

VRML を用いた景観シミュレーションの空間評価への適用可能性に関する基礎的分析¹A basic analysis of a applicability to space design valuation
by landscape simulation using a VRML browser¹三谷 哲雄²・山中 英生³・河口 真一郎⁴

Tetsuo MITANI, Hideo YAMANAKA and Shinitirou KAWAGUCHI

1. はじめに

景観設計においては、意思決定や合意形成、動機付け、確認、周知のために景観シミュレーションが利用されている。景観シミュレーションでは、情報の理解と受容を目的として、従来から写真や模型などが使用されてきた。一般に移動の自由度が増すほど空間表現力は高くなるといわれ、最近ではCGを用いたアニメーション(CGA)も利用されている。しかしながら、これらは受動的な移動視によるアニメーション(受動視動画)であり、さらに自由度が増すと考えられる能動的な移動視(能動視動画)を用いた景観シミュレーションの応用例は少ない¹⁾。しかも、その多くはGWSなどの性能、価格ともに高価なマシンを利用したものである。

近年、パソコンを使ってインターネット上でインタラクティブに3次元空間を表現する技法として、VRML (Virtual Reality Modeling Language)が開発され、普及しつつある。VRMLは、3D空間を任意の視点から自由に眺めること(空間の能動視)ができる。また、高度な環境処理や空間共有などによって、仮想現実空間の表現力を高められる。このため、VRMLはインターネットによる3D情報の呈示や仮想ショッピングモール、仮想コミュニティ形成などの手段としての利用例が増えてきた。こうしたVRMLの特徴は、仮想現実空間の表現手段としてだけでなく、景観シミュレーションへの利用も可能と考えられる。特に、能動視動画の特徴を活かした新しい空間評価手法の開発や空間共有化による複数設計者による共同設計作業などが可能になると考えられる。

本研究では、このVRMLを援用した空間評価手法を開発するための基礎的研究の一環として、VRMLによる能動視動画を援用した景観シミュレーションの空間評価への適用可能性について検討を試みた。具体的には、VRMLの空間呈示メディアとしての評価とともに、VRMLを援用した景観シミュレーションによりアフォーダンス理論を適用した空間評価メディアとしての利用可能性について検討を試みた。

2. 研究の視点

(1)VRML²⁾³⁾と景観シミュレーション

景観シミュレーションにおいては、空間認識や見えの呈示などを目的として、空間の3次元処理や周辺環境の処理、多様な視点への配慮、情報の正確性などの機能が要求される。

近年インターネットの普及は目覚ましいものがあり、教育研究機関にとどまらず一般企業や家庭にまで広く普及している。インターネットを利用すれば、不特定、多数の利用者が同時に情報を閲覧、共有、発信することができる。

一方、こうして急速に普及してきたインターネット上でプラットフォームに依存しないインタラクティブな3次元シーンの表現を目的として、共通言語の仕様が1994年から進められており、それがVRMLである。VRMLでは空間構成物の形状や色などを指定し、それを3次元空間へ配置する機能とともに、その空間構成物に動きや音、センサーを付加したり、高度なマッピング・環境処理(霧や光源などの表現)、マルチユーザ機能、高速動画処理技術(LOD: Level Of Detailなど)、外部言語とのインターフェース(スクリプト制御)などの追加で、より高度な3次元仮想空間を表現できる。表-1は、VRMLの特徴とその利用特性について整理したものである。

表-1 VRMLの特徴と利用特性

VRMLの特徴	利用特性
プラットフォーム非依存性	データ汎用性
インターネットでの利用 ・マルチユーザ機能	空間共有
高度な3次元処理 ・自由な視点移動 (能動的視点移動) ・センサー(構成物の存在) ・動き、音、環境処理	自由度の高い空間認識 ・多彩な視点 (自発的行動) ・周辺環境の処理

このため、例えばゲームや3次元CADなどの空間情報の呈示手段としてだけでなく、景観シミュレーションにおける空間呈示手段としても利用可能と考えられる。特に、能動視動画の特徴を活かした新しい空間評価手法の開発、また空間共有化による複数の設計者や住民参加による共同設計作業、不特定多数の空間評価実験などが可能になると考えられる。

