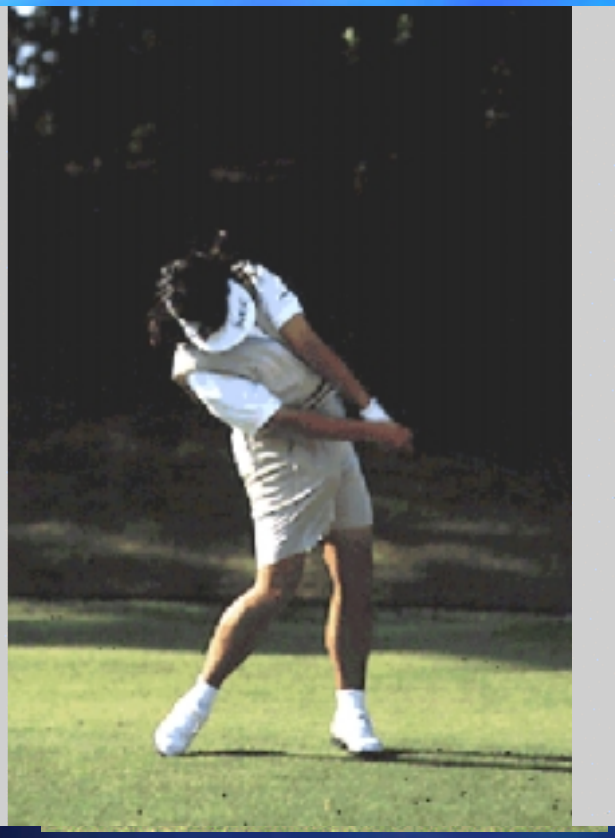
高速度ビデオカメラによる人体の運動解析システム計画

清水鉄也、幸村琢、
望月義幸、姫野龍太郎

はじめに

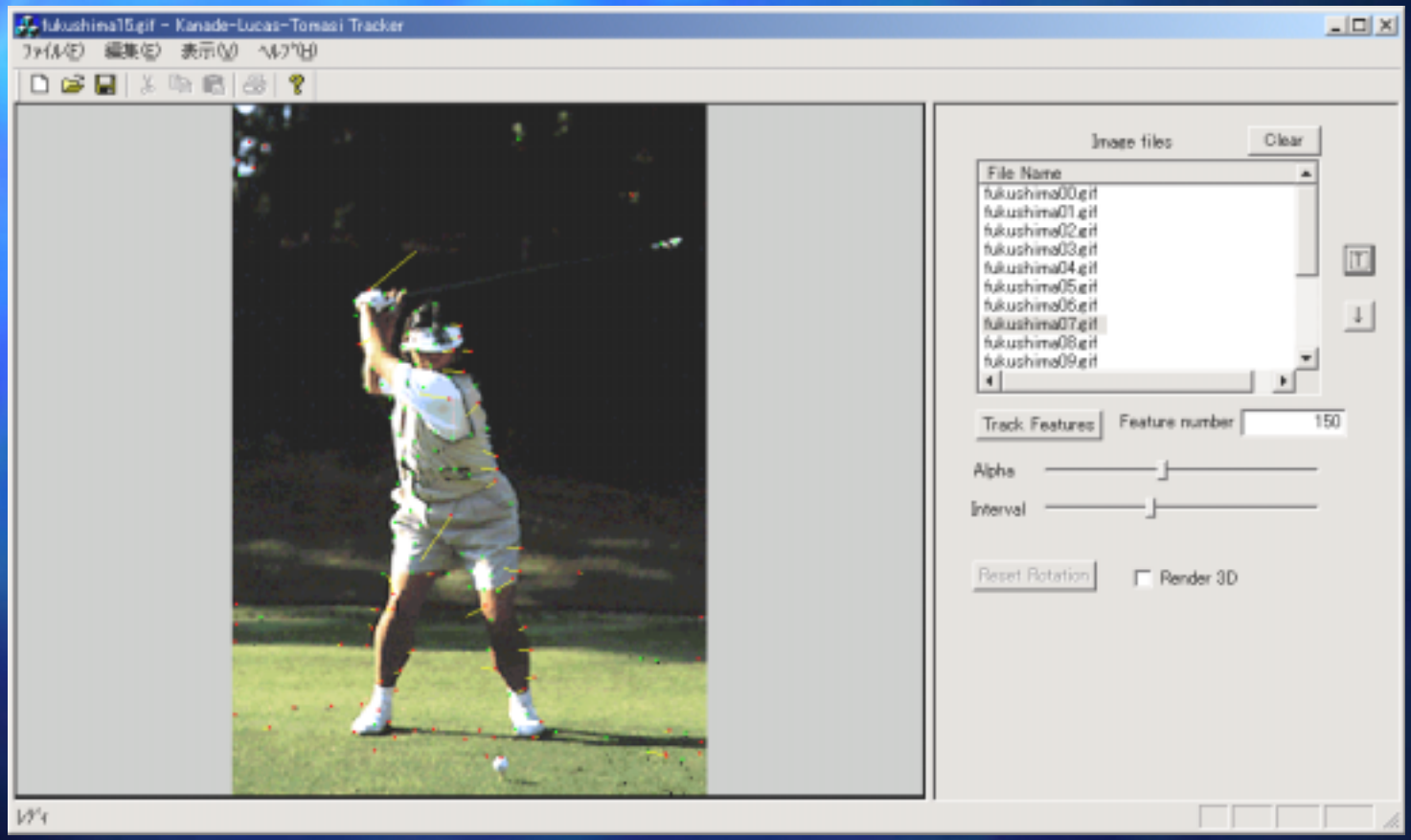
- 健康のためにスポーツを始めたが、
  なかなかうまくならない。
- 好きなスポーツを続けているが、
  どうも壁に当たってうまくならない。
- スポーツをすると誰でもうまくなりたい
- 効率よく上達する方法がないか？
  （ケガや無理をしないように）
- 上手い技術、技術の向上とは何か？

