

# ヒューマンバイオメカニクス研究室

- ヒューマンパフォーマンスの改善を目指して -

共通教育部 健康・スポーツ科学部会  
知能機械工学専攻 機械システムコース  
岡田 英孝



## 研究目的

人間の日常生活やスポーツ活動における**身体の動きの特性を科学的に解明し、生体の生力学的特性への理解を深め**、運動処方、スポーツのコーチングや日常生活動作(ADL)の維持・改善に活かせる知見(**ヒューマンパフォーマンス改善のための知見**)を発信することを目的としています。

## 研究テーマ

### ADLの維持・改善を目指して

- 日本人の歩行動作標準モデルと歩行動作データベースの構築
- 高齢者の歩行動作評価方法の開発 ⇒ 歩行動作の健康度評価(歩行年齢)
- 歩行動作改善のためのバイオフィードバックシステムの開発

### 競技力向上を目指して

- 優れたアスリートの運動技術の解明
- 走技術改善のための生理学的、動作学的研究

### 動作分析(モデル)の精度向上を目指して

- 最新計測技術を用いた身体部分慣性特性係数(BSP)算出法の開発
- アスリートのBSPデータベースの作成
- MRIを用いた身体部分密度の推定



# 歩行動作解析とその応用





## 高齢者人口の増大



長寿社会の到来  
(長く生きられるようになった)

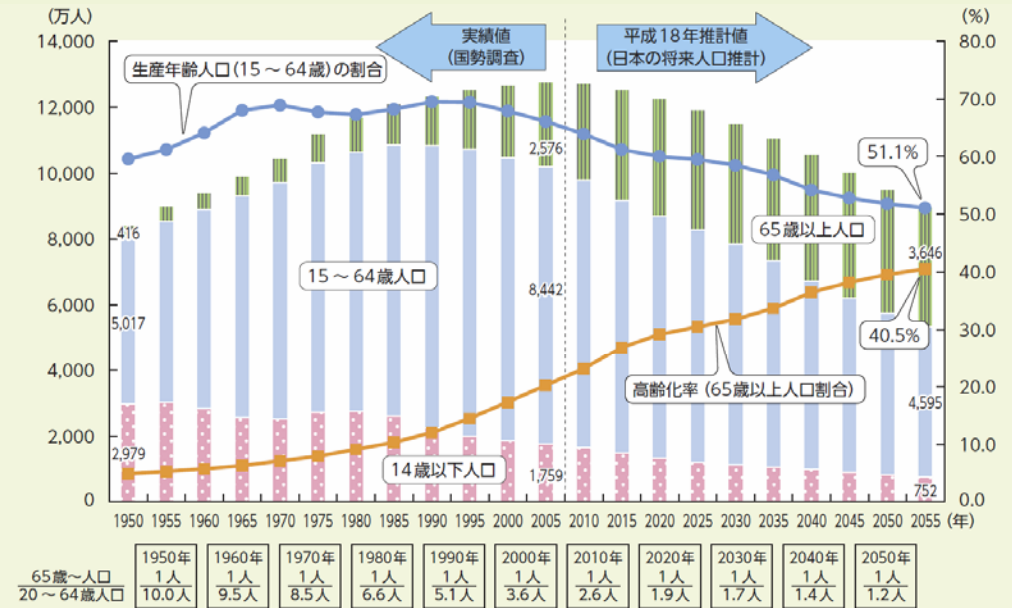


## 生産年齢人口の減少 要介護者の増大



社会保険制度, 医療制度の破綻

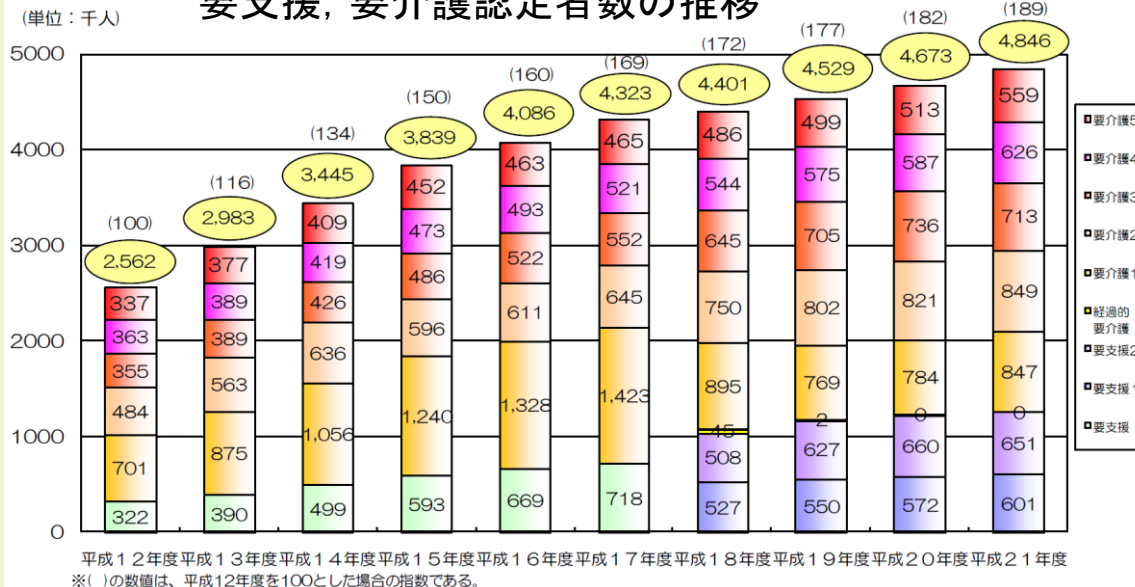
## 総人口の推移



資料：2005年までは総務省統計局「国勢調査」、2010年以降は国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口（平成18年12月推計）中位推計」  
 (注) 2005年は総務省統計局「国勢調査」の年齢不詳人口を各歳別に按分して含めた。

(平成23年版厚生労働白書, 厚生労働省)

## 要支援, 要介護認定者数の推移



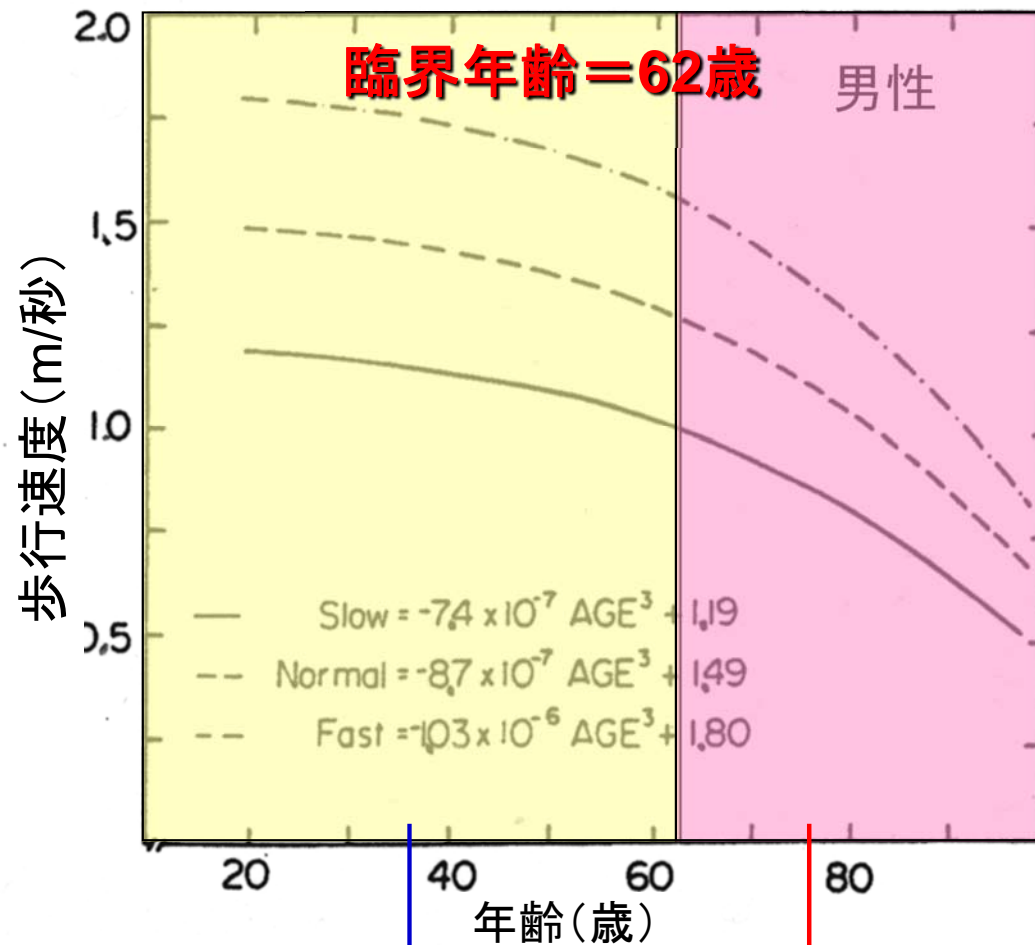
平成12年度平成13年度平成14年度平成15年度平成16年度平成17年度平成18年度平成19年度平成20年度平成21年度  
 ※( )の数値は、平成12年度を100とした場合の指数である。

(平成21年度 介護保険事業状況報告, 厚生労働省)

“健康”長寿社会の実現  
⇒ 国民的課題

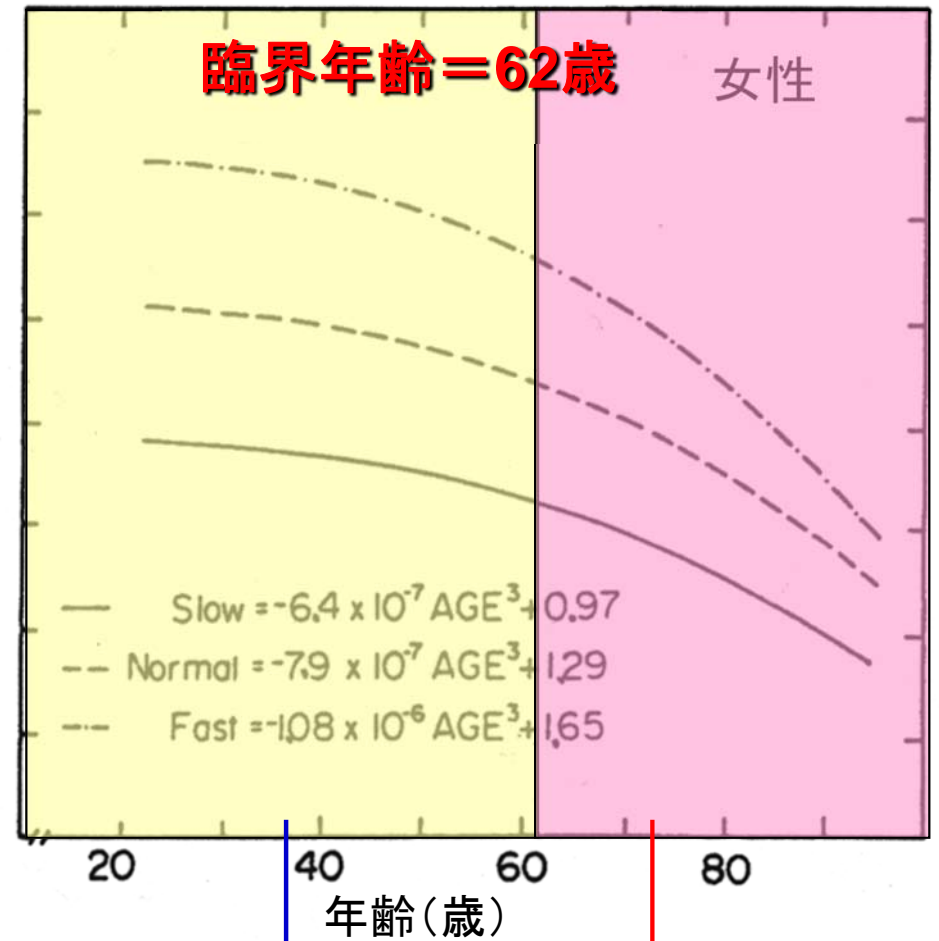
QOL (Quality Of Life) を高める  
 ⇒ 日常生活動作 (ADL) の維持が前提条件  
 ⇒ 歩行能力の維持が重要

