被験者属性・提示装置の違いに着目した空間認識に関する基礎的研究

バーチャルリアリティを用いた住環境提示システムにおける実空間再現性の検討 その3

A BASIC STUDY ON THE SPACE PERCEPTION
WITH DIFFERENT PROPERTIES OF SUBJECTS AND EQUIPMENT OF PRESENTATIONA study on the reproduction of the actual space on the virtual simulation system
for the residential environment design Part 3

小野 浩史*, 平手 小太郎**

Koji ONO and Kotaroh HIRATE

This paper evaluates VR reproducibility found on the real-space screen, by performing some tests for space perception by means of different subject properties and presentation equipment to compare the images on VR and real space. This evaluation obtained the following conclusions.

(1) The degree of space perception can be determined by whether one has architectural knowledge. Subjects with architectural knowledge can show a certain level of space perception during the first VR experience, while other subjects with no such knowledge can acquire the same space perception level as the well-versed subjects after they have repeated VR experiences.

(2) The size of VR image displayed was insufficiently reproduced on the real space. Even a large projector used for this experiment, which was expected to achieve the highest reproducibility of the image size, left room for improvement by means of new image displaying approaches and other means.

(3) Subjects showed completely different space perception between a large projector and a laptop computer for image display. The VR experience by a laptop computer was observed to be effective particularly for space perception.

Keywords : VR, evaluation, space perception, presentation equipment, animation, residential environment

VR、被験者実験、空間認識、提示装置、動画提示、居住環境

1. 序

筆者らはVR技術を建築の設計や顧客へのプレゼンテーションで活用し、その有効性を検討^{1)~2)}してきた。そして、VR技術を実務で活用する中で、空間のイメージをわかりやすく伝えるツールとして有効であるとの体感者から意見が寄せられている。しかし、空間のイメージをとらえる能力には個人差があり、定量的にVR技術の有効性を説明することは難しいこともあり、VR技術の有効性を確認する目的で、被験者実験によるシステムの評価を実施した^{3)~5)}。評価の結果、VR体感自体は設計ツールとして有効であるという結論を得た^{注1)}が、設計段階で重要と思われる空間イメージの誘発にVR体感がどのように影響しているかを判断することはできなかった。そこで、VR体感時に個人が抱く空間に対するイメージは空間認識の違いに起因すると考え、VR体感時の空間認識に関して基礎的な検討をおこなうものとした。

空間認知に関する既往研究では、西鷹ら⁶⁾が街路の記憶に関するスケッチマップ法を採用し、大野ら⁷⁾も記憶に基づき視覚的な手掛りと移動感覚による手掛りを議論しているが、対象が屋外でかつ、目的が被験者の位置を認知させることにあった。後藤ら⁸⁾は模型を対象とし模型寸法を変更することによる容積・高さ・奥行き等の評価を行っているが本研究で取り扱う実空間の評価には応

用できない。空間知覚に関する既往研究では、玉木ら⁹⁾が住宅を対象としたCGと心像活動・メンタルローテーション・視点変換テストの相関を求め、空間知覚能力の高さがCGの理解度に影響する可能性^{注2)}を示唆している。渡辺ら¹⁰⁾は室内空間のボリュームに関して、被験者が映像操作可能なクイックタイムVR^{注3)}を使用し、ボリューム変化を知覚する上で被験者自身の映像操作が有効であるという知見を得ている。ペリーら¹¹⁾は立体視された静止画像を用いてアトリウム空間の注視行動をアイマークレコーダで記録し、空間知覚と広がり感に関して議論している。大井ら¹²⁾は実空間とCGの比較で、首振り行動が空間知覚の違いを生じると結論付けている。しかし、空間知覚に関するいずれの既往研究も空間をイメージすることに長けている被験者を対象とする傾向にある。筆者らが目指すVRシステムでは、一般的な顧客へのプレゼンテーションを想定しており、建築系知識の乏しい、性別・年齢も異なるVR体感者が対象となるため、いずれの既往研究の知見も空間認識の指標とはなり難い。

そこで、都市計画・認知心理学分野で用いられる空間認知の研究や主に室内空間を対象とした空間知覚の研究とは異なる観点^{注1)}から、VR空間と実空間を比較することで、室内全般の色彩や表示装置のスケール等、従来にない検討項目を空間のイメージの違

* 大成建設技術センター 博士(工学)

** 東京大学大学院工学系研究科 助教授・工博

Taisei Technology Center, Dr. Eng.

