

# 3次元形状復元の留意点

物体の3次元空間内での位置（表面の座標）やカメラの位置や姿勢を知りたい

画像（集合）を撮影する環境において

- 何が既知とできるのか？
- 何が観測できるのか？

# Photometric Stereo

今回の課題では,

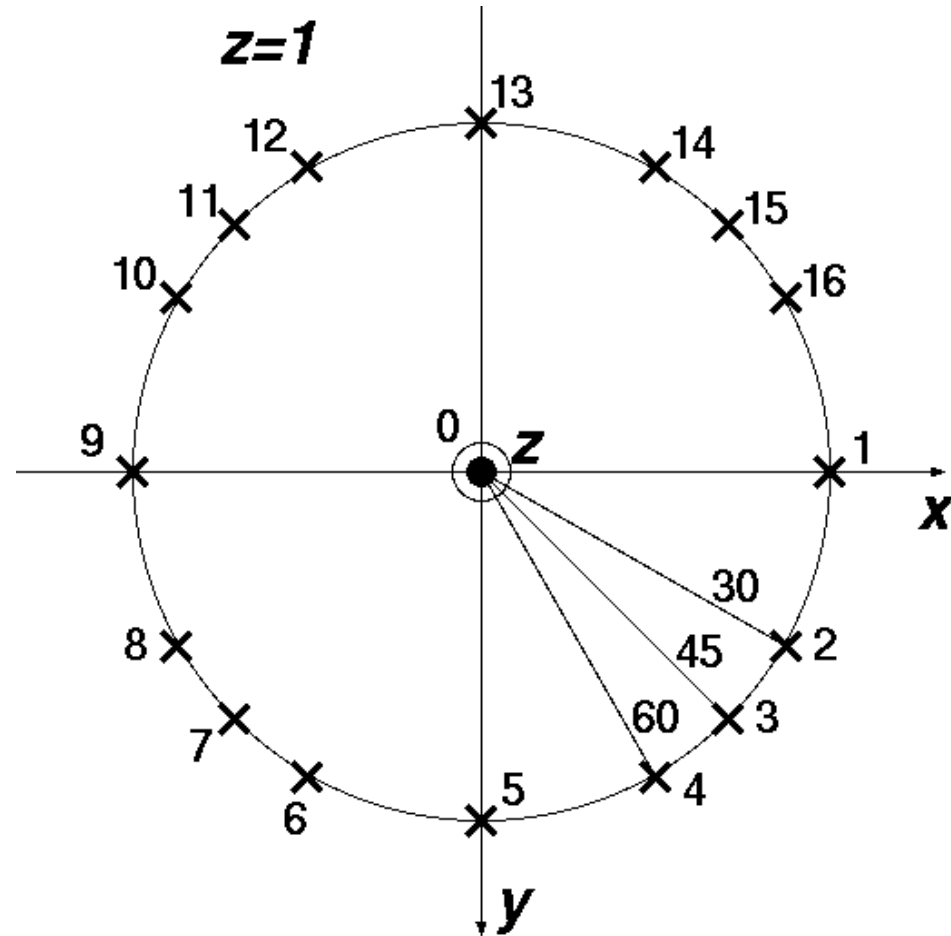
- カメラ位置は変わらない
- 光源方向は既知



物体の画像上での位置は不変

# 画像データ情報(物体, 光源情報)

- 物体は右図の座標系における原点に配置している
- 光源は原点から平面の×印に向かう方向ベクトルの無限遠に存在する
- 円錐, 球, トーラス



# photometricStereoSample.cについて

- コンパイル, 実行方法は最初の記述を参照
- 出力: albedo, 法線, 奥行き写像, 誤差
- 奥行き写像は奥行きなので注意！！
  - できれば画像の4角を起点として計算し, 平均する
- 特異値分解のルーチン, 記憶領域の確保は Numerical Recipes in Cからの引用
  - 配列の確保の仕方に注意(修正しても構いません)
  - svdcmpで特異値分解を行う
  - svbksbで $A \cdot x = b$ を解いてベクトル $x$ を求める

# 安全性チェック, 画像数

- photometricStereoSample.cでは,  
#define THRESHOLD 1.0e-3  
としているが...
- 理論的には3枚の画像があれば足りるはずだが...

