

## 筋肉の形状と変形を考慮した新しい仮想人体筋骨格モデルの開発に成功

～PC で動作可能な次世代筋骨格モデル「Def Muscle」<sup>デフ マッスル</sup>～

### 【ポイント】

- 筋肉のボリューム(形状)と干渉(ぶつかり合い)により、筋肉の自然な位置関係が表現可能に
- 運動神経科学、リハビリ、スポーツ等の分野における教育支援や運動解析の精度向上に貢献
- GPU<sup>\*1</sup> 搭載のパーソナルコンピュータで動作可能なソフトウェアを技術移転

国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT、理事長: 坂内 正夫)は、脳情報通信融合研究センター(CiNet)において、筋肉のボリューム(大きさ・形状)と干渉(ぶつかり合い)による変形を考慮した新しい仮想人体筋骨格モデル<sup>\*2</sup>「Def Muscle」<sup>デフ マッスル</sup><sup>\*3</sup>を開発することに成功しました。本技術の開発により、従来モデルでは表現しきれなかった肩・体幹などの複雑な筋肉の位置関係及び筋力の作用ベクトル<sup>\*4</sup>を表現できるようになり、運動神経科学やリハビリ・スポーツ等のバイオメカニクス関連分野における運動解析<sup>\*5</sup>の精度が向上し、特にこれまで重要とされながらも手に負えなかった肩こりやスポーツ肩障害の予防研究への応用が期待できます。

今回パーソナルコンピュータに搭載可能な GPU を用いて開発された筋骨格モデルの計算基盤は、運動解析や運動シミュレーション<sup>\*6</sup>、ビジュアライゼーション等で利活用できるプログラミングソフトウェアとして技術移転先企業から販売される予定です。

本研究成果の一部は、JSPS 科研費(24650383、15H05362)の助成を受けて行われたものです。

### 【背景】

筋骨格モデルは、現在、人間工学やバイオメカニクス関連分野において幅広く用いられており、ヒトの運動を対象にしたあらゆる分野で必須のツールとなってきました。NICT CiNet では、脳が膨大な数の筋肉を制御する仕組みを明らかにする研究で筋骨格モデルを利用しています。しかし、従来の筋骨格モデルでは、筋肉をボリュームのない直線や折れ線として単純化してしまっているため、筋が骨の中に埋まったり、本来表層にあるべき筋が深層の筋の内部に埋まったりといった不自然な状況が起きてしまう場合があり、関連分野全体の大きな課題となっていました。

### 【今回の成果】

本研究では、この問題を根本的に解決するため、筋肉のボリューム及び干渉による変形を考慮した新しいタイプの筋骨格モデルの開発に取り組んできました。ボリュームの変形には多大な計算コストがかかり、ボリュームモデル開発の大きな障壁となってきましたが、本研究では、近年急速に発展した GPU 並列プログラミング手法を取り入れて解決を図りました。その結果、肩周辺の 33 本の筋肉のボリュームと干渉を考慮したモデルを、スーパーコンピュータではなく、パーソナルコンピュータ(GPU 搭載が必要)で動作させることに成功しました。

今回公開するソフトウェアは、体の姿勢に応じて変化する筋肉の形状や位置関係を可視化する機能に加え、関節への作用を決定する筋力の作用ベクトルを出力する機能を有しています。



今回開発した筋骨格モデル

### 【今後の展望と技術移転】

本研究の成果を活用し、脳が膨大な数の筋肉を制御する仕組みを明らかにする研究を効果的に進めていきます。また、将来的には、体幹や下肢にまで部位を拡張し、近年ニーズの高まっているロコモティブシンドローム対策の研究等に活用していく予定です。リハビリやスポーツへ応用する際には、各個人のモデルを作成することが必要となるので、断面画像等を利用して個人モデルを作成する技術の開発も視野に入れています。

本筋骨格モデル「Def Muscle」に関する知的財産権は、株式会社スリーディー(<http://www.ddd.co.jp/>)にライセンスされ、同社によって 2016 年中にプログラミングソフトウェアとして販売が開始される予定です。肩周辺筋群の形状サンプルは無償で公開し、部位が拡張された際には随時公開していく予定です。

