

第9回

自然界の形状の規則性と画像計測 — 造形物のフラクタル性と植物の成長ルール —

授業の目的: 生物がもつ規則性についての知見を深めると同時にマシンビジョンシステムによる計測に関わるソフトウェア的事項を習得する。



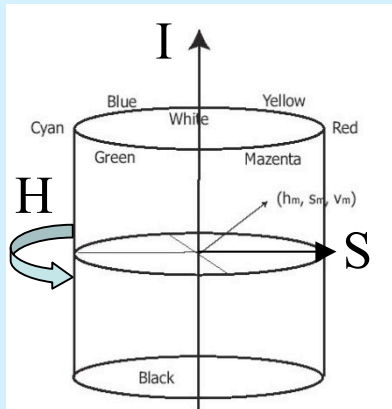
KYOTO 京都大学
UNIVERSITY

画像計測のまとめ

ソフトウェア (Software on Machine Vision)

色変換

色度変換
L*a*b*変換
HSI変換



$$H = \arctan(M_1/M_2)$$

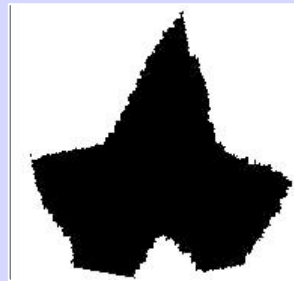
$$S = (M_1^2 + M_2^2)^{1/2}$$

$$I = \sqrt{3} I_1$$

$$[M_1 \ M_2 \ I_1] = [R_r \ G_r \ B_r] \begin{vmatrix} 2\sqrt{6} & 0 & \sqrt{3} \\ -\sqrt{6} & \sqrt{2} & \sqrt{3} \\ -\sqrt{6} & -\sqrt{2} & \sqrt{3} \end{vmatrix}$$

前処理

エッジ検出フィルタ
平滑化フィルタ
ソートフィルタ
画像間演算
濃度変換
フーリエ変換
2値化、多値化
2値画像の各種処理



特徴量抽出

サイズ・面積
疑似体積
形状
モーメント

$$M(p, q) = \sum_{(i,j) \in T} i^p j^q$$

$$M_s = \frac{\sum_{(i,j) \in T} |i - c|^1 j^0}{M(0,0)}$$

テクスチャ

$$ASM = \sum_i \sum_j \{p(i, j)\}^2$$

$$CON = \sum_i \sum_j (i - j)^2 p(i, j)$$

$$COR = \frac{\sum_i \sum_j i j p(i, j) - \mu_x \mu_y}{\sigma_x \sigma_y}$$

$$IDM = \sum_i \sum_j \frac{1}{1 + (i - j)^2} p(i, j)$$

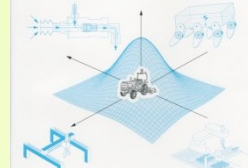
認識・位置検出

生物の規則性を利用したモデル化(葉序)
樹木の分枝のフラクタル次元

$$D = \frac{2 \log \frac{L_1}{L_2}}{\log \frac{S_1}{S_2}}$$



ステレオ画像
レーザースキャナ
三角測量



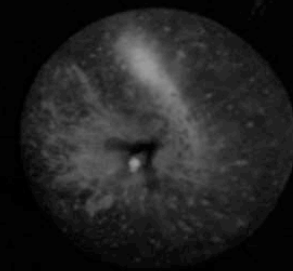
前処理(画像間演算)



R

G

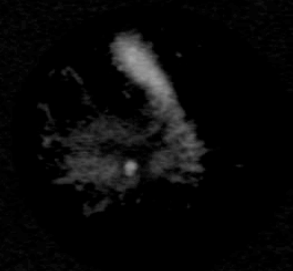
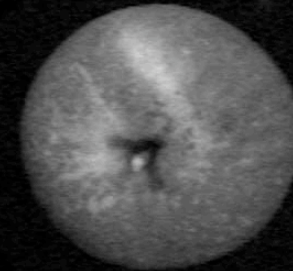
B



R-G

R-B

G-B



平滑化フィルタ



| | | |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |

平均化(9画素、5画素)

| | | |
|---|---|---|
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 |

| | | |
|---|---|---|
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 2 | 1 |
| 0 | 1 | 0 |

ガウシアン

エッジ検出フィルタ

| | | |
|---|---|----|
| 1 | 0 | -1 |
| 1 | 0 | -1 |
| 1 | 0 | -1 |

グラディエント

| | |
|---|---|
| a | b |
| c | d |

$$|d-a|+|b-c|$$

ロバーツ

| | | |
|---|---|---|
| a | b | c |
| d | e | f |
| g | h | i |

$$|(c+2f+i)-(a+2d+g)|+|(g+2h+i)-(a+2b+c)|$$

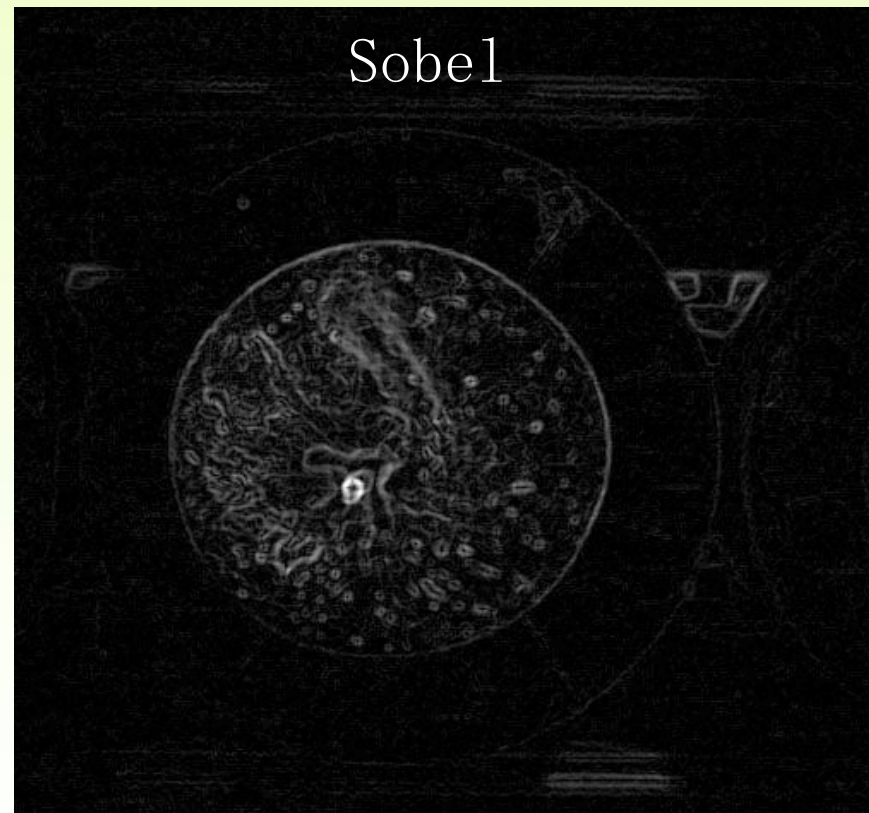
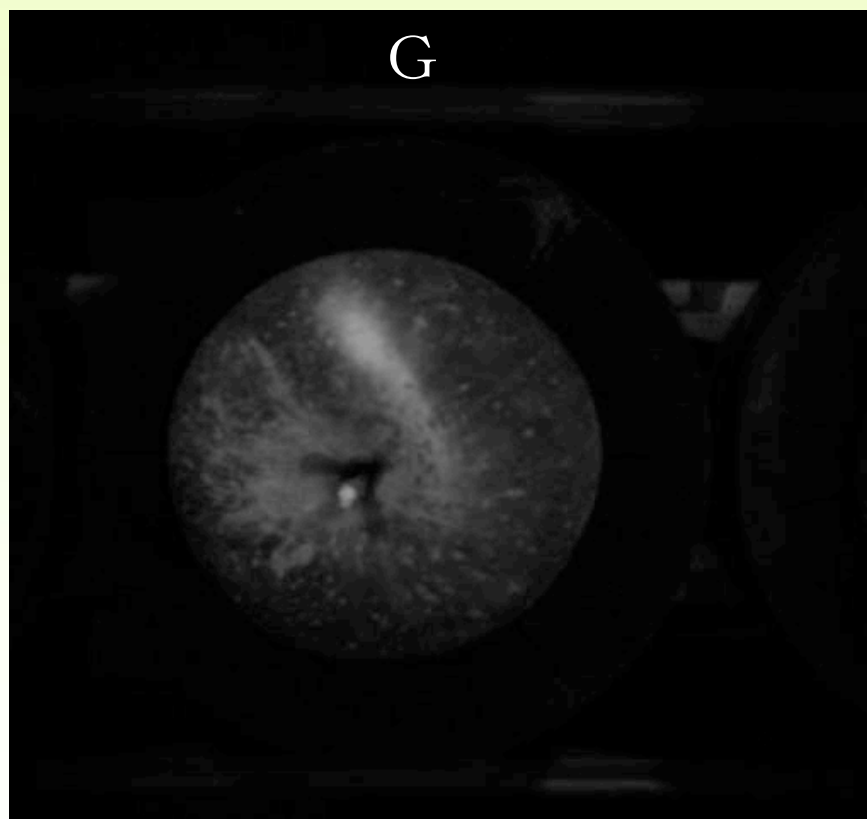
ソベル

| | | |
|----|----|----|
| -1 | -1 | -1 |
| -1 | 8 | -1 |
| -1 | -1 | -1 |

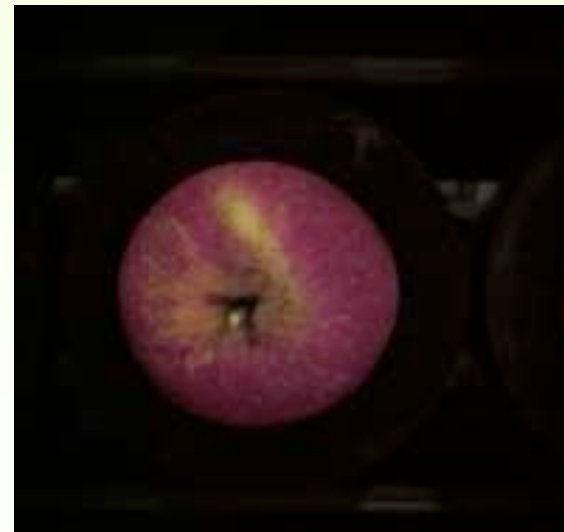
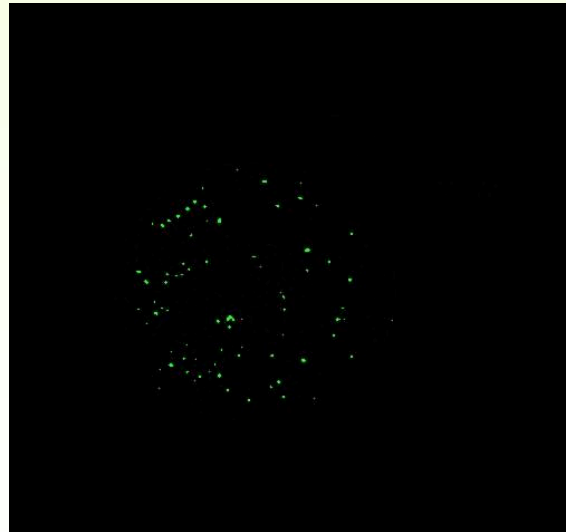
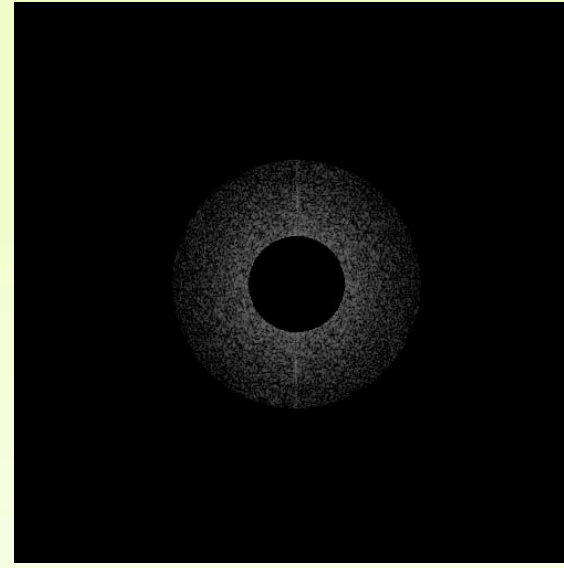
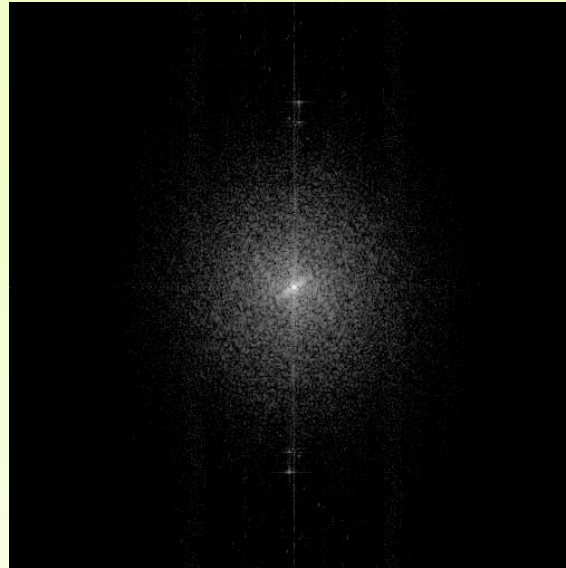
ラプラシアン



