

# 脳でモノを見る

脳の中に創られる世界とは？

理化学研究所脳科学総合研究センター  
神経情報基盤センター長  
ニューロインフォマティクスチーム

臼井支朗



## 案内文

最近のデジタルカメラ・ビデオには、オートフォーカスや手ぶれ補正をはじめ、笑顔の検出や自動追尾、パノラマ合成から最近話題の3Dにいたるまで、便利な機能が組み込まれてきています。しかし、よく考えてみると私たちの視覚系には、そうした機能がちゃんと組み込まれています。さて、脳はどんな仕組みでこうした処理を行い、モノを見ているのでしょうか？その不思議さを皆さんと一緒に考えてみましょう。

最近、Aha体験とか視覚の不思議さについて本やテレビで話題になっていますね。すぐに気づく人や、どうしても判らなくて自分の目がおかしいのかとお悩みの方もいらっしゃると思います。私も楽しく考えていますが、まだよく分っていません。自分の脳がモノを見る仕組みを皆さんと一緒に考えてみましょう。

# ○見る・視る・観る・診る・看る

look, watch, see, glance, sight, read, examine

## 三省堂 大辞林 「目」に関する成句

- 目あり目なし 目が合う 目が堅い 目が利く 目が曇る 目が眩む 目が眩れる 目が肥える 目が冴える 目が覚める 目が据わる 目が高い 目が近い 目が散る 目が出る 目が点になる 目が遠い 目が届く 目が飛び出る 目が留まる 目が無い 目が離せない 目が早い 目が光る 目が眩う 目が回る 目が行く 目から鱗が落ちる 目から鼻へ抜ける 目から火が出る 目じゃない 目で見て口で言え 目と鼻の先 目と鼻の間 目に遭う 目に余る 目に一丁字なし 目に浮かぶ 目に映る 目に掛かる 目に掛ける 目に角を立てる 目に障る 目に染みる 目にする 目に立つ 目に付く 目に留まる 目には青葉山時鳥初松魚 目に入る 目には目を、歯には歯を 目に触れる 目に見える 目に見えるよう 目にも留まらぬ 目に物言わす 目に物見せる 目の色を変える 目の上の瘤 目の敵 目の薬 目の黒い内 目の下 目の正月 目の付け所 目の毒 目の中へ入れても痛くない 目の保養 目は口ほどに物を言う 目は心の鏡 目は心の窓 目引き袖引き 目引き鼻引き 目も当てられない 目もあやに 目も及ばず 目もくれない 目も遥に 目を遊ばせる 目を射る 目を疑う 目を奪われる 目を覆う 目を落とす 目を掛ける 目を掠める 目を潜る 目を配る 目を晦ます 目を呉れる 目を肥やす 目を凝らす 目を覚ます 目を曝す 目を皿にする 目を三角にする 目を白黒させる 目を据える 目を注ぐ 目をそばだてる 目を側める 目を逸らす 目を立てる 目を楽しませる 目を付ける 目をつぶる 目を転じる 目を通す 目を止める 目を長くする 目を盗む 目を眠る 目を離す 目を光らす 目を引く 目を開く 目を塞ぐ 目を伏せる 目を細める 目を丸くする 目を回す 目を見す 目を見張る 目を見る 目を剥く 目を向ける 目を遣る 目を喜ばす

# 視覚ノート

「見える」ことの不思議さ 見えるとは？

デジタルカメラ・テレビと視覚系

絞り、ピント、手振れ防止→ High Speed、顔認識、3D、画像連結、

レンズ・CCD＋処理＋デジタル符号化→送信/ファイル→復号・処理＋モニタ  
モニタ画面→眼光学系→網膜→視神経→視覚中枢処理→知覚(見えた！)

○見えている視空間はカメラで撮影した画像とは異なる

○見えている世界は網膜像をそのまま見ているのではなく、網膜から得た  
情報に基づいて脳内で処理された情報を知覚している

○人間が生活する空間で活動に都合良く視空間を構成している

視空間は経験や発達によって形成される!! 楽しみ、感動するのは皆さん！

○恒常性(モノの)大きさ、形、色、、

○無いものが見える:主観的輪郭など、、→ 錯視

○盲点、Blind Sight (上丘経由の神経活動は知覚を伴わない)

○知覚(主観的に見えている)情報と神経活動の対応

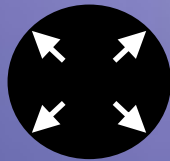
○ミラーニューロン Lizzolatti (パルマ大) 前頭葉F5領域

○視線、眼球運動、固視微動、しかし世界は動かない！

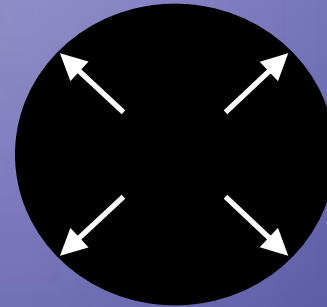
安定した外界像の中に自分が居る!! 4

# カエルの視覚系

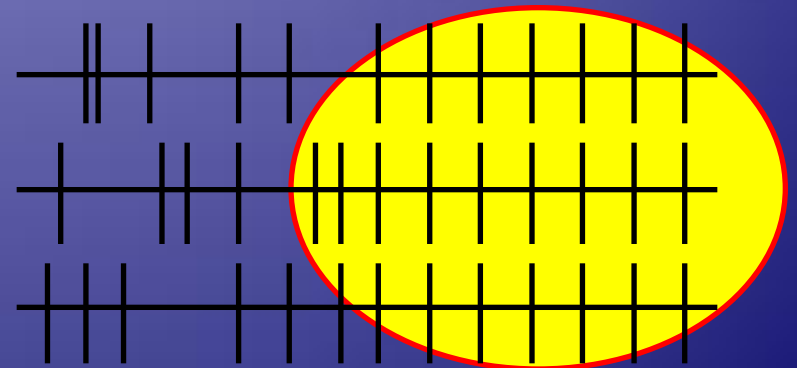
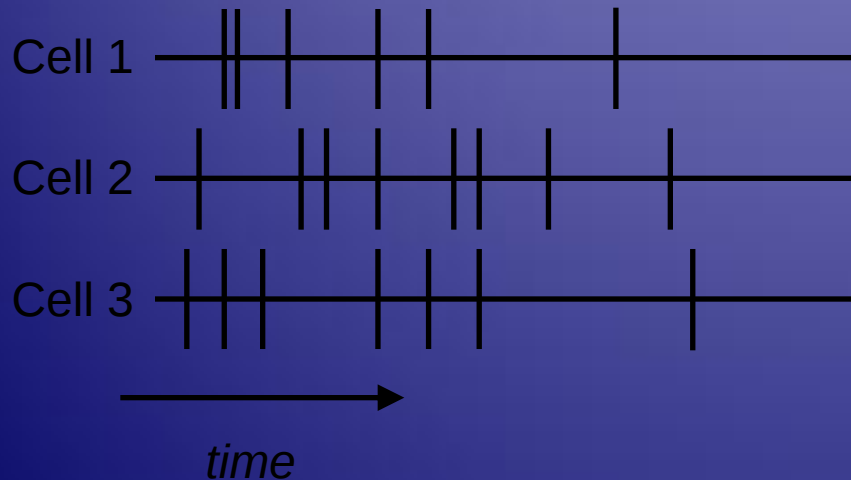
小さなスポット



大きなスポット



同時記録された視神経の活動電位



一定間隔で同期発火

## Expanding dark spot (small)



Ishikane (2006 )

## Expanding dark spot (large)



**Ishikane (2006 )**

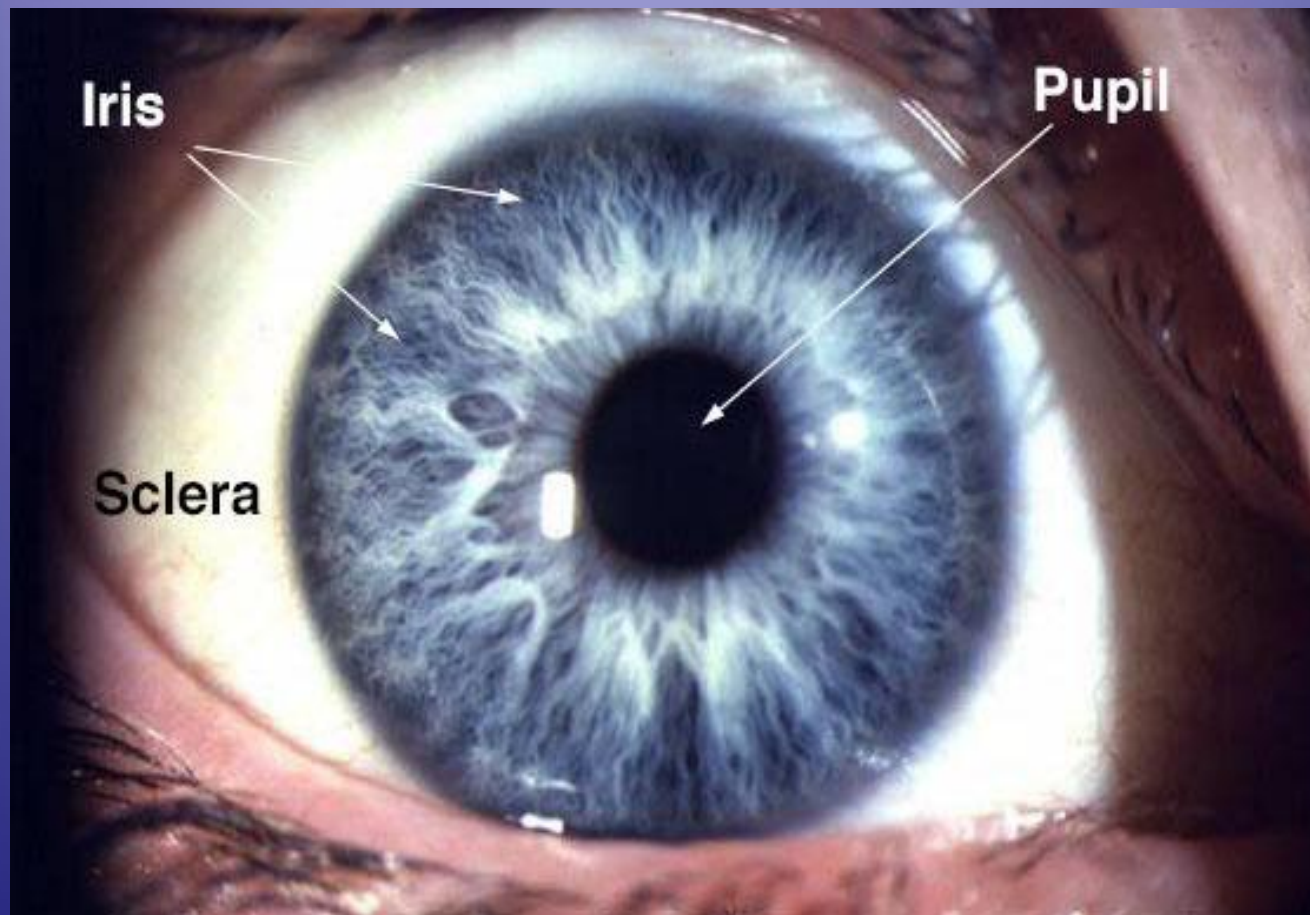


# 脳(視覚系)の基本的な役割

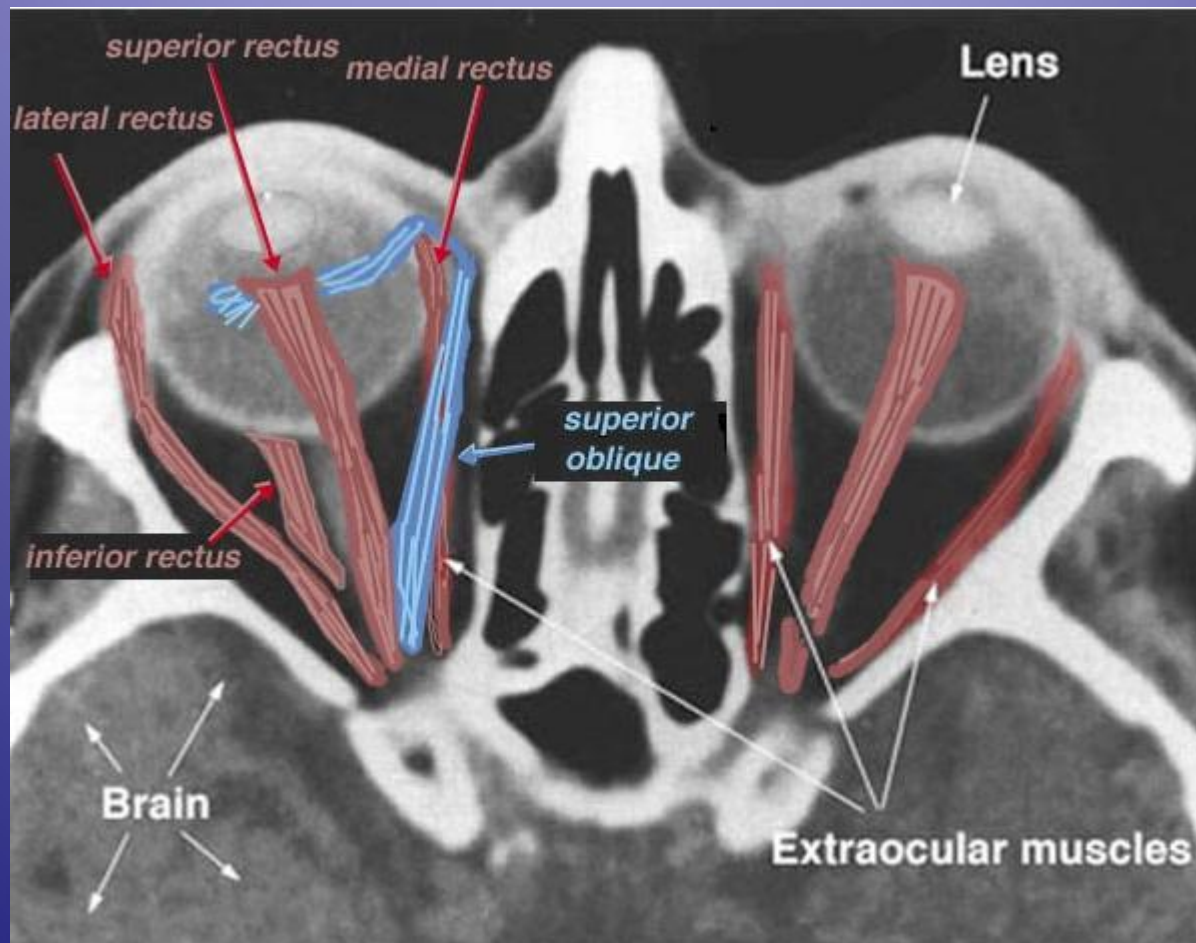
外界の情報や体内の情報を集めて適切な行動や反応をとれるように判断する

外の世界や体の変化に対して常に適応的であることで個体を維持する(生き残る)働き

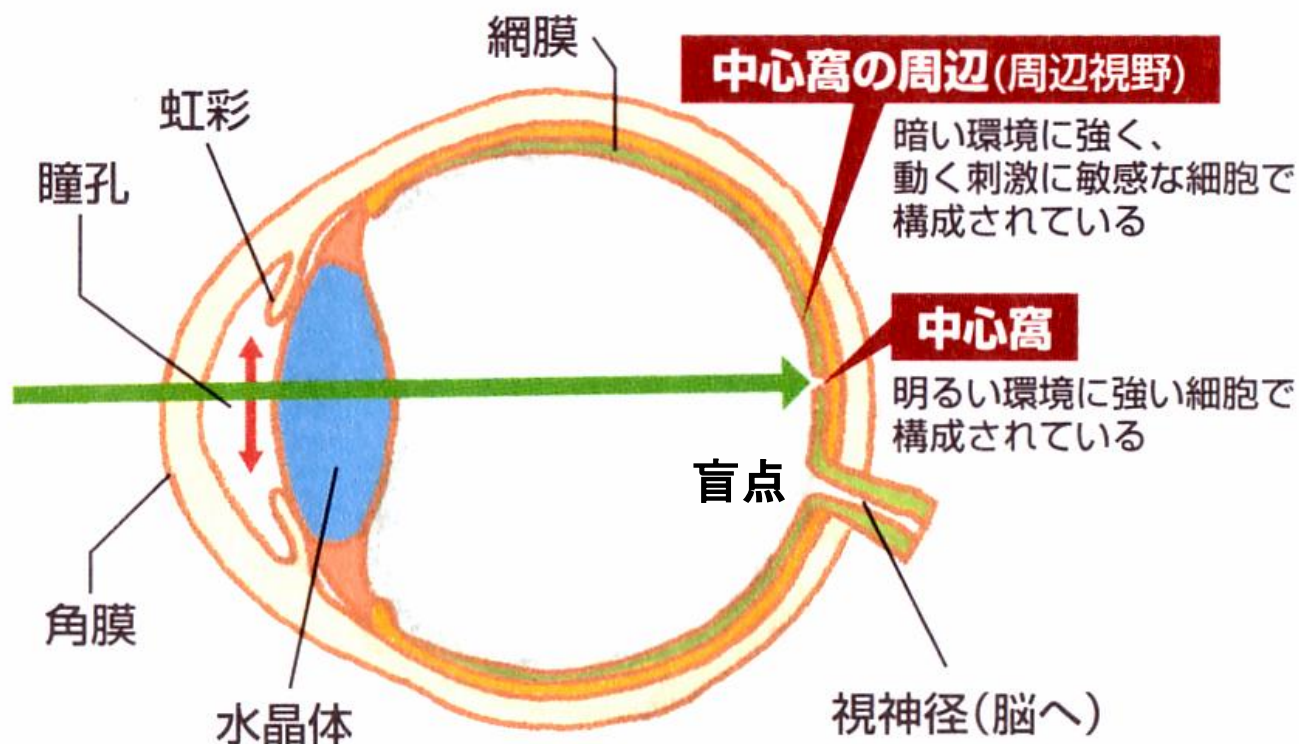
# ヒトの眼



# 眼球及び周辺のCT断層写真

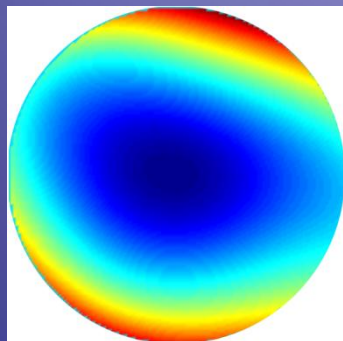


# 中心窩と周辺視野

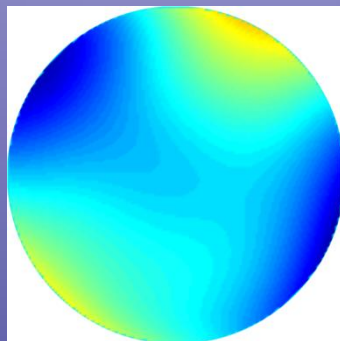


# 眼光学系と網膜像

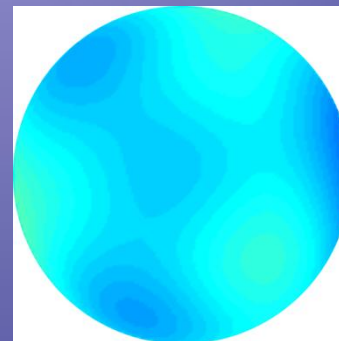
屈折力の測定例



裸眼(無補正)



