

K-013

## 幼児の空間表現システムの開発と評価

## Development and evaluation of a spatial expression system for children

鈴木 昭弘<sup>†</sup>  
Akihiro Suzuki和嶋 雅幸<sup>†</sup>  
Masayuki Wajima川上 敬<sup>†</sup>  
Takashi Kawakami岡崎 哲夫<sup>†</sup>  
Tetsuo Okazaki

## 1 はじめに

幼児や児童の空間の認知・認識に関する発達過程を解明し、効果的な教育方法や教材を開発するための様々な研究が行われている [1] [2] [3]. それらによれば、空間表現能力は完成期に至るまでに1, 2年の短い期間で発達段階が推移するとともに、発達の個人差が多く、その様子も多様である。コンピュータを用いて空間表現能力の発達段階を支援することは有効であると考えられるが、このような試みは殆どなされていない。そこで、効果的な教材を開発する第一歩として、コンピュータを用いてこの時期の空間表現能力の発達段階を簡単に把握することを狙いとした、3D ペイントシステムを開発した。

本論文では3D ペイントシステムの概要について説明するとともに、幼児の空間表現能力の発達段階を把握するために、本システムを用いて2009年8月および2010年1月に実施した、幼稚園における評価実験とその結果について述べる。

## 2 3D ペイントシステム

幼児の空間表現構造の解明に関する東山ら [4][5] の研究がある。それによれば、幼児に現実空間の対象を見せてから隠し、それを紙への描画という形で表現を行った際の発達過程を図1のように整理している。短い期間で段階が推移し、特に4から7歳の4年間で急激に変化し、またその様子が多様であり、その頃の幼児は紙への

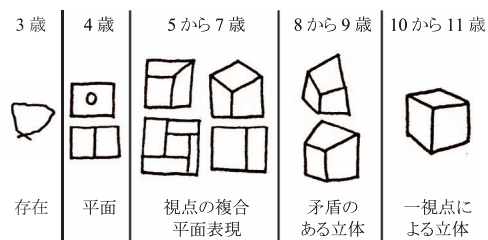


図1 空間表現の推移

描画において空間を持った表現が難しいことがわかる。このような研究結果にもとづき空間表現の発達を取得するシステムの要件を以下のようにまとめた。

- 対象は4から7歳児
- 発達段階に関わらず可能な表現手法
- 幼児でも操作可能なインタフェース
- 幼稚園教諭や幼児の親が簡単に実施可能な空間表現能力の発達段階を取得するための実験機能

本研究では次のような、発達段階に関わらず可能な空間表現手法を提案する。図2は視点の複合表現期(5歳から7歳)の絵を模したものである。これは、真上から見た道路と線路、真横から見た家と電車を一つの絵の中に複合して描いている。これらをそれぞれのパーツに分け、3D空間上で組み立てると、図3ようになり、空間をもった表現が可能である。このような日常的な「お絵かき」に「空間」を持たせることにより発達段階に関わらず幼児が表現可能であると考えられる。

このような空間表現手法を実装したコンピュータ・システムとして3D ペイントシステムを開発した。本システムはC++言語を用いて開発し、WindowsおよびMac OS Xで動作する。

操作デバイスには任天堂のWiiリモコン [6] を応用した。これは、マウス単体では3D空間での操作を行うことができず、ソフトウェアで実装されたマニピュレータなどを用いて3D空間での操作を行う必要があるが、しかしこれはコンピュータの使用経験が無い幼児には難し



図2 幼児の絵のモデル



図3 3D空間での組み立て

<sup>†</sup> 北海道工業大学大学院

いと考えられる。そこで、必要なセンサやボタンなどの機構を備えており、また、幼稚園や家庭での使用を想定しているため、入手性が良いデバイスを使用することで導入の敷居を下げることができることから、これを応用することとした。以降、これを3Dリモコンと呼ぶ。

本システムの実行画面を図4に示す。上部および左端にファイル関係のボタンやカラーパレットなどが並んでおり、ボタンなどは幼児が親しみやすいようなアイコンとともに平仮名で「つくる」「しまう」といった簡単な説明が書かれている。画面中央部の大部分を占めているのが操作を行う3D空間である。

