

# コンピュータグラフィックス

---

第7回

モデリング技法 2

～形状表現の様々な応用～

理工学部 兼任講師  
藤堂 英樹

# レポートに関して

■複数課題を選択

■上限が25点

	レポート課題1(25点)	レポート課題2(25点)	レポート課題3(20点)
課題1	12/15		
課題2	10/15		
課題3			
課題4			
課題5			
合計	22/25		

# レポートに関して

- 複数課題を選択
- 上限が25点

	レポート課題1(25点)	レポート課題2(25点)	レポート課題3(20点)
課題1	12/15		
課題2	10/15		
課題3			
課題4	7/10		
課題5			
合計	29⇒25/25		

# レポートに関して

- 複数課題を選択
- 上限が25点

	レポート課題1(25点)	レポート課題2(25点)	レポート課題3(20点)
課題1	12/15	10/15	
課題2	10/15		8/12
課題3		8/15	6/12
課題4	7/10		
課題5			
合計	25/25	18/25	14/20

# レポートに関して

- 複数課題を選択
- 上限が25点

	レポート課題1(25点)	レポート課題2(25点)	レポート課題3(20点)
課題1	12/15	10/15	
課題2	10/15		8/12
課題3		8/15	6/12
課題4	7/10		
課題5			
合計	25/25	18/25	14/20

合計が57/70

# レポートに関して

- 複数課題を選択
- 上限が25点

	レポート課題1(25点)	レポート課題2(25点)	レポート課題3(20点)
課題1	12/15	10/15	
課題2			8/12
課題3			6/12
課題4	7/10		
課題5			
合計	25/25	18/25	14/20

出席点が24/30なら  
全体の評価は81/100

合計が57/70

# 本日の講義内容

## ■モデリング技法2

- ポリゴン曲面
- その他の形状表現法

■図3.39—細分割曲面で作られたキャラクタ 3ds maxによる制作例



(図例: デュースケリード)  
「コンピュータグラフィックス」2004年 / 財団法人画像情報教育振興協会 (CG-ARTS協会)

■図3.45—詳細度制御の例



[a] 69,451個の三角形からなるオリジナルのポリゴン曲面  
[b] およそ1,000個の三角形からなる簡単化したポリゴン曲面  
[c] およそ100個の三角形からなる簡単化したポリゴン曲面

(Michael and P. S. Heckbert, Proceedings of ACM SIGGRAPH 1997 p.215 ©1997 ACM, Inc. Reprinted by permission.)  
「コンピュータグラフィックス」2004年 / 財団法人画像情報教育振興協会 (CG-ARTS協会)

■図3.57—中点変位法による山岳形状の生成



(提供: 北陸先端科学技術大学院大学吉田研究室)  
「コンピュータグラフィックス」2004年 / 財団法人画像情報教育振興協会 (CG-ARTS協会)

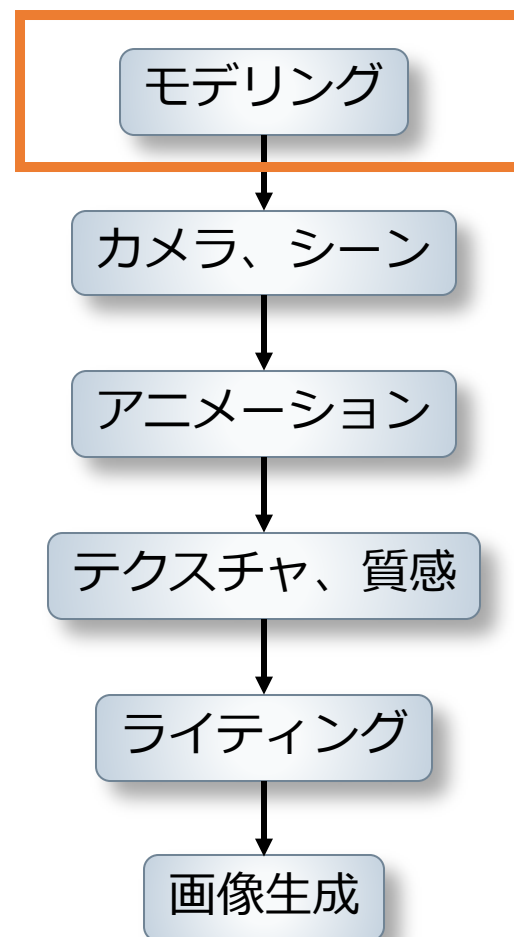
■図3.62—メタボールで表現した雲



(図例: 東京大学 豊田研究室(1992))  
「コンピュータグラフィックス」2004年 / 財団法人画像情報教育振興協会 (CG-ARTS協会)

# CG制作の主なワークフロー

## ■3DCGソフトウェアの場合





# 形状を作成するソフトウェア

## ■メタセコイア

- **頂点ベース**の編集操作
- 頂点を指定して面をはっていく
- **面の流れ**をデザインしやすい

## ■Sculptris

- **球を変形**して形状をデザイン
- 粘土をこねるように変形していく
- **複雑な変形**が可能

# ポリゴン曲面

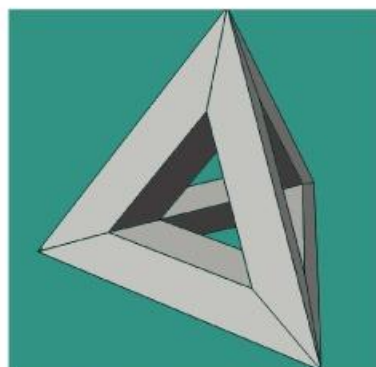
- 数式ではなく細かいポリゴンの集合として表現
  - 曲面パッチ間の連続性を考慮しなくてよい
  - 任意の多角形が使えるが、**三角形**を使うことが多い
    - 三角形は**平面**であることが保証されている
  - 多角形の形状データを**メッシュ**とよぶ
  
- データ構造・編集操作がシンプル  
⇒ 実制作での利用が進んでいる

# 細分割曲面

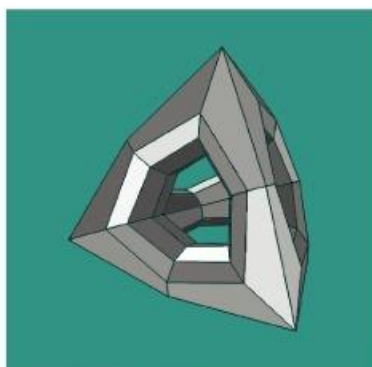
## ■ 分割を再帰的に行い滑らかな曲面にする

- NURBS曲面だと...
  - 曲面をつなぎ合わせる必要がある
- 細分割曲面
  - 初期形状から複雑な形状を簡単に作成できる

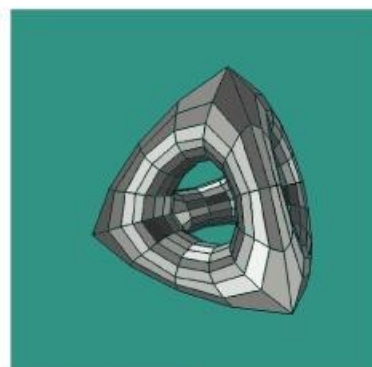
■ 図3.38——細分割曲面の生成



[a] 初期メッシュ



[b] 細分割1回後



[c] 細分割2回後



[d] 最終的にできる曲面

「コンピュータグラフィックス」2004年 / 財団法人画像情報教育振興協会 (CG-ARTS協会)

