

調節の誘導に必要な視点数の明確化

阿部真也*・深谷直樹^{*,**,*}・本田捷夫^{*,**,*}

*千葉大学 大学院 自然科学研究科

〒263-0022 千葉市稲毛区弥生町1-33

**千葉大学 工学部 情報画像工学科

〒263-0022 千葉市稲毛区弥生町1-33

***通信・放送機構 3Dプロジェクト

〒113-0001 東京都文京区白山1-33-16 オルテンシア白山6F

(受付 1998 年 8 月 28 日；改訂受付 1999 年 6 月 15 日；受理 1999 年 8 月 4 日)

Numbers of viewpoints required for elicitation of accommodation

Shinya Abe^{*}, Naoki Fukaya^{*,**,*} and Toshio Honda^{*,**,*}

^{*}Graduate School of Science and Technology, Chiba University

1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba 263-8522, Japan

^{**}Department of Information & Image Sciences, Faculty of Engineering, Chiba University

1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba 263-8522, Japan

^{***}3D project, Telecommunications Advancement Organization of Japan

1-33-16 Hakusan, Bunkyo, Tokyo 113-0001, Japan

(Received 28 August 1998; Received in revised form 15 June 1999; accepted 4 August 1999)

In this paper, we examined the required number of viewpoints for elicitation of the blur in the different conditions between the images of the different depth for multiple-viewpoints image display in which a few parallax images incident to one pupil. The result obtained by Fukaya et. al. (1998) was that when the amount of the image depth increase, required number of viewpoints to elicit the blur decrease. In this experiment, observers see the two randolt ring patterns located in the different depth by one eye. A pinhole-array was put just in front of the eye which has a small diameter and interval. As a result, we found that when the amount of the parallax increases, required number of viewpoints to elicit the blur decreases. And in conclusion, the overlapping state of retina images and amount of the parallax affect elicitation of the blur.

#：現在，(株)デンソー・ディスプレイ事業部，〒448-0029 愛知県刈谷市昭和町1-1

1. はじめに

視差を持つ2枚の画像を用いて両眼立体視により立体像を観察するディスプレイ方式では、立体視の要因である輻輳と調節が一致せず、表示条件によっては疲労が生じるという問題がある¹⁾。この問題に対する立体像表示法の一つとして、超多視点画像ディスプレイが研究されている。超多視点ディスプレイとは、ほんのわずかの視差を含んだ複数画像を観察者の左右それぞれの眼に入射させる立体像表示法を意味する（もちろん、左右の眼はその間隔の視差を持つ像を観察する）。

先に我々は、多視点画像ディスプレイの原理である視差を含んだ複数画像を同時に被験者の単眼の瞳に入射させた場合、多重像による調節が機能する可能性があることを、報告した（第1報）²⁾。ここで多重像とは、各視点に対応して少しずつ位置のずれた網膜上における像を意味する。詳細については第1報を参照されたい。本論文は、第1報で残されていた課題について報告するものである。

第1報で行った実験では、多視点画像として瞳に入射させる視差を含んだ画像は、マトリックス状に配置されたピンホールアレイを通して観察させることで実現したが、このピンホールの開口が規則的な配列をなしており、この事が視力値の低下に影響を与えた可能性が考えられた。例えば開口が一行に並んだ場合、網膜上での像の重なり具合から、視標の切れ目の認識に影響があると思われる。

前回の実験では、複数の視差画像によって視力低下が生じる事は確認できたので、そこで本報ではピンホールアレイの開口の規則性を排除して一般性を持たせた実験を行った。また前回よりもピンホール間隔を大きくし、その視差量による影響について、前回との比較から新たな知見を得たので報告する。

2. 実験方法・条件

実験方法は第1報²⁾の実験とまったく同様であり、被験者も同じである。実験方法・手順をもう一度(1)~(8)に簡潔に示す（詳細は第1報参照）。

(1) 被験者の眼から500 mmの位置に基準ランドルト環を、そこから Δl 離れた位置にテストランドルト環を設置する（図1は実験系を模式的に示したものである）。

