奥行き移動する視標に対する輻輳と調節応答の解析

Dependence on the Display Methods for Changes in Accommodation and Convergence When a Target Moves along the Depth Direction

横山 優樹[†], 高比良 英朗[†], 望月 信哉[†], 正会員 山田 光穂[†]Yuki Yokoyama[†], Hideaki Takahira[†], Shinya Mochiduki[†] and Mitsuho Yamada[†]

あらまし われわれは電子端末の使いやすさ、見やすさについて、目のピント調節と輻輳眼球運動の追従精度から評価できないか検討を行っている。視標を奥行き方向にリニアに移動させることができる装置と組合せ、眼球の水晶体調節と輻輳眼球運動を同時に測定する実験装置を開発し、表示媒体、フォントサイズ、文字フォントといったパラメータを変化させ、奥行き方向に移動させた際の輻輳眼球運動と調節応答の分析を行った。その結果、調節変化量は奥行き移動量に近いものの、表示媒体、フォントサイズ、文字フォントによって違いがあること、輻輳の変化量は、これらのパラメータに依存する傾向はあまりみられなかった。

キーワード：眼球運動、調節、輻輳、電子書籍

1. ま え が き

近年の電子端末の普及からスマートフォンやタブレット端末といった小型で軽量の電子端末を持ち歩き、バスや電車等の揺れる移動体内で利用することが常態化している。このような移動体内で電子端末を利用する際には、電子端末を一定の距離で保持し続けることは難しく、揺れや振動の影響により利用者と電子端末の視距離が変化することが考えられる。特に、電子書籍のように文字を読む際には読み手と電子端末との距離によりその可読性や読みやすさが変化することが予想され、電子端末との距離による影響を検証する必要があると考えた。

そこで、まず可読性や読みやすさの評価について、これまでの研究を振り返る。この分野の研究では、端末との距離を考慮したものよりも媒体の表示形式に着目した研究が多く行われている。紙書籍の可読性については、大正時代から行われており、大きさと書体、縦組みと横組み、字詰めと字間、印刷インキと紙質などをパラメータとして、読了時間、眼球運動の停留数、眼球運動の逆行数の少なさから評価が行われている¹⁾。ロービジョンや加齢者の読みやすさを考慮したユニバーサルフォントに対して可読性が評価されている²⁾³⁾。紙媒体から電子媒体への移行が顕著になった2000年前後から、主にLCDを対象とした研究が増加している。たとえば、表示輝度、コントラスト、文字サイズを変化させた高齢者の視覚特性に適合した液晶ディスプレイの表示条件⁴⁾、読み取り速度の影響⁵⁾について検討が行わ

れ、高齢者では低輝度ではコントラスト感が低くなること、フォントの線幅を太くする必要があることが報告されている。そのほか可読性に関しては、LCDを用いて、画素密度とフォントを変化させて実験を行い、低画素密度でフォントが小さいと読書速度が低下し、フォントと読書速度に相関があることが示されている⁶⁾。可読性に比べて文書理解の研究は少ないが、フォントサイズを変化させて理解度を測定した結果、印刷物、LCD、CRTの順になること、特にフォントサイズが小さい場合には、印刷物による理解度が有意に高く、ゴシック体と明朝体では、ゴシック体の方が有意に高いことが報告されている⁷⁾。以上に述べたように、紙書籍、LCD表示に対する可読性や理解度の研究については多くみられるが、その要因を生理的に探った研究はあまりない。また、表示媒体を利用する場面を想定して媒体を移動させ視距離を変化させて評価した研究もない。

