空間表現システムによる
空間表現能力の把握に関する研究

2012年3月

北海道工業大学大学院

鈴木 昭弘

学位論文内容の要旨

北海道工業大学大学院工学研究科
電気工学専攻
博士後期課程
申請者氏名　　鈴木　昭弘

空間表現システムによる空間表現能力の把握に関する研究

近年、幼児や児童の空間認知および表現に関する発達過程の把握や解明を行い、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。空間認知および表現能力の発達過程の解明は、一般的に幼児に何らかの手法によって、認知した空間や幼児が考えている空間、すなわち内在的な空間を表現させることにより行われている。しかしながら、これらの研究において、幼児の空間表現能力を適切に把握するのは難しい課題である。例えば、紙への描画や言動からの抽出のように非3D空間によって表現させる試みがあるが、幼児が認知した3D空間を紙などの2D空間に対して描画したり、口頭で説明したりするよりも3D空間に対して表現する方が、より詳細な空間表現を把握できると考えられる。また、立体迷路を解かせる、もしくは対象物を複数の視点から見せ、対象物の場所を当てるなど3D空間において表現させる試みもあるが、幼児期の重力に対する感覚が大人とは異なる可能性や、認知した空間や表現したい空間の座標軸が現実空間とは異なる可能性については考慮されておらず、内在的な空間表現を十分に把握できていないと考えられる。

また、幼児の空間認知能力や表現能力を把握するために、知能検査の一つであるWPPSI知能診断検査やWISC-III知能検査などを用いることも可能である。しかし、基本的に2D空間における能力を測定するものであり、3D空間における能力を測定することは難しい。また、検査者の習熟が必要であるだけでなく、検査自体にも1時間から2時間以上の時間を必要とするため、検査者および被験者である幼児の負担が大きい。

以上の課題を解決するために、本研究では、紙への描画において立体的な空間表現が生まれ始めるとされている4歳児から7歳児を対象として、コンピュータの仮想3D空間内において空間の表現をさせることにより、3D空間における空間認知および表現能力の把握や、その発達過程の把握をねらいとした3D表現システムを作成した。コンピュータの仮想3D空間であれば、認知した空間を3D空間のまま表現可能であり、また、重力などのパラメータを柔軟に変更可能である。さらに、幼児が仮想空間の任意の軸を上下や前後として扱うことが可能であり、例えば、現実空間では基本的に不可能である、物体を空中に配置したり、奥行き方向を地面と決めて、表現を行ったりと様々な表現が可能である。また、実験の効率化が行えることから、空間表現能力の把握に必要な所要時間の短縮、検査者と被験者の負担の軽減、および効率化を見込める。さらに、従来、WPPSI知能診断検査やWISC-III知能検査のような知能検査で計る必要があった空間認知および表現能力を両親や幼稚園教諭が簡単に把握できるようになるとすれば、個人に適した指導や教材の開発が期待できる。また、発達過程の解明や、空間認知能および表現能力を把握するための、新しい指針の作成が期待できる。

本論文は6章構成となっており、各章の内容は以下のようになっている。

第1章では、今日の幼児を対象とした空間表現能力の把握の現状、および、問題点を挙げた。これを踏まえ、本研究の目的および意義を示し、論文の構成について述べた。

第2章では、空間表現能力の定義について説明し、紙への描画における幼児の空間表現の推移と特徴について述べ、紙への描画では幼児は立体的な表現が難しいことを述べた。次に、そのような幼児からコンピュータの仮想3D空間内において表現を得るためには、空間表現の手法が重要であることを述べ、複数の紙を仮想3D空間内で組み合わせる表現手法や立方体の移動や回転による表現手法が有効に働く可能性があることを示した。また、その上で、空間表現能力を把握するための幼児に適した空間表現手法として、現実空間である2枚の紙の関係を見せ、コンピュータの仮想空間内にあらかじめ用意された同様な2枚の紙を使用して、見せたとおりの関係を表現させる手法を提案した。また、3枚の紙を仮想空間内に提示し、これらを組み合わせる表現手法を提案した。さらに、2個の立方体をあらかじめ仮想空間に用意しておき、片方の立方体を移動して他方の立方体の位置に合わせる表現手法、および、2個の立方体を異なる向きで仮想空間内に用意しておき、片方の立方体を回転させて他方の立方体の向きと合わせる表現手法を提案した。

第3章では、3D表現システムのインタフェースについて述べるとともに、本システムに使用する操作デバイスである3Dリモコンによる操作について述べた。また、前章において提案した、幼児から空間表現を把握するための空間表現手法に基づいて本システムに実装した、各実験手法について述べた。次に、本システムのインタフェースの有効性の検討のために、本システムの3Dリモコンにおける操作と、一般手法であるマウスとマニピュレータによる操作との比較実験について述べ、所要時間や完了することができた被験者の割合などから、本システムのインタフェースが幼児に適していることを示した。

第4章では、本システムに実装した空間表現能力を把握するための実験手法の有効性の検討を行うためには、標準化されている発達の取得手法との比較が有効であることを述べ、比較対象には知能検査の一つであるWPPSI知能診断検査が適切であることを述べた。次に、本システムとWPPSI知能診断検査知能との比較実験について述べ、その結果、本システムとWPPSI知能診断検査との間に相関があるという結果を示すとともに、本システムは幼児の発達過程に則しており、その発達過程を把握可能であることを示した。

第5章では、幼児から空間表現の移り変わりや、空間表現能力の把握、また、その発達過程が把握可能かを検討するための、幼児を対象とした評価実験について述べ、その結果を分析した。分析の結果、同一被験者において同一の実験を半年の期間をおいて2回実施した結果、1回目と2回目では有意差が生じ、2回目、すなわち、半年経過後の方が結果が向上する結果を得ることができ、幼児の半年間における空間表現能力の発達を把握できることを示した。また年齢層ごとにおける発達過程の推移について検討し、年齢層が高くなるほど結果が向上する様子を得ることができ、年齢層ごとの発達を把握可能であることを示した。また、これらの実験について男女における比較について検討し、移動実験と回転実験では発達の進み方が男女によって異なる可能性を指摘した。また、2枚の模様が描かれた紙を使用して表現を行う実験である配置実験において、「地面」や「花」といった絵が描かれた紙を使用するよりも、「まる」や「ばつ」といった単純な記号を用いる方が結果が向上したことから、単純な記号を紙の模様として用いることによって、より純粋に空間認知能力および空間表現能力が把握できることを示した。以上の結果から本システムによって幼児の空間表現能力の発達を把握可能であることを示した。

第6章では、本論文の結論として、評価実験結果について要約して述べるとともに、本研究で得られた知見を総括した。

目 次

学位論文の要旨 II

目次 IV

図目次 VII

表目次 IX

1 序論 **1**

1.1 研究背景 2
1.2 研究の目的 3
1.3 各章の構成 4

2 3D 表現システム **6**

2.1 はじめに 6
2.2 空間表現能力の定義 6
2.3 空間表現手法 6
2.3.1 紙への描画における先行研究 6
2.3.2 本研究が対象とする幼児 8
2.3.3 仮想 3D 空間における表現 8
2.3.4 立方体の移動による表現 9
2.3.5 立方体の回転による表現 11
2.3.6 2 枚の紙の関係による表現 12
2.3.7 複数の紙の組み合わせによる表現 14
2.4 まとめ 16

3 3D 表現システムの構成 **17**

3.1 はじめに 17
3.2 3D 表現システムのユーザインタフェース 17
3.2.1 空間表現システムの操作デバイス 17
3.2.2 3D 表現システムの構成 19
3.2.3 操作方法 21
3.2.4 実験機能の流れ 23
3.2.5 移動実験のユーザインタフェース 24
3.2.6 回転実験のユーザインタフェース 26
3.2.7 配置練習のユーザインタフェース 28
3.2.8 配置実験のユーザインタフェース 29
3.2.9 紙の組み合わせ実験のユーザインタフェース 29
3.3 ユーザインタフェース評価 30
3.3.1 3D 表現システムによる評価実験の構成 31
3.3.2 一般手法による評価実験の構成 31
3.3.3 実験環境 32

3.3.4 評価実験 34
3.3.5 事前アンケート結果 34
3.3.6 移動実験結果 34
3.3.7 回転実験結果 36
3.3.8 実験後アンケート結果 38
3.4 まとめ 38

4 知能検査との比較実験 39
4.1 はじめに 39
4.2 知能検査の選定 39
4.3 WPPSI 知能診断検査 40
4.3.1 動物の家 40
4.3.2 絵画完成 41
4.3.3 迷路 43
4.3.4 幾何図形 45
4.3.5 積木模様 46
4.4 実験の流れ 47
4.5 実験環境 47
4.6 実験結果 48
4.6.1 移動実験と WPPSI との比較 48
4.6.2 回転実験と WPPSI との比較 51
4.6.3 配置実験と WPPSI との比較 53
4.7 まとめ 55

5 3D 表現システムによる評価実験 56
5.1 はじめに 56
5.2 実験の流れ 56
5.3 実験環境 57
5.4 移動実験による把握 59
5.4.1 半年経過における発達の把握 59
5.4.2 男女における半年経過による発達の比較 61
5.4.3 年齢層における発達の把握 63
5.4.4 男女における年齢層における発達の比較 64
5.4.5 移動実験における個人の発達 65
5.5 回転実験による把握 68
5.5.1 半年経過における発達の把握 68
5.5.2 男女における半年経過による発達の比較 69
5.5.3 年齢層における発達の把握 72
5.5.4 男女における年齢層における発達の比較 73
5.5.5 回転実験における個人の発達 74
5.6 配置実験による把握 77
5.6.1 空間表現パターンの分析 77
5.6.2 半年経過による発達の把握 79

5.6.3 年齢層における発達の把握 81
5.6.4 男女における年齢層における発達の比較 84
5.7 紙の組み合わせ実験による把握 87
5.7.1 表現パターンの分析 87
5.8 配置実験の紙の模様が結果に与える影響 89
5.8.1 実験の概要 89
5.8.2 絵による表現と記号による表現の比較 91
5.9 まとめ 95

6 結論 **96**

謝辞 **99**

参考文献 **100**

研究業績一覧 **102**

図 目 次

2.1 サイコロと水の入ったコップの絵の年齢による特徴の推移 7
2.2 幼児の絵のモデル 9
2.3 3D 空間での組み立て 9
2.4 立方体の移動による表現 10
2.5 立方体の回転による表現 11
2.6 平行配置 12
2.7 垂直配置 (1) 13
2.8 垂直配置 (2) 13
2.9 複数の紙の組み合わせによる表現 15
2.10 複数の紙の組み合わせによる表現例 (1) 15
2.11 複数の紙の組み合わせによる表現例 (2) 16
3.1 移動マニピュレータ 17
3.2 回転マニピュレータ 17
3.3 3D リモコンのボタン配置 19
3.4 3D 表現システム 19
3.5 システムの座標系 20
3.6 3D リモコン 21
3.7 センサーバー 21
3.8 3D 表現システムのシステム構成 21
3.9 水平移動 22
3.10 垂直移動 22
3.11 回転 22
3.12 実験の遷移 23
3.13 移動実験の遷移 25
3.14 回転実験の遷移 27
3.15 配置練習 28
3.16 配置実験 29
3.17 紙の組合せ実験 30
3.18 一般手法による移動実験画面 31
3.19 一般手法による回転実験画面 32
3.20 実験環境 33
3.21 3D 表現システムと一般手法による移動実験の比較 34
3.22 3D 表現システムと一般手法による回転実験の比較 37
4.1 WPPSI 知能診断検査 40
4.2 動物の家 41
4.3 絵画完成 (1) 42
4.4 絵画完成 (2) 43
4.5 迷路 (水平迷路) 44
4.6 迷路 (箱迷路) 44
4.7 幾何図形 45
4.8 積木模様 46

4.9 WPPSI 知能診断検査の実験環境 48
4.10 移動実験と WPPSI の結果の散布図 49
4.11 回転実験と WPPSI の結果の散布図 51
4.12 配置実験と WPPSI の結果の散布図 54
5.1 実験環境 58
5.2 実験の様子 58
5.3 半年経過による移動実験の平均所要時間の比較 59
5.4 半年経過による移動実験の完了割合の比較 60
5.5 半年経過による移動実験の平均所要時間の比較 61
5.6 半年経過による移動実験の完了割合の比較 62
5.7 移動実験における短縮時間 63
5.8 移動実験の年齢層による推移 64
5.9 移動実験の男女における年齢層による推移 65
5.10 移動実験の個人ごとの結果 66
5.11 半年経過による回転実験の平均所要時間の比較 68
5.12 半年経過による回転実験の完了割合の比較 69
5.13 半年経過による回転実験の平均所要時間の比較 70
5.14 半年経過による回転実験の完了割合の比較 70
5.15 回転実験における短縮時間 71
5.16 回転実験の年齢層による推移 73
5.17 回転実験の男女における年齢層による推移 74
5.18 回転実験の個人ごとの結果 75
5.19 配置実験における表現パターン 77
5.20 垂直配置 1 (成功 1) 78
5.21 垂直配置 1 (成功 2) 78
5.22 水平配置の年齢層における推移 81
5.23 垂直配置 (1) の年齢層における推移 82
5.24 垂直配置 (2) の年齢層における推移 83
5.25 男女における水平配置の推移 85
5.26 男女における垂直配置 (1) の推移 86
5.27 男女における垂直配置 (2) の推移 87
5.28 紙の組み合わせ実験の代表的な表現パターン 88
5.29 記号による表現 90
5.30 記号を用いる場合の正しい紙の関係 90
5.31 水平配置の表現手法の比較 92
5.32 垂直配置 (1) の表現手法の比較 92
5.33 垂直配置 (2) の表現手法の比較 93
5.34 幼児が普段行なっている表現例 94

表 目 次

2.1 立体・空間表現の推移 7
3.1 各操作手法による比較 18
3.2 事前アンケート結果 34
3.3 移動実験における比較実験の平均所要時間，標準偏差および完了割合 35
3.4 移動実験アンケート結果 36
3.5 回転実験における比較実験の平均所要時間，標準偏差および完了割合 37
3.6 回転実験アンケート結果 38
3.7 実験後アンケート結果 38
4.1 知能検査の比較 39
4.2 移動実験と WPPSI 間の相関係数 49
4.3 回転実験と WPPSI 間の相関係数 51
4.4 配置実験と WPPSI 間の相関係数 54
5.1 移動実験における所要時間の標準偏差 60
5.2 移動実験の標準偏差 (男女別) 62
5.3 回転実験における所要時間の標準偏差 69
5.4 回転実験の標準偏差 (男女別) 71
5.5 配置パターンの頻度 78
5.6 配置実験結果 79
5.7 紙の組み合わせ実験結果 88
5.8 絵による表現と記号による表現の頻度 91

1　序論

幼児や児童の空間認知および表現に関する発達過程の解明や把握を行い，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．空間認知および表現能力の発達過程の解明は，一般的に幼児に何らかの手法によって，認知した空間や幼児が考えている空間，すなわち内在的な空間を表現させることにより行われている．

例えば，紙への描画 [1][2] や言動からの抽出 [3] のように非 3D 空間によって表現させるものや，立体迷路を解かせる [4]，もしくは対象物を複数の視点から見せ，対象物の場所を当てる [5] など 3D 空間において表現させるものがある．しかしながら，多くの研究では非 3D 空間による表現からの把握を試みている．一方で，3D 空間において表現させることによる把握の試みは少なく，さらに，幼児期の重力に対する感覚が大人とは異なる可能性や，認知した空間や表現したい空間の座標軸が現実空間とは異なる可能性については考慮されておらず，内在的な空間表現を十分に把握できていないと考えられる．

また，幼児の空間認知能力や表現能力を把握するために，知能検査の一つである WPPSI 知能診断検査 [6] や WISC-III 知能検査 [7] などを用いることも可能である．ただし，空間認知および表現能力を測定する下位検査は存在するものの，基本的に 2D 空間における能力を測定するものであり，3D 空間における能力を測定することは難しい．これは，これらの知能テストは基本的に空間認知能力や空間表現能力の把握を目的としたテストではないためである．また，検査者の習熟が必要であるだけでなく，検査自体にも 1 時間から 2 時間以上の時間を必要とするため，検査者および被験者である幼児の負担が大きい．

以上に述べた 5 点の問題，すなわち，(1)3D 空間において表現をさせることによって空間表現能力を把握する研究は少ない，(2) 幼児は重力の概念が大人とは異なる可能性がある，(3) 幼児が表現したい空間は座標軸の使い方が大人とは異なる可能性がある，(4) 知能検査により空間表現能力は把握可能であるが 3D 空間における能力の測定は難しい，(5) 知能テストは多くの所要時間を必要とするため，説明者，被験者ともに負担がかかかるという 5 点を解決するたことが重要である．

まず，(1) の 3D 空間における把握のために，コンピュータを導入し，コンピュータの仮想 3D 空間内で表現を行わせ，その表現から空間認知能力や空間表現能力を把握することが有効であると考えられる．これにより，(2) の重力の概念が大人とは異なる可能性について，コンピュータの仮想 3D 空間であれば，重力などのパラメータを柔軟に変更可能であることから解決が可能であると考えられる．また，(3) の座標軸の使い方が大人とは異なる可能性についても，コンピュータを用いた場合では被験者に仮想 3D 空間を提示する際に，明示的に天地などを定めない限りは，操作者が自由にどの軸を地面とするかなどを決めることができる．これにより，現実空間では基本的に不可能である，物体を空中に配置したり，奥行き方向を地面と決めて，表現を行ったり様々な表現が可能である．(5) の多くの所要時間が必要なことから説明者と被験者の負担が増える点については，空間認知能力や空間表現能力を把握するためのテストをコンピュータによって実施することにより，知能検査とは異なり，各テストをコンピュータの画面上に正しい順番で順次提示することができる点，各テストの所要時間やスコアなどを自動で集計可能である点，また，空間表現能力の把握にのみ必要な検査のみを実施できるという点から，空間表現能力の把握に必要な所要時間の短縮，検査者と被験者の負担の軽減，および効率化を見込める．そして，コンピュータの仮想 3D 空間内で表現を行い，空間表現能力の把握に特化することにより，(4) の知能テストでは把握が難しい 3D 空間における空間表現能力を把握可能になると考えられる．

以上のようにコンピュータを使用することによって，3D 空間における空間認知能力や空間表

現能力をより詳細に把握し，さらにこれらの能力を把握するための検査を効率化することにより，幼児の空間認知および表現能力の発達段階を解明および支援し，より早い段階から想像性・創造性を育み広げる環境を形成することが重要であると考えられる．しかし，このような試みはこれまでほとんどなされていない．これは，空間表現能力は完成期に至るまでに1年から2年の短い期間で発達段階が推移するとともに，発達の個人差が大きく，その様子も多様であるため，効果的なシステムの構築が難しいためであると考えられる．

このような状況を踏まえ，本研究では，空間表現能力を把握する対象を，東山 [1] により紙への描画に立体的な空間表現が生まれ始めるとされている，5歳から7歳児および，その前段階の4歳児とした．そして，この4歳児から7歳児に対し，コンピュータの仮想3D空間内において表現をさせることによって，3D空間における空間認知および表現能力の把握や，その発達過程の可視化をねらいとした3D表現システムを作成した．

このシステムを使うことにより，WPPSI知能診断検査やWISC-III知能検査のような知能検査で計る必要があった空間認知および表現能力を，両親や幼稚園教諭が簡単に把握できるようになるとすれば，個人に適した指導や教材の開発が期待できる．また，幼児や検査者の負担を軽減するだけではなく，発達過程の解明や，空間認知能および表現能力を把握するための，知能検査とは異なる新しい指針の作成が期待できる．

1.1 研究背景

現在，乳児から幼児，そして児童と，幅広い年齢層の子どもに対して，この時期の空間認知能力や空間表現能力の把握を行うとともに，これらの能力の発達段階を把握する試みがなされている．

まず，乳児を対象とした空間認知能力や視知覚能力の把握のために，Fantzの選好注視法 [8] がある．これは，乳児は特定の図形パターンを選好するという一般的な性質を利用したものである．例えば，提示する柄は，柄がないものよりも柄があるものを好んで見たり，また，同心円の柄，縞模様の柄，および顔のような図形を好んで見るとしている．それにより，2つの柄を横に並べて提示し，それぞれの刺激への注視時間を比較することにより選好を調査可能としている．これにより言語能力や身体能力が未発達でる乳児から認知能力を把握することが可能となる．しかしながら，選好注視法は選好のない好みが同等なもの同士の図形の区別には有効ではなく，その上で，対象に好みがあるかどうかに関わらず対象間の区別を調べる実験手法として，Fantzは馴化・脱馴化法を挙げている．これは乳児は新しい刺激を好んで見る新奇選好があり，これを利用するものである．これを利用し，山口 [9][10] をはじめとし，視力やコントラスト感受性などの幼児の基礎的な視覚特性を解明する研究がなされている．また，このような研究においては近年ではコンピュータが導入されており，コンピュータのディスプレイ上に，2枚の図形を提示し，その時間や，どちらを見たかという結果を記録するというように応用されている [11]．また，年々では近赤外線分光法 (NIRS) を用いて，乳児の視覚に関する脳活動を計測する試みも行われている [12] [13]．

心身的に発達が進み，言語能力や身体能力が発達する幼児期になると，幼児に何かしらの表現を行わせることによって，幼児が認知している空間を把握する研究が多くなる．例えば，被験者に3つの山の模型を見せ，別の場所に人形などを置いて設定した他者の視点から見た光景を，正しい光景を含むいくつかの光景が含まれたカードから選択してもらうPiaget&Inhelderの3つの山問題 [14] がある．このような研究では，他者視点での光景が問われているにもかかわらず，被験者である幼児自身の自己視点での光景を選択する誤反応がみられるとされている．また，他の

把握手法として米谷・福山による平面迷路や立体迷路を解かせる方法 [4] や，関根の幼稚園から自宅までの経路を言語と身振りによって表現させる方法 [15] がある．そして，中でも古くから研究されている手法として，描画による手法がある．田口によると描画による心理学的研究は 19 世紀末から始まったとしている [16]．幼児を対象として描画による把握を行う研究は多く，Luquet[17] によって幼児期の描画特性がまとめられ，また，Thomas&Silk[18] による研究，東山 [1][19] による研究，および平井・竹中 [20] による様々な研究により，より詳細な発達的特徴や発達段階が示されている．例えば，Luquet は幼児の描画について，子どもは大人とは異なり自己の視点から見えない要素まで描くことを明らかにしている．これを Luquet は「知的リアリズム」という用語として説明し，対して，大人の実際の対処を見えるとおりに描く作用を，「視覚的リアリズム」という用語として説明している．後に，加藤・浜谷・田中・子安ら [21] が，さらに幅広く，知的リアリズムという用語を子どもの心のなかの内的モデルを忠実に描くという，幼児固有の描画表現全般を表す概念として再定義している．こののように描画による把握手法は現在においても盛んに研究されていることがわかる．

一方で，Piaget&Alina[22] は描画による把握手法や言語による把握手法について，4 歳児や 5 歳児の多くは質問に答えることができず，描画においては子どもの描画スキルが影響することを指摘している．さらに田口は，3 次元である空間を 2 次元平面へ投影しる必要性があり，また，言語や描画などのスキルが求められるため，表出に一定の制約が課されるため，幼児期の子どもがどのような参照枠 (空間的な認識や行動において基準となる枠組み) をどのように使用しているかが捉えにくいと指摘している [16]．

以上のように幼児を対象とした空間認知能力や空間表現能力の把握に関する研究は多くなされており，その手法も様々である．一方で，把握する手法によってメリットとデメリットがあり，決定的な空間認知能力や空間表現能力の把握手法の確立は困難であることがわかる．

そこで，コンピュータを導入することにより幼児がイメージする 3D 空間を，3D 空間のまま把握することが可能になると考えられる．それにより 3D 空間における空間認知能力や空間表現能力をより詳細に把握可能になり，さらにこれらの能力を把握するための検査の効率化が見込める．しかしながらこのような研究においてコンピュータを導入し，幼児の空間表現能力を把握する試みは少ない．そのためコンピュータを使用することにより，幼児の空間認知および表現能力の発達段階を解明および支援し，より早い段階から想像性・創造性を育み広げる環境を形成することが急務であるであるといえる．

1.2 研究の目的

研究背景において述べたように，幼児を対象とした空間表現能力の把握の試みは盛んに行われているが，従来の描画による手法や言語による手法では幼児の内在的な空間を適切に把握することは難しいと考えられる．これを解決するための手法としてコンピュータを導入することにより，より詳細に幼児の空間表現を把握することができると考えられるが，そのような試みは少ない．

そこで本研究では，(1) 幼児に適したコンピュータの仮想 3D 空間における空間表現手法の提案，(2) 提案した空間表現手法による空間表現を把握するシステムの構築，(3) 開発したシステムによる空間表現能力の把握を目的としている．

1.3 各章の構成

本論文の構成は，まず，幼児の空間表現能力およびその発達段階を把握するための3D表現システムを提案する．また，3D表現システムは幼児が使用することを前提としているため，ユーザ・インタフェースの有効性を本システムによる操作手法と一般手法との比較実験通じて検討する．そして，3D表現システムに実装した複数の実験手法を用いて，幼児の空間表現能力の把握，およびその発達段階の把握が可能かを，知能検査との比較実験や，本システムによる評価実験によって得た結果から検討する．

まず，第2章では，本研究の主題となる空間表現能力の定義について説明し，紙への描画における幼児の空間表現の推移と特徴について述べ，一般的な紙への描画では幼児は立体的な表現が難しいことを述べる．次に，そのような幼児からコンピュータの仮想3D空間内において表現を得るためには，空間表現の手法が重要であることを述べ，複数の紙を仮想3D空間内で組み合わせる表現手法が有効に働く可能性があることを示す．その上で，空間表現能力を把握するための紙を組み合わせる表現手法に加えて，立方体の移動や回転による表現手法について提案する．次に，幼児がコンピュータの仮想3D空間を操作する上では一般的なマウスによる操作が難しい可能性について述べ，仮想3D空間における操作デバイスとして3Dリモコンが有効に働く可能性があることを示す．

第3章では，開発した3D表現システムのユーザ・インタフェースについて述べるとともに，本システムに使用する操作デバイスである3Dリモコンによる操作について説明する．また，前章において提案した，幼児から空間表現を把握するための空間表現手法に基づいて本システムに実装した，移動実験，回転実験，配置実験，および，紙の組み合わせ実験の各実験手法について述べる．次に，3D表現システムが幼児が使用するシステムとしてインタフェースが適切かを検討する必要性について述べる．次に，コンピュータの仮想3D空間の操作に一般的に用いられる手法である，マウスとマニピュレータによる手法について述べる．次に，一般手法と3D表現システムの3Dリモコンを使用する手法の両手法について，立方体を移動させる移動実験や，立方体を回転させる回転実験の課題を設定し，幼児を対象とした評価実験を行った．その所要時間や完了することができた被験者の割合などから，本システムの方が幼児に適していることを示す．

第4章では，3D表現システムに実装した空間表現能力を把握するための実験手法の有効性の検討を行うためには，一般的に標準化されている発達の取得手法との比較が有効であることを述べる．次に，知能検査および発達検査の種類とその概要について述べるとともに，それらの比較を行った．その結果から，WPPSI知能診断検査が比較対象として適していることを示す．次に，幼児を対象として実施した本システムとWPPSI知能診断検査知能との比較実験について述べる．その結果，本システムとWPPSI知能診断検査知能との間に相関があるという結果を示すとともに，本システムは幼児の発達段階に則しており，ある側面から見た幼児の発達過程を把握可能であることを示す．また，基本的な能力を測定することを目的としているWPPSI知能検査よりも，高度な能力，すなわち空間表現能力の把握に本システムは有効であることを示す．

第5章では，3D表現システムによって，幼児から空間表現の移り変わりや，空間表現能力の把握，また，その発達段階が把握可能かを検討するための，幼児を対象とした評価実験について述べ，その結果を分析する．まず，同一被験者に対して半年間隔をおいて同一な実験を2回行い，この1回目と2回目において，立方体を目標位置まで移動する移動実験および，立方体を目標の向きになるように回転する回転実験の結果に差が生じるかを検討する．その結果，1回目と2回目では有意差が生じ，2回目，すなわち，半年経過後の方が結果が向上することを示し，幼児の半年間における空間表現能力の発達を把握できることを示す．また，年齢層ごとにおける発達

段階の推移について検討し，年齢層が高くなるほど本システムにおける結果が向上することを示し，年齢層ごとの発達を把握可能であることを示す．また，これらの実験について男女における比較について検討し，移動実験と回転実験では発達の進み方が男女によって異なる可能性を指摘する．次に，提示した通りに紙を組み合わせて表現を行う，配置実験について１回目と２回目で差が生じるか検討し，その結果，２回目，すなわち半年経過後の方が，提示した通りに紙を組み合わせることができる被験者や，提示した紙の組合せに近い組合せにできる被験者が多くなる結果を示し，本システムにより幼児の空間表現が把握できることを示すとともに，その表現の特徴について言及する．次に，複数の紙を提示し，自由に操作を行ってもらうことにより，自発的に立体的な空間を持つ表現を行うのかを検討し，特に指示を与えない限りは立体的な表現を自発的に行なわないという結果を示すとともに，一方で適切に命題を与えることや，説明を行う事が立体的な表現を得るために有効であることを示す．次に，２枚の模様が描かれた紙を使用して表現を行う実験である配置実験において紙の模様を変更することにより，配置実験の結果が変化が生じる可能性について指摘する．その上で紙に使用する模様を変更した実験を行った結果,「地面」や「花」といった絵が描かれた紙を使用するよりも,「まる」や「ばつ」といった単純な記号を用いる方が結果が向上する様子が得られ，単純な記号を紙の模様として用いることによって、より純粋に空間認知能力および空間表現能力が把握できることを示す．

第６章は本論文の結論として，3D 表現システムに対する様々な評価実験の総括を述べる．

2　3D 表現システム

2.1　はじめに

本研究では幼児に適したコンピュータの仮想 3D 空間における空間表現手法の提案，提案手法による 3D 表現システムの構築，および，3D 表現システムによる幼児の空間認知能力および空間表現能力の把握をねらいとしている．そこでまず，空間認知能力および空間表現能力について定義を述べる．また，幼児の空間表現を紙への描画にる手法から把握し，その発達過程をまとめた先行研究について述べる．これらを踏まえた上で，3D 表現システムのコンピュータの仮想 3D 空間内における空間表現手法を提案する．

2.2　空間表現能力の定義

空間認知能力とは，X，Y，Z の 3 軸を持つ 3D 空間を知覚し理解する能力とする．また，空間表現能力とは，空間認知能力によって認知した 3D 空間，もしくは内在的な 3D 空間などを，X，Y，Z の 3 軸を持って表現する能力である．空間表現能力は例えば積み木による表現であれば，X，Y，Z 方向の空間を使用して適切に積み木を組み上げて表現することであり，また，紙への描画による表現では透視図法によって描画することである．

上述した定義に基づいて空間を認知し，その表現を行うために必要と考えられる基本的な能力を次のようにまとめる．

- 空間での操作を行う能力
  - 空間を知覚し理解する能力
  - 目標の位置や図形になるように正しく動かしたり，描画する能力
- 関係の表現を行う能力
  - ある物体同士の距離，向き，大きさなどの関係を理解する能力
  - 目標とする物体同士の関係にするために，距離，向き，大きさなどを決定する能力

2.3　空間表現手法

2.3.1　紙への描画における先行研究

幼児の空間認識と空間表現の発達と表現過程について，紙へ描画させることによる発達の把握を試みている東山らの先行研究 [1],[19] がある．

この研究では，1981 年から 1988 年にかけて 3 歳から 11 歳の幼児，3,159 人に対して立体や空間をどう認識し表現するかについての調査実験を行っている．その調査で行われた命題は以下の 6 種類である．

1. 机の上に置かれたサイコロを描く
2. 机の上に置かれた三分の二ほどの水が入ったコップを描く
3. 家族が食事をしている様子を描く

表 2.1: 立体・空間表現の推移

年齢	発達段階	特徴
3歳	なぐりがきの時期	存在を表現
4歳	象徴期	象徴的，平面表現
5から7歳	図式期	視点の複合・平面表現
8から9歳	実写の黎明期	矛盾のある立体表現
10から11歳	写実期	一視点による立体表現

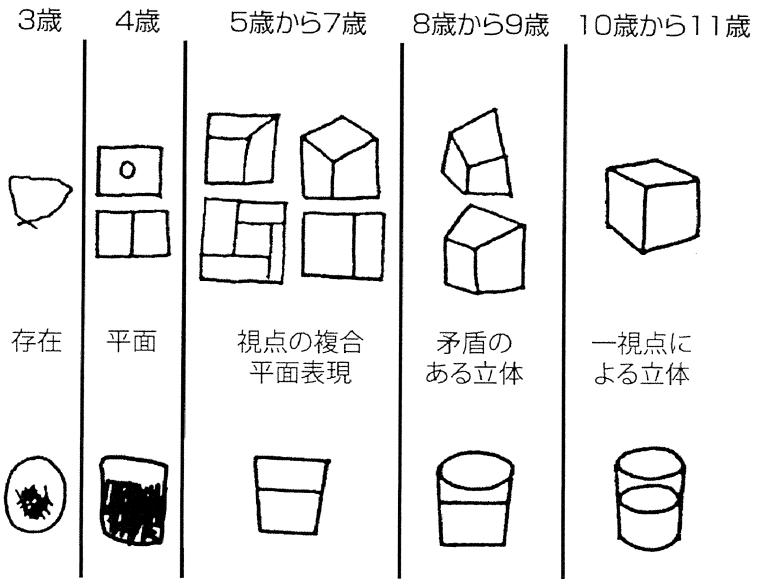

図 2.1: サイコロと水の入ったコップの絵の年齢による特徴の推移

4. 円形の池の周りに，六本の旗が立っているところを描く

5. 皿の上に置いてある3つのリンゴを描く

6. (自身が) 細い道を走っているところを描く

このとき，サイコロ，水の入ったコップ，皿の上に置かれた3つのリンゴは一度見せてから隠し，それらを描かせている．

その調査によると，幼児は11歳頃に空間認識とその表現が完成するが，その発達過程において，それぞれ代表的な絵の表現様式が見られたとしている．それらをまとめたものが表2.1である．また，サイコロと水の入ったコップの表現ついて年齢にる特徴を模したものが図2.1であり，上段がサイコロ，下段が水の入ったコップを表している．

3歳ごろの絵のなぐりがきの時期では，その対象を写実的に描かず，その場所に（幼児が注意を向けている）物が存在しているというような，存在について描く．また，4歳の象徴期においては，ある平面のみに注目し，象徴的な絵を描く．5歳から7歳の図式期では，ある平面にのみ注目する様子と対象を複数の視点からとらえ，それらを複合的にして描く様子が混在するように

なる．そして8歳から9歳の実写の黎明期になると矛盾はあるが立体的な表現に近づいていき，10歳から11歳で一視点による立体表現が可能になるという特徴があるとした．このとき，必ずある年齢になるとその特徴が現れるというものではなく個人差が存在し，また，突然ある年齢を境目としてその特徴が現れるわけではなく，徐々に変化する．

このように幼児は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描画において3D空間を持った表現が難しいことがわかる．

2.3.2 本研究が対象とする幼児

本研究において，対象とする幼児は4歳児から7歳児とした．これは，この期間が立体的な表現が生まれ始める頃であり，さらに短い期間で多様な表現が生まれ，推移するためである．2.3.1節の紙への描画における先行研究より，幼児が紙への描画において立体的な表現を行い始めるのは，ある物体を複数の視点から見た形状を複合して一つの絵に描くといった，視点の複合表現を行う5歳児から7歳児である．さらにその前段階の4歳児を加えることにより，平面的な表現から立体的な表現への転換期からさらに，より正確な立体への転換期についての把握が期待できると考えられる．

ただし，実験は幼稚園において実施したため，7歳児の幼児には調査を実施していない．

2.3.3 仮想3D空間における表現

3D表現システムには2.2空間表現能力の定義において述べた，空間での操作を行う能力や関係の表現を行う能力を把握するための仮想3D空間における表現手法が必要である．

空間での操作を行う能力を把握するためには，空間を知覚し理解する能力や，目標の位置や図形になるように正しく動かしたり描画する能力を測れることが必要である．そのためには，まず，ある複数の物体を仮想3D空間内の異なる位置に表示し，その物体を動かし，ゴールとなる場所まで動かさせるという表現を行わせることにより把握が可能であると考えられる．また，立方体を3D空間に2個提示し，ハイライトされた立方体を移動や回転させ，他方の立方体の位置に合わせるという表現を行わせることにより把握が可能であると考えられる．

次に関係の表現を行う能力を把握するためには，ある物体同士の距離，向き，大きさなどの関係を理解する能力や，それらを表現する能力が必要である．そのためには，先述した立方体による表現よりも，より自由度の高い表現手法が必要であると考えられる．しかしながら2.3.1節のように，幼児の空間表現能力は発達の最中であるため短い期間で急激にその様子が変化し，また，紙への描画の手法においては空間を持った表現が難しいと考えられる．そのため，発達段階に関わらず表現可能な仮想3D空間における表現手法が必要である．

そこで本研究では次のような，関係の表現を行う能力を把握するための空間表現手法を提案する．図2.2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，真横から見た家と列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2.3にようになり，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．これを踏まえ，2枚の紙を組み合わせてある関係を表現させる手法，および，複数の紙を組み合わせ表現を行わせる手法が関係の表現を行う能力の把握に有効であるといえる．

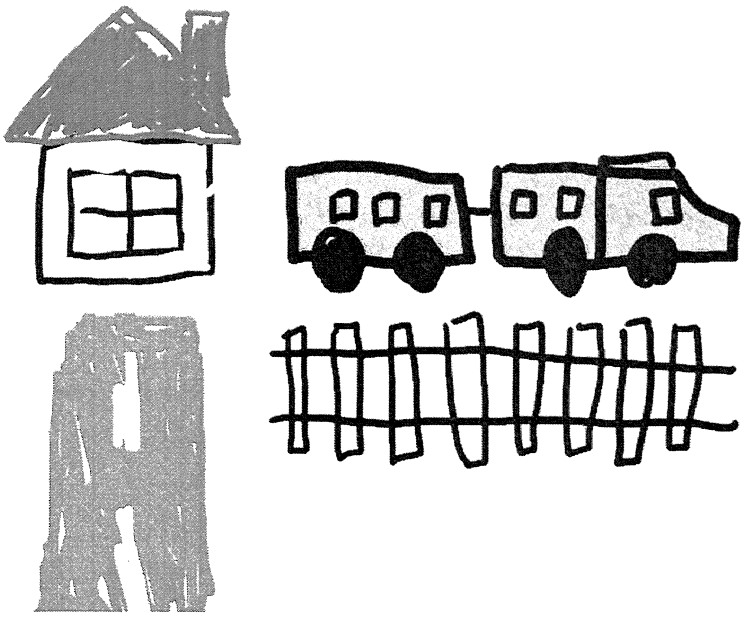

図 2.2: 幼児の絵のモデル

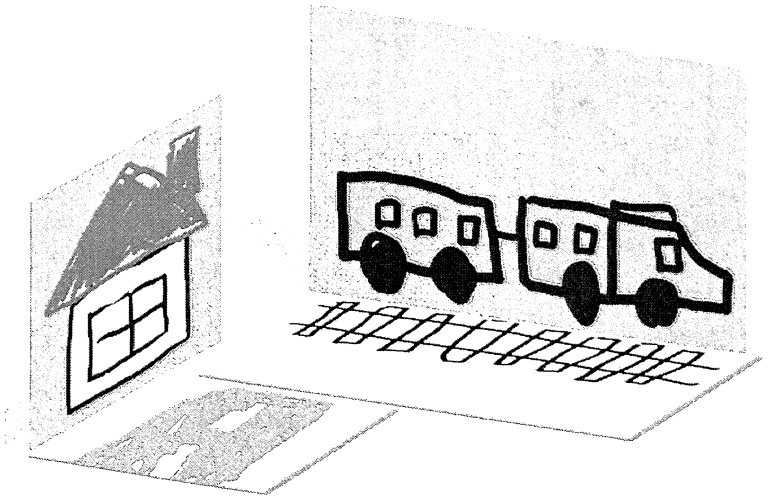

図 2.3: 3D 空間での組み立て

2.3.4 立方体の移動による表現

立方体の移動による表現は空間での操作を行う能力を把握を想定している．立方体の移動による表現は 2 個の大きさも形も同一の立方体を仮想 3D 空間内に，1 個は中央に，もう 1 個は異なる位置に提示する．中央にある立方体のみ黄色くハイライトされており，この立方体を操作して，他方の立方体の位置に揃えるというものである．操作可能なハイライトされた立方体は初期状態では常にパースペクティブビューの中央に提示され，目標となる他方の立方体は異なる 6 種類の

位置に提示する．

立方体の目標位置は図 2.4 にのように，右へ移動，左へ移動，上へ移動，手前に移動，3 軸への移動 (1)，3 軸への移動 (2) の 6 種類である．それぞれ，右へ移動では目標となる立方体は中央にあるハイライトされた立方体から見て，X 軸の正方向に平行移動した位置にある．左へ移動は，X 軸の負方向に平行移動した位置にある．上へ移動は，Y 軸の正方向に平行移動した位置にある．手前に移動は，Z 軸の負方向に平行移動した位置にある．3 軸への移動 (1) は，X 軸の負方向かつ Y 軸の正方向かつ Z 軸の正方向に平行移動した位置，つまり，左上奥にある．3 軸への移動 (2) は，X 軸の正方向かつ Y 軸の負方向かつ Z 軸の負方向に平行移動した位置，つまり，右下手前にある．

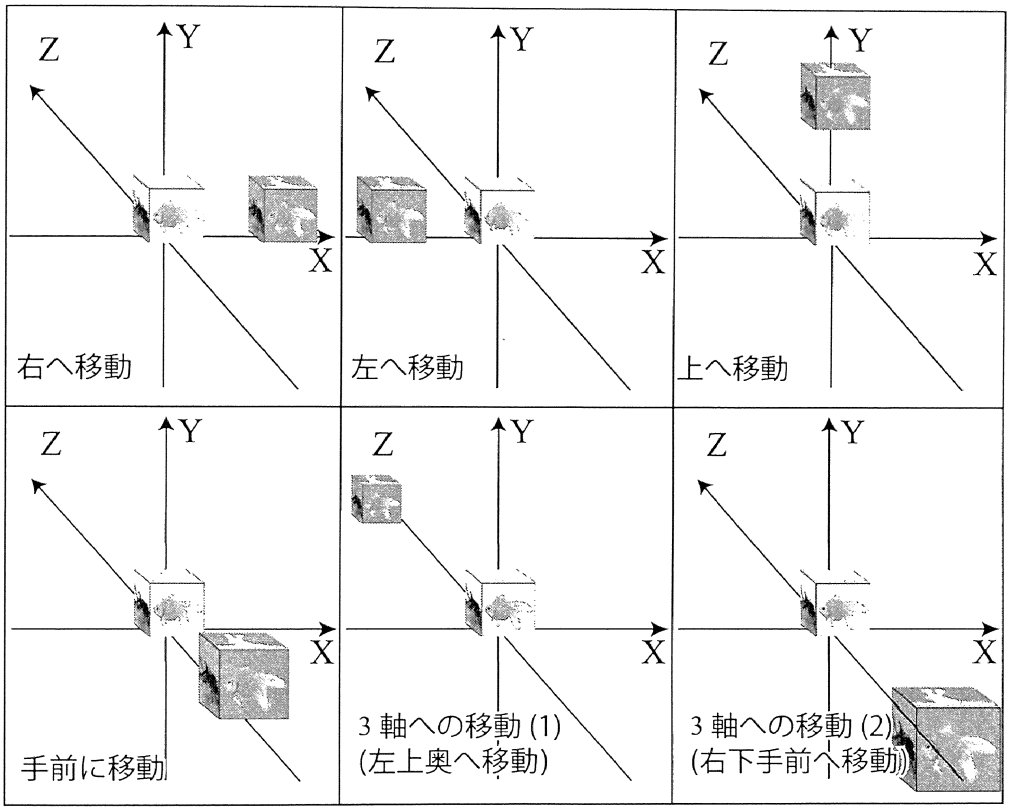

図 2.4: 立方体の移動による表現

この表現手法を 3D 表現システムに移動実験機能として実装した．これによって，以下のような能力が把握可能であると考えられる．

1. 立方体の初期位置と目標位置の位置関係の認知能力
2. 目標位置までの経路選択能力
3. 決定した移動方向になるように操作デバイスを使用し正確な方向に動かす身体能力

