

今日のテーマ

- 3Dとは
 - 3Dにおける立体感
 - 立体感をもたらす視覚メカニズム
 - 3D表示技術の現状
 - 疲労や不快感はどこから来るのか
-

- 3DC安全ガイドラインとは
- ガイドラインの概要紹介

ガイドラインを読み解くための背景知識



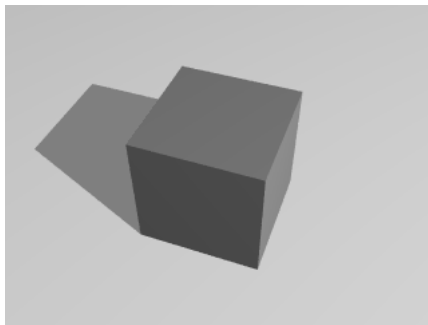
ガイドラインの中身

3Dとは

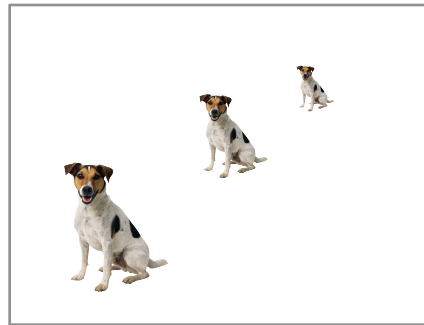
- 「3D」とは、「Three Dimensional」の略語
 - 三つの次元があること。三つの方向に広がりを持っていること。
- 「3D映画」、「3Dテレビ」、「3Dディスプレイ」における「3D」とは？
 - 画像や映像を見た人が、「立体感」を得ることができる場合に、「3D××」と呼ぶ。
 - 別名は、「立体映画」、「立体テレビ」、「立体ディスプレイ」。
 - ただし、「立体感」を定義するのは意外に難しい。
- 紛らわしい言葉
 - 3Dコンピュータグラフィックス、3Dアニメーション
 - DirectX 3D

立体感とは

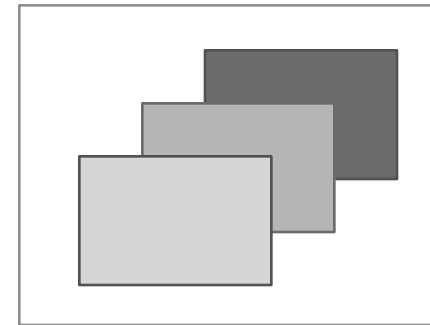
- 立体感には、奥行きに関する手がかり (depth cue) が必要
- 奥行きに関する手がかりの例



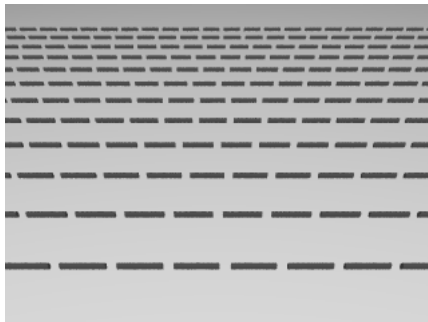
Shadows & Shading



Familiar size



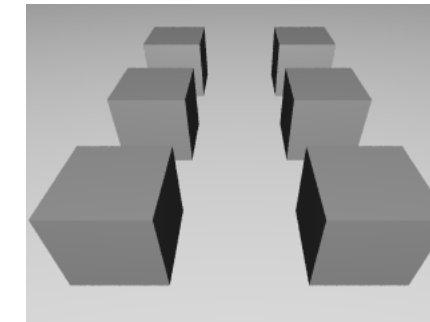
Interposition



Texture gradient



Aerial perspective



Linear perspective

実は、これらの手がかりは、**二次元画像中に存在するものばかり**

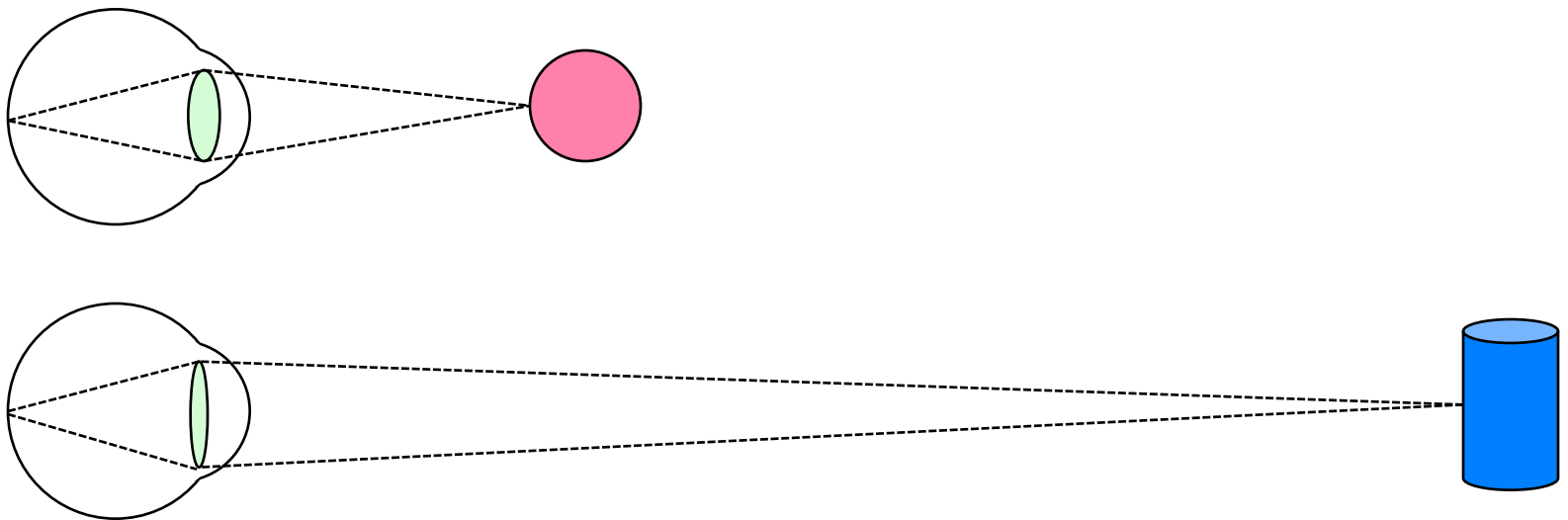
3Dに特有の立体感とは

- 単眼で知覚される手がかり
 - 水晶体の焦点調節 (accommodation)
 - 運動視差 (motion parallax)
- 両眼で知覚される手がかり
 - 両眼視差 (binocular disparity)
 - 両眼の輻輳 (ふくそう) (convergence)
- 3Dディスプレイ等は、これらの手がかり (の一部または全部) を提供することにより、視聴者に「立体感」をもたらす。

