

スマートフォンのGPSセンサ特性を考慮した信頼性の高い3次元プローブデータの取得に関する研究

著者	井上 晴可
発行年	2017-03-31
その他のタイトル	A Study on Acquisition of Reliable Three-Dimensional Probe Data Considered Sensor Features
学位授与機関	関西大学
学位授与番号	34416甲第625号
URL	http://doi.org/10.32286/00000206

関西大学審査学位論文

スマートフォンの **GPS** センサ特性を考慮した
信頼性の高い 3 次元プローブデータの取得に関する研究

A Study on Acquisition of Reliable Three-Dimensional Probe Data
Considered Sensor Features

平成 29 年 3 月

井上 晴可

関西大学大学院総合情報学研究科

要旨

要旨

衛星測位技術の進歩とスマートフォンの普及に伴い、GPS (Global Positioning System) センサから取得した位置情報を利用するサービスが身近になってきた。近年では、人物や自動車などの移動体の膨大な位置情報をプローブデータと称し、マーケティング、社会行動、交通・都市計画、防災や防犯などにおいて新たな知見を得るための重要な手掛かりとして注目されている。実際に、茨城県つくば市では、スマートフォンのアプリケーションを用いたプローブパーソン調査（以下、PP 調査）が実施され、市民の社会活動の実態把握に役立っている。しかし、経緯度・標高の測位データには、受信できる衛星の個数やその配置状況に加えて、スマートフォンの GPS センサの特性に起因して、明らかな異常値が含まれることがある。そのため、プローブパーソンデータの解析では、ノイズを除去するためのフィルタリング処理が不可欠である。通常、自動車のカーナビゲーションでは、GPS と地磁気・ジャイロ・加速度センサを用いたベクトル情報、そして、マップマッチングで位置情報を補正しているが、スマートフォンの場合、地磁気・ジャイロ・加速度センサの性能が低い上に、モバイル性に富むため携帯時に一律なデータを取得できず補正が難しい。また、地図データや道路ネットワークデータを用いたマップマッチングにより、位置情報を補正することも考えられるが、必ずしも道路上を歩行しているとは限らないため、誤った補正により精度低下につながる場合がある。したがって、スマートフォンの GPS センサから得られる二次情報を活用せざるを得ない。

そこで、本研究では、歩行者の行動把握を目的として、スマートフォンの GPS センサからノイズ情報を含まない 3 次元の位置情報を取捨選択しながら取得する方法について議論する。

GPS センサから取得した位置情報のノイズ判定には、スマートフォンで獲得できる指標を利用することや、歩行時の連続した位置情報（以下、歩行者トリップデータ）、いわゆるパーソントリップデータを活用することが考えられる。過去の研究では、GPS センサで取得した位置情報に付随する衛星配置状況の良否を示す PDOP (Position Dilution of Precision) を用いたものがある。PDOP が小さいほど測位精度が良好で、大きい時には位置情報の測位精度が悪くなると判定する指標である。しかし、PDOP が大きい時でも真値に近い位置を計測する場合や、逆に小さい時でもノイズの場合がある。他の指標として、経緯度のみの確からしさを推定する平均誤差半径 (CEP : Circular Error Probability) がある。この指標を単独で用いた研究は見当たらない。これは、計測された経緯度を中心にしてその半径の領域内に真値が存在する確率が 68%であることを意味する。半径が小さいほど計測値の正確度が高いと考えられるが、PDOP と同様、大きくても真値とほぼ一致している場合や小さくても真値と離れている場合がある。

その他の研究として、この平均誤差半径の指標と歩行者トリップデータとを併用したも

のがある。これは、過去に計測された位置情報のデータベースを用いて移動経路を最小矩形単位の帯状として管理し、現時点の計測位置がその帯状経路の近接計測点であっても過去の平均誤差半径の値と比較し、もし値が大きければその計測点をノイズとして破棄する処理が施されている。しかし、この方法では、過去に何度も計測した経路の情報を手掛かりとしているため、計測実績がない場所や未開の地への適用ができない。また、経緯度のみを対象としているため、標高を加味した3次元の位置情報の議論がなされていない。

そこで、本研究では、PDOP と平均誤差半径の指標、そして歩行者トリップデータを用いた新たなノイズ除去手法を提案する。まず、事前実験では、GNSS (Global Navigation Satellite System) で計測地点の真値を求めた後、機種毎に異なる GPS センサの特性を把握するために複数機種の計測データを定量的に分析する。

次に、PDOP と平均誤差半径の指標を用いて、計測結果からノイズを除去するための手法を提案し、本実験から得られた知見を基に各指標の閾値を検討する。そして、これらの方法で除去しきれないノイズに対応するため、歩行者トリップデータを用いた手法を考案し、計測データが真値の可能性があるかを判断するアルゴリズムを決定する。以上、3つの方法を確立した技術により、機種毎に異なる GPS センサの特性を考慮した信頼性の高い3次元プローブデータの取得を実現する。

最後に、PP 調査で取得した歩行時の実データに本技術を適用して有用性を評価する。最終的に本技術がスマートフォンに実装されることで、質の高い大規模なプローブデータを蓄積できる。そのことで、地形の高低差を加味した人物流動の把握、ペDESTリアンデッキと歩道とが併走する区間などの立体構造における人物の回遊行動の分析や、災害時の通行可能箇所の把握が可能となる。今後、社会基盤情報や社会活動情報の分野で新たな展開にも大いに期待できるものである。

1) GPS センサの特性を把握するための事前実験

センサ機器は機種毎に異なる特性がある。スマートフォンの GPS センサも例外ではない。この特性を捉えることがノイズ除去手法を検討する上で重要となる。しかし、既存研究では、位置情報を通知するための時間間隔や距離間隔、そしてスマートフォンから得ることができる指標について十分に検討されておらず、真値と計測値との誤差要因を定量的に分析されていないため、センサ特性を十分に把握しているとは言い難い。

本研究では、時間間隔と距離間隔、そして、PDOP と平均誤差半径の指標の4項目について検討し、事前実験を通じて GPS センサの特性を明らかにしている。本研究では、スマートフォンの GPS センサが内蔵されているプロセッサで7割近いシェア率を持つ Qualcomm 社に加え、サムスン電子社の計6機種 (Android OS Ver.2.x~4.x) を用いた。この6機種で GPS センサの特性を分析することが可能となる。実験前には1級 GNSS (PENTAX 社の G3100-R1) を用いて関西大学高槻キャンパスのグラウンド7地点 (以下、グラウンド実

験) とキャンパス内の道路 47 地点 (以下, キャンパス実験) の真値を計測している。

実験では, 6 機種同時にグラウンドとキャンパスで 100 回ずつ, 計 200 回の計測を行った。分析の結果, 各機種ともソフトウェア上で設定した時間間隔と距離間隔で位置情報が通知されないことが分った。そのため, 両間隔を最小値に設定することで 1 秒毎のデータ取得が可能であることが分った。また, 同一環境下で PDOP と平均誤差半径の指標の値が機種毎に異なることが分った。したがって, 計測値が真値からどの程度離れているかを示す尺度である絶対精度と, その正確度を詳細に検討し, ノイズを取り除く技術を確立する必要があることを明らかにした。

2) PDOP と平均誤差半径の指標を用いたノイズ除去手法の提案

本研究では, スマートフォンから取得できる PDOP と平均誤差半径の指標を用いて, 位置情報のノイズを除去する技術を提案している。GPS センサから取得される位置情報は, 周囲の環境や観測衛星数の影響を受けノイズを含む。その精度の指標として PDOP が用いられるが, 1 の場合に最も測位精度が良いとされている。ただし, 衛星の配置によって利用される衛星の種類とその数の違いや, 機種により PDOP の算出方法の違いによる要因でその値が異なる。一方, 誤差要因を考慮し計測点の経緯度の確からしさを評価する指標として, 平均誤差半径がある。NTT ドコモでは, その正確度の指標を概ね 50m 未満と公表している。しかし, PDOP や平均誤差半径が小さくても計測データが真値でない場合や, 逆に大きくても真値である場合がある。

本研究では, これらの矛盾を考慮した最も合理的な PDOP 値と平均誤差半径を決定することで, 絶対精度と正確度を担保した信頼性の高い位置情報の取得を試みる。グラウンド実験およびキャンパス実験の観測データを基に PDOP と平均誤差半径のパラメトリック解析を行い, PDOP 値は 4, 平均誤差半径は 35m と決定した。この PDOP を用いて明らかにノイズを含む位置情報を除去し, 一方, 平均誤差半径の値を用いて真値になる確率が高い時の位置情報以外はノイズとして処理した。本研究では, PDOP と平均誤差半径に着目し, これら 2 つの指標を併用することで機種が異なってもノイズを除去できることを確認した。最終的に, グラウンド実験とキャンパス実験の観測点以外の連続データに適用した。その結果, 機種毎によって異なるが, グラウンド実験では 0.02%~15.79%, キャンパス実験では 0.01%~20.52%で信頼性の低い計測データを除去することが可能となった。この提案方法は, 本研究の新規性の一つである。

3) 歩行者トリップデータを用いたノイズ除去手法の提案

PDOP と平均誤差半径の指標を活用することで, 全く無意味な位置情報を除去することはできたが, 真値と異なるノイズを含む位置情報を完全には除去しきれない課題が残った。

本研究で調査した限り，スマートフォンから得られる二次情報を用いて，その課題を解決できる有用な策は見当たらない．そのため，単独の計測データそのものの絶対精度や正確度をさらに追求するのではなく，計測データにフィルタリング処理を施すことを考える．通常，地図データや道路ネットワークデータを用いたマップマッチング技術が用いられるが，必ずしも道路上を歩行しているとは限らないため，誤った補正により精度低下につながる課題がある．そこで，本研究では，歩行者トリップデータに着目する．

本手法では，直前の計測点との 3 次元の 2 点間距離を用いてノイズであるかを判定し，ノイズと判定した場合はその計測点の直後の計測点も信頼性が低いため除去対象とする．ここでは，ノイズであると判定するための 2 点間距離の閾値とノイズと判定された直後の計測データを除去対象とする計測点数を分析する．その結果，2 点間距離は 2m，除去対象とする計測点数は 3 点と決定した．本提案手法は，(2) の PDOP と平均誤差半径の指標を用いた処理に加えて，連続した計測点の 3 次元の 2 点間距離に着目することで，リアルタイムに信頼性の高い 3 次元位置情報を取得する点に意義がある．最終的に，前述 (2) と同様，全ての実データに本技術を適用した．その結果，機種毎によって異なるが，グラウンド実験では 34.00%～51.26%，キャンパス実験では 35.26%～48.81%の信頼性の低い計測データを除去することができた．このことより，本技術の有効性を実証している．

4) PP 調査データを用いた提案技術の実証実験

本技術の実用性を評価するため，茨城県つくば市で市民の社会活動を対象に実施された PP 調査に適用した．この PP 調査では PDOP を計測していなかったため，平均誤差半径の指標と歩行者トリップデータにフィルタリング処理のみを適用した．実証実験の結果，平均誤差半径を用いたノイズ除去では，全体の 2.00%までが除去され，異常値が明らかな場合のノイズが除去された．歩行者トリップデータを用いたノイズ除去では，全体の 38.06%～63.47%が除去され，歩行者の周辺に建物や木々が並ぶ地点や道路においてノイズが適切に除去できた．また，経緯度をポリラインで結んだ歩行経路がノイズ除去前後で一致したことより，信頼性の高い位置情報のみを取得できていると言える．したがって，本技術は，歩行時を対象としたリアルタイムなノイズ除去技術として有用であることを再確認した．

最後に，一連の成果を基に，スマートフォンアプリケーションの開発に向けて，基本設計および詳細設計について纏めている．

以上の研究成果より，本論文では，スマートフォンの GPS センサの特性を踏まえてリアルタイムに信頼性の高い 3 次元位置情報を取得する手法について提案した．今後，展開研究においてシステムが実装され運用されることで，信頼性の高いトリップデータから質の高い大規模なプローブデータが蓄積され，有益な空間情報を構築することが可能になる．また，それを活用することで新たな発見やビジネスに繋がり，社会貢献に寄与するもので

