

道具使用における実体ネッカーキューブの 錯視変化に関する基礎的研究

堀内智貴[†] 上杉繁^{††}

使用する道具が「身体化」する現象を日常的に経験しているが、道具使用における顕在的な道具のパフォーマンス評価ではなく、潜在的なはたらきに関する調査・研究は十分に進んでいない。こうした問題に対して健常者を対象とした道具使用中の「道具の身体化」現象の評価方法の考案へ向けて、手で触れることに影響を受ける実体ネッカーキューブの錯視現象に着目した実験手法および実験システムの検討を行った。そして、錯視現象の起こり方（特に変化回数）に着目した実験を(a)視覚のみ、(b)視覚+指、(c)視覚+指示棒の3条件で行い、道具の使用が錯視現象に対して手で触れることと類似したはたらきをした可能性があることを示した。

Experimental Study on Perceptual Experience in 3D Necker Cube Illusion through Using a Pointing Tool

Tomotaka Horiuchi[†] and Shigeru Wesugi^{††}

People sometimes experience a phenomenon as if "a using tool became a part of their bodies". An evaluation method on such an underlying cognitive activity while using a tool has not advanced yet. In order to aim at proposing an evaluation method to investigate an extent of the phenomenon, authors have focused attention on perceptual experience in 3D Necker Cube illusion, in which Gregory reported that perception of the 3D cube was affected by touching the cube with hand. Authors devised an experiment system and performed an experiment under three conditions of (a) only seeing the cube, (b) seeing the cube while touching it with hand, and (c) seeing the cube while touching it with a pointing stick. As a result, authors found possibility that using a tool had an effect on perceptual experience similarly to touching with hand in the illusion.

[†] 早稲田大学大学院創造理工学研究科
Graduate School of Creative Science and Engineering, Waseda University

^{††} 早稲田大学理工学術院
Faculty of Science and Engineering, Waseda University

1. はじめに

ペンを使用して紙に文章を書いている際に、ペンの操作に特に注意を向けることなく自在に文字を書くことができる。あるいは、手に直接接触しているのはペンであるにも関わらず、紙の表面のテクスチャをそのまま理解できる。このような現象に対して、「道具へ身体が拡張している」や「道具が身体化する」などと、我々は日常的に呼んでいる[1]。前者の例は、道具をあたかも自身の手の一部として操作することが可能であるという身体行為に主に着目した場面であり、これに関係して Heidegger は、例えば大工が金槌で釘を打つ行為を普通は意識しないが、打ち損じたときに初めて金槌への意識が現れると指摘している[2]。また後者の例は、道具を身体の一部として外部環境と接することでその環境変化を直接知覚するという身体知覚に主に着目した場面であり、Polanyi は白杖を例にあげ、杖が手に与える衝撃が、杖の先で物を触れているときの感覚へと変化するという、意味のある感覚への変化の過程であると指摘している[3]。

以上に述べたように、「道具の身体化」が進んだ状態とは、道具の存在が顕在化しないことによって、道具としてのはたらきが生じているというような奇妙な状態であり、こうした観点を考慮して道具と人間の関係のデザインをする必要性は、Winogradらによってこれまでに主張されてきた[4]。昨今では、携帯電話や音楽プレイヤーを始めとした様々な道具・機械が日常的に「身体化」され始め、機能としてもまさに身体化を要するブレイン・コンピュータ・インタフェースやサイボーグに関する技術も現実の世界に現れ始めている。このような状況において、「身体化する道具」と人間の関係を検討する上で、あらためて「道具の身体化」という問題を扱う必要性が高まっていると考えられる。

一方で、パフォーマンステストやユーザビリティテストなどの、顕在化した道具と人間の関わりについて評価する方法や道具使用における脳・身体メカニズムについては多くの研究が展開されているものの[5]、上記に述べた「道具の身体化」という潜在的な関係性に着目した評価方法については発展途上である。

