

VRを用いた住空間提示・評価に関する研究

大山能永・小野浩史・森川泰成・吉沢望^{*1}・佐野奈緒子^{*2}・平手小太郎^{*3}

Keywords: VR, evaluation, VR sickness, stereoscope, animation, residential environment

VR, 被験者実験, VR酔い, 立体視, 動画提示, 住環境

1. 序

筆者等は設計段階で住宅の環境性能を予測・評価・確認する一手法としてVR技術に着目し、仮想住環境シミュレーションシステムの開発を行ってきた^{1),2)}。本研究では多数の被験者を用い住空間の様々なVRの動画表現と被験者の印象、生理・心理の対応について検討したので報告する。なお、本研究中のVRは、両眼視差により空間およびものを立体的かつ実寸大に見せることをVR提示としている。

2. 立体視を用いたVR表現について

住宅の設計段階で、設計案を検討する際に提示されるVRには、広さ・奥行き感等を極力正確に表現しうる立体感再現技術が重要となる。通常、立体感は視点位置の変化に伴う見え方の変化、注視対象の相対的位置変化による輻輳の変化、視点からの距離に伴うモノの表面の肌理の変化、両眼視差などが原因で生じるとされる。既報^{1),2)}で、一般的な住宅の居間を、静止画で立体視提示したところ、室幅や天井高さの再現にはほぼ問題ないことを確認できたが、奥行き感の再現は不十分であり、現状の技術における静止画のVR提示の限界が一部確認できた。また、両眼視差のみによる立体感の体験には、視覚疲労が伴うことも指摘された。このような現状に鑑み本研究では動きを伴う立体視提示（以下、動画VR提示とする）をすることで、視点位置の変化に伴う見え方の変化が立体感を付加することに着目した。しかし、動画VR提示では実際の体の動きと視覚情報から判断される体の動きが一致しないために、VR酔いという不快感が生じることがある。そこで、視覚疲労しにくい、VR酔い

しにくい動画VR提示手法が必要と考え、そのための検討を行った。

3. 実験概要

3.1 実験構成

動画VR提示時の心理・生理には、個人差が大きく、提示装置の仕様や提示画像の質による影響も大きいといわれており、検討方法が確立されていない。そこで、本研究では実験を2段階構成とし、実験1にて被験者に過度な負担を与えず、かつ変数による差の得られる提示刺激の確認と、動画VR提示時のVR酔いに影響する個人差の確認、疲労の特徴を検討し、その結果を踏まえた実験において、動画VR提示時の画像種類や提示方法の工夫の検討を行った。

本研究では年齢や性別という個人差の影響を排除すべく20歳前後の女性に被験者を限定した。さらに、実験1の結果から、VR酔いのしやすさが中程度の被験者を抽出し、実験2の被験者とした。

両実験とも図-1に示す一般的な住宅（東京都桜上水モデルハウス中のモデルルーム）の居間を評定対象空間とし、「これから建築しようとしている住宅として」疑似体験させた。評定方法も原則として共通とし、心理面の評価としての立体感や臨場感、生理面の評価としてのVR酔い、疲労感、血圧・脈拍を測定した。

相違点は、被験者数と刺激である。実験1は115人という多数の被験者で、実験2はVR酔いやすさ同等と見なされる14人である。刺激は共に動画VRであるが、実験1では360°回転（視線正面固定で反時計回り、以下「見回し画像」とする）でストーリー性がなく、実験2は見回し画像に直進時の動画VRを加えたストーリー性のある動画である。

*1 東京理科大学工学部建築学科 助手 博士（工学）

*2 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 博士（工学）

*3 同上 助教授 工博



図-1 提示画像の1シーン
A scene of the animation

3.2 提示装置と動画V R作成方法

実験に用いた装置は、画像を傾斜型スクリーン（2.4m × 1.8m、水平方向で視野角170度）にリア投影する装置である。本装置では座位（視点高さ: 床上1100(mm)）を想定した高さにスクリーン設置している。制御しているコンピュータなどの仕様を含む本システムの詳細は既往研究³⁾を参照されたい。

図-2に示すように、立体視用の提示画像は右目と左目の距離の設定を7cmとしてコンピュータにより作成し、右目、左目用交互に48回/秒で提示し、偏光眼鏡を装着させた。非立体視用の提示画像は120(MHz)のまま提示し、眼鏡は装着させなかった^{注1}。

