

没入型仮想空間呈示装置内における効果的な高所呈示法の検討

梅村浩之 渡邊洋 松岡克典

大阪工業技術研究所光機能材料部情報光学研究室

〒563-8577 大阪府池田市緑ヶ丘1-8-31

TEL 0727-51-9534 FAX 0727-51-9631

umemura@onri.go.jp

あらまし 本研究では没入型仮想空間呈示装置 CAVE を用いて効果的な高所再現の手法について検討を行った。実験においては高所を再現した画像内に置ける視覚3次元手がかりを操作し、被験者に知覚された距離の回答を求めた。その結果、(1) 全ての条件で距離の過小評価が見られた、(2) 両眼視差は再現距離10メートル以上では効果がなかった、(3) 被験者の判断の分散が大きき手がかりしか利用できないときには大きかった、(4) 視方向の影響が単眼手がかりを含む条件で見られた、などの結果を得ることができ、これらの結果を元に効果的な高所再現方法について考察した。

キーワード 高さ、仮想空間、視覚、3次元手がかり

An investigation of an effective display of a height in an immersive virtual reality system.

Hiroyuki Umemura, Hiroshi Watanabe, Katsunori Matsuoka

Department of Information Optics, Osaka National Research Institute

1-8-31 Midorigaoka, Ikeda, Osaka, 563-0057, Japan

TEL 0727-51-9534 FAX 0727-51-9631

umemura@onri.go.jp

Abstract We investigate how to efficiently display a height in a virtual reality system CAVE. We manipulated visual 3-D cues in each stimulus which simulates a high place and asked subjects a perceived height. The result indicates that (1) perceived heights were underestimated in all conditions, (2) the effect of binocular disparity was weakened when a simulated height was more than 10 meters, (3) a variance of perceived heights between subjects was large when only size cue was available, (4) an effect of view direction was seen in experimental conditions which contained monocular 3-D cues. With these results, we discussed the efficient method for the display of a high place.

key words height, virtual space, vision, 3-D cues

1 はじめに

昨今、画像呈示技術の飛躍的な進歩により、ヘッドマウントディスプレイや没入型呈示装置などの新しい装置によって被験者に仮想現実を与えて、その中での行動を記録する研究が可能となってきた。このようなVR装置の利点としては、新奇な場面を与えることが可能である、様々な条件が統制しやすい、危険な状況を被験者の安全を守った上で行うことができるなどといった点が考えられる。ただし、これらの場面に臨場感を伴わせるためには現実空間やVR空間内における人間の知覚についての知見を深めておく必要がある。本研究では危険な状況の一つとして高所を取り上げ、心理物理学的手法を用いてその効果的な呈示方法について検討した。

没入型仮想空間呈示装置は多方向に画面を配置し、立体眼鏡を装着することによって広視野に3次元画像を呈示することができる装置である。また、今回使用された没入型仮想空間呈示装置CAVEは被験者の動きをトラッキングすることによって被験者の動きに画像が追従することができた。さらに本装置は下面への画像提示が可能であり、高さ感を被験者に与えるのに適するものであった。

この高さの知覚に関してはこれまでほとんど研究が行われていない。その理由としては、自然状態では実験自体が危険である、条件の統制がしにくいなどの理由が、また、装置についても下面への広視野画像呈示が困難であるなどの理由が考えられる。しかし、直観として高さの知覚と前方距離の知覚に相違があると考える人は多いのではないだろうか。人間の知覚には異方性というものが存在しており、縦方向を横方向より大きく知覚するなどの錯視が報告されており、これらのことから考えてもVR空間内で効果的に高所を呈示するために高さ方向の知覚について検討を行ってみる必要があると考えられる。

これまでの距離・奥行き知覚の研究は、ある画像・情景内には様々な奥行き手がかりが含まれており、それぞれの手がかりが独立に処理され、その重み付け平均によって知覚される距離が決定されることを報告している[1, 2]。この奥行き手がかりとしては、両眼視差、テクスチャ、大きさの変化、運動視差などがあげられる[3]。これらの奥行き手がかりはそれぞれ影響力が異なり、これはそれぞれ奥行き手がかりの持つ信頼度と関係していると言われている。例えば近距離では両眼視差の影響は大きく、テクスチャ手がかりの影響は比較的小さいが、距離が大きいと両眼視差の影響は小さくなり、テクスチャに対する信頼度が大きくなる[4]。そして、これらの手がかりの影響についても文献[5]などで異方性の存在が報告されているこのような先行研究の結果から今回の実験では、人間の移動方向が水平方向への移動が主であり、垂直方向への移動が比較的小ないため3次元構造復元におけるオプティカルフローの信頼度が視方向によって変化するといった結果が得られるかもしれない。

