

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

Examination of ICT teaching materials to promote shape grasp of polyhedron: Toward the realization of physical involvement in polyhedron in VR space.

増田 康成[†] 阿原 一志[‡], 小松 孝徳[§]

Yasunari Masuda[†], Kazushi Ahara[‡], Takanori Komatsu[§]

明治大学総合数理学部

School of interdisciplinary Mathematical Sciences, Meiji University

ev170549@meiji.ac.jp, ahara@meiji.ac.jp, tkomat@meiji.ac.jp

概要

本研究では、模型として目の前に置かれた多面体の面の数を正しく数えるためには、身体的な関与を活用させることが重要であること、さらにこの問題は身体的な関与によってある種の制約を緩和する洞察問題とみなされることを報告する。先行研究において、小松、清河ら[1]は、十二面体から二十面体といった模型を準備し、その面の数を数えるように実験参加者に指示を出す実験を行った。その際、その模型を片手に持ったままで面の数を数えたり、両手の中で模型を回転させながら面の数を数えたりした参加者の正答率が低かった一方、両手の十本の指で面を押さえながら、その指の位置を変更することなく、指で押さえられなかった面の数を数えるという行動を見せた参加者の正答率が高かったことが明らかになった。

本稿では、VR 空間内に多面体を提示しユーザがそれらを仮想的に操作するようなシステムを開発し、実空間上にて観察された身体的な関与が VR 空間でも観察されるかどうかを検討する。今回の VR システム実装では、両手の十本の指で面を押さえるという動作を仮想化することが十分にできなかったため、満足できる結果は観察されなかったが、改良すべきポイントや認知科学的な観点について考察を行うことができたので、そのことを報告する。

キーワード: 立体図形, 形状把握, VR

1. 研究背景と目的

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。この単元の ICT 利用教育を考えると、現状では多面体のグラフィックスを画面に映して、インタラクティブに回せるようなアプリケーションを用いて観察するくらいであり、立体的な形状把握は容易ではないように思われる。このことは、見取り図に陰線があったとしても、難しさは変わらないと考えられる。著者たちは、まず、図1、図2で示したような、似たような面数の多面体を10種類くらい考え、これを手で回した動画を撮影してみた。(阿原[2]。)また、これら多面体をコンピュータの画面上で自由に回すことができるインタラクティブアプリを作成した。著者たちはこれを操作して多面体を観察してみたが、面の数を数えるのは難しく感じた。VR 環境でも同様に多面体アプリを作ってみたが、面の数を数えるのは依然として難易度が高いように感じられた。これらのことから、本研究では、実際に多面体を手にしたときや、コンピュータのアプリケーションを通して観察したときに、多面体の面を数えるためには視覚的なアプローチだけでは難しいとの前提に立ち、その認知における身体的な関与について調査することを目的とした。

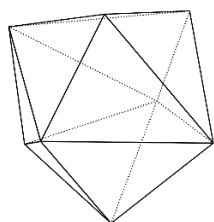


図1:十二面体

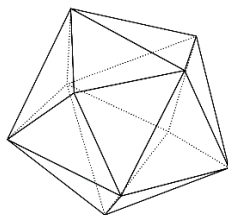


図2:十六面体

先行して、著者たちは実際に多面体を作ってみてこれを手に取って面の数を数える場合について実験を行った。(図3、小松、清河ら[1]。)この場合には、模型を片手に持ったままで面の数を数えたり、両手の中で模型を回転させながら面を数えたりすると、正しく数えるのは思いのほか容易ではないことが観察された。また、両手の指で面を押さえることにより、頂点周りを角錐と認識して、多面体全体を「角錐で埋め尽くそう」とする行動をとると、ある程度数えやすいことも観察された。

参加者が様々な種類の多面体の面の数を繰り返し数えていると、以下に述べるような不可逆的な三つのフェーズが存在していることがわかった。第1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2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3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。一度第3フェーズになると、多面体が複雑になっても比較的容易に面の数を数えることができるようになる。

これより、多面体の面の数を数えるには、指を用いて多面体の構造を理解するという身体的な関与が必要であり、立体図形の学習者に対して、彼らを第3フェーズに誘導することが重要であると考えられる。

ここで本研究では、実際の多面体を手に取る先行研究をVR空間で追確認できるかどうかを検証する。ユーザが立体図形をどのように認識しているのかを認知科学の視点を交えながら考察していくことを目的とし、立体図形の形状把握をVR空間で実現するにはどのような

