

平成 28 年 6 月 16 日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330196

研究課題名(和文) 高精細度画像が与える奥行き感の実験的解明とその応用

研究課題名(英文) The study of depth perception caused from viewing high-definition images

研究代表者

矢野 澄男 (Yano, Sumio)

島根大学・総合理工学研究科(研究院)・教授

研究者番号：30466239

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000 円

研究成果の概要(和文)：高精細度画像が与える奥行き感の要因を実験的に検討した。まず、高精細度画像の奥行き感は、空間周波数45cpdより高い空間周波数では、飽和傾向にあることを主観評価実験により、明らかにした。さらに、運動視差による奥行き感は、撮像デバイスの光軸を前方の一点に固定した平行運動では、単なる平行運動よりも増すことを見出した。最後に、10～60cpd正弦波パターンに対して、ピント調節を測定し、空間周波数に対して調節機能が有意な結果を得たが、現行測定器では、30cpdより高い空間周波数では飽和傾向であった。これらの知見は、HDTVを超える画像システム構築、評価に寄与すると考えられる。

研究成果の概要(英文)：The depth perception caused from viewing high-definition images were examined experimentally. At first, the subjective experimental results showed that the sense of the depth perception was saturated over than 45 cpd(cycle per degree) of the spatial frequency components in the high-definition images. Furthermore, the depth perception caused from the motion parallax was increased in the case of setting the fixation point for the parallel motion of the pick-up device in comparison of the only parallel motion. Third, the accommodation responses for the sinusoidal patterns, which had from 10 to 60 cpd, were measured. As results, the accommodation response was statistically significant at the point of the spatial frequency. The results showed that the accommodation response was saturated over than 30 cpd component in the images. These results will contribute the development of image systems, which will be located over HDTV, and the evaluation of images systems.

研究分野：画像工学

キーワード：高精細度画像 立体感 奥行き感 運動視差 ピント調節 空間周波数

1. 研究開始当初の背景

一般に、HDTV から Ultra HDTV に至るまで、標準観視距離は、画像の走査線構造が知覚されない空間解像度を基準としており、視力 1 の観視者を想定すれば、その解像度は 30cpd(cycle per degree)となる。この場合、HDTV では、標準観視距離は 3H(H は表示画面の高さ)、デジタルシネマでは 1.5H、Ultra HDTV では 0.75H となる。視距離の短縮化は相対的には、表示画角の拡大化を招き、「臨場感」に富む映像表現を可能とするが、動き画像や素早い映像切り替えは、ともすれば、映像酔いを伴う。そのため、標準観視距離に依存しない距離での画像の観視がなされる。このことは、特に、標準観視距離よりも大きく離れて画像を観視すると、表示された画像の見かけの空間解像度の向上を招く。したがって、デジタルシネマでは、3H で 60 cpd、6H で 120cpd となり、Ultra HDTV では、3H で 120cpd、6H で 240cpd となる。一方、HDTV では 3H で 30cpd、6H で 60cpd、9H で 90cpd である。

特に、Ultra HDTV ではその空間解像度の高さを評価するため、映像と実物との差異が検知されない空間周波数帯域が「実物感」として解明、評価されており、Ultra HDTV の観視条件の決定のための重要なデータを提供している。

一方、このようなデジタルシネマや Ultra HDTV では、比較的大画面で表示されることも加わり、平面画像表示にも関わらず「立体感」があると言われることが多い。しかしながら、画像を構成する物理パラメータのどの要因が「立体感」の大きな要素の一つである「奥行き感」に対して機能しているかを、画像コンテンツを用いて検討、明らかにした例はない。

このような背景のもとで、高精細度画像が与える「奥行き感」に関して、静止画、動画を対象として主観評価、および、客観評価により、その要因を明らかにする試みを実験的に行った。

