



バーチャルリアリティ空間の多面体の形状把握 に向けた観察手法の検討

The Examination of Observation Method for Understanding
the Shape Grasp of Polyhedron in the Virtual Reality

増田 康成¹⁾, 阿原 一志²⁾

Yasunari Masuda, Kazushi Ahara

1) 明治大学大学院 先端数理科学研究科 (〒164-8525 東京都中野区中野 4-21-1, cs212036@meiji.ac.jp)

2) 明治大学 総合数理学部 (〒164-8525 東京都中野区中野 4-21-1, ahara@meiji.ac.jp)

概要: 本稿では VR 空間に存在する多面体の面数を正しく数えるためにどういった観察方法が有用であるかを検討する。増田, 阿原, 小松[1]による先行研究の予備実験では, 多面体の面数の計測には, 両手の 10 本の指による身体的関与が認知の本質ではないかと予測をたてた。論文[1]では VR 空間内に 10 本の指によるマーキングを実装できなかったこともあり, VR 空間で掴むことによる身体的関与について十分な議論が行えなかった。本論文では, 両手のバーチャルハンドを使って対象物を掴む手法, スティック操作で対象物を回転させる手法, スティック操作とバーチャルハンドで対象物を覆う手法で観察実験を行った。その結果, スティック操作とバーチャルハンドで対象物を覆う手法が数えやすいという意見が多いということが明らかになり, 指で掴むことの身体的関与に代わるデバイスの可能性について論じた。

キーワード: 立体図形, 形状把握, バーチャルリアリティ, 観察

1. 研究背景と目的

[1]で増田らは, 「現在, 中学校の数学課程では正多面体を取り扱い, 高等学校では立体図形として切頂正多面体などやや複雑な多面体を取り扱い, 「見取り図から立体図形の面や辺や頂点の数を数える」という内容を学習することになっている。」。この **Information and Communication Technology** (以降 ICT と略す) 教材を考える上でバーチャルリアリティを活用することは数学教育の発展に繋がると思われ, 前研究では VR 空間内で多面体を観察できるアプリケーションを作成し, 数人に向けて数えてもらう実験を行ったが, 適切なデバイスを提示することができなかった。

本研究では, 「そもそもバーチャルリアリティ空間内の対象物を掴むデバイスを考えることは, 認知の身体的関与とは別物ではないか」という仮説を立て, 「バーチャルリアリティ空間内の対象物を両手のバーチャルハンドを使って掴む」, 「スティック操作で対象物を回転させる」, 「スティック操作で対象物を回転させながらバーチャルハンドで対象物を覆う」という三つの観察手法を試した。さらにラバーハンド錯覚のような現象を生起させ認知に

変化があるのかも試した。

バーチャルリアリティ空間内の対象物の形状把握を促進すること, 先行研究[1]で浮き彫りとなった操作面の課題解決を目的として, どのような観察手法が有用であるかどうかの考察・検討を行う。

2. 関連研究

本稿は不規則な形状の多面体の面の数を正確に数えることができるかどうかで形状把握ができたかどうかを判断している。

2.1 多面体の形状把握

多面体の形状把握は難しいと言われて懐疑的になる人は多い。しかし[1]の予備実験によれば, 実際に不規則な形状の多面体を手にしてもらい, その面の数を正確に数えられる人は少ない。

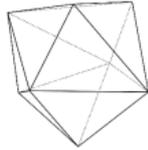


図1: 十二面体

図1に示される十二面体は本実験で扱った中で最も面数の少ない多面体であるが、前研究では実際に数えてもらおうと「第一のフェーズでは試行錯誤的に自分が見えている側について面を観察し、さらに多面体を回転させて観察してすべての面を数えようとする。第二のフェーズでは手の指を活用して、角錐をマーキングし、残りを数えようとする。第三のフェーズでは、多面体の面を「右手が押さえる角錐」「左手が押さえる角錐」「それ以外の帯状の部分」と構造的に分解して考える」という不可逆な三つのフェーズで多面体の面を数えることが観察され、このうち第三のフェーズに促すことが立体図形の学習に重要であると考えられた。

