

効率よいスイング動作 の秘訣について

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

スイング技術練習システムの概要



- 高速度ビデオカメラ2台によるスイングの3D実測
1000 frames/sec @ 512x512 pixels
- 関節角を変数とするトルクモデルを用いて
実スイングを初期条件として最適化計算
(スイング速度を維持したままトルクなどを最小化)
- トルクなど時間変化を
実スイングと最適解について比較して技術指導

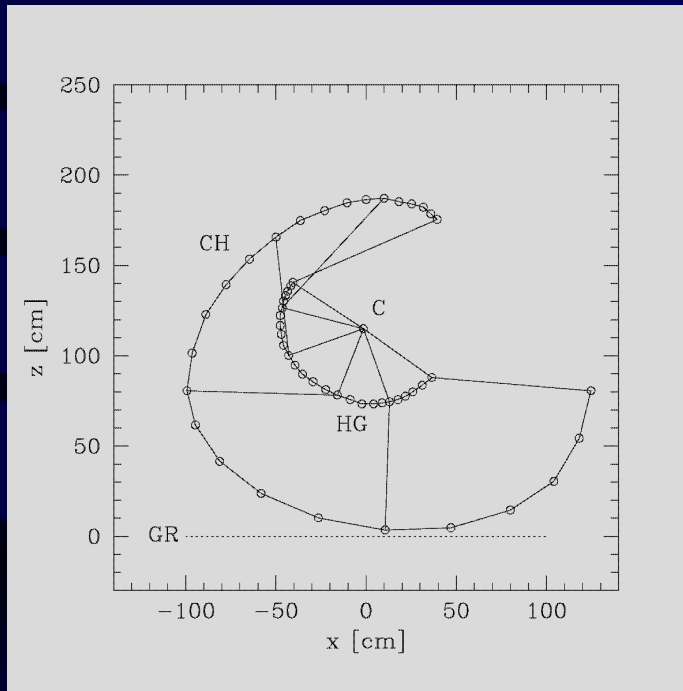
高速度ビデオカメラによる スイングの実測