著者らはこうした問題意識のもとで、「道具の身体化」現象に着目したコミュニケーションシステムや身体化する道具のデザインの問題に取り組んできた[6]。

そこで、本研究ではあらたに、道具使用における潜在的なはたらきとして、認知活動への影響について調査する方法について実験的に検討したので報告する。

2. 研究方法

2.1 関連研究

「道具の身体化」現象という道具使用における潜在的な認知活動への影響について研究された事例をいくつか紹介する。

まずは、脳に損傷を持つ被験者に関しては、右脳損傷によって生じる交叉感覚種消去 (cross-modal extinction) という症状に着目した実験が報告されている[7]。この症状は、例えば右手近傍に光などの視覚刺激、左手に触覚刺激を同時に提示したときに左の触覚刺激を無視してしまう現象である。この被験者が右手で熊手状の道具を使用し、その直後に道具の先端に光刺激を与えると左手の触覚刺激を無視してしまう。しかし、道具を使用しない状況で同様の刺激を与えると触覚刺激に反応する。すなわち、道具使用によって手の近傍に光刺激を与えたときと同様の反応が道具の先端でも起こるようになることを示した。

また、健常者を対象とした研究として Cross-modal Interference と呼ばれる手法が考案されている[8]。これは両手にゴルフクラブ状の道具を持った状態で行う実験で、道具使用直後に両手の道具の先端部上下のいずれかから光刺激を与え、同時に握り手の上下2か所のいずれかに触覚刺激を与える。そして、道具をまっすぐ持った場合と交差させてもった場合において、光刺激による触覚刺激の上下の判別への影響を計測する。これにより、道具を操作している手において触覚刺激の反応が有意に変化することを実験的に示している。

以上に紹介した評価手法は、直接的な道具のパフォーマンスと明示的な関係がない視触覚統合という潜在的な認知活動に着目している点、道具を使用しない状態と使用した後の状態を比較している点に特徴がある。

2.2 実体ネッカーキューブ

著者らはこうした事例を参考に、健常者を対象とすること、道具使用中の状態を扱うことが可能であることを踏まえ、顕在化した現象とその潜在的なはたらきという関係に着目し、数多くの研究テーマが展開されている錯視現象の活用を着想した。

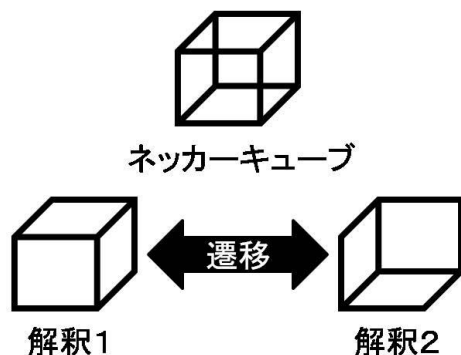


図 1 ネッカーキューブの錯視変化

一般的に知られている錯視現象として多義図形があり、例えば、ネッカーキューブ (図 1) においては、奥行き方向の見え方が自動的に変化することを簡単に経験できる。このような複数の見え方のある図形を見ている際には、それらの見え方が観察者の意思とは無関係に自発的に切替っていく現象が生じる。このような見え方の変化の要因として、まばたきやサッケード的眼球運動等の眼のレベルで生じる生理現象が考えられるが、その影響は十分に小さく、見え方の変化を特徴づけるほど大きな効果はもたないことが報告されている [9]。

著者らは、このネッカーキューブをワイヤーフレームにより立体的に作成した際に、その奥行き方向の見え方が同様に変化するとともに、手でフレームに触れることでその見え方の変化に影響を及ぼす錯視現象に着目した。この錯視現象は、先に研究した R.L.Gregory によると、そのネッカーキューブに手で触れることで奥行き方向の見え方の変化回数の減少や、実物の立方体の奥行きと同じ奥行きに見える時間が増加する(ただし、見え方の逆転を完全に防ぐことはできない) ことを報告している[10]。

以上を踏まえ著者らは、仮にこのような錯視現象を起こす実体ネッカーキューブに、身体化された状態の道具を操作して触れた場合には、手で直接触れた場合と同様の影響が生じるのではないかという仮説を考えるにいたった。そこで本研究では、この仮説を検討するための実験システムの開発とその実験に取り組んだ。

