

景観評価における没入型VR装置CAVEの導入可能性と有効性の検証

小島 翼¹・早川 雄喜²・深堀 清隆³・窪田 陽一⁴

¹ 非会員 埼玉大学大学院理工学研究科博士前期課程環境システム工学系専攻 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255, E-mail: kojimatubasa@yahoo.co.jp)

² 非会員 株式会社NTTデータ・イントラマート (E-mail: hayakawa_t5@yahoo.co.jp)

³ 正会員 博士 (学術) 埼玉大学大学院理工学研究科環境科学・社会基盤部門 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255, E-mail: fukahori@mail.saitama-u.ac.jp)

⁴ 正会員 工博 埼玉大学大学院理工学研究科環境科学・社会基盤部門 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255, E-mail: y1kubota@env.gse.saitama-u.ac.jp)

本論文では、景観評価へのVR装置の導入可能性と有効性について述べる。まず、課題の一つである、実空間と仮想空間の知覚の誤差について、知覚する大きさと速さの2点で調整法による心理実験を行い検証した。要因としては周辺の建物や樹木の有無、また、テクスチャの有無を用いた。結果的には被験者の半数以上で実空間と同様の速度、大きさを知覚していることが分かった。また、建物や樹木、テクスチャのどれかが欠ける程度ならば評価に差はないことが分かった。次に、CAVEの有効性について、本装置が他媒体に対する優位性をもつかとの観点から、心理評価実験によく用いられる静止画や動画と比較して景観評価における違いを分析した。対象は道路景観内の広告物の配置について行い、結果としては各媒体で統計的有意差は見られなかった。しかし、違いに関する傾向や、媒体比較を通じて判明した景観体験の特徴をここに示す。

Key Words : CAVE, VR, Landscape evaluation, media comparison, sense of speed, sense of scale,

1. 目的

近年、VR技術の発達はめざましく、景観分野においてもVR装置が実践的に利用されるようになってきた。特に没入感VR装置CAVEでは歩行体験に近い状態での景観評価が行え、従来、評価媒体として用いられてきた静止画や動画とは一線を画する技術である。

CAVEの最大の特徴は視野の広がりや首振り動作など、本来の歩行体験での行動の多くが可能な状態で景観評価が行えることである。これによって、従来では被験者のより現実的で自然な反応が見づらかったが、景観の動的な変化への反応についての確かな評価を得ることができる。その他にも、静止画や動画では、首振りができずに視線固定の画像を眺めることしかできなかったのに対し、CAVEでは自由に視野内を見ることができ、静止画や動画では捉えられない実際の景観体験に近い評価が可能となる。そして、もう一つの特徴として立体視がある。これによって、物体の奥行きや把握の向上や要素間の空間関係の把握が向上する。

反対にCAVEでの景観評価には、大がかりな装置が必要なことや、設定や操作、投影までに時間がかかる、一定時間暴露を受ける被験者のVR酔いなどデメリットも多い。

特に十分なサンプル数による評価が必要な心理実験において、多数の被験者に同時に映像を提示できない事は問題であると考えられる。また、現実空間に比べ大きさの知覚などにおいて誤差が生まれることも指摘されている¹⁾。

本研究では、2つの実験より、CAVEの景観評価への導入可能性と有効性の検証を行う。まず、最初に現実空間とCAVEでの移動速度と大きさの知覚の違いを調整法による心理実験より明らかにする。これは装置そのものの空間再現性能の評価である。しかしCAVEの視野のひろがりや3次元空間認識の再現性が他媒体より優れているのは当然であり、景観評価の実用性の観点からは、あえて高価で操作の煩瑣な装置を使うだけの優位性が他媒体に対してどの程度あるのかを把握しておく必要がある。従ってCAVEと動画、静止画を用いた景観評価より、媒体間の比較をおこなう。その結果、静止画や動画が持つ現実感の問題が、街路景観の評価において、些末な問題に過ぎず、静止画等の代用で十分なのか、あるいは大きな欠点として考慮すべき重みをもつのかを検討する。

2. 没入型VR装置CAVEの特徴

(1)ハードウェアの構成と機能

CAVEは正面、右、左、下の2.5m×2.5mの4面のスクリーンに投影された映像を、液晶シャッターメガネを用いて、立体的に視認する装置である。磁気センサーを活用したヘッドトラッキングにより、直交するスクリーン間のゆがみが補正され、観察者が内部で移動しても、またどの方向に視線を向けても正しく映像を表示、没入することができる。またワンドと呼ばれるマウスのような入力装置により、観察者が手で空間移動やその他の映像の制御ができる(図-1)。各スクリーンに映像を投影するプロジェクターの解像度は1350×1100である。

(2)CAVEのメリット・デメリット

a) メリット

- ・首ふりや周辺視などの再現の点で実際の歩行体験に類似した景観体験が行える。
- ・VRなので映像の要因操作・変更が容易にできる。
- ・立体視により奥行き感の増大や、トラッキング機能と大型のスクリーンにより等身大の映像を投影でき、被験者から対象までの距離や対象間の位置関係が動画や静止画より正確に把握できると考えられる。
- ・首振りや周辺視、視点移動の再現により近景要素の重なりによる空間認知の制限が解消され、側面の視界が急に開けるなどの急激な景観変化に対応できる。

b) 問題点・デメリット

- ・スクリーンと被験者の距離が近いと大きさや奥行きなどの知覚が歪むなどの問題がある。
- ・両眼立体視が可能であるが、視差のずれ等から、奥行きや大きさの知覚がゆがむことがある。また、箱庭効果が生じ、仮想空間を現実空間よりも小さく感じてしまう可能性がある。これは個人差があるものであり、一人一人の認識のずれをこまかく見る必要がある。
- ・トラッキング機能などにより同時に実験ができない。
- ・大掛かりな装置が必要であり、サイズの大きいデータの場合、提示に時間がかかるなど効率が悪い。



図-1 CAVE 装置【左：装置全景(正面、左右、下の4面スクリーン、中央の液晶シャッターメガネとワンド)】【右：使用時の投影の様子】

c) 研究課題

- ・導入可能性・装置の空間再現性の検証

CAVEではスクリーンの問題や、両眼立体視時に大きさや奥行きなどの知覚が歪んだりしてしまう問題が指摘されている。本研究で扱う規模のCAVEにおいて、現実空間と仮想空間のものの大きさと移動速度の知覚を課題とし、個人レベルでの空間認識の差について検討し、CAVEそのものの空間再現に関する性能評価の観点から景観評価への導入可能性を検証する。

・有効性の検証

CAVEでは歩行体験に則した景観評価によって、空間配置の知覚の向上と急激な景観変化への対応ができるのは確かである。しかしその再現性は程度の問題にすぎない。また景観評価における視覚提示媒体はそれぞれ再現対象や評価尺度に応じて適不適がある。従って先の課題は、基本的な空間再現性と被験者の認識を問うものであるが、もう一つの課題として、具体的な景観評価の課題に対し、CAVEがどのような点で、他媒体より優位となりうるのかを把握していく必要がある。対象や用いる心理尺度によっては、静止画の提示で十分ということもあり得る。本研究はこのような観点から、街路景観における屋外広告物の乱雑感をケーススタディとして採用する。そしてCAVEに由来して視野や配置、移動の知覚が向上し、動画と静止画とは異なる景観評価結果が得られるのかを検討し、CAVEの景観評価への実用面での有効性を検証する。

3. 現実空間と仮想空間の比較実験

(1)実験概要

本研究では、歩行を伴う景観評価への利用を想定して、基本的な視覚要素である周囲の空間の大きさ知覚と、動的な空間を知覚する際の基本的な要素である速度知覚が、現実とどの程度違うのかを検証する。