# 画像データ

- pgm (portable gray map)
  - 濃淡画像
  - cf. pbm, ppm
- ファイル形式
  - マジックナンバー
    - #で始まるコメント(オプション)
  - 幅 高さ
  - 最大値(pgm, ppm)
  - 幅 × 高さ個の画素データ

# マジックナンバ

- P1: 二値画像, ascii
- P2: 濃淡画像, ascii
- P3: カラー画像, ascii
- P4: 二値画像, binary
- P5: 濃淡画像, binary
- P6: カラー画像, binary

# 例

P3 ← カラー, ascii

3 3 ← 横3画素, 縦3画素

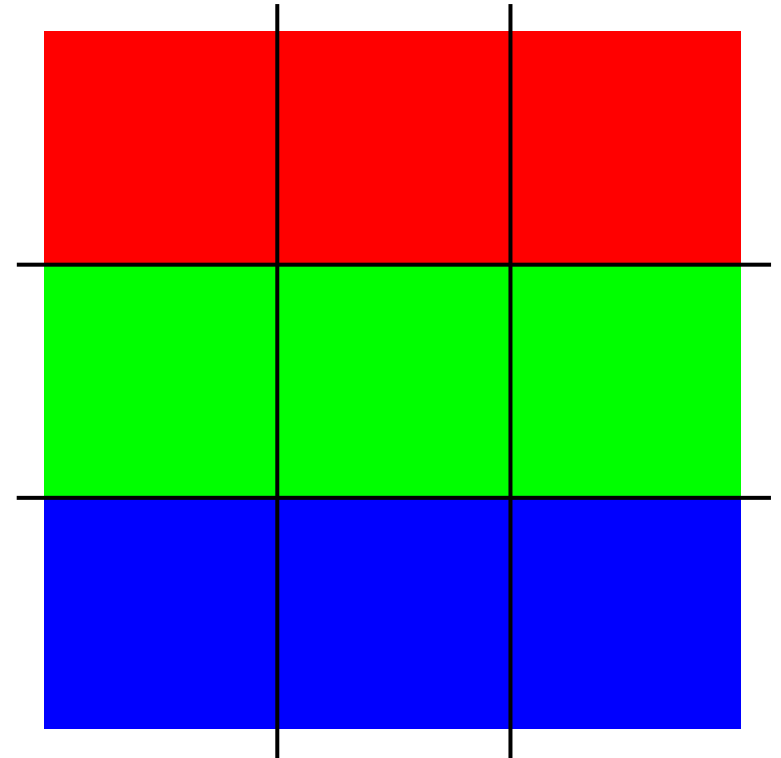
255 ← 最高画素値

255 0 0 255 0 0 255 0 0

0 255 0 0 255 0 0 255 0

0 0 255 0 0 255 0 0 255

↑  