2.3 実験デザイン

実体ネッカーキューブを見た際の奥行きの見え方の変化が、道具を操作してそれに触れることでどのような影響を受けるのかを調査する必要がある。そのため、錯視現象が起きやすい実体ネッカーキューブや周囲の環境が必要であること、その錯視の変化を時間経過に伴って記録できる方法で被験者が報告する必要があること、そして少なくとも以下に示す条件下で比較実験をする必要があると考えられる。まず1つが、見え方の変化の基準として実体ネッカーキューブを見ているだけの場合、次に直接手で実体ネッカーキューブに触れながら見た場合、そして本研究の特徴である道具を介して実体ネッカーキューブに触れながら見た場合において実験する必要がある。

錯視が生じやすい実体ネッカーキューブと環境に関しては、Gregory の論文では夜光塗料を塗ったキューブを暗室に置くことで発光させ、それを片目で見ることにより遠近の差を減少させた状態で実験を行っていた[10]。一方本研究では、日常的に道具を使用する光環境を考慮してネッカーキューブを作成することにした。

また、実験時に実体ネッカーキューブの見え方の変化を被験者が報告する方法としては、上述したように実験条件として手や把持した道具で直接実体ネッカーキューブに触る必要があり、さらには両手操作による影響などを調査することもふまえると、手で操作するボタンやスティックなどの入力装置以外の方法で報告する必要がある。その方法としては音声や口腔の動きによる報告や、足による入力機器の操作あるいはその他の身体箇所を活用する方法が考えられる。

音声や口腔による方法では、その動きによって頭部や視線が動いてしまい、見る対象が移動してしまう可能性があるため、足の動きによって見え方の変化を報告する方法を考案することにした。

最後に、実験条件として道具を使用して実体ネッカーキューブに触ることに関しては、使用する道具は多くの被験者がこれまでに使い慣れており、意識することなく自在に操作可能であること、すなわち既に身体化されていると想定されるものとして、構造や機構が簡素な道具である「指示棒」に着目した。また、手で触る条件でも指示棒操作に近い動かし方で実体ネッカーキューブに触るように注意する必要がある。

3. 実験システム開発

2章で述べた実験デザインの必要事項に基づき、観察対象である実体ネッカーキューブと、その見え方を報告する入力装置より構成される実験システムを構築した。図2に実験システム使用中の様子とその構成を示す。

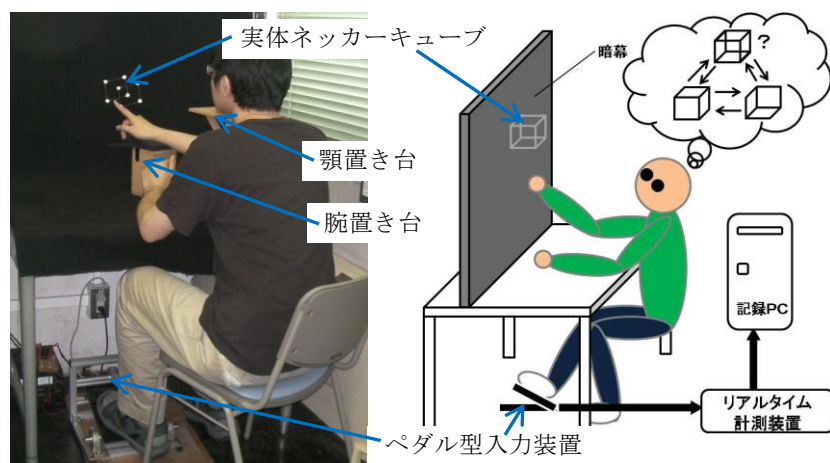


図2 実験システム構成図

まず実体ネッカーキューブについては、日常的に道具を利用する通常照明下の環境で、かつ両目で見た場合でも錯視現象を起こすことが可能なキューブを、太さ1[mm]のピアノ線を用いて製作した（以下、このキューブを実体ネッカーキューブと呼ぶ）。その大きさは、手で触れられる距離から実体ネッカーキューブの頂点を見た際に、実体ネッカーキューブ全体が視野に入るような大きさとして1辺が70[mm]とした。