島村ら²⁾は移動距離、移動速度、空間の密度感を円柱の本数で表し、CAVEを用いて心理評価実験を行い、心理速度を測定した。結果としては高密度において心理速度を高く見積もる傾向があるという結果を得た。岡野ら³⁾の研究では周辺視ディスプレイの有無による速度間の知覚の変化を求め、周辺視ディスプレイがある方が知覚が向上するという結果を得た。Robert V. Kenyon⁴⁾らの研究では、CAVEを用いて大きさの恒常性が起こるかを確かめている。コーラボトルの大きさを、床にチェックの模様を描き、テーブルの上にある状態と、何もない状態と比較した。手がかかりとなる情報量が多いほど恒常性も保たれやすいことが指摘されている。

以上のような研究から、大きさや速さの知覚には手がかかりとなる情報の量や空間内の密度が関係していると考えられる。しかしこの装置については、実際の街路景観

に近い屋外の条件で、与えられた速度に対して、知覚した速度を分析するなど、実空間と比較するような研究は見当たらず、単純な物体についての成果は、そのまま街路空間においてもあてはまるとは限らない。そこで、本研究では、空間知覚のてがかりとなりうる映像の情報量としてテクスチャの有無を、密度として沿道の建物などの有無を変化させつつ、実際の空間の歩行体験と、CAVE装置内で同様の空間の歩行体験を比較しCAVE装置で実空間と同様な速度と大きさを知覚しているかを検討する。

(2) 歩行速度の知覚の実験

a) 実験対象

実験で歩行する場所としてCAVE装置からの移動距離が短く、比較実験を行いやすい、埼玉大学内の16m区間の通路を選定した。比較対象となる仮想空間には、現場と同一場所をCGモデルで再現したものを使用した。また、仮想空間での歩行速度の知覚に影響を与える要素を抽出するため、描画要素を変化させ①建物の無いCGモデル（左下）、②木の無いCGモデル（右上）、③建物と地面表面のテクスチャの無いCGモデル（右下）も作製した（図-2）。更に、被験者の歩行速度の大小による影響も調べるため、通常の歩行による実験と、早足による実験をそれぞれ実施した。実験は、現実空間での観察が容易な日中のみ行い、また、視界の悪い雨天時は実験を行わなかった。

b) 被験者

被験者は埼玉大学の学生18名（被験者1～18）であった。

c) 実験方法

実験は調整法を用いた。

まず、被験者は現実空間での歩行を行い、このとき歩行速度を計測する。また、この際被験者には一定の速度で歩くように告げる。次に、被験者は同一場所のCGをCAVEに投影した仮想空間をコントローラで視覚的に移動して、同時にコントローラで現実速度と同じに感じるように速度の調整を行う（実験中、被験者は自分が調整した速度の値は知ることができない）。以上の作業を、練習を1回行った後、4パターンのCGモデルに対して2回ずつ、計8回行う。その後、現実空間の歩行速度を速くして、再び同様の作業を4CGモデル×2回、計8回行う。

d) 結果

被験者が現実空間で歩いた速度と、その直後に仮想空間内で現実と同じと感じるように調整した速度の比の平均値を縦軸に、それぞれの被験者を横軸にとったグラフを図-3に示す。この比は、被験者が仮想空間内で現実と同じと感じるように調整した速度が、現実空間で歩いた速度に対して過大か、過小かを意味する（1より大きい場合は過大に感じている）。全被験者の比の平均値は、通常

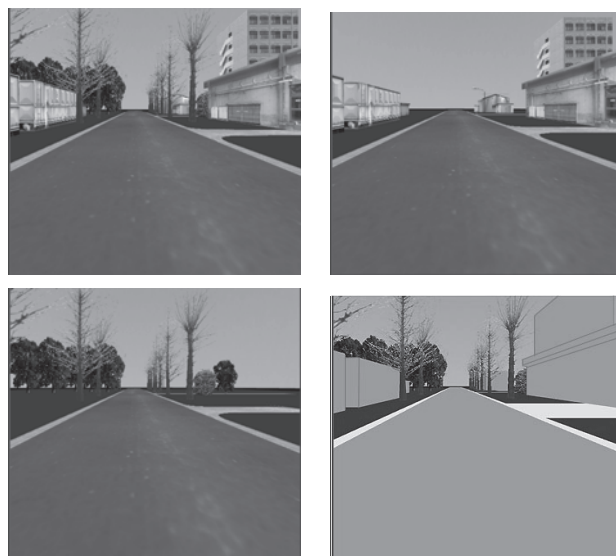


図-2 CAVEで表示するCG

（左下：建物の無いCGモデル、右上：木の無いCGモデル

右下：建物と地面表面のテクスチャの無いCGモデル）

モデルが1.026、通常モデルから木を無くしたモデルが1.013、建物を無くしたモデルが0.990、テクスチャを無くしたモデルが1.028であった。被験者の各計測データを通常モデルとその他のモデルとでそれぞれ検定を行い有意差を測定したところ被験者5の木のないモデルにのみ有意差があることがわかり、他に有意差が現れる被験者はいなかった。

次に、通常の歩行と速い歩行との比較では、全被験者の通常の歩行データの平均値が1.083、速い歩行のデータの平均値が0.939となった（図-4）。全データを通常の歩行データと速い歩行データに分けて、その両者に対してt検定を行ったところ有意差があるという結果になった。また、被験者別に通常の歩行と速い歩行について計測値を標本としてt検定を行ったところ全18被験者中8名に有意差があると示され、いずれの被験者も通常歩行に比べ、速い歩行のときには、仮想空間内の速度を遅く感じる傾向が見られた。

また、通常のCGの4回の計測値を平均値の検定により平均値1との有意差があるかを調べたところ、被験者3、4、5、6、7、10、11、17の8名に有意差が現れた。他の10名に対しては有意差は現れず統計的には現実と等しい速度知覚を得ていると言える。

(3) 大きさの認識の実験

a) 実験対象

歩行区間は前述のものと同一の場所を使用、CGモデルは4つのCGの内、通常のCGモデルのみを使用し、純粋に現実空間と仮想空間の大きさの比較のみを対象とした。実験は日中のみ行い、雨天時は中止した。

b) 被験者

被験者は埼玉大学の学生17名

c) 実験方法

まず、被験者は現実空間での歩行を行う。この際被験者には一定の速度で歩くように告げる。次に、被験者は同一場所のCGをCAVEに投影した仮想空間をコントローラで視覚的に移動して、同時にコントローラで現実空間と同じに感じるように仮想空間の大きさ調整を行う(実験中、被験者は自分が調整した値は知ることができない)。以上の作業を計10回行う。

d) 結果

全被験者の現実と同じ大きさに感じる仮想空間の倍率の全計測値の箱ひげ図を図-5に示す。この箱ひげ図は縦に伸びる細い線が最大値と最小値の幅、箱の上端と下端が第一四分点と、第三四分点、-のマーカが中央値、+のマーカが平均値をそれぞれ表している。調整倍率は、1倍のとき現実と等しく、1を超える時は現実より過小視、1より下のときは過大視しているということになる。全被験者の平均値は0.996となり、平均値の検定による平均値1との有意差が現れた被験者は、被験者1, 3, 7, 13, 16, 18の5名であった。5名の内4名は過大視傾向であり、