そこで本実験では(1)どのような手がかりの組み合わせがより高所感を与えることができるのか、(2)下方の距離知覚における被験者の判断値や個々の手がかりの影響力は前面への画像呈示の場合と異なるものであるのか、について検討を行った。

2 実験

2.1 装置

実験は没入型画像呈示装置CAVEを用いて行われた(図1)。実験に利用されたCAVEは3m×3mのスクリーンが前面及び左右側面に配置され、これに加え底面の4画面に画像を呈示することができた。被験者にはシャッター式立体眼鏡によって両眼視差情報を与えられた。また、被験者の頭の動きをトラッキングすることによって仮想空間内での位置変化に応じて画像も変化するため、多少のタイムラグはあるものの視点位置に応じた画像を常に与えることができた。図2に今回CAVE内で再現された情景を図示した。情景は足場(50*40cm)、底面、そして条件によっては周りを取り囲む壁(一辺2m、被験者との距離1m)から構成された。実験においては底面への距離、奥行き手がかりの種類、視方向(前面呈示or底面呈示)が操作された。

奥行き手がかりにはN(None)、L(Line)、C(Check)、F(Flow)、NC(None-constant floor texture)の5条件が用意された。N条件においては壁が黒く塗りつぶされ、両眼視差と底面の模様の大きさが手がかりとなった。NC条件ではN条件における底面の模様の大きさが距離に関わらず一定であるため、両眼視差のみが手がかりとなった。また、NC条件については、被験者のうち5名にのみ課された。L、C、F条件においては3方に配置された壁に描かれた模様が異なった。L条件では奥行き方向に平行に走る線が描かれたテクスチャ、C条件ではチェック模様、F条件では奥行き方向から被験者の方へ運動するランダムドット(つまり降りる、または進む方向)が呈示され、それぞれの手がかりの影響について調べられた。用いられた条件及びその名称、それぞれの条件で利用できた手がかりを表1に示す。また、ほぼ同じ情景を前方に呈示する試行も課せられた。今後、高さ方向に提示された条件を下方条件(downward condition)、前方に提示された前方条件(forward condition)と呼ぶことにする。図3は被験者の頭上から得られる刺激画像とほぼ同じ画像の例である。すべての手がかり条件においてシミュレートされた高さは1, 2, 3, 4, 5, 7.5, 10, 15, 20, 25mの10通りであった。

2.2 方法

本実験では心理実験に不慣れな人間が被験者として多いこと、時間に制限があることなどを考慮してマグニチュード推定法を用いて実験を行った。被験者には長さ

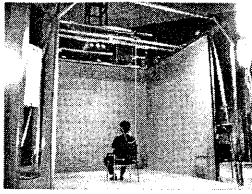


図 1: CAVE

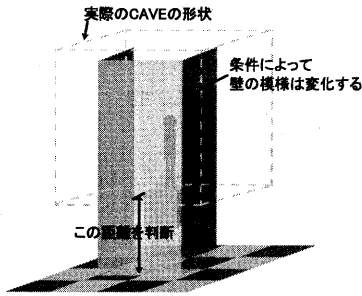


図 2: CAVE 内で提示された情景：下方条件

1m の棒が与えられ、この棒の長さを 100 として底面までの距離を答えてもらった。実験時にはこの棒の持ち方は自由であった。被験者にはできるだけ 10 の位まで答えるように求められた。回答はワンドと呼ばれる CAVE 内で利用できる一種のジョイスティックのボタンによって、画面上に表示される数値を調整することによって行われた。