Assoc. Prof., Grad. Sch. of Eng., The Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

表－1 実験の種類

種類	予備実験	実験1	実験2	実験3
項目	VR体感後の空間認識の向上に関する予備検討	予備実験のフォロー	現地のVR空間と実空間の比較	提示装置面に空間認識への影響の確認
目的	「図面による口頭説明」、「VR体感」、「実空間体感」の各々について空間認識を比較	VR体感し判定後、現地に移動し実空間体感し判定	現地でVR空間と実空間の比較	3種類の提示装置でVR体感し判定後、現地に移動して実空間体感し判定
実験概要	「図面による口頭説明」、「VR体感」、「実空間体感」の各々について空間認識を比較	VR体感し判定後、現地に移動し実空間体感し判定	現地でVR空間と実空間の比較	3種類の提示装置でVR体感し判定後、現地に移動して実空間体感し判定
被験者属性	建築系女子学生 26名 (環境再現被験者実験と被験者共有) 計26名を3人1組で実施	建築系女子学生 15名 非建築系女子学生 17名 計32名を3人1組で実施	建築系女子学生 10名 非建築系女子学生 8名 男性 6名 計24名を2人1組で実施	建築系女子学生 10名 非建築系女子学生 4名 社会人女性 1名 計15名を3人1組で実施
提示装置 ^{注6)}	口頭説明 液晶TV(受動、能動) ノートパソコン(受動、能動)	全被験者口頭説明受ける 大型プロジェクタ、液晶TV、ノートパソコンを受動で体感	全被験者口頭説明受ける ノートパソコンを受動で体感	全被験者口頭説明受ける 大型プロジェクタ、液晶TV、ノートパソコンを受動で体感
VR体感	10分の自動ウォークスルー後、約5分視点操作(受動は実験者操作、能動は被験者操作)	10分の自動ウォークスルー後、約5分視点操作(実験者操作)	最初は10分の自動ウォークスルー後、約5分視点操作(実験者操作のみ) 2回目は実験者操作のみ	最初は10分の自動ウォークスルー後、約5分視点操作(実験者操作のみ) 以降は実験者操作のみ
実空間体感	15分間自由行動	15分間自由行動	2回目は5分程度の自由行動	15分間自由行動
評定方法 ^{注11)}	VR体感後テスト1、実空間体感後テスト2	VR体感後テスト1、実空間体感後テスト2	VR体感後テスト1、実空間体感後テスト2、最後の体感後テスト3 各テスト後に重要視項目を評定	VR体感時、最初はテスト1、2回目はテスト4、最後はテスト3、実空間体感後テスト2 重要視項目も毎回評定

表－2 各実験毎の被験者属性と人数

属性	分類	予備実験	実験1	実験2	実験3
所属	建築系	26	15	12(2)	10
	非建築系	0	17	12(4)	5
VR体感の有無	なし	8	4	5	2
	1～2回	7	15	9	6
	3回以上	11	13	10	7

実験2の
()内は男性

いそのものとして評価することとした。本研究では異なる被験者属性・提示装置に関して、体感を重ねる毎の記憶力テストの結果の差が、被験者がどの程度空間を認識するかの指標になると考え、空間認識に関するテストを実施し、VR空間と実空間を比較することで分析、評価する方針とした。

2. 実験の概要

2.1 実験の構成

実験の種類を表－1に示す。実験構成として、最初に予備実験^{注5)}にて実験手法を確認した。その結果を踏まえ、本実験(実験1～実験3)では全被験者に建物概要に関する口頭説明^{注6)}後、ゲーム用JOYPADで視点位置などを操作(以下、VR操作)する方法で、実験者の操作による体感(以下、受動VR体感)を実施した。対象建物は一般的な戸建住宅とした。各実験で用いた提示装置は異なり、また体感回数に伴って体感方法・評定方法も異なる。なお、各実験で目的が重複する部分もあるが、分析対象項目毎に、各実験のデータを活用することとした。

2.2 被験者

総被験者数は97名である。各実験では3人もしくは2人1組で行動を共にさせた。各実験の被験者属性と人数を表－2に示す。所属により被験者を建築系、非建築系に分け、両者をほぼ同人数とした。また、VR体感の有無も属性として人数分けした。

2.3 提示映像

図－1にVR体感時に使用したウォークスルーの軌跡を示す。本実験で使用したウォークスルーは対象建物を初めて訪れる人を想定し、隅々まで観察できるように歩行速度を0.5m/s程度とした(以下、自動ウォークスルー)。自動ウォークスルーは視点・視線の変化をシナリオ化した映像表示(約10分間)であり、急激な移動・回転は行っていない。軌跡の上に示す矢印は、図－2に示す映像の視点位置を示す。図－2の実空間とVR空間の映像を比較すると、①の屋外に関しては周辺建物の再現も含めVRでは実

