

「生物機械計測学」
自然界の色のしくみと太陽の放射特性
—なぜ夕焼けは赤いか？なぜ葉は緑か？—

農学研究科 地域環境科学専攻

近藤 直

授業の目的: 色のしくみ、表現方法を学び、自然界に発生する色の理由を理解する。さらに、色を計測する方法を学ぶ。



生物機械計測学

(Plant measurement)

授業のキーワード:

自然(Nature)

工学(Engineering)

計測(Measurement)

植物(Plant)

光(Light)

色(Color)

画像(Image)

力学的特性(Mechanical property)

物理的特性(Physical property)

ロボット(Robot)



授業の目的

現代は、規格化された工業製品だけでなく、自然界の植物、動物をも計測したり、制御・生産する時代である。本授業では、複雑で多様な自然現象および植物の挙動等に内在する法則、現象を理解すると同時に、生物を対象に種々の項目を計測する装置およびその原理、構成、仕組みなどを習得することを目的とする。



授業の到達目標

1. 自然界における工学的計測に関わる用語、知識を幅広く身に着けること。
2. 植物の成長、挙動に関連する特性およびルールが理解できるようになること。
3. 画像および種々の計測システムの仕組みが理解できるようになること。

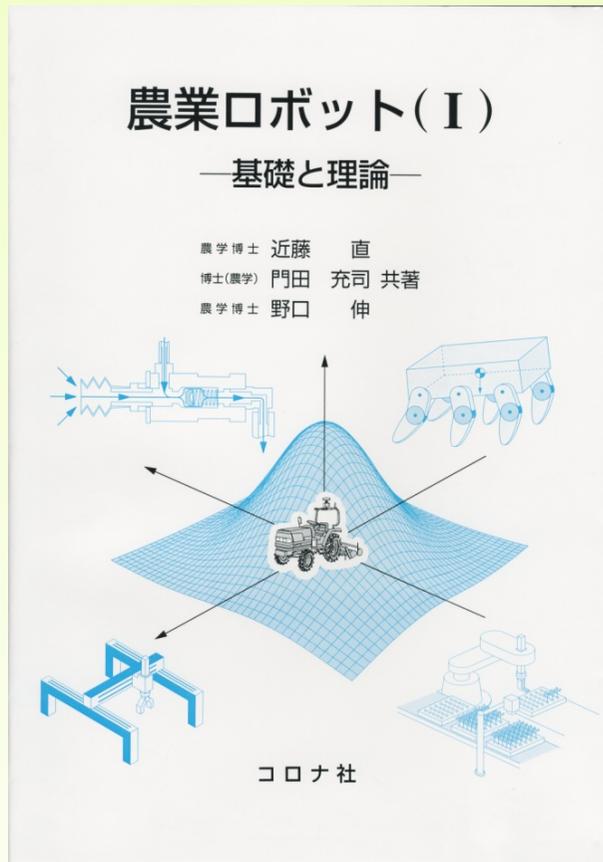


授業の内容・スケジュール

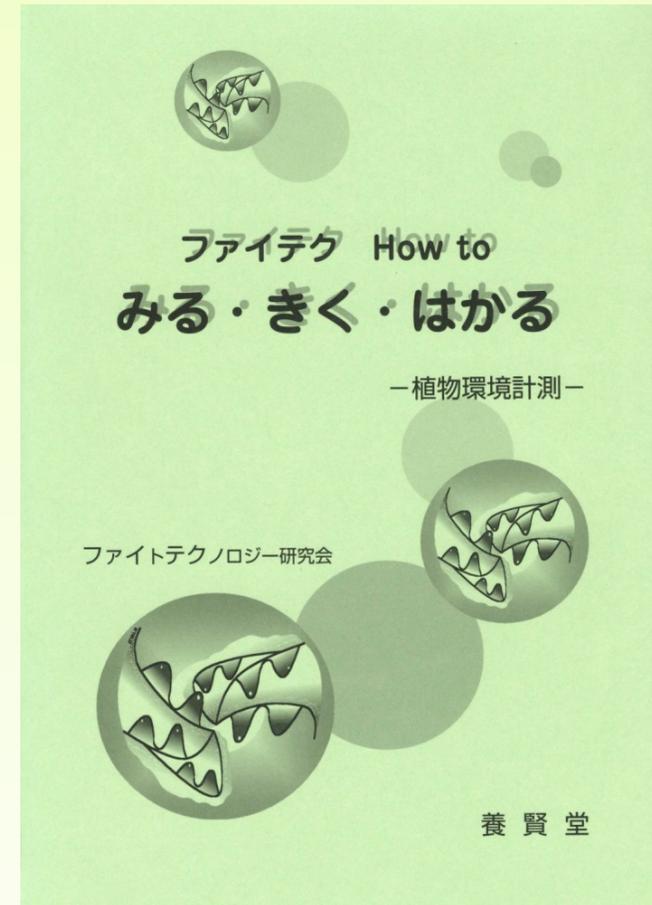
1. 自然界の色のしくみと太陽の放射特性 –なぜ夕焼けは赤いか？–
2. マシンビジョンシステムとは？ –色の計測–
3. 照明の基礎, 光および電磁波の分類とその特徴 – γ 線からテラヘルツまで–
4. 生物の光反射特性 –可視, 赤外, 紫外領域を中心に–
5. 画像処理手法の基礎(1)(PCを用いた実習:S-284室)
6. 画像処理手法の基礎(2)(PCを用いた実習:S-284室)
7. 画像処理手法の基礎(3)(PCを用いた実習:S-284室)
8. 人間の目, 昆虫の目, 機械の目
9. 自然界の形状の規則性とその計測方法
10. 生物材料の物理的特性の計測
11. 近赤外による非破壊計測と土壌の計測
12. 種々のセンサと計測システム



教科書と参考書



(株) コロナ社
「農業ロボット(I)ー基礎と理論ー」
(近藤 直他編)



(株) 養賢堂
「ファイテック How to みる・きく・はかる」
(ファイトテクノロジー研究会編)



授業、質問等について

講義の終わりにレポートを出し、次の講義時に回収する。

オフィスアワー: 居室にいるときであれば、随時

E-mail: kondonao@kais.kyoto-u.ac.jp

居室: 農学部総合館, S-252



質問(出席代わりに)

自然界において不思議だと思った現象について、思いつくところを書いて提出してください。

あるいは

画像処理, 生物および自然等の計測方法等について知りたいことを書いて提出してください。

学年、学籍番号、氏名を忘れずに！





アスパラ



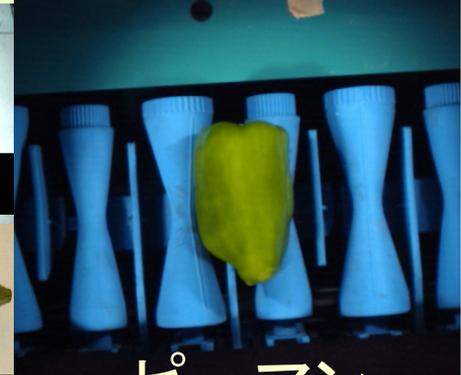
白ネギ



ナス



ニガウリ



ピーマン



タマネギ



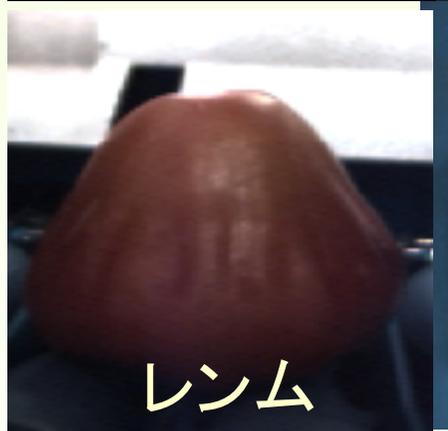
トマト



ジャガイモ



カキ



レンム



スダチ



ユズ



ミカン

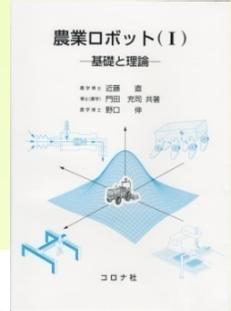
種々の農産物の色



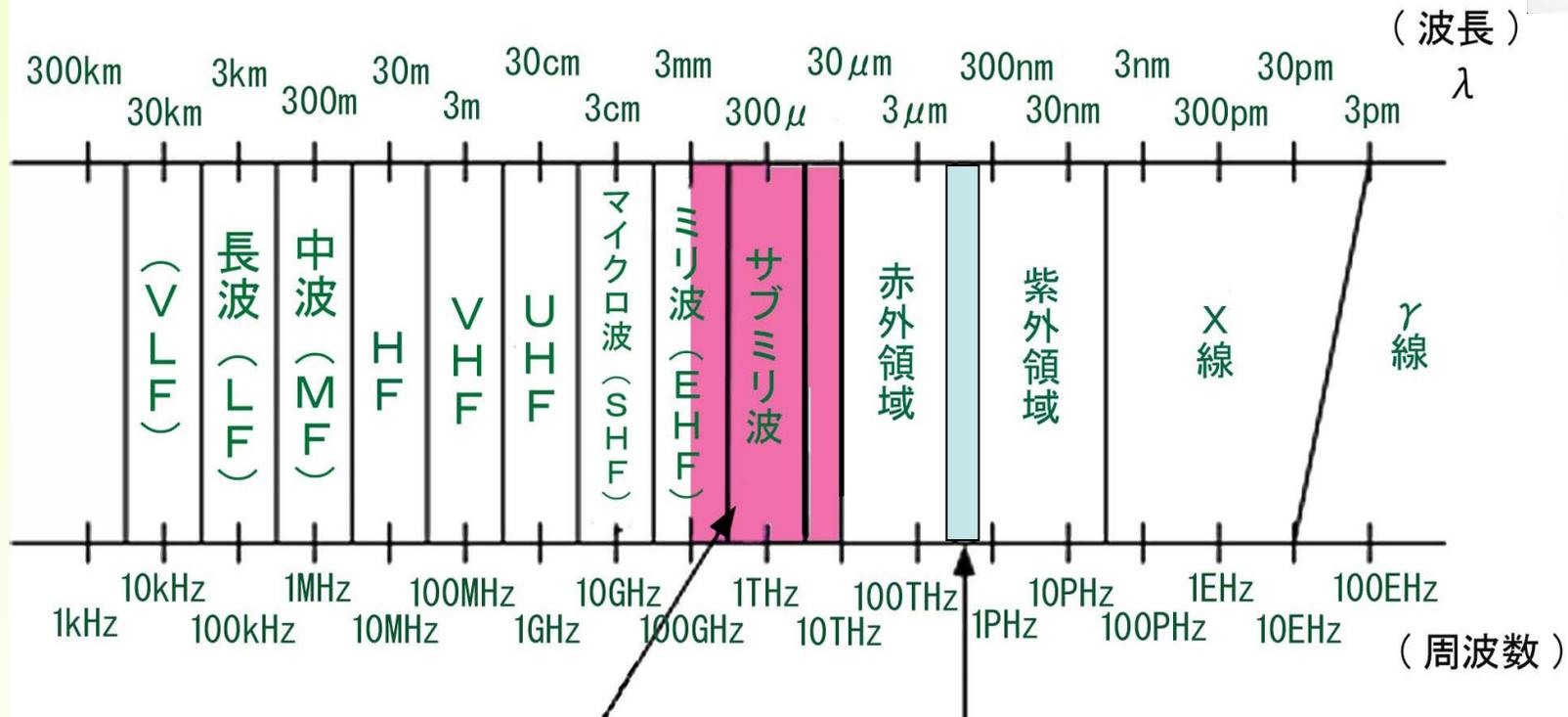
KYOTO

京都大学
UNIVERSITY

色とは？



P.12

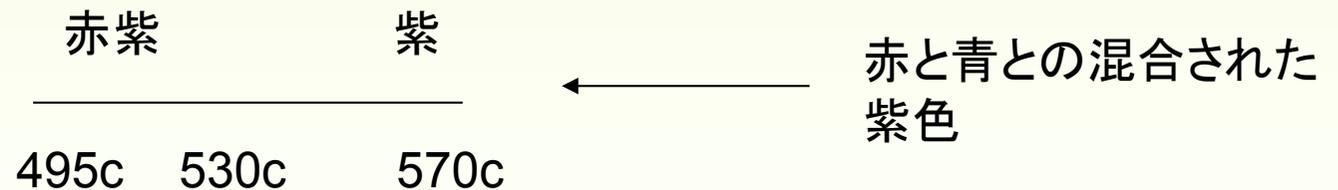
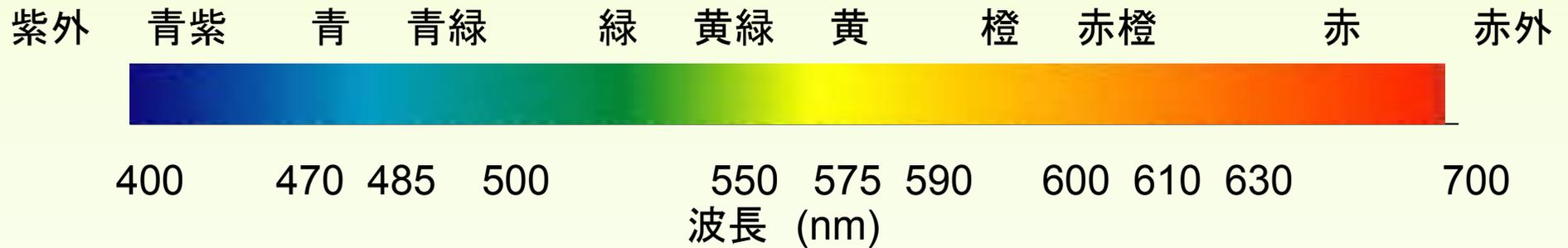


