

## 立体映画における視差角と奥行き再現(続)

A parallaxic angle and a depth perception in 3D movie (Part II)

山田 千彦

元日本工業大学、元凸版印刷(株)

〒120-0014 東京都足立区西綾瀬 4-13-17

E-mail : c-yamada@jcom.zaq.ne.jp

第3次立体映画ブームが2005年頃から始まった。その後、家庭用立体テレビ受像機が2010年頃から発売されるようになった。その後、Blu-ray 3D ディスクのソフトの販売に伴い、劇場と共に家庭でも容易に立体映画を鑑賞できるようになった。今はそのブームが下火になっているが、本稿では市販ソフトの1つを視差角の観点から再評価してみた。

### 1. はじめに

いろいろな博覧会、等では立体映画に皆が集まり、大盛況であったのを覚えている。しかし、お金を出して観る劇場用立体映画、例えば、IMAX 劇場では常に低迷していた。

1990年代に入り、立体映画、あるいは臨場感通信、等に多くの論文が出る様になり、メガネなしで立体視できる産業用3Dディスプレイが市場に出るようになってきた。当初はレンチキュラー板、あるいはバリアを用いた2像式であったが、その後ディスプレイの画素が増えるに伴って多像式が目につくようになってきた。

そのような流れの中で、2005年から劇場用立体映画がフルタイムで上映される様になり、第3次最盛期に突入した。この劇場用立体映画はメガネをかけて観る方式であるが、以前と変わったことは、皆がお金を出して観に来ていることである。

この中で3Dコンソーシアム・安全ガイドライン部会から

「人に優しい3D普及のための3DC

安全ガイドライン」(2010-4-20 改訂)

が公開されている。

2010年は家庭用立体テレビ元年と言われ、多くの家電メーカーから立体テレビ受像機が数多く販売される様になった。これらの立体テレビはメガネをかけて立体視する2像式である。そして、2011年10月には「メガネなしで立体視出来る多像式の家庭用立体テレビ受像機」が発売された。

また当時、BS11チャンネルで多くの3D映像が放送されていた。そして、BS11、BS-TBS、BSフジで3D映像番組が組まれていた。

市販の3D映像はDVDでアナグリフ方式、等でわずかに見かけていたが、やっと劇場用立体映画が家庭用立体テレビ向けのBlu-ray 3D ディスクとなって、市販される様になっている。

このような状況の中で、またまた立体映画が低迷状態に向かい残念な感がある。

このような中ではあるが、表題の続編として、市販の3D映像の1つを再評価してみた。

先ず、劇場で上映された立体映画がどのような視差で、どのような奥行き再現(立体感)が得られているのか、をはっきりさせる。

次に、その値が「安全ガイドライン」から

観てどのような位置づけになっているのか再評価する。そして、その時に考えられる問題点、および対策を検討する。

今地上デジタル放送が実用に入り、次は立体テレビ放送の実用化と言われている。当然メガネなしで立体視できる方式になるであろう、と言われている。

## 2. 立体視における幾何学的関係

ディスプレイ面上に(両眼)視差のある立体画像がある時、観察者が得られる奥行き再現(立体感)は第1図に示す様な幾何学的関係で表すことが出来る。

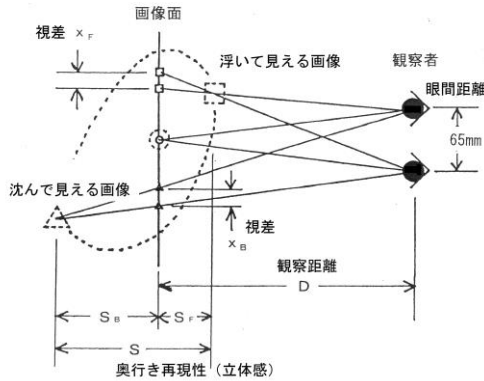


図1. 視差と奥行き再現との幾何学的関係

第1図から、奥行き再現は次式から計算する事ができる。

$$\begin{aligned}
 S &= S_F + S_B \\
 S_F &= \frac{x_F D}{65 + x_F} \\
 S_B &= \frac{x_B D}{65 - x_B}
 \end{aligned} \tag{1}$$

このとき、 $S$  は全体の奥行き再現、 $S_F$  は手前に浮いて見える(飛び出し)画像の奥行き再現、 $S_B$  は奥に沈んで見える(引っ込み)画像の奥行き再現、 $D$  は観察(観視)距離、そして65は眼間(瞳孔間)距離である。

次に、視差角を計算するための幾何学的関係を図2に示す。

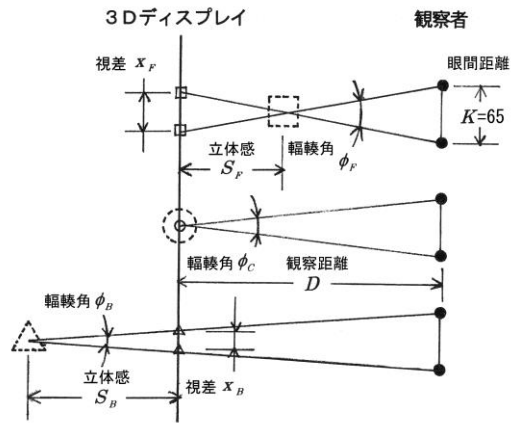


図2. 視差と視差角との関係図

手前に浮いて見える画像の輻輳角を $\phi_F$ 、ディスプレイ面上に見える画像の輻輳角を $\phi_C$ 、奥に沈んで見える画像の輻輳角を $\phi_B$  とすると、輻輳角は次式から計算できる。

$$\begin{aligned}
 \phi_F &= 2 \tan^{-1} \frac{65}{D - S_F} \\
 \phi_C &= 2 \tan^{-1} \frac{65}{D} \\
 \phi_B &= 2 \tan^{-1} \frac{65}{D + S_B}
 \end{aligned} \tag{2}$$

そして、視差角は次式から計算する。

$$\begin{aligned}
 \varphi_F &= \phi_F - \phi_C \\
 \varphi_B &= \phi_C - \phi_B
 \end{aligned} \tag{3}$$

ここで、 $\varphi_F$  は手前に浮いて見える画像の視差角、 $\varphi_B$  は奥に沈んで見える画像の視差角である。

## 3. 立体映画ソフトのデータ測定

### 3.1 家庭用立体テレビで観た場合

家庭において、立体映画を鑑賞している時に視差を測定する例を第3図に示す。

ソフトディスク(Blu-ray 3Dディスク)をBlu-ray プレーヤーに装填し、プレーヤーに接続された立体テレビ受像機に映し出された画像を立体メガネを通して、観察者は立体視

することが出来る。

筆者は、立体テレビ受像機としてソニー社製 KDL-32EX720 を使用している。この時の受像機のサイズは、

32 型 (698×395 mm)

であり、観察距離： $D$  は縦の 3 倍から、

$D = 1,185$  mm

と設定する。

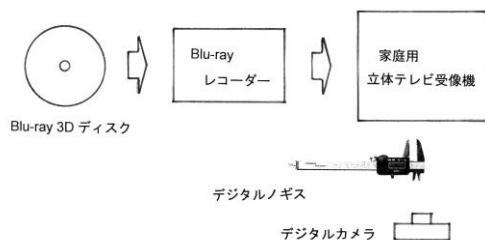


図3. 家庭で立体映画を再生し、視差を測定

### 3.2 家庭用立体テレビで視差を測定

Blu-ray 3D ディスクをプレーヤーに装填し、動画再生して立体視する。

そして、視差を測定するために、動画再生中にランダムに静止画とする。

このとき、静止画像の中で最も手前に浮いて見える画像の視差： $x_F$ 、および最も奥に沈んで見える画像の視差： $x_B$  をデジタルノギスで測定する。

同時に参考のため、その画像をデジタルカメラで撮影しておく。

### 3.3 劇場用スクリーンを想定

劇場で立体映画を観る場合を想定する。市場にある劇場のスクリーンサイズを幾つかの例の中から、

400 型 (8,855×4,981 mm)

