

## コンピュータグラフィックス特論 II

### 第14回 レンダリングの最新技術

九州工業大学 尾下 真樹

## レンダリングの最新技術

- レンダリングの最新技術
  - 基礎的なレンダリング技術だけでは、写実的な画像の生成は難しい
  - より写実的な画像を生成するための最新技術が開発されている
    - オフライン・アニメーション、オンライン・アニメーションの両方の用途に適用可能な技術

## 今回の内容

- レンダリングの最新技術
  - イメージベースドレンダリング
  - BRDFによる質感の表現
  - HDRレンダリング
- 講義のまとめ

## 参考書

- 「コンピュータグラフィックス」  
CG-ARTS協会 編集・出版(3,200円)
- 「3DCGアニメーション」  
栗原恒弥 安生健一 著、技術評論社  
出版(2,980円)
- Image-Based Rendering / BRDF
  - Paul Debevec (<http://www.debevec.org/>)
  - Computer Graphics Gems JP シリーズ
- HDRレンダリング



## イメージベースド レンダリング (モデリング)

## 3Dグラフィックスと実写の関係

- 3Dグラフィックス
  - 制作には労力がかかる
  - 存在しないものも表現可
  - 人間などの再現は難しい
- 実写
  - 実物をそのまま撮影できる
  - 人間などは実写の方が向いている
- 従来は、両者をうまく使い分けて合成する、という方法がとられてきた



Jurassic Park III  
Universal Pictures

### 問題点

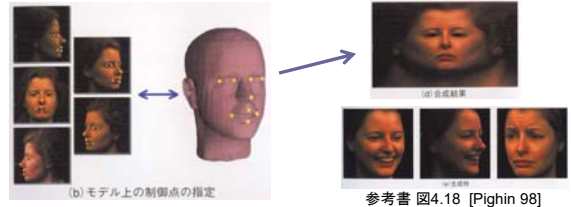
- 3Dグラフィックスでは、現実世界同様の形状・テクスチャ・素材(反射特性)を作成するのに多くの時間がかかってしまう
- グラフィックスだけ、実写だけでは再現できないものもある
  - 例: 激しく吹き飛ばされる人間など

#### → 解決方法

- 現実世界のデータを取り込んで、3Dグラフィックスの世界を作る

### イメージベースドレンダリング (モデリング)

- 実際の画像から、3Dモデルの情報を取得
  - 形状、テクスチャ、反射特性
    - 入力画像は、必ずしも、実写画像である必要はない
    - 下は、複数画像から、1枚のテクスチャを取り出す例

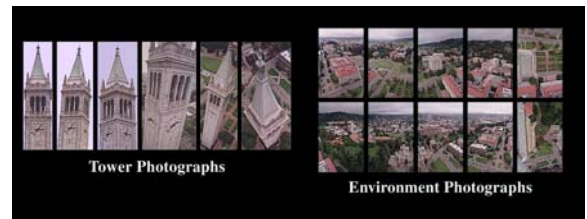


### イメージベースドレンダリング (モデリング)

- 主に2つの方向性がある
- 3Dモデルの正確な形状・素材・反射特性などを画像から取得する
  - レンダリングには、一般的な3Dグラフィックスの方法を使う
- 取得した画像を使って、物体をそのまま描画
  - 画像を使ったレンダリングに特化した、モデル表現・レンダリング手法を使う

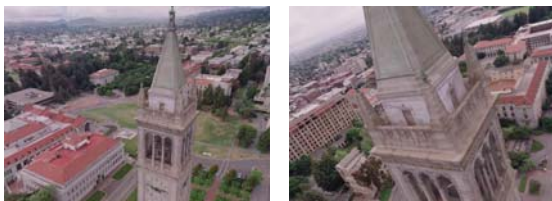
### 3Dモデル・テクスチャ取得の例

- 有名な UC Berkeley の塔の例(1997年)
  - Debevec ら
  - <http://www.debevec.org/>



形状データの推定

取得した形状データ+テクスチャを使って描画



### 映画などへの応用

- Matrixの有名なシーン
  - 背景はすべてCGで描画
    - 前のスライドで紹介した手法が使われている
  - 人物については実写
    - 俳優の周囲に並べた多数のカメラで撮影
    - 各カメラの画像を順に補間



Matrix Warner Bros.

### 周囲の環境(光)を取得

- 周囲から得た環境光の情報を人物の顔(CG)のレンダリングに適用



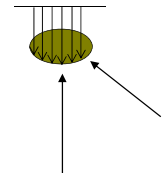
教科書 図5.46  
Debevec 2002

### 画像をそのまま描画する方法

- 画像から奥行き値を計算
- 奥行き値を使い、異なる視点の画像を生成
  - もとの画像で隠れている箇所は描画できないことに注意



教科書 図7.3 [McMillan 1999]



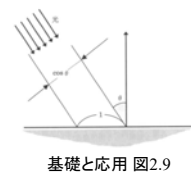
### BRDF

### BRDF

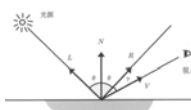
- BRDF
  - Bi-directional Reflectance Distribution Function
  - 双方向反射分布
- 現実世界の物質の反射特性を正確に再現するための技術
- イメージベースレンダリングの考え方を発展させたもの

