

第 4 章

圧力センサ情報のその他の活用方法

第 2 章では歩行パラメータの抽出技術、第 3 章ではその歩行パラメータを用いた属性抽出技術について述べた。本章では、圧力センサ情報の活用方法として、圧力センサ情報と他のセンサ情報とを統合的に用いる属性識別の方法 [数藤 93][数藤 94][SYT96] と、圧力センサ情報の視覚的に有効な提示方法について述べる。

4.1 他センサ情報との統合的な利用

本節では、圧力センサとそれ以外のセンサ情報を組み合わせた属性識別手法について述べる。人物属性の認識では、ロバスト性や特徴の曖昧さの問題を解決するために、複数のセンサ情報を用いることが有効である [AG92] [石川 92]。識別システムにおいて利用者負担の軽減のためにはデータ取得環境への制限を抑える必要があるが、データ取得条件を緩めることで識別精度の低下を招くおそれがあるため、複数の特徴の併用が有効であるといわれている。

マーケティングや医療・健康分野での属性抽出には、Collectability と Acceptability が重要であることを 1.1.1 節において述べた。これらの条件からみて、本研究でとりあげた Gait をはじめ Face, Signature の評価が高く、それに続いては Thermogram, Ear, Voice などカメラやマイクという比較的簡易な手段で計測できる特徴の評価が高い (表 1.1)。そこで、属性抽出システムに組みこむセンサとして、カメラとマイクを選択する。

属性抽出の従来研究においても、画像情報と音声情報を統合した個人識別手法 [BF95][前田 96][前田 97]、画像情報と音声情報と歩行特徴を統合した個人識別手法 [前田 96] などが提案され、単独の特徴量を用いるよりも高い精度が得られることが示されている。

目標値といわれる精度を達成している。

本研究における主要な属性抽出手段である圧力センサは接触型であることから、以下のようない点がある。

1. 複数人数を同時計測しても、複数人物による加圧が同時に同一の計測点に加わることはない。
2. 照明等の環境変化の影響を受けない。

3. ON/OFF 判定のみで前処理を必要とせず物体の存在が検知できる.
4. 対象の位置が変化しても, 出力画像中の対象の大きさが変化しない.

上記の利点を活かして相補的な情報を用いた認識精度の向上と, 他のセンサ情報のセグメンテーションを容易にするための同期信号としての利用が期待できる.

以下ではまず, 性別推定へのニーズについて述べ, これを目的としたカメラとマイクからのそれぞれ単独のセンサ情報処理方法を説明する. 次にこれらのセンサ情報を圧力センサシステムに組み込んだ属性抽出の方法と効果について, 識別実験による評価を述べる.

性別推定のニーズ

入店客数の統計は経営の効率化につながる重要な情報であり [伊東 89], 近年, マーケティング関連の分野では, 入店客を男女別に計数する自動システムが求められている. 現在, デパートや大手のスーパーマーケットでは, 赤外線を用いた入店客の自動計数装置を設置しているところが多い. しかし, この装置では客の性別まではわからない.

多くの店舗がセキュリティのための監視カメラを備えていることから, カメラ画像を利用して入店客の性別を知る手段が求められている [数藤 00b]. 歩行画像からの性別の認識では, マーカー装着による計測などの関連研究が行われているが (1.2.3 節), このようなニーズに対応する研究は少ない. 従来では, 髪や服の領域を抽出し, その面積や色・形などの特徴を抽出して識別する手法がいくつか提案されてきた [塚本 93][菅野 94][山瀬 95][村松 05]. しかし, 特徴量の決定方法に指標がないことや, 特徴量と男女との相関が明確でないなどの問題があった. そこで, 男女の外見の違いについての知識をトップダウン的に与えるのではなく, ニューラルネットワークで解決しようという試みがなされている. モザイク顔画像を用いる手法 [河合 93][菅野 97] や, 複数の外観情報を抽出してファジイ推論により識別する手法 [福田 97] などがこれにあたる. 近年, 感性情報という観点から男女の顔の特徴について論じた研究もある [山口 96]. 歩行動作の男女差の知覚に関する研究 [鷲見 97], 歩行時の関節角度の男女差を計測した研究 [小林 97] がある. 医学の領域では生理学的な男女差に関する研究が数多いが, 非侵襲のものは少ない. 以上に挙げた従来手法では, ほとんどが正面顔画像や正面直立像を用いるなど, 撮影条件の厳しいものが多かった. 画像以外を用いたものについても同様で, 入店客計数システムの付加機能としての男女識別に適用可能な手法はなかった.

カメラ画像からの特徴量の抽出

そこで, 撮影環境や解像度などの点でより拘束条件の緩やかな手法として, 人物のシルエット画像を用いた男女識別法を提案した [数藤 95][数藤 97]. 人物のシルエットをいろいろな大きさの円の軌跡を連結した形状で近似表現し, 使われる円の大きさのばらつき方の男女差を学習して識別する. この手法で用いる画像は 512×480 画素に全身が収まる程度の解像度でよく, シルエットのおおまかな形状しか必要としない.

はじめに, 人物の全身が含まれる画像から, 背景差分により人物領域を抽出し, 二値化して

人物形状を得る (以下, シルエット). モルフォロジーの図形分解手法により, シルエットをいろいろな大きさの円 (正確には円の近似図形) の軌跡の集合として近似する. まず, シルエット内にはみださずに置ける最大の円でシルエット内を走査し, この軌跡部分をくり抜く. 次にその残りの図形に対し同様に, この中をはみださずに置ける最大の円で走査してその軌跡部分をくり抜く. この操作を繰り返す. 最大円で走査してその軌跡部分をくり抜く手順は, モルフォロジーの opening をとり, もとの図形との差分をとることで行う. この時, 一定の大きさの円の軌跡図形が占める面積を半径に対して表示すると, パターンスペクトルと呼ばれるものが得られる [Mar89][出口 94].

モルフォロジーの記号を用いて記述すると, 図形 X の構造化要素 B (ここでは円, 正確には円の近似図形とする) によるパターンスペクトルは,

$$PS_X(n, B) = A[(X \circ nB)] - A[(X \circ (n+1)B)], \quad (4.1)$$

$$n \geq 0$$

である. ここで, $X \circ nB$ とは, 図形 X にサイズ n の構造化要素で opening 処理を施した図形を示し, $A[X \circ nB]$ はその図形の面積 (画素数) を示す. これをシルエットについて求めると, 主に胴や足など身体の部分ごとの面積比の特徴が得られる. おおまかには, 女性は胴体部分に対して足が細いが, 男性は幅の変化が少ないことがスペクトルに表現されていると解釈できる. 処理例を図 4.1 に示す. しかし, 円の半径がある程度以上大きい部分に対応するスペクトルの値は, スカート丈の違いなどによって, 女性内でのばらつきが大きい. そこで, 円の最小半径 3 (画素) から最大半径 30 (画素) に対応するスペクトルの値のうち, 最初の n 個の値を特徴ベクトルとして $n = 13$ から $n = 28$ まで変化させ, 小規模サンプルを用いて予備識別実験を行った結果, より高い識別率の得られた 16 次とした.

足音からの特徴量の抽出

入店客の属性識別では, 対象となる人は靴をはいているため, 足音の計測が可能である. 人は足音からある程度性別を判別できるので, 他のセンサ情報と統合的に用いることで識別率を向上させることができると考えられる.

本研究ではまず, (1) 通路の床付近に指向性の高いマイクを設置, (2) 通路の床板に振動センサを設置, の 2 つの方法により足音信号抽出の予備検討を行った. その結果, 足音信号は, マイクと振動センサのいずれから得られた場合にも踵接地時と爪先の着地時に発生する 2 つのピークが含まれた. 周波数が男性は両ピークとも低域にあるのに対し, 女性は踵接地のピークは低域, 爪先のピークは高域に分かれるという傾向がみられ, 周波数分析による識別が可能との見通しを得た. 図 4.2 にサウンドスペクトログラムの例を示す. また, マイクは空調や台車の通過音など環境雑音の影響を受け易いのに対し, 振動センサは比較的環境雑音を拾いにくい (特に床板がユニットの貼りあわせになっている場合, 接地したユニット以外の雑音はほとんど影響しない), ゴム底靴の足音はマイクでは抽出困難であるが振動センサでは検出可能である, という結果が得られた. そこで振動センサにより計測した振動音を計測に用いるものとし, 以下本論文では, この振動センサにより計測した振動音を足音と呼ぶ.

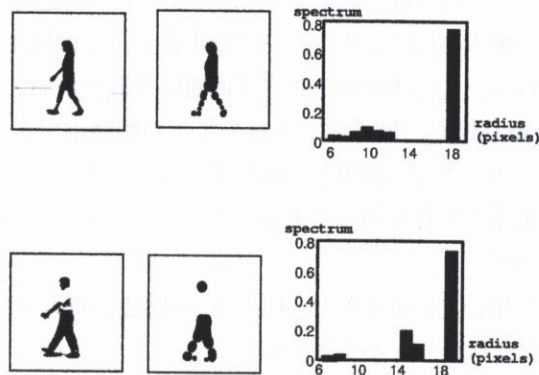


図 4.1. カメラ画像からの男女識別特徴の抽出

左から、カメラ画像を二値化して得られた人物シルエット形状 (384×360). 人物シルエット形状に円を要素図形としてモルフォロジーによる図形分解を行なった結果. 図形分解の結果得られたパターンスペクトラム. 上段, 下段はそれぞれ女性, 男性のデータ.

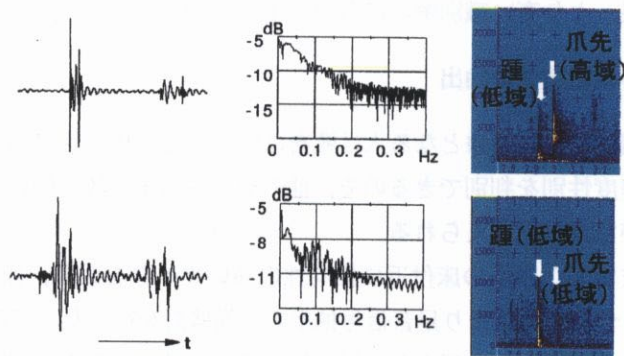


図 4.2. 男女の足音データの例

左から、振動センサの出力波形, LPC ケプストラム, サウンドスペクトログラム. 上段が女性, 下段が男性の例. スペクトログラムでは踵接地音と爪先接地音の 2 つのピークがあり, 女性は踵接地音が低域で爪先接地音は高域, 男性は両方とも低域となる違いがみられる.