人体の運動の例（ゴルフのスイング）



クラブヘッドの
最高スピード
40 - 50m/s
1/30秒で1m以上

Kanade-Lucas-Tomasi Feature Tracker



３次元モーションデータ

NTSCビデオ画像データでは誤差大きい

→　高速度ビデオカメラによる撮影

高速度ビデオカメラ

Phantom V4.1
Vision Research Inc.

- 1000 フレーム／秒
- 画素数　512x512
- SR-CMOS センサー
- 2.0 kg

高速度ビデオカメラの活用方法

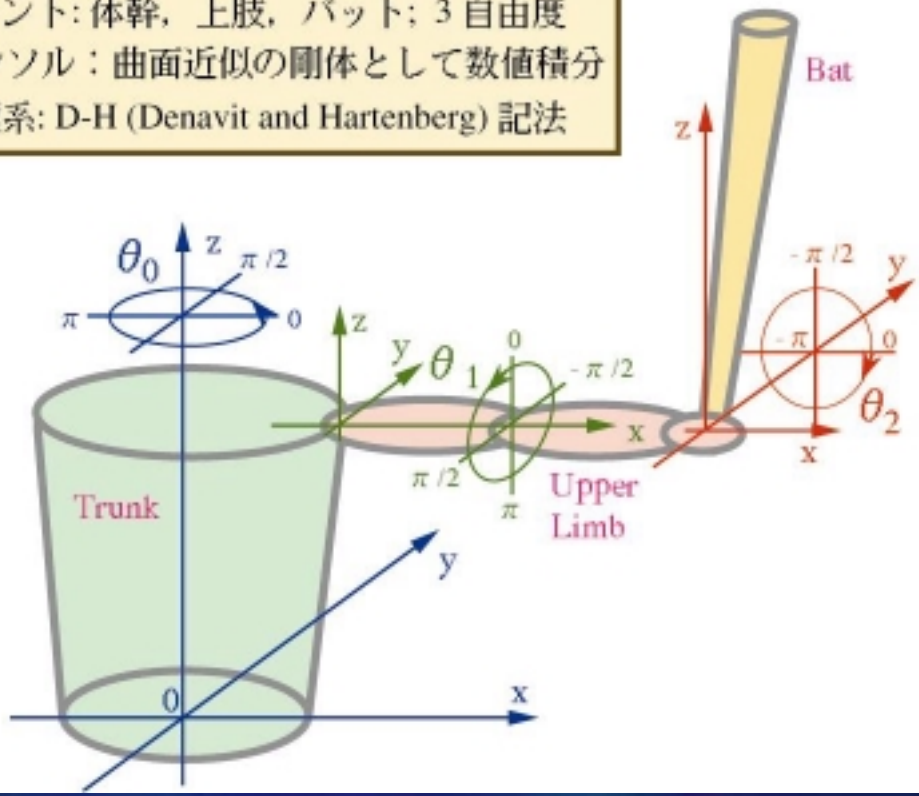
- 高速度ビデオカメラで撮影した画像をもとに3次元モーションデータを構成
- 各関節トルクの時間変化の再現
  → 上級レベルの技術の解析
- 取り込まれた動作を初期条件としてさらに最適化計算

