

# マルチメディア工学 5

## 仮想 / 拡張 / 複合現実感

### モーションキャプチャ

### カメラキャリブレーション (校正:Calibration)

佐藤 嘉伸

大阪大学 大学院医学系研究科  
医用工学講座 画像解析学

[yoshi@image.med.osaka-u.ac.jp](mailto:yoshi@image.med.osaka-u.ac.jp)

<http://www.image.med.osaka-u.ac.jp/member/yoshi/>

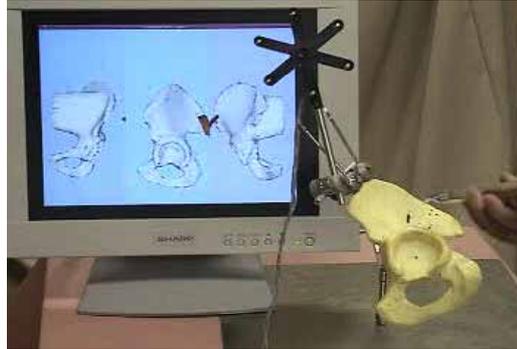
講義ホームページ: [日本語ページ](#) → 授業の資料 → マルチメディア工学

## マルチメディア工学：講義計画

- イン트로ダクション
- コンピュータグラフィックス (Computer Graphics: **CG**)
- 仮想 / 拡張 (複合) 現実感 (Virtual/Augmented(Mixed) Reality: **VR / AR・MR**)
  - モーションキャプチャ、カメラキャリブレーション (カメラ校正)
  - (仮想空間と実空間の) 位置合わせ
- マルチメディアデータの統計解析

## 複合現実感の典型例

- 手術ナビゲーション



何をしているところか？  
そのために何が必要か？

## 仮想・拡張・複合現実感

(Virtual/Augmented(Mixed)

Reality: VR / AR・MR)

モーションキャプチャ

カメラキャリブレーション(校正)



## 実データ + CG (Mixed Reality 複合現実感)

実例: PlayStation2: FIFASOCCER

光学式モーションキャプチャ



実画像 → 3次元(実)運動モデル

リアリスティックな  
仮想画像

+

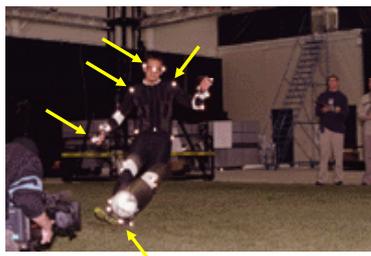
3次元(仮想)形状モデル

→

(実 + 仮想)画像

## 実データ + CG: 光学式モーションキャプチャ (VICON)

実例: PlayStation2: FIFASOCCER



→ (赤外線反射) マーカ

→ 赤外線発光装置  
+ 赤外線カメラ



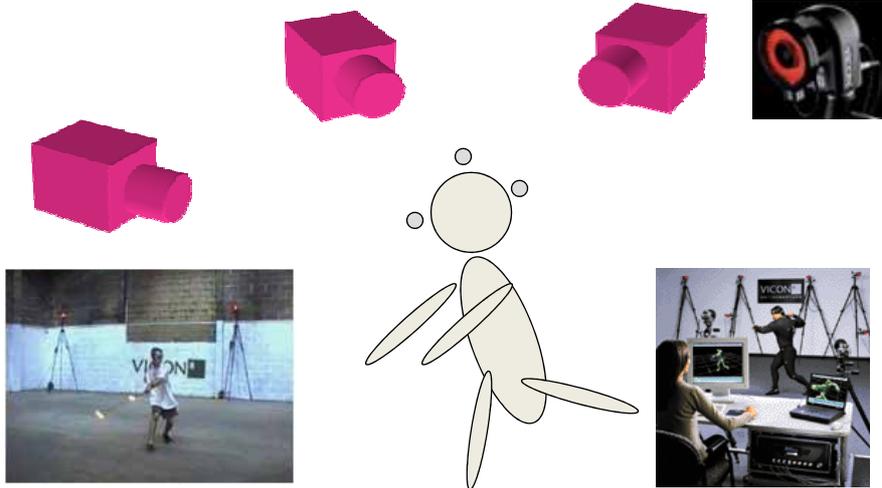
赤外線発光装置

赤外線  
ビデオカメラ

マーカの3次元運動を複数のカメラで計測する.

# 光学式モーションキャプチャーの原理 多眼ステレオ法

マーカの3次元運動を複数のカメラで計測する。

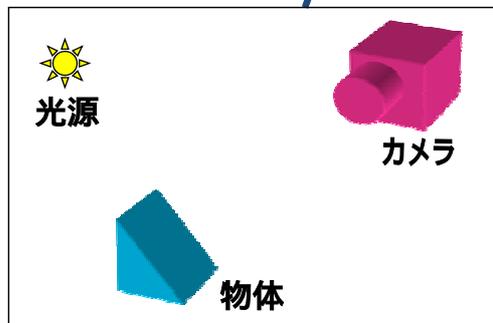


## 3次元データ処理・イントロダクション

CG (Computer Graphics) CV (Computer Vision)

