

生命情報学特別講義

-デジタル画像と定量化-

その2:画像化・色彩・入出力装置

第2回講義
2011年8月3日～4日
伊都新キャンパス

吉澤 信
shin@riken.jp, 非常勤講師
九州大学 大学院

独立行政法人
理化学研究所

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→
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...

理論研究の高度化

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 標準化 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

✓ A/D変換: アナログ・デジタル変換。
- 標準化 } 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: 標準化と量子化

画像入力装置 → コンピュータ → 画像出力装置

入力 標準化 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

✓ **標準化(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。

標準化: アナログ信号(連続) → 標準化した信号(離散)

量子化: 標準化した信号(離散) → 量子化された信号(離散)

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

標準化と量子化2

標準化 → 量子化

レンズ

1x1 2x2 5x5 10x10 20x20 50x50 100x100

CCG-ARTS協会

✓ **空間解像度:** 標準化間隔の粗密。

✓ **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: 標準化定理

✓ 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。

- 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準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
ミナイキスト周波数 < サンプリング周波数

- 画像の最大周期の2倍
ミナイキスト周期 > 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: 空間的エイリアシング(モアレ)が出ている。

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。

✓ 画像の明るさのグラフ=曲面:
→微分幾何学(後の講義で少しやります)

✓ 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

[4] 連続信号 ©CG-ARTS協会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

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 画素値 (R チャンネル) 255

高 頻度 低 画素値 (G チャンネル) 255

高 頻度 低 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

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

画像入力装置

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

✓ 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.

Choricontrol ©FafFieldTech. ©Microsoft. ©Sony

✓ 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。

フォトダイオード+読み出しゲート ©CG-ARTS協会

マイクロレンズ フォトダイオード

[1] CCDの構成 [2] CCDの断面 [3] 2画素分の電子顕微鏡写真 [4] CCDの外観

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。

CCD (1画) CCD (2画)

色フィルタ配列

生データ まばらなデータ デモザイキング 補間データ 全画素RGBデータ

生データ 赤チャンネルデータ 緑チャンネルデータ 青チャンネルデータ

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.

光源 物体 投影面

光軸 光学中心 焦点距離 f

物体 投影面 光学中心

光軸 画像中心 焦点距離 f

f が小さい f が大きい

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

カメラ 視点 (投影中心) 画像投影面

Raster画像 Rendering

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.

薄肉レンズ (無限遠にある点光源)

厚肉レンズ

焦点距離 f 前主点 後主点 光軸

焦点距離 f 画角 2θ 像高 h 物高 H

薄肉レンズ 厚肉レンズ

焦点距離 f 画角 2θ 像高 h 物高 H

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

CCG-ARTS協会

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).

平行光 焦点が光軸上の一点に集まらない

歪曲収差

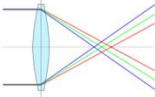
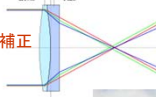
[b] 実際の空間情報 [c] 歪曲収差の例 [d] 歪曲収差の例

CCG-ARTS協会

Shin Yoshizawa: shin@nken.jp

歪曲収差(わいきょくしゅうさ)Z

色収差(Chromatic Aberration).

光学的補正

画像処理による補正



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 (被写界深度が深い) CCG-ARTS協会

[b] 絞り F22 (被写界深度が深い)

Shin Yoshizawa: shin@nken.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.







Wikipeidia
ICG-ARTS 協会





[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).





ノイズとその除去
は後期のフィルタ
リングで行います。

[a] 原画像



ISO100
ISO200
ISO400
ISO800

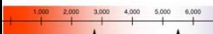
Shin Yoshizawa: shin@nken.jp

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。**



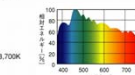
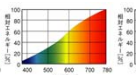
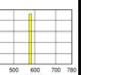


光源の色温度(K)

デジタルカメラの
色温度設定

色温度 (K)	光源
3,000K	白熱灯で撮影
3,700K	自然光で撮影
5,500K	CCG-ARTS 昼色
7,500K	

大気減衰の例

[a] 昼光の分光分布

[b] 白熱灯の分光分布

[c] 昼色 CCG-ARTS ランプの分光分布





Shin Yoshizawa: shn@nriken.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): 頂点に一色一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

