

令和 元年 6 月 12 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K06142

研究課題名(和文) ビジョンセンサを用いた非接触・非拘束なロコモ診断システムの構築

研究課題名(英文) Construction of loco diagnostic system using a vision sensor

研究代表者

榎田 大輔 (KUSHIDA, Daisuke)

鳥取大学・工学研究科・准教授

研究者番号：30372676

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：運動器の障害により将来的に要介護になる可能性の高い状態をロコモティブシンドローム(以下、ロコモ)と呼び、本研究課題では、このロコモを診断するにあたって診断要因を明確にすること、定量的に診断すること、非接触・非拘束であること、等を目指したものである。鳥取大学医学部附属病院と共同で、鳥取県日野郡日野町の住民約250名を対象に、ロコモに関わるとされる疫学データ105項目を5年間にわたって取得した。主成分分析によって診断に最小限必要、かつ、ビジョンセンサKinectによって推定可能な8項目まで疫学データを絞り込み、それらを入力とする3層ニューラルネットワークによってロコモ診断を可能とした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題によって実施したロコモ診断システムは、これまで医師や理学療法士といった医療従事者が目視と経験則によって行ってきた診断を、ビジョンセンサにて定量的に実現可能にするものである。学術的意義としては、潜在的な知識と経験の抽出方法の新たな提案であり、人間が無気なく判断していることを自動化する技術に繋がるものである。社会的意義としては、ビジョンセンサの設置場所さえあれば、簡易診断が可能であるため、ショッピングセンターといった日常行動として立ち寄る場所に設置することで健診に出掛けずとも健診可能であり、医療従事者不足の解決、社会保険料の削減、および、健康寿命の延長に繋がる。

研究成果の概要(英文)：Locomotive Syndrome refers to a condition in which there is a risk of needing nursing care in the future due to motor dysfunction. In this research project, we aimed to clarify indicators related to Locomotive Syndrome and to realize non-contact and unconstrained quantitative diagnosis based on the indicators. In cooperation with Tottori University Hospital, we collected 105 items of epidemiological data that are considered to be related to Locomotive Syndrome for 4 years, targeting approximately 250 residents in Hino-cho, Hino-gun, Tottori Prefecture. Epidemiological data were extracted into eight items that are minimally necessary for diagnosis by principal component analysis and can be estimated by the vision sensor Kinect. Locomotive Syndrome diagnosis was made possible by a three-layer neural network that uses the extracted eight items as input.

研究分野：制御・システム工学

キーワード：ロコモティブシンドローム 主成分分析 ニューラルネットワーク 疫学データ 定量的診断 Kinect

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、高齢者の QOL 低下の予防施策の 1 つとしてロコモティブシンドローム（以下、ロコモ）の早期発見が重要な課題とされている。ロコモとは、運動器障害によって日常生活に何らかの支障がある状態をいうものであり、2014 年に行われた調査によると、予備群も含めた潜在的なロコモ患者は 650 万人と言われている。現在のロコモ診断は、ロコモチェックと呼ばれる自己申告に基づくポイント制の診断、対象者に対して立ち上がり運動を反復させる診断、および、理学療法士の目視によって対象者の歩行から診断、といったことが行われている。しかし、自己申告の正しさ、運動器障害の可能性のある対象者への運動指示、主観的な目視による診断のばらつきが問題として指摘されている。

一方、過去に転倒経験のある高齢者は再度転倒する可能性が高いという臨床経験に基づき、転倒経験群と非経験群のグループに分けて、その特徴を客観的に調査する取り組みがなされている。その際、高齢者の腰部に取り付けた加速度センサによって歩行中の揺動性や周期性、歩行速度などを定量化して分析が行われているが、物理的に接触するセンサを用いていることから歩行そのものに影響があること、腰部の一点のみで歩行全体を評価することの限界という問題が存在する。

