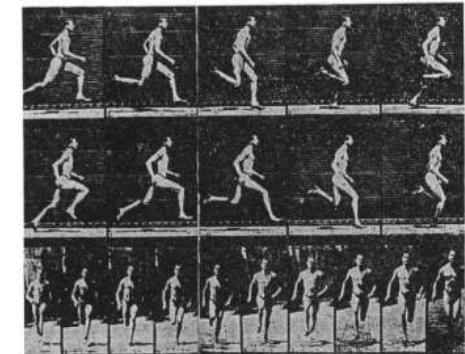
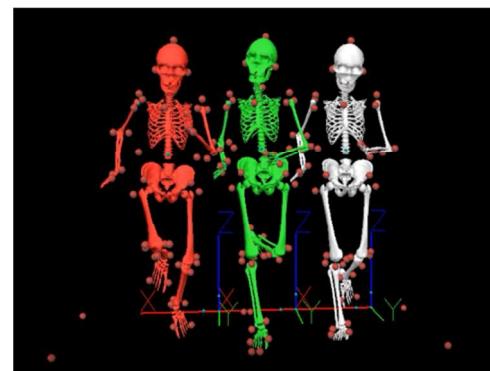
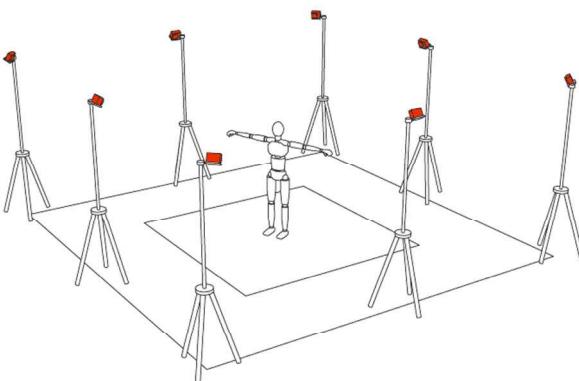




BLSCスプリングスクール(2019年3月27日・28日) モーションキャプチャで人の動きを見てみよう

共通教育部／機械知能システム学専攻
岡田 英孝
(hidetaka@e-one.uec.ac.jp)



1. 身体運動計測の概要



身体運動の計測方法

1. 画像を用いた計測

(シネマトグラフィー (cinematography)
ビデオグラフィー (videography) ,
モーションキャプチャシステム)

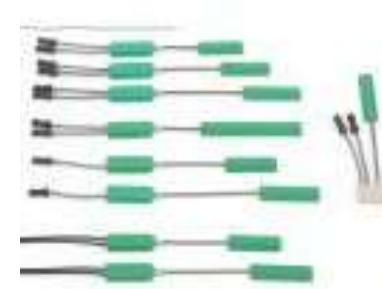
→ 身体標点座標 (位置)



2. 角度計による計測

(ゴニオメトリー (goniometry))

→ 関節角度



3. ジャイロセンサによる計測

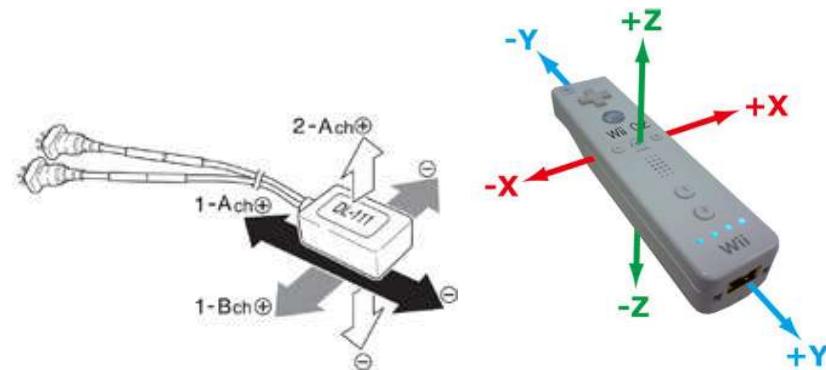
→ 角速度



身体運動の計測方法（続き）

4. 加速度計による計測

→ 加速度



5. フォースプラットフォーム法 (force platform method)

→ 地面反力



6. 筋電図法 (EMG: Electro-Myography)

→ 筋活動電位

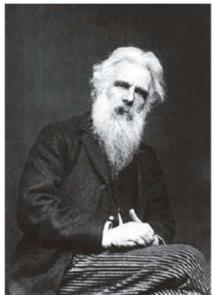


全身、上半身全体、下半身全体制のように複数の身体部分の動きを捉えるには映像やモーションキャプチャを用いる方法が適している

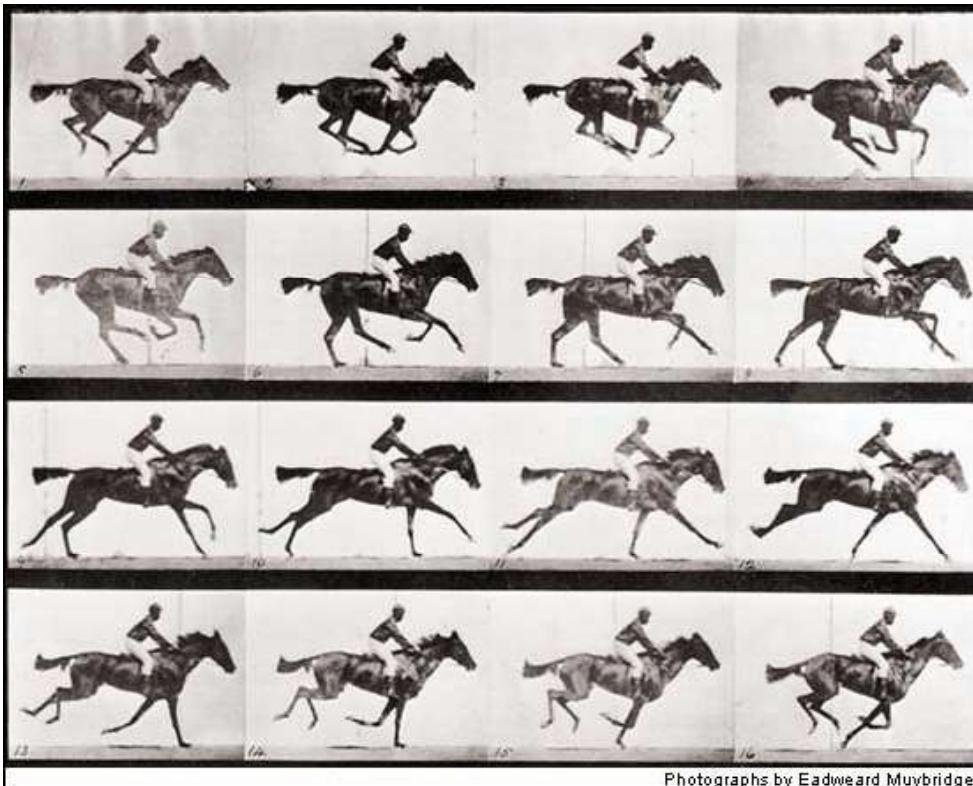
身体運動記述の萌芽

2人の先駆者

米国のMuybridge (1830-1904)



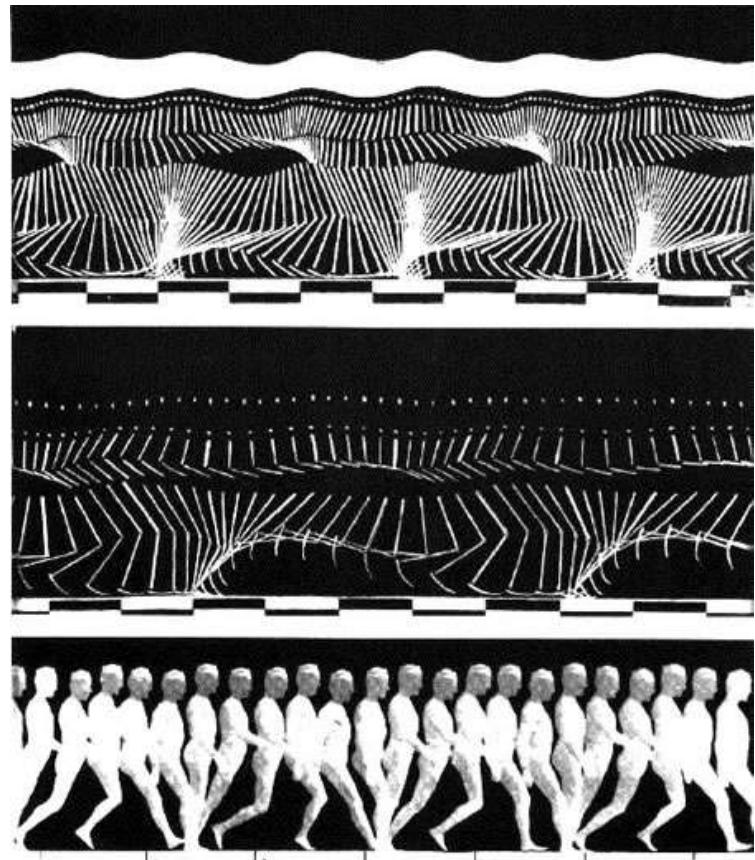
12台のカメラを走路に平行並べ、疾走する馬の連続写の撮影に成功



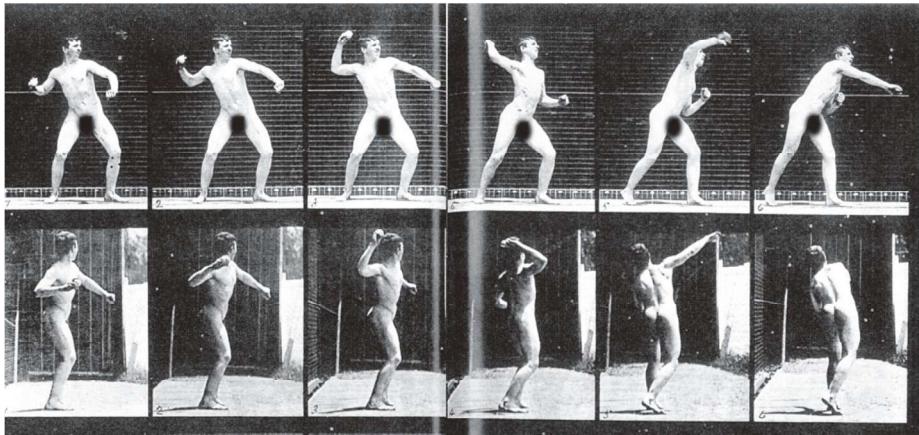
フランスのMarey (1838-1904)



棒高跳びの1/100秒ごと撮影。時計を画面内に同写しこむ手法



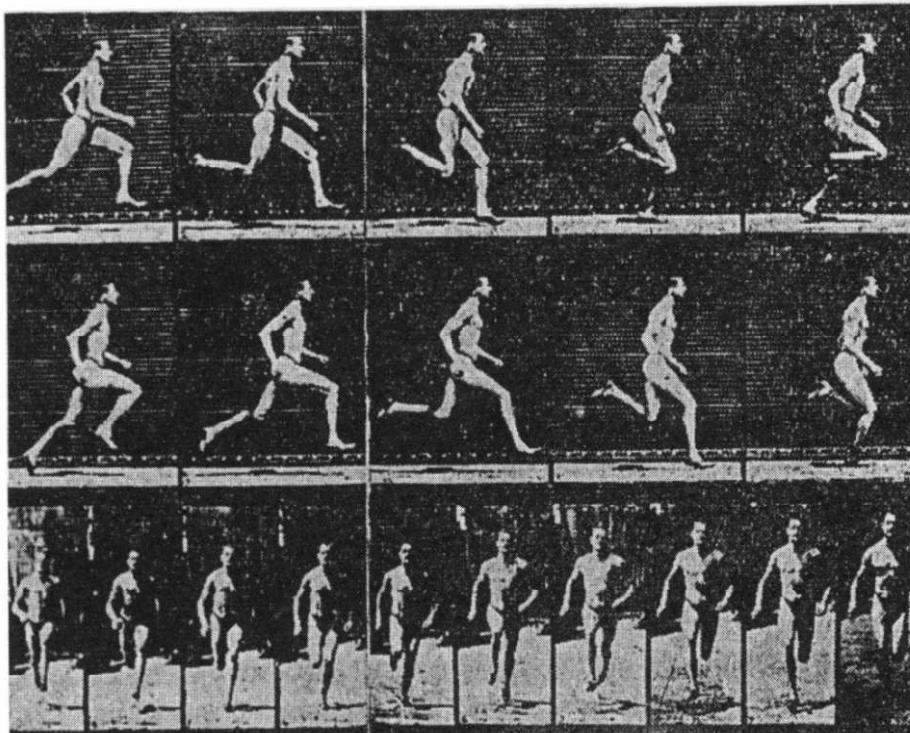
身体運動記述の萌芽(続き)



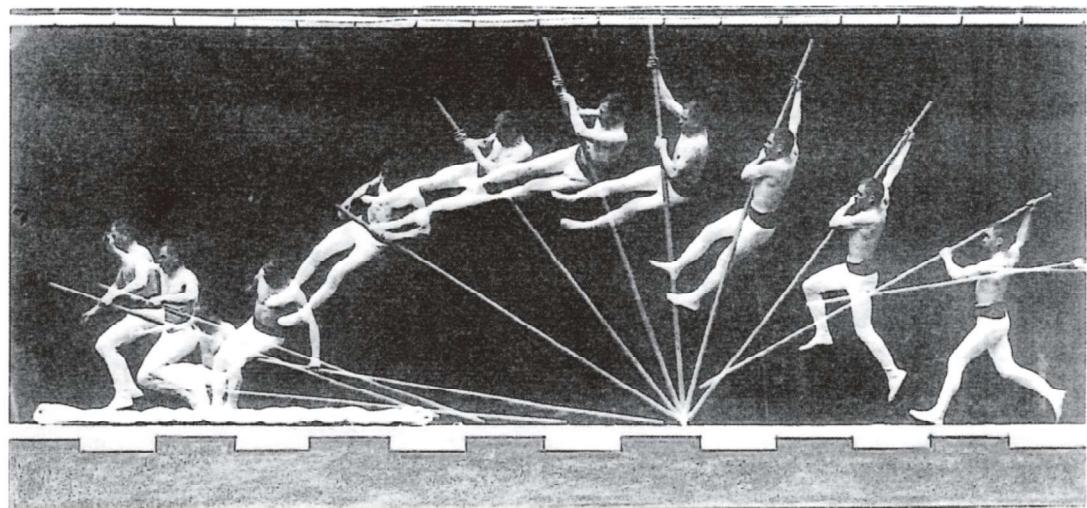
複数台のカメラの連写により撮影した男性のボール投げ
(Muybridge, 1878)



Mareyが作製したchronophotographic gun (1882)



最初に撮影されたランニングフォーム (Muybridge, 1907)