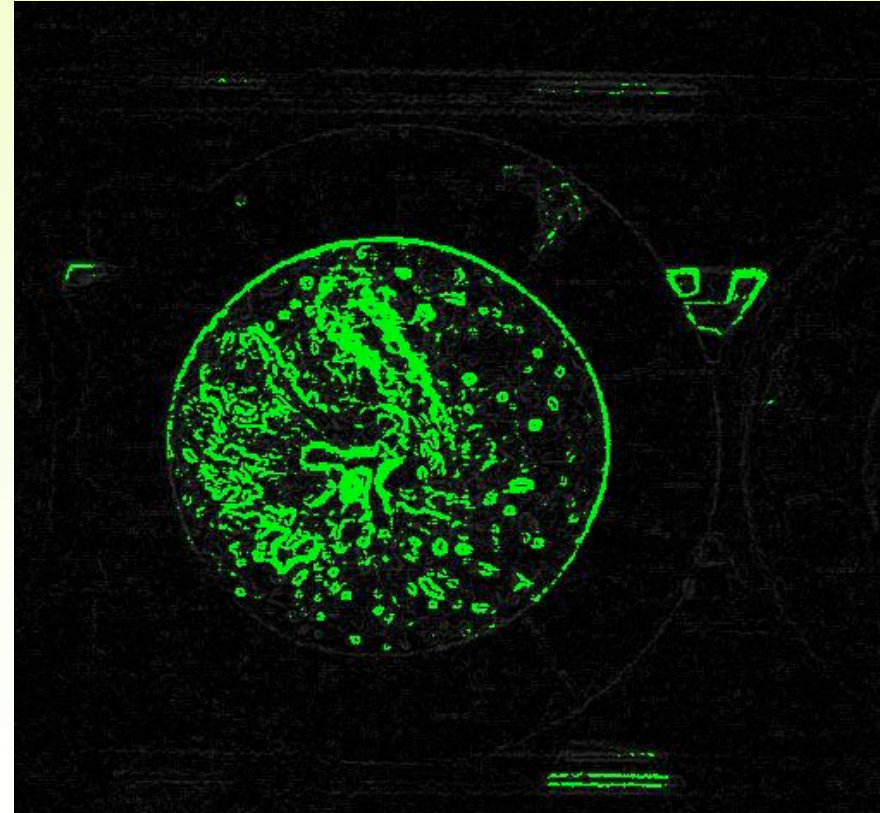
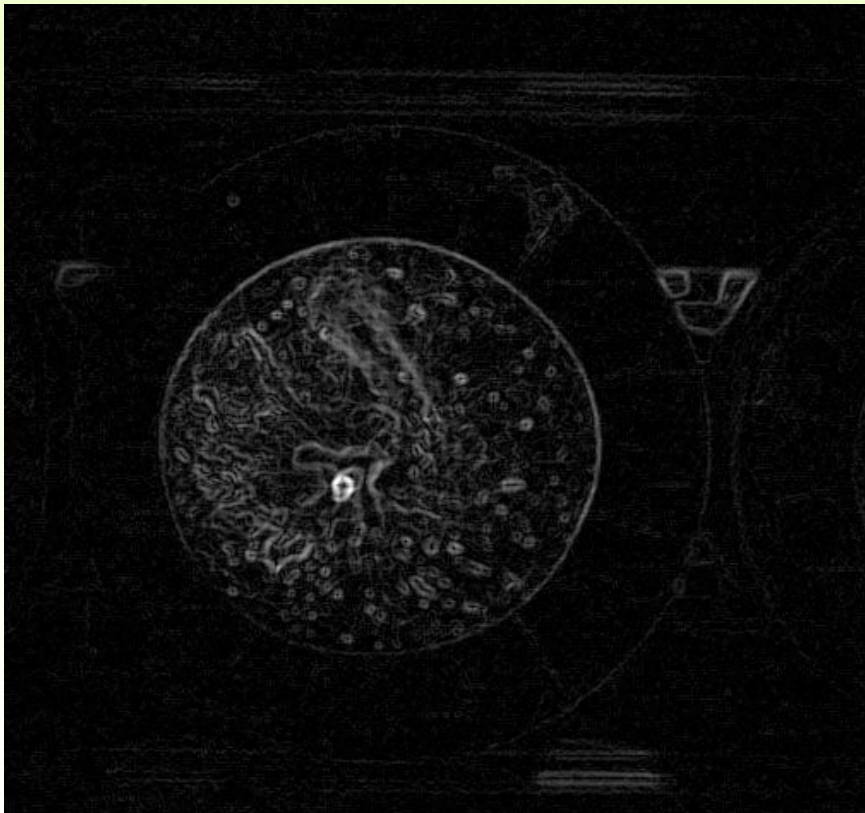
エッジ検出



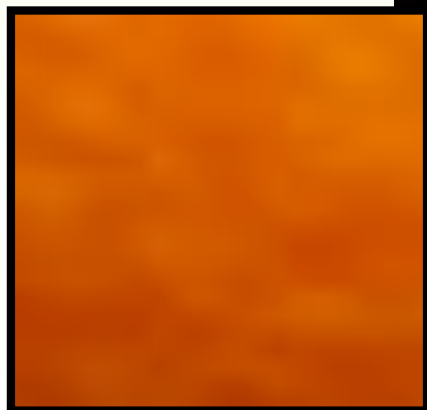
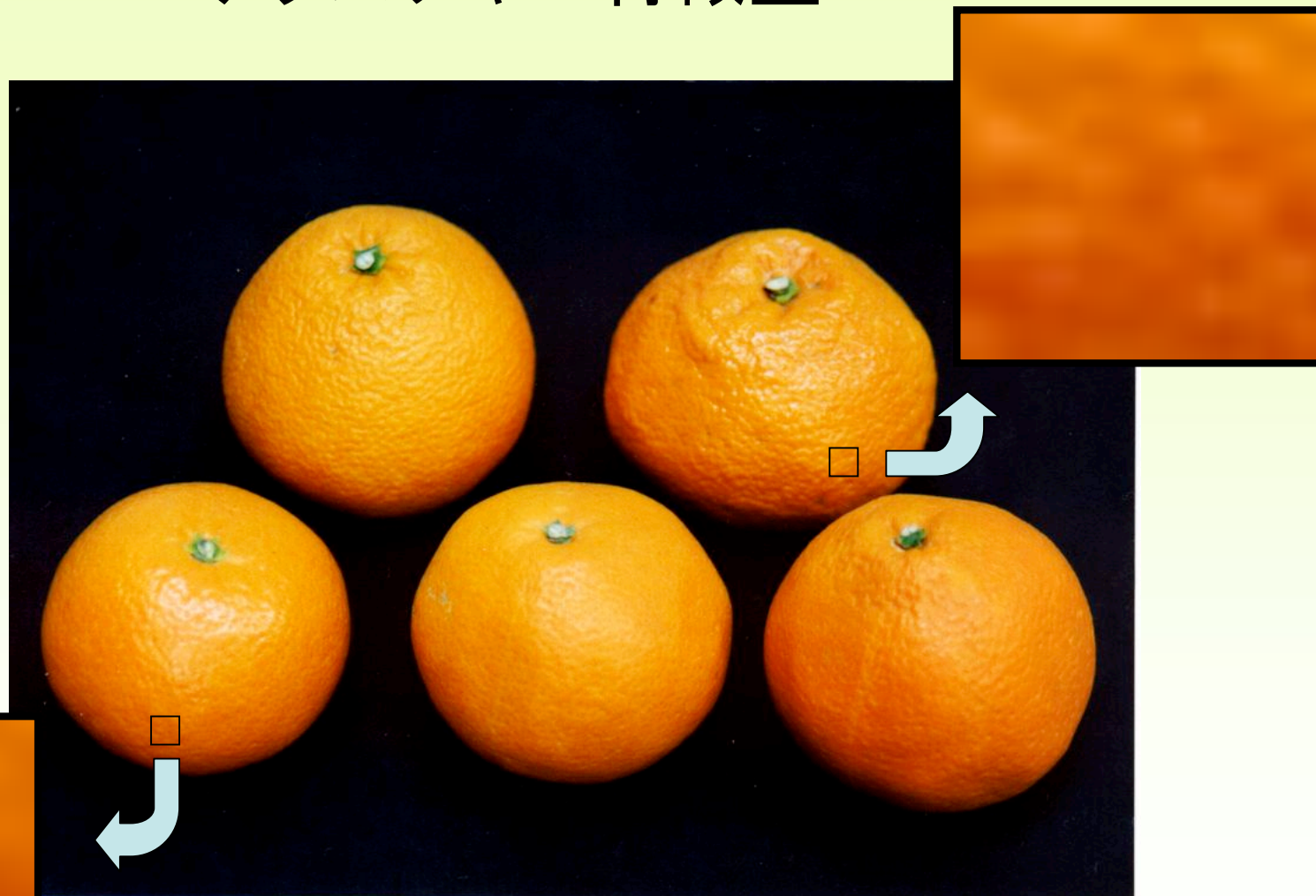
FFT



