立体画像観視に伴う融像幅の変化

Change in Fusion Range After Watching Stereoscopic TV

正会員 江本正喜[†], 正会員 矢野澄男[†]

Masaki Emoto[†] and Sumio Yano[†]

Abstract To investigate visual fatigue induced by watching stereoscopic TV, we studied the changes in visual function, especially the fusion range and AC/A ratio, after 12 subjects watched stereoscopic high-definition TV for one hour. 6 subjects could perceive a stereogram by free fusion, while the other 6 subjects could not. The key results were as follows:

- (1) No significant change in the AC/A ratio was produced by watching either two-dimensional or stereoscopic HDTV for one hour.
- (2) Subjects who could perceive a stereogram by free fusion had a wider fusion range than those who could not.
- (3) After watching two-dimensional HDTV, the mean fusion range of the 12 subjects showed no significant change, while after watching stereoscopic HDTV, it showed a significant decrease and recovered after rest. This suggests that the decrease in the fusion range can provide an index of visual fatigue.
- (4) The interaction between the ability to perform free fusion and the decrease in the fusion range was apparent but fell short of being significant. This suggests that visual fatigue in watching stereoscopic TV differs between subjects who can perceive a stereogram by free fusion and subjects who cannot.

キーワード: 立体画像, 立体視, 立体テレビ, 融像幅, AC/A 比, 疲労

1. ま え が き

将来の放送サービスのひとつの可能性として, 立体テレビが検討されている. この実現方法は様々であるが, 現在では技術的实现の容易さから, 人間の両眼に入る2つの像が左右眼の間隔分のずれのために少しでも異なっていること(両眼網膜像差)を利用して観察者に立体感を知覚させる立体画像(以降, 簡単のため立体画像と記述する)が多く利用されている. しかし, 疲労を含めた生体への影響については明らかではない. 疲労の原因のひとつとして, 通常の実物体を見ている状態である実体視と立体画像観視時の視機能の相違が注目されており, 立体画像観視時の両眼の輻輳と焦点調節の矛盾が疲労の原因となりうることが指摘されている. 今回, 立体画像観視によって影響を受けると考えられる視機能のうち, AC/A比と融像幅に注目し, 1時間の画像観視の前後でそれらの変化を検討した.

2. 立体画像観視時の視機能

2.1 輻輳と焦点調節の関係

実体視の場合, 両眼の輻輳点は焦点調節による被写界深度内に収まっている. これに対して, 立体画像観視時には, 注視している像が画面よりも手前に飛び出している場合, 両眼の輻輳点は画面よりも手前に位置するが, 焦点は画像の表示面が被写界深度に収まるように調節される. この両者間の差異が従来から指摘されている, 輻輳と焦点調節の矛盾である.

さらに, 注視している像の奥行きが変化する場合には視機能の過渡的な特性を考慮する必要がある. 眼球の輻輳と焦点調節は互いに密接な相互作用を及ぼしており, 協調的に運動する. 輻輳が生起されると, それに連動して焦点調節が誘導される. これを輻輳性調節(Convergentive Accommodation, CA)と呼ぶ. 逆に, 焦点調節が生起されると輻輳が誘導される. これを調節性輻輳(Accommodative Convergence, AC)と呼ぶ.

実体視では, 輻輳と焦点調節の相互作用量は, 遠見, 近見に伴う輻輳の移動量や焦点の調節量にほぼ矛盾がないような一定値に保たれている. 実体視において, 注視物体が近づいたとき, 網膜像のぼけと視差による両眼不一致が同時に起こる. 通常, 焦点深度は0.4ディオプタ(以下, D

2000年2月3日, 電子情報通信学会画像工学研究会, 信学技報 EID 99-139 IE 99-135 (2000-02) pp. 91-96 に発表

2000年3月1日受付, 2000年5月15日再受付, 2000年6月5日採録

[†] NHK 放送技術研究所

(〒157-8510 東京都世田谷区砧 1-10-11, TEL 03-5494-2276)

