

スマートフォンの気圧センサと気象情報を 用いた高度推定手法

並木渉^{†1} 市野将嗣^{†1} 笠原弘樹^{†2} 吉井英樹^{†3} 吉浦裕^{†1}

本論文では、スマートフォンの気圧センサを用いた高度推定手法について述べる。気圧と高度の関係は ICAO 標準大気によって定式化されているが、実際の気象状態と標準大気の違いにより誤差が生じる。そこで、ICAO 標準大気を適用するにあたっての誤差の要因を分析し、誤差の影響が大きい海面気圧と海面気温について補正の必要性を明らかにする。しかし、現在地点、現在時刻における海面気圧・気温の情報を入手することは困難である。そこで、気象庁が全国に設置している気象観測所の最近傍の観測所のデータを参照して、一時間おきの補正を行い、1時間以内の気圧変動に対しては、ネット百葉箱から5分おきに得られる気圧を参照して補正する手法を提案する。実際の建物で提案手法の評価実験を行い、補正がない場合に50m以上であった推定誤差を2m以内に縮小することができた。このように、時空間の遠い高信頼の参照値（気象観測所のデータ）と時空間の近い低信頼の参照値（ネット百葉箱のデータ）を組み合わせた補正によって、一定の精度が実現できることを明らかにした。

Location Estimation Using Smartphone's Sensor

WATARU NAMIKI^{†1} MASATSUGU ICHINO^{†1} HIROKI KASAHARA^{†2}
HIDEKI YOSHII^{†3} and HIROSHI YOSHIURA^{†1}

1. はじめに

近年、スマートフォンをはじめとする高機能携帯端末の普及が進んでいる。スマートフォンには環境を計測するためのさまざまなセンサが搭載されている。センサから得られる情報は、APIによって容易に収集できるため[1]、これらを有効活用するための研究が広く行われている。

地下や建物内での階層を含めた現在地を示す3次元位置情報推定は、センサ情報の活用先として有望視されており、マーケティングなどへの応用が期待されるが、高度の推定には高い精度を得られない問題がある。

現在、スマートフォンを用いて高さを推定するには、GPS(Global Positioning System:全地球測位システム)を用いる手法があるが、緯度、経度の推定に比べ、高度の推定は精度が低い[2]。さらに、地下や建物内では電波が届きにくく、実用的でない。そのため、地下や建物内では、無線LANのAP(アクセスポイント)の電波強度を用いる手法があるが、利用できる場所が無線通信機器の周辺に制限される上、機器を設置、運用するためのコストがかかる。

本研究ではスマートフォンに搭載され始めている気圧センサの情報から高度を推定する手法を検討する。

2章では先行研究について述べる。3章では、高度推定

モデルについて述べ、4章で発生する誤差要因の推定精度の分析について述べる。5章では、誤差の補正方式の提案について述べ、6章は実際に計測実験によって得られた結果を用いて高度推定を行い、補正方式の精度の考察を述べる。そして、7章では結論と今後の課題について述べる。

2. 先行研究

2.1 ICAO 標準大気

気圧と高度には、高所に行くほど気圧が下がるという関係があるが、一般的な気圧高度計では ICAO (International Civil Aviation Organization, 国際民間航空機関)によって定められた ICAO 標準大気(1952年)に基づき、ある地点の気圧から高度を算出している。

ICAO 標準大気では式(1)に用いられるパラメータに対し、表1に示すような定数を定義することで、地球上の標準的な大気モデルを表し、気圧のみから高度を算出できる[3]。しかし、式(1)のパラメータのうち、気体定数 R と海面大気の実質量 M は固定的であるが、それ以外のパラメータは実際の気象状態によってさまざまな影響を受けるため、変動する。また、標準大気において、現地気圧が海面気圧に比べ1hPa変化すると、それは約8mの高度変化に相当する。

^{†1} 電気通信大学情報理工学研究所
Graduate School of Informatics and Engineering, The University of
Electro-Communications

^{†2} 早稲田大学理工学術院基幹理工学研究所
Graduate School of Fundamental Science and Engineering, Waseda
University

^{†3} ソフトバンクテレコム株式会社
SoftBank Telecom Corp.

$$H = \frac{T_0}{L} \cdot \left[\left(\frac{P}{P_0} \right)^{\frac{LR}{gM}} - 1 \right] \quad (1)$$

表1 ICAO 標準大気にて定義される定数

| パラメータ | 定数 |
|------------------|----------------------------|
| R : 気体定数 | 8.31432 J/K/mol |
| P_0 : 海面気圧 | 1013.25 hPa |
| g : 標準緯度での正規重力 | 9.80665 m/s ² |
| T_0 : 海面気温 | 288.15 K |
| L : 気温減率 | -0.0065 ($H < 11km$) K/m |
| M : 海面大気の実モル質量 | 0.0289644 kg/mol |

