

心理物理学による 視覚研究とその応用

- | | |
|-----------|-------------------|
| 1. 人間の視知覚 | Visual Perception |
| 2. 心理物理学 | Psychophysics |
| 3. 応用 | Applications |



篠田 博之
立命館大学

情報理工学部

しのだひろゆき 情報理工学部 情報理工学科 知能情報コース
篠田 博之 ヒューマンビジョン&カラーサイエンス研究室

視覚情報処理、心理物理学、色彩工学、視環境工学、法心理学

東工大 理学部 物理学科 (原子核理論)

東工大 大学院 修士 物理情報工学 (視覚情報処理/心理物理学)

京都大 大学院 博士 建築学 (視環境工学/色彩工学)

立命館大学

理工学部 電気電子工学科

電子光情報工学科

情報理工学部 知能情報学科



R-GIRO (Ritsumeikan Global Innovation Research Organization) 法心理・司法臨床センター

拠点リーダー

政策科学部政策科学科 教授

稲葉 光行 (写真 左中)

グループリーダー

文学部心理学域 教授

サトウタツヤ* (写真 左)

法務研究科(法科大学院) 教授

松本 克美 (写真 中央)

産業社会学部現代社会学科 教授

中村 正 (写真 右中)

情報理工学部知能情報学科 教授

篠田 博之 (写真 右)



1. サトウタツヤ(文学部)グループ
法心理の原理探求と新領域展開

2. 稲葉光行(政策科学部)グループ
裁判員裁判の法心理

3. 松本克美(法務研究科)グループ
被害者支援

4. 中村正(産業社会学部)グループ
司法臨床と治療的司法

5. 篠田博之(情報理工学部)グループ
視知覚に関する心理学鑑定の技術と法理

明所視、暗所視、薄明視

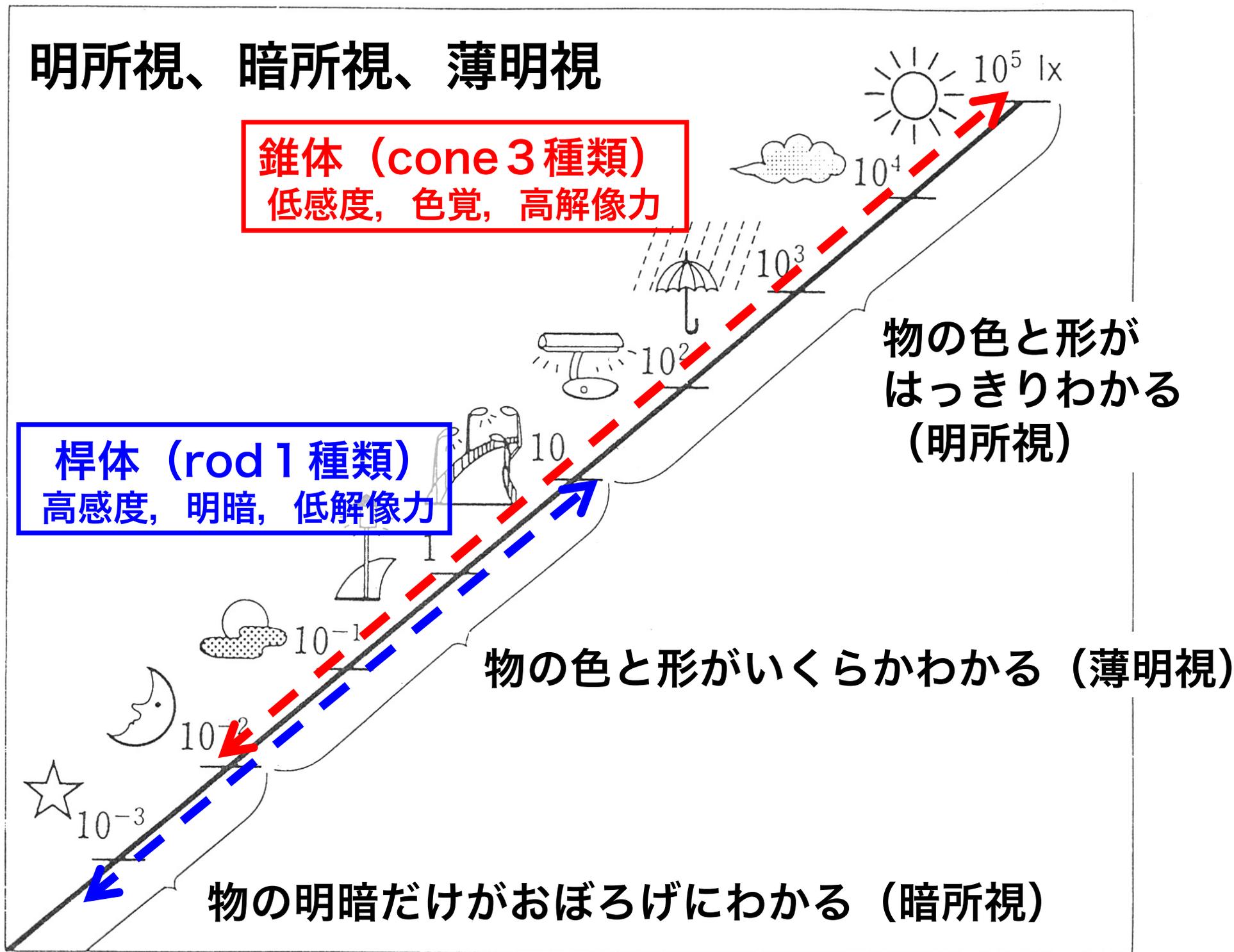
錐体 (cone 3種類)
低感度, 色覚, 高解像力

桿体 (rod 1種類)
高感度, 明暗, 低解像力

物の色と形が
はっきりわかる
(明所視)

物の色と形がいくらかわかる (薄明視)

物の明暗だけがおぼろげにわかる (暗所視)

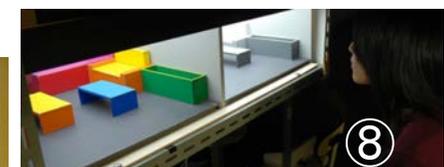
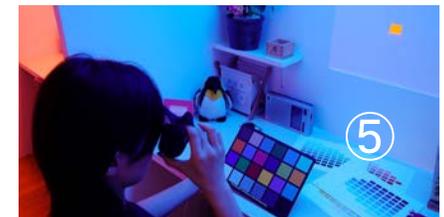


ヒューマンビジョン研究室 Human Vision & Color Science Lab.

教員：篠田博之 分野：視覚情報処理，心理物理学，色彩工学，法心理学

<http://www.hvcs.ci.ritsumeai.ac.jp/>

- ① 大脳による視力制御（ぼけ順応と視力上昇）
- ② 熟練者の視覚（スポーツ・ゲーム・自動車運転）
- ③ 視覚誘導性自己運動知覚（高臨場感・映像酔い）
- ④ 次世代ディスプレイ画像評価指標（防眩性・色ズレ）
- ⑤ 色順応とディスプレイカラーマネージメント
- ⑥ 多様な色覚（色覚バリアフリーソフト・照明）
- ⑦ 高齢者の視覚（白内障簡易測定法・高齢者用照明）
- ⑧ 新しい空間の明るさ感尺度（窓効果・色効果）
- ⑨ 新しい照明制御手法（連続感照明，CWライティング）
- ⑩ デジタルカメラによる色彩分布計測（三次元・分光）
- ⑪ 法心理学における視覚科学（視環境と目撃証言）



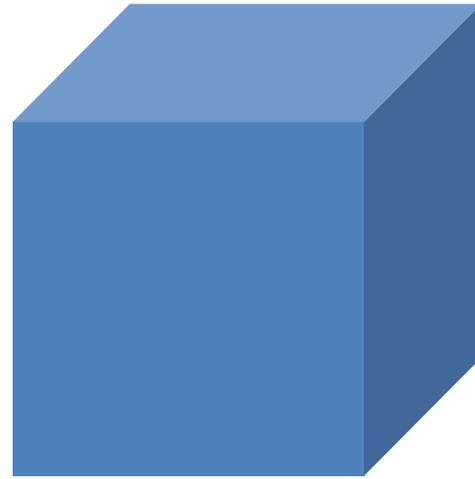
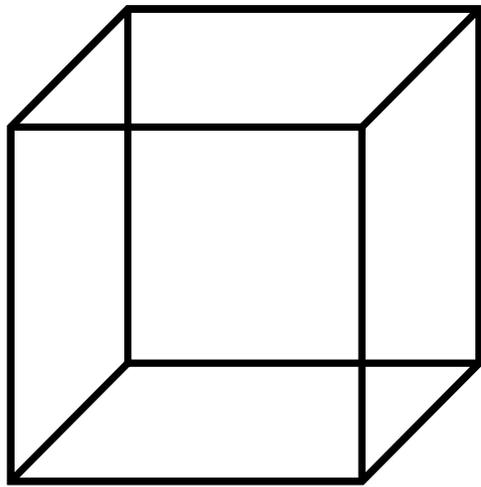
1. 人間の視知覚 Human Visual Perception

「知覚 = 外界そのものを知ること」と考えると...

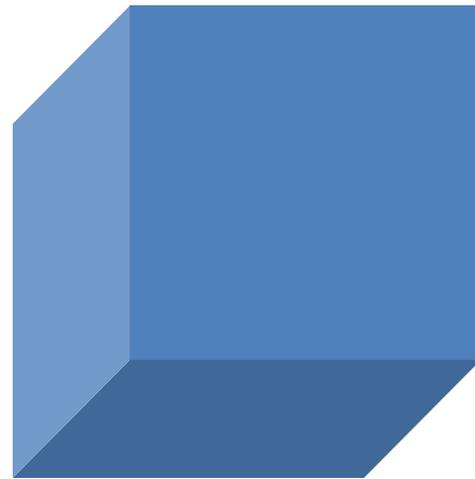
- 不良設定問題 (bottom-up) + 行動のための時間的制約
- 学習や経験を用いた暫定解 (top-down)
- 暫定解に基づいて行動 (action)
- 行動により新たな情報 (bottom-up) → 修正解 (update)

「知覚世界 ≠ 外界 (客観的・物理的)」

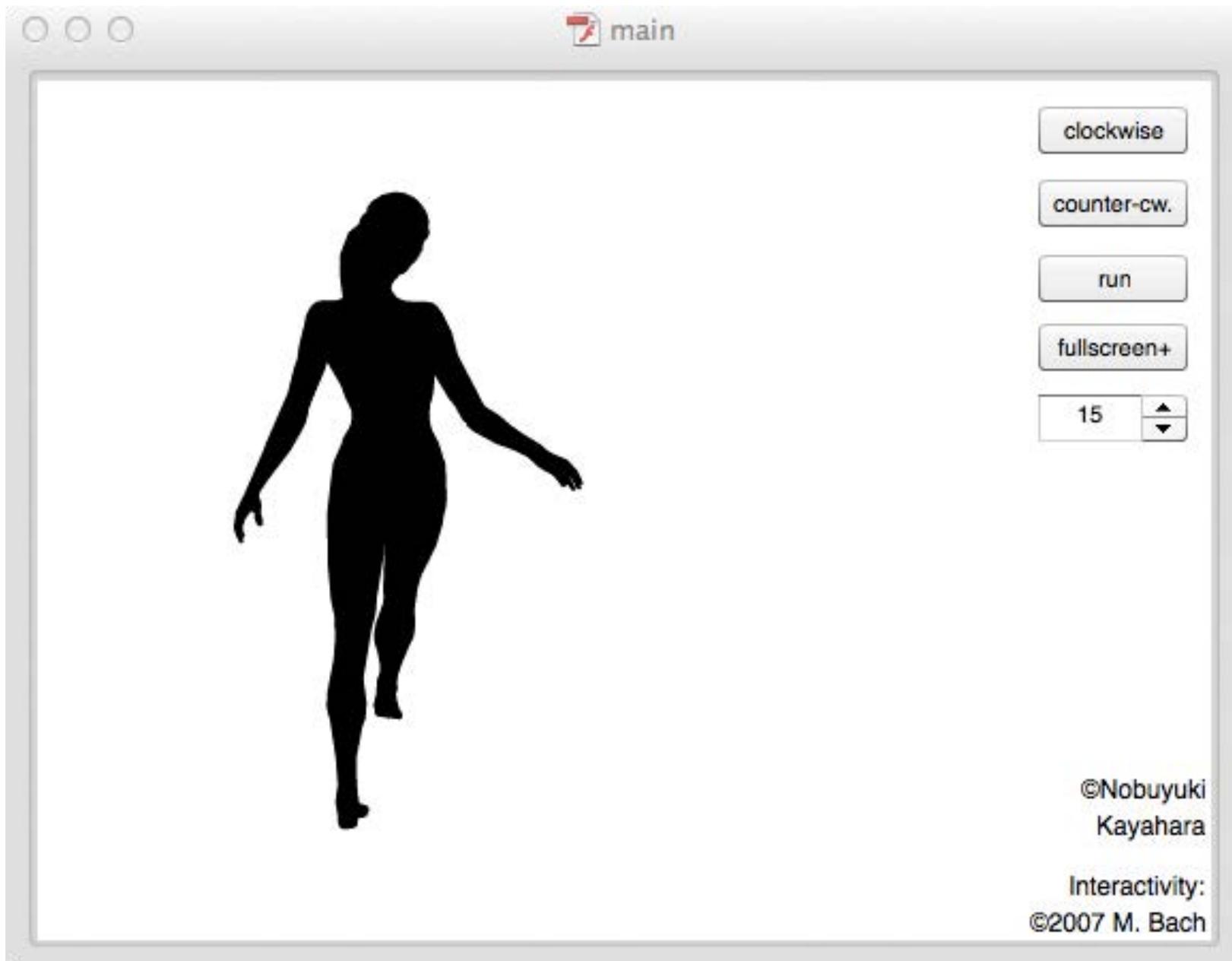
- 生物にとって有用な表現形式 = 知覚世界 (≠ 外界)
- 近刺激 (入射光・網膜像) ではなく遠刺激 (おもに物体) の情報取得が目的 → 例) 色 / 明度 / 大きさの恒常性
- 錯視や錯覚という語は知覚システムとしては不本意



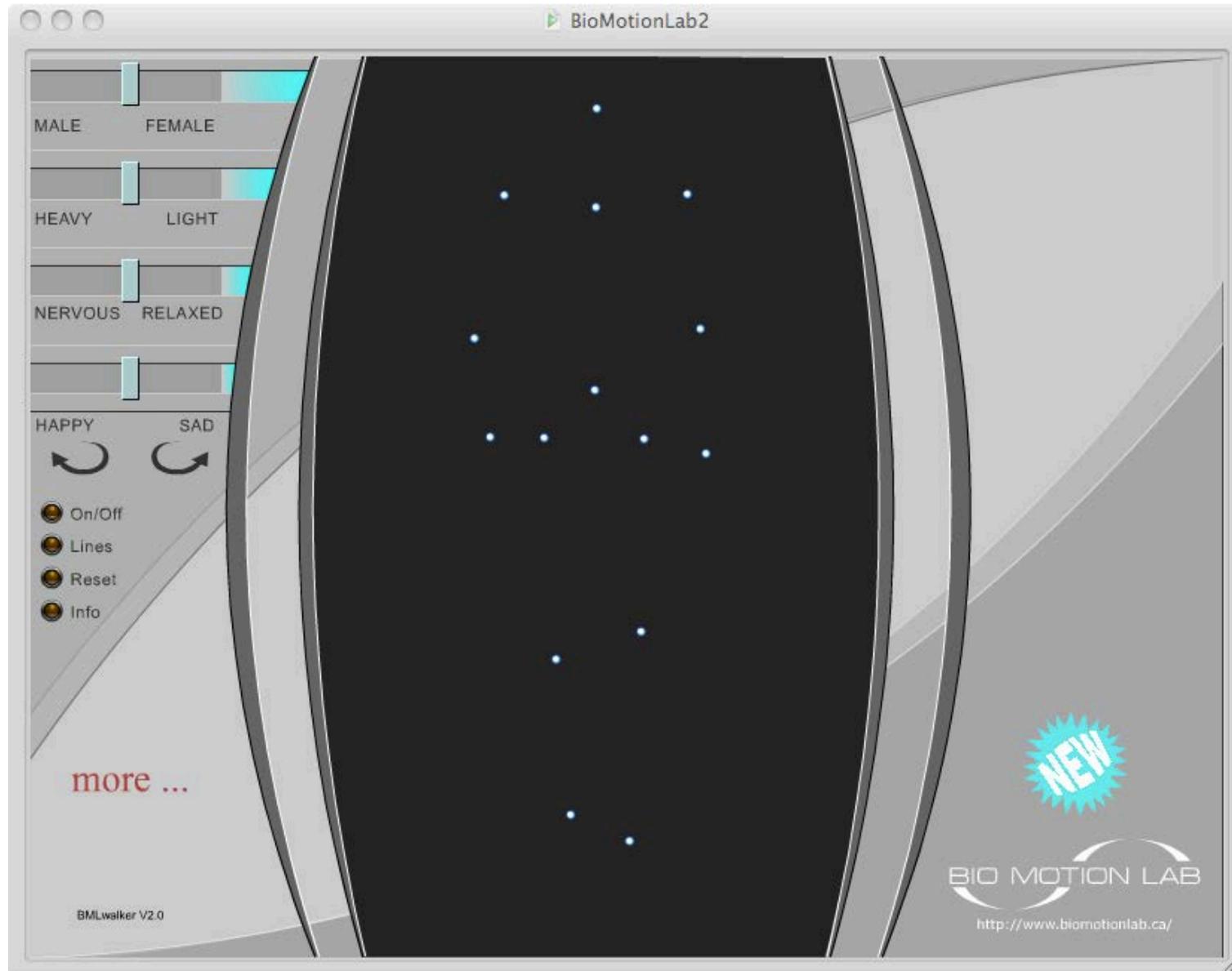
Necker Cube
ネッカーキューブ



Silhouette Illusion シルエット錯視



Biological Motion バイオロジカル モーション



Do you see something ?



