

# サッカードと固視微動による疲労評価装置の開発

大友 隆秀<sup>\*1</sup> 望月 信哉<sup>\*2</sup> 星野 祐子<sup>\*1</sup> 山田 光穂<sup>\*1</sup>

## Development of a Fatigue Evaluation System by Saccades and Fixational Eye Movement

Takahide Otomo<sup>\*1</sup>, Shinya Mochiduki<sup>\*2</sup>, Yuko Hoshino<sup>\*1</sup> and Mitsuho Yamada<sup>\*1</sup>

**Abstract** - Advanced system such as face authentication or iris authentication has become available with familiar devices such as smart phones. These are the benefits from advancements in information technology and the spread of high-performance image processing cameras. Physical condition evaluation systems using face information have attracted attention from fields such as medical care and driving support technology. Various studies of eye movements are reported that human eyes are affected by body and mind condition. We developed an eye-movement-based fatigue evaluation system using an inexpensive gaze measurement device for general-user. This paper presents results confirming the performance and practicality of the system that we developed.

**Keywords:** Fixational eye movement, Saccades, Blinks, Fatigue evaluation

### 1. はじめに

眼は視覚情報の取得だけでなく、感情や興味度、集中度など多くの情報を表出する。眼球運動から生理評価を試みる研究は昔から数多くあり、固視微動を基本に様々な報告がされている。例えば、小濱らは固視微動のマイクロサッカードに注目し、運動の頻度と振幅から視覚的注意の定量的観測の可能性を示した<sup>[1]</sup>。同様に Engbert らもマイクロサッカードから視覚的注意の方向が推定可能と示した<sup>[2]</sup>。その他にも固視微動のトレモアよりパーキンソン病などの難病の兆候が確認可能という報告もある<sup>[3-4]</sup>。また、統合失調症と探索眼球運動の関係の調査報告もある<sup>[5]</sup>。これらの研究より眼球運動は常に一定ではなく、心身の影響を受けて動きが変化することが分かる。情報技術の進歩によりカメラが高性能化し、顔画像から体調評価を行うシステムが医療や運転支援の分野で盛んに研究が行われている。これに眼球運動の情報を加えることで、更に高い精度の評価システムの開発が期待できる。しかし、眼球の動きは微小で顔情報と比較すると一般的なカメラでは取得が困難である。また、眼は形状や眼鏡の有無などの個人差が大きく、精度に影響が生じ易い。これらの解消のために高性能な装着型の測定装置を用いても眼球近くの測定用カメラにより見え方に違和感が生じる。装置が高価になる。といった課題ができる。本研究では被験者の負荷を減らしつつ、装置の費用を抑えることを目的に一般利用者向けの安価な非接触型の視線入力装置を用いた疲労評価システムの開発を検討した。

### 2. 固視微動とサッカード

眼は一点を注視している時も完全に静止してはおらず、固視微動という微小な動きを無意識に続けている<sup>[6-7]</sup>。(1)トレモア:固視微動内で最も小さい動きで、振幅は1分以下である。周波数成分は100Hz程度までの不規則運動。最高速度は20分/秒に達する。(2)ドリフト:マイクロサッカードの合間に行われる運動で、頻度は注視時間の9割程。振幅は6分程度で0.3~0.8sec持続する。最高速度は30分/秒程度である。(3)マイクロサッカード:3種類の成分中、最も大きい運動で、ステップ状の動きをもつ。振幅は6~120分までの範囲で周波数成分は3Hz以下。0.02~0.03sec程度持続する。速度は10deg~120deg/sec程度である。固視微動を意図的に完全静止させると視覚像が消失することが報告されている<sup>[8]</sup>。よって視覚情報を得るにはこれらの動きが必要不可欠であると言える。一方のサッカードは固視の対象を変えるための非常に高速な動きで最高速度は600deg/secを超える<sup>[9-10]</sup>。持続時間は100msec程度で、反応までの潜時は200msec以上とされている。この運動は振幅と方向に依存し最高速度や持続時間が定まる。また、予め移動方向へ注意を向けさせておくことで潜時が短くなることも報告されている<sup>[11]</sup>。