2. 研究の目的

高精細度画像の静止画像から得られる「奥行き感」に関し、画像の持つ物理パラメータとのかかわりに関して心理物理実験を通して、要因の効果を解明し、その定量化を図る。

次に、高精細度画像での動き画像に着目し、静止画像での画像の物理パラメータにかかわる結果を反映しつつ、運動視差を付与した高精細度画像での奥行き感を評価し、その特性を解明する。

加えて、高精細度画像での奥行き情報の知覚に関して生体情報、とりわけ、眼球のピント調節機能の測定を行ない、その要因の効果を解明し、定量化手法を確立する。

3. 研究の方法

(1) 高精細度画像が与える「奥行き感」にかかわる画像の物理パラメータに関して、その要因の効果を心理物理実験によって明らかにする。

(2) 運動視差を含む実風景を、単眼カメラを水平往復運動させつつ、かつ、前方の 1 点にカメラ光軸を向けるような回転運動を付加することにより得て、「奥行き感」への効果の解明とその特性の定量化を行う。

(3) 「奥行き感」に富んだ高精細度画像でピント調節機能を確認し、主観評価実験結果との整合を図り、客観的な評価による「奥行き感」に関する定量化手法を確立する。

4. 研究成果

(1) 高精細度画像の空間周波数が「奥行き感」に与える影響

高精細画像が与える奥行き感に関して、空間周波数をパラメータとした主観評価による検討をおこなった。

評価実験の装置

4.8 インチの HDTV ディスプレイ(オルタステクノロジー製 1920×1080 dots)に画像を表示し、9H(H:画面高)となる 56.7 cm の距離から観視することで、画像の最高解像度を 90 cycle per degree (以後 cpd と略す) に設定した。今回の実験で用いた画像を図 1-1 に示し、各画像での輝度レベルを表 1 に示す。提示画像の空間周波数に関しては、水平・垂直空間周波数を帯域制限することで 9, 27, 45, 63, 90 cpd とした。



(a)Thread (b)Felt (c)Wool

図 1-1 実験で用いた画像

表 1 各画像の輝度レベル

画像	最大値(cd/m ²)	最小値(cd/m ²)
thread	244.2	3.156
felt	157.6	1.476
wool	241.0	1.375

一対比較による主観評価実験

空間周波数帯域制限を施した画像を視対象として、空間周波数が奥行き感に与える影響について継時的な一対比較法により主観評価実験をおこなった。

評定尺度法による主観評価実験

次に実験に供した 3 種の画像のうち画像 (b)、(c) に関して実物視標を基準とし、各空間解像度での画像の奥行き感を評定尺度法により評価した。

評価結果と考察

一対比較法による主観評価実験結果で得られたデータをシェッフェの一対比較法による解析を行い、各空間解像度間での奥行き感の差の有無を調べた。図 1-2 に一対比較法による実験結果を示す。危険率を 0.01 とし、他のより低い空間解像度との比較で有意差がある場合は * を付与した。図 1-2 に示す様に空間解像度が 45cpd までの画像については奥行き感の上昇が有意に認められたが、それ以降の高い空間解像度では飽和するとの結果が得られた。

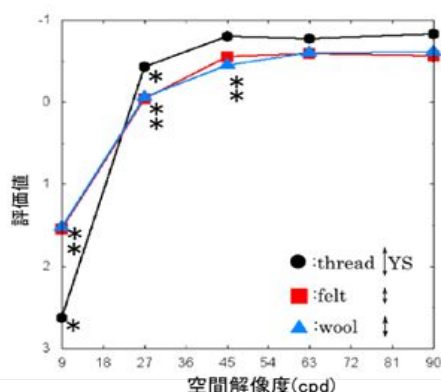


図 1-2 一対比較法による実験結果

また、評定尺度法による主観評価実験結果で得られたデータを一元配置の分散分析により、実物視標と比較した際の画像の奥行き感について、各空間解像度間での差の有無について調べた。

