

情報デザイン専攻

## 画像情報処理論及び演習I

# -デジタル画像の表現と応用-

### 画像化・色相・装置・表示

第3回講義  
水曜日1限  
教室6218情報処理実習室

吉澤 信  
shin@riken.jp, 非常勤講師  
大妻女子大学 社会情報学部

独立行政法人  
理化学研究所

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 今日の授業内容

[www.riken.jp/briect/Yoshizawa/Lectures/index.html](http://www.riken.jp/briect/Yoshizawa/Lectures/index.html)  
[www.riken.jp/briect/Yoshizawa/Lectures/Lec03.pdf](http://www.riken.jp/briect/Yoshizawa/Lectures/Lec03.pdf)

今日は少し教科書的な話をします...

参考書:「デジタル画像処理」CG-ARTS協会 2004年.

- ① 画像化
- ② 色彩
- ③ 時間があれば...演習:色彩変更

最初のレポートは↑の内容かもなのでよく聞いてくださいね(^.^)

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 休講のお知らせ

✓ 5月8日は休講です.

- 講義日程:4/24, 5/1, 5/15, 5/22, 5/29, 6/5, 6/12, 6/19, 6/26, 7/3, 7/10, 7/17,7/24, 7/26(予定).

補講・試験期間中に補講をやります, 7月26日(金)5限(予定).

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 画像処理技術発展の背景

1940,50~機械式計算機から電子計算機へ→  
CG (Computer Graphics)、画像処理、CAD (Computer Aided Design) 等の誕生.

1960~本格的研究の開始、特に科学応用→  
天文・衛星画像、コンピュータビジョン技術、OCR等のパターン認識技術の発展.

1970~専用機器の実用化→  
実用化研究:医用画像、CADの普及、手書き文字認識...

1980~専用機器からPC等の汎用機器へ→ **理論研究の高度化**  
軍事利用、CGの発展、画像処理ソフトウェアのパッケージ化・実用化.

1990~一般への汎用機器の普及→  
ゲーム・映画等デジタルエンターテインメント産業の発展、GPUの発展、機械学習との融合.

2000~デジタルカメラの(一般への)爆発的普及→  
携帯カメラ、レーザー顕微鏡・蛍光染色技術の発展、大規模シミュレーション可視化.

2010~データリンクの普及→スマートフォン、拡張現実、情報家電...

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 一般の画像処理システム構成

画像入力装置 → コンピュータ → 画像出力装置

入力: 標本化、量子化 | 専用処理 | 画像データ処理 | 専用処理、D/A変換 | 出力

✓ A/D変換: アナログ・デジタル変換.  
- 標本化 } コンピュータで画像を  
- 量子化 } 扱うための数値化操作.

✓ D/A変換: デジタル・アナログ変換.

✓ 画像入力装置: デジカメ(CCD等)、CT、MRI、スキャナー、顕微鏡、望遠鏡、各種センサー等.

✓ 画像出力装置: ディスプレイ、プリンター、プロジェクター等.

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 重要: 標本化と量子化

画像入力装置 → コンピュータ → 画像出力装置

入力: 標本化、量子化 | 専用処理 | 画像データ処理 | 専用処理、D/A変換 | 出力

✓ 標本化(sampling): 空間/時間的に連続した信号を離散的な標本点(画素)の集合に変換する操作.

✓ 量子化(Quantization): 輝度値/濃度/カラーを離散値にする操作.

アナログ輝度: 連続した信号のグラフ  
デジタル輝度: 離散的な画素のグラフ

標本化: 連続した信号を画素に分割する操作

量子化: 輝度値を離散値にする操作

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 標本化と量子化2

✓ **空間解像度:**  
標本化間隔の粗密.

✓ **輝度解像度・階調度:**  
量子化間隔の粗密.  
(量子化レベル)

256の3乗色(24bit画像)    16色(4bit画像)

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 重要: 標本化定理

✓ H. Nyquistが1928年に予測し、1949年にC. Shannonが証明→Shannon's Sampling Theorem.

- 数学的な説明は省略…(圧縮・周波数分解の授業でやるかも…)
- 簡単に言うと…原信号に含まれる最大周波数成分を  $f$  とすると、 $2f$  よりも高い周波数で標本化した信号は元信号を復元可能.
- 画像の最大周波数の2倍  
三ナイキスト周波数<サンプリング周波数
- 画像の最大周期の2倍  
三ナイキスト周期>サンプリング周期.
- これを守らないとエイリアシングが起きて、画質が悪くなる.

