

令和 4 年 5 月 25 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H03149

研究課題名(和文)人工知能による高速画像処理を用いたヒト全身骨形態データベースの構築

研究課題名(英文) Construction of human whole-body bone morphology database using artificial intelligence

研究代表者

近田 彰治 (Konda, Shoji)

大阪大学・医学系研究科・助教

研究者番号：80598227

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は人工知能による画像処理を用いて、全身の骨形状データベースを作成することを目的とした。75名の若年成人男性の全身のMR画像を収集することができた。また、局所(体幹部・下肢や上肢のみ)のみのデータを加えると、103名の画像を収集することができた。骨の領域を対象に自動認識のための学習データを整備し、深層学習(U-Net)を用いて自動認識を行った。予測精度をDICE係数によって検証したところ、骨では0.7以上を示し、高い精度で認識できることを確認した。また、一部の筋に対しても同程度の精度で予測できる可能性があることが示唆され、骨と筋を含めた筋骨格形状データベースの構築に取り掛かることとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人体の骨格の3次元形状は、生体力学、人間工学、生体医工学、整形外科学、バーチャルリアリティなど様々な分野で身体運動の解析や予測(シミュレーション)やアニメーションを作成するうえで欠かせない情報である。近年では、より現実的なシミュレーションやアニメーションを行うために、仮想的に単純化された3次元形状モデルではなく、人体の骨格形状を忠実に表現した形状モデルが求められている。本研究で集積された全身のMR画像に基づく形状モデルを公開することで、人体の解剖学的特徴を忠実に再現したモデルを用いることができるようになることが期待される。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to create a whole-body bone geometry database using artificial intelligence-based image processing. 75 whole-body MR images of young adult males could be collected. In addition, adding only local (torso - lower or upper limb only) data, we were able to collect images of 103 individuals. Training data for automatic recognition was prepared for bone regions, and automatic recognition was performed using deep learning (U-Net). The prediction accuracy was verified by the DICE coefficient, which was 0.7 or higher for bone, confirming that recognition was possible with high accuracy. The results also suggested that some muscles could be predicted with the same level of accuracy, so we decided to start constructing a musculoskeletal shape database that includes both bones and muscles.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：MRI 筋骨格シミュレーション 筋骨格モデル

### 1. 研究開始当初の背景

人体の骨格の3次元形状は、身体運動の解析や予測(シミュレーション)やアニメーションを作成するうえで欠かせない情報であり、生体力学、人間工学、生体医工学、整形外科学、バーチャルリアリティなど様々な分野で用いられてきている。近年では、より現実的なシミュレーションやアニメーションを行うために、仮想的に単純化された3次元形状モデルではなく、人体の骨格形状を忠実に表現した形状モデルが求められている。しかし、既存の骨格の3次元形状データとして公開されているものは、一体から数体の形状を公開しているのみである(BodyParts 3D: Mitsuhashi et al., 2008, Visible Human: Pommert et al., 2001, Robb and Hanson, 2006, Visible Korean and Chinese: Park et al., 2005, Pommert et al., 2001, Zhang et al., 2006, LHDL-CT: Viceconti et al., 2008, TLEM2-T: Carbone et al., 2015、成人男性骨格形状データ、中村ら、2008)。これらの形状データでは、ある一体から数体の提供にとどまっており、平均形状や個人間のばらつきなど、形状の統計データの提供までは至っていない。

一方で人体の表面形状については、産業技術総合研究所の「AIST 人体寸法データベース(川内ら、2000、河内と持丸、2005、2006)」、「日本人頭部寸法データベース(河内ら、2008)」、「手の寸法データベース(河内、2012)」が公開されている。人体の内部構造である骨格の形状データベースが存在しない大きな理由としては、ヒト生体において人体の詳細な内部構造を得るには、核磁気共鳴画像(MRI)やコンピュータ断層撮影(CT)といった医用画像を用いる必要があることが挙げられる。通常これらのデータは医療用途で取得される画像情報が大半を占め、利用に対しては非常に限定的であり、誰もが利用できる形で公開された健康人を対象とした骨形態データベースは存在しない。また、医療用途で取得される画像は疾患部位に限られるため、身体中心部(頭部-体幹-下肢)及び左右上肢を含めた「全身」のデータは存在しない。

また、従来は得られた画像データの処理についても大きな問題が存在していた。画像データから3次元の形状モデルを作成するには画像から骨の関心領域を抽出する作業が必要であるが、骨領域の抽出が比較的容易なCTでは被曝を伴うために大規模調査を行いにくいという問題がある一方で、MR画像からの骨領域の抽出には、熟練者による手動の作業を含む多大な手間と時間を要するという問題があった。しかし、近年目覚ましい発展を遂げているディープラーニングを用いた人工知能は画像認識の分野で無類の性能を発揮することが知られており、MR画像における骨領域の抽出の問題を解決できるようになってきている。人工知能による高速画像処理を用いることで、大量のMR画像から骨形態データベースを作成することができると考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究では、身体中心部(頭部-体幹-下肢)及び左右上肢を含めた「全身」について、高解像度かつ信号の均一性の高いMR画像を得られる撮像方向を確立すること、人工知能を用いてMR画像から骨形状を自動抽出することで、実際に大量のMR画像から骨形態データベースを作成すること、ただ単に個々の形状データを大量に蓄積するだけではなく、身体運動の解析や予測(シミュレーション)やアニメーションへの応用や製品設計での利用を見据え、「平均形状」や「形状のばらつき」を表現した統計形状モデルを作成したりするなど、利用シーンを想定した機能的なデータベースの構築を行うことを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 対象者

