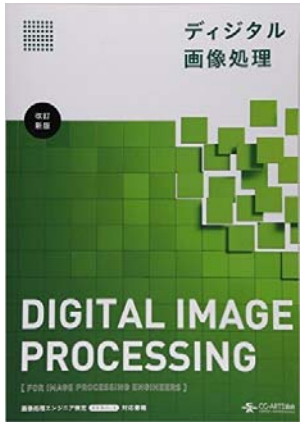
デジタルメディア処理2

担当: 井尻 敬



教科書

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

- **画像処理のもっとも有名な教科書です**
- **画像や例が多く入門者には最適だと思います**

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，デジタルメディア処理１の内容を発展させ，フィルタ処理・画像圧縮・領域分割・画像認識に関する多様な内容を解説します．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．

達成目標

1. フィルタ処理- トーンカーブ、線形フィルタ、非線形フィルタの処理と特性を理解する
2. 幾何変換 – 画像の幾何学変換を理解する
3. 特徴抽出 – 画像認識に必要な特徴抽出の基礎を理解する
4. 画像認識 – 顔検出や人検出などといった画像認識の基礎を理解する
5. 画像圧縮 – 画像圧縮に関するアルゴリズムを理解する

成績評価：

中間テスト（50%）と 期末テスト（50%）に基づき評価します。

デジタルメディア処理２、2017（前期）

4/13	デジタル画像とは	：イントロダクション
4/20	フィルタ処理1	：画素ごとの濃淡変換、線形フィルタ，非線形フィルタ
4/27	フィルタ処理2	：フーリエ変換，ローパスフィルタ，ハイパスフィルタ
5/11	画像の幾何変換１	：アファイン変換
5/18	画像の幾何変換２	：画像の補間，イメージモザイキング
5/25	画像領域分割	：領域拡張法，動的輪郭モデル，グラフカット法，
6/01	**前半のまとめ (約30分)と中間試験（約70分）**	
6/08	特徴検出1	：テンプレートマッチング、コーナー・エッジ検出
6/15	特徴検出2	：DoG特徴量、SIFT特徴量、ハフ変換
6/22	画像認識1	：パターン認識概論，サポートベクタマシン
6/29	画像認識2	：ニューラルネットワーク、深層学習
7/06	画像符号化1	：圧縮率，エントロピー，ランレングス符号化，MH符号化
7/13	画像符号化2	：DCT変換，ウエーブレット変換など
7/20	**後半のまとめ (約30分)と期末試験（約70分）**	

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（おまけ）

Vector Graphics と Raster Graphics

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

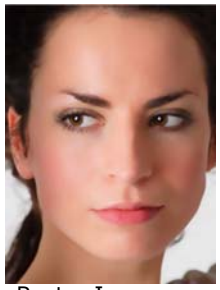
両者を含む：pdf/DjVu/eps/pict/ps/swf/xaml等

Vector Graphics と Raster Graphics

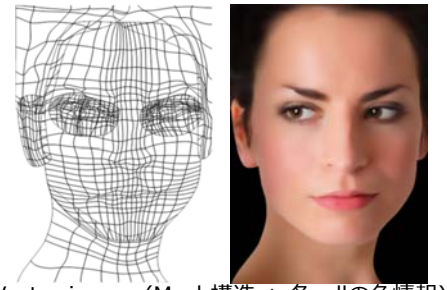
Vector Graphics
制御点のみを保持するため
データが小さい
拡大しても輪郭がスムース
計算機で描いたイラストに向く

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
風景など自然の画像に向く

Raster → Vector 変換 （Vectorization）



Raster Image



Vector image (Mesh構造 + 各cellの色情報)

Gradient mesh （ Adobe Photoshop ）
課題：Raster image （写真等） を Vector image に変換したい
方法：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