テラヘルツ帯 可視領域





可視領域



色の三属性

色相: 赤、橙、黄、緑、青、紫などという色味、色合い(Hue)

明度: 色の明るさ、白が最も明るく、黒が最も暗い
(Lightness, Intensity)

彩度: 色の鮮やかさ、色の冴え方、白、灰、黒は彩度0
(Saturation, Purity)

色の表現方法

マンセル記法

色度

$L^*a^*b^*$

HSI



KYOTO

京都大学
UNIVERSITY

マンセル記法 (Albert H. Munsellによって創案)

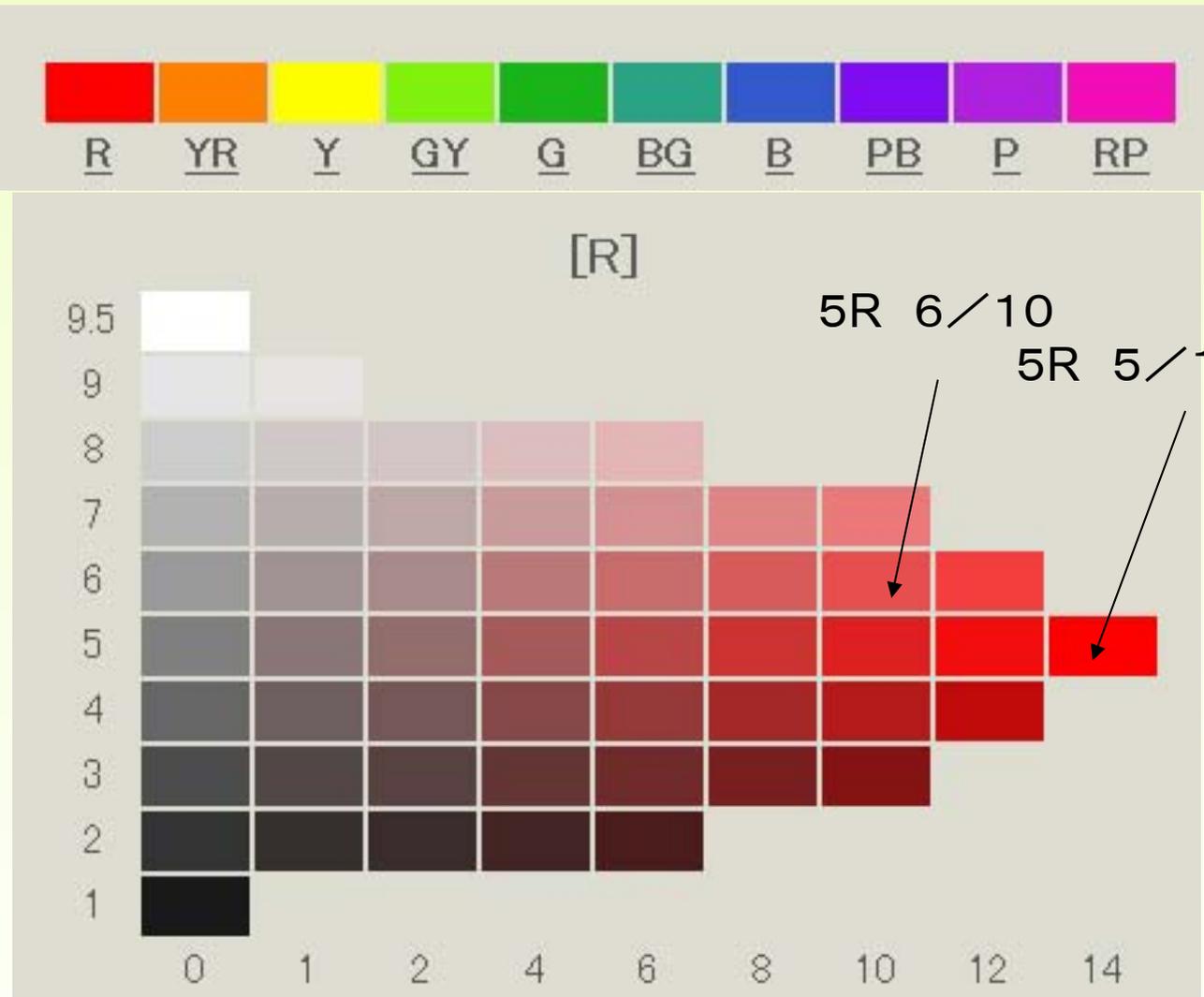
色相



主色: 赤、黄、緑、
青、紫
その間の5色と合
わせて10色
さらに各色10分割

明度

完全な黒: 0
完全な白: 10

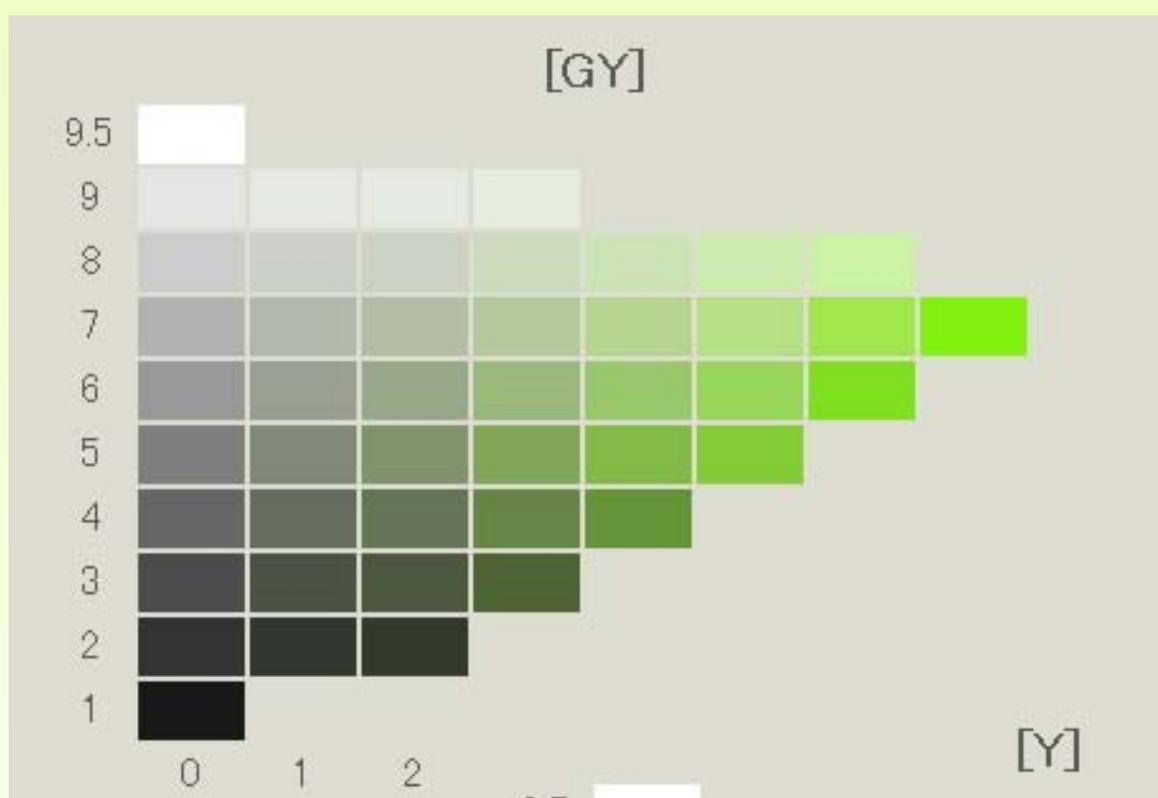


彩度

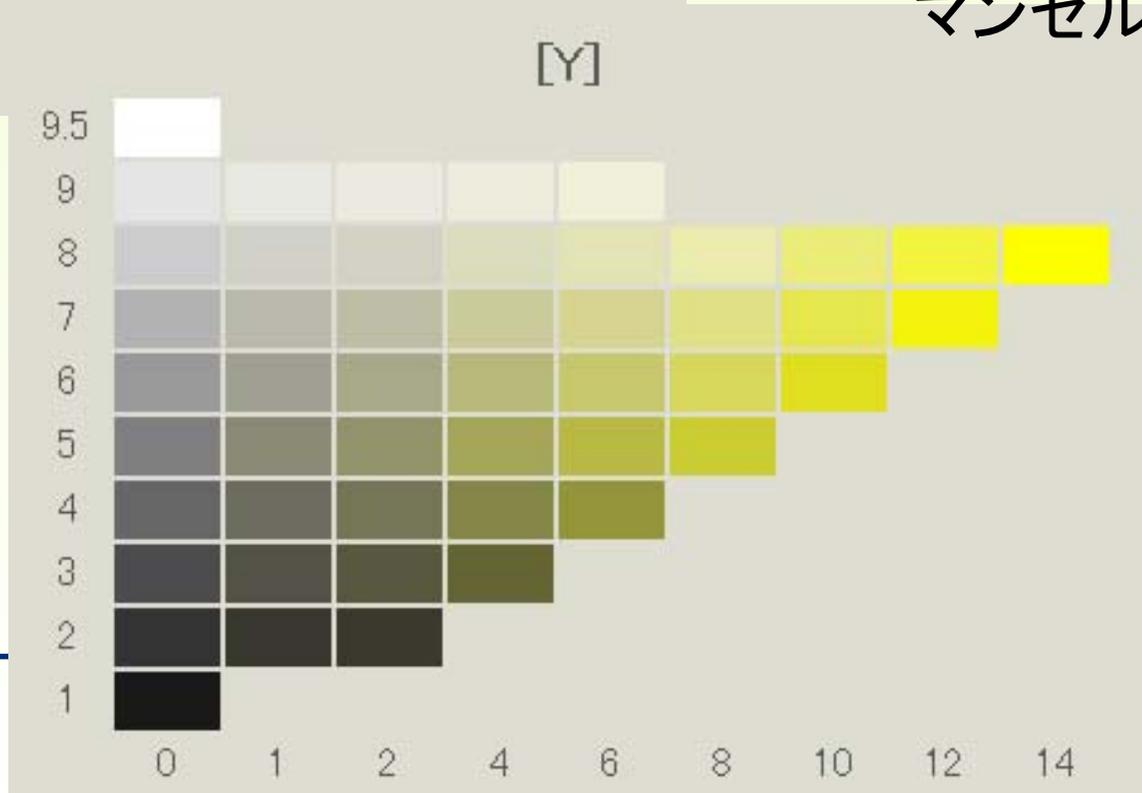


KYOTO

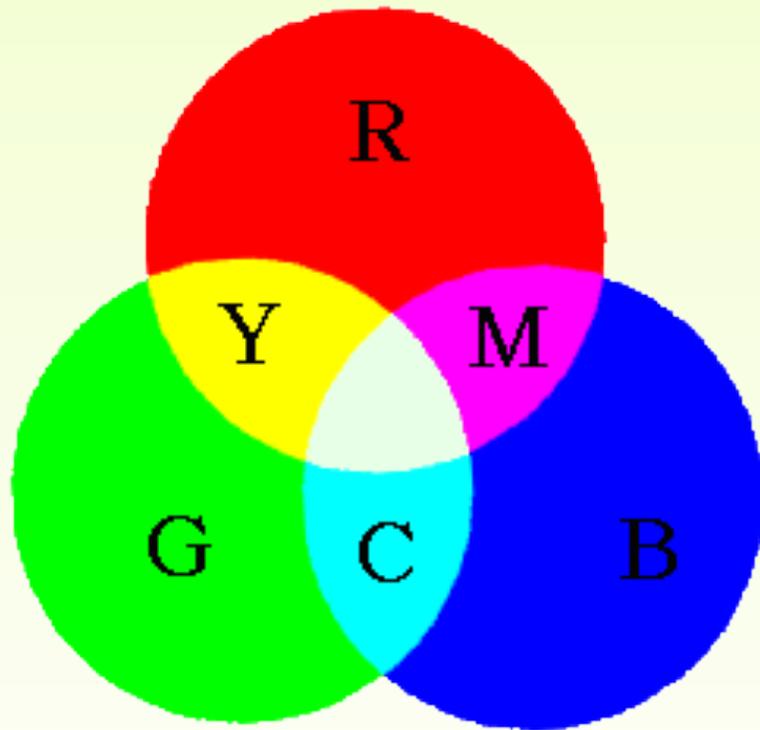
京都大学
UNIVERSITY



マンセル色立体



光の三原色 RGB



赤R、緑G、青Bを光の三原色と呼びます。光の三原色は色素系(絵の具やインク等)の三原色とは違います。簡単に言えば赤、青、緑の絵の具を重ねると黒になってしまうのに対して光だと白になります。

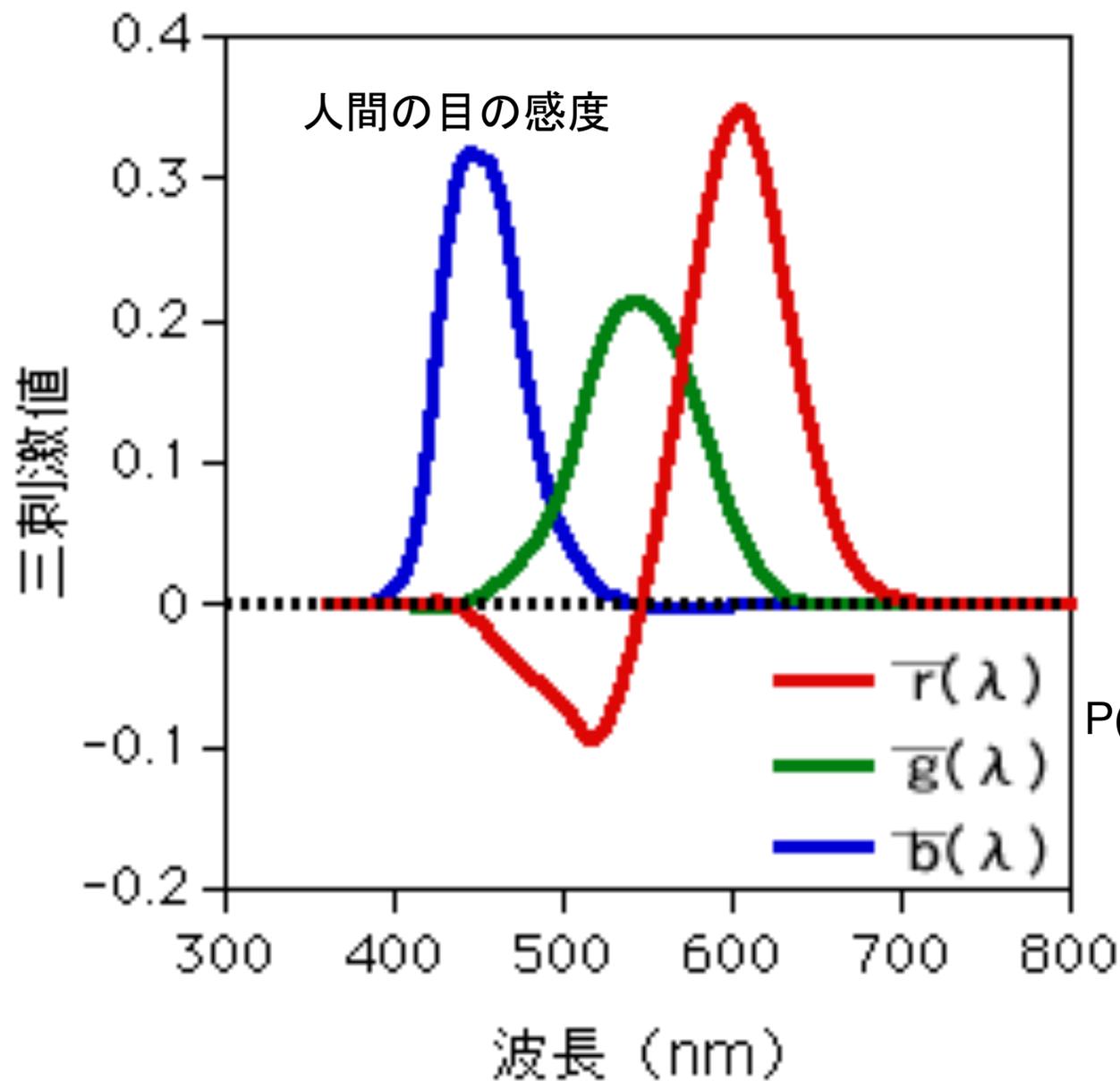
赤と緑が重なると黄色Yに、緑と青が重なるとシアンCに、青と赤が重なるとマゼンタMになります。そして赤、青、緑が重なると白になります。