対象者は健康な若年成人男性103名であり、このうち75名については頭部-体幹及び左右の上肢・下肢を含む全身の撮像を行った。残りの28名については、撮像時間の都合上、右上肢の撮像を行うことができなかった。撮像対象となった103名の身体的特徴は、やや痩せ型ではあったものの、日本人における当該年齢の特徴とほぼ一致していた。

表1

	本研究の対象者	20~29歳の日本人 (令和元年国民健康・栄養調査*)
身長	172.0±5.4 cm	171.8±6.7 cm
体重	63.8±8.8 kg	67.6±13.3 kg
BMI	21.5±2.6	22.9*
年齢	22.9±3.3歳	

平均値±標準偏差

\*身長、体重の平均値から算出

+令和元年国民健康・栄養調査

[https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/kenkou\\_eiyuu\\_chousa.html](https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/kenkou_eiyuu_chousa.html)

## (2) データ収集

3テスラのMR装置(MAGNETOM Vida, Siemens Healthineers, Germany)を用いて、Dixon法による撮像を行った(FOV: 448mm \* 448mm、スライス厚: 1.5mm、Voxel size: 1mm \* 1mm \* 1.5mm)。頭部-体幹-下肢から成る身体の中心部(9分割の画像)、左上肢(3分割の画像)、右上肢(3分割の画像)の3セッションに分けて撮像を行った(図1)。全身について均一性の高い画像を得るために、頭頸部コイル、体幹コイル、脊椎コイル、下肢血管造影用コイルを用いて、各部位をカバーした(図2)。全身の撮像に要した時間は、約2時間であった。15分割された画像を合成することで、全身の画像(Whole-Body MRI)を再構成した。

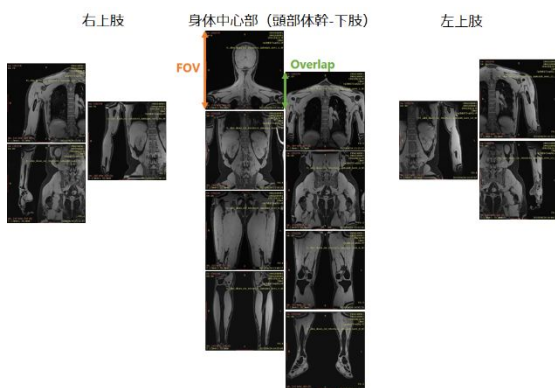


図1

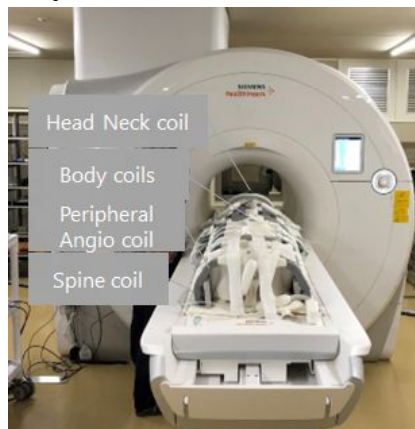


図2

## (3) データ解析

MR画像から骨形状を自動抽出する人工知能の学習データを整備するために、形状抽出に熟練した研究者1名が画像解析ソフトウェア(3D Slicer, Fedorov et al., 2012, <https://www.slicer.org>)を用いて、肩周囲(図3)及び骨盤から大腿部にかけて(図4)の関心領域の抽出作業(セグメンテーション)を厳密に行った(reference label)。次に、19例分のMR画像に対して、reference labelをおおよそ一致させた後に、手動で微修正してstandard labelを得た。この作業は複数名の解析者によって行い、referenceほど厳密には抽出を行っていない。19例分のMR画像とlabelの対応関係を学習させたU-Net(医用画像の領域抽出に優れた深層学習ネットワーク)にreference labelの作成に用いたMR画像を入力することで、人工知能による自動抽出(predicted label)の精度検証を行った。

