

## 気圧・姿勢情報を用いた測位システムの 鈴鹿サーキットにおける有用性検証

### Evaluation of the Positioning System Utilizing Smartphone's Air Pressure Sensor and Accelerometer in Suzuka Circuit

岩波 慶一郎\*  
Keiichirou Iwanami

新井 イスマイル†  
Ismail Arai

田中 誠一‡  
Seiichi Tanaka

#### 1 はじめに

近年、スマートフォンが社会に急速に普及しつつある。スマートフォンは従来の携帯電話の機能に加え、その内部に加速度センサ、ジャイロセンサ、地磁気センサ、気圧センサなど各種のセンサの他、GPS 受信機や無線 LAN 受信機など多くの受信機も備えている。それに伴い、ユーザが日常的に持ち歩くスマートフォン環境を利用して種々のセンシングや行動のログに關して多くのアプリケーションなどの研究開発が行われており、一般的なものとなってきている。スマートフォン内蔵センサを用いることは、ユーザが別途専用のセンサ類を身につける必要が無いことからストレスが少ないなどの利点がある。また、これらの中で特に需要が高く、現時点でも普及しているのが GPS 受信機によって推定した位置情報である。位置情報を用いることで、マップ上で歩行者の現在地を表示したりナビを行う他、歩行者の移動経路をライフログとして記録するなど広い範囲に渡って利用されている。また、スマートフォンによる位置情報の利用は前述した歩行者によるものだけに限定されない事も特徴的である。スマートフォンはユーザが日常的に持ち歩き、日常生活における歩行、ランニングなどの走行、自転車、自動車、電車による移動など様々な形態での移動中に利用が期待できる。これらの事から、位置情報を自動的に得ることは単純なナビゲーションシステムだけでなく、ランニング中の消費カロリー消費や自動車での燃費計算など、それぞれの移動形態に特化した利用が見込まれる。一方、現状での GPS 受信機を用いた位置情報の取得では GPS 受信機による確率推定演算が常に行われる事を原因として、消費電力の増大は避けられない。スマートフォンではバッテリー容量が比較的小さい事も相まって、これが問題となりやすい。そこで、GPS 受信機の利用を出来るだけ抑えた位置情報の取得手法の需要が高まっている。我々は歩行者の移動経路ログに關して、気圧センサ値と数値標高モデルを利用し、GPS 受信機の利用を出来るだけ抑えた省電力な手法の実現を目指し、気圧センサ値による歩行者の移動

経路判定を研究している [1]。気圧センサ値をロギングすることで、標高変化を導出し、移動中の高度変化を推定する。現在までの研究では一般道路を対象に設定し移動経路を推定する研究を行なってきたが、今回エコマイレージチャレンジ競技において鈴鹿サーキット上を車両走行する機会があり、それを対象に有用性を検証した。以降 2 章で関連研究、3 章にて現状の気圧値と標高値による経路推定の手法を説明し、4 章でエコマイレージチャレンジの概要、5 章で開発したアプリケーションの解説、6 章で測定された実験結果について考察を行い、7 章で本稿についてまとめを行う。

#### 2 関連研究

現在、主な位置情報の取得手法として用いられているのは GPS [2] を用いた手法である。この手法では一般的な民生品 GPS 受信機を用いた場合で誤差 10m 以内の高精度測位が可能で、ナビゲーションや移動経路ログに用いられている。一方で 1 章で述べたように、GPS を使用することは消費電力を増大させるが、これは GPS 受信機が衛星からの信号を受け取れない場合でも電波の受信を試みて確率推定演算を繰り返すためである。スマートフォンに搭載されているセンサ類の中では、GPS 受信機の消費電力が最も大きい。よって、長時間の使用には不向きである事は否めない。そこで、この電力消費の問題を補う測位手法として無線 LAN 測位 [4] やデッドレコニング [5] などがよく知られているが、これら手法には無線 LAN 基地局の数に測位精度が依存することや、種々の移動形態に未対応であることなどの問題点が存在する。