2.2 バーチャルリアリティを使った多面体の観察

2.1 で述べた現象を観察するために[1]ではバーチャルリアリティを使ったアプリケーションを実装した。

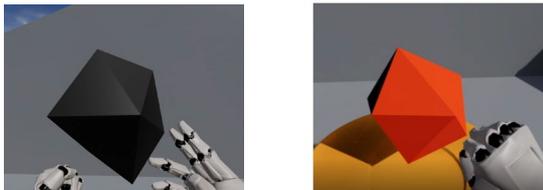


図2: 通常時の多面体 図3: 面の色が変化した多面体

このシステムは多面体の頂点のみを掴むことができるようになっており、第三フェーズに促すために頂点を掴んだ際、図2から図3のような変化で使用者にマーキングをさせた。

実験参加者は多面体を掴むことが可能な手が片手みの制限となっているため、操作が不自由になっておりその結果有用な結果が得られなかった。

2.3 ラバーハンド錯覚

[2]によると、ラバーハンド錯覚は被験者が手をテーブルの下に見えないように置き、テーブルの上にはゴムの手が見えないように置き、テーブルの上にはゴムの手が置かれている状態でゴムの手と本物の手を同時に叩くと、参加者は、偽物の手が触れているのを見ながら本物の手が触れていることを感じるというものである。このラバーハンド錯覚を実証するためにガルバニック皮膚反応 (GSR) で皮膚に対するストレス反応を確認している。

3. 実験方法

本システムは Unreal Engine4.26 を使い作成しており、バーチャルハンドのモーションは掴む動作と手を広げる動作のみ存在する。バーチャルハンドにはコリジョンが設定されており、多面体にめり込まない仕様となっている。

3.1 実験手順

本実験では、両手のバーチャルハンドを使って対象物を掴む手法1、スティック操作で対象物を回転させる手法2、スティック操作で対象物を回転させながらバーチャルハンドで対象物を覆う手法3、それぞれについて、五つの不規則な形状の多面体の面数を一つにつき30秒以内で参加者に数えてもらった。さらにラバーハンド錯覚のような現象が対象物の観察において認知に変化があるかどうかを調べた。参加者が被るHMD視点を録画し、終了時に参加者に数えやすかった手順のアンケート調査も行った。

多面体の面数を数えてもらう実験に四名、そのうち二名にラバーハンド錯覚のような現象が対象物の観察において認知に変化があるかどうかの実験を明治大学阿原研究室の学生から募った。

本実験は12 (A,B), 14 (C,D), 16 (E,F), 18 (G,H), 20 (I), 22 (J), 24 (K) の面を有する多面体を使用した。

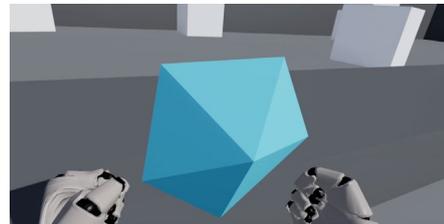


図4: 手法1で対象物を観察する参加者の目線

手法1では、図4のように多面体を両手で掴み C, E, A, I, G の順に面数を数えてもらう。

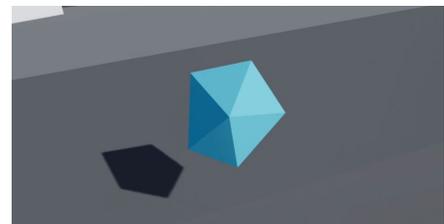


図5: 手法2で対象物を観察する参加者の目線

手法2では、図5のように眺めながら多面体を回転させ H, D, J, B, F の順に面数を数えてもらう。

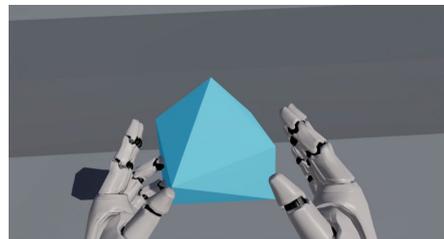


図6: 手法3で対象物を観察する参加者の目線

手法3では、図6のように手を多面体にかぶせるように使い、さらに多面体それ自体も回転させ A, G, E, C, K の順に面数を数えてもらう。

その後二名にはラバーハンド錯覚のような現象を生起後、手法1で F, D, B, I, H を手法2で J, G, C, A, E を手法3で F, B, H, D, K, それぞれ面数を数えてもらう。

3.2 ラバーハンド錯覚のような現象の生起

本実験では[2]を参考にし、HMD を付けた状態で自らの手の甲とバーチャルハンドの手の甲を同時に一分間擦り、その後上空からオブジェクトを落とし、脅威となる対象を与えることで、ガルバニック皮膚反応（GSR）を使ったラバーハンド錯覚のような現象の実証を行った。