# 細分割のステップ

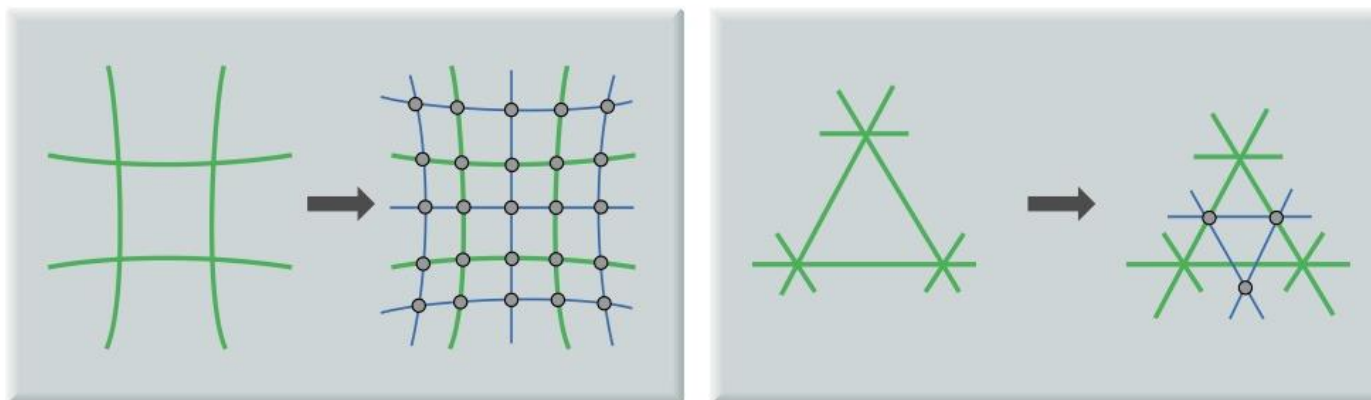
## ■ 分割ステップ

- 頂点を追加し，新しい面と辺で形状を細かくする

## ■ 平滑化ステップ

- 分割面が滑らかになるよう頂点を修正

■ 図3.40——分割ステップ



[a] 四辺形メッシュの面分割

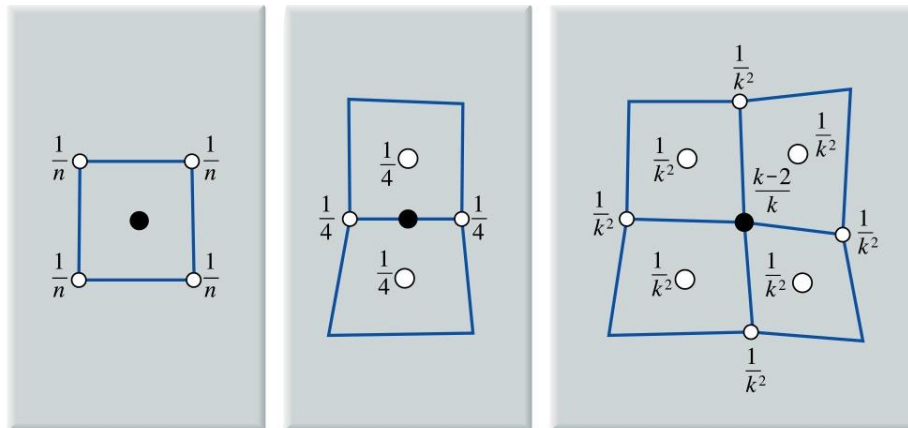
[b] 三角形メッシュの面分割

「コンピュータグラフィックス」2004年 / 財団法人画像情報教育振興協会 (CG-ARTS協会)

# Catmull-Clark細分割曲面

## ■ 四辺形を基本とした細分割手法

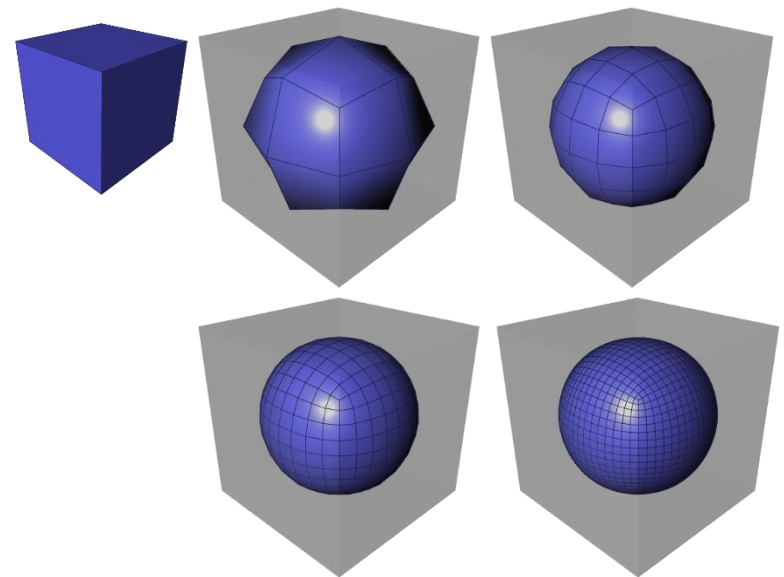
- 分割ステップ
  - 各面の中心, 各辺の中点に頂点を追加
- 平滑化ステップ
  - 周りの頂点の重み付け平均で座標を修正する



[a] 面上点のマスク ( $n$ は多角形の頂点数)

[b] 辺上点のマスク

[c] 頂点のマスク ( $k$ は頂点の価数)