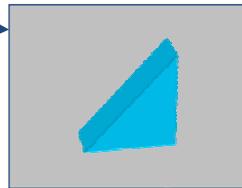
### コンピュータグラフィックス

(Computer Graphics: **CG**)  
3次元世界モデル→画像



3次元世界

### 画像



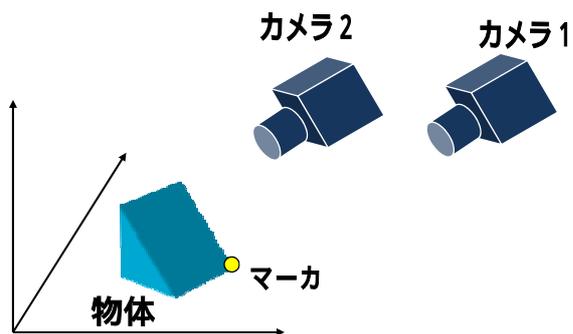
### コンピュータビジョン

(Computer Vision: **CV**)  
画像→3次元世界モデル

## 光学式モーションキャプチャの原理

### 多眼ステレオ

(実世界を撮影した複数のカメラ画像からの3次元復元)

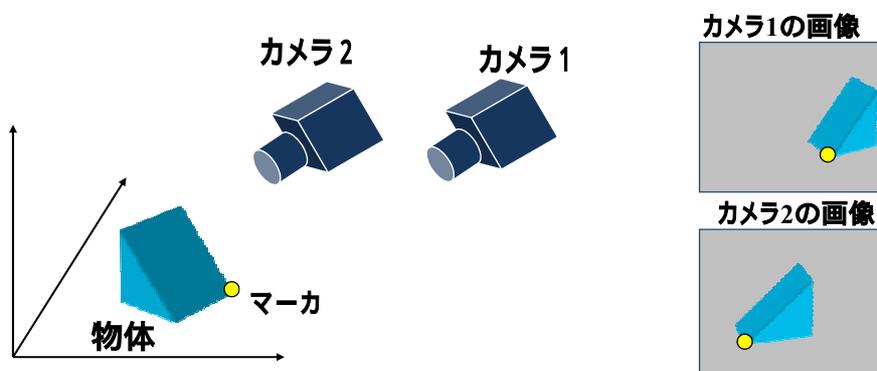


## 光学式モーションキャプチャの原理

### 多眼ステレオ

(実世界を撮影した複数のカメラ画像からの3次元復元)

2つの画像中のマーカ位置から、どのようにして、  
マーカの3次元座標を計算できるか？

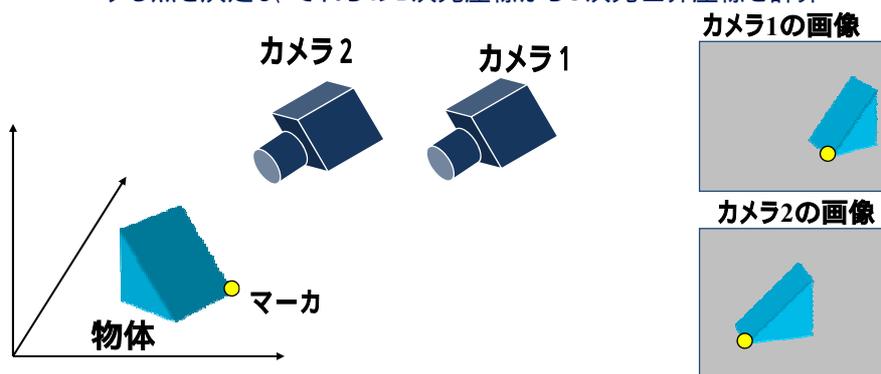


## 光学式モーションキャプチャの原理

### 多眼ステレオ

(実世界を撮影した複数のカメラ画像からの3次元復元)

- **カメラキャリブレーション**(校正):カメラ画像(画像座標)と3次元世界(世界座標)の空間関係を記述するパラメータの事前計測
- **3次元位置計測**:複数の2次元画像から同一3次元物理点に対応する点を決定し、それらの2次元座標から3次元世界座標を計算

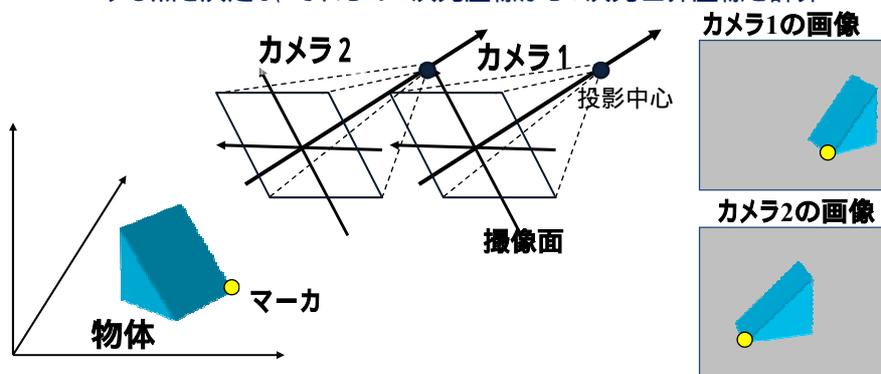


## 光学式モーションキャプチャの原理

### 多眼ステレオ

(実世界を撮影した複数のカメラ画像からの3次元復元)