立体感をもたらす視覚メカニズム

- 水晶体の焦点調節

物体を注視する際に、水晶体の厚みを調節して、そこに焦点を合わせようとするメカニズムが働く。この調節の度合いから、対象物までの距離を推定することができる。

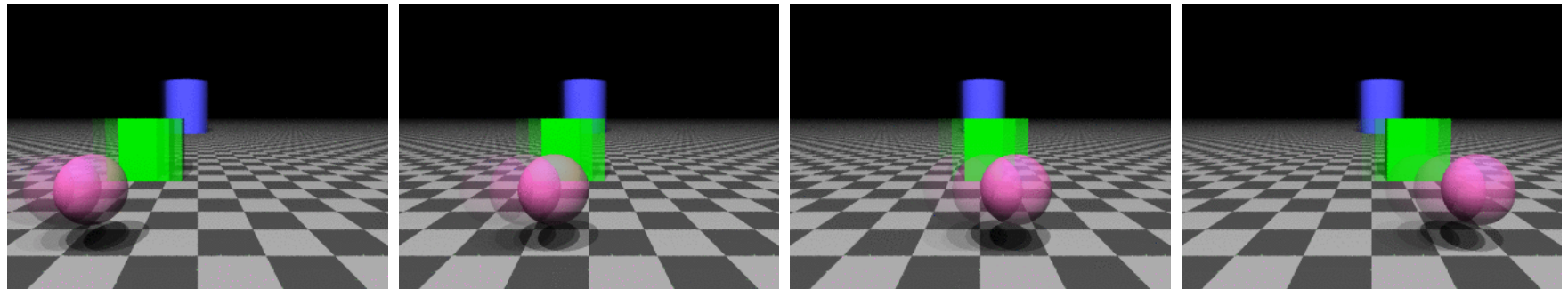


立体感をもたらす視覚メカニズム

- 運動視差

同じ速度で移動する物体があるときに、近くにあるものほど目の前を早く横切るように見える現象を利用して、物体との距離を推し量る。

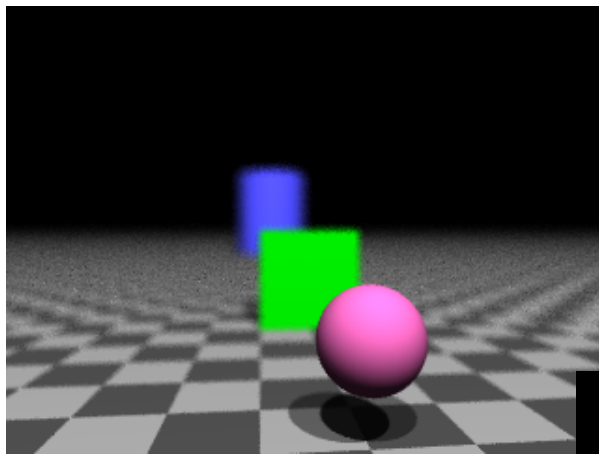
静止している物体に対して、目の位置を動かした場合にも、同様の現象が見られる。



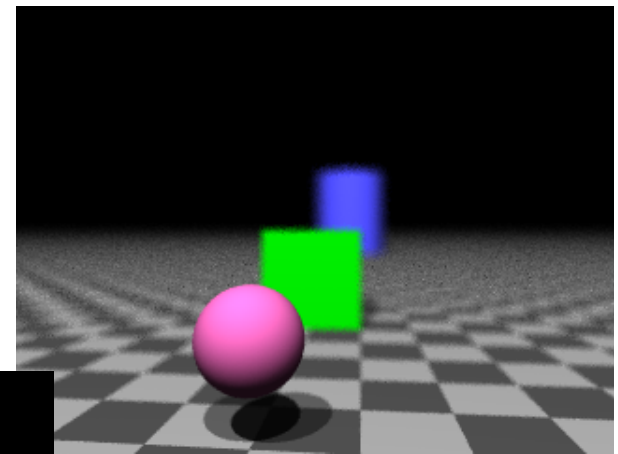
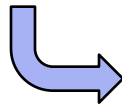
立体感をもたらす視覚メカニズム

- 両眼視差

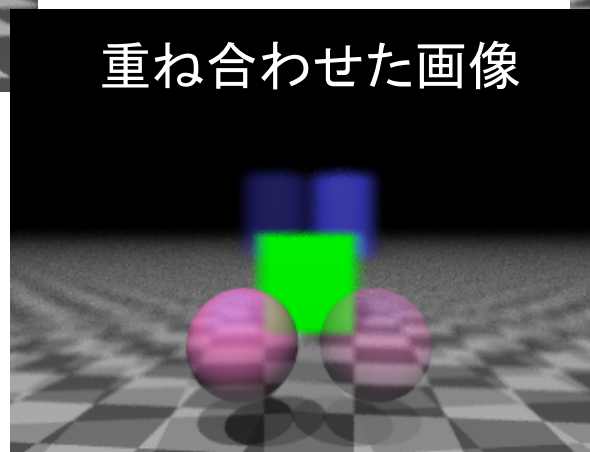
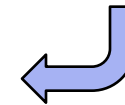
左右の眼に見える画像の“ずれ”(両眼視差)を手がかりに、対象物までの距離を推定する。



左目画像



右目画像

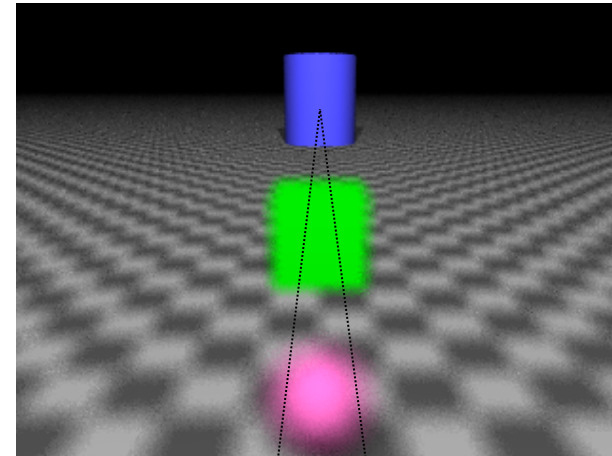
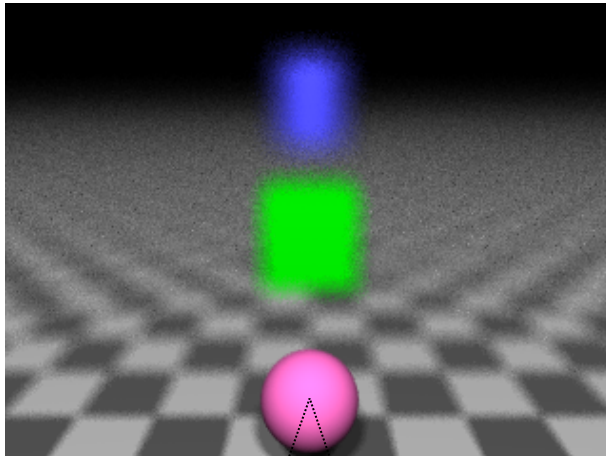


重ね合わせた画像

立体感をもたらす視覚メカニズム

- 両眼の輻輳

物体を注視する際に、眼球を回転させて、視野の中心で対象物を捉えようとするメカニズムが働く。この回転運動の度合いから、対象物までの距離を推定することができる。



3Dに特有の立体感とは(再掲)

- 単眼で知覚される手がかり
 - 水晶体の焦点調節 (accommodation)
 - 運動視差 (motion parallax)
- 両眼で知覚される手がかり
 - 両眼視差 (binocular disparity)
 - 両眼の輻輳 (ふくそう) (convergence)
- 3Dディスプレイ等は、これらの手がかり(の一部または全部)を提供することにより、視聴者に「立体感」をもたらす。

様々な3D表示技術

- 両眼視差方式

- ◇ 二眼式

- メガネ式(シャッターメガネ、偏光メガネ、アナグリフ・・・)
 - 裸眼式(レンチキュラ、視差バリア)

