

陰影による奥行き知覚

道本啓介・塩入 諭・矢口博久

千葉大学 工学部 画像工学科

〒263 千葉市稲毛区弥生町 1-33

1. はじめに

我々は2次元画像から3次元形状を推測することができ、その際に陰影は重要な視覚情報として用いられている。これはCGの分野などでも陰影は立体感を与えるための重要な手がかりとして多用されている事からも明らかである。より立体感のある画像空間を提供するためにも陰影から奥行きを知覚するメカニズムを解明することは重要である。しかしそのメカニズムについて明らかにされていることは少なく、多くの研究が必要と考える。

本研究は陰影による奥行き知覚メカニズムの一端を、その空間周波数特性を調べることにより解明することを目的としている。我々は前回、陰影より奥行きが知覚できる最小コントラスト閾値が、輝度パターン検出メカニズムに依存した空間周波数特性を持つことを報告(図1)したり。しかし、閾上における奥行き知覚の特性が、閾値での特性で決定されるとは言い切れない(事実、閾上での見えのコントラスト

の空間周波数特性などは、閾値から求められた感度と大きく異なることはよく知られている)。そこで本報告では、閾上の陰影画像を用い帯域フィルターにより空間周波数成分を制限し、その奥行き知覚量を測定した。空間周波数の異なる各刺激画像に対して奥行き知覚量を測定することから、陰影知覚の空間周波数特性を検討する。

2. 方法

2.1 刺激画像

刺激画像として光線追跡法により描かれた球面画像を用いる。表面の性質が変化すると知覚される奥行き量が影響を受ける可能性も考えられるため、完全拡散面と鏡面反射成分を含む面の2種を原画像(図2)として採用する。各々の画像は、Lambert余弦則およびPhongのモデルを用いて生成し、画像の大きさは256×256 pixel (5.7×5.7 deg)である。

フィルタリングをする際に用いた帯域フィルターはガウス関数状のものであり、中心周波数は0.09 cpd (1.0 cpi), 0.44 cpd (5.0 cpi), 1.75 cpd (20 cpi), 6.98 cpd (80 cpi)の4種類とした。

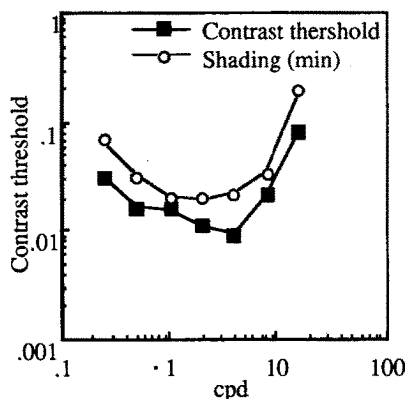


図1 過去の実験結果

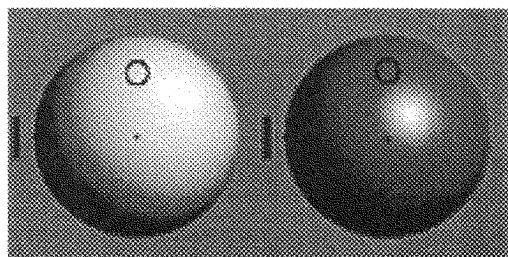


図2 実験で使った陰影画像。球面画像。左側が完全拡散面、右側が鏡面反射を含む面である。

図3、図4はフィルタリングした画像である。鏡面反射を含む球面をフィルタリングした画像では、中心周波数0.44 cpd, 1.75 cpdの両画像において、鏡面反射部の成分の影響が画像中心付近においてみられる。

2.2 実験方法

被験者に課せられたタスクは、図2に示すように中心に呈示された基準点と、観察点である円の中心との間の奥行き量を評価することである。知覚した奥行き量は刺激左横の棒の長さ

