

# 3D 画像と調節・輻湊

奥山文雄<sup>1)</sup>、大原龍一、坂本雄児<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 鈴鹿医療科学大学大学院医療科学研究科

<sup>2)</sup> 北海道大学大学院情報科学研究科

## 1 はじめに

2009 年の 3D 映画「AVATAR」や 2014 年に公開された「アナと雪の女王 (Frozen)」などの 3D 映画は人気がある。そこで、各種の三次元立体映像が注目され、将来の放送サービスの 1 つの可能性として、立体テレビが検討されている。

立体表示画像には多くの種類があり、立体画像表示方法はメガネ型の偏光フィルター式や液晶シャッター式、裸眼型のパララックスバリア式などがあるが、奥行き視覚情報を与えるために主に右眼画像と左眼画像の両眼視差を利用している 2 眼式立体画像である。これらの 2 眼式立体画像表示では立体視しているときは、再現される立体映像までの輻輳距離とスクリーンから眼までの調節距離の刺激の矛盾や過度な両眼視差が眼の視機能に何らかの影響を及ぼすことが考えられ、疲労や身体への影響も懸念されている。一方、ホログラフィーは理想的な立体表示と考えられ、今後の発展が期待されている。人間が実際の物体やディスプレイを注視する場合には、調節・輻湊以外に身体運動、頭部運動、眼球運動などを伴っている。

従来、一般には調節・輻湊の矛盾と言われている調節刺激と輻湊刺激の相違、これが 3D 映像観察時の疲労の原因の 1 つと考えられている。そこで、ホログラフィーと 2 眼式立体映像が視覚に与える影響を、調節・輻湊の測定とアンケート調査で比較した。今回は、ホログラフィーによる調節・輻湊の測定と、2 眼式立体映像の映像視聴前後の眼屈折力変化とアンケートによる比較調査、輻湊の測定を行った。

## 2 実験

(1) ホログラフィーによる調節と輻湊の実験では、電子ホログラフィーでスターバースト状の視標映像を作成して調節と輻湊を比較した。結果は、実際の物体を注視している時と同様な調節応答と輻湊応答が得られたが、応答量については視標の解像度などが考えられるので検討したい。

(2) 2 眼式立体映像の実験では、立体映像観察前後による眼の屈折力変化が見られ、アンケート調査では平面映像と比べ 2 眼式立体映像の方が影響が大きく、疲労が大きいことがわかった。また、立体映像の観察時は、衝動性眼球運動などがあっても輻湊は安定している傾向が見られる。

## 3 まとめ

3D 画像が眼にあたえる影響はまだ未知の点が多いが、知覚される画像の品質に大きく影響する調節と輻湊をホログラフィーと 2 眼式立体画像で比較することができた。

### 参考文献

- 1) 奥山文雄、2 眼立体像が眼に与える影響、3 次元映像 Vol.25, No.2, p35-38, 2011、東京
- 2) 大原龍一、米山拓広、栗田正伸、坂本雄児、奥山文雄、"電子ホログラフィの再生像の奥行きに対する静的輻輳・調節応答の測定、"映像情報メディア学会誌, Vol.68, No.4, pp.J144-J151, 2014 年
- 3) Chap9 "Neural Control of Eye Movements", Adler's physiology of the eye, 11<sup>th</sup> ed. Elsevier, 2011

# 3D画像と調節・輻湊

奥山文雄

鈴鹿医療科学大学大学院医療科学研究科

〒510-0293三重県鈴鹿市岸岡町1001-1

fokuyama@suzuka-u.ac.jp

# 眼球運動と3D画像

1823年に2眼式3D画像が発明されてから190年以上に、3D画像（立体画像）が生体に与える影響は良くわかっていない。1947年にGaborがホログラフィ(Holography)を発明してから60年以上になる。しかし、視覚機能と3D画像との関係はいまだ十分に理解されていない。人間が、実際の物体を注視・鑑賞する場合には、身体運動や眼球運動が複合されて、物体の視覚情報を入力しようとする。そこで、ここでは3D画像観察による疲労の原因の1つと考えられている調節と輻湊について述べる。

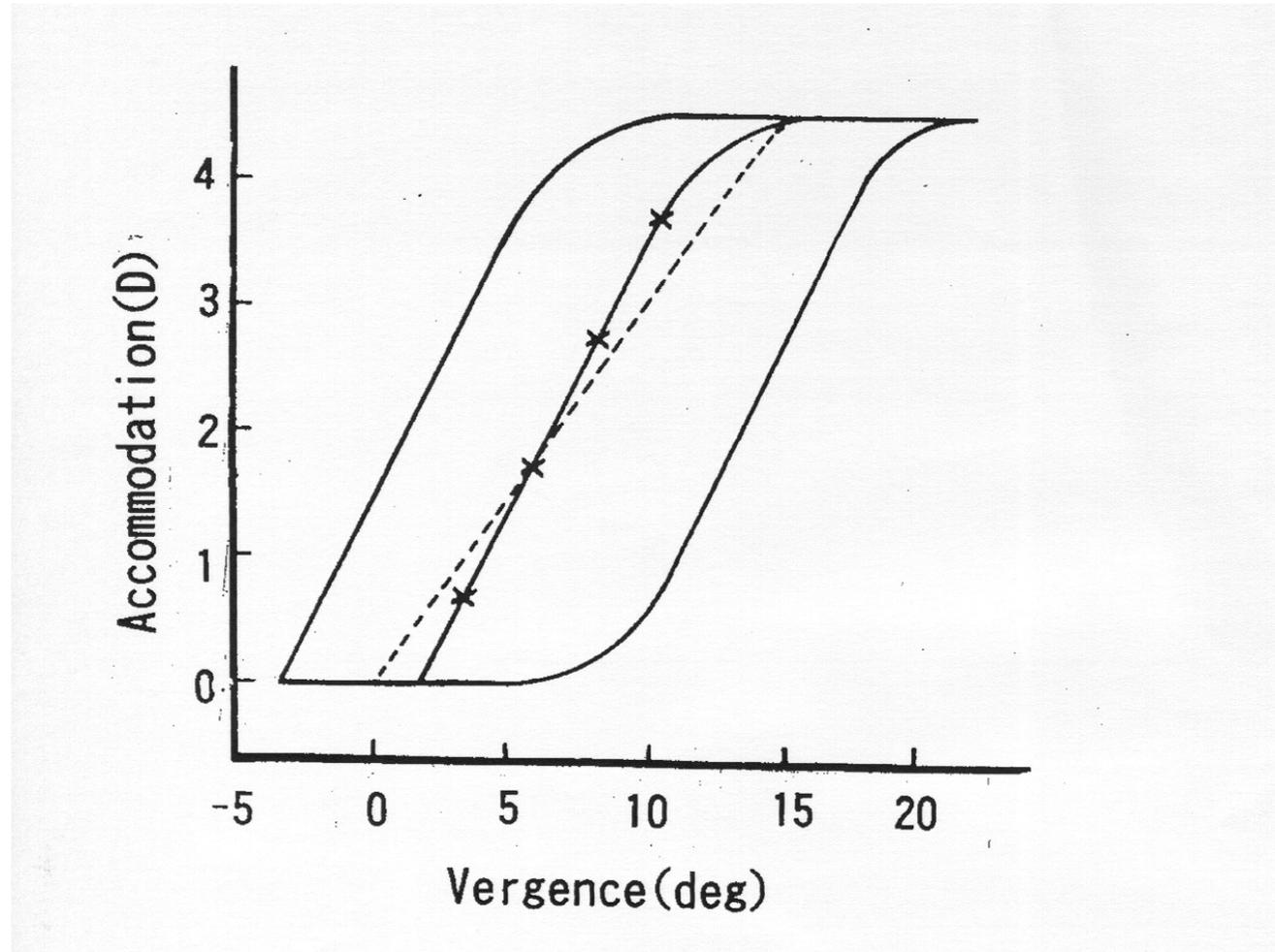
# 眼球運動の分類

人眼の視覚に関連すると考えられている眼球運動には両眼性の衝動性眼球運動、滑動性眼球運動(追従性眼球運動)、追跡眼球運動は、ゆっくり動く視覚対象物の網膜像を網膜中心窩付近に維持し、その動きに合わせて視線を滑らかに動かす時に起こる随意性眼球運動を指す。

調節	Accommodation
衝動性眼球運動	saccade, saccadic eye movement
滑動性眼球運動(追従性眼球運動)	Pursuit eye movement
輻輳性運動(輻湊)	Vergence
固視	Fixation
視運動性眼振	Optokinetic nystagmus、OKN
前庭動眼運動(前庭動眼反射)	Vestibulo-ocular reflex、VOR

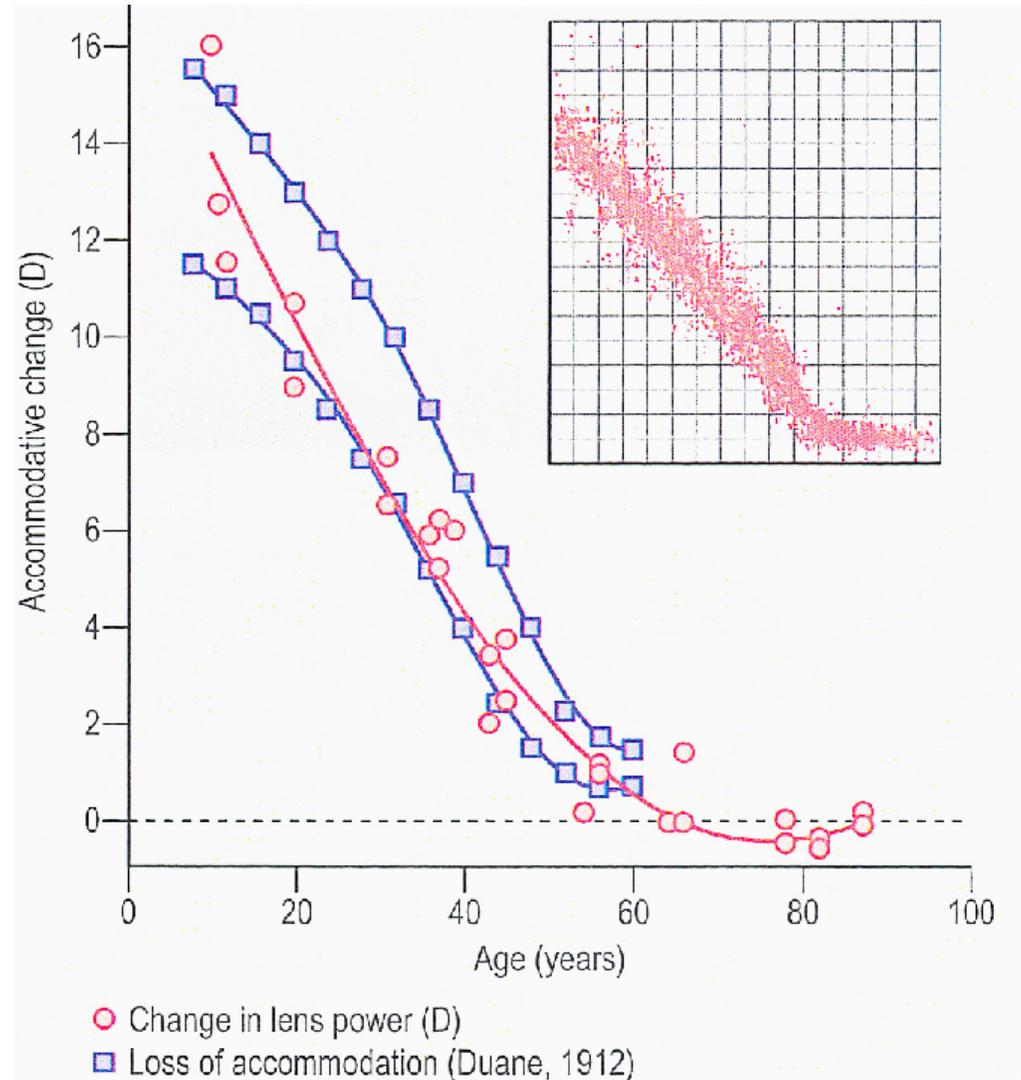
(1903年にDodgeは眼球運動を5つに分類した)

