3-DVRによる地下空間の印象評価の試み —形状，色，テクスチュアの視点から—

EVALUATION ON OF IMPRESSIONS FOR UNDERGROUND SPACES BY USING THREE-DIMENSIONAL VIRTUAL REALITY IMAGES — FROM VIEW POINTS OF SHAPE, COLOR AND TEXTURE —

栃木　茜[1]・今泉　暁音[2]・清水　則一[3]

Akane Tochigi[1]，Akane Imaizumi[2]，Norikazu Shimizu[3]

The opportunities for people to spend time in underground spaces will increase in the future. For designing attractive underground spaces, it would be effective to employ human sensibility along with conventional engineering viewpoints. In this paper, the color, shape and texture of underground spaces are employed as the design elements, and the relationship between these elements and the impressions people have of underground spaces is investigated. Images of underground spaces are created by a three-dimensional virtual reality technique. A study is conducted using questionnaires that show examples of designs of underground spaces to respondents, who look at them using a 3D virtual reality headset and a smartphone. The results are evaluated by the correspondence analysis to discuss which design elements are important and how they affect the design of underground spaces.

Key Words : *underground space design, perceptual map, 3D virtual reality, questionnaires, corre spondence analysis*

1. はじめに

社会基盤施設，商業スペース，公共空間など地下空間の利用は多様化している．さらに地球環境の問題や，人口密度の高い大都市での空間の有効活用，人々の生活や財産の災害からの保護などの応用分野についても検討されており，人々が地下空間で時間を過ごす機会は，今後も増加し続けると考えられる．

そこで人々が魅力的に感じる地下空間の設計をするには，安全かつ経済的に建設するために行われてきた従来の土木工学の観点に，人間の感性を加えた新しいデザイン手法の提案が有効である．

これまでにも感性の観点に着目し，地下空間への心理学やデザイン評価の手法を用いたアプローチがなされてきた．たとえば，地下の心理的なイメージに関する研究[1)]，地下街景観の快適性の分析[2)]，地下施設のデザイン評価[3)]，地下街形状の評価[4)]，地下空間内移動時の期待感に関する研究[5)]，QOLによる地下空間の評価[6)]，地下空間の色による情報伝達の研究[7)]，などがあげられる．

著者らは，地下空間の形状に対する力学と人間の感性との関係を調べ，地下構造の設計，すなわち力学と人間の感性を結びつける新しい方法を提案した[8), 9)]．さらに，地下空間の色彩と形状の関係や人々の印象についても調査し，地下空間デザインを支援する「知覚マップ」を作成した[10)]．

本研究では，著者らが提案した地下空間デザインのための知覚マップの作成方法[10)]を用いて，設計要素として形状や色に加えテクスチュアを取り上げ，地下空間と人々の持つ印象との関係をアンケートを実施して調べる．地下空間モデルを作成にあたっては，新たに3次元バーチャルリアリティ技術を用い，より臨場感のある地下空間画像とした．アンケートでは，被験者はスマートフォンに表示された形状，色，テクスチュアの異なるステレオ画像をVRヘッドセットで体感した後，アンケートに

キーワード：地下空間デザイン，知覚マップ，3次元バーチャルリアリティ，アンケート，コレスポンデンス分析
[1]学生会員　山口大学大学院　創成科学研究科　Department of Civil and Environmental Engineering, Yamaguchi University
(E-mail:g034ve@yamaguchi-u.ac.jp)
[2]正会員　福岡大学助教　工学部社会デザイン工学科　Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Fukuoka University
[3]正会員　山口大学大学院教授　創成科学研究科　Department of Civil and Environmental Engineering, Yamaguchi University