足音解析の従来研究では、田中ら [田中 01b] が靴音の発生源の解析を行っているが、これまで足音認識に有効な特徴量は知られていない。本研究では音声認識の一般的な手法を参考にし [古井 92]、FFT ケプストラムの係数を特徴量として性別の識別を試みた。まず、FFT ケプストラムによるスペクトル包絡の係数と線形予測 (LPC) 分析によるスペクトル包絡の係数の 2 種類について、それぞれ 10 次から 50 次まで 10 次刻みの係数を特徴量とし、小規模サンプルを用いて予備識別実験を行った。この結果、より高い識別率の得られた FFT ケプストラムの 30 次の係数を特徴ベクトルとした。

4.1.1 センサ統合システムにおける同期信号としての利用

歩行を用いた個人識別の従来技術では、歩行画像のシルエットを用いるものが主流である (1.2.3 節)。歩行は周期的な運動であり、歩行周期のどのフェーズの画像を用いるかによって、得られる画像特徴量が変わる。そこでこれらの技術では、安定した特徴量を得るために、以下のいずれかの方法をとっている。

1. 1 周期のすべてのフレームについてある特徴量を抽出する処理を行い、特徴量の変化の周期性そのものを利用するか、特徴量の平均値を求めて用いる。
2. 1 周期の中から安定して特徴が得られるフレーム (例えば従来研究では両足が開いた状態の立脚期 (double stance duration) とするものが多い) を何らかの方法で選択して用いる。

1 の周期性そのものを用いる場合、周期性を抽出するには、数周期以上のフレームを処理する必要があるため、計算量が多くなる。2 の場合、特定の状態のフレームを画像だけから判定するのは困難である。従来研究では、ほぼ無背景の映像に限定して処理を容易にするか、手動でフレームの選択を行っているものがほとんどである。カメラ画像から足の接地の有無を認識するためには、まず人物を背景から切り出した後、辞書とのマッチングを行う必要があり、切り出しもマッチングも容易ではない。一方、圧力センサを用いれば、足の接地の有無はセンサの ON/OFF 判定で容易に認識することができ、踵の接地や爪先離れなど、更に細かいタイミングまで認識可能である。そこで、圧力センサを組み合わせる時刻を特定することで、2 の場合にも、特徴抽出の安定化、処理の効率化を図ることができる。本節で扱うデータは、カメラと圧力センサの同期システム [鳶田 98] により計測したものである。この同期システムでは、カメラ画像は毎秒 30 フレーム、圧力時系列画像は毎秒 30 フレームまたは 60 フレームで記録される。

実験システムの構成を図 4.3 に示す。カメラ出力の画像は、毎秒 30 フレームでデジタル VTR に記録する。振動センサ出力は、音声信号として 48kHz でデジタル VTR に記録する。圧力センサ出力は、圧力分布を濃度階調値とする画像を毎秒 30 フレームでパソコンに取り込む。圧力センサからはカメラに同期信号が送られ、また、カメラ画像と振動信号にはデジタルテープのタイムコードがふられているため、3 種類の信号はすべて時間的な対応づけが可能である。このようにして取り込んだ各センサ情報は、実験当時は足圧画像の取り込みに時

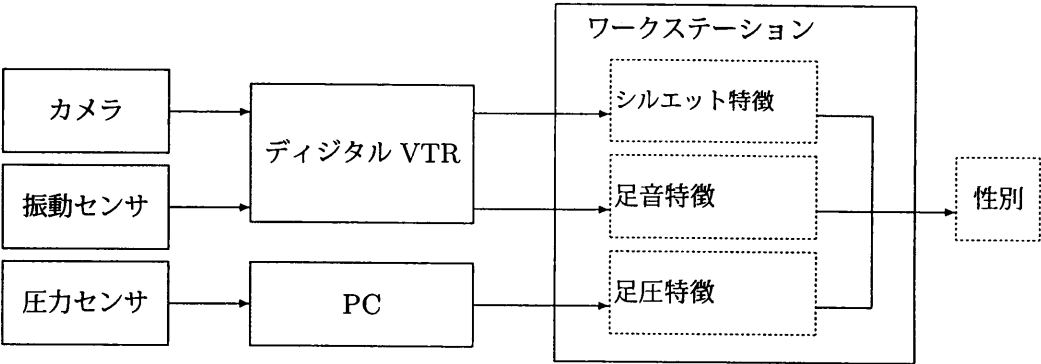


図 4.3. 複数センサを用いた実験システム

間がかかっていたためオフラインで処理した。現在では圧力センサの改良が進み足圧画像はほぼリアルタイムで取り込めるようになり、識別まで含めて数秒程度での処理が可能である。以下の実験は実験室内に設置して計測したデータに基くものである。実際にマーケティング応用を考える場合には、店舗の特定の入口や、狭い通路などにおいて圧力センサはその通路上に、振動センサを通路の床板に、カメラを通路の壁に設置することを想定している。

4.1.2 歩行パラメータ・シルエット・足音を用いた性別の推定

統計的な識別手法により性別の推定を行う。歩行パラメータ・シルエット・足音の特徴量はそれぞれ投影一次元パラメータ・モルフォロジーのパターンスペクトラム・FFT ケプストラムを用いる。識別については、対象が男性と女性の 2 クラスであることから、2 クラスの識別によく使われる線形、非線形それぞれの手法として (1) フィッシャーの線形識別 (2) サポートベクターマシン (SVM) を用いた。

実験データ

デパートなどの入口での計数に用いることを想定し、状況に合った被験者集団を構成する。あるデパートの入口で 1 日 6 時間ずつ 2 日間にわたり、約 800 人の統計をとった。入店客の服と靴の種類を服はミニスカート・ロングスカート・ジーンズなど女性 7 種類男性 4 種類に、靴はハイヒール・スニーカー・サンダル・紳士靴など女性 6 種類男性 4 種類に分類した。服装や靴の種類と構成人数は特徴量の分布の結果と共に表 4.2 に示す。

年齢は、男女とも、10 代前半以下、10 代後半、20 代前半・後半、30 代前半・後半、40 代前半、40 代後半以上に分類した。この調査結果の構成割合を模した集団になるように男性 45 人・女性 45 人の被験者の服装と年齢を指定する。被験者各 1 人につき服は 1 種類、靴は異な

表 4.1. 男女 2 クラス間のマハラノビス距離 (M.D.) と男女識別率

特徴量	画像	足音	足圧
M.D.	2.16	0.67	3.81
識別率	78.0%	64.3%	81.8%

特徴量	画像+足音	足音+足圧	画像+足圧	画像+足音+足圧
M.D.	2.25	3.91	6.70	7.60
識別率	80.4%	83.7%	89.8%	91.4%

る 2 種類を用意する。歩行の速度は、自然に歩く速度の範囲で遅い・普通・速いの 3 種類とし、それぞれメトロノームで発生したリズム、88 回/秒・104 回/秒・132 回/秒に合わせた。被験者 90 人が 1 種類の靴につきそれぞれ 3 速度で 10 回ずつ、合計 60 回の歩行を行ない、合計 5400 サンプル (= 10 回 × 3 速度 × 靴 2 足 × 90 人) の歩行データを作成する。歩行速度の特徴量への影響は表 4.3 に示す。

線形識別器による次元圧縮および識別

特徴空間内でのデータ分布を 1 次元の軸に投影した時、その軸上で学習データの男性と女性のクラス間の距離が最大になるような軸 (フィッシャー軸) を定める。境界は、2 つのクラスの重みつき平均により決定し、この境界のどちら側に位置するかによってテストデータの男女を判別する。はじめに、シルエット・足音・足圧の各特徴ベクトルを単独で用いて男女識別を行う。まず、足音・足圧の特徴ベクトルをそれぞれフィッシャー軸により 1 次に圧縮する。こうして得られたそれぞれ 1 次のシルエット・足音・足圧の特徴量を 2 種類または 3 種類組み合わせ、2 次または 3 次のベクトルを得る。特徴量の組合せ方は、シルエットと足音、シルエットと足圧、足音と足圧、シルエットと足音と足圧の 4 通りである。これらの 4 通りの特徴ベクトルをそれぞれ同様にフィッシャー軸により 1 次に圧縮し、得られた値を統合された特徴量と考える。

特徴量の評価は、1. 判別軸上での 2 つのクラスの分離度、2. 識別率、の 2 点から行なう。分離度は、マハラノビス距離で評価する。識別率は、今回のサンプル数では一つ抜き法が適当と考え、男女合わせて 90 人のデータのうち、各 1 人をテストデータ、残り 89 人を学習データとして求める。

また、男女のクラス間のマハラノビス距離と識別率の計算結果を表 4.1 に示す。各特徴量を単独で用いた場合と比較して、複数の特徴量を統合的に用いた場合の方がクラス間の分離度が高くなり、結果として高い識別率が得られていることがわかる。この結果から、画像や音などとの組み合わせによる男女識別において、圧力センサからは相補的な情報をもつと考えることができる。

服装や靴の特徴量への影響については、服装と靴の種類別に 3 つの特徴軸上での特徴量の分布を調べた (表 4.2)。歩行速度の特徴量への影響については、服装と靴の種類別に 3 つの特徴

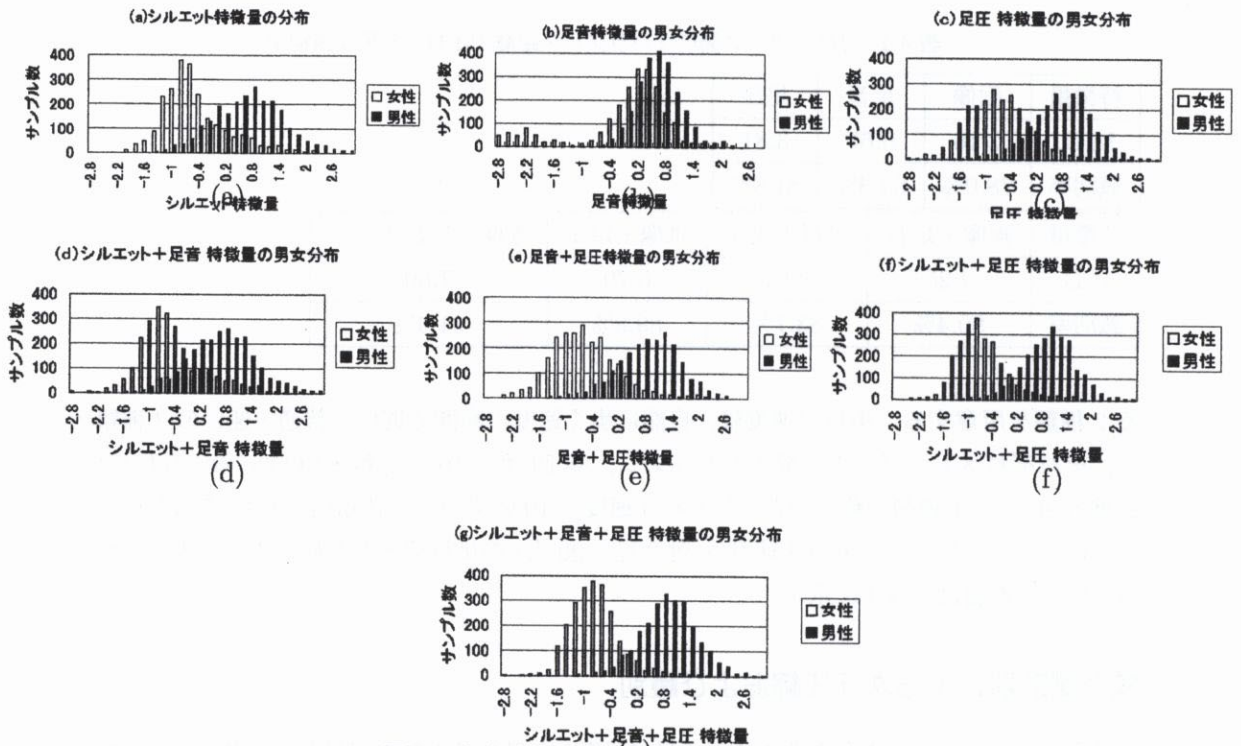


図 4.4. 統合前・統合後の男女の特徴量の分布

(a) シルエットのみ, (b) 足音のみ, (c) 足圧のみ,
 (d) シルエット + 足音, (e) 足音 + 足圧, (f) シルエット + 足圧, (g) シルエット + 足音 + 足圧
 の特徴量を用いた場合. それぞれ横軸は 1 次元化した特徴量, 縦軸は人数.

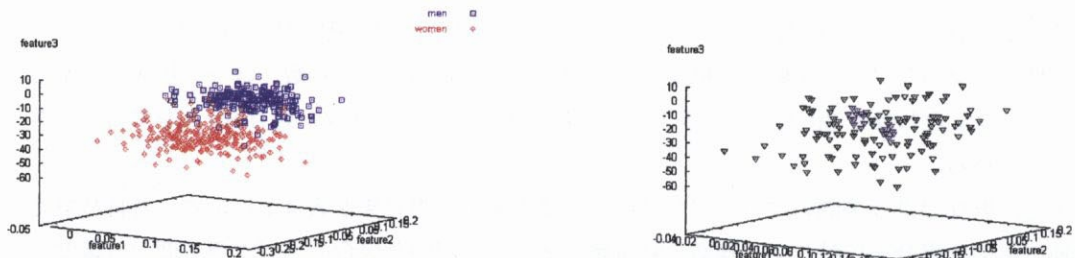


図 4.5. 画像, 振動, 圧力それぞれのセンサから得られた特徴量を軸とする 3 次元空間での男女のデータの分布.

