

## ARを用いた空間認識能力向上のための学習方法

秦野真衣<sup>†1</sup> 米澤朋子<sup>†2</sup> 吉井直子<sup>†3</sup>  
高田雅美<sup>†3</sup> 城和貴<sup>†3</sup>

本稿では、子どもの空間認識能力を高めるためのARを用いた新たな学習方法を提案する。ARを用いる利点として、物体を実際に動かすことで子どもでも直感的に、動作と視覚の両方の感覚を使って扱うことができる点がある。また、空中に浮いている立体などの仮想立体でも提示することが可能である。本学習方法は、イメージの中で物体を回転させやすくなるような支援を行っている。学習者はAR空間の中に表示された物体を別の角度から見る場合を想像し、想像された物体を新たに作成するものである。この学習方法による空間認識能力の学習効果を調べるために、小学生を対象とした実験と実験結果による分析を行っている。

### A training method of spatial reasoning capacity using AR

MAI HATANO,<sup>†1</sup> TOMOKO YONEZAWA,<sup>†2</sup> NAOKO YOSHI,<sup>†3</sup>  
MASAMI TAKATA<sup>†3</sup> and KAZUKI JOE<sup>†3</sup>

In this research, we propose a method to progress spatial reasoning capacity of children with Augmented Reality(AR). AR has two advantages. First, children can use AR tools viscerally with sense of action and vision, since this tool can be moved actually. Second, AR tools with AR can display virtual solids like floating solid. An AR tool, which is based on the proposed method, supports to make image which rotates objects more easily. Learner images rotated objects which was displayed in AR. Then, they make this imaged objects. To evaluate spatial reasoning capacity in the AR tool, we experiment and analyze in regard to elementary school children.

### 1. はじめに

空間認識能力とは、3次元空間上において、物体の位置や形状・方向・大きさなどの状態や位置関係を素早く正確に認識する能力のことを指す。この能力によって普段生活する中で、目の前にないものでも頭の中で想像し、視覚的なイメージを形成することができる。また、実際に存在するものへの操作と同じように、形成した視覚的なイメージに対しても認知的な操作を加えることができる。

昭和の子どもたちは、積み木や綾取り、知恵の輪、プラモデルの作成などの、立体的な遊びが中心である。しかし近年では、平面的な遊びが子どもたちの中で中心的なものとなり、立体的な遊びを行うことが少なくなってきている。立体的な遊びを行うことで子どもたちは、自然と空間を把握する空間認識能力を育むことができる。しかし子どもの遊びの平面化に伴って、空間図形に対する学びが少なくなっている。

義務教育の学習でも空間図形の教育がなされているが、ゆとり教育の影響で、空間図形の学習が減少してしまっている。例えば、中学1年の最後に学ぶ空間図形を十分理解できずに卒業する生徒も少なくない。さらに高校数学では、かつては必ず学んだ空間の一般平面や直線の方程式も一部の特殊なものしか教えなくなっている<sup>1)</sup>。

空間を強く意識することで空間認識能力が向上するが、遊びの面でも教育面でも疎かになってきているため、空間認識的な学習をする機会が少なくなっている。例えば、空間図形を初めて学習するのは小学2年生である<sup>2)</sup>。初めは立方体や直方体といった基本的な立体を学ぶが、その際、教科書等の学習教材では立体が平面上に表されている。しかし、空間認識能力が低いと平面上に書かれた立体の認識が難しく、学習に支障をきたしてしまう。このため、子どものころから空間認識能力を高めることのできる教育が必要となってきている。

本研究では、子どもの空間認識能力を向上させるための新たな学習方法を提案する。空間認識能力が高い子どもの場合、任意の物体を頭の中で回転させることが容易である。しかし、空間認識能力が低いと回転後のイメージがなかなかつかみにくい。そこで、回転後の

<sup>†1</sup> 奈良女子大学理学部情報科学科

Department of Advanced Information and Computer Sciences, Nara Women's University

<sup>†2</sup> 関西大学総合情報学部

Faculty of Informatics, Kansai University

<sup>†3</sup> 奈良女子大学大学院人間文化研究科

Graduate School of Humanities and Sciences, Nara Women's University

イメージを想像しやすくなるよう支援する、ブロックを回転させる学習ツールを開発する。また、作成した学習ツールが子どもの空間認識能力の向上に効果があるか確かめるため、効果実験と、分析を行っている。