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

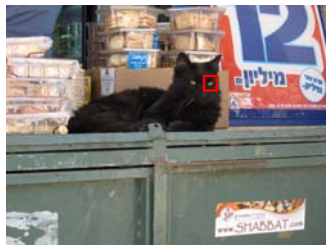
標本化と量子化

デジタル画像とは『離散値（画素）が格子状に並んだデータ』
アナログ情報からデジタル画像を取得するとき

標本化: 空間の離散化

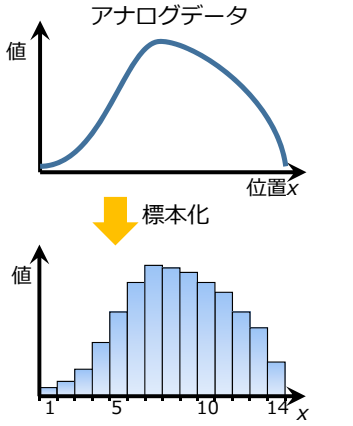
量子化: 値の離散化

の必要がある



拡大すると画素(pixel)が見える

標本化と量子化



標本化 (sampling): 空間の離散化

等間隔の標本点を画素と呼ぶ

量子化 (quantization): 値の離散化

画素が保持する値の数を階調数と呼ぶ

標本点の間隔：**標本化間隔**
画像の場合，標本点が画素に対応

各画素がとる値の数：**量子化レベル**

標本化に伴うエイリアシング

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，
$2f_{max}$以上の周期で標本化すれば再構成可能

エイリアシング

標本化周期が $2f_{max}$以下のとき，元信号には
含まれない偽信号(**alias**)が現れる

[Photo by Maksim / CC BY-SA 3.0]

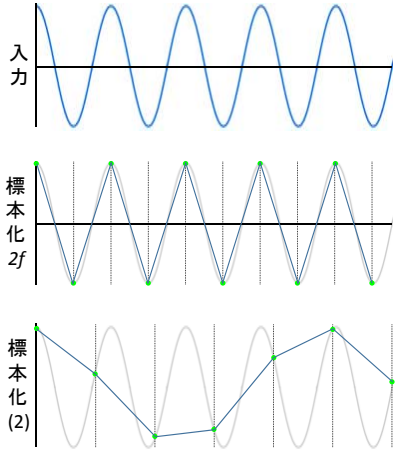
標本化に伴うエイリアシング

元信号が含む最大周波数が f_{max}

→周波数$2f_{max}$で標本化すれば元信号を復元可

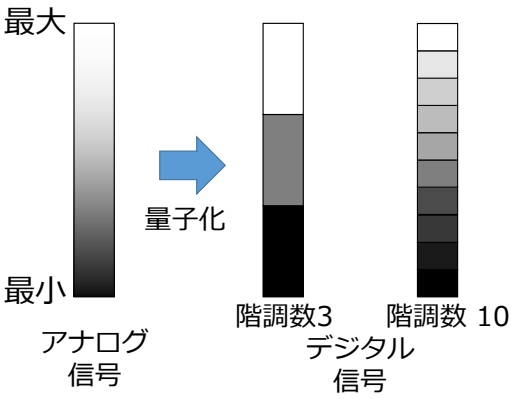
元信号が含む最小周期が$T = 1/f_{max}$

→間隔$T/2$で標本化すれば元信号を復元可能



この話は
『金谷健一:これなら分かる応用数学教室』
が分かりやすいです

量子化レベル（階調数・画素深度・色深度）

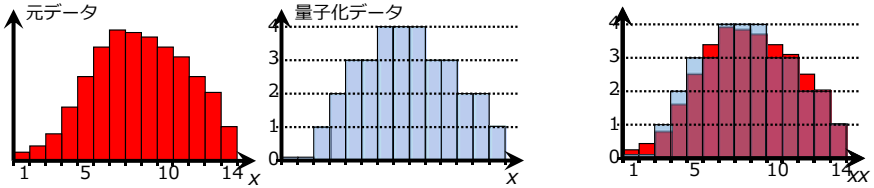


量子化レベルとは
各画素の色数のこと
最小値と最大値の分割数

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

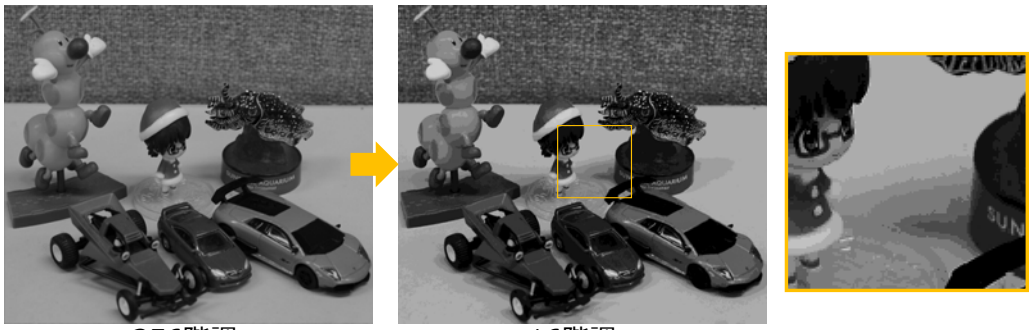
量子化誤差

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
写真ならまあ良いけど、医用画像などでは深刻な場合もありうる