(b) (a) のデータの SVM による識別境界付近のサポートベクター.
 (a) 画像, 振動, 圧力から得られた特徴量を軸とする 3 次元空間での男女のデータの分布.

表 4.2. 各特徴軸上における男女の服装と靴の種類別の分布

シルエット特徴軸上における男女のサンプルの服装別の分布								
男女	女性					男性		
服の種類	ジーンズ	ズボン	ミニスカート	ロングスカート	その他	ジーンズ	ズボン	その他
人数 (人)	8	11	8	11	7	6	32	7
平均値	-0.12	-0.96	-0.90	-1.08	-0.52	0.24	0.64	1.76
分散	0.58	0.16	0.64	0.18	0.71	0.67	0.60	0.60

足音特徴軸上における男女のサンプルの靴別の分布							
男女	女性					男性	
靴の種類	スニーカー	フラットシューズ	ローヒール	ハイヒール	その他	紳士靴	その他
人数 (人)	9	13	9	7	7	39	6
平均値	-0.20	-0.26	-0.19	-2.34	-0.81	0.61	0.95
分散	0.22	1.20	0.95	1.92	2.36	0.22	0.20

足圧特徴軸上における男女のサンプルの靴別の分布							
男女	女性					男性	
靴の種類	スニーカー	フラットシューズ	ローヒール	ハイヒール	その他	紳士靴	その他
人数 (人)	9	13	9	7	7	39	6
平均値	-0.09	-0.68	-1.36	-1.42	-1.01	0.92	0.50
分散	0.25	0.35	0.49	0.39	0.55	0.41	0.36

軸上での特徴量の分布を調べた (表 4.3).

SVM による識別

各特徴量をフィッシャーの線形識別軸で 1 次元の特徴量に圧縮した後の 3 次元の特徴量について、SVM を用いた識別を行った結果、識別率は 94.2% であった. 各センサからの特徴量を軸とする 3 次元の特徴空間における男女のデータの分布, サポートベクターの分布を図 4.5(a), (b) に示す. 識別境界面が各軸に対して斜めに形成されている様子が見て取れることから、特徴量を複数用いることで識別率向上の効果が得られていることがわかる. 識別面が若干複雑なため線形識別器よりも識別率が向上したと考えられる.

4.2 歩行パラメータの有効な提示方法

医療分野で必要とされる属性に病状の有無がある. 診断は医療行為であって、最終的には医師の判断が必要なため、この分野では完全自動抽出ではなく、医師の診断をサポートする情報の提示が求められる. リハビリテーションや整形外科などの科において、診断のためには正常

表 4.3. 歩行速度別にみた各特徴軸上における特徴量の分布

歩行速度別にみたシルエット特徴軸上での特徴量の分布						
男女	女性			男性		
速度	遅い	普通	速い	遅い	普通	速い
(歩/秒)	88	104	132	88	104	132
平均値	-0.77	-0.75	-0.76	0.76	0.77	0.74
分散	0.49	0.60	0.65	0.61	0.70	0.72

歩行速度別にみた足音特徴軸上での特徴量の分布						
男女	女性			男性		
速度	遅い	普通	速い	遅い	普通	速い
(歩/秒)	88	104	132	88	104	132
平均値	-0.64	-0.64	-0.64	0.67	0.65	0.61
分散	2.08	2.17	2.20	0.22	0.21	0.21

歩行速度別にみた足圧特徴軸上での特徴量の分布						
男女	女性			男性		
速度	遅い	普通	速い	遅い	普通	速い
(歩/秒)	88	104	132	88	104	132
平均値	-0.94	-0.86	-0.79	0.91	0.92	0.83
分散	0.50	0.67	0.51	0.48	0.50	0.55

なデータとの比較や、本人の治療前のデータとの比較が重要である。歩行を用いた従来の診断では目視に頼っていたが、本論文で使用する圧力センサシステムや類似のシステムによって定量計測が可能になった。計測の結果の提示方法には次のような条件が求められる。

- 1. データの提示によって歩行そのものがイメージできる
- 2. 複数のデータの比較が可能

第一の条件を満たすためには、視覚的に専門家の直感と一致するパラメータを用いることが重要である。第二の条件を満たすためには、視覚的に比較しやすい表示の工夫が必要である。以下では、病状の有無の診断支援、および歩行指導の支援という具体的なニーズにおいて、これらの条件を考慮しながら開発した提示方法について述べる。

4.2.1 病状の有無の診断の支援

リハビリテーション科や整形外科においては、病状の有無の診断や改善度の評価を目的とした歩行計測が検討されている。従来では、病状の診断の一つの定量評価方法として、重心動揺計を用いた計測が行われてきた。重心動揺計は両足を揃えて立った静止状態の重心動揺を計測するもので、重心位置の偏りやふらつきを定量的に評価することができる。また、ストップウォッチなどの簡易な計測手段で計測可能な歩行速度などの基本パラメータも定量評価に用いられ、これらは片麻痺などの評価に有効である [岡田 92][藤枝 95]。しかし、症状によって、こ

これらの方法では定量評価が難しいものもある。歩行による診断を必要とする病状のひとつである「すくみ足」は、足が床にはりついたようになって動けない状態をいう。歩行の開始時や折り返し時、廊下や入口などの狭い場所を通るなどに出現し、そのために動きの切り替えが困難となるが、それ以外のほとんどは正常な歩行となることが特徴である*1。この病気の症状は歩幅が狭くなるほか、静止時から一步を踏み出す際の足底の接地状態に顕著に現れる。また、視覚的な境界の影響を受けやすい。このため従来の重心動揺計などのように、装置に高さがあり床との段差が生じたり、一步しか測定できない装置では測定することができなかった。本研究では、足圧情報を用いたすくみ足現象の治療の評価と提示方法を検討した*2。

すくみ足の解析からみた提示パラメータの妥当性

玉城 [玉城 01]、澤田 [澤田 05] は、すくみ足現象をもつ患者に対し、磁気刺激を用いた治療 [TSAS03]、小さな障害物をまたぐ動作により歩幅を伸ばす試み [澤田 02] を行った。これらの治療において、足圧データから得られる主要部位の部分荷重に治療前後の変化が観察されること、歩行の改善に蹴り出しの支持となる側の足の踵から足親指への荷重の移動が重要であることを報告している。このことから、すくみ足の評価には足底の主要部位の部分荷重の時間変化を表す時空間パラメータ (2.5.3 節) が有効であるといえる。

心理学的にみた提示パラメータの妥当性

映像による提示が学習効果や認知に与える作用について、心理学の分野では多くの研究があり、具象度の異なる映像 (写真や線画など) の提示が再認課題に与える影響を調べた研究などが行われている。これによれば、細部情報が多すぎる絵の提示は、被験者に高度な符号化が必要とされるため、ある程度単純化された絵の提示が効果的な場合もある [中島 93]。臨床の測定結果は医師が確認するだけでなく、知識をもたない患者への説明に利用する場合もあるため、ある程度情報が単純化された形で提示するほうがよいと考えられる。時空間パラメータは、足底形状を主要部位の数に分割することで接地パターンを単純化しているため、提示するデータとして適していると考えられる。これは、診断支援のための提示方法として医師の直感と一致しやすいことがわかっている。以上の理由により、足底主要部位の部位別荷重を可視化することが診断の支援に有効であると考えられる。本研究によれば、従来診断のための定量計測に用いられてきた重心動揺や速度などの定量計測値も、求めることができ、且つ上述の新しい提示パラメータも得ることができる。このため、病状の有無診断の手法として、主な手段である目視や、従来からの定量評価手法として用いられている重心動揺計や速度計測などの従来手段と同等以上であるといえる。

*1 主にパーキンソン病などが原因となって起きる。パーキンソン病患者は、脳内の連絡障害によって周辺の視覚情報を無視できないため、新たな視覚情報を用いての運動遂行が困難となると考えられている

*2 平成 12 年に NTT サイバースペース研究所から NTT 東日本関東病院リハビリテーション科に歩行分析装置を提供し、装置は臨床で継続的に利用されている。この病院におけるデータを用いて分析を行った。

バブルチャートを用いた時空間パラメータの提示

時空間パラメータは、時間・足底部位の番号・部位別荷重の3次元のデータである。図2.18のような3次元的なグラフ表示が可能であるが、データによって見やすい角度が異なるため、調節の操作を行うインタフェースが必要となる。そこでより単純に扱いやすくするため、これには、バブルチャートの形式のグラフを用いて2次元上で表現することで足底の動きを可視化する。これによって一歩内の各時刻における接地部位と圧力の強さの一覧性がよくなり、直感的な類似パターンの対応づけも可能になると考えられる。

縦軸の1から10の整数値は2.5.3節の時空間パラメータの定義で用いた足の部位を示し、横軸は時間を示す。縦軸の数値と部位について、数値の小さいほうから順に健常者の接地順序である足の踵から中足部（体の中心に対して外側、中間部、内側）、爪先（第1指～5指）へと対応させたことが本表示方法のポイントである。図4.6は、ウォーキングスクールの指導者の歩行データの足圧重畳画像に足圧中心軌跡を表示したもので、図4.7は、これをバブルチャート表示したものである（縦軸が対応する部位を図示）。健常者は踵から爪先までの重心移動が滑らかにできるため、一つの注目部位においては荷重が滑らかに変化し、1つ以上のピークはみられない。重畳画像のみからそこまでは読み取れないが、このことがバブルの大きさが縦軸方向にも横軸方向にも滑らかに変化する様子で観察される。

図4.8はすくみ足がみられるパーキンソン病患者の歩行データの足圧重畳画像に足圧中心軌跡を表示したもので、図4.9はそれをバブルチャート表示したものである。すくみ足は重心が不安定に前後するため、一つの注目部位においても荷重のピークが複数出現する。そのため、健常者にはみられない複雑なパターンとなることから、歩行の不安定さが直感的に理解できる。

以上に提案した提示の効果についての定量評価は行っていないが、複数の医師から視覚的に特徴が捉えやすいとの評価を得た。今後データの数が増えれば時空間パラメータのパターンのクラスタリングを行うことができ、クラスのラベルを併せて提示することで、より効果的な診断支援が可能であると考えられる。

4.2.2 ウォーキング指導の支援

第2章で用いた歩行計測装置に対し、第3章の結果に基づいた歩行の良さの評定値予測機能を実装することにより歩行評価システムを実現した。このシステムは、PCと圧力センサと指導用の大画面ディスプレイから成る。圧力センサ上を歩くと自動的に一歩一歩を切り出し、圧力の時間変化表示（再生、停止、コマ送り）と重畳表示、足底圧力と時間の時間変化のグラフ表示を行い、あおり特徴やローリング特徴を求める。歩行指導においては、評価を下すだけではなく、どこを直すべきなのかを生徒に伝えることが重要である。そこで、あおりとローリングが理想と比較してどのように違うのかがわかるよう、実際のデータと理想データの足圧中心軌跡を重ねて視覚化した表示を行う。この装置を用いる効果を見るため、指導者が本装置を試験的



図 4.6. 健常者の歩行の足圧重畳画像と足圧中心軌跡

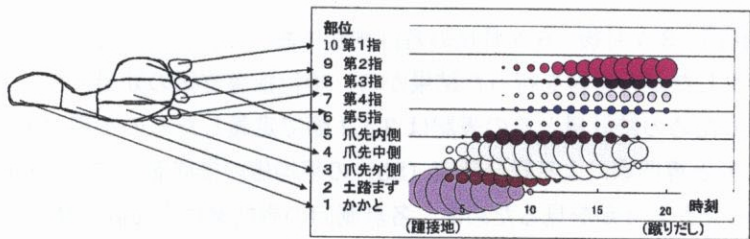


図 4.7. 健常者の時空間パラメータのバブルチャート. 足底部位との対応を示した.



