

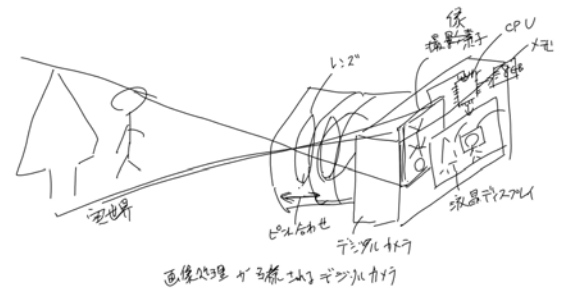
画像処理2019－2 画像の形成

1. 画像の形成過程
 - － 投影
 - － レンズ
2. 画像センシング
 - － イメージング
 - － センサ
3. 色の認知と表現
 - － 色モデル

画像の形成過程の重要さ

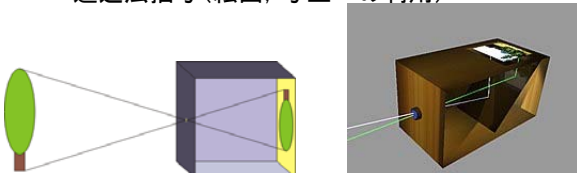
- コンピュータビジョンは、画像の形成(生成)過程についての完全な理解を基盤とすべきである。
(P.K.B. Horn)
- 画像の形成は、3次元空間を2次元平面に投影すること
- 画像処理のうちコンピュータビジョン(画像理解、シーン記述)は2次元画像から3次元への逆変換
→観察していることの本質をモデル化して記述することによって、本質を理解することに到達できる

図1.1 画像処理技術の例: デジタルカメラの場合



画像形成の歴史

- ピンホールカメラとカメラ・オブスクラ
 - － 針の穴(ピンホール)を通すと、映像を映し出すことができる。
 - － 光線を選択
 - － 遠近法描写(絵画, 写生への利用)

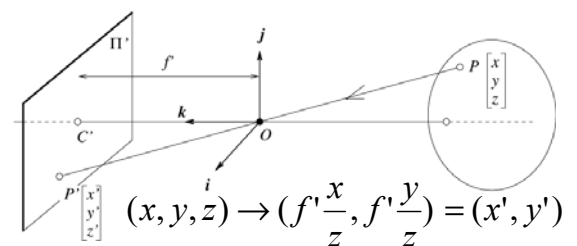


Wikipediaより

画像の形成過程(1)

1. 1. 1 投影(射影)の幾何学

- 点 $P(x, y, z)$ の透視投影(射影) $P'(x', y', z')$



画像の形成過程(2)

1. 1. 2アフィン投影

- 弱透視投影(弱透視射影, weak perspective projection)
- 正方投影(正射影, orthographic projection)

7

画像の形成過程(3)

同次行列による透視変換の表現

- 3次元空間中の点 $P: (X, Y, Z, T)$ (x, y, z, t)
- P の2次元画像面上の点 $P': (U, V, W)$ (x', y', w)

$$\begin{pmatrix} U \\ V \\ W \end{pmatrix} = \frac{f}{Z} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/f & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ T \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ w \end{pmatrix} = \frac{f}{z} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/f & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ t \end{pmatrix}$$

- 弱透視投影の行列？
- 正方投影の行列？

8

画像の形成過程(4)

1. 2. 1 レンズを使う

- Cons: 画像面に光線を集める
- Pros: 対象物の奥行によって、ピントの合う場所が決まる。

Cf. 被写界深度(Depth of field)

f 値 (F number) = f (焦点距離) / 有効開口面積
(ピントの合う奥行の幅)

9

ぼけ表現(Bokeh)と f 値



焦点距離 8mm: Canon IXY DIGITAL
920 IS 絞りF3.5で撮影



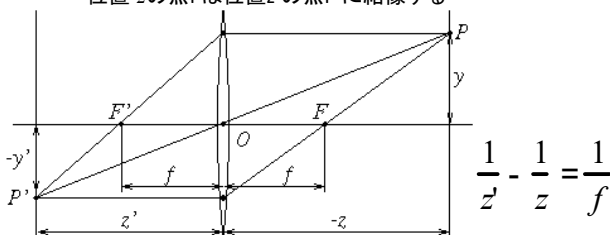
Wikipediaより: 焦点距離85mm 絞りF1.2
(Canon EOS-1Ds MarkII + EF 85mm F1.2L)の
時に生じたボケ