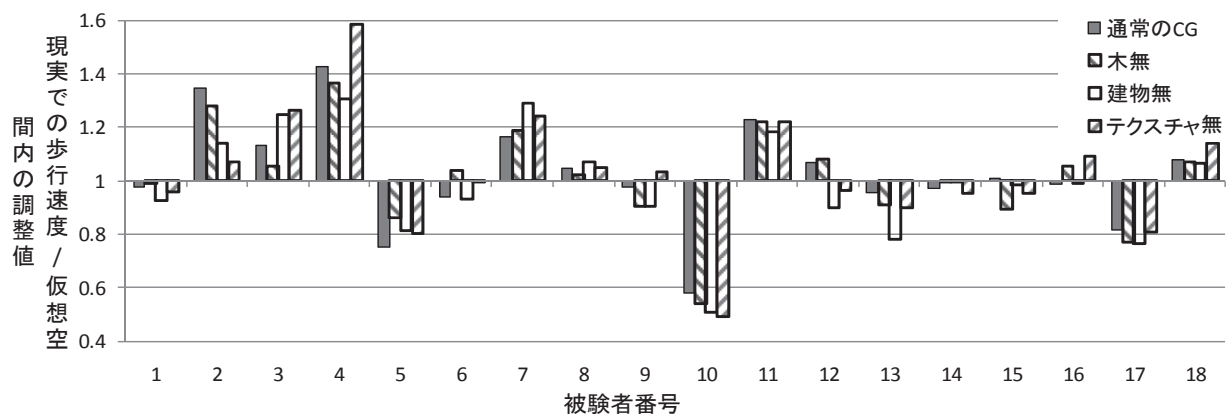


図-3 現実の歩行速度と仮想空間での調整値比

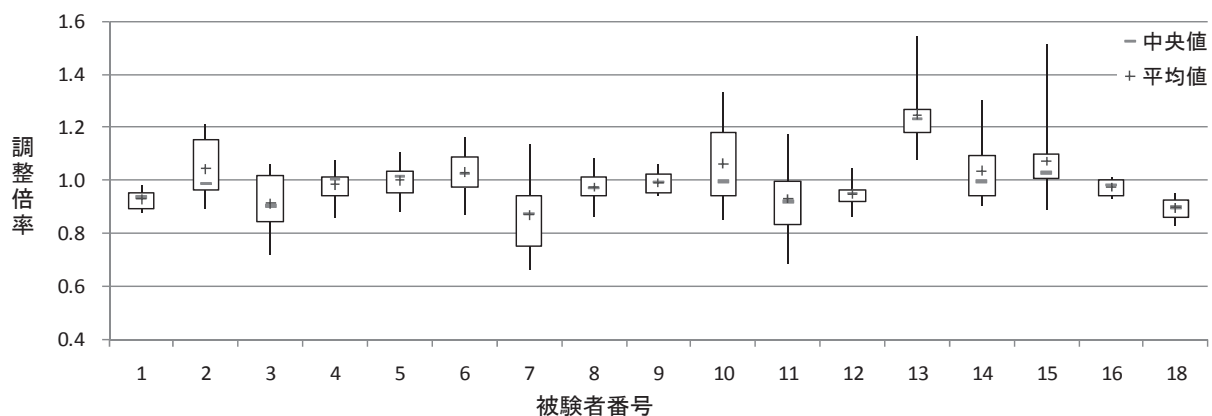


図-4 歩行速度の比較

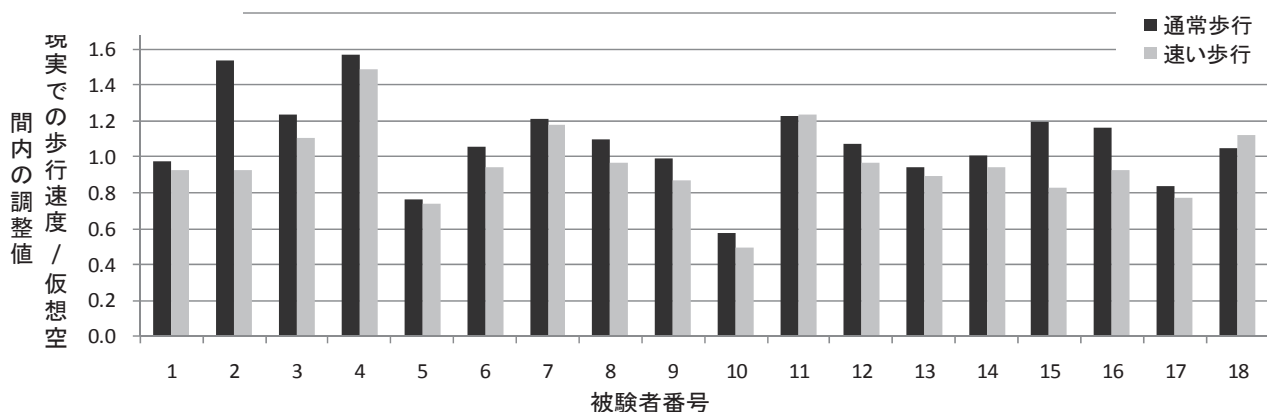


図-5 大きさの調整倍率のばらつき

1名は過小視傾向であった。

平均値の検定の結果、統計上は17名中12名が等倍との有意差がないという結果となり、CAVE空間内では、現実に近い大きさの知覚が得られる可能性が高いと考えられる。しかし、一部の人は過大視することも見て取れ、実験時には注意が必要である。

(4) 考察

速度知覚の検証実験において、通常モデルと他のモデルを比較して、有意差が見られたのは被験者5のみだったことから、通常モデルから木や建物、テクスチャのような要素を一つ取り除いても速度知覚に与える影響は統計上はほとんど無いと言える。島村らの研究¹⁾によれば高密度の空間ほど仮想空間内の速度を速く感じるという報告がされており、本研究の結果と食い違っているが、一方で濁澤らの研究²⁾では移動視覚刺激の頻度は速度感に影響を与えないという報告もされており、島村らの研究では、単純な円柱を配置しただけの空間を用いているのに対して、本研究では建物、木、表面を再現するテクスチャと、距離の手がかりとなる情報が複数存在するモデルを用いているため、一定量以上の速度手がかりは速度知覚に影響を与えない可能性が考えられる。しかし、統計上の有意差は見られないが、被験者4や10のように、密度の低い仮想空間では速度を過小視している被験者も存在し、島村らの研究と同様の現象が起きている可能性も考えられる。

歩行速度に関して、実験結果からは速く歩行をした場合仮想空間内の速度を遅く感じるという結果が出ているが、現実においては歩行に伴い筋肉運動や接地の感覚が存在するのにに対して仮想空間内においてはそれが存在しないため、速度知覚が減少している可能性がある。

また、速度の知覚について、個人のデータをみてみると、4回の計測の平均値で検定をしたところ、平均値が1とみなせない被験者が18名中8名であったが、その内4名が過大視、4名が過小視となっており、全体として過大もしくは過小視となるかは判断できない。ただしこれらの被験者は、4回の計測では共通して過小もしくは過大視となっており、過小、過大視いずれかの傾向が人によって異なって表れることが観測された。

大きさの知覚においては被験者1, 3, 7, 13, 18以外の被験者は平均値1との有意差は見られなかった。有意差のある5名中4名は過大視傾向であり、CAVE内で大きさ知覚にずれが生じる場合過大視側にずれることが多い可能性も考えられる。被験者10のように上下にデータに幅があるにも関わらず平均値1との有意差が無いと現れる被験者が存在するが、これは大きさに対する弁別閾が大きいためだと考えられる。