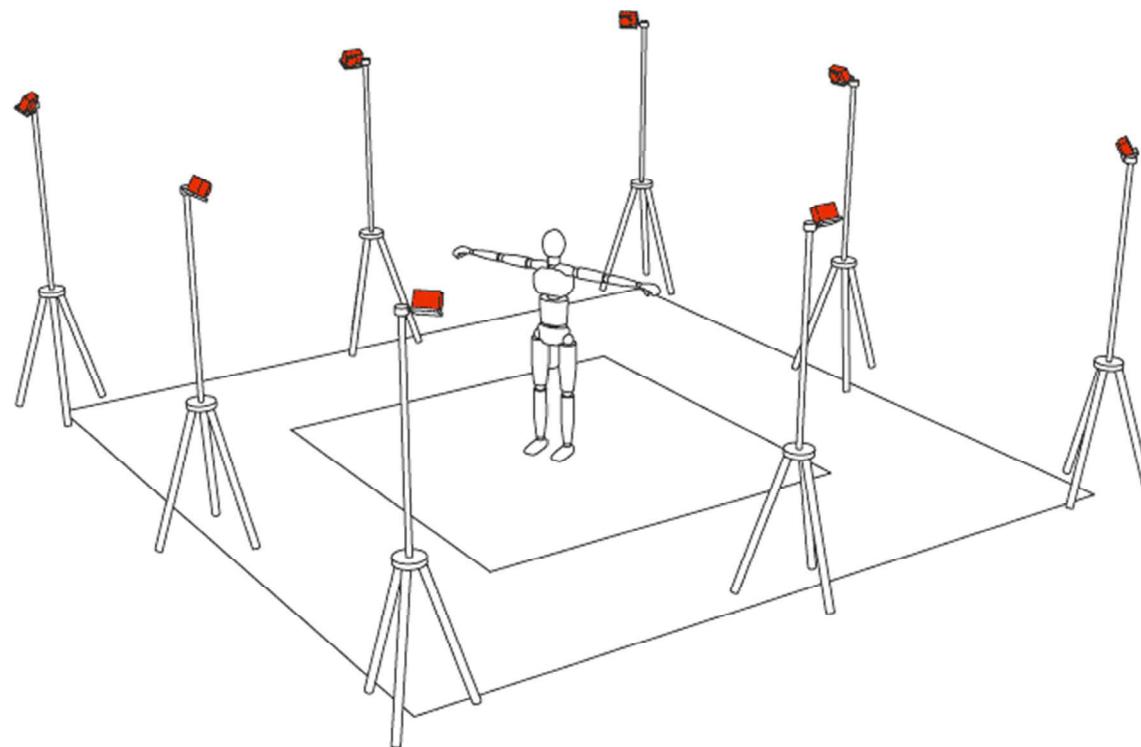
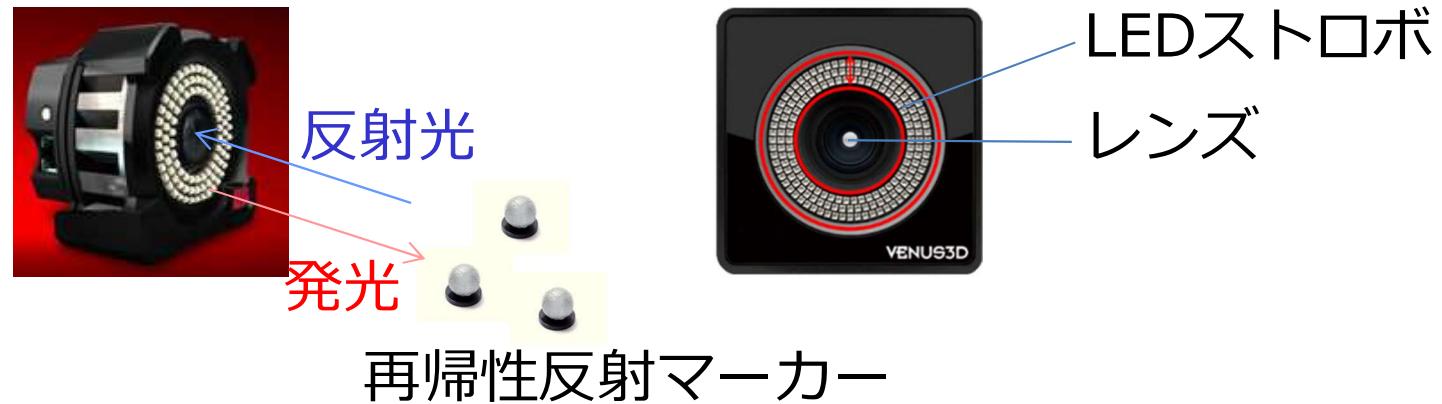


クロノフォトグラフィーによる棒高跳び選手の一連の動作の撮影
(Marey, 1882)

身体運動の解析のための映像技術の変遷

時期	撮影方法	記録媒体	「撮影する」に 対応する英訳
1878年 ～1990 年代	映画撮影 (cinematography)	16mmフィルム	film
	↓	↓	↓
1956年 ～ 現在	ビデオ撮影 (videography)	VHSテープ, 8mmビ デオテープ, DVテープ, DVDディスク, Blue- rayディスク, HDD, SSD, SDカード	videotape
	↓	↓	↓
1984年 ～ 現在	光学式モーション キャプチャ	HDD, SSD	capture

赤外線カメラおよびカメラ配置の例



動作分析法

1. 2次元動作分析法

- スケールファクター法
(4点法, 2点法)
- 2次元DLT法

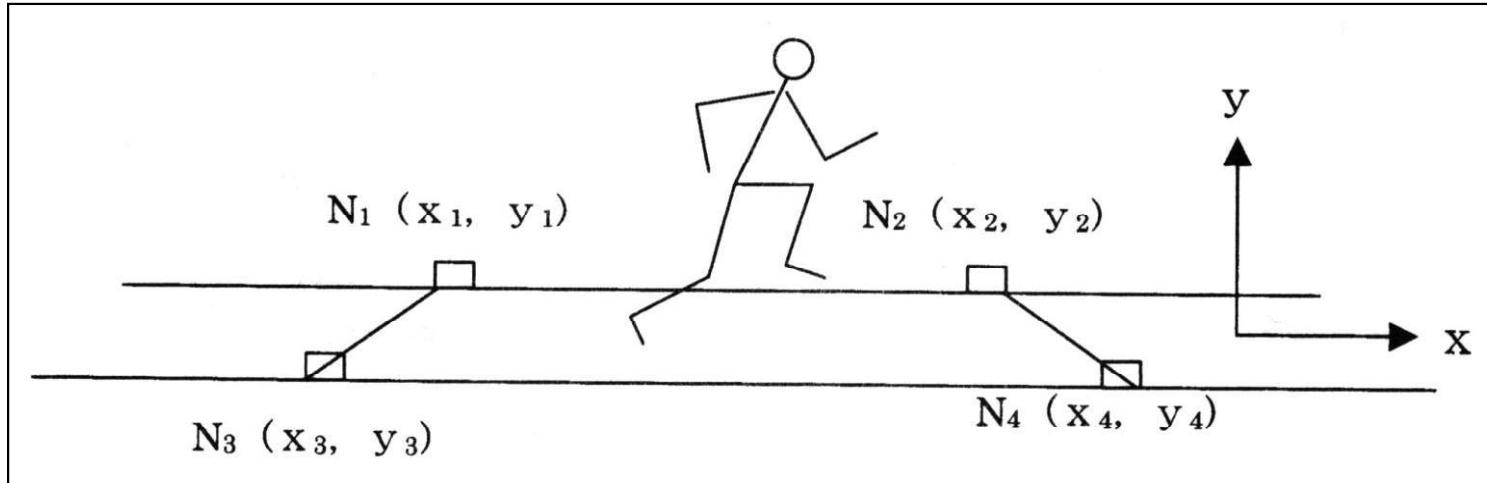
ある平面内での動きのみを**2次元的に記述する**. 平面内の動きの分析から目的とする運動の本質を捉えられる場合(例: 歩行, ランニングなど)に適用され, **解析の省力化, 単純化ができる**

2. 3次元動作分析法

- ステレオグラム法
- 直交法
- DLT法

空間における運動を**3次元的に記述する**. 平面では捉えられない身体運動に適用される. データの取得, 処理, 解釈の過程は複雑となるが, **運動を完全に記述できる**

2次元動作分析法(スケールファクター法)



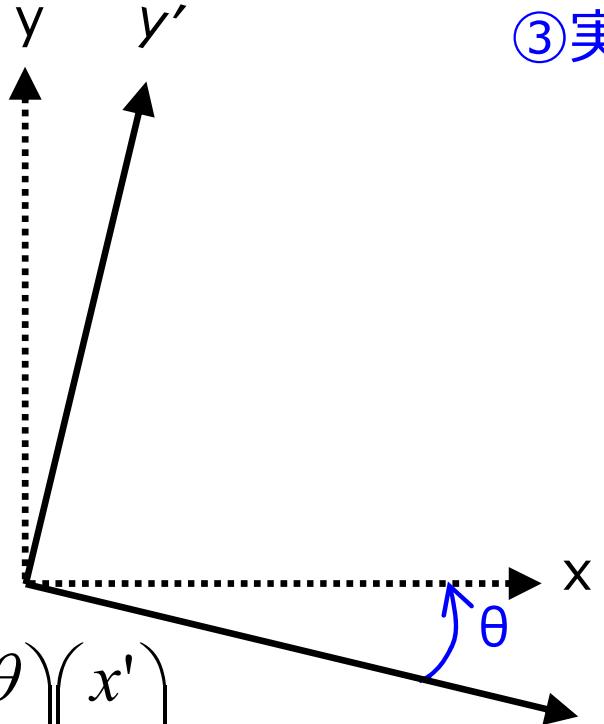
①縦横比の補正

$$R = y_r / x_r$$

$$y' = y' / R$$

②座標の回転

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix}$$



③実平面座標への変換（実長換算）

$$D1 = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

$$D2 = \sqrt{(x_4 - x_3)^2 + (y_4 - y_3)^2}$$

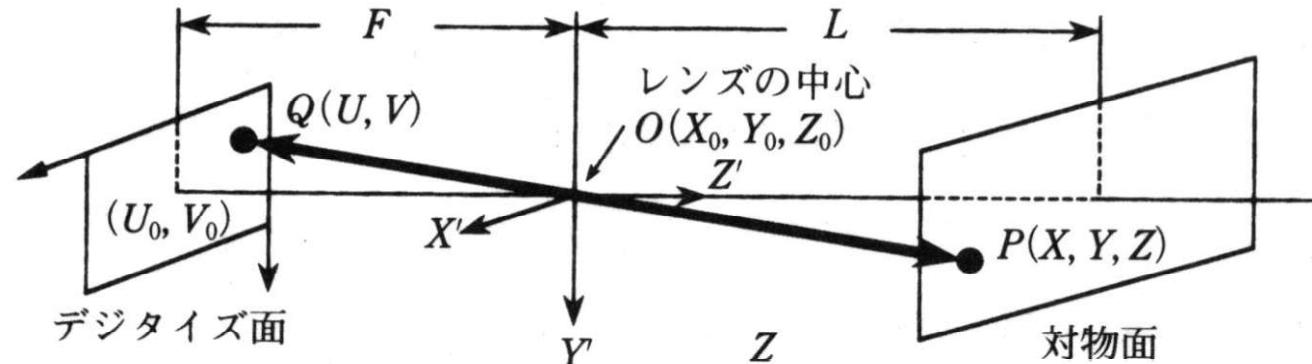
$$D = (D1 + D2) / 2$$

$$SF = S / D$$

$$X = (x - x_0) \times SF$$

$$Y = (y - y_0) \times SF$$

3次元動作分析法(DLT法)



$$\overrightarrow{OQ} = -\frac{F}{L} \overrightarrow{OP}$$

$$\begin{bmatrix} U - U_0 \\ V - V_0 \\ -F \end{bmatrix} = \frac{F}{L} \cdot M \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad \text{ただし, } M = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix}$$

実空間座標系

①

$$U - U_0 = -F \frac{m_{11}(X - X_0) + m_{12}(Y - Y_0) + m_{13}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)}$$

$$V - V_0 = -F \frac{m_{21}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) + m_{23}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)}$$

変形
→

$$U = \frac{L1X + L2Y + L3Z + L4}{L9X + L10Y + L11Z + 1}$$

$$V = \frac{L5X + L6Y + L7Z + L8}{L9X + L10Y + L11Z + 1}$$

カメラ定数

(U_0, V_0) : フィルム面の中心

(X_0, Y_0, Z_0) : レンズの中心

M : 回転行列

F : 焦点距離

DLTパラメータ

L1~L11

②

3次元動作分析法(DLT法) (続き)

②

$$U = \frac{L1X + L2Y + L3Z + L4}{L9X + L10Y + L11Z + 1}$$

$$V = \frac{L5X + L6Y + L7Z + L8}{L9X + L10Y + L11Z + 1}$$

変形
→

③

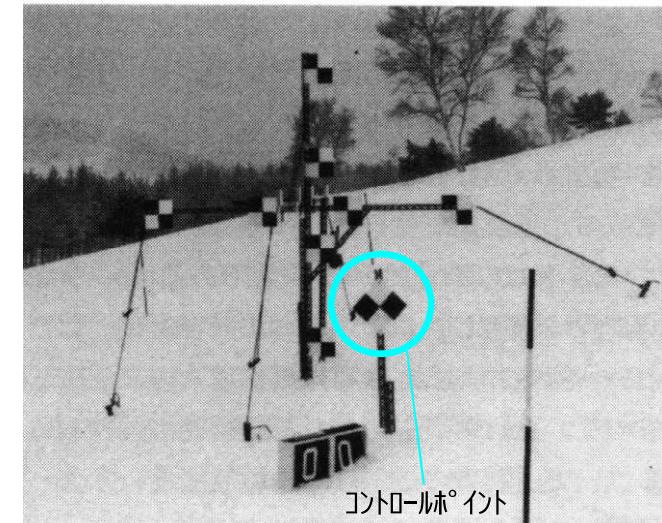
$$U = L1X + L2Y + L3Z + L4 - L9XU - L10YU - L11ZU$$

$$V = L5X + L6Y + L7Z + L8 - L9XV - L10YV - L11ZV$$

④

$$\begin{bmatrix} X & Y & Z & 1 & 0 & 0 & 0 & -UX & -UY & -UZ \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X & Y & Z & 1 & -VX & -VY & -VZ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L1 \\ L2 \\ \vdots \\ L11 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U \\ V \end{bmatrix}$$

↓ 行列表記



空間位置が既知のポイント (6個以上)
を使って連立一次方程式を導く

⑤

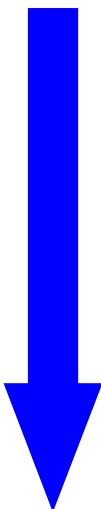
$$\begin{bmatrix} X_i & Y_i & Z_i & 1 & 0 & 0 & 0 & -U_{ij}X_i & -U_{ij}Y_i & -U_{ij}Z_i \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_i & Y_i & Z_i & 1 & -V_{ij}X_i & -V_{ij}Y_i & -V_{ij}Z_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{L1}_j \\ \mathbf{L2}_j \\ \vdots \\ \mathbf{L11}_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{ij} \\ V_{ij} \end{bmatrix}$$

DLTパラメータ
の算出

3次元動作分析法における実空間座標の再構築(DLT法)

⑤

$$\begin{bmatrix} X_i & Y_i & Z_i & 1 & 0 & 0 & 0 & -U_{ij}X_i & -U_{ij}Y_i & -U_{ij}Z_i \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_i & Y_i & Z_i & 1 & -V_{ij}X_i & -V_{ij}Y_i & -V_{ij}Z_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L1_j \\ L2_j \\ \vdots \\ L11_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{ij} \\ V_{ij} \end{bmatrix} \quad \text{DLTパラメータの算出}$$