2.2 スマートフォンに搭載された気圧センサを用いた階層移動の判定

鈴木らは、ある建物において、その建物における一階層ごとの気圧差を閾値とし、Android端末に内蔵する気圧センサの値から、自分が何階に位置しているかを判定する在階推定アルゴリズムの提案・実装・評価を行った。ある程度の判定成功率であったが、連続した階の移動の際に、一度誤判定を起こすとその影響が残ってしまうため補正が必要であると報告している[4]。

3. 気圧センサを用いた高度推定モデル

3.1 高度推定に必要な情報

気圧を用いて高度推定を行うための必要な情報について述べる。まず、現在地点、現在時刻の気圧値が参照できる必要がある。これは、スマートフォンに搭載されている気圧センサを用いることで参照が可能である。近年、Googleが開発するAndroid OSを搭載するスマートフォンには、気圧センサが搭載され始めている。本研究では、Googleがフラグシップモデルとして発売し、気圧センサを搭載したGalaxy Nexusを用いる。

また、前述したように、ICAO標準大気によって定義される各パラメータの定数は、ある標準の大気状態を仮定しているため実際の大気状態とは異なる。例えば、海面気圧は標準大気中では1013.25hPaと定義されているが、低気圧や高気圧といった気圧配置や天候などの影響を受けるため、時々刻々と変動する。海面気温も、標準大気中では15℃(273.15K)と定義されているが、季節などの影響で大きく変動する。そのため、これらのパラメータの現在地点、現在時刻における値が参照できることが理想である。

3.2 誤差要因

このように、スマートフォンの気圧センサによって得られた気圧情報から、ICAO標準大気によって高度を推定する場合、以下のような誤差要因が生じる。

- (1) スマートフォン搭載の気圧センサの機器誤差
- (2) ICAO標準大気と実際の大気の違いによるパラメータの誤差 (R , M を除く)

4. 高度推定の精度分析

本章では、前項で挙げた誤差要因の影響について調査し、推定精度に影響があるかどうかを分析する。

4.1 スマートフォンに搭載された気圧センサの誤差

Galaxy Nexusに搭載されている気圧センサは、Bosch社の開発するBMP180である[5]。BMP180の誤差気圧は、相対誤差が±0.12hPa(約1m)、絶対誤差が-1±1hPa(Typical Value)であり、ノイズは0.02hPa(17cm)である[6]。

4.2 ICAO標準大気と実際の大気の違いによる誤差

ICAO標準大気にて定義されるパラメータと実際の大気との違いによる誤差要因は、以下のとおりである。

表2 ICAO標準大気と実際の大気の違いによる誤差要因

| 項目 | 説明 |
|----------|------------------|
| 高度の定義 | ジオポテンシャル高度と標高の違い |
| 海面気圧の変動 | 1013.25 hPaとの違い |
| 海面気温の変動 | 15℃との違い |
| 湿度の変動 | 乾燥大気(相対湿度0%)との違い |
| 気温減率の地域差 | -0.0065 K/mとの違い |

4.2.1 高度の定義による違い

ICAO標準大気の式で気圧から求める高度は、ジオポテンシャル高度であり、標高とは異なる。この違いによって、誤差が生じる。ジオポテンシャル高度と正標高の関係には、標準緯度(45°)での正規重力が影響する。しかし、日本の緯度(約30°~43°)との違いによるジオポテンシャル高度と正標高の差は0mで校正してから4000m上ったときでも、最も大きくて10m以下と影響は非常に小さい[7]。また、500m上る場合で考えるならば、誤差は1m以内に収まる。気象学などでは、この定義の差は一般的に無視されている。

4.2.2 海面気圧の変動による違い

海面気圧は標高0mにおける気圧を表すが、気圧配置などの天候の影響を受けるため、日によって、時間によって異なる。実際の海面気圧がICAO標準大気で定義された1013.25hPaより遠ざかるほど誤差が大きくなる。

また、図1の気象庁による東京の2012年の1年間の海面気圧の推移(1時間ごと)をみると、およそ990~1030hPaの間で推移しており、1時間で平均0.45hPa(約3.6m)、最大では約5hPa(約40m)の変動が見られた[8]。時間による海面気圧の変動の影響は極めて大きく、補正が必要であると考えられる。

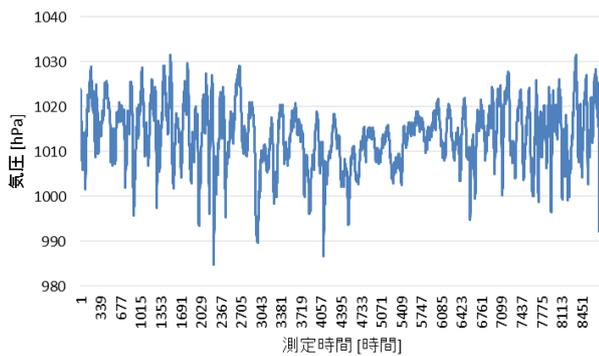


図1 2012年1年間の海面気圧の推移（東京）

4.2.3 海面気温の変動による違い

海面気温は標高 0m における気温を表すが、季節や日照などによって大きく異なる。実際の気温との違いによる誤差は、標準大気で定義されている 15°C から遠ざかるほど大きく、0°C や 30°C では 500m 地点で 30m 近い誤差が生じる。