ある。また近い将来、歩行のみならず移動速度が異なる自転車や自動車の交通手段において本研究成果は大いに役立ち、発展することが期待できる。

目次

目次

第 1 章 緒論	19
1.1 研究の背景	19
1.2 位置情報の利活用に向けた現状の取組と課題.....	19
1.2.1 位置情報の社会的なニーズ.....	19
1.2.2 位置情報の利活用に関する既存研究.....	20
1.2.3 位置情報の活用に向けて解決すべき課題.....	21
1.3 研究の目的	23
1.3.1 研究対象	23
1.3.2 課題の解決に向けた方策.....	23
1.4 本論文の構成	25
第 2 章 研究の流れ	29
2.1 研究の適用対象	29
2.2 ノイズを含む位置情報を判定するために加味する情報.....	29
2.2.1 PDOP	30
2.2.2 平均誤差半径.....	31
2.2.3 歩行者トリップデータ	31
2.3 既存研究の課題と対応方策.....	32
2.4 本研究の全体像	33
第 3 章 GPS センサの特性に関する事前実験	37
3.1 研究の概要	37
3.2 時間間隔の設定と距離間隔の設定.....	37
3.2.1 実験方法	37
3.2.2 実験結果	38
3.3 GPS センサの特性と位置補正	40
3.3.1 実験方法	40
3.3.2 実験結果	41
3.4 一定の通知間隔で位置情報を通知する手法を用いた GPS センサの精度の比較実験.....	47
3.4.1 実験方法	47
3.4.2 実験結果	48
3.5 考察	56
第 4 章 PDOP および平均誤差半径の指標を用いたノイズ除去手法.....	61
4.1 研究の概要	61
4.2 GPS センサの精度実験	62

4.2.1 実験方法	62
4.2.2 実験結果	64
4.2.3 考察	68
4.3 PDOP を用いたノイズ除去機能	69
4.3.1 PDOP の閾値の検証	69
4.3.2 検証結果	73
4.3.3 考察	83
4.4 平均誤差半径を用いたノイズ除去機能	84
4.4.1 平均誤差半径の閾値の検証	84
4.4.2 検証結果	85
4.4.3 考察	96
4.5 実証実験	98
4.5.1 実験方法	98
4.5.2 実験結果	98
4.5.3 考察	106
第5章 歩行者トリップデータを用いたノイズ除去手法	109
5.1 研究の概要	109
5.2 歩行者トリップデータを用いたノイズ除去機能	110
5.2.1 2点間距離の閾値の検証	112
5.2.2 ノイズの除去対象とする計測点数の閾値の検証	116
5.2.3 検証結果	120
5.2.4 考察	132
5.3 実証実験	166
5.3.1 実験方法	166
5.3.2 実験結果	166
5.3.3 考察	174
第6章 PP 調査データを用いた本技術の評価検証	179
6.1 本技術の処理フロー	179
6.2 実施目的と内容	180
6.3 評価検証の方法	180
6.4 評価検証の結果	180
6.5 考察	194
第7章 アプリケーションシステムの仕様書	199
7.1 基本設計	199
7.1.1 開発目的	199
7.1.2 設計方針	199

7.1.3 アプリケーションシステムの機能要件.....	200
7.1.4 ユーザーインターフェース設計.....	201
7.2 詳細設計	202
7.2.1 システム環境.....	202
7.2.2 機能の詳細設定.....	203
7.2.3 実装仕様	207
7.3 操作マニュアル	211
第 8 章 総括	215

第 1 章

第1章 緒論

1.1 研究の背景

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 [1]-[4] 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 [5]、OD (Origin and Destination) [6]、移動経路 [7] や潜在的事故発生箇所 [8] 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 [9]、大規模な渋滞現象のグリッドロックの分析 [10] が行われている。屋内の動線解析の事例 [11] 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 [12] されている。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、我々の生活必需品であるスマートフォン [13] が注目されている。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、信頼性の高い交通挙動を 3 次元で捉えて分析する必要がある。しかし、スマートフォンで取得する位置情報には、最確値への補正が必要な位置情報や明らかに異常値である位置情報（以下、ノイズを含む位置情報）を有する。また、機種が異なると搭載されるセンサが異なる [14]-[16] ため、取得する位置情報の特性が異なる。位置情報を解析して実際の行動を把握するためには、機種が異なっても信頼性の高い 3 次元の位置情報を取得する技術が欠かせない。そこで、著者は、これまでスマートフォンに搭載されるセンサから取得したデータを汎用的に活用するための研究 [17]-[23] に取り組んできた。

1.2 位置情報の利活用に向けた現状の取組と課題

1.2.1 位置情報の社会的なニーズ

我が国では、国民が IT の恩恵を実現できる世界最高水準の IT 国家となるために必要となる政府の取組等を取りまとめた世界最先端 IT 国家創造宣言がある。平成 27 年度の改定版 [24] では、IT を活用した課題解決に向けて 4 つの柱に分類し、世界最高水準の IT 利活用社会の実現と成果の国際展開を目標としている。その取組の 1 つとして、ビッグデータの利活用が期待されており、公共データの民間開放が推進されている。また、国民生活の向上のためには地理空間情報を高度に活用することが重要とされ、地理空間情報の活用を推進することを目的とした地理空間情報活用促進基本法（平成 19 年法律第 63 号） [25] があ

る。それに基づく地理空間情報活用推進計画（閣議決定）[26]では、屋内外の測位環境[27]を充実させることによりサービスの高度化および創出を目指している。位置情報を利用してサービスを高度化および創出するためには、全地球測位システム（GPS）および地理情報システム（GIS）を活用した G 空間情報が必要不可欠であり、「G 空間情報×ICT」が我が国経済、社会にとって非常に重要かつ有効な役割を果たす[28][29]とされている。

衛星測位による位置情報、人物や自動車などの状態、地図情報などを用いて、いつ、どこで、なにが、どんな状態かをリアルタイムに取得し活用できれば有益である。G 空間情報を ICT と融合することで高度に利活用することが可能になれば、都市計画、防災計画、経済発展などに繋がる。「G 空間×ICT」プロジェクト[30]では、散在する G 空間情報の円滑な利活用を可能とする G 空間プラットフォームおよび最先端の防災システムや地域活性化などを実現する G 空間シティが実施されている。そこでは、産学官様々な分野において、G 空間シティプロジェクトが開始されている。本研究では、G 空間情報の中でもスマートフォンの GPS センサで取得できる位置情報に着目し、高精度に人物の行動を把握することを目指す。

一方、衛星による測位技術については準天頂衛星システム「みちびき」により高精度な位置情報を取得されることが期待されているが、GPS の精度は数 mm～10m と測位方法によって多様[31]である。そのため、位置情報を利活用したサービスを高度化および創出において、ノイズを含む位置情報の補正や除去が課題となっている。

1.2.2 位置情報の利活用に関する既存研究

近年では、人物や自動車などの移動体の膨大な位置情報をプローブデータと称し、マーケティング、社会活動、交通・都市計画、防災や防犯などにおいて新たな知見を得るための重要な手掛かりとして注目されている。それらで利活用される位置情報は、IC カードの利用履歴、自動車に搭載した GPS 車載器から取得したプローブデータや携帯電話で取得した位置情報など、用途によって取得対象が多岐に亘る。本項では、携帯電話に着目して既存研究を調査し、本研究が目指す信頼性の高い位置情報の適用可能性について検討する。

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[32]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[1][33]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。

計測した空間情報を用いて実空間上で対象者の行動を把握する場合、移動軌跡に加え移動目的や意志がわかること[34]、膨大なデータの品質をある程度そろえること[35]が重要となる。都市計画や防災計画などの計画立案においては、人物の移動目的や移動のための交

通手段を統計調査により把握することが重要である。人物の行動調査には、道路交通センサス[36]、パーソントリップ調査 (PT 調査) [37]、プローブパーソン調査 (PP 調査) [38] などがある。道路交通センサスでは、トラフィックカウンタなどの機械式調査やアンケートから道路状況、交通量、旅行速度、起終点や運転目的などを調査する。PT 調査では、地域全体の交通量の把握や予測を目的として、交通行動の起終点、目的、交通手段や時間帯などの 1 日の交通データを調査する。PP 調査では、スマートフォンを利用して交通センサスと PT 調査に比べて継続的な位置情報の取得や時刻と移動目的を調査する。スマートフォンを用いた交通行動調査の例には、つくば市の人物や車の動きを把握する調査[39][40]がある。既存の PP 調査では、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[39]-[41]されている。

防災分野では、若生ら[42]は、東京都市圏における GPS データを用いて帰宅経路を推定し、平常時と災害時の行動を比較している。分析結果より、帰宅経路の推定精度を向上することと交通手段を推定することが課題とされている。矢部ら[43]は、災害行動シミュレーションとリアルタイムに得られる観測データの同化をする手法を用いて、災害時の人流を推定する手法を提案している。実データを用いた実証実験の結果、相関値が 0.97 という高精度な推定ができる一方、リンクベースの精度を向上させることが課題とされている。

1.2.3 位置情報の活用に向けて解決すべき課題

GPS センサから取得した経緯度・標高の測位データには、受信できる衛星の個数やその配置状況に加えて、スマートフォンの GPS センサの特性に起因して、明らかな異常値が含まれることがある。また、太陽表面の爆発現象である太陽フレアが大規模で発生する異常時は、電離層や地磁気が大きく乱れる可能性があるため、GPS データの受信が阻害されることにより GPS の精度に影響する可能性がある。そのため、測位データの解析では、ノイズを除去するためのフィルタリング処理が不可欠である。通常、自動車のカーナビゲーションでは、GPS と地磁気・ジャイロ・加速度センサを用いたベクトル情報、そして、マップマッチングで位置情報を補正しているが、スマートフォンの場合、地磁気・ジャイロ・加速度センサの性能が低い上に、モバイル性に富むため携帯時に一様なデータを取得できず補正が難しい。

ノイズを含む位置情報の問題に対して、地図データや道路ネットワークデータを用いてマップマッチングすることでノイズを補正する手法[44]-[52]や慣性計測装置(IMU) を用いてベクトル情報を加味することで GPS センサから取得した位置情報を補正する手法[53]-[55]が提案されている。前述の手法では、地図データや歩行者ネットワークデータが確立されていない場所およびリアルタイム性を要する場合の対応が困難である。また、道路ネットワークデータへのマップマッチングは、道路を走行する移動体の位置推定に適しているが、歩行者や自動車などの路面移動体には適さない。道路ネットワークデータを利用しない技術として、薄井ら[56]は、パーティクルフィルタを用いて、道路空間に依存しない

自由空間での補正を実現するためのアルゴリズムを提案している。その結果、妥当な推定結果を得られるが、GPS による誤差が連続している場合に推定誤差が大きくなる可能性があるという結果を得ている。後述の手法では、スマートフォンに搭載されている加速度センサやジャイロセンサのセンサ特性や精度が機種毎に異なる[21]場合や、歩行者を対象とした場合などのスマートフォンを固定しない場合の対応が困難である。その他のセンサを利用した技術として、多田ら[57]は、GPS センサと磁気センサから取得したデータを統合して屋内および地下空間において人の移動軌跡を連続的に推定する手法を提案している。その結果、妥当な推定結果を得られるが、屋内で連続的に GPS が結束する場合の推定精度に改善が必要であることがわかった。

一方、標本数が多い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う手法も提案[58][59]されているが、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。

GPS センサから取得した歩行時の位置情報を分析し、データの消失、欠損、ノイズを判定する既存研究[60]では、実データを用いた検証において大部分のノイズと欠損の種別が可能であるという結果を得ている。しかし、判定結果を利用して欠損部分の補間が課題とされているため、リアルタイム性に欠ける。リアルタイムにノイズを判定するためには、実際の位置を示す真値が必要不可欠であるが、利用時に真値を取得できないのが現状である。

