

デジタルメディア処理

担当: 井尻 敬

○ 講義の概要:

画像処理は、産業・自然科学・エンタテインメントなど、多種多様な分野の発展に関わる非常に重要な技術です。本講義では、画像処理の基本となる、フィルタ処理・幾何変換・フーリエ変換に関するトピックを紹介します。それぞれの技術に関して、コーディング可能な深さで理解できるよう、ソースコードを交えながら詳細な技術解説を行ないます。また、講義中に紹介した画像処理技術に関して、Pythonを用いたプログラミング演習を行ないより深い理解を目指します。

○ 達成目標:

1. デジタル画像 : デジタル画像の取得方法・データ形式に関する基礎的な用語を正しく利用できる
2. フィルタ処理 : 線形/非線形/周波数フィルタといったフィルタ処理の計算法と効果を説明できる。
3. 幾何変換 : 剛体変換やAffine変換といった画像の幾何学変換を計算でき、その効果を説明できる。
4. 画像圧縮 : 画像圧縮の基本的な仕組みを理解し、その内容を説明できる。
5. プログラミング演習 : フィルタ処理など画像処理に関する基礎的なプログラムを作成できる。

○ 成績評価:

小テスト(30%), 筆記試験 (35%), プログラミング演習 (35%) に基づき評価します。

○ 講義資料:

講義で利用する資料・ソースコードは可能な限りWeb上に公開します。

<https://takashijiri.com/classes/>

<https://github.com/Takashijiri/PythonOpenCVPractice>

○ 実施方法:

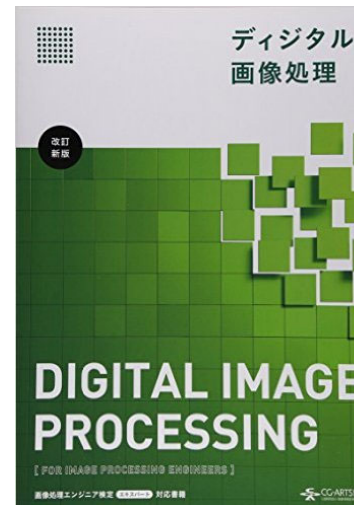
- 前半 9回: 座学部分
 - 講義室にて対面実施
 - 毎回小テストを出題 (授業日 8:00~24:00 scombzにて)
 - 9回目に筆記試験を実施 (持ち込み不可)
 - お手洗いなど許可不要、水分補給・飴ガム程度であればご自由に
 - 周りの迷惑になる程度の私語は控えてください
- 後半5回: 演習部分
 - PC室にて対面実施
 - 課題は <https://takashijiri.com/classes/> へアップロード予定
 - あらかじめ自身のPC and/or 大学のPCでpythonを実行できる環境を整えておいてください (資料は上記web pageへ)

参考資料

- CG-Arts協会 (画像情報教育進行委員会)
- デジタル画像処理[改訂新版] 大型本

- 日本語で読める画像処理の教科書です
- 画像や例が多く入門者には最適だと思います
- 網羅性が高い反面、説明不足かなと思う部分も多少あります
- 3年前期コンピュータビジョンもこの参考資料を利用します

注) 講義では私の用意した資料を中心に利用し、この参考資料は講義中にはほとんど利用しません。講義内容やその周辺を学修するための資料として利用してください



スケジュール

- 01回 イン트로ダクション：デジタル画像とは，量子化と標本化，Dynamic Range
- 02回 デジタルカメラ，人間の視覚，表色系
- 03回 フィルタ処理1：トーンカーブ，線形フィルタ ※ オンデマンド講義
- 04回 フィルタ処理2：非線形フィルタ，ハーフトーニング
- 05回 フィルタ処理3：離散フーリエ変換と周波数フィルタリング ※ オンデマンド講義
- 06回 画像の幾何変換：アファイン変換と画像補間
- 07回 ConvolutionとDe-convolution
- 08回 画像圧縮
- 09回 筆記試験
- 10回 画像処理演習1
- 11回 画像処理演習2
- 12回 画像処理演習3
- 13回 画像処理演習4
- 14回 画像処理演習5

Pythonプログラミング演習

第10回～第14回はプログラミング演習を実施

場所：PC室（詳細未定）

言語：Python + OpenCV

内容：Pythonの初歩的な内容，フィルタ，フーリエ変換，ハーフトーニングなど

ある手法を『理解する』とは？

- 教科書をおぼえた：×
- 人にその手法を説明できる：△
- 例を挙げて人に説明できる：○
- プログラムとして記述できる：◎

→ コードを書こう！

※井尻の偏見に基づきます。異論は認めます。
※困ったことに，実装できて動いているけど原理の詳細はよくわからない。。。という事も実は結構あります

イントロダクション：デジタル画像とは

到達目標

- デジタル画像のデータ形式に関する基礎的な用語を正しく利用できる
- キーワード：ラスタ画像・ベクタ画像・量子化・標本化・階調数・エイリアシング・ダイナミックレンジ・HDRI

