

アナロジーと操作を活用したメンタルローテーション能力 向上のための学習支援システム

河中 晋規^{*1}, 松原 行宏^{*1}, 岡本 勝^{*1}, 岩根 典之^{*1}

^{*1} 広島市立大学大学院情報科学研究科

Learning Support System for Improving Mental Rotation Skills using Analogy and Manipulation

Shinki KAWANAKA^{*1}, Yukihiro MATSUBARA^{*1}, Masaru OKAMOTO^{*1} and Noriyuki IWANE^{*1}

^{*1} Graduate School of Information Sciences, Hiroshima City University

メンタルローテーション能力を鍛える際は操作を伴った学習を繰り返し行うことが重要であると言われる。そこで本稿では操作を伴った学習であっても短時間で出来ることを目的とした、操作とアナロジーを組み合わせたメンタルローテーション能力向上のためのシステムを提案する。本研究ではインタフェースや操作方法の異なるシステムを用いた比較検証と、その結果を受けて選定した提案システムを用いた学習効果の検証を行った。

キーワード:メンタルローテーション, Augmented Reality, Virtual Reality, 操作

1. はじめに

人間にとって本質的な能力の1つとしてメンタルローテーション能力が挙げられる[1]。この能力を鍛える際は、3次元物体を用いた操作を伴う学習を行うことが重要である[2]。しかし、従来では操作を伴わない学習方法が多く取られてきた。

そこで中野らはICT技術を活用することで、操作を伴うメンタルローテーション能力向上のための学習支援システムを実現した[2]。中野らのシステムでは立方体の形をしたARマーカを使用し、それを手に持って移動・回転操作することができる。実験の結果、正答率の向上といった部分的な学習効果が確認されたが、操作を伴う学習により学習時間が長くなる傾向が見られた。また、メンタルローテーション能力は繰り返しの学習により身につけることができると考えられている[1]。そのため、操作を伴う学習であっても短時間で効率的な学習を行えることが重要である。

そこで本研究では、アナロジーとメンタルローテーションの関係に着目した。頭部を使用したアナロジーにより、メンタルローテーションの問題の正答率や反

応時間の短縮効果が現れることが確認されている[3]。そのため、アナロジーを組み合わせることで操作を伴う学習であっても短時間で効率よく学習することが可能になると考えた。しかし、アナロジーと操作は単体で使用した場合の有効性は分かっているが、組み合わせた場合の効果については明らかになっていない。また、メンタルローテーション能力を鍛える際に適した操作方法やインタフェースも不明瞭である。本稿ではそのような点を明らかにするため、インタフェースや操作方法の異なる、アナロジーと操作を活用した3種類のメンタルローテーション能力向上のための学習支援システムを開発し、比較検証を行った。そして得られた結果から提案システムを選定し、学習効果の検証を行った。

2. インタフェースや操作方法の異なる3システム

本研究では頭部を利用したアナロジーにより、メンタルローテーションの問題にどのような影響が現れるか検証するために、インタフェースや操作方法の異なる

る3種類のシステムを作成した。以下、各システムをジャイロセンサ型システム、AR型システム、VR型システムとする。本章では各システムの特徴について述べる。

2.1 ジャイロセンサ型システム

図1にジャイロセンサ型システムの使用時の外観を、図2にシステム画面をそれぞれ示す。本システムはHMDコントローラとモニターから構成される。使用するコントローラにはジャイロセンサ機能が搭載されており、コントローラの角度情報を取得することができる。取得した角度情報は画面上に表示される仮想図形の角度と対応付けされており、これによりコントローラを用いた図形の操作を実現している。

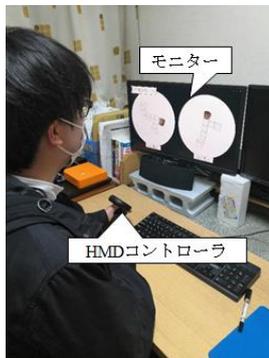


図1 ジャイロセンサ型システム使用時の外観

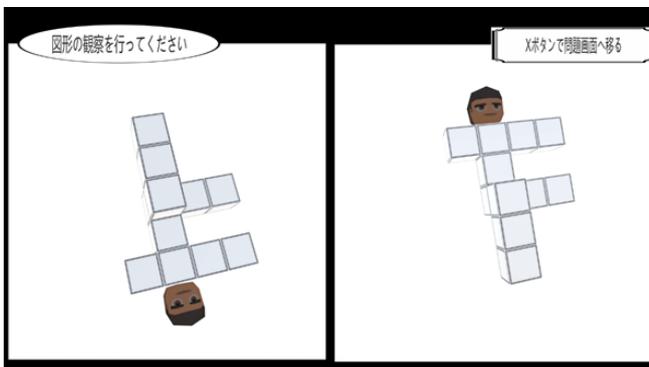


図2 ジャイロセンサ型システムのシステム画面

2.2 AR型システム

図3にAR型システム使用時の外観を、図4にシステム画面をそれぞれ示す。本システムはスマートフォンとARマーカから構成され、学習者はARマーカを用いた操作やタップ入力により学習を進める。ARマーカは実物を用いて操作を行っている感覚が得られる