# 調節と輻湊の関係 (Donder's Curve)

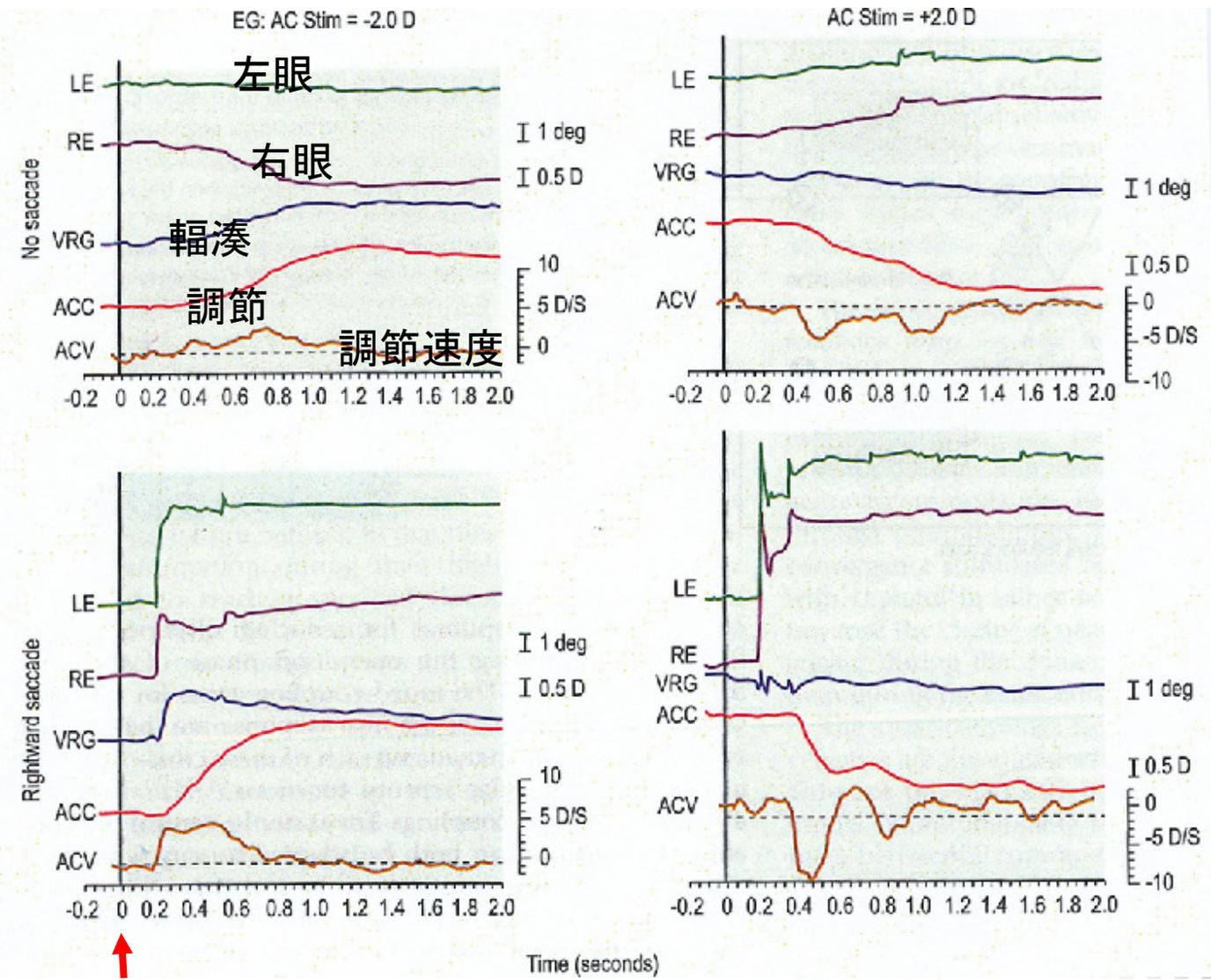


Limitation of Vergence and Accommodation

# 調節能力



# 調節・眼球運動・輻湊



Saccade なし

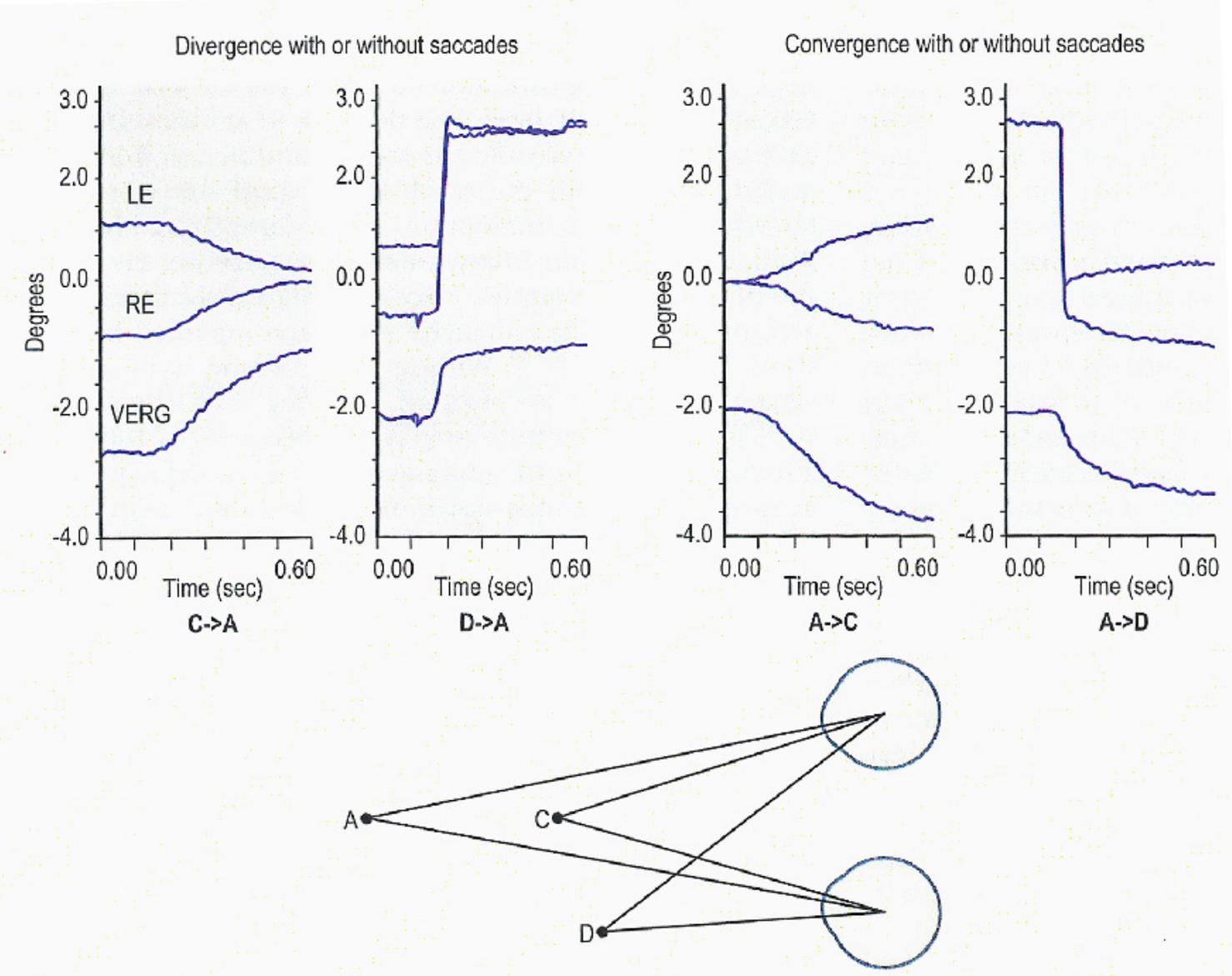
6度の右方向saccade

刺激 調節増加

調節減少

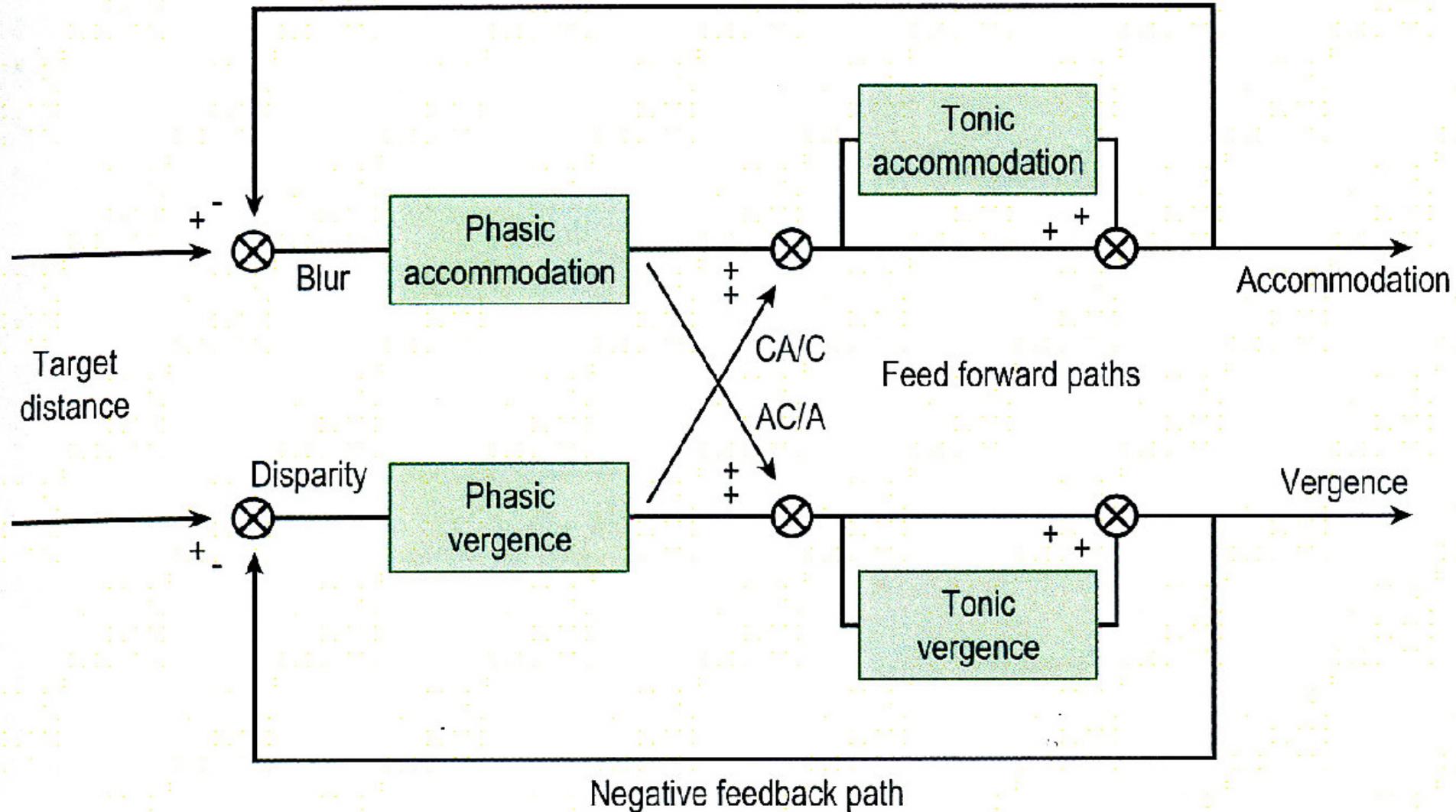
(Adler's physiology of the eye ,11th ed 2011 Elsevier)

# 輻湊と眼球運動

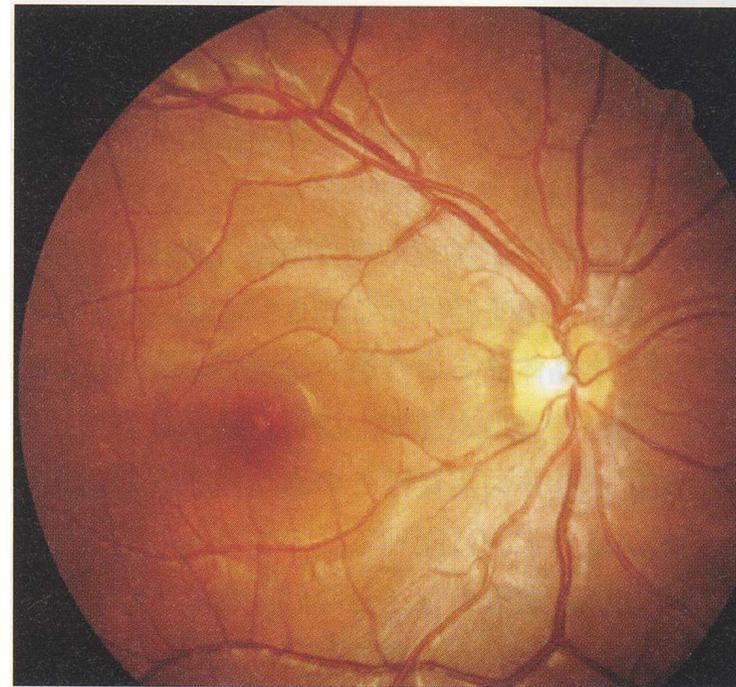
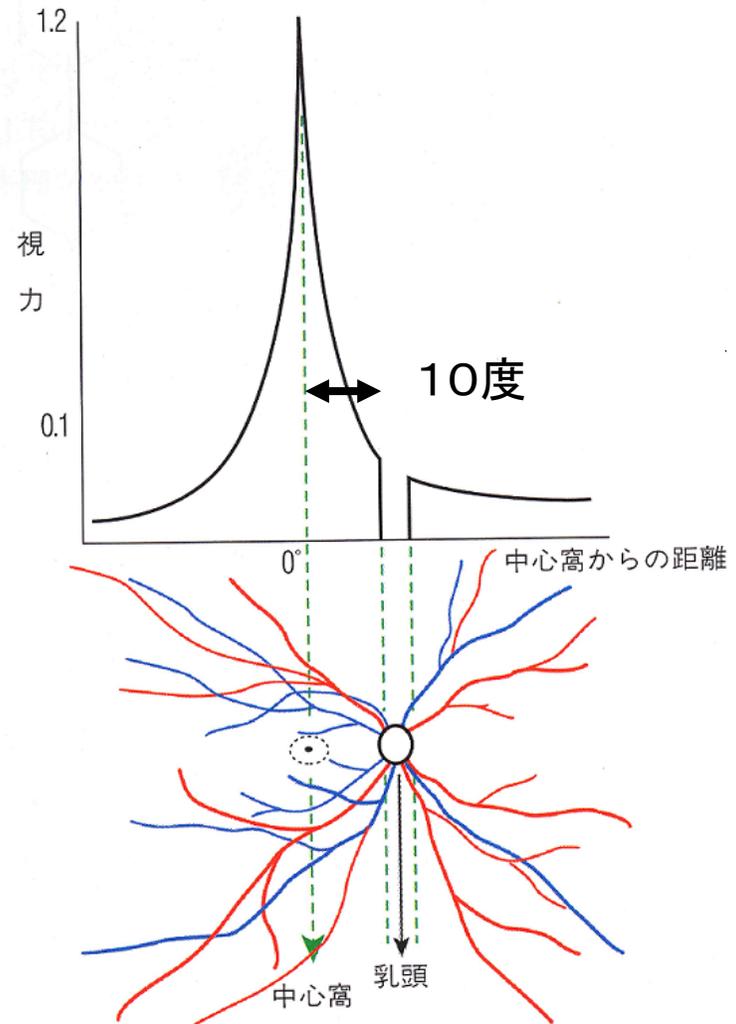


# 調節と輻湊

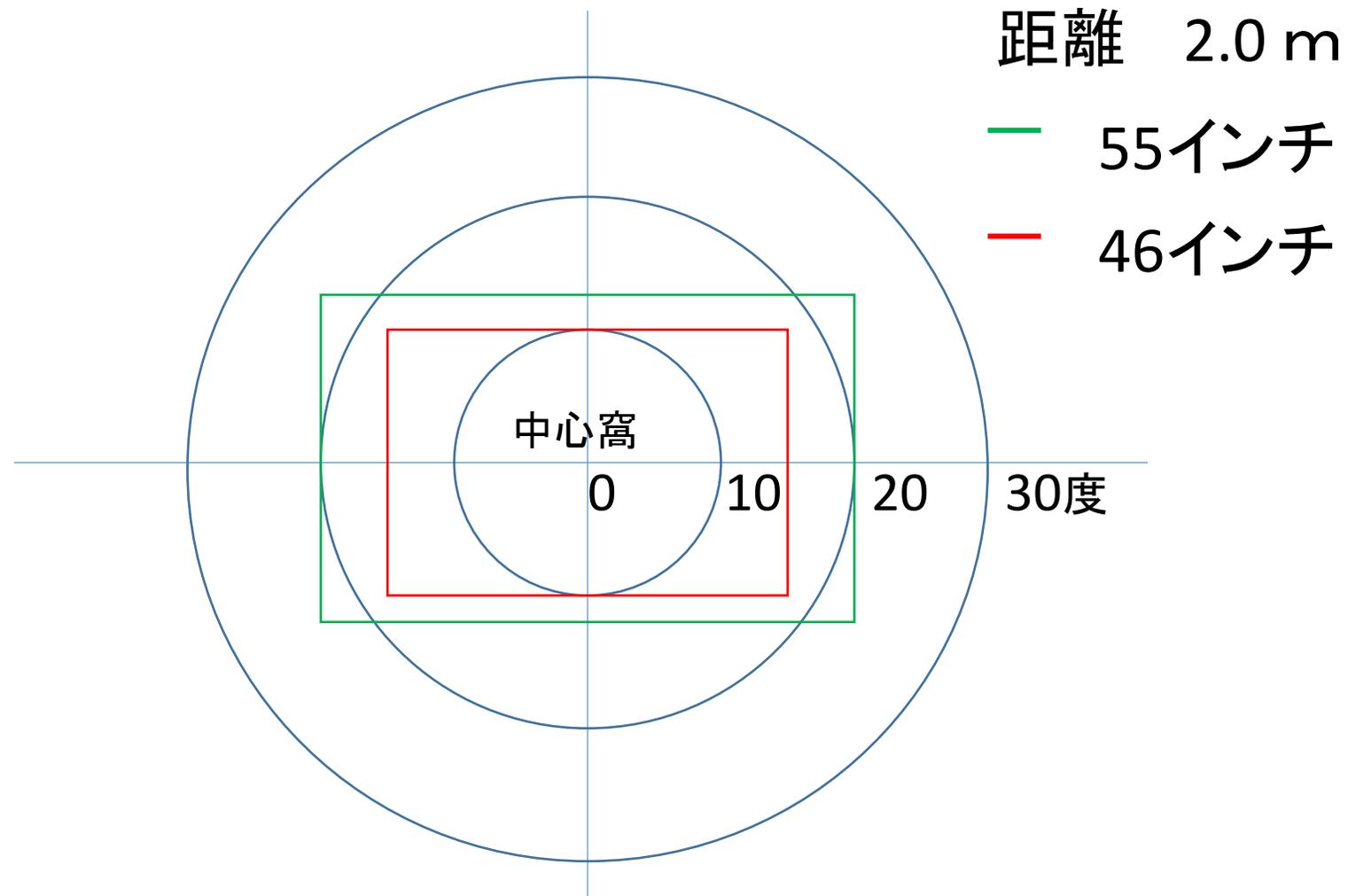
Negative feedback path



# 視力と網膜部位



# 55インチディスプレイと網膜部位



# ディスプレイと眼球運動

## 3Dディスプレイ観察時の眼球運動

共同性眼球運動

衝動性眼球運動(saccade)