(2) 研究代表者はこれらの問題点を踏まえ、Kinect (Microsoft 社製) による非接触・非拘束、かつ、定量的なロコモ診断を目指し、ゲート式歩行計測装置を製作して約 250 名の高齢者に対して歩行の測定を実施してきた。Kinect が持つ機能の 1 つであるスケルトン（骨関節）検出によって歩行中の頭部、腰部、両肩といった上肢の主要な関節位置を検出し、その揺動性や周期性を統計解析することでロコモ診断を実現していた。しかしながら、本システムは上肢の 4 箇所の関節位置情報に基づいているため、各々の部位に対して揺動性や周期性を確認しているものの、目的変数である診断に対して説明変数の正当性が不確かであること、身体への干渉を考慮していないこと、理学療法士のもつ知識を考慮していないことなど、(1) に示した問題をクリアするには至っていない。また、理学療法士の判断を自動化するという立ち位置であるにも関わらず、上記のような理学療法士と異なる判断基準を持つシステムは信頼性を担保することができないため、診断システムとして致命的な欠陥になりかねない。また、理学療法士が歩行を確認する際の歩行路は 10~20m であるにも関わらず、現在は 2.5~3m 程度であるため、その正当性にも疑問が生じている。

2. 研究の目的

研究背景に鑑み、本研究では以下の(ア)~(カ)を満たしたロコモ健診の実現を目的とする。

- (ア) ロコモ診断を行うにあたり健診対象者に身体的な負担がないこと
- (イ) 歩行の解析を行う必要があることから全身の歩行状況を解析対象とすること
- (ウ) 非接触・非拘束なロコモ健診であること
- (エ) 医療施設で使用されている歩行解析と比較して精度が担保されていること
- (オ) 医療従事者（理学療法士）の診断結果と同等精度であること
- (カ) 健診に多大なスペースを必要としないこと

3. 研究の方法

- (1) 鳥取県日野郡日野町の住民を対象として取得したロコモに関わる 105 項目の疫学データについて、主成分分析によって主要因を抽出する。このとき、ロコモの真値は理学療法士による主観的な診断を真値として用いる(目的(オ))。
- (2) (1)で抽出したロコモに関わる主要因について、4m 歩行路における Kinect を用いた要因の取得（推定）可否を検証する(目的(ア)(イ)(ウ)(カ))。
- (3) 抽出した主要因を説明変数とした非線形分類を行い、目的変数であるロコモか否かの判断を行うロコモ診断システムを構築し、K 分割交差検証によってロコモ診断システムの精度を検証する(目的(オ))。
- (4) 医療施設等で使用されている歩行解析システムと Kinect を併用することで、(2)で実施する Kinect による主要因の推定について、精度の検証を行う(目的(エ))。
- (5) 医療施設や運動科学分野等で使用されているモーションキャプチャシステムと Kinect を併用することで、(2)の前提となっている Kinect による骨格座標推定の精度を検証する(目的(エ))。

4. 研究成果

- (1) 主成分分析によるロコモ診断に関わる主要因の抽出
鳥取大学医学部附属病院では、鳥取県日野郡日野町における健診事業を活用して、ロコモに関わる 105 項目の主要因候補を健診対象者約 250 名から過去 5 年に渡って取得している（研究代表者も本健診事業に当初から参加している）。これらデータを対象として、ロコモ診断に関わる

主要因を主成分分析と主成分分析によって得られる主成分負荷量に基づいて抽出した（図1に主成分分析における第1主成分得点と第2主成分得点の関係を示す）。結果として第2主成分によって分類可能であることが見出され、主成分負荷量が絶対値0.7以上となるものを選択したところ、8つの要因（立脚期時間、前遊脚期時間、荷重応答期時間、1歩行周期時間、両下肢支持期時間、1歩にかかる時間、1歩の速さ、歩行加速度の自己相関係数（垂直方向））が抽出された。これによりロコモ診断を行うために必要な主要因が明らかとなった。また、臨床経験10年以上の理学療法士に対して、歩行解析で重要視している指標についてブラインドテスト（抽出した8つの要因を隠した状態でのアンケート）を行った。得られた要因は5つであり、いずれも8つの要因に含まれていた。つまり、理学療法士の診断結果（目的変数）から理学療法士が診断の際に考慮している要因（説明変数）を導き出したことになる。