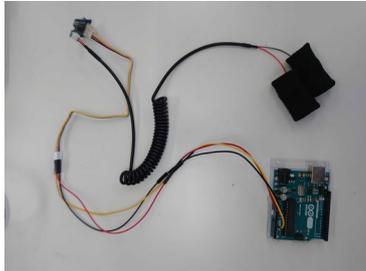


図7: Arduino を使った GSR を測定する装置

図7の黒い布の部分を手の人差し指と中指に着け、Arduino の IDE からモニタープロットで変化を確認する。確認後、三つの手法を先ほど数えたものとは違う多面体を使って面数を数えてもらい認知に変化があるかどうか調べた。

4. 結果

4.1 三つの手法を使った対象物の観察実験

表1: 手法1

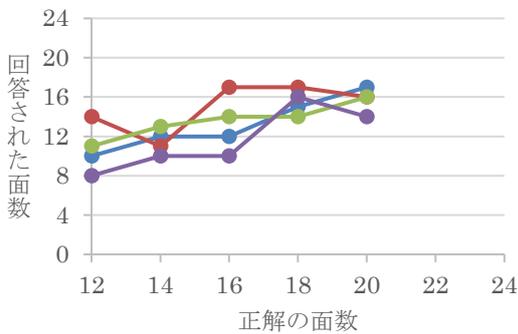


表2: 手法2

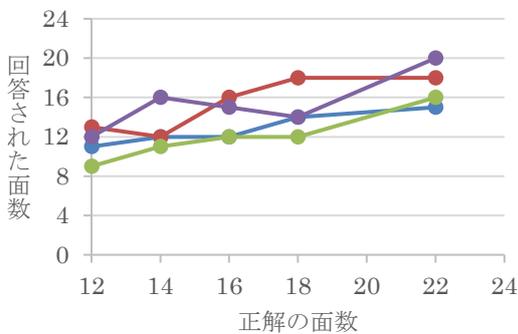
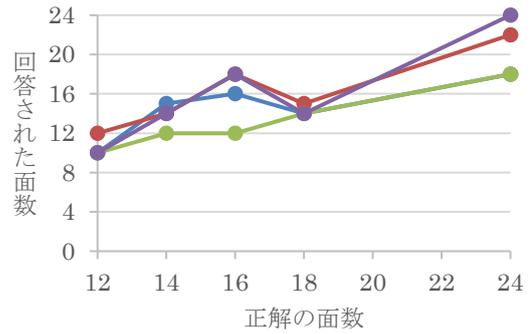


表3: 手法3



正答率は手法1で15回中0回(0%)、手法2で15回中3回(20%)、手法3で15回中5回(33.3%)だった。またすべての手法について多面体の面数が多くなれば、回答される面数も多くなった。

次にそれぞれの手法を数えやすさ順に答えてもらい、一番数えやすかった手法に1点、二番目に数えやすかった手法に0点、三番目に数えやすかった手法に-1点を付けて評価すると手法1が1点、手法2が-3点、手法3が2点となり、手法3が最も数えやすいという結果になった。また参加者の一部には、面の数に分かる瞬間を感じる人がいた。

録画した実験の動画からは手法1が最も腕を動かしていた。また、手法1は頂点二つ、手法2は参加者それぞれ、手法3は両手が覆っている面の数をマーキング出来ていた様子が観察された。