補色の関係
R-C
G-M
B-Y





P.41



三刺激値

$$R = \sum P(\lambda) r(\lambda) \Delta\lambda$$

$$G = \sum P(\lambda) g(\lambda) \Delta\lambda$$

$$B = \sum P(\lambda) b(\lambda) \Delta\lambda$$

$P(\lambda)$: 波長におけるエネルギー

輝度

$$Y = R + 4.5907G + 0.0601B$$

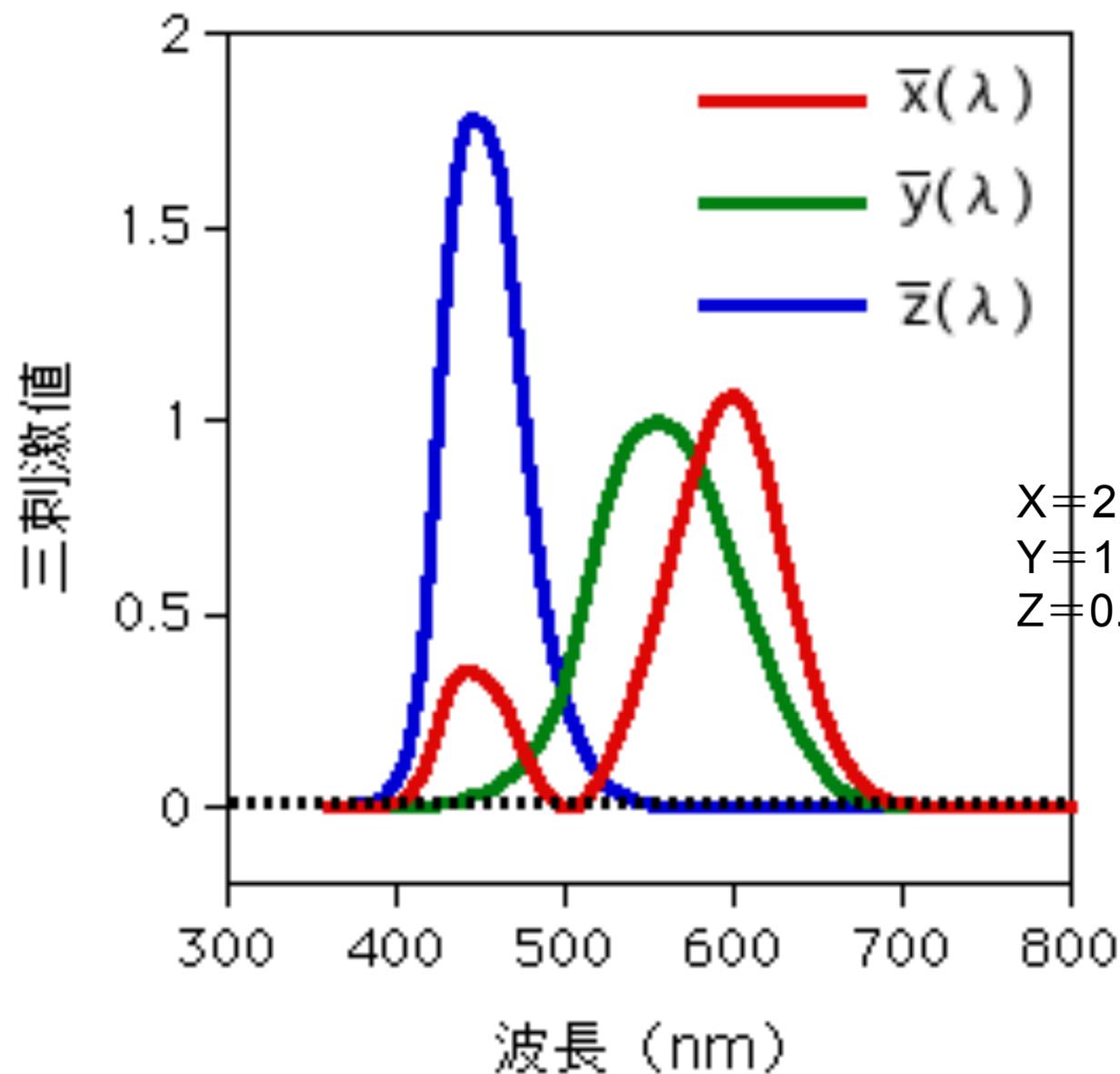
RGB表色系の等色関数



KYOTO 京都大学
UNIVERSITY



P.42



$$X = 2.7690R + 1.7517G + 1.1301B$$

$$Y = 1.0000R + 4.5907G + 0.0601B$$

$$Z = 0.0000R + 0.0565G + 5.5943B$$

輝度: Y

XYZ表色系の等色関数



KYOTO 京都大学
UNIVERSITY



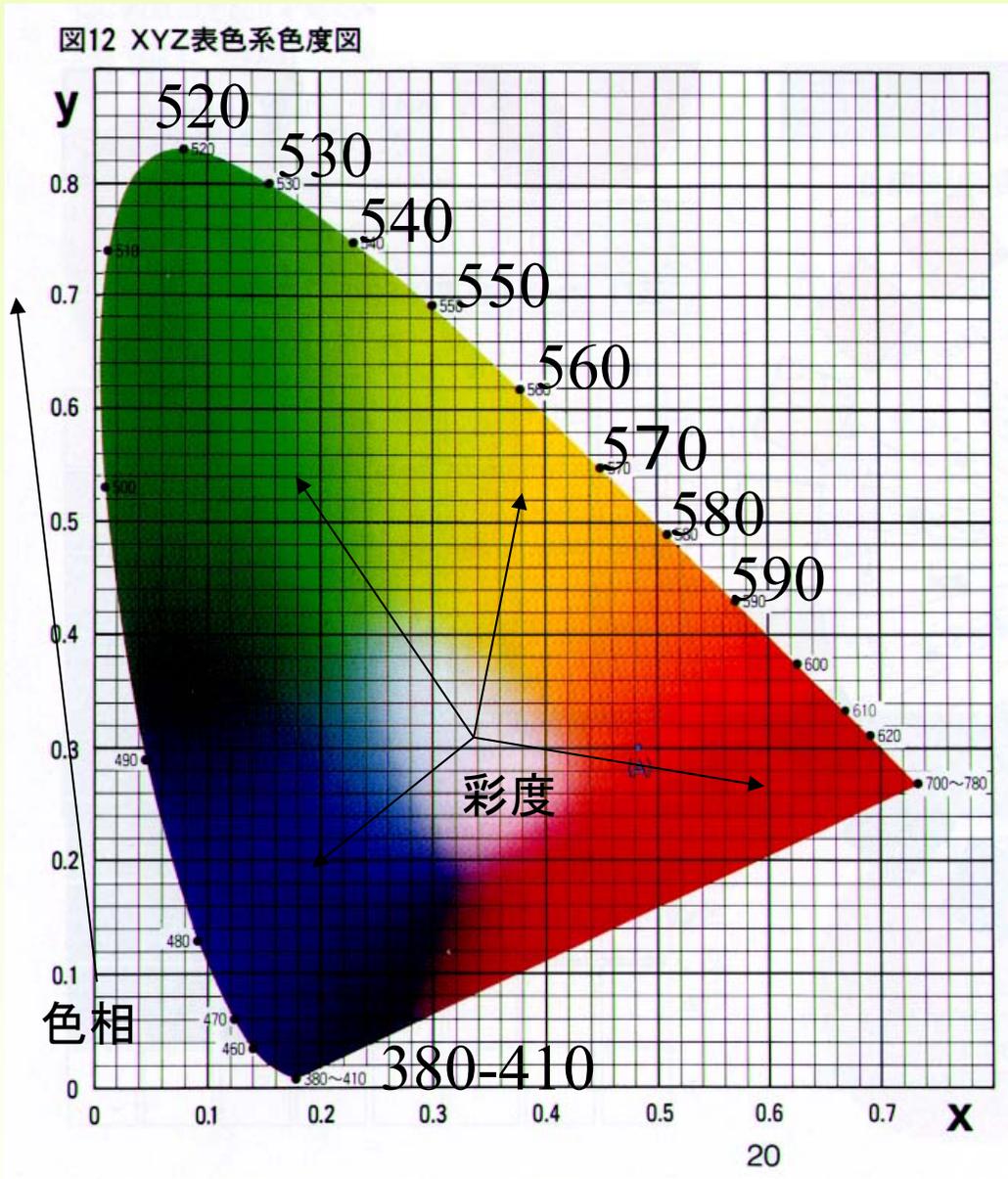
P.43

色度

$$x = X / (X + Y + Z)$$

$$y = Y / (X + Y + Z)$$

$$z = Z / (X + Y + Z) = 1 - x - y$$



700-780

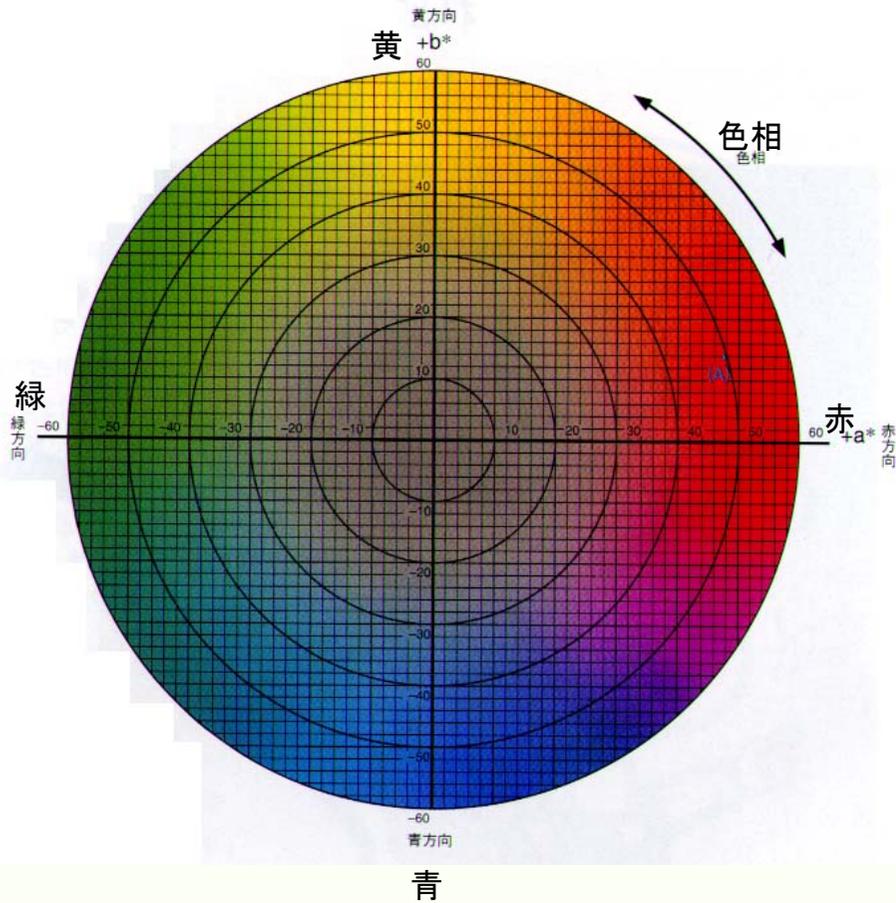
XYZ表色系色度図



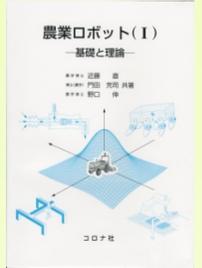
KYOTO 京都大学
UNIVERSITY

均等色空間

図6 L*a*b*表色系色度図
(色相と彩度)



人間の色感覚にあった色度図
人間の明るさの感覚にあった明度関数を
を組み合わせ、3次元空間にしたもの



P.45

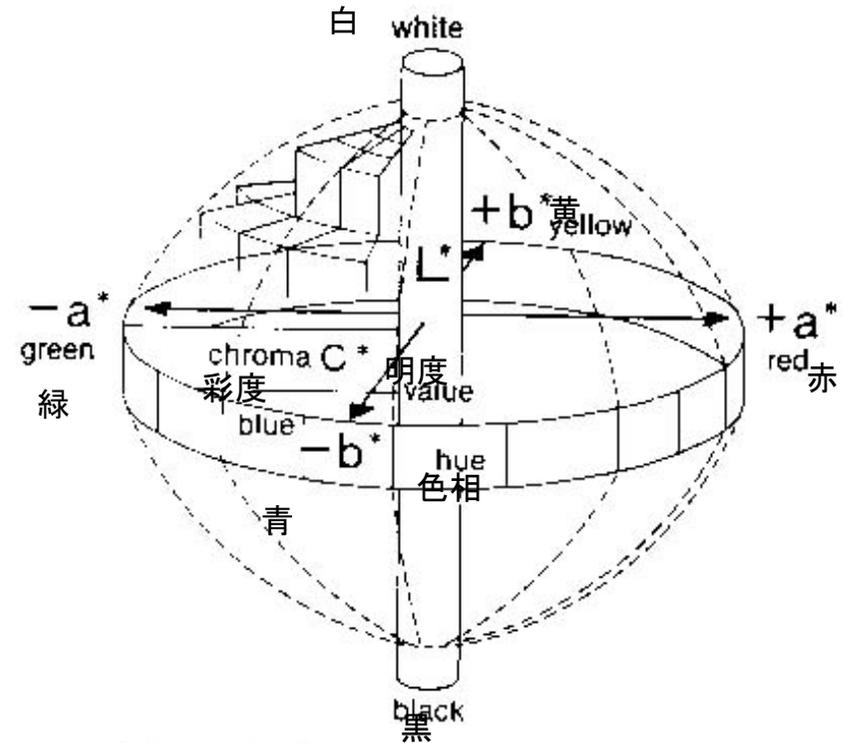


図2 L*a*b*表色系のカラーチャート

L*a*b*表色系



KYOTO 京都大学
UNIVERSITY

XYZ表色系からL*a*b*表色系への変換式



P.44

$$\begin{aligned}L^* &= 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16 \\a^* &= 500 \left[(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3} \right] \\b^* &= 200 \left[(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3} \right]\end{aligned}$$

X、Y、ZはXYZ表色系の三刺激値

X_n 、 Y_n 、 Z_n は標準照明 (D65) における白基準値の三刺激値

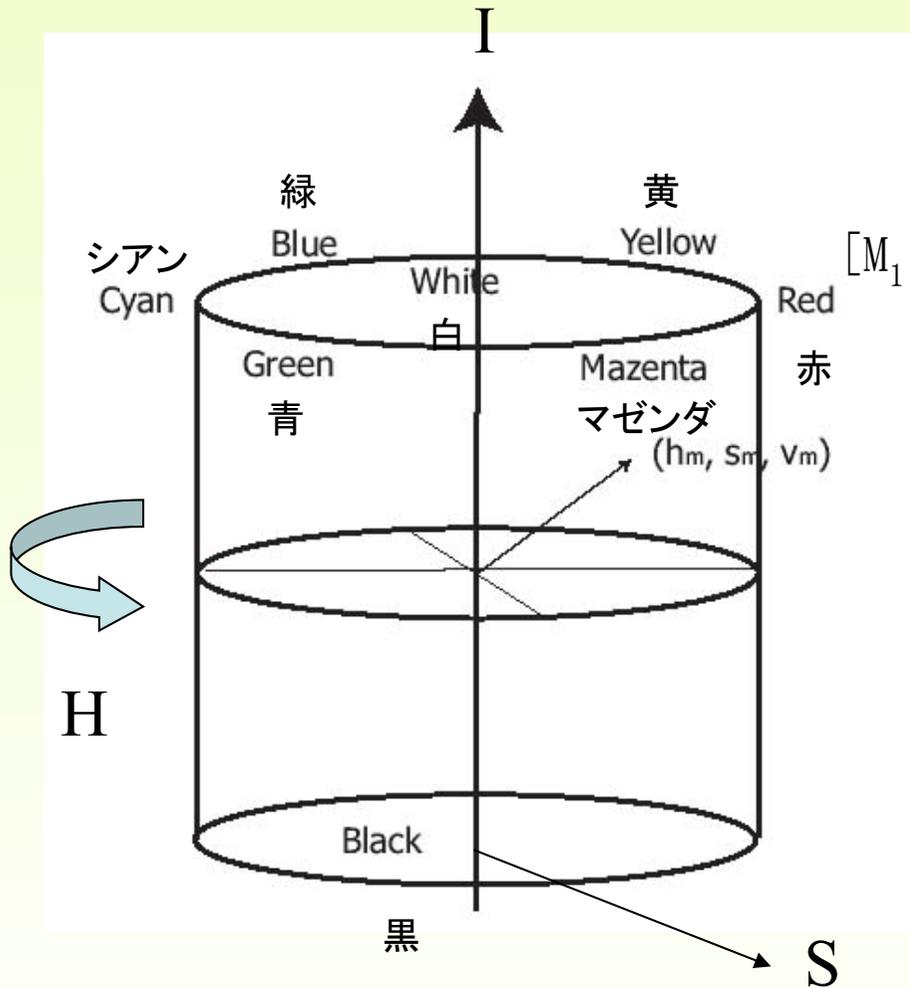
($X_n = 0.95045$, $Y_n = 1.0$, $Z_n = 1.08892$)



