

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

深谷直樹**** 阿部真也*** 本田捷夫***

* 通信・放送機構

〒140-0003 東京都品川区八潮5-7-2 MKKビル

** 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

*** 千葉大学工学部画像工学科

〒263-0022 千葉市稲毛区弥生町1-33

(受付 1997 年 8 月 27 日 ; 改訂受付 1997 年 10 月 27 日 ; 受理 1997 年 11 月 10 日)

Elicitation of the Blur between the Reconstructed Images of the
Different Depth of Multi-Perspective 3D Display

Naoki Fukaya****, Shinya Abe*** and Toshio Honda****

* Telecommunications Advancement Organization (TAO) of Japan
MKK Bldg. 5-7-2 Yashio, Shinagawa-ku, Tokyo 140-0003, Japan

** Graduate School of Science and Technology, Chiba University
1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba 263-0022, Japan

*** Department of Image Science, Faculty of Engineering, Chiba University
1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba 263-0022, Japan

(Received 27 August 1997; Received in revised form 27 October 1997; Accepted 10 November 1997)

In the actual space, when we accommodate an object, surroundings blur. This paper gives experimental results to elicit the blur between the images of the different depth, reconstructed by Multi-Perspective-Views, that are surely incident to the pupil of the observer's eye simultaneously. According to the increase of the number of Multi-Perspective-Views being incident to observers' eye, observers easily control to watch the multiplex images of the standard image piling up just one. Then, the test images being detached from it become blur. This means Multi-Perspective 3D display has an ability to elicit the accommodation. Experimental results suggest that the more the subtle difference of the image depth is reconstructed, the greater the increase in the required number of Multi-Perspective-Views as a logarithm becomes.

**** 現所属 : 〒448-0029 愛知県刈谷市昭和町1-1 (株) デンソー 開発部

1. まえがき

近年、立体動画ディスプレイの研究が盛んに行われており、既に製品化されて市場に出回っている物も多い。これらのディスプレイの多くは実現の容易性から、2枚の視差を持つ画像を用いて両眼立体視により立体像の再生を行う方式のディスプレイ（2眼式ディスプレイと呼ぶ）である。ただこの2眼式ディスプレイでは、再生する立体像の奥行きが深くなると、人間の立体視の要因である輻輳と調節が一致せず、生理的に矛盾を生じるため激しく疲労するという問題がある¹⁾。ホログラフィのように物体からの波面を再生する方法においては、人間の立体視の要因をすべて満足し、輻輳と調節の一致した自然な3次元像を観察する事ができる。しかしホログラフィの持つ情報量は非常に多く、動画像再生を行うには再生装置が非常に大きくなってしま^{2,3)}。またカメラ等で直接撮影した被写体の画像を使わず、計算機での処理が必要となり、計算に膨大な時間を要する⁴⁾。

これに対し、視差を含んだ多視点画像を用いた3次元ディスプレイ（以下、多視点画像ディスプレイと呼ぶ）で、輻輳と調節の一致したディスプレイを構築しようという研究が行われている。多視点画像ディスプレイはホログラフィ方式に比べ、要求される情報量を少なくできる可能性があるため、より実現性の高い手段として注目されている。この多視点画像ディスプレイにはバララックスバリア方式、レンティキュラ方式、Integral Photography、ホログラフィックステレオグラム（Holographic Stereogram 以下 HS と記す）、集束化光源列を用いた方式⁵⁾（Focused Light Array 以下 FLA と記す）、アナモルフィック光学系を用いた方式⁶⁾等があり、このうちいくつかは既に多視点画像に基づく動画ディスプレイが試作されている。また CGH（Computer Generated Hologram）の手法を用いたホログラフィにおいても、ホログラムデータ計算時間の短縮を図るため、HSの手法を取

り入れた多視点式で自然な3次元像を再生しようという提案もなされている⁷⁾。

ただこれまでは多視点画像ディスプレイでの輻輳と調節の一致の可能性について、定性的な原理説明しかなされてこなかった。わずかに梶木が眼を省略眼に置き換えて、多視点画像が同時に瞳に入射した場合の再生像の見えかたのシミュレーションを行っている⁸⁾。また FLA⁹⁾や HS⁹⁾でカメラのピント位置を変えて写真撮影を行い、奥行きが深い再生像が多重像となることで像が3次元的に再生されている事を示し、調節の可能性が報告されている。しかしながら再生できる像の奥行きに制限があり、実際に被験者を用いた調節機能発生の検証はなされていない。

