

人工現実感における遮蔽矛盾問題の知覚への影響

鈴木 伸介*¹ 前田 太郎*¹ 舘 暲*¹

Effect of Contradictory Occlusion on the Human Perception in Virtual Environment

Shinsuke Suzuki*¹, Taro Maeda*¹ and Susumu Tachi*¹

Abstract - A binocular stereo display is an effective device for virtual reality. However it might bring about embarrassed situation when both real environment and virtual one are visible and contradictory with each other, since the relationship of occlusion between virtual and real environments is always determined by the architecture of the device used. In this paper we show the result of the psychophysical experiments under the contradictory condition of perceived distance caused by occlusion and binocular disparity, and it is found that this might result in unstable perception to cause binocular rivalry when depth of the vertical edge of the superposed area cannot be determined absolutely. Therefore it is suggested that this problem can be avoided by adding some specific clue for unique perception.

Keywords : Occlusion, Stereopsis, Binocular Rivalry, Head Mounted Display, Augmented Reality

1. はじめに

一般に人間の空間知覚において視覚の果たす役割は大きなものである。そのため人工現実感システムにおいては視覚情報を正しく表現することが非常に重要になる。人間が視覚によって認識する様々な手掛かりの中でも、両眼視差・輻輳は(特に近距離での)仮想空間に立体感を与えるという点で臨場感生成に大きく寄与していることが知られている [1]。

人工現実感システムにおいてこれら 2 つの手掛かりを提示するためのデバイスとしては、Head Mounted Display(HMD) に代表される両眼視ディスプレイが挙げられる。これは仮想空間を左右の視点から画像面に透視変換した画像を左右の目に独立に提示することにより、両眼視差・輻輳のみならず運動視差や物体の大きさや遮蔽関係など様々な手掛かりを提示出来るデバイスである。こうした手掛かり同士が相補的に作用し統合された結果、物理的空間を反映した心理的視空間が人間の脳内に構成されると考えられる。

しかしながら両眼に独立に画像を提示するという原理上、仮想空間と実空間とが混在して目に入る環境では、両眼ディスプレイによって与えられる実・仮想空間の両眼奥行き手掛かりと両眼に与える各々の画像自体の持つその他の奥行き手掛かりとが食い違う危険性がある。人間の空間知覚が様々な手掛かりの統合の結果である以上、この矛盾は仮想空間のリアリティの妨げになりうる。

矛盾をはらむ可能性のある様々な手掛かりの中でも特に遮蔽情報は、1) 広い範囲の奥行きについて有効な奥行き手掛かりである [1]、2) 視覚心理学において、遮蔽情報と視差情報とは相互に矛盾し合わないような解釈をもたらすことが報告されている [2], [3]、といった特徴を持っている。そのため実空間と仮想空間との間に視差情報と矛盾した遮蔽関係を提示してしまうこと(遮蔽矛盾)は、本来提示されるべきものとは異なるものを知覚させてしまうという意味で深刻な問題になりうると考えられる。

そこで本論文では、遮蔽矛盾が空間知覚に与える状況について Computer Graphics を用いた心理物理実験を行って分析し、その結果に基づき遮蔽矛盾問題の悪影響を避ける視覚提示方法を提案している。

2. 遮蔽矛盾の具体例

遮蔽矛盾が発生しうる具体例としては、Augmented Reality(AR) や CAVE [4] のような全天周型ディスプレイによる立体視システムが挙げられる。

AR において用いられる両眼視ディスプレイとしては See-Through HMD(ST-HMD) が挙げられる。実装方法としては光学式のものやビデオ信号ベースのもの 2 種類があるものの、いずれにしても実空間の画像に対して仮想空間の画像を重畳するという構造になっているため、実物体に仮想物体が隠されている状況を表現できない(図 1 参照)。

実際人工現実感のアプリケーションにおいて遮蔽矛盾が発生した場合、必ずしも前章のような視覚心理学の知見と合致する結果は得られていない。例えば Optical

*1: 東京大学工学部

*1: Faculty of Engineering, University of Tokyo

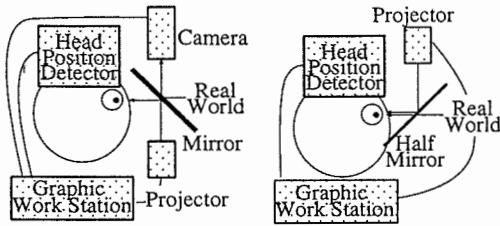


図1 ST-HMDの構造：左が光学式、右がビデオ信号ベースのもの
Fig.1 Structure of ST-HMD (optical : left, video : right)

ST-HMD を用いて人間の体の中で心臓が鼓動している様子を眺めようとしても、心臓が人間の来ている服の上にはりついているようにしか見えなかったという報告事例がある [5]。