4. 景観評価におけるCAVEと他媒体との比較

(1) 実験概要

心理評価実験の媒体の比較は、以前からいくつか行われている。ト部ら⁵⁾の研究では、静止画と動画の評価の違いを、景観構図に見られる線要素から考察している。竹内ら⁶⁾の研究では、シークエンス景観と、連続シーン景観の比較を行っている。ここでは、VTRにより、動画と重要な景観地点の連続した静止画の比較が行われ、評価が道路景観のどの要素に影響を受けやすいかを論じている。また、材野ら⁷⁾の研究や永瀬⁸⁾の研究では、首振りなど動画での実験では観察できない行動に着目して研究を進めている。小林ら⁹⁾の研究では一般的なプラズマディスプレイ、VRの効果も確認されているヘッドマウントディスプレイ、高い臨場感が得られるステレオディスプレイを用い、複数の形容詞を用いて評価している。奥行き感や立体感の向上がヘッドマウントディスプレイでは見られた。

海外でも、媒体による評価の違いに関する研究はいくつかある。Michael Mullinsら¹⁰⁾は、CAVE、Panorama、実空間の知覚の正確性を比較している。I. D. Bishopら¹¹⁾は動画と実空間で昼夜それぞれの公園の評価の比較を行い、シミュレーションは環境の主要な特徴の再現に有効だが必ずしも実環境と同じ反応を引き起こさないこと、植栽や色彩の再現性の点で注意すべきと指摘している。

以上のような研究があるが、CAVEなどのVR装置が他の媒体と景観評価の点で優位かは検証されていない。しかし、首振りなどの静止画や動画では不可能な行動が可能など、VR技術によって、奥行き感や立体感の向上がされることは確認されており、他の媒体よりも有意な景観評価が得られる可能性がある。

本研究では特に空間内の物体の位置把握による景観評価への影響を調査する。CAVEの視点移動や周辺視、立体視を考慮すると、静止画や動画よりも正確に位置の把握ができると考えられる。その結果が評価にどのように反映されているのかやどのような要因が評価に影響を与えるかを検証し、CAVEの有効性を示すことを目的とする。

(2) 評価対象

本研究では、研究対象には屋外広告物を用いた。屋外広告物は高さや道路横断配置、進行方向配置など、3次元空間内の配置を任意に変化させられ、空間配置の知覚の向上による景観評価への影響を見ることに適している。

変動要因を広告物の空間的配置要因である、高さ方向、道路横断方向（以後横断方向）、進行方向（以後奥行き方向）とした。実際に実験をする時に、評価対象の設置条

件は,なるべく現実の空間に則している必要がある.今回は事前に行った現地調査を参考にCGを作成した.

また,現地調査より,広告物の現状の課題としては,複数の広告物による乱雑な景観が生み出されていることであり,本研究では,広告物の乱雑感の問題を対象に取り扱う.

(3) CG概要

CGを用いた心理評価実験を用いて屋外広告物の乱雑感を定量化するが,この時,配置形態要因以外の要因によって評価が変動しないように,その他の要因を固定した.

また,変動要因は「(4)景観評価の仮説的枠組み」及び「(5)実験仮説」の考えに基づき設定した.

a) 固定要因

現地調査の結果を参考にCGを作成した.対象となる道路は,さいたま市内の幹線道路で,沿道の土地利用が第1種住居地域,第2種住居地域で,道路構造令より第3種第2級の規格を用いた.区間長は60mとした.沿道建築物は2~3階建てを想定し高さ8mとし,広告物は区間内に合計12個を千鳥配置で配置した.広告物は横断方向,高さ方向の配置を自由に変更できる広告板を採用した(表-1).

b) 変動要因

変動要因としては高さ方向,横断方向の配置のバリエーションを用いた(表-2).一定は全ての広告物が同じ高さや横断配置,奥行き方向に等間隔配置をしており,ばらつき(=基準位置からのずれ)は広告物が特定の3つの位置にランダムに配置されて出現するようになっている.また,静止画,動画,CAVEの媒体比較では,高さ方向において,ばらつき1mと同様の配置分散をしており,奥に進むにつれて,徐々に高さが高くなり,中央で折り返す山型のものと,反対に谷型のものを用意し,それぞれ,「高さ配置山」,「高さ配置谷」とした.これは,それぞれ媒体の特長に応じて異なって,その規則性が知覚され,それによって乱雑感が変化するであろう事を想定して作成されたものである.横断方向にも同様に作成した.奥行き方向も同様に,規則性の知覚によって乱雑感が変化すると考え,一定は10mに等間隔で配置したもので,ランダムは自由に配置した.2点集中は区間両端に5m間隔で3ずつ配置した.

(4) 景観評価の仮説的枠組み

ここで,本研究の媒体比較において,有意差が出るであろう要因とその仮説を述べる.まず,考えられるのは,CAVE装置の機能による空間配置の知覚の向上である.しかし,本研究では設定した実験条件の影響を考えなくてはならない.本研究では1街路60秒という長い映像提示や媒体内で相対的な評価を行う実験方法を取っており,

表-1 固定要因

a) 道路構造

道路構造	第3種第2級
対象区間長	60m

b) 沿道形態

建築物高さ	8m
セットバック量	2.7m

c) 広告物

総個数	12個(千鳥配置で左右6個づつ)
縦幅	1.8m
横幅	0.6m
奥行き	0.15m
面積	1.08㎡
掲示内容	写真よりテキストチャ貼り付け(地:青 文字:黄色)
支柱	幅 0.1m 高さ 広告物上端まで

表-2 変動要因

要因名	カテゴリ名	内容	
		基準位置	ばらつき(=基準位置からのずれ)
高さ方向	一定	5m	0m
	ばらつき1m	5m	1m(4m,5m,6m)
	ばらつき2m	5m	2m(3m,5m,7m)
	山型	5m	1m
	谷型	5m	1m
道路横断方向	一定	セットバック中央	0m
	ばらつき0.5m	セットバック中央	0.5m(0.65m,1.15m,1.65m)
	ばらつき1m	セットバック中央	1m(0m,1.15m,2.15m)
	山型	セットバック中央	1m
	谷型	セットバック中央	1m
奥行き方向	一定		等間隔
	ランダム		5-20-5-10-10m
	2点集中		端一端

この実験方法より大きく分けて2つの評価への影響が考えられる.

まず一つが映像提示開始から被験者が評価を判断するまでの経過時間と入手情報の変化である.これは,軸方向への視点移動により,近景の重なりが解消して得られる実験開始位置とは異なった景観イメージが体験されることによる問題,すなわちシークエンシャルな変化がもたらす被験者の認識の問題である.静止画では評価まで,同一のイメージしか持たないのに対して,動画やCAVEといった視点移動を伴う媒体は実験開始点から終了時まで多様なイメージを受け取るし,反面初期の情報は薄れることが予想される.それらに関係すると考えられる仮説的枠組みを後述するa)~d)までに示す.