とし、観察距離： $D$  はスクリーンの縦の 3 倍から、

$D = 15,000$  mm

と設定する。

### 3.4 劇場用クリーン上の視差を計算

劇場のスクリーン上の視差は、家庭サイズ (32 型) から劇場サイズ (400 型) に拡大して計算する。この時の倍率： $m$  は、

$$m = \frac{400\text{型}}{32\text{型}} = 12.7 \quad [\text{倍}]$$

となる。すなわち、劇場用スクリーン上の視差は家庭用立体 TV 受像機上の視差の 12.7 倍とする。

## 4. 評価する映画ソフト

手持ちソフトの 2011 年に上映された

### 「タンタンの冒険」

とする事とする。このソフトの表紙を第 4 図に示す。



図4. タンタンの冒険

この映画を劇場で鑑賞した場合、スクリーンの前後ともに奥行き再現(立体感)の良い作品であったと覚えている。

そこで、この作品の奥行き再現を視差、および視差角の観点から評価する。

### 4.1 家庭用受像機上で視差を測定

「タンタンの冒険」は 2011 年に上映された作品で、上映時間は 107 分であった。

筆者は第 3 図に示す家庭用立体テレビで立体メガネを掛けて立体視する。

そして、その中で、適当な間隔で動画から静止画に切り替える。

静止画は両眼視差のある二重像である。直前の動画再生の中で最も浮いて見える画像、および最も沈んで見える画像を静止画の中から選び出す。このとき、最も手前に浮いて見

える画像の視差:  $x_F$ 、および最も奥に沈んで見える画像の視差:  $x_B$  をデジタルノギスで測定する。

実測の一例として、第5図に画像No.7の例を示す。



図5. 視差値を測定した画像の例 (No. 7)

最も手前に浮いて見える画像は右手前の男性であり、その視差:  $x_F$  は、

$$x_F = 6.3 \text{ mm}$$

である。最も奥に沈んで見える画像は後ろに見えるビルの窓であり、その視差:  $x_B$  は、

$$x_B = 5.6 \text{ mm}$$

である。

次に、測定した視差のデータから式(1)を用いて奥行き再現を計算、さらに、式(2)、及び式(3)から計算した視差角を表(1)に示す。

表1. 家庭用受像機上で測定した視差奥行き再現、視差角

画像 No.	視差		奥行き再現		視差角		
	$x_F$	$x_B$	SF	SB	$\psi_F$	$\psi_B$	
タイトル	1	7.1	0.0	117	0	0.34	0.00
タイトル	2	1.8	7.0	32	143	0.09	0.34
タイトル	3	3.7	3.7	64	72	0.18	0.18
男	4	4.0	1.7	69	32	0.19	0.08
子供(タンタン)	5	0.0	10.0	0	215	0.00	0.48
船と子供	6	5.3	0.4	89	7	0.28	0.02
男2人	7	6.3	5.6	105	112	0.30	0.27
タンタン、図書館	8	2.6	7.0	46	143	0.13	0.34
城の入り口	9	11.3	6.1	175	123	0.55	0.29
銃、子供	10	1.7	7.3	30	150	0.08	0.35
刑事と子供	11	5.8	5.8	97	116	0.28	0.28
男2人	12	3.1	4.2	54	82	0.15	0.20
男2人	13	9.3	6.7	148	136	0.45	0.32
機	14	17.6	3.4	252	65	0.85	0.16
ボート	15	7.8	1.0	127	19	0.38	0.05
紙、文字	16	10.5	0.0	165	0	0.51	0.00
小舟の中	17	6.0	7.1	100	145	0.29	0.34
スリの室内	18	3.0	2.8	52	53	0.14	0.14
スリのup	19	6.3	6.4	134	129	0.40	0.31
飛行機	20	0.0	7.5	0	155	0.00	0.36
望遠鏡	21	10.2	9.9	161	213	0.49	0.48
船内	22	6.7	6.0	111	121	0.32	0.29
燃える船	23	0.0	5.6	0	112	0.00	0.27
海賊の旗	24	5.2	2.6	88	49	0.25	0.13
宝	25	0.0	4.0	0	78	0.00	0.19
旗、マスク	26	17.9	4.4	128	86	0.58	0.21
市場	27	2.3	4.5	40	88	0.11	0.22
車	28	5.4	5.4	91	107	0.26	0.26
広場	29	8.0	0.0	130	0	0.39	0.00
広場、歌手	30	5.0	1.3	85	24	0.24	0.06
オートバイ	31	0.0	2.8	0	53	0.00	0.14
戦い	32	2.8	2.8	49	55	0.14	0.14
旗、文字	33	11.0	0.0	173	0	0.53	0.00
戦い、海	34	1.6	2.7	28	51	0.08	0.13
2人	35	0.0	7.5	0	155	0.00	0.36
3人	36	2.3	5.5	40	110	0.11	0.27
2人	37	3.5	0.0	61	0	0.17	0.00
車	38	0.0	3.8	0	74	0.00	0.18
旗	39	4.6	6.0	78	121	0.22	0.29
タイトル	40	0.0	0.0	0	0	0.00	0.00
タイトル(会話の文字)	41	4.0	0.0	69	0	0.19	0.00

ここで分かることは、視差角が $1^\circ$ を超える画像が一つもなかったことである。

## 4.2 劇場で上映を想定

家庭用32型立体テレビ受像機で測定した視差を使って劇場で上映される場合を想定(計算)する。この時の倍率は前述している様に、

$$m = 12.7 \text{ [倍]}$$

であり、この値を使って奥行き再現を計算し、その結果を表2に示す。

表2. 劇場における視差と奥行き再現

画像 No.	視差		奥行き再現	
	$x_F$	$x_B$	SF	SB
1	90.2	0.0	8.717	0
2	22.9	88.9	3.903	-55.795
3	47.0	47.0	6.294	39.137
4	50.8	21.6	6.580	7.460
5	0.0	127.0	0	-30.726
6	67.3	5.1	7.631	1.272
7	80.0	71.1	8.276	-174.314
8	33.0	88.9	5.053	-55.795
9	143.5	77.5	10.324	-93.188
10	21.6	92.7	3.740	-50.186
11	73.7	73.7	7.968	-127.587
12	39.4	53.3	5.658	68.619
13	118.1	88.1	9.875	-63.532
14	223.5	43.2	11.621	29.884
15	99.1	12.7	9.057	3.642
16	133.4	0.0	10.084	0
17	76.2	90.2	8.095	-53.737
18	38.1	35.6	5.543	18.118
19	105.4	81.3	9.279	-74.889
20	0.0	93.3	0	-47.231
21	129.5	129.7	9.988	-31.055
22	85.1	76.2	8.504	-102.054
23	0.0	71.1	0	-174.314
24	66.0	33.0	7.560	15.488
25	0.0	50.8	0	53.662
26	100.3	55.9	9.103	81.908
27	29.2	57.2	4.651	109.204
28	68.6	68.6	7.701	-287.346
29	101.6	0.0	9.148	0
30	63.5	16.5	7.412	5.107
31	0.0	35.6	0	18.118
32	35.6	36.8	5.304	19.611
33	139.7	0.0	10.237	0
34	20.3	34.3	3.572	16.749
35	0.0	93.3	0	-47.231
36	29.2	69.9	4.651	-216.031
37	44.5	0.0	6.092	0
38	0.0	48.3	0	43.244
39	58.4	76.2	7.100	-102.054
40	0.0	0.0	0	0
41	50.8	0.0	6.580	0