(2) 被験者はアイパッドに固定された、マトリックス状に配置したピンホールを通して2つの視標を単眼で観視し、他方の眼は遮光する。

(3) ピンホールの穴の数は1個~9個まで変化させる。ピンホール数が最大9個の時でマトリックスの対角は約3.6 mmであり、ピンホールを透過した光線はすべて単眼の入射瞳を透過する（図2イメージ図参照）。

(4) 被験者は、ピンホールを通して観視される2つの視標が視野を等分するようにして観視する（実際に2つの視標がどの様に見えるかというイメージ図を図3に示す）。

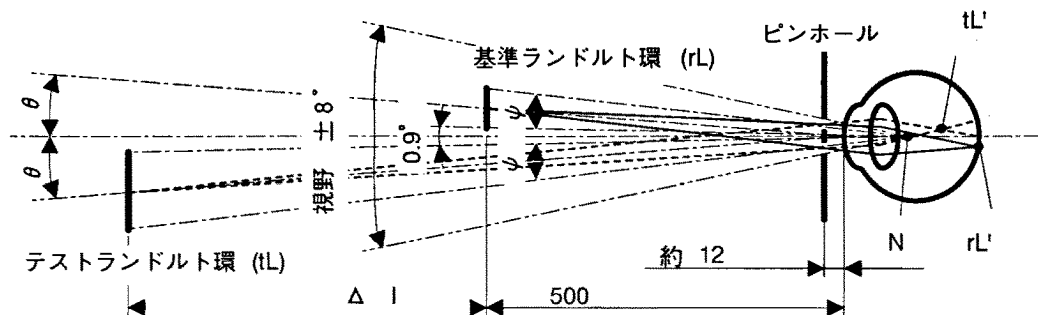


図1 ぼけの発生を評価するための実験系（平面図）

(5) ピンホール個数に応じてNDフィルタをピンホール直前に設置し、見かけの明るさが変化しないようにする。

(6) 被験者には常に基準ランドルト環に焦点を合わせた状況下で、同時に観視されるテストランドルト環の切れ目の向きを報告してもらう。

(7) 各視力値において4回の試行を行い、正当率75%以上で視力値を定義。

(8) ピンホール数を1個～9個まで変化させて測定を行う。

なお、ランドルト環はすべて斜めの方向に切れ目を持つものを使用した。

以上、ピンホール個数、すなわち同時に瞳に入射する視差を含んだ画像数に対する視力

値の測定実験を、表1に示す5種類の基準視標とテスト視標の間隔 Δl について、繰り返し試行した。

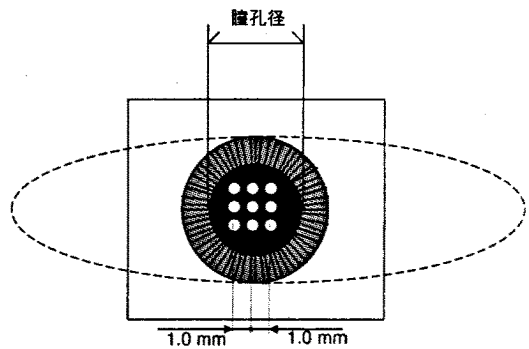


図2 ピンホールと瞳孔径のイメージ図

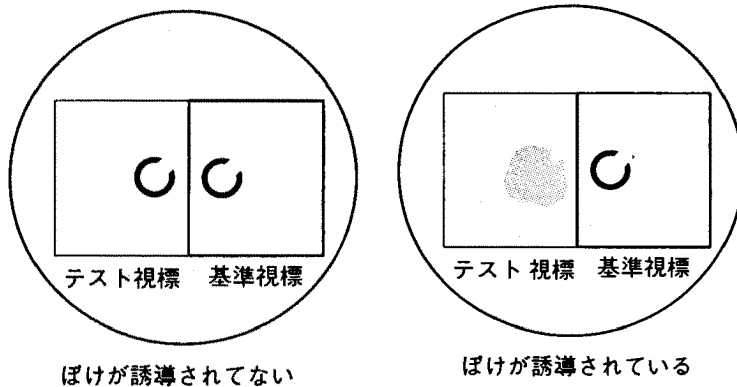


図3 観察されるランドルト環のイメージ図

個	1	2	3	4	5	6	7	8	9
条件1									
条件2									

図4 ピンホール間隔条件（配置条件）。ピンホール径は1回目 0.75 mm、2回目 0.65 mm、ピッチは両方 1.00 mm。白い部分が穴が空いていることを示す。