又全天周型ディスプレイにおいて液晶シャッター眼鏡で両眼立体視を行わせる場合にも同様な問題が発生する。何故ならば人間から数 [m] 離れた面に仮想像提示面が存在するため、仮想像提示面と自分自身との間にある実物体 (自分自身の手や一緒にいる相手など) が常に仮想物体を遮蔽してしまうからである。(図 2 参照)

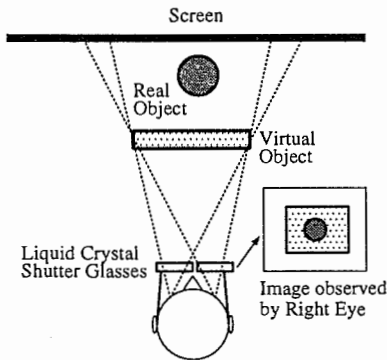


図2 全天周型ディスプレイにおける遮蔽矛盾問題：後ろにあるはずの実物体が仮想物体を遮蔽してしまう
Fig.2 Contradictory Occlusion for CAVE-like Display

仮想画像の遮蔽関係を正しく表現する点に関しては、金出らによって実空間の距離画像を実時間計測することにより両者の遮蔽関係を正しく表現する Z-key アルゴリズムが提案されている [6]。しかしながらここで取り扱う遮蔽矛盾問題の解決には人間の各々の眼からの実空間の距離画像を計測する必要があるため、単眼距離画像の計測に 3 ~ 6 個のカメラを要する Z-key アルゴリズムは、デバイスのコンパクトさを確保できないという点に難があると考えられる。それ故遮蔽矛盾問題に対する人間の処理特性を調べ、その結果に基づいた画像提示方法を考えるアプローチが必要でありかつ有効であると考えられる。

3. 実験 1：物体の位置関係の効果

本来 VR における視差・遮蔽情報間の矛盾を論じるには、実際に遮蔽矛盾が発生しうような VR アプリケーションを作成して評価するのが順当な方法である。しかしながら本論文では CG で単純な遮蔽矛盾をシミュレートするという方法論を取ることにした。これは遮蔽矛盾が人間の知覚に与える影響を分析しやすくするためである。

我々は既に物体の位置関係により遮蔽矛盾解釈の仕方が変化する傾向を観測している [7]。そこでまず 2 枚の正方形の位置関係と認知結果との関係を系統的に調べた。

3.1 用語の定義

実験結果の説明の都合上、ここでいくつかの用語を定義する。視差の上での「手前」・「奥」という概念に対しては、それぞれ “near”, “far” という単語を、遮蔽の上での「手前」・「奥」という概念に対しては、それぞれ “front”, “rear” という単語を割り当てることにする。

3.2 実験装置

図 3 のような実体鏡をトリニトロン CRT (SONY GDM-20E21) の前に固定し、計算機 (Silicon Graphics Indigo2 Maximum Impact) から左目・右目に画像を提示した。提示に当たっては被験者毎に眼間距離と実体鏡装着時の視野角を調べ、そのパラメータを用いて透視変換を行った。

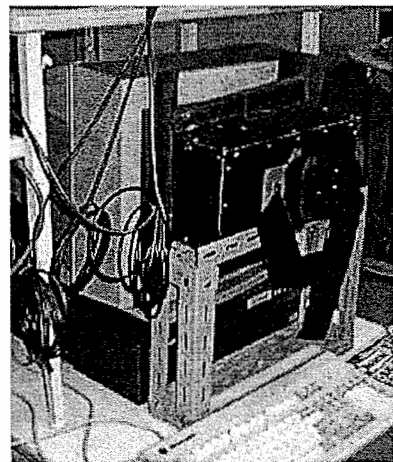


図3 実験装置
Fig.3 Experimental Apparatus

3.3 実験内容

2 枚の正方形の全ての重なり方は対称性を考慮すると図 4 の 5 通りに集約される。しかしながら同図の上側の 2 つのパターンについては、2 つの正方形にかなりの視差がついても遮蔽矛盾が発生しない。そのため遮蔽矛盾が発生しうる残りの 3 パターン (vertical edge occlusion, inner occlusion, vertex occlusion) をまず提示対象にした。

更に vertical edge occlusion との比較のために figure-C pattern(図 5 左) を提示対象として追加した。このパターンは各々の眼に与えられる単眼画像が vertical edge occlusion と一見同じであるにも拘らず、視差の付け方の差異だけで遮蔽矛盾が存在しえないパターンになっている。従って両者の比較により、vertical edge occlusion の場合に発生する遮蔽矛盾の解釈の処理のされ方が明確になると考えられる。

また vertex occlusion との比較のために vertex occlusion of circle(図 5 右) を提示対象として追加した。両者の比較によって、rear 図形の形状の効果を分析できると考えられる。