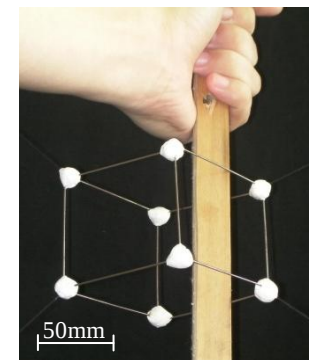


図3 実体ネッカーキューブ

そして、実体ネッカーキューブは、環境の側から奥行き方向の手掛かりを生じさせないように暗幕の前に設置する。そして被験者が手や道具で自由に触れることのできる位置に設置し、見る際には被験者には頭部を顎置き台上に固定することで眼の高さや位置が実験中に一定となるようにした。

さらに、被験者が実験中に指や指示棒によって実体ネッカーキューブに触る際に手首を置く台を設置することで被験者の腕への負担を減らすようにした。

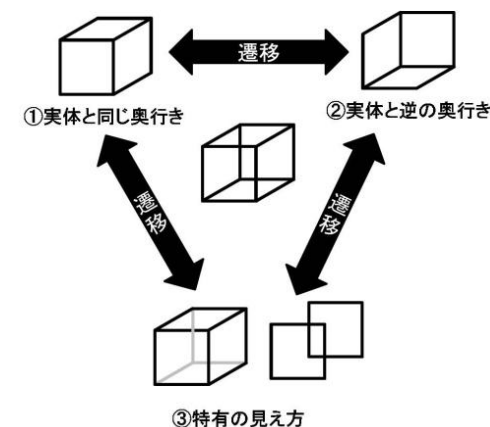


図4 実体ネッカーキューブの錯視変化

このようにして実体ネッカーキューブを見た際には図4に示すように、2次元画像

のネッカーキューブと同様の奥行きが反転した 2 種類の見え方のほかに、正方形が 2 つ重なった平面図形や、対角にある 2 頂点がどちらも手前に見えるという現実の立体ではありえない見え方が生じる場合がある。このような実体ネッカーキューブ特有の見え方は、奥行き変化とは異なって被験者における違いが大きいため、その他の見え方として一まとめにし、3 種類の見え方の変化として被験者が報告するようにした。

次に、足を踏み込む動作によって錯視現象の見え方の変化を報告する方法として、ペダル入力とした。しかし、市販のペダル入力スイッチは、オンとオフの 2 状態のみの判別で、見え方の 3 種類の状態を判別できないため、あらたに入力装置を開発した。

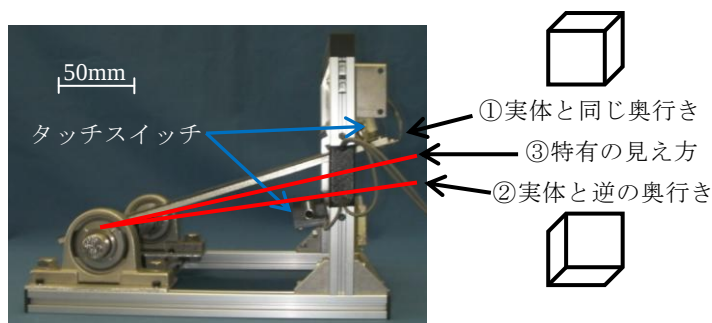


図 5 ペダル型入力装置

上述した実体ネッカーキューブの 3 種類の見え方の変化を、足の踏み込み具合によって入力できるようにペダル上下にタッチスイッチを設置し、①踵を踏み込んだとき（上スイッチ：ON）、②つま先を踏み込んだとき（下スイッチ：ON）、③つま先を軽く踏み込んだとき（両スイッチ：OFF）の 3 段階に 3 種類の見え方の変化を対応させて報告できるようにした（図 5）。

また、ペダル型入力装置からのデータはリアルタイム計測装置（サンプリング周波数：50[kHz]、分解能：24[bit]）によって上下のタッチスイッチの ON/OFF 信号を同期計測することで錯視変化データとし、ネットワーク通信を介して実験用 PC に記録される。

4. 錯視変化実験

4.1 実験方法

被験者 9 名（20-21 歳の成人男性）を対象に、以下の 3 条件下における実体ネッカーキューブの見え方の変化回数を調査する実験を行った。

(a) 実体ネッカーキューブを見ているだけの場合（以下、(a)視覚のみ）、(b) 指を実体ネッカーキューブの辺上を動かしながらキューブを見る場合（以下、(b)視覚+指）、(c) 指示棒を同様に動かしながらキューブを見る場合（以下、(c)視覚+指示棒）である（図 6）。

