画像を用いた体重推定システムにおける身体部位長の自動計測機能の開発

田中 希和[1] 吉野 孝[1] 横山 剛志[2] 永坂 和子[3]

概要：近年，日本の要介護認定者数が増加傾向にある．日常生活に介護を必要とする要介護度の高い患者，自力では起立困難な患者は寝たきりの状態が続くと，様々な身体機能が低下する．これらの患者の栄養状態を評価する上で，体重は非常に重要な指標となるが，起立困難者の体重計測には困難が伴う．現在，車椅子式体重計やベッド式体重計を用いて，患者の体重推定を行う手法があるが，これは，循環機能が低下した患者には体位変換時の身体的負担が大きい．そこで我々は，自力では起立困難な患者を対象とする，画像を用いた体重推定システムを開発する．本システムでは，指定の条件のもと撮影を行った画像より，体重推定式を利用し，体重の推定を行う．本稿では，体重推定式に必要となる身体部位長を，1 枚の画像より自動計測を行うシステムの概要と本システムの測定精度について述べる．

Development of Automatic Measurement Function of Body Part Length for Image Based Weight Estimation System

KIWA TANAKA[1] TAKASHI YOSHINO[1] TSUYOSHI YOKOYAMA[2] KAZUKO NAGASAKA[3]

1. はじめに

2019 年度版高齢社会白書 [1] によると，日本の高齢化率は 28.1 %となった．また，介護保険制度における要介護又は要支援の認定を受けた人の数は，2000 年から 2017 年の間に 2 倍以上に増加している [2]．患者の栄養評価を行う際に体重測定は必須であるが，要介護度の高い患者など，自力では起立困難な患者の体重計測には困難が伴う．起立困難な患者の体重を把握するため，ベッド式体重計や車椅子用体重計を用いる方法があるが，患者と測定を行う医療従事者の負担が大きい．これは，寝たきり状態が長期間続いた患者の筋骨格系・循環器系等の身体機能が低下し，体重計へと移乗する際の身体的負担から，意識障害を引き起こすなどのリスクがあるためである．患者をベッド式体重計や車椅子用体重計へ移乗する際，臥位から座位へと体位変換を行うと，起座時に脳への血液循環が減少することによって立ちくらみや失神，さらには全身痙攣を起こす症状であり，起立性低血圧と呼ばれる．このように，起立困難な患者に対する体重計測時の負担は大きい．また，医療従事者の観点からも，体重計へ患者を移乗するために複数の人手を要するだけでなく，ベッド式体重計は非常に高価であるため導入コストがかかる．起立困難者の体重計測は患者・医療従事者にとって負担が大きい．

そこで我々は，体重計測の際，患者の体位変換，移乗時に生じる患者の負担，特に循環器系に及ぼす負担を軽減するため，画像による体重推定を行うシステムを開発した [3]．本システムでは，患者衣を着用した仰臥位の被験者を撮影し，1 枚の画像から体重推定式に必要となる部位を自動計測する．本稿では，本システムの身体部位長の自動計測機能の計測精度について述べる．

[1] 和歌山大学 システム工学部
Faculty of Systems Engineering, Wakayama University, Wakayama, Wakayama 640–8510, Japan
[2] 国立長寿医療研究センター 看護部
Department of Nursing, National Center for Geriatrics and Gerontology, Obu, Aichi 474–8511, Japan
[3] 岐阜保健大学 看護学部 看護学科
Department of Nursing, Faculty of Nursing, Gifu University of Health Science, Gifu, Gifu 500–8281, Japan

2. 関連研究

2.1 体重推定式に関する研究

起立困難な患者の身体計測時の負担を軽減する研究とし

© 2020 Information Processing Society of Japan

て，木村らの体重推定式がある [4]．この研究では，起立困難な患者の体重を計測する際に生じる，患者の転倒リスクや介助者の身体的負担軽減を目的として，既存研究で挙げられた体重推定式の妥当性を検証し，新たな体重推定式を提案した．また，我々は，システム対象者の年齢や性別に応じた体重推定式を適用する必要があると考え，河内らの人体寸法データベース [5] より，青年群データ (18 歳以上 30 歳未満) の，男性 216 名，女性 200 名のデータを使用して体重推定式を作成した [3]．本システムでは，木村らの式 [4] と我々が作成した式 [3] に使用される，身体部位長の計測を行うものとする．

