

適応型拡大読書器の制御を目的とした注視点の統計解析

前田 義信*† 宮川 道夫*† 武田 紗路* 田中 正太郎**

*新潟大学工学部福祉人間工学科 **新潟大学大学院自然科学研究科 †新潟大学超域研究機構

Statistical analyses of the gazing point to control an adaptive viewer for the low vision

Yoshinobu MAEDA*†, Michio MIYAKAWA*†, Sachi TAKEDA* and Shotaro TANAKA**

*Department of Biocybernetics, Niigata University, **Graduate school of Science and Technology, Niigata University,

† Center for Transdisciplinary Research, Niigata University

1. はじめに

視覚器を構成する眼球、視路、視中枢、球付属器のいずれか、あるいは複数に病異が生じ、社会生活を営む上で必要とされる視力や視野が、医学的な処置によっても回復しない永続的な低下状態を示すものを視覚障害という。視覚障害は低視力と盲に大別される[1]。視覚障害に対する研究は、視覚が正常な眼と低視力の眼が同一人物に混在するという特異性から以前より広く行われてきた。LeighとZee[2]は先天盲人と途中失明者の眼球運動の測定を報告し、柿沢ら[3]は低視力者のサッカド特性の測定を報告した。Leggeら[4]、小田[5]は、音読速度と文字サイズの関係から読書能力を評価するチャートを開発した。しかし、これらの研究においても、視力の限界や視野の限界を画一的に定義することは難しい[6]。

低視力者に対する読書支援機器として、ルーペ等の光学的支援機器と、テレビとカメラを組み合わせた拡大読書器[7]に代表される電子的支援機器がある。拡大読書器は、視力の低下した高齢者や弱視者が読書をする際に、電子的に文字の拡大提示を行う支援システム（機器）のひとつである。しかし、これまでの拡大読書器では文字の拡大率は使用前にあらかじめ設定しなければならないこと、書物の方を手動で動かさなければならないこと（手が使えない二重障害の場合、現在の拡大読書器は意味をなさない）、低視力の原因によって異なる各人の見え方に対応できないこと等、必ずしも使い勝手のよい支援技術[8]とはいえない。

拡大読書器の利点は、気軽に読書が行えるという利便性と、利用者が自力で書籍の朗読を行える（プライバシー保護や朗読補助者の負担軽減）ことである。我々はさらに、読書行為を妨げずに“見る”という自然行為のみで適切な拡大率を自動調節し、利用者に円滑な読書支援を提供するための研究を行っている[9-12]。そのエッセンスは、読書時の注視点の動きから利用者の実体視力を評価し、適切な拡大率で書物の内容を提示することと、注視点の停留や動きから拡大／縮小の制御を行うことである。

本稿では、これまで[9-12]に引き続き、電子拡大読書器の制御情報として利用することを念頭においた上での両眼遠点視力0.04~1.5の視力を有する被験者

（遠点視力0.04~2.0、年齢21歳~36歳の晴眼者）の注視特性解析を行う。本稿の目的は、モニタ画面に提示された指標の注視点特性と視力の解析を健常者および弱視者で行うことにより、弱視者支援用電子拡大読書器（以後、適応型拡大読書器と呼ぶ）の適切な制御情報を得ることである。

2. 方法

注視点検出装置には、ゴーグル型検出器を中核とする注視点検出システムTalk Eye II（竹井機器）を用いた。このシステムは、被験者の眼球を映すカメラと、眼球に照射する近赤外線LEDが一体型になった検出器、制御ユニットと処理パソコンからなる。制御ユニットは較正指標の駆動回路、検出器LEDの駆動回路、処理部とのインタフェース回路、カメラの同期検出回路、電気回路などで構成され、眼球映像を処理パソコンに出力する。今回使用したパソコンの仕様はCPU:Pentium4 (2.60GHz)、メモリ:512MB、OS:Windows2000である。