そこで、本研究では奥行き方向に揺れる電子端末の可読性や読みやすさを客観的に評価することを目的として、眼の重要な機能である眼球運動と水晶体の調節に着目し、物体を見る際の奥行き知覚の手がかりとなる輻輳眼球運動と調節の応答の測定を行った。自由に読書しているときの調節応答を取得するのは現状の技術では困難であるため、その基礎的な検討として、フォントとフォントサイズをパラメータに複数の表示端末を用い、奥行き方向に移動する文字を注視時の輻輳眼球運動と調節応答を測定した。本研究の前に予備実験として、視標に文字「東」を提示し、表示媒体を奥行き方向に移動させた際の輻輳眼球運動と調節応答を測定した。そして、明朝体とゴシック体といったフォントによる比較を、フォントサイズの違いも加えて行った。その結果、フォントの違いによって調節の応答に影響があ

2015年3月19日受付、2015年7月27日再受付、2015年9月14日採録

[†] 東海大学 情報通信学研究科

(〒108-8619 港区高輪 2-3-23, TEL 03-3441-1171)

る可能性が示唆された⁸⁾。本稿では、予備実験を踏まえて実験条件を整理し、視標をより汎用性があり明朝体・ゴシック体と似た特徴の欧文フォントの文字に変更し、実験を行った結果を報告する。

2. 調節・輻輳

2.1 焦点調節機能

物を注視する際、水晶体の厚さを変化させることで屈折力を調節し、対象物へ焦点を合わせる機能を水晶体調節機能という。(図1)水晶体は毛様体筋に支えられており、近方視の場合はこの毛様体筋が収縮し、水晶体が厚くなる。遠方視の場合は毛様体筋が弛緩し、水晶体が薄くなる。水晶体の屈折力(調節力)の単位として、ディオプター(diopter, D)がある。ディオプターは視距離の逆数を取り、 $D = 1/m$ で算出される。1Dは1m先の眼前にある物を見る時の必要な調節力にあたる。

2.2 輻輳眼球運動

人には対象物を左右の両目で見る両眼視機能がある。(図2)両眼視で近くの対象物を見る時、両目を内側に寄せ、注視しようとする働きを輻輳運動という。対して、遠くの対象物を見る際、両目を外側に開き、認識しようとする働きを開散運動という。この輻輳開散運動で対象物をとらえることにより、奥行きを知覚している。

3. 実験装置の構成

実験装置の構成図を図3に示す。調節の測定にはシギヤ精機(株)WAM-5500を用いた。WAM-5500は約7Hzの連続測定が可能である。このWAM-5500について、Shepherd and Davisは、 -6.38 から $+4.88D$ の範囲であれば、 $-0.01D \pm 0.38D$ の精度で測定可能であることを示している⁹⁾。また、輻輳眼球運動の測定には、ナックイメージテクノロジー、アイマークレコーダーEMR-9を用いた。測定間隔は60Hzである。WAM-5500は950nm、EMR-9は850nmの近赤外光を測定に使用し、お互いに干渉しないため、良好に眼球運動と焦点調節が同時測定できることを塩見らは示している¹⁰⁾。

本実験のために、レール制御と同時に調節と眼球運動の同時測定を行うプログラムを開発した。このプログラムでは、WAM-5500に測定開始要求を送ると測定を開始し、同時に、アイマークレコーダーからの出力データを記録し始める。レール制御装置に駆動命令を送ると被験者に視標の移動開始を予測されないようにランダムに1~3秒待機した後レールが駆動する。この時、レールが動き出したタイミングが出力データから読み取れるように、駆動開始キューがデータに出力される。

4. 実験方法

被験者には実験中、視標を注視し続けるように指示した。視標は視距離60cm → 40cm、40cm → 60cmの順番で移

図1 焦点調節機能

図2 輻輳開散運動

動するのを1セットとし、各パラメータで2セットずつ測定を行った。被験者に視標の移動開始を予測されないように、各移動の間の静止時間は、5~7秒の間でランダムに変化させた。レールの移動速度は約12mm/secである。視距離60cmの位置でEMR-9のキャリブレーションを行い、その後、同じ位置でオフセットを行った。