そこで本研究は将来、より自然な3次元像を観察できるディスプレイを多視点画像ディスプレイで構築することを意識し、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片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存在する事の検証を目的とする。本研究では実際に調節反応を測定しているわけではない。しかし調節には自分の意志で可能な成分もあり、多重像が観察される時、それが最良の像として観察されるようにコントロール可能な人もいる。もし複数の被験者がほぼ同じ傾向で、比較的容易に多重像が最良の像として観察されるようなコントロールを行える条件が存在するならば、多視点画像ディスプレイで調節を機能させられる可能性は十分にあると考えられる。この場合ある奥行きが多重像が最良の像となるようなコントロールを行えば、異なる奥行きが多重像となり、ぼけて観察される事が期待される（後述するが、本来異なる奥行きが光学的には多重像であるが、実験を通して視覚的にはただのぼけた像としてしか観察されなかった）。そこでまず、多重像により奥行きが異なる像にぼけた発生する十分条件を測定した。多重像による調節が機能するとすれば、多視点画像ディ

スプレィを両眼で観察した場合、輻輳位置に調節を誘導し、その前後の物体はぼけて観察されるような再生が可能である事を意味している。我々が実空間においてある物体に眼の焦点を合わせた場合、そこから離れた位置にある物体はぼけて観察される。従って本研究の結果を踏まえた多視点画像ディスプレイを構築すれば、より自然に近い3次元像を観察できると考える。

2. 輻輳位置に多重像による調節を誘導するための多視点画像ディスプレイ構成

多重像により調節が機能すると仮定した上で、多視点画像ディスプレイにおいて輻輳位置に多重像による調節を誘導するため、ディスプレイに要求される仕様を図1に模式的に示す。今仮にディスプレイ面上の4点 $a_{L1,2}, a_{R1,2}$ から方向性を持った光線が出射し、空間上の1点Aで交差した後そのまま直進し、眼の瞳に入射するものとする。同様にディスプレイ面上の4点 $b_{L1,2}, b_{R1,2}$ から延長線が空間上の1点Bで交差するような光線が出射した後、眼の瞳に入射するものとする。説明の都合上、片眼の瞳に入射する光線の本数はそれぞれ2本としているが、調節を誘導するためにはもっと数多くの光線本数が必要となるであろうことは、容易に想像される。眼の瞳に入

射した光線は、水晶体の屈折力に応じた位置で交わるように、光線の進行方向が変化すると。眼が効果的な調節を行っていない場合、左右それぞれの眼の網膜上には4つの点となって映る。もし眼が点Aで交差する光線が網膜の中心窩の位置で交わるような調節を行った場合、点Aの像は1点に結像 (A_L, A_R) し、点Bで交差する光線は網膜より水晶体側の位置で交わり (B_L, B_R)、網膜上では2点に分離する。加えてこの場合、両眼の視軸の向きは空間上の交差点Aで交わることとなり、輻輳位置は点Aとなるため、輻輳位置と調節位置が一致する。

これまで点として議論した内容は、像に置き換えても成立する。空間上の位置A、Bで交差する光線群としての像が、眼の瞳に入射する。眼が効果的な調節を行っていない場合、2種類の二重像が網膜上に映る。眼が交差位置Aの二重像が中心窩で一つに重なるような調節を行う場合、両眼の輻輳位置は空間上の位置Aとなり、交差位置Bの像はやはり二重像として網膜上に映る。そしてやはり同様に、輻輳位置はAの位置となり、輻輳位置と調節位置が一致する。