近視補正



+乱視補正

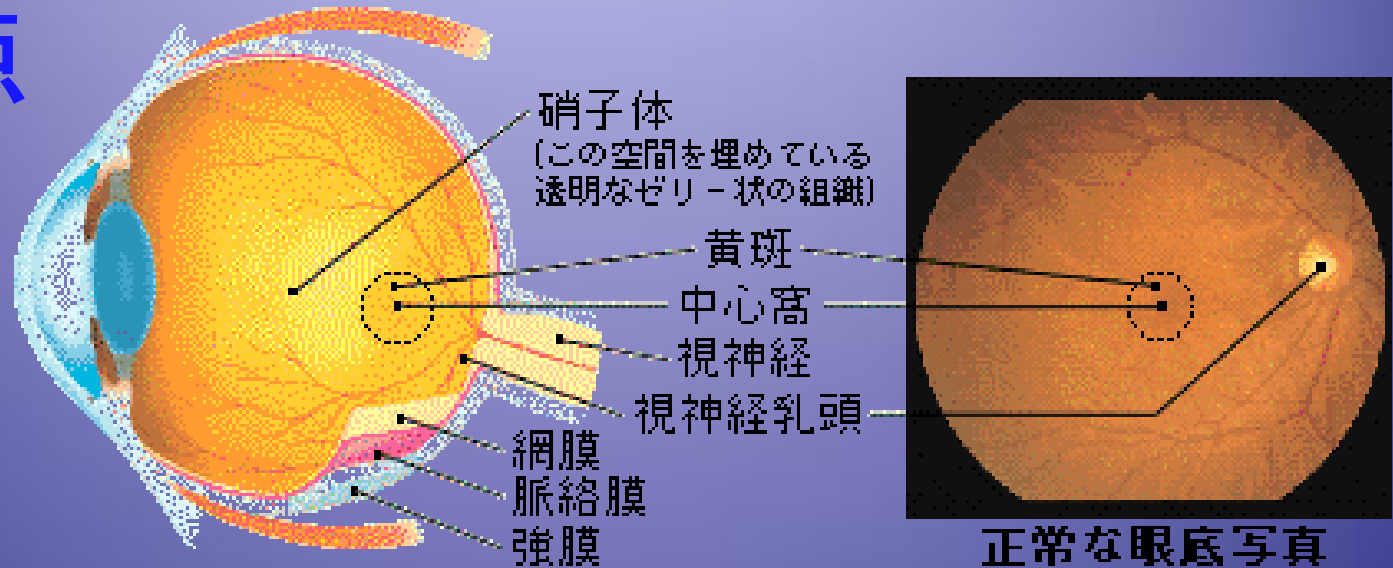
Strong



Weak

眼光学系モデルによるシミュレーション

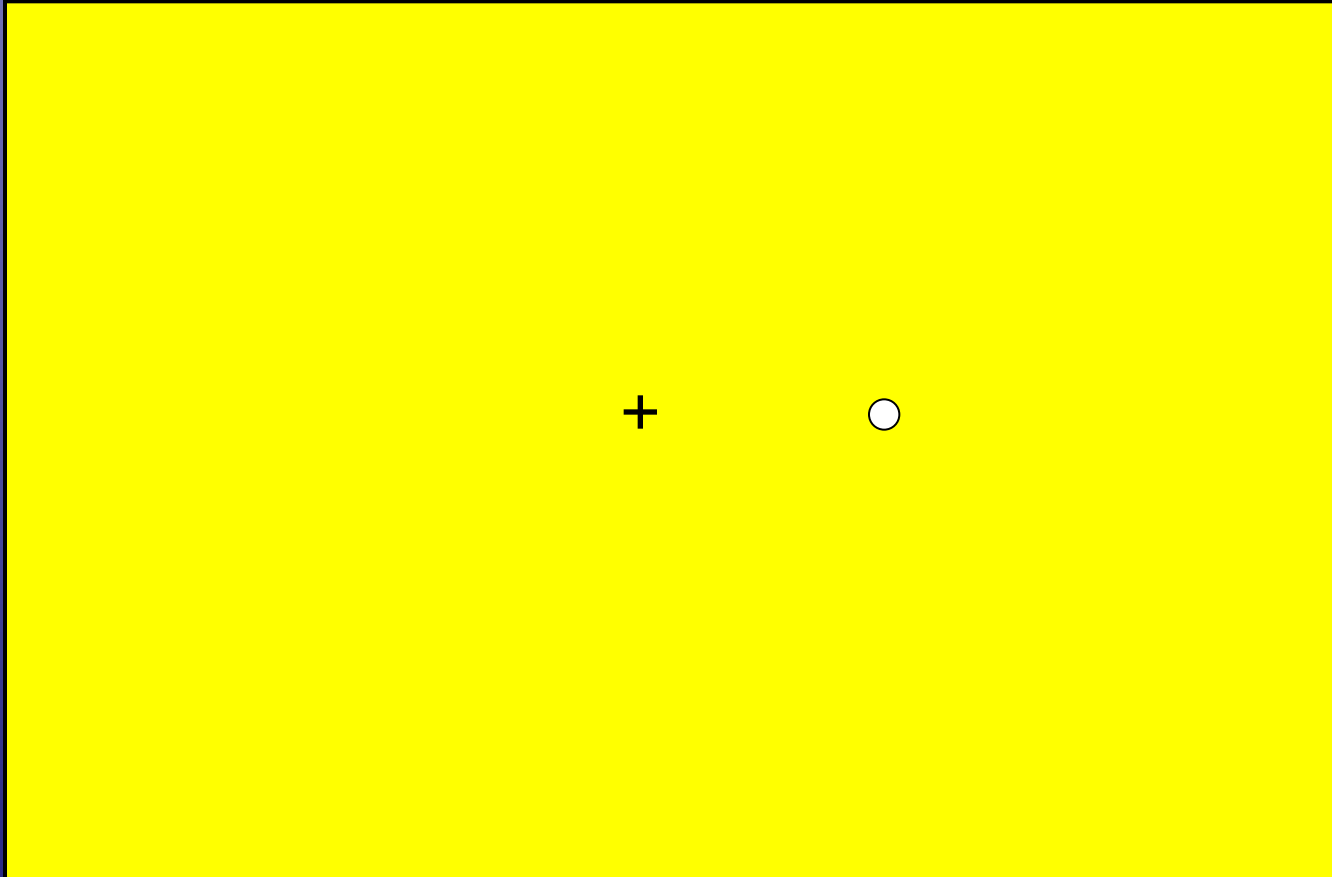
# 盲点



## 視神経が眼球から抜ける部位(乳頭)に対応

- 光を感じる細胞が存在しない。
- 右目の盲点と左目の盲点の視野上の位置は違うので両眼で見ているときには片方の盲点の部位は反対の目で見ることができる。
- 脳が盲点部位の周辺の情報から埋め合わせを行っている。周囲が青ければ青色で補完し、黄色であれば黄色で補完される。

# 盲点の体験実験

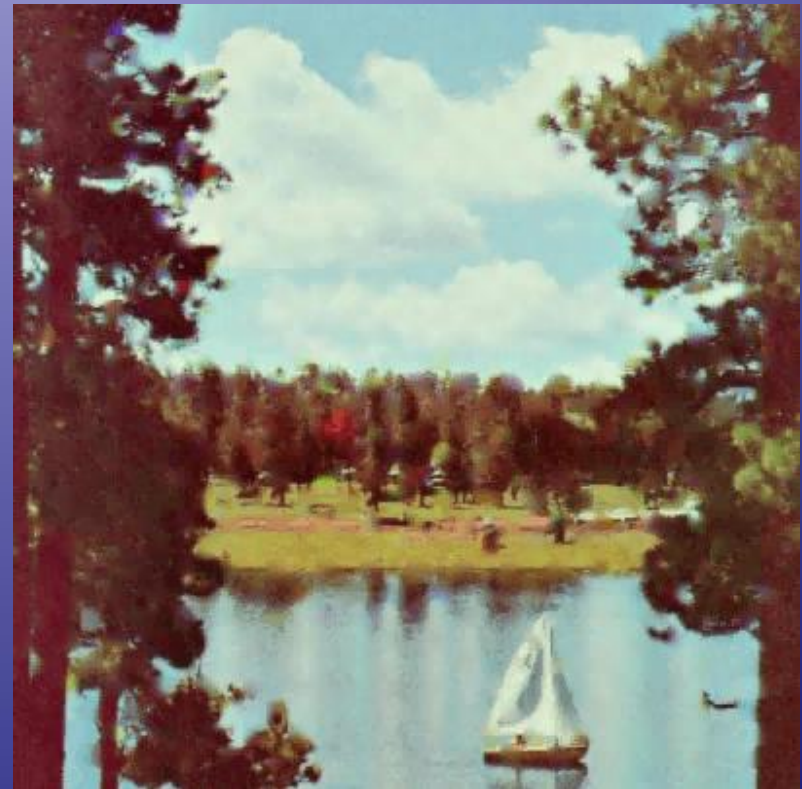
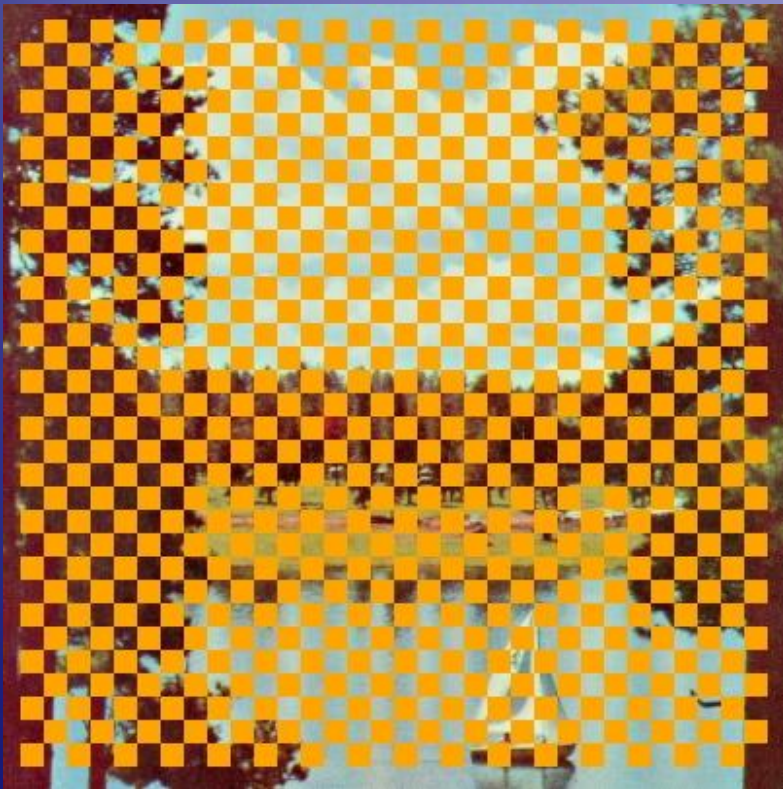


左目を閉じ、+を注視しながら距離を変える。

# 画像工学的応用

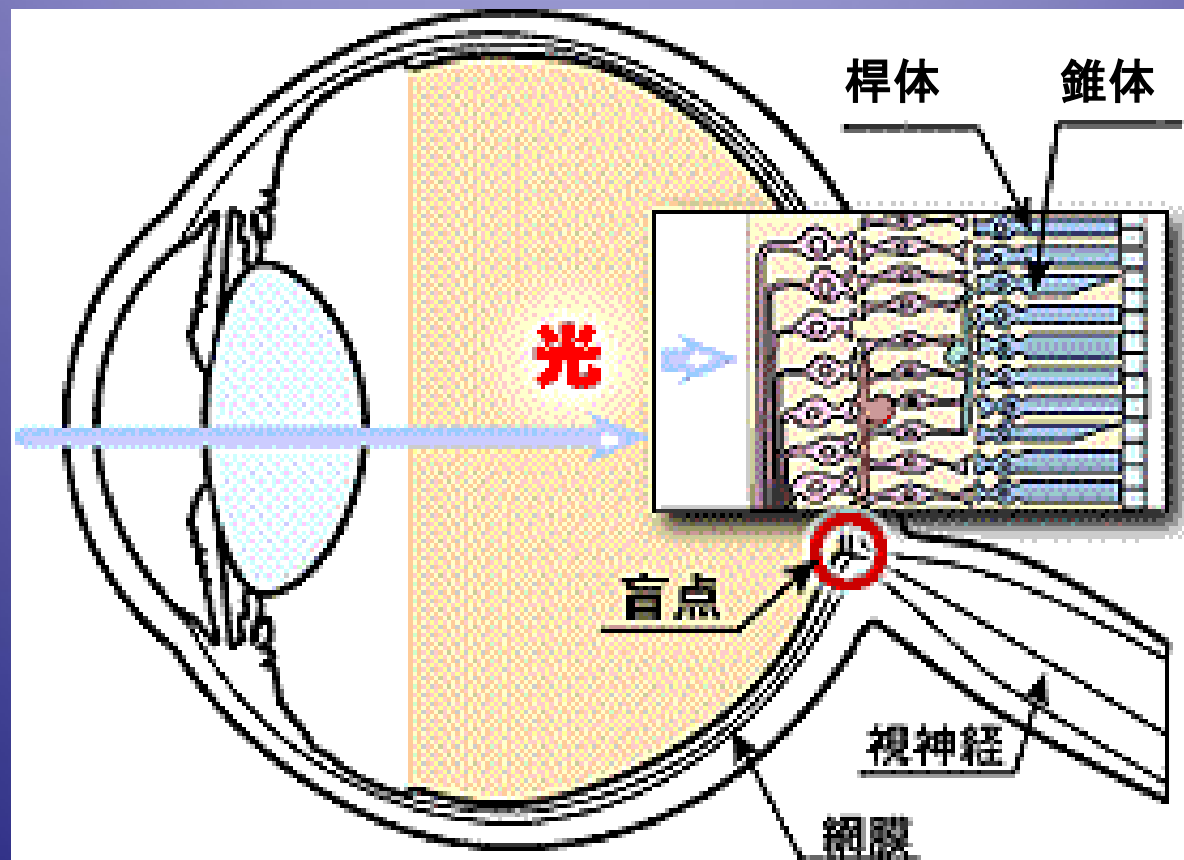
(Sato & Usui 2008)

