

第1章 序論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究の目的.....	3
1.3 本論文の構成.....	3
第2章 PDR の既存研究.....	4
2.1 端末の姿勢推定.....	4
2.2 加速度センサを用いた進行方向推定.....	5
2.3 PDR における進行方向推定の異なる手法.....	6
2.4 PDR と音波信号の併用技術.....	7
第3章 本研究手法.....	8
3.1 各種センサ紹介.....	8
3.1.1 加速度センサ.....	8
3.1.2 角速度センサ.....	8
3.1.3 磁気センサ.....	9
3.2 PDR における携帯端末の保持状態.....	10
3.3 本研究における PDR の計算手法.....	11
3.3.1 重力加速度方向推定.....	12
3.3.2 ステップ検出.....	14
3.3.3 進行方向推定.....	15
3.3.4 歩幅推定.....	17
3.3.5 位置更新.....	17
3.4 内積を取ることで特定の向きにおける成分を抽出する例.....	13
第4章 シミュレーション実験.....	19
4.1 使用データセットについて.....	19
4.2 シミュレーション条件.....	19
4.2.1 歩行経路.....	19
4.2.2 その他条件.....	20
第5章 シミュレーション結果.....	21
5.1 ルート 1.....	21
5.2 ルート 2.....	24
5.3 ルート 3.....	27
5.4 ルート 4.....	29
第6章 結論.....	33
シミュレーションにて利用したデータ.....	34
参考文献.....	34
謝辞.....	36

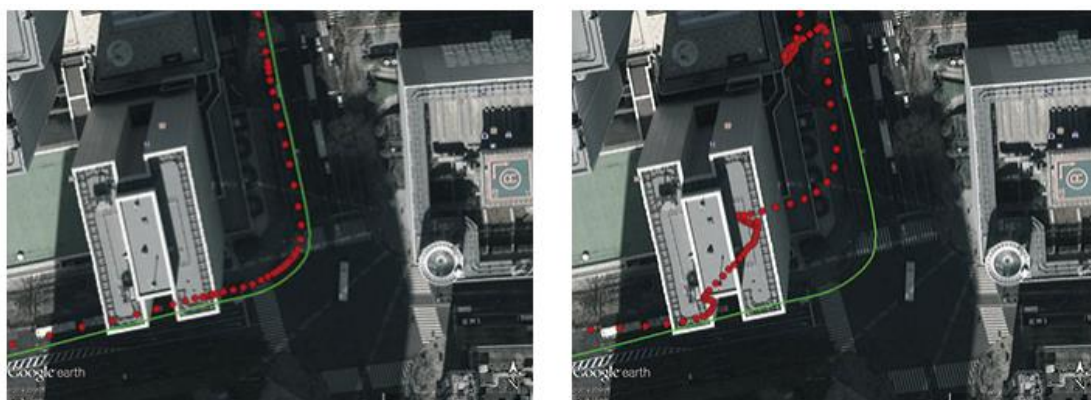
第 1 章 序論

1.1 研究背景

現在, GPS (Global Positioning System) はその機能を搭載した携帯電話やスマートフォンの普及や連携サービスの拡充に伴って様々な場面で活用されている. その活用領域は医療・介護, 防災などの人命にかかわる場面, さらには観光などのサービスでの用途でも利用が進み今後も活用が進むことが予想される.

しかしその GPS は衛星からの電波を受信することで位置情報を入手する仕組みになっており, 電波の届かない・届きづらい屋内や電波干渉が生じやすい大きなビル街などでは未だその精度に改善の余地があるといわれている. GPS に代わりうる, またその補助をする役割として期待されている手法の一つとして歩行者デッドレコニング PDR (Pedestrian Dead Reckoning) がある. デッドレコニングとは移動者が持つ端末に内蔵された加速度, 磁気, 角速度のセンサなどから得られる情報をもとに位置情報を自律的に計測する手法であり, GPS における専用の衛星などの外部環境に依存しないという長所がある一方, 直前の位置情報をもとに次の位置情報を推定する手法上, 測定誤差が蓄積されるためにその精度が徐々に落ちるといった短所も存在する.

現在は GPS の機能が電波干渉によって精度が落ちる場面において PDR を併用するなどの相互利用を含めた開発が進んでいる. 図 1 は GPS と PDR を組み合わせて利用することで位置推定の精度向上につながることを示したものである.



GPS と PDR の併用

GPS のみ

図 1 PDR と GPS の相互利用の例[1]

PDRについての研究が近年盛んになってきた背景として先に述べたようにスマートフォンの普及が大きな役割を果たしている。近年普及しているスマートフォンをはじめとする携帯端末にはGPSの電波を受信する機能のほかにも加速度センサ、磁気センサ、角速度センサなどの各計測センサが内蔵されている。これらの携帯端末に内蔵された各種センサによってこれまでのPDRの実験において用いられてきた専用の機器を身に着けることなく、自らの位置情報が得られる実現可能なアプリケーションの一つとなっている。

またPDRに用いられる各種センサは位置情報提供のみならず、端末を持つ人間行動の研究にも活かされている。

川瀬，倉田[2]らは携帯端末に内蔵された加速度センサの値から観光行動の推定を試みている。これまでもGPSを用いた観光行動は研究が行われてきたがGPSの特性上，ある2点間をその時間で移動したという単純な分析しかできなかつた。ここで移動者が持つ端末の加速度センサのデータを用いることで「止まる」「ゆっくり歩く」「行列の中で歩く」などのより詳細な行動分析ができ，さらにWiFiなどの外部環境との連携により周囲の混雑状況なども把握できるとしている。

今後もPDR自体の精度とともに人間の行動の種類による動きを細分化，可視化[3]することで位置推定精度が向上していくことが見込まれる。

1.2 研究の目的

本研究は既存の PDR のプロセス[4][5]をもとに位置推定を行う。[4][5]においては進行方向の推定を加速度センサの値から主成分分析(PCA)を経て行うが、本研究においては磁気センサと角速度センサを用いる。さらにその 2 つのセンサを用いた進行方向推定の精度を正解経路と比較するものである。

1.3 本論文の構成

第 1 章 序論

本研究の背景，研究にあたっての目的を述べた。

第 2 章 PDR の既存研究

本研究を含めた PDR の既存研究について説明する。

第 3 章 本研究手法

本研究で用いたアルゴリズムを説明する。

第 4 章 シミュレーション実験

本研究で行ったシミュレーション実験の内容を説明する。

第 5 章 シミュレーション結果

シミュレーション実験の結果を述べる。

第 6 章 結論

実験結果を踏まえ本研究のまとめ，考察を述べる。

第2章 PDRの既存研究

2.1 端末の姿勢推定

本研究におけるPDRの一連のプロセスは[4][5]を参考に行っている。

[4][5]はPDRのプロセスの中で「端末の姿勢推定」というものを行っている。これは端末を持つ移動者の現在位置から見た東西、南北、鉛直方向の3軸(以下ワールド座標系とする。)に対して移動者が持つ携帯端末から見た縦横、鉛直の3軸(以下モバイル座標系とする。図3を参照。)がどの方向に向いているかを導くことである。

端末の姿勢を推定することはモバイル座標系-ワールド座標系間の変換行列を求めることと同義である。まずワールド座標系における x, y, z の3軸の単位ベクトルをそれぞれ e_e, e_n, e_v とおく。鉛直方向の単位ベクトル e_v は重力加速度の逆方向であるので計測された加速度の長時間平均値を正規化することで得られる。(3.3.1にて後述する。)

次に南北方向の単位ベクトル e_n は磁気センサのデータから求めることができる。一般的にコンパスが指し示す磁北と北極点に向かう真北の方向は完全に一致しないが現在位置の緯度経度からその差を求めることができる。式(2.1)を用いて磁場の水平成分を得る。

$$n_i = D(\gamma, e_v)(m_i - m_i * e_v) \quad (2.1)$$

$D(\gamma, e_v)$ は e_v を軸として偏角 γ に対して $-\gamma$ 回転させる行列である。式(2.1)は節3.3.3にて後述する磁場の水平成分にあたる。

東西方向の単位ベクトル e_e は先に求めた二つの方向ベクトルの外積から求められる。

$$e_n \times e_v = e_e \quad (2.2)$$

以上から求められたワールド座標系の3軸の単位ベクトルは本論文でも後述する「ステップ検出」や「歩幅推定」「進行方向推定」のプロセスにおいて利用する。

2.2 加速度センサを用いた進行方向推定

本研究では進行方向推定のプロセスを角速度センサ, 磁気センサの2つのセンサを用いて実行しているが, 多くのPDR研究においては加速度センサの値からその時刻における加速度の主成分分析(PCA)により進行方向を決定するという手法が提案されている.[6][7][8][9]

特に[4][5]では計測端末がポケットに入っている場合と腰に固定されている場合とを分けて想定し進行方向推定を試みている. 計測端末がポケットに入っている場合は前後方向の軸を推定した後, どちらが前方向かを推定するという2段階を経て進行方向を推定する. まずステップが検出された際に東西, 南北方向の加速度 e_e, e_n を長時間平均化した上で直近の n_d サンプルにおいて主成分分析を行い, 固有値の大きい2つの固有ベクトルを正規化したものを前後方向の軸とする. 次にどちらが前方向かを決定するが, ここで鉛直加速度の下向きピークの直後に前方向への加速度がピークを迎えるということが一般的に知られている. この関係を用いてステップが検出された直後の加速度を前後軸に投影し, n_f サンプルの中の半数以上が正の場合は前後軸をそのまま進行方向とし, 半数以上が負の場合は前後軸の後ろ側が進行方向と判定し-1をかけたものを進行方向とする.

[6]では先に述べた前後軸のどちらが前方向かという問題に対して時刻 $i>0$ において標本間隔内で 90° 以上の進行方向変化が起こらないと想定し, 前時刻における進行方向に近い方を現時刻の進行方向として採用するという手法を取っている.

[8]では携帯端末を手に保持したまま腕を振る動きを想定し, その動きによって腕が作る面を利用することで進行方向推定を試みている. 具体的には歩行動作の中で得られた加速度ベクトルから最小二乗法によって腕振り面の推定を行い, 面に対して平行の軸線を進行方向軸とするものである.

2.3 PDR における進行方向推定の異なる手法

本研究では進行方向推定のプロセスにおいては磁気センサと角速度センサを用いているがこのほかにも進行方向推定の手法があり、代表的なものにオドメトリがある。オドメトリは主に車輪を持つロボットを用いた研究に用いられる手法で車輪の回転を積算して初期位置からの移動量を算出する方法である。計算負荷が少なく手軽に用いることができる一方で路面環境などに大きく依存する欠点がある。

山田[10]らはオドメトリの誤差を予測、検出が困難な偶然誤差と過去のデータから推定可能な系統誤差とに分けることによる誤差の軽減手法を提案している。屋内環境におけるタイル張りの床やカーペット、屋外環境における緩やかな傾斜など、事前に路面環境地図を作成し、これに基づく誤差予測と実際の計測データを複合的に利用することで誤差の総量を軽減できるとした。

また地面の凹凸による車輪の空転がオドメトリ法における誤差発生の一因とされているが前山ら[11]はオドメトリに加えて角速度センサを併用することでその誤差を軽減することを試みている。通常状態においてはオドメトリとジャイロの角速度測定値を融合した値を用いて進行方向推定を行うが、車輪が空転している状態を「異常状態」とし、この際には角速度センサの値のみを使うことによって車輪の空転時の誤差を軽減した。

これらとは別に岩田ら[12]はステレオカメラを用いたビジュアルオドメトリの手法を提案している。ビジュアルオドメトリとはカメラによる視差データから路面を認識し、路面上の特徴点をフレーム間でマッチングさせることにより走行軌跡を算出する方法である。この手法は鏡面反射光と呼ばれる光の影響が課題となっている。

2.4 PDR と音波信号の併用技術

PDR はそもそも現在の推定位置を各種センサの値から相対的に導く技術であり、このことが先述した誤差を蓄積してしまいそのパフォーマンスが徐々に低下するという弱点の要因となっている。AISLE : Advanced Indoor Location Enabler[13]は PDR によって導かれる相対的な位置情報に加えて音波信号を受信することで絶対位置を取得するハイブリッド方式の技術である。