HSIの円柱モデル



P.45



$$[M_1 \ M_2 \ I_1] = [R_T \ G_T \ B_T] \begin{vmatrix} 2/\sqrt{6} & 0 & 1/\sqrt{3} \\ -1/\sqrt{6} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{3} \\ -1/\sqrt{6} & -1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{3} \end{vmatrix}$$

$$M_1 = (2/\sqrt{6}) R_T - (1/\sqrt{6}) G_T - (1/\sqrt{6}) B_T$$

$$M_2 = (1/\sqrt{2}) G_T - (1/\sqrt{2}) B_T$$

$$I_1 = (1/\sqrt{3}) R_T + (1/\sqrt{3}) G_T + (1/\sqrt{3}) B_T$$

$$H = \arctan(M_1/M_2)$$

$$S = (M_1^2 + M_2^2)^{1/2}$$

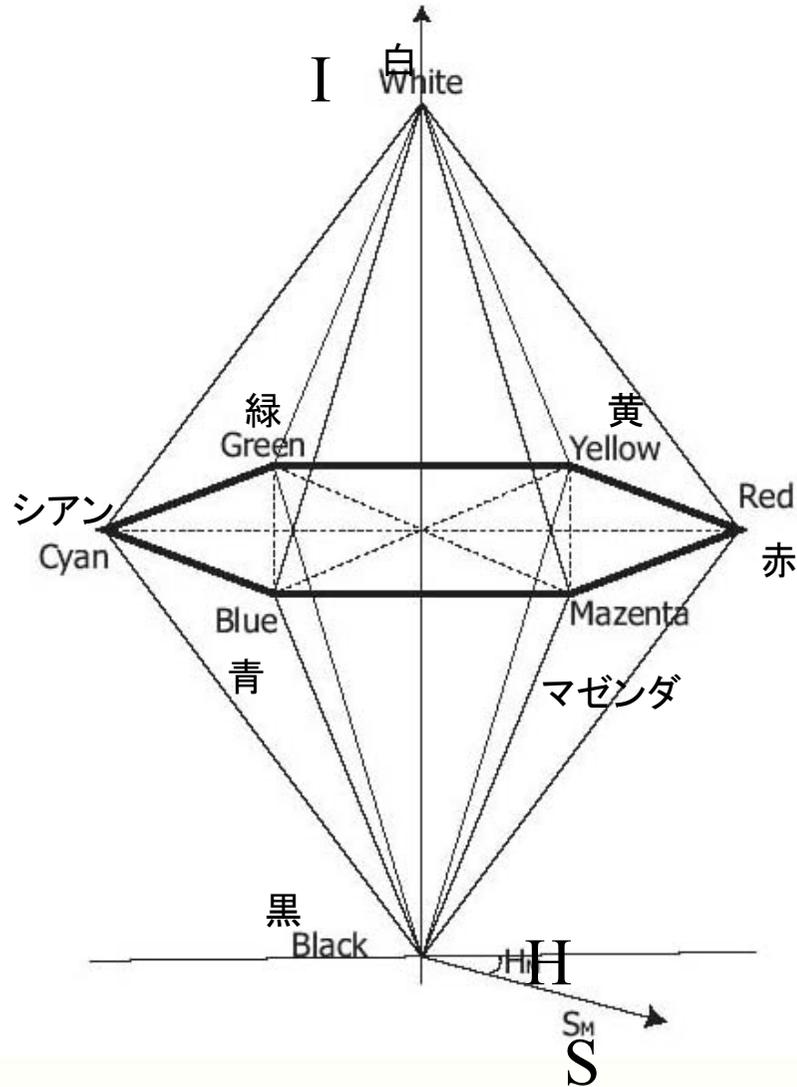
$$I = \sqrt{3} I_1$$



六角錐モデル



P.45



明度

$$I = (I_{\max} + I_{\min}) / 2$$

$$I_{\max} = \max \{R_T, G_T, B_T\}, \quad I_{\min} = \min \{R_T, G_T, B_T\}$$

彩度

$$S = (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min}) \quad (I \leq 0.5 \text{ のとき})$$

$$S = (I_{\max} - I_{\min}) / (2 - I_{\max} - I_{\min}) \quad (I > 0.5 \text{ のとき})$$

色相

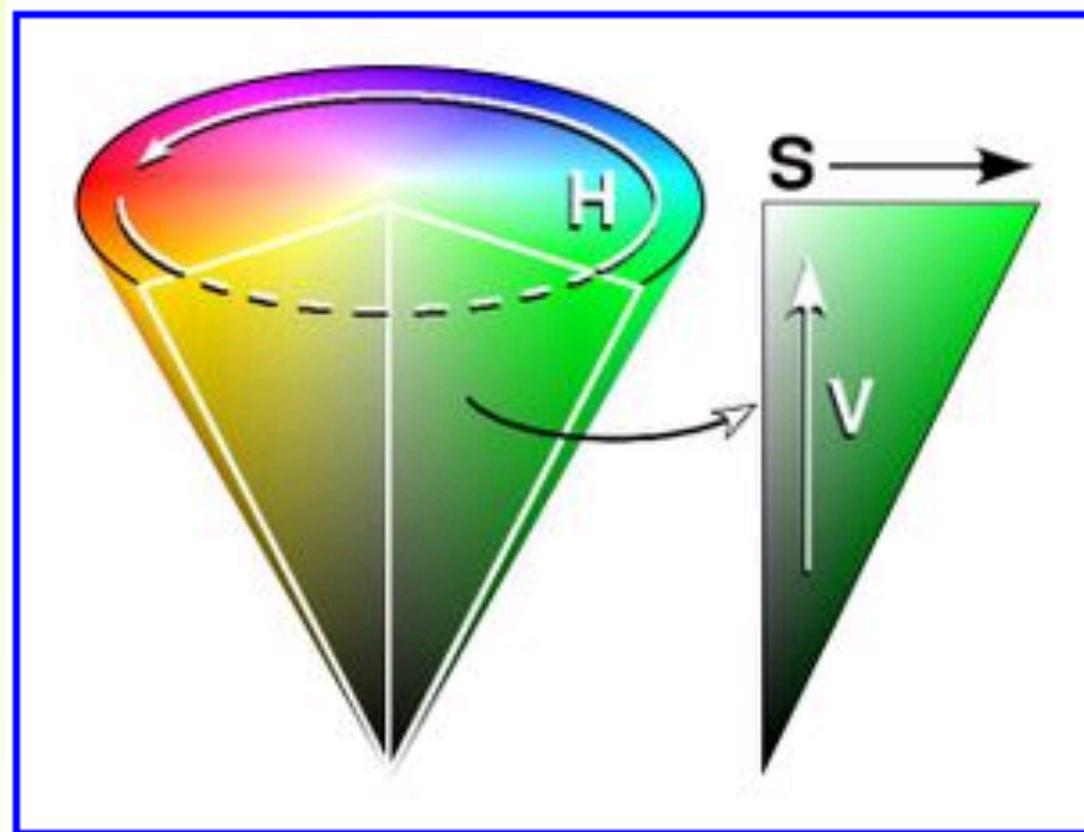
$$H = \pi (b - g) / 3 \quad (I_{\max} = R_T \text{ のとき})$$

$$H = \pi (2 + r - b) / 3 \quad (I_{\max} = G_T \text{ のとき})$$

$$H = \pi (4 + g - r) / 3 \quad (I_{\max} = B_T \text{ のとき})$$



HSV



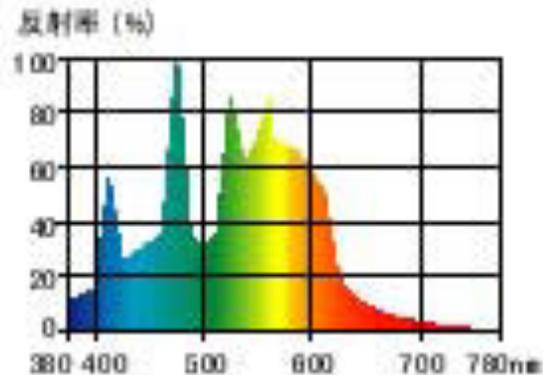
出典: フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』



