

仮想空間における挙動解析による 無電柱化の効果検証

藤川 未有¹・星川 慎吾²・加藤 和明³・高橋 翔⁴・萩原 亨⁵

¹ 非会員 株式会社開発工営社 (〒006-0004 北海道札幌市中央区北 4 条西 5 丁目 1 番地)

E-mail: m614_fujikawa@kai-koei.co.jp

² 非会員 株式会社開発工営社 (〒006-0004 北海道札幌市中央区北 4 条西 5 丁目 1 番地)

E-mail: s405_hoshikawa@kai-koei.co.jp

³ 非会員 株式会社開発工営社 (〒006-0004 北海道札幌市中央区北 4 条西 5 丁目 1 番地)

E-mail: k.kato@kai-koei.co.jp

⁴ 正会員 北海道大学大学院 工学研究院 (〒060-8628 北海道札幌市北区北 1 3 条西 8 丁目)

E-mail: stakahashi@eng.hokudai.ac.jp

⁵ 正会員 北海道大学大学院 工学研究院 (〒060-8628 北海道札幌市北区北 1 3 条西 8 丁目)

E-mail: hagiwara@eng.hokudai.ac.jp

わが国は、「景観・観光」, 「安全・快適」, 「防災」の観点から無電柱化を推進している。本研究では無電柱化が景観にもたらす影響に焦点を当て、アンケート調査と仮想空間における挙動解析から無電柱化の効果を評価する手法を提案する。実験参加者に対し、電柱のある街並みと電柱のない街並みの仮想空間を自由に行動してもらい、景観への主観的な感想についてアンケート調査を実施した。仮想空間における無電柱化の体験が、無電柱化に対する意識の変化にどのような影響を及ぼすかについて調査を行った。また、アンケート結果から仮想空間に没入感を強く感じている実験参加者を抽出し、仮想空間内での挙動について調査を行った。VR ヘッドセットで収集した挙動のログデータの解析を行うことにより、アンケート結果と仮想空間における挙動の関連性を明らかにした。これらの結果から、無電柱化の効果検証において、仮想空間における挙動データ活用が有効であることが示された。

Key Words: *electric-pole elimination project, Streetscapes, virtual space, questionnaire survey, eye movement*

1. はじめに

我が国では、昭和 60 年代初頭から、電線類を地中へ埋設するなど無電柱化について計画的に取り組まれてきており、一定の整備が図られてきた。しかしながら、その水準は欧米はもとよりアジアの主要都市と比較しても大きく立ち後れている状況である。全国には依然として、道路と民地を合わせて約 3,600 万本の電柱が建っており、減少するどころか増加しているのが現状である。無電柱化の推進にあたり様々な課題を解決すべく、1995年の電線共同溝の整備等に関する特別措置法¹⁾をはじめとして、2016年12月に無電柱化の推進に関する法律²⁾、2021年5月25日に新たな無電柱化推進計画³⁾が定められた。

無電柱化推進計画の中で、重点的に無電柱化を実施す

る対象として、防災、安全・円滑な交通確保、景観形成・観光振興が示されている。対象道路の選定にあたっては、地域防災計画や国土強靱化地域計画、移動等円滑化基本構想、未就学児等及び高齢運転者の交通安全緊急対策、通学路交通安全プログラム、歩行者利便増進道路制度、自転車ネットワーク計画、景観計画など関係する様々な計画が踏まえられている。

中でも防災を対象とした無電柱化は、特に市街地内の道路において、より被害が甚大となりやすいことや、近年の台風による倒木や飛来物起因の電柱倒壊などを踏まえ、重点的に推進されている。2020年2月に閣議決定された「防災・減災、国土強靱化のための5か年加速化対策」においても電柱倒壊のリスクがある市街地などの緊急輸送道路の無電柱化が進められている。

一方で、無電柱化事業実施後における周辺住民からの反響が最も多いのは景観の向上である。無電柱化の実態に関するアンケート調査⁴⁾では、住民には景観面の向上による視覚的・心理的な効果が最も強く意識されており、無電柱化による心理的效果の定量化や、その活用方法を整理することが喫緊の課題であると示している。