### 3. CFF 値

CFF(Critical Fusion Frequency: 臨界融合頻度)は高次の視覚特性で、CFF 値は精神疲労により低下する。この値は末梢性の疲労以外にも中枢性の疲労指標としても有用であり<sup>[12]</sup>、疲労の測定方法として広く用いられている。今回はこのCFFも同時に測定し、疲労評価の一要素とした。測定は上昇法(光を点滅させる時ゆっくりであればちらつきを認識できるが、それが早くなるとちらつきが認

\*1: 東海大学大学院 情報通信学研究科

\*2: 東海大学大学院 総合理工学研究科

\*1: Graduate School of Information and Telecommunication Engineering, Tokai University

\*2: Graduate School of Science and Technology, Tokai University

識できなくなる。この様に点滅の早さを低速から高速にする方法)と下降法(上昇法の逆の方法)の2方法で光のちらつきが識別可能な最大の値(最大 CFF 周波数)を調べた。

#### 4. 実験手順

本実験では疲労より生じる眼球運動の変化から疲労評価を行う。疲労用の課題は手軽で個々の体力にあまり依存しない3D映画の視聴とした。被験者は立体視機能に問題のない21～22歳の学生8名で、映画は「James Cameron: Avatar(160min)」と「Walt Disney: 塔の上のラパンツェル(100min)」の2種類とし、前者を動きが激しく時間の長い映画。後者を動きの穏やかで時間の短い映画と設定して被験者を2組に分け、いずれか一本の映画を視聴させた。映画はプロジェクタでW:262cm,H:147cmのスクリーンに表示する。なお、視聴距離は440cmとスクリーンの高さの約3倍とした。計測は映画視聴前、視聴後と更に2回目の計測の後1分間目を閉じ休憩した後の計3回で実施した。この3回目は視線情報のサンプル数を増やすことと短時間でも目を閉じることで回復効果が生じるかを調べるために行った。目を閉じるという行為は着席状態で簡単にでき、実施時間の指定が可能であるため、これを休憩方法とした。計測では視線情報とCFF値の2つを測定する。実験の開始前と終了後に体調評価アンケートを記入してもらい、体調を記録する。

##### 4.1 実験環境

実験用機器を表1に示す。実験を行ったシールドルームの室内照度は69.7Lux(映画視聴時は消灯する)で、空調機は被験者の体調を考慮し視聴中も動作させた。Tobii EyeTracker4Cはモニターに固定する角膜反射法を用いた非接触の視線入力装置で装置を身につけずに測定ができる。実験では頭部運動の影響を抑制し、視距離を一定にするためにあご台を用いて被験者の頭部をモニターから60cmの位置に固定した。また、測定中の被験者の顔をカメラで録画した。装置の配置イメージを図1に示す。測定前に装置の校正を行い、入力に問題がないかを確認する。校正アプリケーションに付属する確認用の機能で画面に8個の円形視標を画面に表示し、それぞれを5秒ほど注視してもらい被験者の固視位置と取得される固視位置が一致しており、大きなブレがないことを確認する。ブレがあった場合は再度、校正を行ない上記の手順を安定するまで繰り返した。なお、3回以上繰り返してもブレが抑制されなかった場合は8個の視標の内4、5個に対して3秒程度の停留ができた状態で計測を実施した。

##### 4.2 測定方法

測定前に練習用プログラムで指標が正常に見えるかを確認し、操作方法を教示する。測定用のプログラムの指標の配置は3回の計測で全て同じである。そのため、配置の記憶を防ぐために位置を記憶しようとせずに視標が

移動した後、それを瞬時に追う様に実験前の手順説明時と練習時で2回教示した。練習後、操作方法に不明な点がないことを確認してから測定を行い視聴前の眼球運動情報とCFF値を取得した。そして、映画の視聴後に2回目の測定を行う。この計測後、被験者に目を閉じる様に指示し目を1分閉じて休憩してもらい、これを終えた後に3回目の測定を実施した。