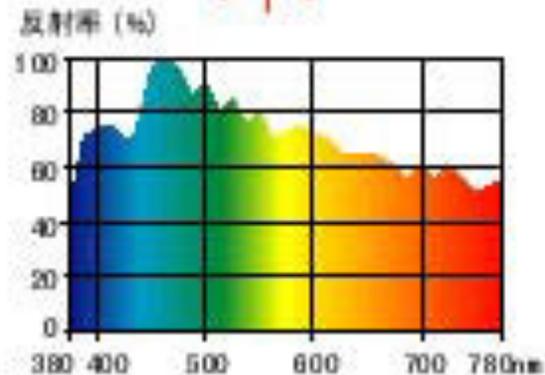
KYOTO 京都大学
UNIVERSITY

光源の分光分布

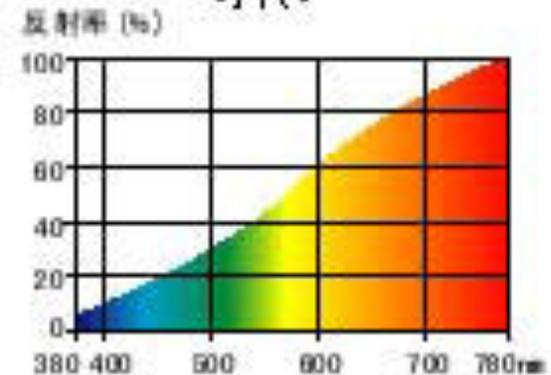
白色蛍光灯の分光分布

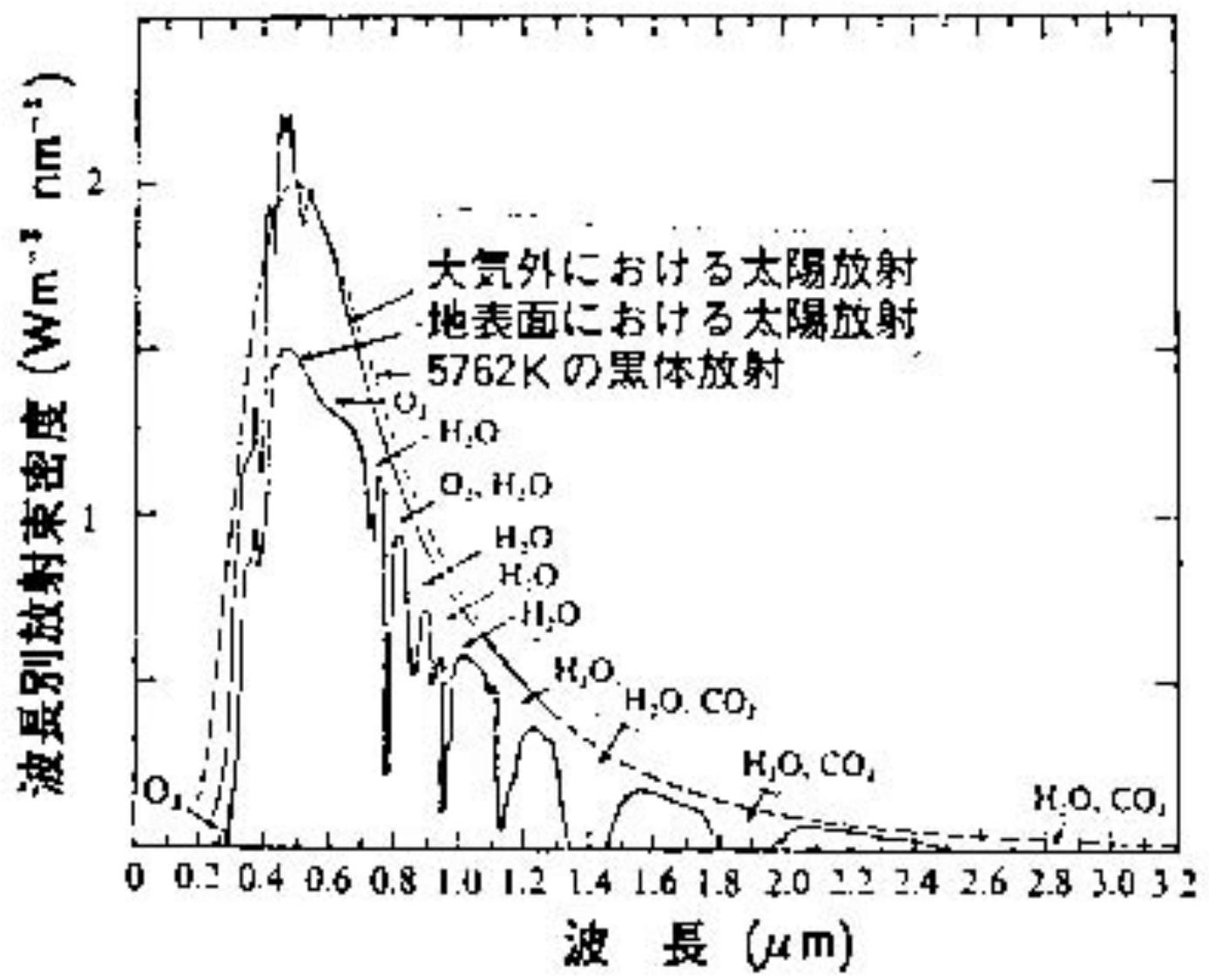


昼光の分光分布



白熱電球の分光分布

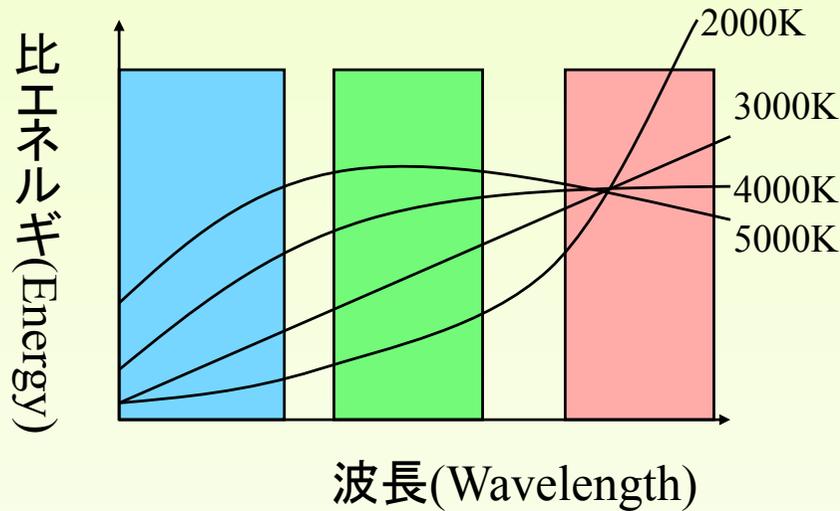




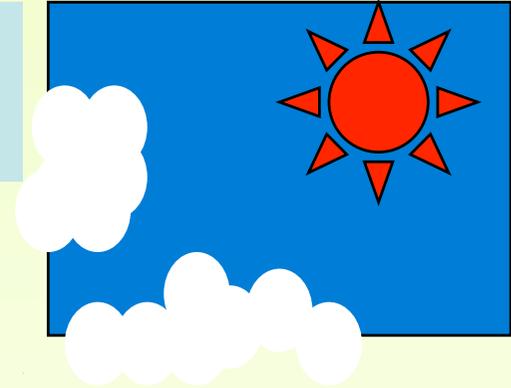
太陽光の放射エネルギー

色温度とは(What is color temperature)?