#### 3 気圧計と標高データによる測位手法

2 章で述べたような問題点を解決するため、我々が研究を行なっているのが気圧計と標高データによる測位である [1]。この手法では、まず携帯端末によるデータロギングを行う。この時のデータロギングをイメージとして表したものが図 1 である。

移動経路において、単位時間ごとに携帯端末は気圧センサ値を常に記録し続け、加えて一定時間ごとに電源の ON/OFF が切り替わる GPS によって GPS 測位点が定期的に得られる。測定開始から時間が経過し、ある GPS 測位点が得られた時、その GPS 測位点及びひとつ前の GPS 測位点、二点が記録されるまでの間の気圧センサ値が測位に用いられるデータ範囲であり、古い GPS 測位点を移動における始点、新しい GPS 測位点を移動における終点と

\* 明石工業高等専門学校 専攻科 機械・電子システム工学専攻, Advanced Course of Mechanical and Electronic System Engineering, Akashi National College of Technology

† 明石工業高等専門学校 電気情報工学科, Department of Electrical and Computer Engineering, Akashi National College of Technology

‡ 明石工業高等専門学校 機械工学科, Department of Mechanical Engineering, Akashi National College of Technology

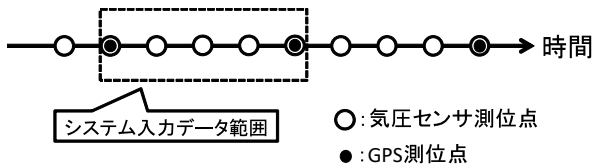


図1. ロギング中のデータ取得イメージ

みなす。

始点と終点が定まれば、始点の座標が観測された時刻を時刻0として、移動中のある時刻nにおける標高値を $H_n$ とする。n=0である時の標高値は時刻0における始点の標高値とする。 $H_n$ の標高値と気圧センサ値から移動中の時刻n+1の標高値 $H_{n+1}$ を求めるには、以下の式(1)で、相対高度導出を行い、 $H_n$ との相対高度 $\Delta z$ を求める。求められた相対誤差 $\Delta z$ と一つ前の時刻における標高値 $H_n$ より、式(2)を用いて $H_{n+1}$ が推定される。また、相対高度を導出する式(1)は、移動対象が持つ気圧計の測定値と、測定エリア内に設置された基準気圧計の測定値から相対高度を求める研究を行なっている森下らの手法[3]を参考としている。我々の手法では、これまでの述べた省電力性のある測位に加えて、森下らの手法における基準気圧計の制約解消を図っている。

$$\Delta z = \frac{T_f}{\gamma} \left( 1 - \left( \frac{P}{P_f} \right)^{\frac{R\gamma}{g}} \right) \quad (1)$$

$$H_{n+1} = H_n + \Delta z \quad (2)$$

(1)式における $T_f$ は現地気温、 $\gamma$ は気温減率[K/m]、 $g$ は重力加速度[m/s<sup>2</sup>]、 $R$ は空気の気体定数[J/kgK]、 $P$ は各時刻n+1の気圧、 $P_f$ は時刻nの気圧である。この式から求めた相対高度を始点の標高値に足しあわせていくことによって、高度変化ログを取得する。また、移動経路における高度変化の軌跡は車道・歩道ごとに固有のものであり、得られた高度ログと道自体の高度変化軌跡を事後比較することで、対象が移動してきたルートが判別できる。これが気圧・標高を用いた測位の基本的な理論である。また、この手法では移動終了後、事後にどのルートを移動したかをルートの標高特性を基に判別している。従って、得られた始点と終点以外は、ある時間にルート上のどの位置にいたかを詳細に判別する事は出来ない。

#### 4 エコマイレージチャレンジの概要と会場の特性

エコマイレージチャレンジはホンダが主催するレース競技であり、走行タイムではなく燃費性能を競う。競技は市販されている一般の車両を用いる一般車両部門、車体をレギュレーションに沿って自分達で作成する競技車両部門に分かれ、これら車体に搭載するシステム・機材などに制限は無い。本実験では競技車両部門で行ったため、これについて述べるが、この部門では競技車両を規定に沿うよ