1 キーワード: VRML, 能動視動画, 景観シミュレーション, 空間評価

2 正会員 工博 流通科学大学 情報学部 経済情報学科

〒651-2188 流通科学大学

T(078)796-4401/F(078)794-3054/ mitani@umds.ac.jp

3 正会員 工博 徳島大学工学部建設工学科

4 学生員 徳島大学工学部大学院

(2)アフォーダンス理論

アメリカの心理学者ギブソンのアフォーダンス理論⁴⁾では、「環境」を「動物の周囲の世界」と定義し、その環境は「動物に対して行動や行為を誘発する情報」を持つとされ、これをアフォーダンスとし、さらに「環境」には、そのアフォーダンスの要因となる「想起された空間構成要素（オブジェクト）」が存在するとされている。このアフォーダンスあるいはオブジェクトは良いものであれ悪いものであれ「すべての環境が備えたり用意したりしている」とされている。さらにギブソンは、「我々の周囲世界は能動的世界で、我々が認識するためにしていることは、環境に対して情報を探索すること」と述べている。つまり、空間にはアフォーダンスが存在し、そのアフォーダンスを含む情報は、受動的ではなく能動的な移動によって獲得するものである。また、環境を探索すればするほど豊富な空間情報を得て空間認識は拡大すると述べている。

このため、景観シミュレーションにおいて、こうした人の行動を左右するアフォーダンスやオブジェクトの存在あるいはその影響を把握することは、空間機能の抽出やその評価において重要な意味を持つと考えられる。しかしながら、ギブソンによって現実空間ではその存在等が確認されているが、景観シミュレーションなどによる仮想空間におけるアフォーダンスの研究は見られない。

(3)分析の視点

そこで本研究では、能動視可能な VRML の景観シミュレーションへの適用可能性について、自由な視点移動すなわち能動的な移動視（能動視）機能に着目して、VRML の空間呈示メディアとしての評価ならびに空間評価手段としての利用可能性について検討することにした。特に、空間評価手段としての利用可能性の検討では、アフォーダンス理論を適用し仮想空間内でのアフォーダンスを確認することで、空間評価のためのアフォーダンス探索における VRML の利用可能性についても検討した。

具体的には、VRML で構築した仮想空間内を被験者に自由に閲覧させ、その後いくつかの質問に答えるアンケート実験を行った。実験の際、受動視（つまり能動視の程度が低い）動画と対比するために、能動視の程度を被験者の移動の自由度とみなすことで、被験者に3レベルの移動制約を設定した。

3. 実験概要

実験対象空間には、大阪市御堂筋の約 1.1km の区間をモデル化し、それを VRML によって構築した仮想空間を用いた。その空間の概略図を図-1に示す。ここでの空間データには、沿道建物、道路、歩道、街区、分離

