次世代ナチュラルユーザインタフェース 『視線入力』

蜂 巣 健 一†

1. まえがき

アイトラッキングは、どこを見ているか、厳密にいうと、眼球の向きを測定する技術である。この技術は、およそ半世紀にわたり、主に学術研究の分野で育まれてきた。2000年頃、技術的な革新があり、より簡単に測定できるようになるとともに、被験者の負担も軽くなって、取得データの精度も格段に改善された。その頃から、アイトラッキングを使った学術論文の数が飛躍的に伸びた。さらには、学術研究に留まらず、マーケティングリサーチやインタフェースでの応用も加速度的に広がっている。

2. 眼球運動とアイトラッキング

アイトラッキングは、被験者が、対象物の上を視線がどのように移動するかについて計測する。人間の目は、どこかに注目するまで絶えず動いている。目の動きには、サッカード、停留、滑らかな追跡など、10種類以上のタイプがある。その中で、何かをじっと見つめるために視線が留まっている状態を“停留”と呼ぶ。また、停留間の移動を“サッカード”と呼ぶ。停留において視線が留まっている時間は約100～600 ms、この間に脳は目から受けた視覚情報を処理する¹⁾。

サッカードは、停留から停留までの非常にスピードの速い視線移動である。また、サッカードの平均時間は約20～40 msである。この間、視線の情報は脳に伝達されない。人間の目は、約200°の視野を持っているが、網膜の明るさを検知する細胞の大部分は、中心窩と呼ばれる部分に位置している。色を認識できるのは、この中心窩だけである。中心窩は、視覚のわずか1～2°しかカバーしていない（これは例えば、腕の長さほど先の、親指の爪の大きさぐらいである）。脳に高解像度の視覚情報を届けられるのは、この中心窩の細胞だけである。

人の認知可能なエリアは、中心窩による視野、すなわち、

中心視野よりやや広く、例えば、横書きの文字列を読むときには、右に12～15文字、左に3～4文字、すなわち、約18文字分の知覚可能なエリアが中心視野のまわりに非対称的に存在するということを示している。中心視野の外側にある周辺視野では、低解像度のイメージを見ることができない。周辺視野は低解像度だが、動きやコントラストを判別することはできる。目を休めている時、目を動かすことなく、ものを見ることもできる。しかしながら、多くの場合、脳は中心窩の外側にある複雑な情報はほとんど処理することができない。そのため、中心窩による中心視野を知ることが有効である²⁾。

さらに、周辺視野からの不鮮明な視覚情報は、中心窩からの視覚情報と比べてより多くの処理が必要となるため、周辺視野より中心窩からのデータに集中する方が効率的である、と脳は考えている。視線が停留すること（目標物上に留まるか、目標物にとっても近づくこと）は、それがはっきりと見えているということ意味する。視線が商品棚の商品パッケージに停留する、あるいは近づくことがなければ、商品は見られることがない、例えば、その商品パッケージに書かれたテキストは読まれなかったといえる。アイトラッキングは、中心視野の移動や停留した点を記録する。視線の動きを分析することで、消費者行動を明らかにすることができるかもしれない。通常、停留の長さは、脳が目からの視覚情報を解釈するだけではなく、情報処理や認識処理をする時間でもある。例えば、リーディング調査においては、なじみのある言葉の方があまりなじみのない言葉に比べ、停留の長さが短いということが証明されている。また、停留点の数は、見つけやすさを表す。例えば、検索プロセスが効率的な商品パッケージの方が、停留点の数が少ないということになる。

3. アイトラッキング技術を活用した 「視線入力」

図1に示すのは、アイトラッキングの技術構成と手法である。近年、アイトラッキングでは、主に角膜反射法という方法が用いられている。イルミネータで近赤外線を発光して角膜に照射し、その角膜の様子をセンサで捉えて解析

† トビー・テクノロジー株式会社

"Display User Interface (2): Next Generation Natural User Interface, Tobii Eye Tracking: Eye experience" by Kenichi Hachisu (Tobii Technology K.K., Tokyo)

図1 アイトラッキングの技術構成と手順

するということである(図1①)角膜に近赤外線を照射する目的は二つある。一つは瞳孔点を捉えることであり、もう一つは反射点を作ることである。

角膜反射法の場合、近赤外線が角膜に届かないと話にならない。まずは眼瞼(まぶた)を避けるため、イルミネータをやや下側に配置することが望ましい。下側に配置しないとまったく機能しないという訳ではないが、視線データの取得率が格段に落ちる可能性がある。目が細い、目が小さい、というレベルでは大きな問題にならないが、眼瞼が重くなっている高齢者などでは支障がある可能性がある。また、逆さまつ毛、マスカラなども近赤外線の照射を妨げ得る。