もう一つは,配置の知覚が向上することによる評価の変化である.静止画よりも動画,動画よりもCAVEの方が各対象の位置の把握は向上すると考えられる.例えば,静止画では1地点からの情報しか得られず,進行方向への配置はそこからの重なりなど周辺との位置関係によってのみ,知覚される.しかし,動画やCAVEでは,進行軸方向への視点移動に伴い,対象の横を通過するといった,異なる情報を得ることができる.さらにCAVEでは立体視や没入により等身大の仮想空間が体験され,対象間の位置関係の把握がさらに容易になる事が予想される.また,被験者から対象までの距離などが測りやすいと思われる.それによって景観評価が影響を受けると考えられる.この仮説的

枠組みをe)に示す。

a) 景観評価の次元

景観評価は美しい、美しくないなどの形容詞対に結び付けられるが、実際の評価ではその過程で複数の次元によって行われている。それを簡潔に整理すれば、視覚的・身体感覚的・意味的の三つにまとめることができる。今回はその中から以下の二つの概念を用いる。

- ・視覚的評価：対象の姿形としての眺めの評価であり、本研究では複数の広告物の位置関係を把握するのに寄与すると考えられる。
- ・身体感覚的評価：対象を2次元的な眺めでなく3次元の空間として認識し、そこでの行動に結びついた評価である。例えば、遠くにある広告物に対して、実際に近づいて見ると思ったより高い位置にあるなど、本研究では、単体の広告物の空間内の位置の把握に寄与すると考えられる。

b) 初期評価

本実験において、実験開始直後の映像の影響のもとで行われる評価を初期評価、歩行中に行われる評価を区間内評価、最後に区間全体を振り返って最終的な評価を最終評価とする。

実験開始時の被験者の道路上の位置は静止画、動画、CAVE、全てにおいて同じであり、実験開始時は全ての媒体で眺めるような視覚的評価により、全体の構図から景観評価が行われると考えられる。その後、動画やCAVEでは視点移動に伴う、身体感覚的評価による、広告物一つ一つの配置の知覚の向上とそれによる評価への新しい情報が得られ、同時に、前進するにつれて街路上にある広告物数が減少し、全体のバランスをみる視覚的評価による新しい情報量が減少すると考えられる。

c) 記憶

実験時の評価は通常対象区間を歩行完了してから行ってもらふ。その間約1分の間に見たものを人がどう記憶し評価へ反映させるかは重要である。今回静止画の場合は提示時間が10秒であり、移動を伴わないため、評価は視覚的評価のみが行われると考えられる。しかし、動画、CAVEでは、対象区間に入るまで約10秒、初めの広告物から最後の広告物まで約50秒、計1分の時間を要する。対象区間内に入ってから、全体を見ることが困難になり、視覚的評価より、身体感覚的評価が中心に行われると考えられる。

ここで、スクワイアの記憶分類より、短期記憶の概念を用いると、短期記憶は約20秒間保持され、5～9までの情報しか保持できないとされている。短期記憶の保持できる情報量と時間を考慮すると、動画とCAVEでは、初期の視覚的評価より得られた情報の忘却が考えられる。そして、後半に身体感覚的評価より得られた情報を処理し、評価へと反映する可能性があげられる。

反対に初期評価を最終評価へ繋げるには、記憶を再生し続ける必要がある。さらに、記憶の再生時に系列効果¹²⁾というものがあり、記憶の再生には初頭効果と親近効果という再生時には最初と最後の項目が多く再生される。この考えを考慮すると、本実験において、動画、CAVEでは、先程とは反対に、長期記憶の再生時には、初期評価が多く再生され最終評価に強く影響する可能性は高いと考えられる。

また、記憶の再生には、その過程で、省略や合理化、強調や細部の変化が働いてしまう。よって、この場合、初期評価や区間内評価で得られた情報は、最終評価する際の記憶の再生の過程において、実際の配置より、変化した状態で評価される可能性がある。

d) 評価プロセス

ここで本実験において、最終評価が決定されるまでのプロセスを仮定してみると以下の4つのケースが考えられる。

1. 初期評価による最終評価。
2. 初期評価が正確に再生されて、区間内評価が合理化される。
3. 初期評価がうまく再生できず、区間内評価が強調される。
4. 双方の記憶がうまく再生できない。

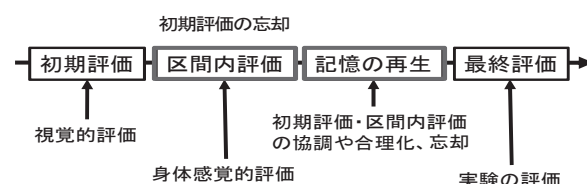


図-6 評価プロセス

1の「初期評価による最終評価」は、静止画のように初期評価時に最終評価を下されている場合である。この場合、区間内評価は行われず、区間内はただ、時間を浪費し、最終評価時に、初期評価の決定を用いる。

2の「初期評価が正確に再生されて、区間内評価が合理化される」は、初期評価と区間内評価は双方が行われたが、記憶の再生時に、初期評価が優先的に再生され、区間内評価は初期評価の結果に合理化されると考えられる。極端な例を言えば、初期評価では乱雑な評価、区間内評価では整然な評価を得ても、最終的な評価時に、初期評価の記憶が強く再生され、区間内評価も乱雑だったと記憶が再生され、最終評価も乱雑だったという結果を得てしまうことがあげられる。

3の「初期評価がうまく再生できず、区間内評価が強調される」は初期評価がうまく再生されず、区間内評価が再生され、最終評価が得られるという考え方である。本研究では、空間配置の知覚が向上するという仮定から行わ

れており、もし、評価間に有意差があるとすれば、区間内評価時の身体感覚的評価における、空間配置の知覚の向上による評価の変動が考えられる、この場合が多いと考えられる。

4の「双方の記憶がうまく再生できない」は実験時の被験者の集中力不足などにより、うまく情報を記憶できない、または、再生できずに評価が不十分になると考えられる。

e) 要因の影響力の変化

もう一つの考え方として、1 要因の評価の影響力が媒体間で相対的に変動する可能性があげられる。後述するが今回は評定尺度法と、一対比較法を実験に用いるため、相対的評価を得ることができる。例えば、静止画での評価が高さ方向の要因に支配されやすいとする。ここで、仮にCAVEでは立体視や、視野の広がり等、媒体の特長によって、横断方向の配置の知覚が向上すると、横断方向の要因の評価への影響力が上昇し、高さ方向の要因の評価への影響力が相対的に減少し、媒体間の評価に変動が起これと考えられる。特に本研究では、上面が無いことから、高さ方向の知覚の上昇よりも、横断、奥行き方向の知覚の上昇が観察されると考えられる。

(5) 実験仮説

本実験の仮説をここにまとめる。

1. CAVEの立体視や4面のスクリーンによる等身大の表示などによって、距離感がつかみやすく、また、移動軸方向の視点移動によって近景の重なりが解消され、高さ配置や横断配置のばらつきがつかみやすくなると考えられる。
2. 静止画では単純にばらついて見えるものが、移動軸方向の視点移動を伴うことで、規則性を覚える可能性がある。また、立体視によって横断方向の規則性はCAVEでより、知覚されやすくなる。
3. CAVEではトラッキング機能により移動軸方向以外にも自由に視点移動ができる。これによって、微量なばらつきは被験者自身が移動するため知覚されにくくなる可能性がある。
4. トラッキング機能に加え、CAVEでは4面のスクリーンによる視野の広がりなど、注視点が他の媒体よりも自由に移動できる（左右および足元のスクリーン、首をひね

る事により、近景の重なりを消去できる）ため、得られる情報が増え、ある特定の要因（高さ方向等）による評価への影響力が下がる。

5. CAVEでは他の媒体に比べて配置の知覚が変化し評価に影響が出る可能性があるが、配置の知覚の変化が、直接評価に影響するかは不明である。本実験において、初期評価のインパクトが強かった場合には、配置の知覚の変化が評価に大きな影響を与えない可能性がある。

まず、実験仮説1～3はCAVE装置の機能により評価が変化する可能性を示した仮説であり、実験仮説4, 5は実験方法によって評価が変化する可能性を示した仮説である。

本研究は、CAVE装置の有効性を検証するものであるが、評価に差があれば、媒体間での使い分けを示唆する知見となり、差が無ければ、場合によってはより簡易的な方法で景観評価を実施できる事を示すこととなる。

