

光学 第10章

測光・測色

測光と測色

測光：光源や照明の明るさ

物理的な明るさ：放射測光学, radiometry

ヒトの眼が感じる明るさ：測光学, photometry

心理物理量

測色：色の表現

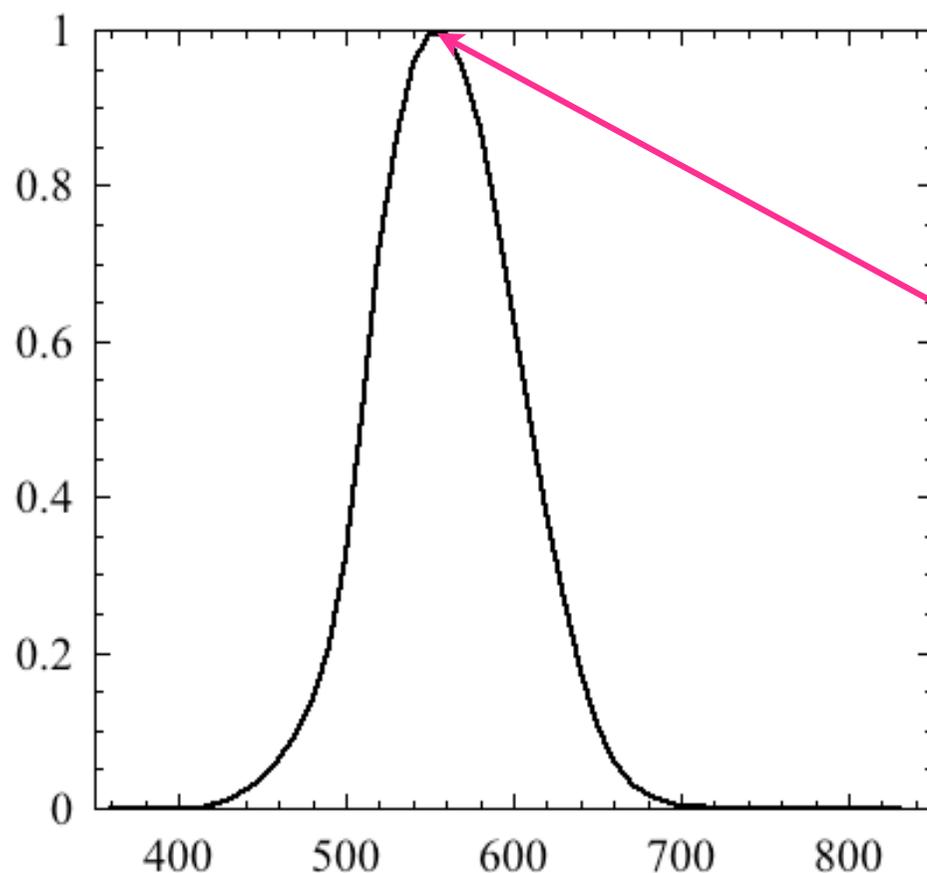
物理的にはスペクトル

ヒトの感覚：3原色

心理物理量

視感度曲線

光のパワー： ワット ⇒ ルーメン



物理量：ワット W

心理物理量：ルーメン lm

$$K_m = 638 \text{ lm/W}$$

変換係数

$$f(\lambda) = K(\lambda)e(\lambda)$$

$$K(\lambda) = K_m V(\lambda)$$

電球：100ワット（消費電力）

プロジェクター：1000ルーメン

明るさ

- 点光源
 - 眼の解像限界以下の大きさの光源
 - 光度：単位立体角あたりの光量
 - 光度は距離の2乗に反比例
- 面光源
 - 拡がりのある光源
 - 輝度：単位面積単位立体角あたりの光量
 - 輝度は距離に依存しない（輝度不変則）
- 照明
 - 照度：単位面積あたりの光量

