

単一固定カメラによる撮影画像を用いた 人間の歩行軌跡の計測

岡山職業能力開発短期大学校 天 野 隆
 千葉職業能力開発短期大学校 玉 井 瑞 又
 職業能力開発総合大学校 依 田 光 正
 塩 田 泰 仁

Measurement of human walking path using shot image by a fixation camera

Takashi AMANO, Mizuyasu TAMAI, Mitsumasa YODA, Yasuhito SHIOTA

要約 生物の形態、行動を利用したロボットが各種開発されてきている。形態、行動を利用するには、実験によるデータ取得、および処理することは必須となる。人間を含めた生物を対象とした各種の実験では、被験者が通常環境とは異なる、各実験固有の環境下におかれる場合が少なくない。この場合、実験中に閉鎖感や、不快感、先入観などが先行し、自然な行動が制約されることが多い。本報告では、人間の自然な行動データを取得することを前提とし、様々な人間行動の中から、歩行者同士のすれ違い回避行動を取り上げた。データとして、すれ違い回避時の歩行者を撮影し、撮影画像を用いて、歩行軌跡を抽出した。結果として、前述したような制約のないデータを取得することが可能となった。また、本データがロボットの回避行動等へ応用できることを期待している。

I はじめに

近年、人間を含めた生物の行動（動作）を、ロボットに利用するという研究がおこわれている¹⁾。これは、生物が、形態的にも、動作的にも優れた機能を有するということからである²⁾。したがって、何らかの実験により、生物の行動（動作）のデータを取得し処理することは、必要不可欠となる。

ここで、人間の場合を例にあげると、実験対象者である被験者は、通常とは違った環境に存在していることが多い。また、その環境が実験データに影響しているということが少なくない。例えば、密閉された空間での実験による閉鎖感や、身体に様々な計測ブローブを装着する不快感、実験をおこなっているという先入観などがあげられる。そのため、生理的、心理的な制約が働き、普段通りに行動を振る舞うことが難しいと

考えられる。

そこで、本報告では被験者に対して、極力、生理的、心理的な制約を与えずに行動データを抽出することを目的とした。また、人間行動においては様々あげられるが、前述した実験環境とは相反する環境で実験をおこなうということを前提とした。

以上を踏まえて、町中における歩行者同士のすれ違い回避行動を取り上げた。歩行者同士が道路上ですれ違うことを想定すると、両者の進路が重なった場合、衝突を避けるため、互いまたは一方が回避する必要が生じる。このときの両者の歩行軌跡を固定カメラによる撮影画像を用いて抽出した。例えば、このデータは、密閉空間に複数のロボットが存在した場合や、生物とロボットが存在した場合の回避行動に利用できると考えている。

II 実験およびデータの抽出

図1に、実験からデータの抽出までのアルゴリズムを示す。

1 実験方法

実験は、朝から夕方にかけて、歩行者数の少ない一般道でおこなった³⁾。実験方法としては、実験空間内において、2人の歩行者同士にすれ違い行動をさせた。また、その状況をVTRにて記録した。前述したとおり、実験という先入観を取り除くため、一方の歩行者である一般の通行人(被験者)は、実験を認知していない。ただし、歩行者数の少ない道路で実験をしていることから、実験を認知していない被験者同士が実験領域内ですれ違う確率は低い。したがって、もう一方の歩行者(実験補佐者)は、実験を認知し、かつ道路と平行に直進歩行することを前提とした。なお、図2に示す向かって左側が被験者、右側が実験補佐者である。図3に実験領域を示す。この写真は道路沿いの建物から撮影したものである。道路上には、データ補正をおこなうために、格子状にマークをつけている。図4に実験領域の各寸法を示す。道路の幅が3900[mm]、格子状にマークした部分の長さが6000[mm]となっている。なお、C、O₂はそれぞれ通路中心、道路原点である。図5にカメラの位置を示す。地上より、7300[mm]のところ固定している。

