

スマートフォンに表示した3D映像注視時の調節・輻輳測定 アイリッシュプログラムの試用

○大橋 拓実, 小畠 健仁, 本多 悠真, 宮尾 克
名古屋大学情報科学研究科

Keyword: Stereoscopic vision, Smartphone, Parallel method, Ciliary muscle stretching and Tonic accommodation

キーワード: 立体視, スマートフォン, 平行法, 毛様体筋ストレッチ, 調節緊張

1. はじめに

近年の情報化の進行にともない、長時間にわたるVDT作業や若者の携帯機器への依存など、今まで以上に目を酷使する環境にある。長時間の近見作業により目の調節機能などに関する筋肉が緊張状態で硬直し水晶体調節反応が起こりにくくなることを調節緊張と呼び、俗に「ピントフリーズ現象」という。この問題を解決するため、従来から、休憩時間の挿入、遠望視による調節緊張の解除、蒸しタオルによる目の蒸気浴、などの対策が講じられてきた。今回、我々は新しいスマートフォンを用いた眼精疲労の緩和や遠見視力の回復を狙いとした3Dコンテンツを用いて、調節緊張の緩和が実際に起きているのかを検証するため、水晶体調節及び両眼輻輳の同時計測を行った。

本研究では、調節緊張を緩和する方法として、(株)リメディアが開発した携帯用「アイリッシュプログラム」の3D映像を用いた(図1)。これは、自然な立体映像を見るだけで無意識のうちに遠方と近方を交互に見る状態をつくり、眼のピント調節機能を



図1 アイリッシュプログラム

支える「毛様体筋」に加え、眼球の向きを変える外眼筋をストレッチして眼をリフレッシュさせる目的で開発されたプログラムである(図2)。

本研究の目的は、携帯での動画視聴時に被験者の水晶体調節がアイリッシュプログラムの想定している球体の動きに追従していることの検証と、携帯端末のような短い視距離、小さい画像での調節輻輳の同時計測法の確立である[1-5]。

2. 実験概要

2.1 被験者

本実験は、21~24歳の若年と40歳代後半の中年の計10人の健常者を対象に行った。被験者にはインフォームドコンセントを行ない、名古屋大学情報科学研究科倫理委員会の承認を得た。必要な者にはソフトコンタクトレンズを装着させ、屈折を±0.25 diopter以下になるように矯正した(裸眼2名と矯正8名)。

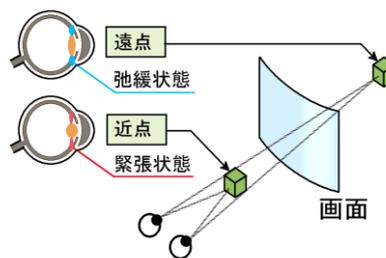


図2 毛様体筋ストレッチ

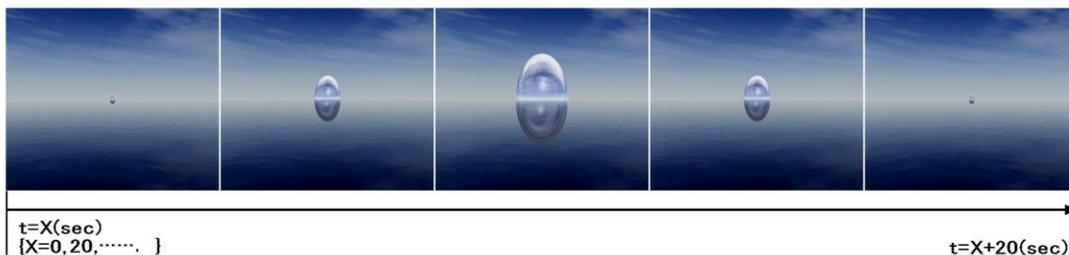


図3 使用動画

2.2 映像コンテンツ及び測定環境

実験では前後運動する仮想球体の映像を使用した(図3)。直径が10 cmの球体を3D表示し、20秒の周期で最遠点1,050 cm(約0.1 D)から眼前50 cm(2.0 D)までの間をdiopter単位のサインカーブで往復させた。Diopterは距離(m)の逆数を表す。