景観形成・観光振興を目的とした無電柱化は、整備効果を定量的に算出することが難しいこともあり、防災を目的とした無電柱化に比べて進んでいないのが現状である。これまで無電柱化事業における景観の変化に関する研究としては、岩田ら⁵⁾の農村・自然域などが、市街地と比較しても特に高い景観向上効果を得られることを示した研究や、大石ら⁶⁾の無電柱化による景観の向上の効果が、住宅地域内の路線と観光ルートで高いことを示した研究があげられる。ただし、これらの研究は、いずれも静止画像を用いて景観向上効果を調査したものである。

本研究では、アンケート調査と仮想空間における視線挙動解析から街路における無電柱化の効果を評価する。具体的には、仮想空間における無電柱化の体験が、無電柱化に対する意識の変化にどのような影響を及ぼすかについて示す。また、無電柱化に対する意識が変わった実験参加者を抽出し、仮想空間内での視線挙動が電柱の有無によりどう変化したかを示す。これらの結果から、無電柱化が街路を利用する歩行者の見方にどう影響するのかを示す。

2. 仮想空間における無電柱化体験による視線挙動と主観の調査

仮想空間内での無電柱化の体験が視線挙動や主観にどのような影響を及ぼすかを調べるため、VRによる無電柱化体験とアンケートによる主観調査を実施した。調査の概要及び調査に使用した仮想空間の作成、VR空間での再現について説明する。

(1) 実験参加者

本研究では、呼び掛けにより無電柱化についてのVR体験に興味のある20～50代の一般人26名を対象に実験を実施した。実際には41名実施したが、年少者に実験趣旨を理解してもらうことが困難なため、20歳未満は対象外とした。また、VRログデータが欠損したのも対象外とした。実験終了時にお礼として下敷きを配布した。

(2) 実験手順

実験手順は次の①～⑧の通りとした。また、感染症対策として、コントローラーの消毒およびゴーグル用使い

捨てカバーの装着を行なった。実験会場のイメージ図を図-1に示す。

- ①着席
- ②機器装着（VRゴーグル・手持ちコントローラー）
- ③操作説明
- ④シミュレーション（VR体験）開始
- ⑤シミュレーション（VR体験）終了
- ⑥機器取り外し
- ⑦アンケート実施（口頭）
- ⑧記念品下敷きの配布

a) シミュレーション内容

シミュレーション時の指示および条件は①～③の通り。また、シミュレーションコースを図-2に示す。

- ①電柱有の状態、起点から終点へ歩いてもらう
- ②電柱の表示・非表示を切り替えて見てもらう
- ③電柱無の状態、終点から起点へ歩いてもらう

b) アンケート内容

アンケート内容を表-1に示す。アンケートは口頭で実施した。

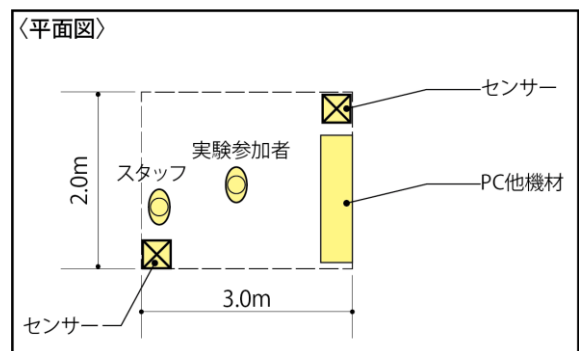


図-1 実験会場のイメージ図

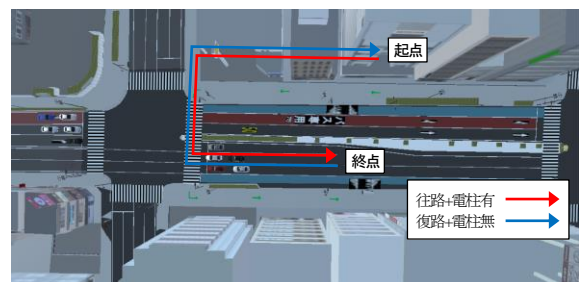


図-2 シミュレーションコース俯瞰図

表-1 アンケート内容

質問1	性別
質問2	年齢
質問3	これまでにVRを体験したことがありますか
質問4	街並みは現実世界のように感じましたか
質問5	無電柱化の必要性を感じましたか
質問6	質問5の理由は？
質問7	電柱に対する意識が変わりましたか
質問8	具合が悪くなりましたか（酔ったなど）
質問9	また同じようなVRイベントがあれば体験したいですか