Contents

- デジタル画像とは
 - ラスタ画像とベクター画像
 - 量子化と標本化
 - 階調数
- HDRI合成

Vector Graphics と Raster Graphics

画像をデジタルデータとして表現する場合
「Vector Graphics」と「Raster Graphics」の2通りが存在する



Vector Graphics

画像を数式(スプライン等)で表現
計算機で描いたイラスト
例 wmf/ai/cdr/cgm/dfx等

Raster Graphics

画像をグリッド状の画素で表現
写真/CT/MRI等の観察画像
例 jpg/png/bmp/gif/tif/等

両者を含む : pdf/DjVu/eps/pict/ps/swf/xaml等

Vector Graphics と Raster Graphics



Vector Graphics

制御点のみを保持するため
データが小さい
拡大しても輪郭がスムーズ
計算機で描いたイラストに向く

Raster Graphics

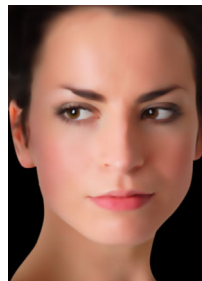
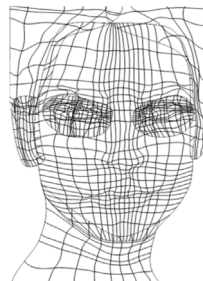
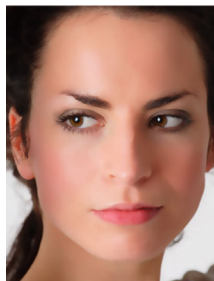
画素情報を保持するため
データが大きい
拡大したらギザギザ
風景など観測画像に向く

Raster → Vector 変換 (Vectorization)

ラスタ画像をベクタ画像に変換する手法が研究されている
※ Vector → Rasterは簡単に変換できる (例Print Screenキー)

Gradient mesh (Adobe Photoshop)

画像の特徴線に沿うメッシュを構築し、頂点に色情報を保持
各パッチ (四角形) で頂点の色を滑らかに混ぜる



Raster Image

Vector image (Mesh構造 + 各cellの色情報)

画像の出典 [Jian Sun et. al. Image vectorization using optimized gradient meshes, TOG 2007]

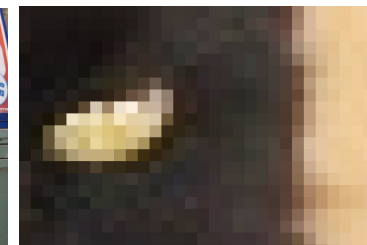
標本化と量子化

デジタル画像 (ラスタ画像) とは『離散値を持つ画素が格子状に並んだデータ』
アナログ情報 (レンズに入ってくる光) からデジタル画像を取得するとき

空間の離散化 : 標本化

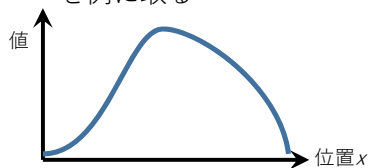
値の離散化 : 量子化

の必要がある



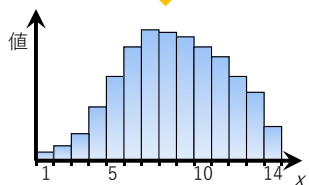
画像を拡大すると格子状に並んだ画素(pixel)が見える

1次元のアナログデータを例にする



※空間的に連続なので計算機では保持できない

空間を等間隔に区切り離散化 (標本化)



標本点の間隔: 標本化間隔

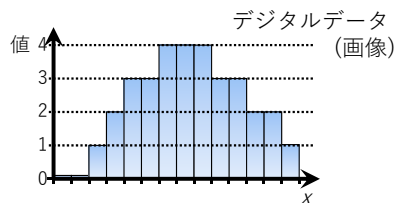
画像においては、標本点が画素に対応

※各点は連続値を持つため計算機では表現できない

標本化と量子化

アナログデータは、標本化・量子化を経て、計算機にて保持可能なデジタル画像データになる

値を等間隔に区切り離散化量子化



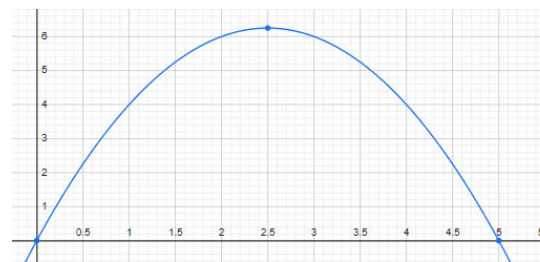
各画素がとる値の数: 階調数・量子化レベル
上記の例では階調数 5

練習: 関数の標本化・量子化

関数 $f(x) = -x^2 + 5x$ を標本化間隔1, 量子化レベル8で標本化・量子化せよ.

