

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：32641

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23650146

研究課題名(和文) フィールド測定による歩行識別のための統計モデルの構築

研究課題名(英文) Statistical modeling for human gait analysis based on field data

研究代表者

鎌倉 稔成 (Kamakura, Toshinari)

中央大学・理工学部・教授

研究者番号：40150031

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：歩行の速度一定のモデルに基づいて、映像の拡大成分のパラメータを推定する問題をフィールドデータとモーションキャプチャシステムで比較することを行い、速度一定の仮定のもとには、歩行動作の運動パラメータは2つのパラメータで表現できることを示し、このパラメータの効率的推定法について提案を行った。さらに、フィールドデータのレジストレーションパラメータの推定が、研究室レベルの撮影環境下でのモーションキャプチャシステムを活用した推定法と同等の性能を持つことを確認した。

研究成果の概要(英文)：In this study we studied the problem of analyzing and classifying frontal view human gait by registration and modeling on a video data. Firstly we created the statistical walking model with constant speed and succeeded in estimating parameters included in the gait models with the scale changing parameter and the speed parameter that indicates the speed of human walking. We also investigated the model and estimation accuracy with the motion capture system which gave us precise measurements of trajectories of moving objects. Our basic statistical gait model only includes two parameters of registration and speed and we can easily estimate the parameters from frontal view gait video data. Secondly, we extended this simple model to handle the speed changing and other human movement parameters. Collins et al. (2009) has reported that arm swing is an very important role in the gait motion based on the simple gait model. We considered the human gait modeling based Collins et al. (2009).

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・統計科学

キーワード：gait analysis statistical model

### 1. 研究開始当初の背景

本研究の申請者は、医学系の時系列解析、生存時間分析、Web インテリジェンス、Web データマイニング、Web 上のセキュリティのための乱数生成に関して研究を行ってきた。これらの研究を通じて行動分析における計測とその統計モデリングに関する研究を着想するに至った。

脳の fMRI 画像による空間上の賦活部位の統計に焦点を合わせた場合、fMRI 画像の分析は目的がニューロンベースの行動認識である。賦活部位の電位変化をピクセル上の濃度値に変換して、その濃度値の時間的変化の傾向と変化点の分析を効率的に行うための統計モデルの開発が重要なポイントである。行動認識が脳内でのニューロンとの対応をとるということを確認するのが1つの目的となる。したがって、行動を規定して、その行動のもとでのニューロンの発火の程度を調べる。しかしこうした分析の場合、外界に表現されたデータに基づいて類似行動の分類、クラスター化等の逆問題が素直に考えられる。fMRI データをとるためには大規模な設備が必要であり、スポーツのようなフィールドにおける、一連の複雑な行動を認識するには現状では不可能である。本研究では外界に表現されたフィールドデータとしての歩行運動の統計的分類を行う。

### 2. 研究の目的

これまでに、科学研究費・挑戦的萌芽研究における、映像コンテンツの価値評価システムに関する研究の中で、コンテンツを構成する要素としての人間の行動の評価を通じて行ってきた。本研究では、行動の中でも、特に人間を特徴付ける歩行動作についてその様態の研究を行う。歩行の特徴抽出については、民生用のビデオカメラの動画の統計分析に基づいて、個人差のパラメータのモデリングを中心に行う。特に研究代表者が行っている正面映像の分析について、スケール・ファクターの効率的な推定を行うための統計モデルより精緻なものにする。これらの研究を総合して最終的には歩行を分類し、個人を識別するモデルとして歩容認証に役立つ。

### 3. 研究の方法

歩容認証(歩行状態から個人を特定する)のための基礎研究を目的とし、そのために、歩行のビデオ映像から必要情報を取得する。特に、正面映像を中心とした解析を行う。これまでに考案した、スケール・ファクターの推定方法をさらに良いものにするための工夫を行い、潜在構造パラメータを持つベイズモデルを利用して行動の分類についての分析手法を提案する。

さらに、映像データの歩行の揺れを可視化して、その動きをわかりやすくするようにする。その上で、可視化されたデータに基づいて、これらの客観的評価を行う統計モデルを

作成する。図2に示すようなフレーム画像の要約(本研究代表者らが開発したフレア・チャート)により、一連の歩行運動の全体的要約と特徴について分析し、個人差を特徴付けるパラメータの抽出をする。これらのパラメータの集団としての統一性をベイズモデルとして表現し、システム全体の安定を図る。