R G B



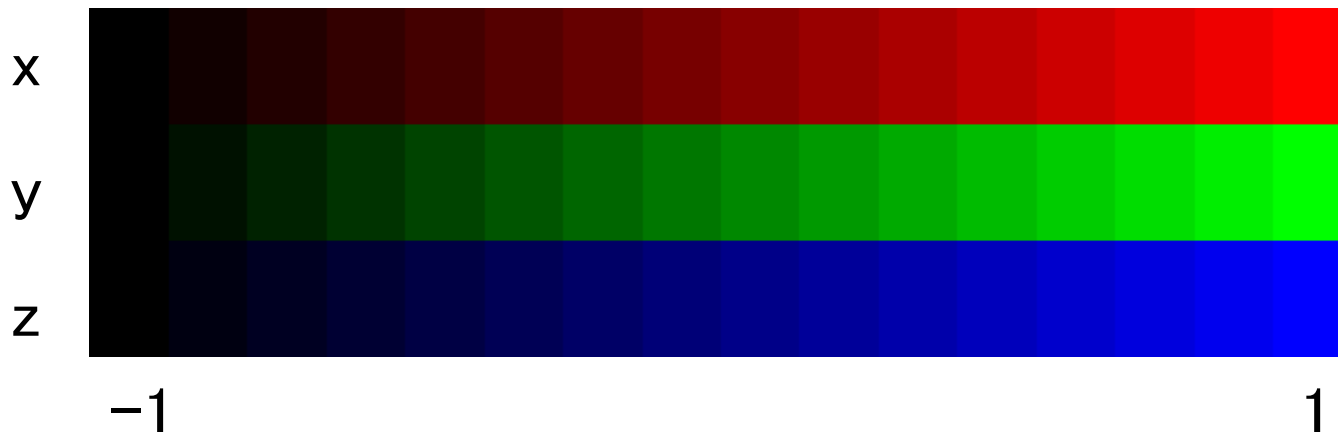
拡大表示



## 法線のカラーマップ表示

## ● 法線ベクトルの可視化

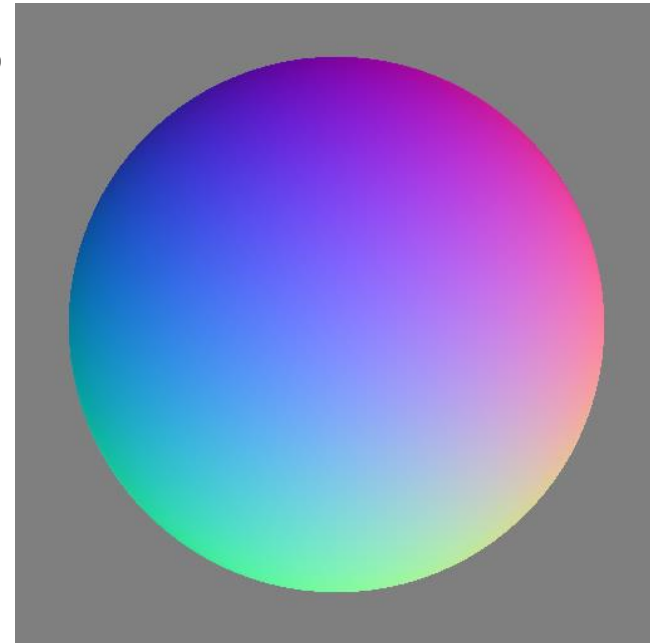
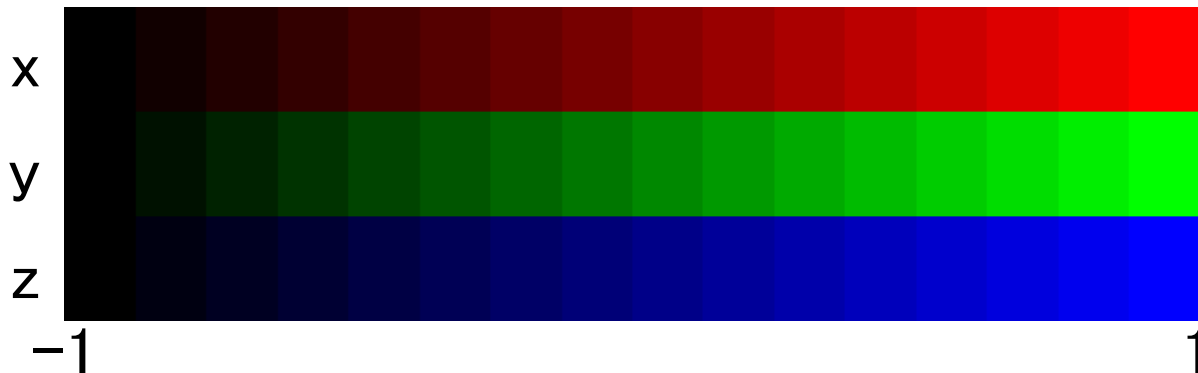
- 単位法線ベクトルとした $x, y, z$ 成分に例えばカラーの $r, g, b$ を割り当てる
- この場合 $x, y, z$ 成分それぞれ $-1$ から $1$ の範囲を取る所以以下のように配色する



# 法線のカラーマップ表示

- 法線ベクトルの可視化

- 単位法線ベクトルとした $x$ ,  $y$ ,  $z$ 成分に例えばカラーの $r$ ,  $g$ ,  $b$ を割り当てる
- この場合 $x$ ,  $y$ ,  $z$ 成分それぞれ $-1$ から $1$ の範囲を取るなので以下のように配色する