10

画像の形成過程(5)

1. 2. 2 薄レンズ

- 歪のない(光学収差のない)理想的レンズ
 - 光軸に対して平行な光線は焦点(F, F')を通過する
 - レンズ中心を通過する光線は直進する
 - 位置 $-z$ の点 P は位置 z' の点 P' に結像する

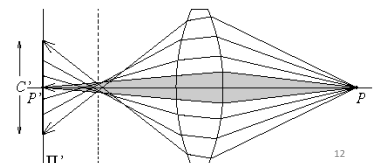


11

画像の形成過程(6)

1. 2. 3 実際のレンズ(厚レンズ)

- 問題
 - 収差
 - 光収差: 波長によって屈折率が異なる(λ, n)
 - 球面収差: 光軸から離れると焦点が近づく
 - 表面反射(レンズ間、レンズ内)
- 解決策
 - 複数レンズ(凹凸の組レンズ)
 - 非球面レンズ
 - コーティング



12

光線空間法 (light field, lumigraph)

- 自由視点映像は (θ, ϕ, x, y) の4次元空間で記述できる
- ϕ を固定化した、 $u=\tan\theta$ 、 x 、 y で考える
- カメラが u 方向のみに動いてできる (u, x) 平面をエピソード平面画像

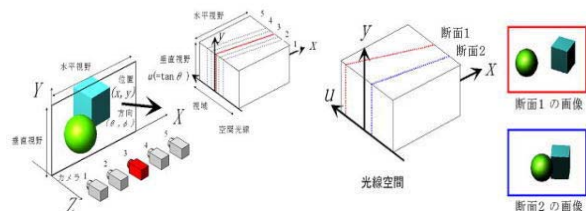
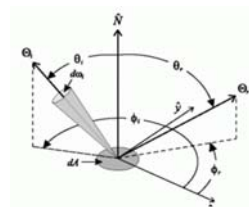


図2.6 双方向反射率分布関数(BRDF)



14

Light Field Cameras

- Lytro
- Raytrix



画像センシング

デジカメ, ビデオのセンシング
RGBカラーのセンシングはどうやっている？

16

画像センシング(1)

CCD(Charge Coupled Device Image Sensor)

- 1969年AT&Tベル研のボイルとスミスが発明
 - 磁気バブルメモリの動作原理を半導体に応用
 - 2009年ノーベル物理学賞受賞
- バケツリレー型電荷読み出しアナログ回路
→図(板書)
- センサはフォトトランジスタなど
- 感度が良い
- 製造コスト高

17

画像センシング(2)

CMOSイメージセンサ

(相補性金属酸化膜半導体)

- CCDと同様にフォトダイオードでセンシング
- 縦横スイッチの順次読み出し回路
- CMOS製造プロセスの応用で大量生産可能一廉価
- 低消費電力

18

画像センシング(3) センサモデル

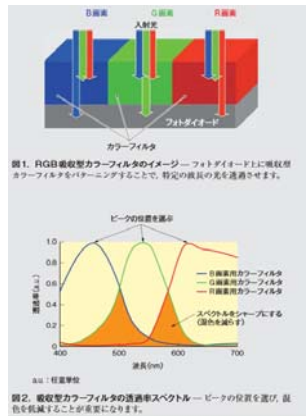
- ・フォトダイオード(光電素子)が記録する電子の量は、単位面積単位波長あたりの強度 E 、光電素子の空間応答 R 、デバイスの量子化効率 q の積の、空間および対象波長にわたる積分であらわされる。

→ 式

$$I(r, c) = T \iint E(\vec{p}, \lambda) R(\vec{p}) q(\lambda) d\vec{p} d\lambda$$

