

# 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TRODクシヨン
- 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
- 5/04 画像の幾何変換1 : アフライン変換
- 5/11 画像の幾何変換2 : 画像の補間、イメージモザイク
- 5/18 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、
- 5/25 **前半のまとめ（約30分）と中間試験（約70分）**
- 6/01 特徴検出1 : テンプレートマッチング、コーナー検出
- 6/08 特徴検出2 : DoG特徴量、SIFT特徴量、ハフ変換
- 6/15 画像認識1 : パターン認識概論、サポートベクタマシン
- 6/22 画像認識2 : ニューラルネットワーク、深層学習
- 6/29 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
- 7/06 画像符号化2 : DCT変換、ウェーブレット変換など
- 7/13 **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



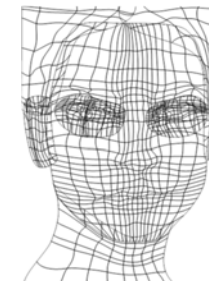
### Raster Graphics

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

## 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

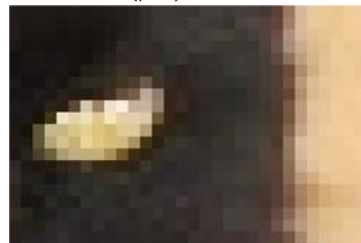
**標本化:** 空間の離散化

**量子化:** 値の離散化

の必要がある

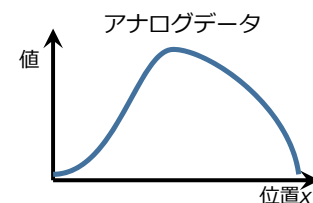


拡大すると画素(pixel)が見える

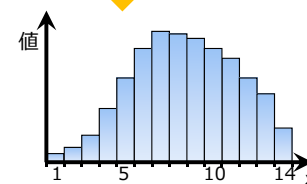


© 2017 Takashi Ijiri, エルサレムで撮影した猫

## 標本化と量子化

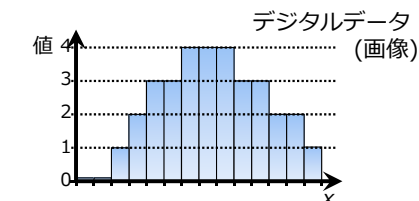


標本化



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

量子化