図－1 VR体感時のウォークスルーの軌跡

図－2 実空間とVR空間の映像

表－3 VR提示装置一覧

項目	大型プロジェクタ	液晶TV	ノートパソコン
型式	MARQUEE 9500LC	SHARP AQUOS LC-30HV3	DELL LATITUDE C840 PP01X
スクリーンサイズ	幅2.40m×高さ1.80m (傾斜スクリーンを使用しているため有効高さ1.60m)	幅0.62m×高さ0.37m	幅0.30m×高さ0.22m
視点位置	(画面中心から) 約1.7m	(画面中心から) 約0.9m	(画面中心から) 約0.6m
画面解像度	横1024×縦768ピクセル	横1024×縦768ピクセル	横1600×縦1200ピクセル
水平視野角	70度	38度	28度
角度解像度	14.6ピクセル/度	26.9ピクセル/度	57.1ピクセル/度
画面輝度 ^{注9)}	(画面中心) 80cd/m ² (四周平均) 0.2cd/m ²	(画面中心) 152cd/m ² (四周平均) 148cd/m ²	(画面中心) 49cd/m ² (四周平均) 38cd/m ²
描画更新レート ^{注10)} の平均値	30Hz	27Hz	25Hz

空間がよく再現されている。②、③のリビングの映像ではVRの屋光や床面などでの光の反射及び素材の質感などの再現に不十分な点がある^{注7)}が、室内の状況を伝えるには十分であると判断した。

2.4 提示装置

各提示装置によるVR体感状況は前報⁵⁾に示す^{注8)}。表-3にVR提示装置の一覧を示す。スクリーンサイズに関しては、大型プロジェクタ（以下、大型）が最も大きく、次に液晶TV（以下、液晶）、ノートパソコン（以下、ノート）の順番である。スクリーンの大きさと視点位置との関係から水平視野角は大型、液晶、ノートの順番となった。しかし、ノートは他の提示装置と異なり、解像度（画面解像度、角度解像度）が高い。立体視については、すべて立体視用メガネによる偏光フィルター方式を採用している。また画面輝度に関しては、大型プロジェクタのみ四周と中心部に差がある^{注9)}。描画更新レートはほぼ同様^{注10)}である。

2.5 各実験の流れ

図-3に実験1の流れを示す。左側に時間経過を示し、各実施項目の右側括弧内に各々の時間配分を示す。実験1では被験者を3人1組とし、最初に15分間の建物概要に関する口頭説明を行う。次に、1人につき1種類の提示装置でVR映像を15分間体感^{注11)}させ、空間認識に関するテスト（テスト1、後述）に回答させる。その後、実空間体感可能な現地へ移動し、実空間を15分間体感し同様のテスト（テスト2、後述）に回答させる。空間認識に関するテストには個人の能力差があらわれることが予想されるので、テスト1とテスト2の差を分析の対象とする。

図-4に実験2の流れを示す。実験2ではVR提示装置をノートのみ^{注12)}とした。ここで、VR→実空間→VR（以下、VR先行体感）、実空間→VR→実空間（以下、実空間先行体感）という順番で2パターンを異なる被験者に体感させた。空間認識に関するテストはVR体感後と実空間体感後では異なるテストを使用した。3回目の体感後は両被験者とも同様のテスト（テスト3、後述）を実施した。テスト後の評定では各設問対象毎に着目した順位（注目度）を申告させ、実空間体感後は重要視項目を、VR体感後は重要視項目を各設問対象毎に申告させた。

図-5に実験3の流れを示す。実験3では被験者は3人1組で、建物概要に関する口頭説明を受けた後、3人別々の提示装置でVR体感を行う。その後、2回目、3回目と異なる提示装置でVRを体感する。各被験者はVR体感後、実空間のある現地へと移動し、そこでの実空間体感後、テストと評定を行った。なお、実験2と同様、各テスト後に各設問対象毎に着目した順位や重要視項目の申告を行った。

2.6 空間認識に関するテストと評定方法

各体感後に行った空間認識に関するテストについて表-4に設問内容とその設問がどの観点から分類されているかを示した。設問の分類軸は「数量」・「大きさ」^{注13)}・「位置」・「色彩」・「作り」の5つとし、各6問で計30問のテストを構成した。回答は「はい」「いいえ」「わからない」の3択である。更に、体感毎に設問の配列を変更することで、被験者に同一のテストと感じさせないように配慮し、テスト1～テスト4を作成した^{注14)}。予備実験と実験1の結果、テストの得点が向上する詳細な構造を明らかにする目的で、実験2、3ではテスト後、分類軸の中で重要視する項目の評定を付加した^{注15)}。重要視項目の評定では表-4に示す5つの分類軸について、着目した順位も申告させ、設問分類軸毎の空間認