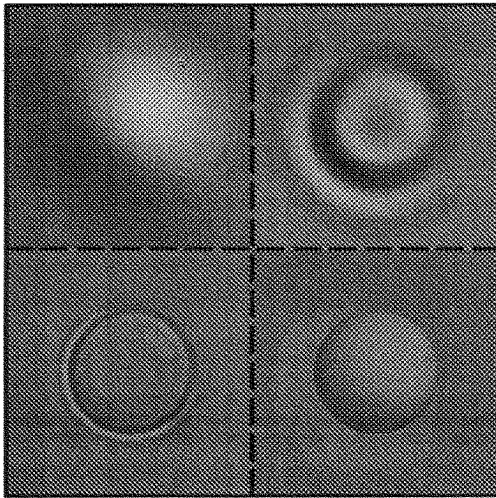


図3 原画像をフィルタリングした画像（完全拡散面）。

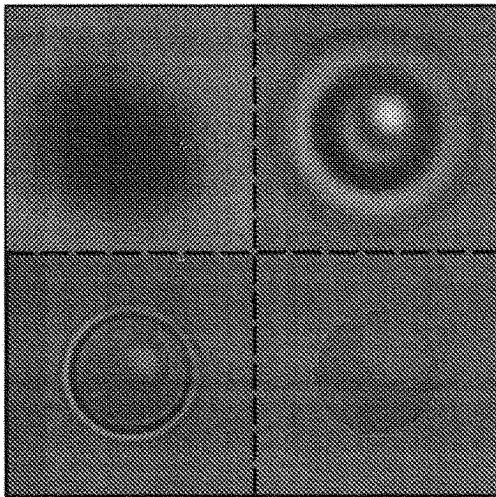


図4 原画像をフィルタリングした画像（鏡面反射を含む面）。

より評価する。実験は調整法であり、棒の長さはマウスを用いて自由に変化させることが出来る。各画像中の29点において測定を行った。

3. 実験結果

図5は測定結果を等高線で表したものである（1 pixelは0.36 mmに対応する）。球面の形状が比較的正しく復元されており、陰影情報のみからある程度正確な奥行き知覚ができること

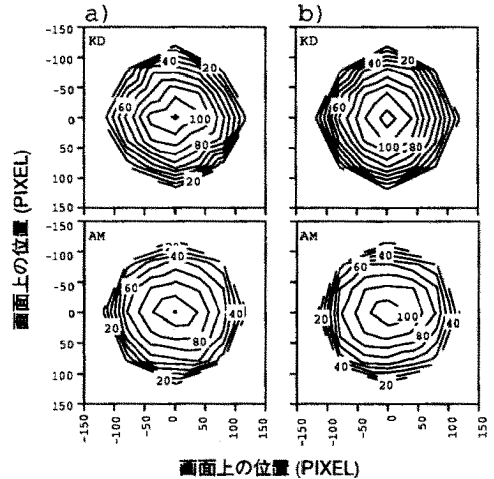


図5 奥行き知覚量の測定結果1。a)は完全拡散面、b)は鏡面反射を含む面に対する評価結果を等高線で表したものである。

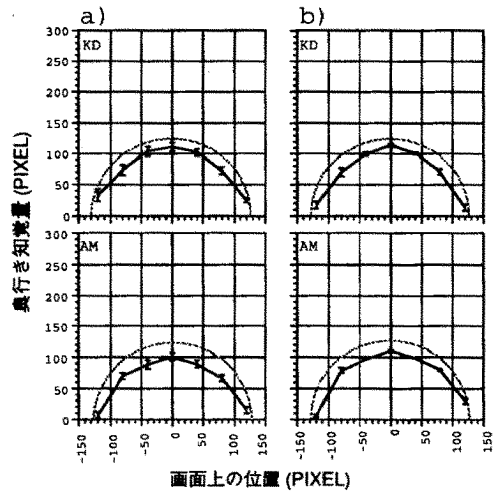


図6 奥行き知覚量の測定結果2。a)は完全拡散面、b)は鏡面反射を含む面に対する赤道上的の評価結果を表したものである。

が分かる。

図6は円の中心を通り、視点に対して水平な線上（以下赤道と呼ぶ）における奥行き評価の結果を示したものである。まず図3と同様、球面の形状が比較的正しく復元されており、ある程度正確な奥行き知覚ができることが分かる。また、各測定点におけるばらつきが非常に少ない（誤差棒は標準誤差を示す）。以上図5,6の結果より、本実験で用いた奥行き評価方法は有効な手法であったことが示されたといえる。