標本化の際、定義域は $x \in [0, 5]$ 、関数値は画素の中心で評価すること

量子化の際、整数値となるよう小数点を切り捨て、出力値を $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ のいずれかとせよ.



標本化に伴うエイリアシング

※概要のみ説明します

by Maksim / CC BY-SA 3.0

標本化定理

周波数 f_{max} に帯域制限されたアナログ信号は、 $2f_{max}$ 以上の周波数で標本化すれば再構成可能

一方、

周波数 f_{max} に帯域制限されたアナログ信号を、 $2f_{max}$ より小さい周波数で標本化すると、元信号には含まれない偽信号(alias)が現れることがある

※ 標本化の細かさ(周波数)が不十分だとエイリアスが生じるということ



レンガの壁の写真を、不十分な周波数で標本化した結果モアレが生じた

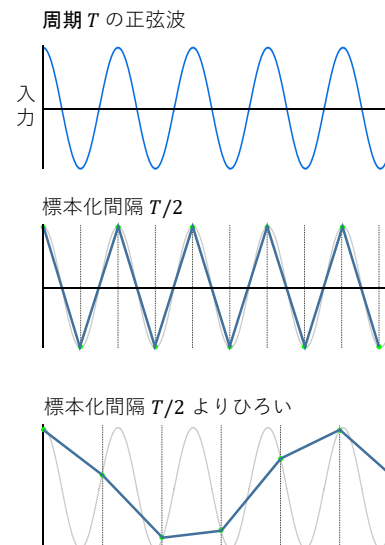
標本化に伴うエイリアシング

元信号が含む正弦波の最大周波数が f_{max} なら周波数 $2f_{max}$ 以上で標本化すれば元信号を復元可

↓ これを周期Tで考える

元信号が含む正弦波の最小周期が T_{min} なら間隔 $T_{min}/2$ 以下で標本化すれば元信号を復元可能

より詳しくは『金谷健一:これなら分かる応用数学教室』を参照



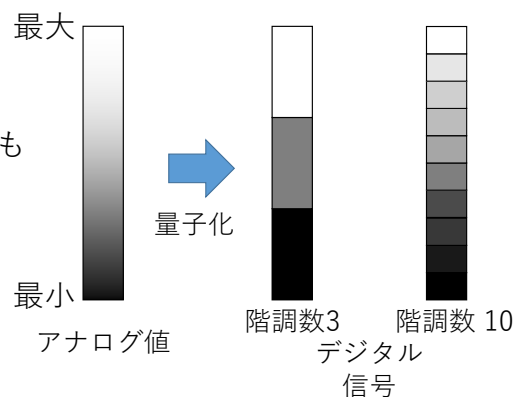
量子化レベル（階調数・画素深度・色深度）

量子化レベルとは

- アナログ値の分割数
- 各画素の色数のこと
- 階調数・画素深度・色深度とも

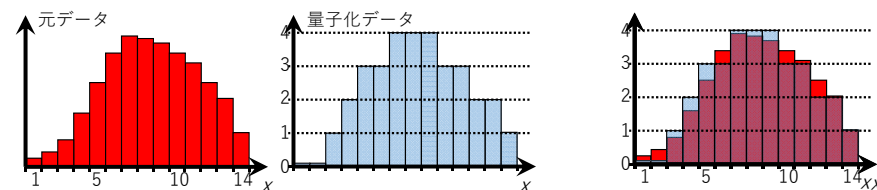
量子化レベルが大きいと…

- 微妙な色の変化を表現可能
- データが大きくなる



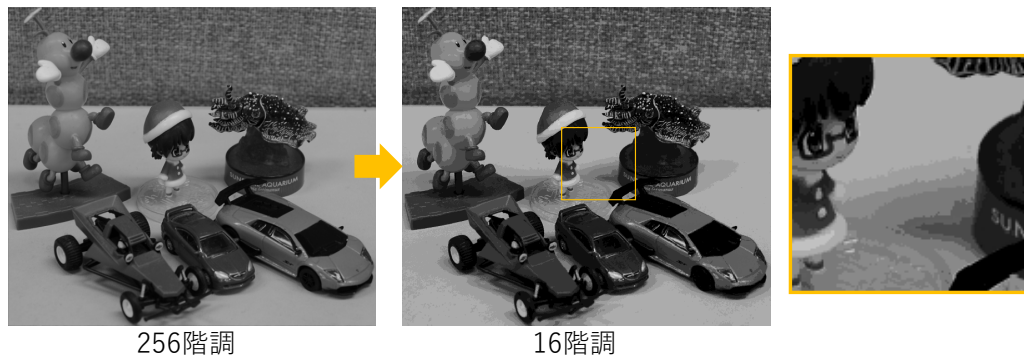
量子化誤差

