

任意文字連続注視時の視線移動の計測

—視線入力式コミュニケーション機器開発への応用—

伊藤 和幸 数藤 康雄

国立身体障害者リハビリテーションセンター 研究所

〒359 埼玉県所沢市並木4-1

Tel 0429-95-3100, Fax 0429-95-3132

E-mail : (ito sudoh)@rehab.go.jp

あらまし 何らかの障害や病状の進行により、自分自身による発声や筆談によるコミュニケーションができなくなる障害者が少なからず存在する。このような状況に対するには随意運動が比較的最後まで残る目の動きや瞬きを利用してコミュニケーションをとることが考えられ、現在のところ、瞬きや目の左右の動きを「はい」「いいえ」等としたり、目の開閉をスイッチ入力の ON/OFF に利用している例が多い。しかし、視線を入力として利用できる機器があれば、文字盤やメニューボードを直接見つめることで任意の文字やメニューを自由に選択することができ、障害者自身で環境制御等を行ったり、他者とのコミュニケーションを行うことが可能となる。本報告では、被験者が文字盤を見つめる視線を計測・解析し、コミュニケーション機器への入力として使用するにはどのような処理を行えばよいかを検討した。

キーワード 障害者、コミュニケーション機器、角膜反射法、注視

Line of Sight Movement During Continuous Gaze on Optional Characters

— An Application for Eye-gaze Input Communication System —

Kazuyuki ITOH and Yasuo SUDOH

Research Institute National Rehabilitation Center for the Disabled

4-1, Namiki, Tokorozawa, SAITAMA 359, JAPAN

Tel 0429-95-3100, Fax 0429-95-3132

E-mail : (ito sudoh)@rehab.go.jp

Abstract In the result of an injury, a stroke, or a progressively disabling disease, some disabled people (ex. suffering from progressive muscular dystrophy, amyotrophic lateral sclerosis, spinal cord injury etc.) are unable to write, to point, or even to nod their head. In this case they communicate solely with their eyes - blinking or moving them up or left for "yes", down or right for "no". But if eye-gaze input communication system, which can detect their line of sight and accepts input directly from their eyes, is realized, simply by gazing given menu board or communication board the corresponding menu option or communication message is invoked. In this way, the disabled users can control their environment and communicate with others. In this report we measure movements of subject's line of sight during continuous gaze on communication board, and examine how communication system should analyze these data to detect which character subjects gaze on the communication board.

key words people with disability communication aids corneal reflection method eye gaze

1. はじめに

病気や障害により手足指の制御が思うようにいかない重度の肢体不自由者が自分の意思を表現したり、周りの介助者とコミュニケーションを行うには、1つ又は2つのスイッチを操作し走査選択により文字を選択する走査選択方式¹⁻²⁾や、数個のスイッチ入力を符号化しその組み合わせで文字入力を行う符号化入力方式³⁻⁶⁾を用いたコミュニケーション機器を使用する必要がある。しかし、これらの機器はスイッチ入力可能な身体部位を利用し、スイッチを操作することを前提としているため、筋ジストロフィー患者や筋萎縮性側索硬化症患者のような重度の肢体不自由者の場合には、病状が進行するとともに手足が随意的に動かせなくなり、スイッチ操作に結びつけることのできる身体部位が限られてくる。このような状況に対応するには、随意運動が比較的最後まで残る目の動きや瞬きを利用してコミュニケーションをとることが考えられる。

現在のところ、目の動きや瞬きを障害者用コミュニケーション機器への入力手段に利用したものとしては、日本では瞬きを入力スイッチの ON/OFF とした走査選択式のもののしか開発されていない⁸⁻⁹⁾。しかし、障害者が見つめた透明な文字ボード上の文字を反対側にいる介助者が推察することでコミュニケーションがとれることから明らかに、文字盤の任意の文字を注視している障害者の視線を検出し、その文字を特定できる装置があれば、視線を入力として用いる直接選択方式が採用でき、走査選択方式よりはるかに効率の良いコミュニケーションが可能になる。さらに応用範囲を広げれば、意思伝達としての使用だけに限らず、直接選択方式⁷⁾として環境制御装置のコントローラやキーボードの代用装置として使用することもできるはずである。