「盲点補完の数理モデル」を「修復したい画像領域全て(左図橙色の領域)」に適用した。

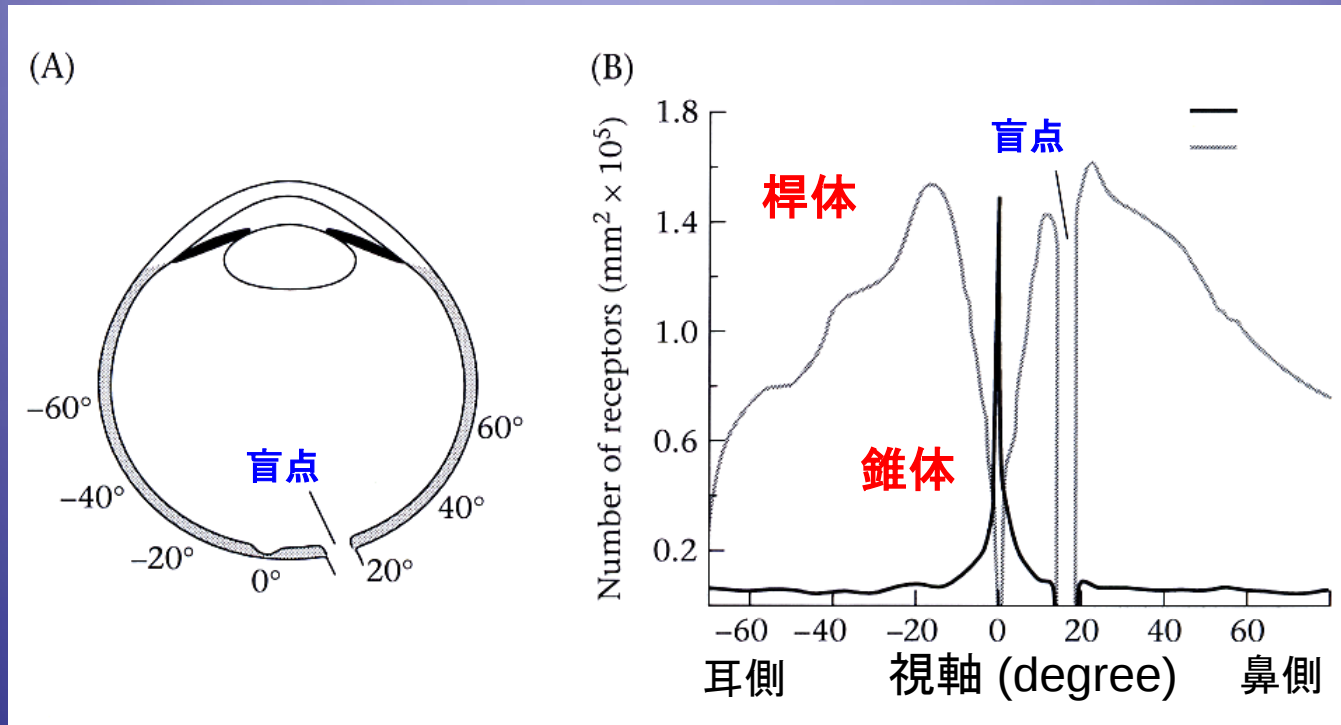


半分の画像情報が欠落していても、このように修復出来る。

# 眼球と網膜



# 錐体・桿体の分布



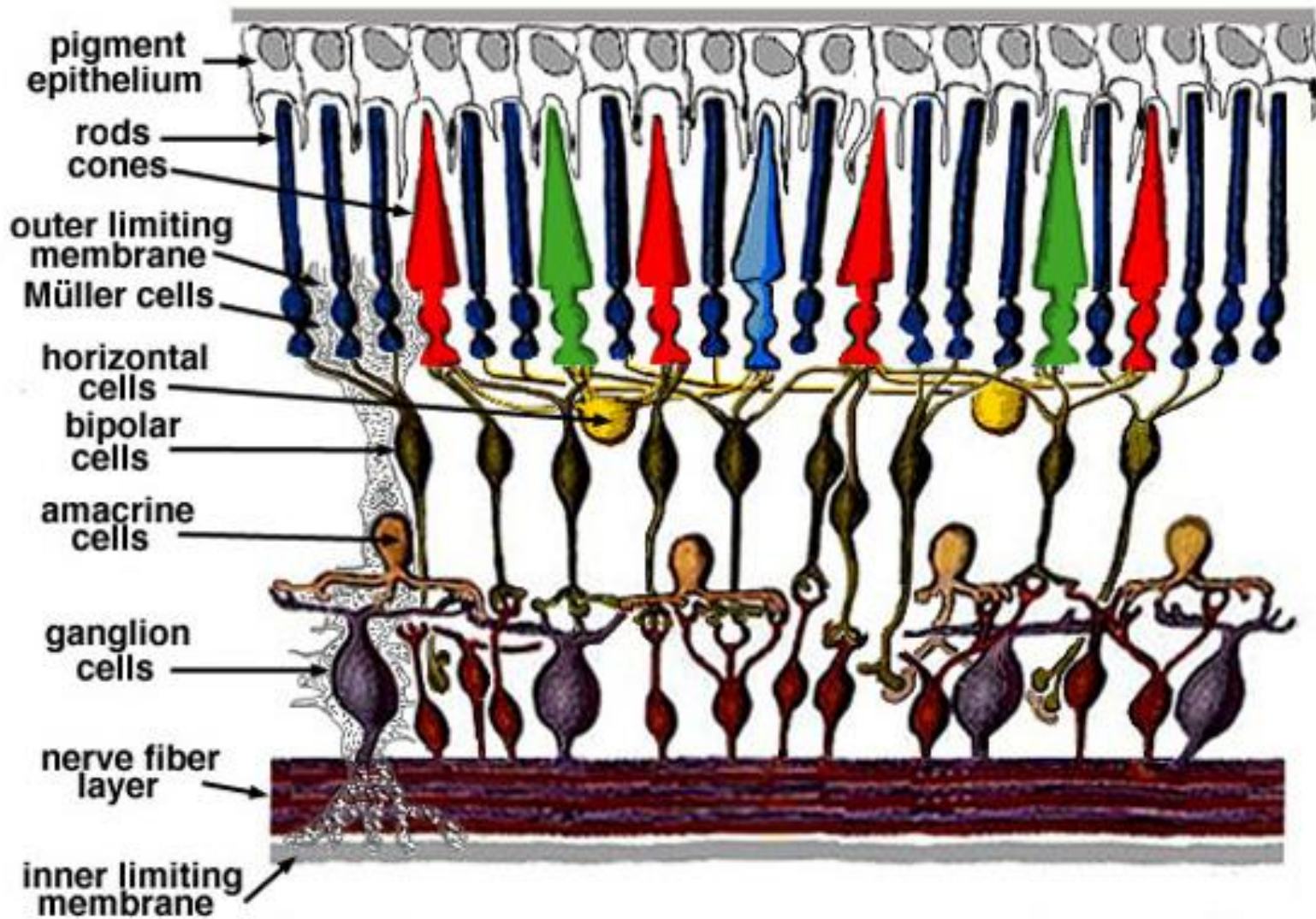
**桿体**は1 lx程度の暗さから働き、明るさのみに反応する。

暗いものを見るには桿体の働きが重要。

**錐体**は10 lx以上で働く。桿体は中心にはほとんど存在していない。

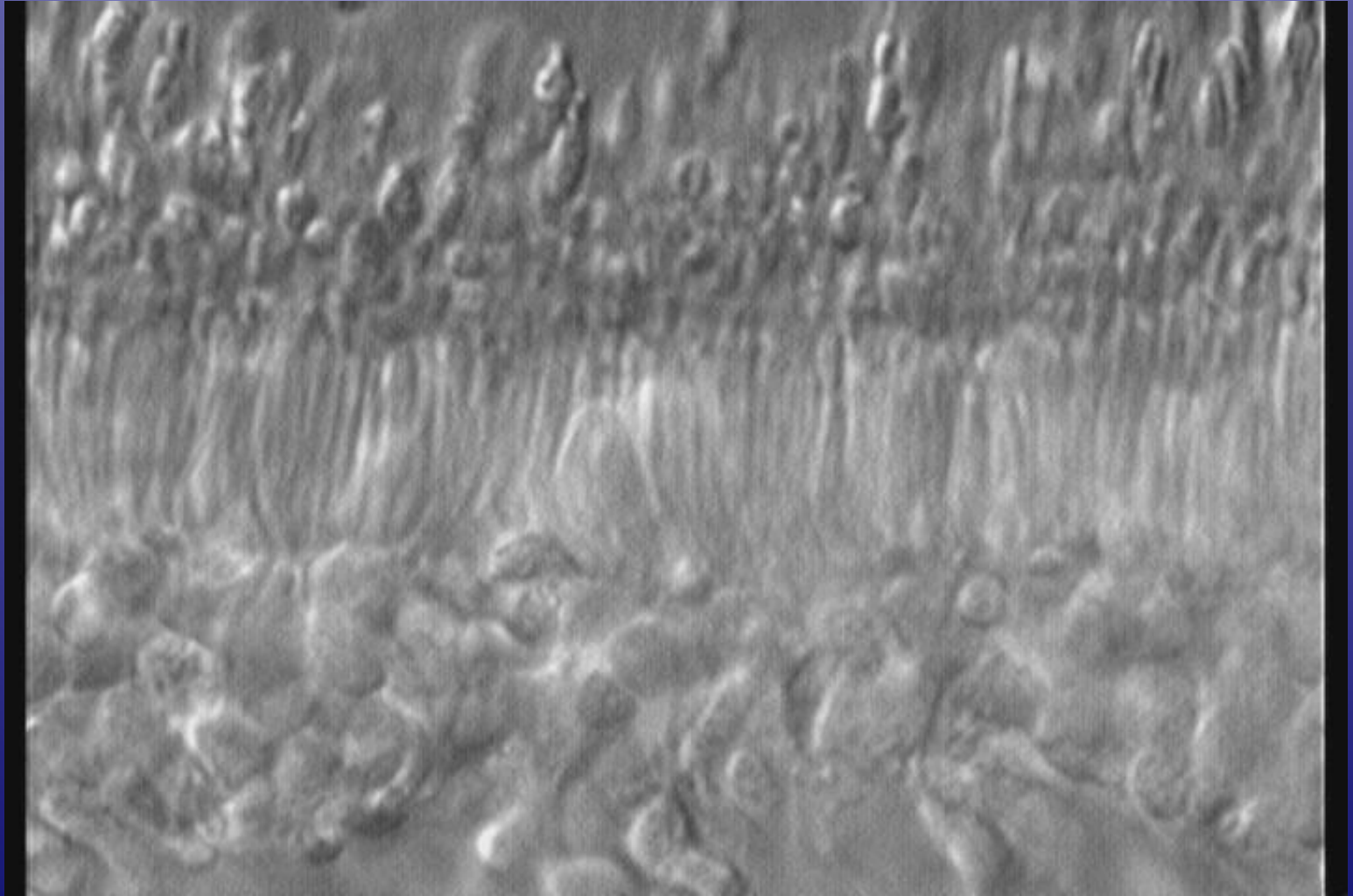
したがって、暗い星を眺めるとき、少し視点をずらすと見やすい。

# 網膜断面

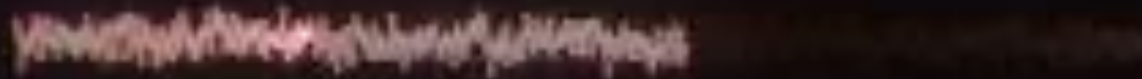


光の進む方向

# 生きている網膜の断面（霊長類）

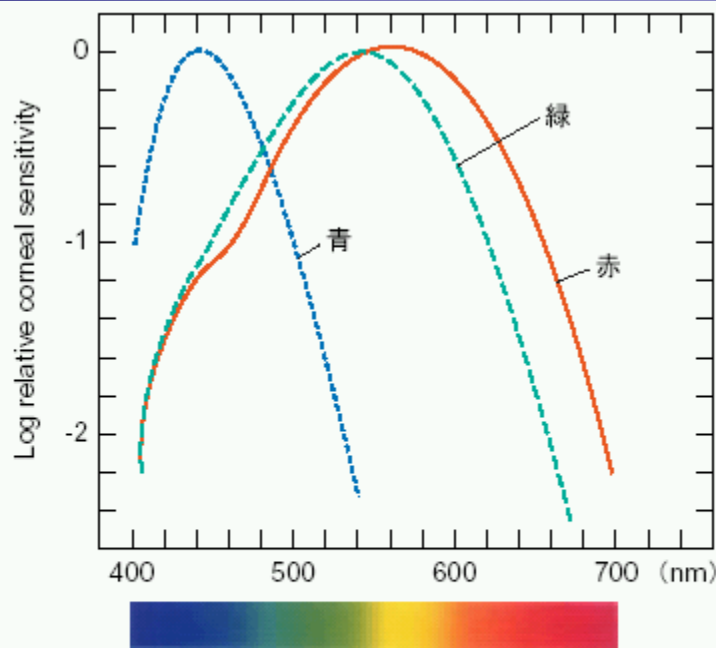


00:00:00;00



網膜神経節細胞が脳に送っている電気信号

# 桿体と3種の錐体

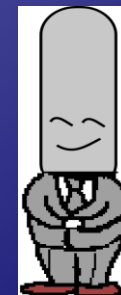


青、緑、赤各錐体の受光スペクトル

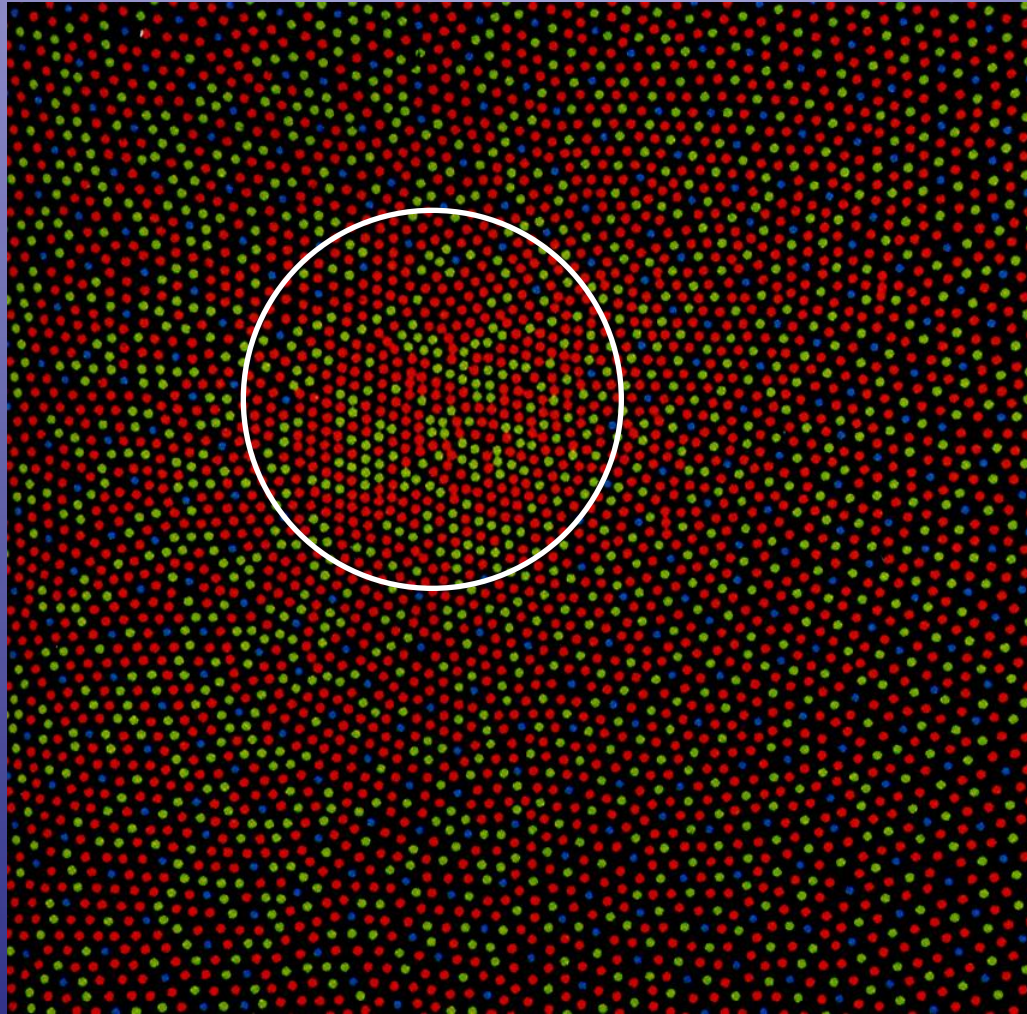
緑錐体と赤錐体の受光スペクトルは大きく重複しているが、少しずれていることに注意。特定の波長の光に対して各錐体がそれぞれ興奮すると、各錐体間の興奮の相対比に応じて脳は特定の色をイメージする。