## <用語解説>

### \*1 GPU

Graphics Processing Unit の略で、コンピュータの画像処理を担当する部品の一つ。画像処理用のプロセッサが数多く集まった構造をしており、大量のデータを並列に処理する能力を有している。その並列処理能力を数値シミュレーションに応用することで、計算時間を大幅に削減できることが知られており、近年、様々な分野で盛んに利用されるようになっている。

### \*2 筋骨格モデル

筋骨格モデルとは、複雑なヒトの筋骨格系を単純化して表現した仮想人体モデルのこと。従来の筋骨格モデルでは、筋肉をポリュームのない直線や折れ線として単純化しているため、筋が骨の中に埋まったり、本来表層にあるべき筋が深層の筋の内部に埋まったりという不自然な状況が起きてしまう場合がある。

### \*3 Def Muscle(デフ マッスル)

本筋骨格モデルの名前。Deformable Muscle(変形可能な筋肉)の略

### \*4 筋力の作用ベクトル

筋肉が張力を発揮し、骨との付着位置(起始・停止)で骨に与える力ベクトルのこと。筋同士の干渉を考慮することによって初めて自然な作用ベクトルを表現することができる。

### \*5 運動解析

ヒトの運動をモーションキャプチャーなどで計測し、その運動を行った際に発揮されていたであろう関節トルクや筋力を推定し、体への負荷を定量的に評価する解析のこと。時間的に逆方向の推定を行うため、逆動力学計算ともいわれる。リハビリやスポーツの分野で盛んに行われているが、筋骨格モデルの精度や被験者個別モデルの作成の困難さなど、解決すべき課題は多い。

### \*6 運動シミュレーション

コンピュータ上の仮想人体筋骨格モデルに対して筋の活動パターンを入力し、その結果生じるであろう骨格の運動をコンピュータ上で模擬して予測すること。時間的に順方向の予測を行うため、順動力学計算ともいわれる。

---

#### < 本件に関する問い合わせ先 >

脳情報通信融合研究センター  
脳情報通信融合研究室  
平島 雅也  
Tel: 080-9098-3251  
E-mail: hira@nict.go.jp

#### < 広報 >

広報部 報道室  
廣田 幸子  
Tel: 042-327-6923  
Fax: 042-327-7587  
E-mail: publicity@nict.go.jp

## 筋肉の形状の表現方法

図 1A のように、3 次元格子状に質点を配置することによって、筋肉の形状を表現しました。個々の筋は様々な形状を有していますが、3 次元格子数を筋ごとに調整することによって、すべての筋を同じ格子座標系で表現しました。例えば、三角筋前部は、 $i$  方向に 5 個、 $j$  方向に 2 個、 $k$  方向に 20 個の質点を配置して表現し(図 1B 参照)、上腕二頭筋のような枝分かれする筋肉は、個別に 3 次元格子表現したものを結合させて表現しました(図 1C 参照)。

なお、ソフトウェア付属の筋肉のサンプル形状は、BodyParts3D (Copyright© 2008 ライフサイエンス統合データベースセンター licensed by CC 表示-継承 2.1 日本)を基に作成しました。本ソフトウェアに対応した形式であれば、他の形状データを用いることも可能です。