ある物体が高温で光を出しているとき、その光と同じ色の熱放射をする黒体の温度

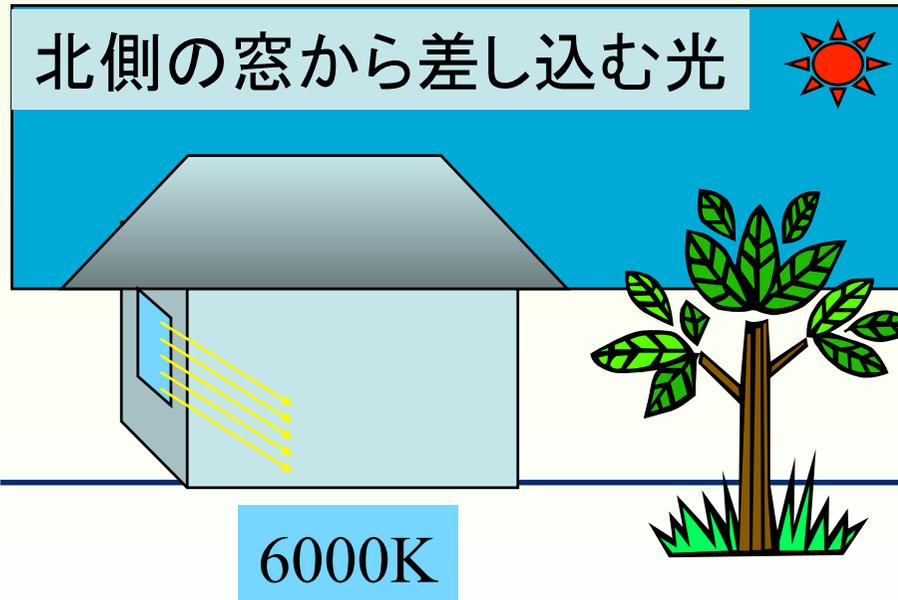


晴天時の
直射光



4000K

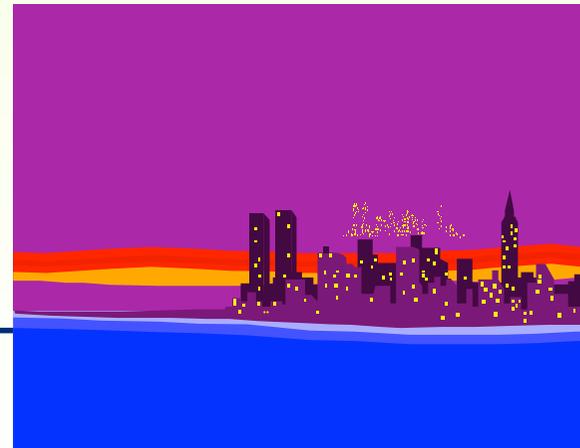
北側の窓から差し込む光



6000K

夕焼け

2000K



都大学
TOYO UNIVERSITY

一日の色温度の変化



7.1 分光測光と測色学

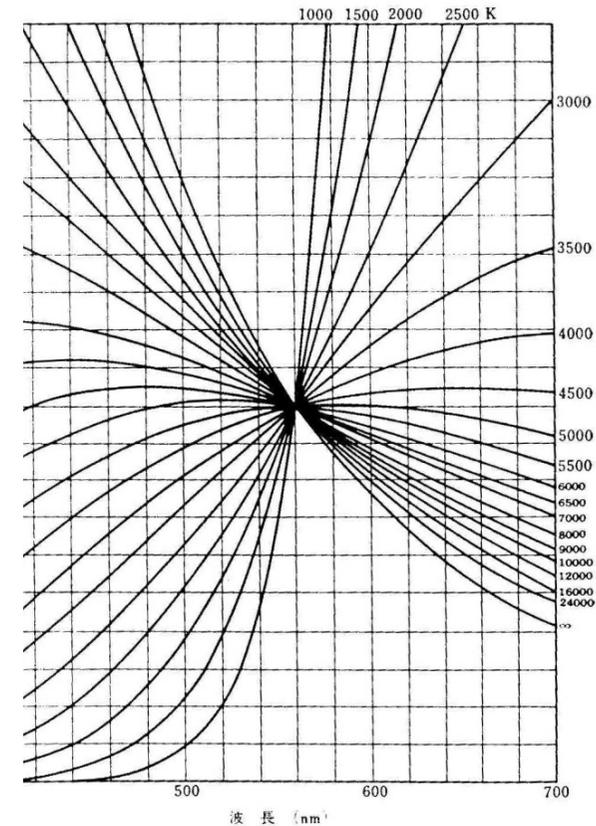
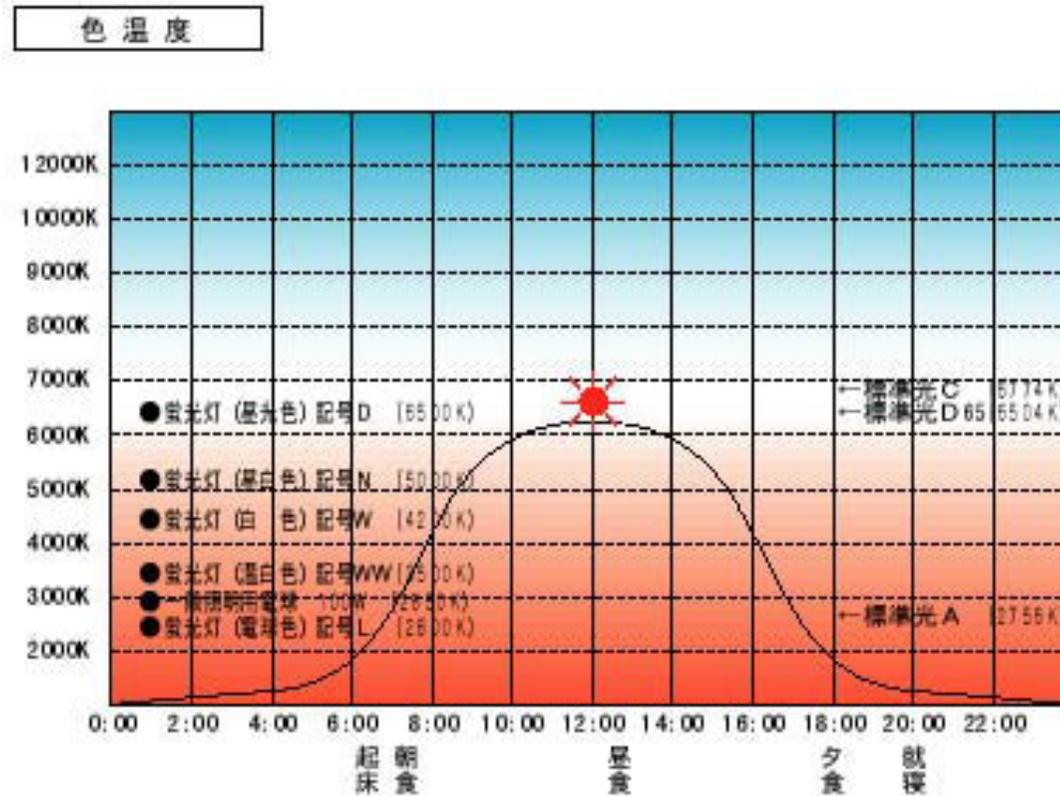
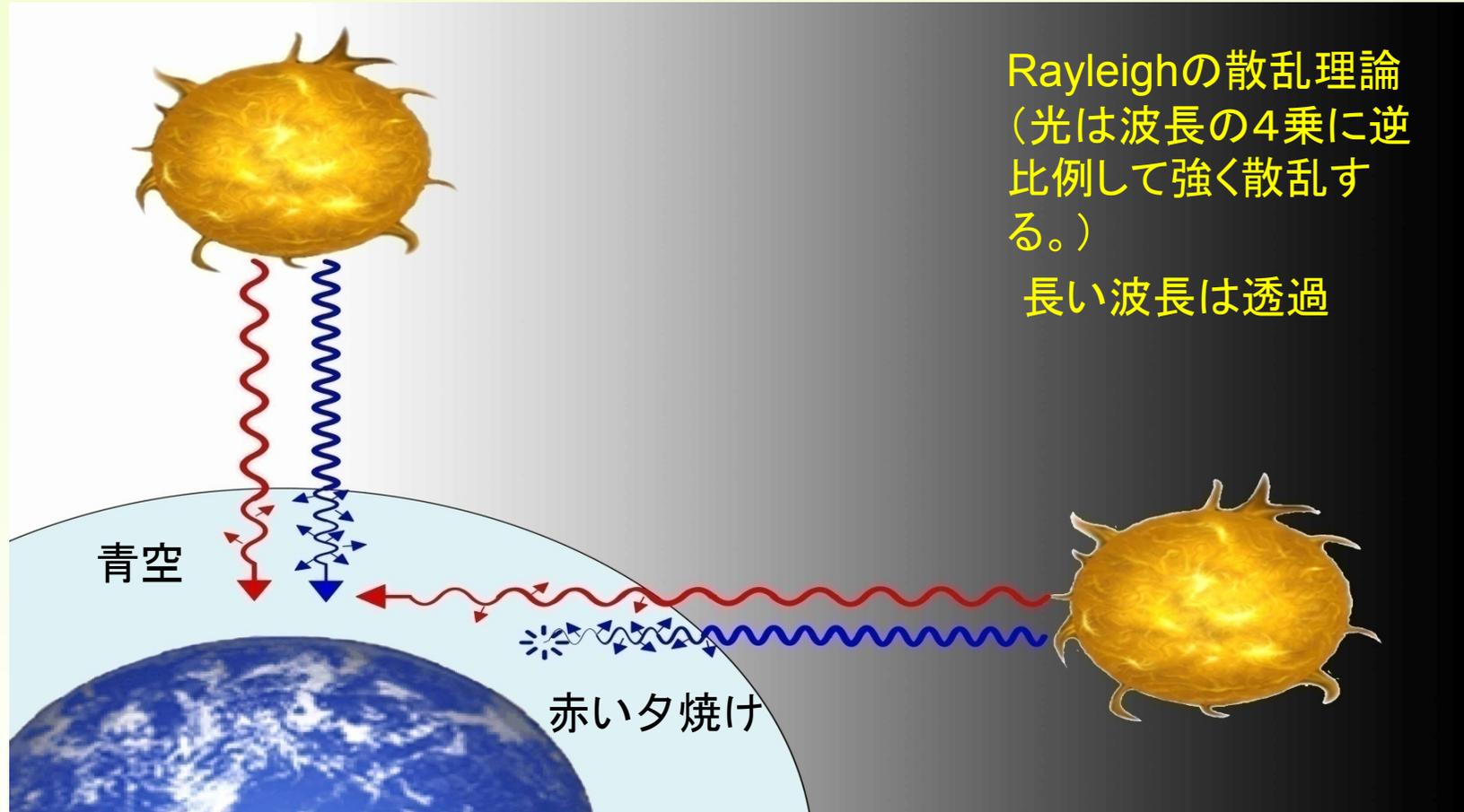