### 反射特性のモデル

- フォンのモデル
  - 拡散反射光  $I_d = k_d I_i (N \cdot L)$
  - 鏡面反射光  $I_s = k_s I_i (R \cdot V)^n$
- 現実の物体
  - 表面は平らではなく、乱反射などが起こる
  - モデルとのずれが生じる



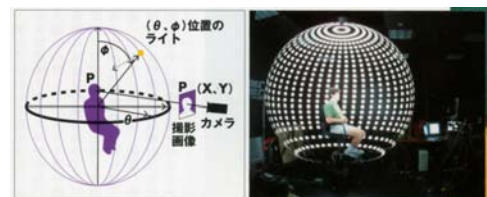
基礎と応用 図2.9



基礎と応用 図2.10

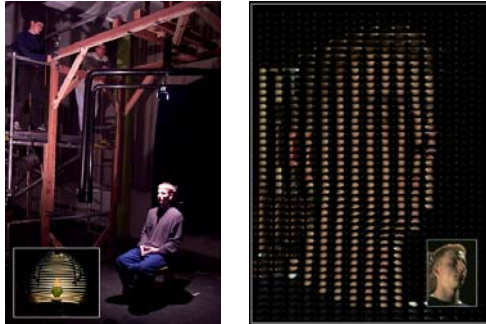
### BRDFの考え方

- 反射特性を表現
  - 視点方向・光源方向の関数によって表される
    - 法線に対する視点方向・光源方向
  - 特殊な装置を使って実際の素材から計測



CG WORLD  
2004年12月号

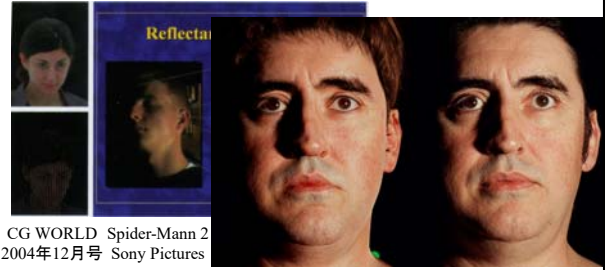
### サンプル画像の取得



Debevec  
2000

### 映画への応用

- Spider-Man 2  
– 完全CGのキャラクターの、顔の皮膚の質感を再現



CG WORLD Spider-Mann 2  
2004年12月号 Sony Pictures

### 映画への応用

- Matrix (2, 3)  
– 完全なCGキャラクターにBRDFが使われた最初の例



Matrix  
Warner Bros.  
CG WORLD  
2004年12月号

### デジタル・エミリー

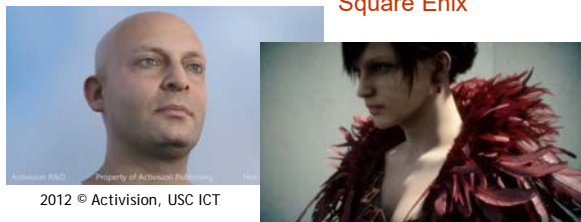
- 俳優の表情・質感をCGで再現(2010)



<http://gl.ict.usc.edu/Research/DigitalEmily/>

### リアルタイム・レンダリング

- Digital Ira (2012)
- Luminous Studio Square Enix



2012 © Activision, USC ICT

2015 © SQUARE ENIX CO., LTD

<http://ict.usc.edu/prototypes/digital-ira/>

### HDRレンダリング

## HDRレンダリング

- High Dynamic Range (HDR)
  - 人間の目がとらえることのできる輝度の範囲は、かなり広い
    - R:G:B = 8:8:8 = 24ビットで表せる範囲より広い
  - 浮動小数点を使って、各ピクセルのより正確な輝度(色)を表現する
- HDRレンダリング (HDRR)
  - High Dynamic Range を考慮して、浮動小数点バッファ(32ビット or 64ビット)にレンダリング
  - 画面に表示する際に、24ビット画像に変換

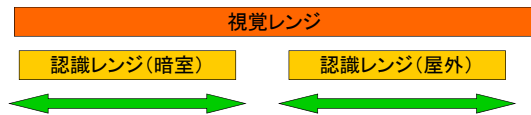
## 視覚のダイナミックレンジ



参考資料: <http://www.watch.impress.co.jp/game/docs/20050525/3dhl2lc.htm>

## 通常のレンダリング

- 人間の視覚レンジは広い
- 周囲の明るさに応じて、そのうち一部を認識
- 認識レンジは動的に調節される
- 通常は、適切な固定の認識レンジに24ビットを割り当てることで、レンダリング



## HDRRの概要

- 表示の解像度自体は変わらない
- 計算の段階でHDRで計算
  - 24ビットよりも高い精度・広い範囲を使用
- 適切な範囲を表示色にマッピングする
  - シーンの明るさに応じて認識レンジを動的に調節



