

# 3Dコンテンツの視差量の分析および 3Dテレビの視聴における視覚疲労について

エルゴデザイン研究所  
成蹊大学 窪田 悟

## 1. 3Dコンテンツの視差量の分析

中村ほか, 映像情報メディア学会誌, 67巻, 11号, 2013より

## 2. 3Dテレビの視聴による視覚疲労と 視聴者の視機能との関係

窪田ほか, 映像情報メディア学会誌, 67巻, 7号, 2013より

3Dコンソーシアム・映像情報メディア学会 立体映像技術研究会  
合同シンポジウム (2014.1.29)

## 1. 3Dコンテンツの視差量の分析 はじめに

両眼視差を用いた3Dテレビの視覚負担要因として  
調節と輻輳の不一致という原理的な問題は不可避

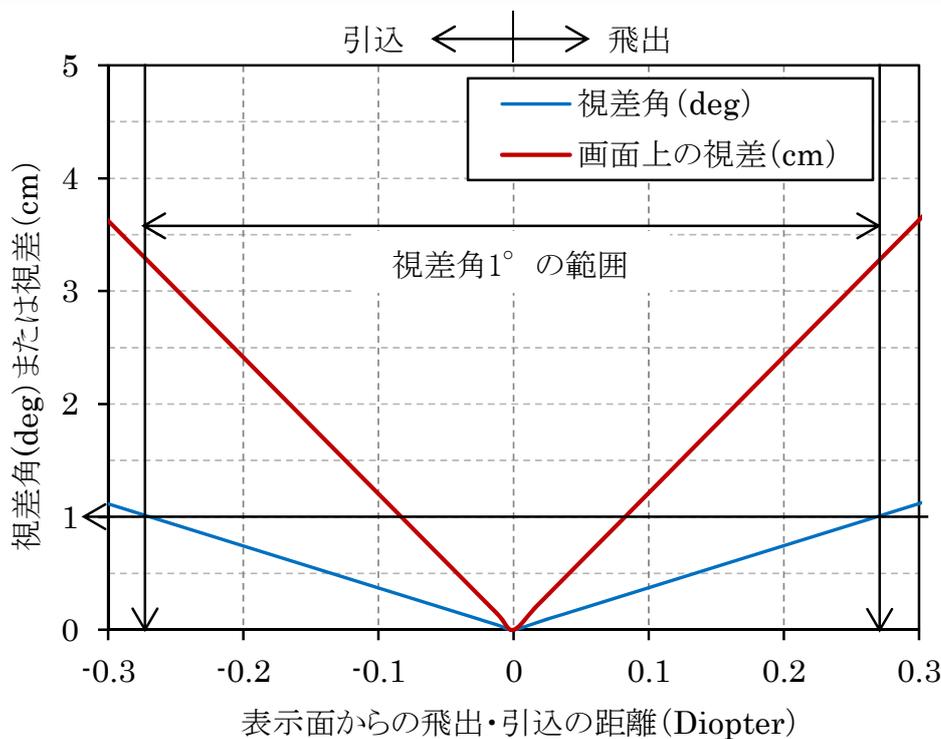
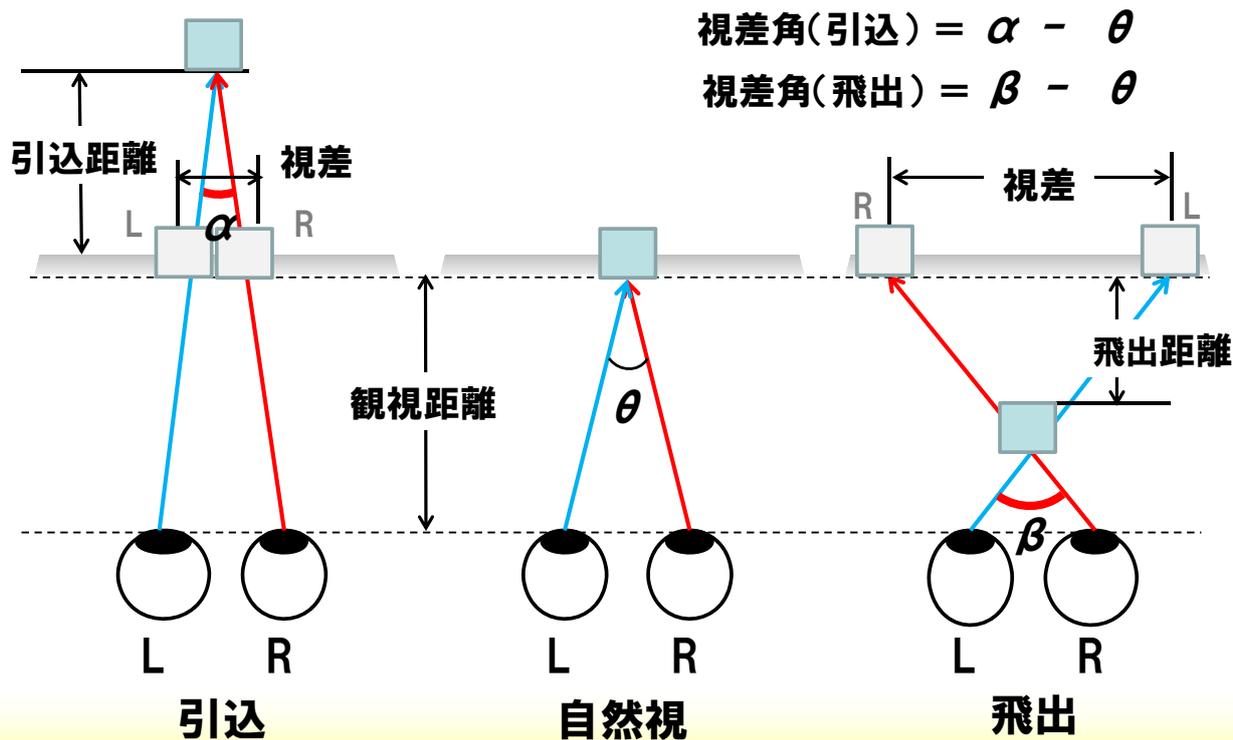


3DCの安全ガイドラインでは視差量の目安として  
「融合限界は最大2°程度, 快適範囲は1°以下」



市販されている3Dコンテンツの視差量を  
実際に分析した例は少ない

# 両眼視差を利用した3D表示における調節と輻輳の不一致



飛出・引込の距離(Diopter)と視差角, 画面上の視差との関係  
 瞳孔間距離65mmの人が50型ディスプレイを  
 視距離3H(186cm)で視聴した場合

