Vol.2011-CVIM-177 No.11
2011/5/19

注視方向変化に起因する歩行特徴変化に関する基礎検討

長 瀬 義 大[†1] 満 上 育 久[†1] 八 木 康 史[†1]

人の歩いている様子から，その人の意図や感情が推測できることがある．このことを踏まえて，我々は，人の意図や感情と歩行の関係について研究を行っている．本研究では，その基礎調査として，人の意図と密接に関係し客観的な観測が可能な注視行動に着目し，注視方向と歩行の関係について分析を行った．分析においては，複数人の被験者が様々な方向を注視しながら直線歩行した際の身体各部位の時系列姿勢をモーションセンサを用いて収集し，注視方向が変化した際にこれらの姿勢がどのように変化するかを調べた．

Primary study about relation between human's gaze direction and gait features

Yoshihiro Nagase,[†1] Ikuhisa Mitsugami[†1] and Yasushi Yagi[†1]

We can sometimes guess one's intention or emotion from his/her walking. Inspired by this fact, we have launched a new research topic; analysis of the relationship between the gait and the intention. In this research, as a basic investigation for this purpose, we analyze relationship between the gait and gaze direction, which is expected to have a close relation with the intention and can be measured objectively. We first collect gait features of people walking in a straight line while watching a certain direction using motion sensors. Their pose sequences are then estimated from the collected data.

†1 大阪大学
Oosaka University

1. はじめに

近年，監視システムやアクセスコントロールのための個人認証の必要性が高まっており，人間の生体情報に基づくバイオメトリクスを利用した認証技術が注目されている．バイオメトリクスには，指紋，静脈，虹彩，顔などが利用されているが，最近，人の歩く様子を観測することで認証を行う歩容認証が関心を集めている．歩容認証は，被認証者が計測用デバイスに接触する必要がなく，数十メートルの遠方からでも認証を行うことができることが大きな利点である．現在，歩容認証の手法としてはモデルベースの手法やアピアランスベースの手法などが提案されている．モデルベースの手法では，Urtasun らが解剖学的なモデルを用いることで[1)]，Yam らがフーリエ解析で得られる特徴をモデルにあてはめることで[2)] 認証を行っている．アピアランスベースの手法では，Sarkar らがシルエット画像の直接照合手法で[3)]，Han らが歩容を表す特徴として GEI を使用した人物認識手法で[4)] 認証を行っている．また，槇原ら[5)] はフーリエ解析と方向転換モデルを利用することで高い認証率を達成している．一方，我々は，人の歩く様子から,「浮かれている」・「急いでいる」・「落ち込んでいる」等その人の意図や感情を推測できることがある．また,「足取りが重い/軽い」などといった歩行と感情を結びつけた表現が存在する．これらの事実から，人の歩行は，個人の識別だけではなく，人の意図や感情といった内的な情報を推定するための情報としても有益であると考えられる．

もし，人の歩行の様子からその人の意図や感情を推定することができるようになれば，参加者の意図により情景を変化させるようなシミュレータやゲーム等のエンターテイメントに応用できる．また，犯罪を起こそうとしている人物に警告を発することで犯罪を未然に防止したり，客の購買意欲に合わせた広告提示などの商業利用も考えられる．

人の行動による意図推定に関する関連研究として，視線運動から人物の興味を推定を行う手法[6)] や，特定の問題設定下において人物の意図の予測を行うためのモデル[7)] が既に提案されている．しかし，これらの手法は，着席状態など非常に限定された状態や空間を想定しており，人が広範囲を動くような状況や様々な行動をとるような場面を対象としていない．本研究で論じている歩行と意図・感情のマッピングという試みには新規性があると考えられる．

我々は，以上の議論を踏まえて，人の歩行から意図や感情などの内的状態を推定することを目指し，これらの間に存在する関係性について分析を行っている．歩行と意図・感情をマッピングするためには，人が持ち得る各意図・感情を網羅し，それぞれの意図・感情下に

おける人物の歩行特徴を収集しなければならない．しかし，意図・感情を網羅し体系的に整理することは困難であり，また，複数人に正確に同じ意図・感情を持たせることや，人の意図・感情やその度合を外部観測することが困難なことも，この研究を進める上で大きな問題である．

そこで本論文では，人の意図と強い関係があり，なおかつ客観的な外部観測が可能である人の注視行動に注目し，注視と歩行の関係について分析することを目標とする．そのために，注視の方向を変化させながら直線歩行する複数人の被験者の歩行データを収集し分析する．被験者の歩行データの取得にはモーションセンサを用い，各関節部位の姿勢データを時系列で収集する．そして得られた歩行データとその時の注視方向をプロットしそこに存在する関係性を分析する．

本論文の構成を以下に示す．2 章ではモーションセンサの利用法について述べる．3 章では測定実験について述べ，最後に 4 章で結論と今後の課題について述べる．

2. モーションセンサを利用した歩行特徴抽出

2.1 使用するモーションセンサ

現在，歩容認証の分野では主にカメラを用いる方法が利用されている．槇原ら[5)] は撮影された画像列に対して，背景差分やセグメンテーションを行い人物シルエットを抽出し，そのシルエットに対してフーリエ解析を行うことでその周波数特徴を抽出している．一方，本研究では，視線の方向によって起こる歩行の変化を直接的に観測するために，人体各部位の姿勢をモーションセンサをによって計測する．