点光源の光度

$$dF = I_r d\Omega$$

$$d\Phi = Id\Omega$$

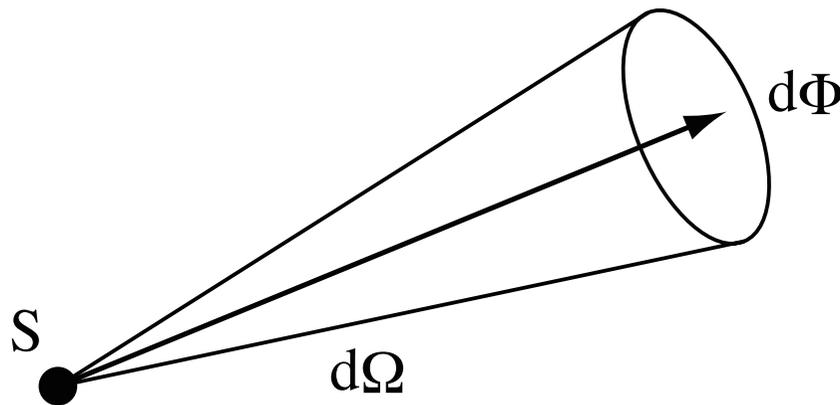
単位立体角当たりの光量

放射強度

W/sr

光度

カンデラ cd = lm/sr



例

ろうソク : 1 cd

100W電球 : 120 cd

面光源の輝度

$$dF = B_r \cos \theta dS d\Omega$$

$$d\Phi = B \cos \theta dS d\Omega$$

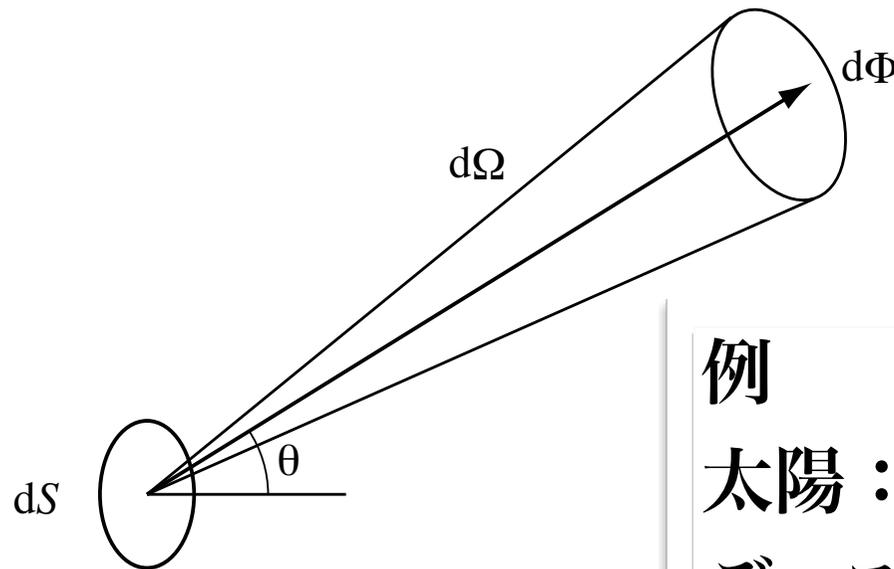
単位面積単位立体角当たりの光量

放射輝度

$$W / m^2 sr$$

輝度

$$cd / m^2$$

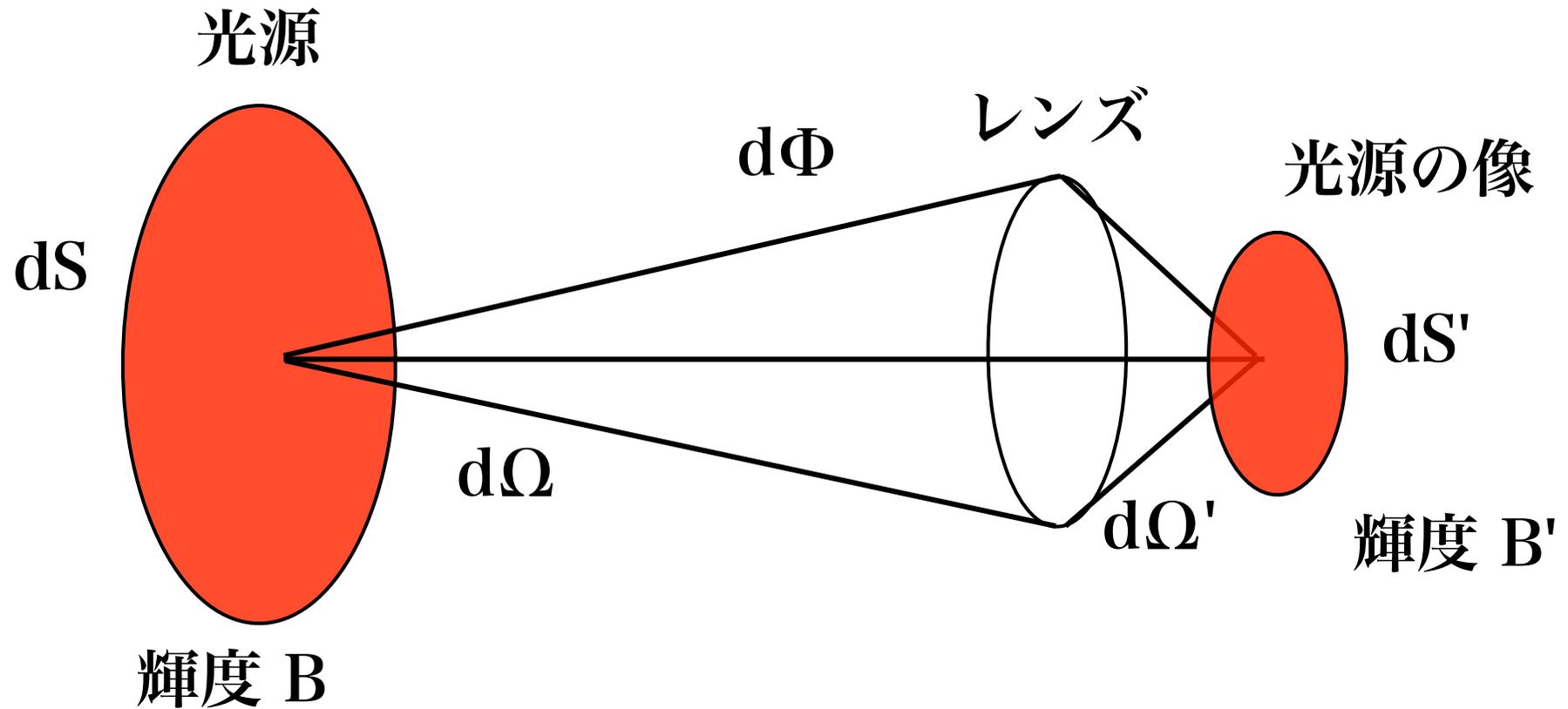


例

太陽： $1.6 \times 10^9 \text{ cd/m}^2$

ディスプレイ： $50 - 300 \text{ cd/m}^2$

輝度不変則



$$d\Phi = B \cos\theta dS d\Omega = B' \cos\theta' dS' d\Omega'$$

$$dS d\Omega = dS' d\Omega' \Rightarrow B = B'$$

ヘルムホルツ・ラグランジェの
不変式

照度



$$dF = E_r dS$$

$$d\Phi = EdS$$

単位面積当たりの光量

放射照度

W / m^2

照度

ルクス lx



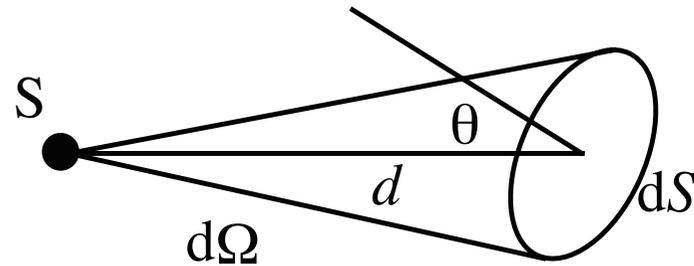
例

太陽光(直接) : 32,000 – 130,000 lx

仕事場 : およそ400 lx

月光 : 1 lx

点光源の照度



微小面積の張る立体角 $d\Omega = \frac{\cos\theta}{d^2} dS$

光束

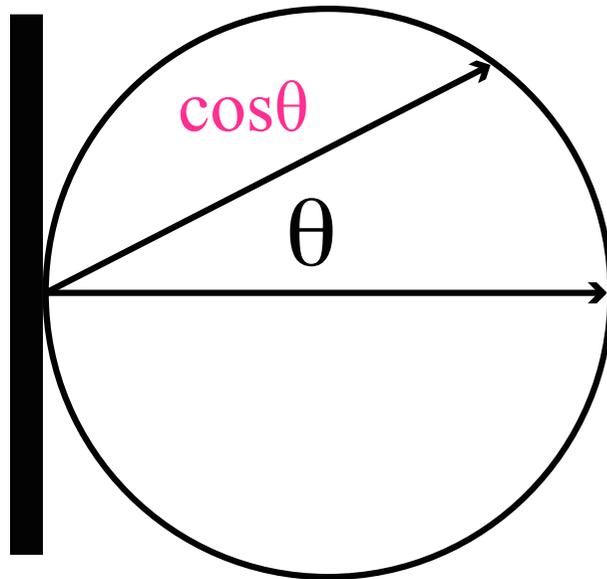
$$d\Phi = EdS = Id\Omega = \frac{I \cos\theta}{d^2} dS \Rightarrow E = \frac{I \cos\theta}{d^2}$$