表示媒体には再生紙、電子ペーパー(KOBO mini, 5インチ)、LCD(iPod, 4インチ)、有機EL(PS Vita, 5インチ)を使用した。表1に紙を除く各デバイスの画素ピッチ、紙と反射型のKOBO miniについては垂直面照度、発光型のiPod, PS Vitaについては白ピークと黒背景での輝度値、コントラストを示す。発光型ではないが、紙と反射型のKOBO miniについても白ピークと黒背景での輝度値、コントラストを参考値として示した。また、実験条件で4つの媒体を撮影した写真を図4に示す。紙とKOBO miniでは後者の輝度値、コントラストが低く、そのことは図4からもわかるが、実験者側であらかじめ読みやすいコントラストに調整しており、視認性の問題はないと考えている。有機ELのPS Vitaについては、元々ゲーム端末であり、細かな調整は困難であったができる限り、iPodに近づけた。iPodとPS Vitaでは色温度が異なり、図4の写真では輝度差が感じられるが、実際に目で見た比較では、KOBO mini以外は、ほぼ同じ明るさであった。なお、反射型のKOBO miniでは光源からのグレアの影響を受けると見にくくなる

図 3 実験装置の構成

表 1 使用した媒体の解像度と輝度, 照度

	照度 (lux)	輝度 (cd/m^2) (白ピーク/黒背景)	コントラスト	解像度 (ppi)
Paper	380	(105/6.6)	15.4	
KOBO mini	380	(67/9.2)	7.2	200
iPod		120/4.3	34.9	326
PS Vita		107/6.0	31.4	221

ことを考慮して、奥行き方向に移動中もグレアが生じないように配置した。

文字フォントについては、これまで明朝体とゴシック体について予備実験を行い、左右対称の文字「東」を用いて、輻輳角の変化量には一定の傾向は見られなかったものの、調節の変化量についてはフォント依存性について示唆する結果を得ている⁸⁾。すなわち 42 ポイント (13mm, 視角 1.241 度) のフォントでは明朝体, 21 ポイント (6.5mm, 視角 0.620 度) の小さいフォントではゴシック体の方が調節の変化量が大きい傾向があることを示している。このことはフォントを構成する線幅が調節の変化量に影響を与える可能性があることを示唆する。一方、実験後に小さい方のフォントが見にくかったという自省報告を受けており、フォントの効果を確かめるには十分に大きなフォントにする必要があると考えた。そこで被験者の視力差による影響を受けない十分な大きさのあるフォントを用いて、かつ左右対称の文字「A」を各媒体に表示し提示視標とした (図 4)。文字サイズには、高さ 15mm (視角 1.432 度) と 10mm (視角 0.954 度) の 2 種類を用意した。実際の見えの大きさを統一するため、文字の高さを実測した単位 (mm) を新たな基準とした。さらに明朝体とゴシック体に似ており、より汎用性のある欧文文字フォント Arial と Times New Roman の 2 種類を選択し、これらを組合せた合計 16 パターンを被験者に提示し、実験を行った。なお KOBO mini については、Times New Roman のフォントがシステムに準備されておらず、自動的に細字のフォントに変換されたので、このフォントを用い、以下の解析では KOBO mini についても Times New Roman として記述した。

被験者は本学の男子大学生 7 名 (20~21 歳) である。いずれの被験者も提示した視標が 60cm~40cm の移動範囲内ではっきり見えることを事前に確認した。しかし、今回の実験条件において、調節が必ずしも変化しない被験者がい

図 4 各提示媒体に表示した視標 (上から Times New Roman:15mm, Times New Roman:10mm, Arial:15mm, Arial:10mm)

たため、良好に調節が変化した 5 名の結果を解析に用いた。そのうち被験者 A は視力 1.5, B は 0.9, C は 1.5, D は 1.0, E は 1.0 であった。これらの視力は、いわゆる 5m 視力であり 5m 離れたランドルト環の切れ目がわかる能力である。被験者が正常な視力を有することを示す指標であるが、本実験で対象とした 60cm~40cm の視力を保証するものではない。そこで、予備実験を参考にして大きめのフォントを用い、さらにあらかじめ各被験者にはっきり見えるか事前に確認することにより、視力差の影響をできる限り排除した。