図 4.8. パーキンソン病患者の歩行の足圧重畳画像と足圧中心軌跡

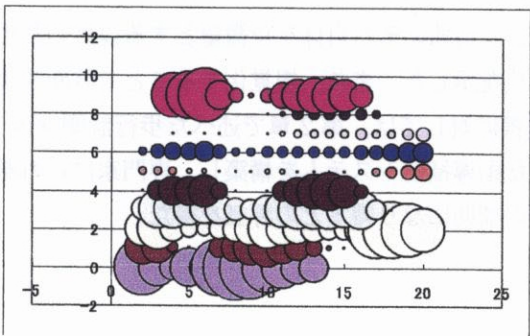


図 4.9. パーキンソン病患者のすくみ足の時空間パラメータのバブルチャート.

74 第4章 圧力センサ情報のその他の活用方法

に用いて十数名の生徒の指導を行った。指導の様子を図 4.10 に、評価出力画面の例を図 4.11 に示す。その結果、次のような定性的な評価が得られた。

- 本試作装置による歩行の評価はおおむね目視による印象と一致し、特徴量が直感に近いものであるため、歩行の学習に利用しやすい。
- 図 4.11 のように、あおり特徴とローリング特徴を求める際に計算する理想データとの距離を視覚化していることによって、足底運動を理想に近づけるためには歩行のどの段階でどのように重心移動をすればよいかが生徒にも理解しやすい。

これらの意見は、この表示システムが 4.2 節で述べた可視化の条件を満たしていることを示しているといえる。

最後に、被験者らが、初回、3 ヶ月後、6 ヶ月後の各計測回において、このシステムによる分析結果をフィードバックしながら学習を行った結果から、歩行指導支援の効果について考察する。以下では、評価のための統計量とその表記は 3.4.2 節で定義したものをを用いる。図 4.12 に総合評定予測 (F3) と専門家による総合評定 (S3) の平均値の推移を示す。実際に指導の効果による向上があったかどうかを見るために、各計測回の専門家による評定値 (3.1 節の S_1, S_2, S_3) について対応のある t-検定 (各被験者を対応させる)[丹後 95] を行った。その結果、いずれの評定値についても各計測回の平均値に多少の向上がみられ、初回と 6 ヶ月後とは平均値の差に有意差がみられた。また、提案評価パラメータ (3.1 節の F_1, F_2, F_3) についても対応のある t-検定を行った結果、同様の変化がみられた。

6 ヶ月後においてもインストラクタ (図 4.12(a) 参照) とは大きな開きがあるが、6 ヶ月間の指導により歩行の良さが改善されたことが分かる。この結果は、試作システムの利用による生徒指導へのフィードバック効果を直ちに反映するものではないが、少なくとも総合評定予測 (F3) での評価や理想歩行軌跡からのずれを視覚的に表示することが、歩行指導の補助になる見通しを示していると言えよう。

4.3 結言

本章では、圧力センサ情報のそれ自体を特徴量とする以外の利用方法として、センサの同期信号としての利用方法を示した。また、視覚化することで診断や歩行指導の支援を行う方法について検討した。後者に対しては、第 2 章で述べた歩行計測システムと健康度 (歩行の良さ) の定量化を一体化した指導補助システムを構築し、専門家にこれを用いた実際の歩行指導を体験してもらい、指導の補助になり得るとの評価を得た。

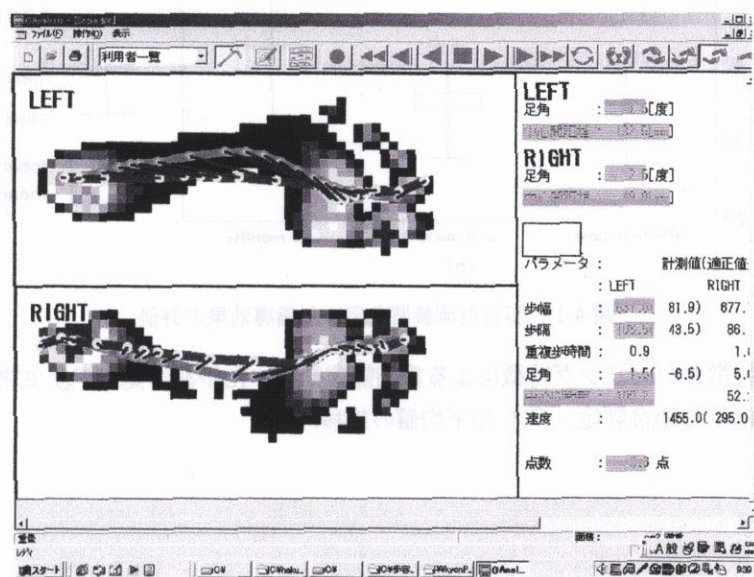


図 4.11. 歩行計測装置による評価出力画面の例

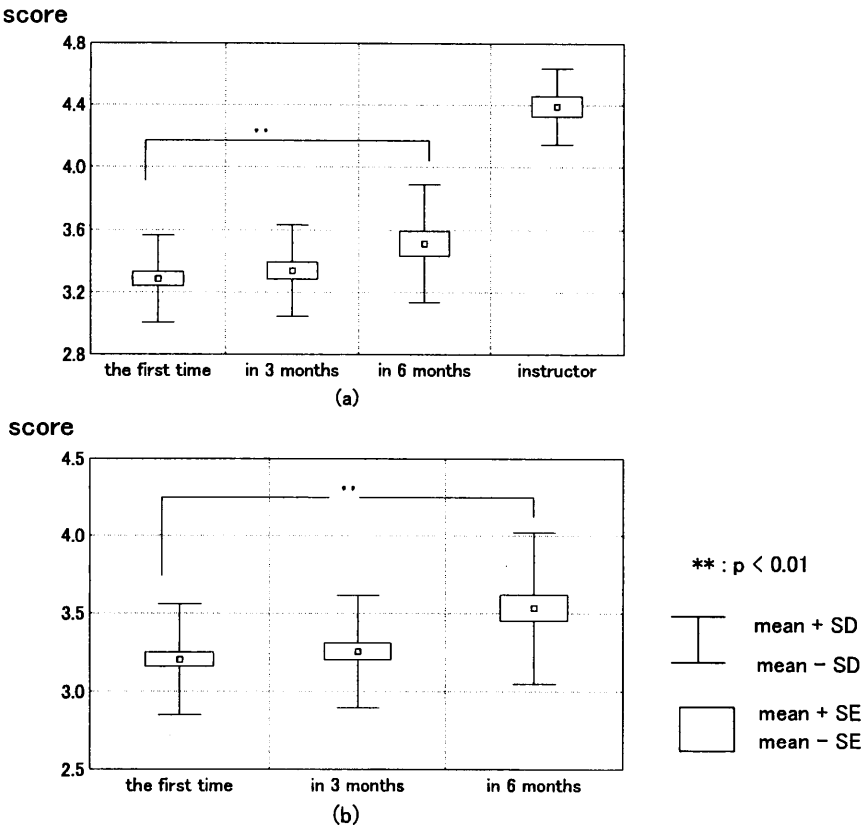


図 4.12. 歩行計測装置を用いた指導効果の評価

- (a) あおり特徴とローリング特徴による重回帰式を用いた予測評定 (F_3) の推移.
- (b) 専門家による総合評定 (S_3) の平均値の推移.

第5章

結論

本研究は、各分野へ横断的に利用可能な人物属性抽出の基盤技術の確立を目的とするものである。人の歩行動作から安定した情報を得るための計測法と、その計測データから様々な属性に結びつく識別特徴を効率的に抽出する手法について論じるとともに、具体的な属性抽出の課題への適用例を示した。人物属性の自動認識は、セキュリティ、マーケティング、医療、健康といった、主要なサービスの分野において、対象者に応じた対応を可能にするために求められている、社会的にニーズが大きい課題である。このため、生体情報を用いた属性の自動認識は数多く研究されており、本研究はそれらの一つに位置づけられるものである。種々の生体情報のなかで、計測のしやすさや心理的負担の少なさにおいて、顔と歩行が有利であるといわれている。しかし、歩行については人間の基本的且つ重要な機能として様々な分野で研究対象として取り上げられているにもかかわらず、これまで統一的な計測手段や有効な識別特徴が確立しておらず、属性認識への有効な利用が行われていなかった。本研究は歩行と属性と結びつけることで、幅広い領域への適用可能性を示すものである。パラメータの抽出においては、歩行に関する従来の知見についてもこれを工学的な立場から捉えなおし、統一的な方法によって定量的な扱いを可能にした。これらの技術は、人間にとって最も基本的な歩行という動作に注目し、属性と結びつけることを可能にすることで、社会が求める安全監視技術や顧客サービス、健康指導などの幅広いアプリケーションの構築に重要な役割を果たすものである。

第1章では、研究の背景と本研究の目的および方針について述べた。始めに各分野における人物属性抽出へのニーズと、それらに対する従来の様々な属性抽出手法の特性をまとめた。扱う属性の対象は、生体計測によって情報が得られる人の属性のうち、ニーズの大きい個人性・性別・年齢層・病状の有無・健康状態・高齢者の事故リスクとした。次に、人の歩行のメカニズムと特性について簡単にまとめ、歩行の計測システムの構築における課題を整理した。広い属性を対象とするためには、歩行計測デバイスとして、歩行領域や速度の制限がないことや、オンラインデータ取得可能なことが求められる。これにはカメラや圧力センサが適合するが、本研究では医療や健康分野における知見が豊富な足の重心移動が直接的に観測可能な点に着目して圧力センサを選択した。

第2章では、属性認識システムの構築方法について述べた。認識システムは計測・特徴抽出・識別処理の3つの処理段階から構成されるが、それぞれの出力を一次情報（足圧データ）、

二次情報（単位パターン）、三次情報（識別パラメータ）として階層的に整理することで、段階ごとの要求条件が明らかにした。まず、一次情報抽出の要求条件は、・歩行の基本パラメータ計測の従来手段を上回る精度の確保、・物理的・心理的負担なく歩行データを得るための床との一体化、・拡張性のあるユニット結合型、の3点である。次に、二次情報抽出の要求条件は、歩行を特徴づける一步一步のパターン（以下、単位パターン）の切り出しと正規化、足底部位の認識が同時に安定に行われることである。次に、三次情報抽出の要求条件は、・目的とする属性ごとに、属性の特徴が強調されるような次元圧縮を適切に行うこと、・従来の知見と直感的に結びつく物理量であって、わかりやすく可視化できることである。これらの要求条件を満たすため、本研究では一次情報抽出のためのセンサとして、シート状のユニット結合型の高精度な圧力センサを用いた。すなわち、一次情報の出力とは、そのセンサ出力の時系列データである。次に二次情報抽出については、まずどのように行われるべきかを論じた。足圧画像時系列からの単位パターンの切り出しに関するこれらの問題は、手書き文字認識における問題と、性質上類似点が多いことに着目し、解法を検討した。時系列データに含まれる種々の変動要因のうち、足裏の接地タイミングなどの時間的変動要因は大きいので、一次情報の時系列データそのものでなく、これを重畳（時間方向に縮退）した2次元の二値画像データ（以下、重畳画像）として扱うことが妥当である。重畳画像上の単位パターンは、踵・爪先・指などの部分領域から成り、これらを分離・結合ながら一步の単位や部分領域を認識することは容易ではない。さらに、個人差や試行のぶれによる変化を吸収する必要がある。このため、トップダウン的なパターンマッチング手法と、ボトムアップ的なクラスタリング手法との混合アプローチである、パターンのモデル化とフィッティングにより、ロバストな切り出し・正規化が可能である。足圧データの各点は独立であるとみなせるので、足の骨格に基いて主な部位に内在している確率分布があると考え、足の骨格を初期値とする正規混合分布でモデル化する。多数の足圧データを学習し、正しくフィットした時に尤度最大となるように共通モデルを生成する。この共通モデルをテストデータにフィッティングすることで、テストデータに含まれる単位パターンの検出を行う。このように確率情報として表現したことにより、パターン分離の問題を解析的に扱うことが可能になり、混合正規分布のパラメータ推定法として確立しているEM(Expectation-Maximization) アルゴリズムを用いて効率よく解を求めることができる。フィッティングにおいては、混合分布の回転・位置・スケールのパラメータを含んだ同時に推定できる手法を適用することで、足の変形や歩行の不安定さの大きいサンプルに対しても安定したセグメンテーションが可能である。共通モデルを人工的に回転、拡大、移動したデータに対する実験では、パラメータの推定誤差は0.5%以下が得られた。変形の大きい実際のデータに対する実験では、目視で踵中心を指定した場合との誤差は2画素以内であった。さらに、適当な初期座標を与えることができれば複数歩のパターンを含むデータから一步一步の空間的・時間的な切り出しを行うことが可能である。本論文ではこれらに関する実験結果も示した。こうして求めた単位パターンの領域を時系列データに対応づけることで、一次情報の時系列データに含まれる時空間内の各ドットに対して、どの一步のどの部位によりいつ加圧された点であるか、というラベルをつけることができる。その結果、時空間におけるラベルづけされたドット群が二次情報として出力される。三次情報抽出については、各属性に対してこれら