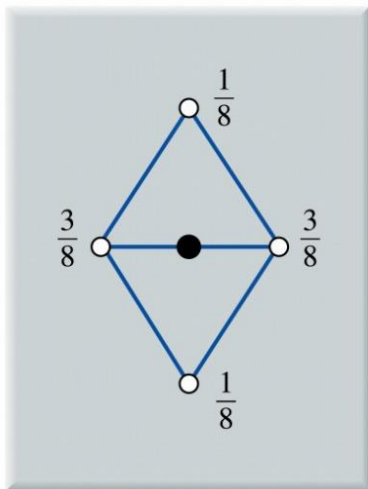


# Loop細分割曲面

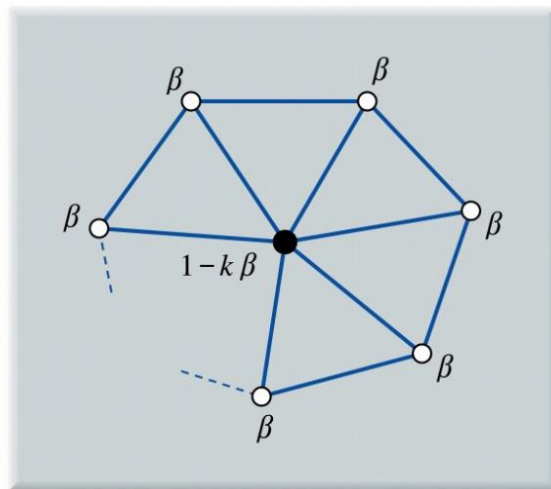
## ■ 三角形メッシュを細分割する手法

- 平滑化の重み $\beta$

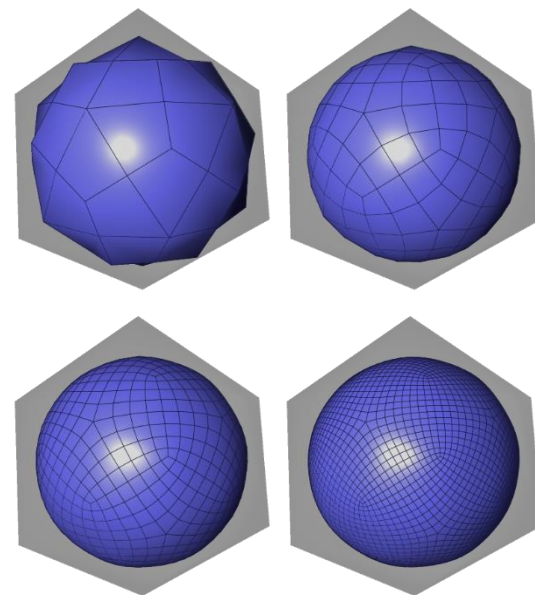
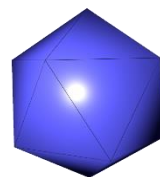
$$\bullet \beta = \begin{cases} \frac{3}{16} & k = 3 \\ \frac{1}{k} \left\{ \frac{5}{8} - \left( \frac{3}{8} + \frac{1}{4} \cos \frac{2\pi}{k} \right)^2 \right\} & k > 3 \end{cases}$$



[a] 辺上点のマスク



[b] 頂点のマスク



# 細分割曲面の最新技術

## ■ OpenSubdiv (© pixar)

- Catmul-Clark, Loopといった細分割曲面をサポート
- GPUを利用した高速な処理
- 様々な3D Softwareで利用され始めている

入力の初期メッシュ

細分割度合の制御

細分割結果

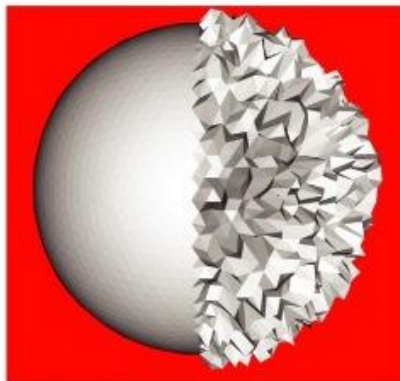
# 平滑化処理

## ■ 実物の形状をスキャン

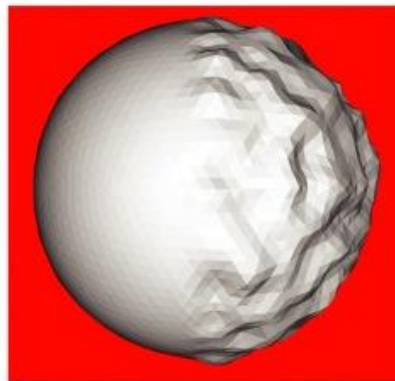
- ⇒ ノイズ(誤差)が含まれてしまう

## ■ 平滑化

- ノイズを除去する処理
- 周りの頂点との関係を見ながら滑らかにする



[a] ノイズをもったポリゴン曲面



[b] 平滑化処理 (10回)



[c] 平滑化処理 (50回)



[d] 平滑化処理 (200回)

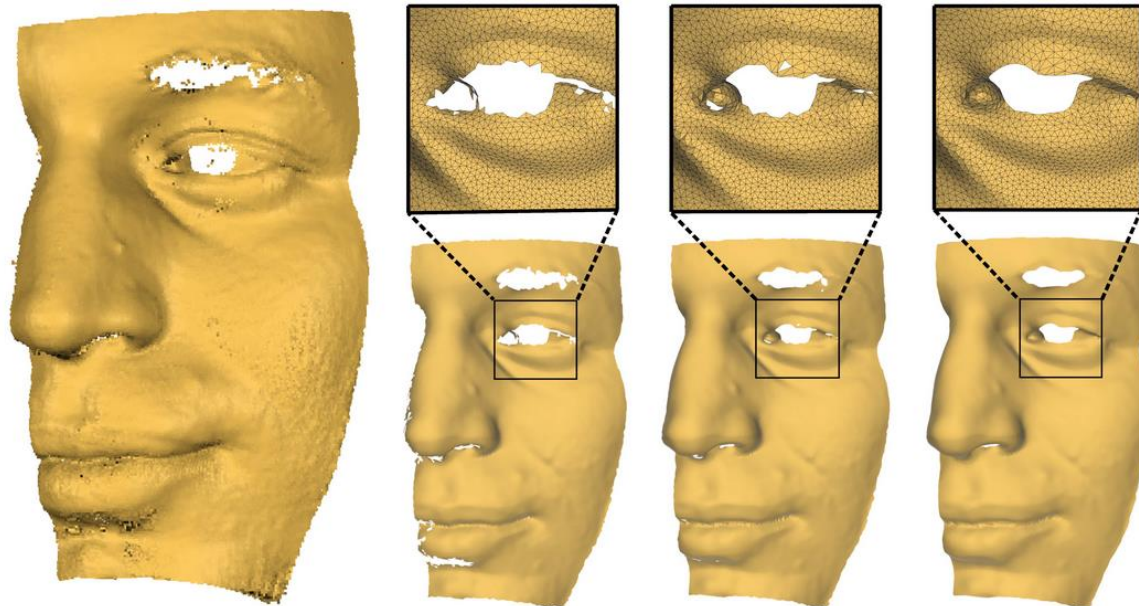
(G. Taubin, Proceedings of ACM SIGGRAPH 1995 p.353 ©1995 ACM, Inc. Reprinted by permission.)



