

スマートフォンのGPSセンサを用いた 高精度な3次元位置情報の取得に関する研究

井上 晴可¹・窪田 諭²・今井 龍一³・田中 成典⁴・重高 浩一⁵

¹学生会員 関西大学大学院 総合情報学研究科 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2丁目1番1号) /
国土交通省国土技術政策総合研究所防災・メンテナンス基盤研究センターメンテナンス情報基盤研究室

E-mail: k795202@kansai-u.ac.jp

²正会員 関西大学准教授 環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号)

E-mail: skubota@kansai-u.ac.jp

³正会員 東京都市大学准教授 工学部 (〒158-8557 東京都世田谷区玉堤1丁目28番1号)

E-mail: imair@tcu.ac.jp

⁴正会員 関西大学教授 総合情報学部 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2丁目1番1号)

E-mail: tanaka@res.kutc.kansai-u.ac.jp

⁵正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所防災・メンテナンス基盤研究センターメンテナンス情報
基盤研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地) / 関西大学大学院総合情報学研究科連携大学院客員教授

E-mail: shigetaka-k258@nilim.go.jp

スマートフォンを利用すると高精度な位置情報を容易に取得できるため、災害対応や交通などの分野で位置情報の利活用が期待されている。特に、災害時には、利用者がリアルタイムに正確な位置情報を知る必要がある。しかし、個々のスマートフォンのGPSセンサから取得される位置情報は、周囲の環境や機種で異なるため、精度にばらつきが生じ多くのノイズが含まれる。大規模なプローブパーソンデータを解析することにより、前述の課題に対処することが可能であるが、緊急を要する場合においてはリアルタイム性に欠ける。本研究では、スマートフォンで取得したパーソントリップデータからリアルタイムに信頼性の高いGPSデータを取得するために、3次元の位置情報を対象にノイズを除去する手法を提案する。

Key Words : Smart Phone, GPS, Sensor, Three-dimensional Space, Location Information, Noise

1. はじめに

携帯電話、カーナビゲーションや交通系 IC カードなどの媒体から取得された移動履歴を用いると、都市の各ゾーンにおける性年齢階層別の滞留・移動人口¹⁾、OD²⁾、移動経路³⁾や潜在的事故発生箇所⁴⁾など、様々な交通挙動を明らかにすることができる。災害時に着目すると、自動車の移動履歴であるプローブデータを用いて通行実績のある道路の可視化⁵⁾、大規模な渋滞現象のグリッドロックの分析⁶⁾が行われている。屋内の動線解析の事例⁷⁾では建物の階層が識別されているが、屋外を対象とした多くの事例では地図による平面上で交通挙動が表現⁸⁾されている。しかしながら、地形の高低差を加味した交通挙動、ペDESTリアンデッキのある複雑な立体構造における人の回遊行動、さらには災害時における人や車の通行可能空間などを明らかにするためには、交通挙動を3次元で捉えて分析する必要がある。

これらの分析に用いるデータを取得できる有用な媒体として、我が国の人口を超える契約者数で、私たちの生活必需品である携帯電話⁹⁾が注目されている。携帯電話網の運用データに基づく人口統計情報は、250~500mメッシュの空間解像度あるいは行政区、1時間単位の時間解像度、15~79歳の年齢層・性別および居住地の人の属性、約6,500万人の標本数から、人口分布や流動を明らか¹⁰⁾にする。ただし、個人の移動手段や経路はわからない。一方、GPSセンサに基づく移動履歴は、個人の移動経路を秒単位の経緯度・高度として取得できる。しかし、既存のプローブパーソン調査において、オプトイン方式によるモニタ獲得が必要であるため標本数が少なくなることが指摘¹¹⁾¹⁴⁾されている。また、取得した位置情報には、GPSセンサの性能や衛星受信条件に起因して、最確値への補正が必要な位置情報や明らかな異常値である位置情報(以下、ノイズを含む位置情報)が含まれる。標本数が多いと、位置情報の特性を解析して、ノ

イズを含む位置情報の判定, 補正や除去の各処理を行えることが多く, 既存研究でも具体的な手法が提案^{15, 16}されている. しかし, 標本数が少ない位置情報に対しては, この手法を適用することが難しく, 本研究で調査した限り解決策となる実装可能な手法が見当たらない.

この解決の一方策として, 本研究では, 取得した位置情報に対してノイズ処理するのではなく, 個々のスマートフォンでノイズを除去した位置情報を取得することに着目した. ここでは, GPS センサから位置情報を取得するためのアプリケーションを実装するため, スマートフォンを対象とした. 既存研究¹⁷では, スマートフォンの GPS センサの精度を機種毎に計測し, 計測データに対して3次関数の近似曲線を用いた補正手法の有用性を2次元空間で検証した. そこでは, 補正前後ともに正解データとの相関係数の差が小さく, 平均二乗誤差の差が15%以下であるため, 補正しなくてもGPS センサから取得したデータを分析に使用できる結果を得た. ただし, 補正を一括処理で行っていたため, ノイズを含む位置情報のリアルタイム処理による除去が今後の課題として残った.

以上の背景の下, 本研究では, スマートフォンのGPS センサそのものの特性を踏まえて位置情報を取得できるアプリケーションの実現可能性を明らかにすることを目的とする. 将来, これをスマートフォンのアプリケーションとして実装し, 個々のプローブパーソンデータを集約してビッグデータとして扱うことにより, 災害時や平常時における確度の高い3次元の位置情報を生成することを考える. そのために本論文では, 個々のスマートフォンで取得する位置情報からノイズを含む位置情報を除去する方策, すなわち, 信頼性の高い位置情報だけをスマートフォンのGPS センサから抽出する手法を考案する.

2. 構想

本研究では, スマートフォンのGPS センサの特性を踏まえて信頼性の高い位置情報を取得するアプリケーションの実現可能性を明らかにする. 対象のOSは, 多くのスマートフォンに利用されているAndroidとする. そこでは, 各スマートフォンのGPS センサで取得したGPS データからノイズを含む位置情報の除去方法について議論する. スマートフォンのGPS センサで取得された確度の高い位置情報, 言い換えるとノイズを個々のスマートフォン上で除去した信頼性の高い位置情報を多くのスマートフォンの利用者から集め, 連続したパーソナリティデータとして獲得することができれば, ノイズを含まない大規模なプローブパーソンデータとして集約

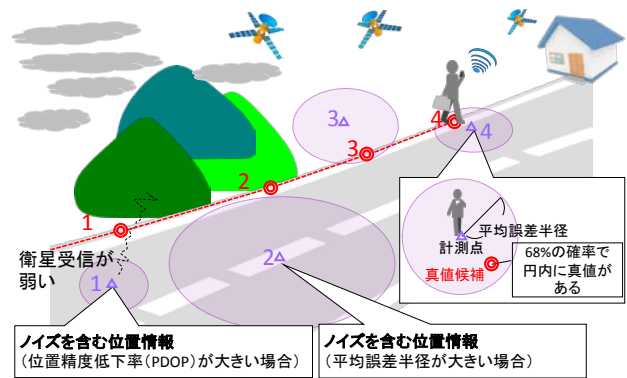


図-1 スマートフォンで取得する位置情報

でき, 有用な社会基盤情報として蓄積できる. これを活用することにより位置正確度の高い空間に関する情報を第三者が利用できる.

スマートフォンのGPS センサで取得する位置情報を図-1に示す. ここで, ◎は実際の移動軌跡, △はGPS センサで取得した計測点を示す. GPS センサから取得される位置情報は, 周囲の環境や取得できる衛星の数の影響を受け, ノイズとなる位置情報が含まれる. GPS 受信機と衛星との相対的な位置関係(受信機の位置誤差と衛星の位置誤差の関係)から位置精度低下率(DOP: Dilution of Precision)が決まる. DOP 値には衛星配置の水平成分を指数化したHDOPと垂直成分を指数化したVDOPから $PDOP^2 = HDOP^2 + VDOP^2$ の関係式が成り立つPDOPが得られる. Pは位置(Position), Hは水平(Horizontal), Vは垂直(Vertical)を意味する. また, 幾何学的な精度劣化にGDOPがある. Gは幾何(Geometry)を意味する. これは, GPS 受信機の位置と時刻における誤差と衛星の距離における誤差の関係を表したものである. 本研究では, すべての機種が同じ時間を保っているためGDOPを対象外とし, PDOP値を用いる. PDOP=1の場合に最も測位精度が良い. ただし, スマートフォンのGPS センサが衛星の配置によって認識する衛星の種類とその数の違いによる要因や, スマートフォンによってPDOPを算出する方法の違いによる要因によって, PDOP値が異なる. 加えて, 衛星受信が弱くなると, PDOP値が大きくなり, 図-1の地点1に示すように真値から離れた地点が取得されることが想定される. 一方, スマートフォンを利用する場合, 誤差要因を考慮した計測点の確からしさを推定する. その指標が平均誤差半径(CEP: Circular Error Probability)であり, 計測点の経緯度の確からしさを評価する. 平均誤差半径は, 計測点を中心にその距離を半径として円を描いた場合に, 円内に真値が存在する確率が68%であることを意味する. 図-1の地点1と地点2は真値が平均誤差半径の円外にある場合, 図-1の地点3と地点4は真値が平均誤差半径の円内にある場合の例である.

以上のPDOPと平均誤差半径の情報を活用してノイズ

を除去することを考える。通常、スマートフォン保有者が自分の位置を知るためには、GPS センサを利用して位置情報を取得するが、小規模なパーソントリップデータだけではリアルタイムに取得した位置情報が正しいか判断することは困難である。取得した位置情報が正しいか判断する一例として、基図やネットワークデータに位置情報を重ね合わせることが考えられるが、この方法ではリアルタイム性に欠ける。また、個人の位置情報だけでなく複数の位置情報を蓄積すると大規模なパーソントリップデータとなり、後処理で膨大な位置情報を解析することや位置情報を補正することが可能となる。しかし、道に迷った場合や災害時など緊急を要する場合には、個人の少数パーソントリップデータが現在地を特定する唯一の手がかりとなるため、リアルタイムにより正確な位置情報を取得できることが望ましい。PDOP と平均誤差半径を手がかりにすると、GPS センサから取得した位置情報からノイズを含まないより信頼性の高い位置情報を取得でき、小規模なパーソントリップデータの位置情報の精度を向上できると考える。本研究では、そのためのアプリケーションのアルゴリズムを提案する。

3. GPSセンサの精度実験

本章では、スマートフォンのGPS センサの精度を検証し、PDOPと平均誤差半径の特性を確認する。

(1) スマートフォンのGPSセンサの特性

GPS の測位精度は、電波伝播の特性、受信可能な衛星の個数や配置、原子時計の遅れ、受信機の時計の精度などによる原理的な誤差による影響を受ける。また、周辺環境にも大きく作用される。スマートフォンに搭載されているGPS センサは高品質ではないため、それにより取得された位置情報（以下、計測点）のデータ特性を把握する必要がある。