ここで分かることは、奥に沈んで見える画像の視差:  $x_B$  が

$$x_B \geq 65 \text{ mm}$$

となる点を多く含んでいることである。

## 4.3 $x_B = 65 \text{ mm}$ の意味

この $65 \text{ mm}$ は眼間距離を意味している。そして、沈んで見える画像の視差が眼間距離と同じ場合は、輻輳角が $0^\circ$ となり、奥行き再現は無限大( $\infty$ )となる。

もし、沈んで見える画像の視差が $65 \text{ mm}$ 以上になると観察者の両眼は「開散」となり、人の眼は外側に開かないことから「眼底疲労」

を引き起こすことになる。

依って、

「沈んで見える画像の視差は  
65mm を超えてはならない」

ことになる。

表2 を観てみよう。画像41 点の中で18 点が「開散」を示している。

#### 4.4 劇場における視差角を計算

劇場における視差から奥行き再現を計算する。表2 に示す様に  $x_B > 65 \text{ mm}$  になると、計算結果は  $S_B < 0 \text{ mm}$  となってしまう。実際は、 $S_B < 0 \text{ mm}$  は無限大を意味していることから、視差角を計算する上で、

$$S_B < 0 = \infty = 999,999 \text{ mm}$$

と置いて視差角を計算する。

改めて、劇場における視差、奥行き再現、および視差角の計算結果を表3 に示す。

表3 劇場における視差、奥行き再現、  
および視差角

画像 No.	視差		奥行き再現		視差角	
	xF	xB	SF	SB	$\psi F$	$\psi B$
1	90.2	0.0	8.717	0	0.34	0.00
2	22.9	88.9	3.903	999.999	0.09	0.24
3	47.0	47.0	6.294	39.167	0.18	0.18
4	50.8	21.6	6.580	7.460	0.19	0.08
5	0.0	127.0	0	999.999	0.00	0.24
6	67.3	5.1	7.631	1.272	0.26	0.02
7	80.0	71.1	8.276	999.999	0.31	0.24
8	33.0	88.9	5.053	999.999	0.13	0.24
9	143.5	77.5	10.324	999.999	0.55	0.24
10	21.6	92.7	3.740	999.999	0.08	0.24
11	73.7	73.7	7.968	999.999	0.28	0.24
12	39.4	53.3	5.658	68.619	0.15	0.20
13	118.1	85.1	9.675	999.999	0.45	0.24
14	223.5	43.2	11.621	29.684	0.85	0.16
15	99.1	12.7	9.057	3.642	0.38	0.05
16	133.4	0.0	10.084	0	0.51	0.00
17	76.2	90.2	8.095	999.999	0.29	0.24
18	38.1	35.6	5.543	18.118	0.15	0.14
19	105.4	81.3	9.279	999.999	0.40	0.24
20	0.0	95.3	0	999.999	0.00	0.24
21	129.5	125.7	9.988	999.999	0.49	0.24
22	85.1	76.2	8.504	999.999	0.33	0.24
23	0.0	71.1	0	999.999	0.00	0.24
24	66.0	33.0	7.560	15.488	0.25	0.13
25	0.0	50.8	0	53.662	0.00	0.19
26	100.3	55.9	9.103	91.908	0.38	0.21
27	29.2	57.2	4.651	109.204	0.11	0.22
28	68.6	68.6	7.701	999.999	0.26	0.24
29	101.6	0.0	9.148	0	0.39	0.00
30	63.5	16.5	7.412	5.107	0.24	0.06
31	0.0	35.6	0	18.118	0.00	0.14
32	35.6	36.8	5.304	19.611	0.14	0.14
33	139.7	0.0	10.237	0	0.53	0.00
34	20.3	34.3	3.572	16.749	0.08	0.13
35	0.0	95.3	0	999.999	0.00	0.24
36	29.2	69.9	4.651	999.999	0.36	0.24
37	44.5	0.0	6.096	0	0.42	0.00
38	0.0	48.3	0	43.244	0.25	0.18
39	58.4	76.2	7.099	999.999	0.47	0.24
40	0.0	0.0	0	0	0.25	0.00
41	50.8	0.0	6.580	0	0.44	0.00

表3 から分かる様に、無限大に相当する値を 999,999 mm と置くことによって、視差角： $\phi_B$  は、

$$\phi_B = 0.24^\circ$$

と数値化することで出来る。すなわち、重要なことは、劇場の大型スクリーンでは、スクリーンサイズが400 インチの場合、奥に沈んで見える画像の視差角の最大値は1°ではなく、0.24°であることが分かる。

#### 5. 視差の分布

今回評価しているソフト「タンタンの冒険」では、上映時間107分の中からランダムに41点のデータを測定している。そして、家庭で鑑賞する場合、および劇場で鑑賞する場合の奥行き再現、および視差角を求めている。