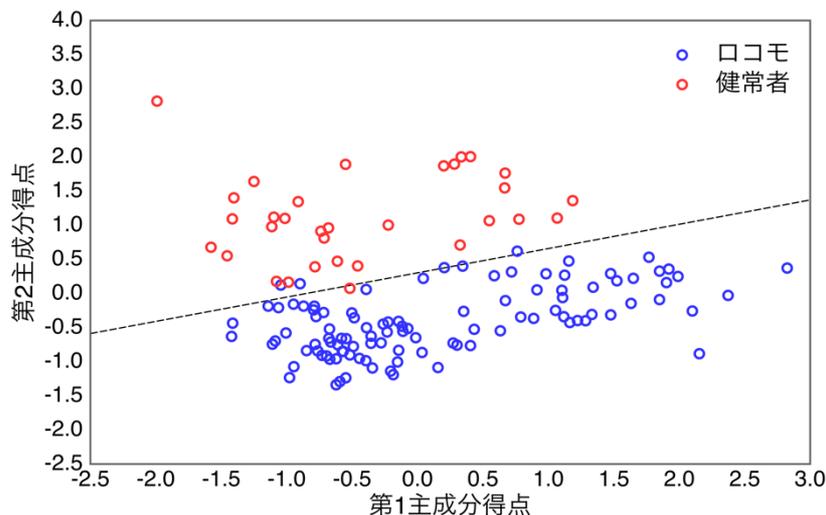


図1：主成分分析による第1主成分と第2主成分の関係

(2) Kinectを用いた骨格座標取得と主要因の推定

(1)で抽出された8つの要因はいずれも歩行時の動作に関わるものであり、Kinectから得られる骨格座標から取得（推定）可能である。Kinectから得られたデータから各要因を抽出できることを図2に示す。これにより、ロコモ診断に深く関わる8つの要因は全て非接触・非拘束にKinectによって取得（推定）できることとなる。

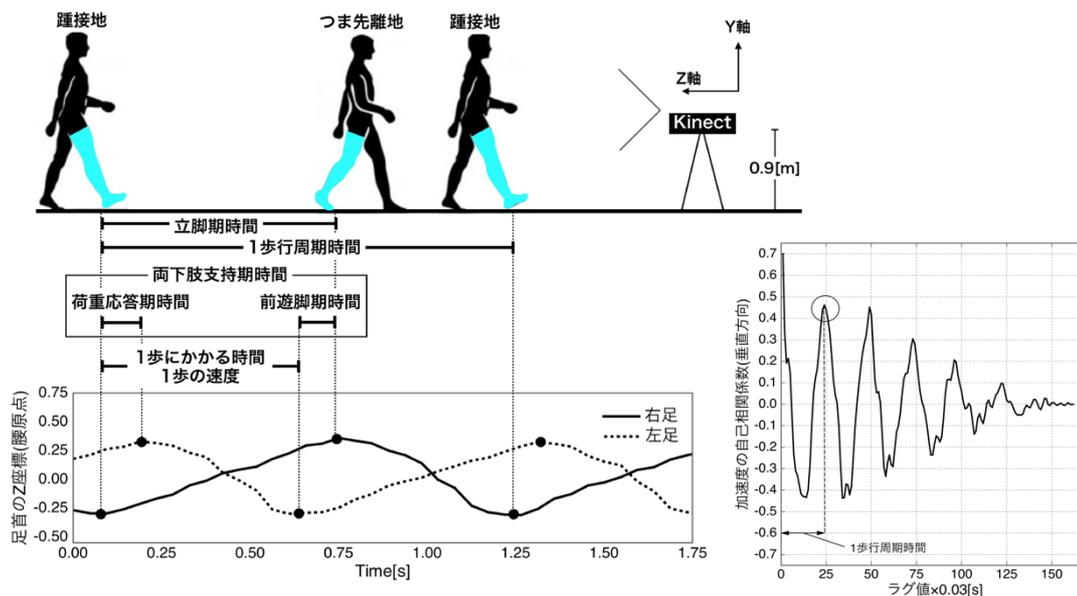


図2：Kinectによるロコモ診断要因の抽出

(3) 抽出した8つの要因を入力とした3層ニューラルネットワークを構築した。入力層では説明変数である各要因を正規化し（平均値を差し引いて標準偏差で除する）、出力層においては目的変数であるロコモ診断について、ロコモを1、健康を0として設計した。学習回数は30000回、中間層数は8、学習率は0.3、活性化関数はシグモイド関数、シグモイド関数の係数は1.0とした。中間層数、学習率、シグモイド関数の係数は各々K分割交差検証を行って最適化したものである。結果として、ロコモ診断に関して平均感度75.0%、平均特異度88.1%、平均正答