具体的には屋内の各ポイントに音波信号発信機を設置する。(図 2 を参照)この音波発信機からは人間が知覚できないとされる高音域の音波信号が発信され、この信号を携帯端末が受信することでその発信機の近くにいるという絶対情報を提供する。

発信機間は PDR を用いた位置推定を行うことで GPS の電波が届かない屋内においても総合的に位置情報を入手することができる。

この技術は店舗内における売り場の検索機能や入店を認識したときに POP 広告が配信される技術なども含めて開発が進んでいる。



図 2 AISLE に用いられる音波発信機の概観[13]

第3章 本研究手法

3.1 各種センサ紹介

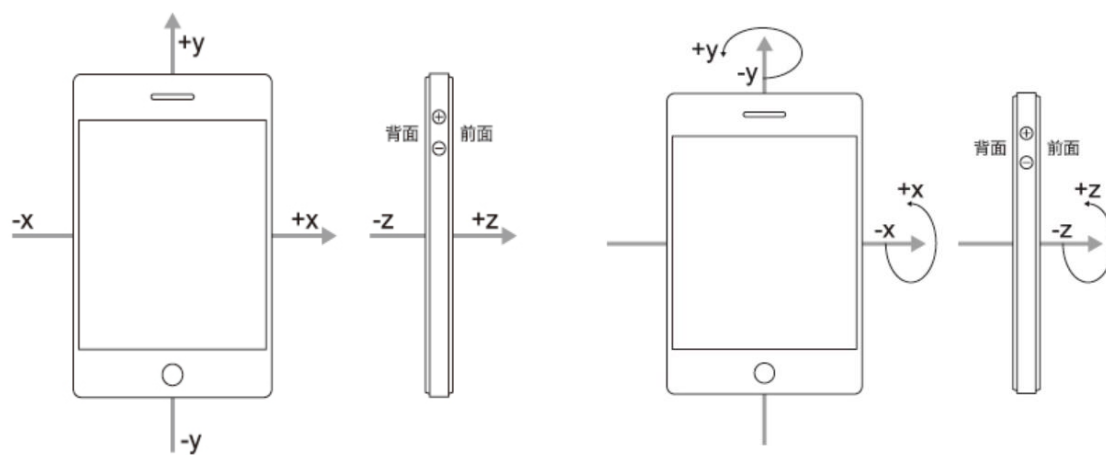
3.1.1 加速度センサ

移動者が持つ端末の加速度を検出するセンサのこと。一般的に計測された加速度を積分することで速度を推定することができる。本研究では加速度センサのデータは速度推定には用いず、長時間平均を取ることで重力加速度の向きを推定し、それをもとにステップ検出と歩幅の推定において利用した。また使用したデータの加速度の計測値には重力加速度の成分が含まれていることに注意する。つまり計測対象である携帯端末が自由落下をしているとき、モバイル座標系の3軸において加速度は0となる。

3.1.2 角速度センサ

角速度を検出するセンサのこと。ジャイロセンサ(Gyro Sensor)とも呼ばれる。端末の向きの変化を検知する。本研究ではこの角速度センサのデータに微小時間幅を掛け合わせることで回転量を計算している。

以下図3に加速度センサ，角速度センサの概観を示す。



モバイル座標系における加速度の軸

角速度センサにおける回転軸系

図3 加速度センサと角速度センサの概観[14]

3.1.3 磁気センサ

地球の地磁気を検知するセンサのこと。電子コンパスとも呼ばれ、磁場の向きを計測することで北向き方向を示す。磁気センサには地面に対して水平に使用する2軸型と水平面に加えて鉛直方向の地磁気を検出する3軸型がある。本研究では3軸型の磁気センサのデータを使用した。日常生活において携帯端末を様々な姿勢で携帯することを考えると3軸型の磁気センサが今日のPDRにおいては適当であろう。本研究では携帯端末が水平状態ではないという前提のもと、磁気センサのデータから水平成分のみを抽出するという作業を行っている。

ここで各センサから得られるデータの利用方法の概観を以下図4に示す。

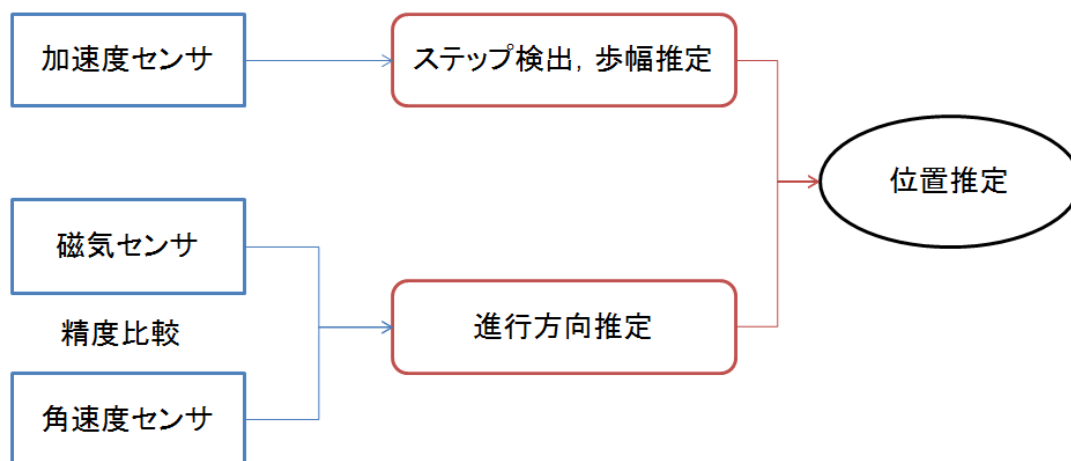


図4 各センサの値から位置推定を行うまでの大まかな流れ

加速度センサからは鉛直下向き方向の加速度導出に伴うステップ検出と各ステップにおける歩幅の推定、磁気センサと角速度センサの値から進行方向を推定しこれらを組み合わせることで現在位置を更新していく。

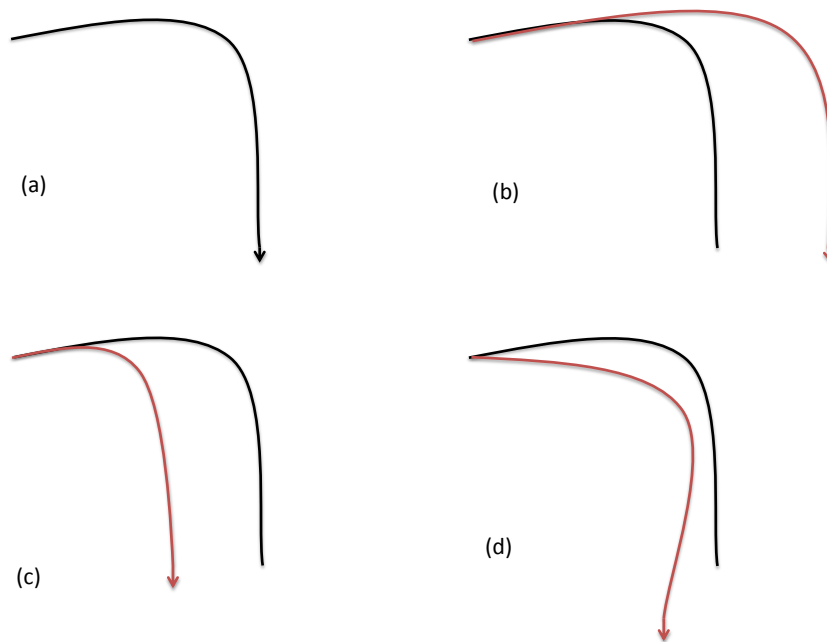


図 5 誤差のある PDR 測位の例 (a) 正解軌跡 (b) 推定された歩幅が真の歩幅より大きい
(c) 推定された歩幅が真の歩幅より小さい (d) 推定された進行方向に誤差がある

図 5 は PDR における誤差のある位置推定の例である。具体的には推定された歩幅に誤差がある場合、総歩行距離に影響が出る。また磁気センサ、角速度センサの計測精度によっては進行方向において影響が生じる可能性がある。

3.2 PDR における携帯端末の保持状態

多くの PDR の研究における実験の条件設定として、対象の携帯端末が移動者の体に固定されているか否かというものがある。携帯端末が固定されていない状態(以下自由状態とする)は携帯端末が体に固定されている状態(以下固定状態とする)に比べて端末自体の動きであるノイズを計測してしまい、無視できないほどの誤差が生じてしまう可能性がある。

図 6 は固定状態と自由状態の位置推定精度の比較をしたものである。固定状態に比べると自由状態における位置推定精度は低くなるのがわかる。

本研究では磁気センサと角速度センサの進行方向推定の精度について純粹に比較するため、固定状態でのシミュレーション実験を行う。

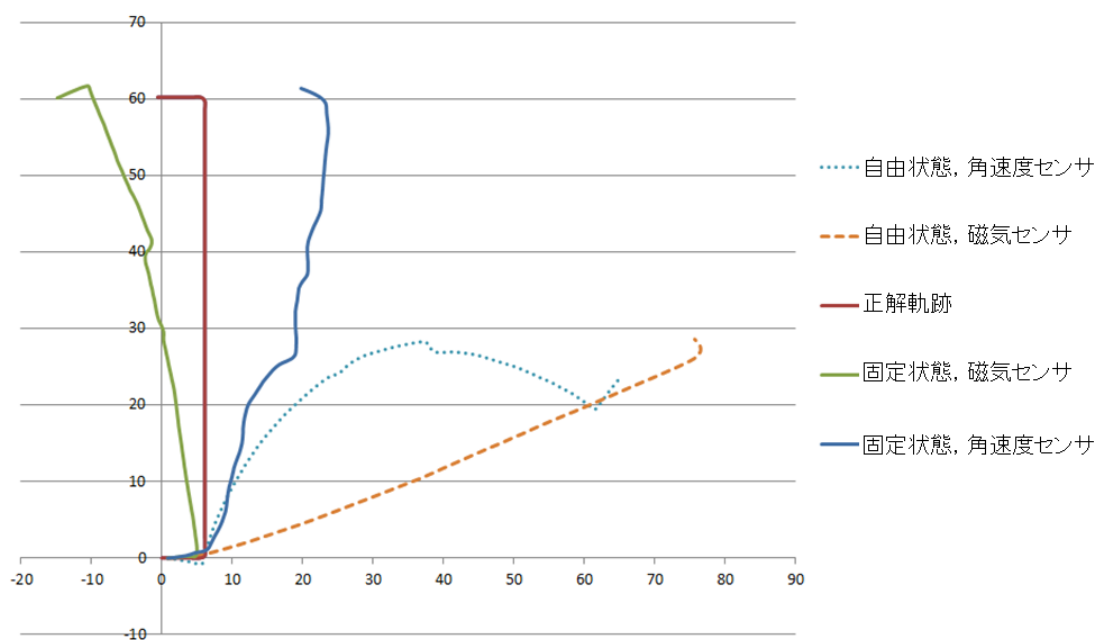


図 6 自由状態と固定状態における位置推定の精度の比較

3.3 本研究における PDR の計算手法

次に本研究における PDR の手順を説明する.

- ①重力加速度方向推定
- ②ステップ検出
- ③進行方向推定
- ④歩幅推定
- ⑤位置更新

以下に各プロセスについて記述する.