図-3 実験1の流れ

図-4 実験2の流れ

図-5 実験3の流れ

表-4 空間認識に関する記憶力テスト（テスト3の場合）

No.	分類軸	設問内容	正答
1	数量	リビングのダイニングテーブルの上にある照明の数は3つありましたか？	はい
2	数量	2階は2部屋ありましたか？	はい
3	数量	線路側に面する壁に開口部は3つありましたか？	いいえ
4	数量	男性用寝室と女性用寝室を仕切っていた可動式の間仕切り壁（ムーバブルウォール）は4枚でしたか？	いいえ
5	数量	ダイニングチェアは4脚ありましたか？	いいえ
6	数量	畳スペースは3帖ありましたか？	はい
7	大きさ	2階の洋室は4.5帖より大きかったですか？	はい
8	大きさ	玄関（ホール含む）の広さは4.5帖より大きかったですか？	いいえ
9	大きさ	畳スペースの天井の高さは2000mmより高かったですか？	はい
10	大きさ	階段の幅は1000mm未満でしたか？	はい
11	大きさ	畳スペースと床との高低差は250mm以下でしたか？	いいえ
12	大きさ	寝室の天井高さは3000mm以上ありましたか？	はい
13	位置	2階の洋室には、吹き抜けに面して窓はありましたか？	はい
14	位置	1階寝室に入る際、右側の部屋は男性用寝室でしたか？	はい
15	位置	リビングは玄関ホールに入って左側にありましたか？	はい
16	位置	リビングの線路側にウッドデッキはありましたか？	はい
17	位置	階段下に収納はありましたか？	はい
18	位置	キッチンに窓はありましたか？	はい
19	色彩	勝手口の扉の色は白色でしたか？	はい
20	色彩	畳スペース真上の天井は板張りでしたか？	いいえ
21	色彩	リビングの天井はクロス仕上げでしたか？	いいえ
22	色彩	2階の部屋の床仕上げはフローリングでしたか？	いいえ
23	色彩	キッチンの扉の色は茶色でしたか？	いいえ
24	色彩	玄関扉の色は深緑でしたか？	はい
25	作り	リビングに吹き抜けはありましたか？	はい
26	作り	畳スペースのテーブルは掘りごたつでしたか？	いいえ
27	作り	畳スペースの窓は出窓でしたか？	はい
28	作り	2階の洋室はフラット天井でしたか？	いいえ
29	作り	2階にバルコニーはありましたか？	はい
30	作り	キッチンは対面式でしたか？	いいえ

識に関する傾向の違いも検討した。

3. 予備実験

3.1 予備実験の概要

表-5 体感順序毎のテスト結果によるt検定 (予備実験)

	全体	口頭説明	受動	能動	液晶	ノート
VR先行体感	** (12)	** (4)	* (4)	* (4)	* (4)	* (4)
実空間先行体感	** (14)	(5)	* (5)	(4)	(4)	* (5)

予備実験の流れは実験1とはほぼ同様である。ただし、図-3において上から3段目の口頭説明はなくし、4段目の大型体感を口頭説明とした。すなわち、口頭説明^(注16)、液晶でのVR体感、ノートでのVR体感の3種類を行った。VR体感では自動ウォークスルー後、受動VR体感と被験者自身のVR操作による体感(以下、能動VR体感)を準備した^(注17)。また、予備実験の前に各被験者は環境再現に関する評定実験を実施しているが、予備実験への影響は少ないと判断した^(注5)。

さらに、VR先行体感パターンと、実空間先行体感パターンを別々に用意した。被験者は建築系女子学生26名で、その内VR先行体感が12名、実空間先行体感が14名である。

3.2 予備実験の結果

各体感毎のテスト結果(正答数の平均値と標準偏差)をVR体感方法の違い(受動VR体感・能動VR体感)に着目してチャートで図-6に示す。()内に被験者数を示す。体感方法が同じ被験者のテスト結果を平均値と標準偏差に関してチャート化し、チャートの上側には2回目との1回目のテストの平均値の差を示す。また、平均値を示す印の形を変えることでテスト1、2の違いを表現した。全体的傾向として2回目の体感の方が1回目の体感より正答数が多い。1回目のテストを受けることで出題傾向を理解し、その後の体感でわからなかった設問や、間違いの訂正などを行い、2回目のテストに反映したものと考えられるが、本研究では各VR体感方法によって点数の変化に違いがあることに注目^(注18)する。VR先行体感の場合、口頭説明に関して点数の上昇割合が大きく、実空間体感後の標準偏差が小さい。さらに、能動VR体感が標準偏差が大きいことがわかった。この傾向は実空間先行体感の場合も同様である。