本研究で使用するモーションセンサは以下の条件を満たす必要がある．

- 装着時に人の動きを著しく阻害しないこと
- 人の歩行の計測に十分な計測レンジがあること
- 複数台同時に計測できること

以上の条件に加えて，SDK の有無等実装上の要件を加味して ZMP 社の IMU-Z(**図 1**) を選択した．IMU-Z は 3 軸の加速度センサ，角速度センサ，地磁気センサで構成されており，その三次元的な姿勢情報を Bluetooth による無線通信を用いてリアルタイムで PC に伝送することができる．

2.2 モーションセンサの校正

世界座標系における各センサ姿勢を取得するために，モーションセンサの校正を行う．ここで，世界座標系とは重力方向と磁北方向で規定される座標系とする．

図 1 IMU-Z の外観
Fig. 1 Appearance of IMU-Z

2.2.1 オフセット補正

一般にセンサの観測値には，観測されるべき真値に，一定のオフセット値が加算されている．以後の姿勢推定処理の前に，まずこのオフセットの補正を行う必要がある．

時刻 t でセンサ i での観測値を表すベクトルを $\boldsymbol{v_{e\_i,t}}$，その時の真値を表すベクトルを $\boldsymbol{v_{s\_i,t}}$，オフセット値を $\boldsymbol{v_{o\_i}}$ とすると，

$$\boldsymbol{v_{e\_i,t}} = \boldsymbol{v_{s\_i,t}} + \boldsymbol{v_{o\_i}} \quad (1)$$

で表される．オフセット値はセンサの姿勢によらず一定とみなすことができるので，相対的な関係が既知の複数の姿勢でセンサを静止させ，同一の情報（重力加速度）を観測することによって，オフセット値を算出することが可能である．

2.2.2 センサ姿勢の推定

オフセット補正された計測データを用いて世界座標系でのセンサの姿勢を得る処理の流れを，**図 2** に示す．まず計測データ $\boldsymbol{v_{s\_i,t}}$ に対し，ローパスフィルタを用いて高周波の誤差を除去する．角速度に関しては，積分値で姿勢情報に利用されるため，センサが静止状態にある場合にも，微小な観測誤差により誤って姿勢変化が推定されることがある．この問題を防ぐために微小な測定値をカットするデッドバンドフィルタを加えている．その後，加速度センサと地磁気センサによって計測される重力と磁北方向利用した姿勢推定結果 $P_{s\_i,t}$ と，直前の姿勢と角速度センサから得られる角速度を利用した姿勢推定結果 $P_{d\_i,t}$ に対し重みづけを行い，センサの姿勢 $R_{s\_i,t}$ を求める．角速度が大きく変動している状況では，重力方向が正しく推定できない可能性が高いため，角速度による推定結果 $P_{d\_i,t}$ の重みを大きくし，角速度が安定して十分小さい値ならば，角速度による推定結果 $P_{d\_i,t}$ から重力と磁北方向による推定結果 $P_{s\_i,t}$ へ収束していく．

時刻 t でのセンサ i の姿勢を $R_{s\_i,t}$ とおくと，以下の式でセンサ i の観測値ベクトル $\boldsymbol{v_{s\_i,t}}$

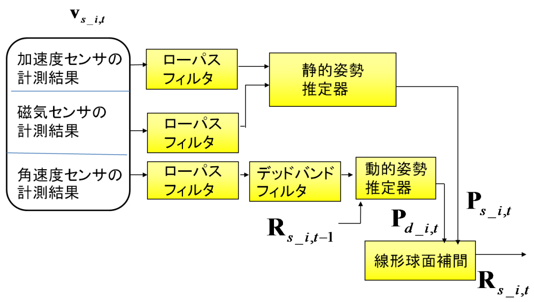


図 2 センサ姿勢の推定
Fig. 2 Estimater of sensor's pose

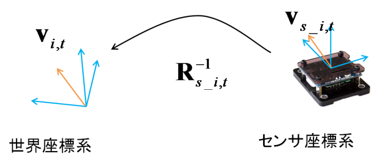


図 3 センサの姿勢
Fig. 3 Sensor's pose

を世界座標系でのベクトル $\boldsymbol{v_{i,t}}$ に変換することができる.(**図 3**)

$$\boldsymbol{v_{i,t}} = R_{s\_i,t}^{-1}\boldsymbol{v_{s\_i,t}} \tag{2}$$

2.3 人体各部位の姿勢推定

人の歩行特徴を取得するために，2.2.2 節で得られた世界座標系でのセンサの姿勢を用いて，センサを取り付けている人体各部位の姿勢を推定する．ここで，本研究において歩行特徴とは歩行の 1 周期内における人体各部位の姿勢系列とする．センサ i の姿勢 $R_{s\_i,t}$ から人体部位への変換を R_{reset_i} とおくと，時刻 t でセンサ i を取り付けている人体部位の世界座標系での姿勢 $R_{l\_i,t}$ は

$$R_{l\_i,t} = R_{reset\_i}R_{s\_i,t} \tag{3}$$

で求められる.(**図 4**) ここで，各部位姿勢 $R_{l\_i,t}$ は未知であり，また，センサ姿勢から部位姿勢への変換 R_{reset_i} は取り付け方により変化するため解くことができない．しかし，センサ姿勢から部位姿勢への変換 R_{reset_i} は各部位に対してセンサの固定を行うことで，測定中の変化をなくすことができる．そこで，人体各部位の姿勢 $R_{l\_i,t}$ がそれぞれ既知な値を