2値化処理と2値画像における各種処理



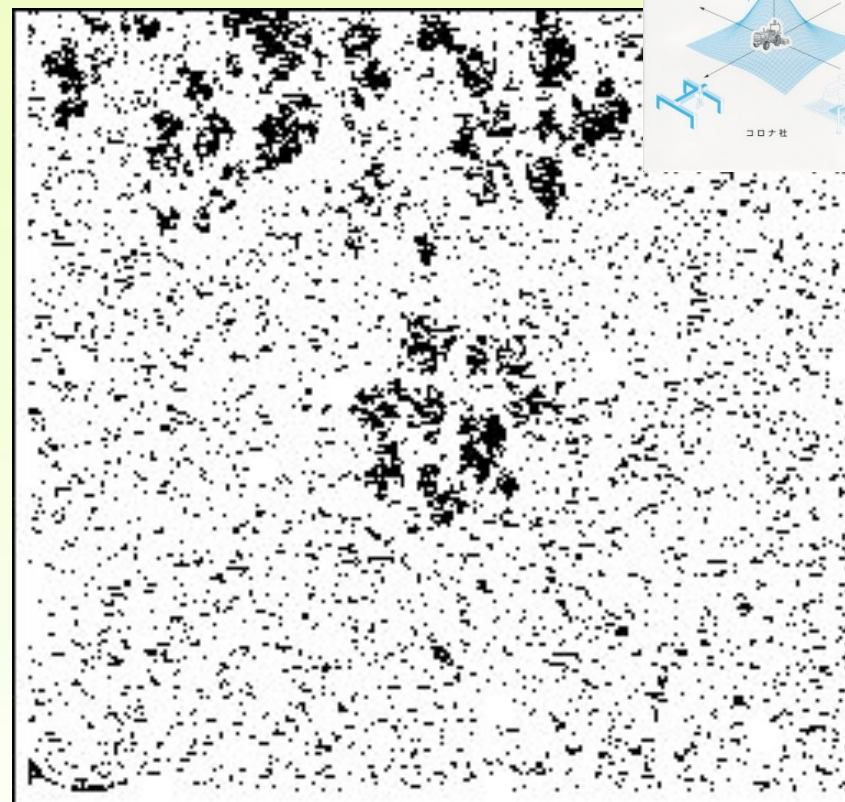
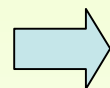
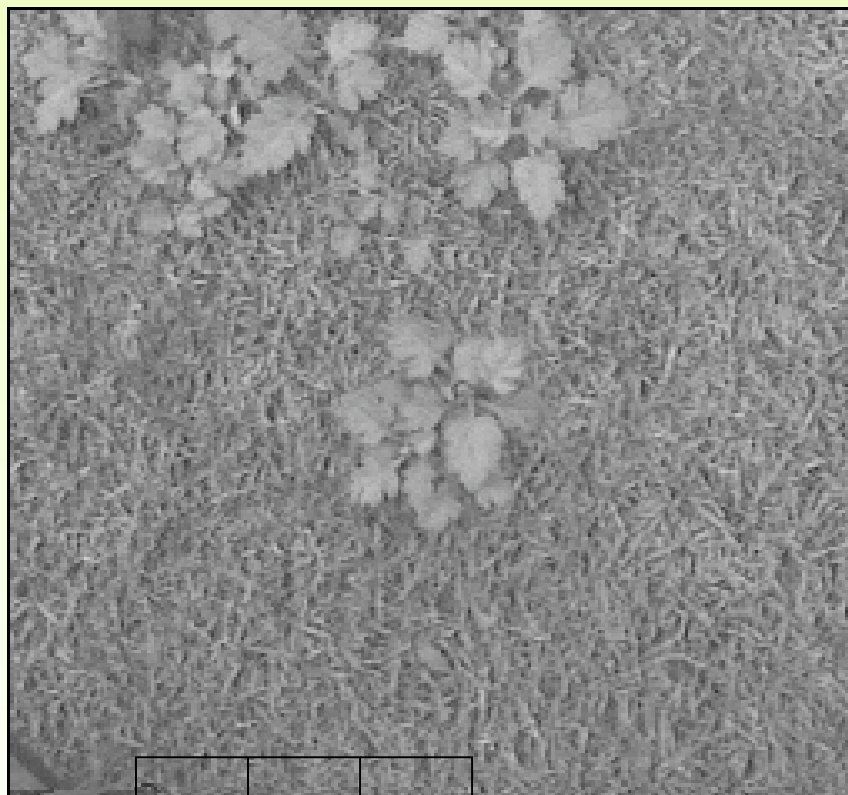
テクスチャー特徴量



イヨカンの味と相関の高い要因

- 色 → RGB、HSI・・・
- 形状 → 針状比、フェレ長比
- 寸法 → 面積、最大径、等価円直径
- テクスチャ → テクスチャ特徴量

テクスチャー解析



| | | |
|---|---|---|
| a | b | c |
| d | e | f |
| g | h | i |

$$(\max \{a,b,c,d,e,f,g,h,i\} - \min \{a,b,c,d,e,f,g,h,i\}) \times k$$

$$\frac{(\max \{a,b,c,d,e,f,g,h,i\} - \min \{a,b,c,d,e,f,g,h,i\}) \times k}{(a+b+c+d+e+f+g+h+i)/9}$$



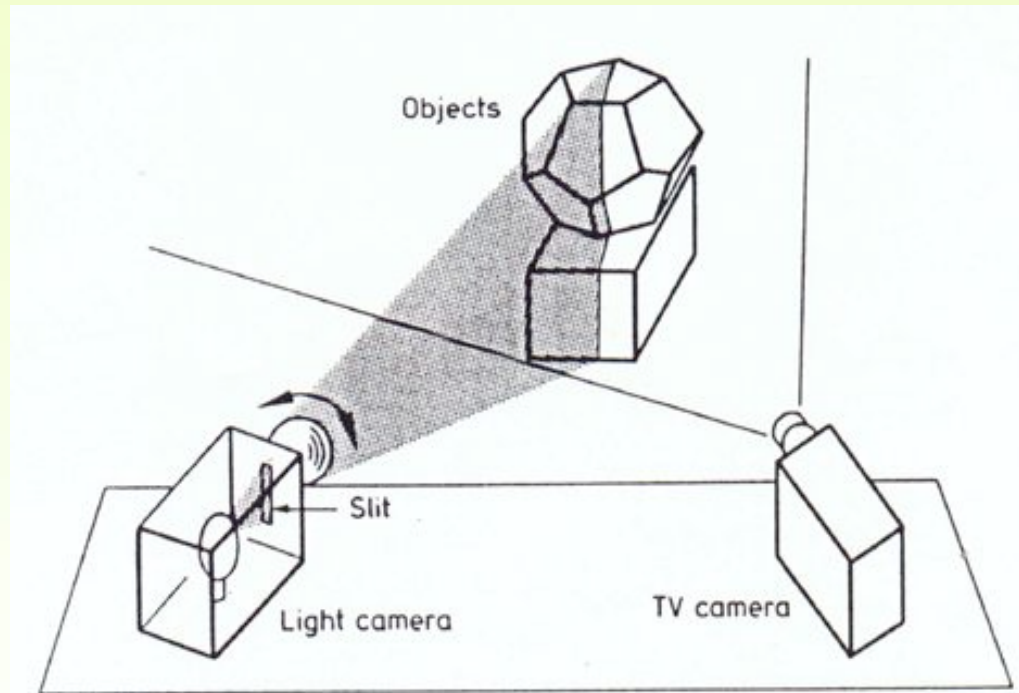
ロボットの目としてのマシンビジョン

色変換
前処理
2値化
各種処理
特徴量抽出
認識
3次元理解

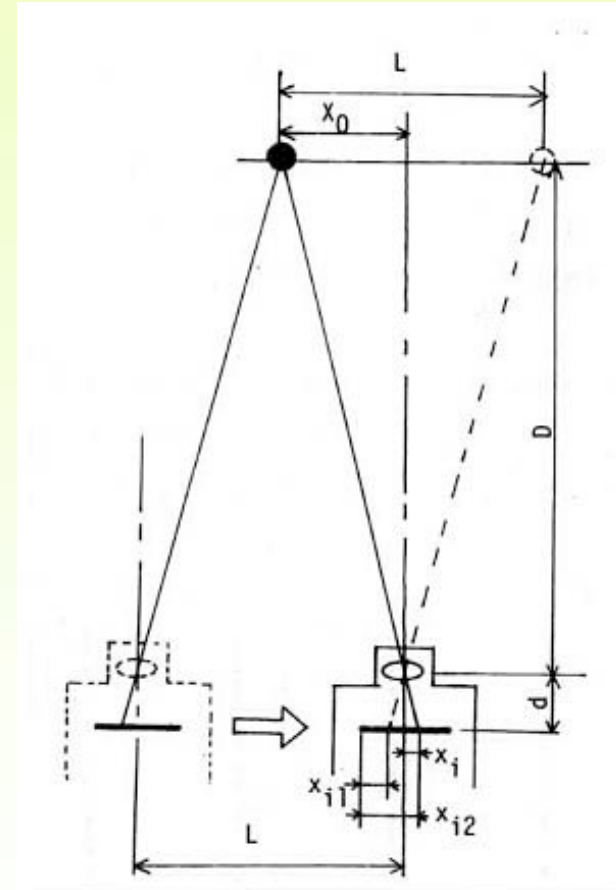


Strawberry harvesting robot

ステレオ画像法



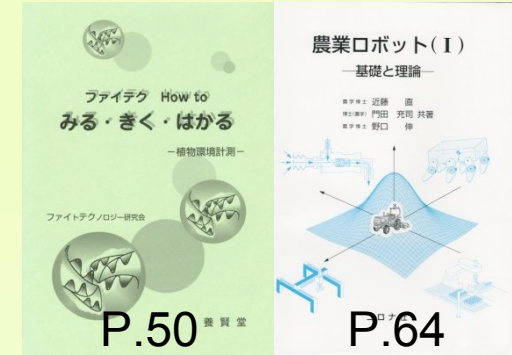
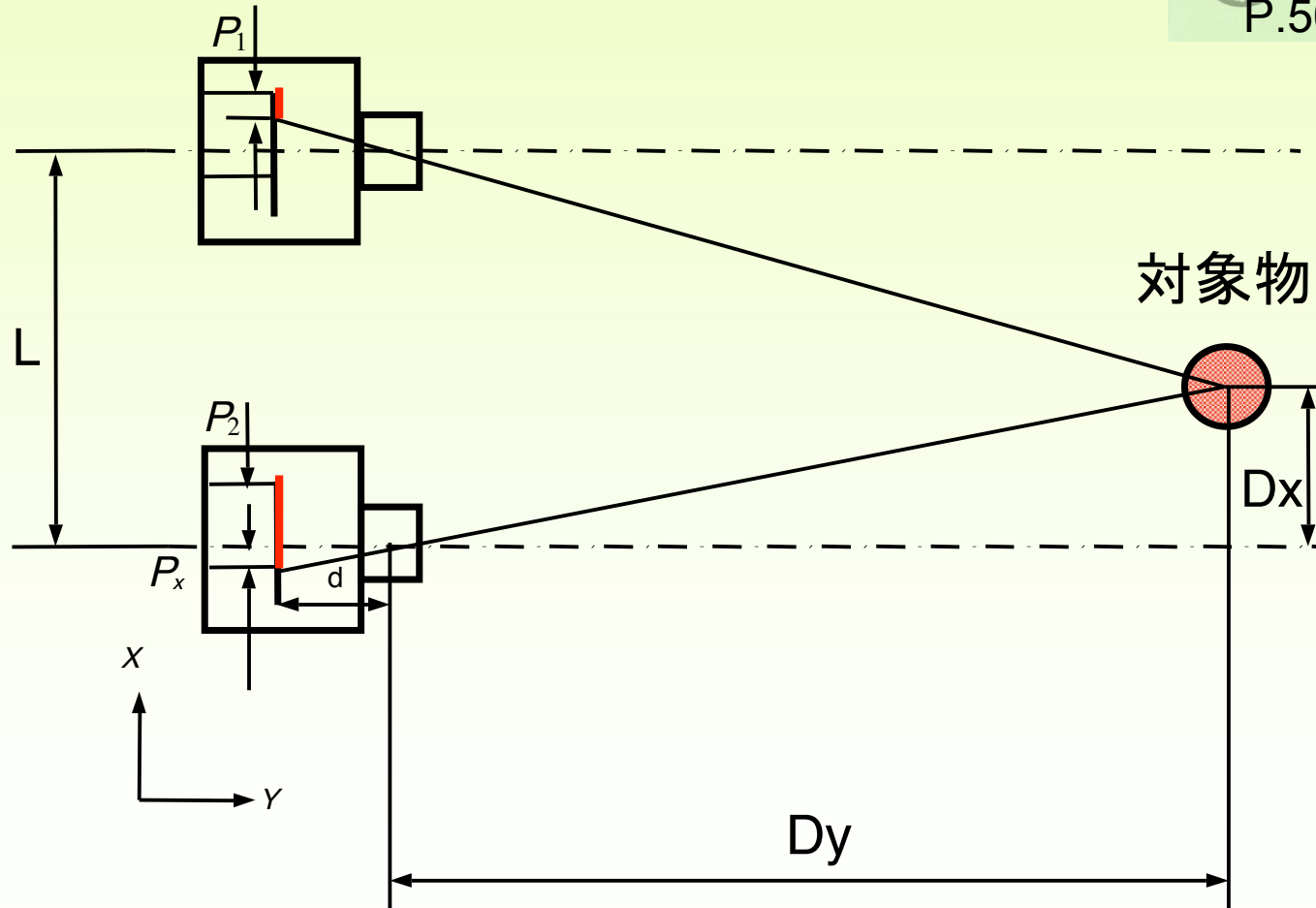
Active stereo vision