2台以上のカメラについて各々DLTパラメータを求め、 (U_j, V_j) と (X, Y, Z) の関係を表す連立一次方程式を導く

⑥

$$U_j = L1_jX + L2_jY + L3_jZ + L4_j - L9_j\mathbf{X}U_j - L10_j\mathbf{Y}U_j - L11_j\mathbf{Z}U_j$$

$$V_j = L5_jX + L6_jY + L7_jZ + L8_j - L9_j\mathbf{X}V_j - L10_j\mathbf{Y}V_j - L11_j\mathbf{Z}V_j$$

実空間座標の算出

2. 点の位置の計測



実験

- 1) 投射されたボールの位置を計測し，速度，加速度を算出する。
- 2) 円柱体に反射マーカーを貼付し，回転させながら投射する。反射マーカーの位置を計測し，円柱体の重心の位置，速度，加速度，姿勢角，角速度，角加速度を算出する。

課題

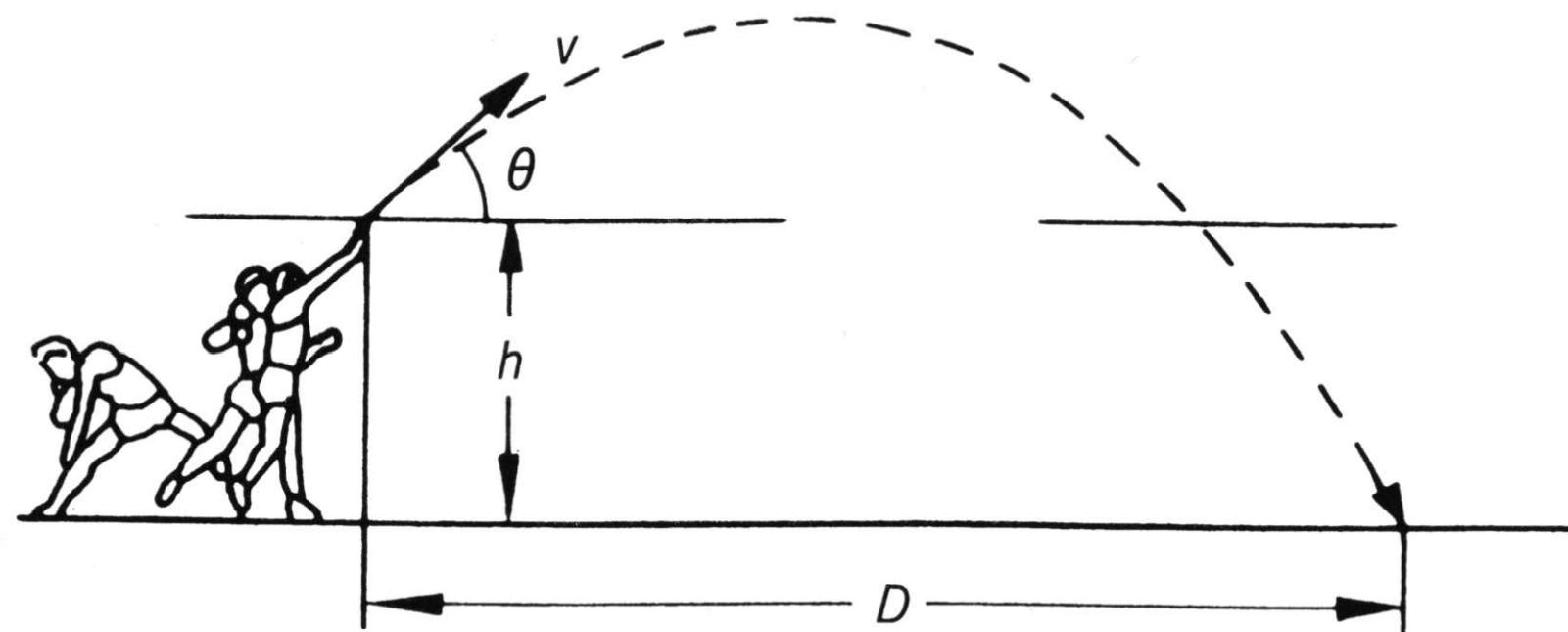
- 1) 投射されたボールの初期値と重力加速度から得られるボール変位，速度，加速度の理論値と計測された値を比較してみよう。
- 2) 回転されながら投射された円柱体の重心変位，速度，加速度とボールの変位，速度，加速度を比較してみよう

質点とは？

- 力学上の概念（モデルを記述するための理想概念）
- 質量をもつが、**大きさ、形をもたない**
- 真の質点はこの世に存在しないが、対象を質点とみなして考察できる現象は多々ある
- 大きさをもたないので、質点の振る舞いを記述するのに必要な情報は**位置**のみで、空間の場合は3つ（x座標、y座標、z座標）（**自由度 = 3**），平面の場合は2つ（x座標、y座標）（**自由度 = 2**）である



弾道方程式



$$x = v \cdot \cos \theta \cdot t$$

$$y = -\frac{1}{2} g \cdot t^2 + v \cdot \sin \theta \cdot t + h$$

$$D = \frac{1}{g} v \cdot \cos \theta \cdot \left[v \cdot \sin \theta + \sqrt{(v \cdot \sin \theta)^2 + 2g \cdot h} \right]$$

弾道方程式なんて覚えなくていい

$$y = \frac{1}{2}gt^2 + \dot{y}_0 t + y_0 \quad x = \dot{x}_0 t + x_0$$



$$\dot{y} = gt + \dot{y}_0$$



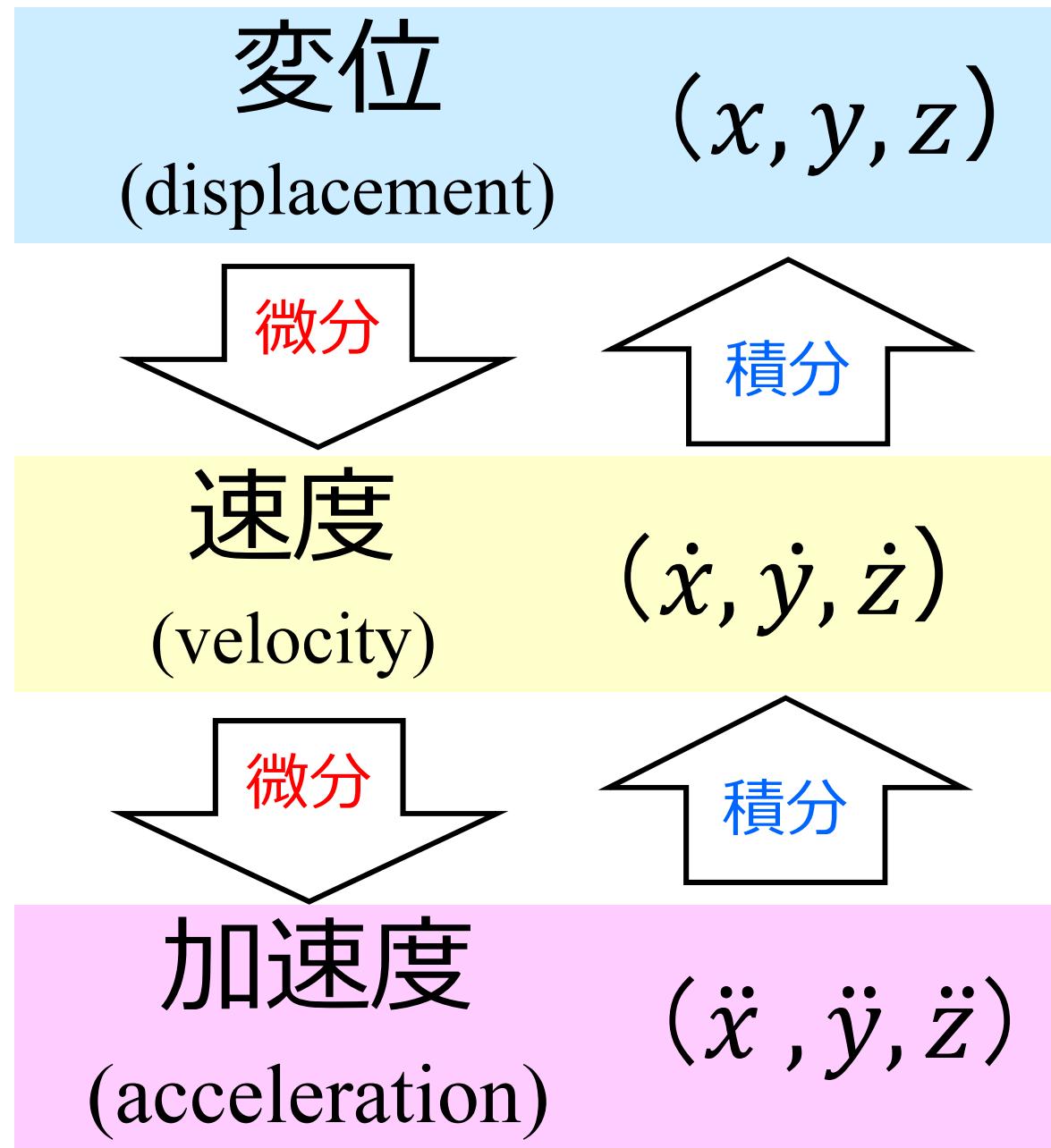
$$\dot{x} = \dot{x}_0$$



$$\ddot{y} = g
(g = -9.8)$$

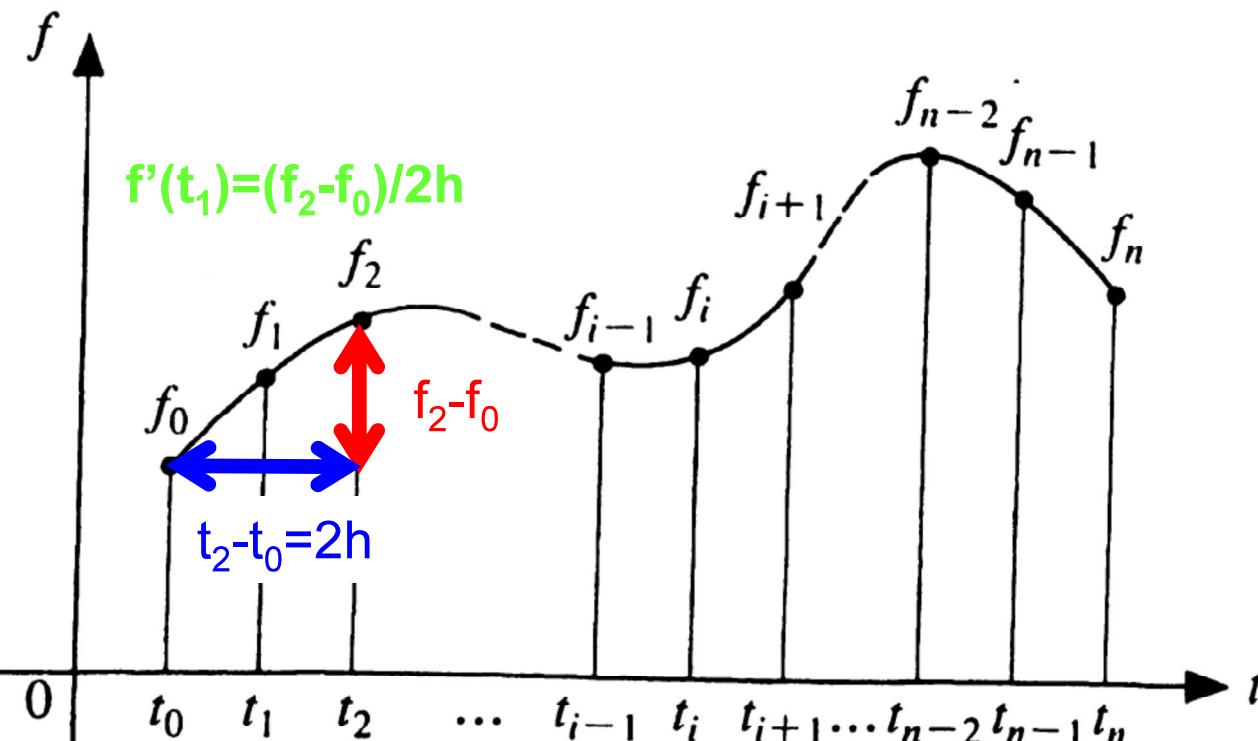
$$\ddot{x} = 0$$

位置(変位), 速度, 加速度の関係



数値微分(有限差分法)

$$f'(t_i) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{f(t_i + \Delta t) - f(t_i)}{\Delta t} \right)$$



$$f'(t_0) = \frac{1}{2h}(-3f_0 + 4f_1 - f_2) : \text{ 分析開始点での微分公式}$$

$$f'(t_i) = \frac{1}{2h}(-f_{i-1} + f_{i+1}) : \text{ 通常用いる微分公式}$$

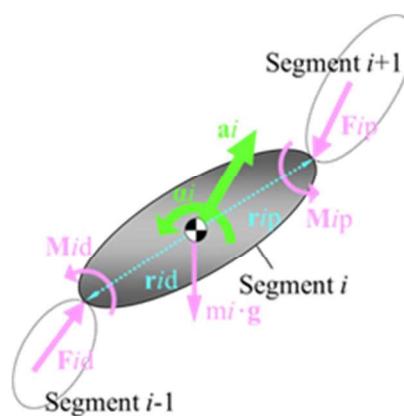
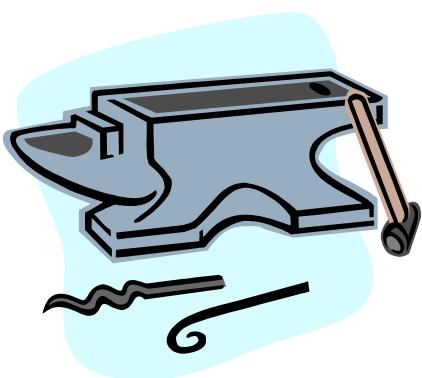
$$f'(t_n) = \frac{1}{2h}(f_{n-2} - 4f_{n-1} + 3f_n) : \text{ 分析終了点 } n \text{ での微分公式}$$