# 曲面の点 $P$ でのラジオシティ $B(P)$

$$B(P) = \rho(P)N(P) \cdot S_1$$

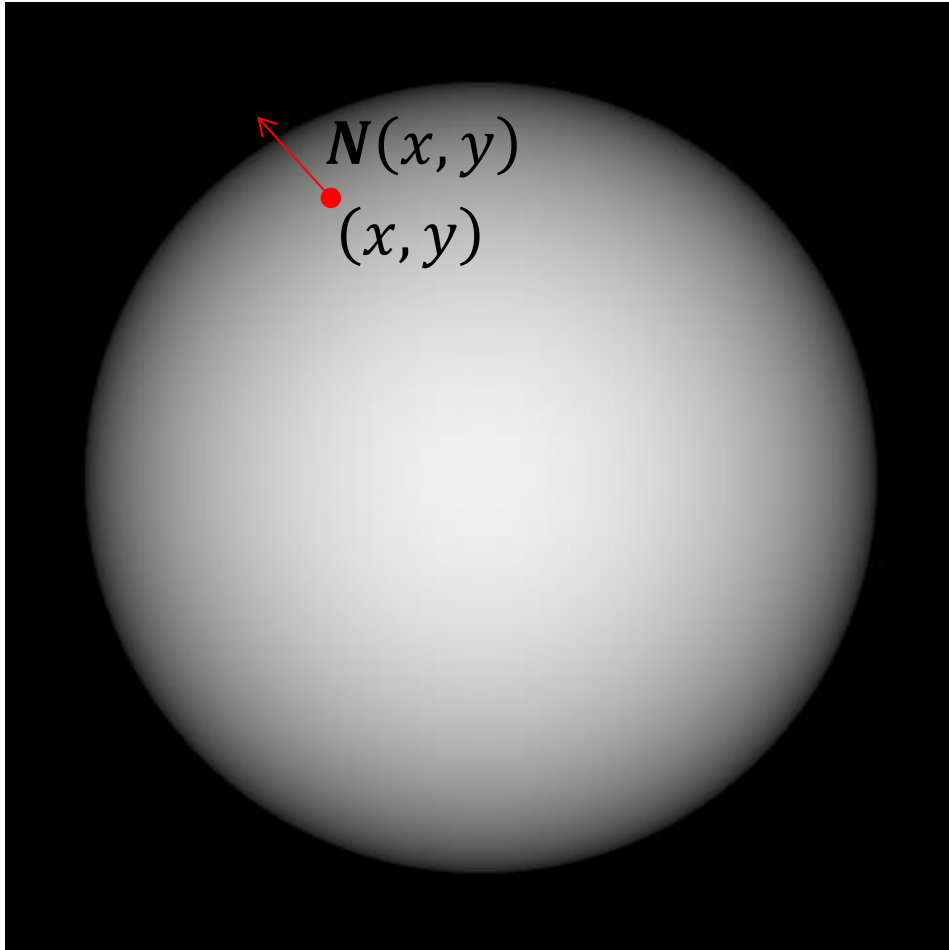
$P$ : 曲面の点

$N$ : 単位法線

$S_1$ : 光源ベクトル

$\rho$ : 表面アルベド(拡散反射率)

1点 $P$ のみが画像の各々の点 $(x, y)$ に対する曲面上にあるので,  
 $B(x, y)$ を $B(P)$ と書くことができる



$$\begin{aligned} I(x, y) &= kB(x, y) \\ &= k\rho(x, y)\mathbf{N}(x, y) \cdot \mathbf{S}_1 \\ &= \rho(x, y)\mathbf{N}(x, y) \cdot k\mathbf{S}_1 \\ &= \mathbf{g}(x, y) \cdot \mathbf{V}_1 \end{aligned}$$

# $(x, y)$ の画素値 $I(x, y)$

【仮定】カメラ応答は曲面のラジオシティに比例

$$\begin{aligned} I(x, y) &= kB(x, y) \\ &= k\rho(x, y)\mathbf{N}(x, y) \cdot \mathbf{S}_1 \\ &= \rho(x, y)\mathbf{N}(x, y) \cdot k\mathbf{S}_1 \\ &= \mathbf{g}(x, y) \cdot \mathbf{V}_1 \end{aligned}$$

$k$ : 入力放射輝度のカメラ応答に関する定数

$\mathbf{g}(x, y)$ : 曲面を記述

$\mathbf{V}_1$ : カメラの照明特性

# $(x, y)$ の画素値 $I(x, y)$

【仮定】カメラ応答は曲面のラジオシティに比例

$$\begin{aligned} I(x, y) &= kB(x, y) \\ &= k\rho(x, y)\mathbf{N}(x, y) \cdot \mathbf{S}_1 \\ &= \rho(x, y)\mathbf{N}(x, y) \cdot k\mathbf{S}_1 \\ &= \underline{\mathbf{g}(x, y)} \cdot \underline{\mathbf{V}_1} \end{aligned}$$

スカラ      (1行3列)  $\cdot$  (3行1列)

