



# 空間図形学習における MR 教材の構築と 有用性の評価

## Construction and Evaluation of MR Educational Materials in Spatial Geometry Learning

室伏美佑<sup>1)</sup>, 寺田裕樹<sup>2)</sup>, 猿田和樹<sup>2)</sup>, 陳国躍<sup>2)</sup>  
Miyu MUROFUSHI, Yuki TERATA, Kazuki SARUTA, and Guoyue CHEN

1) 秋田県立大学 システム科学技術研究科  
(〒015-0055 由利本荘市土谷字海老ノ口 84-4, m26p012@akita-pu.ac.jp)

1) 秋田県立大学 システム科学技術学部  
(〒015-0055 由利本荘市土谷字海老ノ口 84-4, terata/saruta/cheng@akita-pu.ac.jp)

**概要**: 10 歳頃我々に備わる能力として, 空間認知能力がある. これは物の大きさや位置を把握する力で, この力の向上のため, 小学校高学年から模型を利用した主体的な図形学習が求められている. しかし, 現状ではコストや教員の負担などの様々な要因から紙教材だけで学習が行われていることが多い. そこで本論文では, 複合現実を用いた立体模型教材を開発すること目的としたが, 予備実験として大学生を対象に複合現実を用いた立体模型教材の学習効果について調べた. その結果, 明らかな学習効果は得られなかったものの, 意欲や関心が向上することがわかった.

**キーワード**: 複合現実, 学習教材, 空間図形, 空間認知能力

### 1. 緒言

我々に備わる能力に, 空間認知能力と呼ばれるものがある. これは, 自分と空間の位置関係や物体の大きさ・位置などを正確に捉えるための力で, 車の運転や運動, 地図を読み取るなどといった日常生活に大きく関わる能力であり, 成長とともに立体的な捉え方が構築されていき, 10 歳頃に空間認知能力として完成する [1]. 表 1 に, 成長に伴う空間認知能力の発達過程を示す.

表 1. 成長に伴う空間認知能力の発達過程

| 年齢     | 発達過程の目安   |
|--------|---|
| 0~2 歳  | <ul style="list-style-type: none"><li>視力の発達が未熟で, 距離感を測りづらい</li></ul>                      |
| 3~4 歳  | <ul style="list-style-type: none"><li>両目を使って遠近を感じ始める</li><li>視力の発達で物の遠近を把握可能になる</li></ul> |
| 5~9 歳  | <ul style="list-style-type: none"><li>距離感が掴めるようになる</li><li>平面的な捉え方が立体的な捉え方になる</li></ul>   |
| 10 歳以上 | <ul style="list-style-type: none"><li>空間認知能力の完成</li></ul>                                 |

また, この空間認知能力を向上させるには, 10 歳以上から主体的に図形の学習を行うことが重要であるとされている. そのため, 小学校高学年から図形の学習が始まるが, 中でも中学 1 年生数学の空間図形に関する学習指導要領には, 空間図形を学ぶ意義や望ましい学習方針について, 以下のように定義されている [2].

図形の性質や関係を直観的に捉え論理的に考察する力を養うために, 例えば, 立体の模型を作りながら考えたり, 目的に応じてその一部を平面上に表す工夫をしたり, 平面上の表現からその立体の性質を読み取ったりするなど, 観察や操作, 実験などの活動を通して図形を考察することを基本にして学習を進めていく.

しかしながら, 実際の教育現場では, 生徒が実際に模型に触れて実験をしたり, 展開図を作成して立体にするといった授業が行われているケースは少ない. これは, 生徒分の模型を用意するコストや, 限られた授業期間の中で生徒に沿って指導しようとした際の教員の負担の大きさが原因であると考えられる. こういった問題の解決のため, 中野らは AR を用いた空間図形学習支援システムを開発した [3]. このシステムは, 頭の中で立体を回転させる空間認知能力の一種を高めるためのもので, AR マーカに表示され

た仮想の立体を回転させることで主体的な学習を支援している。しかし、AR マーカはスマートフォンで撮影した画面に仮想物体を表示させるもので、実際に物体に触れることはできず、両手も塞がってしまうなどの課題がある。

このことから、本研究では教材の開発に複合現実（以下、MR）が有効であると考えた。HMD を利用して現実空間の映像に仮想物体を融合させ、実際に模型に触れているかのように展開の様子を見たりねじれの位置の辺を探したりすることが可能な教材を構築すれば、学習指導要領に沿った学習を支援できると考え、MR を用いた空間図形学習教材を構築した。