[†] NHK Science and Technical Research Laboratories

(1-10-11, Kinuta, Setagaya-ku, Tokyo 157-8510, Japan)

と表記する)程度の幅を持つので、両眼不一致が先に検出される。また、輻輳運動の潜時は 200 ms 程度、焦点調節の潜時は 300 ms 程度で輻輳運動の方が短い。よって、融合性輻輳運動が最初に生起され、それに誘導されて輻輳性調節が連動する。最後に、網膜像のぼけに基づく焦点調節が生起される。

一方、立体画像観視時には、注視している像の奥行きが変化して融合性輻輳運動が生起されると、輻輳性調節が誘導され、いったんは実体視と同じ方向に調節される。その後、画像表示面の方向にゆるやかに再調節されることが報告されている¹⁾。これは、誘導された輻輳性調節によって、画像表示面が被写界深度からはずれることによって網膜像のぼけが検知され、再調節が生起されるものと考えられる。この再調節により、調節性輻輳が生起される可能性があるが、ここで輻輳が生起されると両眼不一致が起きてしまうため、視覚系が単一視を保つためには調節性輻輳が抑制された方が都合が良い。上記の報告においても再調節によって誘導された調節性輻輳は観測されていない。もし、輻輳と焦点調節の相互作用量が、サッケード眼球運動のように適応的に変化可能な性質のものであれば²⁾、調節性輻輳を減少する順応によって、立体画像観視に適応できる可能性がある。さらに、これらの相互作用量は疲労の結果として変化することも考えられる。

このような調節から輻輳への相互作用量のひとつの指標として AC/A 比がある。これは一般に、1 D の焦点刺激を与えたときに誘導される調節性輻輳の量を単位プリズムディオプタ(以下、 Δ と表記する)で表して定義される。

視覚系には輻輳と焦点調節の密接な相互作用が存在する一方で、随意に相互作用を抑制し、輻輳と焦点調節の矛盾状態を保持できる機能も兼ね備えている。矛盾状態の極端な例として、裸眼立体視(Freefuse)がある。裸眼立体視とは、例えば 1 枚の紙面上に並べて印刷された左右眼に対応する 2 つの像を、特別な眼鏡や観察具などを用いることなしに 1 つの立体像として知覚するものである。このとき観察者は焦点を紙面上に保持したまま、意識的に眼球を内側に寄せる輻輳眼球運動を行うか、または外向きに開散眼球運動を行うことで融像する。裸眼立体視は個人差も大きい³⁾が、多少の視能訓練によって可能となる。

2.2 融像幅

視覚系が左右眼に対応する 2 つの像を 1 つの立体像として知覚できる両眼網膜像差には限界が存在する。眼球運動を止めた状態で融像可能な範囲をパナムの融合域と呼ぶ。この融合域の外側では輻輳、開散眼球運動を行い、パナムの融合域を移動させることにより融像可能となる。この眼球運動を伴う融像を運動性融像と呼ぶ。運動性融像を含む輻輳側、開散側の 2 つの融像の限界点の間隔の幅を融像幅と呼ぶ。融像の限界点は、ヒステリシス特性をもつ。左右像を 1 つの立体像として知覚している状態から視差が増加すると、ある視差で融像の限界点に達し、二重像として知

覚される(融像限界点)。逆に十分に大きい視差をもつ左右像が二重像として知覚されている状態から視差が減少すると、ある視差で 1 つの立体像として知覚される(融像開始点)。一般に、融像限界点の視差は融像開始点の視差よりも大きい。融像幅は輻輳側、開散側の融像限界点の幅で定義される。また、立体画像観視時には輻輳側の融像限界点は画像表示面と観察者の間にあり、観察者の両眼の視線は画像表示面より手前で交差する。逆に開散側の融像限界点は画像表示面より奥側にあり、観察者の両眼の視線は画像表示面より奥側で交差するか、平行よりも開いた状態となる。

