

## ビデオレフラクション法による3Dディスプレイ注視時の 両眼近見3要素の同時測定

加藤由美・鶴飼一彦・本田 充・川島譜美夫・渡辺たか一

日本福祉大学 情報社会科学部  
〒475-0012 愛知県半田市東生見町 26-2

(2000年7月3日受付; 2000年8月15日改訂稿受付; 2000年8月22日受理)

### Dynamic Measurement of Near Triad of 3D Display Viewers Using Video Refraction Unit

Yumi KATO, Kazuhiko UKAI, Makoto HONDA,  
Fumio KAWASHIMA and Takaichi WATANABE

Faculty of Social and Information Sciences, Nihon Fukushi University  
26-2 Higashi-Haemicho, Handa, Aichi 475-0012

(received 3 July 2000; received in revised form 15 August 2000; accepted 22 August 2000)

An attempt to measure responses of near triad, *i.e.*, convergence eye movement, binocular accommodation and pupillary near reflex, was performed. Dynamic measurement with time resolution of 1/30 s could be carried out from distant place of 1.2 meter. A video refraction technique was applied for the measurement of accommodation. Commercially available video refraction unit was employed. Obtained image from the unit was once recorded to video tapes and was analysed by a computer using freely distributed image analysis program. Examples of measurement are shown when subjects seeing 3D display of image splitter method. Though many problems to be solved such as difficulty in calibration remain, this method will be useful for study of near triad because both apparatus and subject can be arranged relatively freely.

#### 1. はじめに

最近急速に進歩している両眼視差を利用した3Dディスプレイ注視時には、調節を固定したまま輻輳を行うという矛盾した刺激が加わるため、これが原因ではないかと思われる眼精疲労が発生する。しかし、調節・輻輳の動態がはっきりしないため、眼精疲労の原因について

も不明な点が多い。また、瞳孔は自律神経の支配を受けているため疲労時に平時と異なった反応を示す可能性も強い。このような状況での近見3要素(輻輳・調節・瞳孔)の反応を同時に動的に測定することは重要である。とくにディスプレイを見ている際には、被験者が測定装置の存在を意識することなく反応を

記録できれば理想的である。

近見3要素の測定方法は過去にも多くの報告がある。たとえば、CraneとSteele<sup>1)</sup>は頭の運動と眼球の運動では第1、第4プルキンエ像が相対的に逆方向に動くことを利用し、両プルキンエ像に対しサーボミラーでダブルトラッキングして眼球運動を精密に測定する装置を作成した。2組の装置で両眼の追跡も可能であった。また、この装置に調節を動的に測定する赤外線サーボ型オプトメータを組み込んだ。眼球運動を追跡することから、光軸合わせを行わなければならないオプトメーターに対しても自由な眼球運動のもとで調節を測定可能にする画期的な装置であった。この装置は市販もされた。しかし、装置を安定して動作させるためには操作に熟練した者が必要であった。精密な装置で眼前に複雑な光学系が並んでいた。Takedaら<sup>2)</sup>は、赤外線サーボ型オプトメーターでは通常被験者の眼前にまで光学系が並ぶことを避けるため、リレー光学系を利用して眼前のスペースを確保した。またこのスペースに、ガルバノミラートラッキング装置を組み込み眼球運動時にも調節測定が可能となるようにするとともに眼球運動も測定可能とした。非測定眼の眼球運動は角膜反射を利用して測定し、両眼眼球運動の(したがって輻輳も)測定が可能であった。この装置は非常に大掛かりなものであり高価でもあるため容易に入手することは困難である。

近見3要素を測定する装置が複雑になってしまうのは調節測定に必要な装置が複雑だからである。簡便でしかも被験眼から離れた位置から調節を測定する方法があれば、近見3要素は比較的容易に測定可能である。このための有力な方法としては、Howland and Howlandにより最初に報告されたフォトレフラクション法<sup>3)</sup>およびその改良法<sup>4)</sup>がある。銀塩写真のかわりにビデオを利用したビデオレフラクション法についてもすでに報告が多数ある<sup>5)</sup>。これら装置の主目的は、装置に顔を固

定することのできない乳幼児の屈折および眼位を素早く測定し、弱視の原因となる屈折異常や斜視をスクリーニングすることにある。この装置を利用して、静的な状況では近見3要素の測定が可能であり<sup>6)</sup>、種々な刺激条件でのAC/A比の測定などの研究用途に使用されている<sup>7)</sup>。しかし、ビデオレフラクション法により動的に調節を測定する試みは過去にSchaeffelら<sup>8)</sup>しかないと思われる。彼らの報告は調節の個人差という課題の測定結果についてが主であり、方法にはほとんど触れていない。