被験者の眼から球体までの距離L(cm)は以下の式(1)で求められる。

$$L = 100 / \left\{ -\frac{1}{0.5} - \frac{1}{10.5} * \cos(2 * 3.1415 * 0.05 * t(\text{sec})) + \frac{1}{0.5} - \frac{1}{10.5} \right\} + \left(\frac{1}{10.5} \right) \quad \text{--- (1)}$$

飛び出しの設定についてはディスプレイをガラスと考え光の通過点として実際に50 cm先を見ている輻輳角分の視差量を計算して、その割合をピクセル単位で調整している。被験者の瞳孔間距離ごとに図4の画像を使用して動画の位置を調整する。この画像は、両眼視のスクリーニングを応用して作られたもので、センターの垂直ラインを合わせて左右のリングが大きい円の中に入るように、表示装置の左右の映像間隔を調整し、球体が眼前50 cmから1,050 cmを動くよう設定する。

球体及び背景の輝度、環境照度、画面照度を表1に、実験中映像を表示する端末の情報を表2に示す。表示する映像のサイズは左右共に実測で約4.4 × 2.5 cm(768 × 432 ドット)である。

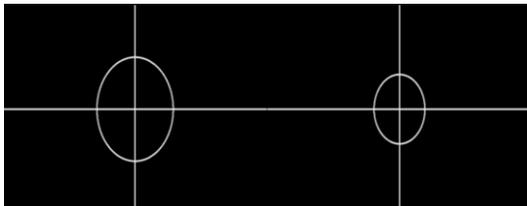


図4 飛び出し量調節用映像

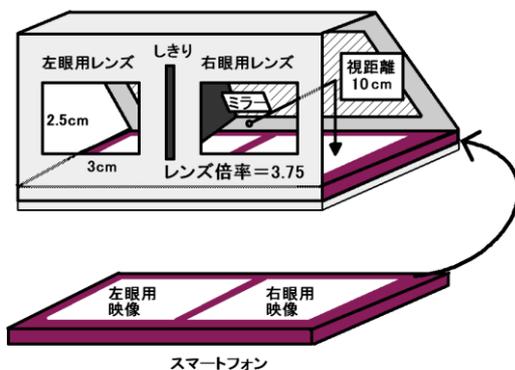


図5 アイリッシュの構造

2.3 実験工程

被験者は、スマートフォンの正面に座り、顎台で頭を固定した。このとき、ディスプレイまでの視距離が30 cmになるようにスマートフォンの位置を調節した。その後、飛び出し量調節用映像を使用して左右の動画間の距離を調節し、左右の凸レンズを通して平行視で40秒間動画(仮想球体の中心)を注視させた。

2.4 アイリッシュの構造と測定装置

アイリッシュは1節で述べた通り、図1に示したような小型の箱の中に携帯を設置し、左右に分かれた映像を平行法により観察し、立体動画を視聴するコンテンツである。その構造は図5のようになっている。

一方、当研究室で調節力測定のために使用されているシギヤ精機社製の両眼開放オートレフケラトメーターWAM-5500(図6)は、20cm以内にディスプレイを設置することができない。アイリッシュの視距離は10 cmと非常に短く、測定が困難である。