# 視聴者の見えに対応した視差量の分析

ピクセル視差のヒストグラムの作成



飛出と引込の目視計測



ピクセル視差のヒストグラムのパーセンタイルから見えに対応した飛出量と引込量を予測



40コンテンツ飛出量と引込量を分析

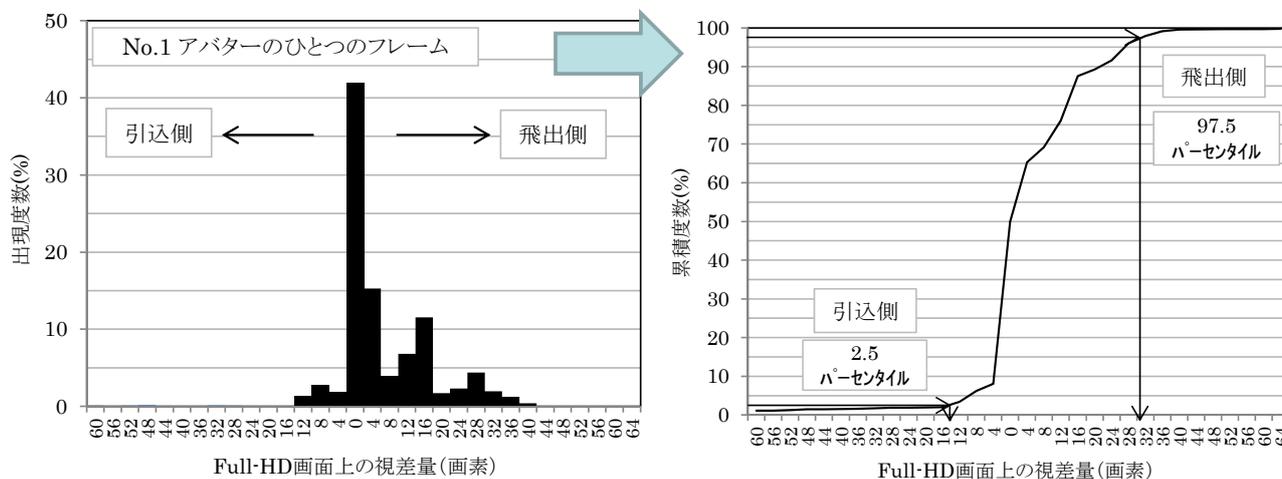
## 分析した40コンテンツ

No.1	アバター	No.11	グリーンホーネット IN 3D	No.21	少年マイロの火星冒険記	No.31	オープン・シーズン IN 3D
No.2	ナルニア国物語/第3章 アスラン王と魔法の島 3D	No.12	バトルロワイヤル 3D	No.22	塔の上のラプンツェル	No.32	クリスマス・キャロル
No.3	アリスインワンダーランド 3D	No.13	~Sphere's rings live four 2010~FINAL LIVE	No.23	ナイトメア・ビフォア・ クリスマス 3D	No.33	仮面ライダーW FOREVER 天装戦隊ゴセイジャー
No.4	バイオハザードIV アフターライフ	No.14	ayumi hamasaki ARENA TOUR 2009	No.24	チキン・リトル 3D	No.34	トリコ 3D 開幕グルメアドベンチャー
No.5	タイタンの戦い 3D	No.15	ディーブシー 3D	No.25	ヨギ&ブーブー わんぱく大作戦 3D	No.35	ワンピース 3D 麦わらチェイス
No.6	トロン:レガシー	No.16	オーシャンワンダーランド 3D	No.26	ポルト 3D	No.36	シャークス 3D
No.7	キャッツ&ドッグス 地球最大の肉球大戦争 3D	No.17	モンスターハウス in 3D	No.27	ルイスと未来泥棒 3D	No.37	IMAX スペースステーション 3D
No.8	スパイアニマル・G フォース 3D	No.18	曇り時々ミートボール in 3D	No.28	怪盗グルーの月泥棒 DESPICABLE ME	No.38	ドルフィン&ホエールズ 3D ~素敵な海の仲間たち~
No.9	牙浪<GARO> ~RED REQUIEM~	No.19	アイスエイジ3 ティラノのおとしもの	No.29	ポラーエクスプレス 3D	No.39	シルク・ドゥ・ソレイユ ジャーニーオブマン IN 3D
No.10	マイティ・ソー 3D	No.20	ガフルの伝説 3D	No.30	攻殻機動隊S.A.C SOLID STATE SOCIETY	No.40	ガリバー旅行記 3D

目視計測した8コンテンツ

# ピクセル視差のヒストグラムのパーセンタイル

右眼画像と左眼画像からブロックマッチング法によってピクセル視差を測定(1秒あたり6~8フレーム),  
リーダー電子製3DアシストスタジオFS3090を使用



0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 5, 7.5, 12.5  
の8つのパーセンタイルを適用

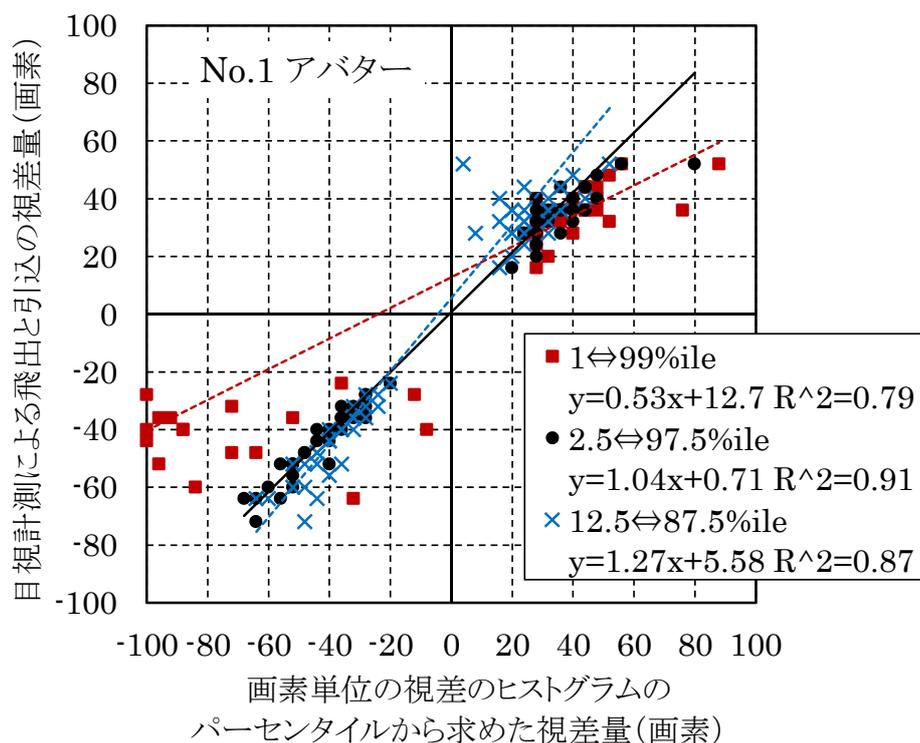


アバター 20世紀フォックスエンターテイメントより

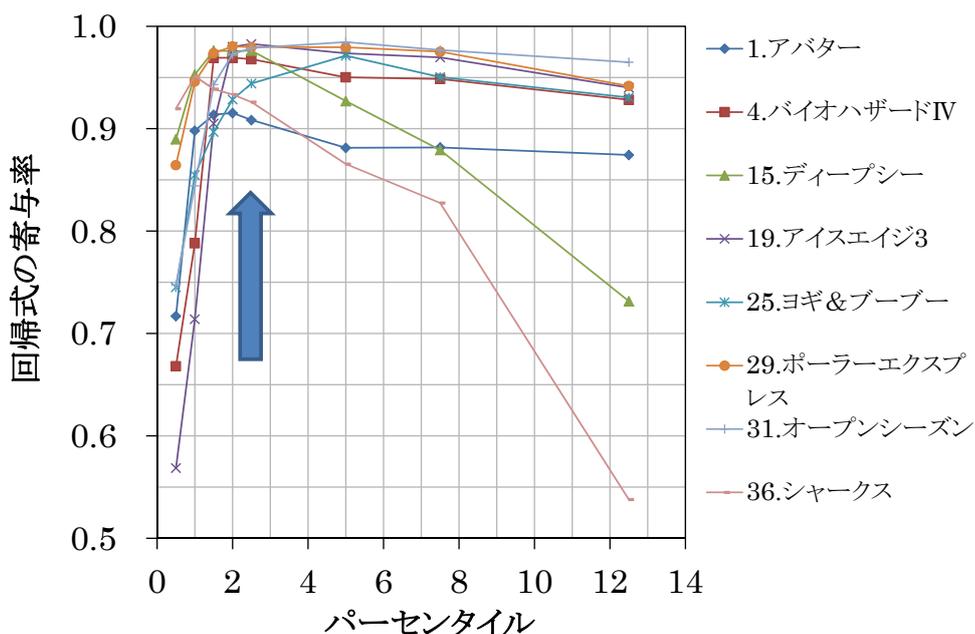
## 視差の目視計測

- ① 3D映像を50型3DプラズマTVに表示
- ② 2名の観察者により飛出と引込が比較的大きいと認識されたシーンを飛出側と引込側で30フレームずつサンプリング
- ③ 抽出したフレームの飛出と引込の視差をメジャーで計測した

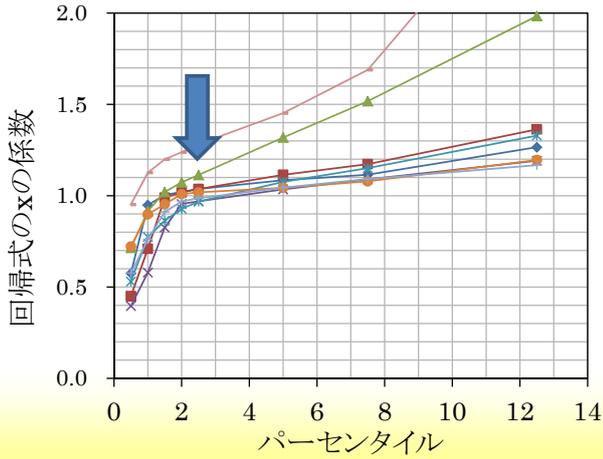
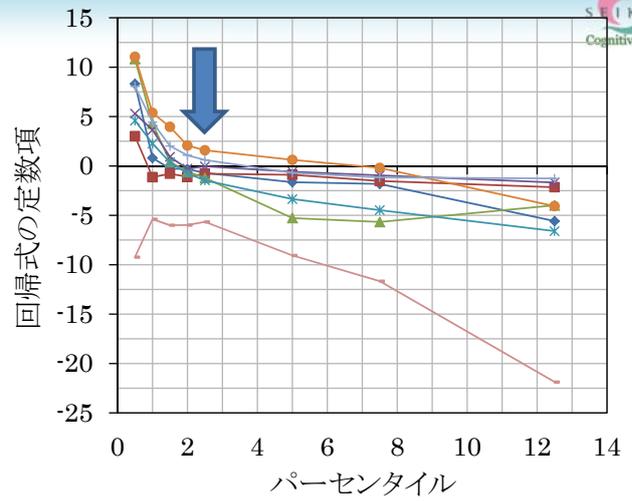
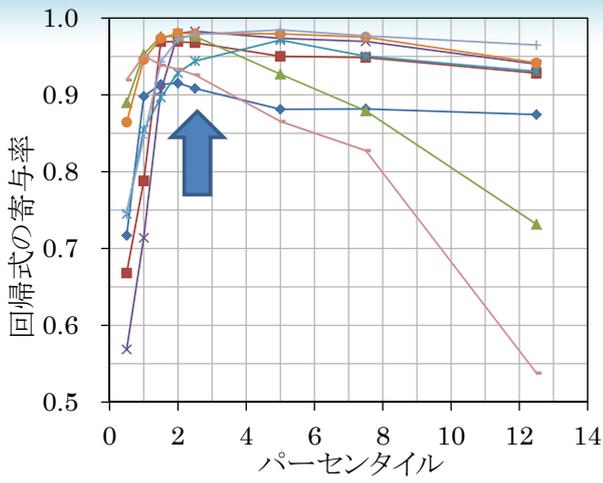
# パーセンタイルと目視計測値との関係