以上 5 つのパターンのうち figure-C pattern を除いた 4 パターンについて、斜線部の方が far にある時に太線部分において遮蔽矛盾が発生することになる。何故ならば太線部分は視差によって far の奥行を与えられているはずであるにもかかわらず、near の奥行にある網線部よりも front に来ているからである。(この実験では面内はべた塗りされるため、太線部分以外の 2 つの面の重なった部分では明示的な遮蔽矛盾は発生しない。)

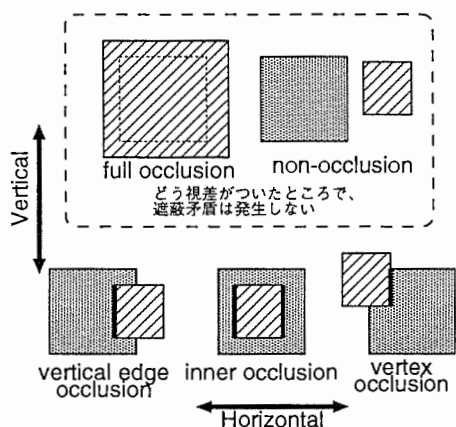


図 4 正方形の重なり方のパターン：斜線部が far にあるとき垂直エッジ(太線部)で明示的に遮蔽矛盾が発生

Fig.4 Combinations for Superposing Two Squares

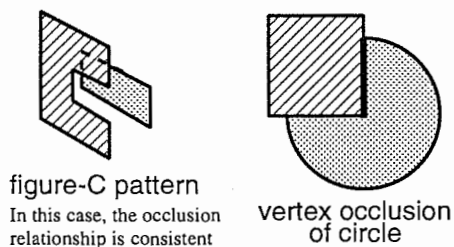


図 5 比較のためのパターン：斜線部が far にあるとき太線部で明示的に遮蔽矛盾が発生

Fig.5 Patterns Used for Comparison

そこでこれら 5 つのパターンについて 2 枚の正方形

に視差をつけた際、被験者にどのように見えるかをアンケートで回答してもらった。

これら 5 つの遮蔽パターンは以下のような形で提示した。

- 正方形同士の位置関係については明確に遮蔽を表現するために、rear 面の重畳部が front 面での中心付近で覆われるようにした。即ち各々のケースで front 面の中心が、
 - vertical edge occlusion: rear 面の遮蔽されている edge の中点
 - inner occlusion: rear 面の中心
 - vertex occlusion, vertex occlusion of circle: rear 面の遮蔽されている頂点 (vertex occlusion of circle では vertex occlusion の rear 面の正方形と同じ中心に rear 面の円を配置した)

付近に来るようにした。

- 被験者が図形の見え方を比較しやすくするため、複数のパターンをまとめ 2 回に分けて提示した(図 6 参照)。一般に立体視の際には注視点の近傍の情報が元になるので、このように複数のパターンを同時に提示することが知覚結果に影響を与えることはないと考えられる。

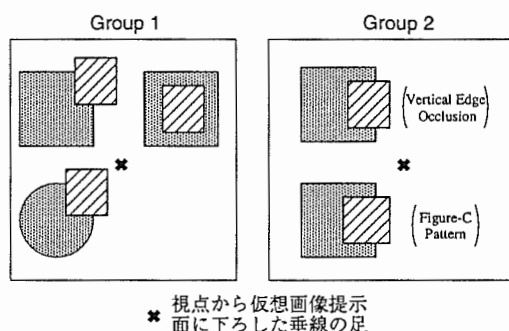


図 6 実際に提示したパターン(左目分)：右目分も同様である。

Fig.6 Pattern Actually Displayed for Subjects

また図形の位置関係以外の要素の影響を防ぐために、以下のような制約を加えた。

- 提示する正方形は辺の長さの見込み角が各々 5.5[deg], 3.2[deg] のものだけに限定した。
- 一般に余りに相対視差が大きいとき、輻輳を合わせても両眼視差による立体視が不可能になる。そのため正しい遮蔽時でも問題なく融合が起こるように rear, front 各面の奥行を
 - rear 面: 1000[mm]
 - front 面の奥行: 800, 1300[mm]
- 整合した遮蔽状態でも立体視しづらいので、左右の眼で正方形の重なり方が変わるような位置関係には

しない。

- front の物体を赤、rear の物体を緑とし、双方の照度が等しくなる (30[lux]) ように調整した (表 3 参照)。又この 2 物体以外の光刺激を加えない。

アンケートの回答項目としては、

- 形状：比較のために、それぞれの長方形と同じ視差の奥行に指標を表示した。但し指標が立体視の妨害にならないように、被験者はこの指標の提示の有無を自由にコントロールできるようにした。

- 立体視の安定度：通常時を 3, 立体視不能時を 0 とした 4 段階評価

を選んだ。出来る限り定常な知覚結果を被験者に答えてもらうために、アンケートの回答時間は無制限とした。

被験者としては正常な両眼視機能を有する 20 代の男性及び女性計 4 人を用い、実験は一人につき 1 セット行った。2 日おいて 4 人のうち 3 人について同じ実験の一部を行ったところ同じ結果が得られたので、個人内での実験セットによる結果のバラつきは無視できると考えられる。