3.3.1 重力加速度方向推定

このプロセスは先述したモバイル座標系に対してワールド座標系の鉛直下向き、つまり重力加速度の方向を推定するものである。さらに鉛直下向き方向に対する計測対象端末の加速度を抽出するものである。このプロセスが必要な理由として、次のプロセスであるステップ検出や歩幅の検出に利用するためである。

まず利用するモバイル座標系の3軸に対する加速度の値の長時間平均値を以下の式(3.1)(3.2)(3.3)より導く。

$$ax[i] = ax[i - 1] * 0.98 - x[i] * 0.02 \quad (3.1)$$

$$ay[i] = ay[i - 1] * 0.98 - y[i] * 0.02 \quad (3.2)$$

$$az[i] = az[i - 1] * 0.98 - z[i] * 0.02 \quad (3.3)$$

ここで $x[i], y[i], z[i]$ は時刻 i に計測されたモバイル座標系における3軸の加速度の値である。 $ax[i - 1]$ は前時刻までに得られた長時間平均値、 $ax[i]$ は時刻 i に得られる長時間平均の値である。なお鉛直下向きを正としてとるためこの長時間平均の計算においては引き算となることを注意する。以上の式により長時間平均の値は毎時刻において更新されることになる。求められる $ax[i], ay[i], az[i]$ においては端末自体の動きが平滑化され、結果として端末にかかる重力加速度が顕在化する。以上から求められた長時間平均値を以下の式(3.4)(3.5)(3.6)により正規化する。

$$vx[i] = \frac{ax[i]}{\sqrt{(ax[i])^2 + (ay[i])^2 + (az[i])^2}} \quad (3.4)$$

$$vy[i] = \frac{ay[i]}{\sqrt{(ax[i])^2 + (ay[i])^2 + (az[i])^2}} \quad (3.5)$$

$$vz[i] = \frac{az[i]}{\sqrt{(ax[i])^2 + (ay[i])^2 + (az[i])^2}} \quad (3.6)$$

求められた $vx[i], vy[i], vz[i]$ はワールド座標系における鉛直下向き方向の単位ベクトルとなる。この値とモバイル座標系の各時刻における加速度の長時間平均値との内積がワールド座標系における各時刻の鉛直下向き方向の加速度 e_v となる。

$$e_v = ax[i] * vx[i] + ay[i] * vy[i] + az[i] * vz[i] \quad (3.7)$$

図7はzy平面における加速度 a_0 を単位ベクトルを用いてz軸における加速度 e_v に変換する様子である。式(3.7)は各時刻の長時間平均値をワールド座標系における鉛直下向きにおける加速度に変換することを表している。

加えて図 8 に実際にデータを用いて以上のプロセスから得られた鉛直下向き加速度が変位する様子を示す。

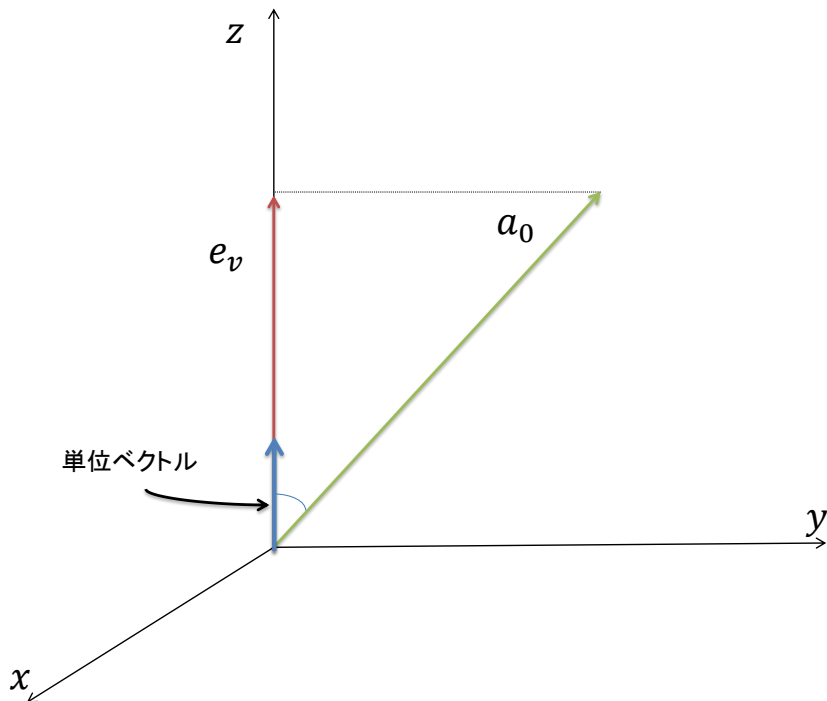


図 7 内積を取ることで特定の向きにおける成分を抽出する例

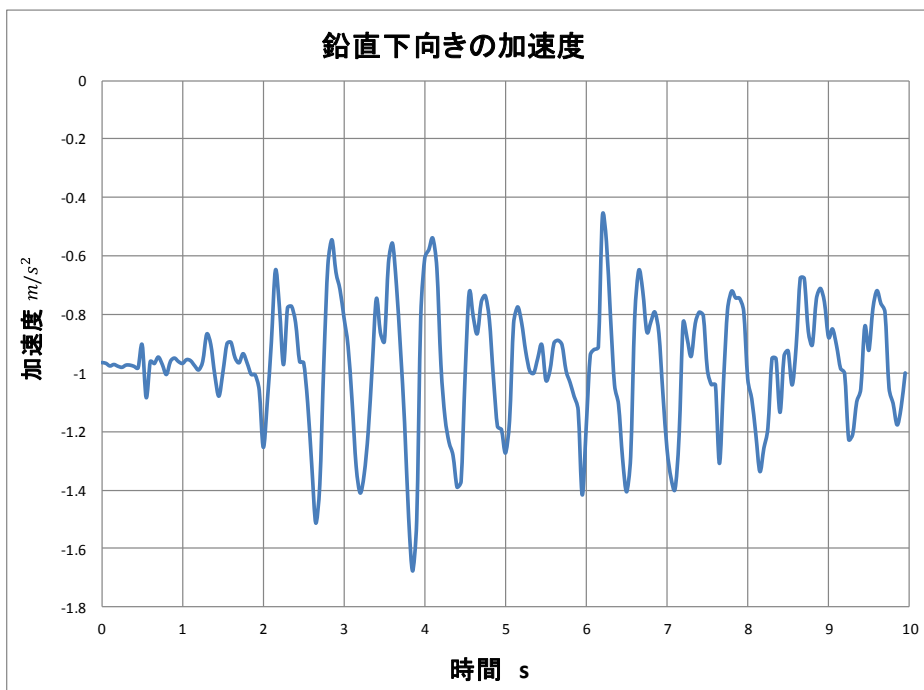


図 8 鉛直下向き加速度の変移の様子

3.3.2 ステップ検出

姿勢推定によって求められたワールド座標系の鉛直下向き方向加速度 e_v を利用して本節ではステップ検出について記す。ステップ検出とは推定された歩行経路の中で何回ステップを踏んだのかを推定するものである。ステップ検出を試みる意義として、のちに求める一步あたりの歩幅とステップ数を掛け合わせることで総移動距離の算出に利用することがある。また後述する進行方向推定のプロセスの中でステップ検出時に新たな進行方向を更新することでステップごとの現在位置の更新をすることができる。加速度 e_v は周期的な歩行動作の中で足が地面につく衝撃が端末に伝わることによって上下一組のピークが繰り返されることが一般的に知られている。

本研究では計測される下向きのピークをステップとしてカウントする。まず加速度 e_v に対して n_s 秒[s]の幅を持つウィンドウを設定する。そしてウィンドウ内の値を保持したまま移動させ、以下の条件を満たした時にステップとしてカウントするものとする。

- ① n_s の幅の中で最小値である。
- ②下向きピークの直後に現れる浅い局所的なピーク群はステップとしてカウントしない。

n_s を設定する際に e_v の平均的な周期を参考にする。 n_s 幅のウィンドウの中に下向きピークが2つ入ってしまうことを避けるようにする。ただしこのプロセスにおいて計測される下向きピークがウィンドウの中央時刻にてステップとして検出されるため、ステップの検出自体は実際の時刻からウィンドウ長の半分だけ遅れることに注意する。

なお携帯端末がポケットに入った状態でのステップ検出の際には端末が入っている側の足が地面についたときのみ、その振動が上下のピークとなって計測されるためステップ検出は2歩ごとに行われることに注意が必要である。

3.3.3 進行方向推定

進行方向推定とは文字通り端末を持つ移動者が現在どの方向に向かって進んでいるのかを推定するプロセスである。本研究では磁気センサと角速度センサの2種類のセンサを利用して進行方向推定を行う。

①磁気センサによる進行方向推定

磁気センサにおいても加速度の値同様、長時間平均を取る。

$$\text{magx}[i] = \text{magx}[i - 1] * 0.95 + \text{mx}[i] * 0.05 \quad (3.8)$$

$$\text{magy}[i] = \text{magy}[i - 1] * 0.95 + \text{my}[i] * 0.05 \quad (3.9)$$

$$\text{magz}[i] = \text{magz}[i - 1] * 0.95 + \text{mz}[i] * 0.05 \quad (3.10)$$

ここで $\text{mx}[i], \text{my}[i], \text{mz}[i]$ は各時刻 i に計測されるモバイル座標系における磁気センサの値である。 $\text{magx}[i - 1], \text{magy}[i - 1], \text{magz}[i - 1]$ は前時刻までに得られた長時間平均値、 $\text{magx}[i], \text{magy}[i], \text{magz}[i]$ は時刻 i に得られる長時間平均値である。よってこの値は毎時刻更新されることになる。

得られた長時間平均値をもとに以下の式を利用して進行方向推定を行う。

$$\vec{m} - (\vec{m} * \vec{e}_z) \vec{e}_z \quad (3.11)$$

この式において \vec{m} は得られた長時間平均値、 \vec{e}_z は姿勢推定にて求めたワールド座標系の鉛直下向き方向加速度の単位ベクトルである。式(3.11)は磁気センサの値から鉛直成分を除き、水平成分を抽出することを意味する。以上の作業によって進行方向推定のプロセスに利用する。図9は利用したデータセットから得られた磁気センサの水平成分である。

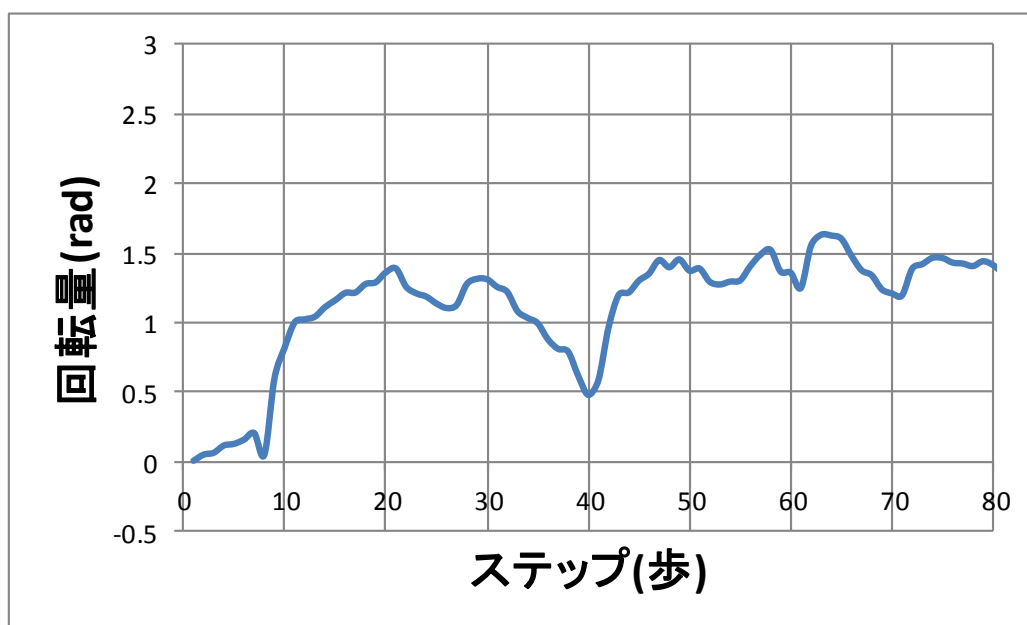


図9 磁気センサの水平成分の変移の様子

②角速度センサによる進行方向推定

続いて角速度センサを用いての進行方向推定の手法を記す。

角速度センサにおいても磁気センサ同様、データに収納されている角速度センサの値と鉛直下向き方向加速度の単位ベクトル \vec{e}_z との内積をとる。

$$(\vec{g} * \vec{e}_z)\Delta t \quad (3.12)$$

式は先に述べた角速度センサの値 \vec{g} と \vec{e}_z との内積に角速度の値が計測される微小時間幅 Δt を掛け合わせたものである。かっこ内の内積は速度を表すので時間幅をかけたものはすなわち距離となる。式(3.12)は初期方向からどれだけ回転したかを表現するものである。また角速度センサによって求められた以上の値は磁気センサの値と異なり、前時刻までの結果に足し合わせる形で更新していくことに注意したい。(3.13)

$$\text{delta}[i] = \text{delta}[i - 1] + (\vec{g} * \vec{e}_z)\Delta t [i] \quad (3.13)$$