4.2 ラバーハンド錯覚のような現象の生起とその後の認知変化

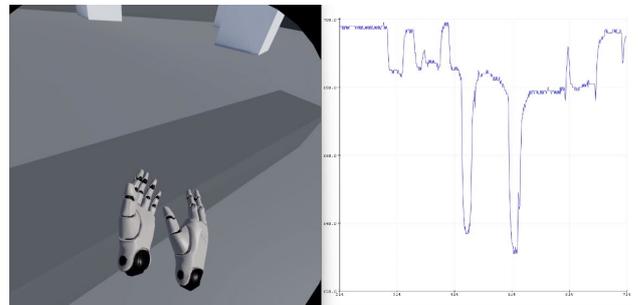


図8: GSRの数値（ラバーハンド錯覚のような現象の生起前）

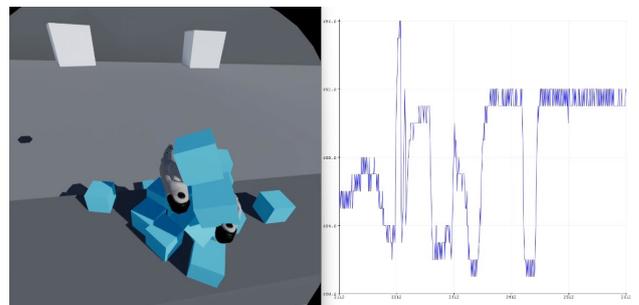


図9: GSRの数値（ラバーハンド錯覚のような現象の生起後）

次にラバーハンド錯覚のような現象の生起についての実験では、右に表示されているGSRの数値は通常の状態

と変化がない結果となった。さらに録画した実験の動画でも落下するオブジェクトに対して脅威を感じている様子はなかった。またラバーハンド錯覚のような現象の生起実験後に多面体の面数を数えてもらったところ、回答の質に変化はなかった。

5. 考察

まず、[1] で調べた多面体の回答時間と本実験の回答時間である 30 秒とを比較すると少し本実験の回答時間が早い。そのため、手法 3 の 33.3% という正答率は決して低くないものと考えていい。手法それぞれに用意した最も多くの面数を有する多面体に唯一正解した参加者が手法 3 には存在し、さらに参加者に取ったアンケートによって、手法 3 の評価は高いものと考えられる。録画した実験動画からも[1]で求めていたフェーズ 3 に到達するためのマーキングができていると判断してよいものとする。他の手法について、手法 1 は面数が数えやすかったと考える参加者が比較的多く、それに引き換え正答率が 0% であったという結果とマーキングした面の数から、数えミスしやすい手法であることがわかる。手法 2 は参加者が最も数えにくいと感じた手法であり、また正答率も 20% という点でバーチャル空間内の対象物の観察という点で向いていないものだと考える。

これらの結果から VR 空間でも多面体の面に触れる必要があるということがわかる。また[1]で行った色を変えるような間接的なマーキング手法はあまり効果的でないと考えられる。

続いて、ラバーハンド錯覚のような現象の生起実験は GSR の変化が見られなかったことと、その後の多面体の面数を数えてもらっても回答の質に変化がなかったことから、そもそも現象が生起されていない可能性が高い。しかし増田が自らにおこなったラバーハンド錯覚の生起実験では GSR が大きく反応をしていた。これはバイアスがかかった結果ではないかと考える。

6. むすび

最後に、本稿は「そもそも VR 空間内の対象物を掴むデバイスを考えることは、認知の身体的関与とは別物ではないか」という仮説を立て、両手のバーチャルハンドを使って対象物を掴む手法 1、スティック操作で対象物を回転させる手法 2、スティック操作で対象物を回転させながらバーチャルハンドで対象物を覆う手法 3 の三つの手法を使い、多面体の面数を数える比較実験とラバーハンド錯覚のような現象を生起させたときの認知の変化を調

べる実験も行い、指で掴むことの身体的関与に代わるデバイスの可能性について論じた。結果として手法 3 が正答率、参加者の意見ともに最も数えやすい結果となった。

ラバーハンド錯覚のような現象の生起実験はうまく生起されなかったため、別の生起手法を考える必要がある。

今後の展望はマーキングできていない部分の認知をどうやりやすくするかということである。[1]で多面体の形状は両手の押さえる角錐二つと残りの部分で認知することがフェーズ 3 として、比較的容易に面の数を数えることができるようになると考えている。そのためこの残りの部分のマーキングができるようになると ICT 教材として利用可能となるのではないかと思われる。これらのことから第三の手のようなものを考えていきたい。

謝辞

本研究の遂行にあたり、協力していただいた阿原研究室の皆様、心より感謝申し上げます。

付録

表 4：数えやすかった順に答えてもらったアンケート

	易		難
参加者 1	手法 3	手法 2	手法 1
参加者 2	手法 3	手法 1	手法 2
参加者 3	手法 1	手法 3	手法 2
参加者 4	手法 1	手法 3	手法 2

表 5：面の数が分かったと感じる瞬間があったかどうか

参加者 1	少ない時はあった
参加者 2	全くなかった
参加者 3	何回かあった
参加者 4	あまり感じなかった

参考文献

- [1] 増田康成, 阿原一志, 小松孝徳: 多面体の形状把握を促進する ICT 教材の検討: VR 空間上の多面体への身体的関与の実現に向けて, 日本認知科学会第 37 回大会, pp. 578-581, 2020.
- [2] Ye Yuan, Anthony Steed: Is the Rubber Hand Illusion Induced by Immersive Virtual Reality?, 2010 IEEE Virtual Reality Conference(VR), 2010.