# 全天球カメラを用いた視覚シミュレーションによる合意形成の検証
## － 建築計画におけるワークショップを事例とする

○西田　智裕*1　伊藤　孝紀*2
深町　駿平*3　杉山　弓香*4
秀島　栄三*5　伊藤　孝行*5

キーワード：合意形成 視覚シミュレーション 全天球カメラ 建築模型 ワークショップ 体感性

### 1.　研究の背景と目的

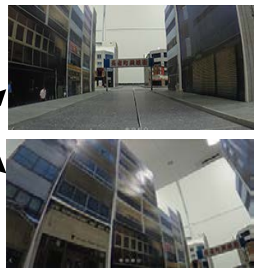
近年，建築設計や空間デザイン分野では，多様なステークスホルダー間の合意形成プロセスが必要と明らかにされている[1]。また合意形成の場として，まちづくりワークショップ（以下，WS）があるが，その有用性は錦澤ら[2]により明らかにされている。WS において，参加者らが敷地のイメージを共有できると，より良い合意形成となる期待がある。そのため WS に模型，スケッチ，写真，VR（Virtual Reality）などの視覚化媒体を用いることがある。模型の中でカメラを用いてアイレベルで撮影することにより，視覚シミュレーションができる。視覚シミュレーションによる模型空間は，実空間と全体的に一致しており[3]，WS での利用も有効であると，三宅ら[4]により明らかにされている。

一方，近年の技術革新により 1 度の撮影で，その地点の全方向を記録することができる全天球カメラが開発されている。従来のカメラにて多様な視野角を得るには，多数の撮影を行うか，リアルタイムでレンズ方向を操作する必要がある。それに対して，全天球カメラは 1 度の撮影により，その地点の多様な視野角を得られる優位性がある。全天球カメラの撮影画像と視野角の例を図 1 に示す。

そこで本研究では，従来のカメラに比べて多様な視野角を得やすい全天球カメラを WS に用いた場合に，WS に対する合意形成への効果を明らかにして，合意形成の手法として有効であるか検証することを目的とする。検証の手順は，①「WS に適したカメラの検証」②「WS に適した全天球カメラの画像出力装置の検証」③「WS での全天球カメラによる視覚シミュレーションの検証」の順で行う。

本研究の研究対象は，文字や数値だけよりもイメージ共有し易い合意形成ができる模型作りを伴う WS とする。

全天球カメラの撮影画像



視野角の例

図 1 全天球カメラの撮影画像と視野角の例

### 2.　従来研究と本研究の位置付け

視覚シミュレーションを，建築設計や空間デザイン分野で利用する研究や報告が，いくつかある。初期の研究として，模型とカメラを組み合わせた研究[3) 4)]がある。これら研究の課題として，建物の背景となる空や遠景などの表現が乏しい点がある。この問題を解決するために瀬田ら[5)]らは，模型とカメラによる画像と実際の空や遠景などの画像を合成により，臨場感のある視覚シミュレーションが可能であると報告している。また大野ら[6)]は，人や車などの動的環境要素をリアルタイムで合成する報告を行っており，動的環境要素が空間の雰囲気に及ぼす影響について，ある程度の有効性を確認している。これらの研究は，模型とカメラによる模型空間を，画像の合成により実空間へ近づける研究であり，本研究とは，目的も手法も異なる。

一方，CG（Computer Graphic）による VR を視覚シミュレーションとして活用した研究もある。孫ら[7)]は，模型と CG による VR の連携システムにより，リアルタイムに変更可能な任意視点を得られている。CG による VR は，模型内にカメラが設置できない場所でもアイビューを得られる点で優れているが，その作成コストが高いという課題がある。すなわち，模型作りを伴う WS において，作成された模型を直ぐに視覚シミュレーションへの反映が難しいと言える。本研究は，視覚シミュレーションの作成コストが小さいので，模型作りを伴う WS の利用に適している。

福田ら[8)]や Lei ら[9)]は，CG によるクラウドコンピューティング型 VR により，分散同期型の会議を実現している。これらの研究も CG による VR であるので，模型作りを伴う WS には適さない。本研究は，分散同期型の WS を研究対象としていないが，全天球カメラの画像データを取り扱うので，近年普及しているクラウドコンピューティングによるファイル共有とマルチ通話システムにより，分散同期型に準ずる WS を実現できる期待がある。

