

コンピュータグラフィクス論

－画像処理(2)－

2021年7月8日

高山 健志

テクスチャ合成による画像処理

シナリオ 1：画像内物体の消去

元画像



マスク

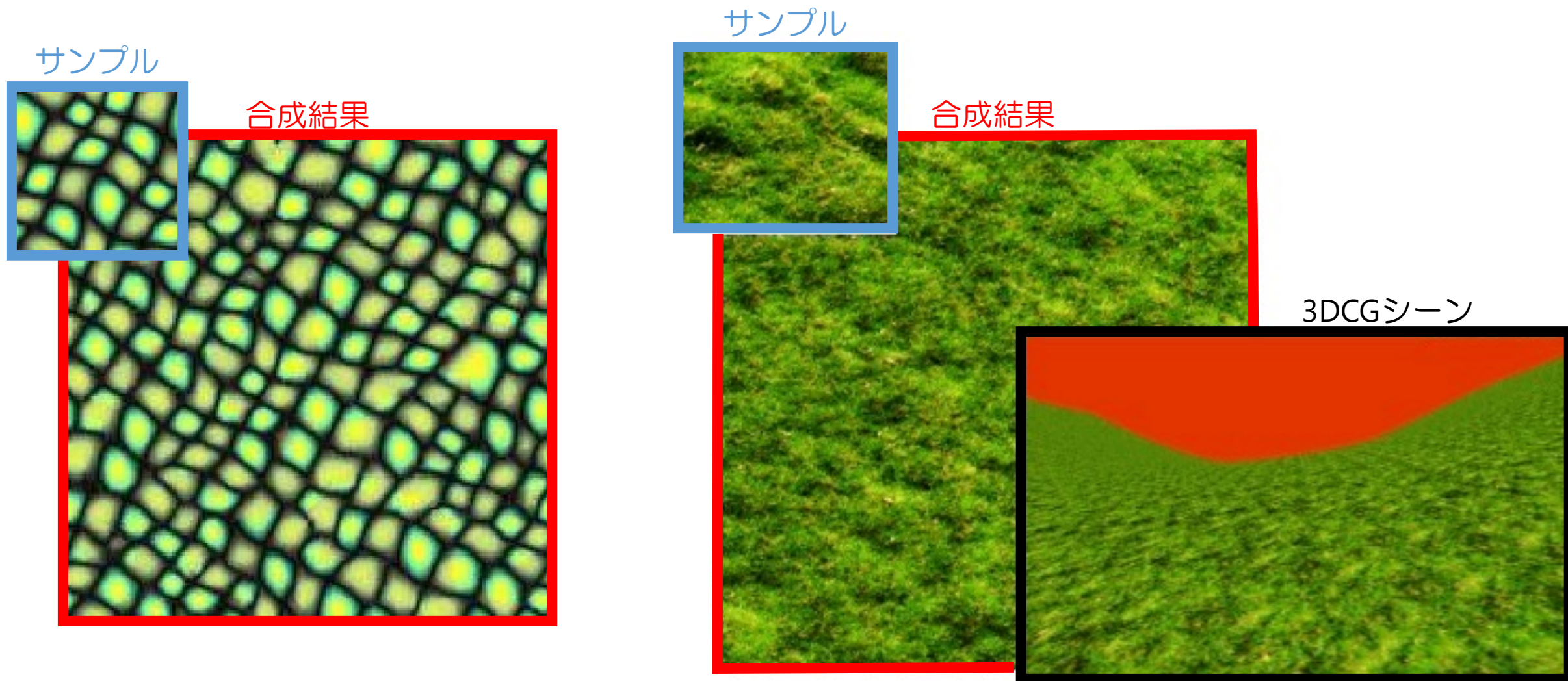


合成結果



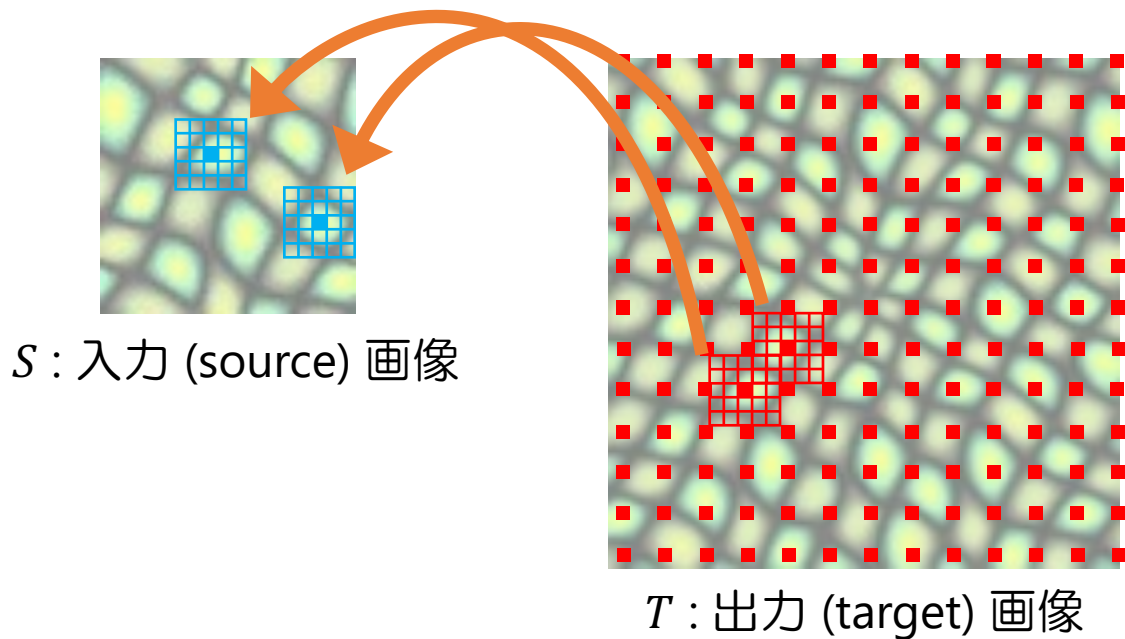
- Image Cloning とは少し違う問題

シナリオ 2：大きなテクスチャ画像の合成



入力画像と出力画像の類似度 [Kwatra05]

最も似ているパッチを探す



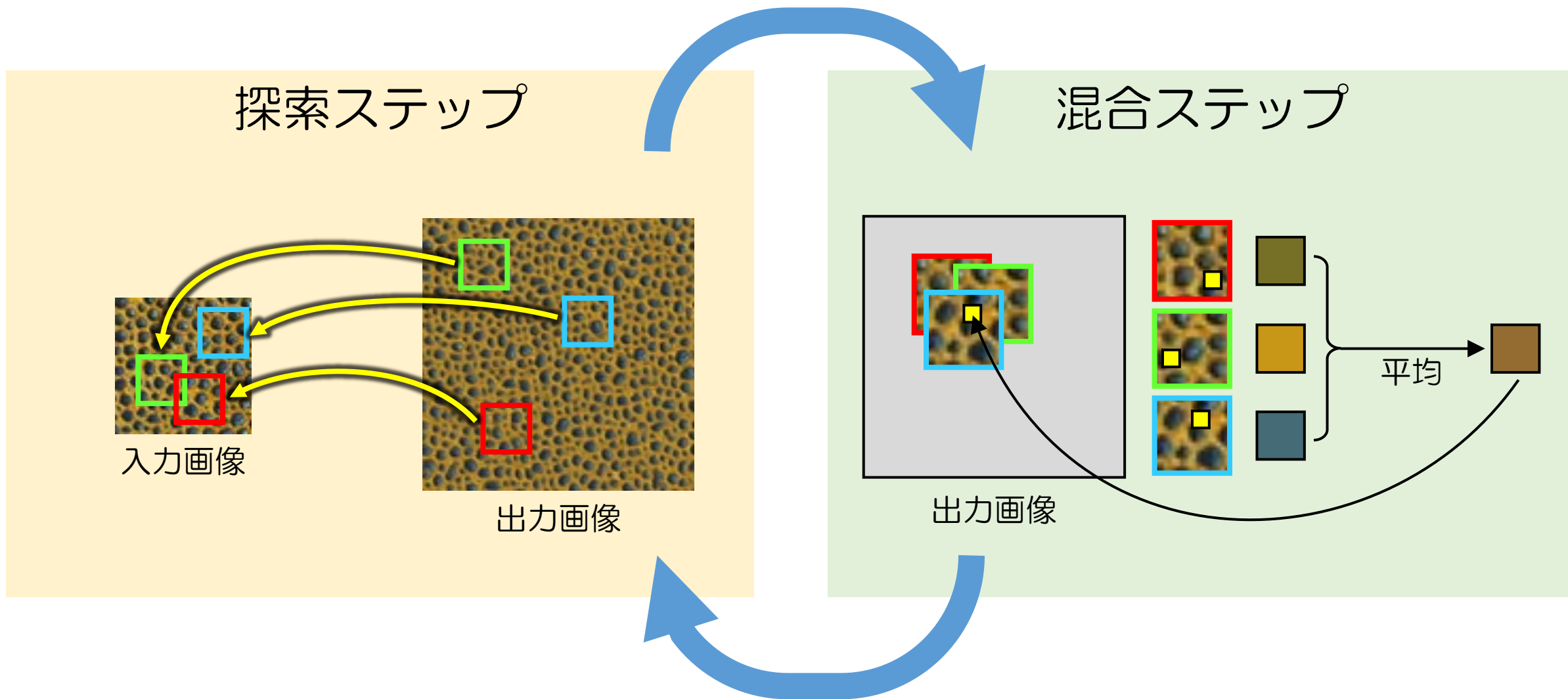
$$D(S, T) = \sum_{t \in T} \min_{s \in S} \|s - t\|^2$$

ピクセルごとの
差の二乗の和

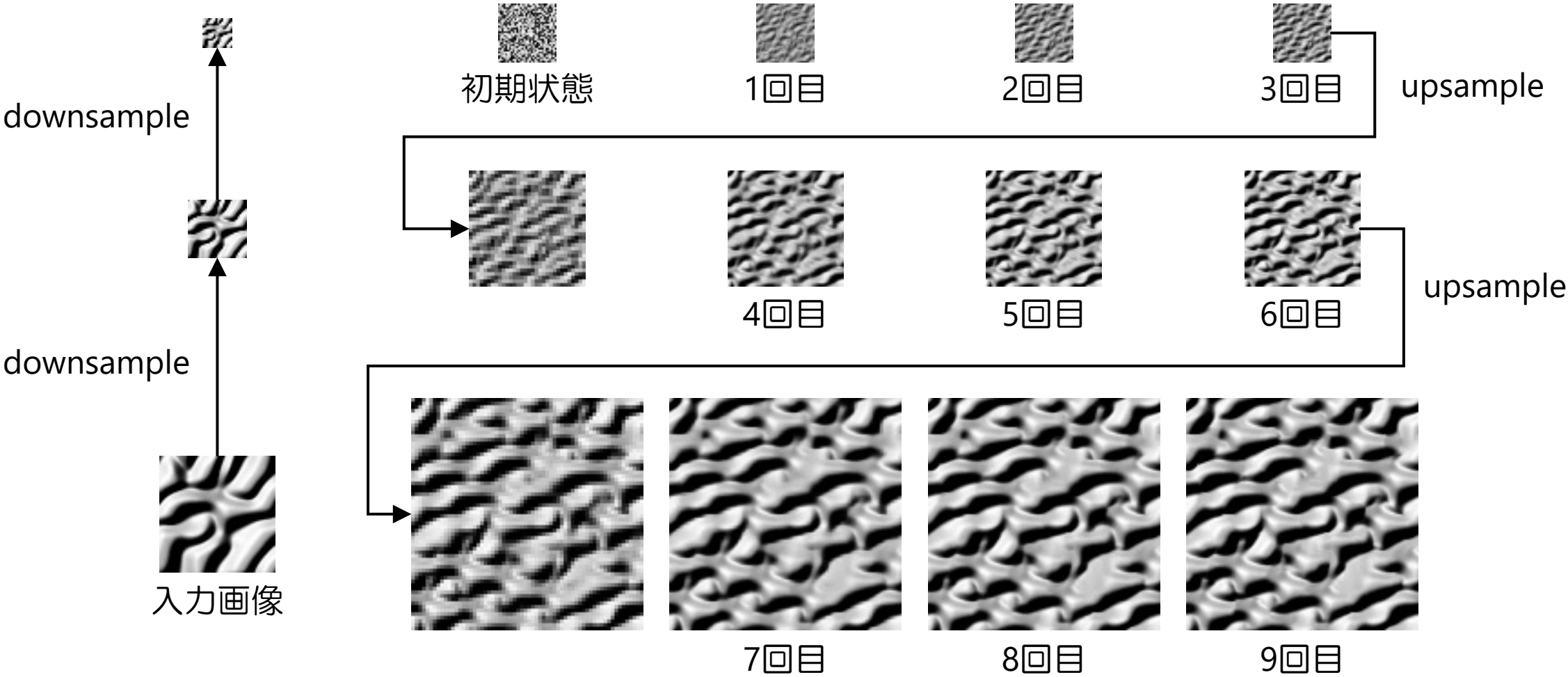
パッチ

- これを最小化する T を求めたい
- 直接には無理 → 繰り返し計算

繰り返し計算による最適化 [Kwatra05]



多重解像度合成

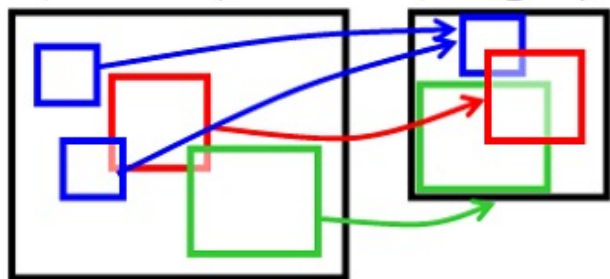


双方向性類似度 [Simakov08; Wei08]

$$D(S, T) = \sum_{s \in S} \min_{t \in T} \|s - t\|^2 + \lambda \sum_{t \in T} \min_{s \in S} \|s - t\|^2$$

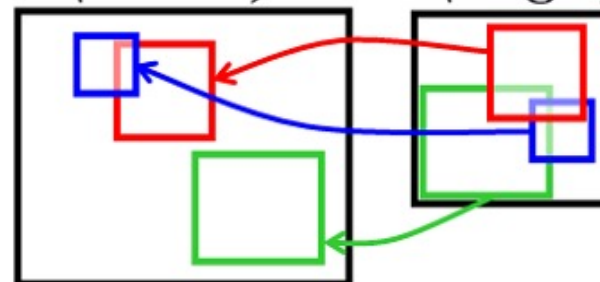
Completeness 項

Input image (source) Output image (target)