2章で既存研究、3章で提案したAR学習ツール、4章にて効果実験の流れとその結果を説明し、5章にまとめを記す。

## 2. 既存研究

本研究では物体を自在に動かすことができ、仮想的な立体でも再現させられるようになるため、学習ツールにAR (Augmented Reality, 拡張現実) 技術を使用している。ARとは、目の前にある現実世界に仮想オブジェクトを配置することで情報を表示する技術、および表示された環境のことを指している。

教育分野で扱われているARとして、考案されているものを紹介する。

まず、タイの国立教育技術研究所でAugmented Reality for Educational Textbooks<sup>4)</sup>という、いわゆるAR教科書が考案されている。教科書を小型のビデオカメラで映して使用する。これにより、今までは平面上でしか見るのでできなかった資料を、立体的に見ることができる。また、時間による変化も見ることができる。このため、今までと異なる視点で情報を得ることが可能となっている。

次に、美術教育でもARの取り組みがなされている<sup>5)</sup>。これは、美術教育の彫像鑑賞を目的とした教材である。この研究では、AR教材の効果的な情報提示について検討している。これによって、写真と比べたときの彫像に対する理解が向上した。また、美術に対する学習意欲や学習教材としての有用性が確認されている。ただし、実物大提示の機能を追加した場合、大きすぎてマーカの操作が困難となることが分かっている。

幼児用の教材として、食育教材がある<sup>6)</sup>。これは食べ物のイラストが描かれたマーカを撮影することで、キャラクターが3次元CGで表示されるものである。これは教育現場において評価が高く、幼児の興味や積極的な操作を引き出すという評価が得られた。よって、ARにおける学習は教育面で興味を引き出し、積極的な学習が期待できる。

また、社会科で地図学習教材<sup>7)</sup>がある。一般的な教材として地図と、その地理の特色を示す写真教材がある。これは、従来から用いられている教材を発展させたものであり、写真の代わりにマーカを配置させることで3次元CGを合成表示させたものである。このAR教材は従来の教材よりも有効であるということが分かっている。理由としては3次元CGは写真よりも情報量が多く、強い視覚イメージを残すことが挙げられる。このため、言語的

に処理された知識だけにとどまらず、感覚的な記憶を残すと考えられている。また、3次元CGを用いることで現実の対象と地図上のシンボルを、効果的に結び付けることができることが分かっている。学習意欲の低い児童に対してもARに対する興味から有効性を示しており、学習意欲の向上も期待されている。

理科分野では天文学的なAR教材が存在している<sup>8)</sup>。季節による光と気温の変化を見るため、地球と太陽の関係を示すものである。これは、自在に動かせるハンディタイプのマーカ上に太陽と地球を表示させている。これにより、見る位置を調整できるため様々な方向からの観察が可能となっている。

化学の分野では3Dの分子モデルを表示させ、学習者自ら分子を作成する教材がある<sup>8)</sup>。これはまず、Drag-and-Dropの簡単な動作で原子を習得し、分子を作成する。発泡スチロールとストローを用いることで、従来の教材でも同じようなことができる。しかしARの利点として、分子が完成することで構造の名前を表示させることができ、分子間力の規則に従いつつ、複雑な分子でも自分で作成できることが挙げられる。このため、従来の教材よりも効果的であると言える。

また、空間認識能力向上のシステムとして、MR (Mixed Reality, 複合現実) を用いたシステムが提案されている<sup>10)</sup>。MRとは、現実物体と仮想物体をリアルタイムに、シームレスに融合させる技術のことである。これは実物体である立方体の側面にシルエットを描き、それをコンピュータに登録することで仮想物体を生成するものである。カメラで撮影された映像内の立方体にオーバーレイ表示を行い、シルエットから物体の形状を推測させる。そして、任意視点の様子から全体の様子を推測する能力の活用を促すものである。また、実物体の形状を観察し、シルエットを描くことにより、全体の様子から任意視点の様子を推測する能力の活用を促す。しかし、これはシルエットから物体の形状を推測できることを前提としており、空間認識能力が低い場合、想像ができないため学習が困難になることが予想される。このため、本研究では想像が困難なユーザでも学習が出来るような3次元表示の支援を行う。

## 3. ブロック回転学習ツール

本章では、子どもの空間認識能力を向上させるために提案する学習ツールについて述べる。本ツールは、物体をイメージの中で回転させやすくなるよう支援を行っている。

本ツールでは、開発環境にMicrosoft Visual C++を利用し、AR環境の構築のためにARToolkit<sup>11)</sup>を用いている。AR空間に表示するオブジェクトの描画にはOpenGL<sup>12)</sup>を