今回、眼科検診用に市販されているビデオレフラクション装置の映像を画像解析するシステムを開発し、先に報告した近見3要素の両眼同時静的測定<sup>6)</sup>に加えて動的測定も可能にすることを試みた。

その結果、3Dディスプレイ注視時の近見3要素の測定において、従来よりは被験者の拘束が少ない実験が可能となった。この方法には、まだ多くの問題点が残されているが、装置の簡便性や経済性を考えると、この方法の将来性・有効性を早い時期に周知することが望ましいと考え報告をまとめ、あわせて今後解決すべき問題点を整理した。

## 2. 方法

### 2.1 全体構成

被験者は赤外反射、可視透過のダイクロイックミラーを通して3Dディスプレイを観察する。この時の被験者の近見3要素をビデオレフラクション装置(以下ビデオレフと記載)により測定する。構成を図1に示す。

### 2.2 3Dディスプレイ

今回は刺激装置としてイメージスプリッター方式による眼鏡なし3Dディスプレイ(サンヨー:THD10S3)を用い、画面上および画面から浮き上がった位置の2ヶ所間で固視標をステップ状に動かした。視距離は70cm(逆数表示で1.4m<sup>-1</sup>)である。ディスプレイのサ

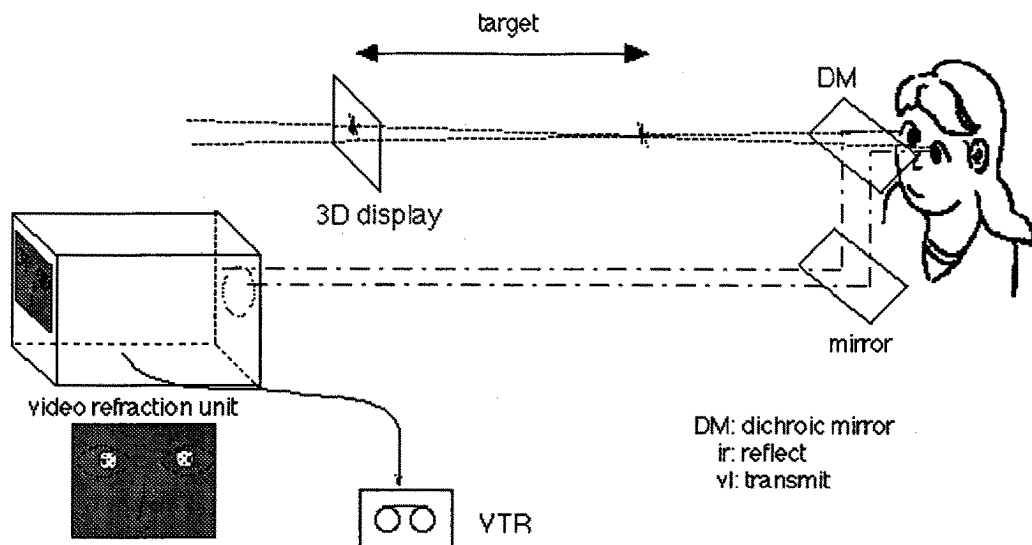


図1 装置装置図.

イズ（水平×垂直）は，実寸 21×16 cm，視角 16.7×12.5 度，ピクセル数 640×480 個である。ただし，水平 2 ピクセルがペアでそれぞれ左右眼用の刺激となるため片眼用としては 320×480 ピクセルである。実際には RGB 3 色の 2 順でペアのピクセルを構成するが，このとき，色のセルごとに交互に右眼用，左眼用となり，ペアのピクセルはほとんど重なるようになっていて，そのため，色ごとに異なる微妙な視差が存在するのみで，実験に影響を及ぼす系統的な視差は存在しない。