Coherence 項

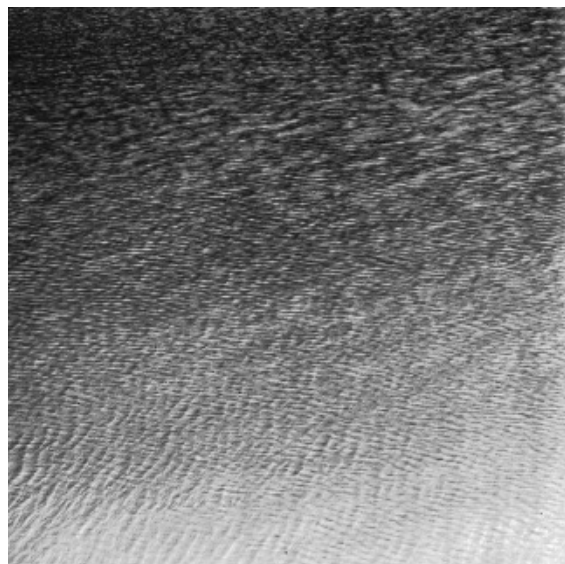
Input image (source) Output image (target)



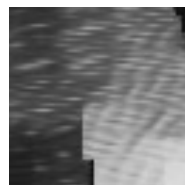
Completeness / Coherence 項の意義

Image Summarization
と呼ばれる問題設定

入力画像

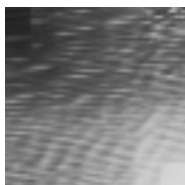


出力画像

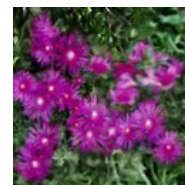


Completeness のみ

$$\sum_{s \in S} \min_{t \in T} \|s - t\|^2$$

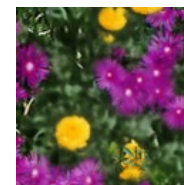


双方向



Coherence のみ

$$\sum_{t \in T} \min_{s \in S} \|s - t\|^2$$

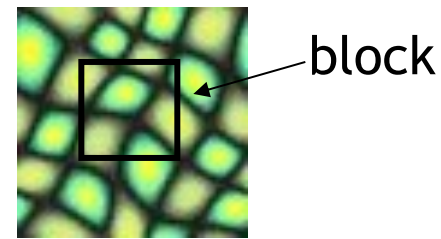


双方向

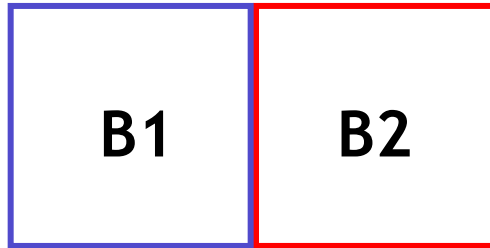
パッチの切り貼りによるテクスチャ合成

(軽く紹介)

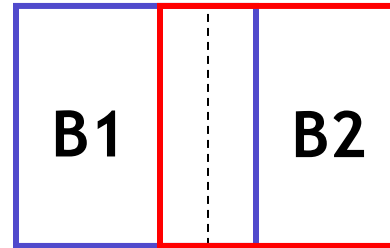
Image Quilting [Efros01]



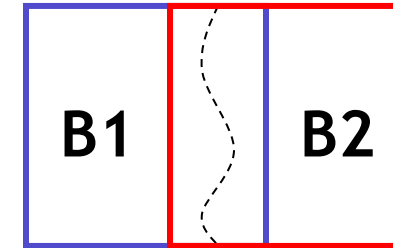
Input texture



Random placement of blocks



Neighboring blocks constrained by overlap



Minimal error boundary cut

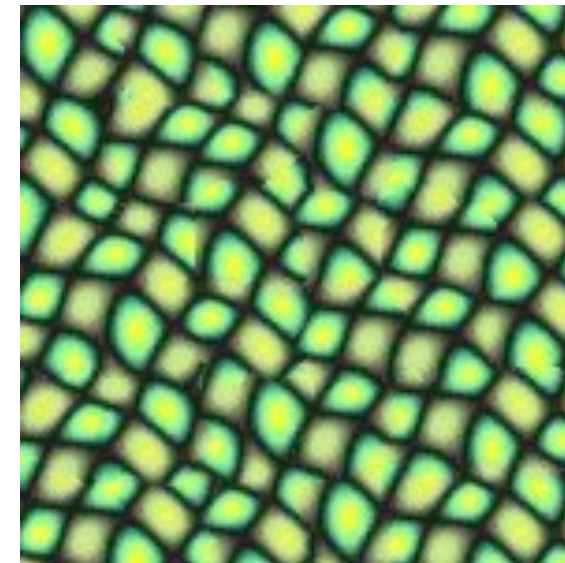
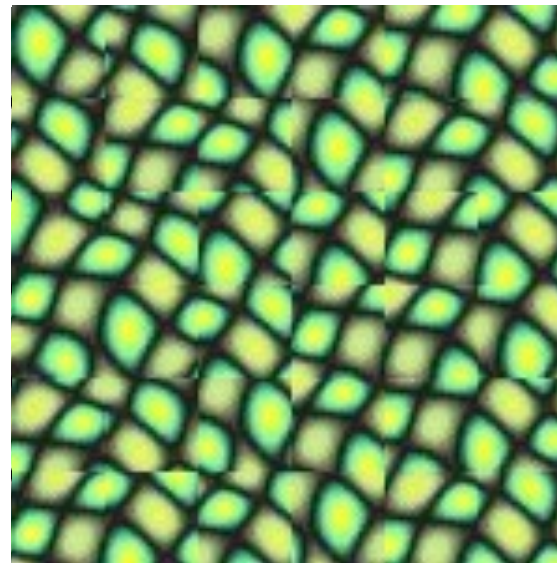
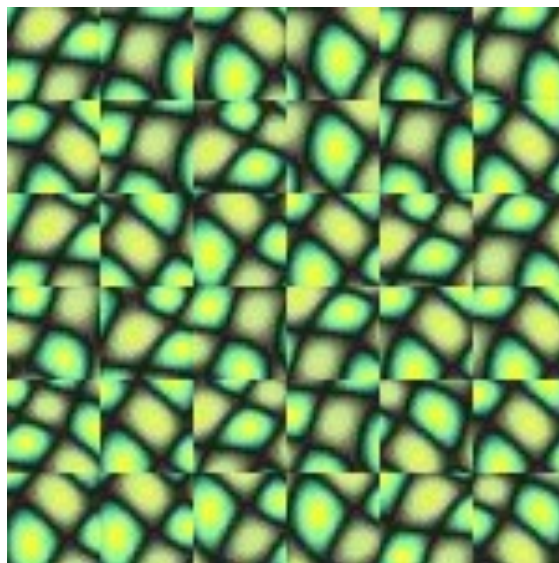
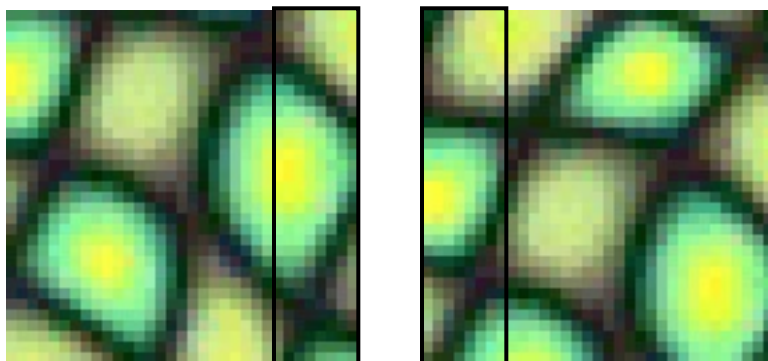
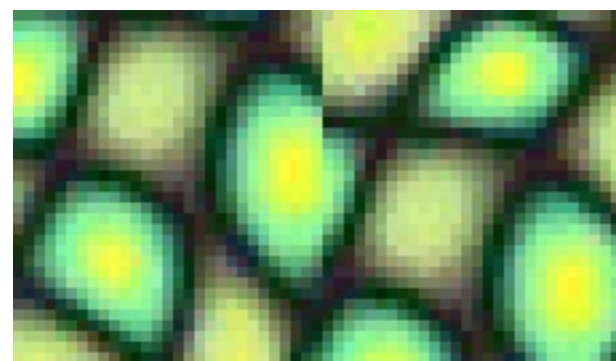


Image Quilting [Efros01]

overlapping blocks

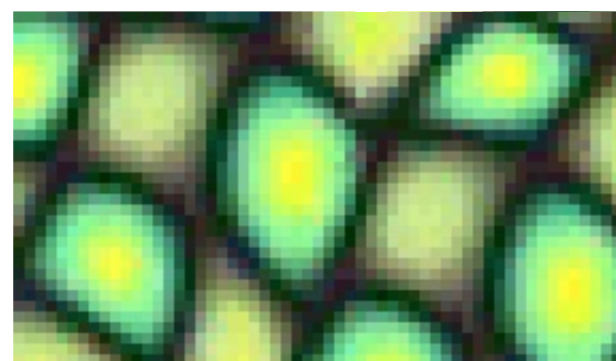


vertical boundary



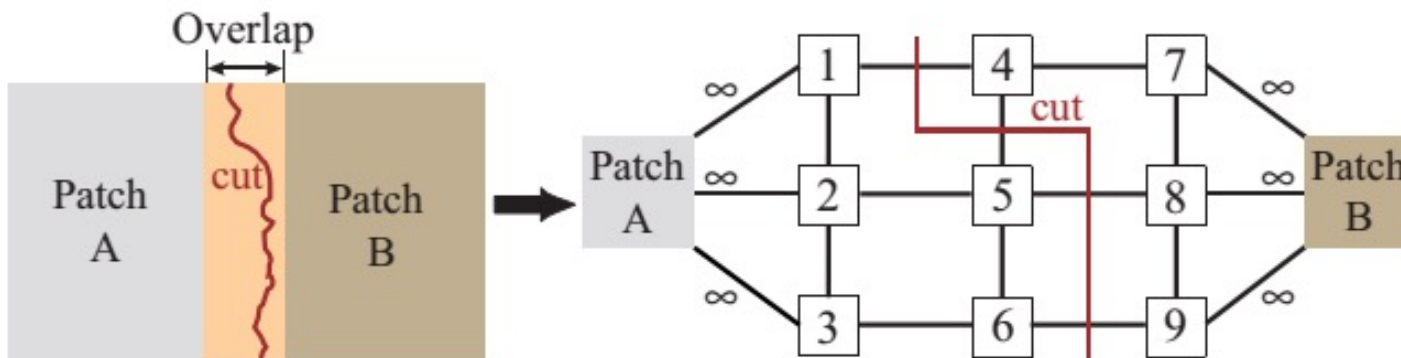
A diagram illustrating the calculation of overlap error. It shows two overlapping image blocks. A vertical line is drawn through the overlapping region. Below the blocks, a large right square bracket is shown, with a minus sign inside, and a superscript 2. This is followed by an equals sign and a vertical strip of grayscale pixels with a red jagged line representing the boundary.

overlap error



min. error boundary

Graphcut Textures [Kwatra03]



Graphcut Textures:
Image and Video Synthesis Using Graph Cuts

Vivek Kwatra
Arno Schödl
Irfan Essa
Greg Turk
Aaron Bobick

GVU Center / College of Computing
Georgia Institute of Technology
<http://www.cc.gatech.edu/cpl/projects/graphcuttextures>

<https://www.youtube.com/watch?v=Ya6BshBH6G4>

- パッチ間の最適な切れ目 (seam) の計算を、グラフの最小カット問題として定式化

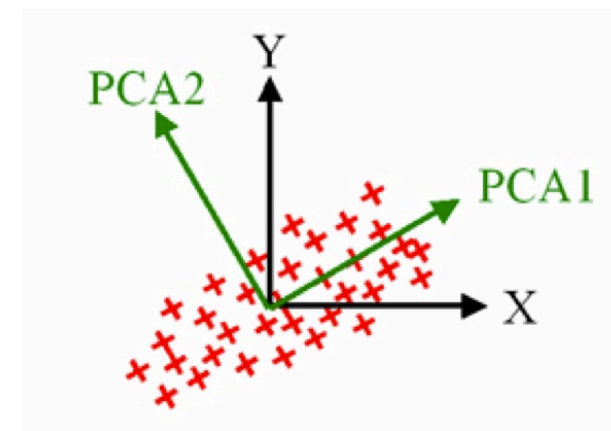
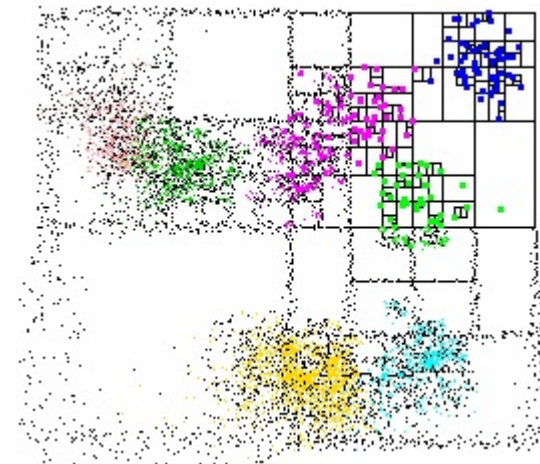
Graphcut Textures [Kwatra03]