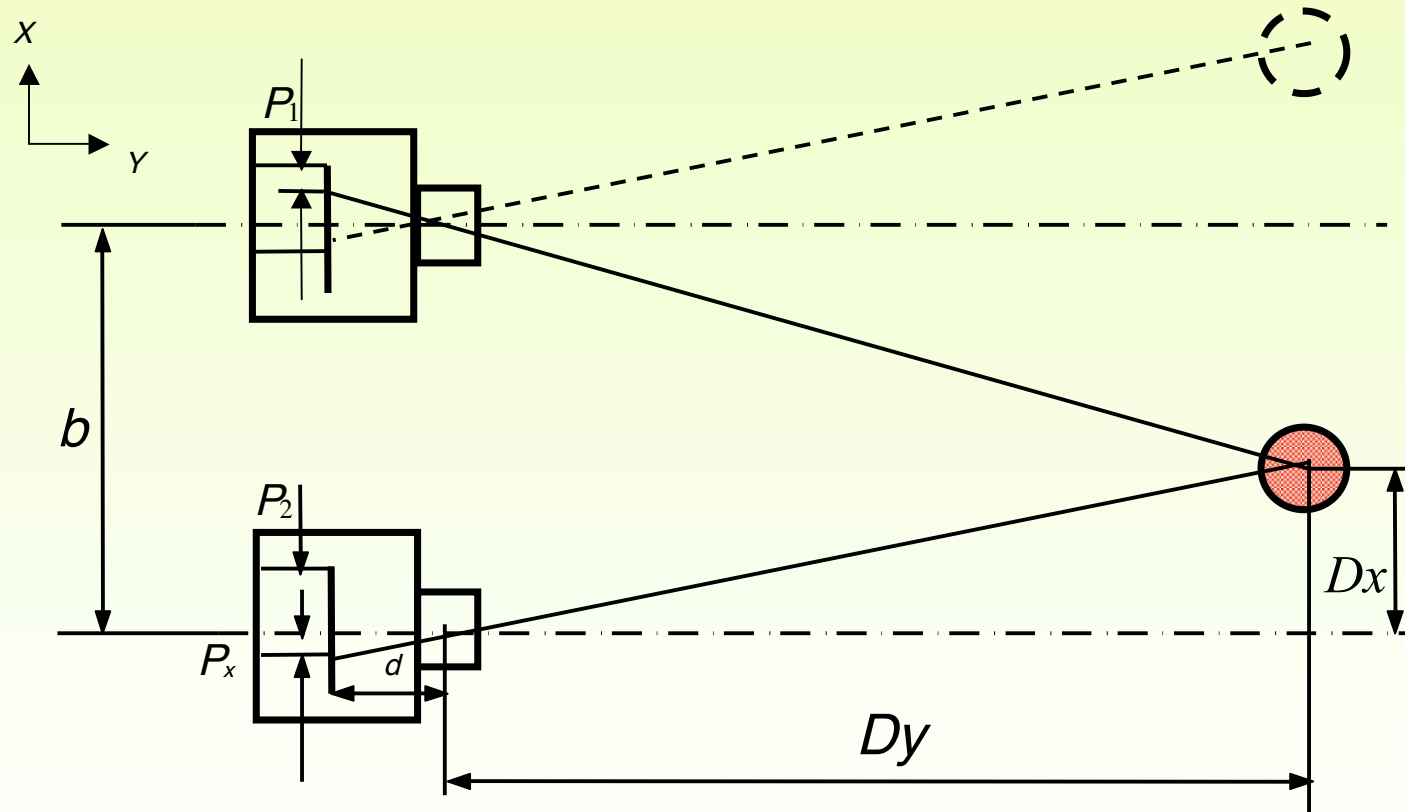
Passive stereo vision

ステレオ画像法

TVカメラ



Feature-based stereo vision



$$Dy = d b / (P_2 - P_1)$$

$$Dx = P_x Dy / d$$

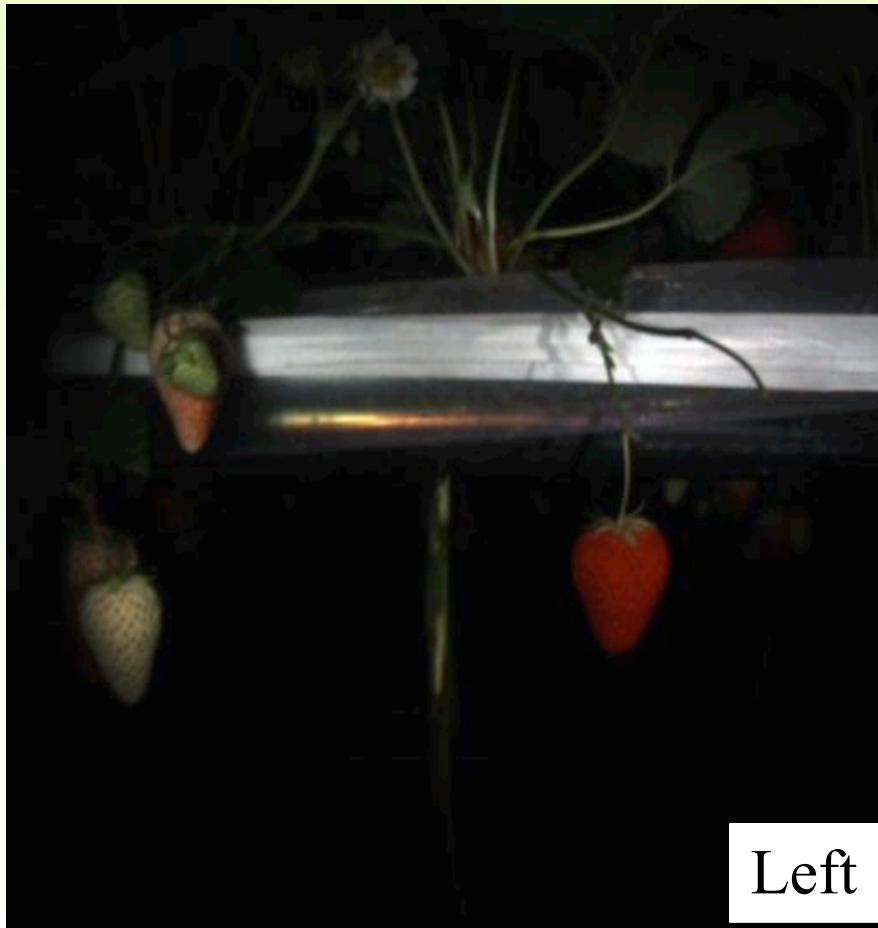
$$Dz = P_y Dy / d$$



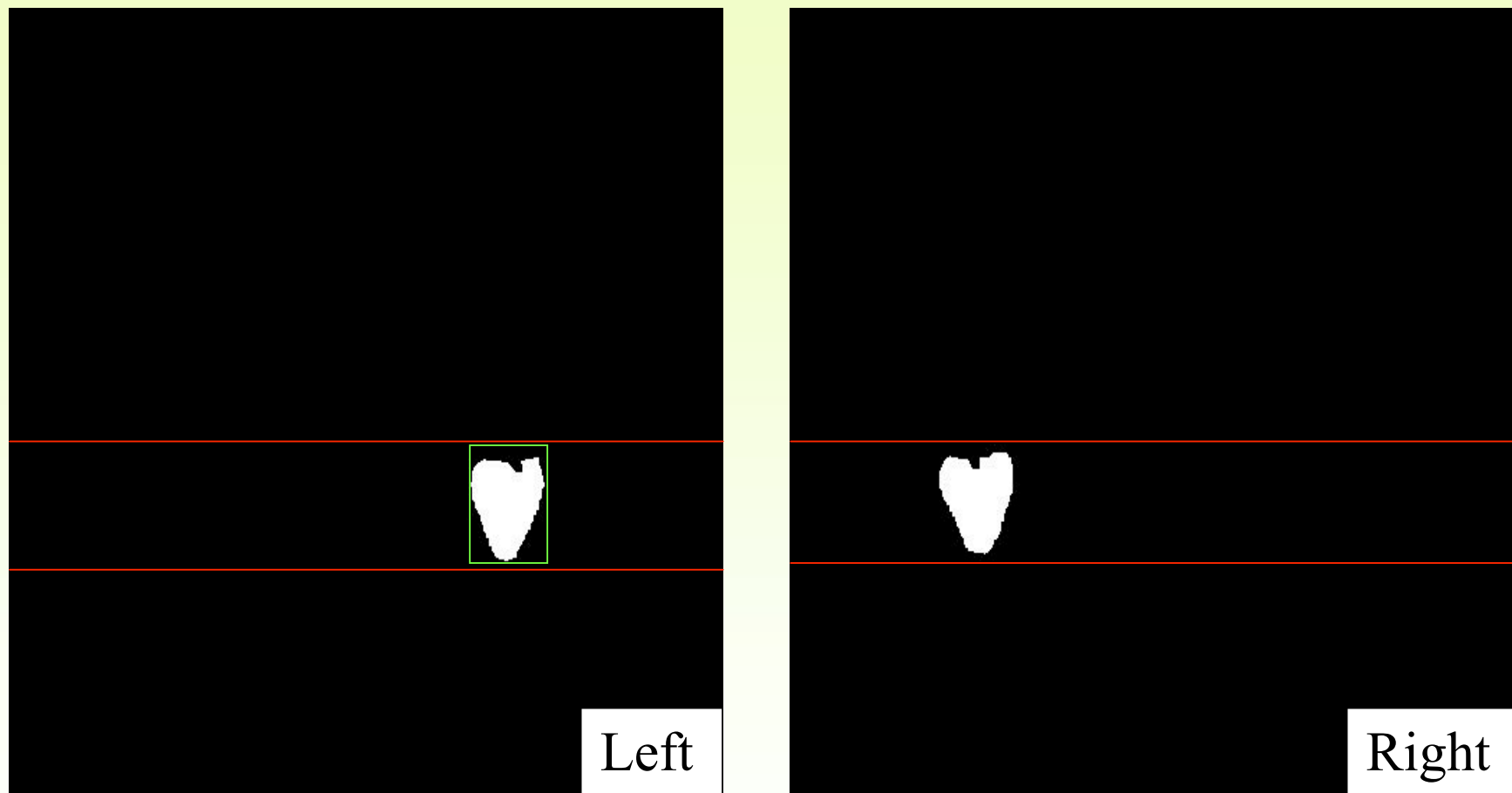
KYOTO

京都大学
UNIVERSITY

Strawberry fruit images from stereo vision

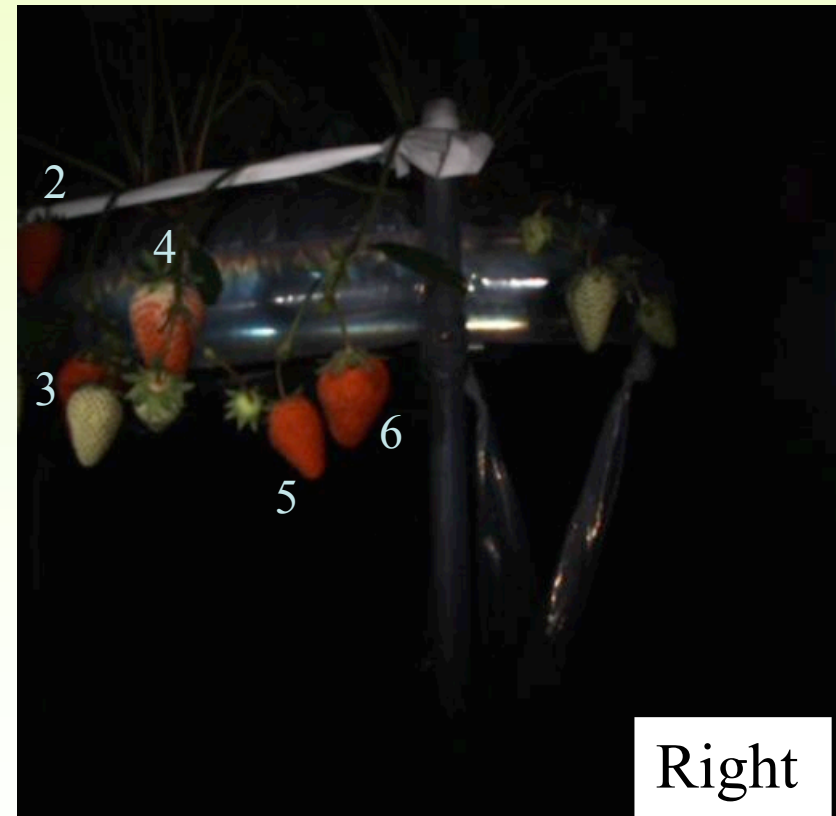
