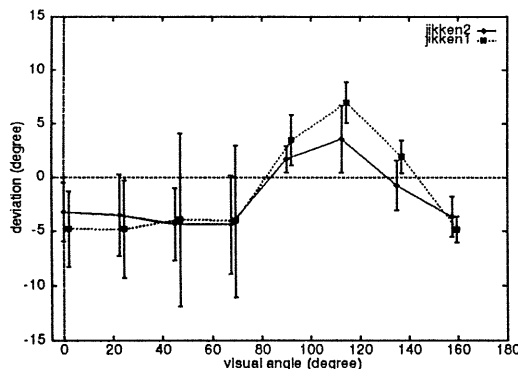


図8 実験2の主観的等価点

ず、112.5度、135.0度でやや異なるものの全体的には大きな変化はないといえる。この結果から皮膚感覚を遮断しても実験結果がほとんど変わらないことが分かる。すなわち、人間がある程度長さのある線分の傾きを触覚で知覚する時、皮膚触覚よりも肘もしくは肩の固有受容感覚に大きく依存しているといえる。

### 3.2.3 実験3

実験1に比較すると多少のバラつきはあるもののほとんどの被験者に同じような傾向が見られる。実験1のグラフと概形は類似している一方で、全体的にグラ

フがマイナスの方向にずれているという違いが見られた。これは、両者の零点が一致していないためと考えられる。

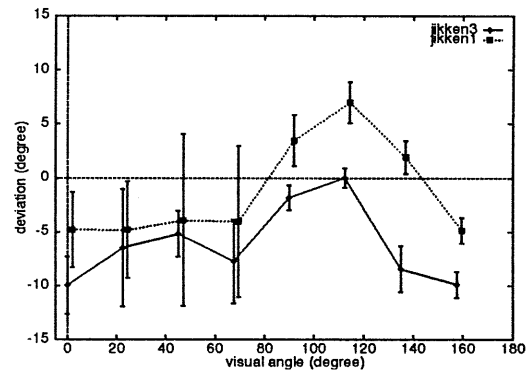


図9 実験3の主観的等価点

## 4. おわりに

本研究はある傾きを持った線分を視覚と触覚に対して同時に提示した時の知覚特性を明らかにすることが目的として行なわれ、次のような結果が得られた。

- 触空間上での線分の傾き知覚の角度依存性が個人によらず典型的に生じる。すなわち、触覚が視覚に対して、水平方向ではマイナスに偏り、90度以降ではプラス方向に偏る。
- 弁別閾は角度によらず4~6度位である。
- ある程度の長さのある線分の傾き知覚には、皮膚感覚よりも固有受容感覚に大きく依存している。
- 左右の手の触覚知覚の特性は、非常に類似している。

## 参考文献

- [1] 平田, 星野, 前田, 館: "人工現実感システムにおける物体形状を提示する力触覚ディスプレイ", 日本バーチャルリアリティ学会論文集, Vol.1, No.1, pp23-32 (1996).
- [2] 横小路, ラルフ, 金出: "仮想環境への視覚/力覚インターフェース: WYSIWYFディスプレイ", 日本バーチャルリアリティー学会論文集, Vol.2 No.4, pp17-26 (1997).
- [3] 前田, 館: "視覚性到達運動における両眼視と上肢位置感覚の統合", 計測自動制御学会論文集, Vol.29, No.2, pp201-210(1993).
- [4] 呉, 森田, 川村: "視覚と触覚における物体認識の差異について", 第13回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp943-944 (1995).
- [5] J.P.Guilford: "Psychometric Methods", McGraw-Hill(1954). J.P. ギルホード(秋重義治監訳): 精神測定法, 培風館(1959).

(1998年4月3日)