図 2 の気象庁による東京の 2012 年の 1 年間の気温の推移（1 時間ごと）をみると、およそ 0~35°C の間で推移しており、1 時間で平均 0.55°C、最大では約 6.5°C の変動が見られた。

海面気温の変動による誤差は、海面気圧の変動による誤差よりは小さいが影響は大きく、補正が必要であると考えられる。

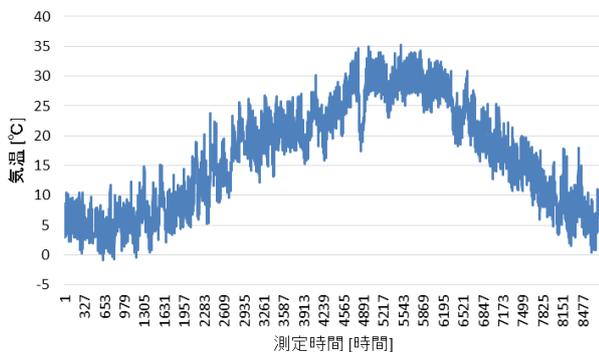


図2 2012年1年間の気温の推移（東京）

4.2.4 湿度の違い

湿度は、ICAO 標準大気の式のパラメータには存在しないが、式を導出する過程で乾燥大気（相対湿度=0%）を想定しているため、影響があり、実際の湿度との間に誤差が生じる。相対湿度が大きくなればなるほど誤差が生じるが、相対湿度が 80% のときでも、0m 地点で校正後、500m 上がったときに最大で約 2m と影響は小さい。

4.2.5 気温減率の地域差による違い

気温減率は、1m 上がった際にどの程度気温が下がるかを表す。ICAO 標準大気では、高度 11km までは -0.0065K/m と定義されているが、実際には地域や季節によってこの値

が異なる。日本付近では、概ね -0.005K/m 前後と定義より小さい。気温減率が -0.005K/m のとき、4000m 上ると 40m 強の誤差が生じる。しかし、低地の 1000m 地点では 3m 以下、500m 地点では 1m 以下の誤差になるため、影響は小さい。

4.2.6 まとめ

以上の要因の誤差をまとめると以下の表ようになる。影響が大きい中の要因は補正を行う必要がある。

表3 誤差要因の影響のまとめ

| 誤差要因 | 誤差 | 影響 |
|-----------|-------------------|----|
| 高度の定義 | 約 ± 1m / 500m | 小 |
| 海面気圧の時間変動 | 最大 約 ± 40m / 1 時間 | 大 |
| 海面気温 | 約 ± 30m / 500m | 中 |
| 湿度の変動 | 約 ± 2m / 500m | 小 |
| 気温減率の地域差 | 約 ± 1m / 500m | 小 |

5. 誤差の補正方式の検討

5.1 海面気圧の補正

前章で述べたように、気象庁では海面気圧を公開しており、全国に設置された気象観測所の 1 時間ごとの現地気圧を更正した海面気圧をリアルタイムに閲覧することが可能である。また、気象観測所のある地点の気温も同じように閲覧可能である。この公開されている気象情報を参照し、ICAO 標準大気と実際の気象との違いによるパラメータの誤差の補正を行う手法を提案する。

5.1.1 気象観測所と計測地点の位置による違い

海面気圧を参照できる気象観測所は全国で約 150 ヶ所であり、高度を推定したい地点から数十 km 離れている可能性がある。そこで、最近傍の気象観測所の海面気圧を参照しても補正可能かどうかを検討するため、東京、千葉、横浜の 3 つの気象観測所の 1 時間ごとの海面気圧を比較した。これらの気象観測所は、東京と千葉が約 32km、東京と横浜が約 30km、千葉と横浜が約 45km 離れた場所に位置している。これら 3 地点の 2012 年の 1 年間における 1 時間ごとの海面気圧から 2 地点ごとの気圧差（絶対値）を求めた結果を以下の表 4 に示す。どの 2 地点間の気圧差においても、最大 3hPa 以上の気圧差が生じた。これは高度に換算すると約 20~30m にあたるため非常に大きな誤差となりうる。しかし、3hPa のような大きな気圧差が生じるのは、測定回数のうち、いずれも 0.001% 以下であった。気圧差の平均は、0.25~0.35hPa であり、これは高度に換算すると約 2~3m である。また、0.3hPa 以下の気圧差が生じたのは測定回数のうち半分以上であった。最近傍の気象観測所を参照する場合は、2~3m の誤差で近似することができる。