## 2. 図形依存性・図形方向依存性

中野らの研究において、空間図形の学習には『図形依存性』と『図形方向依存性』が関係していることが示されている [3]。

図形依存性とは、一度学習したことのある図形が出題された場合は解答時間が短く、未学習の場合では解答時間が長いというものである。そして、図形方向依存性は、一度学習したことのある図形の回転方向が出題された場合は解答時間が短く、未学習の場合では解答時間が長いというもので、この2つの性質から、学習時間の増加とともに空間図形に慣れていき、解答時間が短縮できると考えられる。そのため本教材では、繰り返し学習を促せるよう学習に10分の時間制限とA~Dまでのレベル評定を設けることにした。なお、レベル評定は学習にかかった時間および学習後に行うテストの解答時間と得点の2つにした。これにより、生徒は評価を上げようとしたり、早く解き終わろうとすることで繰り返し学習しようとするのが可能になると考えられる。

## 3. 教材内容

本教材は、中学1年生数学の単元である空間図形の授業を対象とし、『立方体と展開図の関係』、『辺や面の垂直と平行』、『ねじれの位置の辺』という3種類の学習内容で構成した [4][5]。次節より各学習内容について説明する。

### 3.1 立方体と展開図の関係

立方体と展開図の関係では、立方体の展開図を使って2つの学習を進めていく。

1つは立方体について、面や頂点、辺の数や展開図の種類について学ぶ内容となっている。表示されている展開図に対し拡大や縮小、回転しながらスライダーを動かすことで展開図が折りたたまれ、立体になる様子を確認することができる。

2つ目の学習は、展開図から重なる辺を求めるものである。図1に、展開図から重なる辺を求める学習画面を示す。図1に示すように、展開図の一部の辺が赤くなっており、この赤色の辺がどう重なるかを頭の中で想像してからスライダーを使って展開図を折りたたむことで、実際に辺が重なる様子を確認することができる。

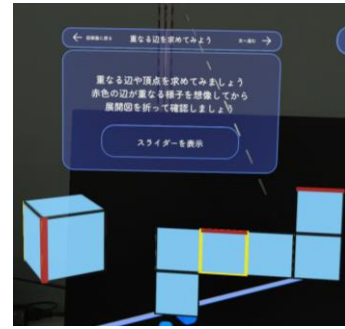


図1. 展開図から重なる辺を求める学習画面

### 3.2 辺や面の垂直と平行

ここでは、辺同士の垂直と平行や、辺と面の垂直と平行の法則を学ぶ学習内容となっている。図2にこの学習内容の例として、任意の辺に対する垂直と平行の面を学習する実際の学習画面を示す。図2に示すように、はじめに拡大・縮小や回転などを行いながら、赤色の辺に対し、垂直・平行な面を探す。解答と解説にはそれぞれ垂直が緑色、平行が青色というように立方体に色付けされており、頭で想像するだけでは身に付きにくい法則を視覚的に理解することができる。この学習方法は辺の垂直と平行を求める学習でも同一である。



図2. 任意の辺に対する垂直と平行の面の学習画面

### 3.3 ねじれの位置の辺

図3に、任意の辺に対するねじれの位置を学習する実際の学習画面を示す。この学習では、図3に示すように、赤色の辺に対するねじれの位置の辺を求めるものとなり、学習方法は3.2節の辺の垂直と平行と同一である。

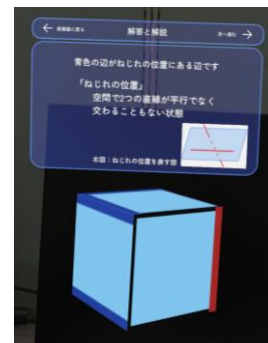


図3. 任意の辺に対するねじれの位置の学習画面

4. 実験方法

はじめに、本教材で学習する前にテストを実施し、理解度を調べた。このテストでは、教材と同単元の内容を 14 問出題した。テストの制限時間は 10 分とした。

次に MR 教材の学習では教材の操作方法を説明し、その後 10 分間 MR 教材で空間図形を学習させた。学習にかかった時間は 1 つ目のレベル評定の対象となり、0~6 分を A、6~8 分を B、8~10 分を C、10 分以上を D とした。

学習の終了後、全 14 問の学習後テストを実施した。これは教材や学習前テストと同単元だが、内容の異なるものにし、2. で記述した通り、解答にかかった時間および得点数でレベルごとに評定をわけた。図 4 に評定指標を示す。