現時点での主役

- ◇ 多眼式

- 像再生型

- ◇ 高密度な多眼式

- ◇ インテグラル方式

- ◇ ホログラフィ

- 体積型

- ◇ 回転スクリーン型

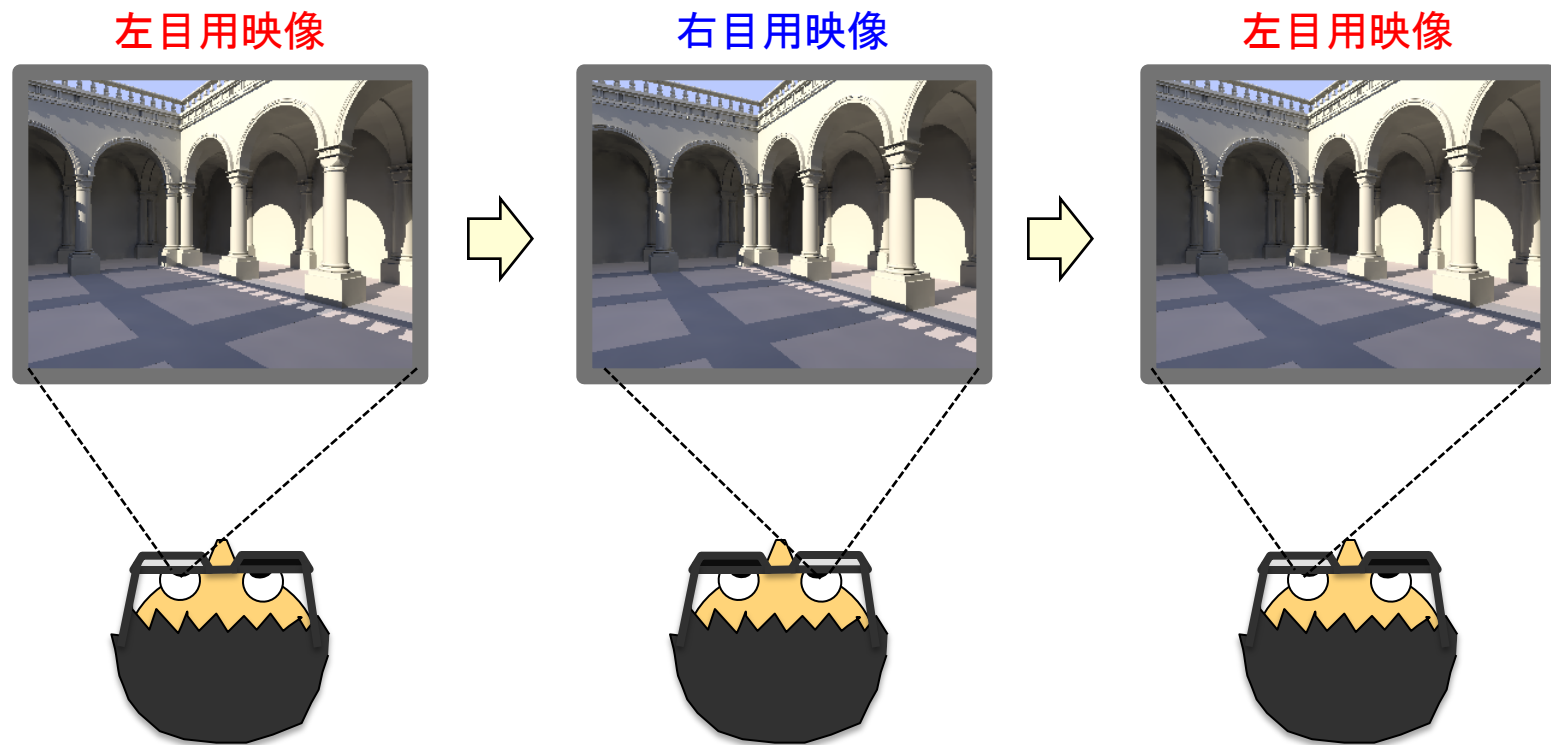
- ◇ 表示面積層型

などなど

二眼式3D表示技術

- メガネ式

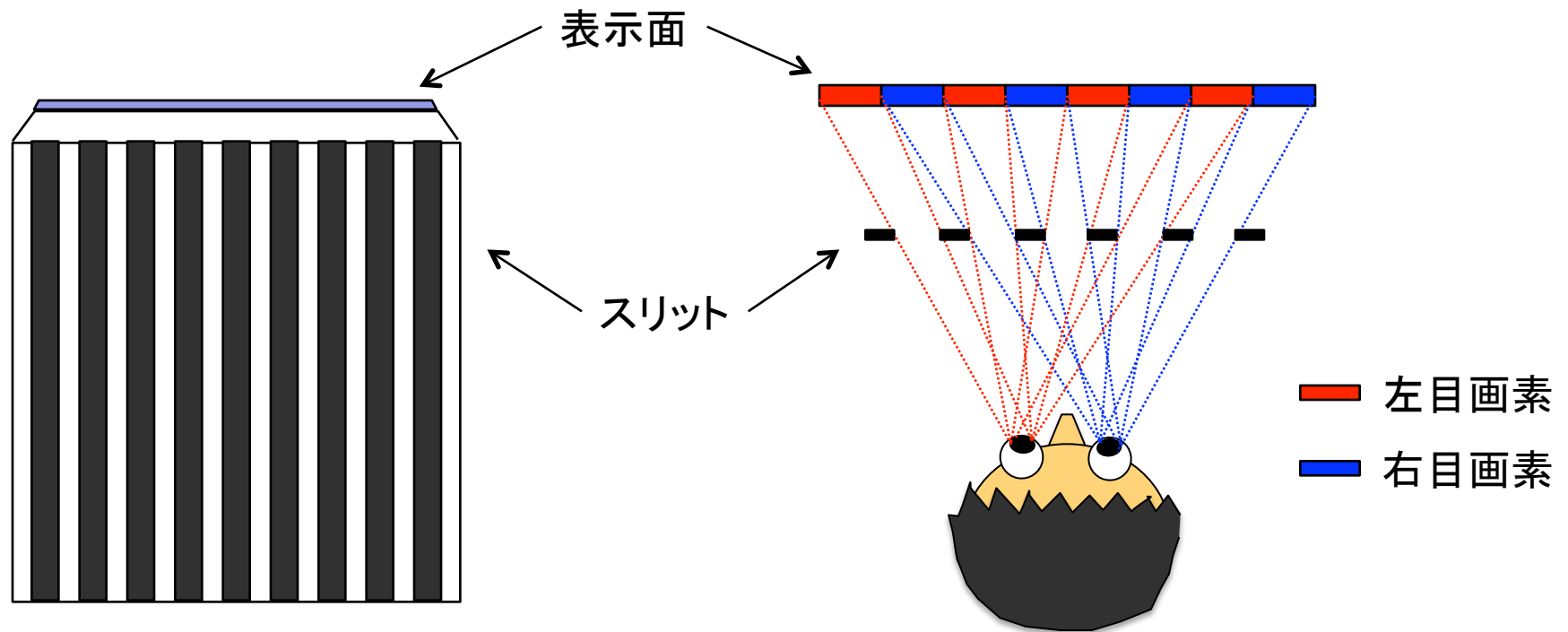
「時分割表示装置＋シャッターメガネ」という組み合わせでは、左右の目に対応する映像を、交互に画面に表示し、それと同期させながら、メガネのシャッターを切り替える。