表-3 実験パターン

番号	高さ	横配置	奥行き	番号	高さ	横配置	奥行き
1	一定	一定	一定	27	ばらつき2m	一定	一定
2		ランダム		28			ランダム
3		2点集中		29			2点集中
4		ばらつき0.5m	一定	30		ばらつき0.5m	一定
5		ランダム		31			ランダム
6		2点集中		32			2点集中
7		ばらつき1m	一定	33		ばらつき1m	一定
8		ランダム		34			ランダム
9		2点集中		35			2点集中
10		山型	一定	36	山型	一定	一定
11		ランダム		37			ランダム
12		谷型	一定	38		ばらつき1m	一定
13		ランダム		39			ランダム
14	ばらつき1m	一定	一定	40	谷型	一定	一定
15		ランダム		41			ランダム
16		2点集中		42		ばらつき1m	一定
17		ばらつき0.5m	一定	43			ランダム
18		ランダム					
19		2点集中					
20		ばらつき1m	一定				
21		ランダム					
22		2点集中					
23		山型	一定				
24		ランダム					
25		谷型	一定				
26		ランダム					

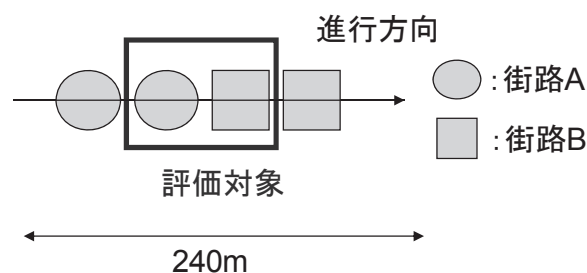


図-7 一対比較法における実験街路モデル



図-8 配置図（左：高さ一定、横断一定、奥行きランダム 中央：高さばらつき2m、横断一定、奥行き2地点集中 右：高さ山型、横断ばらつき1m、奥行き一定）

(6) 心理評価実験

媒体間の評価の違いを見るために心理評価実験を行った。媒体は静止画、動画、CAVEを用いた。評価尺度としては道路景観の乱雑感を用いた。ここでは要因の組み合わせにより、評価対象が増えるので、実験時間の都合上、奥行き配置の異なったグループごとに評定尺度法による計測を行い、グループより評価が両極端の対象を選んでさらに、比較法による尺度構成を実施し、全体の尺度を補正、統合する方式を採用した。グループは合計3つで計43パターンの街路が対象になった（表-3）。

a) 評定尺度法

どのような街路パターンがあるかを確認してもらうために、まずグループごとに全評価区間を繋げたものを歩行してもらう。この時の掲示順はランダムとする。その後、評価区間を一つずつ歩いてもらい、1（整然）～7（乱雑）段階で乱雑感を評価してもらった。また、静止画では提示時間を10秒とし、CAVE、動画は区間を歩き終わったら評価してもらった。視点高さは、静止画、動画は1.5mとし、移動軸を動画、静止画では左側の歩道中央、CAVEでは歩道内を自由に移動できるように固定、移動速度は80m/minとした。評価は被験者が望めば複数回行えるようにした。

b) 一対比較法

60mの街路を1区間とし、比較する街路を連続して繋げて、歩き終わった時に前後のうち乱雑に感じた方を選んでもらった。ここで、評価する対象区間の条件を一定にするため、図-7のように対象区間のモデルの前後に同じ街路モデルを接続した。これによって比較対象Aは投影直後の街路を眺めることによる評価の影響を軽減することができ、また、比較対象Bは比較対象Aと同様に遠景に比較対象Bが見える街路となり、より公平な比較ができると考えられる。

c) 実験環境

実験は埼玉大学のCAVE装置を用いた。正面、左右、下の4面のスクリーン（2.5×2.5m）からなり、1350×1100の解像度のプロジェクターによって画像が投影される。動画、

静止画時は、正面のスクリーンのみを使用し、立体視のないモノラル表示にした。これによって、媒体間での実験条件を統一した。

d) 被験者

被験者は埼玉大学の学生で各媒体共に20名に被験者を得ることができた。

静止画：男16名 女4名

動画：男18名 女2名

CAVE：男17名 女3名

(7) 結果・考察

a) 分散分析

分散分析の結果、各媒体間のカテゴリー別乱雑感平均値に有意差（ $\alpha=5\%$ ）は見られなかった（図-9）。これは、全体的な傾向として、静止画以外の媒体でも、初期評価と最終評価の結果に差異が無いことを示していると考えられる。つまり、景観評価時には、初期位置での景観体験がより重要と考えられる。前述の評価プロセスで考えれば、「1. 初期評価による最終評価」か「2. 初期評価が正確に再生されて、区間内評価が合理化される」となり、道路景観の評価には初期評価時の視覚的評価が重要だと考えられる。しかし、これだけでは、区間内評価の影響があるかどうか分からない。図-9を見てみると、有意差は無いものの、高さばらつき1mと2mでは媒体間で乱雑感の順に変動が生じており、また、横断配置のばらつき1mにおいてCAVEのみ尺度値が大きいことがわかる。これは、少なからず空間配置の知覚の向上が起こっていることが考えられる。そこで、今回は林の数量化理論Ⅰ類を用いて、各要因毎の評価への影響度を見てもう少し詳しく分析してみる。

b) 数量化理論Ⅰ類のレンジによる各媒体間での配置形態別の考察

乱雑感を被説明変数にし、林の数量化理論Ⅰ類を行った。図-10はその結果である。決定係数が高いことから、各媒体で分析の信頼性は高いといえる。表の見方としては、

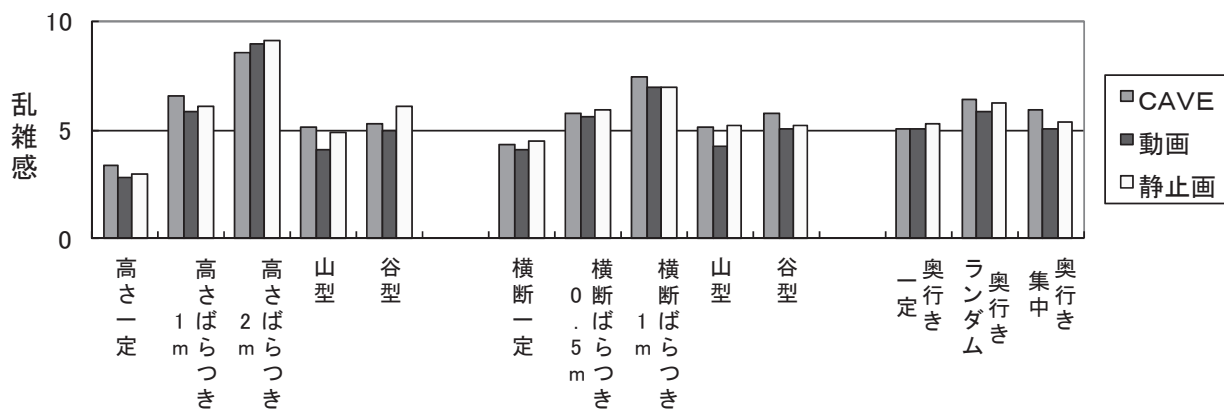


図-9 各媒体の配置要因と乱雑感の関係

レンジを見ることで、影響の強い要因を見ることが出来る。

まず、横断方向を見てみると、レンジはCAVE、動画、静止画の順に大きいことが分かる。これは、視点移動、立体視、4面のスクリーンと等身大の表示によって、広告物までの距離が計りやすくなったことにより、CAVEで横断方向の知覚が向上したためだと考えられる。