これにより空間での操作を行う能力が把握可能であると考えられる．

2.3.5 立方体の回転による表現

立方体の回転による表現は移動による表現と同様に，空間での操作を行う能力の把握を想定している．立方体の回転による表現では2個の大きさも形も同一の立方体が，仮想3D空間内で，1個は中央に，もう1個は異なる向きでその隣りに配置されている．中央にある立方体は黄色くハイライトされており，この立方体を操作して，他方の立方体の向きと揃えるというものである．操作可能なハイライトされた立方体は初期状態では常にパースペクティブビューの中央に提示され，目標となる他方の立方体は，その右隣に5種類の異なる向きで提示される．

立方体の6つの面は向きの違いを認知できるように，6面にそれぞれ，亀，車，象，金魚，カブト虫，ウサギの絵が貼りつけてある．これは幼児が知っているであろう対象の中から色や形から対象の判別がつきやすく，かつ，上下に180度回転した場合などに向きの認知がつきやすい，わかりやすい形ということからこれらを使用することとした．

目標となる立方体の向きは図2.5にのように，右90度回転，左90度回転，上90度回転，2軸に対する回転(1)，2軸に対する回転(2)の5種類である．それぞれ，右90度回転では目標となる立方体は中央にあるハイライトされた立方体から見て，Y軸の正方向に90度回転した向きで提示される．左右180度回転は，Y軸の正方向もしくは負方向に180度回転した向きで提示される．上90度回転は，X軸の正方向に90度回転した向きで提示される．2軸に対する回転(1)は，まずX軸の負方向に90度回転し，次にZ軸の負方向に90度回転した向きで提示される．2軸に対する回転(2)は，まずX軸の正方向に90度回転し，次にZ軸の負正方向に90度回転した向きで提示される．

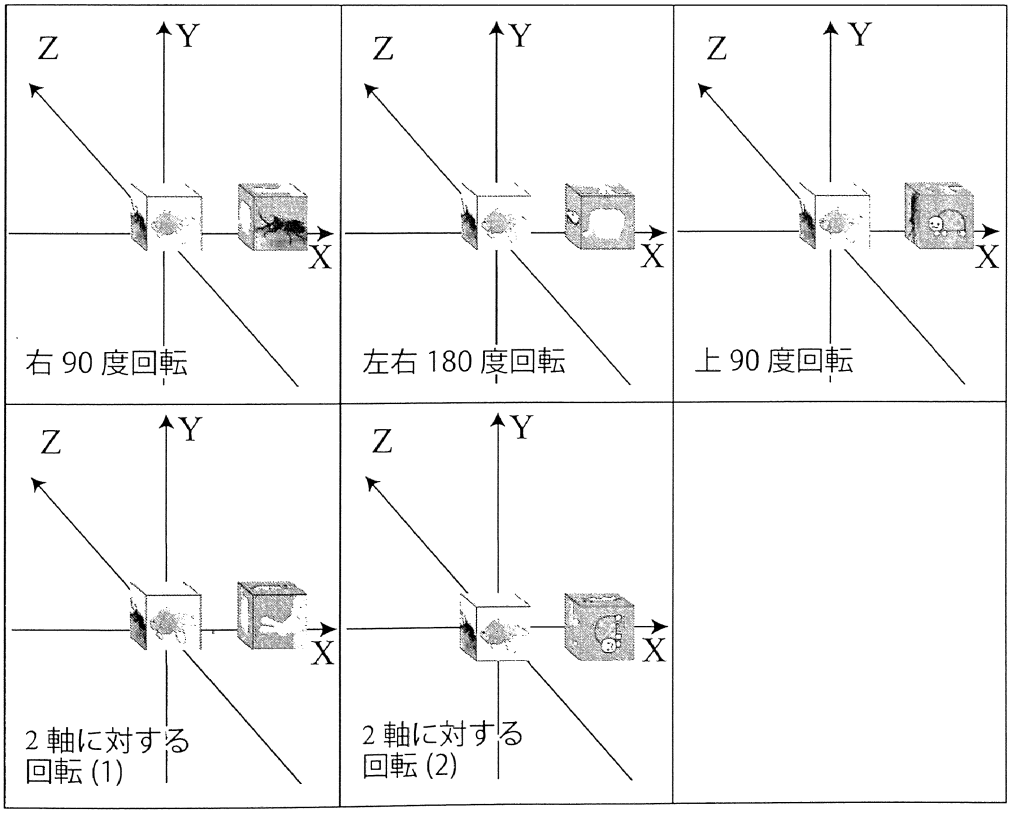

図 2.5: 立方体の回転による表現

この表現手法を 3D 表現システムは回転実験機能として実装した．これによって，以下のような能力が把握可能であると考えられる．

1. 2 個の立方体の向きの空間的な認知能力

2. 目的とする模様がどの面にあるのかを推定する能力

3. 決定した回転方向になるように操作デバイスを使用し正確な方向に回転する身体能力

これにより空間での操作を行う能力が把握可能であると考えられる．

2.3.6 2 枚の紙の関係による表現

2 枚の紙の関係による表現は関係の表現を行う能力の把握を想定している．2 枚の紙の関係による表現は現実空間において 2 枚の紙の関係を見せ，同様な関係になるようにシステム内にあらかじめ配置された同様な 2 枚の紙を使用して表現するものである．

この表現手法では絵が描かれた 2 枚の紙を組み合わせる，平行配置，垂直配置 (1) および垂直配置 (2) の 3 つの表現を設定した．

平行配置は図 2.6 のように「家」の紙の前にやや間隔を置き,「猫」の紙を配置する表現である．まず説明者が現実区間において実際の「家」と「猫」の絵がそれぞれプリントされた 2 枚の OHP シートを手に持ち被験者に提示する．そして,「ここに家の紙と猫さんの紙があります．このように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，約 20cm ほど離して「猫」がプリントされた紙を重ねて提示する．その際，紙と紙の隙間を確認させるために，紙の関係を変えずに一度 2 枚の紙を斜め横，約 45 度から見せてから，再度，元の状態に戻すようにする．そして被験者には，コンピュータの仮想空間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うというものである．

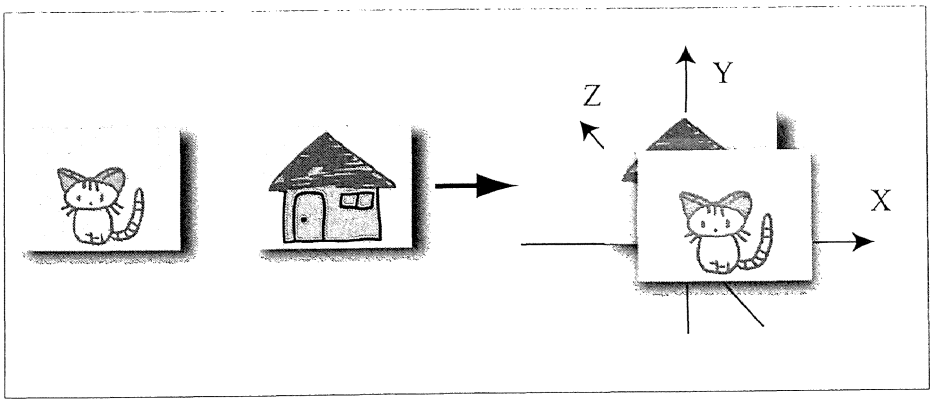

図 2.6: 平行配置

垂直配置 (1) は図 2.7 のように寝かせた「地面」の上に立てた「花」の表現を行うものであり，同様に現実空間において説明者が被験者に対して「地面」と「花」がプリントされた 2 枚の OHP シートを手に持って提示する．そして「地面の上にお花を咲かせてあげましょう.」と言いながら,「地面」を横に垂直に寝かせ，その上に「花」の紙を立たせて提示する．そして被験者にはコンピュータの仮想空間内にあらかじめ用意した 2 枚の紙を使用して同様な配置になるように表現してもらうものである．

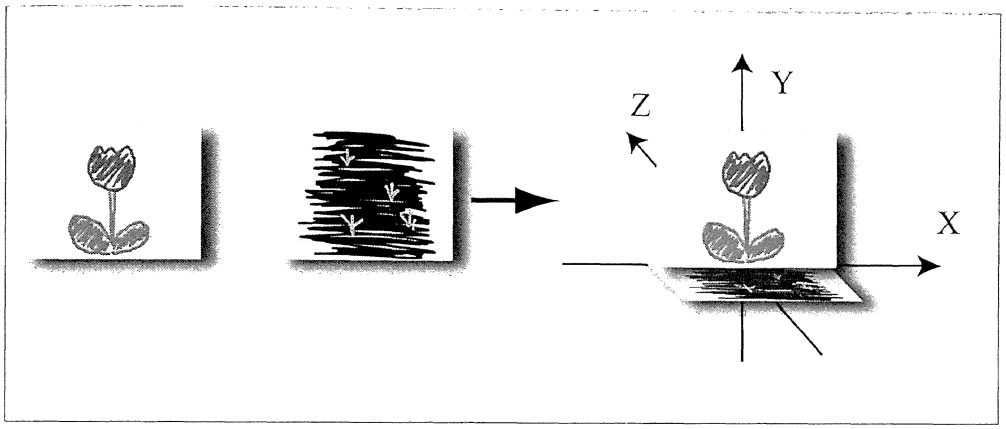

図 2.7: 垂直配置 (1)

垂直配置 (2) は図 2.8 のように横にした「コンセント」に「電気プラグ」を挿すように表現するものであり，垂直配置 (1) と同様な手順で被験者に 2 枚の OHP シートを「コンセントにプラグを挿してみましょう.」と言いながら，2 枚の紙を提示し，それを本システム内で同様な配置になるように表現してもらうものである．

各表現の初期状態は 2 枚の紙を手前に向くように横に並べて配置した．

説明者がプリントされた紙を手に持って被験者に提示する手法を用いたのは，今後，より年齢が上の被験者を対象とした場合や，より難しい配置表現を想定する際に，まず紙を被験者から隠した状態で紙を組み合わせてからを提示し，失敗した場合には，組み合わせる動作を現実空間で見せてから再試行させることで，詳細な結果を得ることができると考えられたためである．

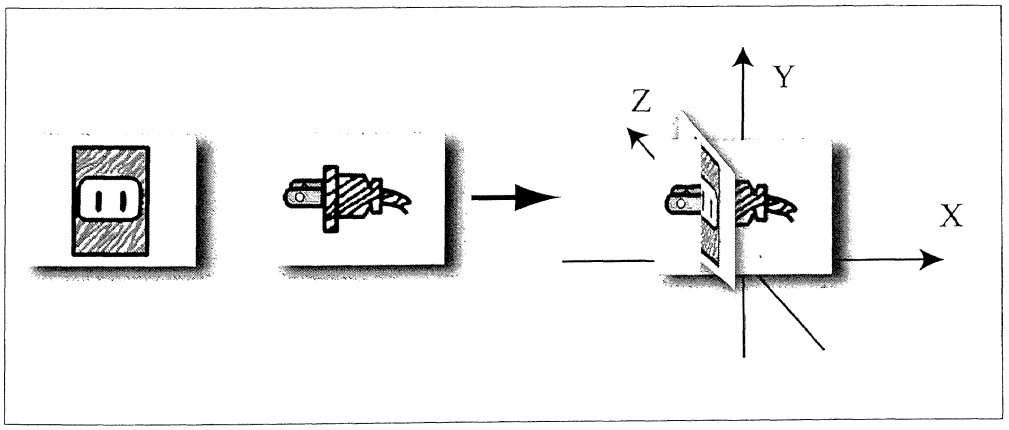

図 2.8: 垂直配置 (2)

これらの，平行配置，垂直配置 (1)，および，垂直配置 (2) の表現手法を配置実験として本システムに実装した．

2 枚の紙の関係による表現では，空間での操作を行う能力を把握する移動による表現および回転による表現とは異なり，関係の表現を行う能力を把握することを目的としているため，操作の習熟に左右されないようにすることが重要である．そのため，この表現手法では，被験者が 3D リモコンによる移動や回転などの操作方法を忘れた場合には，説明者に尋ねるように説明した．また，説明者は例えば，被験者が右へ回転する方法を忘れたという場合であれば，回転方法のみを説明した．

この表現手法によって，以下のような能力が把握可能であると考えられる．

1. 現実空間における 2 枚の紙の空間的な位置や向き関係の認知能力
2. 仮想空間における 2 枚の紙の空間的な位置や向き関係の認知能力
3. 現実空間における 2 枚の紙と仮想空間における 2 枚の紙の空間的な位置や向きの認知能力
4. 認知した関係と同様な関係にするために移動方向や回転方向を決定する能力
5. 決定した移動および回転方向になるように操作デバイスを使用し正確な方向に動す身体能力

これらにより関係の表現を行う能力を把握できると考えられる．

2.3.7 複数の紙の組み合わせによる表現

複数の紙の組み合わせによる表現は，2 枚の紙の関係による表現と同様に，関係の表現を行う能力の把握を想定している．しかしながら，この表現では提示した関係を表現させるのではなく，自発的に複数の紙を組み合わせて立体的な表現を得ることをねらいとしているという点で異なる．

複数の紙の組み合わせによる表現では，本システムの仮想的な 3D 空間内に「道路」,「花」,「家」の絵が描かれた 3 枚の紙があらかじめ用意されており，説明者が被験者に「ここに道路とお花とお家があります．この 3 枚の紙を動かしたり，回したりして絵を作ってみましょう.」と説明を行い，移動や回転などの操作を組み合わせて任意の表現を行ってもらうものである．

初期状態では，図 2.9 のように，左上に「花」，左下に「家」，右下に「道路」が配置されている．そしてこれらの紙を移動，または回転操作を用いて，例えば，図 2.10 のような平面的な組合せや，図 2.11 のような 3 次元的な空間を持った表現などを行う事を想定している．

この表現手法を紙の組み合わせ実験として本システムに実装した．

複数の紙の組み合わせによる表現においても，空間での操作を行う能力を把握する移動による表現および回転による表現とは異なり，自発的に関係の表現を行う能力を把握することを目的としているため，操作の習熟に左右されないようにすることが重要である．そのため，この表現手法では，被験者が 3D リモコンによる移動や回転などの操作方法を忘れた場合には，説明者に尋ねるように説明した．また，説明者は例えば，被験者が右へ回転する方法を忘れたという場合であれば，回転方法のみを説明した．

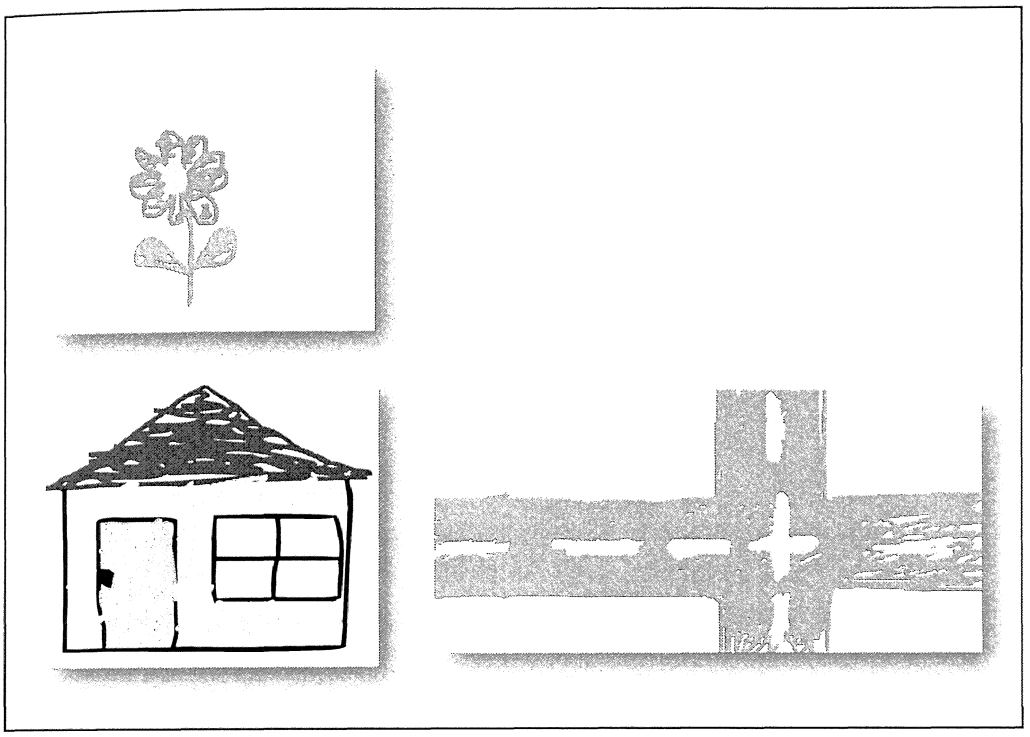

図 2.9: 複数の紙の組み合わせによる表現

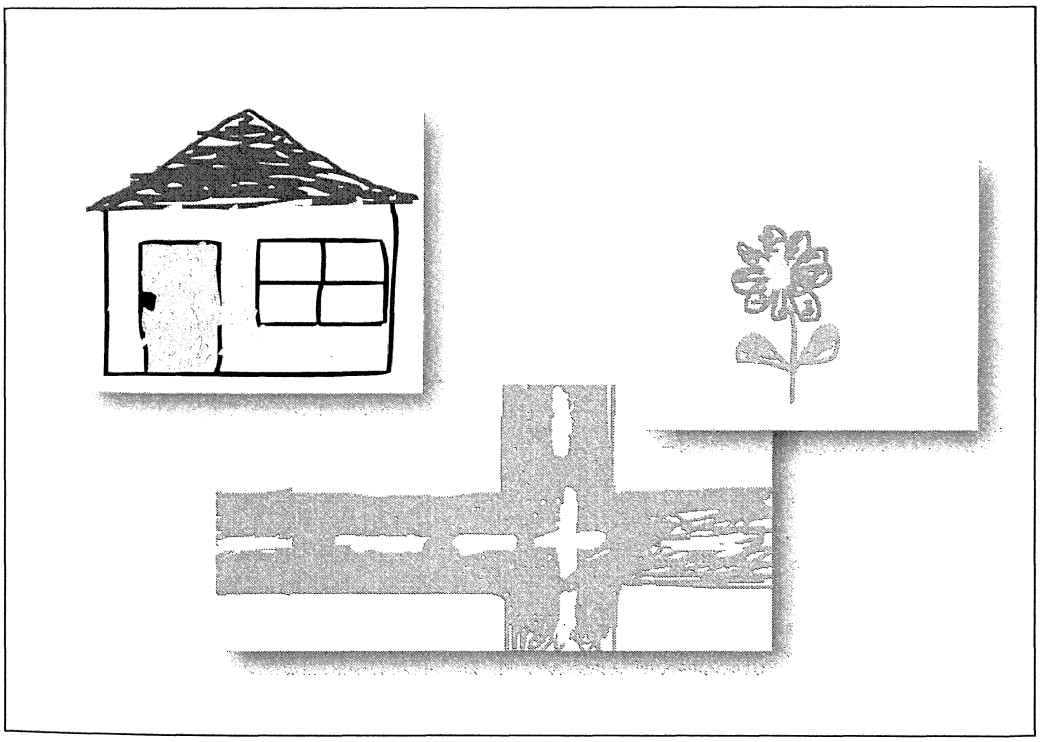

図 2.10: 複数の紙の組み合わせによる表現例 (1)

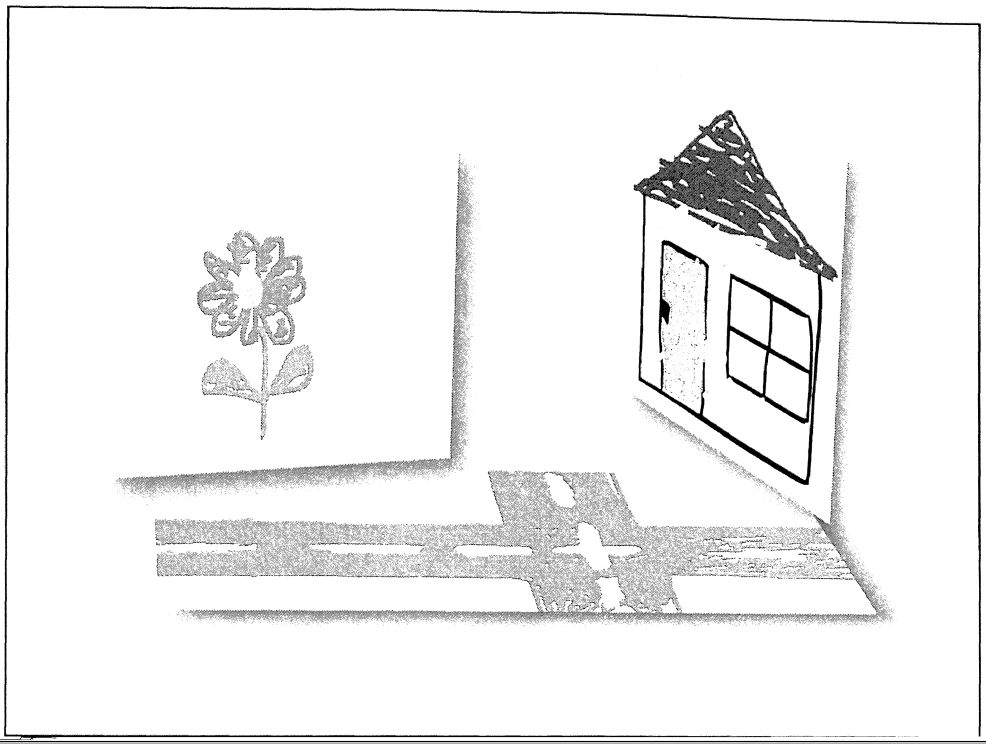

表 3.1: 各操作手法による比較

	ポインティング	移動	回転	拡張性	入手性
3DCG ソフト	マウス	マウス＋マニピュレータ	マウス＋マニピュレータ	○	○
SunSpot	外部 CMOS センサ等	加速度センサ＋外部ボタン	ジャイロセンサ＋外部ボタン	×	△
Wii リモコン	赤外線センサ	加速度センサ＋ボタン	ジャイロセンサ＋ボタン	△	○

表 3.1 に示したように，3DCG ソフトについては，ポインティング操作については一般的なコンピュータで使用されているマウスを用いるため，カーソルのブレなども少なくポインティング操作がしやすいと考えられる．また入手性に関しても様々なマウスが発売されており，マニピュレータはソフトウェア的に実装する事から別途のデバイスなどの必要もなく，マウスとマニピュレータによる操作は入手性が特に良いといえる．その一方で，マウスは 2D 空間における操作を前提に作られており，マニピュレータを操作することで間接的に移動や回転を行うため直感的な操作は難しいと考えられる．

SunSpot については，外部のセンサ類を任意に接続し制御することが可能であるため，非常に自由度が高く，適切に設計することでポインティング操作や移動・回転操作についても幼児が使用するデバイスとして応用しやすいと考えられる．その一方でポインティング操作には別途 CMOS センサや赤外線センサなどを用意する必要があり，また，移動および回転そうさについても搭載されているボタンの個数が少ない事から別途外部のボタンなどを用意する必要性がある．また入手性については，SunSpot は教育機関に対してしか販売が行われておらず，入手性は低いと考えられる．

Wii リモコンについては，標準で CMOS センサや加速度センサ，ボタン類が搭載されており，また，ジャイロセンサについても Wii Motion Plus という外付けのデバイスを Wii リモコンに接続する事で使用することができる．また，2010 年以降に発売されている Wii リモコンプラスでは標準で Wii Motion Plus の機能が搭載されており，ジャイロセンサを使用することができる．入手性に関してもゲーム用のコントローラのため入手性は高いといえる．そのため，SunSpot と同様に各センサ類を用いることができ，幼児が使用するデバイスとして応用しやすいと考えられる．その一方で基本的に Wii リモコン用として発売されているデバイスを用いてしか機能の拡張が行えないため，SunSpot よりも自由度や拡張性が劣る．

以上のことから本システムでは拡張性は劣るが，ポインティング操作や移動・回転操作に必要なセンサやボタン類を搭載されており，また入手性の良い Wii リモコンを操作デバイスとして応用することとした．これから，Wii リモコンを 3D リモコンと呼ぶ．

3D リモコンのボタン配置を図 3.3 に示す．3D リモコンは十字ボタン（上，下などのボタンが含まれる）や A ボタンなどの合計 11 個のボタンが搭載されている．また，十字ボタン側の頭部には CMOS センサが備えられている．

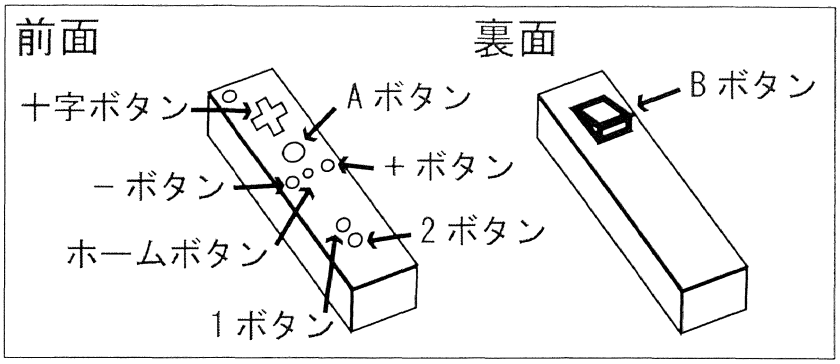

図 3.3: 3D リモコンのボタン配置

3.2.2 3D 表現システムの構成

3D 表現システムの実行画面を図 3.4 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，ボタンなどはアイコンとともに平仮名で「つくる」「しまう」などの簡単な説明が書かれている．また，3D 空間を表示し，使用者が操作を行うためのパースペクティブビューが画面中央部の大部分を占めている．パースペクティブビューにおける本システムの座標系は図 3.5 のようになっている．右が X 軸の正方向，上が Y 軸の正方向，奥が Z 軸の正方向となっている．また回転方向は反時計回りが正方向である．

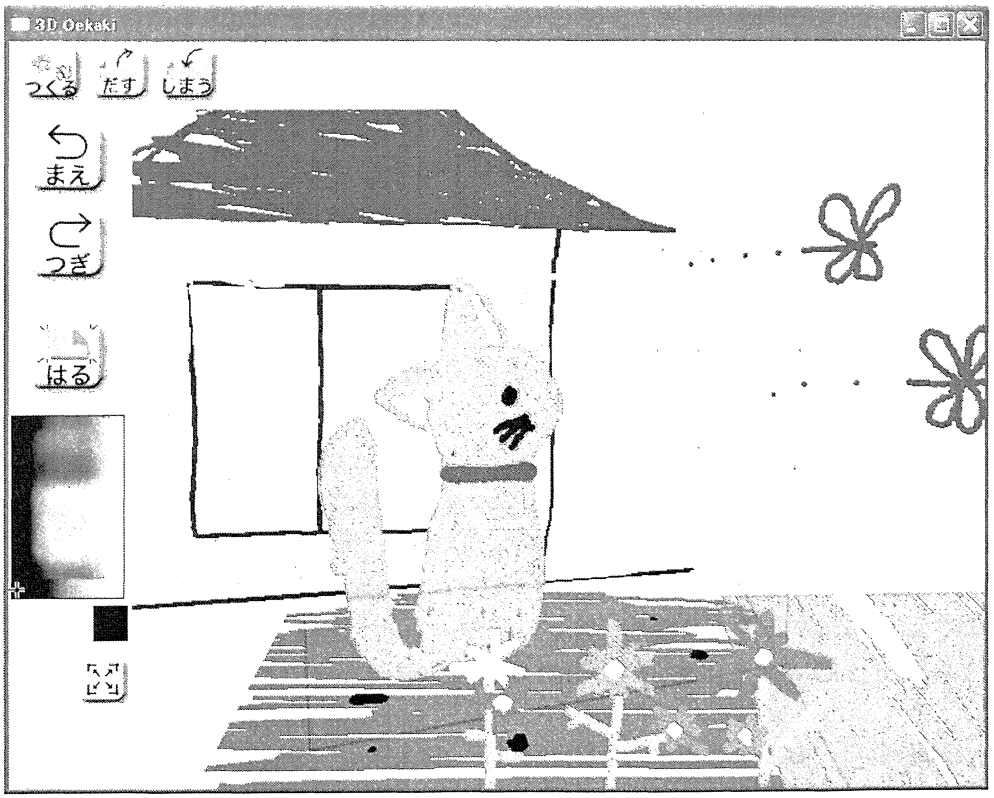

図 3.4: 3D 表現システム

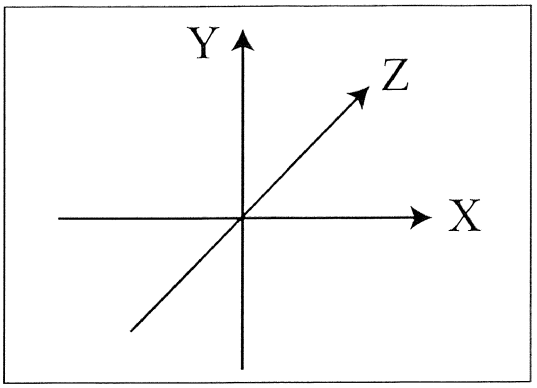

図 3.5: システムの座標系

画面上部には,「つくる」,「だす」,「しまう」の 3 種類のボタンを，それぞれアイコンと平仮名で配置した.「つくる」はパースペクティブビュー内の全ての紙や立方体を消去し，1 枚の何も描かれていない紙を表示し，初期状態にするボタンである.「だす」はパースペクティブビュー内で配置した紙とその描画内容や，各実験用の立方体の状態などを保存したファイルを開くためのボタンである.「しまう」ははパースペクティブビュー内で配置した紙とその描画内容や，各実験用の立方体の状態などを保存するためのボタンである．この 3 種類のボタンは今回の実験では使用しなかった．これは，今後，本研究において対象としている 4 歳から 7 歳の幼児よりも年齢が高い，小学生の低学年から高学年の子どもを対象とした実験を想定して実装した．幼児を対象とした場合では，立方体や既に模様が描かれている紙などを使用するが，より高年齢の被験者を対象とする場合には，何も描かれていない紙を複数使用し，仮想 3D 空間内において表現を行なわせるという実験を行うことにより，より詳細な結果を把握できると考えられるためである．

画面の左端には,「まえ」,「つぎ」および「はる」の 3 種類のボタンを，それぞれアイコンと平仮名で配置するとともに，カラーピッカーおよび，紙の拡張ボタンを配置した.「まえ」はパースペクティブビュー内の紙や立方体への操作を一段階取り消すアンドゥボタンである.「つぎ」は「まえ」ボタンのアンドゥ機能により取り消した操作をやり直す，リドゥボタンである.「はる」はパースペクティブビュー内に何も描かれていない新しい紙を 1 枚作成するボタンである．また，カラーピッカーは紙への描画を行う際の線の色を選択するために用意した．このカラーピッカーには色相，明度，彩度のスペクトラムが表示されており，スペクトラムから必要な色を選択することで，選択した色により描画を行うことができる．紙の拡張ボタンは紙への描画の際に，紙よりも大きな絵を描こうとした際に自動的に紙の大きさを拡張するボタンである．紙の拡張ボタンはトグル式になっており，このボタンを押し下げておくことにより，線の描画中に線が紙からはみ出そうになった際に，例えば右側にはみ出そうになった場合であれば，紙のサイズを右側に自動的に拡張することが可能である．カラーピッカーおよび紙の拡張ボタンについては前述した「つくる」ボタンや「だす」ボタンと同様に，より年齢が高い被験者を対象としており，今回の幼児を対象とした実験では使用しなかった．

3D 表現システムは，移動実験，回転実験，配置実験，紙の組合せ実験，自由描画の 5 つの実験から成り立っており，それぞれの実験に応じた物体などをパースペクティブビューに表示する仕組みとなっている．

3D 表現システムのシステム構成を図 3.6 に示す．操作デバイスには図 3.7 に示した，3D リモコンを使用する．コンピュータとの間は Bluetooth で接続している．また，ポインティング操作

を行うために赤外線 LED を搭載した図 3.8 のようなセンサーバーを使用する．センサーバーとコンピュータの間は USB で接続している．

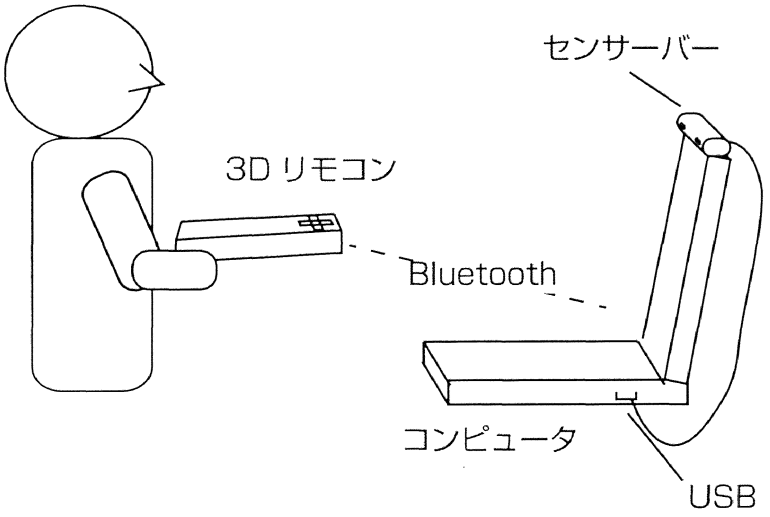

図 3.6: 3D 表現システムのシステム構成

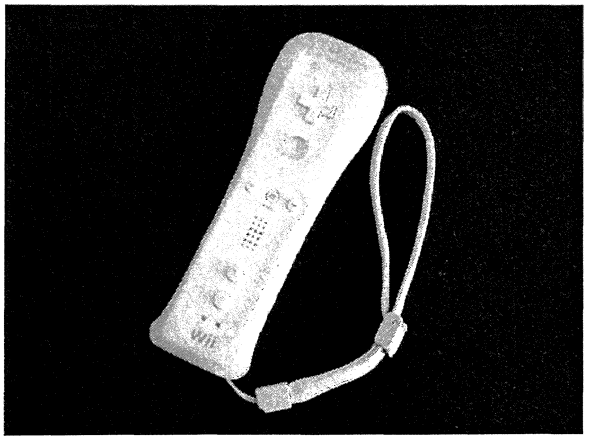

図 3.7: 3D リモコン

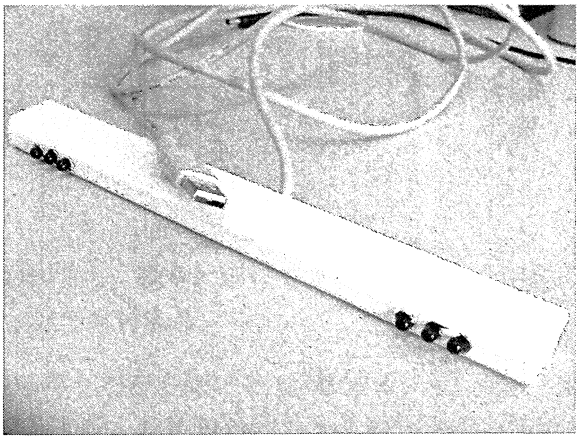

図 3.8: センサーバー

3.2.3 操作方法

1. **移動：**3D リモコンの十字ボタンによって紙の移動を行う．ボタン押した時間により徐々に加速する仕組みになっている．図 3.9 のように 3D リモコンを水平にした状態で十字ボタンを押すと，紙は XZ 平面上で移動する．また，図 3.10 のように 3D リモコンを垂直に立てた状態で十字ボタンを押すと，紙は XY 平面上で移動する．このとき，3D リモコンの十字ボタン側を上に向け，上ボタンを押すと紙は Y 軸の正方向に移動し，十字ボタン側を下に向け，上ボタンを押すと紙は Y 軸の負方向に移動する．水平，垂直を判定する閾値は 45 度である．

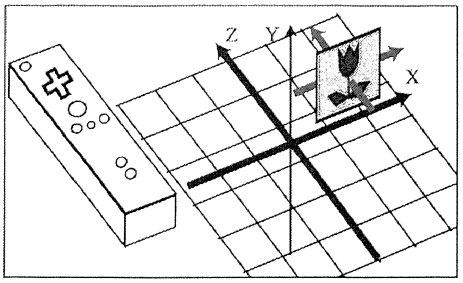

図 3.9: 水平移動

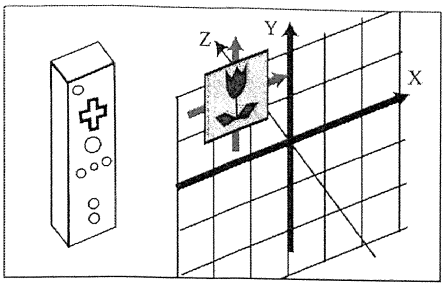

図 3.10: 垂直移動

2. **回転：**図 3.11 のように 3D リモコンの B ボタンを押したまま上下左右に傾けたり回転させると，紙は 3D リモコンの動きに合わせて回転する．3D リモコンを X 軸回りに回転すると紙も X 軸回りに回転し，3D リモコンを Z 軸回りに回転すると紙は Y 軸回りに回転する．この際，紙は B ボタンを押した直後の傾きからの相対的な傾きで回転する．

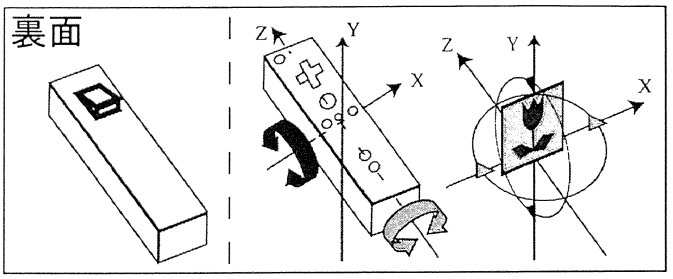

図 3.11: 回転

3. **描画：**3D リモコンをセンサーバーに向けて動かすと，動きに応じてマウスカーソルが動く．その状態で A ボタンを押すと紙に対してペイントを行える．

4. **視点の回転：**3D リモコンのマイナスボタンを押しながら傾ける (回転する) と，それに応じて視点が回転する．この際，マイナスボタンを押した直後の傾きからの相対的な傾きで視点を回転している．

5. **視点の前後移動：**3D リモコンのプラスボタンを押しながら上下方向に傾けると，3D 空間の中央部に近づいたり，遠ざかることができる．3D リモコンの先端を上方向に傾けるとズームインとなり，カメラが 3D 空間の原点に近づいていく．また，3D リモコンの先端を下方向に傾けるとズームアウトとなり，カメラが 3D 空間の原点にから遠ざかっていく．傾ける角度によって，速度が変わる．

6. **視点の初期化：**3D リモコンのホームボタンを押すことによって視点をリセットすることができる．これにより，視点の回転および視点の前後移動の両方を初期状態に戻す．

3.2.4 実験機能の流れ

本システムによる各実験機能の実行画面と遷移を図 3.12 に示す．実験画面は，移動実験，回転実験，配置練習，配置実験，組合せ実験の順で遷移する．配置練習は，配置実験では操作する対象を切り替える操作が必要なことから，これを練習するためものである．また，本システムに設定を行う事により実施する実験を選ぶことが可能である．

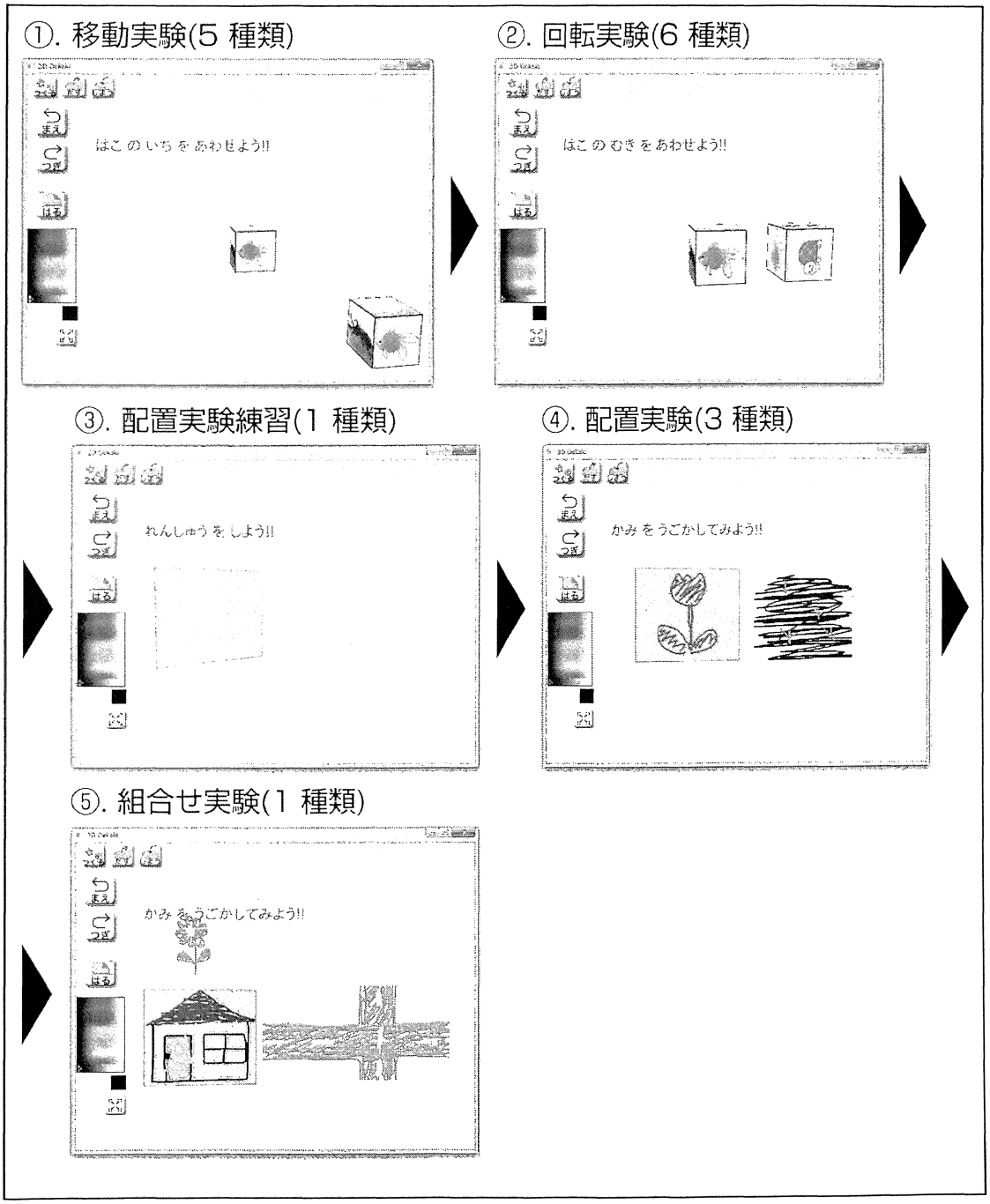

図 3.12: 実験の遷移

3.2.5 移動実験のユーザインタフェース

移動実験は 2.3.4 節の立方体の移動による表現を使用する実験である．移動実験の実行画面と各実験の遷移を図 3.13 に示す．図のように右へ移動，左へ移動，上へ移動，手前に移動，3 軸への移動 (1)，3 軸への移動 (2) の順に遷移していく．

本システムの仮想 3D 空間内のカメラの初期位置は原点にある立方体を真正面から見る向きを基準として，原点を中心に反時計回りに，X 軸に −10 度，Y 軸に −10 度回転した位置にある．

各実験の初期状態ではパースペクティブビューの左上に「はこ の いち を あわせよう!! じゅんび は いいかな?」と表示され，3D リモコンからは一切操作は受け付けない．この画面の時に説明者が各実験の説明を行う使い方を想定している．そしてこの状態からキーボードの「Enter」キーを押すことにより，左上の文字が「はこ の いち を あわせよう!!」と変わり，3D リモコンからの操作が可能となる．

3 軸への移動 (1)，3 軸への移動 (2) についてはハイライトされた移動可能な立方体が，目標となる立方体と同位置に移動できた時点で「ピンポン」という音と共に，左上の文字を「がんばったね!!」と変更し，各実験が終わるようにしている．これは右へ移動などの一方向に対する移動操作の場合に，被験者が目標の立方体を通り越して移動させ，そしてそれを正しい位置まで戻すという操作を繰り返すことが考えられる．そのため，立方体が同位置に重なった時点で実験を終わらせると，被験者が意図して立方体を同位置に移動することができたのか判断が難しいためである．しかし，3 軸への移動の場合には 3 軸に対して操作するという性質上，意図せずに 3 軸上に離れた目標の立方体と同位置に移動するということは少ないと考えられる．一方で，操作時間が長くなってしまう可能性がある．そのため 3 軸への移動についてのみ各実験を終了することとした．