情報技術が必要か、また有効なインタラクティビティについての展望について提案する。

2. 実験方法

VRで多面体を観察できるアプリケーションとして、Blenderで多面体を作り、UnrealEngine4によりOculus用のアプリケーションを作成した。これを用いて、明治大学の学部学生(参加者A)、大学院生(参加者B)、数学教授(参加者C)の3名に多面体の面の数を数えてもらった。



図3 実際に見た多面体



図4 VRで見た多面体

このアプリにおいて、参加者は十二面体、十四面体、十六面体、十八面体、二十面体の5タイプ10種類を観察すること、左右の(仮想的)手のどちらかを用いて多面体をつかむことができる。以上が基本機能であるが、部分的な角錐構造を把握することが重要であることが先行研究よりわかっているため、「補助ありバージョン」として、多面体の頂点を(仮想的な)手で触れるとその点の周辺の面の色が赤くなるような仕組みをも用いて作成した。この場合、頂点から手を離すと色は元に戻っている。これら10種類の多面体を使い、補助なし・補助あり・補助なしの順番で各多面体を三回ずつ見せ、面の数をそれぞれ数えてもらった。

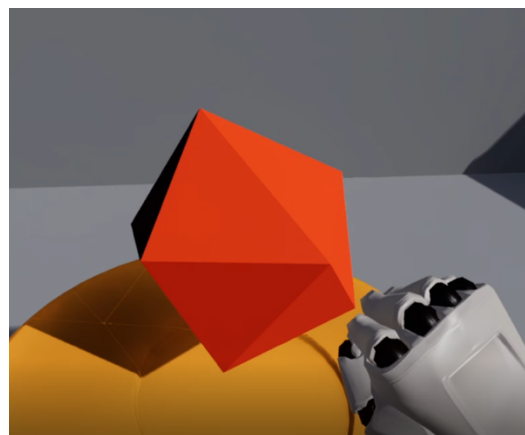


図5 補助ありの多面体

この実験時、参加者が被る HMD 視点と第三者視点を録画して人の動きの観察を行った。また終了時に「この問題をどのように取り組んだか」という内容でアンケート調査を行った。

3. 結果

表1 回答の正誤

十二面体	参加者A	参加者B	参加者C
一回目	○	×	×
二回目	×	×	○
三回目	○	○	○

十四面体	参加者A	参加者B	参加者C
一回目	×		○
二回目	×	○	○
三回目	○	○	○

十六面体	参加者A	参加者B	参加者C
一回目	×	○	×
二回目	○	○	○
三回目	○	○	○

十八面体	参加者A	参加者B	参加者C
一回目	×	○	×
二回目	○	○	×
三回目	×	○	○

二十面体	参加者A	参加者B	参加者C
一回目	○	×	×
二回目	×	×	×
三回目	×	×	○

表2 回答時間

十二面体	参加者A	参加者B	参加者C
一回目	15秒	23秒	7秒
二回目	38秒	1分 1秒	43秒
三回目	23秒	42秒	57秒

十四面体	参加者A	参加者B	参加者C
一回目	52秒		1分 44秒
二回目	47秒	1分 27秒	1分 21秒
三回目	1分 3秒	1分 11秒	1分 33秒

十六面体	参加者A	参加者B	参加者C
一回目	50秒	1分 31秒	1分 24秒
二回目	31秒	1分 15秒	3分 56秒
三回目	1分 7秒	2分 35秒	2分 13秒

十八面体	参加者A	参加者B	参加者C
一回目	1分 6秒	5分 19秒	1分 22秒
二回目	1分	2分 4秒	43秒
三回目	1分 12秒	3分 20秒	42秒

二十面体	参加者A	参加者B	参加者C
一回目	27秒	3分 53秒	44秒
二回目	35秒	7分 16秒	56秒
三回目	20秒	3分 33秒	1分 29秒

三人の3回目の正答率は、十二面体、十四面体、十六面体で3人中3人(100%)、十八面体で3人中2人(66.6%)、二十面体で3人中1人(33.3%)であった。これは現実で多面体を見た時と同様、面数が大きくなると数えにくくなることと同じと考えて良いと思われる。

次に、参加者が多面体の面を数える時の経過時間も数えたが、参加者数が少ないため比較対象にならないと判断する。

実験時に撮影した映像からは、つかんだ面の周りを見た後にそれを回転させるが、しばらくすると再びつかんだ面の周りを繰り返していることが多く、もう一方の手を使うことができずに片手のみの作業になっていることが観察された。実際に、つかんでいる手を右から左へ交代させたり、つかんでいないほうの手で多面体を触れたりする動作はほとんど見られなかった。