バットのスイングの最適化計算モデル

動力学的な解析を詳細に行う為に，できるだけシンプルな数理モデルを構築

特徴

- 3セグメント: 体幹，上肢，バット; 3自由度
- 慣性テンソル：曲面近似の剛体として数値積分
- 局所座標系: D-H (Denavit and Hartenberg) 記法



最適化計算

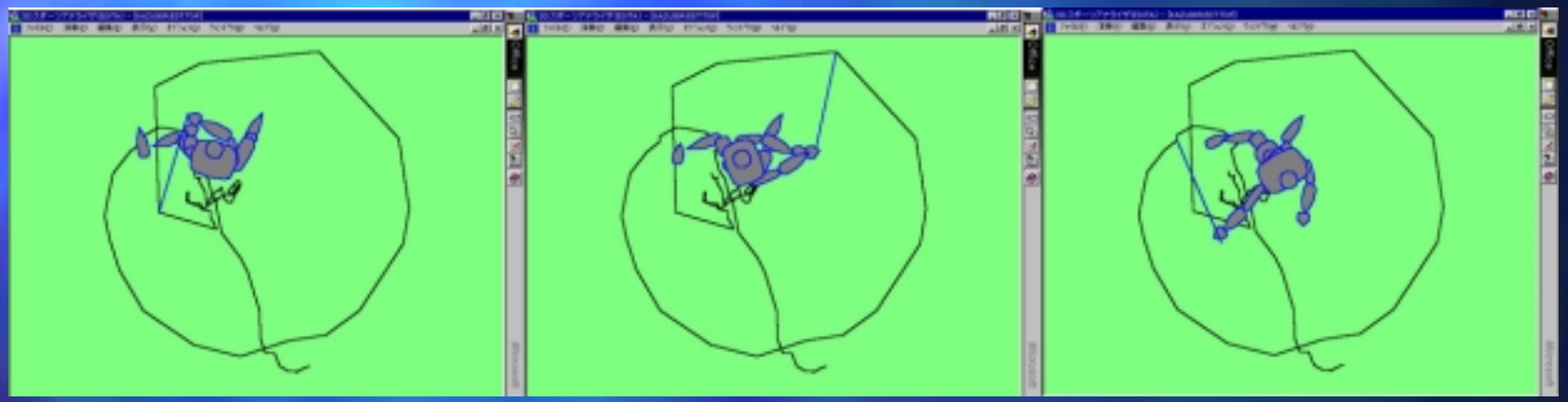
- 目的関数、初期動作、人体データ
  → 動作の最適解

$$E[\theta_i(t)] = W_0(\text{Penalty for Joint Movability}) + W_1(\text{Penalty for Max. Joint Torque})$$
$$+ W_2(\text{Penalty for Max. Bat Velocity}) + W_2'(\text{Penalty for Smooth Bat Acceleration})$$
$$+ W_3\int_{t_s}^{t_e}\sum_i(\tau_i)^2dt + W_4\int_{t_s}^{t_e}\sum_i(d\tau_i/dt)^2dt + W_5\int_{t_s}^{t_e}\sum_i(d^2\tau_i/dt^2)^2dt$$