##### 5.1 家庭で立体視・グラフ

表1 に示す家庭で立体視する場合の視差、および奥行き再現をグラフにして第6図、および第7図に示す。

##### 5.2 劇場で立体視・グラフ

表3 に示す劇場で立体視する場合の視差、および奥行き再現をグラフにして第8図、および第9図に示す。

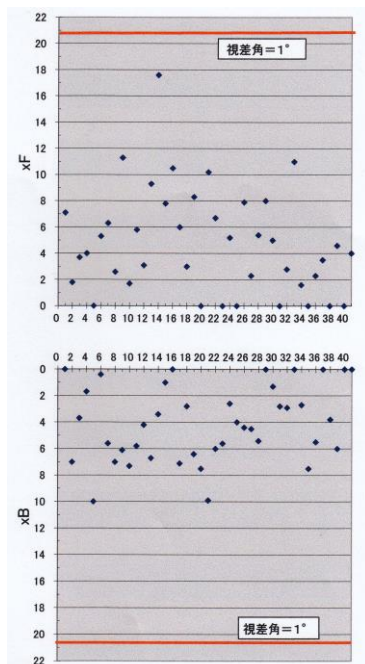


図6. 家庭における視差のグラフ



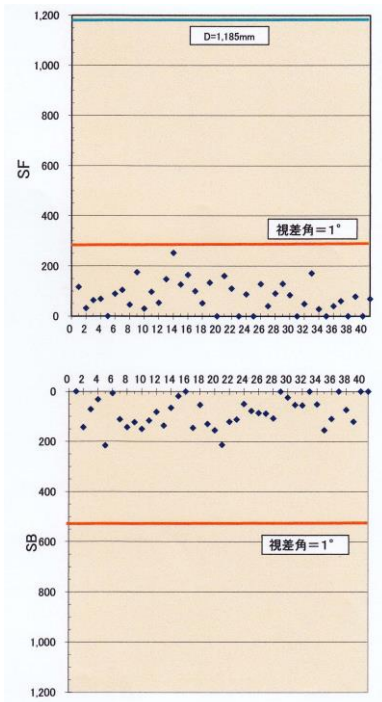


図7. 家庭における奥行き再現のグラフ

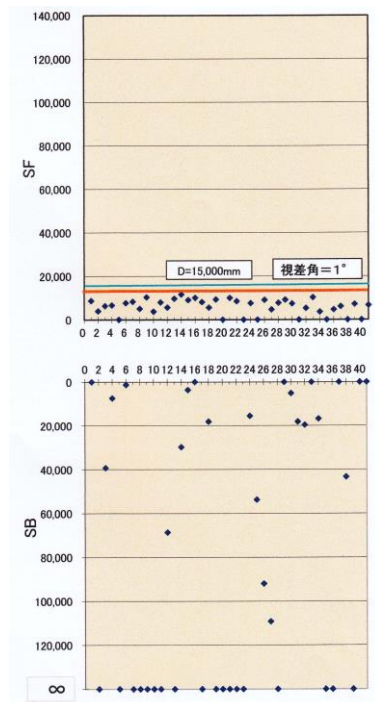


図9. 劇場における奥行き再現のグラフ

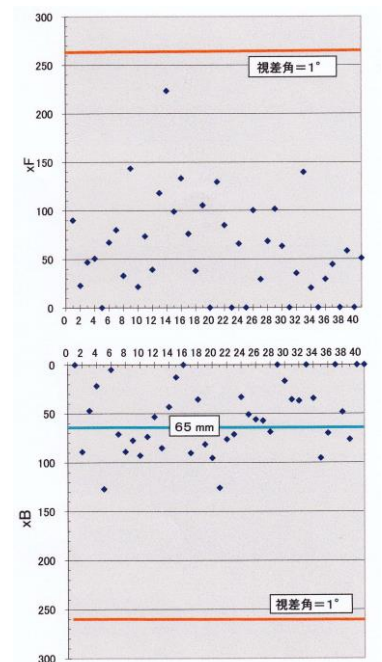


図8. 劇場における視差のグラフ

## 6. 視差角の限界の再確認

「3DC安全ガイドライン」の中に、<GL-8>開散方向の視差制限、という項目があり、人の眼は外側には開かないので融合せず、眼精疲労を引き起こす、とある。

すなわち、ディスプレイ上において、奥に沈んで見える画像の視差： $x_B$ が眼間距離(ここでは65mm)を超えてはならない、ということである。

表2、および図6に示す「家庭で立体視」においては、この件は満足している。

しかし、表3、および図8に示す「劇場で立体視」においては、この件を満足していない点がある。

選択された画像41点の内、18点において、

$$x_B \geq 65 \text{ mm}$$

となっており、その時の視差は、

$$x_B = 68.6 \sim 127.0 \text{ mm}$$

になっている。

実際に劇場で鑑賞した筆者は、目が疲れてしまった、という認識はなかった。

しかし、これから作られる立体映画では、当然この件を改善していくべきであろう、と考える。

### 6.1 視差角の限界の再確認グラフ

視差角の限界の再確認グラフを図 10 に示す。

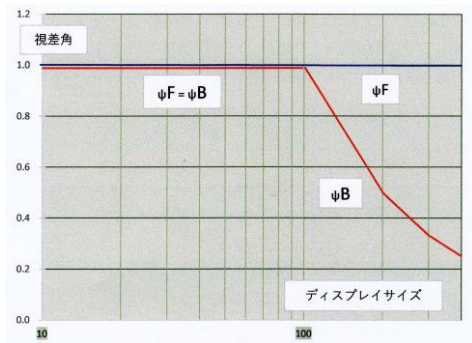


図 10. 視差角の限界

奥に沈んで見える画像の視差角： $x_B$  が  $x_B = 65 \text{ mm}$  となるディスプレイの最大サイズを式(1)、式(2)、および式(3)から計算すると、本稿の条件では、99.7 型となる。

本稿で劇場のスクリーンサイズを 400 型とし、観察距離を  $D = 15,000 \text{ mm}$  と設定しているが、この場合の視差角の最大値は、 $0.24^\circ$  となる。

## 7. 考察

筆者はレンチキュラー方式 3D 画像を取り扱う世界に長い。その中で、立体映画にも興味を持ち、IMAX から始まり、多くの劇場で立体映画を鑑賞してきた。

第 3 次ブームに入って、多くの立体映画が上映される中で、本件で取り扱った「タンタンの冒険」は立体感の良い映画として記憶に残っている。

## 7.1 劇場で鑑賞

図 8 に示す様に、手前に浮いて見える画像の視差も、奥に沈んで見える画像の視差も共に視差角が  $1^\circ$  以内に収まっており、分布も広く、立体感の良い作品の様に思われる。筆者が鑑賞した時もその様に思われた。

しかし、図 9 に示す奥行き再現では、奥に沈んで見える画像に異常な無限大が多くみられる。この無限大は図 8 に示す様に奥に沈んで見える画像の視差の中で、 $x_B \geq 65 \text{ mm}$  となっていることが分かる。その時の視差は、

$$x_B = 68.6 \sim 127.0 \text{ mm}$$

である。

この値は「安全ガイドライン」でいう「開散」状態であり、あってはならないことである。しかし、逆に言うと、スクリーンサイズは劇場により大小いろいろあり、視差角に許容される範囲があるのであろうか。

## 7.2 家庭で鑑賞

劇場用作品をそのまま未加工のまま Blu-ray ディスクにしているのであろうか。

図 6、および図 7 に示す様に、視差角が前後ともに  $1^\circ$  以内に収まっている。そして、奥行き再現も前後に広く、立体感の良い作品であると分かる。さらに、奥に沈んで見える画像の視差をさらに大きくしても良い、と思われる。

## 7.3 課題

ここに問題(課題)が発生する。この作品は映画館で鑑賞する作品である。家庭用 Blu-ray ディスクは劇場用ソフトを加工することなく、単純にディスクとしているのであろうか。

本件では、単純にディスクにただで、家庭用としてはベストに近い立体感のある作品となっている、と思われる。

もし、劇場で上映されるときに開散のない作品とした場合、そのまま単純に家庭用ディスクとして家庭で鑑賞すると、奥に沈んで見える画像の視差の範囲が狭くなり、奥行き再現の浅い作品になってしまうのではないか。

このような場合、家庭用ディスクを作成するときに、奥行き再現の中心(浮きも沈みもしない点)をずらして、家庭で鑑賞した時に自然な感じで立体感の良い作品に、編集することは出来るのであろうか。

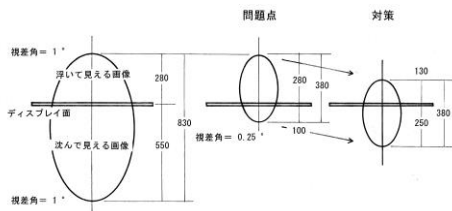


図 11. 家庭用に変換する場合の一例

対策の一例を第 11 図に示す。視差角を  $0.25^\circ$  で作られた画像をそのままに家庭用に作られた場合、家庭で鑑賞すると奥に沈んで見える画像の奥行き再現が浅くなってしまふ。

そこで、奥行き再現の中心を図 11 中の対策で示している様に、視差全体の中心を後ろに移動して、奥に沈んで見える画像の奥行き再現を深くすることにより、全体の立体感を良くすることになる、と思われる。

#### 7.4 子供対応

「安全ガイドライン」によると、子供の眼間(瞳孔間)距離を 50mm と設定している。

眼間距離を 65mm から 50mm に変えて計算を行った。視差角  $1^\circ$  における視差は 65mm における視差と同じ値になるが、奥行き再現は大きくなるようだ。

劇場で鑑賞する場合、奥に沈んで見える画像の視差は大人より厳しくなろう。前節同様に許容範囲はあるのであろうか。

本稿で述べてきたいろんな事項を、眼間距離を 50mm で詰めていくと、どの様な答えとなるのであろうか。

## 8. おわりに

筆者は大昔からレンチキュラー方式 3D 製品における生産技術、および開発技術に関与してきた。その中で、視差はどの大きさまで許されるのか、不勉強のままにいた。

2010 年になって、3D コンソーシアム・安全ガイドライン部会から、

「人に優しい 3D 普及のための 3DC 安全ガイドライン」(2010-4-20 改訂) が公開されている。

早速、印刷タイプ・レンチキュラー方式 3D 製品の持っている立体感を視差角の観点から評価してみた。本稿では、その延長として(余計なお世話と思うが)第 3 次ブームの立体映画の持っている視差角について評価してみた。

家庭の立体テレビで立体視する場合は、視差角が  $1^\circ$  以内に入っており、安心して立体画像を観ることができると判断される。

しかし、劇場における立体視条件は家庭とは異なり、画像サイズ、観察距離とも大変に大きい。この中で浮いて見える画像の視差角はほぼ  $1^\circ$  以内に収まっているが、沈んで見える画像の視差角は大きく制約される、と思われる。