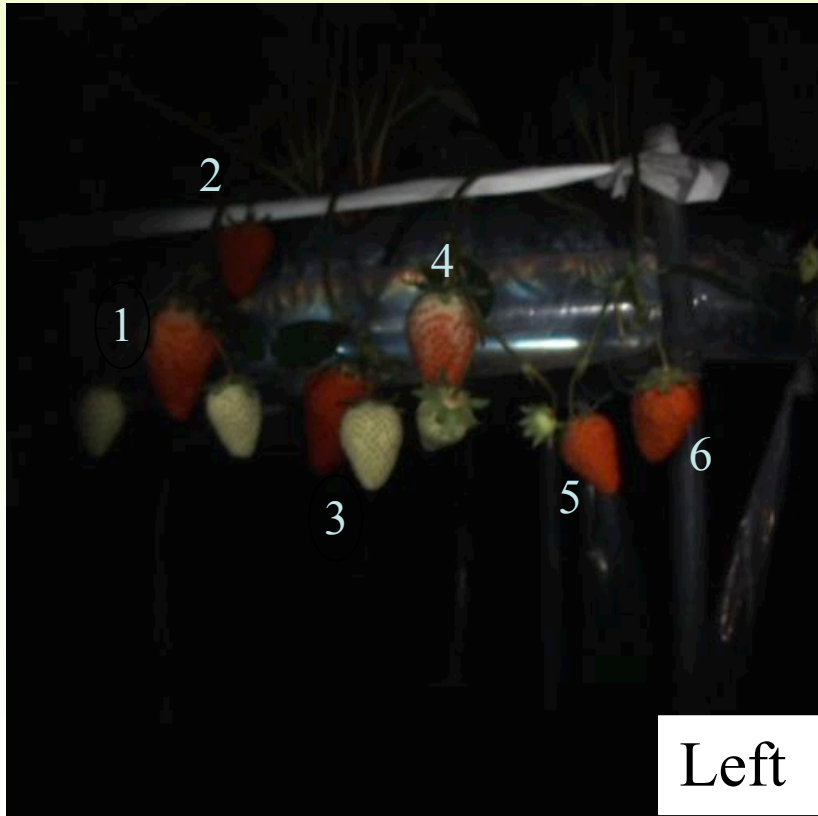


Matching on binary images

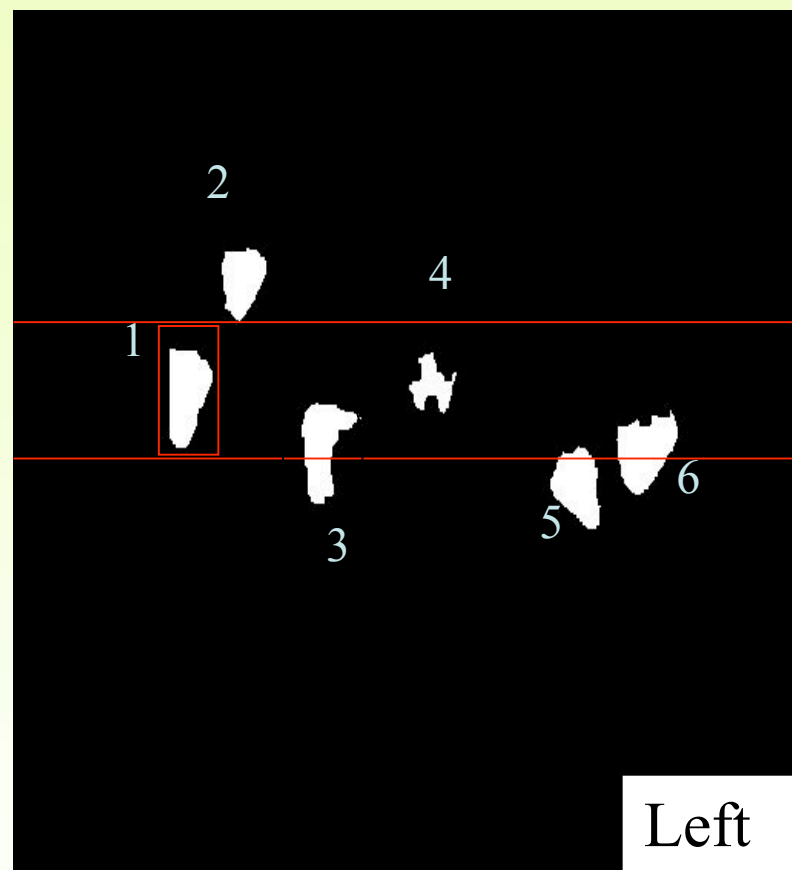


Matching criteria: Horizontal level and strawberry size should be almost equal

Cluster of Strawberry fruits



Un-Matched fruits (No.1, 3, 4)

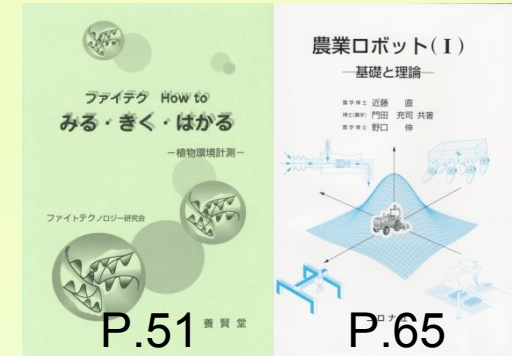
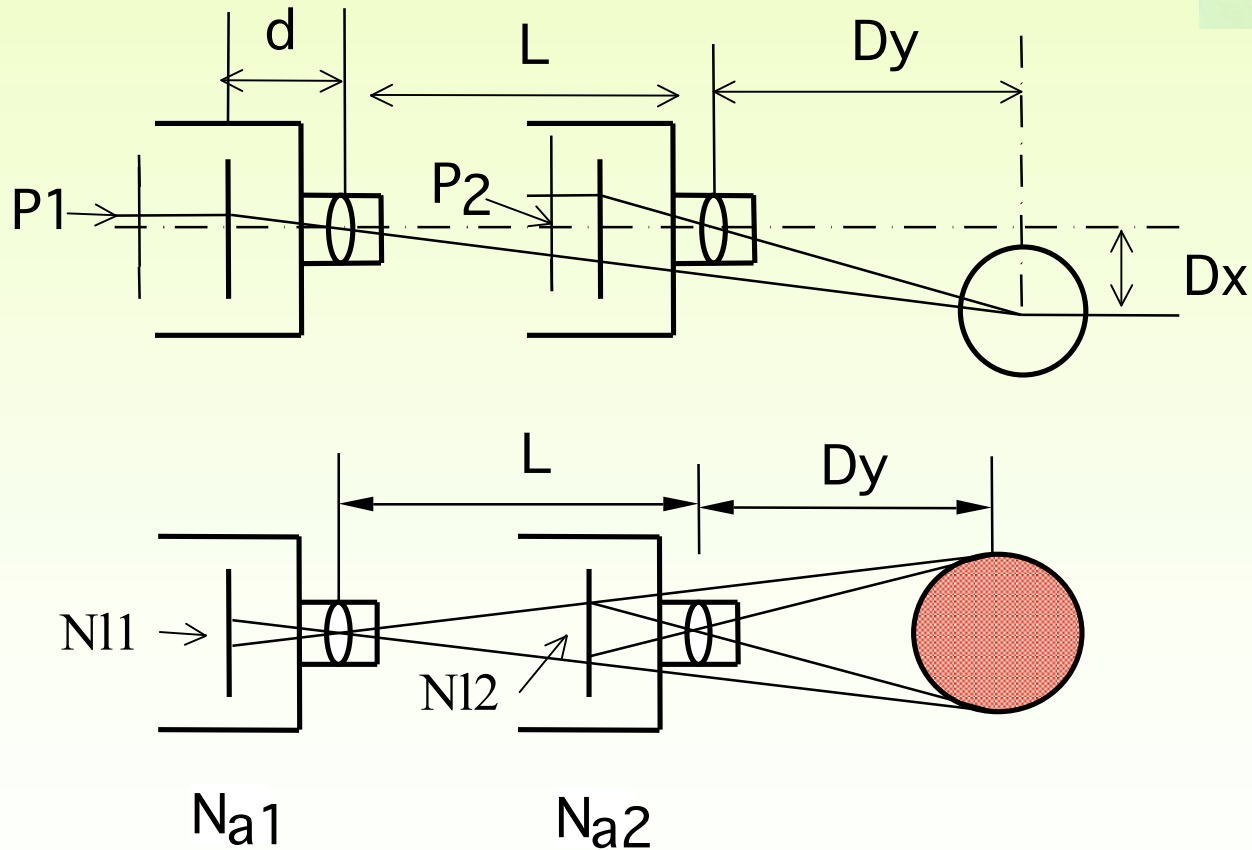