(3) 使用機材と開発環境

本研究では、ゲームエンジン Unity を用いて仮想空間を作成し、HTC のヘッドセット (Vive Pro Eye) によって映像を提示した。また、仮想空間内での行動について、ログデータを取得した。本研究で用いた機材や開発環境を表-2 に示す。

a) 実験用仮想空間の作成

仮想空間は、国道 230 号 (札幌市の北 1 西 6 ~ 北 1 西 7 交差点間) をゼンリンの 3D 都市モデルデータをベースとして再現した。また、電柱および電線のオブジェクトを配置し、電柱の表示・非表示により、無電柱化前後の景観を表現した。なお、進行方向がわかるように、歩道上に道案内の矢印を配置した。仮想空間における電柱の有無の表示例を図-3 に示す。

表-2 実験に使用した機材の仕様

VRを駆動させたコンピュータの仕様

OS	Windows 10 Pro
CPU	Intel Core i9-9900K 3.60GHZ
RAM	32GB
GPU	NVIDIA GeForce GTX 1050Ti
HMD	HTC Vive Pro Eye

HTC Vive Pro Eyeの仕様

Resolution	1440x1600 pixel
Frame rate	90Hz
Eye-tracking refresh rate	120Hz
Eye-tracking accuracy	0.5° ~ 1.1° (角度)
Field of view	110° (視野角)



図-3 仮想空間における電柱の有無の表示例

b) 解析用ログデータの取得

仮想空間内での行動解析を行うため、電柱の有無、歩行経路、視線方向のログデータの取得を行った。取得間隔は 30fps とした。なお、仮想空間内は現実空間の 2 倍の大きさとなっているため、解析時に補正を実施する。取得したデータの詳細は以下の通り。

- 電柱の有無についての記録を行う。電柱表示時は "True" を、非表示時は "False" を出力する。
- 仮想空間内における位置をグローバル座標で記録する。平面方向を "Cam Pos X" と "Cam Pos Z", 高さ方向を "Cam Pos Y" として出力する。
- 仮想空間内のグローバル座標における視線方向をベクトルで記録する。仮想空間内の立ち位置を示す "Cam Pos" を起点としたベクトルで視線の方向を指し示す。平面方向を "CorGazeDir C X" と "CorGazeDir C Z", 高さ方向を "CorGazeDir C Y" として出力する。なお、このベクトルは VR ゴーグル本体の回転を考慮した視線の方向ベクトルの各要素となっている。

3. 実験参加者の主観の分析

(1) 実験参加者の属性

実験参加者の年代・性別・VR 体験歴について質問した [質問 1~3] の結果を図-4, 5 に示す。実験参加者は 20 代から 50 代の男女となっている。また、半数以上が過去に VR を体験したことがあると回答した。

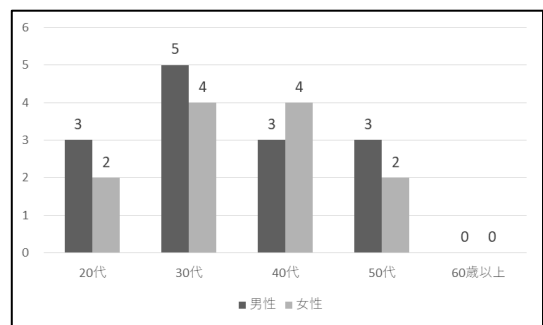


図-4 [質問 1,2] 実験参加者の性別と年齢

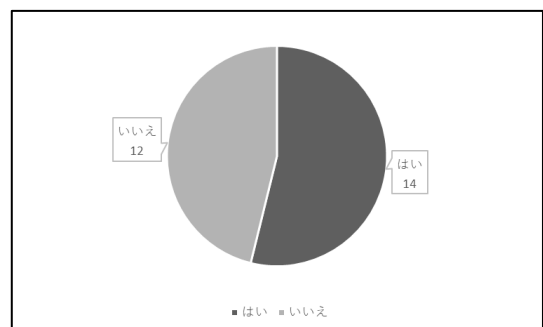


図-5 [質問 3: これまでに VR を体験したことがありますか]

(2) VR 体験後の実験参加者の主観の変化

VR における没入感を確認する, [質問 4]の結果を図-6 に示す. 約 70%にあたる 19 名が “はい” と回答した.