本ディスプレイは左右眼用映像を並べて入力すると，横方向に 2 倍に延ばされた立体映

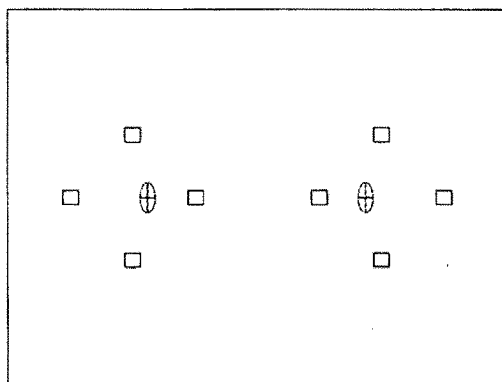


図2 視標の一例。ディスプレイ上で 40 ピクセルの視差。

像が提示される。固視標の飛び出し時の視差は 30, 40, 50 ピクセル（視差 1.6, 2.1, 2.6 度）の 3 段階である。提示図形の一例を図 2 に示す。中央の円形（図では縦長楕円であるが，ディスプレイ上では横に引き伸ばされ円形になる）が固視標でこの場合飛びだして見える。周囲の 4 個の正方形（横に伸ばされ長方形）は視差無しである。両眼の間隔が 60 mm の被験者にとっては画面から 17.3, 21.3, 24.7 cm 浮き上がって見える（視距離が 52.7, 48.8, 45.3 cm，逆数表示で 1.9, 2.0, 2.2 m<sup>-1</sup> となる）。この提示図形はオーサリングツール（Macromedia: Director）により作成され，ディスプレイに接続された PC（Apple: Macintosh Power Book 3400）で再生される。画面位置（視差無し）→浮き出しという固視標の動きに対応する反応を解析した。

比較の対象として，調節・輻輳が矛盾しない実視標を用意した。実視標は，紙に書いた文字を手持ちで 70 → 20 cm（逆数表示で 1.4 → 5.0 m<sup>-1</sup>）をステップ上に変化させた。

## 2.3 近見 3 要素同時測定

### 2.3.1 原理

眼に光を入射させ，入射光と同じ角度から観察すると，夜間猫の眼に懐中電灯をあてたときのように，眼が輝いて見える。眼底にて

反射した入射光が入射角の方向に戻るためにこのように見える。コンパクトカメラによりフラッシュ撮影した人物写真の赤目現象も同じである。入射光と観察位置の角度が大きいとこの現象は起こらない。入射光と観察位置の角度が小さいときには、観察される眼底反射光は瞳の中で均一にならず片側が明るく反対側で暗くなるような明るさ勾配を持つ。この勾配は、眼のピントあわせ位置が、光源よりも遠方になっているか近方になっているかによって逆になり、勾配の傾きも光源からの焦点ずれの量によって異なる。したがって、眼底反射光の瞳孔内における明るさ分布を計測することによって被験眼がどこにピントを合わせているか、すなわち調節の状態が測定される。

このとき瞳孔領域は明るく見える。この明るい部分の面積を画像処理により求めれば瞳孔の面積が求まる。また径への換算も可能である。

眼球運動は角膜反射光の位置と瞳孔の中心位置から計算で求めることが可能である。今回は簡便法として両眼の瞳孔中心の位置のみから輻輳眼球運動を求めた。

### 2.3.2 ビデオレフラクション装置

使用したビデオレフは市販の小児用屈折測定装置（トプコン：PR1000、以下ビデオレフと記載）であり、被験眼から1.2m離れた場所に置かれ、一般の使用では被験眼の眼前には何も無い。今回は眼前にダイクロイックミラーを置き、任意の刺激装置を使用することを可能とした。この装置は、通常のビデオレフとしての使用では1度スイッチを押すと上下左右の4方向にオフセットした4個の光源が順次、装置内部の画像処理にタイミングを合わせて一瞬点灯し、数秒かけて屈折異常を検出・計算する。このとき4方向の経線で屈折測定を行うことにより乱視を求める。今回は通常の屈折測定時のように測定光が一瞬点灯するのではなく、測定光を連続的に点灯して装置外部での画像処理が可能な映像を供給

できるという、治具として用意されているモードを用いた。測定光源位置は、4種類のうち垂直下方に固定した。得られた映像はDVテープレコーダーにて記録し、後述のごとくこの映像をPCにて解析した。

静的な輻輳状態である眼位および瞳孔径を内部画像処理でも計算可能であるが、今回は近見3要素すべてを装置外部のPCにより画像解析した。計算に時間がかかるため実時間で解析を行うと内部・外部にかかわらず適切なサンプリングで測定ができない。実時間測定をあきらめれば、ビデオテープレコーダーを利用した外部画像解析によりビデオレートの測定が可能となるためである。

### 2.3.3 解析

ビデオテープに記録した映像はビデオ取り込みボード（Radius: MotoDV）を経由してPC（Apple: Power Macintosh G3 MT/350）に取り込んだ。取り込んだビデオは解析対象を選択（Apple: QuickTime Player）し、画像解析フリーソフトウェア（ウェイン作: NIHImage）により下記のアルゴリズムに従い、マクロを作成し1/30秒ごとの映像を連続的に解析した。