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## エイリアシング(Aliasing)

✓ 標本化周波数  $f_s$  が  $2f$  以下であった場合、原信号にはない偽の周波数  $f_s - f$  がエイリアス信号として、復元信号に現れる.

2fより高い周波数で標本化した画像.

2fより低い周波数で標本化した画像: 空間的エイリアシング(モアレ)が出ている.

折り返し雑音(Folding Noise)とも呼ばれる.

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 標本化定理: 補足

✓ 一般の画像の場合、どのようにしてナイキスト周波数を求めるか?

- 画像のフーリエ変換によって、一般の画像の周波数成分を求めることができる.
- 画像を周波数スペクトルに分解.
- (後期の授業で少しやります)

✓ 画像の明るさのグラフ=曲面:  
→微分幾何学

✓ 画像処理の基礎は応用数学とアルゴリズム(コンピュータ処理)

- 周波数解析(関数解析)
- 微分幾何学 など

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 重要: ヒストグラム(Histogram)

✓ 画像の頻度表(ヒストグラム)とは量子化の階調毎に画像中の輝度値/カラー値が何画素あるかを数えた表.

高 頻度 低

高 頻度 低

高 頻度 低

画素値 (Rチャンネル) 255

画素値 (Gチャンネル) 255

画素値 (Bチャンネル) 255

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## ヒストグラム(Histogram)2

✓ 画像処理ではヒストグラムとその統計量をよく用いる.

- 人口画像、風景画像、顔・人画像、文字画像など撮影された対象の種類によりヒストグラムが異なる.
- 同じ対象でも色相や画像の特性が輝度値の分布として一目で(ある程度)わかる.
- 画像のサイズに依存しない**特徴量**として利用出来る. 特に対象の回転や平行移動に依存しない.

量子化レベルが異なる画像のヒストグラム

高 頻度 低

高 頻度 低

画素値 255

画素値 15

中心値 最細値 平均値 最大値 中央値

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 画像入力装置

CCG-ARTS協会

- ✓ 輝度画像: 各画素の値は光(色相)を表す。
- ✓ 距離画像: 各画素の値は距離を表す。
  - CAD・CGでの表面レーザースキャナー: 数百万~数千万円。
  - 最近ではゲーム用の安価なハード: Kinect, PS Move.

- ✓ その他: 蛍光画像、電子顕微鏡画像、CT、MRI...

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 輝度画像入力装置: CCD

✓ CCD (Charge Coupled Device)センサー: デジカメ/ビデオカメラによく用いられている半導体素子。

CCG-ARTS協会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 輝度画像入力装置: CCD2

✓ なぜ緑が二つか？

- 人間の目の特性緑の波長領域が良く見える。

CCG-ARTS協会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 幾何光学モデル

✓ ピンホールカメラモデル。  
✓ 透視投影モデル。

CCG-ARTS協会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 光線追跡 (Ray Tracing)

✓ CGでのRenderingは幾何光学モデルの光線追跡シミュレーション。

3次元形状

Rendering

Raster画像

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## レンズの特性

✓ 薄・厚肉レンズ。  
✓ 画角: 光景の範囲。  
✓ 絞り: 光量調整。

CCG-ARTS協会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 焦点距離

✓ 望遠(長)・広角(短).

[a] 短い焦点距離のレンズで撮影 [b] 長い焦点距離のレンズで撮影

広角レンズ      標準レンズ      望遠レンズ

28mm      35mm      50mm      100mm      200mm

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 歪曲収差(わいきょくしゅうさ)

✓ レンズの歪み (Lens Distortion).

[b] 実際の空間情報 [c] 歪曲収差の例 [d] 歪曲収差の例

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 歪曲収差(わいきょくしゅうさ)2

✓ 色収差(Chromatic Aberration).

色収差(Chromatic Aberration)

光学的補正      画像処理による補正

100%

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 被写界深度(Depth of Field)

✓ ピントが(ほぼ)合っている被写体の距離範囲.  
✓ 焦点距離と絞りに依存.

[a] 絞り F2.8 (被写界深度が浅い) [b] 絞り F22 (被写界深度が深い)

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## モーションブラー(Motion Blur)

✓ シャッタースピード (レンズの開放時間 = 露光時間)に依存.

[a] シャッタースピード1/1,000の場合 [b] シャッタースピード1/60の場合 [c] シャッタースピード1/8の場合

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## ゲイン(Gain)

✓ 電子回路による信号の増幅 (dB: 単位、ISO: 規格).