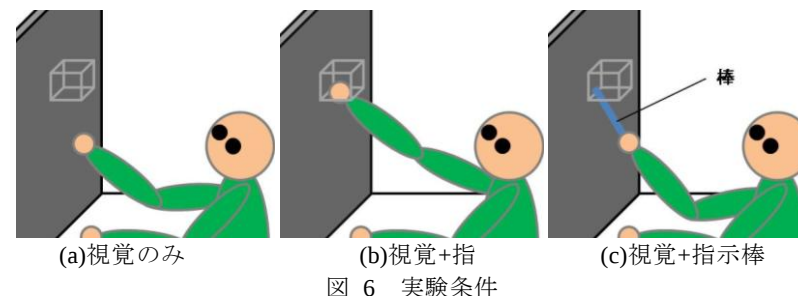


図 6 実験条件

それぞれの実験条件で 5 分間の観察を 1 試行とし、1 分間のインターバルを挟んで 2 試行を連続で行い、計 10 分間の錯視変化データを記録した。また各実験条件の実施順は被験者ごとにランダムで変更し、異なる実験条件の間には 2 分間のインターバルを挟んだ。また被験者にはインターバルの間は目を閉じるように指示した。

そして、実験開始前に被験者には 3 種類の見え方の説明、およびペダル型入力装置との対応に関する教示をし、意図的に見え方を制御して見ようとせず一番奥の頂点を注視点として実体ネッカーキューブ全体を見るように指示した。

また、指や指示棒で実体ネッカーキューブに触る条件では、触れてない実体ネッカーキューブの辺と、指や指示棒との重なりから辺同士の前後関係ははっきりしてしまい、見え方の変化を妨げるのを防ぐために、実体ネッカーキューブの奥の下辺のみを触れるように指示した。

なお、錯視現象などの知覚闘争の生起頻度は最初の数分程度で過渡状態を過ぎ定常期に入ることが報告されているので[11]、ペダル操作の習得も兼ねて実験開始時には 3 分間の報告練習を行った。

4.2 実験結果

ペダル型入力装置は図 5 に示したように、最上部と最下部の間で①→②あるいは②→①へと変化させる場合、真ん中の③の状態を必ず経てしまう。このようなペダルの移動によって生じる③の状態の時間は、実際に③の状態として報告する時間に比べてあきらかに短いので、閾値処理をすることによって除外する。これにより得られた錯視変化データから、各被験者の条件ごとの見え方の変化回数を図 7 に示す。

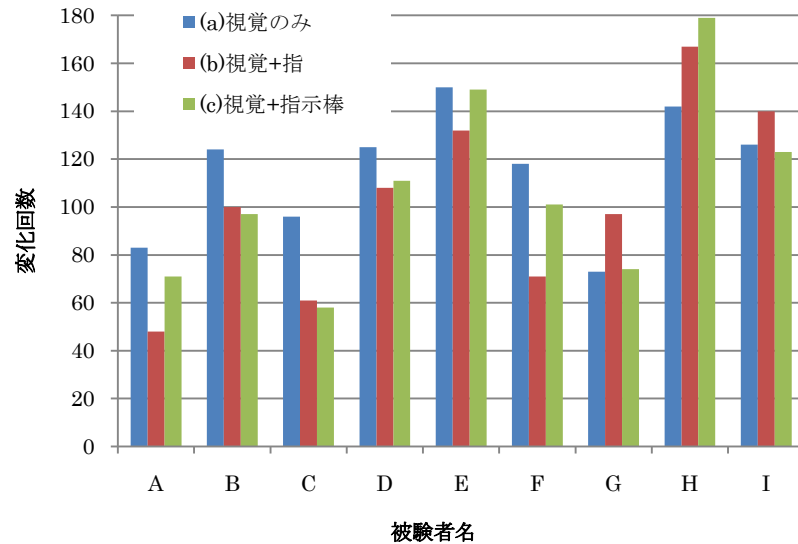


図 7 実験結果（被験者別）

図 7 の結果を踏まえると、(a)視覚のみの条件と比較して他の 2 条件では、ほぼ同じ変化回数である場合は見られず、全ての被験者において 15～30%程度の変化回数の差が生じていることが確認できる