取り込んだ画像の例を図3に示す。(a)が遠方視（約5m）、(b)が近方視（約15cm）である。(b)の方が眼が内に寄り瞳孔が小さくなっている。また、瞳孔内の明るさが、(b)では上部より下部で明るいのが分かる。この図は調節による眼底反射光の勾配変化を分かりやすく示すため実験に用いた視距離よりも極端な遠方視、近方視を行っている。図3(c)には、瞳孔内波線部分縦一列の濃度分布をNIHImageの濃度分布コマンドで求めた際のスクリーンショットで示す。

解析のアルゴリズムは、取り込んだ画像を二値化し明るい部分の領域のうち面積や位置の範囲から瞳孔を判別する。画像解析ソフトの「粒子解析」コマンドにより、瞳孔の中心位置、直径・面積・両眼間の距離（輻輳）を測定する。調節は眼底反射光の縦径部分の濃

度勾配から測定する。このとき、角膜反射（小さな輝点）の部分は計算から除外し、さらに縦一列ではノイズの影響が大きいので近傍5列（横方向5ピクセル）の濃度を平均した。勾配は最小自乗により直線近似して求めた。

解析結果の較正は次のように行った。映像上での実寸とピクセルの関係は容易に求まる。したがって、瞳孔径については較正上の問題はない。輻輳眼球運動に関しては、眼球を直径24mmの球で、回旋中心は球の中心と仮定したとき、眼球運動により瞳孔中心位置がどのように変化するかを理論的に計算して求めた。調節に関しては、数人の被験者の屈

折測定をこの装置で行い、装置内部の解析で得られた結果と、同時に撮影したビデオ画像を我々のシステムで解析した濃度勾配を比較することによって較正した。

## 2.4 被験者

2名の被験者を対象とした。屈折異常のほとんどないCT（22歳女性）、-1D程度の近視であるAS（20歳女性）で、いずれも立体視機能は正常である。

## 3. 結果

まず、実視標に対する反応の例を図4に示す。横軸は時間で、約1秒のところで $1.4\text{ m}^{-1}$ にあった固視標が $5.0\text{ m}^{-1}$ に近づく。3種の線