# 平滑化処理の研究

## ■ 3Dスキャンデータの平滑化 [Xiong14]

- ノイズ付の点群データが初期入力
- 繰り返し処理で徐々に平滑化していく

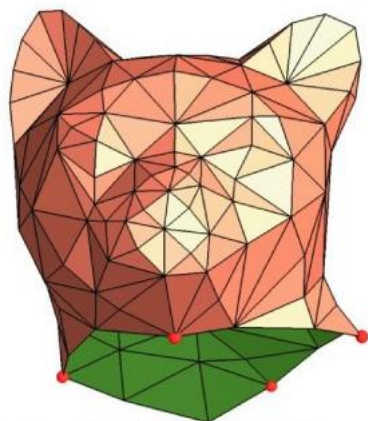


入力の初期点群データ

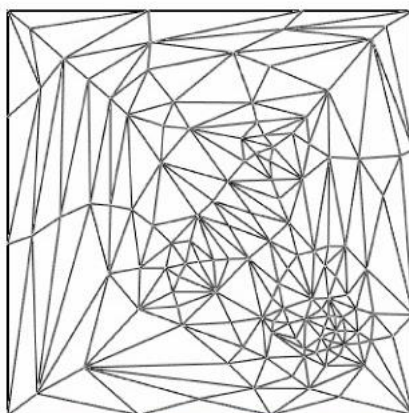
繰り返し処理で平滑化していく

# パラメータ化

- ポリゴン曲面は $u, v$ のパラメータ座標が不要
  - $\Rightarrow$  2次元画像をテクスチャで貼り付けるのが難しい
- パラメータ化
  - ポリゴン曲面を平面に埋め込む
  - 各頂点に $u, v$ のパラメータを割り当てる



[a] ポリゴン曲面による形状



[b] ポリゴン曲面を平面に埋め込む  
ことでパラメータを求める



[c] 求められたパラメータに基づく  
テクスチャマッピング

(V. Sander, J. Snyder, S. J. Gortler and H. Hoppe, Proceedings of ACM SIGGRAPH 2001 p.411 ©2001 ACM, Inc. Reprinted by permission.)

# パラメータ化の研究

## ■ Progressive Meshes [Sander01]

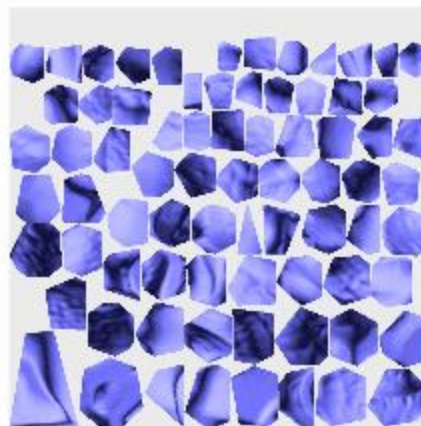
- メッシュを複数のuvパッチに分割
- uvパッチを基にメッシュを簡略化
- 簡略化したメッシュに詳細メッシュの画像を貼り付け



元メッシュ上で  
計算された  
uvパッチ



簡略化した  
メッシュ



各uvパッチを  
一枚に展開した画像



簡略化したメッシュに  
テクスチャを  
貼り付けた結果

# パラメータ化の研究

- 歪みの少ないパラメータ転送 [Aigerman14]
  - 転送元モデル予めパラメータ座標をデザイン
  - ランドマークによる対応付け
  - 歪みの少ないパラメータ転送



デザイン済みの  
uvパラメータ



ランドマークによる  
対応付け

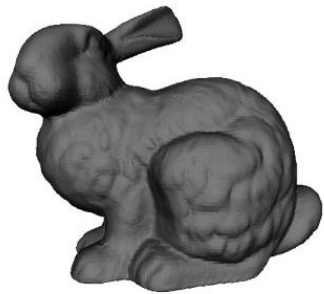


パラメータの  
転送結果



# 詳細度制御

- ポリゴン曲面には**膨大なデータ**が必要
- 簡略化(簡単化)
  - ポリゴンの数を削減する処理
- 詳細度制御
  - 見た目に影響を与えずに形状の詳細度を調節