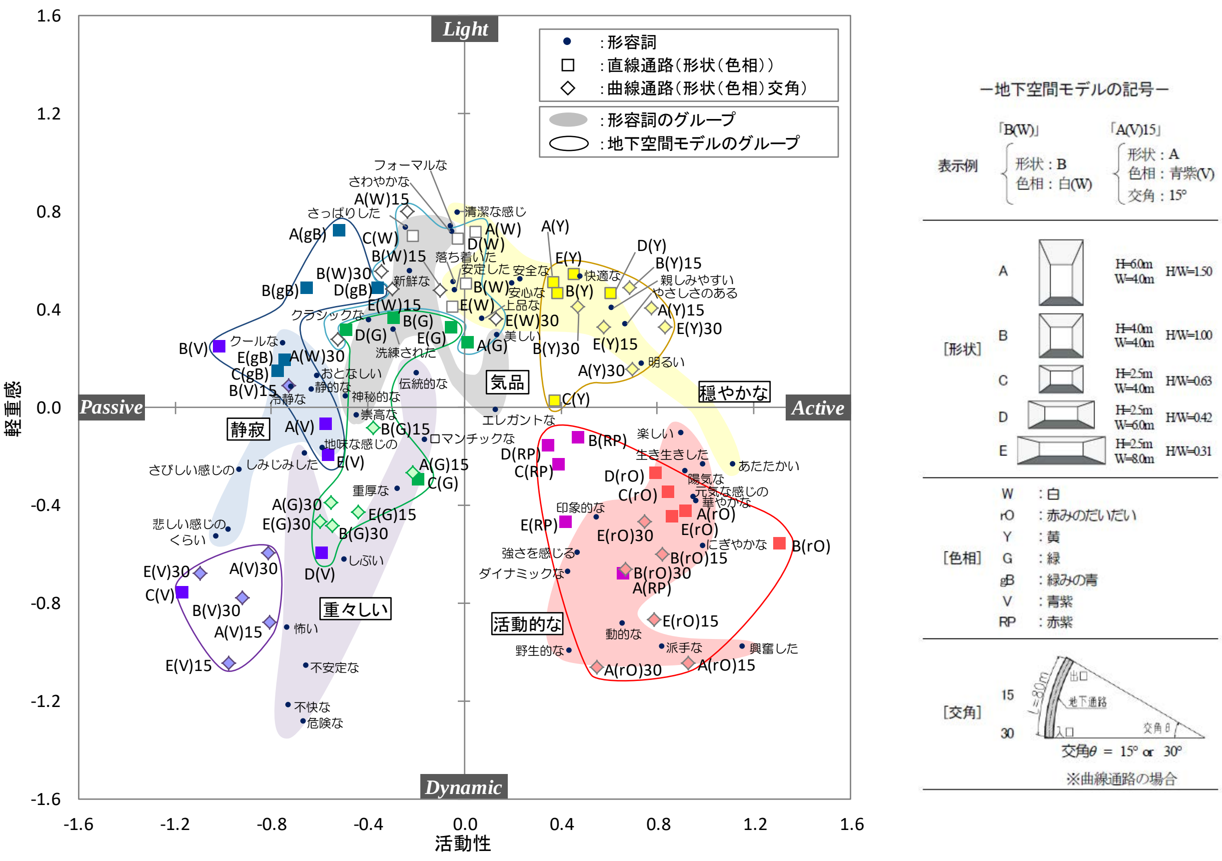

図-1　色と形の知覚マップ

回答する．そして，アンケート結果にコレスポンデンス分析を適用し，人々の地下空間に対する印象と設計要素との対応を考察する．

2.　知覚マップの作成手順

地下空間デザインにおいては，形状，色，照明，材料，テクスチュアなど，いくつかの設計要素を考慮する必要がある．したがって，これらの設計要素が設計対象に対してどのように影響するかを調査し，設計要素と設計対象との関係を考察する．

マーケティングの分野では，商品開発やブランディングの方向性を検討するため，製品と消費者が持つ印象との関係を表す図が作成されることがある．この，物（商品，デザインオブジェクトなど）と人々が持っている印象（言葉）の関係を表すマップを「知覚マップ」という．類似した印象を有する物体及び，これらの印象を表す語はマップ上の近くの位置に配置され，異なる印象を有する物体は離れた位置に配置される．

著者らは地下空間デザインのための「知覚マップ」を作成し，形状と色を設計要素として取り上げ知覚マップを作成する手順を提案した[10]．**図-1**は，地下空間の形状と色の知覚マップの例[10]である．たとえば，「おとなしい，クール」な地下通路を設計することが目標である場合，色は緑みの青や青紫で，形状は幅広（高さと幅の比が0.63(C)または0.31(E)），正方形で曲線通路の空間を基本とするとよいことが示されている．