二眼式3D表示技術

- 視差バリア方式

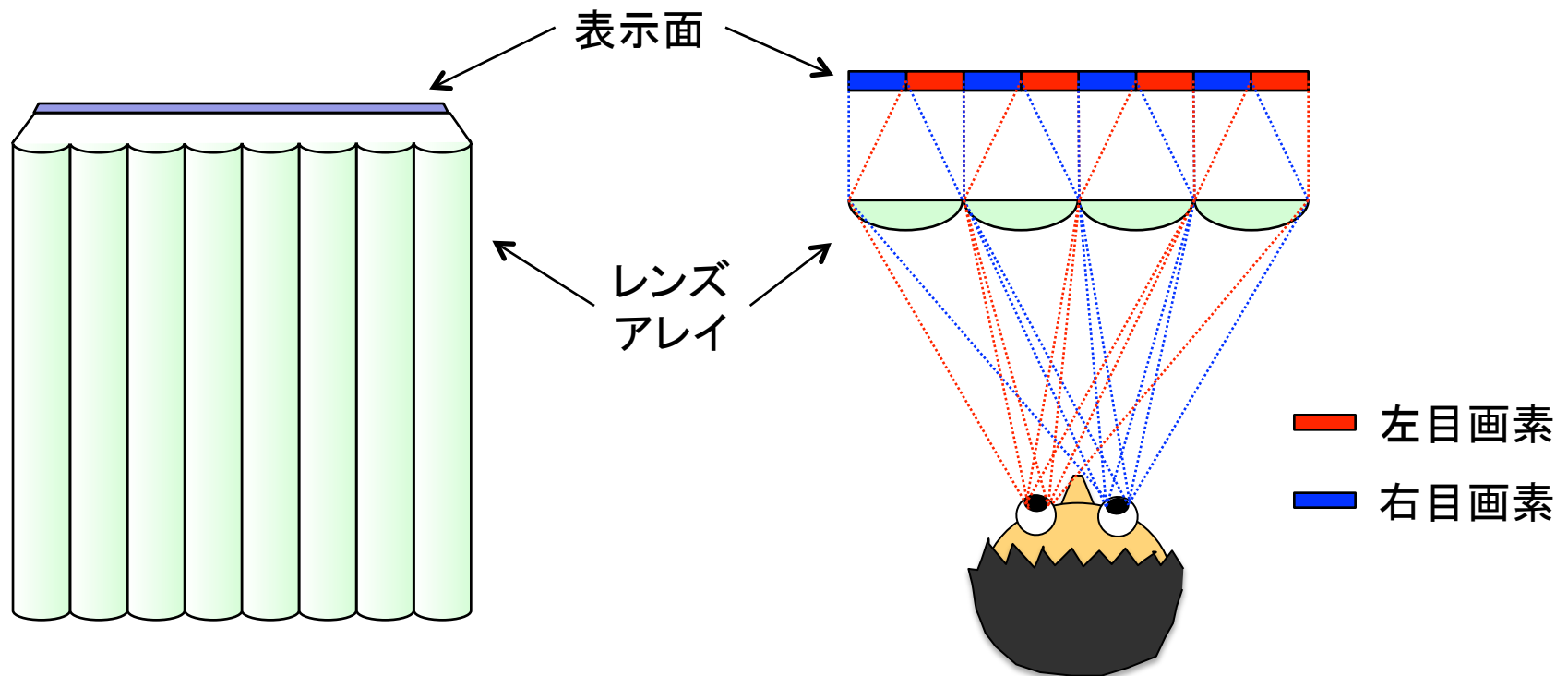
左目用の映像を表示する画素と、右目用の映像を表示する画素を、画面上に交互に配置する。この画面を、短冊状のスリット(視差バリア)を通して眺めると、左右の目に対応する画素だけが見えるようになる。



二眼式3D表示技術

- レンチキュラ方式

視差バリア方式と同様に、左目用の映像を表示する画素と、右目用の映像を表示する画素を、画面上に交互に配置しておく。この画面を、カマボコ状のレンズ(レンチキュラレンズ)を通して眺めると、左右の目に対応する画素だけが見えるようになる。



二眼式の特徴

- 左右の目に対応する映像を、平面上に表示する。
- 表示された映像は、様々なメカニズム（メガネ、バリア、レンズ等）を経て分離され、左右の目に届けられる。
- 二眼式の映像から得られる、奥行きに関する手がかりの有無は、以下の通りになる。
 - × 水晶体の焦点調節
 - × 運動視差
 - 両眼視差
 - 両眼の輻輳

二眼式の特徴から浮かび上がってくる問題点

- 奥行き而知覚を、「両眼視差」と「両眼の輻輳」のみに頼っている。

→ 調節と輻輳の不一致

- 知覚される奥行きは正しいのか？

→ 立体像の歪み

- 左右の映像の分離はうまくいくのか？

→ クロストーク

- 分離された映像は必ず両眼に届くのか？

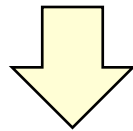
→ ウィンドウ違反 (Window violation)

疲労や不快感の源

急激な動きを多く含んだ映像 → 映像酔い
(2Dでも見られる)

映像酔い

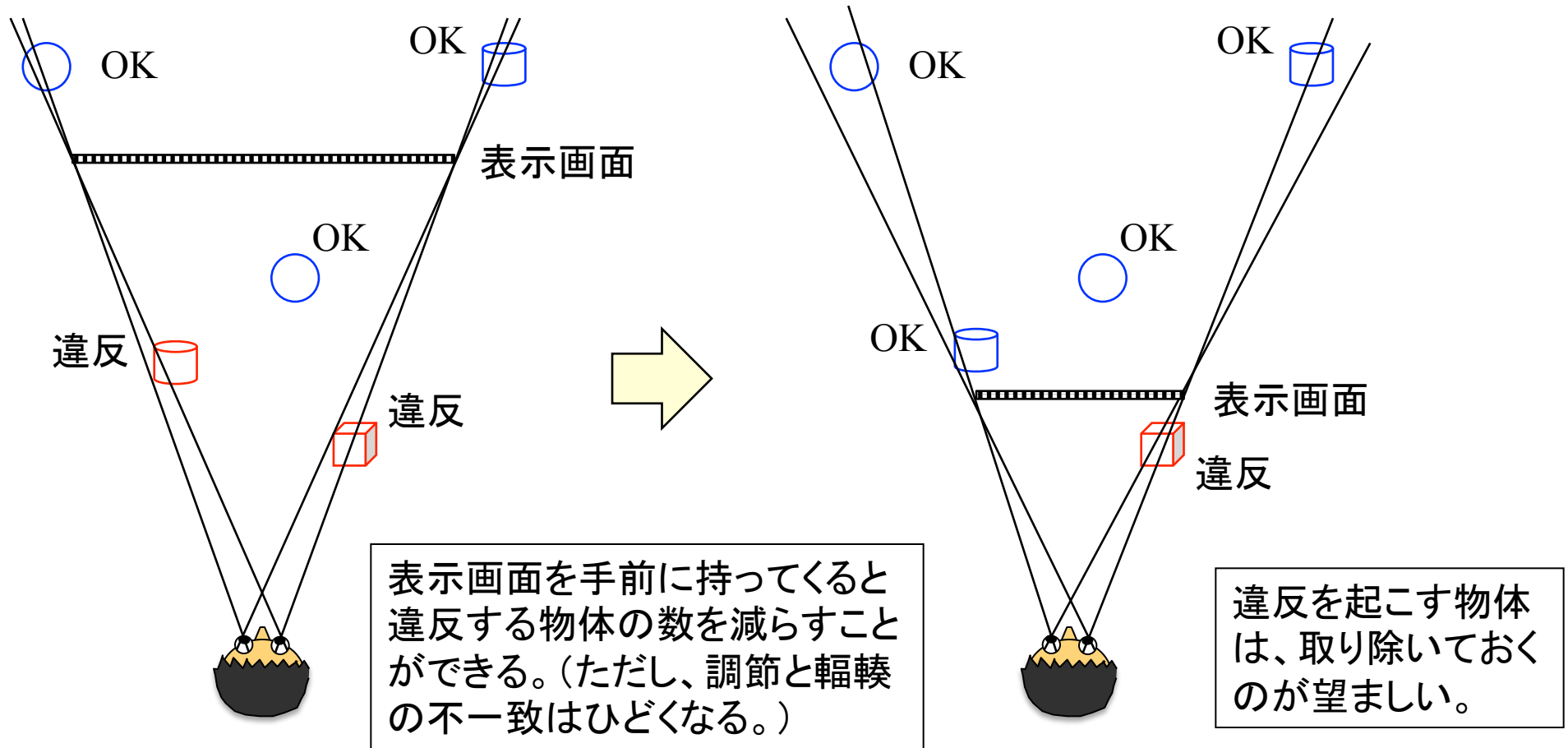
- 動きの多いシーンを含んだ映像を視聴したときに、めまいや吐き気、嘔吐などの症状が現れること。
- 3D映像に限らず、2D映像でも起こる。
- 「視覚と前庭感覚(平衡感覚)・体性感覚との不一致によって引き起こされる」という説がある。
- 3Dに特有の現象があるかどうかについては、よく分かっていない。



