

# 気圧センサと標高・気象データを用いた移動経路推定手法の検討

Proposal of a Trajectory Inference by Comparing Variations in Air Pressure with Sea Level Statistics.

岩波 慶一郎<sup>†</sup>  
Keiichirou Iwanami

新井 イスマイル<sup>†</sup>  
Ismail Arai

## 1 はじめに

近年、GPS 受信機や加速度センサ、気圧センサなど多数のセンサを内蔵したスマートフォンが普及しており、これらのセンサデータを活用することによるユーザの行動履歴を記録するライフログ収集が盛んに研究されている。ライフログを収集し、ユーザ個人の行動を記録、傾向を解析することでユーザ個人に対して最適化されたサービスを提供するといったダイレクトマーケティングとしての活用がある。その他にも、自分の行動を見直すことができる行動日記としての役割や、健忘症患者や高齢者に対する備忘録など医療的な活躍も期待できる。ライフログ収集のために、専用のセンサ類を身につける必要がある場合、これはユーザのストレスとなる。一方、スマートフォンを日常的に持ち歩く事は現代において一般的になりつつあり、このスマートフォンのセンサを活用することでユーザがライフログ収集の為に専用の機器を身につけたり、多数の作業を義務的にこなす必要を軽減することが出来る。

また、ライフログ収集において大きな一角を占めるのがユーザの移動した経路の記録である。現在主流となっている手法は、GPS 受信機を用いたものである。複数の GPS 衛星が発する信号を GPS 受信機によって受信し、信号に含まれる時報、発信者である GPS 衛星と GPS 受信機の位置情報などから、GPS 受信機の現在位置を計算する。この算出によって求められた時間ごとの現在位置をつなぎあわせ、ユーザの移動した経路を推定する。

このような移動経路の推定手法はカーナビゲーションシステムなどに広く使われている一方で、GPS 受信機が現在地の確率推定演算を繰り返すため、機器の消費電力が増大する事が問題点としてあげられる。カーナビゲーションシステムなど、車載することで電力を安定して供給できる場合に比べ、スマートフォンの場合はバッテリー容量が小さい。加えて、携帯端末上でユーザはウェブブラウジング、電話、メールなど多数の作業を同時に行うため、結果的に電池消費が激しく、一日の途中で電池切れとなる

ケースも多く、ライフログ収集の短期化を招く。よって、できるだけ省電力な移動経路推定手法を検討する必要がある。

本稿ではできるだけ省電力な移動経路の推定手法を構築するため、省電力な手法について考案し、特に気圧センサを用いた手法に着目する。以降 2 章で関連研究についてまとめ、続いて気圧センサを用いた手法を実現するために、気圧センサの特性 (3 章) や、気圧センサから得られた値と基盤となる数値標高モデルとの比較 (4 章) の基礎調査を行った。そして、これらの実験データを基に、気圧値を使った移動経路の推定手法を 5 章で提案し、6 章で本論文をまとめる。

## 2 関連研究

GPS 受信機の電力消費の問題を補う測位手法として Wi-Fi 測位が存在する。これは、携帯端末が受信した Wi-Fi の電波がどの基地局から発信されたものか、電波の強度はどのようなものか、と言った要素から位置関係を推定する。そして推定された位置を直線的に結ぶことで移動経路の推定表示を行う手法である。更に、この測位手法を小型携帯端末に用いた移動経路推定に関する研究も存在する [1]。この研究では携帯端末を通常スリープ状態にし、電力消費を抑えながら一定時間ごとに Wi-Fi 電波のログを取り、後で Wi-Fi データベースとマッチングさせて移動経路推定を行なっている。リアルタイムで現在位置を確認することは出来ないが、携帯端末を用いて約二日という長期間にわたってユーザの移動経路取得を可能としている。一方で、これらの手法は Wi-Fi 基地局の絶対数が少ない地域では活用しにくいという難点がある。更に、Wi-Fi 基地局の位置が大きく移動した場合、Wi-Fi 基地局の一覧に記された情報との齟齬が生じ、それを原因として大きく間違った移動経路推定が行われる場合がある。