これらのデータが 3D 映像を論ずる時に参考になれば幸いである。

#### <参考文献>

- (1) 3D コンソーシアム・安全ガイドライン部会「人に優しい 3D 普及のための 3DC 安全ガイドライン」(2010-4-20 改訂)
- (2) 山田千彦「多像式 3D ディスプレイにおける最適な視差角の一検討」3D 映像、Vol.26, No.1 pp.41-48 (2012-03)
- (3) 山田千彦「立体映画における視差角と奥行き再現」3D 映像、Vol.27, No.3 (2013)

(誌上投稿 : 2021-01)



# 立体映画における 視差角と奥行き再現 <続>

元 日本工業大学、凸版印刷(株)

山田 千彦

# はじめに

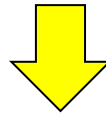
筆者：レンチキュラー方式3Dディスプレイ技術に関与  
余計なお世話になりますが、過去に発表

「立体映画における視差角と奥行き再現」 3D映像 Vo.27 No.3 (2013)



3Dコンソーシアム・安全ガイドライン部会  
「人に優しい3D普及のための3DC安全ガイドライン」  
(2010-04-20 改訂版)が発表されている

今回



「立体映画における視差角と奥行き再現 (続)」

市販のソフトを再評価

# 人に優しい3D普及のための 3DC安全ガイドライン

**両眼視差**による**立体視**では、ディスプレイ面とは異なるところに物体を知覚する。一方、ピントはディスプレイ面に合うが、この乖離が大きいと、視覚疲労、不快感を生じるとされる。

そのため、

立体を快適に楽しむための奥行き範囲、すなわち**快適視差範囲**は

**視差角は $1^\circ$ 以下**が目安となる。

さらに、

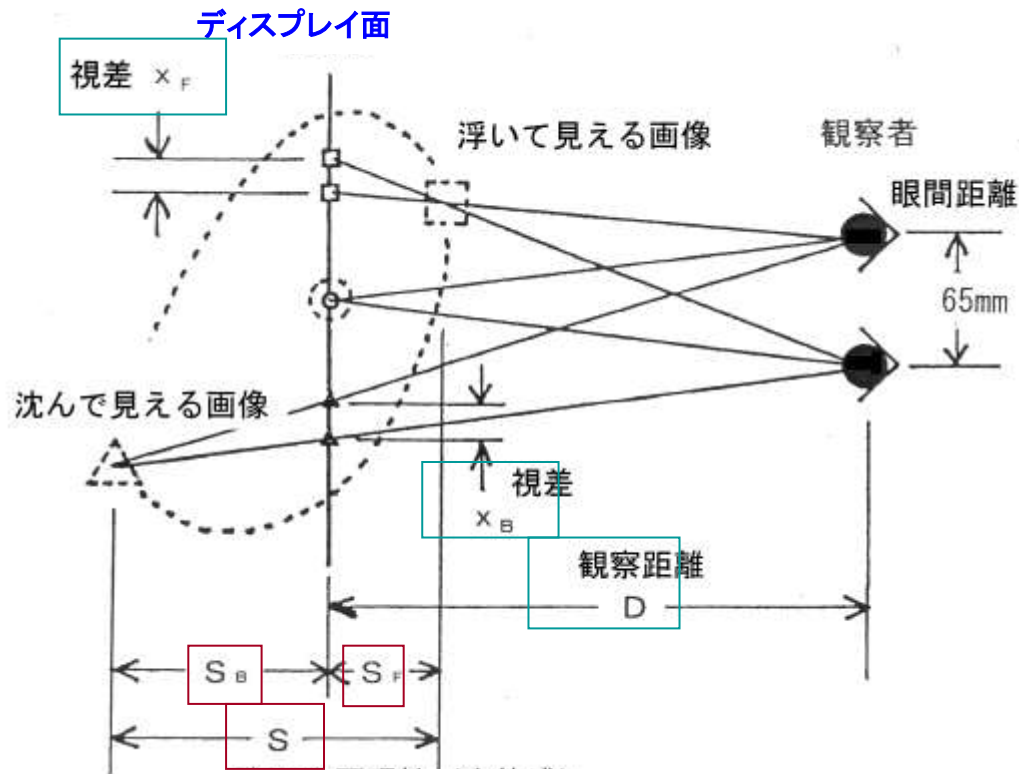
スクリーン面より奥に沈んで見える画像の視差の限界は、

人の眼が**開散とならない**様に、

**瞳孔間距離より大きくなってはならない。**

# 立体感の計算

## (奥行き再現)



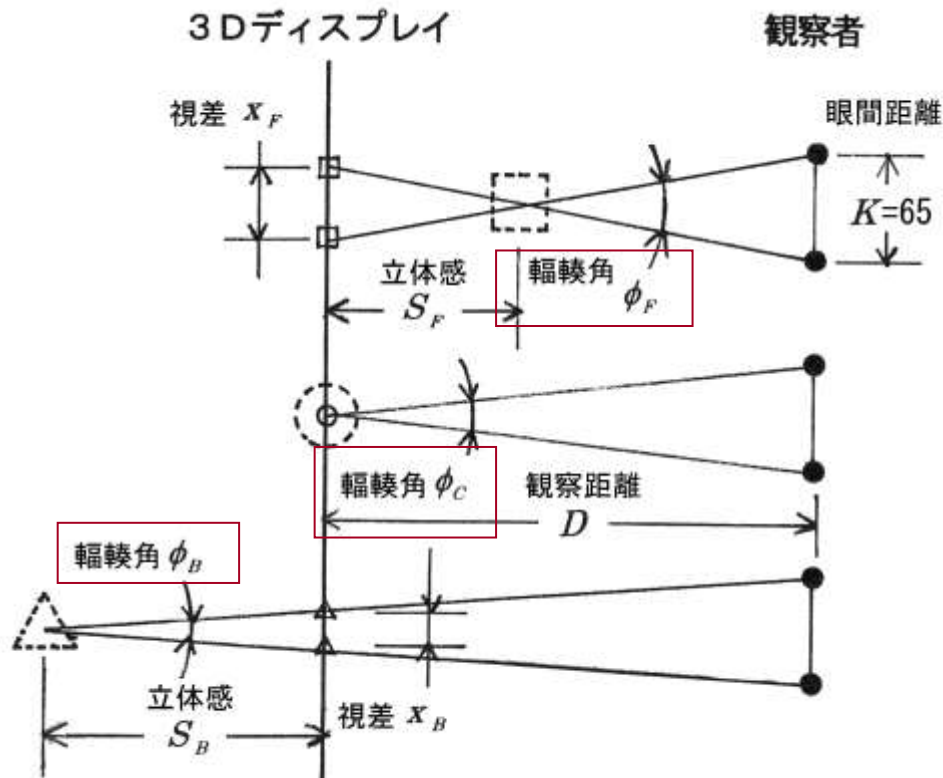
奥行き再現 (立体感)

$$S = S_F + S_B$$

$$S_F = \frac{x_F D}{65 + x_F}$$

$$S_B = \frac{x_B D}{65 - x_B}$$

# 視差角の計算



## 輻輳角

$$\phi_F = 2 \tan^{-1} \frac{\frac{65}{2}}{D - S_F}$$

$$\phi_C = 2 \tan^{-1} \frac{\frac{65}{2}}{D}$$

$$\phi_B = 2 \tan^{-1} \frac{\frac{65}{2}}{D + S_B}$$

## 視差角

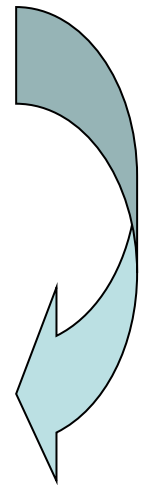
$$\varphi_F = \phi_F - \phi_C$$

$$\varphi_B = \phi_C - \phi_B$$



# 評価

- 家庭内で鑑賞  
視差を測定  
奥行き再現(立体感)を計算  
併せて視差角を計算
- 劇場での鑑賞を想定  
視差を計算  
奥行き再現を計算  
併せて視差角を計算