表-5にVR体感方法、提示装置の種類毎に体感順序毎のテスト平均値を用いたt検定の結果を示す。全体を対象とした場合、1%有意差がVR先行体感と実空間先行体感両方にあらわれた。口頭説明ではVR先行体感のみ1%有意差があらわれ、実空間体感後の口頭説明は効果が少ないことを示唆している。VR先行体感の場合、各体感種類毎に5%有意差があるが、実空間先行体感の場合、能動VR体感と液晶による体感に有意差がある。つまり、実空間体感後も受動VR体感とノートによる体感 は点数の上

図-7 実験1のテスト結果

図-8 実験2のテスト結果

図-9 実験3のテスト結果

昇割合が大きいことを意味している。これは実空間体感でも空間認識の評定が困難な設問があり、逆にVR体感で初めて認識できる状況があらわれたことを示唆する結果と言える。

4. 本実験

4.1 各実験のテスト結果

図-7に実験1のテスト結果を建築系と非建築系被験者に分けてチャートで示す。建築系に比較して、非建築系被験者の得点が低いことがわかる。

図-8に実験2のテスト結果をVR先行体感と実空間先行体感に分けてチャートで示す。VR先行体感の場合は1回目のVR体感後、実空間での点数の伸びが大きく、実空間先行体感の場合はVR体感後、2回目の実空間での点数の伸びが大きい。つまりVR体感によってテストの点数向上のきっかけが生じ、その後の実空間体感後のテスト結果に反映したためと考えられる。これはテストを実施することにより空間認識に関する能力を評定しようとする本研究の中で、実空間体感後の点数上昇が、ひとつ前のVR体感の影響と判断する理由のひとつである。

図-9に実験3のテスト結果をチャートで示す。実験3では被験者は15人であるが、各被験者が3種類の提示装置を一通り体感する。体感順序は異なるが15人平均では、徐々に点数が上昇する傾向にあることがわかる。

全体的な傾向として、体感を重ねる毎に点数が向上する傾向にあり、各実験の体感状況は異なるものの実空間体感時の点数向上の平均値は3.9に対し、VR体感時の点数向上の平均値は1.8となり^(注19)、実空間には及ばないもののVR空間は体感者の空間認識

図-10 VR空間と実空間の結果比較(実験1)

図-11 設問分類軸毎の正答率・誤答率・非回答率(実験1)

に影響をもたらしていることがわかった。ここで、点数向上は学習効果と言えるが、VRと実空間で同様の効果があることは重要な知見である。

4.2 被験者属性の違いによる比較

図-10に実験1の提示装置の違い、所属で分類したチャートを示す。実空間では建築系被験者の点数が高い。点数の伸びは建築系の場合、ノートが大きく、非建築系被験者の場合、ノートが小さい。これは建築系被験者の場合、実空間体感後の点数が、提示装置に依存しないではほぼ同じ点数となるため、体感時の点数が最も低かったノートの点数の伸びが大きくなったためである。この結果、所属の違いが建築系知識の差を生じると見なせば、建築系知識の差によってVRによる空間認識への影響の度合いが提示装置によっても異なることを示唆している。

次に実験1の設問分類軸毎の正答率、誤答率、非回答率を図-11に示す。建築系知識の差、提示装置に関して図-10と同様の配列である。設問分類軸は5項目であり、各テスト毎に20%の分配となる。非回答率は「わからない」と申告した割合である。実空間体感時におけるノートの「大きさ」に関する正答率の低さが顕著であり、この傾向は非建築系被験者ほど強い。建築系被験者はVRでの「位置」に関する正答率が高い。また、非建築系被験者が特に大型で非回答率が高く、大型と実空間で何に注目すべきかわからない傾向にあることが、自由記述などのコメントからも推察できる。なお、結果は割愛するが、今回の実験では性別差には違いがなく、VR体感回数はわずかに空間認識への影響の可能性が示唆された。

4.3 VR体感と実空間体感の比較

実験2に関して、図-10、図-11と同様に図-12、図-13に結果を示す。ここでは提示装置ではなく、VRと実空間のどちらの体感を先行したかで配列している。VR先行体感の場合、1回目のVR体感後の点数の伸びが大きく、特に建築系被験