# パーセンタイルと目視計測値との関係



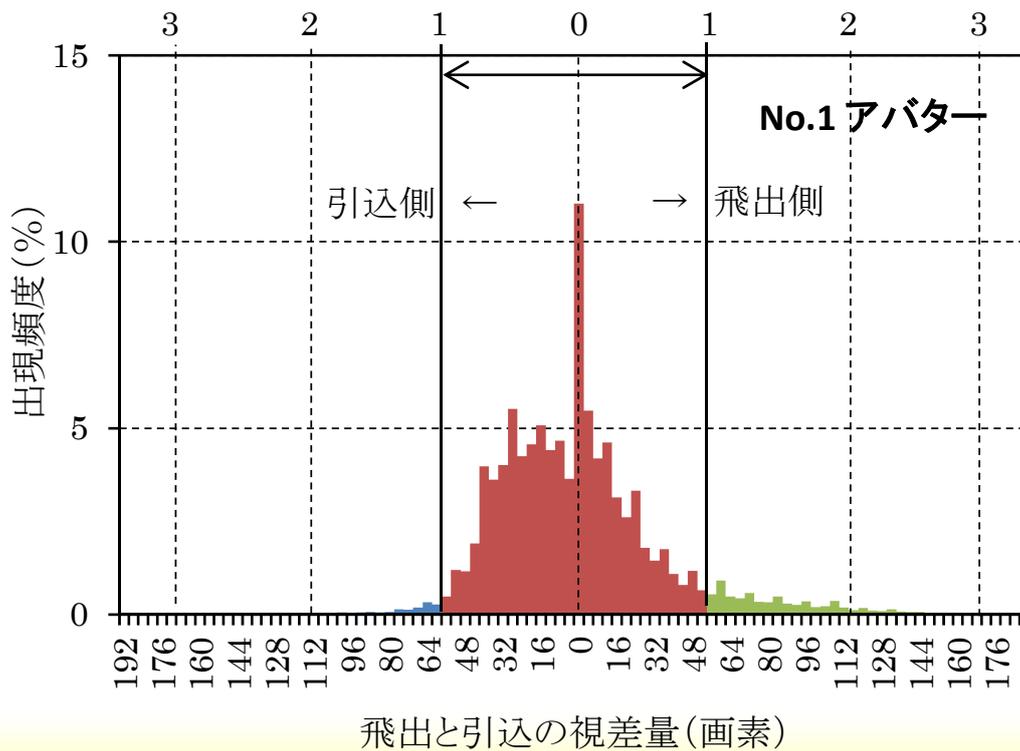
3Dコンテンツの最大引込・最大飛出は、ピクセル視差ヒストグラムの2.5-97.5パーセンタイルから予測するとよい

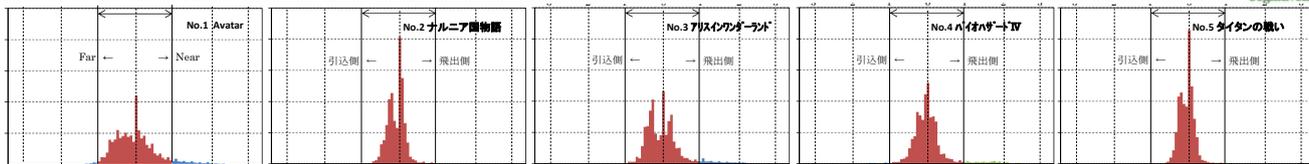


- ◆ 1.アバター
- 4.バイオハザードIV
- ▲ 15.ディープシー3D
- ✕ 19.アイスエイジ3
- ✧ 25.ヨギ&ブーブー3D
- 29.ポーラーエクスプレス3D
- ✦ 31.オープンシーズンIN 3D
- 36.シャークス3D

## アバターの視差ヒストグラム

視距離3Hの場合の視差角(deg)





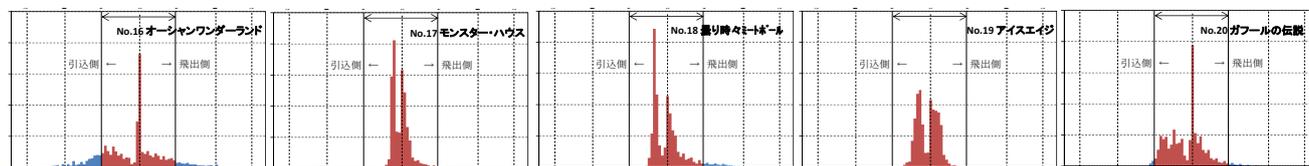
No.1 アバター No.2 ナルニア国物語 No.3アリスインワンダー No.4ハイオハサートIV No.5タイタンの戦い



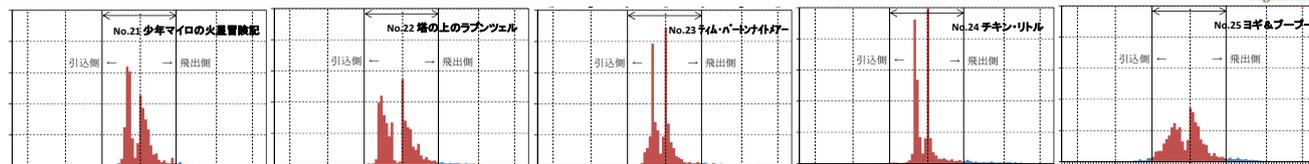
No.6 トロンレガシー No.7キャッツ&ドッグス No.8スパイアニマル No.9牙浪 No.10マイティー・ソー



No.11 グリーン・ホーネット No.12ハトルロワイヤル No.13スフィアー No.14Ayumi Hamasaki No.15ディーブ・シー



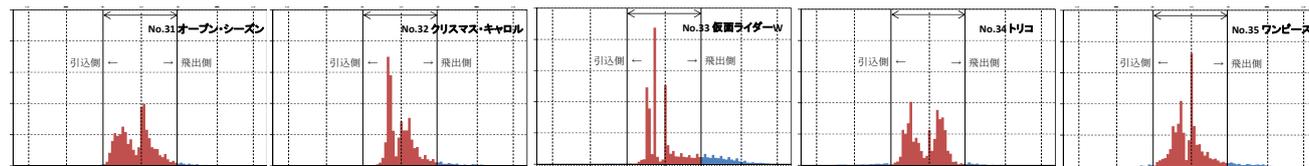
No.16 オーシャンワンダーランド No.17モンスター・ハウス No.18曇り時々ミート No.19アイスエイジ No.20ガールの伝説



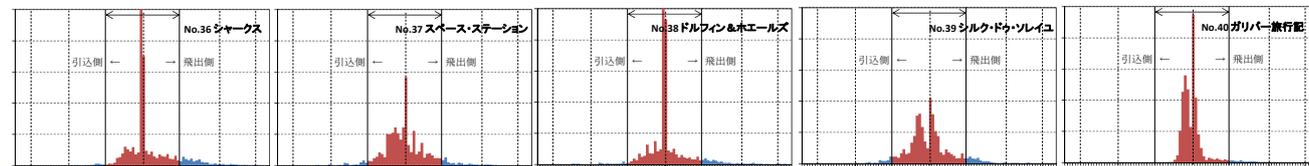
No.21少年マイロの火星 No.22塔の上の No.23ティム・バートナイト No.24チキン・リトル No.25ヨギ&ブーフー



