



複合現実を用いた空間図形学習教材の開発 ： 演習形式の導入と学習効果の検証

Development of spatial geometry learning materials using mixed reality
： Introduction of exercise formats and verification of learning effects

室伏美佑¹⁾, 寺田裕樹²⁾, 猿田和樹²⁾, 陳国躍²⁾

Miyu MUROFUSHI, Yuki TERATA, Kazuki SARUTA, and Guoyue CHEN

1) 秋田県立大学大学院 システム科学技術研究科

(〒015-0055 秋田県由利本荘市土谷字海老ノ口 84-4, m26p012@akita-pu.ac.jp)

2) 秋田県立大学 システム科学技術学部

(〒015-0055 秋田県由利本荘市土谷字海老ノ口 84-4, terata/saruta/@akita-pu.ac.jp)

概要：物の大きさや位置を把握する空間認知能力を向上させるには、模型を用いた主体的な図形学習が有効とされる。そこで本研究では、空間図形の学習を題材に、授業支援を目的とした模型教材を複合現実（MR）で開発している。その一環として、従来の一方向的に内容を提示する教材構成を、演習問題に取り組みせる形式へと再構成し、大学生を対象に有効性および操作性の評価を進め、授業支援としての可能性を検討した。

キーワード：複合現実, 学習教材, 空間図形, 空間認知能力

1. はじめに

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、自身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能力で、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	● 視力の発達が未熟で、距離感を測りづらい
3~4 歳	● 両目を使って遠近を感じ始める ● 視力の発達で物の遠近を把握可能になる
5~9 歳	● 距離感が掴めるようになる ● 平面的な捉え方が立体的な捉え方になる
10 歳以上	● 空間認知能力の完成

また、この空間図形を向上させるには、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ながら学習をしたり、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、限られた授業期間内で生徒一人一人に沿って指導する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の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といった課題

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。MRを用いて現実空間の映像に仮想の立体を融合させ、実際に立体模型に触れているかのような体験をしながら空間図形を学習できる教材を構築すれば、学習指導要領に沿った授業を実施するための支援ができると考え、MRを用いた空間図形学習教材を構築した。

さらに今回は、立体になる展開図や垂直・平行といった法則を一方向的に指導していた教材形式だったものを、問題に答えてから解説を見る形の演習形式に再構築した。これにより自分で思考しながら演習問題に答える必要があるため、より学習者の思考を促し、主体的に模型に触れられるような教材となり、教材内容への理解度も向上させられると仮定して、その学習効果をテストやアンケートによって検討することを目的とした。

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。

図形依存性とは、一度学習したことのある図形が問題として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。また、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問題として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、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と、学習後に行うテストの解答時間および得点の2つで行うことにし、これにより、学習者は評定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を促せると考えられる。なお、実際のレベル評定に関しては、独自の指標を設けることを踏まえて今後の予定とし、本稿では検証していない。

3. 教材内容

本教材の演習問題は、中学1年数学の単元である空間図形の授業を対象都市、「立方体と展開図の関係」、「垂直・平行な辺と面」、「ねじれの位置の辺」という3種類の学習内容で構成されている [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

立方体の展開図と関係では、立方体とその展開図を用いて2つの演習問題を出題する。

1つは立方体について、面や頂点、辺の数や立体になる展開図を答えるものである。表示されている立方体を様々な角度から見て確認したり、表示されている展開図に対して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つ目は、展開図から立方体にしたときに重なる辺を求めるものである。図1に展開図から立方体にしたときに重なる片を求める演習問題を示す。

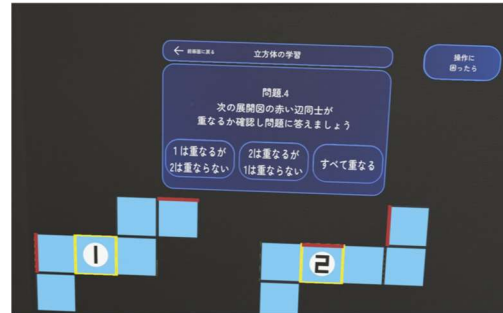


図1. 展開図から立方体にしたときに重なる片を求める演習問題

図1に示すように、展開図の一部の辺が赤くなっており、スライダーを用い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。

3.2 垂直・平行な辺と面

垂直・平行な辺と面では、辺同士の垂直と平行や、辺と面の垂直と平行の法則について演習問題を出題する。問題の例として図2に赤色の辺に対して垂直な面を求める演習問題を示す。