量子化では、連続値が離散値に置き換わるので、誤差が生じるこれを**量子化誤差**と呼ぶ



量子化による擬似輪郭

階調数が極端に小さい場合、疑似的な輪郭が生まれることがある
※自然科学・医用画像などでは大きな影響が出る場合もありうるので注意



実際の画像フォーマットの階調数

ビットマップ(.bmp)

- 1bit bitmap : モノクロ画像
- 8bit bitmap : 256色のカラーパレット(インデックスカラー)
- 24bit bitmap : RGB毎に 8-bit 階調
- ※他のフォーマットも存在

Portable Network Graphics (.png)

- グレースケール : 1, 2, 4, 8, 16-bit階調
- カラー : 24bit (RGB毎に8bitの階調数), 48bit
- インデックスカラー : 1, 2, 4, 8個のカラーパレット

Nikon D7000(一眼レフカメラの生データ)

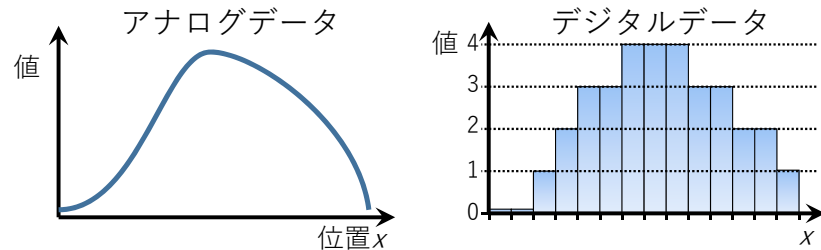
- 14bit (JPG等の画像データにする前はより大きなデータを持っている)

某社 X線マイクロCTの生データ

- 12bit階調 (階調数 = 濃度分解能)

まとめ: デジタル画像とは

『Vector Graphics』『Raster Graphics』『標本化』『量子化』『量子化レベル』『量子化誤差』『擬似輪郭』について解説した



練習)

1. ラスタ画像に対するベクタ画像の利点を述べよ。
2. 上記の利点を生かしたベクタ画像の応用例を2つ以上列挙せよ。
3. 標本化と量子化について、その役割を説明せよ。

練習) 以下2つの未圧縮画像のデータサイズを求めよ

例1) グレースケール画像

画像幅 W pixel

画像高さ H pixel

量子化レベル 8bit (1Byte) [0,255]

Byte

例2) カラー画像

画像幅 W pixel

画像高さ H pixel

量子化レベル RGB各色 8bit [0,255]