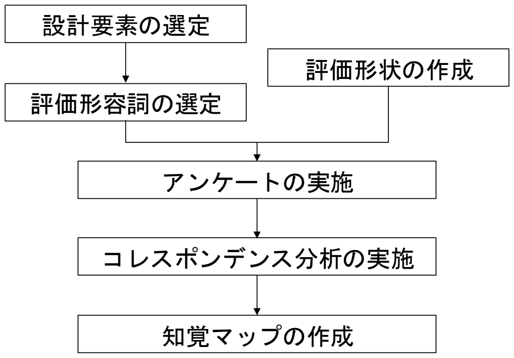

図-2　本論文における知覚マップの作成手順

図-2は，本論文における知覚マップの作成手順である．

3.　3次元バーチャルリアリティとアンケート

(1)　地下空間の設計要素とイメージ

本研究では，**図-3**に示すように，地下空間の設計要素としてこれまでの研究[10]で取り上げた形状，色に加えテクスチュア（表面素材）を考えている．

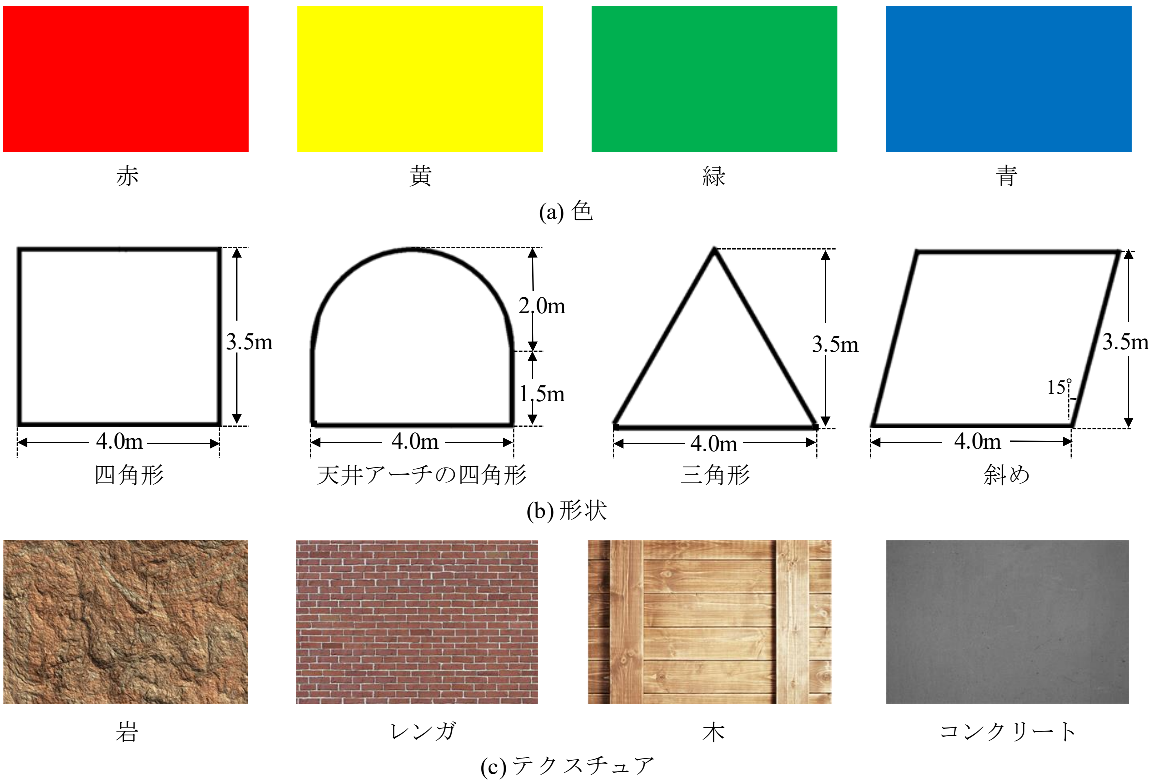

図-3　設計要素の色，形状，テクスチュア

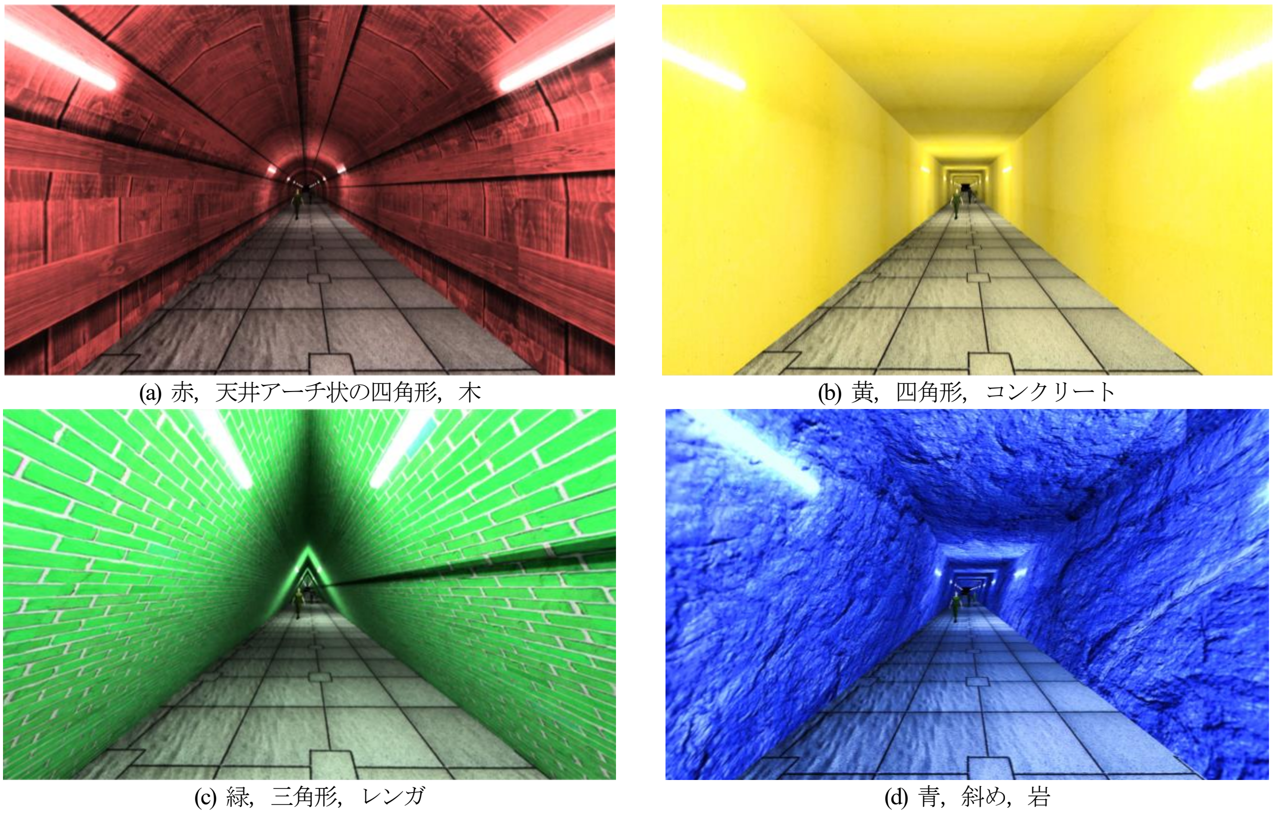

図-4　作成した地下通路の例（一部）

色は心理四原色と呼ばれる赤，黄，緑，青を（**図-3(a)**），形状は長方形，アーチ型天井を持つ長方形，三角形，平行四辺形を（高さは4m，幅，または底面は3.5m）（**図-3(b)**），テクスチュアは岩，レンガ，木，コンクリートをそれぞれ使用する（**図-3(c)**）．アンケートでは，地下通路を想定して作成した地下空間（3Dバーチャルリアリティモデル）を提示する．例として，**図-4**に4つのシーンを示す．4つの色，4つの図形，4つのテク

スチュアを組み合わせて64種類の画像を作成した．3Dバーチャルリアリティモデルは「Fusion 360 Free 3D CAD / CAM設計ソフトウェア（Autodesk Inc.，学生，教育者，学術機関用）」を用いて作成した．アンケートの被験者は，**図-5**に示すように，スマートフォンを搭載したVRヘッドセットで画像を見る．被験者は頭を動かし視線方向を変えて，前後左右，上下方向の360度自由に画像を見ることができるため，実際に空間の中にいるように体感できる（**図-6**）．