照度

測光量のまとめ

光束		ルーメン
光度	単位立体角	カンデラ
輝度	単位面積 単位立体角	(ニト)
照度	単位面積	ルクス

完全拡散面 ランベルト面



$$d\Phi = B \cos \theta dS d\Omega$$

どの方向から見ても
輝度は一定

満月

見かけは、球か円盤か？

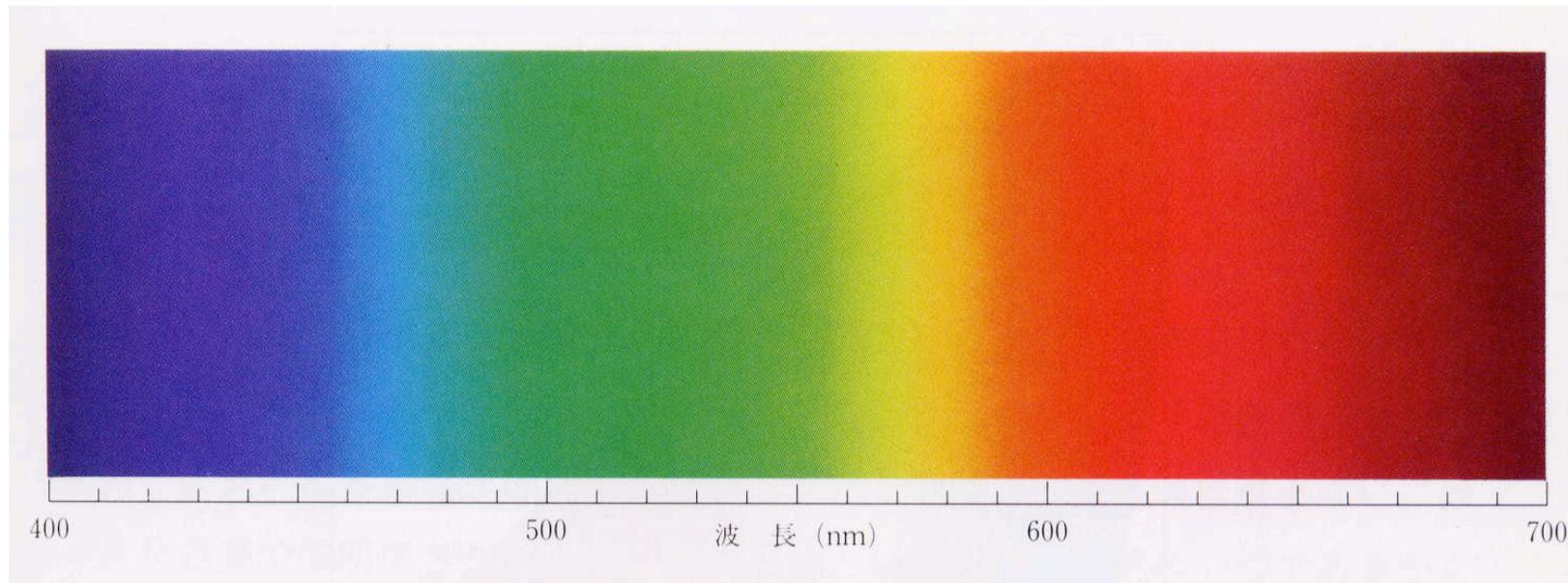


色の表現

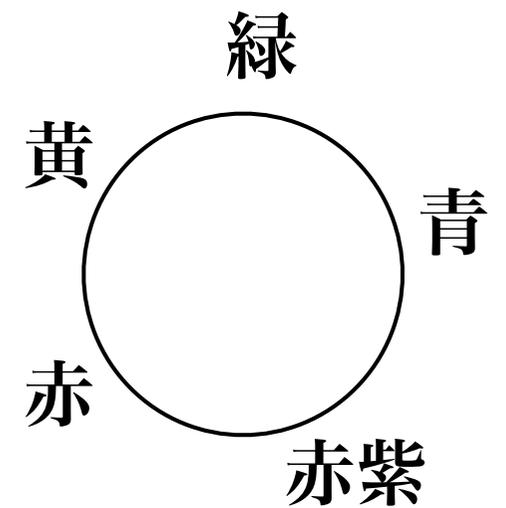
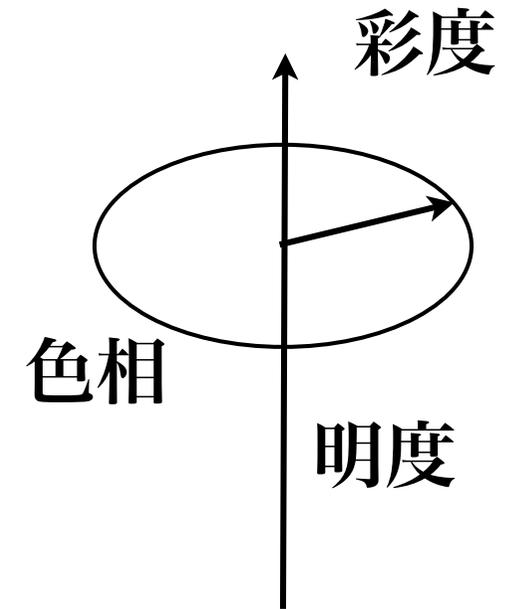