実験はそれぞれの手がかり・視方向条件ごとに 1 ブロックとしてまとめられ、独立して行われた。各ブロック内では上記の 10 種類の高さがランダムな順序で提示された。被験者が一つの高さに対して回答する時間は特に決められてはいなかった。また、各反応後には一度底面は消去され、ボタンを押すことによって次の刺激が提示された。全ての条件において各距離条件が 4 回づつ表示され、1 条件につき 40 試行が行われた。毎実験前には被験者に実験についての教示、画像例 (C 条件 25 メートルの高さの画像) を見せて臨場感や恐怖感についてのア

条件名	両眼視差	大きさ	壁上的手がかり
N	○	○	× (黒)
L	○	○	○ (線テクスチャ)
C	○	○	○ (チェックテクスチャ)
F	○	○	○ (運動)
NC	○	×	×

表 1: 各条件における手がかりの配置

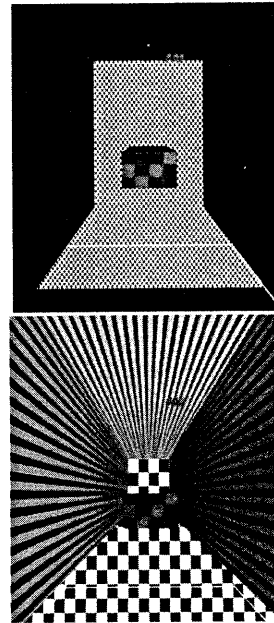


図 3: 刺激画像。上: N 条件, 下: L 条件, 中央の長方形は足場

ンケートを行った後に数試行の練習を行った。教示では、実験の手続きについてのほかに、距離を推測するのではなく距離を見えたままに答えることを特に強調された。また、画像を見る際には無駄に体を動かさないこと、首の回転はできるだけ減らすこと、無理をしないことなどの実験遂行上の注意も含まれた。

2.3 被験者

本実験には健康な 16 名の男性が参加した。年齢は 19 歳から 50 歳までであった。ほとんどの被験者は心理実験に過去に参加したことがなかった。

2.4 結果と考察

実験の結果を図 4 及び図 5 に示す。図 4 a には下方条件において被験者が答えた距離の平均値を、図 5 b には前方条件において被験者が答えた距離の平均値を、図 6 には下方条件における判断値の被験者間の分散を示した。また、表 2 にはそれぞれの条件に対して知覚された距離 D' とシミュレートされた距離 D との関係を端的に示す値として、 $D' = D^n$ に当てはめた際のべき指数 n を示す。この値が 1 であるときシミュレートされた距離と判断が一致、1 より小さいときには過小評価、1 より大きいときには過大評価をしたということになる。この表現方法は過去の距離知覚実験の多くがこの方法で結果がうまく表現できることを報告している。実際、本実験でも、L 条件、C 条件、F 条件ではこの表現方法で結果がうま

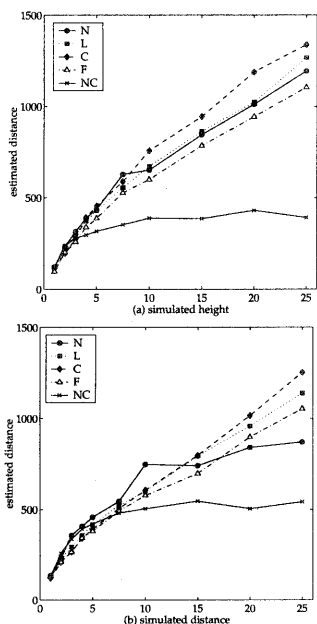


図 4: 被験者の判断した距離。(a) 下方条件, (b) 前方条件。被験者は 1m=100 で判断を行った。

く説明できることが決定係数から見る事ができる。しかし、N、NC 条件では下方条件における N 条件を除き当てはまりが悪かった。

また、この報告書には結果を詳しく掲載しないが被験者に L 条件とほぼ同じ画像を見せた際のアンケートにおいてはほとんどの被験者から自然な感じがするという回答が得られた一方で恐怖感、不安感についてはないと答える被験者が多かった。

また、図 4 や表 2 から全体的な傾向としてシミュレートされた距離と判断された距離の関係において過小評価が見られたことが分かる。

以下では下方向への距離知覚における個々の手がかりの影響及び前方向に呈示した場合の比較、他の距離知覚実験との関係のそれぞれについて実験結果の検討及び考察を行う。

	downward (R^2)		forward (R^2)	
N	0.824	(0.93)	0.786	(0.76)
L	0.823	(0.96)	0.792	(0.94)
C	0.852	(0.98)	0.795	(0.98)
F	0.78	(0.98)	0.759	(0.94)
NC	0.56	(0.32)	0.662	(0.28)