3. 物体の位置と姿勢の計測

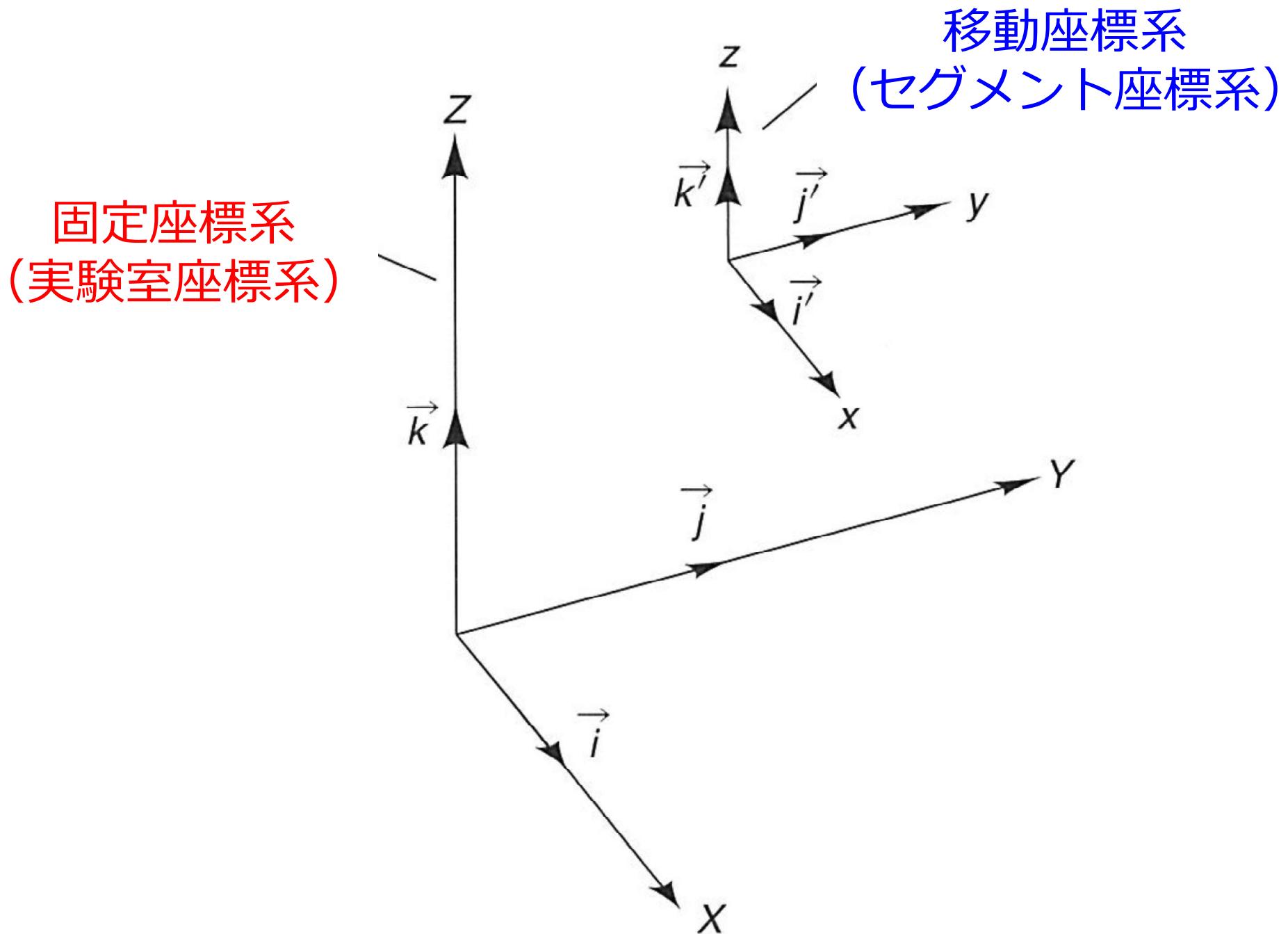


剛体とは？

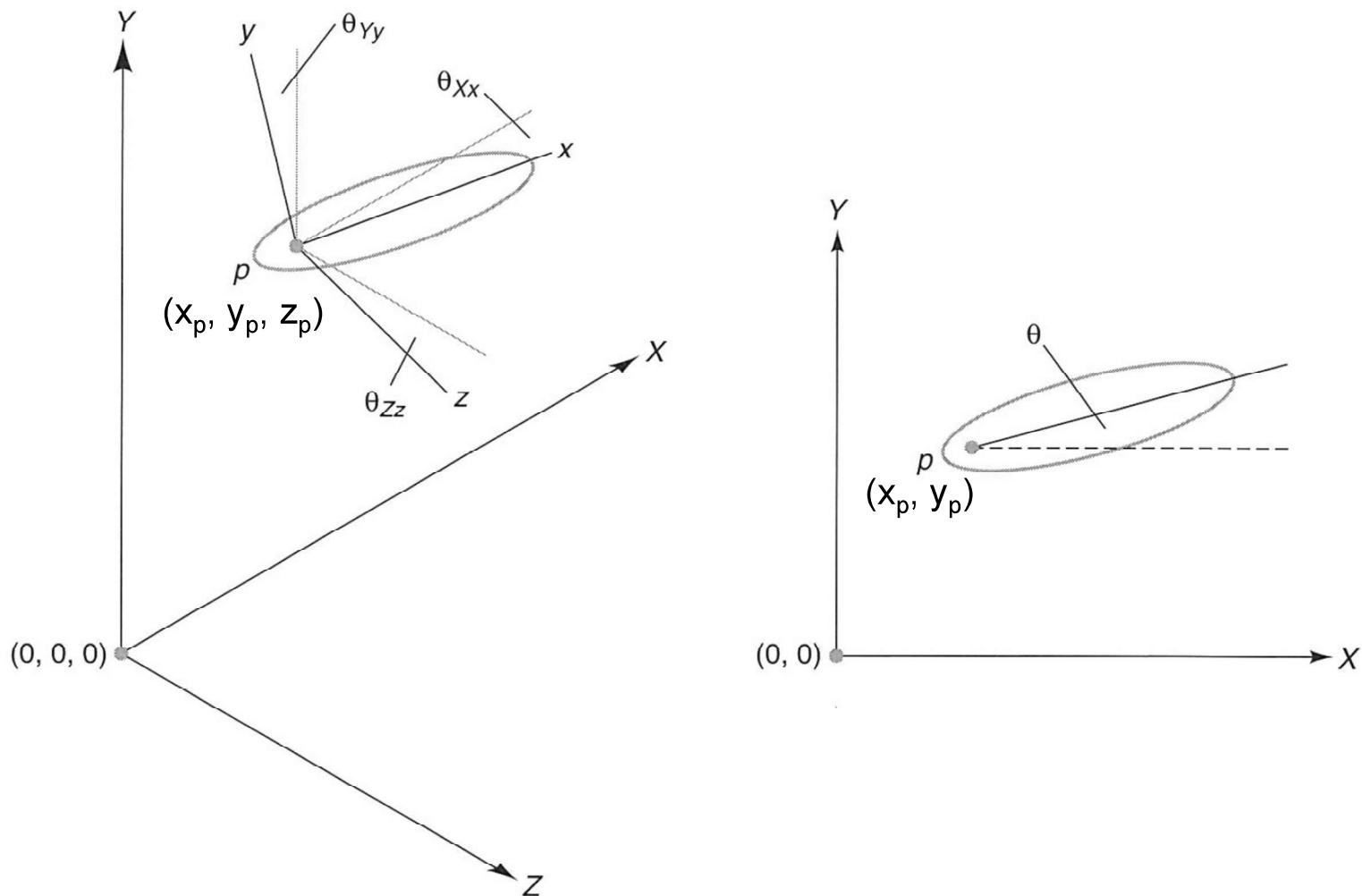
- 力学上の概念（モデルを記述するための理想概念）
- 質量と大きさ，形をもち，どんなに力を加えても変形も破断もない
- 真の剛体はこの世に存在しないが，対象を剛体とみなして考察できる現象は多々ある
- 大きさをもつので，剛体の振る舞いを記述するのに必要な情報は位置と姿勢で，空間の場合は6つ（x座標，y座標，z座標，姿勢を表す3つの角度）（自由度 = 6），平面の場合は3つ（x座標，y座標，姿勢を表す1つの角度）である（自由度 = 3）



固定座標系と移動座標系

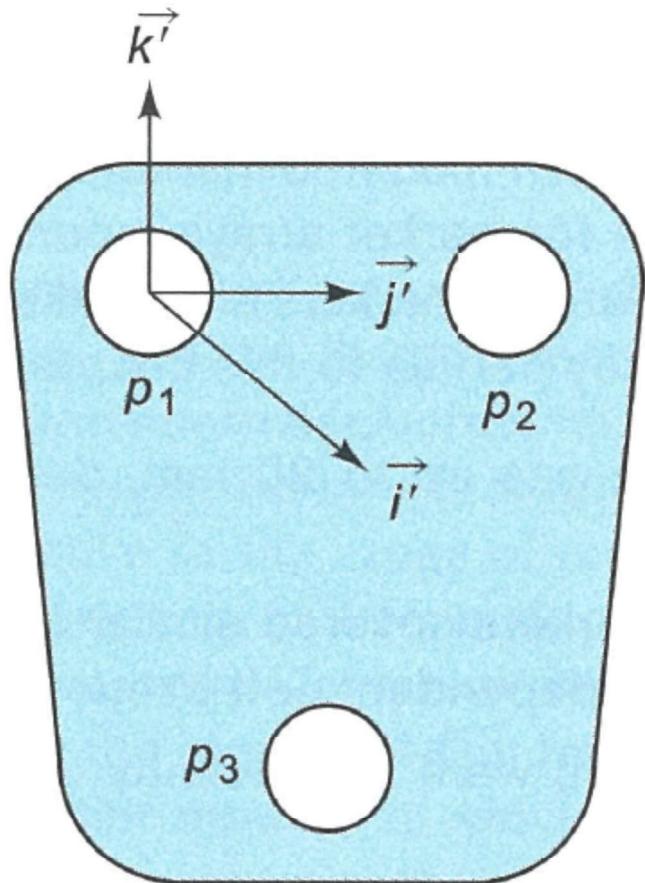


2次元座標系および3次元座標系における自由度



	3次元座標系	2次元座標系
点	$3(x_p, y_p, z_p)$	$2(x_p, y_p)$
剛体	$6(x_p, y_p, z_p, \theta_{XX}, \theta_{YY}, \theta_{ZZ})$	$3(x_p, y_p, \theta)$

移動座標系の定義



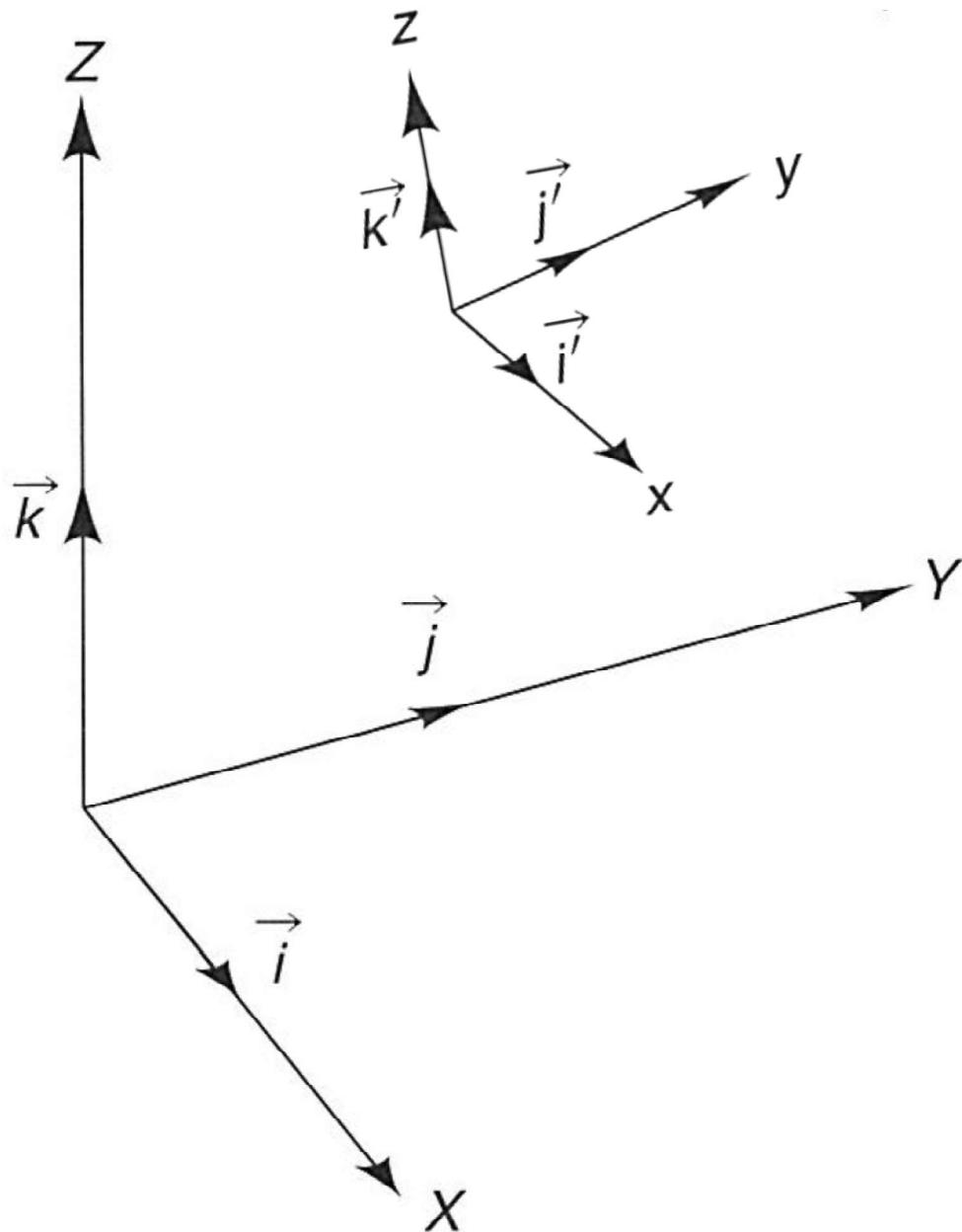
$$\vec{j}' = \frac{(\vec{p}_2 - \vec{p}_1)}{\|(\vec{p}_2 - \vec{p}_1)\|}$$

$$\vec{i}' = \frac{(\vec{p}_3 - \vec{p}_1) \times (\vec{p}_2 - \vec{p}_1)}{\|(\vec{p}_3 - \vec{p}_1) \times (\vec{p}_2 - \vec{p}_1)\|}$$

$$\vec{k}' = \vec{i}' \times \vec{j}'$$

剛体の移動座標系は剛体上の
非共線上の3点の位置座標か
ら求める

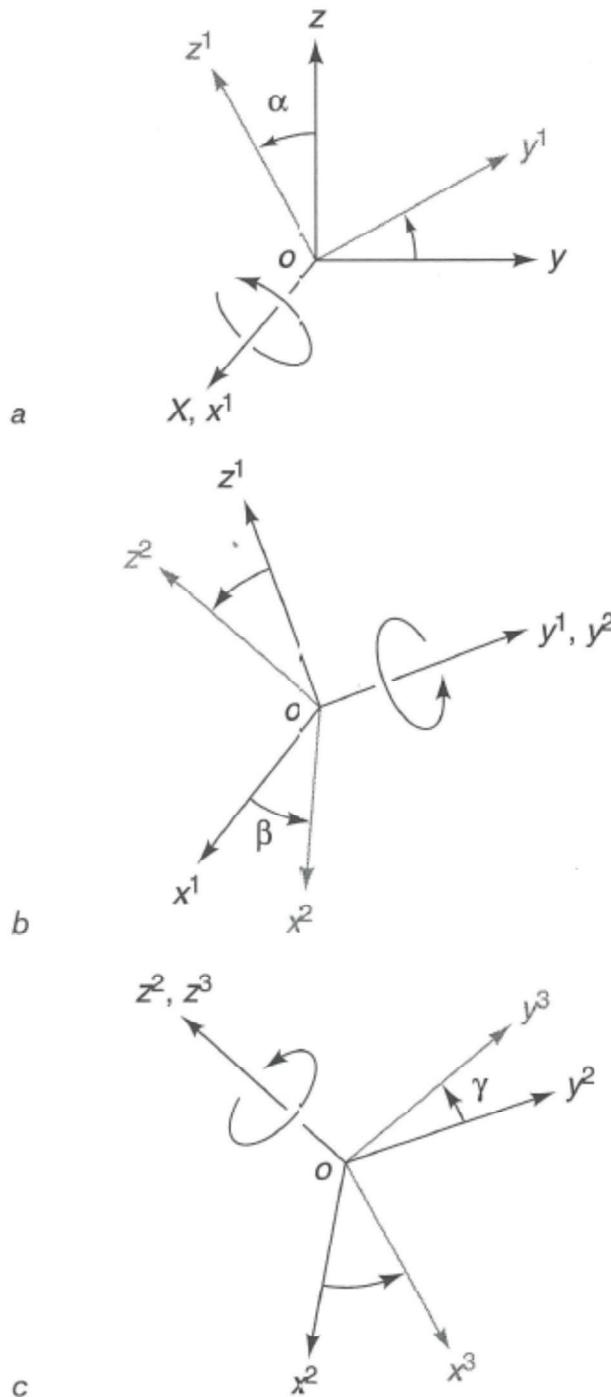
回転変換行列と方向余弦



$$[T_R] = \begin{bmatrix} \vec{i} \cdot \vec{i}' & \vec{i} \cdot \vec{j}' & \vec{i} \cdot \vec{k}' \\ \vec{j} \cdot \vec{i}' & \vec{j} \cdot \vec{j}' & \vec{j} \cdot \vec{k}' \\ \vec{k} \cdot \vec{i}' & \vec{k} \cdot \vec{j}' & \vec{k} \cdot \vec{k}' \end{bmatrix}$$