Context

文脈効果

12
13
14

Context

文脈効果

A B C

Context

文脈效果

THE CAT



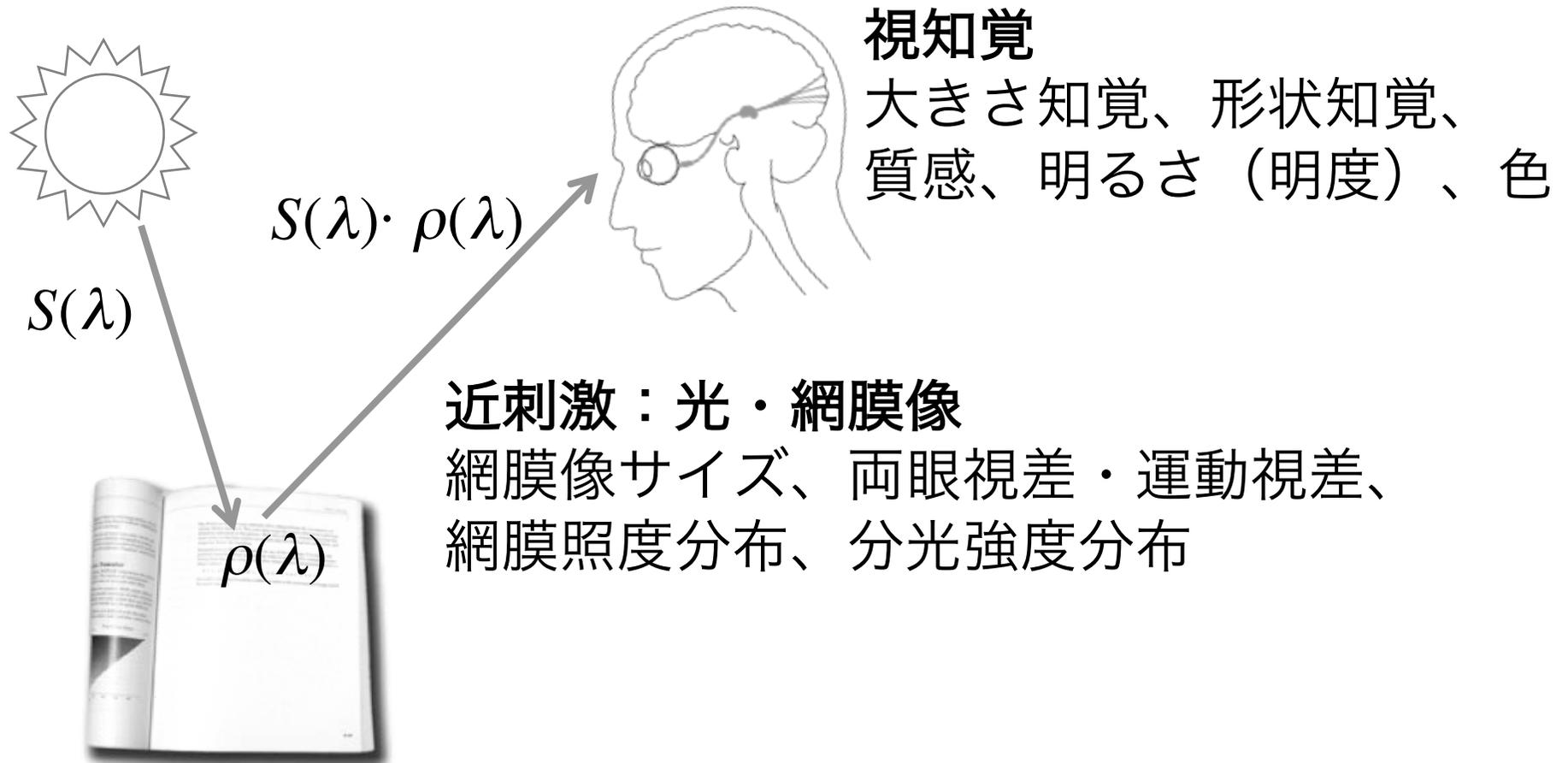
0 1 2 3 4

同 年 同 年 同 年

同 年 同 年 同 年

同 年 同 年 同 年

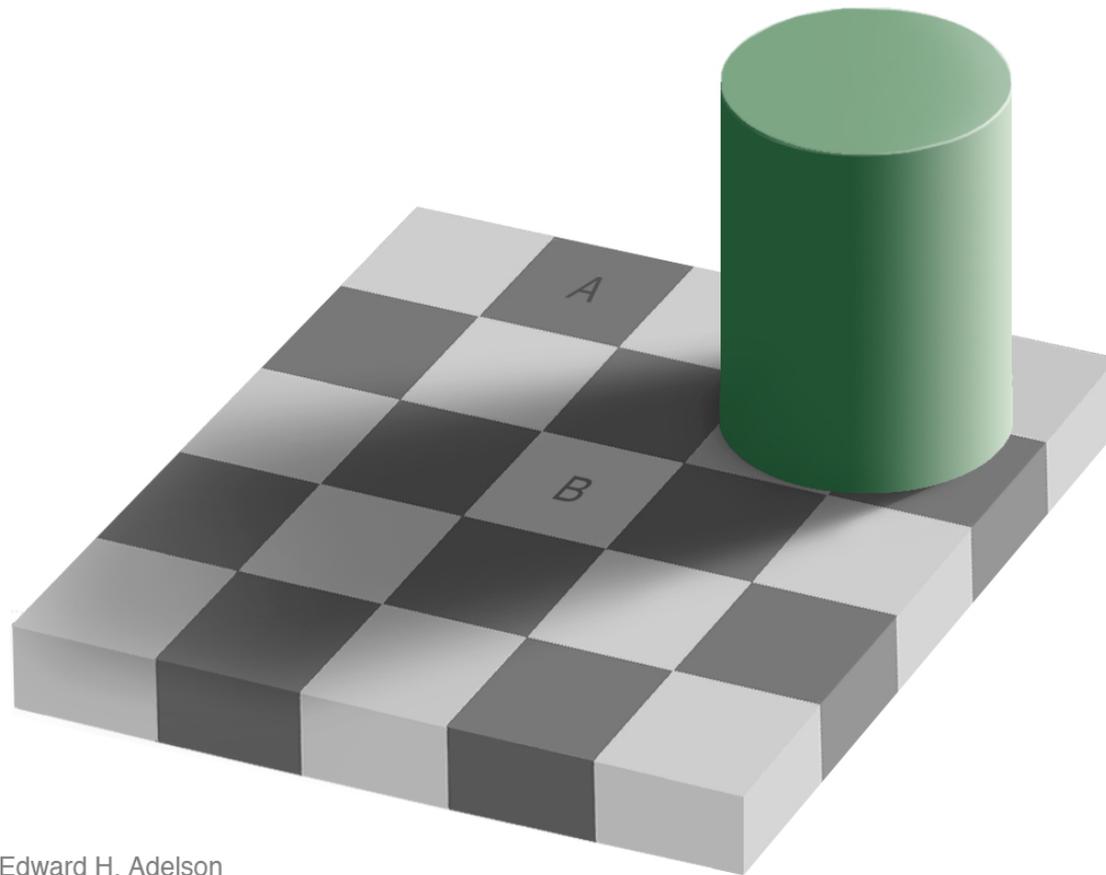
視知覚の成立と目的



遠刺激：物体（物理特性）
大きさ、三次元形状、材質、
表面特性、反射率、分光反射率

チェッカーシャドウ錯視

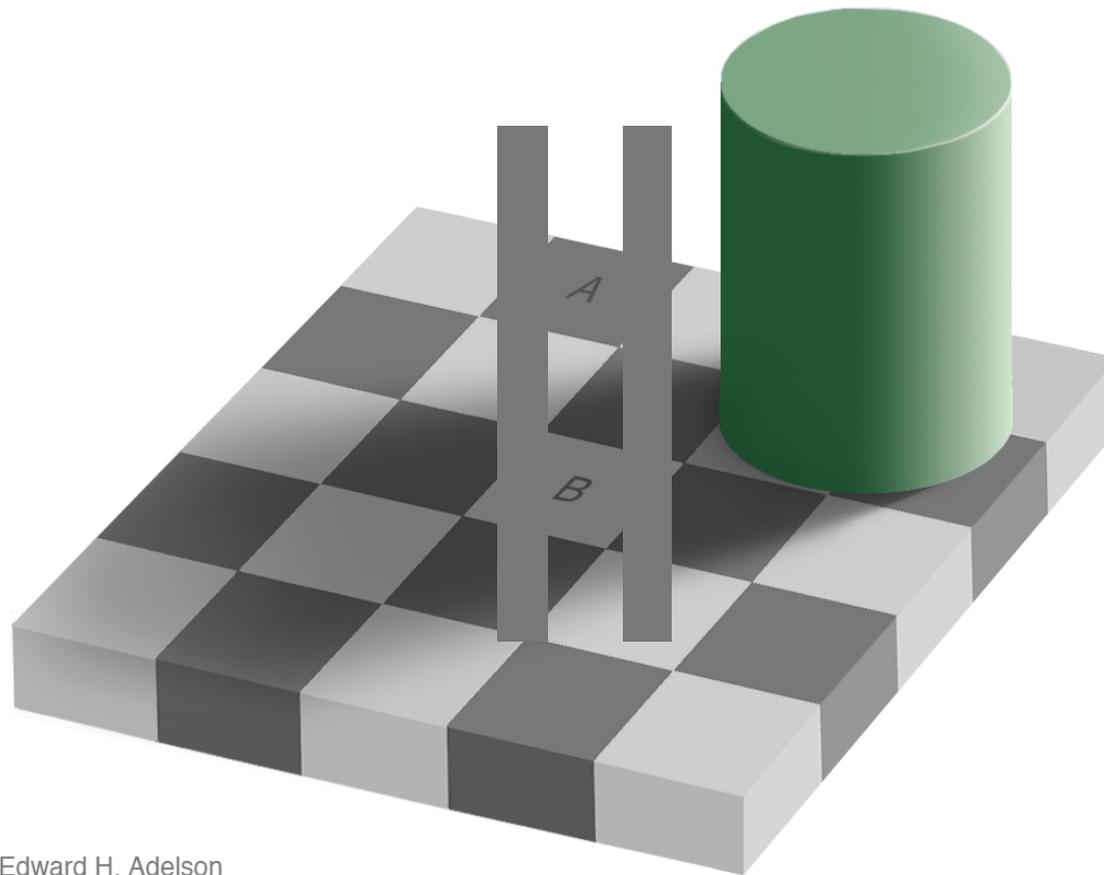
E. H. Adelson



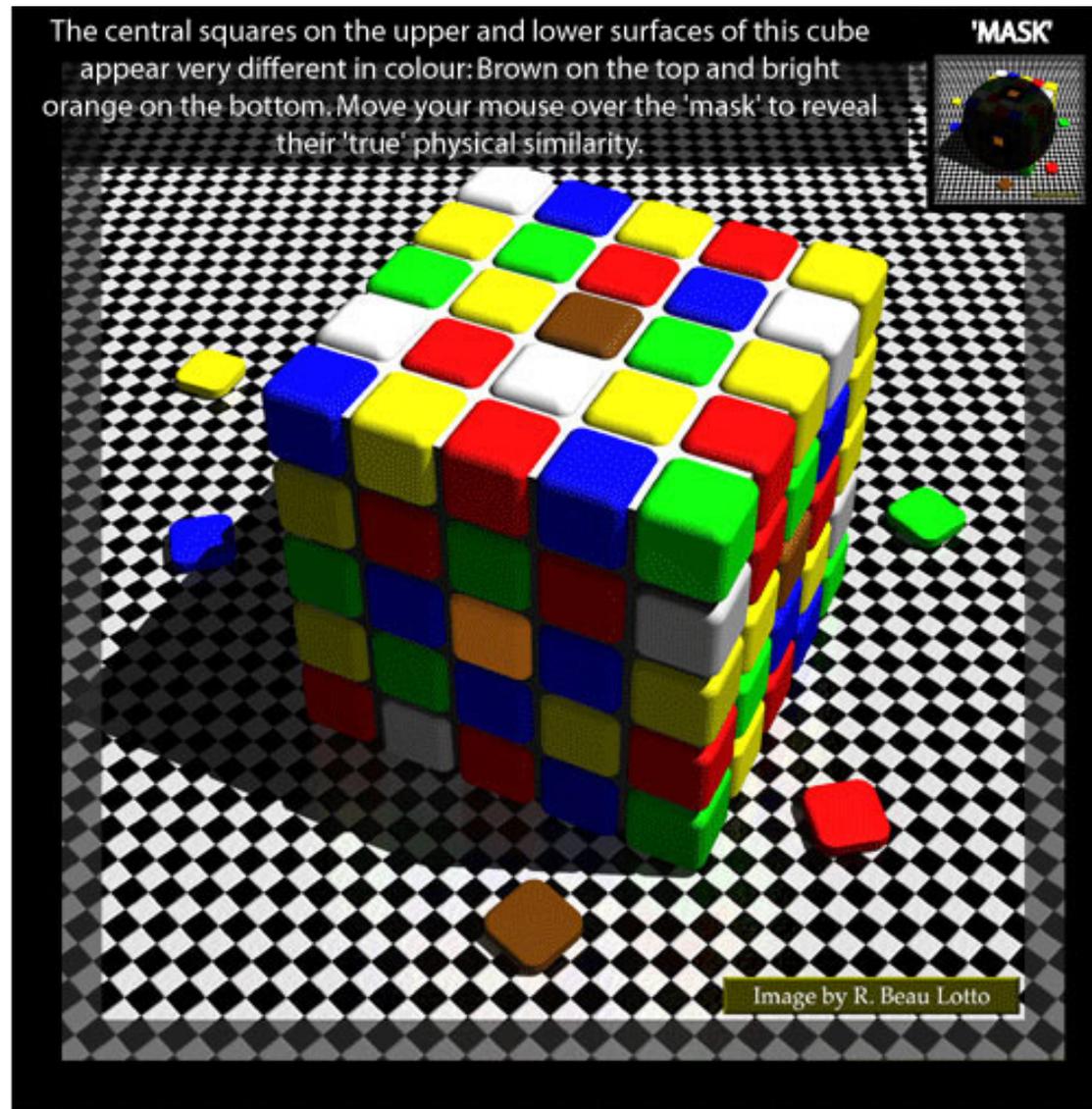
Edward H. Adelson

チェッカーシャドウ錯視

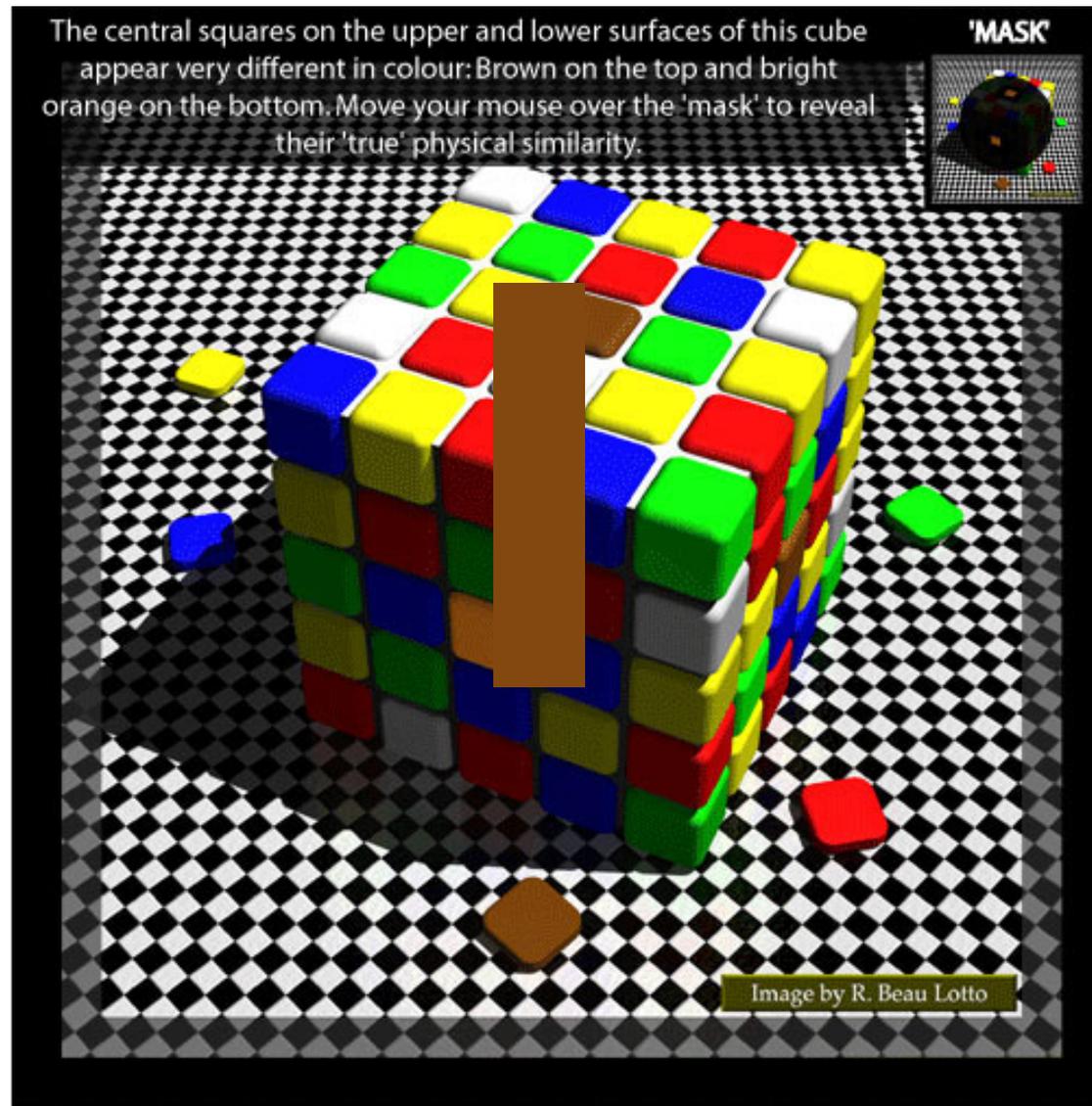
E. H. Adelson



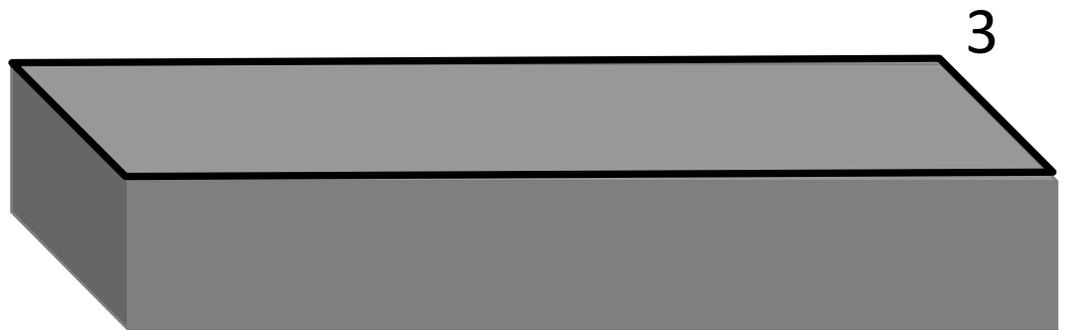
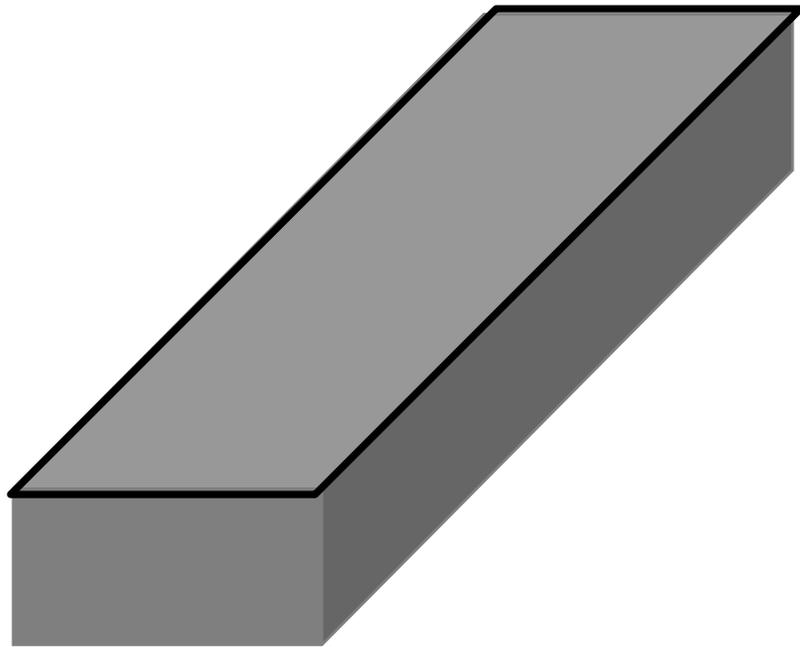
Edward H. Adelson