3.4 実験結果

解釈の結果は被験者・パターンによって変わったものの、表 1 のように次の 5 つに類別できた。

折紙解釈 図 7 のように 2 枚の正方形が同じ奥行にあり、遮蔽通りに重なりあっているという解釈。単眼視 (図 7 左) もしくは左右両側の画像のずれが front 面のものであると解釈 (図 7 右) した結果であると考えられる。この解釈においては両眼立体視が成立していないことが示唆される。

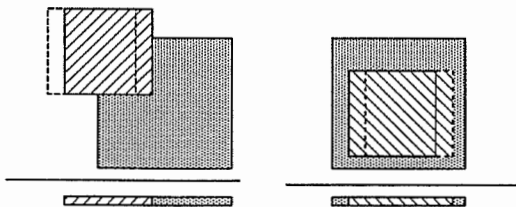


図 7 折紙解釈：実線は左目の画像で、点線は rear 面を注視した際の右目画像である。以下同様。

Fig.7 "Origami" Interpretation

斜面解釈 図 8 のように重畳部のエッジが front 面に、front 面のうち重畳していない部分のエッジが視差通りの奥行にあり、両者が斜面でつながっているという解釈。重畳部の両眼画像のずれがないとして解釈した結果であると考えられる。

布解釈 図 9 のように front 面が布状の曲面で、rear 面に引っかかっているという解釈。重畳部全体が near の奥行に、front 面のうち重畳部ではない部分が far の奥行にあると解釈される。斜面解釈と同様に重畳部の両眼画像のずれを無視した両眼視であるが、隠された

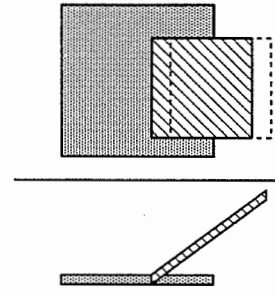


図 8 斜面解釈：左の点線の左側の細長い長方形が存在しない (若しくは点線部が存在しない) かのよう解釈される

Fig.8 Slope Interpretation

rear 面の角の知覚の有無が斜面解釈との違いである。

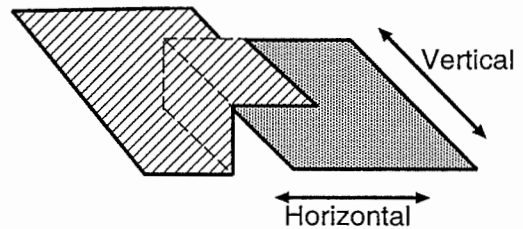


図 9 布解釈

Fig.9 Tablecloth Interpretation

透明視解釈 図 10 のように重畳部において無色透明な面が near の奥行に発生し、far にある front 面が透けて見えるという解釈。

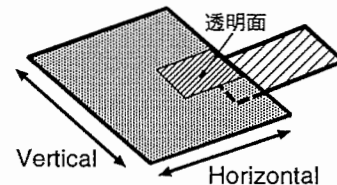


図 10 透明視解釈：front にある長方形の欠けた部分を着色したのは図示の便宜上だけである。

Fig.10 Transparent Interpretation

部分的透明視解釈 透明視解釈の 1 種。図 4 の太線部の内、縦方向の線分の近傍が透けて見えるという解釈。(図 11 参照)

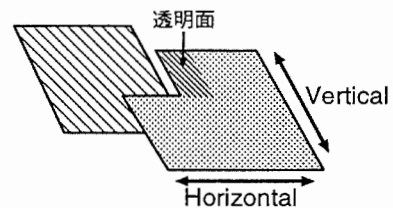


図 11 部分的透明視解釈

Fig.11 Partially Transparent Interpretation

表1 判断結果

Table 1 Perception of Each Pattern for 4 Subjects

パターン	被験者 A	被験者 B	被験者 C	被験者 D
vertex occlusion	部分的透明視解釈 明視解釈	斜面解釈	折紙解釈	折紙解釈
vertex occlusion of circle	透明視解釈	布解釈	折紙解釈	折紙解釈
inner occlusion	透明視解釈 & 斜面解釈	斜面解釈	折紙解釈	折紙解釈
vertical edge occlusion	透明視解釈	斜面解釈	折紙解釈 & 斜面解釈	斜面解釈
figure-C pattern	布解釈 & 斜面解釈 正しい解釈	正しい解釈	斜面解釈	斜面解釈