[a] 原画像

ISO100      ISO200      ISO400      ISO800

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 光源の違い

✔ **ホワイトバランス:** 様々な色温度の光源で、白色を正確に出す様にすること。

1800 2,000 3,000 4,000 5,000 6,000 7,000 8,000 光源の色温度 [K]

白熱灯で撮影 太陽光で撮影 デジタルカメラの色温度設定

3,000K 3,700K 5,500K 7,500K

大気減衰の例

CGC-ARTS 協会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 陰影(shading)/照明(Illumination)モデル

✔ **シェーディング:**

- Flat(フラット): 一面一色.
- Gouraud(グーロー): 頂点に一色→面は構成頂点色の補間.
- Phong(フォン): 法線ベクトルを用いた補間.

電磁波エネルギー 物体 観察 色と明るさの感覚

波長

色温度の感覚

⇒ R=20  
⇒ G=75  
⇒ B=150

Environment Diffuse Specular Phong Reflection

環境光 拡散光 鏡面反射光

反射光

単位法線ベクトル  $\vec{n}$  観測方向  $\vec{v}$  入射方向  $\vec{l}$  反射角  $\theta$  観測角  $\theta_s$  入射角  $\theta_i$   $\cos\theta = \vec{n} \cdot \vec{l}$

[a] 拡散反射(光源方向を変化)

CGC-ARTS 協会

[b] フォンの鏡面反射モデル(上段は光源方向を変化、下段はパラメータを変化)

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 屈折・透過

入射光 反射光 屈折光 全反射

空気 水

CGC-ARTS 協会

[a] コップに水が入っていない [b] コップに水が入っている

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 大域照明(Global Illumination)モデル

✔ 自己を含む複数の影や反射・透過等を計算.

✔ 例は全てCG!

©microsoftresearch

©www.bbb-wwww.com

©www.bbb-wwww.com

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 距離画像取得では...

©D. Agar et al., SIGGRAPH 2008

©yypba.org Blog

©Kawaneh Tech Blog

Copyright © 2001, New Line Productions, Inc.

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## ステレオビジョン・エピポラー幾何

✔ 一つのカメラからは深さが分からない.

✔ **ステレオビジョン:** 視点の異なる複数の画像から距離画像 or 3次元情報を復元する方法.

視線

光学中心

Y<sub>w</sub> Z<sub>w</sub> X<sub>w</sub>

Y<sub>w</sub> Z<sub>w</sub> X<sub>w</sub>

Y<sub>w</sub> Z<sub>w</sub> X<sub>w</sub>

Y<sub>w</sub> Z<sub>w</sub> X<sub>w</sub>

(u, v) (u', v')

CGC-ARTS 協会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## ステレオビジョン・エピポラー幾何2

✓ 対応する点の座標に関して連立方程式を立てる。  
 ✓ 求めたい変数の数より式が多い  
 → Overdetermined (逆は Underdetermined) → 最小二乗解 (特異値分解やLU分解)・一般化逆行列 (疑似逆行列) で解ける。

$$Ax = b \Leftrightarrow x = A^{-1}b$$

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_n \end{pmatrix}$$

$$x = A^T (AA^T)^{-1} b \quad \text{or} \quad (AA^T)^{-1} A^T b$$

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## ステレオビジョン・エピポラー幾何3

✓ 実際にステレオビジョンによって3次元位置を復元するには、二つの画像において、対応する点を求める必要がある。  
 ✓ **ステレオマッチング**: 一つの画像を基準として、その画像中の画素座標に対し、同じ空間の点に対するもう一方の画像の画素座標を求める。

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## ステレオビジョン・エピポラー幾何4

多視点・多カメラでも原理は同じ→対応点検索→連立方程式  
 1カメラ+1投影機の方法もある。

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## レーザースキャナー

✓ **レーザビームによる光切断方式**: スリット状のレーザ光でスキャンし、その反射光をCCDカメラで受光。三角測距の原理で被写体との距離を計算。回転ステージと連動しての自動位置合わせも可能。

子午面合わせも取り合わせ  
 RANGE7 (Olivetti) Before/After  
 VIVID9 (Keyence) レーザー式  
 光学式 (OH Suzuki)

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 構造光スキャナー

✓ **構造化照明方式 (Structured Light)**:
 

- 物体に縞パターンを投影 (fringe projection) し、それをカメラで撮像。
- 物体上の縞が何本目の縞かが特定されれば、三角測距の原理で奥行きが計算できる。
- 一本の縞は、光切断法のレーザーラインに相当。

空間コード法

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 構造光スキャナー2

✓ **構造化照明方式 (Structured Light)**:
 