図7は完全拡散面および鏡面反射を含む面に対する、赤道上における奥行き評価の結果を同じグラフに示したものである。双方ともほぼ同量の奥行き量を知覚しており、表面の性質が変化したことによる影響はほとんどみられなかった。

図8 a)は完全拡散面をフィルタリングした4種の画像を奥行き評価した結果である。低周波側の2種の画像(0.09 cpd, 0.44 cpd)に対する評価量大きい。低周波情報が奥行きを知覚する際の重要な情報であることが分かる。これに対し、高周波側の2種(1.75 cpd, 6.98 cpd)については奥行き知覚への寄与はほとんどない。

図8 b)は、鏡面反射を含む面をフィルタリングした4種の画像を奥行き評価した結果である。完全拡散面の場合と同様、低周波側の画像の奥行き評価が非常に大きい。先に、中心周波数0.44 cpdの画像では、鏡面反射部の成分の影響が画像中心付近においてみられると述べたが(図4)、0.44 cpdの奥行き評価が中心部分に

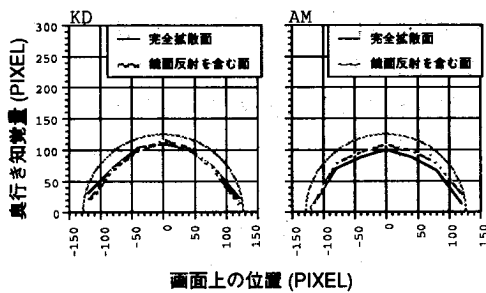


図7 奥行き知覚量の測定結果3. 完全拡散面と鏡面反射を含む面に対する奥行き評価の結果。

において大きくなっている。完全拡散面に関する評価結果と大きく異なるのはこの点のみである。

4. 考察

まず、原画像に対する奥行き評価結果から、今回用いた奥行き評価方法は有効な手法であることが分かった。

陰影は定量的な意味では信頼性が低い奥行き情報であると一般的に言われている。今回の実験においても完全拡散面、鏡面反射を含む面と

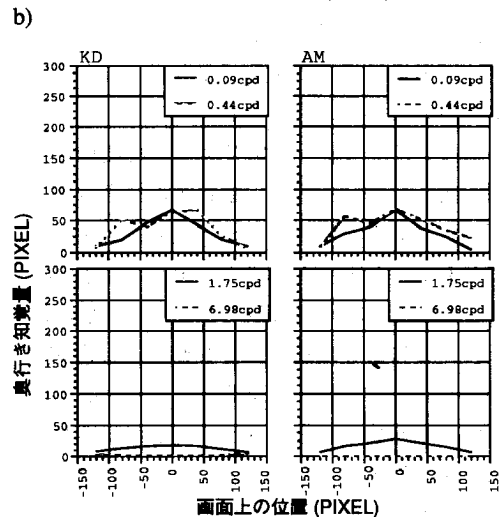
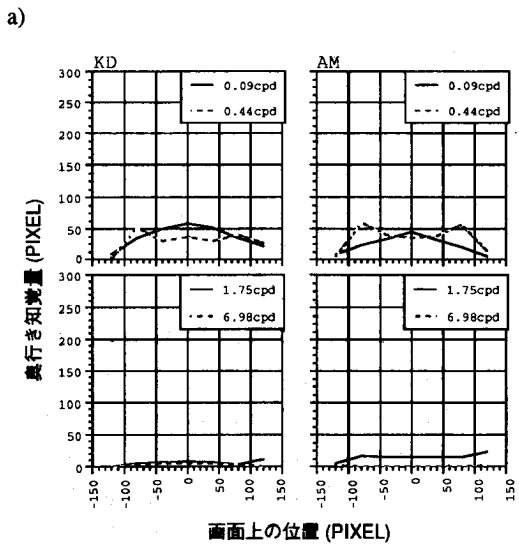


図8 奥行き知覚量の測定結果4. a)フィルタリングした画像に対する測定結果である(完全拡散面). b)フィルタリングした画像に対する測定結果である(鏡面反射を含む面).