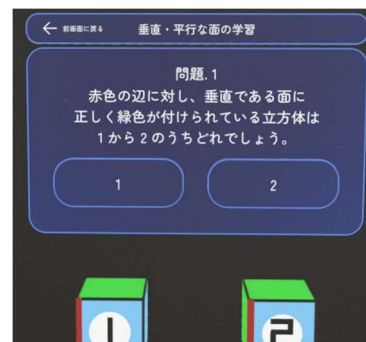


図2. 赤色の辺に対して垂直な面を求める演習問題

図2に示すように、赤色の辺に対して垂直な面を探す。垂直な面は緑で色付けされており、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。この出題方法は辺同士の垂直・平行を求める学習や辺と面の平行を求める学習でも同一である。

3.3 ねじれの位置の辺

ねじれの位置の辺では、任意の辺に対しねじれの位置にある辺について演習問題を出題する。図3に、赤色の辺に対してねじれの位置にある辺を求める演習問題を示す。

図3に示すように、赤色の辺に対してねじれの位置にある辺を求めるものとなっており、その位置にある辺には青で色付けがされている。

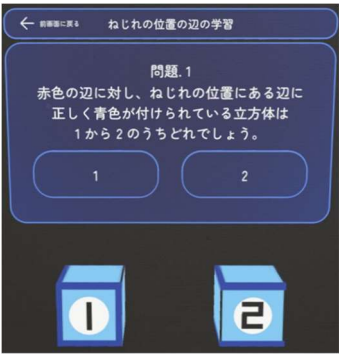


図 3. 赤色の辺に対してねじれの位置にある辺を求める
演習問題

4. 実験方法

はじめに、本教材での学習前にテストを実施し、現段階での理解度を調べた。このテストでは、教材と同単元の内容を 10 問出題し、テストの制限時間は 10 分として、被験者が問題を解き終わった時点で時間の計測をストップした。

次に、本教材での学習を実施した。学習にも 10 分の制限を持たせたが、教材を最後まで解き、内容を理解することを優先させるため、10 分以上かかっても問題ないことを教示した。また、ここでの学習にかかった時間を 1 つ目のレベル評定の対象にすることを予定している。

学習の終了後、全 10 問のテストを実施した。これは教材や学習前と同単元だが、10 問のうち数問を学習前のテストと同一の問題もしくは教材に出てきた演習問題と同一の問題にすることで、単純な得点だけでなく、問題の正答率を比較することによる学習効果の検証や、図形依存性の検証に利用している。また、学習後のテストを解答にかかった時間と全体の正答数を基にした 2 つ目のレベル評定の対象にすることを予定している。

テスト終了後、テストの難易度・テストの解答時間の長さ、空間図形の授業で模型を用いた経験の有無、本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、そして教材の良かった点や悪かった点を自由に記述してもらうアンケートを行った。これらのアンケートは藤原ら[6]による方法に基づき作成しているが、学習効果・意欲に関する質問に関してのみ Sevda Kucuk ら [7] による教材への満足度や意欲、不安度を評価するための質問に基づき作成している。

5. 実験結果および考察

本実験は、正常な視力を持つ大学生 11 名を対象とした。そのうち被験者の F' については学習時に時間計測の不備があったため、学習にかかった時間のみ検証から除外した。本稿では、テスト結果と学習効果・学習意欲に関する質問から、学習効果の有無と学習意欲向上効果の有無の 2 項目について考察する。

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)
A'	8	10
B'	5	6
C'	6	10
D'	5	5
E'	7	7
F'	8	10
G'	10	10
H'	8	8
I'	8	10
J'	8	8
K'	7	9
平均	7.27	8.45
標準偏差	1.42	1.72

両者の平均を比べると、学習前テストが 7.27 点、学習後テストが 8.45 点となった。統計的な有意差を調べるため t 検定で評価した結果、両者の平均値の差は有意であった。(両側検定： $t(20) = 1.75, p < .025$)

また、表 3 に学習前と学習後のテストで同一であった問題の一例として、任意の辺に対し平行な面の問題の各被験者の正誤の比較を示す。

表 3. 任意の辺に対し平行な面の問題の
各被験者の正誤の比較

被験者	学習前	学習後
A'	誤	正
B'	誤	誤
C'	誤	正
D'	誤	誤
E'	誤	誤
F'	正	正
G'	正	正
H'	正	正
I'	誤	正
J'	正	正
K'	誤	正

表 3 に示すように、学習前テストでは誤答だった問題に学習後テストでは正答できた被験者は 11 名中 4 名となり、一定の学習効果は見られるものの、点数が変わらなかったり、誤答のままの被験者がいることから、学習効果があるとは言い切れない。この結果となった要因について、教材内における演習問題と解説を表示する順序と、学習の制限時間が問題であると考えられる。まず表示の順序については、先に問題に答えてもらい、正答した場合は解説に移るというものであり、誤答の場合でもヒント程度に解説を含んでいるため、間違えることでより思考を促せるのではない