よう、6枚のマーカを組み合わせる立方体の形にし、手に持って動かせるようにしている。ARマーカをスマートフォンのカメラを用いて認識することで、画面上に仮想図形を表示することができる。また、表示される図形はマーカの位置・角度情報と対応付けされており、マーカに対して行った動作が反映される。これによりマーカを通した図形の操作を実現している。

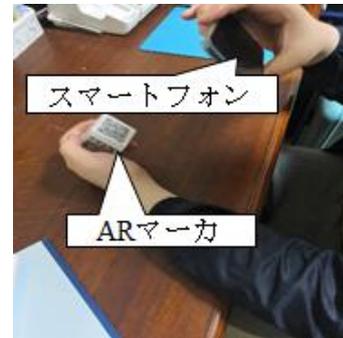


図3 AR型システム使用時の外観

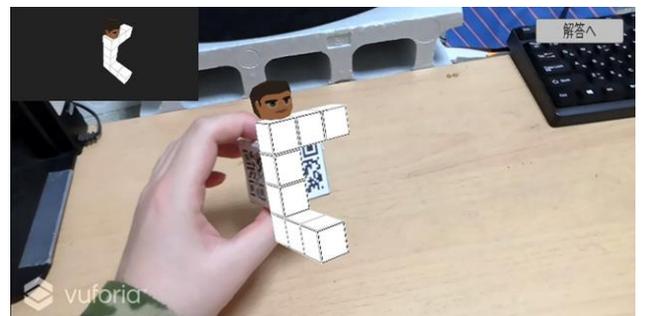


図4 AR型システムのシステム画面

2.3 VR型システム

図5にVR型システムの使用時の外観を、図6にシステム画面をそれぞれ示す。本システムはHMDとHMDコントローラから構成される。学習者はHMDを



図5 VR型システム使用時の外観



図6 VR型システムのシステム画面

かぶり、HMDのディスプレイ上に表示される仮想現実空間内で問題の解答及び操作を伴う図形の観察を行う。HMDとコントローラにはジャイロセンサや加速度センサといった機能が搭載されており、これにより両インタフェースの位置・角度情報を取得することができる。取得した情報をもとに観察画面を構築することで、学習者はHMDのディスプレイ上に表示される映像を見ながら、コントローラを用いて仮想図形の操作を行うことができる。

3. 3 システムの比較による検証実験

本実験は2章で紹介した3システムにおいて、アナロジーと操作を活用した学習がメンタルローテーションに対してどのような影響を与えるかを検証するために実施した。

被験者は理系の大学生・大学院生とし、ジャイロセンサ型システムが8名、AR型システムが6名、VR型システムが7名とした。検証ではまずシステムの使用方法について説明を行った後、アナロジー有りのメンタルローテーションの問題を30問使用して学習を行ってもらった。その後、アナロジー無しの問題を30問使用して学習をしてもらった後、提案システム選定のために事後アンケートとして各システムを使用した際の操作性等について回答してもらった。

表1に各システムを使用して学習を行った際の平均正答率と解答時間の結果を示す。表内の「/」で区切られた数字のうち、前の値がアナロジーを使用した場合の、後の値がアナロジーを使用しなかった場合の結果を示している。また、アナロジー有りと無しの結果に対して有意水準5%でt検定を行った際のp値が0.05未満の場合は有意差が見られたとして「◎」、0.05以上

表1 アナロジー有・無の結果と有意差の有無

項目	ジャイロセンサ型	AR型	VR型
平均正答率(%)	(90 / 88) ×	(98 / 91) ◎	(91 / 83) ○
平均解答時間(秒)	(7.7 / 9.4) ○	(6.9 / 8.5) ○	(8.1 / 11.2) ◎

0.1未満の場合は優位傾向として「○」、それ以上の場合は有意差無しとして「×」とした。

ジャイロセンサ型システムについては平均正答率に有意差は見られなかったが、平均解答時間に優位傾向が確認された。このことから、アナロジーがメンタルローテーションの速さに対して影響を及ぼしている可能性が確認された。AR型システムについては平均正答率に有意差が見られ、平均解答時間については優位傾向が確認された。そのため、アナロジーがメンタルローテーションの正確性や速さに影響を及ぼしているのではないかと考えられる。また、2次元上での学習に関しても先行研究同様、アナロジーによる影響が現れることが示唆された。VR型システムについては平均正答率に優位傾向が確認され、平均解答時間には有意差が見られた。このことから、アナロジーがメンタルローテーションの正確性や速さに影響を及ぼしている可能性があることが確認された。また2次元のみならず3次元上での学習においても、先行研究同様にアナロジーによる影響が現れる可能性が示唆された。全体的な結果としては、ジャイロセンサ型システムの平均正答率以外の全項目において優位傾向以上が確認されたことから、インタフェースや操作方法に関わらずアナロジーがメンタルローテーションに対して影響を及ぼすのではないかと考えられる。