- ・全波長 λ について積分すれば、モノクロ(白黒)のセンサとなる。カラーカメラのセンサは、波長ごとにセンシングする必要がある。

19



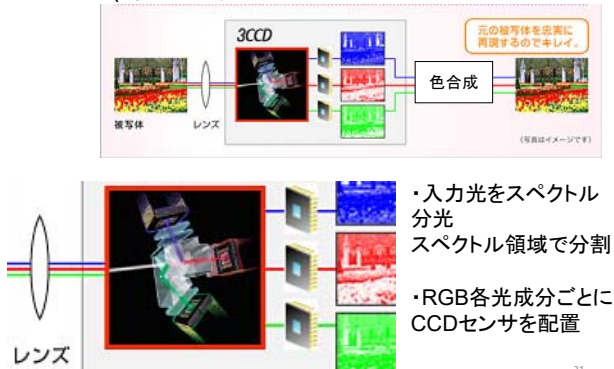
http://www.toshiba.co.jp/tech/review/2013/08/68_08pdf/r01.pdf
(東芝レビューvol.68, no.8)

20

画像センシング(4)

ビデオカメラとスチルカメラの色入力方式

- ・3CCD型(3板式) (高級・プロ用)

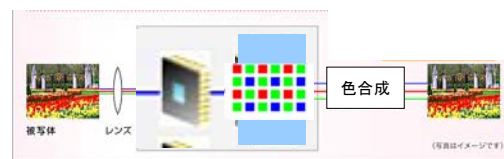


21

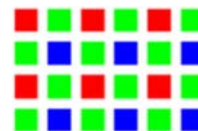
画像センシング(5)

ビデオカメラとスチルカメラの色入力方式

- ・1CCD型(単板式) 普及型

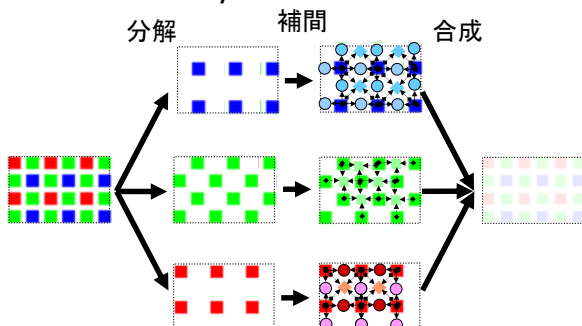


- ・Bayer方式カラー符号化
 - －色フィルターを各光電素子ごとにコーティングして空間分割する
 - －色合成(復号)処理必要



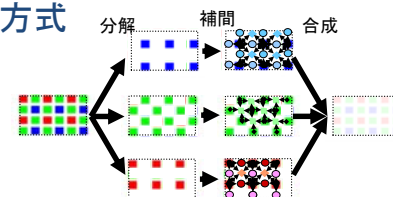
22

Bayer符号化方式



23

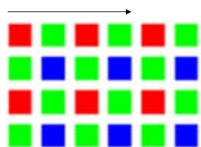
Bayer符号化方式



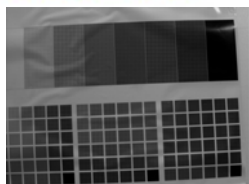
1. 符号化画像を色成分(RGB)に分解
2. 成分ごとに画素値を補間(内挿)して、穴埋する
 - i. R,Bは縦・横それぞれ2画素から補間し、次に対角で補間
 - ii. Gは、
 - iii. 補間式
3. 補間した成分画像を合成

24

例題



- 画素の並び順に注意

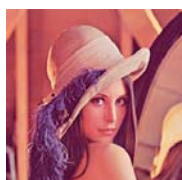


25

プログラミングチャレンジ#1

- Bayer方式カラー復号プログラムを作成せよ
- 入力: Bayer方式入力画像: `Input[y][x]` (`Image *input`)
 - サイズ: `xmax, ymax`
 - 画素値範囲: `0~255`
 - サンプル画像 sakai上 input.pgm
- 出力: RGB画像: `R[y][x], G[y][x], B[y][x]` (`Image *output`)
 - サイズ: 同上
 - 画素値範囲: RGB各 `0~255`
 - output.ppmに出力
- 入出力プログラム例
 - Sakai上 fileio.cpp

26

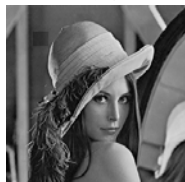
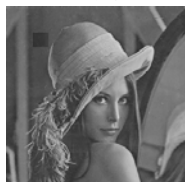


Gが2画素?