体験によって無電柱化の必要性を感じる事ができたかを確認する, [質問 5]の結果を図-7 に示す. 約 80%にあたる 22 名が無電柱化の必要性を “とても感じる” もしくは “少し感じる” と回答した.

[質問 5]において “とても感じる” もしくは “少し感じる” と回答した 22 名に, その理由を複数回答で確認した結果を図-8 に示す. 17 名が “景観が良い” と回答し, 最も多い結果となった. また, 電柱がないことにより, “道が広く感じる” と回答した実験参加者はいなかった.

体験によって電柱に対する意識の変化を確認する, [質問 7]の結果を図-9 に示す. 約 70%にあたる 19 名が電柱に対する意識が “とても変わった” もしくは “少し変わった” と回答した.

VR 酔い等の状態を確認する, [質問 8]の結果を図-10 に示す. 2 名が “少し違和感がある”, 1 名が “少し気分が悪い” と回答した.

同様のイベントがあった場合について問う, [質問 9]の結果を図-11 に示す. 未回答の 1 名を除いた全員がまた体験したいと回答した.

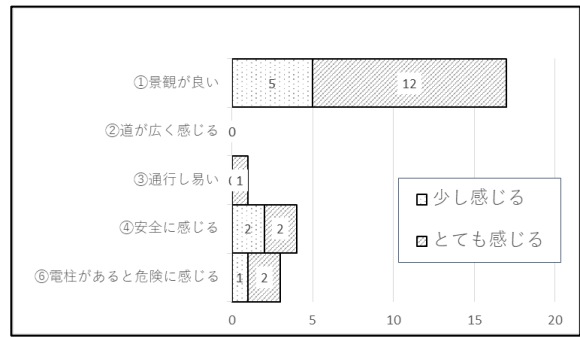


図-8 [質問 6:質問 5 の理由は?]

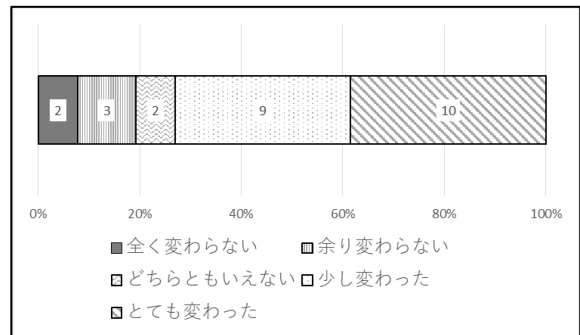


図-9 [質問 7:電柱に対する意識が変わりましたか]

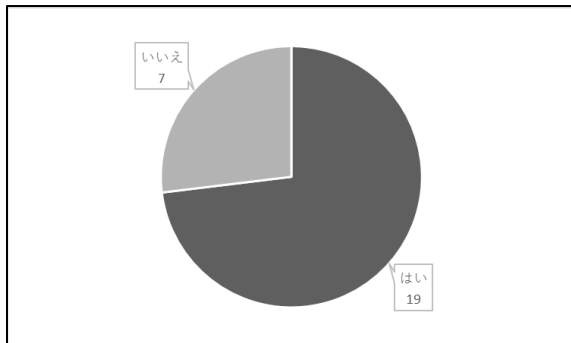


図-6 [質問 4:街並みは現実世界のように感じましたか]

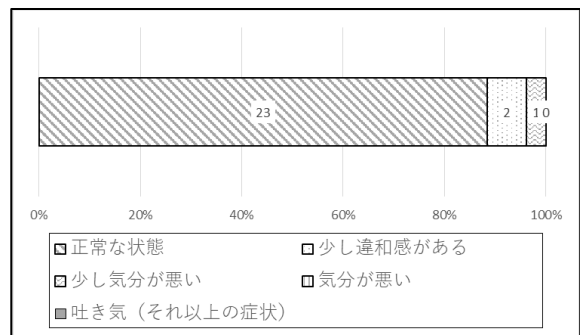


図-10 [質問 8:具合が悪くなりましたか]