5. 考察

3 条件間における見え方の変化回数の差について考察する。(a)視覚のみの条件と(b)視覚+指の差にのみ注目すると、A～F の 6 名においては、少なくとも(a)条件では、(b)条件より見え方の変化回数が多いことが分かる。その一方で、G～I の 3 名においては、その逆の結果として、(b)条件の方が見え方の変化回数が高いことが分かる。そこで、2 つのグループに分け、A～F の 6 名のデータのみを図 8、表 1 に整理した。

さらに分散分析の結果を表 2 に示すが、条件の効果は有意であった ($F(2, 10) = 7.56$, $p < .01$)。そして、Tukey 法を用いた多重比較を行ったところ、各条件での見え方の変化回数の平均の大小関係は『(a)視覚のみ > (b)視覚+指』 ($p < .01$)、『(a)視覚のみ > (c)視覚+指示棒』 ($p < .05$) となり有意差が確認できたが、(b)視覚+指と(c)視覚+指示棒との間には有意な差は見られなかった。

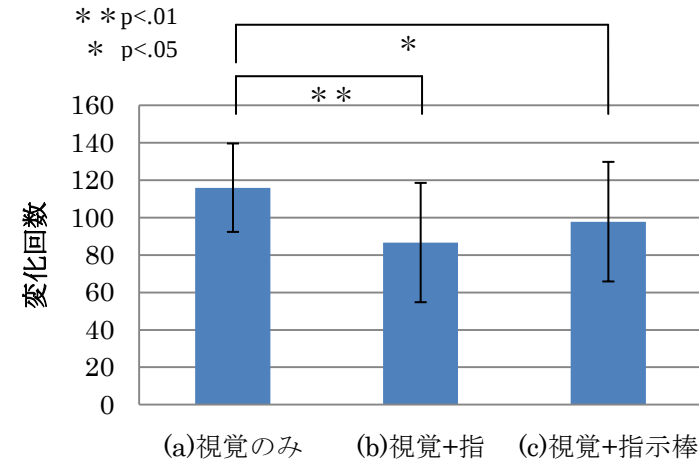


図 8 錯視現象変化回数（減少グループ）

表 1 錯視現象変化回数（減少グループ）

	(a) 視覚のみ	(b) 視覚+指	(c) 視覚+指示棒
被験者数	6	6	6
平均	116.00	86.67	97.83
標準偏差	23.64	31.90	31.97

表 2 分散分析表（減少グループ） ** $p < .01$

	平方和	自由度	平均平方	F 値
条件	2630.33	2	1315.17	15.75**
残差	835.00	10	83.50	
個人差	12155.17	5	2431.03	
全体	15620.50	17		

以上より、A～F 6名のグループにおいては、(a)視覚のみの条件と比較して(b)指を動かしながら見た条件では見え方の変化回数が減少したことは、Gregory の実験結果[10]と同様の傾向であった。そして、(a)条件と比較して、(c)道具を使用した条件においても見え方の変化回数が有意に減少し、より詳細には図 7 を踏まえて、被験者 B, C, D のように(b)条件とほとんど同様の回数変化が生じている場合、被験者 A, F のように変化回数の変化が(a)条件と(b)条件の中間程度の場合、そして被験者 E のように(a)条件とほぼ変わらない場合とまとめることができる。このことは、道具を使用することにより、少なくとも手で直接触れたときに生じるはたらきと、場合によってはそれが弱い、類似したはたらきが生じていると考えることができる。

こうしたはたらきについてさらに検討すると、指や棒を実体ネッカーキューブ上で動かしながらキューブを見た場合に、錯視現象の変化回数が減少する理由として、触れている辺上を手や道具を動かすことによる、立方体の奥行き方向に対する身体的な知覚作用が影響を及ぼしていることが考えられる。こうした問題については、動かす方向やストローク量を変えた実験を行い、安定化した見え方の持続時間を解析することによって今後明らかにしていきたい。