カメラ1 ← 2台の同期撮影 → カメラ2

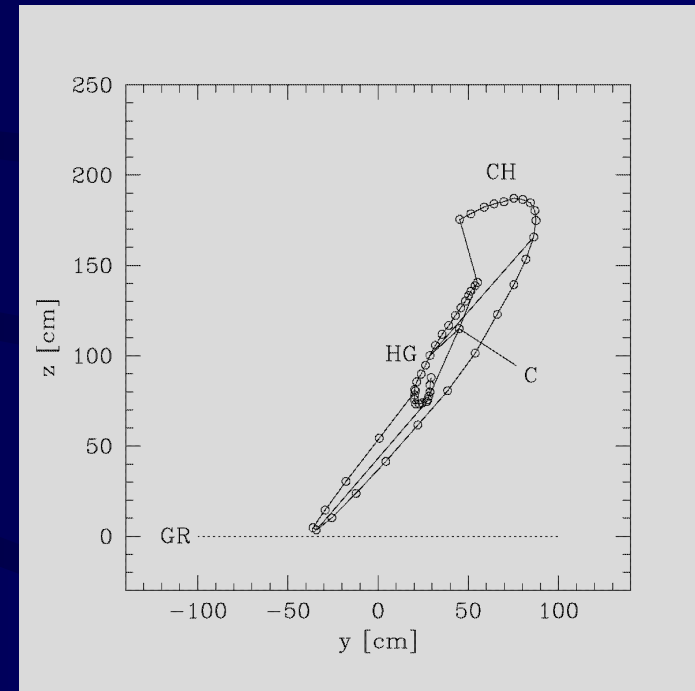


2台のカメラ画像を 3次元動作データに変換

z
↑



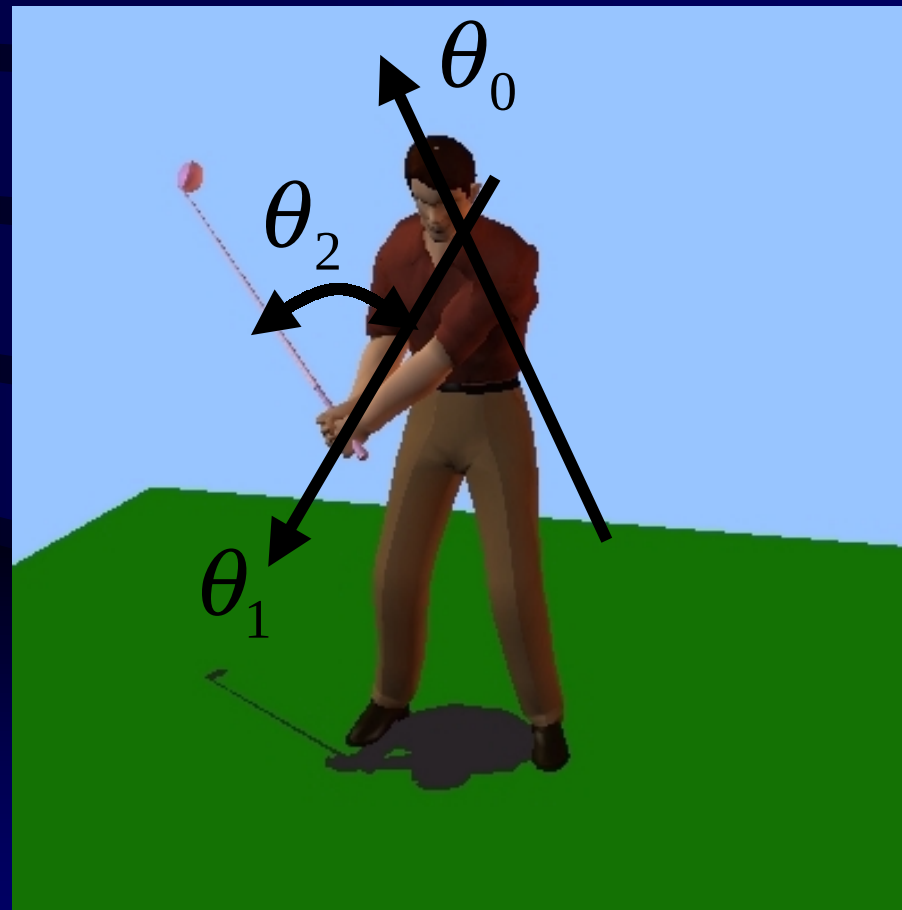
→
x



→
y

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



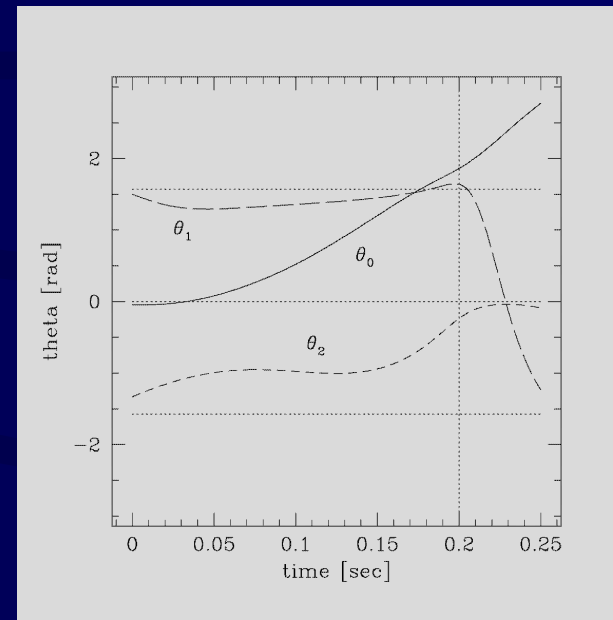
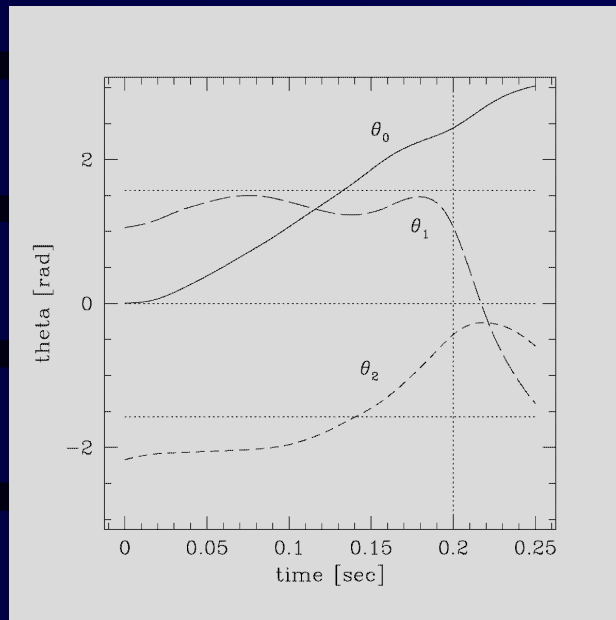
数学モデル
自由度3