256階調　16階調

画像のデータサイズ（未圧縮なら）

例1) グレースケール画像
量子化レベル 8bit (1Byte) [0,255]
画像幅　W pixel
画像高さ H　pixel

□ Byte

例1) カラー画像
量子化レベル RGB各色 8bit [0,255]
画像幅　W pixel
画像高さ H　pixel

□ 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
4/8bit　 bitmap ： 16/256色のカラーパレット(インデックスカラー)
16/24bit bitmap ： RGB毎に 5/8-bit 階調

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(rawデータ)
14bit

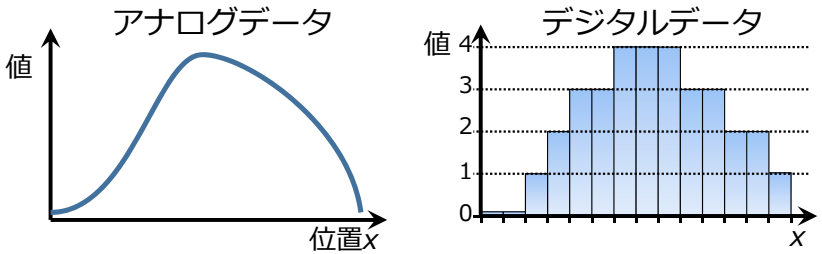
某社 X線マイクロCTの生データ（rawデータ）
12bit階調 (階調数 = 濃度分解能)

練習：関数の標本化・量子化

関数 $f(x) = -x^2 + 3x$ を標本化間隔0.5，量子化レベル4で標本化・量子化せよ．
ただし，定義域は $x \in [0, 3]$，最小値0, 最大値2とする．

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．



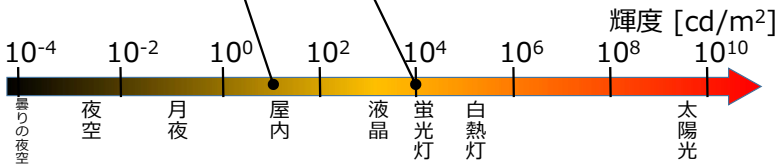
HDRI合成
（おまけ）

輝度(Luminance) - とは

人の感じる物体の明るさ

ある光源に対して
- 単位方位角あたり
- 見かけの単位面積あたり

『人の感じる』明るさ



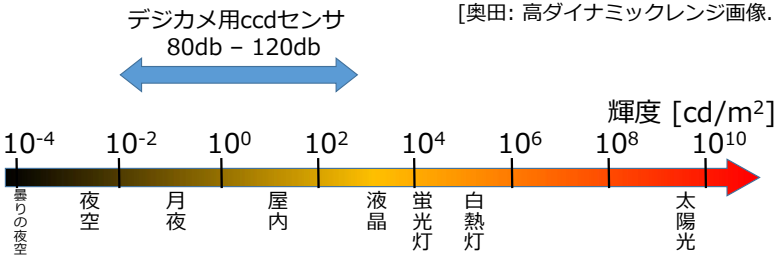
ダイナミックレンジ - とは

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

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

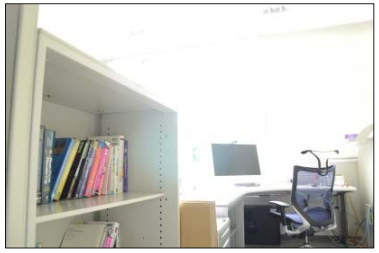
人の視覚のダイナミックレンジは
- ある視野内で100db程度
- 順応を考慮すると200db以上

[奥田: 高ダイナミックレンジ画像. 2010]