表4 1時間ごとの海面気圧の2地点の気圧差(hPa)

| | 東京—千葉 | 東京—神奈川 | 千葉—神奈川 |
|----|-------|--------|--------|
| 最大 | 3.8 | 3.1 | 3.5 |
| 平均 | 0.35 | 0.27 | 0.25 |

5.1.2 計測地点付近のネット百葉箱の利用

4.4.2 項で述べたように、海面気圧は、1時間で平均0.45hPa変動する。つまり、同じ場所に1時間居続けた場合でも、平均約3.6mの高度変化が生じたこととなる。そこで、より細かい時間変動で気圧変化を得られれば、その変動幅をもとに補正することで、気圧の時間変動の影響による誤差を改善できると考えられる。

電気通信大学では、ネット百葉箱というWebサービスを実施しており、現地気圧などの気象情報をリアルタイムで閲覧可能で、5分おきに記録している[9]。

気象庁の気圧データは、リアルタイムではその日の1時間ごとのデータしか参照できないが、前日より過去のデータならば10分おきのデータが参照できる。そこで、ネット百葉箱のデータも10分おきのデータに整理し、比較を行った。

以下の図は、気象庁（東京）の海面気圧とネット百葉箱の現地気圧の2012年1年間の推移である。電気通信大学は東京の気象観測所と約20km離れた場所に位置し、さらに計測地点の場所と高度が異なるため絶対的な気圧のずれはあるものの、波形はかなり近似していることがわかる。

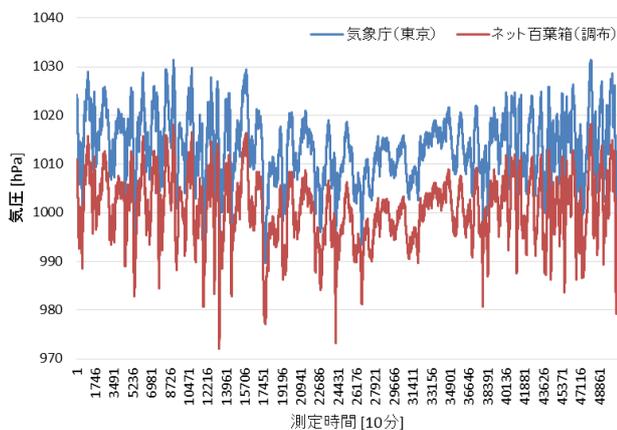


図3 2012年1年間の気象庁とネット百葉箱の気圧推移

1時間経過すると気象庁のデータを参照することができるため、10分おきで考えるならば、参照後50分経過したときが最も時間変動の影響が大きい。そこで、1年分のデータにおいて、毎時50分の気圧データから、参照可能な時刻である毎時00分の気圧データとの差分を求め、両者の比較を行ったところ、平均0.15hPaの誤差が生じた。最も時間変動の影響が大きい50分でも1.2m程度の小さな誤差となることから、海面気圧は1時間おきに気象庁のデータを参照し、短時間の変動幅はネット百葉箱の5分おきのデー

タを参照し、差分を取り除くことで、実際の大気とICAO標準大気のパラメータの違いによる海面気圧の誤差の補正ができると考えられる。

5.2 海面気温の補正

海面気温においても、誤差が与える影響が大きいため、補正を行う必要がある。しかし、海面気圧同様に気象庁のデータを参照する場合、気象庁が公開している気温は、観測所の温度計の高度における気温であるため、海面気温に換算しなくてはならない。気象庁では、各気象観測所の海面上の高度および温度計の地上からの高度（地上気象観測装置設置観測所については、地上または雪面上1.5mを基準としている）を公表しているため、この値を用いることで海面気温の算出を行うことができる[10]。観測所の海面上の高度は、東京が6m、千葉が3m、横浜が39.1mに位置し、温度計の地上からの高度は、すべての観測地点で1.5mである。また、海面気温 T_0 は式(2)のように定義できる。

$$T_0 = T - L \times (Z + Z_T) \quad (2)$$

(T : 観測所の温度計の高さにおける気温, L : 気温減率, Z : 観測所の海面上の高度, Z_T : 温度計の高度)

観測所の温度計の高さにおける気温から海面気温を算出し、海面気圧と同様のアプローチで、3つの気象観測所の1時間ごとの海面気温を比較した。これら3地点の2012年の1年間における1時間ごとの海面気温から2地点ごとの気温差（絶対値）を求めた結果が以下の表である。最大で11℃の気温差が生じたが、このような大きな気温差が生じるのは測定回数のうち0.001%以下だったため異常値であると考えられる。通常時は1℃程度の気温差が生じると考えられる。しかし、1℃という誤差は、最も誤差に影響しやすい0℃や30℃といった気温下（ICAO標準大気における海面気温15℃から離れた値）においても、1m以下の影響しかない。また、海面気温の時間変動は、4.2.3項で述べたように、1時間で平均0.55℃である。500m以下の地点の0.55℃の変動による高度誤差は最大約1mと小さいため、海面気温に関しては1時間おきに補正を行えば十分であると考えられる。