2.2 3D 画像を用いて体重推定を行う研究

効率的に乳牛を管理し，1 頭当たりの乳量の生産量向上のため，コンピュータビジョンの技術を利用して，乳牛の体重管理を行う研究がある．酪農家は、高品質で動物に優しい乳生産を維持するために、家畜の健康管理を行う．このため，家畜の体重を自動計測する体重計が開発されているが，これらは非常に高価であり，損傷しやすい問題がある．このことから，Song[6] らは，三次元視覚システムを用いて，自動測定された形態特性から体重を推定する低コストで堅牢なシステムを開発した．

3. 画像を用いた体重推定システム

3.1 概要

我々は，起立困難な患者の体重を計測する際，患者の体位変換，移乗時に生じる負担を軽減することを目的として，画像を用いた簡便な体重推定システムを開発してきた．本稿では，撮影した 1 枚の画像に対して自動でベッド枠の検出と射影変換を行い，身体部位長を自動計測を行う機能について述べる．本システムでは，撮影方法には以下の 4 つの条件を設けた．

(1) 測定者が撮影した画像は，ベッドの四隅が画像内に収まるように撮影する．
(2) 患者をできるだけ真上から撮影する．
(3) 使用するベッドシーツの色が白色である．
(4) 測定部位の衣服をめくる，あるいは，衣服による測定誤差をなくすように整える．

本稿では，これらの条件のもと撮影した画像に対して，画像処理を行い，自動で身体部位長の計測を行う方法について述べる．

3.2 システム構成図

図 1 にシステムの構成図を示す．図 1 より，本システム使用時の流れについて説明する．まず，患者が使用しているベッドの寸法を入力する．この時入力されたベッドの寸法と画像上のピクセル数との比率より，画像上の身体部位長が求められる．次に，3.1 節で述べた条件のもと撮影を行い，撮影した画像をサーバに送信する．この画像に対して画像処理を行い，射影変換機能や自動計測機能を用いて身体部位長を取得する．取得した身体部位長から該当部位の周囲長を推定し，患者の年齢や性別に応じた体重推定式を適用後，推定体重値を出力する．

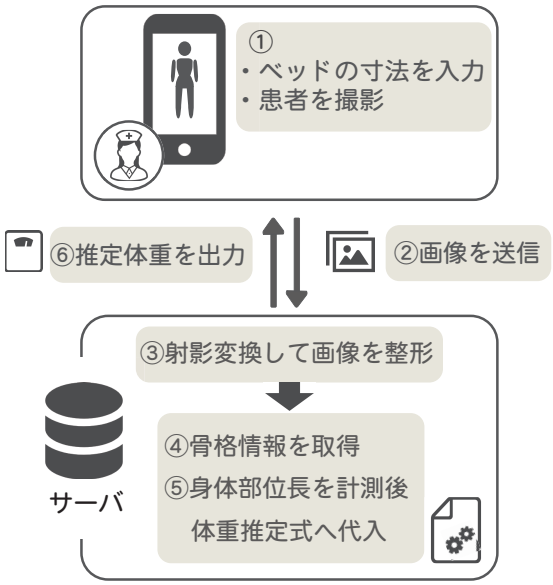

図 1 システムの構成図

表 1 男性：腸骨稜幅から腹囲を求める式

体型	回帰直線式
痩せ	(1) 臍位腹囲 (mm) = 1.34 ×腸骨稜幅 (mm)+333.73
やや痩せ	(2) 臍位腹囲 (mm) = 1.40 ×腸骨稜幅 (mm)+333.73
標準	(3) 臍位腹囲 (mm) = 1.52 ×腸骨稜幅 (mm)+333.73
やや肥満	(4) 臍位腹囲 (mm) = 1.65 ×腸骨稜幅 (mm)+333.73
肥満	(5) 臍位腹囲 (mm) = 1.95 ×腸骨稜幅 (mm)+333.73