# 加齢にともなう歩行能力の低下



緩やかな低下  
(1.1%/10年)

急激な低下  
(16.0%/10年)

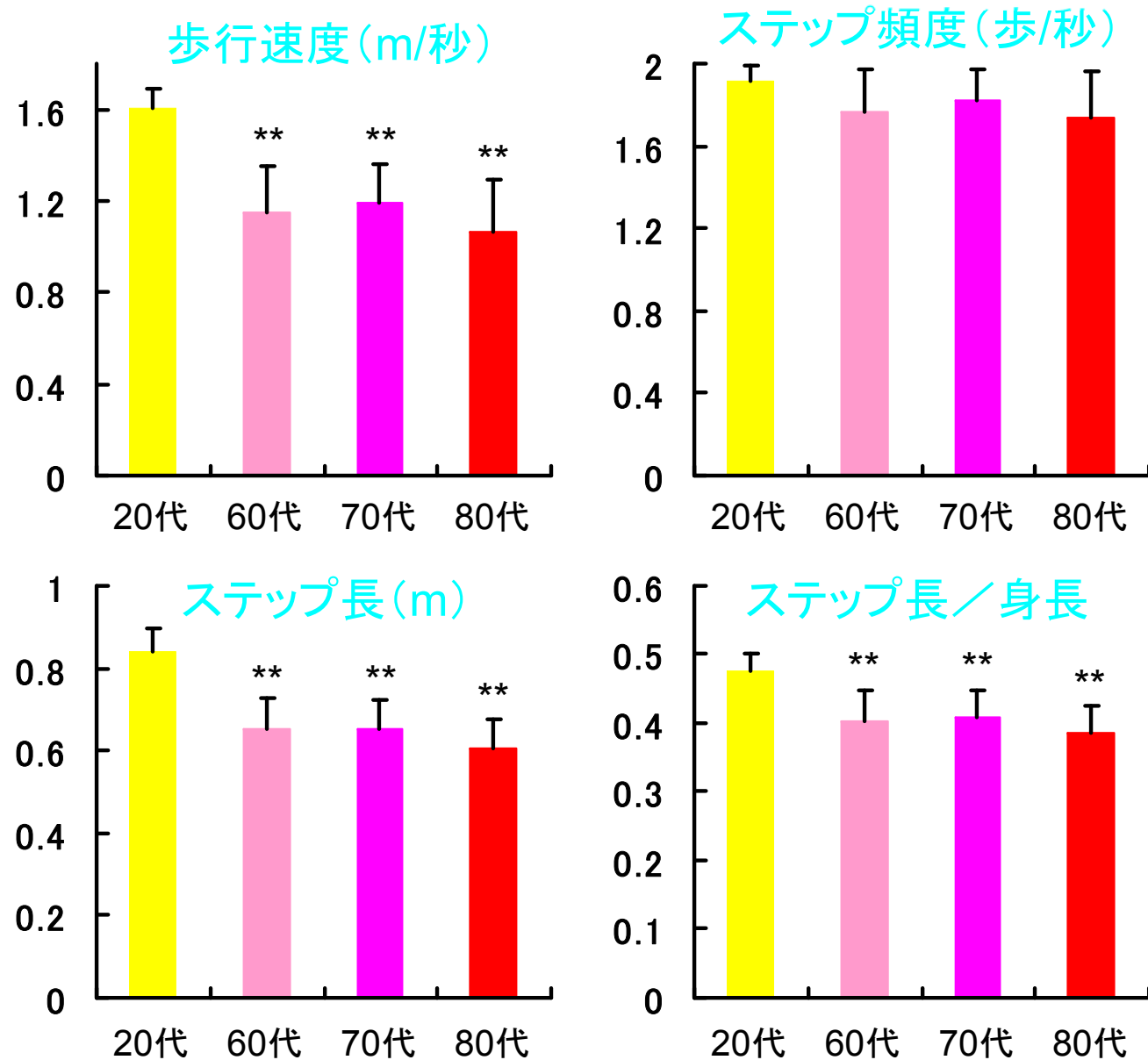


緩やかな低下  
(2.0%/10年)

急激な低下  
(12.4%/10年)

(Himann et al., 1988)

# 加齢にともなうストライド特性の変化



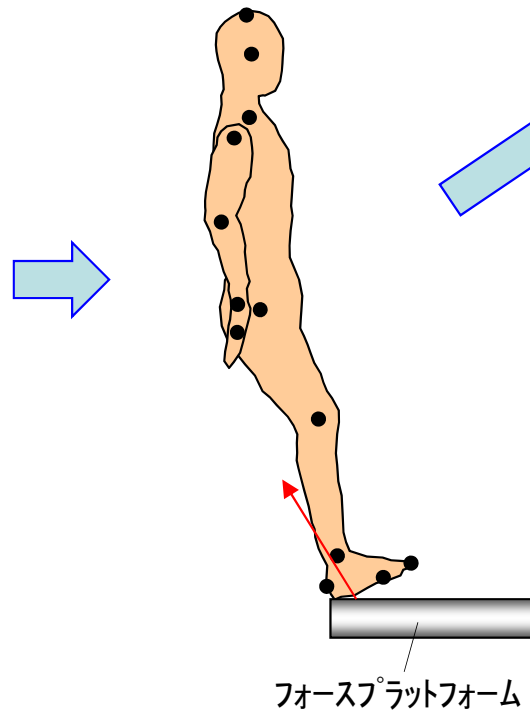
\*\* 20代との有意差 (p<.01)



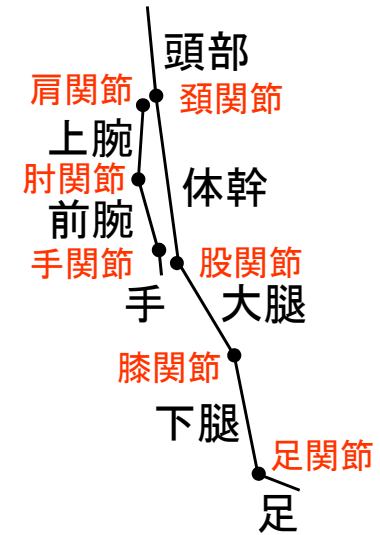
# 動作解析 (kinematics分析とkinetics分析)

## Kinematics

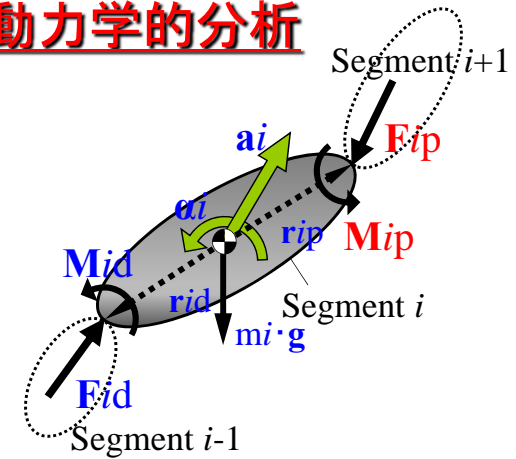
重心位置, 部分角度, 関節角速度...etc.



## 剛体リンクモデルの構築



## 逆動力学的分析



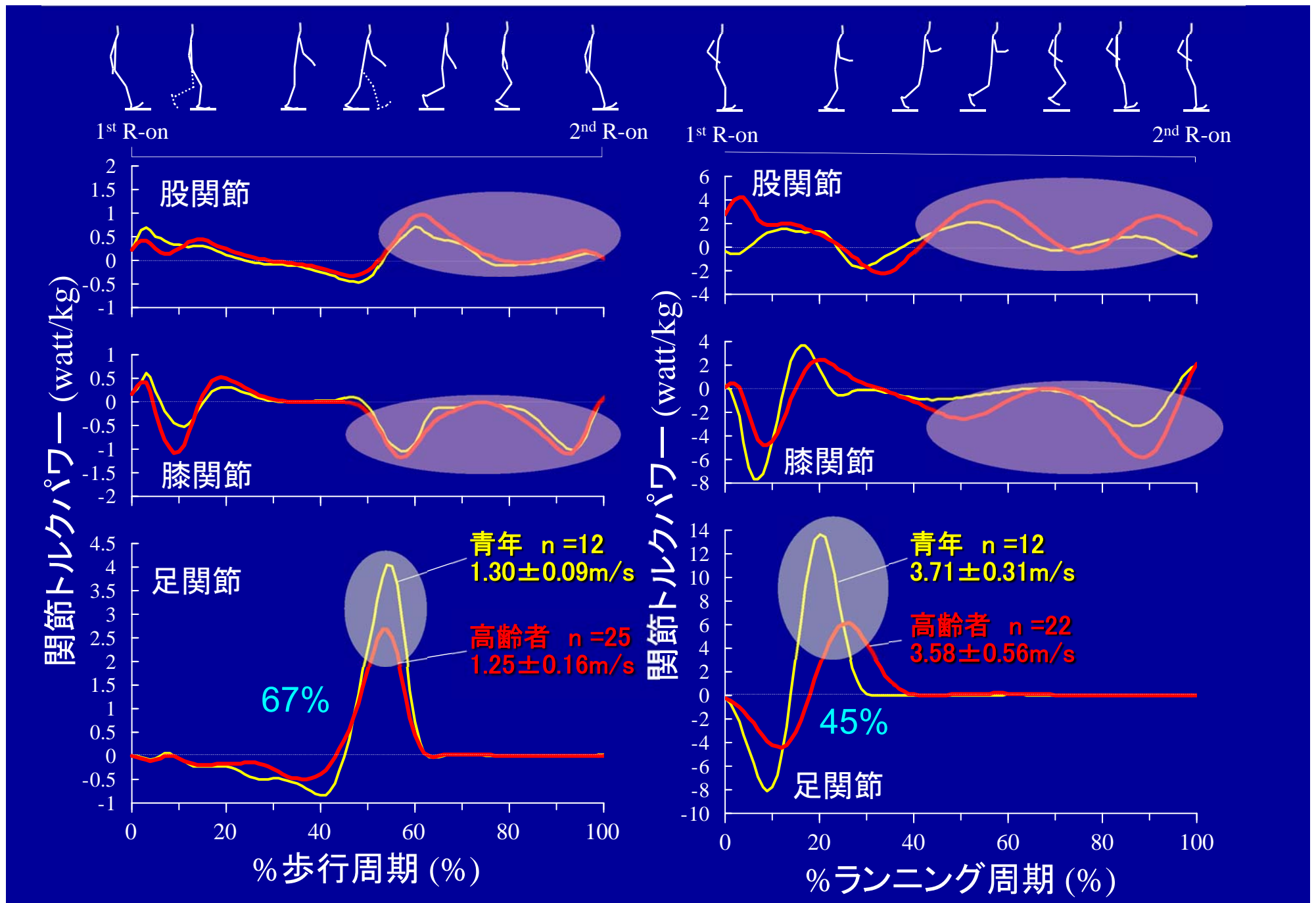
$$F_{id} + F_{ip} + m_i \cdot g = m_i \cdot a_i$$