他には電波を発しない省電力なジャイロセンサや加速度センサ、地磁気センサを組み合わせることでユーザがどの方向にどの程度の速度で移動しているかを計算し、移動経路の視点と終点、そして計算したデータでマッチングし、移動経路を推定する手法がある [2]。移動経路が移動を行った始点と終点さえ判明すれば後はセンサデータによる導出で経路が推定できるため、GPS 使用頻度を軽減

<sup>†</sup> 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

することにつながり、消費電力が少ない。しかし、現状では歩行や乗車といった多様な移動経路に未対応であることなどから、GPS 受信機を用いた現在位置推定が出来ない場合や、その誤差を補正するといった補助的な使用に留まっている。

また、気圧値も GPS の補完に用いることが出来る。GPS 衛星は、その発する信号に自身の座標情報(緯度、経路、高度)を含んでいるが、緯度経度に比べて高度情報は各 GPS 衛星ごとに差が少ない。よって計算の際に高度導出に対して精度が悪くなる。これを気圧センサによる測定で得た相対的な高度情報を用いて、補正する手法がある。これとは逆に、消費電力の問題を解決するため、GPS 受信機による測位を補助的な役割とし、気圧センサを主軸に移動経路を推定する研究が存在する [3]。この研究では、測定エリアの付近に固定局と呼ばれる基準気圧を測定する場所を設け、測定した基準気圧と気圧センサで得た気圧を比較、高度情報を導出する。導出した高度情報を測定エリアの数値標高モデルとマッチングして最終的に移動経路を推定する手法である。しかし、これは固定局を設置するという制約があるため設定した測定エリアから大きく逸脱した場所での測定が出来ないという難点がある。一方で、気圧センサは省電力なセンサであり、携帯端末で駆動させる場合、GPS 受信機が数十 mA の電流を必要とするのに対し、気圧センサは数  $\mu$  A 程度で済む。そこで、気圧を用いた移動経路の推定における、固定局による制約を解消することを図り、移動経路全体の省電力化を考える。

### 3 気圧センサ特性

気圧を用いた GPS 補完を実現するにあたって、気圧センサ特性の把握が必要であるため、携帯端末に搭載された物、気圧ロガーの二つで同時に気圧の変化を測定し、記録した。それぞれ使用した携帯端末はサムスン電子製 Galaxy Nexus(最小単位 0.01hPa)、気圧ロガーはティアンドデイ株式会社製 TR-73U (最小単位 0.1hPa) である。二つの測定器を右手で人の胸の高さに保持した状態で移動したときの気圧の変化を図 1 に示す。

図 1 から分かる通り、各機器に搭載された気圧計で測定した気圧値による相対気圧の変化軌跡は相似した形となったが、数値自体は 0.7hPa から 0.9hPa の違いを持って測定されている。一方、建築物の一階の庭から四階の屋上への移動による気圧地の変化は約 1.0hPa である。このことから、気圧センサの特性によって 0.7hPa から 0.9hPa の違いを許容すると、建築物の階層における数階層分以上の標高の誤差があることになる。これは、標高値で移動経路を推定する本手法においては大きな誤差だと考えられる。よって、何か一つの気圧計による絶対的な基準気圧を定めてそこからの変化によって移動経路を

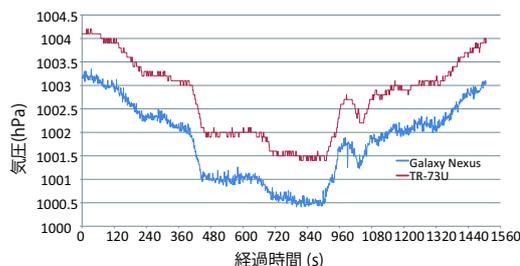


図 1 経路測定イメージ

推定する手法を構築することは、気圧計の性能差が機種ごとによって顕著に現れる携帯端末では現実的では無いと考えられる。同様に、気象データより画一的な導出式で基準気圧を定める事も、求めた基準気圧との測定気圧の差が端末によって違って来る事から現実的ではないと考えられる。