すなわち輻輳位置に多重像が一つに重なるような調節を誘導できる多視点画像ディスプレイは、光線の進行方向を選択・制御できる

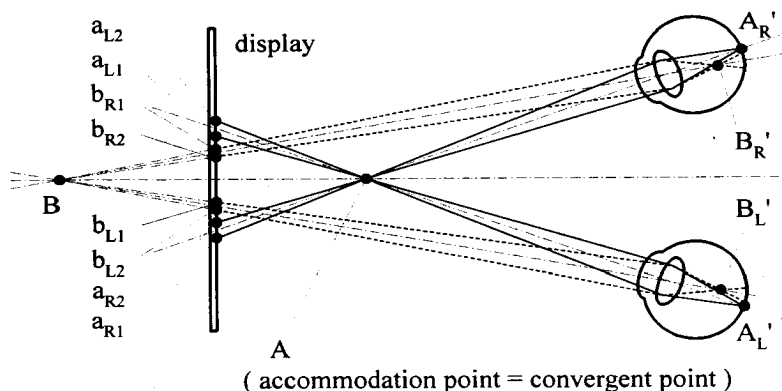


図1 輻輳と多重像による調節が一致するための模式図

機能を有し、かつ眼の瞳内に複数の光線を入射させられるように、非常に細かいピッチで並んだ光源要素を持つ構成である事が要求される。ここで光線の進行方向を選択・制御する事は物体の視差を再現する事に他ならない。また光源要素のピッチが細かい事は眼の瞳内に同時に複数画像が入射する事に他ならない。従って輻輳と多重像による調節が一致した多視点画像3次元ディスプレイは、瞳内に光線の方向を保存した視差を含んだ複数画像を同時入射させることができるディスプレイであるといえる。

3. 多重像によるぼけを発生させるために十分な画像数の検討

これまで述べたよう、定性的には眼の瞳に光線の方向を保存した複数の視差を含んだ画像を同時に入射してやることで、多重像による調節が誘導できる可能性が存在する事はわかった。そこで次のような実験を行い、片眼の瞳に視差を含んだ画像を複数同時入射させ、多重像により奥行き異なる像にぼけの発生する条件を求めた。図2は実験系を模式的に示したものである。

被験者の眼から500 mmの位置に、基準とするランドルト環を設置する。基準ランドルト環から Δl 離れた位置にテストランドルト環を設置する。互いのランドルト環は見かけ上のサイズが等しくなるように、互いの視角(図2中 ϕ)を等しくする。ランドルト環は1枚の台紙に1つのみ記され、基準ランドルト環、テストランドルト環ともに各試行毎に台紙ごと取り替える。例えば基準ランドルト環として視力値1.0相当の視標を用いた場合、テストランドルト環も視力値1.0相当の視標を用い、試行毎に2枚とも、共に同一視力値で向きの異なるランドルト環に取り替える。被験者は図3に示す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。ピンホール前面に遮光用のマスクをかけ、光線が透過するピンホールの穴の数を変化させる。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3.9 mmであり、ピンホールを透過した光線は全て片眼の入射瞳を透過する。

被験者は2つの視標を同時に観視できるように、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、すなわち照準線が2つの視標間隔の midpoint (図2中 θ) を通るようにして観視する。2つの視標の間隔は、ランドルト環外周間隔が視角約 0.9° となっている。実際の実験系ではピンホールを通した視野は約 $\pm 8^\circ$ であり、2つの視標を含む台紙全体を十分同時に観視できるとともに、情報受容特性で分類すると、瞬時に情報受容が可能な傍中心視である有効視野の範囲内にある。

それぞれの視標は観視位置から見た時、視標表面の輝度が等しくなるように照明する。ピンホール数に関係せずピンホール板透過後の光束が等しくなるように、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

それぞれの視標は観視位置から見た時、視標表面の輝度が等しくなるように照明する。ピンホール数に関係せずピンホール板透過後の光束が等しくなるように、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

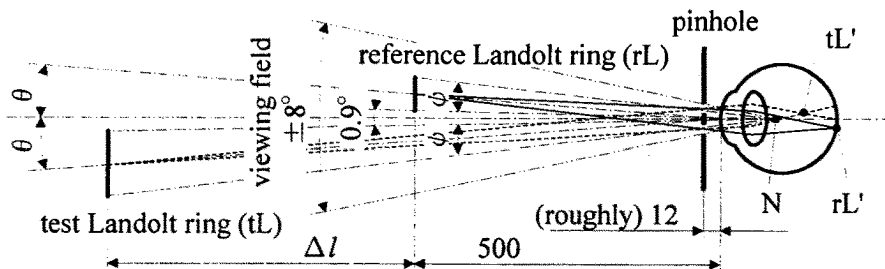


図2 多重像によるぼけの発生を評価するための実験系

置し、見かけの明るさが変化しないようにする。ランドルト環を記した台紙のサイズは、視角が縦横それぞれ 6.8° で統一され、すべての距離において見かけのサイズが等しくなっている。またランドルト環のサイズに対して上下に十分な余裕があり、ピンホールを通して観視すると視野の大半は台紙が占め、全体が白い背景の中央に2つのサイズが等しく適当な方向に切れ目を持つランドルト環が並んでいるように見える。ちなみに基準視標の視標面照度は約 3200 lx であるが、ピンホール及びNDフィルタを通しての観視となるため瞳に入射する光束は少なくなり、この実験系での視力値はほぼ通常の視力検査における各人の視力値と等しい程度の値となった。