- 明度が時間とともに正弦波で変化する縞パターンを投影。
- 画像上の点で、その時間変化から位相のずれ (シフト) を求める。
- 同じ位相シフトの値をもつ点を連結した線が、光切断法の切断線になる。
- 空間コード法に比べて、縞の幅を狭くすることなく、精度を上げることができる。

光シフト法

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

### 明度差による距離画像の見積もり

[a] 入力画像 [b] 推定された形状

©CG-ARTS研究会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

### 画像からの光源とその特性の見積もり

複雑な反射成分も含めた任意光源下画像の推定

鏡面反射成分の推定

陰影から光源分布の推定

©CG-ARTS研究会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

### 電子顕微鏡

✓ 可視光の代わりに電子を利用: 光学顕微鏡では見ることのできない微細な対象を観察可能.

- TEM (Transmission Electron Microscope): 透過型電子顕微鏡.
- SEM (Scanning Electron Microscope): 走査型電子顕微鏡.
- 凍結包埋や特殊なコーティングが必要 → 生きている物は見れない.
- 内部は(切らないと)見れない.
- 分解能がよい.

◆ 分解能は解像度(標準化・量子化のレベル)とは異なり, 光の波長に依存する → 電子の方が可視光線の限界(100nm)よりはるかによい(0.1nm).

©RIKEN

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

### CT (Computer Tomography)

✓ 物体の内部画像を構成する技術:

- 医用X線CT(3D, 4D), 工業用X線CT: 周囲を線源と検出器が回転 → X線は対象を通過し一部吸収かつ減衰した後、反対側のX線検出装置に記録.

[a] X線源と検出器

©CG-ARTS研究会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

### CT (Computer Tomography) 2

✓ 像の再構成: それぞれの方向でどの程度X線が吸収されたかを記録 → フーリエ変換や連立方程式にて3Dを再構成.

©www.linnavision.co.jp

©RIKEN

©CG-ARTS研究会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

### CT (Computer Tomography) 3

✓ PET(Positron Emission Tomography): 陽電子検出を利用.

✓ SPECT(Single Photon Emission Computed Tomography): 体内に投与した放射性同位体から放出されるガンマ線を検出.

✓ X線CTやMRIは組織の形態を観察. PET&SPECTは核医学検査: 生体機能観察に特化. 主に中枢神経系の代謝レベル観察. 近年は腫瘍組織における糖代謝レベル上昇検出により癌診断に利用.

©medical-checkup.info

©wikipedia

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 3次元画像とVolume Rendering

✓ 物体内部の輝度値を視線に沿って積分:

可視化ツール  
 xy, yz, zx面の表示  
 曲切断面の表示  
 伝達関数による透明度指定

©井原 理研

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## CT (Computer Tomography) 4

CTデータのVolume Rendering

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## MRI (Magnetic Resonance Imaging)

✓ 核磁気共鳴 (原子核が固有の周波数の電磁波と相互作用する現象) を利用して生体内部を画像化。

✓ 距離に比例した強度を持つ磁場をかけ、原子核 (通常は水原子) の位相や周波数の変化を観測。フーリエ変換等で画像化。

✓ CTでもある (昔はMRI-CT)。

©wikipedia

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 共焦点レーザー顕微鏡

✓ 焦点の合った部分だけが明るく撮像可能:

- 共焦点: 対物レンズからの光にピンが合う位置にピンホールを置いて、ピンが合った位置以外からの光を排除する仕組み (サンプル面上&検出器上で焦点が合う→共焦点)→透明な試料内部の断片を撮影可能。

単一焦点  
共焦点光学系

©CG-ARTS株式会社

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 蛍光観察

✓ 蛍光性を持った物質に(レーザーなどで)励起光を照射し(その結果発光する)蛍光を観察。

- 遺伝子組み換え等で蛍光タンパク質を生体(細胞)内のターゲットに発現させる事でターゲットを観察。
- 蛍光物質ならば生体でなくともよい。
- 共焦点レーザー顕微鏡は通常は蛍光顕微鏡でもある。
- 蛍光物質には固有の励起波長と蛍光波長がある。

©wikipedia

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 蛍光観察の応用例: 細胞内観察

共焦点レーザー顕微鏡と蛍光観察技術の発達により、細胞内部の構造を大規模・高次元・高階調な画像として取得可能。

2D画像  
3D画像/Volume 20MB~200MB  
複数3D画像  
複数2D画像  
時系列2D画像  
4D画像 200MB~2GB  
複数4D画像 2~200GB



Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 蛍光観察の応用例:細胞内観察2

✓ 細胞内小器官: 動態、機能、代謝(生化学反応), etc.