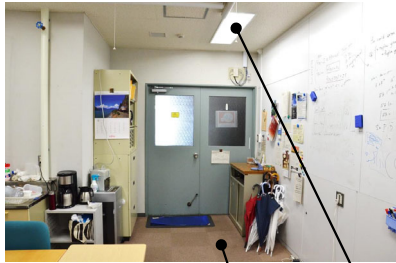
Byte

※これは未圧縮bmpの場合、圧縮画像の場合はもっともっとデータサイズは小さくなる。

※画像データはヘッダ情報も含むので上の値よりは少し大きくなる

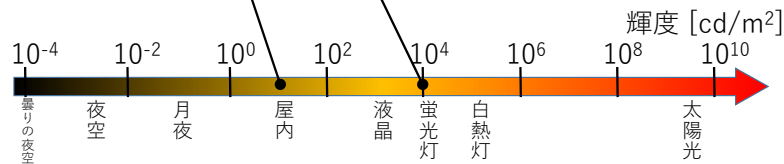
HDRI合成

輝度(Luminance) - とは



人の感じる物体の明るさ

- ある広がりを持つ光源の見かけの単位面積に対して『人が感じる』明るさ
- 単位はcd/m²

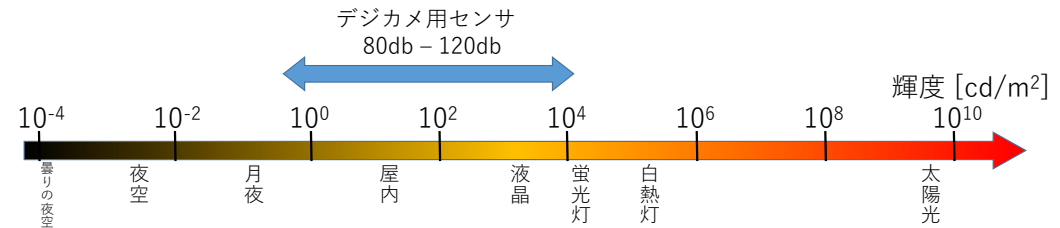


ダイナミックレンジ - とは

信号をセンサーで計測するとき
計測可能な最小輝度値 I_{min} と最大輝度値 I_{max} の幅のこと

$$D = 20 \log_{10} \frac{I_{max}}{I_{min}} \text{ (db)}$$

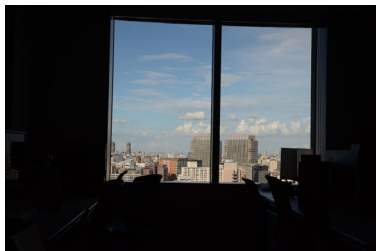
人の視覚のダイナミックレンジはある視野内で100db程度【奥田: 高ダイナミックレンジ画像, 2010】
デジカメのセンサも似たダイナミックレンジを持つように設計される



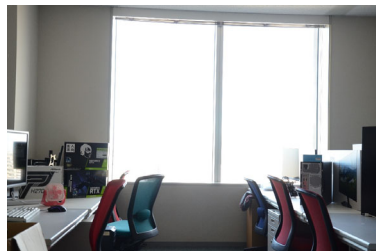
HDRI : Motivation

デジタルカメラのセンサは、ダイナミックレンジが小さいため
『凄く明るいところ』と『凄く暗いところ』
を同時に撮影できない

部屋の中から外を撮影した例



露光時間を短くすると (1/8000 秒)
部屋の中が黒つぶれ (アンダー)



露光時間を長くすると (1/100 秒)
窓の外が白飛び (オーバー)

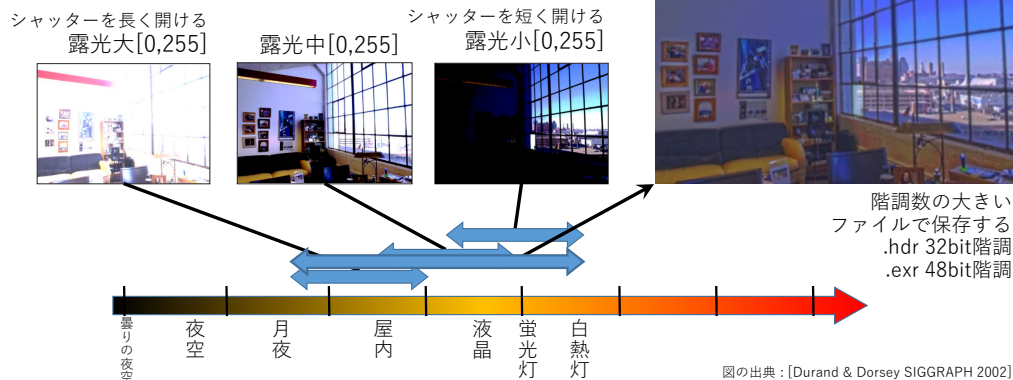
HDRI でやりたいこと

『凄く明るいところ』と『凄く暗いところ』の情報を持つ画像
を取得して...



HDRIの取得

カメラを固定
露光を変えた写真を撮影し合成する



同時に2種類の露光の撮影が可能なカメラもある

→ HDR動画の撮影が可能になる

• <https://www.sony.co.jp/SonyInfo/News/Press/201208/12-107/>

HDRIを自作してみる

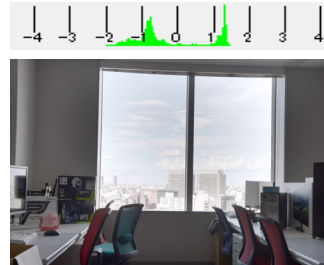
Luminance HDR

露光時間が可変のカメラ - NIKON D7000
HDRI合成ソフト - Luminance HDR (ver 2.5.1)