ピンホールはアイパッドに固定され、眼をアイパッドに押し付けた場合の距離は、眼前およそ 12 mm となる。この間隔ではピンホールの回折によるぼけを感じることなく、指標を観視することができる。ピンホール径が十分小さいため、ピンホール数が1個の時は焦点深度が非常に深くなる。このため後述の実験条件における最大視標間距離においても、基準視標とテスト視標は同時に鮮明に観視できる。つまり焦点を合わせるための要因が全くない、2次元平面画像であるとみなすことができる。位置のずれた複数のピンホールを透過した各平面画像は、それぞれの位置のずれに合わせた視差を含み、ピンホールの個数

を変えることで同時に瞳に入射する視差を含んだ平面画像の数を変化させられる。

被験者は常に基準ランドルト環が最良の像になるように意識的にコントロールした状況下で、同時に観視されるテストランドルト環の向きを報告してもらう。まずピンホール数1個の状態で通常の視力検査と同じように、視力値の低い方から始めて各人の視認できる上限（最小のランドルト環サイズ）の基準視力値を測定する。各視力値に対し4回の試行を行い、正当率75%以上となった視標条件をもって視力値を定義した。次にピンホール個数を2個にし、今度は各人の基準視力より1ランク高い視力値（例えばある被験者の基準視力が1.0であったら1.2）から測定を開始し、順次視標の視力値を下げて正当率が100%になるまで測定を行う。以降同様に、順次視標の視力値を下げていく方法で、ピンホール数9個までの測定を行う。

ピンホール数1個の場合、前述のように被験者は2つの実際には奥行き異なる視標を鮮明に観視できる。ピンホール個数を増すに連れ、本来多重像である視標に対し、基準ランドルト環が最良の像となるように意識的にコントロールしている（図中 rL' ）ので、その分距離の離れたテストランドルト環の像（図中 rL ）は認識が困難になり、視力値が低下することが確認できた。光学的には本来、テストランドルト環は多重像として認識されるはずである。しかしピンホール板に対して正しく顔を位置合わせし、視差を含んだ複数画像が偏りなく瞳に入射するようにすると、互いの円環が折り重なって明確に分離できず、輪郭が不明瞭になる。このため、視覚的にはただのぼけとしてしか認識されない。これらの結果は、多重像により調節が機能している可能性を示唆していると考えられる。なお、開けてあるピンホールの配列方向の規則性の影響を避けるため、ランドルト環は全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

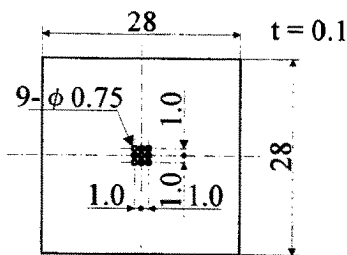


図3 ピンホール仕様

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。

4. 実験結果

図4に、基準視標とテスト視標の間隔 250 mm の時の、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名を選んだ。図4の各被験者のイニシャル横の数値は、各人のピンホール1個の状態での基準視力値を示す。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、ピンホール個数が6個から7個になった時、大幅な視力低下が発生していることが分かる。視標間隔 250 mm の場合、視差を含んだ同時入射画像数6~7個が、多重像が最良の像となるようなコントロールにより、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。なお、ピンホールの個数が増えるに連れ、ぼけによる視力低下が顕著になると同様、多重像である基準視標が最良の像として観察されるようなコントロールが、無理なく自然に行えるようになる。他の視標間距離における実験においても、4名の測定結果がほぼ一致した画像数で大幅な視力低下が起きている。すなわち各視標間距離において、多重像により異なる奥行き像にぼけが発生する臨界点が存在することを示している。

図5は今回の実験結果をまとめたもので、表1の5種類の視標間距離 Δl について、視標間距離と、多重像によりぼけが発生する臨界点に対応するピンホール個数の関係を示している。換言すると、多視点画像で構成された基準距離（眼前 500 mm）の多重像が最良の像となるようなコントロールが容易に働き、且つ実空間で観視する時のようにそこから Δl 離れた距離にある物体がぼけて見えるために十分な、片眼に同時に入射する視差を含んだ画像数を表している。縦軸のピンホール個数は、各視標間距離の図4に対応するグラフにおいて、各被験者の視力値が80%を横切る際