**錐体**は3種類あるので色が見える。  
明るいときに働く(感度が低い)  
明るいときには色が見える  
錐体が欠けると色盲になる  
網膜の中心に多い

**桿体**は暗い時に働く  
(感度が高い)  
1種類しかないなので暗い  
ときには色が見えない  
網膜の周辺に多い



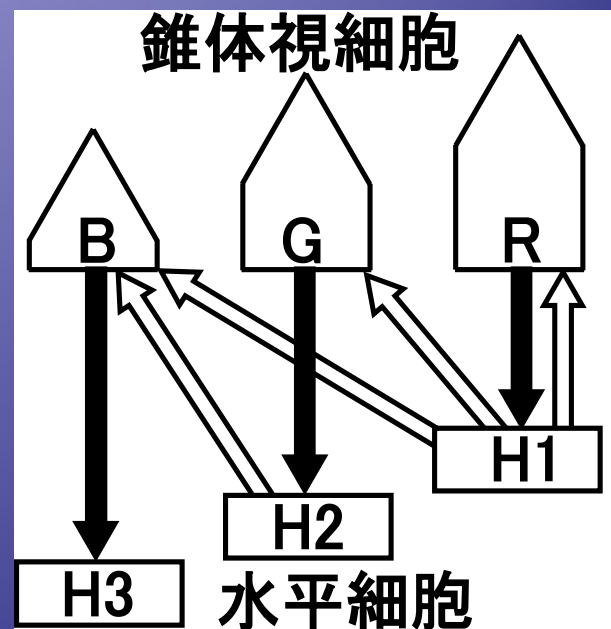
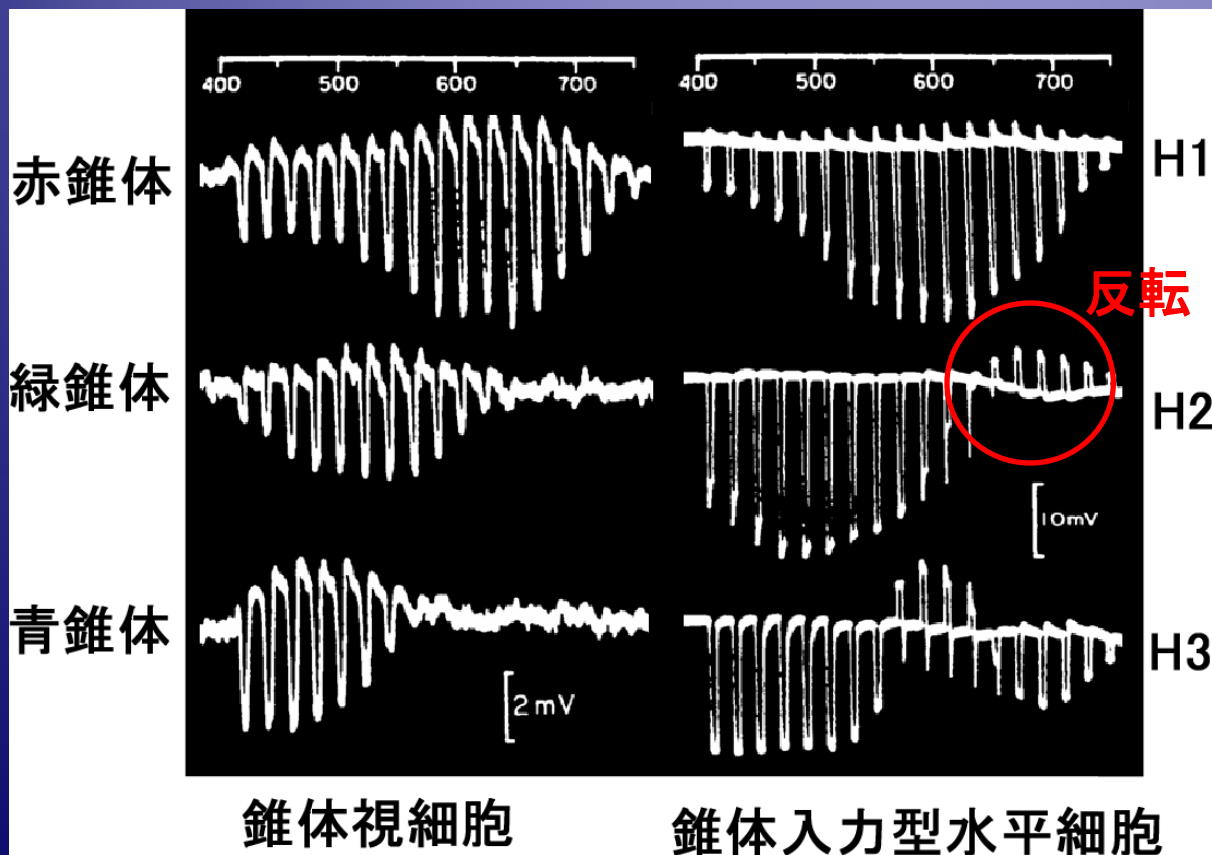
## 錐体細胞の分布



円内は中心部で錐体の密度が高く、青錐体はほとんど無い。

# 魚類における反対色生成過程

## 色覚信号処変換における負帰還仮説

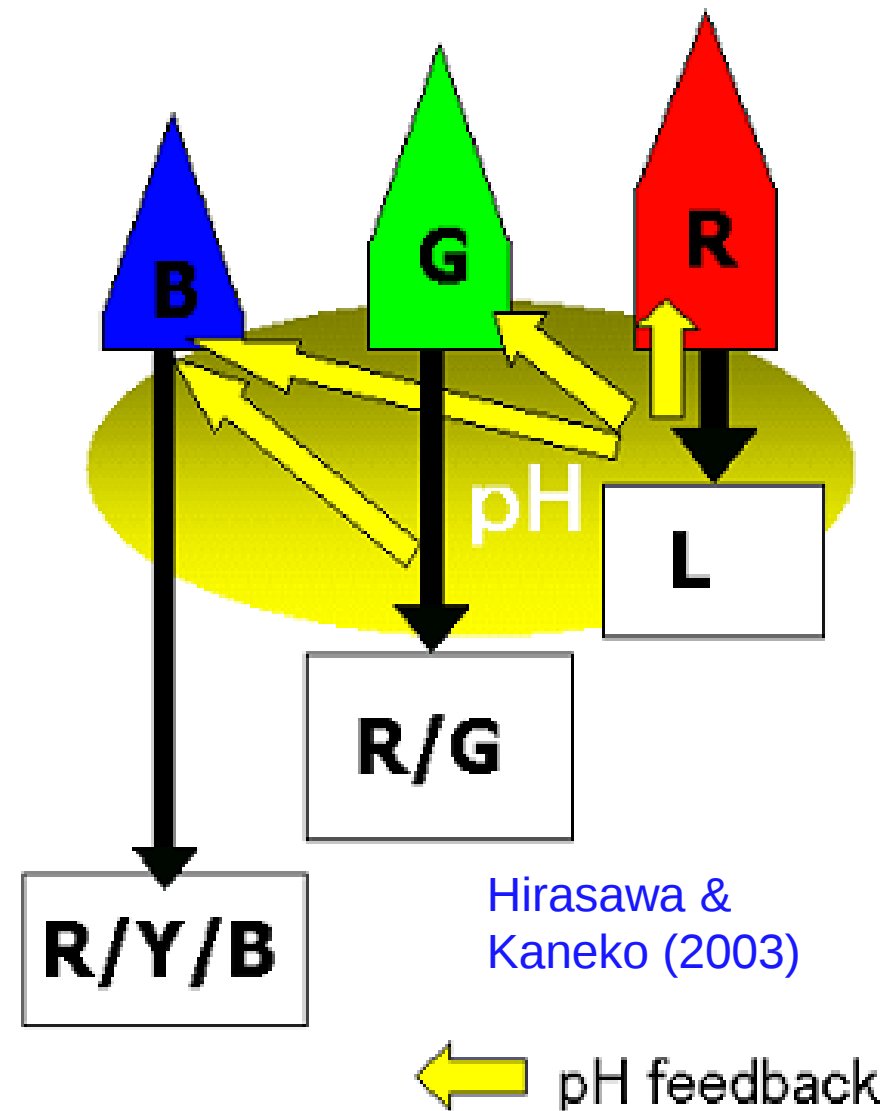
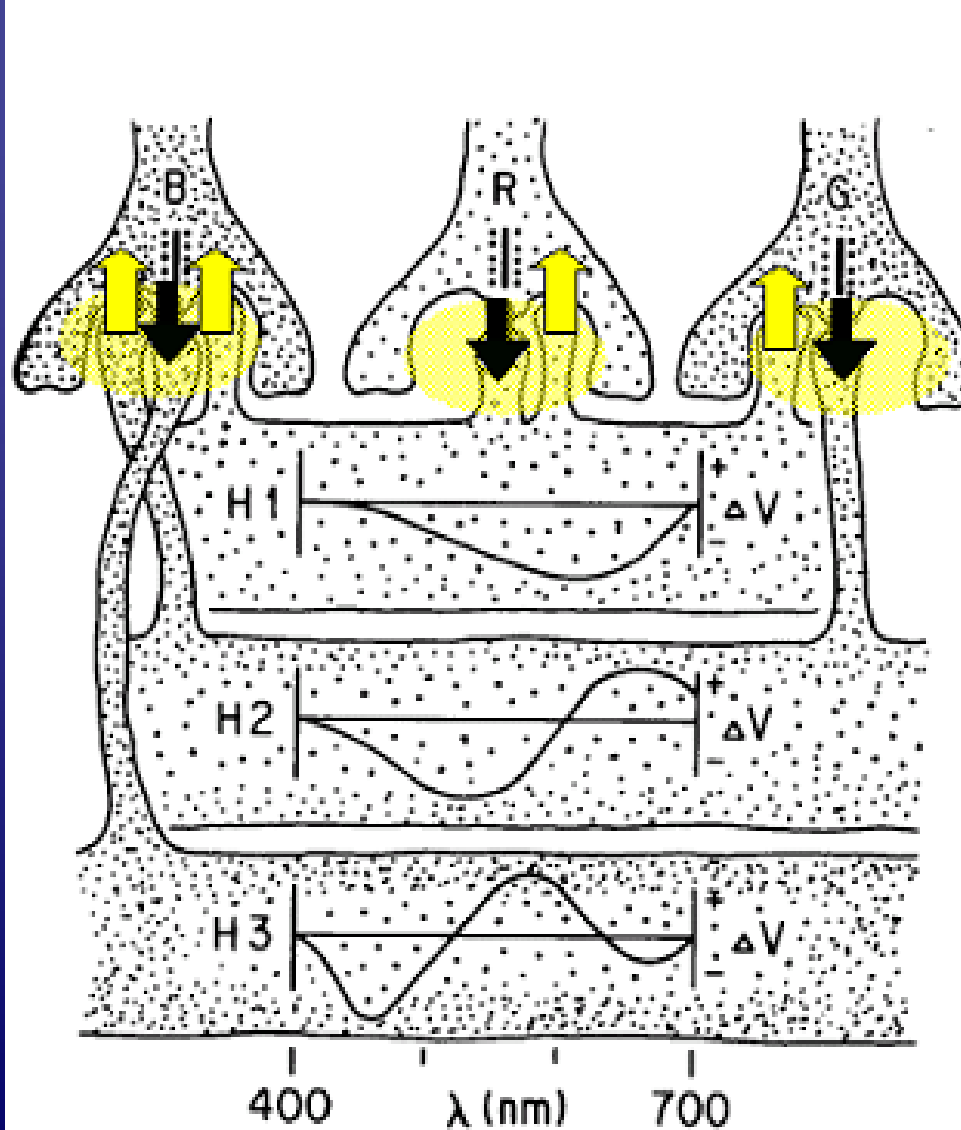


黒矢印: 符号保存  
白矢印: 符号反転

Stell (1975)

