

仮想モデルシミュレーションによる地下街断面形状の評価に関する研究

A Study of Underground Shopping Mall Using Virtual Model Simulation

櫻井 昭夫*・新美 政光**・西 淳二***・田中 正****

Akio SAKURAI, Masamitsu NIIMI, Junji NISHI, Tadashi TANAKA

Utilizing of Computer Graphic (CG) model simulation is introduced for studying an underground shopping mall renewal plan. The current condition and issues about SUNROAD, Nagoya St. underground shopping mall, were investigated for constructing CG model. The display of CG model is examined by SD method to verify the influence of underground shopping mall on amenity. In this study, the introduction of 2 levels underground shopping mall is considered to model and examine. The result reveals that the amenity of underground shopping mall is improved as the renewal plan intended.

Key words : CG model, simulation, underground shopping mall, SD method

1. はじめに

近年、情報技術の目覚ましい発達により CG モデル制作も比較的容易になり、様々な分野で CG モデルシミュレーションが行われている。CG モデルを用いた既存研究としては、竹田ら（1993）の「地下横断歩道に対する利用者の快適性評価」¹⁾や飯塚（1996）による「町並み景観要素の計量化」²⁾などの事例が見られる。しかし、人々が特に多く利用する地下空間である地下街を対象とした研究は見当たらない。そこで本研究では、地下街を対象とした CG モデルの有効性について検証し、その結果を用いて既存地下街の空間計画についてモデルシミュレーション³⁾を実施し、検討する。

また、モデルシミュレーションを行うためのケーススタディとして今回は名古屋駅前地下街「サンロード」を選択した。その理由として、サンロードは名古屋で一番古い地下街であり、現行法規が制定される前に建設されているため、多々の不適合点が存在する。さらに、名古屋駅前でサンロードと接続している豊田ビルと毎日ビルの改築や、笹島交差点への地下街の延長なども予定されているため、本研究ではサンロードをリニューアル計画のケーススタディの対象として選択した。

キーワード：CG モデル、シミュレーション、地下街、SD 法

* 学生会員 学生 名古屋大学大学院 地圏環境工学専攻 博士課程前期

** 正会員 工修 戸田建設(株) 東京支店建築部工事課

*** フェロー 工博 名古屋大学大学院 地圏環境工学専攻 教授

**** 正会員 工博 名古屋大学大学院 地圏環境工学専攻 助手

2. CGモデルの有効性の検証

CG モデルの有効性を検証する前に「地下街の新設またはリニューアルの際に、利用者の立場から地下街の空間デザイン予想図を見てみたいですか？」というアンケートを被験者 158 人（男性 128 人・女性 30 人）にとったところ、84%から「はい」という回答が得られた。また、「はい」と回答した人々に「どのような媒体を通して予想図を見たり、意見を述べたりしたいですか？（複数回答可）」と尋ねたところ、インターネット(53 人)＞ポスター(36 人)＞マスコミ(22 人)＞説明会(12 人)、という順番となった。ところで、予想図を見る手段はそれぞれの媒体ごとに存在している。すなわち、インターネットはパソコンの‘ディスプレイ’、ポスター・マスコミは‘紙面’、説明会は‘スクリーン’、といった表示方法がある。

そこで、スクリーン・紙面・ディスプレイの 3 種類それぞれの表示方法に差異が見られるかを、写真⁴⁾と CG を用いたアンケート調査を通して検証した。また、写真と CG を比較して有効な共通点を抽出する調査を同時に実施した。

2.1 アンケート調査方法

アンケート調査では、名古屋駅前地下街の通路の写真 4 枚、CG 4 枚を使用した（写真 1～4、CG1～4）。また、CG モデルソフトは「Form・Z RenderZone」を使用し、写真の地下街の天井高と幅員を同じにしたものをサンロードベースの CG で作成した。そして、それぞれの写真及び CG を見てもらい、心理的变化を 7 段階両極尺度の SD 法（Semantic Differential technique）を用いた空間のイメージ評価によって調査⁵⁾した。本研究で使用した形容詞対は表 2.1 の 10 項目⁵⁾である。また、質問内容は「次の写真及び CG を見て、あなたがその地下街にいることを想定して、10 項目について評価してください」とした。また、それぞれの写真及び CG の天井高・幅員を、被験者が感じ取った寸法を答えてもらった。なお、CG については、本研究では空間の構造に着目することから、通路幅や天井高といった躯体の大きさ、壁面の素材、人間を再現し、照明や色彩、装飾物については再現していない。表示方法及び写真と CG の各サイズについては、スクリーン＝1.6m×2.2m（写真及び CG は 1.6m×2.2m）／紙面＝A4 用紙（写真及び CG は 11cm×15cm）／ディスプレイ＝各個人のモニターサイズ（写真及び CG は 640×480 ピクセル）である。

アンケートに使用した写真 1～4 の地下街のプロフィールは表 2.2 のようになっている。また、アンケートに回答していただいた被験者の人数と属性を表 2.3 に示す。以降の結果は、被験者から得られたデータの平均値で表す。