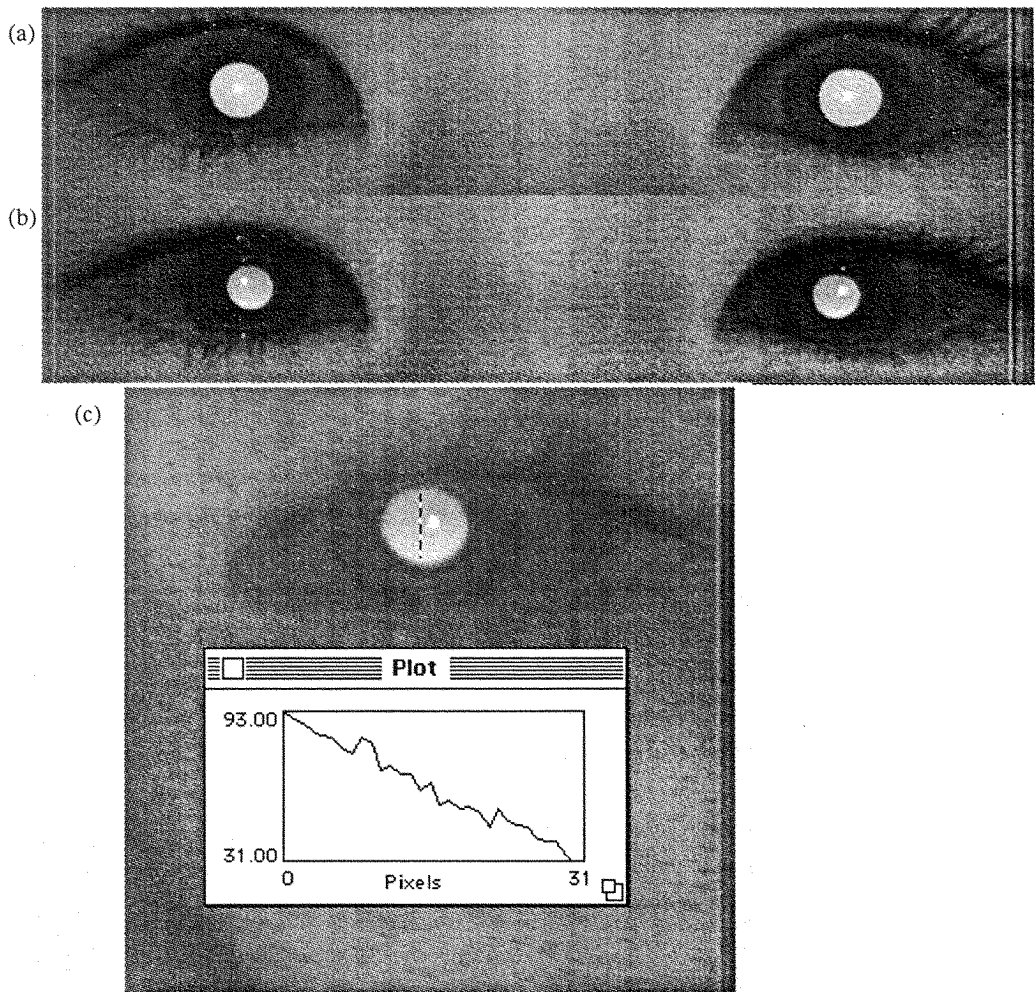


図3 取り込み画像の一例。(c)は瞳孔内眼底反射光の濃度分布。

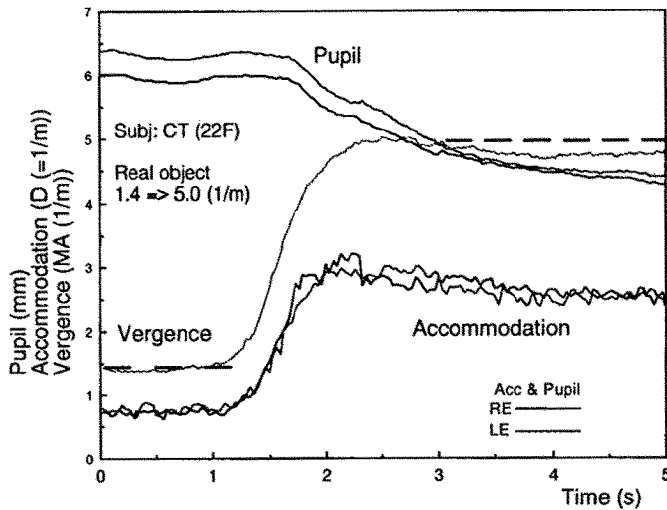


図4 解析結果の例。実視標 (1.4 → 5.0 m<sup>-1</sup>)。被験者CT。破線は刺激位置。

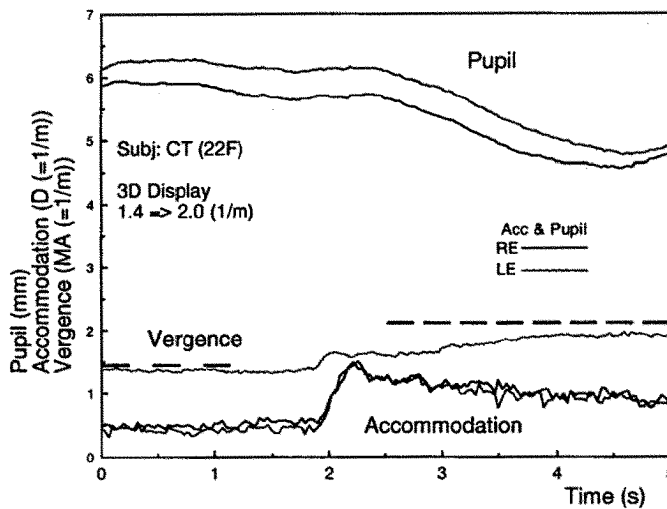


図5 解析結果の例。イメージブリッター方式3Dディスプレイによる刺激 (1.4 → 2.0 m<sup>-1</sup>)。被験者CT。破線は輻輳刺激位置。

は瞳孔 (Pupil) , 輻輳 (Vergence) , 調節 (Accommodation) を表し、瞳孔、調節は、右眼・左眼の2本の線が示される。瞳孔は径 (mm) で、輻輳は両眼の視線が交わる位置、調節はピントのあっている位置とともに眼からの距離の逆数 (m<sup>-1</sup>) で示した。調節の場合、通常使われるディオプター (D) と同じ量である。固視標が動いたあとで、調節と輻輳が反応し、遅れて瞳孔が反応する様子が測定できた。輻輳の反応は刺激位置とほぼ一致しているが、調節に関しては遠方刺激、近方刺激ともに刺激よりも遠方視している (0.7, 3.0 m<sup>-1</sup>)。また、輻輳・調節ともに最初の反応から後2秒間ほどは徐々に反応量が低下し