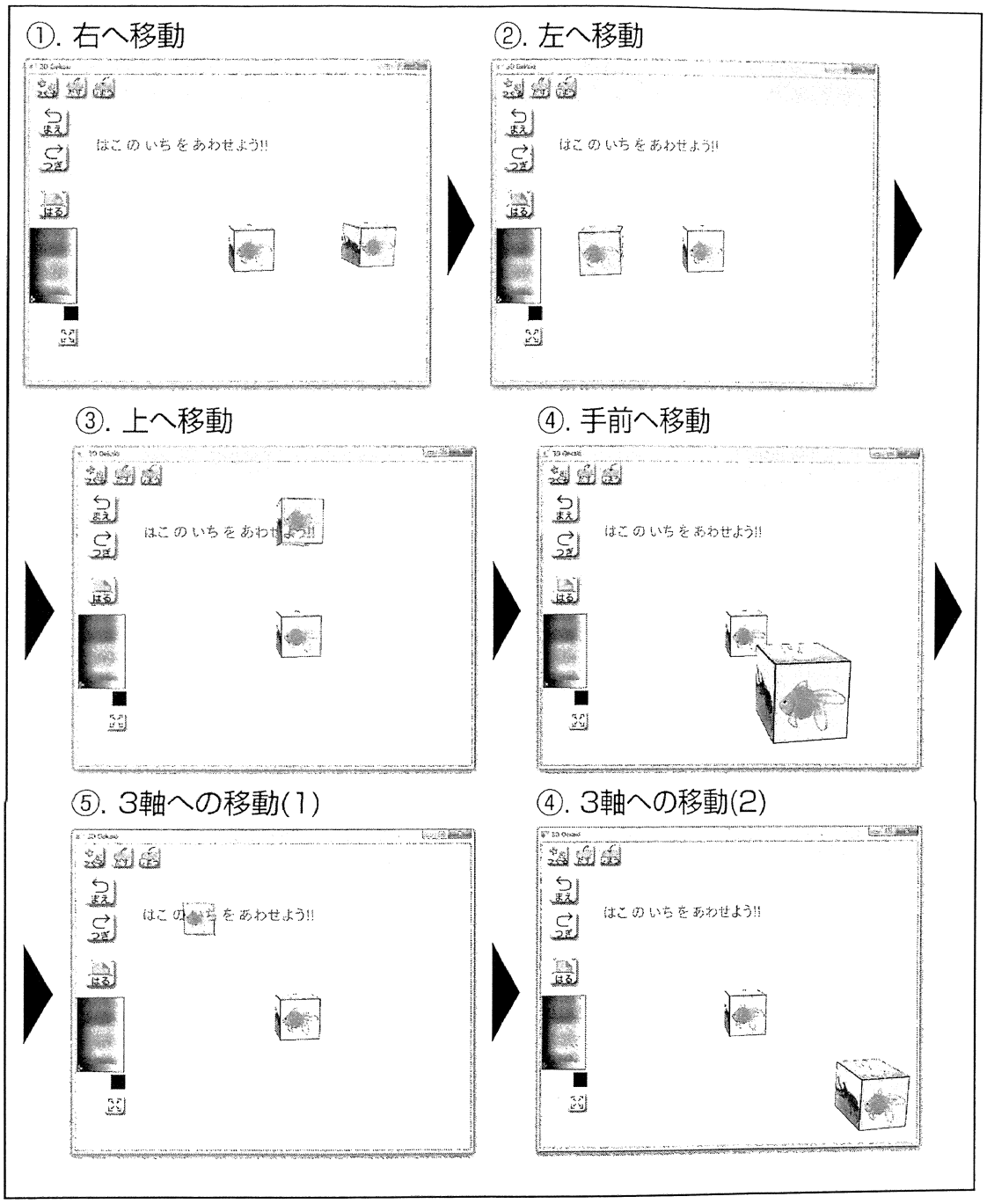

図 3.13: 移動実験の遷移

3.2.6 回転実験のユーザインタフェース

回転実験は 2.3.5 節の立方体の回転による表現を使用する実験である．回転実験の実行画面と各実験の遷移を図 3.14 に示す．図のように右 90 度回転，左 90 度回転，上 90 度回転，2 軸に対する回転 (1)，2 軸に対する回転 (2) の順に遷移していく．

本システムの仮想 3D 空間内のカメラの初期位置は原点にある立方体を真正面から見る向きを基準として，原点を中心に反時計回りに，X 軸に −10 度，Y 軸に −10 度回転した位置にある．

各実験の初期状態ではパースペクティブビューの左上に「はこ の むき を あわせよう!! じゅんび は いいかな?」と表示され，3D リモコンからは一切操作は受け付けない．そしてこの状態からキーボードの「Enter」キーを押すことにより，左上の文字が「はこ の いち を あわせよう!!」と変わり，3D リモコンからの操作が可能となる．そして操作可能なハイライトされた立方体を目標となる立方体と同一の向きに回転した時点で，「ピンポン」という音と共に，左上の文字を「がんばったね!!」と変更し，各実験が終わるようにしている．

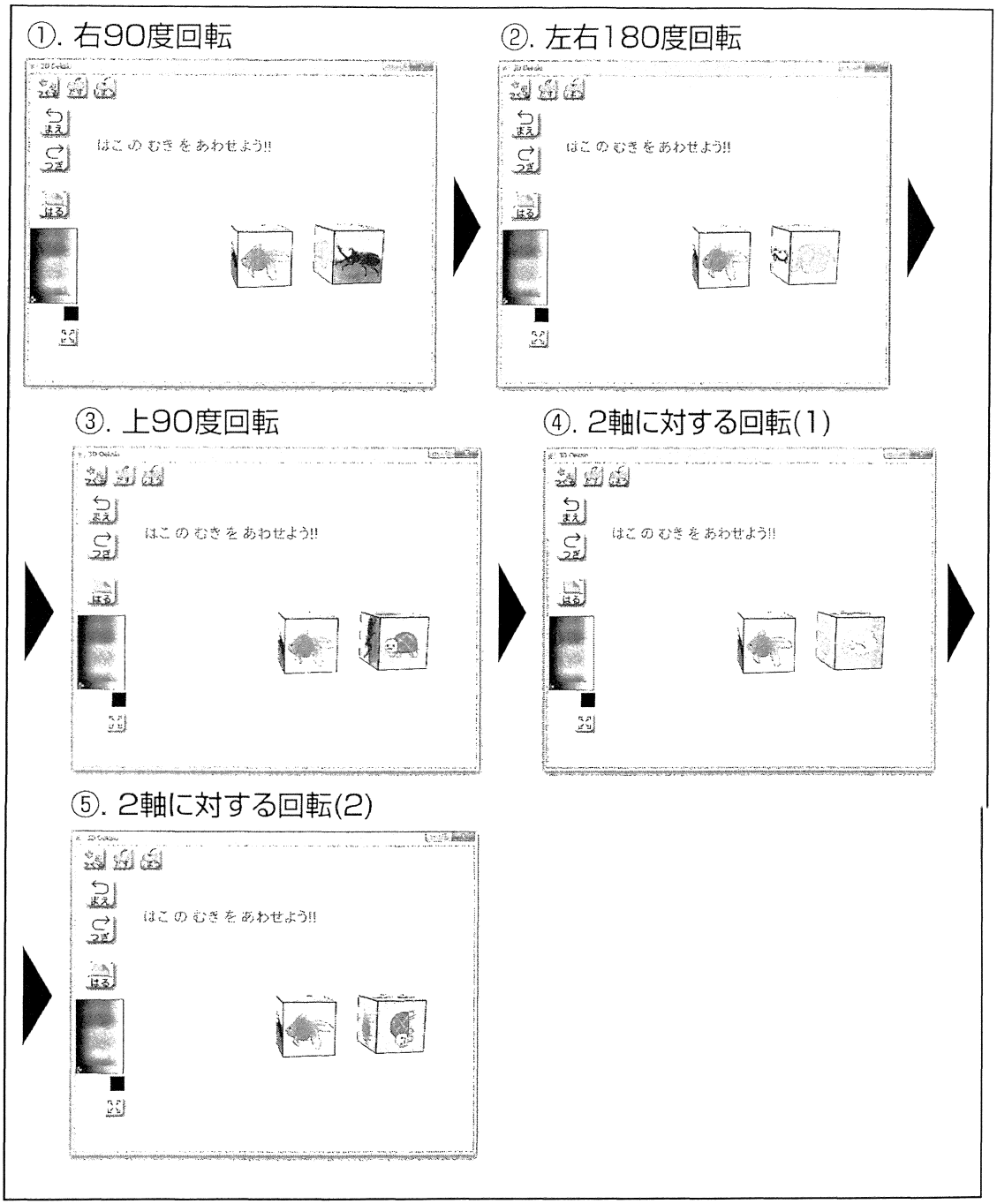

図 3.14: 回転実験の遷移

3.2.7 配置練習のユーザインタフェース

配置練習は配置実験の前に行い，操作を行う対象とする紙の切り替え方法，および，移動，回転方法の再確認のために用意した．

配置練習の実行画面を図 3.15 に示す．この図は初期状態を表しており，このように，配置練習ではあらかじめ何も描かれていない 2 枚の紙が 3D 空間内に用意されている．紙は初期状態では左側の紙が選択されている．

本システムの仮想 3D 空間内のカメラの初期位置は Z 軸の負方向から原点を見る向きを基準として，原点を中心に反時計回りに，Y 軸に −6 度回転した位置にある．

配置練習では次のような操作を説明者が被験者に行うように説明する．

1. 左側の紙を右側へ移動する
2. 移動した紙を中央に移動する
3. 右側の紙を選択する
4. 右側の紙を下へ移動する
5. 右側の紙を X 軸上に 90 度回転させる

一通りの操作が終わった時点で説明者が「Enter」キーを押すことにより，配置練習が終了する．

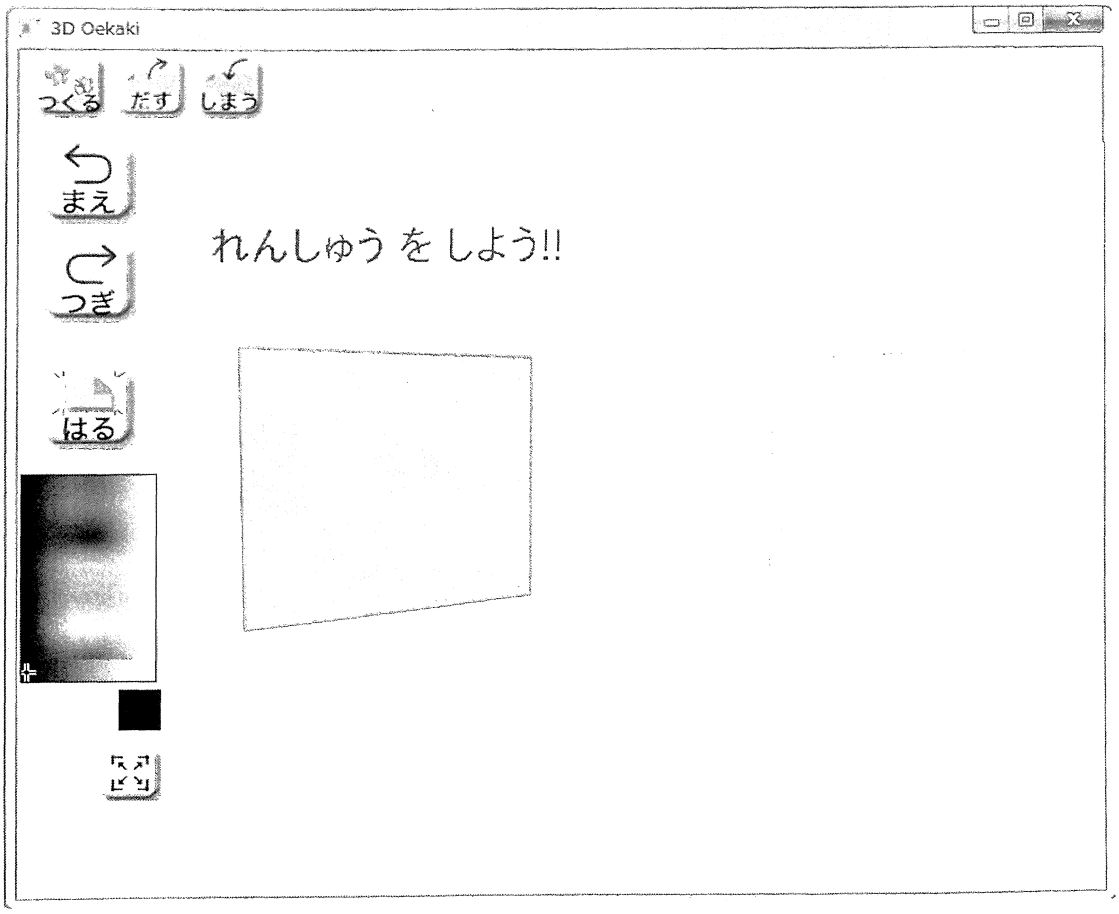

図 3.15: 配置練習

3.2.8 配置実験のユーザインタフェース

配置実験は 2.3.6 節の 2 枚の紙の関係による表現を使用する実験である．配置実験の実行画面と各実験の遷移を図 3.16 に示す．図のように，垂直配置，平行配置 (1)，平行配置 (2) の順番で遷移していく．

本システムの仮想 3D 空間内のカメラの初期位置は Z 軸の負方向から原点を見る向きを基準として，原点を中心に反時計回りに，Y 軸に −6 度回転した位置にある．

各配置実験の初期状態ではパースペクティブビューの左上に「かみ を うごかしてみよう!! じゅんび は いいかな?」と表示され，3D リモコンからは一切操作は受け付けない．そしてこの状態からキーボードの「Enter」キーを押すことにより，左上の文字が「かみ を うごかしてみよう!!」と変わり，3D リモコンからの操作が可能となる．そして被験者が表現を終えた時点で説明者が「Enter」キーを押すことにより，左上の文字を「がんばったね!!」と変更し，各実験が終わるようにしている．

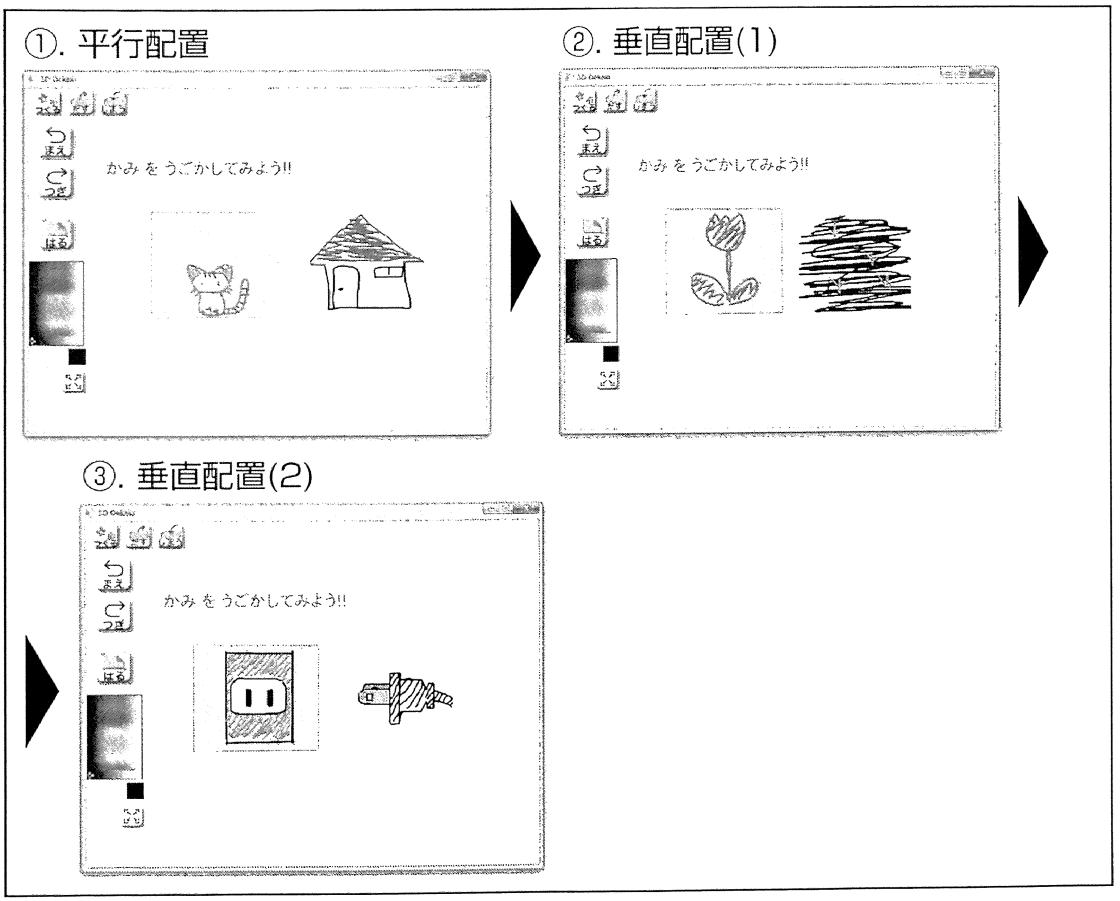

図 3.16: 配置実験

3.2.9 紙の組み合わせ実験のユーザインタフェース

紙の組み合わせ実験は 2.3.7 節の 3 枚の紙の関係による表現を使用する実験である．紙の組合わせ実験の実行画面を図 3.17 に示す．

本システムの仮想3D空間内のカメラの初期位置はZ軸の負方向から原点を見る向きを基準として，原点を中心に反時計回りに，Y軸に−6度回転した位置にある．

上の組み合わせ実験の初期状態ではパースペクティブビューの左上に「かみ を うごかしてみよう!! じゅんび は いいかな?」と表示され，3Dリモコンからは一切操作は受け付けない．そしてこの状態からキーボードの「Enter」キーを押すことにより，左上の文字が「かみ を うごかしてみよう!!」と変わり，3Dリモコンからの操作が可能となる．そして被験者が表現を終えた時点で説明者が「Enter」キーを押すことにより，左上の文字を「がんばったね!!」と変更し，各実験が終わるようにしている．

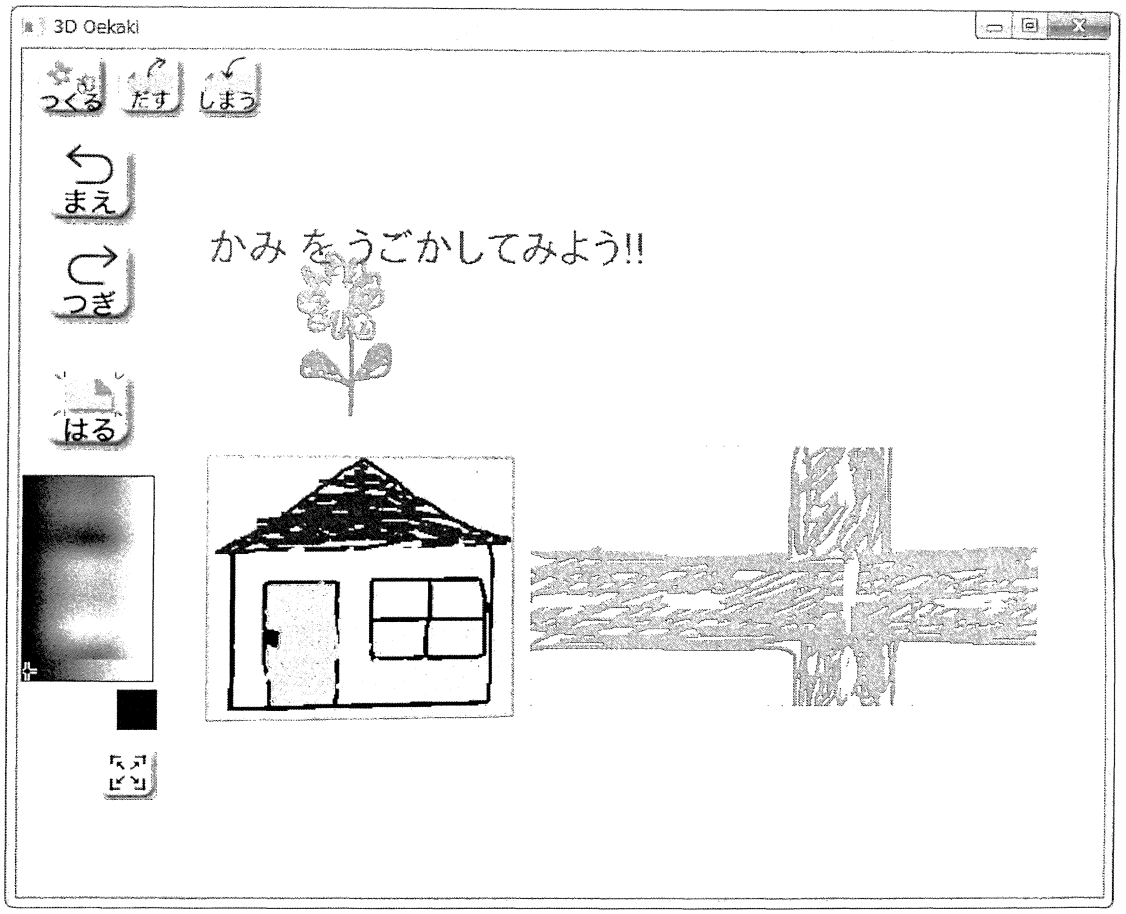

図 3.17: 紙の組合せ実験

3.3 ユーザインタフェース評価

本システムには，移動実験，回転実験，配置実験，紙の組み合わせ実験の4種類の実験機能を搭載し，また，その操作には3Dリモコンを使用することとした．

しかし幼児はコンピュータを使用する経験が浅く，さらに仮想3D空間における操作は難しいと考えられることから，幼児が充分に操作可能であることが重要である．そこで，本システムにおける操作手法と，一般的な3DCGシステムにおいて使用されているマウスとマニピューレータによる一般手法との比較実験を行うことにより，本システムの有効性を検討する．

比較実験は 2009 年 8 月 3 日および 7 日に新さっぽろ幼稚園の協力のもと，同幼稚園に通う園児を対象として実施した．実験内容は，移動実験および回転実験について本システムと一般手法の比較を行った．これは，配置実験や紙の組み合わせ実験についても移動操作および回転操作の組み合わせによって行うことができるため，移動実験および回転実験の 2 種類についてのみ比較実験を行えば，他の実験についても操作可能であると考えられるためである．

3.3.1 3D 表現システムによる評価実験の構成

3D 表現システムによる実験には，本システムに実装した移動実験および回転実験によって行った．実験順は，移動実験，回転実験の順である．移動実験では「右へ移動」,「手前へ移動」,「3 軸への移動 (1)」の 3 種類の実験を実施し，回転実験では「右 90 度回転」,「下 90 度回転」,「2 軸に対する回転 (1)」の 3 種類の実験を実施した．

3.3.2 一般手法による評価実験の構成

一般手法である，マウスとマニピュレータによる実験では，実験システムとして Autodesk 社の 3DCG ソフトである 3ds Max を用いた．3ds Max を用いたのは，一般的な 3 軸マニピュレータが搭載されており，このマニピュレータをマウスで操作することにより，物体の移動や回転を行うことができるためである．実験では 3ds Max 上に本システムの移動実験および回転実験と同一の立方体を提示した．また，本システムの移動実験における「右へ移動」,「手前へ移動」,「3 軸への移動 (1)」の 3 種類実験，および，回転実験の「右 90 度回転」,「下 90 度回転」,「2 軸に対する回転 (1)」の 3 種類の実験と同様な関係になるように立方体を配置した．3ds Max による移動実験の実行画面を図 3.18 に示し，回転実験の実行画面を図 3.19 に示す．

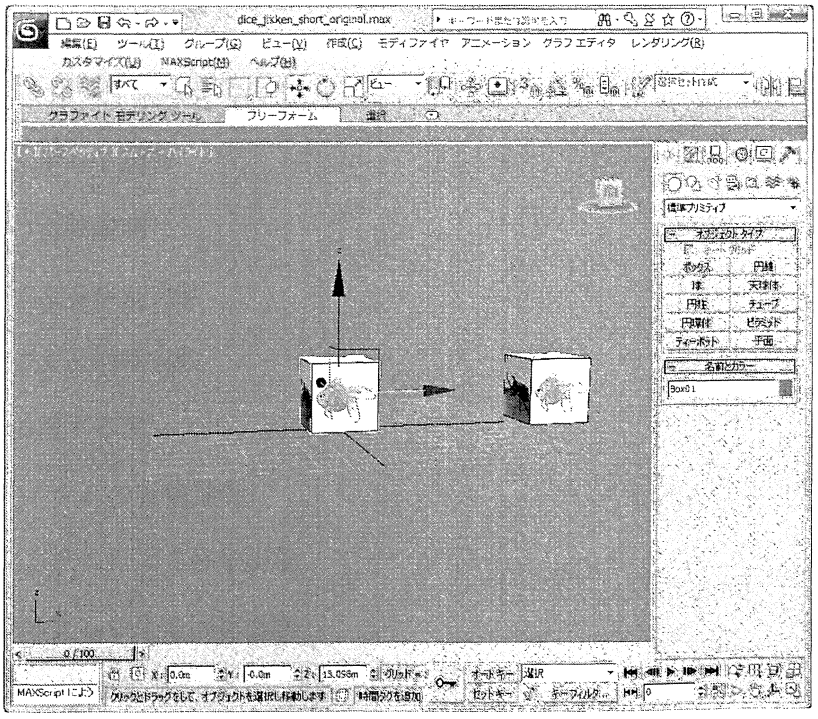

図 3.18: 一般手法による移動実験画面

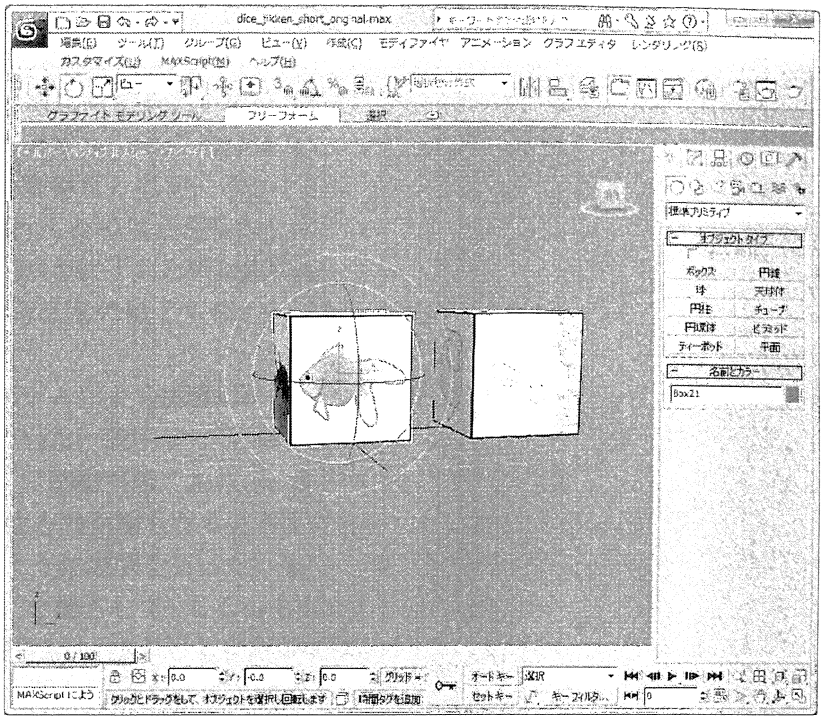

図 3.19: 一般手法による回転実験画面

3.3.3 実験環境

比較実験は5歳児および6歳児に対して行った．被験者は5歳児7名，6歳児5名の計12名であり，男子6名，女子6名である．

実験は次のような順で実施した．

1. 実験前アンケート調査
2. 一般手法の実験説明
3. 一般手法による移動実験
4. 一般手法による回転実験
5. 一般手法に対するアンケート調査
6. 3D 表現システムの実験説明
7. 3D 表現システムによる移動実験
8. 3D 表現システムによる回転実験
9. 本システムに対するアンケート調査
10. 実験後アンケート

実験前アンケート調査では,「Wii を所持しているか」,「その他のゲーム機を所持しているか」,「マウスを使用した経験はあるか」,「お絵かきは好きか」のアンケートを採った.

また,一般手法に対するアンケート調査,および,本システムに対するアンケート調査では,一般手法と本システムによる操作に対して,移動実験および回転実験のそれぞれについて,「楽しかったか」,「簡単だったか,それとも難しかったか?」,「簡単に移動が行えたのはどちらか」,「簡単に回転が行えたのはどちらか」についてアンケートを採った.また,本システムおよび一般手法による実験が終了した後に実験後アンケートとして,「簡単に移動が行えたのはどちらか」.「簡単に回転が行えたのはどちらか」,「もう一度使いたいのはどちらか」についてアンケートを採った.

実験は本システムによる実験においても,一般手法による実験においても,被験者1名につき,説明者が1名ついた.説明者は各実験の説明を口頭およびジェスチャのみによって行った.例えば,本システムの移動実験であれば,画面中央のハイライトされた立方体を指さし,「この真ん中にある箱を,(他方の目標となる立方体を指さして) こちらの灰色の箱にピタッとくっつけて欲しいんです.」のように説明を行った.また,3D リモコンによる移動操作の説明では,「(3D リモコンの十字ボタンを指さして) ここに十字ボタンがあります.この十字ボタンの (右側を指さしながら) 右側を押すと,(こぶしを立方体に見立てて右気に動かしつつ) 箱もこのように右に動きます.」のように説明を行った.

実験は図 3.20 のような配置で行った.検証用に2台のビデオカメラで実験を撮影しており,ビデオカメラ1は側面から被験者の操作と体の動きを撮影し,ビデオカメラ2は背面からはコンピュータのディスプレイを撮影した.

所要時間は本システムによる実験と一般手法による実験の合計で 25 分から 35 分程度であった.

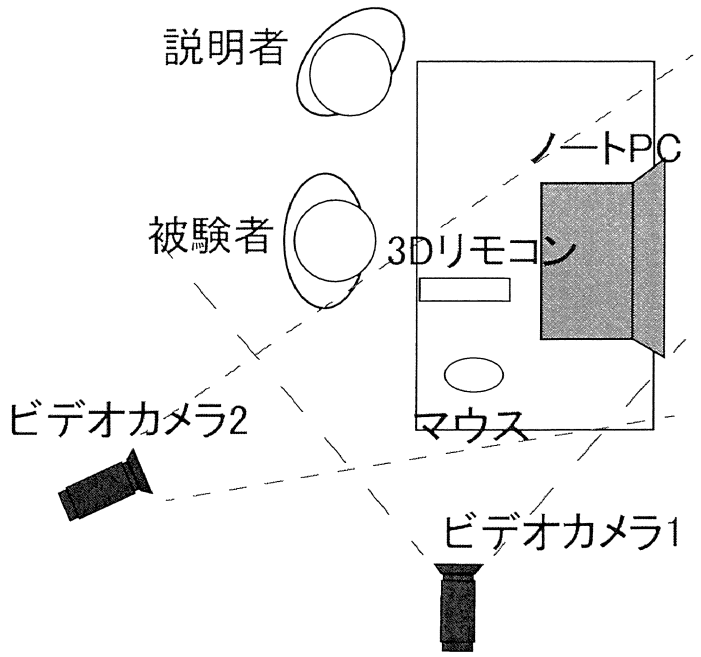

図 3.20: 実験環境

3.3.4 評価実験

3.3.5 事前アンケート結果

事前アンケートの結果を表 3.2 に示す.

Wii を所持している，つまり 3D リモコンを使用したことのある被験者は 12 名中 5 名であり，マウスを使用した事のある被験者は 7 名であった．また，その他のゲーム機を所持しているのは 6 名であり，このうち 4 名は Wii も所持していると回答した．また，多くの被験者がお絵かきは好きと回答した.

表 3.2: 事前アンケート結果

	はい	いいえ
Wii を所持しているか	5	7
その他のゲーム機を所持しているか	6	6
マウスを使用したことはあるか	7	5
お絵かきは好きか	9	3

3.3.6 移動実験結果

本システムの移動実験と一般手法による平均所要時間の比較のグラフを図 3.21 に示す．また，各平均所要時間，標準偏差および，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を表 3.3 に示す.

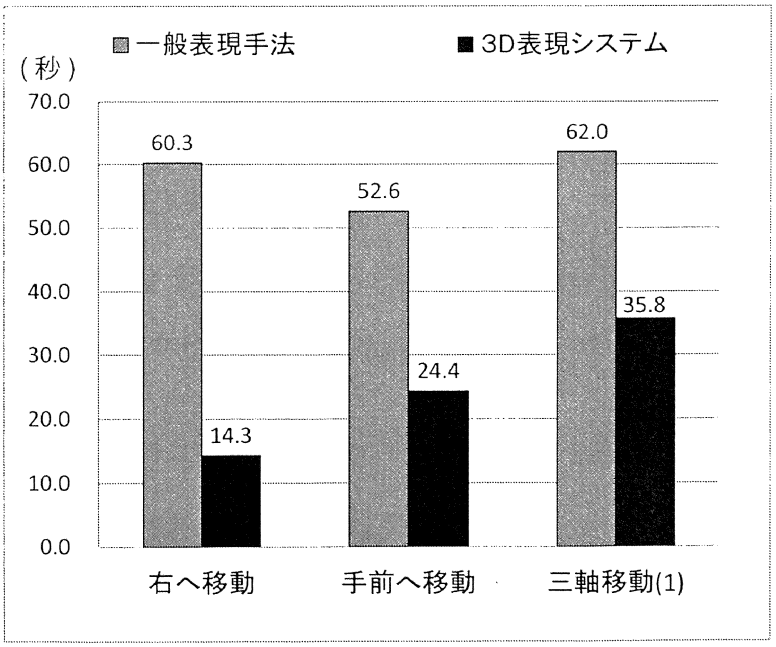

図 3.21: 3D 表現システムと一般手法による移動実験の比較

表 3.3: 移動実験における比較実験の平均所要時間，標準偏差および完了割合

	右へ移動	手前へ移動	3軸へ移動
一般手法 (平均 (秒))	60.3	52.6	62.0
一般手法 (標準偏差)	52.97	31.05	45.67
一般手法 (完了割合)	1.00	0.73	0.36
本システム (平均 (秒))	14.3	24.4	35.8
本システム (標準偏差)	11.86	15.05	36.32
本システム (完了割合)	1.00	0.91	1.00

移動実験は黄色くハイライトされた立方体を他方の立方体の位置に移動し，同位置に重ねる実験であるが，5人の被験者がハイライトされた立方体を他方の立方体の隣り（横，もしくは上など）に移動した時点で操作を終了してしまった．そのため，立方体の隣りまで移動ができたのであれば成功とした．これは，立方体に重ねる場合と比べて若干所要時間が短くなることが考えられるが，正確に隣り合わせになるように移動操作を行うのは，正確に重ねる移動操作を行う場合と比べても難易度は変わらず，また，移動に充分に時間を必要とすると考えられ，立方体の横幅分移動距離が短くなったとしても誤差の範囲と考えられるためである．

図 3.21 および表 3.3 から，全ての移動実験において本システムの方が平均所要時間が短いことがわかる．同様に，完了割合も，手前へ移動，3軸へ移動について本システムの方が高いことがわかる．標準偏差については右へ移動，手前へ移動について，一般手法が本システムのより標準偏差が大きいことから，一般手法の方が早く実験を完了できる被験者と，時間を必要とする被験者の差が大きいと考えられる．

平均所要時間における t 検定および F 検定による分析では，t 検定では右へ移動（$p = 0.018$），近くへ移動（$p = 0.028$）に有意な差があった．また，F 検定についても右へ移動（$p < 0.001$），近くへ移動（$p = 0.025$）について有意であった．

一般手法が本システムよりも所要時間が大きくなり，また，完了割合が低く，ばらつきが多くなった一つの要因として，マウスによるマニピュレータの操作が難しいと考えられる．マウスを使用してマニピュレータを操作するためには，

1. マウスを動かして移動させたい移動マニピュレータにカーソルを移動する
2. マニピュレータの上でカーソルがずれないようにマウスを固定して左ボタンを押す（クリック）
3. 左ボタンを離さないようにして移動したい方向にマウスを移動する（ドラッグ）

の操作が必要であるが，被験者の様子からは，(2) マニピュレータの上でカーソルがずれないようにマウスを固定して左ボタンを押す，および，(3) 左ボタンを離さないようにして移動したい方向にマウスを移動するの操作に戸惑っており，特にドラッグ操作は 12 名の被験者中 8 名が十分に行うことができなかった．

そのため移動に時間が必要となったと考えられる．また，マウスによるドラッグ操作ができる被験者については，早めに実験を完了することができ，そのため標準偏差が高くなったと考えられる．また，もう一つの要因としては空間認知能力および，空間表現能力によるものも考えられ

るが，同一被験者の本システムによる操作では各実験を完了することができている被験者も多く，またその所要時間も短いため，空間認知能力や空間表現能力による差異ではないと考えられる．

一方で本システムの方が結果が良い被験者が多くなったのは，3D リモコンによる移動操作はボタンによる操作とリモコンの傾きによって行うため，一般手法に用いられているマウスのような，マニピュレータにピンポイントでマウスを移動する操作や，ドラッグの操作が必要ないためであると考えられる．また，十字ボタンを用いるため，操作がシンプルであり，またリモコンの傾きによって移動方向が変更可能であるため，幼児が直感的に操作できたと考えられる．

移動実験におけるアンケート結果を表 3.4 に示す．「楽しかったか」のアンケート調査では，「楽しかった?楽しくなかった?」のように質問を行った．「楽しかったか」については，一般手法においても本システムにおいても被験者全員が楽しかったと回答した．このことから本システムにおける移動実験は幼児に対してストレスなどを与えず，楽しく実験ができたといえる．

「簡単だったか」についても，アンケート調査では，「簡単だった?難しかった?」のように質問を行った．「簡単だったか」については，一般手法では 12 名中 7 名が難しかったと回答し，本システムでは難しいと回答したのは 1 名のみであった．このことから幼児は一般手法による移動操作は本システムによる操作より難しいと感じる被験者が多いとわかった．

実験から得たデータおよびアンケート調査から，本システムの方が幼児から空間表現能力を把握するための移動デバイスとして適していると考えられる．

表 3.4: 移動実験アンケート結果

	はい	いいえ
楽しかったか (一般手法)	12	0
簡単だったか (一般手法)	5	7
楽しかったか (本システム)	12	0
簡単だったか (本システム	11	1

3.3.7 回転実験結果

本システムの回転実験と一般手法による平均所要時間の比較のグラフを図 3.22 に示す．また，各平均所要時間，標準偏差および，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を表 3.5 に示す．

図 3.22 および表 3.5 から，平均所要時間は全ての回転実験において本システムによる操作と一般手法による操作はほぼ同程度の所要時間という結果となった．同様に，標準偏差についても，いずれの回転実験においても大きな差は得られなかった．しかし，完了割合はいずれの回転実験においても本システムの方が同程度もしくは完了割合が高いという結果を得た．

本システムによる操作と一般手法による操作による操作において平均所要時間がほぼ同程度となったのは，一般手法では被験者の様子から，移動実験と同様にマニピュレータにカーソルを動かしたり，ドラッグ操作を行ったりするのに時間が必要になったためであると考えられる．本システムにおいても，3D リモコンの B ボタンを押しつつリモコンを傾けるという操作のため，目標の位置になっても B ボタンを離さずに操作を続ける被験者や，立方体を 180 度以上回転させたい場合には B ボタンを押し続けたまま 180 度以上リモコンを回転させようと試みる被験者が多く，所要時間が増大したと考えられる．

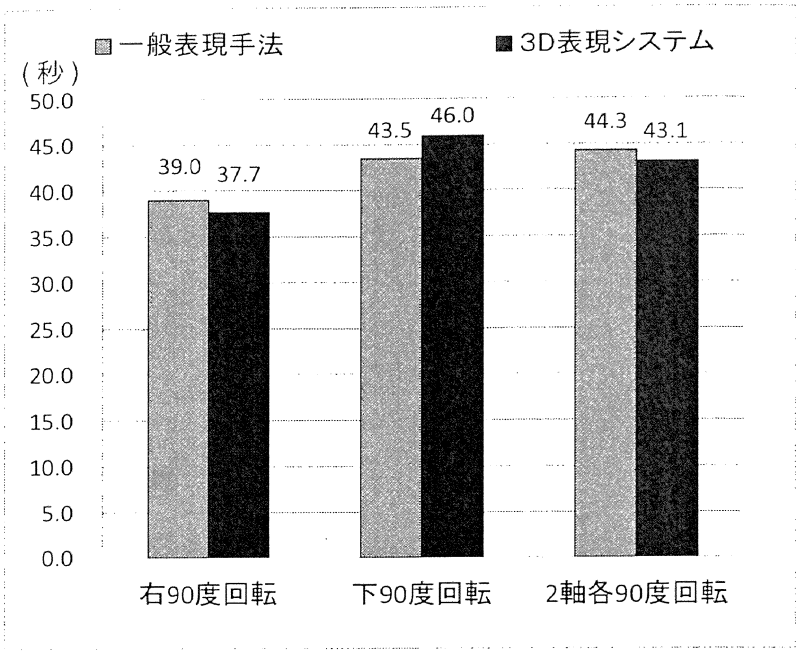

図 3.22: 3D 表現システムと一般手法による回転実験の比較

表 3.5: 回転実験における比較実験の平均所要時間，標準偏差および完了割合

	右 90 度回転	左右 90 度回転	2 軸各 90 度回転
一般手法 (平均 (秒))	39.0	43.5	44.3
一般手法 (標準偏差)	29.41	41.92	21.87
一般手法 (完了割合)	0.73	0.91	0.55
本システム (平均 (秒))	37.7	46.0	43.1
本システム (標準偏差)	38.15	36.12	30.52
本システム (完了割合)	1.00	1.00	0.82

一方で，完了割合は本システムによる操作の場合のほうが高く，回転にマウスと同程度の時間を必要とするが，目標となる立方体の向きに回転することができる被験者は多いといえる．

回転実験におけるアンケート結果を表 3.6 に示す．

「楽しかったか」については，本システムにおいては 12 名の被験者全員が楽しかったと回答したが，一般手法においては 2 名が楽しくなかったと回答した．このことから本システムにおける回転実験は楽しく実験ができたといえる．

「簡単だったか」についても，アンケート調査では，「簡単だった?難しかった?」のように質問を行った．「簡単だったか」については，本システムでは難しいと回答したのは 3 名であり，一般手法では 4 名と，ほぼ同一であった．これは回転実験については平均所要時間が本システムと一般システムでは同程度であり，移動実験における平均所要時間よりも時間を必要としたことから，難しいと感じた被験者が増えたと考えられる．

実験から得たデータおよびアンケート調査から，平均所要時間こそ本システムと一般手法では同程度であったが，完了割合は本システムの方が高く，また，アンケートにおいても本システムの方が同等もしくは若干良い結果を得ることができた事から，本システムの方が幼児から空間表

現能力を把握するための回転デバイスとして適していると考えられる.

表 3.6: 回転実験アンケート結果

	はい	いいえ
楽しかったか (一般手法)	10	2
簡単だったか (一般手法)	8	4
楽しかったか (本システム)	12	0
簡単だったか (本システム	9	3

3.3.8 実験後アンケート結果

本システムおよび一般手法による実験が終了した後に実施した実験後アンケートの結果を表 3.7 に示す. アンケート時に「わからない」や「両方」と答えた被験者, また, 考え込んでしまった被験者については,「わからない」としてカウントした. 簡単に移動操作を行う事ができたのは, 移動実験において 12 名中 8 名, 回転実験において 7 名と, 本システムの方が簡単と回答した被験者が多かった. また, もう一度使いたいのはどちらかという質問に対しては, 本システムが 6 名, 一般手法が 2 名と本システムの方が良いという結果を得た.

表 3.7: 実験後アンケート結果

	3D 表現システム	一般手法	わからない
簡単に移動が行えたのはどちらか	8	4	0
簡単に回転が行えたのはどちらか	7	3	2
もう一度使いたいのはどちらか	6	2	4

3.4 まとめ

本章では 3D 表現システムの各実験機能のユーザインタフェースについて述べた. また, 3D リモコンによって操作を行う 3D 表現システムと, マウスとマニピュレータによって操作を行う一般手法の操作手法について幼稚園児を対象として比較実験を実施し, 本システムの操作手法を評価した.

その結果, 移動実験では本システムの方が各実験の平均所要時間が一般手法よりも短く, さらに, 各実験を完了することができた完了割合も高くなった. 回転実験については平均所要時間は本システムと一般手法の間に大きな差は生じなかったが, 一方で完了割合については本システムによる操作の方が高くなった. また, アンケート調査も行い, 多くの場合で本システムの方が, 簡単であると感じた被験者が多く, また使ってみたいと感じた被験者が多いという結果を得た.

以上のことから, 本システムの操作手法は一般手法よりも直感的に操作ができ, 幼児に適しているといえる.