前時刻までの回転量の和 $\text{delta}[i - 1]$ に時刻 i に得られる式(3.12)の値 $(\vec{g} * \vec{e}_z)\Delta t [i]$ を加えた $\text{delta}[i]$ の値が時刻 i までの回転量となる。図 10 に角速度センサから得られる回転量の概観を示す。

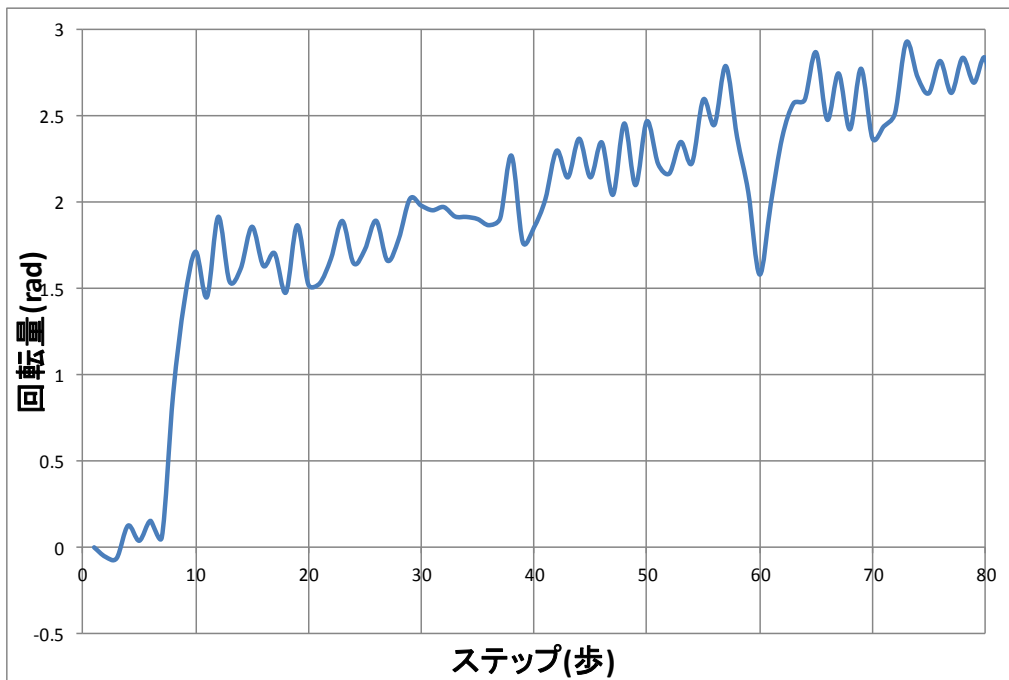


図 10 角速度センサの水平成分の変移の様子

3.3.4 歩幅推定

このプロセスは一步あたりどれだけの距離を進んだかを推定するものである。本研究では鉛直下向き方向の加速度 e_v を利用する。歩幅はWeinbergの式(3.14)

$$l = K^4 \sqrt{e_{v,max} - e_{v,min}} \quad (3.14)$$

を利用する。 $e_{v,max}$, $e_{v,min}$ はそれぞれ前回のステップから今回のステップまでの鉛直方向加速度の最大値と最小値である。この2つの値はステップが検出されるたびに更新されるものとする。係数 K は個人によって異なる固有値であり、キャリブレーションによって決定されるものである。一般に K は正の値であり、このモデルは歩幅が大きいほど加速度の最大値と最小値の差が大きくなる、つまり体の垂直方向の動きが大きくなることを表している。

3.3.5 位置更新

これまでのプロセスで求められた

- ・各ステップにおける歩幅
- ・ステップ数
- ・磁気センサのデータから求めた回転量
- ・角速度センサのデータから求めた回転量

をもとに位置を更新していく。

位置の更新においては以下の式を利用する。

$$\vec{r}_n = \vec{r}_{n-1} + a \vec{d}_{n-1} \quad (3.15)$$

ここで \vec{r}_{n-1} は前回のステップまでで到達した座標、 a が今回のステップにおける歩幅、 \vec{d}_{n-1} が進行方向の推定プロセスから求められた今回のステップにおける進行方向を示したベクトルとなる。このプロセスによって現在の推定位置 \vec{r}_n が更新されていく。ここで \vec{d}_{n-1} は以下のように書き換えることができる。

$$\vec{d}_{n-1} = (\cos \theta_{n-1}, \sin \theta_{n-1}) \quad (3.16)$$

$\cos \theta_{n-1}$, $\sin \theta_{n-1}$ はそれぞれ $n-1$ における余弦と正弦の値である。

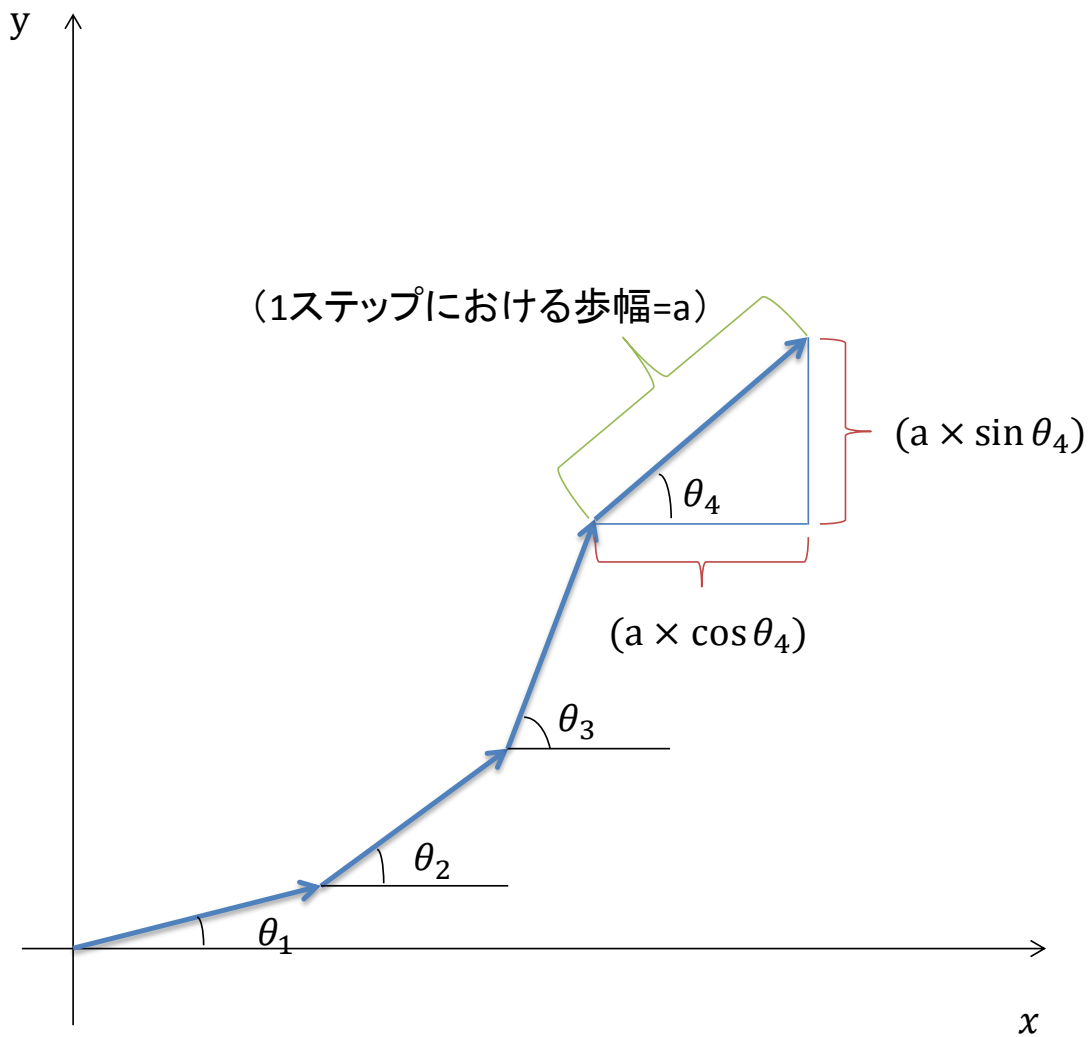


図 11 現在位置が更新されていく様子

図 11 はステップごとに現在位置が更新されていく様子である。前回のステップまでの座標を更新する形で今回のステップによる移動分が加算されていく。

第4章 シミュレーション実験

4.1 使用データセットについて

本研究のシミュレーション実験においては名古屋大学の Human Activity Sensing Consortium(1)の実験結果を使用した。このデータセットには以下歩行経路を歩いた時の各種センサの値が正解の歩行経路とともに収納されている。

4.2 シミュレーション条件

4.2.1 歩行経路

歩行経路については以下の4種類とする。いずれも原点を開始地点とする。

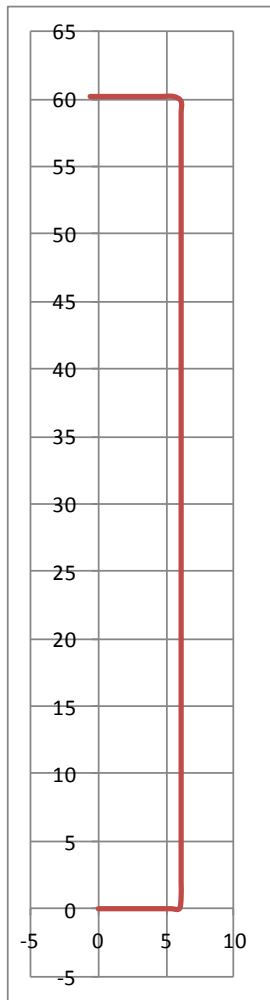


図12 ルート1

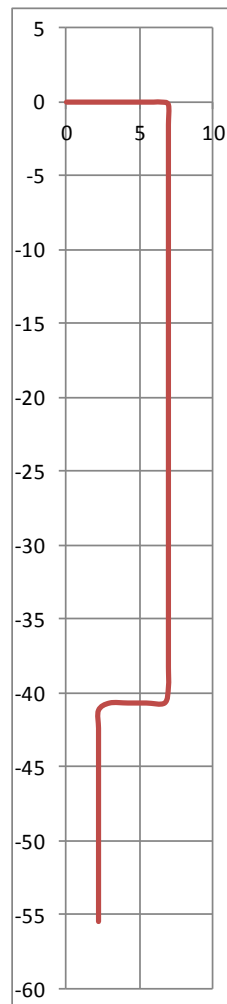


図13 ルート2

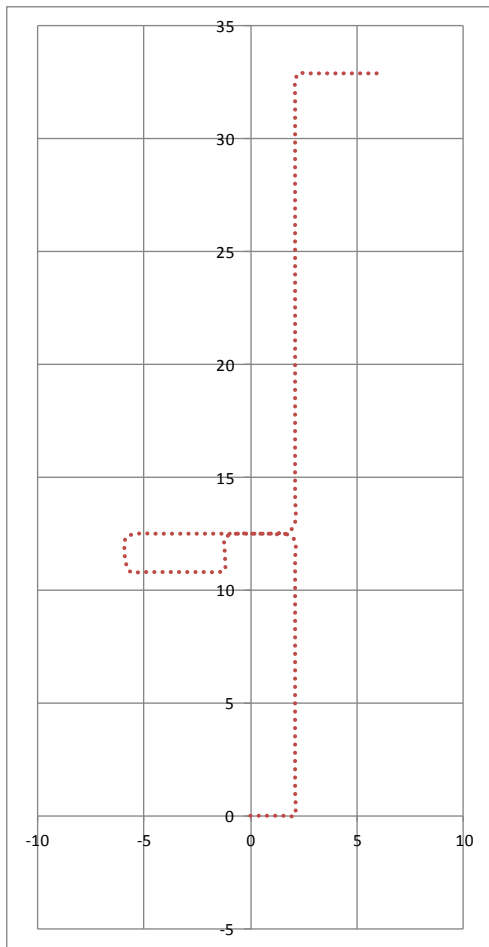


図 14 ルート 3(1フロア昇る)