3.5 考察

ある奥行に輻輳した際、通常の立体視の際には図 12 のような両眼画像のずれが発生する。

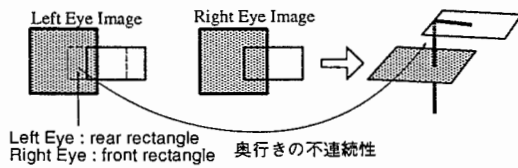


図 12 通常の両眼画像のずれ

Fig.12 Disagreement for Binocular Image under Normal Situation

このようなずれを通常人間は奥行の不連続性によるものと解釈するがために、両眼立体視が成立していると考えられる。一方遮蔽矛盾時もほぼ同様な画像のずれが発生するものの、通常の立体視処理を行った際に画像の重畳部で発生する垂直エッジについて幾何的に妥当な説明がつかなくなる。即ち本来図形のエッジは色もしくは奥行の不連続な変化に対応するべきものであるのに、この場合発生した垂直エッジは何と何の間を不連続に区切るものなのか説明がつかない(図 13 参照)。

このような説明のつかない垂直エッジが見えてしまうという矛盾に対して、幾何的に妥当な説明がつかないように、被験者は本来の両眼画像対応のうち都合の悪いものを無視した解釈を行ったものと考えられる。実際にそうした物体が存在する場合は明らかに両眼画像は違うものの、都合の悪いものを無視した方が立体視の安定という意味ではベターだったがために幾何学上の両眼対応とは異なった解釈が行われたのであろうと推察される。

「都合の悪いもの」として何を選ぶか、換言するとどこを優先して両眼対応をするかによって様々な解釈が発生したと考えられる(表 2 参照)。その優先度を定める大きな要因が図形の重なり方であるがために、図形の位置関係によって遮蔽矛盾の解釈の仕方が変化したのだと推

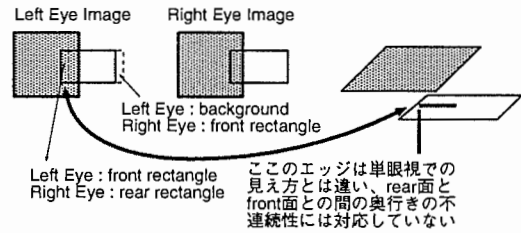


図 13 遮蔽矛盾時の両眼画像のずれ：仮に視差通り重畳部の垂直エッジが far にある front 面のものとした場合、通常は背景との境目としてエッジが存在する。しかしこのパターンでは境界部に背景は全く見えていない。

Fig.13 Disagreement of Binocular Image in Contradictory Occlusion

察できる。

個人間での結果のバラつきはあったものの、3.3 節で述べたように同一個人では安定して同じ解釈が得られた。この事実は、上述のような立体視の際の優先箇所が個人間で違っていることによるものと考えられる。

表 2 判断結果の分類

Table 2 Classification of the Result

解釈パターン	主観的な輪郭線の存在	重畳部の奥行
折紙解釈	○	—
斜面解釈	×	near
布解釈	○	near
透明視解釈	○	far
部分的透明視解釈	×	far

3.6 透明視解釈の発生要因

物理的には実在しない透明な面が存在するという知覚が発生する現象は透明視現象と呼ばれ、心理学上でも多くの知見が得られている。特に立体視が関連する透明視現象としては下條らによって報告されている事例が挙げられる[8]。即ち図 14 の黒い扇型の弦の部分に弧の部分よりも奥に見えるように視差をつけた場合、主観的輪郭として現れる四角形の 4 隅が穴越しにあるかのように知覚されるというものである。換言すると手前の面の黒い円盤部が透明な面であり、後ろの四角形や背景が透けて見えるのだという知覚が起こっていることになる。

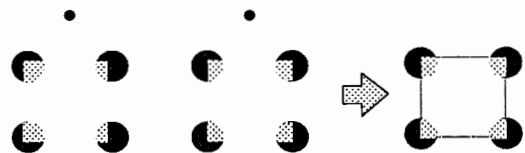


図 14 透明視の一例

Fig.14 An Example of Transparent View

被験者 A で発生した透明視解釈、部分的透明視解釈もこの透明視現象であると考えられる。即ち 3.5 節で述べた「幾何的に妥当な説明のつかない垂直エッジ」に

対して、「front 面と同じ奥行きに透明な面が存在する」という仮定をおくことにより、視差通りの奥行に物体が知覚されるという、立体視の安定性において優れた解釈が透明視解釈において行われているのではないかと考えられる。今回の実験では透明視解釈が発生したのは被験者 A のみであるものの、今回の実験対象外の別の人間でも透明視解釈が生じることが確認された。従ってこの節で取り上げている透明視解釈は被験者 A 特有な解釈ではない。

まず透明視解釈の場合について考えてみる。幾何学的に正しい figure-C pattern と 遮蔽矛盾を含んでいる vertical edge occlusion とを比較すると、両眼に与えられる画像の違いは図 15 の X 部のみである。