対処法： 激しい動きが連続するようなシーンを避ける???

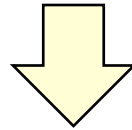
ウィンドウ違反

- 画面の手前に表示される物体が、画面の境界によって“切り落とされる”際に生じる現象。片方の目にしか見えないために、物体の奥行きを正しく知覚することができない。



クロストーク

- 左目で見るとべき映像(の一部)が右目でも見えたり、右目で見るとべき映像(の一部)が左目でも見えたりする現象。
- クロストークがあると、両眼視差や両眼の輻輳による奥行き知覚が妨げられる。
- クロストークの原因は様々。
 - シャッターメガネを使った方式では、メガネと画面の同期ずれが、偏光メガネを使った方式では、メガネが画面に正対しているかどうか問題とされる。
 - 視差バリア方式やレンチキュラ方式では、目の位置によってクロストークが生じたり、左右の映像が反転したり(これを逆視という)する。

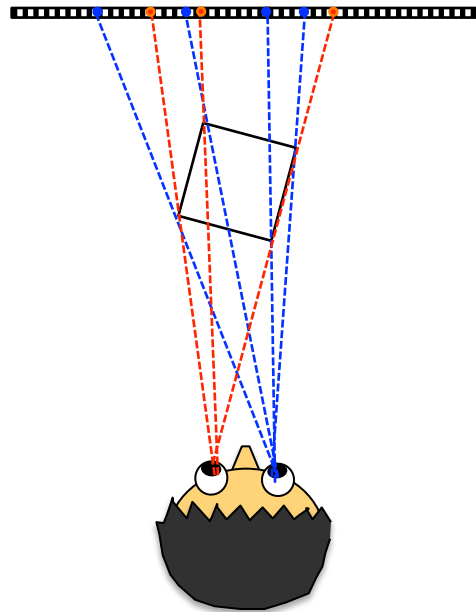


対処法も様々

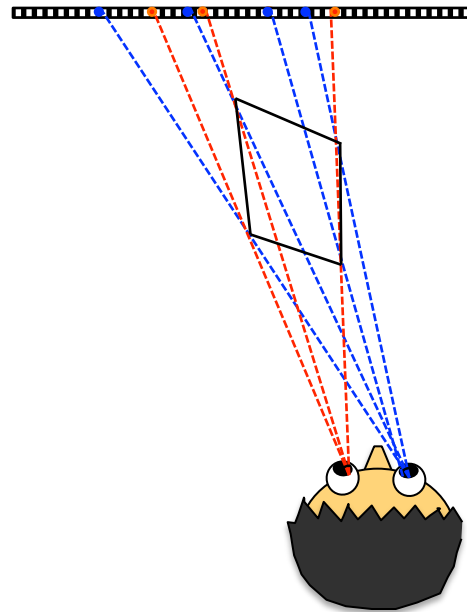
立体像の歪み

- 両眼視差や両眼の輻輳によって奥行きを正しく知覚するには、左右の目を置く位置が重要である。映像制作時に想定されていた目の位置から離れてしまうと、立体像に歪みが生じる。

CG映像の場合には、ディスプレイの大きさや、目の位置 (Eye Tracking技術を使って検知する) にあわせて、左右の映像をon-the-flyで生成することが可能???