- **カメラキャリブレーション**(校正):カメラ画像(画像座標)と3次元世界(世界座標)の空間関係を記述するパラメータの事前計測
- **3次元位置計測**:複数の2次元画像から同一3次元物理点に対応する点を決定し、それらの2次元座標から3次元世界座標を計算

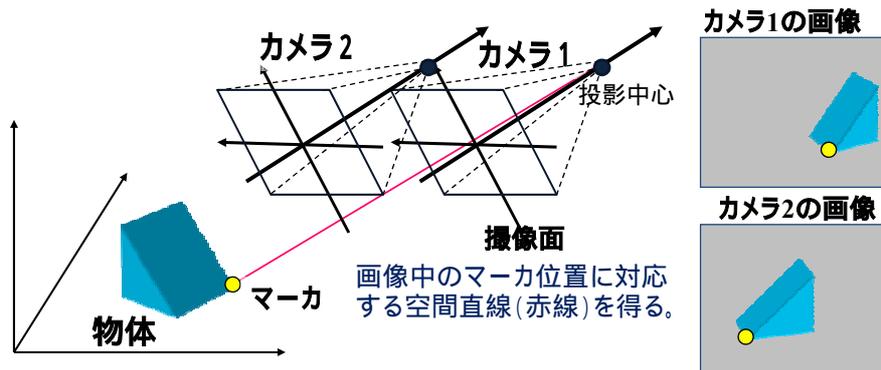


## 光学式モーションキャプチャの原理

### 多眼ステレオ

(実世界を撮影した複数のカメラ画像からの3次元復元)

- **カメラキャリブレーション**(校正) :カメラ画像(画像座標)と3次元世界(世界座標)の空間関係を記述するパラメータの事前計測
- **3次元位置計測**:複数の2次元画像から同一3次元物理点に対応する点を決定し、それらの2次元座標から3次元世界座標を計算

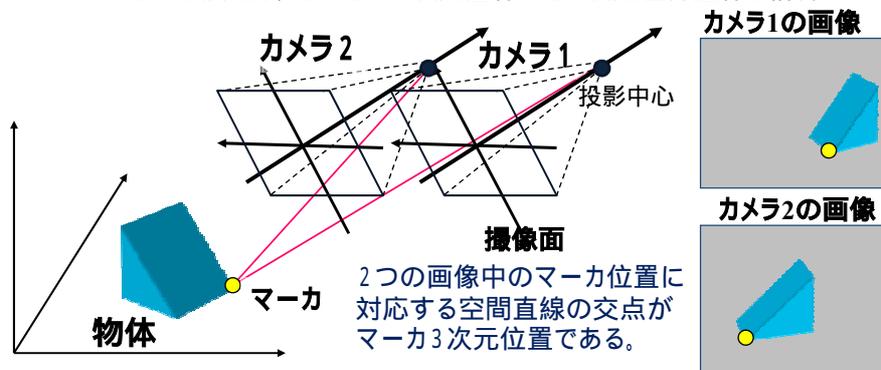


## 光学式モーションキャプチャの原理

### 多眼ステレオ

(実世界を撮影した複数のカメラ画像からの3次元復元)

- **カメラキャリブレーション**(校正) :カメラ画像(画像座標)と3次元世界(世界座標)の空間関係を記述するパラメータの事前計測
- **3次元位置計測**:複数の2次元画像から同一3次元物理点に対応する点を決定し、それらの2次元座標から3次元世界座標を計算

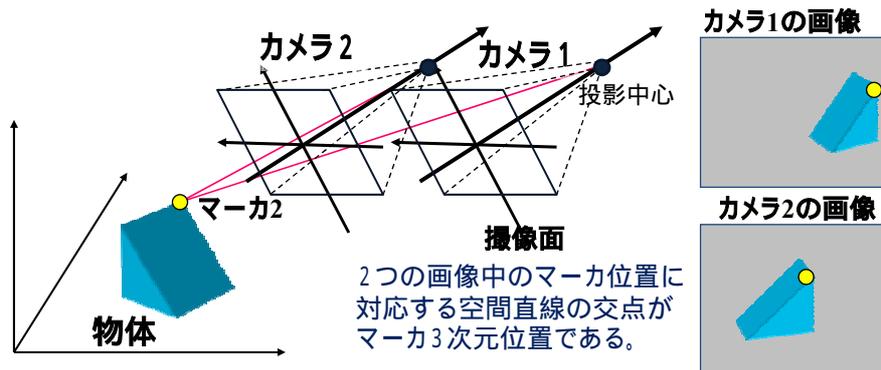


## 光学式モーションキャプチャの原理

### 多眼ステレオ

(実世界を撮影した複数のカメラ画像からの3次元復元)

- **カメラキャリブレーション**(校正) :カメラ画像(画像座標)と3次元世界(世界座標)の空間関係を記述するパラメータの事前計測
- **3次元位置計測**:複数の2次元画像から同一3次元物理点に対応する点を決定し、それらの2次元座標から3次元世界座標を計算

