

黒点刺激画像提示における注視点の揺らぎ分析の試み

武田 紗路^{*1}, 前田義信^{*1*2}, 宮川道夫^{*1*2}, 田中正太郎^{*3}, 青柳真人^{*1}, 玉木徹^{*3}, 堀潤一^{*1*2}

^{*1} 新潟大学 工学部福祉人間工学科, ^{*2} 新潟大学 超域研究機構, ^{*3} 新潟大学大学院 自然科学研究科
E-mail: sachi@gis.ie.niigata-u.ac.jp (武田), maeda@bc.niigata-u.ac.jp (前田)

要旨 視力の低下によって読書が困難な弱視者（ロービジョン）の読書を支援する電子拡大読書システムの開発を目指し、本研究ではその基礎研究として視覚能力の評価を試みた。具体的には、数秒ごとに移動する黒点のテレビ画像を刺激として被験者に提示した。黒点の大きさを変化させたとき、視覚能力として 1) 黒点を注視する能力, 2) 黒点の動きに瞬時に追従する能力の 2 種類の能力を計測した。黒点を注視する能力は、注視点の定常信号波形の標準偏差（揺らぎ）で評価し。他方、黒点へ瞬時に追従する能力は視線移動の過程を潜時と視線移動時間によって評価した。その結果、上記 2 種類の能力は被験者の視力（ランドルト環を用いて調査されたもの）に関係があることが示唆された。

1 はじめに

拡大読書器^[1] (CCTV Reading System) とは、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、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^[2]とはなっていない。

利用者が求める拡大読書器の利点とは、気軽に読書が行えるという利便性の他にも、利用者が自力で書籍の朗読を行えるためにプライバシー保護や朗読補助者の負担軽減などという利点が挙げられる。したがって、“見る”という行為のみで適切な拡大率が自動設定され、円滑な読書支援を提供することで、利用者および朗読補助者のストレスをより軽減する支援機器となるはずである。つまり、読書する際の注視点の動きからそのヒトの“実体視力”を評価して個々の利用者に最も適切な拡大率で書物の内容を提示して読書を進め、停留などの注視点の動きから拡大や縮小などの制御を行うことでストレスの少ない読書を支援するという考え方である。

我々はこれまで、注視点をリアルタイム計測することにより、キーボードやマウスを操作することなくパソコンを使用するシステムに関する基礎研究を行ってきた^[3-7]。本研究では、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き、両眼視力 0.04 ~ 1.5 の視力を有する被験者の注視特性解析を行った。図 1 にその位置付けを示す通り、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 (Adaptive Viewer for Low vision

Patients, 以下, AVLP と呼ぶ) の適切な制御情報を得るのが本研究の目的である。

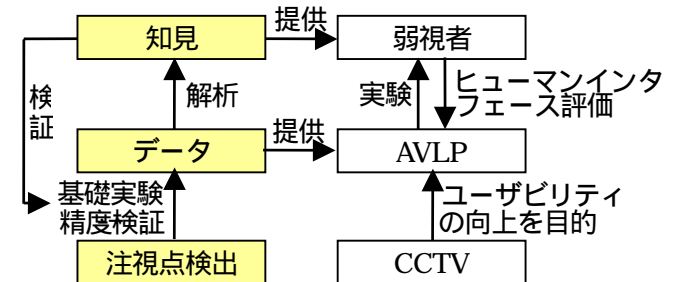


図 1 本研究の位置付け

2 実験方法

2.1 実験環境

本研究の注視点検出装置としては、ゴーグル型検出器を中核とする注視点検出システム (竹井機器工業社製 Talk Eye) を用いた。このシステムは、瞳孔反射光と角膜反射光の方向から視線方向を検出計測する角膜反射法を用いて眼球運動を検出するものである。実験システムの概要を図 2 に示す。

本研究では、AVLP の開発に必要な基礎データを取得するため、より雑音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。