# 評価するサンプル

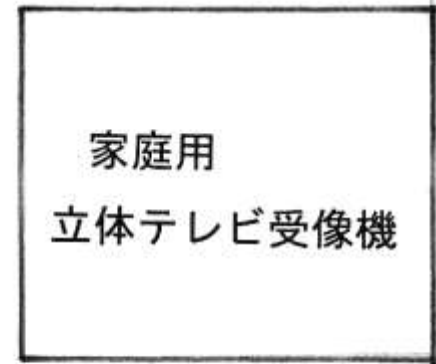
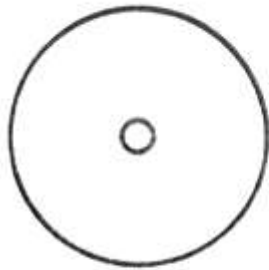


Blu-ray 3D

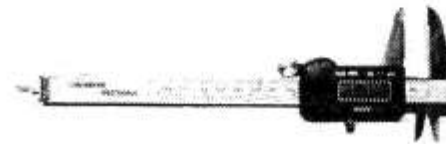
# 視差の測定

Sony BDZ-AT350S

KDL-32EX720



Blu-ray 3D ディスク



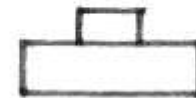
デジタルノギス

動画で鑑賞

静止画にして視差をノギスで測定

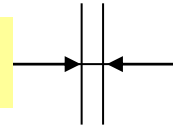
デジタルカメラで画像を撮影

デジタルカメラ



# 視差の具体的測定例

最も沈んで見える視差

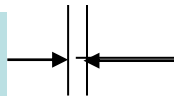


$x_B=5.6\text{mm}$



LCDディスプレイ面

最も浮いて見える視差



$x_F=6.3\text{mm}$





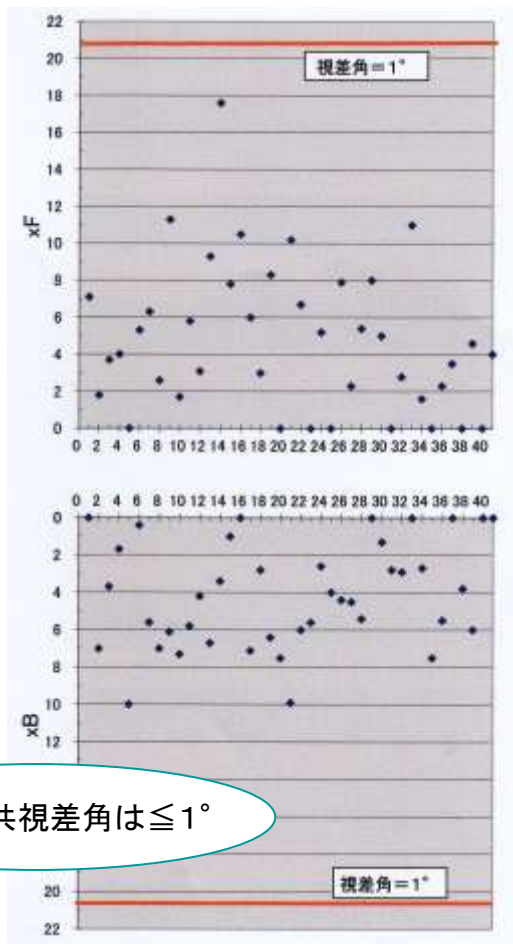
家庭用テレビで  
観た場合の

視差  
奥行き再現  
視差角

画像 No.	視差		奥行き再現		視差角		
	xF	xB	SF	SB	$\psi F$	$\psi B$	
タイトル	1	7.1	0.0	117	0	0.34	0.00
タイトル	2	1.8	7.0	32	143	0.09	0.34
タイトル	3	3.7	3.7	64	72	0.18	0.18
男	4	4.0	1.7	69	32	0.19	0.08
子供(タンタン)	5	0.0	10.0	0	215	0.00	0.48
船と子供	6	5.3	0.4	89	7	0.26	0.02
男3人	7	6.3	5.6	105	112	0.30	0.27
タンタン、図書館	8	2.6	7.0	46	143	0.13	0.34
城の入り口	9	11.3	6.1	175	123	0.55	0.29
銃、子供	10	1.7	7.3	30	150	0.08	0.35
刑事と子供	11	5.8	5.8	97	116	0.28	0.28
男2人	12	3.1	4.2	54	82	0.15	0.20
男2人	13	9.3	6.7	148	136	0.45	0.32
鐘	14	17.6	3.4	252	65	0.85	0.16
ボート	15	7.8	1.0	127	19	0.38	0.05
紙、文字	16	10.5	0.0	165	0	0.51	0.00
小舟の中	17	6.0	7.1	100	145	0.29	0.34
スリの室内	18	3.0	2.8	52	53	0.14	0.14
スリのup	19	8.3	6.4	134	129	0.40	0.31
飛行機	20	0.0	7.5	0	155	0.00	0.36
望遠鏡	21	10.2	9.9	161	213	0.49	0.48
船内	22	6.7	6.0	111	121	0.32	0.29
燃える船	23	0.0	5.6	0	112	0.00	0.27
海賊の旗	24	5.2	2.6	88	49	0.25	0.13
宝	25	0.0	4.0	0	78	0.00	0.19
男、マスク	26	7.9	4.4	128	86	0.38	0.21
市場	27	2.3	4.5	40	88	0.11	0.22
車	28	5.4	5.4	91	107	0.26	0.26
広場	29	8.0	0.0	130	0	0.39	0.00
広場、歌手	30	5.0	1.3	85	24	0.24	0.06
オートバイ	31	0.0	2.8	0	53	0.00	0.14
戦い	32	2.8	2.9	49	55	0.14	0.14
紙、文字	33	11.0	0.0	172	0	0.53	0.00
戦い、海	34	1.6	2.7	28	51	0.08	0.13
2人	35	0.0	7.5	0	155	0.00	0.36
3人	36	2.3	5.5	40	110	0.11	0.27
2人	37	3.5	0.0	61	0	0.17	0.00
車	38	0.0	3.8	0	74	0.00	0.18
顔	39	4.6	6.0	78	121	0.22	0.29
タイトル	40	0.0	0.0	0	0	0.00	0.00
(会話の文字)	41	4.0	0.0	69	0	0.19	0.00