# 多視点からの法線とアルベド

【仮定】カメラ応答は曲面のラジオシティに比例

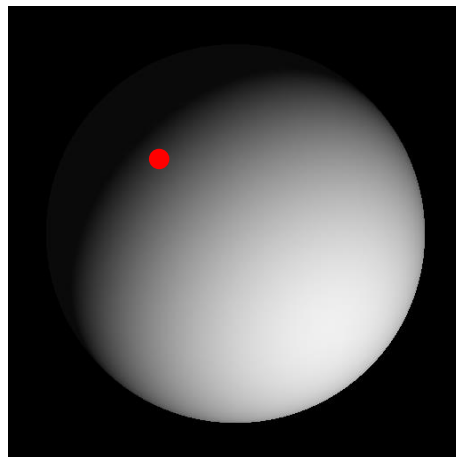
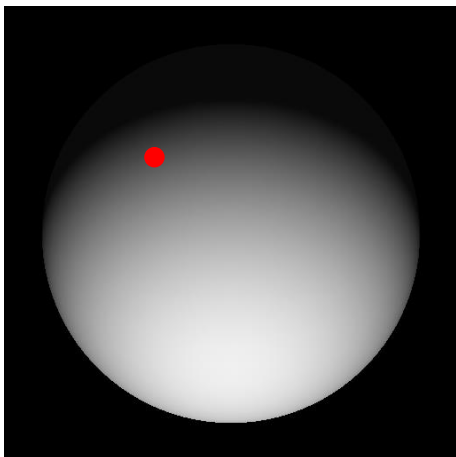
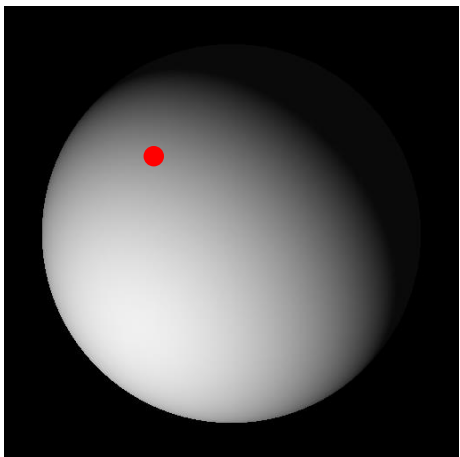
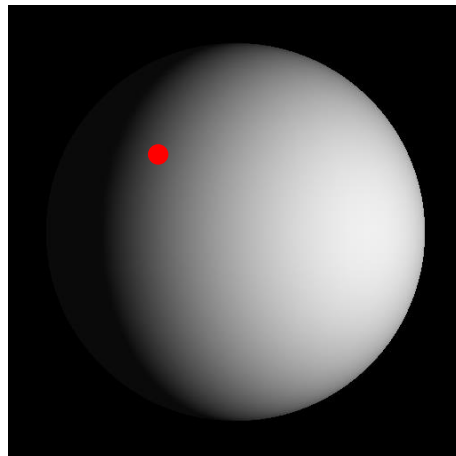
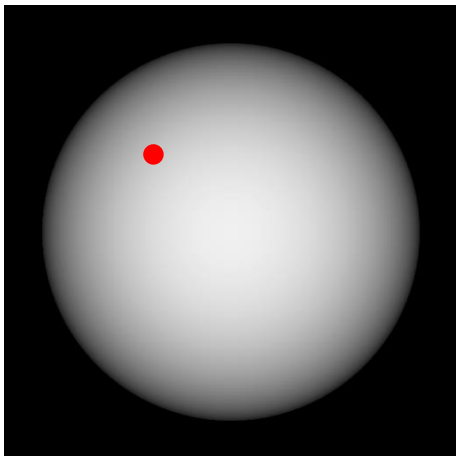
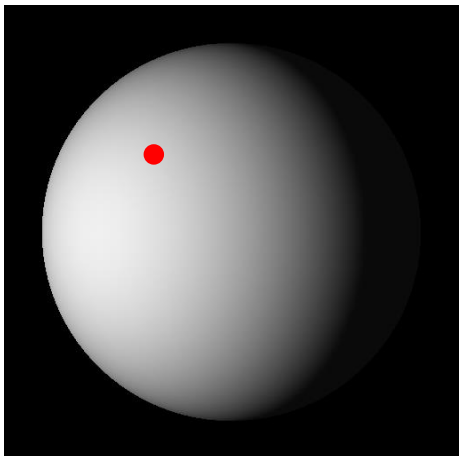
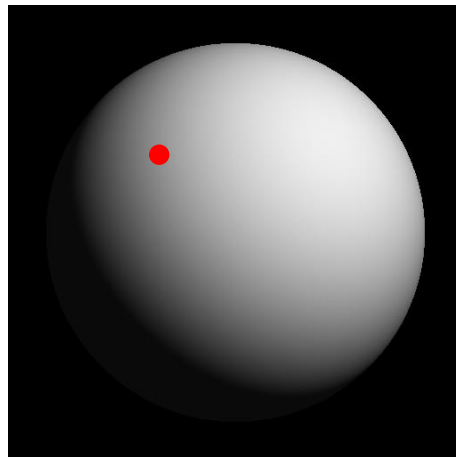
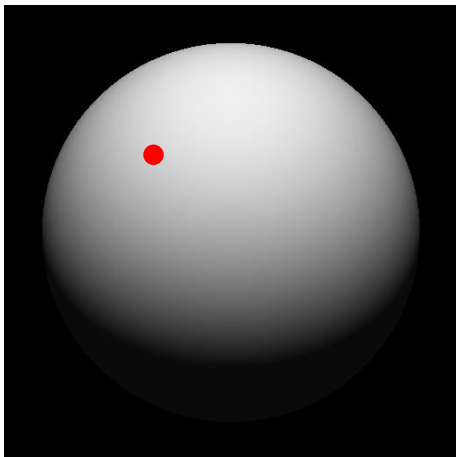
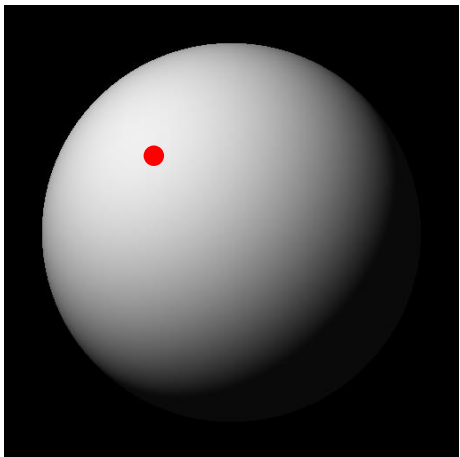
$$v = \begin{pmatrix} V_1^T \\ V_2^T \\ \dots \\ V_n^T \end{pmatrix}$$