最小トルク　　トルクの滑らかさ

- オーダーメイドの目的関数を設定

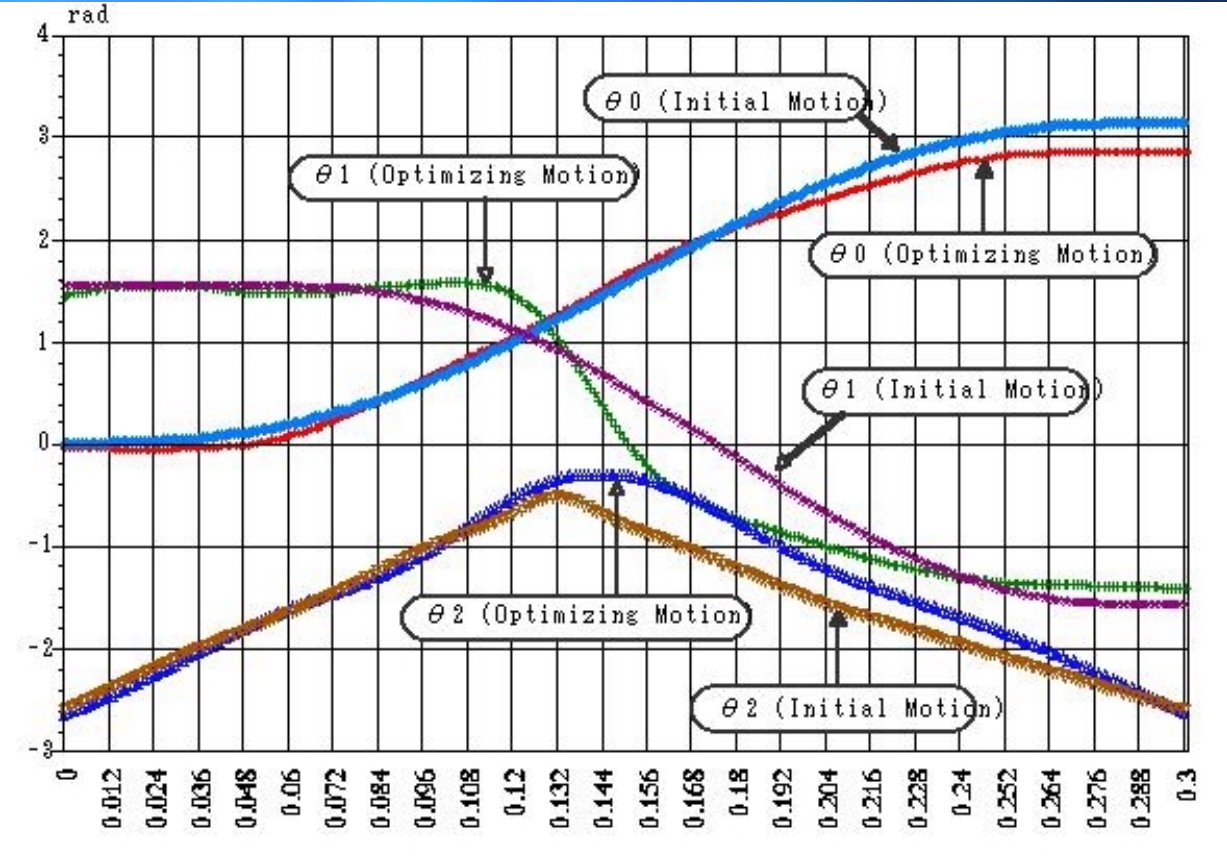
実際のバットのスイング