現在、我々は市販の視線検出装置を用いた視線入力式コミュニケーション機器を開発中である。視線入力式コミュニケーション機器とは、使用者が順に注視していく文字盤中の文字を検出・選択しそれらを次々と表示することで、自分の意思を伝えたり、文章を作成するものである。本研究では、任意の文字を注視している被験者の視線を検出し、コミュニケーション機器への入力として用いるにはどのような方法でデータを処理すればよいかを検討したので報告する。

2. コミュニケーション機器におけるデータ処理の流れ

任意の文字を注視している使用者の視線を検出し、それをコミュニケーション機器への入力として応用するとすれば、データ処理の流れは次のようになる。

- 1) まず使用者は視線を移動させ、望みの文字を注視する。
- 2) 視線検出装置において使用者が注視している文字がどれであるかを算出し、その文字を反転させる等の方法で利用者に提示する。
- 3) 利用者は望みの文字がコミュニケーション機器によって選択されたところで何らかの入力を行ない、文字を決定する。
- 4) 利用者によって決定された文字を画面に表示する。
- 5) 望みの文字が表示されたところで、次の文字を注視するために視線を移動させる。

以下、この行為を繰り返し、本人の意志を表示したり、文章を作成したりする。

このようなデータ処理の流れでは、文字を探して視線が移動している間に一時的な注視文字が入力されることによる誤入力を避けるため、次に選ぶべき文字へと視線が移動し視点が定まるまで計測を行わない計測の無効時間を設定する必要がある。

文字の決定は、別のスイッチ入力が可能であればそれを用いるのが理想的であるが、病状が進んでくるとそのような動作はあまり期待できない。代わりの手段として、望みの文字を注視した後に別の文字決定用の専用アイコンを注視することで文字の決定を行なう方法が考えられるが、この方法はいったん定まった視線を移動させなければならぬため、最終的に注視していた文字がどれであったか不明になりやすく実用的でない。したがって、任意の文字を一定時間注視続けることで、その文字が自動的に決定されるという方が利用者にとっては操作性がよい。

本報告では、計測の無効時間の設定と文字の決定法について、データをどのように処理すればよいかを検討するために以下の実験を行い、データ処理法について検討した。

3. 計測システム及び実験の概要

現在、視線検出装置^{10,13)}としては様々なものが開発されているが、我々が視線検出法として用いている方法は、角膜反射法と呼ばれている方法と瞳孔画像とを組み合わせ

たものである¹⁴⁾。角膜に外部から参照光を当てると、角膜内部に光の虚像ができ、等価的にその像から光が発生する。角膜の中心と眼球の中心は共通せずかなり離れているため、この虚像は眼球の回転運動と共に移動する。ここで、角膜からの像をテレビカメラなどで撮影すればその動きが眼球運動に比例したものとなる。更に、合わせて瞳孔を撮影し、その中心点と角膜内の虚像の位置との相対位置を求めておくと、カメラに対して頭部が多少動いてもその影響を受けずに眼球運動を計測することができる。本計測法では眼球付近の画像をズームアップレンズにより拡大して得るため、頭部に計測装置などを装着する必要がなく、これまで開発されている機器に比べて利用者に対する拘束感が少ないことから、障害者を対象としたインターフェイスとして適当であると考えている。

図1に、我々が用いている視線計測システムの概要を示す。視線検出装置にはISCAN社製RK-426システムを用いており、低レベルの赤外光 (1mW/cm^2 , 850nm) を眼球に照射し、赤外カメラにて画像を取り込んでいる。取り込んだNTSC信号は、画像処理システム (RK-426) に入力して 512×256 画素に分解・デジタル化され、キャリブレーション時に得られたデータとの相関を受け視点データとして出力される。パソコンではこのデータを取り込み、保存・解析することができる。データの出力・取り込みはともに 60Hz で行なっている。

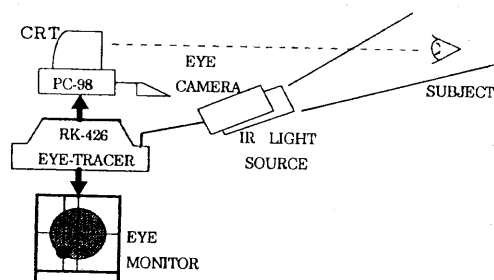


図1 視線計測システムの概要 (側面図)

被験者には顎台の上に顎を載せるとともに頭部を顎台に付属の枠に当ててもらい、頭部の動きをできるだけなくした。眼球とディスプレイとの距離は約 60cm 、赤外カメラはディスプレイの中心真下に配置した。ディスプレイは17インチ (640×400 ドット) を使用した。実験は全て直射日光の影響のない、室内で行なった。被験者には、頭部をな