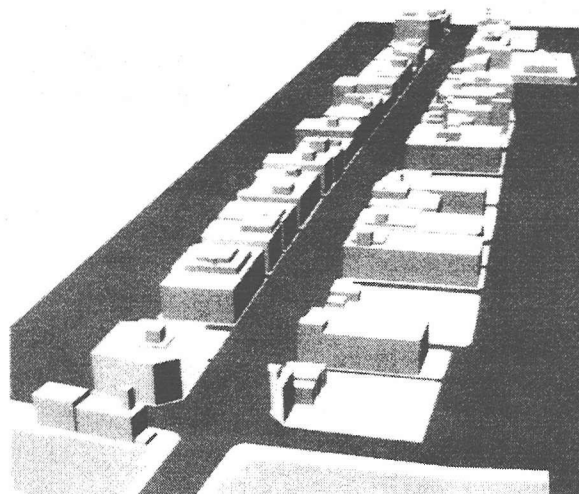


図-1 空間概略

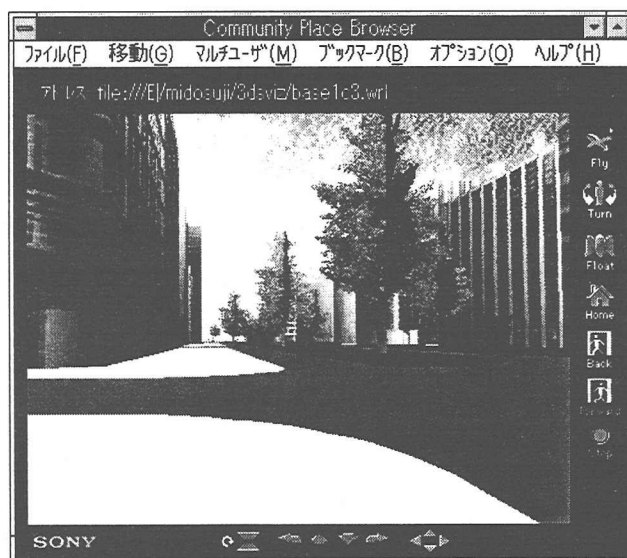


図-2 実験空間の表示例

帯、街路樹の構成物のほかに、歩行者信号機、ベンチ、自販機、ごみ箱を地物として配置した。

空間構築には、オートデスク社製 3次元 CAD の「3D Studio VIZ R1.0（以下は VIZ と略す）」を用いた。具体的には、空間構成物のうち沿道建物は、既存の 3次元 CG データ（単純な BOX 図形に建物表面画像をマッピングしたデータ）から図形データと画像データを別々にコンバートし、VIZ 上で再構築した。他の地物は、ゼロから構築した（ただし、単純な BOX 図形に現物を写真撮影した画像をマッピングしたもの）。これらを VIZ で空間内に配置し VRML 空間を生成した。生成した VRML ファイルを実験用に各種調整を施し、実験空間を完成させた。今回の実験空間の構築においては、結果的に沿道建物の既存 3次元データのコンバートに大半の時間を要した。これは、既存の 3D データが VRML 未対応ソフトで構築したものであったためで、最近の VRML 対応のソフトであれば時間を大幅に短縮できたと思われる。また、ある程度の図面等が用意されている場合は 3次元 CAD（VIZ など）を利用することで効率

よく空間構築が可能ではないかと考えられる。一方、他の地物は VIZ 上で最初から構築したものの単純化した構造でモデル化したため、マッピング画像収集(写真撮影)も含めて1週間程度で完成した。なお、実験空間のデータ量は、図形は約360個、画像は約8.4MB、VRML ファイルサイズは約400KBとなった。

アンケート実験には、Pentium II(233MHz)で3次元グラフィックアクセラレータなしの PC 上で Community Place(SONY 社製の VRML ブラウザ)によって実験を実施した。この環境下で動画再生は約3.0fpsであった。表示例を図-2に示す。このブラウザでは、画面下の各種矢印ボタンを押下することによって空間をその方向に移動できるほか、マウスのドラッグ操作で視点を前後に移動、視線を左右に移動することができる。被験者にはどちらの方法を使うかは特に指定しなかった。

自由な視点位置、視線方向の設定ができる VRML に対して、従来の一般的な CGA 手法のウォークスルーでは、予め決められた視点位置、視線方向でしか移動できず、受動的(つまり非能動的)な移動視と言える。そこで、ウォークスルーのような非能動的移動視と能動的移動視とを対比するために、実験時の能動視の程度を変化させた。本研究では、能動視の程度を移動の自由度とみなし、実験時の被験者に対して表-2に示すような3種類の移動制約によって、1次元の自由度がもっとも能動視の程度が低くなるように設定した。実験の被験者属性を図-3に示す。

空間提示メディアについては、VRML による動画に関してユーザーインターフェイス、画質、レスポンスについての質問、空間認知度に関しては、臨場感、大きさ感、奥行き感、高さ感を、「感じる、やや感じる、普通、あまり感じない、感じない」の5段階の尺度で質問した。

具体的には、以下の手順で実験を行った。①:ブラウザの操作の練習。②:ある移動制約下で五分間、空間内を自由に閲覧。③:閲覧後にアンケートに答える。④:②とは異なる移動制約下で同様に閲覧。⑤:閲覧後、④と同じ項目と②から④へ自由度が変化したときの認知度の変化について答える。

空間評価メディアとしての利用可能性についての評価実験は、基本的に②と同時にを行った。ただし、②と④のアンケートでは、実験終了直後に仮想空間内で想起するもの(オブジェクト)を口頭で列挙させ、その中から良い印象を持ったもの(良オブジェクト)、悪い印象を持ったもの(悪オブジェクト)を選択させた。さらに、空間の中でしたいと思ったこと(アフォーダンス)を口頭で列挙させた。