4 知能検査との比較実験

4.1 はじめに

3D 表現システムには空間表現能力を把握するとともに，その発達段階を把握するために，移動実験，回転実験，配置実験，および組み合わせ実験を搭載した．これらによって取得したデータから空間表現能力を把握可能か，また，その発達段階を把握可能かについて検討するためには，一般的に標準化発達の取得手法との比較実験を行うことが有効であると考えられる．また，比較実験を行うことにより，本システムの各実験で把握可能であると仮定した能力と知能検査で測定する能力との関連性についても調査可能であると考えられる．

そこで，知能検査の一つである，日本語版の WPPSI 知能診断検査との比較実験を実施し，本システムによって幼児の空間表現能力を把握可能か，また，その発達が把握可能かを検討する．

4.2 知能検査の選定

知能検査には，WPPSI 知能診断検査 [6]，WISC-III 知能検査 [7]，田中ビネー知能検査 [25] などがある．また，発達検査として新版 K 式発達検査 [26]，フロスティッグ視知覚発達検査 [27] などがある．

本システムとの比較実験に用いるためには，まず，本システムが対象としている 4 歳から 7 歳までの被験者に対して検査をかけることができ，また，本システムとの比較を行う上で，知能検査の各下位検査ごとに比較を行うことができたとすれば，より詳細に，例えばどのような能力が本システムにおいて有効に働いたかなどを調査可能であると考えられる．そのため，各下位検査ごとにスコアなどを算出できることが望ましい．

各知能検査の年齢と各下位検査ごとにスコアを算出可能かを表 4.1 にまとめる．

WPPSI 知能診断検査は対象年齢を 3 歳 10ヶ月から 7 歳 1ヶ月としており，田中ビネー知能検査は 2 歳から 13 歳，新版 K 式発達検査は 0ヶ月から 14 歳，視知覚発達検査は 4 歳から 7 歳 11ヶ月までが対象年齢となっている．WISC-III 知能検査は 5 歳から 16 歳 11ヶ月であり，本システムの対象とする年齢層とは適合しない．

WPPSI 知能診断検査や WISC-III 知能検査は各下位検査ごとにスコアを算出可能であるが，田中ビネー知能検査や，新版 K 式発達検査，視知覚発達検査は各下位検査ごとに IQ 値などを計算

表 4.1: 知能検査の比較

	対象年齢	各下位検査ごとにスコアを算出可能か
WPPSI 知能診断検査	3 歳 10ヶ月から 7 歳 1ヶ月	○
WISC-III 知能検査	5 歳 0ヶ月から 16 歳 11ヶ月	○
田中ビネー知能検査	2 歳 0ヶ月から 13 歳 0ヶ月	×
新版 K 式発達検査	0 歳 0ヶ月から 14 歳 0ヶ月	×
視知覚発達検査	4 歳 0ヶ月から 7 歳 11ヶ月	×

することができない．

以上のことから，年齢が適合し，かつ，各下位検査ごとにスコアを算出可能なWPPSI知能診断検査を用いることとした．

4.3 WPPSI知能診断検査

WPPSI知能診断検査（日本語版）はウェクスラー式の個別式知能検査の一つである．対象年齢を3歳10ヶ月から7歳1ヶ月としている．WPPSI知能診断検査の写真を図4.1に示す．

検査は言語性IQを検査する6種類の下位検査と，動作性IQを検査する5種類の下位検査から成り立っており，それぞれの下位検査のスコアや，言語性IQと動作性IQおよび総合のIQ値を得ることができる．言語性検査には知識，単語，算数，類似，理解，文章の6種類の下位検査があり，動作性検査には動物の家，絵画完成，迷路，幾何図形，積木模様の5種類の下位検査がある．日本語版は，原版のWPPSIとは問題に若干の修正が加えられており，また，対象年齢が異なっている．

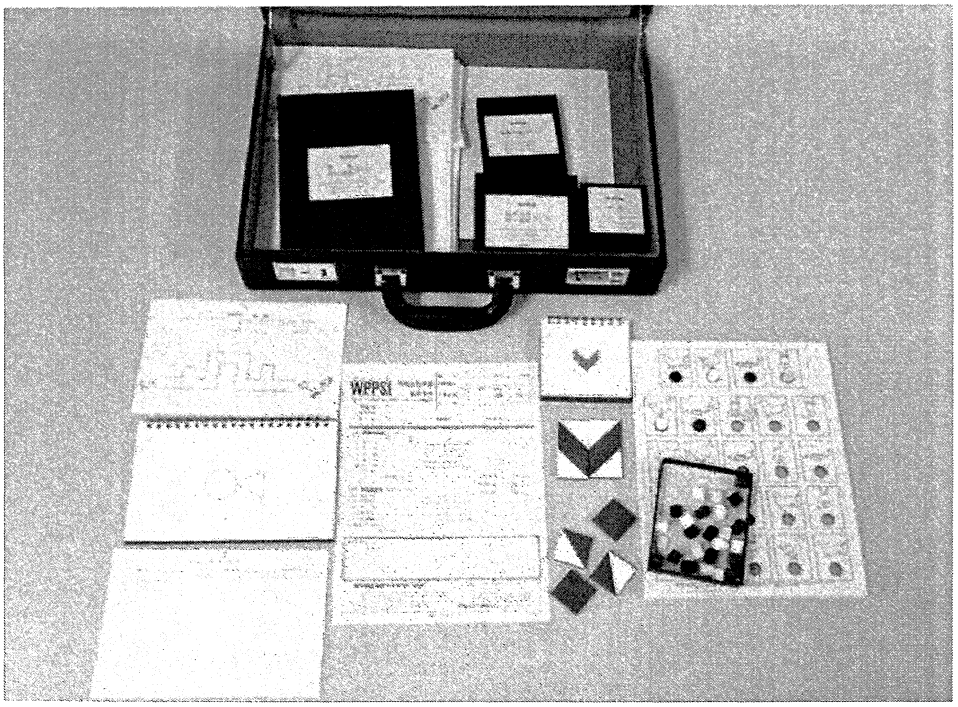

図 4.1: WPPSI知能診断検査

4.3.1 動物の家

動物の家の下位検査は，説明者が指示した通りに，色のついたコマを正しい動物の絵の下の穴に入れていく検査である．動物の家に使用する検査用具を図4.2に示す．

動物の家は犬，鳥，魚，猫の絵が描かれており，それぞれの動物の絵の下に穴が空いている．最上部の動物の絵の下にのみ，あらかじめ，それぞれ，黒，白，青，黄の4種類の色のコマがはめられている．被験者はその4種類の動物とコマの色の関係を理解し，その関係の通りに，他の

動物の下の穴にコマを入れていく検査である．また説明者はできるだけ早く各コマを全部の穴に入れるように被験者に説明を行う．

また，この検査では検査を始める前に被験者の前にコマを１個置き，それを拾わせ，コマを拾う際にどちらの手を使用したかによって右利きか左利きかを調べ．それによってコマの入った箱を被験者のどちら側に置くかを決めている．

スコアはコマを全て当てはめるまでの時間と，間違った個数による減点から算出される．

この動物の家の下位検査によって，

- 説明者の言うことに被験者が従うか
- 動物と家のコマの関係を知覚および理解可能か
- コマを正確に当てはめる判断力
- 各コマを早く穴に入れていく運動能力

などを検査することが可能であると考えられる．

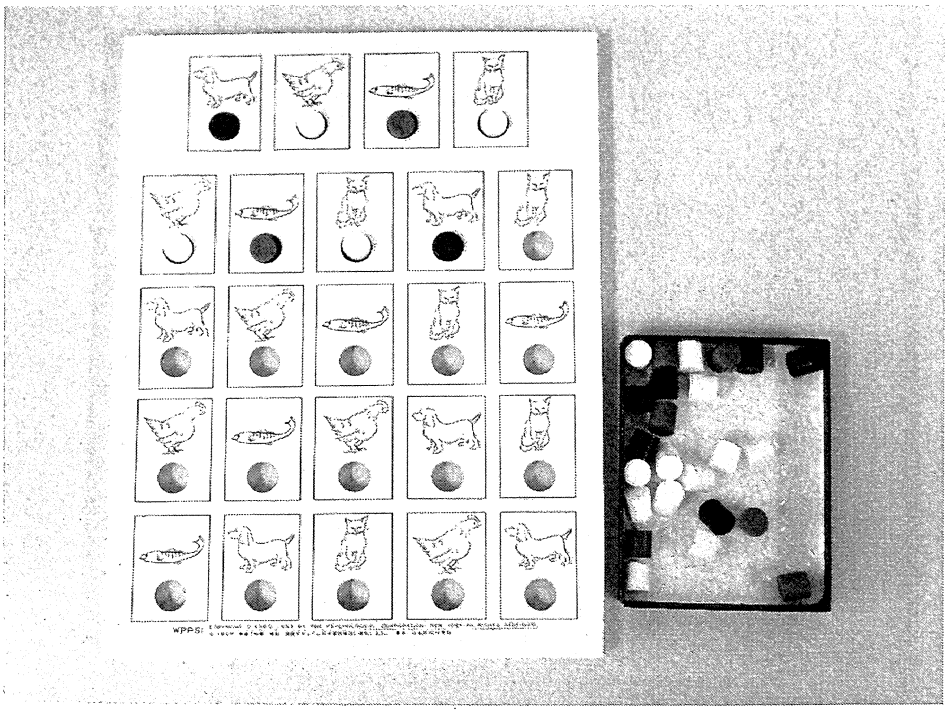

図 4.2: 動物の家

4.3.2 絵画完成

絵画完成の下位検査は提示した絵の中に常識的に見ると足りない部位がある．その足りない部位はどこかを見つける検査である．

絵画完成に使用する検査用の絵の一部を図 4.3 および図 4.4 に示す．

絵画完成では，図 4.3 のようなカードを被験者に見せる．そして説明者は被験者に対して「この絵の中に何か足りない部分があります．足りないところはどこでしょう？」と聞く．そして被

験者に図 4.3 の例であれば,「腕が無い」のように答えて貰うか，もしくは無い腕の部分を指さしてもらう検査でである．同様に図 4.4 であればシーソーの右側にもう 1 人乗っている必要があるため,「人がいない」と答えて貰うか，もしくは人がいるはずの部分を指さしてもらうという検査である．

スコアは正しく答えることができた正答数によって算出され，5 問連続で間違いもしくは未回答があった時点で検査を終了する．

この絵画完成の下位検査によって，

- 図形の認知能力
- 足りない箇所はどこかを推定する想像力および判断力
- 足りない箇所を探す注意力および集中力
- 普段の生活における観察力および知識

などを検査することが可能であると考えられる．

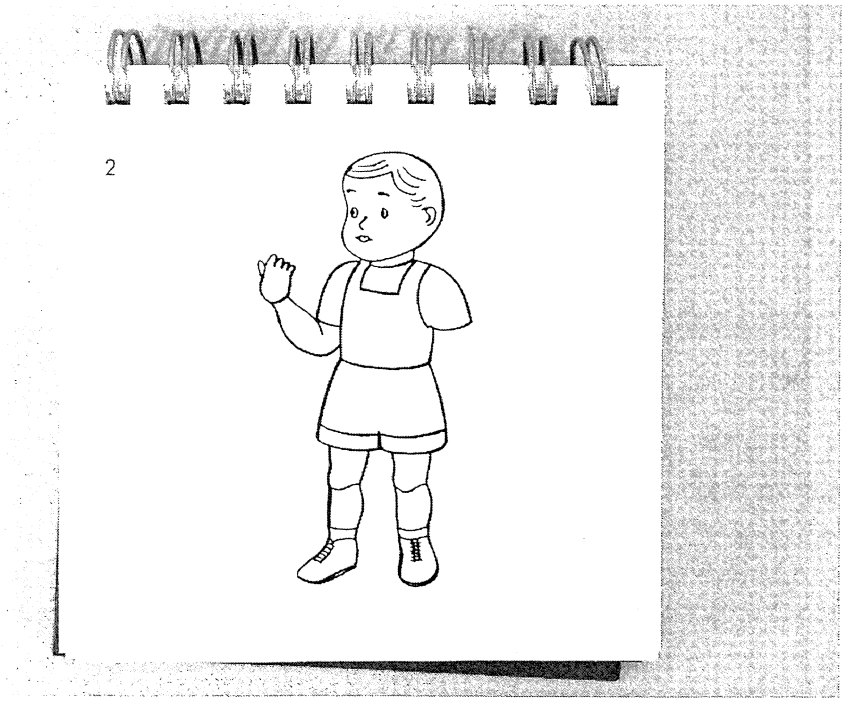

図 4.3: 絵画完成 (1)

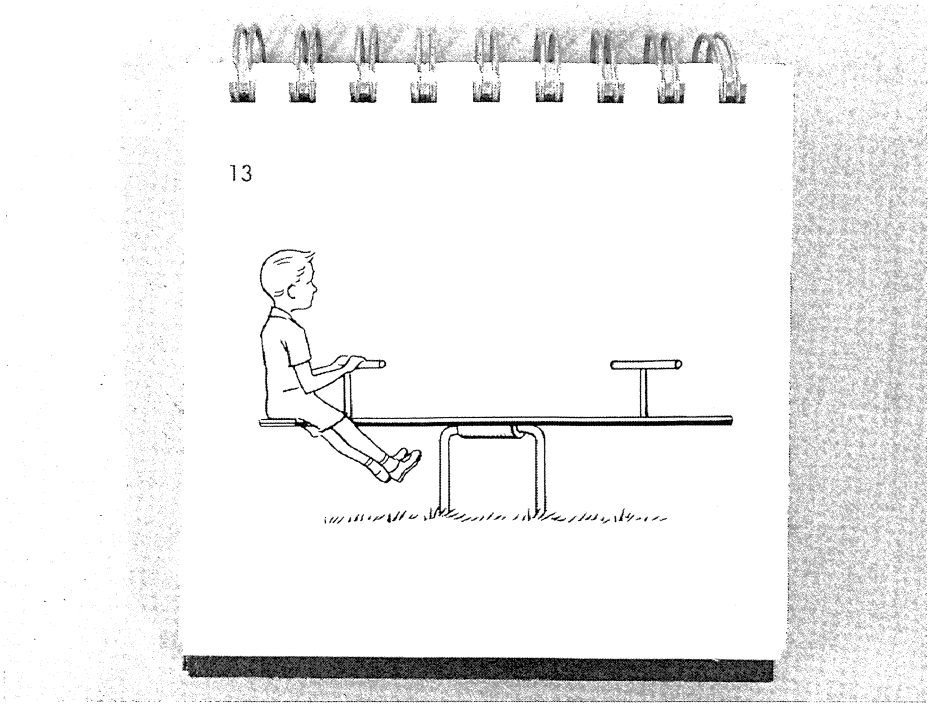

図 4.4: 絵画完成 (2)

4.3.3 迷路

迷路の下位検査は，水平迷路および箱迷路の 2 種類の紙面上の迷路を鉛筆を使用してスタート地点からゴール地点までの道をなぞる検査である．

迷路に使用する検査用の迷路の一部を図 4.5 および図 4.6 に示す．

迷路は図 4.5 のような左側から右側までの道のりをたどる水平迷路と，図 4.6 のような中央から外までの道のりをたどる箱迷路の 2 種類の検査がある．水平迷路では，説明者が被験者に対し，「ここにヒヨコがいます．このヒヨコはお母さん鳥のもとに行きたがっています．お母さん鳥の所まで行き止まりに入らないようにして，できるだけ早く連れて行って下さい.」のように説明を行い，右側のニワトリまでの道のりを書いてもらう検査である．また，箱迷路では，説明者が「中央のあるバツ印から外に出る道のりを描いて下さい.」のように説明を行い，外までの道のりを鉛筆で書いてもらう．またこの検査においてはスタートからゴールまでの経路を鉛筆で描く間に，鉛筆を紙から離さないようにするように説明する．

スコアは何個の迷路を解くことができたかで計算する．いずれの検査でも，袋小路に入ってしまった時点で 1 回のミスとし減点を行う．各迷路ごとに定められた減点回数を超えると，その迷路の検査は失敗とする．迷路を 2 回連続で失敗した時点で検査は終了となる．

この迷路の下位検査によって，

- スタートからゴールまでの位置関係の認知能力
- スタートからゴールまでの経路選択能力
- 袋小路に入らないように迷路の先を見るための注意力および洞察力

- 正確に鉛筆を用いて壁と壁の間に線をひく運動能力

などを検査することが可能であると考えられる.

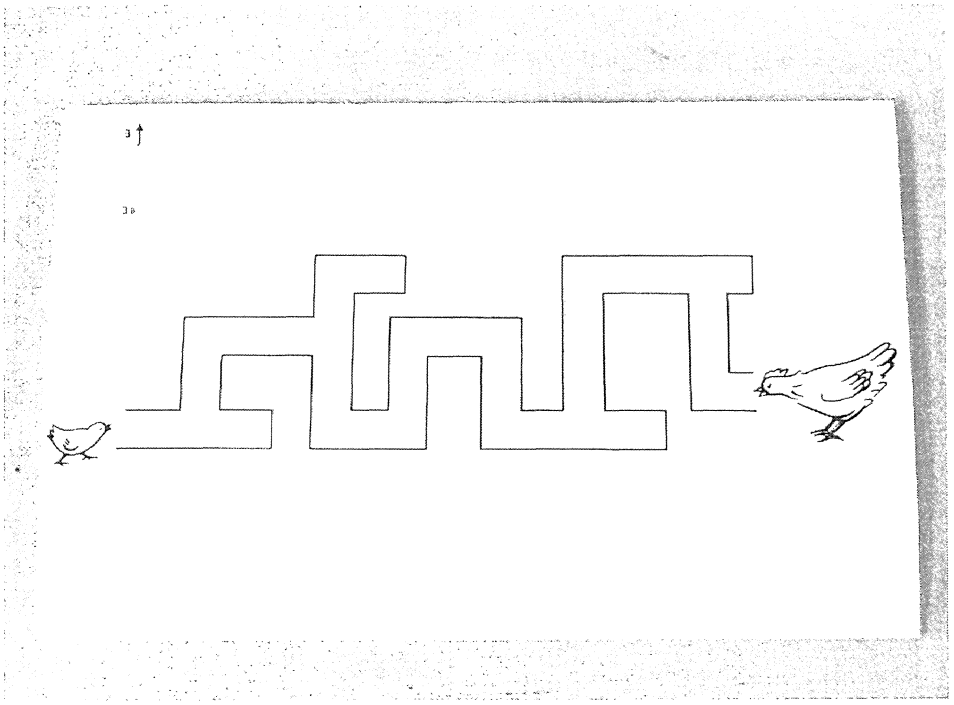

図 4.5: 迷路 (水平迷路)

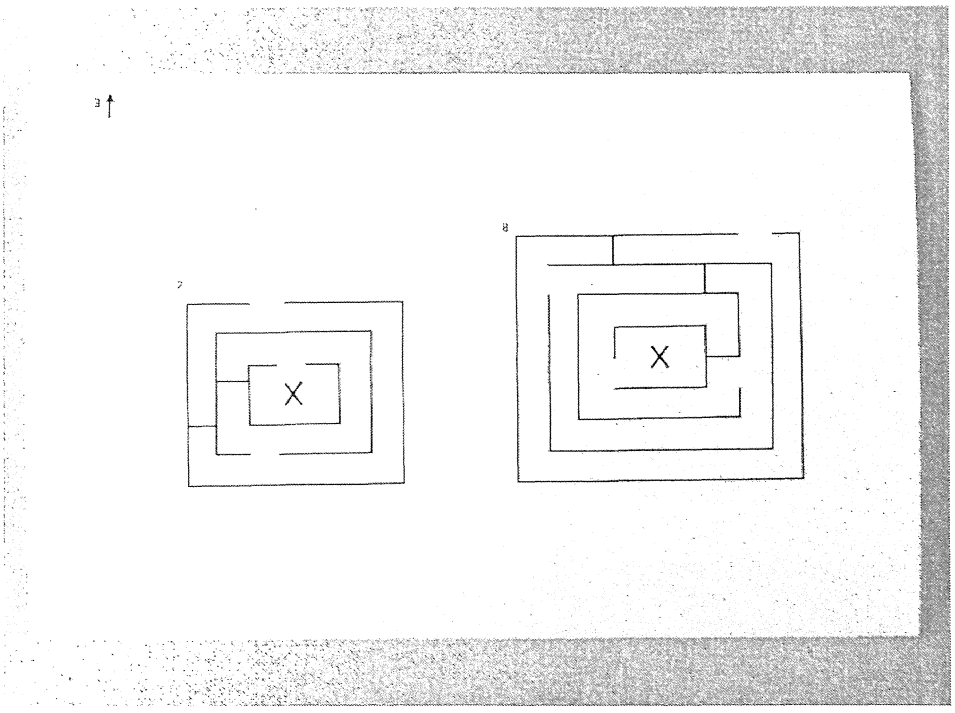

図 4.6: 迷路 (箱迷路)

4.3.4 幾何図形

幾何図形の下位検査は，円形や四角形，六角形などの幾何図形が描かれたカードを提示し，提示した図形通りに鉛筆で紙に描画を行う検査である．

幾何図形に使用する図形の一部を図 4.7 に示す．

幾何図形はまず，図 4.7 のような図形が描かれたカードを被験者に提示する．そして「この絵と同じような絵を（描画対象の用紙を指さし）こちらの紙に書いて下さい.」のように説明を行う検査である．幾何図形には，図 4.7 のように四角形と円形の 2 個の幾何図形が描かれているものと，円形や六角形などの 1 つの図形が描かれているものがある．2 個の図形が描かれている場合には，2 個とも描画するように指示する，

スコアは各図形ごとに採点基準が定めれており，線のわん曲や，線と線との相対的な長さ，角度の正確性，図形の空間的な位置や大きさの関係の正確性などから採点を行う．採点した結果が 2 回連続で 0 点であった時点で実験を終了する．

この幾何図形の下位検査によって，

- 幾何学的な形状の認知能力
- 線と線，角と角，図形と図形同士の空間的な関係の認知能力
- 認知した関係の通りにどのように描けば良いのかを決定する能力
- 鉛筆を用いて正確に図形を描く運動能力

などを検査することが可能であると考えられる．

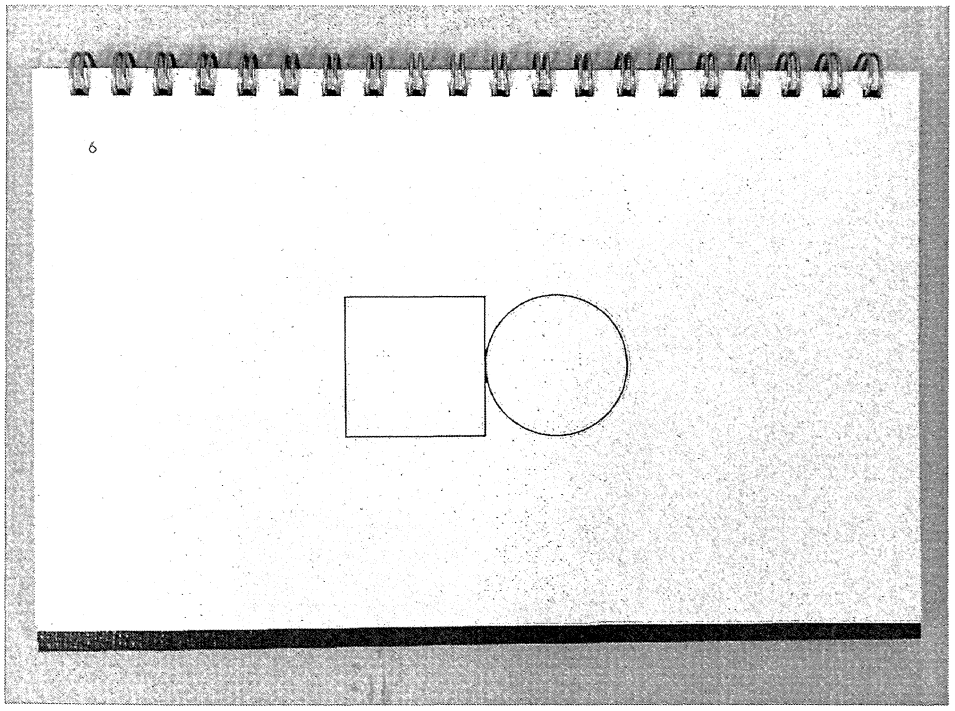

図 4.7: 幾何図形

4.3.5 積木模様

積木模様の下位検査は手本となる積木もしくは模様が描かれたカードを提示し，それと同じ模様を積木を用いて作成する検査である，

積木模様に使用する積木および提示する模様のカードを図 4.8 に示す．

積木模様は図 4.8 のような表は赤で裏が白のタイル状の積木，および，表が赤で裏が赤と白の半々のタイル状の積木を用いる．説明者がまず，手本となる模様を積木を用いて作成し，例えば表が赤で，裏が赤と白の半々の積木を用いる場合であれば，被験者に「ここに表が赤で，裏が赤と白の積木があります．この積木を使って，(手本の積木を指さして) この積木と同じようなのを作って下さい.」のように説明を行い，同様な模様になるように積木を用いて，制限時間以内に作成してもらうという検査である．この検査では，はじめは目の前で積木を組み合わせて解答を見せた後に，一度積木をばらばらにし，再度被験者に作成させる．また，検査が進むと手本の積木を見せるのではなく図 4.8 の左上にあるカードの模様を見せ，それを作成させる．制限時間以内に作成不可能な場合には手本を見せ，第 2 試行を行う．

スコアは第 1 試行と第 2 試行のどちらで成功したかにより加算される点数が異なり，その合計点から計算される．第 1 試行および第 2 試行において制限時間以内に提示した模様を作成できない場合は失敗とし，2 回連続で失敗した場合に検査を終了する．

この積木模様の下位検査によって，

- 積木の分類能力
- 積木の向きの認知能力
- 幾何学的な形状の認知能力

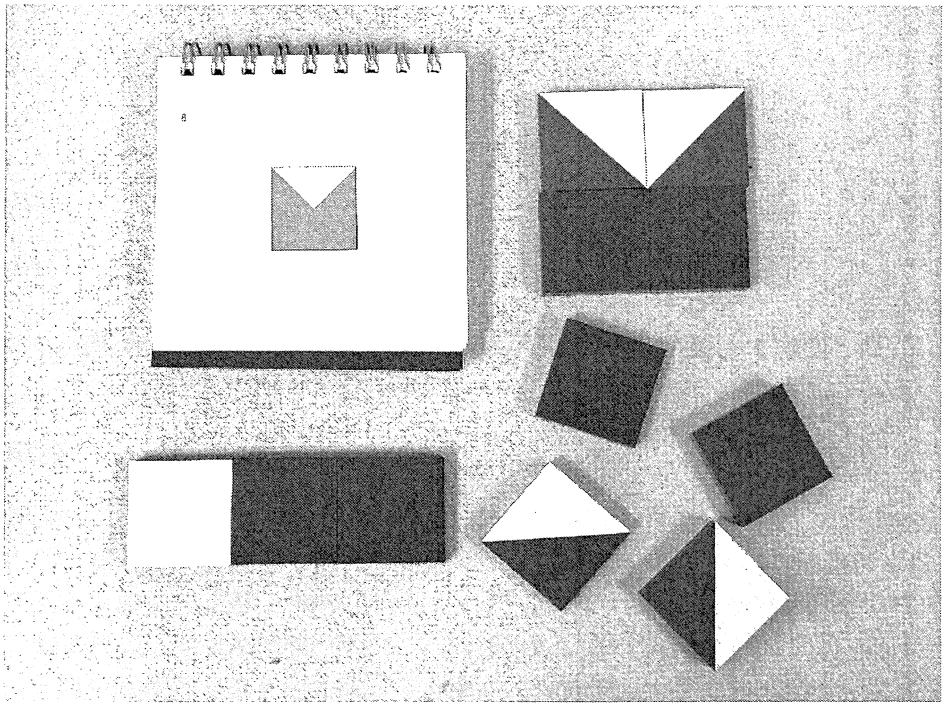

図 4.8: 積木模様

- 積木同士の空間的な位置と向き，また色の関係の認知能力
- 積木を正しい方向に移動および回転を行う運動能力

などを検査することが可能であると考えられる．

4.4 実験の流れ

実験は2010年8月9日，1日および2011年8月4日，5日に新さっぽろ幼稚園の協力のもと，同幼稚園に通う園児を対象として実施した．まず，3D表現システムによる実験を行い，翌日に同一被験者に対しWPPSI知能診断検査による実験を行った．

実験は3D表現システムにおいては，以下の順で実施した．

1. 移動実験
2. 回転実験
3. 配置実験

移動実験では「右へ移動」,「左へ移動」,「上へ移動」,「手前へ移動」,「3軸への移動(1)」,「3軸への移動(2)」の6種類の実験をこの順で実施した．回転実験では「右90度回転」,「右左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種類の実験をこの順で実施した．また，配置実験では「水平配置」,「垂直配置(1)」,「垂直配置(2)」の3種類の実験をこの順で実施した．説明は口頭とジェスチャのみによって行った．

また，WPPSI知能診断検査においては，以下の順で実施した．

1. 動物の家
2. 絵画完成
3. 迷路
4. 幾何図形
5. 積木模様

WPPSI知能診断検査はWPPSI知能診断検査の手引き[28]に従って実施した．

4.5 実験環境

実験は幼稚園において実施した．被験者数は21名であり，男子11名，女子10名である．

実験は1名ずつ実施し，被験者1名につき説明者1名がついた．本システムによる実験は3.3.3節のインタフェース評価の実験と同様である．ただし，インタフェース評価時にはマウスを用意しているが，知能検査との比較実験ではマウスは用意していない．

本システムを用いる検査では2台のカメラを用い，被験者の操作と体の動き，およびコンピュータのディスプレイを記録した．

WPPSI知能診断検査の実験環境を図4.9に示す．WPPSI知能診断検査ではカメラによる記録は行わなかった．これは，WPPSI知能診断検査の手引に従ったためであり，カメラを設置する

ことによりWPPSI知能診断検査が想定する正しいIQ値を算出できなくなるのを避けるためである．WPPSI知能診断検査では時間やスコアの記録は全て検査時に説明者が記録シートに書き込んだ．

所要時間は本システムによる実験で10分から15分程度であり，WPPSI知能診断検査による実験では30分から45分程度であった．

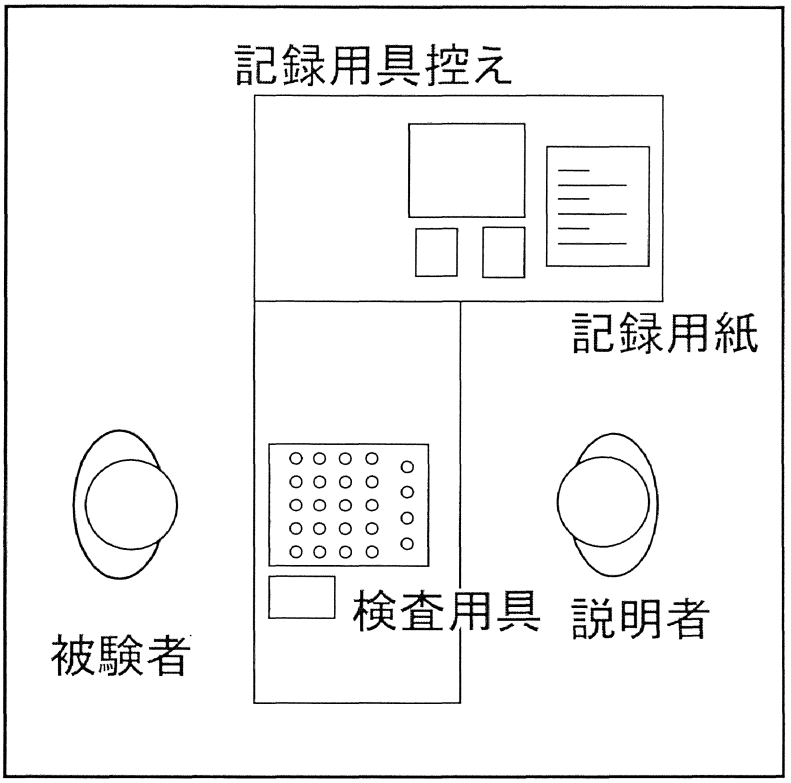

図 4.9: WPPSI知能診断検査の実験環境

4.6 実験結果

4.6.1 移動実験とWPPSIとの比較

本システムにおける移動実験とWPPSIの下位検査および，各下位検査をIQ値に変換する前の粗点の合計点と動作性IQとの間の散布図を図4.10に示す．また，各散布図に対して回帰直線を示した．

縦軸は本システムにおける6種類の移動実験の平均時間を表しており，平均時間が短いほうが結果が良いといえる．横軸はWPPSIのスコアを表しており，スコア高い方が結果が良いといえる．プロットされた1つのデータは被験者1名の実験結果を表している．また，移動実験とWPPSIとの間の相関係数を表4.2に示す．

移動実験とWPPSI知能診断検査の比較では，動物の家以外のいずれの下位検査についても所要時間が短いほどWPPSIでのスコアも良くなる負の相関が見られた．移動実験の無相関検定を行った結果，5%水準において，絵画完成 ($r = -0.650$, $p = 0.002$)，迷路 ($r = -0.646$, $p = 0.003$)，

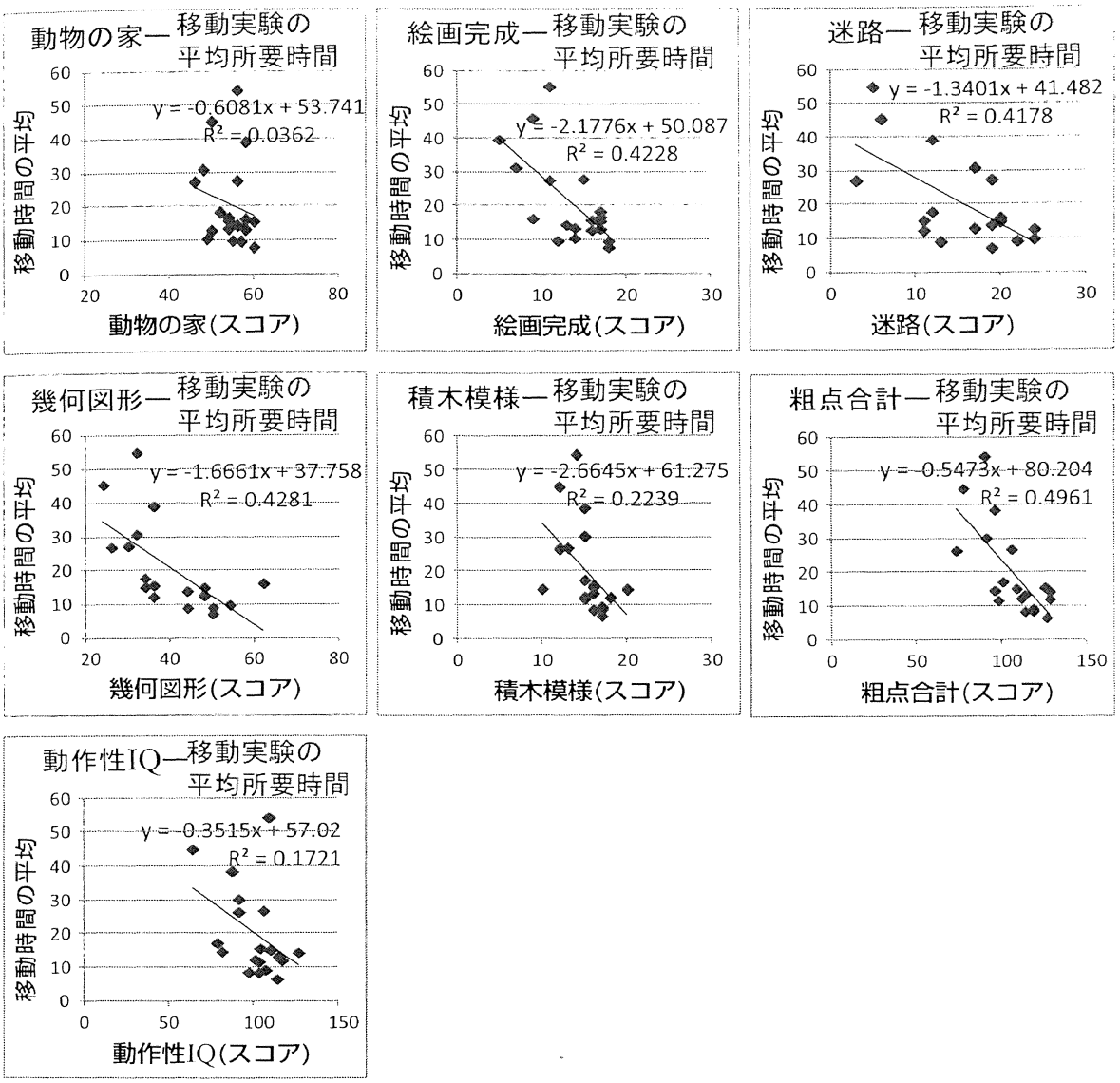

図 4.10: 移動実験と WPPSI の結果の散布図

表 4.2: 移動実験と WPPSI 間の相関係数

	動物の家	絵画完成	迷路	幾何図形	積木模様	粗点の合計	動作生 IQ
移動実験	−0.19	−0.65	−0.64	−0.65	−0.47	−0.70	−0.41

幾何図形 ($r = -0.654$, $p = 0.002$)，積木模様 ($r = -0.473$, $p = 0.040$)，および IQ 値に変換する前の粗点 ($r = -0.704$, $p < 0.001$) に有意な相関があった．

移動実験が多くの下位検査と負の相関が見られ，また有意な相関が見られた理由について考察する．移動実験は 2.3.4 節において，以下のような能力が把握可能であると仮定した．

1. 立方体の初期位置と目標位置の位置関係の認知能力

2. 目標位置までの経路選択能力

3. 決定した移動方向になるように3Dリモコンを使用し正確な方向に動かす身体能力

(1) 立方体の初期位置と目標位置の位置関係の認知能力 については，WPPSI知能診断検査の各下位検査における以下の能力が本システムにおいても有効に働いたと考えられる．

a. 絵画完成における注意力および集中力

b. 迷路におけるスタートからゴールまでの位置関係の認知能力

c. 幾何図形における線と線，図形と図形同士の空間的な関係の認知能力

d. 積木模様における積木同士の空間的な位置と向きの認知能力

(2) 目標位置までの経路選択能力 については，WPPSI知能診断検査の各下位検査における以下の能力が本システムにおいても有効に働いたと考えられる．

a. 絵画完成における注意力および集中力

b. 迷路におけるスタートからゴールまでの経路選択能力

c. 幾何図形の認知した関係の通りにどのように描けば良いのかを決定する能力

(3) 決定した移動方向になるように3Dリモコンを使用し正確な方向に動かす身体能力 については，WPPSI知能診断検査の各下位検査における以下の能力が本システムにおいても有効に働いたと考えられる．

a. 絵画完成における注意力および集中力

b. 幾何図形における鉛筆を用いて正確に図形を描く運動能力

c. 迷路における鉛筆を用いて正確に壁と壁の間に線をひく運動能力

d. 積木模様における積木を正しい方向に移動および回転を行う運動能力

以上のように有意な相関が得られた全ての下位検査について，移動実験で把握可能であると仮定した能力と，WPPSIの各下位検査で把握可能であると考えられる能力との間に多くの関連があったため，相関が得られたと考えられる．

また，粗点の合計についても有意な相関が得られている．粗点の合計は各下位検査のスコアの合計点であり，移動実験は多くの下位検査との間に相関が見られたため粗点の合計についても有意な相関が得られたといえる．しかし，動作性IQには有意な相関は得られなかった．これは，動作性IQは粗点に年齢を加味して算出するため，被験者の年齢によって結果が左右されたと考えられる．一方で本システムによって把握した能力はWPPSIほど年齢に左右されず，同年齢の被験者においても，被験者によって発達の段階にばらつきがあることを示唆していると考えられる．

4.6.2 回転実験と WPPSI との比較

本システムにおける回転実験と WPPSI の下位検査および，各下位検査を IQ 値に変換する前の粗点の合計点と動作性 IQ との間の散布図を図 4.11 に示す．また，各散布図に対して回帰直線を示した．

縦軸は本システムにおける 5 種類の回転実験の平均時間を表しており，平均時間が短いほうが結果が良いといえる．横軸は WPPSI のスコアを表しており，スコア高い方が結果が良いとい

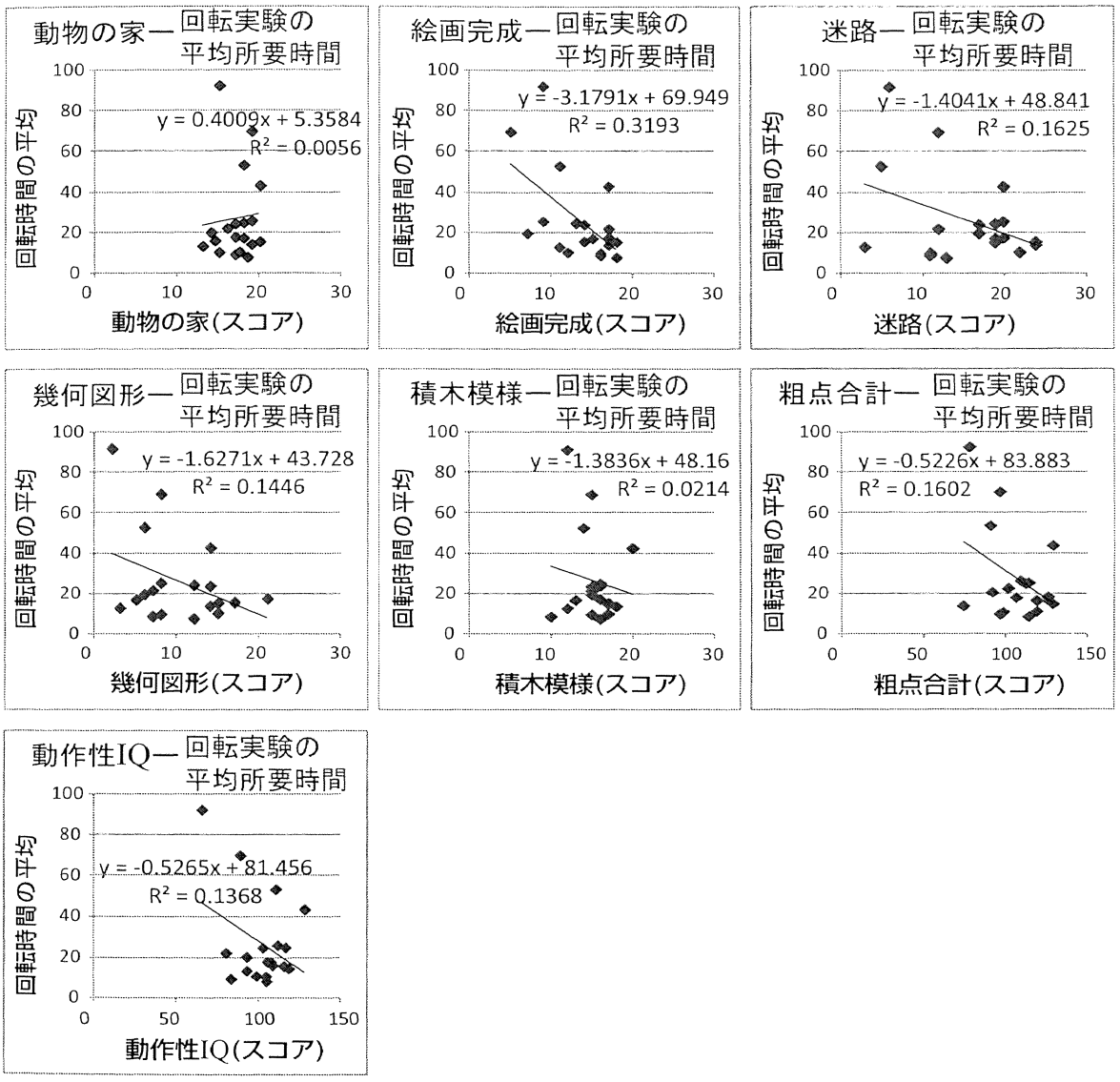

図 4.11: 回転実験と WPPSI の結果の散布図

表 4.3: 回転実験と WPPSI 間の相関係数

	動物の家	絵画完成	迷路	幾何図形	積木模様	粗点の合計	動作生 IQ
回転実験	0.07	−0.56	−0.40	−0.38	−0.15	−0.40	−0.37

える．プロットされた 1 つのデータは被験者 1 名の実験結果を表している．また，回転実験と WPPSI との間の相関係数を表 4.3 に示す．

回転実験との比較では，動物の家以外のいずれの下位検査についても所要時間が短いほど WPPSI でのスコアも良くなる負の相関が見られた．無相関検定を行った結果，5%水準において，絵画完成 ($r = -0.565$, $p = 0.012$) に有意な相関があった．

以上のように回転実験では動物の家以外の全ての下位検査において負の相関が得られ，絵画完成との間に有意な相関が得られた．しかし一方で，移動実験と WPPSI 知能診断検査との比較実験の結果ほど，多くの下位検査との間に有意な相関は得られなかった．