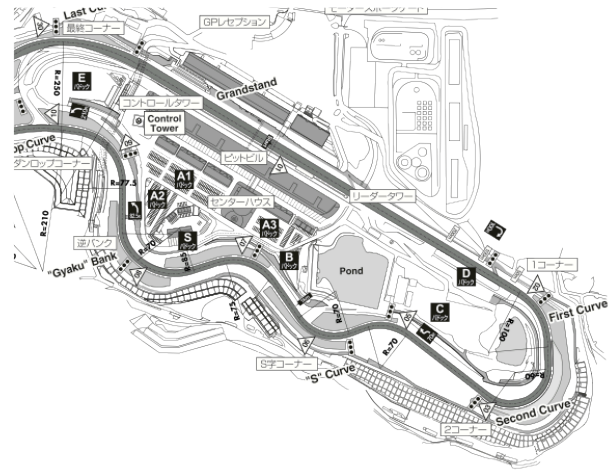


図2. 鈴鹿サーキット東コース

う製作し、Honda製50ccエンジンを搭載する。競技では最初に規定のガソリン量が与えられ、鈴鹿大会の場合、1周約2.2kmのコースを8周走行する。エンジントラブルなどによる途中停車は失格であり、8周を約43分以内に走行すること、走行距離と総走行時間から求めた平均速度が25km/h以上であることなどが主なルールとして定められている。走行終了後、各車両ごとに走行の燃費スコアを導出するが、ここで言う燃費は

$$\text{燃費} = \frac{\text{コース公式総距離}}{\text{消費燃料重量} \div \text{燃料密度}} \quad (3)$$

で導出が行われ、単位は[km/l]である。導出された燃費が高い物から上位が決定される。この競技は、その性質から特に勾配が重視される競技であり、登り坂ではアクセルを開き、下り坂ではアクセルを閉じるあるいはエンジンを切ることで慣性運転を行い、燃費を向上させる事が重要である。また、鈴鹿大会におけるコースは図2に示されるような鈴鹿サーキット東コース\*1である。この東コースの一周における公称距離は2243mで、最低標高地点と最高標高地点の高度差が約35mと大きく、標高値の変遷は図3に示すように変化する。コースを通して平坦な道が殆ど存在しないため、気圧変化の観測が用意で、本提案手法において有利な実験環境であった。

以上述べた競技の概要より、ドライバーは運転中に現在地点が登り坂か下り坂かという標高に関連する情報、競技開始からの総走行時間、周回あたりのラップタイム、競技を通しての平均速度などの情報を把握する必要があり、これらを一括で表示するようなアプリケーションの需要があり、これらの需要を満たすようなアプリケーションを開発・導入した。

\*1 鈴鹿サーキット公式ホームページ コースガイド  
[http://www.suzukacircuit.jp/course\\_s/](http://www.suzukacircuit.jp/course_s/)

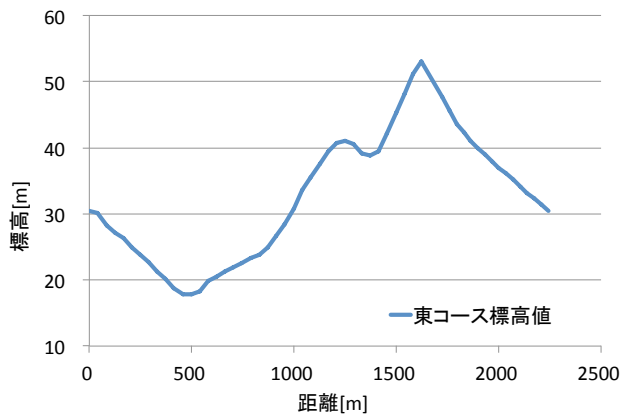


図3. 鈴鹿サーキット東コースの標高値変化

## 5 開発したアプリケーションについて

4章までに現在研究を進めている測位手法及び鈴鹿サーキットの特徴を示しながら、現手法の適用について鈴鹿サーキットでの実験が有用であることを述べた。そこで、実際に鈴鹿サーキット上を走行した際の各種センサーデータ値を収集するため、ロギングアプリを開発した。また、アプリにはロギング機能だけでなく走行中にドライバーの判断の補助となるような表示を行うシステムを備える。以下にアプリケーションが満たすべき要件を示す。