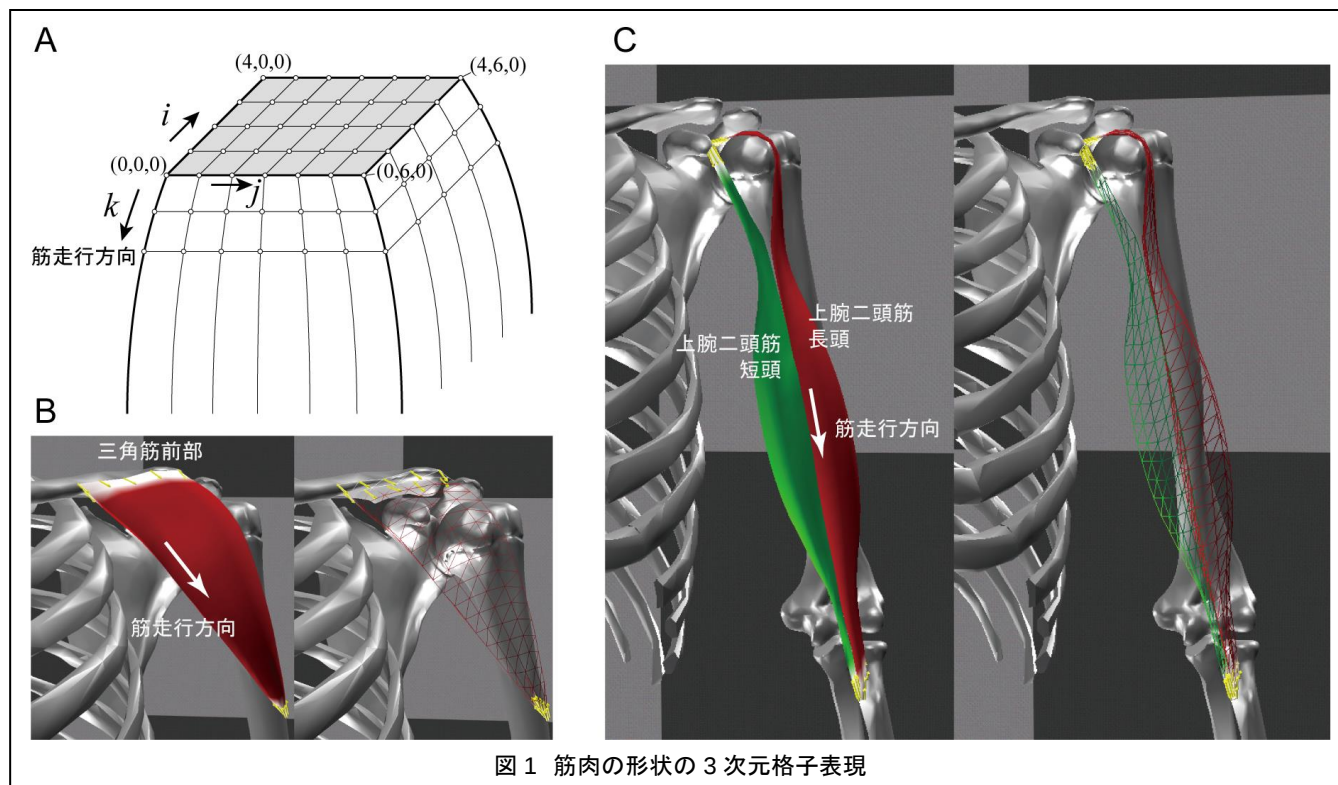


図 1 筋肉の形状の 3 次元格子表現

## 干渉の回避

筋や骨との干渉を考慮することで、筋が骨の中に埋まったり、本来表層にあるべき筋が深層の筋の下に埋まったりといった不自然な状況を回避することができます。例えば、表層にあるべき三角筋中部(図 2A の青)が、深層にあるべき棘上筋(図 2A の緑)よりも表面側にある状態を維持できます。また、三角筋後部(図 2B のシアン)は、上腕三頭筋(図 2B の赤)との干渉で表側に押し上げられることによって、本来の方向(黄矢印)へ筋力を発揮することができます(図 2B 参照)。もし、干渉回避が行われないと、筋力の作用ベクトルは、図 2C のように横方向へとずれてしまいます。