### 4. 研究成果

研究成果については、年度ごとにまとめた形で記述する。

平成23年度は、歩行の速度一定のモデルに基づいて、映像の拡大成分のパラメータを推定する問題をフィールドデータとモーションキャプチャシステムで比較することを行うと同時に、速度一定の仮定を緩和するためのモデリングに対しての考察を行った。我々の研究では、速度一定の仮定のもとには、歩行動作の運動パラメータは2つのパラメータで表現できることを示し、このパラメータの効率的推定法について論じてきた。本研究課題では、こうしたフィールドデータのレジストレーションパラメータの推定が、研究室レベルの撮影環境下でのモーションキャプチャシステムを活用した推定法と同等の性能を持つことを確認した。速度一定という条件の緩和のためには、フレームごとに速度変動のパラメータを導入し、フレームパラメータの単調制約条件のもとでの最適化問題として定式化を行い、非線形最適化問題を解くことによって、推定問題の解が得られるようになった。ベースとしてのモデルは速度一定の2パラメータのモデルであり、これを拡張してのものである。

拡張されたモデルの検証はモーションキャプチャシステムによる歩行計測のみならず、加速度センサーを利用しても行い、同様な結果が得られた。

平成24年度は、昨年度開発したモデルにおける制約条件である、速度一定のモデルから一歩進んだ、速度可変のモデルを考慮した映像分析の研究を行った。また、そのモデリングを利用して個人差の情報を担っているパラメータを精度高く推定し、歩容解析に適用できることが判明した。歩行時の腕の振りの振幅、振り幅、歩行速度のパラメータを利用することにより、歩行の特徴を分類することができ、歩容認証のパラメータとして使用することができるという結論を得た。

さらに、ドップラーセンサーを用いることにより、室内における歩行状態に対しても同定できるモデルを作成し、映像データとの比較を行っている。映像データの問題点は顔が写ってしまうということである。また、他のセンサーでは装着する必用があり、非接触という意味で被験者に負担度は低い。これについても同様なモデリングが可能であることが我々の研究からわかってきた。

平成25年度は正面から撮影した歩行の動画を扱い、統計的なスケールの変化を伴

う位置合わせを行うと同時に、歩行者の腕の振りやスピードの変化をも考慮した歩行分析の統計的方法を確立した。この方法のパフォーマンスを例証するために、青年と老人のビデオ歩行データにもとづき、前もって判定しておいた異常歩行と正常歩行（正解データ）と提案した統計モデルによって推定した歩行パラメータを K-NN 分類したところ、高いパフォーマンスが得られることが確かめられた。

Collins et al. (2009)は歩行運動の重要なパラメータとして腕の振りを言及している。我々は、このパラメータの他にさらに、脚の振りのパラメータと歩行のスピードの変化も取り入れたモデルとして、これらのパラメータをビデオ映像から得られるフレーム画像の統計処理と非線形最小2乗法によってそのパラメータ推定に成功している。AIC基準によるモデル選択でも、ベースモデルに腕の振りのパラメータと脚の振りのパラメータを導入した方が良いモデルとなっていることが分かった。老人の歩行データでは、個々に推定された歩行のパラメータのうち、腕の振りや脚の振りの大きさに影響を与える横幅、縦幅のパラメータとスピードのパラメータの推定値が、正常歩行と異常歩行を精度高く分類できることがわかった。これらの結果は Okusa and Kamakura (2013)で発表している。

今後の課題として、正面歩行だけでなく、任意の角度から得られた歩行映像データの分析ができるモデリングが必要である。今回の研究で得られた歩行のモデリングにおける推定パラメータを利用した歩行の分類は、歩容認証にも十分役立つものと考えている。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計20件)

Park, H., Sakaori, F. and Konishi, S., Robust sparse regression modeling and tuning parameter selection via the efficient bootstrap information criteria. Journal of Statistical, journal of Statistical Computation and Simulation, 査読あり, 83巻, 2013, pp.1-12. 0.1080/00949655.2012.755532,  
Hirose, K., Tateishi, S. and Konishi, S., Tuning parameter selection in sparse regression modeling, Computational Statistics and Data Analysis, 査読あり, 59巻, 2013, pp.28-40, 10.1016/j.csa.2012.10.00,  
Nagatsuka, H., Kamakura, T., and Balakrishnan, N., A consistent method of estimation for the three-parameter Weibull distribution, Computational Statistics and Data Analysis, 査読あり,