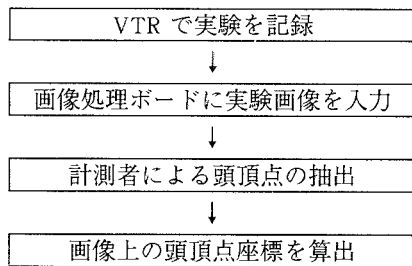


図1 実験からデータの抽出までのアルゴリズム

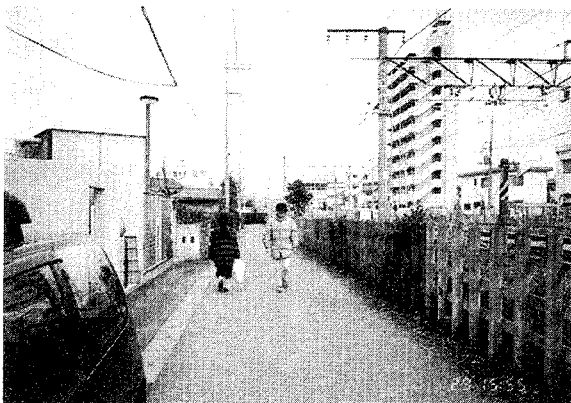


図2 被験者と実験補佐者のすれ違い

2 歩行軌跡データの決定

本手法では、実験データとして、各時間における道路平面上の人間の位置座標を取り上げた。実験データとして人間の位置座標を抽出するとき、人間の身体上で基準点を決定する必要がある。本手法では、人間行動を身体全体の行動と定義し、人間を質点とみなした。人間を質点と考えると、身体全体の動作と異なる部位は、データとして望ましくない。例えば、腕は歩行の時に前後に振られる。つまり、身体全体が前に移動するのに対して、腕は肩を支点として振り子のように運動する。また、脚については、2脚歩行の性質上、交互

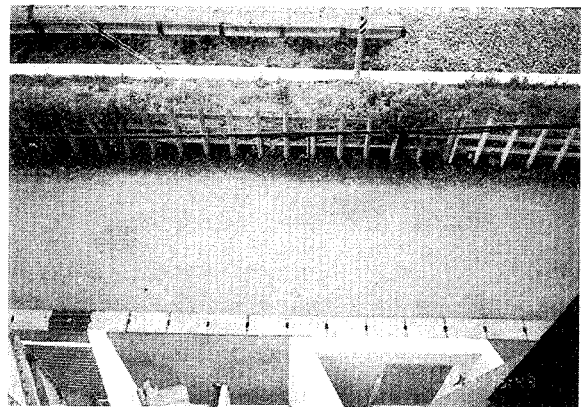


図3 実験領域

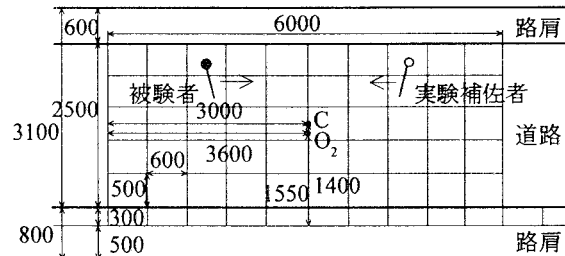


図4 実験領域の寸法(図中に示す数値の単位[mm])

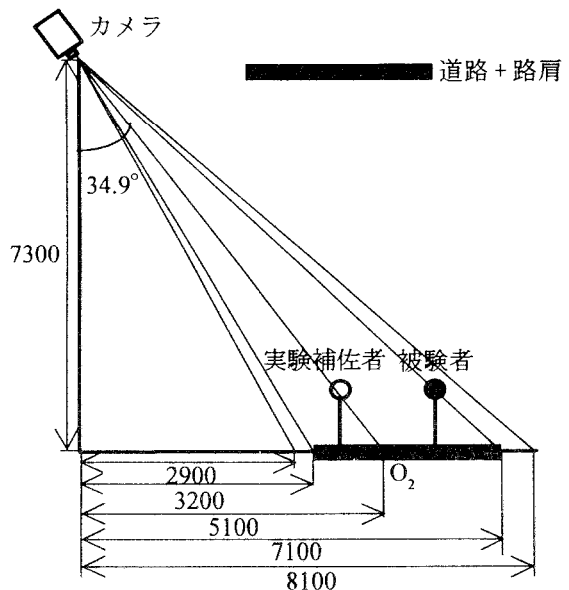


図5 カメラの位置(図中に示す数値の単位[mm])