1行3列

$n$ 行3列

$$i(x, y) = \{I_1(x, y), I_2(x, y), \dots, I_n(x, y)\}^T$$

$n$ 行1列





# 多視点からの法線とアルベド

$$i(x, y) = v \underline{g(x, y)}$$

これが知りたい

画像から分かる

光源情報から分かる

( $n$ 行1列) ( $n$ 行3列)(3行1列)

これって  $Ax = b$  ですね

# 影の点の除去

$$I(x, y) = \begin{pmatrix} I_1(x, y) & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & I_2(x, y) & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & I_n(x, y) \end{pmatrix}$$

$n$ 行 $n$ 列

$$I\mathbf{i} = I\mathbf{v}\mathbf{g}(x, y)$$

( $n$ 行 $n$ 列)( $n$ 行1列)      ( $n$ 行 $n$ 列)( $n$ 行3列)(3行1列)

( $n$ 行1列)

( $n$ 行1列)

# アルベドの測定

$$\mathbf{g}(x, y) = \rho(x, y)\mathbf{N}(x, y)$$

$\mathbf{N}$ は単位法線なので,

$$|\mathbf{g}(x, y)| = \rho(x, y)$$

アルベドは0と1の間なので,  
 $|g|$ が1より大きい画素は怪しい

# 法線の復元

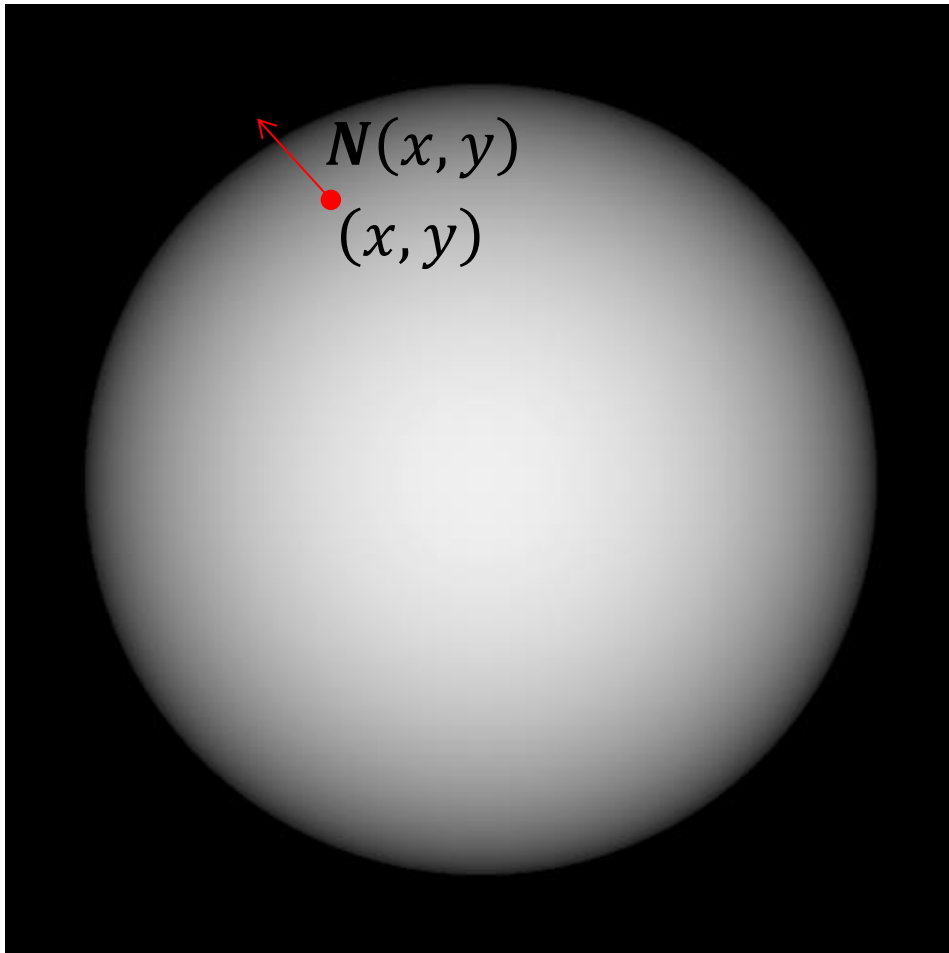
法線 $N$ は単位ベクトルなので,

$$N(x, y) = \frac{1}{|g(x, y)|} g(x, y)$$

# 法線からの形状

曲面は $(x, y, f(x, y))$ なので,  
関数として法線 $(x, y)$ を書くと

$$N(x, y) = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\partial f^2}{\partial x} + \frac{\partial f^2}{\partial y}}} \left\{ -\frac{\partial f}{\partial x}, -\frac{\partial f}{\partial y}, 1 \right\}^T$$