[a] 69,451個の三角形からなるオリジナルのポリゴン曲面

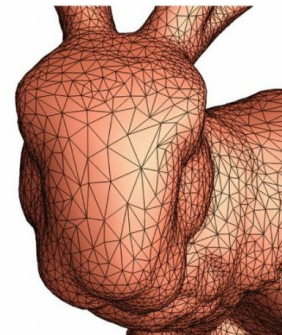


[b] およそ1,000個の三角形からなる簡略化したポリゴン曲面

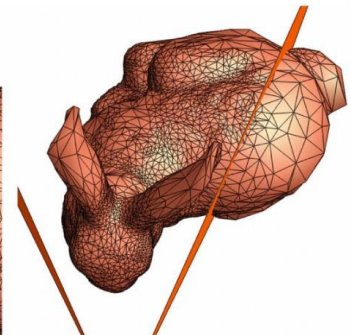


[c] およそ100個の三角形からなる簡略化したポリゴン曲面

ポリゴンの簡略化



[a] 与えられた視点から見たポリゴン曲面



[b] その視点に依存した詳細度制御曲面

視点に応じた  
詳細度制御

# 詳細度制御の実用

## ■Unity Engineでの詳細度制御

- カメラ距離に応じたポリゴンデータの切り替え

Unity LODのセットアップ

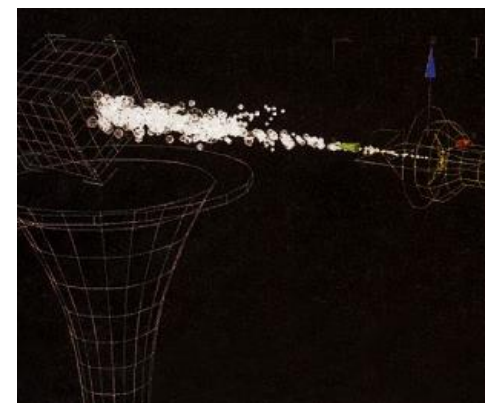
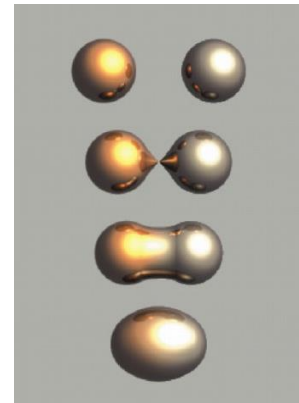
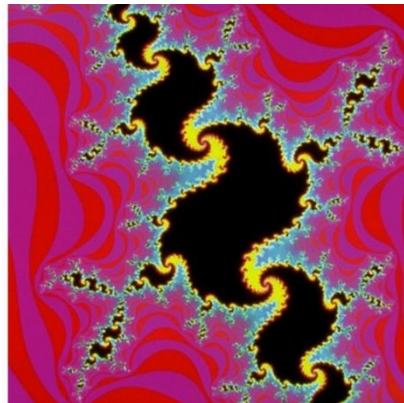
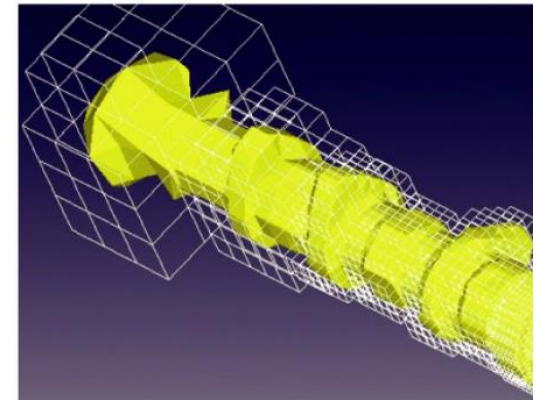
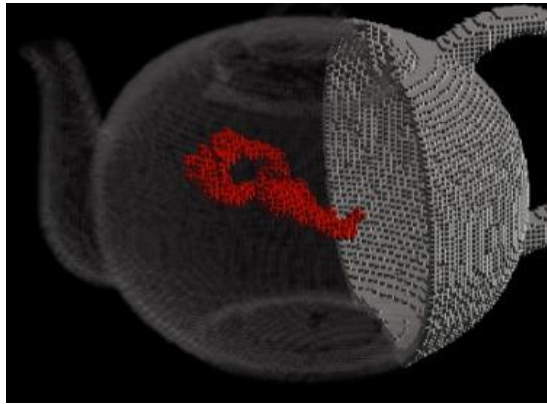
© James Arndt

3段階の詳細度の  
ポリゴンデータ

カメラ距離に応じた  
詳細度制御

# その他の形状表現方法

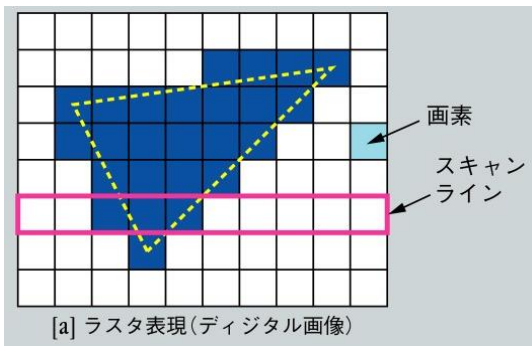
- ボクセル
- 8分木
- フラクタル
- メタボール
- パーティクル



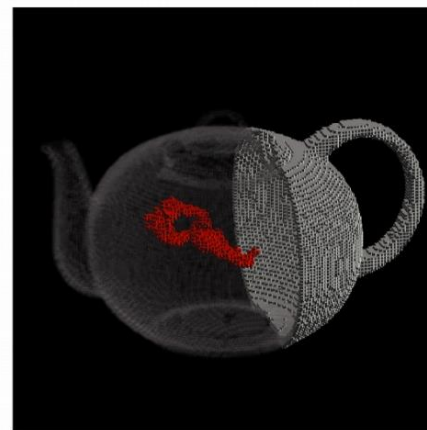
# ボクセル

## ■ 3次元格子点上の小立方体の集合

- **ボクセル**: 3次元の小立方体
- 集合演算が容易
- **ボリュームデータ**: 透過率で物体の内部構造を表現
- CTやMRIでの利用
- **雲, 煙**の表現



2次元格子で表現した  
ラスタ画像



(データ: <http://www.volvis.org>, 画像制作: お茶の水女子大学 藤代研究室 竹島由里子)

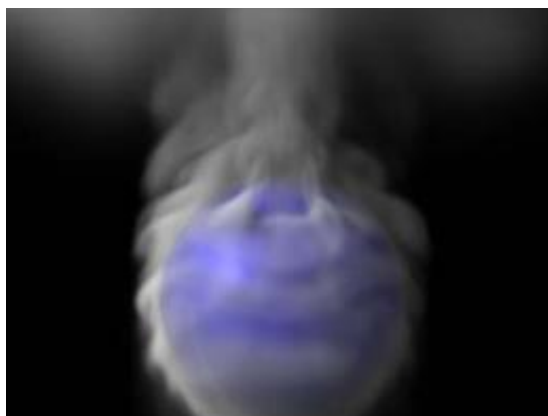
3次元格子で表現した  
ボクセルデータ



# ボクセルを利用したCG表現

## ■ 自然現象

煙の表現[Losasso04]

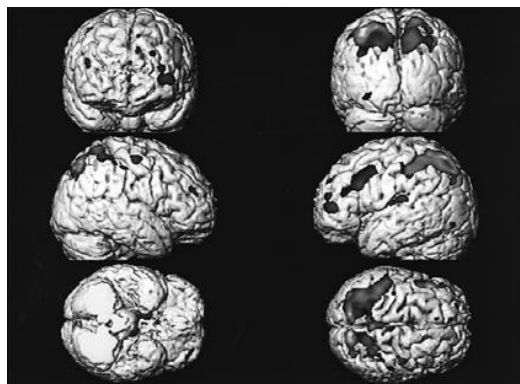


雲の表現[Dobashi10]

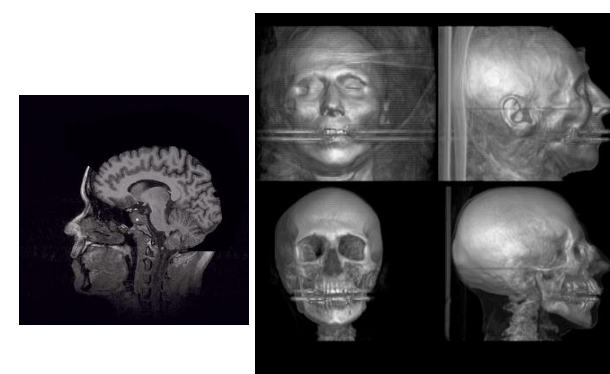


## ■ 医療データ

脳のMRI[Teipel04]



CT画像の可視化 (©Stanford)



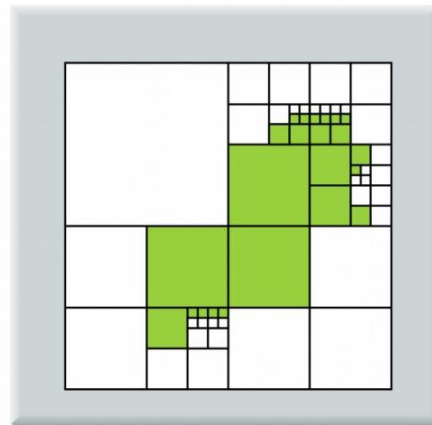
# 8分木

## ■ 階層的な領域分割によりボクセルデータを圧縮

- **4分木**: 2次元画像の圧縮
  - $xy$ 方向の4分割による階層化
- **8分木**: 4分木のボクセルデータ版
  - $xyz$ 方向の8分割による階層化