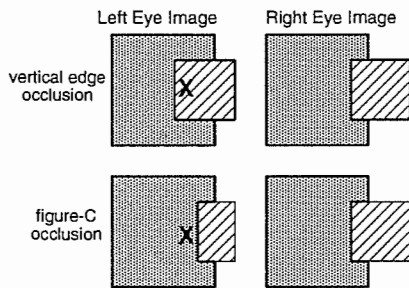


図 15 figure-C pattern と vertical edge occlusion との透視変換画像の違い：X のついた部分が両者の透視変換画像の違いである。
Fig. 15 Difference between Figure-C Pattern and Vertical Edge Occlusion

figure-C pattern の場合には X 部が rear 面であることにより、front 面の大きさが左右の画像で異なり単純に両眼対応をとることは出来なくなってしまっている。これに対して「front 面の左右の画像の大きさの差は、near にある図形 (rear 面) により図形の一部が隠されたことによる」という判断が脳内でなされていると考えられる。

一方 vertical edge occlusion の場合には、この矛盾に対して図 10 のように rear 面のコの字のくぼみの中全体に透明な面が広がっていると見なしている。その結果 front, rear どちらの図形も矛盾なく視差通りの奥行にあると知覚されるのが透明視解釈であると推測される。図 17 左のように rear 面の X 部のみに透明な面が広がった (部分的透明視解釈) と考えても矛盾ない認知が可能になるはずであるが、この点については部分的透明視解釈の考察の中で論じる。

次に部分的透明視解釈の場合について考えてみる。vertex occlusion の場合についても上と同様に単眼画像がほぼ同じな幾何学的に正しい図形 (図 16 右参照) の透視変換画像を計算すると図 16 のようになる。

先程と同様に X 部に rear 面ではなく front 面が見

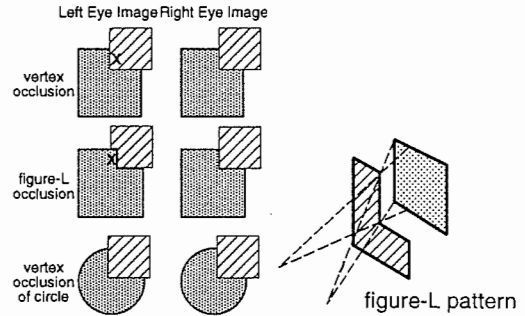


図 16 vertex occlusion と figure-L Pattern と vertex occlusion of circle との透視変換画像の違い：X のついた部分が前の 2 者の透視変換画像の違いである。

Fig. 16 Difference between Vertex Occlusion, Figure-L Pattern and Vertex Occlusion of Circle

えてしまっていることが vertex occlusion での遮蔽矛盾の原因になっていると考えられる。vertex occlusion of circle ではこの矛盾に対して X 部のみに透明な面が広がっていると見なす、つまり部分的透明視解釈を行うことにより、front, rear どちらの図形も矛盾なく視差通りの奥行にあると知覚されるものと推測される。

一方 rear 面の形状以外は vertex occlusion と全く同じはずの vertex occlusion of circle では部分的透明視解釈ではなく透明視解釈が成立した。vertical edge occlusion と vertex occlusion of circle の 2 パターンで成立した透明視解釈では、部分的透明視解釈とは違い front 面によって隠された同一直線上・等曲率のエッジが知覚されているとみなすことが出来る。このことから欠けているエッジが内挿されることが透明視解釈の成立にとって必要なのではないかと予想される。透明視解釈が成立するには本来見えない面の広がりを知覚することが必要であり、そのためにはその面を囲む閉曲線の知覚が必要である。それ故遮蔽によって欠けたエッジが主観的に内挿されることにより、透明視解釈の知覚が起るようになるのではないかと考えられる。エッジの遮蔽が全くない inner occlusion において透明視がはっきりとは成立しなかった事はこの予想の傍証になっていると言えよう。

逆に vertical edge occlusion の場合に部分的透明視解釈が見られなかったのは、そうした解釈が脳内処理の計算コストという点で得策ではないためだと考えられる。vertical edge occlusion に対して図 17 のような解釈も理論上は起こりうるにも拘らず実際にそうした解釈は全く行われなかったのも、「一様な色の面が不連続になっている」という仮定に無理があるためであると推察される。

以上の考察から透明視解釈や部分的透明視解釈では「面の連続性」という前提をできるだけ保とうとした結

果、遮蔽矛盾の発生した部分で透明な面が広がっているという仮定をおいた処理を行っているのではないかと考えられる。

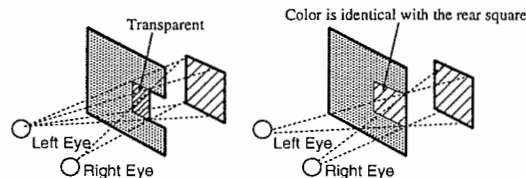


図 17 vertical edge occlusion に対して考えられる他の解釈例：左は部分的透明視解釈、右は near の正方形は 2 色に塗られてい、その水平境界線が far の正方形と合致している事例である。