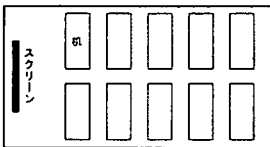


図 2.1 スクリーン投影の概略

表 2.1 SD 法で使した形容詞対

形容詞対
広い－狭い
高い－低い
暖かい－冷たい
くつろげる－緊張を強いる
装飾的な－こざっぱりとした
明るい－暗い
安心な－恐い
にぎやかな－静かな
快適な－不快な
好き－嫌い

表 2.2 選択地下街の概要

写真名	写真 1	写真 2	写真 3	写真 4
地下街名	サンロード	テルミナ	ユニモール	地下鉄振興
天井高 (cm)	2 7 5	3 5 0	3 0 0	3 2 5
幅員 (cm)	6 0 0	1 0 0 0	6 6 0	5 0 0
開業年月	1957.11	1976.11	1970.11	1964.9

表 2.3 被験者の人数と属性

表示方法	スクリーン		紙面		ディスプレイ	
性別	男性	女性	男性	女性	男性	女性
人数(人)	4 6	1 3	4 5	1 4	3 7	3
合計	5 9		5 9		4 0	
年齢構成(人)						
1 0 代	0	0	0	0	2	0
2 0 代	4 6	1 3	3 6	1 4	2 0	3
3 0 代	0	0	3	0	8	0
4 0 代	0	0	2	0	6	0
5 0 代	0	0	3	0	1	0
6 0 代	0	0	1	0	0	0



写真1 サンロード



CG1 擬似サンロード



写真2 テルミナ



CG2 擬似テルミナ



写真3 ユニモール



CG3 擬似ユニモール



写真4 地下鉄振興



CG4 擬似地下鉄振興

2.2 スクリーン・紙面・ディスプレイの比較

図2.1～8のイメージプロフィール図によると、それぞれの写真及びCGでは全体的に折れ線の形が近似しており、スクリーン・紙面・ディスプレイによる表示方法の違いはあまり見られない。

個々の形容詞対について考察すると、「明るいー暗い」においては、スクリーンによる表示方法が一番明るい評価を示している。また、「広いー狭い」、「高いー低い」に関して、紙面・ディスプレイの表示方法とあまり差が見られなかった。これから、「広いー狭い」、「高いー低い」の評価は表示方法による差異がないと考えられる。