表5 1時間ごとの海面気温の2地点の気温差(℃)

| | 東京—千葉 | 東京—神奈川 | 千葉—神奈川 |
|----|-------|--------|--------|
| 最大 | 11.78 | 11.31 | 8.23 |
| 平均 | 0.89 | 0.67 | 0.79 |

6. 実験

電気通信大学西6号館にて、気圧の計測および高度推定の実験を行った。計測に使用した端末は、Galaxy Nexusで、

気圧のサンプリングレートには DELAY_FASTEST を用いた。西 6 号館は 7 階建てで各フロアの高さは 3.6m からなる（ただし、1 階は地上より 0.6m 高い）。また、西 6 号館の地上の標高情報は存在しなかったため、付近の測量点の標高情報から 38m と推測した。各階の屋外（非常階段）と屋内（廊下）において、気圧を計測する実験を同時間帯（15 時台～16 時台）に 4 日分繰り返し行った。気圧の計測は各階で 1 分間行い、得られた数百点の測定データの平均値を計測値とした。まず、屋外の非常階段の 1 階から 7 階にかけて計測を行い、次に屋内の廊下において同様に 1 階から 7 階にかけて計測を行った。

この章では、補正を行わずに ICAO 標準大気の数値を用いて高度を推定した結果（実験結果）、気象庁の 1 時間ごとのデータを用いて海面気圧と海面気温の補正を行い高度推定した結果（補正 1）、そして、補正 1 とネット百葉箱の 5 分おきのデータを用いて気圧の時間変動の影響を補正した結果（補正 2）を示し、それらの比較と評価を行う。

6.1 実験結果（ICAO 標準大気のパラメータ補正なし）

各階の屋外（非常階段）の計測値から ICAO 標準大気の数値を用いて推定した計測日ごとの高度と、実際の高さとの比較結果を図 4、図 5 に示す。

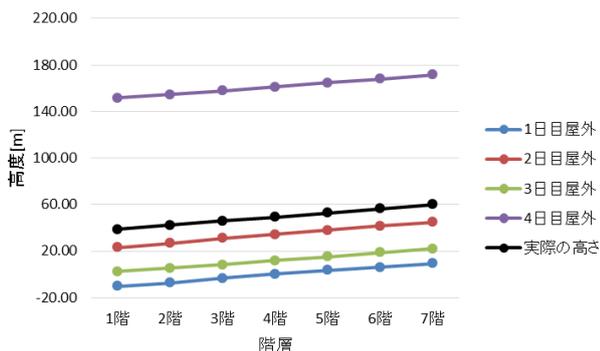


図 4 計測日ごとの ICAO 標準大気による推定高度(屋外)

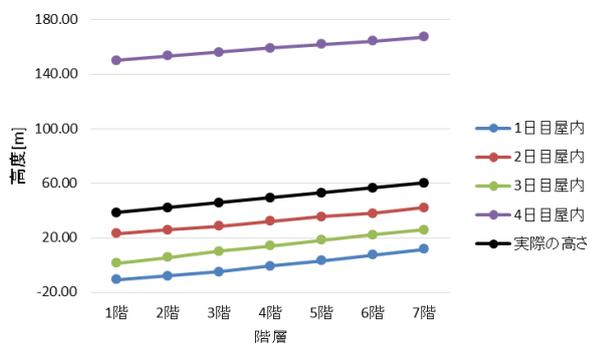


図 5 計測日ごとの ICAO 標準大気による推定高度(屋内)

計測日によって、推定された高度は大きく異なり、実際の高さとの間に 15~100m 以上の誤差が生じた。しかし、実際の高さの傾きとほぼ一致し、平行となっていることから、

絶対的な高さのずれを補正できれば、誤差を小さくすることができると考えられる。

6.2 補正 1（気象庁データを用いた海面気圧と海面気温の補正）

実験を行った時間帯の直近の気象庁（東京）の 1 時間ごとの海面気圧および気温から算出した海面気温を用い、式 (1) のパラメータに代入し計測された気圧から高度推定を行った。

屋外における結果を以下の図 6 と表 6 に示す。表 6 は上の行の数値が推定高度 (m)、下の行の括弧で囲まれた数値が誤差 (m) を表している。パラメータの補正を行わず、ICAO 標準大気で定義される数値のまま推定した高度に比べ、誤差を大きく改善できた。また、すべての計測日において 15 時 00 分に海面気圧および海面気温のパラメータを気象庁のデータを参照し補正した。屋外の計測が終わるまでに 16 時にはならなかったため、すべての計測日において 15 時の補正されたパラメータを用いて高度を推定している。