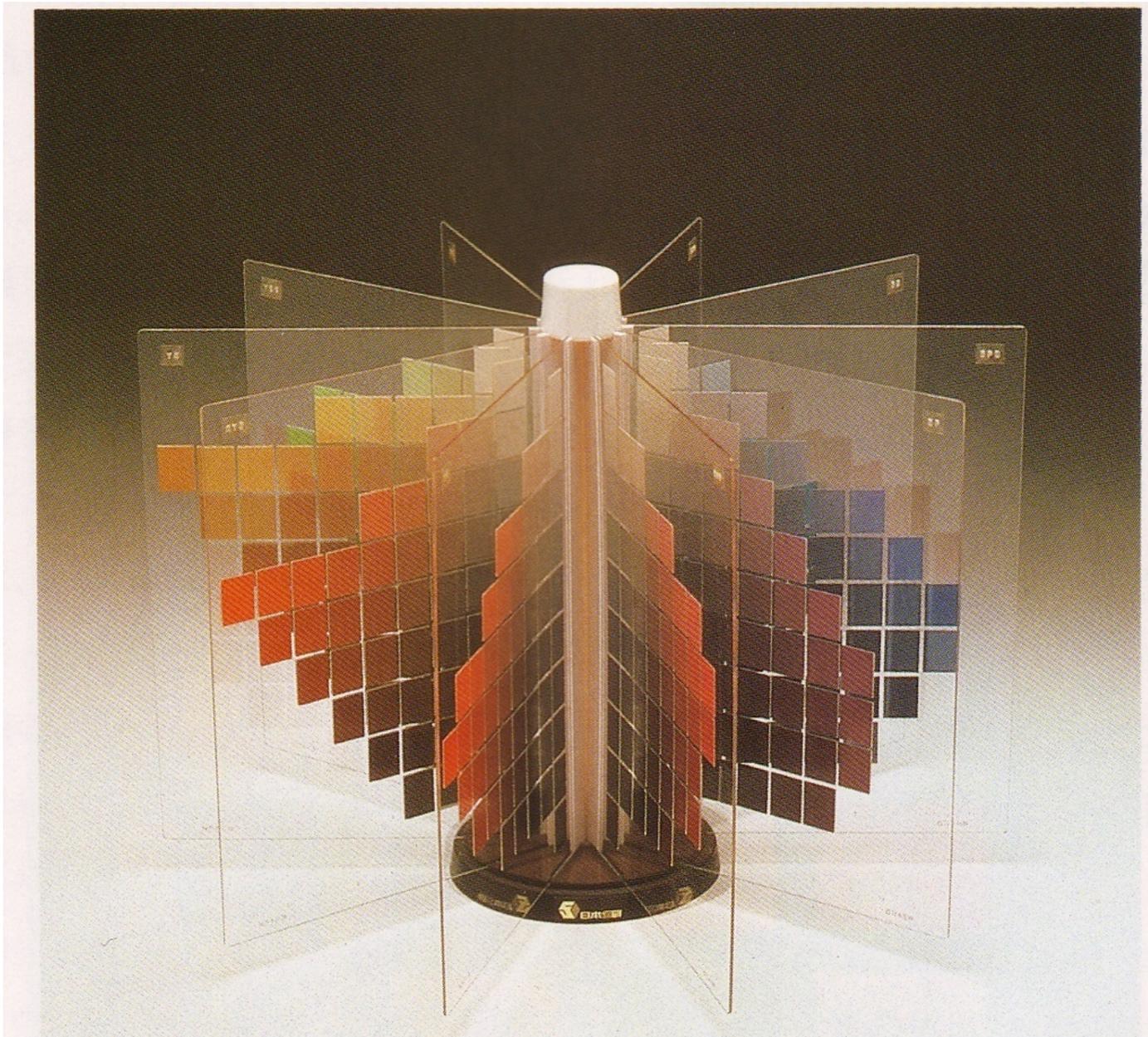
- 顕色系
 - 色の見え方で表現する
 - 色相
 - 明度
 - 鮮度
- 混色系
 - 基本の色の重ね合わせ・・・3原色理論
 - 加法混色
 - 光の重ね合わせ
 - 赤緑青 RGB
 - 減法混色
 - 絵の具の重ね合わせ
 - マゼンダ・黄・シアン MYC

白色光のスペクトル

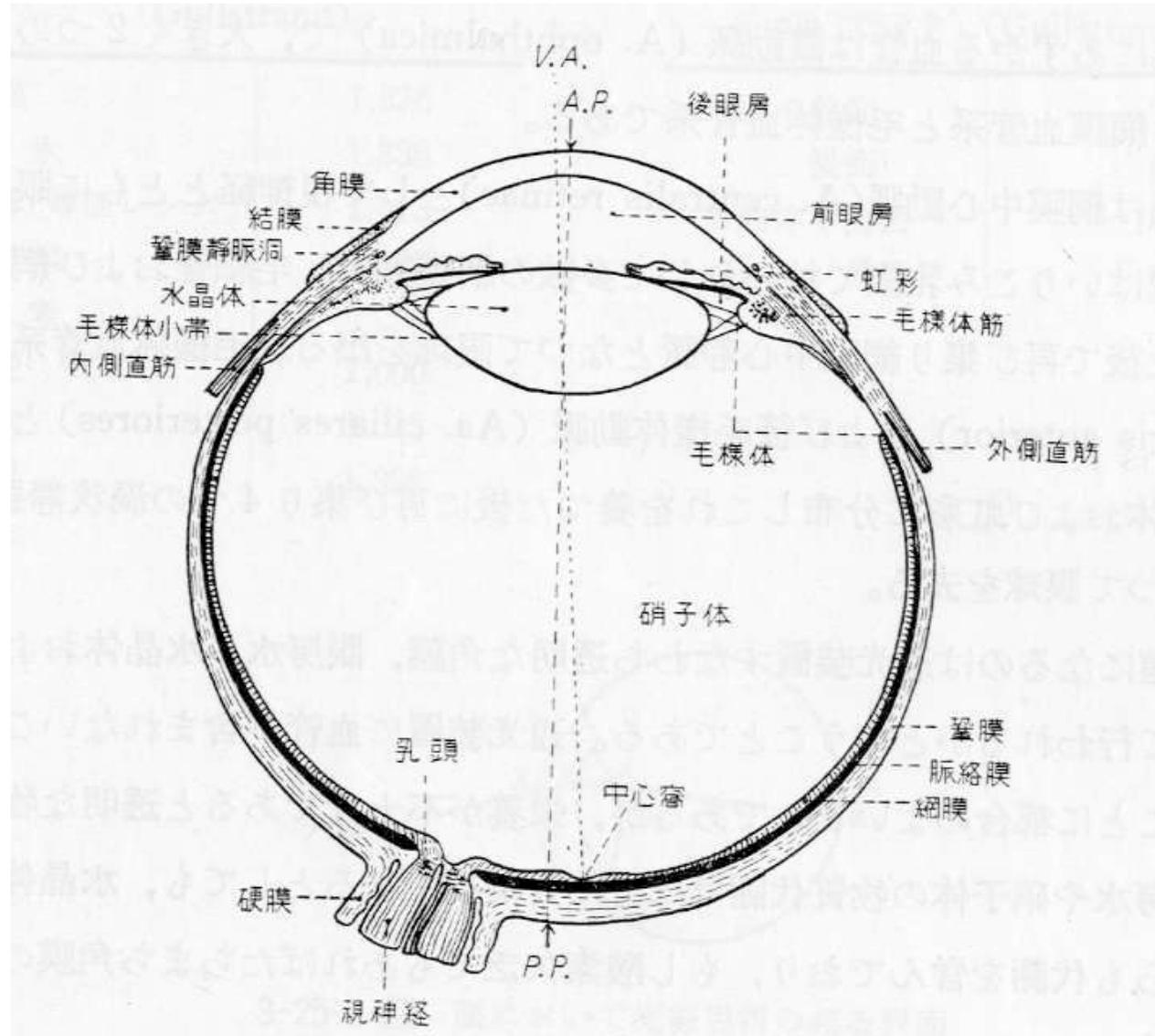
物理的に忠実な表現：スペクトル分布
しかし，工学的に色を表現するには複雑過ぎる
少ないパラメーターで表現したい
眼と脳の機能に学ぶ