床上1.1(m)の高さで、スクリーンと被験者の目との距離が1mとなる所が被験者の位置である。

3.3 評価方法

3.3.1 心理面の評価

コンピューターやプロジェクターの目覚ましい発達と普及により提示できる画像の質が日々向上している。また、人々にとってCGやV Rに触れる機会が増大し、そのものへの態度も変化している。そこで、提示する動画V Rの質を客観化し、過度な負担を与えず、かつ変数による差の得られる提示刺激となっているかを確認するために心理評価を行った。評価項目は表2の左欄を参照されたい。これらはV R体験の感想として尋ね、楽しさと有効性のみ7段階で答えさせた。

3.3.2 生理面の評価

生理面の評価としてV R酔いの程度、疲労感、血圧・脈拍数を測定した。

V R酔いは乗り物酔いや宇宙酔いなど「酔い」の1種として位置づけられている⁴⁾。特殊な空間⁵⁾（ラグドック

注1 図1のシーンにおいて、被験者の目の位置での鉛直面照度はCG3Dが2.29(lx)、CG2Dが2.06(lx)、ビデオ2Dが2.38(lx)と、ほぼ同じで明るさあった。ただし、CG3Dでの測定照度に立体視用偏光眼鏡による減光が生じるため、被験者の目の位置では1(lx)未満であったと考えられる。

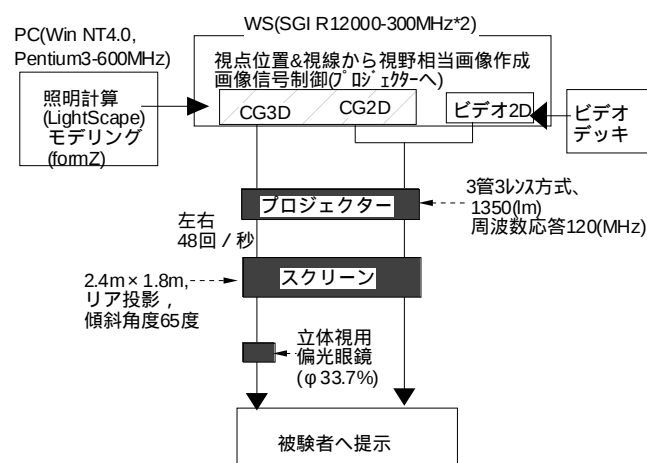


図-2 提示画像の種類と提示方法
The types of the presentation images and presentation methods

トのみで構成される)や特殊な体験者⁶⁾(パイロット)を想定した訓練用V R装置の活用のために乗り物酔いの研究手法⁵⁾を踏襲した研究が始まっている。このような現状のため、本研究のように具体的かつ一般的な対象空間を一般の体験者に提示する際のV R酔いはまだ検討されていない。本研究では乗り物酔いの自己申告方法を参考にし、V R酔いは「気持ち悪さ」を感じる程度として測定できると考えた。「感じない:1」から「かなり感じる:7」までの7段階を数直線上に記し、画像提示後に評定させた。

実験1では10回、実験2では5回申告させた。

疲労感は「自覚症調べ」⁷⁾の30項目に、視覚疲労関連の5項目を加えた35項目の症状の有無に関する自己申告とし、画像提示の前と後の2回測定した。

自律神経機能(交感神経系の活性と副交感神経系の活性とのバランス)への影響を知るために、血圧・脈拍数を市販の健康機器(パロ製:HEM-630)を左手首に装着して測定した。画像提示の前と後の2回測定した。

実験中の温湿度は気温24.3 25.3(度)、湿度34 39(%)で、二酸化炭素濃度750 1200(ppm)に制御した。

3.4 実験1の概要

3.4.1 提示画像

提示画像は見回し画像9種^{注2}を10秒の静止画を5秒で連続提示した。見回し画像9種とは、壁やイスなどモノとの距離を考慮した3箇所[遠/中/近]^{注3}における回転速度3種[速/中/遅]^{注4}の9種である。9つ目の見回し画像終了後に10秒以上の静止画、実験2で提示するス

