

奥行き手がかりの有無が運動計画へ与える影響

The effect of stereoscopic depth to motor planning during reaching movements.

キーワード: アフォーダンス、両眼視差、運動計画

人間生活工学研究室 16TM1130 万 秋紅

■Abstract: The methods of previous studies regarding affordance were not standardized by experimenters. There were mainly two methods; participants were instructed to do reaching movements toward real objects or photographs of the object. However they considered the effect from two methods were same, there still remains doubt whether two methods evoke same motor planning. The purpose of this study was to examine the effect of stereoscopic depth to motor planning during reaching movements. In this experiments, participants were instructed to reach stereograms which were shown in the VR device. During the experiment, the reaction time and electroencephalographic signals were recorded. The finding showed that the stimuli having the stereoscopic depth evoked motor planning more preferentially.

■背景

Gibson(1986)は、動物は環境を知覚し、環境が与える意味によって行動しているとし、その環境が動物に与える価値や意味をアフォーダンスと概念化した¹⁾。また、デザインの領域では、Norman(1990)の知覚されたアフォーダンスが広く知られており、これを利用すると使いやすいデザインができるとされる²⁾。

これまで多くのアフォーダンスによる研究がなされてきたのにも関わらず、実験方法は統一されていない。特に、従来の実験で用いられた提示刺激については各研究で異なっており、主に二種類に分類することができる。一つはパソコンなどのスクリーンに物体を画像として提示する方法³⁾であり、もう一つは実際の物体を被験者の目の前に提示するという方法⁴⁾である。提示方法が異なっているにも関わらず、過去の実験結果から得られたデータは互いに引用し合っている。しかし、画像と立体物の認知においては様々な差異が確認されており⁵⁾、運動計画においても違いがあるのではないかと考えた。

今回の実験では、実験の統一性を図るため、奥行き手がかりの要因となるものの中で両眼視差を用いて画像と立体の刺激を用意した。

■目的

両眼視差の有無により運動計画に影響が見られるかを検証する。

■方法

被験者は大学院生 8 名(平均年齢:24.3±0.7 歳)でエジンバラ利き手テスト⁷⁾により全員右利きだった。また、被験者の視力に異常は認められなかった。

被験者はテーブルの前で椅子に座り、右手をテーブルの上に乘せた状態でタスクを行った。頭部には Visual Reality ヘッドセットにスマートフォンをつけた VR 装置を装着した。奥行き情報の無い平面条件と視差によって奥行き情報が付加された立体条件の刺激を提示され、それに対して指示通りの反応を行なった。測定対象刺激は、マグカップの取っ手の向きが利き手に一致/不一致の「向き」要因、および画像の提示方法が 2D/3D の「像」要因の組み合わせの計 4 条件であった。妨害刺激は、白い平板の 2D・3D 像の条件であり、計 6 種類の刺激が提示された(図 1)。被験者はマグカップが提示された時、取っ手の向きにかかわらず右手で到達運動をし、平板が現れた際には何もせずに待機するように教示された。

実験タスクは、測定対象刺激がそれぞれ 40 施行、また妨害刺激は

それぞれ 25 施行の計 210 施行が行われた。タスクのインターバルは 2.0±0.1~3.0 秒でランダムとした。実験では 70 施行を 1 ブロックとし、3 ブロック行なった。ブロック間には 5 分の休憩を挟んだ。

測定項目は、反応時間と事象関連電位だった。実験中、被験者は脳波と右手の手首に加速度センサーをつけており、刺激提示からテーブルから手を離すまでの時間を反応時間とした。また事象関連電位は、国際 10-20 法に従って Fz、F3、F4、Cz、Pz の脳波を測定し、サンプリングレートは 1000Hz、バンドパスフィルタは 0.1-35Hz に設定した。得られたデータは、アーチファクトを除外した上で各条件とも最低 25 回の加算平均を行った。解析対象成分は、N100 成分、P300 成分、N400 成分とした。