# 新たなフィードバック仮説

プロトンによる負帰還



なぜリンゴは赤いのか？ 「リンゴが赤いから」ではありません

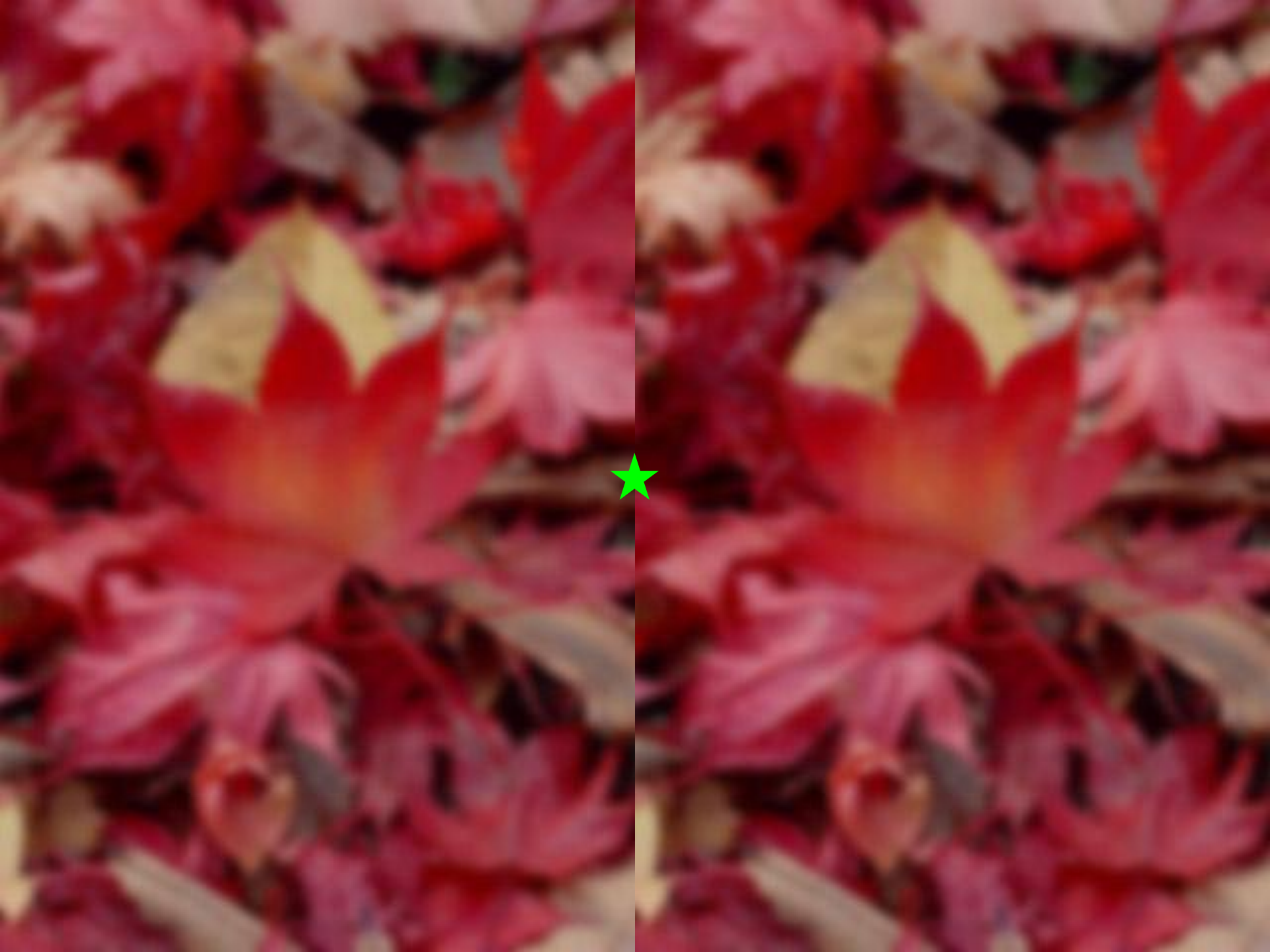


絵の中央をなるべく目を動かさず見てください

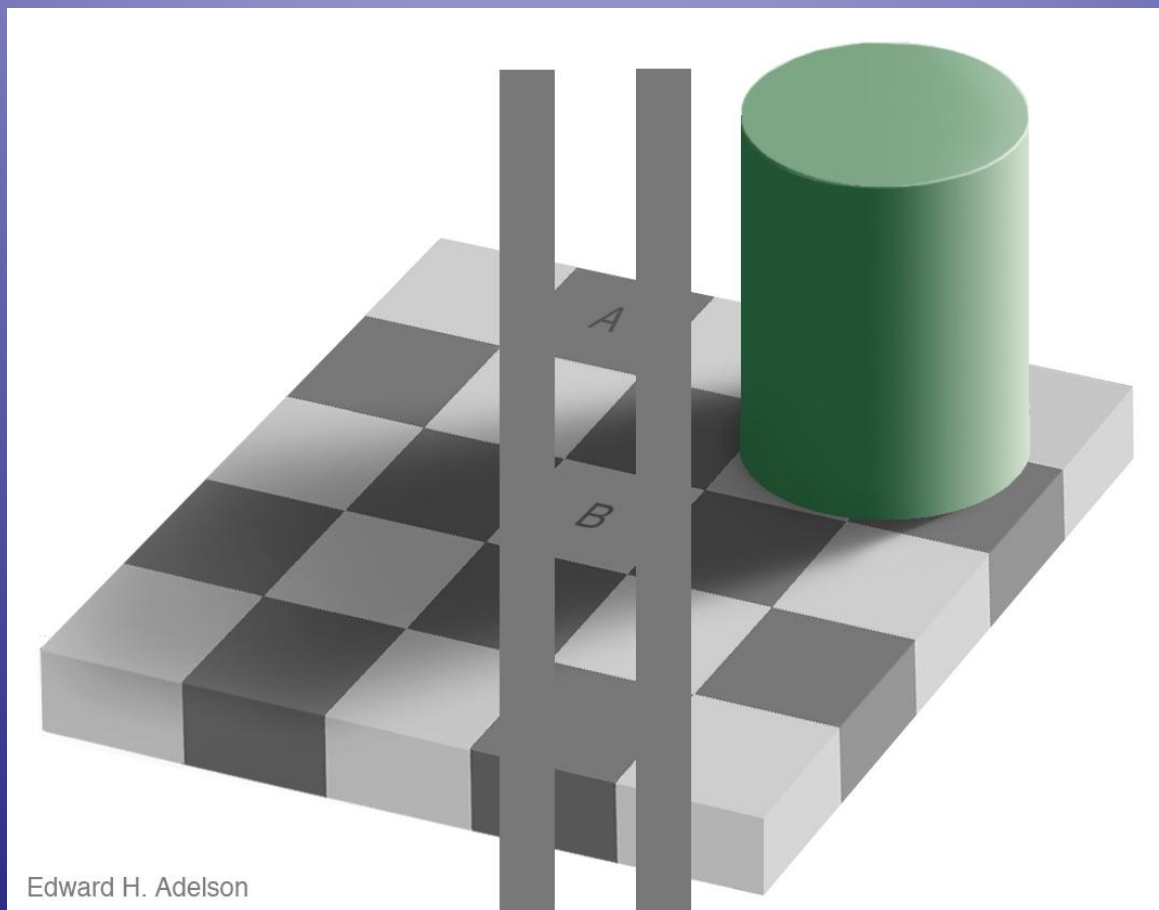
ISO 300



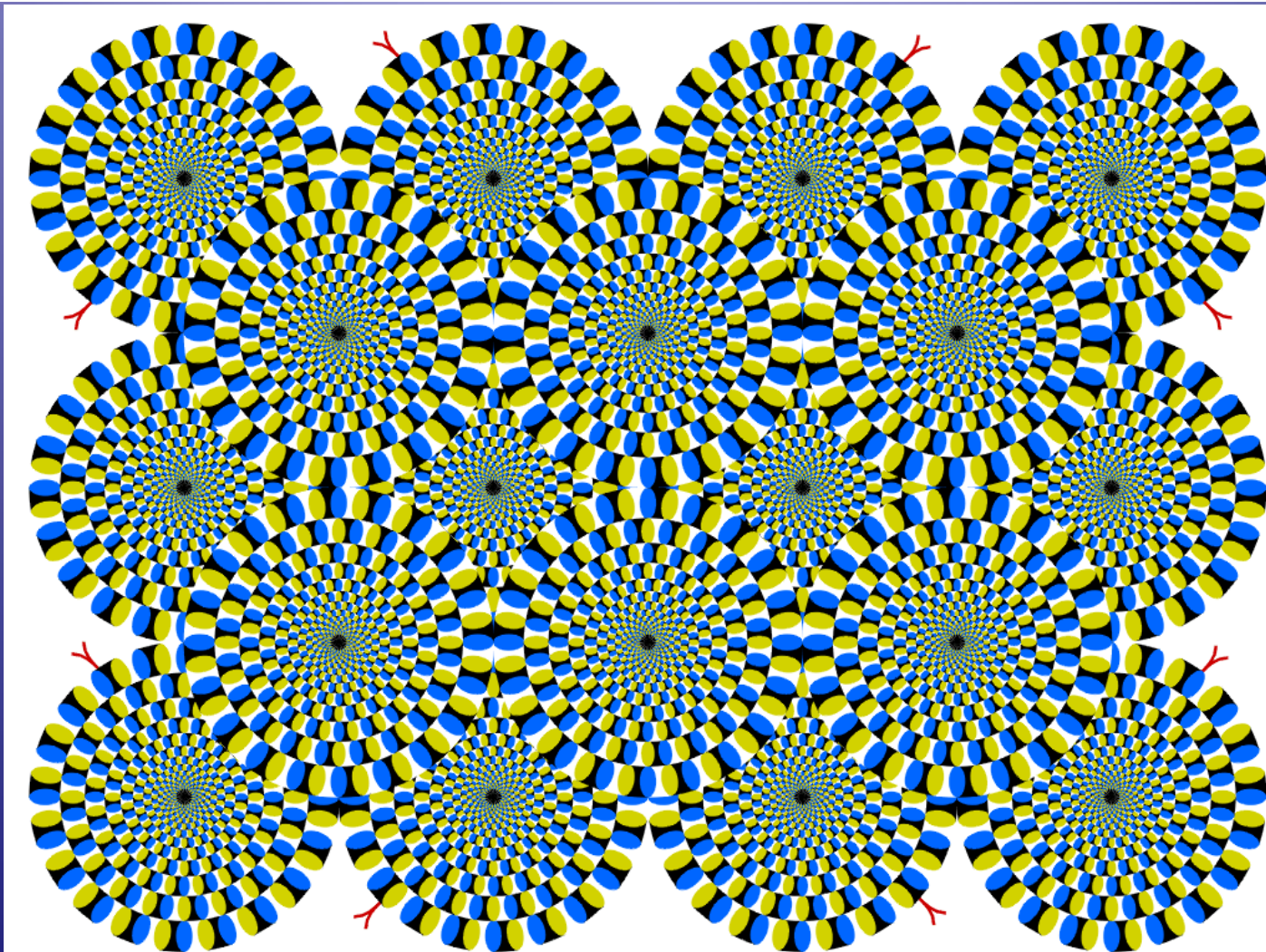




# 影を影として視るということ



# 北岡明佳の錯視のページ

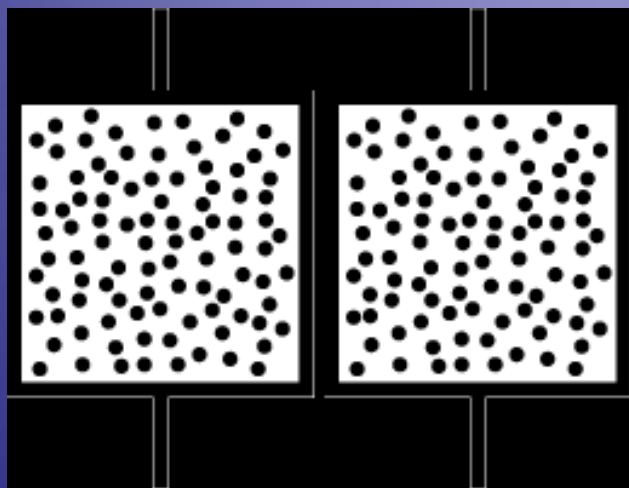


Copyright A.Kitaoka 2003 (September 2, 2003)

<http://www.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/index-j.html>

スーザン・バリー 筑摩選書0008 筑摩書房 2010

# 視覚はよみがえる—3次元のクオリア



ロバート・カーソン: **46年目の光**  
(Crashing Through)

—視力を取り戻した男の奇跡の人生

NTT出版 2009

ロバート・V・ハイン: **視力のない世界  
から帰ってきた** (Second Sight)

晶文社 1997

幼少の頃、内斜視を発症、外科手術で眼位を正す。  
両眼視が出来ないまま成人。40代半ばから視能療法  
を受け、立体視を獲得!!

「おとなのニューロンの可塑性に関する従来の見解は  
かなり視野が狭いが、その要因のひとつに、科学者や  
医師たちが室内実験や臨床治療を設計するときの姿勢  
がある。被験者本人から脳回路だけ切り離して研究し  
ても、ニューロンの可塑性を理解することはできない。  
その人物の環境に対する順応や反応を考慮してはじ  
めて、ほんとうの意味で、人間の脳の驚くべき可塑性を  
探求できる。損傷から回復したり、新しい技能を学んだ  
り、知覚を向上させたり、さらにはあらたな主観的な感  
覚(クオリア)を身につけたりするために、脳は一生の  
あいだ配線を変えつづけるのだ。」 p.227より抜粋

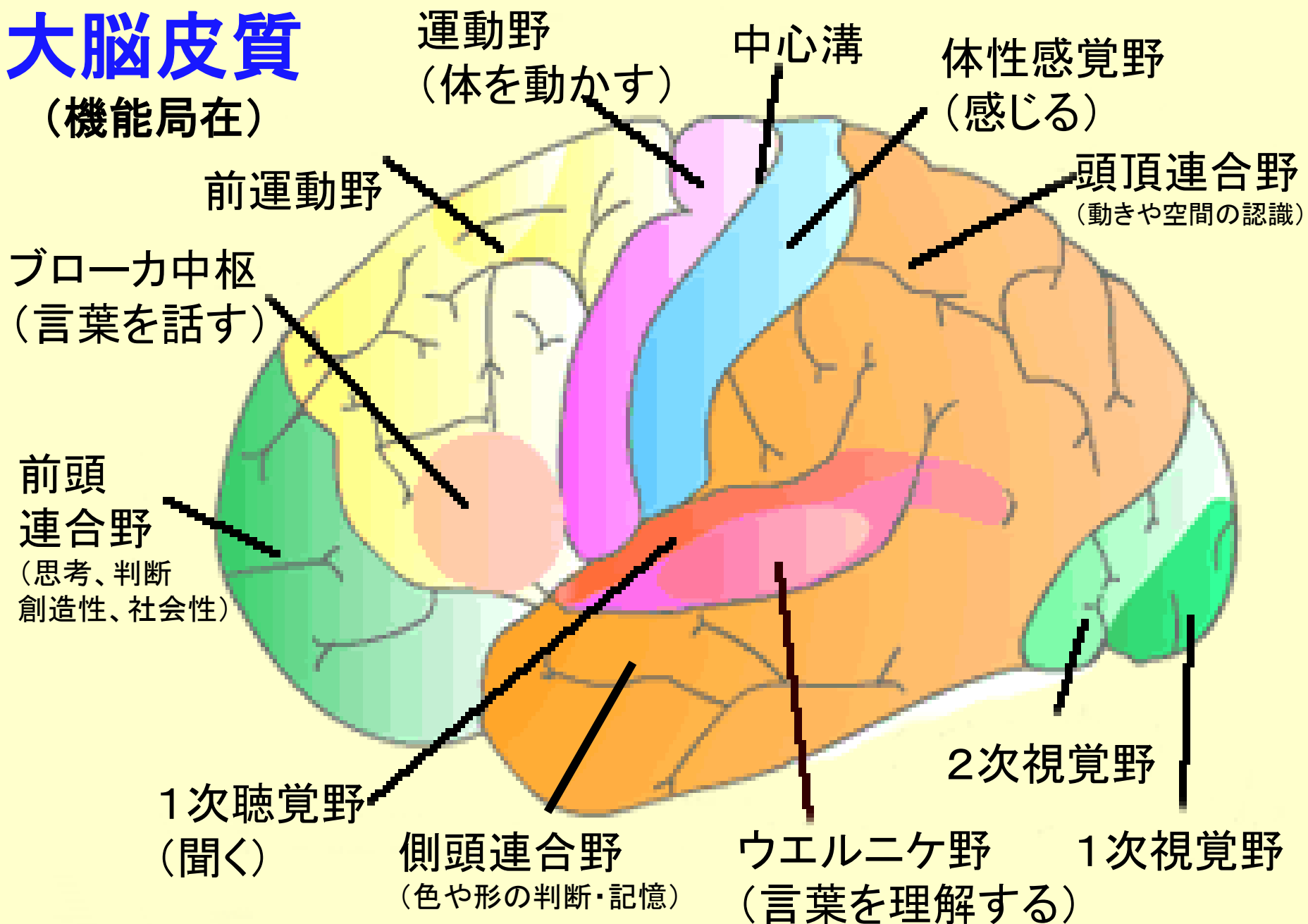
# 脳はどうなっているのか？

- 基本的に神経細胞とそれを支える細胞の集合体で構成されている。
- 人間の大脳皮質でおよそ100億から180億個くらいの神経細胞が存在している。

## 脳の機能局在

脳は場所によって司っている役割が違う。

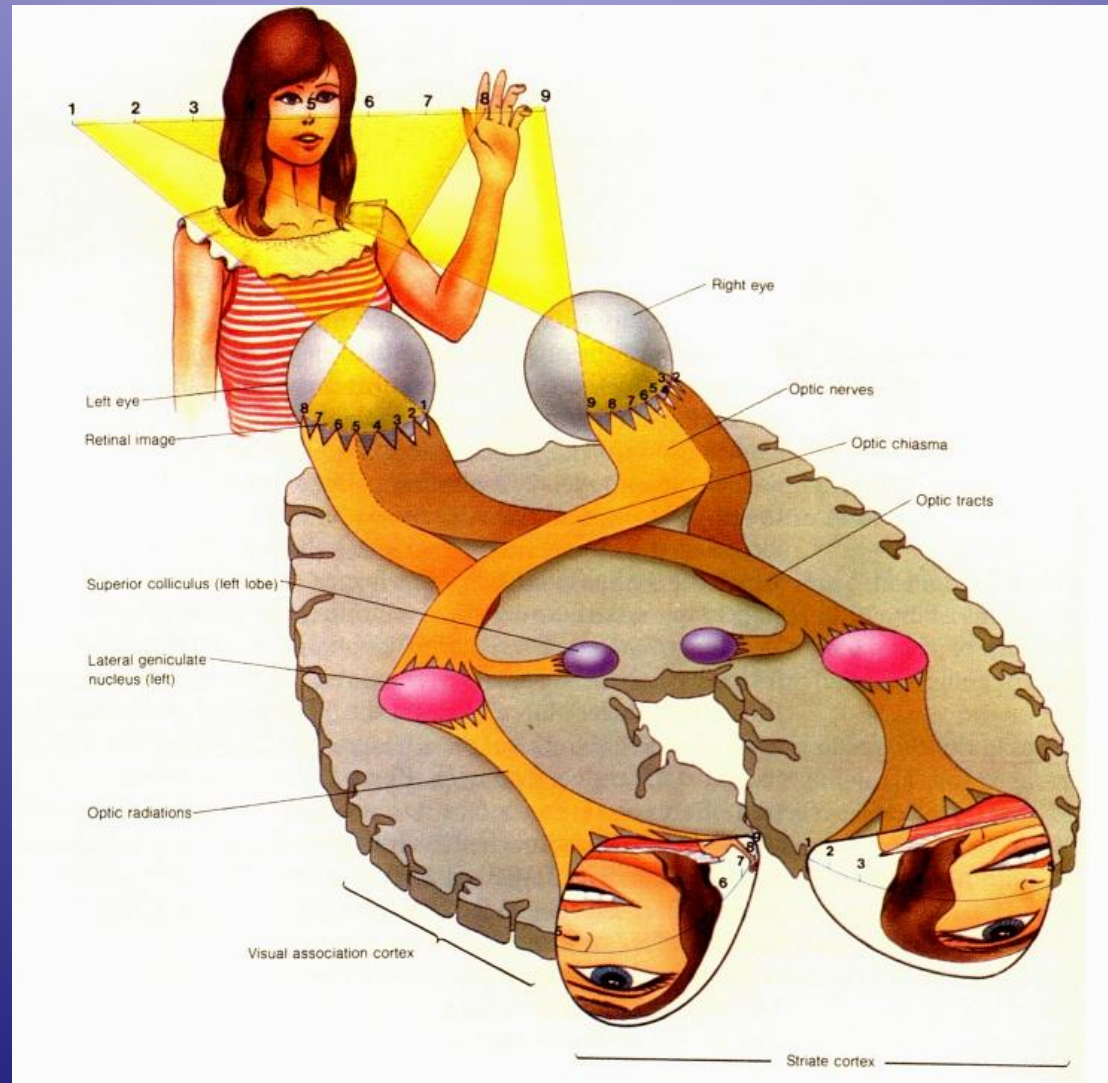
# 大脳皮質 (機能局在)



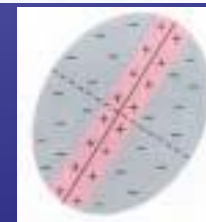
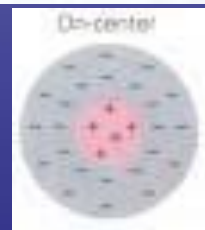
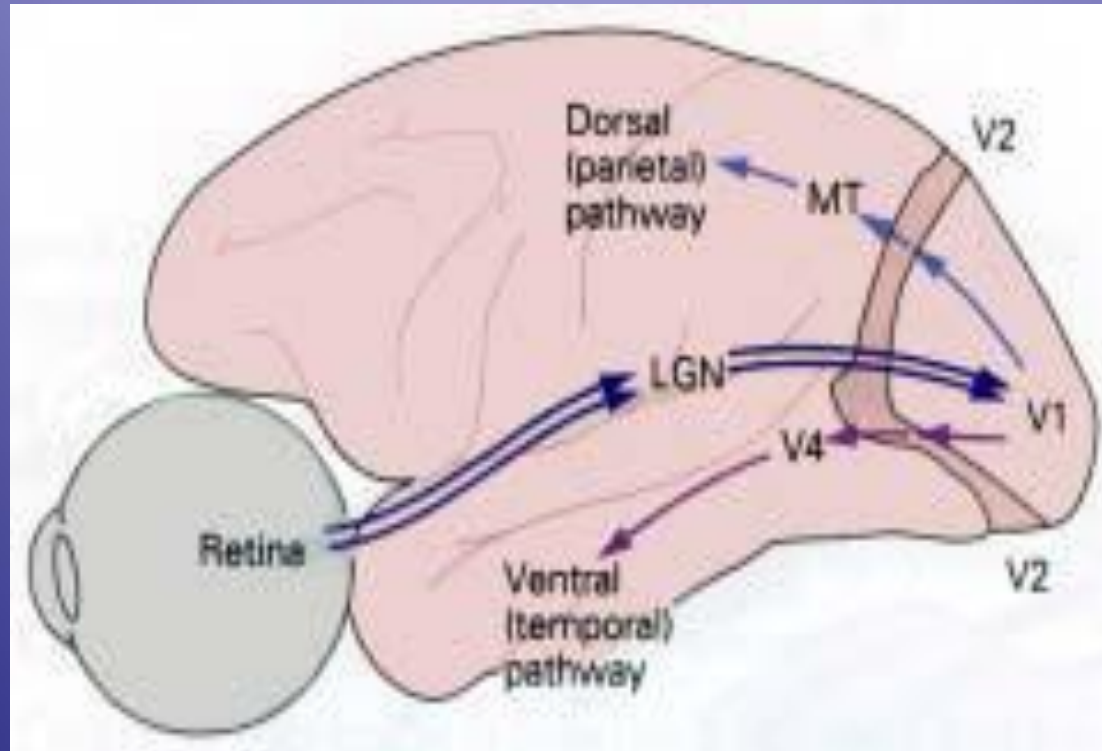
# 第1次視覚野のレチノトピー