アイトラッキングの場合、瞳孔点、すなわち眼球の位置を捉えることができなければ始まらない。瞳孔を捉える方法には、明瞳孔法、暗瞳孔法の二つがある。明瞳孔法は、カメラの“赤目現象”と同じで、瞳孔を明るくすることで瞳孔の位置を捉える方法である。逆に暗瞳孔法は、瞳孔を暗くすることで瞳孔の位置を捉える方法である。明瞳孔法は、白人などの虹彩の色が薄い人に向いていて、暗瞳孔法は、アジア人などの虹彩の色が濃い人に向いている。すなわち、アジア人でも、月齢の低い幼児の場合は明瞳孔法の方が向いている。歴史的に、欧米メーカは明瞳孔法に強くアジア系メーカは暗瞳孔法に強い、という傾向があるが、一人でも多くの人の瞳孔点を捉える、すなわちロバスト性を高めるためには、ユーザの眼球の状態に応じて明瞳孔法と暗瞳孔法を使い分ける必要がある。さらには、使用するデバイスに応じて、近赤外線の当て方、イルミネータの数や位置など、用途に応じたシステム構成が必要となる。

仮に、明瞳孔法あるいは暗瞳孔法を用いて、動き回る瞳孔点を捉えることができたとしても、それだけでは眼球の

向きはわからない。眼球の向きを割り出すためには、近赤外線の照射によってできるもう一つの点、基準点(反射点、あるいはプルキニエ像)が必要になる(図1②)。角膜上の2点、動き回る瞳孔点と動かない基準点の位置関係を捉える(図1③)ことで、眼球の向きを計算することが出る。ただし、この2点は“円”の上にあるのではなく“球”の上にある。しかも、その“球”は人によって大きさが異なる。眼球の向きを正確に計算するためには、前提として、その人の眼球の大きさを想定しなければならない。そのためには、3Dモデルのデータベースと、そのデータベースの中から最適な3Dモデルを選ぶための補正(キャリブレーション)が必要となる。すなわち、何点かポイントを見てもらい、それぞれのポイントのときの眼球の状態を踏まえて、3Dモデルを特定する(図1④)。瞳孔点と基準点、2点の位置関係と、選ばれた3Dモデルをベースに、専用のアルゴリズムを用いて眼球の向きを計算する(図1⑤)。この一連のプロセスにより、60 cm先であれば直径1 cm単位で、腕の長さほど先であれば親指の爪の大きさぐらいの精度で、どこを見ているかを探り当てることが可能になる。

この精度に悪影響を与えるものとして、眼鏡が挙げられる。近年対策と改善が進んでいるが、いまだ課題は残る。例えば、眼鏡によって眼球の大きさを誤認識することがある。乱視や遠視用の眼鏡の場合、この傾向が強まる。また、直射日光等により眼鏡のレンズが全反射してしまえば、眼鏡の向こうの眼球の様子を捉えることができなくなる。コンタクトレンズも悪影響を避けられない。ソフトコンタクトレンズであれば、角膜全体を覆い、ほぼ固定されているため、影響は少ないが、ハードコンタクトレンズの場合は、眼球とともに動くので誤認識の元になる。また、

図2 福祉分野におけるアイトラッキング技術の活用

カラーコンタクトレンズで着色型のものも、角膜の正しい状態を把握する妨げとなり、精度に悪影響を与える。

アイトラッキングの場合、眼球の動きだけでなく、頭の動きも影響する。かつては、顎台などを使用して頭を固定しないと眼球の向きを計算できなかったが、現在は頭を固定しなくても、頭の動きも考慮して眼球の向きを計算することができる。頭を固定しなくても視線を計測できるようになったことで、人の自然な動きを大きく妨げることがなくなったといえる。

アイトラッキングが記録する、中心視野の移動や、停留した点は、調査だけではなく入力としても活用できる。前述の通り、アイトラッキング技術を使えば、60 cm先で直径1 cmという精度で、どこを見ているかがわかる。すなわち、直径1 cm程度のボタンであれば、そのボタンを○秒間見ていたらクリックしたことにするとか、瞬きしたらクリックしたことにするなど定義することで、眼球の動きでパソコンを操作できるようになる。