図 1-3 に実物視標と各解像度の画像との奥行き感 (Felt を例示) について 5 段階の評価の結果を示す。有意差を 0.01 とし、他のより高い空間解像度と比較して有意差がある場合には * を付与した。同図に示すように、空間解像度が 27cpd までの画像については、実物視標と比較した際の奥行き感の上昇が有意に認められたが、それ以降の高い空間解像度では飽和するとの結果が得られた。

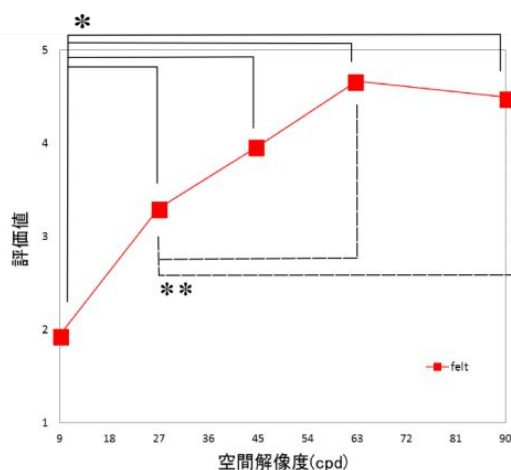


図 1-3 実物視標と各解像度の画像との奥行き感 (Felt を例示)

これらからほぼその中間値となる空間解像度が約 40cpd 程度の高精細度画像で、人間の視覚においては実物と比較してもほぼ遜色のない奥行き感が検知できると推測される。

まとめ

2 つの主観評価実験により、画像の空間周波数と奥行き感について検討した。その結果約 45 cpd 程度までは奥行き感の向上が得られるとの結論を得た。

(2) 運動視差による奥行き感の検討 カメラ撮像方法による差異

単眼カメラを水平往復運動させつつ、かつ、前方の 1 点にカメラ光軸を向けるような回転運動を付加することによって、運動視差を含む実風景を得て、「奥行き感」への効果の解明とその特性の定量化を行った。なお、比較として、単なる平行運動によって得た運動視差のある動画像を用いた。

カメラの動きの違いによる実際のシーンでの運動視差

実際のシーンを対象として、運動視差のあるシーンを撮像するために、図 2-1 に示されるような装置を試作した。

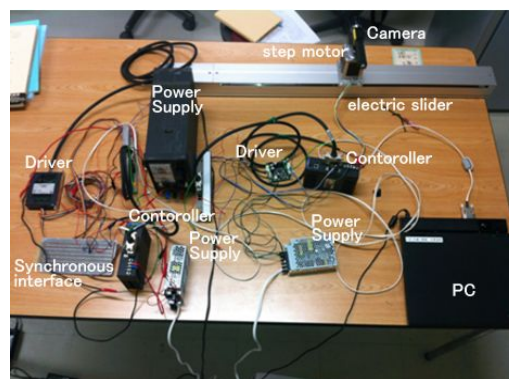


図 2-1 実験装置の写真

実験の方法

実験では、試作した装置により後述する視標を対象として、運動視差のある画像を得た。撮像デバイスの動きは図 2-2 に示すように 2 つの方法で行った。

1 つは、同図の左側の図のように、カメラを単に平行運動することにより得た。すなわち、この場合は、回転に寄与するステップモーターは起動しない。他の 1 つは、同図の右側の図のように、両方のモーターを起動させて撮像した。この場合は、前方のある視標を固視点として撮像することになる。

図 2-3 に用いた視標を示す。同図に示すように、視標は、合計 9 本のステックからなる横方向に 3 本ステックは同じ位置にあり、それぞれ 3 本のステックを 1 組とし、奥行き方向にシフトし、3 組が配置されている。同図に示すように、横方向の 3 本のステックの

間隔は 100mm, 奥行き方向の間隔は 90mm, 固視点となる視標と撮像デバイスの撮像面までの距離は 1000mm である。また, 視標間のシフト量は 50mm となる。

