

上肢運動が多義的視運動刺激の知覚に及ぼす影響

石井雅博^{†1}

私たちが認知する視覚世界は、網膜像のみによって決まるのではない。例えば視覚刺激と同時に他の感覚刺激が与えられると、視知覚はその影響を受ける場合がある。本研究では、腕の能動運動、あるいは受動運動が視知覚に及ぼす影響を調べた。

Effect of Upper Limb Movement on Visual Multi-stable Perception

MASAHIRO ISHII^{†1}

Visual perception does not depend on only retinal information. An auditory or vestibular cue may affect visual perception. This study investigated if observer's manual control for the stimulus change removes ambiguity of kinetic depth effect.

1. はじめに

私たちが認知する視覚世界は、網膜像のみによって決まるのではない。例えば視覚刺激と同時に他の感覚刺激が与えられると、視知覚はその影響を受ける場合がある。聴覚刺激が視知覚に与える影響は古くから調べられてきた。例えば明滅する視覚刺激に対する主観的明滅速度は、同時に提示する聴覚刺激のフラッター周波数によって変化する(Shipley, 1964)。触覚刺激との統合も生じる。James & Blake (2004)は、二義的な運動知覚を生起する視覚刺激を用いて、掌への触覚刺激提示が視知覚に与える影響を調べた。彼らは、触覚刺激の同時提示によって視知覚が変調されることを示した。

触覚によるパターン認知のモードは能動触と受動触とに分類できる。また、触覚によるパターン認知では、手指を随意的に動かす能動触は受動触よりも優れていることが知られている(Gibson, 1962)。ここで新たな疑問が生じる。上述のJames & Blakeは受動的に与えられる触覚刺激が視知覚へ与える影響を示したが、観察者の随意運動は視知覚にどのような影響を及ぼすのであろうか。対象に働きかけているという観察者の意識は、対象の見え方を変えるのだろうか。観察者の運動はプリズム順応(Held, 1965)、3次元物体の形状認知(Harman, Humphrey, Goodale, 1999)、3次元シーンの認知(Christou, Bulthoff, 1999)などに影響することが報告されてきた。またMaruya, et al.(2007)は、両眼視野闘争事態を用いた検討を行った。両眼に著しく異なる刺激を提示すると、知覚は2つの刺激の間で不規則に揺らぐのだが、この両眼視野闘争のダイナミクスに観察者自身の身体運動が影響を及ぼすことを示した。具体的には、観察者自身が両眼に提示する2つの刺激のうち一方の刺激の運動

をコントロールする場合、この刺激は他方の刺激に対してより長時間に知覚されるという結果が得られた。この結果は、観察者自身の自発的運動が視知覚に影響するという可能性を示している。

本研究では、運動奥行き効果(kinetic depth effect)刺激を用いて、観察者の自発的運動が視知覚に影響を及ぼすか調べる。運動奥行き効果とは、二次元平面に投影された影からは元の三次元立体の形は分からないが、三次元立体を回転させ二次元平面に投影された影が動き始めると三次元立体の形が知覚される現象である(図1)。この効果による奥行き感強さは強力であるが、凹凸方向の知覚に関して曖昧性が残る。つまり、立体の回転方向が一意に決定できず、ネッカーキューブのように二義的解釈が可能である。運動奥行き刺激が提示されたとき、右回転あるいは左回転のどちらに見えるかは観察者には決められないし、右回転だと思って刺激を見続けていると、ある時点で急に回転方向が左に切り替わったりする。

前述したように、運動には能動的運動と受動的運動がある。つまり、随意運動が視知覚に及ぼす影響を調べるためには、非随意的な運動が視知覚に及ぼす影響を調べて、両者を比較する必要がある。そこで本研究では、視対象への能動的関与が視知覚にどのように影響するかを調べることを目的とした。

インタラクションシステムでは、ユーザはコントローラーやジェスチャー入力を用いてカーソルや自機を操作する。本研究では、対象を自分が操作しているという感覚によって、対象の認知が変容するかを調べる。本研究で明らかになることがインタラクションシステム的设计におけるデザイン指針の一助になることを期待している。

^{†1} 札幌市立大学
Sapporo City University

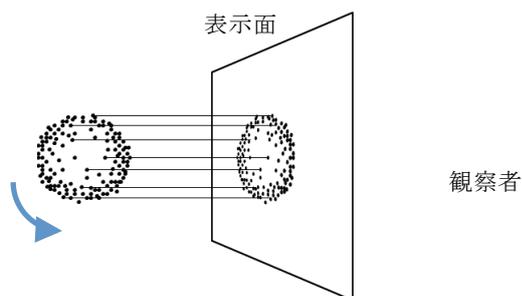


図 1 運動奥行き効果刺激
Figure 1 kinetic depth effect.