注2 順序の効果を排除するため、提示順序は6種類とした。

注3 遠は外観全体の見える玄関から約5m位置、中は室内でリビングを見渡す位置、近は室内で狭いキッチンを見渡す位置。

注4 「速」は約8秒/回転、「中」は約16秒/回転、「遅」は約32秒/回転。

ストーリー性のある動画を提示した。この一連の動画は約12分あり、最初と最後に10秒の静止画を提示した。

3.4.2 被験者

表-1に示すような女子大生115人(19~21歳)を被験者とした。被験者の視力(メガネやコンタクト使用者は矯正視力)と、乗り物酔いやすさ、立ちくらみしやすさ、立体画像体験の有無などを被験者属性とした。表-1より、VR体験皆無の人は10人と少なく、VRが一般的なものへなっていることがわかる。

当日、風邪気味など軽い体調不良の人が12人いたが、実験途中で実験中止を求めた被験者はいなかった。

3.5 実験2の概要

3.5.1 画像種類や提示方法の工夫

事前に住環境を疑似体験するVRなので、室内はCG画像を、外観は実写との合成画像を提示することになる。立体用ビデオカメラの普及状況から実写の場合は立体視させる事が少ない。そこで、同一のストーリー^{注5}でCG3D、CG2D、ビデオ2Dの3種の画像を提示し、画像種類による疲労やVR酔いへの影響を検討した。回転時の速さは実験1における「中」に相当する速度とし、前進時はゆっくりとした速度とした。

主な提示空間は室内であるため、主な映像種類をCG3Dと設定し、提示時の工夫(以下、提示手法とする)を検討した。具体的には動きの説明方法と乗り物酔い低減に効果があると言われているガム咀嚼である。説明方法のうち、口頭説明では「左に向かいます」など動きの事前説明で、口頭説明+矢印の場合の口頭説明も同じである。矢印が表示されている場合の画像を図-3に示す。以外にも若干さらに、室内から窓外の景色(CGによる植物と実写の合成)がないCG3Dを提示し、窓外の景色の効果も検討した(表-3の提示画像に相当)。検討した画像種類および提示手法を表-3に示す。

約3分の提示を10分間の休憩を挟みながら繰り返した(拘束時間は約90分)。

通常、人々は視線を上下し、引きだしのように動くものは動かして見ようとする。動画VR提示でも、視線を上下させたり、ものが動く画像が必要になると考え、参照として、視線を上下させたり、ものが動く画像を最後に提示した(表-3のウォークスルーに相当)。

3.5.2 被験者

被験者は実験1において、ほぼ中程度のVR酔い(7段階中2~5段階目の申告)を申告した喫煙習慣のない14

注5 動画のストーリーは、戸建て住宅の外観全体の見える位置での見回り→玄関扉まで前進→玄関内から北の方まで前進→リビングを見渡す位置での半回転→食卓を回りキッチンまで前進という流れである。

表-1 実験1の被験者属性

The subjects of experiment 1

視覚関連	メガネやコンタクトの使用	使用	74人	視力		左目	右目	左右両眼の視力の差が0.4以上5人
		裸眼	39人		平均	1.01	1.02	
		無回答	2人		最高	2.00	2.00	
					最低	0.10	0.20	
生活習慣関連	喫煙習慣	あり	14人	飲酒(実験前夜)	あり	20人		
		なし	101人		なし	95人		
既往症関連	乗り物酔いしやすさ	現在						
		しやすい	18人					
	子供の頃の	しやすい	18人					
		しにくい	4人					
	たちくらみしやすさ	しやすい	61人					
		しにくい	54人					
	不整脈があると言われた経験の有無	あり	2人					
		なし	112人					
体調関連	安静時の血圧・脈拍数	最高血圧 (mmHg)		最低血圧 (mmHg)		脈拍数 (分)		
		平均	105	平均	67	平均	81	
		最高	141	最高	122	最高	118	
		最低	86	最低	45	最低	56	
	実験時	空腹	103人					
		非空腹	12人					
	経験の有無	立体画像の体験	なし	12回	3回以上			
			10人	62人	43人			

人である。被験者の視力を表-2に示す。被験者G,I,Lは視力の申告がなかった。

3.5.3 生理面評価としての心拍変動の検討

実験2では、被験者の酔いやすさという個人差を考慮しなくてよいと考え、血圧・脈拍数に加え、より詳細な自律神経機能の測定方法として期待されている心拍変動HF、LFを測定した。HF(高周波成分)は副交感神経系の活動性を、LF(低周波成分)は交感神経と副交感神経系の活動性を反映する成分であると考えられている。