滑動性眼球運動(smooth pursuit)

輻湊眼球運動(vergence)

調節(Accommodation)

瞳孔運動(pupil)

眼球運動の目的:

外界の物体を網膜上に**鮮明な像**として捉える

# 3D映像と眼球運動

- ・2D映像の場合は注視点はディスプレイ平面上にあるのか？
- ・3D映像の場合は、注視点はどこにあるのか？

# 奥行き感(立体感)と調節・輻湊

奥行き感だけで調節・輻湊が起きる？

1) 吉本照子「奥行き感と調節」 1989

2) Tsunehiro Takeda「Characteristics of accommodation toward apparent depth」1999

# 奥行き感と調節・輻湊 1

## 「奥行き感と調節」

吉本照子、田畑洋、奥山文雄、所敬  
ウムp175-178,10.25-27,京都

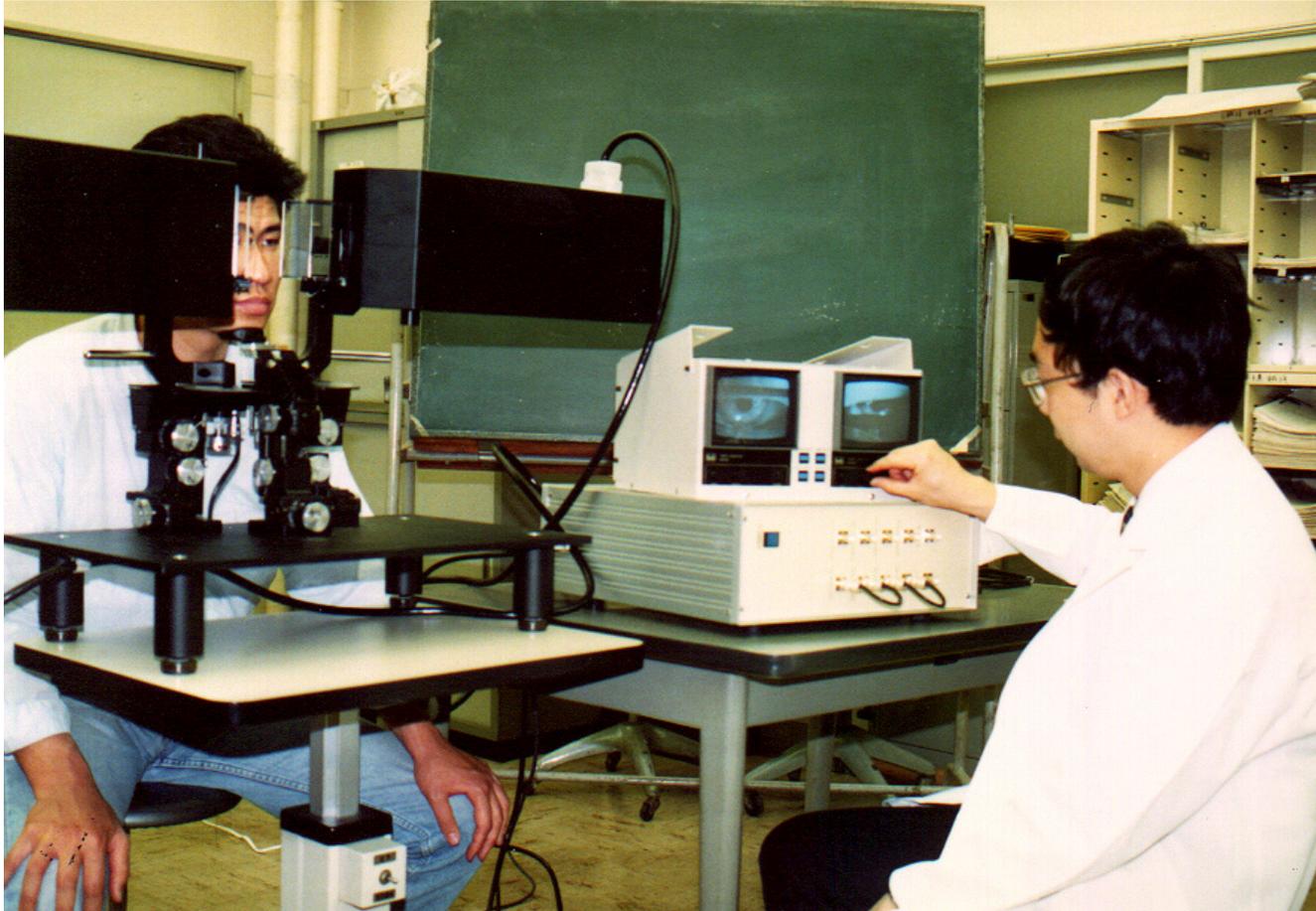
第5回ヒューマンインタフェースシンポジ

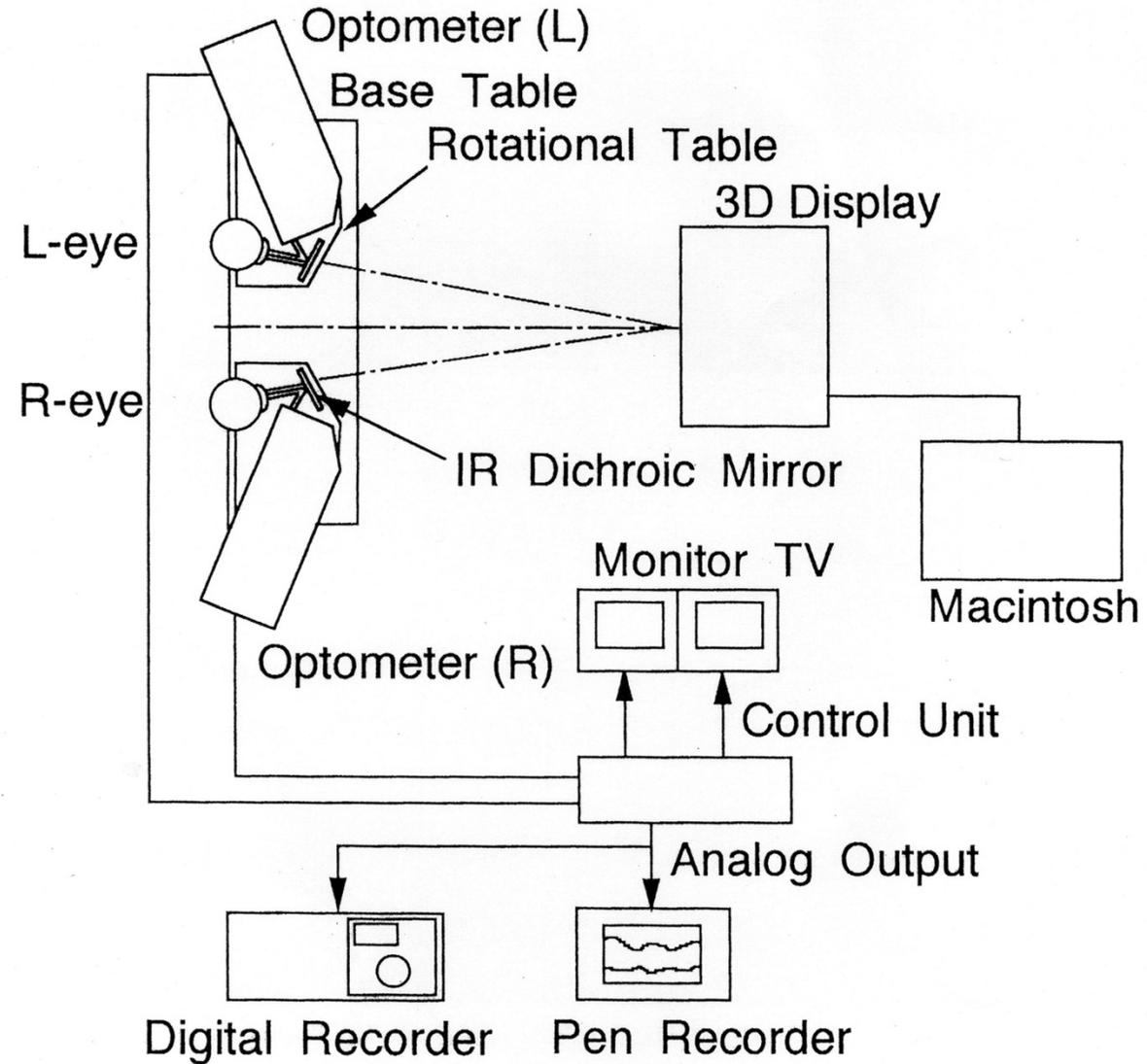
# 測定装置 前面解放型赤外線オプトメータ

測定範囲  $-10D \sim +10D$

測定精度  $0.05D$

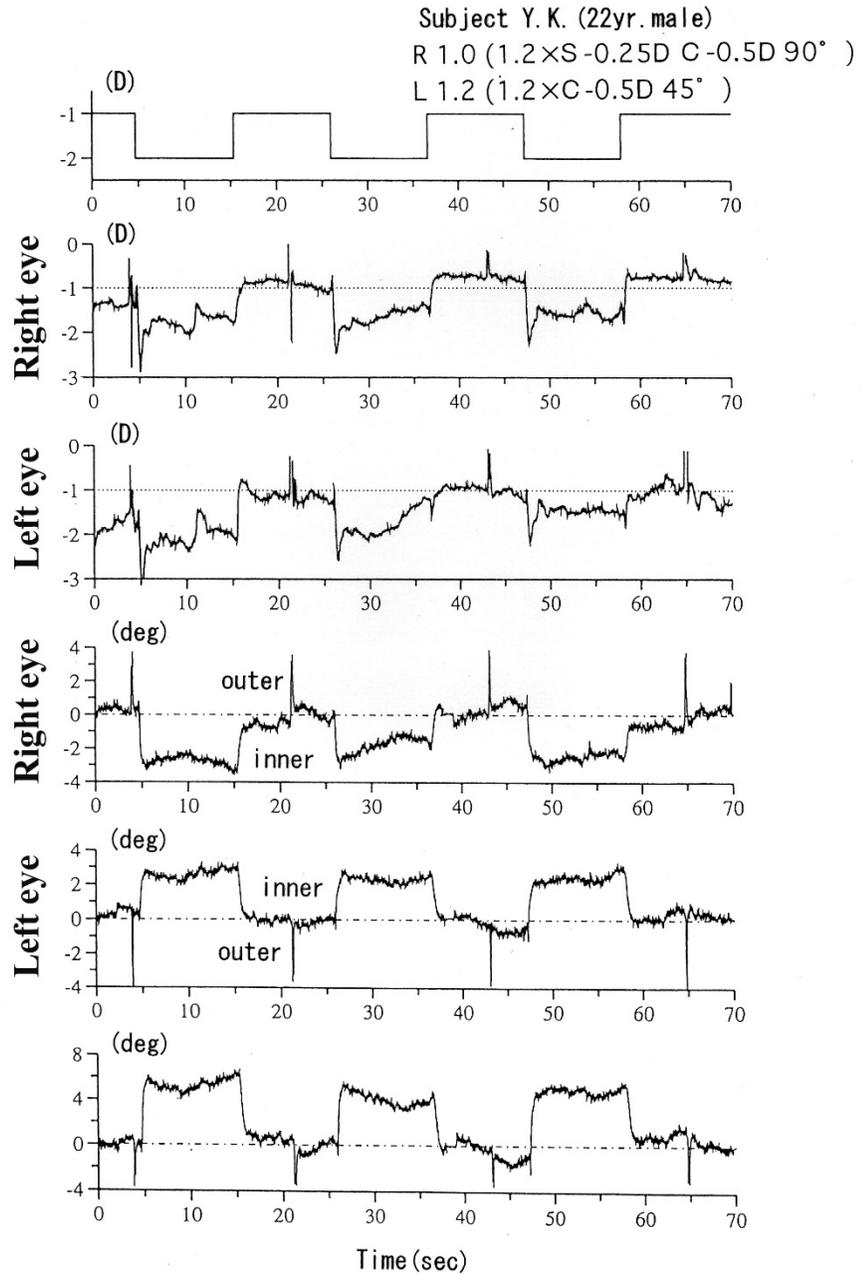
測定波長  $880nm$





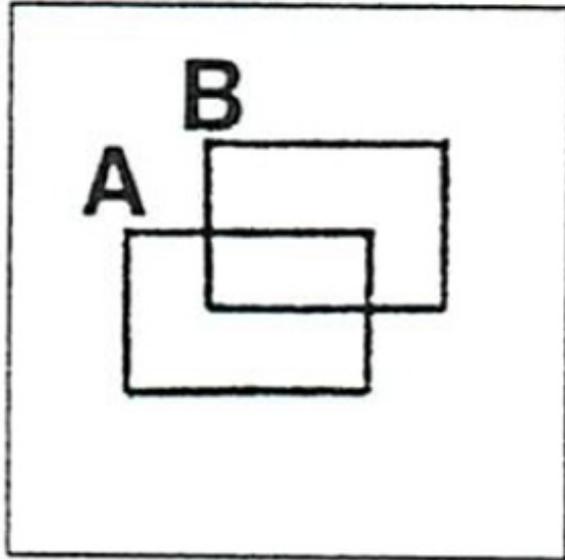
**Schematic diagram for experiment with Stereoscopic Display**

Disparity Stimulus  
Accommodation  
Eye Movement  
Vergence

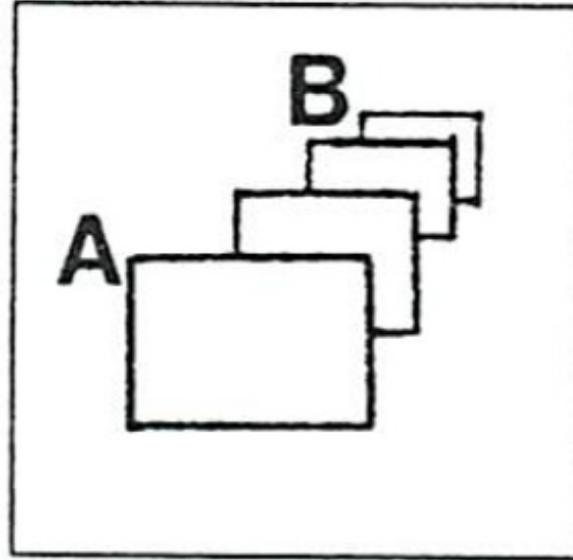


## Accommodation and Vergence with Stereoscopic Display

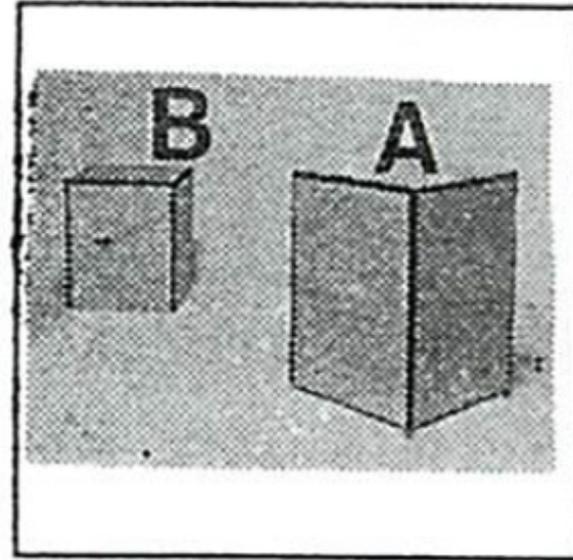
# 視標



視標 I



視標 II



視標 III

視標 I・II はモノクロームで、画像全体の視角は $10^{\circ} \times 10^{\circ}$   
A・B 周囲の輝度は約 $100\text{cd}/\text{m}^2$ 、視標 III は薄灰色の箱の稜線を黒く縁取っており画像全体の視角は $20^{\circ} \times 29^{\circ}$ 、A・B の輝度は約 $60\text{cd}/\text{m}^2$ である。