Wikipedia

Ambient + Diffuse + Specular + Phong Reflection

環境光 拡散光 鏡面反射光

[a] 拡散反射 (光源方向を変化)

CCG-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, 下段は法線方向を変化)

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

屈折・透過

入射光 反射光 屈折光 光源 ECG-ARTS協会

空気 水

(a) コップに水が空いている (b) コップに水が満ちている

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

大域照明(Global Illumination)モデル

- ✓ 自己を含む複数回の影や反射・透過等を計算.
- ✓ 例は全てCG!

©Microsoft Research CL Kobelt ©www.bab-www.com

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

距離画像取得では...

©D. Aiger et al., SIGGRAPH 2006. ©www.pothemus.com ©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 ECG-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.

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

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

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

ECG-ARTS協会

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.

視線 光学中心 エピポラー線 ©H. Suzuki (Shizuoka University)

ステレオビジョン・エピポラ幾何4



Shin Yoshizawa: shn@nken.jp

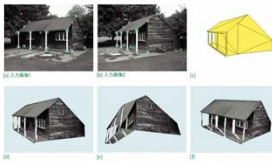


(a) 原画像 (全画素画)

(b) 灰階画像

(c) 3D再構築 (全画素画)

(d) 別の視点からの3D再構築

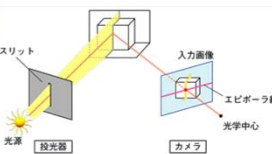


(a) 入力画像

(b) 灰階画像

(c) 3D再構築

(d) 別の視点からの3D再構築



スリット

入力画像

エピポラ幾何

光学中心

光源

ピンホールカメラ

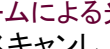
Shin Yoshizawa: shin@nken.jp

レーザースキャナー



✓ **レーザービームによる光切断方式:** スリット状のレーザー光でスキャンし、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た自動位置合わせも可能。





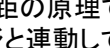
データ位置合わせのやり合わせ




RANGE7



Microsonicmodela



対象物 フィルター (KLMの原理) 照射方式
受光レンズ CCD
送信レンズ レーザー
レンズ系 受信系
フォトレゾレー



光学式

VIVID9



レーザー





光学式

©H. Suzuki (Univ. Tokyo)

Shin Yoshizawa: shin@nken.jp



構造光スキャナー

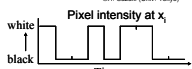
✓ 構造化照明方式 (Structured Light):

- 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、三角測量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ストライプに相当.



Camera I, Projector P₂

©H. Suzuki (Univ. Tokyo)

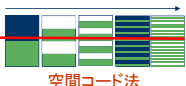


Pixel intensity at x_i

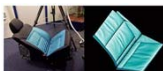
white

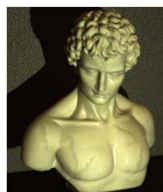
black

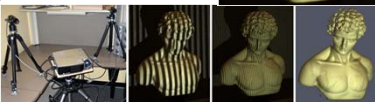
Time



空間コード法







Omigah, Brown, Aditya, Webb, Mordukhai, and Aditya

構造光スキャナー2

Shin Yoshizawa: shin@nken.jp

✓ 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。
- 空間コード化法に比べて、縞の幅を狭くすることなく、精度を上げることができる。

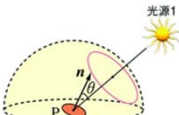
光シフト法

The diagram illustrates the Structured Light method (光シフト法). It shows a 3D object being scanned by a matrix camera. A stripe projector projects a light stripe onto the object. The diagram illustrates how the stripe number and stripe projector are used to determine the camera pixel and the object pixel. The diagram also shows the relationship between the stripe number, stripe projector, and camera pixel.

