

Imagine Day

レンダリスト養成講座 2.0

田村 尚希

川瀬 正樹

シリコンスタジオ株式会社

本セッションの流れ

前半発表者：田村



後半発表者：川瀬



発表の流れ

1. 発表の概要
2. 論文紹介

「Real-Time, All-Frequency Shadows in Dynamic Scenes」



3. 発表のまとめ

発表の流れ

1. 発表の概要

2. 論文紹介

「Real-Time, All-Frequency Shadows in Dynamic Scenes」

3. 発表のまとめ

1 発表の概要 (1/3)

- 紹介論文:

Real-Time, All-Frequency Shadows in Dynamic Scenes
[Annen et al. SIGGRAPH 2008]



1 発表の概要 (2/3)

- 手法の特徴



SHEXP (既存手法)



今回の手法

- 環境マップライティングにおいて:

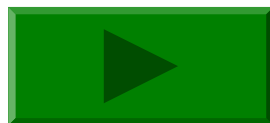
All-Frequency Shadow (くっきりした影 + ぼけた影)

を描画できる手法

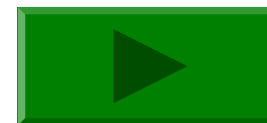
1 発表の概要 (3/3)

- 動画:

Dancing Robot(Part 2)



Flying Dragon



発表の流れ

1. 発表の概要

2. 論文紹介

「Real-Time, All-Frequency Shadows in Dynamic Scenes」



3. 発表のまとめ

説明順序

手法の概要

アルゴリズムの詳細

まとめ・考察

2.1 手法の概要 (1/2)



SHEXP (既存手法)

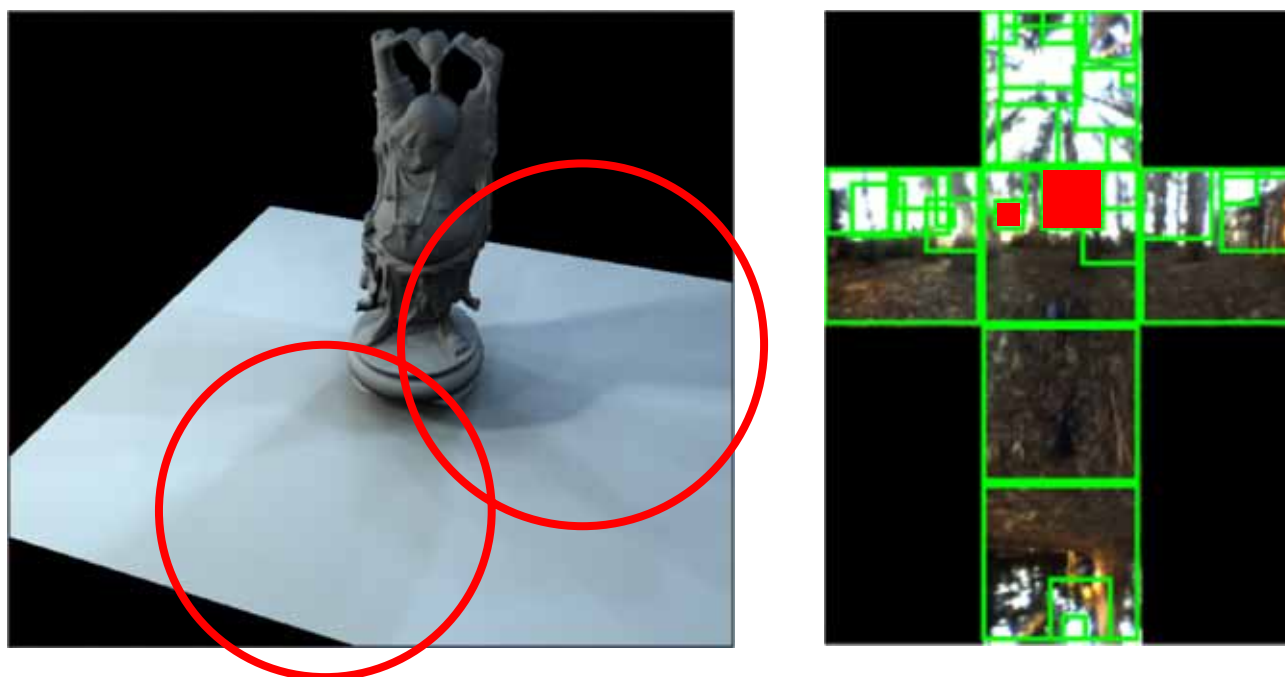


Wavelet Relighting (既存手法)

Spherical Harmonics変換, Wavelet変換等を利用する手法とは、異なるアプローチ

2.1 手法の概要 (2/2)