の条件を満たすパラメータの抽出方法がそれぞれ示されている。一例を挙げると、属性としての「歩行の良さ（健康度）」を求めるパラメータには、従来知見である「あおり」と「ローリング」という二つの概念を数値化し、主観評価との相関による点数化式を導出した。次に、接地パターンから得られる各種の属性の識別特徴（パラメータ）の定義を行った。従来から用いられている歩行基本パラメータである、空間パラメータと時間パラメータ、本論文独自のパラメータである、荷重変化パターン、足圧時空間特徴、あおり特徴とローリング特徴を定義し、各パラメータの特徴を述べた。

第3章では、第2章で定義した二次情報の接地パターンおよび、三次情報のパラメータを用いて、各々から個人属性情報を抽出する具体的な手法について述べ、実際の応用例について示した。二次情報の接地パラメータからは、セキュリティの分野で必要とされる個人性を抽出した。三次情報の時間・空間パラメータと、荷重・面積変化パターン、足圧時空間特徴、あおり・ローリング特徴は、医療・健康分野で必要とされる接地パターンのプロジェクションは、主にマーケティング分野で必要とされる属性である、年齢層と性別に適用した。以上において、第2章で立てた統一的な方法論により、歩行情報から第1章で目標として挙げた人物属性情報（個人性、性別、年齢層、病状の有無、健康状態、高齢者の事故リスク）のすべてに関して属性と相関の高い特徴量が抽出できることが示された。

第4章では、上記の応用例以外の足圧データの使用方法として、他のセンサと組み合わせた利用方法を示した。照明等の環境変化の影響を受けない、ON/OFF判定のみで前処理を必要とせず物体の存在が検知できる、などの圧力センサの特徴を活かし、カメラと組み合わせることで、相補的な情報を用いた認識精度の向上と、他のセンサ情報のセグメンテーションを容易にするための同期信号としての利用が期待できる。画像や音と圧力センサを統合的に用いて歩行者の男女識別を行う手法とその実験、および単独のセンサを用いる場合に比べ識別率が向上することを示した。また、歩行パラメータの視覚的に有効な提示方法についても考察した。

以上、本論文を通して、歩行動作の計測による人物属性抽出という課題に対し、各分野への横断的な利用が可能な歩行計測手法と歩行特徴の定量化手法を提案し、実際の応用例を通して有効性を示した。以下に、各応用例に対する到達点と今後の課題をまとめる。

セキュリティの分野における属性である個人性の認識は、30名で95%の識別率が得られることが共同研究者によって示されている。3.2で述べたように、複数の人物が短時間に出入りする場所での入退室の監視などに有効である。また、セキュリティ目的として単独で十分な精度とはいえないが、カメラとの組み合わせや、逆にプライバシー上カメラを設置しづらい場所への応用など、限定した用途では将来的に有効な属性認識手段として利用できる見込みを示している。

マーケティングの分野における属性である性別については、足圧情報のみの場合に80%以上の識別率が得られており、マーケティング情報としての目標値といわれる精度を達成している。空間を男女で分ける必要がある場面において利用者にワーニングを発生するなどの用途を考えた時、足圧情報による性別の推定は、プライバシーの問題上カメラを設置しづらい場所へも応用可能な手段として期待がもたれる。また、圧力センサ画像はカメラ画像と異なり、照明の影響などを受けないため、被計測者が自然に通り抜ける通路などに設置することで、実環境

でも十分な識別精度が期待できる。ただし実際には、そのような適用場所を探すのは困難な場合が多く、今後、設置環境に合わせて形状の異なるセンサユニットの組み合わせを可能にしたり、ワイヤレスにするなど、ハードウェアの改良が必要と考えられる。

医療・健康の分野への応用については、まず、高齢者の事故リスク推定、健康度の抽出に適用した。医療・健康の分野への応用については、第2章で導いた点数化式による評価結果と指導の専門家の評価との間に高い相関値 ($R=0.8$) が得られることを示した。年齢層、高齢者の事故リスクについては、年齢や転倒危険度との相関について考察した。その結果、歩幅や歩隔、荷重・面積は年齢と有意な相関が得られた。事故リスクについても、体操指導を受ける前後の経時データを事故リスク大、小のラベルつきデータとみなして、t検定によってパラメータの値の変化に有意な相関がある ($p<0.01$) ことを確認した。今後これを手がかりとして定量的な評価指標の確立が望まれる。次に健康的な正しい歩行が行えているかどうかという観点から、健康度の指標として提案したあおり・ローリングのパラメータを用いて、指導の専門家の評価との間に相関値約 0.8 の値が得られた。この結果は、実際の利用環境として想定される状況と同じ状態で大量のデータ取得を行って得たものである。また、実際のスタジオにおける指導やネットワークを利用した遠隔指導を想定して計測値の提示方法についても考察を行い、ウォーキングインストラクタからは指導の補助として有効であるとのコメントを得ることができた。

以上、本研究による足圧情報を用いた属性認識手法の能力をまとめると、まず個性性と性別への適用については代替手段があるがそれらとの組み合わせが可能であり、組み合わせによって識別率の向上が見込まれる、といえる。次に健康度と年齢層については、代替手段が確立していないが本研究により一つの指針が示された。また、高齢者の事故リスク、病状の有無については代替手段と同等の結果が得られる、ということができる。

歩行は人間の基本的な動作であり、古くから計測研究の対象とされながらも、まだ属性抽出の情報としての活用度が低かった。従来の歩行を用いた認識では、統一的な計測手法が確立しておらず、あらかじめ計測対象の属性を絞ったうえでそれに適した計測手段を選択しなくてはならなかった。本研究では対象の属性を限定せずに取得可能な圧力センサによる足裏の圧力分布計測に着目し、各分野への横断的な利用を試みた。これによって、あらゆる属性の人から計測可能な生体特徴である歩行を属性抽出手段として有効に活用する可能性を示したことに本研究の意義がある。また、その過程において歩行動作自体の詳細な解析を行い、従来知見に対して工学的な裏付けを行ったことにより、特に医療・健康分野における計測方法、評価方法、歩行指導の支援に寄与するものである。

本研究に着手した 90 年代のはじめは、セキュリティの分野では、監視カメラが普及して、個性の自動認識の必要性が叫ばれ始めた時代である。それから約十年の間に社会的な不安ははるかに大きなものとなって、個人認証のニーズは増大し、当時は実用化からは遠いと思われていた顔による認証が用いられるようになった。今後、歩行という手段も積極的に活用される時が来るかもしれない。また、90 年代の始めは、健康志向の高まりから、ウォーキングがブームになった最初の時代でもある。著者は、当初から歩行に注目し、研究を積み重ねて来たが、その後約十年経った現在、健康志向はますます盛んになり、この数年ウォーキングにも二度目のブームが起きている。本論文によって、今後のバイオメトリクスとしての歩行による認識技

術の進歩や、人々の健康に役立つ歩行指導の進歩のために、歩行計測と定量評価の可能性を示すことができているのであれば幸いである。

謝辞

本研究を博士論文としてまとめるにあたり、懇切な御指導、ご鞭撻を賜りました東京大学大学院情報理工学研究科システム情報学専攻 嵯峨山 茂樹教授に謹んで深謝致します。また、有益なご意見を賜りました小野順貴講師に深謝致します。嵯峨山先生、小野先生と共にシステム情報第一研究室の皆様には有益な御討論をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

東京大学大学院情報理工学研究科電子情報学専攻 広瀬啓吉教授、東京大学先端科学技術センター生命・情報ネットワーク分野 伊福部達教授、東京大学大学院情報理工学研究科システム情報学専攻 篠田裕之助教授、川上直樹講師には本論文の審査にあたり、有益なご指導とご鞭撻を賜りました。ここに謹んで深謝致します。

本研究は日本電信電話株式会社 前 NTT ヒューマンインタフェース研究所、現 NTT サイバースペース研究所において行われたものです。大塚作一氏（現NTTデータ）には、本論文中の主要なテーマ部分を手がけた期間、グループリードとして温かく見守っていただくと共に、研究の進め方からまとめに至るまで、懇切丁寧なご指導を賜りましたことに深謝致します。

最初に本研究の機会を与えてくださいました石井健一郎氏（現名古屋大学）、様々なご指導とご助言をくださいました伴野明氏（現東海大学）、大和淳司氏（現NTTコミュニケーション科学基礎研究所）に深く感謝致します。また、指導者として多くのアドバイスをくださいました畠田聡氏（現NTTサイバーソリューション研究所）、飯田行恭氏（現桐蔭横浜大学）に深く感謝致します。清水健太郎氏にはデータ収集へのお力添えをいただきました。杉山圭介氏には医療関係の開発や文献調査でお世話になりました。また、入社当時の第六プロジェクトの皆様、仲西正氏、小池秀樹氏、高橋裕子氏、佐藤敦氏、土川仁氏、加藤晃市氏を始め当時のヒューマンインタフェース研究所の方々には、様々なご協力をいただきました。足音のデータ収集、解析に関しては元音声情報研究部の皆様にもご協力をいただきました。ここに皆様への感謝を表したいと思います。

NTT 東日本関東病院リハビリテーション科部長 新井 雅信先生、前 NTT 東日本関東病院神経内科部長 玉城允之先生、NTT 東日本関東病院 理学療法士の澤田義則先生には、歩行分析システムをご活用いただくとともに、診療の合間を縫ってディスカッションしていただきました。先生方のご協力に心より感謝致します。

聖マリアンナ医科大学整形外科学教室 別府 諸兄 教授，日比野 豊先生，星野 克之先生には，データ収集へのご協力と貴重なご助言を賜りました。ここに深謝致します。上馬整形外科転倒予防教室の生徒様には被験者として数回にわたる計測にご協力いただきました。皆様に心から感謝致します。

ハクビウォーキングアカデミー院長 根本ひ彩子先生には，ウォーキングのエキスパートとして，他では得ることができない貴重なデータ収集へのご協力とご助言を賜りましたことに深謝致します。ハクビウォーキングアカデミーの生徒様には，数年にわたり貴重な被験者としてご協力いただきましたことに感謝致します。