測定機器の手配および被験者負担を考慮し、14名中4

表-2 実験2の被験者の視力
The eyesights of the subjects of experiment 2

被験者	EyeL	EyeR
A	1.0	1.0
B	1.2	1.2
C	1.0	1.0
D	1.2	1.2
E	1.0	0.7
F	1.0	1.0
H	0.8	0.8
J	0.6	0.6
K	1.0	1.0
M	0.8	0.8
N	1.0	1.0

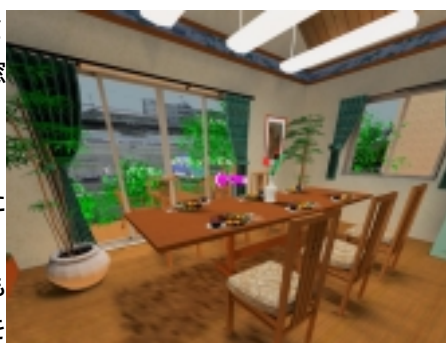


図-3 口頭説明+矢印の時の提示画像
The scene with an arrow

表-3 実験2の提示方法

the presentation methods of experiment 2

太字が心電図測定被験者

	提示方法	立体視	口頭説明	矢印	窓外景色	ガム	備考
1	CG3D(説明なし)	○			○		標準画像
2	CG2D				○		
3	ビデオ2D				○		
4	CG3D(口頭説明のみ)	○	○		○		
5	CG3D(口頭説明+矢印)	○	○	○	○		
6	CG3D(窓外なし)	○					
7	CG3D(ガム咀嚼)	○			○	○	
8	CG3D:ウォークスルー	○			○		

名表-2中の太字の(C,F,L,N)のみを心拍変動測定被験者としたが、Nのデータはうまくとれなかったので分析から外した。

測定は簡易的な方法で、被験者の両手3点に電極及びアースを装着する第1誘導により、生体情報モニタ(日本光電製:ライスコフ8BSM-7201)を用いて、計測した。16bitのA/D変換により、サンプリング間隔は1秒間に1000回(1000Hz)相当とした。測定された心電図(脈波)を市販ソフト(大日本製薬製:フラクレッツWT)を用いてWavelet解析^{注6}による波形認識、周波数分解して得られたHFやLFを時系列データ(1秒間隔)^{注7}として分析した。なお、LFは0.04~0.15Hz成分およびHFは0.15~2Hz成分である。

4. 実験結果

4.1 実験1の結果

4.1.1 心理的評価結果

VR酔いに関する評価の結果を表3に、楽しさと有効性の評価結果を図-4に示す。表1より、立体感を感じ、映像に触れてみたいと思った人が60%以上、新鮮な体験、臨場感が感じられると思った人が50%弱であったことがわかる。

また、図-4より体験は楽しく、設計案の確認ツールとしての有効であると評価されたことがわかる。なお、音声、素材感、動きのスムーズさが有効性向上の方法として被験者より指摘された。

4.1.2 回転位置と速度のVR酔いへの影響

画像提示時間に伴い、「感じない」から「やや感じる」まで徐々にVR酔いの程度が強くなっているが、そ

表-3 提示方法別VR酔いの平均値

The mean of VR sickness

	中遅	中速	中中	近中	近遅	遠速	近速	遠遅	遠中	CG3D
平均	1.50	1.63	1.65	1.71	1.85	1.94	1.94	2.18	2.43	3.10
標準偏差	0.89	0.92	1.03	1.02	1.13	1.18	1.21	1.41	1.37	1.63
変動係数	0.59	0.57	0.62	0.59	0.61	0.61	0.62	0.65	0.56	0.53

注6 ウェーブレット解析は周波数分解手法の1つで、フーリエ変換による周波数分解の短所である時間領域の情報の失われやすい点を解決するために1980年初頭にJ. Moletにより提案された方法である。様々な分野で新しい非定常現象の処理方法として期待されており、生理データのように短時間にダイナミックな変化をする非定常状態の処理には特に有効とされている。フラクレッツでは、ガボールのマザーウェーブレットと呼ばれる局在化した波をスケールを変えながら、パターン認識させて、計算する連続ウェーブレット変換を行っている。

注7 フラクレッツでは、重畳波形分解法を用いた面積計算法により、各周波数成分の重なりや中心周波数のずれが生じた場合でも個別成分を分解するために、秒ごとのパワーを計算できる。