T_R : 回転変換行列
2つの座標系の各軸方向の単位ベクトルの内積（方向余弦）から成る

カルダン角



$$[R_x] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \sin\alpha \\ 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix}$$

$$[R_y] = \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix}$$

$$[R_z] = \begin{bmatrix} \cos\gamma & \sin\gamma & 0 \\ -\sin\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[R] = [R_z][R_y][R_x]$$

カルダン角(つづき)

$$[R] = \begin{bmatrix} \cos \beta \cos \gamma & \cos \gamma \sin \beta \sin \alpha + \sin \gamma \cos \alpha & \sin \gamma \sin \alpha - \cos \gamma \sin \beta \cos \alpha \\ -\sin \gamma \cos \beta & \cos \alpha \cos \gamma - \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma & \sin \gamma \sin \beta \cos \alpha + \cos \gamma \sin \alpha \\ \sin \beta & -\cos \beta \sin \alpha & \cos \alpha \cos \beta \end{bmatrix}$$

$$[T_R] = \begin{bmatrix} \vec{i} \bullet \vec{i}' & \vec{i} \bullet \vec{j}' & \vec{i} \bullet \vec{k}' \\ \vec{j} \bullet \vec{i}' & \vec{j} \bullet \vec{j}' & \vec{j} \bullet \vec{k}' \\ \vec{k} \bullet \vec{i}' & \vec{k} \bullet \vec{j}' & \vec{k} \bullet \vec{k}' \end{bmatrix}$$

$R=T_R$ となるので、両行列の要素より、 α, β, γ が求まる

角度(角変位), 角速度, 角加速度の関係

角変位 (θ)

(angular displacement)

微分

積分

角速度

(angular velocity)

$(\dot{\theta})$

微分

積分

角加速度

(angular acceleration)

$(\ddot{\theta})$

4. ヒトの身体運動の計測と解析



実験

3) 身体標点に反射マークを貼付し、2種類の垂直跳（SQJ：スクワットジャンプ、CMJ：カウンタームーブメントジャンプ）を行う。同時にフォースプラットフォームにより踏切中の地面反力を計測する。反射マークの位置を計測し、下肢のキネマティクス変数を算出する。また、地面反力から跳躍距離および重心の振る舞いを算出する。さらに、キネマティクス変数および地面反力より、キネティクス変数を算出する。

課題

3) 垂直跳の実験から得られたキネマティクス変数およびキネティクス変数から、反動動作が跳躍パフォーマンスに及ぼす影響や下肢関節の出力について考察してみよう。

マーカーセット

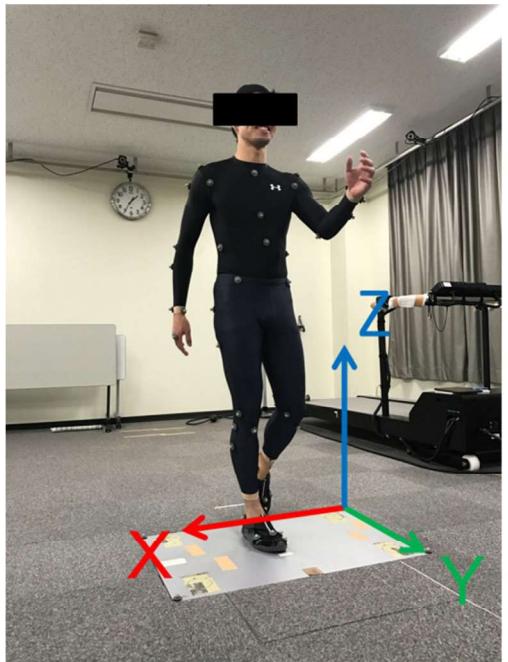
身体運動の計測では身体を剛体の集まり(剛体系)とみなす。剛体を定義するためには適切なマーカーセットを必要とする

- マーカーのタイプ
 - 個別マーカー
 - クラスター馬ーカー
 - 棒馬ーカー



- **スタティックマーカー**
セグメントの大きさ、関節中心あるいはダイナミックマーカーとの3次元的な相対位置を定めるために必要とされるマーカー
- **ダイナミックマーカー**
動作中の位置を計測するためのマーカー
- **仮想マーカー**
複数のダイナミックマーカーやダイナミックマーカーとスタティックマーカーの関係から導き出される計算上のマーカー

固定座標系と移動座標系



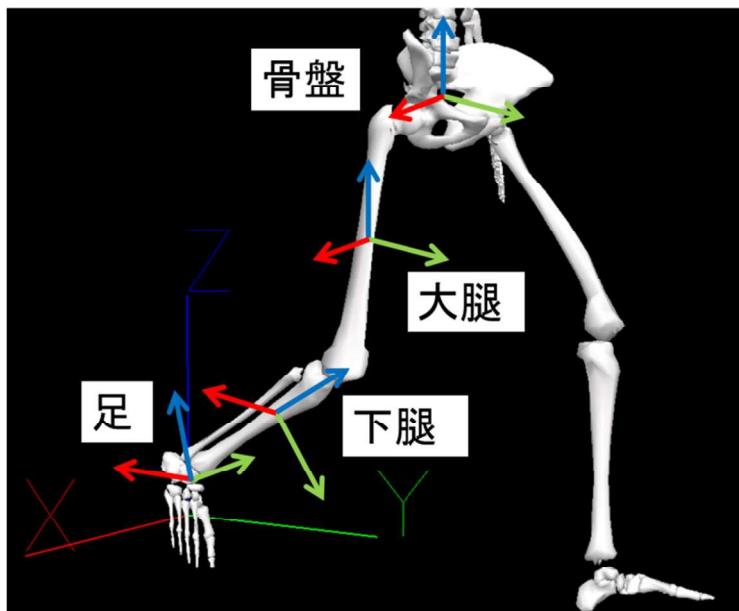
固定座標系 (GCS)

- 実験室に固定
- 右側方 (+X軸)
前方 (+Y軸)
鉛直上向き (+Z軸)

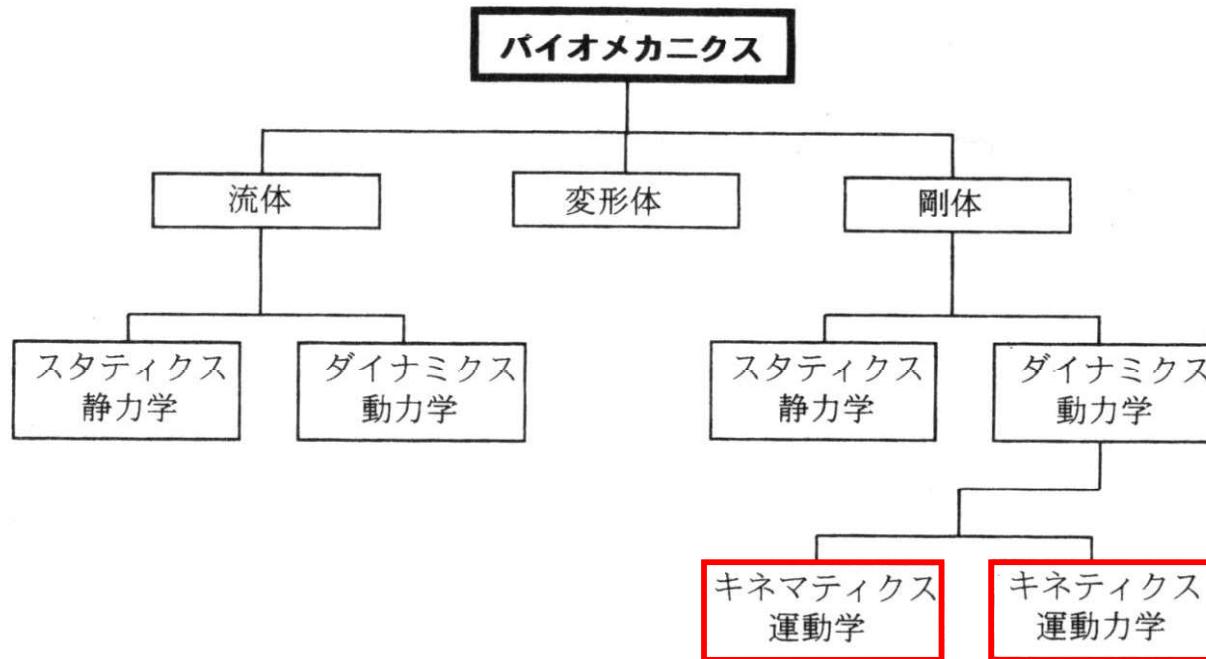
移動座標系 (LCS)

- 身体各部に定義
- x軸 (内外側方向, 右が+)
y軸 (前後方向, 前が+)
z軸 (長軸方向, 立位時上が+)

足部: y軸 → 立位時上向きが+
z軸 → 立位時後向きが+



キネマティクスとキネティクス



バイオメカニクスの構成 (Robertson 1997)

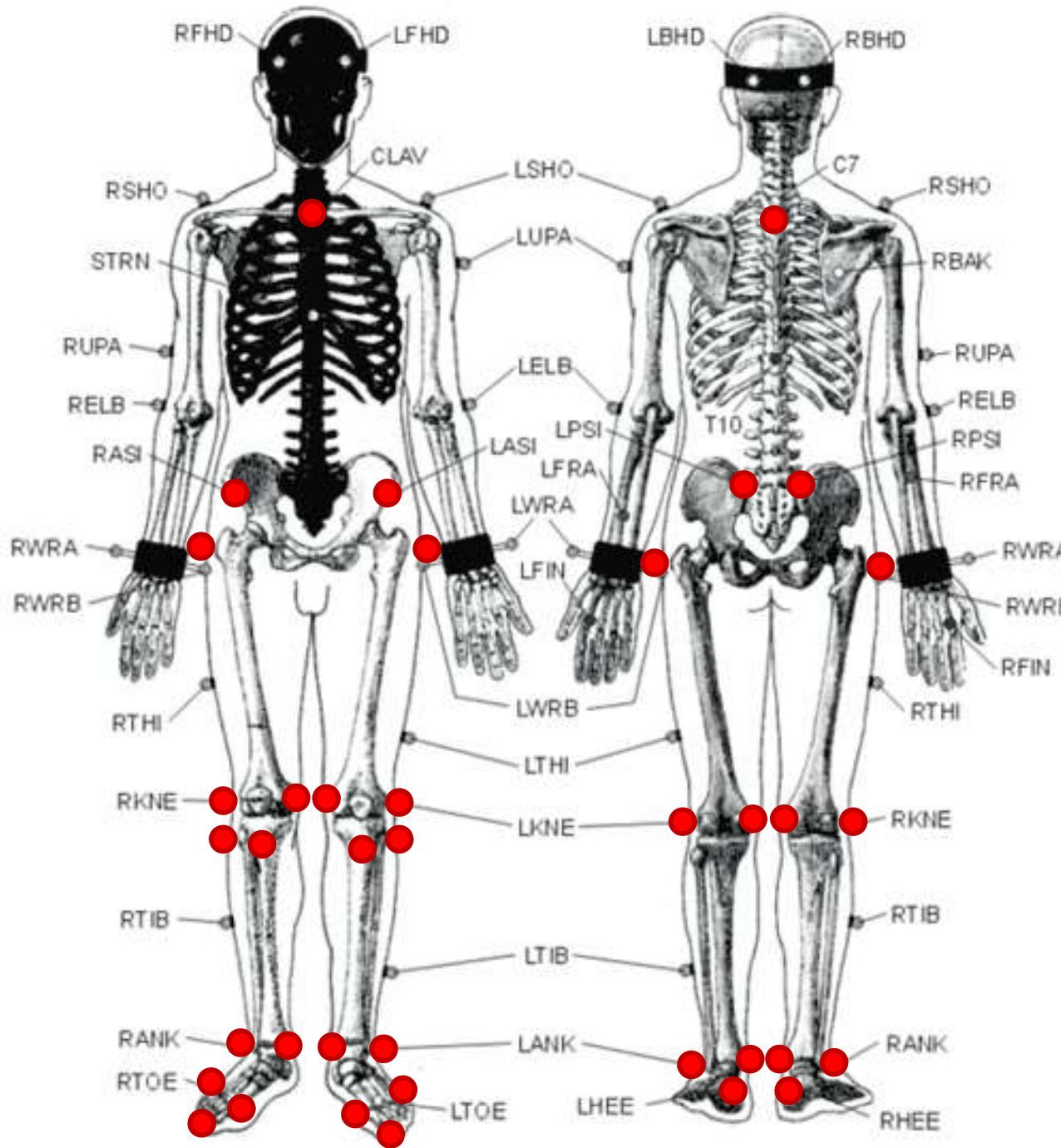
キネマティクス……運動の原因となる力とは関係なく、動き自体（四肢の姿勢やその変化）を研究する分野

変位, 速度, 加速度, 角変位, 角速度, 角加速度

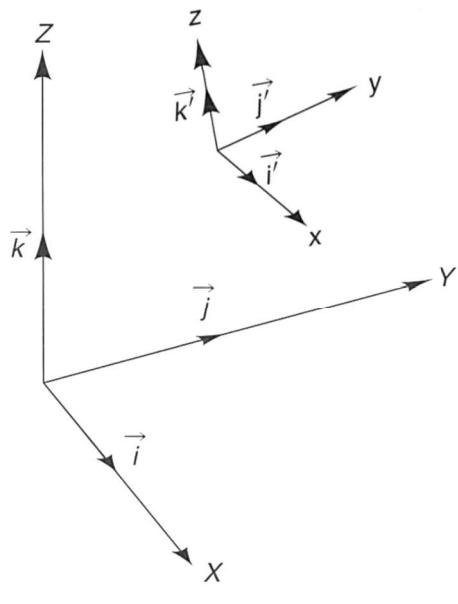
キネティクス……運動の原因となる力を研究する分野

力, トルク, 力積, 角力積, 仕事, パワー, 力学的エネルギー など

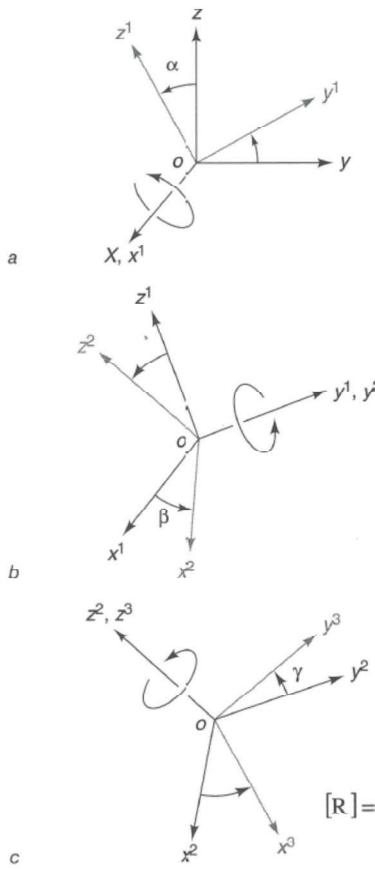
本演習で用いるマーカーセット(3D用)