また終了後の調査アンケートからこの問題の取り組み方として、一人はある視点で多面体を掴んでから見えない部分を回して指で触りながら確認をする方法、もう二人はどれか一つの頂点に着目しその点に集まる面を数えてからそれらの面に隣接する面をそれぞれ数える方法で多面体の面の数を数えていた。これは先行研究におけるフェーズ2の状態であると思われる。

4. 考察

この問題を考える上で必要な論点は三個ある。

第一に、先行研究の結果から VR 上で多面体を掴んだ時に頂点の周りの面が赤くなるというものが、現実での指を10本使って多面体を認知する方法と同様なことができるのではないかと思い提案したが、参加者がフェーズ3を獲得するための十分な成果は得られなかった。フェーズ3に到達するためには、実際に多面体を10本の指で触れるようなマーキングが VR 空間で出来ていなければいけないと考えた。

第二に、先行研究より両手で多面体をはさむことが重要であることから VR でも両手を使って多面体を観察できるようにする必要があることが考えられる。そもそも VR 上で両手を使って一つの対象物をもつというのは情報技術的に難しいが、実際に多面体を両手で持ったよ

うな触覚フィードバックができれば、参加者の動作も変わるかもしれないと考えている。

第三に、今回実装したシステムでは多面体の頂点を掴むという行為を通して多面体を観察するため、一つの頂点を掴んだのちに、腕をねじって反対側の面を観察すると、掴んでいる対面の面の数を忘れてしまっているさまが観察された。実際の多面体で面を数えるときは指を使って観察するため手のひらサイズに収まる間隔でとることができるが、VR上では多面体を掴むという行為を想定しているため、多面体を比較的大きなものとみてしまい、認識の方法が変わってしまっているとも考えた。

5. まとめと今後の展望

多面体の面の数を数える上で両手を使うことは上手なやり方であることはわかるが、VRの開発環境ではものを掴む時、基本的に片手でしか掴むことができない。現実の多面体を手に取ると、参加者は細やかに指を動かして両手の指で面を数えることができるが、VRではその手の動きができないため、それをVRに落とし込むメソッドがわからないところが問題である。本研究では、この問題点を最初から認識しており、指を利用する部分を「頂点に触れると赤くなる処理」で補えるのではないかと仮説を立て、VRアプリを実装しそれを用いて実験してみたのだが、十分に有用な結果が得られなかった。

この問題点として、VRでユーザにとっての有効なマーキングができていなかったこと、VRにおける手の作業の活用難易度がそもそも高いこと、VRでは一つのを両手で掴むことはHaptic Links[3]のような両手触覚がなければ難しいこと、多面体を握ることでしか多面体を観察することができないので一つの頂点を掴んで腕をねじって反対側を見ると、掴んでいるあたりの面の数を忘れてしまうことが考えられる。

今後の展望として、本研究から実装に不足している部分を中心に以下の三点が挙げられる。第一に、VR技術を利用することには慣れが必要で、慣れないユーザは自分の行いたい動作ができないことがわかると何もできないような状態になってしまう。この問題を解消する

ために、補助を利用する際のトレーニング方法の開発やマニュアルの開発が必要となる。第二に、実際に多面体を10本の指で多面体の面に触れるようなマーキングをVRに落とし込むことにおいて、左右で色を変えるべきなのではないか、指ごとに色を変えるべきなのではないか、色以外の情報(たとえば触覚など)も与えるべきではないか等のいくつかの方策が考えられ、その効果を比較する必要がある。第三に、触覚フィードバックを利用した両手用アプリの開発をすることで、実際の多面体を観察する行為に似た環境作りができるのではないかと考えられる。現実の環境と同じ状況を作ることが出来るのならば、現実以上に多面体が認知しやすくなる可能性もあるため、本稿で指摘した問題点を修正すると同時に、すでにある研究の蓄積を利用したVR環境のための別の補助の方法を使用することの検討も行なっていきたい。

6. 参考文献

- [1] 小松、清河、増田、阿原「「多面体の形状把握」という身体的関与を活用する洞察問題」(準備中)
- [2] 阿原、「How many faces there are?」(動画)
<https://www.youtube.com/watch?v=K GKrtOmCyyv8>, 2020/7/30
- [3] Evan Strasnick, Christian Holz, Eyal Ofek, Mike Sinclair, Hrvoje Benko, “Haptic Links: Bimanual Haptics for Virtual Reality Using Variable Stiffness Actuation,” CHI 2018/SIGCHI 2018.