表4 視標IIIに対する調節量

単位；ディオプター

sub- 試行 ject注視点	1	2	3	4	出現 頻度	方向一 致頻度
MIT A	1.6±0.06	0.9±0.08	1.0±0.15	1.4±0.12		
MIT B	1.9±0.06	1.5±0.14	1.4±0.11	1.4±0.07	3/4	0/3
FUR A	1.0±0.07	0.6±0.10	0.8±0.12	0.8±0.10		
FUR B	0.7±0.09	0.7±0.08	1.0±0.10	0.6±0.13	1/4	1/1
YAM A		1.2±0.11	1.5±0.17	1.6±0.11		
YAM B	1.4±0.04	1.2±0.17	0.9±0.11	1.2±0.08	2/3	2/2
OGA A		0.9±0.04	1.6±0.12	1.5±0.18		
OGA B	1.7±0.09	1.2±0.08	1.6±0.10	1.4±0.16	1/3	0/1
ICH A	1.1±0.10	1.5±0.10	1.7±0.05	1.5±0.10		
ICH B	1.2±0.19		1.3±0.06	1.6±0.13	1/3	1/1
					計 8/17	4/8

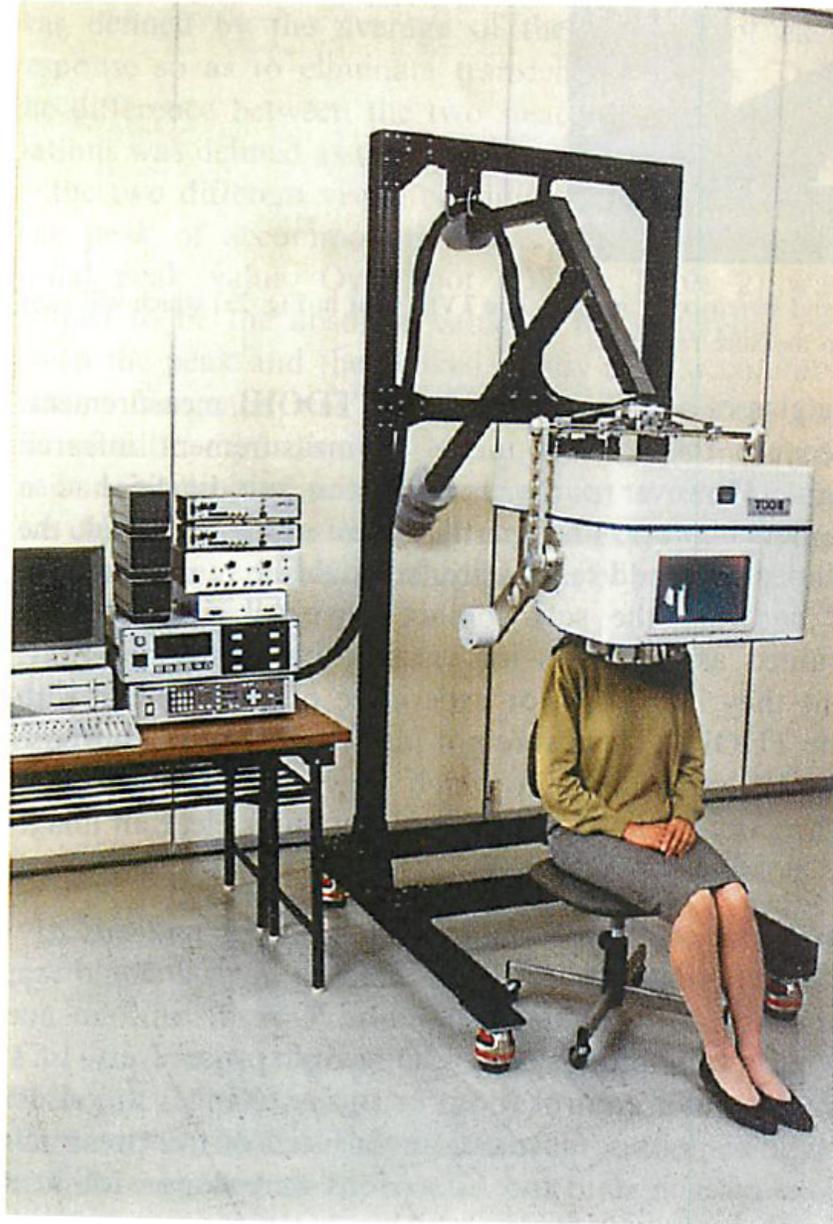
□で囲んだ部分の内容は表3と同一である。

箱A,Bを注視した調節量は有意水準5%  
のt検定で有意差が認められる。

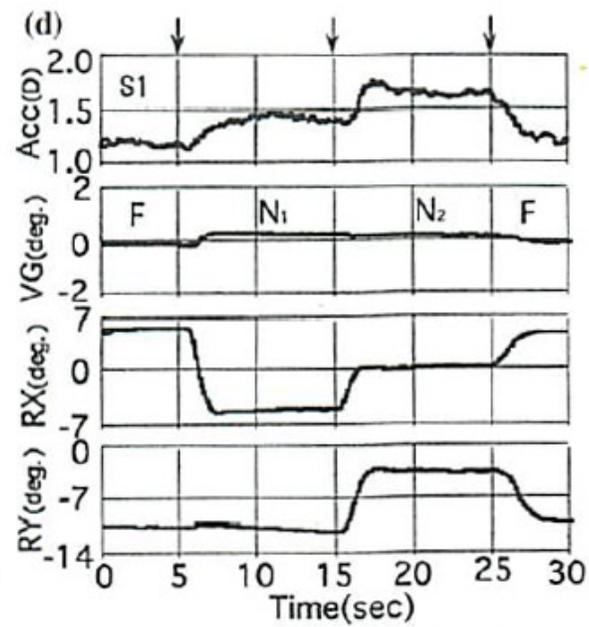
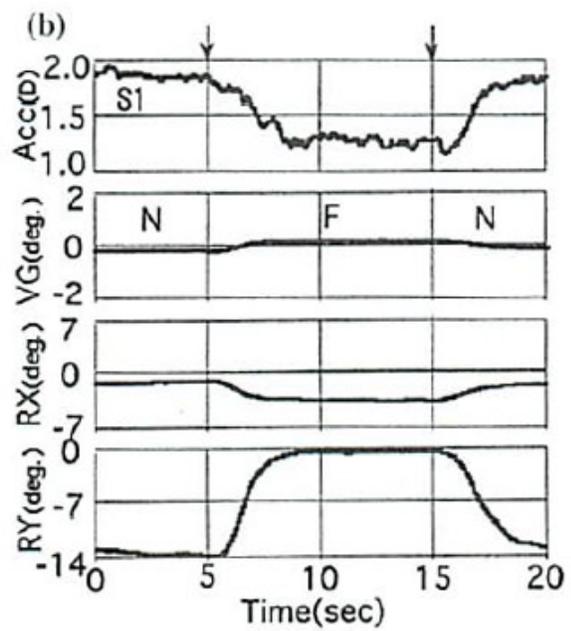
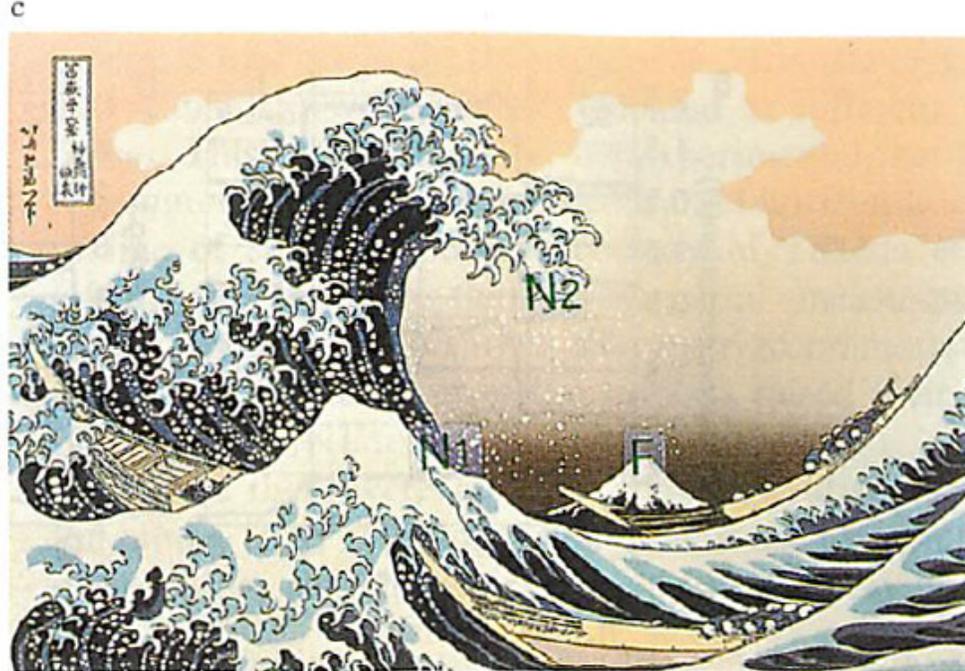
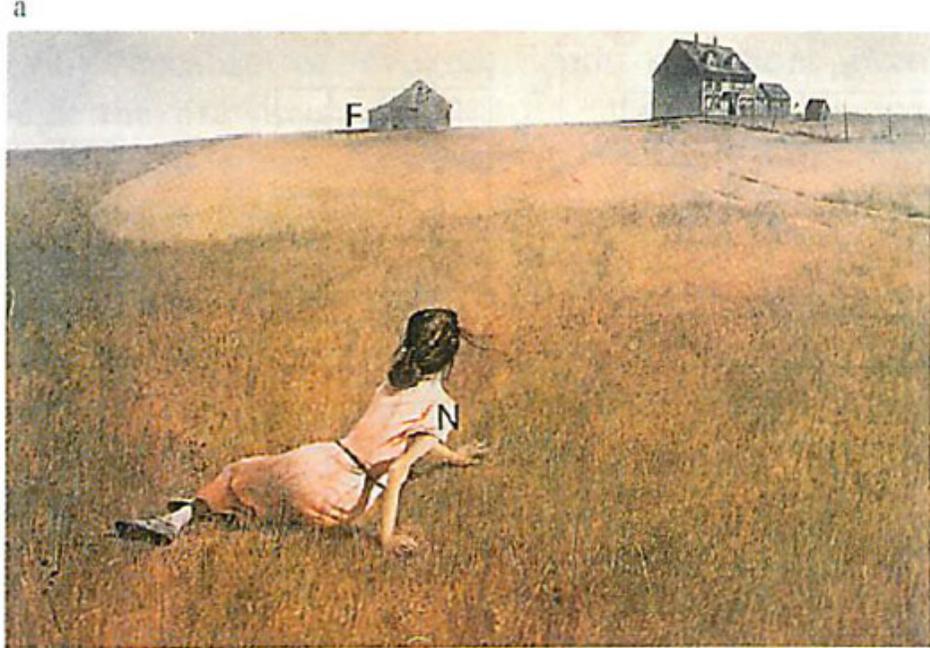
## 奥行き感と調節・輻湊 2

Tsunehiro Takeda、Keizo Hashimoto,Nobuyuki Hiruma,Yukio Fukui 「Characteristics of accommodation toward apparent depth」、Vision Research 39(1999) 2087–2097

# 三次元オプトメーター



調節測定  
瞳孔測定  
眼球運動測定





アンドリュー・ワイエス (Andrew Wyeth)



葛飾平内墨 神奈川沖浪裏  
波裏

平内墨

葛飾北斎  
神奈川沖浪裏

# 実験1 電子ホログラフィ再生像の調節・輻湊

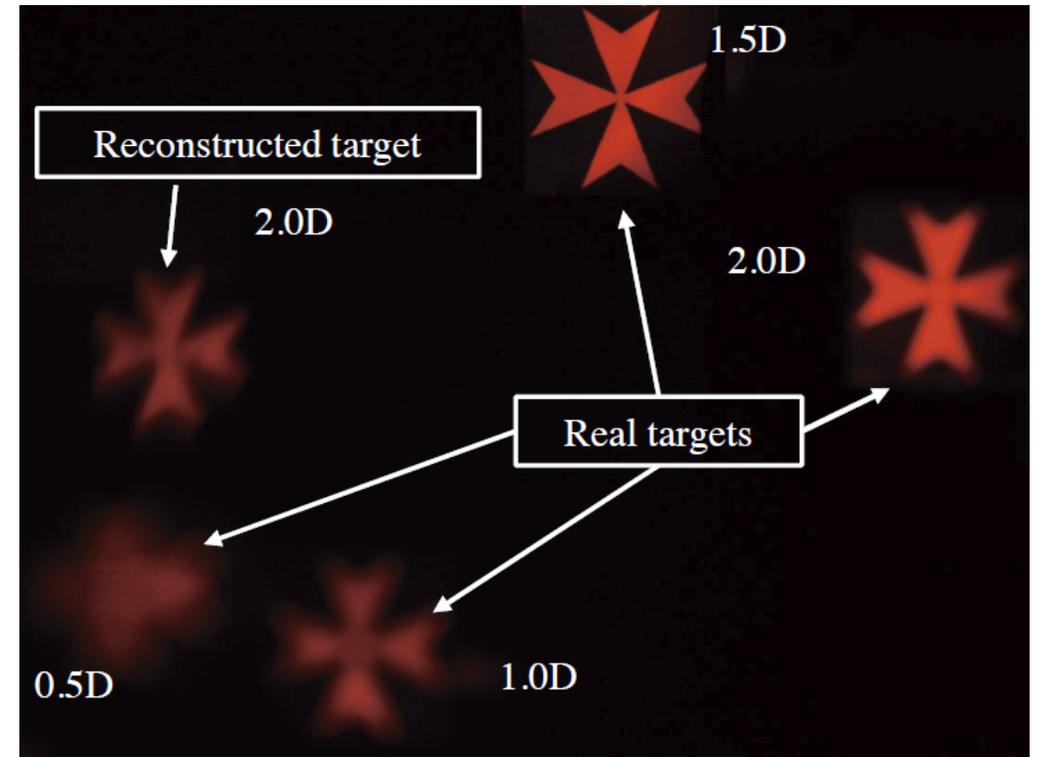
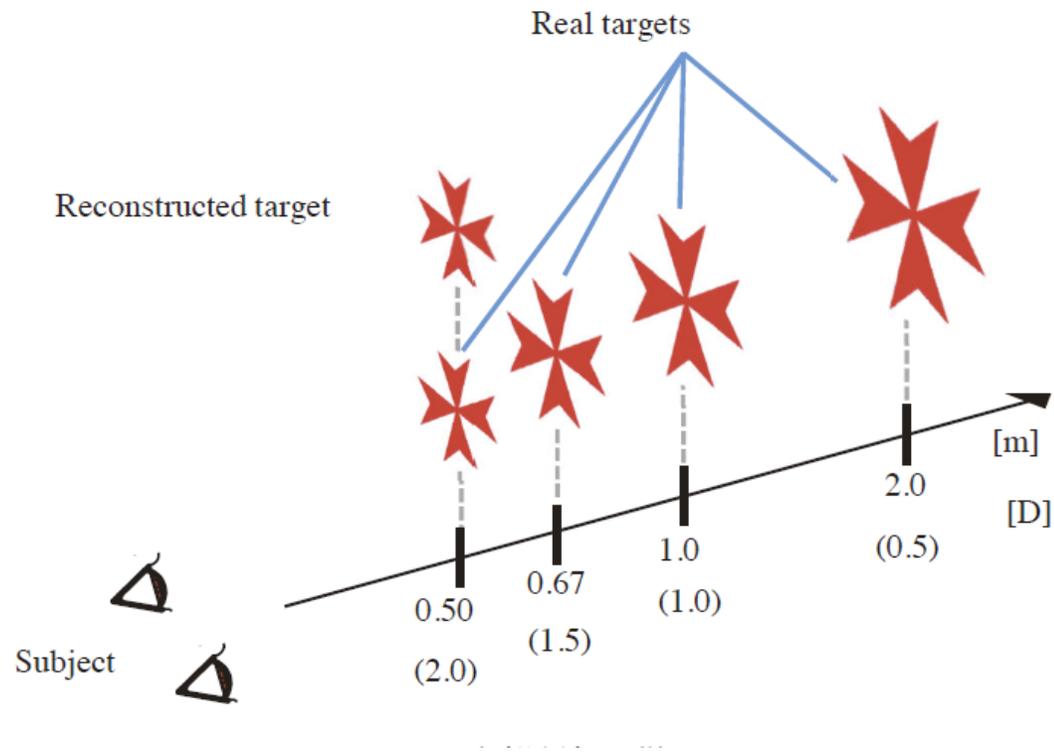