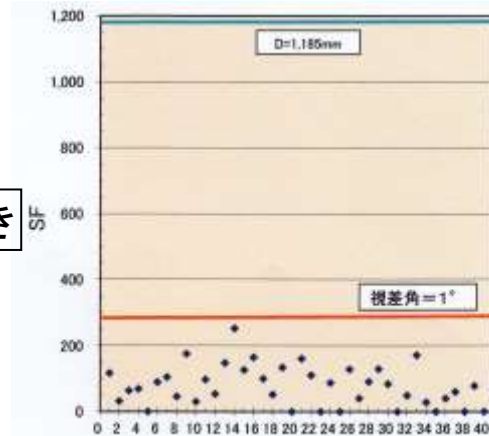


# 家庭用テレビで観た場合の 視差、奥行き再現のグラフ

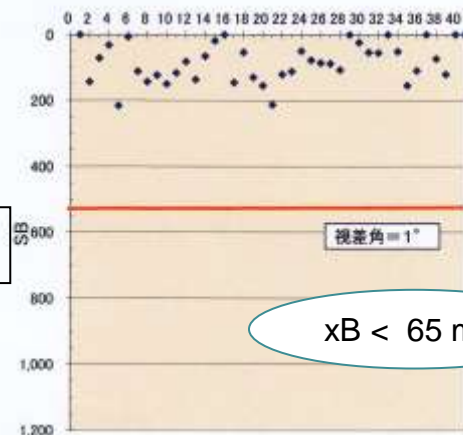


浮き、沈み共視差角は  $\leq 1^\circ$

浮き



沈み

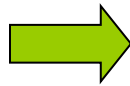


$x_B < 65 \text{ mm}$

# 劇場で観た場合を想定

家庭用テレビで観た場合のデータから劇場で観た場合を想定する

家庭用立体テレビ  
32型  
観察距離 = 1,185mm



劇場のスクリーン  
400型  
観察距離 = 15,000mm

拡大率:  $m = 12.7$ 倍

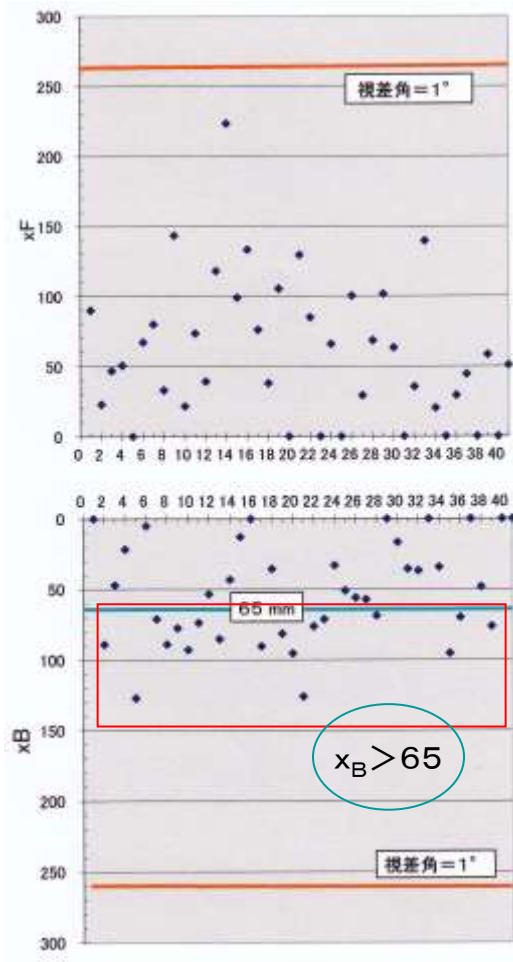
劇場で  
観た場合の  
視差  
奥行き再現  
視差角  
想定値

注：奥行き再現:  $S_B$  における  
999,999 は $\infty$ を意味している

画像 No.	視差		奥行き再現		視差角	
	xF	xB	SF	SB	$\psi F$	$\psi B$
1	90.2	0.0	8,717	0	0.34	0.00
2	22.9	88.9	3,903	999,999	0.09	0.24
3	47.0	47.0	6,294	39,167	0.18	0.18
4	50.8	21.6	6,580	7,460	0.19	0.08
5	0.0	127.0	0	999,999	0.00	0.24
6	67.3	5.1	7,631	1,272	0.26	0.02
7	80.0	71.1	8,276	999,999	0.31	0.24
8	33.0	88.9	5,053	999,999	0.13	0.24
9	143.5	77.5	10,324	999,999	0.55	0.24
10	21.6	92.7	3,740	999,999	0.08	0.24
11	73.7	73.7	7,968	999,999	0.28	0.24
12	39.4	53.3	5,658	68,619	0.15	0.20
13	118.1	85.1	9,675	999,999	0.45	0.24
14	223.5	43.2	11,621	29,684	0.85	0.16
15	99.1	12.7	9,057	3,642	0.38	0.05
16	133.4	0.0	10,084	0	0.51	0.00
17	76.2	90.2	8,095	999,999	0.29	0.24
18	38.1	35.6	5,543	18,118	0.15	0.14
19	105.4	81.3	9,279	999,999	0.40	0.24
20	0.0	95.3	0	999,999	0.00	0.24
21	129.5	125.7	9,988	999,999	0.49	0.24
22	85.1	76.2	8,504	999,999	0.33	0.24
23	0.0	71.1	0	999,999	0.00	0.24
24	66.0	33.0	7,560	15,488	0.25	0.13
25	0.0	50.8	0	53,662	0.00	0.19
26	100.3	55.9	9,103	91,908	0.38	0.21
27	29.2	57.2	4,651	109,204	0.11	0.22
28	68.6	68.6	7,701	999,999	0.26	0.24
29	101.6	0.0	9,148	0	0.39	0.00
30	63.5	16.5	7,412	5,107	0.24	0.06
31	0.0	35.6	0	18,118	0.00	0.14
32	35.6	36.8	5,304	19,611	0.14	0.14
33	139.7	0.0	10,237	0	0.53	0.00
34	20.3	34.3	3,572	16,749	0.08	0.13
35	0.0	95.3	0	999,999	0.00	0.24
36	29.2	69.9	4,651	999,999	0.36	0.24
37	44.5	0.0	6,096	0	0.42	0.00
38	0.0	48.3	0	43,244	0.25	0.18
39	58.4	76.2	7,099	999,999	0.47	0.24
40	0.0	0.0	0	0	0.25	0.00
41	50.8	0.0	6,580	0	0.44	0.00