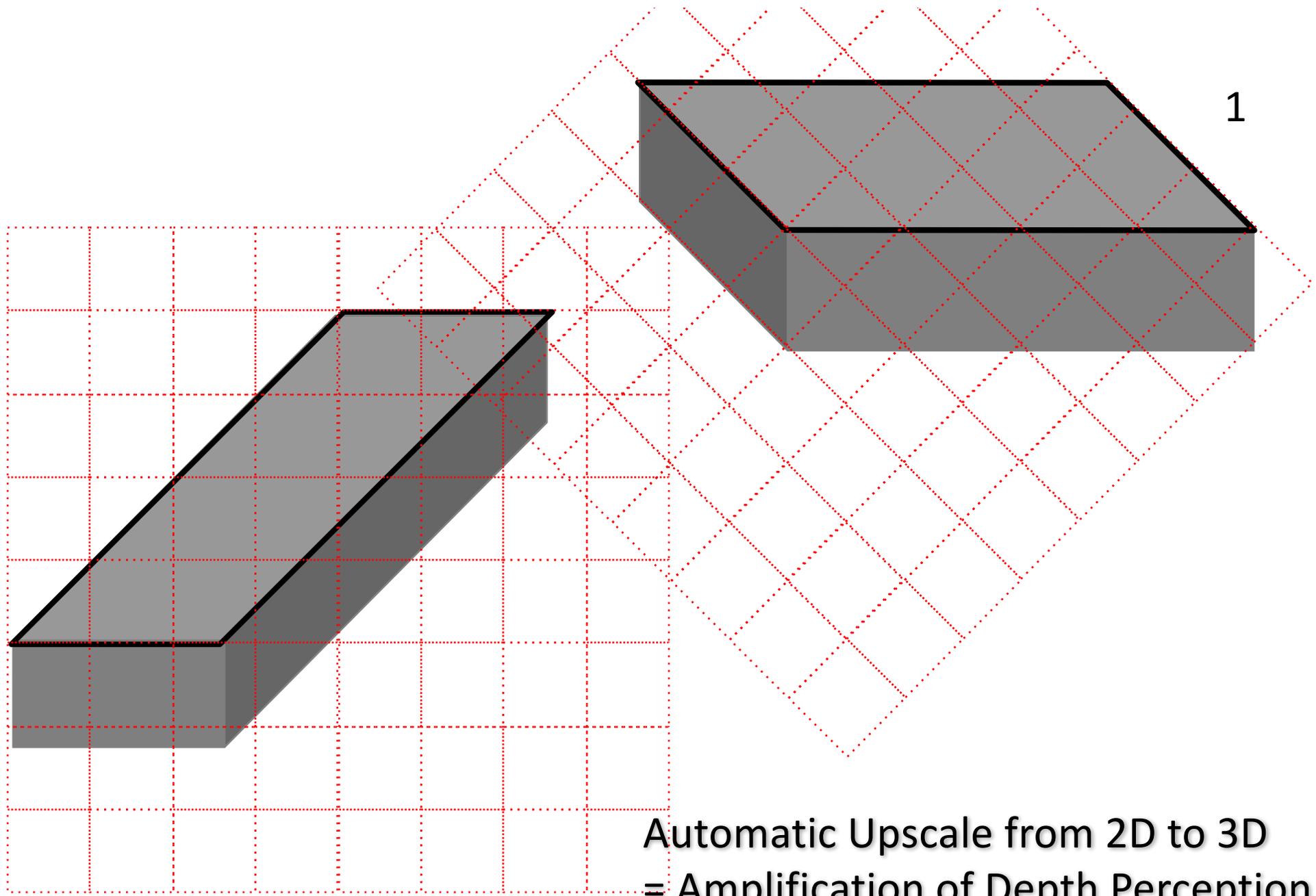


<http://www.lottolab.org/articles/illusionsoflight.asp>



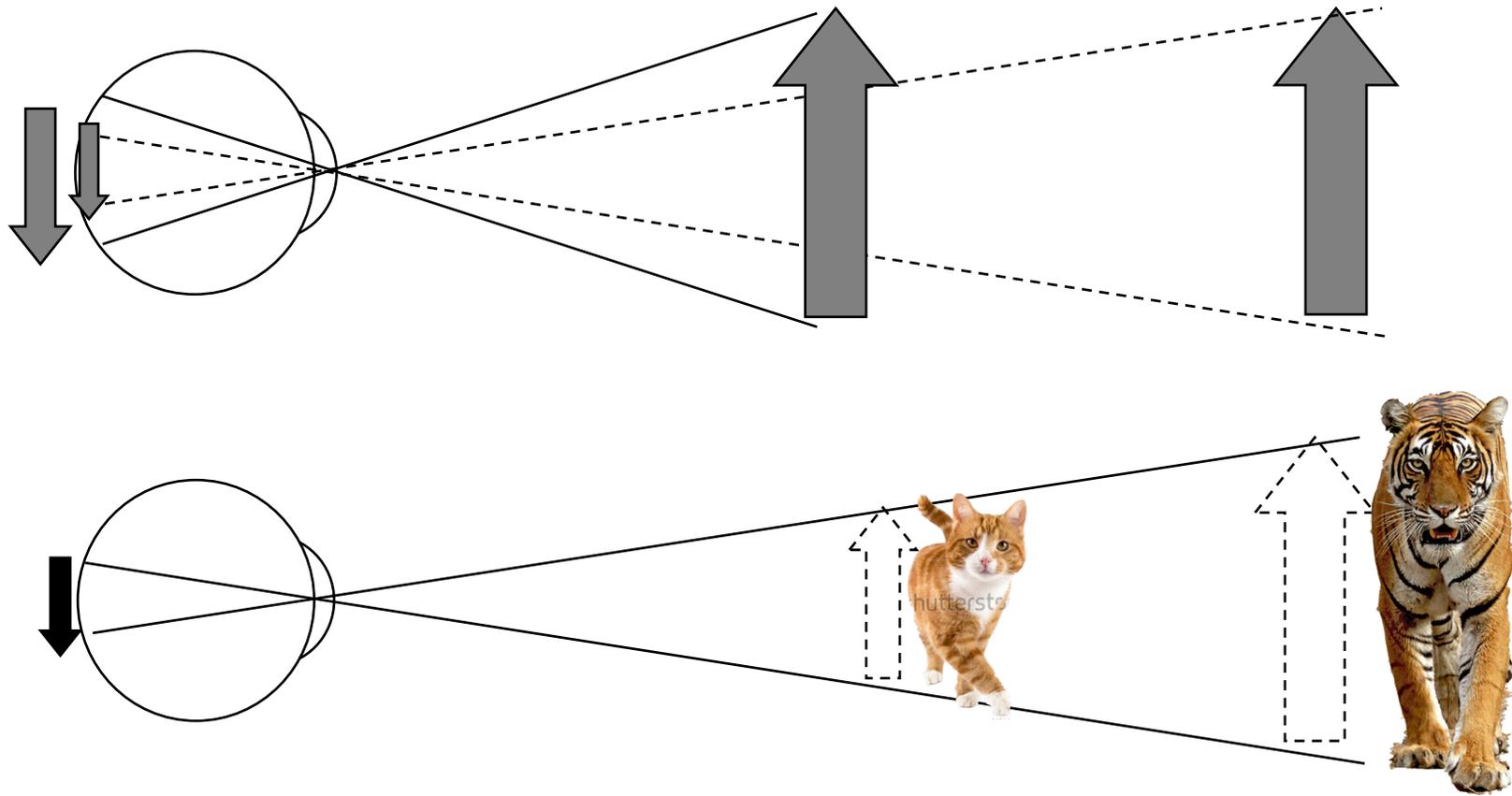
<http://www.lottolab.org/articles/illusionsoflight.asp>



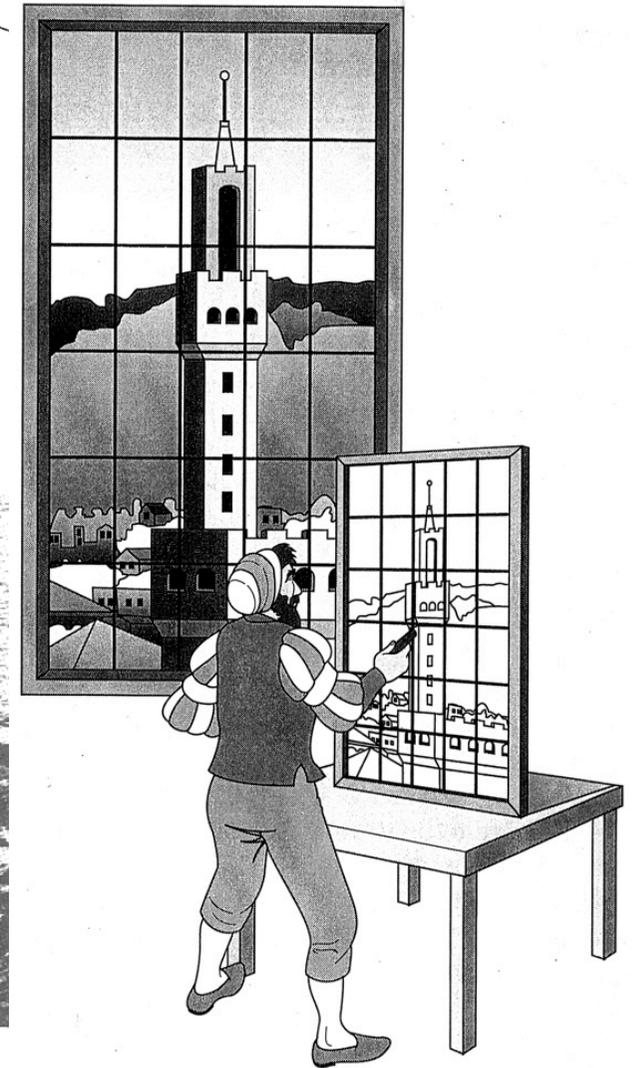
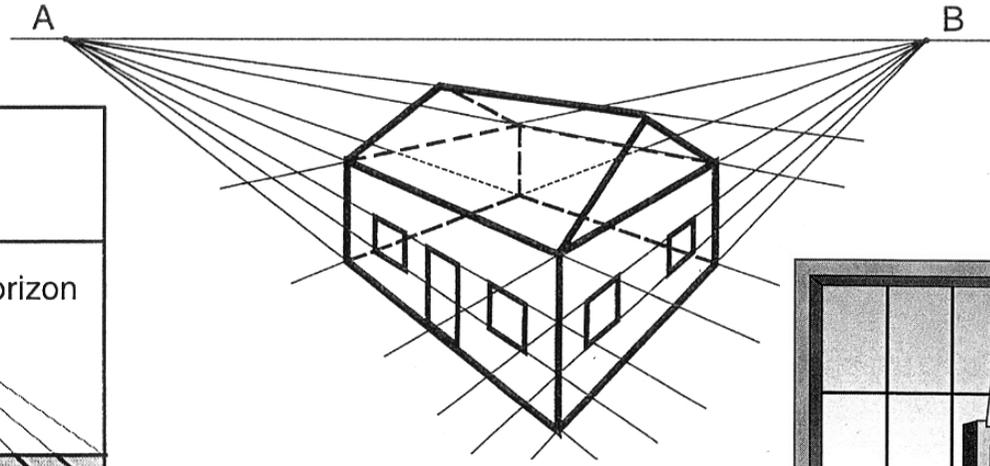
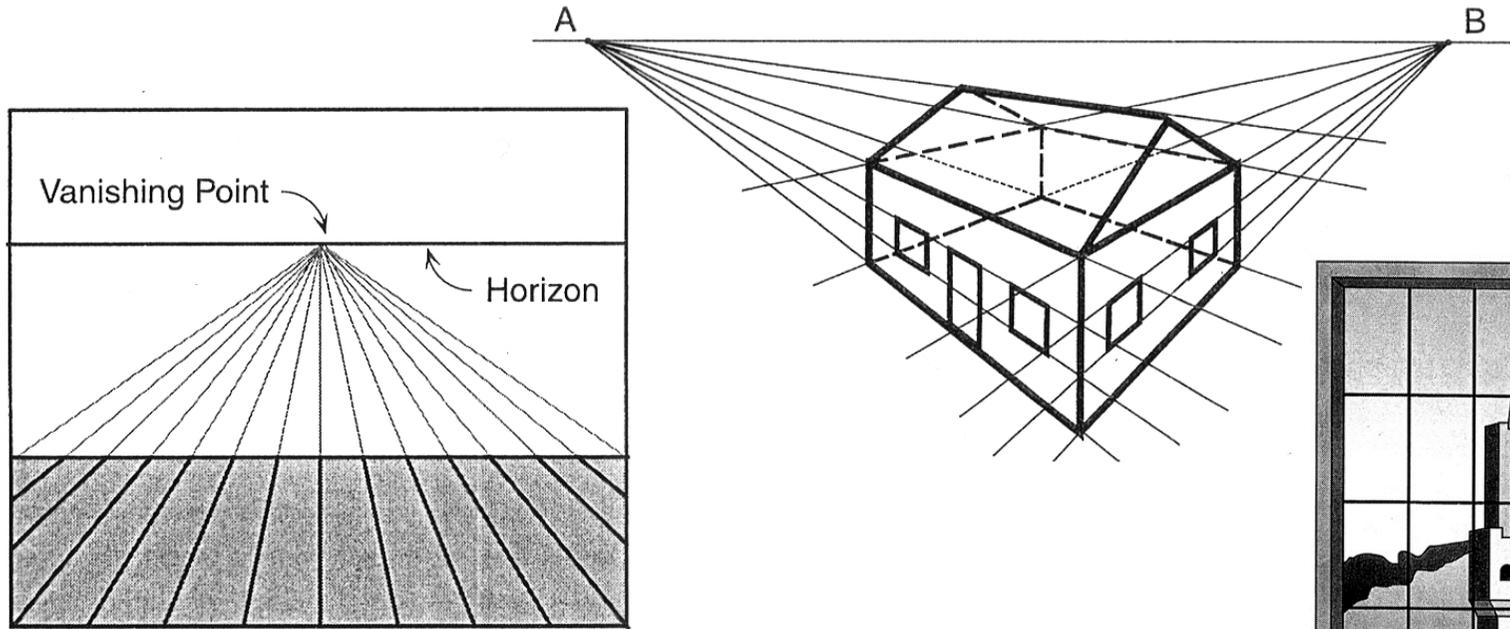


Automatic Upscale from 2D to 3D
= Amplification of Depth Perception
二次元像から三次元空間への高次元化
= 奥行き知覚の強調

大きさの恒常性

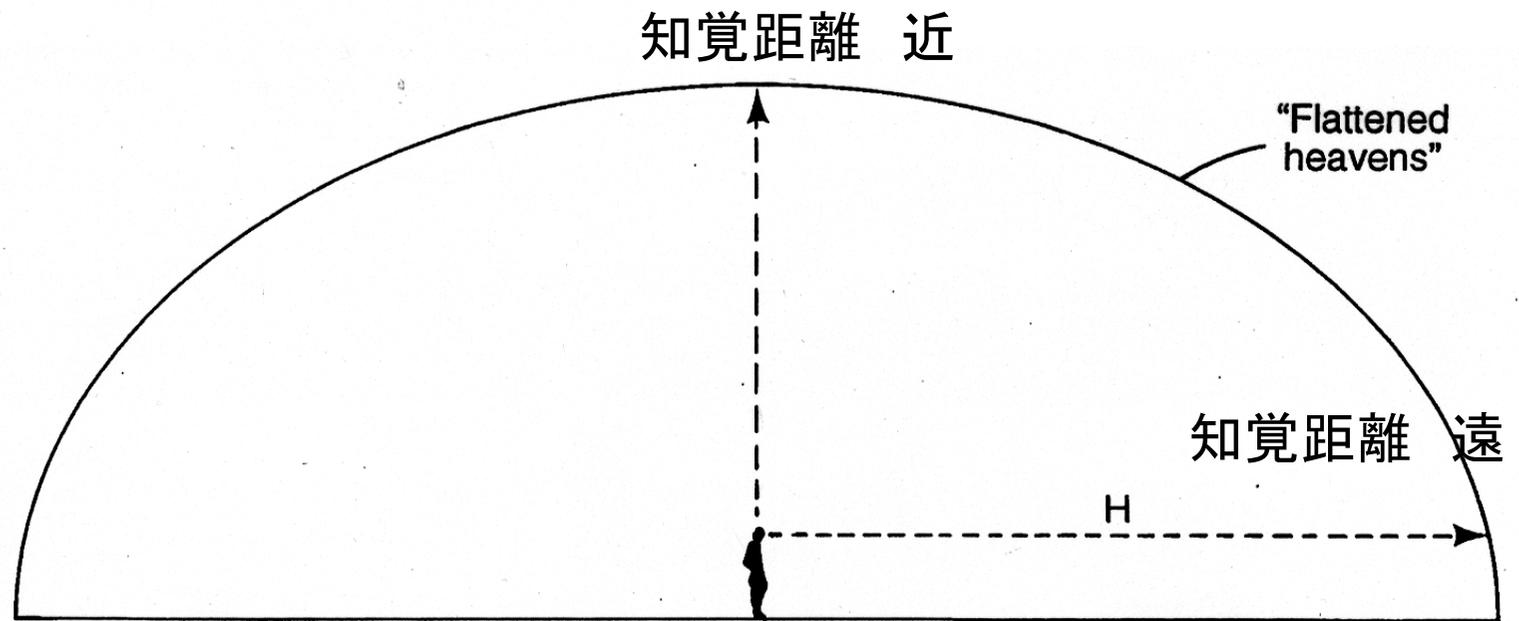
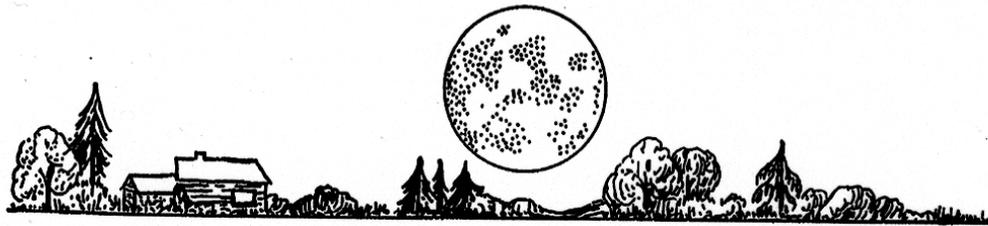


Perspective 透視圖法





Moon illusion 月の錯視



2. 心理物理学 Psychophysics

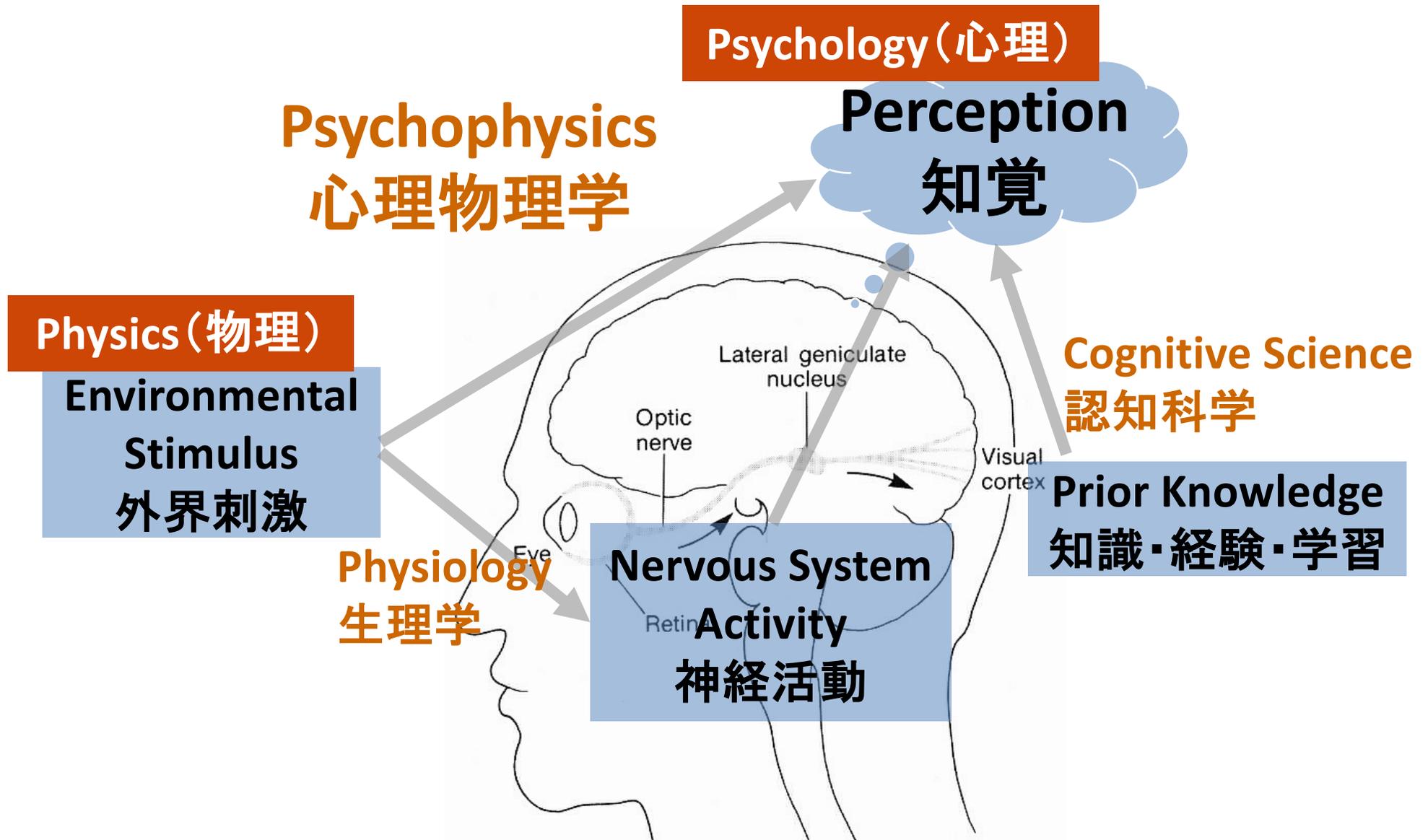
- 測定手法 / 知覚量（心理物理量） / 感度関数

3. 応用 Applications

- 色発現の三要素（照明×物体×観察者）
LED照明用途開発（波長選択）
- 色順応と色恒常性
ディスプレイカラーマネジメント
- 高齢者や色覚異常者の色覚
色覚バリアフリー照明、色覚シミュレータ、
高齢者用彩度回復照明、白内障簡易測定法
- 照明空間の認識
明るさ感、連続感照明、Communication Window
- 光学的指標の限界
ディスプレイ（透過型、防眩性）の画像視認評価