各画素がとる値の数: 量子化レベル

**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

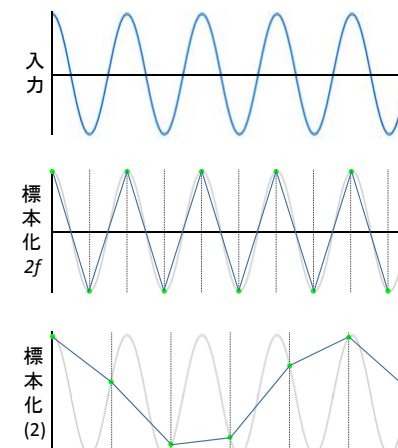
元信号が含む最大周波数が  $f_{max}$

→ 周波数  $2f_{max}$  で標本化すれば元信号を復元可

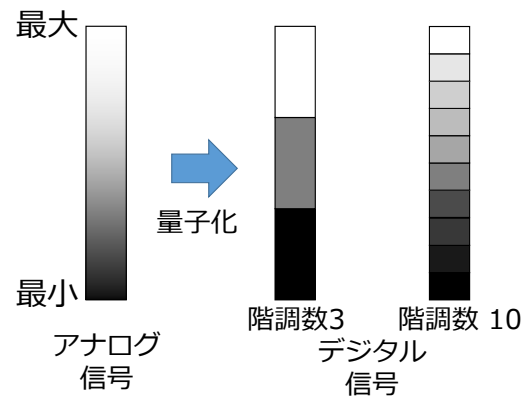
元信号が含む最小周期が  $T = 1/f_{max}$

→ 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）



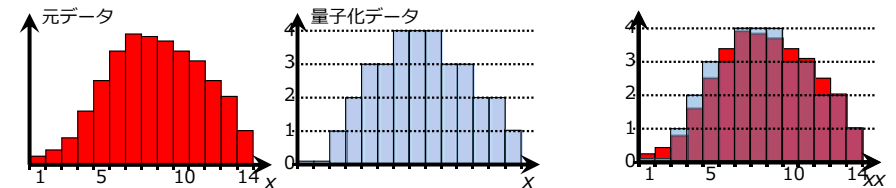
量子化レベルとは  
各画素の色数のこと  
最小値と最大値の分割数

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

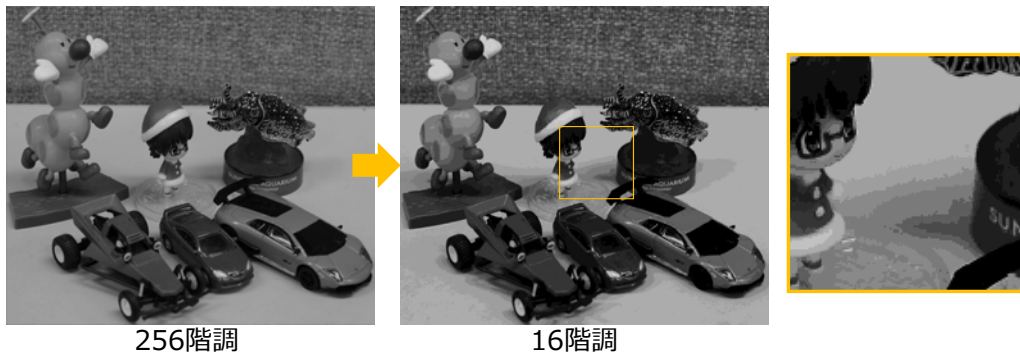
## 量子化誤差

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、擬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



## 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



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



※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)

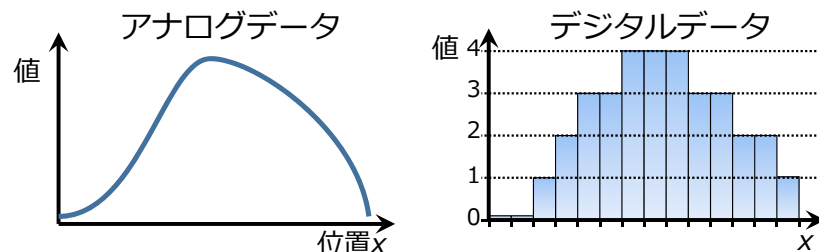
## 練習：関数の標本化・量子化

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)

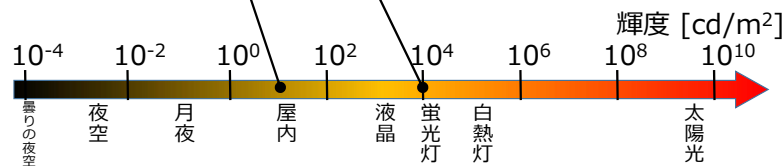
## 輝度(Luminance) - とは



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

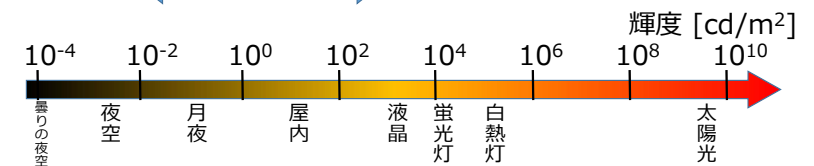
$$D = 20 \log_{10} \frac{I_{max}}{I_{min}} \text{ (db)}$$