58巻, 2013, pp.210-226, 10.1016/j.csa.2012.09.00,  
Kohei Yamamoto, Kurato Maeno, and Toshinari Kamakura, Dynamic respiratory modeling for non-contact live monitoring by particle filter approach, Computational Intelligence and Informatics (CINTI), 2013 IEEE 14th International Symposium on, 14th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics, 査読あり, 1巻, 2013, pp.25-30,  
Shuhei Inui, Kosuke Okusa, Kurato Maeno and Toshinari Kamakura, Statistical recognition of aspiration presence, Lecture Notes in Electrical Engineering, 査読あり, 247巻, 2013, pp.541-553, 10.1007/978-94-007-6818-5\_38,  
Kosuke Okusa and Toshinari Kamakura, Human gait modeling and statistical registration for the frontal view gait data with application to the normal/abnormal gait analysis, Lecture Notes in Electrical Engineering, 査読あり, 27巻, 2013, pp.525-539, 10.1007/978-94-007-6818-5\_37,  
Kosuke Okusa and Toshinari Kamakura, Fast Frontal View Gait Authentication Based on the Statistical Registration and Human Gait Model, Proceedings of the World Congress on Engineering, 査読あり, 1巻, 2013, pp.1-6,  
Hideki Nagatsuka, Hiroshi Kawakami, Toshinari Kamakura and Hisashi Yamamoto, The exact finite-sample distribution of the median absolute about the median of continuous random variables, Statistics & Probability Letters, 査読あり, 83巻, 2013, pp.991-1005, 10.1016/J.Sp.2012.12.02,  
Tomoo Tsujimura, Kosuke Okusa, Kurato Maeno and Toshinari Kamakura, Statistical Disturbance Rejection of the Background Noise by Microwave Doppler Radar-Modelization of a Electric Fan Noise, World Cong. Eng. Comput. Sci 2012, International Association of Engineers, 査読あり, 1巻, 2012, pp.455-458, ISBN:978-988-19251-6-9,  
Kohei Yamamoto, Kurato Maeno and Toshinari Kamakura, Signal Source Classification Based on Independence Analysis of Doppler Signals, World Cong. Eng. Comput. Sci 2012, International Association of Engineers, 査読あり, 1巻, 2012, pp.428-487,

ISBN:978-988-19251-6-9 ,  
Shuhei Inui, Kosuke Okusa, Kurato  
Maeno and Toshinari Kamakura ,  
Recognizing Aspiration Presence using  
Model Parameter Classification from  
Microwave Doppler , World Cong. Eng.  
Comput. Sci 2012, International  
Association of Engineers , 査読あり , 1  
巻 , 2012 , pp.509-512 ,  
ISBN:978-988-19251-6-9,  
Kosuke Okusa and Toshinari Kamakura ,  
Normal/Abnormal Gait Analysis based on  
the Statistical Registration and  
Modeling of the Frontal View Gait Data ,  
World Cong. Eng. Comput. Sci  
2012, International Association of  
Engineers , 査読あり , 1巻 , 2012 ,  
pp.43-448 , ISBN:978-988-19251-6-9,  
Kosuke Okusa and Toshinari Kamakura ,  
Statistical registration and modeling  
of frontal view gait data with  
application to the human recognition ,  
Proceedings of Compstat 2012, The  
International Statistical Institute /  
International Association for  
Statistical Computing , 査読あり , 1巻 ,  
2012 , pp.677-688 ,  
ISBN:978-988-19251-6-9,  
大草孝介, 鎌倉稔成, 移動体の大きさの  
変動を考慮した歩容解析のための動作パ  
ラメータ・移動速度変動の推定, 計算機  
統計学, 査読あり 24巻 2012 pp.89-105 ,  
SSN:0914-8930,  
Shuei Inui, Kousuke Okusa, Toshinari  
Kamakura , Statistical heartbeat pace  
estimation based on the microwave  
Doppler sensor data , Proceedings of  
Joint Meeting of the Korea-Japan  
Conference of Computational  
Statistics and the 25th Symposium of  
Japanese Society of Computational  
Statistics, 査読なし, 1巻 2011pp.43-48 ,  
Keisuke Fukumoto, Kousuke Okusa, and  
Toshinari Kamakura , Statistical gait  
analysis based on the microwave  
Doppler sensor data , Proceedings of  
Joint Meeting of the Korea-Japan  
Conference of Computational  
Statistics and the 25th Symposium of  
Japanese Society of Computational  
Statistics , 査読なし , 1巻 , 2011 ,  
pp.57-60 ,  
Tomoo Tsujimura, Kosuke Okusa, and  
Toshinari Kamakura , Feature selection  
for conditional random field based on  
the multivariate time series data with  
application to the activity  
recognition , Proceedings of Joint  
Meeting of the Korea-Japan Conference  
of Computational Statistics and the