Shin Yoshizawa: shin@rken.jp

明度差による距離画像の見積もり





[a]



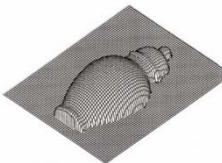
[b]



[c]



[a] 入力画像

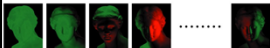


[b] 推定された形状

©CG-ARTS 2005

Shin Yoshizawa: shin@nken.jp

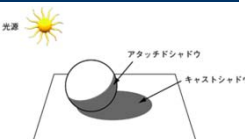

画像からの光源とその特性の見積もり



1) 100%光源画像



2) 作成された照明条件下における照明画像



光源

ブラッチダッシュウ

キャストダッシュウ

複雑な反射成分も含めた任意光源下画像の推定



a) 入力画像

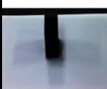


b) 加算反射成分



c) 鏡面反射成分

鏡面反射成分の推定



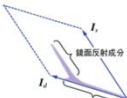
a) 入力画像



b) 推定された光源画像



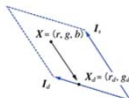
c) 推定された光源画像



鏡面反射成分

L_i

L_d



鏡面反射成分

L_i

L_d

$X = (r, g, b)$

$X_d = (r_d, g_d, b_d)$

陰影から光源分布の推定



CGC-ARTS 協会

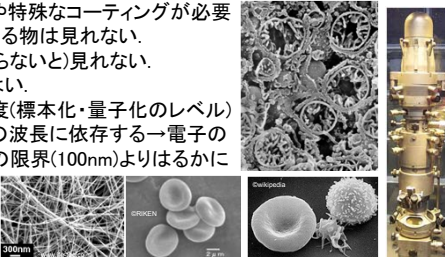
Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

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で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(標本化・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).

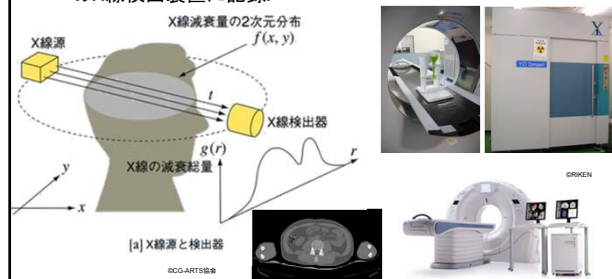


Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

CT (Computer Tomography)

✓ 物体の内部画像を構成する技術:

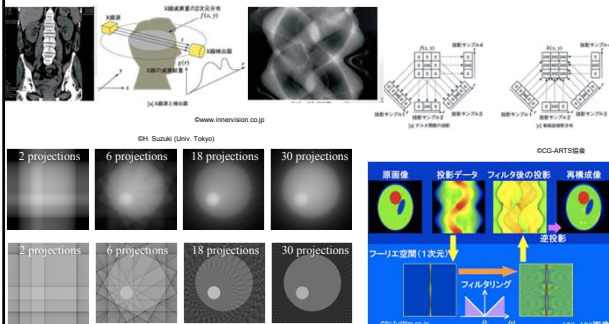
- 医用X線CT(3D, 4D), 工業用X線CT: 周囲を線源と検出器が回転→X線は対象を通過し一部吸収かつ減衰した後、反対側のX線検出装置に記録.



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.



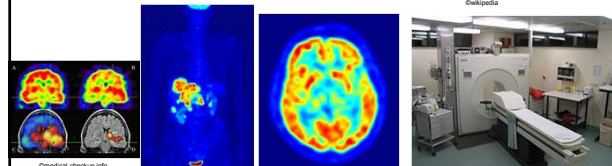
Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

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.



Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

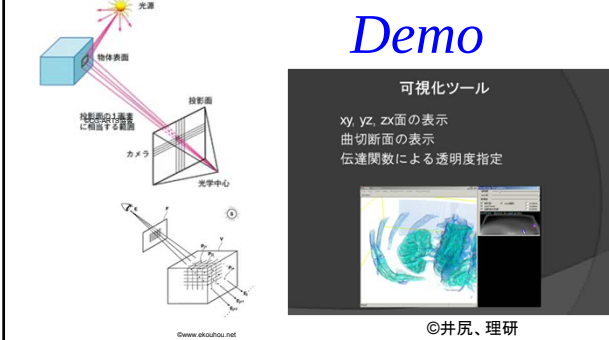
3次元画像とVolume Rendering

✓ 物体内部の輝度値を視線に沿って積分:

Demo

可視化ツール

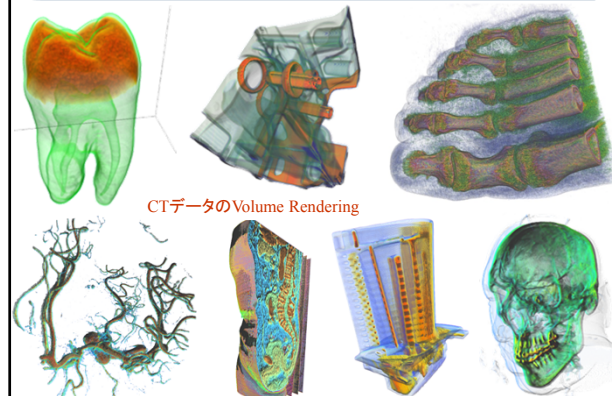
xy, yz, zx面の表示
曲切断面の表示
伝達関数による透明度指定



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)。

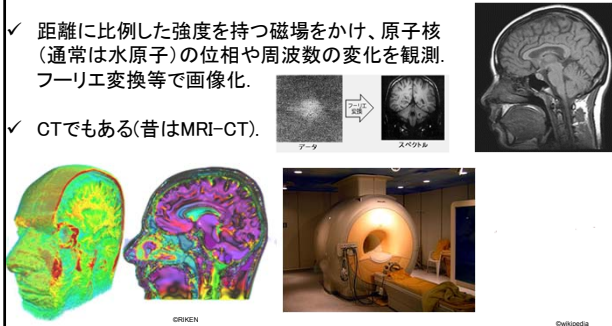


Figure showing MRI images of a brain and a 3D reconstruction of a head.

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ホールが合う位置にピンホールを置いて、ピンホール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。

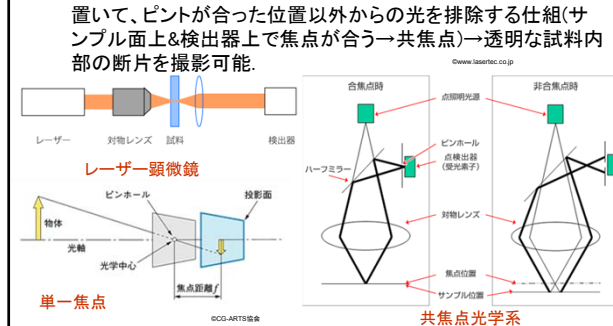


Diagram illustrating the principle of a confocal laser microscope. It shows the optical path from the laser source through the objective lens, sample, and eyepiece. The diagram highlights the pinhole mechanism that allows only light from the focal point to reach the detector, enabling high-resolution imaging of specific depths within a transparent sample.

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。

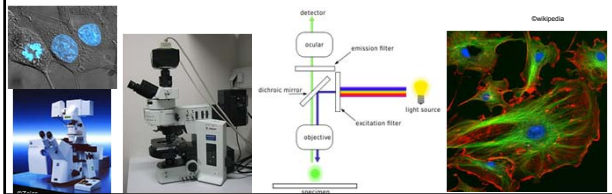


Figure showing fluorescence microscopy images of cells and a schematic diagram of the setup. The diagram illustrates the light path from the light source through the objective lens, sample, and eyepiece, highlighting the use of a pinhole to filter out unwanted light.

