

# 人体動作の 技術練習支援システムの構築と 効率よいスイング動作の研究

清水鉄也  
望月義幸  
姫野龍太郎

# 人体動作における技術 ダブルスピン原理

- 野球の投球動作において最適化計算  
→ ダブルスピン原理の重要性  
回転する2軸においてコリオリ力が重要な  
役割を果たす加速メカニズム（遠心力とコリオリ力）  
（どう体温計を振っているか？）
- 最適化計算を利用して、  
よりハイレベルの技術の修得に役立つはず
- まずは比較的単純なゴルフスイングから、  
スピードだけでなく精確さも要求される面白さ

# 技術練習支援システムの概要

1. 実際のスイングの3Dステレオ測定  
高速度ビデオカメラ2台による同期撮影
2. スイング動作の3次元データを抽出  
関節角を変数として逆動力学計算  
胴体、腕、手首のまわりのトルク算出
3. 実スイングを初期条件として  
トルクモデルによる最適化計算  
(スイング速度を維持したままトルクなどを最小化)
4. 最適解と実スイングの違いを比較  
トルクなどのデータに基づいて技術診断  
→ 改善点などを技術練習に役立ててもらおう

# 使用した高速度ビデオカメラ



Phantom V4.1 (Vision Research Inc.)

1000 frames/sec @ 512x512 pixels

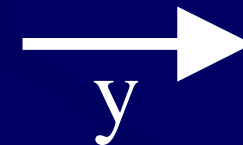
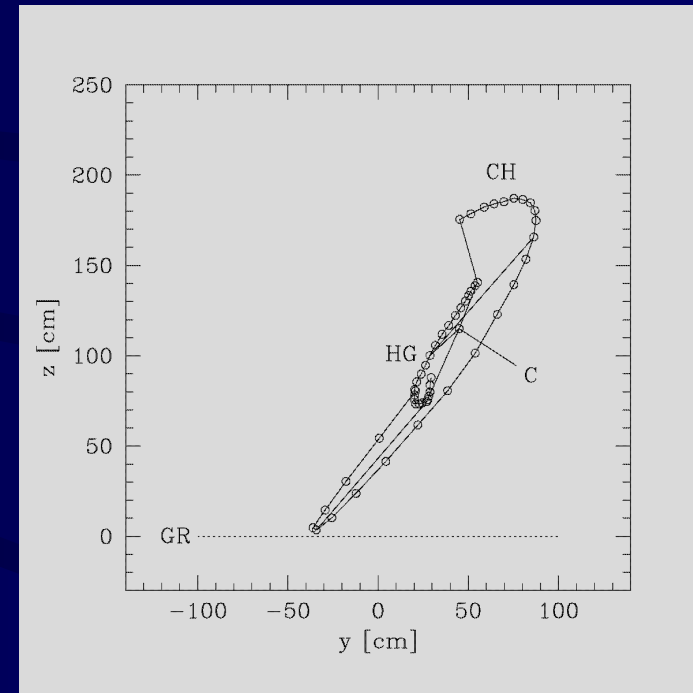
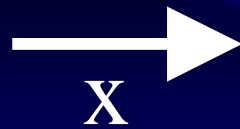
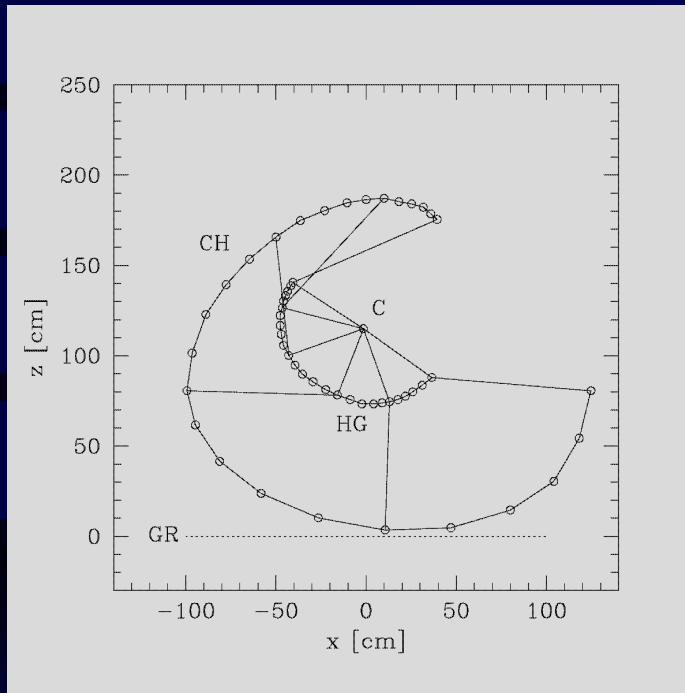
1. 高速度ビデオカメラ2台によるスイングの3D実測