眼球Triadシステム：  
調節、輻輳、瞳孔

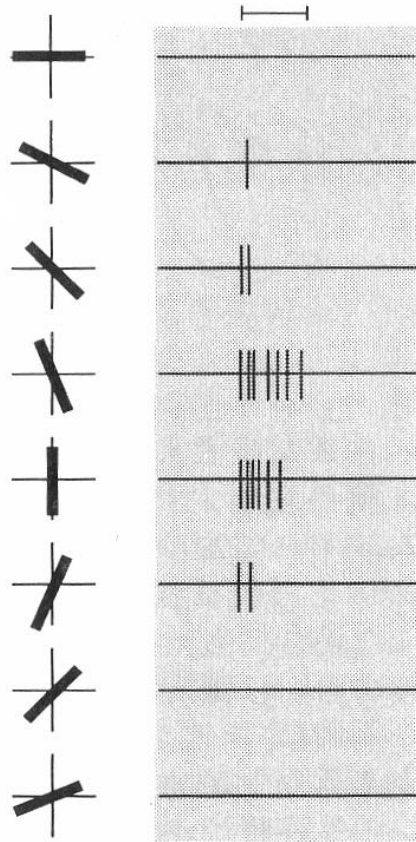
不良設定問題



# 受容野構造: G-cell, LGN, V1

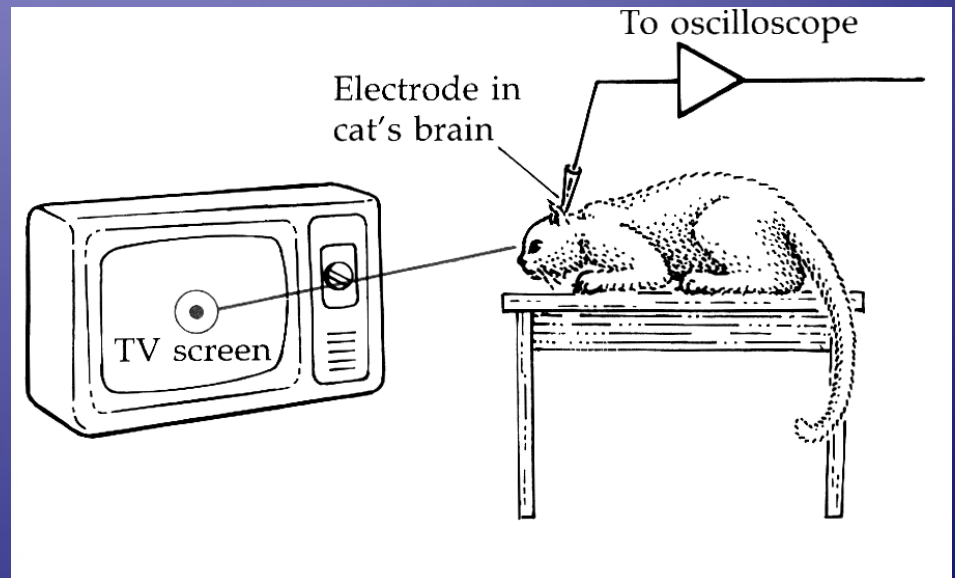


# 第1次視覚皮質の細胞の受容野

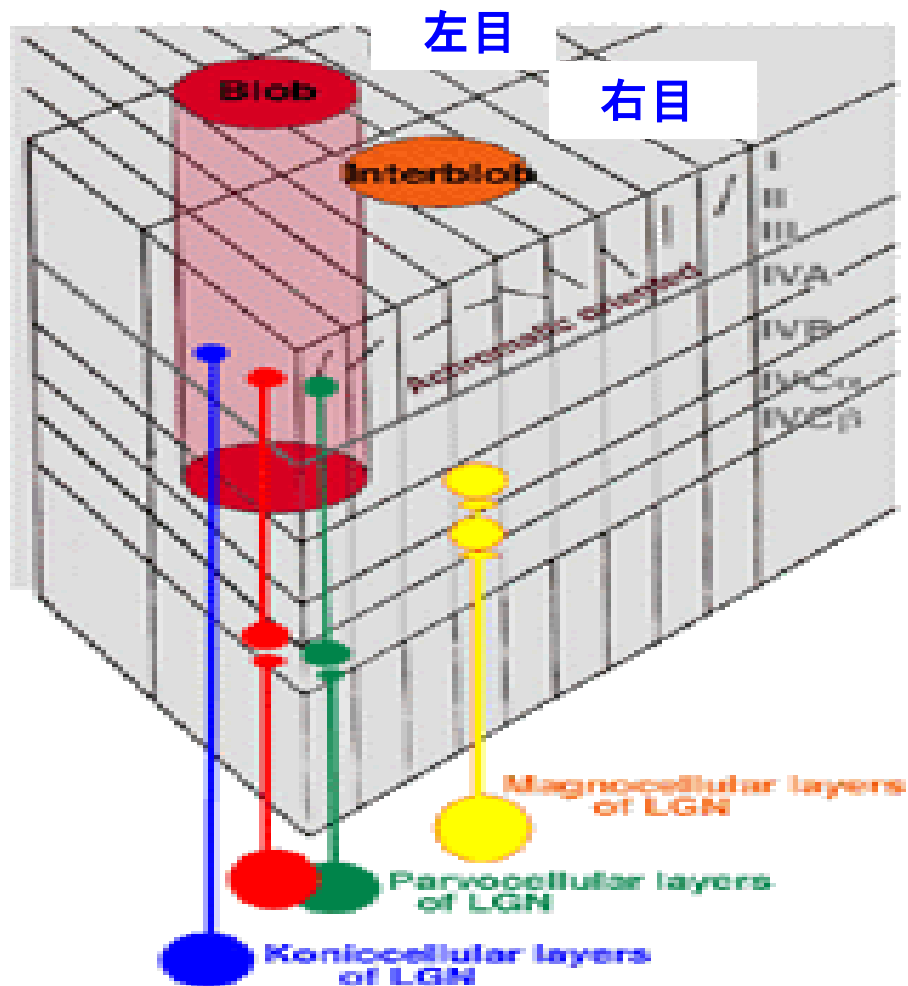


ニューロンの発火

ある方位の線分だけに応答する



# V1のハイパーカラム



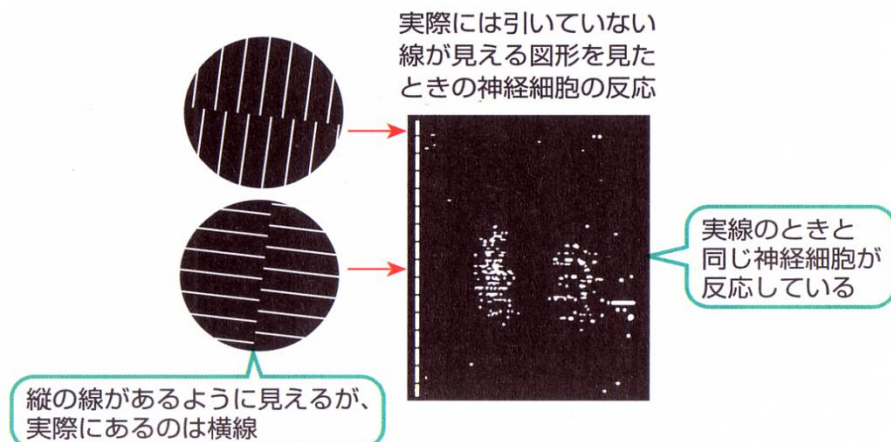
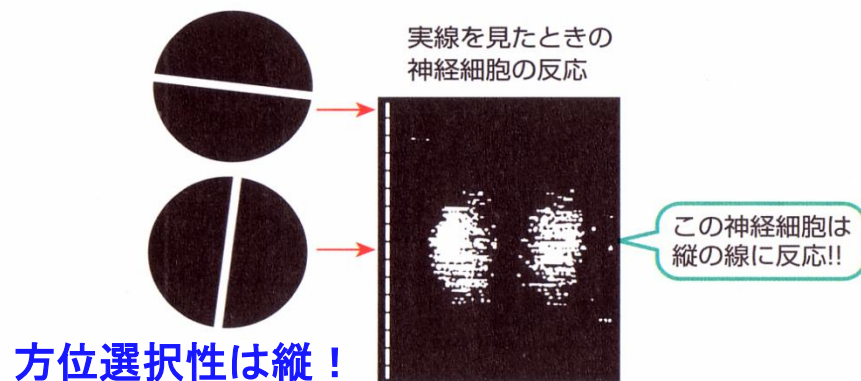
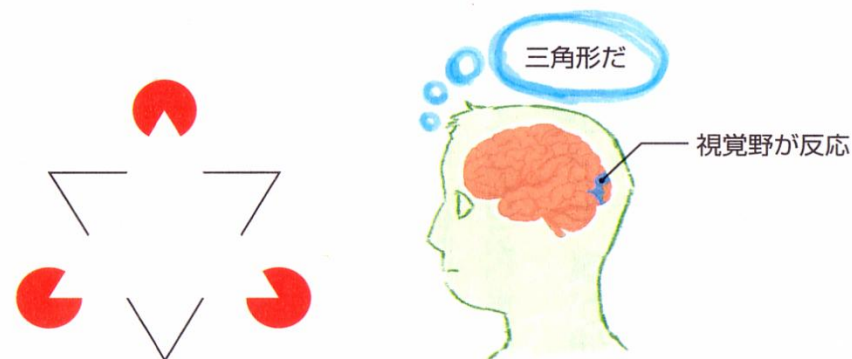
- 方位選択性細胞の集団が並んでいる
- 選択性は連続的に変化するように配列されている

Hubel, D.H. (1988)  
*Eye, Brain and Vision.*

# 第2次視覚野 V2

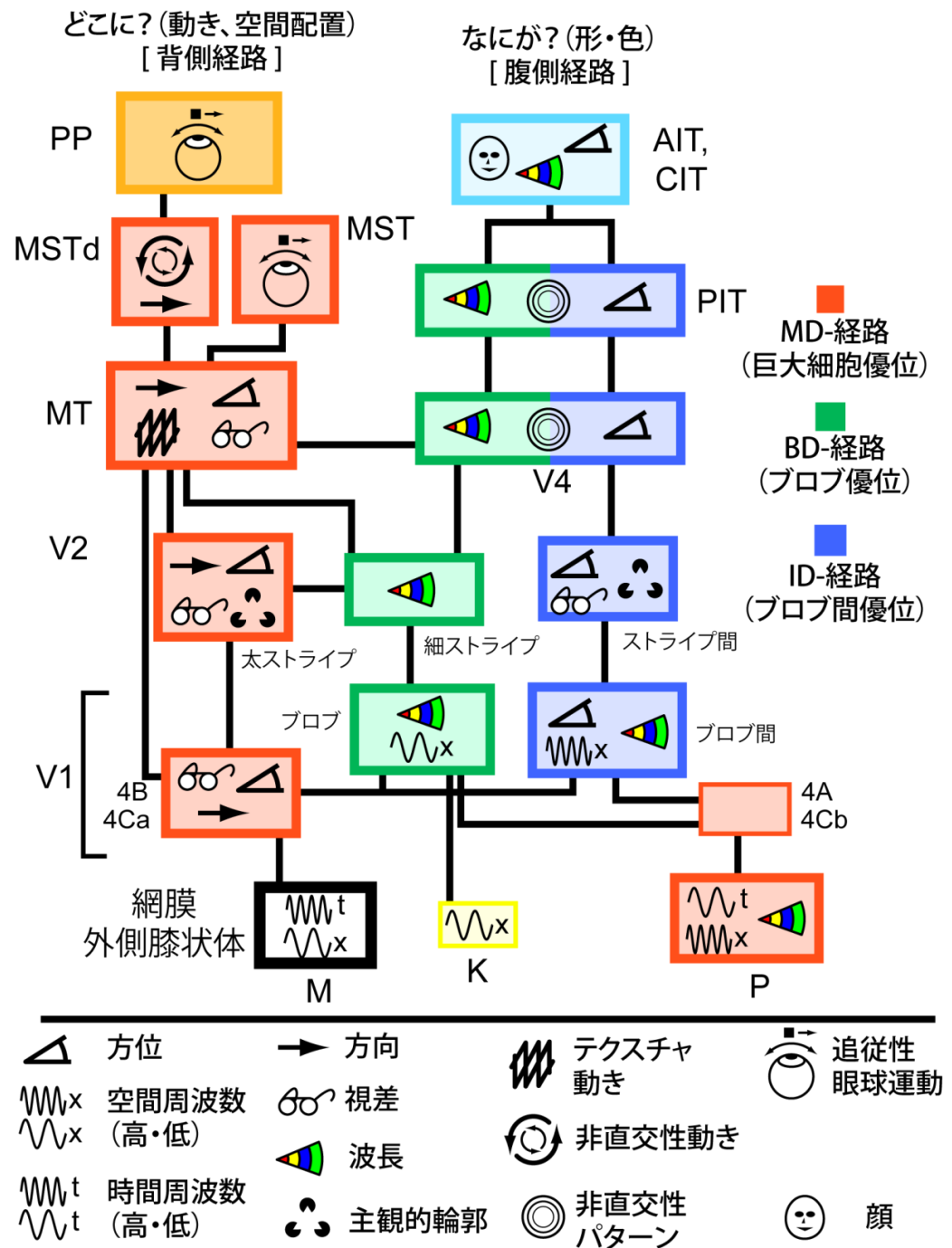
物理的には存在しない  
主観的輪郭に対して活動  
する神経細胞がある。

神経細胞がないはずの輪郭に反応する



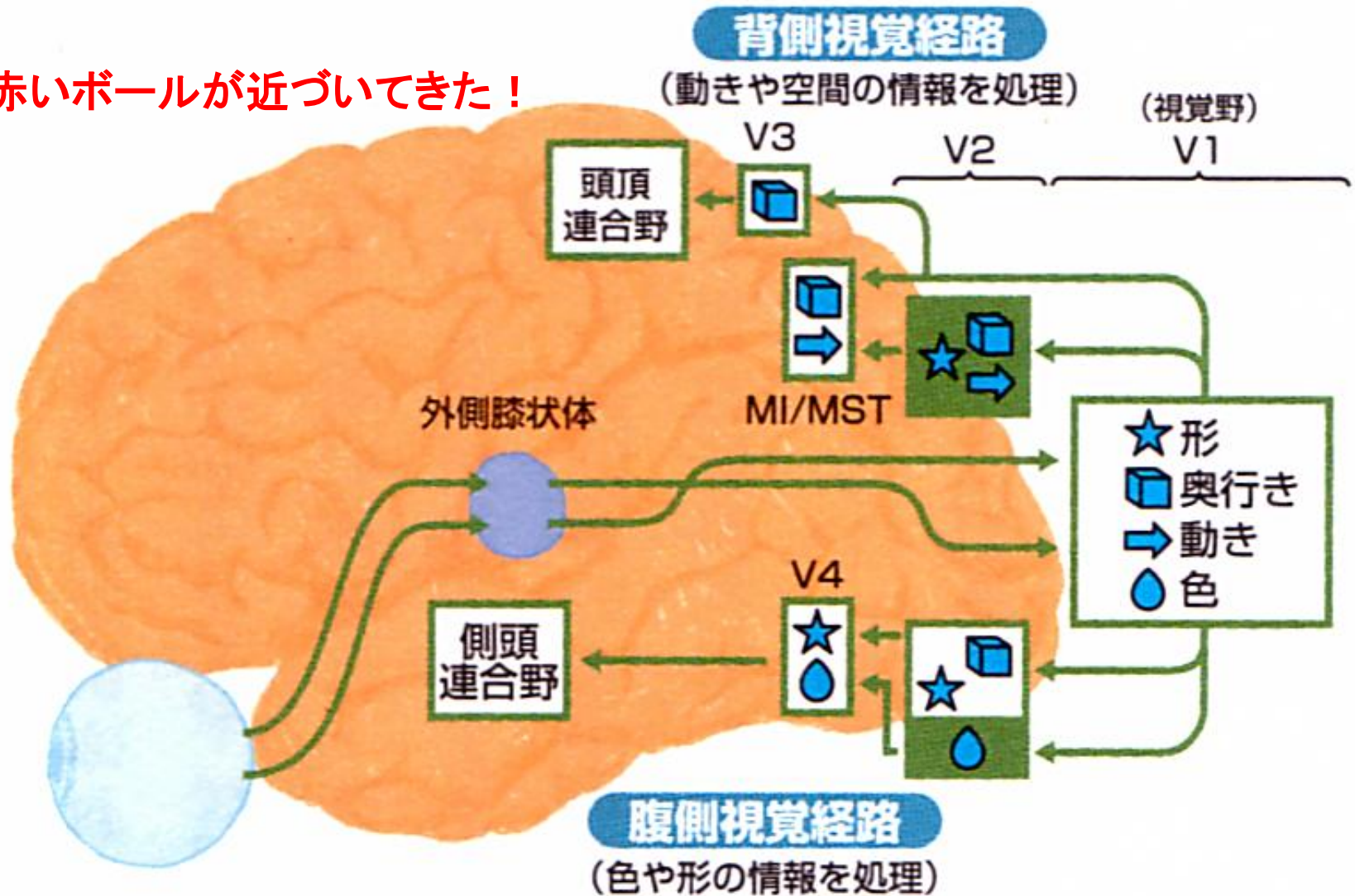
# サル視覚経路

van Essen, D. C., & Gallant, J. L. (1994).  
Neural mechanisms of form and motion  
processing in the primate visual system.  
*Neuron*, 13, 1-10.