B成分

G成分

R成分



画像センシング(6) 入力デバイスの特性

- 3板式(3CCD式)
 - 画像の解像度 = CCDの解像度
 - 分光の精度(光軸合わせ, スペクトル分解)要調整
 - 分光による光量減
- 単板式(1CCD式)
 - 画像の実質解像度 < CCDの解像度
 - 補完による生成
 - 分光の精度(空間フィルタのコーティングの精度)
 - 信号の画素間もれ(補正アルゴリズム)

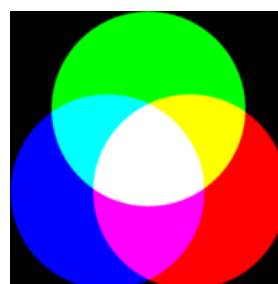
28

画像センシング(番外1) 画像の表示

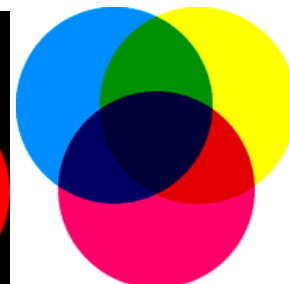
表示デバイスも、原則単一スペクトルを発光させて
多重スペクトル画像を表示する

29

画像センシング(番外2) 色の合成



光の3原色
加法混色

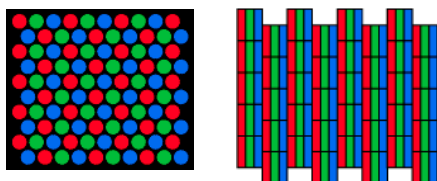


色の3原色
減法混色

30

画像センシング(番外3) テレビ画像(表示デバイスの色表現)

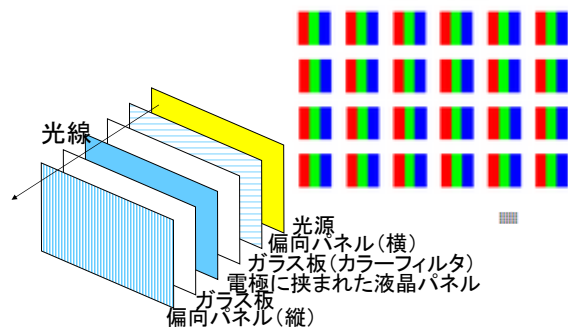
- ブラウン管(電子銃, シャドウマスク, 各色蛍光体)
- CRT (Cathode Ray Tube)



→空間分割による多重スペクトル表現

31

画像センシング(番外4) 液晶テレビ(Liquid Crystal Display)の 表示デバイスにおけるカラー表現



32

疑問

- 蛍光灯はなぜ白色光がだせるか?
- 白熱電球はなぜ赤いのか?
- 白色LEDの原理は?
- 4原色カラーパネルって?

33

閑話休題

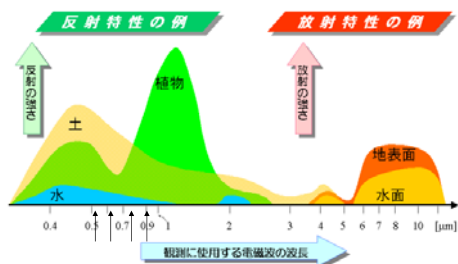
34

画像センシング(8)

電磁波の特性(可視光は特殊な波長の電磁波)

電磁波の波長に対する反射率および放射率は、地表の対象物によって異なる特性を示す。この反射率・放射率の違いを利用して、地物の判別や分析ができる。

主な地上物の反射・放射特性



35

画像センシング(7)

2. 画像処理の応用分野

3. リモートセンシング画像処理

主に人工衛星から計測した地球表面の状態を画像化したものを処理する。地球上をさまざまなセンサで計測することで、地形、地質、気象、土地利用、農林・水産などに関する情報が得られる。

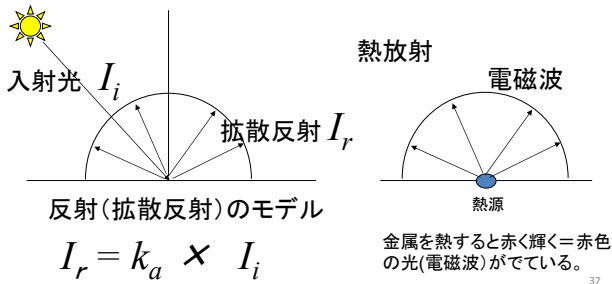
リモートセンシングの定義

リモートセンシング(remote sensing)とは、人工衛星や航空機などに搭載されたセンサによって、地表にある物体や空間・流体などの様々な現象を電磁波の特性を利用して、広い範囲に渡って直接触れずに調査する方法の総称