よって、本研究で解決すべき課題は次の2点とした。

- GPS センサの特性を理解する必要があること
スマートフォンに搭載されるセンサは機種毎に異なるが、真値と計測値との誤差要因を定量的に分析されていない。
- リアルタイムにノイズを含む位置情報を判定して信頼性の高い位置情報のみを取得する手法を確立すること
地図データやネットワークデータを用いたマップマッチング手法では、それらのデータが確立されていない場所およびリアルタイム性を要する場合の対応が困難である。また、必ずしも道路上を歩行しているとは限らないため、誤った補正により精度低下につながる。

1つ目の課題について、本研究では、複数の機種の計測データを定量的に分析することで機種毎に異なる GPS センサの特性を把握する。2つ目の課題について、本研究では、スマートフォンの GPS センサから得ることができる指標や歩行者トリップデータを活用してノイズを含む位置情報を判定することが考えられる。

1.3 研究の目的

1.3.1 研究対象

第 1.2.3 項で整理した課題を解決するために、歩行時に個々のスマートフォンの GPS センサから取得する位置情報の信頼性を向上することに着目する。そこでは、取得した位置情報に対してノイズを処理するのではなく、歩行時に取得する位置情報からノイズを含む位置情報を除去し、リアルタイムに信頼性の高い位置情報を取得する。異常値が明らかな場合のノイズを含む位置情報については、スマートフォンから得られる二次情報である PDOP および平均誤差半径を活用する。PDOP および平均誤差半径では除去しきれない真値と異なるノイズを含む位置情報に対しては、単独の計測データそのものの絶対精度や正確度を追及するのではなく、個々のスマートフォンで連続的に取得した位置情報を加味する。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、リアルタイムに信頼性の高い 3 次元の位置情報を取得する手法を考案することを目的とする。信頼性の高い位置情報の利活用を想定すると、リアルタイム性の意義は大きい。将来、スマートフォンから信頼性の高い個々の歩行者トリップデータが取得できると、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。また、平常時においてもペDESTリアンデッキと歩道とが併走する区間などの 3 次元での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回遊行動も把握できる。その結果、個々の歩行者トリップデータを蓄積した膨大な量のプローブデータとして確度の高い 3 次元の位置情報を獲得することができる。

1.3.2 課題の解決に向けた方策

本項では、課題の解決に向けた方策について考察する。本研究の課題と目的を図 1.1 に示す。

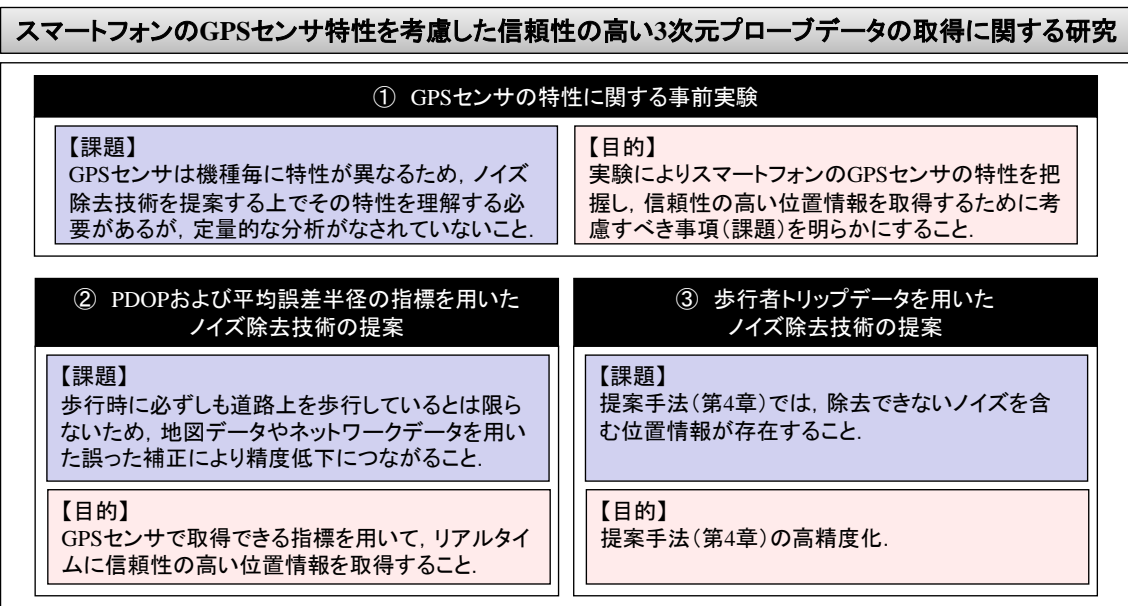


図1.1 本研究の課題と目的

GPS センサの特性に関する事前実験(図 1.1①)では、GPS センサは機種毎に特性が異なる課題があるため、複数機種を用いた実験を通じてスマートフォンのGPS センサの特性を把握し、信頼性の高い位置情報を取得するために考慮すべき事項を明らかにすることを考える。

PDOP および平均誤差半径の指標を用いたノイズ除去技術の提案(図 1.1②)では、GPS センサから取得する位置情報にノイズを有する課題に対して、スマートフォンのGPS センサから得られる二次情報の活用を考える。通常、自動車のカーナビゲーションでは、GPS と地磁気・ジャイロ・加速度センサを用いたベクトル情報、そして、マップマッチング技術で位置情報を補正しているが、スマートフォンの場合、地磁気・ジャイロ・加速度センサの性能が低い上に、モバイル性に富むため携帯時に一様なデータを取得できず補正が困難である。また、地図データやネットワークデータを用いたマップマッチング技術が用いられるが、必ずしも道路上を歩行しているとは限らないため、誤った補正により精度低下につながる課題がある。したがって、スマートフォンのGPS センサから得られる二次情報を活用せざるを得ない。スマートフォンで取得できるPDOP および平均誤差半径の指標を頼りに、ノイズを含む位置情報を除去するための閾値を検討することで、リアルタイムに信頼性の高い位置情報のみを取得することが可能となる。

歩行者トリップデータを用いたノイズ除去技術の提案(図 1.1③)では、図 1.1②の提案手法ではノイズを含む位置情報を除去しきれなかった課題に対して、単独の計測データそのものの絶対精度正確度をさらに追及するのではなく、計測データにフィルタリング処理を施すことを考える。本研究では、歩行時の連続した位置情報に着目する。歩行時はその他の交通手段に比べて前後の位置情報の差が小さいため、スカラー情報のみを考慮してノ

イズを含む位置情報を除去するための閾値を検討することで、リアルタイムに信頼性の高い位置情報のみを取得することが可能となる。

1.4 本論文の構成

本論文における各章の位置付けを図 1.2 に示す。

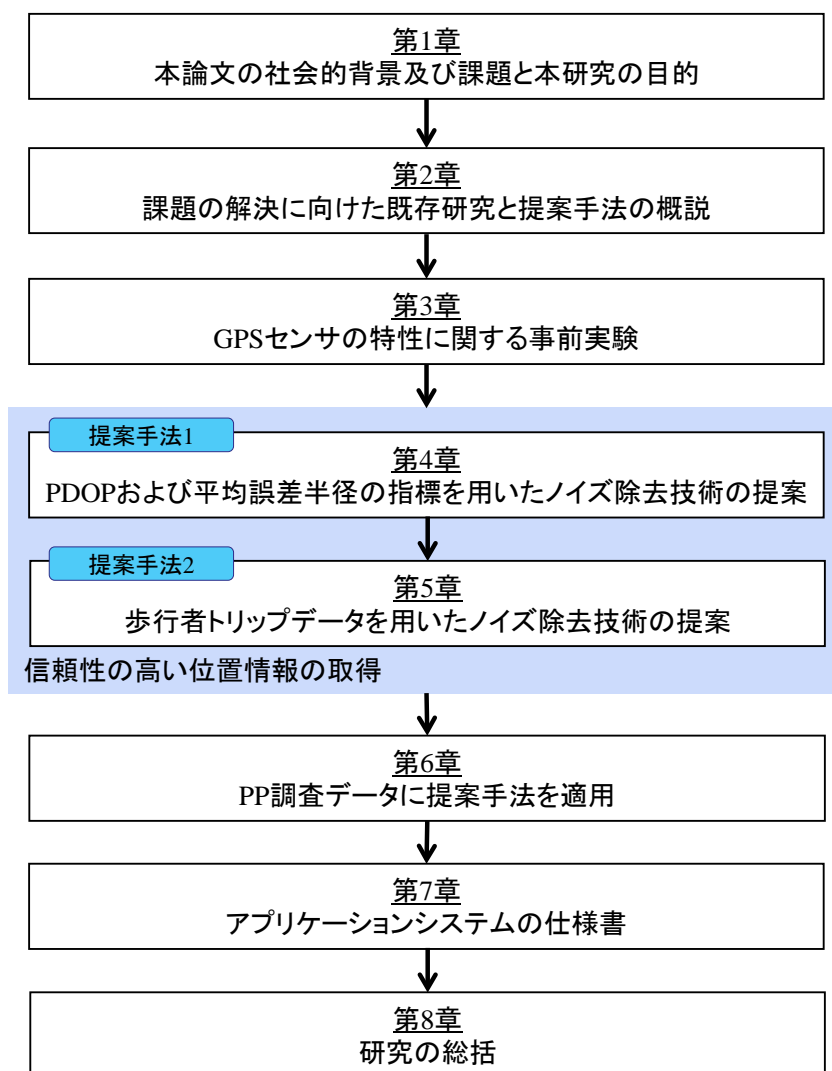


図1.2 各章の位置付け

第 1 章では、位置情報の利活用に向けた現状の取組と課題について述べている。第 2 章では、既存研究について調査し、本研究の着眼点と構想について論じている。第 3 章では、事前実験を通じてスマートフォンの GPS センサの特性を確認している。第 4 章では、PDOP と平均誤差半径の指標を考慮して信頼性の高い 3 次元の位置情報を取得する手法を提案し、

実証実験を通じてその可能性を議論している。第 5 章では、歩行者トリップデータを活用することで高精度にノイズを除去する手法を提案し、実証実験を通じて有用性を議論している。第 6 章では、茨城県つくば市を対象に実施された PP 調査のデータに第 4 章および第 5 章のノイズ除去技術を用いて、実用の可能性を議論している。第 7 章では、一連の成果を基に、スマートフォンアプリケーションの開発に向けて、基本設計および詳細設計を纏めている。最後に第 8 章では、研究成果の総括と本研究の今後の展開について述べている。

第 2 章

第2章 研究の流れ

2.1 研究の適用対象

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[61]を持つプロセッサの Qualcomm 社の Snapdragon に加え、サムスン電子社の Samsung Exynos を採用した Android OS[62]-[64] Ver.2.x~4.x の 6 機種を用いて、屋外を対象に事前実験および実証実験を行う。ここでは、複数の機種 of 計測データを用いてスマートフォンの GPS センサの特性を把握し、信頼性の高い位置情報を取得するために把握すべき事項を明らかにする。そして、その特性を踏まえて、歩行者を対象に PDOP、平均誤差半径の指標および連続した位置情報のスカラー情報を加味してリアルタイムに信頼性の高い 3 次元の位置情報を取得する手法について提案する。

2.2 ノイズを含む位置情報を判定するために加味する情報

リアルタイムにノイズを判定するためには、実際の位置を示す真値が必要不可欠である。しかし、利用時に真値を取得できないのが現状であるため、本研究ではスマートフォンで取得できる PDOP と平均誤差半径の指標および歩行者トリップデータを加味して、ノイズを含む位置情報を判定し、リアルタイムに信頼性の高い 3 次元の位置情報を取得する手法を提案する。ここでは、PDOP、平均誤差半径および歩行者トリップデータについて、機種が異なっても汎用的にノイズを含む位置情報を除去するための閾値を検討する。スマートフォンで取得する位置情報を図 2.1 に示す。