## 情報が順次、脳の中で処理される

赤いボールが近づいてきた！



ISO 300

Original



ISO 300

Protanopia



ISO 300

Deuteranopia

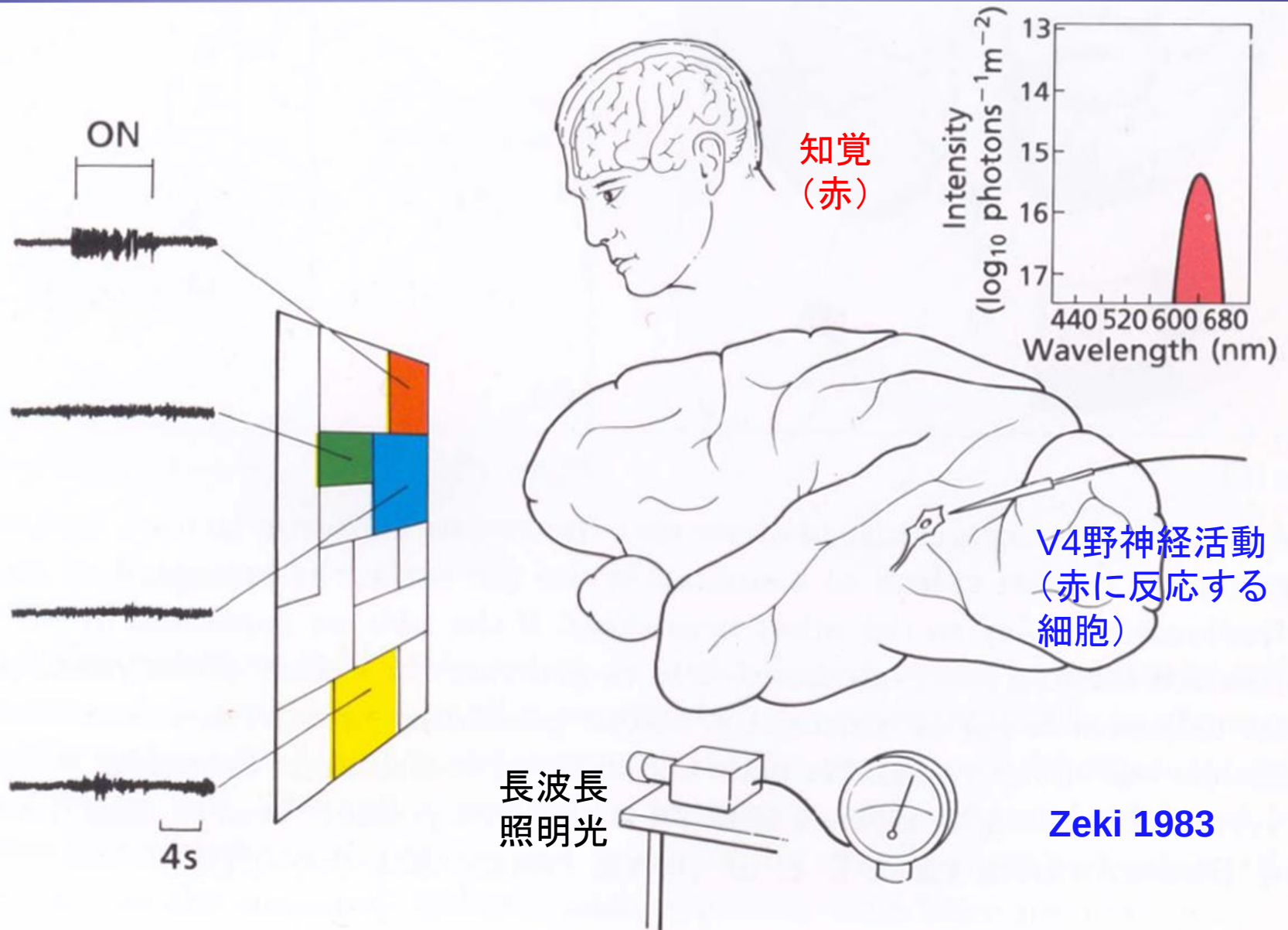


ISO 300

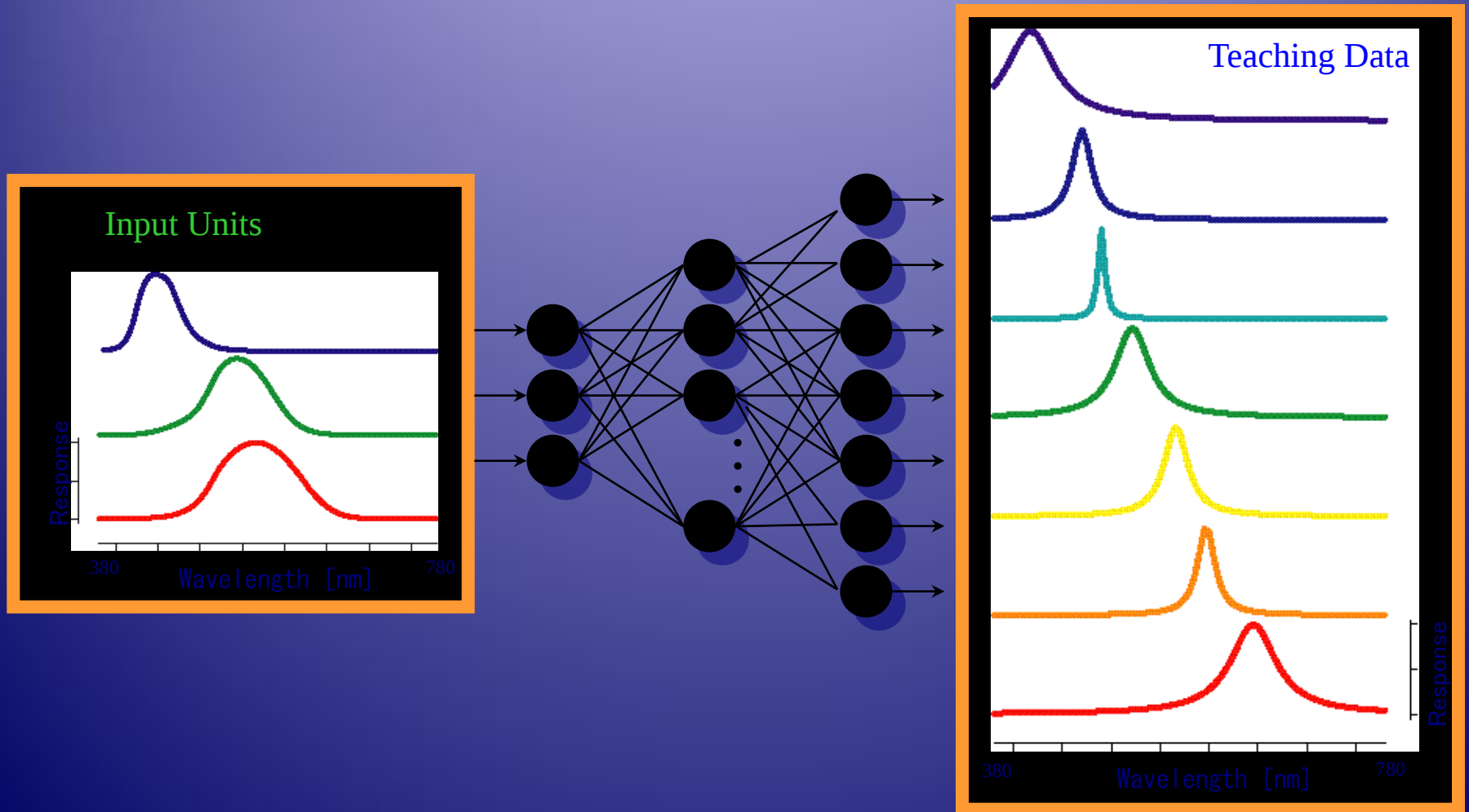
Tritanopia



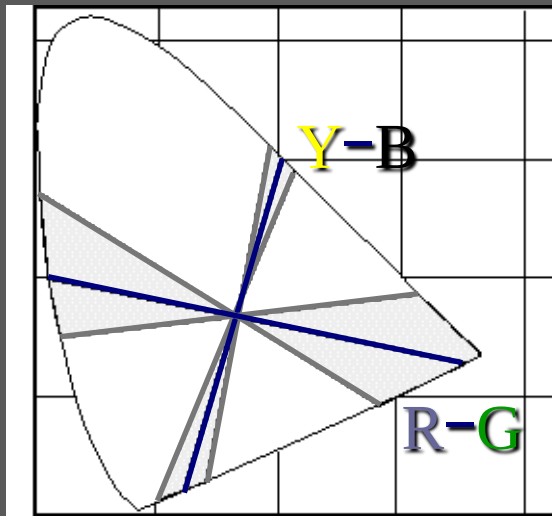
# V4野神経細胞の活動は色知覚と一致する



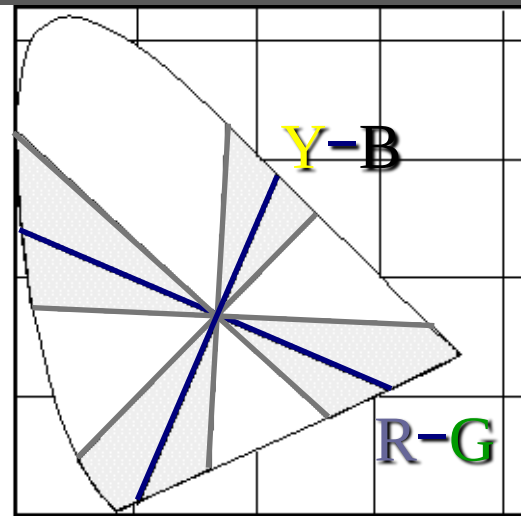
# Color Transformation from Trichromacy to Higher-Order Representation



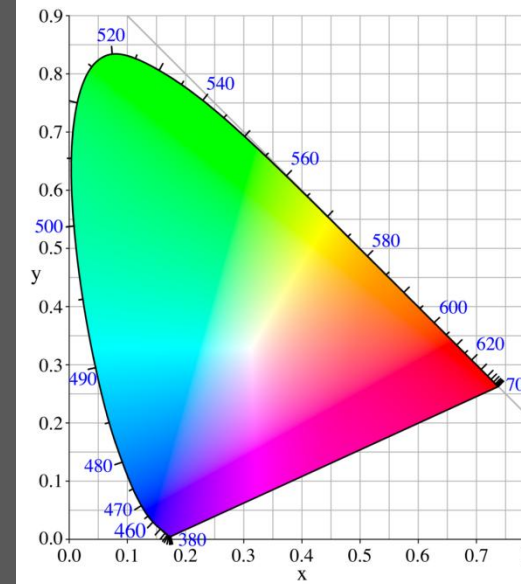
# Acquired Internal Representation (Color Confusion Line)