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。

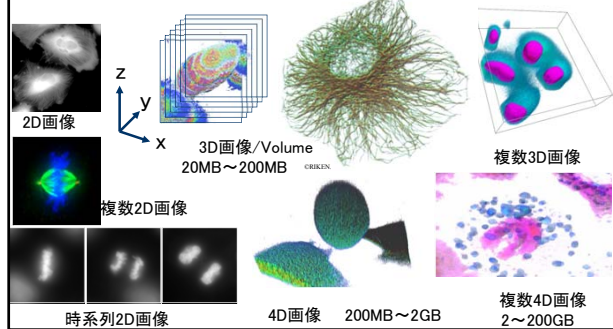


Figure showing various fluorescence microscopy images, including 2D, 3D, and 4D images, illustrating the application of confocal laser microscopy and fluorescence observation techniques in cell internal observation.

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.

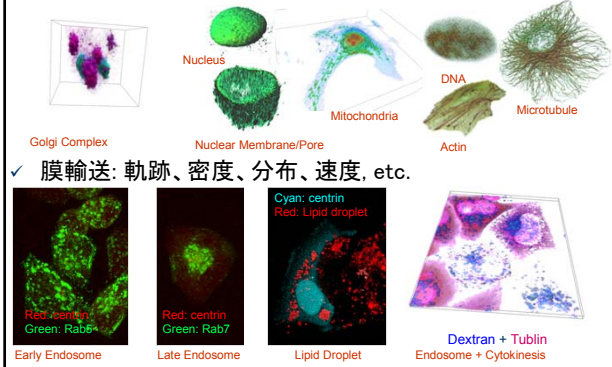


Figure showing various fluorescence microscopy images of cellular organelles and processes, including Nucleus, Mitochondria, Golgi Complex, Nuclear Membrane/Pore, DNA, Microtubule, Actin, Lipid Droplet, and Endosome + Cytokinesis.

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

その他

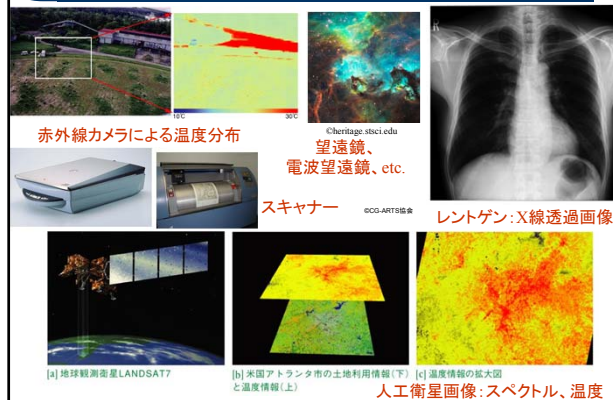


Figure showing various images illustrating the application of confocal laser microscopy and fluorescence observation techniques, including thermal maps, X-ray images, and satellite images.

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

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!

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.

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

トーンカーブ (Tone Reproduction Curve) 3

✓ コントラストの向上.

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

トーンカーブ (Tone Reproduction Curve) 4

✓ コントラストの低下.

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

トーンカーブ (Tone Reproduction Curve) 5

✓ ガンマ変換.

$Y = X^\gamma$

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

トーンカーブ(Tone Reproduction Curve)6

✓ S字変換.

高
頻度
低
0 画素値 255

出力
入力

高
頻度
低
0 画素値 255

[a] 入力画像 [b] 出力画像

ECG-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

出力
入力

高
頻度
低
0 画素値 255

[a] 入力画像 [b] 出力画像

ECG-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

出力
入力

高
頻度
低
0 画素値 255

[a] 入力画像 [b] 出力画像

ECG-ARTS協会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

トーンカーブ(Tone Reproduction Curve)9

✓ 濃淡反転.

高
頻度
低
0 画素値 255

出力
入力

高
頻度
低
0 画素値 255

[a] 入力画像 [b] 出力画像

ECG-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).

高
頻度
低
0 画素値 255

出力
入力

高
頻度
低
0 画素値 255

[a] 入力画像 [b] 出力画像

ECG-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.