表2に各システムにおける操作を伴う観察画面での一問あたりの平均所要時間を示す。表内の「/」で区切られた数字は表1同様にアナロジー有りと無しの結果を示している。得られた結果に対して有意水準5%でt検定を実施した結果、各システムとも有意差は見られなかった。これは各被験者が図形の観察を丁寧に行ったためであると考えられる。表1の結果を合わせて考えると、アナロジーによる効果は問題画面では有効であり、操作を伴う観察画面ではあまり有効ではないと

表2 観察画面での一問あたりの平均所要時間

項目	ジャイロ センサ型	AR 型	VR 型
平均所要 時間(秒)	(12.3/15.1)	(14.3/17.9)	(25.1/20.8)

考えられる。

提案システム選定のために実施した事後アンケートでは、ジャイロセンサ型システムが最も使いやすいという結果が得られた。また、AR型システムについては「操作時にARマーカに指がかかり、認識が途切れる事があった」、VR型システムについては「学習時に酔いを感じる」といった否定的な意見が見られた。メンタルローテーション能力を鍛える際は繰り返しの学習が重要である⁽¹⁾。そのため、長期間の学習を考えた際に、ジャイロセンサ型システムが最も適していると考え、提案システムとして選定し、以降の学習効果検証を実施した。

4. 提案システムを用いた学習効果検証

本実験は、提案システムであるジャイロセンサ型システムを用いて学習を行うことで、メンタルローテーション能力向上のための学習が行えるか検証するために実施した。被験者は理系の大学生・大学院生の12名とし、12名を4人ずつの3グループに分けて実験を行った。グループ分けは、アナロジーを使用して学習を行うグループ1、アナロジーを使用せずに学習を行うグループ2、学習者の解答状況に応じてアナロジーの有無が切り替わるグループ3とした。グループ3については問題開始時点ではアナロジー有りの状態で始まり、指定した問題数連続で正解した場合、アナロジー無しの状態に切り替わる。その状態で間違えた場合、再度アナロジー有りの状態へと移行する。

検証ではシステムの使用方法について説明を行い、説明終了後に全ての被験者に事前テストとして共通の問題を30問解答してもらった。そして各グループに割り当てられた方法で、共通の問題を30問使用して学習を行ってもらった後、事前テストと同じ問題を事後テストとして30問解答してもらった。

表3に各グループにおける事前・事後テストの平均

解答時間と平均正答率の結果を示す。表内の「/」で区切られた数字の前の値が平均解答時間を、後の値が平均正答率を表している。各グループ間で得られた結果に対して有意水準5%でt検定を実施したところ、全グループにおいて平均解答時間、正答率に有意差は見られなかった。しかし、メンタルローテーション能力を鍛える際は繰り返しの学習を行うことが重要であると考えられている⁽¹⁾。また、有意差は見られなかったが、全グループとも平均解答時間、正答率は向上していた。そのため、長期間システムを用いて学習を行った場合、有効性が示される可能性が考えられる。

表3 各グループの平均解答時間と平均正答率の結果

グループ	事前テスト	事後テスト
1	8.7 秒/88%	8.3 秒/90%
2	7.7 秒/83.4%	7.3 秒/90.8%
3	11.7 秒/88.3%	9.9 秒/92.5%

5. おわりに

本研究ではアナロジーと操作を組み合わせた学習がメンタルローテーションに及ぼす影響の比較検証と提案システムを用いた学習効果の検証を行った。実験の結果から各システムでの操作を伴う学習においてアナロジーが影響を及ぼすことと、提案システムを使用することでメンタルローテーション能力向上のための学習が行える可能性が示唆された。今後の課題として、アナロジーのみを使用し検証実験を実施するといった、実験条件の見直しなどが挙げられる。

参考文献

- (1) 池谷裕二:メンタルローテーション“回転脳”をつくる, pp. 4-16 (2019)
- (2) Moore, DS. Johnson, SP: Mental Rotation of Dynamic, Three-Dimensional Stimuli by 3-Month-Old Infants. *Infancy, the official journal of the international Society on Infant Studies*, Vol. 16, pp. 435-445 (2011)
- (3) 中野美登里, 松原行宏, 岩根典之, 岡本勝: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) Saeki, Y: 'Body analogy' and the cognition of rotated figures, *The Quarterly Newsletter of the Laboratory of Comparative Human Cognition*, Vol. 3, pp. 36-40 (1981)
- (5) Michel-Ange Amorim, Brice Isableu, Mohamed Jarraya, "Body Analogy" for the Mental Rotation of Objects, *Journal of Experimental Psychology*, Vol. 135, No. 3, pp. 327-347 (2006)