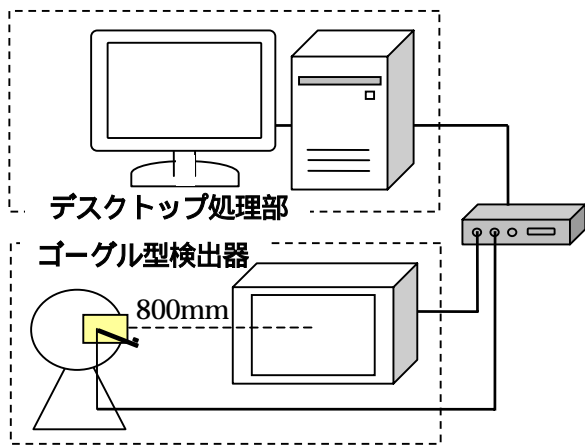


図2 システム構成



図3 注視計測の様子

2.2 被験者と刺激画像

刺激画像として提示する黒点の大きさや視力の関係を示すため、以下の制約の下で実験を行った。被験者には視覚に異常のない裸眼視力 0.03~1.5 の視力を有する健常者 4 名 (A:0.04, B:0.1, C:1.0, D:1.5, 平均年齢 24.5 歳の成人男女) で、頭部を動かさないこと、瞬きを我慢する必要はないが表示された点を見続けること、目を細めないことの 3 点を注意点として伝えた。被験者に提示する刺激画像は、眼球の動きに他の心理的、生理的要因が影響を与えるのを極力排除するため、単純・無意味な画像として白地の背景に直径が一定な黒点をマーカとして用いた。55[mm]間隔で設定されたスクリーン座標上の格子点 (水平方向 7 点, 垂直方向 5 点, 計 35 点) に注視すべきマーカである黒点をランダムに提示した。被験者は裸眼状態でこのマーカを速やかに注視することが求められるが、この黒点の提示は 5 秒毎、上下左右の 4 方向いずれかの方向に 12 回、ランダムウォークで移動させた。黒点の直径が 3, 5, 8[mm] の 3 種類の各パターンを 3 通り用意し、全 9 パターンを提示して測定を行った。また、各実験は目の疲れや拘束によるストレスの影響を避けるために、十分な時間間隔を設けて実施した。上記の通り、黒点の提示される時間間隔は上下左右とも 55[mm]

で一定に保ったが、本研究では 4 方向への移動に伴う注視特性に方向依存性はないものと仮定して解析を行った。

3 結果

黒点のランダムウォークを被験者に注視させた結果として、Talk Eye から眼球角度 $x[\text{deg}]$, $y[\text{deg}]$, 瞳孔径, 注視時間, 移動速度, 瞬きの有無などの情報が得られる。これらの生データに瞬き除去, 眼球角度から距離データへの変換などの処理を行って解析用データを得た。

3.1 ゆらぎと視力の関係

被験者 A, B, C, D による計測結果において、定常状態時の時間平均値を注視点と仮定し、その位置からの標準偏差をゆらぎとする。ここでは、黒点移動後、20 フレーム後 (約 0.67 秒後) には注視点が決まるとして、それ以降の状態を定常状態と呼ぶ。

各々の被験者のデータを黒点の大きさごとに分類し、まとめてグラフ化したものを図 4 に示す。一回につき 12 点 (回) 移動し、同じ大きさの黒点に対して実験を各 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 個のデータからゆらぎの平均値を算出した。

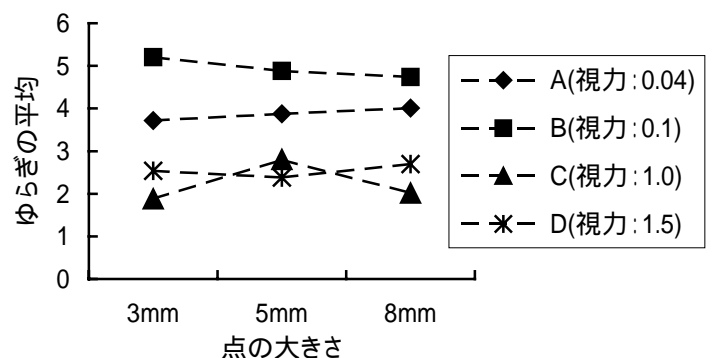


図4 黒点の大きさの違いによる揺らぎの比較

得られた結果には被験者の視覚能力、及び黒点の大きさの違いが影響を及ぼすと考えられるため、これらの二つを効果要因とする繰り返しのない二元配置分散分析を行った。各被験者において黒点の大きさごとのゆらぎの平均を求め、これらを被験者 (効果要因 α) の標本数 4 (被験者 A, B, C, D), 黒点の大きさ (効果要因 β) 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る。ここで、帰無仮説は『各効果要因、水準間の平均値は等しい』である。分散分析の結果、黒点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)。