表-2 VR体験の感想

The impressions of the VR

楽しいと思った	64.3 %
立体感があった	62.6 %
新鮮な体験だった	47.0 %
映像に触れてみたくなった	61.7 %
臨場感があった	48.7 %

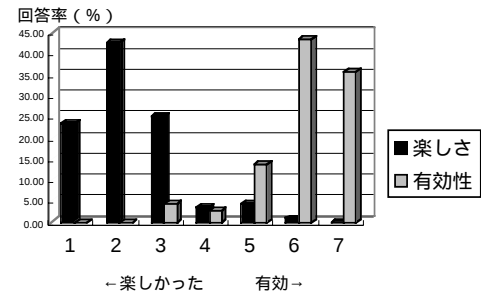


図-4 VR体験の楽しさと有効性

The pleasantness and effectiveness of the VR

の増加に規則性が見られなかった。

表-3に見直し画像種別のVR酔い申告の平均を示す。参照として、ウォークスルー時の申告平均値も掲載した。なお、表-3では左から右へとVR酔いを感じる程度が強くなるように示した。

表-3より、回転位置が中、近、遠の順番でVR酔いが強くなっていることがわかる。分散分析により、回転位置の影響は有意であり(F値22.96, [prob>F]<0.001)、回転速度の影響は有意とは認められない(F値0.689, [prob>F]<0.5023)ことがわかった。

4.1.3 視力などのVR酔いへの影響

10回のVR酔いに関する評価のうち最も強く感じた時の評価を、その被験者の感じたVR酔いの強さと考え、視力など個人的要因の影響を検討した。

視力が良い/悪いと言った時、左右共に視力が低い場合と、どちらかのみが低い場合(左右の視力の差が大きい場合を含む)がある。そこで、左右共に視力が低い、どちらかのみが低い、左右の視力の差が著しく異なるという3つのこと^{注8}に関して、t検定を行った。結果を表-4に示す。表-4より、左右共に視力が1.0未満の人と、そうでない人では有意な差があり、左右共に視力が

表-4 視力の影響

The effect of the eyesight

	どちらか あるいは 両方が1.0 以上	左右共に1.0 未満	どちらか あるいは 両方が0.7 以下	左右の視 力の差が 0.3未満	左右の視 力の差が 0.3以上
平均	3.37	3.96	3.38	4.00	3.47
分散	2.55	2.18	2.56	2.08	2.38
観測数	78	28	81	25	108
自由度	104		104		113
t	-1.717		-1.723		-0.163
t境界値 片側	1.660		1.660		1.658

注8 左右共に視力が低い: 左右共に1.0未満(28人)、どちらかのみが低い: 低い方の視力が0.7以下(25人)、左右の視力の差が著しく異なる: 差の絶対値が0.4以上(7人)

1.0未満の人の方が強くVR酔いを感じている。また、左右共に0.8以上の人と、どちらかあるいは両方が0.7以下の視力の人では有意な差があり、どちらかあるいは両方が0.7以下の視力の人の方が強くVR酔いを感じている。一方、左右の視力の差が0.4未満の人と0.4以上の人では有意な差は見られなかった。

次に、「乗り物酔いやすさ」や「立ちくらみしやすさ」の影響を視力の影響と同じ方法で検討した。その結果を表5の左および中欄に示す。表-5より、「乗り物酔いやすさ」「立ちくらみしやすさ」共にVR酔いに影響しないことがわかった。さらに、子供の頃も現在も乗り物酔いしやすいと申告した18人とそれ以外の人では有意な差が生じたかを検討した結果、子供の頃も現在も乗り物酔いしやすいと申告した人と、そうでない人との間に有意な差がないことがわかった(表-5の右欄)。

4.1.4 動画VR提示時の疲労

提示前後の35評価項目に対する各被験者の申告パターンを数値化し^{注9}、K-means法^{注10}クラスター分析により分類した。その結果、表-6に示すような3群に分類された。ただし、本実験において、集中力の欠如や身体的違和感を申告した被験者は非常に少なかったため、視覚疲労とだるさを動画VR提示時の疲労と考えることとした。

表-5 体質の影響

The influence of the constitution of the subjects

	現在乗り物酔いしやすい	現在乗り物酔いしにくい	立ちくらみしやすい	立ちくらみしにくい	右以外	子供の頃も現在も乗り物酔いしやすい
平均	3.455	3.484	3.574	3.393	3.536	3.167
分散	2.450	2.426	1.985	2.809	2.460	2.147
観測数	22	93	54	61	97	18
自由度	113	113	113	113	113	113
t	-0.079		0.621		0.927	
境界値(片側)	1.658		1.658		1.658	