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

## Kinetics

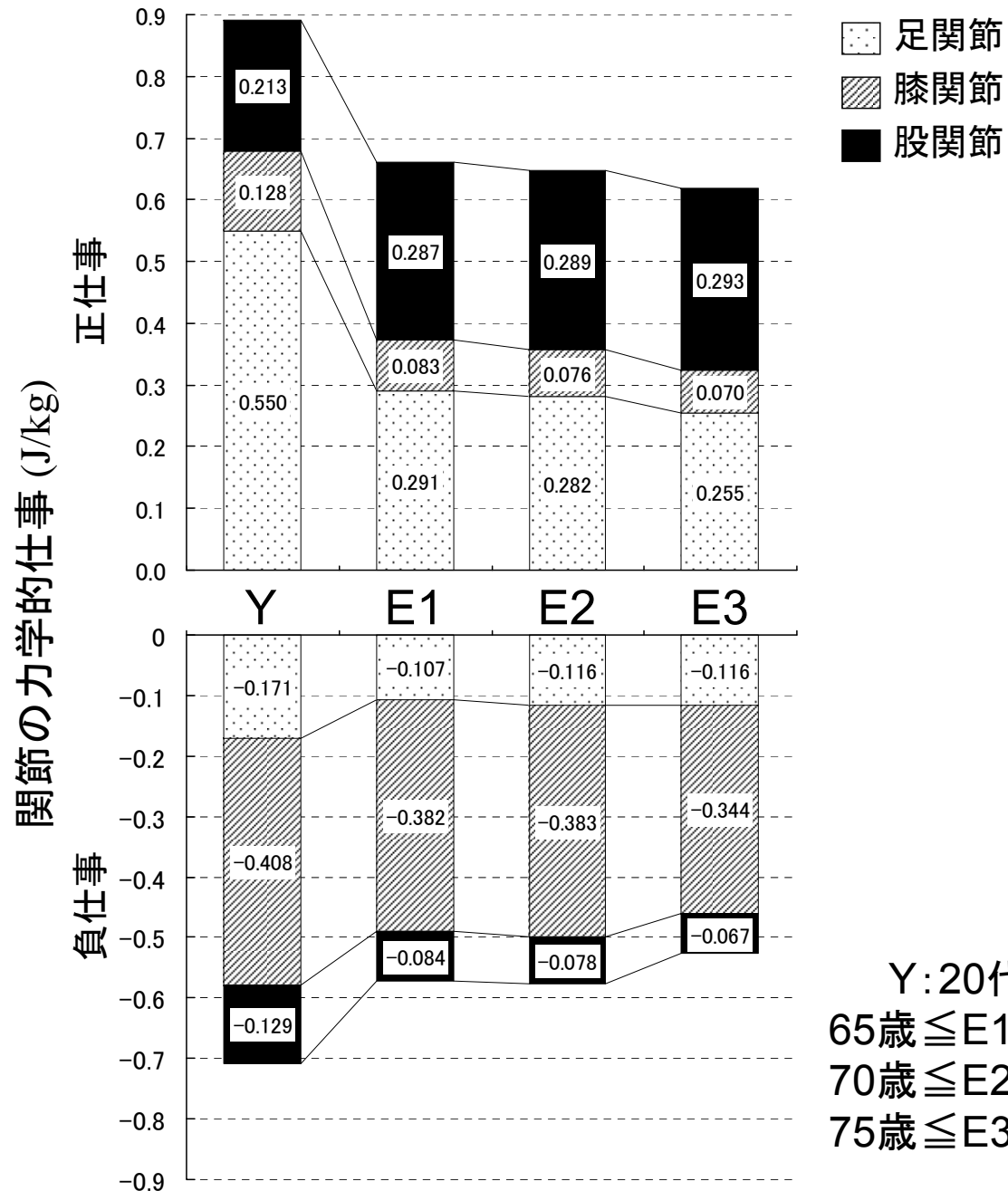
関節トルク, 関節トルクパワー, 関節がなした力学的仕事...etc.

# 歩および走における下肢関節の関節トルクパワー





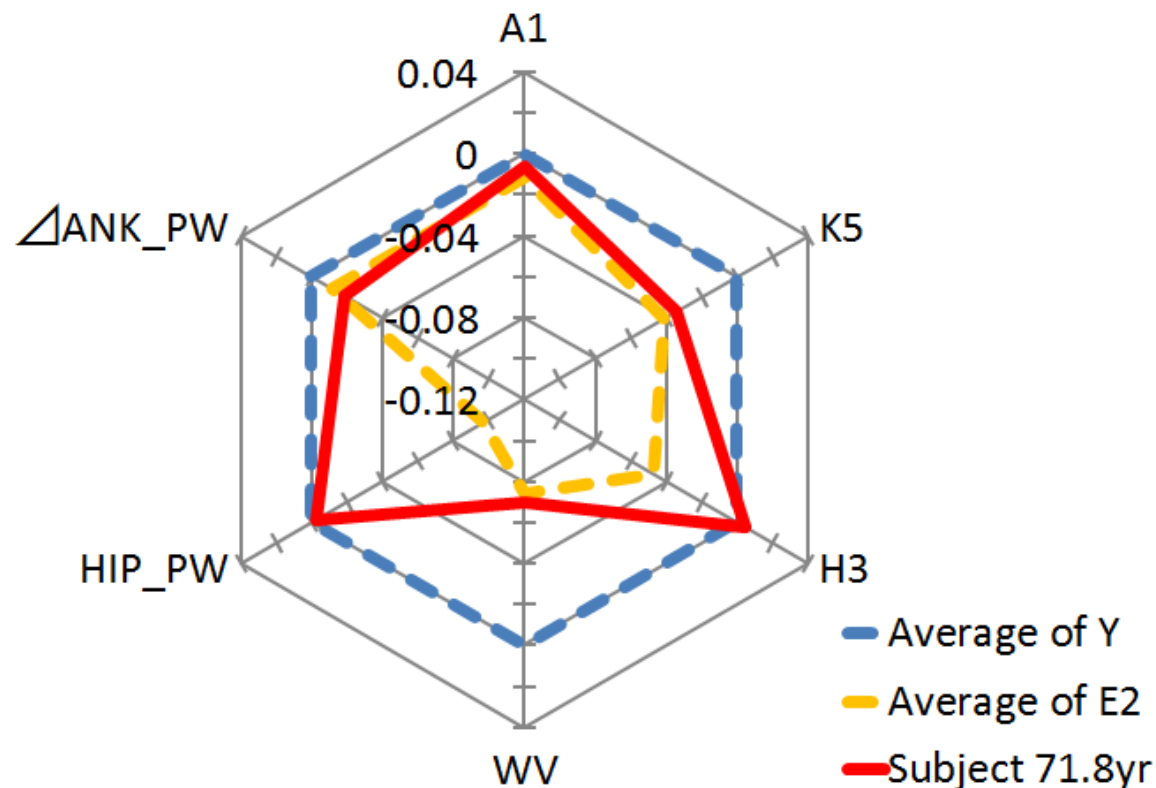
# 歩行中の下肢関節の力学的仕事の年代別比較



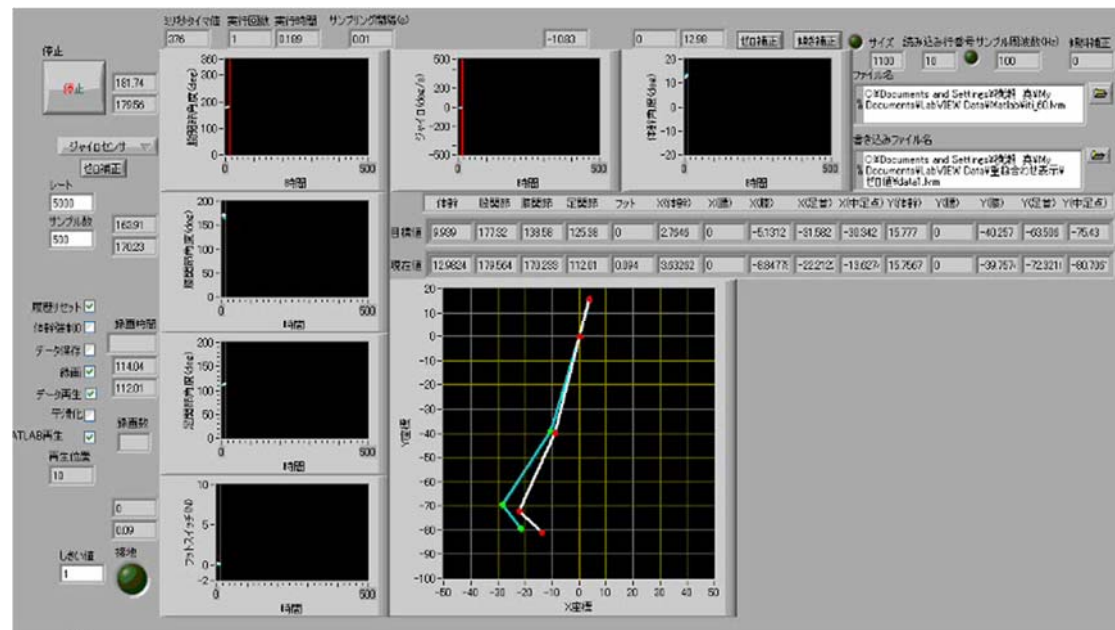
Y: 20代青年  
 65歳 ≤ E1 < 70歳  
 70歳 ≤ E2 < 75歳  
 75歳 ≤ E3

# 歩行動作の健康度(歩行年齢)評価の試み

Coefficient of Variation (CV)	Z-score	Weighted Z-score (WZ)
$CV = \frac{SD_Y}{\bar{X}_Y} \times 100$ <p><math>SD_Y</math>: standard deviation in young  <math>\bar{X}_Y</math>: mean in young</p>	$Z = \frac{x - \bar{X}_Y}{SD_Y}$ <p><math>x</math>: parameter value in elderly</p>	$WZ = Z \times \frac{1}{CV}$