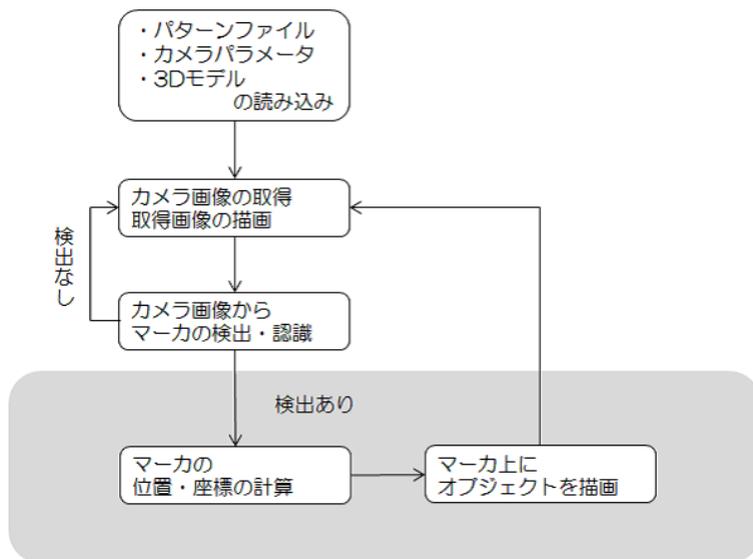


図 1 AR 空間構築の流れ

用いている。

AR 空間を実装するには大きく分けて 2 つの方法があり、セカイカメラ<sup>13)</sup>のように GPS (Global Positioning System, 全球測位システム) の位置情報を利用する方法と、AR マーカを用いる方法がある。本ツールでは、印刷された紙媒体である AR マーカからカメラを通して、位置情報を取得している。

プログラムの全体像としては、まずカメラ画像を取得・表示させる。次にカメラ画像の中からマーカの検出・認識を行い、その位置と姿勢を計算する。最後にマーカ上に 3D オブジェクトを描画することを繰り返している。AR 空間を構築する流れを図 1 に示す。本ツールではこの流れで AR 空間を構築し、キーボードを使うことでイベントを発生させ、AR 空間内のオブジェクトに変化を与えている。

本ツールを使用するにあたって、Web カメラと指定された 2 種類の AR マーカを必要とする。2 つある AR マーカの内、一方は問題提示用、他方は学習者自身の解答作成用として用意している。

1 つ目のマーカには問題として、複数のブロックと、方向を示す 1 匹のひよこが表示され

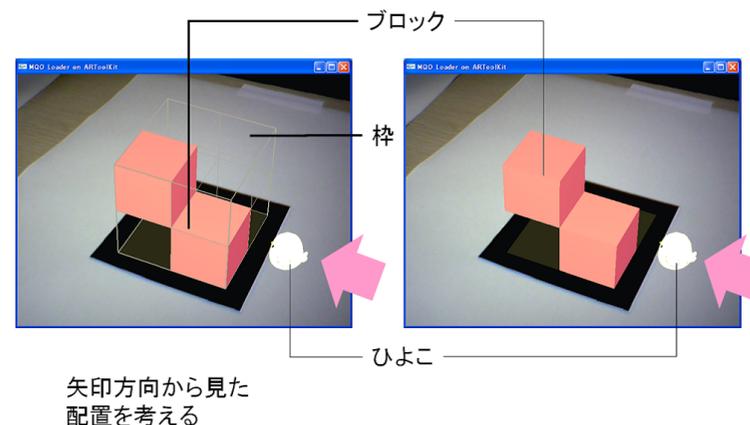


図 2 問題提示用マーカ (左: 条件「枠あり」、右: 条件「枠なし」)

る。これらの立体は、学習者によってイメージの中で回転させられる対象物となっている。図 2 はこの問題提示用のマーカに、問題として 2 つのブロックとひよこが表示された例である。このマーカを用いて、学習者はひよこの位置から見た場合のブロックの配置を考える。学習者は自分の達成度に応じて、この際、ブロックの配置とその数をキーボードを使用して変更することが可能である。ブロックの数は学習者が指定することができるが、その配置はランダムで表示される。ひよこの配置は 4 方向に指定ことができ、同じブロックの配置であっても別方向から考えることで、様々な回転についての対応が可能となっている。また、学習者がイメージの中での回転が困難だと感じた場合、実際にマーカを回転させて考えることが可能である。