2. 実験方法

二義的に解釈可能な視運動刺激を用いて、刺激提示後に視覚的に知覚される回転方向を調べる。観察条件によってこのときの見え方がどのように変わるかを調べる。具体的には、体性感覚情報を同時に与えたときの見えたと、刺激を能動的に操作したときの見えたとを比較するなどして、刺激への能動的関与の効果を明らかにする。本研究では、被験者に提示する視覚刺激として運動奥行き効果刺激を用いる。この刺激を被験者に提示する複数回の実験を行って、刺激提示直後に知覚される回転方向の割合を調べる。

実験では、円筒表面に小点がランダムに分布するような刺激をシミュレートして用いる。パーソナルコンピュータベースの視覚刺激生成装置を用いて刺激を生成し、ディスプレイに表示するとともに、被験者応答の取得や実験の制御を行う。実験は暗室内で行い、ディスプレイ視距離は33cm、刺激の回転速度は15rpm、刺激サイズは視角10度、単眼観察とする。刺激は、暗黒中の白色ランダムドットとして表現する。刺激操作用のデバイスにはクランクハンドルを用いる。

被験者に対するディスプレイおよびクランクハンドルの配置は、図2のようにする。ハンドルのクランクの軸をディスプレイの下方に置き、刺激の回転軸とクランクの軸が同一直線上に乗るようにする。また、クランクの腕の長さと刺激の半径を同一とする。これは、被験者が刺激を操作している感覚を高めるための配慮である。被験者は裸眼あるいは矯正で正常な視力を持つ5名とする。

観察者に手を用いて運動奥行き効果刺激の回転を制御させ、知覚する回転方向に変化が現れるかを調べる。被験者にはハンドルを15rpmで回転させるよう指示する。また、回転速度を一定に維持するためにメトロノーム音を被験者に与える。被験者が回すハンドルには小さな回転ムラが生じるが、視覚刺激ではこのムラを排除し15rpmで回転させる。等速回転にするのは、条件間で視覚刺激を統一するためである。視覚刺激の生成は、計算機内の仮想的な三次元物体をコンピュータディスプレイ上に平行投影することで行った。パースペクティブに関する手がかりが欠落するの

で、奥行き曖昧性が生じる。この視覚刺激を観察した際の代表的な見えは、図3に示した4つであると考えられるが、被験者に提示した場合の実際の見えのほとんどは、図3の左側の2つのようなものである。つまり、右回転あるいは左回転である。なお本稿では、円筒の手前側が右方へ移動して見えている状態を右回転と表現する。

本研究では、もう1つの実験条件として、クランクハンドルをモーターで駆動し、視覚情報と同時に体性感覚情報を被験者に与える実験を行う。このとき被験者は能動的に手を動かすのではなく、バンドでハンドルに手を縛り付けて受動的に動かしてもらおう。この条件下での知覚される回転方向率を調べて、能動的操作の実験結果と比較する。

1回の実験試行では、まず画面の中央に注視点を提示する。このとき、腕は手前とする。その後、腕の回転方向が提示される。それに続いて、クランクハンドルの回転開始と同時にテストする視覚刺激を提示する。視覚刺激は1秒間提示され、画面は暗転し、その後、応答画面が表示される。実験中、被験者は実験刺激の中央部を注視し続けるように指示された。応答は、視覚刺激の回転方向を右回転・左回転の二者択一を強制選択するものであった。20回の能動運動実験を1ブロックとし、また20回の受動運動実験を1ブロックとして、これらを合わせて1セッションとした。1ブロック内では、試行される腕の運動の回転方向はランダムに決定された。各被験者は3セッションの実験に参加した。