### 4 数値標高モデルの検証

数値標高モデルとは、国土地理院の整備する地表面の地形のデジタル表現であり、基盤地図情報などとも呼ばれる。立体地図などを作成する際の基礎データなどに用いられ、地形の標高を表現するモデルの一つである。これらは、航空レーザ測量、写真測量、等高線、衛星データなどから作成され、それぞれ 5m メッシュ、10m メッシュ、250m メッシュに分けられる。それぞれの標高精度は 5m メッシュにおいて誤差 0.3 あるいは 0.7m 以内(レーザ測量か写真測量かによって分かれる)、10m メッシュにおいて誤差 5.0m 以内、250m メッシュにおいて誤差 25m 以内である。日本の主要な沿岸部、都市部、河川部は最大精度である 5m メッシュにおいて数値標高モデルが作成されており、高精度に標高を割り出すことが出来る。

気圧における経路推定のためには数値標高モデルの有用性を検証する必要がある為、ある移動経路における標高変化と気圧変化を比較する実験を行った。5m メッシュが存在する勾配 6% (100m 直進すると 6m 上昇) の緩やかで幅の広い坂道に設けられた歩道上を、ストップウォッチで経過時間を測定しながら歩く。歩行中、地図上で目印となる点 20 箇所程度で数十秒間ずつ立ち止まり、地図に立ち止まった位置と時間経過を逐一記録していった。そして、立ち止まった位置を記録した地図と Google Map を照らしあわせて緯度経度を取得し、取得した緯度経度を国土地理院が公開する“標高のわかる地図”<sup>\*1</sup>上で表示させ、立ち止まった点の標高を取得する。この地図の標高は、数値標高モデルを用いて算出されているため、この地図の標高を検証することで数値標高モデルの検証とした。立ち止まった点の標高値と、記録していた時間経過を組み合わせ、標高の変化軌跡を描き、それを気圧センサによ

<sup>\*1</sup> <http://saigai.gsi.go.jp/2012demwork/checkheight/index.html>

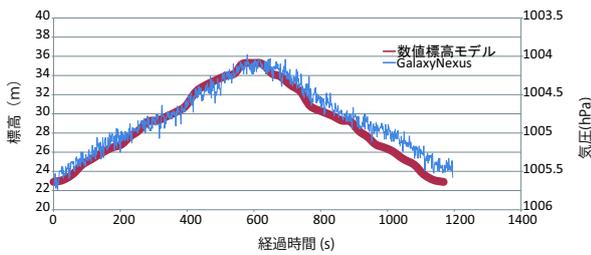


図2 標高変化軌跡と気圧変化軌跡の比較 1

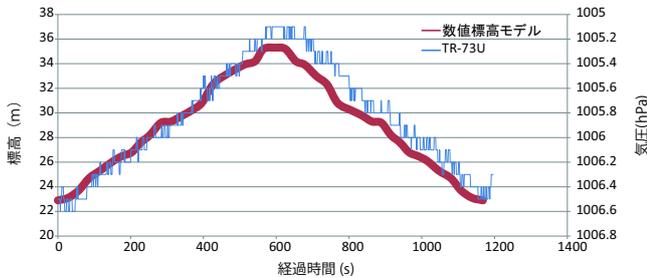


図3 標高変化軌跡と気圧変化軌跡の比較 2

て取得した気圧の変化軌跡と比較する。

図2に標高の変化軌跡と Galaxy Nexus で記録した気圧の変化軌跡との比較を示す。坂道を登っている期間においては、気圧値の変化軌跡と、数値標高モデルから求めた標高の変化軌跡は近い形の軌跡を描いている。しかし、坂道を登り切った地点から今度は下り続けている場合においては、軌跡の形に違いが見られた。また、Galaxy Nexus の気圧センサは測定中、同じ場所に立ち止まっている間でも気圧の測定値が一定にならず、常に上下に値が振れ続けた。加えて、ある測定実験中には突然 1.0hPa を超えるスパイクが現れた事もあった。約 1.0hPa が建物数回分の階層移動に際して現れる気圧差であることから、これを許容することは出来ない。一方で、このようなスパイクがエレベータなどによる気圧変化で現れた場合は、それは適正な気圧変化であるため、スパイクであると言う判断をどう下すかも考える必要がある。