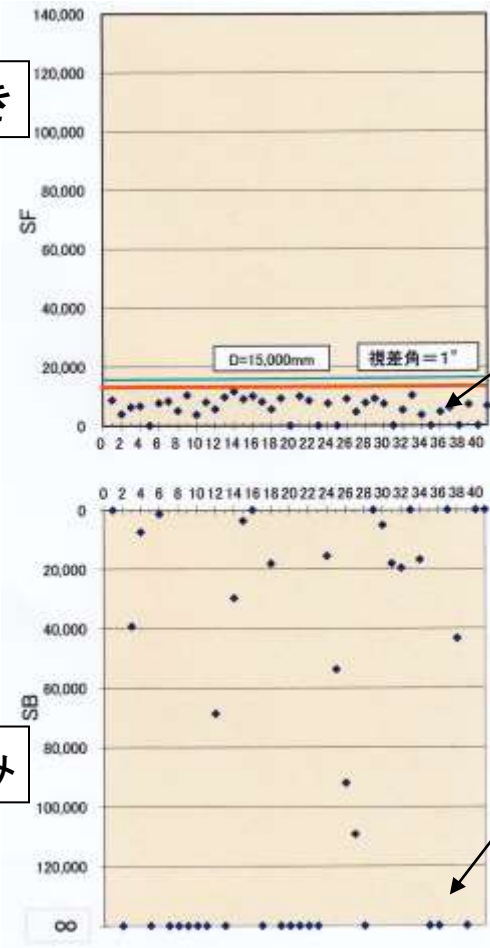


# 劇場で観た場合を想定した 視差、奥行き再現のグラフ



浮き

沈み

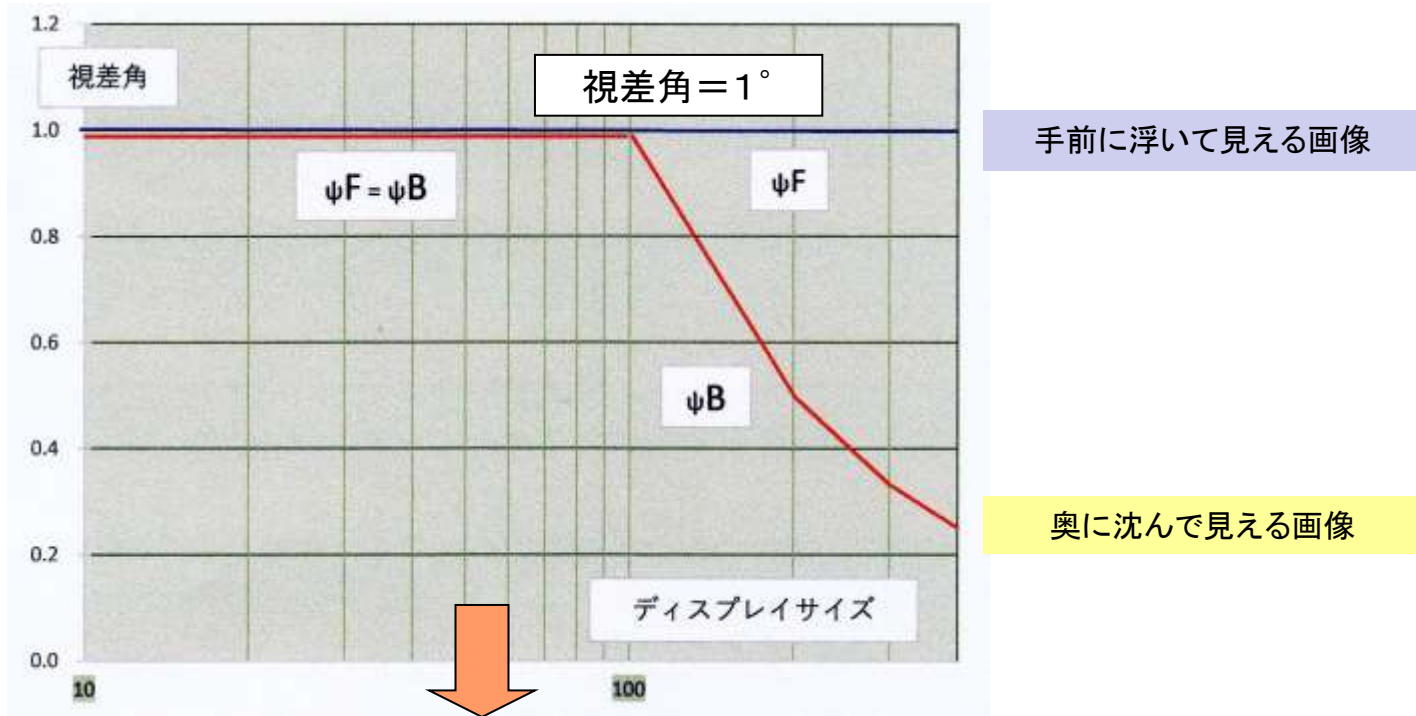


観察者の  
目前まで  
浮いて見える

$x_B > 65$  のため  
深く沈んで  
見える

# ディスプレイサイズと視差角の上限

沈んで見える画像の視差の最大値 = 観察者の眼間距離



100型までは 視差角 = 1°  
100型以上の視差角 = サイズに合わせて小さくすると良い



# 考察／家庭で観た場合

- 手前に浮いて見える画像、および奥に沈んで見える画像共に視差角は $1^\circ$ 以内に入っている。
- 視差の分布が広く、奥行き再現も前後に広く、立体感の良い作品となっている。

# 考察／劇場で観た場合

- ・ 手前に浮いて見える画像の視差角、および奥に沈んで見える画像の視差角は共に $1^\circ$ 以内に収まっている。
- ・ 手前に浮いて見える画像は、観察者の数メートル先まで浮いて見え、奥行き再現は良い。
- ・ 奥に沈んで見える画像の中に、眼間距離より大きな視差の画像が多く含まれており、奥行き再現が無限まで深い。

しかし

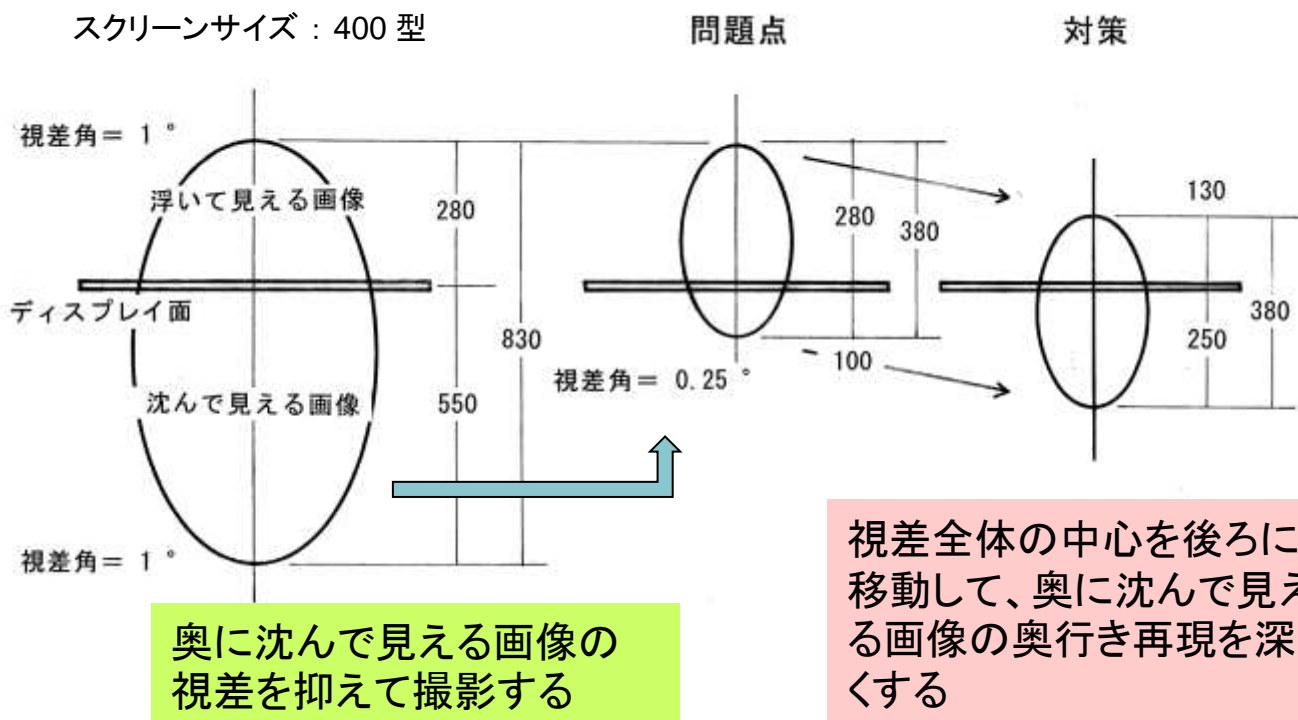
眼間距離より大きな視差のある画像は、観察者の眼を「開散」とさせて、大変疲れてしまう。

# 課題

- 立体映画の基本は劇場で鑑賞する様に作られている。  
次のような課題が見えてくる。
  - 奥に沈んで見える画像の視差に眼間距離より大きな値の画像が多く存在している。  
スクリーンサイズに合わせて、視差化の上限が必要になるのか。  
視差角に許される許容範囲はどのくらいあるのか？
  - 家庭で鑑賞するために Blu-ray 3D Disc にして市販されている。  
ディスク化する時に、単純にそのままで良いのか？  
視差に加工を加えるべきなのか？
  - 子供の観察者にどう対応したら良いのか
    - 子供の眼間距離は 50mm と想定されている。

# 提案／劇場用に撮影された映画を 家庭用にプリントする時の修正(案)

撮影時、沈んで見える画像の視差角 =  $0.25^\circ$  とした場合



# おわりに／余計なお世話でした

筆者は大昔からレンチキュラー方式3D製品の技術に関与してきた  
その中で視差値はどのような大きさまで許されるのか？

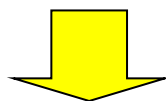
不勉強でした

3DC安全ガイドラインが公開され

従来のレンチキュラー方式3D製品の視差を評価してみた。

本稿では、余計なお世話になりますが  
市販されている立体映画(一例)の持っている視差角について評価してみた

問題点



提案

視差角の上限が $1^\circ$  というのは100型までで

それ以上のスクリーンサイズでは

サイズが大きくなるほどに視差角を小さくする方が良い？！

また

家庭用にプリントする時は、前後の奥行き感を修正すると良い？！



立体映画における視差角と奥行き再現  
<続>

ご静聴有り難うございました

山田 千彦