るべく動かさずに視線の移動だけで文字を見つめるように指示した。文字の大きさはコミュニケーション機器への応用を考慮し、すでに開発している走査選択式ワープロソフトリで使用している1文字分の大きさ (縦20、横32ドット) のひらがな文字で、縦5行・横10文字の文字構成で実験を行った。文字の間隔は縦が2文字分、横が1文字分の広さである。

4. 課題文字注視時の視線移動計測

文字を注視している視線データに対して、どのような処理を行えば注視している文字を正確に決定できるかを検討するため以下のような実験を行った。まず、提示された文字を注視する視線を計測することで、自然に文字を注視していく場合と対比するための参考とする。この実験では、提示された文字を注視するので、受動的に視線を移動させることになる。

4-1. 実験方法

実験は、まずCRT画面に50音のひらがな文字を表示し、被験者1名 (正常視力の健康な20代の女性、裸眼) に画面を見てもらう。この時特に見つめるべき点は定めない。次に計測者の合図をスタートとしてランダムに選択された文字が反転表示されるので、その文字を6秒間注視してもらう。6秒後に別の文字が反転するので、やはりその文字を6秒間注視してもらう。これを連続して10回繰り返し、1回の計測を終了とする。計測をする間50音はすべて表示したままで、別な文字が反転したら元の文字は反転表示から普通の表示に戻り、1文字だけが反転することとする。10個の点を6秒ずつ注視するので、1回の計測には60秒を必要とする。被験者には1秒毎に1回、6秒毎に2回のピープ音を鳴らして時間の経過を知らせた。 60Hz でデータを取り込んでいるため、1回の計測に計3600点のデータが得られる。

4-2. 実験結果

瞬きなどで計測できなかったものは除いてデータを処理した。6秒毎のデータを1データとして画面上で視点が移動する1例を図1に示す。図では反転文字が「り」から「に」へ移ったとき、それに追従した視線移動の様子を示している。図中の直線は $1/60$ 秒毎に計測された視点を結んだものである。6秒の間に視線は「り」から「に」へと移動し、その付近で留まっていることが伺える。「り」付

近とその中間に計算されている幾つかの点は視点が「に」に移動する前のものである。

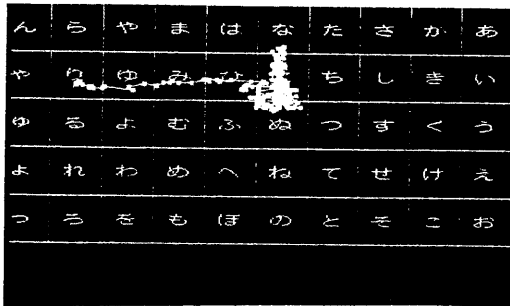


図2 「り」から「に」へ視線が移動した様子

図3のように横軸に文字が反転してからの経過時間を取り、縦軸に反転した文字の中心位置から計算された視点までの距離をディスプレイ上のドット数で表現すると、どの時点で視線が移動したかがわかる。どのデータも0.0～約0.15秒間は視点と反転文字の中心からの距離の値が直前まで反転していた文字までの距離の値とほぼ等しく、反転した文字まで視線が移動せず、その付近にあることがわかる。約0.15秒～約0.25秒の間には、反転した文字へと視線が移動するため反転文字中心との距離が急激に減少している。約0.25秒以降は距離がほぼ50ドット以下になり、視線は反転した文字位置へと移動し、その周辺を注視していることがわかる。図では3秒以降のデータは1～3秒までのデータとほぼ同じであるため省略した。今回の計測では、文字が反転した後すぐにその位置へと視線が移動したため、計測の無効時間は0.3秒として設定しておけば十分であろうが、実際は書き上げた文章に目をやるなどの行為が入るため、実用上はもっと長めに設定することになるだろう。