# 歩行動作改善のためのバイオフィードバックシステムの開発



## 視覚／聴覚フィードバック

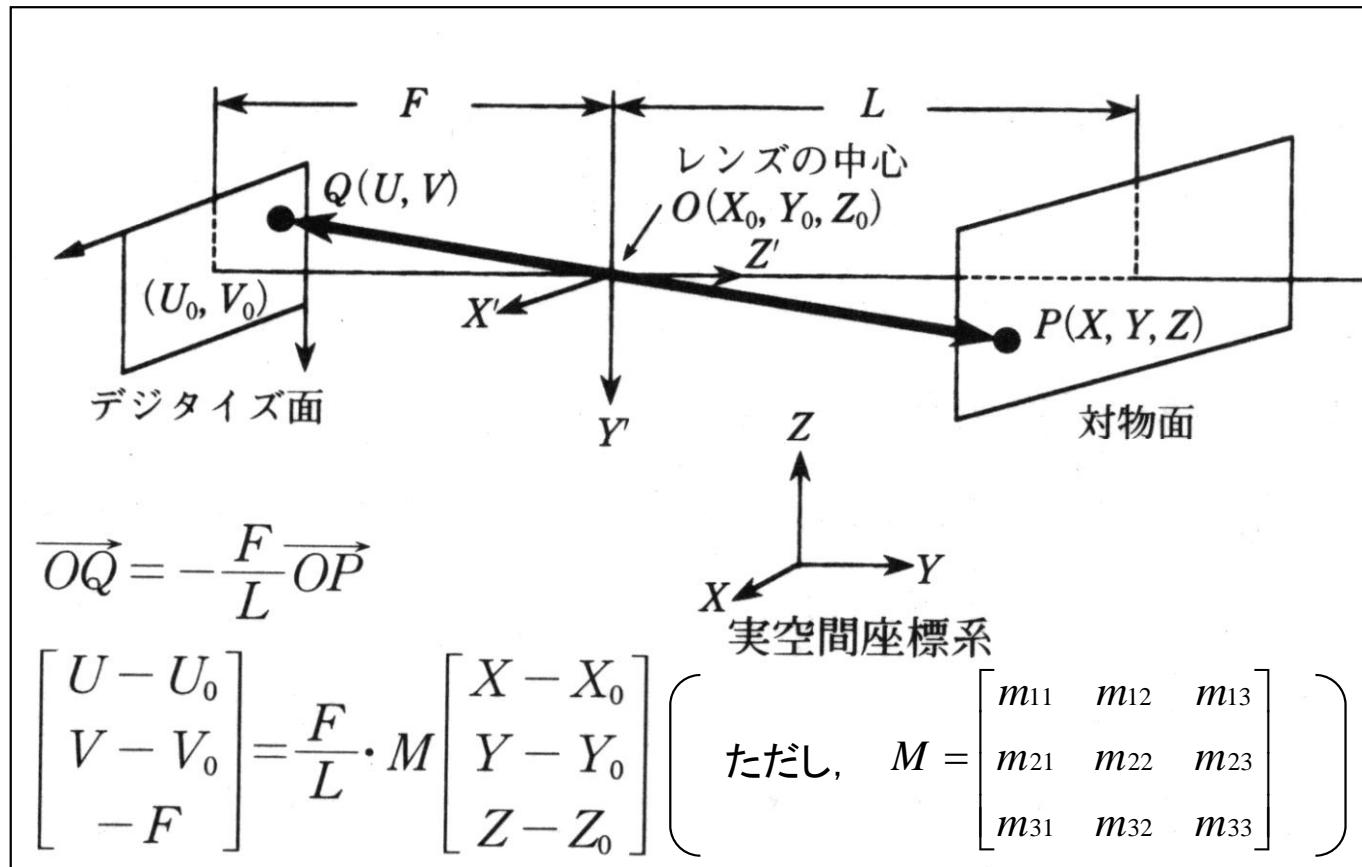
- リアルタイムで目標値と重ね合わせ表示
- 目標値とのずれを音で提示

# アスリートの運動技術の解明



( <http://www.aikikai.or.jp/> より引用)

# 実空間座標の再構築(DLT法)



## 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

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



②

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

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



# 実空間座標の再構築(DLT法)

②

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

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

変形  
→

③

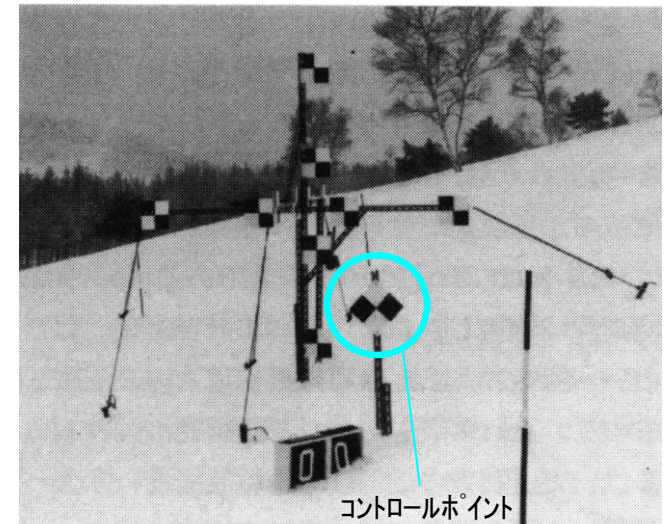
$$\begin{bmatrix} X & Y & Z & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -UX & -UY & -UZ \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X & Y & Z & 1 & -VX & -VY & -VZ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L1 \\ L2 \\ \vdots \\ L11 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U \\ V \end{bmatrix}$$

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

④

DLTパラメータの算出

$$\begin{bmatrix} X_i & Y_i & Z_i & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -U_{ij}X_i & -U_{ij}Y_i & -U_{ij}Z_i \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_i & Y_i & Z_i & 1 & -V_{ij}X_i & -V_{ij}Y_i & -V_{ij}Z_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L1_j \\ L2_j \\ \vdots \\ L11_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{ij} \\ V_{ij} \end{bmatrix}$$



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

⑤

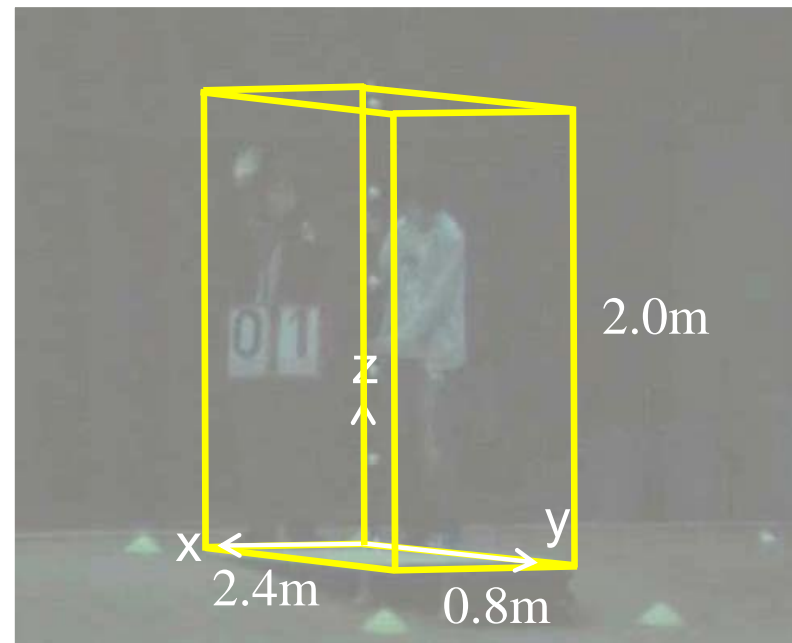
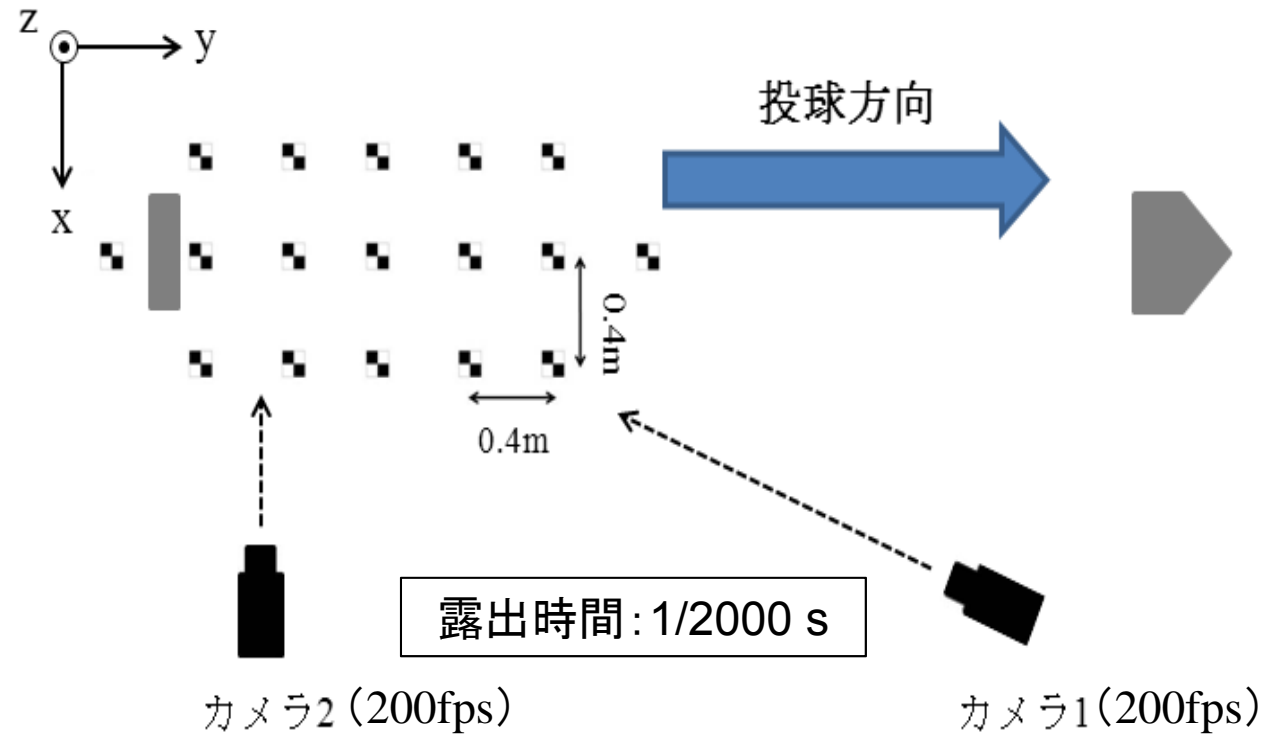
実空間座標の算出

$$U_j = L1_jX + L2_jY + L3_jZ + L4_j - L9_jXU_j - L10_jYU_j - L11_jZU_j$$

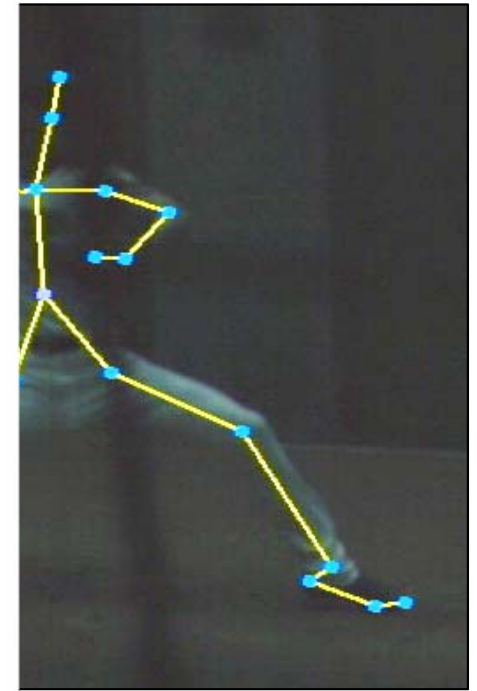
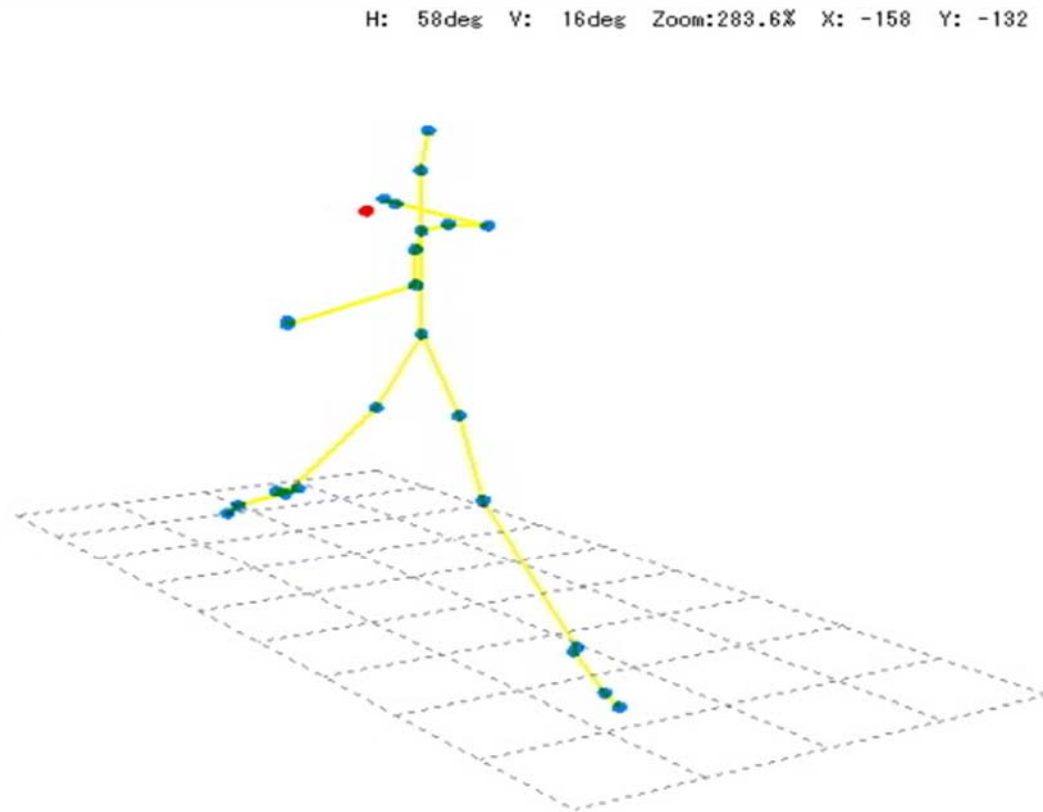
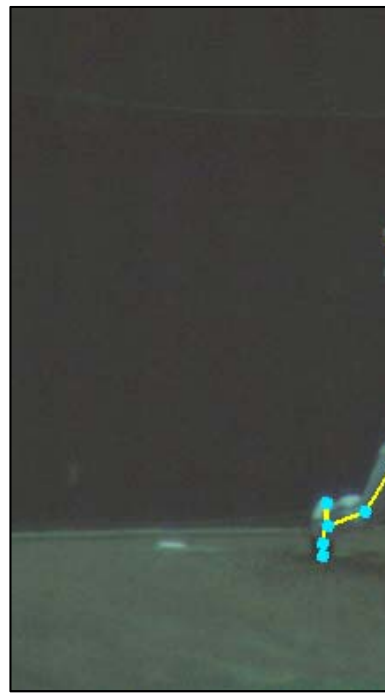
$$V_j = L5_jX + L6_jY + L7_jZ + L8_j - L9_jXV_j - L10_jYV_j - L11_jZV_j$$