No.26ボルト No.27ルイスと未来泥棒 No.28怪盗グルーの No.29ボーラーエクスプレス No.30攻殻機動隊

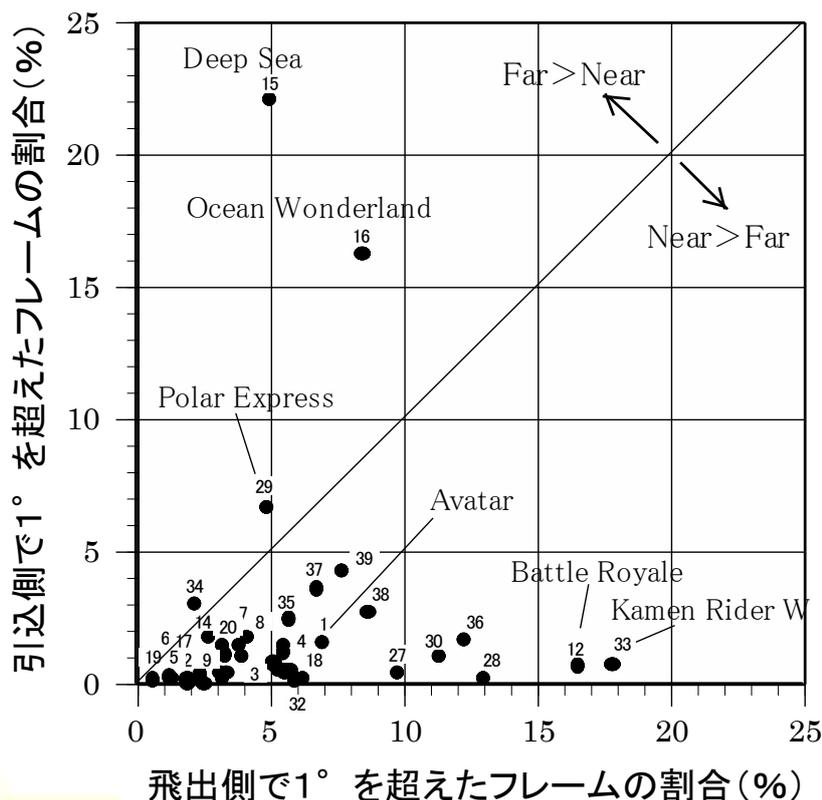


No.31オープン・シーズン No.32クリスマス・キャロル No.33仮面ライダーW No.34トリコ No.35ワンピース



No.36シャークス No.37スペース・ステーション No.38ドルフィン&ホエールズ No.39シルクド・ソレイユ No.40ガリバー旅行記

# 視差角1度を超えたフレームの割合



## ヒストグラム間の類似度を表すバタチャリア係数 (Bhattacharyya coefficient) $L$ を求めた

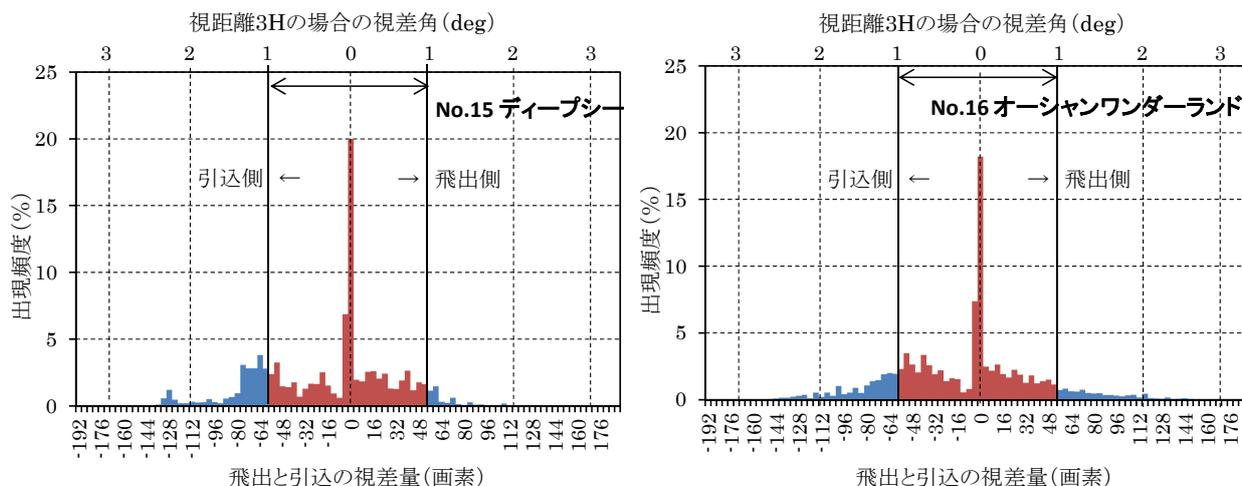
$$L = \sum_{i=1}^n \sqrt{P_i Q_i}$$

$$\sum_{i=1}^n P_i = \sum_{i=1}^n Q_i = 1$$

ヒストグラムを正規化してからヒストグラムの対応するビンを掛け合わせて算出する。2つのヒストグラムの類似度を表すバタチャリア係数は0から1までの値を取り、正規化した2つのヒストグラムが完全に一致する場合1.0になる

ここで、 $n$ はヒストグラムのビンの数、 $P$ 、 $Q$ は正規化ヒストグラムである

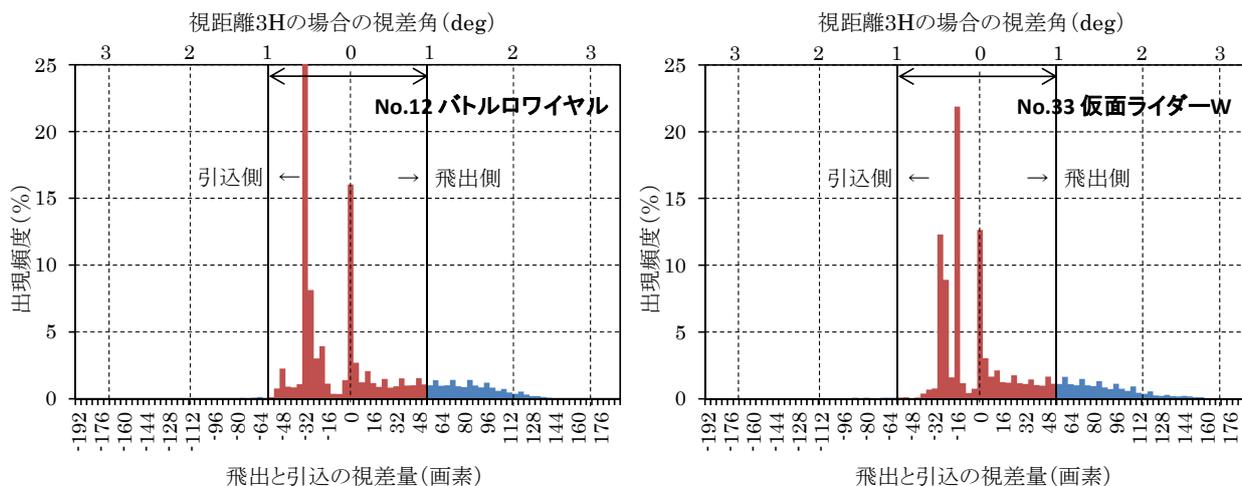
# ヒストグラムの類似性



引込が多い水中映像

2つのヒストグラムのバタチャリア係数 0.97

# ヒストグラムの類似性



飛出が多い戦闘もの

2つのヒストグラムのバタチャリア係数 0.81

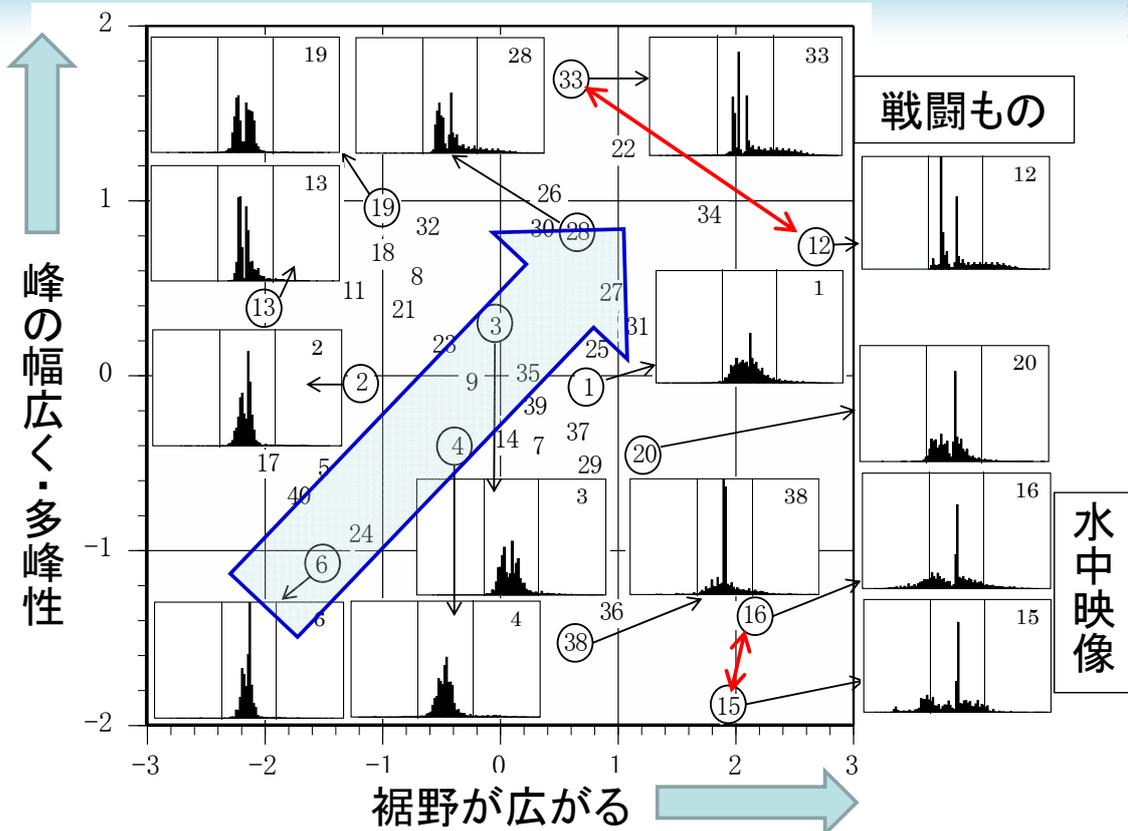
バタチャリア係数による類似度を距離尺度に変換した上で、40種類の3Dコンテンツを多次元尺度構成法(MDS: Multi dimensional scaling)により二次元平面上に布置した。IBM SPSS Statistics ver. 20のALSCALを用い、尺度水準を間隔尺度と指定。