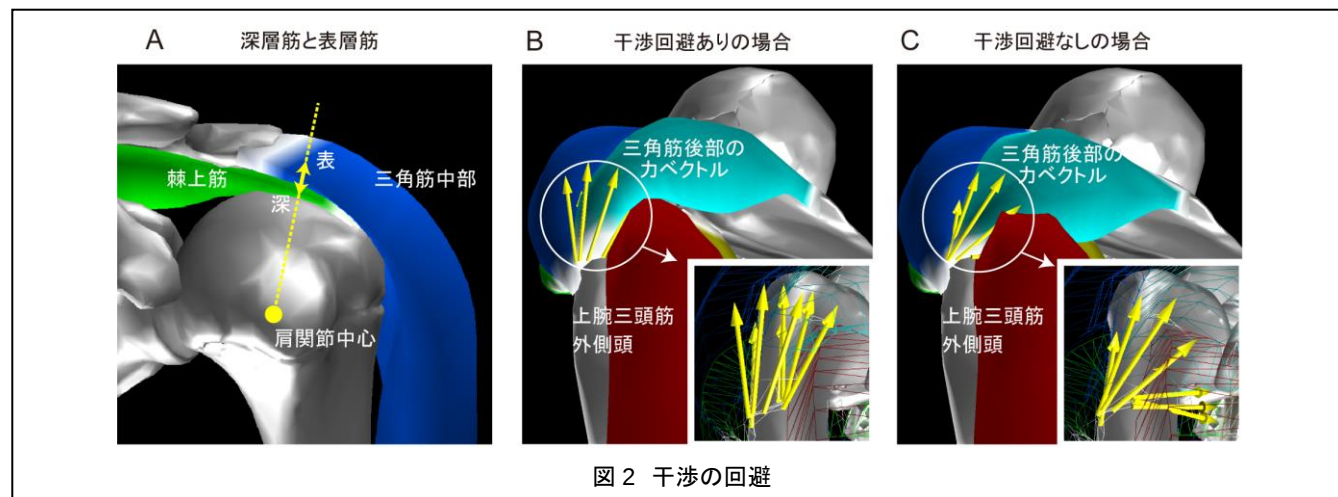


図 2 干渉の回避

## 姿勢変化に対応

図 3 のように、骨の姿勢に応じた筋肉の変形を扱うことが可能です。また、姿勢に応じて変化する力の作用方向に関する情報も得られるので、運動解析やシミュレーションなどの動力学計算にも応用できます。

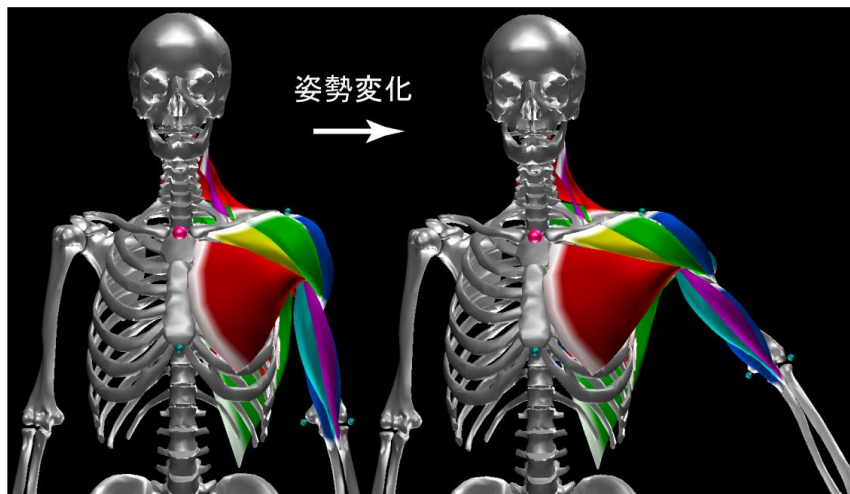


図 3 姿勢に応じた筋肉の変形

## 本モデルの適正と制約

本モデルは、骨と筋の幾何学的位置関係に重点を置いたもので、多数の筋や関節の相互作用を研究する用途に向いているといえます。一方で、本モデルでは、筋内部の複雑な筋線維方向や腱組織を無視しているため、筋内部の詳細な力を推定することはできず、単一筋の挙動を研究する用途には不向きといえます。

本ソフトウェアは、BodyPart3D を基に作成した一つのサンプルしか含んでおらず、各個人の筋骨格モデルを作成する機能は含んでいません。各個人の筋形状を予測するには、断面画像等を取り込むなどして個人モデルを作成する技術を更に開発する必要があります。

## 役に立つ分野

### ・解剖学の教育支援

近年コンピュータを用いた 3 次元ビジュアライゼーションツールが教育支援のために用いられるようになってきていますが、姿勢変化に応じた筋肉の形状変化を表示できるツールはほとんどありません。この機能を有する本モデルは、理学療法士、整形外科医、スポーツインストラクターの教育支援に特に有効です。

### ・バイオメカニクス関連分野

人間工学、リハビリ、スポーツなどのバイオメカニクス関連分野では、各筋が関節に対してどのような作用を及ぼすかが重要なパラメータの一つとなっています。本モデルはそこに重点を置いているため、関連分野全体の解析精度向上に貢献することが期待できます。また、重要性が指摘されて久しい肩関節や肩甲骨まわりの筋肉を詳細に解析できるようになることも大きなメリットといえます。

### ・運動の脳神経科学

この分野でよく扱われる上肢到達運動の解析・シミュレーションを、肩の詳細な筋情報を用いて行うことができます。姿勢に応じて変化する筋機能の情報が得られれば、脳がどのようにして姿勢変化に対応しながら筋を制御しているのかを研究できるようになります。