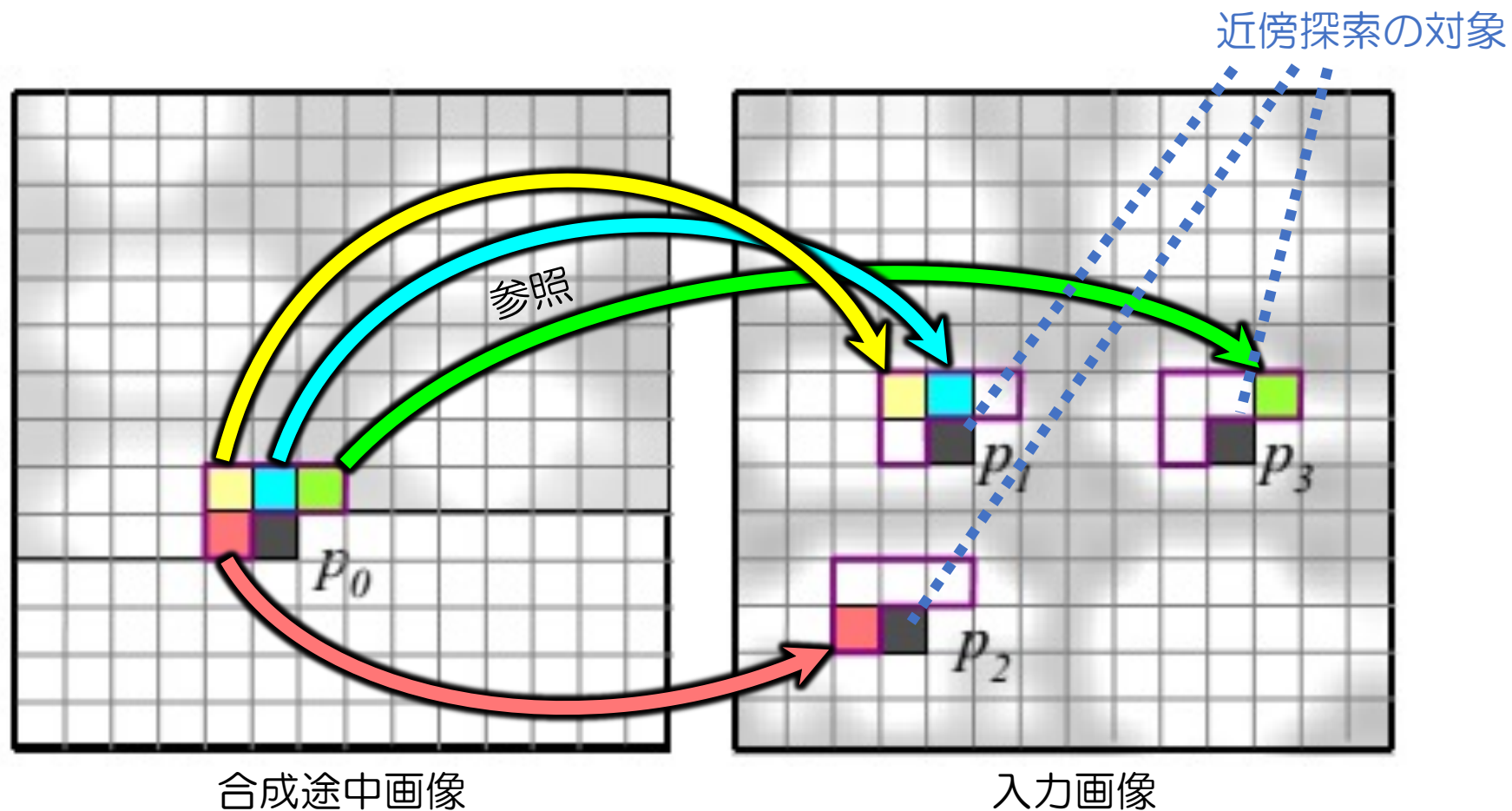
近傍探索を高速化する手法

その 1 : 空間的データ構造 + 次元削減

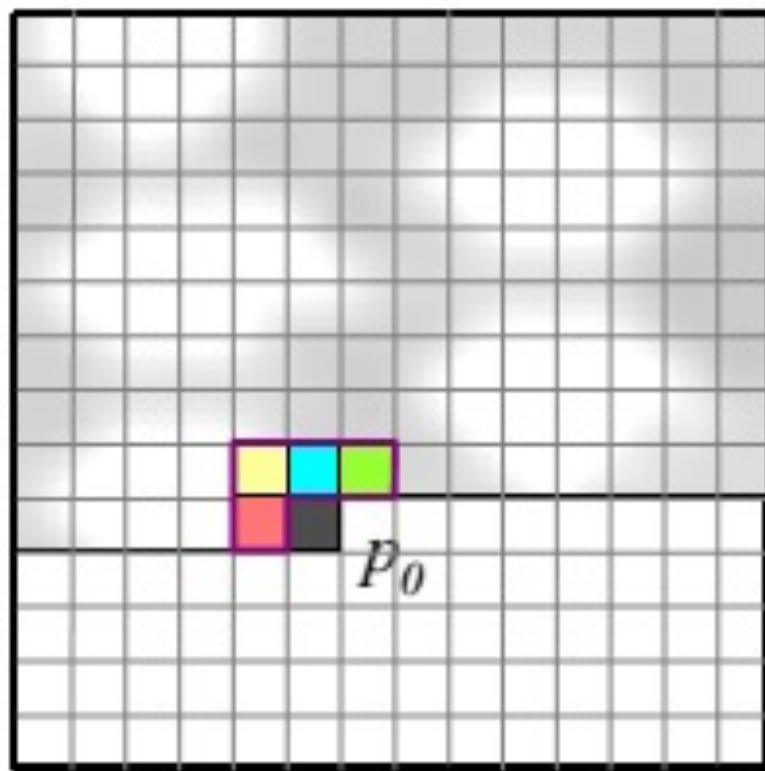
- 5x5 のパッチの各ピクセルが RGB 値を持つ 
→ 75 次元ベクトル
- 高次元空間における nearest neighbor の探索
→ kd-tree による高速化
- kd-tree は次元数が大きすぎると性能が出ない
→ Principal Component Analysis による次元削減



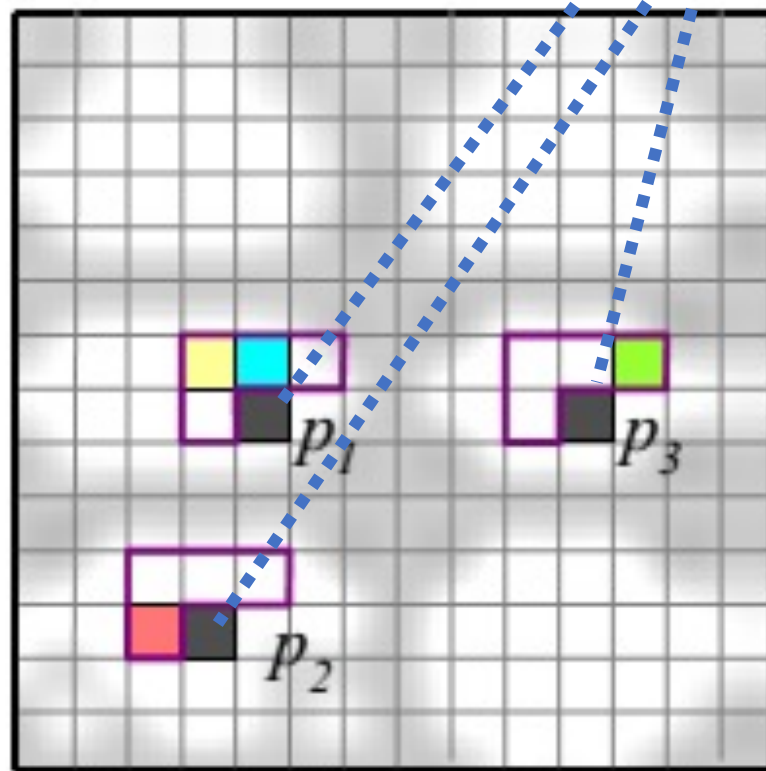
その 2 : k-coherence [Tong02]



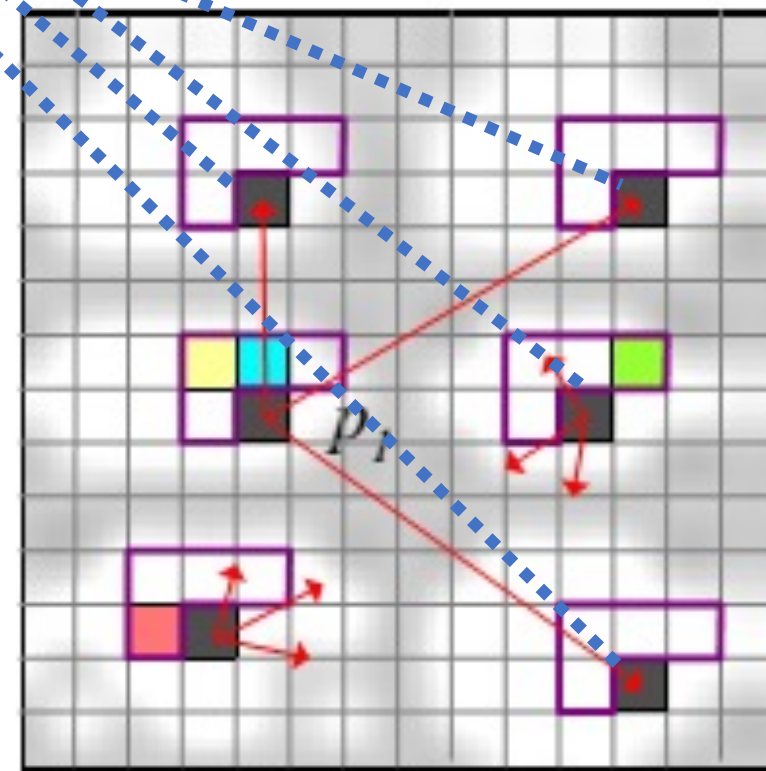
その 2 : k-coherence [Tong02]



合成途中画像



入力画像



入力画像内の類似近傍を前計算

近傍探索の対象

本命：PatchMatch [Barnes09]

PatchMatch: A Randomized Correspondence Algorithm for Structural Image Editing

**Connelly Barnes¹, Eli Shechtman^{2,3},
Adam Finkelstein¹, and Dan B Goldman²**

¹Princeton University

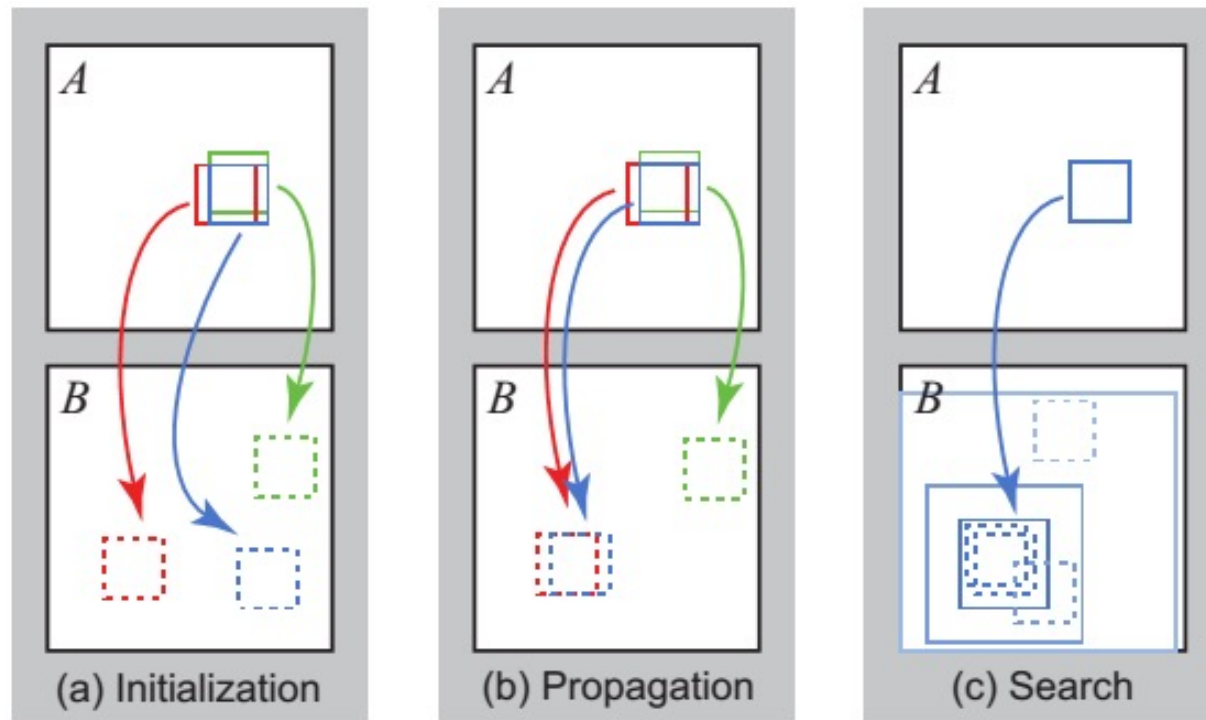
²Adobe Systems

³University of Washington

<https://www.youtube.com/watch?v=dgKjs8ZjQNg>

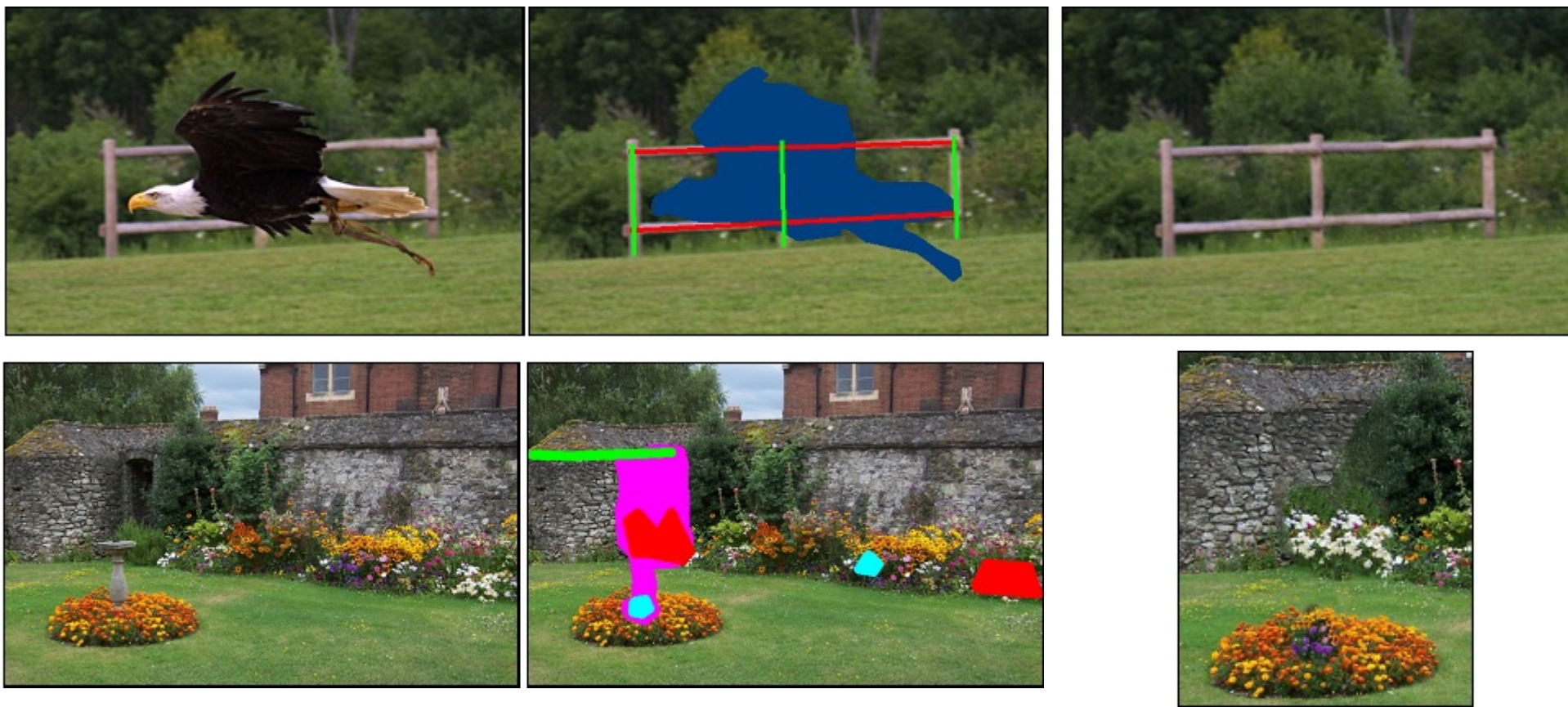
本命：PatchMatch [Barnes09]