Talk Eye IIは眼球の動きを容易に測定できるように画像処理を行っている。カメラで眼球の特徴点を撮影し、特徴点の移動量（変化量）から注視位置を算出する。ゴーグル型検出器はレンズなし眼鏡の右目側に設置され、瞳孔反射光と角膜反射光を毎秒30フレームの速度で計測し、注視点位置を算出する。ただし、カメラ計測で精度を確保するには正確な較正が不可欠である。Talk Eye IIの較正方法はモニタ上に順次提示される9点の黒丸指標を注視させ、実験者が被験者の注視方向がほぼ正しいと認めた時点で「正しい注視点を見ている」として座標変換のパラメータ決定を行う。

本研究では、適応型拡大読書器の開発に必要な基礎データを取得するため、ノイズの少ないデータが望まれる。したがって、計測時において頭部などの身体の揺れが眼球運動の検出結果に影響を与えないよう、図1のように被験者の頭部を顎台に乗せ、さらに頭部をヘアバンドで顎台のフレームに固定した。この状態で被験者の眼球前方800[mm]の位置に21インチのモニタを設置し、モニタ上に刺激画像を提示して注視点測定を行う。



図1：実験システム

3. 結果

3.1 ゆらぎと視力・指標径の関係

視力の異なる4名の被験者(被験者視力A:0.04, B:0.1, C:1.0, D:1.5)において, 各々の被験者のデータを黒丸指標の大きさごとに分類し, まとめてグラフ化したものを図2に示す. 各被験者において一回の実験につき12回の移動を計測し, 同じ大きさの黒丸指標に対して実験を3回行い, さらにX方向のゆらぎとY方向のゆらぎに相違がないものとして, 合計72組のデータからゆらぎの平均値を算出した.

得られた結果には被験者の視覚能力, 及び黒丸指標の大きさの違いが影響を及ぼすと考えられるため, これらの二つを因子とする繰り返しのない分散分析を行った. 各被験者において黒丸指標の大きさごとのゆらぎ平均を求め, これらを被験者(因子a)の標本数4(被験者A, B, C, D), 黒丸指標の大きさ(因子b)の標本数3(3mm, 5mm, 8mm)として, 有意水準1%で各群のゆらぎに有意差が認められるかどうかを確かめた. ここで, 帰無仮説は『各因子, 水準間の平均値は等しい』である.

表1：被験者と指標径を因子とした分散分析

変動要因	p値
被験者	2.2×10^{-4}
指標径	9.3×10^{-1}

分散分析の結果, 黒丸指標の大きさは有意ではなかったが, 被験者の違いは有意であった(表1). ここで, 被験者の違いが視力の相違と関係があることを調べるため, 各被験者の5mmの黒丸指標を提示した場合のデータを取り上げて被験者のみを因子とした分散分析を行った. その結果, 被験者を因子としたときの被験者(水準)間のp値は 2.2×10^{-4} であり, 『各被験者の平均値はすべて等しい』という帰無仮説は1%有意で棄却された.

表2：被験者を変動要因とした分散分析

変動要因	p値
群間	1.9×10^{-28}
低視力群内	1.7×10^{-9}
高視力群内	3.4×10^{-12}

そこで視力の低い被験者AとBを含む5名の被験者を低視力群, 視力の高い被験者CとDを含む5名の被験者を高視力群として, これらの群間での相違を分散分析によって調べた. 各々の群内の分散分析から得たp値と群間での分散分析から得たp値を比較した結果を表2に示す. 群間での分析によるp値は群内でのそれに比べて非常に小さく, 被験者は相対的に低視力群と高視力群に弁別されている.

3.2 追従特性と視力の関係

各被験者の3mmの指標を用いた場合の結果(12×3=36回)において, 各々のデータ毎に潜時と視線移動時を求め, その平均値を個人特性の代表値と考える. 横軸に視力をとってプロットした結果を図3に示す.

