

## 模型と VR を通じた寸法把握特性に関する基礎的研究

○福田 知弘\*<sup>1</sup> 徳原 俊樹\*<sup>2</sup>  
矢吹 信喜\*<sup>3</sup>

キーワード：空間把握 寸法把握 模型 Virtual Reality 印象評価

### 1. はじめに

#### 1.1 研究の背景

建築・都市分野の設計やプレゼンテーションの場面では、文章や図表の他、模型や CG (Computer Graphics), VR (Virtual Reality)<sup>1)</sup>などの三次元視覚化媒体が空間や立体を確認するために使用される。このうち、模型と CG/VR は任意視点からの表現が可能であり、検討や議論の場において有効とされる。模型は、実在する媒体(実在媒体)であり、複数の人々が同時に任意の視点から検討可能なこと、表現された都市全体を一度に把握可能なことなどの利点を有する一方で、歩行者視点からの検討が困難であること、縮小による表現の限界などの課題を抱える。CG/VR は、仮想空間上に表現される媒体(仮想媒体)であり、歩行者や運転者のアイレベルからの検討が容易であること、日射などのシミュレーションや人や車などの動的な表現が可能であることなどの利点を有する一方で、同時に検討可能な視点は通常 1ヶ所に限定されること、直接触れることは不可能であることなどの課題を抱える<sup>2)3)</sup>。このように模型と CG/VR は異なる特徴を有しており、計画・設計の現場ではこれらが併用される現状にある。例えば古賀ら<sup>4)</sup>は、計画・設計段階において、まず設計案に対する発想を広げる段階では模型が用いられ、次いで設計案を収束させる段階で CG/VR が用いられる状況を報告している。

模型と VR が併用される理由は、使用者にとっての作成のしやすさ、操作のしやすさ、コスト、手間、なども考えられる一方で、模型という実在媒体と、VR という仮想媒体による違いも一因ではないだろうか。空間把握とは表現された空間や物体の形、寸法、配置、質感等を把握することを指すが、そのために人間は多くの手がかりを用いる。その手がかりの使われ方は対象物までの距離や観察環境により複雑に関係し合っており、完全に解明されていない。

#### 1.2 既往研究

Siitonen ら<sup>5)</sup>は、VR のウォークスルー手法ならびに模型を内視鏡で撮影する手法をそれぞれ用いて、成果物の目視観察、及び被験者へのインタビューを通じて比較し、制作のしやすさやライティング、空間把握において優れているか検証した。しかし検証結果が数値化されておらず客観性に乏しい。李<sup>6)</sup>は、カーブスクリーンに映した映像を観察する場合に、現実空間と VR 平面スクリーンと比較してどのような差異、影響があるかを調査している。また、媒体を見ることによる空間把握を印象評価した研究として

Witmer ら<sup>7)</sup>は VR の実在感についての操作性、連携性、方向性、減退要素からなるアンケートを開発した。Lessiter ら<sup>8)</sup>は、物質感、没入感、現実感、減退要素からなる新たなアンケートを開発し、Imax2D, Imax3D, コンピュータゲーム、映画の各媒体間での実在感の比較を行い、主因子法で分析した。しかしこれらの研究では、実在感は被験者が別の場所に居たととしても VR の表現する場所内に居ると感じることに定義されており、実在媒体である模型にこの実在感の定義を当てはめることは困難である。

#### 1.3. 本研究の目的

そこで本研究は、模型と VR それぞれの媒体を通じた空間把握の違いに着目する。空間把握のうち寸法把握特性に着目して、ユーザが模型と VR の各媒体を眺めた時、模型と VR のどちらが正確、俊敏に寸法把握しやすいかを印象評価実験を通じて客観的に検証することを目的とする。研究を通じて模型に何らかの有意が認められれば、今後新たなデジタル媒体を開発する際の参考になると期待できる。

### 2. 印象評価実験の方法

#### 2.1. 概要

実験の方法として、同一範囲が表現された模型と VR を交互に被験者に提示し、建物同士の相対的な寸法関係を問う建物高さ比較、絶対寸法を問う建物寸法、模型の縮尺、の 3 項目について質問を行う。

本実験で使用する媒体の対象として、山口県下関市豊前田商店街の一部区画 (100m 四方) とした。建物高さ 3~30m 迄の建物が 30 数棟、地盤は平らである。建物階数や道路幅による寸法の類推が不可能なように、建物は白色、地面は灰色の単色テクスチャを使用した。模型は VR 用のデジタルデータから 3D プリンター<sup>注 1)</sup>を用いて作成している。