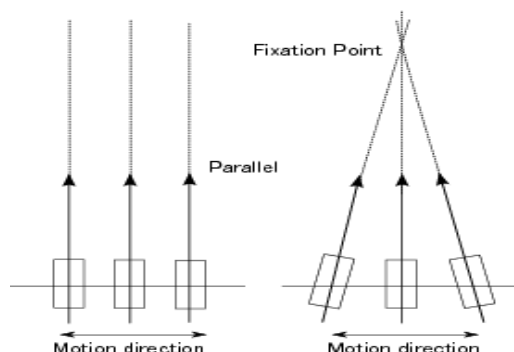


図 2-2 撮像デバイスの動き

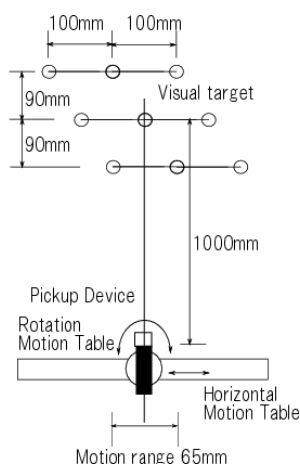


図 2-3 視標の配置図

実験は, 図 2-4 に示すように, 静止画像にマーカーを付与し, さらに, それらの静止画像を動画に変換し, 表示を行った。表示はリアプロジェクタにより行った。被験者は, 撮像に際して, 固視点を設定した距離と同じ距離 1000mm を視距離とした。画像表示の終了後, 被験者は, スケール尺を用い, 推測した奥行き距離を示す。

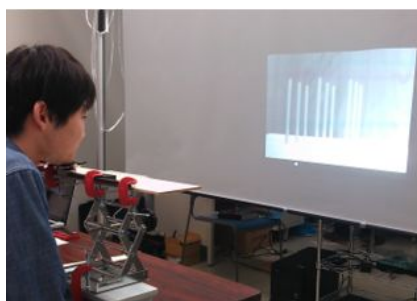


図 2-4 実験風景

実験結果

図 2-5 に実験の結果を示す。結果には, 撮像デバイスを平行運動させた場合と固視点を設けて運動させた場合について示してい

る。横軸が, 撮像デバイスの運動の違いを示している。縦軸が知覚された奥行き距離を示している。平行運動の場合で 9.3cm, 固視点を設けた運動の場合で 10.1cm である。t 検定の結果, 2 つの結果には有意に差が認められる。すなわち, 固視点を設定した撮像デバイスでの場合のほうが奥行き距離が大きく知覚されている。

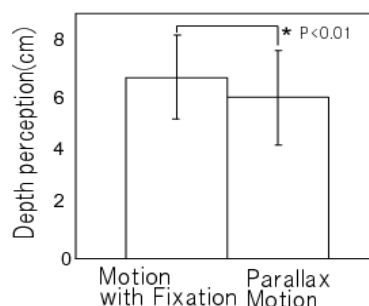


図 2-5 実験の結果

まとめ

実際のシーンを撮像した場合に, 運動視差から生じる奥行き知覚に関して実験的に検討を行った。実際のシーンの撮影に際しては, 撮像デバイスの動きを, 平行な運動と固視点を設けた運動で行った。その結果, 撮像デバイスに固視点を設けた運動で撮像した場合の方が, 単なる平行運動の場合よりも大きいことが示された。

また, 簡単なモデルを用いて, 撮像デバイス面に投影される変位量と微分変位量, 及び, 知覚される視覚刺激の動きに関して考察を行った。微分変位量に関して, 2 つの撮像方法に対して, 顕著な特性の違いがみられた。しかしながら, その差は多くはないために, あきらかな原因とすることは困難であると推測される。一方, 視標の動き知覚に関して, 大きな違いがみられた。この現象が奥行き知覚に及ぼす影響は今後の課題となる。