立体画像の観視に伴う融像幅の変化については、これまでにほとんど検討された例はない。類するものとして、VDT 作業に伴う融像幅の変化の検討が行われている³⁾。6 時間に及ぶ VDT 作業によって、融像幅の変化が認められている。また、極端な例では、激しい疲労の結果、ものが二重に見えることがあり、これらは疲労に伴う眼位や融像幅の変化を示唆する。

もし、輻輳と焦点調節の矛盾が立体画像観視時の疲労の原因となっているならば、輻輳と焦点調節の相互作用を抑制する訓練を行った裸眼立体視ができる人と、そうでない人では視覚的負担の度合いが異なると考えられる。このため長時間の立体画像観視に伴う視機能の変化に差が検出される可能性がある。

以上より、今回、被験者を裸眼立体視ができる群と、裸眼立体視ができない群の 2 つの被験者群に分類し、1 時間の立体画像の観視によって AC/A 比と融像幅の変化に差があるかどうかを実験的に検討した。また、対照のため立体画像と同一条件で平面画像を観視したときの視機能の変化についても測定した。

3. 実験方法

3.1 実験手順

測定項目と時刻の関係を表 1 に示す。測定項目の○付きの番号は表中の番号と対応している。

(1) 実験前の被験者の視機能のスクリーニング

実験に先だって、被験者の視機能に問題がないことを確

表 1 測定項目と時刻の関係
Timetable of measurements.

Measurements Time	Fusion Range	AC/A Ratio	Questionnaire
Pre-exposure	2	1	
60 min. Watching TV			
Post-exposure	3	4	5
1 st 5 min. rest			
After-a-rest	6		
2 nd 5 min. rest			
After-2-rests	7		

認する。この検査には立体映像標準チャート⁴⁾⁵⁾の立体視機能検査チャートから2種を選択した。チャート No. 4 精密な立体視(Circle Test)で被験者の静的立体視と立体視力に問題がないこと、チャート No. 9, 10 斜視角検査(Maddox Test)で被験者の眼位に問題がないことを確認する。

(2) 画像観視前の測定

AC/A 比の測定①

プリズムバーと凹レンズを用いた Gradient method によって Responce AC/A 比を測定する。まず、被験者の屈折異常を矯正する。遠見時にプリズムバーを一眼にあてながら交互に遮蔽を行い眼球の動揺がなくなるプリズムを選び出す。この時のプリズムの度を $p_0(\Delta)$ とする。次に両眼に同じ度数 $d(D)$ の凹レンズを装用し指標を明視させる。この調節負荷時の眼変位を同様の方法で再度計測する。この時のプリズムの度を $p_1(\Delta)$ とする。凹レンズの度数は基本的には $d = -3.0(D)$ を用いたが、視力矯正を行っている被験者の場合、調節力が $+3.0(D)$ に満たない場合がある。そのような場合には凹レンズの度数を調節力の範囲内の負荷にとどめた。AC/A 比は次式によって求めた。

$$AC/A = (p_1 - p_0) / (-d)(\Delta/D)$$

融像幅の測定②

融像幅の測定には、前述の立体視機能検査チャートの部分に含まれる、No. 5, 6 融像幅の測定(バーテスト)を測定可能な視差範囲を拡張して用いた。測定用画像を図 1 に示す。

- (a) 輻輳側の融像限界点測定 視差がゼロの2本の長方形がそれぞれ左右眼に提示される。被験者はこれらの像が表示面上の1本の長方形として知覚された時点でボタンを押す。その後、1秒毎に視差が約10分(10 pixel)ずつ増加する。被験者はこれらの像が画面上から手前に飛び出た1本の長方形として知覚されている間、ボタンを押し続ける。ある時点で、1本の長方形としての知覚が破綻し、2本の長方形として知覚される。このとき、被験者はボタンをはなす。この際、被験者の焦点調節の範囲を逸脱して像がぼけて知覚される場合でも、二重像が知覚されるまでボタンを押し続ける。

図 1 融像幅測定用画像
Test image for fusion range.