4. 空間提示メディアの評価

(1)VRML 動画

図-4は、今回の実験条件の元で用いたブラウザのユ

表-2 視点移動の自由度

自由度	視点の移動制約
1次元	直線上のみ許可(視線方向は自由)
2次元	人の視点高さによる平面移動(〃)
3次元	仮想視点による自由な移動(〃)

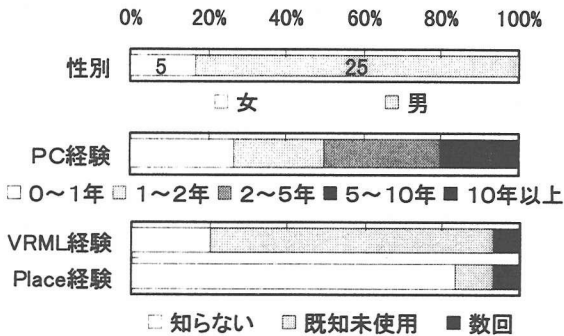


図-3 被験者属性

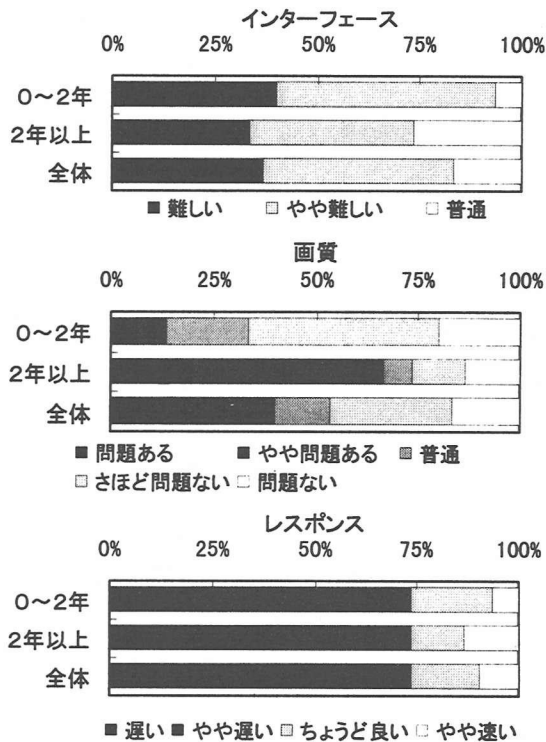


図-4 VRML 動画について

ーザーインターフェイス、画質、レスポンスの3項目についてパソコンの経験年数別に評価別の構成比を示したものである。ユーザーインターフェイスは、PC利用経験を問わず約80%の人が難しいと回答している。画質は、利用経験豊富な人が問題を指摘しているが、利用経験の少ない人にとってはそれほど問題ではないことが分かる。動画のレスポンスは、PC利用歴に関係なく約75%の人がその遅さを指摘している。

以上のことから、普及しているポインティングデバイス(マウスなどの2軸センサーのもの)で3次元空間を自由に移動することは、ワープロ画面などの平面上を移動することにくらべ、空間的概念の少ない未経験者にとっては難しいようである。このため、直感的に空間移動できるようなユーザーインターフェイスが望まれる。画

質の評価は、画面解像度、発色数、マッピング画像、ブラウザの描画性能などに影響を受けるが、PC 経験者の指摘を考慮すれば改良が必要といえる。また、レスポンスについては実験に用いたマシンおよびブラウザの性能に左右されるが、形状変化認識の低下する静止画と動画の中間的なコマ数⁹⁾である 5fps 前後のフレームレートしか出ていないことから、マシンやソフトの性能向上によってそれを向上させる必要があるといえる。

(2)空間認知度

図－5は、VRML を用いた移動視による空間認知特性別の評価項目別構成比を示したものである。凡例は「◎：感じる・○：やや感じる・□：普通・△：あまり感じない・×：感じない」である。いずれの項目も50%以上の被験者が「感じる」と答えている。VRML による動画は、被験者の良好な空間認知をもたらしているといえる。ただし、呈示される空間は、そのサイズに関わる項目は実感できるが、臨場感については割合が若干低い。これは、今回の仮想空間の構成物の不足や構成物の表現方法などのリアリティ不足が1つの原因と考えられる。