表 2 女性：腸骨稜幅から腹囲を求める式

体型	回帰直線式
痩せ	(1) 臍位腹囲 (mm) = 1.31 ×腸骨稜幅 (mm)+290.56
やや痩せ	(2) 臍位腹囲 (mm) = 1.49 ×腸骨稜幅 (mm)+290.56
標準	(3) 臍位腹囲 (mm) = 1.50 ×腸骨稜幅 (mm)+290.56
やや肥満	(4) 臍位腹囲 (mm) = 1.70 ×腸骨稜幅 (mm)+290.56
肥満	(5) 臍位腹囲 (mm) = 2.02 ×腸骨稜幅 (mm)+290.56

表 3 下腿最大幅から下腿最大囲を求める式

性別	回帰直線式
男性	(1) 下腿最大囲 (mm) = 2.83 ×下腿最大幅 (mm)+42.76
女性	(2) 下腿最大囲 (mm) = 2.53 ×下腿最大幅 (mm)+73.733

3.3 周囲長推定式・体重推定式

我々は，画像から取得可能な値を用いて体重を推定するため，河内らの人体寸法データベース [5] を用い，身体部位の幅径から周囲長を推定する式を作成した [3]．表 1 と表 2 に腹囲の幅径から周囲長を求める式を示す．また，表 3 に

© 2020 Information Processing Society of Japan

表 4　適用する体重推定式

	体重推定式
男性式 [3]	体重 (kg) = (1.65 ×下腿周囲長 (cm)) + (0.51 ×腹囲 (cm)) + (0.72 ×上腕囲周囲長 (cm)) -54.54
女性式 [4]	体重 (kg) = (1.06 ×下腿周囲長 (cm)) + (0.60 ×脛骨長 (cm)) + (0.80 ×上腕周囲長 (cm)) -51.7

は，下腿部の最大幅径から周囲長を推定する式を示している．これは，ベッドスケールや車椅子式体重計を用いずに体重推定を行う手法として，従来研究の中で体重推定式を利用する手法が一般的であったが，体重推定式に利用される上腕周囲長や下腿周囲長は画像から求めることができなかったため，これらの式を作成した．腹囲の幅径となる腸骨稜幅から周囲長を推定する式のみ，測定者が判断した患者の体型情報を用い，患者の性別や年齢に応じて適用する式を変更する．また，本システムで適用する体重推定式を表 4 に示す．本システムでは，表 4 にある体重推定式で使用する身体部位，上腕周囲長・腹囲・下腿周囲長・脛骨長の計測を行う．

3.4　自動計測機能

本節では，測定者が撮影した 1 枚の画像からベッドの枠を検出し，画像の整形を行う射影変換機能と，ベッドの背景色から人体部分のみを抽出し，抽出した人体部分の身体部位長を自動計測する機能について述べる．本システムは，コンピュータビジョンのライブラリ OpenCV を用いて開発した．

3.4.1　射影変換機能

本システムでは，ベッドシーツの色が白であるという条件のもと撮影を行った画像に対して，射影変換を行う．図 2 に処理手順を示す．画像に対して二値化を行い，ベッドの領域外にある細かなノイズを除去する．次に，ノイズ除去した二値画像から，輪郭抽出を行う．抽出した輪郭のうち，最も面積の大きい輪郭をベッドの枠とする．凹凸のある複雑な形状をしたベッド枠の輪郭を，より少ない数の点で表現できるポリゴンへと近似する．近似したポリゴンの座標より，ベッド四隅の座標を選択するため，ポリゴンの頂点座標と，画像端四点との距離を計算し，それぞれの四点座標と最も距離の小さいポリゴン頂点を，ベッドの座標とする．そして，ベッドの座標四点を，事前に入力しておいたベッドの縦横比となる長方形の形へと射影変換した画像を取得する．

3.4.2　身体部位長自動計測機能

3.4.1 項で述べた手順より，取得した画像を用いて身体部位長の計測を行う．以下に処理手順を示す．本機能では，計測を行う身体部位ごとに切り取った画像に対して画像処理を行い，身体部位長の計測を行った．以下に，上腕周囲長・下腿周囲長・腹囲の幅径を計測する際の手順を示す．