顕色系・・・マンセル表色系



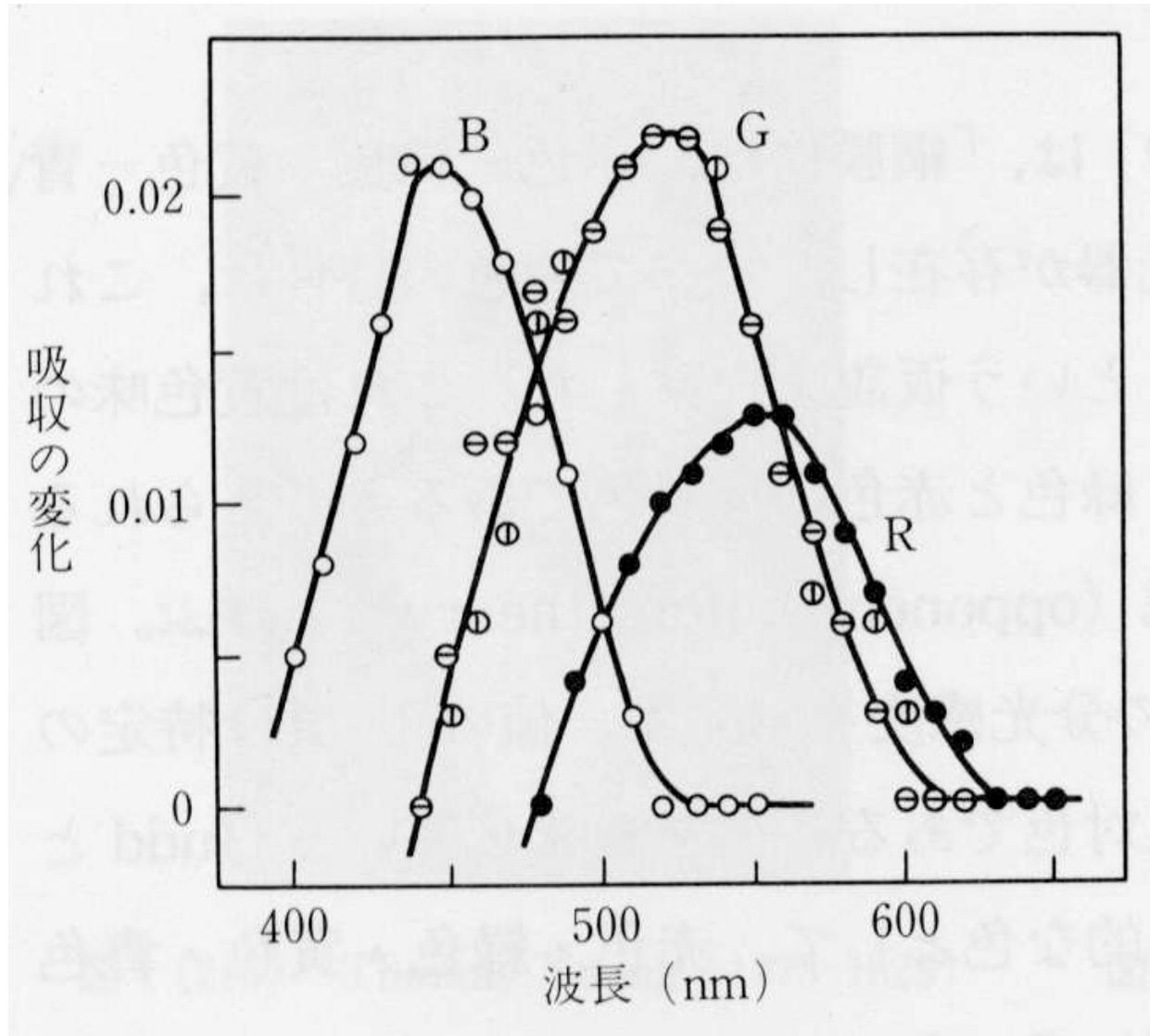
ヒトの眼（水平断面図）



眼

- 光学系と検出器(視細胞)からなる
- 視細胞
 - 桿体(rod)
 - 高感度・・・暗所で機能
 - 色を識別できない
 - 錐体(cone)
 - 高分解能・・・昼間に機能
 - 色を識別できる
 - RGBに相当する3種類

ヒトの錐体の分光吸収



色合わせと三刺激値

$$[F] = R[R] + G[G] + B[B]$$

与えられた色 ↑ 三原色の重ね合わせ
重み：(R, G, B)