25th Symposium of Japanese Society of  
Computational Statistics, 査読なし , 1  
巻 , 2011 , pp.107-110 ,  
大草孝介, 鎌倉稔成, 移動体の大きさ  
に関するレジストレーションと動作パラメ  
ータ・移動速度変動の推定 -歩容解析へ  
の応用 , 日本計算機統計学会第 25 回大会  
論文集, 査読なし , 1巻 , 2011 , pp.121-124  
大倉征幸, 鎌倉稔成, 小標本かつ応答変  
数発現確率が高い場合のロジスティック  
回帰モデルにおける回帰パラメータの検  
定法 , 応用統計学 , 査読あり , 40 巻 ,  
2011 , pp.41-51 ,  
大草孝介, 鎌倉稔成, 村上秀俊, 動画像  
に基づく歩行運動の特徴量の統計的比較 ,  
計算機統計学, 査読あり , 22 巻 , 2011 ,  
pp.97-111 ,

[学会発表](計 21 件)

大草孝介, 鎌倉稔成, ドップラー-センサ  
を用いた外乱環境下における生体検知  
に関する研究 , 日本計算機統計学会 , 2013  
年 11 月 15 日 ~ 2013 年 11 月 16 日 , 市民  
会館崇城大字ホール , 熊本県 ,  
Kamakura, T. , Inference for spatial  
locations and sizes of some objects  
based on the spatial point process ,  
Ishigaki International Conference  
on Modern Statistics Theories,  
Practices, and Education in the  
21st Century (招待講演) , 2013 年 11 月 08  
日 ~ 2013 年 11 月 10 日 , 石垣島 沖縄県 ,  
鎌倉稔成, 大草孝介, 空間上のイベント  
の発生および位置の計測と統計的モデリ  
ング , 統計関連学会連合大会 , 2013 年 09  
月 08 日 ~ 2013 年 09 月 10 日 , 大阪大学  
豊中キャンパス ,  
Kamakura, T. and Okusa, K ,  
Statistical Estimation for Fixation  
Points of Eye Movements, MCP2013, 2013  
年 07 月 08 日 ~ 2013 年 7 月 11 日 ,  
Southampton University UK ,  
Erika Watanabe, Kyohei Yamamoto, Norio  
Watanabe , A fuzzy correlation  
coefficient for bivariate fuzzy data ,  
Applied Stochastic Models and Data  
Analysis 2013, 2013 年 06 月 25 日 ~ 2013  
年 06 月 28 日 , Mataro, Spain ,  
Norio Watanabe , Yasutaka Ohta ,  
Decomposition of trends by a fuzzy  
trend model for multivariate time  
series, Applied Stochastic Models and  
Data Analysis 2013, 2013 年 06 月 25 日  
~ 2013 年 06 月 28 日 , Mataro, Spain ,  
大草孝介, 阿部興, 内藤貴也, 山口直人,  
加田拓磨, 黒田淑恵, 佐藤のぞみ, 日高  
明日香, 森健人, 鎌倉稔成, 検索条件の  
共起関係に基づく物件推薦アルゴリズム  
に関する統計的研究 , 日本計算機統計学  
会, 2013 年 05 月 16 日 ~ 2013 年 05 月 17