テスト終了後、藤原ら[6]による方法に基づき作成したアンケートで、テストの難易度・テストの解答時間の長さ、空間図形の学習で模型を用いた経験の有無、MR 教材のユーザビリティを評価する SUS 評価および学習効果・意欲に関する質問、教材の良かった点・悪かった点・その他記入したいことについて回答してもらった。

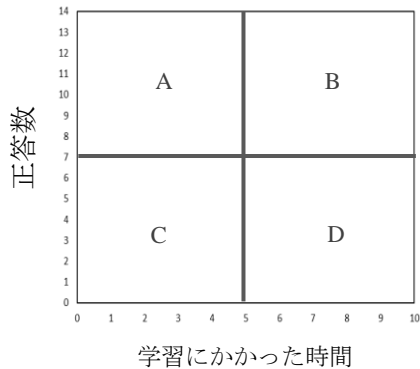


図 4. 学習後テストのレベル評定指標

5. 実験結果と考察

本実験は正常な視力を持つ大学生 15 名を対象とした。その内被験者の L, M, N, O についてはテストに不備があったため、アンケートのみを検証の対象とした。本論文では、テスト結果と、学習効果・学習意欲に関するアンケートの結果から、学習効果の有無と学習意欲向上効果の有無の 2 項目について評価した。

5.1 学習前・学習後テストの結果

表 2 に学習前テストと学習後テストの点数比較を示す。表左端から被験者名、学習前テストの点数、学習後テストの点数、学習後テストの解答時間および学習後テストのレベル評定である。

表 2. 学習前テストと学習後テストの点数比較

| 被験者  | 学習前 (点) | 学習後 (点) | 学習後テスト 解答時間 (分) | 学習後 テスト レベル 評定 |
|------|---------|---------|-----------------|----------------|
| A    | 10      | 10      | 8:42            | B              |
| B    | 12      | 9       | 10:00           | B              |
| C    | 13      | 14      | 8:29            | B              |
| D    | 9       | 5       | 9:40            | D              |
| E    | 10      | 10      | 7:51            | B              |
| F    | 13      | 11      | 6:13            | B              |
| G    | 10      | 12      | 5:27            | B              |
| H    | 12      | 9       | 10:00           | B              |
| I    | 10      | 11      | 9:28            | B              |
| J    | 12      | 10      | 5:19            | B              |
| K    | 14      | 14      | 7:59            | B              |
| 平均   | 11.4    | 10.5    | 8:06            |                |
| 標準偏差 | 1.6     | 2.4     |                 |                |

両者の平均を比べると学習前テストの得点の方が高かった。統計的な有意差を調べるため t 検定で評価した結果、 $p < .1$  となり、両者の間に有意な差は認められなかった。

本実験では大学生を対象としたため、平均が高いことや、学習後テストの難易度が高かったことと、教材で学習した内容をうまく反映できていなかったこと、そして MR 自体に初めて触れる被験者が多く、学習時に操作の方に集中してしまったことが理由であると考えられる。

しかし、問題項目別に見ると、学習前テスト時にねじれの位置を思い出せず解答できなかった被験者が、学習後テストでは正答していたり、垂直・平行な線について、学習前のテストでは 1 つしか答えられていなかった被験者が、学習後テストでは 4 つ答えられるようになっているなど、MR 教材の効果があつたように見受けられることもできる。この結果に関しては被験者のテスト結果から得られたもので、数値として評価していないため、今後は問題項目別に検証することも必要である。

5.2 学習効果・学習意欲に関するアンケート結果

表 3 に学習効果・学習意欲に関する質問項目を示す。

表 3. 学習効果・学習意欲に関する質問

|                                | 全くそう思わない <-><br>強く思う |
|--------------------------------|----------------------|
| 1. この MR 教材で空間図形への理解を深めることができた | 1 ・ 2 ・ 3 ・ 4 ・ 5    |
| 2. この MR 教材によって集中して学習することができた  | 1 ・ 2 ・ 3 ・ 4 ・ 5    |
| 3. この MR 教材を授業で使用したい           | 1 ・ 2 ・ 3 ・ 4 ・ 5    |
| 4. MR を使用した授業を受けたいと思う          | 1 ・ 2 ・ 3 ・ 4 ・ 5    |