HDRI：Motivation

露光時間 1/500 秒
黒つぶれ（アンダー）



露光時間 1/4 秒
白飛び（オーバー）

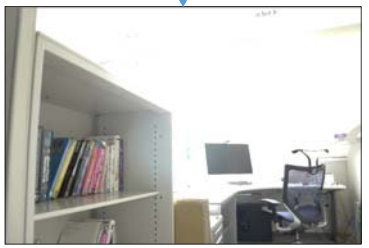
デジタルカメラのセンサは
『凄く明るいところ』と『凄く暗いところ』
を同時に撮影できない

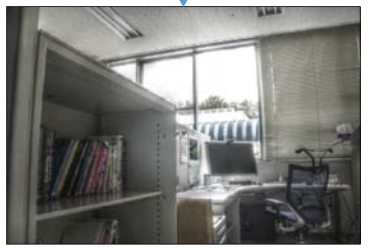
HDRI：Motivation

『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…

暗いところがよく
見える画像を合成したい

白飛び・黒つぶれの無い
画像を合成したい





HDRI：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]

HDRIの取得

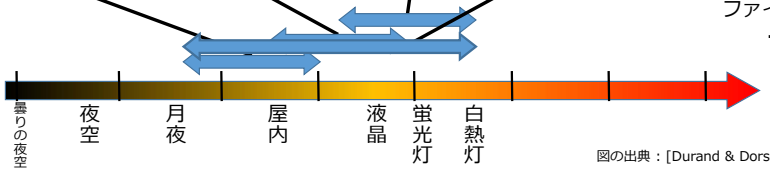
最小輝度値と最大輝度値の幅の広い画像
露光を変えた写真の撮影から合成できる

HDRI(実数値)

露光大[0,255]

露光中[0,255]

露光小[0,255]



階調数の大きい
ファイルで保存する
.hdr 32bit階調
.exr 48bit階調

図の出典：[Durand & Dorsey SIGGRAPH 2002]