# 投球動作の三次元分析(分析空間と撮影方法)



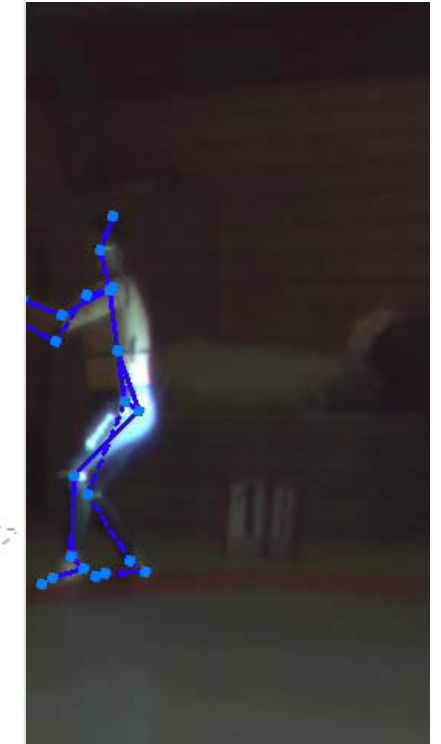
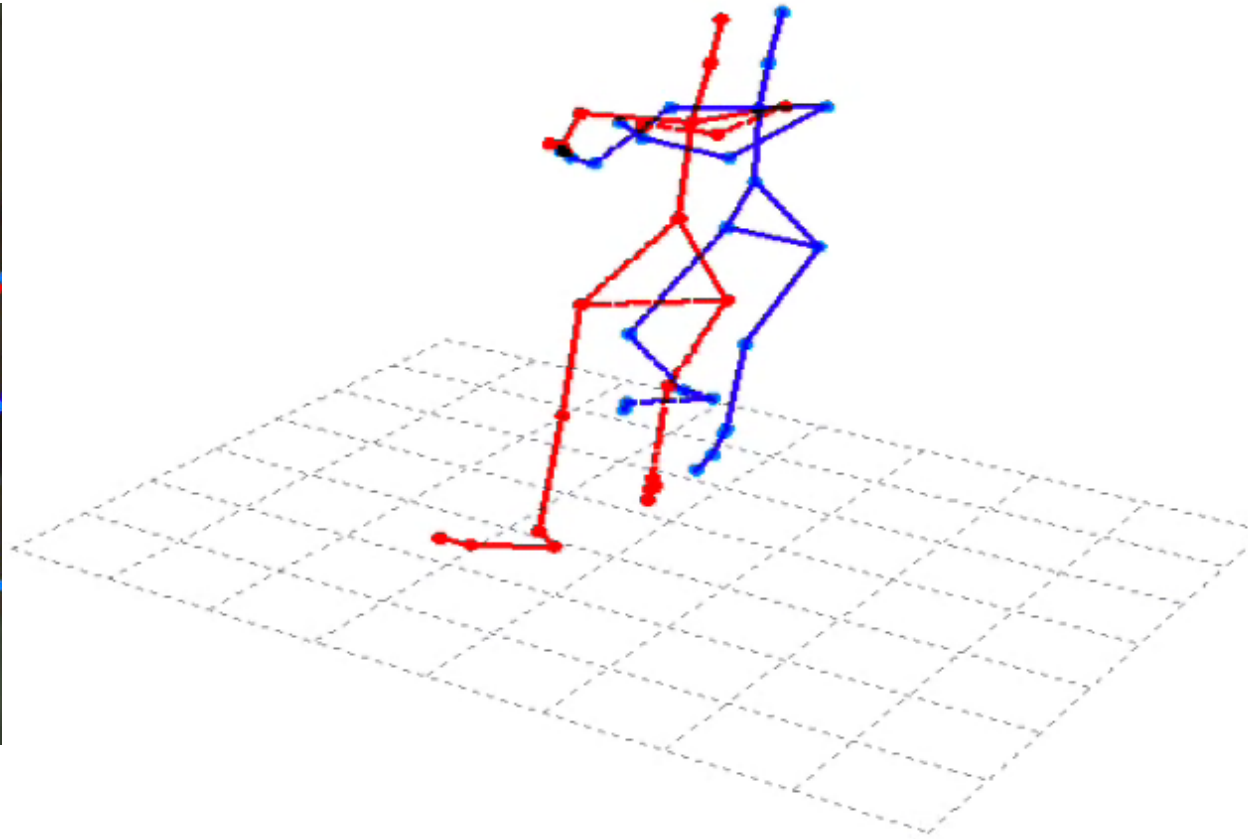
# 投球動作の三次元分析(三次元座標の再構築)



DLT法により三次元座標を再構築

# 合気道天地投げの三次元分析(三次元座標の再構築)

H: -51deg V: 34deg Zoom:352.8% X: -862 Y: -488



# ケニアプロジェクト(概要)

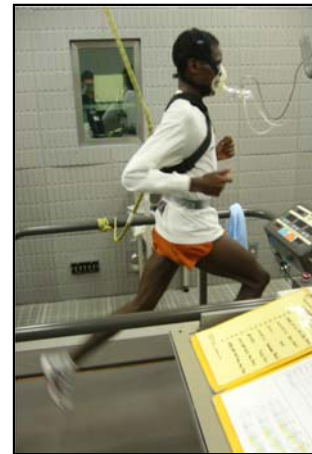
## 生化学

- ・血液成分
- ・血液量



## 生理学

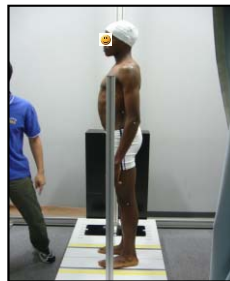
- 走行中の
- ・HR,  $VO_2$
  - ・ランニングエコミー
  - ・血中乳酸濃度



ケニア人ランナーの  
優れたパフォーマンス

## 解剖学

- ・BSP
- ・MRI画像  
(筋の形態)

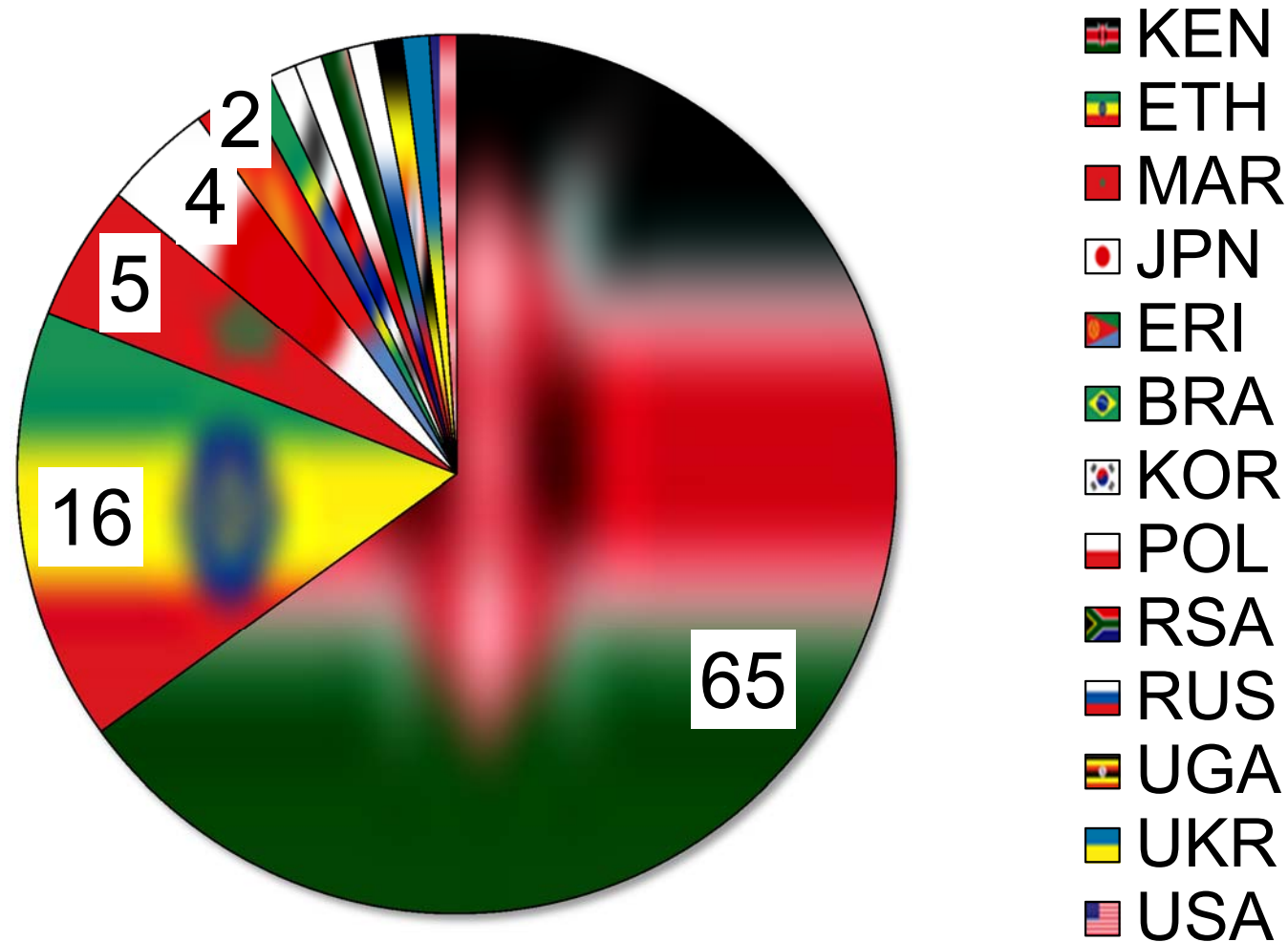


## バイオ メカニクス

- 走行中の
- ・キネマティクス
  - ・キネティクス



# 2011年男子マラソン世界ランキング100傑に占める各国人数



ケニアの驚異的な強さ !!