例: LANDSAT
気象衛星ひまわりの画像
Google Earth

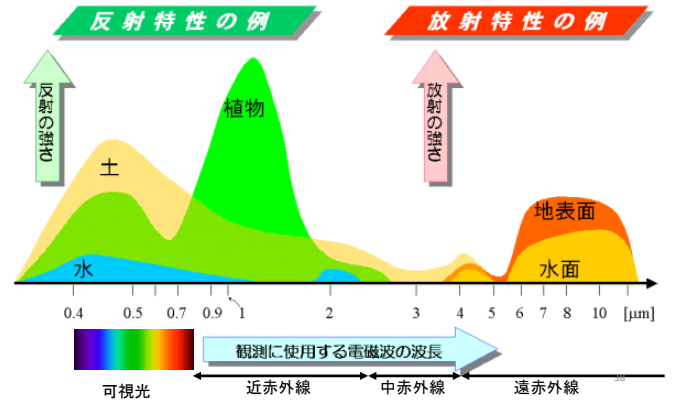
36

画像センシング(9) 反射と放射



37

主な地上物の反射・放射特性



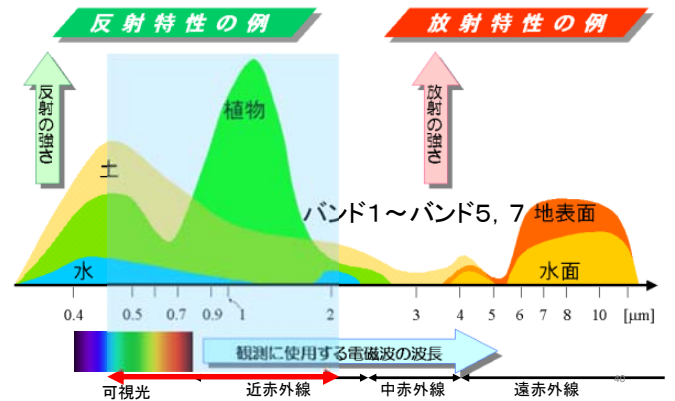
《ETM+(Enhanced Thematic Mapper)主要諸元》

出典http://www.eorc.jaxa.jp/hatoyama/satellite/sendata/etm_j.html

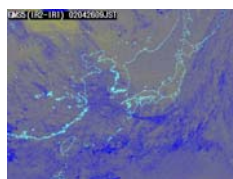
バンド	波長	解像度
1	0.45-0.52μm	青(紫青)(波長: 450-485 nm)
2	0.52-0.60μm	緑(波長: 500-565 nm)
3	0.63-0.69μm	赤(橙赤)(波長: 625-740 nm)
4	0.76-0.90μm	30m
5	1.55-1.75μm	30m
6	10.4-12.5μm	60m
7	2.08-2.35μm	30m
8	0.50-0.90μm	15m

39

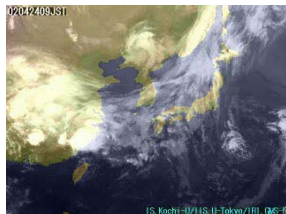
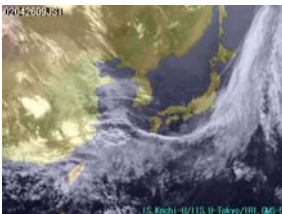
主な地上物の反射・放射特性



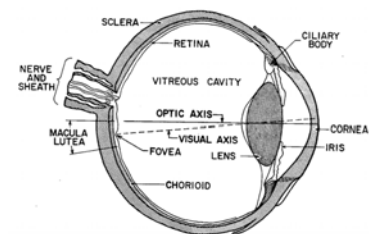
植生



黄砂や火山灰



眼球



42

色の認知と表現

人間はどうやって色を認識しているの？
コンピュータにおける色の表現は？

43

色の認知と表現(1) 色の物理学(1)

- 放射輝度(radiance)
 - 光の空間への分配を測定する単位
 - 定義:ある点で特定の方向に対して伝達されるもので、このときに伝達される方向に垂直な面における単位面積、単位立方角あたりのパワー
 - 位置と方向をパラメータとする関数
 - 単位: $W \times m^{-2} \times sr^{-1}$
- 放射照度(irradiance)
 - 入射強度を表現する単位
 - 定義:見かけの縮小がない面での単位面積あたりの入射強度
 - 単位: $W \times m^{-2}$