表1 各被験者および各黒点の大きさの p 値

変動要因	p 値
被験者	2.2×10^{-4}
点の大きさ	9.3×10^{-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 3[mm]の黒点を提示した場合のデータを取り上げて被験者のみを効果要因とした一元配置分散分析を行った。この結果、被験者を変動要因としたときのグループ間の p 値は 1.0×10^{-17} であり、『各被験者のゆらぎはすべて等しい』という帰無仮説は 1% 有意で棄却された。

そこで視力の低い被験者 A と被験者 B を低視力群、視力の高い被験者 C と被験者 D を高視力群として、これらの群間での相違を一元配置分散分析によって調べた。同一群である被験者 A と B、及び被験者 C と D の一元配置分散分析の p 値と群間での一元配置分散分析の 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。

表2 群内と群間の p 値の比較

	p 値
群内 (低視力)	9.4×10^{-3}
群内 (高視力)	5.9×10^{-6}
群間	3.0×10^{-16}

3.2 追従特性と視力の関係

視力と追従特性の関係を調べるため、注視点移動時の過渡現象を分析する。各被験者の各カテゴリのデータを以下の方法で前処理する。図 5 に定常位置を重ね合わせたグラフから特徴を抽出し正規化した様子を示す。

移動方向 (上下左右) ごとの分類
 定常位置によるグラフの重ね合わせ
 グラフの正規化

以上の方法で正規化したグラフに対して個々の値の変化量 (差分) を求めたグラフを図 6 に示す。変化量に閾値を設け、前段階の定常位置から次の定常位置に移動するまでの時間を抽出する。この変化量が一定値以上の時間域を視線移動域と呼ぶことにする。

視線移動域に達するまでの時間を潜時とし、視線移動域の注視点の振舞いを線形近似する (一例を図 7 に示す)。また、線形近似によって得た直線の傾きと潜時の比較を表 3 に示す。

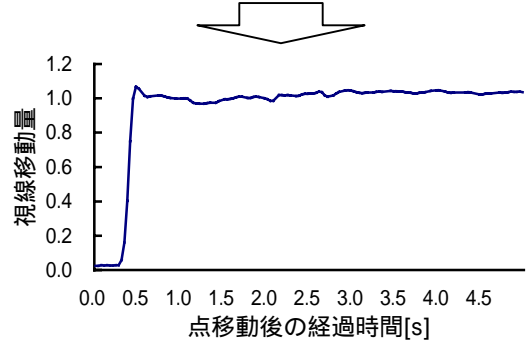
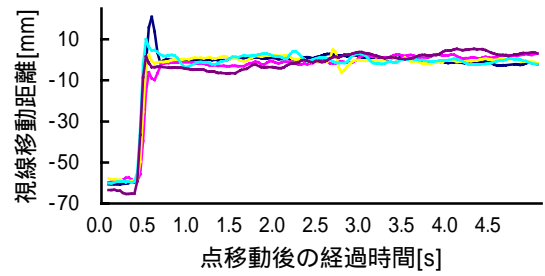


図5 重ね合わせによる特徴抽出

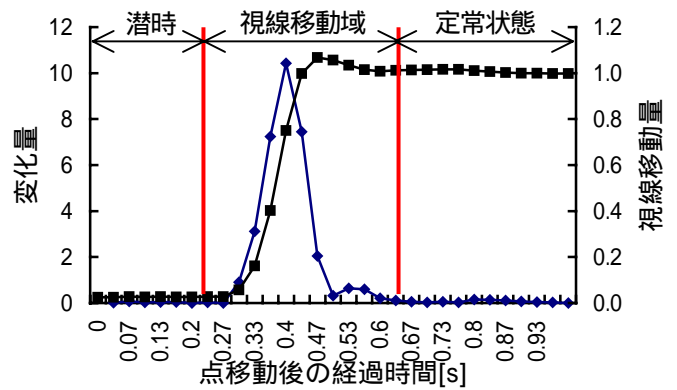


図6 視線移動域の抽出

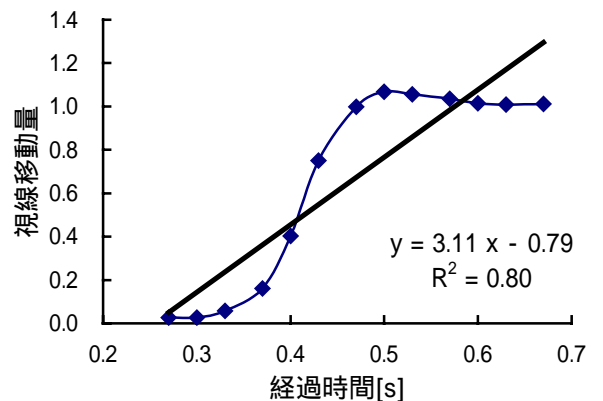


図7 線形近似の一例

表3 視力と潜時および傾きの比較 (指標:5mm)