表 2: べき指数の値。括弧 () 内は決定係数を示す。

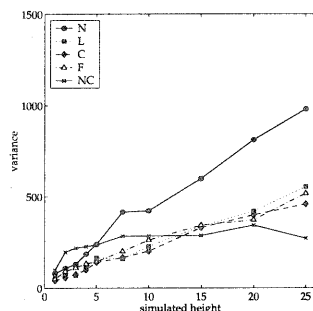


図 5: 下方条件における被験者ごとの反応の平均値の分散

個々の手がかりの影響 まず、下方条件内における個々の手がかりの影響について検討した。ここでは分散分析を利用してそれぞれの要因の効果を調べた。この際に NC 条件については先に述べたように被験者が少ないために検定対象から除外し、また、N 条件についても分散が有意に大きいため (図 5) これを除外した上で検定を行った。

まず検定から除外した両眼視差手がかりのみが有用な情報となる NC 条件においては被験者の判断値は 10 メートルの距離をシミュレートした画像を与えた辺りから判断値 400 程度で横ばいになった。これは両眼視差の原理、つまり遠距離にある対象はほとんど網膜像差を生じさせないということを考えれば、このようにある距離までは他の条件と差がなく、遠距離において差が見られるようになるという結果は予測されることであり、下方条件、前方条件とともに確認された。

同様に分散分析から除外した N 条件においては判断の平均値では他の条件とほとんど差が見られないが、図 5 から分かるようにその分散には大きな差が見られた。このばらつきについては教示で見たままに答えるということで統制できると考えていたが、被験者はこの条件に対しては距離感がまったくつかめないため近い距離であると判断する被験者と非常に遠いと判断する被験者に分かれたようであり、そのためこのようなばらつきの大きいデータになったと考えられる。実験後の内観報告においてもこの条件では距離感がつかみにくかったことが被験者によって報告された。しかし、ほとんど距離感を感じていない被験者がいるにも関わらず平均値が他の条件と同じぐらいであったことから考えると、逆に大きさを手がかりに遠距離に答えた被験者は相対的に他の条件より距離を大きく見積もっていたとも考えられ、臨場感乏しいものの既知の大きさが距離の判断に影響を及ぼしていると考えられる。

他の 3 条件においては検定の結果手がかりの有意な効果が得られた ($F(360,2)=4.09, p<0.05$)。特に CH 条件において被験者は正確に距離を判断した。しかし、3 方

に被験者を取り囲むように壁を配置してしまったため、この壁が為すパースペクティブがこの3条件において十分な手がかりとなってしまう可能性もあり、手がかりの効果を調べる上では壁を一枚にするなどの工夫が必要かもしれない。

視方向の影響 次に、下方条件と前方条件との比較を行い、距離知覚における視方向の影響について検討した。先に行った下方条件内での検定と同様に、分散が非常に大きいN条件及び、データ数が少ないNC条件を除き、L条件、CH条件、F条件の3条件に関して視方向の効果を分散分析によって検定した。この視方向の効果に関しては表2からも分かるように、高さ方向を知覚するときに被験者はこの距離を相対的に大きく見積もった ($F(720,1)=4.09$, $p<0.05$)。しかし、視方向と手がかりとの交互作用は有意ではなく ($F(720,2)=0.79$, n.s.), つまりこの3条件では手がかりの影響力に関する異質性はほとんど見られなかった。

さて、この下方向に提示された距離を大きく見積もるという結果の原因としては先に述べた異質性以外にもいくつか考えられる要因がある。まず、前方条件と下方条件では、その張られる視角が異なる。つまり、見ている画像が微妙に異なるわけであるが、この場合視角自体は下を見ているほうが小さく、この場合視角の小さいほうが距離を少なく見積もると予測されるため、視角の違いが原因であるとは考えにくい。この他にも前方条件と下方条件では網膜上に投影される位置が異なる、見えている範囲が異なるなど統制すべき条件は多く、この視方向の影響が本当に重力に基づく方向や、首の角度といった高さを知覚する上で意義のある差を反映しているのかについては今後の実験で明らかにしていく必要があるだろう。