- ランダムなマッチで初期化
- スキャンライン順にマッチを更新
 - **Propagation:**
左隣と上隣のマッチが現在のマッチよりも良ければ、それを採用
 - **Random Search:**
何個かランダムなマッチを試し、良いものが見つかれば採用
- デモ



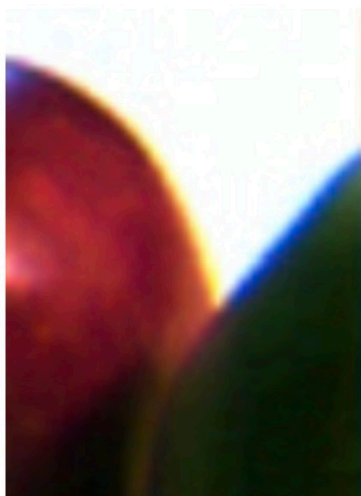
拡張 & 応用例

探索空間の限定によるコントロール



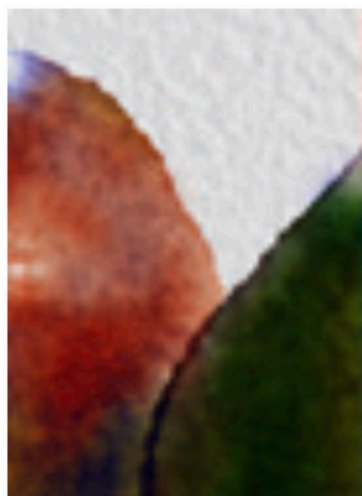
- マーカー制約が与えられた出力ピクセルは、同じマーカーを持つ入力ピクセルとしかマッチしない

Image Analogies [Hertzmann01]



A

⋮



A'

⋮⋮



B

⋮



B'

- 任意の画像フィルターをテクスチャ合成によってシミュレート
- 多彩なアプリケーション例

Image Analogies – Texture by Numbers

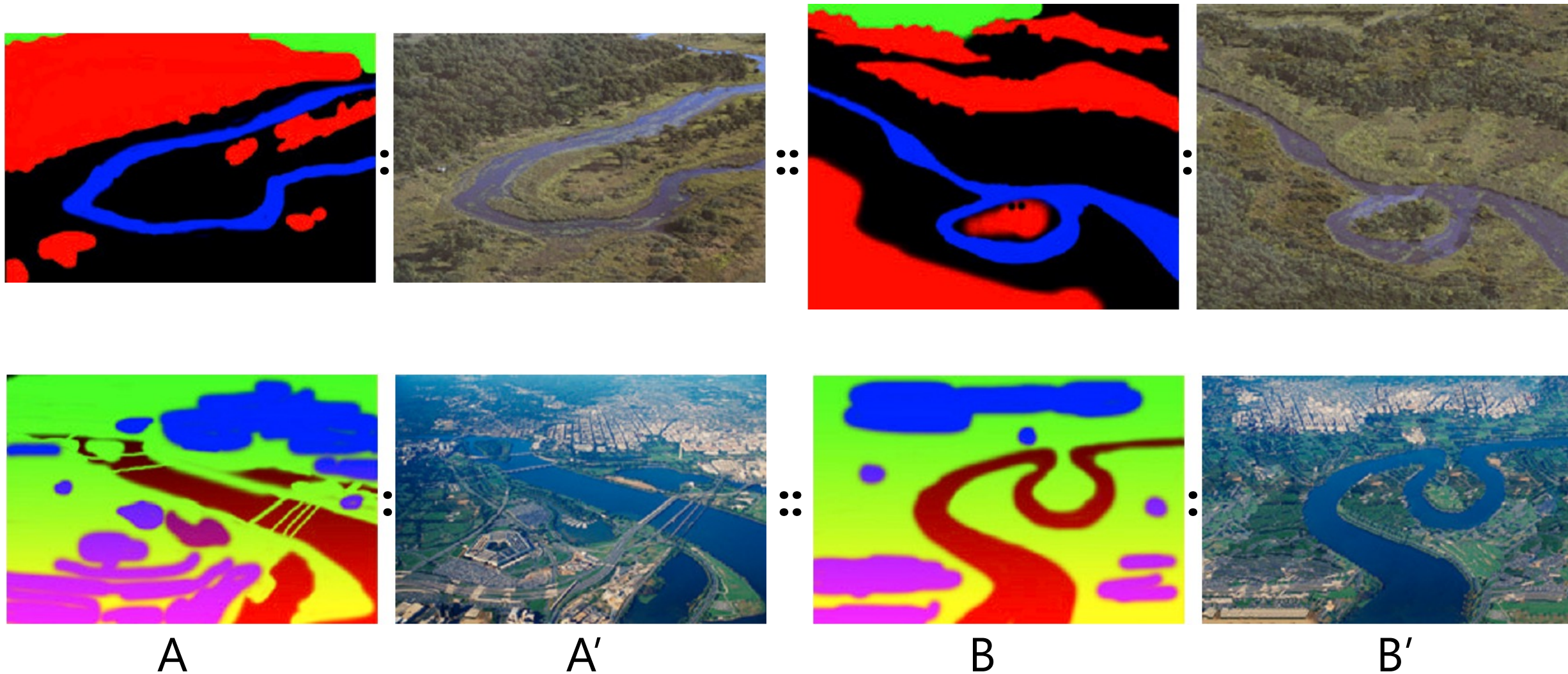
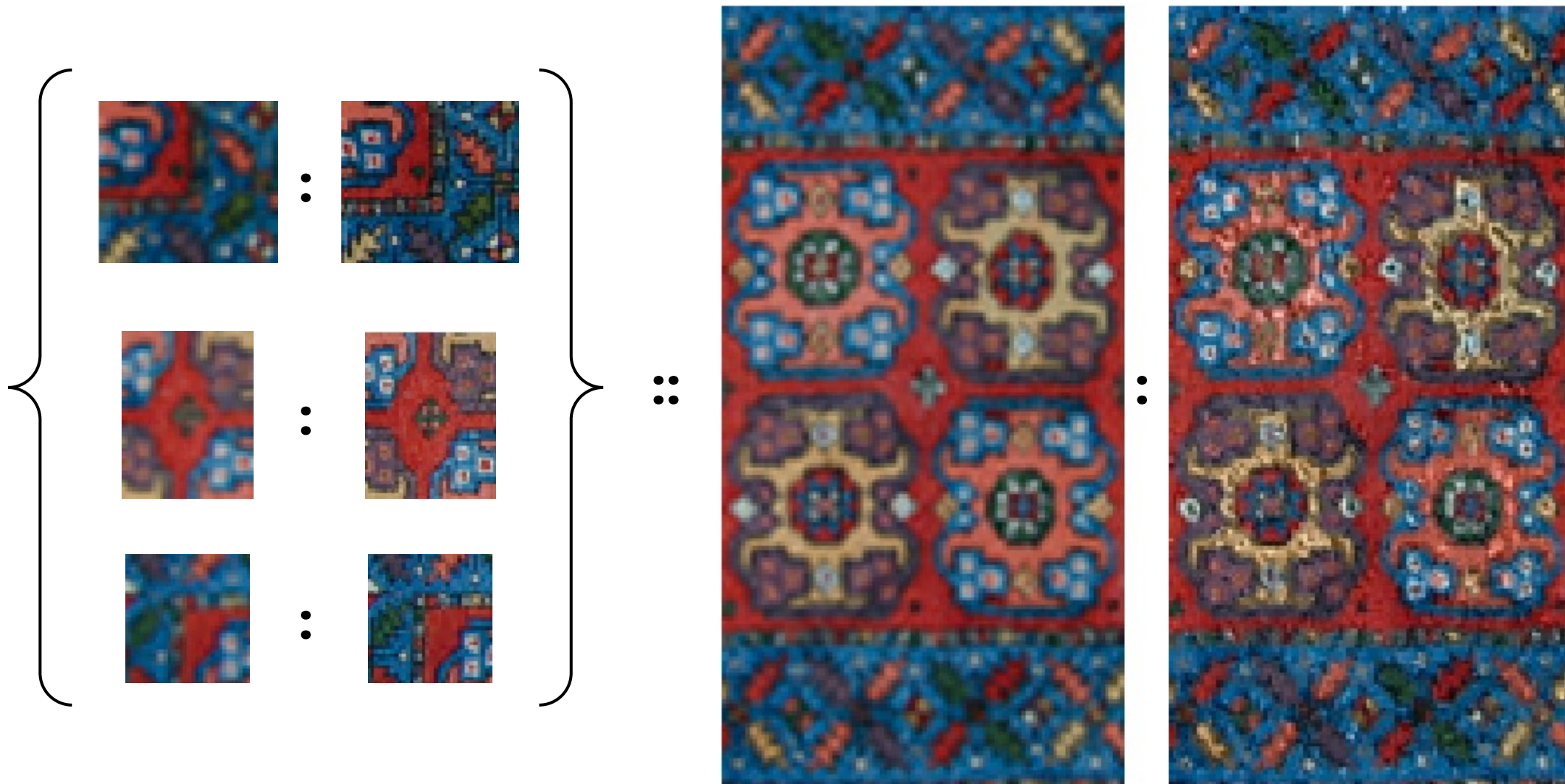
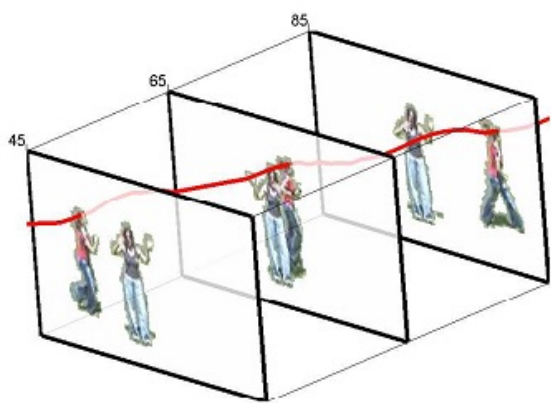


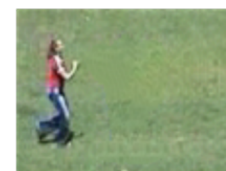
Image Analogies – Super Resolution



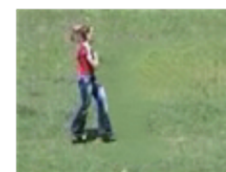
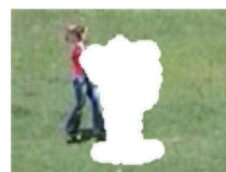
動画内物体の消去



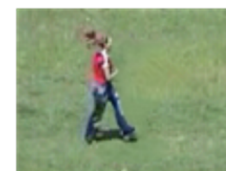
Frame 8



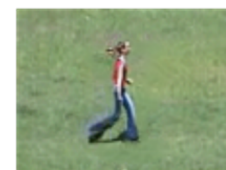
Frame 22



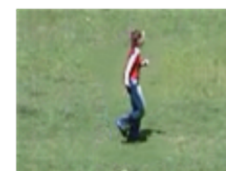
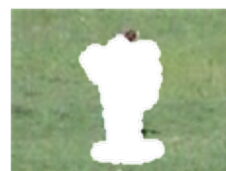
Frame 29



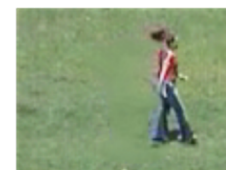
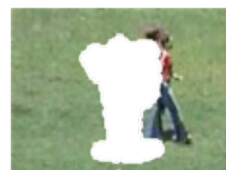
Frame 36



Frame 43



Frame 57

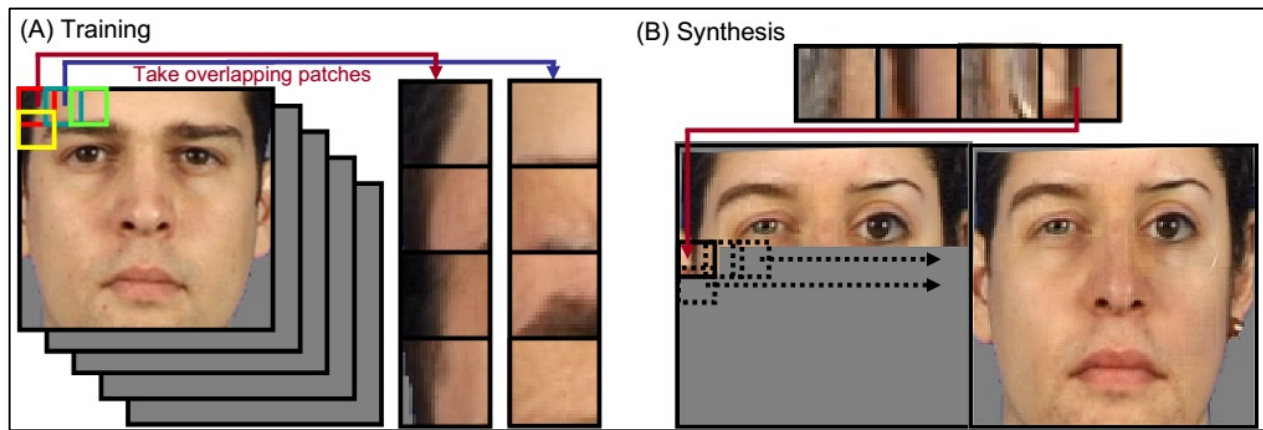


(a) Input sequence

(b) Erasing the occluding person

(c) Spatio-temporal completion

顔画像のランダム合成 [Mohammed09]