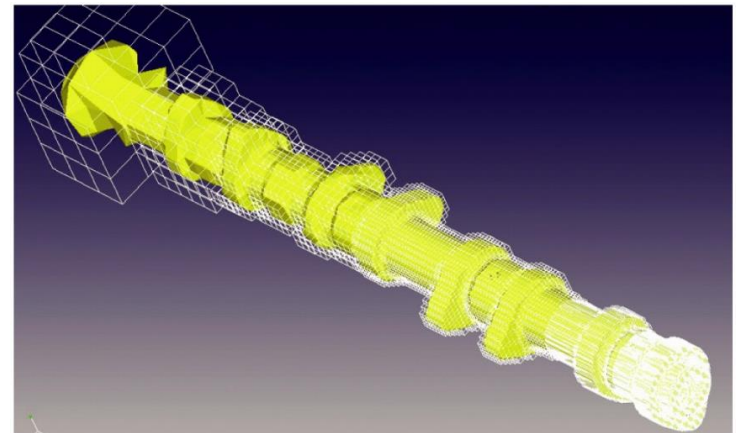


[a] 2次元図形の例



[b] 四分木による表現 (領域分割5段階までの例)

4分木による  
2次元画像の圧縮



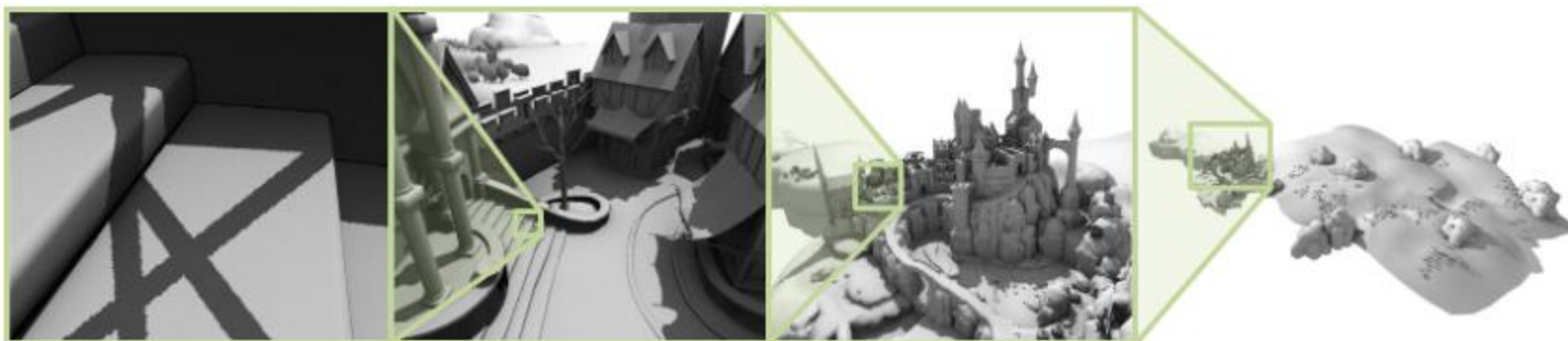
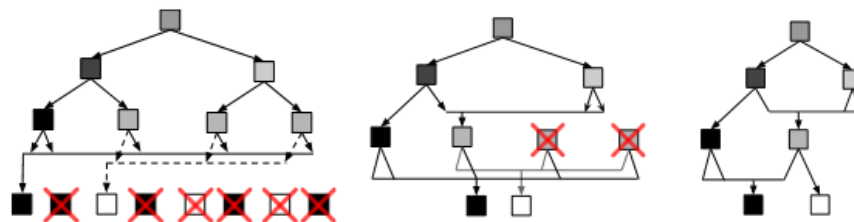
(入力CADデータ: ©独立行政法人産業技術総合研究所のつくり先端技術センター、  
八分木化: ©独立行政法人理化学研究所のつくり情報技術統合化研究プログラムによるボリュームCAD)