多くの下位検査において，ゆるやかな相関が得られたものの，絵画完成以外には有意な相関が得られなかった理由について考察する．

移動実験は 2.3.5 節において，以下のような能力が把握可能であると仮定した．

1. 2 個の立方体の向きの空間的な認知能力

2. 目的とする模様がどの面にあるのかを推定する能力

3. 決定した回転方向になるように 3D リモコンを使用し正確な方向に回転する身体能力

(1) 2 個の立方体の向きの空間的な認知能力 については，WPPSI 知能診断検査の各下位検査における以下のような能力が関連があると考えられる．

a. 絵画完成における注意力および集中力

b. 積木模様における積木同士の空間的な位置と向きの認知能力

積木模様における積木同士の空間的な位置と向きの認知能力については，積木に使用される積木は色の異なる表と裏の 2 面を持ったタイル状の積木である．しかしながら回転実験に用いる立方体は正 6 面体であり，各面によって模様が異なっている．そのため回転実験では積木模様よりもより，高度な能力を必要とすると考えられ，一概に積木模様の結果の良い被験者が，回転実験でも短い時間で完了するとは言えなかったのではないかと考えられる．

(2) 目的とする模様がどの面にあるのかを推定する能力 については，WPPSI 知能診断検査の各下位検査における以下のような能力が関連があると考えられる．

a. 絵画完成における注意力および集中力

b. 絵画完成における足りない箇所はどこかを推定する想像力および判断力

c. 積木模様における積木同士の空間的な位置と向きの認知能力

積木模様における積木同士の空間的な位置と向きの認知能力については，先述した (1)2 個の立方体の向きの空間的な認知能力の場合と同様に，平面的な積木を用いるか，立体的な正 6 面体を使用するかにより，一概に積木模様の結果の良い被験者が，回転実験でも短い時間で完了するとは言えなかったのではないかと考えられる．

一方で，絵画完成における足りない箇所はどこかを推定する想像力および判断力は，立方体の目的とする模様がどこにあるのかを推定するために有効に働いていると考えられる．

(3) 決定した回転方向になるように 3D リモコンを使用し正確な方向に回転する身体能力 については，WPPSI 知能診断検査の各下位検査における以下のような能力が関連があると考えられる．

a. 絵画完成における注意力および集中力

b. 幾何図形における鉛筆を用いて正確に図形を描く運動能力

c. 迷路における鉛筆を用いて正確に壁と壁の間に線をひく運動能力

d. 積木模様における積木を正しい方向に移動および回転を行う運動能力

(b) および (c) には鉛筆を使用し，紙上に描画を行うため，手および腕の移動方向は基本的に平面的である．また，(d) に使用する積木を用いる場合では，積木をひっくり返したり，回したりといった基本的に指先のみで操作を行うことができる．しかしながら，回転実験に用いられる 3D リモコンを使用し回転操作を行う場合には，B ボタンを押しながら，手で握った 3D リモコンを手および腕を使用して，前後左右に傾けたり，回したりする必要性がある．そのため本システムによる回転操作は，WPPSI 知能診断検査に必要となる身体能力よりもより高度な能力が必要となると考えられ，たとえ WPPSI の結果の良い被験者だとしても，回転実験においては短い時間で完了できなかったのではないかと考えられる．

以上のように多くの WPPSI 知能診断検査の下位検査が把握可能と考えられる能力と，回転実験で把握可能であると仮定した能力との間には，一部で関連があるものの，回転実験の方がより高度な能力を要求されると考えられることから，移動実験との場合と比べゆるやかな相関しか得られなかったと考えられる．

しかし，絵画完成については，足りない箇所はどこかを推定する想像力および判断力，および注意力や集中力が有効に働き有意な相関が得られたと考えられる．

4.6.3 配置実験と WPPSI との比較

本システムにおける配置実験と WPPSI の下位検査および，各下位検査を IQ 値に変換する前の粗点の合計点と動作性 IQ との間の散布図を図 4.12 に示す．また，各散布図に対して回帰直線を示した．

縦軸の成功個数は平行配置，垂直配置 (1)，垂直配置 (2) の 3 つの配置実験のうち何個の実験を成功することができたかを表しており，値が 3 だと全ての実験を成功できたことを表している．横軸は WPPSI のスコアを表しており，スコア高い方が結果が良いといえる．プロットされた 1 つのデータは被験者 1 名の実験結果を表している．また，回転実験と WPPSI との間の相関係数を表 4.4 に示す．

動物の家や迷路では，これらの下位検査のスコアが高い方が配置実験の成功数が少ないというゆるやかな正の相関が見られた．一方で絵画完成では，スコアが高い方が配置実験の成功数が多いというゆるやかな負の相関が見られた．また無相関検定を行った結果，配置実験といずれの下位検査との間に有意な相関は得られなかった．

以上の結果から，本システムの配置実験と WPPSI 知能診断検査との間に相関は無いと考えられる．WPPSI 知能診断検査との間に相関が見られなかった理由について考察する．

配置実験は 2.3.6 節において，以下のような能力が把握可能であると仮定した．

1. 現実空間における 2 枚の紙の空間的な位置や向き関係の認知能力

2. 仮想空間における 2 枚の紙の空間的な位置や向き関係の認知能力

3. 現実空間における 2 枚の紙と仮想空間における 2 枚の紙の空間的な位置や向きの認知能力

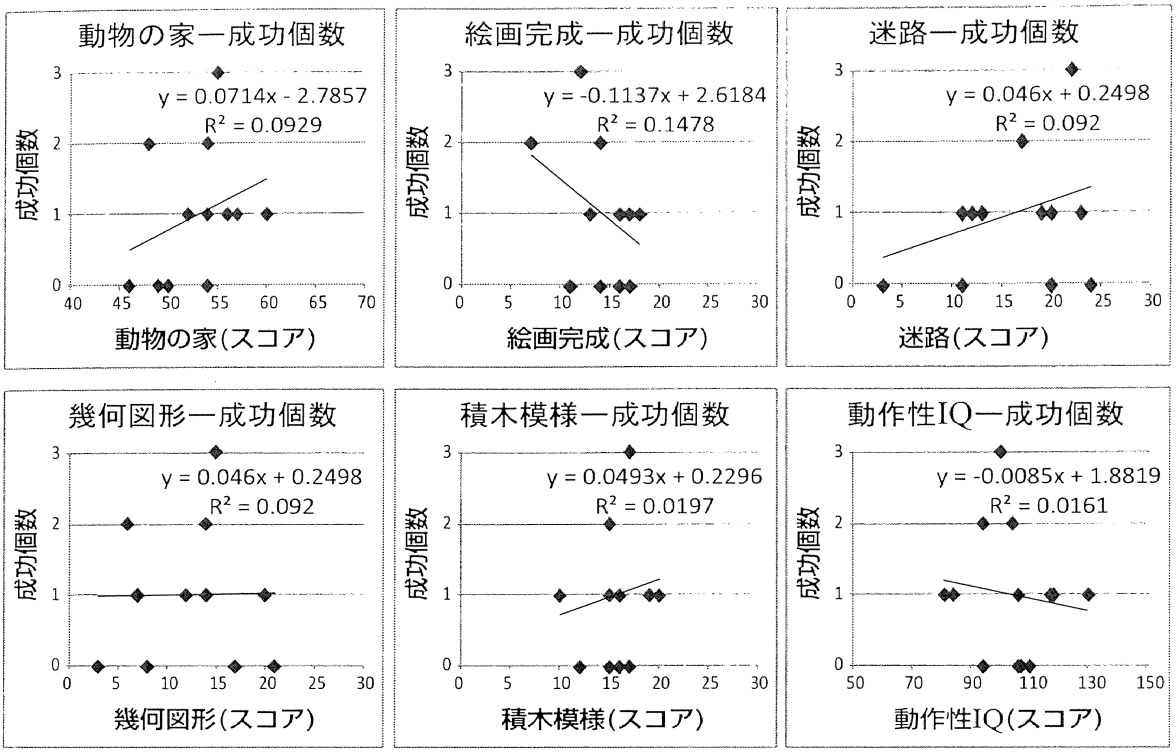

図 4.12: 配置実験と WPPSI の結果の散布図

表 4.4: 配置実験と WPPSI 間の相関係数

	動物の家	絵画完成	迷路	幾何図形	積木模様	粗点の合計	動作生 IQ
相関係数	0.31	−0.39	0.30	0.02	0.14	0.14	−0.13

4. 認知した関係と同様な関係にするために移動方向や回転方向を決定する能力

5. 決定した移動および回転方向になるように 3D リモコンを使用し正確な方向に動す身体能力

配置実験では，紙同士の関係を認知する能力として，(1) 現実空間における 2 枚の紙の空間的な位置や向き関係の認知能力，(2) 仮想空間における 2 枚の紙の空間的な位置や向きの認知能力，および (3) 現実空間における 2 枚の紙と仮想空間における 2 枚の紙の空間的な位置や向きの認知能力が必要であると考えられる．これは，現実空間の 2 枚の紙同士，仮想空間の 2 枚の紙同士，現実空間と仮想空間の 2 枚の紙同士を見比べる必要があり，つまり，6 通りの関係を理解する能力が必要であることを意味している．

しかし，移動実験では 2 個の立方体同士を 1 対 1 の関係を認知するだけでよい．同様に WPPSI 知能診断検査においても 2 個の図形を見比べながら描画する幾何図形においても 1 対 1 の関係で認知すればよい．一方で積木模様のみ最終的に 4 枚の積木を用いるが，表と裏の 2 面のみのため，本システムにおける回転の表現よりも次数が少ない．

このように配置実験は認知する関係が 6 通りと多いが，WPPSI 知能診断検査における下位検査では，認知する関係は少ない．そのため，迷路におけるスタートからゴールまでの位置関係の認知能力，幾何図形における線と線，図形と図形同士の空間的な関係の認知能力，また，積木模

様における積木同士の空間的な位置と向きの認知能力などが配置実験では有効に働かなかったと考えられる．

同様な理由により (4) 認知した関係と同様な関係にするために移動方向や回転方向を決定する能力についても，配置実験では有効に働かなかったと考えられる．

(5) 決定した移動および回転方向になるように 3D リモコンを使用し正確な方向に動す身体能力については，単純な移動や回転を行うのに必要な能力よりも，空間の認知や表現に必要な能力の方が配置実験については重要性が高いと考えられる．そのため移動実験では多くの下位検査との間に相関があり，回転実験においてもいくつかの下位検査と相関があったにも関わらず相関が見られなかったと考えられる．

以上のように，配置実験と WPPSI との間に相関が見られなかったのは，配置実験は移動および回転実験よりも，より高度な能力が必要であると考えられ，一方で WPPSI 知能診断検査は基本的な能力を測ることに重点を置いている検査のため，相関が得られなかったのではないかと考えられる．

4.7 まとめ

本システムの移動実験，回転実験，および，配置実験と知能検査の一つである WPPSI 知能診断検査との比較実験を行った．その結果，移動実験においては，一つの下位検査を除いた全ての下位検査について有意な相関を得るとともに，粗点の合計についても相関が得られた．回転実験においては，一つの下位検査についてのみ有意な相関が得られたものの，多くの下位検査との間にゆるやかな相関が得られた．また，移動実験および回転実験によって把握可能であると仮定した能力と WPPSI 知能診断検査の各下位検査が必要とする能力の間に関連性があることを確認した．

以上から，移動実験および回転実験は幼児の発達段階に則しており，それによってある側面から見た幼児の発達過程を把握可能であると考えられる．ただし，これはあくまでも知能検査の発達段階に即しているだけであり，空間表現能力の発達段階に則しているとはいえない．

また，配置実験においては，WPPSI 知能診断検査との間に相関が見られなかった．これは WPPSI 知能診断検査は基本的な能力を測ることに重点を置いている検査のためであり，本システムではより複合的な能力が必要であると考えられることから，相関が得られなかったと考察した．その一方で，空間表現能力を測ることを目的としていない WPPSI 知能診断検査とは異なり，配置実験によってより複雑な能力を必要とする空間表現能力が測ることができる可能性があると考えられる．

5　3D 表現システムによる評価実験

5.1　はじめに

4 章の知能検査との比較実験により本システムは幼児のある側面からみた発達を把握可能であるという知見を得た．この結果を踏まえ，まず同一被験者に対して約半年間の期間をおいて移動実験，回転実験，配置実験，組合せ実験を行った．その結果から，半年間で各実験の結果に違いが表れるかを検討する．半年経過後の方が結果が向上するのであれば，それは空間表現能力の発達をこれらの実験によって把握できるといえる．

また，移動実験および回転実験の結果が年齢層によって異なりがあるのかを検討する．年齢層が高くなるほど移動実験および回転実験の結果が向上するのであれば，空間表現能力も年齢が高くなる方がその能力も向上すると考えられ，これらの実験によって空間表現能力の発達の推移が把握できるといえる．

さらに，多くの論文において男女における様々な能力の違いについて指摘されている [29][30]．そこで，前述の実験によって半年間や年齢間の空間表現能力の差異が把握できるとすれば，各実験により，男子と女子の空間表現能力の差異についても把握可能であると考えられる．そこで，移動実験，回転実験，および配置実験については男女における配置結果の比較を行い，男女によって結果に差異が生じるのかについても検討する．

まず移動実験について半年間経過における発達の把握，男女における半年経過による結果の比較，年齢層における発達の把握，男女における年齢層による発達の比較について述べる．回転実験についても同様に，半年間経過における発達の把握，男女における半年経過による結果の比較，年齢層における発達の把握，男女における年齢層による発達の比較について述べる．また，半年間隔をおいて 3 回連続で実験を受けた同一の被験者の個人ごとの発達の過程の把握について述べる．

次に配置実験について，実験結果について述べるとともに半年経過における発達の把握，男女における発達結果の比較について述べる．

また，紙の組み合わせ実験の実験結果について述べるとともに，配置実験に使用する紙の模様を変更することによる結果への影響について述べる．

5.2　実験の流れ

実験は新さっぽろ幼稚園の協力のもと，同幼稚園に通う園児を対象として行った．実験は約半年間隔をおき，2009 年 8 月，2010 年 1 月，2010 年 8 月，および，2011 年 8 月の 4 回に分けて実施した．いずれの実験でも，実験は以下のような順番で実施した．

1. 移動実験
2. 回転実験
3. 配置実験
4. 紙の組合せ実験
5. 実験後アンケート

移動実験では「右へ移動」,「左へ移動」,「上へ移動」,「手前へ移動」,「3 軸への移動 (1)」,「3 軸への移動 (2)」の 6 種類の実験をこの順で実施した．回転実験では「右 90 度回転」,「右左 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 種類の実験をこの順で実施した．また，配置実験では「水平配置」,「垂直配置 (1)」,「垂直配置 (2)」の 3 種類の実験をこの順で実施した．ただし，垂直配置 (2) は 2 回目の実験から実施した．なお，紙の組合せ実験は 1 種類のみである．説明は口頭とジェスチャのみによって行った．

5.3 実験環境

実験は幼稚園児を対象とし，約半年間隔をおいて 4 回に分けて行い，そのデータを得た．被験者は合計 60 名であり，男子 37 名，女子 23 名である．また年齢層別では 4 歳児 23 名，5 歳児 24 名，6 歳児 13 名である．ただし，数人の被験者については一部の実験を行っていない．これは被験者が途中で遊びに行きたくなってしまったり，カリキュラム上の都合などからである．また，4 回の実験において同一の被験者が複数回の実験を受けており，データのサンプル数は合計 90 サンプルとなっている．

実験は 1 名ずつ実施し，被験者 1 名につき説明者 1 名がついた．各実験の被験者への説明は 3.3.3 節のインタフェース評価の実験と同様に，基本的に口頭とジェスチャのみによって行った．

移動実験については 3.3.6 節のインタフェース評価における移動実験の結果において，移動実験は黄色くハイライトされた立方体を他方の立方体の位置に移動し，同位置に重ねる実験であるが，ハイライトされた立方体を他方の立方体の隣りに移動した時点で操作を終了してしまった被験者がいた．そのため，説明時には透明な 2 枚の OHP シートにそれぞれ，画面に提示される立方体と同様な模様の黄色い立方体と灰色の立方体を印刷し，説明時に被験者の前で 2 枚の OHP シートを重ねて,「このように 2 個の立方体をぴったり同じ場所に動かして下さい」のように説明を行った．

配置実験および紙の組み合わせ実験時には移動方法や回転方法，また，紙の選択方法などを忘れてしまった場合にはその都度説明者に尋ねるように指示し，説明者は操作方法を説明した．

本システムを用いる検査では 2 台のカメラを用い，被験者の操作と体の動き，およびコンピュータのディスプレイを記録した．実験時のシステムや説明者，被験者の配置の概要を図 5.1 に示す．また，実験時の様子を図 5.2 に示す．実験は 1 名あたり，およそ 10 分から 20 分程度であった．また，実験中の被験者は「うまくできた」といった声をあげながら楽しんで実験を行っていた．

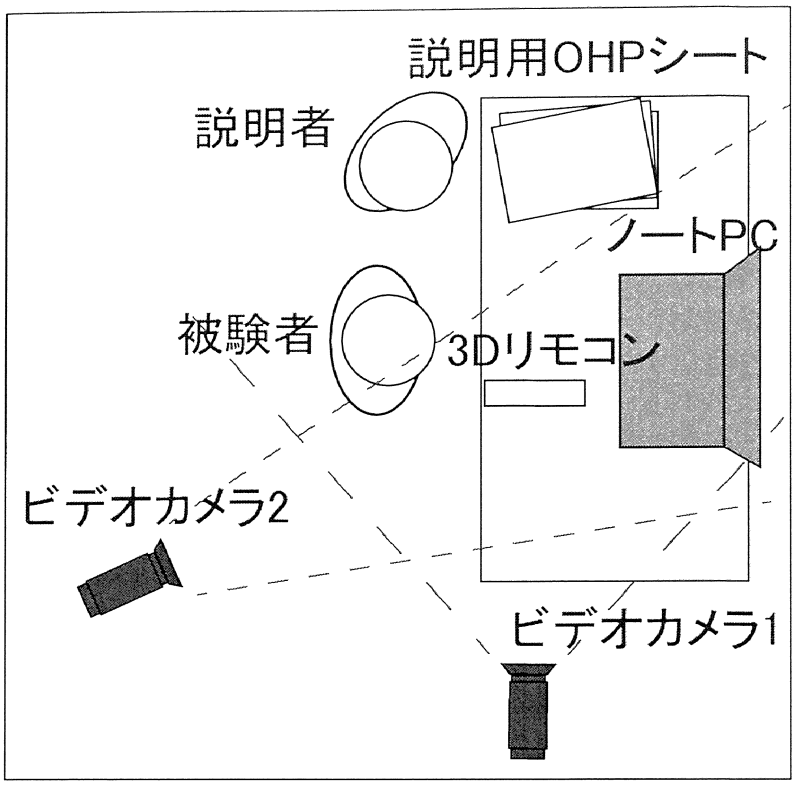

図 5.1: 実験環境

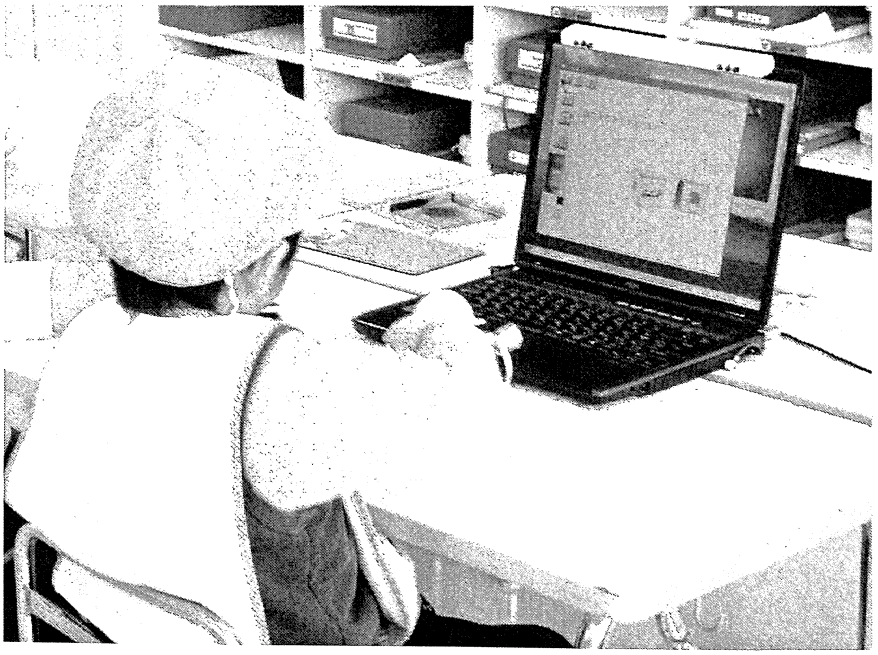

図 5.2: 実験の様子

5.4 移動実験による把握

5.4.1 半年経過における発達の把握

全4回の実験における全サンプルである90名のデータのうち，約半年間隔をおいて2回連続で実験を受けた22名のデータから，その1回目と2回目，すなわち半年経過後で結果に差が生じるのかを検討する．

移動実験における1回目と2回目の平均所要時間を図5.3に示す．この平均所要時間は各実験を完了することができた被験者のみの平均であり，完了できなかった被験者は計算から除外している．また，各移動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を図5.4に示した．また，移動実験における所要時間の標準偏差を表5.1に示す．

全ての移動実験について平均所要時間は2回目，すなわち半年経過後の方が1回目よりも所要時間が短くなった．また，完了割合は大きな違いは見られなかったが，3軸への移動(2)のみ完了割合が高くなった．

標準偏差は多くの移動実験において1回目よりも2回目の方が小さくなっており，1回目は短い時間で完了できる被験者と，長い時間を必要として完了できる被験者が混在していたが，それが2回目には平均所要時間が短縮され，被験者ごとのばらつきが少なくなったといえる．

所要時間について，F検定およびt検定による分析を行った．その結果，F検定では，5%有意水準において，右へ移動 ($F(21,21) = 3.290, p = 0.009$)，上へ移動 ($F(19,21) = 5.391, p < 0.001$)，手前へ移動 ($F(20,19) = 2.666, p = 0.037$) について有意な差が生じた．スチューデントのt検定では，5%有意水準において，3軸への移動(1)($t(32) = 3.103, p = 0.004$) について有意差があった．

F検定では，右へ移動，上へ移動，手前へ移動について有意な差が生じた．これは，表5.1から，2回目の方が標準偏差が小さくなっていることから，半年経過することによってどの被験者も所要時間のばらつきが小さくなり，複数の被験者が同程度の時間で移動実験を行えるようになっ

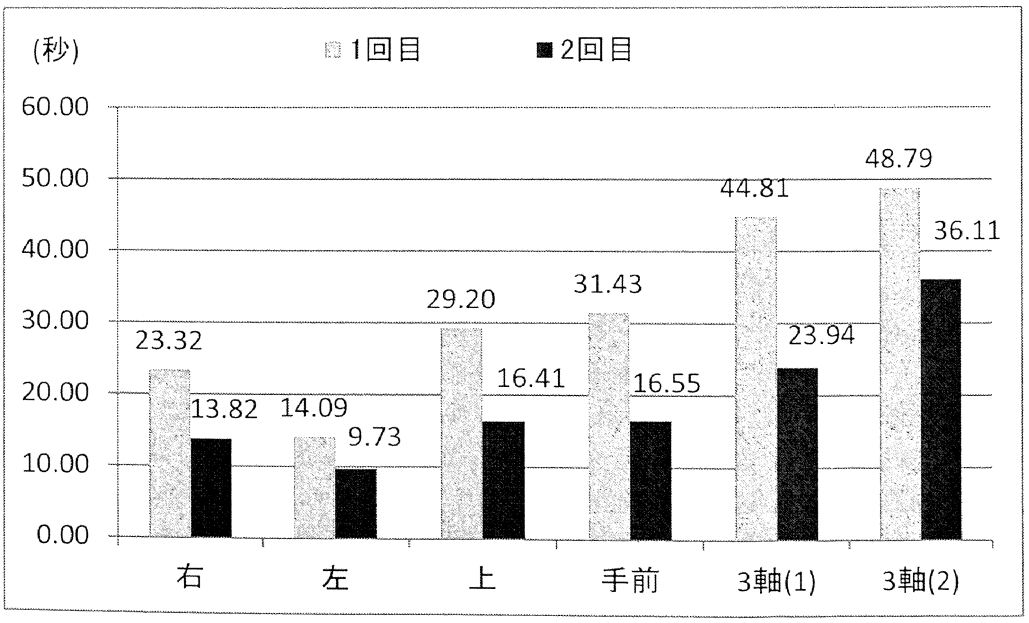

図 5.3: 半年経過による移動実験の平均所要時間の比較

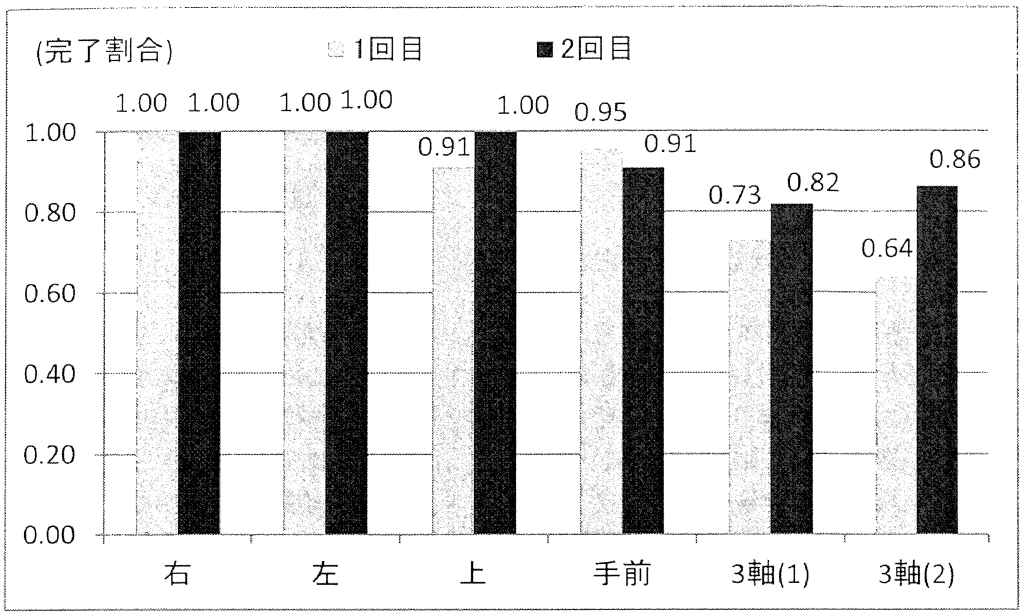

図 5.4: 半年経過による移動実験の完了割合の比較

表 5.1: 移動実験における所要時間の標準偏差

	右	左	上	手前	3 軸 (1)	3 軸 (2)
1 回目	23.56	10.67	34.37	28.24	21.78	50.25
2 回目	12.99	6.99	14.84	17.27	16.11	44.51

たためであると考えられる.

t 検定においては，3 軸への移動 (1) のみについて有意差があったが，他の移動実験については有意差は無かった．これは，3 軸への移動 (1) は 3 軸に対して移動する実験であり，右へ移動や左へ移動などの 1 軸に対する移動よりも高度な能力を必要とするためであると考えられる．そのため 3 軸に対する移動よりも簡単だと考えられる 1 軸に対する移動は，1 回目においても短い所要時間で完了できており，幼児の能力が発達したとしても，平均時間が短縮される度合いが低かったと考えられる．一方で，3 軸への移動 (1) は 1 回目には多くの時間を必要としたが，幼児の能力の発達により，より短い所要時間で完了できるようになったと考えられる.

しかしながら，同様に 3 軸に対して移動を行う，3 軸への移動 (2) には有意差が無かった．これは 3 軸への移動 (2) の 1 回目の完了割合が他の移動実験と比べて低かったが，2 回目には完了割合が大きく向上したためであると考えられる．すなわち，1 回目には完了できなかった多くの被験者が，2 回目には完了できるようになったものの，完了するまでに多くの時間を必要としたため，平均所要時間の短縮度合いが小さかったと考えられるためである．さらに，平均所要時間は完了できた被験者のみで算出しており，仮に 1 回目において，完了できなかった被験者が完了できるまで待つとすれば，より所要時間が長くなるといえる．これを加味すると平均所要時間の差が大きくなると考えられる.

以上のように多くの移動実験において平均所要時間が短縮され，完了割合が高くなる結果を得た．また，いくつかの移動実験については F 検定および t 検定において有意差が得られた．これ

は，被験者が半年間を経過することにより，2.3.4 節において移動実験によって把握可能であると仮定した，

1. 立方体の初期位置と目標位置の位置関係の認知能力

2. 目標位置までの経路選択能力

3. 決定した移動方向になるように 3D リモコンを使用し正確な方向に動かす身体能力

などの能力が発達し，これを移動実験によって把握できているためであると考えられる．

また，いずれの平均所要時間にも差は生じたが，大きな差が生じたのは，3 軸への移動 (1) および 3 軸への移動 (2) の 3 軸に対して表現を行う実験であった．これは 1 軸に対する移動よりも高度な能力を必要とするためであると考察した．そのため，例えば，空間表現能力が未発達な被験者には 1 軸や 2 軸に対する移動実験を多めに行い，また，空間表現能力が発達した被験者には 3 軸に対する移動実験を多めに行うなどにより，より詳細に発達を把握可能になると考えられる．

5.4.2 男女における半年経過による発達の比較

5.4.1 節において 2 回連続で実験を受けた 22 名のデータから，1 回目と 2 回目，すなわち半年経過後とで結果に差が生じるのかを検討し，その結果，2 回目の方が結果が良いという結果を得た．そこで次に男女によって 1 回目と 2 回目の結果に差異が生じるのかを検討する．

22 名のデータのうち，男子は 14 名であり，女子は 8 名である．

移動実験の男女ごとの 1 回目と 2 回目の平均所要時間を図 5.5 に示す．この平均所要時間は各実験を完了することができた被験者のみの平均であり，完了できなかった被験者は計算から除外している．また，各移動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を図 5.6 に示し，所要時間の標準偏差を表 5.2 に示す．また，各実験の平均時間について，1 回目から 2 回目

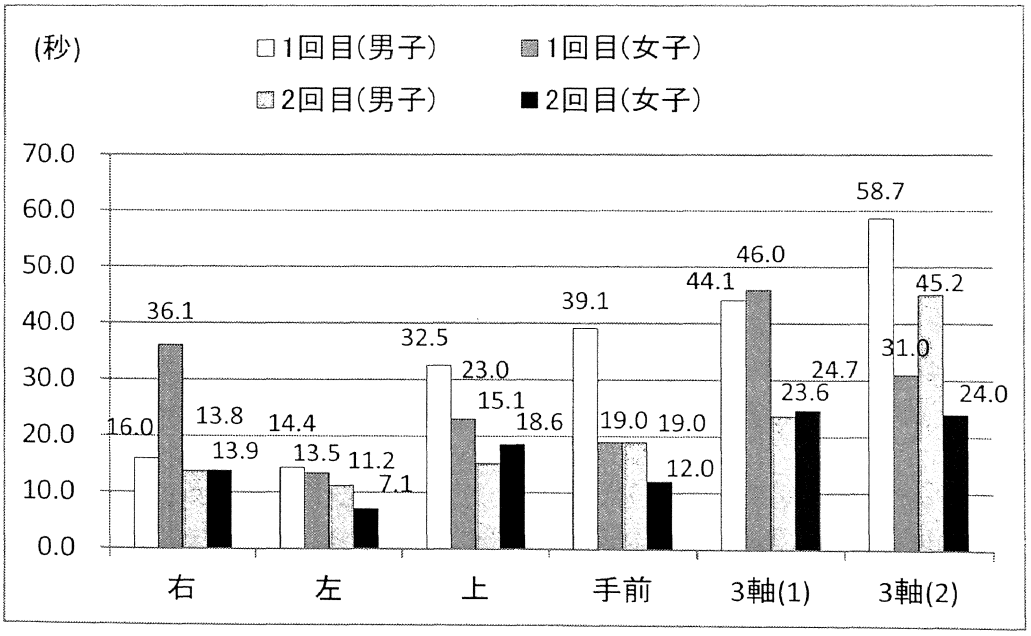

図 5.5: 半年経過による移動実験の平均所要時間の比較

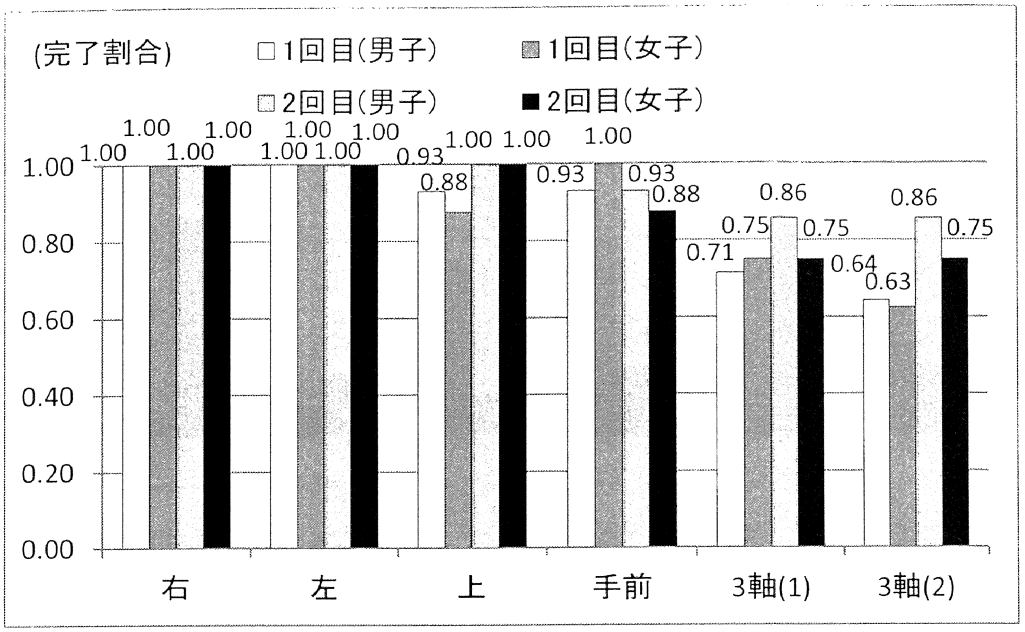

図 5.6: 半年経過による移動実験の完了割合の比較

表 5.2: 移動実験における所要時間の標準偏差 (男女別)

	右	左	上	手前	3 軸 (1)	3 軸 (2)
1 回目 (男子)	7.59	7.80	40.56	32.92	22.45	59.45
1 回目 (女子)	34.18	14.35	16.18	9.08	20.55	14.72
2 回目 (男子)	12.45	7.78	13.77	20.61	16.09	52.39
2 回目 (女子)	13.89	4.26	16.31	5.63	16.12	12.48

の短縮時間を図 5.7 にまとめる．半年経過後の方が半年経過前よりも所要時間が短縮された場合は正の値であり，所要時間が延長された場合は負の値である．

図 5.5 および図 5.7 より，男子，女子ともに 2 回目，すなわち半年経過後の方が平均所要時間が短縮されているのがわかる．男子は特に，右へ移動および 3 軸に対する移動 (1) が約 20 秒ほど短縮されていた．女子は特に，上へ移動，手前へ移動，および，3 軸に対する移動 (1) が短縮されており，3 軸に対する移動 (2) についても約 13 秒短縮されていることがわかる．男子と女子を比較すると，男子は右へ移動，および，3 軸に対する移動 (1) の 2 個の実験が大きく短縮された．女子は，上へ移動，手前へ移動，3 軸に対する移動 (1)，および，3 軸に対する移動 (2) について大きく短縮されており，女子の方が半年経過することによる平均時間の短縮の度合いが高い傾向にあると思われる．

完了割合は図 5.6 より，男子，女子ともに 2 回目の方が高くなるか同程度であった．しかし，被験者数が男子と女子で異なり，女子の方が被験者数が少ないため女子の方が被験者 1 人の実験の可否の差が大きくなる傾向にある．そのため，1 回目と 2 回目では大きな差は無いと思われる．同様に完了割合については男子と女子との間に半年経過による差異は見受けられなかった．

標準偏差は表 5.2 より，男子，女子ともに概ね 2 回目の方が標準偏差が小さくなった．特に，手前へ移動については男子，女子ともに大幅に小さくなった．男子と女子との間の差異については，

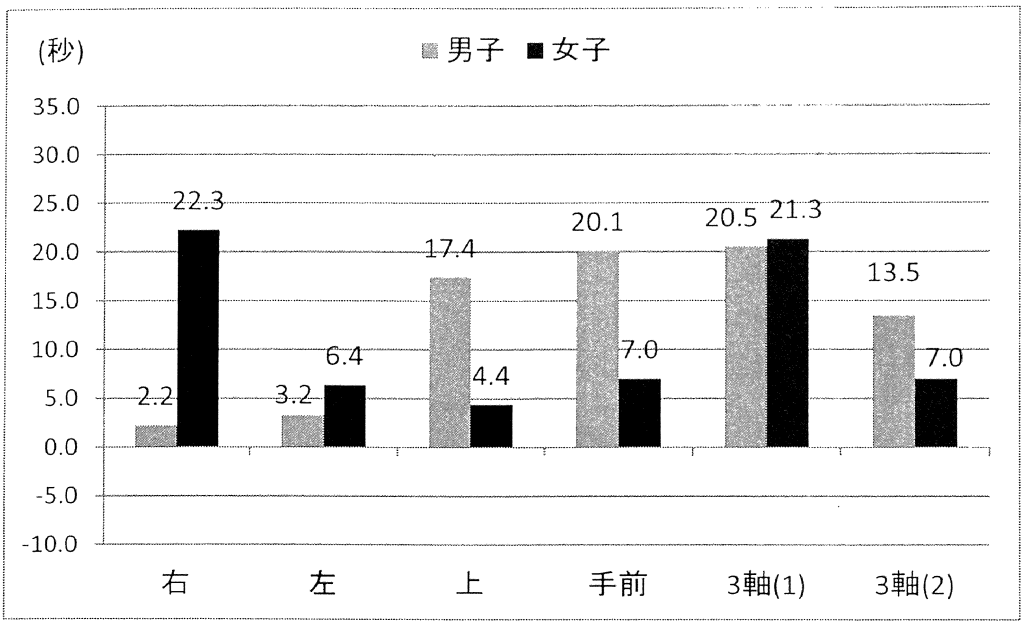

図 5.7: 移動実験における短縮時間

男子の方が，上へ移動，手前へ移動，3 軸に対する移動 (1) について標準偏差が小さくなり，女子については，右へ移動，左へ移動，手前へ移動，3 軸に対する移動 (1) について標準偏差が小さくなった．男子と女子では標準偏差が小さくなった移動実験に若干の違いや，標準偏差の小さくなる度合についても若干の違いはあるものの，性別特有と考えられる大きな違いは見受けられず，男女による違いは無いと考えられる．

以上のように，完了割合，標準偏差については男女間で大きな差異は見受けられなかったが，平均所要時間については女子の方が半年経過による平均時間の短縮の度合いが高かった．この結果が空間表現能力によるものだとすれば，女子の方が移動実験に必要となる能力が半年間で向上していると考えられる．また，この結果から，本システムの移動実験によって男女による発達の差異を把握できたといえる．

5.4.3 年齢層における発達の把握

移動実験で得たデータの，年齢層ごとの全移動実験の平均時間，および完了割合を図 5.8 に示す．

実験を複数回行った被験者については，初回時のみのデータを使用した．被験者数は 60 名であり，4 歳児 23 人，5 歳児 24 人，6 歳児 13 人である．平均所要時間は完了することができた実験のみの平均である．

図 5.8 のように平均所要時間は 4 歳児から 5 歳児の間がほぼ横ばいであり，5 歳児から 6 歳児にかけて短くなっている．完了割合は 4 歳児から 5 歳児にかけて向上し，5 歳児から 6 歳児の間はほぼ横ばいであった．

平均所要時間が 4 歳児から 5 歳児の間で横ばいであったのは，完了割合は 4 歳児から 5 歳児にかけて向上しており，5 歳児の被験者の中には多くの時間を必要として移動実験を完了した被験者が多くなったためであると考えられる．平均所要時間は完了することができた移動実験のデータを使用しているため，仮に 4 歳児が完了できるまで待つとすると，より平均所要時間が長くな

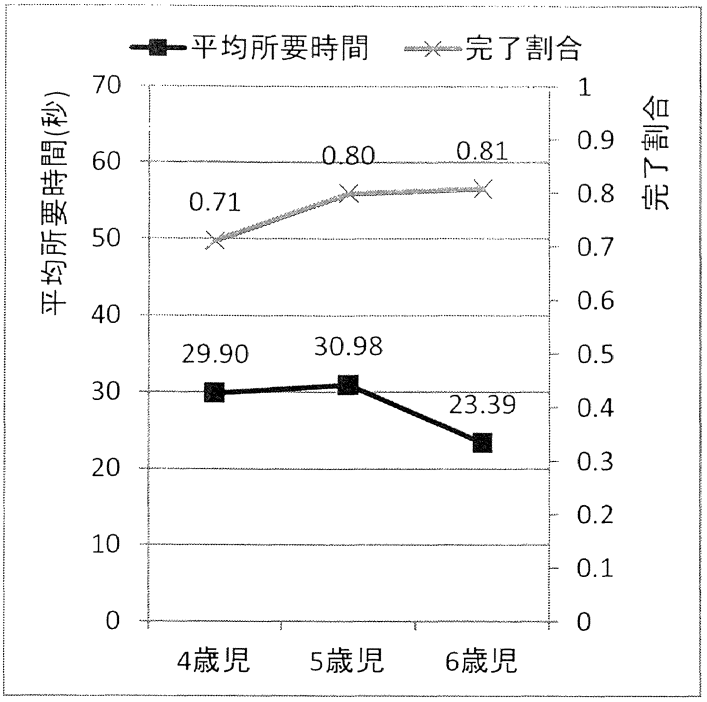

図 5.8: 移動実験の年齢層による推移

ると考えられる．

以上のように年齢層が高くなるほど，平均所要時間が短くなり，一方で完了割合が高くなるという結果を得られた．これは，移動実験は 5.4.1 節において半年間における発達の差が把握できていることから，幼児の空間表現能力の発達を把握できていると考えられる．

5.4.4 男女における年齢層における発達の比較

移動実験について，5.4.3 節において，年齢層が高くなるほど，平均時間および完了割合が向上するという結果を得た．そこで，次に男女によって年齢層における推移に差異が生じるのかを検討する．全被験者数は 60 名である．4 歳児は 23 名であり，男子 12 名，女子 11 名である．5 歳児は 24 名であり，男子 16 名，女子 8 名である．6 歳児は 13 名であり，男子 9 名，女子 4 名である．男子および女子の年齢層ごとの全移動実験の平均時間と完了割合を図 5.9 に示す．

男子の平均所要時間は 4 歳から 6 歳にかけて．年齢層が高くなるほど延長された．一方で，女子は 4 歳から 5 歳にかけて平均所要時間が延長されたものの，5 歳から 6 歳にかけて平均所要時間が短縮されている．男子と女子を比較すると女子の方が年齢層が高くなるほど平均所要時間が短縮されているのがわかる．

完了割合については，男子は 4 歳から 5 歳にかけて完了割合が向上し，5 歳から 6 歳にかけてはほぼ横ばいであることがわかる．女子も同様に，4 歳から 5 歳にかけて完了割合が向上し，さらに 5 歳から 6 歳にかけても完了割合が向上した．完了割合について男子と女子を比較すると，大きな差異は見受けられなかったが，若干女子の方が移動実験における完了割合の向上する度合いが大きいと考えられる．