### 3.　WS に適したカメラの検証

全天球カメラの画像は，1 度の撮影でその地点から全方向を見られる回転画像であり，従来のカメラによって撮影された画像と異なる。どちらの画像による視覚シミュレー

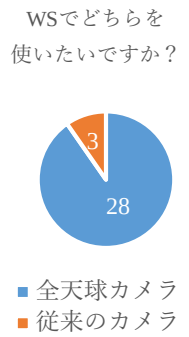



図 2　カメラの評価結果

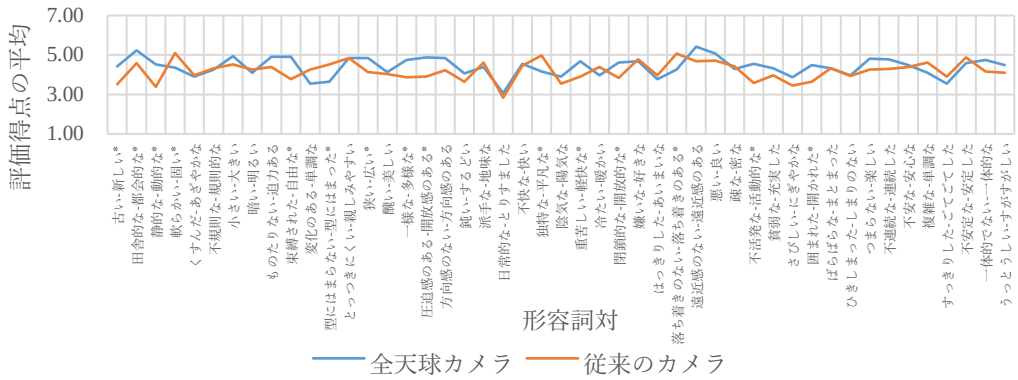



図 3　カメラ別の評価得点の平均　（t 検定の結果 * p<0.05）

ションを WS に用いたいかは，明らかでない。そこで 2 つの画像による視覚シミュレーションを比較検証する。

### 3. 1.　実験装置

全天球カメラには，設置面からレンズの高さを 200mm と低くできる「RICOH」社製の「THETA S」を用いた。従来のカメラには，レンズの高さを「THETA S」と同様にできる「Apple」社製の「iPhone6」を用いた。「THETA S」画像のアスペクト比は自在だが，「iPhone6」画像は 4:3 であるので，この実験の画像アスペクト比を 4:3 とした。

評価対象地は，建物の高さに変化があり，道路にアーチ状の構造物がある名古屋市中区の長者町繊維街を選定し，その 1 地点を評価地点と定めた。評価地点の画像の撮影は，レンズの高さ 200mm によりアイレベルの視覚シミュレーションを可能にする 1/75 の縮尺模型にて行った。縮尺模型は，スチレンボードにより建物と地面を作成した。レンズの高さ 200mm で撮影したときに，アイレベルの視覚シミュレーションとなるように，実空間で 1500mm の高さから従来のカメラで撮影したカラー写真を張り付けた。模型全体の大きさは，幅 1500×奥行 1000mm である。

画像閲覧は，高さ 700mm のテーブル上に，アスペクト比 16:9, 画面サイズ 24 インチのディスプレイを設置して，高さ 450mm の椅子に着席して行った。椅子の先端からディスプレイまでの距離は，860mm とした。

### 3. 2.　評価方法

WS に適したカメラと，視覚的効果について評価するために，紙面でのアンケート評価を行った。視覚的効果の評価項目は，既往研究 [3)]と同様の SD（Semantic Differential）法による 47 形容詞対の 7 段階尺度を用いた。

### 3. 3.　実験内容

ディスプレイへ評価地点の画像を表示して，被験者に評価させた。被験者は全天球カメラの画像と，従来のカメラ画像を，それぞれ評価した。各カメラ画像の提示順序はランダムとした。全天球カメラの画像は，被験者の任意で視野を全方向へ回転できるので，従来のカメラも任意の視野を選択できるように，同一地点から水平方向に 45 度ずつ回転した 8 方向の画像を撮影して用いた。

被験者は，名古屋工業大学建築・デザイン系の学生，男性 20 名，女性 11 名である。

### 3. 4.　実験結果・分析・考察

カメラの評価結果を図 2 に，カメラ別の評価得点の平均とその差の検定（t 検定）結果を図 3 に示す。

図 2 より, WS に用いる視覚シミュレーション用として，従来のカメラより全天球カメラの画像を使いたいとわかる。図 3 より，全天球カメラは「自由な」「落ち着きのない」「開放感のある」など 15 項目に有意差があるとわかる。