サル LGN Neurons

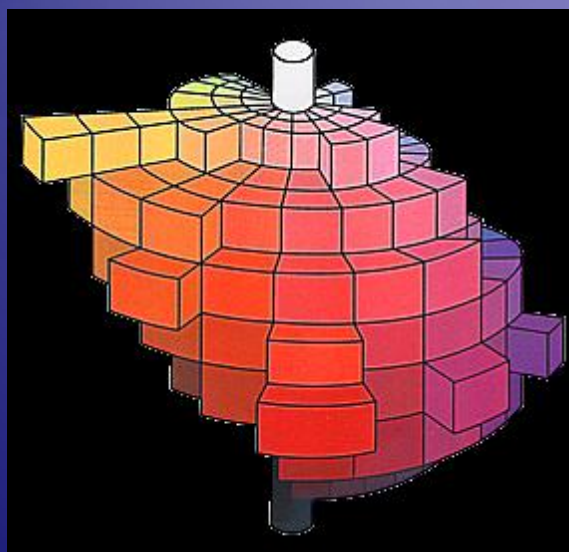


Hidden Units

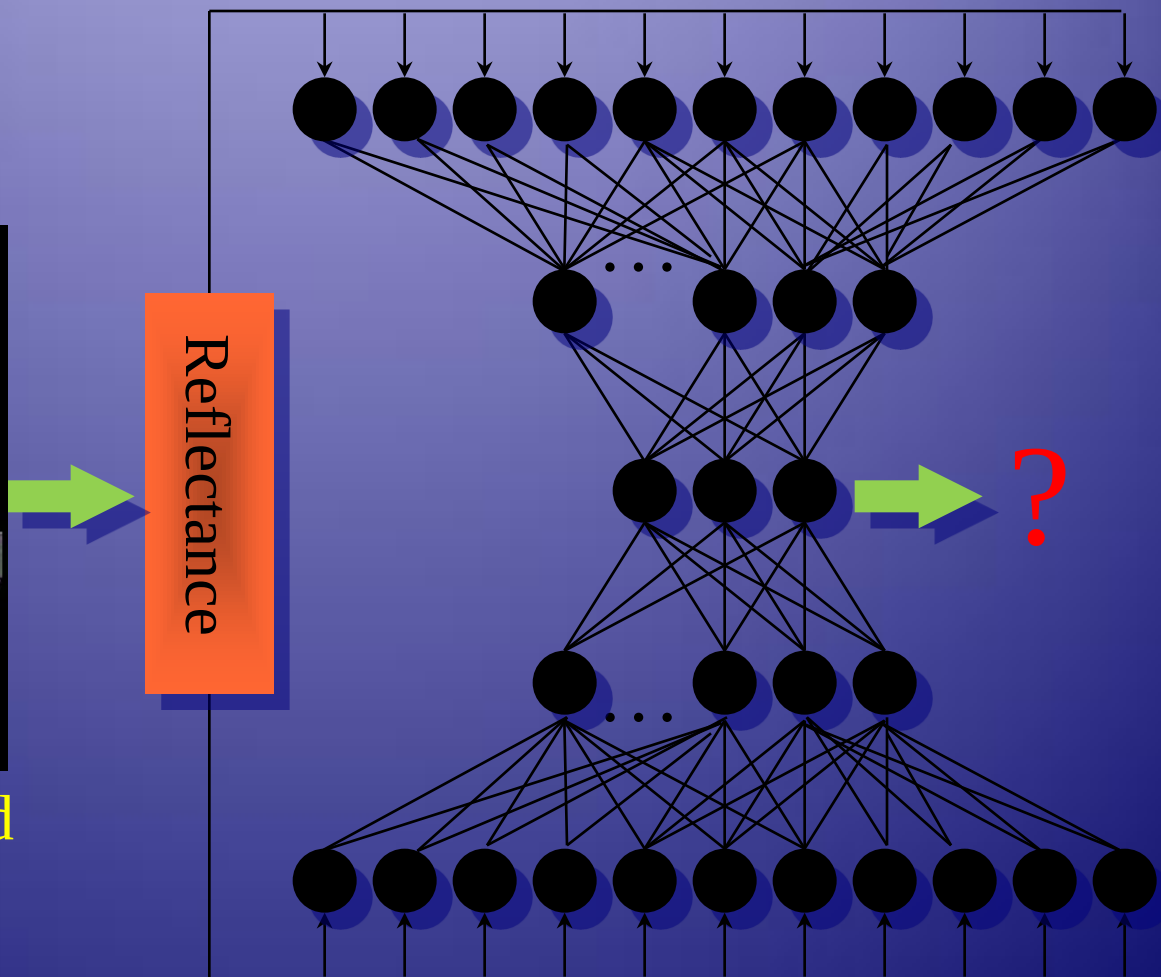


Hidden units acquired Color-Opponent Representation

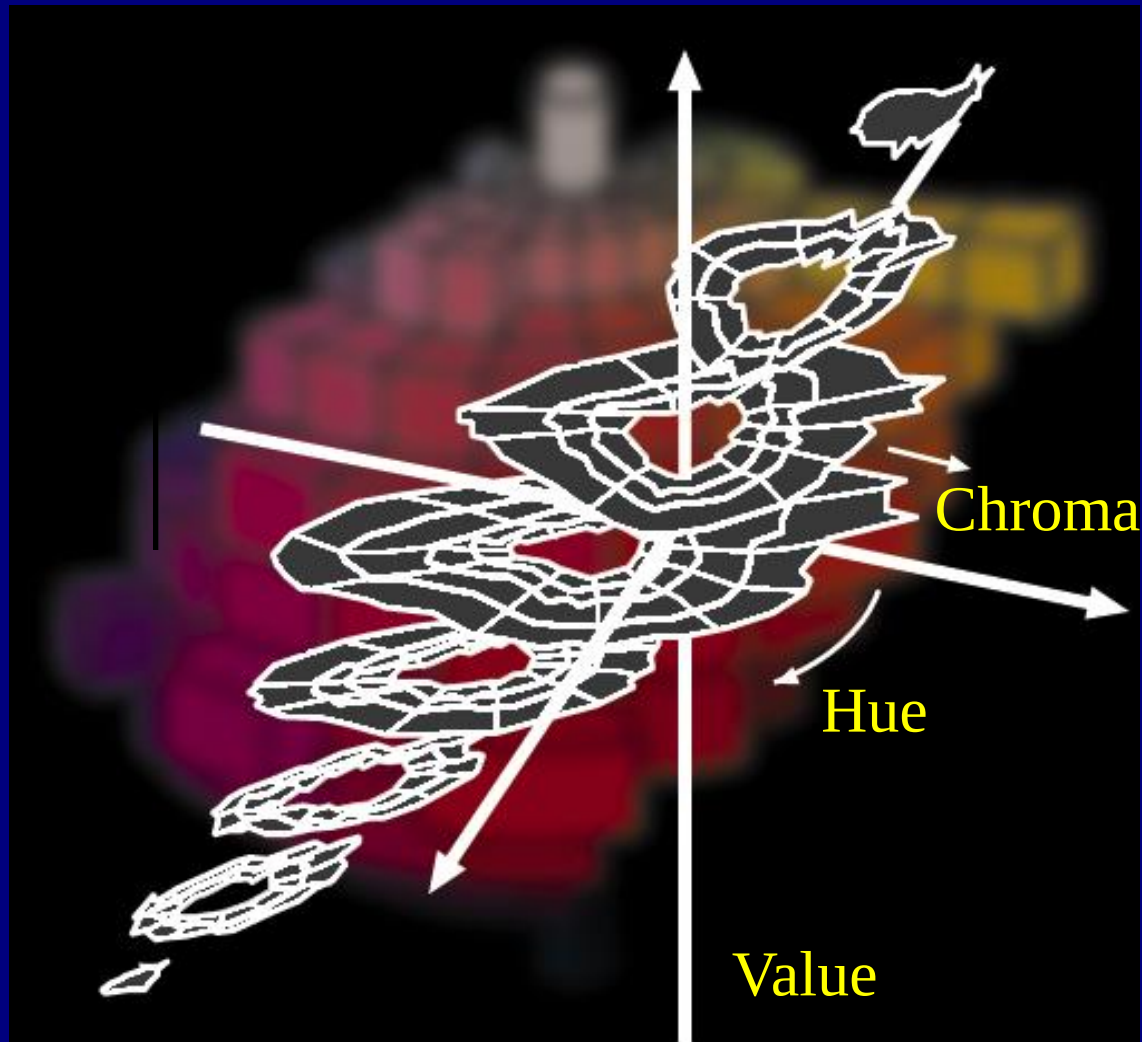
# Nonlinear Compression of Surface Reflectance of Munsell Color Chips



Munsell Color Solid

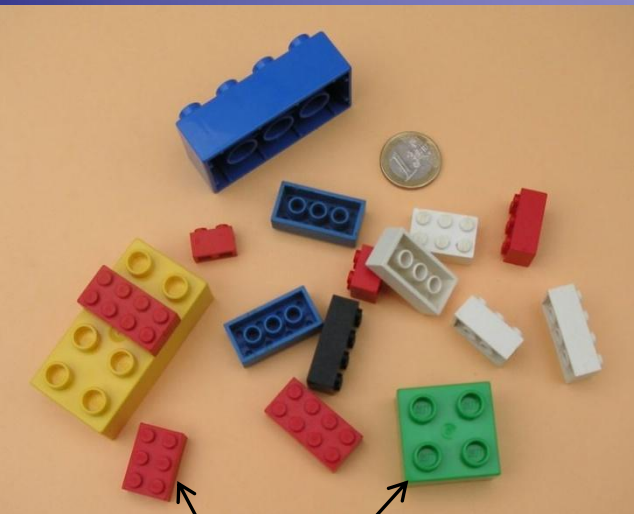


# Acquired Internal Representation



# How do we develop a large scale model?

## Small models



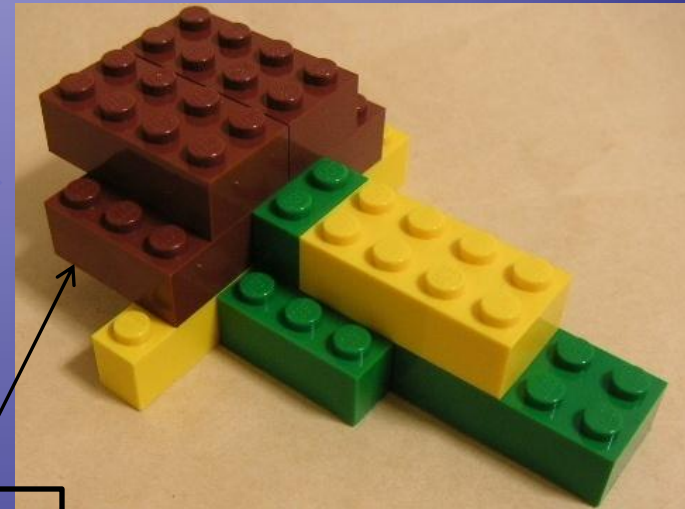
parts

integrate!

We should share

- data format
- source code
- I/O data
- parameters
- hardware

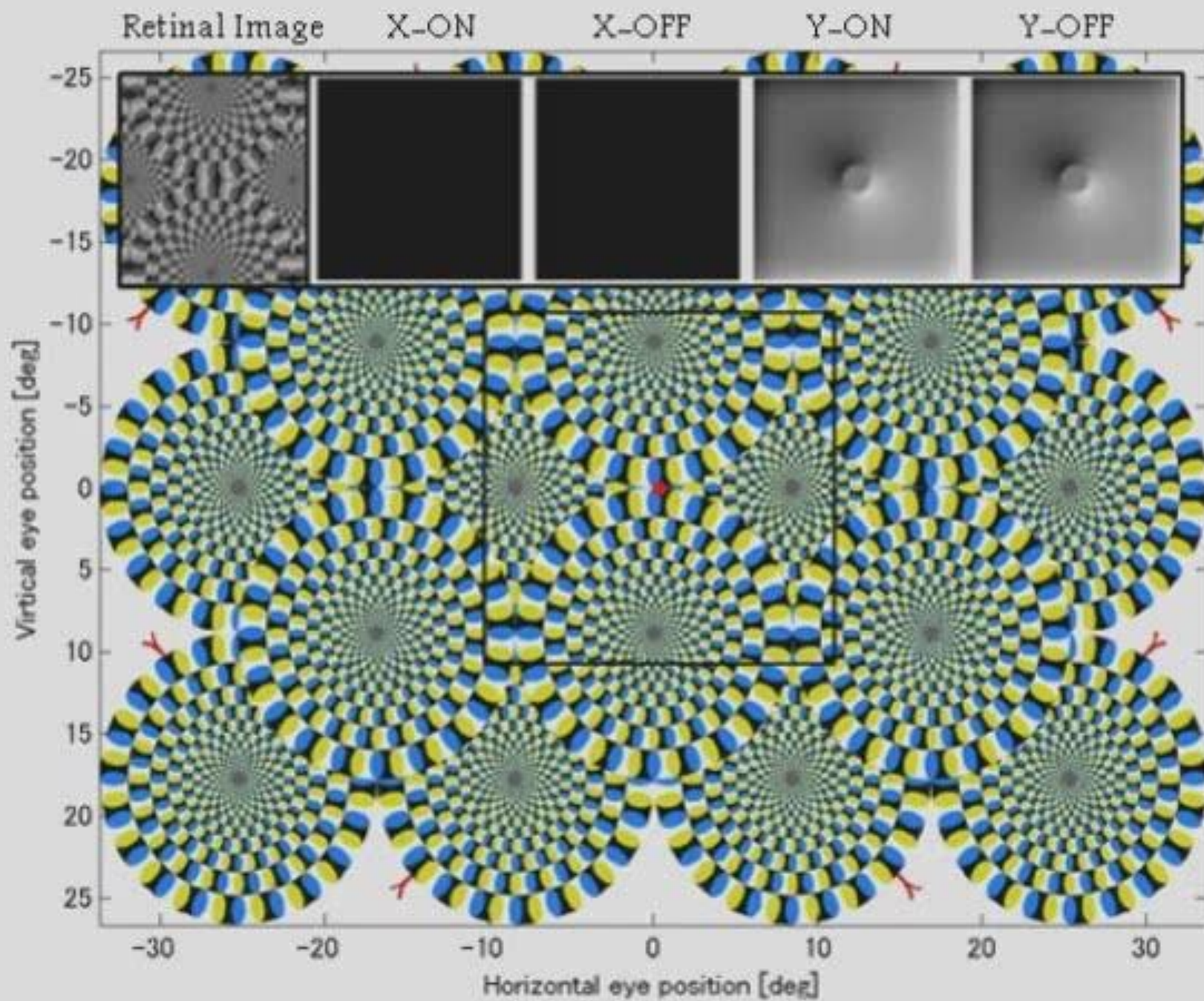
## Large scale model

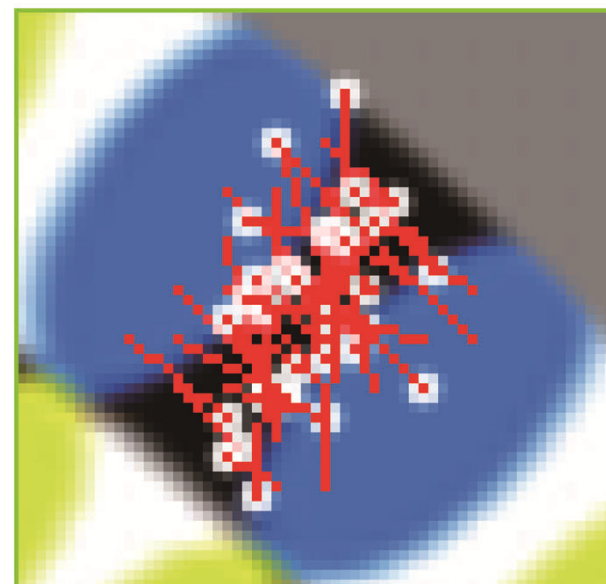
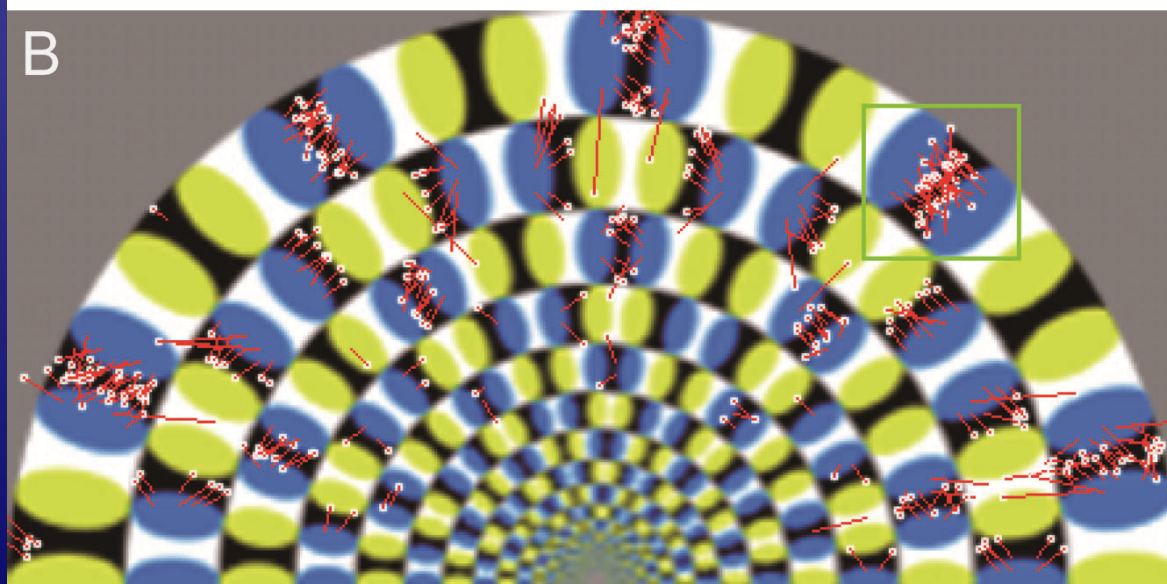
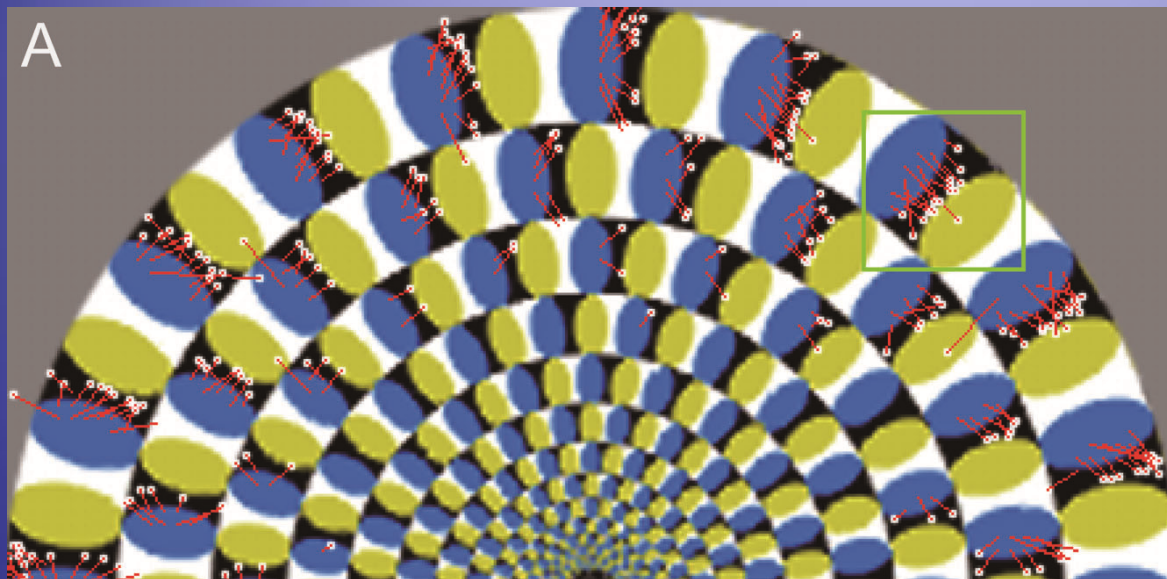


plug in  
module

- realistic level
- computational level
- functional level
- abstract level

We proposed **PLATO** environment  
(Platform for collaborative brain system modeling)





# 視覚ノート

「見える」ことの不思議さ 見えるとは？

デジタルカメラ・テレビと視覚系

絞り、ピント、手振れ防止→ High Speed、顔認識、3D、画像連結、

レンズ・CCD＋処理＋デジタル符号化→送信/ファイル→復号・処理＋モニタ  
モニタ画面→眼光学系→網膜→視神経→視覚中枢処理→知覚(見えた！)

○見えている視空間はカメラで撮影した画像とは異なる

○見えている世界は網膜像をそのまま見ているのではなく、網膜から得た情報に基づいて脳内で処理された情報を知覚している

○人間が生活する空間で活動に都合良く視空間を構成している

**視空間は経験や発達によって形成される!! 楽しみ、感動するのは皆さん！**

○恒常性 (モノの) 大きさ、形、色、

○無いものが見える: 主観的輪郭など、→ 錯視

○盲点、Blind Sight (上丘経由の神経活動は知覚を伴わない)

○知覚(主観的に見えている)情報と神経活動の対応

○ミラーニューロン Lizzolatti (パルマ大) 前頭葉F5領域

○視線、眼球運動、固視微動、しかし世界は動かない！

**安定した外界の中に自分が居る！**

## 推薦書の例

視覚の分野には、膨大な書籍がありますが、一般向けに判りやすく書かれた最近の本です。

藤田一郎 **「見る」とはということか**—脳と心の関係をさぐる  
Dojin選書7 化学同人 2007

北岡監修 **知覚は幻—ラマチャンドランが語る錯視の脳科学**  
別冊日経サイエンス 2010

スーザン・バリー **視覚はよみがえる—3次元のクオリア**  
筑摩選書 筑摩書房 2010

音の分野も非常によく似ていて、視覚との違いも述べた素晴らしい本です。

柏野牧夫 **音のイリュージョン**—知覚を生み出す脳の戦略  
岩波科学ライブラリー168 2010

# The END