平均所要時間および完了割合について，女子の方が年齢層が高くなるほど結果が向上した．し

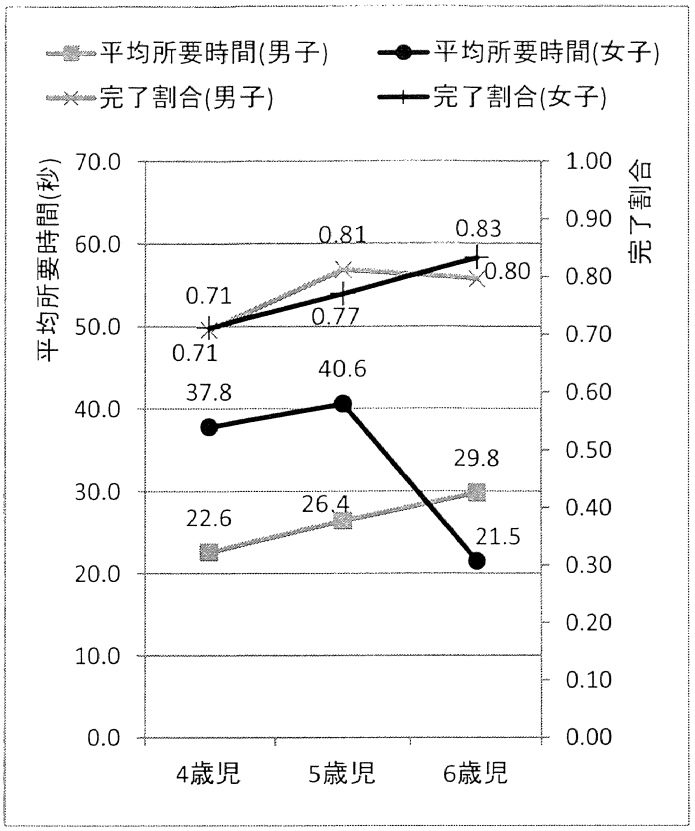

図 5.9: 移動実験の男女における年齢層による推移

かし，平均所要時間は 6 歳児に大幅に短縮されているものの，短縮後の平均所要時間は男子の平均所要時間と同程度となった．また，女子の 4 歳児および 5 歳児の平均所要時間は男子の同時期の平均所要時間よりも長くなっている．そのため，移動実験に必要となる能力が発達し，かつ，移動実験によってその能力を把握できているとすれば，この頃の幼児の平均所要時間は 25 秒前後に収束すると考えられ，移動実験に必要とされる能力は，男子の方がより早い段階から発達が進行し，その後，女子の発達が進行すると考えられる．しかしながら，4 歳児時点の完了割合は男子，女子ともに同程度であり，さらに完了割合の向上のしかたが若干女子の方が向上しているため，逆に女子の方が早い段階で発達が進行しているという見方もある．

以上のように移動実験においては，男子よりも女子の方が年齢層における平均所要時間と完了割合の向上の度合いが大きく，この結果が空間表現能力によるものだとすれば，4 歳から 6 歳の間には女子の方が男子よりも移動実験に必要な能力が向上すると考えられ，これが本システムによって把握できていると考えられる．しかし，男子と女子とでどちらが先に空間表現能力の発達が進行するかについて，より確実に判断するためには，より多くのデータが必要となるといえる．

5.4.5 移動実験における個人の発達

2009 年 8 月，2010 年 1 月，2010 年 8 月の 3 回の実験において，4 名の被験者が半年ごとに 3 回全ての実験を行った．そこで，この 4 名を対象として移動実験における個人ごとの空間表現能力の発達の様子を把握できるのかを検討する．

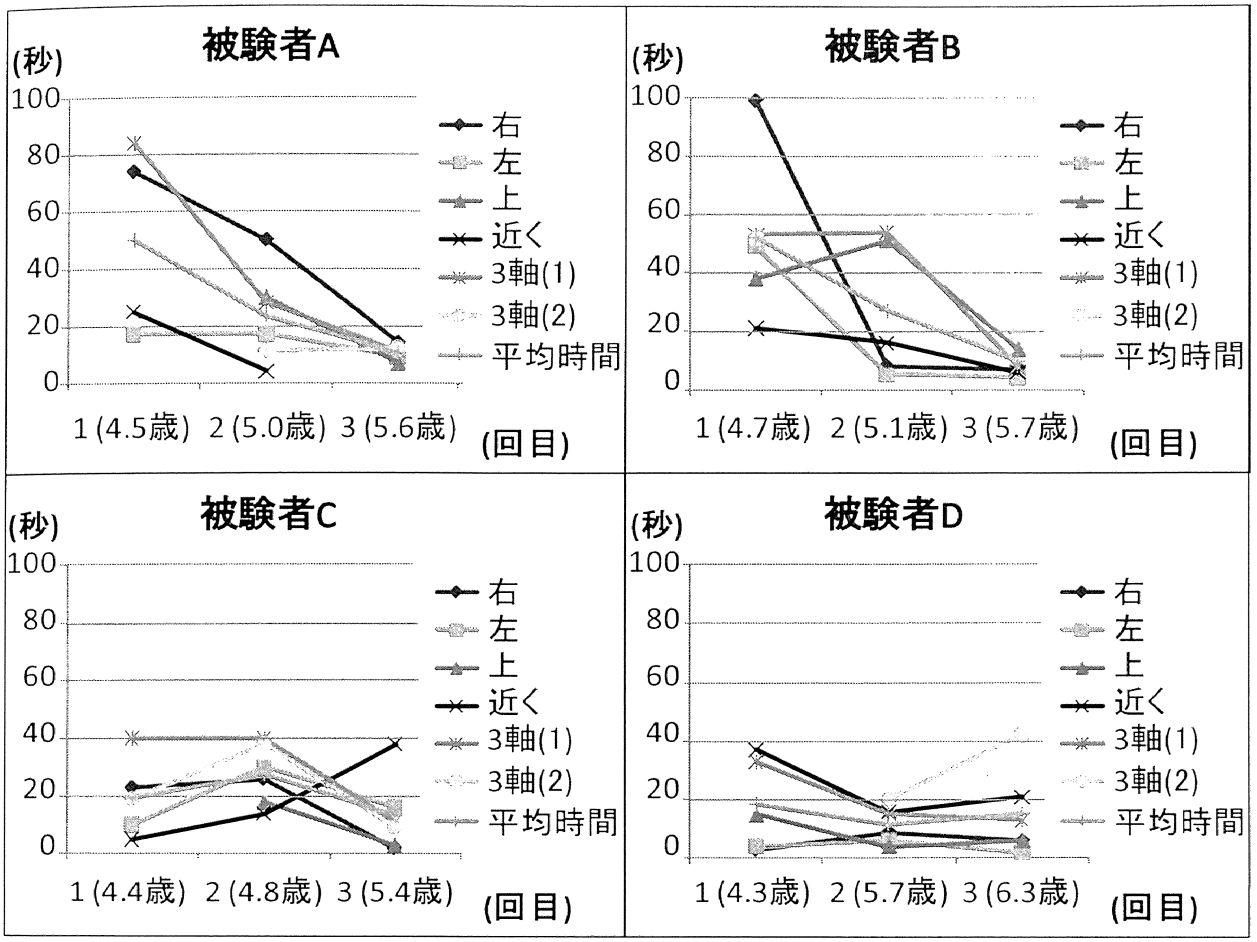

図 5.10: 移動実験の個人ごとの結果

4 名の被験者をそれぞれ被験者 A から被験者 D と呼ぶ．各被験者の性別および初回時における年齢は，それぞれ A：4 歳 6ヶ月 (女子)，B：4 歳 8ヶ月 (女子)，C：4 歳 5ヶ月 (男子)，D：5 歳 3ヶ月 (女子) である．

各個人の成績のグラフを図 5.18 に示す．棒グラフが途中で途切れているデータについては，その回の実験では完了することができなかった事を表している．

移動実験において，被験者 A は右へ移動，上へ移動，3 軸への移動 (1) について年齢が高くなるほど各実験の所要時間が短縮された．一方で，左へ移動，3 軸への移動 (2) についてはほぼ横ばいであった．近くへ移動については，1 回目から 2 回目にかけて所要時間が短縮されたものの，3 回目の実験では完了することができなかった．また，6 種類全ての移動実験の平均所要時間は短縮されるとともに，近くへ移動以外のすべての移動実験において，3 回目ではおよそ 10 秒前後に収束しているのがわかる．

以上のように被験者 A については，年齢が高くなるほど，所要時間が短縮されているといえる．

被験者 B は，右へ移動および左へ移動については，1 回目から 2 回目にかけて所要時間が大きく短縮され，2 回目から 3 回目にかけては，ほぼ横ばいであった．上へ移動，3 軸への移動 (1) については 1 回目から 2 回目にかけては横ばいであったが，2 回目から 3 回目にかけては所要時間が短縮された．近くへ移動については 1 回目から 3 回目にかけて，ゆるやかにであるが所要時間

が短縮された．3軸への移動 (2) については3回目のみ完了することができた．6種類の移動実験の平均所要時間は回を経るごとに減少した．また，すべての移動実験において，3回目ではおよそ 10 秒前後に収束しているのがわかる．

以上のように被験者 B については年齢が高くなるほど所要時間が短縮されているといえる．

被験者 C は 1 回目における所要時間が被験者 A および被験者 B と比べて短いことがわかる．右へ移動および 3 軸への移動 (1) は，1 回目から 2 回目にかけてはほぼ横ばいであったが，2 回目から 3 回目にかけて所要時間が短縮された．上へ移動は 1 回目では完了できていなかったが，2 回目において完了できるようになり，2 回目から 3 回目にかけて所要時間が短縮された．左へ移動，3 軸への移動 (2) は，1 回目から 2 回目にかけて所要時間が延長され，2 回目から 3 回目にかけて所要時間が短縮された．近くへ移動は 1 回目から 3 回目にかけて所要時間が延長された．6 種類の移動実験の平均所要時は 2 回目から 3 回目にかけて若干短縮されているものの，ほぼ横ばいであった．また，近くへ移動を除く，すべての移動実験において，3 回目ではおよそ 15 秒前後に収束しているのがわかる．

以上のように被験者 C については，一部の移動実験について所要時間が短縮される傾向にあるものの，1 回目の時点で所要時間が短く，短縮される度合いは低いといえる．また，2 回目において所要時間が長くなる場合や，近くへ移動については年齢が高くなるほど所要時間が長くなるなど，移動実験の種類によってそれぞれ結果が異なることがわかる．

被験者 D は被験者 C と同様に 1 回目における所要時間が被験者 A および被験者 B と比べて短いことがわかる．上へ移動，近くへ移動，3 軸への移動 (1) は 1 回目から 2 回目にかけては横ばいであったが，2 回目から 3 回目にかけては所要時間が若干短縮された．右へ移動および左へ移動は 1 回目から 3 回目にかけて，ほぼ横ばいであった．3 軸への移動 (2) は 1 回目では完了できず，2 回目において完了できるようになり，2 回目から 3 回目にかけて所要時間が延長された．6 種類の移動実験の平均所要時は 1 回目から 3 回目にかけてほぼ横ばいであった．また，近くへ移動を除く，すべての移動実験において，3 回目ではおよそ 15 秒前後に収束しているのがわかる．

以上のように被験者 D は，各実験において短縮された実験と，横ばいの実験，また，延長される実験が見られ，移動実験の種類によってそれぞれ結果が異なることがわかる．

4 人の被験者の結果から，被験者 A および被験者 B が年齢が高くなるほど所要時間が短くなる結果となった．また，被験者 C および被験者 D においても一部の実験について年齢が高くなるほどに所要時間が短くなる結果となった．これは，5.4.3 節の被験者全体を対象とした年齢層における発達の推移の結果においても，同様に年齢層が高くなるほど平均所要時間が短縮されていることから，幼児の空間表現能力の発達と関係していると考えられる．またその際の所要時間は，6 歳近くになると，10 秒から 20 秒程度に収束する様子を取得できた．しかしながら，いくつかの実験について 2 回目の所要時間が増加した点については，サンプルが少ないために推定は難しいが，空間表現能力の発達過程における何らかの転換期を示唆している可能性があると考えられる．また，被験者同様な結果を示した被験者 A および被験者 B の年齢は，ほぼ同年齢であるが，被験者 C および被験者 D は年齢が異なっている．このことから，空間表現能力は，幼児がある年齢になると必ずしもある一定の発達段階を示すわけではなく，個人による差異があることが確認できた．

以上のように移動実験によって個人ごとに結果が異なるものの，ある程度共通した特徴が見られたことから，個人ごとの空間表現能力の発達とその過程を把握することができたと考えられる．

5.5 回転実験による把握

5.5.1 半年経過における発達の把握

回転実験についても，全4回の実験における全サンプルである90名のデータのうち，約半年間隔をおいて2回連続で実験を受けた22名のデータから，その1回目と2回目，すなわち半年経過後で結果に差が生じるのかを検討する．

次に回転実験における1回目と2回目の平均所要時間を図5.11に示す．また，完了割合を図5.12に示し，回転実験における所要時間の標準偏差を表5.3に示す．

全ての回転実験について平均所要時間は2回目の方が1回目よりも所要時間が短くなった．また，完了割合は大きな違いは見られなかった．

標準偏差は多くの回転実験において1回目よりも2回目の方が小さくなっており，1回目では短い時間で完了できる被験者と，長い時間を必要として完了できる被験者が混在していたが，それが2回目では平均所要時間が短縮され，被験者ごとのばらつきが少なくなったといえる．

所要時間について，F検定およびt検定による分析を行った．その結果，F検定では，5%有意水準において，右90度回転 ($F(21,21) = 7.288$, $p < 0.001$)，下90度回転 ($F(21,20) = 3.502$, $p = 0.007$)，2軸に対する回転 (1)($F(19,18) = 4.420$, $p = 0.003$) について有意な差が生じた．スチューデントのt検定では，5%有意水準において，2軸に対する回転 (2)($t(38) = 2.362$, $p = 0.023$) について有意差があった．また，ウェルチのt検定では，5%有意水準において，右90度回転 ($t(26) = 2.456$, $p = 0.021$)，下90度回転 ($t(32) = 2.675$, $p = 0.012$)，2軸に対する回転 (1)($t(27) = 2.318$, $p = 0.028$) について有意差があった．

F検定では，右90度回転，下90度回転，2軸に対する回転 (1) について有意な差が生じた．これは，表5.3から，2回目の方が標準偏差が小さくなっていることから，半年経過することによってどの被験者も所要時間のばらつきが小さくなり，複数の被験者が同程度の時間で回転実験を行えるようになったためであると考えられる．

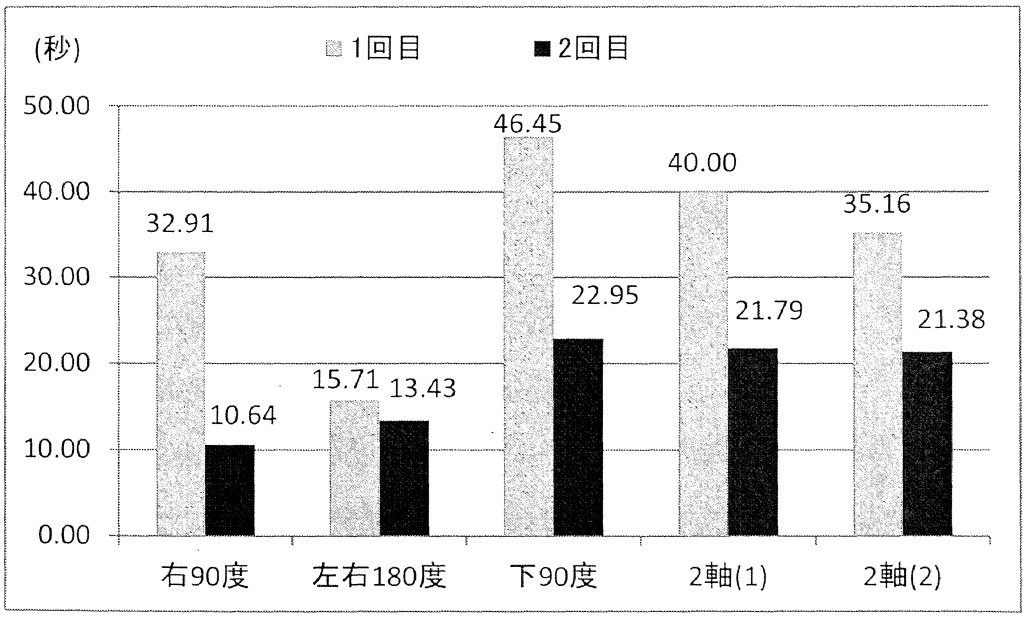

図 5.11: 半年経過による回転実験の平均所要時間の比較

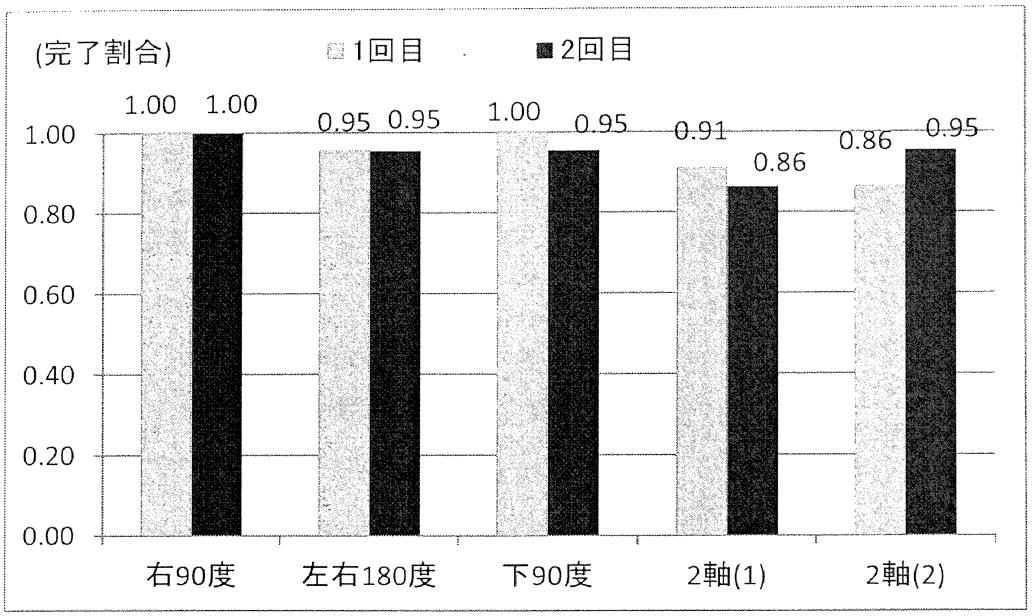

図 5.12: 半年経過による回転実験の完了割合の比較

表 5.3: 回転実験における所要時間の標準偏差

	右 90 度	左右 180 度	下 90 度	2 軸 (1)	2 軸 (2)
1 回目	38.97	20.84	35.32	30.77	18.42
2 回目	14.44	13.30	18.85	14.62	17.53

t 検定においては，下 90 度回転以外の全ての回転実験について有意差が得られた．これは，標準偏差も 2 回目の方が小さくなっており，かつ，完了割合も 1 回目と 2 回目で大きな差が生じなかったことから，多くの被験者が平均して回転実験に必要とする時間が短くなったためであるといえる．

以上のように全ての回転実験において平均所要時間が短縮され，完了割合が高くなる結果を得た．また，下 90 度回転以外の全ての回転実験について F 検定および t 検定において有意差が得られた．これは，被験者が半年間を経過することにより，2.3.5 節において移動実験によって把握可能であると仮定した，

1. 立方体の初期の向きと目的とする立方体の向きの空間的な認知能力
2. 目的とする模様がどの面にあるのかを推定する能力
3. 決定した回転方向になるように 3D リモコンを使用し正確な方向に回転する身体能力

などの能力が発達し，これを回転実験によって把握できているためであると考えられる．

5.5.2 男女における半年経過による発達の比較

回転実験は，5.5.1 節において 2 回連続で実験を受けた 22 名のデータから，1 回目と 2 回目，すなわち半年経過後とで結果に差が生じるのかを検討し，その結果，2 回目の方が結果が良いとい

う結果を得た．そこで次に男女によって1回目と2回目の結果に差異が生じるのかを検討する．

22名のデータのうち，男子は14名であり，女子は8名である．

回転実験の男女ごとの1回目と2回目の平均所要時間を図5.13に示す．この平均所要時間は各実験を完了することができた被験者のみの平均であり，完了できなかった被験者は計算から除外している．また，各移動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を図5.14に示し，所要時間の標準偏差を表5.4に示す．また，各実験の平均時間について，1回目から2回

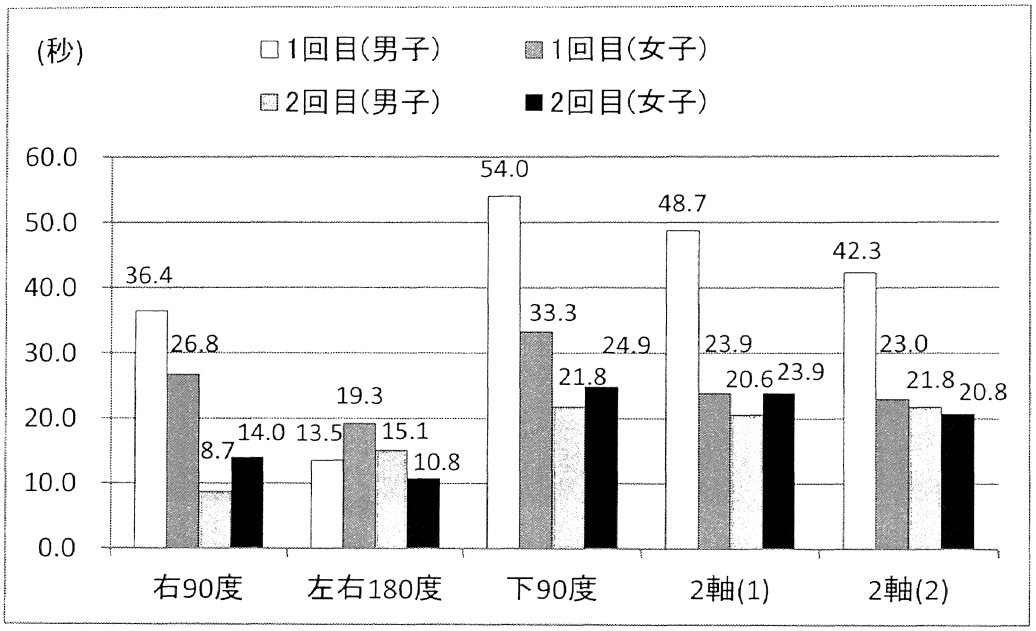

図 5.13: 半年経過による回転実験の平均所要時間の比較

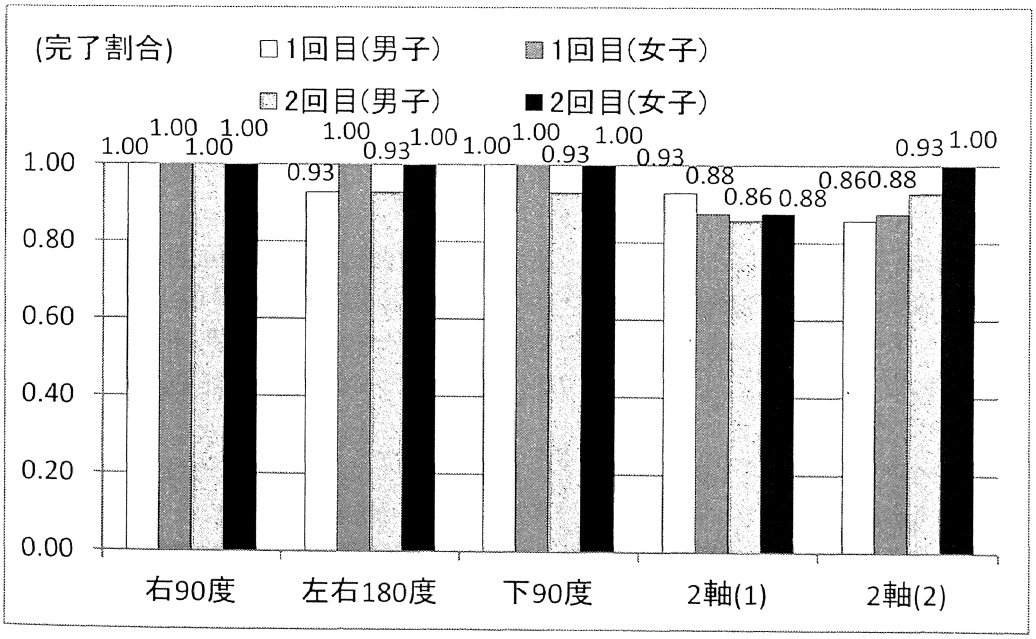

図 5.14: 半年経過による回転実験の完了割合の比較

表 5.4: 回転実験における所要時間の標準偏差 (男女別)

	右 90 度	左右 180 度	下 90 度	2 軸 (1)	2 軸 (2)
1 回目 (男子)	20.93	25.34	19.44	37.11	16.91
1 回目 (女子)	14.78	9.84	14.05	11.05	7.76
2 回目 (男子)	20.37	24.72	18.64	15.93	17.45
2 回目 (女子)	16.00	10.97	14.94	12.61	7.72

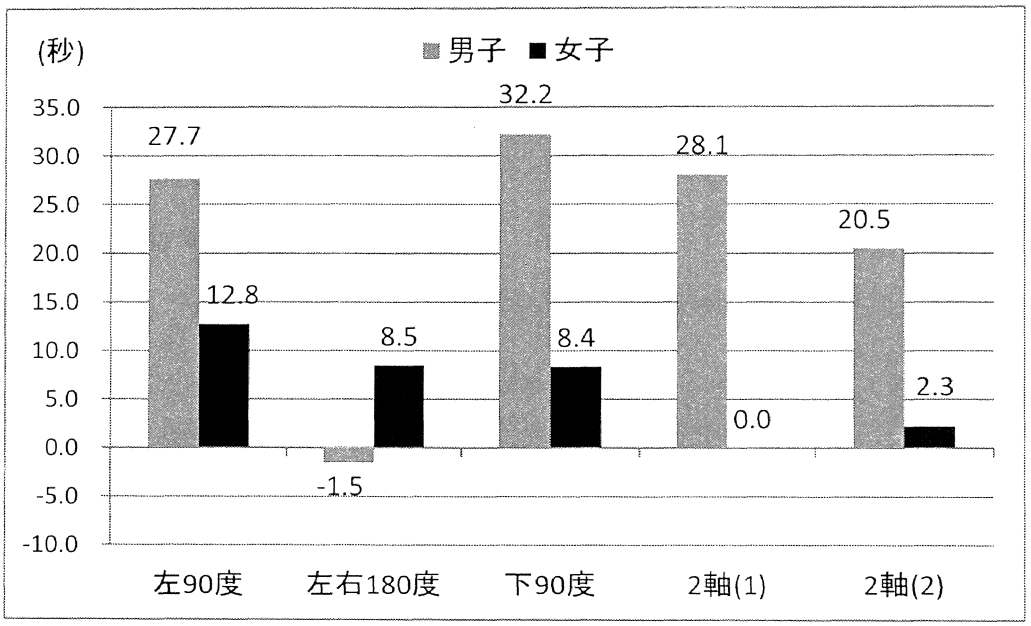

図 5.15: 回転実験における短縮時間

目の短縮時間を図 5.15 にまとめる．2 回目の方が 1 回目よりも所要時間が短縮された場合は正の値であり，所要時間が延長された場合は負の値である．

図 5.13 および図 5.15 より，男子，女子ともに半年経過後の方が平均所要時間が短縮されているのがわかる．

男子は特に，右 90 度回転，下 90 度回転，2 軸に対する回転 (1)，および，2 軸に対する回転 (2) について約 20 秒から 30 秒程度短縮された．女子の平均所要時間は男子ほど短縮されなかったが，右 90 度回転，左右 180 度回転，および，下 90 度回転が 10 秒前後短縮された．しかし，男子においては，左右 180 度回転が 1.5 秒ほど延長され，女子においては，2 軸に対する回転 (1) が差異が生じなかった．

男子と女子を比較すると，男子は右 90 度回転，下 90 度回転，2 軸に対する回転 (1)，および，2 軸に対する回転 (2) の 4 個の実験が大きく短縮されているが，女子は，短縮された実験の個数が少なく，右 90 度回転，左右 180 度回転，および，下 90 度回転の 3 個であり，また，平均所要時間が短縮されたものの，短縮の度合いが男子よりも小さいことがわかる．以上のように女子の方が半年経過することによる平均時間の短縮の度合いが高い傾向にあると思われる．

完了割合は図 5.14 より，男子，女子ともに 1 回目も 2 回目も同程度であった．若干であるが，1 回目と 2 回目で結果に差異が見られるが，ほぼ 1 名程度の違いであった．

標準偏差は表5.4より，男子は2軸に対する回転(1)のみ標準偏差が小さくなり，他は同程度であった．女子は1回目と2回目でほぼ同程度であった．

男子は平均所要時間が大きく短くなったものの，標準偏差は2軸に対する回転(1)を除外すると他は同程度であり，また，完了割合も1回目と2回目で同程度となった．このことから，1回目で短い時間で完了できた被験者は，2回目にはより短い時間で完了できるようになり，長い時間を必要として完了できていた被験者も同程度に所要時間が短縮されていると考えられる．一方で，女子は平均時間，完了割合，標準偏差ともに1回目と2回目での差異はわずかであった．

以上のように，回転実験については，男子は半年経過による平均所要時間の短縮の度合いが高く，一方で，女子は半年経過後による差異が見受けられなかった．この結果が空間表現能力によるものだとすれば，男子の方が回転実験に必要となる能力が半年間で向上していると考えられる．また，この結果から，本システムの回転実験によって男女による発達の差異を把握できたといえる．

5.5.3 年齢層における発達の把握

回転実験で得たデータの，年齢層ごとの全回転実験の平均時間，および完了割合を図5.16に示す．

実験を複数回行った被験者については，初回時のみのデータを使用した．被験者数は60名であり，4歳児23人，5歳児24人，6歳児13人である．平均所要時間は完了することができた実験のみの平均である．

図5.16のように平均所要時間は4歳児から5歳児の間がほぼ横ばいであり，5歳児から6歳児にかけて短くなっている．完了割合は4歳児から5歳児にかけて向上し，5歳児から6歳児の間においても若干の向上が見られた．

平均所要時間が4歳児から5歳児の間で横ばいであったのは，5.4.3移動実験における年齢層の発達の推移と同様に，完了割合は4歳児から5歳児にかけて向上しており，5歳児の被験者の中には多くの時間を必要として回転実験を完了した被験者が多くなったためであると考えられる．平均所要時間は完了することができた移動実験のデータを使用しているため，仮に4歳児が完了できるまで待つとすると，より平均所要時間が長くなると考えられる．

以上のように年齢層が高くなるほど，平均所要時間が短くなり，一方で完了割合が高くなるという結果を得られた．これは，回転実験においても5.5.1節において半年間における発達の差が把握できていることから，幼児の空間表現能力の発達を把握できていると考えられる．

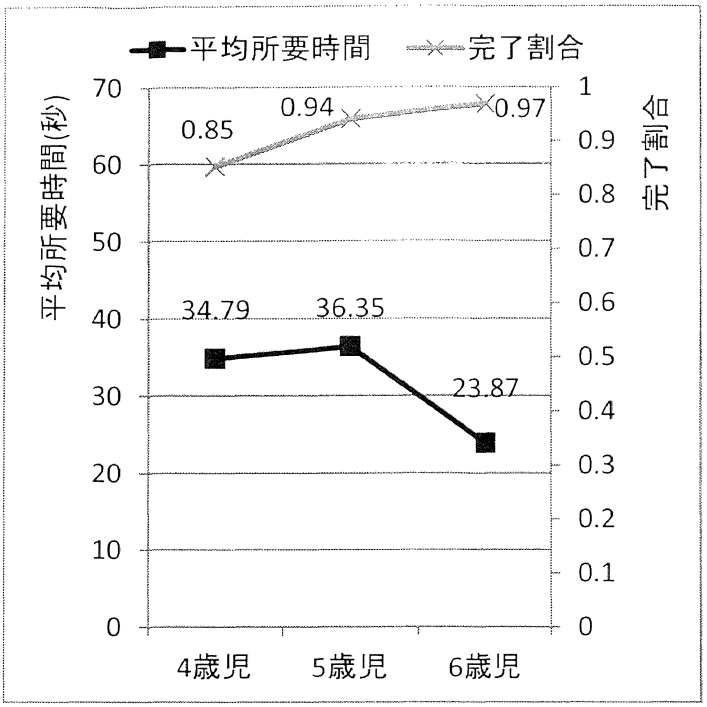

図 5.16: 回転実験の年齢層による推移

5.5.4 男女における年齢層における発達の比較

回転実験について，5.5.3 節において，年齢層が高くなるほど，平均時間および完了割合が向上するという結果を得た．そこで，次に男女によって年齢層における推移に差異が生じるのかを検討する．全被験者数は 60 名である．4 歳児は 23 名であり，男子 12 名，女子 11 名である．5 歳児は 24 名であり，男子 16 名，女子 8 名である．6 歳児は 13 名であり，男子 9 名，女子 4 名である．男子および女子の年齢層ごとの全回転実験の平均時間と完了割合を図 5.17 に示す．

男子の平均所要時間は 4 歳から 5 歳にかけてほぼ横ばいであり，5 歳から 6 歳にかけて平均所要時間が短縮された．女子は 4 歳から 5 歳にかけて若干平均時間が延長し，5 歳から 6 歳にかけて短縮された．男子と女子を比較すると，男子，女子ともに年齢層が高くなるほど平均所要時間が短縮されるのが分かる．また，若干であるが，男子の方が女子よりも平均所要時間が短いことがわかる．

完了割合については，男子は 4 歳から 5 歳にかけて完了割合が大きく向上し，5 歳から 6 歳にかけても向上した．一方で女子は 4 歳から 6 歳までほぼ横ばいであった．しかし，女子の完了割合は 4 歳児の時点で同時期の男子の完了割合よりも高いことがわかる．完了割合について男子と女子を比較すると，男子の方が回転実験における完了割合の向上する度合いが大きいと考えられる．一方で女子は年齢層における完了割合の向上はみられなかったが，4 歳から 6 歳児にかけて 9 割以上の被験者が完了することができていた．

平均所要時間および完了割合について，男子の方が年齢層が高くなるほど結果が向上した．しかし，女子は平均所要時間は短縮されたものの，完了割合については 9 割前後のまま横ばいであった．完了割合については，回転実験に必要となる能力が発達し，かつ，回転実験によってその能力を把握できているとすれば，完了割合は 4 歳児から 6 歳児まで横ばいであった女子の結果

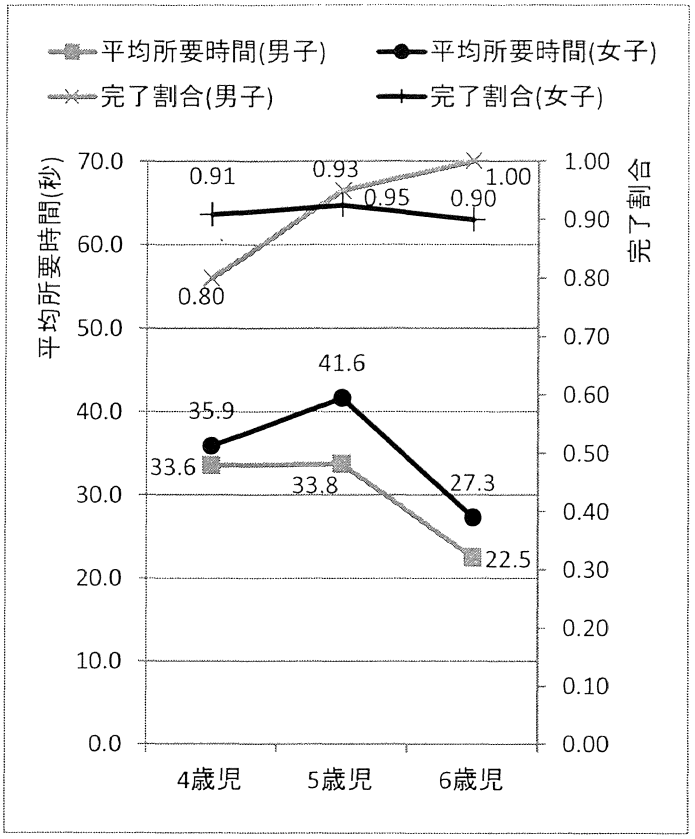

図 5.17: 回転実験の男女における年齢層による推移

から，0.9 前後に収束すると考えられる．そのため完了割合を見ると回転実験に必要とされる能力は，女子の方がより早い段階から発達が進行し，その後，男子の発達が進行すると考えられる．しかしながら，平均所要時間は男子，女子ともに似た結果となっているため，男子と女子との間に発達の推移に差異が生じていないという見方もある．

以上のように回転実験においては，男子，女子ともに平均所要時間は短縮され，完了割合については，女子よりも男子の方が向上の度合いが大きく，この結果が空間表現能力によるものだとすれば，4 歳から 6 歳の間には男子の方が女子よりも回転実験に必要な能力が向上すると考えられる．しかしながら，男子と女子とでどちらが先に空間表現能力の発達が進行するかについて，より確実に判断するためには，より多くのデータが必要となるといえる．

5.5.5 回転実験における個人の発達

2009 年 8 月，2010 年 1 月，2010 年 8 月の 3 回の実験において，4 名の被験者が半年ごとに 3 回全ての実験を行った．そこで，この 4 名を対象として回転実験における個人ごとの空間表現能力の発達の様子を把握できるのかを検討する．

4 名の被験者をそれぞれ被験者 A から被験者 D と呼ぶ．各被験者の性別および初回時における年齢は，それぞれ A：4 歳 6ヶ月 (女子)，B：4 歳 8ヶ月 (女子)，C：4 歳 5ヶ月 (男子)，D：5 歳 3ヶ月 (女子) である．

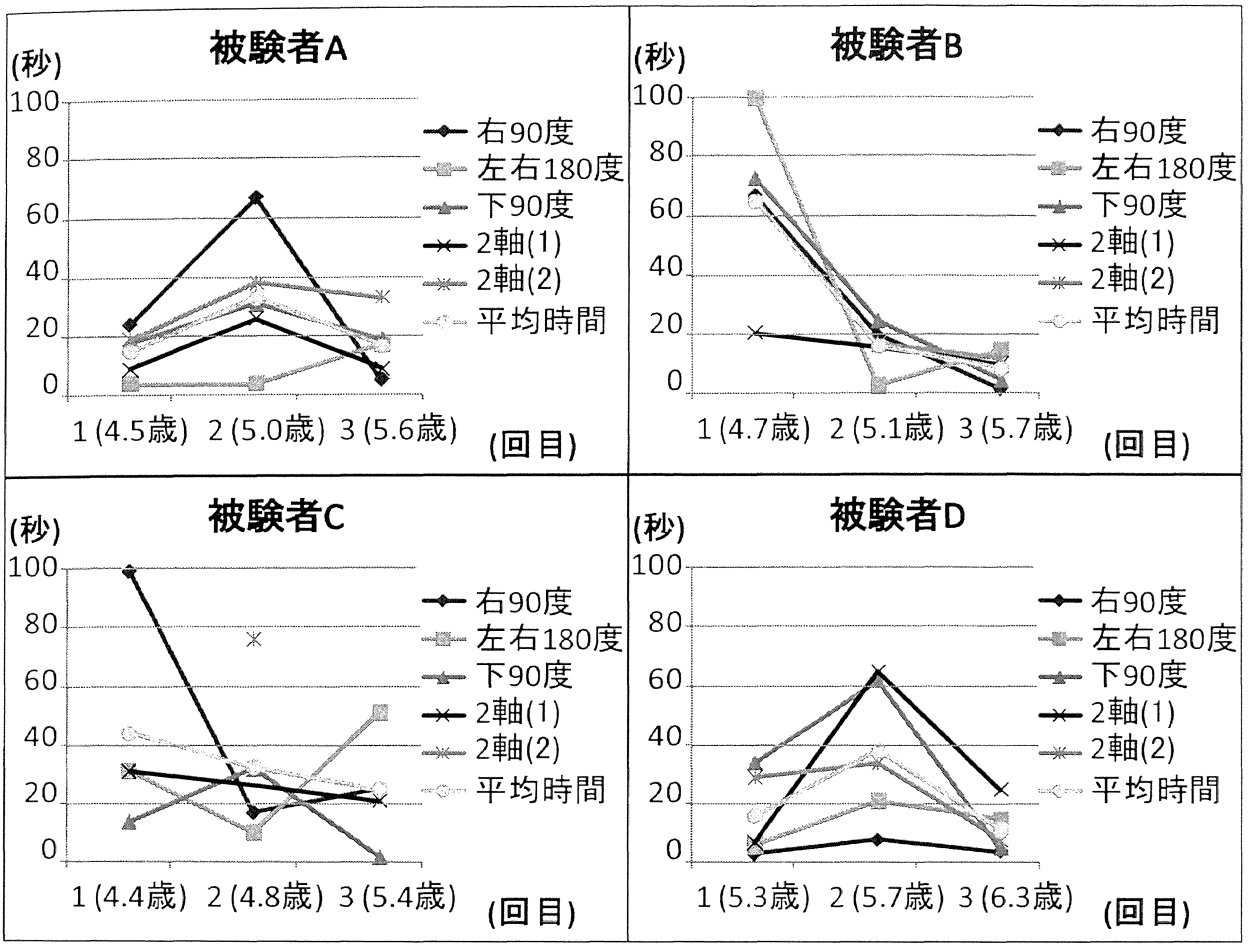

図 5.18: 回転実験の個人ごとの結果

各個人の成績のグラフを図5.18に示す．棒グラフが途中で途切れているデータについては，その回の実験では完了することができなかった事を表している．

回転実験において，被験者Aは左右180度回転を除く全ての回転実験において1回目から2回目にかけて所要時間が延長され，2回目から3回目にかけて所要時間が短縮された．しかし短縮されたものの，所要時間はおよそ1回目の所要時間と同程度か，もしくは，わずかながら延長された．右90度回転が最も2回目における所要時間の延長の度合いが大きく，また，3回目における短縮の度合いが大きかった．左右180度回転は1回目から2回目にかけて所要時間はほぼ横ばいであったが，2回目から3回目にかけて所要時間が延長された．

以上のように被験者Aについては，多くの実験において2回目において所要時間が延長され，3回目において短縮される結果となった．

被験者Bは，右90度回転および下90度回転において，1回目から3回目にかけて年齢が高くなるほど所要時間が短縮された．左右180度回転は1回目から2回目にかけて所要時間が大きく短縮されたが，2回目から3回目にかけて，わずかながら所要時間が2回目よりも延長された．2軸に対する回転(1)は年齢が高くなるほど，ゆるやかに所要時間が短縮された．2軸に対する回転(2)は1回目では完了することができていなかったが，2回目において完了できるようになり，3回目には所要時間が短縮された．5種類全ての回転実験の平均所要時間についても，年齢層が

高くなるほど短縮されていることがわかる．また，3回目における所要時間はいずれの回転実験についても，およそ10秒前後に収束しているのがわかる．

以上のように被験者Bについては年齢が高くなるほど所要時間が短縮されているといえる．

被験者Cは，右90度回転において，1回目から2回目にかけて所要時間が短縮された．左右180度回転は1回目から2回目にかけて所要時間が短縮され，一方で2回目から3回目にかけて1回目よりも所要時間が延長された．下90度回転は1回目から2回目にかけて所要時間が延長され，2回目から3回目にかけて所要時間が短縮された．2軸に対する回転(1)は2回目においては完了することができなかったが，1回目と3回目だけをみると所要時間が短縮されたといえる．2軸に対する回転(2)は2回目のみ完了することがき，1回目と2回目は完了できなかった．5種類全ての回転実験の平均所要時間については，年齢が高くなるほどゆるやかに所要時間が短縮された．

以上のように被験者Cについては全体の平均所要時間をみるとゆるやかに短縮されているものの，各回転実験によって，2回目において所要時間が短縮される実験や，逆に延長される実験があり，さらに3回目においても同様に所要時間が延長される実験や，逆に延長される実験があるように，結果はそれぞれ異ることがわかる．

被験者Dは，5種類のいずれの回転実験についても，1回目から2回目にかけて所要時間が延長され，2回目から3回目にかけて所要時間が短縮された．その中でも，下90度回転および2軸に対する回転(1)は2回目において大きく所要時間が延長された．右90度回転は2回目において所要時間がわずかに延長されたものの，5種類全ての回転実験の平均所要時間についても，1回目から2回目にかけて所要時間が延長され，2回目から3回目にかけて所要時間が短縮された．

以上のように被験者Dについては，被験者Aとほぼ同様な結果となり，多くの実験において2回目において所要時間が延長される結果となった．

4人の被験者の結果から，被験者Aおよび被験者Dは1回目から2回目にかけて所要時間が延長され，2回目から3回目にかけて所要時間が短縮される結果となった．一方で，被検者Bは年齢が高くなるほど所要時間が短縮される結果となった．

以上のように今回対象とした4名の被験者の結果は，年齢が高くなるほど所要時間が短縮された被験者B，2回目において所要時間が延長された被験者Aおよび被験者D，各実験によって結果が異なった被験者Cのように個人によって結果が異なることがわかる．5.5.3節の被験者全体を対象とした年齢層ごとの推移では，年齢層が高くなるほど平均所要時間は短縮されていることから，いずれの被験者も年齢が高くなるほど平均時間は短縮していくと考えられるが，その過程が個人によって異なるといえる．しかしながら，被験者A，被験者B，および，被験者Dにおいては3回目において所要時間はおよそ15秒前後に収束するという共通する様子がみられた．被験者Aおよび被験者Dの，4名中2名の被験者が2回目において所要時間が延長したが，これはサンプルが少ないために推定は難しいが，空間表現能力の発達過程における何らかの転換期を示唆している可能性があると考えられる．