100傑中65人 (65%)

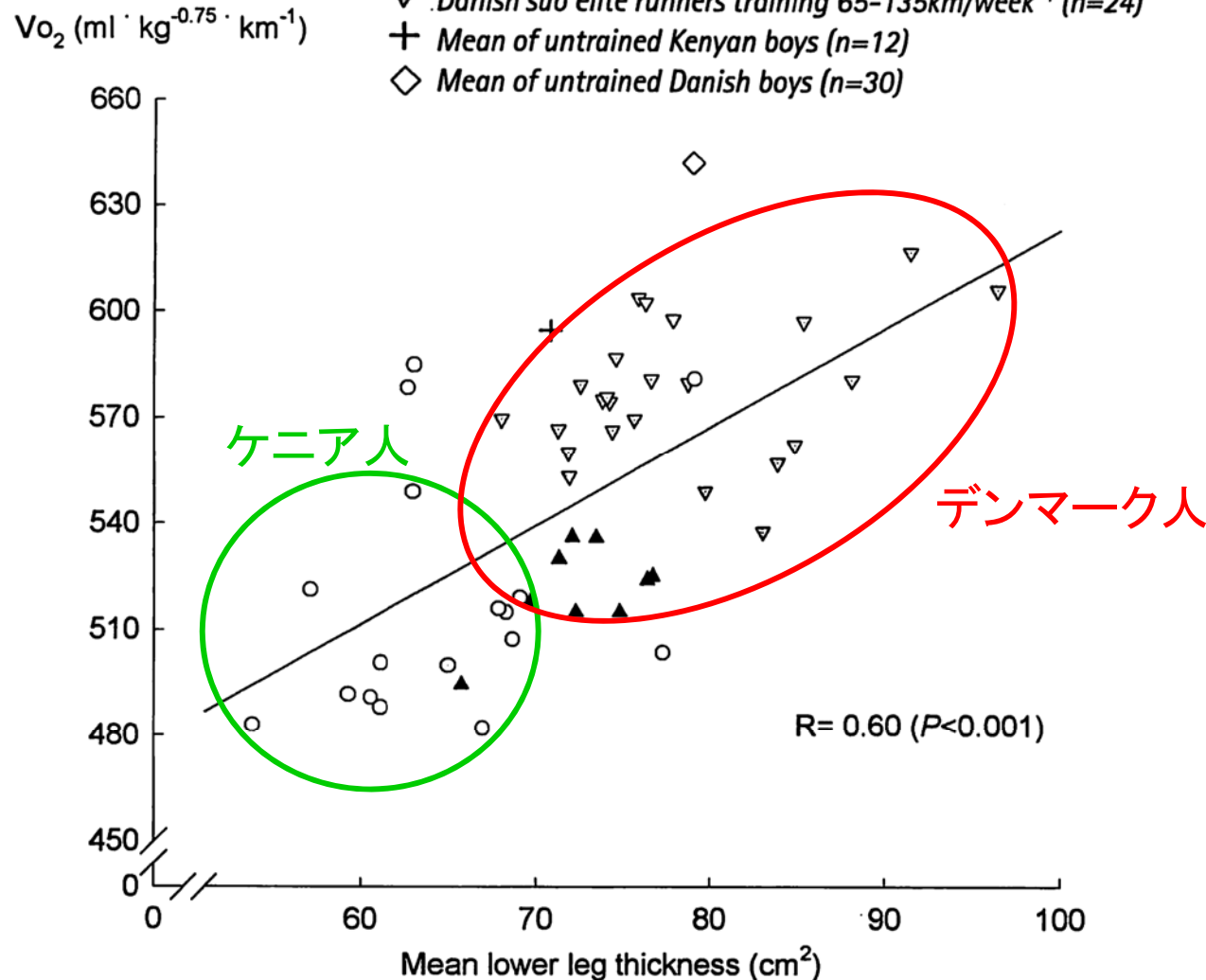
50傑中39人 (78%)

20傑中19人 (95%)



# ケニア人の強さは下腿の形態に起因する???

- Kenyan elite runners training 70-200km/week<sup>-1</sup> (n=17)
- ▲ Danish elite runners training 70-180km/week<sup>-1</sup> (n=9)
- ▼ Danish sub elite runners training 65-135km/week<sup>-1</sup> (n=24)
- + Mean of untrained Kenyan boys (n=12)
- ◇ Mean of untrained Danish boys (n=30)



## ケニア人ランナーの特徴 (デンマーク人ランナーとの比較から)

- ランニングエコノミーが高い
- $\dot{V}O_2\max$ は変わらない
- 筋の酵素などにも差がない
- 下腿が細い

(Saltin, 2003)

- 下腿が細いとランニングエコノミーが高い  
→ ケニア人は形態的に有利???



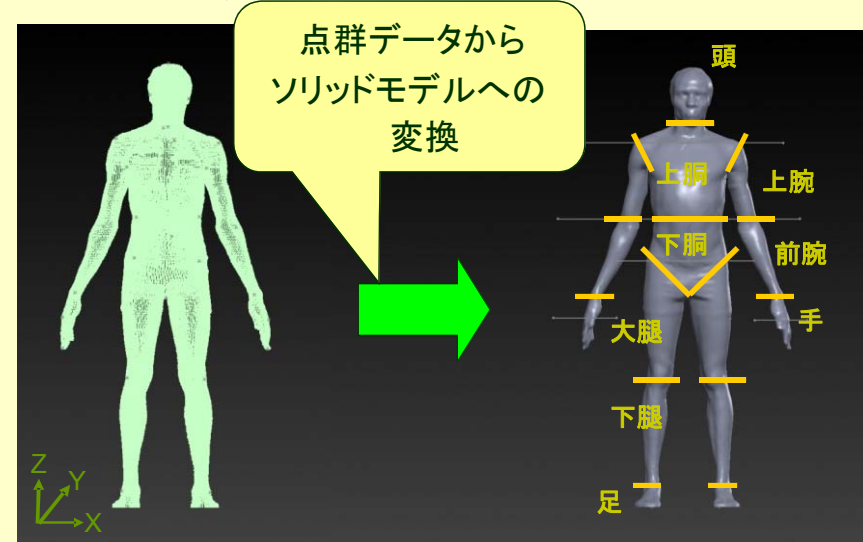
# 身体部分慣性係数(BSP)の算出

光学式3D人体形状測定装置  
(Bodyline Scanner C8300, 浜松ホ  
トニクス社製)

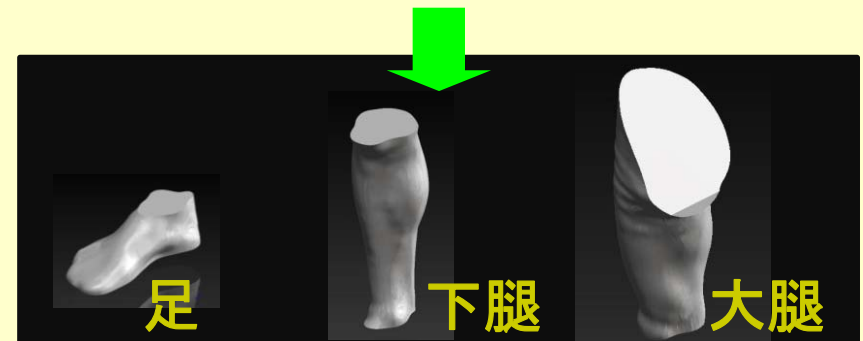


- ・高さ2.5mm間隔でスキャン
- ・身体表面上の約15万点の点群の三次元位置座標を取得

3D-CADソフト (SolidWorks 2008, ソリッド  
ワークス社製)



・ソリッドモデルを作成し, 身体部分に分割



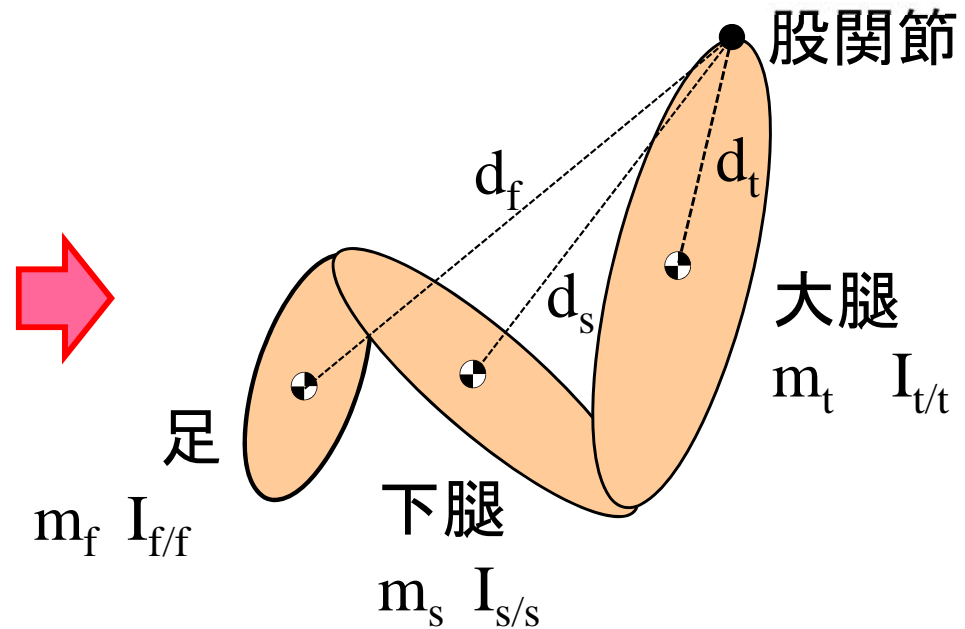
質量, 質量中心位置, 慣性モーメント

# 股関節まわりの下肢全体の慣性モーメントとその内訳

3次元モーションキャ  
プチャシステム



・ランニング中の下肢  
キネマティクスを算出



$$I_{(t+s+f)/h} = \sum_{j=1}^3 I_{j/h} \quad (\text{股関節まわりの各部分の慣性モーメントの和})$$

$$= \underbrace{(I_{t/t} + m_t \cdot d_t^2)}_{\text{大腿}} + \underbrace{(I_{s/s} + m_s \cdot d_s^2)}_{\text{下腿}} + \underbrace{(I_{f/f} + m_f \cdot d_f^2)}_{\text{足}}$$

$$= \underbrace{I_{t/t} + I_{s/s} + I_{f/f}}_{\text{Local Term}} + \underbrace{m_t \cdot d_t^2 + m_s \cdot d_s^2 + m_f \cdot d_f^2}_{\text{Transfer Term}}$$