Android OS 上で稼働するスマートフォンのGPS 機能に関する特性として、まず、DOP 値はNMEA0183 フォーマットから取得することができる。これは、米国海洋電子機器協会（NMEA : National Marine Electronics Association）によって設定された規格であり、すべての文字がテキスト形式である。

次に、Android.location パッケージに定義されるLocation クラスのgetAccuracy メソッド¹⁸⁾を利用すると、平均誤差半径（CEP）を取得することができる。Android OS では、68%の確率を閾値とした計測点の正確度（Accuracy）で、計測点の平均誤差半径を取得する。GPS 端末で計測された真値とスマートフォンのGPS 機能で複数回取得した計測点との間での互いのばらつき尺度である精度

表-1 使用した機種と搭載GPS センサ

機種名	OS	プロセッサ	GPS センサ	
A	SC04F	4.2.2	Qualcomm Snapdragon	IZat GNSS with support for GPS, Glonass and BeiDou constellations
B	SH06E	4.2		IZat GNSS
C	SC02E	4.1.1	Samsung Exynos	Gps One Gen 8 with GLONASS
D	SC03E2	4.1.2	Samsung Exynos	
E	ISW12HT	4.0.3	Qualcomm Snapdragon	A-GPS (3G/LTE), S-GPS (WiFi)+GLONASS
F	SO03C	2.3.3	Qualcomm Snapdragon	



図-2 グラウンド実験



図-3 キャンパス実験

(Precision) とは区別される。したがって、正確度が高くても精度が低いこともある。

(2) 実験計画

スマートフォンのGPS センサから取得する位置情報の特性を把握するために、3次元位置情報の精度を検証する。そのための実験では、スマートフォンのGPS センサから緯度、経度、標高、PDOP と平均誤差半径を取得する。実験には、表-1 に示す6機種のスマートフォンを使用する。Android OS のバージョンは、機種 A~E が4.x、機種 F が2.3.3 である。スマートフォンに搭載されるGPS センサは、プロセッサのシリーズによって決まる。本研究では、7割近いシェア率¹⁹⁾を持つプロセッサのQualcomm Snapdragonに加え、Samsung Exynosを採用している機種を対象とする。本研究では、水平精度（経緯度）が $\pm(10+1\text{ppm}\times D)\text{mm}$ 、垂直精度（標高）が $\pm(20+1\text{ppm}\times D)\text{mm}$ の1級GNSS 測量機（PENTAX 社のG3100-R1²⁰⁾）で関西大学高槻キャンパスを測定した値を真値とする。ここで、D は基準局と観測点の距離（km）である。実験では、グラウンドの測量点G1~G7の7点（図-2、以下、グラウンド実験）とキャンパス内の道路約1.4kmの測量点C1~C47の47点（図-3、以下、キャンパス実験）を使用し、2015年2月23日から4月23日の2ヶ月間で行った。実験時は、セグウェイの荷台に6台のスマートフォンを固定（図-4）し、6台同時に計測点を取得した。まず、グラウンド実験では、図-5に示す経路でグラウンドを2周し、各測量点上で10秒間静止した。次に、キャンパス実験では、各測量点上で10秒間静止した。本研究では、それぞれの実験を100回ずつ、計200回行った。計測点の平均と標準偏差の評価



図-4 実験環境

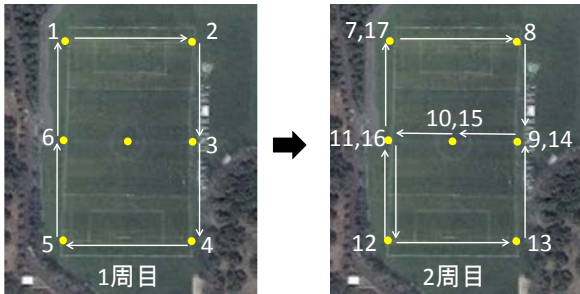


図-5 グラウンド実験の走行経路

には、測量点上で静止した 10 秒間分の計測点を用いた。3次元位置情報の精度は、計測点と真値の2点間距離の平均(以下、水平平均)とその標準偏差(以下、水平標準偏差)、計測点と真値の標高差の平均(以下、垂直平均)とその標準偏差(以下、垂直標準偏差)によって評価する。

(3) 実験結果

GPS センサの水平平均、水平標準偏差、垂直平均、垂直標準偏差、平均誤差半径、PDOP について、グラウンド実験とキャンパス実験のそれぞれの結果を述べる。

a) 水平平均、水平標準偏差、垂直平均、垂直標準偏差

グラウンド実験の機種 A の水平平均および垂直平均とその標準偏差を図-6 に示す。機種 A の水平平均は 6.36m~9.69m, 水平標準偏差は 0.10m~1.24m, 垂直平均は 4.96m~9.78m, 垂直標準偏差は 0.08m~1.12m であった。

キャンパス実験の機種 A の水平平均および垂直平均とその標準偏差を図-7 に示す。機種 A の水平平均は 11.49m~28.67m, 水平標準偏差は 0.55m~1.77m, 垂直平均は 10.90m~15.80m, 垂直標準偏差は 0.72m~1.93m であった。

b) 平均誤差半径

グラウンド実験とキャンパス実験の各計測点上で取得したそれぞれ 100 回分の計測点に対して、平均誤差半径を用いて描いた円内に真値がある割合を図-8 に示す。グラウンド実験の機種 A, C, D と F, キャンパス実験の機種 F は、平均誤差半径を用いて描いた円内に真値がある確率が 68%以上になった。キャンパス実験の機種 C は、円内にある確率が最も低く 45.49%であった。

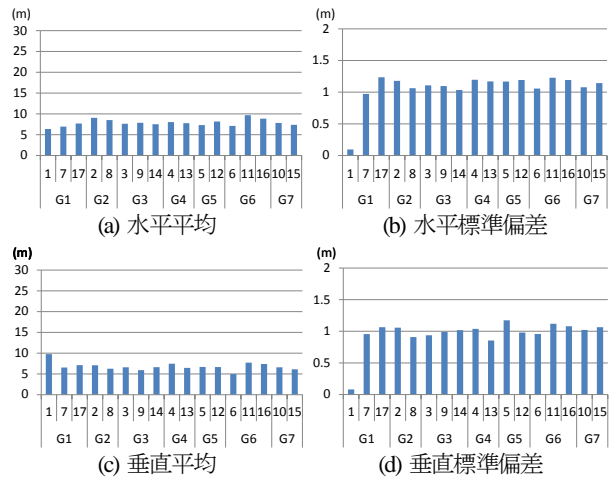


図-6 グラウンド実験の結果(機種 A)

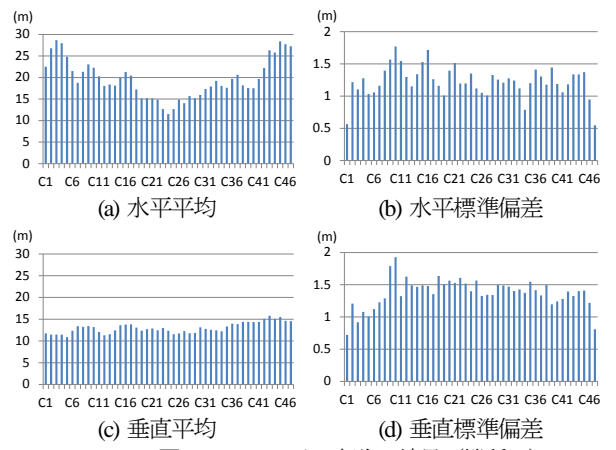


図-7 キャンパス実験の結果(機種 A)

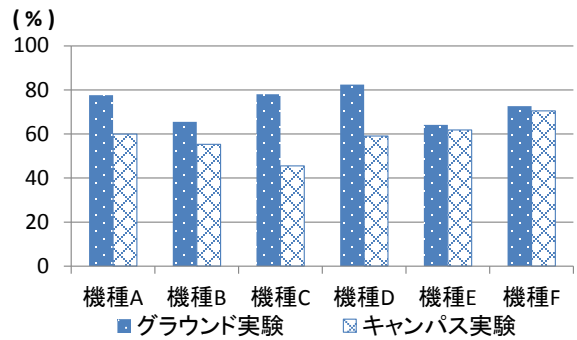


図-8 真値が平均誤差半径の円内にある割合

c) PDOP

グラウンド実験とキャンパス実験における PDOP の割合を図-9 に示す。機種 A~D は 1 より大きく 2 以下の PDOP が 77.9%~92.9%, 機種 E と F は 2 より大きく 3 以下の PDOP が 42.6%~57.2% を占めた。すべての機種に共通し、1 より大きく 3 以下の PDOP の割合が大きいことがわかった。

(4) 考察

100 回の計測結果を平均したグラウンド実験とキャンパス実験の水平平均を図-10(a)に、水平標準偏差を図-10(b)に、垂直平均を図-10(c)に、垂直標準偏差を図-10(d)

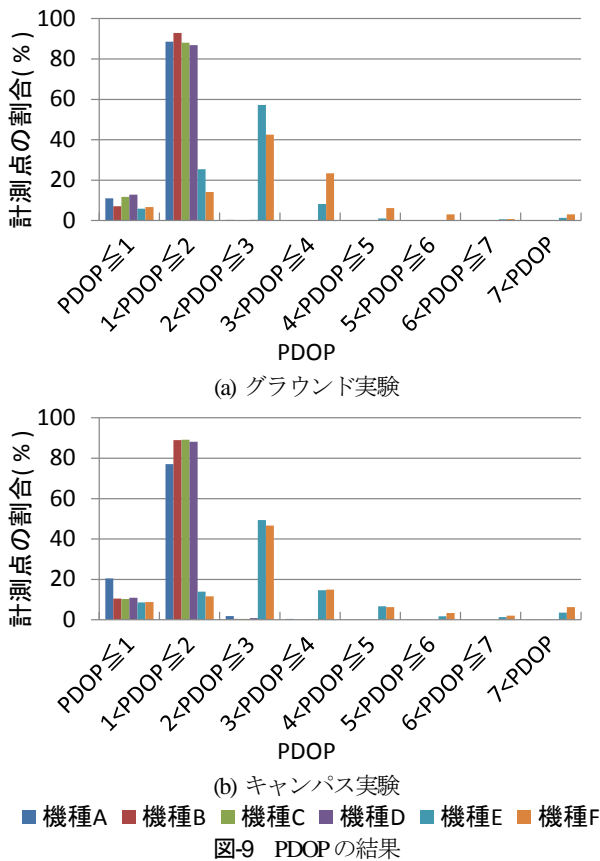


図-9 PDOPの結果

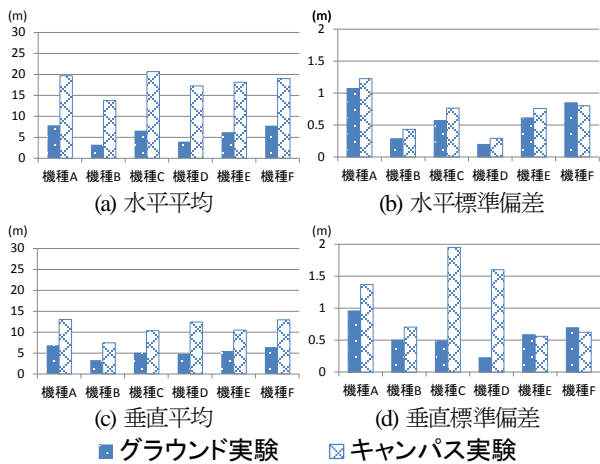


図-10 グラウンド実験とキャンパス実験の結果

に示す。100回の計測結果を平均したすべての機種の水
 平平均は3.23m~20.68m, 水平標準偏差は0.20m~1.23m,
 垂直平均は3.30m~13.02m, 垂直標準偏差は0.23m~1.95
 mであった。機種毎に比較すると、グラウンド実験にお
 いて水平平均が最大の機種Aと最小の機種Bの差
 は4.63m, 垂直平均が最大の機種Aと最小の機種Bの差
 は3.52mであった。水平標準偏差が最大の機種Aと最
 小の機種Dの差は0.87m, 垂直標準偏差が最大の機種Aと
 最小の機種Dの差は0.94mであった。キャンパス実験に
 おいて、水平平均が最大の機種Cと最小の機種Bの差
 は6.93m, 垂直平均が最大の機種Aと最小の機種Bの差
 は5.59mであった。水平標準偏差が最大の機種Aと最