角度(カルダン角)の算出方法



$$[T_R] = \begin{bmatrix} \vec{i}'' \cdot \vec{i}' & \vec{i}'' \cdot \vec{j}' & \vec{i}'' \cdot \vec{k}' \\ \vec{j}'' \cdot \vec{i}' & \vec{j}'' \cdot \vec{j}' & \vec{j}'' \cdot \vec{k}' \\ \vec{k}'' \cdot \vec{i}' & \vec{k}'' \cdot \vec{j}' & \vec{k}'' \cdot \vec{k}' \end{bmatrix}$$



$$[R_x] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \sin\alpha \\ 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix}$$

$$[R_y] = \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix}$$

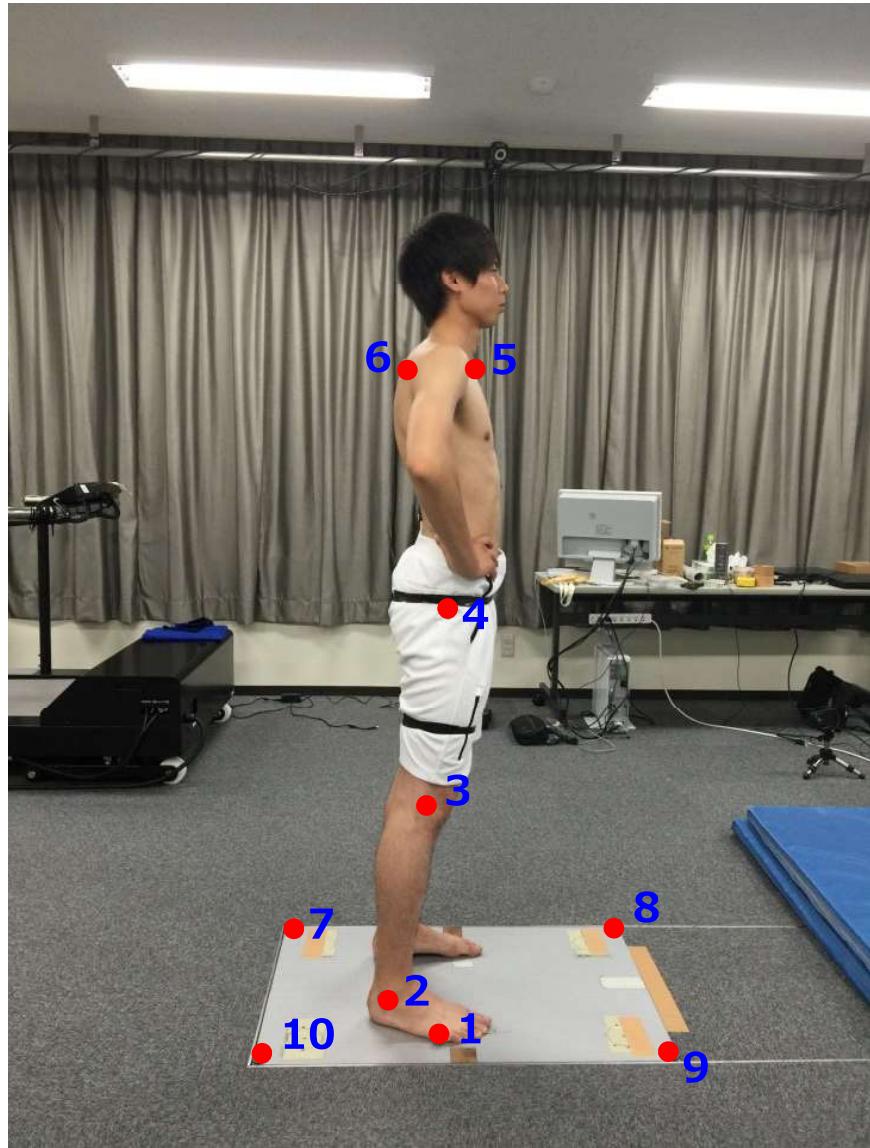
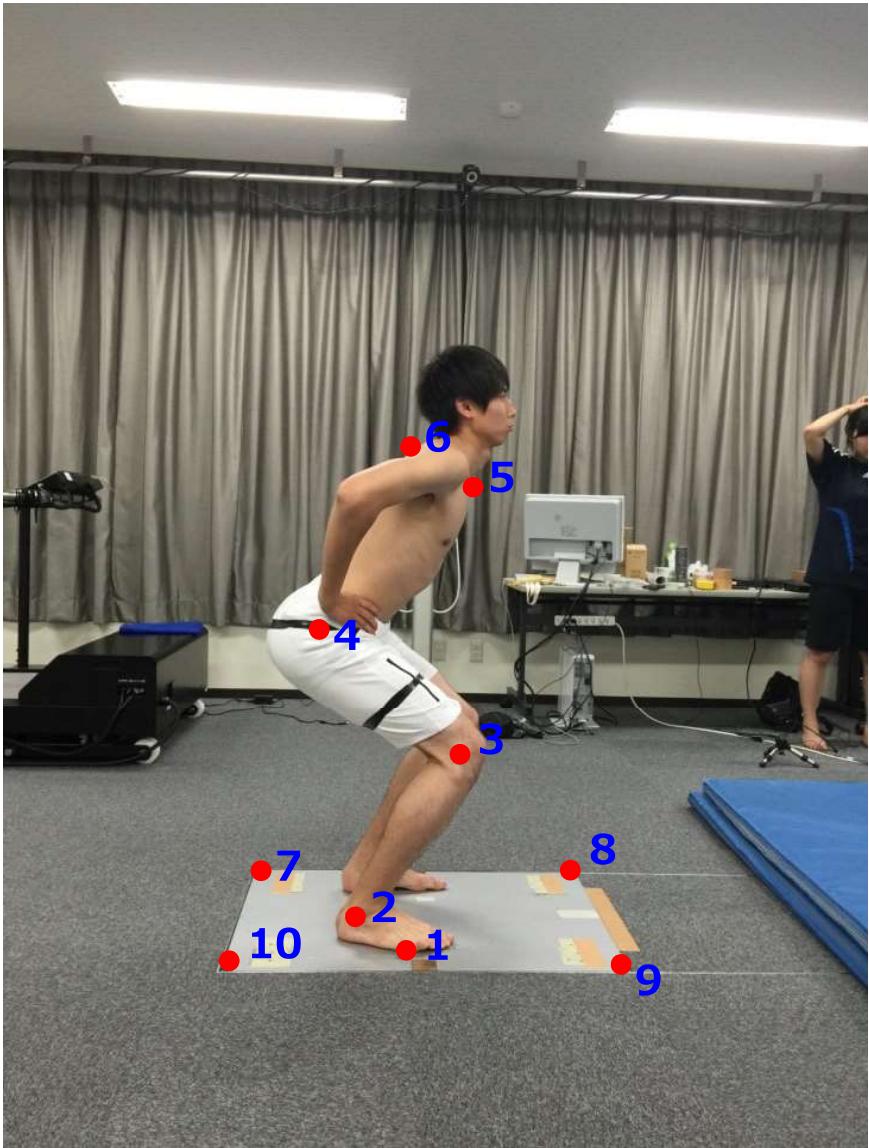
$$[R_z] = \begin{bmatrix} \cos\gamma & \sin\gamma & 0 \\ -\sin\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[R] = [R_z][R_y][R_x]$$

$$[R] = \begin{bmatrix} \cos\beta \cos\gamma & \cos\gamma \sin\beta \sin\alpha + \sin\gamma \cos\alpha & \sin\gamma \sin\alpha - \cos\gamma \sin\beta \cos\alpha \\ -\sin\gamma \cos\beta & \cos\alpha \cos\gamma - \sin\alpha \sin\beta \sin\gamma & \sin\gamma \sin\beta \cos\alpha + \cos\gamma \sin\alpha \\ \sin\beta & -\cos\beta \sin\alpha & \cos\alpha \cos\beta \end{bmatrix}$$

移動座標系i VS 移動座標系i+1 → 関節角度
固定座標系 VS 移動座標系i → 部分角度

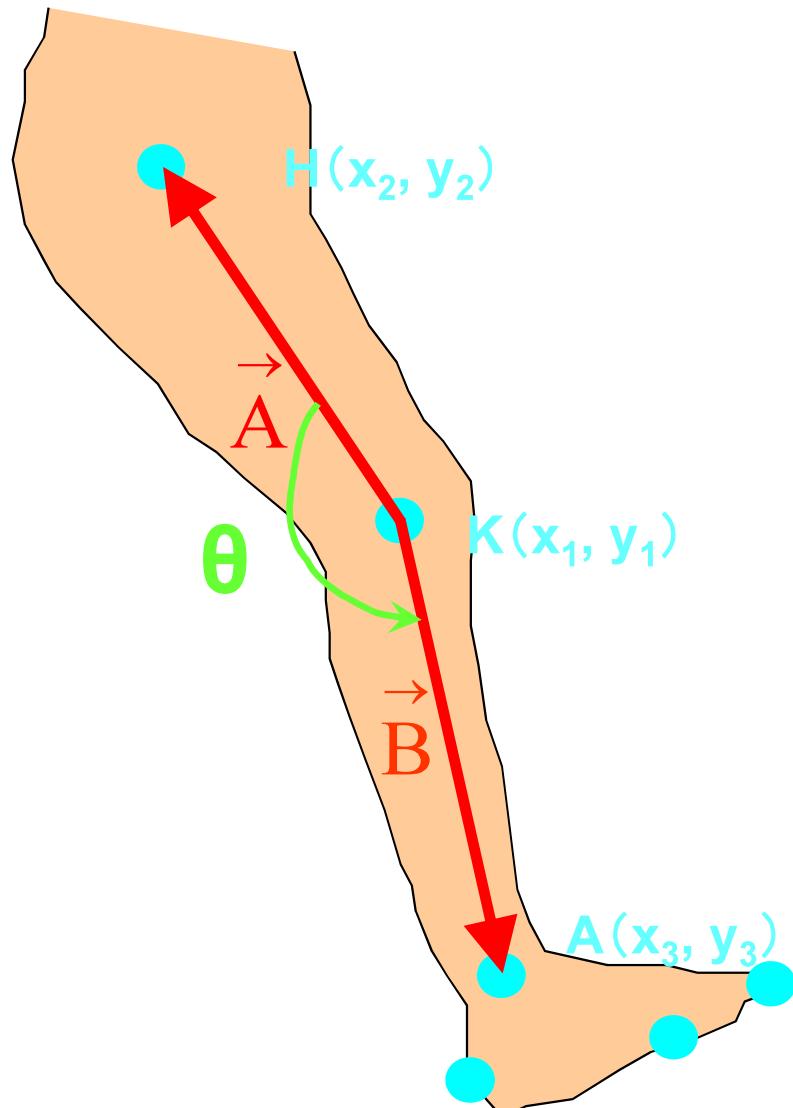
本演習で用いるマーカーセット(2D用)



身体標点 (マーカーの位置)

- | | | |
|--------------|--------------|--------------|
| 1. 第5中足骨頭 | 2. 足関節 | 3. 膝関節 |
| 4. 股関節 (大転子) | 5. 胸骨上縁 (前面) | 6. 胸骨上縁 (後面) |
| 7. FP角 (左後) | 8. FP角 (左前) | |
| 9. FP角 (右前) | 10. FP角 (右後) | |

角度の算出方法



$$\vec{A} = (x_2 - x_1, y_2 - y_1)$$

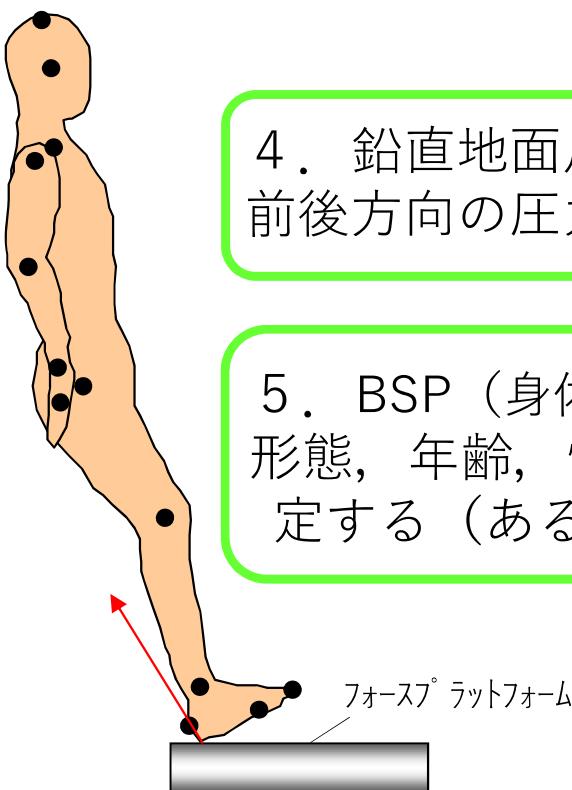
$$\vec{B} = (x_3 - x_1, y_3 - y_1)$$

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = |\vec{A}| |\vec{B}| \cos \theta$$

$$\cos \theta = \frac{\vec{A} \cdot \vec{B}}{|\vec{A}| |\vec{B}|}$$

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{\vec{A} \cdot \vec{B}}{|\vec{A}| |\vec{B}|} \right)$$