No 1: out of view in right image

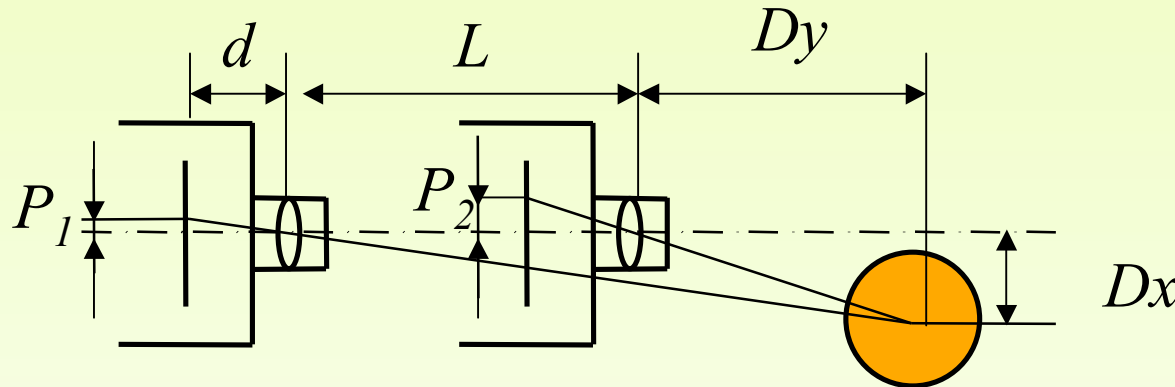
No.3: occluded on right image

No.4: different immature parts from different angle

視点の移動による方法

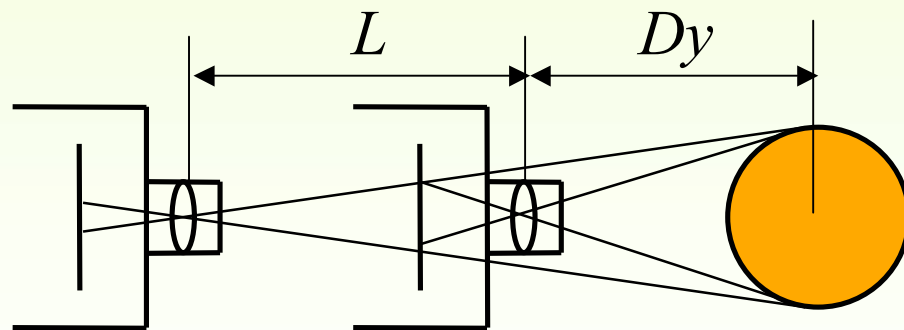


Depth measurement by use of differential object size



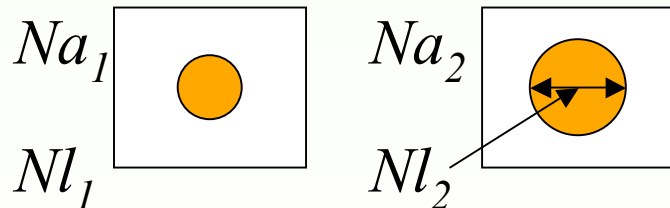
$$Dy = P_1 L / (P_2 - P_1)$$

$$Dx = P_2 Dy / d$$



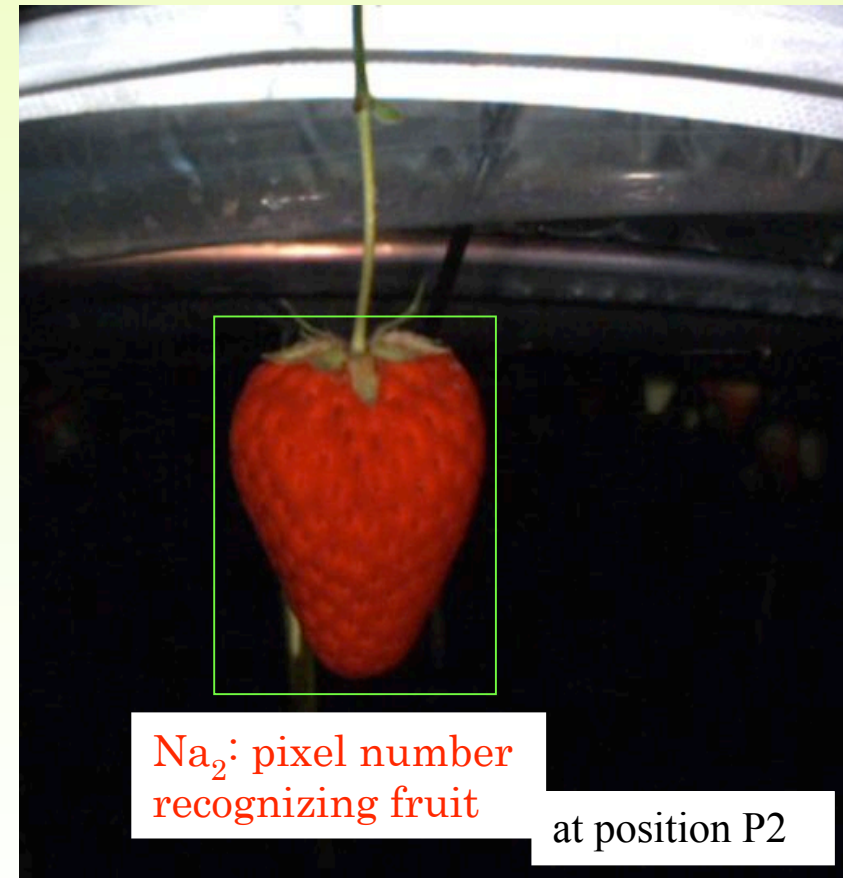
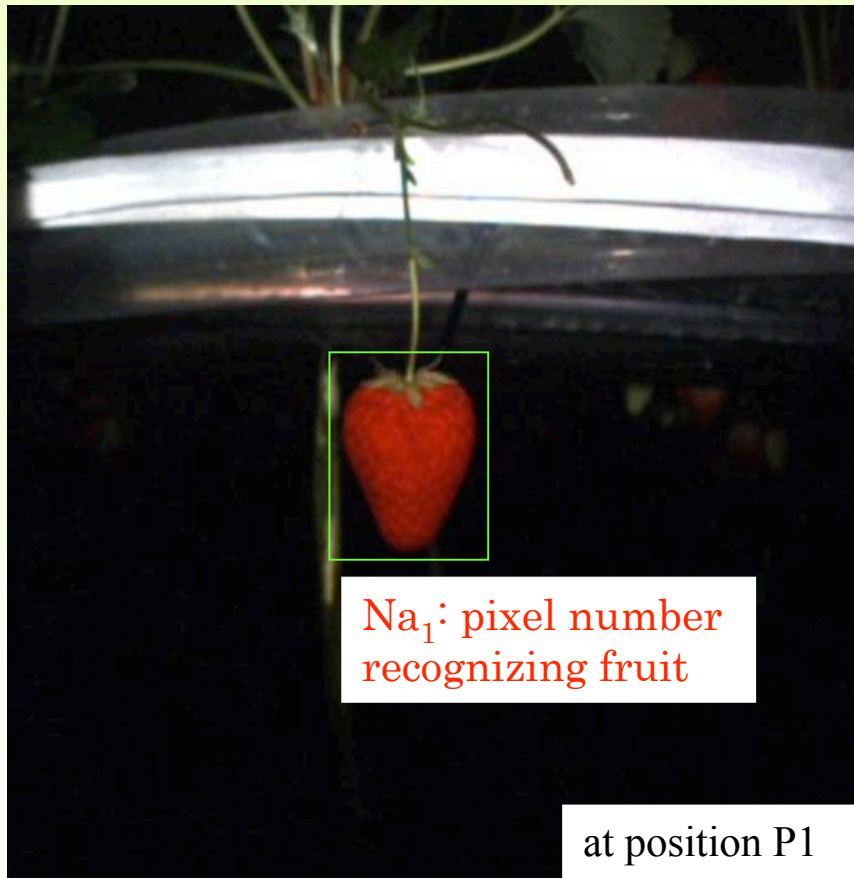
$$Dy = L \sqrt{Na_1} / (\sqrt{Na_2} - \sqrt{Na_1})$$

$$Dy = Nl_1 L / (Nl_2 - Nl_1)$$



Na_i : area of object on image
 Nl_i : length of object on image

Actual images from camera attached to manipulator end



$$Dy = L \sqrt{Na_1} / (\sqrt{Na_2} - \sqrt{Na_1})$$



KYOTO

京都大学
UNIVERSITY

Correspondence problem



Area-based stereo matching

(use of larger image regions (or areas) that contain enough information to yield unambiguous matches)

Feature-based stereo matching

(Feature extraction by color or edge detection and deal with only points that can be matched unambiguously)

Area-based stereo vision



Stereo camera

Stereo camera mounted tractor ¹⁾

1) Kise M., et al. : A Stereovision-based Crop Row Detection Method for Tractor-automated Guidance, Biosystems Engineering, 90(5) 357-367 (2005).



$$E(d') = \sum_{i=-m/2}^{i=m/2} \sum_{j=-m/2}^{j=m/2} |I_L(x+i, y+j) - I_R(x+i+d', y+j)|$$

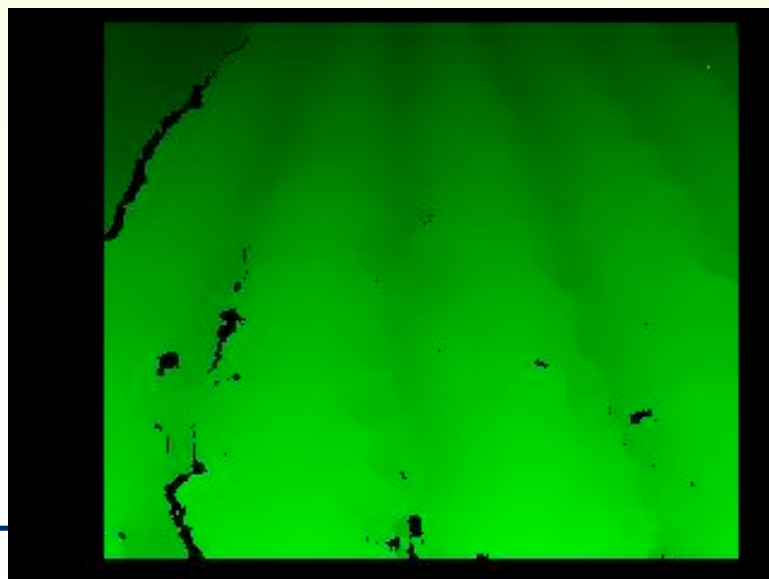


Image size: 320 X 240

Mask size m : 25 X 25

$d' = 0 \sim 32$ (setting value)

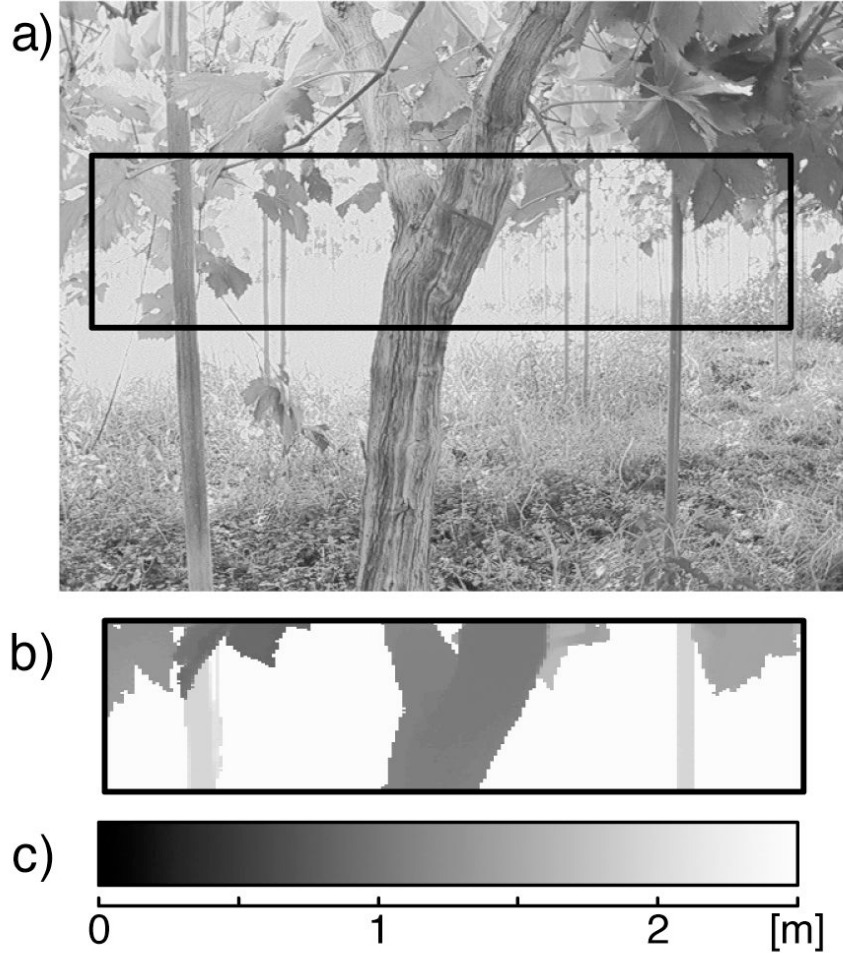
Disparity image
(darker pixel is farther)



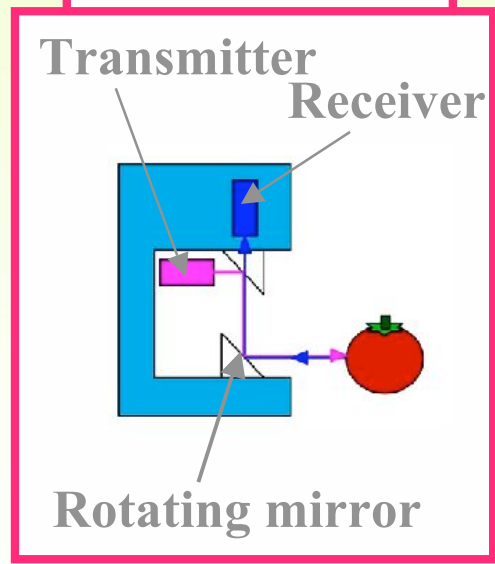
KYOTO

京都大学
UNIVERSITY

3 D image from active range finder



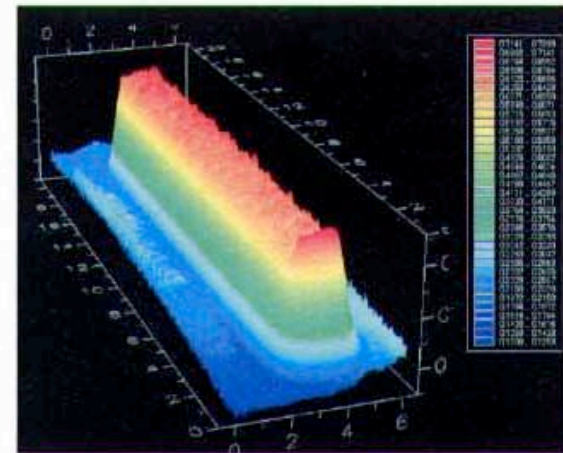
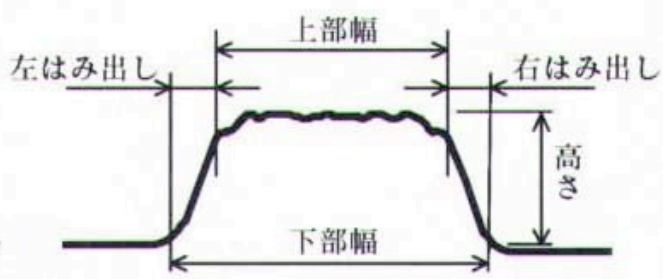
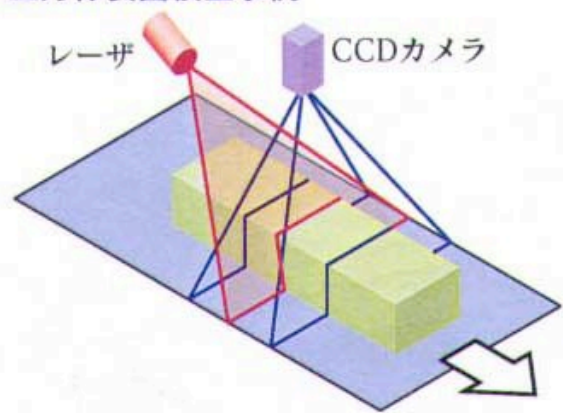
P.78