(3)移動自由度と空間認知度

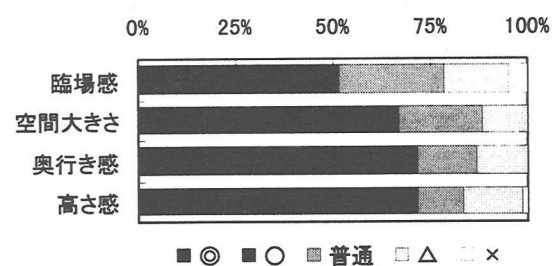
図－6は、それぞれの空間認知特性について移動制約別に集計したものである。臨場感は、すべて50%前後の割合を示している。空間の大きさや奥行き感は、移動制約のない3次元で割合が大きくなる傾向がみられる。高さ感、移動制約にあまり関係なく70%程度を示している。このため、VRML による空間認知は、1次元でも比較的良好で、総じて自由度が高いほど、空間認知は良好になる傾向が見られる。

図－7は、被験者に対する異なる2つの移動制約の実験前後での空間認知度の変化を示したものである。変化の程度は、「大きく悪化、悪化、変わらない、改善、大きく改善」とした。「大きく悪化」「悪化」に着目すると、いずれの空間認知項目でも、移動自由度の減少により空間認知が「悪化した」と回答した被験者の割合が高く、その割合は3次元から2次元への変化よりも2次元から1次元への変化の方が大きい。移動の自由度が、空間認知に少なからず影響しているといえる。

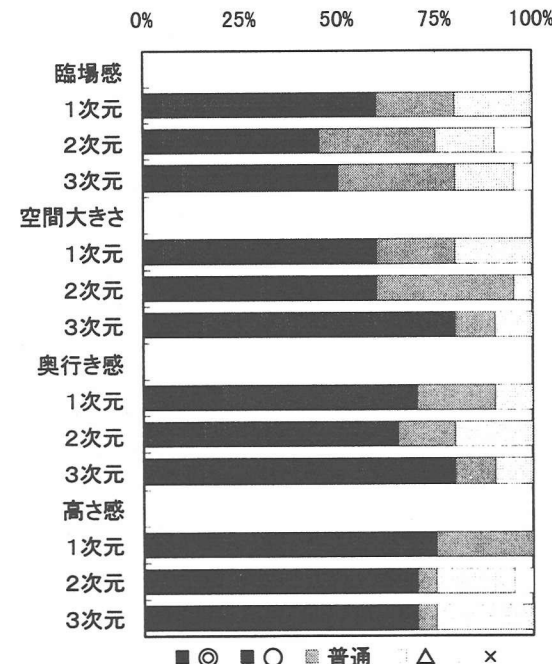
5. アフォーダンス情報との関連分析

被験者が指摘したオブジェクトやアフォーダンスの個数を想起量と定義し、この想起されたオブジェクトやアフォーダンスを総称して「アフォーダンス情報」と呼ぶことにした。これが多いほど被験者は豊富な空間情報を得ていると仮定した。

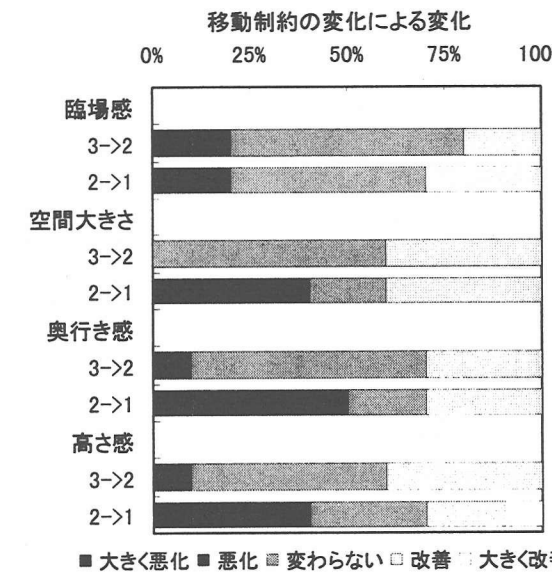
今回の実験で指摘されたアフォーダンス情報とそれぞれの指摘率(全被験者に占めるそれを指摘した被験者