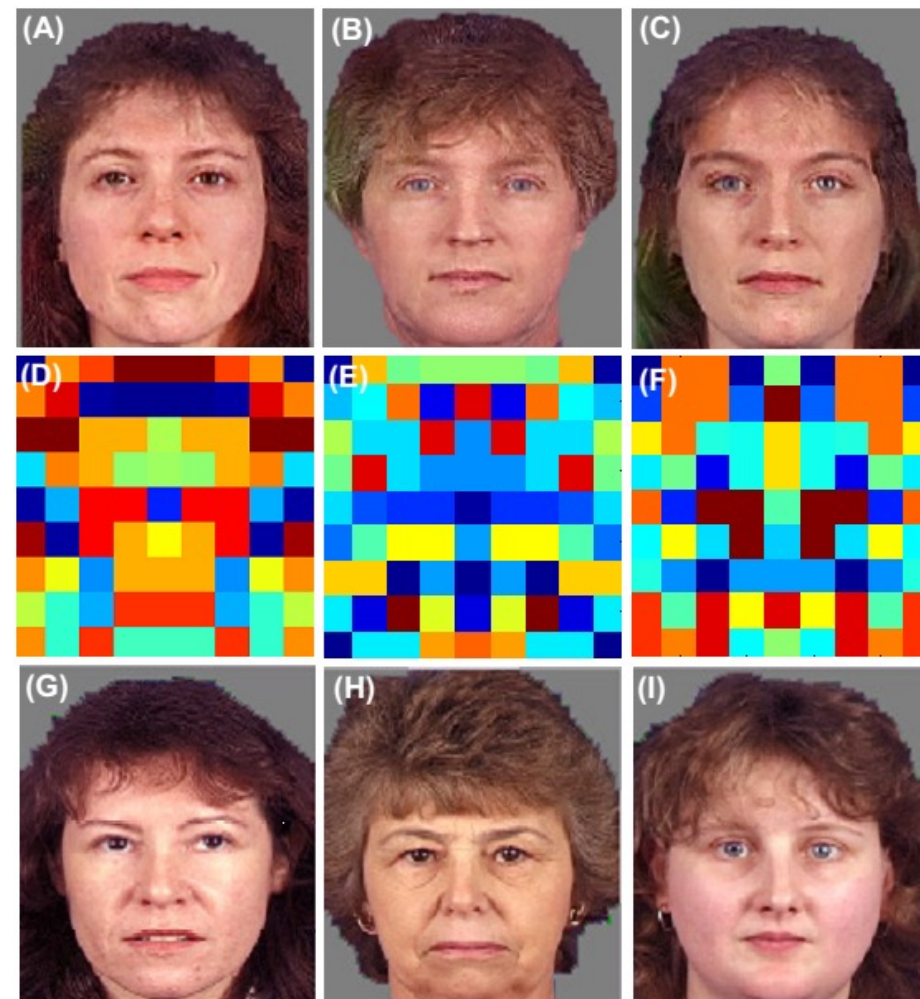


位置合わせ済みのパッチごとに画像合成



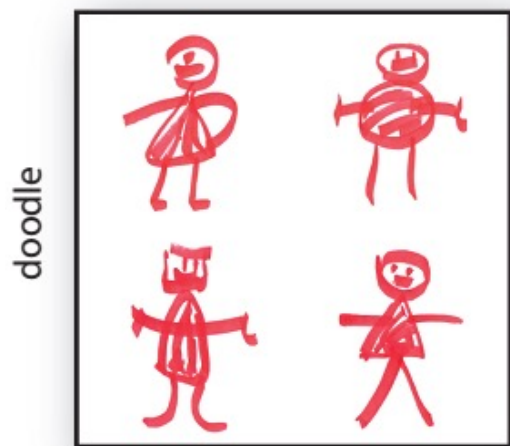
パラメトリックな「平均顔」モデル

合成結果



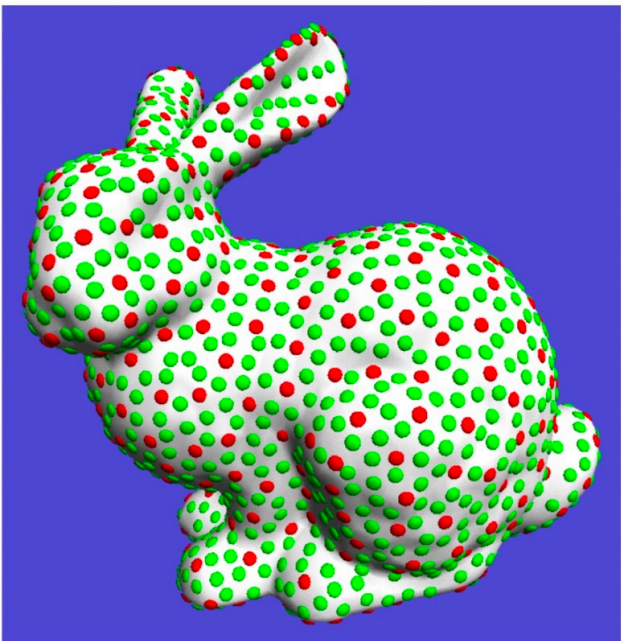
合成結果に最も近いトレーニング画像

構造を持った画像のランダム合成 [Risser10]

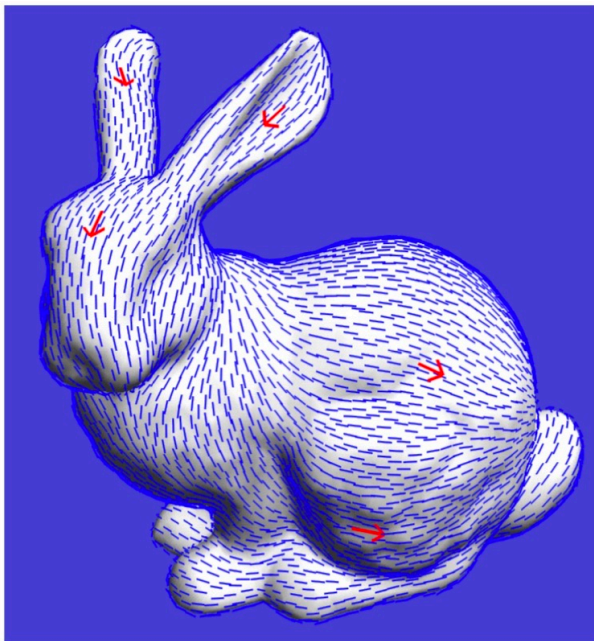


3DCGのためのテクスチャ合成

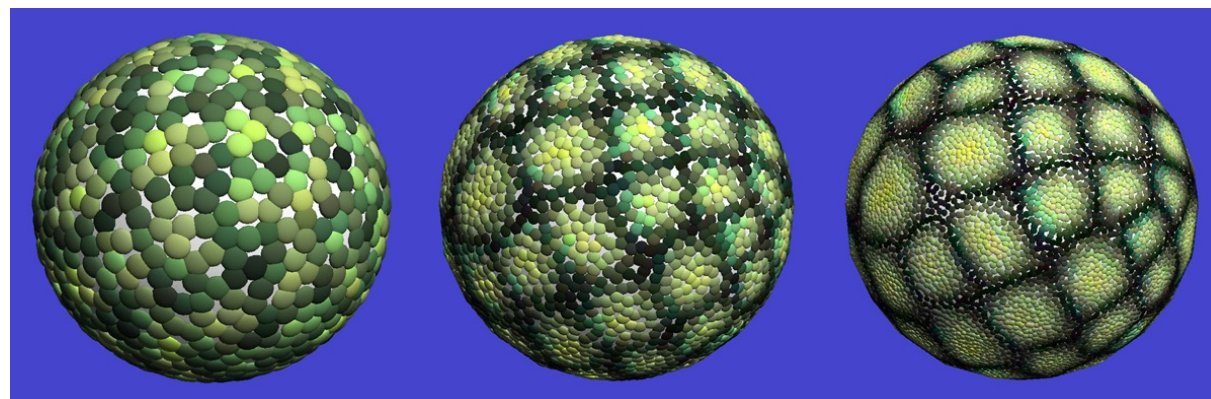
サーフェス上のテクスチャ合成 [Wei01; Turk01]



一様なサンプル点

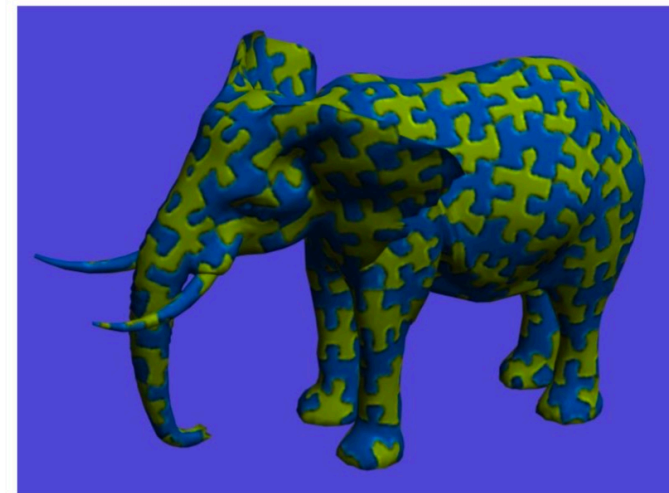
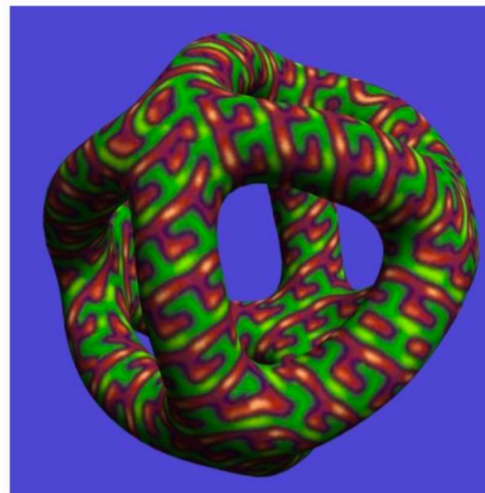


ベクトル場



多重解像度による合成

- 本質的には UV parameterization の上で合成しているのと同様



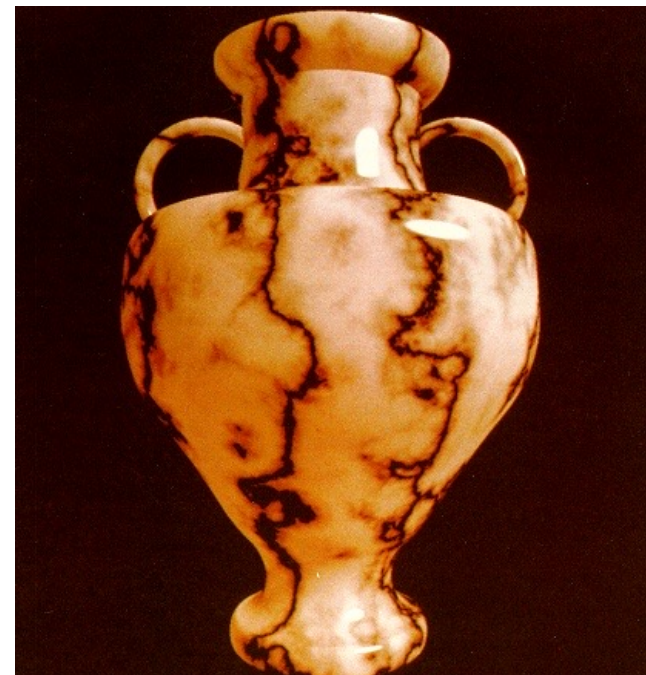
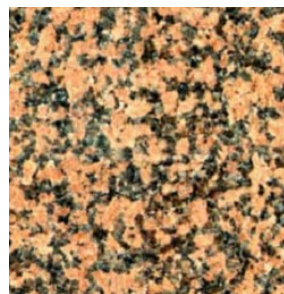
ソリッドテクスチャ

- 3DボリュームとしてRGB情報を保持
→ XYZ 座標から直接色が求まる = 簡単！

- 初期の技術

- ノイズ関数等を組み合わせ、係数等を調整

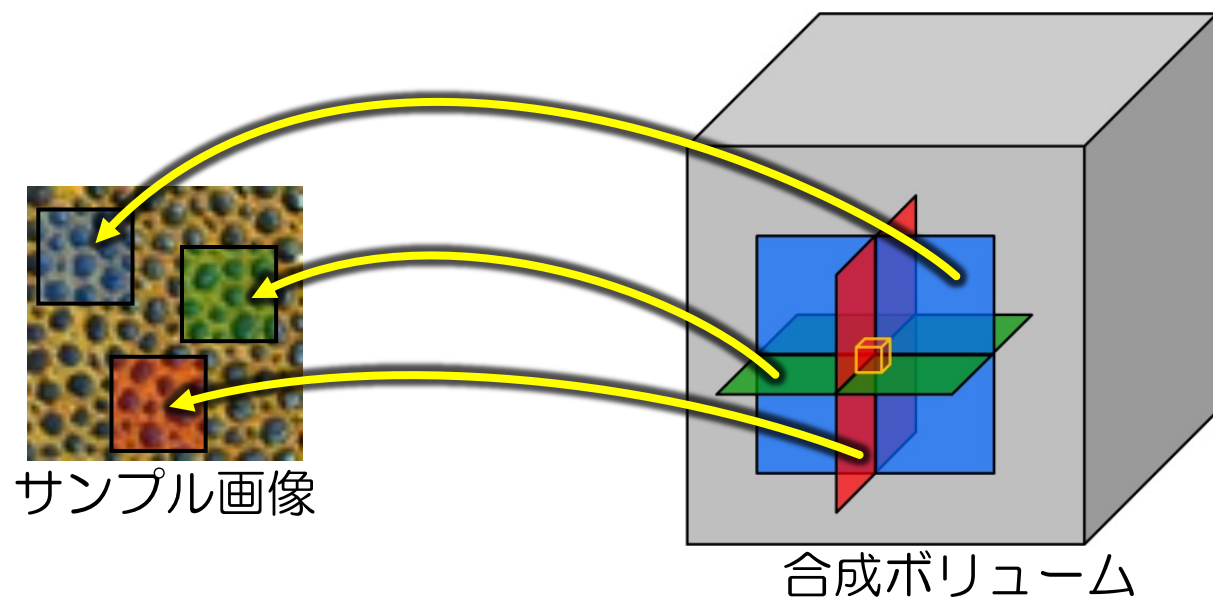
- 統計的なアプローチによる自動合成
(ノイズに近いタイプの画像に限定)



```
marble(x, y, z)  
= colormap(sin(x + noise(x, y, z)))
```