システムの開発，ソフトウェアの実装などにおいては，メーカーの方や関連会社の皆様，派遣会社の皆様にも大変お世話になりました。NTT アドバンステクノロジー峯野豊氏，石田和文氏，元 NTT ソフトウェア青島裕子氏，久保田由美氏，斗米徹氏をはじめとするニッタ株式会社の皆様に感謝致します。

本論文のまとめに着手するにあたり，荒川賢一氏（現NTTサイバーコミュニケーション総合研究所）に温かいサポートをいただきましたことに感謝致します。論文執筆を進める段階では，安野貴之グループリーダー，若林佳織主任研究員から具体的なアドバイスの数々と温かいご配慮をいただいたことが大きな支えとなりました。両氏に心より感謝申し上げます。論文執筆に関する様々な資料をご提供をくださった島村潤氏，また安藤慎吾氏をはじめ論文を読んでご意見下さった方々には，貴重なお時間の中親身なご指導いただいたことに心から感謝致します。メディア通信プロジェクト画像処理グループの皆様には日頃から有益なご助言とご協力をいただいていることに感謝申し上げます。

日頃から子育てをサポートしてくれる両親と姉，子供のお友達のお母様方にも，皆様のお陰で研究を続けてこられましたことに心から感謝申し上げます。

最後に，夫 義明と長男 悠平，双子の恭平と哲平の日頃の支えに感謝致します。

参考文献

- [AG92] M.A. Abidi, and R.C. Gonzalez, *Data Fusion in Robotics and Machine Intelligence*, Academic Press, 1992.
- [Bar78] C. Barcle, "Temporal and spatial factors in gait perception that influence gender recognition," *Perception and Psychophysics*, vol.23, no.2, pp.145–152, 1978.
- [BF95] R. Brunelli, and D. Falavigna, "Person identification using multiple cues," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.17, no.10, pp.955–966, 1995.
- [BJ01] A. Bobick, and A. Johnson, "Gait recognition using static activity-specific parameters," in *Proceedings of IEEE Computer Vision and Pattern Recognition*, Dec. 2001.
- [CG75] R. Cavanagh, and J. Gregor, "Knee joint torque during the swing phase of normal treadmill walking," *Journal of Biomechanics*, vol.8, no.5, pp.337–344, 1975.
- [CGS02] R. Collins, R. Gross, and J. Shi, "Silhouette-based human identification from body shape and gait," in *IEEE International Conference on Face and Gesture*, pp.351–356, May 2002.
- [DC93] B.L. Davis, and P.R. Cavanagh, "Decomposition of superimposed ground reaction forces into left and right force profiles," *Journal of Biomechanism*, vol.26, no.4/5, pp.593–597, 1993.
- [FHR92] O.E. Facey, I.D. Hannah, and D. Rosen, "Analysis of low-pass filtered show-prints and pedbarograph images," *IEEE Trans. Pattern Recognition*, vol.25, no.6, pp.647–654, 1992.
- [HHN99] P.S. Huang, C.J. Harris, and M.S. Nixon, "Human gait recognition in canonical space using temporal templates," in *IEEE Proc. on Vis. Image Signal Process.*, vol.146, no.2, pp.93–100, 1999.
- [HW88] G. Harris, and C. Walker, "Capacitive sensors for measuring the pressure between the foot and shoe," in *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, vol.2, pp.805–806, 1988.
- [JBP99] A.K. Jain, R. Bolle, and S. Pankanti, eds., *BIOMETRICS Personal Identifica-*

- tion in Networked Society*, Kluwer, 1999.
- [Mar89] P. Maragos, "Pattern spectrum and multiscale shape representation," in *IEEE Trans*, vol.PAMI-11-7, pp.701–716, 1989.
 - [MF68] B. McGhee, and A. Frank, "On the stability properties of quadruped creeping gaits," *Mathematical Biosciences*, vol.3, no.3-4, pp.331–352, 1968.
 - [Nay99] Naya, "Recognizing human touching behaviors using a haptic interface for a pet-robot," in *Proc. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, pp.II-1030–1034, 1999.
 - [OPS⁺97] M. Oren, C. Papageorgiou, P. Sinha, E. Osuna, and T. Poggio, "Pdestrian detection using wavelet templates," in *In Proc. Computer Vision and Pattern Recognition*, pp.193–199, 1997.
 - [soua] "総務省平成 13 年社会生活基本調査・生活行動に関する結果," <http://www.stat.go.jp/data/shakai/2001/kodo/yoyakuk.htm\#>.
 - [soub] "総務省平成 8 年社会生活基本調査・生活行動に関する結果," <http://www.stat.go.jp/data/shakai/3-1.htm>.
 - [SPL⁺05] S. Sarkar, P. Phillips, Z. Liu, I.R. Vega, P. Grother, and K.W. Bowyer, "The humanid gait challenge problem: Data sets, performance, and analysis," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.27, no.2, pp.162–177, 2005.
 - [SYT96] K. Sudo, J. Yamato, and A. Tomono, "Determining gender of walking people using multiple sensors," in *IEEE/SICE/RSJ ICMFI(Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*, 1996.
 - [Tam97] Tamura, "Classification of acceleration waveforms during walking by wavelet transform," in *Meth. Inform. Med.*, vol.36, pp.356–359, 1997.
 - [TB01] R. Tanawongsuwan, and A. Bobick, "Gait recognition from time-normalized joint-angle trajectories in the walking plane," in *Proceedings of IEEE Computer Vision and Pattern Recognition*, Dec. 2001.
 - [TSAS03] M. Tamaki, Y. Sawada, K. Arasaki, and K. Sudo, "The effect of repetitive transcranial magnet stimulation(rtms) on frozen gait in the patients with parkinsonism," in *International Meeting TRANSCRANIAL Magnetic STIMULATION in MOVEMENT*, 2003.
 - [TSS⁺00] K. Tsutsuguchi, S. Shimada, Y. Suenaga, N. Sonehara, and S. Ohtsuka, "Human walking animation based on foot reaction force in the three-dimensional virtual world," *The Journal of Visualization and Computer Animation*, vol.11(1), pp.3–16, 2000.
 - [VM69] Vukobratovic, and J. M., "Contribution to the synthesis of biped gait," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol.BME-16, no.1, pp.1–6, 1969.
 - [WBR05] C.Y. Wang, J. Bobrow, and D. Reinkensmeyer, "Dynamic motion planning

- for the design of robotic gait rehabilitation,” in *ASME Trans. J. Biomech Eng.*, vol.127, no.4, pp.672–679, 2005.
- [WTNH03] L. Wang, T. Tan, H. Ning, and W. Hu, “Silhouette analysis-based gait recognition for human identification,” in *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.25, no.12, pp.1505–1518, Dec 2003.
- [阿江 99] 阿江通良, 岡田英孝, 尾崎哲郎, 藤井範久, “高齢者の歩行中のまたぎ越しに関する kinematics 的研究,” *バイオメカニズム学会誌*, vol.23, pp.112–121, 1999.
- [青木 98] 青木 高監修, 牧川優, 60 歳からの健康・安全ウォーキング, 日本加除出版株式会社, 1998.
- [赤沢 98] 赤沢康史, 中川昭夫, 岡野生也, 田中正夫, “短下肢装具適合評価のための簡便な歩行分析手法の検討 足関節運動に着目して,” *バイオエンジニアリング学術講演会講演論文集*, vol.10th, pp.141–142, 1998.
- [明石 73] 明石謙 (編), 運動学, 医歯薬出版株式会社, 1973.
- [赤穂 99] 赤穂昭太郎, “E C M法を用いた確率分布の位置, 尺度, 回転パラメータの推定法,” *電子情報通信学会論文誌*, vol.J-82-D-II, no.12, pp.2240–2250, 1999.
- [赤松 04] 赤松茂, “顔認証システム,” *映像情報メディア学会誌*, vol.558, pp.753–755, Jun. 2004.
- [新井 96] 新井雅信, 澤田義則, 坪井安広, 加藤好道, 伊田紀世, 大和淳司, 数藤恭子, “大面積足圧センサーシステムによる歩行分析,” *リハビリテーション医学*, vol.33, no.11, p.779, 1996.
- [石川 82a] 石川正俊, 下条誠, “感圧導電性ゴムを用いた 2 次元分布荷重の中心の位置の測定法,” *計測自動制御学会論文集*, vol.18, no.7, 1982.
- [石川 82b] 石川正俊, 下条誠, “感圧導電性ゴムを用いた圧力センサ,” *バイオメカニズム学会誌*, no.3, 1982.
- [石川 92] 石川正俊, センサフュージョン, コロナ社, 1992.
- [石川 04] 石川尋代, 母里南陽, 佐藤幸男, “不完全な形状データからの足モデル構築,” 「画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2004)」, no.I-601, 2004.
- [泉 03] 泉正夫, 宮本貴朗, 福永邦雄, “歩行動作の時空間画像からの人物識別,” 2003 年信学会総合大会, no.D-12-156, 2003.
- [伊東 89] 伊東基治, “顧客情報の分析と活用,” vol.28, no.1, pp.23–30, 1989.
- [伊藤 05] 伊藤宏司, 身体知システム論—ヒューマンロボティクスによる運動の学習と制御, 共立出版株式会社, 2005.
- [伊藤 06] 伊藤聡, 堀田勇樹, 金田憲二, 南里卓也, 下島康幸, 田浦健次朗, 大武美保子, 佐藤知正, 大津展之, “大規模クラスタを用いた高精度な gait 認識,” *電子情報通信学会技術研究報告*, no.PRMU2005-217, pp.91–96, 2006.
- [乾 01] 乾敏郎, 安西祐一郎, 認知発達と進化, 岩波書店, 2001.
- [岩元 03] 岩元浩太, 園部一幸, 小松尚久, “HMMを用いた歩行特性による人物識別手法,” 2003 年信学会総合大会, no.D-12-151, 2003.

- [植木 98] 植木一範, 高野剛, 原利昭, 水谷都, 倉島幸子, 岸田興治, “高齢者の歩行動作特性解析と歩行訓練,” 第 13 回生体・生理工学シンポジウム論文集, pp.469-472, 1998.
- [大瀧 01] 大瀧保明, 佐川貢一, 猪岡光, “加速度センサとジャイロを用いた連続歩行分析アルゴリズム,” 日本機械学会論文集 C, vol.67, no.655, pp.782-788, 2001.
- [大塚 00] 大塚圭, 才藤栄一, 金田嘉清, “リハビリテーション医学の進歩と展開 トレッドミル歩行分析と歩行訓練,” 現代医療, vol.32, no.6, pp.1439-1444, 2000.
- [岡田 92] 岡田行弘, “足底支持条件, 視覚, 頭部移動が起立制御におよぼす影響,” 慶應医学, no.69(5), 1992.
- [加倉 03] 加倉井 周一編, 装具学 第 3 版, 医歯薬出版株式会社, 2003.
- [加倉 05] 加倉井 周一訳, 臨床装具学 -生体工学的アプローチ-, 医歯薬出版株式会社, 2005.
- [影広 03] 影広達彦, 古賀昌史, 酒匂裕, 藤澤浩道, “ベイズルールを用いた周辺情報統合による手書き漢数字の文字切出し手法,” 電子情報通信学会論文誌, vol.J86-D-II, no.11, pp.1556-1564, 2003.
- [加藤 75] 加藤一郎, 山下忠, 歩行ロボットと人工の足 (Miomir Vukobratovic 著), 日刊工業新聞社, 1975.
- [河合 93] 河合秀夫, 田村進一, 光本浩士, “ニューラルネットワークによる粗解像度画像からの男女の識別と解析,” 信学会春季全国大会 D-517, 1993.
- [川上 02] 川上梅, 松本幸子, “各種女性靴の歩行運動機能性,” 東京家政学院大学紀要 自然科学・工学系, 2002.
- [菅野 94] 菅野恒雄, 安居院猛, 長橋宏, “外観特徴による人物の抽出,” 信学会春季全国大会 D-578, 1994.
- [菅野 97] 菅野恒雄, 熊野秀樹, 寺町康昌, 長橋宏, “遺伝的アルゴリズムによる男女識別ニューラルネットワークの設計,” 信学会論文誌, vol.J80-D-II, no.8, pp.251-253, 1997.
- [木村 04] 木村誠, 持丸正明, 河内まき子, 金出武雄, 斎藤英雄, “ステレオ法による歩行中の足の特徴断面の形状計測,” 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2004) 講演論文集, pp.II-181-186, 2004.
- [久木 97] 久木元伸如, 野藤龍一郎, 竹田仰, “Immersadesk による自己運動感覚の計測 (第一報),” 日本 VR 学会第 2 回大会論文集, pp.241-242, 1997.
- [窪田 97] 窪田俊夫, 大橋正洋 (編), 歩行障害の診断・評価入門, 医歯薬出版株式会社, 1997.
- [栗山 01] 栗山繁, 栗原芳己, 金子豊久, “神経振動子を用いた歩行アニメーションの自動生成,” 電子情報通信学会論文誌, vol.J84-D-II, no.11, pp.2427-2436, 2001.
- [小林 97] 小林一成, “健康成人歩行の男女差について,” バイオメカニズム学術講演会予稿集, vol.18, pp.55-58, 1997.
- [小林 06] 小林哲平, 三宅美博, 和田義明, 松原正明, “加速度センサを用いた運動学的歩行分析システムー股関節疾患の術後リハビリにおける walk-mate 有効性評価への適用ー,” 計測自動制御学会論文集, vol.42, no.5, pp.567-576, 2006.
- [小牧 99] 小牧大輔, 石井裕剛, 市口誠道, 下田宏, 吉川榮和, “VR による人の歩行動作の効率的表現法の研究-特徴分析と自然さの評価-,” ヒューマンインタフェース学会研究