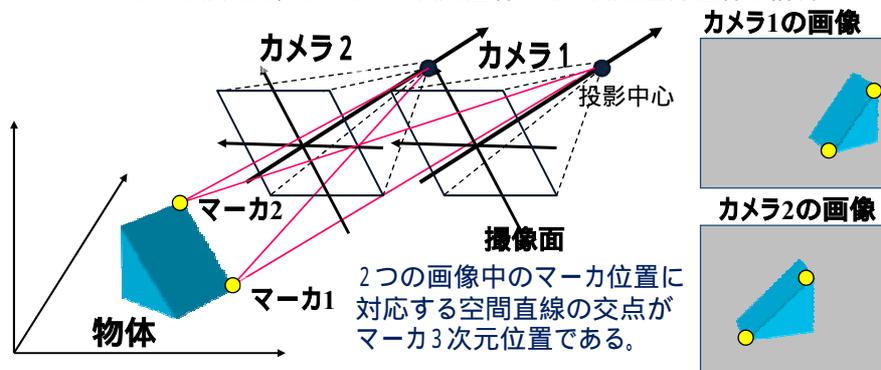


## 光学式モーションキャプチャの原理

### 多眼ステレオ

(実世界を撮影した複数のカメラ画像からの3次元復元)

- **カメラキャリブレーション**(校正) :カメラ画像(画像座標)と3次元世界(世界座標)の空間関係を記述するパラメータの事前計測
- **3次元位置計測**:複数の2次元画像から同一3次元物理点に対応する点を決定し、それらの2次元座標から3次元世界座標を計算

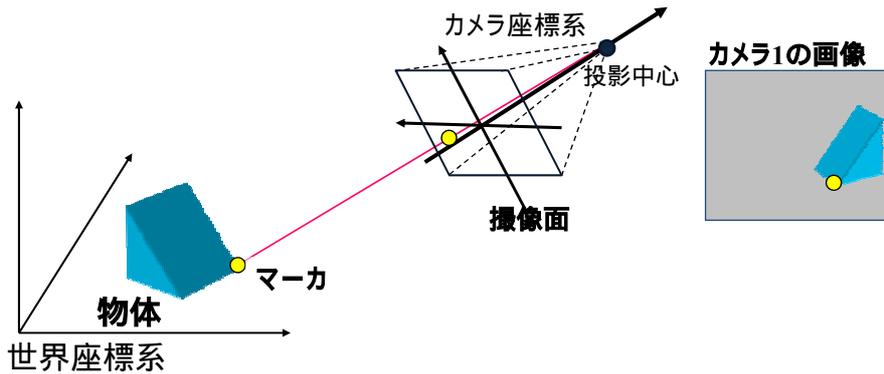


# 光学式モーションキャプチャの原理

## 多眼ステレオ

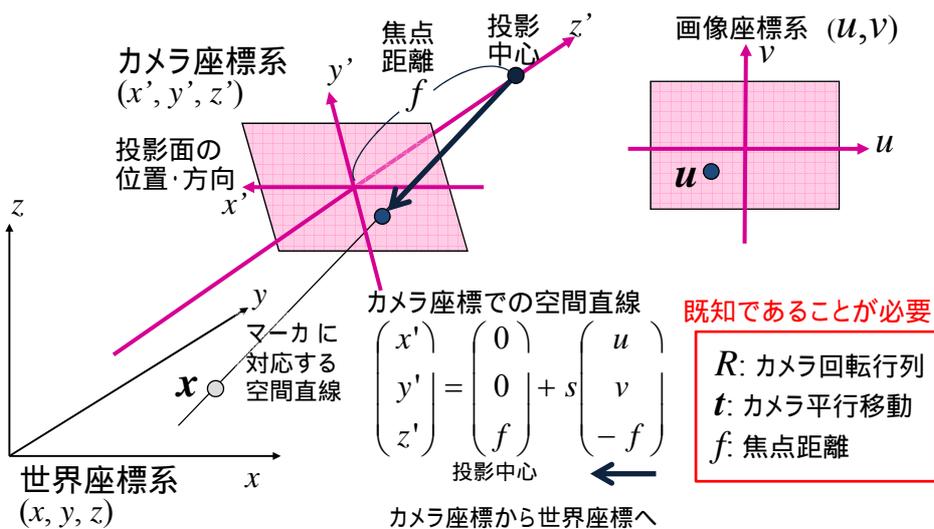
(実世界を撮影した複数のカメラ画像からの3次元復元)