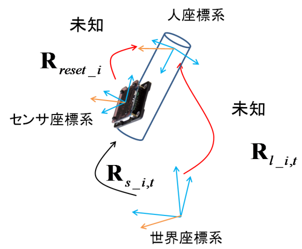


図 4 人体各部位の姿勢
Fig. 4 Human part's pose

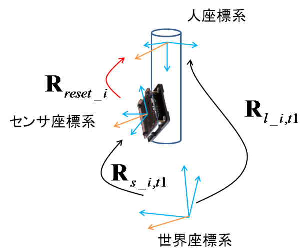


図 5 既知の 1 姿勢
Fig. 5 One known pose

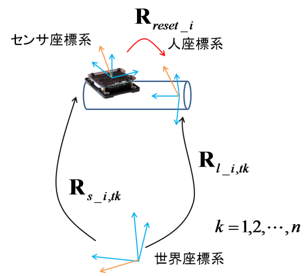


図 6 既知の姿勢 k 番目
Fig. 6 Kth known pose

とるような姿勢をとり (**図 5**)，その時刻でのセンサの姿勢 $R_{s\_i,t1}$ と既知の人体部位の姿勢 $R_{l\_i,t1}$ を取得する (式 4)．これを複数の姿勢について行い (**図 6**)，各時刻でのセンサの姿勢と人体各部位の姿勢を取得する (式 5)．その後，得られた各姿勢関係について $R_{l\_i,tk}$ の各要素について展開をおこなう．

$$R_{l\_i,t1} = R_{reset\_i}R_{s\_i,t1} \tag{4}$$

$$R_{l\_i,tk} = R_{reset\_i}R_{s\_i,tk} \tag{5}$$

これらの式を解くことでセンサ姿勢から部位姿勢への変換 R_{reset_i} が求まり，式 3 より世界座標系での人体部位の姿勢 $R_{l\_i,t}$ が求められる．

2.4 人座標系への姿勢の統一

前節までで得られたセンサ姿勢や人体部位姿勢は世界座標系で表されているため，人の向きに対して同じ姿勢であっても，世界座標系では違った姿勢として認識されてしまう．その

ため，2.3 節で得られた世界座標系での人体各部位の姿勢を用いて世界座標系から人座標系への変換 $R_{h\_i,t}$ を求め，人の向きに依らない姿勢表現に変換する．

人の向きによる正規化では，直線歩行をおこなう場合は，その歩行中の腰の向きの平均で人の前方向を定め，その方向をもとに人座標系を決める．自由な歩行をおこなうような場合は，直前数フレームの腰の向きの平均を人の前方向と定める．世界座標系から人座標系への変換を $R_{b,t}$ とおくと，センサ座標系から人座標系への変換 $R_{h\_i,t}$ は

$$R_{h\_i,t} = R_{s\_i,t}^{-1} R_{b,t} \quad (6)$$

となる．

3. 注視方向変化による歩行特徴変化に関する実験

本研究の実験ではモーションセンサを用いて，注視方向が左右に変化した際の歩行特徴の変化を調べる．これを複数人に対して行い，注視方向変化による歩行特徴の変化を調べる．本実験で得られたデータに関しての分析として，手足の振りの変化を以下の 3 つの観点で分析する．

(1)　振幅
(2)　位相（波形の形状）
(3)　周期

3.1 実験環境

3.1.1 歩行路と測定を行う注視方向

注視方向変化による歩行特徴変化を調べる為には注視方向変化以外の歩行特徴を変化させる要因をできるだけ取り除く必要がある．そのため本実験では，路面がほぼ平坦で，注視を妨げるものが無く，測定を行うための十分な広さがある**図 7** の環境において測定を行う．この環境において，歩行中の注視方向のバリエーションを設けるために，**図 8** に示す歩行路 A，B，C を定め，歩行路 A，B に対し注視点 α，β を平行に設置し，測定を行った．また，歩行路 A，B は注視点に対しそれぞれ 8m，2m 離れており，被験者は各歩行路を直線状に歩行する．この時に，被験者は指定する注視物体を注視した状態で歩行を行い，注視方向が変化している状態での歩行特徴を測定する．注視する物体は，注視点 α から注視点 β へ向かう方向の歩行では注視点 β 上の物体を注視し，注視点 β から注視点 α へ向かう方向の歩行では注視点 α 上の物体を注視する．このように各歩行路に対し，往路と復路で測定をおこなうことにより，注視方向の左右が変化した場合における歩行特徴を複数回測定する．また，正面方向を注視した場合との変化を見るため，歩行路 C において，注視点 β 上の注視物体を注視した場合の歩行の測定を行った．