4. 「視線入力」応用例

筆者らは、2004年から、福祉の分野でアイトラッキング技術を活用したパソコンを提供している。図2にその一例を示す。ALS(筋萎縮性側索硬化症)、SMA(脊髄性筋萎縮症)等の運動ニューロン疾患(MND)、脳性まひ、脳卒中などの脳血管障がい、筋ジストロフィー、レット症候群、脊髄小脳変性症・多系統萎縮症、せき髄損傷など、手足の自由がきかない、発語できない方を対象としている。手足の

自由がきかず発語できなくても脳は正常に機能していて眼球は動く、という方は少なからず存在する。アイトラッキング技術を活用したパソコンがあれば、眼球の動きでパソコンを操作でき、そのパソコンを車いすに装着することで移動もできる。さらにパソコンに発語させて、他の人とコミュニケーションをとることもできる。

ただ、アイトラッキング技術を福祉ではなく、マスマーケットで活用しようと考えたと話は変わる。福祉の分野では、眼球しか動かないというユーザが多数存在するため、眼球の動きだけですべての操作を行わなければならない。マスマーケットの場合には、眼球以外に例えば、手足も使えるため、眼球の動きだけですべてをやり切る必要はない。アイトラッキング技術は眼球に向けた操作にのみ使い、他の操作は他の入力技術に委ねるとするのが常道である。

一例を挙げると、アイトラッキング技術は、何かをポインティングするのにはとても向いている。一定の分解能であれば、正確にポインティングすることが十分に可能であるからである。そのため、次のような操作に向いている。まず「セレクト」が挙げられる。何かを選択する時に視線を用いるのである。選択した後のクリック動作は、タッチ、音声など、他の入力装置で行うのが望ましい。視線で決定させようとする、特定の箇所を数秒間見続けたり、瞬きしたり、不自然な操作が必要となったりするためである。また、「スクロール」や「パン」など、画面を上下左右にスライドさせる操作にも向いている。画面の上側を見ると上方向にスクロールし、下側を見ると下方向にスクロールす

る。読み進めるのも読み返すのも自然に行うことができる。

次に、画面の左側を見ると左方向にパーンし、右側を見ると右方向にパーンする、という操作も可能である。テキストを読んだり、Webサイトをブラウジングしたりするのにとても便利である。「スクロール」や「パーン」の場合、自動で操作するのがいいときと悪いときがある。ついては、オートに加えてマニュアル、すなわち、例えば、何か他のボタンを押していないと「スクロール」や「パーン」をしないというように、オートとマニュアルを切替えられるようにするのが望ましい。それは、オートであるがためにデバイスが本人の意思に反した動きをすることを防ぐためである。

さらに、アイトラッキング技術は「ズーム」にも便利である。ズームをする場合には、どこを中心にズームインするか、決めないといけない。この中心を決める作業をマウスで行おうとすると、右クリックをしながらドラッグするというのを何度か繰り返す必要があり、操作が面倒である。アイトラッキング技術を使えば、中心としたいところを見ていると、中心としたいところが中心にきて、そこを中心にズームインをする、という一連の操作を直感的かつスムーズに行うことができる。地図の操作などにとっても便利である。加えて、アイトラッキング技術ではないが、頭の動きをトラッキングし、視線の動きと頭の動きを組合せることで、中心の決定とズームイン/ズームアウトを直感的に行うこともできる。

また、複数の作業を同時に行う場合、複数の画面を開いて画面を一覧したり、特定の画面に切替えたりするのは煩わしい操作である。そんな時も、アイトラッキング技術を使えば、作業したい画面を見ることで、直感的に「画面切替え」を行うことができる。

しかしながら、アイトラッキング技術は、決定や実行といったコマンドには向いていない。福祉の分野では、〇秒間見続けたり瞬きしたりということで決定を行うが、マスマーケットにおいては、視線入力による決定を強いるとユーザにとって過度の負担となり、日常的な使用には耐えられないと考えられるからである。

ここまで紹介した操作は、すべて視線だけで行うことも可能である。しかしながら、前述の通り、視線だけで完結するのはユーザに大きな負担をかけかねない。また、視線で操作しようという意思がないのに、デバイスが視線を拾って勝手に動作してしまうのは避けないといけない。したがって、他の入力方法と組合せるマルチモーダルとするのが一般的である。

では、アイトラッキング技術はどのようなデバイスに向いているのだろうか。アイトラッキング技術は、デジタルサイネージのような不特定多数のユーザを対象にするものには向いていない。現時点では、複数の人や視線を捉えることを想定しておらず、また、一人一人に対して補正(キャリブレーション)を行う必要もあるからである。すな