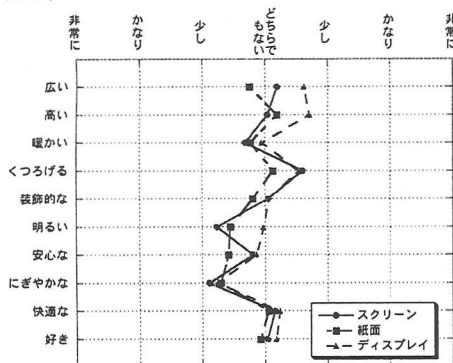


図2.2 サンロード写真

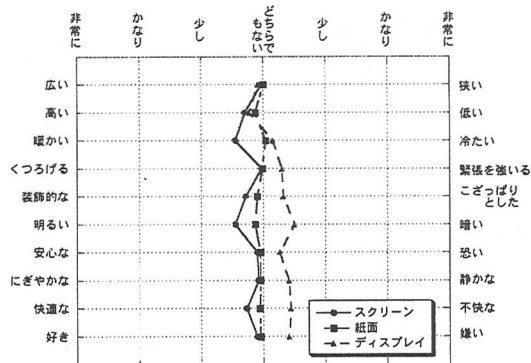


図2.3 サンロードCG

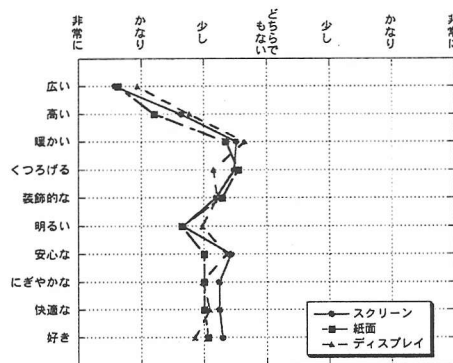


図2.4 テルミナ写真

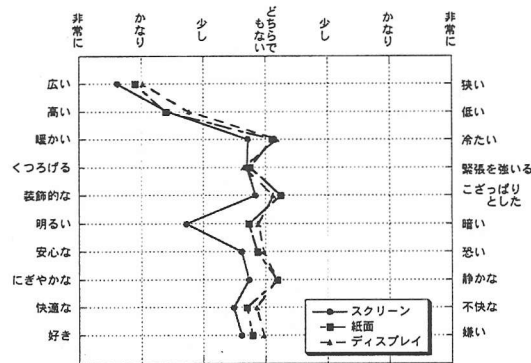


図2.5 テルミナCG

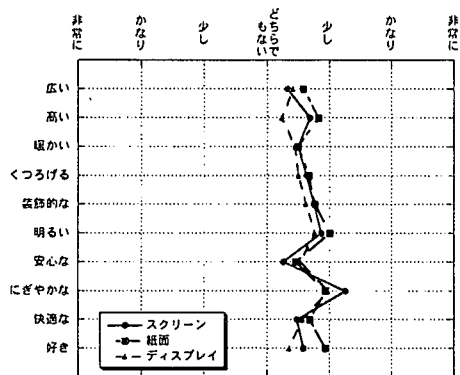


図 2.6 ユニモール写真

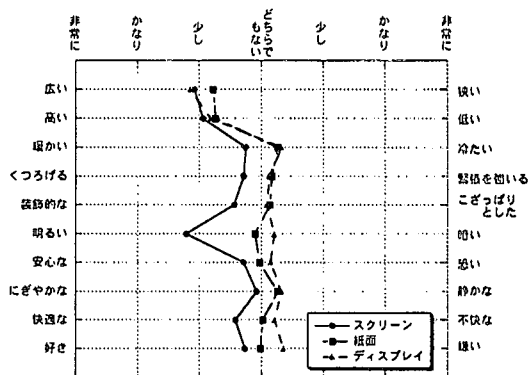


図 2.7 ユニモール CG

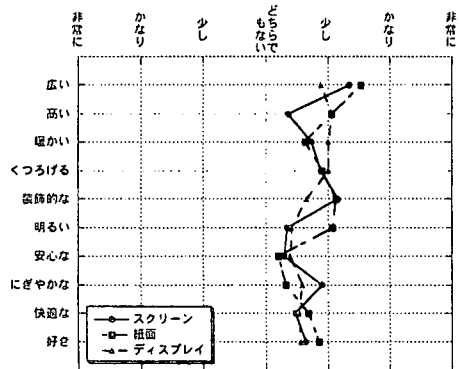


図 2.8 地下鉄振興写真

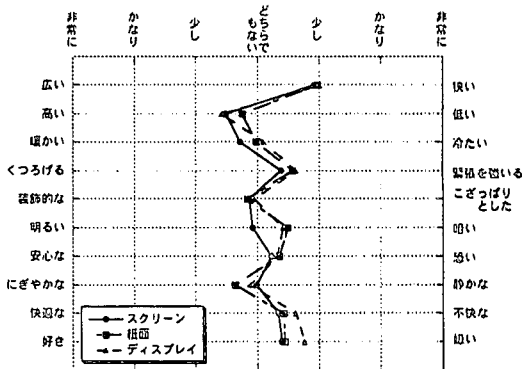


図 2.9 地下鉄振興 CG

2.3 写真とCGとの比較

それぞれの地下街の写真とCGを比較したイメージプロフィール図(図2.9～12、3種類の表示方法の平均)を見ると、サンロードとテルミナは「広いー狭い」「高いー低い」についてほぼ同じ値となっているが、ユニモールと地下鉄振興においては差が見られる。まずユニモールであるが、「広いー狭い」において写真はCGに比べて狭く感じられている。また、「高いー低い」において写真はCGに比べ低く感じられている。次に地下鉄振興であるが、「高いー低い」において写真は低く感じられている。さらに、「にぎやかなー静かな」においてそれぞれの地下街の写真とCGでは大きな違いが見られた。これは地下街を訪れている客を、今回のCGの人間では実物のように表現できていないことや、地下街の照明の明るさを表現していないので、それも一つの要因であると考えられる。