### 5.1 要件

#### 5.1.1 ロギング機能

本研究では走行中の気圧センサー値とGPS値を収集する事が手法における大前提となっている。そのため、アプリケーションはその機能としてロギング機能を備えていることが必要である。本来の手法をそのまま適応する場合は、GPSの電源を一定間隔でON/OFFすることが必要であるが、今回の実験はエコマイレージチャレンジの競技中に行い、またその時間は1時間未満である。このためアプリケーションの長時間駆動を必要とせず、バッテリーに余裕があるため今回は事後の評価を目的にGPS値も常時ロギングする。

#### 5.1.2 各種情報表示

ロギングは携帯端末上で行われるため、競技車両にスマートフォンを搭載して競技中走行を行うことになる。そのため、競技中にドライバーが走行における各種情報を視認でき、走行の補助となれるようなアプリケーションであることが望ましい。ここで言う各種情報とは4章で述べたドライバーの判断補助となるようなものの事で、現在地点が登り坂であるか下り坂であるか、現在時刻までの走行中における平均速度、競技開始からの総走行時間、各周回におけるラップタイムなどである。よって、アプリケーションはこれらを導出しそのディスプレイに表示する。

### 5.1.3 自動化

スマートフォンは競技車両に設置後、走行中にドライバーが操作することは安全性などの理由から不可能である。よって、競技開始以後はドライバーがスマートフォンに触れることなく各種情報の表示、更新が行われることが必須である。

## 5.2 設計

定められた要件を元にアプリケーションを設計した内容を以下に述べる。

### 5.2.1 データロギング部

データロギング部はセンサーデータのロギングを行う。具体的には、気圧値、GPS値の他、加速度センサー、地磁気センサー、ジャイロセンサー、端末の傾き、タイムスタンプを記録する。記録は0.2秒間隔で行われ、端末内部にcsv形式で保存される。また、GPSのデータについては事後の詳細な解析も可能とするため別途NMEA形式のデータを取得し、txt形式で保存されるよう設計する。

### 5.2.2 現在標高判定部

現在位置が登り坂であるか下り坂であるかは、コース全体の標高変化と現在位置の表示が行えれば良い。そのため、アプリケーションにはまずコース一周分の標高変化をグラフ上で表示し、現在位置に当たる部分に矢印を別途プロットすることで現在地の標高と未来位置における標高変化を把握できるようにする。

### 5.2.3 自動ストップウォッチ部

周回ごとのラップタイム、及び競技開始からの総走行時間はストップウォッチ機能を自動化して設ける。ドライバーが競技開始と同時にスタートボタンを押し、それ以後は鈴鹿サーキット東コースの公式の周回距離を走行するごとにラップタイムが自動で記録、ディスプレイ上に表示される。また、その他に総走行時間が常時表示される。

### 5.2.4 その他情報表示

アプリケーション上では移動距離、傾斜、平均速度を表示する。

## 5.3 実装

設計を元にアプリケーション『Glorious Run』を実装した。

図4にアプリケーション画面のスクリーンショットを示す。『Glorious Run』は図4の通り、画面右部に緑字で総走行時間、白字で1週目から8週目までのラップタイムの表示部を備える。画面左上部は現在位置の標高に関する情報が表示されている。縦軸が標高[m]であり、横軸がコース一周の距離[m]である。また、画面左下部は各種情報の表示部と始動ボタンが設けられており、移動距離の総和、現在位置の傾斜、現在までの走行平均速度が表示される。設計で述べた現在標高判定部に関しては、画面左上部がそれに相当する。表示されているコース距離と標高のグラフの上を赤い矢印が移動することで現在地の