- (b) 輻輳側の融像開始点測定 被験者がボタンをはなした時に提示されていた視差量にさらに約50分(50 pixel)を加えた視差をもつ2本の長方形がそれぞれ左右眼に提示される。被験者はこれらの像が2本の長方形として知覚されている間、ボタンを押し続ける。ある時点で、2本の長方形としての知覚が1本の長方形としての知覚に変化したとき、被験者はボタンをはなす。同様に

(c) 開散側の融像限界点測定

(d) 開散側の融像開始点測定

を行う。この手続きを2回繰り返して行い、平均値をもって測定値とする。

(3) 立体画像の観視

観視画像は1時間の立体ハイビジョン番組で、子供向き番組「ワッフル」、歌手と同じフロアからスタジオ撮影した歌謡番組「クリスマスコンサート」、CG キャラクタが空間を飛び回る小学生向き番組「夢ディア号」、客席からステージ上を撮影したライブ歌謡番組「ポップジャム」が含まれる。

(4) 画像観視直後の測定

融像幅③と AC/A 比④の測定を行う。

(5) 画像観視後第1回目の5分間の休憩

この間に、目の疲れや体の変調の自覚症状について該当項目を選択するアンケートと自由記述での内省報告⑤を行う。

(6) 融像幅の測定⑥

(7) 画像観視後第2回目の5分間の休憩

(8) 融像幅の測定⑦

3.2 被験者

実験前のスクリーニングによって、視機能に問題がないことを確認された成人12名を、裸眼立体視ができる被験者群6人、裸眼立体視ができない被験者群6人の2群に分けて同一の実験を行う。裸眼立体視が可能か否かの判定は、実験前の被験者にランダムドットステレオグラムを示し、その観察経験の有無と裸眼立体視の可否を質問した。観察経験があり、裸眼立体視可能であったと回答した被験者には、実際に裸眼立体視を行わせ、立体形状を正しく回答できることを確認し、裸眼立体視ができる群とした。そうでない被験者を裸眼立体視ができない群とした。各被験者は立体画像と平面画像を観視する実験を1回ずつ、異なる日に実施した。

3.3 観視条件

観視条件はHDTV標準観視条件に準じて設定した⁶⁾。視距離は画面高の3倍で1.2m、水平視角は約33°とした。

3.4 実験装置

実験装置を図2に示す。画像提示には、2系統のHDTV デジタル VTR とフレームメモリー、32 インチハイビジョンモニタ、および制御用計算機を使用した。2

図 2 実験装置
Experimental apparatus.

台のモニタ画面上の像の左右眼の分離は偏光方式である。被験者は立体画像観視時には左右眼で直交する偏光フィルタから成る眼鏡を用いて立体視を行う。また、対照のための平面画像観視時には左右眼とも同一方向の偏光フィルタから成る眼鏡を用いて、右眼用の画像を両眼で観視する。

4. 実験結果

4.1 AC/A 比の変化

測定ができなかった 2 名を除いて、裸眼立体視の可能な被験者 5 人、そうでない被験者 5 人分の AC/A 比の平均値の変化を図 3(a)(b) に示す。エラーバーは標準偏差を示す。また、分散分析結果を表 2(a)(b) に示す。分散分析の結果、立体、平面画像観視共に、時刻の主効果、裸眼立体視の可否の主効果、交互作用のいずれも有意とは認められなかった。