わち、1デバイスに対して1ユーザであれば、どのようなデバイスでも実装の可能性があると思われる。

想定されているのが、ノートブックやAIO(オールインワン)パソコンである。アイトラッキング技術を実装すれば、前述のような「セレクト」、「スクロール」、「パーン」、「ズーム」、「画面切替え」を視線入力で行うことが可能になる。マウスによる能動的な入力が不要になるので、操作がより自然になり、作業の効率性向上や生産性向上が期待できる。

次に想定されるデバイスはタブレットである。雨で傘をさしている時、混み合う電車の中で吊革につかまっている時、手提げ鞆を持っている時、子供を抱いている時など、片手がふさがっている時、タブレットやファブレットなどはスマートフォンと違い、残った片方の手だけでは操作できない。タッチするにも、デバイスを握りながら、唯一自由であろう親指だけでは画面のいろいろなところをタッチするのは難しい。加えて、静かな場所や混み合う場所など、音声認識やジェスチャ操作など、他の方法がふさわしくない場合も多い。その点、アイトラッキング技術を用いれば、第3の手ともいえる、視線でポインティングして親指で画面のどこかをタッチして決定する、ということが可能である。

さらには、両手がふさがっている場合も有効である。医療現場では、施術のために両手がふさがっていたり、手術室の細菌汚染防止のため両手を使えなかったりする場合がある。両手がふさがっているために、ジェスチャ操作は難しいし、マスクをしていることも多いため音声認識も難しい。その場合、視線を入力に使えるととても便利である。医療に限らず、両手を使う作業は数多くあり、その場合に視線を入力に使えるのは有用である。

自動車の運転も、両手がふさがる一例である。カーナビゲーションシステムは、運転者の正面にあるとは限らない。かなり下方で、見にくく操作しづらい場所にあることが珍しくない。カーナビゲーションシステムのディスプレイは、遅かれ早かれヘッドアップディスプレイに置き換わり、フロントガラスの内側付近に投影されることになる。その場合、カーナビゲーションシステムをタッチで操作するのはさらに難しくなる。そこで視線入力を使えば、ヘッドアップディスプレイを視線でポインティングし、ハンドル上の決定ボタンや音声認識で決定する、という自然な操作が可能となる。運転中は両手がふさがっているため、ジェスチャ操作はあまり向いていないと思われる。自動車の運転の場合、眼球の動きを計測するメリットは、カーナビゲーションシステムに留まらない。よそ見や居眠りなどを検知し、その状況に合わせて自動車自体が警告したり減速したりして、運転者をサポートする動きをすることも可能になる。

5. 「視線入力」今後の方向性と可能性

アイトラッキングモジュールのサイズとコストを踏まえ

ると、まずはゲームや医療など、法人向け製品での採用が先行する可能性が高い。

ゲームは、家庭用ゲーム機よりは、アーケードゲーム機やパチンコ・パチスロなど、業務用ゲーム機への実装検討が進んでいる。ゲームにおいても、前述のような「セレクト」、「スクロール」、「パーン」、「ズーム」、「画面切替え」などを視線入力で行うことになると思われる。既存のゲームタイトルに視線入力機能を付加することもできるが、アイトラッキングならではのゲームタイトルの登場が望まれる。家庭用ゲーム機搭載のためには、一層のダウンサイズとコストダウンが必要となるが、一部のプロゲーミングには、新しいゲームエクスペリエンスとして、いち早く受け入れられそうである。本年には、アイトラッキング技術を使ったPCゲーム用周辺機器の販売開始が予定されている。

医療分野では、前述のように、施術のために両手がふさがっていたり、手術室の細菌汚染防止のため両手を使えなかったりする場合に視線入力が役に立つ。加えて、両手がふさがっている場合に限らず、増え続ける患者の診察の効率性を高めるためのツールとしても有用である。また、キオスク端末、案内ディスプレイ、ベッド脇のテレビやパソコンなど、病院や病室のいたるところに存在するインタフェースを、患者にやさしいユニバーサルなものにするために使われる可能性もある。例えば、松葉づえで両手がふさがっていたり、手足が不自由だったり、自力で起き上がることが困難だったりする患者にとって、現在の病院のインタフェースは必ずしもやさしくない。

その次に実装が期待されるのは、前述のように、デスクトップ、AIO、ノートブックなど、個人向けのパソコンである。すでに、一部メーカの製品に実装されているが、アイトラッキング技術の実装がさらに広がれば、前述のような「セレクト」、「スクロール」、「パーン」、「ズーム」、「画面切替え」などを視線入力で行うことが一般的になり、マウスはなくなるか、補助的な入力装置になるかもしれない。