	潜時	傾き
被験者 A (視力 0.04)	0.29	3.00
被験者 B (視力 0.10)	0.29	3.11
被験者 C (視力 1.00)	0.27	4.36
被験者 D (視力 1.50)	0.27	4.65

3.3 考察

まず、刺激画像（黒点の直径）の相違が揺らぎに与える影響について考察する。表1の実験結果より、視力の異なる4人の被験者において、黒点の大きさが有意でなかったことから、今回の実験では視力の高低に関わらず、注視指標の違いは注視の揺らぎに影響を与えないことが伺える。

続いて、被験者（視力）の相違が揺らぎに与える影響について考察する。分散分析の結果、被験者の違いは有意であった。また、視力 0.1 以下の低視力群と視力 1.0 以上の高視力群に分類して分散分析を行ったところ、同一群内で分散分析を行った場合に比べて明らかに小さい p 値が得られた。したがって、視力の相違が注視の揺らぎに影響を及ぼすことが伺える。

次に、追従特性と視力の関係について考察する。黒点指標移動後の視線移動を潜時、視線移動域、定常状態の3つに分割し、潜時と視線移動域について視力の異なる4人の被験者を比較した。その結果、低視力者は視線移動域において近似直線の傾きが小さく、高視力者は傾きが大きいことが確認できた。つまり、低視力者の視線移動時間が高視力者のそれよりも長いために傾きが小さくなったと考えられる。したがって、被験者の視覚能力を潜時と視線移動域の近似直線の傾きで評価できることが示唆された。

今後の課題は、視線移動域を線形ではなく、例えばロジスティック方程式の解として近似し、より詳細に高視力者と低視力者の振舞いの相違を明らかにすることである。また、視力が0.01以下のいわゆる弱視者と、AVLP利用者として多く含まれるであろう高齢者の視覚能力を同様の実験で評価することで何らかの変化が見られると予想される^[8]ため、これらが今後の課題である。

4 まとめ

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視力と視覚能力の関係に関する基礎実験を行った。注視能力としては、黒点に追従する能力と黒点を注視する能力の2種類を調査した。

謝辞

本研究は文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「情報福祉の基礎」の一部として行われたものである（課題番号 16091202）。実験に協力して頂いた新潟

大学工学部福祉人間工学科学生 宮澤洋一君をはじめ、被験者として協力して頂いた各位に感謝します。

参考文献

- [1] Cook, A. M., and Hussey, S. M., " Assistive Technologies (Second Edition), " pp.7-8, Mosby, 2002 .
- [2] 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 .
- [3] 宮川道夫, "注視を利用したコンピュータとヒトとの通信システムの研究 頭部無拘束で画像処理によらない注視点の検出とコンピュータ入力への応用 , "電気通信普及財団研究調査報告書 ,10 巻 pp.550-564 ,1996 .
- [4] 宮川道夫, 小林康之, 鳥羽啓, 石井望, "マルチモーダル・インターフェース実現に向けた注視点のリアルタイム計測法, "電子情報通信学会論文誌 ,vol.J83-D-II, no.12, pp.2810-2821, 2000 .
- [5] Miyakawa, M., and Kosugi, T., " A Three-dimensional gazing point detection system for communication analysis , " 25th IEEE-EMBS, pp.918-921, 2003.
- [6] 田中正太郎, 前田義信, 宮川道夫, 武田紗路, 他 " 電子拡大読書器のための注視点情報活用法の検討, " ヒューマンインタフェースシンポジウム 2005, 9月予定 .
- [7] 前田義信, 小熊隆史, 石黒隆志, 宮川道夫, 玉木徹, 堀潤一, " 注視点追跡昨日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 2005, 9月予定 .
- [8] 西村泰典, 服部瑤子, 城田莉菜, 服部貴志, 他 " 高齢者と若年者を対象とした Eye-Sensing Display による視覚特性の計測 " ヒューマンインタフェースシンポジウム , pp897-902, 2004