2 つ目のマーカ上には解答するスペースとして、1~4 の番号を記している。学習者はキーボードを使うことで、解答スペースに任意にブロックを表示させることができる。動作はキーボードの 1~4 で行い、キーを押すとマーカと同じ番号上にブロックが表示される。番号キーを 1 回押すと下段に、2 回押すと上段に、3 回押すと上下段両方に、4 回押すと消え、初めに戻る。これを 1~4 の全ての番号上で行うことで、学習者は  $2^8 = 256$  通りのブロック配置を表現することができる。問題用ブロックをひよこ側から見た場合、それぞれのブロックがどの番号上にあるのかを考え、それを再現する。学習者が解答を作成した場合の様子を図 3 に示す。図 2 のブロックをひよこ側から見た場合、正解の配置は図 3 左のように

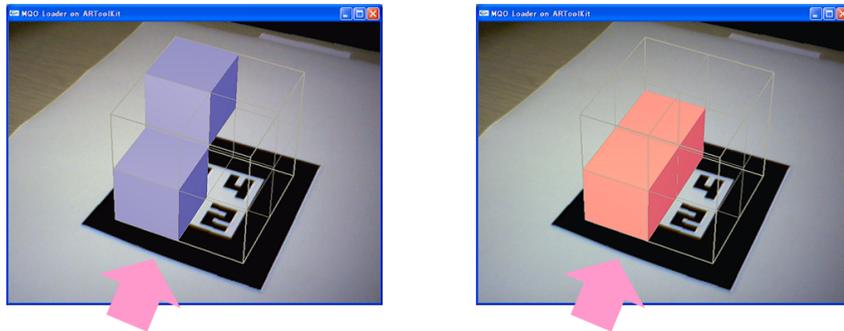


図 3 解答作成用マーカ（枠あり，左：正解，右：不正解）

なり，正解の配置を再現できるとブロックは青色で表示される．再現したブロックの配置が不正解だった場合には，図 3 右のようにブロックが赤色のまま変化しないため，学習者はそれが正解か不正解かを知ることができる．

#### 4. 実 験

AR を用いた学習方法による空間認識能力の学習効果を確認するために，3 章で述べた学習ツールを用いて実験を行う．

スイスの児童心理学者である Piaget の認知発達段階<sup>14)</sup>によると，空間認識能力に関しては 12 歳の「形式的操作期」で大人と同等のものが確立される．また「具体的操作期」において，能力に大きな向上が見られることが分かっている．しかし「形式的操作期」に入ってからでも訓練によって向上させることが可能である<sup>15)</sup>．10～11 歳は，Piaget の認知発達段階の「具体的操作期」の終盤に位置し，空間認識能力が確立する直前の年齢で，最も能力が向上しやすい時期にあたる．よって，本実験では，奈良女子大学附属小学校の小学 5 年生の男性 37 名，女性 36 名で合計 73 名を被験者とする．

まず，学習ツールを使った AR 学習を行うことで，子どもの空間認識能力には影響を与えないと実験仮説を立て，分析を行う．

実験条件に，被験者間要因として学習ツールを使った AR 学習状況を 3 つに分ける．図 2 に示した枠による影響を見るために「枠あり」で枠も表示させた図 2 左のような AR 学習を「枠なし」では枠を表示させない図 2 右のような AR 学習を行う．また「学習なし」のグループでは 15 分待機の後，再度テストを行う．よって，本実験では「枠あり」「枠なし」

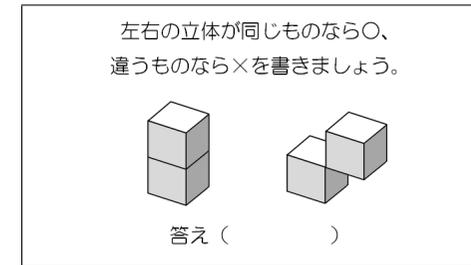


図 4 テストの問題例

「学習なし」の 3 条件を置く．また被験者内要因の学習の前後により，2 要因 5 条件としている．

実験の手順を以下に示す．

- (1) テスト (5 分)
- (2) AR 学習 (15 分)
- (3) テスト (5 分)