1. 露光時間を変え撮影

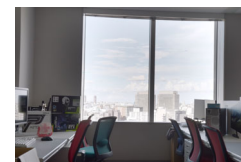


2. 一枚のHDRI画像に合成



HDRIとトーンマッピング

HDRI



黒つぶれ・白飛びがなく
大きな/小さな値をもつ画像

階調数(RGB毎): 16bit
輝度値の幅: $[10^{-1}, 10^4]$



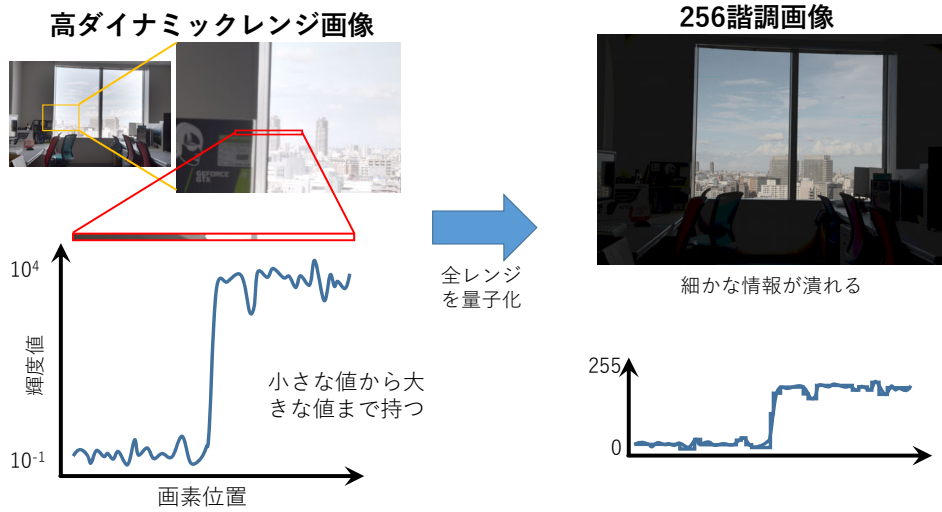
表示のため階調数を落とす処理が必要
『トーンマッピング』

表示
デバイス

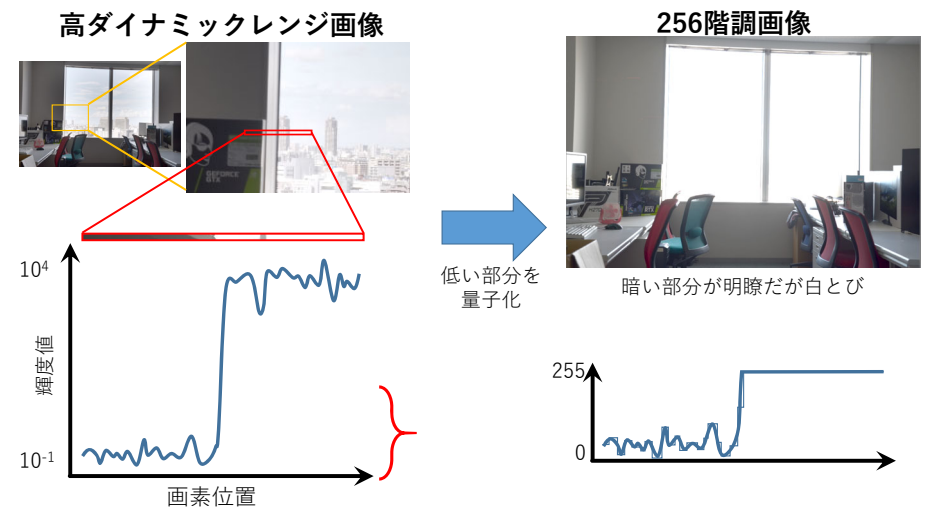


液晶モニタ・プロジェクタ等
階調数(RGB毎): 8bit [0,255]