距離尺度は、ヘルンガー距離 (Hellinger distance)  $H$

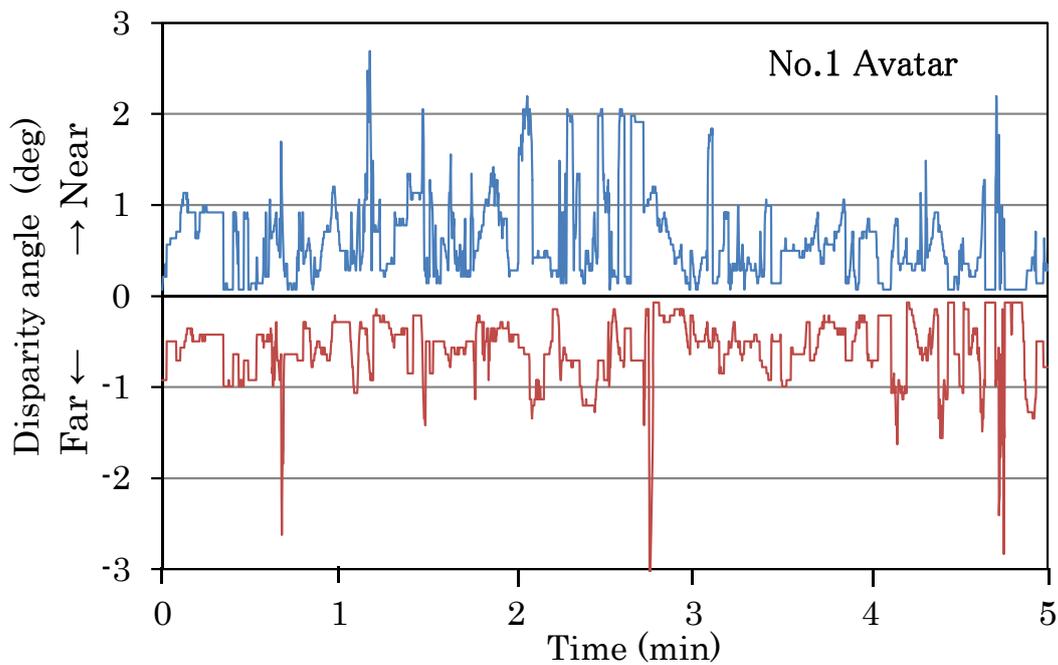
$$H = \sqrt{1 - L}$$

ヘルンガー距離行列 (一部だけ表示)

	1.アバター	2.ナルニア国物語 第3章	3.アリスインワンダーランド	4.バイオハザードIV	5.タイタンの戦い	6.トロングガシー	7.キャッツ&ドッグス	8.スパイアニマル Gフォース
1.アバター	-	0.35	0.21	0.25	0.40	0.43	0.15	0.34
2.ナルニア国物語 第3章	0.35	-	0.26	0.21	0.13	0.20	0.27	0.34
3.アリスインワンダーランド	0.21	0.26	-	0.20	0.32	0.36	0.20	0.25
4.バイオハザードIV	0.25	0.21	0.20	-	0.23	0.30	0.22	0.27
5.タイタンの戦い	0.40	0.13	0.32	0.23	-	0.18	0.33	0.35
6.トロングガシー	0.43	0.20	0.36	0.30	0.18	-	0.34	0.41
7.キャッツ&ドッグス	0.15	0.27	0.20	0.22	0.33	0.34	-	0.34
8.スパイアニマル Gフォース	0.34	0.34	0.25	0.27	0.35	0.41	0.34	-



視差ヒストグラムの類似度に基づき多次元尺度構成法を用いてプロットしたマップ. 1~40の番号は表1のコンテンツ番号を示す



飛出と引込の視差角の時間的変化 (No.1アバターの一部)

## 2. 3Dテレビの視聴による視覚疲労 と視聴者の視機能との関係

### はじめに

1. 快適な視差角範囲 $1^{\circ}$ 以下というガイドラインに準拠した3D映像を3Dテレビを用いて2Dと3Dで視聴した場合、主観的な視覚疲労に差異が認められるか
2. 3Dで視覚疲労の訴えが強い参加者は視機能にどのような特徴があるか

### 実験

- 被験者： 20名（20～24歳、男性17名、女性3名）
- 照明環境： 画面照度 30 [lx]
- ディスプレイ： 50型Full-HD 3Dプラズマテレビ
- 視聴映像： アバター（©Fox Movies Japan）
- 表示輝度： APL40%の白輝度 16 [cd/m<sup>2</sup>] 3Dはメガネありで測定
- 観視距離： 3H(190cm)
- 実験条件： 3D, 2D 各条件1日100分 2Dはメガネなしで視聴

以下のスケジュールで別々の日に2Dと3Dで実施した

#### 各実験日のスケジュール ①～④で自覚症状を測定



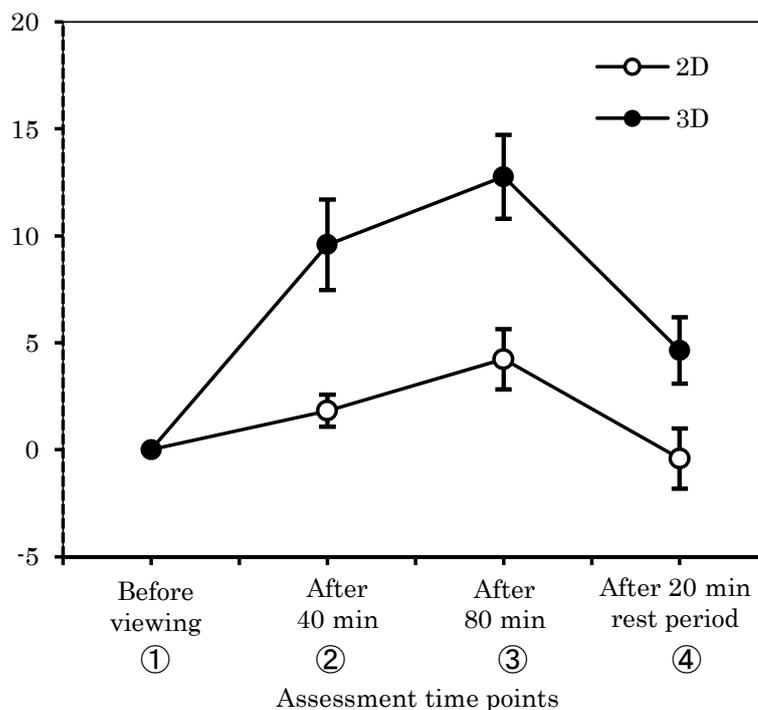
# 目に関する自覚症状

高橋 誠: VDT作業者の視覚疲労自覚症状の分析,  
労働科学, 69巻, 5号, pp.193-203, 1993 より

- |                 |                     |
|-----------------|---------------------|
| 1. 目がいたい        | 11. 近くのものに焦点が合わせにくい |
| 2. 目が圧迫される感じがする | 12. 遠くのものに焦点が合わせにくい |
| 3. 目がしょぼしょぼする   | 13. ものがすぐにはっきり見えない  |
| 4. 目がチカチカする     | 14. 動くものに視線を合わせにくい  |
| 5. 目が熱い         | 15. ものをじっと見つめるのがきつい |
| 6. 涙が出る         | 16. ものがまぶしく見える      |
| 7. 目が乾く         | 17. 目を開けているのがつらい    |
| 8. 目が充血する       | 18. 壁などの色がかわって見える   |
| 9. まぶたがピクピクする   | 19. 目が疲れる           |
| 10. まばたきが多い     | 20. 頭がいたい、重苦しい      |