✓ 膜輸送: 軌跡、密度、分布、速度, etc.

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## その他

赤外線カメラによる温度分布  
 スキャナー  
 レントゲン: X線透過画像

[a] 地球観測衛星LANDSAT7  
 [b] 米国アトランタ市の土地利用情報(下)  
 [c] 温度情報の拡大図と温度情報(上)  
 人工衛星画像: スペクトル、温度

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 色彩

✓ 可視光 波長380nm~780nmの電磁波:  
 - 紫外線、赤外線。  
 - 入射光のエネルギーと明るさの感じ方: 緑色の辺りが良く見える。

✓ 三原刺激(三原色)の混色  
 ⇒ 任意の単波長スペクトルの光の色。

✓ 加法混色: RGBを混ぜて表現。  
 ✓ 減法混色: CMYを混ぜて表現。

ガンマ線 X線 紫外線 可視光 赤外線 レーザー光 放送用電波

400 500 600 700 波長 [nm]

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 重要: 色の三属性(色相、明度、彩度)

✓ 色相(Hue): 色の様相の相違: 光の波長の様相。

✓ 彩度(Saturation/Chroma): 鮮やかさ。

✓ 明度(brightness/value/intensity): 明るさ。

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 表色系

✓ 心理物理的概念に従い、色を定量的に表す体系:  
 - CIE表色系: 国際照明委員会: RGB, XYZ, **xyY**, Luv, Lab.  
 - マンセル系:  
 - その他: オストワルト系, NCS, DIN...

[a] 色度座標 [b] xy色度図

$$X = K_m \int_{380}^{780} \bar{x}(\lambda) L(\lambda) d\lambda$$

$$Y = K_m \int_{380}^{780} \bar{y}(\lambda) L(\lambda) d\lambda$$

$$Z = K_m \int_{380}^{780} \bar{z}(\lambda) L(\lambda) d\lambda$$

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

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

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

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 表色系2

✓ CIE-L\*a\*b系 (Lab): 色差をよく表す。

✓ マンセル系: 色の三属性(色相、明度、彩度)。

[a] マンセルの色相図 [b] マンセルの色立体

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 色空間

✓ RGB、sRGB、AdobeRGB、RGBA、CMY、CMYK、CMK、[HSV](#)、[HLS/HSL/HSI](#)...

H(色相)、S(彩度)、V(明度)~L(輝度, luminance)~I(照度, illuminance)

©CG-ARTS協会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 色空間2

✓ H(色相)、S(彩度)、V(明度)  
~L(輝度, luminance)  
~I(照度, illuminance)

六角錐モデル

円錐モデル

©CG-ARTS協会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## コントラスト

✓ 画像の濃淡情報の分布の広さに関する指標.

$$C = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

コントラストの違い

平均値の違い:  
コントラストCは同じでも主観的なコントラストは異なる

$I_{\max}$ : 画素値の最大値  
 $I_{\min}$ : 画素値の最小値

©CG-ARTS協会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 重要: トーンカーブ (Tone Reproduction Curve)

✓ x座標入力、y座標出力の画素値変換曲線: コントラストを調整. 色別変更で彩度と色相も調整可能.

ポスター化やソーラー化も!

©CG-ARTS協会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## トーンカーブ (Tone Reproduction Curve) 2

✓ 明度調整.

黒くつぶれたところが明るくなった.

©CG-ARTS協会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## トーンカーブ (Tone Reproduction Curve) 3

✓ コントラストの向上.

©CG-ARTS協会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

### トーンカーブ(Tone Reproduction Curve)4

✓ コントラストの低下.

出力

入力

高

頻度

低

0 画素値 255

[a] 入力画像

[b] 出力画像

CCG-ARTS協会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

### トーンカーブ(Tone Reproduction Curve)5

✓ ガンマ変換.

出力

入力

高

頻度

低

0 画素値 255

[a] 入力画像

[b] 出力画像

CCG-ARTS協会

$Y = X^\gamma$

$\gamma = 3.0$   
 $\gamma = 2.0$   
 $\gamma = 1.5$   
 $\gamma = 1.0$   
 $\gamma = 0.66$   
 $\gamma = 0.5$   
 $\gamma = 0.33$

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

### トーンカーブ(Tone Reproduction Curve)6

✓ S字変換.

出力

入力

高

頻度

低

0 画素値 255

[a] 入力画像

[b] 出力画像

CCG-ARTS協会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

### トーンカーブ(Tone Reproduction Curve)7

✓ トーンカーブを自動生成する様な方法もある:  
例: ヒストグラムの平坦化(Histogram Equalization).