ている。この間、輻輳と調節の反応はほぼ平行している。瞳孔径は6 mm から 4.5 mm へ縮小している。ただし解析終了時点でもまだ縮小し続けている。

次に3D映像に対する反応の例を示す。図5では、刺激は約1.5秒のところで画面位置すなわち1.4 m<sup>-1</sup>にあった固視標が2.0 m<sup>-1</sup>に動く。振幅で0.6 m<sup>-1</sup>である。刺激はこの動きと逆の動きを5秒周期で繰り返しており、記録は継続して行なわれているが、解析をこの部分に絞った (以降も同様)。この刺激は輻輳のみに加わり、調節刺激は変化しない。輻輳反応は、遠方視時には刺激に対応した輻輳を示す。近方視時には、最初の一過性の部分の振

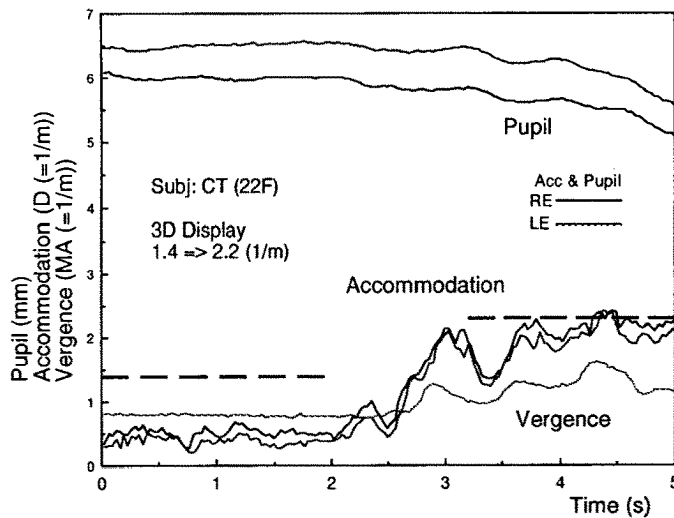


図6 解析結果の例。イメージスプリッター方式3Dディスプレイによる刺激(1.4 → 2.2 m<sup>-1</sup>)。被験者CT。破線は輻輳刺激位置。

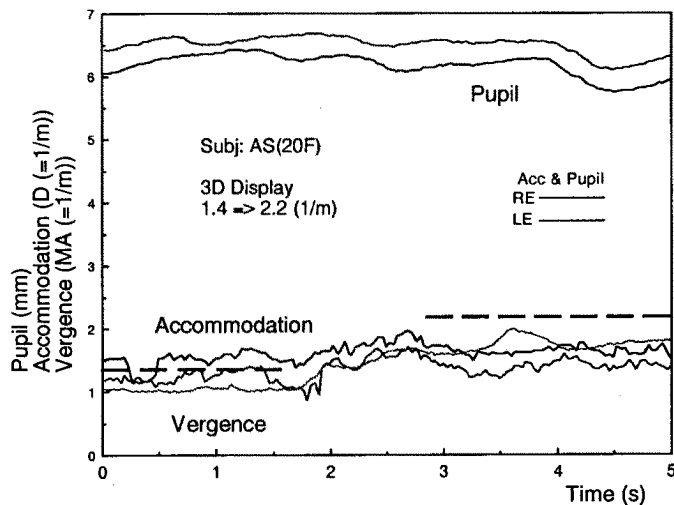


図7 解析結果の例。イメージスプリッター方式3Dディスプレイによる刺激(1.4 → 2.2 m<sup>-1</sup>)。被験者AS。破線は輻輳刺激位置。

幅(距離の逆数の単純な差で示す)が0.3 m<sup>-1</sup>と刺激の半分であるが、その後2秒間に徐々に増加していき最終的には刺激の位置に一致した反応となる。調節は遠方視時に0.5 m<sup>-1</sup>であり不足している。最初の反応が1.5 m<sup>-1</sup>(遠方視時からの振幅で1.0 m<sup>-1</sup>)と過剰になっているが、輻輳とは反対にその後徐々に減少し、最終的には1.0 m<sup>-1</sup>(振幅で0.5 m<sup>-1</sup>)である。図4と同様に調節反応は刺激位置との絶対的対応がない。瞳孔は図4と同じ程度の縮瞳を示しているが、輻輳が徐々に反応しているためか、縮瞳過程も緩やかである。

図6では、近方刺激がさらに画面より飛び出し(1.4 → 2.2 m<sup>-1</sup>)、両眼視差が強くなり、

この被験者でこの提示図形では融像可能な限界に近い。振幅は0.8 m<sup>-1</sup>である。反応は調節・輻輳・瞳孔ともに約0.7 s周期で波打つ。輻輳は遠方刺激時に0.8 m<sup>-1</sup>、近方視時に1.2 ~ 1.6 m<sup>-1</sup>と不足しており、逆に調節は遠方視時0.5 m<sup>-1</sup>、近方視時1.8 ~ 2.3 m<sup>-1</sup>と過剰に反応している。