ヒューマンビジョン & カラーサイエンス研究室

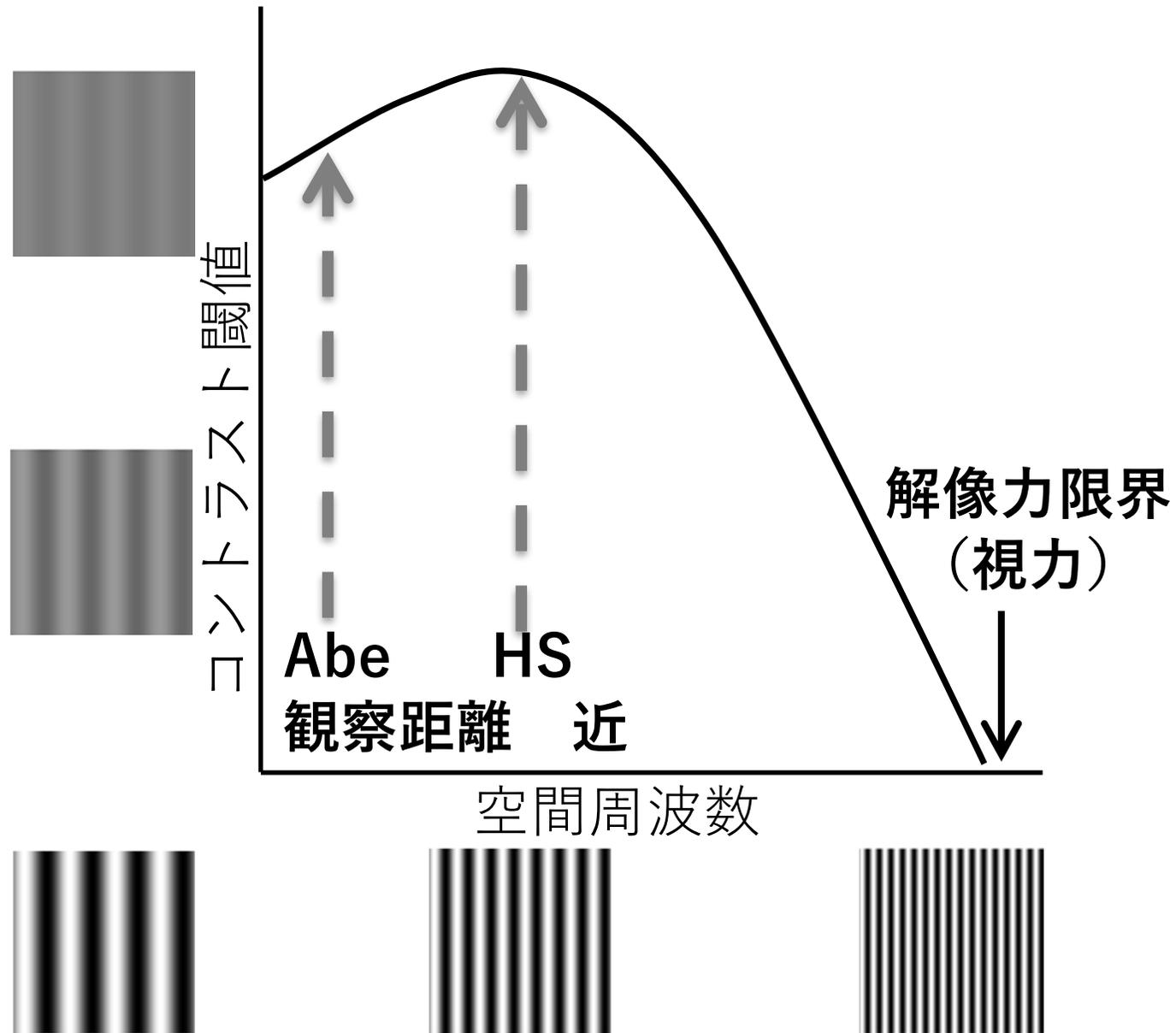
篠田博之教授 心理物理学による視覚情報処理と色彩工学の研究



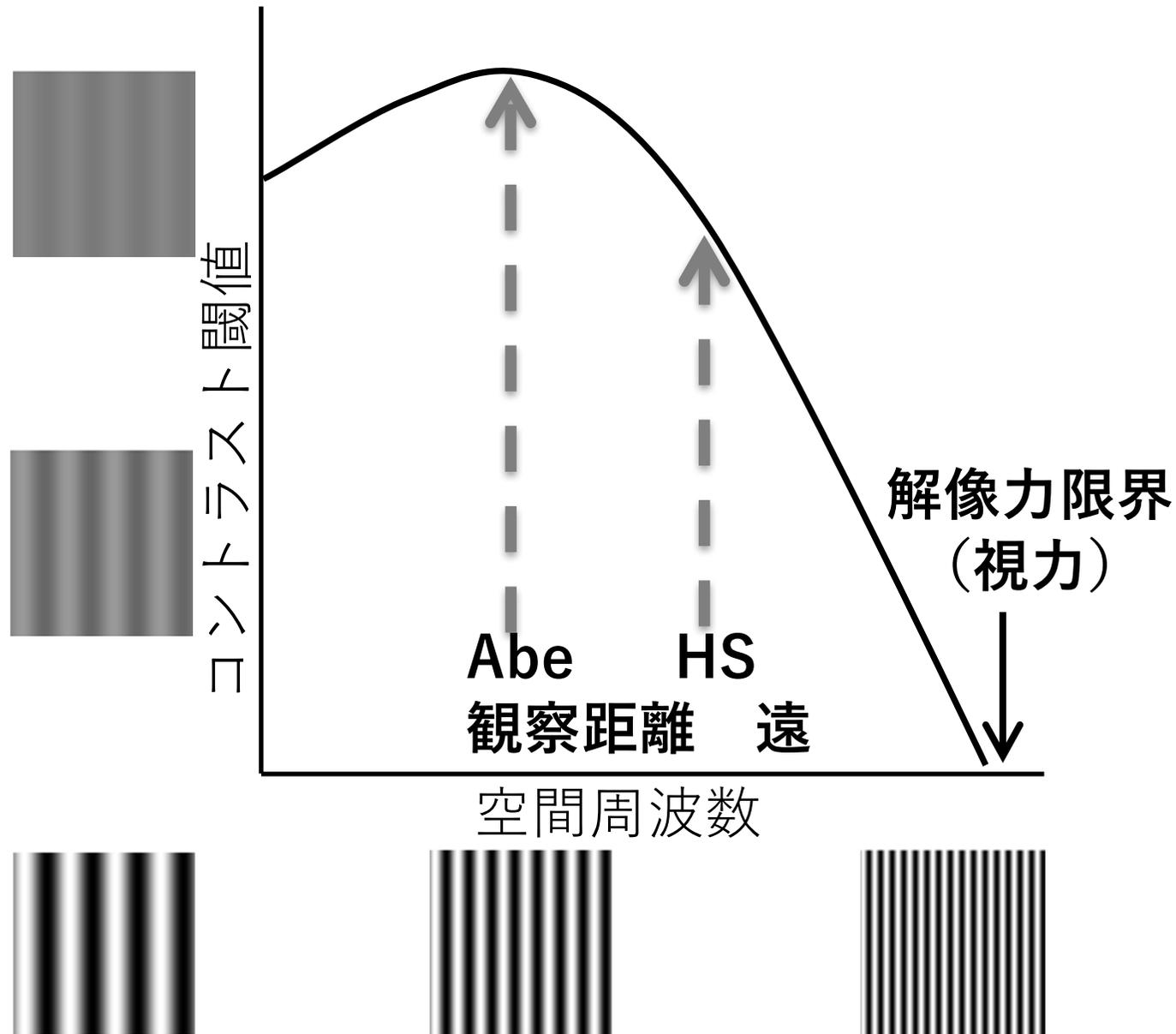
- 絶対閾値・弁別閾値(丁度可知差異、Just Noticeable Difference; JND)
 - 光覚閾値 → 暗順応曲線
 - 色弁別閾値(MacAdamの色弁別楕円) → CIE表色系の均等色度図
 - 最小分離閾値 → 視力
 - コントラスト閾値 → コントラスト感度曲線
- 主観的等価点(Point of Subjective Equality; PSE)
 - 異色(異なる波長)刺激間の明るさ感
 - フリッカー法 → 標準視感効率 $V(\lambda)$ 、 $V'(\lambda)$ → 測光量
 - 等色実験
 - 三原刺激による加法混色 → 等色関数 $\bar{r}(\lambda)$ 、 $\bar{g}(\lambda)$ 、 $\bar{b}(\lambda)$
 - 計算により変換 → 等色関数 $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$
 - CIE表色系(XYZ、LUV、LAB)
- 知覚量
 - 直接マグニチュード推定(ME)法などで測定 → Stevens' Power Law



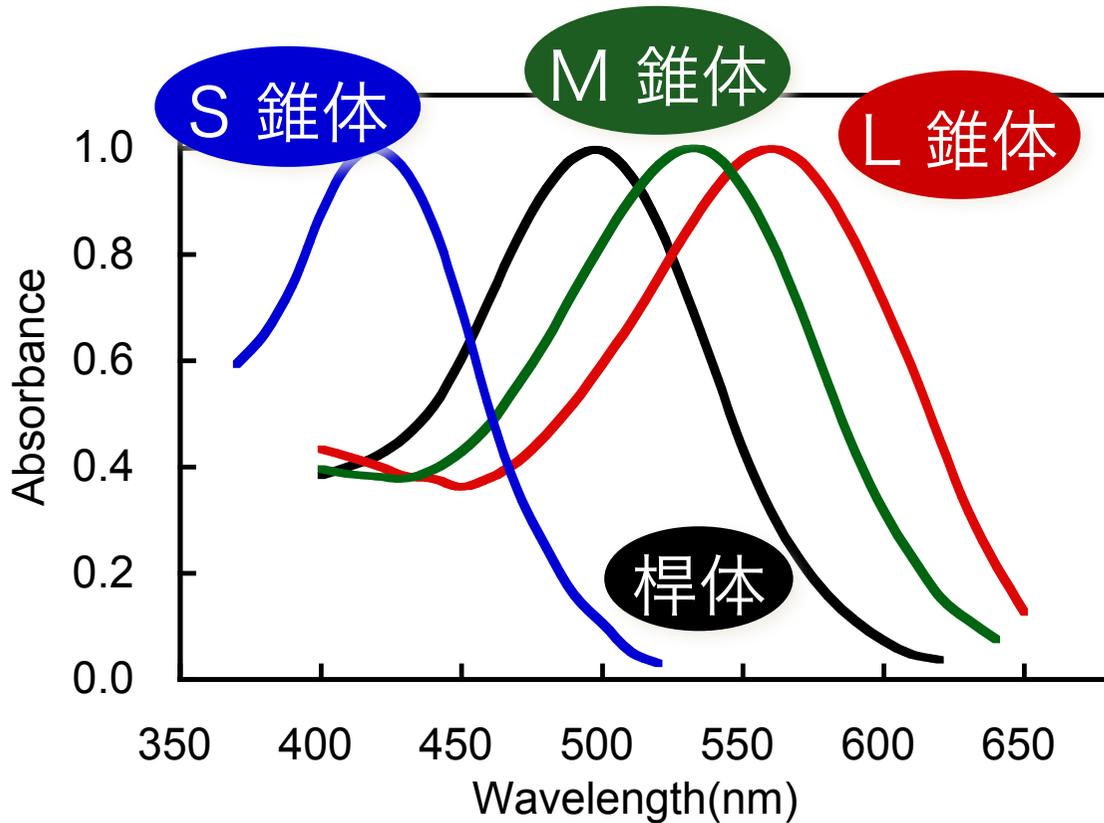
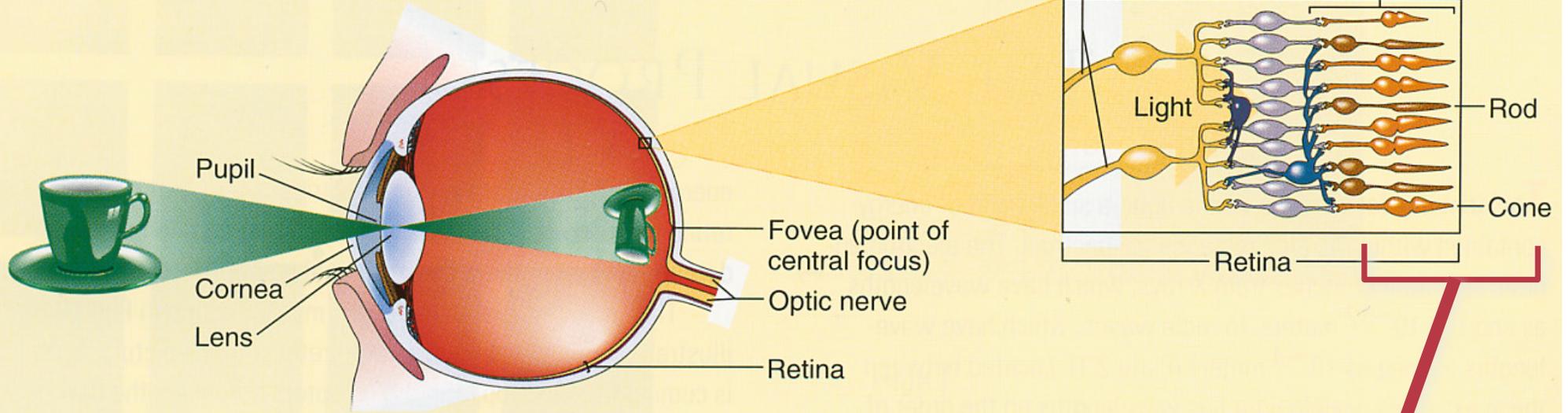
コントラスト感度関数



コントラスト感度関数

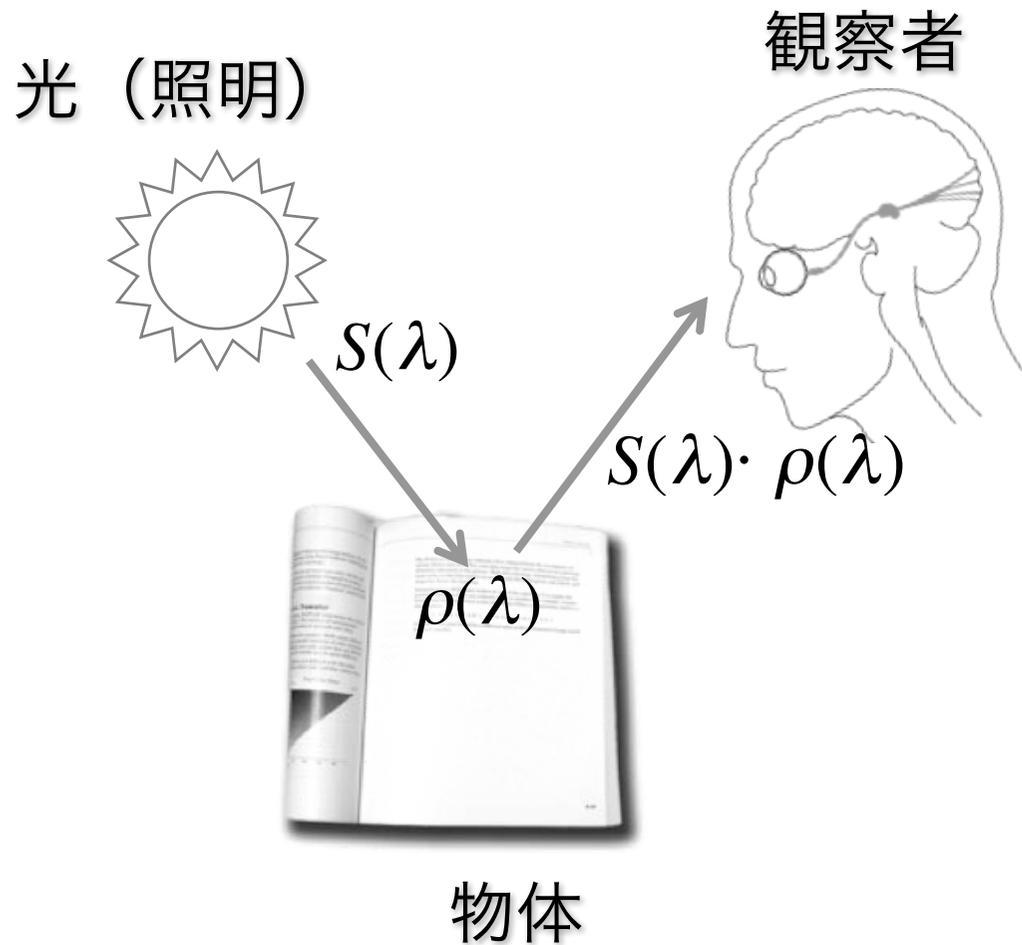


色覚の三色性 (→ 色の三原色)



桿体 (1種類)
 暗所視
 低解像力
錐体 (3種類)
 明所視
 高解像力
 色覚

色覚の三色性 (→ 色の三原色)



錐体応答

$$\begin{cases} \bar{l}(\lambda) & \left\{ \begin{array}{l} L = \int S(\lambda) \rho(\lambda) \bar{l}(\lambda) d\lambda \\ \bar{m}(\lambda) & \left\{ \begin{array}{l} M = \int S(\lambda) \rho(\lambda) \bar{m}(\lambda) d\lambda \\ \bar{s}(\lambda) & \left\{ \begin{array}{l} S = \int S(\lambda) \rho(\lambda) \bar{s}(\lambda) d\lambda \end{array} \right. \end{array} \right. \end{array} \right. \end{cases}$$

CIE XYZ 表色系

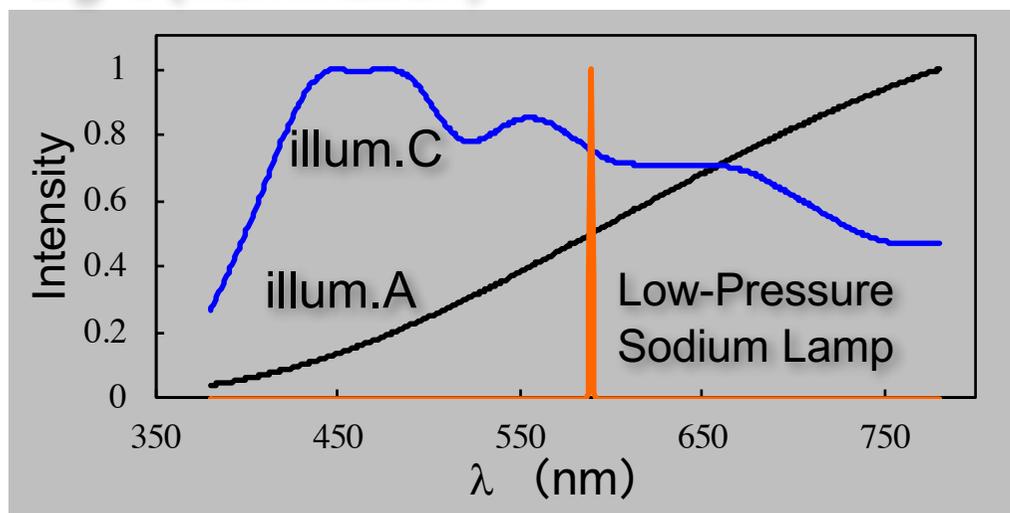
$$\begin{cases} \bar{x}(\lambda) & \left\{ \begin{array}{l} X = k \int S(\lambda) \rho(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ \bar{y}(\lambda) & \left\{ \begin{array}{l} Y = k \int S(\lambda) \rho(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ \bar{z}(\lambda) & \left\{ \begin{array}{l} Z = k \int S(\lambda) \rho(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{array} \right. \end{array} \right. \end{array} \right. \end{cases}$$

CIE xy 色度

$$(x, y) = \left(\frac{X}{X+Y+Z}, \frac{Y}{X+Y+Z} \right)$$

照明光による物体色の色演出(1)

Light (illumination) $S(\lambda)$

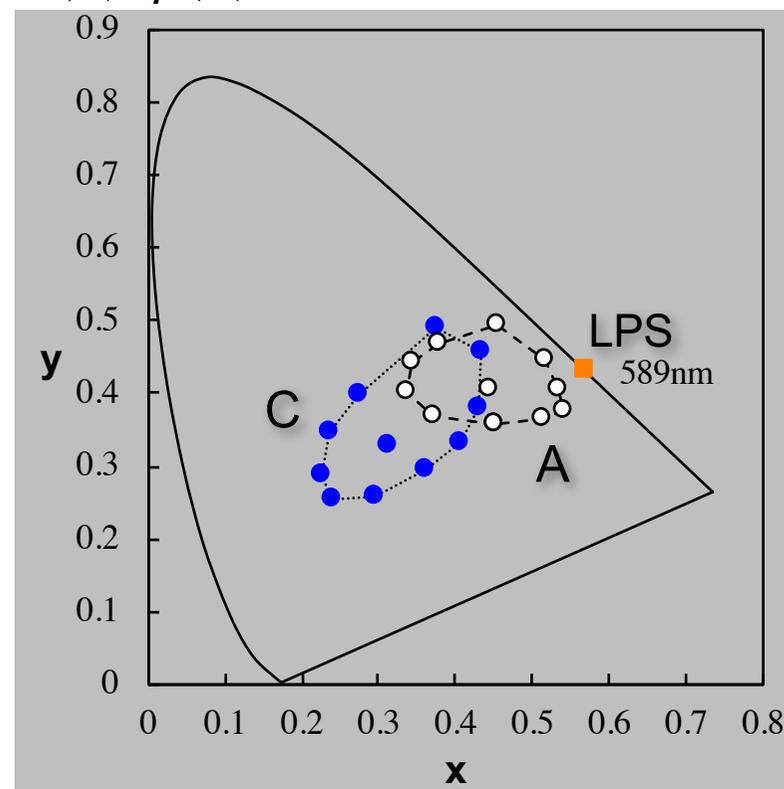


Objects $\rho(\lambda)$

Munsell Color Chips:

N6, 5P6/8, 5PB6/8, 5B6/8, 5BG6/8, 5G6/8,
5GY6/8, 5Y6/8, 5YR6/8, 5R6/8, 5RP6/8

$S(\lambda) \cdot \rho(\lambda)$



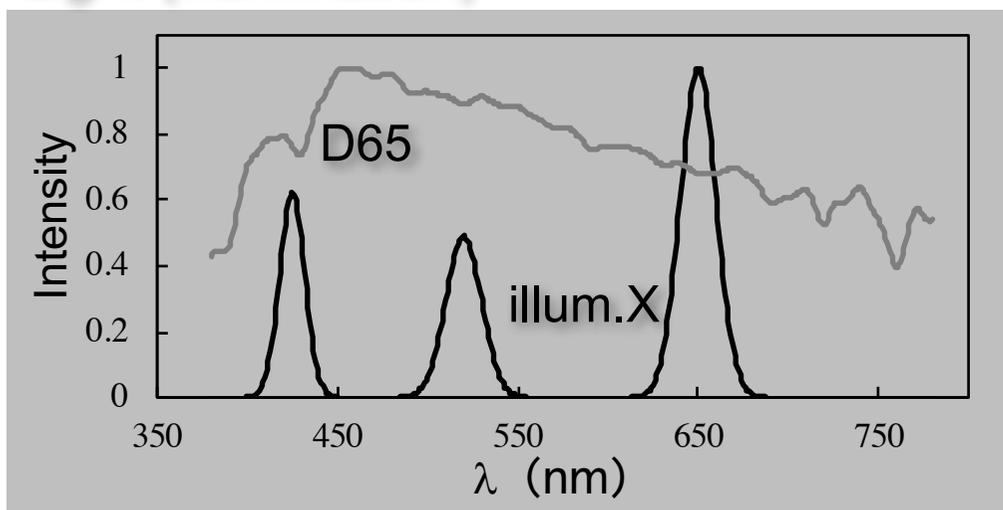
CIE1931 (x, y) chromaticity

すべてが黄色っぽくなり

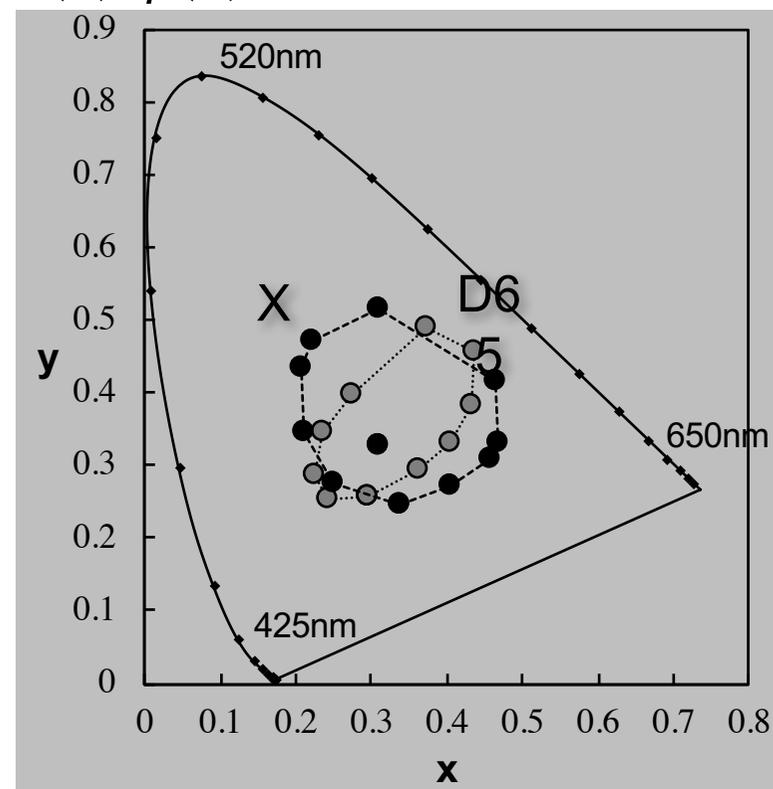
LPSではすべて同色の橙色

照明光による物体色の色演出(2)

Light (illumination) $S(\lambda)$



$S(\lambda) \cdot \rho(\lambda)$



Objects $\rho(\lambda)$

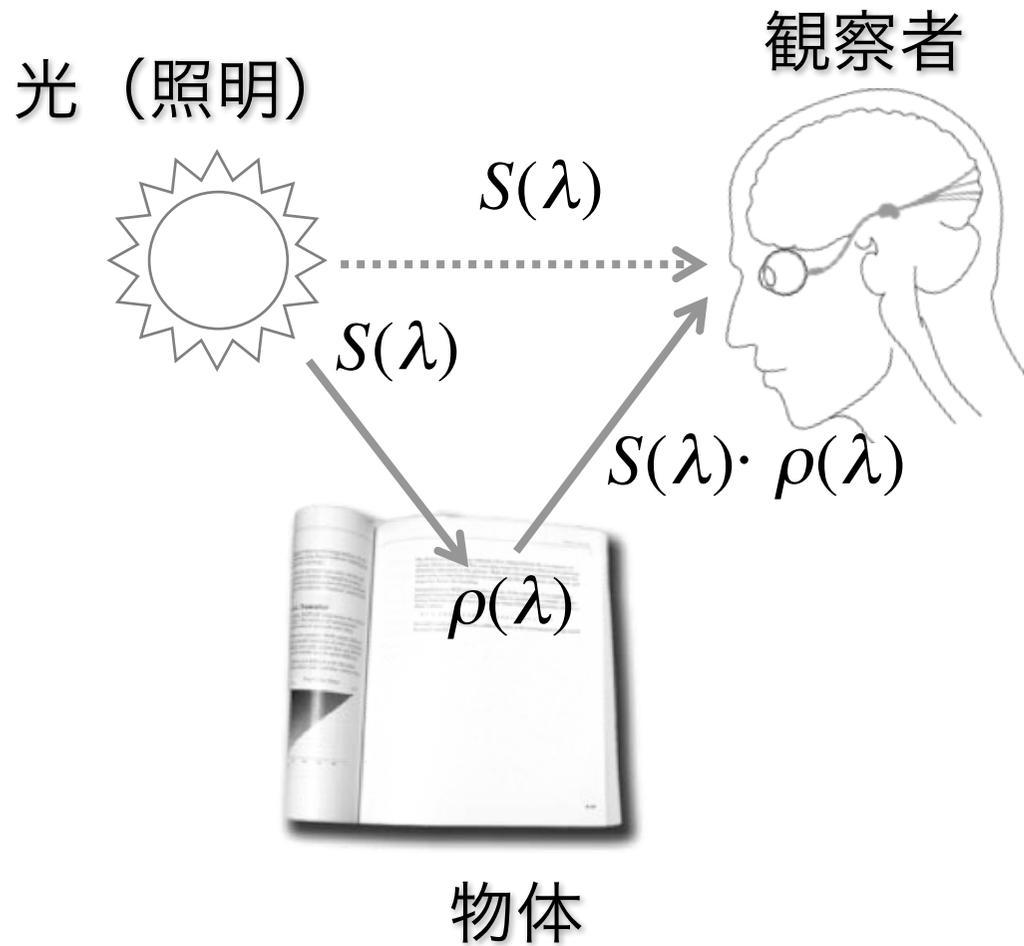
Munsell Color Chips:

N6, 5P6/8, 5PB6/8, 5B6/8, 5BG6/8, 5G6/8,
5GY6/8, 5Y6/8, 5YR6/8, 5R6/8, 5RP6/8

CIE1931 (x, y) chromaticity

無彩色(白、グレー)はそのまま
有彩色(とくに赤と緑)が鮮やかに

色発現の三要素



錐体応答

$$\begin{cases} \bar{l}(\lambda) & L = \int S(\lambda)\rho(\lambda)\bar{l}(\lambda)d\lambda \\ \bar{m}(\lambda) & M = \int S(\lambda)\rho(\lambda)\bar{m}(\lambda)d\lambda \\ \bar{s}(\lambda) & S = \int S(\lambda)\rho(\lambda)\bar{s}(\lambda)d\lambda \end{cases}$$

照明光 $S(\lambda)$
への色順応

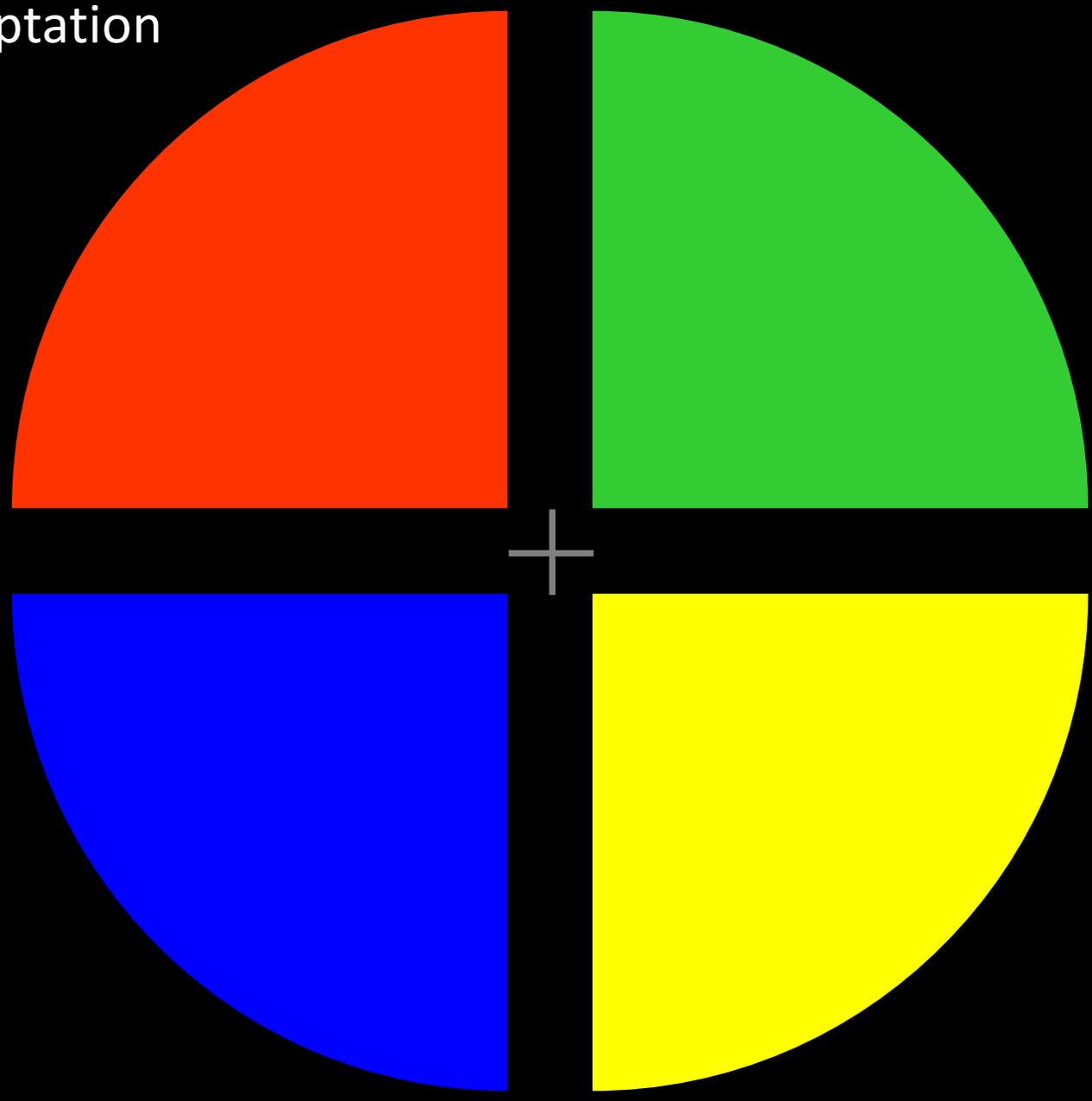
色の見え





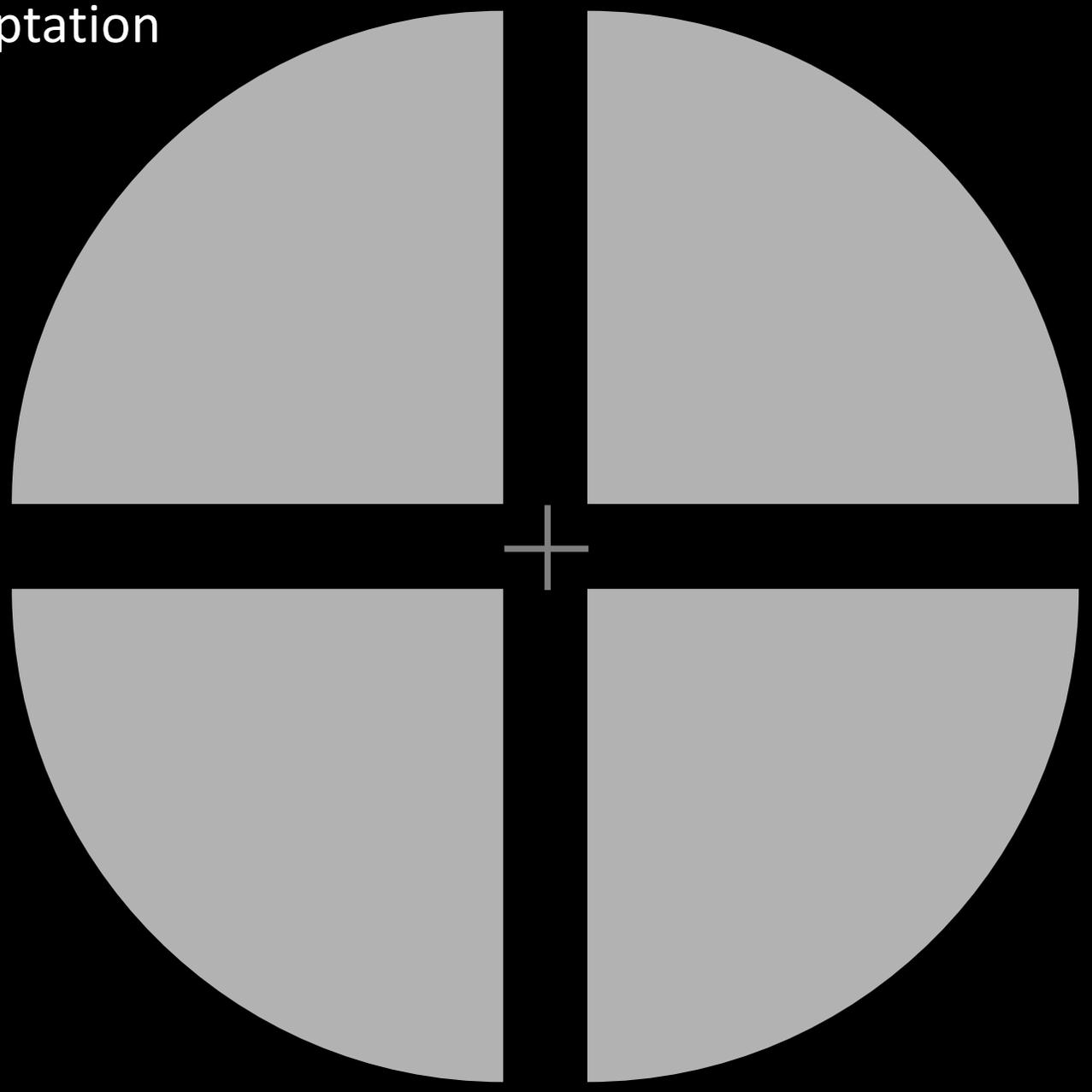
Color Adaptation

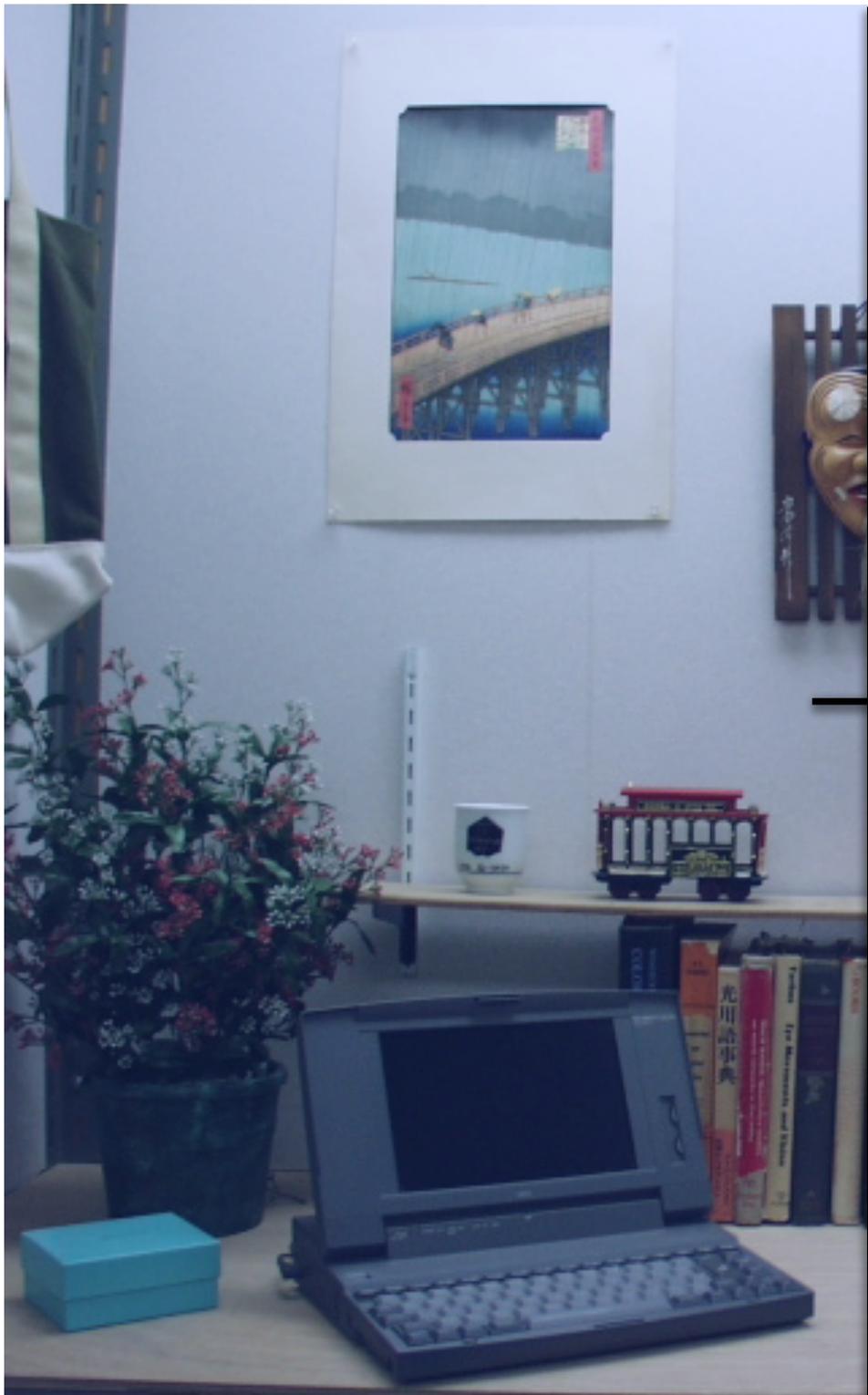
色順応



Color Adaptation

色順応

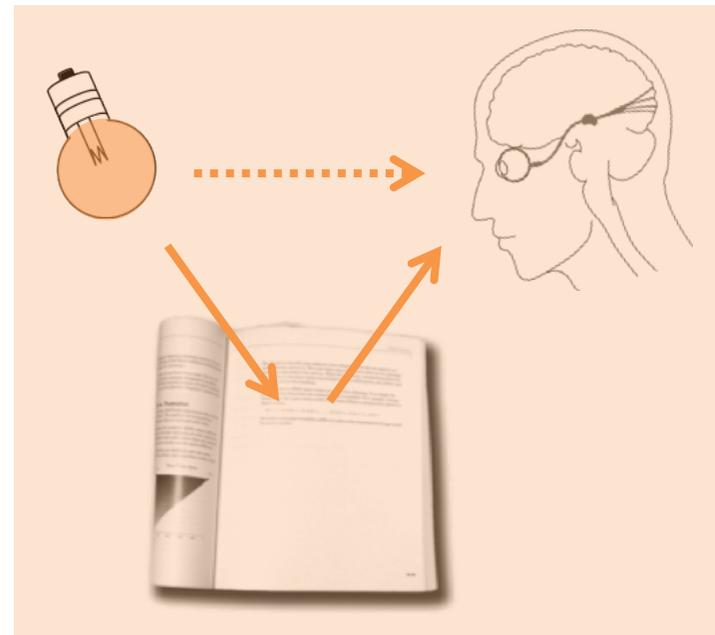
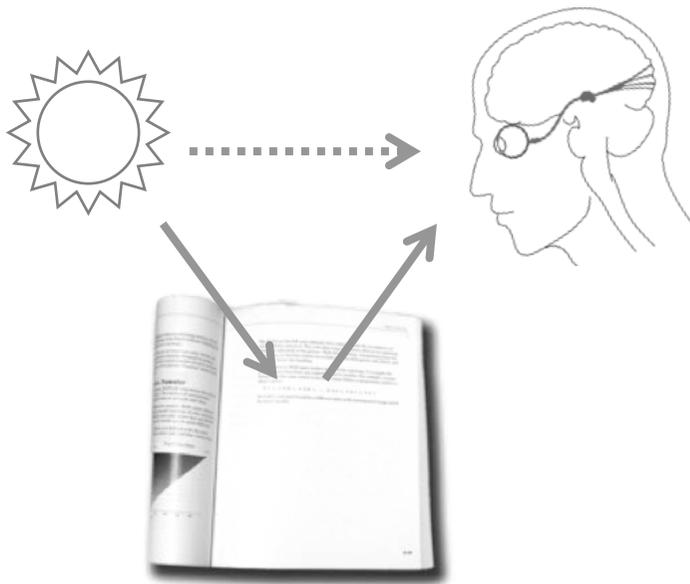