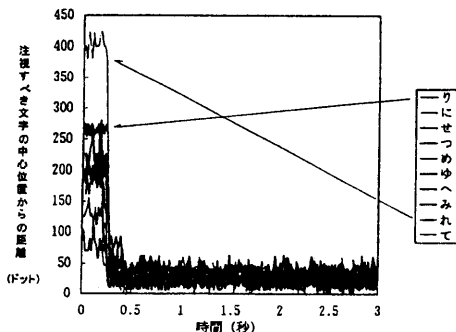


図3 視点と反転文字の中心からの距離の時間経過

4-3. 考察

図3で使ったデータを用いて文字の決定法について考察する。1秒以降は視線があまり移動することなくほぼ特定の文字の範囲におさまっているため、1秒～6秒までのデータを用いて考察する。注視点の定義¹⁵⁻¹⁶⁾にはいくつかの方法が提案されているが、この実験では動きのない文字盤を注視しているため、視対象が静止しているものに対する注視点の定義に従えば、1秒～6秒までのすべてのデータは注視成分として用いることができる。1～6秒間に計算された全視点を100とし、各文字毎にその範囲内にどの程度視点が移動していたかを積算して、全データに対する割合として計算する。反転位置とその周辺の1文字分の範囲にどの程度視点が移動しているかを図4に示す。横軸は経過時間、縦軸は1/60秒ごとの割合である。

この例では最終的に全データの62.8%の視点が反転位置に求められた。視線の移動を時間を追って見てみると、1.5秒～1.8秒間は反転位置の左の文字「ひ」に、4.0秒～4.4秒間は下の文字「ぬ」に視線が移動していることがわかる。このことから、視線が移動した後のある時点において注視している文字を決定文字とする方式(処理1とする)では、ある時間に望みの文字とは別の文字に視点が移動していた場合には別の文字が決定される可能性があり、文字を正確に選択できない可能性がある。それよりは、各文字毎に視点が分布している割合を積算し、一定時間後に最も多い割合で視点が得られた文字を選択(処理2)する方が、望みの文字を確実に選択できると思われる。

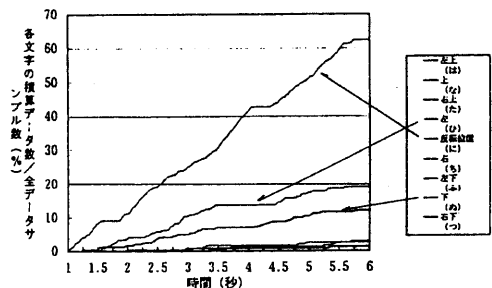


図4 反転位置及びその周辺の視点分布の時間経過(処理2)

更に、反転文字の周辺で視線が移動する影響をなくすためには、2つの文字にまたがる視線の移動を無視し、同一の文字範囲の中だけで移動したデータの個数を積算して、

最も値の大きい文字で決定するという方法（処理3）が考えられる。この処理を行うと、視点がある文字の範囲内に留まっていたデータのみ有効になり、文字の中間付近に存在するどちらの文字ともなく注視している視点を削除することができる。各文字毎に同一文字範囲内で移動したデータを積算し、同一文字範囲内で移動した全視線データに対する割合を図に表すと、図5のようになる。最終的には同一文字範囲内で移動した全視線データの78.0%が反転位置に得られていることになる。反転文字のほかには注視された文字としては左の「ひ」と下の「ぬ」だけであるが、その割合は処理2より低くなるため、反転文字を確実に注視していたと判断できる。

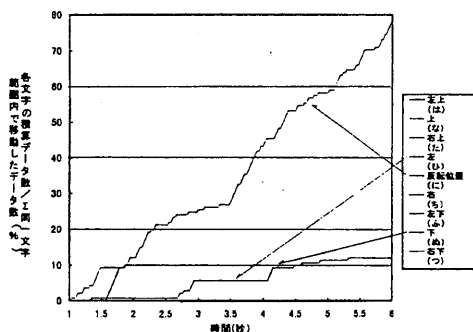


図5 反転位置およびその周辺の視点分布の時間経過（処理3）

同様の処理を別の文字を注視したデータに適用すると、表1のようになる。この表から、処理3の方式でデータを処理するとほぼ確実に提示された文字の範囲に視点を求めることができる。

注視文字	処理2	処理3
り	75.7	82.4
に	62.4	78.0
せ	67.2	90.5
つ	80.0	99.4
め	95.7	100.0
ゆ	90.0	100.0
へ	90.3	100.0
み	72.7	97.3
れ	88.5	99.6
て	97.3(%)	100.0(%)

表1 処理法による文字確定の正確さ

5. 任意文字注視時の視線移動計測

実際の視線入力式コミュニケーション機器の使用状況を考えると、提示された文字を注視することで文字を選ぶのではなく、利用者が望みの文字を注視し、文字を選択していく方式を取ることになる。この場合自分の選択したい文字を注視することになるので、視線の移動は能動的なものになる。そこで、次に任意の文字を連続して注視してもらい能動的な視線の移動を計測した。