被験者の地下空間画像に対する印象を評価するために，形容詞を用いる．著者らの以前の研究[10]とKasmarの研究[11]に基づいて，地下空間の印象を記述する尺度として60個の形容詞を選択した（**表-1(a)**）．

(2) アンケートの実施

アンケートの被験者は，バーチャルリアリティ画像を1分間自由に見た後，与えられた60の形容詞に対して，「そう思う」「そうは思わない」という2つの選択肢から回答を選択する（**表-1(b)**）．回答を選択している間，被験者はヘッドセットで見た地下空間画像をディスプレイが4.7インチのスマートフォン繰り返し見ることが可能である．被験者への負担を考え，アンケートは4日間にわたり，日ごとに色（赤，黄，緑，青）を固定し，形とテクスチュアの異なる16種類の画像を用いた．被験者が同色16種類の画像に対して回答を終了するにあたりかかった時間は45～60分である．本実験での実験参加者は研究室の学生11名で男性は9人，女性は2人であった.

今回のアンケートは，3つの構成要素に対して知覚パップが構成できるか，また，アンケートの方法も含めて検討する予備調査である.

アンケート結果を分析には，コレスポンデンス分析[12]を用いた．この分析方法は，アンケートデータからの多次元空間における2つのカテゴリ変数間の関係を表すために使用される統計分析の方法である．図において，意味や印象が類似している要素（縮尺の形容詞や地下空間の画像）が互いに近接して配置される．一方，異なる意味や印象を持つ要素は，互いに離れて配置される.