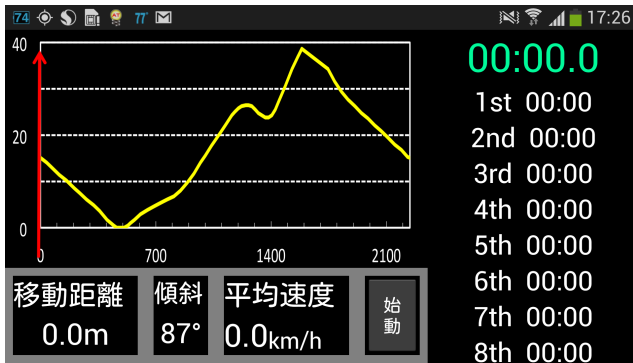


図4. Glorious Run のスクリーンショット

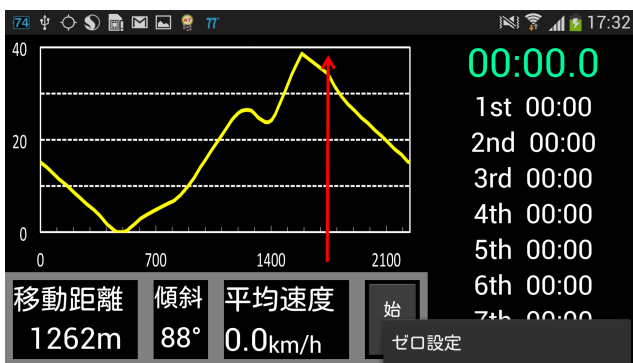


図5. Glorious Run のメニュー表示画面

大まかな位置と未来位置の変化、及び標高値を把握することが可能となっている。また、矢印はGPS値から得られた緯度経度をコースを1m刻みで分割し緯度経度で表現した情報と全比較を行い、最も値の近いと判別された位置にもとづいて画面上に描画が行われるようになっている。自動ストップウォッチ部は画面右側に相当するが、これは始動ボタン開始後にカウントが開始され、緑字の部分で総走行時間が常に計測、表示される。鈴鹿サーキットより公表されている公式コース距離を走行するごとに一周回ったと判定され、ラップタイムが刻まれる。その他情報表示部は画面下部に相当し、移動距離はGPS値の変遷から移動距離の総和を取り、その値が表示される。平均速度は移動距離と総走行時間の値から計算が行われ表示される。傾斜は、『Glorious Run』を起動し、競技車両に設置後、図5に示されたようにメニューを開くとゼロ設定が設けられており、これを実行する事でスタート地点を基準として、そこから何度の傾きがあるかを表示するようになっている。また、スタート地点は図2中のコントロールタワーに近いピットロードで、平坦である。

次に、『Glorious Run』を競技車両のオペレーション部分に設置した。その時、運転席に座るドライバーからどのように見えるかを図6に示す。運転席は加速や減速に関わる基本的な機能の他、エンジンの回転数や燃焼温度などを表示する各種測定器、正確な時間を測定するストップウォッチなどが備え付けられている。そして視点左方

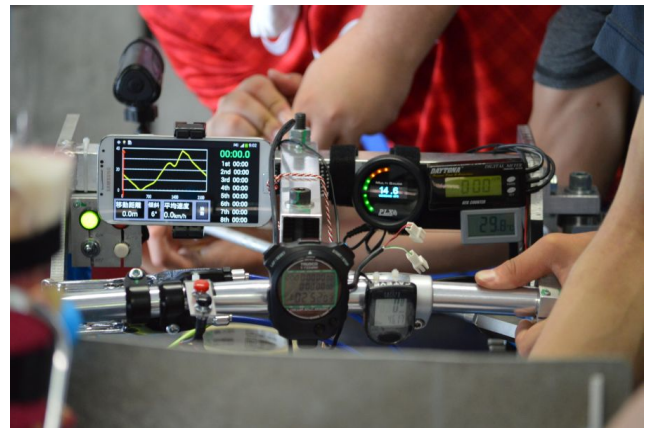


図6. ドライバー視点から見たアプリケーション画面



図7. 明石高専競技車両

にアプリケーションを起動した状態のSamsung電子製Galaxy S4端末が備え付けられているが、各種表示部が認識できることが確認できる。これらを実装した環境であるが、前述のとおりアプリケーションはSamsung電子製スマートフォンGalaxy S4(気圧分解能0.01hPa)上でJava言語を用いて記述されたプログラムとして作成されている。