Fig.17 Another Theoretical Perceptions for Vertical Edge Occlusion

4. 実験 2：他の手掛かりの効果

3. 節の実験では視差と遮蔽情報のみを提示していたが、現実世界の物体は更に多くの情報を人間に与えている。従ってこれら別の手掛かりの影響によって、前節で述べたような解釈が妨げられる可能性が出てくる。

そこで先程の図形に対して、a) テクスチャを加える、b) front 面が物理的に透明であるのと等価な効果を与える、という 2 種類の効果を与えた際にどのような影響が出るかを評価した。

a) の場合はテクスチャの存在により、図 4 の太線部のみならずその近傍の面全体で明示的な遮蔽矛盾が発生していることになる。それ故この場合に遮蔽矛盾の解釈においてテクスチャの与える視差情報が優勢にならないならば、3.6 節で述べた「面の連続性」という前提を支援しているのは面内視差情報ではなくむしろ輪郭の視差情報であると言える。

一方 b) の場合は、図 18 のように、1) 重畳部が 2 つの面の色の中間色であること、2) front 面に隠されているはずのエッジが見えていることの 2 つの手掛かりを追加することになる。従って前節及び a) の場合との比較により、重畳部で混色することや隠されたエッジを明示的に描画することの意義が分かると考えられる。

4.1 実験内容

a) においてテクスチャの色の影響と視差そのものの影響とを分離するために、a1) それぞれの長方形に別の色相(赤・緑)のテクスチャを加える、a2) それぞれの長方形について、エッジを明示的に描いた上で同じ色相のテクスチャを加える、という 2 つに場合分けして評価した。

b) においては前述の 2 種類の効果を分別するために、b1) 3. 節と同じ色の長方形について、重畳部の色をそれぞれの長方形の色の RGB 空間上での中点の値にした場合、b2) それぞれの長方形に a1) と同じテクスチャを加

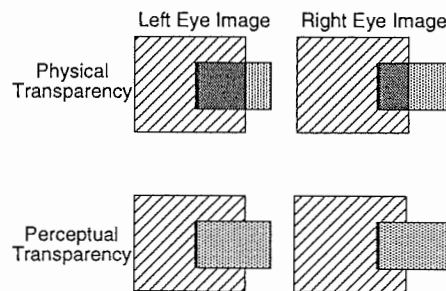


図 18 物理的透明視の場合と透明視解釈の場合との両眼対応の比較

Fig.18 Comparison between Subjective and Physical Transparency

えた上で図形のエッジを隠れているものも含めて全て描く場合の 2 つに分けて評価した。

3. 節の実験で使った 5 つのパターンから vertex occlusion of circle を除いた 4 つのパターンに対して、これら 4 通りの装飾を施し、前節と全く同様に被験者に評価をしてもらった。各々の装飾におけるテクスチャの色を表 3 に示す。各々 RGB 値が最大になった際全て等照度になるように定義した。

表 3 各面の RGB 値：“a~b”はこの範囲で発生する乱数を示す。又記述のないものの値は 0.0 である。

Table 3 RGB Value for Each Plane

	front 面	rear 面
3. 節の実験	R=0.85	G=0.35
a1	R=0.85~0.425	G=0.35~0.175
a2	R=G=B=0.25~0.125	
b1	R=0.85~0.425	G=0.35~0.175
b2	R=0.85~0.425	G=0.35~0.175

4.2 実験結果・考察

a) については前節同様被験者・パターンによってまちまちな認知結果が得られた。但し inner occlusion については立体視ができない被験者が多かった(4人中3人)。また図 19 のように a1), a2) いずれにしても、3. 節の場合に比べて立体視の安定度が低くなる傾向が見られた。

a1), a2) いずれでも同様な傾向になったことから、両方に共通なテクスチャの存在がこの現象の鍵になっていると考えられる。即ち遮蔽矛盾の処理に当たっては、テクスチャの与える局所的な視差情報はむしろ障害になっていると言える。こうなった原因は遮蔽矛盾を来した領域内で 2 つの面のテクスチャのパターンが局所的に不安定な誤対応をしてしまったことではないかと予想される。この推察から遮蔽矛盾の処理に当たっては、面内視差よりもむしろ 2 平面の重畳部のエッジ付近の両眼対応の結果が鍵になっていることが伺える。矛盾のない遮蔽関係を持つ front 面が存在しない inner occlusion

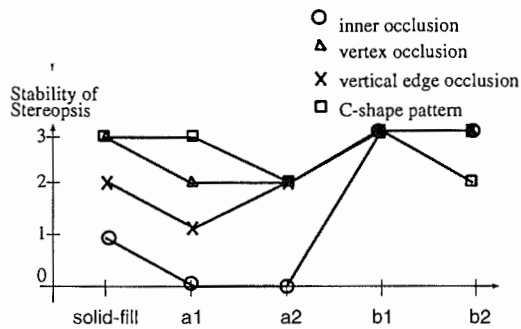


図 19 立体視の安定度 (被験者 A の場合) : 他の被験者についても同様な傾向が見られた
Fig. 19 Stability of Stereopsis (Subject A)