図7 再生像と実視標

大原龍一、米山拓応、栗田正伸、坂本雄児、奥山文雄  
「電子ホログラフィの再生像の奥行きに対する静的輻輳・調節応答の測定」  
映像情報メディア学会誌 No1.68 No.4,p144-151,2014

# 実験装置

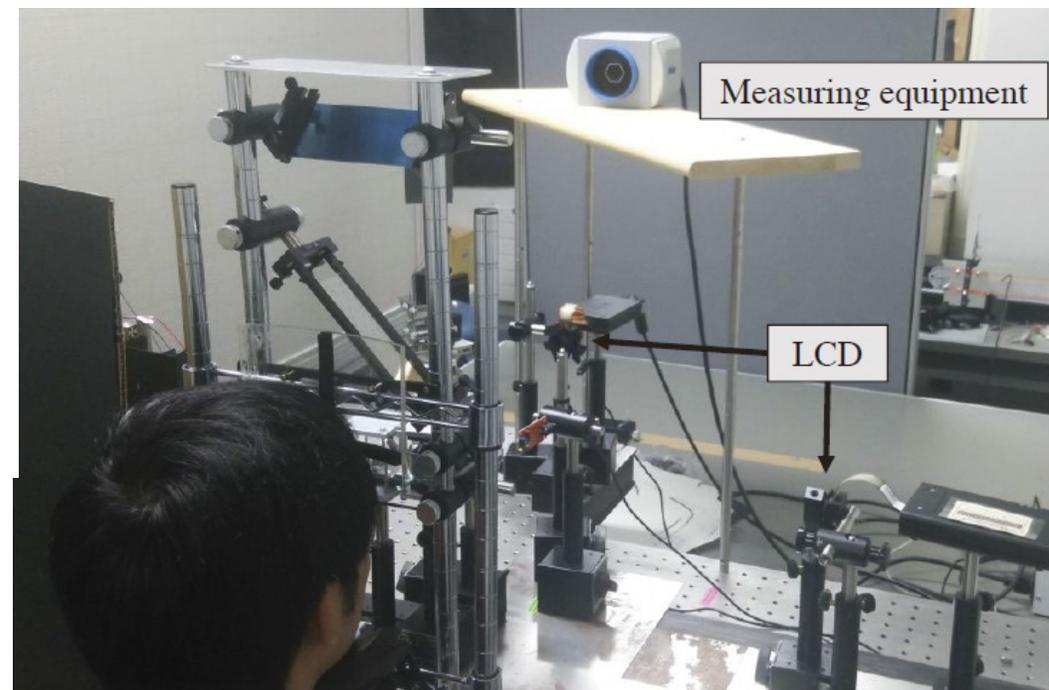
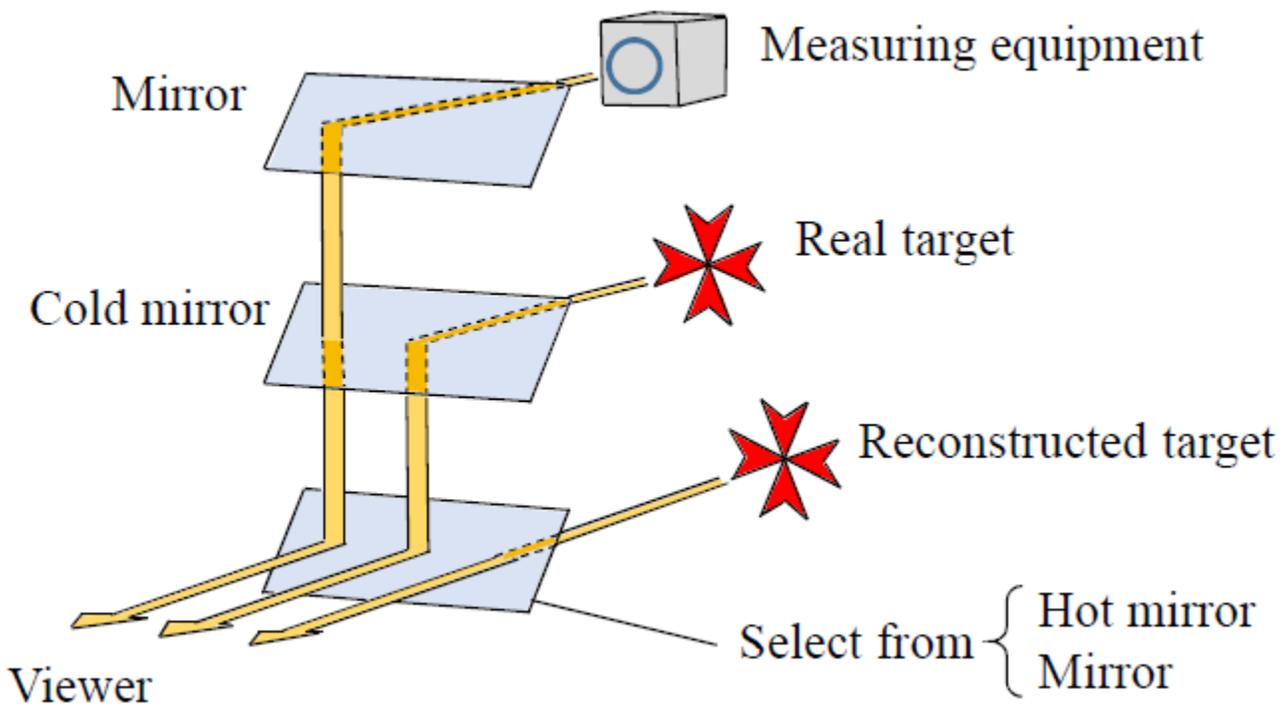


図 8 測定系の写真

# 調節測定

方法 Phtorefraction

機器 PowerRef3( Plusoptix社)

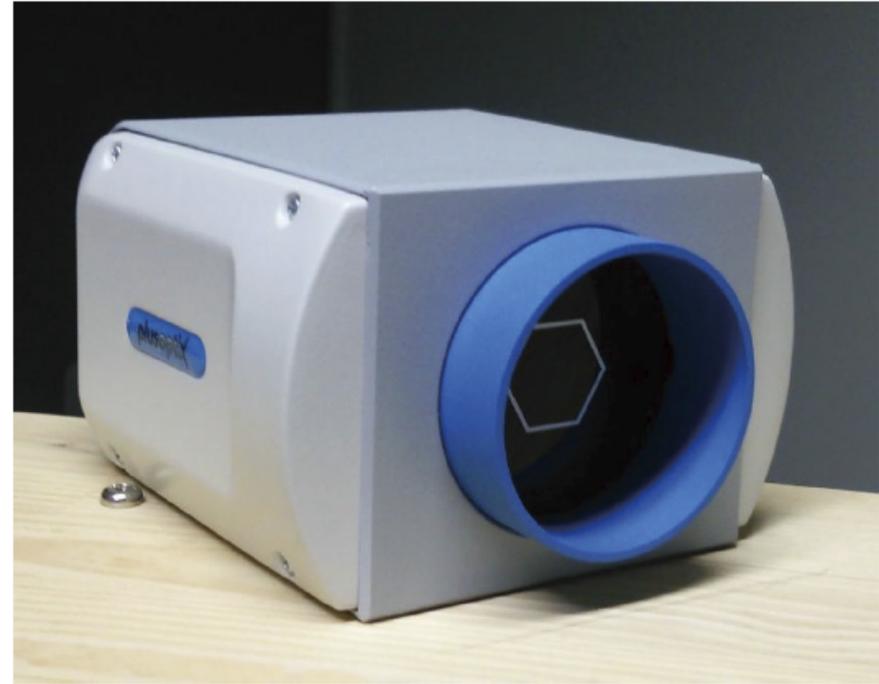


図 4 測定器

Measuring equipment.

表 1 測定器の仕様

Specifications of measuring equipment.

Spherical range	-7.00 – 5.00 D in 0.01 D steps
Pupil size	4.0 – 8.0 mm in 0.1 mm steps ( $\pm 10\%$ )
Pupil distance	1.0 mm steps ( $\pm 10\%$ )
Time per measurement	0.02 s (50 Hz sampling rate)