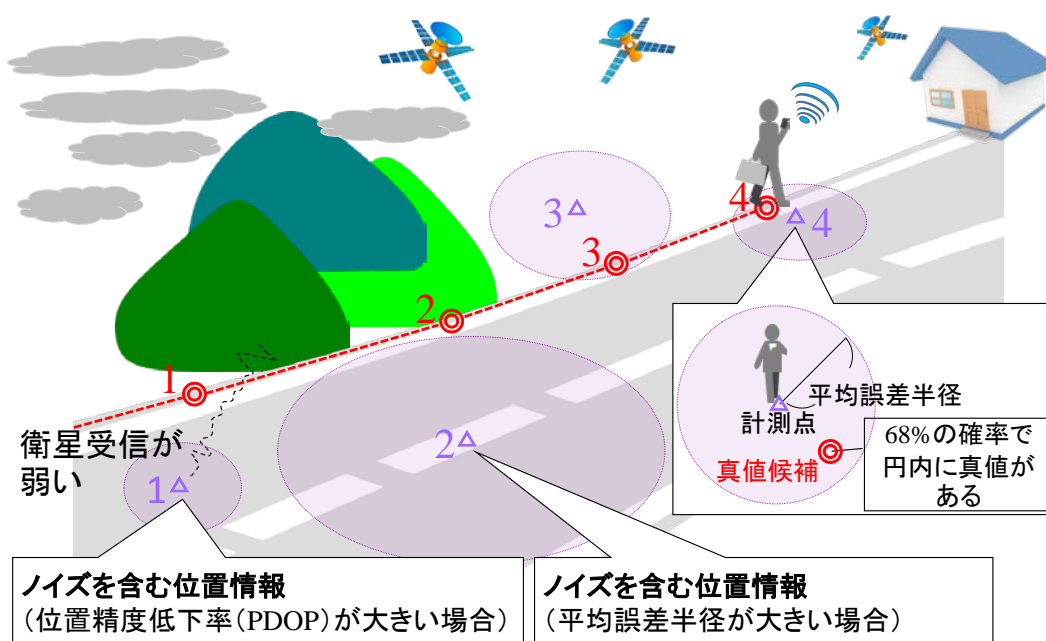


図2.1 スマートフォンで取得する位置情報

図 2.1 の◎は実測した正解値（真値），△は GPS センサで取得した計測点を示す。

2.2.1 PDOP

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、ノイズを含む位置情報を有する。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[65][66]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。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[67]であり、すべての文字がテキスト形式である。また、幾何学的な精度劣化 GDOP がある。G は幾何 (Geometry) を意味する。これは、GPS 受信機の位置、時刻における誤差と衛星の距離における誤差との関係を表すものである。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 は対象外とし、PDOP 値を用いる。PDOP=1 の場合は最も測位精度が良い。ただし、PDOP 値は、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 値を算出する方法の違いによる要因によって異なる。加えて、衛星受信が弱くなると、PDOP 値が大きくなり図 2.1 の地点 1 に示すように真値から離れた地点を取得することが想定される。

2.2.2 平均誤差半径

誤差要因を考慮し，計測点の経緯度の確からしさを評価する推定指標として，平均誤差半径（CEP：Circular Error Probability）がある．平均誤差半径を図 2.2 に示す．

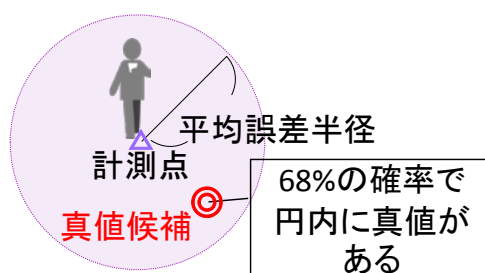


図2.2 平均誤差半径

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 2.1 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，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．スマートフォンを利用する場合には，Android.location パッケージに定義される Location クラスの `getAccuracy` メソッド[68]を利用し，平均誤差半径を取得できる．

2.2.3 歩行者トリップデータ

歩行者トリップデータとは，歩行時にスマートフォンの GPS センサから連続的に取得した位置情報を指す．歩行者トリップデータを図 2.3 に示す．

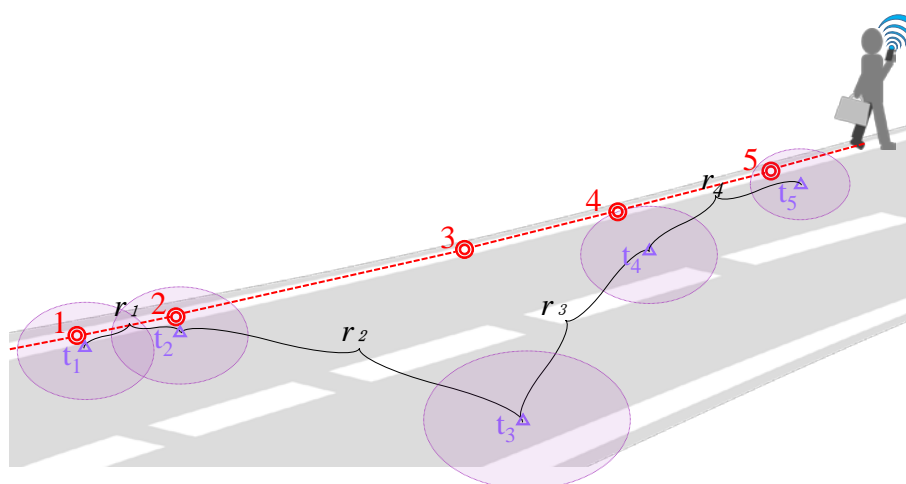


図2.3 歩行者トリップデータ

3次元空間上の連続した位置情報に対して、現在の計測点 (t_n) とその直前の計測点 (t_{n-1}) の3次元の2点間距離 r_{n-1} とする。歩行時の位置情報の前後の差は、その他の交通手段に比べて小さいため、センサを用いてベクトル情報を加味せずスカラー情報のみを考慮することで対応できると考える。図 2.3 は、 t_1, t_2, t_4, t_5 が信頼性の高い位置情報、 t_3 がノイズを含む位置情報の例である。ただし、ノイズを含む位置情報と判定された直後の計測点は、連続して信頼性の高い位置情報が続く場合に比べ、信頼性が低下する。ノイズを含む位置情報は、真値と離れた計測値を取得するため、直前の計測点との2点間距離が大きくなる特性がある。また、受信環境などに起因して位置情報が途切れた場合においても同様である。

2.3 既存研究の課題と対応方策

PDOP に関する既存研究として、GPS 単独測位における PDOP 値を用いた精度管理の手法のためのマスク設定の検討[65]や RTK-GPS を用いた高低差マップの精度評価[66]がある。前述の既存研究では、仰角マスク、SNR マスクと PDOP マスクについて GPS 単独測位における測位誤差を検証しており、最も測位誤差を減少するマスク設定は PDOP マスクであるという結果を得ている。しかし、リアルタイムで使用するには、PDOP マスクの設定値を調整することが課題である。後述の既存研究では、RTK-GPS 受信機をコンバインに搭載して作成した高低差マップとレーザーレベルで得たマップとを比較している。その結果、PDOP が上昇するにしたがって大きく誤差が生じるという結果を得ている。しかし、リアルタイムでの本格的な検討はされていない。

平均誤差半径の指標を単独で用いた研究は見当たらない。その他の研究として、山田ら[69]は、平均誤差半径の指標と歩行者トリップデータとを併用したノイズ除去手法を提案している。これは、過去に計測された位置情報のデータベースを用いて移動経路を最小矩形単位の帯状として管理し、現時点の計測位置がその帯状経路の近接計測点であっても過去の平均誤差半径の値と比較し、もし値が大きければその計測点をノイズとして破棄する処理が施されている。しかし、この手法では、過去に何度も計測した経路の情報を手掛かりとしているため、計測実績がない場所や未開の地への適用ができない。また、経緯度のみを対象としているため、標高を加味した3次元の位置情報の議論がなされていない。

そこで、本研究では、PDOP と平均誤差半径の指標、そして歩行者トリップデータを用いてノイズを含む位置情報を判定し、リアルタイムに信頼性の高い位置情報を取得する新たなノイズ除去技術を提案する。

2.4 本研究の全体像

本節では、前述までに述べた本研究の実施内容、課題、目的、開発技術と提案手法の内容について、図 2.4 に示す。

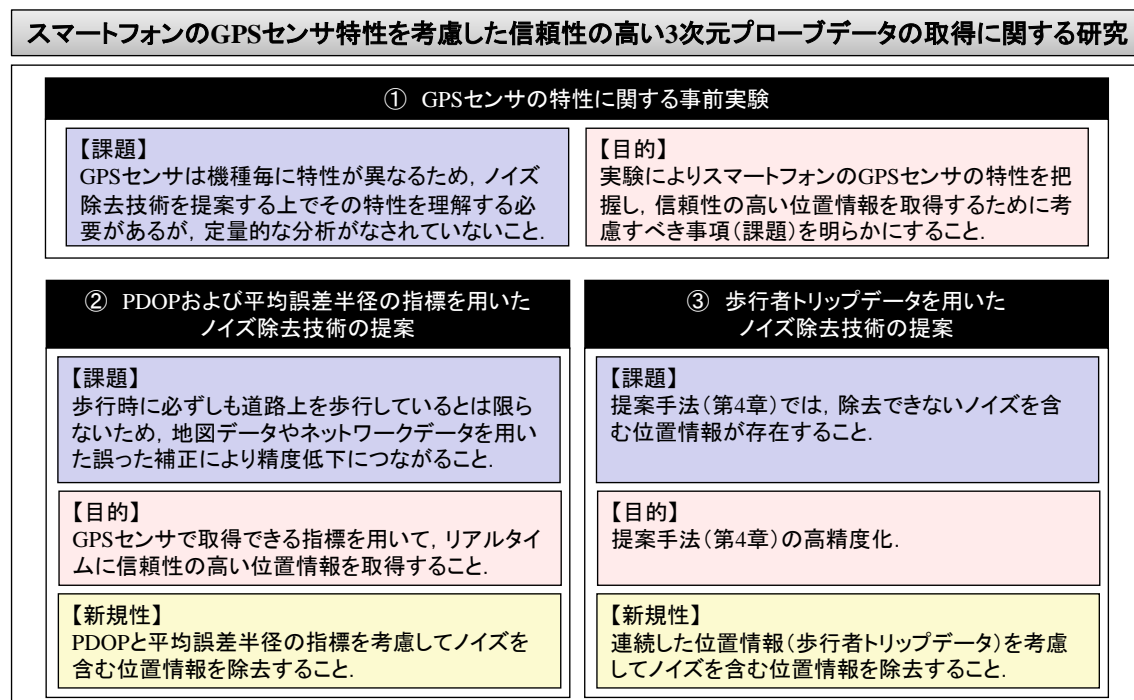


図2.4 本研究の全体像

図 2.4 中①の GPS センサの特性に関する事前実験は、第 3 章にて詳述する。図 2.4 中②の PDOP および平均誤差半径の指標を用いたノイズ除去技術は、第 4 章にて詳述する。図 2.4 中③の歩行者トリップデータを用いたノイズ除去技術は、第 5 章にて詳述する。

第 3 章

第3章 GPSセンサの特性に関する事前実験

3.1 研究の概要

本研究では、GPSセンサの特性を把握するために複数の機種 of 計測データを分析する。まず、GPSセンサから位置情報を取得する間隔について実験する。次に、機種別と交通手段別に位置情報の計測実験を行い、補正処理の必要性を確認する。そして、機種や交通手段が異なっても一定の間隔でアプリケーションに位置情報を通知する間隔を設定し、2パターンの実験を行う。本研究の位置付けを図3.1に示す。