4. 結果と考察

第3章で得られた実験結果を用いて形容詞60個と地下空間モデル64個のクロス集計を作成し，コレスポンデンス分析を行った（PASW Statistics 18，ver.18.0.0）．コレスポンデンス分析において各次元がもとの情報の何割を説明しているかを示す「イナーシャの寄与率」という指標がある．今回行った実験の分析結果では，次元1が

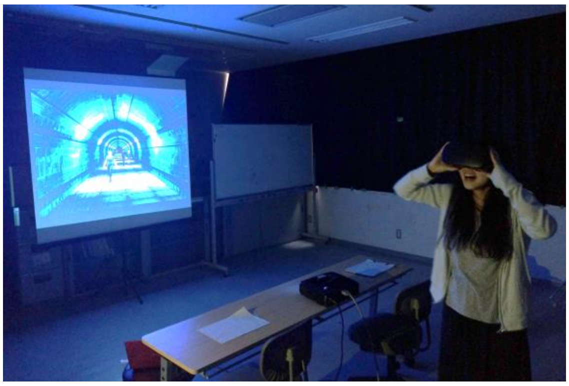

図-5 実験の様子

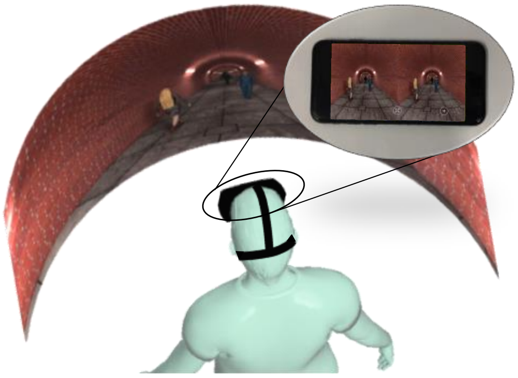

図-6 実験者のVRの見え方

表-1 評価形容詞与アンケート用紙

(a) 評価形容詞60個

動的な	シンプルな	狭い
力強い	静的な	平凡な
野性的な	かっこいい	退屈な
わくわくする	暗い	息苦しい
派手な	さびしい	硬い
にぎやかな	地味な	柔らかい
エネルギッシュな	落ち着いた	ユニークな
生き生きした	安定した	刺激的な
華やかな	安心な	凸凹な
印象的な	安全な	つるつるした
怖い	上品な	ざらざらした
不快な	清潔な	ごつごつした
危険な	快適な	ふわふわした
不安定な	居心地の良い	はりのある
ロマンチックな	やさしい	ナチュラルな
崇高な	あたたかい	機械的な
神秘的な	明るい	つやのある
クラッシックな	低い	質素な
美しい	広がりのある	豪華な
さわやかな	高い	つめたい

(b) アンケート用紙の一部

No.	項目	チェック
1	地味な	そう思う・そう思わない
2	さわやかな	そう思う・そう思わない
3	派手な	そう思う・そう思わない
4	安全な	そう思う・そう思わない
5	柔らかい	そう思う・そう思わない
6	狭い	そう思う・そう思わない