# 調節

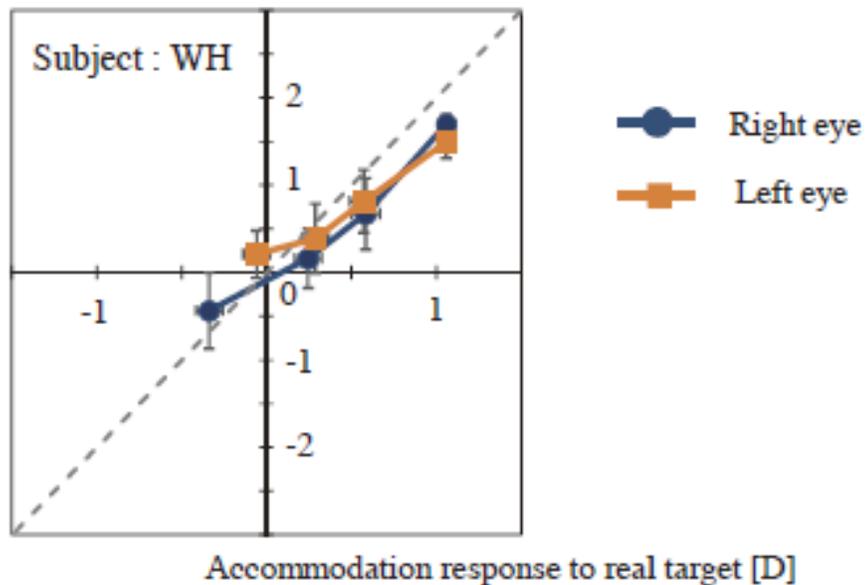


図 13 実視標に対する調節応答と再生像に対する調節応答の比較

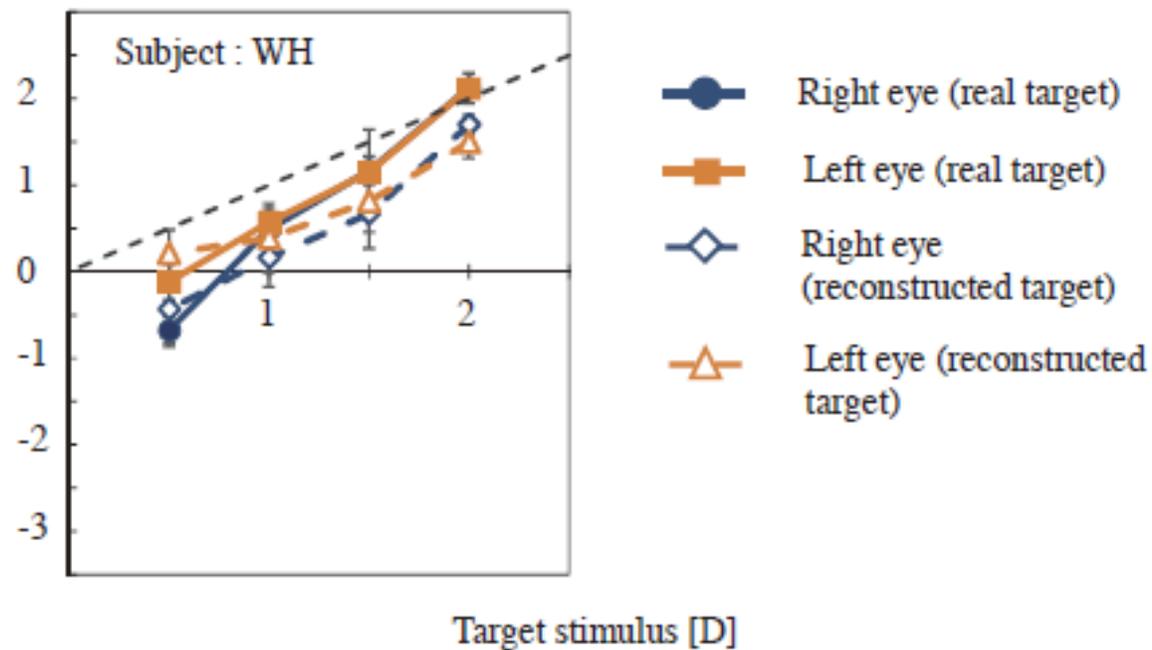
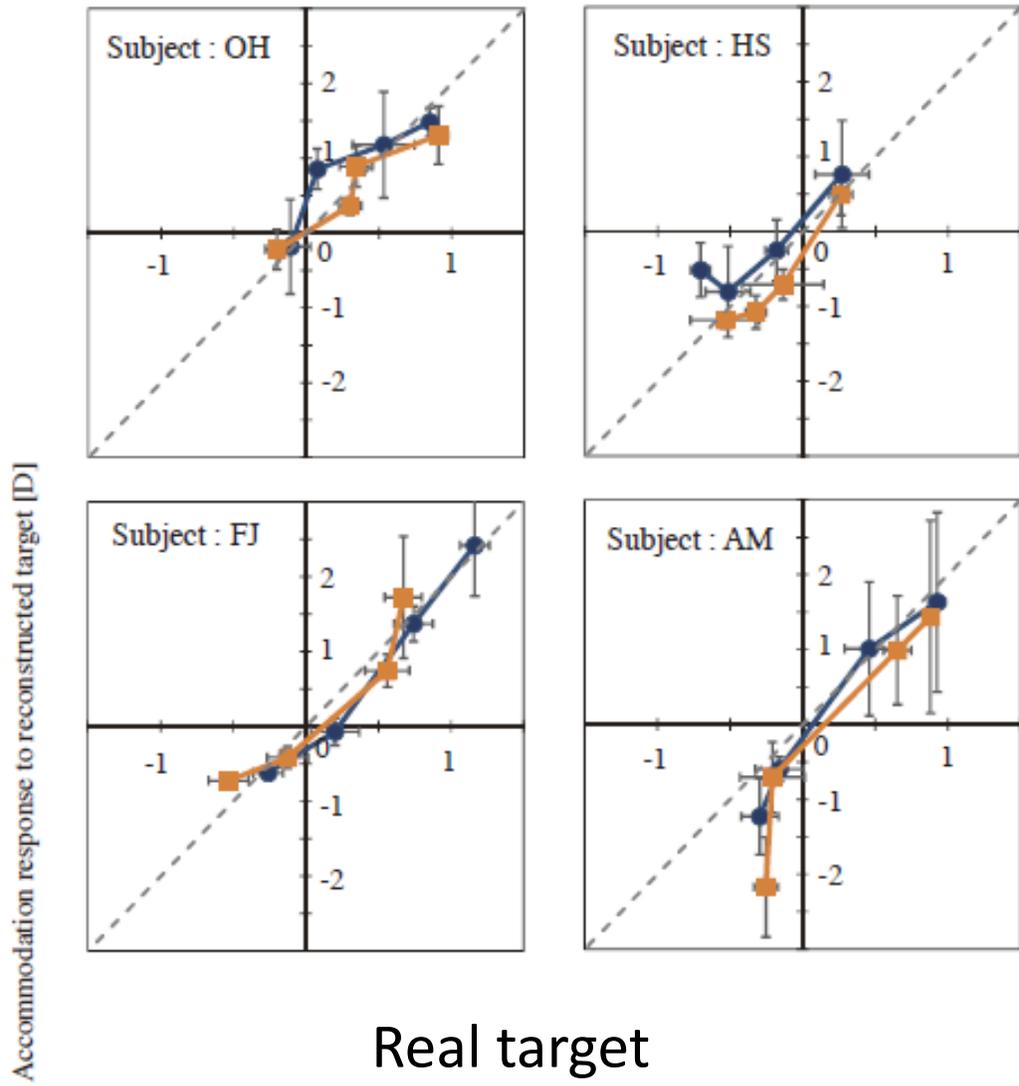
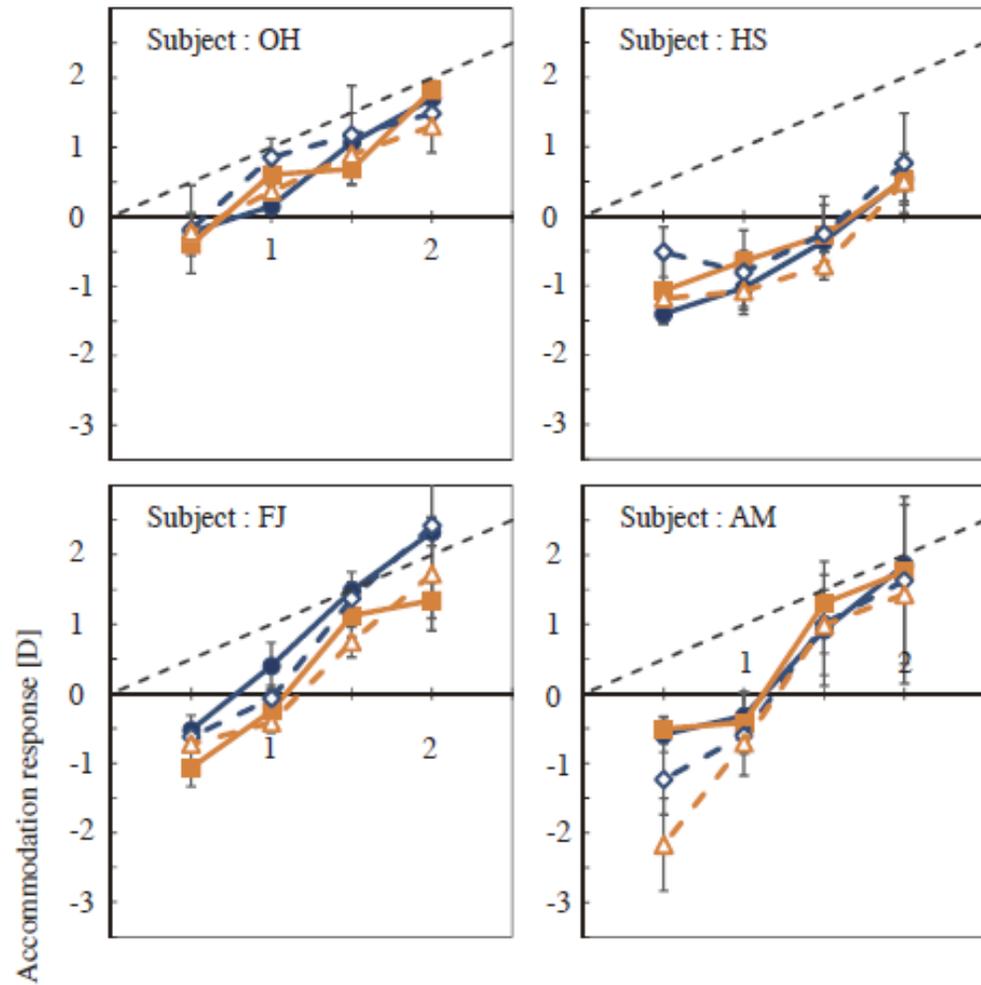


図 12 調節応答



# 輻湊

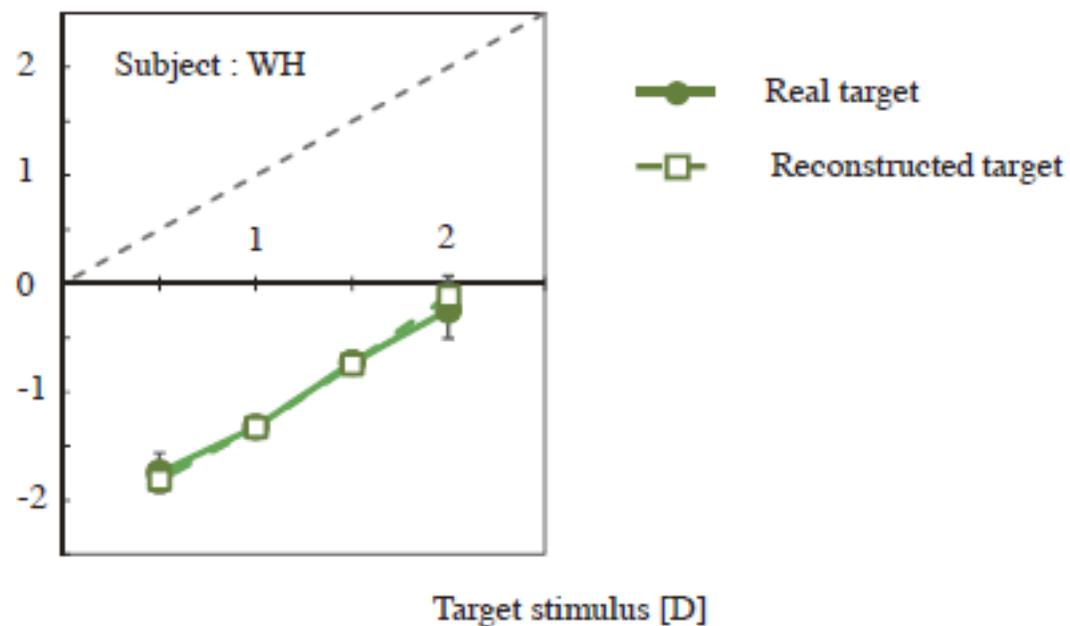


図 10 輻輳応答

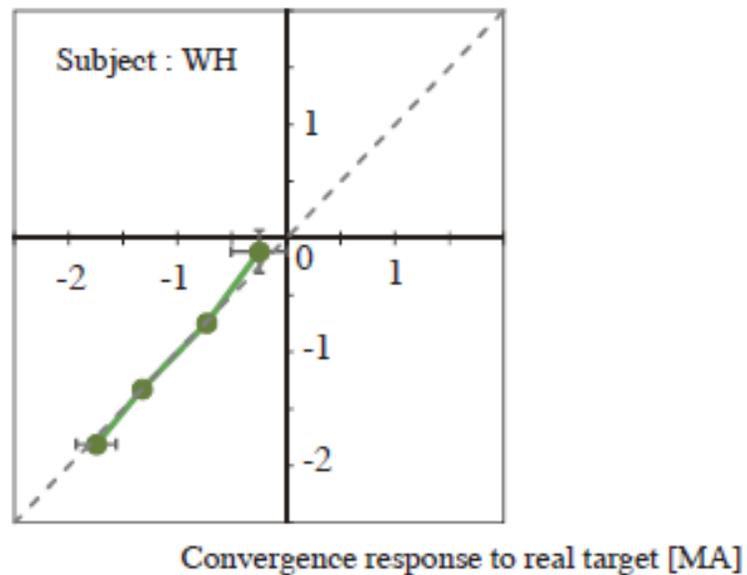
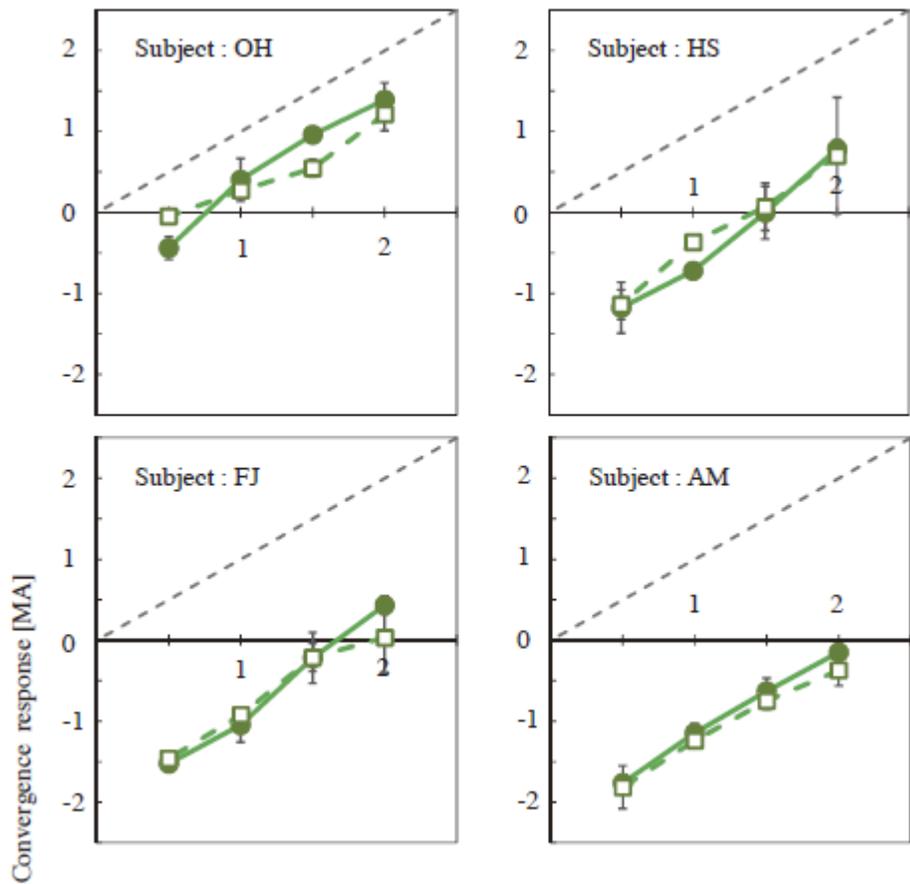
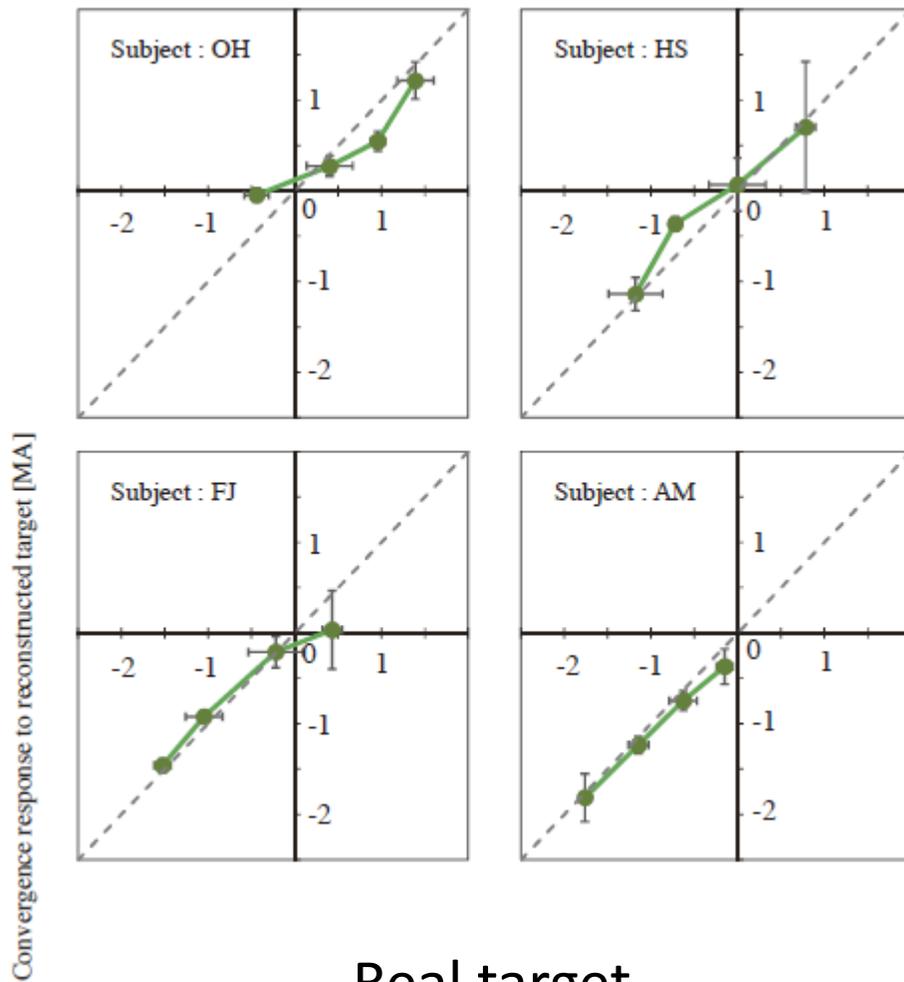


図 11 実視標に対する輻輳応答と再生像に対する輻輳応答の比較



Holography target



Real target

# 実験 2

## 2眼立体映像が視覚機能に与える影響 ～眼の屈折力変化とアンケート調査～

伊達 聡晃、西川 彰、奥山 文雄

鈴鹿医療科学大学大学院

医療科学研究科医療科学専攻

# はじめに

- 2眼式立体表示を利用した3Dテレビが普及して一般家庭でも楽しめるようになってきた。

しかし、市場調査などから眼や身体に与える影響が指摘され、また、3Dコンソーシアムからガイドラインが提案されている。

しかし、まだ、十分な知見が得られていない。

- 本研究では市販の3Dテレビとコンテンツを対象に視聴前後および短時間休憩後の眼の屈折力とアンケート調査から、2眼式立体表示が眼に与える影響を少数の被験者で調べてみた。

# 方法

- 映像鑑賞前・鑑賞直後・鑑賞15分後の  
眼の屈折力の測定  
(屈折力:眼の焦点距離の逆数[m])
- 映像鑑賞前・鑑賞直後・鑑賞15分後の  
アンケート調査
- 対象映像:2D映像と3D映像
- 視聴時間:30分と2時間30分

# 視聴者および視聴条件

- 視聴者 若者男性6名  
30分視聴 5名  
内訳 22歳男性 4名、24歳男性 1名  
2時間30分視聴 3名  
内訳 22歳男性 1名、24歳男性 2名
- 視距離 約1.75m(3H)
- 視環境 暗室  
画像枠の引き込み効果を防止するため