表1 映像輝度及び実験環境

輝度(cd/m ²)	
球体	背景
51.5 cd/m ²	73.5 cd/m ²
照度(lx)	
環境照度	画面照度
0.01 lx	0.01 lx

表2 端末情報

端末名	ソニー製 XPERIA Z SO-02E
ディスプレイサイズ	約5.0インチ
解像度	フルHD: 1920 × 1080



図6 左 WAM-5500、右 EMR-9

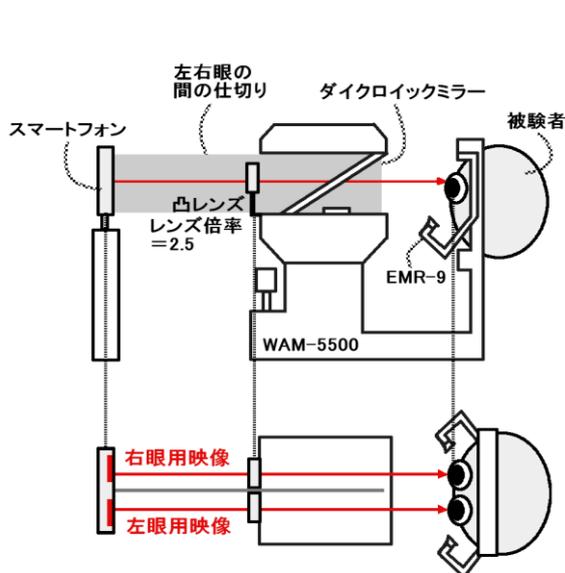


図 7 測定装置



図 8 実験風景

そこで、WAM-5500 に図 7 のように計測距離を確保するための凸レンズと左右の画像を分離するための仕切りを取りつけ、30 cm 以上の距離でスマートフォンなどの小型デバイスに対する調節の計測を可能にした。実験は箱の中の状態に近づけるため、暗室で行うものとし、30 cm の視距離で調節を測定した。

またこの実験装置において、被験者から見た仮想球体がアイリッシュプログラムの想定している動きをしていることを確認するために、両眼輻輳の計測を行った。ナックイメーজテクノロジー社製のアイマークレコーダーEMR-9(図 6)を図 5 のように設置し、被験者が両眼視しているときの両眼輻輳の焦点距離を、水晶体調節と同時に計測した(図 7)。実験の様子を図 8 に示す。

レンズによる像の拡大率は、レンズから眼までの距離と像までの距離、及びレンズの倍率によって決まる。今回の実験では、図 9 で示したような方法を用いて像の拡大率をアイリッシュのレンズによるものと等しくしている。

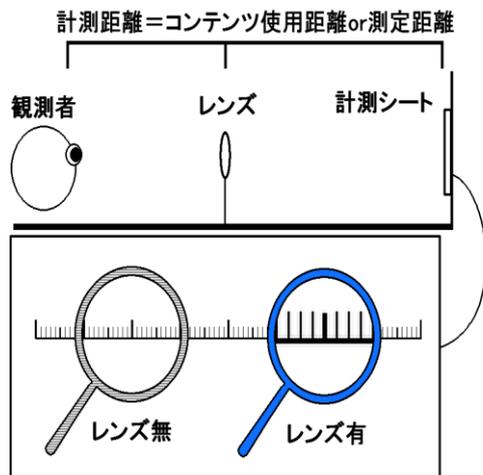


図 9 レンズの拡大率測定

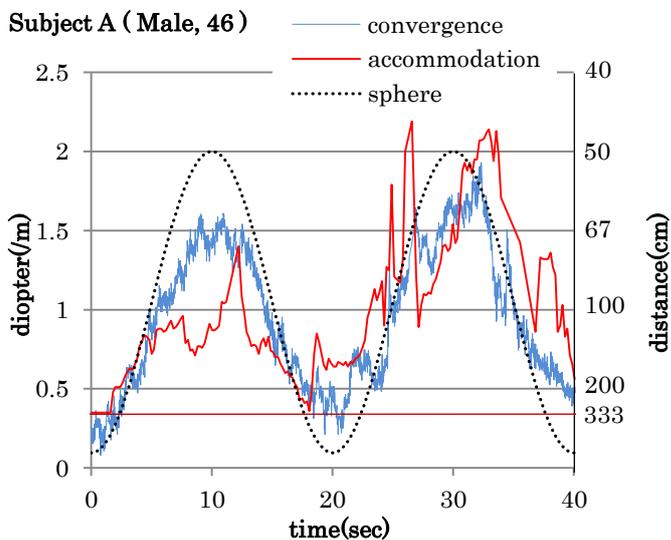


図 10 被験者 A (46 歳、男性、ソフトコンタクトレンズ) の測定結果

レンズを実際の使用距離に、ディスプレイの位置に計測シートを置き、目盛の数を読み取る。次にレンズの入っていない縁のみを通して同様に目盛を読み取り、その比を拡大率と考える。アイリッシュのレンズと凸レンズの倍率は異なるが、どちらもそれぞれの使用環境において像を約 2 倍に拡大するものである。

この測定装置を使用した場合も、往復距離は眼前 1,050 cm から眼前 50 cm までの間になると推察される。

3. 測定結果

本研究では、仮想球体を両眼視にて注視させている被験者の水晶体調節と輻輳について計測を行った。図 10 に被験者 A(46 歳、コンタクトレンズ)の測定結果を典型例として示す。