表-6 VR体験の疲労

The fatigue at stereoscopic animation

1 群	目が疲れた	視覚疲労 ねむさ
	目がつかれる	
	ねむい	
	頭がぼんやりする	
	目が乾いた感じがする	
2 群	肩がこる	だるさ
	目がしょぼしょぼする	
	あくびがでる	
	頭がおもい	
	頭がいたい	
	横になりたい	
	全身がだるい	
3 群	足がだるい	集中力の欠如 身体的違和感
	ちょっとしたことが思い出せない	
	口がかたく	
	腰がいたい	
	足もとがたよりない	
	めまいがする	
		

注9 1: 前は申告ありで後は申告なし、2: 前も後も申告なし、3: 前も後も申告あり、4: 前は申告なしで後は申告あり

注10 クラスター内の変動を小さくし、クラスター間の変動をできるだけ大きくする非階層的分類法、ここでは申告パターンの頻度分布の類似度をみている

4.1.5 生理的評価の結果

VR提示による最高・最低血圧、脈拍数変化量が有意な差を示すかどうかを検討するために、2元配置分散分析を行なった。分析は最高・最低血圧、脈拍数それぞれについて行い、実験前後と被験者を主効果とした。その結果を表-7に示す。表-7より、実験前後で各指標ともに有意な差は認められなかった。

このことから、本実験に行った動画VR提示では、自律神経機能への影響は認められないことになり、健康上問題のない刺激であったことが確認できた。

4.2 実験2の結果

4.2.1 提示方法のVR酔いへの影響

画像種類と提示手法別のVR酔い評価結果を表-8に示す。

表-7 血圧と脈拍数の測定結果

The blood pressure and pulse rate

実験1	測定指標	要因	p値(Prob>F)
	最高血圧	実験前後	0.159
	最低血圧	実験前後	0.156
	脈拍数	実験前後	0.981

す。表-8より、CG2Dが最もVR酔いしにくいことと、CG3D(口頭説明)やガム咀嚼がVR酔い低減に有効である可能性が示された。

4.2.2 属性の疲労への影響

クラスター分析の結果から得られた1群及び2群に含まれる評価項目別申告から、動画VR提示時の疲労を表す2つの合成変数「視覚疲労」「だるさ」を作成した^{注11}。

作成した2つの合成変数を目的変数とし、被験者の属性を説明変数とする回帰分析を行った。重相関係数が0.4以下(「視覚疲労」: 0.181, 「だるさ」: 0.398)と低いので、分析結果である偏回帰係数の比較検討はできない。しかし、本実験で把握していた被験者属性の中では実験前夜の飲酒の有無、左右視力の平均値が他の属性に

表-8 提示方法別VR酔いの平均値

The means of VR sickness

	説明方法			映像種類			提示画像		ガム咀嚼		ウォークスルー
	説明なし	口頭説明のみ	口頭説明+矢印	CG3D	CG2D	ビデオ2D	窓あり	窓外なし	なし	あり	
平均	2.25	2.20	2.20	2.30	1.29	2.64	2.30	2.21	2.30	1.50	2.07
標準偏差	0.50	0.84	1.10	0.67	0.47	1.60	0.67	0.89	0.67	0.58	1.00
変動係数	0.22	0.38	0.50	0.29	0.36	0.60	0.29	0.40	0.29	0.38	0.48

網掛け部分の提示画像は同一であるが、「説明なし」のみ最初の提示である

注11 各被験者の提示前後それぞれの1群に含まれる6評価項目に対する申告数の総和、2群に含まれる8評価項目に対する申告数の総和を算出し、その差を合成変数とした。

比較すると「視覚疲労」や「だるさ」により影響し、さらに喫煙習慣や立体画像の体験の有無は「だるさ」により影響することはわかった。

4.2.3 画像種類、提示手法の疲労への影響

画像種類、提示手法の違いが「視覚疲労」「だるさ」に与える影響を図-5に示す。縦軸は申告値の合計の平均値を示す。「視覚疲労」「だるさ」ともCG3D（口頭説明+矢印）及びガム咀嚼の場合に疲労が若干低減されている傾向が見てとれる。

4.2.4 生理面への影響指標としての妥当性

血圧（最高、最低）、脈拍数の変化量を分散分析を行った。血圧では画像種類、提示方法間に有意な差は認められなかったが、脈拍数変化量には有意に近い差が認められた（ p 値($\text{prob}>F$) $<0.054^*$ ）。ガム咀嚼で脈拍数の減少が見られた。