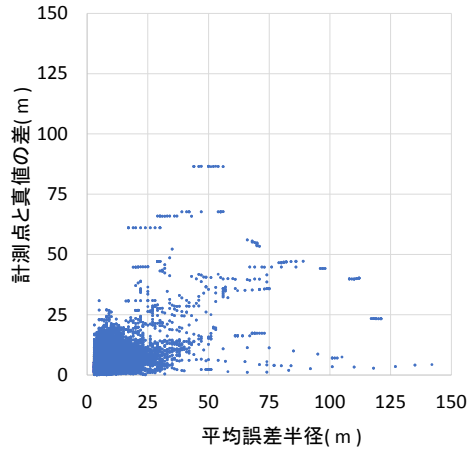


図-11 計測点と真値の差と平均誤差半径との関係
 (グラウンド実験の機種E)

の機種Dの差は0.73m, 垂直標準偏差が最大の機種Cと
 最小の機種Eの差は1.39mであった。図-10より、キャン
 パス実験の水平平均と水平標準偏差, 垂直平均と垂直
 標準偏差は、グラウンド実験に比べ1.49~4.00倍大き
 くなった。これは、キャンパス内の樹木が影響を及ぼし
 ているためである。キャンパス実験の水平平均(図-7(a))
 を計測点毎に比較すると、すべての機種の水平精度が
 C23付近を境にC1とC47に向けて約15m大きくなって
 おり、樹木の影響を受けたことがわかる。

平均誤差半径は真値が平均誤差半径の円内にある割合
 が機種毎に異なった。平均誤差半径を用いてノイズを含
 む位置情報を除去する場合、機種毎の特性を考慮して閾
 値を設定する必要がある。

機種A~DのPDOPは1<PDOP≤2の計測点の割合が
 多く、機種Eと機種Fは2<PDOP≤3の計測点の割合が
 多かった。PDOPを用いてノイズを含む位置情報を除去
 する場合、計測点の水平平均と垂直平均との関係性を考
 慮して閾値を設定する必要がある。

4. スマートフォンのGPSセンサで取得した位置 情報のノイズ除去方法

本章では、信頼性の高い位置情報のみをスマートフォ
 ンのGPSセンサから抽出する手法を考案する。携帯
 キャリアは、スマートフォンのGPSセンサの誤差範囲
 をおおむね50m未満と公表している。そのため、本研
 究では、計測点と真値の差が50m以上の場合、ノイズ
 を含む位置情報と仮定する。そして、この仮定のもと計
 測点と真値の差および平均誤差半径を用いて、ゾーン
 I~IVに分類する。グラウンド実験の機種EのGPSセ
 ンサから取得した計測点と真値の差と平均誤差半径との
 関係を図-11に示す。計測点を50mを基準に4つのゾ
 ーンに分類した結果を図-12に示す。ゾーンIとゾーンII

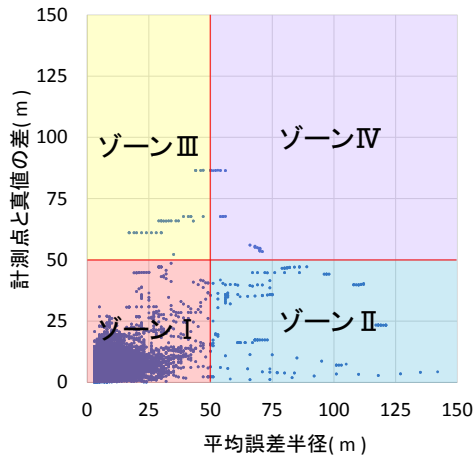


図-12 計測点を4つのゾーンに分類した結果 (グラウンド実験の機種E)

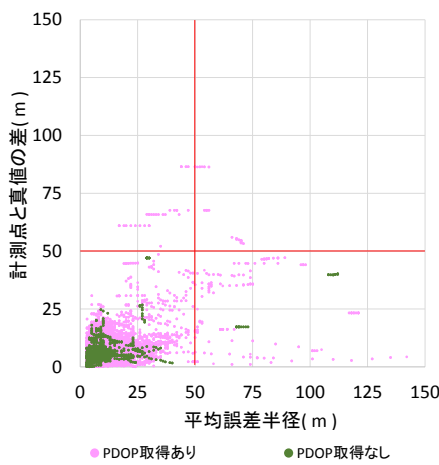


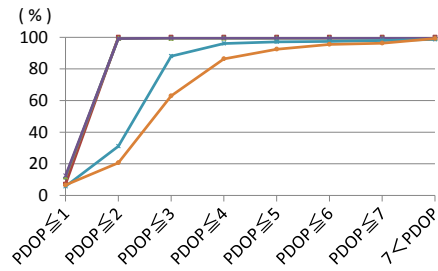
図-13 計測点をPDOPで色分けした結果 (グラウンド実験の機種E)

の計測点は、計測点と真値の差が 50m 未満を意味する。ゾーンIIIとゾーンIVの計測点は、計測点と真値の差が 50m 以上のノイズを含む位置情報を意味する。本研究では、GPS センサから取得可能な PDOP と平均誤差半径を用いてノイズを含む位置情報を判定し、ゾーンIIIとゾーンIVに含まれる計測点を除去する。本章では、前章のグラウンド実験 (7点) とキャンパス実験 (47点) の測量点を用いて、ノイズと判定するための PDOP 値と平均誤差半径の閾値を決定する。前章での考察を踏まえ、PDOP と平均誤差半径は機種毎で特性が異なるため、6機種を用いて決定する。

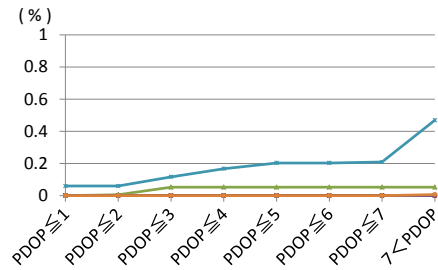
(1) PDOPを用いたノイズを含む位置情報の除去

a) 解析方法

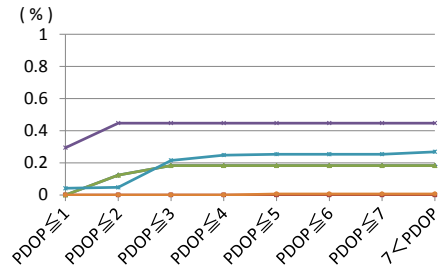
本解析では、ゾーンIIIとゾーンIVのノイズを含む位置情報を除去するための PDOP の閾値を決定する。計測点と PDOP を取得した時間を用いると、各計測点に対して PDOP を紐づけることができる。図-11 の各計測点に対して、PDOP の取得有無で色分けした結果を図-13 に示す。図より、GPS センサから取得する位置情報は、



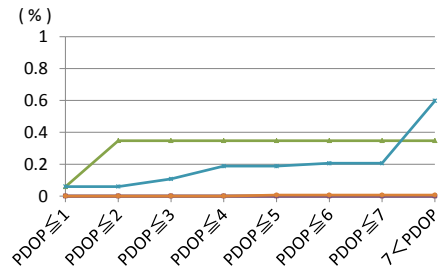
(a) ゾーン I



(b) ゾーン II



(c) ゾーン III



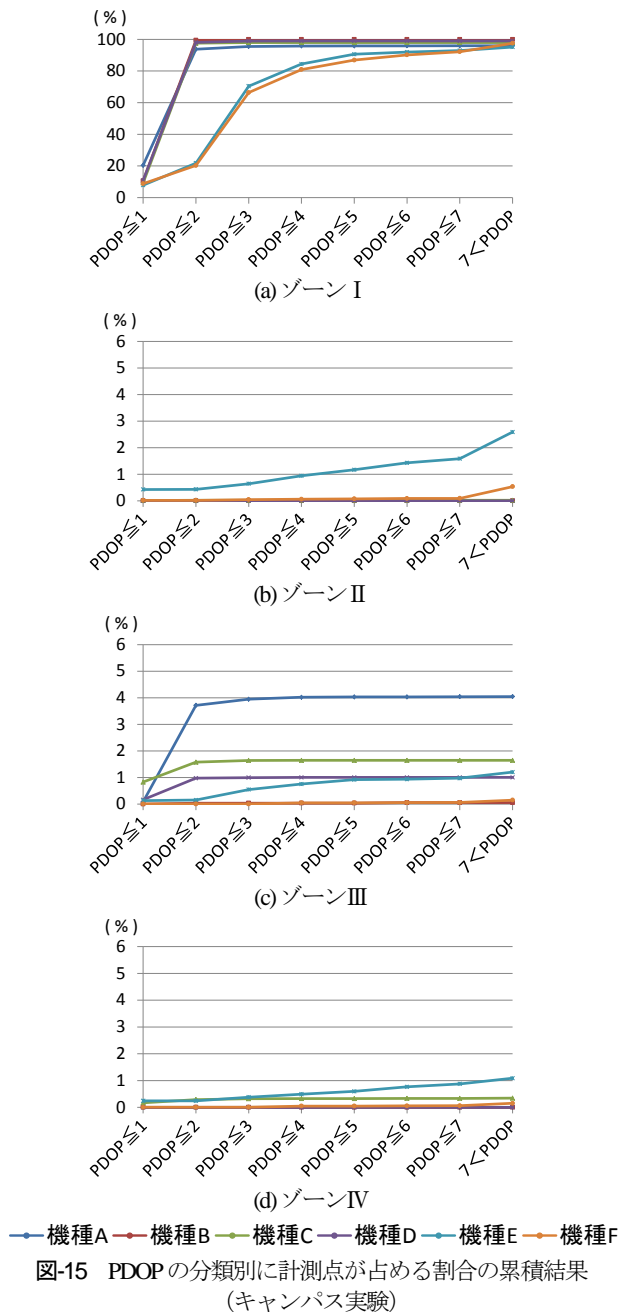
(d) ゾーン IV

— 機種A — 機種B — 機種C — 機種D — 機種E — 機種F

図-14 PDOP の分類別に計測点が占める割合の累積結果 (グラウンド実験)