グラフの accommodation と convergence、sphere は、それぞれ被験者の水晶体調節と輻輳運動の焦点距離と、被験者から立体映像の仮想位置までの距離を表す。グラフの横軸は被験者が対象物を注視しているときの経過時間を、縦軸は被験者から対象物までの距離を表している。

グラフより、調節と輻輳が共に仮想球体の運動に同調して変化していることが読み取れる。他の被験者についてもほぼ同様の変化を見ることができた。

計測された diopter 値の増減は約 20 秒周期で起きている。調節の diopter 値は最大で、 $2.1 D = 48 \text{ cm}$ 程度、輻輳は $1.9 D = 51 \text{ cm}$ 程度となっている。また、このときの仮想球体までの距離はおおよそ $2 D = 50 \text{ cm}$ である。

一方調節の最小値は $0.3 D = 333 \text{ cm}$ 程度、輻輳は $0.21 D = 476 \text{ cm}$ 程度となっており、このときの仮想球体までの距離はおおよそ $0.095 D = 1,050 \text{ cm}$ である。

4. 考察

図 10 の結果より被験者の調節と輻輳は一定の周期で変化しており、注視している仮想球体の動きと同調している。このことから被験者は、験者の指示通り平行法で仮想球体を両眼視しており、仮想球体の運動を追従している状況を正しく測定できていると考えられる。

計測値の変化について、動画の想定している被験者から対象物までの最短距離は $2 D$ である。被験者 A の場合調節距離は $2.1 D$ で、輻輳距離は $1.9 D$ と、調節、輻輳ともに仮想球体までの距離によく一致しており、被験者が正確に仮想球体を注視できていることを示している。次に最も遠い距離に仮想球体があるときを見てみる。このときの仮想球体までの距離は $0.095 D = 1,050 \text{ cm}$ である。このときの被験者 A の最近点での調節距離は $0.3 D = 333 \text{ cm}$ で、輻輳距離は $0.21 D = 476 \text{ cm}$ と、仮想球体の動きに追従して、端末位置よりはるかに遠い位置まで調節が移動している。

以上の計測結果から、アイリッシュのような携帯端末に表示した近距離で少画面の 3D 映像であっても、自然視と同様に調節、輻輳が応答していることが確かめられた。ピントフリーズ現象への作用に関しては、追加実験による検証を予定している。

また今回の実験では、視距離が短く、画面サイズも小さいモバイル端末向けのコンテンツに対して WAM-5500 を用いた調節測定を行うために、像の拡大率が同じ凸レンズを使って、測定可能な視距離で実験を行った。被験者の調節と輻輳が仮想球体の動きに同調して動いていたことを正しく測定できたことから、適切な倍率のレンズを使用して視距離をコントロールした状態でも WAM-5500 とアイマークレコーダー EMR-9 を用いた調節と輻輳の同時計測が可能であることが示された。

5. まとめ

本研究の目的は、疲労の緩和や視力の回復効果を狙いとした携帯端末向け 3D コンテンツ視聴時の水晶体調節及び両眼輻輳の同時計測を行い、自然視と同様の反応が起こることが検証できた。実験の結果から、調節と輻輳はどちらもコンテンツが想定した仮想球体の動きに追従していることがわかった。

6. 参考文献

- [1] 長谷川, 大森, 渡辺, 高田, 藤掛, 市川, 田原, 小室, 小阪, 宮尾.: ヘッドマウントディスプレイ上の立体映像への水晶体調節, シンポジウム 08, pp.193-196, 2008.
- [2] 長谷川, 大森, 渡辺, 市川, 宮尾.: ヘッドマウントディスプレイ上の立体像への水晶体調節反応, シンポジウム「モバイル'10」, pp.121-124, 2010.
- [3] 高田, 藤掛, 大森, 長谷川, 市川, 田原, 小室, 宮尾.: ヘッドマウントディスプレイによる立体映像酔いの評価法としての重心動揺について, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2008, 2008.
- [4] 山本, 高田, 杉浦, 宮尾.: ヘッドマウントディスプレイを用いた各種映像刺激による映像酔いの評価, シンポジウム「モバイル'10」, pp.129-132, 2010.
- [5] 塩見, 堀, 長谷川, 高田, 大森, 松浦, 石尾, 長谷川, 神田, 宮尾.: 携帯画面注視における調節と輻輳の同時計測の試み, 第 9 回モバイル研究会, 2010.