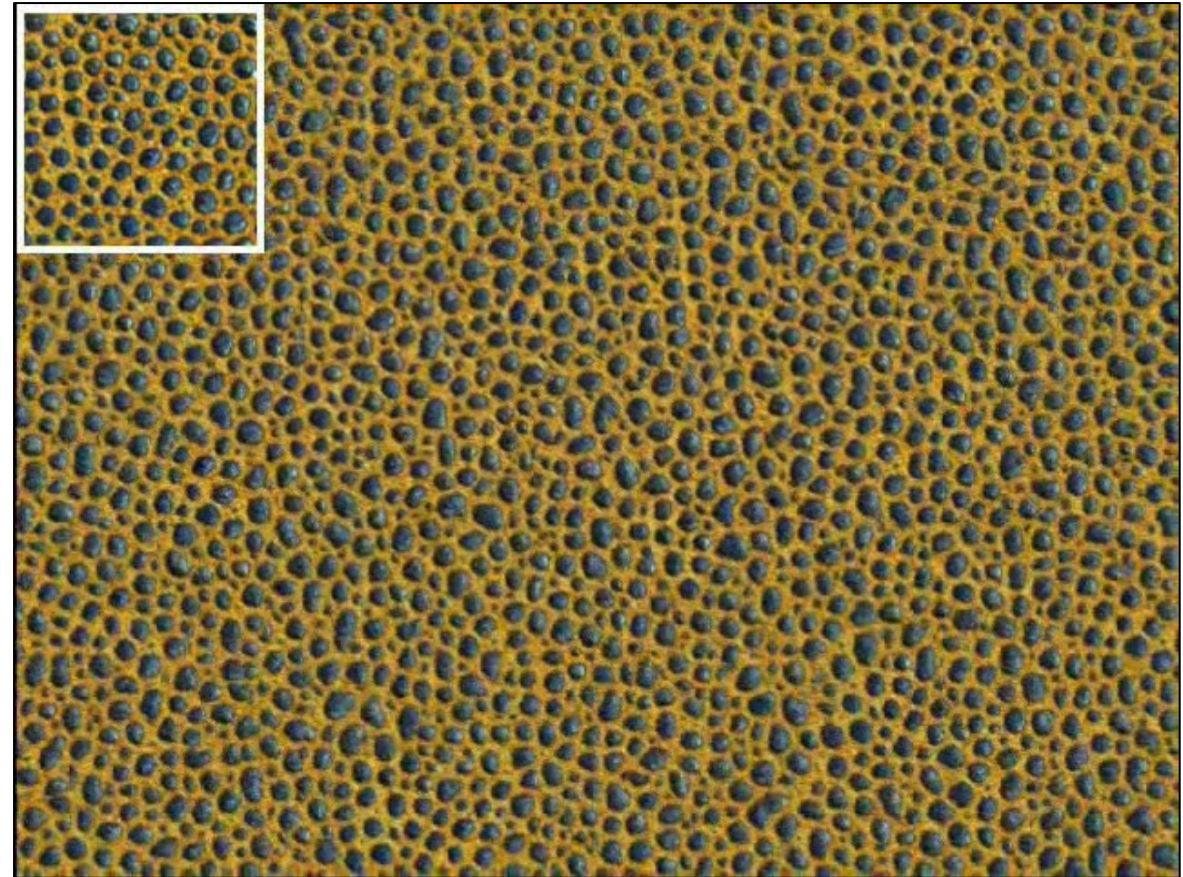
最適化によるソリッドテクスチャ合成

- 2D版 [Kwatra05] をほぼ素直に3Dに拡張



GPU並列実行による高速オンデマンド合成 [Lefebvre05]

- 基本的な考え方は [Kwatra05] と同様
 - 前計算と計算過程の独立性がキモ
- 描画時に合成 = メモリ容量節約
→ ゲーム向き



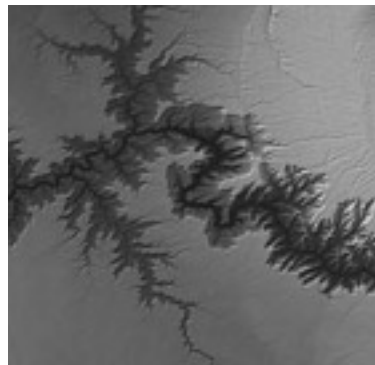
建物に特化したオンデマンド合成 [Lefebvre10]

- 縦横の seam を前計算しておき、GPU実行時に繋ぎ合わせる



テクスチャ合成の考え方を 画像以外の対象に適用した例

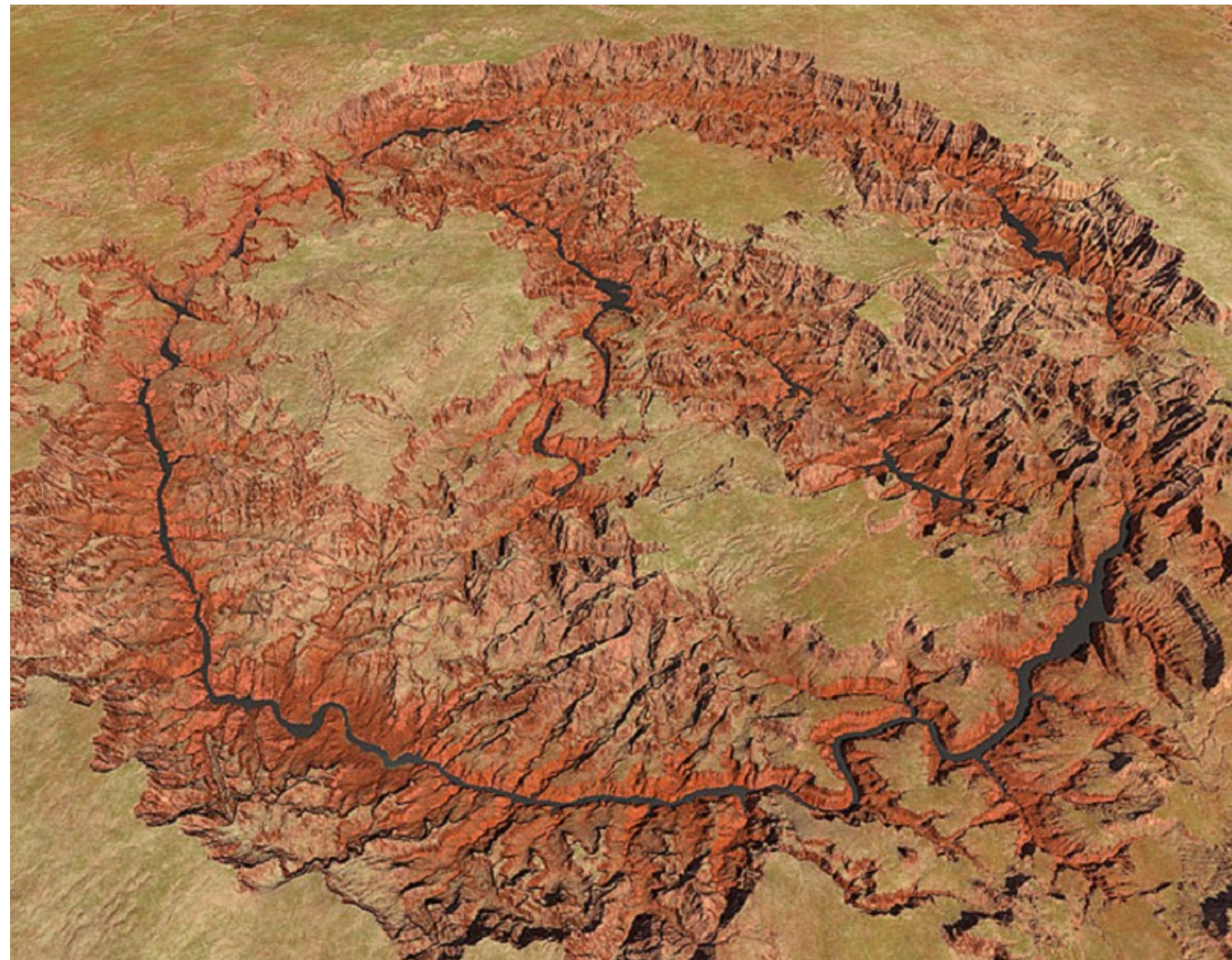
地形 (height field) の合成 [Zhou07]



実際の地形データ

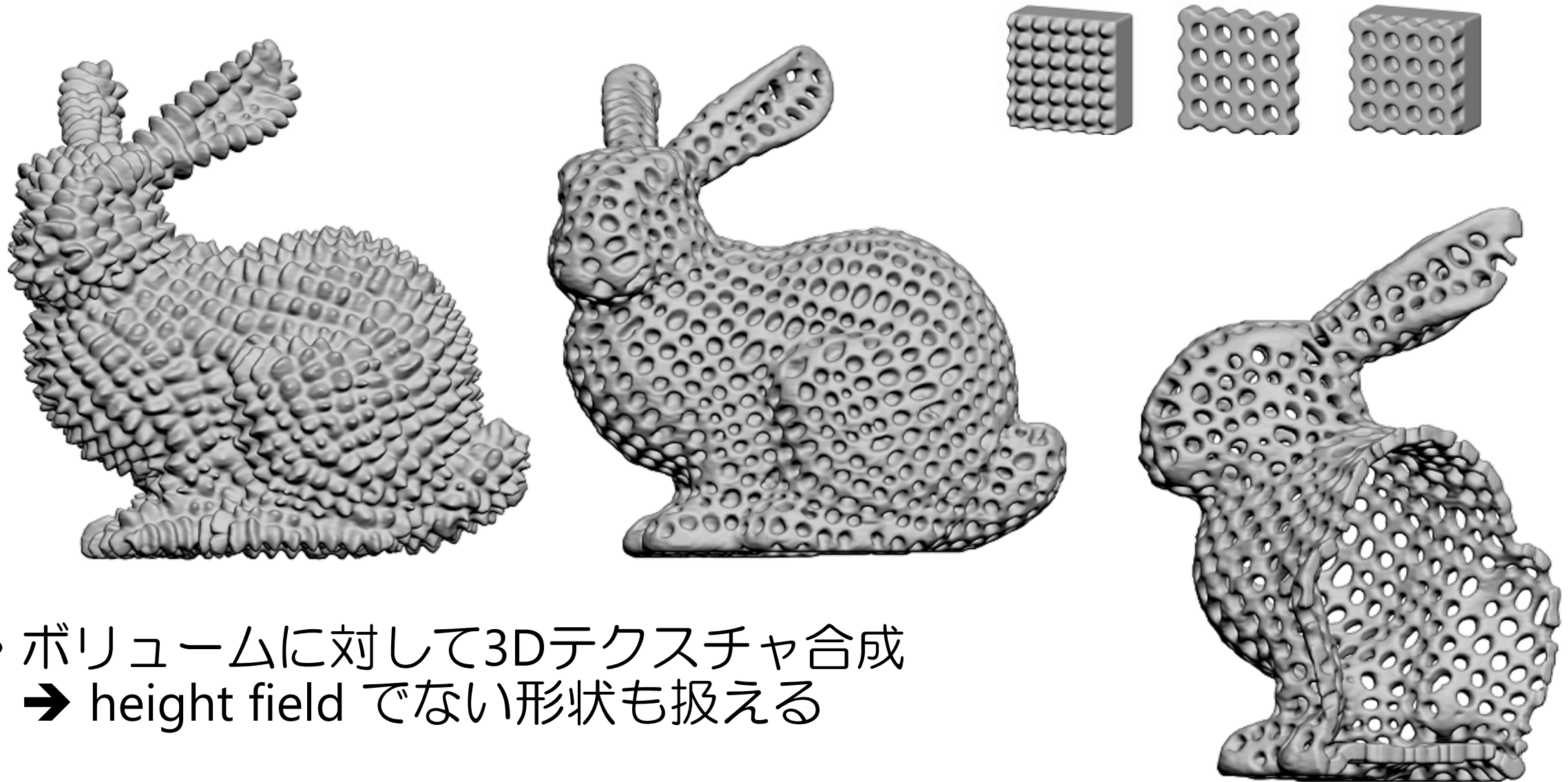


ユーザのスケッチ



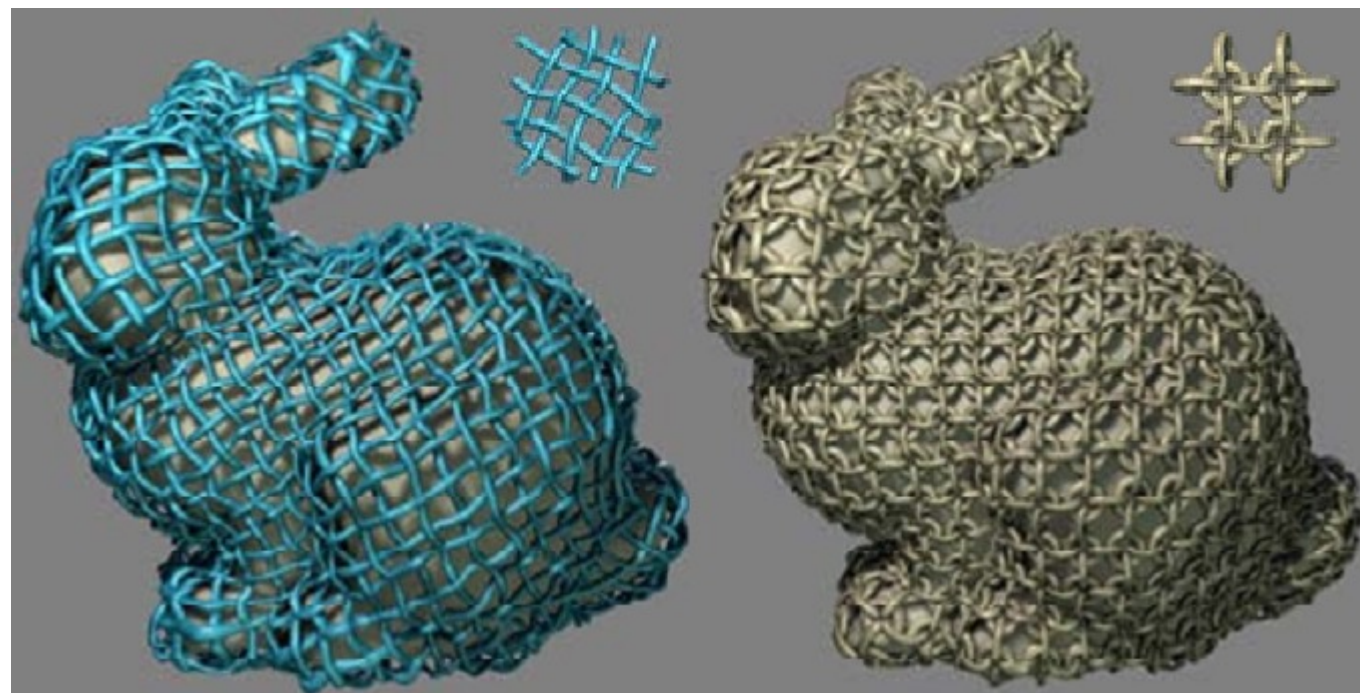
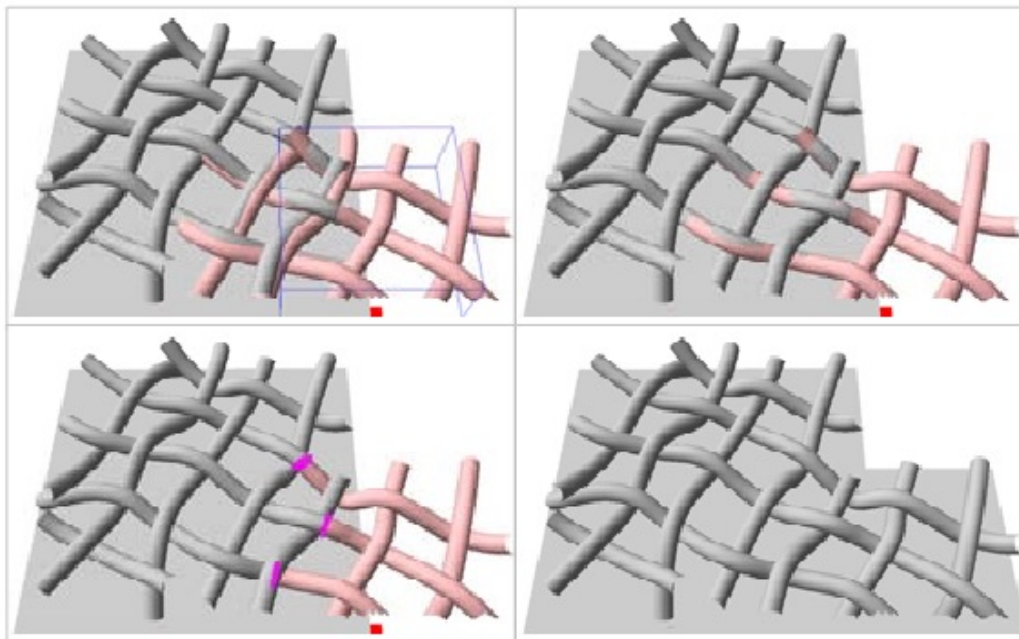
合成結果