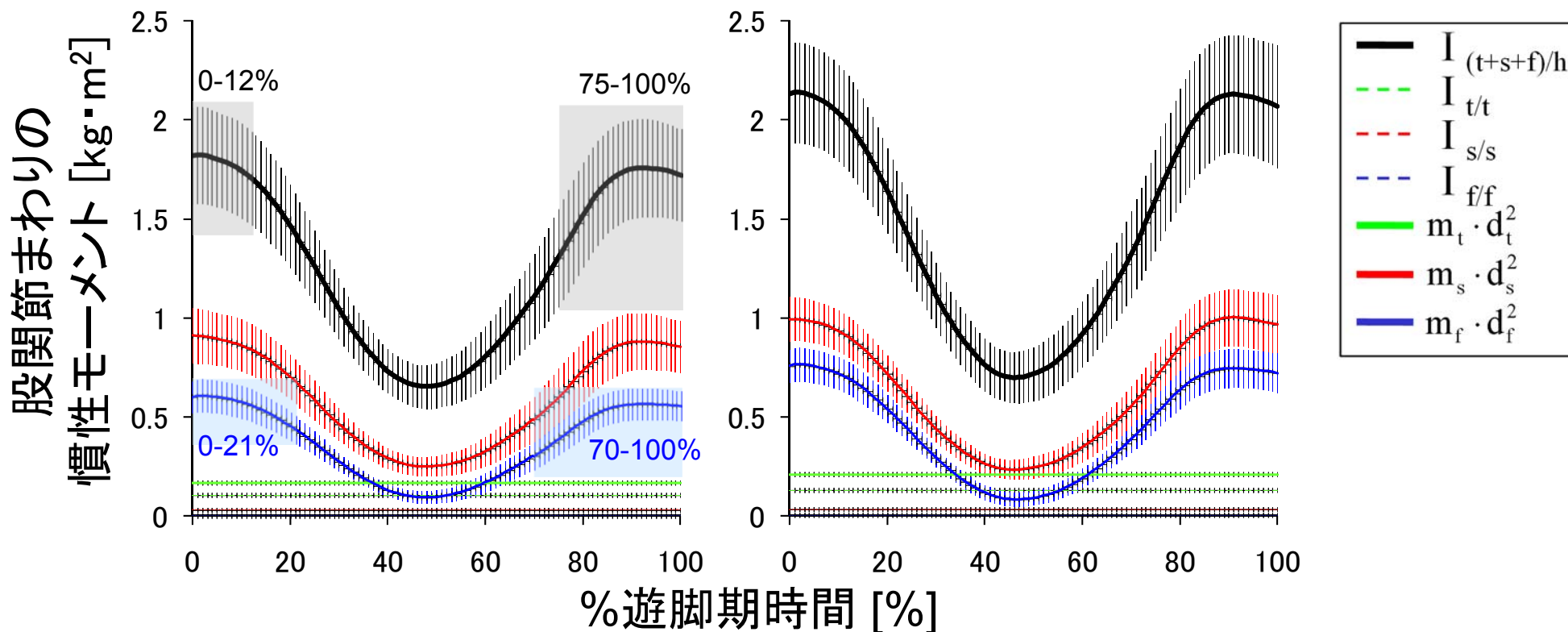
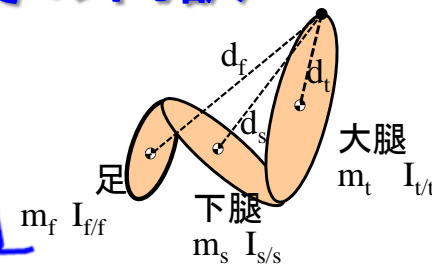
||  
形態

||  
動き

# 股関節まわりの下肢全体の慣性モーメントおよびその内訳

日本人ランナー (n=9)

ケニア人ランナー (n=6)

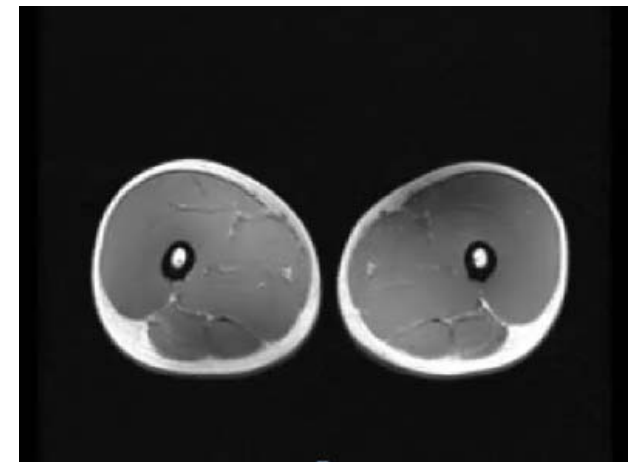
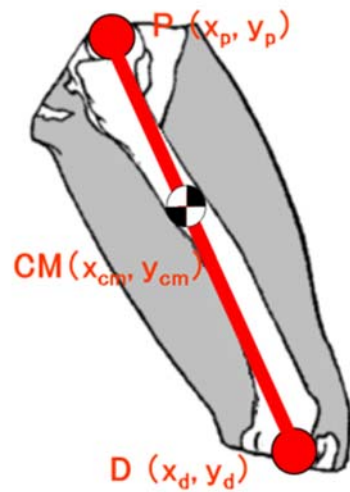


ケニア人の下肢部分の慣性は日本人より大きい。

また、下肢全体の慣性モーメントは形態よりも脚の動きで決まる。

⇒ ケニア人ランナーの優れたランニングエコノミーは形態に起因するものではなく、ランニングフォーム(技術)による可能性が高い

# 生体定数の計測



# 身体部分慣性係数 (BSP) の重要性

逆動力学 (inverse dynamics)  
(cinematography, goniometry...etc.)

## Kinematics

- ・変位 (d)
- ・速度 (v)
- ・加速度 (a)
- ・角変位 ( $\theta$ )
- ・角速度 ( $\omega$ )
- ・角加速度 ( $\alpha$ )

## 慣性

- ・質量 ( $m$ )
- ・慣性モーメント ( $I$ )

## Kinetics

- ・運動量 ( $m \times v$ )
- ・力 ( $m \times a$ )
- ・角運動量 ( $I \times \omega$ )
- ・トルク ( $I \times \alpha$ )
- ・力学的エネルギー  
( $mgh + mv^2/2 + I\omega^2/2$ )  
... etc.

順動力学 (direct dynamics)  
(simulation...etc.)

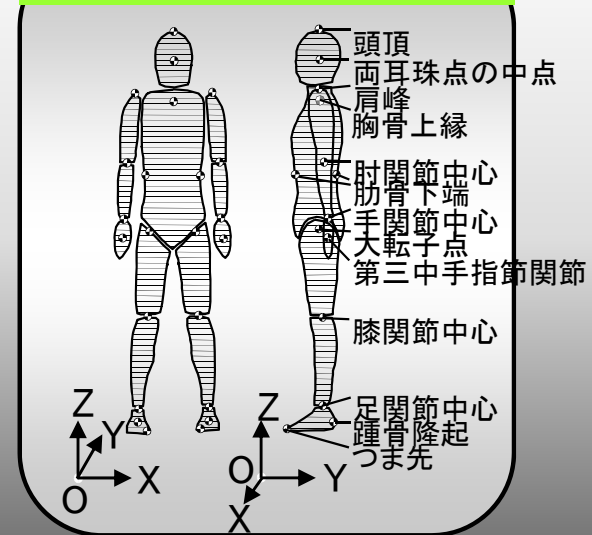
# 新しいモデルを用いたBSPの算出

従来の  
代表的な方法



モデル化

積層楕円板近似モデル  
(Jensen, 1978)

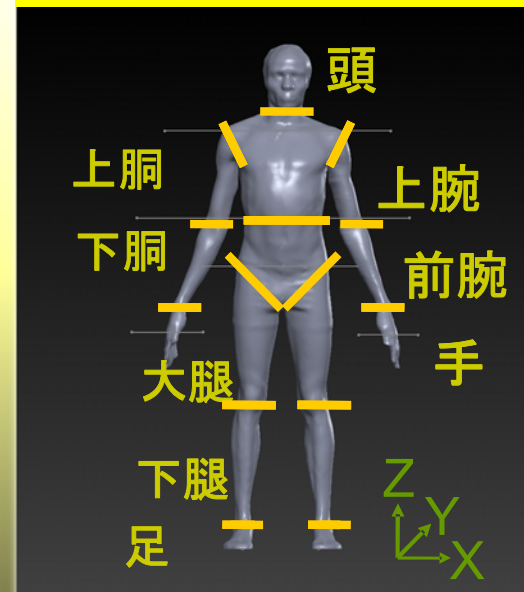


3Dスキャナ  
とCADを用  
いた方法



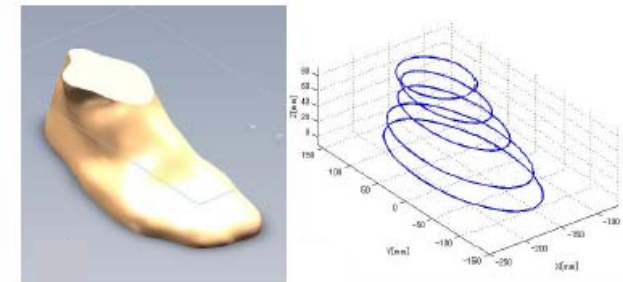
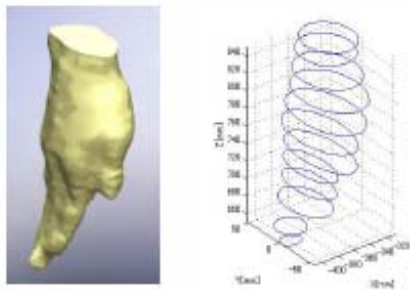
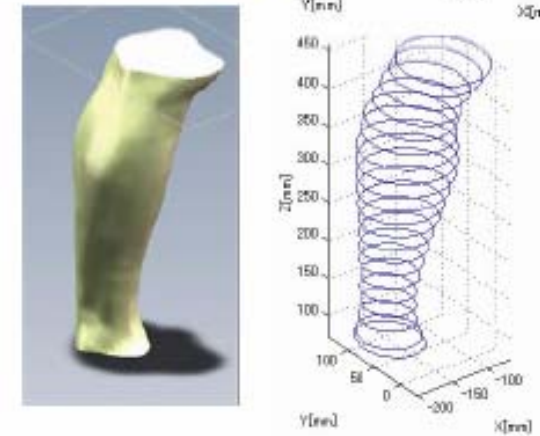
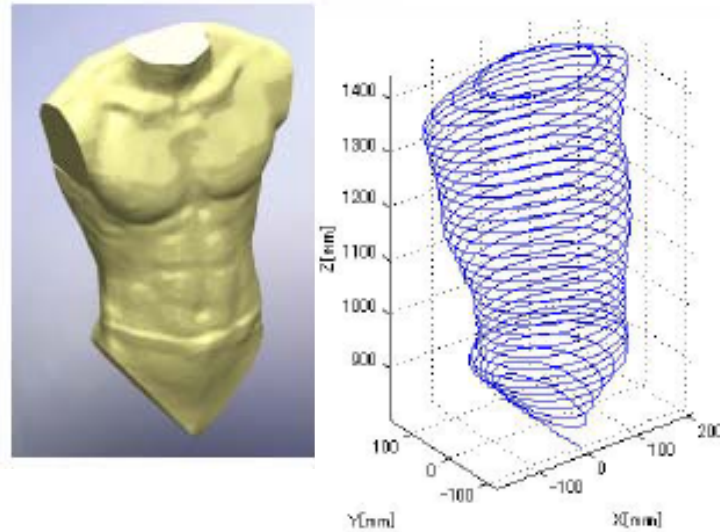
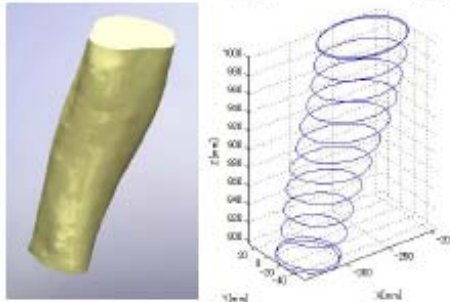
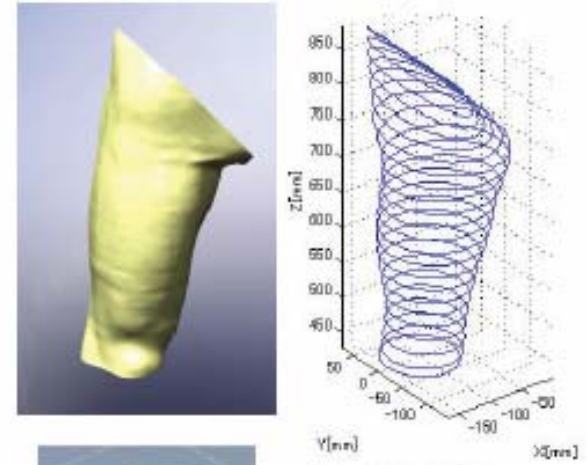
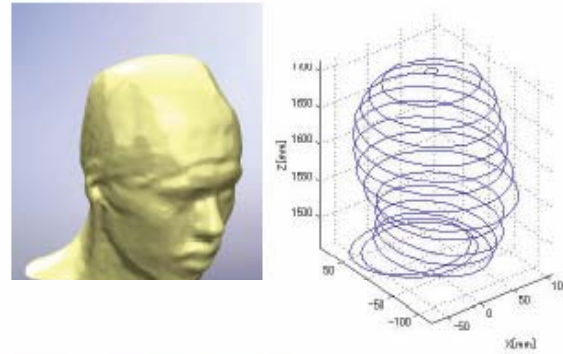
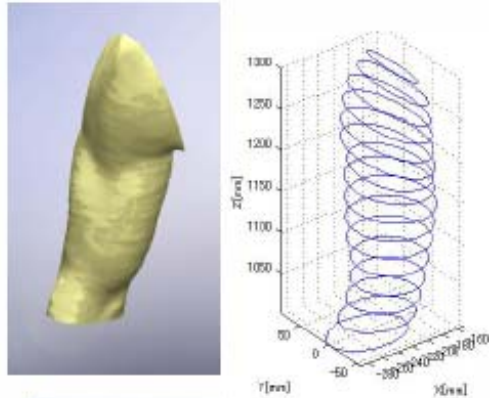
モデル化