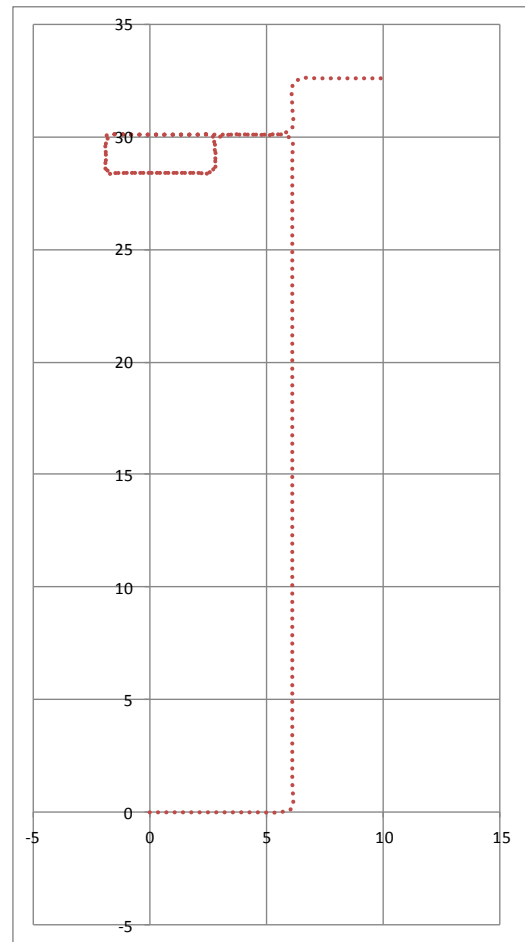


図 15 ルート 4(2フロア昇る)

4.2.2 その他条件

- 歩幅推定に用いる Weinberg の式 $l = K^4 \sqrt{e_{v,max} - e_{v,min}}$ における係数 K は個人によって異なる値であるが、本シミュレーションでは簡単のため 0.8 の数値を代入し統一した。
- 節 3.2.2 にて述べたステップ検出におけるウィンドウ幅は 0.4 秒(s)とした。
- 一つのルートを異なる複数人が歩いたデータが収納されているため、同一ルートにつき複数の結果が出ることになる。複数の結果をもとに位置推定の精度を判定する。