に脚が前に出るため、身体全体は前進しても、どちらかの足は静止する。以上を踏まえると、頭から胴体におけるいずれかの部分が適しているといえる。胴体を考えると肩や胸、腹、背中などがあるが、以上の部分はカメラの設定位置の関係上、常に映るとは限らない。したがって、必ずカメラに映る頭頂点が最適であると考えられる。また、頭頂点は人間を真上から見たときに身体全体のほぼ中心に存在する。

以上の理由により、歩行軌跡データとして頭頂点の位置座標を抽出した。

3 頭頂点座標の抽出

頭頂点の位置座標抽出方法について述べる。ここで、被験者には実験が認知されていないため、被験者に対して予めマークして、抽出することは不可能である。そこで、以下の手順により、頭頂点座標を抽出した。まず、録画された画像を0.1[s]間隔で画像処理ボードに取り込む。次に、計測者が、録画された画像において、各被験者に対し頭頂中に基準点を設定する。最後に、計測者が、各時間の画像上で基準点をポイントすることにより抽出した。図6に画像イメージを示す。なお、画像縦横の実測値と画素数の関係は、縦方向が5200[mm]/256[dot]、横方向が6000[mm]/256[dot]となっている。また、 O_1 は画像原点である。この位置データを基に、画像上の頭頂点座標を算出した。

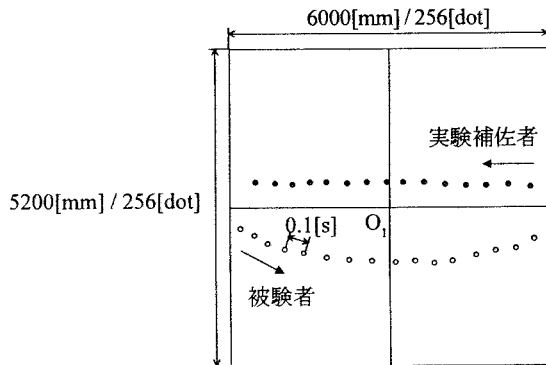


図6 画像イメージ

III 座標変換

まず、画像原点(O_1)を含むy軸上における各被験者および実験補佐者の見かけ長さ(F_1T)を測定する。次に、前項で算出した頭頂点(T)と見かけ長さ(F_1T)を基に、仮想身長(F_1T_1)を求める。さらに、道路上の実頭頂点(T_2)および実身長(F_2T_2)を求め、人間が道路上のどこを歩行したのかを知るために、

実頭頂点を実頭頂投影点(F_2)に垂直投影した。座標変換のアルゴリズム、実験領域のy-z平面をそれぞれ図7、8に示す。なお、 $D_B D_T = 300[\text{mm}]$ はモニター画像の縦方向の実測値である。

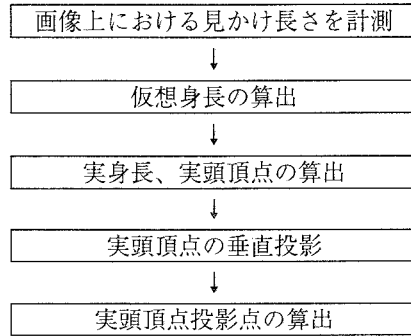


図7 座標変換アルゴリズム

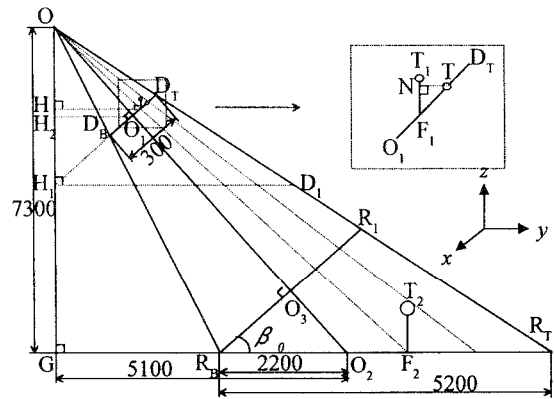


図8 y-z平面

1 被験者の実身長算出

まず、図8に示すように、測定値である画像上の見かけ長さ(F_1T)、および画像原点(O_1)から頭頂投影点(F_1)までの距離(O_1F_1)を用いて、仮想身長(F_1T_1)を求める。次に、比率によって道路上の実身長(F_2T_2)を求める。