高

頻度

低

0 画素値 255

入力画像のヒストグラム

高

頻度

低

0 画素値 255

出力画像のヒストグラム

CCG-ARTS協会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

### トーンカーブ(Tone Reproduction Curve)8

✓ ヒストグラムの平坦化(Histogram Equalization).

高

頻度

低

0 画素値 255

[a] 入力画像

[b] 出力画像

CCG-ARTS協会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

### トーンカーブ(Tone Reproduction Curve)9

✓ 濃淡反転.

出力

入力

高

頻度

低

0 画素値 255

[a] 入力画像

[b] 出力画像

CCG-ARTS協会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## トーンカーブ(Tone Reproduction Curve) 9

✓ **ポスタリゼーション(Posterization).**

入力 → 出力

高輝度 255

低輝度 0

高輝度 255

低輝度 0

© the-graphics-tablet.com  
© bitvis.com  
© CG-ARTS協会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## トーンカーブ(Tone Reproduction Curve) 10

✓ **ソラリゼーション(Solarization):**  
- 現像時に、露光をある程度過多にして意図的に芸術性を出す。

出力 → 入力

© CG-ARTS協会

[a] 入力画像

[b] 出力画像

© biggs yahoo.co.jp/yakusaku

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## トーンカーブ(Tone Reproduction Curve) 11

✓ **RGB同じトーンカーブで変換した例:**

出力 → 入力

© CG-ARTS協会

[a] 入力画像

[b] 出力画像

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## トーンカーブ(Tone Reproduction Curve) 12

✓ **疑似カラー(重要):**

出力画像値

入力画像値

255

0

出力後の濃淡

出力画像の色

[a] 入力画像

© CG-ARTS協会

[b] 出力画像(疑似カラー画像)

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 高階調画像(HDRI: High Dynamic Range Image)

✓ 人間の目には明るいところも暗いところも同時に見えているのに、デジカメではハイライト部やシャドウ部がツブレやすい。

0.01 0.1 1 10 100 1,000 10,000 100,000

単位: cd/m<sup>2</sup>

人間の目

CCD

階調を識別することができる最小輝度と最大輝度の比率

© H. Suzuki (Utsu, Tokyo)

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## トーンマッピング(Tone Mapping)

© S. Yoshizawa, CGF 2010

© G. Qui et al ICP1995

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 応用例: デジタルアート

### HDR画像を用いたデジタルアート

<http://www.flickr.com/groups/hdr/>

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 画像出力装置

画像入力装置: 入力, 標準化, 量子化  
 コンピュータ: 画像データ処理  
 画像出力装置: 専用処理, D/A変換, 出力

CCG-ARTS 開発

- ✓ ディスプレーモニタ
  - RGB 3原色
  - 加色混色
- ✓ プリンタ
  - CMY 3原色
  - 減色混色

プリンタの表示範囲 (CMY) と ディスプレーの表示範囲 (RGB) の比較グラフ。

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## CRTディスプレイ

- ✓ ブラウン管(CRT: Cathode Ray Tube):
  - 電子銃により陰極線電子は集束され、電界または磁界により偏向されて蛍光面を走査。電子が蛍光物質に衝突すると光が放出。
  - 顕著なガンマ特性。
  - ガンマ値: 画像階調の応答特性(1が理想)。
  - ガンマ補正: 入出力機器のガンマ値に応じた最適なカーブに画像の階調を補正する事。

[a] カメラ入出力特性 ( $\gamma = 0.45$ )  
 [b] CRT入出力特性 ( $\gamma = 2.2$ )  
 [c] 理想特性 ( $\gamma = 1.0$ )

CCG-ARTS 開発

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## ガンマ補正

- ✓ ブラウン管だけでなく液晶やプラズマでも必要。

ディスプレイのガンマ特性 × ガンマ特性に合わせて色特性も調整 = 理想の  $\gamma=1$  に近い発色になる

CCG-ARTS 開発

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## LCDディスプレイ

- ✓ 液晶(LCD: Liquid Crystal Display):
  - ガラス板間に特殊な液体(液晶組成物)を封入し、電圧によって液晶分子の向きを変え、光の透過率を増減させることで像を表示する構造。
  - 液晶: 固体と液体の中間状態。
  - 軽いので37インチ程度までの薄型テレビ・コンピュータディスプレイ、携帯やデジカメのディスプレイモニタの主流。