PDOP が不明な場合があることがわかる。本研究ではリアルタイムにノイズを含む位置情報を除去し、信頼性の高い位置情報のみを利用者に通知するアプリケーションの開発を目指すため、PDOP が不明な場合であっても、処理コストの小さい方法で PDOP を算出することが望ましい。そこで、前後複数の計測点を用いて PDOP を算出するのではなく、1つ前の計測点の PDOP をそのまま用いることとした。PDOP の値が小さいほど測位精度が良いとされるが、計測点と真値の差が 50m 未満のゾーン I とゾーン II に PDOP の値が大きい計測点が含まれる場合もある。一方、ゾーンIIIとゾーンIVに PDOP が小さい計測点が含まれた。

グラウンド実験およびキャンパス実験の PDOP の分類別にゾーン毎の計測点が占める割合の累積結果を図-14



と図-15 に示す。ゾーン I (図-14(a), 図-15(a)) では、機種 E と F の PDOP が大きい。この 2 機種には同じ GPS センサ (表-1) が搭載されているが、OS のバージョンが異なるために PDOP の算出方法も異なっているものと考えられる。したがって、現在普及しているスマートフォンでも利用できるアプリケーションを目指すことを前提に PDOP の値を検討する。

本ノイズ除去では、ゾーン III とゾーン IV の計測点をノイズとして除去でき、ゾーン I とゾーン II の計測点をノイズとして除去する割合が少なくなる PDOP の値を決定する。PDOP の閾値を小さくすればゾーン III と IV のノイズを含む位置情報を除去することができるが、ゾーン I と II に含まれる信頼性の高い計測点が除去される。ここでは、ゾーン II ~ IV に比べ、計測点の占める割合が大き

表-2 PDOPによるノイズ除去前後の計測点と除去率

	グラウンド実験			キャンパス実験		
	除去前 (点)	除去後 (点)	除去率 (%)	除去前 (点)	除去後 (点)	除去率 (%)
機種 A	33,943	33,939	0.01	93,362	93,200	0.17
機種 B	34,010	34,010	0.00	93,995	93,973	0.02
機種 C	33,944	33,938	0.02	93,835	93,739	0.10
機種 D	33,998	33,998	0.00	93,926	93,926	0.00
機種 E	33,466	32,187	3.82	93,469	79,967	14.45
機種 F	29,910	25,534	14.63	73,407	59,331	19.18

いゾーン I に着目し、ゾーン I の計測点の累積結果が収束する値を閾値の候補とする。

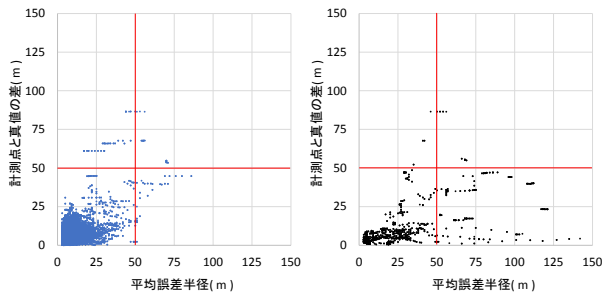
グラウンド実験およびキャンパス実験のゾーン I では、機種 A~D の計測点が PDOP ≤ 2 で収束し、機種 E と F の計測点が 7 < PDOP で収束した。まず、機種 E と F の計測点が収束する 7 < PDOP では、すべての機種の計測点の割合は 95.12% 以上である。これは、ノイズ除去前後で計測点数に変化がほとんどないことを意味する。次に、機種 A~D の計測点が収束する PDOP ≤ 2 に着目すると、機種 A~D の計測点の占める割合が 93.83%~100% に対して、機種 E と F が 20.29%~31.14% と低くなる。これは、機種 E と F の信頼性の高い計測点を除去する割合が高くなることを意味する。したがって、本解析では、PDOP が 2 以上 7 未満を対象とし、すべての機種の計測点の割合が 80% を占める PDOP の範囲に着目した。PDOP ≤ 4 では、すべての機種においてゾーン I を占める計測点の割合が 80% を超えるため、PDOP が 4 より大きい場合をノイズを含む位置情報とし除去する。

b) 解析結果

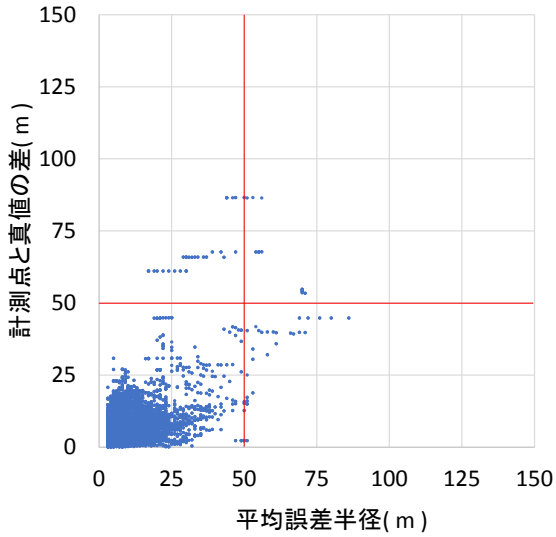
グラウンド実験 (7 点) とキャンパス実験 (47 点) の測量点で取得した計測点に対して、PDOP が 4 より大きい計測点をノイズを含む位置情報を除去した結果について説明する。PDOP を用いたノイズ除去前後の計測点数と除去率を表-2 に示す。表-2 より、機種 A~D のグラウンド実験とキャンパス実験のノイズを含む位置情報の除去率は、0.00%~0.17% であった。グラウンド実験の機種 B と機種 D、キャンパス実験の機種 D では除去率が 0% となった。機種 E と機種 F の除去率は、グラウンド実験とキャンパス実験において 3.82%~19.18% であった。

ノイズ除去前後において、計測点をゾーン毎に分類した結果を図-16 に示す。図-16 より、各ゾーンに含まれる PDOP の値が 4 より大きい計測点がノイズを含む位置情報として除去されたことがわかる。

ノイズ除去前後の計測点の経緯度と標高に関して、機種 E のグラウンド実験結果を図-17 に、キャンパス実験結果を図-18 に示す。グラウンド実験の機種 E の経緯度のプロット結果 (図-17(a) と 図-17(b)) より、G2 付近に

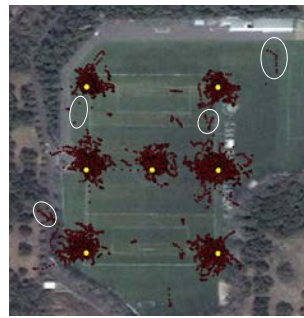


(a) 除去前

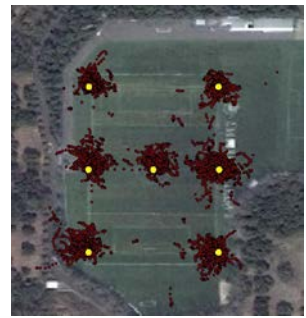


(b) 除去後

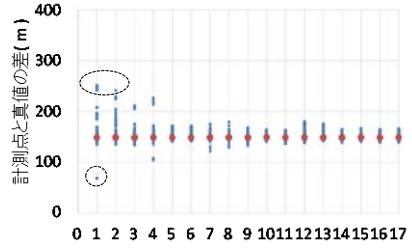
● PDOP ≤ 4 ● 4 < PDOP
 図-16 計測点をゾーンに分類した結果
 (グラウンド実験の機種E)



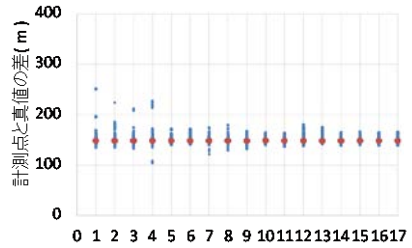
(a) 除去前の経緯度の
プロット結果



(b) 除去後の経緯度の
プロット結果

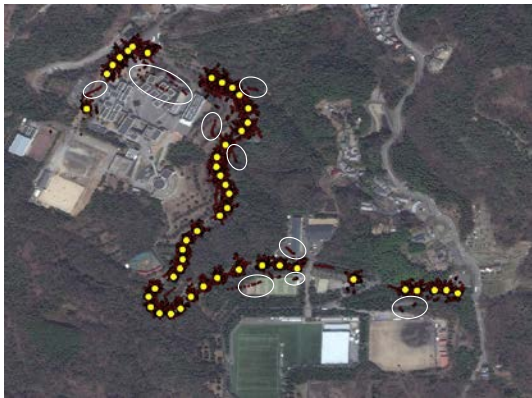


(c) 除去前の標高



(d) 除去後の標高

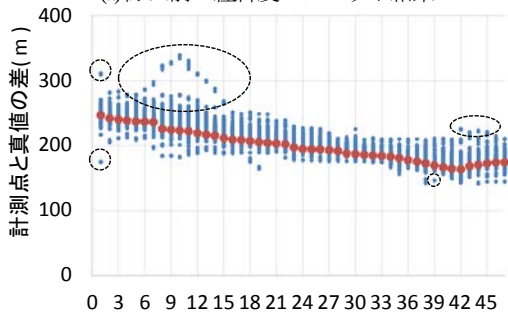
● 計測値 ● 真値
 図-17 グラウンド実験の機種E



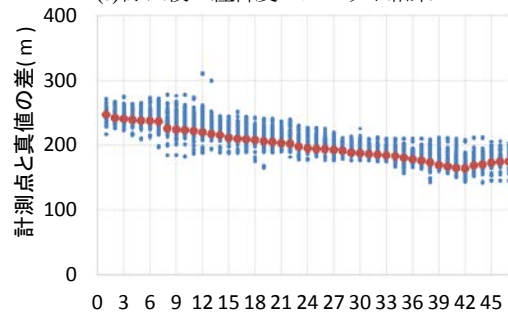
(a) 除去前の経緯度のプロット結果



(b) 除去後の経緯度のプロット結果

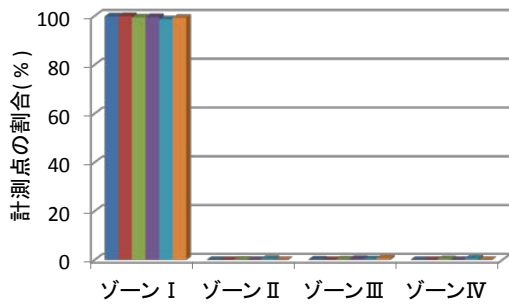


(c) 除去前の標高

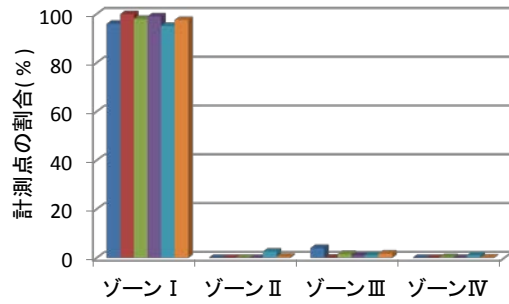


(d) 除去後の標高

● 計測値 ● 真値
 図-18 キャンパス実験の機種E



(a) グラウンド実験



(b) キャンパス実験

■機種A ■機種B ■機種C ■機種D ■機種E ■機種F
図-19 ゾーン毎に含まれる計測点の割合

において測量点から離れた計測点が除去されたことがわかる。G2 付近の測量点付近の標高 (図-17(c)と図-17(d)) においても、真値から離れた計測点がノイズを含む位置情報として除去されたことがわかる。これは、キャンパス実験 (図-18) の C7~C11 付近においても同様である。図中の点線の丸はノイズ除去前後で変化があった箇所を意味し、経緯度と標高を3次元的に捉えて最終的にノイズを含む計測点であるかを判断する。