- カメラキャリブレーション(校正) : カメラ画像(画像座標)と3次元世界(世界座標)の空間関係を記述するパラメータの事前計測



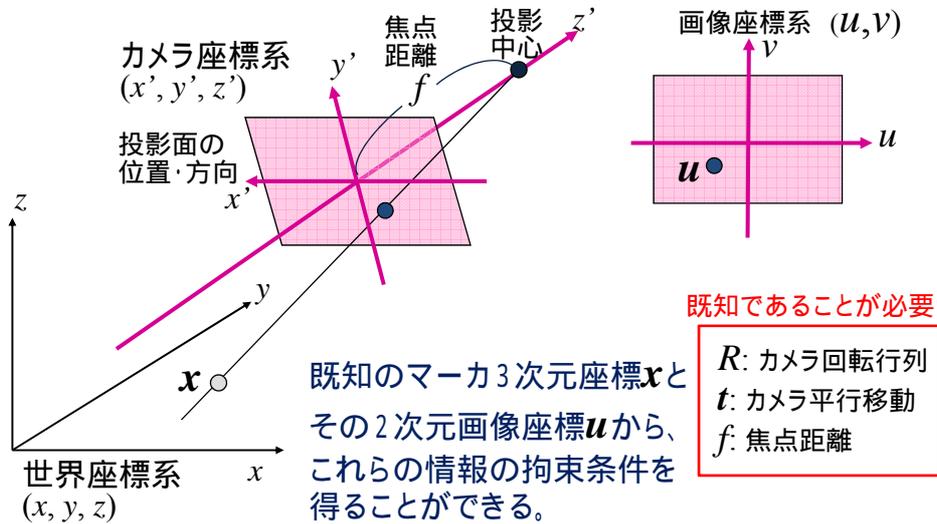
## カメラキャリブレーション(校正)

カメラキャリブレーション(カメラ位置、方向、焦点距離の推定)



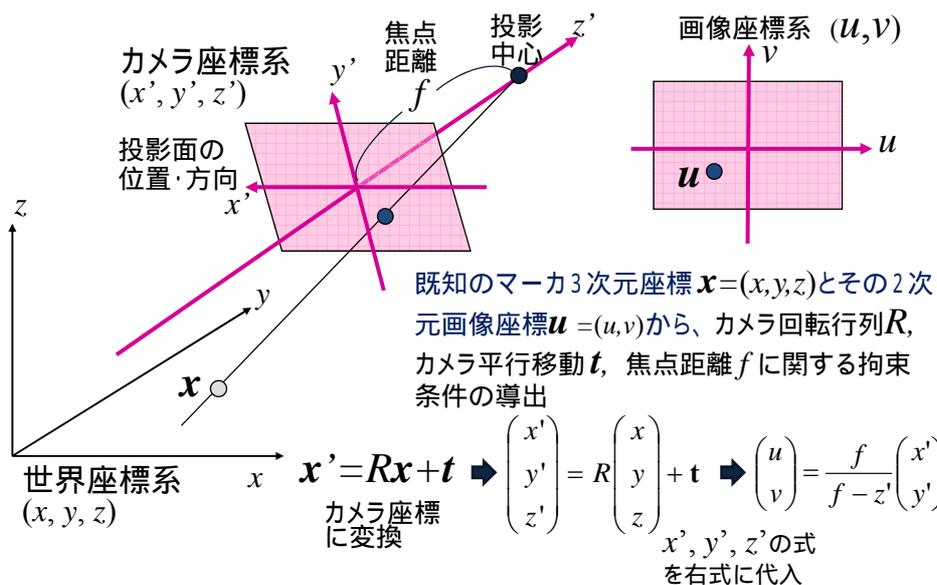
## カメラキャリブレーション(校正)

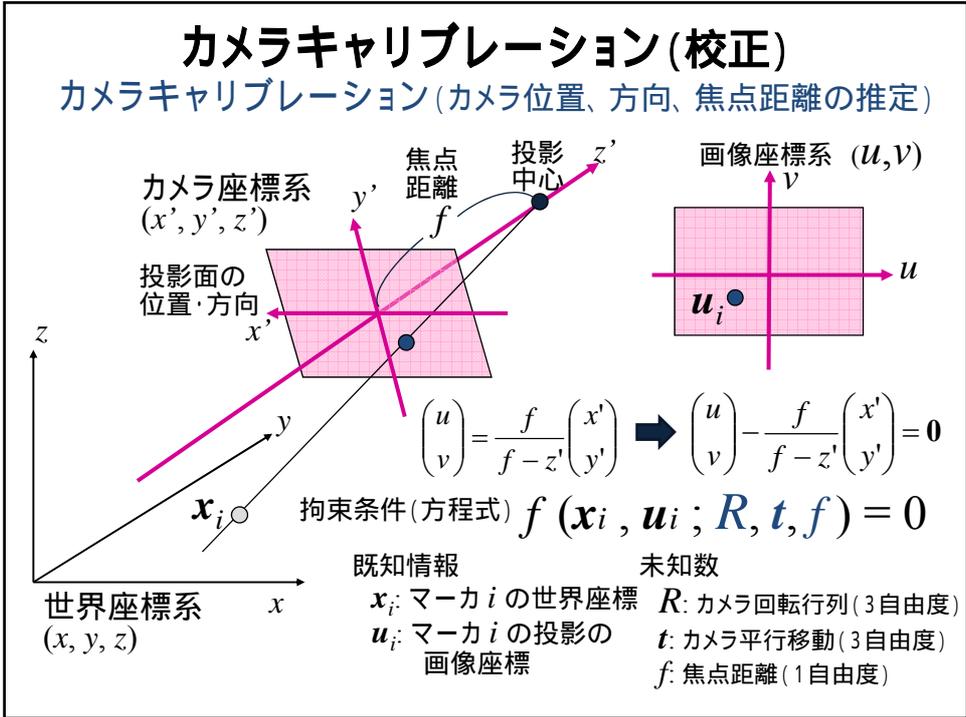
カメラキャリブレーション(カメラ位置、方向、焦点距離の推定)