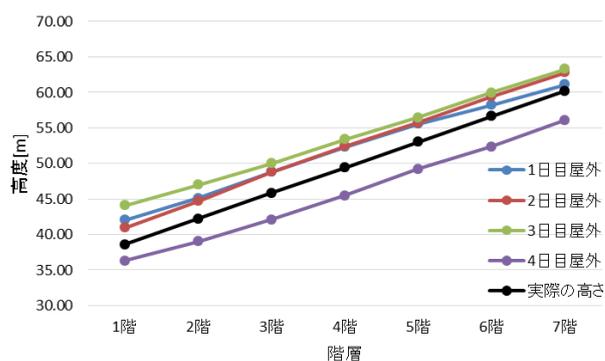


図 6 計測日ごとの補正 1 による推定高度（屋外）

表 6 補正 1 の屋外の推定高度と実際の高さとの誤差(m)

| 階層 | 1 日目 | 2 日目 | 3 日目 | 4 日目 | 実際高 |
|-----|--------|--------|--------|---------|------|
| 1 階 | 42.02 | 40.94 | 44.07 | 36.29 | 38.6 |
| | (3.42) | (2.34) | (5.47) | (-2.31) | |
| 2 階 | 45.09 | 44.70 | 47.00 | 38.98 | 42.2 |
| | (2.89) | (2.50) | (4.80) | (-3.22) | |
| 3 階 | 48.81 | 48.79 | 50.01 | 42.09 | 45.8 |
| | (3.01) | (2.99) | (4.21) | (-3.71) | |
| 4 階 | 52.28 | 52.39 | 53.35 | 45.44 | 49.4 |
| | (2.88) | (2.99) | (3.95) | (-3.96) | |
| 5 階 | 55.52 | 55.73 | 56.44 | 49.18 | 53 |
| | (2.52) | (2.73) | (3.44) | (-3.82) | |
| 6 階 | 58.19 | 59.42 | 59.94 | 52.37 | 56.6 |
| | (1.59) | (2.82) | (3.34) | (-4.23) | |
| 7 階 | 61.11 | 62.76 | 63.28 | 56.08 | 60.2 |
| | (0.91) | (2.56) | (3.08) | (-4.12) | |

次に屋内の結果を以下の図7と表7に示す。屋外と同様に、推定高度の誤差は補正なしの結果に比べて大きく改善できた。また、屋内の計測中に16時を回った計測日はパラメータが更新されているため、急激に推定高度が変わってしまっている。また、4日目においては屋内の計測開始時に16時00分となったため、パラメータの更新がされたため、良い結果となったと考えられる。

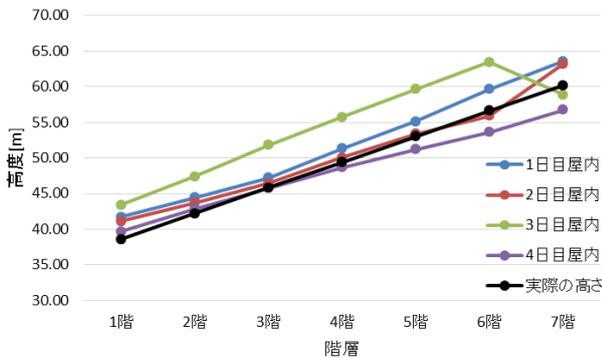


図7 計測日ごとの補正1による推定高度（屋内）

表7 補正1の屋内の推定高度と実際の高さとの誤差(m)

| 階層 | 1日目 | 2日目 | 3日目 | 4日目 | 実際高 |
|----|--------|---------|---------|---------|------|
| 1階 | 41.69 | 41.10 | 43.42 | 39.64 | 38.6 |
| | (3.09) | (2.50) | (4.82) | (1.04) | |
| 2階 | 44.44 | 43.69 | 47.40 | 42.86 | 42.2 |
| | (2.24) | (1.49) | (5.20) | (0.66) | |
| 3階 | 47.19 | 46.45 | 51.80 | 45.73 | 45.8 |
| | (1.39) | (0.65) | (6.00) | (-0.07) | |
| 4階 | 51.31 | 50.05 | 55.71 | 48.65 | 49.4 |
| | (1.91) | (0.65) | (6.31) | (-0.75) | |
| 5階 | 55.12 | 53.39 | 59.62 | 51.20 | 53 |
| | (2.12) | (0.39) | (6.62) | (-1.80) | |
| 6階 | 59.49 | 55.90 | 63.44 | 53.63 | 56.6 |
| | (3.06) | (-0.70) | (6.84) | (-2.97) | |
| 7階 | 63.55 | 63.19 | 58.88 | 56.76 | 60.2 |
| | (3.35) | (2.99) | (-1.32) | (-3.44) | |

6.3 補正2 (補正1+ネット百葉箱による気圧の時間変動の補正)