かという仮定をしていたものの、法則を理解してもらうための教材としては課題の残る結果となった。そして、制限時間については、10 分以上かかっても良いという前提条件を示したものの、10 分以内に終わらせることを優先させてしまい、焦って問題をしっかり答えられなかったといったアンケート結果が得られたことから、制限時間がテストの結果にも影響を及ぼしたと考えられる。

5.2 学習効果・学習意欲に関する質問

表 4 に、学習効果・学習意欲に関する質問項目を示す。

表 4. 学習効果・学習意欲に関する質問項目

	全くそう思わない <-> 強くそう思う
1. MR 教材での学習を楽しめた	1・2・3・4・5
この教材で楽しめた点を教えてください	
2. MR 教材を使うと学習への好奇心が高まった	1・2・3・4・5
3. MR 教材によって勉強がはかどった	1・2・3・4・5
4. MR 教材によって、より熱心に授業を受けられた	1・2・3・4・5
5. MR 教材によって、より授業に集中できた	1・2・3・4・5
6. MR 教材には興味がない	1・2・3・4・5
7. 授業で MR 教材を使う必要はない	1・2・3・4・5
8. 授業で MR 教材を使うのは時間の無駄	1・2・3・4・5
9. MR 教材を使うのは退屈に感じる	1・2・3・4・5
10. MR 教材を使うのは難しい	1・2・3・4・5
教材を使っていて難しいと感じた点を教えてください	
11. 他の授業でも MR 教材を使いたい	1・2・3・4・5
使ってみたい授業を教えてください	

質問項目は 1~5 点の 5 段階で評価し、全 11 問のうち、Q1~Q5 および Q11 は肯定的な質問、Q6~Q10 は否定的な質問となっている。肯定的な質問では点数が高いほど評価がよく、否定的な質問では点数が低いほど評価がよくなる。また、Q1, Q10, Q11 ではより具体的にどの部分が楽しめたか、どの部分が難しかったかなどを回答してもらうようになっている。

表 5 に学習効果・学習意欲に関する質問の回答結果を示す。

表 5. 学習効果・学習意欲に関する質問の回答結果

学習効果・意欲											
被験者	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11
A'	5	4	4	5	4	2	3	2	1	1	5
B'	5	5	5	5	4	1	1	2	1	3	4
C'	5	5	5	5	5	1	1	1	1	3	5
D'	5	5	4	4	4	1	2	1	1	3	4
E'	5	5	3	5	4	1	1	1	1	4	5
F'	5	5	5	5	5	1	1	1	1	2	5
G'	5	4	5	4	5	1	2	3	1	2	4
H'	5	5	5	5	5	1	2	1	1	1	5
I'	5	5	5	5	5	1	1	1	1	2	5
J'	5	5	4	4	4	1	1	1	1	3	4
K'	5	5	4	5	5	1	2	2	1	3	4
平均	5.00	4.82	4.45	4.73	4.55	1.09	1.55	1.45	1.00	2.45	4.55

表 5 に示すように、肯定的な質問の回答は平均 4 点以上となり、MR という技術と演習問題になったことが相まって被験者が教材に対して肯定的な意識を持って学習に取り組んだことが伺える。また、否定的な質問ではほとんどの回答が 1.5 点以下になっているが、Q10 の「MR 教材を使うのは難しい」という質問のみ平均が 2.45 点となった。この結果について、3 点以上を回答している被験者のアンケートを確認すると、操作説明のわかりづらさや、仮想物体の奥行きや掴みづらさなどを指摘しているものが多く、より MR に初めて触れることを考慮した教材開発が必要であることがわかる。

6. おわりに

本研究では、中学 1 年数学における空間図形の授業において、模型を利用し主体的に学習できるようになることを目標に、MR を用いて学習教材を開発し、その教材の学習効果をテストやアンケートをもとに検討した。

結果としてテストでは全体の正答数で両者の平均の差が有意であることがわかり、学習効果があったことが伺えるものの、学習前に解けなかった問題が学習後には解けるようになっているなどといった例はまだ少ないことが明らかになった。これについては、教材の構成や学習の制限時間が要因となっていると考えられる。また、今後はレベル評定の指標を作成し、より詳しく検証していく。

学習効果・学習意欲の点では、比較的肯定的な意見を得ることができたものの、MR の操作の点で難しさを感じている被験者も多く、より MR に初めて触れることを考慮しながら教材を開発する必要がある。

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://happyilac.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.

[7] Sevda Kucuk, Rabia Yilmaz, Ozlem Baydas, Yuksel Goktas : Augmented reality applications attitude scale in secondary schools: Validity and reliability study, Education and Science, Vol.39, p.388-392, 2014