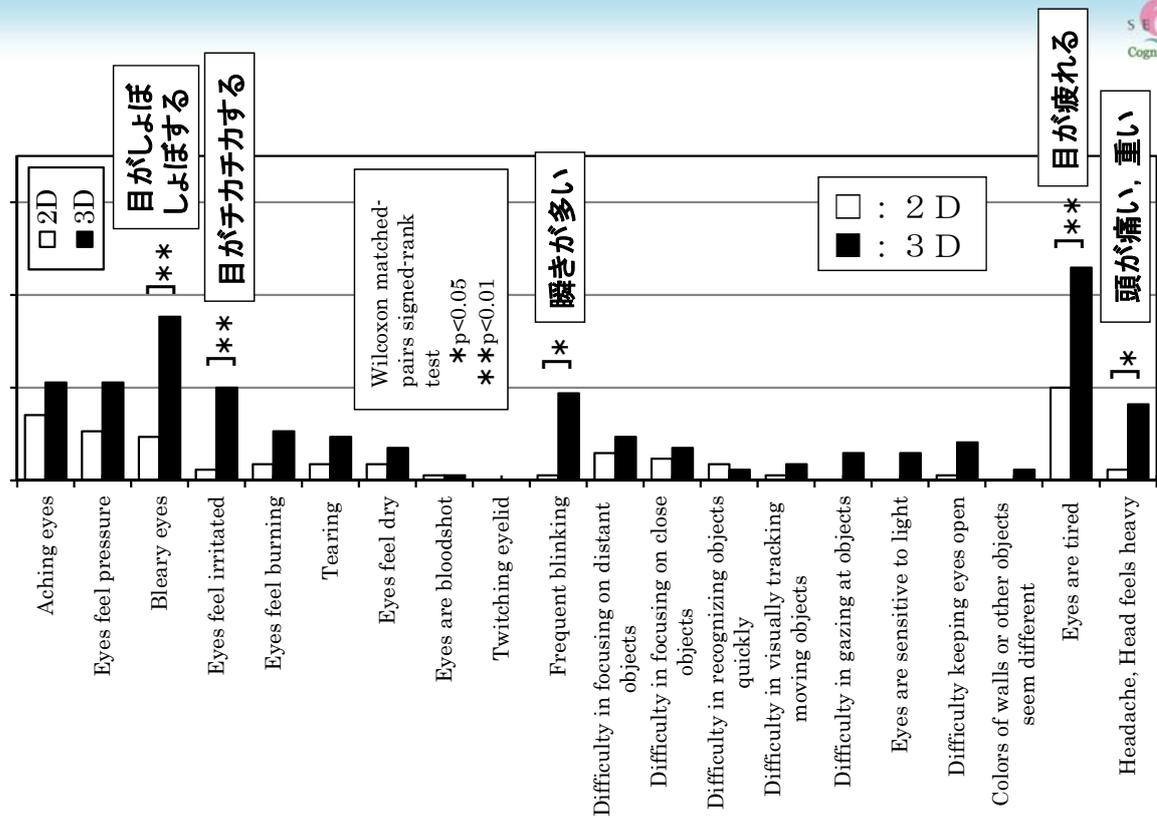
視覚疲労スコアの変化



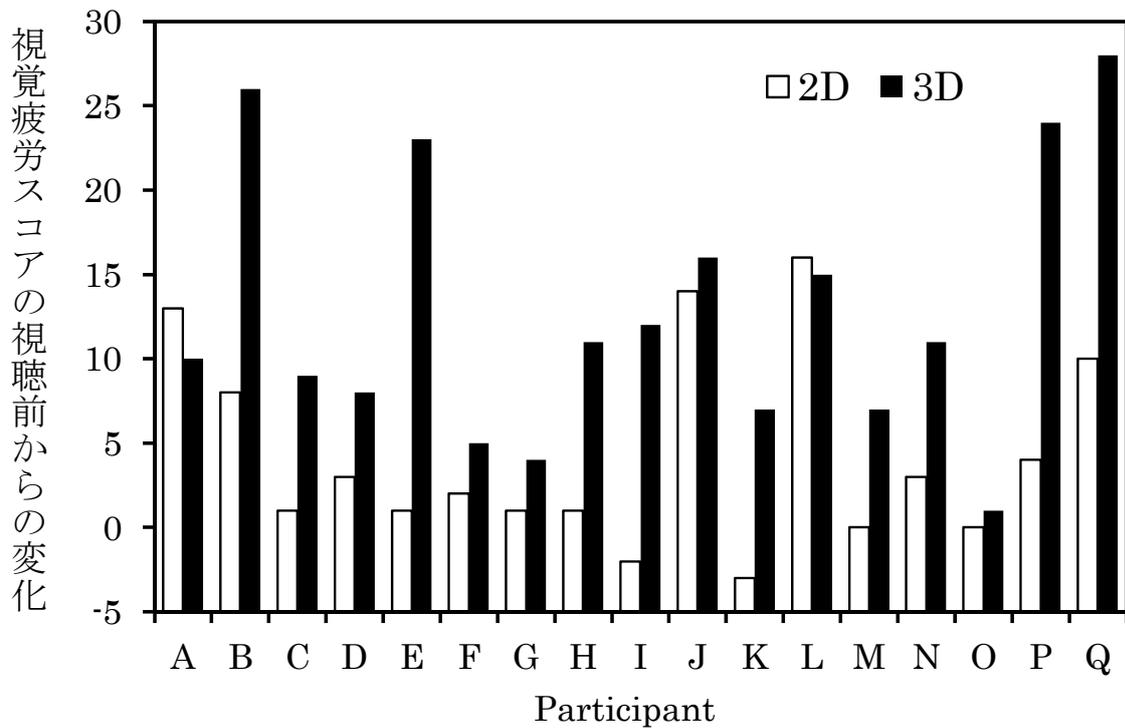
視覚疲労スコア:  
自覚症状2項目の7段階  
評価値の合計

2Dと3D条件における視聴前からの視覚疲労スコアの変化,  
17名の平均と±1標準誤差

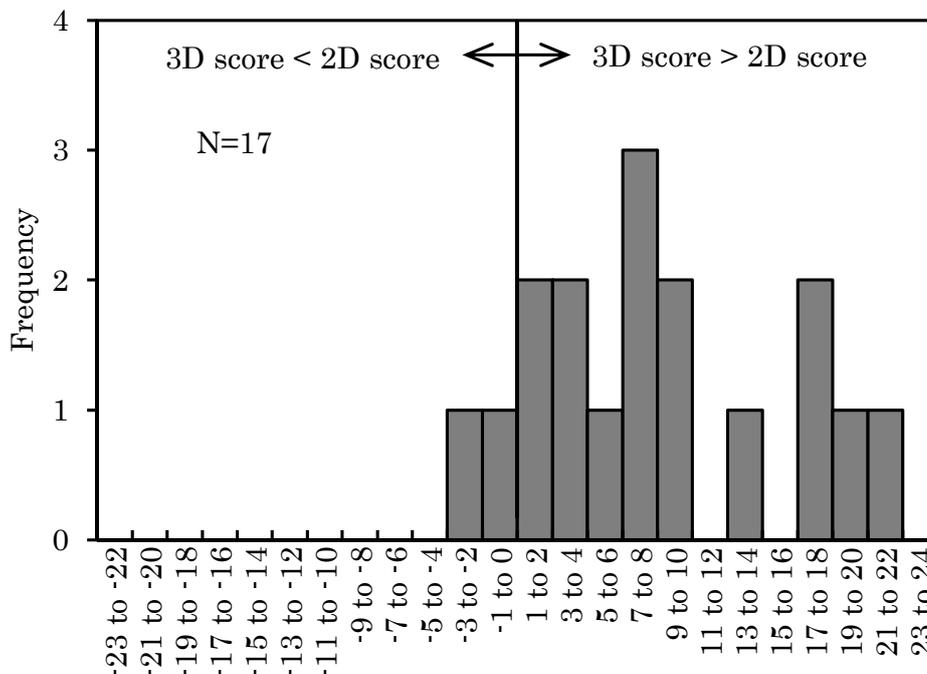
80分間視聴後の評定値の変化



2Dと3Dで80分間視聴後の視覚的自覚症状の変化  
17名の平均評定値



2Dと3Dで80分間視聴後の各参加者の視覚疲労スコアの変化



Difference in visual fatigue score  
(3D score - 2D score)