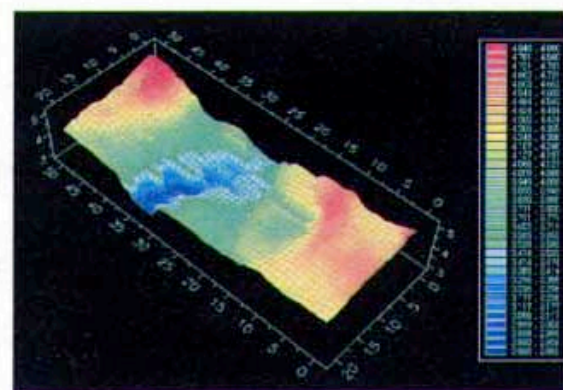
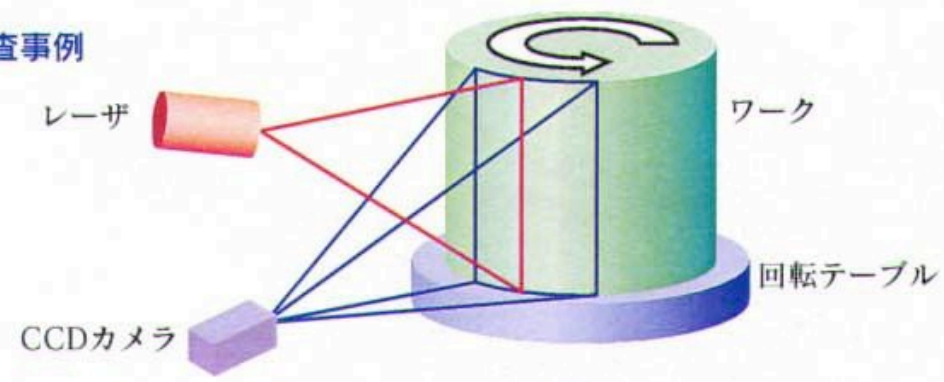
**Operating principle
(Time of flight)**

高速立体画像検査事例

立方体表面検査事例

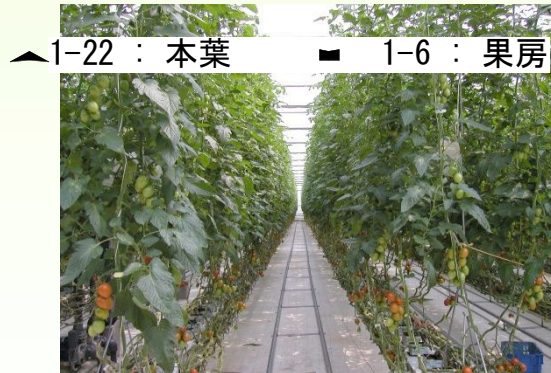
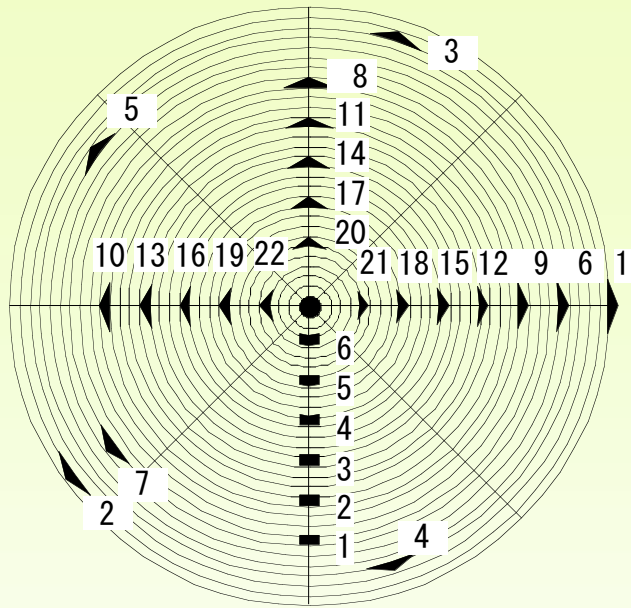


円筒体表面検査事例



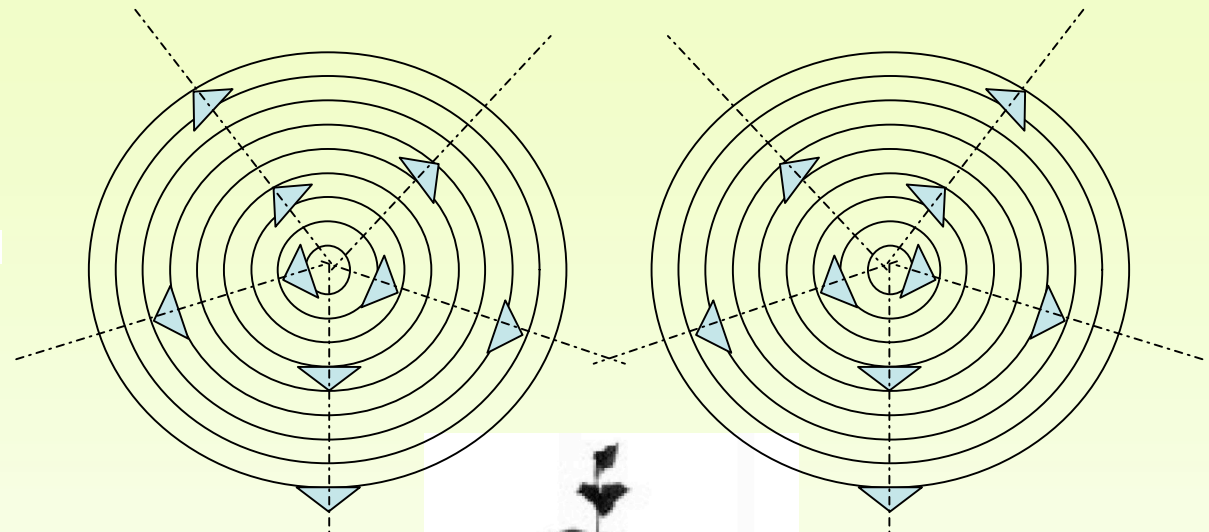
3次元形状認識装置(澁谷工業製品カタログ)

葉序の規則性 (Phyllotaxis Rules)