ここで、仮想身長(F_1T_1)を算出する場合、次にあげる4つのパターン分けが必要となる。なお条件として、カメラ設置点と画面原点を結んだ直線(OO_1)を基準とし、半時計回りを正方向、時計回りを負方向としている。図9-12に各パターンを図示する。なお、便宜上、式(1)~式(5)を定義する。

$$\angle OTO_1 = \tan^{-1} \frac{OO_1}{O_1F_1 + F_1T} = \theta_0 \quad (1)$$

$$\angle TF_1T_1 = \theta_1 \quad (2)$$

$$\angle HOO_1 = \alpha_0 \quad (3)$$

$$\angle O_1OF_1 = \tan^{-1} \frac{O_1F_1}{OO_1} = \alpha_1 \quad (4)$$

$$\angle O_2R_2O_3 = \beta_0 \quad (5)$$

[パターンA] 頭頂点(T)、頭頂投影点(F₁)がともに
正方向にあるとき。

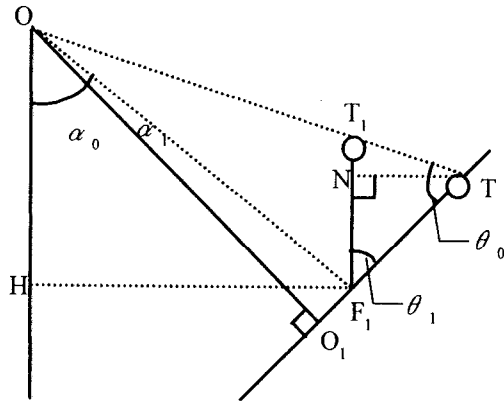


図9 パターンA

図9より、F₁T₁は、

$$F_1T_1 = F_1T \cos \theta_1 + \frac{F_1T \sin \theta_1}{\tan(\pi - \theta_1 - \theta_0)} \quad (6)$$

また、F₁T₁と F₂T₂の関係は、

$$F_2T_2 = \frac{F_1T_1 \cdot OG}{OH} \quad (7)$$

となる。さらに、OHは、

$$OH = \sqrt{OO_1^2 + O_1F_1^2 \cos(\alpha_0 + \alpha_1)} \quad (8)$$

であるので、式(6)(8)を式(7)に代入すると、F₂T₂は、

$$F_2T_2 = \frac{\left\{ F_1T \cos \theta_1 + \frac{F_1T \sin \theta_1}{\tan(\pi - \theta_1 - \theta_0)} \right\} \cdot OG}{\sqrt{OO_1^2 + O_1F_1^2 \cos(\alpha_0 + \alpha_1)}} \quad (9)$$

となる。

[パターンB] 頭頂点(T)が正方向、頭頂投影点(F₁)
が負方向にあるとき。

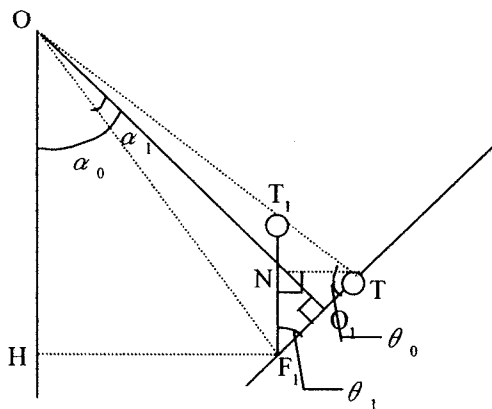


図10 パターンB

図10より、OHは、

$$OH = \sqrt{OO_1^2 + O_1F_1^2 \cos(\alpha_0 - \alpha_1)} \quad (10)$$

であるので、式(6)(10)を式(7)に代入すると、F₂T₂は、

$$F_2T_2 = \frac{\left\{ F_1T \cos \theta_1 + \frac{F_1T \sin \theta_1}{\tan(\pi - \theta_1 - \theta_0)} \right\} \cdot OG}{\sqrt{OO_1^2 + O_1F_1^2 \cos(\alpha_0 - \alpha_1)}} \quad (11)$$