次に被験者毎のR-R間隔（被験者C,F,I）、HF（被験者F,I）、LF（被験者F,I）の変化量^{注12}について検討した。割り付けられた画像種類、提示方法の組み合わせが被験者毎に若干異なるため分析は被験者毎とし、それぞれの測定指標について提示方法を主効果とした分散分析を行なった。R-R間隔では3人中3人とも、HFとLFでは2人中2人とも画像種類、提示方法の主効果で有意な結果（ p 値($\text{Prob}>F$) $<0.0001^{***}$ ）が得られた。従って、心拍変動の生理面への影響指標としての妥当性が確認できた。

被験者Cはほとんどの映像提示方法においてR-R間隔が提示前に比べ増大し、提示後に提示前と同等程度に戻っていた。このことは、被験者CのR-R間隔変化量が画像種類や提示方法の生理的影響の指標として適切であったことを示している。

CG3D（口頭説明）^{注13}とCG3D（口頭説明+矢印）^{注14}ではR-R間隔が短くなる^{注15}傾向が認められ、CG3D（口頭説明+矢印）ではR-R間隔変化量の例と同様に、HF、LF

変化量が小さくなった^{注14, 注16}。

5. まとめ

動画VR提示アンケートにより、疲労しにくく、VR酔いしにくい動画VR提示のための画像種類、提示方法の検討を行い、以下のことがわかった。

- 1) 住環境という具体的かつ一般的な空間の動画VR提示では、12分程度、あるいは10分間の休憩をはさみながらの3分の繰り返し提示は妥当である。
- 2) 視力はVR酔いに影響し、乗り物酔いしやすさや立ちくらみしやすさは影響しない。
- 3) 動画VR時の疲労は視覚疲労とだるさであり、これらにも視力が影響する。
- 4) 年齢、性別を同じにする多数（115人）の被験者では血圧、脈拍数は生体負担の指標にならないが、VR酔いしやすさ（中程度）を統制すると、少数（14人）でも脈拍数が指標となりうる。
- 5) 心拍変動はVR提示時の生理的指標となりうる。
- 6) CG2Dが最もVR酔いしにくい、CG3Dでもガム咀嚼などの工夫でVR酔いを低減できる。

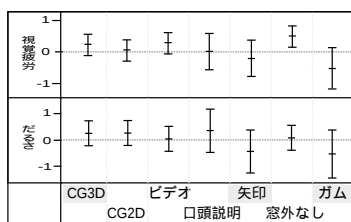
なお、本研究の成果は20歳女性の結果であり、その他の属性に適用できるかは今後の課題である。

参考文献

- 1) 吉沢望他：「バーチャリアリティを用いた住環境呈示システムにおける実空間再現性の検討」日本建築学会計画系論文集、No.550,PP.87-93,2001
- 2) 大山能永他：「仮想住環境シミュレーションシステムの開発と展開」大成建設技術研究所報、No.33, pp.169-173, 2000
- 3) 小野浩史他：「仮想住環境シミュレーションシステムの開発と展開」大成建設技術研究所報、No.33, pp.169-173, 2000
- 4) 中川千鶴他：「VE酔い研究および関連分野における研究の現状」VR学会論文誌、No.3, pp.31-39,1998
- 5) 中川千鶴他：「生理的手法による乗り物酔い発症評価の検討」鉄道総研報告、Vol.14, No.12, pp.25-30, 2000.12
- 6) Miller, J.C., Sharkey, T.J., Graham, G.A., McCauley, M.E.: Autonomic Psychological Data Associated with Simulator Discomfort., Aviat.Space and Environ. Med., Sep., p.817-819, 1993
- 7) 小木和孝：産業疲労の新しい自覚症状しらべ、労働の科学 25 巻 6 号, pp.4 33, 1970

謝辞：被験者実験実施に当たり、文化女子大学 造形学部住環境学科 沢田知子教授、建築デザイン研究室並びに学部学生の方々の御協力を得ました。大日本製薬（株）ラボラトリープロダクツ部に心電図測定装置の貸与および分析指導をいただきました。記して深く謝意を表します。

図-5 提示方法と疲労
The influence to fatigue
by presentation methods



注 12 提示前の平均値とそれぞれとの差。

注 13 被験者 C

注 14 被験者 F

注 15 交感神経系優位

注 16 交感神経系活動低下