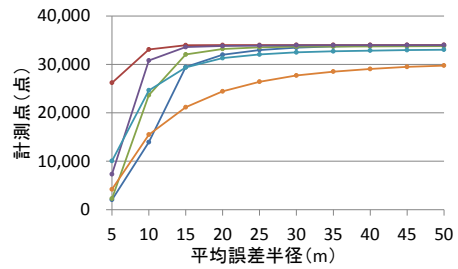
c) 考察

本解析処理において機種毎で除去率が異なるのは、機種毎に取得する PDOP の特性と関係する。6 機種の中でノイズ除去率が高かった機種 E と機種 F は、その他の機種と比べ PDOP の値が高い計測点の割合 (図-9) が多くを占めた。また、グラウンド実験およびキャンパス実験のゾーン毎に含まれる計測点の割合を図-19 に示す。計測点数を比較すると、ゾーン II~IV に比べゾーン I の計測点が多い。そのため、信頼性の高い計測点もノイズを含む位置情報と判定されることがある。本研究では、グラウンド実験とキャンパス実験それぞれ 100 回分における全計測点を対象に、PDOP が 4 より大きい場合にノイズを含む位置情報として除去し、本ノイズ除去の閾値の妥当性を検証 (5章) する。

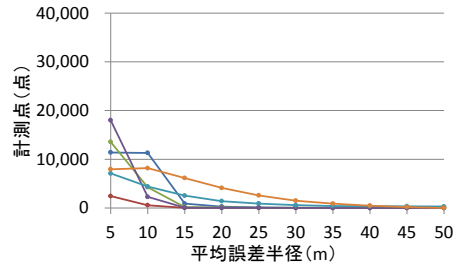
(2) 平均誤差半径を用いたノイズを含む位置情報の除去

a) 解析方法

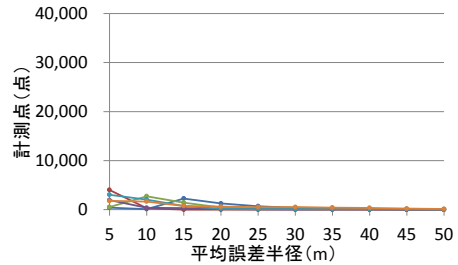
本解析では、PDOP を用いたノイズ除去後にゾーン III とゾーン IV に含まれるノイズを含む位置情報を除去するための平均誤差半径の閾値を決定する。前述したように、



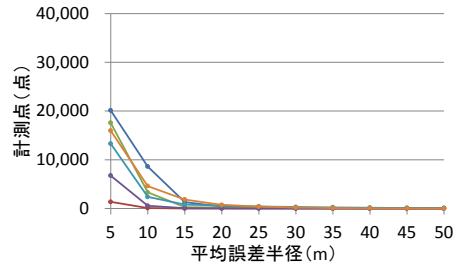
(a) ゾーン I



(b) ゾーン II



(c) ゾーン III



(d) ゾーン IV

●機種A ●機種B ●機種C ●機種D ●機種E ●機種F
図-20 グラウンド実験の結果

スマートフォンの GPS センサの誤差範囲はおおむね 50m 未満と公表されている。計測点と真値の差が 50m 以上の場合はノイズを含む位置情報とするため、50m 以下の平均誤差半径を閾値の対象とする。そのため、ゾーン II と IV の計測点がすべて除去される。ゾーン II の信頼性の高い計測点がすべて除去対象となるが、ゾーン II に含まれる計測点の割合は、すべての機種において 0.94% 以下 (図-19) であるため、大きな影響を受けない。本解析では、ゾーン III の計測点を除去でき、ゾーン I の計測点を除去する割合が少なくなる平均誤差半径の値を決定する。ここでは、ゾーン III に比べ、計測点の占める割合が大きいゾーン I に着目し、ゾーン I の計測点数が収束する値を閾値の候補とする。グラウンド実験およびキャンパス実験の平均誤差半径が 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50m の場合の各機種の計測点を

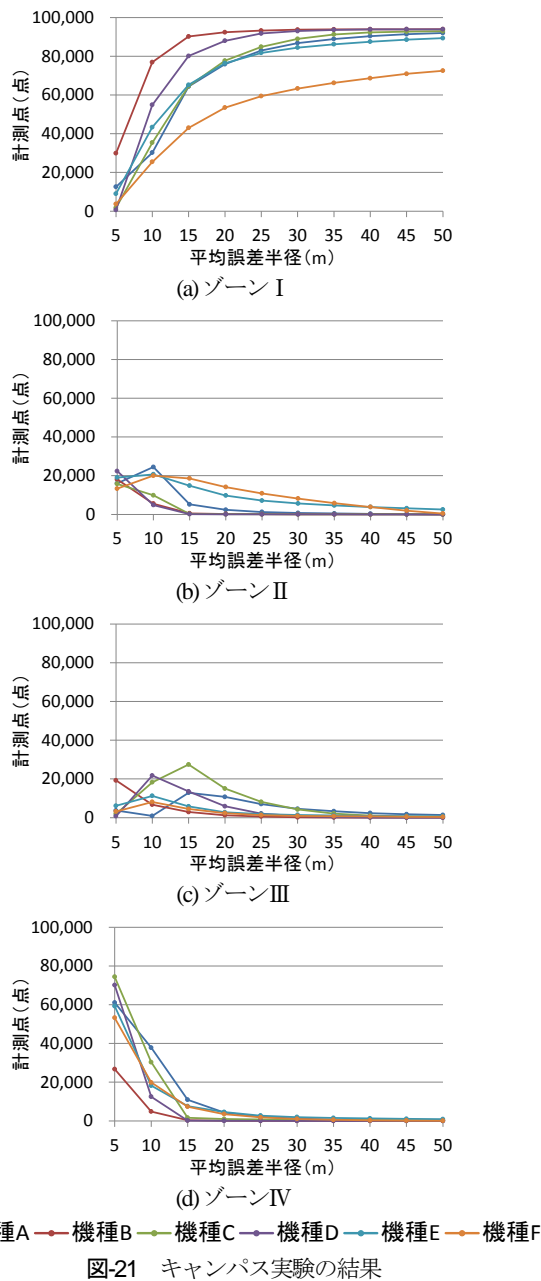


図-21 キャンパス実験の結果

ゾーン別に比較した結果を図-20と図-21に示す。

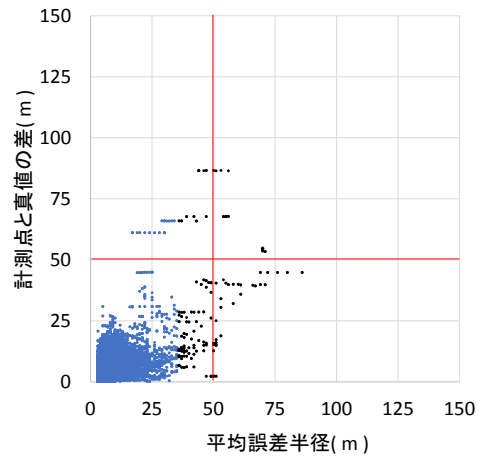
グラウンド実験およびキャンパス実験のゾーン I の計測点 (図-20(a)と図-21(a)) は、機種 A~E が平均誤差半径の 35m で収束し、機種 F が 50m で収束した。機種 F の計測点が収束する平均誤差半径 50m は、ゾーンの境目であるためこの値を閾値とするとゾーン III のノイズを含む位置情報を除去できない。そのため、機種 A~E の計測点数が収束する 35m を閾値とした。したがって、本解析では、平均誤差半径が 35m より大きい場合、ノイズを含む位置情報として除去する。

b) 解析結果

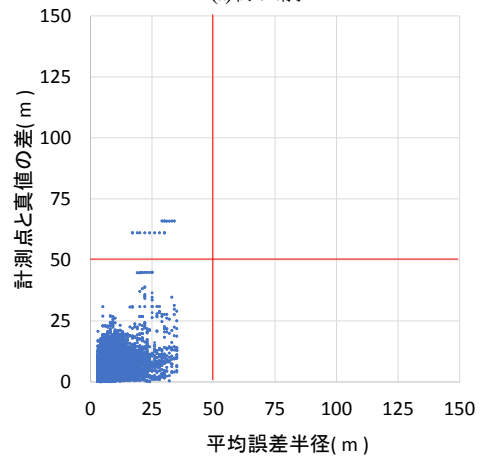
グラウンド実験とキャンパス実験の測量点で取得した計測点に対して、PDOP を用いてノイズを含む位置情報を除去した後の計測点を対象に、平均誤差半径を用いてノイズ除去した結果について説明する。ここでは、平均

表-3 平均誤差半径によるノイズ除去前後の計測点と除去率

	グラウンド実験			キャンパス実験		
	除去前 (点)	除去後 (点)	除去率 (%)	除去前 (点)	除去後 (点)	除去率 (%)
機種 A	33,939	33,917	0.06	93,200	92,209	1.06
機種 B	34,010	34,004	0.02	93,973	93,936	0.04
機種 C	33,938	33,790	0.44	93,739	93,353	0.41
機種 D	33,998	33,996	0.01	93,926	93,918	0.01
機種 E	32,187	31,931	0.80	79,967	77,853	2.64
機種 F	25,534	25,098	1.71	59,331	57,592	2.93



(a) 除去前



(b) 除去後

● 平均誤差半径 ≤ 35m ● 35m < 平均誤差半径

図-22 計測点をゾーンに分類した結果 (グラウンド実験の機種 E)