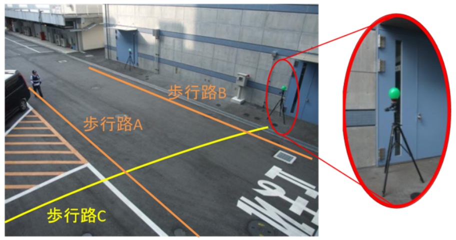


図 7　実験場と注視物体
Fig. 7　Experiment space and gaze object

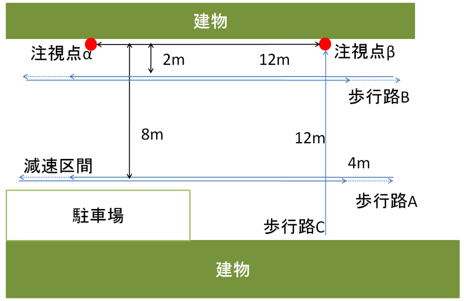


図 8　歩行路
Fig. 8　WalkPath

3.1.2 被験者に取り付ける装置の構成

本研究ではモーションセンサ IMU-Z を被験者に装着し，歩行特徴を取得する．そのため，このセンサが測定中に外れることの無いように固定することは非常に重要である．また，被験者の負担を減らすため，脱着が容易である必要がある．これらの要求から本実験ではスポーツ用サポーターにセンサを取り付け，利用する．サポーターは動作の妨げにならないように関節を固定しないものを選択した．これらのサポーターにセンサを縫い付け，被験者にサポーターを装着してもらうことでモーションセンサの部位への固定を行った．また，本実験を行うにあたり，歩行時に指定した注視点を正しく注視しているかを知る必要がある．その為本研究では，視線計測装置を用いて歩行時の視線方向を取得する．用いた視線計測装置を**図 9** に示す．また，計測装置を装着した様子を**図 10** に示す．

3.1.3 データセット

本研究では 7 人の被験者に対し測定を行った．各被験者は，各歩行路を 5 回ずつ歩行した．すべての歩行路で行い，1 被験者当たり 25 回分の歩行データを収集した．

3.2 実験結果・考察

本節において，水平注視角度とは，歩行方向を注視した場合を 0 度，真横を注視した場合を 90 度とする角度である．また，手足の角度は，腕を前方向に水平まで振り上げた時を 0 度，鉛直下向きに下ろしたときを 90 度とする．

3.2.1 手足の振りの大きさに関する変化

図 11 に，被験者 5 の右前腕の振幅とその時の水平注視角度を示す．図中の直線はこれを

図 9　視線計測装置
Fig. 9　Eye Mark Recorder

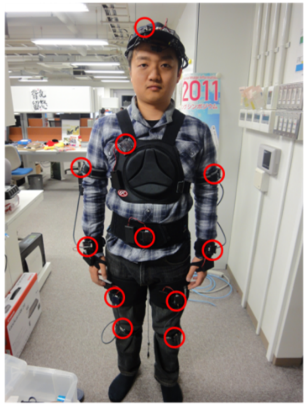
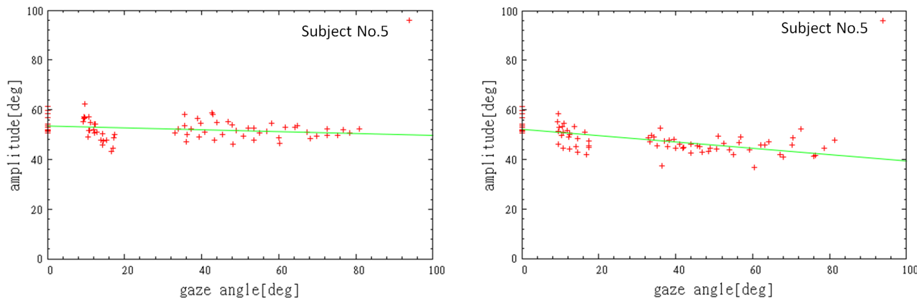


図 10　正面から見た様子
Fig. 10　Sensor's front view



右側を注視している歩行　　左側を注視している歩行

図 11　被験者 5 の右前腕の振幅の変化
Fig. 11　Chages in amplitude of right front arm of subject No.5

線形回帰したものである．このグラフより，右を注視している場合に比べ，左を注視している場合に水平注視角が大きくなるにつれて振幅が小さくなる傾向が見られる．そこで，全被験者の手足に対して，このような注視方向の左右での振幅の変化の違いを調べた．**表 1** に，すべての被験者についてどうようの直線回帰を行った際の直線の傾き示す．表 1 において赤で示したものは左を注視した場合に比べて右を注視した場合の変化率の値が特に小さなもの，青で示したものは左を注視した場合に比べて右を注視した場合の変化率の値が特に大きなものである．この表から，多くの被験者において，右側を注視している場合は左前腕，左側を注視している場合は右前腕の振りに影響を与え，歩行方向と注視方向がなす水平角度が大きくなった場合に注視方向とは逆側の前腕の振りが小さくなる傾向が確認された．