(1) **骨格座標の取得**
ブラウザを用いて，人や体の部位が映っている領域をセグメンテーションできるオープンソース機械学習モデル BodyPix[*1] を利用して，3.4.1 項で取得した画像における患者の骨格座標を取得する．本稿では，BodyPix より取得した 17 点の骨格情報のみを使用した．図 3 に BodyPix より取得可能な 17 点の骨格座標を示す．

(2) **画像のトリミング**
(1) より取得した骨格座標より，上腕・下腿・腹部の部位ごとに画像をトリミングする．本システムでは，トリミングした画像に対して画像処理を行う．図 4 に，部位ごとにトリミングした例を示す．本システムでは，撮影時の負担を減らすため，腹囲の幅径を計測する場合には，図 4 にあるように，腹囲の幅径を二分割して計測を行った．BodyPix から取得可能である，図 3 中の肩・腰の左右の座標の中点を参考にトリミングを行った．

(3) **RGB 色空間から HSL 色空間へ変換**
本システムでは，色の表現方法としてよく用いられる RGB 色空間ではなく，色相 (Hue)・彩度 (Saturation)・輝度 (Lightness) の 3 要素で表現する HSL 色空間を使用した．今回，画素値から，背景色となるベッドの白とそれ以外の色とを分けて抽出する必要があった．RGB 色空間において，白を表現する際，R(赤)・G(緑)・B(青) の 3 要素が 255 に近い値となる．一方で，HSL 色空間は輝度という一つの指標の値が高い場合に，注目画素が白であると判定できるため，本システムでは，HSL 色空間を利用することとした．よって，本システムでは HSL 色空間を利用することにより，色相・輝度を指標とした視覚的にわかりやすい条件分岐が可能となった．

(4) **処理の分岐**
測定を行う座標における画素値が，輝度が高くかつ彩度が低い場合と，そうでない場合とで処理を分ける．輝度が高くかつ彩度が高い場合には，着用している衣服と背景色であるベッドシーツの色が近いものと考え，人体部分と背景とのコントラストを調整するため，画素値のヒストグラムの平坦化を行い，人体部分と背景との境界を強調する．

[*1] BodyPix:https://medium.com/tensorflow/introducing-bodypix-real-time-person-segmentation-in-the-browser-with-tensorflow-js-f1948126c2a0 より利用可能

© 2020 Information Processing Society of Japan

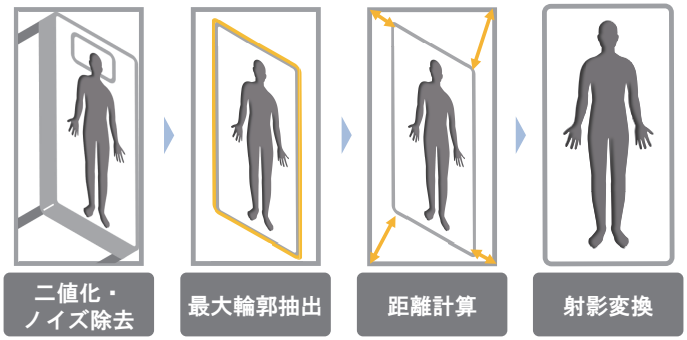

図 2　射影変換の処理手順

人体部分と背景色が異なっている，つまり，輝度や彩度の値が先ほどの条件に当てはまらない場合，K-Means クラスタリングを用いて色の量子化を行う．その後，測定を行う座標での色相の値が OpenCV において 0 から 255 の値で表現される色相を 5 分割[*2]したもののいずれに該当するかを求める．5 分割された色相領域のうち，属する領域の色のみを抽出する．