初期動作として使えない
（NTSCビデオでは時間精度足りない）

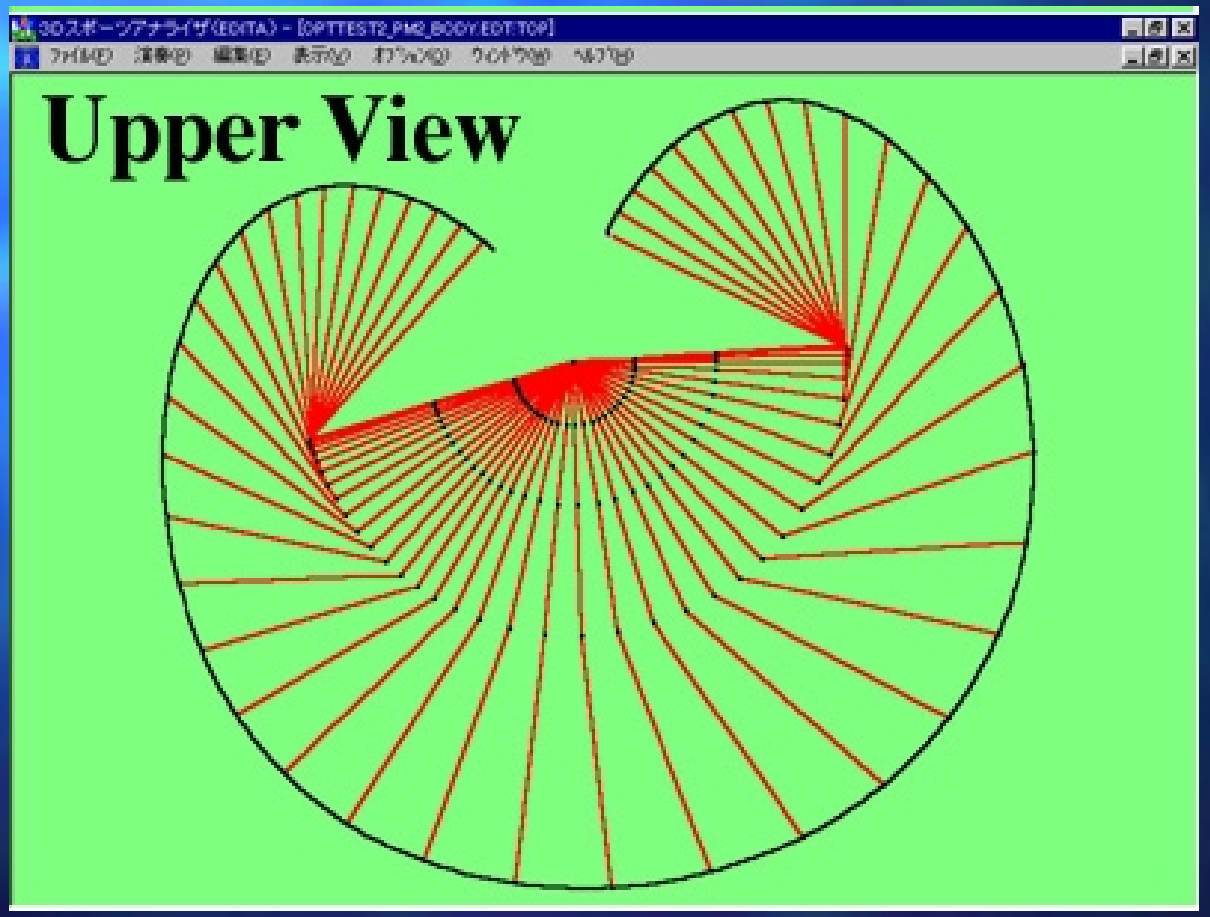
初期動作と最適化動作(関節角)