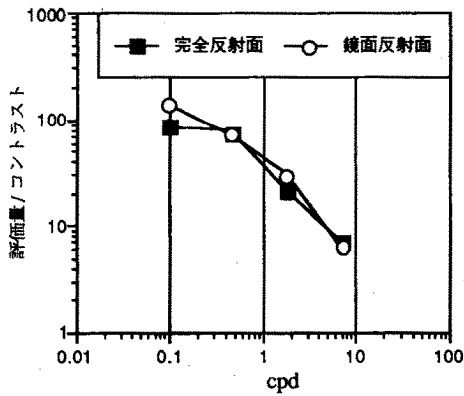


図9 各フィルター画像のコントラストと奥行き評価結果の比

もに実際の球面よりも10%程度少なめに奥行き量が知覚されており、そのような意見を支持する結果と考えられる。

次に各フィルター画像と原画像の奥行きに関連について述べる。図9は、各フィルター画像に対する最大奥行き評価量を、その画像の持つコントラスト値 (Michelson contrast) で割った値をプロットしたものである。高周波になるほどこの値は減少している。つまり、より低周波の刺激であればあるほど少ないコントラストで多くの奥行き感を与えることが出来ることを示している。また、図1のような帯域通過型の特性ではなく、むしろローパス型の形状となっている。閾上における奥行き知覚が輝度パターン検出メカニズムに直接依存しておらず、独自の処理がなされていると考えられる。

さらに各フィルター画像で得られた奥行き評価量の足し合わせを行い、原画像の評価結果との関連について考察する。まず完全拡散面についてである、図10が足し合わせをした結果であるが、原画像の評価結果に比較的近いものとなった。このことは陰影による奥行き知覚が空間周波数に依存した独立なチャンネルにより処理され、その後足し合わされている可能性があることを示唆するものである。しかし、図9b)に示すように、鏡面反射画像については、特に鏡面反射部において足し合わせによる結果と大きくずれている。これは原画像での鏡面反射部

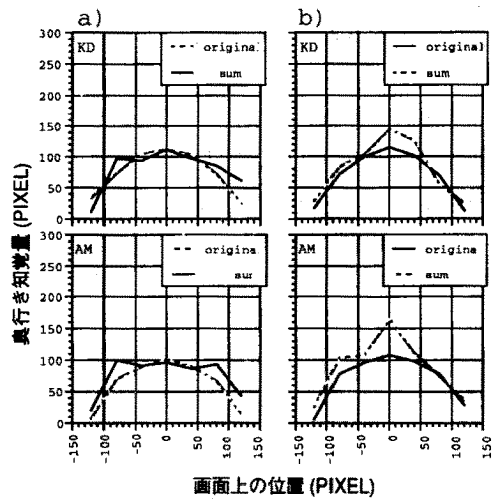


図10 各フィルター画像の評価結果の足し合わせと原画像の奥行き評価結果の比較。a) 完全拡散面、b) 鏡面反射を含む面。

がフィルター処理をされたことにより、鏡面反射部として知覚されなくなったためである。従って、鏡面反射がある場合は空間周波数に分けて奥行き知覚の説明をすることは不適切であると思われる。

ただし、今回の測定結果のみから上記のような比較を行うには1つ問題点がある。2.1で述べたように、フィルタリングには4種類のガウス関数状のフィルターを用いたが、それらのフィルターのみで原画像のもつ空間周波数成分を全てカバーしているわけではない。そのため図3および図4のフィルター画像を実際に足し合わせても原画像である球が再現されない。従って、上で述べた事柄についてさらに厳密に調べるためには、4種のフィルター画像を足し合わせた画像に対しての奥行き評価結果と比較する必要があるのではないかとと思われる。

今後、様々な刺激画像で同様な実験を行ない、これらの点について更に検討する必要がある。

文献

- 1) 道本啓介, 塩入 諭, 矢口博久: 陰影形成における空間周波数特性. *VISION*, 6, 142, 1994.