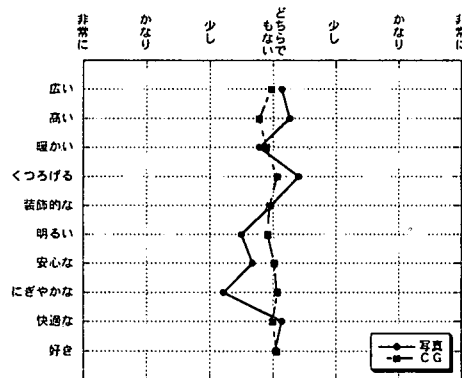


図 2.10 サンロード

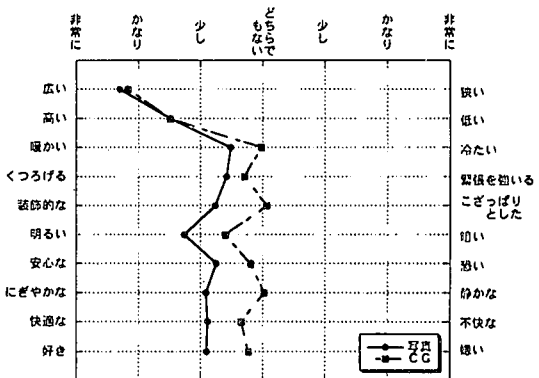


図 2.11 テルミナ

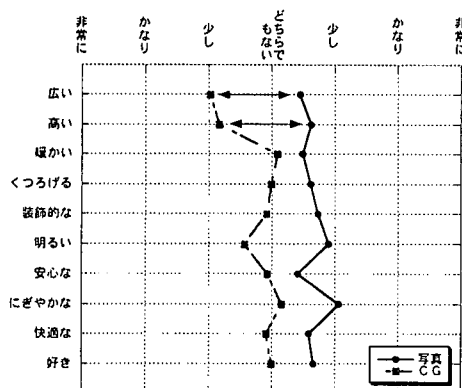


図 2.12 ユニモール

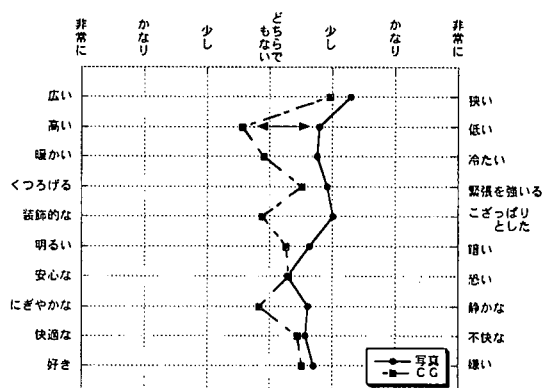


図 2.13 地下鉄振興

2.4 因子得点プロット図から得られる知見

イメージプロフィールに示した印象評価データを因子分析法（主因子法・バリマックス回転）にかけて分析したところ、2 因子を抽出した（表 2.4）。累積寄与率もほぼ 9 割と高く、2 つの因子で説明可能であることが分かった。

第 1 因子は、評定尺度「広い－狭い」「高い－低い」「くつろげる－緊張を強い」「快適な－不快な」などと関係が深く、「快適性」の因子といえる。第 2 因子は、評定尺度「暖かい－冷たい」「装飾的な－こざっぱりとした」「にぎやかな－静かな」が属し、「装飾性」の因子である。また、「明るい－暗い」「安心な－恐い」「好き－嫌い」という尺度は、共通性の値がそれぞれ高いことから、2 つの因子の両方に関わりを持っていると考えられる。

図 2.13 は表 2.4 の因子分析に対応した各写真と各 CG の因子得点を、2 つの因子軸にプロットしたものである。プロット状態を全体的に見ると、写真及び CG は快適因子軸上にほぼ同じ値であることが分かる（点線円）。よって、今回の写真や CG において、スクリーン・紙面・ディスプレイの表示方法では快適性因子に大きな差が現れないことが判明した。

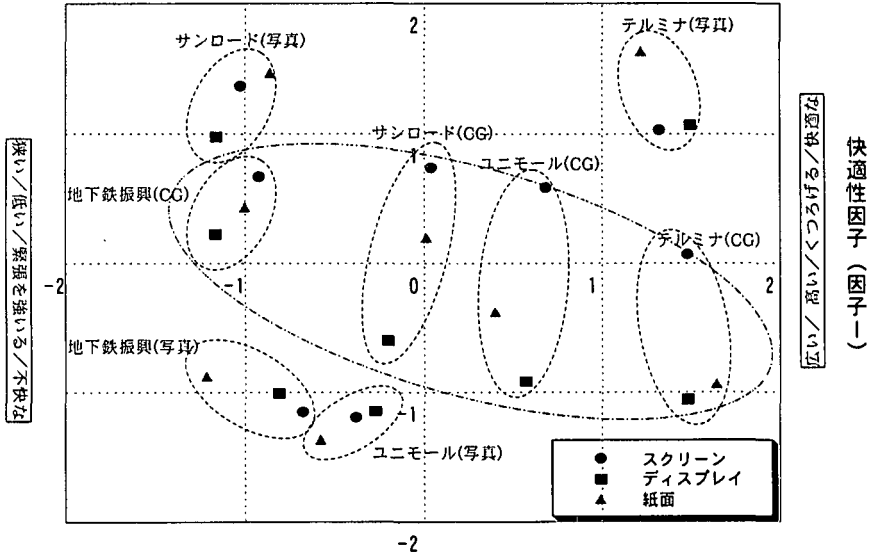
また、各地下街の CG 群に注目すると、CG がサンロードベースで作成されているために、装飾性因子（因子Ⅱ）に差が見られなかったが、快適性因子（因子Ⅰ）に関しては軸上に並んでいることより、「広い－狭い」「高い－低い」「くつろげる－緊張を強い」「快適な－不快な」の快適性因子 4 項目が今回の CG でも比較できることが分かった。（実線円）。

表 2.4 因子負荷量と因子解釈（バリマックス回転後）

因子負荷量	因子Ⅰ	因子Ⅱ
解釈因子	快適性	装飾性
広い－狭い	0.92	0.25
高い－低い	0.81	0.33
暖かい－冷たい	0.37	0.84
くつろげる－緊張を強い	0.86	0.42
装飾的な－こざっぱりと	0.48	0.78
明るい－暗い	0.61	0.71
安心な－恐い	0.56	0.71
にぎやかな－静かな	0.21	0.89
快適な－不快な	0.80	0.55
好き－嫌い	0.74	0.61
寄与率	0.46	0.42
累積寄与率	0.46	0.88
正方向因子成分	広い 高い くつろげる 快適な	暖かい 装飾的な にぎやかな
負方向因子成分	狭い 低い 緊張を強い る	冷たい こざっぱりとし た 静かな