θ_0
胴体周りの回転

θ_1
腕軸周りの回転

θ_2
腕軸とクラブの角
(コック角)

最適化計算結果



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)

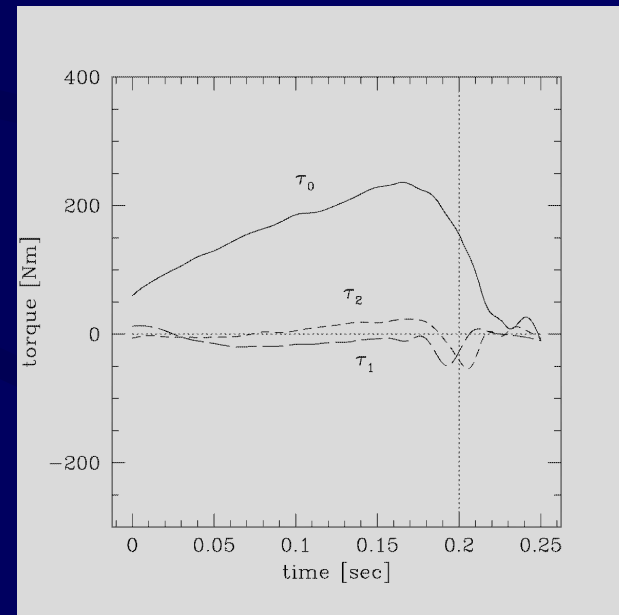
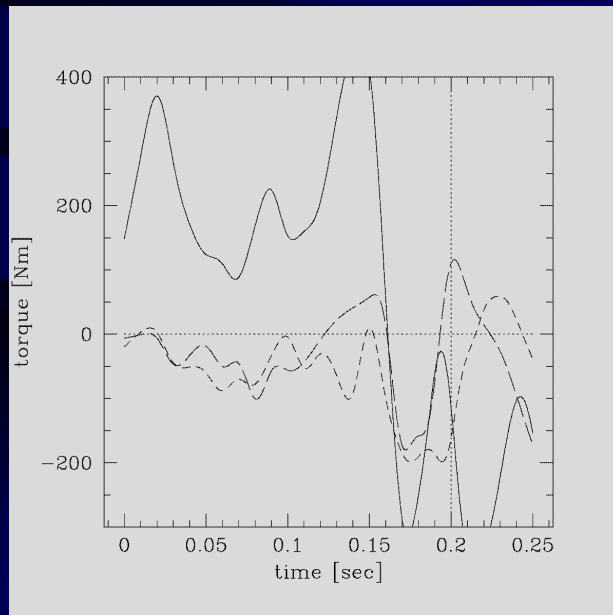
θ_0 = 胴体周りの回転 θ_1 = 腕軸周りの回転 θ_2 = コック角
実線 長い点線 短い点線

現実のスイングと 最適解との比較

- 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



最適解に秘められた物理

- 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」？）

「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 θ_2 を維持する)ために、
徐々に加速度を上げるようにする。