誤差半径が 35m より大きい場合を除去対象とする。平均誤差半径を用いたノイズ除去前後の計測点数と除去率を表-3に示す。表-3より、すべての機種において、グラウンド実験とキャンパス実験のノイズを含む位置情報の除去率は、0.01%~2.93%であった。

ノイズ除去前後において、計測点をゾーン毎に分類した結果を図-22に示す。図より、各ゾーンに含まれる平均誤差半径が 35m より大きい計測点がノイズを含む位置情報として区別されたことがわかる。ノイズ除去前後

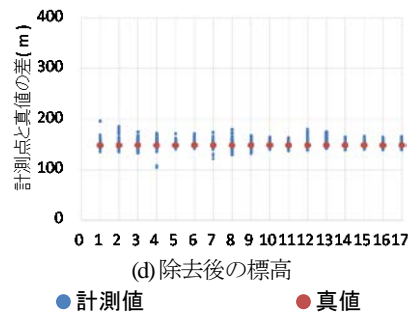
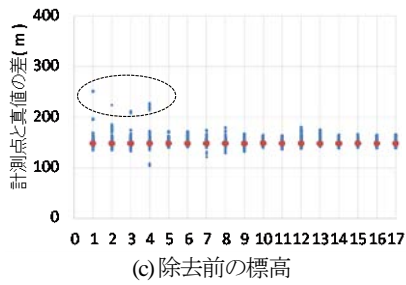
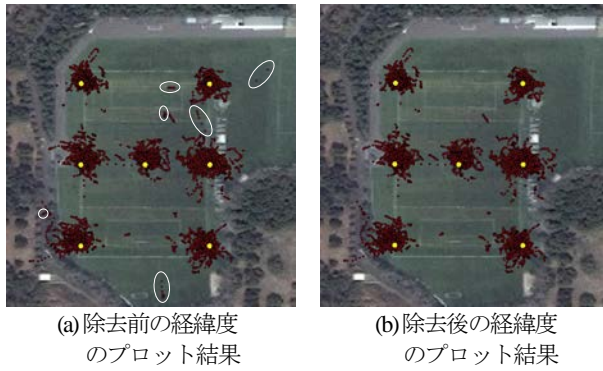


図-23 機種Eのノイズ除去前後の比較 (グラウンド実験)

の計測点の経緯度と標高に関して、機種 E のグラウンド実験結果を図-23 に、キャンパス実験結果を図-24 に示す。図-23 より、G2~G4 付近において測量点から離れた計測点が除去された。G2~G4 付近の測量点付近の標高 (図-23(c)と(d)) において、真値から離れた計測点がノイズを含む位置情報として除去されたことがわかる。これは、キャンパス実験 (図-24(c)と(d)) の C12 と C13 付近においても同様のことが言える。

c) 考察

本解析処理では、平均誤差半径が 35m より大きい場合にノイズを含む位置情報と判定したため、ゾーンIIの信頼性の高い位置情報とゾーンIVのノイズを含む位置情報がすべて除去された。ゾーンIIに含まれる計測点は、グラウンド実験が全体の 0.47%以下、キャンパス実験が全体の 2.58%以下であるため、ノイズを含む位置情報として除去されても大きな影響を受けないと考える。したがって、35mを基準に4つのゾーンを再分類する。

ゾーンIIIでは、計測点と真値の差が大きい計測点を多く除去できたが、平均誤差半径が 35m 以下のノイズを含む計測点は除去しきれない課題 (図-25) が残った。しかし、グラウンド実験 (図-26 と表-4) およびキャンパス実験 (図-27 と表-5) において、ほぼすべての機種でゾーンIIIのノイズを含む計測点よりも、ゾーンIの信頼性の高い計測点を多く残せた。したがって、PDOP および平均誤差半径を用いたノイズ除去処理は有用であると考えられる。

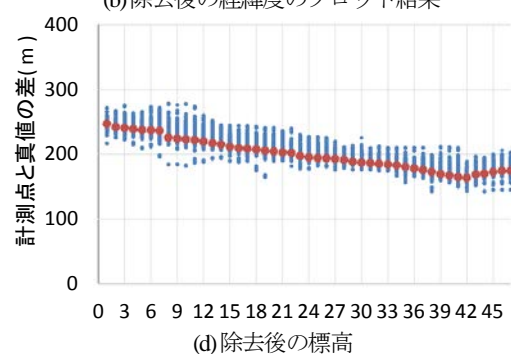
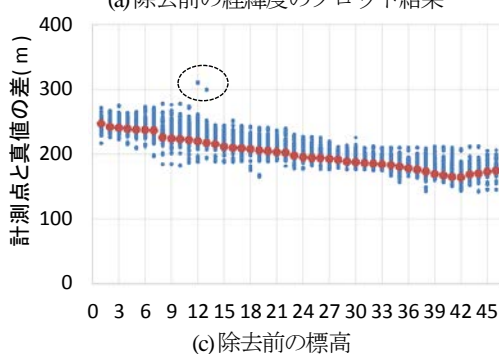


図-24 機種Eのノイズ除去前後の比較 (キャンパス実験)

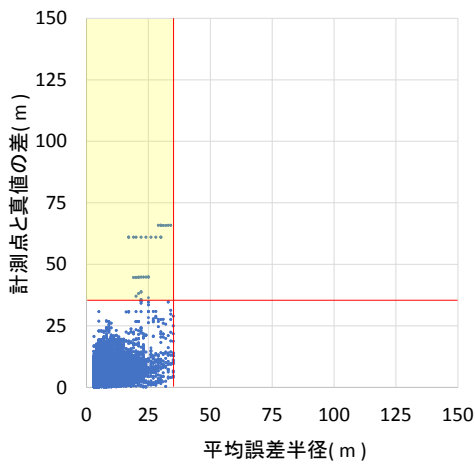


図-25 ゾーンⅢに含まれる計測点

5. 提案手法を用いたノイズを含む位置情報の除去

(1) 内容

グラウンド実験とキャンパス実験それぞれ 100 回分における全計測点に対して、PDOP と平均誤差半径を用いてノイズを除去する。ノイズを含む位置情報の判定には、4 章において測量点上で 10 秒間停止した間に取得した計測点より決定した閾値を用いる。PDOP は 4 より大きい場合、平均誤差半径は 35m より大きい場合にノイズを含む位置情報とした。

(2) 結果

ノイズ除去前後の計測点数と除去率について、グラウンド実験の結果を表-6 に、キャンパス実験の結果を表-7 に示す。除去率は、ノイズ除去前の計測点に対して、PDOP と平均誤差半径のノイズ除去処理後に、ノイズを含む位置情報として区別された計測点の割合を指す。グラウンド実験(表-6)では 0.02%~15.79%、キャンパス実験(表-7)では 0.01%~20.52%であった。両実験ともに機種 E と機種 F のノイズ除去率が他の機種より大きかった。

ノイズ除去前後の計測点の経緯度に関して、機種 B と機種 E のグラウンド実験の結果を図-28 に、キャンパス実験の結果を図-29 に示す。グラウンド実験(図-28)の機種 B の除去率は 0.02%と低いため、ノイズ除去前後で変化がなかった。グラウンド実験(図-28)の機種 E は、G1~G4 付近において測量点から離れた計測点が除去されたことがわかる。キャンパス実験(図-29)の機種 B は、測量点から離れていた経緯度が除去され、0m 付近を取得していた標高の計測点も除去された。キャンパス実験(図-29)の機種 E は、C6~C15 において測量点から離れていた経緯度が除去され、標高の計測点も除

去された。

(3) 考察

PDOP と平均誤差半径を用いることにより、ゾーンⅣのノイズを含む位置情報を除去することが可能であることがわかった。ただし、ゾーンⅢにおいては、PDOP と平均誤差半径を用いたノイズ除去後にノイズを含む位置情報が残る課題があった。これらのノイズを含む位置情報を除去するための方法を考察する。その解決には、スマートフォンによる連続した位置情報を用いて対応する。

まず、現在 (t_n) の計測点とその直前 (t_{n-1}) の計測点の距離 r_{n-1} を考慮し、「平均誤差半径 35m+1 つ前の計測点からの移動距離」より離れている場合はノイズを含む位置情報と判定する。連続した位置情報の判定について図-30 に示す。 r_{n-1} について、次の 3 パターンで場合分けを行う。

- $0 \leq r_{n-1} \leq (35\text{m} + \text{移動距離})$: ●
- $(35\text{m} + \text{移動距離}) < r_{n-1}$: ▲
- 不定の場合 : ×

ここで●の場合は、ノイズを含まない位置情報とする。▲と×の場合は、ノイズを含む位置情報とし除去する。

次に、3 パターンに場合分けした計測点に対して、連続した位置情報を用いてルールを設定する。連続した計測点を用いたノイズを含む計測点の判定について図-31 に示す。計測点 t_1 と計測点 t_2 は、●と判定されたためノイズを含まない計測点となる。計測点 t_3 は、▲と判定されたためノイズ除去の対象とする。計測点 t_4 は、×と判定されたためノイズ除去の対象とする。×または▲と判定された直後の計測点 t_5 は信頼性が低いため、●または▲の場合?とし、ノイズ除去の対象とする。×の判定後は、?が 3 回続いた後●と判定された場合にのみ●と判定する。計測点 t_7 のように×の後 3 回未満で×と判定された場合、その直後 t_8 から 1 回目の?とする。そしてノイズの後、?が 3 回続いた後の計測点 (t_{11}) は●とする。これを繰り返すと、計測点が途切れた場合にも判別可能で、PDOP と平均誤差半径を用いてノイズ処理できなかった信頼性の低い位置情報を区別できる。図-31 では、●と判定された計測点 t_1 , t_2 , t_{11} と t_{12} がノイズを含まない信頼性の高い位置情報として残る。

6. アプリケーションシステムの開発構想

スマートフォンから取得する位置情報に対して、ノイズを含む位置情報を除去し、スマートフォン利用者に信頼性の高い位置情報を取得するためのアプリケーション開発について整理する。