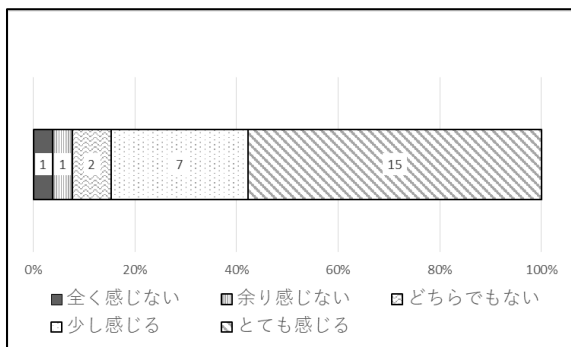


図-7 [質問 5:無電柱化の必要性を感じましたか]

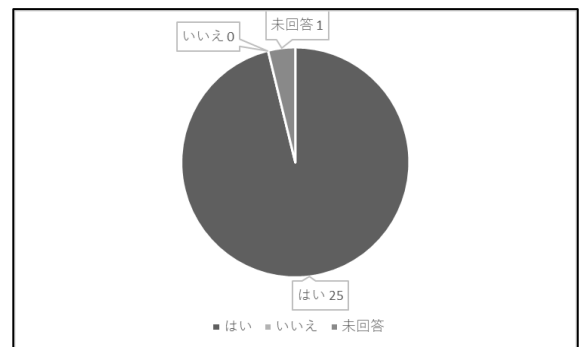


図-11 [質問 9:また同じような VR イベントがあれば体験したいですか]

4. VR ログデータの解析

取得した VR ログデータをもとに、視線挙動の解析を行った。本データはゼンリンの 3D 都市モデルデータをベースとした仮想空間内で計測している。そこで、VR ログデータを QGIS 上の座標に対応させた。また、現実空間における移動経路や視線・視野について、QGIS を用いて 3次元空間上での可視化を行った。

(1) ログデータを用いた視線挙動の解析

仮想空間内での立ち位置を示す"Cam Pos"を QGIS で使用する座標系(EPSC:3857)に変換する。

解析に用いる視線と視野の定義を図-12 に示す。"Cam Pos"を起点として視線方向を記録した"CorGazeDir C"のベクトル方向を「視線」と定義する。また、視線から±5度を有効視野としてできる四角錐を「視野」と定義する。視線を表すベクトル上で電柱と交差している場合には視