# 高速度ビデオカメラによる スイングの実測例

2台の同期撮影  
カメラ1 ← → カメラ2



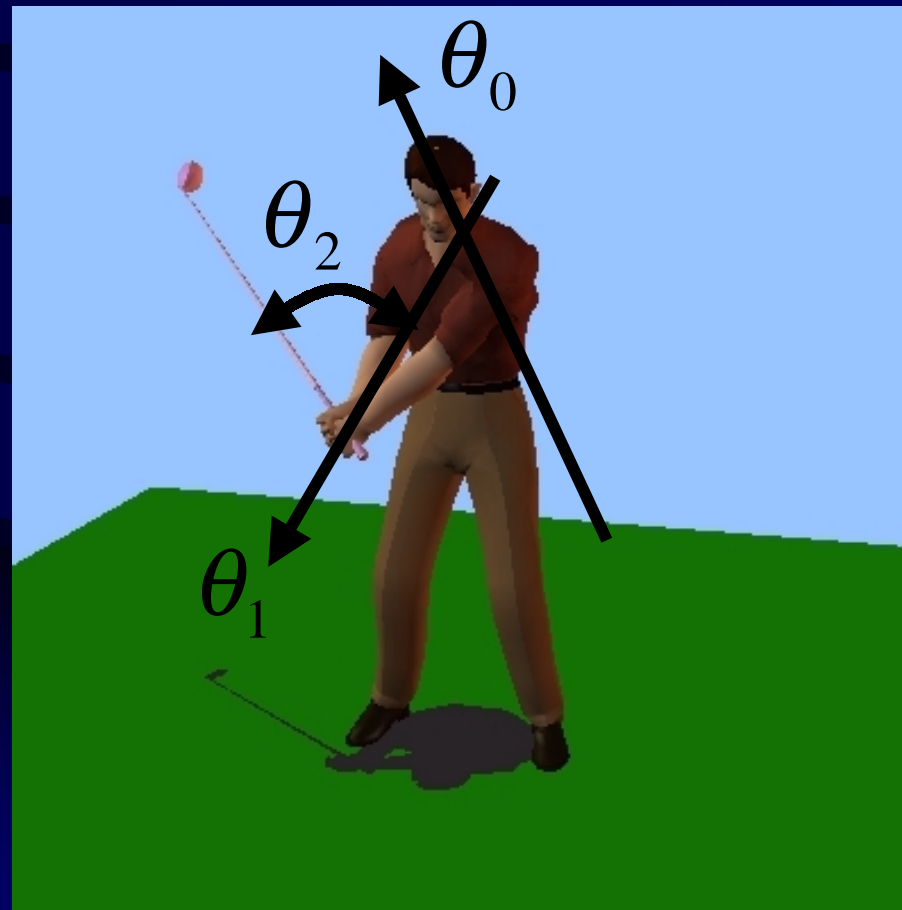
# 2台のカメラ画像を 3次元動作データに変換



C: 胴体回転中心 HG: グリップ中心 CH: クラブヘッド GR: 地面

# 3次元データを 関節角データへ変換

ベクトル解析



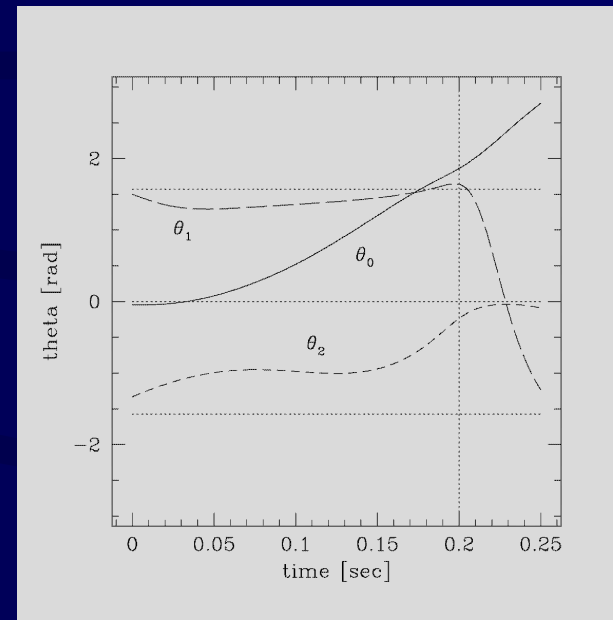
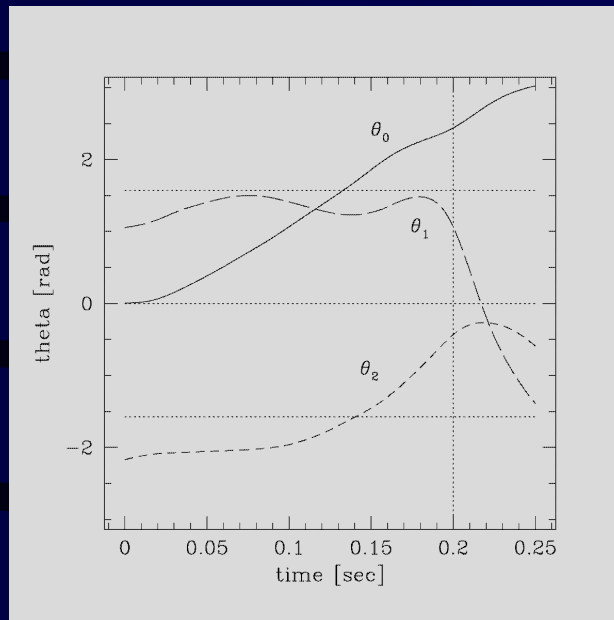
数学モデル  
自由度3

$\theta_0$   