5-1. 実験方法

被験者2名（A:B:Aは実験4と同一、Bも正常視力の健常な20代女性で眼鏡使用）には、ある言葉（「おはようございます」、「ご」と「ざ」は、「こ」と「さ」を注視）をあらかじめ指定し、計測者の合図をスタートとしてその言葉を1文字につき5秒ずつ順番に注視してもらった。表示画面上の文字はどれも反転せず、被験者には注視した文字が選択されるという前提で文字を見つめてもらった。言葉が長く次に注視すべき文字が何であるかを忘れてしまった時にはこれまでどの言葉を選択したかを参考にできるように、例えば「う」を注視すべきときには「おはよ」までのように、注視すべき文字の直前の言葉までを文字盤の下部に表示させた。時間の経過は1秒毎にピープ音1回、5秒毎に3回のピープ音で知らせた。計測データは1文字につき300点のデータが計測され、9文字であれば2700点のデータが得られる。

5-2. 実験結果

図6-1、2に図3と同様、横軸に経過時間、縦軸に注視すべき文字の中心位置から計算された視点までの距離をディスプレイ上のドット数で取り、被験者別に表示する。実験4と比べ、注視すべき文字へ視線が移動した時間が文字によって異なっていることがわかる。被験者Aは実験4ではほぼ0.15秒～0.25秒の間に視線が移動していたのに対し、実験5ではすぐに視線が移動している文字と、しばらく時間が経過してから視線が移動している文字とが存在し、それぞれ0.33秒～0.83秒まで様々な値が得られている。途中、「は」を見ている際には1.03秒～1.43秒の間別な文字へと視線が移動しているが、ほとんどの文字で一度視点が定まると、ほかの文字へ視線が移動していないことがわかる。被験者Bは注視すべき文字へと視線が移動する時間が被験者Aに比べ遅く、1文字目の「お」を除き、

0.5 秒から 2.37 秒までの値が得られている。被験者 A に比べて視点が定まるまでの視線の動きは複雑で、時間も 3 倍以上かかっている。また、視点が定まってからも注視すべき文字の中心位置からの距離が 60~90 ドットとなる文字もあり、注視すべき文字が正確に判断されないことが予想される。

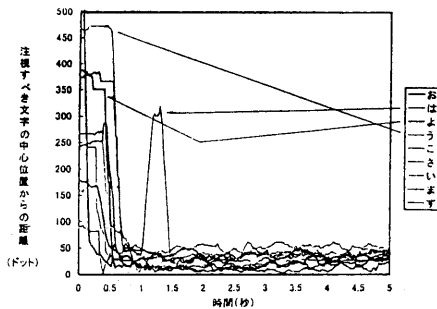


図 6-1 視点と注視すべき文字の中心との距離の時間経過
(被験者 A)

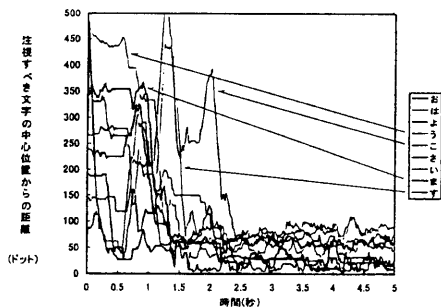


図 6-2 視点と注視すべき文字の中心との距離の時間経過
(被験者 B)

計測の無効時間としては、被験者 A は 1.0 秒（「は」は 1.5 秒）、被験者 B は 2.5 秒に設定しておけば十分視点が定まっているため、注視している文字を正確に求められると思われる。

図 7-1、2 に 1 例として「お」から「は」へと視線が移動した様子を示す。注視すべき「は」の文字は反転していないので、その周辺の文字へと視線が移動していることが伺える。被験者 A では一度「は」に視線が移動した後、直前に選択した「お」へも視線が移動したことが、被験者 B では「お」へと視線が移動した後、「ゆ」を経由して「は」付近へと視線が移動したことがわかる。

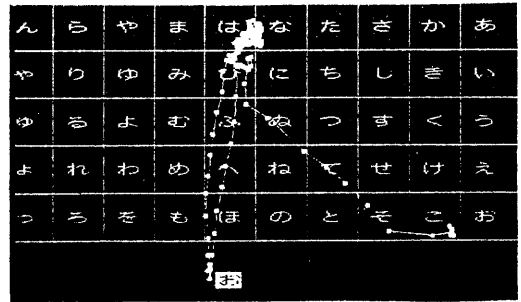


図 7-1 「お」から「は」へ視線が移動する様子
(被験者 A)