- 要点は、ソフトシャドウの複数回描画



手順1. 環境マップを複数の面光源に分割

手順2. 面光源毎にライティング計算

説明順序

手法の概要

アルゴリズムの詳細

環境マップの面光源分割

ライティング(ソフトシャドウ)計算

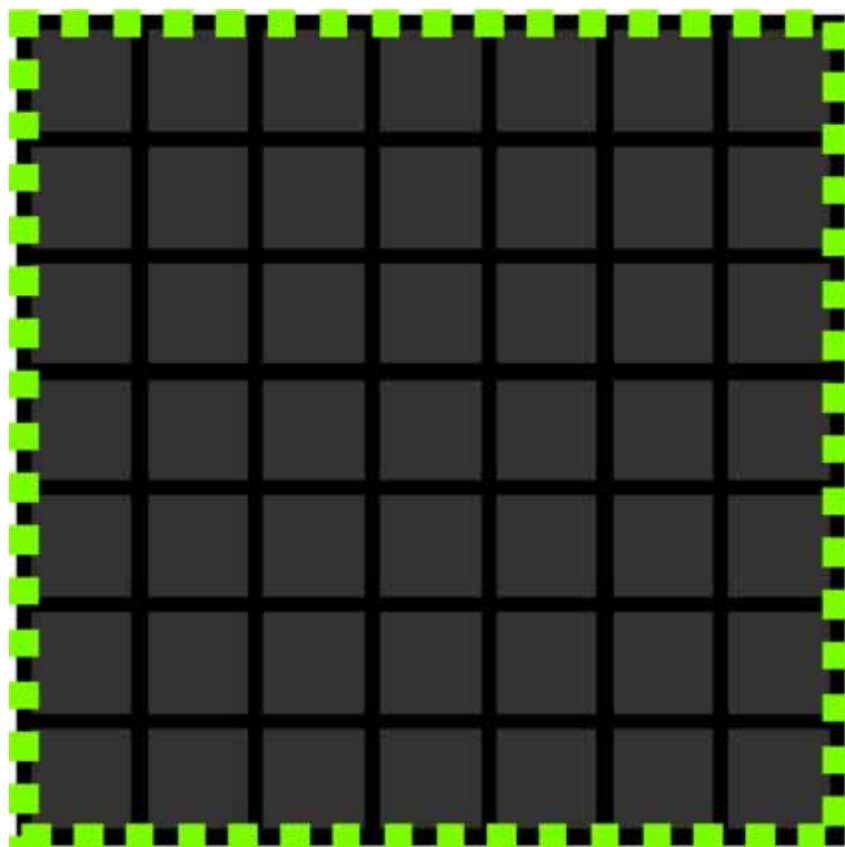
まとめ・考察

前計算

実行時

2.2 環境マップの面光源分割

- キューブマップの面毎に、反復的に分割



手順1:
面の中で最も明るいピクセルを選択

手順2:
下式が成立する間、面光源を拡大

$$\frac{E_{\text{delta}}}{E_{\text{total}}} > t$$

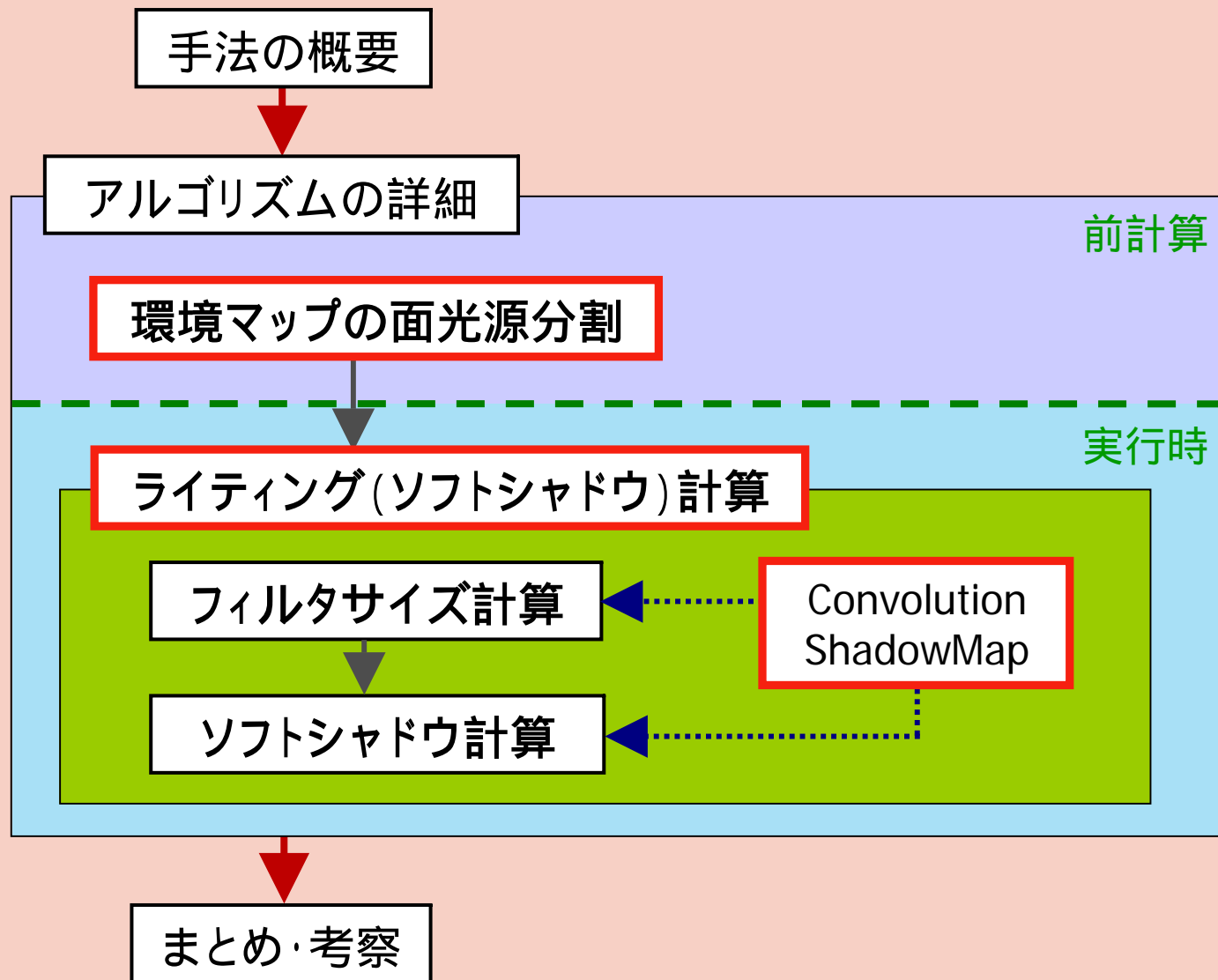
E_{delta} : 拡大する領域のエネルギー量
 E_{total} : 現在の面光源のエネルギー総量
 t : しきい値

$$E_{\text{res}} = \frac{E_{\text{total}}}{N}$$

N : 面光源のピクセル数

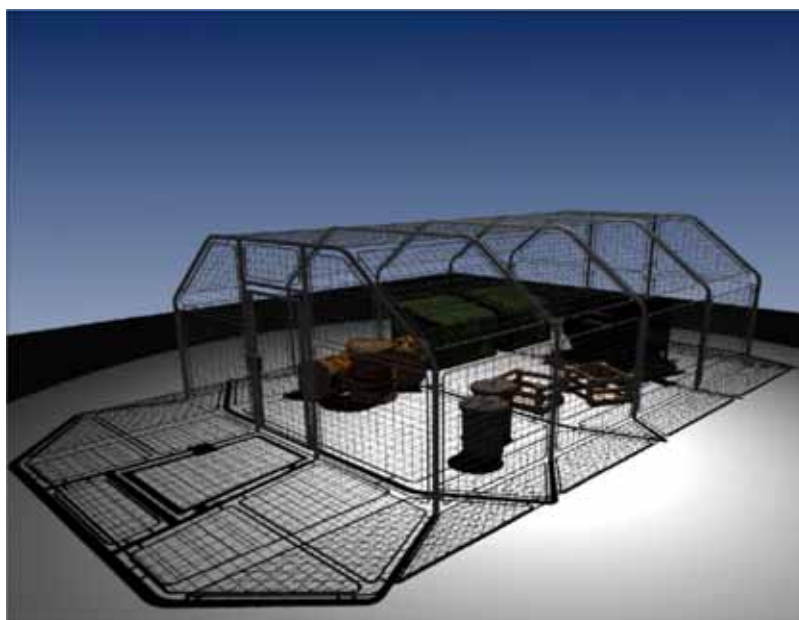
手順4:
面全体を覆いつくすまで、処理を繰り返す

説明順序

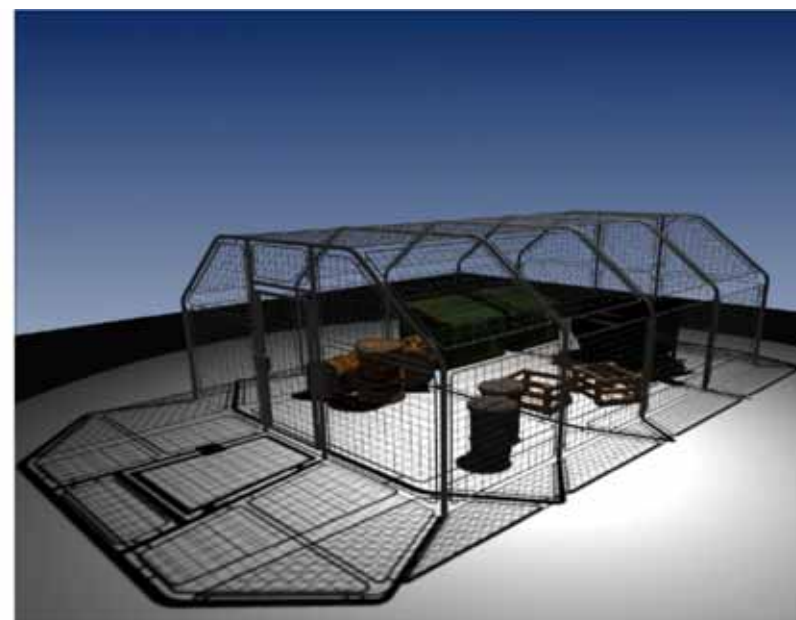


2.3 Convolution Shadow Map

Convolution Shadow Maps [[Annen et al. EGSR 2007](#)]



Percentage Closer Filtering



CSM with 7x7 blur and mip-mapping

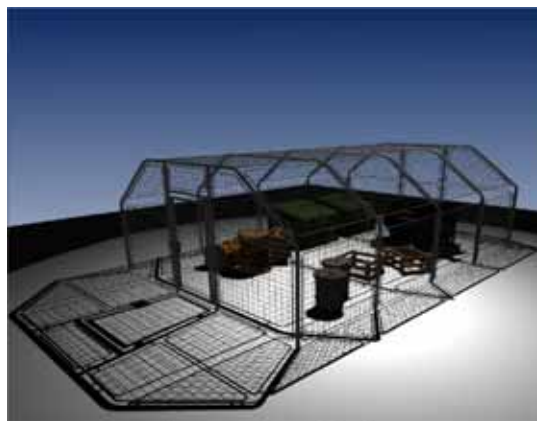
Convolution Shadow Mapsの説明手順

手法の背景

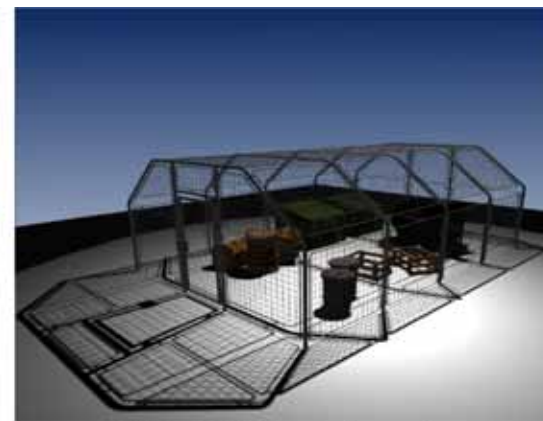
キーアイデア

レンダリング手順

Convolution Shadow Maps [[Annen et al. EGSR 2007](#)]



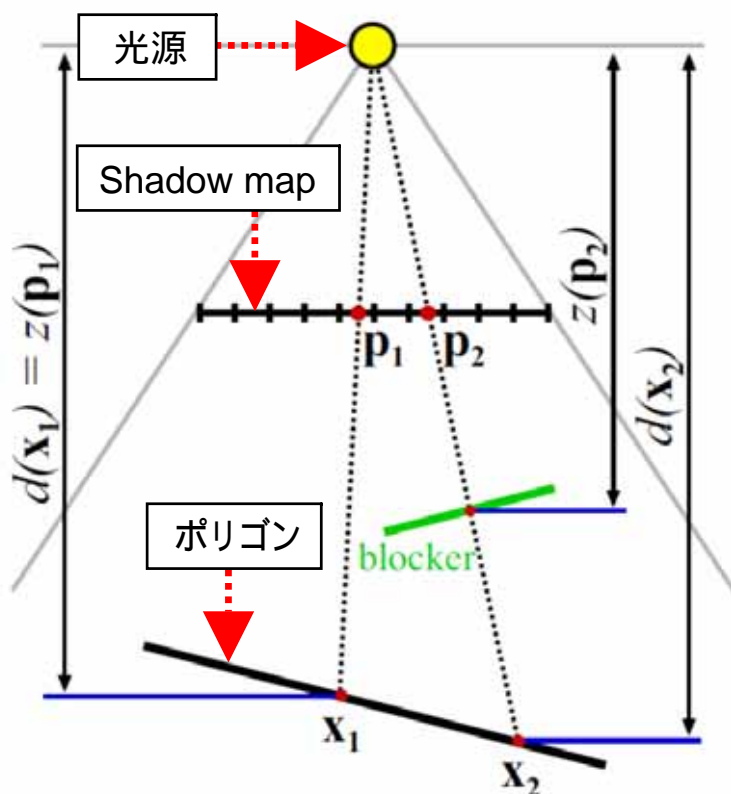
Percentage Closer Filtering



CSM with 7x7 blur and mip-mapping

2.3.1 手法の背景 (1/5)