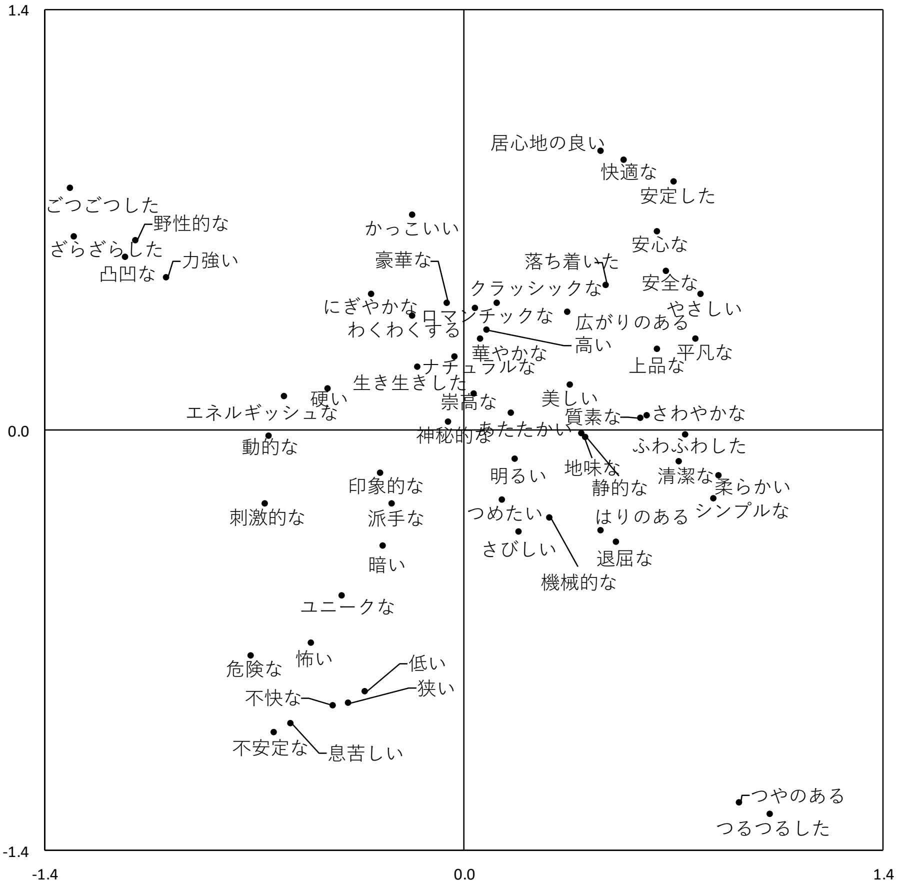

図-7　形容詞の散布図（次元1-2）

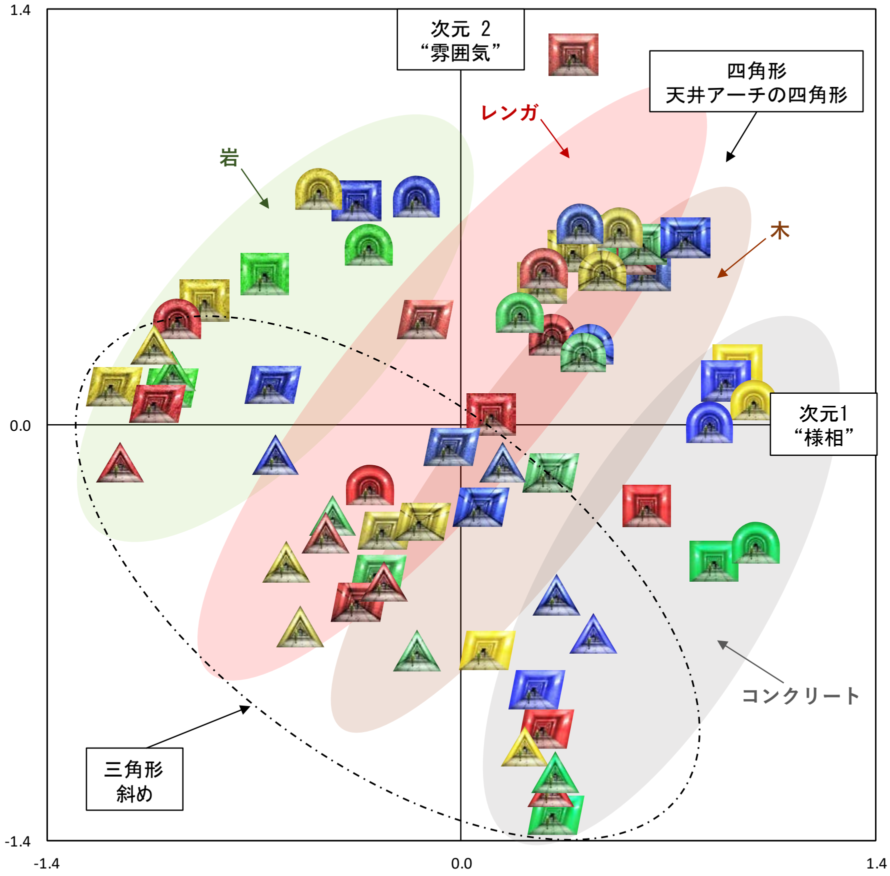

図-8　地下空間の散布図（次元1-2）

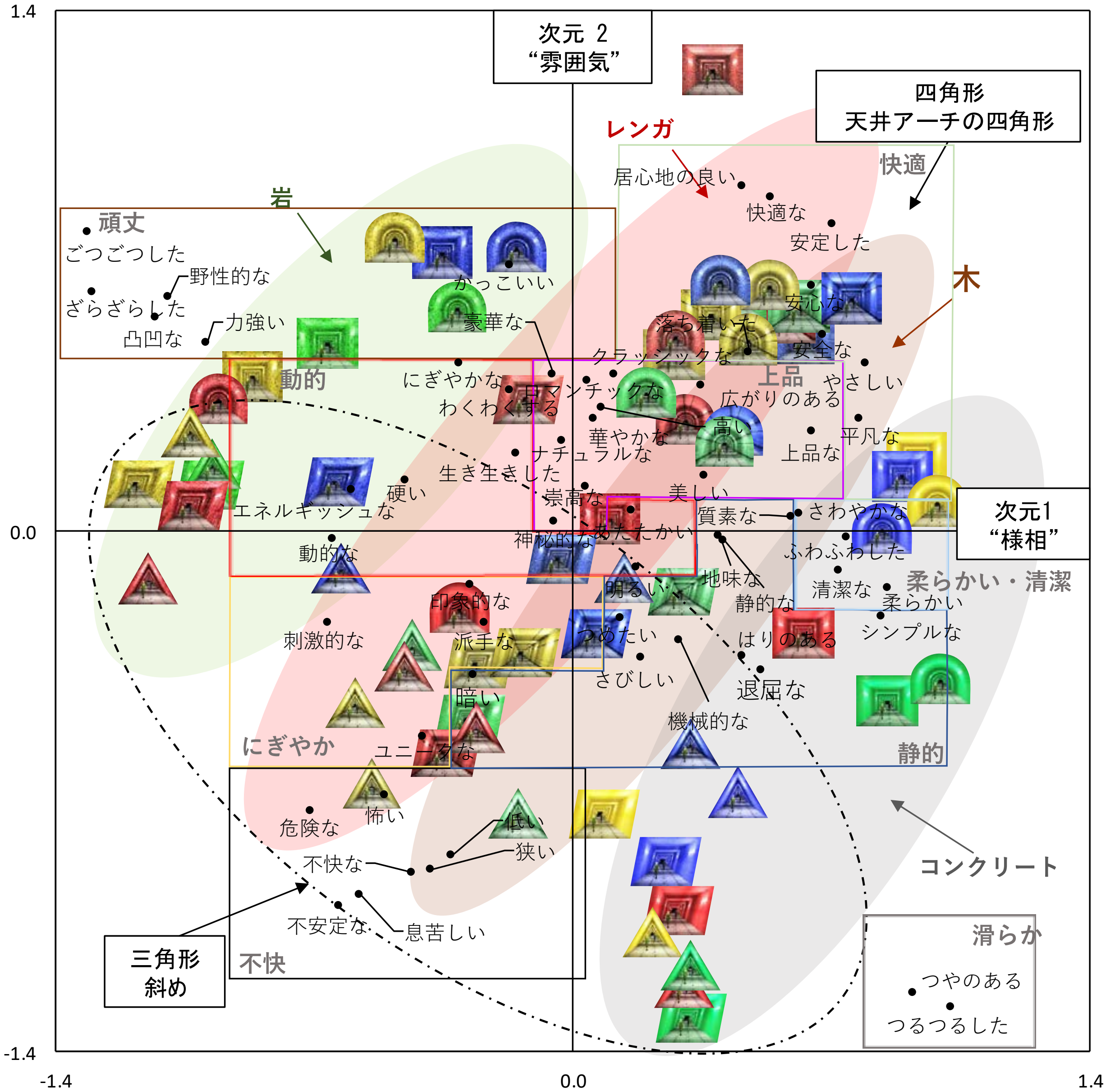

図-9　形状，色，テクスチュアの知覚マップ（次元1-2）

26.4%，次元 2 が 19.0%（次元 1~2 の累積寄与率は 45.4%），次元 3 が 12.7%（次元 1~3 の累積寄与率は 58.1%）であった．

本章では，次元 1~3 の次元の持つ意味の考察を行い，知覚マップがより理解しやすいよう軸の解釈を行った．

図-7は，「形容詞（**表-1(a)**参照）」の位置をプロットするスコア散布図である．プロットされている点はアンケート回答のコレスポンデンス分析から得られた得点に基づいてプロットされる．横軸は「次元1」，縦軸は「次元2」である．

この図では，次元1の横軸の正の領域に「つるつるした」「柔らかい」「やさしい」「ふわふわした」とプロットされている．一方横軸の負の領域に「ごつごつした」「力強い」「野性的な」「凸凹な」がプロットされている．したがって，次元1は，「表面の外観（様相）」を表す「軸」と解釈する．