図 7.1 完全放射体の分光分布

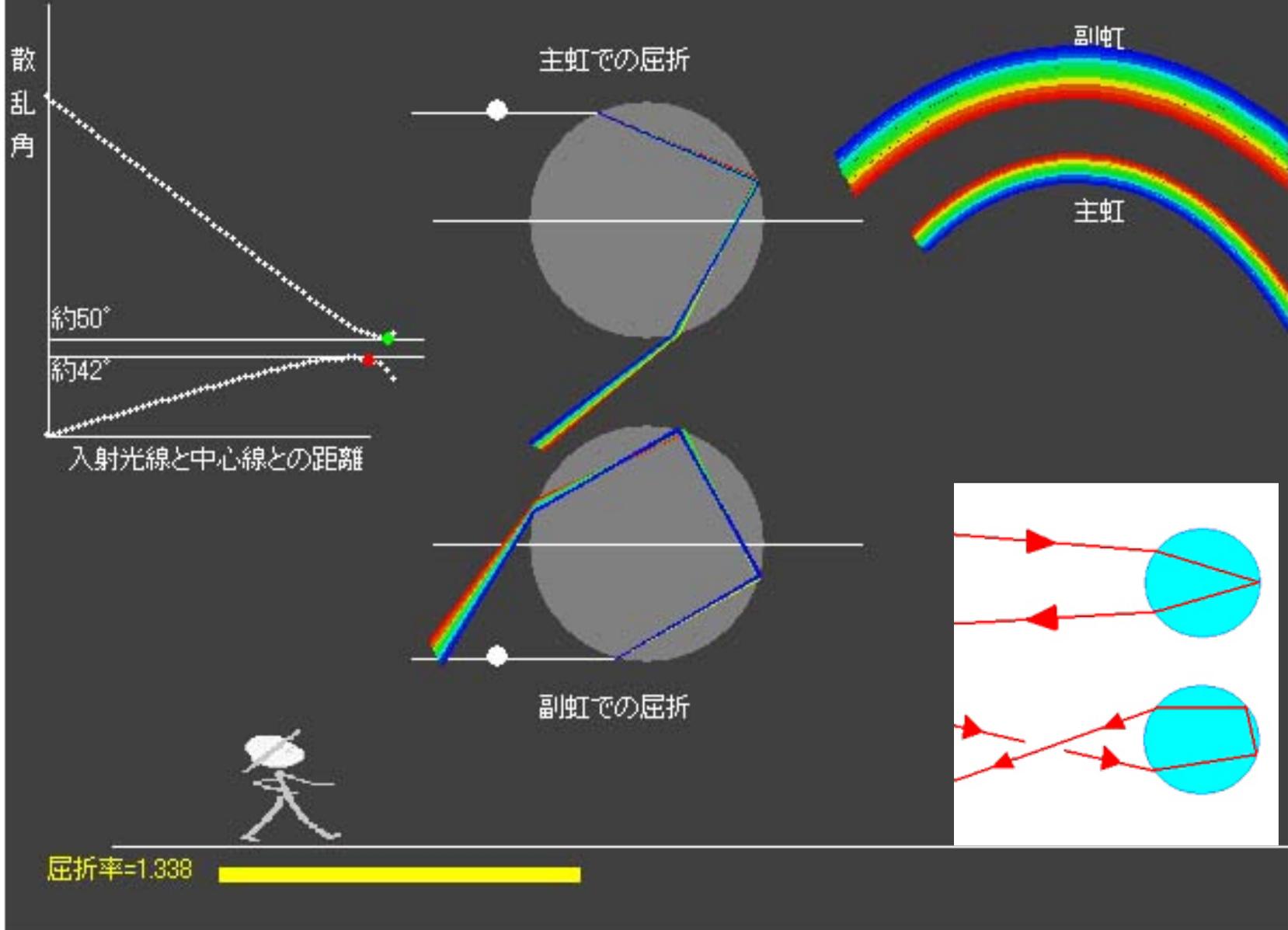
夕焼けが赤く見える理由

$$I(\theta) = \frac{I_0 \pi^4 d^6}{8R^2 \lambda^4} \left(\frac{m^2 - 1}{m^2 + 1} \right)^2 (1 + \cos^2 \theta)$$



虹

太陽光線にたいして、主虹では約42°、副虹では約50°の角をなす



虹の見える方向

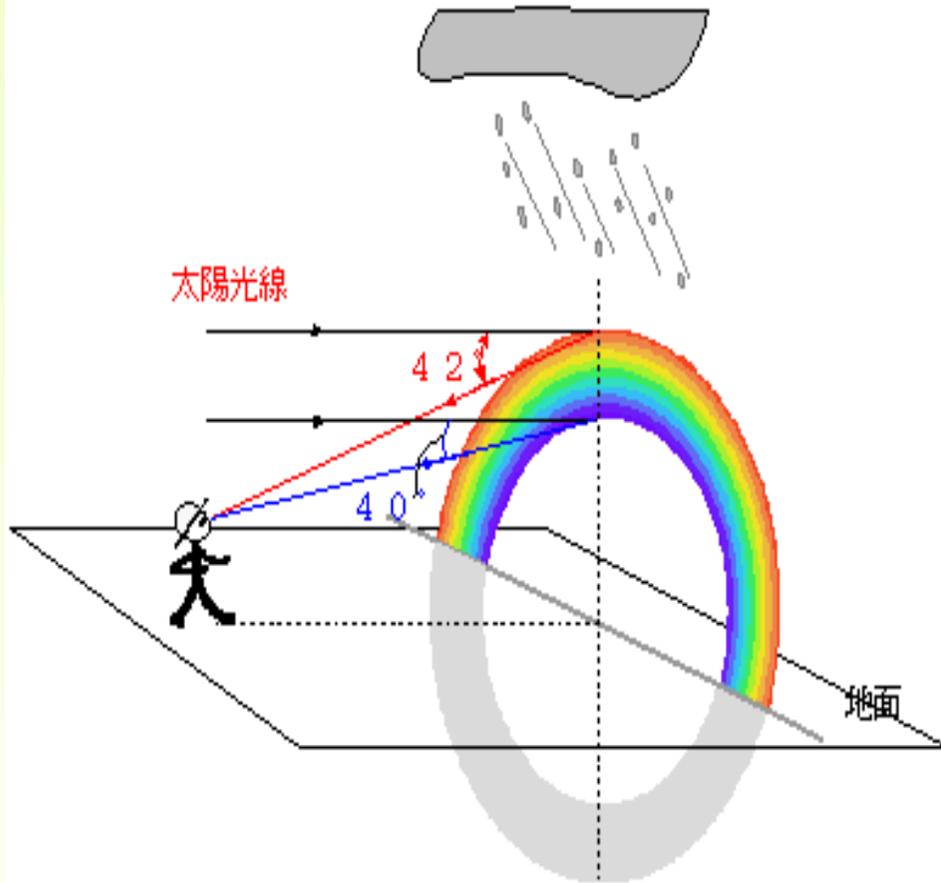


図4a
(太陽光が水平入射→虹は最も高く見える)

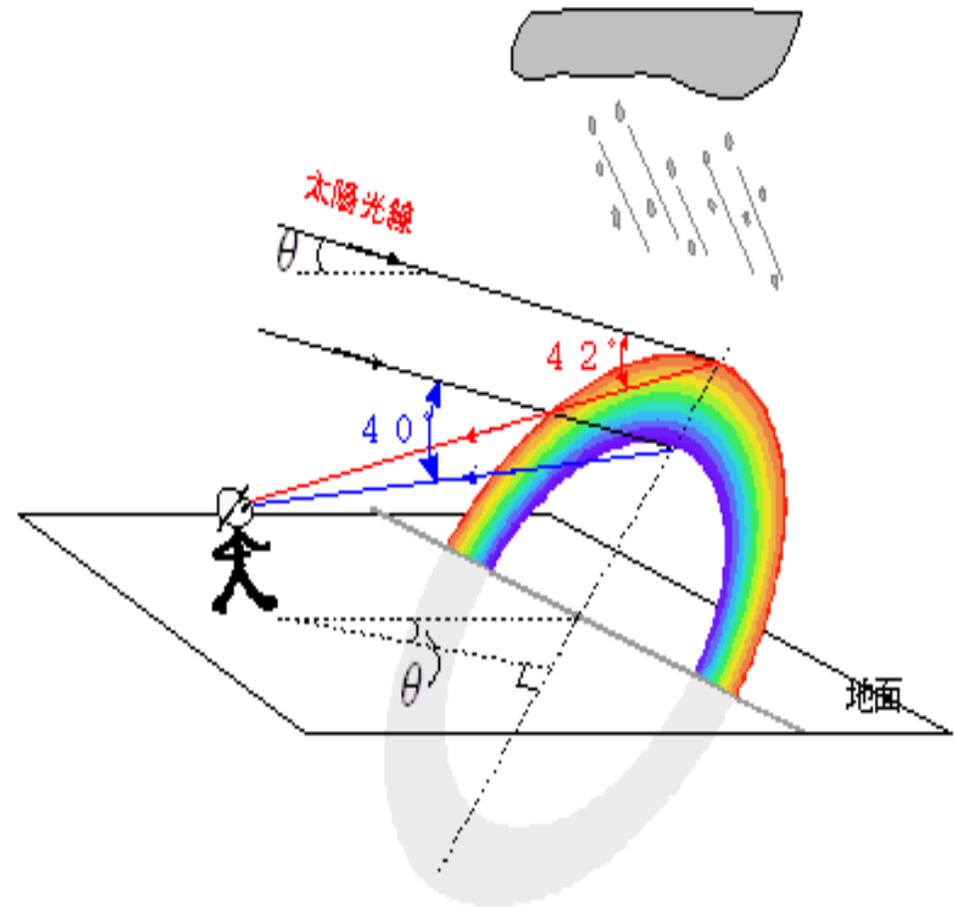
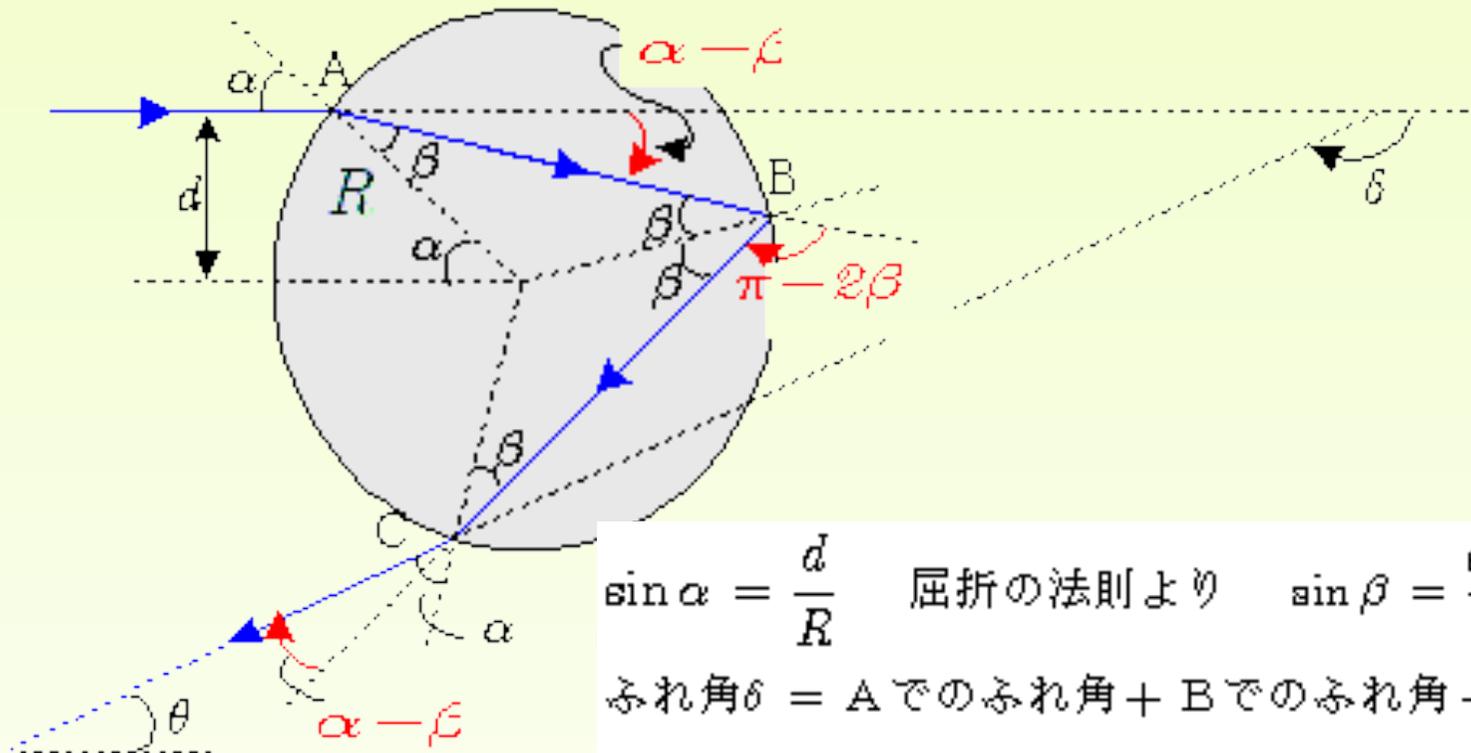