Surface Details の合成 [Bhat04]



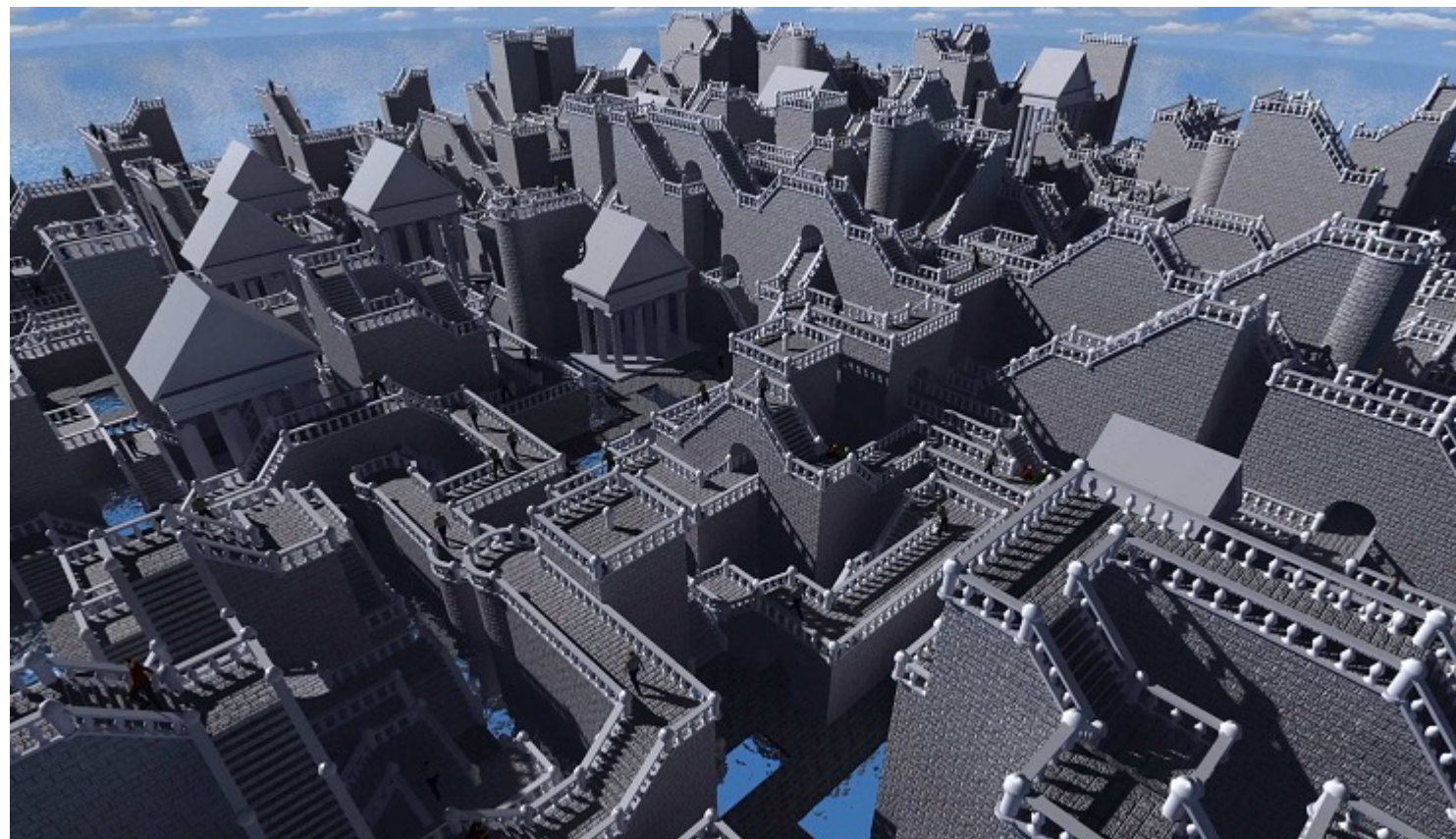
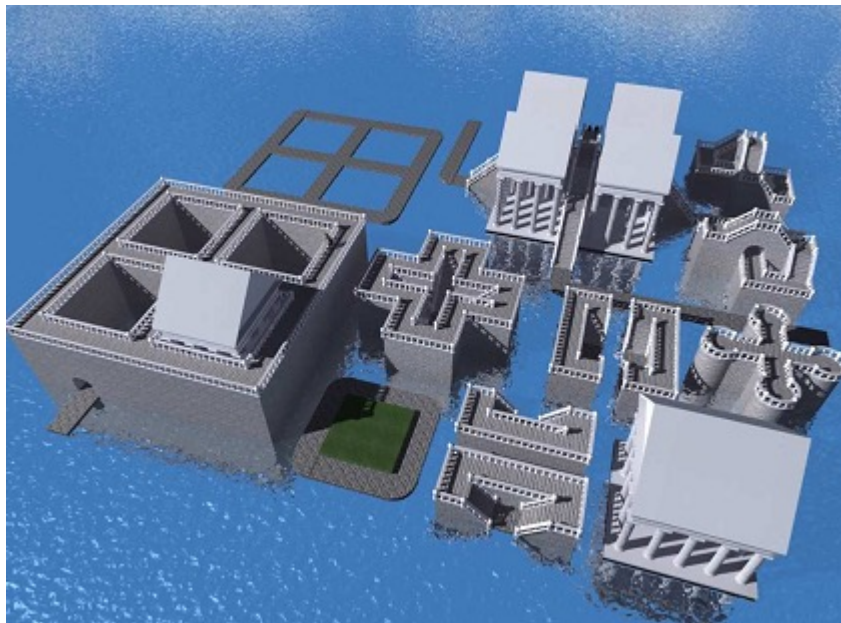
- ボリュームに対して3Dテクスチャ合成
→ height field でない形状も扱える

Mesh Quilting [Zhou06]

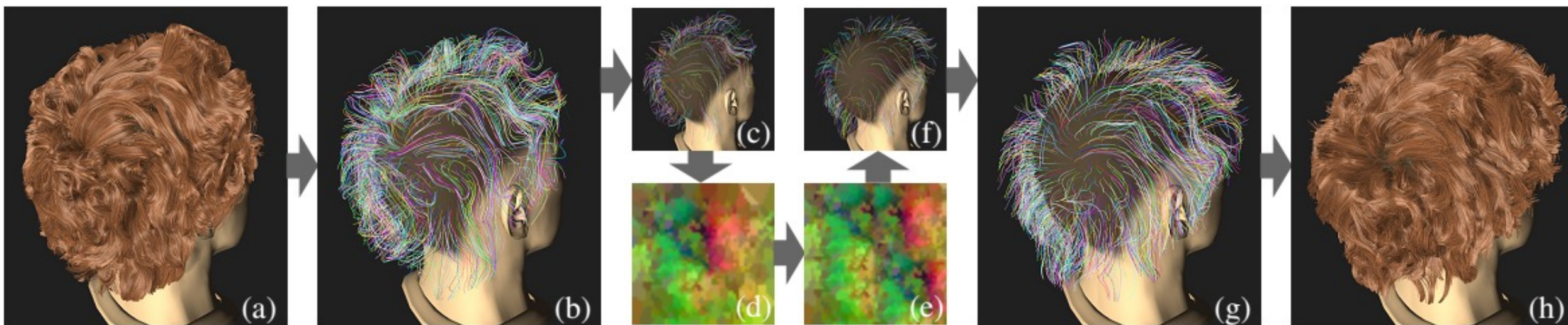


- 三角形メッシュ頂点を頑張って繋ぎ合わせる

人工物モデルの合成 [Merrell07]



頭髪形状の合成 [Wang09]



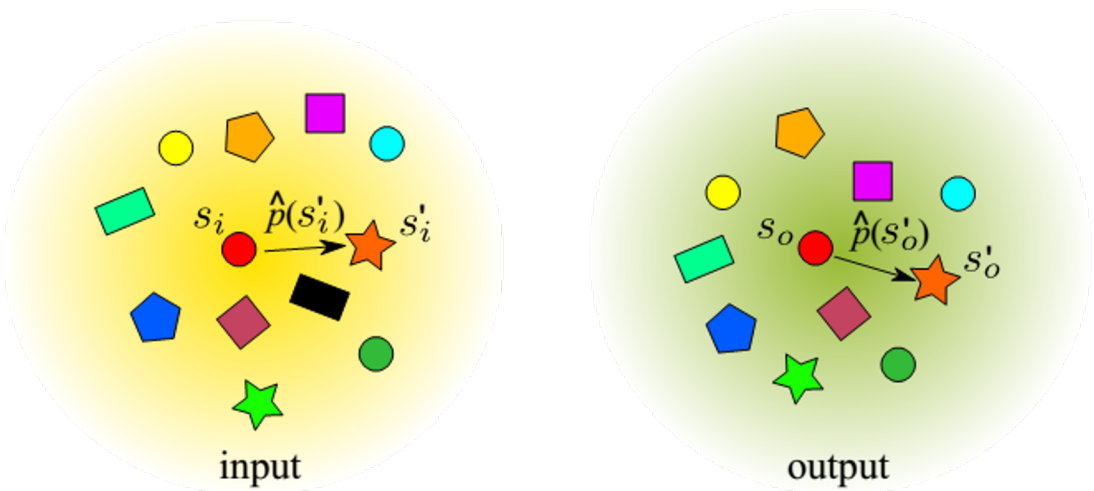
- 一本の髪は N 個の頂点から成る折れ線 = $3N$ 次元ベクトル
→ これを色だと見なしてテクスチャ合成

流体の渦の合成 [Ma09]

- 低解像度の速度場に沿って、細かい渦の速度場をテクスチャ合成
 - 速度ベクトルを色だと見なす

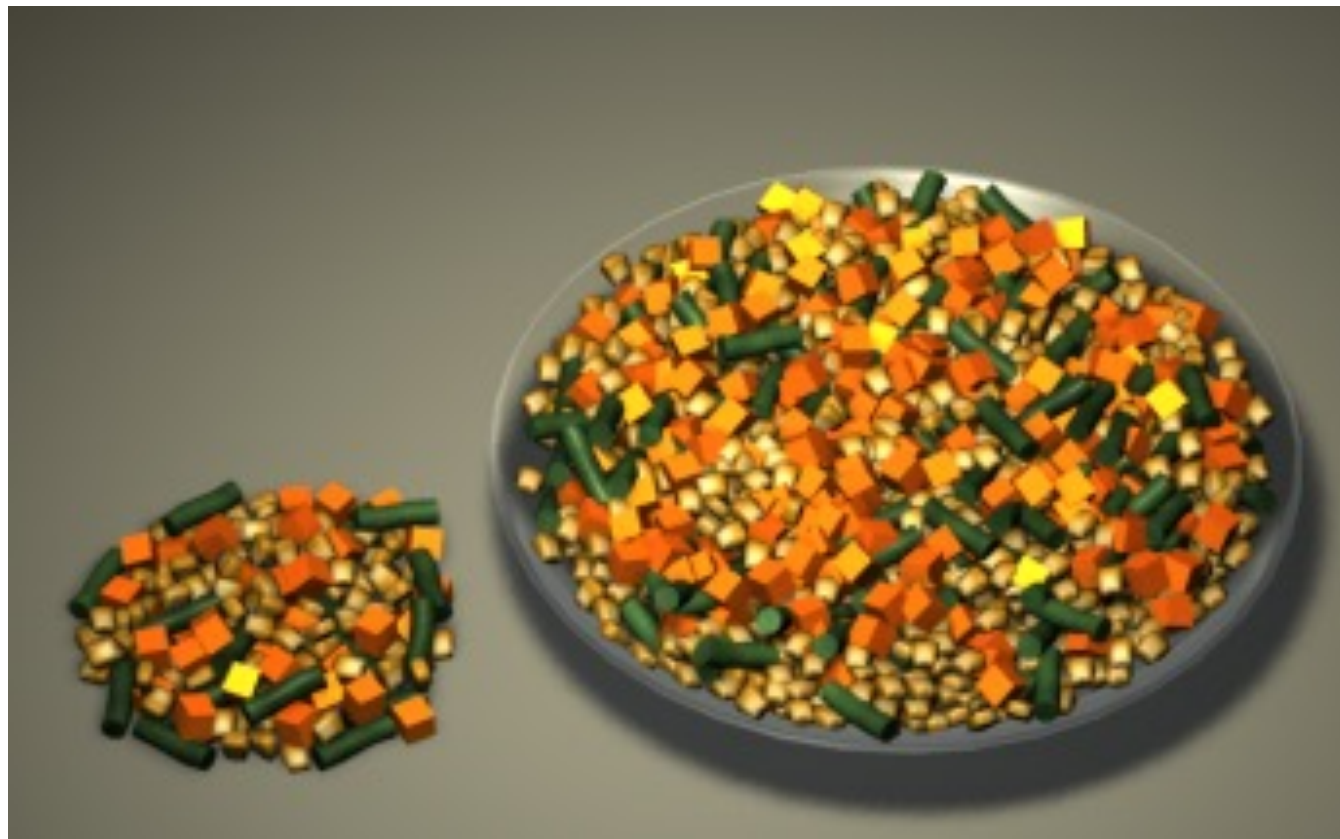


要素配置の合成 [Ma11]