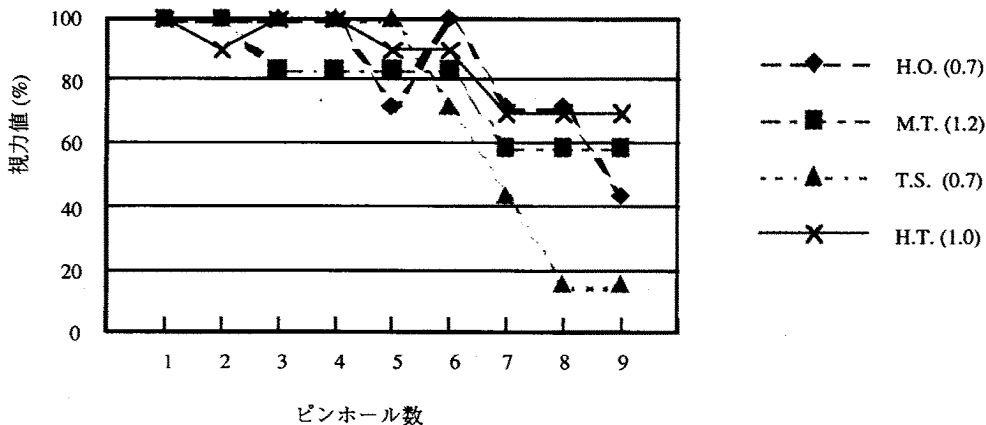


図4. ピンホール数と視力値の関係測定結果例

表1 実験条件 (基準視標とテスト視標の間隔)

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

のピンホール個数，すなわち多重像が最良の像となるためのコントロールが容易に働き，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視差を含む同時入射画像数をグラフから読み取り，4人の被験者の平均を取ったものである。点線が測定値をそのまま結んだ折れ線，実線は対数近似した曲線を示しており，両者がかなり一致している事が解る。縦軸を対数に取った片対数のグラフでは，対数近似した曲線がほぼ直線となる。尚，視標間距離が増加するにつれ，多重像によりぼけが発生するために十分な瞳への同時入射画像数が減少しているが，多重像である基準視標が最良の像として観察されるようなコントロールも，視標間距離の増加に合わせて少ない入射画像数でも容易に行えるようになる。

5. 考察

今回の実験は，将来，多重像を用いて奥行き異なる像にぼけを発生させられるような，多視点画像ディスプレイをシステム化する事を前提とし，この場合に必要な片眼に同時に入射させる視差を含んだ画像数を評価する事を目的とした実験である。実際のシステムで，瞳内に光線の方向を保存した視差を含

んだ複数画像を同時入射させることを考えた場合，ディスプレイシステム化の容易さ，表示データ処理の容易さ等から，ディスプレイ要素はマトリックス状に並べる方が都合が良い。そこで本実験でも，ピンホールはマトリックス状に配置した。加えてピンホール個数3個までの測定では，ピンホールは横一列に開いた状態で測定を行っている。ランドルト環として斜め方向に開いたものを用いているとはいえ，横一列に並んだピンホールがぼけの度合いに影響を及ぼすことは十分考えられる。また前述のように，視標間距離が短く，かつ，ピンホール個数の少ないうちは，多重像である基準ランドルト環が最良の像となるようなコントロールを行うのに，被験者はそれなりに努力を要し，不自然な緊張を強いられる。視野の中で同時に観察されるとはいえ，テストランドルト環の向きを読み取るのに，無意識のうちにテストランドルト環が読み取れるようなコントロールが行われてしまう可能性もある。従って視標間距離が短く，ピンホール個数が少ない範囲のデータの信頼性は，疑問が残る点がある。ただし前述のように，本実験はシステム化を目指した場合の評価であり，視標間距離が近くてもピンホール個数が十分多い時，又はピンホール個