- Standard Shadow Map



Standard Shadow Mapのシャドウテスト関数:

$$f(d(x), z(p)) = \begin{cases} 1 & \text{if } d(x) - z(p) \leq 0 \\ 0 & \text{if } d(x) - z(p) > 0 \end{cases}$$

$d(x)$: ポリゴン上の位置 x での深度値

$z(p)$: シャドウマップのピクセル p に記録された深度値

注) d, z はワールド空間上での光源との距離で $[0, 1]$ に正規化されていると仮定する

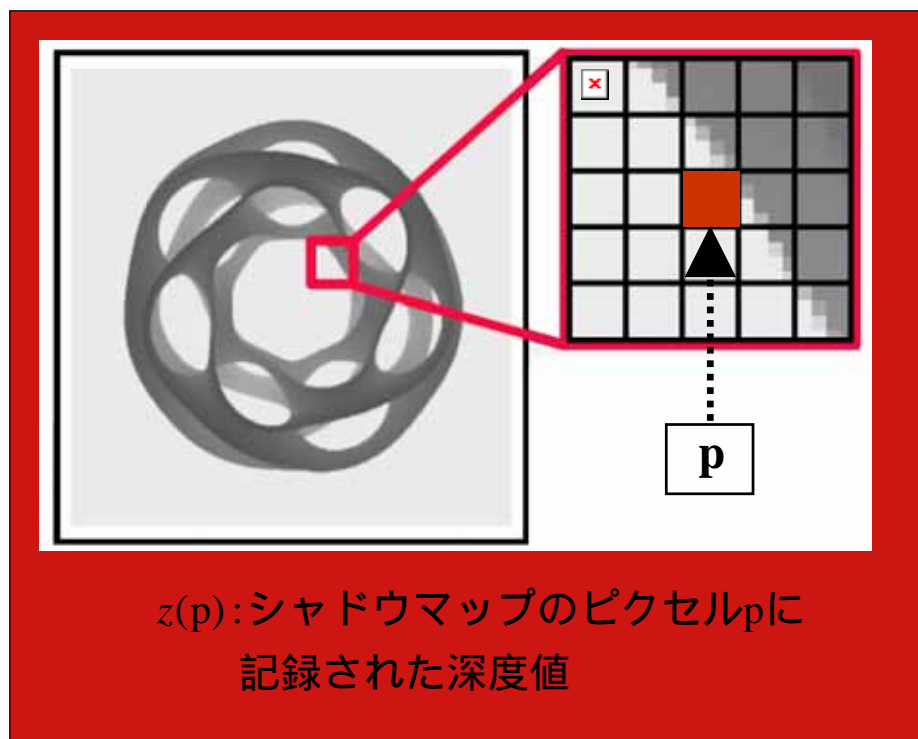
計算結果は $[0 \text{ or } 1]$ の2値のみになる

2.3.1 手法の背景 (2/5)

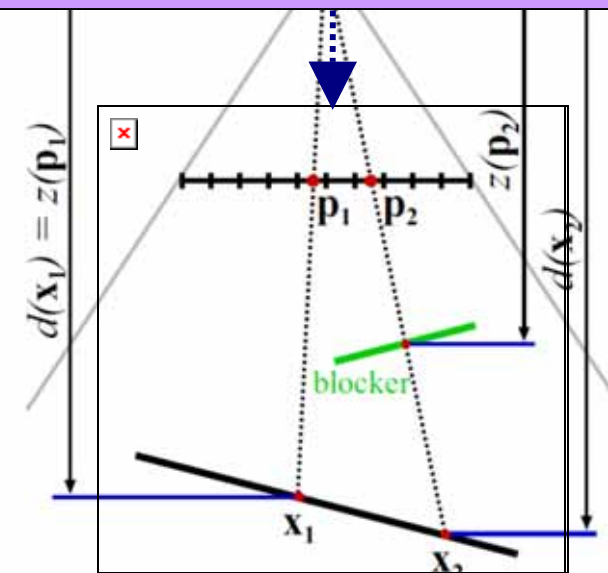
- PCF (Percentage Closer Filtering)

p近傍においてシャドウテストを行い、その平均を取り、ソフトシャドウを計算する手法

$d(x)$: ポリゴン上の位置 x での深度値 0.6



$$f(d(x), z(p)) = \begin{cases} 1 & \text{if } d(x) - z(p) \leq 0 \\ 0 & \text{if } d(x) - z(p) > 0 \end{cases}$$



$$= 13 / 25 = 0.52$$

2.3.1 手法の背景 (3/5)

- PCF (Percentage Closer Filtering)

p近傍においてシャドウテストを行い、その平均を取り、ソフトシャドウを計算する手法

PCFのシャドウテスト関数:

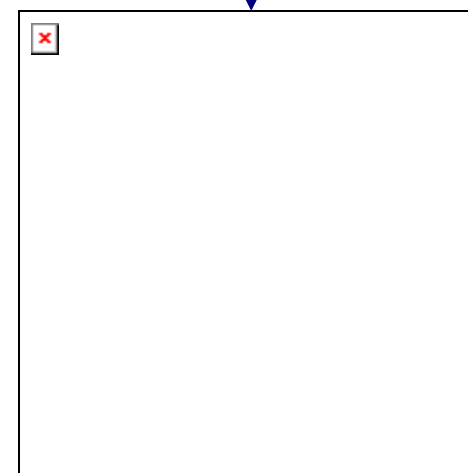
$$[w(q) * f(d(x), z(q))](p)$$

$$f(d(x), z(p)) = \begin{cases} 1 & \text{if } d(x) - z(p) \leq 0 \\ 0 & \text{if } d(x) - z(p) > 0 \end{cases}$$

q: pの近傍ピクセル

w: フィルタカーネル $[w(q)](p) = 1$

*: フィルタリング(畳み込み)

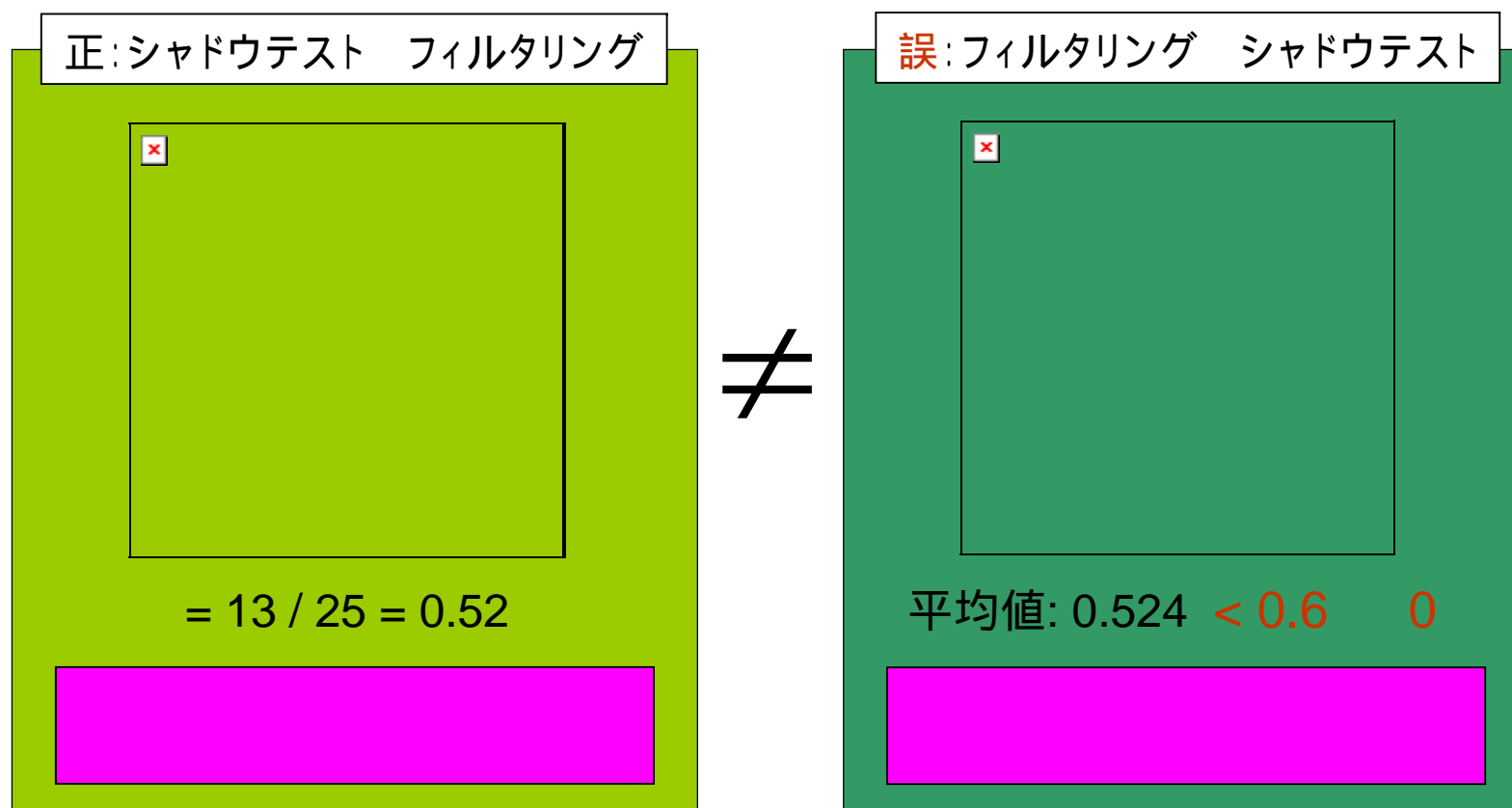


$$= 13 / 25 = 0.52$$

2.3.1 手法の背景 (4/5)