(5) **二値化**

(4) の手順で得られた画像データを二値化することで，背景と人体部分に分けられた二値化画像を取得する．

(6) **直交する直線を求める**

(1) で取得した骨格情報より，骨格の線分に直交する直線を求める．例えば，上腕の場合，左肩と左肘を結ぶ線分に対して直交する直線の方程式を求める．

(7) **幅径・身体部位長を求める**

(6) の手順で得られた骨格線分に直交する直線と，(5) の手順で得られた二値化画像より，人体部分と直線が重なる線分の長さを身体部位の幅径とした．例として，図 5 に，上腕における幅径を求める手順を示す．本システムでは，BodyPix を用いて取得した左肩と左肘座標を結ぶ，黄色の直線に直交する直線，図 5 における水色の直線と，(5) の手順より得られた二値化画像とで重複した線分の長さを上腕部における幅径とする．脛骨長については，BodyPix より推定された骨格座標である，左膝と左足首を結ぶ線分の長さを脛骨長として計算した．

4. 実験

4.1 実験概要

本章では，和歌山大学に在学している同意を得られた起立可能な学生 20 名 (男性 10 名，女性 10 名) に対して，表 4 中の体重推定式で利用する身体部位長の計測精度を図る実験を行った．計測を行った部位は，上腕周囲長における幅径，下腿最大幅，腸骨稜幅，脛骨長である．本稿では，患者衣を着用した被験者の画像を用いて体重推定を行った．この時，推定式に利用する身体部位の幅径がわかりやすいように，上腕，下腿の患者衣の裾をめくった状態か，あるいは，身体に衣服が添うように衣服を整えた状態で撮影を行った．腹囲に関しては，画像からの推定が行いやすいように，衣服をめくらずに，被験者の腹囲に沿うように衣服

[*2] 色相の分割数は，複数例試行した結果，本稿では暫定的に 5 分割で行った．今後，最適な分割数について検討する．

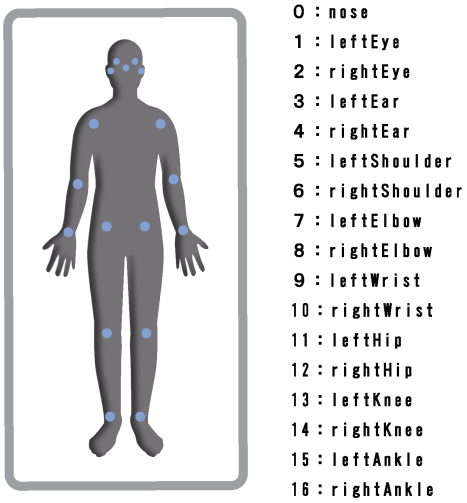

図 3　BodyPix より得られる 17 点の部位座標

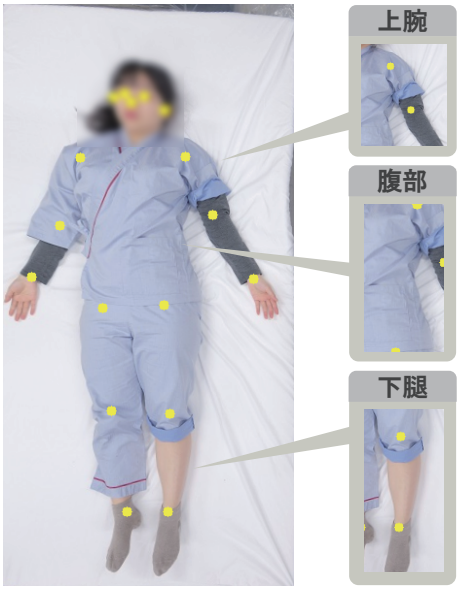

図 4　部位ごとにトリミングした例

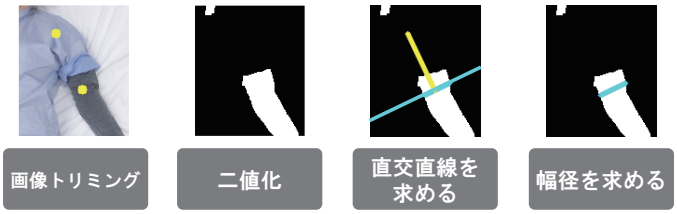

図 5　上腕における幅径を求める手順

© 2020 Information Processing Society of Japan

を整えて撮影を行うこととした．本実験の目的は，身体部位長の計測をより容易に行うため開発された，身体部位長の自動計測機能の推定精度を検証することである．今回の実験では，測定者が手動で任意の 2 点を選択することで幅径や身体部位長を取得するシステムの精度と，本システムの自動計測機能の測定精度を比較することとした．