表 1　各部位の注視角度に対する前後方向の振幅の平均変化率 [deg/deg]
Table 1　Average rate of change of each part's front-back amplitude for gaze angle

		Subject No.						
parts	gaze direct	1	2	3	4	5	6	7
Right	: left	-0.141	0.032	-0.096	-0.039	-0.011	-0.118	0.078
Upper arm	: right	-0.255	-0.018	-0.044	-0.017	0.026	-0.075	0.051
Left	: left	0.135	0.029	-0.035	-0.108	-0.025	-0.005	0.017
Upper arm	: right	-0.063	-0.031	-0.142	-0.168	-0.015	-0.045	-0.026
Right	: left	-0.205	0.035	-0.199	-0.117	-0.128	-0.259	-0.016
front arm	: right	-0.297	-0.045	-0.085	-0.047	-0.038	-0.186	0.019
Left	: left	0.175	0.056	-0.043	-0.013	-0.008	-0.075	-0.007
front arm	: right	-0.118	-0.066	-0.267	-0.096	0.003	-0.145	-0.090
Right	: left	-0.148	-0.022	-0.312	-0.015	-0.046	0.121	-0.118
upper leg	: right	-0.051	-0.074	-0.006	-0.039	-0.051	0.048	-0.286
Left	: left	-0.137	0.095	-0.028	—	0.006	0.043	-0.187
upper leg	: right	-0.230	-0.195	-0.040	—	-0.008	-0.006	-0.211
Right	: left	-0.063	-0.045	-0.043	-0.030	-0.002	-0.062	-0.084
lower leg	: right	-0.037	-0.007	-0.032	-0.004	-0.001	-0.066	-0.052
Left	: left	-0.039	-0.026	-0.078	—	-0.018	-0.079	-0.079
lower leg	: right	-0.036	-0.043	-0.062	—	-0.041	-0.071	-0.014

また，振幅ではなく，振りの最前点と最後点に関する回帰直線の傾きを**表 2**，**表 3** に示す[⋆1]．これらの結果は表 1 の傾向とほぼ一致しており，このことから，手の振りは，前側の振りあるいは後ろ側の振りのみが小さくなるのではなく，どちらも同様に減少することによって振幅が減少していることが確認された．

なお，被験者 1，2 に関しては左を向くときに比べ，右を向いたときに右前腕，左前腕の振りが共に小さくなってしまっている．これは，個人の歩き方のくせによるものであると考えられる．

3.2.2　注視方向の変化による手足の振りの位相の変化

図 12 に，被験者 5 の右前腕の振りの波形を示す．

⋆1 センサの故障によりデータが正常に取得できなかった個所は—で表す

表 2 各部位の注視角度に対する振りの最前点の平均変化率 [deg/deg]
Table 2 Average rate of change of each part's most front points of swing for gaze angle

parts	gaze direct	Subject No. 1	2	3	4	5	6	7
Right	: left	0.084	0.016	0.040	0.032	0.051	0.010	-0.073
Upper arm	: right	0.103	0.045	0.011	0.023	0.039	-0.015	-0.001
Left	: left	0.034	0.008	0.072	0.104	0.076	0.002	0.033
Upper arm	: right	0.078	0.066	0.084	0.147	0.048	0.012	0.028
Right	: left	0.144	0.013	0.149	0.092	0.079	0.060	0.019
front arm	: right	0.197	0.052	0.046	0.041	0.011	0.014	0.016
Left	: left	-0.043	0.001	0.071	0.013	0.039	0.002	0.022
front arm	: right	0.128	0.061	0.154	0.053	0.049	0.027	0.011
Right	: left	0.153	0.088	0.087	0.067	0.045	0.040	0.110
upper leg	: right	0.090	0.026	0.008	0.053	0.021	0.028	0.045
Left	: left	0.099	0.089	0.102	—	0.021	-0.003	0.197
upper leg	: right	0.099	0.044	0.089	—	0.065	0.029	0.128
Right	: left	0.130	0.022	0.041	0.037	0.023	0.079	0.103
lower leg	: right	0.108	0.026	0.028	-0.000	-0.009	0.056	0.054
Left	: left	0.033	0.029	0.031	—	-0.003	0.026	0.014
lower leg	: right	0.058	0.039	0.022	—	-0.000	0.028	0.008