4.2 立体画像観視時の融像幅の変化

裸眼立体視の可能な被験者 6 人、そうでない被験者 6 人分、計 12 人の立体画像観視時の融像幅の平均の変化を図 4 に示す。融像幅の角度の表記は、輻輳側の融像限界点において左眼像と左眼、右眼像と右眼をそれぞれ結ぶ直線の交わる角度と、開散側の融像限界点において同様の直線の交わる角度の視差を示す。Mauchly の球面性検定の結果、球面性が仮定できるので ($p=0.376$)、反復測定の分散分析を行った結果を表 3 に示す。* は $p<0.05$ で有意差が認められた項目を示す。この結果から、裸眼立体視の可否の主効果が認められる ($F(3, 10)=7.25, p=0.0226^*$)。よって、融像幅に対して裸眼立体視の訓練効果があることが明らか

図 3(a) 立体画像観視時の AC/A 比の平均値の変化 ($N=5+5$)
AC/A ratio with 3D exposure ($N=5+5$).

図 3(b) 平面画像観視時の AC/A 比の平均値の変化 ($N=5+5$)
AC/A ratio with 2D exposure ($N=5+5$).

表 2(a) 立体画像観視時の分散分析表
Summary of ANOVA of AC/A with 3D exposure.

	SS	df	MS	F	p
Total	18.5	19			
Free Fusion	3.84	1	3.84	2.16	0.180
Subject	14.2	8	1.78		
Time	0.0247	1	0.0247	0.620	0.454
Interaction	0.0247	1	0.0247	0.620	0.454
Error	0.319	8	0.0399		

表 2(b) 平面画像観視時の分散分析表
Summary of ANOVA of AC/A with 2D exposure.

	SS	df	MS	F	p
Total	14.8	19			
Free Fusion	1.70	1	1.70	1.34	0.280
Subject	10.1	8	1.26		
Time	0.478	1	0.478	1.52	0.253
Interaction	0.0413	1	0.0413	0.131	0.727
Error	2.520	8	0.315		

になった。次に、融像幅に時刻の主効果が認められた ($F(3, 30)=3.44, p=0.0290^*$)。よって、立体画像の1時間の観視によって、融像幅が有意に変化することが明らかになった。また、これらの交互作用は有意とは認められない ($F(3, 30)=1.21, p=0.323$)。

融像幅に時刻の主効果が認められたことから、立体画像観視前と他の時刻のどの水準間に差があるかを検討するため、Dunnettの多重比較を行った。結果を表4に示す。これより、立体画像観視前の融像幅の12人の平均12.34°と観視直後の平均10.31°の差で有意差が認められる ($p=0.014$)。立体画像観視前と第1回目の5分間の休憩後10.83°の差は有意傾向である ($p=0.08$)。立体画像観視前の第2回目の5分間の休憩後11.52°の差では有意差が認

められない ($p=0.48$)。

4.3 平面画像観視時の融像幅の変化

次に、平面画像観視時の融像幅の平均の変化を図5に示す。Mauchlyの球面性検定の結果、球面性が仮定できないので、Greenhouse-Geisserのイプシロン0.492による自由度の修正を行って反復測定分散分析を行った。結果を表5に示す。*は $p<0.01$ で有意差が認められた項目を示す。これらより、裸眼立体視の可否の主効果が認められる ($F(1, 10)=15.5, p=0.003^{**}$)。また、立体画像観視前の融像幅の12人の平均11.80°、観視直後の融像幅の平均11.77°、第1回目の5分間の休憩後の平均12.13°、第2回目の5分間の休憩後の平均11.23°には時刻の主効果は認められない ($F(1.48, 14.8)=0.555, p=0.534$)。また、これらの交互作用は、有意とは認められない ($F(1.48, 14.8)=$

図4 立体画像観視時の融像幅 ($N=6+6$)
Mean fusion range with 3 D exposure ($N=6+6$).

図5 平面画像観視時の融像幅 ($N=6+6$)
Mean fusion range with 2 D exposure ($N=6+6$).

表3 立体画像観視時の融像幅の分散分析表
Summary of ANOVA of fusion range with 3 D exposure.