ソリッドモデル



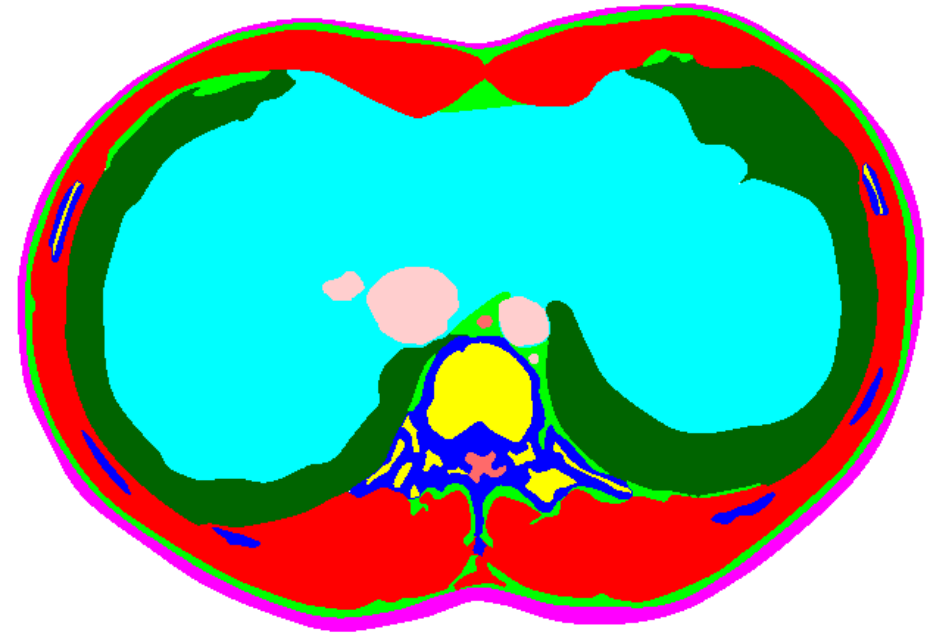


# 新旧モデルの比較



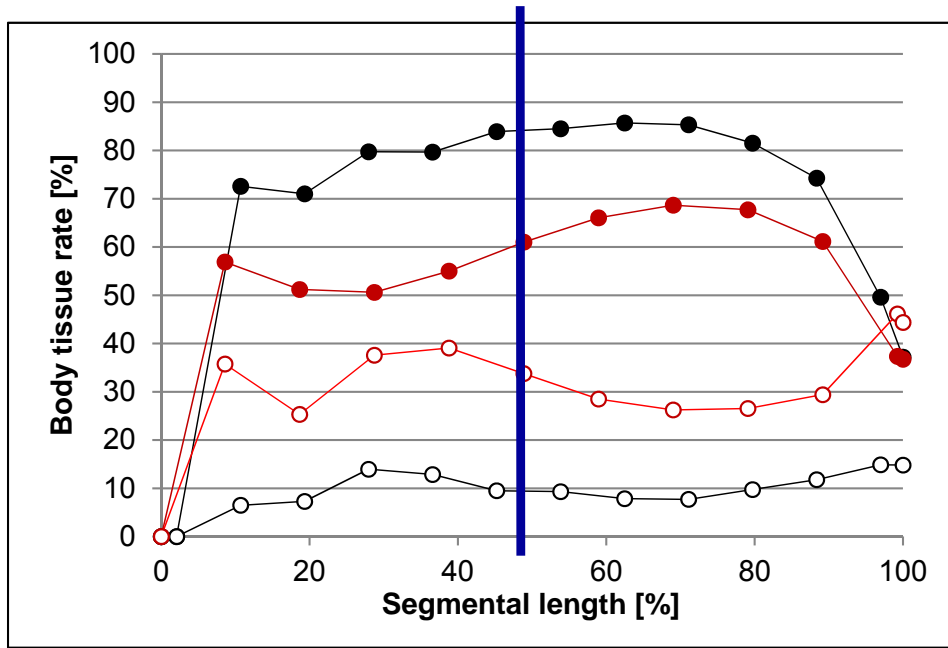
# MRI画像を用いた身体部分密度の推定

身体組織の分類

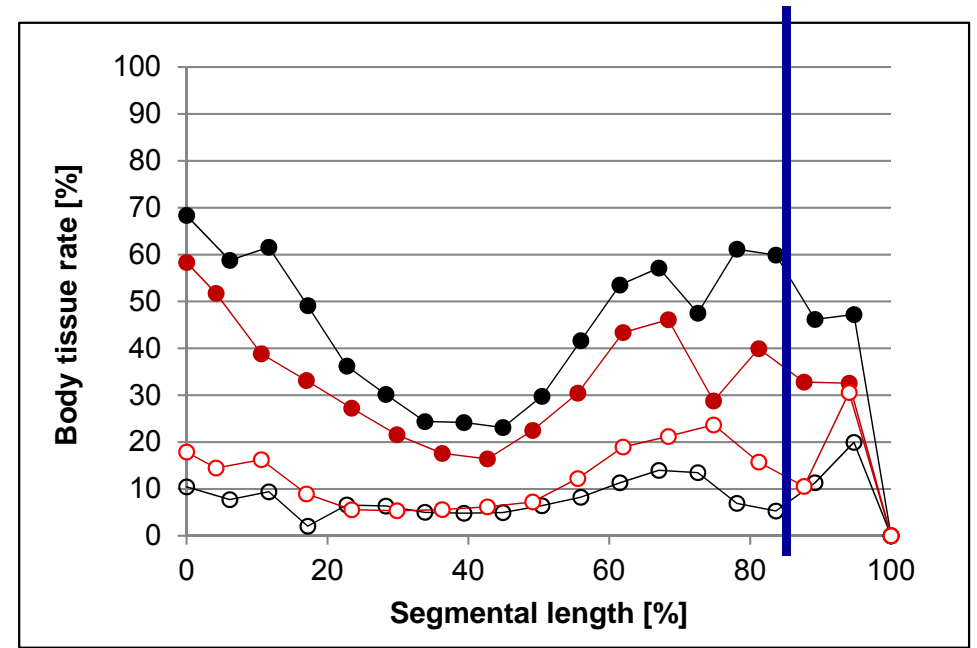


# 身体組織分布の性差

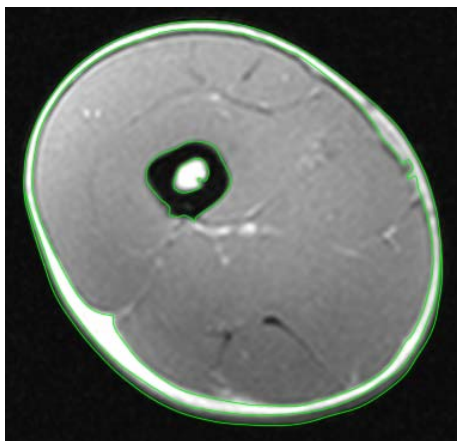
●筋\_男 ○脂肪\_男 ●筋\_女 ○脂肪\_女



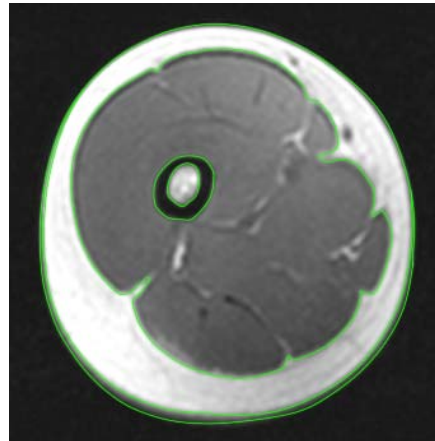
Thigh



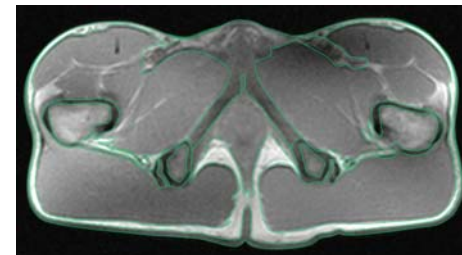
Torso



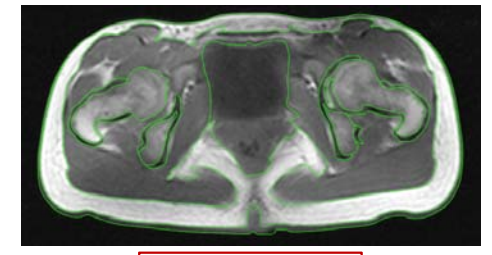
male



female



male



female

# 研究環境

## ■居室・実験室等

- 東1号館4階(4単位)
- 西11号館1階オープンラボ(2単位)
- 401室: セミナー室
- 105室: 実験室
- 403室: 教員室(吉川)
- 107室: 実験室
- 405室: 学生控室
- 407室: 教員室(岡田)

## ■メンバー

- 教員: 2人
- 学生: 8人
  - UG: 4人
  - M1: 3人
  - M2: 1人

## ■主な連携機関・組織

- 国立スポーツ科学センター(JISS)
- 日本体育協会スポーツ科学研究室
- 筑波大学スポーツバイオメカニクス研究室(LASBIM)
- Biomechanics Laboratory, University of Ottawa
- 日本陸上競技連盟科学委員会
- 財団法人 合気会
- 電気通信大学陸上競技部
- 三井住友海上女子柔道部



# 現有の研究設備

## ■ 高速度カメラ (DITECT, HAS-220)

- ・ 2台
- ・ VGA(640×480)で最大200fps
- ・ 最大2,000fps



## ■ 呼吸代謝測定装置 (Medical Graphics, VO2000)

- ・ 電子式変動サンプリング量方式



## ■ 光学式モーションキャプチャシステム (ノビテック, VENUS3D-250N)

- ・ カメラ 8台
- ・ 250Hz, 832×832



## ■ ワイヤレスEMGシステム (BTS, FreeEMG 300)

- ・ ワイヤレスプローブ×8



## ■ フォースプラットフォーム (Kistler, 9287B)

- ・ 圧電素子型



## ■ 携帯型データロガシステム (S&ME, DL-2000)

- ・ EMGセンサ(2ch)×4
- ・ 3軸加速度センサ
- ・ 3軸ジャイロセンサ
- ・ 2軸ゴニオメータ×3



## ■ 簡易血中乳酸測定器 (アークレイ, LT-1710)

- ・ 2台