率 95.7%の精度で真値（理学療法士の診断）と一致することが分かった。

(4) 歩行解析装置 OptoGait との比較による歩行特徴の推定精度検証

医療施設等で使用されている歩行解析装置の 1 つに OptoGait (Microgate 社製) がある。OptoGait とは、患者の運動分析、機能評価のためのシステムであり、送信バーと受信バーで構成された光学式の足接地検出システムである。両バーの間を歩行することで、送信バーより発光される赤外線が足に当たり、つま先や踵などの接地や離地の位置や時間を検出することで歩行時の足元動作が分かる仕組みである (図 3 参照)。(1)で抽出した 8 つの要因は OptoGait と加速度センサ (歩行加速度の自己相関係数 (垂直方向) を測定) を用いて測定されたものであることから、OptoGait で直接取得した 8 つの要因を用いた場合と、Kinect によって推定した 8 つの要因を用いた場合の各々において、ロコモ診断の精度比較を行った。その結果、OptoGait を用いた場合、平均感度 50.0%、平均特異度 96.0%、平均正答率 97.7%であった。OptoGait によるこれらの値を真値とした際、(3)の結果を用いて Kinect の再現率を求めると、平均 85.5%の精度で OptoGait を再現可能であることが分かった。

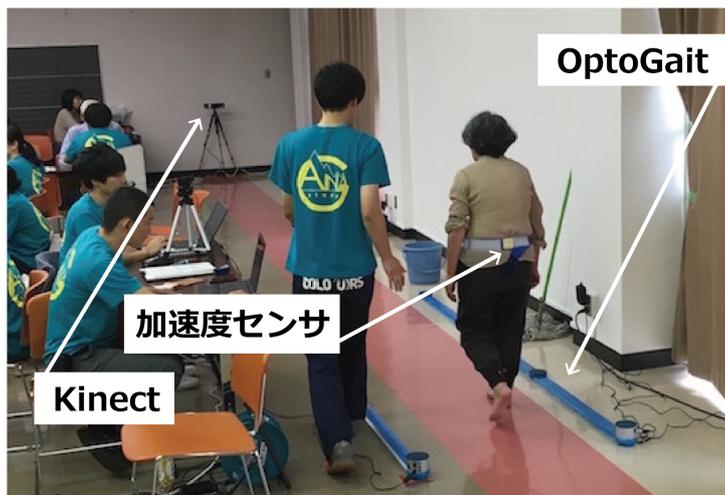


図 3 : Kinect と OptoGaito を用いた歩行動作データの取得

(5) Kinect による骨格座標推定の精度検証

Kinect を用いてロコモ診断を実施するにあたり、OptoGait と Kinect 間の再現率は 85.5%であることが(4)によって明らかとなっている。(1)で抽出した 8 つの要因を Kinect で推定する際は、Kinect 独自の機能である骨格座標推定を用いていることから、併せて骨格座標の推定精度についても検証を行った。Kinect による骨格座標の推定と同時に、モーションキャプチャシステムとして信頼性の高い VICON NEXUS (VICON Motion Systems 社製)、および、床反力計 (AMTI 社製) 6 枚を用いてモーションデータと床反力を計測する (これを真値とする)。なお、以後、VICON NEXUS と床反力計を合わせて VICON システムと呼ぶ。計測の様子を図 4 に示す (図 4 は Kinect の RGB センサによって撮影された画像である)。なお、Kinect の計測において、Kinect は被験者の正面に設置し、骨格座標推定のための歩行距離は、3.5m (Kinect より 4.0m 離れた地点から 0.5m 離れた地点まで) とする。