	SS	df	MS	F	p
Total	3822.0	47			
Free Fusion	1556.5	1	1556.5	7.25	0.0226*
Subject	2146.4	10	214.6		
Time	27.97	3	9.32	3.44	0.0290*
Interaction	9.8	3	3.28	1.21	0.323
Error	81.2	30	2.71		

表5 平面画像観視時の分散分析表
Summary of ANOVA of fusion range with 2 D exposure.

	SS	df	MS	F	p
Free fusion	475	1	475	15.5	0.003**
Subject	1226.3	10	122.6		
Time	4.95	1.48	3.35	0.555	0.534
Interaction	2.37	1.48	1.61	0.266	0.704
Error	89.1	14.8	6.03		

表4 グネットの多重比較
Dunnett Multiple Comparison with 3 D exposure.

		Mean Difference (I-J)	SE	p	95% Confidence Interval	
(I) TIME	(J) TIME				Lower Bound	Upper Bound
Post-exposure	Pre-exposure	-2.03	0.678	0.014*	-3.70	-0.365
After a Rest	Pre-exposure	-1.52	0.678	0.082	-3.19	0.154
After 2 Rests	Pre-exposure	-0.827	0.678	0.483	-2.50	0.843

0.266, $p=0.704$).

5. 考 察

5.1 AC/A 比

本実験の結果、AC/A 比には大きな変化は認められなかった。これまでに、ヘッドマウントディスプレイを用いた画像観視で検討された例があるが⁷⁾⁸⁾、共に大きな変化は認められていない。これらより、少なくとも1時間程度の画像観視では、調節から輻輳への相互作用量は変化しないと考えられる。つまり、調節性輻輳を減少する順応や疲労の結果としての AC/A 比の大きな変化は認められない。立体画像観視時に調節性輻輳が抑制された状態に順応が完了すれば、視覚的負荷は軽減されと考えられるが、そのような順応的な変化は認められない。これは、未順応状態で実体視とは異なる視機能を使い続けることになり、立体画像観視時には実体視よりも余分な視覚負荷状態におかれていることが示唆される。

5.2 融像幅

本実験の結果、立体画像観視直後に有意な融像幅の変化が確認された。今回の測定は、視差を持つ立体画像で融像幅を測定しているため、調節を一定に保ったまま輻輳をどの程度変えられるかを測定している。これは厳密にいうと、融像幅ではなく相対輻輳力と呼ばれる。眼球の開散側と輻輳側の相対輻輳力の和が相対輻輳全量である。つまり今回の測定は、0.83 D における相対輻輳全量を測定したことになる。

Percival は快適視域 (Area of comfort) を、相対輻輳全量の中央の 1/3 の範囲内で、かつ調節が 3 D 以内の範囲内に限定し、この範囲外は疲労を伴わずに持続できないとした⁹⁾。今回測定された相対輻輳全量の減少によって Percival の提唱した快適視域が更に狭まり、視覚疲労の原因となることも考えられる。

また、VDT 作業と今回の立体画像観視の比較では、視距離、作業に要する注意水準、輻輳と焦点調節の矛盾の有無などが異なるため直接的な比較はできないが、6 時間に及ぶ VDT 作業の疲労の結果、融像幅が変化することが報告されている³⁾。

他に、疲労の指標となりうる視機能として、焦点調節と臨界融合周波数 (CFF) が検討されている。

立体画像観視に伴う焦点調節の変化については、調節速度の遅延と焦点調節の緊張状態が持続できなくなること¹⁰⁾、調節近点の変動が見られること¹¹⁾、近視化と調節反応量の減少¹²⁾ など、様々な変化が報告されている。

両眼視式立体画像の観視に伴う CFF の変化については、画像観視直後に CFF の低下と休憩後の回復が報告されている¹³⁾。また、今回の平面画像観視と同様な実験条件においては、画像観視直後の CFF の低下はないことが報告されている¹³⁾。これらの点においても今回の融像幅の変化の結果と一致している。

また、本実験に伴うアンケートによると、立体画像の方が平面画像より疲労の度合いが大きいとした被験者は 5 人、疲労の度合いが同程度とした被験者は 6 人、平面画像の方が立体画像より疲労の度合いが大きいとした被験者は 1 人であった。