人の視覚のダイナミックレンジは

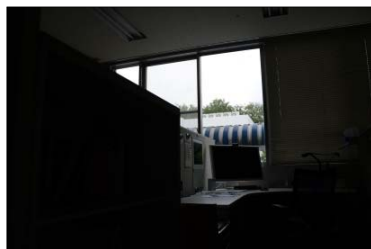
- ある視野内で100db程度
- 順応を考慮すると200db以上

[奥田: 高ダイナミックレンジ画像, 2010]

デジカメ用ccdセンサ  
80db - 120db



## 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)

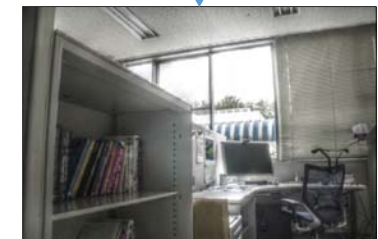
デジタルカメラのセンサは  
『凄く明るいところ』と『凄く暗いところ』  
を同時に撮影できない

## 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

露光大 $[0, 255]$



露光中 $[0, 255]$



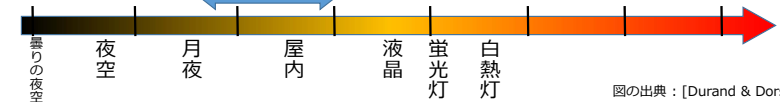
露光小 $[0, 255]$



HDRI(実数値)