統計処理では、向き(一致、不一致)と像(2D、3D)の 2 水準の二元配置反復分散分析を行った。有意水準は 5%とした。

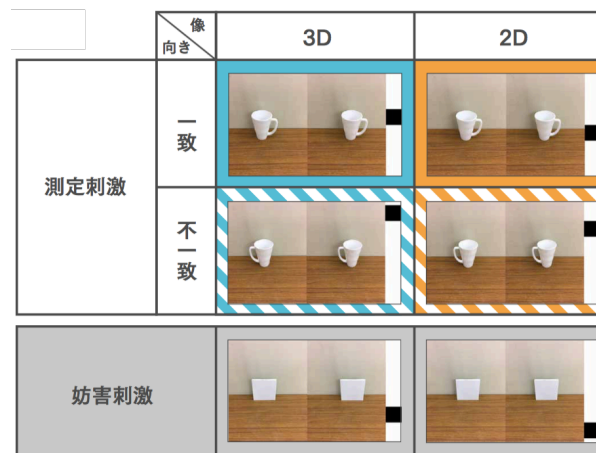


図 1. VR 装置内で提示されたそれぞれの刺激条件

■結果

図 2 に得られた全ての結果を示す。

反応時間においては、「向き」の主効果があり(p=0.030)、一致条件の方が不一致条件よりも有意に時間が短い結果となった。また、「像」でも主効果があり(p=0.049)3D 条件の方が 2D 条件よりも有意に時間が短い結果となった。

事象関連電位の N100 成分においては、F4 において「像」で主効果があり(p=0.035)、3D 条件の方が 2D 条件よりも有意に振幅が大きい結果となった。

P300 成分においては、有意差は見られなかった。

N400 成分の振幅において、Fz で「向き」の主効果があり(p=0.028)、一致条件の方が不一致条件よりも有意に振幅が大きい結果となった。また、「像」でも主効果があり(p=0.046)、3D 条件の方が 2D 条件よりも有意に振幅が大きい結果となった。

同様に、F4 においても「向き」の主効果があり(p=0.041)、一致条件の方が不一致条件よりも有意に振幅が大きい結果となった。また、「像」でも主効果があり(p=0.049)、3D 条件の方が 2D 条件よりも有意に振幅が大きい結果となった。

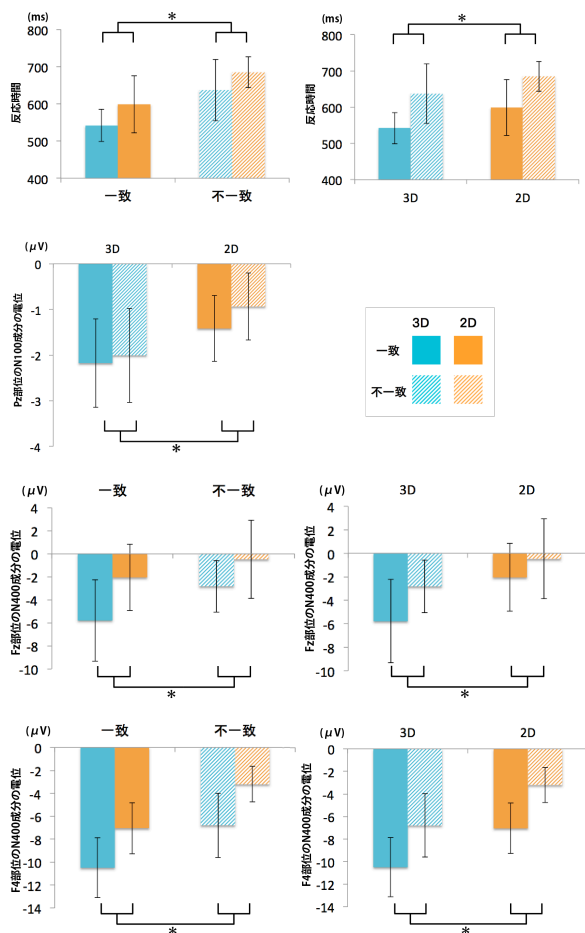


図2. 実験結果(上から反応時間、F4のN100振幅、FzのN400振幅、F4のN400振幅)

■考察

反応時間では先行研究と同様に一致条件の方が短い結果となった⁷⁾。また、2D条件よりも3D条件の方が運動計画時間が有意に短くなり、奥行き手がかりがある方がより早く運動計画を立てることができた。

視覚系において、奥行きなどの運動に関わる情報は、背側視覚路によって処理される⁸⁾。この背側視覚路に属するMT野の細胞が奥行き知覚課題に機能的に関わっていると言われている⁹⁾。多くのMT野ニューロンは両眼からの入力刺激に特定の視差があると応答が増大する視差選択性を有するという研究報告もなされている¹⁰⁾。PzはMT野領域に近く、この部位で像の違いによる有意差がみられたのは、背側視覚路を通ってきた奥行き手がかりによって活動したためだと考えられる。このため、Pzで発生したN100成分の振幅の差は両眼視差によるMT野内のニューロンの賦活によるものであるといえる。