図3に標高の変化軌跡と TR-73U で記録した気圧の変化軌跡との比較を示す。図3においても、坂道を登っている期間においては気圧と標高の変化軌跡は近いが、下っている期間は軌跡の形に違いが現れている。図2、図3から気圧の変化軌跡と標高の変化軌跡は大まかに同じ軌跡を描いていることが分かる。これらの事から、数値標高モデルから得た標高値と気圧の変化軌跡の間には関係性があると考えられる。また、二つの気圧計とも坂道を下っている期間において得た標高と気圧の変化軌跡の間に誤差が現れていることから、坂道を下る場合特有の誤差原因が存在する可能性が考えられる。

## 5 提案手法

本稿では、気圧センサの特性と数値標高モデルによる標高値と気圧の関係を示した。これらの内、標高値と気圧の

関係から、相対気圧の変化による標高変化の導出が可能であると述べた。一方で、気圧センサの特性が各端末ごとに異なってくる事から、一様な気圧の分布図や、気象データを用いた測定は現実的ではない。そこで、提案手法として、以下の様な物を考える。

GPS 受信機を部分的に使用し、導出された現在地点での気圧値を測定し、その端末での出発点、及び基準気圧として設定する。そして、基準気圧設定後は GPS を停止し、消費電力の省電力化を図りながら気圧センサによって気圧変化を観測し続ける。一定時間経過後、再び GPS 受信機を用いて移動後の地点を導出し、到着点とする。出発点と到着点の位置の二点間における気圧変化軌跡から二点間での標高の変化軌跡を求める。これにより、各端末間ごとの気圧センサ特性の変化に対応し、また、関連研究で上げた固定局による制約の解消を図る。標高の変化軌跡を導出した後、数値標高モデルとマッチングを行うことで、出発点と到着点との間で、導出した標高変化と同様の変化が現れる移動軌跡を地図上から抽出する。これを移動経路として、最終的に記録する。

この手法において考え得る問題点としては、4章で述べたようにノイズが混ざったり、高所から低所へ移動した場合に得られる軌跡のずれが考えられる。特に、高所から低所へ移動した場合の軌跡のずれは、できる限りの補正を行わなければ推定で得られる移動経路が異なってくる事も考えられる。更に、ユーザが建物へ入った場合の気圧値の変化や、エレベータなどによる階層移動、バスや電車など公共交通機関を利用した場合にどう対応するかといった検討も必要である。

## 6 まとめ

本稿では、気圧センサの特性、数値標高モデルの検証を行いながら、気圧を用いた移動経路の推定手法を検討した。一方で、本稿で述べた提案手法中における問題点として、ノイズの存在やユーザの移動の多様性などが考えられる。Galaxy Nexus で測定した気圧値は、測定中も微細に測定値が上下し、同じ場所に留まっている場合でも常に変動を続けていた。加えて、突発的に現れるスパイクなどで 1.0hPa を超える誤差が現れる場合もあった。これらノイズに加えて、ユーザが建物に入った場合や階段、エレベータなどで階層移動した場合、電車などの公共交通機関を利用した場合など、環境によってノイズとおもわれる急な気圧変化がノイズで無い場合も存在する事を指摘した。このように想定する環境は多い。今後は、これらの環境における気圧値の特性を調べる実験などを実施しながら、提案手法の構築を目指したい。

## 参考文献

- [1] 曆本純一，味八木崇，“WHEN-becomes-WHERE: WiFi セルフロギングによる継続的位置履歴取得とその応用, インタラクシオン 2007,PP223-230,(2007)”
- [2] 村松 茂樹，渡邊 孝文，上坂 大輔，小林 亜令，岩本 健嗣，横山 浩之 “ポケットに入れたセンサを用いた歩行者向けデッドレコニングに関する一検討，情報処理学会第 73 大会,(2011) ”
- [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)”