実験を行った時間帯の直近の気象庁（東京）の1時間ごとの海面気圧および気温から算出した海面気温を用い、式(1)のパラメータに代入した。また、電気通信大学のネット百葉箱より、5分おきの気圧データを用いて、正時(00分)から現在時までの変動を求め、計測気圧から変動分を取り除くことで気圧の時間変動の補正を行った。

まず屋外の結果を図8と表8に示す。補正1の図6に比べ、図8はすべての計測日の推定高度が実際の高さに近づいている。また、1日目の誤差はほとんど変わらなかった

が、2日目、3日目、4日目においては、さらに誤差が改善された。

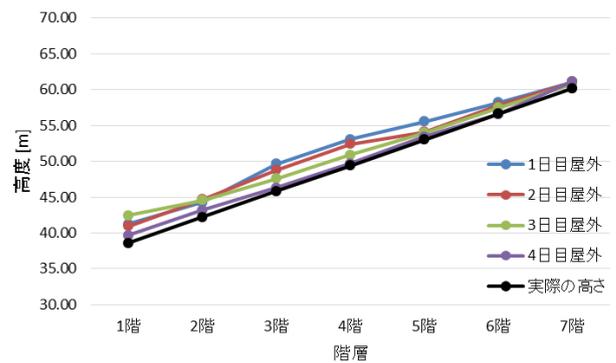


図8 計測日ごとの補正2による推定高度（屋外）

表8 補正2の屋外の推定高度と実際の高さとの誤差(m)

| 階層 | 1日目 | 2日目 | 3日目 | 4日目 | 実際高 |
|----|--------|--------|--------|---------|------|
| 1階 | 41.75 | 40.94 | 41.76 | 40.07 | 38.6 |
| | (2.61) | (2.34) | (3.84) | (1.05) | |
| 2階 | 45.36 | 44.70 | 44.56 | 43.19 | 42.2 |
| | (2.08) | (2.50) | (2.36) | (0.99) | |
| 3階 | 49.61 | 48.46 | 47.57 | 46.29 | 45.8 |
| | (3.81) | (2.99) | (1.77) | (0.49) | |
| 4階 | 52.69 | 51.38 | 50.90 | 49.66 | 49.4 |
| | (3.69) | (2.99) | (1.50) | (0.26) | |
| 5階 | 55.52 | 54.06 | 54.00 | 53.56 | 53 |
| | (2.52) | (1.06) | (1.00) | (0.40) | |
| 6階 | 58.51 | 57.74 | 57.50 | 57.09 | 56.6 |
| | (1.59) | (1.14) | (0.90) | (-0.02) | |
| 7階 | 61.75 | 61.09 | 61.16 | 61.14 | 60.2 |
| | (0.91) | (0.89) | (0.64) | (0.94) | |

次に屋内の結果を図9と表9に示す。屋内においても、屋外同様に補正1の図7に比べて、図9は、すべての計測日の推定高度が実際の高さに近づき、集まっている。

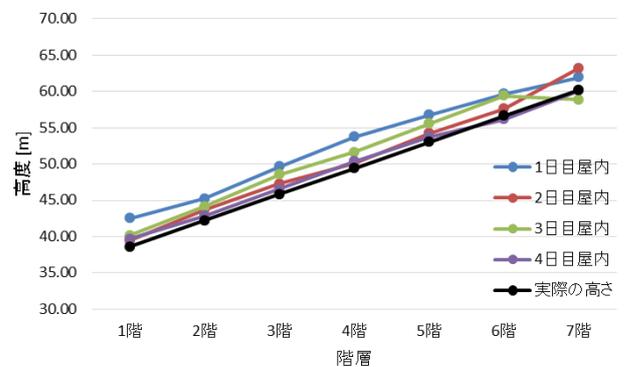


図9 計測日ごとの補正2による推定高度（屋内）

表9 補正2の屋内の推定高度と実際の高さとの誤差(m)

| 階層 | 1日目 | 2日目 | 3日目 | 4日目 | 実際高 |
|----|--------|--------|---------|---------|------|
| 1階 | 42.50 | 39.43 | 40.17 | 39.64 | 38.6 |
| | (3.90) | (0.83) | (1.57) | (1.04) | |
| 2階 | 45.25 | 43.69 | 44.15 | 42.86 | 42.2 |
| | (3.05) | (1.49) | (1.95) | (0.66) | |
| 3階 | 49.61 | 47.29 | 48.54 | 46.57 | 45.8 |
| | (3.81) | (1.49) | (2.74) | (0.77) | |
| 4階 | 53.74 | 50.05 | 51.64 | 50.33 | 49.4 |
| | (4.34) | (0.65) | (2.24) | (0.93) | |
| 5階 | 56.73 | 54.23 | 55.54 | 53.73 | 53 |
| | (3.73) | (1.23) | (2.54) | (0.73) | |
| 6階 | 59.66 | 57.57 | 59.37 | 56.16 | 56.6 |
| | (3.06) | (0.97) | (2.77) | (-0.44) | |
| 7階 | 61.93 | 63.19 | 58.88 | 60.13 | 60.2 |
| | (1.73) | (2.99) | (-1.32) | (-0.07) | |