図－5 VRML を用いた空間認知



図－6 移動自由度と空間認知度



図－7 移動自由度の変化と空間認知度の変化

の割合)を表－3に示す。移動中に常に見えていたり、地物として目立つオブジェクトが高い指摘率を示している。アフォーダンスについては、現実空間で日常よく目にする行為や行動に対する指摘率が高いことが分かる。

本章では、個々のアフォーダンス情報の意味や空間特

性、被験者への影響などを把握するための基礎的分析として、その想起量を使って上記仮定のもと、アフォーダンス情報量を被験者の獲得した空間情報量と捉え、アフォーダンス情報と移動制約すなわち能動視の程度との関連、およびアフォーダンス情報と被験者の移動特性との関連を分析することで、仮想空間内のアフォーダンスの存在やその探索手法としての VRML の有効性についての検討を試みた。

(1)想起量と移動制約との関連

図－8は、移動制約と想起量との関連を示したものである。グラフの縦軸はアフォーダンスとオブジェクトの想起量及び良・悪オブジェクトの指摘数、横軸は移動制約のタイプを示す。グラフ中の点は各移動制約における各項目の平均個数を表す。これによると平均オブジェクト想起量、平均良オブジェクトは移動制約が緩くなる、すなわち能動視の程度が高まるにつれて増加していることが分かる。

図－9は、移動制約の異なる2回の実験の前後に着目して、移動制約変化に伴うアフォーダンス情報の変化を示したものである。グラフの縦軸はオブジェクト想起量及び悪オブジェクト指摘数、横軸は実験回数である。図より前回の実験より移動制約が厳しくなる、すなわち能動視の程度が低下するグループは、平均オブジェクト想起量、平均悪オブジェクト指摘数共に減少している。これに対して、移動制約が緩くなるつまり能動視の程度が高まるグループは、平均オブジェクト想起量、平均悪オブジェクト指摘数が共に増加している。

以上のことから、能動視程度が高まるほど空間のアフォーダンスやオブジェクトが増加する傾向が見られることがわかる。

(2)移動特性に着目した分析

次に、被験者の実験時の移動特性（視点移動、視線方向移動などの特性）とアフォーダンス情報との関連を相関図等から判断して整理した結果が表－4である。これによると、アフォーダンス情報は総移動距離に依存していることがわかる。他の指標では全てのアフォーダンス情報に共通した関係は見られない。

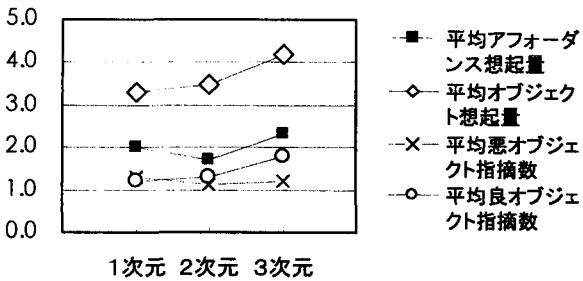
そこで、被験者の総移動距離帯別の各アフォーダンス情報量を示したのが図－10である。グラフの縦軸は各項目の指摘量を示している。これによると総移動距離が増えるにつれて各アフォーダンス情報の平均個数が増加していることがわかる。空間探索量が増えるほどアフォーダンス情報は増加する傾向にあることがわかる。

6. おわりに

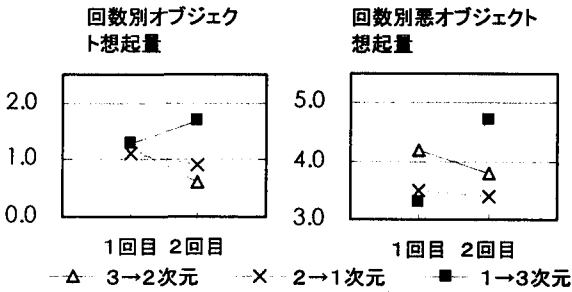
能動視可能な VRML による景観シミュレーションの空間評価への適用可能性について、VRML の空間呈示