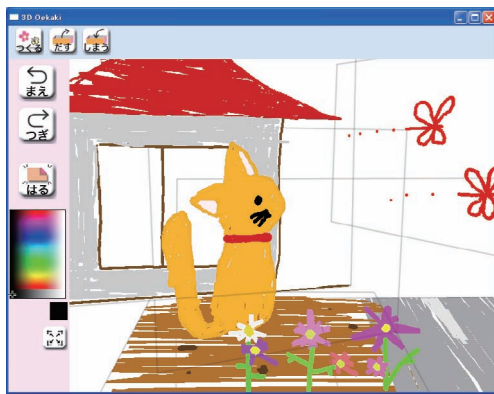


図4 3Dペイントシステム

## 2.1 システムの機能

基本機能として、3D空間上での2D平面(紙)に対するペイント、紙の作成、紙の移動・回転、視点の移動・回転、自動紙サイズ拡大などの機能を実装した。紙は複数枚作成でき、ペイントした部分以外は透明である。3D空間上で紙にペイントを行い、複数の紙を組み合わせることで、立体感や遠近感もった様々な表現が可能である。さらに、実験機能として「移動実験機能」、「回転実験機能」、「配置実験機能」を実装した。これらの実験機能の詳細については3章で述べる。

## 3 実験

本システムにより、「空間表現能力の発達段階の把握」が可能かについて評価するために、幼稚園児を対象とした調査実験の検証項目を以下のように整理した。

- a. 本システムを幼児が使用可能か
- b. 空間表現能力の年齢による差が取得可能か
- c. 年齢層における発達の推移が取得可能か

(b) および(c)の検証のため、システム内の空間を認知し、ある操作を行うのに必要な時間と、操作を完了できるかを調査する「移動実験」および「回転実験」を設

定し、また空間表現の様子に違いが現れるか調査する「配置実験」を設定した。(a)については「移動実験」および「回転実験」をマウスを使用して操作した場合と比較、検証する。これらの実験について以下に説明する。

**移動実験：**図5のように、2個の立方体が異なる位置に配置されており、一方の立方体を動かし、目標となる立方体に重ねる実験である。操作可能な立方体は黄色くハイライトしている。右へ移動、左へ移動、上へ移動、手前へ移動、3軸に対する移動(1)、3軸に対する移動(2)の6種類を設定した。

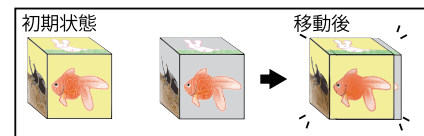


図5 移動実験

**回転実験：**図6のように、向きの異なる2個の立方体が隣り合わせに配置されており、立方体を回転させ、他方の立方体の向きと揃える実験である。右90度回転、左右180度回転、下90度回転、2軸に対する回転(1)、2軸に対する回転(2)の5種類の回転実験を設定した。

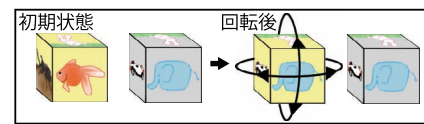


図6 回転実験

**配置実験：**現実空間で2枚の紙の関係を提示し、システム内で同様な関係になるように紙を配置する実験である。紙には「猫」や「家」、「花」などを用意し、それらの紙の関係を被験者に提示する。平行配置、垂直配置の2種類の配置実験を設定した。

### 3.1 実験の流れ

調査は二つの段階に分けて行い、いずれの調査でも移動実験、回転実験、配置実験を行った。対象は4歳児クラス10人と5歳児クラス25人の合計35人である。実験は図7のように、第一段階では、インタフェース評価のために、移動実験と回転実験について本システムを使用した場合とマウスとマニピュレータによる操作の場合との比較実験を行い、また、第二段階のためのデータを取得した。半年後に行った第二段階では、第一段階で調査した被験者と、新規の被験者に対して同様の実験を行い、半年間における空間表現能力の発達を取得可能か、また年齢層における発達段階を取得可能かを検証した。