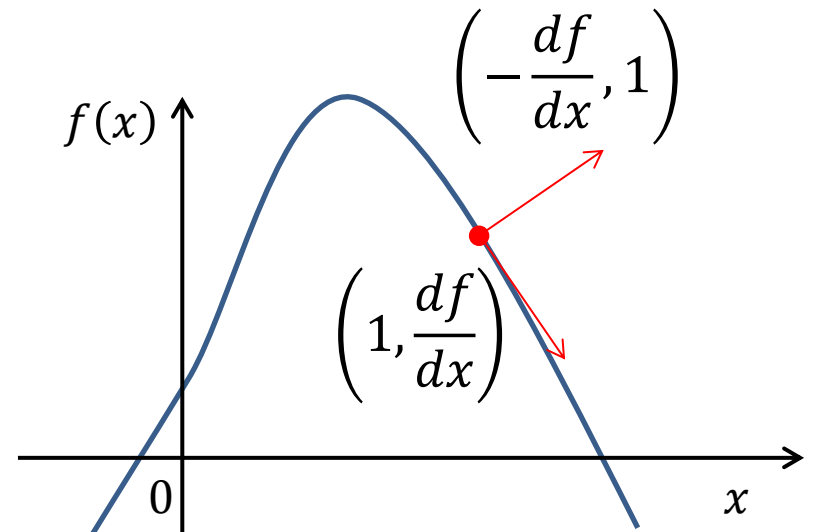


## 赤点の勾配

$$\left(1, 1, \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial f}{\partial y}\right)$$

法線はこのベクトルと  
直交するので

$$\left(-\frac{\partial f}{\partial x}, -\frac{\partial f}{\partial y}, 1\right)$$