第5章 シミュレーション結果

5.1 ルート1

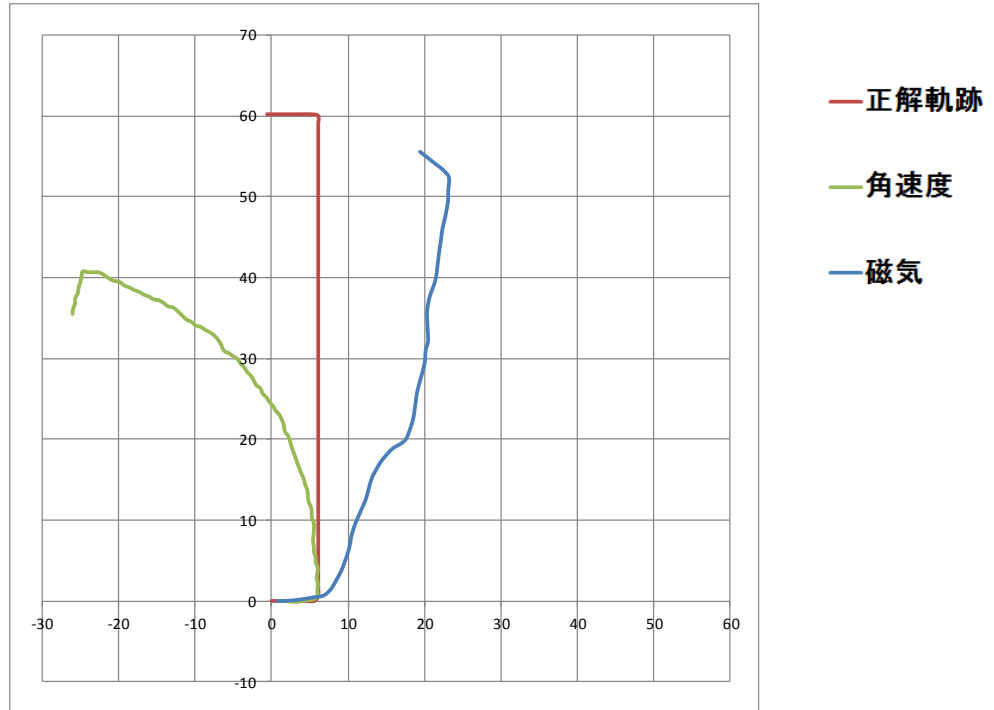


図 16 Person 1

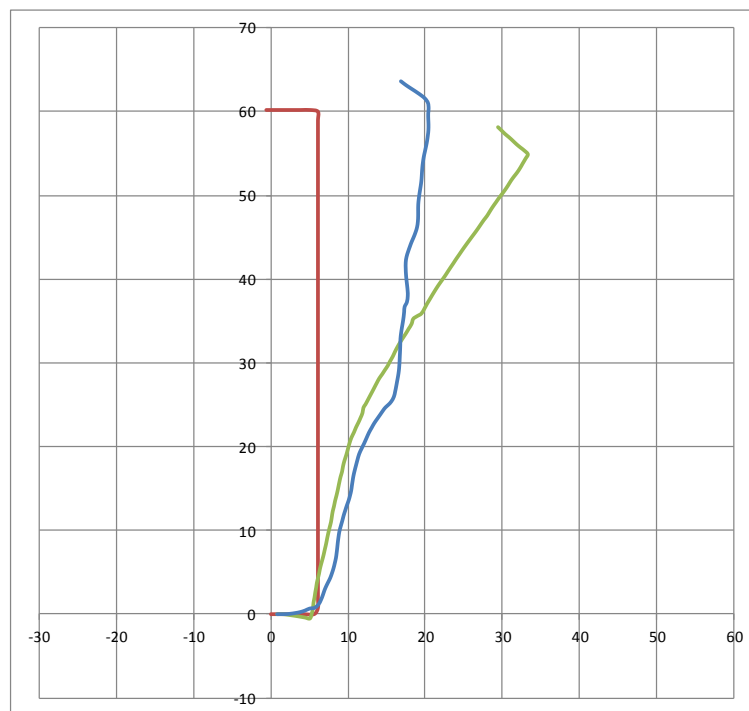


図 17 Person 2

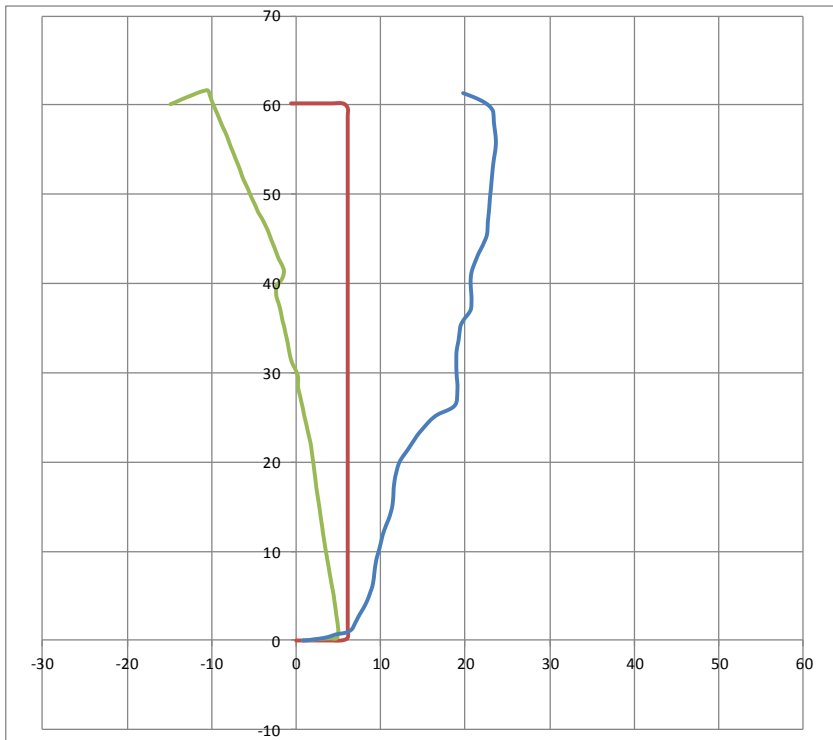


图 18 Person 3

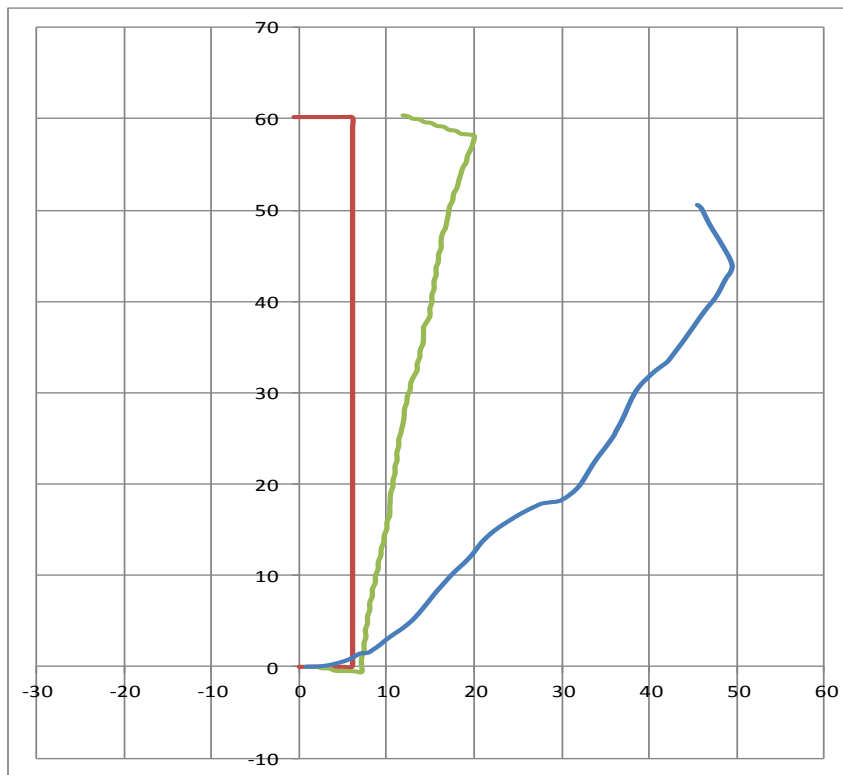


图 19 Person 4

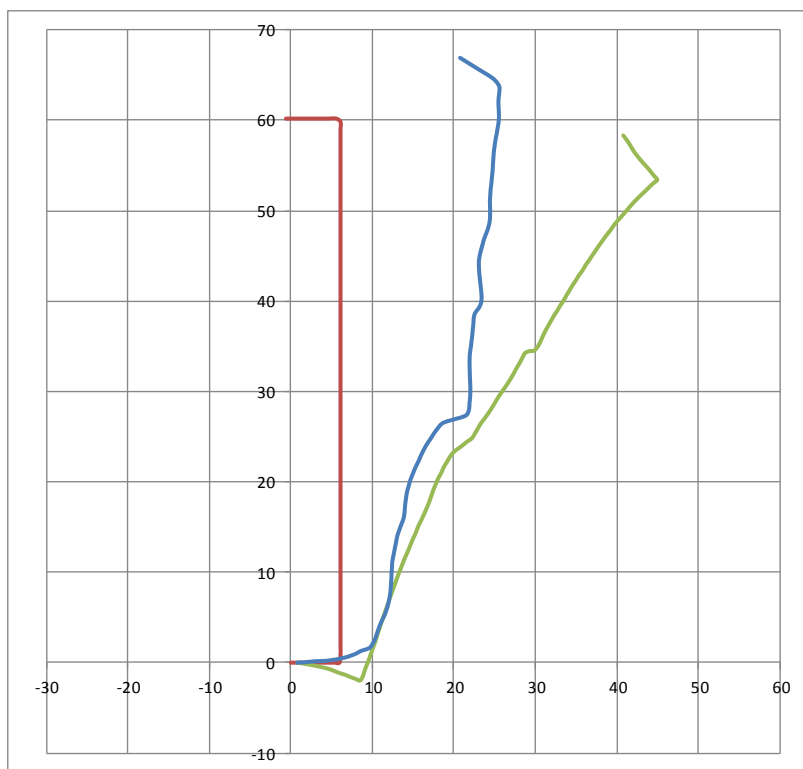


图 20 Person5

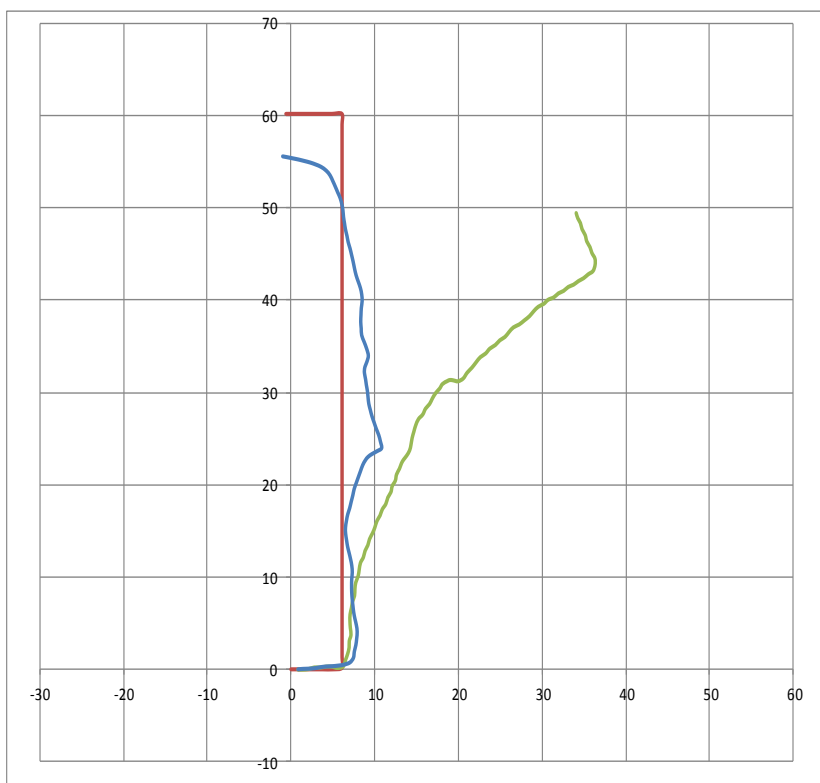


图 21 Person6

5.2 ルート2

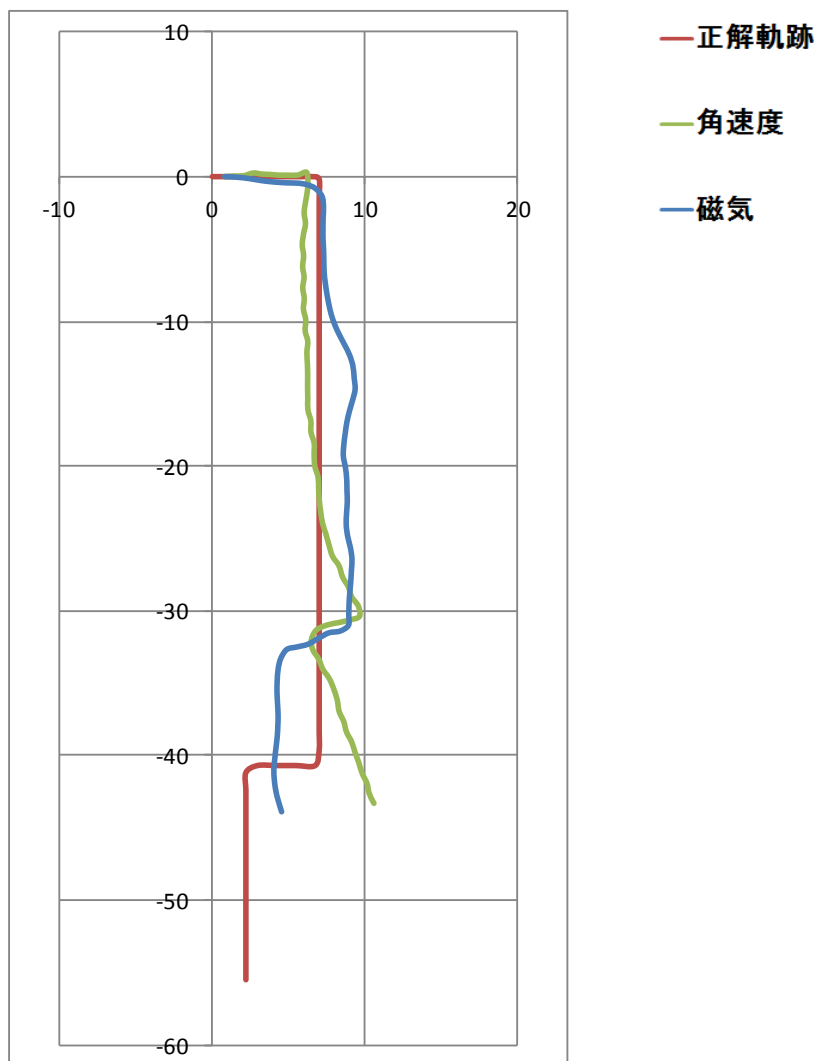


図 22 Person 11

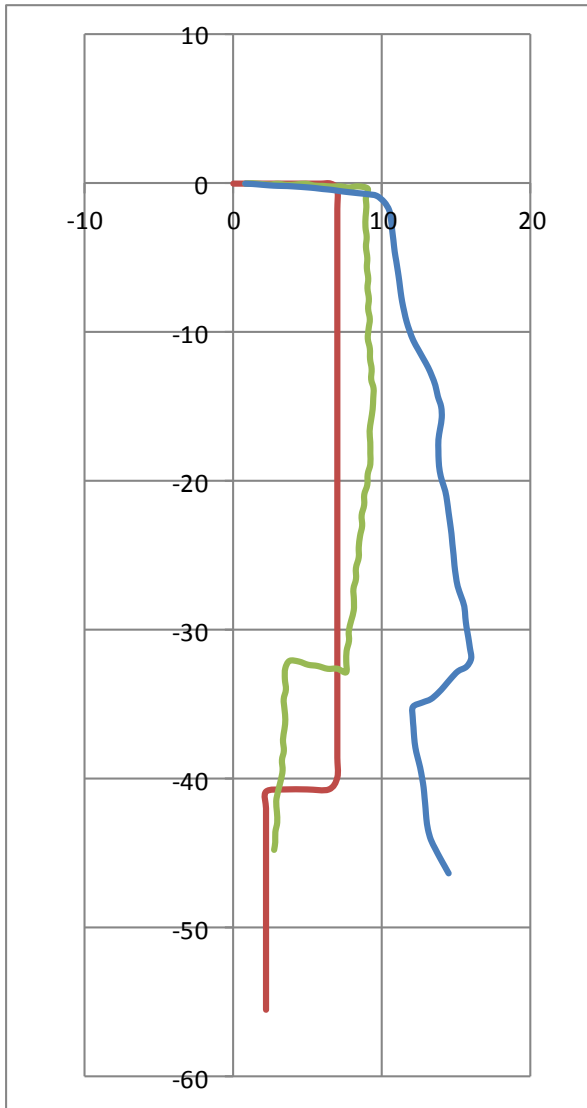


图 23 Person 12

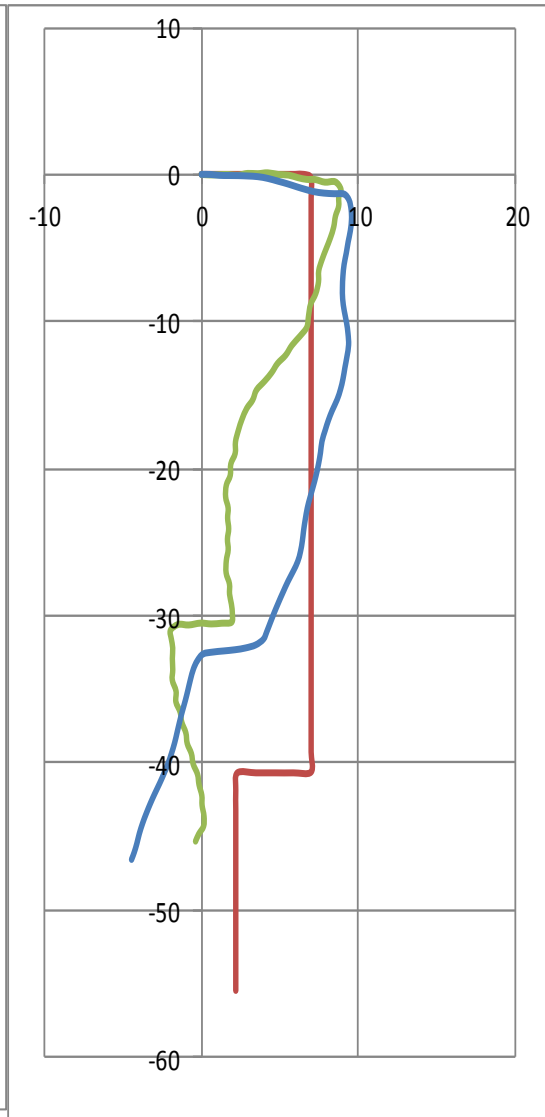


图 24 Person 13

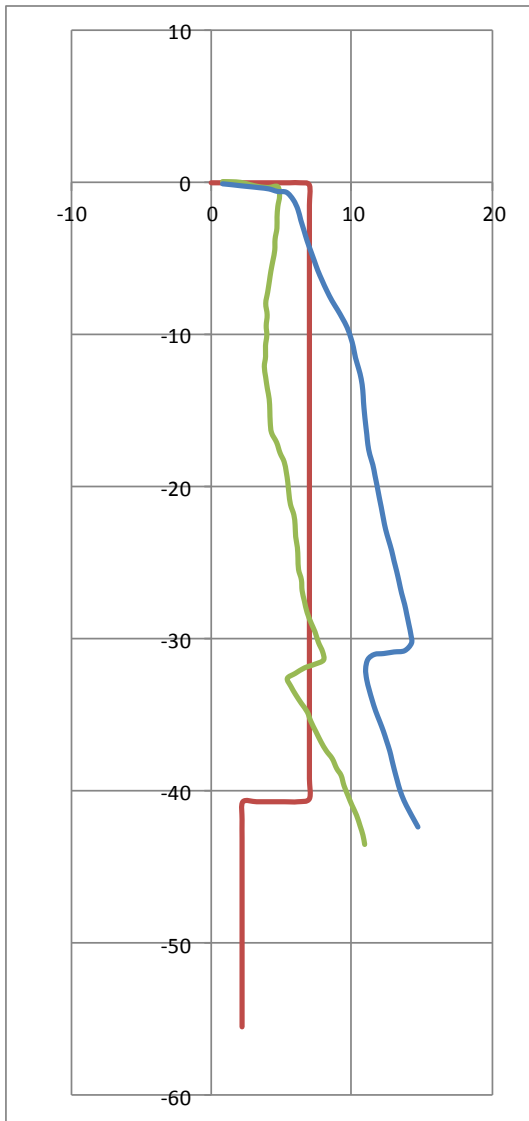


图 25 Person14

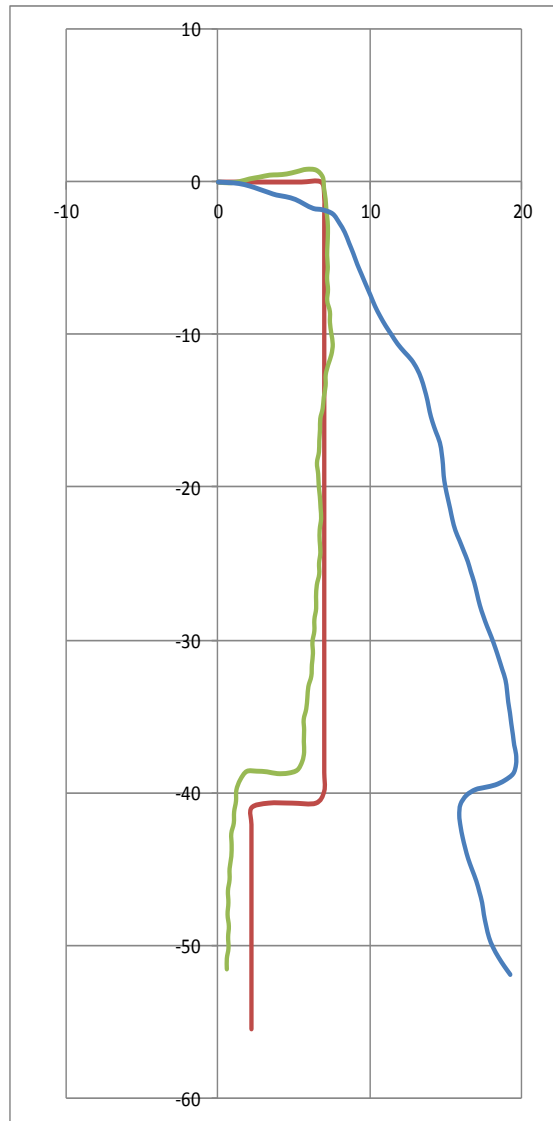


图 26 Person15

5.3 ルート3

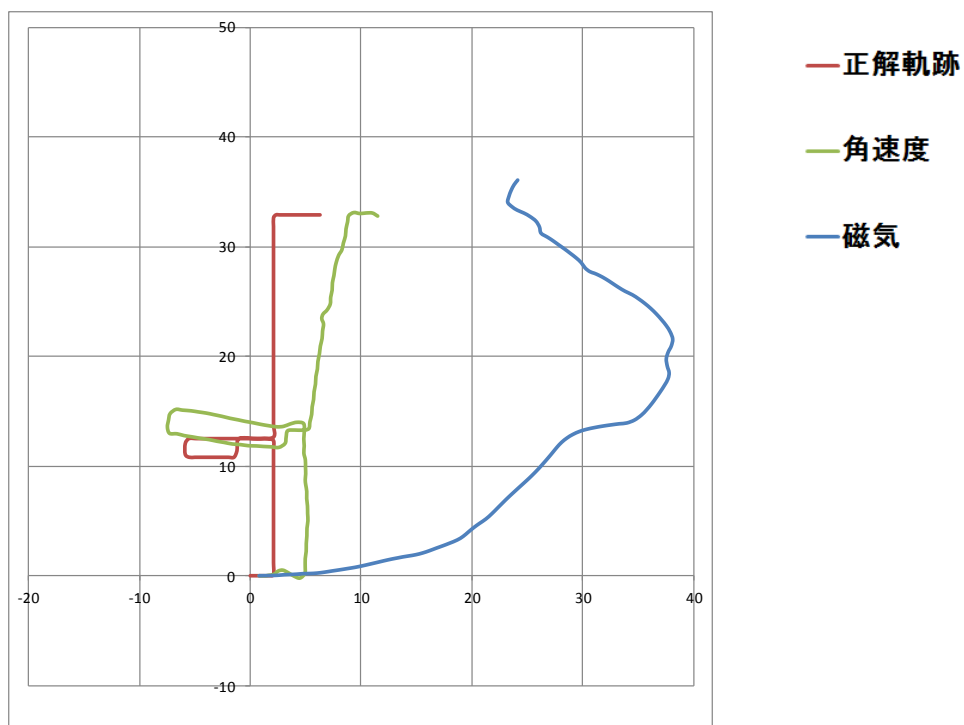


図 27 Person 21

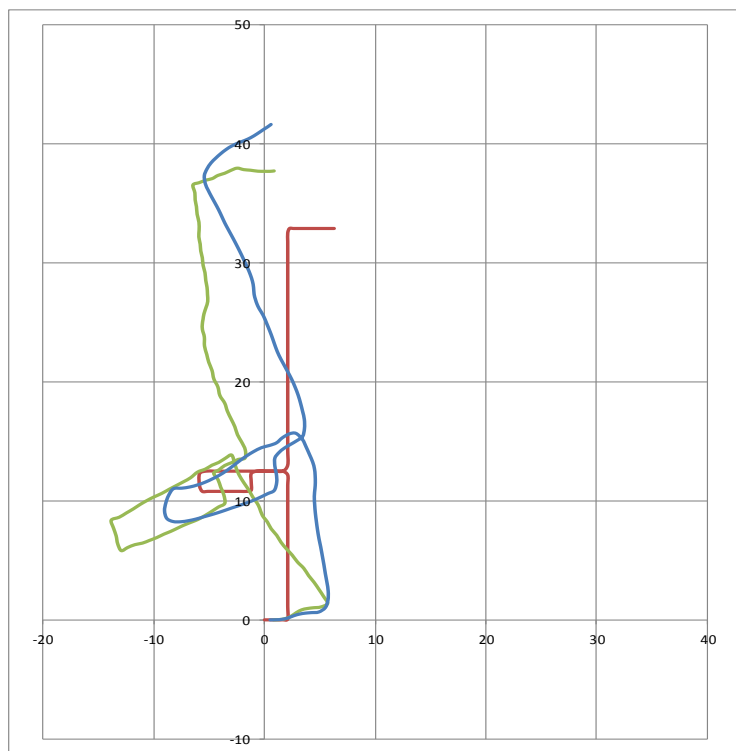


図 28 Person 22

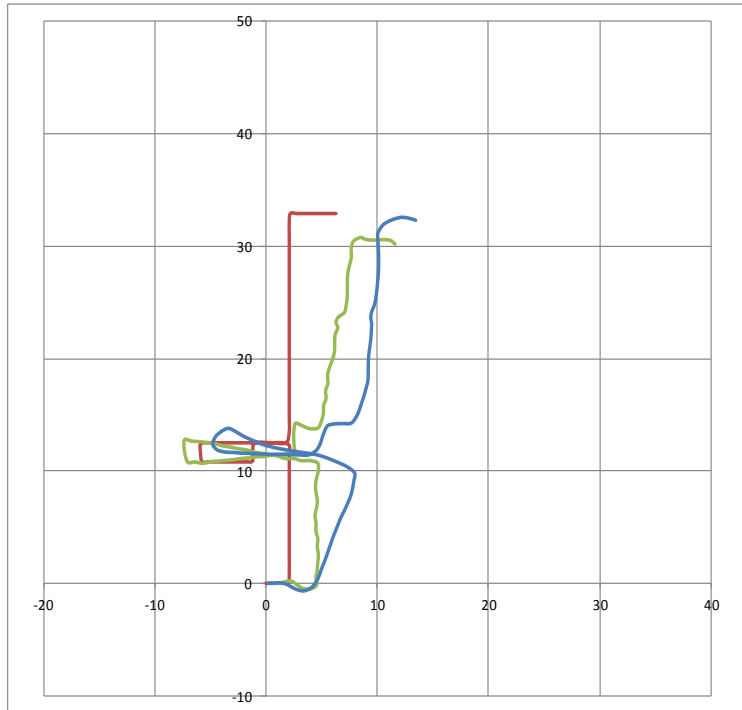


图 29 Person 23

5.4 ルート4

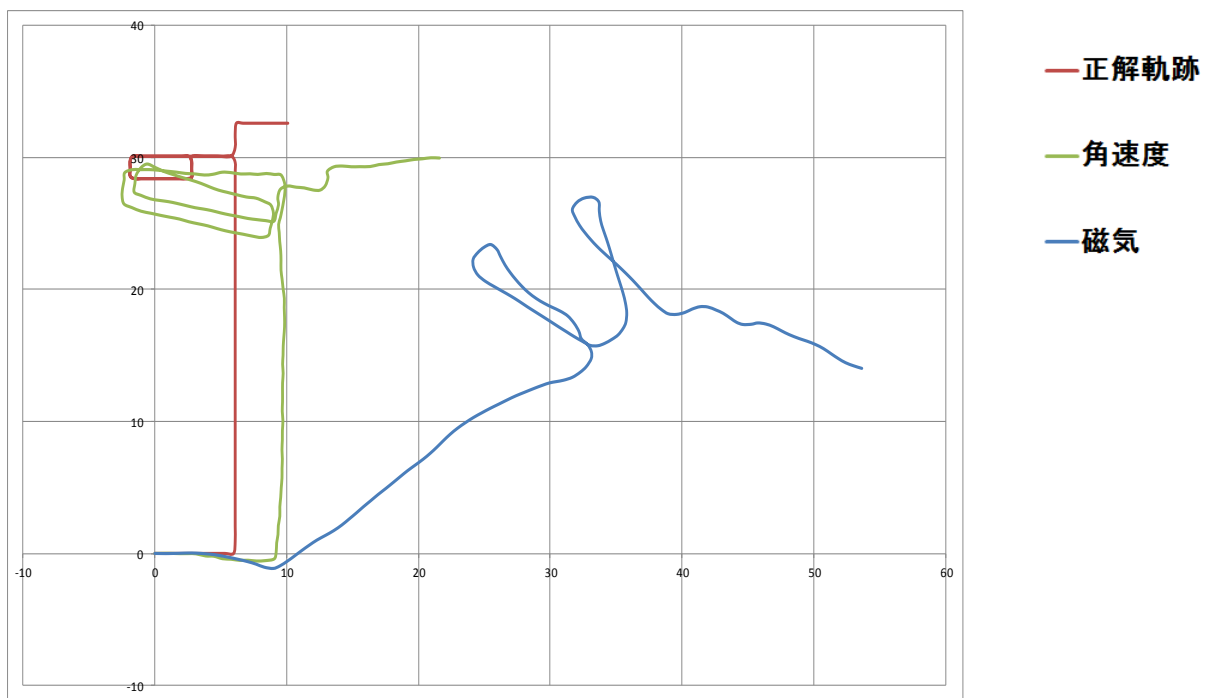


図 30 Person 31

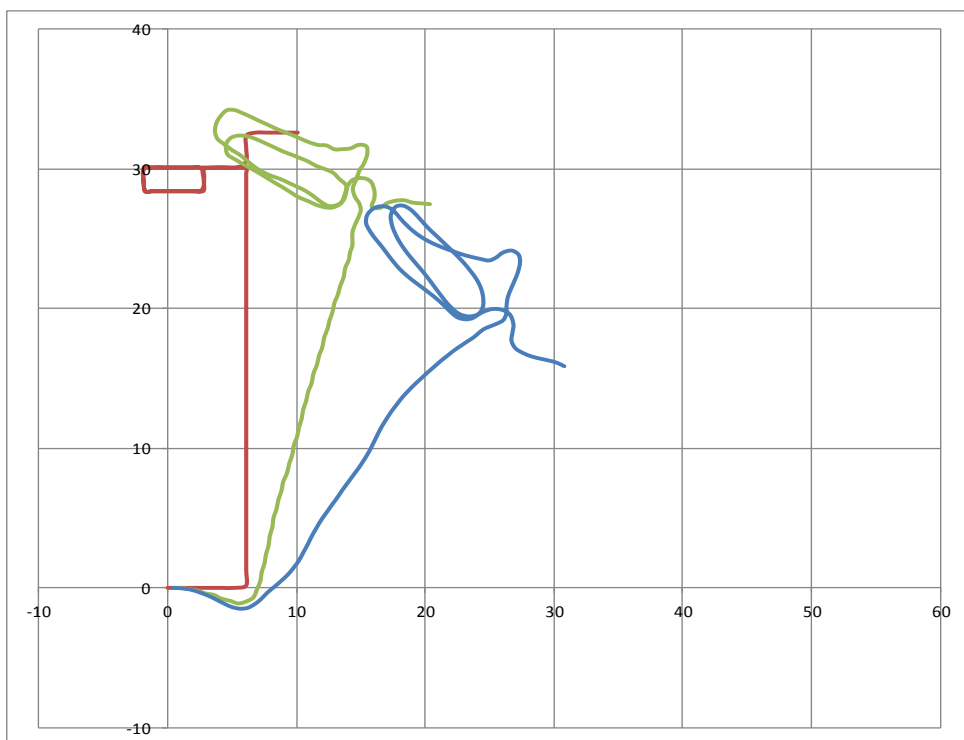
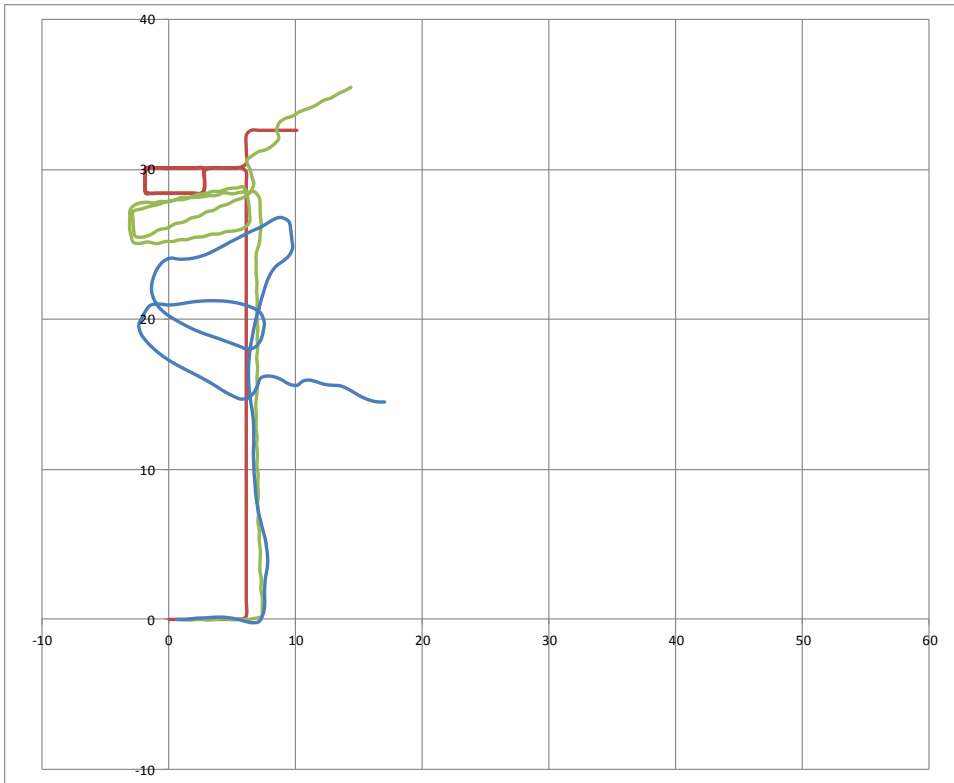
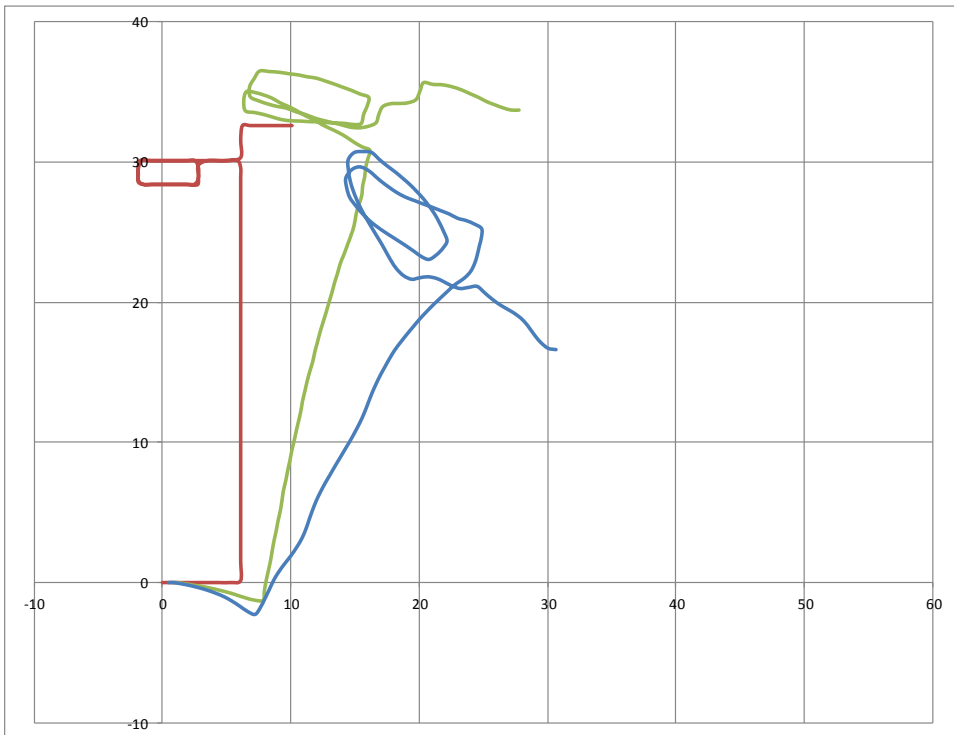


図 31 Person 32



☒ 32 Person 33



☒ 33 Person 34

	Person	総移動距離	結果	差
ルート1	1	72	67.32	-4.68
	3		76.71	4.71
	4		82.39	10.39
	5		68.84	-3.16
ルート2	11	67	53.08	-13.92
	12		58.65	-8.35
	13		59.73	-7.27
	14		51.62	-15.38
	15		63.39	-3.61
ルート3	21	60	69.78	9.78
	22		83.62	23.62
	23		65.17	5.17
ルート4	31	69	105.92	36.92
	32		97.63	28.63
	33		92.63	23.63
	34		98.08	29.08

表1 各ルートとシミュレーションによる移動距離の結果

表1は各シミュレーションにおける歩幅を足し合わせたものと実際の総移動距離を比較したものである。フロアが変わらないルート1とルート2と経路の途中で階段を昇るルート3とルート4ではシミュレーションから得られた歩幅の合計と実際の総移動距離に差に違いがあることがわかる。ルート1, ルート2ではシミュレーションによっては実際の移動距離を下回る結果が出る場合があるのに対してルート3, ルート4ではいずれも実際の移動距離を上回る結果が出ている。これは今回のシミュレーションにおいて高さ方向の成分は加味しておらず、実際には上に昇る距離が平面化してしまったためだと思われる。