## カメラキャリブレーション(校正)

カメラキャリブレーション(カメラ位置、方向、焦点距離の推定)





### カメラキャリブレーション(校正)

カメラキャリブレーション(カメラ位置、方向、焦点距離の推定)

<b>未知数</b> $R$ : カメラ回転行列(3自由度) $t$ : カメラ平行移動(3自由度) $f$ : 焦点距離(1自由度)	<b>既知情報</b> $x_i = (x, y, z)$ : マーカ $i$ の3次元世界座標 $u_i = (u, v)$ : マーカ $i$ の投影像の2次元画像座標
------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------

$x' = Rx + t \Rightarrow \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = R \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + t \Rightarrow \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \frac{f}{f-z'} \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix}$

世界座標からカメラ座標へ 3次元カメラ座標  $x', y', z'$  の式を右式に代入

既知の3次元座標  $x_i$  と画像座標  $u_i$  から、未知パラメータ  $R, t, f$  に関する方程式を得る

$f(x_i, u_i; R, t, f) = 0$

↓

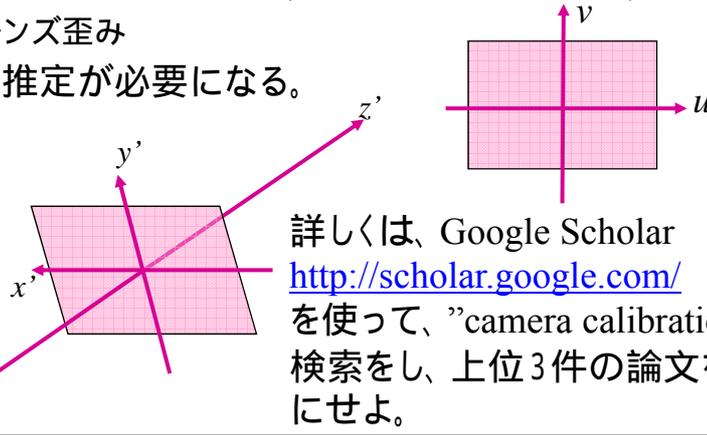
$x_i, u_i$  の組を多数集めて、未知数以上の方程式に基づき最小2乗当てはめを行なう。

$\sum_i \{f(x_i, u_i; R, t, f)\}^2 \rightarrow \min$

## カメラキャリブレーション(校正)

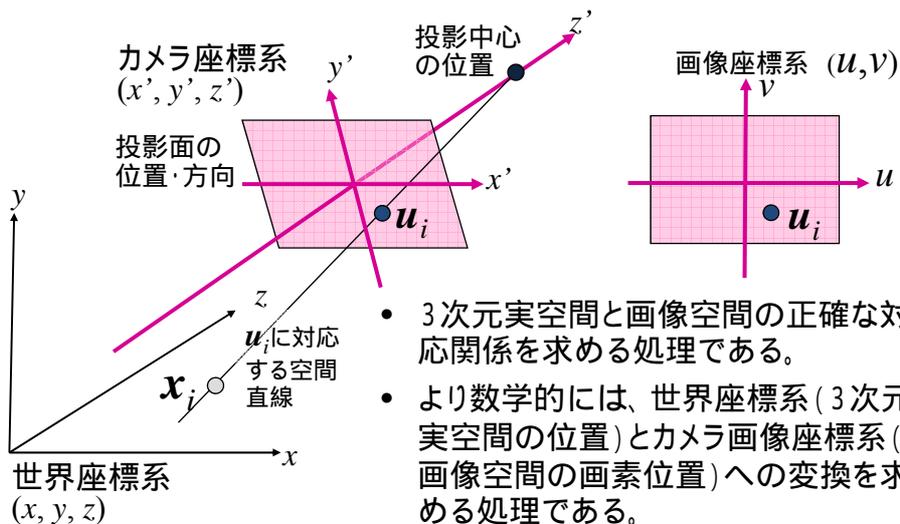
- カメラ内部パラメータについては、焦点距離以外にも、
  - 撮像素子の位置ずれ (z軸が、画像配列の中心を通るとは限らない)
  - 画素サイズの縦横比 (正確に1:1とは限らない)
  - レンズ歪み