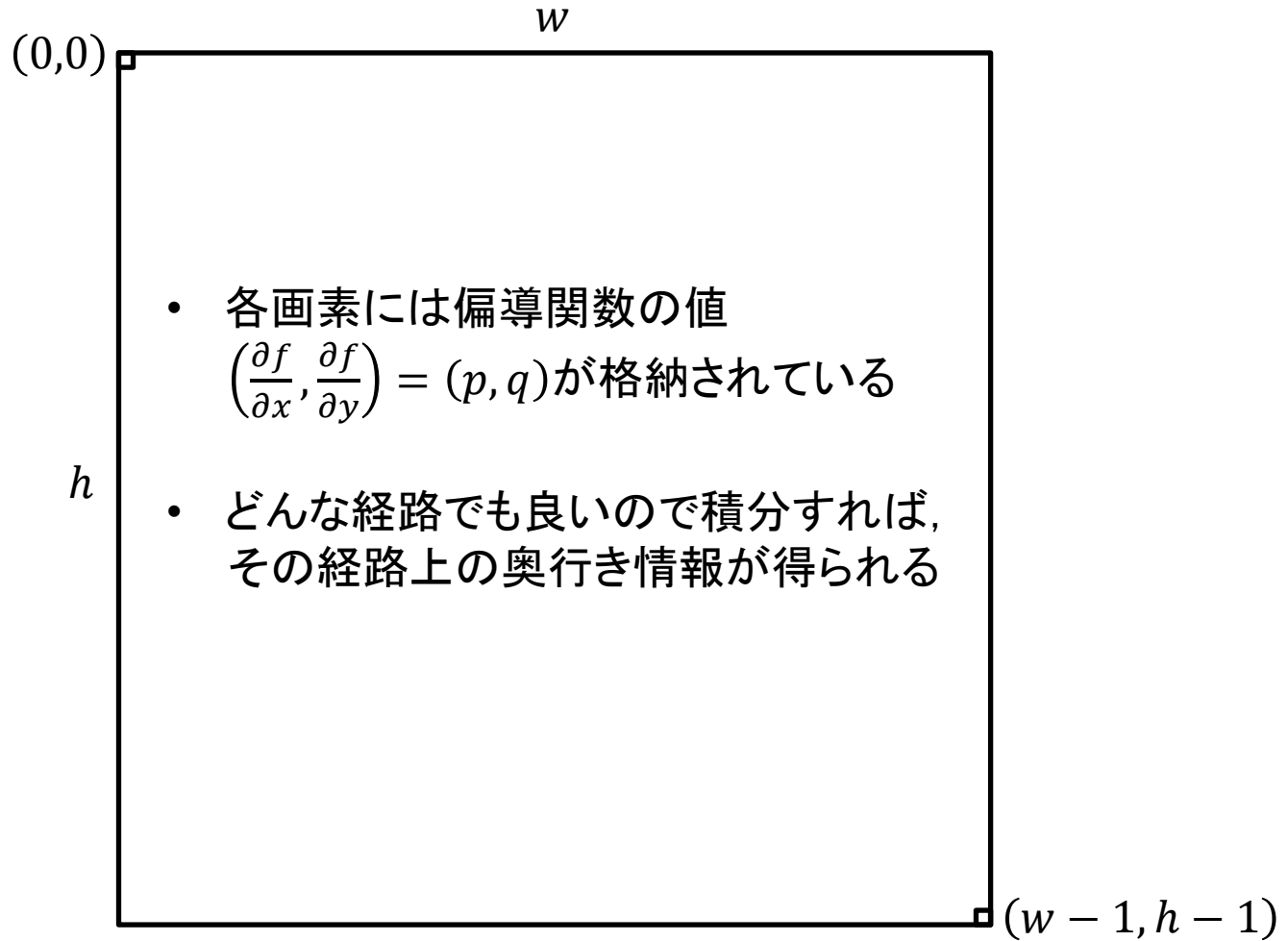
# 法線からの形状

曲面は $(x, y, f(x, y))$ なので,  
関数として法線 $(x, y)$ を書くと

$$N(x, y) = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\partial f^2}{\partial x} + \frac{\partial f^2}{\partial y}}} \left\{ -\frac{\partial f}{\partial x}, -\frac{\partial f}{\partial y}, 1 \right\}^T$$

単位法線の測定値から $f(x, y)$ を求めたい

# 積分による形状





# 積分による形状

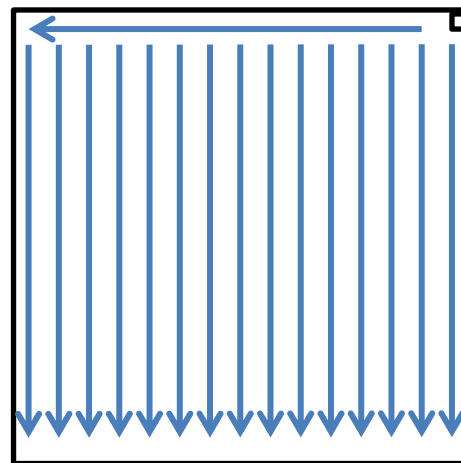
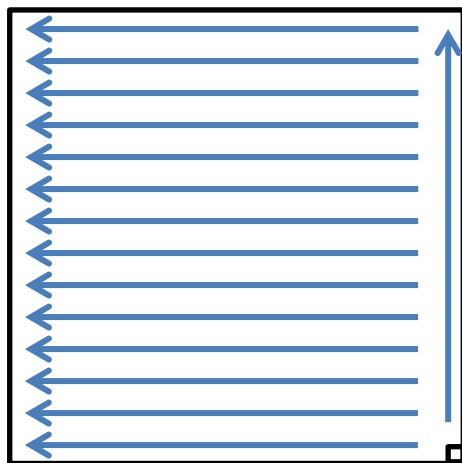
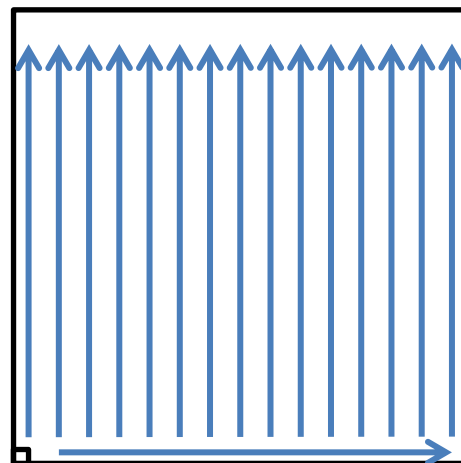
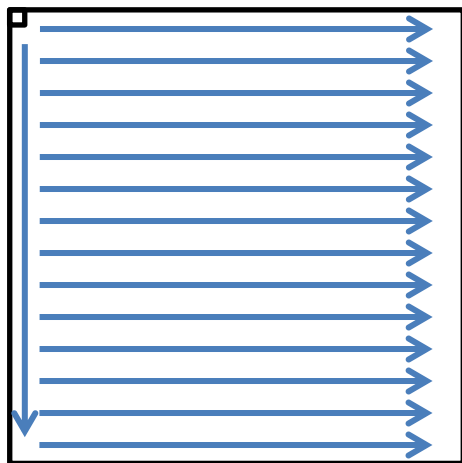
奥行き写像の  
左上のコーナーを  
ゼロと考える

積分

各画素の値として  
奥行き写像が  
得られる

積分

# 積分による形状(4方向からの平均)



# 課題1: Photometric Stereo

照度差ステレオ法による3次元形状復元プログラムを完成させなさい

- 提出物: 作成したプログラム (photometricStereo.c) とレポート (PDF)

※レポートは, 課題名, 学籍番号, 氏名, 簡単な課題内容の説明, 実行結果の画像およびグラフ程度の内容で良い

- 発表会: 10月22日 (水) 2限?
  - スタイルは自由. Linux端末, 持込PC利用可 (D-Sub15pin). Windows利用可 (Office2010インストール済み, USBなどでデータを持参すれば)
- 〆切: 10月28日 (火) 17:00?
- 提出先: IT's classより提出