同じ色に見える

線形関係を仮定

$P(\lambda)$: スペクトル

$$R = \int P(\lambda) \bar{r}(\lambda) d\lambda$$

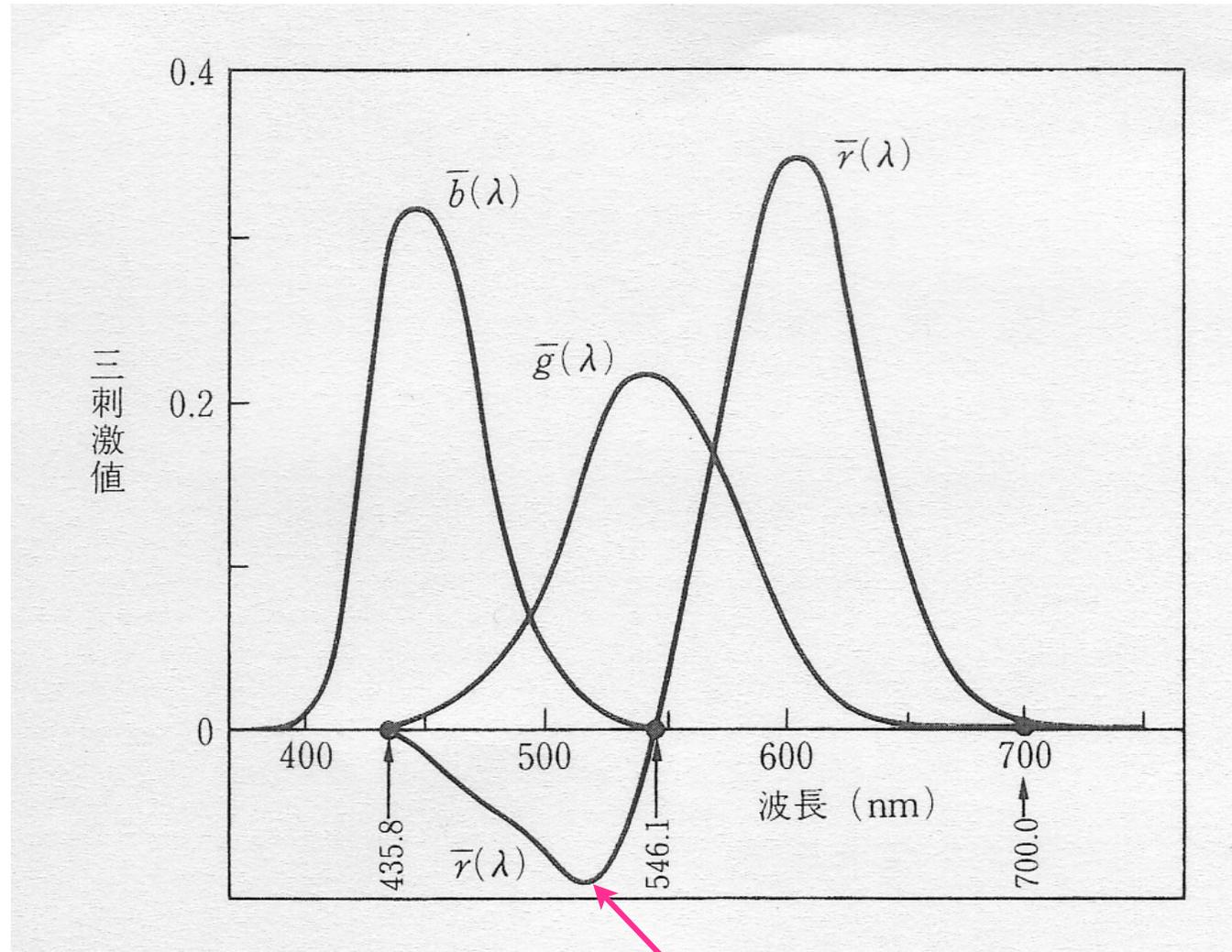
$$G = \int P(\lambda) \bar{g}(\lambda) d\lambda$$