また、端末を設置した車両は、明石高専機械工学科有志によるチーム『明石高専エコランプロジェクト』によって製作された50ccエンジン搭載のエコマイレージチャレンジ競技車両である。その車両の全容は図7のとおりである。競技中、ドライバーは寝そべった形で運転を行う。運転席から見た前方光景は図6のようになる。アプリケーション全体の操作としては、ドライバーは競技車両をスタート位置に移動させた後、アプリケーションのメニュー機能からゼロ設定を選択する。ゼロ設定が選択されると、傾斜とそれまでの移動距離などの値がゼロに設定される。スタートの合図後、ドライバーは図4中の始動ボタンを押すと、以後は運転を通常通り行う。運転中はロギングが0.2秒ごとに行われながら、各種情報の表示が行われる。始動ボタンは一回押した後は表示が変化し、終了ボタンとなる。ゴール後、終了ボタンを押すことでロギング、情報表示が終了する。

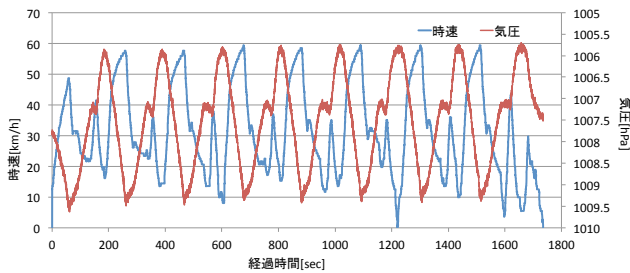


図8. 走行中の速度と気圧値の変化

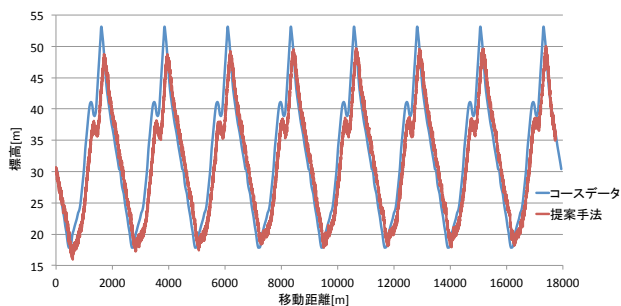


図9. 移動距離と走行中の標高変化

## 6 測定結果とその検証

鈴鹿サーキット上で競技車両と開発したアプリケーションを用いて測定した結果について検証を行う。

図8に競技車両の走行中の速度と気圧変化の関係を示す。図8では気圧の変化から標高変化が直感的に分かるように気圧の軸は反転させて表示している。時速はGPSの値から得られた速度の時間による変化、気圧は同じく時間による変化を示している。エコマイレージチャレンジ競技において、走行車両が重力によって自然加速するのは下り坂を走行している時であり、標高値が下がるに連れ気圧値は高くなる。また、重力による減速が起きるのは登り坂を走行している時であり、標高値が上がるにつれ気圧値は低くなる。図8からもその事は把握でき、走行による標高値変化と気圧値の変化が正しく連動して変化していることが分かる。

次に、提案手法を用いて実際に気圧値から走行中の標高値の変化を求め、それをグラフとして図9に示す。図9は、スタート地点から一定距離走行をした際、コース上のある点における気圧値から求めた標高値と、図3で示した鈴鹿サーキットの実際の標高値の比較である。コース上を走行し距離を進むに連れ高度変化が起きるが、その標高変化には気圧変化が伴い、気圧変化を元に高度変化を導出できていることが図9から分かる。鈴鹿サーキット東コースを周回することで標高変化は規則的に起きているが、気圧変化、導出した標高もまたそれになっている。また、気圧ごとの相対高度変化を蓄積して標高値を導出する際、現地気圧の変化による導出誤差が懸念されるが、3章で述べたように気圧値による標高値導出は逐次比