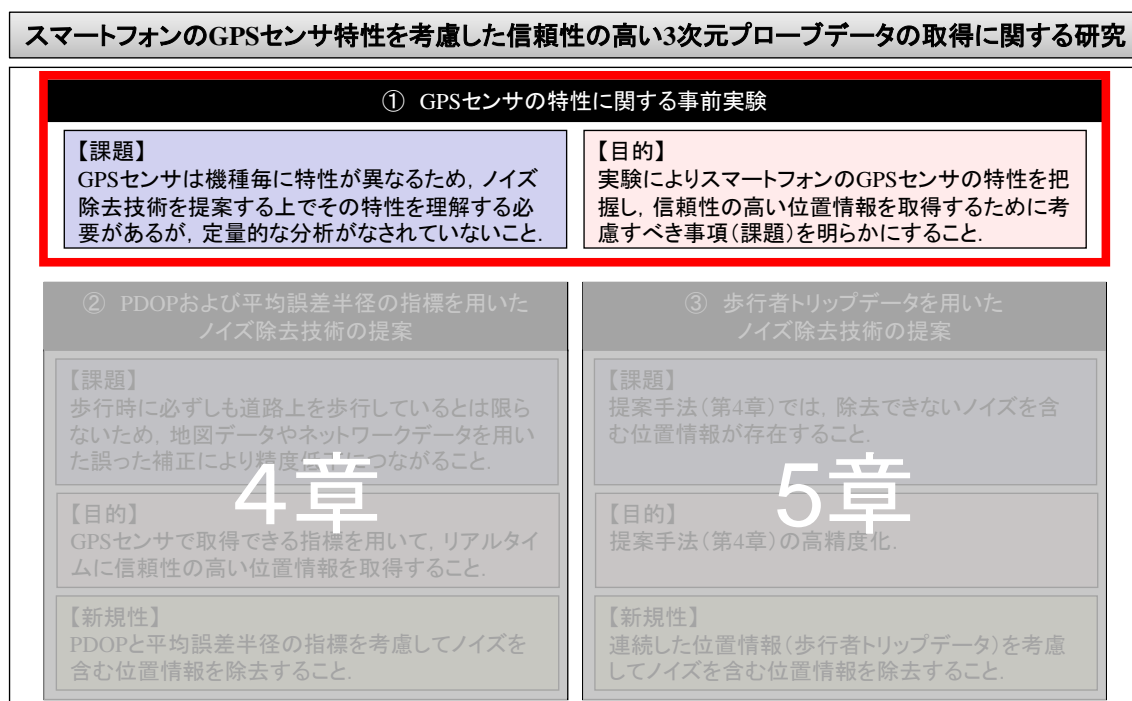


図3.1 本研究の位置付け

3.2 時間間隔の設定と距離間隔の設定

3.2.1 実験方法

アプリケーション開発者は、GPSセンサから位置情報を取得する間隔として時間間隔と距離間隔を設定する。GPSセンサによる位置情報が、時間間隔と距離間隔の両者が満たさ

れた場合に通知されるか、どちらか一方が満たされた場合に通知されるかについて各機種の様子が公表されていないため、本実験によって検証する。実験には6台のスマートフォンを使用する。使用した機種と搭載GPSセンサを表3.1に示す[70]-[72]。

表3.1 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	302SH	4.2.2	Qualcomm Snapdragon	Qualcomm IZat Gen 8b(GPS+GLONASS+Beidou)
B	SC02E	4.1.1	Sumsung Exynos	Gps One Gen 8 with GLONASS
C	SC03E	4.1.2		
D	ISW12HT	4.0.3	Qualcomm Snapdragon	A-GPS(3G/LTE), S-GPS(WiFi)+GLONASS
E	SO03C	2.3.3		
F	P07C	2.3.3	Cortex	不明

Android OSは、機種A~Dが4.x、機種EとFが2.xである。GPSセンサから通知される間隔を計測するために、5パターンの時間間隔と距離間隔を設定した。GPSセンサの設定値を表3.2に示す。

表3.2 GPS センサの設定値

	i	ii	iii	iv	v
時間間隔 (秒)	0	300	600	60	60
距離間隔 (m)	0	0	0	30	50

実験(i)~(iii)では、同一位置にスマートフォンを固定し、設定した時間間隔でGPSセンサから位置情報を取得するかどうかを確認する。時間の通知間隔は0秒、300秒、600秒とする。実験(iv)と(v)では、スマートフォンをケースに入れて手で持ち、関西大学高槻キャンパス内の直線30mと50mを歩行する。時間間隔を50m歩行するために十分な60秒に設定した場合に、設定した距離間隔でGPSセンサから位置情報を取得できるかどうかを確認する。実験(i)~(v)では、6台同時に検証する。

3.2.2 実験結果

実験(i)~(v)の結果として、時間間隔と距離間隔の平均を表3.3に示す。

表3.3 時間間隔と距離間隔の平均

機種		実験				
		i	ii	iii	iv	v
A	時間 (秒)	0.83	4.11	4.26	3.86	8.30
	距離 (m)	0.01	0.04	0.00	4.41	4.57
B	時間 (秒)	0.82	9.04	7.01	6.33	14.33
	距離 (m)	0.05	0.02	0.02	5.95	3.66
C	時間 (秒)	0.83	21.69	26.33	7.40	15.80
	距離 (m)	0.05	7.92	0.13	1.21	0.58
D	時間 (秒)	0.83	128.40	6.26	7.50	16.20
	距離 (m)	0.00	5.52	0.10	8.05	12.01
E	時間 (秒)	7.33	119.73	4.26	4.00	9.00
	距離 (m)	1.79	9.14	0.00	4.20	7.88
F	時間 (秒)	0.82	8.11	9.52	1.00	18.50
	距離 (m)	0.19	3.84	3.24	0.00	6.84

表中では、GPS センサから位置情報を取得したときの時間と距離の間隔を平均して示す。実験(i)では、機種 A, B, C, D と F は時間間隔が平均 0.83 秒以内、距離間隔が平均 0.19m 以内となった。機種 E は、平均時間が 7.33 秒、平均距離が 1.79m となった。実験(ii)では、時間間隔の平均が最小の機種 A では 4.11 秒、最大の機種 D では 128.40 秒となり、設定した 300 秒より短い時間間隔になった。実験(iii)では、時間間隔の平均が最小の機種 A と E では 4.26 秒、最大の機種 C では 26.33 秒となり、設定した 600 秒より短くなった。実験(iv)では、距離間隔の平均が最小の機種 F では 0.00m、距離間隔の平均が最大の機種 D では 8.05m となり、設定した 30m より短くなった。実験(v)では、距離間隔の平均が最小の機種 C では 0.58m、最大の機種 D では 12.01m となり、設定した 50m より短くなった。

実験(i)では、機種 A, B, C, D と F は、設定した時間間隔 0 秒と距離間隔 0m に対して、0.82~0.83 秒、0.00~0.19m で位置情報が通知された。実験(ii)と(iii)では、設定した時間間隔どおりに位置情報を取得できなかった。実験(iv)と(v)では、設定した距離間隔どおりに位置情報を取得できなかった。以上の実験結果より、時間間隔と距離間隔は、アプリケーション開発者が設定する間隔で必ずしも取得できないことがわかった。したがって、位置情報が、時間間隔と距離間隔の両者が満たされた場合に通知されるか、また、どちらか一方が満たされた場合に通知されるかを明確するには至らなかった。以上より、本研究では、時間間隔を 0 秒、距離間隔を 0m に設定することとした。

3.3 GPSセンサの特性と位置補正

3.3.1 実験方法

機種毎のGPSセンサの計測座標を比較し、計測座標に対する補正処理の必要性を確認するために、機種別と交通手段別に位置情報を計測する実験を行う。交通手段は、歩行、自転車と自動車（図3.2）とした。



図3.2 交通手段

歩行では、スマートフォンをケースに並べて手で持ち歩道を約 1.35m/s で歩く。自転車では、スマートフォンを並べた段ボール箱を荷台に固定して車道を約 2.70m/s で走行する。自動車では、スマートフォンを並べたケースをダッシュボードに固定して約 11.10m/s で運転する。実験では、関西大学高槻キャンパス内の道路約 1.4km を実験コース（図 3.3）として交通手段別に 6 機種同時に計測する。

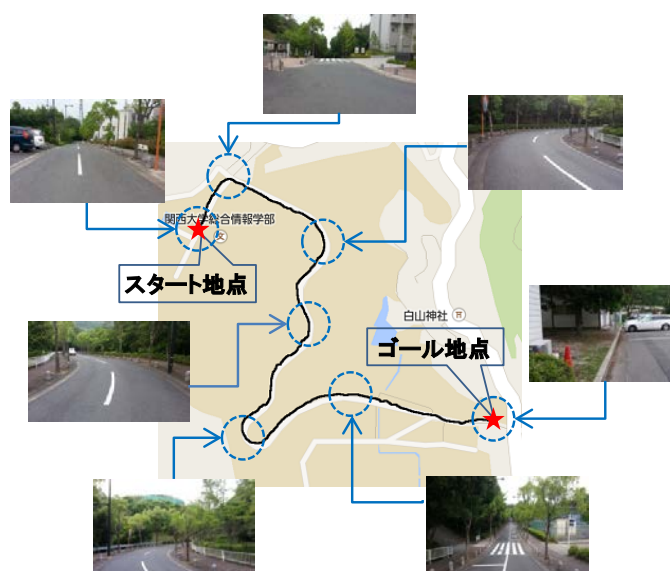


図3.3 実験コース（地図データ©2014 Google, ZENRIN）

3.3.2 実験結果

(1) GPS センサの特性

機種毎の計測点数を表 3.4 に示す.

表3.4 機種毎の計測点数 (点)

交通手段 \ 機種	A	B	C	D	E	F
歩行	1678	1618	1594	1606	1420	1681
自転車	802	850	1004	840	766	791
自動車	326	356	312	292	256	284

機種毎に計測数が異なるのは, GPS センサから位置情報を取得する間隔 (表 3.3) が異なるためである. 機種毎の GPS センサの計測点を Google マップ上にプロットした歩行における GPS センサの取得結果を図 3.4 に示す.



図3.4 歩行における GPS センサの取得結果

(©2014 Google - 地図データ ©2014 Google, ZENRIN)

歩行の場合, 機種 A はコースとは全く異なる点を取得した. 機種 B と機種 F は, 道路縁から 5~10m 以内の誤差であった. 機種 C と機種 D は, コースを外れる箇所や位置情報が

途切れる箇所があった。機種 E は、位置情報がコースから途切れる箇所があった。

機種毎の GPS センサの計測点を Google マップ上にプロットした自転車における GPS センサの取得結果を図 3.5 に示す。



図3.5 自転車における GPS センサの取得結果
(©2014 Google - 地図データ ©2014 Google, ZENRIN)

自転車の場合、機種 A はコースとは全く異なる点を取得した。機種 B と機種 C は、コースを外れる箇所があった。機種 D と機種 F は、道路縁から 5~10m 以内の誤差であった。機種 E は、位置情報がコースから途切れる箇所があった。

機種毎の GPS センサの計測点を Google マップ上にプロットした自動車における GPS センサの取得結果を図 3.6 に示す。



図3.6 自動車における GPS センサの取得結果
 (©2014 Google - 地図データ ©2014 Google, ZENRIN)

自動車の場合、機種 A はコースとは全く異なる点を取得した。機種 B は、道路縁から 5～10m 以内の誤差であった。機種 C と機種 D は、コースを外れる箇所があった。機種 E と機種 F は、コースを外れる箇所や位置情報が途切れる箇所があった。

計測点は、道路縁から 5～10m 以内の誤差の場合、コースを外れる場合、位置情報が途切れる場合、そして、コースとは全く異なる点を取得する場合に分類した。

(2) 位置補正

GPS センサが取得する計測座標は、通ったコースに対して左右にばらつくことがある。本研究では、計測点を含む前後 11 点の座標を用いて補正し、その結果から補正の必要性を検討する。ここでは、地図情報レベル 2500 の国土地理院の電子国土基本図を基に ArcGIS for Desktop で実験コースにラインデータを作成し、正解データ (図 3.7) とする。