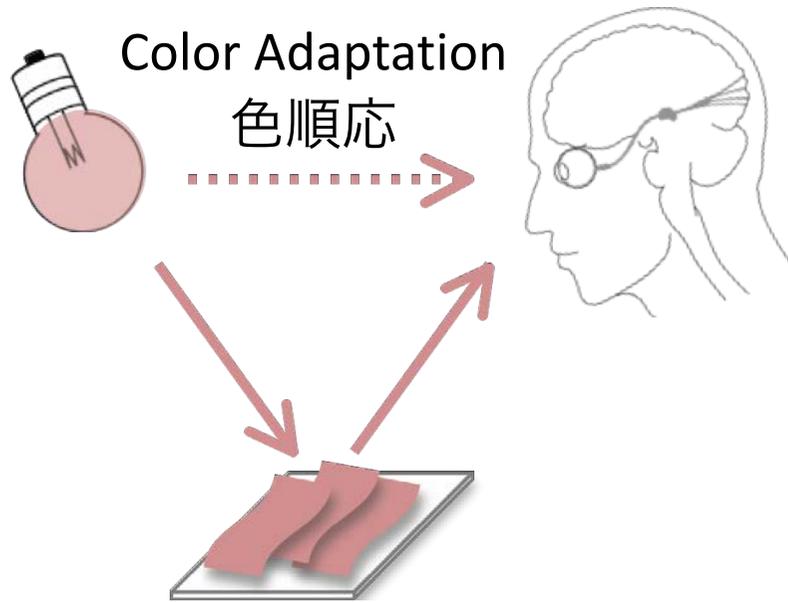
Color Constancy (色恒常性)

Consistent Appearance regardless of the illuminant's spectrum
照明光によらず物体表面の色を安定して知覚



Color appearance manipulation by illuminant separation

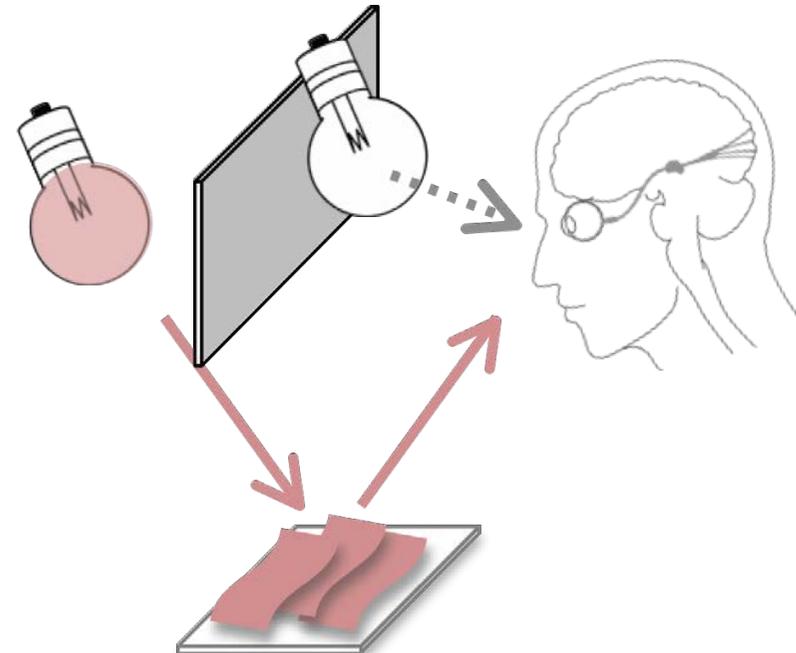
照明光分離による物体色の操作



Color Constancy

色恒常性成立

Consistent appearance regardless of
the illuminant's spectrum
照明光の分光強度によらず
反射物体の色の見えが一定

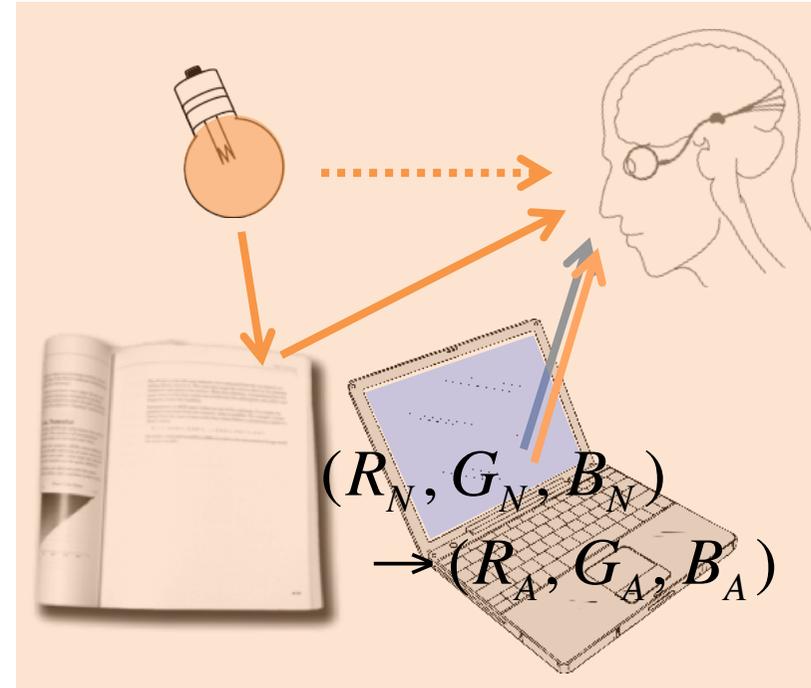
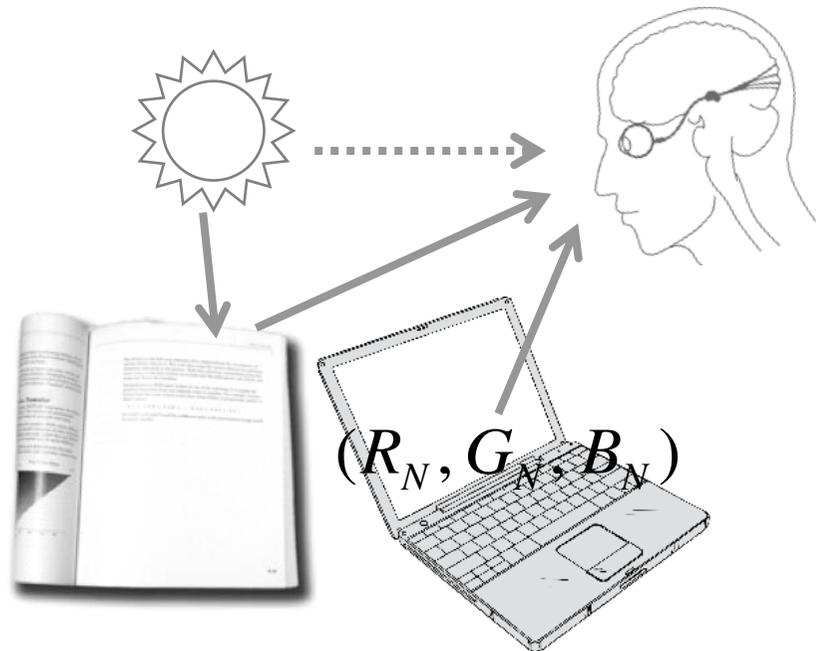


Color Constancy Failure

色恒常性不成立

Appearance is subject to the
spectra of reflected lights
反射光の分光強度の通りに
物体の色を知覚する

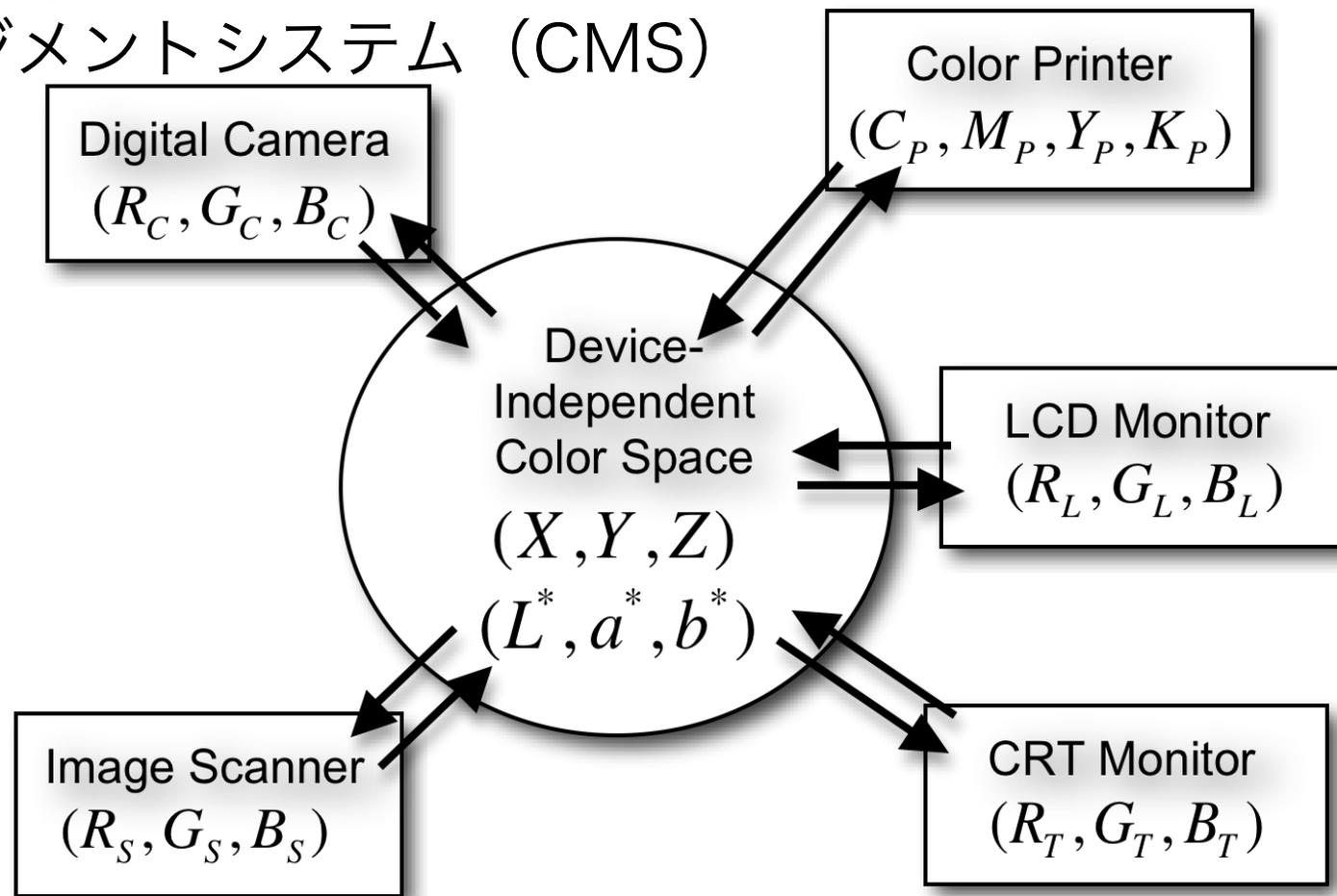
Color Constancy Failure on Self-luminous Displays 自発光ディスプレイの色恒常性不軌



Color Management System for exact same appearance
同じ色を実現するためのカラーマネジメントシステム CMS

$$\begin{pmatrix} R_A \\ G_A \\ B_A \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_0 & a_1 & a_2 \\ a_3 & a_4 & a_5 \\ a_6 & a_7 & a_8 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_N \\ G_N \\ B_N \end{pmatrix}$$

デバイス非依存の色空間を経由する カラーマネジメントシステム (CMS)

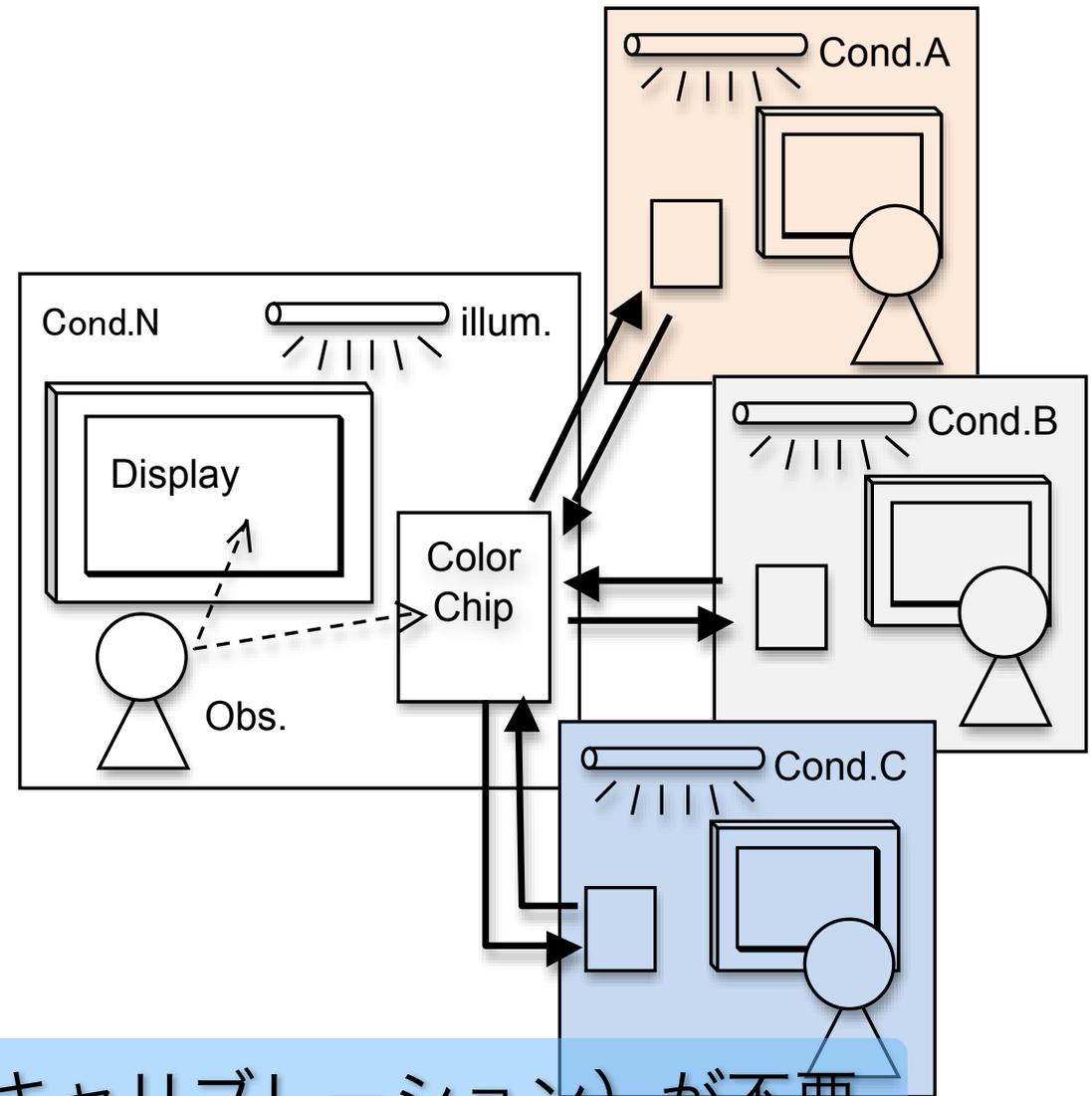


1. 校正された機器あるいは測色器による校正が必要
2. 測色値は標準観測者に基づく表記
→ ユーザ個人の色の見えを保証しない
3. 測色値が等しくても照明環境により色見えが変化 (色順応)

反射物体の色恒常性を利用したカラーマネジメント

ディスプレイを色票に
主観等色することで
色変換行列を導出

- ディスプレイ
- 観察者
- 照明環境



長所

- 高額な機器による測色（キャリブレーション）が不要
- 色変換行列は観察者の個人差に対応
- 色変換行列は照明の違いを考慮

- matching with a single chip

$$\begin{pmatrix} R_A \\ G_A \\ B_A \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_0 R_N + a_1 G_N + a_2 B_N \\ a_3 R_N + a_4 G_N + a_5 B_N \\ a_6 R_N + a_7 G_N + a_8 B_N \end{pmatrix}$$

- matching with i pieces of chip

$$\begin{array}{c} \text{chip 1} \\ \text{chip 2} \\ \vdots \\ \text{chip } i \end{array} \begin{pmatrix} R_{A1} \\ G_{A1} \\ B_{A1} \\ \vdots \\ R_{Ai} \\ G_{Ai} \\ B_{Ai} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{N1} & G_{N1} & B_{N1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_{N1} & G_{N1} & B_{N1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_{N1} & G_{N1} & B_{N1} \\ \vdots & \vdots \\ R_{Ni} & G_{Ni} & B_{Ni} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_{Ni} & G_{Ni} & B_{Ni} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_{Ni} & G_{Ni} & B_{Ni} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \\ a_7 \\ a_8 \end{pmatrix}$$