表1 実験に使用した機器

Table 1 Experiment equipment list

眼球運動測定	Tobii Technology Tobii EyeTracker 4C
装置動作 PC	FRONTIER FRXN770/C Intel®Core™i7-7700HQ (2.80GHz)
画面記録	OBS Studio, Tobii Gaze Overlay
顔の映像記録	Sony FDR-X3000(60fps/sec)
固視点の表示	Mitsubishi Electric Corporation FHD Monitor RDT231WLM
CFF の測定	Takei Scientific Instruments Co.,Ltd. T.K.K.501c FLICKER FUSION APPARATUS
3D 映画表示	Sony VPL-VW500ES

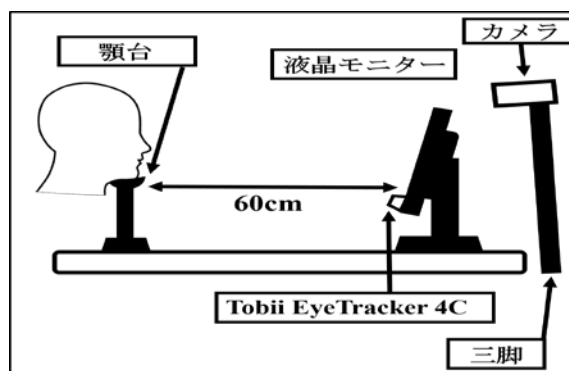


図1 眼球情報の測定環境

Fig.1 Image of measurement environment

#### 5. 計測装置とシステム

本研究では安価な視線入力装置として Tobii Technology 社の Tobii EyeTracker4C を使用した。本機のサンプリングレート 90Hz は当システムの開発を行った 2017 年時点の一般向け非接触型アイトラッキングデバイスの中で最も高い数値である。本機は画面上の視線位置をモニターのピクセル単位で取得するので、最小値は変動なし(0 pixel)を除くと 1 pixel になる。指標表示用モニターの画素ピッチは 0.265mm でサンプリングレートの 90Hz と視聴距離 60cm を考慮すると分解の限界値は約 11msec で 0.0253deg が限界値となる。よって、極めて微小な動きのトレモアとドリフトは計測が不可能である。そのため、本システムは変動なし(0 pixel)をドリフト以下成分としている。

##### 5.1 固視点表示

本研究では固視微動とサッカードの2種類を測定する

ために直径 0.7deg の円形視標(以後、固視点と表記)を表示するプログラムを Visual Studio 2017 を使い C# 言語で作成し、注視とサッカードのコントロールを図った。本プログラムは 5 秒間隔で位置が変わる固視点を画面上の指定位置に順番に表示する。固視点の配置と順番を図 2 に示す。表示される固視点は常に 1 点で同時に複数表示されず、表示開始から 5 秒後に次の位置に現れる。被験者は固視点が表示されている間はこれを注視し続け、位置が変わったらそれを瞬時に追って再び注視を行う。この動作を固視点が画面から消えるまで繰り返す。なお、固視点は静止しているため、追従運動は発生しない。プログラムを実行すると画面中央に「開始」ボタンが表示される。これを被験者がマウスクリックすると処理が開始され、最初の固視点が画面中央に描画され、以降は自動で描画がなされる。表示回数は 19 回で、表示時間は計 95 秒となる。内周から外周に移る前に距離を均等にするため再度、中央の固視点を表示し注視位置を画面中央に戻した。よって、固視点 1 のみ複数回提示された。配置間隔は水平方向に 9.5deg、垂直方向に 4.3deg とした。外周(11 番以降)と中央固視点の距離はこの 2 倍の値である。