また結果を総じて見ると一つ目の曲がり角を正確に判定できているかどうか全体の結果に影響を与えていると考える。磁気センサ, 角速度センサともに最初の曲がり角をある程度の精度で推定できているものはその後の推定も比較的成功的であるが、そうでない場合はその誤差が累積してしまいその後の推定もうまくいっていない場合が多いように見受けられる。

ルート1	Person	1	2	3	4	5	6
	磁気	11.5	9.19	10.7	25.7	12.6	3.82
	角速度	13.6	12	7.27	7.27	18.9	13.7
ルート2	Person	11	12	13	14	15	
	磁気	5.76	8.29	4.24	7.61	9.28	
	角速度	6.33	5.47	5.28	5.77	3.71	
ルート3	Person	21	22	23			
	磁気	23.8	3.63	4.82			
	角速度	3.51	5.7	2.89			
ルート4	Person	31	32	33	34		
	磁気	27.2	17.1	7.51	14.6		
	角速度	4.89	6.38	2.4	9.26		

表2 各シミュレーションの誤差

表2は各シミュレーションから得られた推定位置と正解の位置の差を平均化したものである。数値が小さいほど誤差が少なく正確に位置推定ができているということになる。フロアが変わらないルート1, ルート2ではそこまで大きな差はなく, シミュレーションによって磁気センサの方が良い精度のときもあれば逆の場合もあった。一方途中で階段を昇るルート3, ルート4においては角速度センサの値の方が良いという結果となった。

第 6 章 結論

4種類の歩行経路において磁気センサと角速度センサのデータを用いて進行方向推定並びに位置推定を行った。

以上の結果から磁気センサ, 角速度センサともに一定の精度で進行方向推定が行えることがわかった。階段の昇り降りがないルート 1, ルート 2 でのシミュレーションは精度の差と呼べるまでの大きな違いはなかった。一方, 歩行経路の中でフロアを上るルート 3, ルート 4 においては角速度センサの方が高い精度で位置推定ができていた。これは角速度センサがある程度の精度で位置推定ができたということでもあるが同時に磁気センサで行った位置推定の精度があまり高くなかったということでもある。シミュレーションによっては磁気センサから得られた推定経路は螺旋階段を昇る回転の動きも把握できていないものもあった。また前項で述べたように一つ目の曲がり角の判定精度が位置推定において重要だということがわかった。

今回は磁気センサと角速度センサの比較に焦点を置いたが今後はその 2 つのセンサの複合的な利用方法の提案ができると考える。特に角速度センサは回転量を足し合わせる形で進行方向を推定するため, 誤差が累積してしまうという弱点がある。各ポイントにおいて磁気, 角速度センサの値を複合的に判断することができれば精度向上が期待できる。さらに今回は簡単のため無視した高さ成分を加味した位置推定手法も考えられる。フロアが変わるルート 3, ルート 4 に関しては特に角速度センサにおいてはある程度の精度で進行方向推定ができたものの, 総移動距離に誤差が生じた。ここで高さ成分を含めた位置推定ができれば 2 次元の地図上における推定精度も上がると考えられる。

シミュレーションにて利用したデータ

- (1) HASC (Human Activity Sensing Consortium) 人間行動理解のための装着型センサによる大規模データベース構築 <http://www.hasc.jp/> (平成 30 年 1 月 31 日閲覧)

参考文献

- [1] 古野電気株式会社ホームページ <http://www.furuno.co.jp/index.html>