まず初めに，5 分間のテストを実施する．学習前にテストを行うことで，学習者が元から持っている空間認識能力を計測する．学習ツールによる空間認識能力の学習効果は，ペーパーテストを使って分析を行う．このテストの問題例を図 4 に示す．左右に並んだ 2 つの立体を見比べ，その立体が同じものであるかどうかを判断する．問題は 1 回のテストにつき 80 問，そして学習の前後でテストを行うため，2 種類用意している．5 分間で出来るところまで解答を行い，解答は か×の 2 択で行ってもらう．次に 15 分間，学習ツールを用いて AR の学習を行う．学習状況として「枠あり」「枠なし」「学習なし」の 3 グループに分けている．15 分の AR 学習の後，再度テストを行い，学習による効果を見る．テストの種類による違いをなくすため，実験を行う際にはテストの種類をランダムに並び替えて行っている．

実験に使用するパソコンは一般的なミニノートパソコンであり，指定の AR マーカを 2 種類，そして Web カメラを事前に準備・設置してある．また，AR 学習の間に学習者は，マーカの回転や移動を自由に行えることを伝えてある．ツールを使用して学習を行っている子どもたちの様子を，図 5 に示す．

実験結果を用い，分析を行う．空間認識能力とは，すばやく正確に認識することであるので，回答率で図形認識速度を，正答率で認識精度を見ている．図 6 に学習前・学習後におけ



図 5 AR 学習中の子どもたちの様子

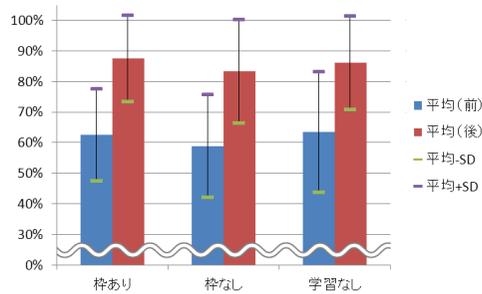


図 6 回答率

る回答率の平均を、図 7 に正答率の平均を示している。また、表 1 に学習状況と学習前後の 2 要因で分散分析<sup>16)</sup>を行った結果を示す。

まず、回答率の分散分析の結果、学習の前後に有意差 ( $F(1, 70) = 189.37, p < .001^{****}$ ) が確認される。これにより、テストを行うことによって図形認識速度を向上させる可能性が見られる。

次に、正答率において、学習の前後に有意差 ( $F(1, 70) = 14.82, p < .001^{****}$ ) が見られる。また、学習前後と学習状況間にも交互作用の有意傾向 ( $F(2, 70) = 8.09, p < .001^{****}$ ) がある。よって、交互作用の事後検定を行う。単純主効果の結果を表 2、表 3 に示す。学習の前後

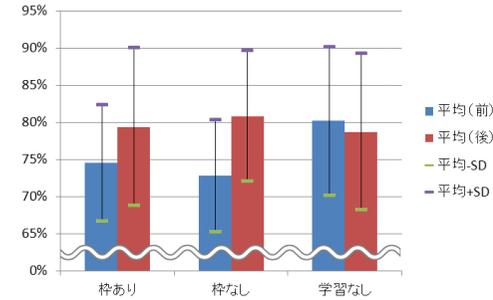


図 7 正答率

表 1 2 要因分散分析

	学習状況		学習前後		交互作用	
	$F(2, 70)$	$p$	$F(1, 70)$	$p$	$F(2, 70)$	$p$
回答率	0.54	0.59	189.37	< .001 <sup>****</sup>	0.17	0.84
正答率	0.76	0.47	14.82	< .001 <sup>****</sup>	8.09	< .001 <sup>****</sup>

有意水準  $p < .001^{****}$

で「桝あり」に有意差 ( $F(1, 70) = 8.14, p < .01^{**}$ )、「桝なし」に有意差 ( $F(1, 70) = 22.08, p < .001^{****}$ ) が確認される。よって、「桝あり」「桝なし」において AR 学習は正答率に影響を与えていることが分かる。

また、学習状況で学習前に有意差 ( $F(2, 140) = 4.13, p < .05^{*}$ ) が見られる。学習前で学習状況に対して正答率の多重比較を行った結果を表 4 に示している。「学習なし」「桝なし」間では有意差 ( $t = 2.76, p < .01^{**}$ ) が、「学習なし」「桝あり」間では有意差 ( $t = 2.12, p < .05^{*}$ ) が見られ、「学習なし」のグループに元々空間認識能力が高い被験者が偏ってしまったことが分かる。よって、実験仮説は棄却され、2 要因の効果が示されることを意味する。