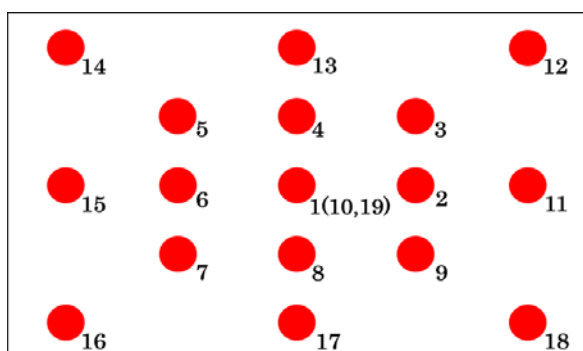


図 2 固視点の配置図

Fig.2 Image for fixation target position

## 5.2 記録方法

眼球情報の記録は同社の SDK(C#)を用いて作成したものを使用した。これより固視点への注視時とサッカード時の視線位置と目の 3 次元情報を取得する。なお、取得した測定中の奥行き情報の平均値を解析用の視距離とした。また、眼の 3 次元情報の値は瞬きなどで目が検出できなくなると全て 0 になる。これより瞬きカウンターを作成した。カウンターのアルゴリズムを図 3 に示す。これは通常時は ON の判定を目が検出不可となったタイミングで OFF にし、再度検出できる様になったら ON へと戻すという操作を繰り返し、瞬きの回数を記録するものである。なお、データはすべて csv 形式で出力される。

## 6. 解析方法

取得した視線情報からそれぞれの固視点に対応する注視点を求めるためにデータの分解を行う。記録プログラ

ムより得られた固視位置の座標を 1~19 の固視点番号で固視点毎のデータに細分化した。解析対象としたのは固視点 1 を除く 2 から 19 までの計 18 点である。固視点 1 は開始ボタンをクリック後、最初に描画される点であるが、被験者によってはマウス操作後に手を机の下に移動させる等の動作を行っており、その際に体や頭部が動いていることが顔を記録した映像より確認されたので統一性を考慮して除外した。今回は開始前にマウス操作後の姿勢についての指示を行っていなかったためこのような事象が生じた。なお、この除外した固視点 1 は固視点 10、19 と同じ位置のものであるため、データ数に影響はない。

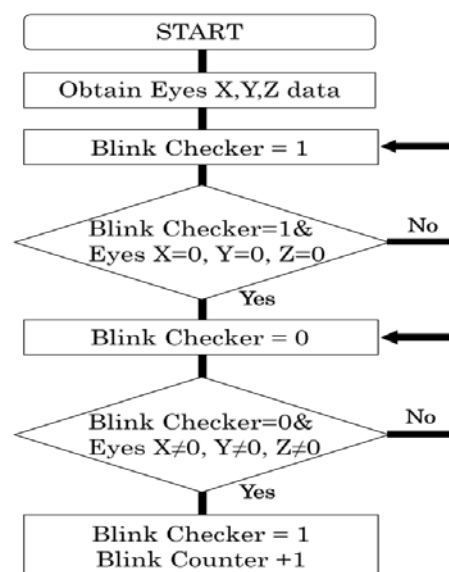


図 3 瞬きカウント機能のアルゴリズム

Fig.3 Algorithm of blink counter

### 6.1 取得データのフェーズ分け

眼球運動の解析前にデータを高速の跳躍運動成分と低速の注視成分に分ける。固視点番号で細分化した 5 秒分のデータを秒単位で更に分解する。固視点の表示位置が変わると同時に固視点番号も変わるため、固視点ごとのデータの冒頭部分は前の固視点への注視と次の固視点への移動成分が含まれている。視対象の移動からサッカードが行われるまでには常に 160msec 以上の遅れが生じる [7]。また、サッカードの持続時間は 100msec 以下程度でこれらを合わせると 250msec 以上となる。被験者によってはサッカードがオーバーシュートしており、注視までに更に多くの時間を要したケースも見られた。よって、固視点番号で 5 秒ごとに細分化されたデータの最初の 1 秒間に記録されるデータはその 3 分の 1 以上が注視成分ではないものと言える。そこで、固視点番号で細分化した 5 秒分のデータの内、最初の 1 秒間(固視点表示から 1 秒まで)をサッカードを含む「移動フェーズ」とし、それ以降の 4 秒(表示 1 秒後から 5 秒まで)を固視点への注視を行う「注視フェーズ」と分けて解析を行った。