$$B = \int P(\lambda) \bar{b}(\lambda) d\lambda$$

単色光を入力すると

$$R = \bar{r}(\lambda), \quad G = \bar{g}(\lambda), \quad B = \bar{b}(\lambda)$$

rgb等色関数

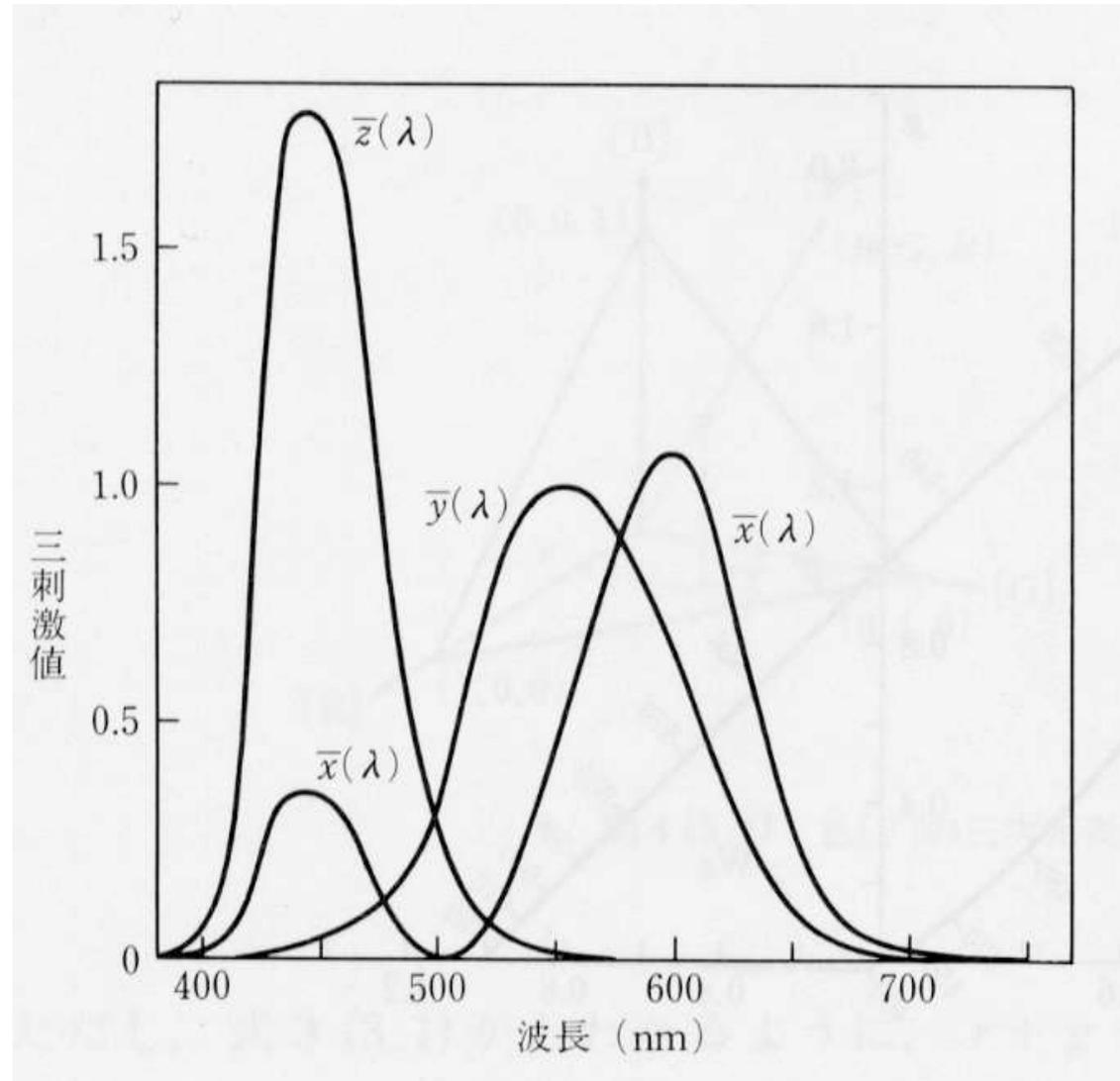


負になる領域がある

$$[F] + R[R] = G[G] + B[B]$$

xyz等色関数

xyz : rgbの一次結合で非負の関数を作る

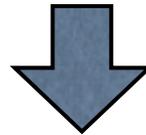


xy表色系

$$X = \int P(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

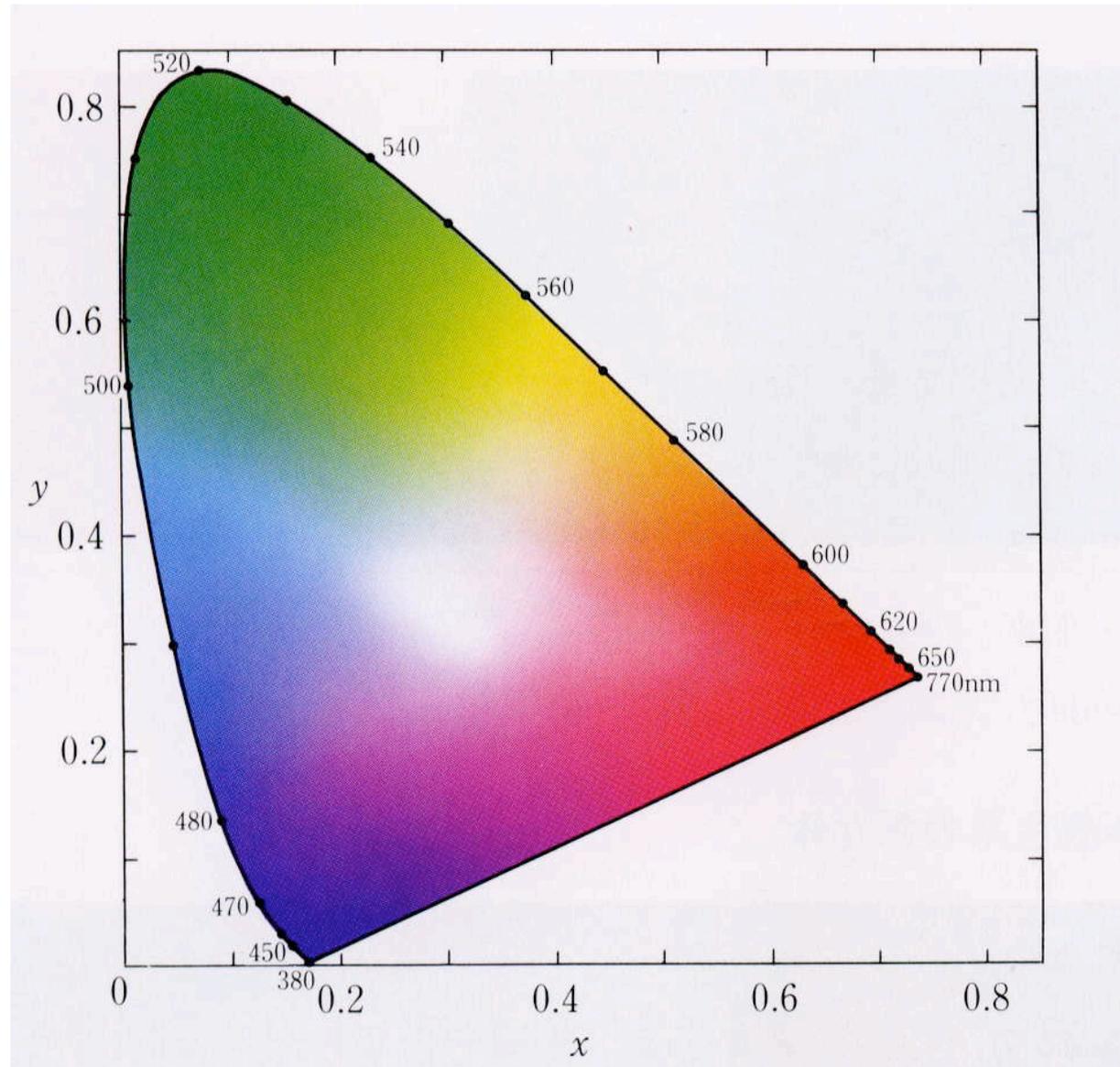
$$Y = \int P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = \int P(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