観察の方法として、VR は被験者の VR 操作熟達度による評価の変化を避けるため、地面と VR カメラの成す角度を 45 度として、鳥瞰しながら区画を一周するフライスルームービー (以下、ムービー) を作成した<sup>注 2)</sup>。被験者は模型と VR 提示用ディスプレイ (21 inch) を 600mm 離れた位置から水平視する。模型と VR の見え方を限りなく同一にするため、被験者視点からの模型と VR の見えの大きさ、眺める角度、輝度を一致させた。模型はターンテーブル上に載せてあり、360° 回転が可能である (図 1)。

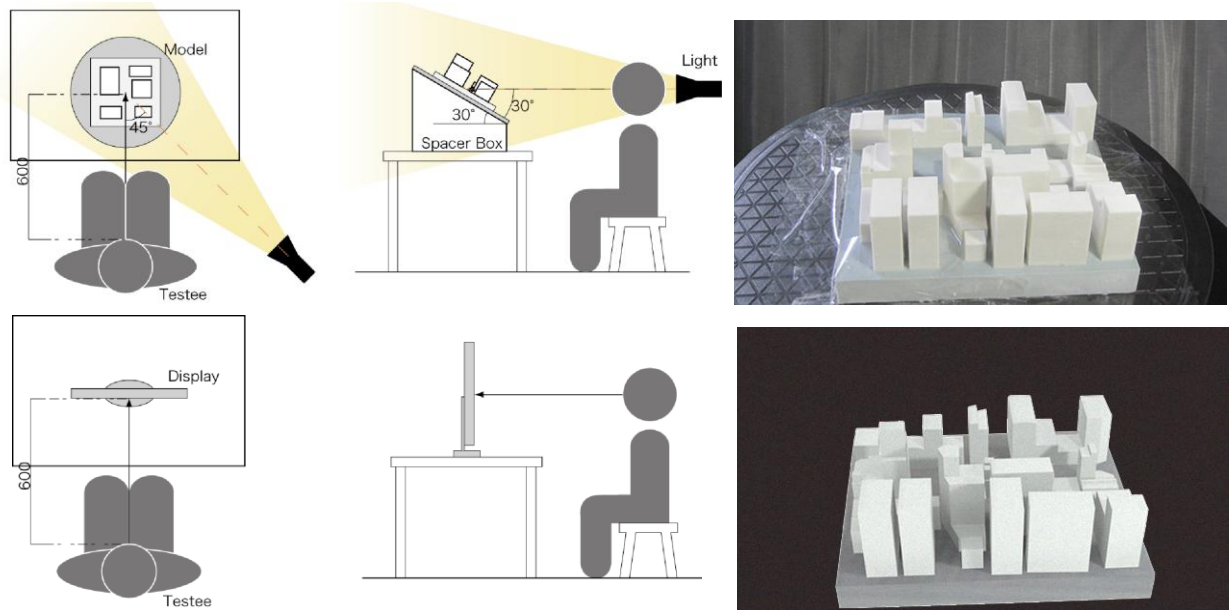


図1 被験者と媒体との位置関係と媒体の見え方（上段：模型，下段：VR）

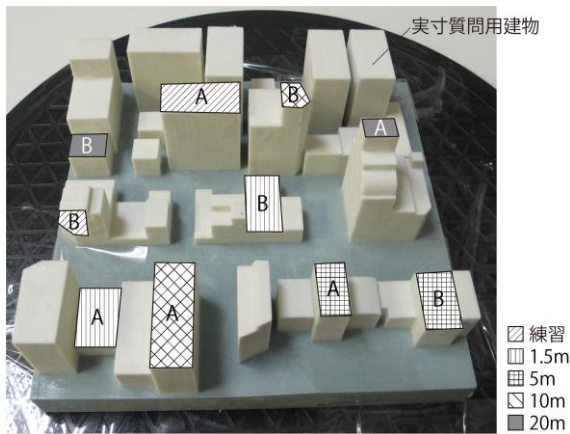


図2 建物高さ比較用建物の組合せ

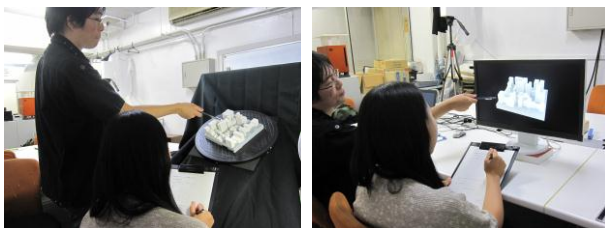


図3 実験風景（左：模型，右：VR）

実験の進め方について述べる。実験開始時に、実験で提示する模型とムービーは日本の地方都市の一部であることを被験者に伝える。この時、対象地に関する知識差や先入観を与えないようにするため、具体名は伏せる。質問を始める前に被験者に模型およびムービーを一周分回転して提示する。