線上に電柱がある、視野を表す四角錐内に電柱が入る場合は視野内に電柱があると判断する。

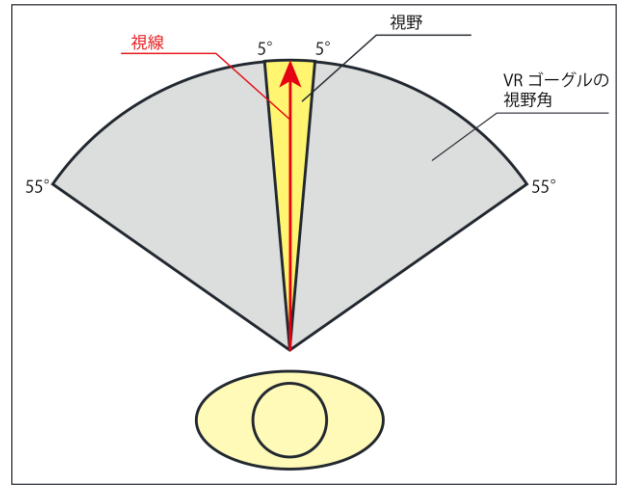


図-12 本実験における視線と視野の定義

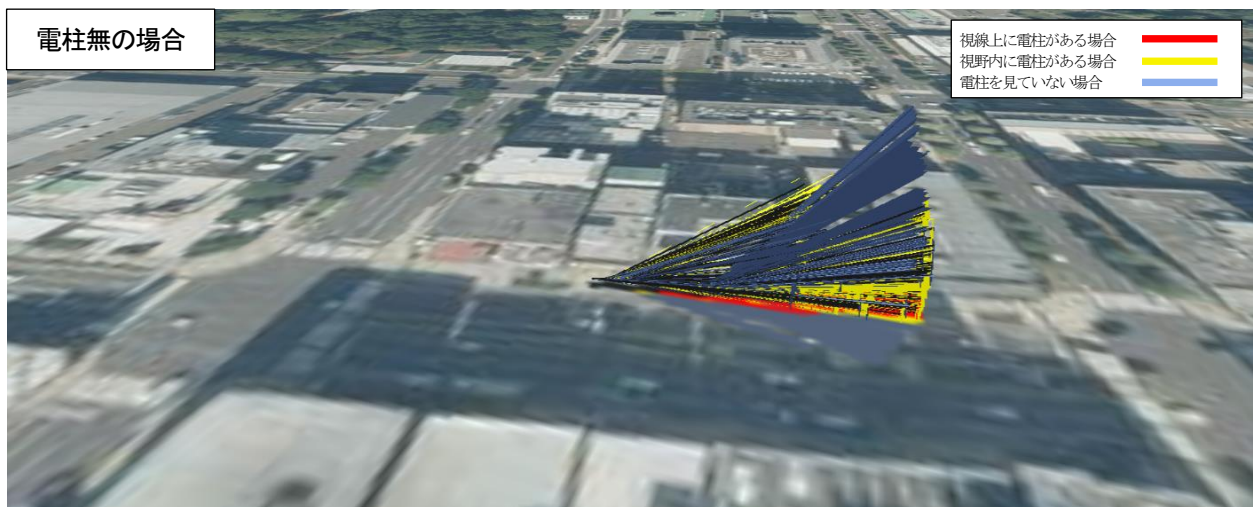
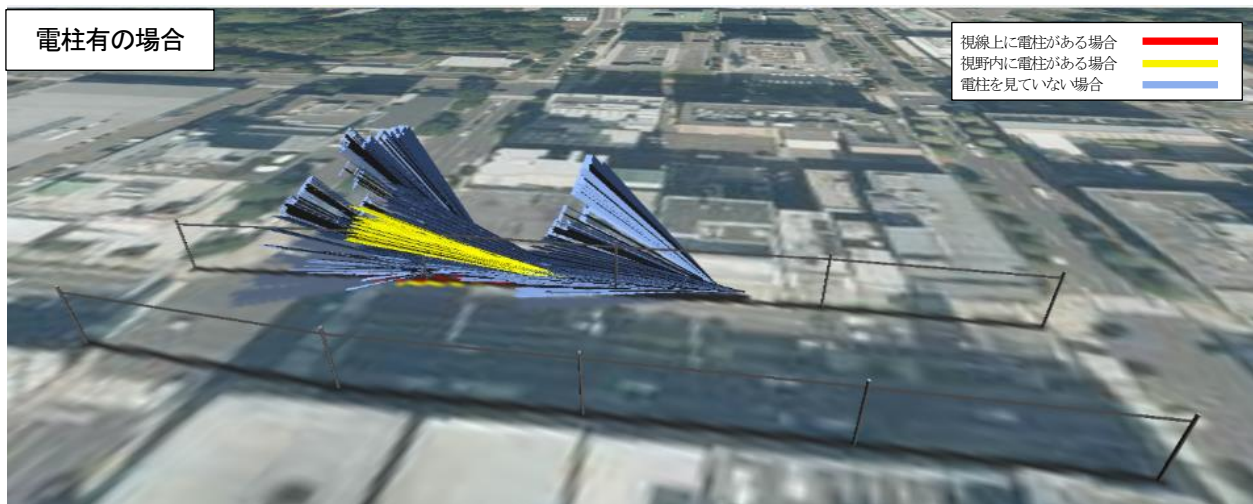


図-13 GISによる可視化の例

(2) QGIS を用いた可視化

QGIS の 3D 地図を用いることで、視線と視野の可視化を行った。QGIS 上に地理院地図を読み込み、歩行経路、視線、視野を配置することで、実験参加者の行動を可視化した。歩行経路にばらつきがあるため、起点から交差点前までの区間を抽出することで、データの統一を図った。また、歩行の前に操作説明をしていた間のデータも削除し、歩行中のデータのみとした。

視線上に電柱がある場合は赤に、視野内に電柱がある場合は黄に着色することで、どの程度電柱を見ているかを可視化した。なお、青で表示されている場合は視野外に電柱が存在しており、実験参加者は電柱を見ていないとする。図-13にQGIS上での可視化結果の一例を示す。上段は電柱有の場合のデータ、下段は電柱無の場合のデータである。なお、本画像は電柱有、電柱無ともに同じ実験参加者のものである。