(3) 超高精細度画像に関わる調節応答

超高精細度画像に関わる定量的な取扱いを可能とするため, 調節応答を測定, 解析し, その機能を明らかにすることを目的とした。像を表示する HDTV ディスプレイは画像以外の奥行き知覚の手がかりを排除した。

実験方法

実験方法は図 3-1 に示すような正弦波パターンを視対象として, 空間周波数の変化がピント調節に与える影響を評価した。HDTV ディスプレイに正弦波パターンを表示し, 被験者に注視させ, 調節測定装置(シギヤ精機製作所製)により調節応答を測定した。正弦波パターンを注視させてから 10 秒間測定を行った。これを 1 セットとし, ばらつきを抑えるため, 最大値, 最小値を除いた 5 セット分のデータの平均値を最終的な測定値とした。表 1 に実験条件を示す。



(a)10[cpd]

(b)60[cpd]

図 3 - 1 実験に使用した正弦波パターン

表 1 実験条件

被験者	3 名
視距離	60, 80, 100, 120 [cm]
空間周波数	60 [cm]: 10, 20, 30 [cpd]
80 [cm]:	10, 20, 30, 40 [cpd]
100 [cm]:	10, 20, 30, 40, 50 [cpd]
120 [cm]:	10, 20, 30, 40, 50, 60 [cpd]
輝度値	最小値: 3.82 [cd/m ²]
	最大値: 365.3 [cd/m ²]

調節応答の被験者全体での結果

正弦波パターンの空間周波数をパラメータとして、調節応答を測定した。図 3 - 2 に、各空間周波数に関する被験者 3 人の調節応答の平均値を示す。視距離が短い場合は実験装置の関係で、高い空間周波数のデータは得られない。同図では、横軸に視標距離(MA: Meter Angle)を示し、縦軸に調節応答(D: Diopter)を示す。同図に示すように、正弦波パターンの空間周波数増加に伴い、調節値が低下、すなわち、調節応答からは、視標はより遠くにあると知覚されていると考えられる。

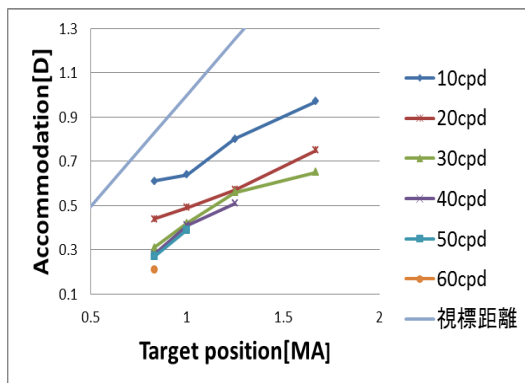


図 3-2 正弦波パターンに対する調節応答計測結果

調節応答計測で得られたデータについて、正弦波パターンでの空間周波数の変化の、調節応答への影響の有無に関して、距離ごとに解析を行った。要因を空間周波数として、分散分析を行った。

その結果、視距離 120cm でのみ、空間周波数が有意であった。次に、視距離 120cm において、空間周波数間に調節応答の有意差の有無に関して、多重比較検定により解析した。図 3-4 に、視距離 120cm での調節応答に対する多重比較検定結果を示す。図 3-3 では、横