図-12 VR空間と実空間の結果比較(実験2)

図-13 設問分類軸毎の正答率・誤答率・非回答率(実験2)

図-14 体感順序の違いによる各設問分類軸の優先度1位の推移と各設問分類軸毎の平均値の差(実験2)

者でその傾向が強い。逆に非建築系被験者は実空間先行体感の場合、2回目の実空間体感での点数の伸びが大きい。これは建築系知識のある場合は最初のVR体感である程度の空間認識が行われ、建築系知識のない場合は体感を重ねることで、空間認識へのVRの影響が強くなることを示唆する結果⁽¹⁹⁾である。実空間体感時の点数向上の平均値は3.6に対し、VR体感時の建築系被験者の点数向上の平均値は1.6、非建築系被験者の点数向上の平均値では1.9で、非建築系被験者ほどVRの活用が有効である可能性を示唆している。

図-13で2回目のVR体感の場合、「位置」・「色彩」・「作り」の正答率が向上していることから、VR体感は空間認識の対象を限定して、より詳細に検討する際に有効であることを示していると思われる。また、1回目のVR体感と実空間体感を比較すると被験者属性毎に同様の傾向を示すこともわかった。

図-14に体感順序の違いによる各設問分類軸の優先度1位の推移と各設問分類軸毎の平均値の差を示す。優先度1位の推移は各設問分類時軸毎に平均値の差と同様の区分・陰影分けであるが、被験者属性に関しては分けていない。優先度1位の推移から「大きさ」と「作り」に関して割合が高く、VR体感と実空間体感では着目している状況が異なっている。平均値の差ではVR体感の

図-15 VR空間と実空間の結果比較(実験3)

図-16 設問分類軸毎の正答率・誤答率・非回答率(実験3)

図-17 体感順序の違いによる各設問分類軸の優先度1位の推移と各設問分類軸毎の平均値の差(実験3)

場合は「大きさ」に関して減少し、実空間体感の場合は「色彩」の点数向上が見られる。つまり、VR装置では「大きさ」に関して曖昧で、「色彩」に関しては実空間のそれに及ばない可能性がある。

4.4 VR体感回数とテスト結果・評価の関係

実験3に関して、図-12、図-13と同様に図-15、図-16に結果を示す。実験3ではVR体感順序毎と最終実空間体感時の点数の推移が確認できる。建築系の場合、2回目まで20点を越え、2回目から3回目の体感時の点数の伸びが実空間体感時の伸びと同等になる。非建築系の場合は序々に点数が伸び、最終実空間では建築系よりも高い点数となった。つまり、建築系知識が少ない体感者へのVR提示は空間認識を向上させるツールとして非常に有効であることを示している。これは、図-16の非回答率が回数の増える毎に減少する傾向にあることから伺える。また他の設問と比較して「大きさ」に関しては正答率が向上しない傾向もわかり、寸法を判断する際のVR装置の弱点があらわれていると言える。

図-17に実験3の各設問分類軸の優先度1位の推移と各設問分類軸毎の平均値の差を示す。VR体感に関して、割合は異なるものの、各設問分類軸全てで優先度1位が申告され、実空間に関しては、「大きさ」と「作り」に大別されている。また、VR体感を重ねる毎に変動はあるものの、「作り」に関する優先度1位の割合が大きい点も注目される。各項目毎の平均値の差では2回目のV

図-18 提示装置の違いによるテスト結果(実験3)

図-19 提示装置の違いによる設問分類軸毎の正答率・誤答率・非回答率(実験3)

図-20 提示装置を変更する毎の各設問分類軸の優先度1位の推移と各設問分類軸毎の平均値の差(実験3)

R体感時に「大きさ」の点数が下がっており、ここでもVR体感による「大きさ」の評価が難しいことを示している。さらに、色彩に関しては体感回数が増えても同様に点数向上がみられ、体感回数を増やすことが効果的であることを示唆した結果と言える。

4.5 提示装置の違いによる比較

図-18に実験3の提示装置の違いによるテスト結果を示す。左側に1回目の提示装置とその装置を体感した被験者の実空間での点数を比較し、右側に3回目の提示装置と実空間での点数を比較している。1回目の提示装置の場合、VR体感直後の点数は実験1とほぼ同様に、各提示装置毎に点数が向上する傾向にある。その後、2回のVR体感を経て体感したVRでは、実験1に比べ点数は高くなっている。点数の伸びは液晶が最も低い。3回目の提示装置と実空間を比較すると、液晶の点数の伸びが最も大きく、提示装置毎に空間認識に関する影響が異なり、また体感を重ねる毎にその状況が変化する可能性が指摘された。