図7は図6と同じ刺激条件であるが、別の被験者により得られた記録である。この被験者は-1 D程度の近視があるため、調節は遠方視の場合にも緩んでいない(緩むことが出来ない)。輻輳は1.5 → 2.0 m<sup>-1</sup>、調節は時により両眼で0.2 m<sup>-1</sup>の差があり、両眼平均で1.1 → 1.6 m<sup>-1</sup>であった。調節・輻輳とは無関係に

瞳孔径が揺れている。これは、特に若い女性にしばしば見られる現象である。

#### 4. 考察

##### 4.1 3D ディスプレイ視聴時の近見3要素

測定結果として、視差量に応じた輻輳眼球運動とそれによって生じる輻輳性調節および近見反応による縮瞳が観察された。反応の順序としては、輻輳・調節はほぼ同時に起こり、瞳孔はそれより0.6秒程遅れることがわかった。また、実指標では輻輳に対する距離と調節に対する距離は一致しているため調節・輻輳とも刺激に対し反応した後は安定していた。ただし、両者とも近方視を継続保持するのが困難なためか、徐々に緩んでラグと呼ばれる現象が生じる。なお、調節においては、遠方視、近方視ともに大きなラグが存在した。これは実際に存在するラグと装置の測定上の問題から生じたかもしれないラグが混在していると考えられ、定量的な評価は困難である。

両眼視差像では、いったん生じた調節と輻輳が、刺激に対応して輻輳は増加、調節は減少という反対の方向に徐々に乖離していく様子などが測定できた。なお、この時の最初の反応が輻輳では小さく調節では不必要に大きくなっていった。単発の刺激でこのような反応が現れるとは考えにくい。今回は、刺激の動きが繰り返してあったために、一過性の反応以外の部分の動きが蓄積され、あるいは記憶され、このような波形になったと考えられる。しかし、この原因については多数のデータに基づいて詳細に検討してみなければならない。今後の課題としたい。ここでは、調節と輻輳の刺激が矛盾したときに複雑な反応が現れる、という点を指摘しておく。刺激の両眼視差が増加した場合には近見3要素に波打つような反応が現れた。この波打つような波形は、我々が3D映像を見ているときに自覚的に感じる眼の反応、すなわち、視差が強すぎると融像が一瞬困難となり、もう一段の

努力をすることにより改めて融像する、あるいはいったんは融像しそうになるがやはり不可能で二重像になってしまい、これを繰り返す、という経験に一致する。このとき、輻輳は刺激に対して反応量が不足し、調節は過剰に現れた。この解釈も難しく、やはり多数のデータを得た後に議論したい。

弱い近視者では、遠方の視標に対して当然のことながら調節を緩みきることが出来ない。したがって、反応は輻輳の方が大きい。

今回測定した範囲では瞳孔・調節の反応は左右眼平行で、アーテファクトに起因すると思われる以上の両眼異なった反応はみられなかった。もともと、瞳孔に両眼で異なった反応はないといわれている。調節でもそれはないと考えられているが、両眼の屈折異常に差があるような被験者でどのようなになるか興味深い。

##### 4.2 装置の有用性

以上のように、両眼近見3要素の同時測定が実用的に十分可能であることがわかり、有用な研究結果が得られた。3D映像注視時の興味深い反応、たとえば、強い視差に対して2-3回の揺れで輻輳することや、いったん輻輳・調節した後で輻輳は徐々に強く、調節が徐々に弱まる、という反応が明らかとなった。また、瞳孔の遠隔測定も可能となった。特にこれまで困難であった頭部固定などがゆるやかでしかも眼前に測定装置が近接しない状態での調節測定が可能になったことは意味があることと考える。被験者の負担が小さい「遠隔ビデオオプトメータ」ともよぶべき装置を実現することができた。

##### 4.3 装置の問題点

まず、被験者が装置の方を向いていないときにこの装置で得られる結果が正しいかどうか、疑問が残る。被験眼が球形で開口部が装置から見て被験眼の中心にあれば問題がないが、実際の眼のように開口部である瞳孔が眼球運動とともに移動するときは眼球光学系の収差により、測定結果が影響を受けることも



考えられる。香取ら<sup>9)</sup>は、今回と同一の装置で静的測定を行った場合、装置の光軸と被験者の視軸が7度ずれたときに1/4 Dの誤差がありうると報告している。この誤差がもし一定の傾向をもつならば、これを補正することによって、より広範囲で被験者の拘束がより少ない計測が可能となる。