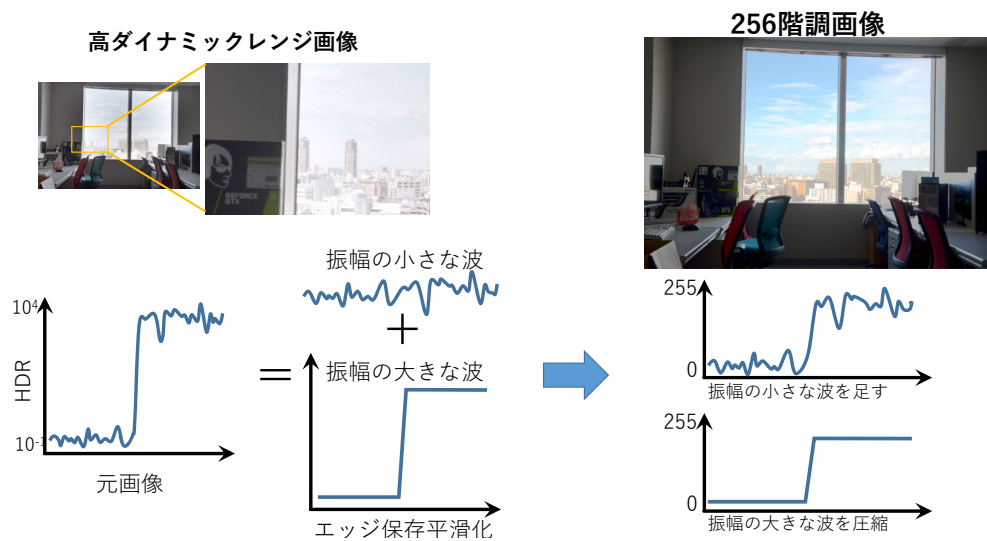
トーンマッピング (線形)



トーンマッピング (線形)



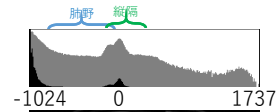
トーンマッピング (HDR合成)



CT画像のトーンマッピング

CT画像

階調数 : 12 - 16 [bit]
 レンジ : -1000 - 1500 [HU]
 → トーンマッピングの必要有

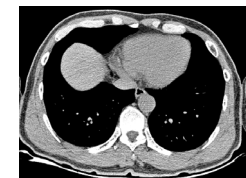
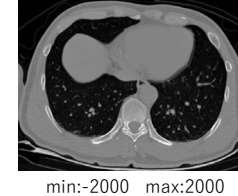


肺野条件

Min : -1200.0 Max: 0.0
 Window level : -600 (中心)
 Window size : 1200 (幅)

縦隔条件

Min: -110.0 Max: 190.0
 Window level : 40
 Window size : 300



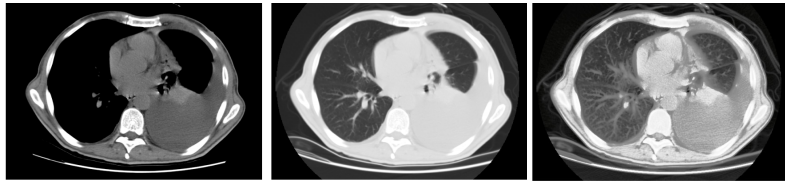
画像は理化学研究所生体力学シミュレーションチームより

CT / MRI 画像のトーンマッピング

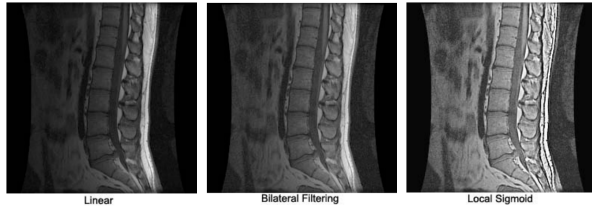
縦隔条件

肺野条件

非線形トーンマッピング

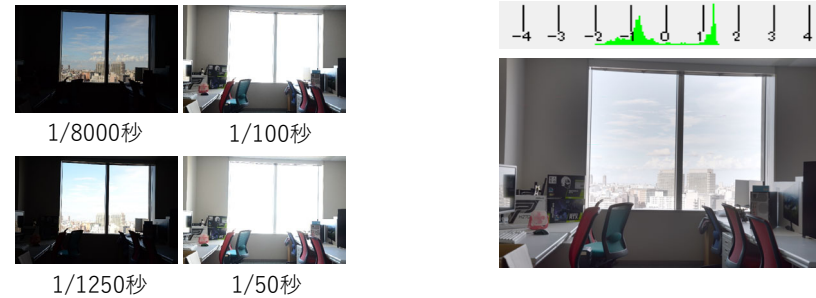


MRI
→



画像の出典 (上) [F. Edward Boas, "High dynamic range images in radiology 2007" www.stanford.edu/~boas/science/pub_list.html]
画像の出典 (下) [Park et al. "Evaluating Tone Mapping Algorithms for Rendering Non-Pictorial (Scientific) High-Dynamic-Range Images", JVCI 2007.]