## 6.2 注視の定義

6-1 で定義した注視フェーズは対象の固視点への注視と同定できる計 4 秒のデータであるが、これだけでは注視とは断定できない。一般画像を観察する際の注視は 2deg 程度の範囲で滑らかな動きのものだが<sup>[11]</sup>、今回は注視用の視標を被験者に提示しているため、より小さい範囲で注視を定義した方が適当と考え 1.5deg 以内の範囲内のものと定義した。この範囲内(以降は注視点と表記)のものを注視成分、これを外れたものは非注視成分として除外した。注視点の中心は注視フェーズの 4 秒分の座標値の平均値とした。なお、除外された非注視成分の多くは瞬きに起因していた。瞬きで目が非検出の間は視線情報が記録されないため、瞬きの時間が 100~250msec 程度なのを考慮し、1 データ前との時間差が 100msec 以上のものとその後 1 データずつをまとめて瞬きとして除外した。なお、被験者によっては画面下部を見た際に目の開きが狭くなり瞬間的に目が検出できなくなる現象が起きていたので、このデータも同様の方法で除外した。

## 6.3 サッカードの定義

サッカードは固視位置を変えるための高速の動きである。画像を自由に観察させた時、この視線データからサッカード成分のみを的確に抽出するのは非常に困難である。それはサッカードの振幅をマイクロサッカードと同程度まで小さくすることができるためである<sup>[6]</sup>。よって、振幅のみの判別は不可能と言える。本実験では被験者に固視点を提示することで視線移動を制限した。よって、次の固視点へ視線を移動させる時以外はサッカードが発生しないと仮定し、移動フェーズにあたるデータでサッカードの速度閾値 30deg/sec<sup>[8]</sup>の値を最初に超えたデータの 1 つ前を開始点とし、そこから注視フェーズのデータから求めた注視点内に最初に入ったものまでをサッカードとした。そのため本稿のサッカードは正確にはサッカード成分を含む固視点を追うための移動運動と言える。

## 7. 実験結果の解析

本稿では Avatar を視聴した 4 人についての結果を記す。注視フェーズより注視中の移動と注視点内の分布、瞬き回数について。移動フェーズより、サッカードの精度や反応時間についてそれぞれ解析を行った。また、それらを CFF 値の変化とアンケートによる評価ともに精査する。

### 7.1 注視解析

固視点 5,13,14,15,19 の注視成分について表 2 に示す。これらは表示中に瞬きがされた回数や注視点外となったものの少なく安定していたものを 4 人の被験者で見比べて選択した。なお、データ数は解析対象のデータの数を、括弧内の数字は対象外になったデータの数を意味する。安定して取得できていた固視点の多くは画面上部に表示されており、ブレの大きいものは画面下部に表示したも

のが多かった。これは画面下部を見る際、瞼が下がり目の開きが狭くなり検出が不安定になったことが原因と考えられる。注視の解析では対象とする n 番目の座標とその 1 つ前の n-1 番目の座標との差を求める。これにより注視中の移動量と 1 データ単位の平均移動量が分かる。また、各固視点で記録された座標値 X,Y の標準偏差を求めた。これはその固視点が表示されている間の記録座標のばらつきで、値が低いほど注視点内の狭い範囲に安定して注視がされていたと言える。なお、被験者欄の数字は測定回を表している。標準偏差や総移動量から判断すると被験者 A と C は視聴前(A1,C1)が B は休憩後(B3)が D は視聴後(D2)が最も安定した注視をしていたと言える。これは後述のアンケート結果と一致するものであった。