胴体周りの回転

$\theta_1$   
腕軸周りの回転

$\theta_2$   
腕軸とクラブの角  
(コック角)

# 最適化計算結果の例



実測したスイング  
(最適化計算の初期条件)

最適化計算後の  
スイング動作(最適解)

$\theta_0$  = 胴体周りの回転 実線  
 $\theta_1$  = 腕軸周りの回転 長い点線  
 $\theta_2$  = コック角 短い点線

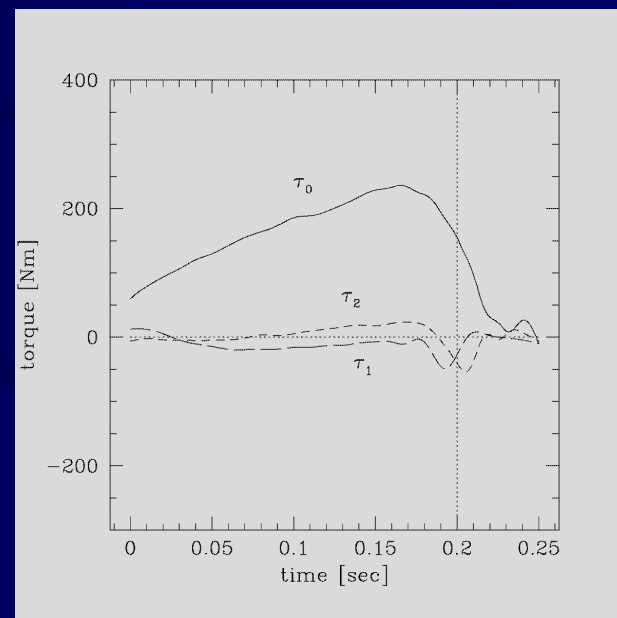
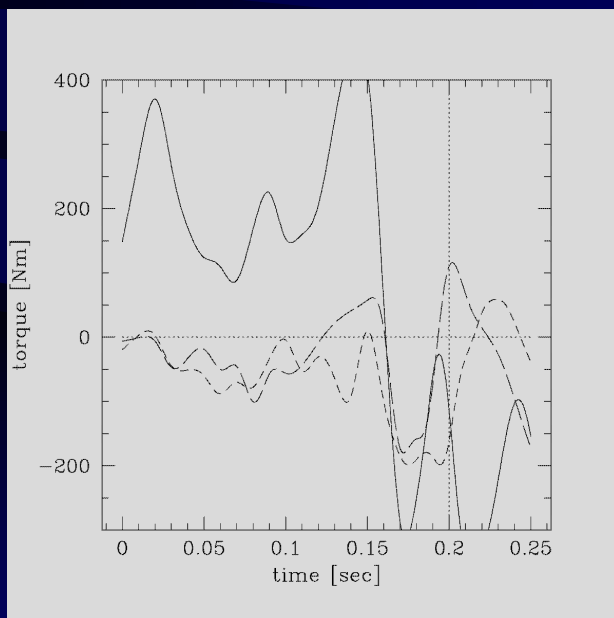