6.4 評価結果のまとめ

補正なし、補正1（気象庁データを用いて海面気圧と海面気温を補正）、補正2（さらにネット百葉箱により気圧の時間変動を補正）における推定高度の誤差の絶対値を求め、すべての計測日の階層ごとの平均値を求めた結果を表10に示す。

補正なしの場合、最大100m、平均50m以上の誤差が生じた。補正1により、最大6m、平均3m程度まで誤差を改善することができ、気象庁の1時間おきの海面気圧と気温による補正が有効であることがわかった。さらに、補正2では、最大4m、平均2m以内に誤差を改善することができ、ネット百葉箱による気圧の時間変動による補正が有効であることがわかった。

表10 補正による各階層の実際高度との誤差平均(m)

| 階層 | 補正なし 屋外 | 補正なし 屋内 | 補正1 屋外 | 補正1 屋内 | 補正2 屋外 | 補正2 屋内 |
|----|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1階 | 53.43 | 53.23 | 3.38 | 2.86 | 2.46 | 1.84 |
| 2階 | 53.43 | 53.47 | 3.35 | 2.40 | 1.98 | 1.79 |
| 3階 | 53.26 | 53.47 | 3.48 | 2.03 | 2.27 | 2.20 |
| 4階 | 53.25 | 53.04 | 3.44 | 2.40 | 2.11 | 2.04 |
| 5階 | 53.53 | 52.67 | 3.13 | 2.73 | 1.24 | 2.06 |
| 6階 | 53.63 | 52.35 | 2.99 | 3.39 | 0.91 | 1.81 |
| 7階 | 53.92 | 52.00 | 2.67 | 2.77 | 0.84 | 1.53 |
| 平均 | 53.49 | 52.89 | 3.21 | 2.66 | 1.69 | 1.89 |

6.5 評価結果の考察

ICAO標準大気を用いて高度推定を行うには、現在地点、現在時刻の海面気圧、海面気温の情報が必要であるが、これらの情報を直接入手することは困難である。そこで、気象観測所から得られる1時間おきの気圧・気温と、ネット百葉箱から得られる1時間以内の気圧変動値によって、これらの情報を推定し、高度推定の誤差を2m以内に抑えることができた。このように、時空間の遠い高信頼の参照値（気象観測所のデータ）と時空間の近い低信頼の参照値（ネット百葉箱のデータ）を組み合わせた補正によって、一定の精度を得られることが明らかになった。

7. 結論と今後の課題

スマートフォンの気圧センサを用いた高度推定に、ICAO標準大気を適用するにあたっての誤差の要因を明らかにした。この分析に基づき、気象庁とネット百葉箱を用いて現在地点、現在時刻の海面気圧、海面気温を補正する方法を提案した。これにより、平均1~2m程度の誤差で高度の絶対値を推定することができた。

今回の実験では、スマートフォンの気圧センサの機器誤差は補正していない。今後の課題としては、端末の機器誤差や個体差の影響を明らかにし、その補正方法を検討することがあげられる。また、高層ビルや丘陵地など様々な場所で評価実験を行い、提案手法の有効性を確認する。

参考文献

- 1) Sensor Event | Android Developers, 入手先 <<http://developer.android.com/reference/android/hardware/SensorEvent.html>>(2013.05.02).
- 2) Department of Defense : Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard, (2008)
- 3) National Oceanic and Atmospheric Administration, National Aeronautics and Space Administration, United States Air Force : U.S. Standard Atmosphere, (1976)
- 4) 鈴木 孝幸, 白井 宏幸, 森崎 雅崇, 田中 博 : Android 端末内蔵気圧センサを用いた在階推定方法の基礎検討, 信学総大, B-19-34, p.578, (2013)
- 5) MOLEN, B. "Behind the glass: a detailed tour inside the Samsung Galaxy Nexus", 入手先 <<http://www.engadget.com/2011/10/20/behind-the-glass-a-detailed-tour-inside-the-samsung-galaxy-nexu/>>(2013.05.02).
- 6) Bosch : BMP180 Digital Pressure Sensor Data Sheet, (2012)
- 7) 大村豪政 : 登山用高度計の誤差, 入手先 <http://www.aobaya.jp/kl/error_of_altimeter.pdf>(2013.05.02).
- 8) 気象庁 Japan Meteorological Agency : 過去の気象データ検索, 入手先 <<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etm/index.php>>(2013.05.02).
- 9) 電気通信大学・気象観測情報をネットで配信ネット百葉箱, 入手先 <<http://weather.cc.uec.ac.jp/>>(2013.05.02).
- 10) 気象庁 Japan Meteorological Agency : 地域観測所一覧, 入手先 <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/amedas/ame_master.pdf>(2013.05.02).