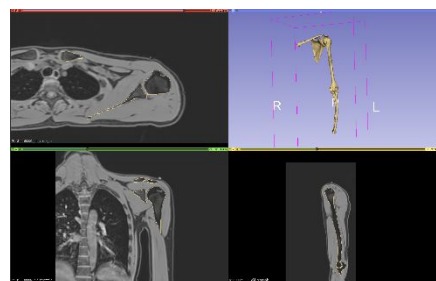


図3

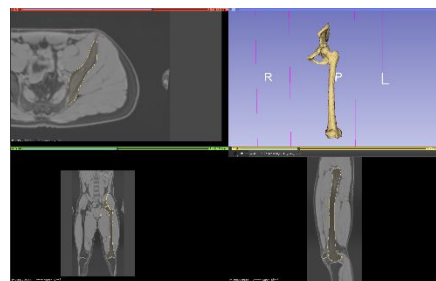


図4

## 4. 研究成果

全身を分割して撮像したMR画像から、全身の画像(Whole-body MRI)を再構成することができた(図5)。大きな領域を対象とした撮像では、解像度の低下や歪みの増幅、信号の不均一性が問題となる。画像間のOverlapを大きくし全身を細かく分割して撮像することで、局所的な解像度は高く、歪みが小さく、信号の均一性の高い画像を得ることができるよう撮像方法を確立することができた。また、人工知能による自動抽出の精度をDice係数によって評価したところ0.7以上であり、解剖学的構造を忠実に表現したreference labelと同程度の精度で骨領域を認識できることが確認された。従来、骨格標本を対象とした形態学的研究では、各骨の形状を得ることは可能であったが、骨同士の相対的な位置関係(アライメント)を評価することはできなかった。本研究では、全身が結合された画像を基に骨領域の抽出を行うことで、全身の骨の形状とアライメントを含むデータベースを構築することができる。本研究では骨形態データベースの構築を目的として、全身のMR画像からの骨領域の自動抽出を進めていたが、筋についても人工知能による自動認識の精度が高いことが報告されたため(Hiasa et al., 2019)、骨だけでなく筋についても学習データの整備と人工知能による予測を同時に進めていくことが効率的であると判断し、世界的にも類まれな筋骨格系の形状データベースを作成することを目的として、新たな研究課題として推進することとなった(基盤研究B:人体相同モデリングによる筋骨格形状データベースの構築)。

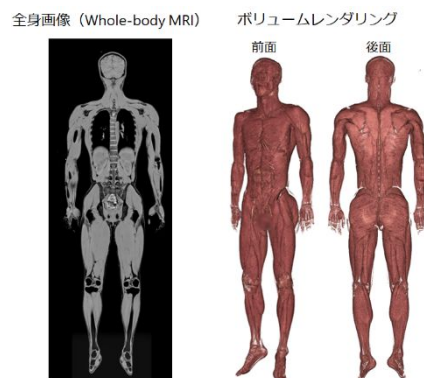


図5

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 福田紀生, 近田彰治, 平島雅也
2. 発表標題 解剖学的妥当性のある筋骨格モデルの開発
3. 学会等名 第13回 Motor Control 研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 近田彰治, 福田紀生, 園田拓哉, 平島雅也
2. 発表標題 筋のボリュームと変形を表現したデフォーマブル筋骨格モデルのテーラーメイド化
3. 学会等名 第46回日本臨床バイオメカニクス学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shoji Konda, Norio Fukuda, Takuya Sonoda, Masaya Hirashima
2. 発表標題 Development of volumetric and subject-specific muscle skeletal model based on MR image
3. 学会等名 ORS 2020 Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 近田彰治, 園田拓哉, 平島雅也
2. 発表標題 MRI画像に基づくテーラーメイド筋骨格モデルの開発
3. 学会等名 第12回Motor Control研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 平島雅也, 藺田拓哉, 近田彰治
2. 発表標題 筋のボリュームと変形を考慮したデフォーマブル筋骨格モデルの妥当性の検証
3. 学会等名 第25回日本バイオメカニクス学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hirashima M, Sonoda T, Konda S
2. 発表標題 Development of anatomically correct musculoskeletal model based on MRI images
3. 学会等名 Neural Control of Movement (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 近田彰治
2. 発表標題 医用画像に基づくテーラード筋骨格モデルの開発: 運動器障害の予防に向けて
3. 学会等名 4 th Muscle Biomechanics Imaging Seminar (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 近田彰治, 福田紀生, 梅原潤, 平島雅也
2. 発表標題 Whole-body MRIと人工知能による筋骨格形状データベースの構築
3. 学会等名 第15回Motor Control 研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 梅原潤、福田紀生、近田彰治、平島雅也
2. 発表標題 筋の三次元表面形状計測における三次元超音波イメージングの妥当性検証
3. 学会等名 第15回Motor Control 研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福田紀生、近田彰治、梅原潤、平島雅也
2. 発表標題 Bending拘束を用いた筋ボリュームの変形シミュレーション
3. 学会等名 第15回Motor Control 研究会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	平島 雅也  (Hirashima Masaya)  (20541949)	国立研究開発法人情報通信研究機構・脳情報通信融合研究センター脳情報通信融合研究室・主任研究員   (82636)	
研究分担者	大竹 義人  (Otake Yoshito)  (80349563)	奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・准教授   (14603)	
研究分担者	佐原 亘  (Sahara Wataru)  (80706391)	大阪大学・医学部附属病院・助教   (14401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------