較によって行われるので現地気圧の変化は問題となりにくく、走行直後の東コース最高標高地点と走行時間40分後の同地点における標高値の導出誤差は約1mであった。この1mの誤差の原因として考えられ得るのは、小さな導出誤差の蓄積によるもの、現地の気圧の揺らぎによるもの等が考えられる。また、標高が下がっていく場合、つまり気圧値が上昇する場合については実際の標高変化と提案手法による導出が近いタイミングで起こっていることが確認できるが、逆に標高が上がる場合、つまり気圧値が下降する場合は実際の標高変化が起きるタイミングと比べてやや遅れが生じている。そのため、実際の標高変化よりも気圧で導出した標高変化は変化幅が小さくなり、結果的に最高標高値を正しく求められていない。また、図9から、提案手法の場合標高37m付近まで上昇し、一旦下降が起きる時に気圧値が乱れているのが分かる。これは、この時の標高変化が1m程度しかなく、その変化を正しく観測するには気圧値の揺らぎが極めて小さくなければならないが、現状ではこの揺らぎを正しく排除することが出来ていない。そのため小さな標高値変化に対しては気圧値による標高変化の観測が行えない。これらから、標高値が下がる時においては計測にある程度の精度が確保でき、上がる場合には気圧値の追従性による問題があると言え、これによる現在地の詳細な測位は下降時においては行えるが、上昇時は正しく行えないといえる。

鈴鹿サーキットで得られた検証結果より幾つかの問題点が判明したが、これらに対する対策可能性を検討する。まず、時間による現地気圧の変化を原因として観測される標高値の誤差だが、本実験より40分で約1mの差が発生することが分かった。これを元に本来の提案手法におけるGPSの始点を何分おきに再設定するかを検討することで、これについては対応が可能だと考えられる。次に標高値が上昇する際に、気圧計の追従が鈍い問題については我々の研究している歩行時のロギング[1]でも同様の傾向が得られているが、これに関して明確な原因の特定は出来ていない。対策を行わなければならないが、その手段として他のセンサー値を活用することが挙げられ、その中でも傾斜を用いて対策を行える可能性がある。図9よりもわかるが、気圧値を用いて標高変化を導出する際、その手法に難があるのは上昇・下降が切り替わるタイミングを特定しづらいと言う点である。特に、本実験からは下降から上昇へ切り替わる時に導出した標高値の乱れが見られる。そこで、移動中の傾斜を導出し、その値で登り坂・下り坂かを判断出来ればその判断に沿って導出される標高値に補正をしてやれば、標高上昇時における誤差を是正出来ると考えられる。

## 7 まとめ

本稿では、3章で述べた始点を定め、気圧の変化を逐次比較しながら標高変化を導出する手法の有用性を検証するべく標高値の変化が顕著で、平坦な道の少ないという有利な環境が揃った鈴鹿サーキット東コースで測定を行った。測定された値によって、標高値の導出を行った結果、

気圧値と標高値の変化が連動している事が確認でき、また気圧値から相対高度を逐次導出していくことによって移動中の標高値を求める事が可能であると確認できた。一方で、移動において標高値が上昇中であるとき、気圧センサの追従性に問題があり、標高が上がりきらずに再び下がる現象、1m 単位で細かく上昇・下降が入れ替わり、標高値が変化する移動には対応が難しい事が判明した。これらに対する対応を今後の課題とし、測位精度を高めていきたい。

#### 参考文献

- [1] 岩波慶一郎，新井イスマイル“気圧高度計による高度想定誤差とその補正，電子航法研究所報告 No.114, PP1-13, (2005)”
- [2] トランジスタ技術編集部 (2009)“『GPS のしくみと応用技術 測位原理・受信データの詳細から応用製作まで』，CQ 出版社”
- [3] 森下功啓，三田長久，“GPS と気圧計を組み合わせた移動経路推定手法の開発，GPS/GNSS シンポジウム 2011, (2011)”
- [4] 暦本純一，塩野崎敦，松木隆彦，味八木崇，“PlaceEngine-実世界集合知に基づく WiFi 位置情報基盤，インターネットコンファレンス 2006, PP95-104, (2006)”
- [5] 上坂大輔，村松茂樹，岩本健嗣，横山浩之“手に保持されたセンサを用いた歩行者向けデッドレコニング手法の提案，情報処理学会論文誌 Vol.52, PP558-570, (2011)”