奥行き方向を見てみると、レンジは動画、CAVE、静止画の順に大きいことが分かる。これは、視点移動により奥行き方向の知覚が向上したことが考えられる。しかし、CAVEでは、視野の広がりや首振りなどにより、正面以外のスクリーンを見る時間が増加した事や、動画ではスクリーン端部によって広告物が視野内から消えるのに対して、CAVEでは4面のスクリーンによって、一つの広告物が視野内から外れるタイミングが異なり、結果、規則性の知覚が動画より減少したことも考えられる。

高さ方向を見てみると、レンジは、静止画、動画、CAVEの順になっている。これは、CAVEでは横断方向や、奥行き方向の知覚が向上したことにより、評価への影響が強くなり、相対的に高さ方向の要因の影響力が低下したと考えられる。

分析結果より、横断配置と奥行き配置でCAVEの方が静止画よりもレンジの値が大きく、高さ配置では静止画よりもCAVEの方がレンジの値が小さくなっている。これは横断配置と奥行き配置でCAVEでの配置の知覚が向上し評価への影響度が向上し、それに伴って高さ配置の評価への影響度が減少したためと考えられるが、レンジの大小関係においてもそれに整合したデータが得られていると確認できた。すなわちCAVEでは、レンジを見ることによって、横断配置と奥行き配置の知覚が向上した可能性がある。そこで、次にこういった特徴を持った要因の評価が変化しやすいかをカテゴリースコアを用いて検証する。

要因の特徴を分類し、以下の三つに分けた。

「整然化傾向」：以下の要因の状態のときに整然と評価される。

- ・高さ方向 一定
- ・横断方向 一定

「乱雑化傾向」：以下の要因の状態のときに乱雑と評価される。

- ・高さ方向 ばらつき1m, 2m
- ・横断方向 ばらつき0.5m, 1m
- ・奥行き方向 ランダム

「規則性による整然化傾向」：以下の要因の状態のときに規則性の知覚によって、整然よりに評価される。

- ・高さ方向 山型, 谷型
- ・横断方向 山型, 谷型
- ・奥行き方向 一定, 集中

c) 各要因のカテゴリースコアの挙動に関する考察

図-10の棒グラフはアイテム別のカテゴリースコアをグラフ化したものである。

【整然化傾向】

まず、整然化傾向についてみると高さ方向の整然化傾向を持つ高さ一定では、静止画が最もカテゴリースコアが低く、動画、CAVEの方が高くなっている。一方、横断方向の整然化傾向が強い横断方向一定の条件では、CAVEが最もカテゴリースコアが小さいことがわかる。これは、先程述べた各配置形態の要因の評価への影響度が理由として考えられる。CAVEでは視点移動、立体視、4面のスクリーンと等身大の表示によって、広告物までの距離が知覚しやすくなったことにより、横断方向の知覚が向上したと考えられる。これによって、横断配置の乱雑感への影響度がCAVEでは上昇し、整然化傾向が強い横断一定の条件では最も整然としているとの評価を得たと考えられる。反対に静止画では横断配置による影響力はCAVEほどなく、高さ方向による評価への影響力が高いため、整然化傾向の高さ一定の条件ではもっとも整然としているとの評価になったと考えられる。

【乱雑化傾向】

次に、高さ方向の乱雑化傾向について見てみる。高さばらつき1mでは、カテゴリースコアはCAVE、動画、静止画の順となっている。高さばらつき2mの結果では、カテゴリースコアは動画が最も大きく、次いで静止画、CAVEの順になっている。これについては高さばらつき1mにおいて、先程から挙げている要因の影響力による相対的な評価の

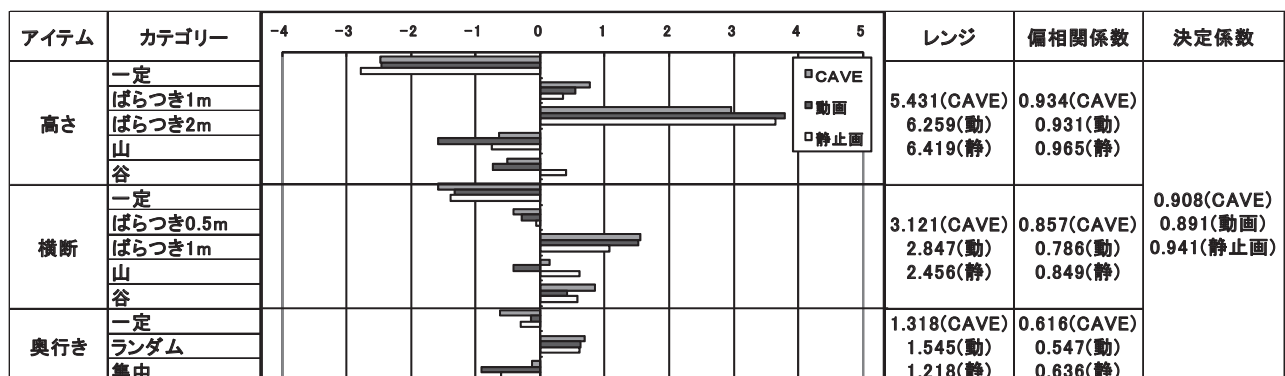


図-10 乱雑感と各アイテムカテゴリーの関係

変化だけでは説明がつかない。なぜなら、要因の影響力による相対的な変化であれば、高さ方向で乱雑化傾向となるカテゴリーでは静止画が最も乱雑な評価を受けなければならないのに対し、高さばらつき1mにおいてCAVEが最も乱雑な評価を受けているからである。一つの妥当な考え方としては、CAVEのカテゴリースコアがばらつき1mでは最も高く、ばらつき2mでは最も低いことから、区間内評価時の単体の広告物の把握が再生時に、ばらつき1mでは乱雑側に強調され、ばらつき2mでは整然側に強調されたと考えられる。これはCAVE内で、ばらつき1mの時は立体視などによって、初期評価時に知覚した位置よりも、広告物が高い位置にあるなどの評価を受けたのだと考えられる。

また、横断ばらつき0.5mでは静止画、動画、CAVEの順にカテゴリースコアが大きい。横断ばらつき1mではCAVE、動画、静止画の順位カテゴリースコアが大きい。これは、区間内評価における身体感覚的評価によっても、単体の広告物の位置把握の向上が常に起こるとは限らないことを示していると思われる。つまり、視野の広がりや立体視による、広告物の位置の把握の向上は、どの条件下でも必ず起こることではない。首振り動線の変化などによる、眼球運動よりはるかに大きい注視点や周辺視の変化がある場合は、配置の分散がある一定程度よりも小さいと、そのばらつきは小さすぎて知覚できないと考えられる。反対に分散が一定以上の閾値を超えた場合にはそのばらつきを区間内評価によって知覚でき、その知覚時のインパクトが記憶の再生時にばらつきを強調して再生し、最終評価をその他の媒体より乱雑と感じる評価へと導くと思われる。

【規則性による整然化傾向】

高さ方向の規則性による整然化傾向については、ばらつき1mと山型、谷型と高さばらつき1mと山型、谷型のカテゴリースコアを比較することによって、規則性の知覚を確認できる。静止画での谷型以外は乱雑感を減少させる効果がみられる。静止画での谷型は、山形に比べ、街区中央での広告物の重なりが大きく遠景を見づらくしてしまっている。これによって、乱雑感の減少が起こらなかったと考えられる。また、評価が異なることから、被験者は初期評価のみでなく、区間内評価もしっかりと考慮していることが分かる。ただし、これは視点移動の効果が強くCAVEのみの効果ではないようである。