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



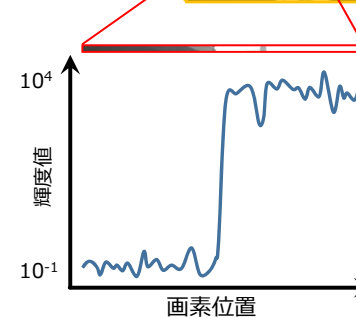
1秒

### 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

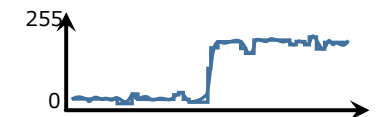


全レンジ  
を量子化

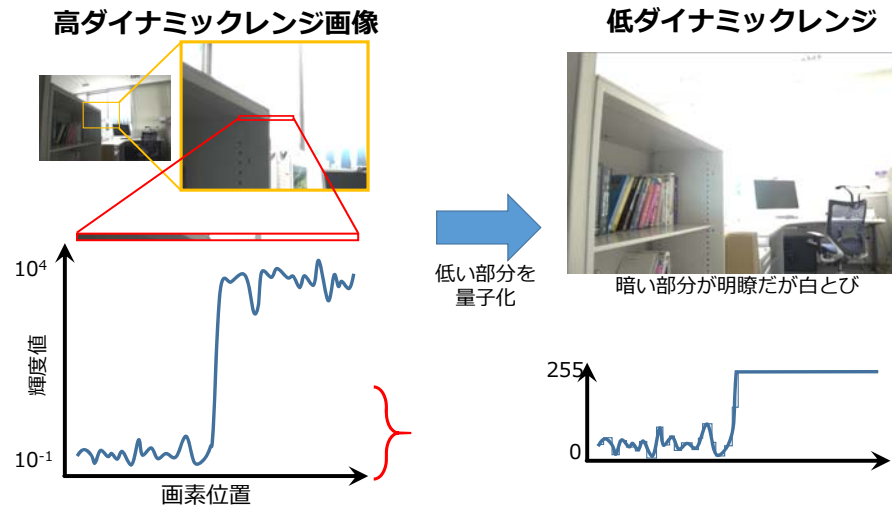
### 低ダイナミックレンジ



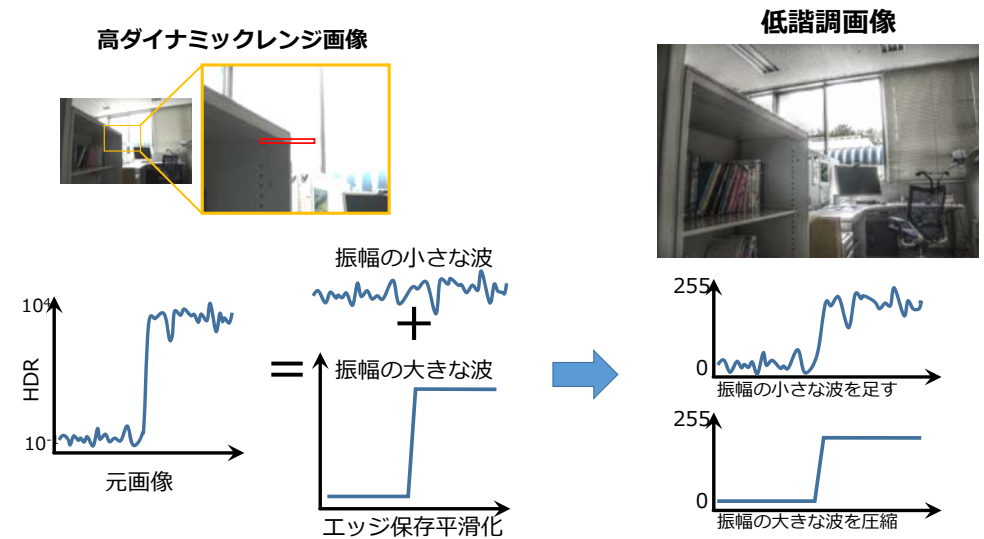
細かな情報が潰れる



## トーンマッピング（線形）



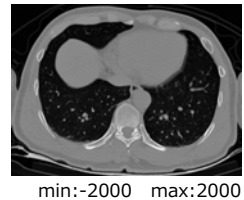
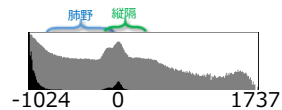
## トーンマッピング（HDR合成）



## CT画像のトーンマッピング

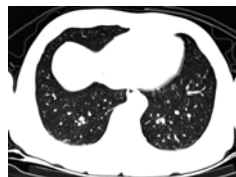
### CT画像

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



### 肺野条件

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



### 縦隔条件

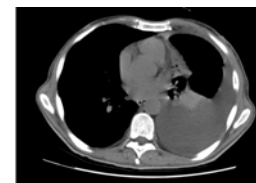
Min : -110.0 Max: 190.0  
Window level : 40  
Window size : 300