- PCF (Percentage Closer Filtering)

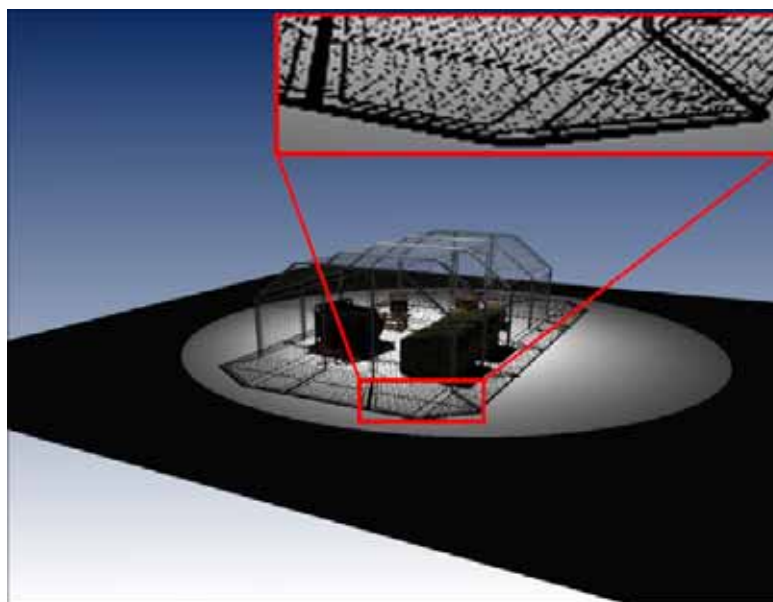
PCFを勉強した人が必ず学ぶ事:



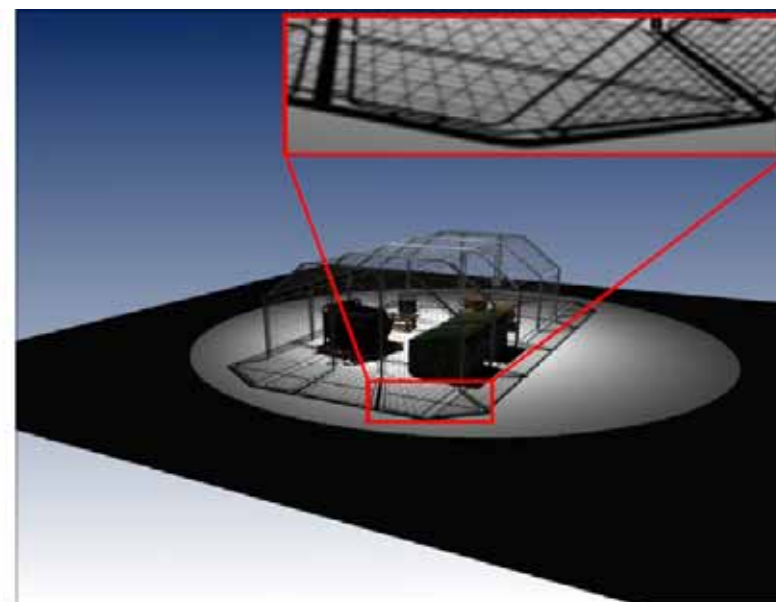
2.3.1 手法の背景 (5/5)

Convolution Shadow Mapsは、**[フィルタリング シャドウテスト]**の計算手順を可能にする手法

利点: **フィルタリング後にミップマップを作成し、影のエイリアシングを軽減可能**



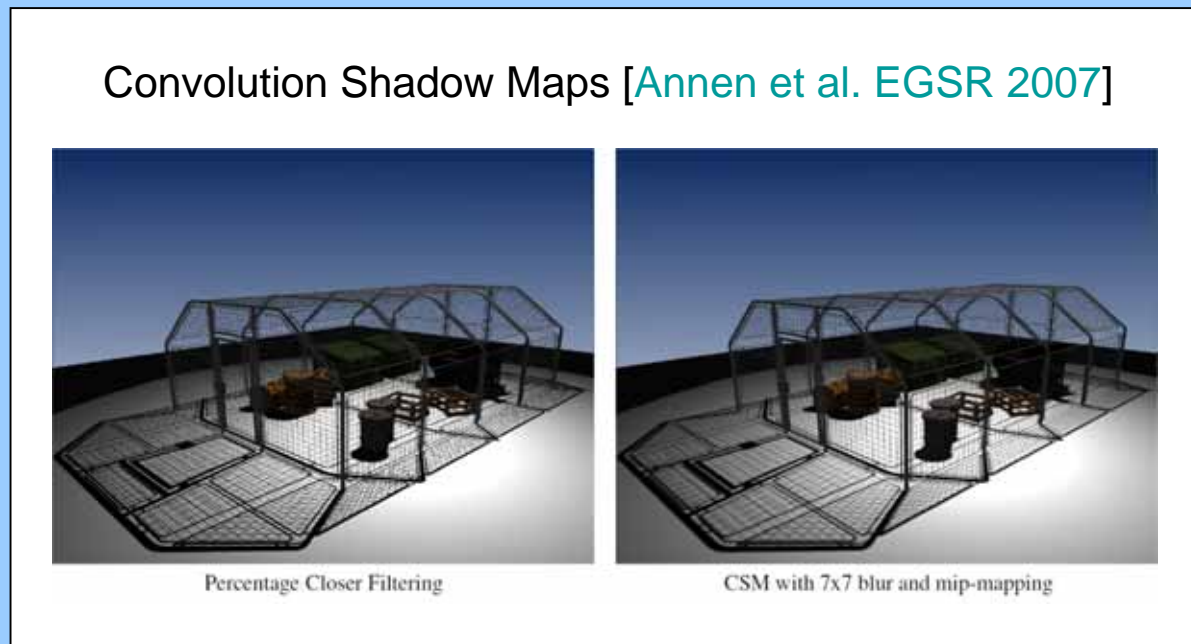
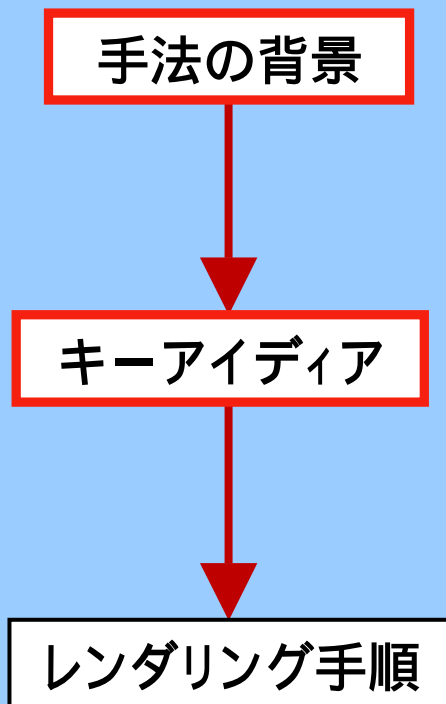
(b) PCF



(e) CSM

うーん、確かにそうだけど、論文書くためのこじつけのような気が。。。。

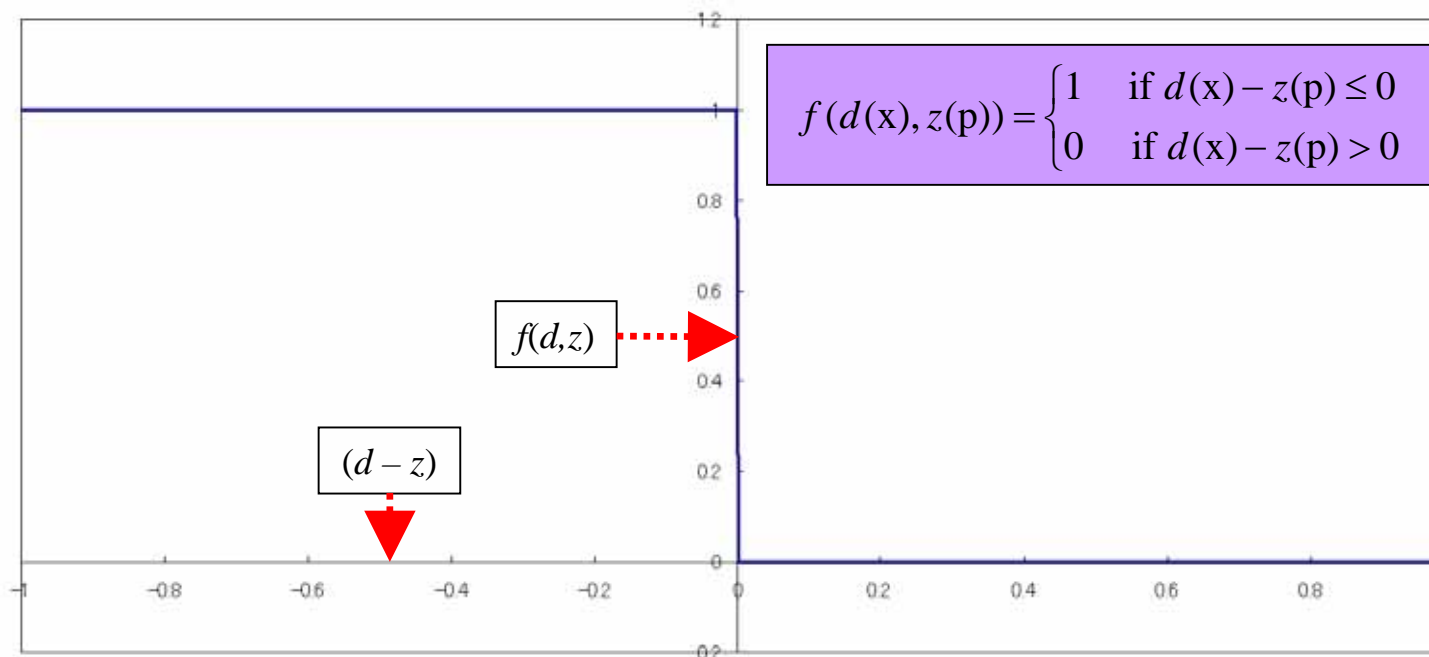
Convolution Shadow Mapsの説明手順



2.3.2 キーアイデア (1/4)

- 何故、**[フィルタリング シャドウテスト]** が通常の方法では実行できないのか?