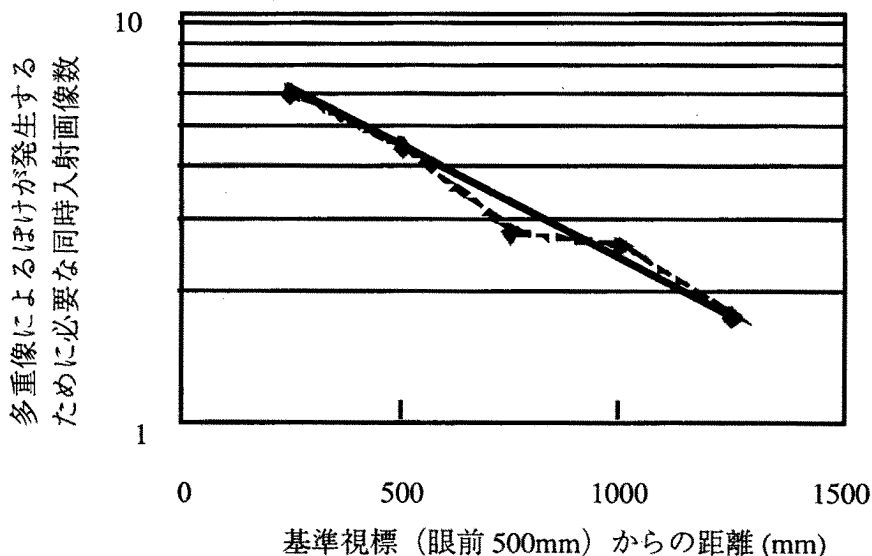


図5 視標間距離と多重像によるぼけが発生するために必要な視差を含んだ同時入射画像数の関係

数は少なくとも視標間距離が遠い時は、多重像によりぼけが顕著に現れる臨界点がすべての被験者でほぼ同じ値を示す。また多重像が最良の像となるコントロールも比較的容易に行えるという結果が得られている。すなわち本実験結果は、観察者が見たいと思う像が最良の像となるようなコントロールが容易に行え、そこから離れた位置にある像が明らかにぼけてみえるために、片眼の瞳に同時に入射する視差を含んだ画像数の十分条件を示している。換言するならここで示された値は、誰もが多重像を最良の像として観察できるコントロールを誘導するために必要な、絶対数を示したものではない。

今回の実験では視標間距離が増大すると、多重像が最良の像として観察されるためのコントロールが容易に働くために十分な、片眼に同時に瞳に入射させる視差を含んだ画像の要求数は減少するという結果になった。多重像による調節が発生しているとするなら、視標間距離が広くなれば、図2の ΔI が大きくなる。これはピンホールを透過し、眼の瞳に入射した光線の結像点 i' が、より一層水晶体に近づく事を意味する。 i' が水晶体に近づけばその先網膜までの距離が長くなり、網膜上における光線の分布範囲が広がるため、一つの像として認識が困難となる。今回の実験ではピンホール数1個の時の視力値に対し、単純に視力値が80%相当に低下する視差を含んだ同時入射画像数で多重像による調節が機能したと判断している。この場合視標間距離が広くなれば少ない情報量でも視力値の低下として現れやすく、実験結果の傾向が支持される。

実際に多視点画像ディスプレイを構築する場合には、輻輳位置に多重像による調節を誘導でき、それ以外の部分はぼけて観視される事が重要であり、距離に合わせたぼけの絶対量自体は問題にならないと考えられる。従って多視点画像ディスプレイで再生しようとする奥行き分解能に合わせて、多重像により異

なる奥行きの像がぼけて観視されるのに十分な視差を含んだ同時入射画像数の仕様を決定してやれば、再生像の奥行きの深い部分に対しては必要以上の視差を含んだ画像が入射する事となる。この場合図4からも解るように同時入射画像数が増える程視力値は低下し、実空間での観視と同じように離れた物体程ぼけて観視される現象が再現されると考えられる。

今回の実験では実際に焦点調節反応自体の計測は行っていない。ところで融像性の輻輳刺激のみを与えても焦点調節が引き起こされる〔輻輳性調節〕ことは広く知られている。従って今回の結果を踏まえた多視点画像ディスプレイを構築すれば、単眼での多重像により誘導される(可能性を持つ)調節と、両眼での輻輳に誘導された調節の位置が一致し、より自然に近い観視ができるであろう事が推測される。