軸に空間周波数、縦軸に調節応答を示す。その結果、空間周波数間での調節応答の有意差は見られなかった。

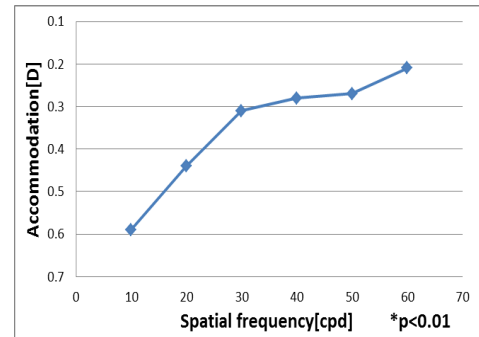


図 3-3 全体の調節値に対する多重比較結果

全体として、正弦波パターンに対する調節応答計測の結果、正弦波パターンの空間周波数増加に伴い、調節応答が低下、すなわち、遠方への奥行き感が得られる傾向が見られた。この実験結果は、奥行き感についての主観評価による実験結果とも整合したものであった。空間周波数間の調節応答の有意差においては、被験者の個人内データでは、空間周波数 30cpd 以上で調節応答が飽和した。これは、正弦波パターンにおいて、30cpd 以上の空間周波数では、奥行き感の変化を検知できていないことを表している。一方、主観評価実験では、正弦波パターンの空間周波数 40cpd 以上で、奥行き感の変化を検知できなくなる結果を得ており、2 つの実験結果の間に差異が生じている。

まとめ

本実験では、超高精細度画像に関わる調節応答の機能を明らかにするため、正弦波パターンを用いて、調節応答を測定し、解析を行った。実験の結果、超高精細度画像に相当する、正弦波パターンを対象とした場合、空間周波数増加に伴い、調節応答が低下する結論を得た。また、空間周波数 30 ~ 40cpd 以上の正弦波パターンでは、主観評価では、空間周波数の変化が奥行き感に影響を与えるが、調節応答は、30cpd 以上では、空間周波数の影響を受けない結果となった。

調節測定装置の試作

フォトレフレクションを原理とした両眼調節測定装置の試作をおこなった。図 3-4 に試作した調節応答測定装置を示す。

試作装置を用い、平面画像を観視しているときの両眼調節応答を測定し、優位眼、非優位眼の差異が検出可能なことを確認した。今後、高精細度画像の調節応答の研究に展開していく予定である。



図 3-4 試作した調節応答測定装置

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

(1)S. Yano, M. Suzuki, M-C. Park: The Effect of Motion Parallax Due to the Difference of Capturing Image Method, IEEE/OSA Journal of Display Technology, Vol.11, Issue 10, pp.821-826 (2015)

〔学会発表〕(計 5 件)

(1)Byoungsub Song, Thibault Leportier, Sumio Yano, Min-Chul Park: Temporal Measurement of Binocular Accommodation Response by Object Distance, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.40, No.6, pp.285-288 (2016) 2月23日 北大(札幌市)

(2)矢野澄男, 鈴木真, Min-Chul Park: 撮像方法の差異が運動視差に与える影響, 信学技法 HIP2014-49, pp.33-38 (2014) 9月25日 奈良県新公会堂(奈良市)

(3)Sumio Yano: Depth perception due to captured horizontal motion natural images, SPIE DSS 2014, Three-Dimensional Imaging, Visualization, and Display 2014, 9117-24 (2014) [Invited Paper] 5月7日 Baltimore Convention Center (Baltimore, MD, USA)

(4)中村康佑, 矢野澄男: 高精細度画像が与える立体感の実験的検討, 2014年電子情報通信学会総合大会, A-15-17 (2014) 3月20日 新潟大学(新潟市)

(5)矢野澄男: 水平動きカメラ撮像による画像の奥行き感, 2013年映像情報メディア学会冬季大会, 7-4 (2013) 12月8日 芝浦工大・豊洲キャンパス(東京・江東区)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

6. 研究組織

(1)研究代表者

矢野 澄男 (YANO, Sumio)

島根大学・大学院総合理工学研究科・教授
研究者番号: 30466239

(2)研究分担者

()

研究者番号:

(3)連携研究者

()

研究者番号:

(4)研究協力者

中村 康佑 (NAKAMURA, Kousuke)

鈴木 真 (SUZUKI, Makoto)

中山 賢人 (Nakayama, Kento)

Byoungsub Song

Min-Chul Park