$f(d(x), z(p))$ が二変数・不連続関数であるため



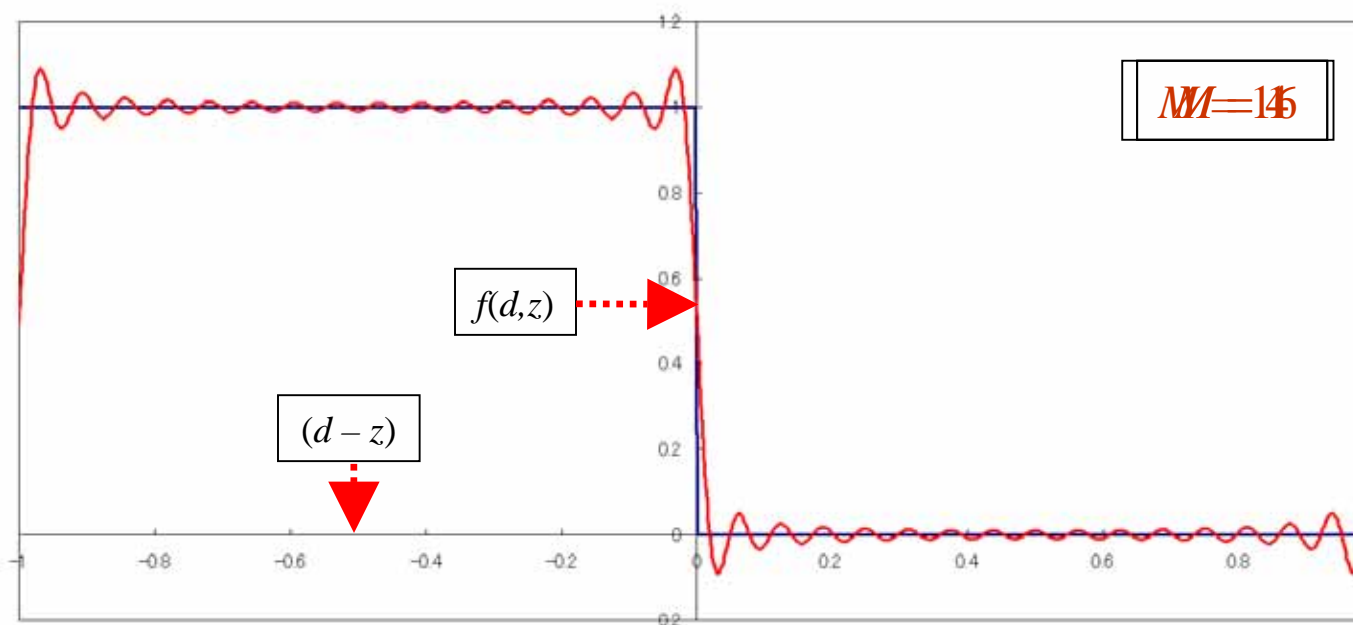
$f(d(x), z(p))$ の不連続性を取り除き、変数分離する

2.3.2 キーアイデア (2/4)

- $f(d(x), z(p))$ の不連続性の除去

$f(d(x), z(p))$ を基底関数の線形和で近似

$$f(d(x), z(p)) \approx \frac{1}{2} - 2 \sum_{k=1}^M \frac{1}{c_k} \sin(c_k (d - z)) \quad c_k = \pi(2k - 1)$$



2.3.2 キーアイデア (3/4)

- 近似関数の変数分離 三角関数の加法定理を利用

$$f(d(x), z(p)) \approx \frac{1}{2} - 2 \sum_{k=1}^M \frac{1}{c_k} \sin(c_k(d - z)) \quad c_k = \pi(2k - 1)$$

$\sin(a - b) = \sin(a) \cos(b) - \cos(a) \sin(b)$ を利用すると

$$f(d(x), z(p)) \approx \frac{1}{2} - \sum_{k=1}^M \frac{2}{c_k} \sin(c_k d(x)) \cos(c_k z(p)) + \sum_{k=1}^M \frac{2}{c_k} \cos(c_k d(x)) \sin(c_k z(p))$$



2.3.2 キーアイデア (4/4)

- 近似関数のフィルタリング

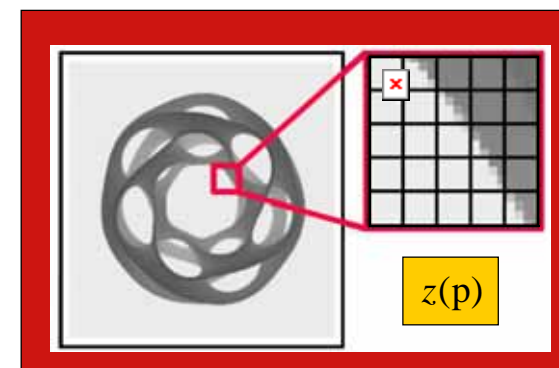
$$[w(q) * f(d(x), z(q))](p) \quad \text{に} \quad f(d(x), z(p)) \approx \frac{1}{2} + \sum_{k=1}^N a_k(d(x)) B_k(z(p)) \quad \text{を代入}$$

$$[w(q) * \left\{ \frac{1}{2} + \sum_{k=1}^N a_k(d(x)) B_k(z(q)) \right\}](p)$$

$d(x): 0.6$

$$[w(q)](p) = 1 \quad \text{より} \quad \frac{1}{2} + \left[w(q) * \left\{ \sum_{k=1}^N a_k(d(x)) B_k(z(q)) \right\} \right](p)$$

$$\frac{1}{2} + \sum_{k=1}^N a_k(d(x)) [w(q) * B_k(z(q))](p)$$



$$D_k = [w(q) * B_k(z(q))](p) \quad \text{とおくと}$$



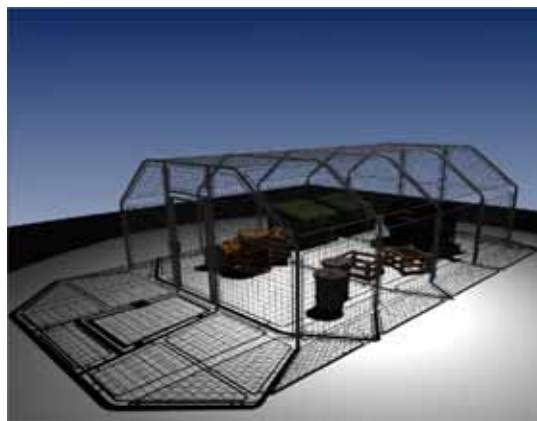
Convolution Shadow Mapsの説明手順

手法の背景

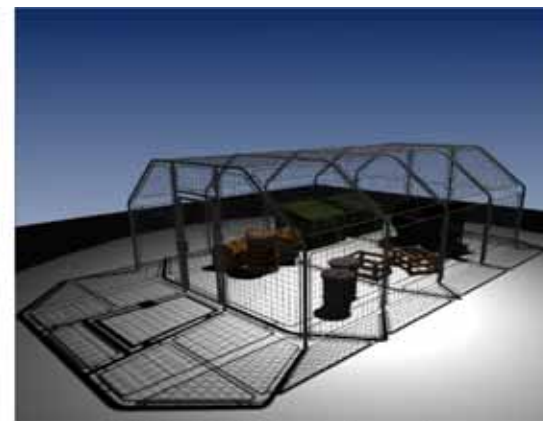
キーアイデア

レンダリング手順

Convolution Shadow Maps [[Annen et al. EGSR 2007](#)]