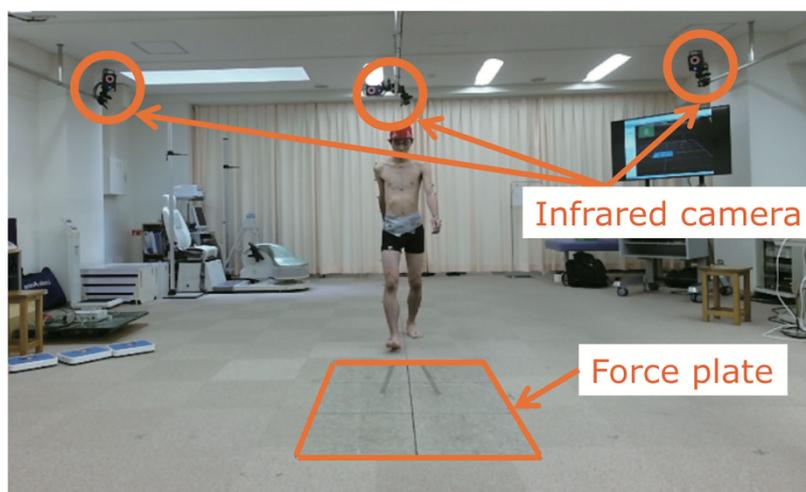


図 4 : Kinect と VICON システムによる同時測定

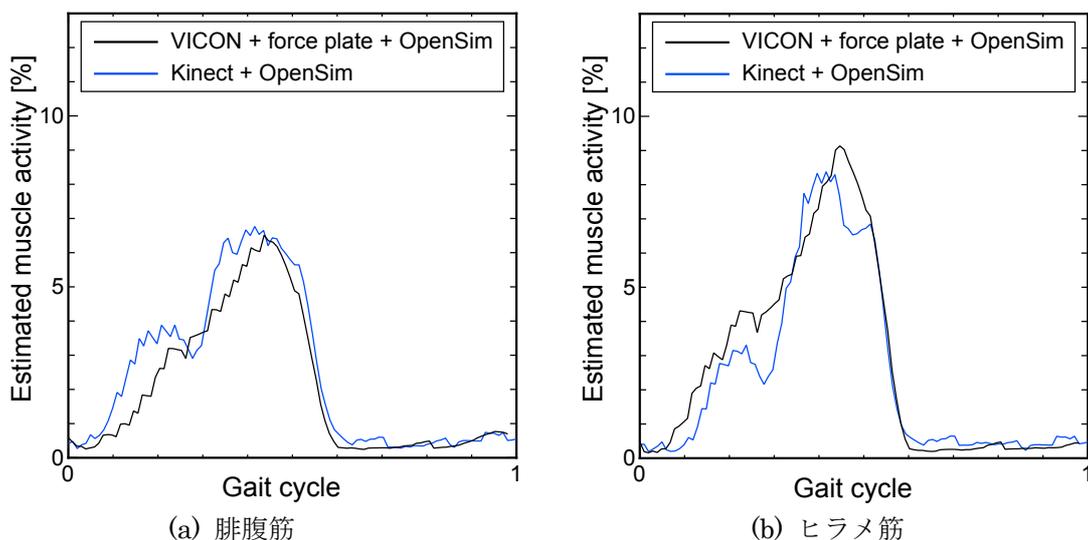


図 5 : OpenSim を用いた Kinect および VICON システムにおける筋活動推定の比較結果

また、VICON システムの計測において、赤外線カメラは計測空間上に 8 台設置し、赤外線マーカーは直径 14mm のものを使用した。赤外線マーカーのマーカセットは歩行解析に一般的に用いられる PluginGait を使用した。Kinect および VICON システムによって取得された各種データは物理量が異なることから直接的に比較することは困難であるため、OpenSim を用いた筋骨格モデルの動作シミュレーションを行うことで筋活動推定を行い、推定された筋活動をもって比較を行う。ここで、OpenSim とは、筋骨格モデルの構築と、構築した筋骨格モデルを用いた動力学解析が可能なフリーソフトウェアである。今回は、筋骨格モデルを被験者の体格に合わせる Scaling Tool と、Kinect で計測した骨格座標から関節角度を算出する Inverse Kinematics Tool、最適化計算により各時間における筋活動を算出する Static Optimization Tool を用いる。最適化計算においては、筋活動の二乗和が最小となるよう計算する。図 5 に Kinect のみを用いた際の筋活動のシミュレーション結果と、VICON システムを用いた際の筋活動のシミュレーション結果を示している。推定した筋活動は歩行時に活動が顕著な腓腹筋とヒラメ筋であり、両筋における Kinect と VICON システムの相関係数は各々 0.969 および 0.962 と高い相関が得られた。これにより、Kinect による骨格座標の推定精度に問題ないことが分かった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