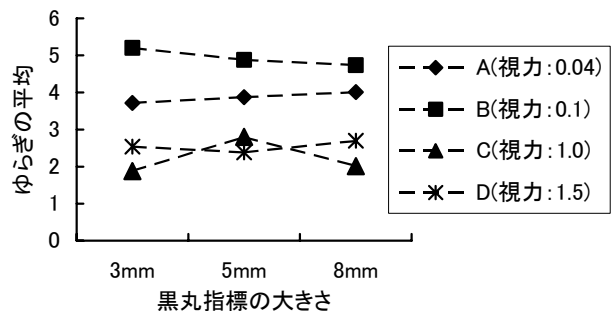


図2：被験者, 指標径と注視点ゆらぎの平均の関係

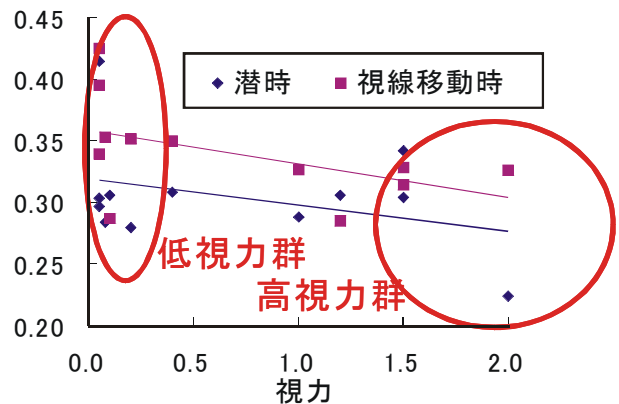


図3：潜時, 視線移動時と視力の関係

視力がほぼ同等であると考えられる被験者を5名ずつ2組選択し, それぞれを低視力群, 高視力群とした(平均視力は, 低視力群で0.062, 高視力群で1.444). 低視力者と高視力者との間には, 視覚能力の差が影響すると仮定して潜時と視線移動時それぞれを因子とする分散分析を行った. ここで帰無仮説は「各群の母平均値は等しい」として, 有意水準5%で両側検定を行った. 表3の結果より, 潜時では群内でも有意差が見られるため全体としては有意差がないことがわかる. これに対して視線移動時では, 群内での有意差はなく, 群間のみ有意差が認められるため, 低視力者と高視力者は視線移動時で弁別できる(表4).

表 3 : 潜時を因子とした分散分析

変動要因	p値
群間	2.4×10^{-3}
低視力群内	7.5×10^{-9}
高視力群内	6.3×10^{-7}

表 4 : 視線移動時を因子とした分散分析

変動要因	p値
群間	4.5×10^{-3}
低視力群内	2.0×10^{-2}
高視力群内	4.3×10^{-1}

3.3 追従特性と指標径の関係

追従特性と指標径の関係を調べるため、両眼視力 0.05~1.0を有する低視力者5名のデータを用いて比較検討を行った。取り上げた被験者を低視力者に限定したのは前節において視力の高低差が視線移動時間に影響を及ぼすことが確認されたため、視力要因を取り除いた状態で比較するためである。

指標径が3mm, 5mm, 8mmのときの視線移動時を比較したグラフを図4に示す。この結果より、指標径が小さいほど視線移動時は長く、大きいほど短くなる傾向が見られた。プロットされた値は $12 \times 3 = 36$ 回の測定の平均値であり、これを個人特性の代表値と考える。潜時に関しても同様のグラフを作成したが、前節で確認したとおり、有意差は確認できなかった。

図4より、特に指標径3mmと5mmの場合の結果に前述の傾向があると仮定し、これらに有意差が認められるか否かを分散分析によって調べた。その結果、p値は 6.8×10^{-2} であり、10%有意であった。ただし、低視力者とはいっても視力にばらつきがあることと、被験者数が多くないことがあり、結果の信頼性は高くない。例えば、被験者Eの結果を取り除いた4名の結果において検定を行ってみると、p値は 4.0×10^{-1} 程度になり5%有意と判定できる。したがって、同一視力をもつ被験者を多数集めることができれば、より有意な差が確認できることが予想される。

また、指標径5mmと8mmの間に有意差は認められなかった。低視力群の被験者が3mmの指標を「見えにくい」と感じているのに対して、5mmの指標を「だいたい見える」、8mmの指標を「見える」と判断していたので、見え方の違いに依存した結果であると考えられる。したがって、5mmの指標で「見える」状態であれば、それより多少指標が大きくなって視線移動の様子に変化はない。