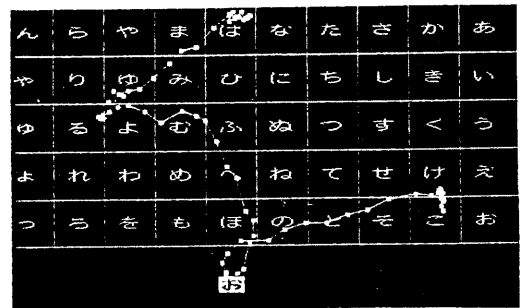


図 7-2 「お」から「は」へ視線が移動する様子
(被験者 B)

5-3. 考察

被験者 A の場合、文字盤の下部に表示された文字へと視線が移動することなく、注視すべき文字の周辺へと次々と視線を移動させていることがわかった。これはあらかじめ次に注視すべき文字が頭に思い浮かんでいて、3 回のピープ音とともに視線を移動できたものと考えられる。提示された文字へと視線を移動させればよい受動的な視線移動と違って、望みの文字へと能動的に視線を移動させた場合には最大約 4 倍程度の時間をかけて視線を移動させていることがわかる。また、「は」を注視するとき以外はほかの文字に視線が移動することなく、文字を注視続けていることがわかる。

被験者 B は 9 文字中 7 文字について文字盤の下部に表示された文字へと一旦視線が移動し、続いて次に注視すべき文字へと視線が移動していた。これは被験者 A とは対照的に次に注視すべき文字が頭の中で思い浮かばなかったもので 1 文字ずつ文字を確認していったと予想できる。

時間を追って視線の移動の様子を表示してみると、注視すべき文字へ直接視線が移動するわけではなく、その文字

の周辺へ視線がだまかに移動した後に目的の文字へと視線が移動している。文字によっては、頻繁にその周辺の文字へと視線が移動する場合もある。これは、視野の大きな範囲で文字を捕らえ、注視すべき文字を考えてからその文字を注視していると予想でき、特に被験者Bにはその傾向が強い。

文字の決定法については、被験者Aについては1.5秒以降、被験者Bについては2.5秒以降のデータを処理2および3により処理すると表2のような結果となる。実験4における受動的な視線移動に比べ、注視すべき文字が提示されていないためか、被験者Aでは「う」や「ま」を除き、視線がその文字に集中せず周辺の文字へも視線が移動しているが、処理法を変えて同一の文字範囲内だけで移動した視点だけを処理すると、注視すべき文字を正確に選択することができる。被験者Bでは、「は」「よ」「さ」「ま」を注視した際には視点がその文字の範囲内に得られているが、ほかの文字に関しては注視すべき文字の範囲外に視点が得られている。

注視文字	被験者A		被験者B	
	処理2	処理3	処理2	処理3
お	49.3	71.4	6.3	7.1
は	39.3	69.8	55.0	69.6
よ	49.6	65.5	41.7	54.1
う	69.6	78.9	0.0	0.0
こ	55.3	68.3	0.7	0.4
さ	46.3	63.3	70.4	69.7
い	60.6	87.5	0.0	0.0
ま	74.3	95.3	68.9	80.6
す	63.0	76.4	8.3	7.2(%)

表2 処理法による文字決定の正確さ

被験者Bは被験者Aに比べ、文字を視野の周辺で捕らえる傾向にあると推測できる。「は」「さ」「ま」を注視している時にはその文字の範囲内に視点が得られていることから、画面の上部にある文字を見ている時はその傾向は見られないが、画面の右側にある文字「う」「お」「こ」「す」に関しては特にその傾向が強く、視点は注視すべき文字の左や、左下に多く計算され、処理3により別な文字が選択される可能性が高くなっている。画面左側の文字に関しては「よ」のデータしか得られていないので、なんらかの傾向があるか不明であるが、被験者によっては文字を