角度



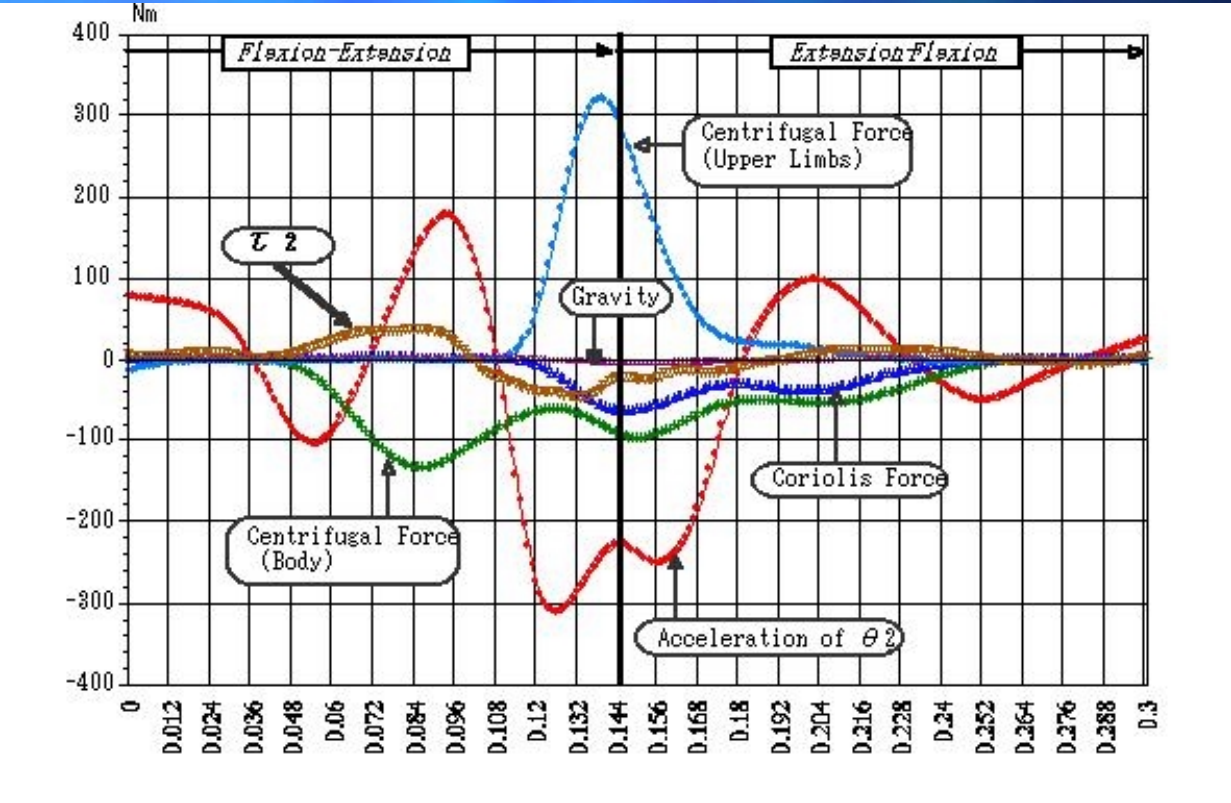
時間(秒)