図3.7 正解データ

国土交通省の作業規程の準則[73]によると、地図情報レベル 2500 の位置精度は水平位置の標準偏差が 1.75m 以内である。正解データには誤差が含まれるが、スマートフォンのアプリケーションで利用されている地図情報レベル 2500 で検証する。絶対精度は、計測点と正解データ上の点との二点間距離とした。補正の必要性については、正解データと補正前後の計測点の二点間距離の平均、相関係数および平均二乗誤差から判断する。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公開[74]-[76]している。例えば、NTT ドコモでは、誤差範囲をおおむね 50m 未満と公表している。本研究では、正解データと補正前後の計測点の平均二乗誤差の差の割合を算出して誤差範囲を判断する。正解データと補正前の計測点を図 3.8 に示す。

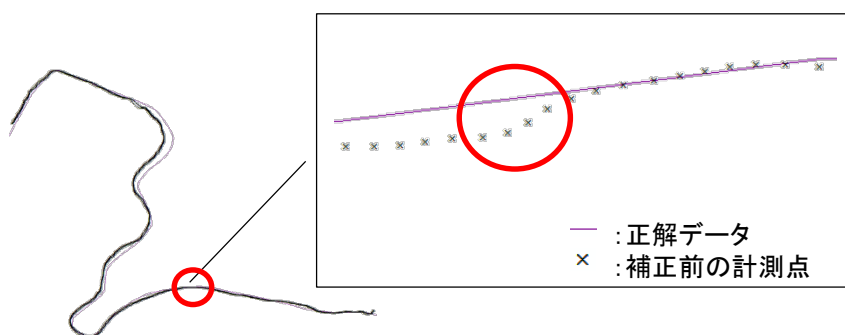


図3.8 正解データと補正前の計測点

正解データはほぼ直線であるが、計測点は正解データを跨いだ曲線になっている。本研究では、相対的に正しい位置に補正するために、計測点を含む前後 5 点の計 11 点の座標を用いて式(3.1)に示す 3 次関数の近似曲線を算出した。

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d \tag{3.1}$$

計測点が途切れている場合は対象外とした。なお、本手法では補正前後の計測点を用いるため、リアルタイムには補正できない。

正解データと補正前後の計測点を図 3.9 に示す。

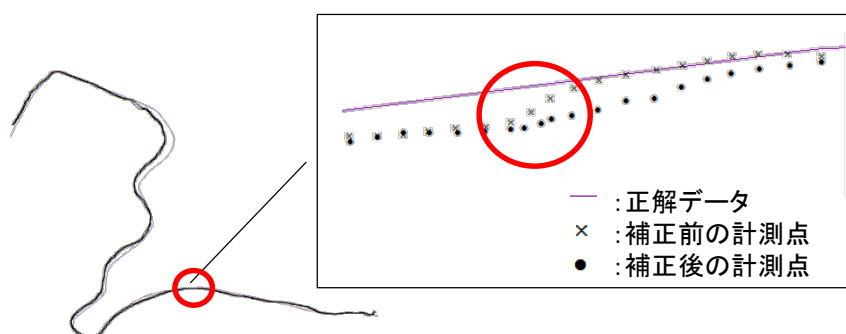


図3.9 正解データと補正前後の計測点

計測点は正解データを跨いだ曲線であるが、補正することによって相対的に正しい位置に補正された。正解データと補正前後の計測点の絶対距離の平均を交通手段別に整理（表 3.5）した。

表3.5 正解データと補正前後の計測点の絶対距離の平均 (m)

機種	補正	歩行	自転車	自動車
A	前	5.36	3.20	4.40
	後	5.98	4.20	7.80
B	前	5.57	5.87	5.53
	後	5.97	6.72	6.04
C	前	9.42	7.96	9.60
	後	9.52	7.92	9.71
D	前	9.40	5.60	11.60
	後	9.52	5.78	13.43
E	前	5.47	5.01	15.64
	後	5.62	6.20	15.73
F	前	3.18	3.74	9.75
	後	5.66	7.36	10.90

補正後の計測点の絶対精度の平均は、補正前に比べて大きくなる機種が大半を占めた。本研究では、補正前後の計測点のみを用いて相対的に正しい位置に補正しているため、補正後の計測点が正解データに近い位置に補正されるとは限らない。それらの相関係数を表 3.6 に示す。

表3.6 正解データと補正前後の相関係数

機種	補正	歩行	自転車	自動車
A	前	0.9996	0.9998	0.9998
	後	0.9996	0.9997	0.9992
B	前	0.9995	0.9994	0.9997
	後	0.9994	0.9992	0.9994
C	前	0.9990	0.9992	0.9990
	後	0.9980	0.9991	0.9988
D	前	0.9986	0.9996	0.9988
	後	0.9987	0.9995	0.9989
E	前	0.9996	0.9996	0.9993
	後	0.9995	0.9996	0.9987
F	前	0.9998	0.9995	0.9992
	後	0.9988	0.9995	0.9993

表 3.6 から、補正前後ともに正解データとの相関は高く、補正前後の差も小さい。また、正解データと補正前後の平均二乗誤差の差の割合を表 3.7 に示す。

表3.7 基準に対する平均二乗誤差の割合 (%)

機種	歩行	自転車	自動車
A	0.85	3.22	8.20
B	1.42	3.20	5.39
C	0.06	0.86	0.01
D	0.00	1.65	0.00
E	0.48	1.06	2.91
F	14.25	1.04	1.07

平均二乗誤差の差は、誤差範囲 50m に対して 15%以下である。GPS センサの補正前後の計測点を比較すると、相対的に正しい位置に補正されるが、相関係数の差が小さく、平均二乗誤差の差が約 15%以下であるため、補正しなくとも計測したデータをそのまま使用できると考える。

3.4 一定の通知間隔で位置情報を通知する手法を用いた

GPS センサの精度の比較実験

3.4.1 実験方法

人物の行動把握のためには、位置情報と移動経路に加えて移動目的や交通手段がわかれば有益である。そのためのツールとして、スマートフォンに搭載されている GPS センサから取得できる位置情報の利用や交通手段を把握する行動認識 API の利用が考えられる。行動認識 API として、Google の Activity Recognition[77]がある。行動認識 API では、スマートフォン内蔵のセンサなどを用いて歩行、自転車や自動車の交通手段の情報を取得できる。行動認識 API を用いると、GPS センサの位置情報に人物の交通手段を付加した情報の取得が期待できる。しかし、行動認識 API による交通手段と実際の交通手段の一致を示す正確度は、センサと行動認識 API の値の処理に依存する。そのため、交通手段を把握するアプリケーションや位置情報サービスのアプリケーションの開発者がその特性を理解せずに GPS センサや行動認識 API を用いると、機種によってはアプリケーションが正確な値を取得できないことがある。これらの課題を解決するために、開発者は GPS センサと行動認識 API の特性を把握する必要がある。

交通手段別に GPS センサから位置情報を通知する時間間隔と距離間隔を設定（表 3.8）し、アプリケーションに位置情報を通知する位置情報の間隔を一定にすることを考える。

表3.8 位置情報を通知する時間間隔と距離間隔

交通手段	時間間隔 (秒)	距離間隔 (m)
歩行	20	30
自転車	10	30
自動車	3	30

本研究では、交通手段を手動で設定する場合（以下、GPS 単独実験）と行動認識 API として Google の Activity Recognition を用いて交通手段を取得する場合（以下、API 併用実験）の 2 パターンを実験する。交通手段は歩行、自転車と自動車の 3 つ（図 3.1）とし、6 台同時に位置情報を取得する。行動認識 API では、センサ値の分析結果から交通手段を意味する DetectedActivity クラスの定数（表 3.9）を出力する。

表3.9 DetectedActivity クラスの定数

定数	交通手段
ON FOOT	歩行
ON BICYCLE	自転車
ON VEHICLE	自動車

3.4.2 実験結果

(1) 行動認識 API の正確度

API 併用実験でアプリケーションに通知する位置情報の間隔を一定にするためには、行動認識 API の正確度に依存する。そこで、行動認識 API の交通手段の取得数に対する正解の交通手段数の割合を算出し、行動認識 API の正確度を確認する。その結果を表 3.10 に示す。

表3.10 行動認識 API の正確度 (%)

機種	実際の交通手段	取得回数 (回)	行動認識 API の交通手段			
			歩行	自転車	自動車	不明
A	歩行	45	48.89	35.56	15.56	0.00
	自転車	36	0.00	63.89	30.56	5.56
	自動車	33	0.00	0.00	96.97	3.03
B	歩行	44	63.64	22.73	13.64	0.00
	自転車	43	0.00	11.63	83.72	4.65
	自動車	35	0.00	0.00	97.14	2.86
C	歩行	45	66.67	24.44	8.89	0.00
	自転車	43	0.00	6.98	88.37	4.65
	自動車	30	0.00	0.00	93.33	6.67
D	歩行	45	53.33	22.22	24.44	0.01
	自転車	38	0.00	42.11	57.89	0.00
	自動車	31	0.00	0.00	93.55	6.45
E	歩行	43	41.86	27.91	30.23	0.00
	自転車	39	0.00	48.72	46.15	5.13
	自動車	32	0.00	0.00	100.00	0.00
F	歩行	42	76.19	16.67	7.14	0.00
	自転車	39	0.00	43.59	51.28	5.13
	自動車	36	0.00	0.00	97.22	2.78

歩行の場合、機種 A の 35.56%、機種 B の 22.73%、機種 C の 24.44%、機種 D の 22.22%、機種 E の 27.91%と機種 F の 16.67%が自転車、機種 A の 15.56%、機種 B の 13.64%、機種 C の 8.89%、機種 D の 24.44%、機種 E の 30.23%と機種 F の 7.14%が自動車と誤判定した。歩行の場合の誤判定は、6 台をケースに入れて歩行したため、歩行の上下運動をセンサが正しく検出できなかったためと考える。自転車の場合、機種 A の 30.56%、機種 B の 83.72%、機種 C の 88.37%、機種 D の 57.89%、機種 E の 46.15%と機種 F の 51.28%が自動車と誤判定した。これは、端末に加わる振動が自動車と類似しているためであると考えられる。自動車の場合、全ての機種に共通して行動認識 API の精度が良く、自動車と判定される以外は交通手段が不明であった。

(2) GPS センサによる計測点数

GPS 単独実験と API 併用実験における機種毎の計測点数を表 3.11 に示す。

表3.11 機種毎の計測点数 (点)

機種	歩行		自転車		自動車	
	GPS 単独	API 併用	GPS 単独	API 併用	GPS 単独	API 併用
A	45	45	24	36	34	33
B	45	44	24	43	34	35
C	41	45	24	43	33	30
D	44	45	24	38	30	31
E	43	43	22	39	34	32
F	44	42	24	39	34	36

歩行と自動車では、GPS 単独実験と API 併用実験で機種毎に計測点数が類似した。自転車では、API 併用実験の計測点数が GPS 単独実験の 1.5~1.8 倍多くなった。自転車を自動車と誤判定し、10 秒間隔で 1 回取得するのではなく 3 秒間隔で 1 回取得したためである。GPS センサから位置情報を通知する間隔の設定だけでは、設定通りに通知されなかったが、交通手段を用いてアプリケーション側で制御することにより、一定の間隔でアプリケーションに位置情報を通知することができた。

(3) 絶対精度と信頼性

GPS 単独実験と API 併用実験における機種毎の計測点の絶対精度を表 3.12 に示す。

表3.12 計測点の絶対精度の平均 (m)

機種	歩行		自転車		自動車	
	GPS 単独	API 併用	GPS 単独	API 併用	GPS 単独	API 併用
A	4.80	4.20	4.07	7.42	5.45	6.43
B	4.31	4.06	4.10	4.36	8.36	7.45
C	7.57	3.54	7.02	8.04	12.35	17.96
D	3.52	2.09	4.65	5.47	5.78	4.68
E	5.13	4.17	5.34	4.88	10.33	4.87
F	4.72	4.63	5.11	8.46	12.33	7.02

歩行の絶対精度の平均は、GPS 単独実験が 3.52m～7.57m、API 併用実験が 2.09m～4.63m になった。自転車の絶対精度の平均は、GPS 単独実験が 4.07m～7.02m、API 併用実験が 4.36m～8.04m になった。自動車の絶対精度の平均は、GPS 単独実験が 5.45m～12.35m、API 併用実験が 4.68m～17.96m になった。機種 B と機種 C の絶対精度の平均は、歩行と自転車に比べ自動車が大きくなった。