精度に関しては、輻輳・瞳孔・調節すべてについてビデオを利用したときの撮像素子や映像信号の精度により限界がある。今回のように両眼を同時に同一映像内に撮影する方法では、瞳孔径はともかく、眼球運動の解析には0.5度程度の精度が限界となろう。調節については、映像の分解能のほかに、測定範囲を広げることと測定精度を高めることが両立しにくいという特性がある。いずれにしても赤外線オプトメータのような高分解能の測定は望めない可能性が強く、使用目的によって使い分けることが必要である。時間的分解能は高いほうが良いのはもちろんであるが、現状の1/30、あるいは1/60 sという値は調節・輻輳・瞳孔の研究用としては最低限の仕様を満たす。

今回の装置の調節の較正法に関しては、軸はずれフォトレフラクション法理論との対応も重要であるが、最終的には撮像素子やビデオ信号の濃度に対する線形性の影響により難しい点が存在する。今回は装置の内部演算との対応をとることにより較正を行ったが、結果に見られる調節反応の数値には疑問点も残る。今後の改良が望まれる。調節に関する較正法は本法のみならず常に問題となる。よい模型眼があれば解決できると思われるが、これもなかなか作成困難である。

今回は3要素の相互の時間的關係は求まったが、固視標の動きと被験眼の映像を同時に記録していなかったため、反応が刺激に対して絶対的にどのくらい遅れるかを測定することはできなかった。ビデオ記録に刺激などのタイミングを記録するのは適切な装置があれば可能なので改善したい。また、今回、輻輳

は瞳孔の中心位置のみから求めたが、これに角膜反射を加えて測定することにより、輻輳測定の精度が向上すると思われる。

本装置の今後の発展を考えると次の2点がある。

最近、価格の低下したコンピュータ用画像解析ボードを使用すれば、今回行ったような画像解析のリアルタイム化も可能であろうと思われる。これにより装置の小型化が図れるとともに、ビデオにいったん録画する手間も省け、解析に必要な時間も大幅に減少できる。解析終了後に初めて実験がうまくいったかどうかわかるということもなくなり、多数の計測が可能となる。

装置が経験者の頭の動きをトラッキングできるようにすればさらに被験者の拘束が減少する。あるいは、画像のごく一部に被験者が写っていれば測定可能となるように画像信号として飛躍的に高解像のものが使用できれば、画像の中で被験者が移動しても問題は少ない。前者の方が実現可能性は高いが、後者の方は複数人同時測定という映像を見ている人の反応を研究対象とする者にとっての理想へとつながる。

謝辞：ビデオレフラクション装置使用に際してのご助言を頂いた(株)トプコン研究開発部三橋俊文氏、3Dディスプレイを借用させて頂き下さった三洋電機(株)研究開発本部ハイパーメディア研究所ディスプレイシステム研究部イメージ情報処理研究室小山田健二氏・飯沼俊哉氏に感謝します。

## 文 献

- 1) H. D. Crane and C. M. Steele: Accurate three-dimensional eye tracker. *Applied Optics*, 17, 691-705, 1978.
- 2) T. Takeda, Y. Fukui, K. Ikeda and T. Iida: Three-dimensional optometer III. *Applied Optics*, 32, 4155-4168, 1993.
- 3) H. C. Howland and B. Howland: Photorefractive: A technique for study of refractive state at a distance. *Journal of the Optical Society of America*, 64, 240-

249, 1974

- 4) W. R. Bobier: Eccentric photorefraction: A method to measure accommodation of highly hypermetropic infants. *Clinical Vision Science*, 5, 45-60, 1990.
- 5) 例えば, M. B. Angi and E. Pilotto: Photorefraction for the detection of amblyogenic defects: Past and present. *F. Vital-Durland, J. Atkinson and O. J. Braddick (eds): Infant Vision*. Oxford University Press, 153-169, 1996.
- 6) 香取順子, 小町祐子, 鶴飼一彦, 石川 哲: ビデオオレフラクション法による両眼調節静特性の測定. *眼科臨床医報*, 86, 1473-1477, 1992.
- 7) 植松淑子・鶴飼一彦・石川 哲: ビデオオレフラクション装置による調節性輻輳の測定. *眼科臨床医報*, 90, 1341-1345, 1996.
- 8) F. Schaeffel, H. Wilhelm and E. Zrenner: Inter-individual variability in the dynamics of natural accommodation in humans: Relation to age and refractive errors. *Journal of Physiology*, 461, 301-320, 1993.