表 2 注視成分

Table 2 Gazing point component

被験者	データ数 (除外数)	1 データ当たり の平均移動量 (deg)	5 点分の標準 偏差の平均 [X+Y]
A1	1802(0)	0.0792	11.51996
A2	1804(0)	0.0893	15.40212
A3	1803(0)	0.1009	15.49002
B1	1803(0)	0.0778	14.14048
B2	1783(3)	0.0773	12.16328
B3	1804(0)	0.0676	12.05882
C1	1689(114)	0.2200	32.03468
C2	1568(239)	0.4251	44.28272
C3	1600(200)	0.3464	39.87590
D1	1732(35)	0.1247	23.47464
D2	1751(20)	0.1221	23.94242
D3	1648(80)	0.1914	25.91742

### 7.2 瞬き回数の解析

システムで記録された瞬き回数をカメラで録画した被験者の顔の映像で確認する。取得された瞬きの回数を表 4 に示す。なお、表の括弧内の数字は映像より確認した実際の回数である。瞬きに関しては実験前に自由に行う様に教示した。確認の結果、目の検出がうまく行われていた被験者 A,B,D の瞬き回数は正確に捉えていたことが分かった。一方で、検出が瞬間的に途切れた被験者 C は実際とは異なる回数となった。これは前述のアルゴリズムが目を検出できなくなってから再度、検出できるようまでを瞬きと扱っているためである。目が開いていても瞼が下がるなどの何らかの理由で目が検出できなくなるとこれと同じことが行われてしまう。よって本システムの瞬き検出機能は眼球検出が安定して行われる者には有効に作用したと言える。瞬き回数を比較すると被験者 A 以外の 3 人で増加していることが分かる。瞬きの回数は覚醒状態と関係があり、眠気状態で増加、集中状態では減少する<sup>[14]</sup>。このことから 3D 映画の視聴で疲労が発生し、集中力も低下していたことが伺えた。

表 3 瞬き回数

Table 3 Number of blinks

被験者	1 回目	2 回目	3 回目
A	2(2)	0(0)	0(0)
B	6(6)	6(6)	9(9)
C	1(0)	56(1)	21(1)
D	8(8)	9(10)	15(15)

### 7.3 サッカード解析

注視解析と同じ固視点(5,13,14,15,19)の移動フェーズ成分を表 3 に示す。速度について全ての被験者で視聴前と視聴後、視聴後と休憩後の組み合わせで t 検定を行ったが有意差はなかった。潜時に注目すると被験者 C 以外の 3 人は視聴前の潜時が僅かに短くなっている。しかし、一つ一つの潜時比較では大きな差はなく、1,2 個の固視点が突発的に時間が長くなっていることに起因していた。t 検定でも有意差は見られなかった。明確な差が現れなかったことについてはサッカードの分離方法がサッカードを正しく抽出できなかったことあったと考えられる。データ数も同じ視聴回のもので固視点の位置により大きく変わっていたこともこの可能性を示している。

表 4 サッカード成分

Table 4 Saccade component

被験者	データ数	平均持続時間(ms)	1 データ単位の平均速度(deg)	平均潜時(ms)
A1	66	146.6	1.20	299.9
A2	39	86.6	1.97	342.0
A3	54	119.9	1.58	330.9
B1	35	77.7	1.99	259.8
B2	49	108.8	1.40	282.0
B3	47	104.4	1.48	297.6
C1	50	111.0	1.63	297.6
C2	27	62.2	3.29	273.1
C3	76	171.0	1.47	302.0
D1	41	91.2	1.70	353.1
D2	43	95.5	2.74	355.3
D3	66	146.6	1.23	379.7

### 7.4 CFF 値の解析

3D 映画視聴前と視聴後、休憩後の 3 回の計測結果を図 4 に示す。これらの値は上昇法、下降法各 3 回ずつ測定したものの平均値である。被験者間で差はあるが全被験者とも視聴後の CFF 値が向上した。また、1 分間の休憩後は被験者 B と C のみ上昇し、A と D は低下した。一般的に作業後は CFF 値が低下するため、その変動より精神疲労を推定する。今回は 4 人とも課題後に値が向上しており、本課題が精神疲労を誘発しなかった可能性がある。