アプリケーション開発時は、PDOP と平均誤差半径の

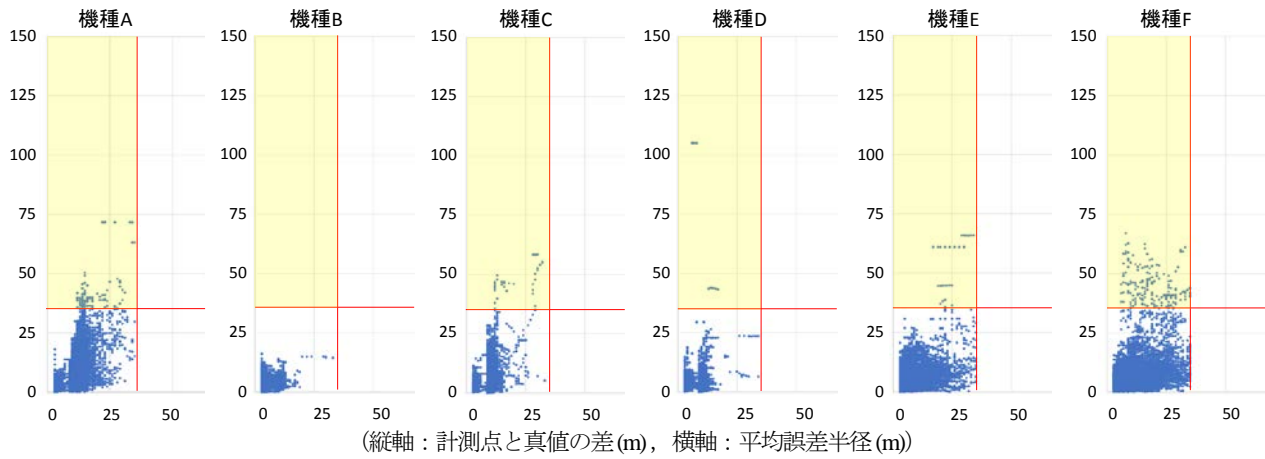


図-26 グラウンド実験のPDOPと平均誤差半径によるノイズ除去後のゾーン別計測点分布

表-4 グラウンド実験のPDOPと平均誤差半径によるノイズ除去前後のゾーン別計測点数

	ゾーンⅠ		ゾーンⅡ		ゾーンⅢ		ゾーンⅣ		すべて	
	除去前 (点)	除去後 (点)	除去前 (点)	除去後 (点)	除去前 (点)	除去後 (点)	除去前 (点)	除去後 (点)	除去前 (点)	除去後 (点)
機種A	33,705	33,701	10	0	216	216	12	0	33,943	33,917
機種B	34,004	34,004	6	0	0	0	0	0	34,010	34,004
機種C	33,704	33,698	68	0	92	92	80	0	33,944	33,790
機種D	33,956	33,956	2	0	40	40	0	0	33,998	33,996
機種E	32,717	31,865	416	0	106	66	227	0	33,466	31,931
機種F	28,519	24,728	885	0	429	370	77	0	29,910	25,098

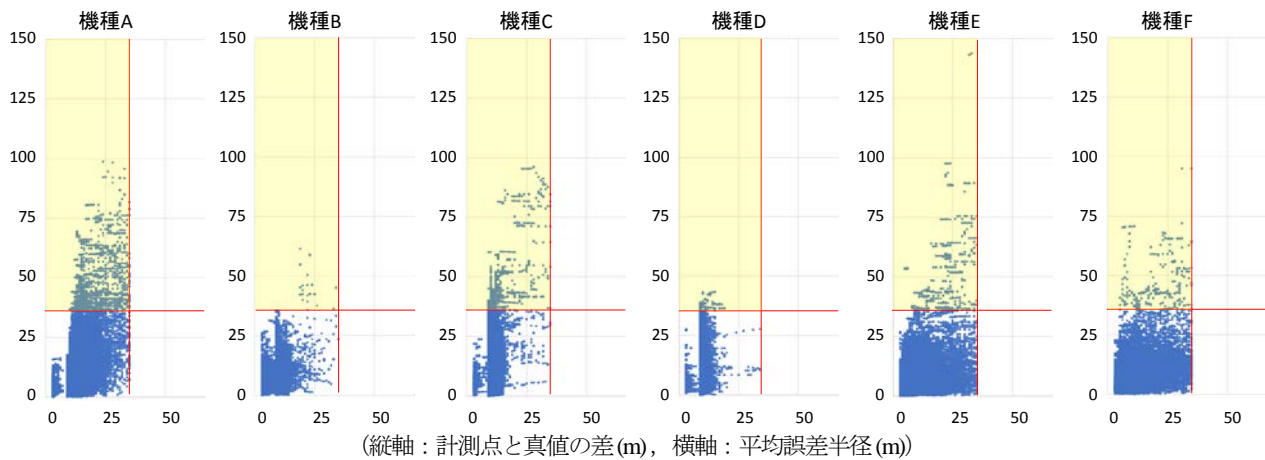


図-27 キャンパス実験のPDOPと平均誤差半径によるノイズ除去後のゾーン別計測点分布

表-5 キャンパス実験のPDOPと平均誤差半径によるノイズ除去前後のゾーン別計測点数

	ゾーンⅠ		ゾーンⅡ		ゾーンⅢ		ゾーンⅣ		すべて	
	除去前 (点)	除去後 (点)	除去前 (点)	除去後 (点)	除去前 (点)	除去後 (点)	除去前 (点)	除去後 (点)	除去前 (点)	除去後 (点)
機種A	88,917	88,849	496	0	3,378	3,360	571	0	93,362	92,209
機種B	93,871	93,871	36	0	85	65	3	0	93,995	93,936
機種C	91,257	91,253	62	0	2,100	2,100	416	0	93,835	93,353
機種D	93,612	93,612	8	0	306	306	0	0	93,926	93,918
機種E	86,183	76,910	4,633	0	1,163	943	1,490	0	93,469	77,853
機種F	66,261	56,980	5,819	0	793	612	534	0	73,407	57,592

表-6 グラウンド実験の除去前後の計測点と除去率

	除去前(点)	PDOPの除去後(点)	平均誤差半径の除去後(点)	除去率(%)
機種 A	136,358	136,346	136,144	0.16
機種 B	136,220	136,220	136,196	0.02
機種 C	137,619	137,541	136,525	0.79
機種 D	137,361	137,361	137,321	0.03
機種 E	133,609	128,652	127,350	4.68
機種 F	117,342	100,555	98,817	15.79

表-7 キャンパス実験の除去前後の計測点と除去率

	除去前(点)	PDOPの除去後(点)	平均誤差半径の除去後(点)	除去率(%)
機種 A	312,141	311,831	308,397	1.20
機種 B	315,106	315,012	314,900	0.07
機種 C	315,973	315,665	313,827	0.68
機種 D	315,106	315,106	315,070	0.01
機種 E	313,701	273,597	265,568	15.34
機種 F	247,775	203,170	196,928	20.52

取得が必須である。ノイズ除去処理は、PDOP を用いたノイズ除去、平均誤差半径を用いたノイズ除去、連続した計測点を用いたノイズを含む位置情報の判定で構成される。まず、スマートフォンの GPS センサから取得した計測点に対して、PDOP が 4 より大きい計測点をノイズを含む位置情報として除去する。次に、平均誤差半径が 35m より大きい計測点をノイズを含む位置情報として除去する。そして、これらの処理で除去しきれなかった位置情報に対して連続した計測点を用いたノイズを含む位置情報の判定方法を用いてノイズを含む位置情報を除去する。

7. あとがき

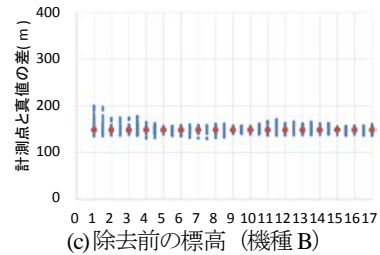
本研究では、スマートフォンの GPS センサから信頼性の高い位置情報のみを取得することを目的として、GPS センサの特性について機種毎の実験を行った。まず、スマートフォンの GPS センサの水平平均とその標準偏差、垂直平均とその標準偏差を検証した。そして、GPS センサから取得される位置情報からノイズを含む位置情報のみを除去するために、PDOP と平均誤差半径を利用することを考え、その閾値を決定した。PDOP が 4 より大きく、平均誤差半径が 35m より大きい位置情報の除去前後を比較すると、ノイズ除去後の計測点と真値の差が小さくなるため、ノイズ除去の有用性を確認できた。ただし、ノイズを含む位置情報を完全に除去しきれない課題が残った。それらの計測点については、連続した位置情報に着目し、位置情報の 2 点間距離を用いてノイズを含む位置情報を除去することと、ノイズを含む位置



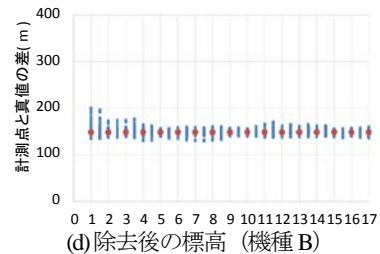
(a) 除去前の経緯度のプロット結果 (機種 B)



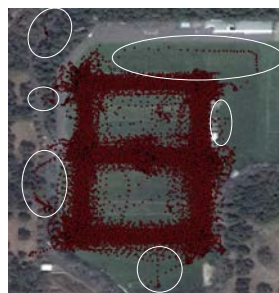
(b) 除去後の経緯度のプロット結果 (機種 B)



(c) 除去前の標高 (機種 B)



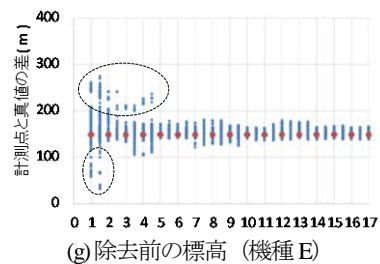
(d) 除去後の標高 (機種 B)



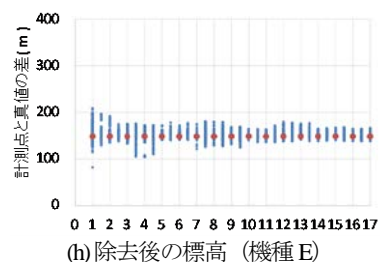
(e) 除去前の経緯度のプロット結果 (機種 E)



(f) 除去後の経緯度のプロット結果 (機種 E)



(g) 除去前の標高 (機種 E)



(h) 除去後の標高 (機種 E)

● 計測値 ● 真値

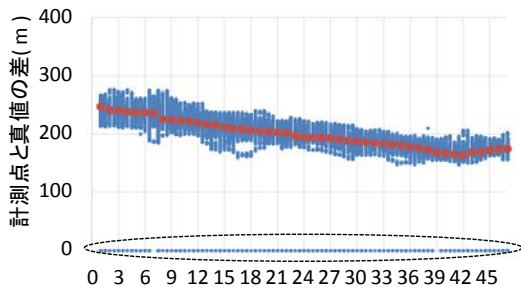
図-28 グラウンド実験の結果



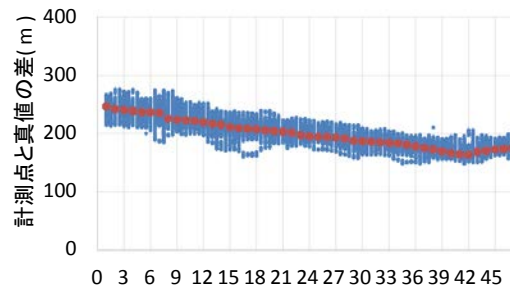
(a) 除去前の経緯度のプロット結果 (機種 B)



(b) 除去後の経緯度のプロット結果 (機種 B)