これらの先行研究やアンケート結果と、今回確認された立体画像観視直後の有意な融像幅の減少は同様な傾向を示していることから、融像幅の変動が疲労の指標となる可能性が示唆される。視機能の個人差に起因する疲労形態の差が想定される場合、例えば眼位にずれのある被験者が立体画像観視を行う際、そうでない被験者よりも融像に対する努力が必要なため、焦点調節よりも融像幅の変動が有効な指標となりうるということが考えられる。従来の疲労の指標に融像幅の変動を加え、複数の指標を併用することによって、個人差を考慮した多角的な検討が可能となる。

5.3 時刻と裸眼立体視の可否の交互作用について

立体画像観視時に有意な融像幅の変化が確認された際に、時刻と裸眼立体視の可否の交互作用には有意差が認められない。しかし、図 4 の裸眼立体視の可能な被験者の平均値の変化のみに注目すると、大きな変化は認められない。また、標準偏差も大きい。裸眼立体視可能な被験者データの個別の検討により、融像幅の変化が顕著な被験者とそうでない被験者が認められ、後者は融像幅も狭く、裸眼立体視ができない被験者のデータに類似した傾向が見られる。この個人差が原因となって、大きな標準偏差となって現れているものと推測できる。これは、裸眼立体視の可能な被験者の中でも、被験者によって視能訓練の程度にばらつきがあること、融像幅の測定時に被験者によって融像の努力の程度が異なることなどが原因と考えられる。

そこで、個人差を考慮するため、各被験者において画像観視前の融像幅の値でそれ以降の融像幅値の正規化を行い、データの再検討を行った。

被験者 12 人の立体画像観視時の正規化された融像幅の平均の変化を図 6 に示す。Mauchly の球面性検定の結果、球面性が仮定できるので ($p=0.787$)、反復測定の分散分析

図 6 立体画像観視時の正規化された融像幅
Normalized fusion range with 3 D exposure ($N=6+6$).

表 6 立体画像観視時の正規化された融像幅の分散分析表
Summary of ANOVA of normalized fusion range with 3D exposure.

	SS	df	MS	F	p
Total	2.15	47			
Free Fusion	0.395	1	0.395	4.62	0.0571
Subject	0.854	10	0.0854		
Time	0.200	3	0.0667	3.58	0.0254*
Interaction	0.143	3	0.0475	2.55	0.0746
Error	0.560	30	0.0187		

を行った。結果を表6に示す。その結果、裸眼立体視の可否の主効果が有意傾向である ($F(1, 10)=4.62, p=0.057$)。また、融像幅に時刻の主効果が認められる ($F(3, 30)=3.58, p=0.0254^*$)。次に、これらの交互作用が有意傾向となる ($F(3, 30)=2.55, p=0.075$)。正規化を行わないときの結果と比較すると、裸眼立体視の可否の主効果と交互作用が有意傾向となる2点が異なる。前者は正規化を行ったため、裸眼立体視の可否による融像幅の絶対値の差が失われた結果である。後者は、個人差を考慮して画像観視前の融像幅の値を基準としてそれ以降の融像幅の値との比をとったため、被験者毎の融像幅の変化の傾向が明確になったためと考えられる。このことは被験者の裸眼立体視の可否によって、融像幅の変化の傾向が異なる可能性が残っており、立体画像観視に伴う視覚負荷の相違や、疲労に対する耐性などが異なる可能性があることを示唆する。

また、平面画像観視時の融像幅とAC/A比についても同様に正規化を行った。その結果、正規化を行わない場合と同様であった。

以上より、立体画像観視時の交互作用についてはさらなる検討の余地がある。

6. む す び

1時間の画像観視を行い、以下の結論を得た。

- (1) 平面、立体画像観視の前後でAC/A比に大きな変化が認められない。
- (2) 画像観視の前後に関わらず、裸眼立体視の可能な被験者はそうでない被験者より融像幅が広い。
- (3) 平面画像観視時には、融像幅はほとんど変化しない。一方、立体画像観視時の融像幅は、画像観視の直後では観視前より有意に減少するが、休憩後にほぼ観視前の値に戻る。これまでに行われた画像観視