4.2 実験手順

本実験の手順として，3.1 節で述べた条件のもと，撮影を行う．前回我々が開発した，測定者が任意の点を選択することで，射影変換や身体部位長の計測を行うシステム [3] を利用し，画像を用いて上腕周囲長の幅径，下腿最大幅，腸骨稜幅，脛骨長の計測を行う．次に，本システムの自動計測機能を利用し，同じ画像における同様の部位に対して計測を行った．2 つのシステムを利用した結果，本システムが手動で測定を行った結果にどれだけ近づけたかの評価を行う．

5. 実験結果と考察

本章では，本システムを用いて，学生 20 名の身体部位長の測定を行った実験結果について述べる[*3]．本稿では，測定者が任意の点を選択することで射影変換や身体部位長計測を行うシステムを，手動システムと呼ぶことにする．手動システムを用いて身体部位長を計測後，幅径から周囲長を推定し，得られた値を体重推定式に代入した結果を表 5 に示す．表 5 では，手動システムを用いて推定した体重値から，実測体重を引いた値の平均・標準偏差・最小値・最大値を男女別に示している．手動システムを用いて体重推定を行った場合でも，-4kg から+8kg の実測体重との誤差が生じているため，本システムにおける自動計測機能の評価は，手動システムの幅径の計測結果に近い値を取得することができたかで評価を行う．本システムによる測定結果から手動システムの測定結果を差し引いたものを誤差と呼び，表 6 に誤差の結果を示す．表 6 における，上腕および下腿とは，上腕部および下腿部の幅径である．誤差の値が正の値であれば，本システムは，画像から取得可能な身体部位長よりも大きく推定したことになる．

図 6 に，学生 20 名の上腕，下腿，脛骨長，腸骨稜福の誤差結果を示す．図 6 における横軸は，被験者 20 名の個人番号であり，縦軸は誤差の値を示している．図 6 より，腸骨稜幅，脛骨長において誤差が大きく生じており，手動システムよりも大きく推定したことがわかる．表 6 と図 6 より，上腕と下腿は腸骨稜幅や脛骨長に比べて，平均・標準偏差ともに値が小さく，手動システムに近い値を計測できている．しかし，ほとんどの身体部位で平均値が正の値，つまり本システムが手動システムよりも大きく計測してしまっているにもかかわらず，下腿のみ負の値になっており，本システムが手動システムよりも身体部位長を短く計測したことになる．これは，手動システムでは，下腿部の最大幅径を取得することが実現できているが，本システムでは，BodyPix より取得した左膝と左足首との中点座標における幅径を取得しているため，最大幅径を取得できていないことが原因であると考えられる．よって，下腿の部位の幅径を取得する座標についても改善の必要がある．また，腸骨稜幅や脛骨長については，ほとんどの被験者に対して手動システムよりも誤差が大きい傾向があり，特に脛骨長に関しては，BodyPix の骨格推定の誤差が大きい可能性がある．このため，学習済みモデルの推定誤差が大きい脛骨長のみ，測定者が任意の二点を選択するなどといった，身体部位に応じて処理を調整する必要があると考える．

表 5 手動システムによる体重推定の誤差結果

	平均 (kg)	標準偏差 (kg)	最小値 (kg)	最大値 (kg)
男性式	2.3	3.1	-2.6	8.0
女性式	1.3	3.3	-4.7	6.0

表 6 測定誤差結果

計測部位	平均 (cm)	標準偏差 (cm)	最小値 (cm)	最大値 (cm)
上腕	0.48	1.06	-1.31	3.01
下腿	-0.12	1.34	-2.92	2.35
脛骨長	4.83	3.01	-0.85	10.77
腸骨稜幅	3.36	2.12	-1.0	7.21