図-19に実験3の設問分類軸毎の正答率・誤答率・非回答率を示す。図-18と同様の配列である。1回目の提示装置の場合、各提示装置間の傾向はほぼ同様であるが、実空間体感後は点数の変化にもみられるように、各提示装置毎に多少異なり、特に液晶の「大きさ」に関する非回答率が高い。これは最初に液晶を体

感した場合、以降大型、ノートとスクリーンサイズが極端に変化し、「大きさ」に関して混乱したためと予想される。

図-20に実験3の提示装置を変更する毎の各設問分類軸の優先度1位の推移と各設問分類軸毎の平均値の差を示す。優先度に関してすべての提示装置で「作り」を1位に申告する傾向にあることがわかる。全体の点数変化の最も大きいのは大型からノートに推移する時で「色彩」、「位置」、「作り」の点数が上がり、「大きさ」の点数が下がっている。これは装置の性能から予想できる結果といえる。また、ノートから大型へ推移する時、優先度の傾向が大きく変化していることから、大型とノートは全く別の空間認識装置として、被験者は捉えていることが考えられる。特に記憶に代表される空間認識に関しては、映像情報を視野内でコンパクトに集約することが可能なノートパソコンでのVR体感が有効であると思われる。

5. 結

異なる被験者属性・提示装置に関して、空間認識に関するテストを実施し、VR体感と実空間体感を比較・分析した結果、以下の結論を得た。

(1) 建築系知識の差が空間認識に影響した。つまり、建築系知識のある体感者の場合、最初の体感である程度空間認識が可能であったが、建築系知識が少ない体感者の場合、VR体感の回数を重ねることで、建築系知識のある体感者とはほぼ同等の空間認識がなされた。

(2) 大きさに関しては、VRでの実空間再現に問題があり、今回使用したVR提示装置の範囲では、大きさの再現に関して最も有効と思われる大型プロジェクトであっても改良の余地がある。

(3) 提示装置の違いに関しては、大型プロジェクトとノートパソコンでは全く別の空間認識装置として捉えられており、特に記憶に代表される空間認識に関しては、映像情報を視野内でコンパクトに集約することが可能なノートパソコンでのVR体感が有効であると思われる。

注記

1) システムの有効性に関しては過去300人を超える被験者のアンケート等で8割以上が高く評価する傾向にあったが、空間認識に関してより踏み込んだ検討は実施していない。

2) 空間認知能力は個人差の大きい能力であるが、被験者属性(建築系知識の有無、性別)に依存すると予想される。

3) Apple Computer社が考案し、一般に円柱面投影図の展開により方位角360度の2次元画像を提示する技術である。

4) 知覚・記憶・思考など、ものごとを知る認識過程を研究対象とするため、抽象的表現が多く、工学的応用が難しいことから参考文献には採用していない。

5) 参考文献4に示す評定実験と被験者を共有している。予備実験では、リビングのみを対象とした環境再現実験を行った後に、口頭説明・VR体感後、実空間を体感している点が被験者の情報量としては追加される。しかし、空間認識に関する情報でないこともあり、予備実験の範疇では問題ないと考えた。

6) 予備実験では提示装置(手法)の違いとして口頭説明とVR体感を比較したが、両者を比較することが分析的に困難であり、また本システムの運用を想定した場合、突然VR体感を行う状況が有り得ないことから、本実験ではVR体感前の事前説明として口頭説明を行った。

7) レンダリングはLightScape3.1を用いてラジオンシティ法により行っている。一方、VR表現の質感を上げるために、屋外は仮想円筒面に周辺写真を貼り付けて使用している。そのため現状では、室内と屋外での明るさの違いを表現することは難しく、VR技術の課題と言える。

8) 参考文献5のpp.55 図-3各提示装置でのVRの体感状況。

9) 立体視用メガネを装着するので実際の輝度は更に低下する。

10) 数値の差は殆どないが、ポリゴン数の多い場面での更新レートは幾分低下し、そのような状況での映像遅延による違和感はノートパソコンが最も大きい。

11) 予備実験同様、10分間の自動ウォークスルー後、実験者の操作による室内外の自由歩行を約5分間行う。

12) VR体感と実空間体感を繰り返すことから、現地へのVR装置持ち込みが可能なノートパソコンを採用した。

13) 「大きさ」は比較による設問の設定が難しく、寸法すなわち数値による判断を使用している点で、他の設問とは異なるが、できるだけ直感的に理解しやすい手法を使用した。