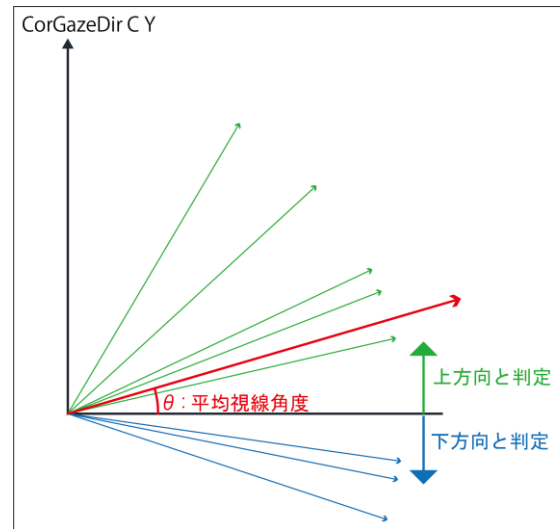


図-14 視線方向の上下と平均

5. アンケートと VR ログデータの関連性の検証

(1) 実験参加者の分類

主観調査の結果より、[質問 7: 電柱に対する意識が変わりましたか]の回答から A 群, B 群, C 群に分類した。質問への回答と分類は以下の通り。

- 変わった(6名) : A 群
- 少し変わった(4名) : B 群
- あまり変わらない(8名) : C 群
- 全く変わらない(2名) : C 群

なお、“どちらともいえない”と回答した 2 名は分類から除いた。

(2) 視線方向の上下による分析

視線方向が水平の場合、“CorGazeDir C Y”の値が 0 になることから、図-14 のように正負の割合をもとに視線の上下の判定を行った。電柱有の往路と電柱無の復路の正負の割合から変化量を算出して、A 群から C 群の比較を行った結果を図-15 に示す。

変化量は、“CorGazeDir C Y”の電柱有の場合の上方向の割合 P_{u1} と、電柱無の場合の上方向の割合 P_{u2} の変化量 ΔP を下記の式で表す。

$$\Delta P = P_{u2} - P_{u1} \quad (1)$$

結果、電柱に対する意識が変わったグループほど、変化量が上昇していることが分かった。

(3) 平均視線角度による分析

“CorGazeDir C Y”の平均値を算出することにより、平均

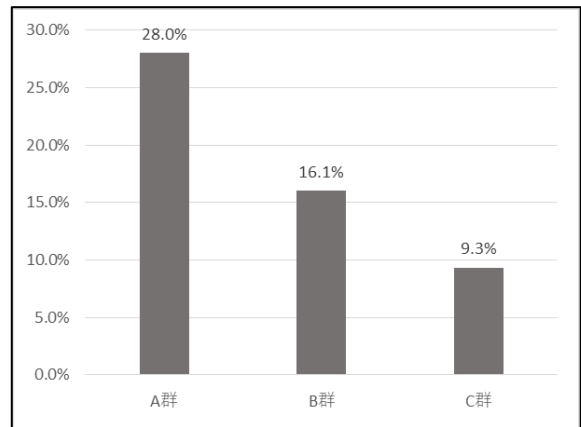


図-15 視線方向の上下による変化量

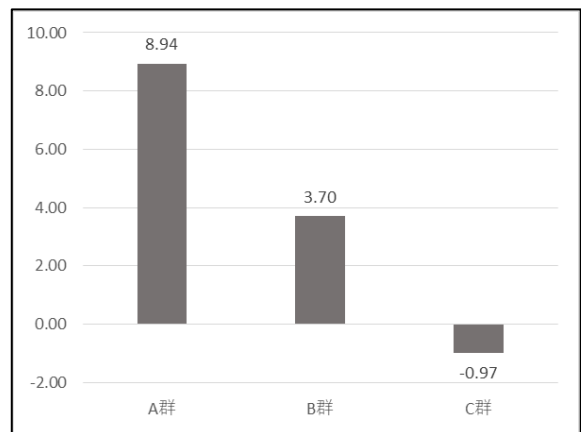


図-16 平均視線角度変化量

的な視線がどのような向きであるかを求め、A 群から C 群の比較を行った。電柱有の場合の平均視線角度 θ_1 と電柱無の場合の平均視線角度 θ_2 を求め、角度の差分を平均視線角度変化量 $\Delta\theta$ とする。