我々はこの結果に対して普段視覚手がかりの少ない下方向の距離と前方距離との対応をとるように下方向を大きく見積もるような補正がかかっている、両眼手がかりと単眼手がかりの影響力が視方向によって異なるという仮説を考えており、今後検討していく方法を考えていく。

他の距離知覚実験との比較 ここまでは今回行った空間内での条件間の比較を行ってきたが、次にこれまで行われてきた距離知覚実験との関係からVR空間で距離を再現する上で重要であると考えられる点について考察する。

今回の実験ではVR空間を使って実験を行ってきたが、ほとんど同じ手続きで現実空間で距離知覚実験を行った例が前方への刺激提示に関してはいくつか存在する、このような実験結果を集めた文献[6]によると、マグニチュード推定法を用い、10mから30メートルほどの距離を判断させた実験結果においては結果に当てはめられたべき指数が0.85から1.17ぐらいに分布している。これらの

値と表2の比較から、本実験では実際の自然空間を使った実験に比べ過小評価が大きいことがわかる。この原因としては、部屋の暗さ、画像の荒さ、呈示刺激の非現実さなどが予想される。このような自然空間とVR空間をつき合わせた研究は文献[7]にも見られるが、視距離やタスクの差はあれど、ほぼ同様の結果、つまりVR空間における距離の過小評価を報告しており、VR空間と現実世界との融合という点では未だ発展途上にあるといえよう。

効果的な高所感の提示について 今回の実験から効果的な高所の提示について1) 両眼視差が利用できないような高さを提示する場合でも奥行き手がかりを十分に配置しておくことにより、前方に画像を提示する場合と同程度の高さ感を与えることは可能である、2) 実空間より小さく距離を見積もられる傾向にあることに留意すべきである、ということが示唆された。また、下方に見積もられる距離と前方に見積もられる距離とは異なるということが示唆されたが、適当な分析を施すことのできた手がかりの影響度にはほとんど差がなかった。

また、これらのことから考えると実生活において下方向と前方向の直観的な距離感の相違は手がかりの多さの違いに起因しているのだろうと推測される。また、恐怖感などとの関係も今後の課題として挙げられるだろうが、今回とったアンケートの結果などから考えると、むしろ恐怖感を与える要因が何かを探る方が課題かもしれない。

3 まとめ

本研究では高さをVR空間内で効果的に再現する上で必要な条件について心理物理学的手法によって検討を行った。その結果、手がかりを十分に配置することにより、前方に提示する条件と同程度、またはそれ以上に距離感を出すことが可能であることが示された。今後の課題として、視覚系の特性として両眼手がかりと単眼手がかりの影響が視方向によって変化するのか、なじみのある物体の大きさなどの利用可能性、移動に伴う運動視差など今回取り上げなかった手がかりの影響などを調べる必要があるだろう。

参考文献

- [1] N. Bruno and J. E. Cutting, Minimodularity of the perception of layout, J. Exp. Psychol., General, vol. 117, pp. 161-170, 1988.
- [2] B. A. Doshier, G. Sperling, and S. A. Wurst, Trade-offs between stereopsis and proximity luminance covariance as determinants of perceived 3D structure, Vision Res., vol. 26, pp. 973-990, 1986.
- [3] W. Epstein and S. J. Rogers, Perception of space and motion, in Perception of Space and Motion., W.

Epstein and S. Rogers, Eds. San Diego: Academic Press, 1995.

- [4] E. B. Johnston, B. G. Cumming, and A. J. Parker, Integration of depth modules: Stereopsis and texture, *Vision Res.*, vol. 33, pp. 813-826, 1993.
- [5] D. Buckley and J. P. Frisby, Interaction of stereo, texture and outline cues in the shape perception of three-dimensional ridges, *Vision Res.*, vol. 33, pp. 919-933, 1993.
- [6] J. A. Da Silva, Scales of perceived egocentric distance in a large open field: Comparison of three psychophysical methods., *American J. Psychol.*, vol. 98, pp. 119-144, 1985.
- [7] 館暉・佐藤誠, 人工現実感の設計, 培風館