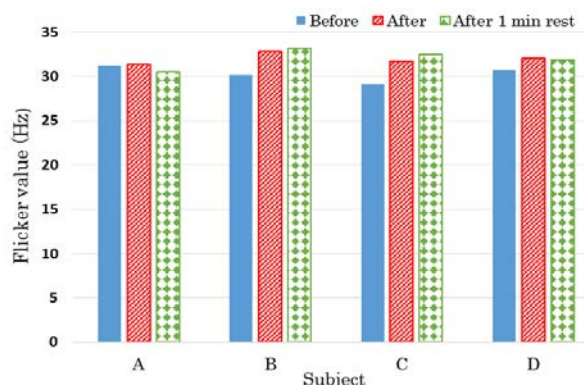


図 4 CFF 値の推移

Fig.4 Transition of CFF value

### 7.5 アンケートの解析

被験者アンケートでは視聴後の体調について自由に記述してもらった。自由記述ではまず、体の状態を記入してもらったが全員が肩や腰などの姿勢から生じる体への疲労を感じると回答した。また、目の状態についても被験者 D を除いて目の疲労を感じると回答した。中でも被験者 B は実際に視聴していた時間よりも長い時間テレビゲームをやった様な疲労感があると回答した。そして、最も指標への注視がしやすかった回について被験者 A と D は映画視聴後、被験者 B は休憩後、被験者 C は視聴前とそれぞれ異なる回答をした。注視解析より得られた結果との比較を表 5 に示す。被験者 A 以外の 3 人で注視情報の解析結果と同じ回を選んだという結果が得られた。

表 5 最も注視がしやすかった測定回についての自己評価と解析結果の比較

Table.5 Comparison of self-evaluation and experimental results

被験者	自己評価	注視解析の結果
A	2	1
B	3	3
C	1	1
D	2	2

## 8. 考察

表 2 の結果より、注視点内の注視成分はその移動量や視線位置の広がり(標準偏差)の変化より疲労測定に有効という結果を示した。一方でサッカードにはあまり変化が見られず、有効ではないという結果になった。これはサッカードの分離方法が適切ではなく明確にサッカード成分を分離できなかったことが原因と考えられる。サッカード時のデータの乱れは安定したデータがとれた被験者とそうでない被験者間で大きな差があり、特に被験者 C にはこれが強く現れていた。前述した様に画面下部を見る時は顔が下がり目の開きが狭くなり、注視時、サッカード時を問わず検出が不安定になる場合がある。これ

により、限られた固視点への注視以外の成分は被験者の目の開き具合から影響を受けており、精度やデータ数が被験者の個人差によって左右されてしまった。更に、サッカードは弾道運動と呼ばれる運動であらかじめ小脳でその動きがプログラムされた運動である<sup>[15]</sup>。そのため疲労の影響が出なかった可能性もあるためサッカードを指標に利用するためには厳密な精査が必要であると言える。

## 9. まとめ

安価な視線入力装置を用いて眼球運動による疲労評価システムの開発を行った。その結果、注視中のデータから固視位置の広がりや移動量から疲労評価の可能性が示された。しかし、サッカードのデータは明確な分離が困難で、同一の被験者でも精度に差が生じてしまい要素としての利用することの困難さが伺えた。また、被験者が見ている位置によっては精度に差が生じ、特に画面下部の固視点からのデータは乱れが大きくなった。つまり、測定用の指標は画面中央部より上など見る際に目が開く位置に配置する必要がある。今回は4人全ての被験者で3D映画視聴後のCFF値が上昇したが、被験者の自己評価と注視成分の解析より眼精疲労の発生が確認できた。CFF値の推移のみを見ると疲労はない様に見えるが、これはCFF値の測定による評価が眼精疲労の検出を苦手としているためであり、映画の様に気分の高揚が起きるものでは精神疲労が表れ難いことが原因と考えられる。よって、当システムは代表的な疲労の指標であるフリッカー値によって測定される精神的な疲労と、3Dによって生じる眼精疲労を分離して測定できる可能性を示したと言える。今後は、サッカードの分離に有効との報告がある加速度<sup>[16]</sup>を用いた分離方法の使用を検討する。また、2回目が注視しやすかったと回答した被験者もいたが、これは固視点の配置が単純で記憶しない様に教示しても感覚で覚えてしまい、1回目とそれ以降で追い方に差がでた可能性もあるため、固視点の配置による影響も無視できない。よって、各測定で配置を変化させるなどの改良を行う必要がある。本システムは近年、普及の進んでいる生態認証や五感インターフェース技術の一般向け利用法を考えるものであり、現在はゲームユーザ以外にはあまり認知されておらず、パソコン操作の補助以外には有効な活用がされていない一般向け視線入力装置の新たな用途について検討したものである。身近なもので簡単に疲労評価ができれば昨今、日本国内で問題となっている過労などの労働の諸問題解決の一助となると考えている。