逆動力学的分析による生体内力(関節力, 関節トルク)の算出



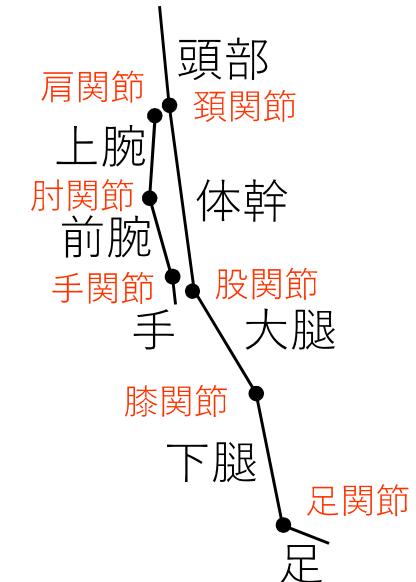
1. 身体標点座標を得る

2. 残差分析法に基づき、最適遮断周波数を決定し、4次のButterworth low-pass digital filterで平滑化する

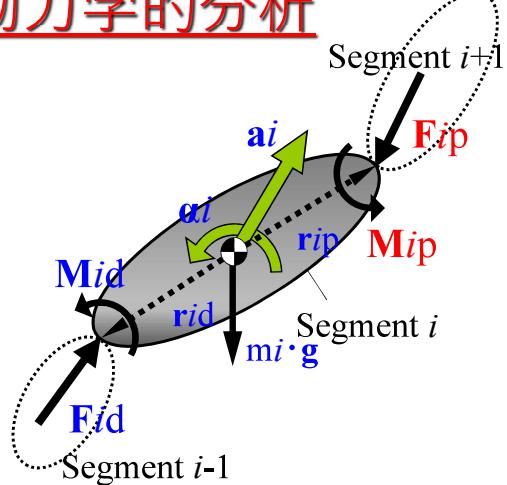
4. 鉛直地面反力、水平(前後)地面反力、前後方向の圧力中心位置の算出

5. BSP (身体部分慣性特性係数) の推定
形態、年齢、性別を考慮して、BSPを推定する (あるいは直接測定する)

3. 剛体リンクモデルの構築



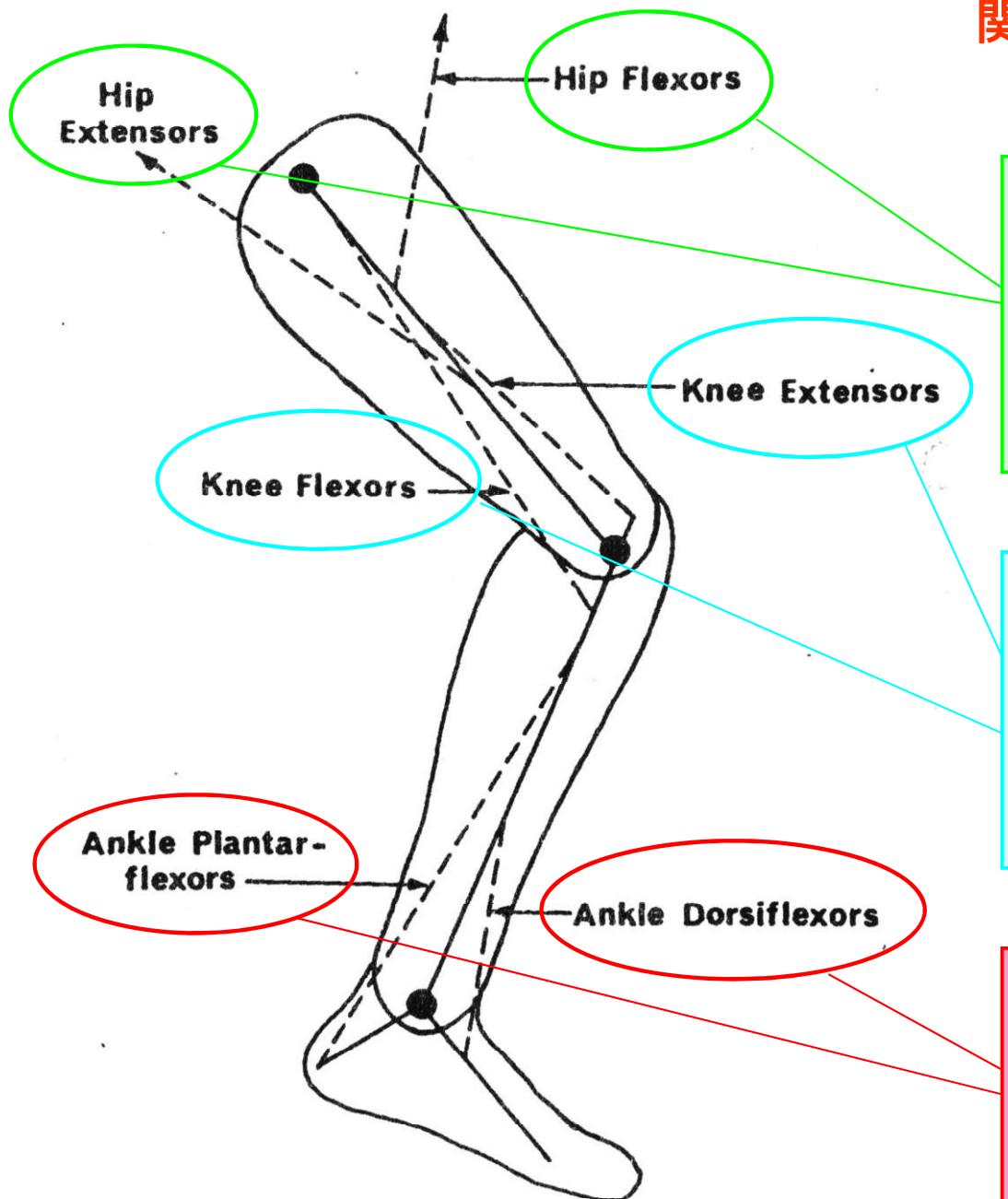
逆動力学的分析



$$F_{id} + F_{ip} + m_i \cdot g = m_i \cdot a_i$$

$$M_{id} + M_{ip} + r_{id} \times F_{id} + r_{ip} \times F_{ip} = I_i \cdot a_i$$

関節トルクのバイオメカニクス的解釈



関節トルク=関節まわりの筋群の正味のトルク
(合成筋トルク)

股関節トルク

||
股関節伸展筋群によるトルク
+
股関節屈曲筋群によるトルク

膝関節トルク

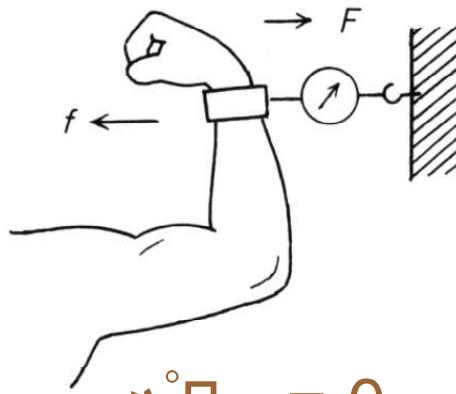
||
膝関節伸展筋群によるトルク
+
膝関節屈曲筋群によるトルク

足関節トルク

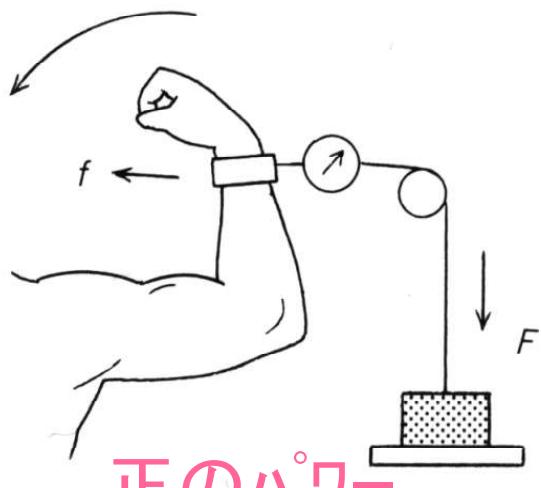
||
足関節底屈筋群によるトルク
+
足関節背屈筋群によるトルク

筋収縮の様式

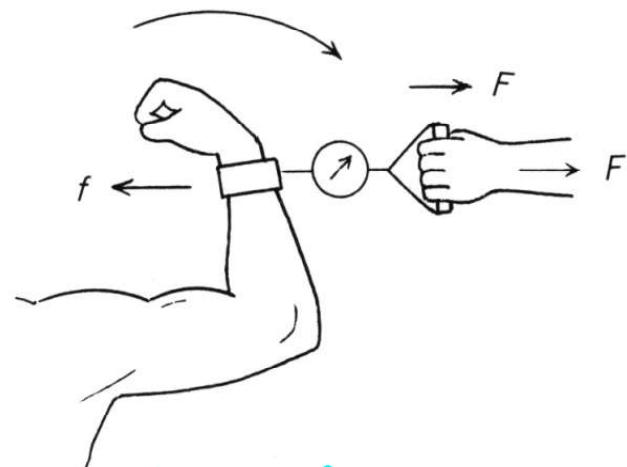
収縮様式	パフォーマンス
筋収縮	(短縮性) 等尺性筋力 (isometric contraction) 等尺性筋力 (isometric strength)
	(伸張性) 耐筋力 (breaking strength)
等張力性収縮 (isotonic contraction)	短縮性収縮 (concentric contraction) プラスの仕事 (positive work)
	伸張性収縮 (eccentric contraction) マイナスの仕事 (negative work)



等尺性収縮
(アイソメトリック収縮)



短縮性収縮
(コンセントリック収縮)



伸張性収縮
(エクセントリック収縮)

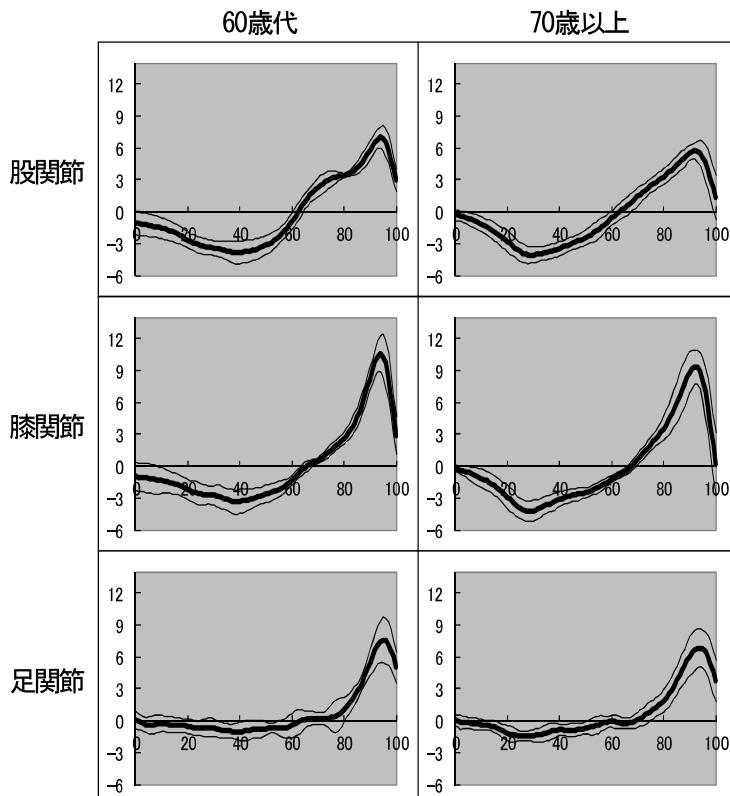
収縮様式	力	速度	ハ°ワー
等尺性収縮 (isometric con.)	収縮	0	0
短縮性収縮 (concentric con.)	収縮	収縮	+
伸張性収縮 (eccentric con.)	収縮	伸張	-

関節トルクパワーのバイオメカニクス的解釈

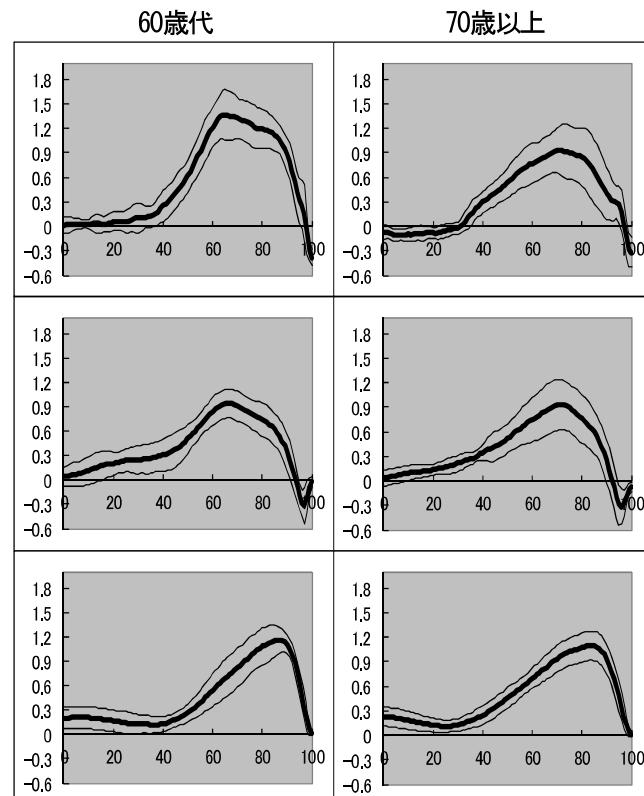
関節トルク	関節角速度	関節トルクパワー	仮想筋の活動
伸展トルク(+)	伸展(+)	正のパワー	伸筋群の concentricな活動によるパワー
伸展トルク(+)	屈曲(-)	負のパワー	伸筋群の eccentricな活動によるパワー
伸展トルク(+)	固定(角速度0)	0	伸筋群の isometricな活動によるパワー
屈曲トルク(-)	伸展(+)	負のパワー	屈筋群の eccentricな活動によるパワー
屈曲トルク(-)	屈曲(-)	正のパワー	屈筋群の concentricな活動によるパワー
屈曲トルク(-)	固定(角速度0)	0	屈筋群の isometricな活動によるパワー