トマト果房出現後の出葉方向

$$O_{Ti} = \pi i / 2$$



時計回り

反時計回り



キュウリの出葉方向

$$O_{Ci} = \pm 4\pi i / 5$$

i : 本葉の番号



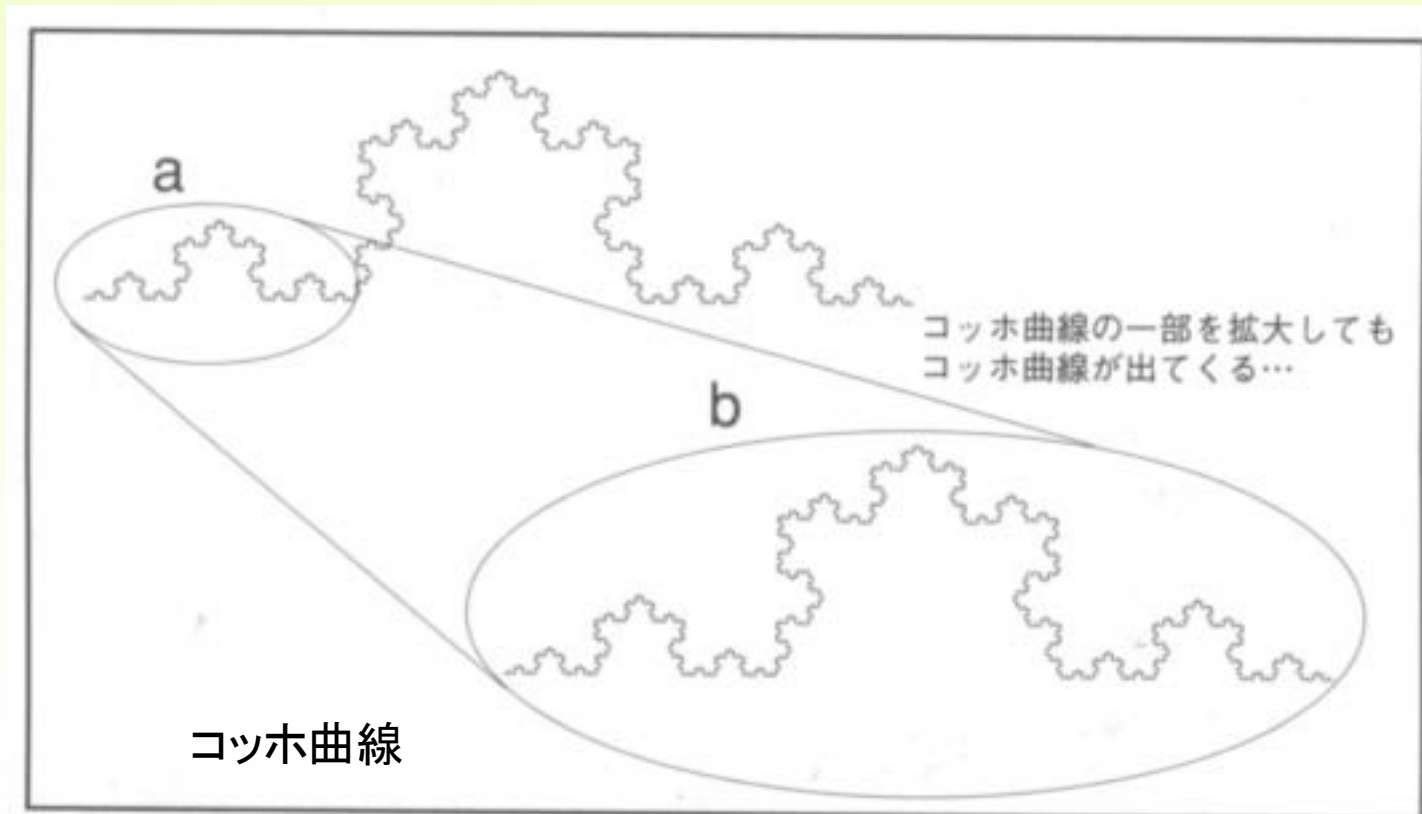
KYOTO

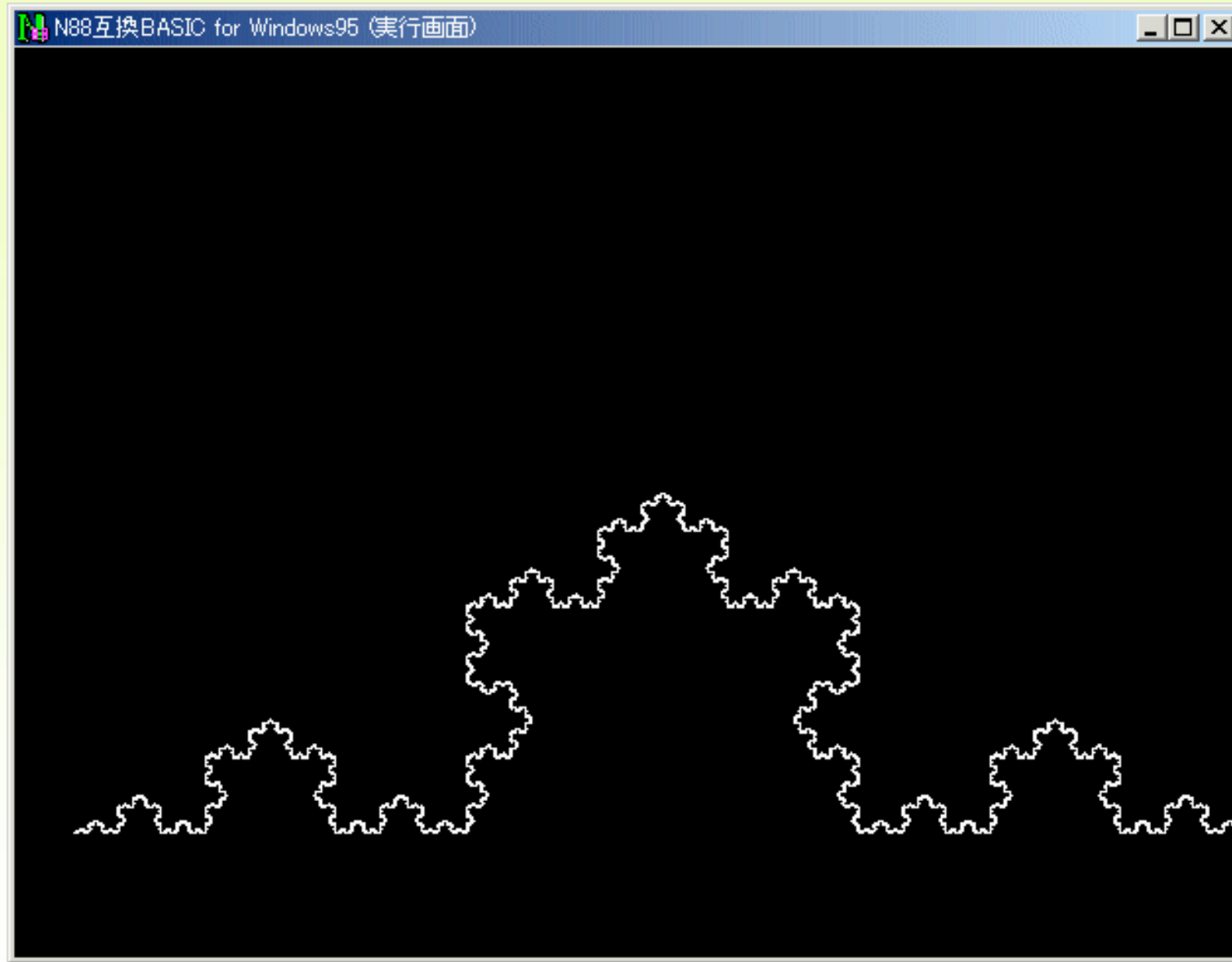
京都大学
UNIVERSITY

フラクタル

フラクタルとは

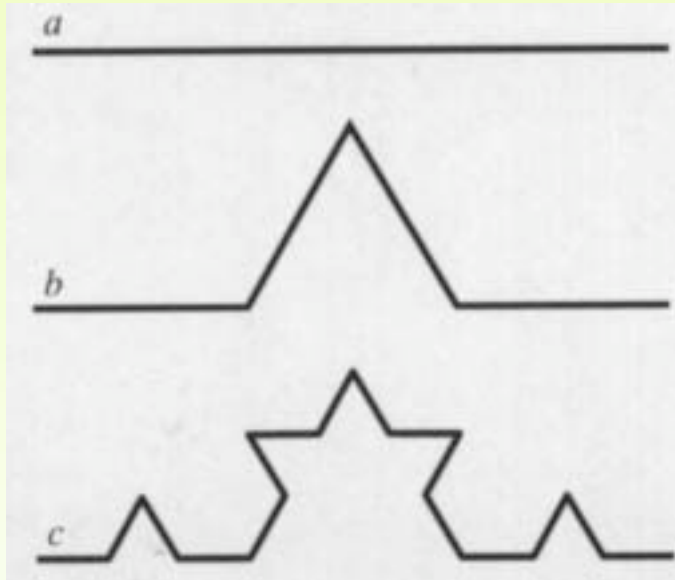
1975年マンデルブロ (Mandelbrot) が「砕けた石」という意味のラテン語から命名した、非整数次元を持った図形、構造。特徴としては自己相似性が挙げられる。





<http://www.synapse.ne.jp/~dozono/math/anime/koch.htm>

フラクタル次元とは



まず、コッホ図形の描き方は、長さ1の直線aを用意し、この直線を三等分する真ん中の直線を除去し、bのようにその部分へ1/3の長さからなる正三角形の二辺を追加する。この操作をbの四つの各辺で繰り返す（c）。

この描き方より、分割数 n に当たる数は3、元の図形に対し相似な図形は4つ。ここでフラクタル次元を D とすると、

$$D = \log_3 4 = \frac{\log_{10} 4}{\log_{10} 3} = \frac{0.602}{0.477} = 1.262$$

次元とは

一辺の長さ1の線分、正方形、立方体のそれぞれの辺を5等分したとき、1次元では 5^1 個の線分、2次元では 5^2 個の正方形、3次元では 5^3 個の立方体ができる。つまり、一辺を $1/n$ に分割すれば、線分、正方形、立方体で n^1 、 n^2 、 n^3 個の相似な図形ができる。実はこの指数こそが「次元の数字」を表している。



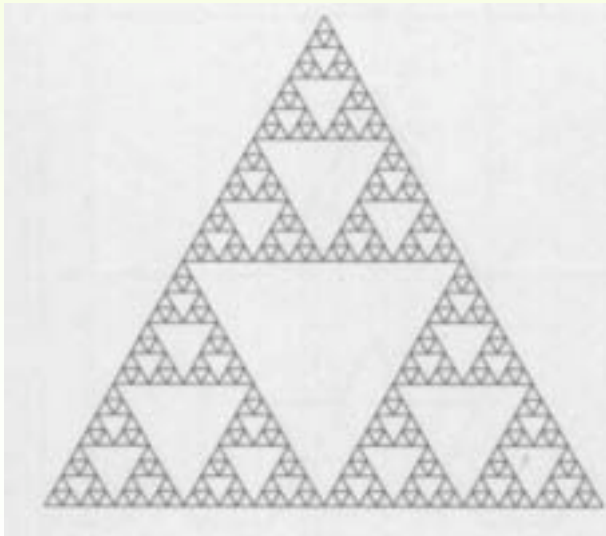
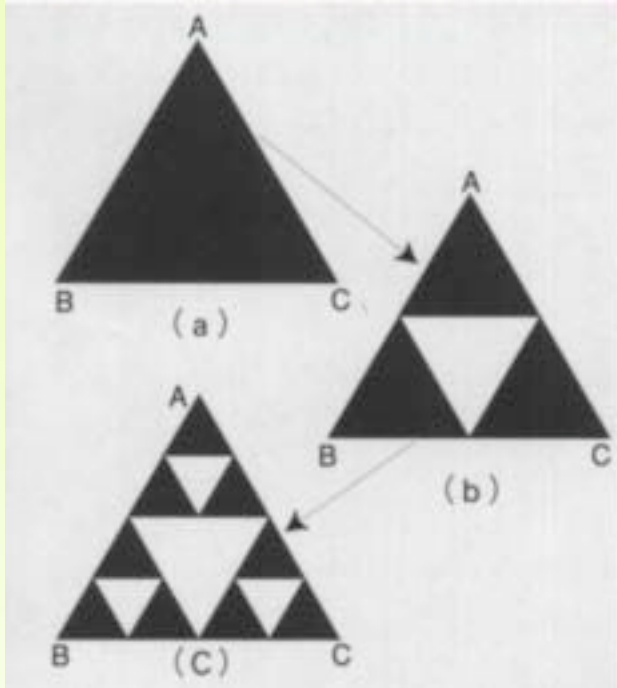
ギヤスケット

正三角形aを用意し、その真ん中から辺の長さが元の1/2になる正三角形を取り除く (b) そうすると、元の三角形の1/4の面積を持つ正三角形が3つできる。その3つの三角形に対し同じ操作をすれば、1/8の面積を持つ正三角形が9つできる (c)。

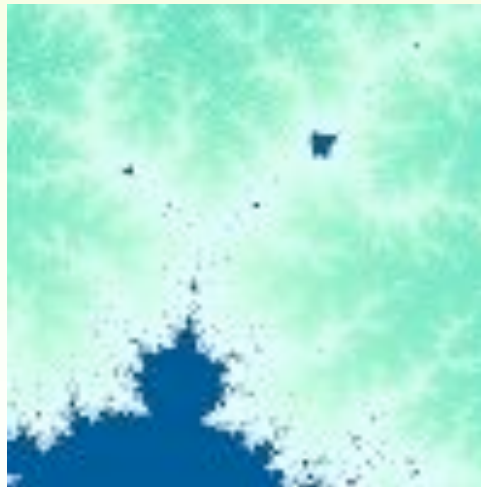
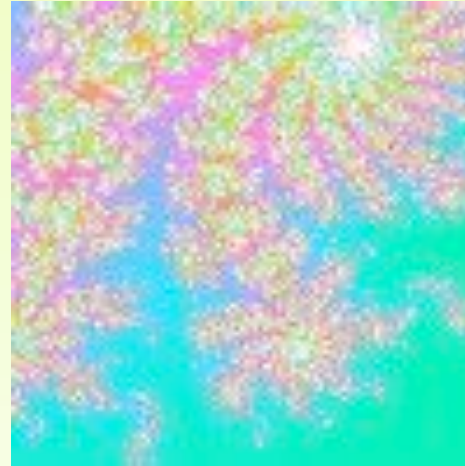
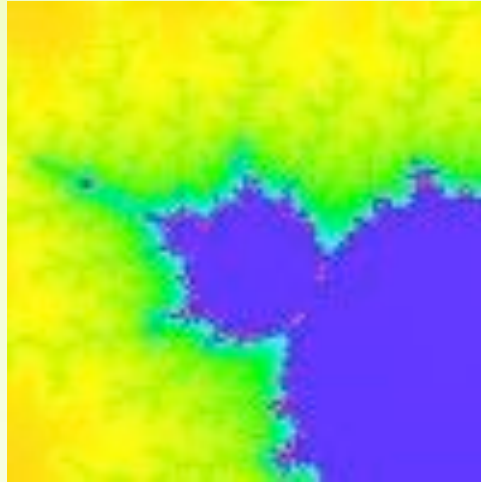
これより、分割数は2, 元の図形に対し、相似な図形は3

$$D = \log_2 3 = \frac{\log_{10} 3}{\log_{10} 2} = \frac{0.477}{0.301} = 1.585$$

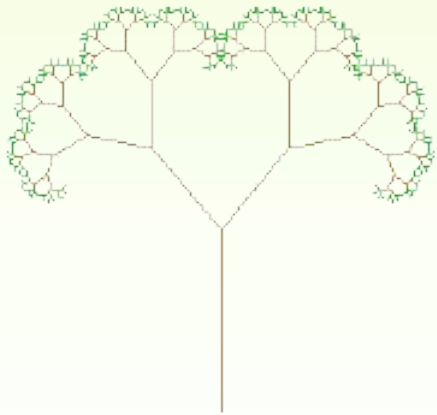
$$D = \log_n m = \frac{\log_{10} m}{\log_{10} n} = \frac{\log(\text{元の図形と相似な同じ図形の数})}{\log(\text{等分割した数})}$$



色々なフラクタル



フラクタルの例



海岸線、稲妻、雲、山、河川、植物の分枝