到達運動に関する先行研究で得られてきたP300成分は、空間に対する注意や認知によるものであるとされる¹¹⁾。空間認知には対象物と自身の体との相対的な位置関係を得る必要がある。今回の結果で全体的に有意差がみられなかったのは、被験者が常に同じ体勢で提示された刺激の位置も常に同じ場所だったため、被験者の到達対象と自分の腕に対する空間認知に差がなかったためだと考えられる。

頭頂部で400ms付近にかけてピークになる成分は運動前野の到達運動計画による働きであるとされ、Motor-related N400と呼ばれている¹²⁾。FzやF4の振幅で有意差がみられているのは、視覚処理を含めて運動計画を統合している脳の賦活を反映しているといえる。先行研究同様に、一致条件の方が運動計画がより早く処理された。

サルやヒトを対象にした脳機能イメージングやシングルセル研究から、物体の奥行き構造に敏感である皮質領域が分かっている¹³⁾。このネットワークには、把持運動に特化している運動前野腹側部の下位領

域であるF5aが含まれる。サルのfMRI研究¹⁴⁾によってF5aが視差による奥行き異なる曲面に対して活性化することを示した。

今回の実験で、像において奥行き手がかりの有無で差が生じているのは、FzやF4は運動前野に位置しておりF5aの賦活を反映しているのではないかと考えられる。また上記のF5aにおけるシングルセル研究では、視差による奥行きの有無で脳内神経細胞のスパイク数に有意差が表れており、今回の実験で主に振幅で有意差が現れていたことを支持する。以上から、奥行き手がかりがあることでより早く優位的に運動計画がされる可能性が示唆される。

■まとめ

今回の実験によって、奥行き手がかりのある立体条件刺激の方が有意に早く運動計画がなされることがわかった。このことから過去のアフォーダンスや運動計画において写真等を利用した研究の結果は、そのまま私たちの日常で発生する運動を論ずることは不適切であることが示唆された。

■引用文献

- [1] J. J. Gibson 古崎 敬訳 (1986) 生態学的視覚論 サイエンス社
- [2] Donald Arthur Norman 野島久雄訳 (1990) 誰のためのデザイン? — 認知科学者のデザイン原論 新報社
- [3] Proverbio AM, Adorni R, D'Aniello GE. (2011) 250 ms to code for action affordance during observation of manipulable objects. *Neuropsychologia*, 49(9):2711-2717
- [4] Maurizio Gentilucci. (2002) Object motor representation and reaching-grasping control. *Neuropsychologia*, 40:1139-1153
- [5] Jacqueline C Snow, Rafal M Skiba, Taylor L Coleman, Marian E Berryhill. (2014) Real-world objects are more memorable than photographs of objects. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8:831-837
- [6] Oldfield R C. (1971) The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*, 9:97-113
- [7] Bub DN, Masson MEJ. (2010) Grasping beer mugs: on the dynamics of alignment effects induced by handled objects. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 36:341-358
- [8] Herrmann CS, Knight RT. (2001) Mechanisms of human attention: event-related potentials and oscillations. *Neuroscience Biobehavior Reviews*, 25(6):465-476
- [9] 藤田 一郎. (2006) 両眼立体視の脳内機構 日本視能訓練士協会誌, 第35巻
- [10] J H R Maunsell, D C Van Essen. (1983) Functional properties of neurons in middle temporal visual area of the macaque monkey. II Binocular interactions and sensitivity to binocular disparity. *Journal of Neurophysiology*, 49:1148-1167
- [11] Tarantino V, De Sanctis T, Straulino E, Begliomini C, Castiello U. (2014) Object size modulates fronto-parietal activity during reaching movements. *The European journal of Neuroscience*, 39(9):1528-1537
- [12] De Sanctis, T, Tarantino V, Straulino E, Begliomini C, Castiello U. (2013) Co-registering kinematics and evoked related potentials during visually guided reach-to-grasp movements. *PLoS ONE*, 8, e65508
- [13] Janssen, P, Vogels R, Orban G A. (2000) Selectivity for 3D shape that reveals distinct areas within macaque inferior temporal cortex. *Science* 288:2054-2056
- [14] Joly O, Vanduffel W, Orban, G A. (2009) The monkey ventral premotor cortex processes 3D shape from disparity. *Neuroimage* 47:262-272