実験に先立って、2つの予備実験を行った。1つ目の予備実験では、被験者は腕を用いない状態で視覚刺激を観察した。1回の予備実験試行では、まず画面の中央に注視点を提示する。その後、テストする視覚刺激を提示する。視覚刺激は1秒間提示され、画面は暗転し、その後、応答画面が表示される。実験中、被験者は実験刺激の中央部を注視し続けるように指示された。応答は、視覚刺激の回転方向を右回転・左回転の二者択一を強制選択するものであった。試行回数は60回であった。2つ目の予備実験では、注視点提示後に回転方向を提示した。腕は用いない。回転方向は右あるいは左がランダムに選択された。合計で60試行を行った。右回転とされた刺激と左回転とされた刺激は、同一であることに注意されたい。

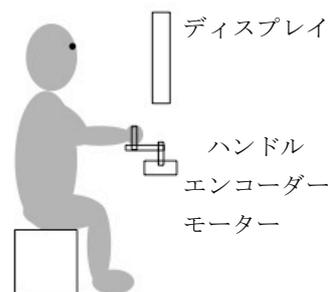


図 2 実験装置
Figure 2 Experiment apparatus.

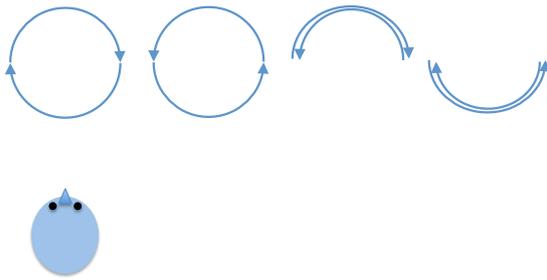


図 3 可能性のある知覚
Figure 3 possible perceptions.

3. 実験結果

(1) 予備実験の結果

予備実験の結果を図 4 に示す。青色のグラフは 1 つ目の予備実験の結果であり、右回転と知覚した割合である。赤色のグラフは 2 つ目の予備実験の結果であり、通知した方向と見えが一致した割合である。図 4 は 5 名の被験者の結果である。

1 つ目の予備実験での応答は右回転・左回転の強制二択による実験であるので、チャンスレベルは 0.5 である。結果は 0.4~0.7 に分布しており、右回転や左回りに偏った知覚をする被験者がいることを示している。χ 二乗検定を行った結果、被験者 C は右回転に偏った知覚をすることが分かった。

2 つ目の予備実験の結果から、刺激が提示される前に回転方向を示したとしても、その後に知覚される回転方向には影響しないことが分かった。

(2) 本実験の結果

視覚で知覚された回転方向が腕の回転方向に一致した割合を算出した。図 5 に結果を示す。青色のグラフは受動的に腕を運動した場合であり、赤色のグラフは能動的に腕を運動した場合の結果である。図 5 には 5 名の被験者の結果を示した。図 6 は 5 被験者の結果を 1 つにまとめたものである。誤差棒は標準偏差を表す。

受動運動条件での一致率と能動運動条件での一致率を比較すると、全ての被験者で能動運動条件での一致率が高いことが分かる。被験者毎に比率の差の検定を行った所、優位な差は認められなかった。5 名のデータを 1 かたまりとして比率の差の検定を行った所、能動運動条件での一致率の方が高いことが示された。

図 5 から分かるように、一致率には個人差がある。最も高い被験者では一致率は 0.9 を超えるが、最も低い被験者では 0.6 程度である。今回の実験手続きでのチャンスレベルは 0.5 であり、能動運動による効果には個人差がある。

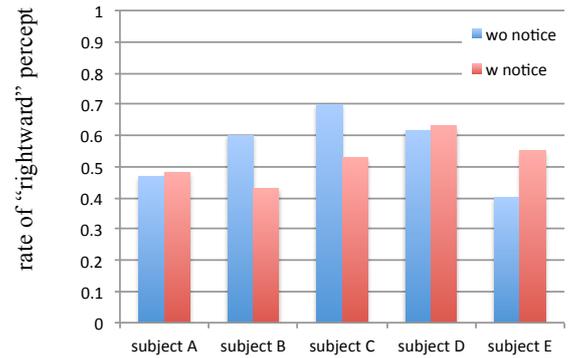


図 4 予備実験の結果

Figure 4 Result of preliminary experiment.