などの推定が必要になる。



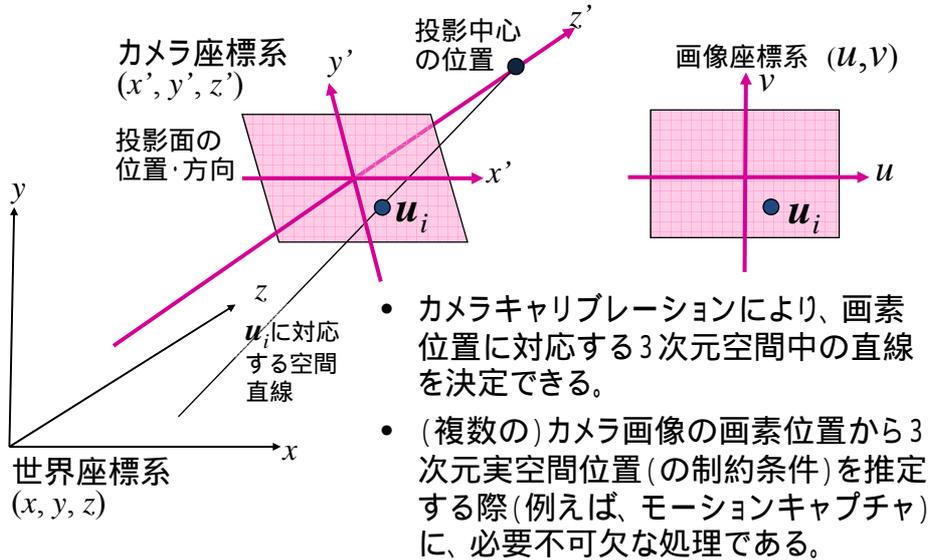
詳しくは、Google Scholar <http://scholar.google.com/> を使って、”camera calibration”で検索をし、上位3件の論文を参考にせよ。

## カメラキャリブレーション(校正) : まとめ

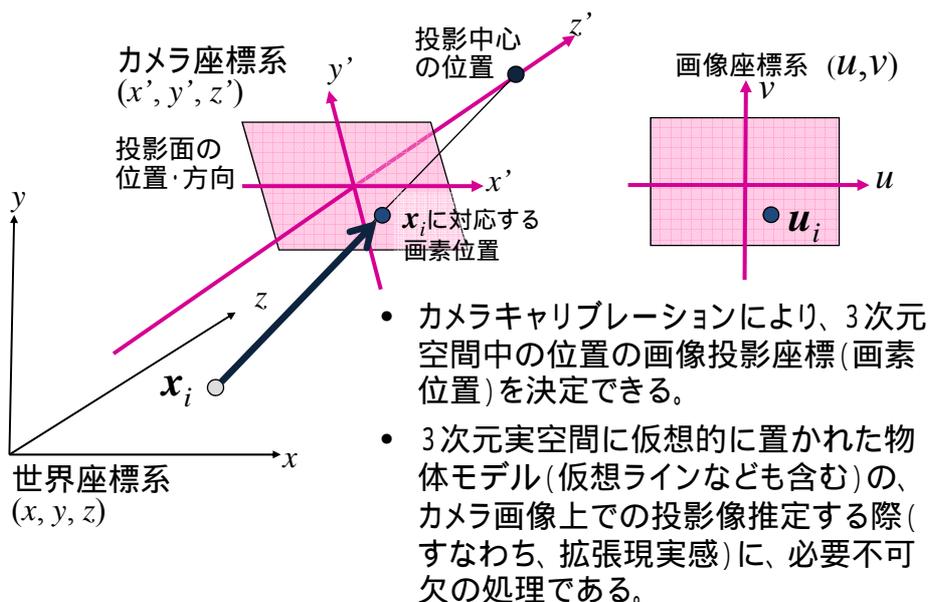


- 3次元実空間と画像空間の正確な対応関係を求める処理である。
- より数学的には、世界座標系(3次元実空間の位置)とカメラ画像座標系(画像空間の画素位置)への変換を求める処理である。

## カメラキャリブレーション(校正) : まとめ

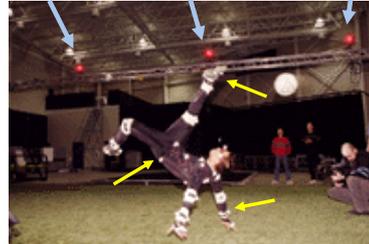
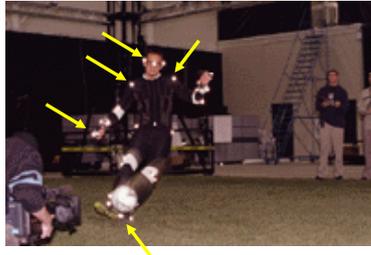


## カメラキャリブレーション(校正) : まとめ



## 光学式モーションキャプチャ(VICON)

3台のカメラはカメラキャリブレーション済である。



- (赤外線反射) マーカ
- 赤外線発光装置 + 赤外線カメラ



マーカの3次元運動を複数のカメラで計測する。

## モーションキャプチャ 市販品・方式の違いによる比較

- 光学式(複数台カメラのマーカ撮影に基づく)
  - 利点: カメラからマーカが見える限り、精度・安定性は高い。
  - 欠点: マーカが他の物体に遮蔽されカメラに写らない場合に、計測不能になる。
- 磁気式
  - 利点: 位置計測部(磁気レシーバ)は、遮蔽の影響を受けない。
  - 欠点: 磁場に影響を与える、金属、電磁機器の影響で計測精度が劣化する。