となる。

[パターンC] 頭頂点(T)が画面原点(O₁)、頭頂投影
点(F₁)が負方向にあるとき。

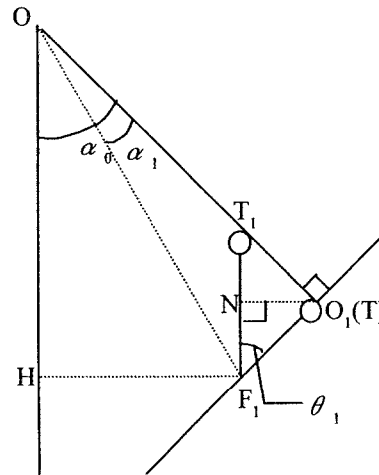


図11 パターンC

図11より、F₁T₁ = $\frac{F_1T}{\cos \theta_1}$ であるので F₂T₂は、

$$F_2T_2 = \frac{F_1T \cdot OG}{\sqrt{OO_1^2 + O_1F_1^2 \cos(\alpha_0 - \alpha_1)} \cos \theta_1} \quad (12)$$

となる。

[パターンD] 頭頂点(T)、頭頂投影点(F₁)がともに
負方向にあるとき。

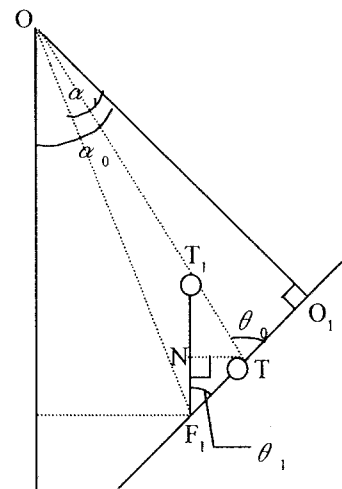


図12 パターンD

図12より、 F_2T_2 は、

$$F_2T_2 = \frac{\left\{ F_1T \cos \theta_1 + \frac{F_1T \sin \theta_1}{\tan(\theta_0 - \theta_1)} \right\} \cdot OG}{\sqrt{OO_1^2 + O_1F_1^2 \cos(\alpha_0 - \alpha_1)}} \quad (13)$$

となる。

ここで、式(9)、(11)、(12)、(13)において、 OG は、実験前に測定されている。また、 O_1F_1 、 F_1T はⅢの1で述べたように実験後測定した値である。 α_0 は、 OG 、 GO_2 から、 α_1 、 θ_0 は、 O_1F_1 、 F_1T 、 OO_1 から求められる。 θ_1 は $\pi - \theta_0$ である。 OO_1 に関しては、

$$OO_1 = \frac{OO_3 \cdot D_T D_B}{R_1 R_B} \quad (14)$$

より、

$$OO_1 = \frac{(OO_2 - R_B O_2 \sin \beta_0) D_B D_T}{2 R_B O_2 \cos \beta_0} \quad (15)$$

となる。ここで、 $D_B D_T$ 、 $R_B O_2$ は実測値、 β_0 、 OO_2 は、 GO_2 、 OG 、 $R_B O_2$ から求められる。

2 被験者の道路上における頭頂投影点座標の算出

画像の頭頂点座標より、道路上の頭頂投影点座標を算出する。 y_0 - z 軸平面以外の頭頂点(T_0)をそれぞれ x_0 - y_0 平面(T_4)、 y_0 - z 平面(T)に投影する。図13に投影図を示す。なお、便宜上、式(16)~(18)を定義する。

$$\angle T_3 H_2 T_4 = \gamma_0 = \tan^{-1} \left(\frac{T_3 T_4}{OO_1 \cos \gamma_1 + O_1 T \cos \gamma_2} \right) \quad (16)$$