第一の質問は、建物の高さ比較についてである。質問者は模型、ムービーを順に被験者に提示する。区域の中で高低差の異なる2棟の建物を指示し、被験者は2棟のうち高

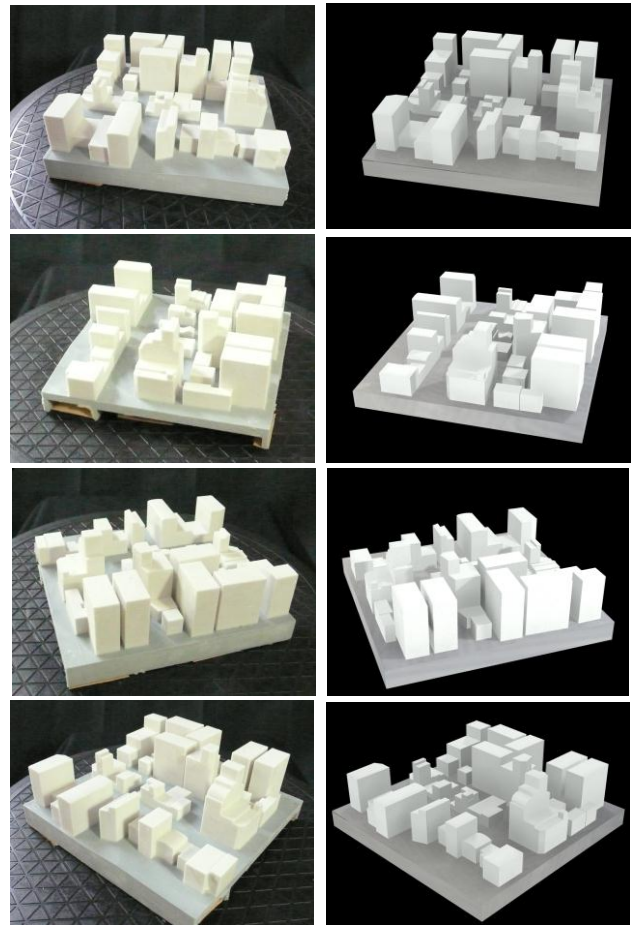


図4 各高低差での質問用視点  
（最上段：1.5m，中上段：5m，中下段：10m，最下段：20m）

い方を回答する。質問者は建物を指示するタイミングにより印象が変化することを避けるため、各媒体とも静止視点で提示する。指示する建物の組み合わせは4通りとして、

実スケールにおいて建物高低差 1.5m (建物 A: 6.5m, 建物 B: 5m), 5m (建物 A: 15m, 建物 B: 10m), 10m (建物 A: 18m, 建物 B: 28m), 20m (建物 A: 30m, 建物 B: 10m) の 4 種類である。各被験者は斜め 30 度から眺める。図 2 に高さ比較用建物の組合せ, 図 3 に実験風景, 図 4 に各高低差での質問用視点を示す。

第二の質問は, 建物高さ実寸についてである。質問者は模型, ムービーを順に提示し, 建物 (図 2 中, 実寸質問用建物) の実際の寸法を質問する。被験者は, 模型に対する質問には模型上で何 mm に見えるかを回答し, ムービーに対する質問には仮想空間上で何 m に見えるかを回答する。

第三の質問は模型の縮尺についてである。各質問の後, 回答終了合図までの時間を回答時間としてストップウォッチで計測した。

実験は, 2011 年 9 月 24 日 (土) ~ 30 日 (金) に実施した。被験者は大阪大学を中心とした学生 24 名であり, 全て 20 歳代である。内訳は, 男性が 16 名, 女性が 8 名である。尚, 提示した媒体の順序による印象の変化を避けるため, 模型を先に提示する被験者と, VR を先に提示する被験者を半数ずつとした。