次元2の横軸の正の領域には「快適な」「居心地の良い」「安全な」「安定した」とプロットされている．一方横軸の負の領域に「不快な」「不安定な」「危険な」「怖い」がプロットされている．したがって次元2は，「空間の雰囲気（雰囲気）」を表す「軸」と解釈する．

さらに「次元1」と「次元3」で構成されるスコア散布図では，次元3の軸の正の領域には，「生き生きした」「にぎやかな」「わくわくする」「動的な」とプロットされている．一方横軸の負の領域に「退屈な」「地味な」「さびしい」「落ち着いた」がプロットされている．したがって，次元3は，「活動性」を表す「軸」と解釈する．なお，次元1は**図-7**と同様である．

図-8は，地下通路の画像をプロットするスコア散布図である．プロットされている点はアンケート回答のコレ

スポンデンス分析から得られた得点に基づいてプロットされる．同じテクスチュアの画像は，1つのグループを構成しているように見える．すなわち，図-8の左上から右下にかけて，素材ごとのグループが岩，レンガ，木，コンクリートの順にプロットされている．この結果は，異なる形状や色にもかかわらず，同じテクスチュアで地下の通路の印象が似ていることを意味する．

また，形状の画像は，右上に長方形とアーチ型天井を持つ長方形とのグループがプロットされ，左下に三角形と平行四辺形の形状がプロットされている．人々は各グループの印象が異なるように見える．