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 2.3.1）

1. 露光時間を変え撮影

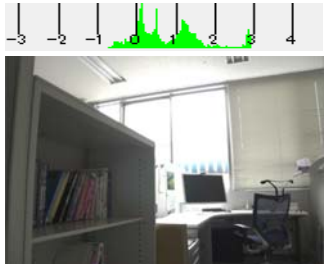
1/500秒

1/4秒

1/60秒

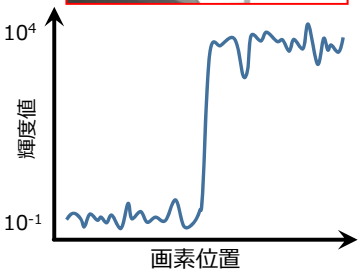
1秒

2. 一枚のHDRI画像に合成



トーンマッピング（線形）

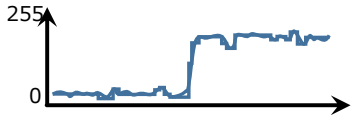
高ダイナミックレンジ画像



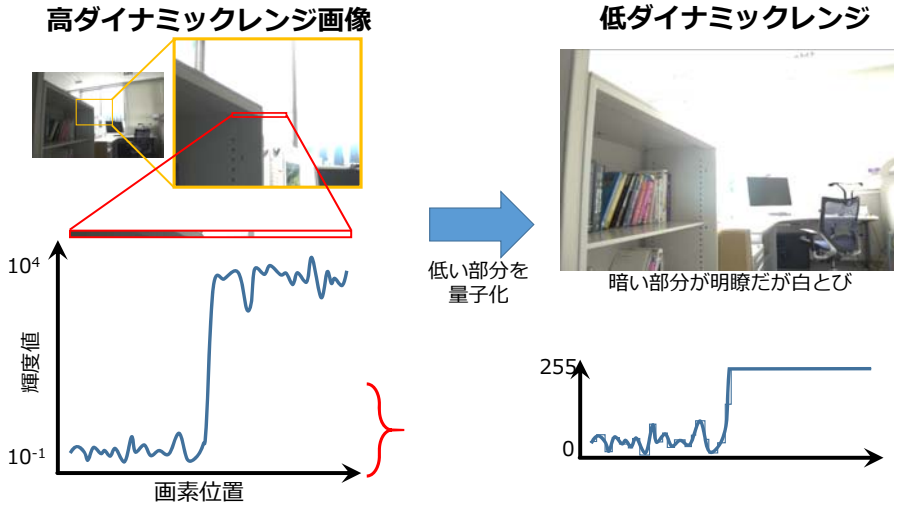
全レンジ
を量子化

低ダイナミックレンジ

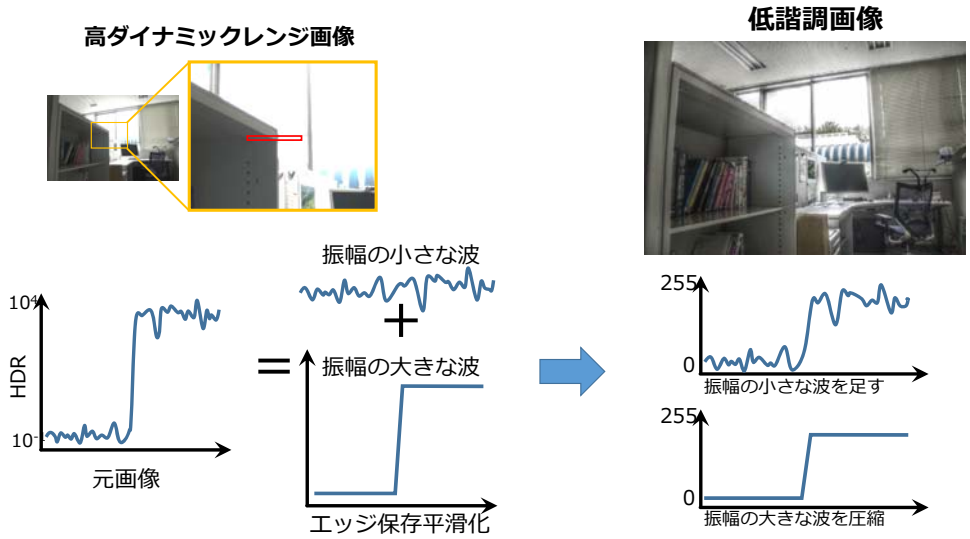
細かな情報が潰れる



トーンマッピング（線形）

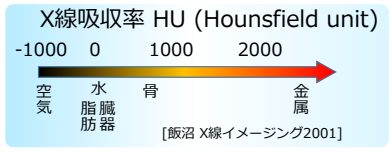


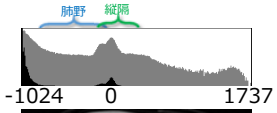
トーンマッピング（HDR合成）

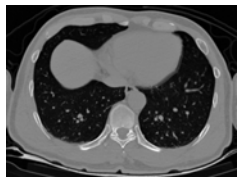


CT画像のトーンマッピング

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

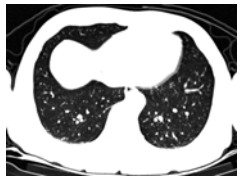




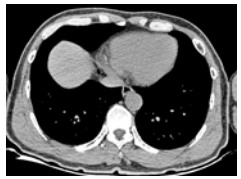


min:-2000 max:2000

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



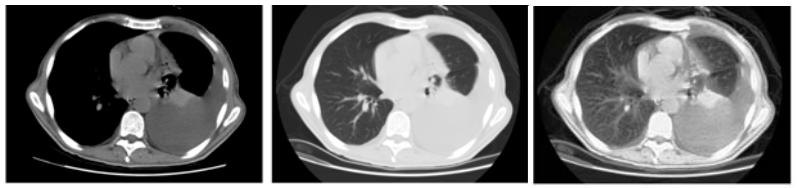
縦隔条件
Min: -110.0 Max: 190.0
Window level : 40
Window size : 300