3.4 追従特性と移動距離の関係

続いて、黒丸指標の提示間隔を変更した場合について調査した。55mmを一つの単位として 1×1 , 3×3 , 5×5 の3パターンを用意してランダムウォークさせた。その結果、実験データを処理する段階でこれまでとは異なる傾向が観察された。提示された指標ポイントに視線が移動して注視状態に到るまでに多くの瞬目が観察され、視線移動時を正確に計測でき

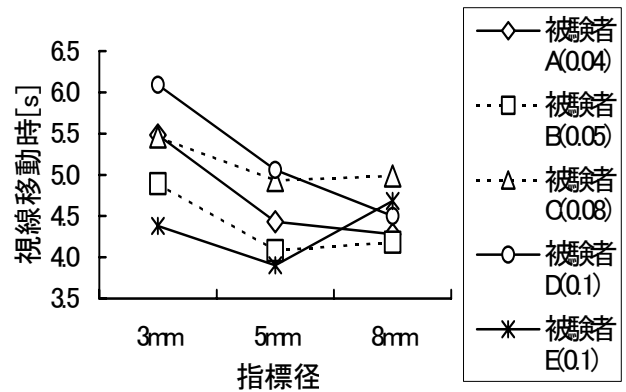


図 4 : 追従特性と指標径の関係

なかった。これまでの実験でも視線移動時の瞬目が観察されたが、この実験では経験的にその回数が多かった。そこで瞬目確率を以下の式(1)で定義し、黒丸指標の移動距離と瞬目確率の関係について調べる。

$$(\text{瞬目確率}) = (\text{瞬目回数}) / (\text{発生回数}), \quad (1)$$

ここで、分母の発生回数とは、実験時における各パターン (1×1 , 3×3 , 5×5) の発生回数を表す。

瞬目確率についてまとめた結果を図5に示す。この結果から、低視力被験者は指標の移動距離が比較的短い場合でも瞬目する確率が高く、高視力被験者ほど確率が低くなっていることが読み取れる。移動距離が短い 1×1 の場合と 5×3 の場合とで有意差があるか否かを分散分析によって調査した。その結果、p値は 5.07×10^{-4} であり1%有意であった。

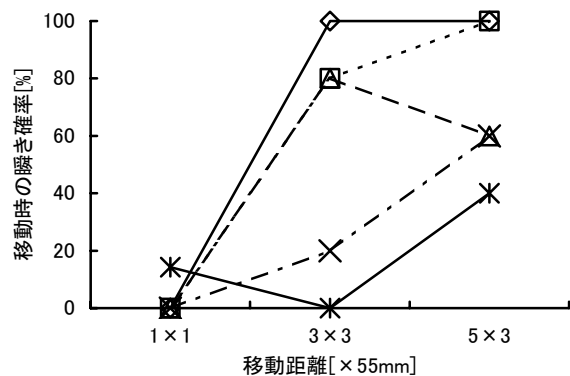


図 5 : 視線移動距離と瞬目の関係

4. 考察

まず、注視点ゆらぎに与える影響について考察する。表1の結果より、視力の異なる4名の被験者において、指標径の違いは注視のゆらぎに影響を与えないこと、被験者の違いによって注視特性が異なることが伺える。また、表2の結果より被験者の違いとは視力の高低の違いである。

次に、追従特性と視力の関係について考察する。黒丸指標移動後の視線移動を潜時、視線移動時、定常時の3つの区間に分割し、潜時と視線移動時について視力の異なる10名の被験者を比較した。その結果、

潜時には視力による相違は見られなかったが、低視力者は視線移動に要する時間が長く、高視力者は短くなることが確認できた。したがって、被験者の視覚能力を視線移動時によって評価できることが示唆された。

続いて追従特性と指標径の関係について考察する。低視力者5名のデータを用いて指標径の違いによる視線移動時の差を比較した結果、指標が小さい程、視線移動にかかる時間は長くなることを確認した。したがって「見えにくい」場合には追従速度が低下することが伺える。

さらに追従特性と移動距離の関係について考察する。図5に示すように、低視力者において移動距離の増加に伴い瞬目回数が増えた原因としては、低視力者の場合には周辺視野においても視力の低下が著しく、その結果、探索行動に移るためと考えられる[13]。さらには瞬目によって眼球表面を潤し、生理学的に一番良い状態で探索行動を行っているためとも考えられる。つまり、低視力被験者は指標の移動距離が比較的短い場合でも探索行動に移る確率が高く、高視力被験者ほど確率が低くなると考えられる。