これらより全天球カメラは，任意の視野角が得られる自由さ・開放感や，画像を回転できる爽快感により，全天球カメラを WS に使いたいと評価したと考えられる。

## 4.　WS に適した全天球カメラの画像出力装置の検証

全天球カメラの画像は，ディスプレイやヘッドマウントディスプレイ（以下，HMD），スクリーン，ドーム型スクリーンなど様々な出力装置にて出力できる。しかし WS において，どの出力装置による視覚シミュレーションが適しているかは，明らかでない。そこで WS において出力装置の異なる視覚シミュレーションを用意して比較検証する。

本研究の研究対象は WS であるので，前述した出力装置から大型となるスクリーンやドーム型スクリーンを除いたディスプレイと HMD を検証する。また近年，コストや技術的な面でマルチディスプレイによる表示が容易となっているので，左右に視野を広げた 3 台のディスプレイによるマルチディスプレイ（以下 3MD）も対象とする。

### 4. 1.　実験装置

ディスプレイは，3 章と同様のディスプレイを 3 台用いた。HMD には，スマートフォン「iPhone5」とプラスチック製のゴーグル「Rakuya VR ゴーグル」を 4 台（被験者の人数分）用いた。HMD の画像は，「THETA S」アプリの「VR ビュー（2 眼）」を用いた。ディスプレイと HMD は，幅 1500×奥行 900×高さ 700mm のテーブル上に設置した。また高さ 450mm の椅子をテーブルの半面を取り囲むように 4 脚配置した。WS で意見の記述は，74×74mm の付箋紙を幅 900×高さ 1670mm のホワイトボードに張った。評価対象地は，3 章と同様の長者町繊維街と定めた。

### 4. 2.　評価方法

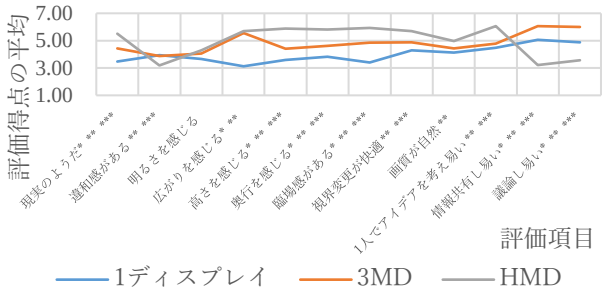



図 4　出力装置別の評価得点の平均　（t 検定の結果

* 1D:3MD p<0.05, ** 3MD:HMD p<0.05, *** 3MD:HMD p<0.05）

出力装置別の空間評価と WS にて想定される行為について，紙面でのアンケート評価を行った。空間評価項目は，既往研究 [10]を参考に，SD 法による 9 項目，WS にて想定される行為は 4 項目の 7 段階尺度を用いた。

### 4.3.　実験内容

1 台ディスプレイ・3MD・HMD の出力装置による視覚シミュレーションを用いた WS を実施した。WS では，議論となるように 4 人を 1 チームとし，テーマは，アーチ改修とした。WS は，以下の手順で行った。

①模型内のアーチ南側 400mm 地点と，アーチ北側 400mm 地点を撮影する。②1 台ディスプレイ，3MD，HMD ×4 台での視覚シミュレーション方法を説明する。③3 種類の画像を用いながら，アーチ及び周辺の課題抽出を，「ブレインストリーミング法」[11]により行う。④「KJ 法」[11]により課題をグループ分けする。⑤改修のアイデア出しを「ブレインストリーミング法」により行う。⑥「KJ 法」によりアイデアをグループ分けする。

撮影 2 地点の表示順序と，出力装置の閲覧方法の説明は，被験者チーム毎にランダムとした。グループ分けができるように，課題抽出と改修のアイデア出しでは，1 つの意見を 1 枚の付箋紙に書かせた。またグループ分けは，付箋を動かして行い，グループの意味を被験者らが理解し易くするために，グループの名称を付けるように指示した。

被験者は，名古屋工業大学建築・デザイン系の学生，男性 21 名，女性 11 名で構成した 8 チームである。

### 4.4.　実験結果・分析・考察

出力装置別の空間評価と WS での利用について評価得点の平均とその差の検定（t 検定）結果を図 4 に示す。

図 4 より，1 台ディスプレイと HMD との空間評価の比較で，8 項目について有意差があるとわかる。また 3MD と HMD との比較でも，6 項目について有意差があるとわかる。これより，比較した 3 つの中で HMD が最も空間認識を支援する効果があると考えられる。