Percentage Closer Filtering

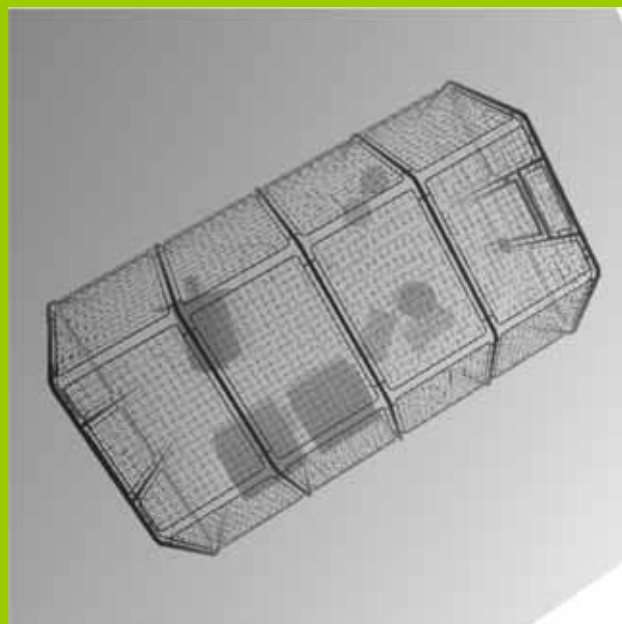


CSM with 7x7 blur and mip-mapping

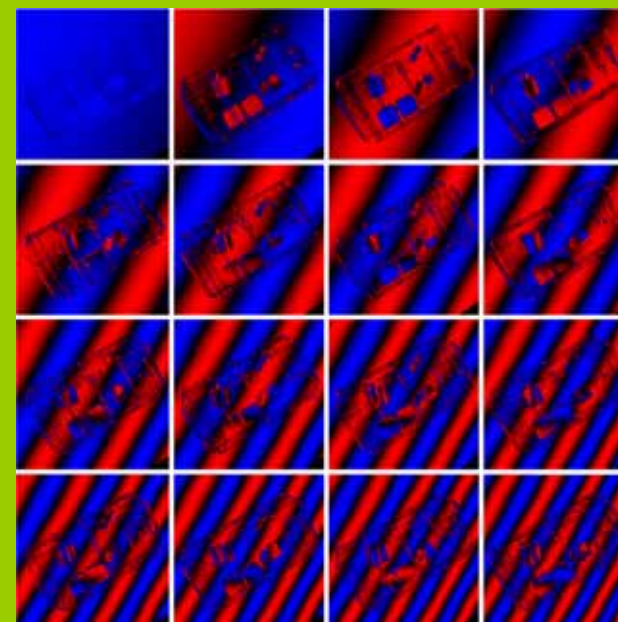
2.3.3 レンダリング手順 (1/3)

ステップ1 (深度値の取得)

光源からの線形深度値を
テクスチャに保存

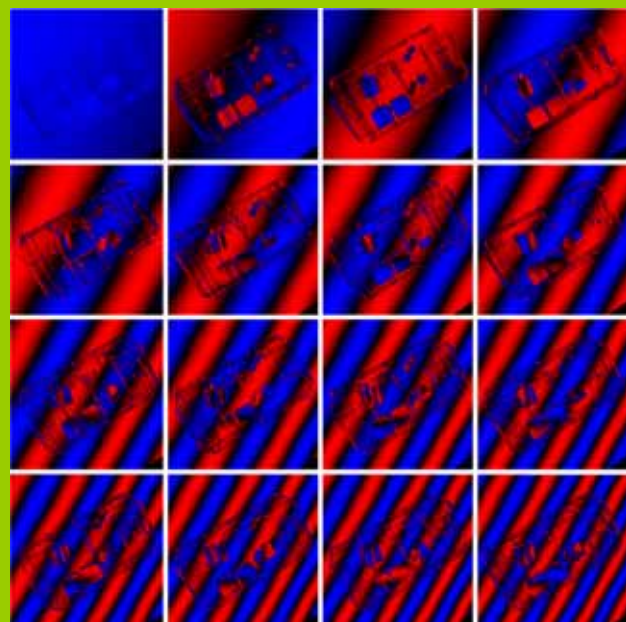


ステップ2 (基底関数計算)



2.3.3 レンダリング手順 (2/3)

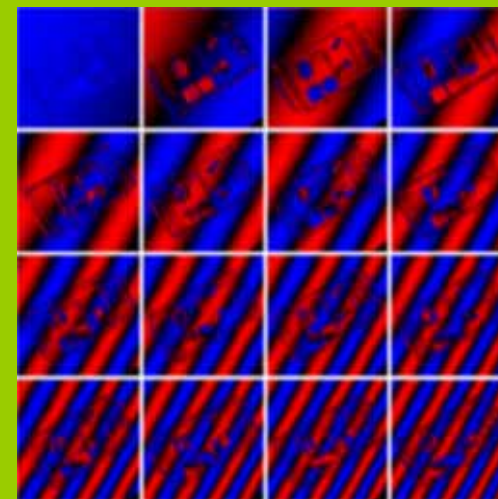
ステップ2 (基底関数計算)



ステップ3 (フィルタリング)

$$D_k = [w(q) * B_k(z(q))](p)$$

- B_k テクスチャをフィルタリング
1. 普通にフィルタリング
 2. Summed Area Table
 3. ミップマップ近似
- の選択肢がある



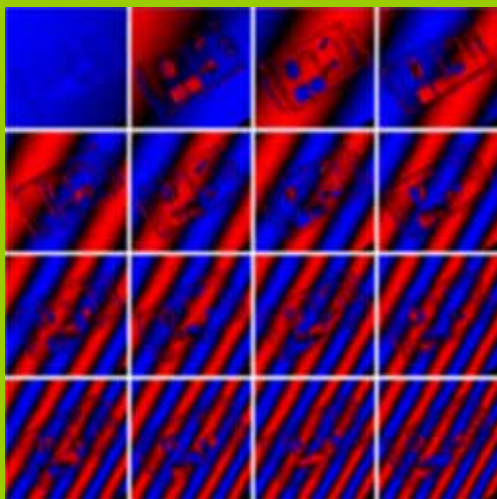
2.3.3 レンダリング手順 (3/3)

ステップ3 (フィルタリング)

$$D_k = [w(q) * B_k(z(q))](p)$$

B_k テクスチャをフィルタリング

1. 普通にフィルタリング
 2. Summed Area Table
 3. ミップマップ近似
- の選択肢がある

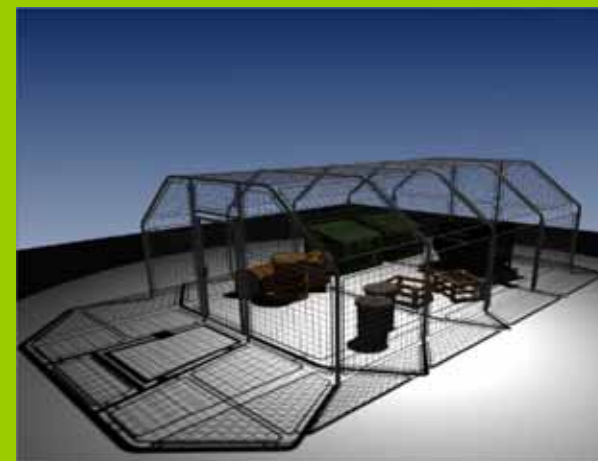


ステップ4 (シャドウテスト)

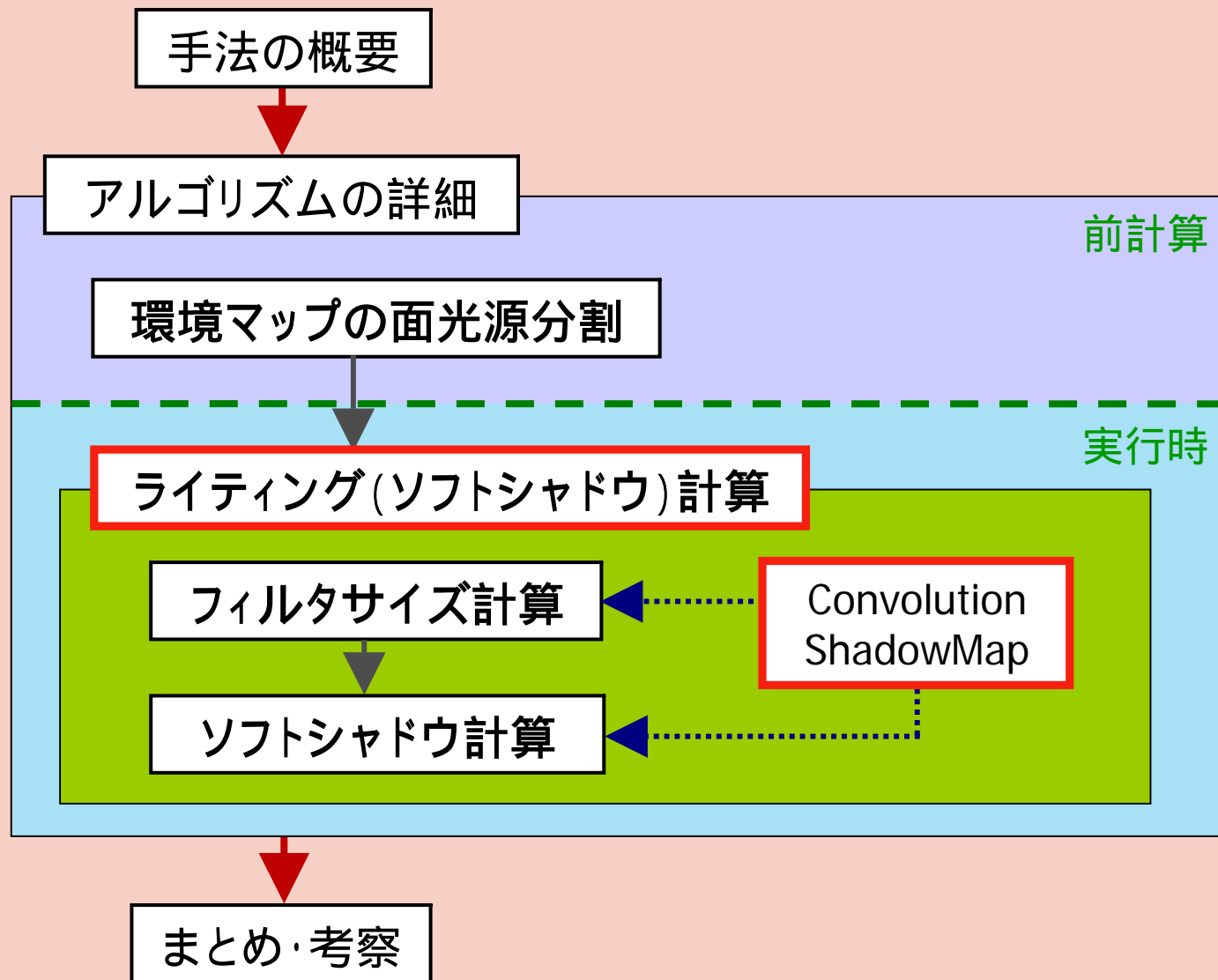
視点からシーンをレンダリングし

$$\frac{1}{2} + \sum_{k=1}^N a_k(d(x)) D_k(z(q)) \text{ を計算}$$

$$\begin{cases} a_{(2k-1)}(d(x)) = -\frac{2}{c_k} \sin(c_k d(x)) \\ a_{(2k)}(d(x)) = \frac{2}{c_k} \cos(c_k d(x)) \end{cases} \quad c_k = 2\pi(2k-1)$$