表1 基準視標とテスト視標の間隔（*の値はディオプター単位の数値）

基準視標（眼前 500mm）	250, 500, 750, 1000, 1250 (mm)
からの距離 Δl	* (+0.67D, +1D, +1.2D, +1.33D, +1.43D)

3. 今回と前回の条件の違い

今回は前回の実験報告に対して、1個～9個まで変化させるピンホールの開け方（配置）を変えて、つまりピンホール間隔を変えて行った。前回のピンホール間隔（配置）を条件1、今回のピンホール間隔（配置）を条件2としてその様子を図4に示す。

条件2（今回）のピンホールの配置条件は条件1（前回）のピンホール条件に対し、ピンホール間隔を大きくするように、なるべく規則性を持たないようにしており、一般性を持つものとして考え、実験を行った。すなわち条件1（前回）よりも互いの視差量の平均値が大きい複数の2次元平面画像が瞳に入射するという事に対応する。さらに、ピンホール数が多い場合には、網膜像の重なり具合によってほとんど違いが認められない事から、特にピンホール数が少ない場合に着目し、一般性を持たせるように、視差量を大きくするように配列した。また、実験に用いたピンホール径において約0.1mmの差があるが、網膜上における像の広がり具合は計算上最大で約0.03mmの差となり、結果には影響しないと考えられる。

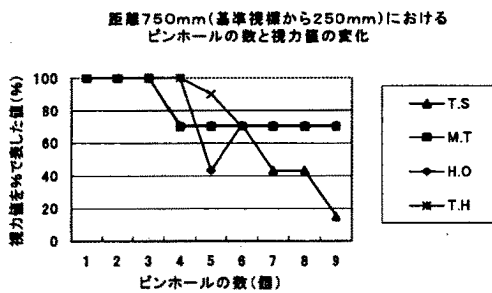


図5 条件2における測定結果例

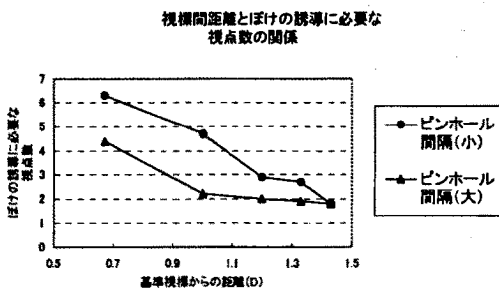


図6 条件1と条件2の実験結果の比較

4. 実験結果

図5に、基準視標とテスト視標の間隔250mmの時の、条件2（今回）の場合における、ピンホール個数と視力値の測定結果を示す。被験者は裸眼、若しくはコンタクトレンズによる補正により、視力が正常な20代男女計4名である。各人の元々の視力値のばらつきを排除するため、ピンホール個数1個の時のテスト視標の視力値を100%に規格化した。

若干のばらつきはあるが、条件2（今回）ではピンホール個数が4個～5個になった時に大幅な定義視力値の低下が発生していることが分かる（条件1ではピンホール個数が6個～7個になった時）。条件2において視標間隔250mmの場合、視差を含んだ同時入射画像数4～5個が、離れた位置の像がぼけて認識できなくなる顕著な効果が現れる臨界点であるとみなすことができる。また他の視標間距離においても、4名の測定結果がほぼ一致したピンホール数で大幅な定義視力値の低下が起きており、各距離において異なる奥行き像にぼけが発生する臨界点の存在を示している。