# 現実のスイングと最適解の トルク空間での比較

- より小さな力(トルク)で同じヘッドスピードを再現できる最適解が存在

トルク  
正

トルク  
負



# スイング技術の診断例

- 実際のスイング適用例 (理研ゴルフ部の上級者)  
スイング原理の基本はしっかりできている。
- 最適解と比較して、  
さらなる改良の余地あり: (もっと軽く振れる)
  - ダウンスイング開始時に胴体回転で力入れ過ぎ。  
→ ダウンスイング半ばに加速最大になるように、  
より滑らかな体の回転を (体も回し過ぎ)
  - インパクト直前に体の回転を減速している。  
→ 加速を抑えるだけでよい。
  - 手首のコックを早く戻すような力が手首に入っている。  
→ 軽くクラブを腕に引きつけるくらいでよい。
- アドバイスを取り入れて練習 → 飛距離アップ

# 最適解の物理的分析

- スイング中、2つのフェイズが存在する:
- フェイズ1 (スイング始動)
  - 胴体、腕、クラブ、系全体の回転加速
  - 「タメをつくる」 =  
      コック角をつけて慣性モーメントを小さく
- フェイズ2 (インパクト手前)
  - クラブ、先端部への角運動量集中化作用
  - 「ヘッドを走らせる」 =  
      相対的に胴体部が遅れる (「左のカベ」?)

# スイング始動(フェイズ1)で 重要な「タメのための力」

- 回転加速度系でのみかけの力(慣性力)

- 遠心力

$$-m\boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}) = m\omega^2 \mathbf{r}_\perp$$

- コリオリ力

$$-2m\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{v}$$

- 第3のみかけの力(慣性力)

$$-m\dot{\boldsymbol{\omega}} \times \mathbf{r}$$

「タメのための力」

- 「タメをつくる」(コック角  $\theta_2$  を維持する)ために、徐々に胴体回転の加速度を上げる!ように

遠心力と第3の慣性力がほぼバランス

→小さい慣性モーメントを保って効率よく加速

# インパクト手前(フェイズ2)で 「ヘッドを走らせる」

- 胴体回転の加速度上昇をやめ、  
加えるトルクを弱めるだけ
  - 遠心力の効果により、コック角が戻る
  - 加速を止める必要さえない
  - 胴体を自ら減速すると、ヘッドスピードも落ちる
- 最後の最後でやっと、  
手首まわりのトルクのひと押しを実行
  - 胴体部から先端部へ運動量移動を補助

# 「左のカベ」についてコメント

- 少なくとも2種類の「左のカベ」が混同されている：
  - 体の並進運動を回転運動に変換するとき（フェイズ1）
  - クラブやバットなど先端部を走らせるとき（フェイズ2）
- 「× 胴体部の回転を止めると、運動量保存則によって、先端部（クラブ）が加速される」  
という「（フェイズ2の）左のカベ」は間違い！  
運動量は地面に逃げるだけ！
- 手首をうまく使って先端部を加速した結果として、胴体部が反作用で減速を受ける現象が存在するだけ（図）

# まとめ1

## 技術練習支援システム

- 実測スイングを初期データとして最適化計算
- 同じスイングスピードを実現し、  
より力(トルク)の少なくて済む最適解を得た。
- 上級レベルのスイングでも、  
まだまだ効率よいスイングが見つかる。
- 現状のスイングと最適解を比較  
改善点を指摘 → 技術練習のアドバイス
- この技術練習支援システムの  
有効性を示すことができた。

## まとめ2

# 練習支援システムの今後

- 容易にスイング一般に応用できる。
- オーダーメイドの練習メニューの提示  
(個人個人の筋力、柔軟性のデータ)
- 最適解だけでなく、最適解への道のりを示す。
- まわり道してでも、ケガを防ぐ練習方法を提示
- その他の人体動作への応用
- 医療的なりハビリ訓練の支援



# まとめ3

## 最適解から得られた スイングの物理

- 回転加速度系における

(遠心力、コリオリ力に次ぐ)

第3の慣性力「タメのための力」  
効率よいスイングで重要な役割！

- スイング一般に言われている  
「左のカベ」は2種類あって

「(フェイズ2の)左のカベ」は  
結果であって、自発的な技ではない。

## まとめ4

# 効率よいスイングの秘訣

- スイング中の2つのフェイズ：
  - 胴体、腕、クラブ、系全体の回転加速フェイズ1(スイング始動)
  - クラブ、先端部への角運動量集中化フェイズ2(インパクト手前)
- フェイズ1では、胴体回転加速を徐々に上げることでコック角をほぼ一定に保つ (慣性モーメント小さく保つ)
- フェイズ2では、胴体加速を弱めるだけ(減速しない)
- フェイズ2になって初めて手首周りトルクを一気に加えて最終加速