以上のように移動実験によって個人ごとに結果が異なるものの，ある程度共通した特徴が見られたことから，個人ごとの空間表現能力の発達とその過程を把握することができたと考えられる．

5.6 配置実験による把握

5.6.1 空間表現パターンの分析

1回目から3回における71サンプルのデータから，水平配置，垂直配置(1)，垂直配置(2)の3つの配置実験から幼児から立体的な表現を把握可能か，また，配置実験において特徴的な配置のパターンがあるかを分析した．分析するデータに4回目の実験の結果を含めていないのは，4回目は1回目から3回目とは異なる実験手法を用いたためである．また，垂直配置(2)は2回目の実験から実施したため，水平配置，垂直配置(1)よりもサンプル数は少なくなっている．

その結果，図5.19のような9種類の表現パターンが得られた．また，各表現パターンの頻度とその割合を表5.5に示す．各実験において説明者が提示した関係は下線付きで示した．

いずれの実験でも，2枚の紙の位置を同位置に揃える，パターン0の表現が多く見られた．これは，被験者が配置実験を移動実験と混同したと思われる例もあったことや，空間認知または空間表現能力によるものが考えられる．混同と思われる例では，各配置実験を始めると，即座に2枚の紙を同一に合わせ,「できた」と言ったり,「うまくできた？」のように言ったりする被験者が多かった．空間認知または空間表現能力によると考えられるのは，特に水平配置においてパターン0の表現が多くなっていることから，その頃の幼児の空間認知能力や空間表現能力では2枚の紙と紙の「隙間」の認知や表現が難しいという可能性も考えられる．

以降からは主にパターン0以外の結果について述べる．

水平配置実験は正しい配置であるパターン1にできた被験者は9名であった．次いで，十字に交差するように配置するパターン5や，紙を左右に横にずらして配置するパターン2がみられた．

紙を十字に交差するように配置するパターン5がみられた理由について考察する．パターン5の配置するするためには本来回転操作は必要ない．そのため，被験者は回転操作が必要であると

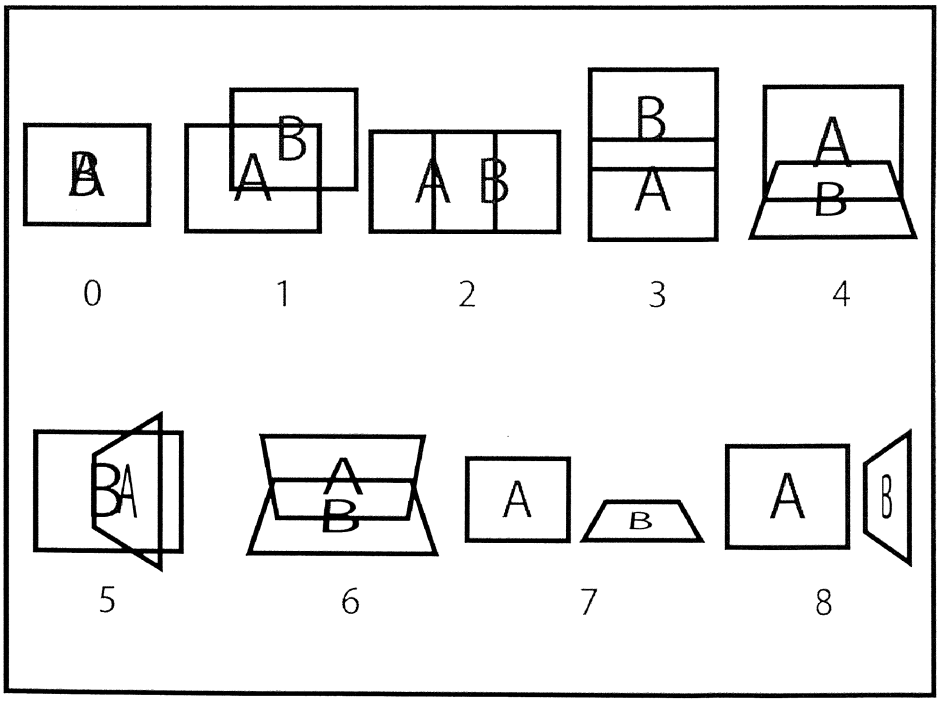

図 5.19: 配置実験における表現パターン

表 5.5: 配置パターンの頻度

	水平配置		垂直配置 (1)		垂直配置 (2)	
表現	頻度	割合 (%)	頻度	割合 (%)	頻度	割合 (%)
0	41	60.3	27	41.5	16	36.4
1	9	13.2	10	15.4	1	2.3
2	5	7.4	1	1.5	10	22.7
3	1	1.5	4	6.2	0	0.0
4	0	0.0	15	23.1	0	0.0
5	8	11.8	2	3.1	16	36.4
6	1	1.5	2	3.1	0	0.0
7	2	2.9	3	4.6	0	0.0
8	1	1.5	1	1.5	1	2.3

考え，回転を行ったのではなく，パターン 1 のように配置しようとする過程において，操作方法が不慣れであったり，偶発的な理由などで回転操作を行ったところ，パターン 5 のようになったと考えられる．その結果，パターン 5 は回転した紙に奥行きがつき，手前側は大きく見えることから，提示したパターン 1 のように,「家の前に猫がいる」のように認知したのではないかと考えられる．

また，パターン 2 がみられたのは，これは，普段幼児が行っている紙へのお絵かきにおいて，奥や手前といった表現を行う際には，奥行きの表現の代わりに，このパターン 2 のように左右に描き分けることによって表現することが考えられる．これを仮想 3D 空間内においても表現したと考えられる．

垂直配置実験 (1) では 15 名が正しい表現を行うことができた．次いでパターン 1 やパターン 3 が多くなった．また，正しい配置であるパターン 4 にできた 15 名の被験者の中には，図 5.20 のような一般的に自然な表現に感じられる，画面に垂直になるように地面を寝かせ，そこに立てた花を配置した 8 名の他に，図 5.21 のように地面と花の位置を交換して配置した被験者が 7 名い

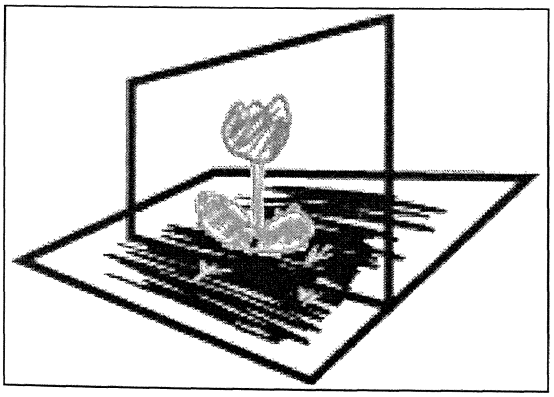

図 5.20: 垂直配置 1 (成功 1)

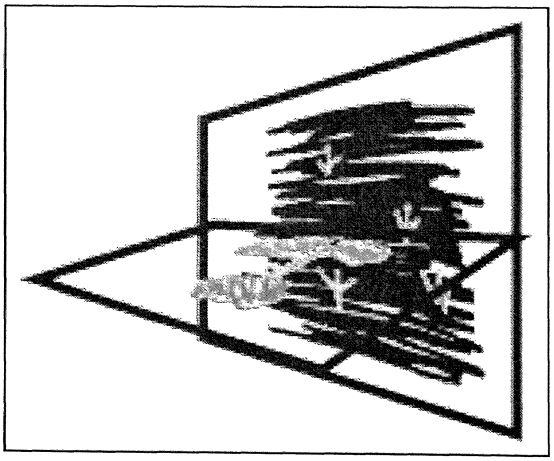

図 5.21: 垂直配置 1 (成功 2)

た．これは，仮想空間における座標軸上のどの平面を基準とするか，つまり，空間のどの平面を正面や上としてとらえるかは被験者によって異なることを示唆している．さらに，現実空間では被験者に対して花の絵がプリントされた紙を正面になるように被験者に見せたにも関わらず，表現を行う際には，花の紙を上から見た状態で表現していることから，現実空間における認知と仮想空間における認知・表現の間で，座標軸の扱いが異なることを示唆している．

また，パターン1やパターン3の表現がみられた理由について考察する．提示したのはパターン4の関係である．しかし，幼児のお絵かきにおいては，上から見た地面の上に横から見た花の絵を各被験者が多くなると考えられる．パターン1においても，また，パターン4においても，地面の上の花が乗っていることに変わりはなく，これはお絵かきによる場合と同様な表現である．そのため，パターン1やパターン3の表現がみられたと考えられる．

垂直配置実験 (2) では配置実験の中で正しい配置であるパターン5にできた被験者が最も多く16名であり，次いで，パターン2がみられた．パターン0の被験者を抜かすと他は少数であった．

最も正しい配置にできた被験者が多くなったのは，空間認知・表現のしやすい配置方向があることが考えられる．また，パターン2がみられたのは，垂直配置 (1) の際と同様に，正しい表現であるパターン5は平面的に表現しようとすると，パターン2でもコンセントの上にプラグがあるように見えるためであると考えられる．

以上のように現実空間において2枚の紙の関係を見せ，それを仮想空間内で表現させることによって，空間表現能力が発達の途中である幼児から正しい表現を得ることができ，さらに，各配置実験における生じやすい失敗のパターンを整理することができた．

5.6.2 半年経過による発達の把握

1回目から3回目の実験における71サンプルのデータのうち，約半年間隔をおいて2回連続で実験を受けた22名のデータから，1回目と2回目，すなわち半年経過後において配置実験の表現に差異が生じるのかを検討する．垂直配置 (2) は1回目の実験では実施しなかったため，データが8名分と少なくなっている．

表 5.6: 配置実験結果

	水平配置				垂直配置 (1)				垂直配置 (2)			
	1回目		2回目		1回目		2回目		1回目		2回目	
	頻度	%	頻度	%	頻度	%	頻度	%	頻度	%	頻度	%
0	13	61.9	13	61.9	10	47.6	5	23.8	4	50	1	12.5
1	3	14.3	3	14.3	4	19.0	1	4.8	1	12.5	1	12.5
2	2	9.5	2	9.5	0	0	0	0.0	1	12.5	4	50.0
3	1	4.8	1	4.8	0	0	4	19.0	0	0	0	0.0
4	0	0.0	0	0.0	4	19.0	8	38.1	0	0	0	0.0
5	2	9.5	2	9.5	1	4.8	2	9.5	2	25	2	25.0
6	0	0.0	0	0.0	1	4.8	1	4.8	0	0	0	0.0
7	0	0.0	0	0.0	1	4.8	0	0.0	0	0	0	0.0
8	0	0.0	0	0.0	0	0	0	0.0	0	0	0	0.0

水平配置では１回目も２回目も結果は各表現パターンの頻度に変化はみられなかった．ただし，１回目にあるパターンの表現を行った被験者が，必ずしも２回目においても１回目と同一のパターンの表現を行ってはおらず，被験者とパターンの内訳は変わっている．

垂直配置 (1) では，正しい表現であるパターン４の被験者が２回目には，４名から８名と倍に増えた．また，平面的ではあるが，正しいパターンに近い表現であるパターン３が１回目には存在しなかったが，２回目には４名となった．また，パターン５についても１名ではあるが増加した．パターン５は２枚の紙を立体的に横方向に交差させる配置パターンである．その一方で，パターン０の被験者が10名から５名と半分となった．また，パターン１についても，４名から１名に減少した．

垂直配置 (2) では，正しい表現であるパターン５は２名と変わらなかった．また，平面的ではあるが正しい表現パターンに近い表現であるパターン２が，２回目には１名から４名に増加した．その一方で，紙を重ね合わせるだけの表現であるパターン０が４名から１名に減少した．

水平配置について変化が見られなかった点については，１回目も２回目もパターン０の表現が多いことから，水平配置実験の実施方法の理解不足により，２枚の紙に間を空けるべきなのか，それともただ重ね合わせるべきなのかが理解しにくく，移動実験と混同してしまった被験者が多かったためであると考えられる．また，紙を左右にずらして配置するパターン２は２名と変わらず，紙を交差させて配置するパターン５についても２名と変わっていない．これは，パターン２は例えば，２枚の紙の関係を，現実空間の紙に対する描画で表現させた場合には，隙間を，紙を左右にずらすことによって表現を行う事が考えられる．また，パターン５は交差させた紙の一部は，もう一枚の紙よりも前面もしくは背面に見えるため，それを２枚の紙の間の隙間として認知もしくは表現を行ったと考えられる．このようにいずれも２枚の紙の間の隙間の表現を行おうと試みたが，隙間の表現がこの時期の空間表現能力では難しい可能性が考えられ，そのため変化が見られなかったと考えられる．

垂直配置 (1) が，平面的な表現が減るとともに，正しい表現や，それに近い表現，また立体的な表現が増えた点については，これは半年を経過することにより空間表現能力が発達し，これが結果に反映されたためと考えられる．平面的に上下に紙を組み合わせるだけのパターン３は，１回目はこのパターンを表現した被験者はいなかったが，２回目には４名になっていた．パターン３の表現は幼児が日常的に行っている「お絵かき」において，地面の上に花を描くという場合にこのような表現を行っていると考えられる．同様に，２枚の紙を同位置に配置するだけのパターン０についても，「お絵かき」で表現を行う場合にはこのように表現することも可能であると考えられる．パターン０が減少したことから，半年間による発達により，同位置に配置するという関係から，提示された上下という関係を表現するようになり，そこから，パターン５のような横方向に交差させる表現や，パターン４の正しい表現が増えていくようになるのではないかと考えられる．

垂直配置 (2) が，正しい表現パターンの被験者数は変わらなかったものの，平面的ではあるが正しい表現パターンに近い表現であるパターン２が増加し，その一方で紙を重ね合わせるだけの表現であるパターン０が減少したのは，垂直配置 (1) と同様にこれは半年を経過することにより空間表現能力が発達し，これが結果に反映されたためと考えられる．垂直配置 (2) についても垂直配置 (1) と同様に，「お絵かき」による表現において行うであろうパターンパターン２が増加し，その一方で紙を重ね合わせるだけのパターン０が減少している．このことから，同位置に配置するという関係から，提示された左右という関係を表現するようになり，そこから，パターン５の正しい表現が増えていくようになるのではないかと考えられる．

以上のように，水平配置については１回目と２回目における差異は得ることができなかったが，

垂直配置 (1) および垂直配置 (2) においては，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．

これは，被験者が半年間を経過することにより，2.3.6 節において配置実験によって把握可能であると仮定した，

1. 現実空間における 2 枚の紙の空間的な位置や向き関係の認知能力
2. 仮想空間における 2 枚の紙の空間的な位置や向き関係の認知能力
3. 現実空間における 2 枚の紙と仮想空間における 2 枚の紙の空間的な位置や向きの認知能力
4. 認知した関係と同様な関係にするために移動方向や回転方向を決定する能力
5. 決定した移動および回転方向になるように操作デバイスを使用し正確な方向に動す身体能力

などの能力が発達し，これを配置実験によって把握できているためであると考えられる．

5.6.3 年齢層における発達の把握

配置実験によって，年齢層における空間表現能力の発達が把握可能かを検討する．各年齢のサンプル数は，水平配置，および垂直配置 (1) では，4 歳児 15 名，5 歳児 33 名，6 歳児 22 名である．また，垂直配置 (2) では，4 歳児 5 名，5 歳児 22 名，6 歳児 17 名である．

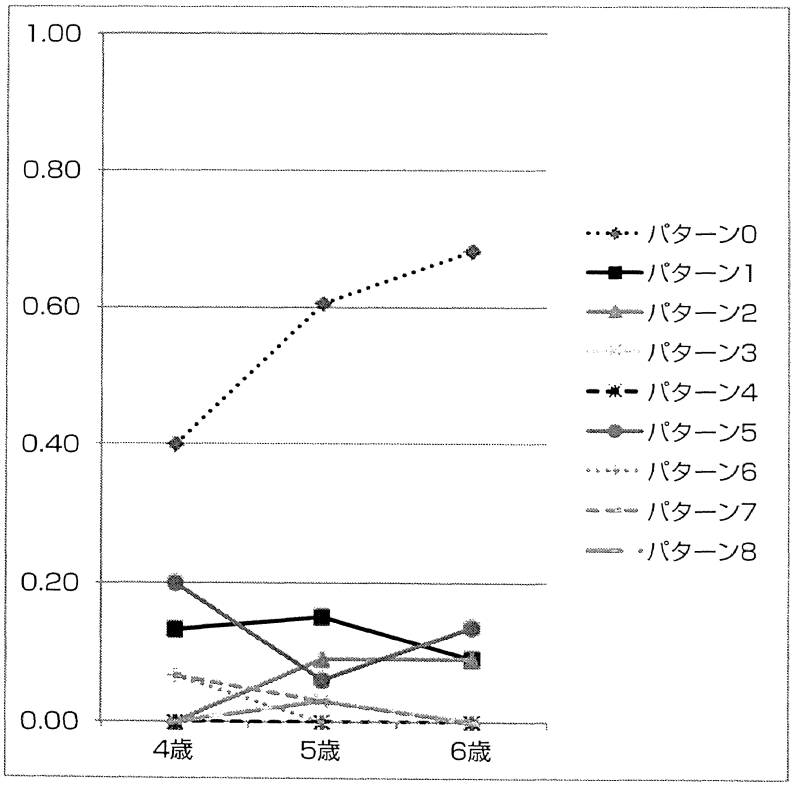

図 5.22: 水平配置の年齢層における推移

まず，水平配置における各表現パターンの割合を年齢層ごとにまとめたグラフを図 5.22 に示す．正しい配置パターンであるパターン 1 は黒い実線で示した．また，パターン 1 に近い表現であるパターン 2，3，5 は濃度の異なる実線で示した．それ以外の失敗とする表現パターンは破線で示した．

水平配置においては，年齢層が高くなるほど，2 枚の紙を同位置に重ね合わせるだけのパターン 0 の表現が増加した．正しい表現パターンであるパターン 0 は 4 歳から 5 歳にかけて若干割合が増加しているものの，5 歳から 6 歳にかけては若干減少している．また，その他の表現パターンについても，ほぼ横ばいであり，規則性などは見られなかった．

以上のように年齢層ごとの差異が生じなかったという結果は，5.6.2 節の同一被験者を対象とした，半年経過後における発達の把握における，水平配置の結果とほぼ同様な結果であるといえる．水平配置について変化が見られなかった点についても，水平配置実験の実施方法の理解不足により，2 枚の紙に間を空けるべきなのか，それともただ重ね合わせるべきなのかが理解しにくく，移動実験と混同してしまった被験者が多かったためであると考えられる．

年齢層が高くなるほど，パターン 0 が増加したことについては，一般的に年齢が高くなるほど，空間認知および表現能力が発達し，パターン 0 を含め失敗パターンが減少することが予想されるが，その逆の結果となった．これは年齢層が高くなるほど，なんらかの理由により，パターン 0 のような表現が増えるという特徴であるとも考えられるが，前述の通り，本来減少すると予想されるため，これが特徴であるのかについては現時点では評価が難しい．そのため，よりサンプル数を増やすか，もしくは，配置実験に用いる実験の種類を増やすなど実験手法の変更などを行い，調査を行う必要があると考えられる．

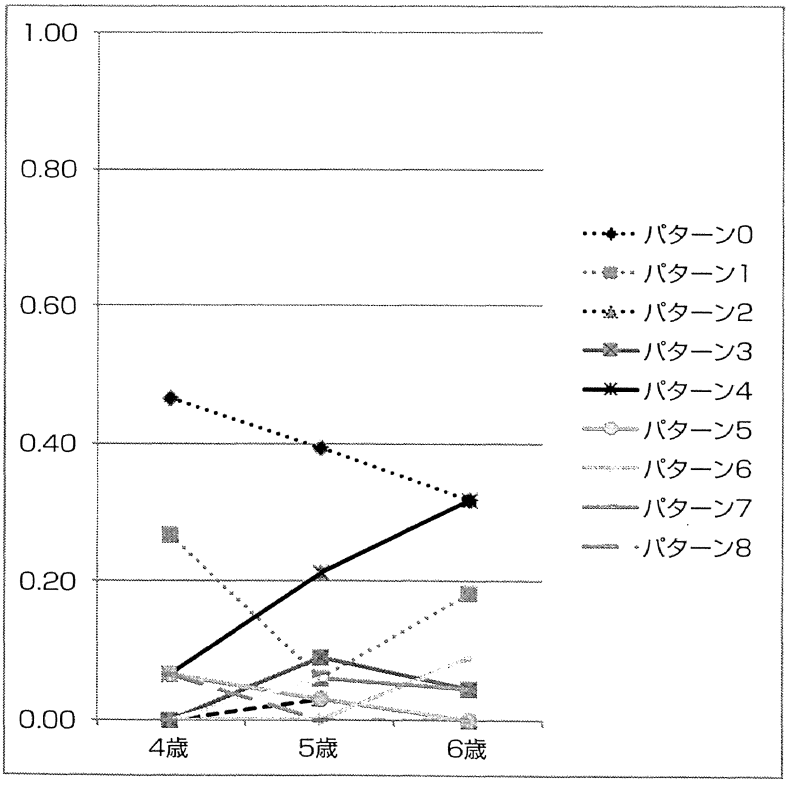

図 5.23: 垂直配置 (1) の年齢層における推移

次に，垂直配置 (1) における各表現パターンの割合を年齢層ごとにまとめたグラフを図 5.23 に示す．正しい配置パターンであるパターン 4 は黒い実線で示した．また，パターン 4 に近い表現であるパターン 3，5，6，7 は濃度の異なる実線で示した．それ以外の失敗とする表現パターンは破線で示した．

垂直配置 (1) については正しい表現パターンである，パターン 4 の割合は 4 歳から 6 歳にかけて年齢層が高くなるほど増加した．また，正しい表現に近いパターンであるパターン 3 およびパターン 5 は，4 歳から 5 歳にかけて増加し，5 歳から 6 歳にかけて減少した．一方で，失敗のパターンであるパターン 0 は年齢層が高くなるほど割合が減少した．同様に失敗パターンであるパターン 1 は 5 歳から 6 歳にかけて割合が増加したものの，その他の失敗パターンはほぼ横ばいであった．

以上のように，正しい表現パターンは年齢層が高くなるほど増加し，一方で，最も多い失敗パターンであるパターン 0 の被験者は年齢層が高くなるほど減少するという結果を得た．これは，5.6.2 節の半年経過後の発達の把握における垂直配置 (1) の結果と同様な結果となったといえる．また，正しい表現に近いパターンである，パターン 3 およびパターン 5 が 4 歳から 5 歳にかけて向上し，その後，低下していることから，空間表現能力が発達するに従って正しい表現や，近い表現が増え，さらに発達が進むことにより，正しい表現に近い表現が減少するとともに正しい表現が増加したといえる．この結果から，垂直配置 (1) によって，空間表現能力に含まれる，関係を表現する能力の発達の様子を把握できていると考えられる．

次に，垂直配置 (2) における各表現パターンの割合を年齢層ごとにまとめたグラフを図 5.24 に示す．正しい配置パターンであるパターン 5 は黒い実線で示した．また，パターン 4 に近い表現

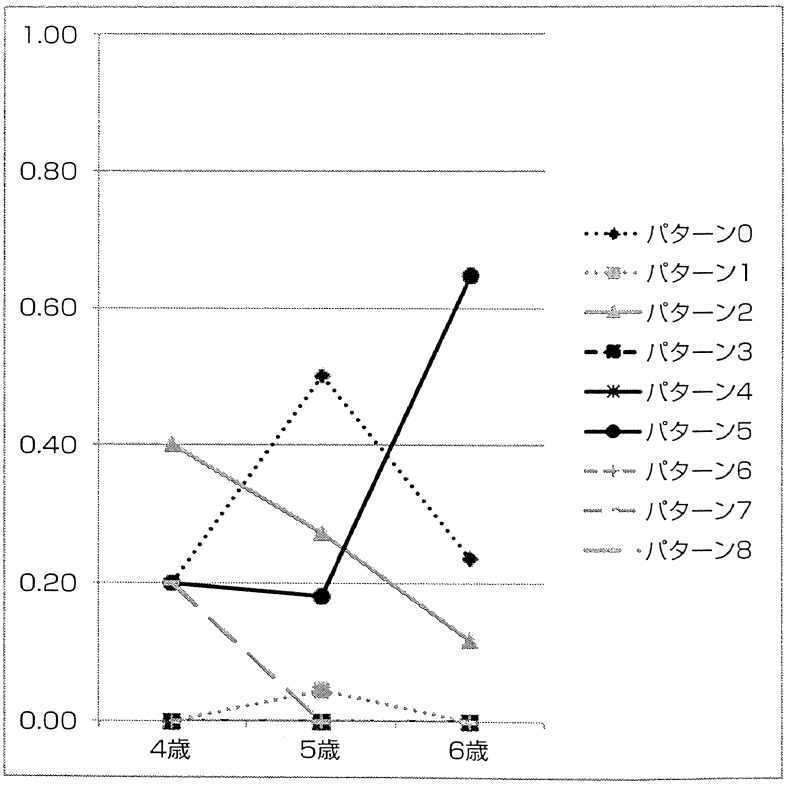

図 5.24: 垂直配置 (2) の年齢層における推移

であるパターン2およびパターン8は濃度の異なる実線で示した．それ以外の失敗とする表現パターンは破線で示した．

垂直配置 (2) は正しい表現パターンである，パターン4の割合は4歳から5歳にかけてほぼ横ばいであったが，5歳から6歳にかけて大きく増加した．また，正しい表現に近いパターンであるパターン2およびパターン8は4歳が最も多く，年齢層が高くなるほど減少している．失敗のパターンであるパターン0は4歳から5歳にかけて増加したものの，5歳から6歳にかけて減少した．また，その他の失敗パターンについては，ほぼ横ばいであった．

正しい表現に近い表現であるパターン2およびパターン8は4歳児が最も多く，年齢層が高くなるほど割合が減少したのは，正しい表現パターンが増加していることから，正しい表現に近いパターンから，正しい表現パターンに推移していくためであると考えられる．また，パターン0が5歳児の時点のみ増加しているのは，このような推移をたどるという特徴である可能性もあるが，現段階では，なぜこのような結果になったのかを説明するのは難しいといえる．

以上のように，パターン0については，5歳児のみ割合が増えたものの，近い表現パターンや失敗のパターンが減るとともに，正しい表現パターンが増えるという様子を得ることができた．このとこから，垂直配置 (2) によって，空間表現能力に含まれる，関係を表現する能力の発達の様子を把握できていると考えられる．

水平配置，垂直配置 (1)，および垂直配置 (2) の結果から，水平配置は年齢層ごとの推移を得ることはできなかったものの，垂直配置 (1)，および垂直配置 (2) においては，年齢層が高くなるほど，その結果が向上するという空間表現能力の発達の様子を把握できていると考えられる．

5.6.4 男女における年齢層における発達の比較

5.6.3 節において，年齢層によって配置実験の表現の様子がどのように変化するのかについて検討した．次に男女において，この年齢層ごとによる表現の様子の変化に差異が生じるのかを検討する．

各年齢のサンプル数は，水平配置，および垂直配置 (1) では，4歳児は男子9名，女子6名である．5歳児は男子21名，女子12名である．また，6歳児は男子13名，女子9名である．垂直配置 (2) では，4歳児は男子3名，女子2名である．5歳児は男子14名，女子8名である．6歳児は男子12名，女子5名である．

まず，水平配置における，正しいパターンであるパターン1にできた被験者の割合，正しいパターンに近い表現の割合，および，失敗の割合をまとめたグラフを図5.25に示す．正しい配置パターンであるパターン1は実線で示した．近い配置パターンである，パターン2，3，5の被験者の合計の割合は粗い破線で示した．また，それ以外の失敗パターンは細かい破線で示した．

男女の結果を比較すると，正しい表現パターンの割合は男子も女子も0.08から0.19程度と低く，また，年齢層が高くなっても大きな変化は見られなかった．また，正しい表現パターンに近い表現の割合も年齢層による変化は見られなかった．そのため男女による差異も無いと考えられる．

次に垂直配置 (1) における，正しいパターンであるパターン4にできた被験者の割合，正しいパターンに近い表現の割合，および，失敗の割合をまとめたグラフを図5.26に示す．正しい配置パターンであるパターン4は実線で示した．近い配置パターンである，パターン3，5，6，7の被験者の合計の割合は粗い破線で示した．また，それ以外の失敗パターンは細かい破線で示した．なお，図5.26において，近い表現 (女子) の割合は，成功 (女子) と同一のため，グラフは同位置にある．

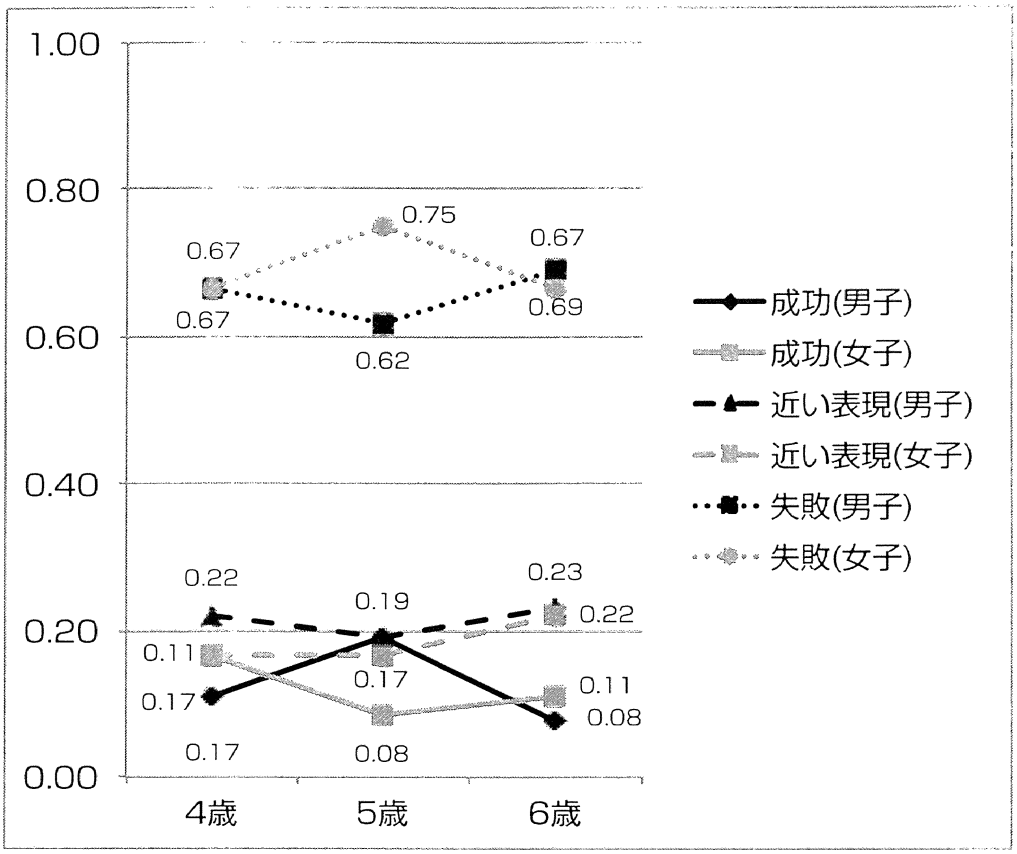

図 5.25: 男女における水平配置の推移

男女の結果を比較すると，女子は4歳では正しい表現にできた被験者はおらず，5歳では正しい表現パターンが増加した．男子も4歳から5歳にかけて正しい表現パターンがが増加した．この4歳から5歳の間では女子よりも男子のほうが若干成功できた被験者の割合が高いことがわかる．6歳では男子女子ともに，同程度の割合となった．

次に，失敗パターンの表現の割合を見ると，6歳において，男子は5歳の割合より若干であるが高くなっているが，逆に，女子は5歳の割合と比べ大幅に減少していることがわかる．

このように女子の方が男子よりも，正しい表現パターンが増加するとともに，より正しい表現に近い表現パターンが増え，失敗パターンが減少する結果となった．一般的に年齢層が高くなるほど，失敗パターンが減るとともに，正しい表現に近いパターンや正しい表現パターンが増え，さらに年齢が高くなると，正しい表現パターンがより増えるとともに，今度は近い表現パターンや失敗パターンが減っていくという過程を経ることが考えられるため，女子の方が早い年齢から垂直配置 (1) に必要な能力が向上している可能性を示唆していると考えられる．男子はこの後，女子のように失敗パターンが減少するとともに正しい表現パターンに近い表現の割合が増えてくると考えられる．

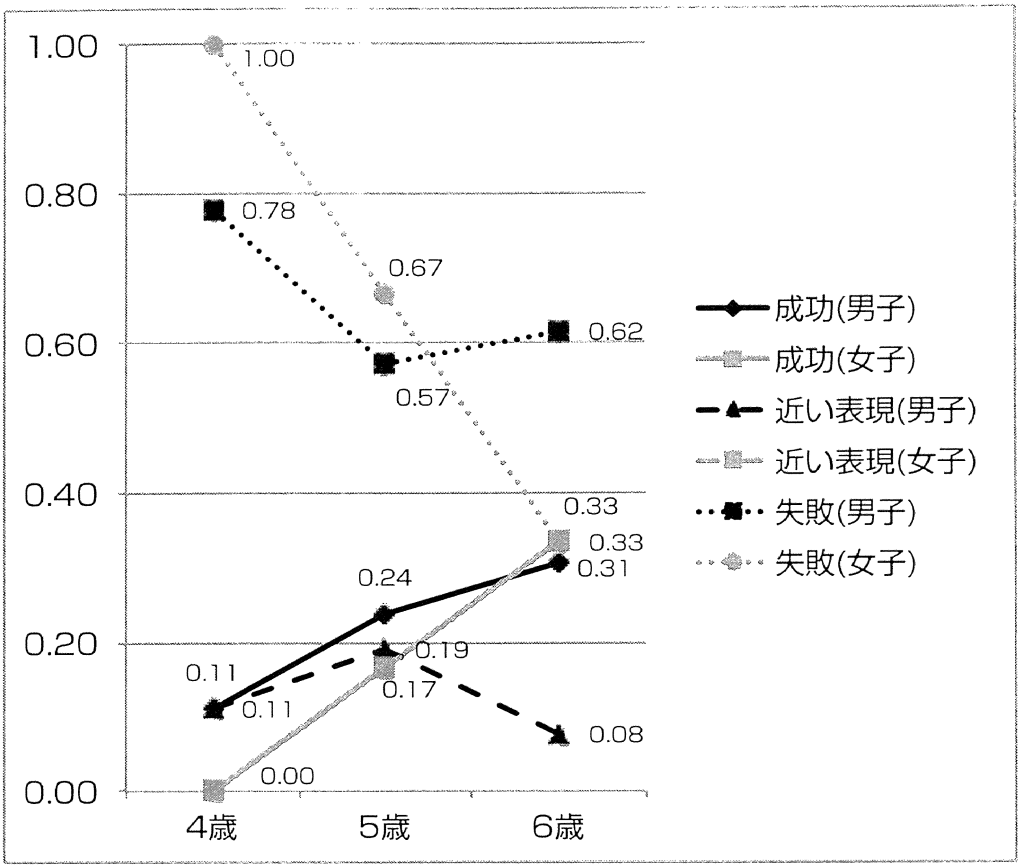

図 5.26: 男女における垂直配置 (1) の推移

次に垂直配置 (2) における，正しいパターンであるパターン 5 にできた被験者の割合，正しいパターンに近い表現の割合，および，失敗の割合をまとめたグラフを図 5.27 に示す．正しい配置パターンであるパターン 5 は実線で示した．近い配置パターンである，パターン 2，および，8 の被験者の合計の割合は粗い破線で示した．また，それ以外の失敗パターンは細かい破線で示した．

垂直配置 (2) は 4 歳児の被験者が他の配置実験よりも少なく，男子 3 名，女子 2 名となっている．特に女子においては，成功した被験者，近い表現の被験者がそれぞれ 1 名ずつであったため，割合がそれぞれ 0.5 と高い数値になっている．同様に男子においても極端な結果となっているため，主に 5 歳および 6 歳の結果から考察する．

男女の結果を比較すると，正しい表現パターンの割合は 5 歳から 6 歳にかけて，男子，女子ともに増加した．男子も女子も正しい表現パターンの向上のしかたの傾向は似ているが，女子の方が男子よりも 5 歳においても 6 歳においても割合が高いことがわかる．特に 6 歳において女子の方が男子よりも高い割合となり，8 割の被験者が正しい表現パターンにできたことを示している．

正しい表現に近い表現パターンは，男女ともに 5 歳から 6 歳にかけて減少した．これについて男女の結果を比較すると，男子のほうが割合の減少のしかたが緩やかである．一方で，女子の方が減少のしかたが急であり，6 歳において正しい表現に近いパターンの表現を行った被験者はいなくなった．

次に失敗パターンの被験者の割合は，5 歳から 6 歳において，男女とも同様に減少しており，さらに，その割合もほぼ同程度であった．

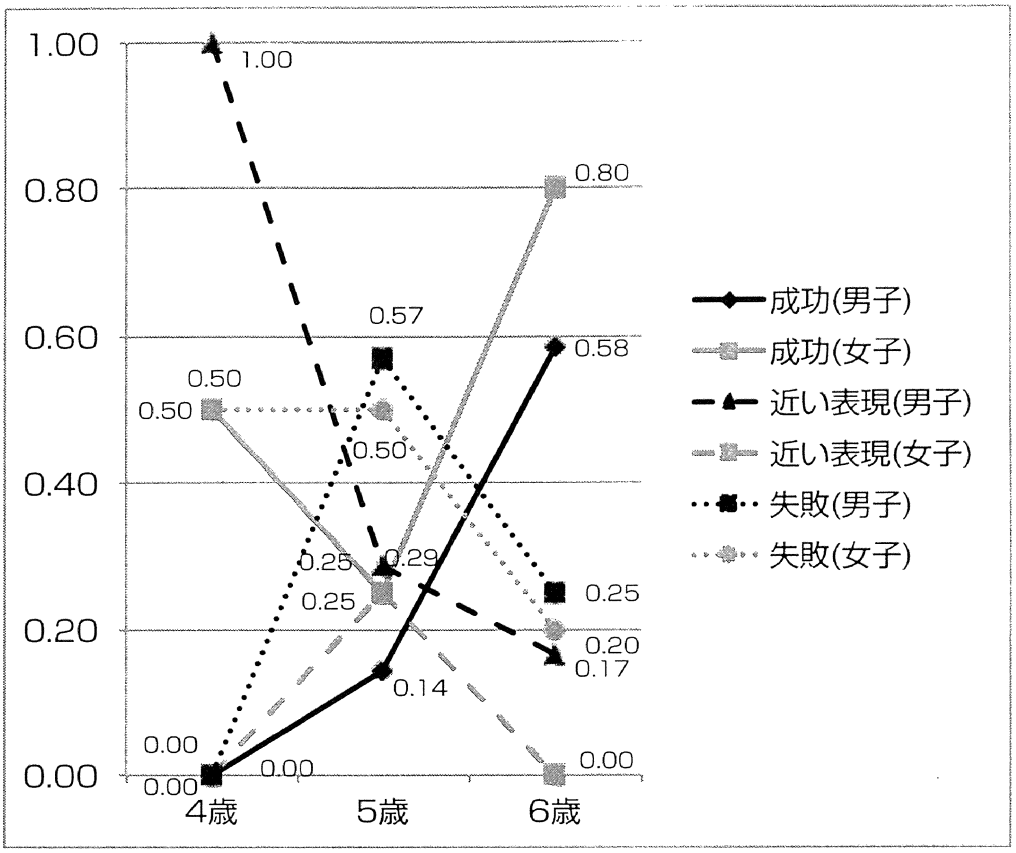

図 5.27: 男女における垂直配置 (2) の推移

以上のように女子の方が，男子よりも 6 歳において正しい表現パターンが大幅に増加し，一方で正しい表現に近い表現が大幅に減少した．これは垂直配置 (1) の結果と同様に，一般的に年齢層が高くなるほど，失敗パターンから正しい表現に近いパターンが増え，そして，正しい表現パターンが増えるとともに近い表現パターンや失敗パターンが増えるという過程を経ることが考えられることから，女子の方が年齢が高くなるほど，より配置実験に必要な空間表現能力が向上している可能性を示唆している．

水平配置においては，男子と女子の間の特徴の違いは見受けられなかったが，垂直配置 (1) および垂直配置 (2) において，女子の方が男子よりも年齢層が高くなるほど結果が向上する結果を得た．このことから，配置実験により，男子と女子の空間表現能力の推移の異なりを把握することができたといえる．

5.7 紙の組み合わせ実験による把握

5.7.1 表現パターンの分析

紙の組み合わせ実験は「家」,「花」,「道路」の 3 枚の紙が本システム内に提示されており，これらの紙を自由に組み合わせてもらうという実験である．それにより，幼児が自発的に 3D 空間を持つ表現を行うのかについて検討する．紙の組み合わせ実験は 2009 年 8 月における実験では実施しておらず，それ以降の実験から実施し，合計 3 回の実験を実施した．サンプル数は 39 サ

ンプルであり，男子 26 名であり，女子 13 名である．実験の結果から，表現の様子を主に図 5.28 のような，0 から 5 までの 6 種類の表現パターンに分類した．図 5.28 の紙 A は道路の紙を表しており，紙 B および紙 C は家もしくは花の紙を表している．パターン 0 は初期状態もしくは，全ての紙を手前に向けたまま平行移動しかしなかった場合にはこの表現パターンとした．パターン 1 は道路の紙のみを倒し，家および花の紙は手前を向いたままの場合にはこの表現パターンとした．パターン 2 は全ての紙を手前に向けたまま平行移動しかしていないが，道路の紙の上に，家および花の紙を手前に向けたまま道路の紙の上に配置した場合には，この表現パターンとした．パターン 3 全ての紙を手前に向けたまま，家または花の紙，もしくは両方の紙を奥行き方向の移動のみを行った場合にはこの表現パターンとした．パターン 4 は，道路が手前を向いたままであり，家または花の紙の片方，もしくはどちらかを立たせるような表現を行った場合にはこの表現パターンとした．パターン 5 は道路を横に倒し，家または花の紙，もしくは両方の紙を左右に回転させた場合にはこの表現パターンとした．

組み合わせ実験の表現パターンの頻度を表に示す．

表 5.7 から，平面的に 3 枚の紙を重ねるパターン 2 の表現が最も多く，平面的な平行移動のみ

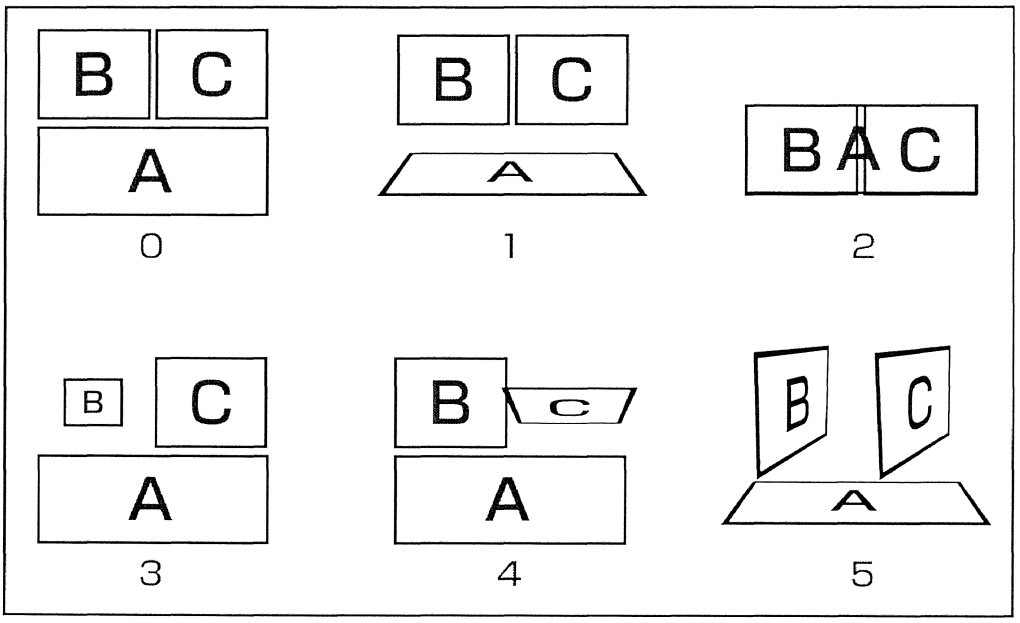

図 5.28: 紙の組み合わせ実験の代表的な表現パターン

表 5.7: 紙の組み合わせ実験結果

	頻度	割合
パターン 0	8	0.21
パターン 1	3	0.08
パターン 2	16	0.41
パターン 3	9	0.23
パターン 4	2	0.05
パターン 5	1	0.03

を行ったパターン0，および，いずれかの紙を前後に移動させたパターン3が多くなった．以上のように，表現される頻度が高かった表現パターンはいずれも平行移動のみを行っており，回転操作は行っていないことがわかる．回転操作を伴うパターン4とパターン5の被験者の合計は3名と少ない．