知覚マップを作成するため，図-8を図-7に重ねて図-9に示すような知覚マップが得られる．これは，地下空間画像と「形容詞」によって表現された画像の印象との間の関係を表す．このマップから，テクスチュアが木で，長方形またはアーチ型天井を持つ長方形の地下通路の画像は，「快適な」「安全な」「やさしい」の印象を持つようである．一方，テクスチュアが木で，三角形または平行四辺形の形状を有する地下通路の画像は，「危険な」「不快な」「怖い」という否定的な印象を持つようである．

三角形と平行四辺形の形状は「暗い」「怖い」のような負の印象を与えるようである．しかし，テクスチュアをレンガや岩にすることで印象を「動的な」「野性的な」「力強い」「わくわくする」といった正のものに改善することができる．この結果から，もしいずれかのデザイン要素が負の印象を与えても，形状，色，テクスチュアの組み合わせを考慮することで改善可能であると考えられる．

一方，本研究のアンケート分析結果では，色の印象に対する効果が明確ではなかった．色は印象に与える影響が大きいとされており，筆者らの研究[10]でもそのことは示されている．本研究では，アンケートにおいて，画像が64種，回答の形容詞が60種と多いので，3(2)に述べたように4日に分けて実施した．その際，一つの色ごとに画像を提示し1回のアンケートとしたため，色の印象がアンケートに十分に反映されなかった可能性がある．今後のアンケートではその点を考慮して，形状，色，テクスチュアのランダムな組み合わせでアンケートを実施する．

しかし，本調査においても，3種のデザイン要素に対しても，著者らが提案した方法[10]を用いることで，知覚マップを構成できる可能性が得られたと考えている．

5. まとめ

本研究では，地下空間の形状，色，テクスチュアを設計要素とし，地下空間画像と人々の持つ印象の関係を調べた．研究は以下のように要約される．

- 地下空間の画像を3次元バーチャルリアリティ技術によって作成し，その画像の印象を評価するため60個の形容詞を選択した．
- アンケート調査では，被験者はスマートフォンに表示されたステレオ画像をVRヘッドセットを用いて，3Dバーチャルリアリティ画像として体験し，アンケートに答えた．
- アンケート回答にコレスポンデンス法を適用し，知覚マップの構成を試みた．知覚マップでは，形容詞で表した地下空間に対する印象と，地下空間画像（形状，色およびテクスチュアの組み合わせ）の対応が示された．
- ただし，今回得られた知覚マップには明確でない対応もあり，アンケートの方法を改善するなどして検討を続ける必要がある．

謝辞：アンケートに協力して頂いた方々に謝意を表します．

参考文献

1) 羽根義，室恵子，沢田栄一，富倉まり繪子，北沢節：地下文化の様相—コンテクストのイメージ，テクネット，1990.
2) 田中正，西淳二：地下空間デザインの快適性評価について，土木計画学・論文集，No.14，pp.122-131，1997.
3) 棚橋由彦，佐藤貴文，花田里美：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，pp.47-54，1999.
4) 櫻井昭夫，新美政光，西淳二，田中正：視仮想シュミレーションによる地下街形状の評価に関する研究，地下空間シンポジウム論文・報告集，第 7 巻，pp.109-118，2002.
5) 松本直司，近久博志，加藤毅，勝崎香奈：地下空間における期待感—空間拡大時における期待感位置とその強さ—，土木学会論文集，No.777/VI-65，pp.139-147，2004.
6) 吉本直美，和氣典二，三田武，和氣洋美：QOL による地下空間の評価法に関する研究—主として名古屋市営地下鉄のケース—，土木学会論文集 F2，Vol.67，No.1，pp.35-44，2011.
7) 河本健一郎，和氣典二，和氣洋美：地下空間での色の分類を使用した視覚情報伝達に関する一考察，地下空間シンポジウム論文・報告集，第 20 巻，pp.135-140，2015.
8) 今泉暁音，清水則一，櫻井春輔：感性と力学を統合した地下空間形状のデザインに関する研究，土木学会論文集，No.742/VI-60，pp.159-168，2003.
9) 今泉暁音，清水則一，櫻井春輔：力学的感度と感性アンケートに基づく地下空間の形状デザインに関す

る研究，土木学会論文集 F，Vol.66，No.2，pp.237-250，2010.

10) 今泉暁音，伊藤裕美子，清水則一：地下空間の色と形の知覚マップの構成，土木学会論文集 F2（地下空間研究），Vol.72(1)，pp.1-12，2016.

11) Kasmar, J. V. : The development of a usable lexicon of environmental descriptors, in Environmental Aesthetics, *Nasar, J. L. (ed)*, *Cambridge University Press*, pp.144-155, 1988.

12) 内田治：すぐわかる SPSS によるアンケートのコレスポンデンス分析，東京書籍，2006.