高
頻度
低
0 画素値 255

出力
入力

高
頻度
低
0 画素値 255

[a] 入力画像 [b] 出力画像

ECG-ARTS協会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

トーンカーブ(Tone Reproduction Curve) 11

出力
入力

[a] 入力画像

[b] 出力画像

✓ RGB同じトーンカーブで変換した例:

出力
入力

CCG-ARTS協会

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
255
0
入力画像値

可視化ツール
有: RGB 3原色の表示
無: 色相の表示
色相表示による可視化形式

[a] 入力画像

[b] 出力画像(疑似カラー画像)

CCG-ARTS協会

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。

単位: cd/m^2

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)

CCG-ARTS協会

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
専用処理

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協会

✓ 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

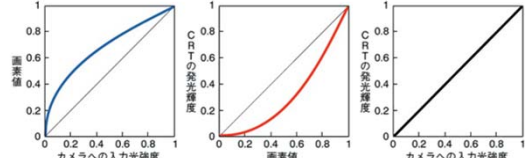
ディスプレイの表示範囲

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。

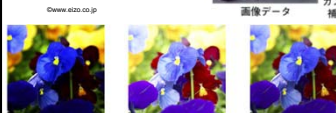
[a] カメラ入出力特性($\gamma = 0.45$) [b] CRT入出力特性($\gamma = 2.2$) [c] 総合特性($\gamma = 1.0$)

©CG-ARTS協会

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情報調整 = 理想的な $\gamma=1$ に近い発色になる

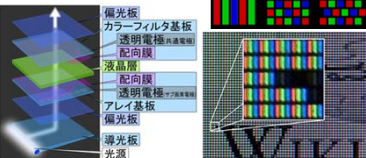
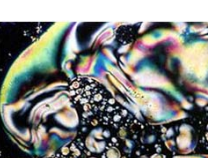
©imagingevolution.blog107.fc2.com

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。

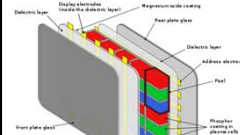
©Shimadzu

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。



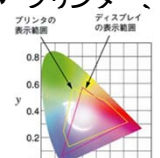


©www.gamewatch.com ©wikipedia

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

カラーマッピング

✓ プリンター、モニタ、デジカメ等の間で色を合わせる




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

©CG-ARTS協会

ポイント①: 表示目的の近いディスプレイを使う
ポイント②: 環境光を適切な状態にする
ポイント③: 環境光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値)
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: 画像処理の際に、画像のICCプロファイルの取扱いに気を付ける
ポイント⑥: プリンタ出力の際に適切なCプロファイルを使う

©www.matsushita.co.jp ©image.jmedia.co.jp

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。
- ハーフトーニング・ディザ法。

	R	G	B
0	R_0, G_0, B_0	R_0, G_0, B_0	R_0, G_0, B_0
1	R_1, G_1, B_1	R_1, G_1, B_1	R_1, G_1, B_1
...	...	...	...
255	$R_{255}, G_{255}, B_{255}$	$R_{255}, G_{255}, B_{255}$	$R_{255}, G_{255}, B_{255}$

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

©CG-ARTS協会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

限定色表示2

① 元画像 (グレースケール画像) ② 2値画像 ③ ハーフトニング

EOG-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...

① 画像を4×4画素のブロックに分割する。
② ブロック内の各画素が、ディザパターン内の対応画素の値×16+8以上ならば白、そうでなければ黒に置き換える。
③ ②の変換をすべてのブロックについて行う。

濃度パターン法 Bayer型ディザ法

EOG-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

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

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

ディザ処理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.

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 ≤ 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

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

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

$$f'_3 = f_3 + (5/16)e$$

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

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 $e = f - g$

EOG-ARTS協会

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

ディザ処理3

Original Threshold Random Halftone Bayer

誤差拡散法

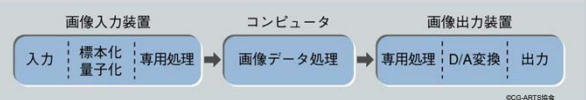
✓ ハーフトニング(halftoning): パターンで表す。

Floyd-Steinberg Jarvis, Judice & Ninko Stucki Burkes

Sierra J 2-row Sierra Sierra Lite Atkinson



まとめ



- ✓ 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、ディザ処理.