正しい位置から見た立体像

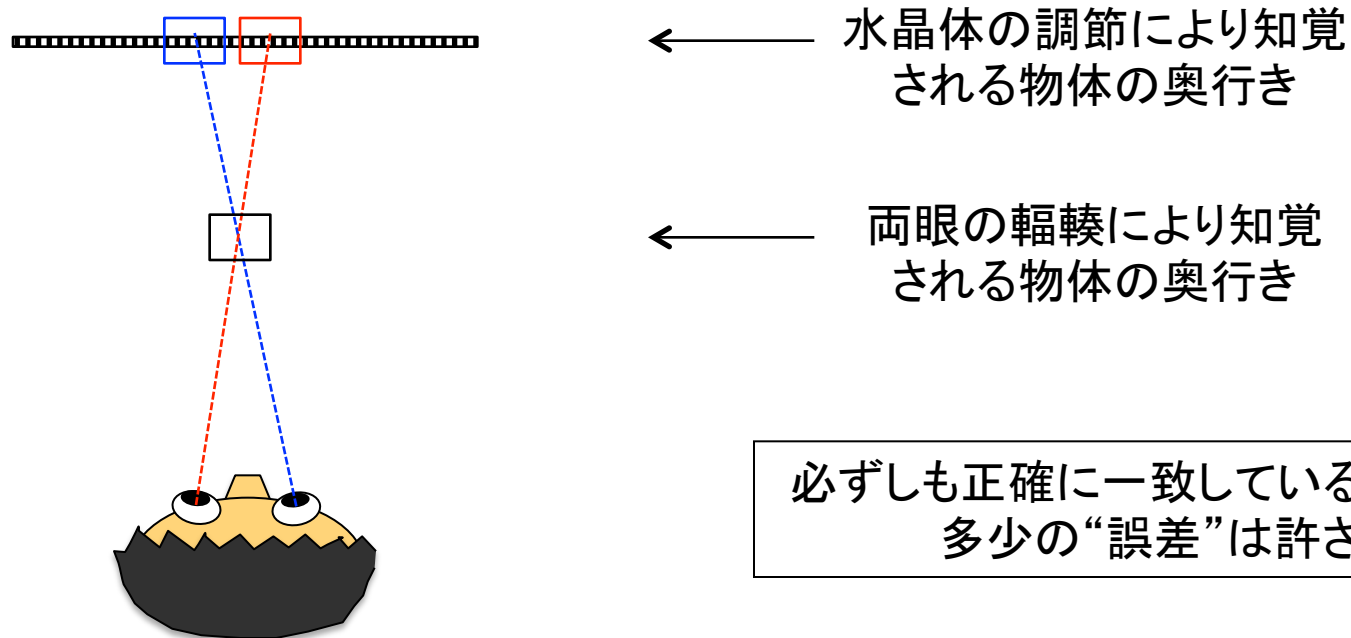


斜め位置から見た立体像

正面から見ている場合でも、画面との距離が正しくなければ、歪みが生じる。また、ディスプレイサイズの変更も歪みにつながる。

調節と輻輳の不一致

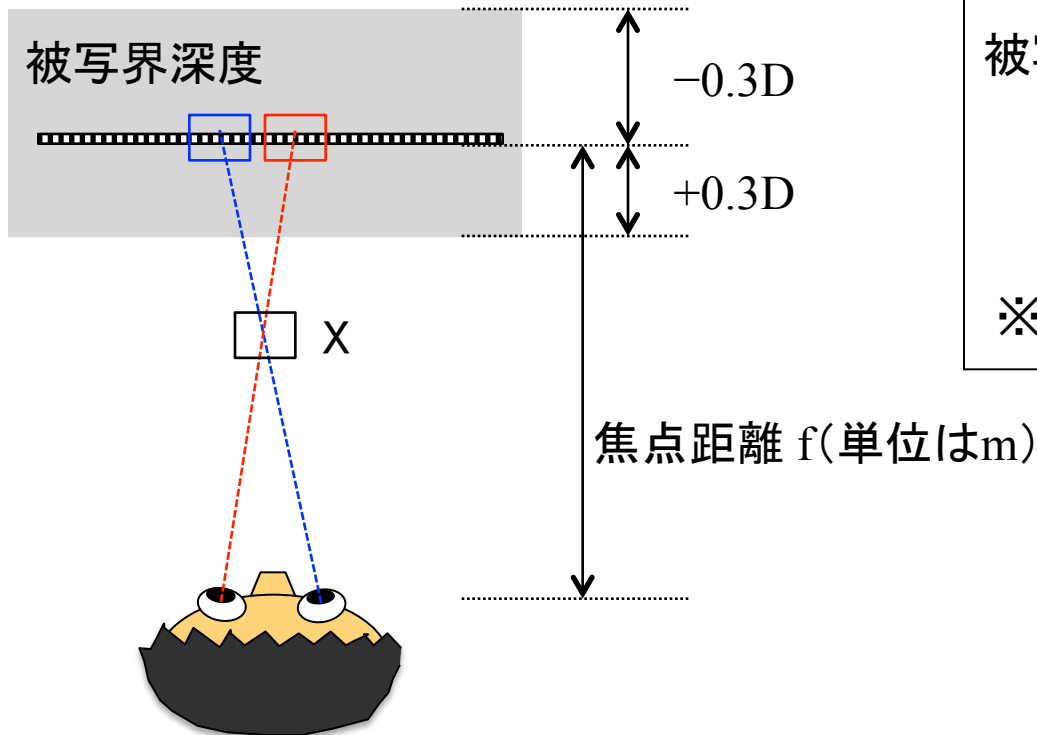
- 水晶体の調節により知覚される物体の奥行きと、両眼の輻輳により知覚される物体の奥行きとが一致しない現象。
 - ✓ 二眼式のディスプレイの場合には、水晶体の調節によってピントが合うのは、画面上の点になる。よって物体は画面上にあるものと知覚される。
 - ✓ 一方、両眼の輻輳により知覚される物体の位置は、画面の手間にあったり、奥にあったりする。両者は必ずしも一致しない。



必ずしも正確に一致している必要はない。
多少の“誤差”は許される。

被写界深度

- 調節が画面上から多少ずれていても、焦点の合った状態は保持される。この範囲を被写界深度という。被写界深度は、通常 $\pm 0.2 \sim 0.3D$ ($\text{dipoter} = 1/\text{meter}$)程度とされている。



$$\text{屈折率} = \frac{1}{f} \text{ (単位はD)}$$

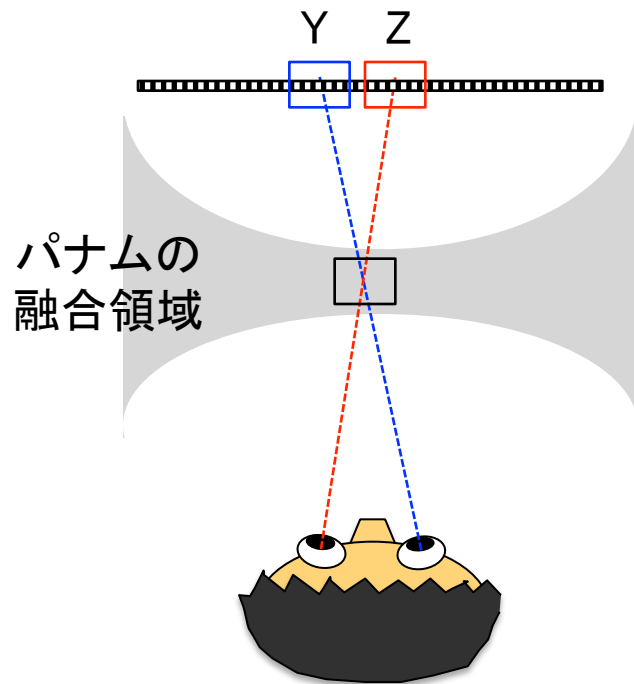
$$\begin{aligned} \text{被写界深度} &= \pm 0.3 + \frac{1}{f} \text{ [D]} \\ &= \frac{f}{0.3f + 1} \sim \frac{f}{-0.3f + 1} \text{ [m]} \end{aligned}$$

※ ただし $-0.3f + 1$ が負の場合、上限は ∞

両眼の輻輳により知覚される物体の位置(X)が、被写界深度の範囲にあれば問題ない。

パナムの融合領域

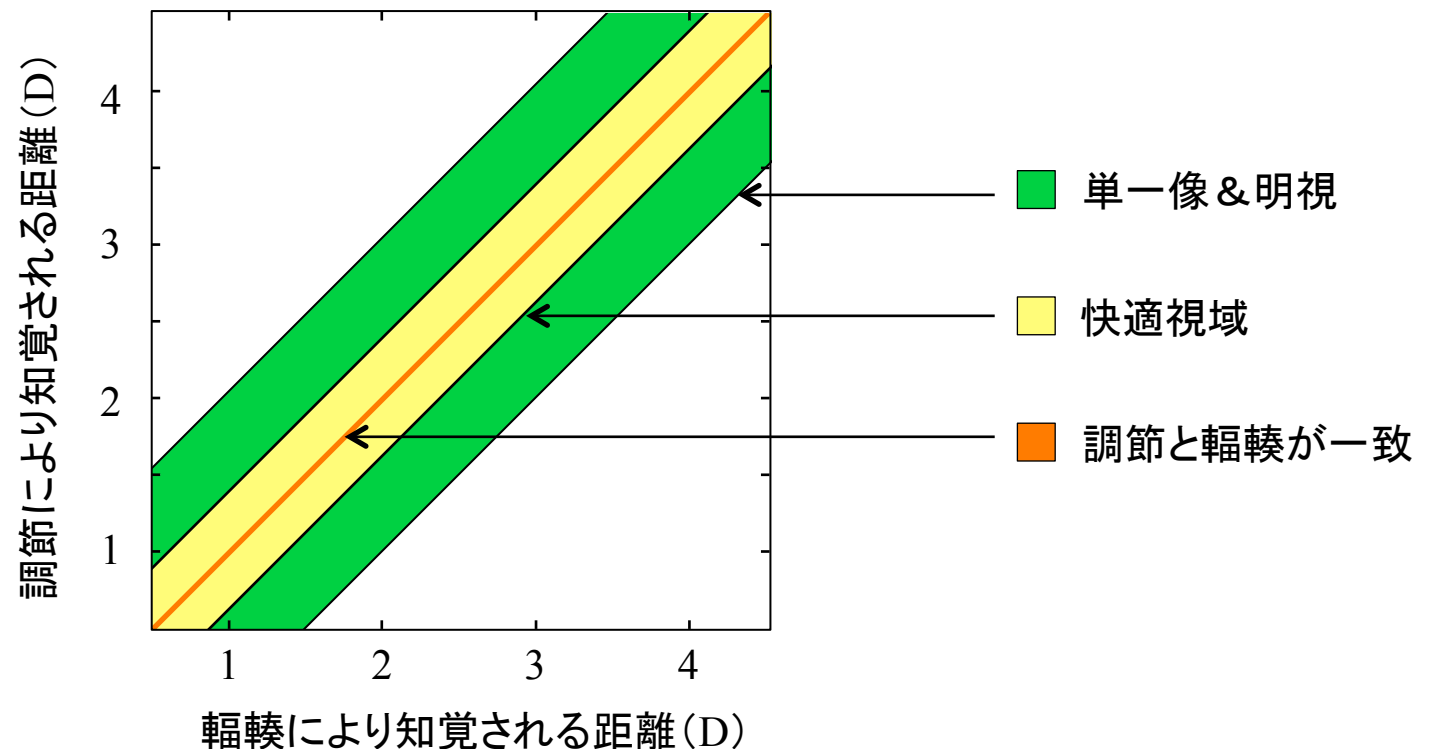
- 両眼の視線(視軸)が交差している点(注視点)では、左右の網膜像が一致する。それ以外の点では、左右の網膜像は異なっているため、一般に二重像が生じる。しかし、注視点の付近では、二重像を融像させて、単一像にしようとする視覚メカニズムが働く。融像が可能な範囲を、パナムの融合領域(Panum's fusion area)という。