## HDRRによる効果

- 周囲の明るさの変化によるHDRRの変化
  - 暗いところから明るいところへ出たときの効果などが再現できる
- 激しく明るいところの表現
  - まぶしく輝くような効果を再現できる
- 計算の精度が上がる
  - いままで方法では暗くて描画されなかった物体も、強い光が当たると見えるようになる
    - 暗い素材 × 非常に明るい光 = 普通の色で見える

## 明るさの変化による効果



参考資料: <http://www.watch.impress.co.jp/game/docs/20050525/3dhl2lc.htm>

### 激しく明るいところの表現

- 太陽光源、太陽光源が直接反射する場所
  - 激しく輝いて見える
  - 周囲のピクセルまでぼんやりと明るくなる
    - 周囲のピクセルの輝度も何らかのルールで明るくする



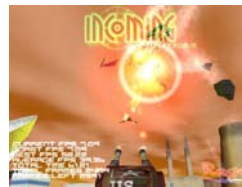
「DOUBLE S.T.E.A.L.」(ぶんか社)



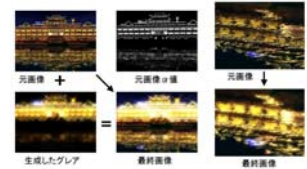
Hal Life 2

### 疑似HDRR

- 激しく明るい箇所に特殊な効果を適用する手法は、これまでも使われていた
  - フレア効果(光源が直接見えるときに描画)



「Incoming」(Rage)



川瀬正樹 (ぶんか社)

### HDRRの他の応用例



vVidia  
[http://www.nzone.com/object/nzone\\_timbury\\_downloads.html](http://www.nzone.com/object/nzone_timbury_downloads.html)



Age of Empires III

### レンダリングの最新技術

- 最新技術の実用
  - 今回紹介したような技術は、実際のアニメーションやゲーム制作で実用的に使われている
    - 市販のレンダリングソフトウェアやゲームエンジンでの実装、各自での実装
      - GPUによる実装、リアルタイム描画の実現
      - 高度なプログラミングが必要になる
    - データの準備など、実際の利用には手間がかかる
  - 十分に写実的(リアル)な表現が実現されている
- 精度(リアリティ)・速度・利用しやすさなどの点では、まだ課題が残されている

### まとめ

- レンダリングの最新技術
  - イメージベースレンダリング
  - BRDFによる質感の表現
  - HDRレンダリング
- 講義のまとめ

### 講義のまとめ

### 本講義の目標

- 最近の3次元CGで使われている最新技術について学ぶ
- 学習した技術を実際に応用して、3次元CGを使ったプログラムを作成できるようになる
- コンピュータグラフィックス技術を用いるソフトウェアを作成するときに必要となる、実用的な技術を中心に学習する

### 本講義の内容

- 本講義で学ぶ最新技術
  - 視点操作
  - 幾何形状データの読み込み
  - 影の表現(高度な描画技術)
  - キーフレームアニメーション
  - 物理シミュレーション
  - 衝突判定
  - キャラクタアニメーション



### 本講義の内容

- 授業で学習した内容をもとに、実際のプログラム(各技術の主要な処理の一部)を作成
- レポート課題
  1. 視点操作
  2. 影の描画
  3. キーフレームアニメーション
  4. ピッキング
  5. キャラクタアニメーション

### 本講義の意義

- 本講義の受講者で、コンピュータグラフィックスを専門とする研究・仕事に就く人は少ない?
  - ゲームプログラマ、アニメーション制作者など
  - 本講義の内容は、これらの仕事に直接関係する
- 他の多くのソフトウェアでも、コンピュータグラフィックスが要素技術として使われる
  - ロボットのシミュレーション結果の表示
  - 仮想空間や仮想人間のアニメーション
  - 3次元物体のシミュレーション結果の可視化、等

### 本講義の意義(続き)

- 研究や仕事で、コンピュータグラフィックスを使ったプログラムを開発する機会があれば、本講義で扱う内容は役に立つ

### 成績評価

- レポート(・プレゼンテーション)(80%)
  - プログラム作成の課題を出し、そのレポートの内容により評価
    - 5回程度のレポート課題を出す
- 出席状況・演習問題(20%)
  - 毎回の授業に出席して講義内容を理解する
  - 講義中に演習問題(ミニテスト)を行う
    - 学会等での欠席は事前に欠席届を出せば配慮(ただし演習問題の点数はなし)、就職活動は欠席扱い

### コースとモジュール

- 本講義は「グラフィックスと応用」モジュールに属する
  - 本モジュールに属する他の講義
    - マルチメディア表現/工学特論(乃万先生)
    - ヒューマンインタフェース(大橋先生)
    - 仮想空間論(碓崎先生)
    - コンピュータビジョン特論II(岡部先生)
 (5科目中3科目の単位を取得すれば、モジュール修了)
- 「グラフィックスと応用」モジュールは、「メディア処理」コースに属する
  - 他のモジュールも修了すれば、コース修了認定

### 授業アンケートへの回答

- 大学院 授業アンケート
  - LiveCampusにログインして回答
  - 回答期間: 2017年5月12日~6月9日
- 本授業のアンケート
  - 本日の演習問題と合わせて回答
- いずれも成績評価には一切影響しません