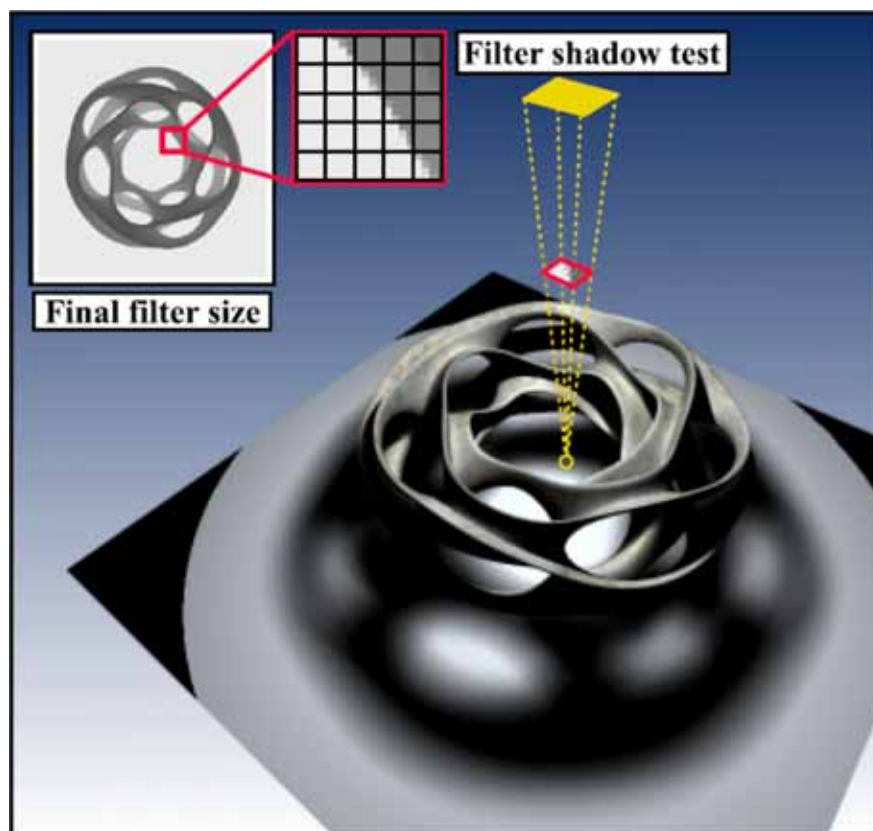


説明順序



2.4 ライティング計算

- Convolution Shadow Mapでは、フィルタサイズは固定
Shadow Mapを利用してピクセル毎にフィルタサイズを決定



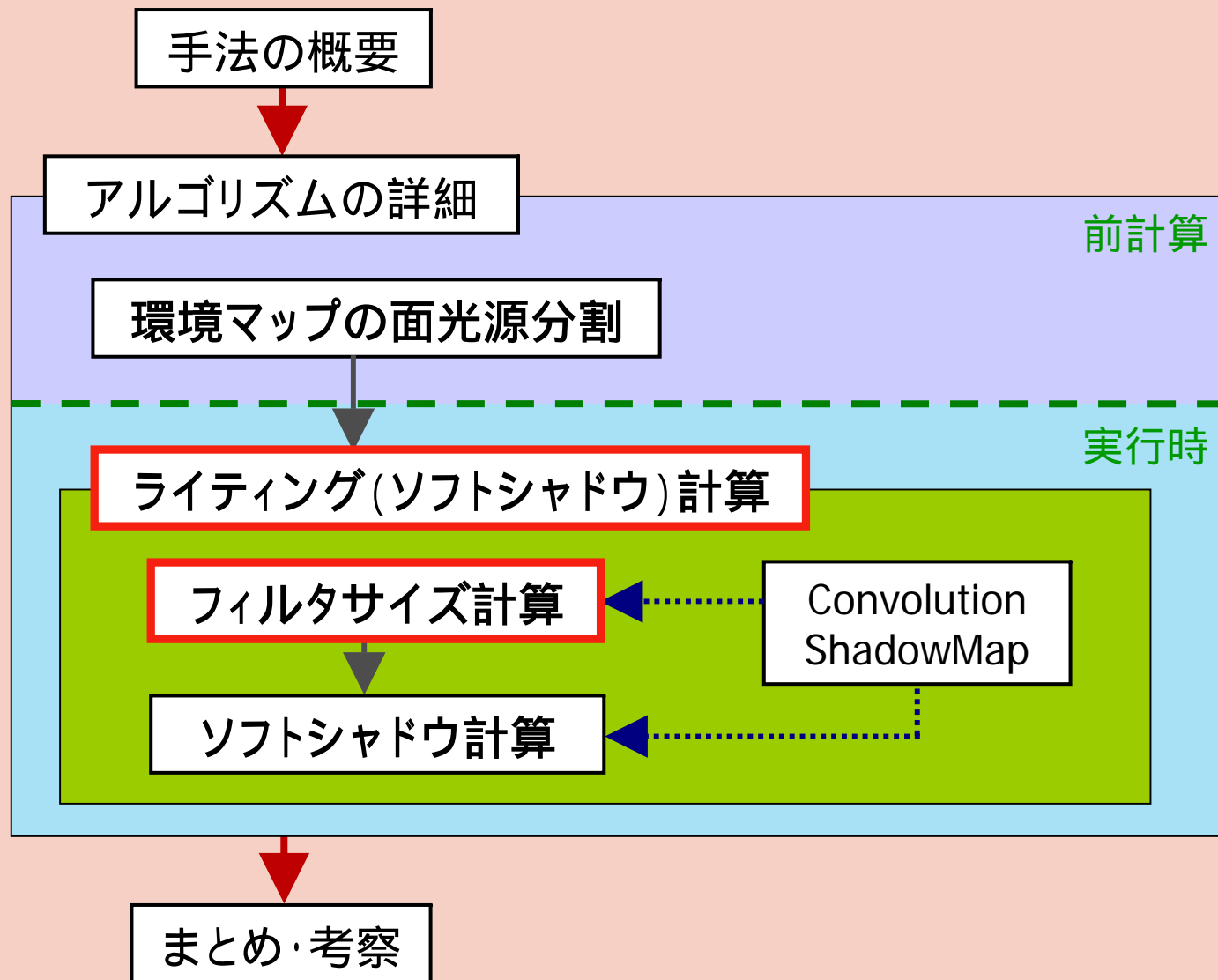
手順1：
光源とNear平面の交差領域を計算し
初期フィルタサイズを計算

手順2：
初期フィルタ内で、遮蔽物の平均深度
を計算し、仮想平面を設置

手順3：
光源と仮想平面の交差領域を計算し
フィルタサイズを調整

手順4：
Convolution Shadow Mapを適用

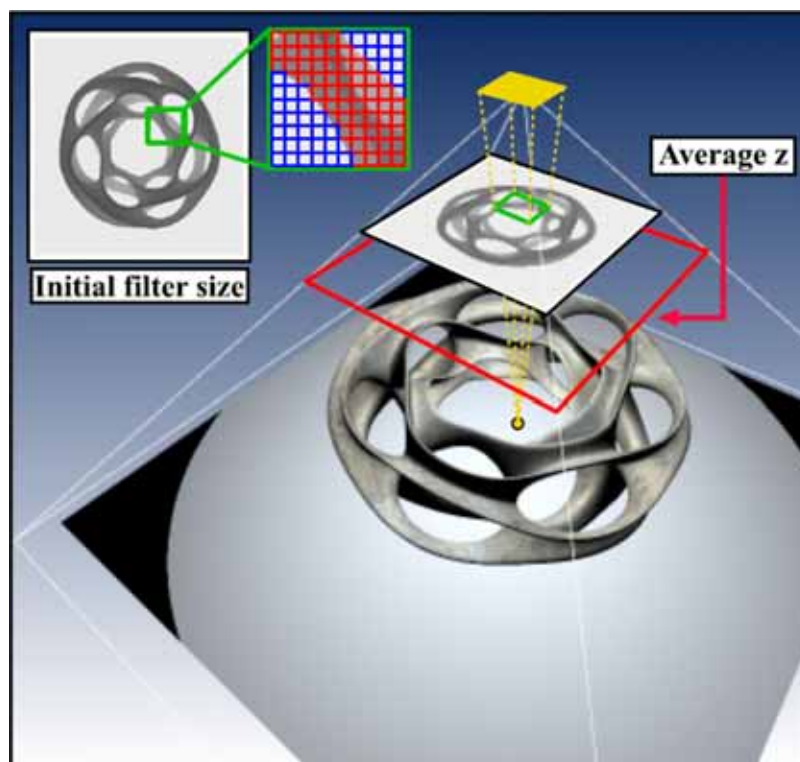
説明順序



2.5 フィルタサイズ計算

- 遮蔽物の平均深度値の計算

$$f(d(x), z(p)) = \begin{cases} 1 & \text{if } d(x) - z(p) \leq 0 \\ 0 & \text{if } d(x) - z(p) > 0 \end{cases}$$