比留間らによると2眼式ディスプレイにおいて調節と輻輳が連動して動く範囲はおおよそ $\pm 0.2D$ 程度で、眼球光学系の焦点深度にはほぼ一致していると言われ、この範囲でならば2眼式ディスプレイでも疲労の少ない立体像が再生できると言う¹⁰⁾。逆にこの範囲を超えた奥行きを持つ3次元像を再生しようとする場合、生理的矛盾が生じないためには輻輳に一致した調節を誘導できるような3次元ディスプレイが求められる。今回の場合、基準視標は眼前500mmで、この値は例えば机上に置いた3次元CAD用ワークステーションのディスプレイを想定して選択した値である。この基準距離で焦点深度 $\pm 0.2D$ 内に納まる奥行きは、たかだか $-45\text{mm} \sim +55\text{mm}$ 程度であり、これを超す奥行きを再生しようとする場合、瞳の中に複数の視差を持つ画像を同時に入射してやる必要がある。多重像により調節が誘導できるとした上で、ディスプレイの奥行き分解能として $\pm 0.2D$ を考え、図5の対数近似した曲線の式を用いるとすると、今回の実験結果では必要同時入射画像数は約7.8

となる。この結果を用いると例えば視力 1.0、瞳孔径 4 mm の観察者が、200 mm (W)×200 mm (H)×200 mm (D) の再生像を、500 mm 離れた位置から視域サイズ 200 mm (W)×200 mm (H) で観察できるような多視点画像ディスプレイを設計する事を考えた場合、ディスプレイに必要な標本点数は約 2.9×10^{11} (R, G, B 三色での再生を行う場合はこの 3 倍) となり、非常に膨大な量となる。またこの値は、同じ仕様の像をフルバラックスホログラムで再生しようとした場合と比べても、桁数はほぼ等しくなり、残念ながら思ったほどの情報の削減にはつながらない。

6. まとめ

片眼の瞳の中に光線の方向を保存した、視差を含んだ複数画像を同時入射させる事で、比較的容易に多重像が最良の像となるようなコントロールが行え、そこ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視力値の低下により検証した。これ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いると考えられ、輻輳と多重像による単眼の調節位置が一致し、実空間と同じように奥行き離れた物体程ぼけて観察される現象を再現できる可能性が存在する事を示している。多視点画像ディスプレイでは、多重像を最良の像として観察するようなコントロールを行った像の近くに位置する像ほど、ぼけて観察されるための十分条件を満たす同時に瞳に入射する視差を含んだ画像数は、ほぼ対数的に増大する。

最後に本研究を進めるにあたり、熱心な議論と有益な助言を頂いた日本大学の吉川助教、千葉大学の塩入助教、通信・放送機構

の梶木研究員、実験にご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：人はどのように立体視しているか？ オプトロニクス, 12, 47-55, 1993.
- 2) N. Fukaya, K. Maeno, K. Sato and T. Honda: Improved electro-holographic display using liquid crystal devices to diminish the system size. *Proceedings of 5th International Conference on High Technology, World Techno Fair In Chiba '96*, 355-363. 1996.
- 3) P. St Hilaire, S. A. Benton and M. Lucente: Advances in holographic video. S. A. Benton (Ed): *Practical Holography VII, Proceedings of SPIE*, 1914, 188-196, 1993.
- 4) 西川 修, 岡田孝常, 松本健志, 吉川 浩, 佐藤甲癸, 本田捷夫：フレネルホログラム計算のハードウェア化。3次元画像コンファレンス'95講演論文集, 7-12, 1995.
- 5) Y. Kajiki, H. Yoshikawa and T. Honda: Three-dimensional display with focused light array. S. A. Benton (Ed): *Practical Holography X, Proceedings of SPIE*, 2652, 106-116, 1996.
- 6) K. Matsumoto and T. Honda: Research of 3-D display using the anamorphic optics. S. S. Fisher and J. O. Merritt (Eds): *Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems IV, Proceedings of SPIE*, 3012, 199-207, 1997.
- 7) T. Yatagai: Stereoscopic approach to 3-D display using computer-generated holograms. *Applied Optics*, 15, 2722-2729, 1976.
- 8) Y. Kajiki: Hologram-like video image by 45-view stereoscopic display. S. S. Fisher and J. O. Merritt (Eds): *Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems IV, Proceedings of SPIE*, 3012, 154-166, 1997.
- 9) 山口雅浩, 大山永昭, 本田捷夫：位相を付加したステレオグラム。Hodic Circular, 3 (August), 18-23, 1993.
- 10) 比留間伸行, 福田忠彦：調節応答から見た両眼融合方式立体画像の観察条件。電子情報通信学会論文誌, J73-D-12, 2047-2054, 1990.