

## シミュレーションと現実世界に違いはあるか？

H.W&lt;科④ゼミ&gt;

## 1.はじめに

Youtube などの動画サービスには、物理エンジンを用いて様々な現象を再現するという動画がアップロードされている。私はその動画を見た際に、シミュレーションの正確性、信頼性に興味を持った。そこで、シミュレーションと現実との差という観点から研究を行い、シミュレーションの正確性や信頼性について明らかにしようと考えた。本研究に取り組むにあたり、数値ごとのギャップとモデル化のギャップの繋がりに着目することにした。

なお、数値ごとのギャップとモデル化のギャップは以下のとおり定義する。

- ・数値ごとのギャップ  
シミュレーション上の数値と実際の動きの測定値との間の違い。
- ・モデル化のギャップ  
数値に基づいたモデルの動きと実際の動きとの間の違い。

## 2.仮説と実験方法

## 2.1 仮説

数値ごとのギャップとモデル化のギャップには特徴的なつながりがあるのではない。

## 2.2 実験方法

シミュレーションを行って得られた結果と、現実で得られたデータを比較する。シミュレーションには、オープンソースである OpenSim[1]を利用した。OpenSim は人間の運動挙動を、逆運動学 (Inverse Kinematics, IK) と逆動力学 (Inverse Dynamics, ID) に基づいて解析することができるシミュレーションソフトウェアである。

人の動きを対象とすることで、モデルの設定などを細かく設定できると考えたため、人の走行を比較対象とした。シミュレーション上の人の体格を比較対象とする人の体格とほぼ同値に設定した後に IK を行い、それを元にして ID を行った。

## 2.2.1 IK について

IK では、各関節に適切なマーカーを配置して各部位においてはマーカー誤差の重みづけ二乗和を最小にする一般座標系のベクトル (関節角度など)  $q$  を計算する。

$$\left[ \sum_{i \in \text{marker}} \omega_i \|x_i^{\text{exp}} - x_i(q)\|^2 \right]$$

$q$  は一般座標系のベクトル (関節角度など)、 $x_i^{\text{exp}}$  は計測マーカーの位置、 $x_i(q)$  はバーチャルマーカー  $i$  (に依存) の位置、 $\omega_i$  はマーカー  $i$  の重み付け係数としている。マーカー誤差は計測マーカーとバーチャルマーカーの距離で定義される。

最小化に特定のマーカー誤差がどの程度関与するかを指定するため、二乗和に重みづけがされる[1-7]。

## 2.2.2 ID について

逆動力学ではモデルの関節角度、関節角速度、関節角加速度および計測されたモーメントを用い、各関節の反力および各種モーメントを求めて、特定の動きの元になる力やモーメントを得たのち、どの筋が動作に貢献しているかを調べる[1]。

$$\vec{F}_{\text{exp}} + \vec{F}_{\text{residual}} = m \times \vec{a}$$

力やモーメントを計算するには、各剛体セグメントの運動方程式を順に解く必要がある。運動方程式は筋骨格モデルの運動学要素と質量要素を用いる。逆運動学の関節角度と測定した床反力から、動的平衡性と境界条件が満たされるように関節反力と関節モーメントを計算する。

関節反力やセグメント間の力はモデル間に生じる力としている。ここで、シミュレーション中での計測動作データのエラーと筋骨格モデルにはずれが発生するため、ニュートン力学の第2法則または  $\vec{F}_{\text{exp}} \neq m \times \vec{a}$  に反してしまう。これらを修正するために各モデルの部位に残留力やモーメントを与えることで、このずれを満たしている[1-6]。

現実で得られるデータとしては馬場崇豪らの論文[8]を参考に慶應義塾大学SFC研究所がまとめたもの[9]を引用した。このデータは30m以上の助走をつけた全力疾走を行わせ、圧力盤上に右足が接地するまで試技をくり返させることで得られたものである[8, 9]。

### 3 実験結果

股関節、膝関節、足関節などいくつかの箇所に関するデータを得ることができた。

人の走行時の股関節における関節トルクの時間変化について、シミュレーションで得られたものを図1に、現実で得られたものを図2に示す。

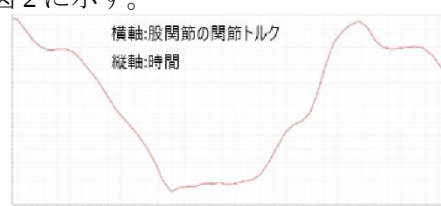


図1 シミュレーションデータのグラフ

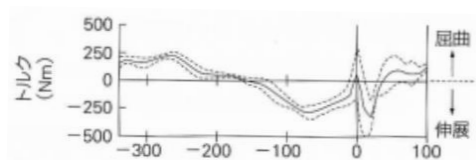


図2 現実で得たデータのグラフ

図1、図2のいずれも共通して縦軸が時間、横軸が関節トルクを表している。

### 4 考察

図1と図2を比較すると、時間軸の単位が図1はms、図2はsとなっているために値の変化の幅に若干の違いがみられるが、グラフの概形としてはよく一致しているため、シミュレーションにはある程度の正確性、信頼性があると考えられる。

### 5 おわりに

今回の探求では途中探求のデータが消えてしまうトラブルが起こってしまったものの、人の走行について比較できる程度のデータは得ることができた。

今後の展望としてはシミュレーションをより信頼に値するものにすることができる新たな観点の発見をしていきたい。

加えて、今回の考察についての信憑性を高める一助になると考えている「シミュレーションの設定をより細かくまたはより甘く設定したときに現れるデータの変化」には特に着目していきたい。

### 謝辞

本探究活動において、夏休みの研究室訪問で実験方法や結果について多くの知見を頂いた藤野貴康准教授、また、田淵宏太郎氏にはテーマの決定から発表の際に気を付けるべきことなど、終始熱心なご指導を頂きました。感謝の念に絶えません。本当にありがとうございました。

### 参考文献

1. Delp, S.L. et al.: *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 37, No. 8, pp. 757–767, 1990.
2. Anderson, F.C. et al.: *Comput. Methods Biomech. Biomed. Eng.*, vol. 2, No. 3 pp. 201–231, 1999.
3. Kuo, A.D.: *J. Biomech. Eng.*, vol. 120, No. 1 pp. 148–159, 1998.
4. Winter, D.A.: Wiley and Sons, pp. 77–79, 1990.
5. Thelen, D.G. et al.: *J. Biomech.*, vol. 39, No. 6, pp. 1107–1115, 2006.
6. John, C.T. et al.: *BCatS Symposium*, Stanford University, 21 October 2006, Poster Presentation.
7. Delp, S.L. et al.: *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 55, pp. 1940–1950, 2007.
8. 馬場崇豪ほか、短距離走の筋活動様式, 45(2), 186–200(2000)
9. 慶應義塾大学 SFC 研究所、走のバイオメカニクス