6. おわりに

本研究では，起立困難な患者の体重計測時の負担軽減を目的とした，画像による体重推定システムの精度向上を目指す．本稿では，体重推定式に必要となる身体部位長を，1 枚の画像から自動計測を行うシステムを開発した．本稿ではシステムの概要と機能について述べ，学生 20 名 (男性 10 名，女性 10 名) に対して，本システムを用いて身体部位長を取得した結果を示した．本実験より，本システムの測定精度は，上腕周囲長における幅径と下腿最大幅に関してのみ，手動で画像上の任意の二点を選択するシステムを利用した結果に近い値が得られたが，脛骨長や腸骨稜幅に関しては，本システムは，手動システムよりも誤差が大きい結果となった．今後は，身体部位に応じて，手動で計測を行うか自動計測を行うかの処理を分けることや，異なる角度から撮影した画像を用いるなどして測定精度の向上を目指す．また，現在設けている撮影条件を緩和し，実際の利用状況に伴ったシステムの構築を行う．

[*3] 本実験では，BodyPix の推定骨格座標が，測定したい部位の人体部分上に存在していない，つまり推定誤差が生じている画像が 2 件あった．この場合，本システムを用いて測定したい身体部位の抽出を行うことができないため，BodyPix から取得した座標の位置を手動で修正した．

参考文献

[1] 内閣府：令和元年版高齢社会白書 (全体版)，入手先 ⟨https://www5.cao.go.jp/keizai-

© 2020 Information Processing Society of Japan

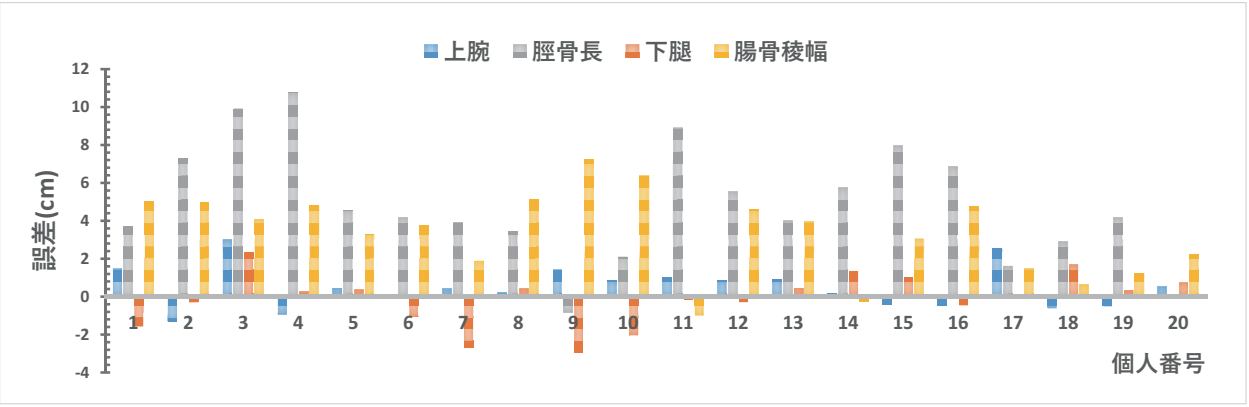

図 6 身体部位ごとの誤差

shimon/kaigi/special/reform/wg1/301030/shiryou3-2-2.pdf⟩.

[2] 厚生労働省：要介護度別認定者数の推移，入手先 ⟨https://www5.cao.go.jp/keizai-shimon/kaigi/special/reform/wg1/301030/shiryou3-2-2.pdf⟩.

[3] 田中希和，吉野孝，横山剛志，永坂和子：起立困難な患者を対象とする画像を用いた体重推定手法の改善，情報処理学会，研究報告アクセシビリティ，Vol. 2020-AAC-12，pp. 1–6 (2020)．

[4] 木村優里，正木恭介，鎌田由香：起立困難者に用いられる体重推定式の妥当性の検証と新たな体重推定式の開発の試み，生活環境科学研究所研究報告，Vol. 50，pp. 31–40 (2018)．

[5] 河内まき子，持丸正明：2005 AIST 人体寸法データベース，産業技術総合研究所 H16PRO 287.

[6] Song X, Bokkers EAM, van der Tol P. P. J, et al.: Automated body weight prediction of dairy cows using 3-dimensional vision，Journal of Dairy Science Vol. 101，pp. 4448–4459 (2018)．

© 2020 Information Processing Society of Japan