# モーションキャプチャ

光学方式: **高精度** 死角が問題

**Optotrak** 超高精度

精度 0.1 mm、  
視野  $1.2 \times 1.2 \times 1.2\text{m}^3$ 、  
重量 60kg、価格 約1000万円

**Polaris** ポータブル&ワイアレスタイプ

精度 0.35mm、  
重量 2kg、価格 約300万円

磁場方式: **死角なし** 金属の影響が問題

**Fastrak** 精度 0.8 mm、価格 約150万円。

**Aurora** **超小型** (体内挿入型柔軟医療器具計測)

精度 1-2 mm、価格 約700万円。



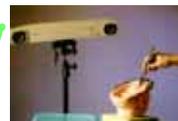
三眼式ステレオカメラ



デジタイザ

赤外線発光ダイオード (LED) マーカ

計測点



# モーションキャプチャ

高精度実時間3次元センサ(モーションキャプチャ)

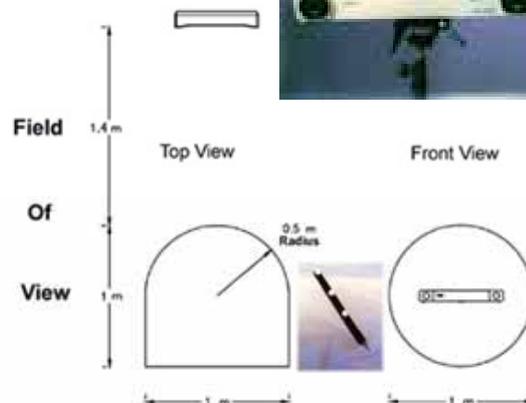
**Polaris** (光学方式)

ポータブル&ワイアレスタイプ、  
精度 0.35mm、重量 2kg、価格 300万円



二眼式ステレオカメラ

赤外線反射球体マーカ

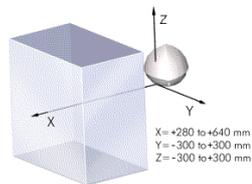
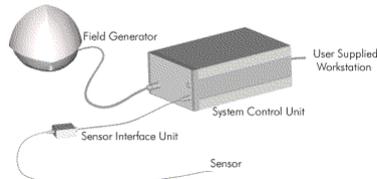


# モーションキャプチャ

磁場方式: 死角なし 金属の影響が問題

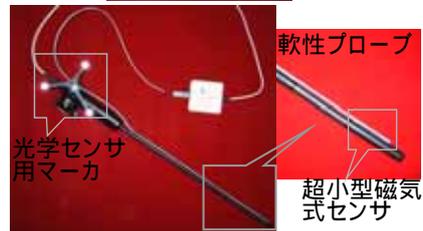
Aurora超小型(体内挿入型柔軟医療器具の先端位置計測)

精度 1-2 mm、価格 約700万円。



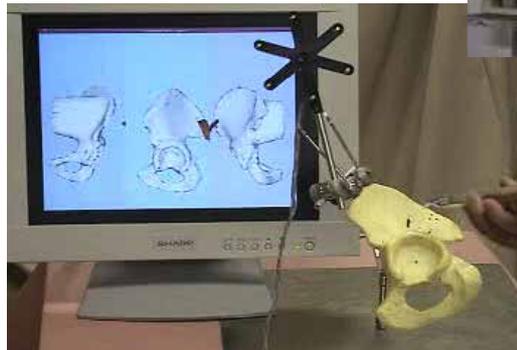
計測範囲

内視鏡用軟性超音波  
プローブの位置計測



## 複合現実感の典型例

- 手術ナビゲーション



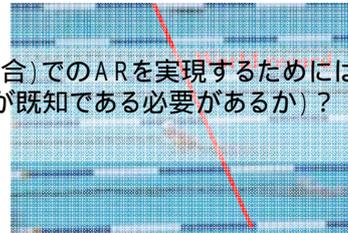
何をしているところか？

そのために何が必要か？

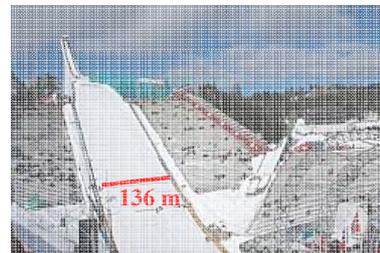
実時間運動計測(モーションキャプチャ)  
(実物体と計算機内形状モデルの)位置合わせ

## スポーツ中継でのAR（拡張現実感）

- AR (Augmented Reality)



スポーツ中継(カメラも移動する場合)でのARを実現するためには、どのような技術が必要か(どんな情報が既知である必要があるか)?



## スポーツ中継でのAR（拡張現実感）

- AR (Augmented Reality)

スポーツ中継(カメラも移動する場合)でのARを実現するためには、どのような技術が必要か(どんな情報が既知である必要があるか)?

- テレビカメラは、カメラキャリブレーション済(カメラ位置・向き、焦点距離などが既知)。
- カメラ角度移動量、ズーム量は実時間出力(それらの変換に対応するカメラキャリブレーションが必要)
- ゴルフコース・プール・ジャンプ台など対象構造物の位置・向き・形などが既知。
- 描画対象(選手の像には描画せず、水面、芝生面、雪面上のみに描画するため)の画像領域が既知。