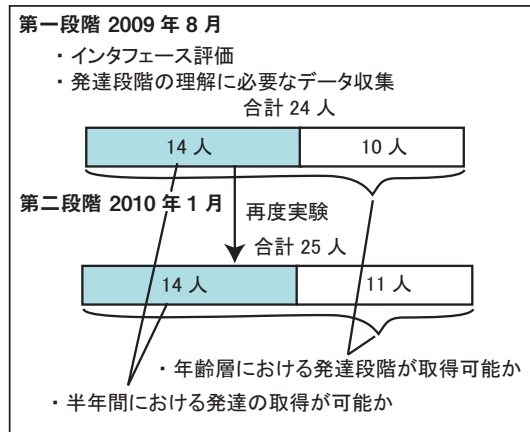


図7 実験の計画

実験は1人ずつ個室で行い、実験時間は20から25分程度であった。実験の説明と操作方法は、各実験を行う前に口頭とジェスチャーにより行い、本システムを使用した説明は行わなかった。実験中の様子を図8に示す。被験者は楽しんで操作を行っており、「うまくできた!」といった声をあげて実験を行っていた。



図8 実験の様子

### 3.2 インタフェース評価

使いやすさを評価するため、立方体の移動実験と回転実験について本システムを使用する場合と、マウスを使用する場合との比較実験を行った。移動実験と回転実験の所要時間の平均をそれぞれ表1、表2に示す。

表1 移動実験：平均所要時間

	右	手前	3軸
マウス	60.3	52.6	62.0
3Dペイントシステム	14.3	24.4	35.8

表2 回転実験：平均所要時間

	右	左右	2軸
マウス	39.0	43.5	44.3
3Dペイントシステム	37.7	46.0	43.1

移動実験では、全ての実験において本システムの方が所要時間が短いことがわかる。t検定および、F検定に

よる分析では、右へ移動、手前へ移動においてt検定、F検定ともに5%水準で平均所要時間に有意な差が認められた。また、各実験を完了することができた被験者の割合である完了割合は3軸に対する移動で本システム0.88、マウス0.42、また、回転実験においても、2軸に対する回転で本システム0.79、マウス0.50、と本システムの方が全ての場合で完了割合が高くなった。これらのことから、本システムの方がマウスによる操作よりも幼児にとって扱いやすいと考えられる。

### 3.3 半年間における空間表現能力の発達の取得

2009年8月に移動実験と回転実験の調査を行った14人について、半年後の2010年1月に同様な調査を行い、空間表現能力の発達の差が取得可能かを検討する。

平均時間の比較を図9に示す。また、各実験を成功させることができた被験者の割合である完了割合の比較を表3、および表4に示す。

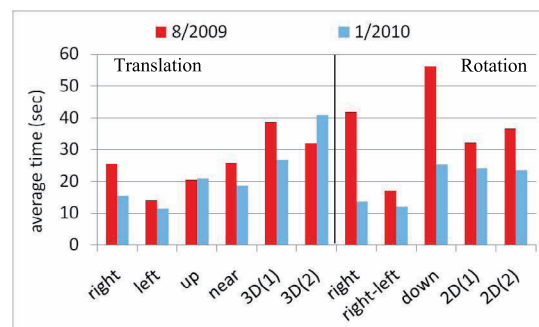


図9 半年間における平均時間

表3 移動実験：半年間における完了割合

	右	左	上	手前	3軸(1)	3軸(2)
2009/08	1.00	1.00	0.86	0.93	0.71	0.57
2010/01	1.00	1.00	1.00	0.93	0.71	0.71

表4 回転実験：半年間における完了割合

	右	左右	下	2軸(1)	2軸(2)
2009/08/01	1.00	1.00	1.00	1.00	0.79
2010/01/01	1.00	0.93	1.00	0.86	1.00

移動実験、回転実験ともに、半年後である2010年1月の結果の方が平均所要時間が短くなった。平均所要時間について、t検定およびF検定による分析では、t検定において、右90度回転、下90度回転、2軸に対する回転(2)が5%水準で有意な差が認められた。F検定では右へ移動、3軸に対する移動(2)、右90度回転、左右180度回転、下90度回転に有意な差が認められた。完了割合は、左右180度回転、2軸に対する回転(1)に

ついでのみ完了割合が低くなったが、それ以外の実験では、いずれも完了割合が高くなった。

以上のことから、被験者は半年後の方が移動・回転実験の所要時間が短くなる傾向を得られており、本システムにより、ある期間における空間表現能力の発達程度を得ることができる見通しが得られた。