装飾性因子 (因子II)

暖かい／装飾的な／にぎやかな



冷たい／こざっぱりした／静かな

図 2.14 因子得点プロット図

2.5 幅員と天井高について

1) 天井高の記入寸法と実寸法

各地下街の写真とCGの天井高寸法を記入してもらった結果、どの地下街についても図 2.14 のようになった。最大値と最小値ではかなり差がみられたが、平均値を比較してみると相対的にスクリーンがやや高く見え、ディスプレイがやや低く見えている。また、写真とCGでは同じような値で天井の高さを見ていることが分かる。さらに全体的に見ると、写真とCGにおいて実寸値よりも高く見えていることも分かる。

2) 幅員の記入寸法と実寸法

各地下街の写真とCGの天井高寸法を記入してもらった結果、どの地下街についても図 2.15 のようになった。最大値と最小値ではかなり差がみられたが、平均値を比較してみると紙面がやや高く見えるが、写真とCGでは同じような値で幅員の広さを見ていることが分かる。さらに全体的に見ると、写真とCGにおいて実寸値と比べてやや狭く見えていることも分かる。

3. 断面形状が及ぼす快適性への影響

前章では、CGは「高い－低い」「くつろげる－緊張を強いる」「快適な－不快な」の快適性因子4項

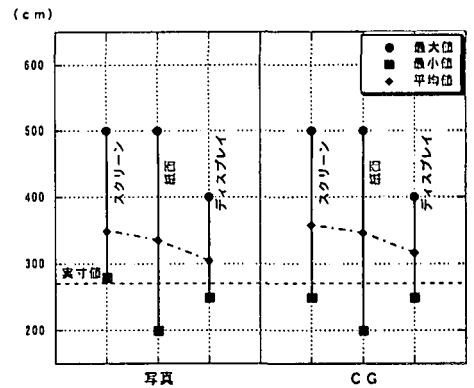


図 2.15 サンロード天井高

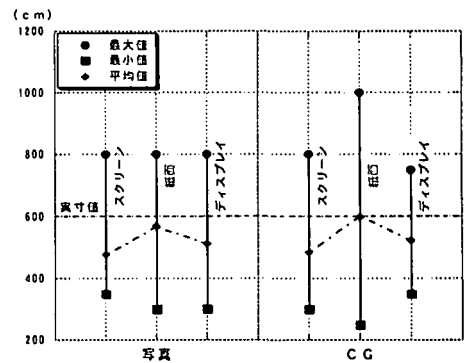


図 2.16 サンロード幅員

目において写真と同じように表現できることが分かった。さらに、スクリーン・紙面・ディスプレイの表示方法によって CG に与える快適性因子への影響はほとんどないことが分かった。そこで本章では、その CG を用いて地下街通路の断面形状が及ぼす快適性への影響を調査する。

今回調査対象とした断面形状は横長・縦長・台形・アーチの 4 種類とする。これらは地下街通路だけではなく、様々な施設通路の断面形状として一般的に見られるシンプルな形状である。それらの断面形状の図形及び CG を利用し、アンケート調査を通して快適性への影響を検証する。

3.1 アンケート調査方法

「地下街に関する基本方針」⁶⁾より、天井高と幅員の比を 3：6 とした図形を「横長」とした。さらに、それよりも天井高を高くし、天井高と幅員の比を 4：6 とした図形を「縦長」とした。また、高くなった天井部分をアーチ形状、台形状にしたものをそれぞれ「アーチ」「台形」とした(図 3.1)。そして、サンロードベースの CG を利用して、それぞれの断面形状ごとの CG、「縦長」「横長」「アーチ」「台形」を作成した(CG5～8、表 3.1)。

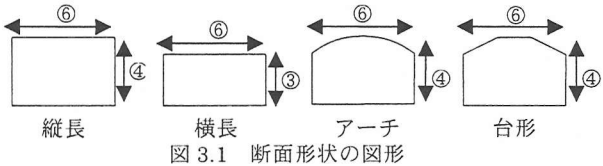
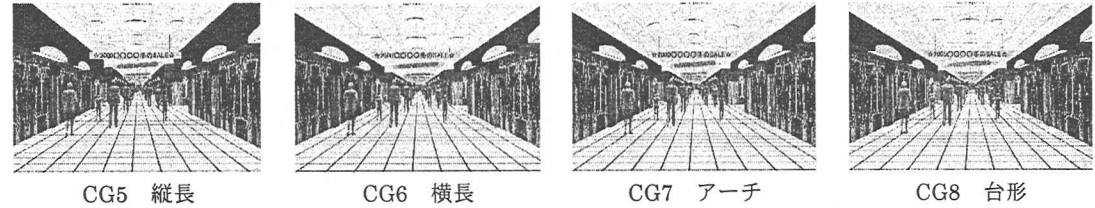