垂直跳における関節角速度, トルク, トルクパワー

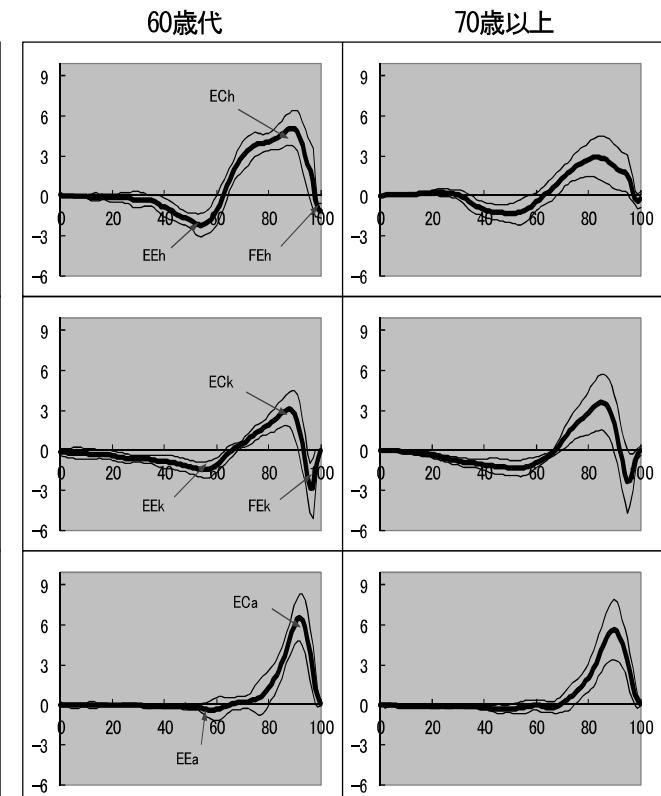
関節角速度



関節トルク



関節トルクパワー

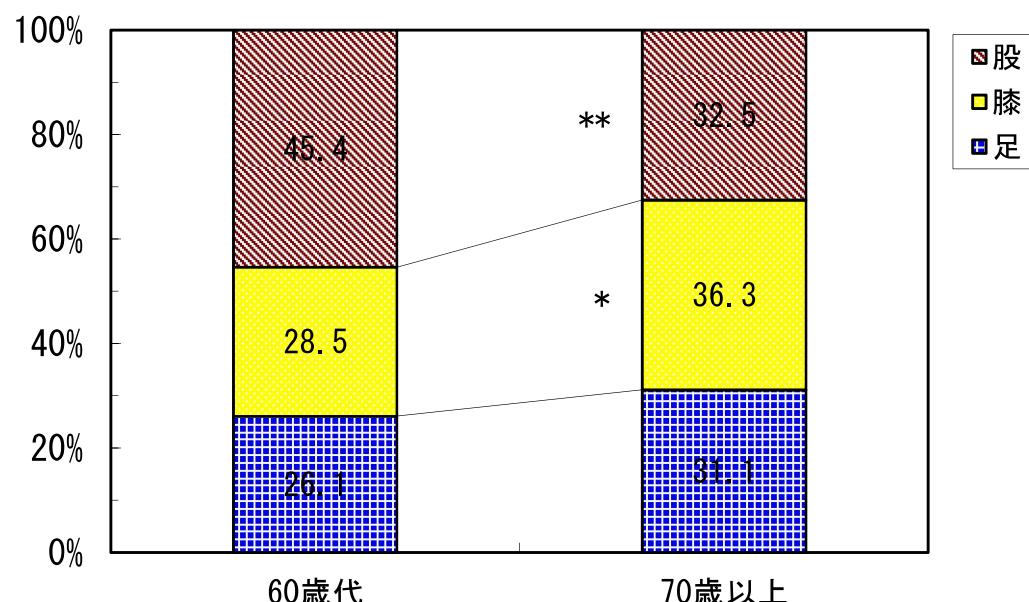
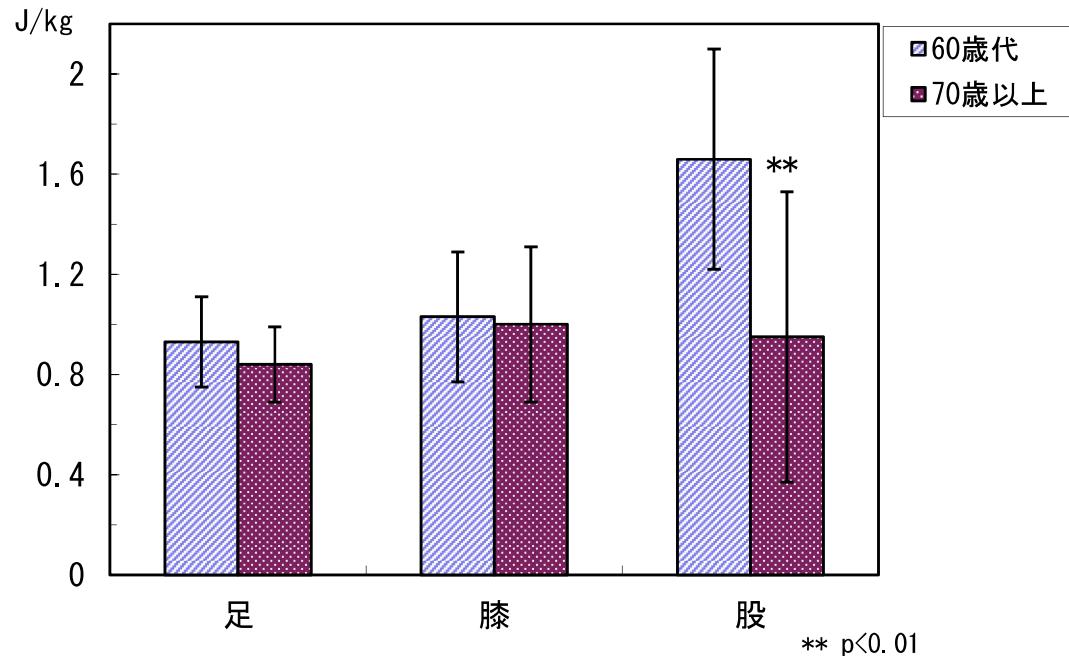


※縦軸・・・rad/s 横軸・・・%time

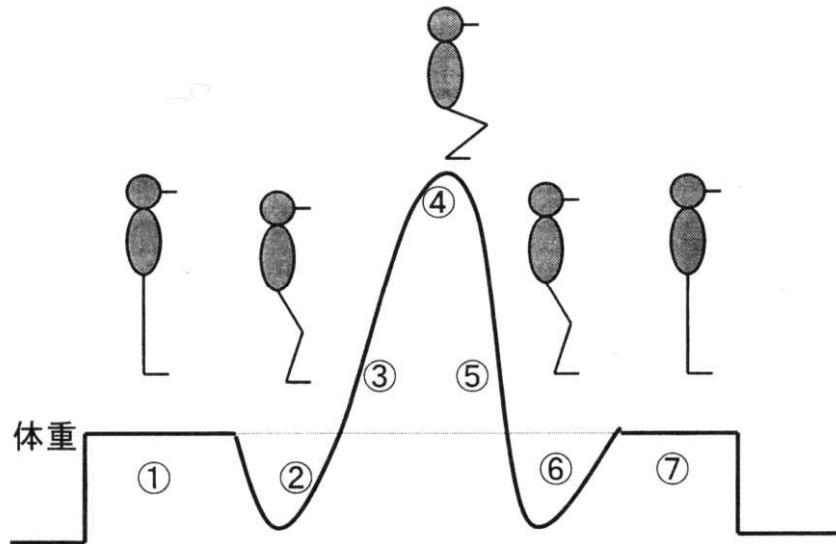
※縦軸・・・N·m/kg 横軸・・・%time

※縦軸・・・Watt/kg 横軸・・・%time

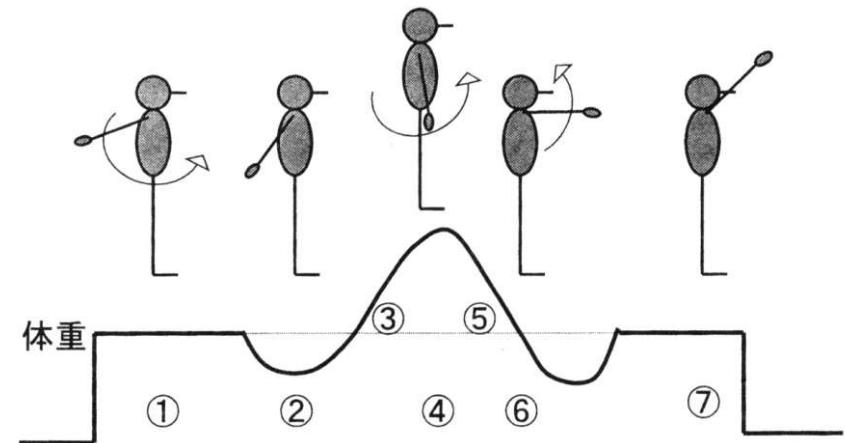
垂直跳における関節の力学的仕事(絶対仕事), 貢献度



反動動作と振込動作



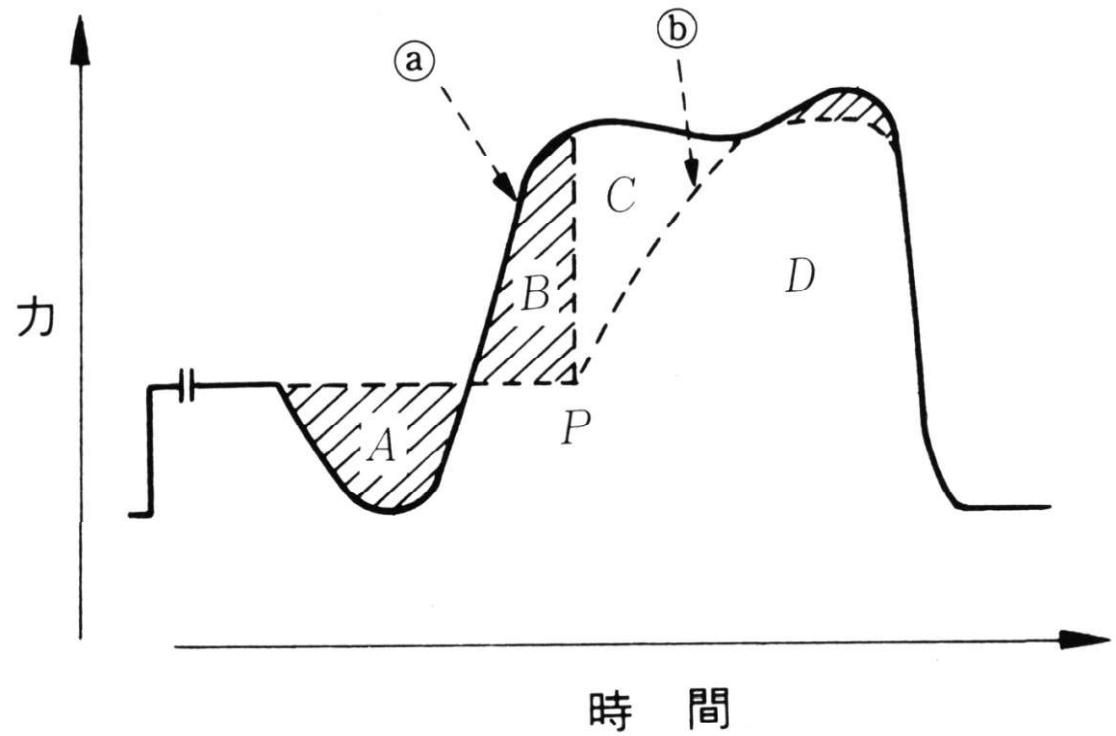
反動動作=ねらいとする方向とは反対に
あらかじめ身体あるいは身体
の一部を動かす動作のこと



振込動作=ねらいとする方向に身体の
一部を振り込む動作のこと

- 反動動作では、動作の後半から動作終了(切り替え)
時点において大きな力を出すのに効果的である
- 振込動作では、動作の中盤から後半で大きな力を出
すのに効果的である

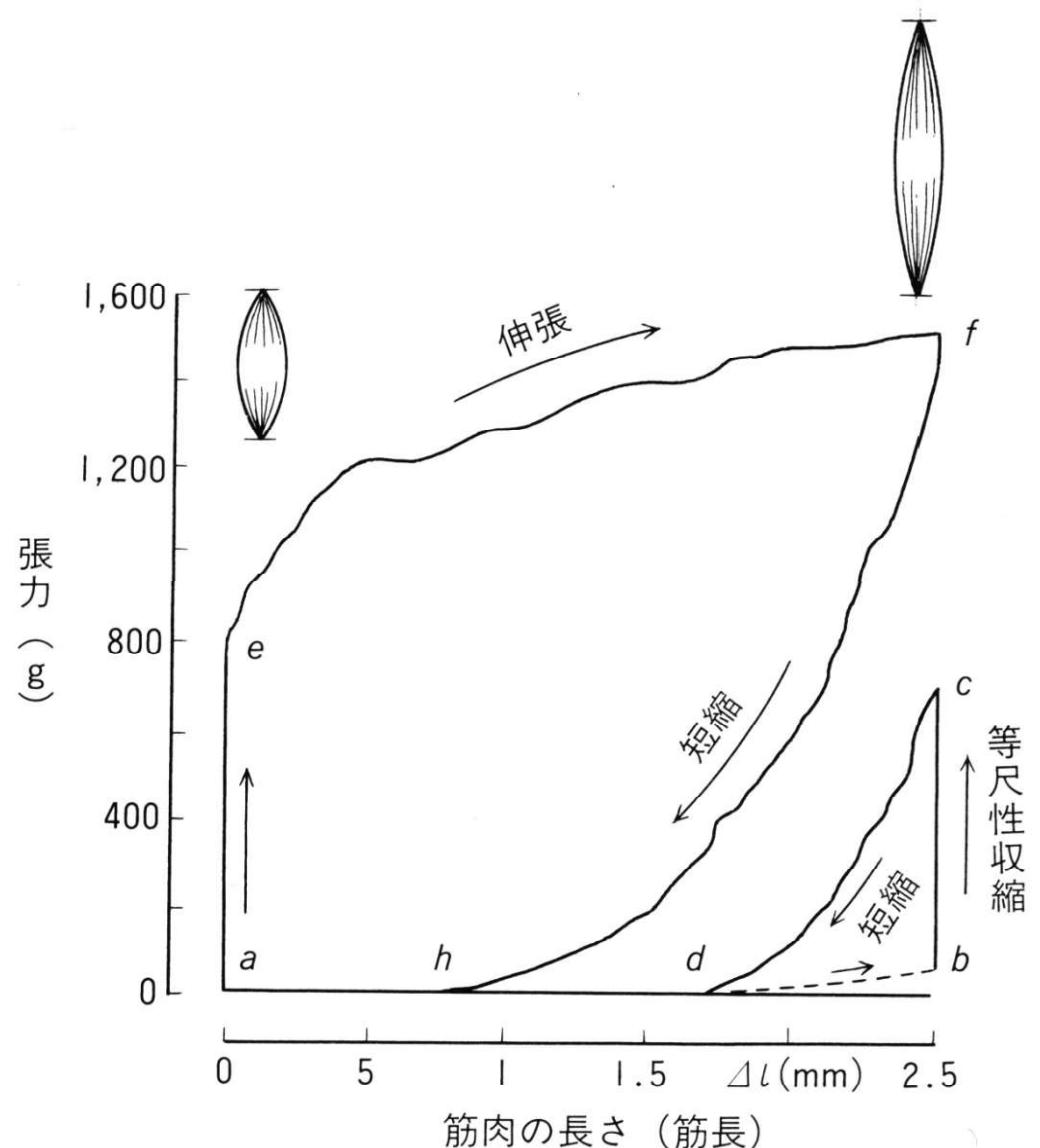
垂直跳における反動・振込動作の効果



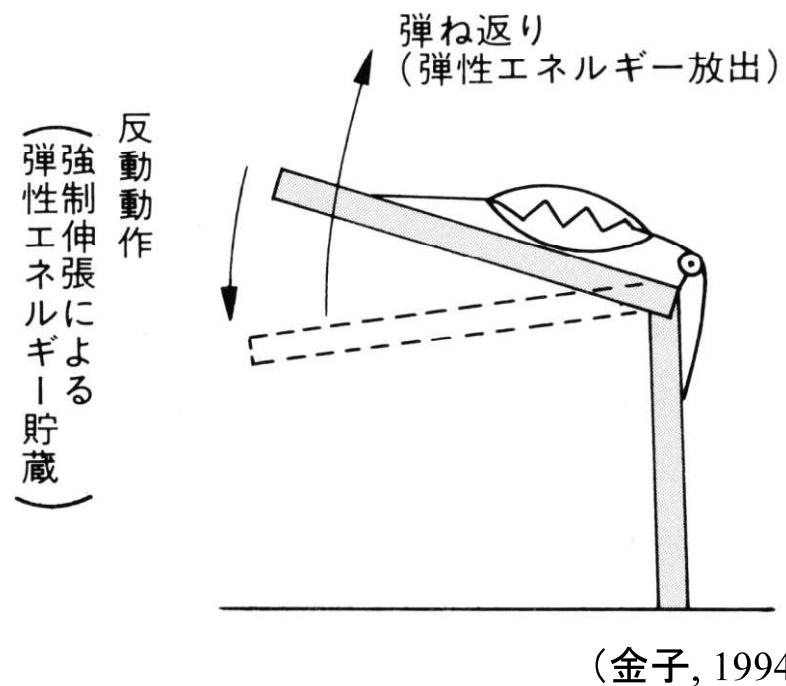
- 反動動作・振込動作がある場合(a)では、ない場合(b)より**有効力積**(P点以降の力積)が大きくなり、跳躍力が増す
- 反動動作は**筋の弾性特性**を引き出す
- 腕の振込動作は、動作後半で**腕の運動エネルギー**を体幹に移動させる

(金原と三浦, 1965)

筋のストレッチ効果と弾性作用



(Cavagna et al., 1978)



- 活動筋に強制的ストレッチを与えた(e→f)後に短縮させる(f→h)と、そうでない場合(c→d)より仕事が大きくなる
- 反動動作により、腱に**弾性エネルギー**が蓄えられる