- サンプル点の分布に対して近傍類似度を定義

- [Kwatra05] と似た最適化アルゴリズム



参考情報

- 実装

- <https://www2.mta.ac.il/~tal/ImageCompletion/>
- http://www.cs.princeton.edu/gfx/pubs/Barnes_2009_PAR/patchmatch-2.1.zip
- <https://github.com/haxelion/patchmatch>
- <http://research.nii.ac.jp/~takayama/cggems12/cggems12.zip>

- サーベイ

- State of the art in example-based texture synthesis [Wei EG09STAR]
- Solid-Texture Synthesis; A Survey [Pietroni CGA10]

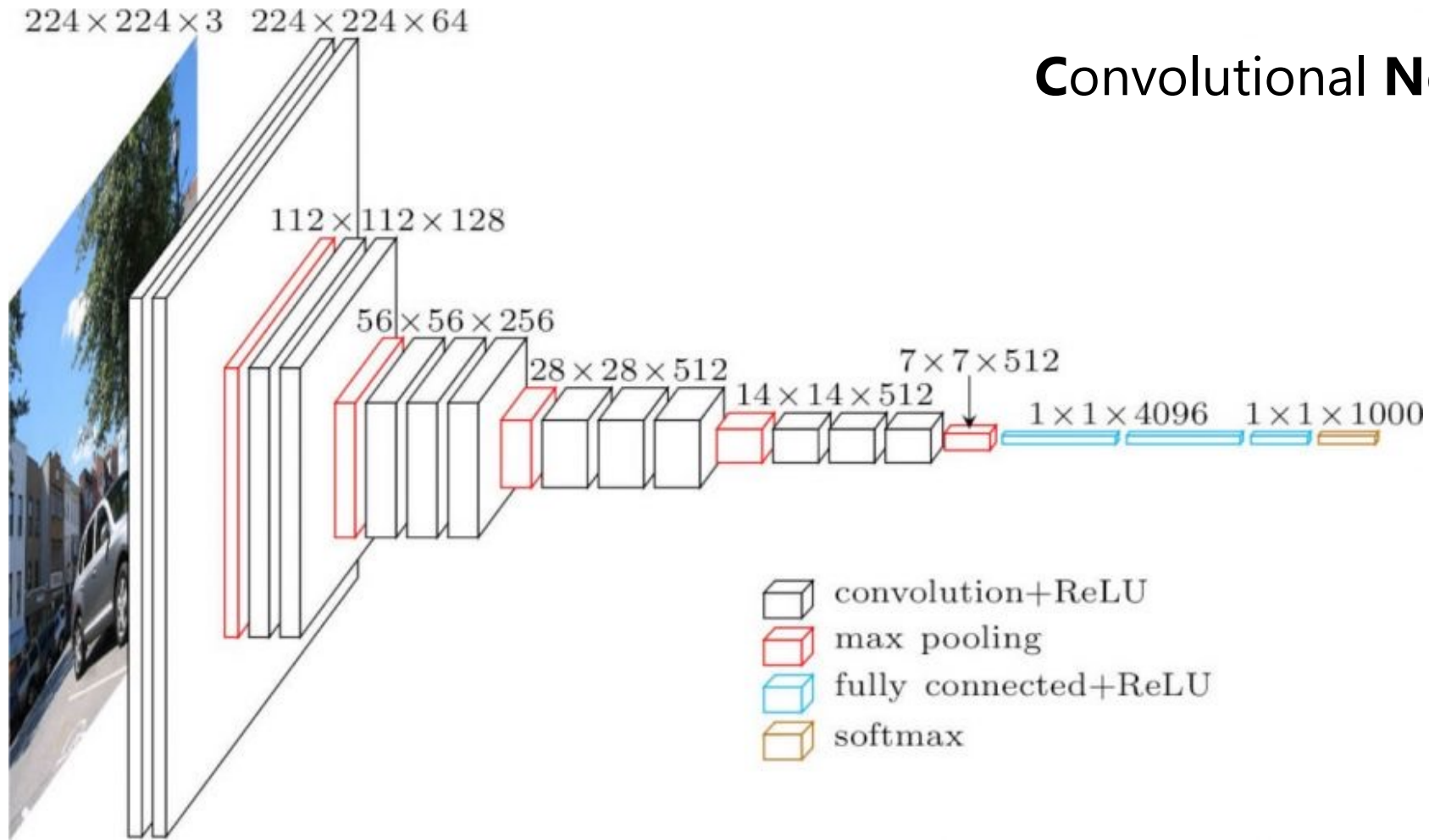
- 書籍

- Computer Graphics Gems JP 2012
 - Chapter 6: 画像からのソリッドテクスチャ合成

補足： **深層学習**に基づくテキストチャ合成

(背景) VGG : CNNによる画像識別器

Convolutional **N**eural **N**etwork

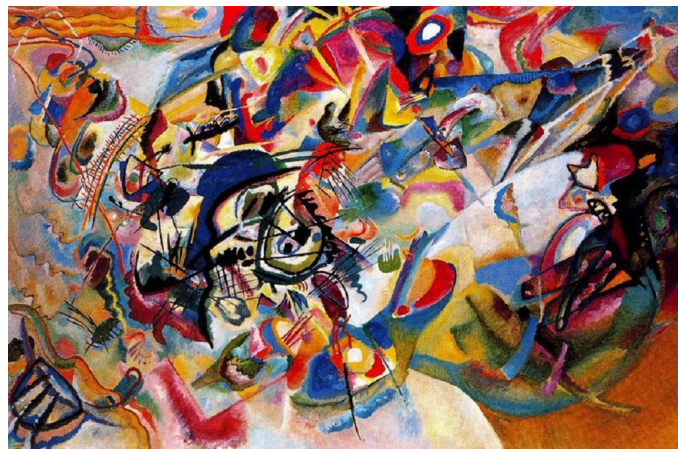


<https://neurohive.io/en/popular-networks/vgg16/>

(背景) Neural style transfer



Content



Style

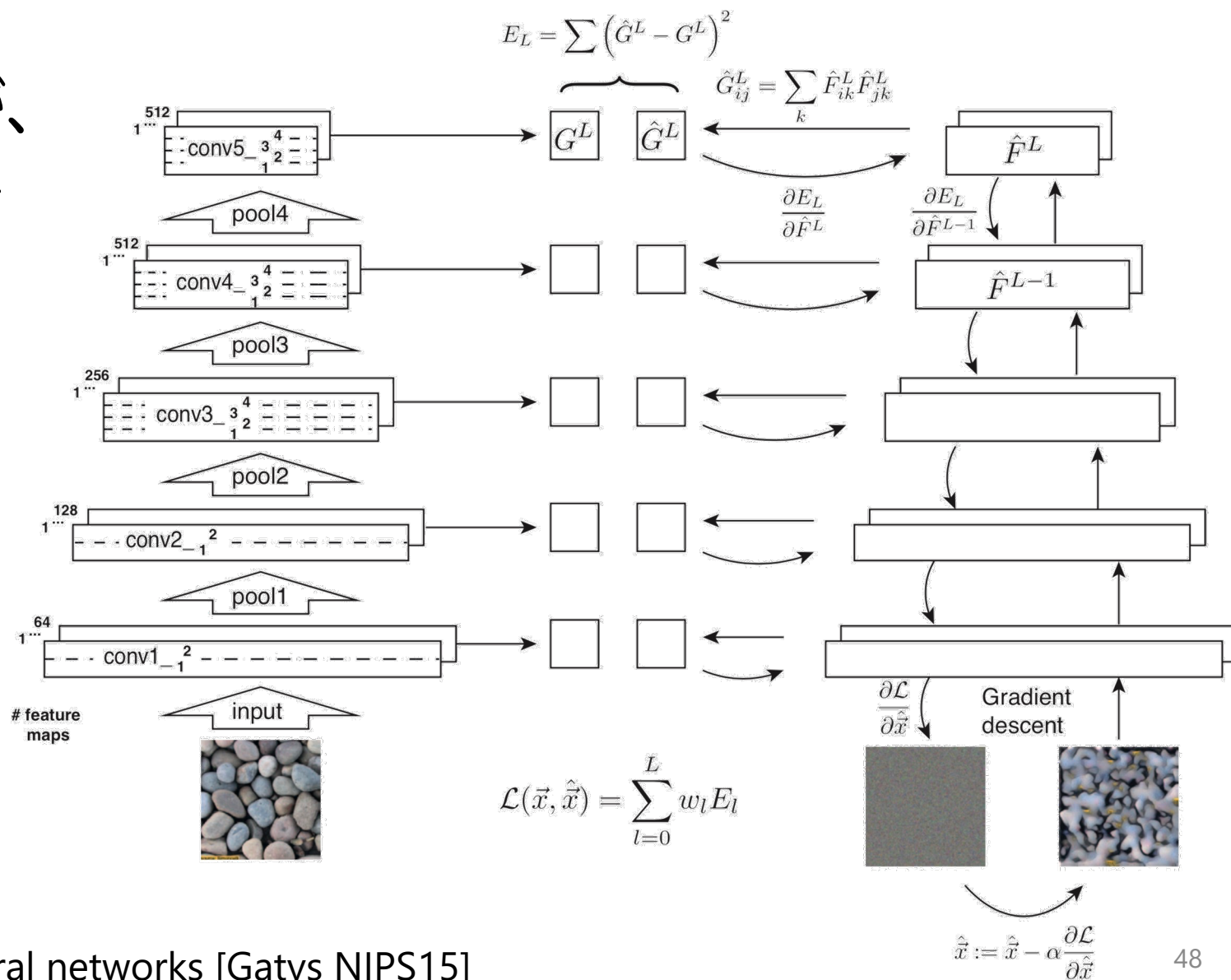


https://www.tensorflow.org/tutorials/generative/style_transfer

- Gram行列：VGGで得た各レイヤーの特徴量の間的相关を表す
- 初期値としてノイズを与え、その各レイヤーの特徴量がContent画像に近く、かつそのGram行列がStyle画像のGram行列に近くなるように、勾配降下法で最適化

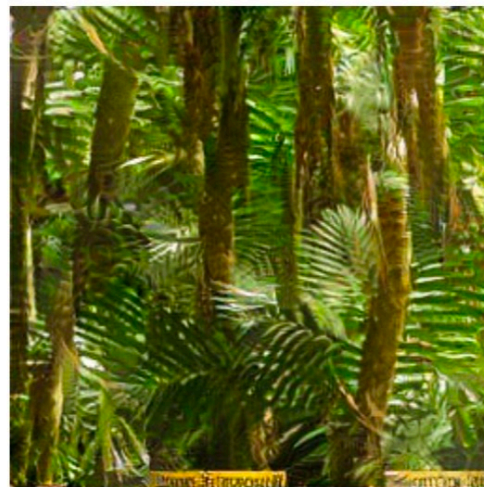
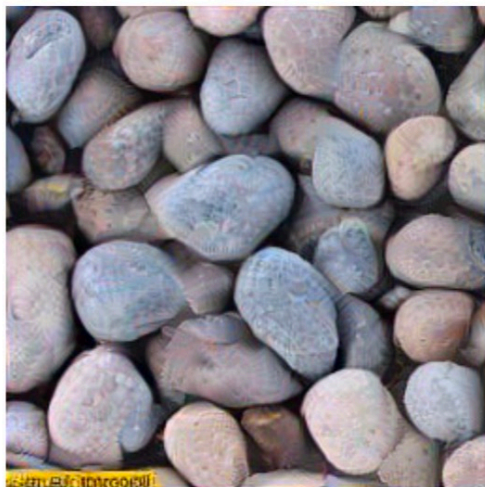
CNNに基づくテクスチャ合成

- 合成結果のGram行列が、入力画像のGram行列に近くなるように最適化

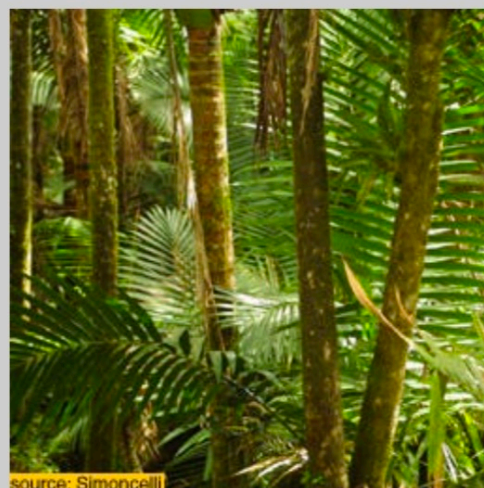
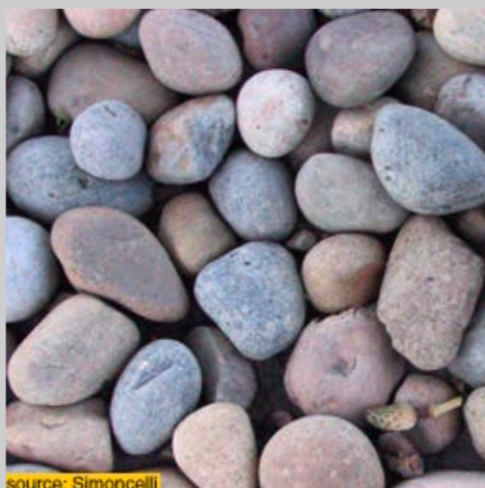


CNNに基づくテクスチャ合成

pool4



original



CG好きな人向けの深層学習のイントロ

- Deep learning: a crash course (by Andrew Glassner)
 - SIGGRAPH 2018/2019 Courses
 - <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3305366.3328026>
 - <https://www.youtube.com/watch?v=r0Ogt-q956I>