- 報告集, vol.1, no.2, pp.19-24, 1999.
- [佐川 92] 佐川幸三郎, 新しいマーケティングの実際, プレジデント社, 1992.
- [澤田 02] 澤田義則, 玉城允之, 荒崎圭介, 数藤恭子, “すくみ足現象をもつ患者の足底主要部位の足圧測定と表面筋電図による分析 -その改善を目的とした運動療法の検討-,” 第 32 回日本臨床神経生理学会学術集会, Nov. 2002.
- [澤田 05] 澤田義則, 玉城允之, 荒崎圭介, 数藤恭子, 飯田行恭, “すくみ足現象に対する連続経頭蓋磁気刺激 (rtms) の治療効果 -足底主要部位別の足圧測定による分析-,” 臨床脳波, June 2005.
- [畠田 98] 畠田聡, 石田和文, 大塚作一, “足圧分布とカメラ画像の統合処理による人物の姿勢計測,” 信学会研究会, vol.PR MU98-179, 1998.
- [畠田 05] 畠田聡, 博士論文「足圧時系列画像とカメラ動画像を用いた歩行計測技術と応用に関する研究」, 金沢大学大学院自然科学研究科, 2005.
- [下野 99] 下野敏広, 河合恒, 比企静雄, 安達正夫, “高齢者の歩行動作の特性の解析,” 日本機械学会学会スポーツ工学シンポジウム・シンポジウムヒューマン・ダイナミクス講演論文集, 1999.
- [鈴木 00] 鈴木良平, “歩行分析と靴, 装具,” PO アカデミージャーナル, vol.7, no.4, pp.271-275, 2000.
- [数藤 93] 数藤恭子, 大和淳司, 伴野明, 石井健一郎, “歩行画像の切り出しと男女識別法の一検討,” 画像工学コンファレンス, 1993.
- [数藤 94] 数藤恭子, 大和淳司, 伴野明, 石井健一郎, “服装と足音の統合処理による歩行者の男女識別,” 電子情報通信学会春季全国大会, 1994.
- [数藤 95] 数藤恭子, 大和淳司, 伴野明, “モルフォロジーによるパターンスpektrumを用いた服装識別,” 電子情報通信学会春季全国大会, 1995.
- [数藤 96] 数藤恭子, 畠田聡, 大塚作一, 伴野明, “足圧センサを用いた加齢による歩行変化の解析,” 電子情報通信学会技術研究報告 ME とバイオサイバネティクス研究会, 1996.
- [数藤 97] 数藤恭子, 大和淳司, 伴野明, “モルフォロジー処理によるパターンスpektrumを特徴量に用いた男女識別法,” 電子情報通信学会論文誌, vol.J80-D-II, no.5, pp.1037-1045, 1997.
- [数藤 00a] 数藤恭子, 畠田聡, 飯田行恭, 大塚作一, “足圧の時空間特徴による歩行分析,” 電子情報通信学会システムソサイエティ大会, no.D-12-70, 2000.
- [数藤 00b] 数藤恭子, 大和淳司, 伴野明, 石井健一郎, “入店客計数のためのシルエット・足音・足圧による男女識別法,” 電子情報通信学会論文誌, vol.J83-D-I, no.8, pp.882-890, 2000.
- [数藤 01a] 数藤恭子, 飯田行恭, 大塚作一, 別府諸兄, “高齢者の転倒予防のための歩行パラメータ抽出の検討,” 第 16 回生体・生理工学シンポジウム, 2001.
- [数藤 01b] 数藤恭子, 飯田行恭, 大塚作一, 畠田聡, “足圧中心軌跡を用いた歩行の美しさの点数化,” 電子情報通信学会総合大会, no.D-12-45, 2001.
- [数藤 04] 数藤恭子, 畠田聡, 飯田行恭, 高橋裕子, 大塚作一, “足底の重心移動の軌跡と時間的

- 変化に基づく歩行の良さの定量評価,” 電子情報通信学会論文誌, vol. Vol.J87-D-II, no.10, pp.1951-1962, 2004.
- [鷺見 97] 鷺見成正, “Point-light-walker の知覚と動作性認識,” 映像メディア学会技術報告, vol.21, no.40, pp.51-56, 1997.
- [関本 94] 関本敦史, 佐藤進, 高畑一夫, 植田佳典, “人間の歩行運動の特徴パラメータにの抽出について,” 信学会秋期大会, 1994.
- [田中 01a] 田中基八郎, 佐藤太一, “音による情報の判別と表現,” 日本機械学会論文集 C 編, vol.67, no.657, pp.1224-1229, 2001.
- [田中 01b] 田中基八郎, 巽敏寛, 千田剛, 藤野隆, 渡邊鉄也, 佐藤太一, 戸田富士夫, “靴音の解析,” 日本機械学会論文集 C 編, vol.67, no.657, pp.85-90, 2001.
- [玉城 01] 玉城允之, 荒崎圭介, 数藤恭子, 飯田行恭, “すくみ足現象をもつ患者の足底主要部位別の足圧測定分析,” 第 31 回日本臨床神経生理学会学術集会, 2001.
- [丹後 95] 丹後俊郎, 新版 医学への統計学, 朝倉書店, 1995.
- [塚本 93] 塚本富一郎, 石川聖二, 加藤清史, “カラーとテクスチャーを利用した人物の衣服解析,” 第 24 回画像工学コンファレンス論文集, pp.351-354, 1993.
- [出口 94] 出口光一郎, 篠沢 (数藤) 恭子, 森下巖, “Morphology による図形分解における構造化要素の評価法,” 計測自動制御学会論文集, vol.30, no.2, pp.240-242, 1994.
- [鳥脇 93] 鳥脇純一郎, 認識工学 — パターン認識とその応用 —, コロナ社, 1993.
- [中島 93] 中島義明, 井上雅勝, “映像の心理学 — 実践場面における映像の効果 —,” 大阪大学人間科学部紀要, vol.19, 1993.
- [中野 95] 中野博孝, 高橋正紘, “足圧中心確率密度分布を利用した直立精度の研究,” 日本耳鼻咽喉科学会誌, pp.98-599-605, 1995.
- [中原] 中原 雄一, “ICO Fitness Club On-line 「足の「あおり」」,” http://www.icofit.net/outdoor/walking/feet_movement.html.
- [中村 03] 中村隆一, 斎藤宏 (編), 基礎運動学 第 6 版, 医歯薬出版株式会社, 2003.
- [中山 04a] 中山英久, 和泉勇治, 加藤寧, 根元義章, “混合分布による文字モデルに基づく毛筆手書き文字の整形手法,” 2004 年電子情報通信学会総合大会, no.D-12-34, 2004.
- [中山 04b] 中山英久, 和泉勇治, 加藤寧, 根元義章, “毛筆文字品質改善の為の混合分布による手書き文字モデル,” 「画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2004)」, 2004.
- [西澤 99] 西澤哲, “高齢者歩行の決定要因,” バイオメカニズム学会誌, vol.15, pp.131-139, 1999.
- [ハク 96] ハクビベレッツアクラブ, ビューティフルウォーキング, ハクビ出版局, 1996.
- [波多 01] 波多野義郎, ウォーキング!, 株式会社アспект, 2001.
- [畠] 畠直輝, 堀洋一, “転ばぬ先の杖アルゴリズムによる歩行支援,” 第 23 回日本ロボット学会学術講演会講演概要集 (2005), p.222.
- [早川 00] 早川巖, 渡辺一騎, “咬合と歩行安定性,” in *The Quintessence*, vol.19, no.5, pp.971-976, 2000.
- [半谷 04] 半谷精一郎, “バイオメトリクス認証技術の動向とセキュリティシステムへの応用,”

- 映像情報メディア学会誌, vol.58, no.6, pp.750-752, 2004.
- [深山 01] 深山篤, 澤木美奈子, 村瀬洋, 萩田紀博, “歩行動作特性からの年齢層の推定,” 信学会論文誌, vol.J84-D-II, no.7, pp.1522-1525, 2001.
- [福田 97] 福田敏男, 新美慶和, “画像処理による男女識別,” 日本ロボット学会学術講演会, pp.525 - 526, 1997.
- [藤井 05] 藤井崇介, 関進, 沢田篤史, 美濃導彦, “個人識別のためのフットステップ情報利用の検討,” 2005 年信学会総合大会, no.D-12-27, 2005.
- [藤枝 95] 藤枝恵美, 森岡周, 松木秀行, 國澤雅裕, 前田秀博, “脳卒中片麻痺患者の歩行自立度とバランス能力との関連性,” 四国理学療法士学会誌, no.17, 1995.
- [古井 92] 古井貞熙 (編), デジタル音声処理, 東海大学出版会, 1992.
- [別府 01] 別府諸兄, 石井庄次, 日比野豊, 星野克之, 青木治人, 数藤恭子, 飯田行恭, “高齢者の歩行特性-転倒予防教室におけるメディカルチェックより-,” 第 27 回日本股関節学会学術集会, 2001.
- [星野 01] 星野克之, 別府諸兄, 数藤恭子, “転倒予防教室における高齢者の歩行解析,” 第 13 回日本理学診療医学会, 2001.
- [星野 02a] 星野克之, 別府諸兄, 石井庄次, 増田敏光, 日比野豊, 小宅雄一郎, 青木治人, 数藤恭子, 飯田行恭, “転倒予防教室における高齢者の歩行解析,” 運動療法と物理療法, vol.13, pp.113-117, 2002.
- [星野 02b] 星野克之, 別府諸兄, 日比野豊, 数藤恭子, 飯田行恭, “転倒予防教室における高齢者の歩行解析の経時的変化,” 第 14 回日本理学診療医学会, 2002.
- [星野 03] 星野克之, 別府諸兄, 石井庄次, 増田敏光, 日比野豊, 小宅雄一郎, 青木治人, 数藤恭子, 飯田行恭, “転倒予防教室における高齢者の歩行解析の経時的変化,” 運動療法と物理療法, vol.14, pp.292-296, 2003.
- [堀 01] 堀修, 三田雄志, “テロップ認識のための映像からのロバストな文字部抽出法,” 電子情報通信学会論文誌, vol.J84-D-II, no.8, pp.1800-1808, 2001.
- [マー 93] マージョリー・H・ウーラコット, アンシャムウエイック編, 矢部京之助監訳, 姿勢と歩行の発達, 大修館書店, 1993.
- [前田 96] 前田茂則, 岡本真明, 河原達也, 美濃導彦, 池田克夫, 堂下修司, “顔画像特徴, 歩行画像特徴および音声特徴の統合による個人識別,” 信学会論文誌, vol.J79-D-II, no.4, pp.600-607, 1996.
- [前田 97] 前田茂則, “マルチメディア個人識別 顔・歩き方・声による総合判定,” 画像ラボ, vol.8, no.4, pp.1-4, 1997.
- [増田 03] 増田信一, “3 次元画像計測システムの最新動向 リアルタイム光学式モーションキャプチャシステム『Vicon』,” , 2003.
- [眞野 87] 眞野行生, 森本茂, “コントロール系の異常による病的歩行,” 総合リハビリテーション, vol.15, pp.949-955, 1987.
- [宮下 00] 宮下充正, ウォーキングレッスン, 講談社, 2000.
- [宮原 93] 宮原健次, “圧力分布測定器で測定した正常成人における歩行時の足底圧分布,” 日本

整形外科学会誌, vol.67, pp.449-462, 1993.