本実験は、東海大学「人を対象とする研究」に関する倫理委員会規定にしたがい実施した。

5. 実験結果

調節応答は、目標点に達しても、しばらく動き続ける性質がある¹¹⁾。WAM-5500 の測定間隔が約 7Hz であることから、調節測定値は測定値とその前後 3 要素の計 7 サンプル 1 秒単位で移動平均をとった。同様に、輻輳眼球運動の測定間隔が 60Hz であることから、輻輳は測定値と前 29 要素、後 30 要素の計 60 サンプル 1 秒単位で移動平均をとった。測定結果の典型例を、フォント Arial, 15mm で視標を KOBO mini に表示した場合における被験者 A の結果を例に取り図 5, 6 に示す。

5.1 実験結果・調節

図 5 は調節の測定結果になっており、縦軸が diopter (D) 値、横軸が時間となっている。レールの駆動・停止タイミ

図5 調節と視標位置 (被験者 A, KOBO mini:Arial:15mm)

図6 輻輳と視標位置 (被験者 A, KOBO mini:Arial:15mm)

ングから視標の位置を算出し、diopter 換算して目安としてグラフに示している。図5の調節反応の結果をしてみると、多少の誤差はあるものの、視標の動きに追従して反応していることがわかる。視標が40cm (-2.5D) の位置にある時、調節が視標の位置よりもやや遠方に合わせられている。調節は対象に正確に焦点を合わせる反応ではなく、ある程度ずれがあり、個人差も存在することが分かっている¹²⁾。宮尾らは十分な照度あるときには、調節は対象物よりも約0.4D遠方に合わせているということを報告している^{10)13)~15)}。

5.2 実験結果・輻輳

図6は図5と同時に測定した同被験者の輻輳の測定結果になっており、縦軸がオフセットした位置からどれだけ輻輳角が変化したかの値 (deg)、横軸が時間 (sec) となっている。測定値は、オフセットした視距離60cmの位置で値が0となり、それよりも奥に視線を合わせると負の値を取り、手前に視線を合わせると正の値を取る。図6を見ると、輻輳の変化量は視標の移動に対してかなり忠実に応答していることがわかる。

6. 解析

測定結果から、視標の動作前後で測定値の変化量に注目した。調節測定値の変化が、2秒間で $\pm 0.3D$ 以内の箇所を調節安定位とし、最初の視標移動後の静止している時、計4ヵ所の調節安定位の測定値を取得した。輻輳は、タイムレコードを確認し、調節安定位と同じ個所で測定値を取得

した。取得した値をグラフ上にプロットし、手前から奥への変化量を線で結んだものを図7、8に各被験者ごとに比較要素別で示す。図中で空白になっている部分は、ノイズやエラーで欠損したデータの部分である。

6.1 解析・調節

図7において、縦軸が調節の変化量 (D)、横軸が表示媒体、フォントサイズといった比較要素を示している。直線が Arial、破線が Times New Roman を表している。視標の60~40cmの動きを diopter に換算すると $-1.67 \sim -2.5D$ であり、その位置をグラフ上に基準として横棒線で示している。また、その差は $0.83D$ である。調節微動を考慮し、 $0.83 \pm 0.2D$ の範囲を「基準値に近い値」として、調節変化量の結果を被験者別に考察する。