図 3.1 断面形状の図形



調査方法として、断面形状を表した 4 つの図形(図 3.1)を同時に被験者に見せて、「地下街の断面形状と想定して、快適に通行できると思われる順に番号をつけて下さい」という質問をした。その次に、4 つの CG (CG5～8)を同時に見せて、「あなたがその地下街にいることを想定して、快適に通行できると思われる順に番号をつけて下さい」という質問をした。さらに CG においては、第 2 章で写真と同様に比較評価できる「広いー狭い」「高いー低い」「くつろげるー緊張を強いる」「快適なー不快な」の快適性因子 4 項目を、7 段階両極尺度の SD 法を用いて空間のイメージ評価を同時に行った。また、CG はスクリーン・紙面・ディスプレイの 3 種類の表示方法で行ったアンケート結果を集計し、平均値を出した。

表 3.1 断面 CG の作成条件

CG 名前	縦長 (CG5)	横長(CG6)	アーチ (CG7)	台形(CG8)
幅員 (cm)	6 0 0	6 0 0	6 0 0	6 0 0
天井高 (cm)	4 0 0	3 0 0	4 0 0	4 0 0
断面形状				

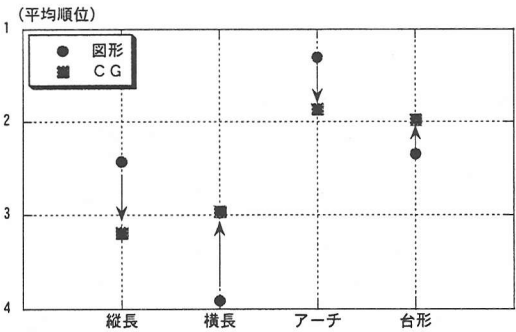


図 3.2 快適通行順位

3.2 アンケート調査結果

今回のアンケート調査は 158 人(男性 128 人・女性 30 人)の被験者に対して実施した。

まず、図形の快適通行順位と CG の快適通行順位において、得られたデータの平均順位を図 3.2 に示すと、

図形選択で平均順位が高い図から、アーチ>台形>縦長>横長、の順となった。次に回答してもらった CG 選択では平均順位が高い図から、アーチ>台形>横長>縦長、の順となった。違いが見られたのは、図形では「横長」が一番低い順位であったのに対して、CG では「横長」より「縦長」の方が順位が低かった。また、図形では「縦長」と「台形」はほぼ同じ順位であったのに対し、CG でははっきりとした差が見られた。

そこで、CG の選択順位が空間のイメージ評価とつながりがあるかを、イメージプロフィール図（図 3.3）で検証すると、「広いー狭い」に関しては、すべての CG においては同じ幅員であるにも関わらず、「縦長」が他の断面 CG よりも狭く評価されている。しかし、「高いー低い」に関しては、作成した高さ寸法と同じように「縦長」の方が「横長」より高く評価されている。これは幅員／天井高の比率によるものであると考えられる。

「新建築学体系 13」⁷⁾によると、幅員／天井高の比率が大きくなるにつれて閉鎖性が減少すると報告されている。「縦長」の比率は 1.5、「横長」の比率は 2.0 であるため、「横長」の方が閉鎖性が小さく、「広いー狭い」では「横長」が「縦長」より広く感じられたと考えられる。

「高いー低い」に関しては、アーチ>台形>縦長>横長、の順に高く評価されている。「アーチ」「台形」は「縦長」と同じ高さ 400 cm で作成し、さらに壁側に向かって低くなっているにも関わらず、「縦長」より高く評価されている。また、「くつろげるー緊張を強いる」「快適なー不快な」に関しても、アーチ>台形>縦長>横長、の順に高く評価されている。これは CG の快適通行順位の結果（図 3.2）と反映していることが分かる。

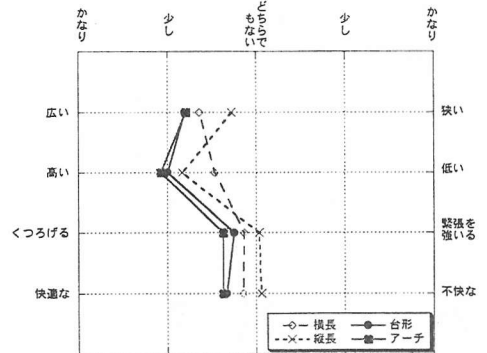


図 3.3 断面 CG イメージ評価

以上により、今回の CG 調査を「広さ」「高さ」「くつろぎ」「快適さ」の快適性因子 4 項目の評価で見ると、地下街通路の断面形状で最適な形は「アーチ」、次に「台形」であり、断面形状に変化がある方が快適に通行できると考えられる。また、地下街通路の断面形状は、図形だけで通行のしやすさを評価することは不可能ではないが、CG を用いることによって、より詳細な空間評価が得られる。