に伴う疲労研究との比較より、融像幅の変動が疲労の指標となる可能性が示唆された。

- (4) 被験者の裸眼立体視の可否によって融像幅の変化の度合いに有意差は認められないが、画像観視前の融像幅の値を基準として、それ以降の融像幅の値との比による検討では有意傾向となり、立体画像観視に伴う視覚負荷の相違や、疲労に対する耐性などが異なる可能性があることを示唆する。

今後、融像幅の変化と順応、視覚疲労の関係、個人差等についてさらに検討を行う予定である。

〔文 献〕

- 1) T. Takeda, K. Hashimoto, N. Hiruma, and Y. Fukui: "Characteristics of Accommodation toward Apparent Depth", Vision Res., **39**, 12, pp. 2087-2097 (1999)
- 2) Miller, J. M., Anstis, T. and Templeton, W. B.: "Saccadic Plasticity. Parametric Adaptive Control by Retinal Feedback", J. Exp. Psychol., **7**, 2, pp. 356-366 (1981)
- 3) B. Piccoli, et al.: "Change in Visual Function and Viewing Distance during Work with VDTs", Ergonomics, **33**, 12, pp. 1433-1441 (1990)
- 4) (社)映像情報メディア学会: "立体映像標準チャート解説書"
- 5) ITU-R Study Groupes Draft New Recommendation, "Subjective Assignment of Stereoscopic Television Pictures", Document 11/119-E (1999)
- 6) ITU-R Recommendation BT. 710-2
- 7) 原, 鶴飼, 石川, 高木, 板東, 小山田: "ヘッドマウントディスプレイの数時間連続使用による屈折・調節・輻輳機能の変化", 日本眼科学会雑誌, **100**, 7, pp. 535-540 (1996)
- 8) 原, 高木, 板東, 小山田, 大西, 日下部: "二面式液晶表示装置使用前・後の視機能比較" 視覚の科学, **14**, 2, pp. 82-87 (1993)
- 9) Percival, A. S.: "The Relation of Convergence to Accommodation and Its Practical Bearing", Ophthal. Rev., **11**, pp. 313-328 (1982)
- 10) 井上, 野呂, 岩崎, 大頭: "視覚機能から見た立体映像の呈示条件", テレビ誌, **48**, 10, pp. 1301-1305 (1994)
- 11) T. Yamazaki, K. Kamijo, and S. Fukuzumi: "Quantitative Evaluation of Visual Fatigue Encountered in Viewing Stereoscopic 3D Displays: Near-Point Distance and Visual Evoked Potential Study", Proceedings of the SID, **31**, 3, pp. 245-247 (1990)
- 12) 不二門: "立体映像が視覚機能に与える影響", 視覚の科学, **18**, 1, pp. 2-8 (1998)
- 13) 三橋: "CFFの測定・解析法とテレビ観視者の疲労に関する一検討", 信学論A, **77**, 12, pp. 1768-1776 (1994)

えもと まさき
江本 正喜 1988年、京都大学大学院工学研究科修士課程電気工学修了。同年、NHK入局。岡山放送局を経て、1991年より、同放送技術研究所、ヒューマンサイエンスに勤務。立体画像の基礎的研究に従事。正会員。

やの すみお
矢野 澄男 1977年、電気通信大学応用電子工学科卒業。同年NHK入局。奈良放送局を経て、1981年、同放送技術研究所。1992年～1995年、ATR人間情報通信研究所に出向。現在、同放送技術研究所ヒューマンサイエンス主任研究員。放送方式、視覚情報処理の研究に従事。工学博士。正会員。