C_A
 C_N
 M

- pseudo-inverse matrix

$$pinv(C_N) \cdot C_A = M$$

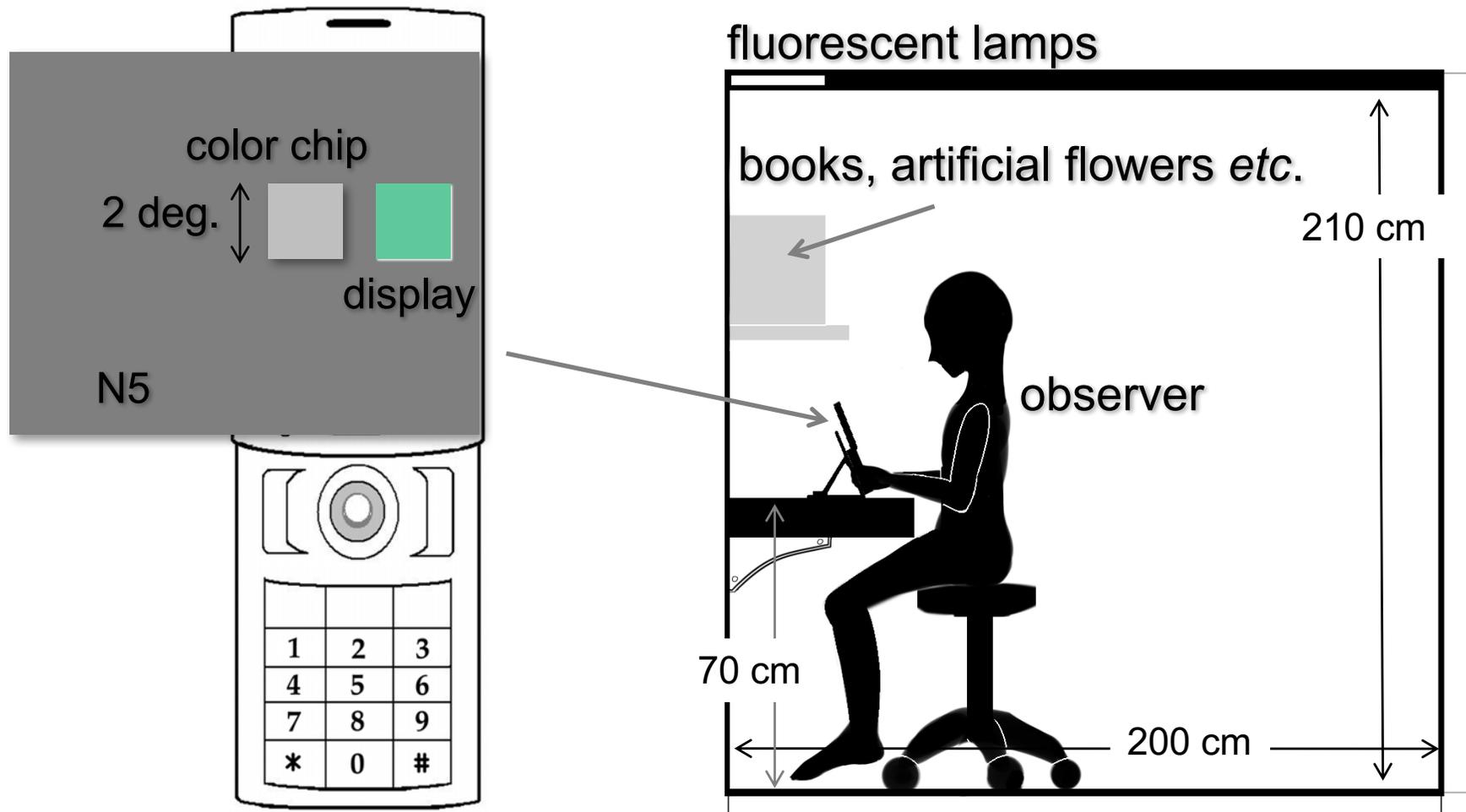
携帯電話ディスプレイを用いた実験

携帯電話: N01a, F05c (docomo)

色票: 5R6/6, 5Y6/6, 5G6/6, 5B6/6, 5P6/6, N6

照明光: D65 (青白い昼光色), A (黄赤電球色)

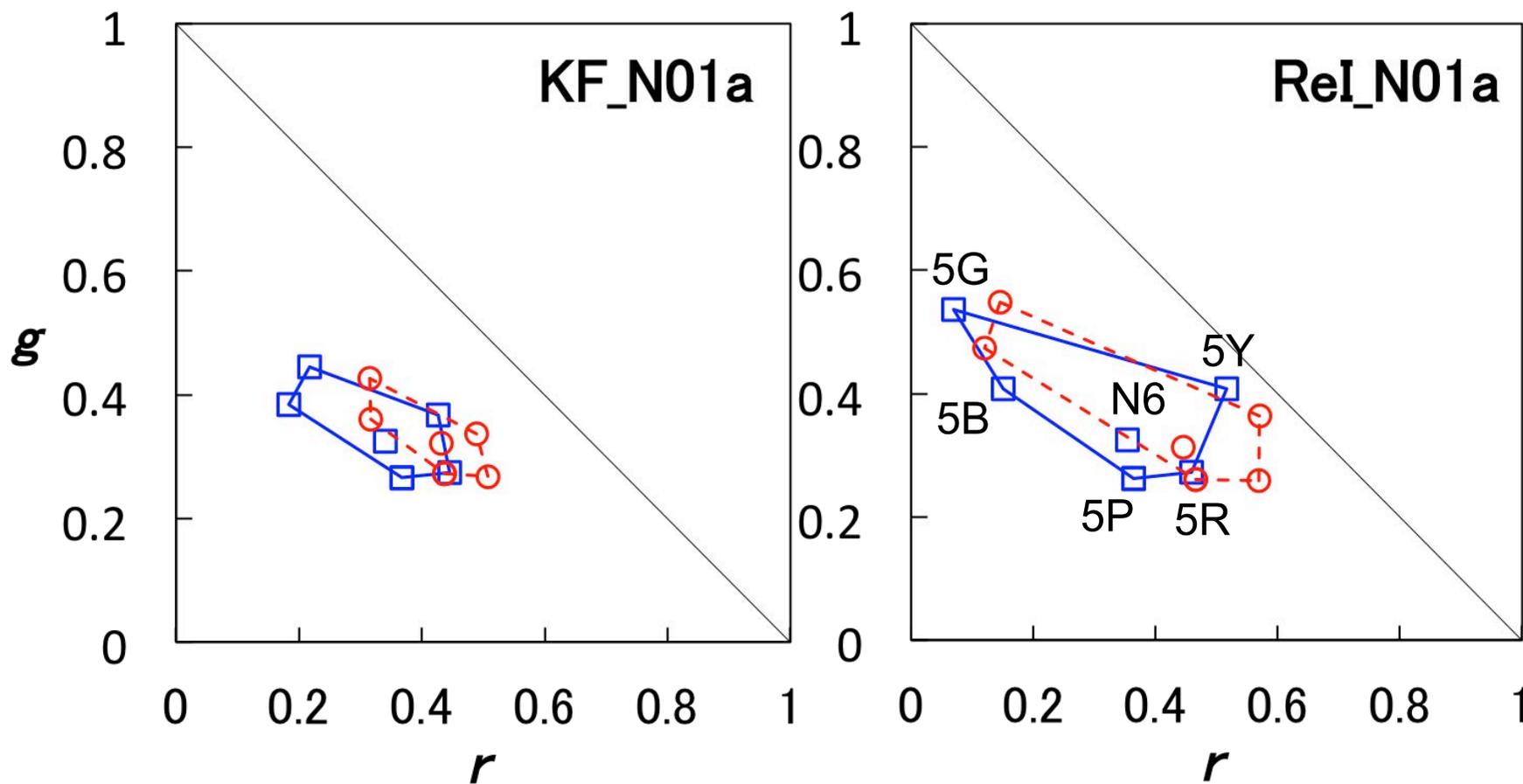
観察者: KF(m, 23), Rel(f, 22), RN(m, 23), RT(m, 22)



携帯電話ディスプレイを用いた実験

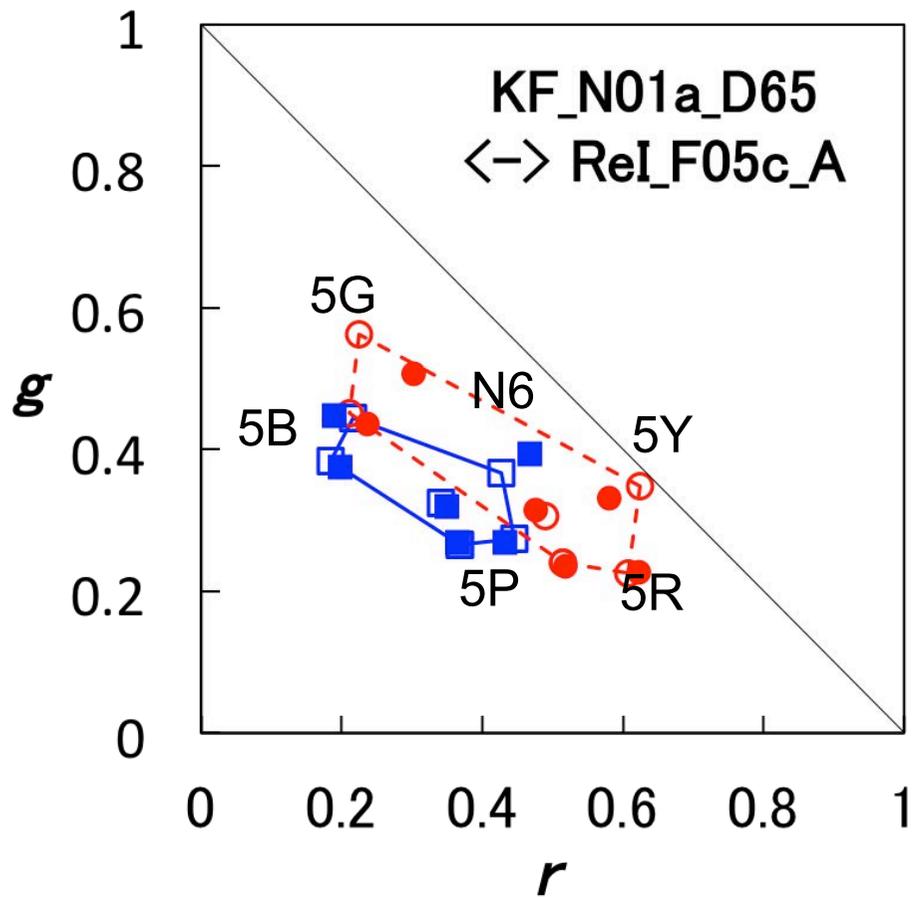
$$r = \frac{R}{R+G+B}, \quad g = \frac{G}{R+G+B}$$

□ D65
○ A



携帯電話ディスプレイを用いた実験

$$r = \frac{R}{R+G+B}, \quad g = \frac{G}{R+G+B}$$



- KF_N01a_D65
- ReI_F05c_A
>> KF_N01a_D65
- ReI_F05c_A
- KF_N01a_D65
>> ReI_F05c_A

色変換の例



m_{NA}

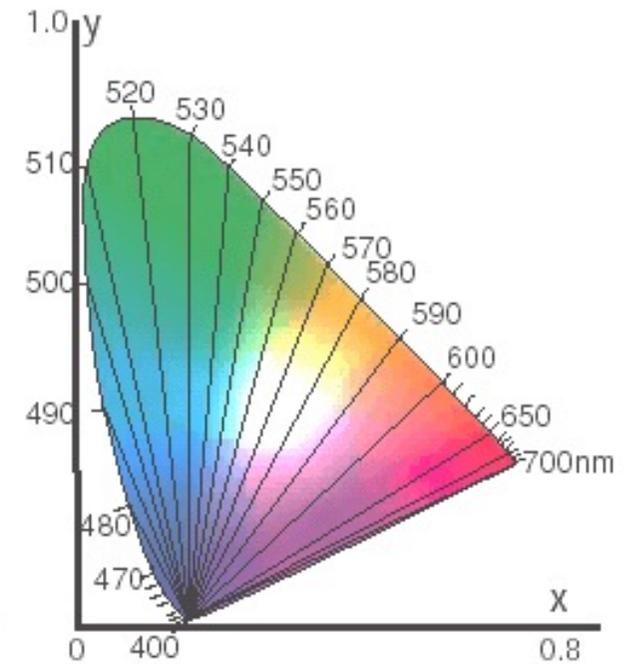
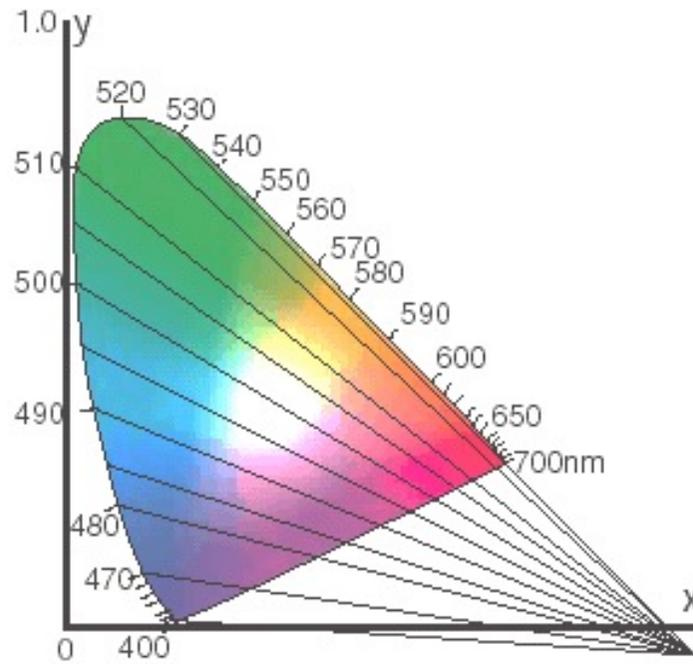
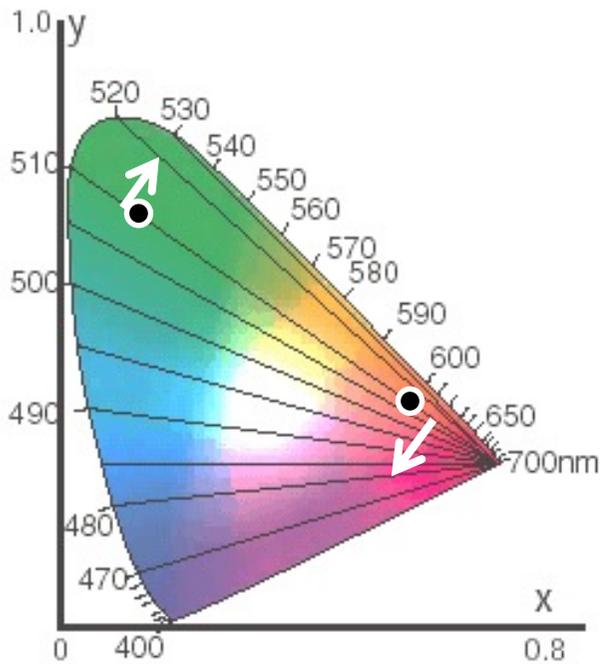


Color-Barrier-Free Lighting カラーバリアフリー照明

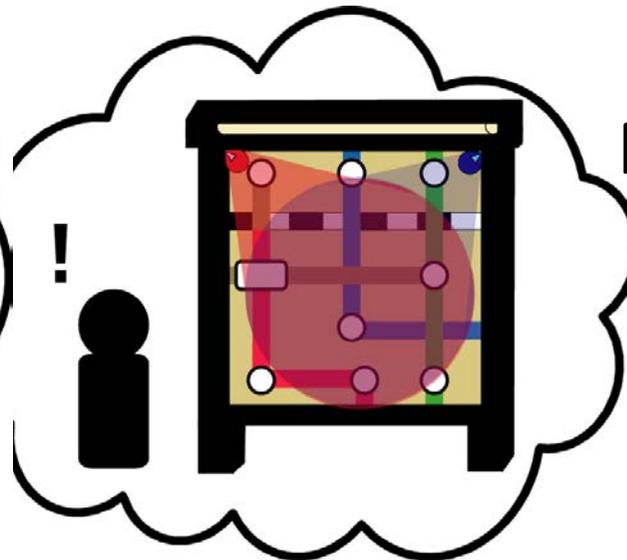
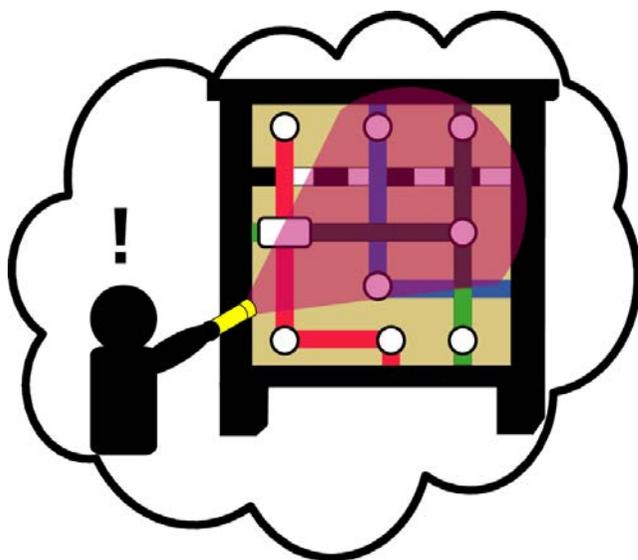
Protan (L cone deficiency)

Deutan (M cone deficiency)

Tritan (S cone deficiency)



Color Confusion Lines on CIE xy Chromaticity Diagram



Make Confusing Colors Discriminable to Color Blinds by Lighting

Lighting for Simulation of Color Vision Deficiency

照明による色覚シミュレーション

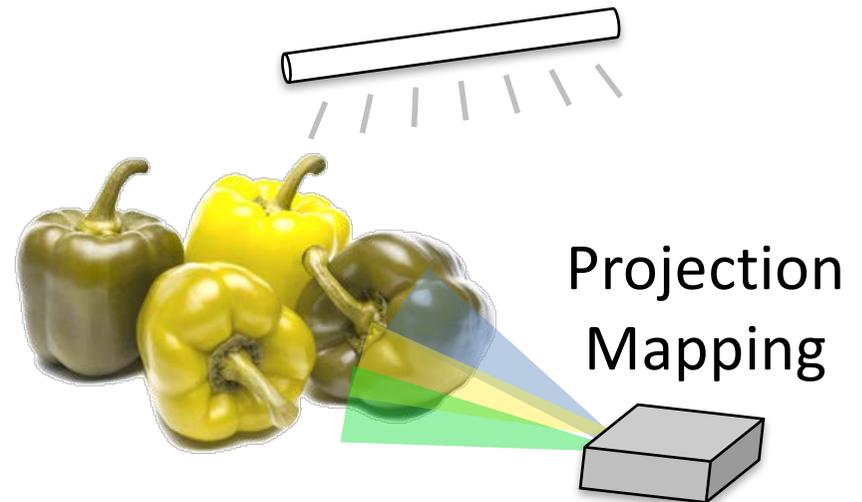
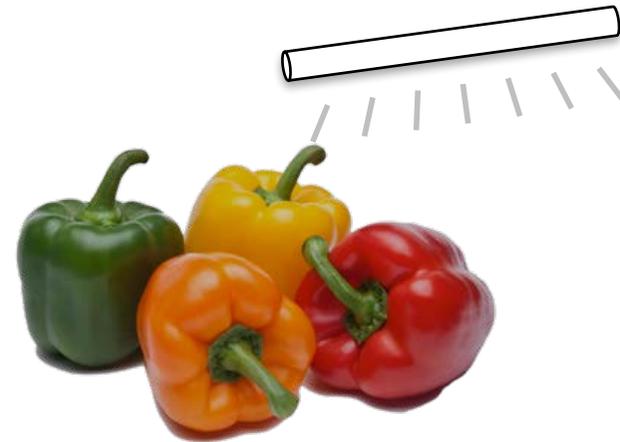
Dichromat Vision Simulation

on a Display by Software

on Objects by Lighting



Brettel et al. (1997)



Protanopic
simulation

Projection
Mapping

カラーリカバリーシステム Color-Recovery-System, CRS[®] 白内障の方に鮮やかな色を提供

白内障

水晶体の白濁にともなう
視力低下とグレアの増大

日本において

- ・ 白内障患者160万人
- ・ 白内障の85%が65歳以上
- ・ 60歳代の70%が白内障
- ・ 70歳代の90%が白内障

→ 高齢者 = 白内障



Good Design

2005-2006
グッドデザイン賞受賞

フィッティングルーム用
高齢者対応照明システム



CRS
COLOR RECOVERY SYSTEM

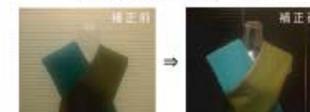


真色再現

キレイな色・見えてますか？

フィッティングルームもUDの時代へ。
必要なのは色柄選びの不安を解消させること。
若 齢者から高 齢者までのあらゆる人へ
商品の色彩印象・色彩品質を
高いレベルでお届けします。