1. Misaki Suyama, Daisuke Kushida : Factor analysis of locomotive syndrome through principal component analysis and construction of diagnostic model, Proceedings of 2018 Joint 10th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 19th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS&ISIS2018), 査読有, pp.366-370, 2018. (DOI 10.1109/SCIS-ISIS.2018.00079)
2. Yuya Hirano, Daisuke Kushida and Hiromi Matsumoto : Contactless Motion Analysis System Using a Kinect and Musculoskeletal Model, Proceedings of the first IEEE Life Sciences Conference (LSC), 査読有, pp. 308-311, 2017. (<https://ieeexplore.ieee.org/document/8268204>)
3. 榎田大輔, 松本浩実, 深田美香 : 鳥取県内の地域コミュニティにおける保健医療福祉システムへの取り組み, 電子情報通信学会, 査読有, Vol. 99, No. 10, pp. 965-969, 2016. (http://www.journal.ieice.org/summary.php?id=k99_10_965&year=2016&lang=J)
4. 山本美輪, 野口佳美, 中条雅美, 酒井知恵子, 谷村千華, 三好陽子, 西尾育子, 吉村純子, 大庭桂子, 太田典子, 榎田大輔, 松井幸子, 村瀬由貴, 櫻井優祐 : 「介護予防」～「健康寿命を伸ばして元気に生きる秘訣!」～, シニア生活応援BOOK 介護ガイド“Ai アイ”[鳥取県版], 査読無, Vol. 11, pp. 92-101, 2016. (<http://www.kaigoai.jp>)

[学会発表] (計 6 件)

1. 陶山美紗稀, 榎田大輔 : 主成分分析に基づくロコモティブシンドロームの要因解析と診断モデルの構築, 第27回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集, pp. 155-156, 2018年.
2. 陶山美紗稀, 榎田大輔, 北村章 : Kinect を用いた非接触・非拘束なロコモ診断～主成分分析に基づく診断モデルの構築～, 第26回計測自動制御学会中国支部講演論文集, pp. 99-100, 2017年.

3. 平野雄也, 榎田大輔, 北村章, 松本浩実: Kinectを用いた筋骨格モデルに基づく筋活動推定, 第26回計測自動制御学会中国支部講演論文集, pp. 93-94, 2017年.
4. 陶山美紗稀, 榎田大輔: ロコモティブシンドロームのための主成分分析による因子抽出と診断モデルの構築, 平成29年電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集, pp. 1555-1556, 2017年.
5. 平野雄也, 榎田大輔, 松本浩実: Kinectを用いた筋骨格モデルに基づく歩行時の下肢筋活動推定, 第43回中四国リハビリテーション医学研究会, pp. 32-33, 2016年.
6. 平野雄也, 榎田大輔, 北村章, 松本浩実: Kinectと筋骨格モデルを用いた歩行時の下肢筋活動の推定, 第25回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集, pp. 132-133, 2016年.

〔産業財産権〕

○取得状況 (計1件)

名称: 運動機能診断装置及び方法、並びにプログラム

発明者: 榎田大輔

権利者: 鳥取大学

種類: 特許

番号: 特許第 6433805 号

取得年: 2018 年

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1)研究協力者

研究協力者氏名: 松本 浩実

ローマ字氏名: (MATSUMOTO hiromi)

研究協力者氏名: 平野 雄也

ローマ字氏名: (HIRANO yuya)

研究協力者氏名: 陶山 美紗稀

ローマ字氏名: (SUYAMA misaki)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。