表－3 アフォーダンス情報の指摘率

オブジェクト		アフォーダンス	
信号	53%	ビルに入りたい	33%
木	48%	歩道を歩く	27%
建物（全部）	48%	車で走りたい	25%
ポスト	35%	他の人も（車も）歩かせたい	20%
ベンチ	32%	休憩・木	15%
ガラス張りの建物	25%	自由に動きたい	13%
ビル	23%	建物をきれいに改装する	10%
歩道	23%	買い物・店	10%
分離帯	17%	他の人と話したい	10%
空	15%	上空から全体を見渡したい	5%
ごみ箱	15%	ベンチに座る	5%
路地裏	10%	路地に入りたい	5%
看板	8%	ポストにはがきを投函する	5%
緑色の建物	8%	上空から自分の場所を見る	3%
車道	7%	空を見たい	3%
店	7%	生活したい	3%
自販機	3%	信号が変わるのを待つ	3%
地平線	2%	彼女とデート・街全体	3%
影	2%	自然を加えたい	3%
電柱	2%	コーヒーが飲みたい	2%
街全体	2%	電話をかける	2%
		今いる場所を知りたい	2%
		全体図を見たい	2%
		車用の信号を作る	2%
		ごみ箱にごみを入れたい	2%
		自動販売機で買物	2%
		車道と歩道の間に木の柵	2%



図－8 移動制約別アフォーダンス情報



図－9 実験回数別オブジェクト想起量

メディアとしての評価を試みるとともに、VRML を援用した景観シミュレーションによる空間評価メディアとしての利用可能性について検討を試みた。

空間呈示における能動視の程度と人の感覚による空間認知度との関連分析から、VRML 動画そのものにつ

いては改善が必要なものの、能動視の程度が高まるほど空間認知度は良好になることが明らかになった。このことは、従来の受動視型空間提示が今回の1次元よりもさらに低い能動視程度であることからすれば、空間の能動的移動視が可能なVRMLの空間認知の程度は高まり、より正確な情報提示が可能と考えられ、空間提示メディアとしての景観シミュレーションへの利用可能性を示唆していると考えられる。

こうした能動視動画を比較的安価にパソコンレベルでもある程度利用できること、そして不特定・多数・同時というインターネットの特徴は、VRMLの大きなメリットである。例えば、インターネットを利用すれば、多人数の空間共有機能による仮想的な住民参加を実現でき、共同設計手法としての利用可能性も考えられる。さらに、VRMLの空間表現手法（オブジェクト同士の衝突判定など）の工夫と能動的行動を組み合わせれば、実際の利用者の立場に立った「空間の使い勝手」などの視点での評価を設計段階で実施したり、能動視することによって初めて明らかとなる空間特性を捉えることが可能になると考えられる。

一方、アフォーダンス理論を適用した空間評価については、移動制約が緩くなるにつれて各想起量が増大し、能動視の程度が高まるほど豊富な空間情報を得ていることが明らかとなった。また、観測者の移動の拡大に伴って空間情報は豊富になっていることが明らかとなった。このことは、仮想空間においてもアフォーダンスは存在し、能動的な移動視の可能なVRMLは、こうしたアフォーダンス探索に有効な手段であることを示唆しているといえる。そして、このアフォーダンスの仮想空間内および現実空間内での関係やその意味が解釈できれば、仮想空間内での評価結果から現実空間の設計情報を得ることも可能と考えられる。

しかしながら、今後の活用を図るためには、以下のような課題が挙げられる。VRMLの利用については、その機能によって利用可能となる空間表現手法と評価可能な項目の検討ならびにその評価精度や正確性を検討する必要がある。一方、空間評価については、実験により得られた仮想空間内のアフォーダンスやオブジェクトと被験者の行動特性との関連、被験者の視点からの空間の見え方との関連などを分析することにより、仮想空間内でのアフォーダンス情報の特性や空間構成物のアフォーダンス情報への影響を明らかにし、アフォーダンス情報による仮想空間の具体的な評価方法について検討する必要がある。さらに、仮想空間および現実空間の双方のアフォーダンス情報の関連を分析することで、景観評価における対象空間内のアフォーダンスやオブジェクトの意味を明らかにすることも必要であろう。これ