2Dと3Dで80分間視聴後の視覚疲労スコアの差の分布

		Target distance →		Visual functions that have a significant relationship with 3D visual fatigue						
				Far (5 m)		1 D → 5 D		5 D → 1 D		
← Target distance	All of the measured visual functions	Number of data	Correlation with 3D visual fatigue score	L · R Visual acuity difference (log MAR)	Horizontal heterophoria	Positive accommodation time		Negative accommodation time		
						Left	Non-dominant	Left	L · R difference	Non-dominant
Far (5 m)	Visual acuity (log MAR)									
	Left	17	.28							
	Right	17	.32					.48 *		
	Binocular	17	.36							
	L · R difference	16	.50 *			.79 **	.75 **	.70 **	.66 **	.62 *
	Dominant	17	.20							.50 *
Near (30 cm)	Visual acuity (log MAR)									
	Left	16	.15						.59 *	
	Right	17	.26							
1 D → 5 D	Binocular	17	-.05							
	L · R difference	15	.40						.51 *	
	Dominant	17	.18						.55 *	
	Non-dominant	17	.35							
	Binocular stereopsis	17	-.21							
	Horizontal heterophoria	17	-.17		.49 *					
5 D → 1 D	Visual acuity (log MAR)									
	Left	16	.58 *	.79 **	-.52 *		.99 **	.85 **	.72 **	.85 **
	Right	15	.27	.63 **		.86 **	.86 **			
	Binocular	16	.27	.66 **	-.50 *	.79 **	.74 **			
	L · R difference	14	.13							
	Dominant	16	.31	.65 **		.88 **	.85 **	.62 *		.65 **
5 D → 1 D	Visual acuity (log MAR)									
	Left	17	.61 **	.70 **		.85 **	.85 **	.57 **	.60 *	.58 *
	Right	17	.19	.59 *		.72 **	.67 **	.76 **		.80 **
	Binocular	17	.04			.59 *	.55 *	.55 *		.59 *
	L · R difference	17	.64 **	.66 **		.72 **	.69 **	.73 **		.73 **
	Dominant	17	.30	.71 **		.79 **	.76 **	.84 **		.82 **
5 D → 1 D	Visual acuity (log MAR)									
	Left	17	.57 *	.62 *		.85 **	.82 **	.97 **	.73 **	

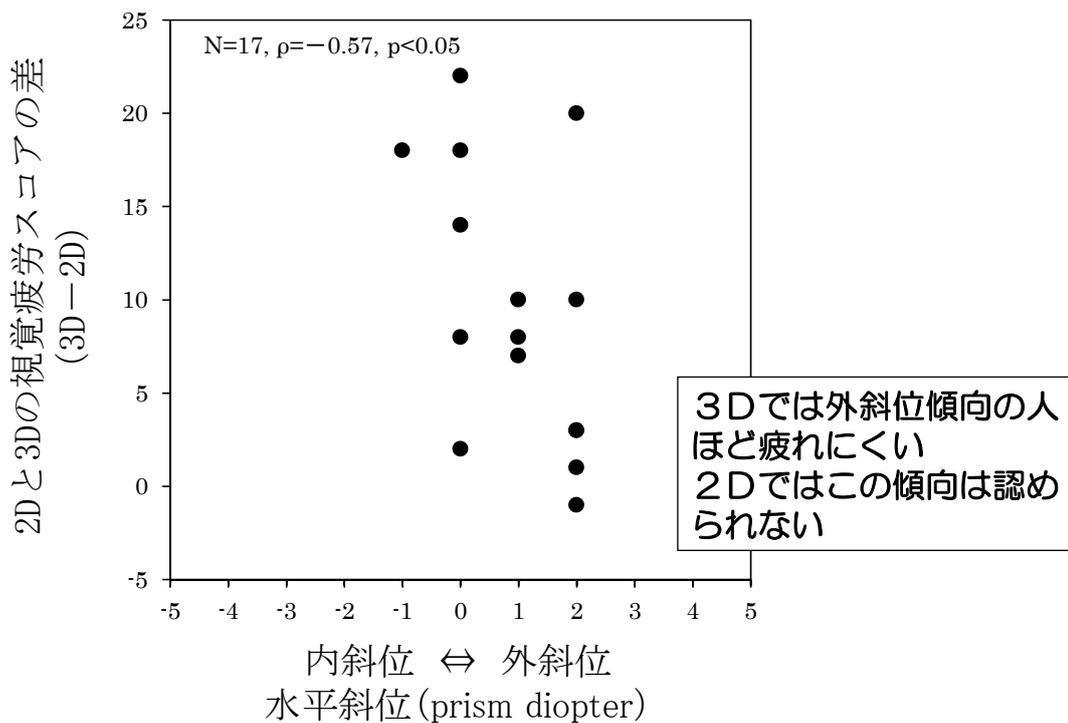
Superman's rank correlation coefficient, \* p<.05, \*\* p<.01, Blank cells are not significant

### 各視機能と3Dでの目の疲れやすさとの相関

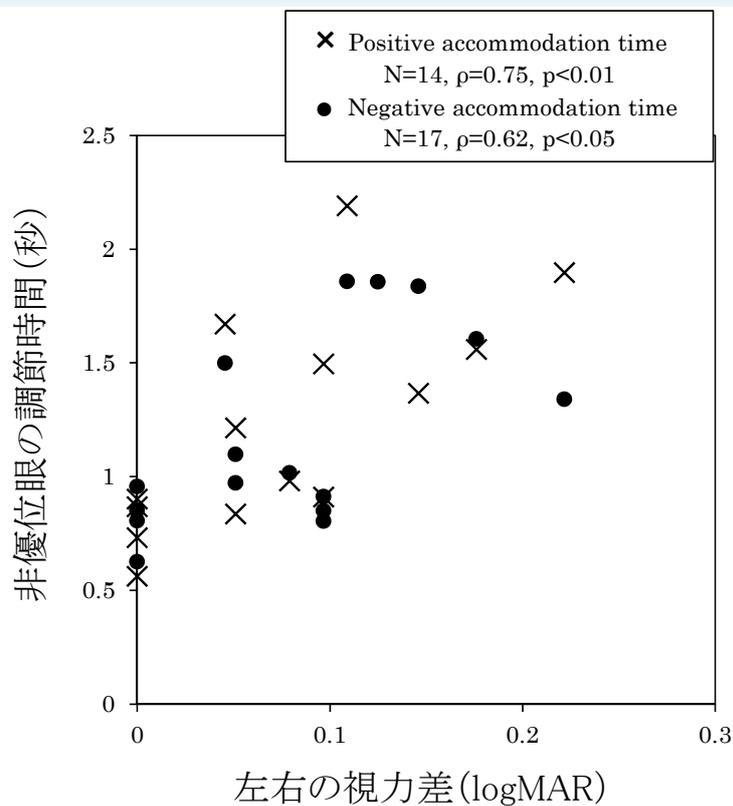
- (1)視力:  
遠見左右差
- (2)水平斜位:  
遠見水平斜位
- (3)調節時間:  
緊張時間  
(左眼, 非優位眼)  
弛緩時間  
(左眼, 非優位眼, 左右差)