被験者 A では、KOBO mini の調節変化量が「基準値に近い値」を示している。調節が視標の位置に正確に合わせられていた場合、理論上その変化量も $0.83D$ に近くはらずである。KOBO mini の調節変化量 (線の長さ) は $0.83 \pm 0.2D$ と、「基準値に近い値」と充分に言えるだろう。KOBO mini:Times New Roman:10mm (2回目) のフォントの結果のみ他の KOBO mini の結果と違い、遠方へのずれが見られるが変化量はほぼ同じである。被験者 B では、KOBO mini:Arial:10mm と iPod:Arial:15mm の調節変化量が「基準値に近い値」を示している。これらの結果では、Arial より Times New Roman の方が調節変化量は小さい。被験者 C では、iPod:Arial:10mm と PS Vita : Times New Roman:10mm を除き、フォントサイズ10mmの調節変化量が基準値より小さい傾向が見られる。KOBO mini:Times New Roman:15mm と iPod:Arial:15mm (2回目) を除き、15mm フォントの調節変化量が「基準値に近い値」となっている。被験者 D では、データ欠損が多く全体的な比較はできないが、Paper:Times New Roman:15mm と KOBO mini:Times New Roman:15mm, 10mm, PS Vita:Arial:10mm の調節変化量が基準値に近い。最後に被験者 E では、Paper:Arial:10mm (1回目) と KOBO mini:Arial:10mm, PS Vita:Times New Roman:10mm (1回目) の調節変化量が基準値に近い。これらの結果から、KOBO mini の10mmのフォントが被験者全般に渡って調節変化量は基準値に近いこと、他の媒体も含めて10mmフォントの調節変化量が基準値に近いという傾向が示された。

6.2 解析・輻輳

図8において、縦軸は輻輳角変化量 (deg)、横軸は比較要素となっている。線の違いはフォントの種類を表している。オフセットを行った遠方視 (60cm) の地点を示す 0 deg と、近方視 (40cm) の地点を示す 3.1 deg の位置をグラフ上に横棒線で示している。全体的に、輻輳角変化量は視線の動きに忠実である。被験者別に見ると、被験者 A では、PS Vita の結果において輻輳角の測定値は視標位置よりも 1 deg 程度近方に動いているが、その他では比較要素による違いは見られな

図 7 各被験者の比較要素ごとの調節変化量

図 8 各被験者の比較要素ごとの輻輳角変化量

い。被験者 B では、測定値が視標位置より近方に輻輳角が変化する結果が多く見られた。被験者 C では、ほぼすべての結果で輻輳角の測定値は視標位置に正確に対応しているが、PS Vita での輻輳角の測定値は 1 deg 程度近方に動いている。被験者 D では、KOBO mini:Times New Roman:15mm (2 回目) と KOBO mini:Times New Roman:10mm (2 回目), PS Vita:Times New Roman:15mm(1 回目, 2 回目) では、近方視時の測定値が視標位置よりも近方になっているが、それ以外では、近方視時の測定値は視標位置に正確に対応している。被験者 E では、被験者 B と同じく、測定値が視標位置より近方に輻輳角が変化する結果が多く見られた。

被験者 B, E は他の被験者に比べ、ほとんどの条件で輻輳が近方に動く傾向があるが、近方にスライドしているだけで輻輳変化量は視標変化量とほぼ同じである。しかし他の被験者は PS Vita を除き、ほぼ正確に追従しており、被験者 B では校正時のオフセットがずれたか、もしくは被験者 B のみの輻輳眼球運動の固有の傾向と考えられる。被験者 E においても、KOB mini:Times New Roman と PS Vita で視標位置より近方になっている傾向が見られているが、その値は 1 deg 程度であり、他の被験者の PS Vita の傾向と同様である。総じて輻輳変化は視標変化に正確に対応しているが、被験者全員に PS Vita の輻輳が 1 deg 程度近方に動いている傾向がある。

7. 考 察

各被験者の個々の傾向については分析したが全体的な傾向がつかめないため、調節変化量と輻輳角変化量についてエラー値を除く、図 7, 8 の被験者 5 名すべてのデータを、媒体、フォント、フォントサイズごとに平均した。その結果を図 9, 10 に示す。それぞれ、理論上の変化量である 0.83 D と 3.1 deg の値を横棒線で示している。

まず、調節変化量について考察する。紙と PS Vita では、Arial より Times New Roman の調節変化量の方が大きい。KOB mini と iPod では傾向が逆である。KOB mini:Times New Roman:10mm の調節変化量は特に小さい。しかし、いずれの媒体、フォント、フォントの大きさの結果を見ても、理論上の変化量である 0.83D に対して、その誤差は 0.2D 程度と言われている調節微動¹⁶⁾のほぼ範囲内である。