の場合について立体視できない被験者が多かった事実からも、この仮説は妥当なものであると言えよう。

一方 b) については、b1), b2) どちらにしても全ての被験者が安定した透明視解釈を行った。このことは front 面に隠されたエッジを明示的に提示することにより、透明視解釈以外の解釈が排除されることを示唆している。隠されたエッジの明示的提示が rear 面全体が far にある平面であるという知覚を支援した結果、安定した透明視解釈が行われたものと考えられる。

重畳部において 2 つの面の色が混ざっていることは、単眼の場合でも front 面の透明感に寄与する [9]。しかしながら面の奥行き感の知覚に際しては、隠されたエッジが提示されることの方が支配的な要因になっているのであろう。

この説は重畳部のエッジ付近の両眼対応が遮蔽矛盾処理の鍵であるという前述の仮説とも合致したものであると言える。何故ならば図 18 の太線部と b) で新たに提示されたエッジとは単眼画像上では連続な線分であるために、前者即ち重畳部のエッジの奥行きは明示的に提示された後者の奥行きと等しくないという前提が成立しやすくなると予想されるからである。

5. おわりに

両眼視ディスプレイにおける遮蔽矛盾問題を定義し、その状況を Computer Graphics で実現した心理物理実験を行った。

その結果 2 平面の間にある本来見えないはずの垂直エッジが見えること及びそのために、その矛盾を説明するべく幾何学上の両眼対応を破ったり透明視解釈を行ったりすることがわかった。また面内視差情報の存在によりこうした解釈の安定度が低くなる傾向から、遮蔽矛盾の処理に際してはこの重畳部の垂直エッジの処理結果がキーになっていて、この部分の解釈が不安定になることにより立体視が阻害されることが伺われた。

従って重畳部で rear 面のエッジが透けて見えるようにして重畳部の垂直エッジの処理をしやすいことによ

り、遮蔽矛盾を克服しやすくなる、即ち遮蔽矛盾による立体視の阻害を防ぐことができるということがわかった。

今後の課題としては、まず遮蔽同様比較的長い距離範囲に渡って有効な運動視差との矛盾の考察が挙げられる。実際に ST-HMD を着用する環境下では人間の動きに応じて物体感の遮蔽関係が変化するので、今回実験したような静的な状況下での議論が必ずしも成立しない可能性があるからである。

そして額面に平行な平面以外の図形に対しても同様な手法が適用しうるかどうかの検討も挙げられる。

今回の実験を人間の状態計測と言う観点から見ると、人間の知覚内容を主観報告に基づいて計測していることになり、被験者にどのように見えたかを逐一確認する必要があり、実験データの信頼性を確保するのが困難である。そのため脳波・MRI・眼球運動計測などを通じて、人間の内観を客観的に計測する手法を確立することが、これらの課題の解決のためには必要になると考えられる。

参考文献

- [1] 長田. 視覚の奥行距離とその奥行感度. テレビジョン学会誌, Vol. 31, No. 8, pp. 649-655, 1981.
- [2] S. B. Lei Liu and C. M. Schor. Quantitative stereoscopic depth without binocular correspondence. *Nature*, Vol. 367, pp. 66-69, 1994.
- [3] K. Nakayama and S. Shimojo. Da Vinti Stereopsis: Depth and Subjective Occluding Contours from Unpaired Image Points. *Vision Research*, Vol. 30, No. 11, pp. 1811-1825, 1990.
- [4] T. A. DeFanti, D. J. Sandin, and C. Cruz-Neira. A 'room' with a 'view'. *IEEE Spectrum*, No. 10, pp. 30-33, 1993.
- [5] A. Matani, Y. Ban, Osamu Oshiro, and K. Chihara. A system for superimposing a 3-dimensional stereoscopic motion echo image of the heart onto the chest. *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 35, pp. 3121-3125, 1996.
- [6] T. Kanade, P. J. Narayanan, and P. W. Rander. Virtualized Reality: Being Mobile in a Visual Scene. *ICAT/VRST '95*, pp. 133-142, 1995.
- [7] 鈴木, 前田, 館. 視差情報と遮蔽関係との矛盾の空間認知への影響について. 第 1 回バーチャルリアリティ学会大会論文集, 1996.
- [8] K. Nakayama, S. Shimojo, and V. S. Ramachandran. Transparency: relation to depth, subjective contours, luminance, and neon color spreading. *Perception*, Vol. 19, pp. 497-513, 1990.
- [9] 伊東, 内川, 栗木. 透明視における重なり領域の色度・輝度条件. *VISION*, Vol. 8, pp. 233-236, 1996.