表 3 各部位の注視角度に対する振りの最後点の平均変化率 [deg/deg]
Table 3 Average rate of change of each part's most back points of swing for gaze angle

parts	gaze direct	Subject No. 1	2	3	4	5	6	7
Right	: left	-0.049	0.056	-0.068	-0.009	0.041	-0.109	-0.005
Upper arm	: right	-0.138	0.024	-0.042	0.002	0.064	-0.082	0.037
Left	: left	0.173	0.047	0.031	-0.000	0.052	0.001	0.042
Upper arm	: right	0.026	0.034	-0.059	-0.013	0.031	-0.033	-0.005
Right	: left	-0.064	0.051	-0.052	-0.024	-0.048	-0.209	0.019
front arm	: right	-0.094	0.008	-0.029	0.005	-0.026	-0.161	0.034
Left	: left	0.129	0.064	0.025	0.002	0.036	-0.061	0.018
front arm	: right	0.017	-0.002	-0.111	-0.036	0.048	-0.110	-0.080
Right	: left	-0.012	0.075	-0.241	0.044	0.017	0.164	0.022
upper leg	: right	0.010	-0.063	-0.016	0.013	-0.022	0.090	-0.217
Left	: left	-0.040	0.179	0.081	—	0.020	0.038	0.009
upper leg	: right	-0.140	-0.128	0.054	—	0.053	0.019	-0.095
Right	: left	0.065	-0.023	-0.011	0.004	0.022	0.017	0.035
lower leg	: right	0.070	0.012	-0.012	-0.006	-0.001	-0.000	0.012
Left	: left	-0.007	0.004	-0.046	—	-0.023	-0.055	-0.066
lower leg	: right	0.024	-0.002	-0.036	—	-0.042	-0.044	-0.006

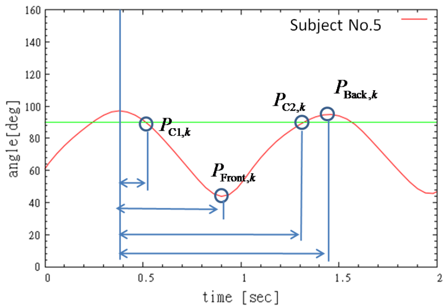
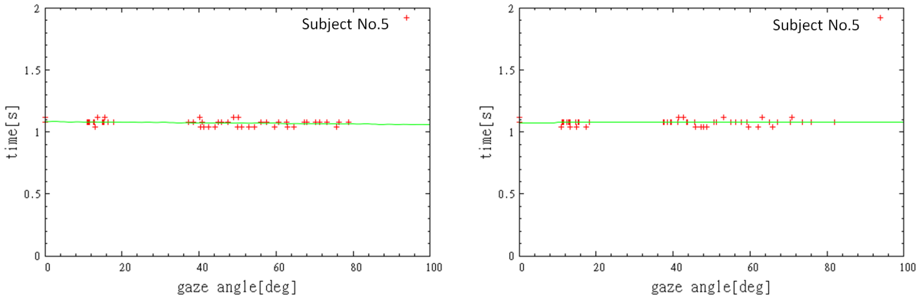


図 12 被験者 5 の右前腕の振り
Fig. 12 Right front arm swing of subject No.5

図中の直線は腕の角度が 90 度，すなわち，鉛直下向きを表す．また，図中の点 $P_{\mathrm{Front},k}$，$P_{\mathrm{Back},k}$ は k 番目の周期における最前点と最後点，$P_{\mathrm{C1},k}$ と $P_{\mathrm{C2},k}$ は k 番目の周期における図中の直線との交点である．本実験では手足の振り方の変化の調査として，注視角度変化と腕の前や後ろへの振りの速度変化との関係を調べるために，各周期を正規化した状態で各点までの時間長を調べた．ここで周期の開始点（位相 0）は右脚の振りの最後点（$P_{13,k}$ とおく）とし，位相は 0 から 2π で表現する．各被験者の左右方向に注視角度が変化する場合の $P_{13,k}$ から $P_{\mathrm{C1},k}$，$P_{\mathrm{Front},k}$，$P_{\mathrm{C2},k}$，$P_{\mathrm{Back},k}$ までの位相差変化に関する回帰直線の傾きをそれぞれ，**表 4**，**表 5**，**表 6**，**表 7** に示す．これらの結果では，すべての被験者の全部位のおいて値がほぼ 0 であることから，注視方向の左右への変化によらず位相はほぼ一定であることが確認される．

3.2.3 注視方向の変化による歩行周期の変化

図 13 に，被験者 5 の歩行周期とその時の水平注視角度を示す．ここで，歩行周期は，右足が地面を離れてから地面につき再び離れるまでの時間と定義している．図中の直線はこの点群を線形回帰したものである．図 13 では，この直線はほぼ水平であり，注視方向や角度によらず歩行周期が変化しないことが分かる．この直線の傾きを各被験者について求めたものを**表 8** に示す．表 8 ではすべての被験者で値がほぼ 0 であり，本実験の測定結果では歩行周期も位相と同様，水平方向への注視方向変化によらずほぼ一定であることが確認される．



右側を注視している歩行　　左側を注視している歩行

図 13　被験者 5 の歩行周期の変化
Fig. 13　Chages in walk cycle of subject No.5

表 8　注視方向に対する歩行周期の平均変化率 [sec/deg]
Table 8　Average rate of change of gait cycle for gaze direction

	Subject No.						
gaze direct	1	2	3	4	5	6	7
left	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000
right	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001

4. 終わりに

本論文では，注視方向変化に起因する歩行特徴の変化について調査を行うために複数人の歩行データを収集し，分析を行った．歩行データの収集にはモーションセンサを用いたため，その校正及び姿勢推定法を実装した．そして，測定の結果から注視方向の変化による歩行特徴の変化に関して分析をおこなった．