次に、視覚のみの条件において見え方の変化が少ない G～I の 3名のグループについて考察する。この 3名の実験条件の実施順は、G, I は(b) 視覚+指→(a)視覚のみ→(c) 視覚+指示棒の順、H に関しては(c) 視覚+指示棒→(b) 視覚+指→(a)視覚のみという順で実験を行っており、図 7 の結果をみると、最初の実験条件と変化回数の多い条件とが一致している。このことは、3分程度の時間では、本実験における実体ネッカーキューブでの知覚闘争は定常期に至らない被験者がおり、初回の実験条件において見え方の変化回数が他の条件よりも多くなってしまった例がこの 3名であると考えられる。こうした問題に対しては、実験開始前の報告練習の時間を増やすなどの対応が必要であろう。

最後に、知覚闘争の切替り時間に関して、視覚的意識の切替りが脳内プロセスによる離散的確立過程によって生じることが報告されている[9]。今回の実験では変化回数についてのみ実験を行ったが、本実験システムは見え方の変化を時系列的に記録することが可能であり、手で触れることや道具の使用がこの離散的確立過程にどのような変化を与えるのかを調査することで、道具の身体化における脳内プロセスの変化を類推することに関しては今後検討していく。

以上をまとめると、錯視現象の変化に着目した実験方法はさらに実験を重ねる必要があるものの、道具の身体化の影響を調査する方法として有効となる可能性が示唆された。

6. おわりに

本研究では日常的に使用する道具が「身体化」する現象を、パフォーマンステストなどの顕在化した道具と人間の関わりとして評価する方法ではなく、「道具の身体化」という潜在的な関係性に着目した評価方法の考案へ向けて、まずは錯視現象に着目して実験に取り組んだ。

錯視現象の中でも実体ネッカーキューブの錯視現象に着目し、実験手法の考案および実験システムの構築を行った。そして、本実験システムを用いて錯視現象の起こり方（特に変化回数）に着目した実験を(a)視覚のみ、(b)視覚+指、(c)視覚+指示棒の 3条件で行い、錯視現象の変化回数に関しては、道具を介して実体ネッカーキューブに触れながらキューブを見た場合では、指で触れながらキューブを見た場合と同様の変化が起こることを示した。このことは、道具の使用が錯視現象に対して手で触れることと類似した影響を与えた可能性があることを示唆している。

今後は錯視現象の見え方の切替り時間などに着目をして、道具が身体化する現象と錯視現象の関係性を引き続き調査していく。

参考文献

- 1) 市川浩:「身」の構造—身体論を超えて、講談社(1993)
- 2) マルティン ハイッデガー(著)、桑木務(訳): 存在と時間、岩波文庫(1963)
- 3) マイケル ポランニー(著)、佐藤敬三(訳): 暗黙知の次元—言語から非言語へ、紀伊国屋書店(1980)
- 4) テリー ウィノグラード(著)、フェルナンド フローレス(著)、平賀譲(訳): コンピュータと認知を理解する—人工知能の限界と新しい設計理念、産業図書(1989)
- 5) 山口喜久、北村喜文、川人光男ほか: 新しい道具の使用時の脳活動に関する検討、信学技報、Vol.102, No.736, pp13-18(2003)
- 6) 早稲田大学複雑系高等学術研究所(編): 身体性・コミュニケーション・こころ 複雑系叢書 2, 上杉繁、三輪敬之: 身体性と空間共有コミュニケーション, pp.151-216, 共立出版社(2007)
- 7) Farne, A., Ladavas, E.: Dynamic size-change of hand peripersonal space following tool use, *Neuroreport*, 11 (8), pp.1645-1649 (2000)
- 8) Maravita, A., Iriki, A.: Tools for the body (schema), *Trends in Cognitive Sciences*, Vol.8, Iss.2, pp.79-86 (2004)
- 9) 茂木健一郎(編著): 脳の謎に挑む、村田勉: 視覚的意識のゆらぎと脳内確率機構, pp.74-82, サイエンス社 (2006)
- 10) R.L.Gregory: The effect of touch on a visually ambiguous three-dimensional figure, *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, Vol.16, Iss.1, pp66-70(1964)
- 11) Kenneth T. Brown: Rate of apparent change in a dynamic ambiguous figure as a function of observation-time, *American Journal of psychology*, 68, pp.358-371 (1955)