GPS 単独実験と API 併用実験における機種毎の計測点の信頼性を表 3.13 に示す。

表3.13 計測点の信頼性の平均 (m)

機種	歩行		自転車		自動車	
	GPS 単独	API 併用	GPS 単独	API 併用	GPS 単独	API 併用
A	3.24	3.53	3.17	6.97	4.82	5.31
B	2.98	3.00	4.83	3.02	5.81	5.25
C	7.26	2.84	5.11	6.01	10.88	18.37
D	3.23	1.77	3.17	3.62	3.17	3.36
E	3.68	2.94	4.03	3.62	11.25	4.01
F	3.73	2.89	5.00	4.81	8.03	5.07

歩行の信頼性の平均は、GPS 単独実験が 2.98m～7.26m、API 併用実験が 1.77m～3.53m になる。自転車の信頼性の平均は、GPS 単独実験が 3.17m～5.11m、API 併用実験が 3.02m～6.97m になる。自動車の信頼性の平均は、GPS 単独実験が 3.17m～11.25m、API 併用実験が 3.368m～18.37m になる。機種 B と機種 C の信頼性の平均は、絶対精度の平均と同様、歩行と自転車に比べ自動車が大きくなった。

歩行における GPS 単独実験の結果を図 3.10、自転車における GPS 単独実験の結果を図 3.11、自動車における GPS 単独実験の結果を図 3.12、歩行における API 併用実験の結果を図 3.13、自転車における API 併用実験の結果を図 3.14、自動車における API 併用実験の結果を図 3.15 に示す。



図3.10 歩行における GPS 単独実験の結果
(©2014 Google - 地図データ©2014 Google, ZENRIN)



図3.11 自転車における GPS 単独実験の結果
(©2014 Google - 地図データ©2014 Google, ZENRIN)

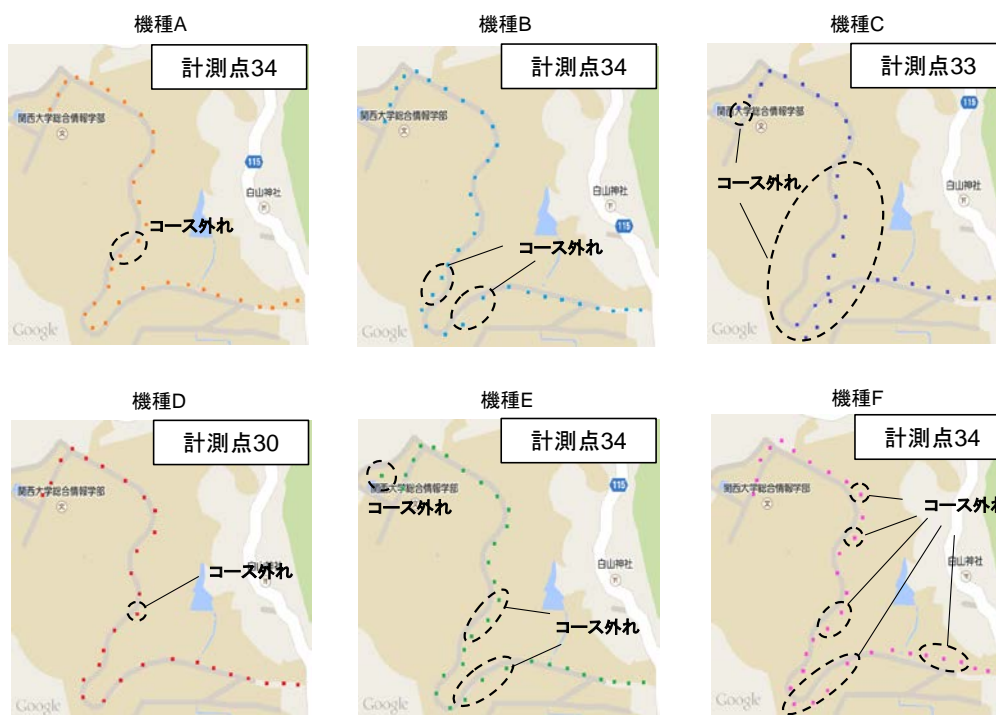


図3.12 自動車における GPS 単独実験の結果
 (©2014 Google - 地図データ©2014 Google, ZENRIN)



図3.13 歩行における API 併用実験の結果
 (©2014 Google - 地図データ©2014 Google, ZENRIN)

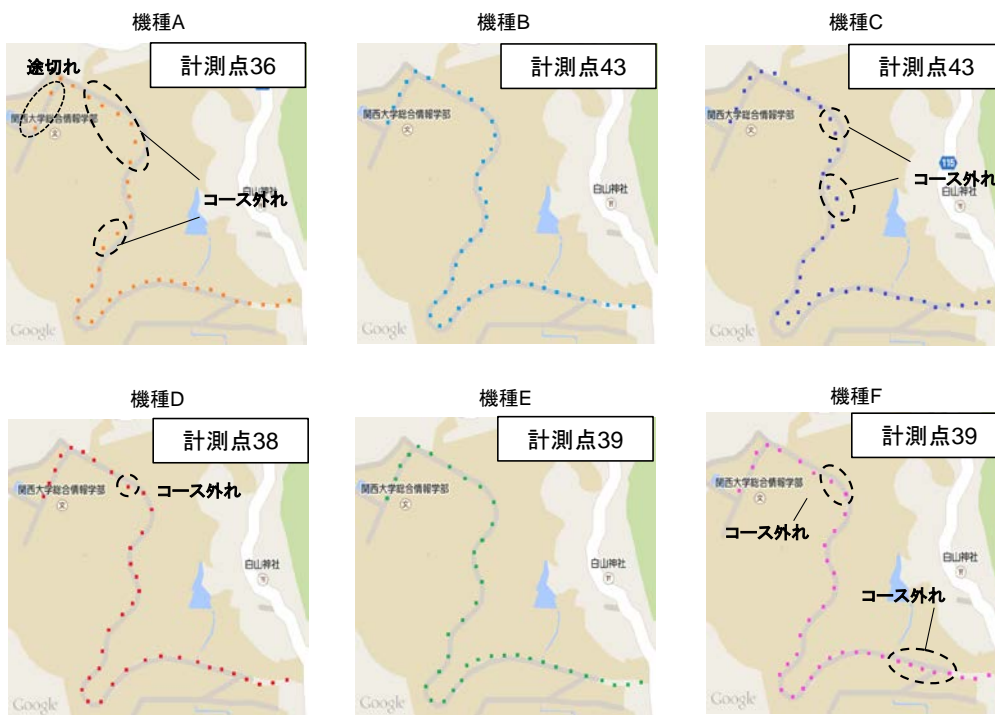


図3.14 自転車における API 併用実験の結果
 (©2014 Google - 地図データ©2014 Google, ZENRIN)

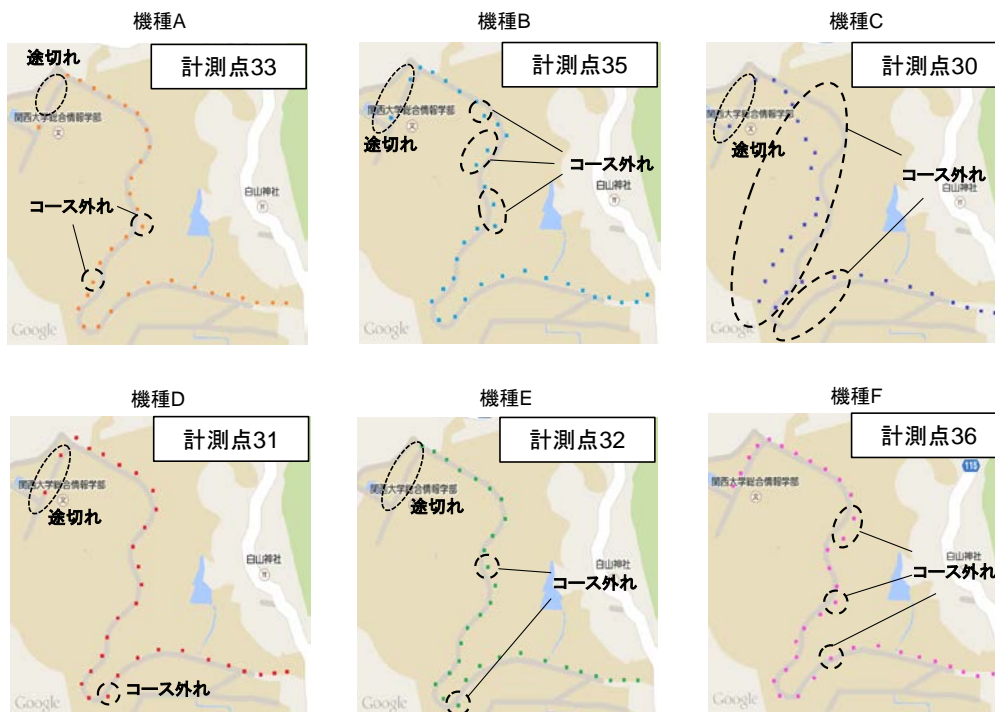


図3.15 自動車における API 併用実験の結果
 (©2014 Google - 地図データ©2014 Google, ZENRIN)

表 3.12 および図 3.10～図 3.15 について交通手段別に実験結果を分析すると、歩行の計測点は他の交通手段より絶対精度が小さかった。自転車の計測点は、カーブ付近でコースを外れる機種が半数あった。自動車では、その他の交通手段に比べてカーブ付近でコース外れや途切れが多く、絶対精度が大きかった。

表 3.12 および図 3.10～図 3.15 について機種別に分析する。機種 A では、3 つの交通手段において 4.07m～7.42m の範囲であった。機種 A の交通手段別の結果を図 3.16 に示す。

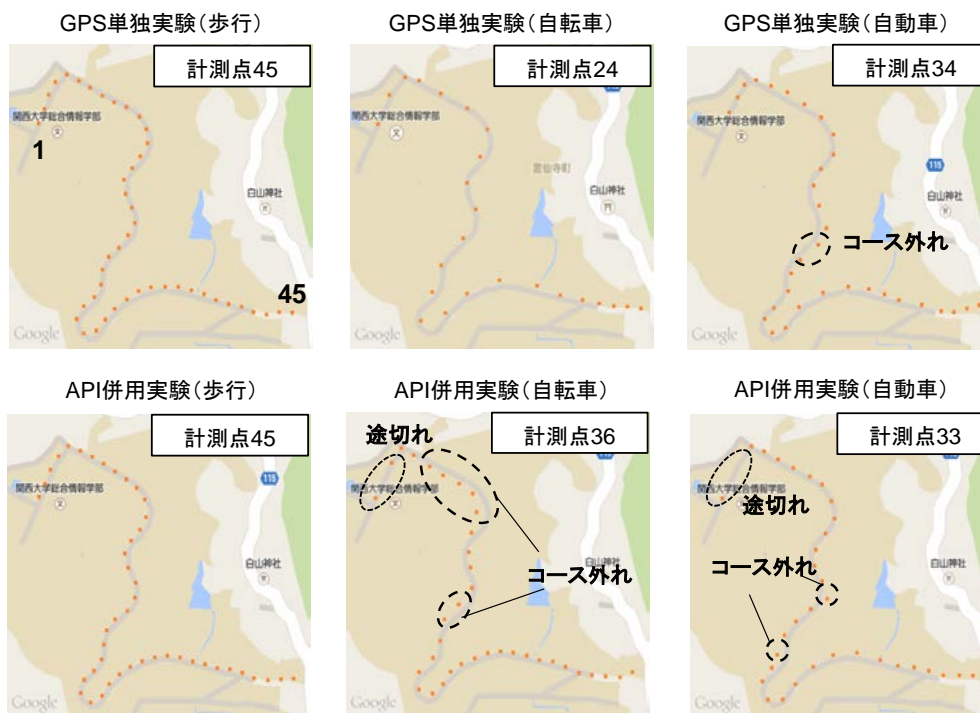


図3.16 機種 A の交通手段別の結果

(©2014 Google - 地図データ©2014 Google, ZENRIN)