分析の結果得られた注視方向による歩行への影響として，前腕の前後方向の振りの変化がある．前腕の前後方向の振りの変化は，左右への注視方向変化に影響を受け，注視方向が歩行方向から水平方向に離れるほど注視方向とは反対側の腕の振りが小さくなる．また，手の振りの位相や歩行周期は，注視方向変化に影響を受けずほぼ一定であった．足については，いずれの観点についても，注視方向による変化は特に観察されなかった．

今後の課題として以下の点があげられる．まず第一に，被験者数を増やすことがあげられる．本実験では 7 人の被験者に対し注視方向を変化させた状態の歩行の測定を行い，その結果を用いて注視方向の変化と歩行特徴の変化の関係を分析した．しかし，本実験では被験者数が少ないために，注視方向と歩行特徴の関係の一部が観測できていない可能性がある．その為，被験者の数を増やして測定を行い，さらなる分析を行う必要がある．

また，注視対象が移動する場合において測定を行った場合との比較も必要である．今回の実験では，特定の注視点と歩行路を利用して測定をおこなったため，歩行方向に対する注視方向の角度や注視対象までの距離は被験者の歩行によってのみ変化する．しかし，注視対象が移動する場合は注視方向との角度や距離が複雑に変化する．その為，一定の角度を保った状態で距離だけが変化する状況や，一定の距離で角度だけが変化するような場合の歩行特徴について測定することができ，本研究の場合では測定することのできなかった注視方向におけるの歩行データを取得することができると考えられる．

参　考　文　献

1) R, U. and P, F.: 3D Tracking for Gait Characterization and Recognition, *Proc. of the 6th IEEE Int. Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition*, pp.17–22 (2004).
2) Yam, C., Nixon, M. and Carter, J.: Automated Person Recognition by Walking and Running via Model-based Approaches, *Pattern Recognition*, Vol.37, No.5, pp. 1057–1072 (2004).
3) Sarkar, S., Phillips, J., Liu, Z., Vega, I., Grother, P. and Bowyer, K.: The HumanID Gait Challenge Problem: Data Sets, Performance, and Analysis, *Trans. of Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.27, No.2, pp.162–177 (2005).
4) Han, J. and Bhanu, B.: Individual Recognition Using Gait Energy Image, *Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.28, No.2, pp.316–322 (2006).
5) 槇原靖，佐川立昌，向川康博，越後富夫，八木康史：周波数領域における方向変換モデルを用いた歩容認証，情報処理学会論文誌コンピュータビジョンとイメージメディア CVIM17, Vol.48, No.1, pp.78–87 (2007).
6) 岡本康太郎，内海章，山添大丈，宮下敬宏，高橋和彦，萩田紀博：視線計測を用いた商業施設における来店者行動の分析，電子情報通信学会技術研究報告，Vol.109, No.281, pp.1–6 (2009).
7) 横山絢美，大森健司：協調課題における意図推定に基づく行動決定過程のモデル的解析，電子情報通信学会論文誌，Vol.J92-A, No.11, pp.734–742 (2009).

表 4 周期の開始から点 $P_{\mathrm{C1},k}$ までの時間長の平均変化率 [s/deg]
Table 4 Average rate of change of time from $P_{13,k}$ to $P_{\mathrm{C1},k}$

		Subject No.						
parts	gaze direct	1	2	3	4	5	6	7
Right	: left	0.006	0.001	-0.002	-0.001	0.002	-0.003	-0.004
Upper arm	: right	0.007	0.000	-0.004	-0.002	0.002	-0.005	-0.001
Left	: left	0.009	0.000	-0.001	0.001	0.005	0.000	0.007
Upper arm	: right	0.000	0.003	-0.003	0.001	0.004	-0.001	0.000
Right	: left	0.001	0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.005	-0.001
front arm	: right	0.009	-0.003	-0.002	-0.001	-0.002	-0.005	-0.002
Left	: left	0.000	0.002	-0.002	0.000	0.002	-0.003	0.001
front arm	: right	-0.005	0.001	-0.002	0.001	0.002	-0.004	-0.001
Right	: left	0.001	0.001	-0.003	0.001	0.000	-0.001	0.001
upper leg	: right	-0.001	-0.006	-0.004	0.000	0.000	-0.001	-0.001
Left	: left	0.023	-0.014	-0.008	—	-0.007	-0.015	0.014
upper leg	: right	0.034	0.036	-0.002	—	-0.004	-0.011	0.026
Right	: left	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001
lower leg	: right	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	-0.001
Left	: left	0.001	0.001	0.000	—	0.000	0.000	-0.001
lower leg	: right	0.001	0.000	0.000	—	-0.001	-0.001	-0.001

表 6 周期の開始から点 $P_{\mathrm{C2},k}$ までの時間長の平均変化率 [-s/deg]
Table 6 Average rate of change of time from $P_{13,k}$ to $P_{\mathrm{C2},k}$