5. まとめ

図6に実験によって評価した注視特性から適応型拡大読書器の制御情報として有用なものをまとめた。今後の課題は、作製中の適応型拡大読書器[12]に本稿での結果(図6)を適用し、その動作を検証することである。

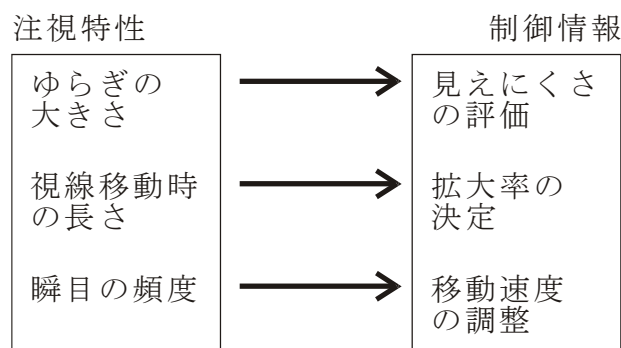


図6：注視特性から制御情報へ

謝辞

本研究は、科学研究費補助金特定領域研究「情報福祉の基礎」課題番号16091202として行われた。本プロジェクトのメンバーでもある堀潤一助教授に謝意を表す。また、実験に協力頂いた新潟大学工学部学生、大学院生諸氏に謝意を表す。

参考文献

- [1] 荻阪良二, 中溝幸夫, 古賀一男, “眼球運動の実験心理学,” 名古屋大学出版会, 1993.
- [2] J. Leigh and D. S. Zee, “Eye movements of the blind,” *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, vol.19, pp.328-331, 1980.
- [3] 柿沢敏文, 中田英雄, 谷村裕, “弱視者の衝動性

眼球運動と滑動性運動の解析,” 第14回感覚代行シンポジウム論文集, pp.9-13, 1987.

- [4] G. E. Legge, D. G. Pelli, G. S. Rubin and M. M. Schleske, “Psychophysics of reading,” *Vision Research*, vol.25, no.2, pp.239-252, 1985.
- [5] 小田浩一, “ロービジョンエイドを処方するための新しい読書検査表 MNREAD-J,” 第7回視覚障害リハビリテーション研究発表論文集, p.157, 1998.
- [6] 谷村裕, “全国盲学校児童生徒の視覚障害原因とその推移,” 1990年全国盲学校及び小・中学校弱視学級児童生徒の視覚障害原因等調査結果報告書, 1991.
- [7] A. M. Cook and S. M. Hussey, “Assistive Technologies (Second Edition),” pp.7-8, Mosby, 2002.
- [8] 榊原直樹, “高齢者・障害者のニーズ収集・分析と開発時の問題点,” C&C振興財団(監), 山田肇(編), 情報アクセシビリティ, pp.215-227, 2005.
- [9] M. Miyakawa and T. Kosugi, “A Three-dimensional gazing point detection system for communication analysis,” 25th IEEE-EMBC, pp.918-921, 2003.
- [10] 田中正太郎, 小熊隆史, 青柳真人, 武田紗路, 宮川道夫, 前田義信, 玉木徹, “注視を利用した適応型拡大読書器の基礎的検討,” 電気学会「医用・生体工学研究会」, MBE-05-25, pp.1-6, 2005.
- [11] 武田紗路, 前田義信, 宮川道夫, 田中正太郎, 玉木徹, 青柳真人, 堀潤一, “黒点刺激画像提示における注視点ゆらぎ分析の試み,” 生体医工学シンポジウム, pp.285-288, 2005.
- [12] 前田義信, 小熊隆史, 石黒隆志, 宮川道夫, 玉木徹, 堀潤一, “注視点追跡機能を有する電子拡大読書器の検討,” ヒューマンインタフェースシンポジウム, pp.241-244, 2005.
- [13] 田邊喜一, “視野制限下における能動的探索作業時の瞬目生起時点の分析,” 電子情報通信学会論文誌, vol.J89-A, no.2, pp.171-174, 2006.