トルクモデルによる最適化計算



トルクの時間変化
（遠心力、コリオリ力）

トルク、力

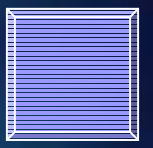


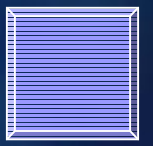
時間（秒）

技術指導のときの提示方法

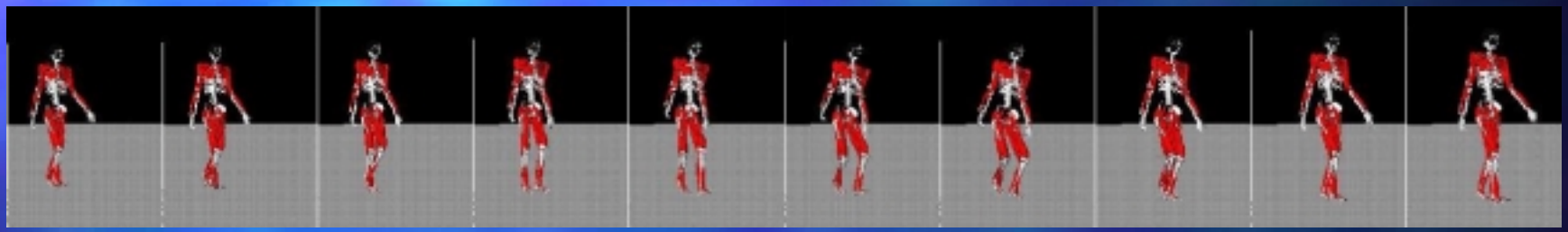
- 関節角の時間グラフによる比較表示
- 関節トルクまたは筋力の時間グラフ

- キャプチャ動画に最適化動作を
  半透明ゴーストとして重ねて表示





筋骨格モデルによる最適化計算



トルクから筋力への分配法則

最適化計算の限界

上級者の技術･動作　～　最適な動作
→　比較可能
ともにトルクの時間変化は複雑

初心者、初級者の動作は
最適な動作と大きくかけ離れている
→　単純に比較しても役に立たない

最適解以外の動作

モーション地図　（カーナビ？）

1. 最適化条件の重み W の空間で
   バットの速度やエネルギー効率などの
   分布を表示する地図
2. トルク時間変化の単純化 （初級者向き）
   → トルク関数形の空間で
   最適解以外の動作の分布を表示する地図

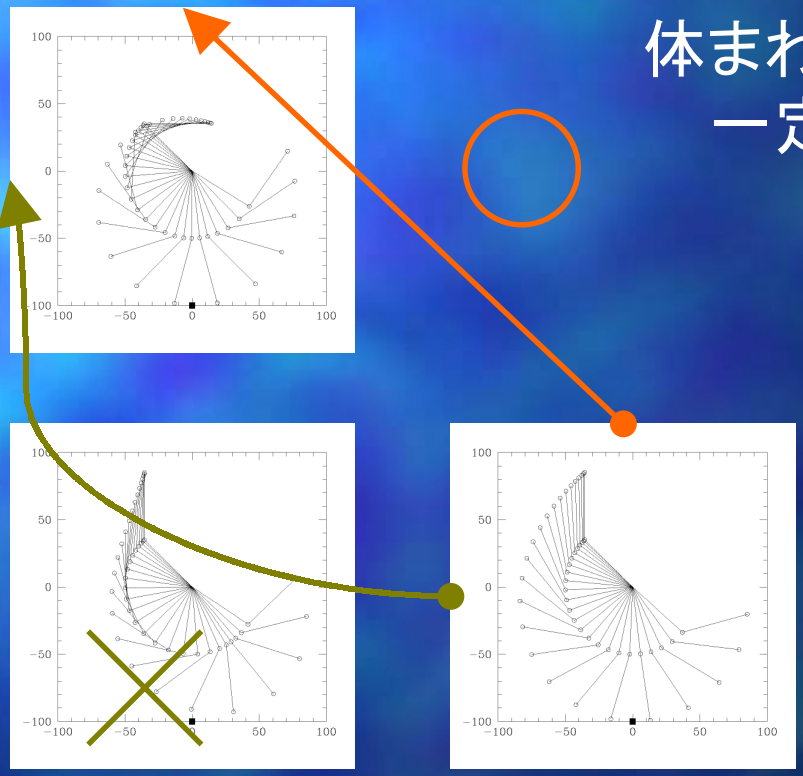
- 多次元空間上の断面を選択して表示
- クリッカブルマップで動作を再生する

モーション地図

モーション地図の利点：

- 目的指定によらず自由に使える
- 目的別の最適動作間の位置関係がわかる
- 技術向上の道筋、道のりの長さがわかる
- キケンを避けてケガを防止する
- 複数の経路から個人に適した道を選べる

モーション地図の例
（ゴルフのスイング）



技術指導の例

- 高速度ビデオカメラで現段階の動作がどのレベルであるか確認
- モーション地図をもとに練習計画を作成
- 高速度ビデオカメラでリアルタイムに結果を確認しながら段階的に修正（修正量を定量的に提示）

まとめ

- 人体運動解析システム
  （初心者から上級者まで）
  1. 高速度ビデオカメラ画像
  2. ３次元モーションデータの構成
  3. 最適化計算やモデル計算
  4. 比較表示やモーション地図を利用して
     技術指導

高速ビデオカメラを活用する
さらなるアイディア募集中