4. モデルシミュレーション

今までの調査結果より、CG による地下街モデルの有効性と断面形状が及ぼす快適性への影響がわかった。そこで、本章では CG モデルを使った地下街計画を取り上げる。今回は事例として、名古屋駅前地下街サンロードのリニューアル計画を提案する。リニューアル計画に際し、現行からの主な変更点を挙げると、①地下街通路の幅員を 6 m 以上とする、②地下街通路の天井高を 3 m 以上とする、③地下街通路の断面形状を「アーチ」型とする、④幅員を広くするため、店舗面積を確保する目的で 2 層地下街とする、⑤地下街広場を設置する、となる。

天井高と断面形状について、地下鉄軌道上の地下街通路の天井高は現在 2.7 m である。これは地下鉄を移設しない限り天井高を変更することはできない。この部分においては、第 3 章で得られた結果から、天井の形状をアーチ型に変更することで、圧迫感を減少させる。また、それ以外の

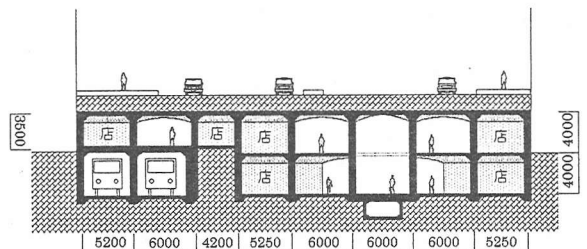


図 4.1 計画断面図(A-A)

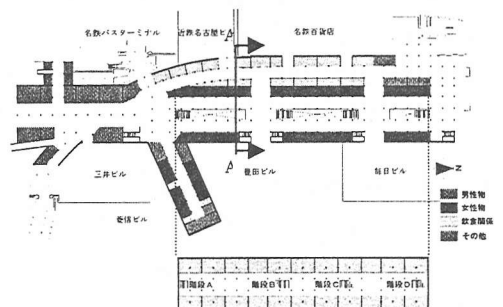


図 4.2 計画平面図(上図: B1F, 下図: B2F)

通路の天井高は3 m以上に計画し、さらに天井の形状をアーチ型にする（図 4.1）。

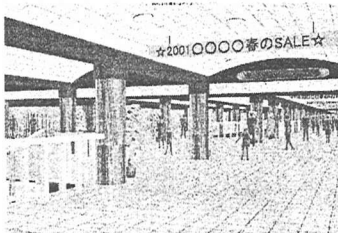
また、2 層地下街については後藤（2000）の研究^{8）}によると、①商業空間としては複層化した方が有利である、②事業収支的にも複層化は、一層地下街と比較しての有利で、助成制度を積極的に利用することで更に良くなる、③安全・避難に関しては、安全システムを整備することでクリアできる、④AHP モデルによる総合評価でも、地下街は複層化した方がメリットがある、という結果が出されている。そこで、この結果を利用して、地下鉄軌道部以外に吹き抜けを持つ 2 層地下街を計画した（図 4.1、図 4.2）。

4.1 インターネットを利用したアンケート調査

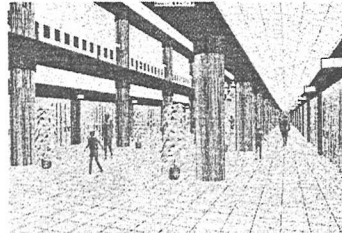
次に、提案したりニューアル計画が、実際に快適性が向上しているのかを、アンケートで調査した。第 2 章で得られた結果から、スクリーン・紙面・ディスプレイによる表示方法が快適性因子に与える影響は少ないことから、今回は手軽に回答を収集できるインターネット書き込み方式を採用した。アンケート内容は、以前のもと同様に CG（CG9～11）を見てもらい、7 段階両極尺度の SD 法を用いた空間イメージ評価によって調査した。使用した形容詞対は、第 3 章で得られた、快適性因子「広いー狭い」「高いー低い」「くつろげるー緊張を強いる」「快適なー不快な」の、今回の CG で比較できる 4 項目とした。また、どの点について快適さを感じるかも、回答させた。被験者は建築系に限らず、一般の方も含めて 62 人（男性 51 人、女性 11 人）から回答を得られた。



CG9 地下 1 階通路



CG10 地下 1 階広場



CG11 地下 2 階通路

4.2 アンケート調査結果

1) 快適さを感じる点

はじめに、改善後の快適さを感じる点について整理した（図 4.3）。「天井が高い」「通路幅が広い」「天井がアーチ形状」「吹き抜けがある」「見通しがよい」に関しては、約半数の被験者が快適さを感じるという回答が得られた。よって改善した点が快適性を向上させたと考えられる。