# アンケート項目

- ▶ 下に示す眼の疲れ・機能変化に関する17項目、  
0(全く感じない)～6(非常に感じる)の7段階評価

Q1 眼が疲れる

Q2 眼が痛い

Q3 眼が重い

Q4 眼がかすむ

Q5 眼の中に色が残る

Q6 まぶたがぴくぴくする

Q7 眼がしょぼしょぼする

Q8 眼が熱い

Q9 眼が乾く

Q10 涙が出る

Q11 眼が充血する

Q12 目やにが出る

Q13 眼がちかちかする

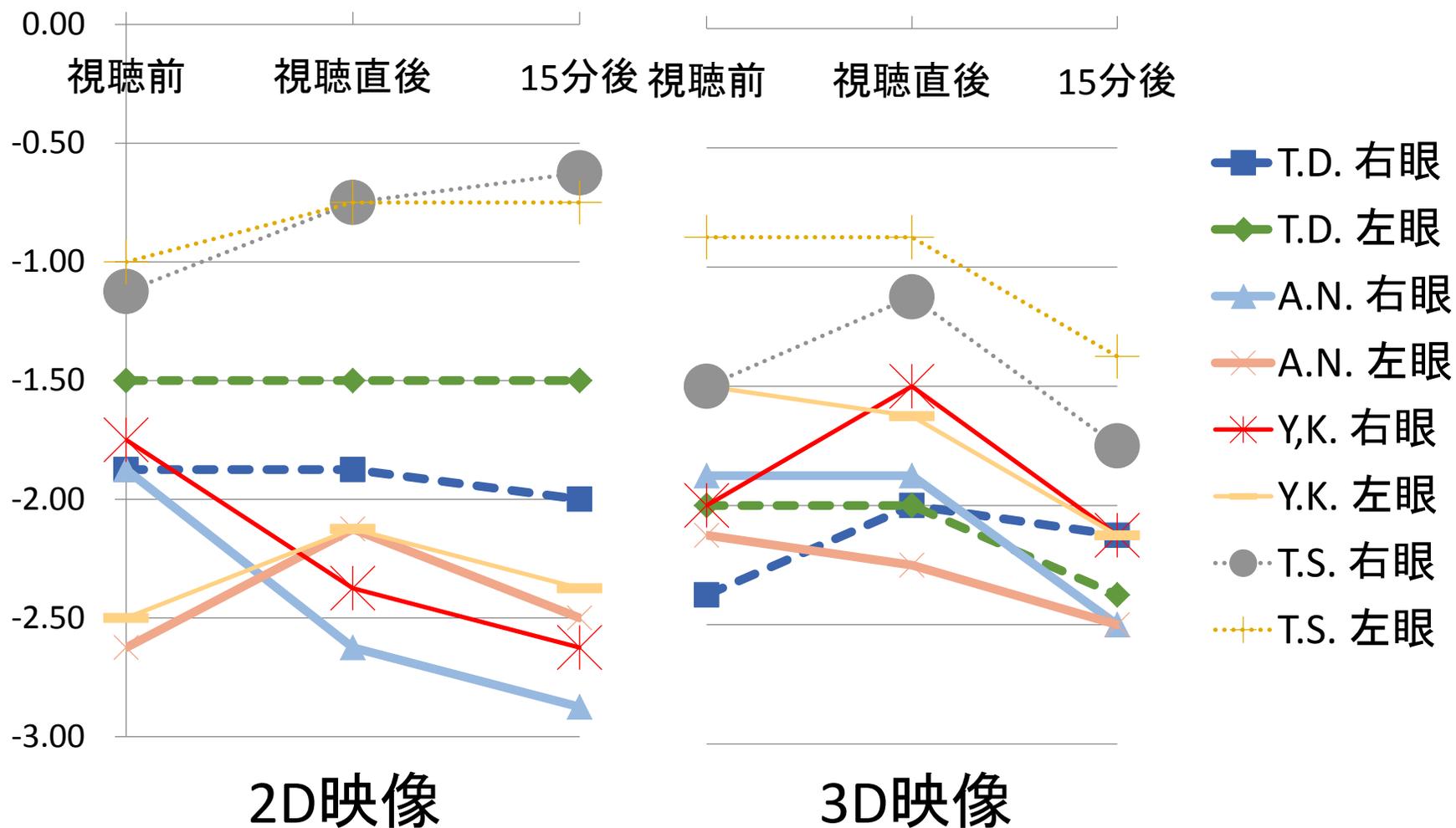
Q14 近くのものが見えにくい

Q15 遠くのものが見えにくい

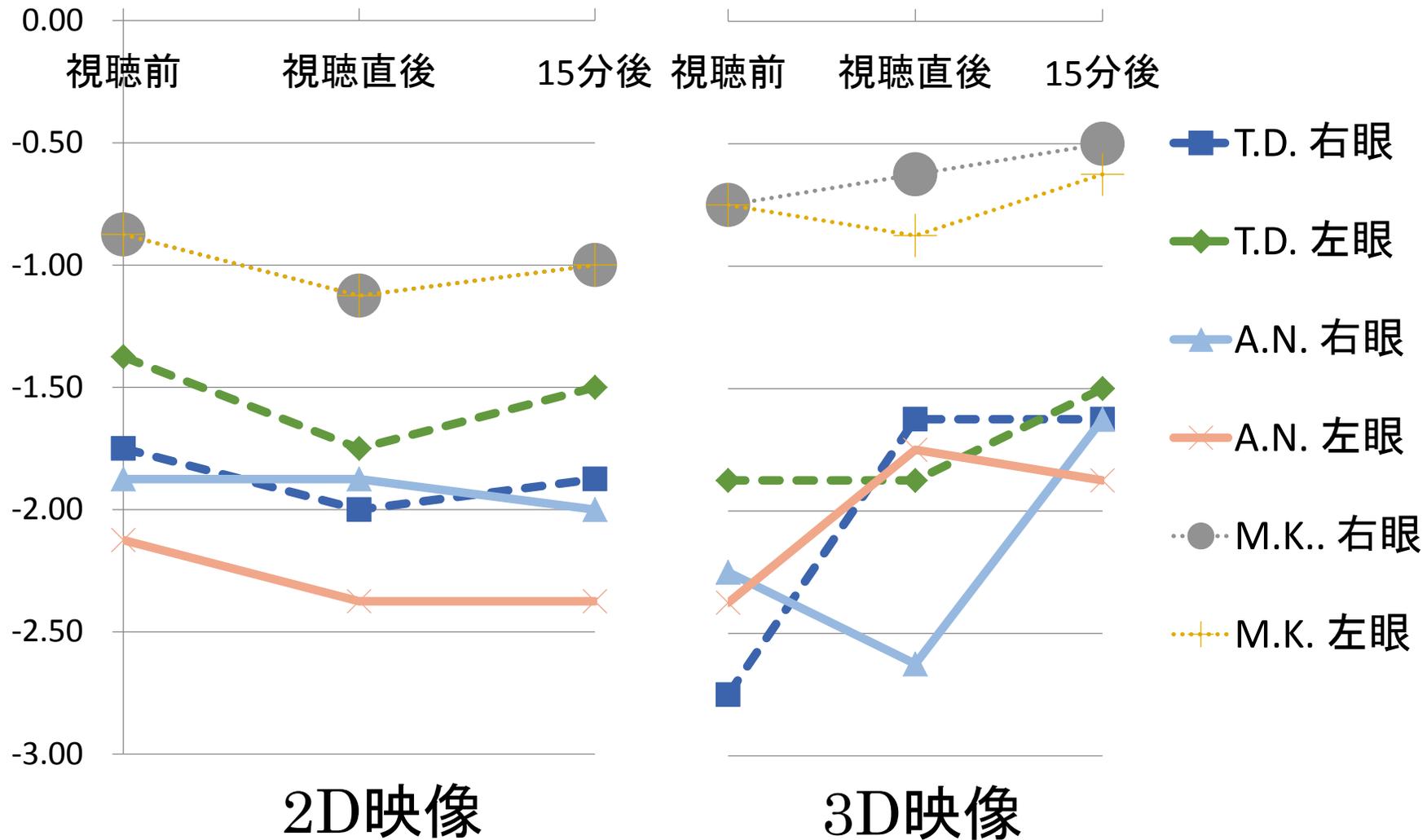
Q16 眼がごろごろする

Q17 まぶしい

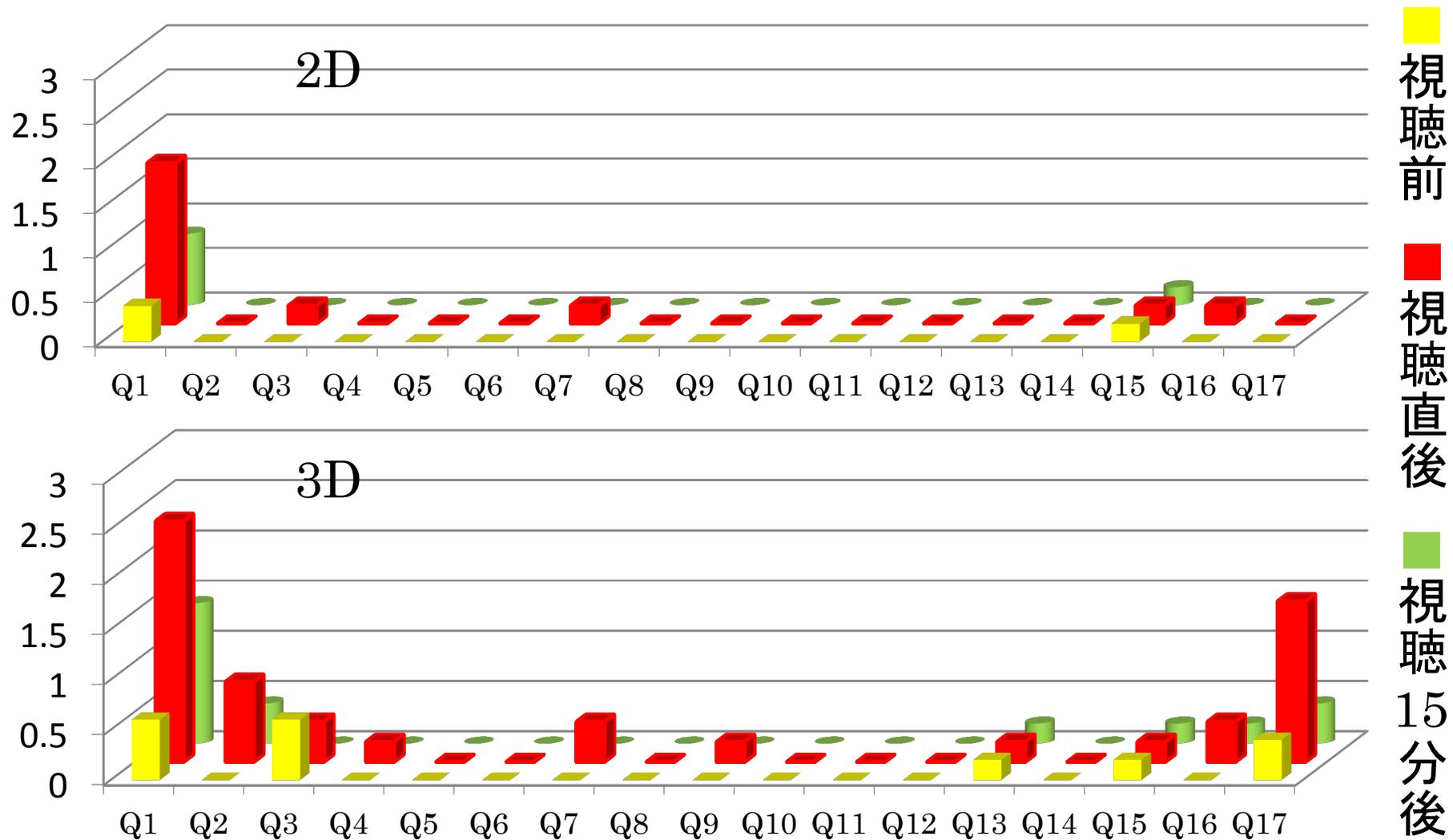
# 30分視聴時の屈折力測定



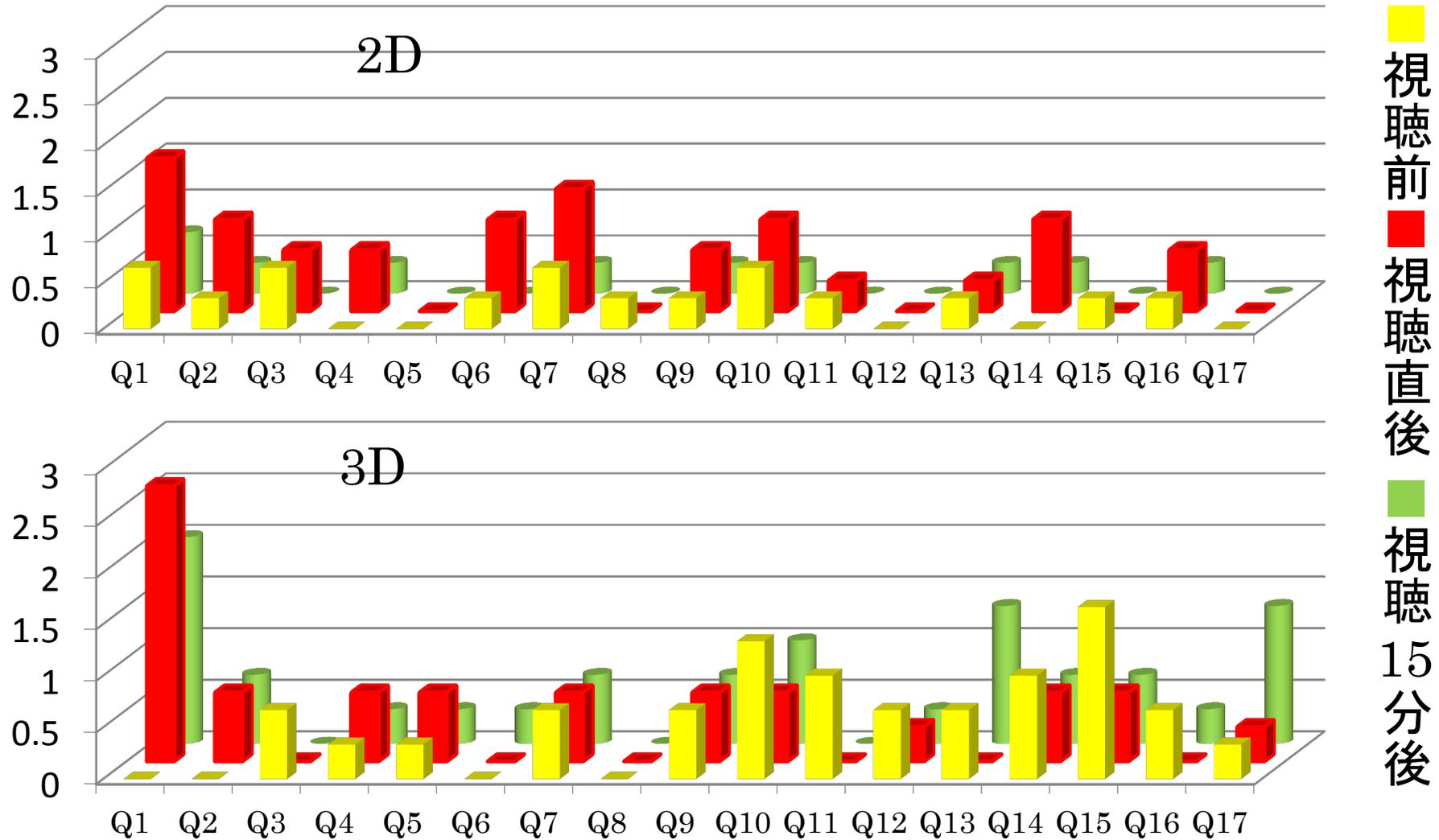
# 2時間30分視聴時の屈折力測定



# 30分視聴アンケート平均結果(5人)



# 2時間30分視聴アンケート平均結果(3人)



# 考察

- ▶ 視聴者と3Dテレビの距離は1.75mで調節刺激は約0.57dioptersである。視聴者は20歳代であるから十分な調節力があり、調節変動は0.1~0.2diopterと言われているから、調節刺激が変動を上まわるので影響を受けた可能性がある。
- ▶ これまで長時間視聴の結果は少なかったが、視聴時間2時間30分と視聴時間30分の比較では長時間の方が屈折力とアンケート調査では影響が大きいと思われる。
- ▶ 実験順序や実験がお互いに影響している可能性があるため、影響を少なくなる実験手順を工夫することが必要と思える。
- ▶ 今回は視聴者の数が少ないため、屈折力の変化に一定の傾向は見られないが、屈折力が変化した可能性は大きい。