水晶体の調節により知覚される物体の位置(YとZ)が、パナムの融合領域内、もしくはそれよりも少し広い範囲内であれば、不快感を伴わない。この範囲は視差角に換算して70'(約1度)程度だといわれている。

パーシバルの快適視域

- 調節と輦輦の相対関係を表したのが下図である。ピント合わせと両眼融合の双方が可能な範囲(緑色の領域)のうち、中央の約1/3の領域(黄色の領域)では、不快感の度合いが低いとされている。これをパーシバルの快適視域(Percival's zone of comfort)と呼ぶ。



D.M. Hoffman, A.R. Girshick, K. Akeley, M.S. Banks, "Vergence-accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue", J. Vision, 8, pp.1-40, 2008.

調節と輻輳の不一致はどの程度まで許容されるのか

- 被写界深度

→ $\pm 0.2 \sim 0.3D$

- パナムの融合領域＋その周辺部

→ 注視点から70' 程度まで

← 3DC 安全ガイドラインでは1度(60分)

- パーシバルの快適視域

→ ピント合わせと両眼融合の双方が可能な範囲の約1/3

(私見ですが)大雑把に言って、これらの指す領域は、
ほぼ同じか、せいぜい2倍程度の違いであるように
思われます。

二眼式の特徴から浮かび上がってくる問題点(再掲)

- 奥行き而知覚を、「両眼視差」と「両眼の輻輳」のみに頼っている。

→ 調節と輻輳の不一致 (3DC)

- 知覚される奥行きは正しいのか？

→ 立体像の歪み (3DC)

- 左右の映像の分離はうまくいくのか？

→ クロストーク (3DC)

- 分離された映像は必ず両眼に届くのか？

→ ウィンドウ違反 (Window violation)

左右の映像のずれ、歪み (3DC)

疲労や不快感の源

急激な動きを多く含んだ映像 → 映像酔い (3DC)
(2Dでも見られる)

3Dコンソーシアム

- 設立の趣旨

両眼立体視の原理を利用した立体視表現を実現する入出力機器の普及拡大や、コンテンツの拡大促進と流通性の向上を図るため、関係団体が広く交流する場を設け、三次元映像の本格的な市場形成と拡大・発展に貢献する

- 2003年3月発足 <http://www.3dc.gr.jp/>

- 幹事会社

株式会社アイ・オー・データ機器
独立行政法人産業技術総合研究所
ステレオD, LLC
ソニー株式会社
パナソニック株式会社

株式会社NTTドコモ
シャープ株式会社
セイコーエプソン株式会社
株式会社東芝

3DC安全ガイドライン

- 「3Dに関わるすべての人(視聴者、コンテンツ制作者、機器製造業者)に知って頂きたい必要最小限の知識、方針、ルールをガイドラインとしてまとめたものです。」
- 両眼視差の原理に基づいた3Dディスプレイを対象としたもの。
- 2004年12月策定, 2006年2月改訂, 2010年4月全面改訂
国際標準化機構ISO IWA3準拠

ガイドラインの構成

- 視聴者に周知すべきガイドライン

- | | |
|------------------|-----------------|
| <GL-1> 立体視成立の確認 | <GL-2> 逆視防止確認 |
| <GL-3> 視聴姿勢 | <GL-4> 視聴位置 |
| <GL-5> 視聴時間 | <GL-6> 低年齢層への配慮 |
| <GL-7> 視聴者への注意喚起 | |