図 4 の WS での利用について評価より，3MD が他の 2 つと比べて「情報共有し易さ」と「議論し易さ」の項目に有意差があるとわかる。また，HMD が他の 2 つと比べて「1 人でアイデアを考え易い」の項目に有意差があるとわかる。これより 3MD が，対象地のイメージ共有に効果があると考えられる。HMD は現実の視野を絶つことで，1 人でアイデアを考え易くなるが，議論がし難くなると考えられる。

図 5　模型作り WS の様子

WS では 1 人で考える場合と議論する場合があるので，1 人でアイデアを考え易くなる HMD と，議論し易くなる 3MD を，WS に用いることが適していると言える。

## 5.　WS での全天球カメラ視覚シミュレーションの検証

模型作りを伴う WS に，全天球カメラによる視覚シミュレーションを用いた場合の有効性は，明らかでない。そこで模型作りを伴う WS に全天球カメラによる視覚シミュレーション有りと無しで，その効果を検証する。

### 5.1.　実験装置

作業スペースとして，幅 1800×奥行 1200×高さ 700mm のテーブルを用いた。視覚シミュレーション有りでは，そのテーブル上に 3MD と HMD を設置した。また 3 章で用いた模型を，高さ 700mm の別テーブルに設置した。模型作成用にスチレンボード，ケント紙，トレーシングペーパー，プラスチック版，丸棒などの模型材料を用意した。WS での意見の記述は 4 章と同様の方法で行った。

### 5.2.　評価方法

WS にて想定される行為について，紙面でのアンケート評価を行った。評価項目は，SD 法による 15 項目の 7 段階尺度を用いた。また，議論への有効性を調査する為に，付箋紙の記述について文字か絵であるか調査した。

### 5.3.　実験内容

模型作り WS を実施した。その様子を図 5 に示す。4 章の WS と同様に 4 人を 1 チーム，テーマはアーチ改修とした。WS は，以下の手順で行った。

①アーチ南側 400mm と北側 400mm 地点を撮影する。②3MD, HMD×4 台での視覚シミュレーション方法を説明する。③アーチ及び周辺の課題抽出を，「ブレインストリーミング法」により行う。④「KJ 法」により課題をグループ分けする。⑤改修のアイデア出しを「ブレインストリーミング法」により行う。⑥「KJ 法」によりアイデアをグループ分けする。⑦グループ分けされたアイデアから，作成する模型を設計する。⑧設計した模型を作成する。⑨作成した模型を，敷地模型に設置してフィードバックを行う。⑩作成した模型のキャプション（タイトル・コンセプト・ターゲット）を作成する。

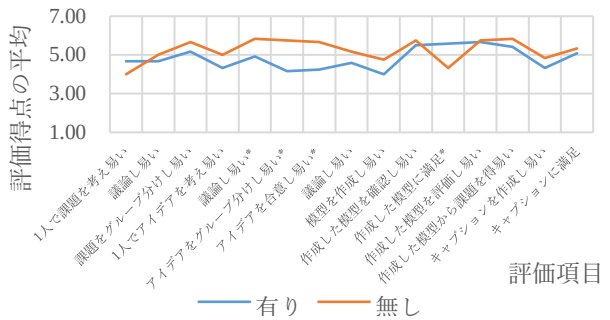



図 6　WS での行為の評価得点の平均

（t 検定の結果 * p<0.05）

被験者は，名古屋工業大学建築・デザイン系の学生，男性 16 名，女性 8 名で構成した視覚シミュレーション有り 3 チーム，無し 3 チームである。

### 5.4.　実験結果・分析・考察

WS での行為の評価得点の平均と，その差の検定（t 検定）結果を図 6 に示す。

図 6 より視覚シミュレーション有りは，無しと比べて「作成した模型に満足」に有意差があり，「議論し易い」「グループ分けし易い」「アイデアが合意し易い」に有意差があるとわかる。アイデア出し付箋紙の記述数（表 1）より，視覚シミュレーション有りは，絵の記述が多いとわかる。