偏光板, カラーフィルタ基板, 透明電極, 液晶層, 配向膜, 透明電極, アレイ基板, 偏光板, 光源

CCG-ARTS 開発

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## PDPディスプレイ

- ✓ プラズマ(PDP: Plasma Display Panel):
  - ガラス板の間に封入した高圧の希ガスに高い電圧をかけて発光させるものガラス板間に特殊な液体(液晶組成物)を封入し、電圧によって液晶分子の向きを変え、光の透過率を増減させることで像を表示する構造。
  - プラズマ: イオン化・電離した気体: 炎、蛍光灯内の水銀ガス等。
  - 利点: 視野角が広い、高速応答、高色純度、大型化が容易。
  - 欠点: 明るい部屋での低コントラスト、擬似輪郭、焼き付きの可能性、発熱量が多い、高精細化が困難。

CCG-ARTS 開発

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## カラーマッチング

✓ プリンター、モニター、デジカメ等の中で色を合わせる

プリンターの表示範囲  
ディスプレイの表示範囲

ポイント1) 表示性能の良いディスプレイを使う  
ポイント2) 環境色を適切に再現する  
ポイント3) 環境色に合わせてディスプレイの設定を決める(色温度、輝度・キャリブレーションの調整目標)  
ポイント4) ディスプレイの「キャリブレーション」を行う(ディスプレイ用プロファイルを作成する)  
ポイント5) 画像のICCプロファイルの取扱いに気をつける  
ポイント6) プリンタ出力の適切なICCプロファイルを使う

[a] カラーマッチングを行わない場合 [b] カラーマッチングを行った場合

CCG-ARTS協会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 限定色表示

✓ 限定色表示: 出力できる色数 < 入力画像の色数.  
✓ カラーマップとルックアップテーブル: 入力の色とそれを出力する色との対応表.

- 均等量子化法.
- 頻度法.
- ハーフトニング・ディザ法.

	R	G	B		入力	出力表示色
0	R <sub>0</sub>	G <sub>0</sub>	B <sub>0</sub>	→	0	R <sub>0</sub> G <sub>0</sub> B <sub>0</sub>
1	R <sub>1</sub>	G <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>		0	0 0 1
⋮	⋮	⋮	⋮		⋮	⋮
255	R <sub>255</sub>	G <sub>255</sub>	B <sub>255</sub>		255	255 255 255

カラーマップ      ルックアップテーブル

[a] 原画像 [b] 均等量子化法 [c] 頻度法

CCG-ARTS協会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 限定色表示2

RGB空間を64個のセルに分割

濃度パターン法

ポイント1) 濃度パターンを生成する  
ポイント2) 濃度パターンを選択する

[a] 原画像 (グレースケール画像) [b] 2値画像 [c] ハーフトニング

CCG-ARTS協会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## ディザ処理

✓ 全体の量子化誤差を最小化するように確率を調整して量子化をランダムに行う事.

- Half-Toning, Dithering.
- RGB毎 or RGBベクトルで処理.
- 元画像のbit値→二値だけでなく多値への変換もOK. 例えば256値から16色へ等.
- 様々な方法がある、例えば...

濃度パターン法      Bayer型ディザ法

CCG-ARTS協会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## ディザ処理2

✓ 全体の量子化誤差を最小化するように確率を調整して量子化をランダムに行う事.

フルカラー画像      限定色(16色)      限定色(16色)+ディザ処理

CCG-ARTS協会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## ディザ処理3

ディザ処理

あい

なし

256色      16色      8色      4色      2色

©nail-net

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## デザ処理2

✓ 誤差拡散法(Error Diffusion)に分類されるアルゴリズムが非常によい結果を生成: 点の数を制御可能.

画像の左上の画素から順に、白(画素値255)か黒(画素値0)に置き換える処理を行うものとする。

① 処理対象画素の画素値を $f$ とすると、  
 $f > 127$  白(255)に置き換える。(g=255)  
 $f \leq 127$  黒(0)に置き換える。(g=0)  
 そして、置き換えたあとの誤差を $e$ とする。