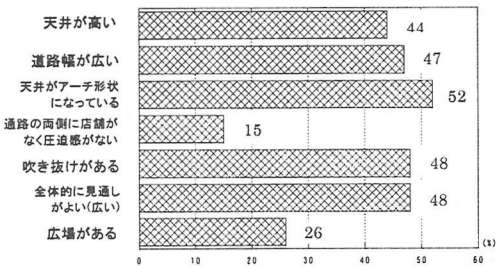


図 4.3 快適さを感じる点

2) 通路部の改善前後の比較

サンロードの通路部の改善前（CG1）と改善後（CG9）を、空間イメージ評価によって比較した（図 4.4）。改善後は、すべての項目において評価が高くなった。特に「広いー狭い」「高いー低い」に関しては、大きな違いが見られる。実際、天井高は変更したのだが、幅員に関しては、CG1 と CG9 は同じ広さ（6 m）のままである。それにもかかわらず、改善後は「広いー狭い」において評価が高くなった。これは、天井の形状をアーチ型にしたことや、通路の片側が店舗で、もう一方が吹き抜けである

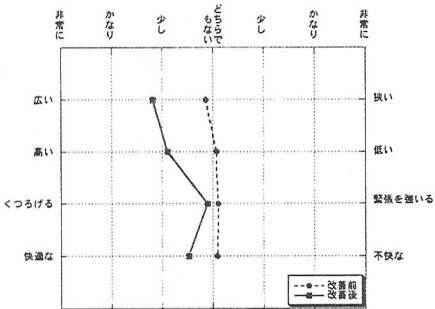


図 4.4 通路部の改善前後の比較

ことにより見通しがよいためであると考えられる。よって通路部は、天井を高くし、天井の形状をアーチ型にし、そして吹き抜けを設けることで、改善前より快適性が高められたことが分かった。

3) 改善後の空間イメージ評価

次に、改善後の通路部及び広場の空間イメージ評価を比較したところ、この地下街は正のイメージが強いことが分かる(図 4.5)。「広いー狭い」に関しては、いずれも「広い」という評価が得られた。これは、図 4.3 の「吹き抜けがある」「見通しがよい」において約半数の被験者が快適さを感じていることより、それぞれの CG が吹き抜けを介して地下街全体が見通しがよいと感じていると考えられる。また、「高いー低い」に関しては地下 2 階通路が一番評価が高かった。これは、吹き抜けがあるために他の CG に比べて高く感じられたためと考えられる。

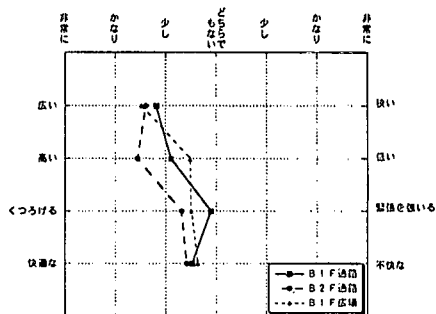


図 4.5 改善後の空間イメージ評価

5. まとめ

本研究では、地下街を対象とした CG モデルの有効性について検証したところ以下の結果が得られた。

- ①CG 画像において、スクリーン・紙面・ディスプレイの表示方法によっては、快適性因子に大きな差が現れなかったため、快適性因子においてはいずれの表示方法でも同じように評価できる。
- ②「広いー狭い」「高いー低い」「くつろげるー緊張を強いる」「快適なー不快な」の快適性因子 4 項目が今回の CG でも比較評価できることが分かり、その評価項目を用いた結果、平均順位及びイメージ評価から、地下街通路の断面形状で最適な形は「アーチ」、次に「台形」である。

以上の結果を用いて名古屋駅前地下街サンロードの空間計画（リニューアル計画）についてモデルシミュレーションを行ったところ、さらに以下のような結果が得られた。

- ③通路部は、天井を高くし、天井の形状をアーチ型にし、そして吹き抜けを設けることで、改善前より快適性が高くなった。

よって今回のモデルシミュレーションでは、快適性が向上することから、このリニューアル提案計画は有効なものであると考えられる。

6. 参考文献

- 1) 竹田恵子・川上光彦・秋津玲治 (1993): CG 画像を用いた地下横断歩道に対する利用者の快適性評価, 第 28 回日本都市計画学会学術研究論文集, pp169-174
- 2) 飯塚英雄 (1996): CG 手法による町並み景観要素の計量化, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp395-396
- 3) 新美政光・西淳二・田中正 (2001): 仮想モデルシミュレーションを用いた地下街の基礎研究, 地下空間シンポジウム論文・報告集第 6 巻, 土木学会, pp141-146
- 4) 田中正・西淳二 (1996): 写真を用いた地下空間の快適性評価について, 地下空間シンポジウム論文・報告集第 1 巻, 土木学会, pp93-100
- 5) 棚橋由彦・佐藤貴文・花田里美 (1999): SD 法に基づく地下施設のデザイン評価, 地下空間シンポジウム論文・報告集第 4 巻, 土木学会, pp47-54
- 6) 建設省都市局都市計画課 監修 (1994): 地下空間の計画と整備, 大成出版社
- 7) 新建築学大系編集委員会 (1989): 新建築学大系 13, 彰国社, pp239-242
- 8) 後藤雅幸 (2000): 地下街の複層化に関する研究, 名古屋大学平成 11 年度修士論文