これらより，全天球カメラによる視覚シミュレーションは，被験者らに空間的な発想を与えたと考えられる。故に議論・グループ分け・アイデアの合意が難しくなったと思われる。しかし視覚シミュレーション有りでは「作成した模型に満足」が高い。作成された模型は合意形成であるので，全天球カメラによる視覚シミュレーションが合意形成に有効であったと言える。空間的な発想の影響を受けた議論が，合意形成に良い影響を与えた可能性がある。

## 6.　まとめ

本研究では，全天球カメラによる視覚シミュレーションを WS に用いた場合に，合意形成の手法として有効であるか検証した。その結果，得られた成果を以下に示す。

- WS に適している視覚シミュレーションは，従来のカメラ画像より全天球カメラの画像であるとわかった。その理由として，画像に対する「新しい」「自由な」などの評価が関係しているとわかった。
- WS に適している視覚シミュレーションの出力装置は，3MD と HMD であることがわかった。3MD は，議論し易くなる有効性があり，HMD は 1 人でアイデアを考え易い有効性があるとわかった。
- 模型作りを伴う WS において，全天球カメラによる視覚シミュレーションが，議論に空間的な発想を与える有効性と，合意形成の満足に有効性があるとわかった。

今後の課題として，本研究の成果の信頼性向上のために，WS 実験の被験者を増やして検証する必要がある。また小さな縮尺模型ほど，視覚シミュレーションの有効性が期待されるので，その実現方法を検討する必要がある。さらに，空間的な発想の議論が難しいと考えられるので，それを支援する WS 手法を検討する必要がある。

表 1　アイデア出し付箋紙の記述数

| | 視覚シミュレーション有り | | | | 視覚シミュレーション無し | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| チーム | A | B | C | 合計 | D | E | F | 合計 |
| 文字 | 14 | 12 | 7 | 33 | 24 | 14 | 7 | 55 |
| 絵 | 0 | 5 | 9 | 14 | 0 | 1 | 2 | 3 |


### 謝辞

本研究の一部は科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業（CREST）の援助を受けて行いました。ここに謝意を表します。



**[参考文献]**

1) Innes, J. E.: Planning Through Consensus Building, Journal of the American Planning Association, 62, 4, 460-472, 1996
2) 錦澤滋雄，米野史健，原科幸彦：まちづくりワークショップの合意形成機能に関する研究，日本都市計画学会学術研究論文集, 35, 841-846, 2000
3) 松本直司，山本誠治，山下恭弘，瀬田恵之，谷口汎邦：模型空間知覚評価メディア(シミュレータ)の有効性，日本建築学会計画系論文報告集, 432, 89-97, 1992
4) 三宅諭，後藤春彦，早田宰，赤尾光司：景観イメージの合意形成手法に関する研究，日本建築学会計画系論文集, 491, 157-165, 1997
5) 瀬田恵之，松本直司，岡島達雄，河野俊樹，神谷彰伸，山内比呂史：知覚行動直結型ビジュアルシミュレータの開発，日本建築学会技術報告集, 4, 92-96, 1997
6) 大野隆造，青木宏文，添田昌志：CG 画像と模型画像の合成による視覚シミュレーション，日本建築学会技術報告集, 12, 135-138, 2001
7) 孫磊，福田知弘，徳原俊樹，矢吹信喜：模型と VR との視点連携による都市プレゼンテーションシステムの開発，日本建築学会環境系論文集, 76, 668, 953-961, 2011
8) 福田知弘，田口正晴，清水彩子，孫磊：景観検討を対象としたクラウドコンピューティング型 VR による分散同期型検討会議の実現可能性，日本建築学会計画系論文集, 76, 670, 2395-2401, 2011
9) Lei Sun, Tomohiro Fukuda, Bernd Resch: A synchronous distributed cloud-based virtual reality meeting system for architectural and urban design, Frontiers of Architectural Research, 3, 348–357, 2014
10) 横井梓，齋藤美穂：バーチャルリアリティ刺激と異なる提示刺激の心理評価における比較研究，人間・環境学会誌, 17, 1, 11-20, 2014
11) 堀公俊，加藤彰：ワークショップデザイン，日本経済新聞出版社



*1　名古屋工業大学大学院工学研究科　コレクティブインテリジェンス研究所　特任助教
*2　名古屋工業大学大学院工学研究科　准教授　博士(芸術工学)
*3　名古屋工業大学大学院工学研究科社会工学専攻　博士前期課程
*4　名古屋工業大学工学部建築・デザイン工学科　学部生
*5　名古屋工業大学大学院工学研究科　教授・博士（工学）