### 3.4 空間表現能力の発達の推移の取得

本システムにより取得した、移動実験および回転実験の所要時間と完了割合から、空間表現能力の発達段階の年齢層における推移を取得することが可能かを検討する。全被験者35人の年齢層毎の移動と回転実験の平均所要時間と完了割合を図10に示す。調査を2回行った被験者については、初回時のデータを使用した。

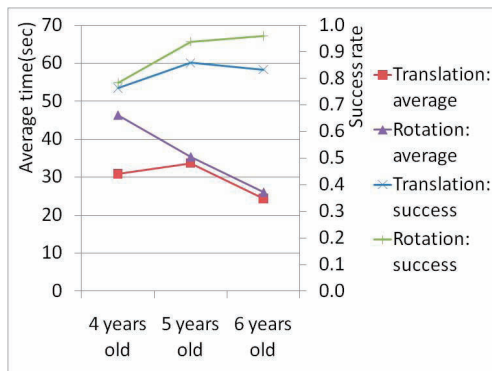


図10 年齢層による平均時間と完了割合

年齢が高くなるほど平均所要時間は短くなり、完了割合が高くなることからわかる。ただし、5歳児における移動の平均時間は長くなっている。これは完了割合が5歳児から特に高くなっていることから、時間は必要であるが完了することができた被験者が増えたためと考えられる。4歳児では所要時間は短い、完了割合は低くなっている。仮に、完了できなかった被験者が多いことから、成功できるまで待ったとすれば、所要時間は5歳児より長くなることが予想される。

以上のように、年齢層によって所要時間、完了割合ともに若干のばらつきはあるが、成績が良くなる方向に推移することがわかった。これは発達段階に対応していると考えられ、より多くのサンプルを取得することで、発達段階の推移を取得することが可能になると考えられる。

### 3.5 空間表現の様子における発達の取得

紙への描画では空間をもった表現が難しいとされている4から6歳児に対し、紙の配置実験を行った。これ

は、現実空間の紙の関係を認知し、それをシステム内でのどのように表現を行うかを調査するものであり、年齢による空間表現の様子の変化が理解可能かを検討する。

空間表現の様子を取得するために、図11に示すような平行配置実験および垂直配置実験の2つの紙の配置実験を行った。平行配置実験は、まず、説明者が実際の「家」と「猫」の絵がそれぞれプリントされた2枚の紙を手を持ち、「お家の前に猫さんを座らせてあげましょう」と説明しつつ、「家」がプリントされた紙の前に、やや距離を置いて「猫」がプリントされた紙を重ねる。そして被験者には、本システム内にあらかじめ用意した「家」と「猫」の2枚の紙を同様な配置になるように表現してもらった実験である。垂直配置実験は、同様に寝かせた「地面」の上に、垂直に立てた「花」を配置する実験を行う。各実験の初期状態は2枚の紙を手前に向くように横に並べて配置した。

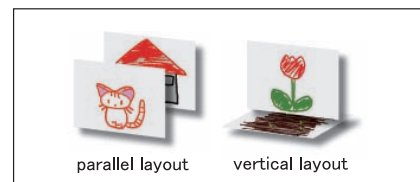


図11 紙の配置実験

配置実験では被験者が「できた」と言った時点で実験を終了した。また、結果が操作の習熟度に左右されないように、被験者がシステムの操作方法がわからない場合には被験者に尋ねてもらい、その方法を説明した。

実験の結果、図12に示すように、8種類の代表的な表現パターンを得ることができた。2009年8月と2010年1月の同一被験者における水平配置と垂直配置の結果を表5にまとめる。各実験において説明者が提示した関係は下線付きの太字で示した。

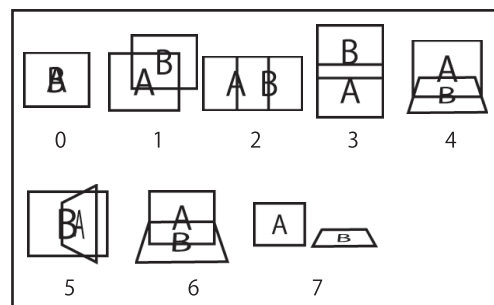


図12 表現パターン

いずれの実験も、2枚の紙の位置を同位置に揃える、パターン0番の表現が多く見られた。この要因として、空間認知、表現能力や、実験内容の理解度によるものが

考えられるが、特に配置実験の前に行った移動実験と混同したと思われる例が多かった。そのため、14人目以降からは、パターン0の表現を行った場合に、再度、紙の関係を提示し、同じようになっているかの確認をおこなった。