14) 付表-1に各テストの設問配列を示す。各テストは表-1の評定方法内容に対応する。ここで、表-4のNo.12の設問をテスト3、4でNo.13の設問として誤記したためNo.13が重複する結果となった(付表-1)。そこで、後半の設問のNo.13を除き、No.12を欠損値とした。

付表-1

設問配列		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
テスト1	No.	3	8	15	21	28	5	7	16	23	25	2	9	18	24	30	1	11	14	20	27	6	10	17	22	26	4	12	13	19	29
	分類	数	大	位	色	作	数	大	位	色	作	数	大	位	色	作	数	大	位	色	作	数	大	位	色	作	数	大	位	色	作
テスト2	No.	2	5	8	25	29	28	24	15	23	30	3	18	27	14	4	6	1	9	11	21	26	16	12	22	20	13	17	7	10	19
	分類	数	数	大	大	作	作	色	色	位	位	色	数	位	作	位	数	数	数	大	大	色	大	色	位	位	大	大	色	大	大
テスト3	No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15	16	17	X	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	分類	数	数	数	数	数	数	大	大	大	大	大	位	位	位	位	位	位	位	位	色	色	色	色	色	色	作	作	作	作	作
テスト4	No.	19	20	21	22	23	24	14	15	16	17	13	18	25	26	27	28	29	30	7	8	9	10	11	X	1	2	3	4	5	6
	分類	色	色	色	色	色	色	色	位	位	位	位	位	位	作	作	作	作	作	作	大	大	大	大	大	大	数	数	数	数	数

15) テスト3では前々回の体感と比較して、重要視する項目の評定段階が変化した場合はその理由を自由記述させた。

16) 便宜上、口頭説明もVR体感の種類のひとつとして取り扱った。

17) システム運用的には受動VR体感が主流であるが、VRシステムの特徴として体感者自身の操作による臨場感等の向上が考えられるので、体感種類として能動VR体感も準備した。

18) 予備実験では各VR体感方法毎の比較は被験者数が少ないことより、個人的な空間記憶力に関する能力差を排除出来ないで、大局的な傾向のみ検討する。実空間先行体感のテスト2の結果でVR体感方法の違いによって平均値に約3点差があり、被験者数の少なさから個人差の影響が排除できていないことがわかる。

19) 図-7～図-9で#印と##印の平均値を計算し使用。

20) 建築系被験者の場合、1回目の実空間体感時の点数が高いことにより、全体的に伸びが小さくなったと考えられるが、非建築系被験者の場合、体感を重ねる度に点数が上昇する傾向にある(実験3の結果より)ことから、非建築系被験者の特徴として定義できる。

参考文献

1) 小野浩史他:「仮想住環境シミュレーションシステムの開発」, 日本建築学会技術報告集, 第14号, pp. 171-176, 2001. 12

2) 小野浩史他:「集合住宅仮想体感システムの開発」, 日本建築学会技術報告集, 第18号, pp. 393-398, 2003. 12

3) 吉澤望他:「バーチャルリアリティを用いた住環境呈示システムにおける実空間再現性の検討」, 日本建築学会計画系論文集, 第550号, pp. 87-93, 2001. 12

4) 小野浩史他:「住宅仮想体感システムの環境再現に関する評定実験」, 日本建築学会技術報告集, 第19号, pp. 335-340, 2004. 6

5) 小野浩史他:「バーチャルリアリティを用いた住環境提示システムにおける実空間再現性の検討 その2」, 日本建築学会環境系論文集, 第583号, pp. 57-63, 2004. 9

6) 西鷹浩司他:「視覚行動からみた街路空間の連続的認識」, 日本建築学会計画系論文集, 第525号, pp. 233-239, 1999. 11

7) 大野隆造他:「移動時の自己運動感覚による場所の記憶に関する研究」, 日本建築学会計画系論文集, 第560号, pp. 173-178, 2002. 10

8) 後藤剛史他:「形態変化による空間認知に関する研究 その1～4」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1 分冊, pp. 409-416, 2002. 8

9) 玉木俊之他:「空間表象の能力検査に関する研究」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, E-1 分冊, pp. 847-848, 2001. 9

10) 渡辺仁史他:「仮想空間における空間ボリュームの知覚特性の研究」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, E-1 分冊, pp. 713-714, 2001. 9

11) ベリー史子他:「注視行動に着目したアーバン・インテリアの空間知覚に関する研究」, 都市計画論文集, No. 38-3, pp. 721-726, 2003. 10

12) 大井尚行他:「空間知覚に着目したCGと実大空間の比較実験」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1 分冊, pp. 739-740, 2003. 9

(2004年10月8日原稿受理, 2005年3月22日採用決定)