以上の視機能は、3D特有の目の疲れやすさと関係している

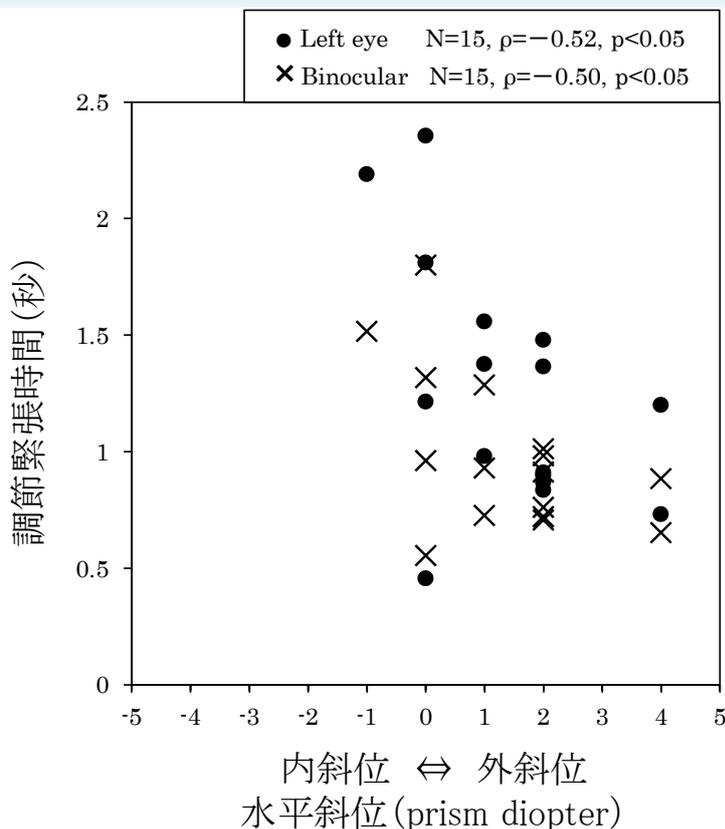




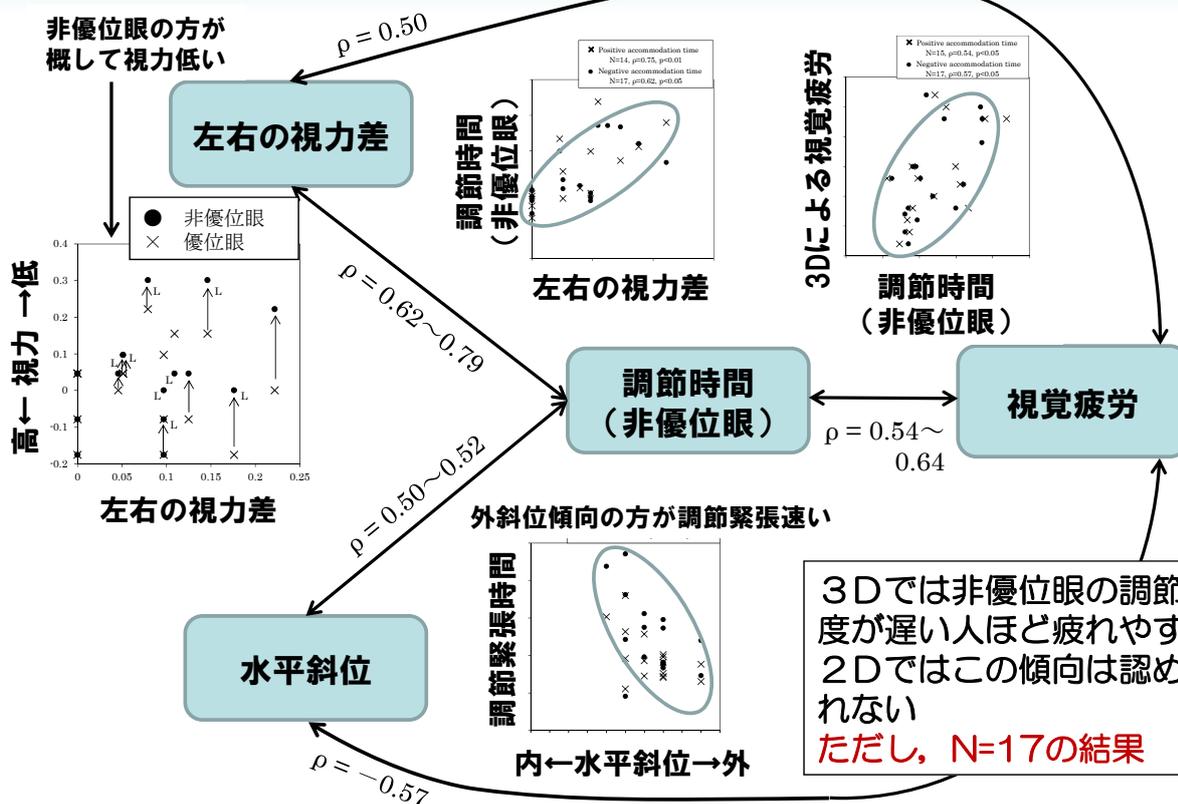
遠見水平斜位と3Dでの目の疲れやすさとの関係



左右の目の視力差と非優位眼の調節時間との関係



遠見水平斜位と調節緊張時間との関係

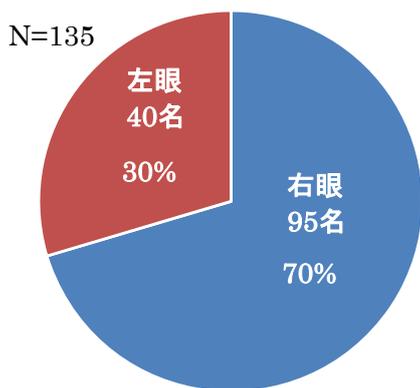


視聴者の視機能と3Dによる視覚疲労との関係

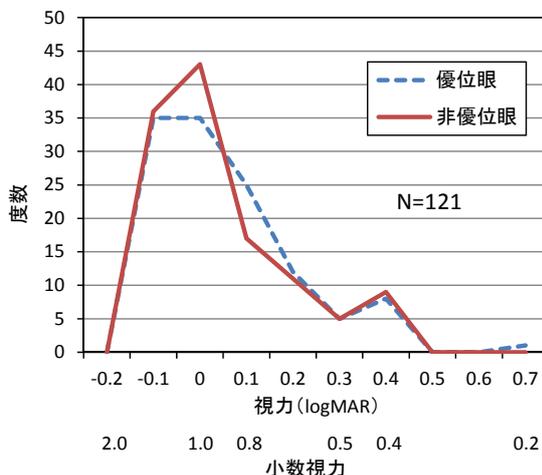
# 学生135名の視機能を測定した結果

TopconスクリノスコープSS-3で、視力、斜位、立体視等を測定  
興和アコモドポリレコーダで、1Dと5Dの視標に対する眼調節時間を測定

1. 優位眼の割合 右7割：左3割
2. 優位眼と非優位眼で視力差なし

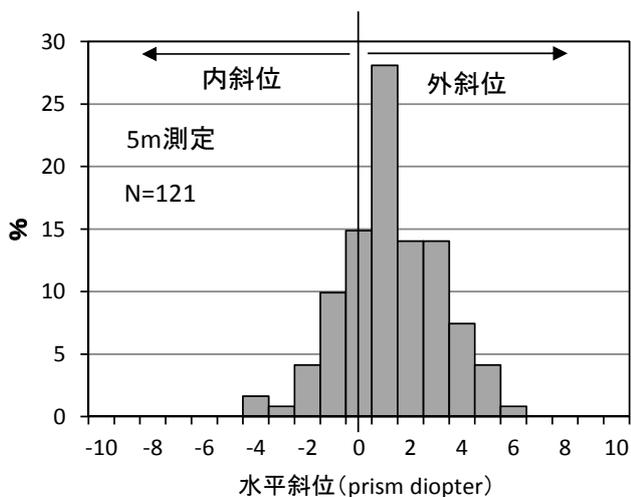


優位眼(利き目)

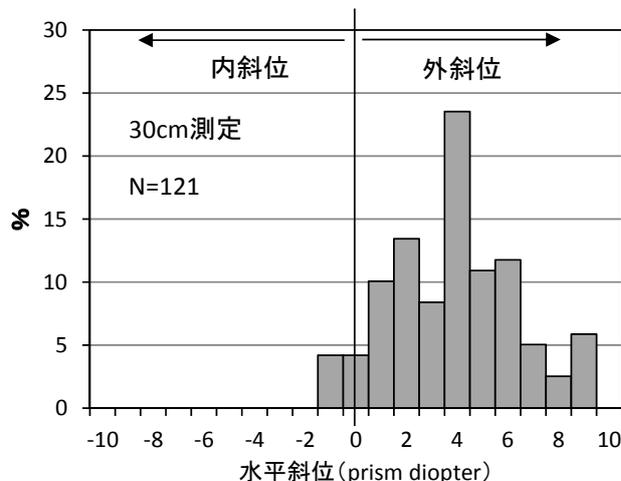


優位眼と非優位眼の視力分布

## 3. 外斜位が多い



5m測定

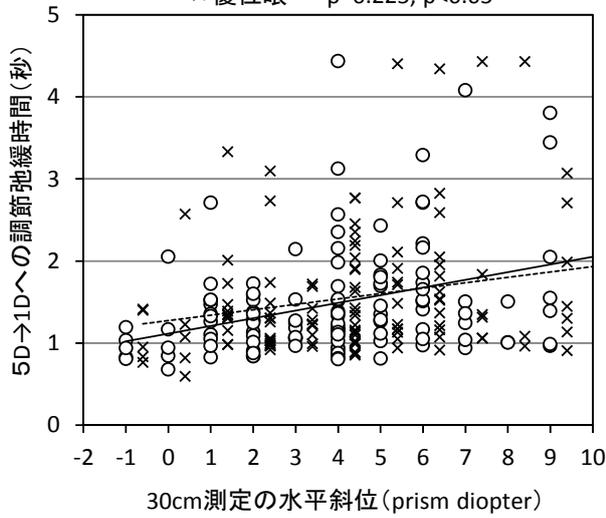


30cm測定

水平斜位の測定結果

#### 4. 外斜位が大きいほど調節弛緩時間が遅い

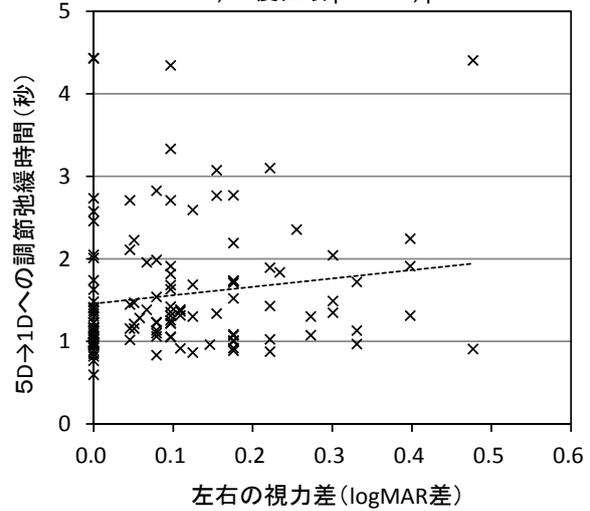
N=121, ○非優位眼  $\rho=0.296, p<0.001$   
 ×優位眼  $\rho=0.225, p<0.05$



水平斜位と調節弛緩時間

#### 5. 左右の視力差が大きいほど優位眼の調節弛緩時間が遅い

N=121, ×優位眼  $\rho=0.199, p<0.02$



両眼視力差と調節弛緩時間

計測値の正規性が棄却されたので相関係数はSpearmanの  $\rho$  を使用