しかしながら，5.4節の移動実験による把握や，5.5節の回転実験による把握，および5.6節の配置実験による把握においてはより立体的な表現を把握できていた．これは，平面の紙に描画をさせる課題において，田中[31]は子どもが「見えどおりに描く」課題として受け止められるかどうかが最終的な描画結果を左右すると指摘している．また，平井・竹中[20]や松村[32]も子どもの描画は「何のために描くか」という課題意識に影響されており，「見えどおりに描く」という課題意識が形成されることにより，子どもの描画は視覚的な描画に移行することを示唆している．このことから，紙の組み合わせ実験においても「紙に描画する」と「仮想3D空間で紙を組み合わせる」という行為に違いはあるものの，同様な心理的作用が働いたと考えられる．すなわち，この紙の組合せ実験では，明示的にどの紙をどのように操作するのかという命題を与えていなかったため，他の回転実験や配置実験とは異なり，立体的な表現が表出しなかったと考えられる．

以上のように組み合わせ実験においては多くの被験者が回転を伴う操作を行わない結果となり，幼児は仮想3D空間において，明示的に表現する紙の関係を提示しない場合は，自発的に3D空間を持った表現を行わないという知見を得た．その一方で，移動実験，回転実験，配置実験においては紙の組み合わせ実験よりも，立体的な表現を得ることができており，「見たとおりに描く」よりも心理的な「内面モデルを忠実に描く」とされている幼児期から，「見たとおり」の表現を行わせることができており，移動実験，回転実験，および配置実験は，幼児の認知空間を把握するために有効であることを再確認した．

5.8 配置実験の紙の模様が結果に与える影響

5.8.1 実験の概要

配置実験では「猫」と「家」や「地面」と「花」のように「絵」が描かれた紙を提示し，説明者が幼児に「地面の上にお花を咲かせてみましょう」といった「意味」を与えて，2枚の紙の関係を表現させた．すなわち，現実空間において，家の前に座っている猫や，地面の上に咲いている花といった，幼児が見たことがあると考えられる対象を紙の模様として用いて，見たことがあると考えられる関係を提示し，さらにその関係に意味を与えて本システムの仮想的な3D空間において表現させた．そのため，幼児は2枚の紙の空間的な位置や向きなどの関係を認知し，その関係を表現を行うだけではなく，現実空間における経験なども用いて表現を行っているといえる．その結果，立体的な紙の関係が認知できなくても，多くの被験者がその表現を行うことができた可能性もある．

そこで，3D空間内の2枚の紙の関係を認知し，その認知した関係を表現する能力を，より純粋に把握するためには，図5.29のように，「地面」や「花」といった絵が描かれた紙から，「○」や「×」などの記号を紙の模様として用い，さらに，これまで説明者が説明していた「地面の上にお花を咲かせてみましょう」という説明から，「2枚の紙をこのようにしてください」のように説明することが有効であると考えられる．

以上のことから，配置実験に使用する紙の模様を「○」および「×」に置き換え，水平配置，垂直配置(1)，垂直配置(2)と同様な3種類の実験を2011年8月の実験において実施することとした．

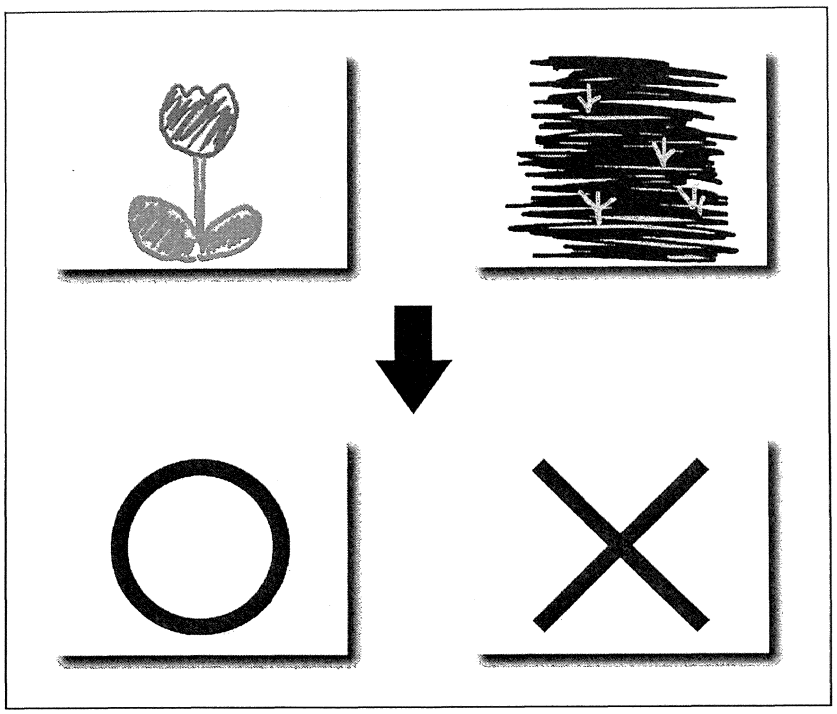

図 5.29: 記号による表現

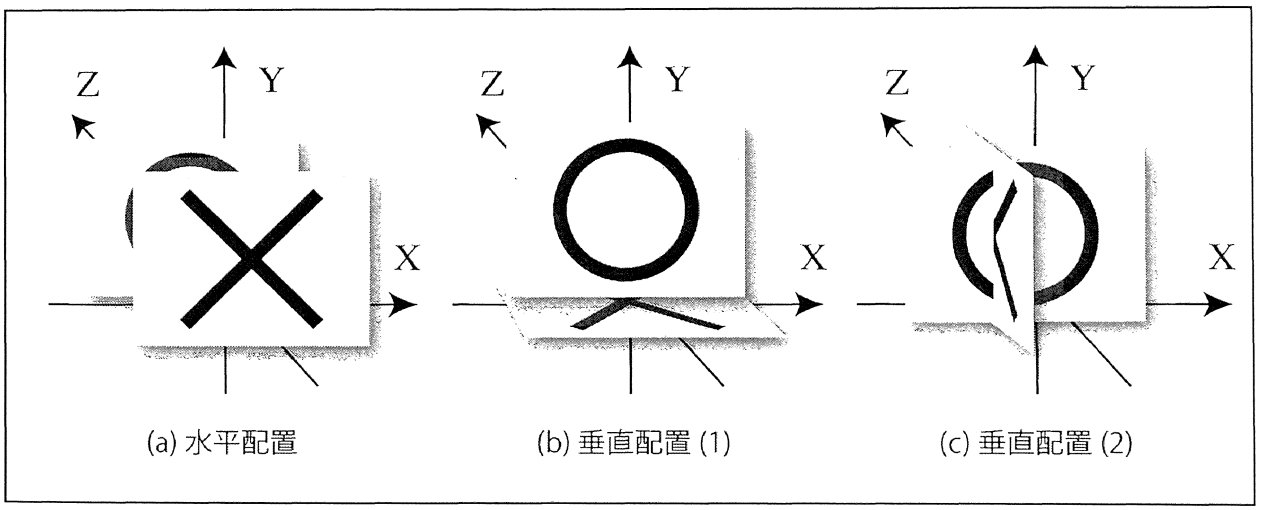

図 5.30: 記号を用いる場合の正しい紙の関係

それにより，より純粋に空間表現能力を把握できることが期待できる．しかしながら，一方で，幼児が現実空間で見たことのある物の「絵」や，説明時の「意味」を与えないため，「○」や「×」の記号を紙に用いた場合，5.6 節による結果よりも．紙の関係を表現できない被験者が増えると考えられる．

「○」および「×」の模様の紙を使用した場合の，正しい 2 枚の紙の配置を図 5.30 に示す．水平配置では，図 5.30-a のように「○」の紙の前に「×」の紙を重ねるように表現させる．垂直配置 (1) では，図 5.30-b のように寝かせるように倒した「×」の紙の上に立てた「○」の紙を置くよ

うに表現させる．垂直配置 (2) では，図 5.30-c のように，横方向に回転させた「×」の紙に「○」紙を挿すように表現させる．

被験者数は 20 人であり，男子 12 名，女子 8 名である．

以降，従来の「地面」や「花」といった絵を用いる表現を「絵による表現」と呼び，「○」と「×」を用いる表現を「記号による表現」と呼ぶ．

5.8.2 絵による表現と記号による表現の比較

絵による表現を行った，2009 年 8 月から 2010 年 8 月までの合計 3 回の実験の結果と，配置実験に使用する紙の模様を変更した記号による表現の結果との比較を行い，結果に差異が生じるのかを検討する．

サンプル数は絵による表現では水平配置，垂直配置 (1) において 71 サンプルであり，垂直配置 (2) では 44 サンプルであった．記号による表現では，水平配置，垂直配置 (1)，垂直配置 (2) のいずれにおいても 20 サンプルである．

水平配置，垂直配置 (1)，および，垂直配置 (2) の各表現パターンの頻度および割合を表 5.8 に示す．表現パターンは 5.6.1 節の図 5.19 にまとめた 9 種類の表現パターンと同一である．

まず，水平配置における，絵による表現と記号による表現の割合のグラフを図 5.31 に示す．図 5.31 における正しい表現は，パターン 1 にできた被験者の割合を表しており，近い表現はパターン 2，3，および 5 の表現の割合を表している．失敗はこれら以外の割合を表している．

水平配置については，図 5.31 より，正しい表現であるパターン 1 の割合は，絵による表現では約 13%であり，記号による表現では約 47%と約 3.6 倍に増加した．その一方で，正しい表現に近い表現パターンは絵による表現では 21%であったが，記号による表現では 16%と若干であるが減少し，失敗の表現は 66%から 37%と減少した．

次に，表 5.8 から各表現パターンの頻度をみると，絵による表現では，2 枚の紙を同位地に配置するだけの表現であるパターン 0 の表現が約 60%と多かった．しかし記号による表現では約 37%とパターン 0 が減少したことがわかる．

表 5.8: 絵による表現と記号による表現の頻度

	絵による表現						記号による表現					
	水平配置		垂直配置 (1)		垂直配置 (2)		水平配置		垂直配置 (1)		垂直配置 (2)	
	表現	%	表現	%	表現	%	表現	%	表現)	%	表現	%
0	41	60.3	27	41.5	16	36.4	7	36.8	8	40.0	6	30.0
1	9	13.2	10	15.4	1	2.3	9	47.4	0	0.0	0	0.0
2	5	7.4	1	1.5	10	22.7	0	0.0	0	0.0	0	0.0
3	1	1.5	4	6.2	0	0.0	1	5.3	0	0.0	0	0.0
4	0	0.0	15	23.1	0	0.0	0	0.0	12	60.0	0	0.0
5	8	11.8	2	3.1	16	36.4	2	10.5	0	0.0	14	70.0
6	1	1.5	2	3.1	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
7	2	2.9	3	4.6	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
8	1	1.5	1	1.5	1	2.3	0	0.0	0	0.0	0	0.0

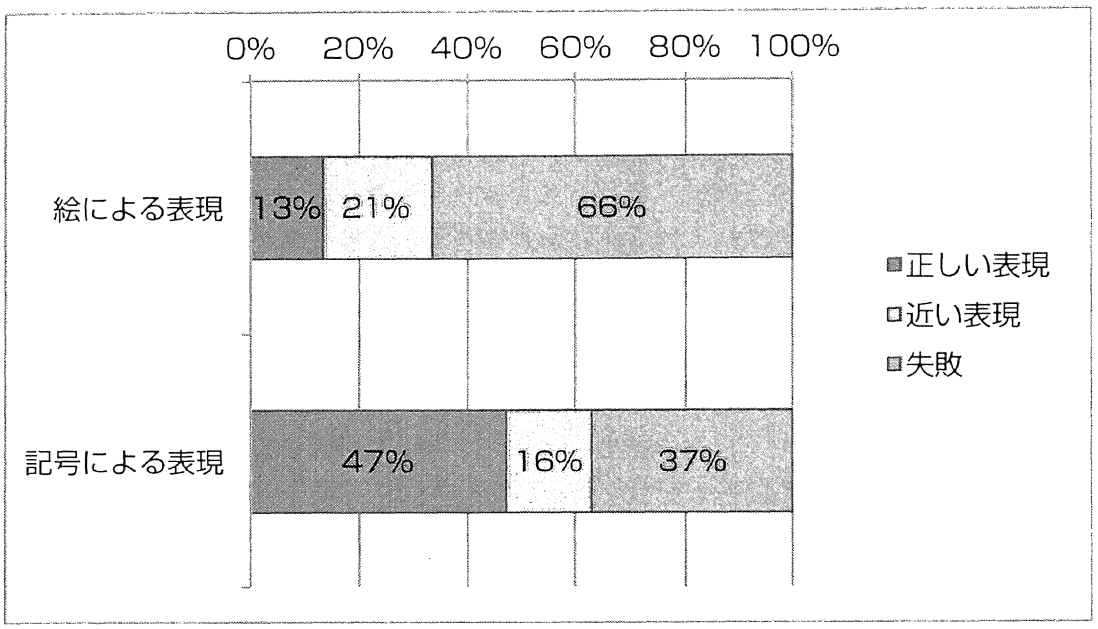

図 5.31: 水平配置の表現手法の比較

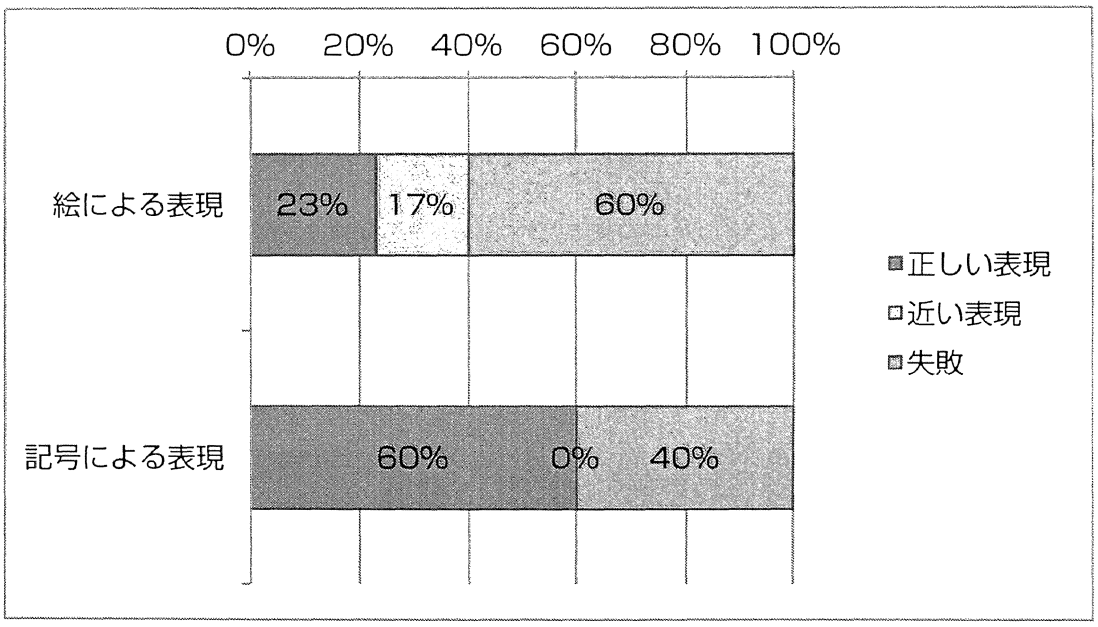

図 5.32: 垂直配置 (1) の表現手法の比較

絵による表現と記号による表現について，正しい表現パターンであるパターン 1 にできた被験者数と，できなかった被験者数についてウェルチの t 検定を行った結果，5%水準において，$(t(22) = 2.736, p = 0.0118)$ と有意差があった．また，差異が大きかったパターン 0 の被験者数についても，絵による表現と記号による表現との差について，スチューデントの t 検定を行った結果，5%水準において $(t(84) = 1.7785, p = 0.0789)$ と有意差はなかった．

垂直配置 (1) について，絵による表現と記号による表現の割合のグラフを図 5.32 に示す．図

5.32 における正しい表現は，パターン 4 にできた被験者の割合を表しており，近い表現はパターン 3，5，6，および 7 の表現の割合を表している．失敗はこれら以外の割合を表している．

垂直配置 (1) については，図 5.32 より，正しい表現であるパターン 4 の割合は，絵による表現では約 23%であり，記号による表現では約 60%と約 2.6 倍に増加した．その一方で，正しい表現に近い表現パターンは絵による表現では 17%であったが，記号による表現では近い表現パターンを行う被験者がいなくなった．また，失敗の表現は 60%から 40%と減少した．

次に，表 5.8 から各表現パターンの頻度をみると，絵による表現では，正しい表現パターンであるパターン 4 や，正しい表現に近い表現パターン，また各失敗パターンなど，様々な表現パターンが見られるが，記号による表現では，パターン 0 と正しい表現であるパターン 4 に 2 分化された．

絵による表現と記号による表現について，正しい表現パターンであるパターン 4 にできた被験者数と，できなかった被験者数についてスチューデントの t 検定を行った結果，5%水準において，$(t(83) = 3.2546, p = 0.0016)$ と有意差があった．

垂直配置 (2) について，絵による表現と記号による表現の割合のグラフを図 5.33 に示す．図 5.33 における正しい表現は，パターン 5 にできた被験者の割合を表しており，近い表現はパターン 2，および 8 の表現の割合を表している．失敗はそれ以外の割合を表している．

垂直配置 (2) については，図 5.33 より，正しい表現であるパターン 5 の割合は，絵による表現では約 36%であり，記号による表現では約 70%と約 1.9 倍に増加した．その一方で，正しい表現に近い表現パターンは絵による表現では 25%であったが，記号による表現では近い表現パターンを行う被験者がいなくなった．また，失敗の表現は 39%から 30%と減少した．

次に，表 5.8 から各表現パターンの頻度をみると，絵による表現では，正しい表現パターンであるパターン 5 や，正しい表現に近い表現パターンであるパターン 2 が多く，また，パターン 8 が見られ，失敗パターンのパターン 0 やパターン 1 など，様々な表現パターンが見られた．記号による表現では，垂直配置 (1) と同様にパターン 0 と正しい表現であるパターン 5 に 2 分化された．

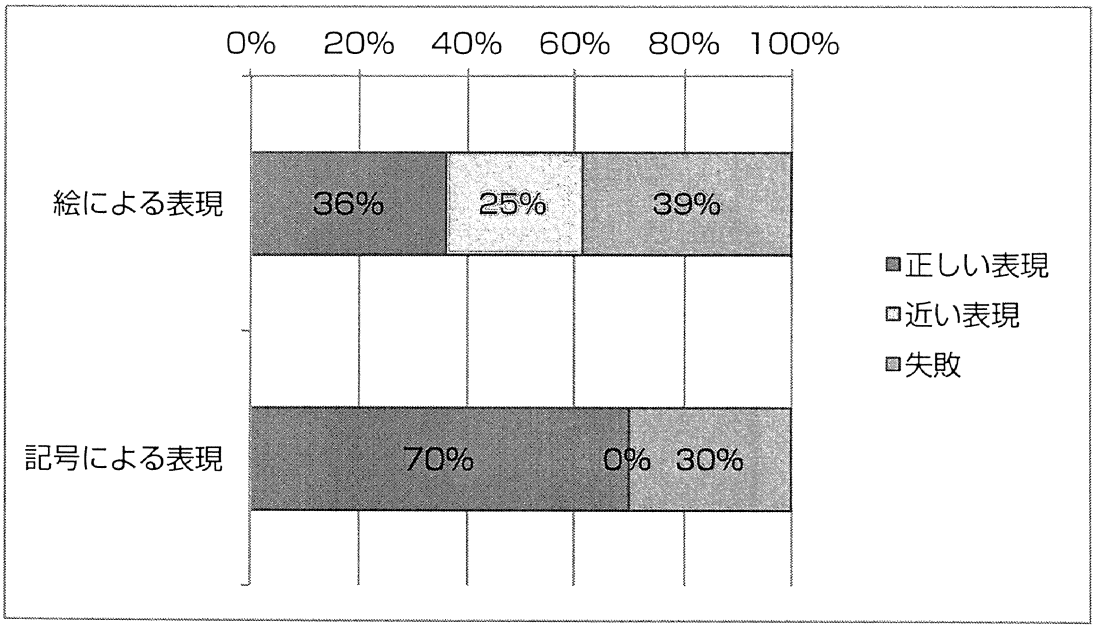

図 5.33: 垂直配置 (2) の表現手法の比較

絵による表現と記号による表現について，正しい表現パターンであるパターン5にできた被験者数と，できなかった被験者数についてスチューデントのt検定を行った結果，5%水準において，$(t(62) = 2.5987, p = 0.0119)$ と有意差はみられなかった．

以上のように水平配置，垂直配置 (1)，垂直配置 (2) のいずれにおいても，絵による表現よりも記号による表現の方が正しい表現パターンにできた被験者が1.9倍から3.6倍ほど増えた．特に水平配置および垂直配置 (1) においては有意差がみられた．

また，絵による表現によって実験を実施した5.6.1の空間表現パターンの分析において，いずれの配置実験においてもパターン0が多く，特に水平配置においてパターン0の表現を行った被験者が多かった．そこで，パターン0が多いのは移動実験との混同や，空間認知能力や空間表現能力によるものである可能性があると考察した．しかしながら，記号による表現では，この水平配置におけるパターン0の表現が大きく減少した．

これは，例えば「家」と「猫」の紙を用いて,「お家の前に猫さんを座らせてあげましょう」のような意味を与えて表現させた場合には，図5.34のような，平面的に，家の紙の上に猫の紙を載せるだけでも「家の前に猫を配置する」という意味合いとしては間違っていない．さらに対象としている4歳から6歳頃の幼児は，普段日常的に行なっている「お絵かき」においても，2.3.1節の幼児の紙への描画における先行研究から，このような平面的な表現を行なっていると考えられる．そのため，水平配置における絵による表現では，パターン0が多くなったと考えられる．しかしながら，記号による表現を用いた場合では，2枚の紙の空間的な位置や向きといった関係にのみ注目を行い，その表現を行ったため，パターン0が減り，一方で正しい配置パターンが増えたと考えられる．同様に，垂直配置 (1) や垂直配置 (2) についても平面的な失敗の表現パターンが減り，正しい表現パターンが増えたと考えられる．

この結果から配置実験は,「家」や「猫」といった「絵」を用いて,「お家の前に猫さんを座らせてあげましょう」といった「意味」を与えて表現を行わせるよりも,「○」や「×」といった単純な記号を用いて,「2枚の紙をこのようにしてください」のような説明によって表現を行わせる方が，より適切に空間表現能力を把握できると考えられる．

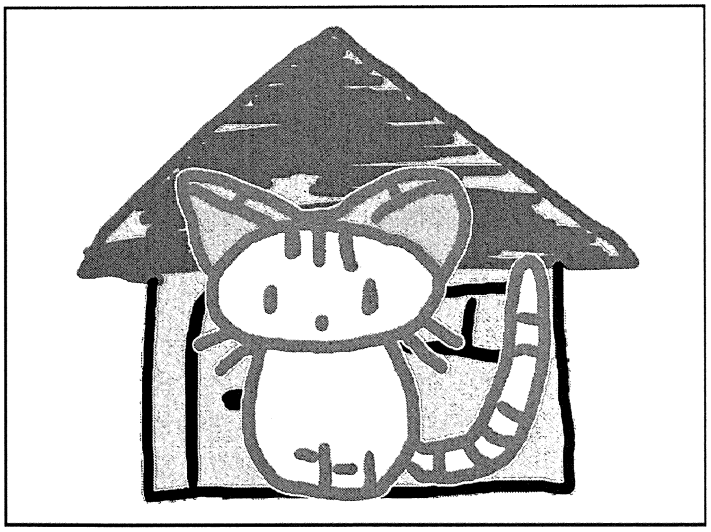

図 5.34: 幼児が普段行なっている表現例

5.9 まとめ

本システムを使用し，幼稚園児に対して，移動実験，回転実験，配置実験を実施し，半年間経過することによる空間表現能力の発達の把握が可能かや，年齢層による発達の把握が可能かについて検討した．

その結果，まず，移動実験については半年経過後の方が所要時間が短縮されるとともに完了割合も高くなった．また，4歳児から6歳児にかけて年齢層が高くなるほど，結果が向上するという様子が把握できた．回転実験については，半年間経過することによって，完了割合には違いが生じなかったものの，所要時間が短縮された．また，年齢層が高くなるほど，結果が向上するという様子が把握できた．これらの結果から本システムにより，ある期間における空間表現能力の移り変わりが把握可能であるといえる．

移動実験および回転実験の男女における差異についても検討し，移動実験は半年間において女子の方が男子よりも大きく平均所要時間が短縮し，回転実験では逆に男子の方が女子よりも大きく平均所要時間が短縮する様子が把握できた．この結果から，男女において移動実験に必要な能力と回転実験に必要な能力の発達が進む時期が異なる可能性があるという知見を得るとともに，その一方で，男女のどちらが先に空間表現能力が発達するのかについての判断を行うためにはより多くのデータが必要であるという知見を得た．

また，移動実験および回転実験では，個人ごとの発達の様子についても分析を行い，個人においても年齢が高くなるほど結果が向上するという結果が得られ，本システムによって個人毎の発達を把握できていることを確認した．また，発達の過程の一時期において結果が悪くなる場合があるという発達過程の特徴の可能性について指摘するとともに，本システムによって幼児の空間表現の特徴が把握できることを明らかにした．

配置実験については，実験の結果，幼児の空間表現の様子を9種類のパターンに分類することができた．被験者の配置パターンは，2枚の紙を同位置に揃えるだけのパターン0の配置が最も多かったものの，垂直配置 (1) および垂直配置 (2) については，説明者が提示した通りの関係の表現が行えた被験者も多くなった．また，半年経過後の方が，垂直配置 (1) および垂直配置 (2) について平面的な表現を行う被験者が減り，一方で立体的な表現がを行う被験者が増えた．年齢層における推移においても，垂直配置 (1)，および垂直配置 (2) について，年齢層が高くなるほど，正しい表現パターンの割合が増える様子を得ることができた．これにより，配置実験によって空間表現の様子の移り変わり，および空間表現能力の発達の様子を把握できたといえる．

また，配置実験の男女における結果の差異について検討した．その結果，水平配置については男子と女子の間の差異はみられなかったが，垂直配置 (1) については，女子の方が男子よりも年齢層が高くなるほど正しい表現に近いパターンが増加するとともに，失敗の表現パターンが減少し，垂直配置 (2) についても，女子の方が男子よりも年齢層が高くなるほど，正しい表現パターンが増えるという様子が把握できた．

配置実験については，配置実験に使用する紙の模様として「家」と「猫」,「地面」と「花」といった「絵」を用いて,「家の前に猫さんを座らせてあげましょう」といった「意味」を与えて表現を行わせるよりも,「○」と「×」といった単純な記号を用いて「2枚の紙をこのようにしてください」のような説明を行い，その表現を行わせる方が結果が向上する結果が得られた．このことから，配置実験に使用する紙の模様には単純な記号などを用いるほうが適しているという知見を得た．

以上の結果から，本システムによって幼児の空間表現能力の発達の様子やその推移が把握できたと考えられる．

6　結論

今日，空間認知能力および空間表現能力が発達段階である幼児を対象とした，空間表現能力の発達の過程の把握に関する様々な研究がなされている．このような研究においては，空間認知能力および空間表現能力の把握を，幼児に何らかの表現をさせ，その表現からこれらの能力を把握する試みがなされているが，本来3Dである空間を2D平面へ投影する必要があることや，描画や言語といったスキルが求められるなどの課題がある．また，幼児期においては，幼児が表現を行う際にイメージする空間は，物理的な3D空間と一致するとは限らず，例えば，重力とは無関係に物体が空中に配置されていることや，3D空間における座標軸の扱いが異なるなどの考慮すべき点も多い．

しかしながら，以上のような課題を解決し，幼児の空間表現能力の発達段階を把握および解明することにより，空間表現能力の発達期である幼児をより早い段階から支援し，創造性や想像性を育む環境を構築することが急務である．そこで本研究では，4歳から7歳の幼児を対象として，コンピュータの仮想3D空間において表現を行わせることにより，空間表現能力の把握，および，発達過程の把握を目的とした3D表現システムを提案した．

まず，空間表現能力について定義を行い，把握するべき能力を整理した．その上で空間表現能力の把握を行うための，幼児に適した空間表現手法を考案するとともに，この考案した空間表現手法を搭載する3D表現システムのインタフェースについて説明を行った．次に，3D表現システムについてまずインタフェース評価のために，幼稚園児に対してインタフェース評価を実施し，インタフェースが幼児に適していることを確認した．また，空間表現能力の発達の把握が可能かについて評価実験を実施し，多角的な検討を行い，本システムの有効性の検証を行った．

得られた結果を以下に示す．

第1章では，幼児を対象とした空間表現能力の把握の現状と問題点を整理することにより，本研究の目的と意義，および重要性を明らかにした．幼児を対象とした空間認知能力および空間表現能力の把握は様々な手法により行われているが，描画や言語といった表現スキルが必要あることや，幼児が表現を行う際にイメージする空間は，物理的な3D空間と一致するとは限らないといった課題が多い．そのため，幼児の空間表現能力の発達過程を，より詳細に把握できたとすれば，空間表現能力の発達期である幼児をより早い段階から支援し，創造性や想像性を育む環境を構築することが期待できる．本論文は空間表現能力が発達段階である幼児を対象とした，空間表現能力の発達の過程の把握を目的とし，幼児に適した空間表現手法の提案と，この表現手法を搭載した3D表現システムの評価結果について述べたものである．

第2章では，本研究の主題となる空間表現能力の定義について説明するとともに，幼児からコンピュータの仮想3D空間内において表現を得るための，空間表現の手法の重要性について指摘した．これを踏まえ，複数の紙を組み合わせることによる表現手法，および，立方体の移動や回転による表現手法を提案した．

第3章では，前章において提案した空間表現手法を搭載した3D表現システムのインタフェースについて述べるとともに，空間表現を把握するための各実験手法のインタフェースについて提案した．また，幼児から空間表現を把握するためには，幼児に適した操作系を用意することが重要であることを述べ，システムに使用する操作デバイスの検討を行い，3Dリモコンが適していることを明らかにした．

次に，本システムのインタフェースの有効性の検討のために，本システムの3Dリモコンにお

ける操作と，一般手法であるマウスとマニピュレータによる操作との比較実験の結果，各実験を完了することができた被験者の割合は本システムの方が高く，さらに完了に必要な所要時間も本システムの方が短かった．さらに，アンケートの結果からも本システムの方が結果が良く，これらの結果から，本システムのインタフェースが幼児に適していることを確認した．また，実験において，幼児はマウスによる操作においてドラッグの操作が苦手であるなどの知見を得た．

第4章では，空間表現能力の発達過程を把握するための各実験手法の有効性の検証には，標準化された手法との比較実験が有効であることを述べた．これを踏まえ，いくつかの知能検査や発達検査から比較に用いる検査の選定を行い，WPPSI知能診断検査が比較対象として適していることを明らかにした．

本システムとWPPSI知能診断検査知能との比較実験の結果，本システムとWPPSI知能診断検査との間に相関があることを明らかにした．また，相関があった検査から知能検査の下位検査において測定可能であると考えられる能力が，どのように本システムにおいて有効に働いたかについて考察した．さらに，知能検査では計測することが難しいと考えられる能力を本システムによって把握できていると考えられることを明らかにした．以上の結果から，本システムによる実験機能は幼児の発達の段階に則しており，これにより，ある側面から見た幼児の発達過程を把握可能であることを確認した．その一方で，WPPSI知能診断検査は本来，空間表現能力を測ることを目的としておらず，空間表現能力の発達段階を把握できているとはいえないことを指摘した．

第5章では，本論文の主題となる3D表現システムによる空間表現能力の把握の評価実験の結果を述べた．半年間隔をおいて2回の実験を受けた被験者の各実験の所要時間は，2回目の実験，すなわち半年経過後の方が有意に所要時間が短縮されるとともに，各実験を完了することができた被験者の割合も向上する結果から，幼児の半年間における空間表現能力の発達を把握できることを明らかにした．また年齢層ごとにおける発達過程の推移について検討し，年齢層が高くなるほど平均所要時間が短縮されるとともに完了割合が向上することを明らかにした．これは空間表現能力の発達に則していると考えられ，幼児の空間表現能力の発達を本システムにより把握できたために結果に差異が生じたと考察し，年齢層ごとの発達を把握可能であることを確認した．

また，これらの実験について男女における比較についても検討した結果，男女によって発達に差異が生じ，2個の立方体を移動し，立方体の位置を合わせる移動実験においては，女子の方が男子よりも結果が良いという知見を得た．また，2個の立方体を回転し，立方体の向きを合わせる回転実験においては，男子の方が結果が良いという知見を得た．これらのことから，男女において，移動実験と回転実験にそれぞれ必要となる能力の発達の進み方に差異がある可能性を明らかにした．

複数の紙を提示し，自由に操作を行ってもらうことにより，自発的に立体的な空間を持つ表現を行うのかを把握するための紙の組み合わせ実験においては，特に指示を与えない限りは立体的な表現を自発的に行なわないという知見を得た．その一方で適切に命題を与えることや，説明を行う事が立体的な表現を得るために有効であるという知見を得た．

また，2枚の模様が描かれた紙を使用して表現を行う実験である配置実験において，「地面」や「花」といった絵が描かれた紙を使用するよりも，「まる」や「ばつ」といった単純な記号を用いるほうが結果が向上したことから，単純な記号を紙の模様として用いることにより，より純粋に空間認知能力および空間表現能力が把握できることを明らかにした．さらに半年ごとに実験を3回受けた被験者を対象として，個人における発達の把握についても検討を行い，個人においても年齢が高くなるほど，移動実験および回転実験の結果が向上することを確認した．また，被験者

によっては3回の実験のうち，2回目において結果が悪化するという結果を得た．この結果から，ある時期において結果が悪化するのは，空間表現能力の発達における，ある特徴を示している可能性があることを考察するとともに，これが特徴であるのかを確認するためには，今後よりサンプルを増やし，より慎重に実験を行う必要性があることを指摘した．

以上の結果から，本システムによって幼児の空間表現能力の発達の様子やその推移が把握可能であることを明らかにするとともに，本システムの有効性を証明した．

謝辞

本研究にあたり多くの方々にお世話になりました．和嶋雅幸教授には，私が学部生の頃から修士課程，博士課程と長い間大変お世話になりました．私がこのように博士論文を書けるようになったのは，常に和嶋教授にご指導いただき，そして辛抱強く付き合っていただいたからに他なりません．研究だけに限らず私を見守って頂き，安心して研究活動を行うことができました．また，私が困っていたり，辛く感じている時に，陰ながら支えていただいたことは，本当に嬉しく，そして励みになりました．心より感謝の意を表します．

岡崎哲夫教授には，研究の進め方をはじめとして，研究との向き合い方や効果的な論文の書き方など多くの助言とご指導いただきました．私の論文を見て頂いた際には，いつでも細かな所まで読んでいただき，そして様々なご助言や意見を頂くことができました．その際のご助言の一つ一つが今の私の論文の礎となっています．また，研究に限らず困ったことなどがあった際には，いつでも温かくご助言をいただけたことは，本当に嬉しく感じています．心より感謝の意を表します．

川上敬教授には，論文だけではなく研究活動全体において多くのご指導とご忠言をいただきました．また，私が研究者の一人として大きく成長することができたのは，川上教授が常に私を学会や研究会をはじめとして，様々な成長する機会を与えて下さったおかげだと考えています．川上教授から頂いた機会を通じて，様々な方々との出会いや，多くの経験をすることができたのは，私にとって何事にも代えがたい貴重なものです．本当にありがとうございます．

新さっぽろ幼稚園園長の吉田深雪先生には，お忙しい中，実験の場を提供していただきました．吉田先生のご助力と幼稚園の皆様のご協力無しには，この論文は完成することができませんでした．実験に際しても，幼稚園児への実験が初めての私に，多くのご助言をいただきました．また，実験にお伺いした際にはいつも私たちを優しく迎え入れていただけたことは大変嬉しく感じています．そして，園児の皆様との実験はとても楽しく，私にとって貴重な体験となりました．新さっぽろ幼稚園の皆様，協力していただいた御父母の皆様，そして園児の皆様に深く感謝いたします．

また実験にあたり手伝っていただいた，中川さん，畑中さん，大江さん，小林さん，吉井さん，安斎さん，山田さん，長谷川さんには大変お世話になりました．実験は私一人の力ではとても困難であったと思います．手伝っていただけたからこそ，私は多くの論文を書くことができ，そしてこの博士論文をまとめることができました．本当にありがとうございます．

そして最後になりましたが，常に私をあたたかく見守り続けてくれた両親に深く感謝いたします．

お世話になりました先生方，そして支えて下さった多くの方々に心から謝意を表し，謝辞と致します．

参考文献

[1] 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

[2] 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

[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] 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

[5] 大泉郷子：幼児の空間探索における眺めの高さのずれと水平面上のずれの補償, 発達心理学研究, Vol.8 ,No.2, pp.133-142 (1997)

[6] David Wechsler, **Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence** , NCS Pearson, Inc., 1967

[7] David Wechsler, **Wechsler Intelligence Scale for Children-III** , NCS Pearson, Inc., 1991

[8] Robert L. Fantz, **Pattern vision in newborn infants.**, Science, Vol.140, No.3564, pp.296-297, April 1963

[9] 山口真美, **赤ちゃんは世界をどう見ているのか**, 平凡社新書, 東京, 2006

[10] 山口真美, **視覚世界の謎に迫る**, 講談社ブルーバックス, 東京, 2006

[11] 山口真美, **乳児の視覚世界—研究方法と近年のトピックスについて**, VISION, Vol.22, No.1, pp.13-19, April 2010

[12] Yumiko Otsuka,Emi Nakato, So Kanazawa, Masami K. Yamaguchi ら **Neural activation to upright and inverted faces in infants measured by near infrared spectroscopy**, NeuroImage, Vol.34, No.1, pp.399-406, January 2007

[13] Emi Nakato, Yumiko Otsuka, So Kanazawa, Masami K. Yamaguchi ら **When do infants differentiate profile face from frontal face? A near-infrared spectroscopic study**, Human Brain Mapping, Vol.30, No.2, pp.462-472, February 2009

[14] Jean Piaget, Barbel Inhelder **La Representation de l'espace chez l'enfant**, Presses universitaires de France, Paris 1977

[15] 関根和生 **幼児における空間参照枠の発達：経路説明における言葉と身振りによる検討**, 発達心理学研究 , Vol.17, No.3, pp.263-271, December 2006

[16] 田口雅徳 **幼児期の描画発達と空間認知の発達との関連**, 広島大学大学院教育学研究科紀要. 第一部, 学習開発関連領域, Vol.50, pp.73-82, February 2002

[17] Georges-Henri Luquet **Le Dessin Enfantin**, Delachaux et Niestle' , Paris, 1927

[18] Glyn V. Thomas, Angele M. J. Silk **An Introduction to the Psychology of Children's Drawings**, New York University Press, New York, 1990

[19] 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

[20] 平井誠也, 竹中郁子, **幼児・児童における円筒形の描画過程の発達的研究**, 発達心理学研究 6(2), pp.144-154, December 1995

[21] 加藤義信, 浜谷直人, 田中義和, 子安増生ら, **「知的リアリズム」再考 –21 世紀の新しい描画発達研究に向けて** , 日本教育心理学会第 43 回発表論文集, pp.94-95, December 2001

[22] Jean Piaget, Alina Szeminska, **The Child's Conception of Geometry**, Basic Books, New York 1960

[23] Oracle Corporation, **Sun SPOT**, http://www.sunspotworld.com/

[24] 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

[25] 田中教育研究所編：田中ビネー知能検査法, 田研出版, 東京, 1987

[26] 京都国際社会福祉センター：新版 K 式発達検査, 京都国際社会福祉センター, 京都, 2001

[27] Marianne Frostig(著), 飯鉢和子, 鈴木陽子, 茂木茂八 (訳)：フロスティッグ視知覚発達検査, 日本文化科学社, 東京

[28] David Wechsler(著), 日本心理適性研究所 (訳)：WPPSI 知能検査手引, 日本文化科学社 (1969)

[29] 中野香苗 , **乳児における数の認知能力 ： 男女比較**, 大阪樟蔭女子大学人間科学研究紀要, Vol.9, pp.237-245, January 2010

[30] 島田由紀子, **幼児の見立て–図形からの見立ての描画発達と性差**, 美術教育学, Vol.32, pp.173-184, March 2011

[31] 田中義和, **幼児の描画における知的レアリズムに関する実験的検討**, 日本教教育学会第 20 回総会発表論文集, pp.342-343, October 1978

[32] 松村暢隆, **幼児の描画における隠れと立体面の表現**, 教育心理学研究, Vol.37, No.3 pp.225-233, September 1989

研究業績一覧

受賞

(1) 鈴木昭弘, 和嶋雅幸, 川上敬, 岡崎哲夫, **幼児の空間認識機構を考慮した直感的インタフェースに関する研究**, 情報科学技術フォーラム論文集, Vol.8, No.3. pp.579-586, August 2009, FIT2009 ヤングリサーチャー賞

(2) 鈴木昭弘, 和嶋雅幸, 川上敬, 岡崎哲夫, **幼児の空間認知メカニズムに焦点をあてた 3D 表現システム**, 第 10 回　計測自動制御学会　システムインテグレーション部門講演会 SI2009 論文集, pp.2069-2072 , December 2009, SI2009 優秀講演賞

(3) 鈴木昭弘, 和嶋雅幸, 川上敬, 岡崎哲夫, **空間表現システムによる幼児期の空間表現能力の発達段階の把握**, 情報処理北海道シンポジウム 2010 講演会論文集, Vol.9, No.3. pp.143-150, October 2010, 情報処理学会北海道支部学術研究賞

(4) 鈴木昭弘, 和嶋雅幸, 川上敬, 岡崎哲夫, **空間表現能力の発達段階を把握するための 3D 表現システム**, 第 11 回　計測自動制御学会　システムインテグレーション部門講演会 SI2010 論文集, pp.2064-2067, December 2010, SI2010 優秀講演賞

(5) 鈴木昭弘, 和嶋雅幸, 川上敬, 岡崎哲夫, **空間表現システムによる表現手法の比較実験**, 電子情報通信学会技術研究報告. ET, 教育工学, Vol.111, No.332, pp.35-40, December 2011, 研究奨励賞

論文

(1) Akihiro Suzuki, Masayuki Wajima, Takashi Kawakami, Tetsuo Okazaki, **Comparison of a 3-D expression system and a Standardized IQ Test for Children**, Human-Computer-Interaction, Vol.4, pp.617-626, September 2011

(2) 鈴木昭弘, 和嶋雅幸, 川上敬, 岡崎哲夫, **幼児を対象とした空間表現システムによる空間表現の発達段階の取得**, 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.10, pp.2973-2983, October 2011

(3) 鈴木昭弘, 和嶋雅幸, 川上敬, 岡崎哲夫, **空間表現能力を可視化するための 3D 表現システムの開発**, 計測自動制御学会論文誌, 投稿中

学会発表

(1) 鈴木昭弘, 和嶋雅幸, **2D ペイントと Wii リモコンによる直感的 3D お絵かきシステムの開発と研究**, 情報システム学会 第 4 回全国大会・研究発表大会, CD-ROM, December 2008

(2) 鈴木昭弘, 和嶋雅幸, 川上敬, 岡崎哲夫, **幼児の空間表現を考慮した直感的な表現システムに関する研究**, HCG シンポジウム 2009, CD-ROM, December 2009

(3) 鈴木昭弘, 和嶋雅幸, 川上敬, 岡崎哲夫, **幼児の空間表現機構を考慮した 3D 表現システムに関する研究**, 電子情報通信学会総合大会講演論文集 2010 年 情報・システム (1), pp.37-38 , March 2010

(4) 鈴木昭弘, 和嶋雅幸, 川上敬, 岡崎哲夫, **空間表現デバイスによる認知空間取得に関する研究**, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010, CD-ROM , June 2010

(5) 鈴木昭弘, 和嶋雅幸, 川上敬, 岡崎哲夫, **幼児の空間表現取得システム "3D ペイントシステム" の開発と評価**, 電子情報通信学会技術研究報告. ET, 教育工学, Vol.110, No.147, pp.1-6, July 2010

(6) 鈴木昭弘, 和嶋雅幸, 川上敬, 岡崎哲夫, **幼児の空間表現システムの開発と評価**, 情報科学技術フォーラム論文集, Vol.9, No.3. pp.637-641, August 2010

(7) 鈴木昭弘, 和嶋雅幸, 川上敬, 岡崎哲夫, **幼児の空間表現システムの開発と評価 -表現システムと知能テストとの比較-**, 情報科学技術フォーラム論文集, Vol.10, No.3. pp.591-596, August 2011