### 3. 結果

#### 3.1. 分析方法

建物高さ比較に対する回答は 5 段階とし, 「A が高い」を 1, 「どちらかといえば A が高い」を 2, 「同じ」を 3, 「どちらかといえば B が高い」を 4, 「B が高い」を 5 というように番号を付ける。正答は, 建物高低差 1.5m, 5m, 20m の場合に 1, 10m の場合に 5 となる。そして各質問での正答と回答の差の絶対値の平均と分散を算出した。回答時間は平均回答時間とした。建物高さ実寸および模型縮尺への回答は, ①模型上での高さ  $H_a$  (単位 mm), ②VR 上での高さ  $H_b$  (単位 m), ③模型上での高さ  $H_c$  (単位 mm) として, それぞれの正確な高さ  $H$  (①は 50mm, ②と③は 25m) からの乖離率  $D$  (式 1) の平均と分散を算出した。回答の分析は被験者全体の他, 先に提示した媒体別, 被験者の演習経験別, 性別での比較を行った。

$$D_x = |1 - H_x / H| \quad (x=a, b, c) \quad (式 1)$$

#### 3.2. 被験者全体での分析

高さ比較の正確性についての結果を表 1 に示す。まず, 模型で高低差 10m, 20m の場合ならびに VR で高低差 20m の場合には全員が正解した。高い建物を的確に判断できる高低差であるといえる。次に, 高低差 1.5m の場合では 5%有意差水準, 高低差 5m と 10m の場合では 1%有意差水準で, 模型による回答のほうが VR による回答よりも正確に回答していることが明らかになった。

回答時間についての結果を表 2 に示す。高低差 1.5m, 5m, 10m の場合では 1%有意差水準で, 20m の場合では 5%有意差水準で, 模型のほうが VR よりも回答時間が短い。以上のこと

表 1 建物高さ比較の正確性 (N=24)

高低差(m)	媒体	正答	平均得点	平均-正答	分散
1.5	模型	1	1.29*	0.29	0.71
	VR	1	1.71	0.71	1.54
5	模型	1	1.13**	0.13	0.19
	VR	1	1.92	0.92	0.99
10	模型	5	5.00**	0	0
	VR	5	3.96	1.04	1.29
20	模型	1	1.00	0	0
	VR	1	1.00	0	0

無印: 有意差なし, \*: 有意差 5%水準, \*\*: 有意差 1%水準

表 2 建物高さ比較の平均回答時間 (N=24)

高低差(m)	模型(s)	VR(s)	模型-VR(s)
1.5	2.01**	3.29	-1.28
5	2.48**	4.38	-1.90
10	1.98**	3.85	-1.87
20	1.55*	2.38	-0.83

無印: 有意差なし, \*: 有意差 5%水準, \*\*: 有意差 1%水準

表 3 建物高さ実寸及び模型縮尺の正確性 (N=24)

	模型(D <sub>a</sub> )	VR(D <sub>b</sub> )	模型×縮尺回答(D <sub>c</sub> )
乖離率平均	22.50%	72.20%	130.30%
分散	0.17	1.21	5.78

から模型のほうが VR よりも建物高さを速く正確に比較できることが明らかになった。

建物高さ実寸, 模型縮尺に対する回答の分析を表 3 に示す。比較した 3 項目のうち模型による回答が正解からの乖離率が最も低く, また被験者によるばらつきも少ないことがわかる。一方, 被験者が回答した縮尺の値は分散が大きく, 模型×縮尺回答とした場合には乖離率平均は VR よりも大きくなった。

#### 3.3. 媒体提示順による分析

模型を先に提示した集合と VR を先に提示した集合の回答結果を高低差ごとに t 検定を行う。結果を表 4, 5 に示す。回答の正確性, 回答時間も有意差が見られなかった。この結果に

表 4 媒体提示順での建物高さ比較の正確性 (N=24)

高低差(m)	媒体	正答	平均		分散	
			(模型が先)	(VRが先)	(模型が先)	(VRが先)
1.5	模型	1	1.08	1.50	0.08	1.15
	VR	1	1.42	2.00	0.41	2.31
5	模型	1	1.00	1.25	0	0.33
	VR	1	1.83	2.00	1.31	0.62
10	模型	5	5.00	5.00	0	0
	VR	5	4.25	3.67	0.85	1.44
20	模型	1	1.00	1.00	0	0
	VR	1	1.00	1.00	0	0

無印: 有意差なし

表 5 媒体提示順での回答時間 (N=24)