輻輳変化量については、すべての条件で輻輳変化量が理論値とほぼ同じ結果となった(図 10)。しかし、PS Vita の 15mm のフォントサイズと iPod の Arial:10mm の輻輳変化量が最大で 1 deg 程度大きい傾向が見られた。1 deg のずれは、各眼あたりに換算すると 0.5deg である。もっとも視力の高い中心窩の大きさが約 1 deg であることを考慮すると、被験者は中心窩で文字を捉えていたと考えることができる。

今回の実験では媒体に文字を表示して奥行き方向に移動

させて、それを注視させている。調節は文字にピントを合わせ続ける必要があり、輻輳眼球運動は両眼の中心窩に文字を保持し続ける必要がある。そのため、それぞれ単体で奥行き方向の移動に追従する必要があるが、調節と輻輳眼球運動は連携しておりお互いに影響し合っている、この働きは輻輳性調節あるいは調節性輻輳と呼ばれている¹⁷⁾。実際に今回の実験結果を見ても、媒体間、フォント間、フォントの大きさ間の調節変化量と輻輳変化量の結果は整合している。眼球運動により中心窩付近に文字を保持し、調節によりその文字にピントを合わせる必要がある。もっとも視力の高い中心窩の大きさが 1 度程度であることを考えると、後者の方の要求精度が高いのではと推察される。そのような視点から図 9 の調節変化量の結果を眺めると、媒体、フォントの種類、フォントの大きさによって調節変化量に違いがある。このことは、それぞれについて文字を読むときに必要な調節の精度が異なることを意味し、文字の読みやすさを評価するパラメータになることを示唆している。

8. む す び

小型タブレットや電子書籍の普及により紙だけのときに比べ利用スタイルが多様化している。移動体内での利用も日常化し、これら媒体の見やすさを目のピント調節と輻輳の追従精度から評価できないか検討した。そこで、小型タブレットや電子書籍を奥行き方向にリニアに移動させることができる装置と組合せ、眼球の水晶体調節と輻輳眼球運動を同時に測定する実験装置を開発し、実験を行った。調節・輻輳の変化量を求めた結果、調節変化量は理論上の 0.83D という変化量に対して $\pm 0.2D$ 程度の調節微動の範囲内の値を示した。しかし、その変化量は、媒体、フォントの種類、フォントの大きさによって違いがあることが示され、文字の読みやすさなどを評価するパラメータになることが示唆された。

輻輳変化量は、視標の奥行き方向の動きに対してかなり正確に追従する傾向を示し、フォントの種類、フォントの大きさによる一定の傾向は見られなかった。媒体の種類では、PS Vita において 1 度程度近方に動いている傾向が見られた。

今回用いた機器は、単体では輝度、コントラストをある程度調整することは可能であるが、主にゲーム機として開発された PS Vita では色温度を含めて厳密に揃えることは困難であった。今後は、カラーフィルタ、ND フィルタを併用し、正確に主観的な明るさ、コントラストを揃えて、フォントやフォントの大きさ、色、コントラスト比等を変化させて、組織的に調べる必要があると考えている。また、この研究を通して、媒体ごとの見やすい、読みやすい表示法を提案して行きたいと考えている。

【文 献】

- 1) 荒瀬: “編集デザイン入門”, 出版メディアパル (2007)
- 2) 中野 et al.: “ぼやけによる視力低下に強いユニバーサルデザインフォント開発 (1) ~明朝体, ゴシック体, ユニバーサルデザイン書体の