# 実験3 輻湊測定

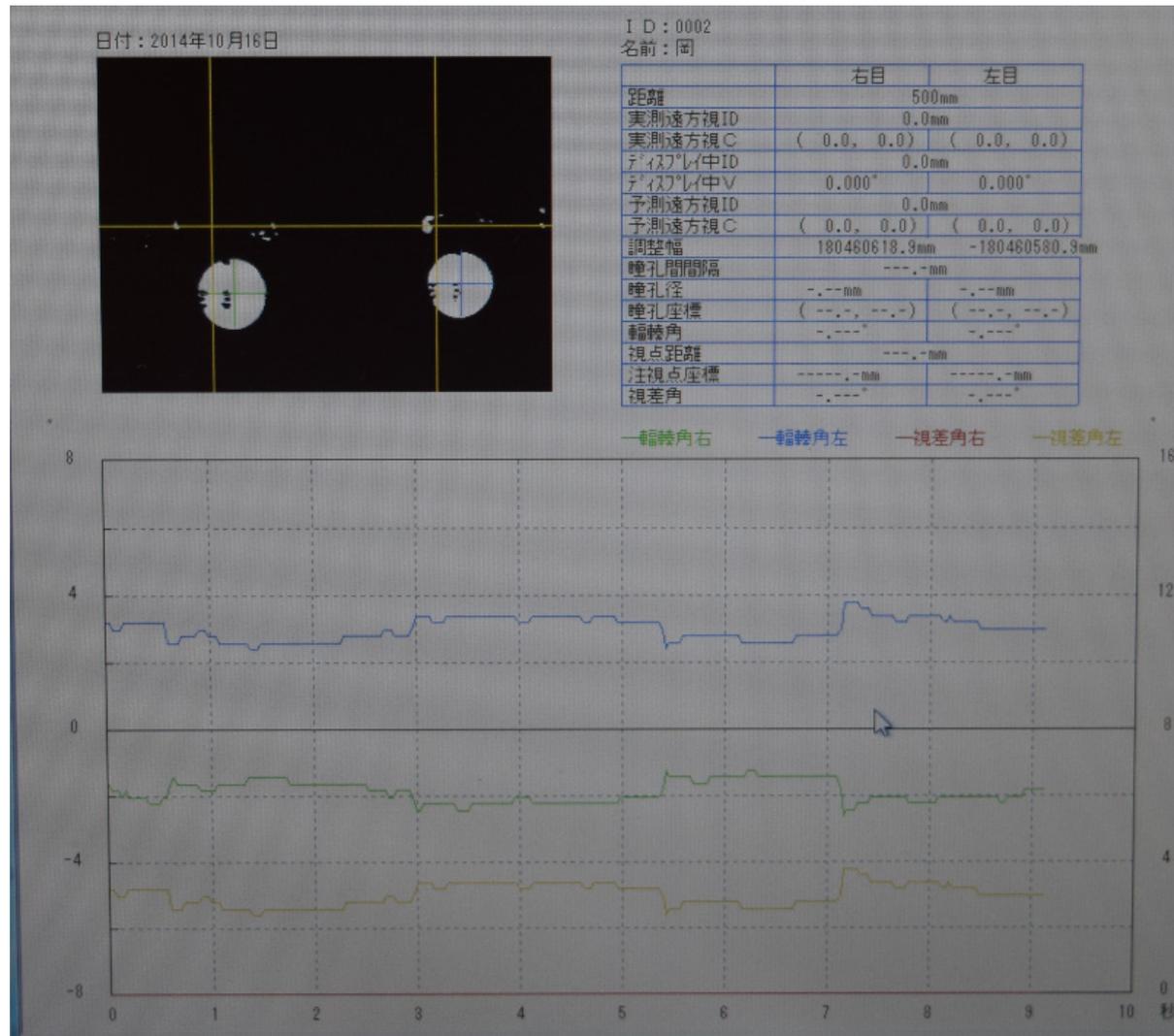
装置

眼球運動・輻湊測定装置

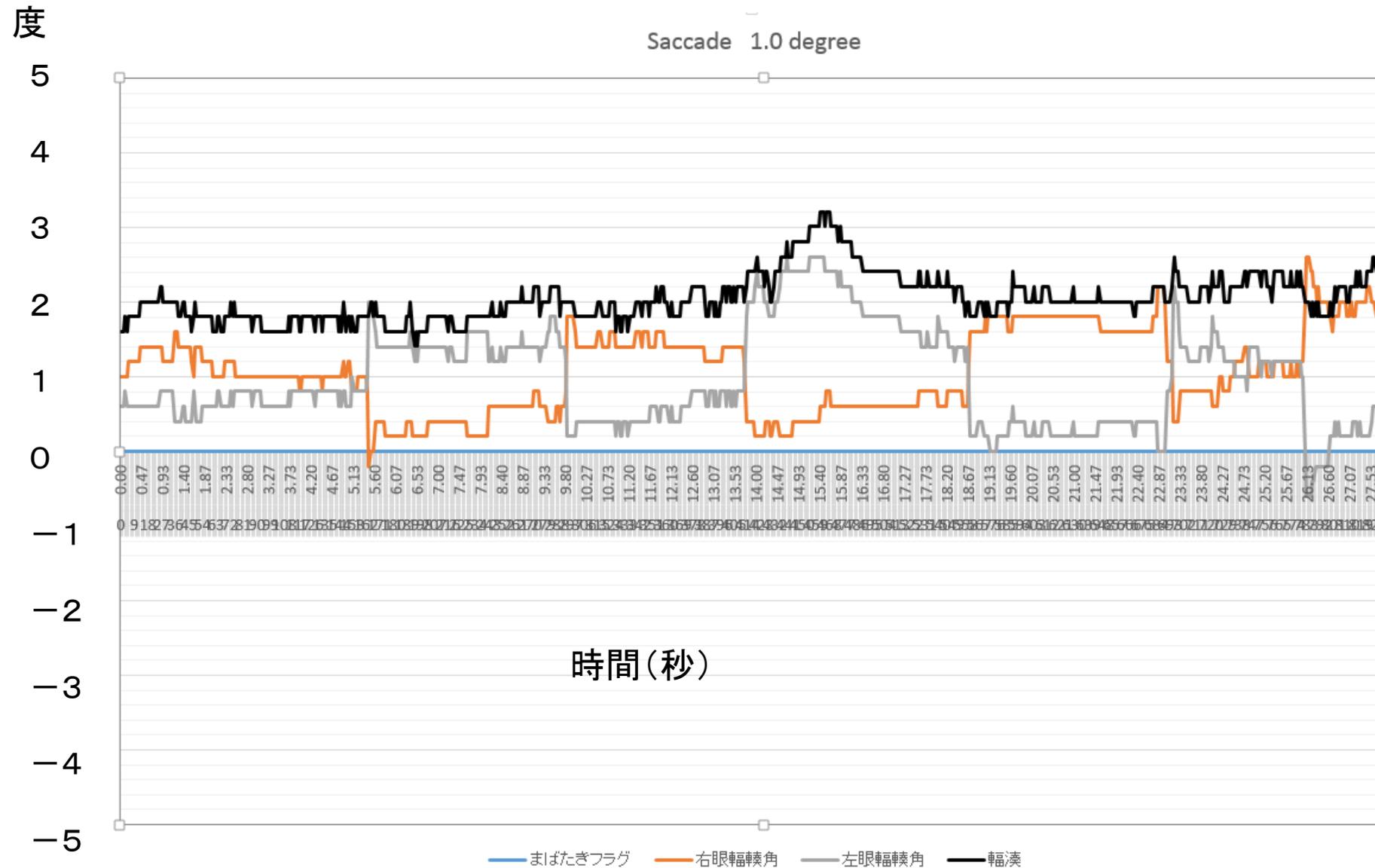
立体視度計測システム ET-3D10(ニューオプト社)



# 輻湊測定例      saccde 0.5度

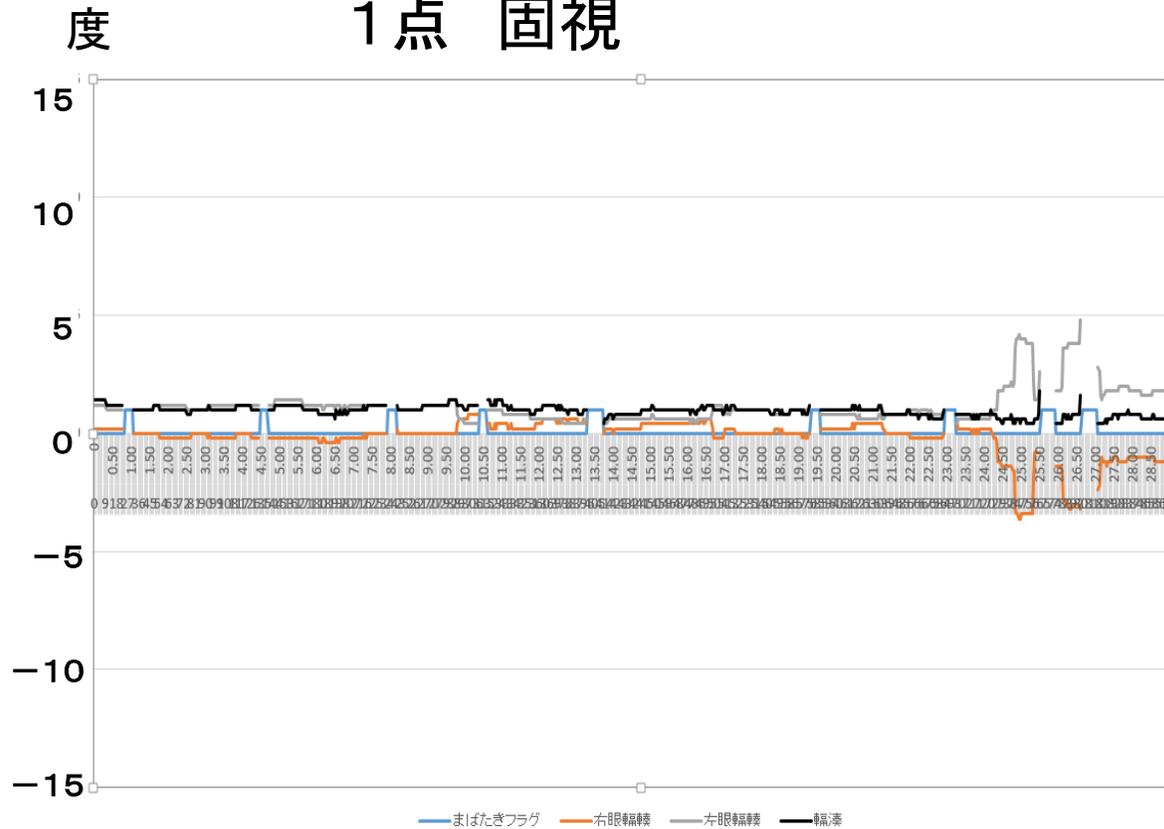


# 輻湊と衝動性眼球運動 1.0度



# 3D映像の輻湊

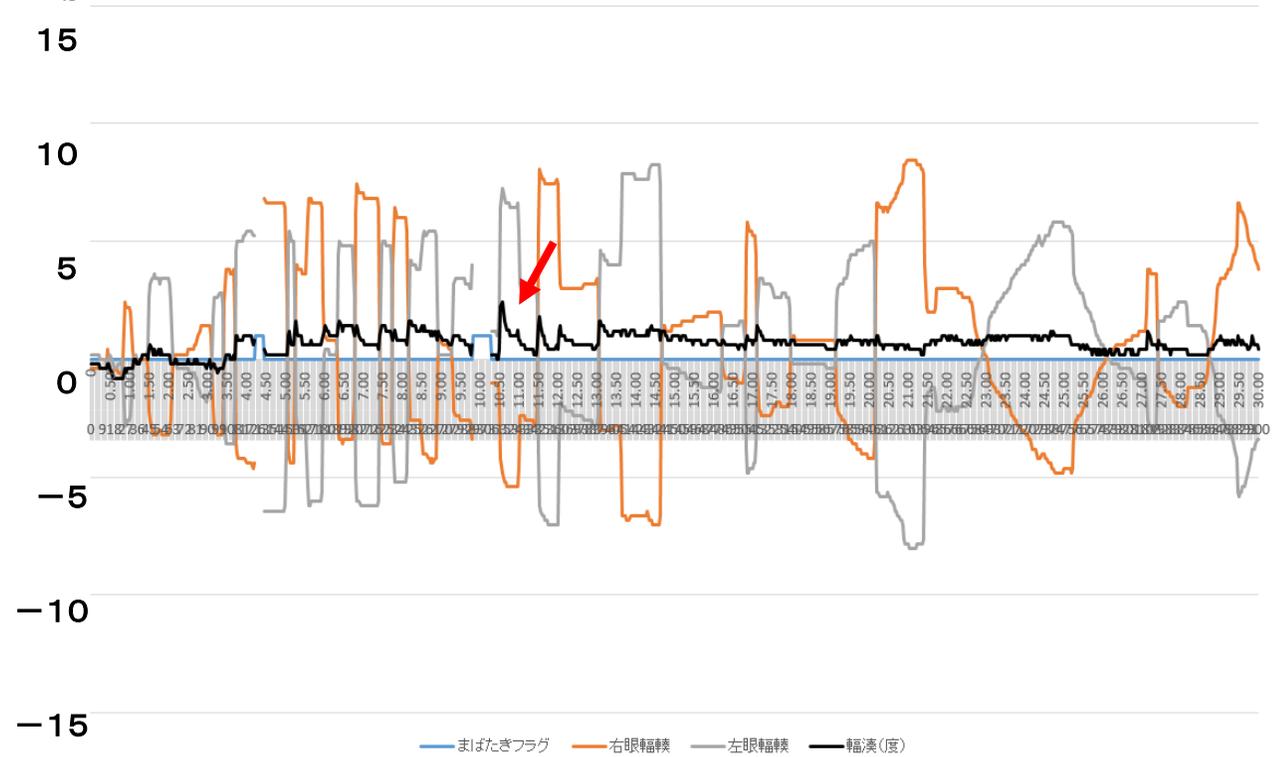
## 1点 固視



## 時間(秒)

まばたきフラグ 右眼輻轉 左眼輻轉 輻湊

## 自由観察



## 時間(秒)

まばたきフラグ 右眼輻轉 左眼輻轉 輻湊(度)

# まとめ

3D画像が眼に与える影響はまだ未知の点が多いが、知覚される画像の品質に大きく影響する調節と輻湊をホログラフィーと2眼式立体画像で比較することができた。