表-4 アフォーダンス情報と移動特性との相関

移動特性	A	O _T	O _G	O _B
総移動距離	↑	↑	↑	↑
総回転移動角度	—	↑	—	↓
横断方向の移動幅	↓	—	—	↑
縦断方向の移動幅	↑	—	↑	—
立ち止まり回数	—	—	↓	↑
ティルティング回数	—	↑	—	↑
パニング回数	↓	—	↓	—
総凝視時間	—	—	—	↓
最大凝視時間	—	↓	—	—
最小凝視時間	↑	↓	↓	—

A：アフォーダンス想起量 O_T：オブジェクト想起量

O_G：良オブジェクト指摘数 O_B：悪オブジェクト指摘数

↑：増加時に増加 ↓増加時に減少 —：関係が見られない

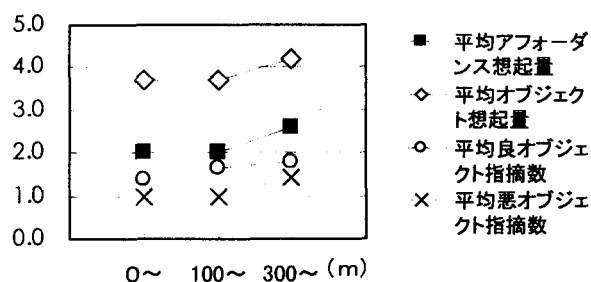


図-10 総移動距離とアフォーダンス情報との関連

らによりVRMLによる能動視動画を用いた仮想空間評価に基づく現実空間の評価への応用方法を検討していきたい。

謝辞

最後に、今回の貴重な実験空間のデータをご提供いただいた土橋正彦氏（アーバンスタディ研究所）に記して感謝の意を表する。また、空間構築作業に際しては、清家あすか氏ならびに鈴木浩二氏（共に当時流通科学大学情報学部地理情報システム研究室3回生）にご協力いただいた。合わせて感謝の意を表する。

【参考文献】

- 1) 榊原和彦, 小谷道泰, 土橋正彦, 山中英生, 吉川耕司: 都市・土木のCGプレゼンテーション, 学芸出版社, 1997年
- 2) www.webcity.co.jp/info/andoh/vrml/vrml2.0/spec-jp/index.html: VRML仕様書(日本語版), 1996年
- 3) 中山茂: VRML 2, 技法堂出版, 1997年
- 4) J.J.ギブソン(古崎敬ほか訳): 生態学的視覚論, サイエンス社, 1985年
- 5) 三谷哲雄, 山中英生, 永峯崇二: 高架構造物の景観シミュレーションにおけるCG動画の提示方法の空間把握に及ぼす影響, 土木計画学研究・講演集, No19(1), pp145-148, 1996年11月

VRML を用いた景観シミュレーションの空間評価への適用可能性に関する基礎的分析

三谷哲雄・山中英生・河口真一郎

パソコンを使ってインターネット上でインタラクティブに3次元空間を表現する技法として普及しつつあるVRML (Virtual Reality Modeling Language) は、3D空間を任意の視点から自由に眺めることができる。本研究では、このVRMLを援用した空間評価手法を開発するための基礎的研究の一環として、VRMLによる能動視動画を援用した景観シミュレーションの空間評価への適用可能性について検討を試みた。具体的には、VRMLの空間呈示メディアとしての評価とともに、VRMLを援用した景観シミュレーションによりアフォーダンス理論を適用した空間評価メディアとしての利用可能性について検討することで、その有効性を確認できた。

A basic analysis of a applicability to space design valuation by landscape simulation using a VRML browser

Tetsuo MITANI, Hideo YAMANAKA and Shinitirou KAWAGUCHI

The VRML means a virtual reality modeling language. This language provides Internet users with a method to look up a virtual three-dimension space by actual motion of eyes. This study aims to develop space design valuation methods utilizing a landscape simulation using a VRML browser. In this paper, analyzing a space presentation by the VRML from two viewpoints of an expression media and space evaluation media applying a theory of a cognitive science, a validity of a VRML in a space recognition is clarified that an actual motion of eyes using the VRML superiors to a passive motion of eyes.