遠心力と 第3の慣性力がほぼバランス

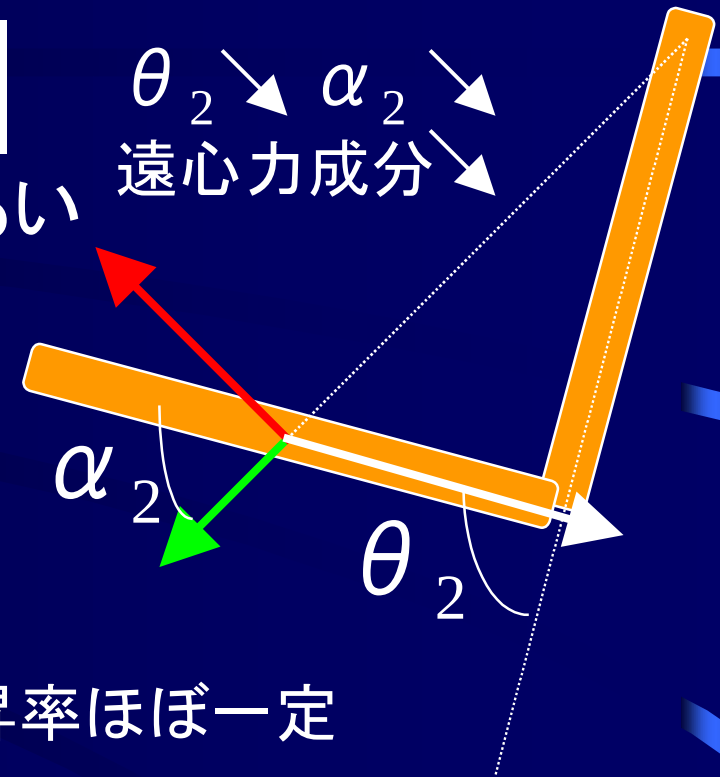
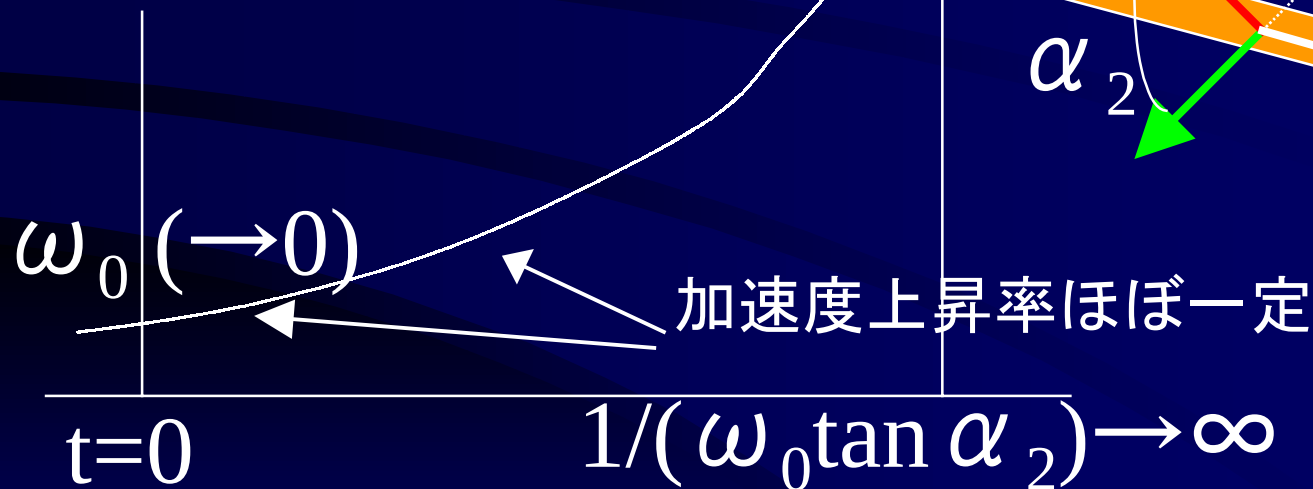
→小さい慣性モーメントを保って効率よく加速

コック角一定の解析モデル

$$-\dot{\omega} r \cos \alpha_2 + \omega^2 r \sin \alpha_2 = 0$$

第3の慣性力、遠心力のつりあい

$$\omega(t) = \omega_0 / [1 - \omega_0 t \tan \alpha_2]$$



加速度上昇率一定では、厳密にはこの曲線上にのらないが、 α_2 の効果と合わせて、事実上コック角一定のフェイズ形成

インパクト手前で 「ヘッドを走らせる」

- 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
 - 運動量が胴体部から先端部へ移動を補助

「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：
 - 並進運動を回転運動に変換するとき
 - クラブやバットなど先端部を走らせるとき
- 「× 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「左のカベ」は間違い！
運動量は地面に逃げるだけ！
- 先端部をちゃんと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

効率よいスイングの秘訣

- 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の分析結果
- スイング中、2つのフェイズがある:
 - 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て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で初めて手首周りトルク加えて最終加速