図6は実験結果をまとめたもので、表1の5種類の視標間距離(D) ΔI について、視標間距離と、ぼけの誘導に必要な視点数の関係を示している。縦軸は、各視標間距離の図5に対応するグラフにおいて、テストランドルト環がぼけて認識できなくなる臨界点での、ピンホール数（各被験者の定義視力値が80%を横切る際のピンホール個数と定義）をグラフから読み取り、4名の被験者の平均をとったものである。比較しやすいように、条件1（前回）の実験結果も加えて示した。この実験結果から、視標間距離が増加するに連れ、ぼけの誘導のために十分な、瞳への同時入射画像数が減少している事が分かる。また、ピンホール間隔が大きい方が、少ない画像数でぼけが誘導されているといえる。

5. 考察

今回の実験は、前回報告した、奥行き異なる像にぼけを発生させるために必要な単眼に同時に入射させる視差を含んだ画像数について、ピンホール間隔を大きくし、ピンホールアレイの開口の規則性の影響を排除した実験を行ったものである。

前回に比べると今回の方が、全体的にぼけを誘導するために必要な画像数が少ないという結果が得られた。例えば視標間距離が250 mmと近い場合、図6の結果から4~5個の画像数が必要であるが、その時のピンホール配列はピンホールの間隔は異なるが網膜像の重なり具合で見ると条件1(前回)でも条件2(今回)でもあまり変わらなくなると思われる。しかし2つの実験間での差が認められることから、その視差量の影響が考えられる。というのは、条件2(今回)は条件1(前回)よりもピンホール間隔が大きいので、その分網膜面上での像のズレが大きくなり、条件1(前回)よりも同時入射画像数が少なくなったのではないかと考えられる。この網膜面上での像のズレが、視標間距離の増大による網膜像の広がりと共にぼけの誘導に影響したと思われる。逆に視標間距離が750 mmと離れた場合、前回と今回両方において、眼の焦点深度から当然少ない画像数でぼけが誘導されている。この場合における2つの実験間の差の原因としては、その配列による網膜像の重なる方向性と視差量の両方が考えられる。つまりぼけの誘導には画像数、視差量ともに重要な要因であると思われる。ただし、ぼけを誘導しやすい網膜像の重なり具合について今回の実験からは言及できない。

条件1(前回)、条件2(今回)両方の実験を通して、視標間距離が増大すると、単眼観察における奥行き異なる物体間でのぼけの誘導に十分な、画像数(単眼に同時に入射し視差を含む)の要求数は減少するという結果になった。

今回の報告は、前回と比較してピンホール

アレイの規則性を排除して、ピンホール配置を変化させた実験によって、視差の大きさによる、ぼけの誘導に必要な視点数減少の可能性を示唆するものである。また、前回と今回の実験結果が示す様に、与える視差量が変われば、ぼけを誘導するのに必要な画像数は異なるので、ぼけを誘導するのに必要な画像数は、それぞれのディスプレイ仕様に依存することになる。

なお、「網膜上での像のズレとボケの定量化」に関しては、今後の課題として残された。

6. まとめ

単眼の瞳の中に、光線の方角を保存し、視差を含んだ複数画像を同時入射させる事で、注視した基準像から離れた位置にある像がぼけて観察される事を、複数の被験者を用いた実験において、定義視力値の低下により示した。この事は多視点画像を用いた3次元ディスプレイで調節が誘導できる可能性を示しており、輻輳位置と単眼の調節位置が一致し、疲労なく観察される現象を再現できる可能性がある事を意味する。

前回の実験では複数の視差画像によって視力低下が生じる事が確認できた。そして今回の実験から、そのぼけの誘導には網膜像の重なり具合とその視差量が影響する事が分かった。

最後に本研究を進めるにあたり、有益な助言を頂いた方々、実験に御協力頂いた被験者各位に感謝いたします。

文献

- 1) 畑田豊彦：人はどのようにして立体視しているか？オプトロニクス，12, 47-55, 1993.
- 2) 深谷直樹，阿部真也，本田捷夫：多視点画像を用いた3次元ディスプレイの立体視に関する研究：奥行き異なる物体間でのぼけの誘導について。VISION, 10, 11-19, 1998.