		Subject No.						
parts	gaze direct	1	2	3	4	5	6	7
Right	: left	0.000	-0.003	-0.001	-0.002	-0.004	0.002	0.003
Upper arm	: right	-0.007	-0.005	0.000	-0.003	-0.004	0.002	-0.003
Left	: left	-0.004	-0.005	-0.004	-0.002	-0.005	-0.001	-0.008
Upper arm	: right	0.002	-0.007	-0.002	-0.004	-0.004	-0.001	-0.003
Right	: left	0.002	-0.001	-0.002	-0.001	-0.001	0.008	0.001
front arm	: right	-0.002	-0.003	-0.001	0.000	0.000	0.004	-0.001
Left	: left	0.003	-0.001	-0.004	-0.001	-0.002	0.004	0.000
front arm	: right	0.007	-0.002	-0.002	0.000	-0.002	0.005	0.004
Right	: left	-0.006	-0.004	-0.001	-0.004	-0.003	-0.004	-0.004
upper leg	: right	-0.004	0.002	0.003	-0.003	-0.002	-0.004	-0.002
Left	: left	-0.004	-0.004	-0.001	—	-0.002	0.000	-0.009
upper leg	: right	-0.005	0.000	0.000	—	-0.004	-0.003	-0.009
Right	: left	-0.005	-0.001	-0.004	-0.003	-0.002	-0.003	-0.004
lower leg	: right	-0.004	-0.002	-0.001	-0.001	0.001	-0.002	-0.002
Left	: left	-0.003	-0.004	0.000	—	0.001	0.003	0.004
lower leg	: right	-0.006	-0.003	-0.002	—	0.002	0.002	-0.001

表 5 周期の開始から点 $P_{\mathrm{Front},k}$ までの時間長の平均変化率 [s/deg]
Table 5 Average rate of change of time from $P_{13,k}$ to $P_{\mathrm{Front},k}$

		Subject No.						
parts	gaze direct	1	2	3	4	5	6	7
Right	: left	0.000	-0.001	-0.002	-0.002	-0.001	0.000	0.001
Upper arm	: right	0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.001	-0.001	-0.001
Left	: left	0.001	-0.001	-0.002	-0.002	-0.001	-0.001	0.001
Upper arm	: right	-0.010	-0.002	-0.002	-0.002	-0.008	-0.001	0.002
Right	: left	0.000	-0.001	-0.002	-0.001	0.000	-0.004	0.000
front arm	: right	0.004	-0.003	-0.003	-0.001	-0.005	-0.001	0.000
Left	: left	0.002	-0.001	-0.003	0.000	-0.001	0.000	-0.003
front arm	: right	-0.004	-0.001	-0.001	-0.001	0.000	-0.005	-0.007
Right	: left	-0.006	-0.001	-0.004	-0.001	-0.002	-0.007	-0.003
upper leg	: right	-0.005	-0.003	0.001	-0.001	-0.001	-0.007	-0.001
Left	: left	-0.001	-0.007	0.010	—	-0.002	-0.005	0.006
upper leg	: right	-0.008	-0.007	-0.003	—	-0.001	-0.006	0.000
Right	: left	0.001	0.000	-0.002	-0.001	-0.001	-0.001	0.001
lower leg	: right	0.000	0.001	-0.002	-0.001	0.000	0.000	-0.001
Left	: left	0.000	0.000	-0.001	—	-0.001	0.000	0.000
lower leg	: right	-0.001	-0.001	-0.001	—	0.000	-0.001	-0.001

表 7 周期の開始から点 $P_{\mathrm{Back},k}$ までの時間長の平均変化率 [s/deg]
Table 7 Average rate of change of time from $P_{13,k}$ to $P_{\mathrm{Back},k}$

		Subject No.						
parts	gaze direct	1	2	3	4	5	6	7
Right	: left	0.001	-0.001	-0.002	-0.003	-0.001	-0.001	0.000
Upper arm	: right	-0.016	-0.003	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
Left	: left	0.002	-0.002	-0.003	-0.001	0.000	0.000	-0.002
Upper arm	: right	0.007	-0.001	-0.002	-0.001	0.000	-0.001	0.000
Right	: left	0.002	-0.001	-0.001	-0.002	-0.005	-0.005	0.001
front arm	: right	-0.007	-0.003	-0.002	-0.001	-0.008	-0.002	-0.001
Left	: left	0.001	0.002	-0.001	0.000	0.000	0.001	0.001
front arm	: right	0.010	-0.001	-0.001	0.000	0.000	-0.001	0.002
Right	: left	0.005	-0.001	0.008	-0.001	-0.004	-0.015	0.002
upper leg	: right	0.000	-0.004	-0.006	0.000	-0.001	-0.013	0.009
Left	: left	-0.007	0.009	0.015	—	0.002	0.008	-0.001
upper leg	: right	-0.021	-0.014	0.003	—	0.001	0.007	-0.012
Right	: left	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
lower leg	: right	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Left	: left	0.000	0.000	0.000	—	-0.001	0.000	0.000
lower leg	: right	-0.001	0.001	0.000	—	-0.001	0.000	0.000