図 9 調節変化量の平均

図 10 輻輳変化量の平均

- 可読性”, http://hakupodo-diversitydesign.com/hdd/wp-content/uploads/2013/12/font-C_j.pdf, 2015, 7, 27 参照
- 3) 中野: “モリサワフォント (UD 書体) の可視性・可読性に関する比較研究報告”, <https://www.morisawa.co.jp/font/about/knowledge/ud/pdf/UDFontResearchReport.pdf>, 2015, 7, 27 参照
 - 4) 窪田, 松戸, 丸本: “高齢者の視覚特性に適合した液晶ディスプレイの文字表示条件～表示輝度, コントラスト, 文字サイズの主観的な適正値の若齢者との比較～”, 映像情報メディア学会誌, **53**, 9, pp.1335-1342(1999)
 - 5) 窪田, 松戸: “加齢による視覚特性の変化がディスプレイからの文字情報の読み取り速度に及ぼす影響”, 映像情報メディア学会誌, **55**, 4, pp.583-587(2001)
 - 6) Yuzo .H et al.: “Effect of font types and pixel density of electronic displays on the legibility of Japanese characters”, Proceedings of IDW’ 14, VHF4-2, pp.992-995, (2014)
 - 7) 清原 et al.: “文章の表示メディアと表示形式が文章理解に与える影響”, 日本教育工学雑誌, **27**, 2, pp.117-126(2003)
 - 8) 横山, 菊池, 高比良, 山田: “奥行き方向に移動する視対象に対する輻輳と調節変化の分析”, 信学技報, **113**, 468, pp.271-276 (2014)
 - 9) Amy L., Sheppard and Leon N., Davies: “Clinical evaluation of the Grand Seiko Auto Ref/Keratometer WAM5500”, Ophthal.Physiol.Opt. **30**, pp.143-151 (2010)
 - 10) 塩見 et al.: “実物体と 2D 映像, 3D 映像を用いた水晶体調節反応と輻輳運動の長時間同時測定-若年者と中高齢者の立体視機構の違い-” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, **16**, 2, pp.139-148(2011)
 - 11) 山田, 鶴飼, 石川: “調節ステップ応答の指数関数近似による解析”, 日本眼科学学会誌, **9**, pp.123-126(1988)
 - 12) 泉: “3 次元映像の基礎”, オーム社 (1995)
 - 13) 長谷川, 宮尾 et al.: “ヘッドマウントディスプレイ上の立体映像への水晶体調節反応”, シンポジウム「モバイル’10」, pp.121-124 (2010)
 - 14) 大森, 宮尾 et al.: “立体映像に対する水晶体調節の測定”, 日本視覚学会 2004 年夏季, VISION, **16**, 4, pp.223-226 (2004)
 - 15) 藤掛, 宮尾 et al.: “立体映像認知時における水晶体調節の評価”, 電子情報通信学会技術研究報告, HIP, ヒューマン情報処理, **105**, 165, pp.39-42 (2005)
 - 16) Charman, W.N. and Heron, G.: “Fluctuations in accommodation : a review.”, Ophthal. Physiol.Opt. **8**:153-164(1988)
 - 17) 苧阪, 中溝, 古賀: “眼球運動の実験心理学”, p253, 名古屋大学出版会 (1993)

よこやま ゆうき
横山 優樹 2014 年, 東海大学情報通信学部情報メディア学科卒業。同大学院情報通信学研究科情報通信学専攻修士課程在学中。眼球運動特性に関する研究に従事。

たかひら ひであき
高比良 英朗 2014 年, 東海大学情報通信学部情報メディア学科卒業。同大学院情報通信学研究科情報通信学専攻修士課程在学中。電子書籍に関する研究に従事。

もちづき しんや
望月 信哉 2015 年, 東海大学情報通信学部情報メディア学科卒業。同大学院情報通信学研究科情報通信学専攻修士課程在学中。眼球運動特性に関する研究に従事。

やまだ みつほ
山田 光穂 1980 年, 名古屋大学大学院前期課程修了。同年, NHK に入局。現在, 東海大学情報通信学部情報メディア学科教授。工学博士。視覚系の情報処理および眼球運動の制御機構, ヒューマンインタフェースの研究に従事。正会員。