まとめ：HDRI合成



- ダイナミックレンジの広い（黒つぶれ白とびのない）写真を取得する方法
 - 露光の異なる写真から合成できる
- トーンマッピング：表示用にHDRIの階調数を落とす処理のこと

豊洲キャンパスから撮影したスカイツリー
HDRI合成結果

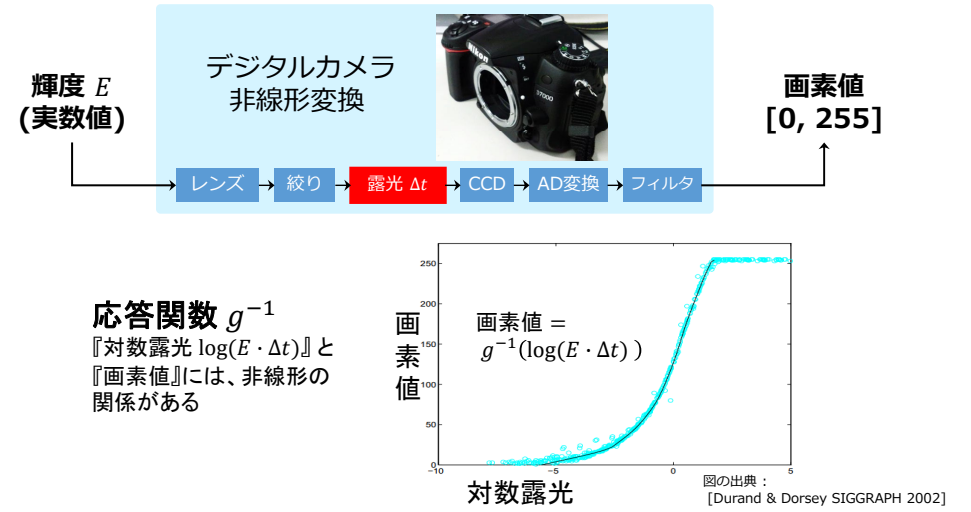


HDRI合成の補足資料
講義内では取り扱わない予定

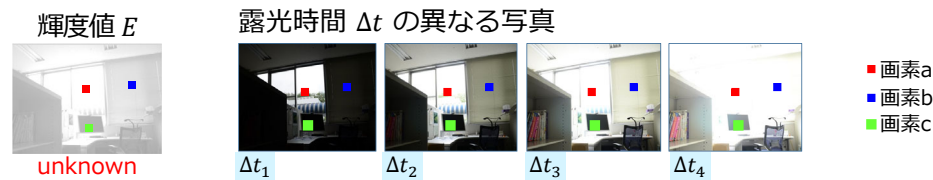
ハイダイナミックレンジ画像の構築(1/4)



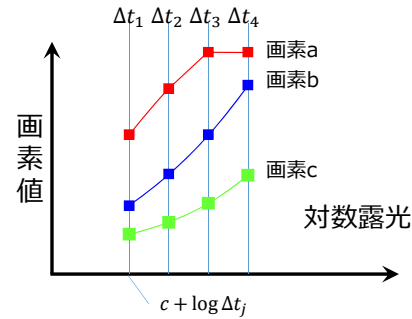
ハイダイナミックレンジ画像の構築(2/4)



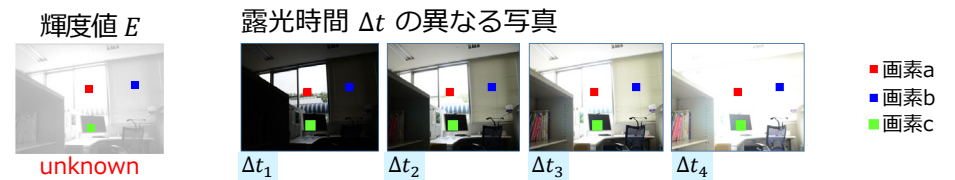
ハイダイナミックレンジ画像の構築(3/4)



- 画素 i について**
- 輝度値 E_i は未知
 - 画素値 $Z_{ij} = g^{-1}(\log(E_i \Delta t_j))$ は既知
 - 関数 g^{-1} も未知
 - $\log(E_i) = c$ (定数) として各画素のプロットをしたものが右図
 - 実際は各画素は異なる輝度値 (E_i) を持つ
 - 右図の各曲線は横方向に移動したのが本来の位置
 - 関数 g^{-1} は一本の滑らかな曲線
 - 各画素に対する曲線を右方向に動かして (各画素に対する輝度値 E_i を変化させ) 一本の曲線に並べよう



ハイダイナミックレンジ画像の構築(4/4)



- 各画素のなすプロットは、一本の曲線 (応答関数) に乗るはず**
- 全画素のなすプロットが一本の曲線に乗るように横軸方向に平行移動 (輝度値 E_i の値を定数ではなく変数として考える)
- 各画素の輝度値 E_i が得られる
- ※カラー画像の場合、R・G・Bチャンネルごとに輝度 E_i を計算