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 \quad (2)$$

比較結果を図-16 に示す。電柱に対する意識が変わったグループほど、視線の平均値が上向きに変化していることがわかった。また、電柱に対する意識の変化がなかったC群は、電柱が表示されている場合よりも電柱が表示されていない場合のほうが視線が下がる傾向があることが分かった。

(4) 無電柱化の必要性による分析

A群からC群の[質問6:無電柱化の必要性を感じた理由]の回答の傾向を比較した結果を図-17 に示す。無電柱化に対する意識が向上したA群は、全員が“景観がよい”と回答した。一方で無電柱化に対する意識が向上しなかったC群では、“景観がよい”と回答したのは0名であり、“通行しやすい”、“安全に感じる”、“電柱があると危険に感じる”に回答が分散した。

視線方向が上に傾いている実験参加者は景観に対しての関心があり、無電柱化の必要性を感じているが、視線方向が下に傾いている実験参加者は通行のしやすさや、安全性といった部分への関心があり、電柱以外へ着目していることが分かる。このことから、無電柱化に関心がある実験参加者は特に景観向上の効果に着目しており、それ以外の効果に関しては着目していないといえる。

6. おわりに

仮想空間における無電柱化体験により、多くの人の電柱に対する意識が変化することが分かった。これにより、仮想空間を用いた体験が無電柱化に対する意識に影響を与えることが示された。

VR ゴーグルによる仮想空間内での挙動のログデータを取得することで、移動経路や視線の向きが解析が可能となる。これにより視線挙動に関する様々な分析への活用が可能である。また、主観調査を並行して実施することにより、意識の変化による視線の変化が解析可能となる。

アンケートと VR ログデータの関連性より、実験参加者の特徴を分析した。電柱に対する意識が変化した実験参加者は視線が上向きで景観に関する関心が強いこと、一方で意識が変化しなかった実験参加者は視線が下向き

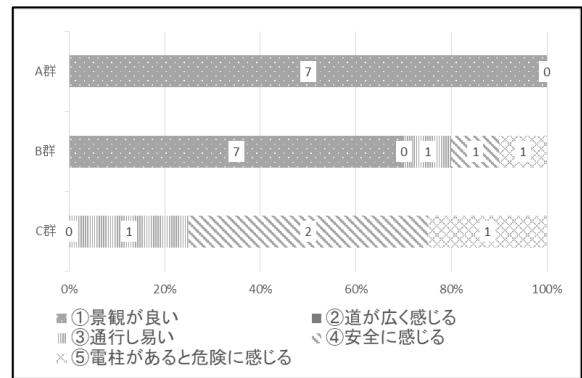


図-17 グループごとの無電柱化の必要性を感じた理由

な傾向があり、景観以外の要素への関心が強いことが分かった。これにより、無電柱化の効果検証において、仮想空間における VR ログデータの活用が有効であることが示された。

本実験では1箇所の仮想空間内でのみシミュレーションを行ったが、複数の路線などでの比較を行うことにより、さらに詳細な分析を進める必要がある。また、電柱以外の構造物にも応用可能であるため、道路付属物の形状やカラーリングなどの選定においても活用できる可能性がある。

参考文献

- 1) e-GOV 法令検索 電線共同溝の整備等に関する特別措置法, https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=407AC0000000039_20220401_502AC0000000049
- 2) e-GOV 法令検索 無電柱化の推進に関する法律, https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=428AC1000000112_20220401_502AC0000000049
- 3) 国土交通省 無電柱化推進計画, <https://www.mlit.go.jp/road/road/traffic/chicyuka/pdf/21-05.pdf>
- 4) 大石洋之, 西名大作, 田中貴宏: 全国の自治体における無電柱化事業の実態に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 77巻 674号, pp. 839-846, 2012
- 5) 岩田圭佑, 松田泰明, 高橋哲生: 無電柱化事業における景観形成の効果発現に関する考察, 第61回北海道開発技術研究発表会, 2018
- 6) 石田 眞二, 亀山 修一, 奈良 照一, 宮坂 純平: 無電柱化整備による道路のシークエンス景観の効果計測に関する研究, 土木学会論文集 D1 (景観・デザイン), 67巻1号, pp. 1-10, 2011