(平成 30 年 1 月 31 日閲覧)
- [2] 川瀬純也, 倉田陽平, “加速度センサなどを用いた観光行動推定手法の検討”
- [3] 下田貴久, “Gradient Boosting Decision Tree を用いた人間行動認識”
千葉大学工学部都市環境システム学科 平成 27 年度卒業論文
- [4] 垣内紀明, “携帯端末向け歩行者デッドレコニングの精度向上に関する研究”
東京大学大学院 情報理工学 平成 25 年度 修士論文
- [5] 砂川健一, “センサフュージョンによる Urban Canyon における歩行者位置推定”
東京大学大学院 情報理工学 平成 25 年度 修士論文
- [6] 星尚志, 羽多野裕之, 藤井雅弘, 伊藤篤, 渡辺裕, “スマートフォンを用いた PDR のための進行方向推定に関する一検討” 宇都宮大学大学院 工学研究科
情報システム科学専攻 情報処理学会第 77 回全国大会 IW-03, 2015
- [7] U. Steinhoff and B. Schiele. Dead reckoning from the pocket—an experimental study.
In IEEE International Conference On Pervasive Computing and Communications 2010,
pp. 162–170, 2010
- [8] 岩本健嗣, 上坂大輔, 村松茂樹, 横山浩之, “手持ちの加速度センサを利用した人物の歩幅推定手法の検討” KDDI R&D Laboratories Inc. マルチメディア通信と分散処理ワークショップ pp. 193–198 平成20年12月
- [9] K. Kunze, P. Lukowicz, K. Partridge, and B. Begole. Which way am I facing: Inferring horizontal device orientation from an accelerometer signal In International Symposium on Wearable Computers 2009, pp. 149–150, 2009.
- [9] 佐川貢一, 煤孫光俊, 猪岡光, “Three-dimensional walking distance measurement by integration of body acceleration”
弘前大学 東北大学, 計測自動制御学会東北支部 資料番号 202-10, 2007
- [10] 吉澤菜津子, 遠藤貴裕, 永見健一, “屋内位置情報における推定技術の開発と新しいサービスの展開について” Intec Technical Journal 第 13 号, 2013
- [11] 山田大地, 大矢晃久, “路面環境地図に基づき系統誤差を校正するオドメトリ”

筑波大学

[12] 前山祥一, 大矢晃久, 油田信一, ”ジャイロとオドメトリのセンサ融合による頑強なデッドレコニングの実現とその応用” Intelligent Robot Lab., University of Tsukuba

[13] ITmedia Inc. 加速度センサとジャイロで体の動きを感じるアプリを作る

http://www.atmarkit.co.jp/fsmart/articles/ios_sensor02/01.html

(平成 30 年 1 月 31 日閲覧)

謝辞

研究を進めるにあたり、プログラミングの基礎から論文の構成の仕方に至るまであらゆることをご指導いただきました塩田先生に深く感謝申し上げます。また研究室の皆様にはたくさんのアドバイスをいただき、時に励ましの言葉をいただきました。まことにありがとうございました。