(c) 除去前の標高 (機種 B)



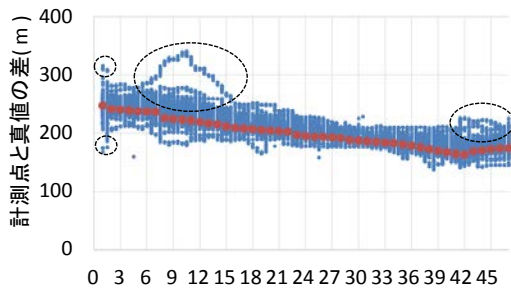
(d) 除去後の標高 (機種 B)



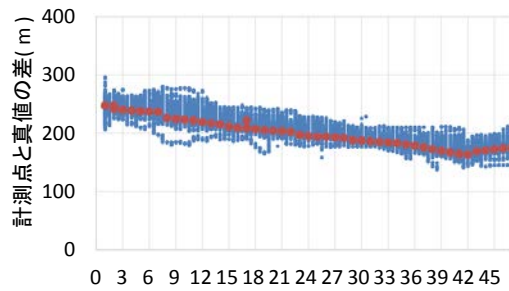
(e) 除去前の経緯度のプロット結果 (機種 E)



(f) 除去後の経緯度のプロット結果 (機種 E)



(g) 除去前の標高 (機種 E)



(h) 除去後の標高 (機種 E)

● 計測値 ● 真値

図-29 キャンパス実験の結果

情報の直後の信頼性の低い位置情報を除去対象とすることについて考察した。そこでは、直前の計測点との2点間距離が、「平均誤差半径 35m + 1つ前の計測点からの移動距離」より離れている場合にノイズを含む位置情報と判定する。そして、いずれかのノイズ除去においてノ

イズと判定された直後3点分の計測点をノイズ除去の対象とする。これにより、個々のスマートフォンのGPSセンサから取得した位置情報に対して、PDOP および平均誤差半径を用いたノイズ除去処理に加え、個々のスマートフォンの連続した計測点を用いたノイズを含む位

位置情報の判定方法を用いたノイズ除去処理を施すことが可能となる。

今後は、位置情報の2点間距離を用いたノイズ除去の方法を考案し、スマートフォンで取得できる位置情報の精度向上を目指す。本研究では、6機種スマートフォンを対象としたが、提案手法を用いることにより他の機種においても汎用的にノイズを含む位置情報を除去することが可能である。将来、本手法を用いたアプリケーションを開発し、特定機種ではない個々のスマートフォンで実装すると、信頼性の高い位置情報を取得でき、ビッグデータの蓄積が可能になる。その結果、これを集約した大規模なプローブパーソンデータとして確度の高い3次元の空間情報を獲得できる。そこでは、災害時の通行可能な箇所や安全に避難できる箇所を素早く把握することができる。一方、平常時においても人工地盤や歩道橋の3次元的な利用状況の把握も可能になる。加えて、山間部や河川部などの人道が整理されていない空間情報も把握できると考える。

参考文献

- 1) 森尾淳, 牧村和彦, 山口高康, 池田大造, 西野仁, 藤岡啓太郎, 今井龍一: 東京都市圏におけるモバイル空間統計とパーソントリップ調査の比較分析 - 都市交通分野への適用に向けて -, 土木計画学研究・講演集, 土木学会, Vol.52, 2015.
- 2) 今井龍一, 深田雅之, 重高浩一, 矢部努, 牧村和彦, 足立龍太郎: 多様な動線データの組合せ分析による都市交通計画への適用可能性に関する考察, 土木計画学研究・講演集, 土木学会, Vol.48, 2013.
- 3) 太田恒平, 大重俊輔, 矢部努, 今井龍一, 井星雄貴: 携帯カーナビのプローブ交通情報を活用した道路交通分析, 土木計画学研究・講演集, 土木学会, Vol.47, 2013.
- 4) 菊地春海, 岡田朝男, 水野裕彰, 絹田裕一, 中村俊之, 萩原剛, 牧村和彦: 道路交通安全対策事業における急減速挙動データの活用可能性に関する研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 土木学会, Vol.68, No.5, pp.L1193-L1204, 2012.
- 5) 八木浩一, 林昌仙: 災害時における ITS 分野での取り組み事例 - 乗用車・トラック通行実績・道路規制情報 -, 情報処理学会デジタルプラクティス, 情報処理学会, Vol.3, No.1, pp.3-8, 2012.
- 6) 清田裕太郎, 岩倉成志, 野中康弘: 東日本大震災時のグリッドロック現象に基づく都区道路のボトルネック箇所の考察, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 土木学会, Vol.70, No.5, pp.L1059-L1066, 2014.
- 7) 野中陽介, 大西正輝, 山下倫央, 岡田崇, 島田敬士, 谷口倫一郎: 大規模な避難シミュレーションのための歩行速度モデルの精緻化, 電気学会論文誌, 電気学会, Vol.133, No.9, pp.1779-1786, 2013.
- 8) 今井龍一, 深田雅之, 宮下浩一, 矢部努, 橋本浩良, 重高浩一: 交通データの分析及び可視化基盤の試作による道路交通分析への適用可能性の考察, 土木計

- $0 \leq r_{n-1} \leq (35m + \text{移動距離})$: ●
- $(35m + \text{移動距離}) < r_{n-1}$: ▲
- 不定の場合: ✕

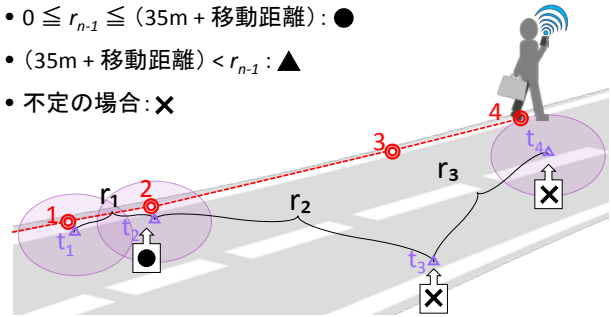


図-30 連続した位置情報の判定

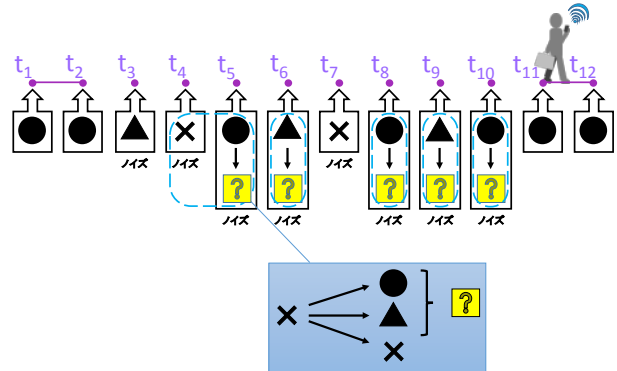


図-31 連続した計測点を用いたノイズを含む位置情報の判定結果

画学研究・講演集, 土木学会, Vol.51, 2015.

- 9) 総務省: 携帯電話、PHS - 平成 26 年度四半期別契約数 -, 入手先<<http://www.soumu.go.jp/soutsu/shinetsu/sbt/toukei/keitai14.html>>, (入手 2015.10.10).
- 10) 今井龍一, 藤岡啓太郎, 新階寛恭, 池田大造, 永田智大, 矢部努, 重高浩一, 橋本浩良, 柴崎亮介, 関本義秀: 携帯電話網の運用データを用いた人口流動統計の都市交通分野への適用に関する研究, 土木計画学研究・講演集, 土木学会, Vol.52, 2015.
- 11) 山崎恭彦, 橋本浩良, 高宮進, 矢部努, 今井龍一, 塚田幸広, 山王一郎, 石田東生: スマートフォンアプリを活用した交通行動調査手法に関する基礎的研究~つくば市におけるプローブパーソン調査を通して~, 土木計画学研究・講演集, 土木学会, Vol.49, 2014.
- 12) 松島敏和, 橋本浩良, 高宮進: スマートフォンによるプローブパーソン調査の高度化に向けた移動手段判別手法の開発, 土木計画学研究・講演集, 土木学会, Vol.50, 2014.
- 13) 野原浩大朗, 松田佳祐, 円山琢也: スマートフォン型交通調査の参加率に関する基礎分析, 平成 24 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 土木学会, Vol.57, No.4, pp.585-586, 2013.
- 14) 円山琢也: スマホ・アプリ配布型大規模交通調査の可能性, 交通工学, 交通工学研究会, Vol.48, No.1, pp.4-7, 2013.
- 15) 薄井智貴, 関本義秀, 金杉洋, 南佳孝, 柴崎亮介: 5 都市圏パーソントリップデータの比較と時空間内挿処理の実現, 土木計画学研究・論文誌, 土木学会, Vol.27, No.3, pp.569-577, 2010.
- 16) 薄井智貴, 三輪富生, 山本俊行, 森川高行: 歩行者

- プローブデータ多面的活用のためのデータクリーニング手法に関する研究, 土木計画学研究・講演集, 土木学会, Vol.39, 2009.
- 17) 井上晴可, 窪田諭, 今井龍一, 田中成典, 大内佑起: スマートフォンの GPS センサ特性を考慮した位置情報取得アプリケーションに関する研究, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), 土木学会, Vol.70, No.2, pp.L310-L318, 2014.
- 18) Google: Android Developers, 入手先<[http://developer.android.com/reference/android/location/Location.html#getAccuracy\(\)](http://developer.android.com/reference/android/location/Location.html#getAccuracy()>)>, (入手 2015.06.23) .
- 19) 堀越功: キャリアアグリゲーション (CA) 日本でも商用サービス開始 LTE-Advanced の本命技術, 日経コミュニケーション, 日経 BP, Vol.605, No.6, pp.34-41, 2014.
- 20) TI アサヒ: G3100-R1, 入手先<http://www.pentaxsurveying.com/upload/product/pdf_KsVJMY.pdf>, (入手 2015.06.23) .
- (2015年10月26日受付)

A STUDY FOR ACQUIRING HIGH ACCURACY THREE-DIMENSIONAL LOCATION INFORMATION USING GPS SENSOR ON SMARTPHONE

Haruka INOUE, Satoshi KUBOTA, Ryuichi IMAI, Shigenori TANAKA,
and Koichi SHIGETAKA

Smartphone easily enables to acquire a high accuracy location information using GPS sensor. Location information is expected to utilize in the field of disaster measures and traffic safety. For example, in a disaster, it is necessary for smartphone users to grasp a high accuracy three-dimensional location information. However, the three-dimensional location information measured by Global Positioning System on the individual smartphone includes many noises by reason of different environment and devices. It is possible that analysis of enormous amounts of probe data can handle the problem mentioned above. However, this is not satisfactory for the uses in emergency as the smartphone lacks real-time performance. In this research, a method for removing noises was proposed for acquiring high accuracy three-dimensional location information from a person trip survey of smartphone in real time.