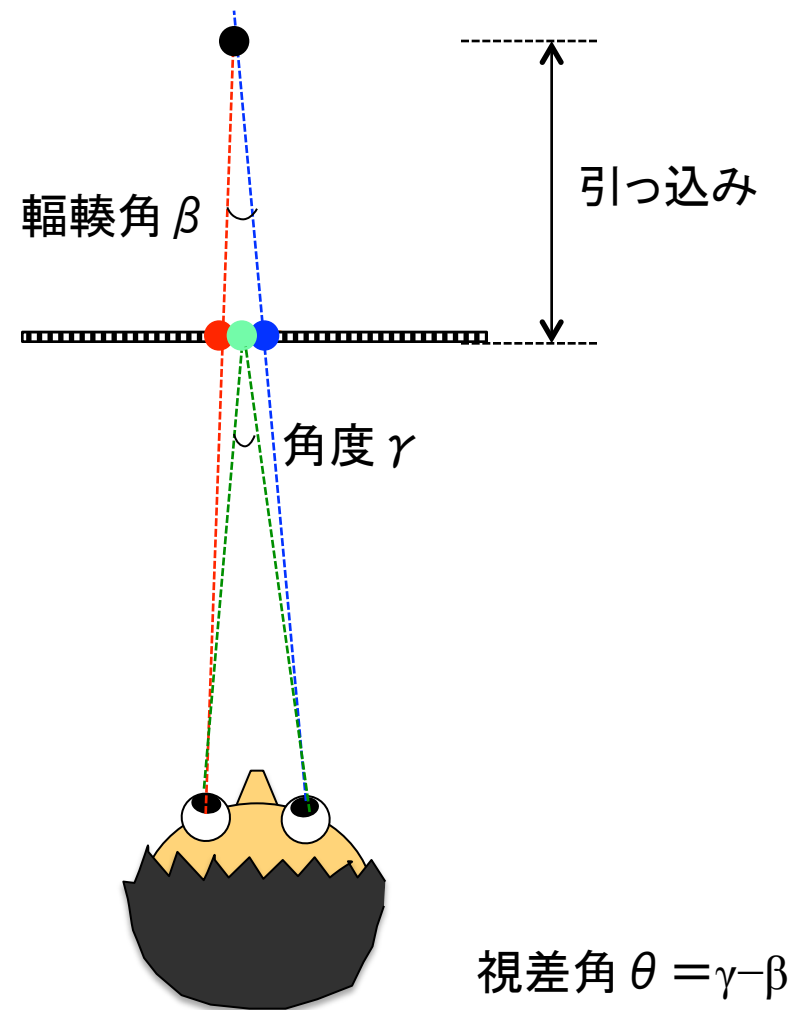
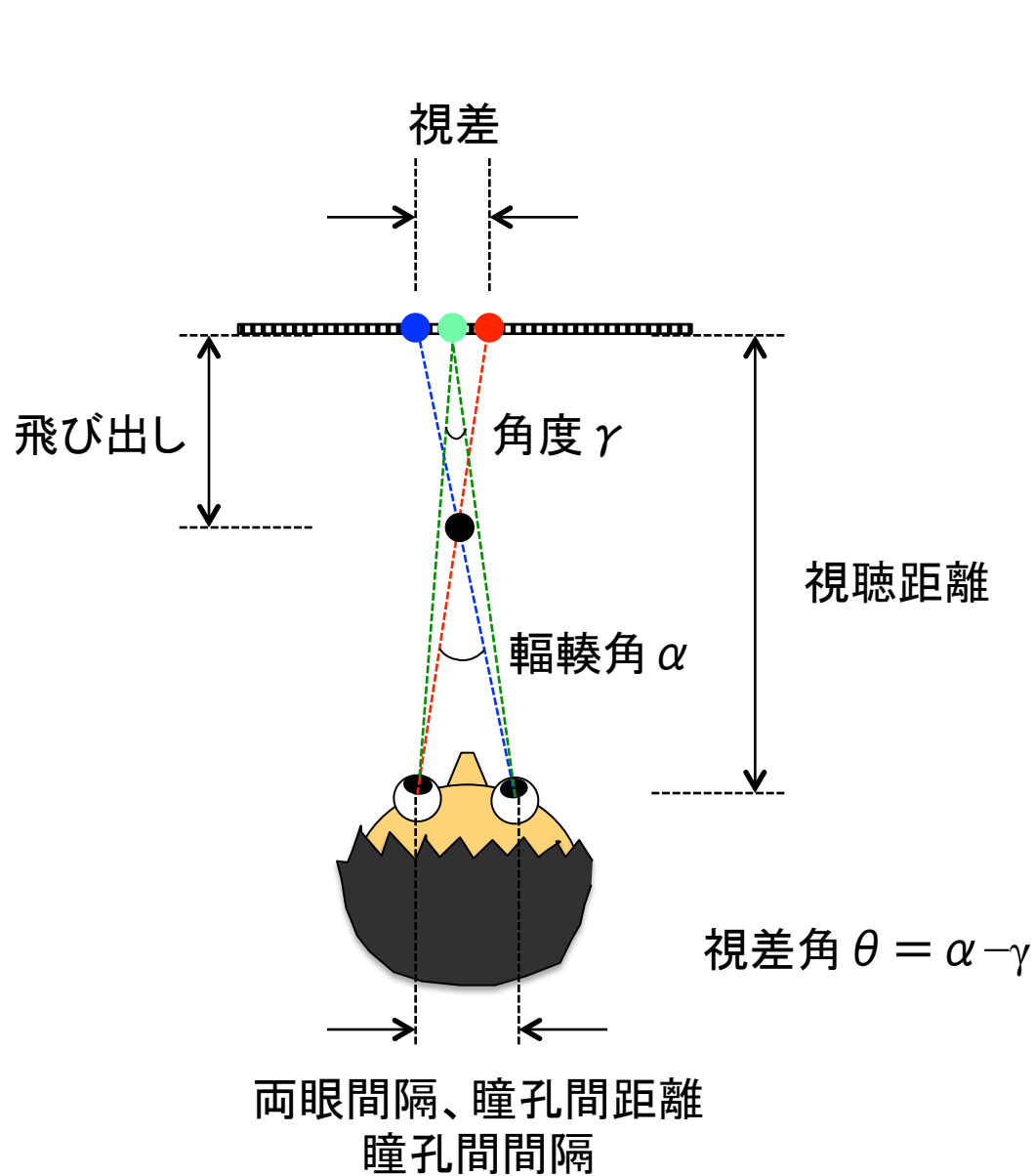
- コンテンツ制作者のためのガイドライン

- | | |
|------------------|-----------------------|
| <GL-8> 開散方向の視差制限 | <GL-9> 快適視差範囲 |
| <GL-10> 融合限界 | <GL-11> ディスプレイ・サイズと視差 |
| <GL-12> カメラ撮影 | <GL-13> カメラの同期 |

- 製造者のためのガイドライン

- | | |
|----------------|-----------------------|
| <GL-14> クロストーク | <GL-15> 時分割立体方式の推奨周波数 |
|----------------|-----------------------|

用語の整理



- <GL-3> 視聴姿勢
両目を水平にした位置で見ること
- <GL-4> 視聴姿勢
適正位置は、画面の正面で、画面の高さの3倍の距離だけ離れた場所
- <GL-5> 視聴時間
視聴中に疲労や不快感を感じたら、視聴を中止して休憩をとること
- <GL-6> 低年齢層への配慮
視機能の発達段階を考慮し、視聴時間の制限をすること

- <GL-8> 開散方向の視差制限
ディスプレイの後方に表示される立体像を注視しようとする、開散方向への眼球運動が必要になる場合がある。ところが、人の目は平行方向よりも外側には開かないという性質を持っているため、こうした立体像は眼精疲労を引き起こす。ディスプレイ上での視差が、瞳孔間距離を超えないように注意が必要。
- <Note-3> ディスプレイサイズと視差
想定したサイズよりも大きなディスプレイに表示すると、視差が両眼間隔よりも大きくなる可能性がある。この場合には、開散方向となってしまうので、注意が必要。

• <GL-9> 快適視差範囲

- ✓ 立体像を快適に楽しむための奥行き(飛び出し、引っ込み)範囲を快適視差範囲という。従来の研究や経験則によると、視差角1度(60分)以下が目安となる。また、融合限界(二重像が生じない範囲)については、2度(120分)程度と考えるのが無難である。
- ✓ 視差角は、輻輳角の差として定義されるが、直感的な把握が難しい。代わりに、画面上での視差をピクセル数で計った数値や、画面幅に対する比率を用いるのが便利である。標準鑑視距離(画面の高さの三倍)で鑑賞する場合の換算表は、次の通りとなる。

1920×1080の画面の場合

視差角	視差(ピクセル数)	視差(画面幅に対する比率)
0.7度(40分)	38ピクセル	1.9%
1.0度(60分)	57ピクセル	2.9%
1.5度(90分)	85ピクセル	4.4%
2.0度(120分)	113ピクセル	5.9%

- <GL-10> 融合限界

- ✓ <GL-9>では、“快適視差範囲(1度)<融合限界(2度)”としていた。
- ✓ 快適視差範囲を超えた飛び出し映像の多用や長時間提示は避けること。
- ✓ 提示をする際には、視差の急な時間変化を避け、徐々に視差を増やすとよい。

- <GL-11> ディスプレイ・サイズと視差

コンテンツ作成時には、ディスプレイのサイズと視距離を念頭において、ディスプレイ上での視差を設定するのが望ましい。視距離が一定の場合、ディスプレイのサイズが大きくなると、ディスプレイ上での視差も大きくなり、視差角も大きくなる。

- <Note-2> 子供の瞳孔間間隔(両眼幅)について

子供は瞳孔間間隔が狭いため、同じ視差でも立体感を強く感じることになる。注意が必要。

- <GL-14> クロストーク
左右画像のクロストークができるだけ小さい装置を開発を推奨する。
- <GL-15> 時分割立体方式の推奨周波数
切り替え周波数が低いと融合限界を低下させ、光感受性発作を引き起こす可能性がある。できるだけ高い切り替え周波数を推奨する。

ご清聴ありがとうございました！