以上の分散分析の結果より、まず回答率に向上が見ることが出来る。しかし、全学習状況で向上しており、学習状況による有意差が見られなかったため、これは AR 学習による影響ではなく、ペーパーテストを行うことで慣れが発生したためと思われる。よって、図形認識速度には AR 学習が影響していない。次に正答率の結果を見ると、AR 学習を行った場合の

表 2 交互作用の単純主効果 (正答率, 学習前後)

	枠あり		枠なし		学習なし	
	F(1,70)	p	F(1,70)	p	F(1,70)	p
学習前後	8.14	< .01**	22.08	< .001****	0.78	0.38

有意水準  $p < .01^{**}$ ,  $p < .001^{****}$

表 3 交互作用の単純主効果 (正答率, 学習状況)

	学習前		学習後	
	F(2,140)	p	F(2,140)	p
学習状況	4.13	< 0.05*	0.32	0.73

有意水準  $p < .05^*$

表 4 学習前における多重比較 (正答率)

学習前		t	p
学習なし	- 枠なし	2.76	< 0.01**
学習なし	- 枠あり	2.12	< 0.05*
枠あり	- 枠なし	0.64	0.53

有意水準  $p < .05^*$ ,  $p < .01^{**}$

みに学習前後で向上していることが分かる。また、「枠あり」「枠なし」ではともに正答率の上昇が見られ、枠による学習の影響は見られない。よって AR 学習が認識精度に影響していることが分かるため、本ツールを用いた AR 学習には認識精度を向上させる効果があると言える。

## 5. ま と め

本稿では、子どもの空間認識能力を高めるための、AR を用いた新たな学習方法を提案した。

本ツールでは、AR を使用することによって、実際に手を動かして直感的な操作が可能になる。このため、子どもでも容易に、そして視覚と触覚が連動するために操作方法が分かりやすいツールが作成できる。また、AR を用いることで現実では再現不可能な、例えば空中に浮いている立体のような仮想立体も表現できる。よって、様々な状態の立体をイメージの中で回転することができる。想像することが困難な場合はマーカー自体を回転させることで、イメージの中で回転させるための支援を行う。

AR 学習ツールを用いた実験分析の結果、正答率において枠の有無による違いは見られな

かった。また、「学習なし」には前後に有意差が見られなかったが、AR 学習をした場合の「枠あり」「枠なし」では共に、学習前後に有意差があり、AR 学習は正答率の向上に効果があることが分かる。よって、この学習ツールは子どもの空間認識能力を向上させるツールとして、有効であると言える。

本研究で作成したツールでは、正答率の向上は見られたが学習ツールによる回答率の向上は見られない。空間認識能力は正確さとスピードが求められるため、今後図形認識速度も向上させられるツールを作成すべきである。

## 参 考 文 献

- 1) 産経新聞, 2011/12/10, 朝刊, 疎かになった空間図形の教育
- 2) 文部省, 小学校学習指導要領, 大蔵省印刷局, 2009
- 3) 橋本直, ARToolKit 拡張現実感プログラミング入門, ASCII, 2008
- 4) The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology  
<http://www3.ipst.ac.th/eng/>
- 5) 瀬戸崎典夫, AR 技術を用いた美術教材の開発および有用性に関する検討 (学習のユビキタス化とシステム構築技法/一般), 電子情報通信学会, pp.23-26, Vol.110, No.405, 2011
- 6) 小杉大輔, AR 技術を用いた幼児用教材の開発と評価, pp.55-68, Vol.25, 2011
- 7) 手島裕詞, Augmented Reality を用いた児童用教材の開発, 電子情報通信学会論文誌, pp.2067-2071, Vol.11, 2009
- 8) Brett E. Shelton, Copyright 2002 by New Horizons for Learning, Vol.9, 2002
- 9) 池井寧, 空間型電子記憶術に関する研究, Vol.14, No.2, 2009
- 10) 高村壮幸, 空間認識能力向上のための立体表示システム, 信学技報, pp.129-134, Vol.104, 2005
- 11) 加藤博一, 拡張現実感システム構築ツール ARToolKit の開発, 信学技法, pp.79-86, PRMU 01-232
- 12) OpenGL  
<http://www.opengl.org/>
- 13) セカイカメラ  
<http://sekaicamera.com/>
- 14) J. Piaget[著], 中垣啓 [訳], ピアジェに学ぶ認知発達の科学, 北大路書房, 2007
- 15) 吉井直子, 子どもの興行き知覚発達モデルに関する研究, 奈良女子大学大学院博士論文, 2010
- 16) 後藤宗理, 要因計画法, 北大路書房, 2004