44

色の認知と表現(2) 色の物理学(2) 分光放射輝度

- 放射輝度と放射照度は、「波長あたり」の量として拡張でき、分光単位(スペクトル単位)を生む。
- 分光放射輝度:

45

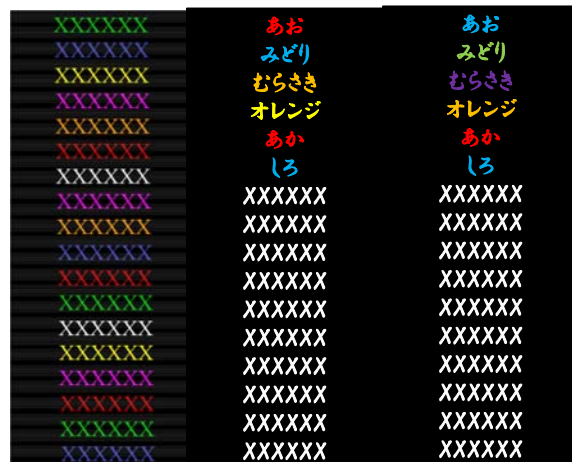
色の認知と表現(3) 人間の色認識

- 人間の色認識は、照明、記憶、物体同定、感情などが関係するコンテキストの複雑な機能である。
 - 例: ストループテスト
- 「単純な視点条件下において人間が同じ反応を生成するような分光放射輝度はどのようなものか」という疑問→線形色照合の理論

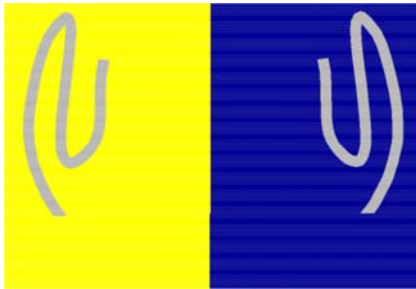
46



47



48



49



50

色の認知と表現(4) 色照合

- 黒く囲まれた領域に、2つの色のみを提示して、被験者が、一方の有色光(テスト光)を見ながら、他の光を調整して照合する。
- 調整は、固定数の原色の強度を調整して混合して同じ色になるようにする。

$$T = \omega_1 P_1 + \omega_2 P_2 + \dots$$

式の意味: テスト光 T が原色 P_1, P_2, \dots を重み ($\omega_1, \omega_2, \dots$) で合成した色に照合できた。

減法照合(負の重み)を認めると3原色あれば多くの色の照合に十分である。

51

色の知覚と表現(5) 色の表現

- 色を正確に記述することは、商業活動を行う際に非常に重要な問題。(企業のCIとして定められるロゴの色など)



52

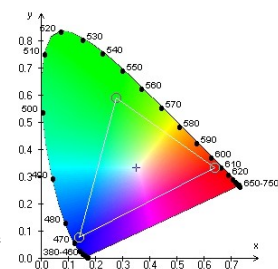
色の知覚と表現(6) 線形色空間

- CIE XYZ色空間(とCIE xy空間)

CIE: Commission international d'éclairage

- 色照合関数が常に正になるように決めた仮想的な色空間
- X, Y, Zの原色は得られない
- XYZ空間を $X+Y+Z=1$ 平面に交差させた図を (x, y) で描く→
- XYZの生み出された理由

- 実存する水色をRGB原色の色照合では作れない。加法混色では表現できない。負の重みを導入しなければならぬ。

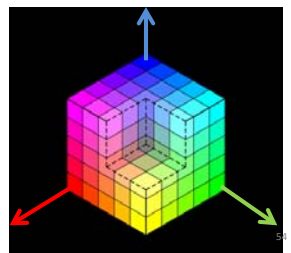


三角形は典型的なモニターが表現できる色空間

53

RGB色空間(線形色空間)

- 色空間は実用的な理由で発明される
- 単一波長の原色 (R: 645.16nm, G: 526.32nm, B: 444.44nm) が広く用いられる (CIE1964-10deg.)
- モニタは加法混色