<高齢者の視覚イメージ>



* 効果には個人差があります

- 高齢者の低下した視力を最適な光環境で補正
- 4種類の光によるTPOシミュレート機能搭載

「高齢者対応照明システム」が(財)日本産業デザイン振興会主催の
2005年度グッドデザイン賞(新領域部門)を受賞いたしました。

<審査委員による評価コメント>

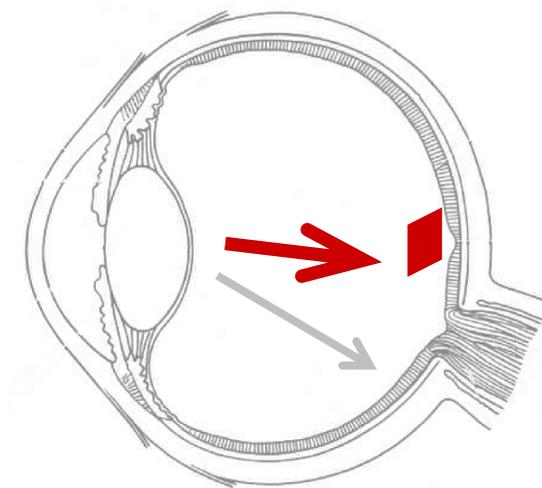
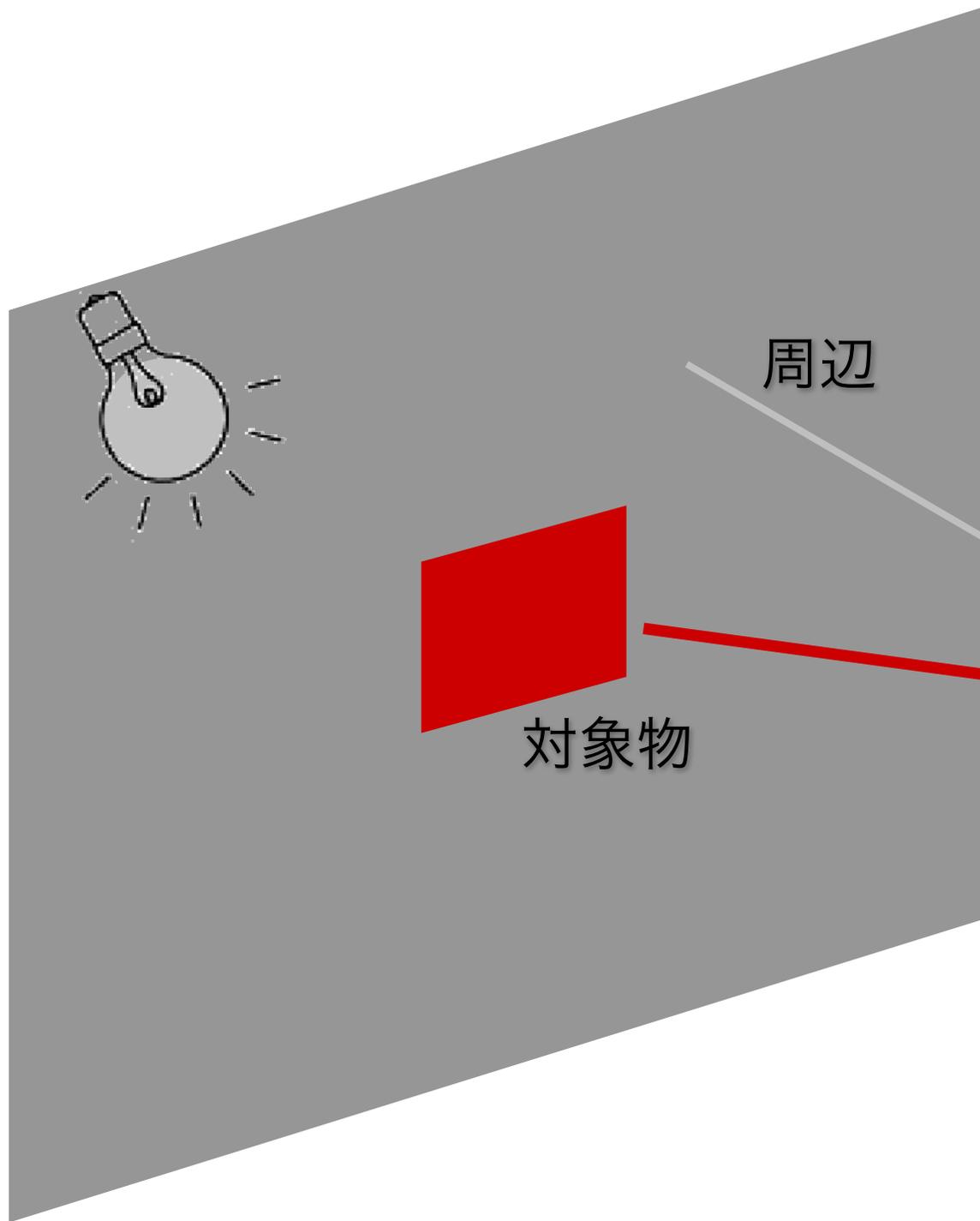
ライティングコントロールシステムという新規開発技術を活かし、視覚におけるユニバーサルデザインの新領域用途を提案した姿勢を評価した。商業施設での同社の実績を踏まえ、実際に多くの施設に導入されることは社会的にも意味がある。また、利用者が商品イメージを理解すると同時に、自分がどのように他者から見られているかを自己認識できるデザイン提案からは、開発者の世代を超えた愛情を感じる。

詳細は右記URLをご覧ください。 <http://www.g-mark.org/winners/>

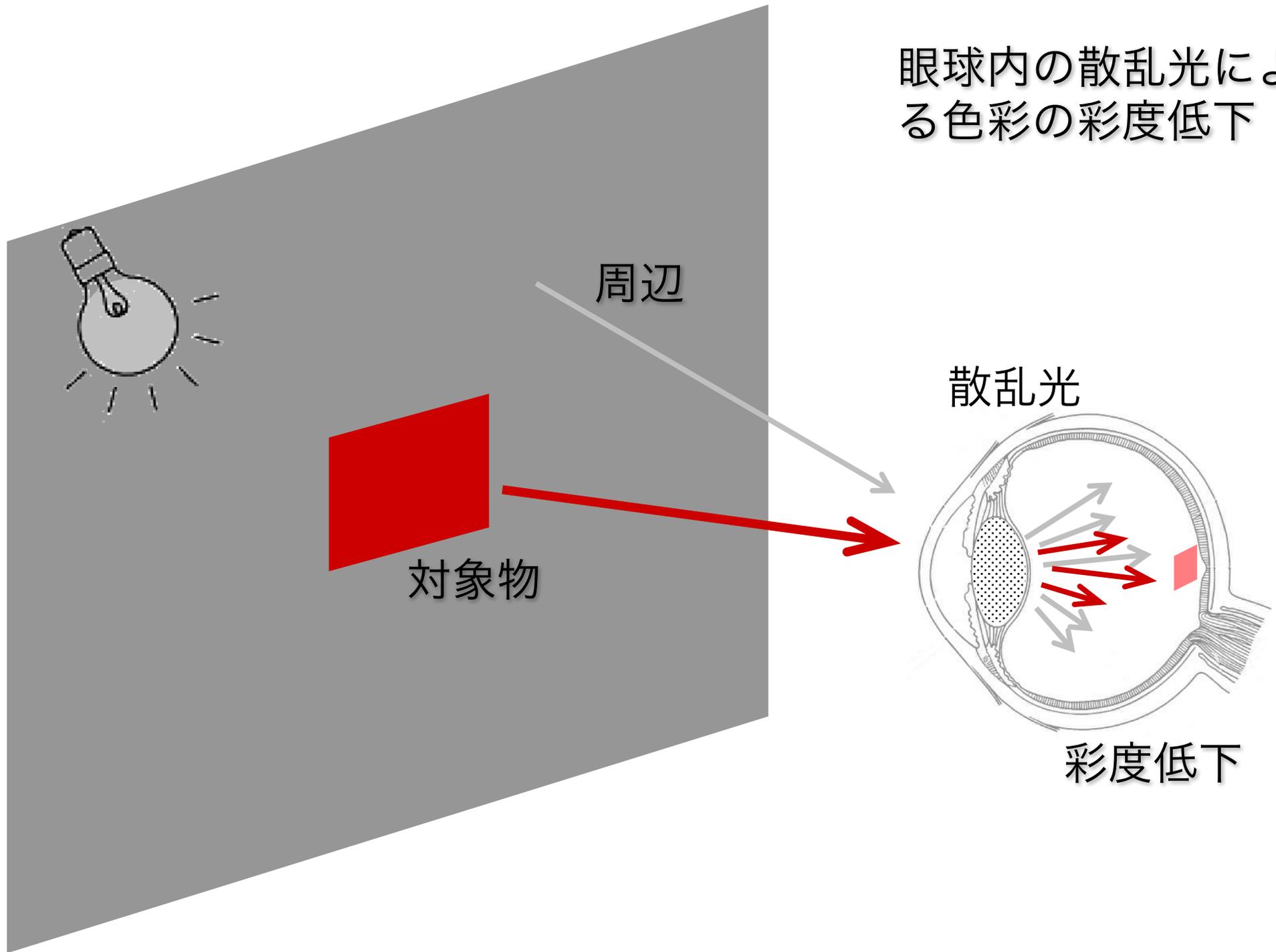
* フィッティングルームタイプの他に、ドレッサータイプ、展示什器タイプなどございます。お気軽にご相談下さい。

YOSHICHU MANNEQUIN
LIGHTING FIXTURES

眼球内の散乱光による
色彩の彩度低下



眼球内の散乱光による
色彩の彩度低下



周辺

対象物

散乱光

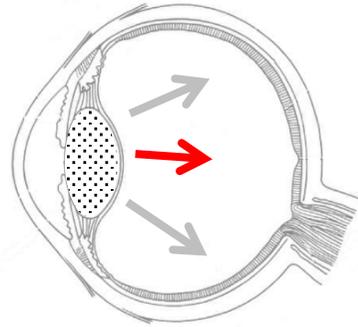
彩度低下

現状の照明システム (1灯 / 1室)

Surround



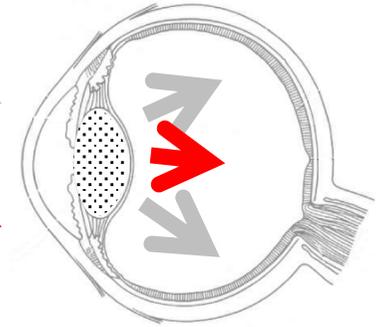
Object



Surround



Object

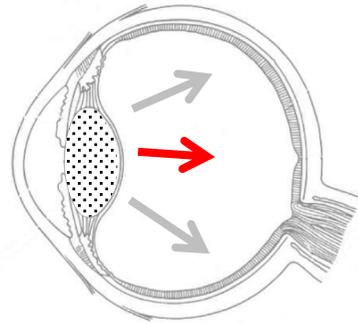


Colorfulness down

Surround



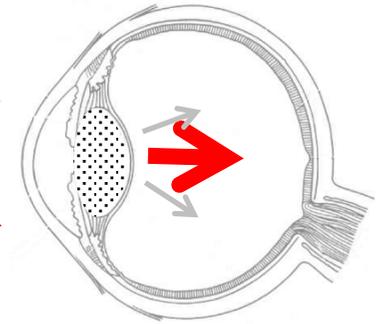
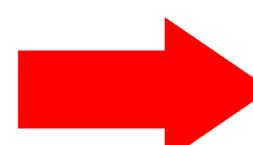
Object



Surround



Object



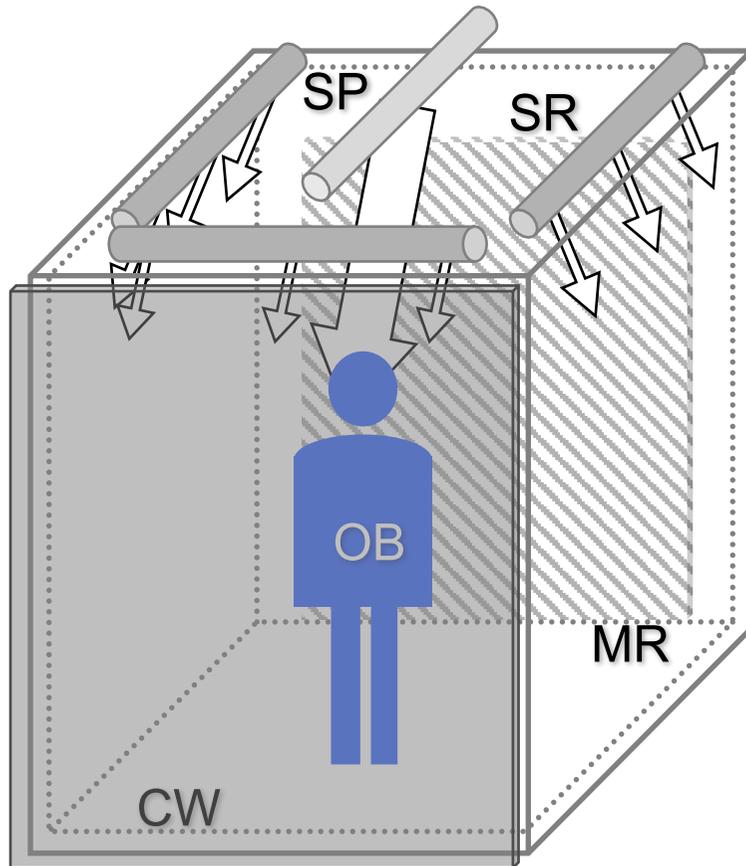
Colorfulness up

彩度低下を防ぐ照明システム

- ・ 対象物へのスポット照明
- ・ 周辺への雰囲気照明

Color recovery system, CRS®

試着室のカラーリカバリーシステム



	SP	SR	CW
通常照明	60%	100%	White
CRS照明	100%	40%	Black

Relative luminance

1. 測色

2. 心理物理学の実験

- ・ カテゴリカルカラーネーミング
- ・ エレメンタリーカラーネーミング

3. 顧客へのアンケート調査

SP, spot-light for object (observer's cloth)
SR, surround-light for wall
CW, color-variable wall
MR, mirror
OB, observer

顧客アンケート (Oct.2004~Feb.2005)



Seibu 2004年8月 船橋西武



2004年9月 高槻西武 Seibu



Sogo 2004年9月 神戸そごう



Seibu 2005年3月 八尾西武



Isetan 2005年8月 府中伊勢丹



2005年9月 仙台藤崎



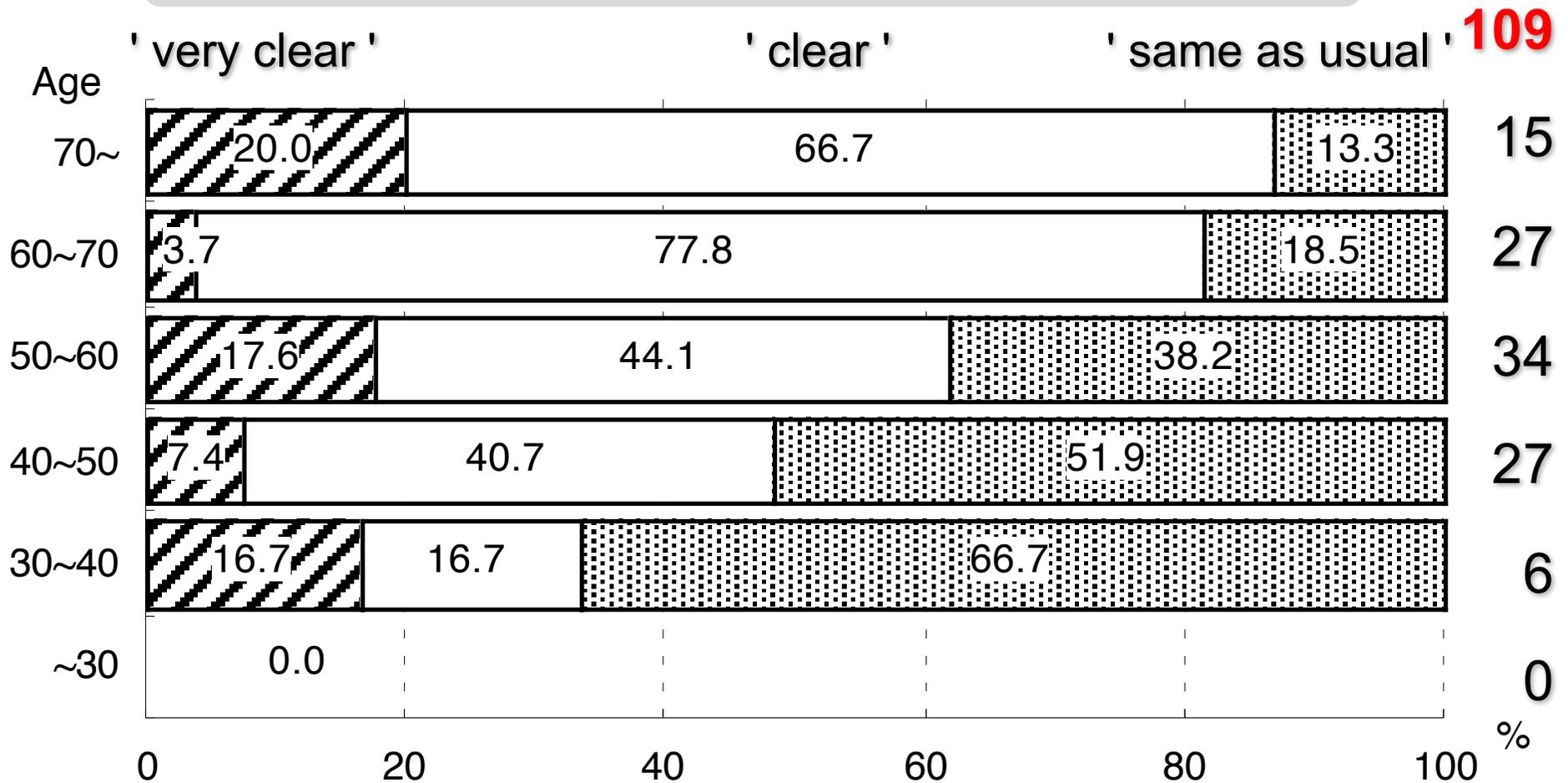
2005年9月 相模原伊勢丹

Isetan

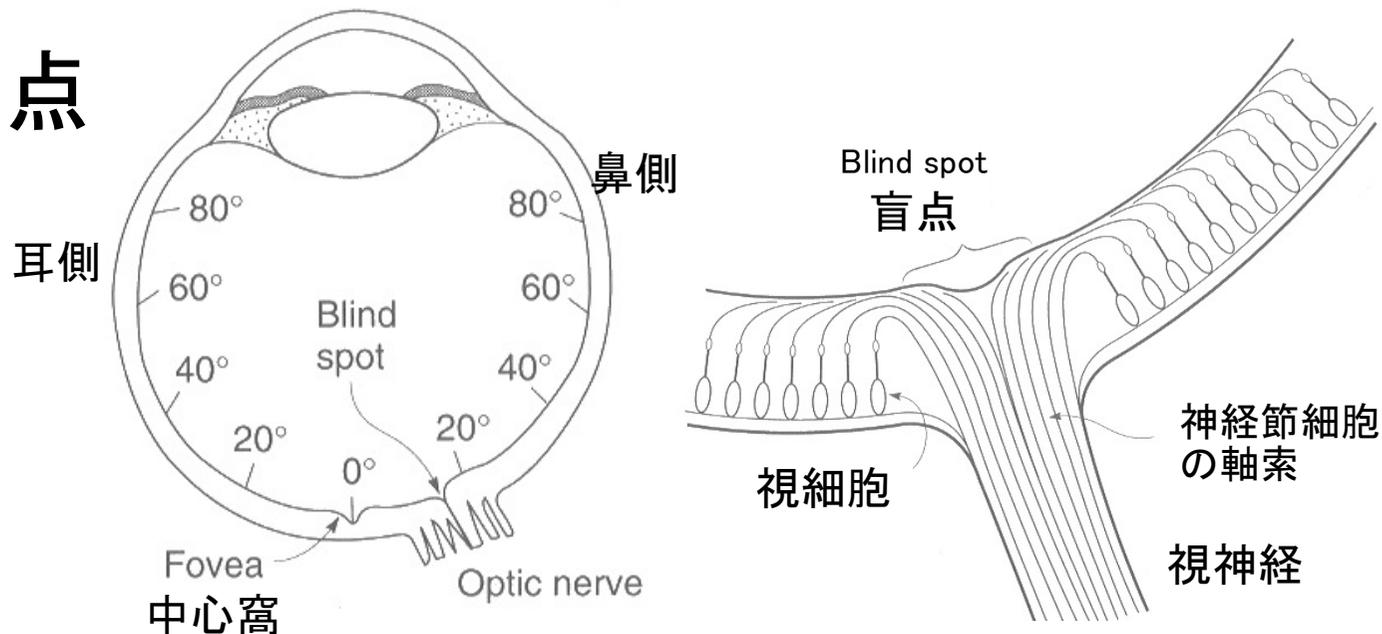
その他
2005年2月 つくば西武
2005年4月 広島そごう

顧客アンケート (Oct.2004~Feb.2005)

Q2. 色や柄はいつもに比べて
はっきりと見えやすかったですか？



反転網膜と盲点



視細胞分布