視野の周辺で捕らえる傾向があることにも考慮し、画面上の位置による補正を加える等、文字決定法を再度検討する必要があるだろう。

今回の計測では、簡単な挨拶の言葉を指定し任意文字として注視してもらった結果を分析した。計測時間が45秒と短いため、被験者Aについては比較的素早く、かつ他の文字へ頻繁に視線を移動させることなく目的の文字へと視線を移動できたと推測できる。しかし、実用上はもっと長い文章を入力したり、被験者Bのようにどの文字を入力するか考えて使用することになれば、もっと複雑に視線が移動することが予想される。文字を決定するまでの時間は、実験4の計測からほぼ視点が決まる時間を考え5秒としたが、慣れの問題や疲労の軽減を目的として短くすることも考えられる。逆に障害者の症状によっては、視線の移動に時間がかかる場合も予想されるので、今後計測回数を増やし更に検討する必要がある。

6. まとめ

視線を入力としたコミュニケーション機器を開発するために、提示された文字および任意の文字を順に注視していく視線移動の様子を計測し、注視した文字を正確に選択するためのデータ処理法について検討した。得られた視線データを処理した結果、任意の文字を注視した場合には、提示された文字を注視するより長めの時間をかけて注視したい文字に視線が移動することがわかった。また、文字を提示された場合よりも視線は周辺の広い範囲に移動するものの、処理法を工夫すれば正確に文字を選択できることがわかった。しかし、被験者によっては視野の周辺で文字を捕らえる傾向にあることが推測されたので、使用者の特性を詳しく計測し、文字の決定法を検討する必要がある。今後更に被験者数を増やし、実用場面を想定した計測を行うことで必要なデータを取得し、視線入力式コミュニケーション機器の開発を目指していきたい。

参考文献

- 1)伊藤和幸、数藤康雄；MS-DOS 上で稼働する走査入力式ワードプロセッサ用ソフトウェア、国立身体障害者リハビリテーションセンター研究紀要、第13号、57-63、1992

- 2) 北風晴司；コミュニケーション支援「トーキングパートナー」の開発と製品化、第8回リハ工学カンファレンス講演論文集、140-143、1993
- 3) 島山卓郎、田中理、飯島浩、松野史幸、上野忠浩；神経筋疾患に対する新しい入力法の提案、第5回リハ工学カンファレンス講演論文集、283-286、1990
- 4) 伊藤和幸、数藤康雄、内山幹男；表示依存型符号化入力キーボード代用装置の開発、第8回リハ工学カンファレンス講演論文集、144-146、1993
- 5) 数藤康雄、伊藤和幸、関育子、風間忠道、佐藤知恵子、内山幹男、亀田昇司；モールス・コードを基本にした符号化入力式コミュニケーション機器の実用化、第8回リハ工学カンファレンス講演論文集、147-149、1993
- 6) 伊藤和幸、数藤康雄、内山幹男；表示依存型モールス符号化入力式キーボード代用装置の開発、第11回リハ工学カンファレンス講演論文集、107-110、1996
- 7) 数藤康雄、伊藤和幸、酒井ひとみ；レーザー光源を用いた各種コミュニケーション機器について、第7回リハ工学カンファレンス講演論文集、317-320、1992
- 8) 山田光穂、福田忠彦；眼球運動による文章作成・周辺機器制御装置、信学論(D)、J69-D、7、1103-1107、1986
- 9) 山田光穂、福田忠彦；眼球運動など多様なセンサーで入力できるコミュニケーション装置、第13回感覚代行シンポジウム、16-19、1987
- 10) Young L. and Sheena D. ; Survey of eye movement recording methods, Behav. Res. Methods & Instrum., 7、5、397-429、1975
- 11) Hutchinson T. E., White K. P., Martin W. N., Reichert K. C. and Frey L. A. ; Human-computer interaction using eye-gaze input、IEEE Trans. System、Man & Cybernetics、19、6、1527-1534、1989
- 12) 坂本繁；アイマークレコーダの現状と将来、日本人間工学会第35回大会講演集、86-87、1994
- 13) 山田幸一；トークアイを用いた視線検出、日本人間工学会第35回大会講演集、88-89、1994
- 14) 伊藤和幸、数藤康雄；瞳孔中心点と角膜反射点追跡による視線検出法について、国立身体障害者リハビリテーションセンター研究紀要、第16号、89-94、1995
- 15) 山田光穂、福田忠彦；画像における注視点の定義と画像分析への応用、信学論(D)、vol.J69-D、1335-1342、1986
- 16) 福田忠彦、渡辺利夫；外界から情報を得るときの目の動き—注視点の定義、ヒューマンスケープ、106-118、日科技連出版社、(東京) 1996