8分木による  
CADボクセルデータの圧縮

# ボクセルデータの圧縮技術

## ■影データの階層的な圧縮 [Kämpe13]

- 枝刈りによる8分木の更なる圧縮
- 190億個の膨大なボクセルデータ
  - 8分木: 5.1GB
  - 提案手法: 945MB



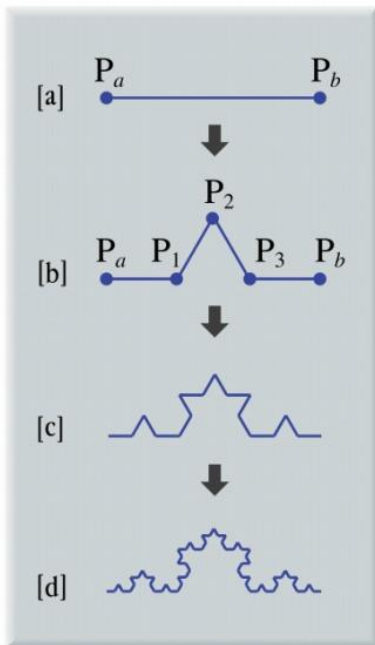
影データの階層的な圧縮

# フラクタル

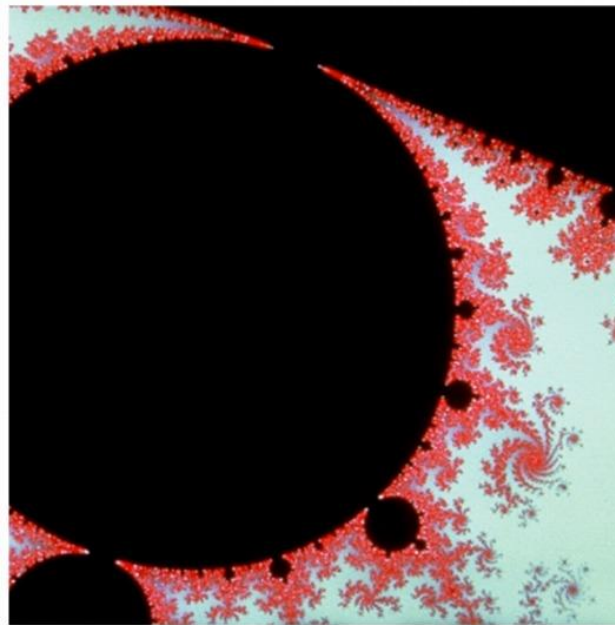
## ■ 自己相似性による図形の表現

- **自己相似性**: 縮尺を変えても全体と部分が相似

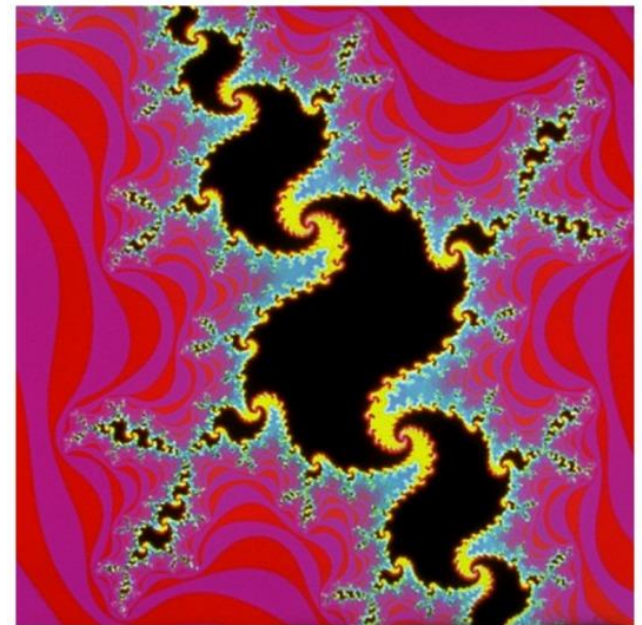
■ 図3.51——コッホ曲線の生成



■ 図3.52——マンデルブロ集合



■ 図3.53——ジュリア集合

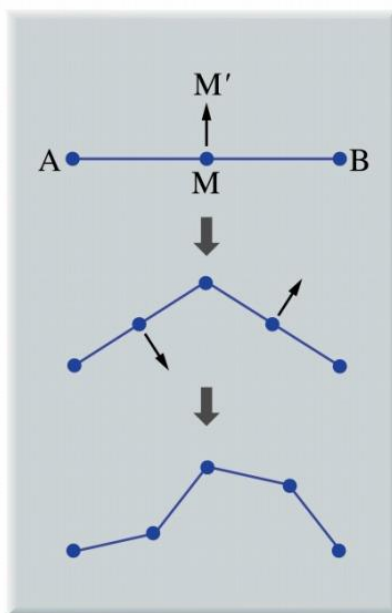


# フラクタルの応用

## ■自然物の表現

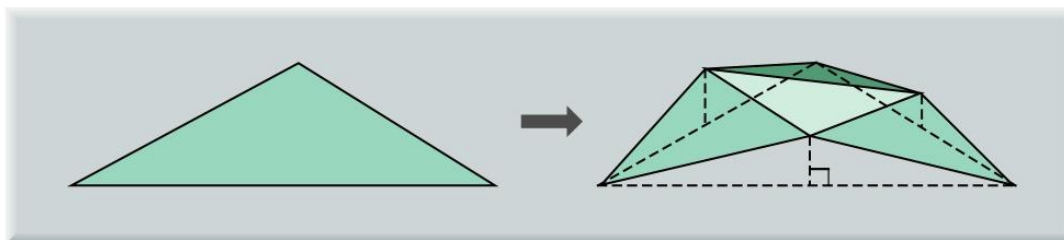
- 山岳形状, 樹木

■図3.55——中点変位法



「コンピュータグラフィックス」2004年 / 財団法人画像情報教育振興協会 (CG-ARTS協会)

■図3.56——三角形の再帰的分割



「コンピュータグラフィックス」2004年 / 財団法人画像情報教育振興協会 (CG-ARTS協会)

■図3.57——中点変位法による山岳形状の生成



(提供: 北陸先端科学技術大学院大学宮田研究室)

「コンピュータグラフィックス」2004年 / 財団法人画像情報教育振興協会 (CG-ARTS協会)

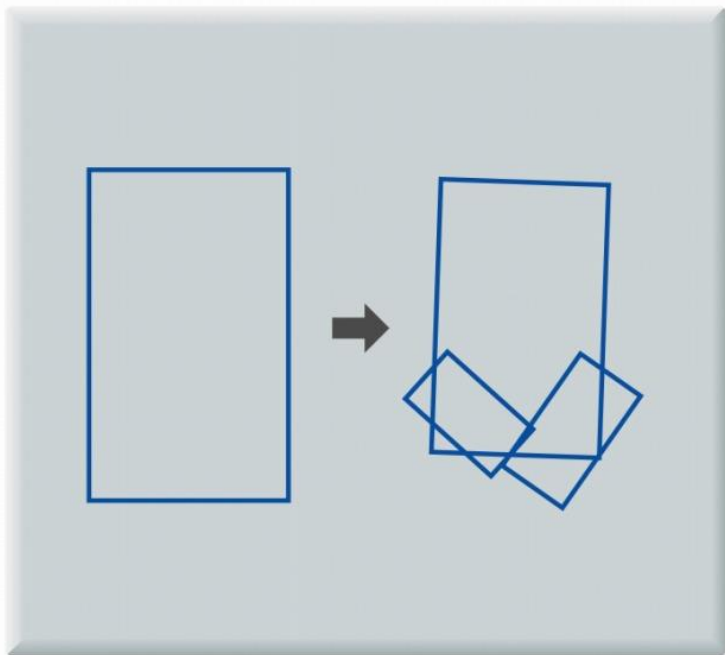


# フラクタルの応用

## ■ 自然物の表現

- 山岳形状, 樹木

■ 図3.58——縮小変換



「コンピュータグラフィックス」2004年 / 財団法人画像情報教育振興協会 (CG-ARTS協会)

■ 図3.59——IFS生成図形

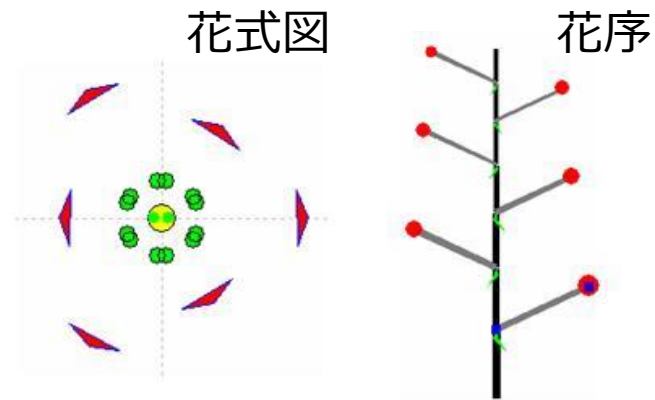


「コンピュータグラフィックス」2004年 / 財団法人画像情報教育振興協会 (CG-ARTS協会)