問1および問2は本教材を利用したことによる学習効果について、問3および問4はMR教材やMRという技術自体を学習に用いることによる学習意欲についての質問である。全くそう思わないに値する1から、強くそう思うに値する5の間の5段階で評価させた。表4に各項目に対しての各被験者の結果および平均を示す。

表4. 学習効果・学習意欲に関するアンケート結果

| 被験者 | 学習効果・意欲 |      |      |      |
|-----|---------|------|------|------|
|     | 問1      | 問2   | 問3   | 問4   |
| A   | 4       | 5    | 5    | 5    |
| B   | 5       | 5    | 5    | 5    |
| C   | 4       | 2    | 5    | 5    |
| D   | 4       | 3    | 4    | 4    |
| E   | 4       | 5    | 4    | 4    |
| F   | 5       | 3    | 4    | 5    |
| G   | 4       | 5    | 5    | 5    |
| H   | 4       | 4    | 4    | 5    |
| I   | 5       | 5    | 5    | 5    |
| J   | 5       | 5    | 5    | 5    |
| K   | 4       | 5    | 5    | 5    |
| L   | 3       | 4    | 4    | 4    |
| M   | 5       | 4    | 5    | 4    |
| N   | 4       | 4    | 4    | 3    |
| O   | 5       | 5    | 5    | 5    |
| 平均  | 4.33    | 4.27 | 4.60 | 4.60 |

問1～問4すべてにおいて平均が4点を超えており、学習効果・意欲ともに効果があったと考えられる。

問1および問2に関しては、模型によって展開の様子や各法則が可視化されたことにより理解を深められた被験者が多かったと考えられる。しかし、被験者ごとで結果を見ると2や3といった評価も目立つが、これは学習よりも操作に集中してしまったなどの原因が考えられる。また、問3および問4に関しては、平均が4.60で、おおむね高い評価を得ることができた。MRに対する好奇心や授業で模型を利用することへの肯定的な意見が多かったことが理由として挙げられるが、一方で、中にはMRの操作にサポートが必要である被験者もいたため、現在教育機関において普及が続いているタブレット学習のように利用するには課題が残る。

## 6. 結論

本研究では、中学1年生数学における空間図形の授業において、生徒が模型等を利用して主体的に学習を行えることを目標に、授業の補助教材としてMRを用いた空間図形

学習教材を構築し、その教材が空間図形の学習に有効であるかを評価するため、実際の学習に加え学習前後のテストの点数や学習効果・意欲について検討した。

その結果、学習前後のテストの点数差では統計的に有意な差は生じておらず、本教材での学習に効果はないことが明らかになった。この原因としては、対象が大学生ということや、テストの難易度差や教材の扱いづらさなどが考えられる。しかし、問題別に見ると、学習前テストでは解答できなかったねじれの位置の問題が学習後テストでは答えられるようになっていたなどの効果が見られた被験者もあり、MR教材の効果があつたように見受けられることもできる。しかしこれは実際に問題別に数値としてデータを集計したわけではないため、今後はテスト全体の結果だけでなく問題別にも評価していきたい。

また、学習効果・意欲の面に関しては、どちらの点でも平均4点以上と高い評価を得ることができた。MRの特徴でもある、法則などの目に見えないものを可視化できる点により評価が高まったことが考えられ、また、好奇心などから学習意欲の面での評価も高いことがうかがえる。しかしながら、学習よりも操作に集中してしまったり、操作にサポートが必要になったりする面もあるため、チュートリアルという形で学習前に実際に操作方法を確認するなど、の要素を追加したり、評価の方法もさらに細かく、必要な情報を得られるように再検討していく必要がある。

## 参考文献

- [1] 学研：空間認知能力とは？発達していく過程とその鍛え方を解説します，<https://www.889100.com/column/column045.html>, 2023.
- [2] 文部科学省：中学校学習指導要領（平成29年告示）解説 数学編，2017.
- [3] 中野美登里，松原行宏，岡本勝，岩根典之：メンタルローテーション課題のためのAR型学習支援システム，日本感性工学会論文誌，Vol. 18, No. 3, pp. 201-208, 2019.
- [4] 教科書びったりトレーニング 数学1年 東京書籍版，新興出版社啓林館，2023.
- [5] 株式会社パディンハウス：ちびむすドリル 中学生，<https://happyililac.net/highschool.html>.
- [6] 藤原美樂，寺田裕樹，猿田和樹，陳国躍：不可視要素を可視化したVR理科教材の構築と自習用途としての評価，日本バーチャルリアリティ学会大会論文集，2G-01, 2023. 9.