## 謝辞

本研究は科研費(17K02129)の助成を受けたものである。ここに深く謝意を表する。

## 参考文献

- [1] 小濱,新開,臼井: マイクロサッカードの解析に基づく視覚的注意の定量的測定の試み; 映像情報メディア学会誌, **Vol.52**, No.4, pp.571-576 (1998).
- [2] Engbert, R., Kliegl, R.: Microsaccades uncover the orientation of covert attention; Vision Research, **Vol.43**, pp.1035-1045 (2003).
- [3] Bolger, C., Bojanic, S., et al.: Ocular microtremor (OMT) a new neurophysiological approach to multiple sclerosis; Neurol Neurosurg Psychiatry, **Vol.68**, pp.639-642 (2000).
- [4] Bolger, C., Bojanic, S., et al.: Ocular microtremor in patients with idiopathic Parkinson's disease; Neurol Neurosurg Psychiatry; **Vol.66**, pp.528-531 (1999).
- [5] 大寄,降旗,他: 統合失調症における探索眼球運動異常と精神症状との関係; 日大医誌 **Vol.74**, No.6, pp.283-291 (2015).
- [6] Martinez, CS., Macknik, SL., Hubel, DH.: The Role of Fixational Eye Movements in Visual Perception; NATURE REVIEWS NEUROSCIENCE, **Vol.5**, pp.229-240 (2004).
- [7] 金子: 固視微動; 映像情報メディア学会誌, **Vol.63**, No.11, pp.1538-1539 (2009).
- [8] 鶴飼: 眼球運動の種類とその測定; 光学, 第23巻, 第1号, (1994).
- [9] 山田: 眼球運動による脳の視覚情報処理機構の研究; 東海大学紀要電子情報学部, **Vol.5**, No.1, pp.37-44 (2005).
- [10] 堂前,秋田: 急速眼球運動対応の視線検出機能を持つ列並列処理構成高解像度 Vision Chip の試作と評価; 社団法人映像情報メディア学会技術報告, **Vol.32**, No26, pp.5-8 (2008).
- [11] 松原,金子,塩入,矢口: サッカード眼球運動と先行注意移動; 光学, 第35巻, 第3号, pp156-164 (2006).
- [12] 大島: 疲労の研究(第二版); 同文書院, pp.40-42, 94-99 (1979).
- [13] 山田,福田: 画像における注視点の定義と画像分析への応用; 電子情報通信学会論文誌 D, **Vol.J69-D**, No.9, pp.1335-1342 (1986).
- [14] 保坂,渡辺: まばたき発生パターンを指標とした覚醒水準評価の一方法; 人間工学, **Vol.19**, No3, pp161-167 (1983).
- [15] 藤田: サッカード系における運動学習; 日本視覚学会学会誌 Vision, **Vol.8**, pp.155-160 (1996).
- [16] 堀井,上坂,小谷: 眼球の加速度値を利用したサッカード運動の抽出; 人間工学, **Vol.42**, No4, pp.234-242, 2006.