片手で使用することもあり得るタブレットは、視線を使えると便利であることは間違いない。ただし、パソコンと異なり、デバイスと人の距離や位置関係、さらには、屋内に限らず屋外での使用も想定されるなど、使用環境のバリエーションが格段に増える。パソコンに比して、クリアしなければいけない課題は多いと思われる。

ウルトラブックになると、筐体の厚さが薄くなるため、パフォーマンス以前に、イルミネータやセンサの厚さが問題になる。しかしながら、アイトラッキングモジュールの一部は、チップ化が視野に入っているため、サイズの柔軟性は高まる。またチップ化によって、サイズだけではなく、大きなコストダウンも実現するものと思われる。

また、アイトラッキング技術の相性のよい端末として、グラス型のウェアラブル端末が挙げられる。グラス型の場合、言うまでもなく操作に視線を使うのはごく自然である。

バーチャルに広がるディスプレイを見ながら操作する時、音声認識やボタンでは快適な操作は難しい。視線でポインティングし、音声認識やボタンで決定するという組合せが有効であると思われる。

前述の通り、自動車とアイトラッキング技術は相性がよく、すでに実際に搭載する試みは始まっている。しかしながら、ロバスト性、精度、確度など、通常、アイトラッキング技術に求められることだけをクリアしても製品化は難しい。温度、湿度、振動など、自動車ならではの要求にあっていく必要がある。一方で、必要条件を満たすことができれば、アイトラッキング技術がもたらす付加価値は大きい。具体的には、カーナビゲーションシステムの操作に留まらず、歩行者や交通標識の見落としを検知したり、視線の動きから運転者の疲労度などの状態を把握したり、その情報を受けて、自動車が能動的に運転者をサポートしたりすることも可能になる。

ゲーム、医療に始まり、パソコン、タブレット、ウェアラブル端末、自動車など、ありとあらゆる端末にアイトラッキング技術が採用されていくと、膨大な量の視線データがクラウドに吸い上げられることになる。吸い上げられた視線データの活用範囲は広い。何を見たかということは人々の注意や興味を表しているもので、視線に応じて広告を表示することにより、一層効果の高い広告サービスが登場するかもしれない。また、人々の生体情報を把握しているので、いろいろな健康管理サービスを提供することができるかもしれない。

以下に、さまざまなタイプのアイトラッキング製品の例を示す。上述の目的や用途に応じて、適切な装置が選択できるようになっている。

ソフトウェア開発キット (SDK) と組合せることにより、視線入力アプリをすぐに開発できる。視線データ分析も可能である。

図3、図4は、従来の眼鏡型アイトラッキングのような突起物がなく、スタイリッシュなデザインの次世代モバイルアイトラッキングで、被験者に負担をかけずに自然な振る舞いのなかでデータ収集ができる。

図5は、産業用のインタグレーションのための組込型アイトラッキングシステムで、ゲーム、コンピュータインタ

図3 ポータブルアイトラッキング

図4 グラス型アイトラッキング

図5 組込型アイトラッキングシステム

ラクシオン、医療、自動車、セキュリティなど、さまざまな分野の製品への組み込みを手軽に行うことができる。

図6は、録音した会話、メッセージ、音声・音楽などを注視またはタッチするだけで再生できる拡張・代替コミュニケーション装置である。

図6 アイトラッキング技術を利用したコミュニケーション装置

6. むすび

アイトラッキング技術は、学術研究で生まれ、その後、マーケティングリサーチに広がった。時を経ずして、インタフェースとしての活用が始まり、今、福祉からマスマーケットに広がろうとしている。業務用機器、ノートブック、タブレット、ウルトラブック、ウェアラブル端末、自動車など、ありとあらゆるデバイスに広まっていくことで、膨大な視線データが蓄積されていく。やがて、視線計測データに留まらず、他の生理計測データ、脳計測データなども追加されていくだろう。倫理面も整備しながら、データが正しく活用され、人々の生活を豊かにしていくことが期待される。

(2014年4月25日受付)

〔文 献〕

- 1) K. Rayner: "Eye Movements in Reading and Information Processing", 20 Years of Research (1998)
- 2) R. Pieters and M. Wedel: "Informativeness of eye movements for visual marketing", six cornerstones (2007)

はちす けんいち
蜂巣 健一 早稲田大学法学部卒業。東京工業大学大学院中退。伊藤忠商事に約10年在籍し、マッキンゼー・ジャパンを経て、その後、技術ベンチャー企業の経営に携わる。検索エンジン、デジタルメディア、アイトラッキングなど、最先端技術を軸にした事業推進に強み。2011年より、トビー・テクノロジー日本法人代表取締役社長。