② 未処理画素領域(図のグレーの領域)のうち、処理対象画素周辺の数画素(図の濃いグレーで示した4画素)に誤差 $e$ を分散させて画素値を変更する。

③ ①と②の処理をすべての画素について順に行う。

誤差 $e$ を分散させる式の例

$$f'_1 = f_1 + (5/16)e$$

$$f'_2 = f_2 + (3/16)e$$

$$f'_3 = f_3 + (3/16)e$$

$$f'_4 = f_4 + (3/16)e$$

✓ 誤差エネルギー関数の違いと、どのような分布をランダム性を持たせるかで非常に多くの誤差拡散法アルゴリズムが提案されている。

誤差  $e = f - g$

CCG-ARTS協会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## デザ処理3

Original Threshold Random Halftone Bayer

Overlapped

Floyd-Steinberg Jarvis, Judice & Ninke Stucki Burkes

Sierra J 2-row Sierra Sierra Lite Atkinson

### 誤差拡散法

✓ ハーフトニング(halftoning): パターンで表す。

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## まとめ

画像入力装置 → コンピュータ → 画像出力装置

入力 標本化 量子化 専用処理 → 画像データ処理 → 専用処理 D/A変換 出力

CCG-ARTS協会

✓ 標本化(定理)・量子化、ヒストグラム、幾何光学モデル、レンズ・カメラの特性、距離画像、ステレオビジョン・エピポラー幾何、CT、顕微鏡、色彩、色の三属性、表色系・色空間、コントラスト、トーンカーブ、ディスプレイ、デザ処理。

最初のレポートは↑を出すかもなのでよく復習してね(^\_^);

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 演習3-1: gimpを使ったトーンカーブ変更

[www.riken.jp/brict/Yoshizawa/Lectures/index.html](http://www.riken.jp/brict/Yoshizawa/Lectures/index.html)  
[www.riken.jp/brict/Yoshizawa/Lectures/Lec03.pdf](http://www.riken.jp/brict/Yoshizawa/Lectures/Lec03.pdf)

1. 端末で「gimp」と打ち込みエンターキー。
2. ファイル→開く→lena.ppm
3. ツール→色ツール→トーンカーブ。
4. ソラリゼーション & ポスター化。

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 演習3-2: ヒストグラム作成

[www.riken.jp/brict/Yoshizawa/Lectures/Ex01.zip](http://www.riken.jp/brict/Yoshizawa/Lectures/Ex01.zip)

1. カラー画像(ppm)を読み込んでR,G,B毎のヒストグラムを出力するプログラムを作成せよ。
2. argv, atoiを使って、出力ヒストグラムファイル名とビンの数を指定出来る事。
3. FILE \*fp = fopen(出力ファイル名, "w");  
 fprintf(fp, "%d %d\n", ビンのID, 頻度);
4. 表示はxmgrace or gnuplot.

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 演習3-3: Hue変換

1. カラー画像(ppm)を読み込んでHue疑似カラーへ変換するプログラムを作成せよ。
2. argv, atoiを使って、出力画像ファイル名を指定出来る事。
3. ヒント: 入力RGB⇒HueのRGB変換用の関数を三つ用意する。

右のグラフと同様に色を変換する。

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

### 演習3-3: Hue変換

$$\text{Hue}R(x) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x < 128 \\ (255/64)x - 510 & 128 \leq x < 192 \\ 255 & 192 \leq x \leq 255 \end{cases}$$

$$\text{Hue}G(x) = \begin{cases} (255/64)x & 0 \leq x < 64 \\ 255 & 64 \leq x < 192 \\ -(85/21)x + (7225/7) & 192 \leq x \leq 255 \end{cases}$$

$$\text{Hue}B(x) = \begin{cases} 255 & 0 \leq x < 64 \\ -(255/64)x + 510 & 64 \leq x < 128 \\ 0 & 128 \leq x \leq 255 \end{cases}$$

- ✓  $y = ax + b$ の連立方程式を解くと左の関数が導出出来る。
- ✓ 注意点: プログラム内で(255/64)などは浮動小数点(255.0/64.0)とする事。

✓ forの二重ループで変換し保存。

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

### 次回の予定

内容(4-5): アフィン変換・画素値の補間

1回

2回

3回

4回

5回

6回

7回

8回

9回

10回

11回

12回

13回

14回

15回

**基礎**

**アフィン変換・補間**

**領域抽出**

**画像合成**

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

### 補足: ファイルサイズ&使えるディスク容量

- ✓ まず、Linuxで皆さんの**使えるディスク容量は1GB**です。これを超えるとLinuxが使えなくなるので注意してください。
- ✓ 演習やレポートで作った大きなファイル(画像等)は**圧縮するか**、(プログラムで直に自動生成出来るファイルは)**こまめに消しましょう**。1GB以上のデータを保存しておきたい人はUSBメモリーや外付けUSBハードディスクに保存。
- ✓ 自分の使っているディスク容量を調べるには端末で 「du -h ~/」 と打ち込みエンターキーを押してください。
- ✓ ファイルの圧縮・解凍は前回までの資料を参照(zipとunzip)。
- ✓ ファイルの削除はファイルブラウザで消したいファイルを右クリックして削除又は、端末で「rm ファイル名」でエンターキーを押します。