図4b
(太陽光が斜め入射→虹の高度は低くなる)

主虹の屈折・反射(上半球への光の入射)



$$\sin \alpha = \frac{d}{R} \quad \text{屈折の法則より} \quad \sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n} = \frac{d}{nR}$$

ふれ角 $\delta = A$ でのふれ角 + B でのふれ角 + C でのふれ角

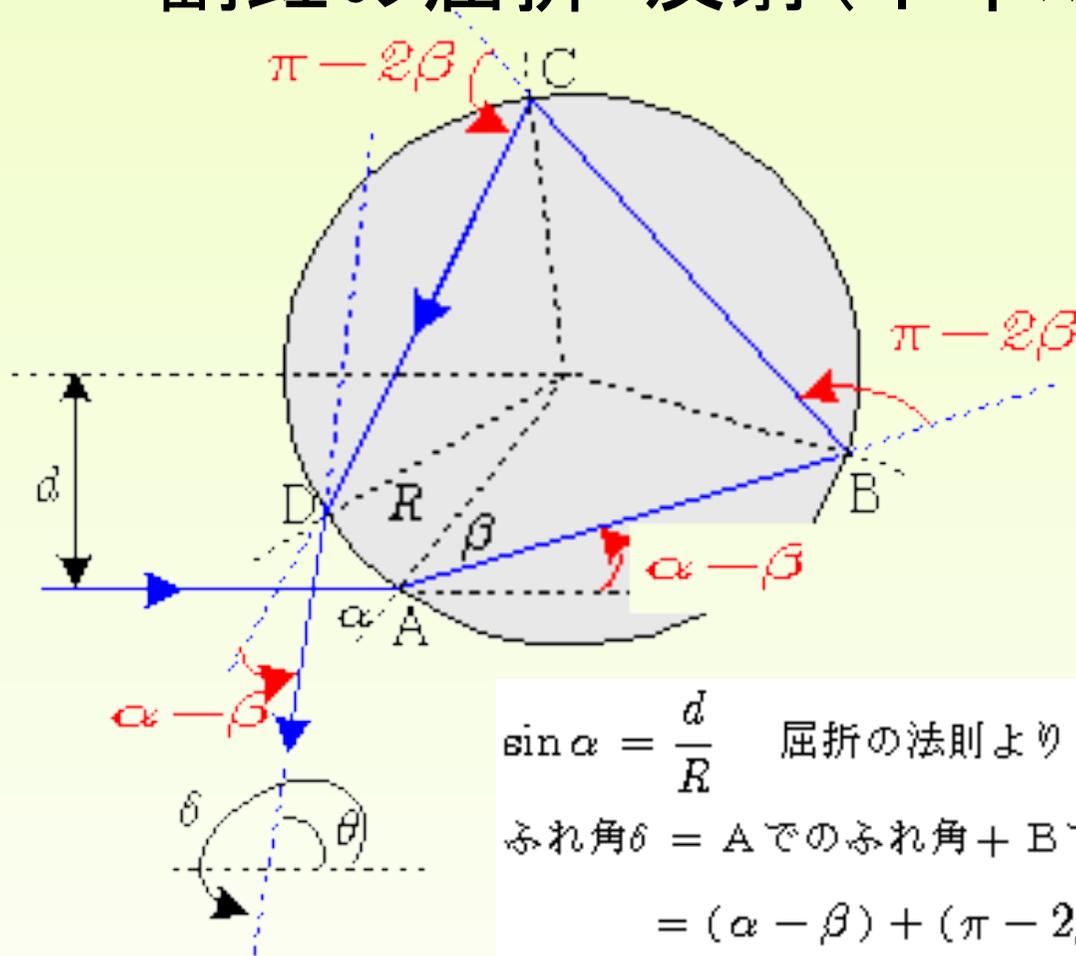
$$= (\alpha - \beta) + (\pi - 2\beta) + (\alpha - \beta)$$

$$= \pi + 2\alpha - 4\beta$$

$$\therefore \text{散乱角 } \theta = \pi - \delta = \underline{\underline{4\beta - 2\alpha}} \quad (\text{赤が42度, 紫が40度})$$

(波長が短いほど屈折率が大きいため)

副虹の屈折・反射（下半球への光の入射）

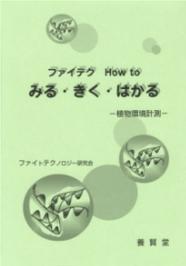


$$\sin \alpha = \frac{d}{R} \quad \text{屈折の法則より} \quad \sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n} = \frac{d}{nR}$$

$$\begin{aligned} \text{ふれ角 } \delta &= \text{Aでのふれ角} + \text{Bでのふれ角} + \text{Cでのふれ角} + \text{Dでのふれ角} \\ &= (\alpha - \beta) + (\pi - 2\beta) + (\pi - 2\beta) + (\alpha - \beta) \\ &= 2\pi + 2\alpha - 6\beta \end{aligned}$$

$$\therefore \text{散乱角 } \theta = \delta - \pi = \underline{\underline{\pi + 2\alpha - 6\beta}}$$

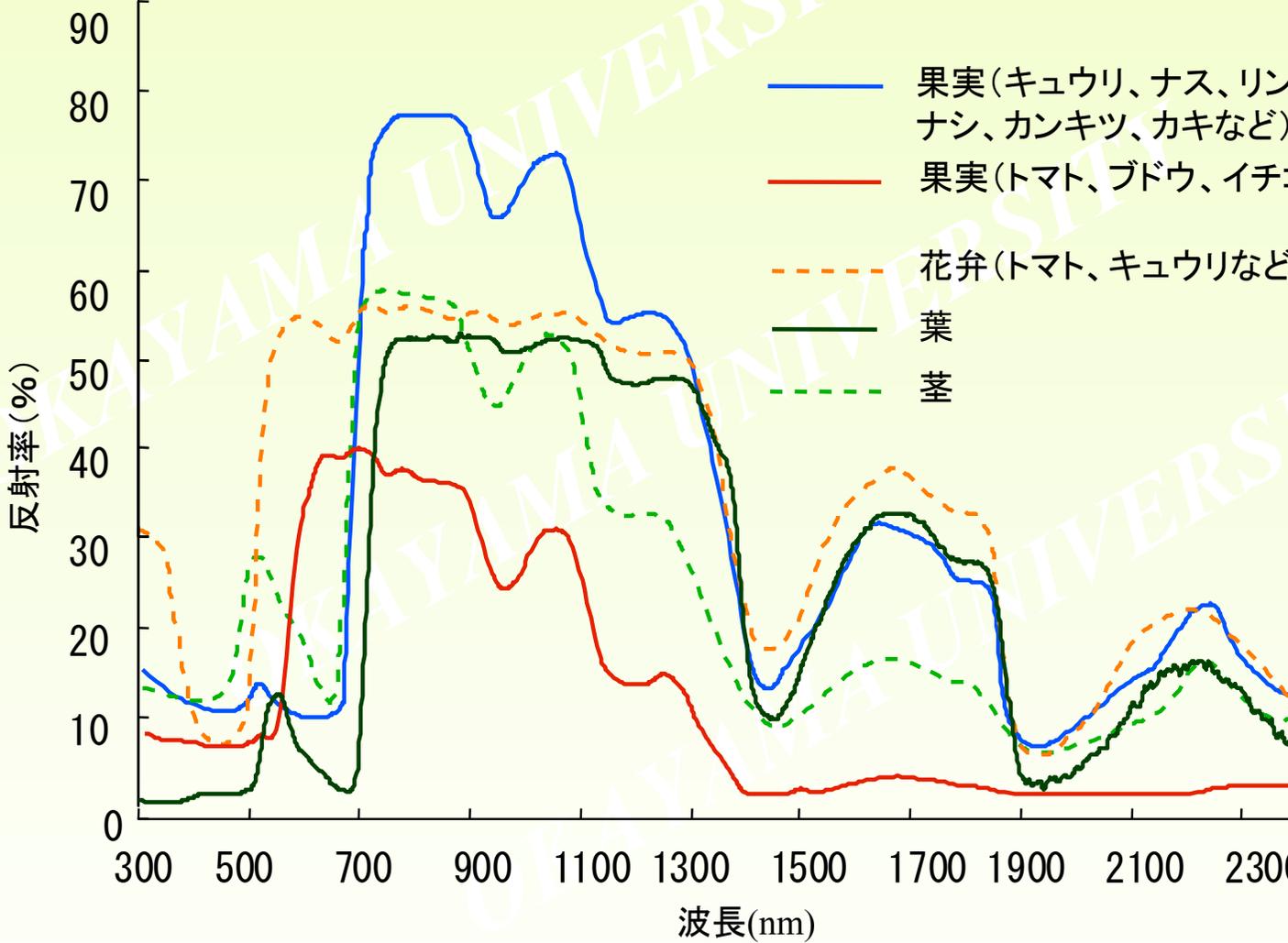
植物の色



P.46



P.15



植物各部位の分光反射特性

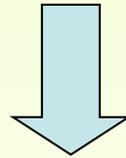


KYOTO

京都大学
UNIVERSITY

どうして葉は緑色？

光合成を行うには、主として
赤と青の光が必要

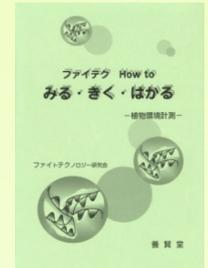


赤色(クロロフィル吸収帯: 670nm)と
青色を吸収

それほど必要としない緑色は反射



葉の色を測る・葉緑素を測る



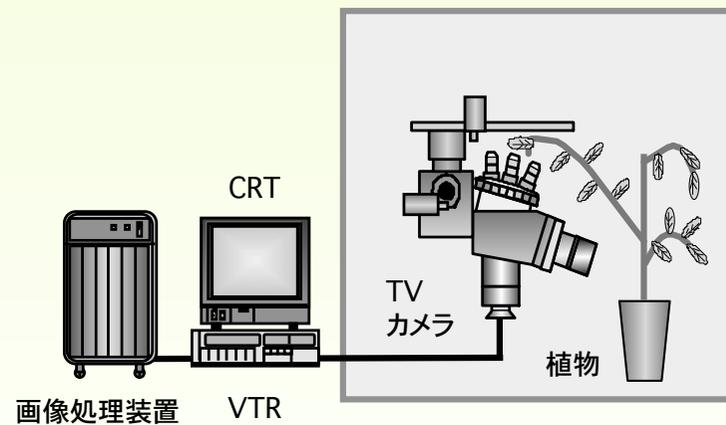
P.16, 20
P.138



色彩色差計



葉緑素計 (SPADメータ)



マシンビジョン(画像処理による計測)