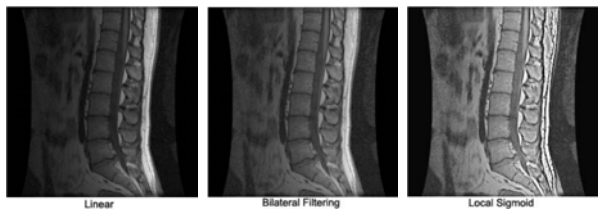
画像は理化学研究所生体力学シミュレーションチームより

CT / MRI 画像のトーンマッピング

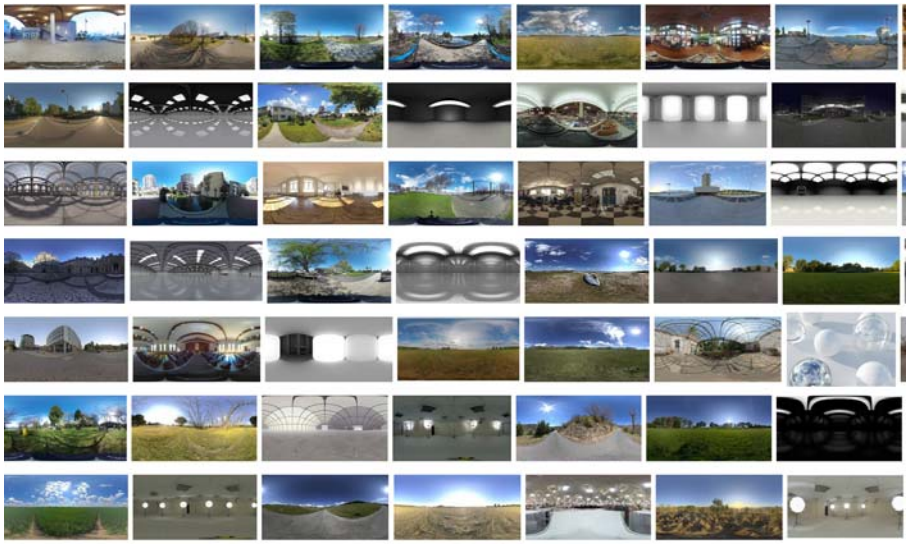
縦隔条件 **肺野条件** **非線形トーンマッピング**



MRI →



上図: F. Edward Boas, “High dynamic range images in radiology 2007” www.stanford.edu/~boas/science/pub_list.html
下図: Park et al. “Evaluating Tone Mapping Algorithms for Rendering Non-Pictorial (Scientific) High-Dynamic-Range Images”, JVCIR 2007.



HDRIでGoogle画像検索した結果

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)

放射輝度 E

ハイダイナミック画像

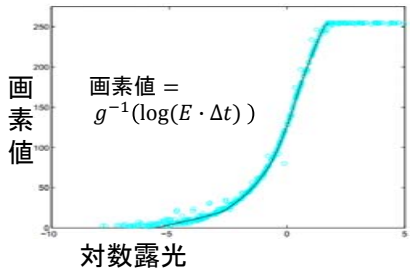
推定

絞り・感度を固定し、
露光を変えて複数画像を撮影

ハイダイナミックレンジ画像の構築(2/4)

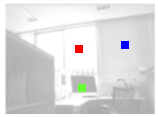
応答関数 g^{-1}

『対数露光 $\log(E \cdot \Delta t)$』と
『画素値』には、非線形の
関係がある



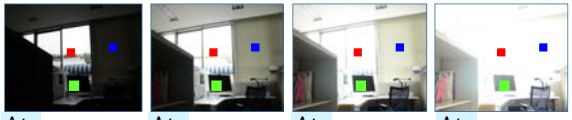
ハイダイナミックレンジ画像の構築(3/4)

輝度値 E



unknown

露光時間 Δt の異なる写真

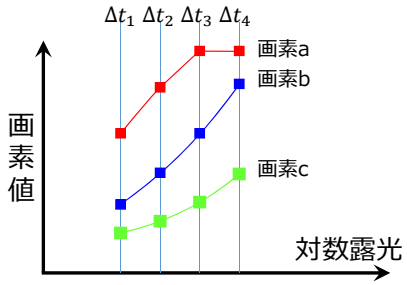


Δt_1 Δt_2 Δt_3 Δt_4

■画素a
■画素b
■画素c

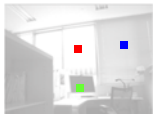
画素 i に対して…

- 対数露光ー画素値グラフに撮影した画素値をプロット
- 輝度値E_i は 未知 なので $\log(E_i)$ = 定数　とするQ



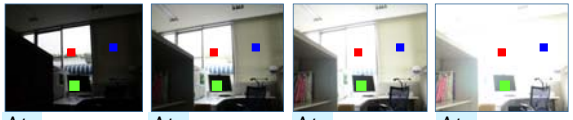
ハイダイナミックレンジ画像の構築(4/4)

輝度値 E



unknown

露光時間 Δt の異なる写真



Δt_1 Δt_2 Δt_3 Δt_4

■画素a
■画素b
■画素c

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（最小２乗法）

→ 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