- [武藤 00] 武藤芳照, 黒柳律雄, 上野勝則, 太田美穂 (編), 転倒予防教室 転倒予防への医学的対応, 日本医事新報社, 2000.
- [村瀬 92] 村瀬洋, “シルエットを用いた歩行動画像からの個人識別,” 信学会論文誌, vol.J75, no.D-II, pp.1096-1098, 1992.
- [村松 05] 村松冬樹, 中村納, “男女識別のための全身像の領域分割の検討,” 2003 年電子情報通信学会総合大会, vol.D-12-150, 2005.
- [森田 04] 森田良文, 各務弘憲, 鶴飼裕之, 神藤久, “ニューラルネットに基づく歩行時加速度データの高齢者/若年者弁別,” 電子情報通信学会論文誌, vol.J88-D-II, no.2, pp.427-435, 2004.
- [柳川 98] 柳川和優, 磨井祥夫, 安陪大治郎, 渡部和彦, “青年と高齢者における歩行動作の比較- 足部の運動特性に着目して -,” 体力科学 (1998), vol.47, pp.131-142, 1998.
- [山口 96] 山口真美, 赤松茂, 加藤隆, “顔の感性情報と物理的特徴との関連について年齢/性の情報を中心に,” 信学論 A, vol.79, no.2, pp.279-287, 1996.
- [山瀬 95] 山瀬弘之, 佐藤宏介, 千原國宏, “カラー全身像による男女識別に関する一考察,” 第 39 回システム制御情報学会研究発表講演会論文集, pp.311-312, 1995.
- [大和 94] 大和淳司, 数藤恭子, 伴野明, 石井健一郎, “圧力センサマットを用いた足圧画像からの個人識別の検討,” 信学技報 PRU94-61, pp.15-22, 1994.
- [大和 95] 大和淳司, 数藤恭子, 伴野明, 新井雅信, “大面積圧力センサと画像を用いた歩容解析,” 電子情報通信学会技術研究報告パターン認識・理解研究会, 1995.
- [大和 96] 大和淳司, 数藤恭子, 伴野明, 新井雅信, “大面積圧力画像センサを用いた歩行解析,” テレビジョン学会年次大会, no.13-6, 1996.
- [山西 06] 山西利明, 森武俊, 森下広, 原田達也, 佐藤知正, “時系列床面圧力分布情報を用いた個人識別システムの開発,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol.PRMU2005-167, pp.105-110, 2006.
- [渡辺 98] 渡辺一騎, “全部床義歯の装着が無歯顎者の身体平衡に及ぼす影響,” 口腔病学会雑誌, vol.66, no.1, pp.8-14, 1998.

appendix

研究業績

学術論文誌

1. 数藤恭子, 大和淳司, 伴野明, “モルフォロジー処理によるパターンスpektrumを特徴量に用いた男女識別法,” 電子情報通信学会論文誌, vol.J80-D-II, 1997.
2. 数藤恭子, 大和淳司, 伴野明, 石井健一郎, “入店客計数のためのシルエット・足音・足圧による男女識別法,” 電子情報通信学会論文誌, vol.J83-D-I, 2000.
3. 数藤恭子, 畠田聡, 飯田行恭, 高橋裕子, 大塚作一, “足底の重心移動の軌跡と時間的変化に基づく歩行の良さの定量評価,” 電子情報通信学会論文誌, vol.Vol.J87-D-II, 2004.

国際会議

1. K. Sudo, J. Yamato, and A. Tomono, “Determining gender of walking people using multiple sensors,” in *Proc. of IEEE/SICE/RSJ Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems(ICMFI)*, 1996.

研究会・シンポジウム

1. 数藤恭子, 大和淳司, 伴野明, 石井健一郎, “歩行画像の切り出しと男女識別法の一検討,” 第 24 回画像工学コンファレンス論文集, pp.293-296, 1993.
2. 数藤恭子, 大和淳司, 伴野明, “複数センサ情報の統合による男女識別,” RWC 情報統合ワークショップ'95, pp. 279-286, 1995.
3. 数藤恭子, 畠田聡, 大塚作一, 伴野明, “足圧センサを用いた加齢による歩行変化の解析,” 電子情報通信学会技術研究報告 ME とバイオサイバネティクス研究会 96-84, 1996.
4. 数藤恭子, 飯田行恭, 大塚作一, 別府諸兄, “高齢者の転倒予防のための歩行パラメータ抽出の検討,” 第 16 回生体・生理工学シンポジウム予稿集, pp.107-108, 2001.

全国大会

1. 数藤恭子, 大和淳司, 伴野明, 石井健一郎, “服装と足音の統合処理による歩行者の男女識別,” 電子情報通信学会春季全国大会, 1994.
2. 数藤恭子, 大和淳司, 伴野明, “モルフォロジーによるパターンスpektrumを用いた服装識別,” 電子情報通信学会春季全国大会, 1995.
3. 数藤恭子, 畠田聡, 飯田行恭, 大塚作一, “足圧の時空間特徴による歩行分析,” 電子情報通信学会システムソサイエティ大会, D-12-70, 2000.
4. 数藤恭子, 飯田行恭, 大塚作一, 畠田聡, “足圧中心軌跡を用いた歩行の美しさの点数化,” 電子情報通信学会総合大会, D-12-45, 2001.
5. 数藤恭子, 飯田行恭, 大塚作一, “圧力センサによる歩行分析装置を用いた歩行の良さ

の定量評価手法,” 第 21 回医療情報学連合大会予稿集, 1-H-3-5, 2001.

表彰

1. 1995 年, 電子情報通信学会, 平成 7 年度ソサイエティ大会学術奨励賞受賞.

本論文に関係する学術論文等

学術論文誌

1. 新井雅信, 澤田義則, 坪井安広, 加藤好道, 伊田紀世, 大和淳司, 数藤恭子, “大面積足圧センサーシステムによる歩行分析,” リハビリテーション医学, vol.33(11) : 779, 1996.
2. 澤田義則, 玉城允之, 荒崎圭介, 数藤恭子, 飯田行恭, “すくみ足現象に対する連続経頭蓋磁気刺激 (rtms) の治療効果 -足底主要部位別の足圧測定による分析-,” 臨床脳波, June 2005.

国際会議

1. M. Tamaki, Y. Sawada, K. Arasaki, and K. Sudo, “The effect of repetitive transcranial magnet stimulation(rtms) on frozen gait in the patients with parkinsonism,” in *Proc. of the International Meeting TRANSCRANIAL Magnetic STIMULATION in MOVEMENT*, 2003.

研究会・シンポジウム

1. 大和淳司, 数藤恭子, 伴野明, 石井健一郎, “圧力センサマットを用いた足圧画像からの個人識別の検討,” 電子情報通信学会パターン認識・理解研究会, 1994.
2. 大和淳司, 数藤恭子, 伴野明, 新井雅信, “大面積圧力センサと画像を用いた歩容解析,” 電子情報通信学会パターン認識・理解研究会 PRU, vol.95, No.165, 1995.

全国大会

1. 大和淳司, 数藤恭子, 伴野明, 新井雅信, “大面積圧力画像センサを用いた歩行解析,” テレビジョン学会年次大会, 13-6, 1996.
2. 畠田聡, 杉山圭介, 数藤恭子, 大塚作一, “足底の時空間荷重分布に基づく人物動作分析,” 電子情報通信学会システムソサイエティ大会, D-7-18, 1999.
3. 星野克之, 別府諸兄, 数藤恭子, “転倒予防教室における高齢者の歩行解析,” 第 13 回日本理学診療医学会, 2001.
4. 別府諸兄, 石井庄次, 日比野豊, 星野克之, 青木治人, 数藤恭子, 飯田行恭, “高齢者の歩行特性-転倒予防教室におけるメディカルチェックより-,” 第 27 回日本股関節学会学術集会, 2001.
5. 玉城允之, 荒崎圭介, 数藤恭子, 飯田行恭, “すくみ足現象をもつ患者の足底主要部位別の足圧測定分析,” 日本臨床神経生理学会, 2001.
6. 星野克之, 別府諸兄, 日比野豊, 数藤恭子, 飯田行恭, “転倒予防教室における高齢者の歩行解析の経時的変化,” 第 14 回日本理学診療医学会, 2002.

7. 星野 克之, 別府 諸兄, 石井 庄次, 増田 敏光, 日比野 豊, 小宅 雄一郎, 青木 治人, 数藤 恭子, 飯田 行恭, “転倒予防教室における高齢者の歩行解析の経時的変化,” 運動療法と物理療法, 13(1), pp.31, 2002.
8. 星野 克之, 別府 諸兄, 石井 庄次, 増田 敏光, 日比野 豊, 小宅 雄一郎, 青木 治人, 数藤 恭子, 飯田 行恭, “転倒予防教室における高齢者の歩行解析の経時的変化,” 運動療法と物理療法, 14(4), pp.292-296, 2003.
9. 星野 克之, 別府 諸兄, 石井 庄次, 増田 敏光, 日比野 豊, 小宅 雄一郎, 青木 治人, 数藤 恭子, 飯田 行恭, “転倒予防教室における高齢者の歩行解析,” 運動療法と物理療法, 13(2), pp.113-117, 2002.
10. 星野 克之, 別府 諸兄, 石井 庄次, 増田 敏光, 日比野 豊, 西山 敬浩, 青木 治人, 数藤 恭子, 飯田 行恭, “ボール体操による高齢者の転倒予防教室,” 日本整形外科学会誌, 77(4), pp. 659, 2003.

その他の論文等

国際会議

1. K. Sudo, T. Osawa, K. Wakabayashi and T. Yasuno, "Detecting the Degree of Anomal in Security Videos by Using the Spatio-temporal Feature of Change," in *Proc. of the 8th IASTED Int. Conf. on Signal and Image Processing(SIP2006)*, 2006.

研究会・シンポジウム

1. 数藤恭子, 若林佳織, 荒川賢一, "長時間の監視映像からの非定常シーケンスの検出," 情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究会, CVIM-151, 2005.
2. 数藤恭子, 大澤達哉, 若林佳織, 安野貴之, "映像時空間内での変化領域を特徴量とする監視映像からの非定常度推定," 電子情報通信学会パターン認識メディア理解研究会, 2006.
3. 数藤恭子, 大澤達哉, ウ小軍, 若林佳織, 安野貴之, "監視映像シーケンスの非定常度推定," 電子情報通信学会ネットワークロボット時限研究会, 2006.

全国大会

1. 数藤恭子, 大澤達哉, 若林佳織, 安野貴之, "長時間映像からの非定常度推定と監視映像への適用," 画像電子学会年次大会, 2006.