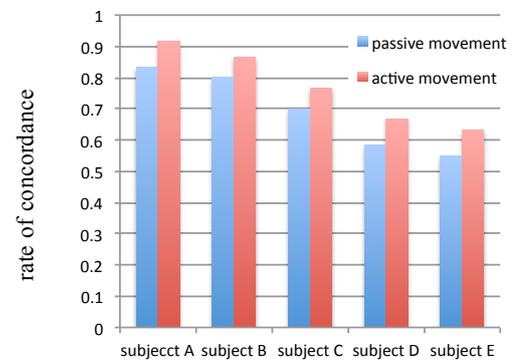


図 5 各被験者の結果

Figure 5 Result of each subject.

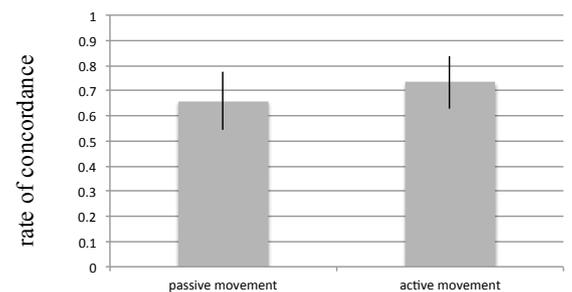


図 6 結果

Figure 6 Results.

4. 考察

Rogers & Rogers は頭部運動を伴った運動視差による奥行き知覚に関する実験を行い、被験者の頭部運動は知覚される奥行き方向の曖昧性を軽減することを発見した。本研究では、頭部運動でなく、腕の運動によっても同様に効果があることを示した。対象を操作しているというユーザの意識は、対象の見えを変調するということである。この変調の強さは、受動的な腕の運動感覚との統合よりも強いものであった。

能動運動による効果には個人差があった。対象を自分が操作しているという感覚の強さの違いが原因かもしれない。ハンドルを操作することで、対象が動くということは無意識的に確認しながら試行を行う被験者と、腕の運動は対象の運動を開始するトリガーのように捉えている被験者がいたのかもしれない。前者は腕-視覚のフィードバック制御的、後者はフィードフォワード制御的な行動に相当する。

5. おわりに

本研究では、視対象への能動的関与が視知覚にどのように影響するかを調べることを目的とした。実験の結果、自分が操作しているという意識は、視覚的な認知を変調することが分かった。インタラクションシステムでは、ユーザはコントローラーやジェスチャー入力を用いてカーソルや自機を操作する。対象を自分が操作しているという感覚は、環境との一体感を増す効果や視覚認知のリアリティを増す効果を生むと期待できる。このような操作感覚は *pseudo haptics* の生成にも関係している。今後は、これらの現象との関係を調べて行く必要があるだろう。

謝辞 本研究はJSPS 科研費 26330310 の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) Shipley, T.: Auditory flutter-driving of visual flicker, *Science*, Vol.145, No.3638, pp.1328-1330 (1964).
- 2) James, T. W., and Blake, R.: Perceiving object motion using vision and touch. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, Vol.4, No.2, 201-207 (2004).
- 3) Gibson, J. J.: Observations on active touch. *Psychological review*, Vol.69, No.6, p.477 (1962).
- 4) Held, R.: Plasticity in sensory-motor systems. *Scientific American*. Vol.213, No.5, pp.84-94 (1965).
- 5) Harman, K. L., Humphrey, G. K., and Goodale, M. A.: Active manual control of object views facilitates visual recognition. *Current Biology*, Vol.9, No.22, pp.1315-1318 (1999).
- 6) Christou, C. G., and Bühlhoff, H. H.: View dependence in scene recognition after active learning. *Memory & Cognition*, Vol.27, No.6, pp.996-1007 (1999).
- 7) Maruya, K., Yang, E., and Blake, R.: Voluntary action influences visual competition. *Psychological Science*, Vol.18, No.12,

pp.1090-1098 (2007).

8) Rogers, S., & Rogers, B. J.: Visual and nonvisual information disambiguate surfaces specified by motion parallax. *Perception & Psychophysics*, Vol.52, No.4, pp.446-452 (1992).

9) Lecuyer, A., Coquillart, S., Kheddar, A., Richard, P., & Coiffet, P.: Pseudo-haptic feedback: can isometric input devices simulate force feedback?. In *Virtual Reality, 2000. Proceedings. IEEE* (pp. 83-90). IEEE (2000).