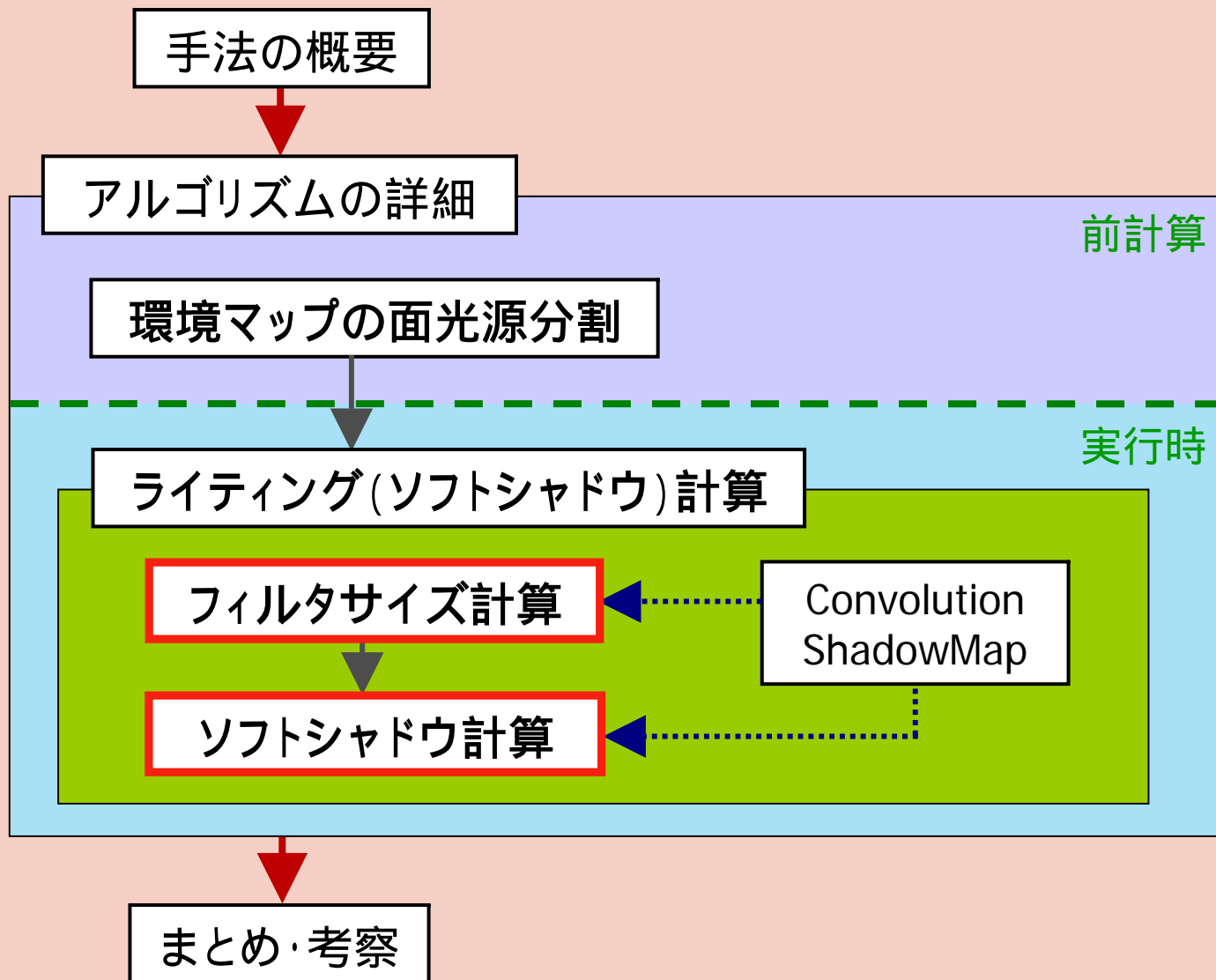
$$z_{avg} = \frac{1}{L} [w_{avg}(q) * \bar{f}(d(x), z(q)) \times z(q)](p)$$

$$\text{正規化定数: } L = [w_{avg}(q) * \bar{f}(d(x), z(q))](p)$$

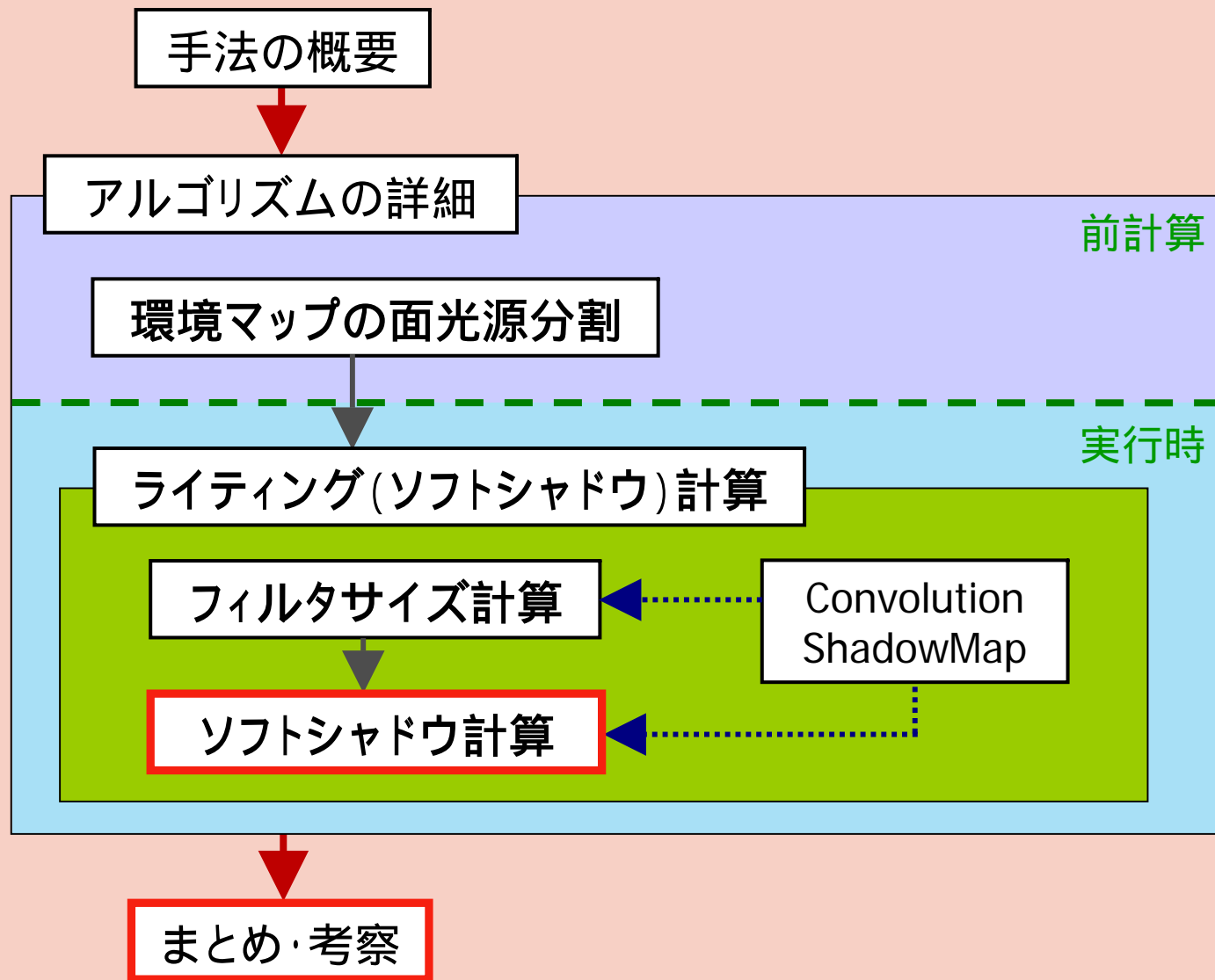
Convolution Shadow Mapの
アルゴリズムを流用して計算可能

詳細は、論文3.2節「Estimating Average Blocker Depth」参照

説明順序



説明順序



2.6 まとめ・考察 (1/2)

- まとめ



全ての面光源に対して同様の処理を繰り返す

2.6 まとめ・考察 (2/2)

- 考察

1. 力技ながら、環境マップライティングは実現可能
2. ただし、計算負荷が高すぎて実用には耐えられない
3. 本質的には、面光源のソフトシャドウを計算する手法なので、ライト1個のソフトシャドウであれば応用の余地はある

発表の流れ

1. 発表の概要

2. 論文紹介

「Real-Time, All-Frequency Shadows in Dynamic Scenes」

3. 発表のまとめ

3 発表のまとめ

- 紹介論文:

Real-Time, All-Frequency Shadows in Dynamic Scenes
[Annen et al. SIGGRAPH 2008]



Convolution Shadow Mapを拡張して
環境マップによるライティングを実現

3 発表のまとめ

著作権について

本スライド内で引用した論文の図・動画の
著作権は全て論文著者に帰属します

その他の図・スライド本体・挿絵等の著作権は
株式会社シリコンスタジオに帰属します

最後に



御清聴ありがとうございました