$$\angle OO_1 H_2 = \gamma_1 \quad (17)$$

$$\angle TO_1 T_3 = \gamma_2 \quad (18)$$

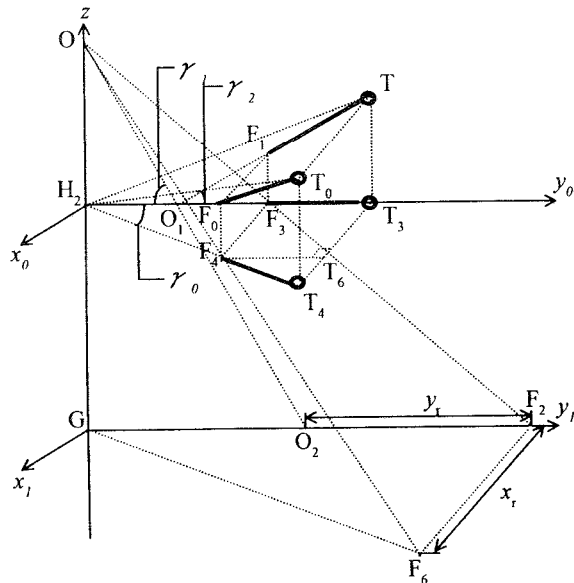


図13 投影

水平面に投影された身長成分 F_4T_4 を求める。

$$F_4T_4 = \frac{F_1T \cos \gamma_2}{\cos \gamma_0} \quad (19)$$

画像上における頭頂投影点の x 座標を求めるため、 T_3T_6 を求める。

$$T_3T_6 = T_3T_4 - \frac{F_1T \cos \gamma_2 \sin \gamma_0}{\cos \gamma_0} \quad (20)$$

さらに、道路上における頭頂投影点座標 (x_r , y_r) を求める。まず、 y_r を求める。

$$\begin{aligned} y_r &= \frac{H_2 F_3 \cdot OG}{OH_2} - GO_2 \\ &= \frac{(OO_1 \cos \gamma_1 + O_1 T \cos \gamma_2 - F_1 T \cos \gamma_2) \cdot OG}{OO_1 \sin \gamma_1} - GO_2 \end{aligned} \quad (21)$$

次に x_r を求める。 $F_3F_4 = T_3T_6$ より

$$\begin{aligned} x_r &= \frac{F_3 F_4 (GO_2 + y_r)}{H_2 F_3} \\ &= \frac{(GO_2 + y_r) \left(T_3 T_4 - \frac{F_1 T \cos \gamma_2 \sin \gamma_0}{\cos \gamma_0} \right)}{OO_1 \cos \gamma_1 + O_1 T \cos \gamma_2 - F_1 T \cos \gamma_2} \end{aligned} \quad (22)$$

さらに式(21)を式(22)に代入すれば x_r が求められる。

ここで、 OO_1 、 OG 、 GO_2 は既知である。また、 γ_0 、 γ_1 、 γ_2 は、幾何学的に求められる。なお、 T_3T_4 、 O_1T 、 F_1T は、それぞれ頭頂点(T_0)の x 、 y 座標、仮想身長(F_1T_1)となる。

以上により、被験者の道路上における頭頂投影点座標を算出した。図14にデータ例を示す。 x 軸、 y 軸は、図4に示す道路に対してそれぞれ、平行、垂直方向に設定している。なお、図14に示すように、実験開始時点において、実験補佐者は被験者の回避行動に移行しない場合の直線軌道に対して、オフセット距離を保っている。

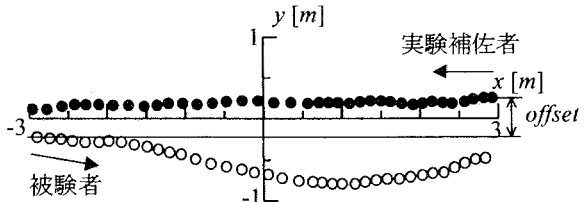


図14 被験者の道路上における頭頂投影点座標

3 アフィン変換

Ⅱの1で述べたように、実験補佐者は、すれ違う直前において、道路と平行に歩行するという前提

としている。しかし、実際には実験補佐者が正確に道路と平行に歩行することは困難であった。そこで、図14に示すデータをソースデータとし、実験補佐者のデータを最小二乗法により直線近似をおこなった。次に、直線近似された実験補佐者データを、被験者データと共にアフィン変換し、データの補正をおこなった。変換前の座標を (x_0, y_0, z_0) 、変換後の座標を (x_1, y_1, z_1) とする。

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (23)$$

時間回りの回転より、 $\theta = -\tan^{-1}a$ 、また $d = -b$ 。それぞれを式(23)に代入する。なお、 a, b はそれぞれ、近似直線の傾き、切片である。したがって、変換式は次の通りである。

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_0 \cos(\tan^{-1}a) + (y_0 - b) \sin(\tan^{-1}a) \\ -x_0 \sin(\tan^{-1}a) + (y_0 - b) \cos(\tan^{-1}a) \\ z_0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (24)$$