配置の規則性による整然化傾向においては、明確な特徴は見られなかったが、ばらつき1mと比較すると、山型、谷型ともに、静止画が最もカテゴリースコアの変化量が少ないことが分かる。これも、先程と同様に静止画では重なりなどによって、乱雑感の軽減が減少したと思われる。

最後に奥行き方向だが、動画では集中、CAVEでは一定が

最もカテゴリースコアが低くなっている。これは、CAVEでは集中配置の規則性が知覚されなかったか、あるいは一定配置の規則性が優先されたことが挙げられる。動画も、同様な考えができ、一定配置の規則性が知覚されなかったか、集中配置の規則性が優先されたと考えられる。しかし、動画、CAVEにおいて、集中、一定ともにスコアはマイナスを示しており、ともに規則性が知覚されたと考えられる。よって集中配置の規則性が知覚されなかったとは考えにくく、CAVEでは一定配置の規則性を、動画では集中配置の規則性が優先的に知覚されたと考えられる。これはCAVEでは首振りや広い視野、立体視など、CAVEの特長によって、横断配置の分散などの配置の知覚が向上し、景観評価に用いることのできる情報が増加し、反面に最も単純な規則性が優先されたと考えられる。動画ではCAVEよりも得られる情報が少なく、その分、多少難しい規則性であっても正確に認識し評価したと考えられる。

5. 結論

本研究では、2つの実験を用いてCAVEの景観評価への導入可能性と有効性の検証を行った。

まず、実空間と仮想空間の速度と大きさの知覚に差があるかを調べた。結果としては、速度に関しては仮想空間と現実空間の速度の差のデータを根拠にすればほぼ差はないと考えられる。一方大きさの知覚については、17名中5名に有意差があり、かつその内4名が過大視傾向ということで、景観評価において空間形態に関して厳密な知覚が要求される場合には、被験者の大きさ知覚について事前のテストが必要かもしれない。そうでなく例えば複数の映像の相対比較で傾向を見いだしたい場合などはCAVEによる景観評価が概ね問題無く現実空間の代替として用いることができるだろう。ただし統計的に差がないというのは平均として一致するということであり、初見では被験者が正常な速度・大きさの知覚ができていないおそれがあることにも注意が必要である。また、映像の質としては一部のテクスチャの有無や空間内の建物の有無などが、速さの知覚に影響がないことも分かり、実験条件においては比較的簡易なCGで行えると言える。

次に、CAVEの特徴の一つである、配置の知覚の向上によって動画と静止画の媒体と比較して景観評価に差が出るかを求め、CAVEの景観評価での有効性を検討した。結果としては媒体間では差はなく、CAVE以外の媒体でも代替できると言える。ここから、今回のように街路を歩行する動画であっても前半と後半で大きな違いが無いような場合では、体験初期の静止画的な景観評価がある程度、全体の評価を支配している可能性がある。統計的な有意

差はないものの、あえて要因別のデータの傾向を吟味したところ、配置の規則性による整然化傾向をみると、景観体験としては初期評価のみならず区間内評価も加味されている可能性もあるが、動画とCAVEでは大きく差がないようである。その静止画との違いをあえて厳密にとらえるならば、動画のレベルで十分な景観評価ができると考えられる。一方、配置形態ごとにみれば、静止画では高さ方向の要因変化による評価への影響が強いのにに対し、CAVEでは横断方向の変化による評価への影響力が強いなど、媒体による景観評価に違いがある可能性はある。しかし、本研究で用いたCAVEに上面スクリーンがあった場合は高さ方向の知覚も同様に向上する可能性がある。結論から言えば、比較的簡易な実験は動画を用い、厳密な形態知覚の実験ではCAVEなどを用いるとよいと考えられる。

本研究では、実空間と仮想空間の大きさと速度の知覚を比較し、景観評価へのCAVEの導入可能性を示すことができたが、CAVEの有効性としては、動画や静止画との明確な差は見出せなかった。景観評価では、被験者が評価として表明したものよりも、評価時にふるまいとして顕示するものにより重要な手がかりがあると考えるので今後は、アイマークレコーダやビデオなどを用い、被験者がどのような情報を得ているのかやどのような行動をとっているのかなどに着目し、情報の探索行動から、評価について厳密な検証を行う必要があると考えられる。また、2章で述べたようにCAVEのメリットが働く景観評価として、シークエンスにおいて急激な景観変化が起こるような状態の検証も今後必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 山之上裕一, 湯山一郎: 立体映像における撮影条件と箱庭効果, テレビジョン学会技術報告17(75), pp.51-58, 1993
- 2) 島村達也, 北島律之: 仮想経路での移動における時空間の評価, 電子情報通信学会技術研究報告. HIP, ヒューマン情報処理 107(117) pp.57-60, 2007
- 3) 濁澤雅, 上岡高之, 片倉正彦, 大口敬, 鹿田茂則: 視覚環境が運転者の速度感に及ぼす影響要因解析, 土木計画学研究・講演集vol.28, 2003
- 4) Robert V. Kenyon, Daniel Sandin, Randall C. Smith, Richard Pawlicki, and Thomas Defanti: Size-Constancy in the CAVE, MIT Press Journals Vol. 16, No. 2, Pages 172-187, 2007
- 5) ト部淳, 材野博史: シークエンス景観の線要素による空間評価研究, デザイン学研究. 研究発表大会概要集 (45), pp.110-111, 1998
- 6) 竹内稔, 藤本信義, 三橋伸夫: シークエンス景観と連続シーン景観の評価構造分析, 日本建築学会計画系論文集, No.475 pp.119-128, 1995
- 7) 材野博史, 宮岸幸正: 基本構造シークエンス景観と行動シークエンス景観との関係, 日本建築学会計画系論文報告集, No.438 pp.79-85, 1992
- 8) 永瀬節治: 街路歩行者の景観体験における支援方向と景観認識, 日本建築学会計画系論文集, No.619 pp.105-115, 2007
- 9) 小林秀明, 浅井紀久夫: 歩行動作環境において提示ディスプレイの違いが感性に与える影響, Technical report of IEICE. HIP 105(165) pp.143-148, 2005
- 10) Michael Mullins, Interpretation of simulations in interactive VR environments: Depth perception in CAVE and PANORAMA, Journal of Architectural and Planning Research, No.23 pp.328-339, 2006
- 11) I.D. Bishop, B. Rohmann: Subjective responses to simulated and real environments: a comparison, Landscape and Urban Planning 65, 261-277, 2003
- 12) G.R. ロフタス, E.F. ロフタス: 人間の記憶—認知心理学入門—, 東大出版会, 1980

(2010.4.16 受付)

LANDSCAPE REPRESENTATION OF CAVE AND COMPARISON WITH OTHER VISUAL MEDIA IN LANDSCAPE EVALUATION

Tsubasa KOJIMA, Takenobu HAYAKAWA, Kiyotaka FUKAHORI and Yoichi KUBOTA

Effectiveness to use virtual reality device, CAVE in landscape evaluation is discussed in this study. The difference of spatial cognition between real and virtual space is analyzed regarding the basic perceptual items, sense of speed and size. The method of adjustment is conducted to test the difference using 18 respondents. As a result, the significant difference regarding the sense of speed is not observed and significant difference regarding sense of size is observed in 5 respondents. In addition, the psychological scale 'sense of complexity' obtained by the experiments using CAVE and other visual media, still image and animation is compared. The result shows no significant differences between visual media.