高低差(m)	先に提示する媒体	模型(s)	VR(s)	模型-VR(s)
1.5	模型	0.96	1.43	-0.46
	VR	1.68	2.94	-1.26
5	模型	0.72	1.35	-0.64
	VR	2.12	3.38	-1.26
10	模型	3.00	3.04	-0.04
	VR	1.58	3.64	-2.06
20	模型	0.60	0.60	0.00
	VR	1.43	2.87	-1.44

より、2章で示したとおり、提示した媒体の順序による印象の変化を避けることができたといえる。一方、回答時間において、模型を先に提示した被験者集合による模型とVRの回答時間の差は、VRを先に提示した被験者集合によるそれと比較すると、いずれも小さい。この理由として、模型を先に眺めたことにより、VRで回答する際に全体のイメージを把握していたことが考えられる。尚、性別による差は見られなかった。

#### 4. まとめ

本研究では、空間把握をテーマとして寸法把握特性に着目し、被験者がVRと模型の各媒体を眺めた時、VRと模型のどちらが正確、俊敏に寸法把握しやすいかを客観的に把握することを目的とした。そのため、日本の地方都市の一部を模型とVRで表現し、建物の高さ比較、建物高さの実寸法、模型の縮尺に関する実験を被験者24名を対象として実施した。結果、被験者は模型のほうがVRよりも速く正確に寸法把握していることが示された。

比較実験を実施する際には、因子以外の条件を同一にすることが求められる。本研究では寸法把握特性を明らかにするために模型とVRの絶対寸法と被験者からの見えを同一にすることが求められた。そこで今回はRP (Rapid Prototyping) 技術の一つ、3Dプリンターを用いてデジタルデータから模型を作成し、両者の寸法は同一とすることができた。仮に、模型を伝統的な手作業で、VRをCADでそれぞれ作成した場合には、寸法の同一化は中々困難であり、このような実験環境の整備においても情報通信技術の恩恵を受けることができた。

今後の課題として、市民参加型による計画・設計プロセスが増えており、その現場で模型やVRを使用する機会も多いことから、建築分野の専門家、非専門家による寸法把握の違いを調査することも必要である。本研究において、被験者には建築・都市・土木分野の設計課題経験者9名、課題未経験者15名が含まれていたものの、特筆すべき違いは見当たらなかった。この要因の一つとして、被験者は全て学生であり課題経験者の年数は最大3年と比較的短く、専門性に差が生じるほどの経験ではないことが考えられる。

#### 【謝辞】

印象評価実験に協力頂いた諸氏に、謹んで感謝の意を表す。

#### 【注】

注1) 模型はZPrinter650を使用して作成しており、デジタルデータと模型の誤差はかなり小さいといえる。

注2) 予備実験ではVRについて立体視による評価も検討した(Olympus Power3D Media Player with 3D-Glassを使用)。VRは実寸で作成しており、VR映像の見えの大きさを模型と同一にした場合、立体視による効果はほとんど感じられなかった。そのため、本実験では、立体視を用いていない。

- 1) T. Fukuda, et al.: Citizen Participatory Design Method using VR and a Blog as a Media in the Process, Int'l Journal of Architectural Computing, Issue 02, Volume 07, pp.217-233, 2009.7.
- 2) 国土交通省:国土交通省所管公共事業における景観検討の基本方針, <http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha07/13/130330/01.pdf>, 2007, (参照 2012-10-03)
- 3) 中林拓馬, 加戸哲太, 平沢岳人: 拡張現実感と模型を用いた建築設計用ツールの開発, 日本建築学会技術報告集, Vol.17, No37, pp.1053-1056, 2011.10.
- 4) 古賀元也, 鶴心治, 多田村克己, 大貝彰, 松尾学: 景観まちづくりにおける空間イメージ共有手法に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 第73巻, 第633号, pp.2409-2416, 2008.11.
- 5) Petri Siitonen: Future of Endoscopy Updated, 2nd EAEA Conference, pp.69-73, 1995.
- 6) 李娜: 実空間と仮想空間の距離知覚に関する研究, 九州大学大学院芸術工学府 芸術工学専攻修士論文, 2009.
- 7) B.G.Witmer, M.J.Singer: Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire, Presence, Teleoperators and Virtual Environments 7, 225-240, 1998.6.
- 8) J.Lessiter, J.Freeman: A Cross-Media Presence Questionnaire: The ITC-Sence of Presence Inventory, Presence, Teleoperators and Virtual Environments 10, 282-297, 2001.

- 
- \*1 大阪大学 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 准教授 工博
  - \*2 大阪大学 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 博士前期課程
  - \*3 大阪大学 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 教授 Ph. D.

---

#### 【参考文献】