変換後、得られたデータを図15に示す。

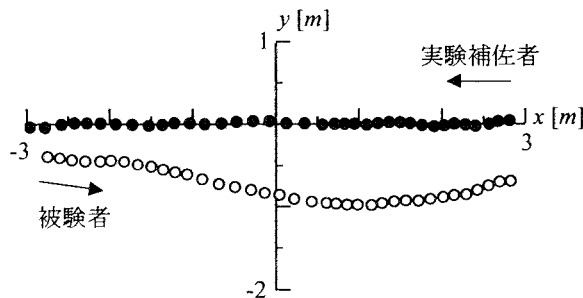


図15 ソースデータを変換したデータ

4 変換誤差

画像の頭頂点座標から、道路上の頭頂投影点座標に変換した値(変換値)と、道路上各点において実測した値(実測値)の差を変換誤差とする。ここで、 x, y 成分の変換誤差を、それぞれ図16、17に示す。各点における変換誤差は x, y 成分それぞれ、45~62[mm]、46~62[mm]の範囲で生じた。これらの誤差は、原画像の画質や、解像度の度合いによって生じたり、また歩行時における頭部や、身体の動揺によって生じている可能性が高い。しかし、本報告では歩行軌跡の採り得る範囲から、無視できる範囲として考えている。

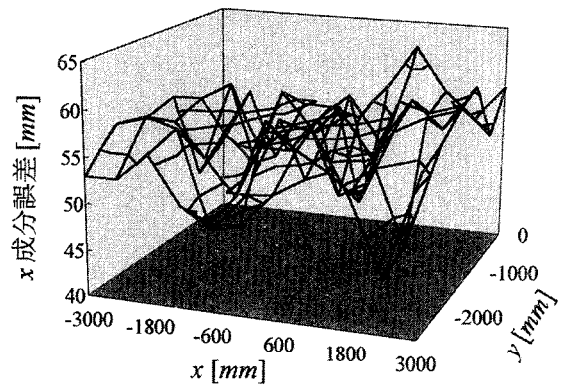


図16 x成分誤差

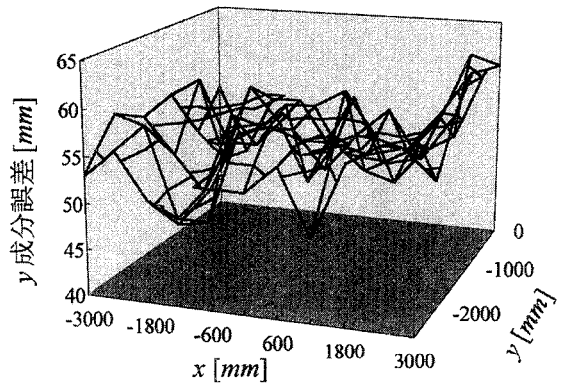


図17 y成分誤差

IV おわりに

1 効果

結果として、被験者に対し、生理的、心理的な制約条件を極力与えることなく、実験を実行し、データ取得、処理することが可能となった⁴⁾。また、本手法を用いることにより、種々の生物の行動データにおいても前述したような制約条件を与えることなく、取得可能になると考えている。さらに、ロボット同士、人間やその他生物とロボットとの衝突回避アルゴリズムにも応用が期待できる。

2 課題

本計測においては、被験者の回避行動開始点の明示は困難であった。理由として、回避行動を開始するという意志が、その時点における被験者の心理や、被験者のおかれている環境に左右されると考えられ、計測者が、回避行動を開始した地点を客観的に見極めることが難しい点をあげる。しかし、ロボットに回避アルゴリズムを取り入れる場合、明確な回避行動開始点が

必要となるため、この点の取得方法については、今後の課題である。

さらに、本計測では、実験補佐者は道路と平行に歩行するという前提条件下でおこなったが、両者が任意の角度で交差した場合の回避行動についても検討する予定である。

[参考文献]

- 1) 長田正、自立分散をめざすロボットシステム、オーム社、pp.125-142、1995。
- 2) R. マクニールアレクサンダー、生物と運動、日経サイエンス社、pp.10-60、1992。
- 3) 天野隆、依田光正、塩田泰仁：人間のすれ違い行動における回避行動の分析、精密工学会秋季大会学術講演論文集、pp.751-752、1995。
- 4) 粕谷英一：行動生態学入門、東海大学出版会、pp.279-284、1990。