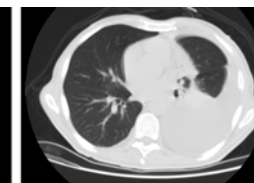
画像は理化学研究所生体力学シミュレーションチームより

## CT / MRI 画像のトーンマッピング

### 縦隔条件



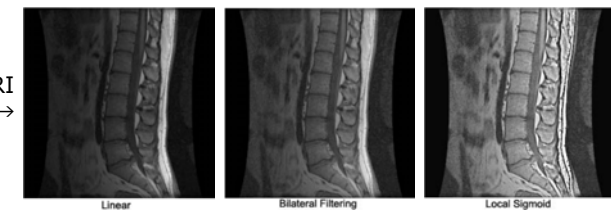
### 肺野条件



### 非線形トーンマッピング

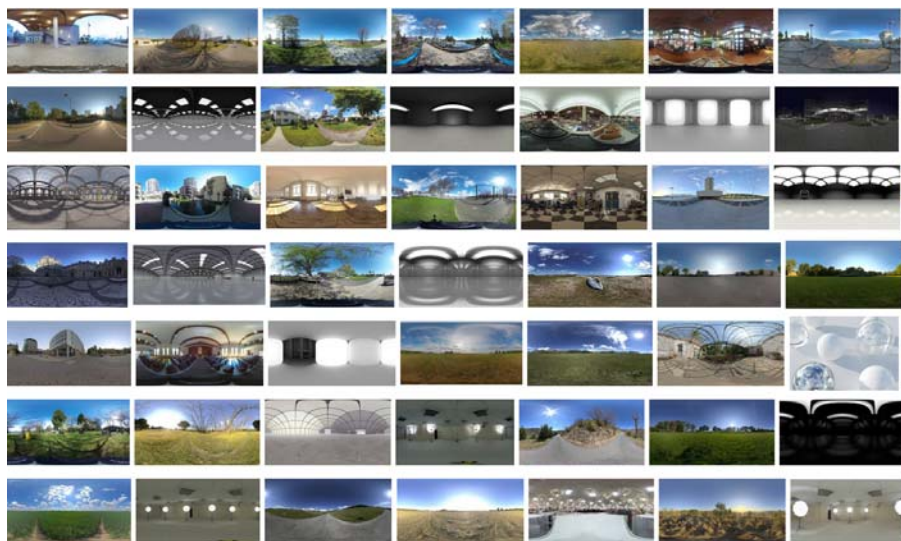


MRI  
→



上図: F. Edward Boas, "High dynamic range images in radiology 2007" [www.stanford.edu/~boas/science/pub\\_list.html](http://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", JVCI 2007.





HDRIでGoogle画像検索した結果

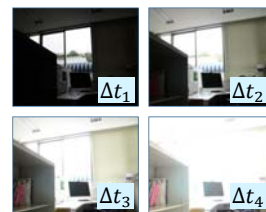
HDRI合成の補足資料  
講義内では取り扱わない予定

## ハイダイナミックレンジ画像の構築(1/4)



推定

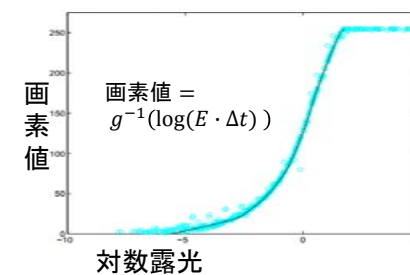
絞り・感度を固定し、  
露光を変えて複数画像を撮影



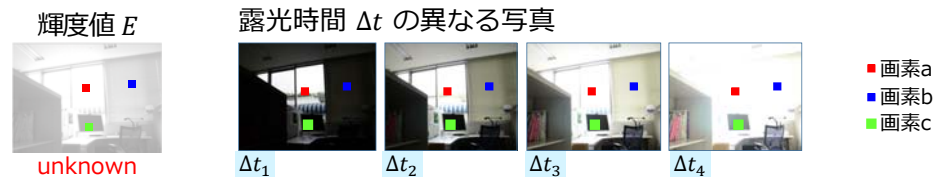
## ハイダイナミックレンジ画像の構築(2/4)



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

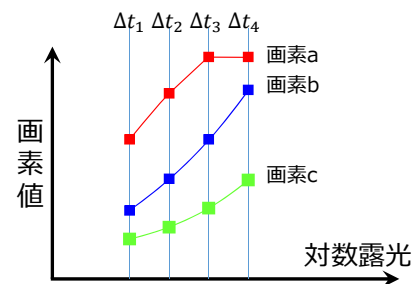


## ハイダイナミックレンジ画像の構築(3/4)

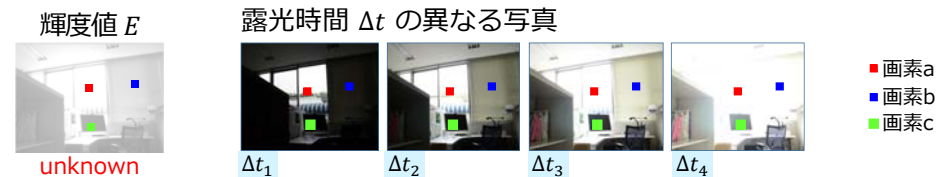


画素  $i$  に対して...

- 対数露光-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  $\log(E_i) = \text{定数}$  とするQ



## 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  
(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