54

CMY色空間

- 減法混合の線形色空間
- シアン(cyan)、マゼンタ(magenta)、黄(yellow)
- 例: $C=W-R$ (白-赤)、 $M=W-G$
シアンとマゼンタの混合

55

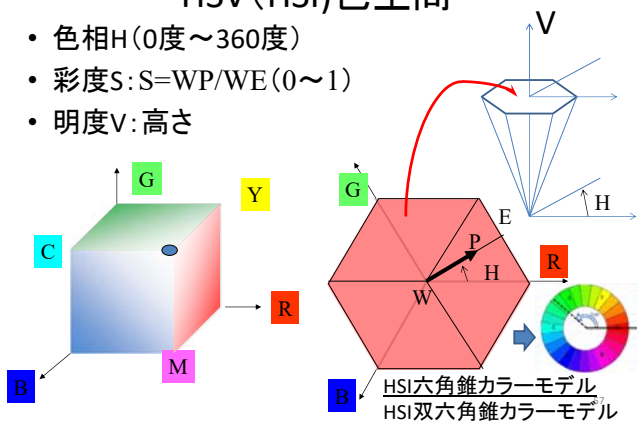
HSV色空間

- 非線形色空間
- 直観的、言語表現が容易
- Hue(色相)
- Saturation(彩度)
- Value of Brightness(明度)
 - または、Intensity-HSI

56

HSV(HSI)色空間

- 色相H(0度~360度)
- 彩度S: $S=WP/WE$ (0~1)
- 明度V: 高さ



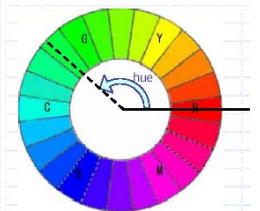
RGB-HSV(HIS)変換

色相(Hue)への変換式(例)

```

max = MAX(r,g,b)=I
min = MIN(r,g,b)=i
rt = (max - r) / (max - min)
gt = (max - g) / (max - min)
bt = (max - b) / (max - min)
If r = max then H = 1/3π(bt - gt)
If g = max then H = 1/3π(2 + rt - bt)
If b = max then H = 1/3π(4 + gt - rt)
(0 ≤ H < 2π)
    
```

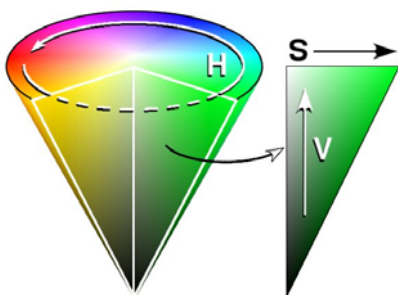
$I = \text{MAX}(r,g,b)$
 $S = (I - i) / I$



値は角度で算出

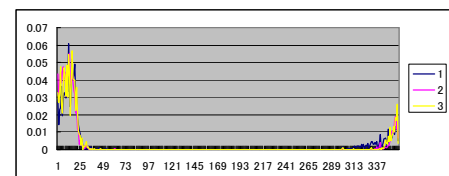
Red = 0
Green = $2/3 \pi$
Blue = $4/3 \pi$

58



59

色相分布



肌色領域画像の色相分布

60

まとめ

1. 画像の形成過程
 - 投影(ピンホールモデル:世界座標から画像座標への変換)
 - レンズ(光線の集約、歪、焦点距離)
2. 画像センシング
 - センサの構造(CCD,カラーセンシング)
 - リモートセンシング
3. 色の認知と表現
 - 色モデル(CIE XYZ色空間、RGB色空間)

3次元空間の濃淡パターンを画像として得るためには、投影変換のモデル(位置)、輝度の計算モデル(明るさ)とセンサ構造(道具)を知っておくことが重要。また色が人間の知覚に依存していること、一方で、工学的に記述モデルが重要であることを学んだ。

61

画像形成にかかわる物理量

- 光源の位置と明るさ(スペクトル分布)
- 物体の位置とスペクトル反射係数(透過係数)
- 物体の形状、複数物体の相互関係
- レンズモデル
- 画像平面の位置と向き
- その他
 - 画像のセンサ
 - 画像のデジタル化手順

62

ミニ演習

- ~~1. 減法混色における混色の原理を説明せよ。~~
 - ~~2. 加法混色をxy色空間で説明せよ。~~
1. レンズの効果と問題をそれぞれ1点あげよ。

63