# フラクタル応用

## ■ 花序図・花序によるモデリング [Ijiri05]

- 花序図
  - 花のパーツのレイアウトをデザイン
- 花序 (フラクタル)
  - 枝の分岐構造をデザイン

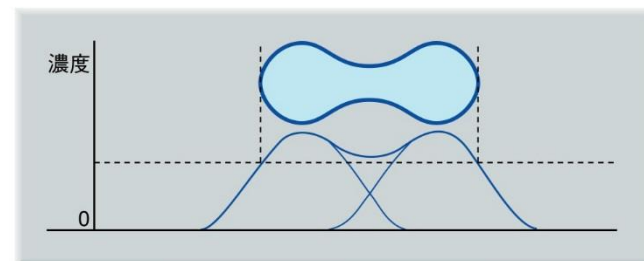


# メタボール

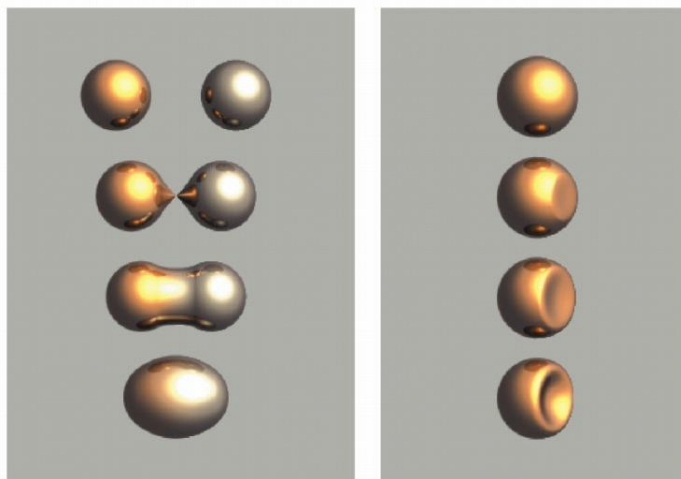
## ■ 濃度分布を持つ球の集合によって形状を表現

- 濃度分布の種類:
  - 正規分布の分布関数
  - 有限の区分的な分布関数

■ 図3.60—メタボールの濃度



■ 図3.61—メタボールによる形状生成の例



[a] メタボールの融合

[b] 負のメタボールによる変形

■ 図3.62—メタボールで表現した雲



(提供：東京大学 西田研究室,1996)



# パーティクル

## ■ 微粒子(パーティクル)の集まりとして形状を表現

- 属性: 位置, 色
- 変化: 生成, 移動, 消滅
- 火の粉による炎, 水滴による雲

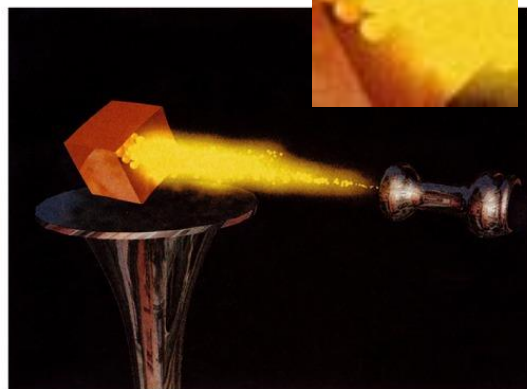


■ 図3.64——パーティクルによる雲の表現

■ 図3.63——噴出火炎の表現



[a] パーティクルの動き



[b] レンダリング例

(提供: Discreet®)



(提供: 岩手大学 千葉研究室)

# 実制作においての手法の分類

雲: ボクセル

© Side Effects Software Inc.

炎: ボクセル

© Shan Duan

煙: ボクセル

© Vladimir Abramov

水: パーティクル

© Moritz Hausler c

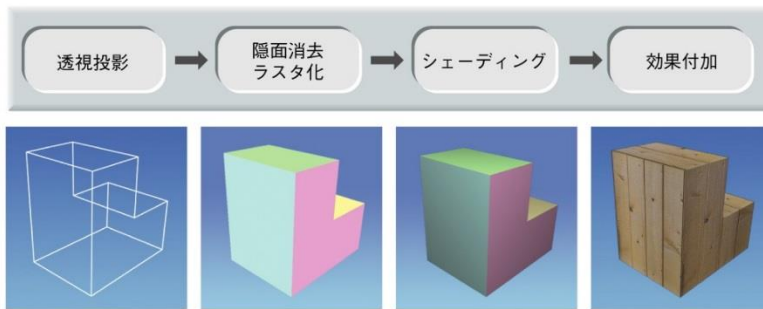
光の玉: パーティクル

© Paulizio

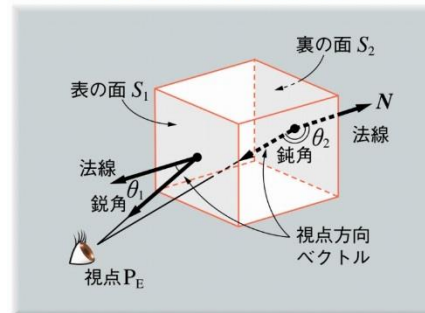
# 次回

## ■ レンダリング技法 1 ～基礎と概要，陰面消去～

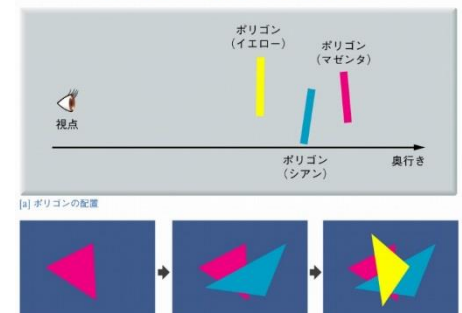
■ 図4.2—レンダリングを構成する処理過程



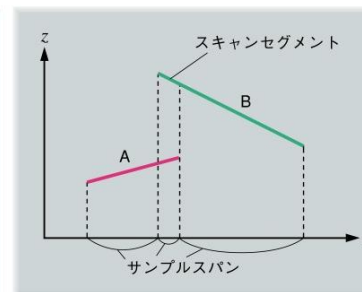
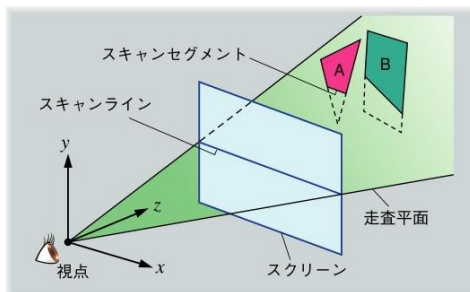
■ 図4.3—バックフェースカリング



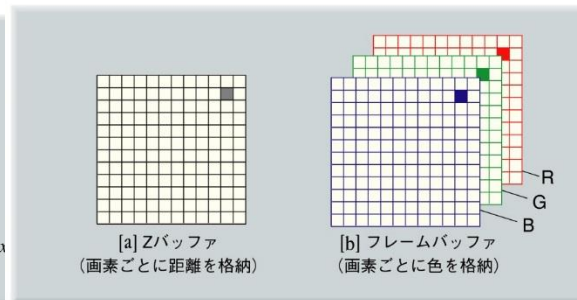
■ 図4.6—奥行きソート法の描画過程



■ 図4.10—スキャンラインアルゴリズム



■ 図4.14—Zバッファとフレームバッファ



■ 図4.16—レイトレーシング法