日,弘前大学創立 50 周年記念会館,青森県,  
大草孝介,鎌倉稔成,モーションキャプチャを用いた長距離走選手の運動フォームのモデリングに関する統計的研究,日本計算機統計学会第 26 回シンポジウム,2012 年 11 月 02 日~2012 年 11 月 03 日,東京,  
大草孝介,鎌倉稔成,モーションキャプチャシステムを用いた長距離走選手の運動特性解析に関する統計的研究,2012 年度統計関連学会連合大会,2012 年 09 月 10 日~2012 年 09 月 12 日,札幌,  
大倉征幸,鎌倉稔成,ロジスティック回帰モデルにおける Firth 法による回帰パラメータ推定値の統計的検定法,2012 年度統計関連学会連合大会,2012 年 09 月 10 日~2012 年 09 月 12 日,札幌,  
竹田裕一,藤井光昭,渡邊則生,鎌倉稔成,片側検定を用いた Non-overlapping Template Matching Test の改善とその応用,2012 年度統計関連学会連合,2012 年 09 月 10 日~2012 年 09 月 12 日,札幌,  
Toshinari Kamakura and Kosuke Okusa, Statistical estimation of the accurate location based on the indoor positioning systems, Book of Abstracts Compstat 2012, The International Statistical Institute / International Association for Statistical Computing, 2012 年 08 月 27 日~2012 年 08 月 31 日, Cyprus,  
猪俣考史,清水康晴,鎌倉稔成,振動を伴う状態変化過程のデータを用いた安定状態の推定,応用統計学会 2012 年度年会, 2012 年 05 月 24 日~2012 年 05 月 24 日, 東京,  
小椋透,柳本武美,鎌倉稔成,二項分布における厳密ベイズ検定の性能と実装,日本計算機統計学会第 26 回大会,2012 年 05 月 12 日~2012 年 05 月 13 日,香川県,  
鎌倉稔成,大倉征幸,ロジットモデルにおける回帰係数の小標本推測問題,統計関連学会連合,2011 年 9 月 5 日,九州大学,  
大草孝介,福本啓祐,鎌倉稔成,マイクロ波ドップラーセンサーを用いた歩容解析に関する統計的研究,統計数理研究所,西東京統計研究会,2012 年 3 月 2 日,統計数理研究所,  
乾秀平,大草孝介,鎌倉稔成,マイクロ波ドップラーセンサーを用いた非接触型心拍推定に関する統計的研究,統計数理研究所,西東京統計研究会,2012 年 3 月 2 日,統計数理研究所,  
小椋透,塚田真一,鎌倉稔成,正準相関分析における次側値対応法の提案と情報量基準による検証,統計数理研究所,西東京統計研究会,2012 年 3 月 2 日,統計数理研究所,

清水康晴,鎌倉稔成,工程の安定性評価のための変化点の推定,西東京統計研究会,2012 年 3 月 2 日,統計数理研究所,竹田裕一,藤井光昭,鎌倉稔成,渡邊則生,側検定を用いた Non-overlapping Template Matching Test の改善法について,統計関連学会連合,2011 年 9 月 5 日,九州大学,

- 21 鎌倉稔成,大倉征幸,ロジットモデルにおける回帰係数の小標本推測問題,統計関連学会連合,2011 年 9 月 5 日,九州大学,

〔図書〕(計 1 件)

T. Kamakura, Springer, Handbook of Computational Statistics (Second Edition), 2012, 総ページ 1192 のうち pp.807-824,

〔産業財産権〕

出願状況(計 1 件)

名称:特徴量算出装置及びプログラム  
発明者:前野蔵人,大草孝介,鎌倉稔成,乾秀平,辻村朋夫

権利者:同上

種類:特許

番号:特願 2012-233059 号

出願年月日:平成 24 年 10 月 22 日

国内外の別:国内

取得状況(計 1 件)

名称:特徴量算出装置及びプログラム  
発明者:前野蔵人,大草孝介,鎌倉稔成,乾秀平,辻村朋夫

権利者:同上

種類:特許

番号:特許第 5523534 号

取得年月日:平成 26 年 4 月 18 日

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鎌倉 稔成 (KAMAKURA Toshinari)

中央大学・理工学部・教授

研究者番号:40150031

(2) 研究分担者

小西 貞則 (KONISHI Sadanori)

中央大学・理工学部・教授

研究者番号:40090550

(3) 研究分担者

渡邊 則夫 (WATANABE Norio)

中央大学・理工学部・教授

研究者番号:10182940