水平配置においては大きな変化は見られなかったが、垂直配置においては、正しい表現であるパターン4の被験者が2人から5人に増えた。そして、パターン0や1といった主に左右方向における表現が減って、指示した形に近いパターン3や5が増え、平面的な表現から立体的な表現が増えていく過程を得ることができた。

表5 半年後における配置実験結果

水平配置				垂直配置			
2009/8		2010/1		2009/8		2010/1	
表現	頻度	表現	頻度	表現	頻度	表現	頻度
0	9	0	8	0	6	0	4
<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	1	4	1	0
2	2	2	2	2	0	2	0
3	0	3	1	3	0	3	2
4	0	4	0	<u>4</u>	<u>2</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
5	1	5	2	5	0	5	2
6	0	6	0	6	1	6	1
7	0	7	0	7	1	7	0

#### 4 おわりに

本論文では、幼児の空間表現能力の発達段階がどのステージにあるのかを簡単に把握するためのシステムとして、3Dペイントシステムを提案した。このシステムを用いて「空間表現能力の発達段階の理解」が可能かについて幼稚園児を対象とした実験を行い、その評価を行った。

まずインタフェース評価を行い、一般的に用いられるマウスとマニピュレータによる操作より、本システムによる操作の方が有意に成績が良く、本システムの操作の方が3D空間内の操作がしやすいことを明らかにした。

空間表現能力の発達段階の理解については、移動実験と回転実験から、同一被験者における約半年間での空間表現能力の発達を取得可能かを調査し、半年後の方が有意に結果が良くなった。また、空間表現能力の推移の取得では、年齢が高くなるほど平均所要時間は短くなり、完了割合が高くなる傾向があった。さらに、配置実験において、紙への描画などでは立体的な表現が難しいとされている幼児から、より高度な立体表現が可能であることを見出すとともに、年齢における表現構造の違いを

得ることができた。

以上により、本システムによって第一段階としての幼児の空間表現の発達段階の把握が出来たと考えられる。まとめを以下に示す。

- パソコンの使用経験の無い幼児が使用可能
- 空間表現能力の発達の差を調べることが可能
- 被験者の空間表現能力の発達段階がどのステージにあるのか把握することが可能

本システムを使用することで、幼稚園教諭や両親が簡単に幼児の空間表現の発達段階を理解でき、幼児毎に適した環境を与えることが可能と考えられる。また、本システムを使用することにより、より効果的な教育手法や教材などを開発など様々な応用が可能になると考えられる。今後の課題は、本システムにより取得した成績から、幼児が現在どの発達段階にあるのかを定量的に評価するため、継続した調査によってより詳細な年齢と表現能力における関係や表現パターンを取得、解明し、その評価手法の開発を行うことである。

#### 謝辞

お忙しい中、実験の場を提供していただいた、新さっぽろ幼稚園の皆様へ深く感謝いたします。また、園児への実験にあたり協力していただいた御父母の方々に深く感謝いたします。

#### 参考文献

- [1] 小川絢子, 幼児期における空間的視点取得 - 2つの配置条件における描画の認知と産出の関連性 -, 京都大学大学院教育学研究科紀要, vol.52, pp.412-426, March 2006
- [2] 米谷光弘, 福山豊久, 幼児の空間認知能力と心身発達, 日本保育学会大会研究論文集, vol.53, pp.746-747, April 2000
- [3] 竹内謙彰, 幼児における航空写真の空間表現としての理解 - 発話プロトコルに基づく分析 -, 日本教育心理学会総会発表論文集, vol.50, pp.5, September, 2008
- [4] 東山明, 他, 神戸大学教育学部研究集録 第72,73,83,84,85,86集, 神戸大学, 1984-1990
- [5] 東山明, 東山直美, 子どもの絵は何を語るか 発達科学の視点から, 日本放送出版協会, 東京, 1999
- [6] 伊藤邦朗, 福田隆宏, Wii リモコン, 日本機械学会誌 vol.110 No.1069, pp.908-909, December 2007