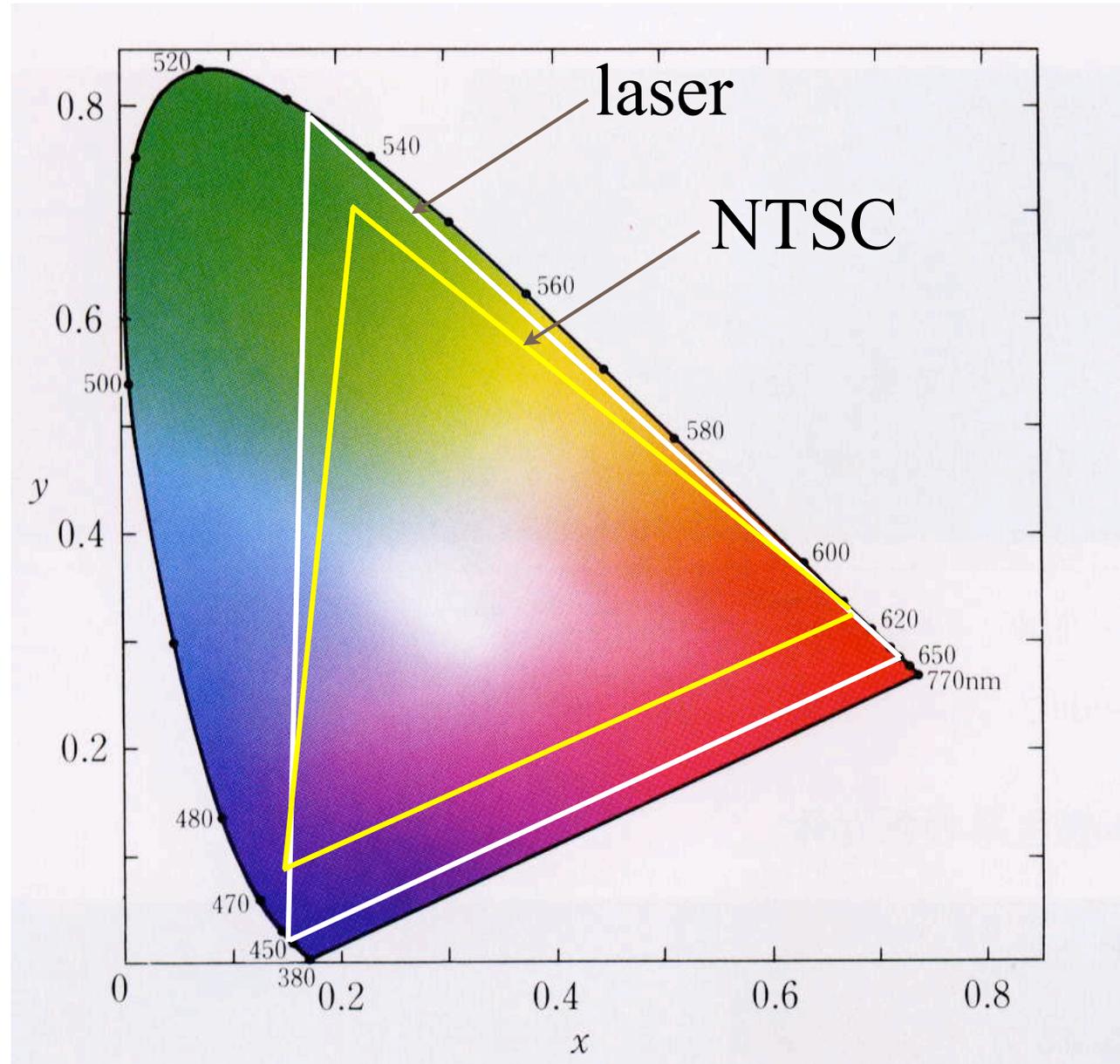


$$x = \frac{X}{X + Y + Z}, \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

xy色度図



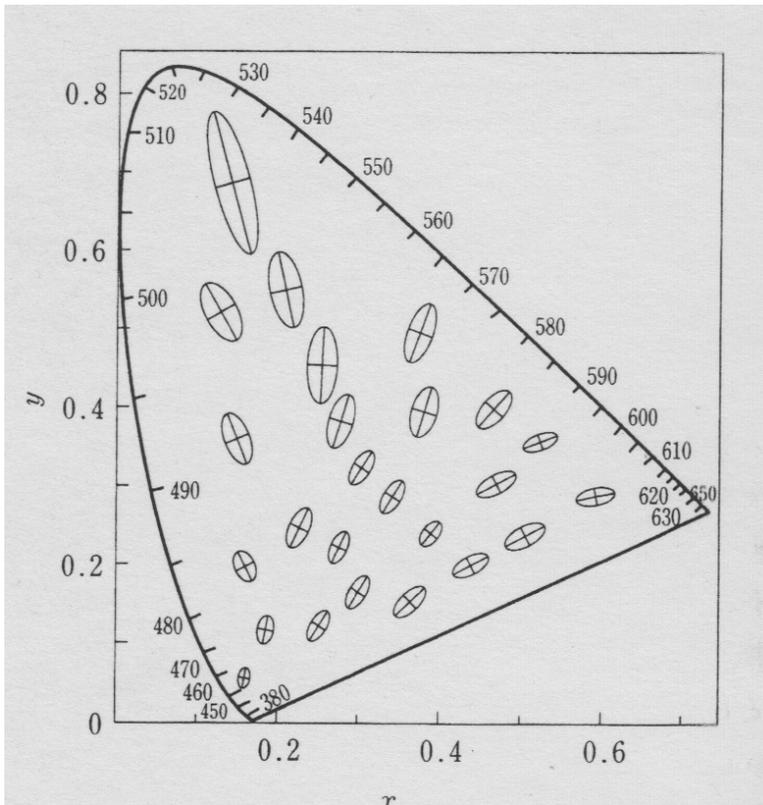
色再現



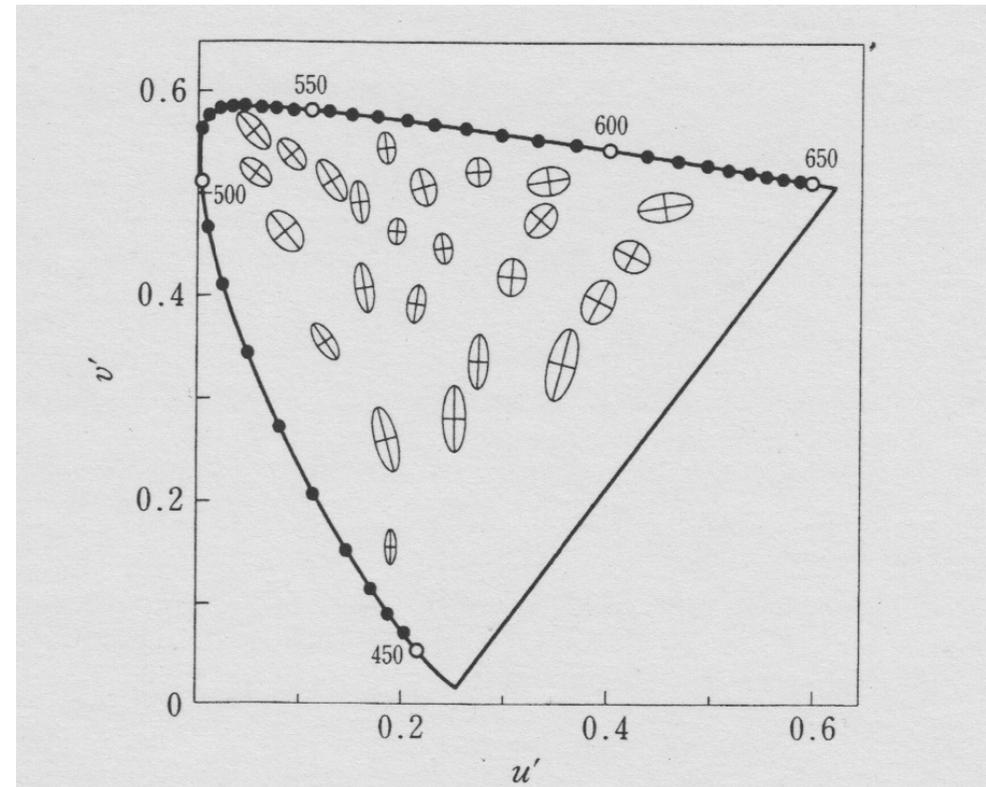
均等表色系 $u'v'$ 色度図

マックアダム楕円

等色実験の標準偏差



xy 色度図



$u'v'$ 色度図