歩行は、GPS 単独実験および API 併用実験において道路縁から 5～10m 以内の誤差であった。API 併用実験の自転車では、スタート地点で 80m 計測点が途切れ、2箇所 20～30m コースから外れた。自動車では、GPS 単独実験および API 併用実験の両実験とも中間地点で 25m コースから外れた。機種 A について、歩行における GPS 単独実験の絶対精度を図 3.17、自転車における API 併用実験の絶対精度を図 3.18 に示す。

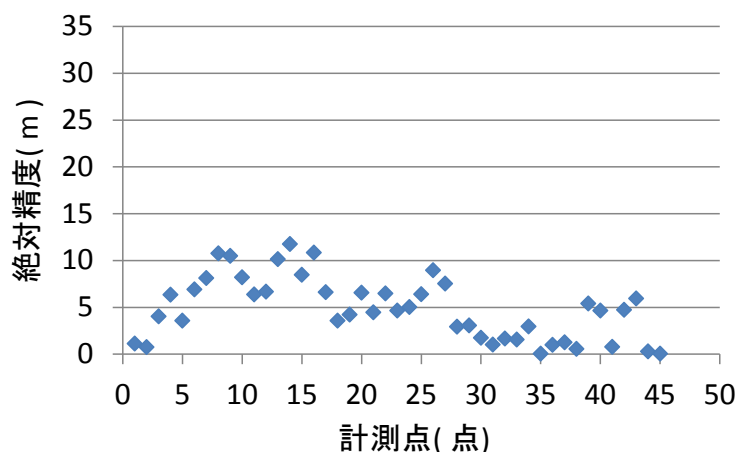


図3.17 機種 A の歩行における GPS 単独実験の絶対精度

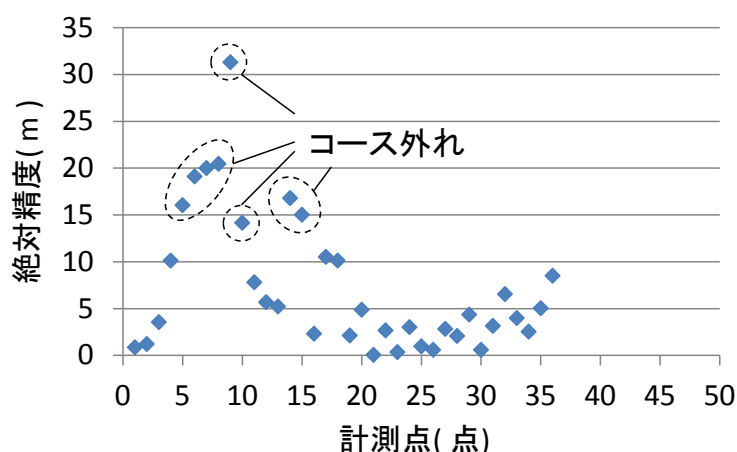


図3.18 機種 A の自転車における API 併用実験の絶対精度

図 3.16 の GPS 単独実験 (歩行) と図 3.17 より, 絶対精度が 12m 未満の場合, GoogleMaps にプロットした計測点が道路縁から外れない. 図 3.16 の API 併用実験 (自転車) と図 3.18 より, 絶対精度が 12m 以上になると, GoogleMaps にプロットした計測点が道路縁から外れた. 絶対精度が 12m 以上になると, GoogleMaps の道路上から計測点が外れていることが目視で確認できる. 機種 B は, 両実験の歩行の絶対精度が小さいが, 自動車では計測点が道路縁から 7.45m~8.36m 外れた. 機種 C は, API 併用実験の歩行の絶対精度が小さいが, 自動車ではカーブが続く中間地点で計測点が道路縁から 12.35m~17.96m 外れた. 機種 D は, その他の機種と比較すると, 両実験において絶対精度の平均が小さく 2.09m~5.78m であった. 機種 E は, カーブ付近で計測点が途切れることが多く, GPS 単独実験の自動車でもコース外れが多かった. 機種 F は, カーブ付近でコース外れが多く, GPS 単独実験の自動車では 5 箇所もコース外れがあった.

(4) 衛星情報

実験時に取得した衛星個数を表 3.14 に示す。

表3.14 衛星個数

実験	機種	A	B	C	D	E	F
GPS 単独	歩行	5	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4	-
	自転車	3~5	3, 4	4	4	3, 4	
	自動車	5, 6	3, 4	4	3, 4	4	
API 併用	歩行	3, 5	3	3	3, 4	3, 4	-
	自転車	5	3	3	3	3	
	自動車	5	3	3	3	3	

機種 F は、衛星個数と衛星情報を取得することができなかった。実験時の衛星数は、機種 B~E が最大 4 個、機種 A が最大 6 個であった。衛星取得数が最大の機種 A の計測データは、自動車の実験時に他の機種より絶対精度（表 3.12）が高かった。取得頻度が高い衛星番号を表 3.15 に示す。

表3.15 取得頻度が高い衛星番号の組合せ

実験	GPS 単独	API 併用
歩行	(2, 8, 26), (2, 9, 30), (2, 10, 8)	(2, 10, 29), (2, 8, 26), (2, 10, 30)
自転車	(2, 9, 23), (2, 9, 17), (2, 10, 23)	(2, 10, 29), (2, 10, 30)
自動車	(1, 11, 28), (1, 10, 23)	(1, 11, 28), (1, 17, 32)

同一実験において機種毎で取得する衛星番号は類似した。

3.5 考察

(1) GPS センサの通知間隔

位置情報は、アプリケーション開発者が設定する時間間隔と距離間隔では取得できなかった。通知間隔については、時間間隔と距離間隔の両者が満たされた場合か、どちらか一方が満たされた場合かを明確にできないことがわかった。通知間隔は、設定どおりの間隔で位置情報を取得する可能性が高い時間間隔が 0 秒、距離間隔が 0m に設定することが好ましい。

(2) GPS センサによる計測点

時間間隔を 0 秒、距離間隔を 0m に設定した場合、同一時間において機種毎の計測点数

が異なった。機種毎の計測点は、道路縁から 5~10m 以内の誤差の場合、コースを外れる場合、位置情報が途切れる場合、コースとは全く異なる点を取得する場合に分類した。したがって、交通手段別や機種別で計測点の数が異なり一貫性がない。

(3) 補正手法の有効性

GPS センサによって取得した計測点を含む前後 5 点の計 11 点の座標を用いて 3 次関数の近似曲線を算出し、相対的に正しい位置に計測点を補正した。その結果、正解データと補正前後の計測点の相関係数は 1 に近い。さらに、平均二乗誤差の差も小さいため、アプリケーションには GPS センサから計測した点の緯度と経度を利用することができる。ただし、利用目的によっては、計測点を正解データに近づけるためのマップマッチング処理の検証が必要であると考ええる。

(4) 提案手法の適用範囲

本研究では、GPS センサから取得される経緯度の情報に着目し、2 次元空間上を対象とした。そして、交通手段によって速度が異なることを利用し、交通手段別に GPS センサから位置情報を通知する時間間隔と距離間隔を設定する手法を提案し、一定の間隔で計測点を取得することができた。これらの情報に高さ情報を追加すると、3 次元空間上のデータ解析をすることが可能になるため、例えば坂道の上り下りのように速度が変わる場合においても一定の間隔で位置情報を通知することが可能になると考える。

また、行動認識 API の利用は、交通手段を手動で設定する必要がなく実用に供するものであった。ただし、行動認識 API の精度は機種毎に異なるため、アプリケーション開発者は事前にその精度を検証することが必要であろう。今後は、これらの知見をもとに交通手段別の位置情報の通知間隔の最適な設定値を検証する。本研究で対象とした歩行、自転車、自動車の 3 つの交通手段以外に鉄道などの行動にも対応できると、人物の行動調査へ活用できるアプリケーションとして実用が期待できると考える。

第 4 章

第4章 PDOPおよび平均誤差半径の指標を用いた ノイズ除去手法

4.1 研究の概要

ノイズ除去手法を検討するには、機種毎に異なるGPSセンサの特性を捉えることが重要である。本研究では、第3章で得たGPSセンサの特性を踏まえて、PDOPおよび平均誤差半径の指標を用いて歩行時を対象にリアルタイムに信頼性の高い位置情報を取得する手法を提案する。ここでは、ノイズを判定するための閾値を機種毎に設定するのではなく、GPSセンサの特性が機種毎に異なることに対応できるように、PDOPおよび平均誤差半径の汎用的な閾値を解析する。本研究の位置付けを図4.1に示す。

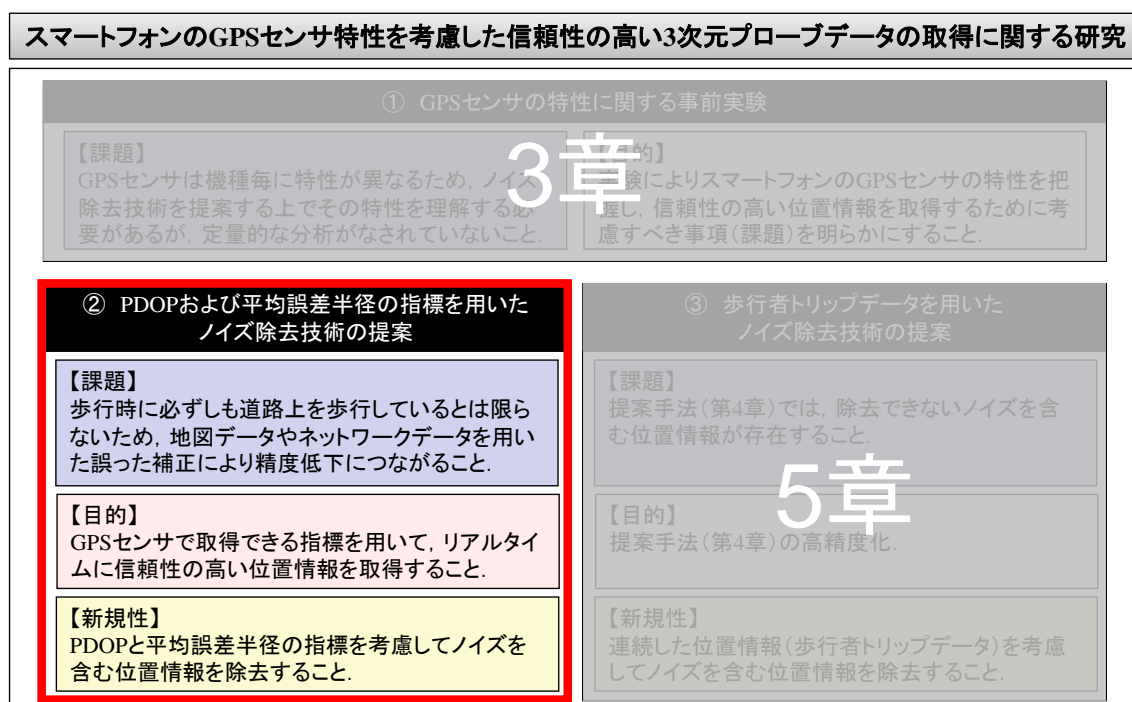


図4.1 本研究の位置付け

4.2 GPSセンサの精度実験

4.2.1 実験方法

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捉えるために、3次元位置情報の絶対精度、信頼性、PDOP、平均誤差半径について、複数機種の実験データを分析する。そのための実験では、スマートフォンの GPS センサから経緯度、標高、PDOP と平均誤差半径を取得する。使用した機種と搭載 GPS センサを表 4.1 に示す。

表4.1 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	Sumsung Exynos	Gps One Gen 8 with GLONASS
D	SC03E	4.1.2		
E	ISW12HT	4.0.3	Qualcomm Snapdragon	A-GPS (3G / LTE), S-GPS (WiFi) + GLONASS
F	SO03C	2.3.3		

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。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-R1[78]）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。測量点を図 4.2 に示す。

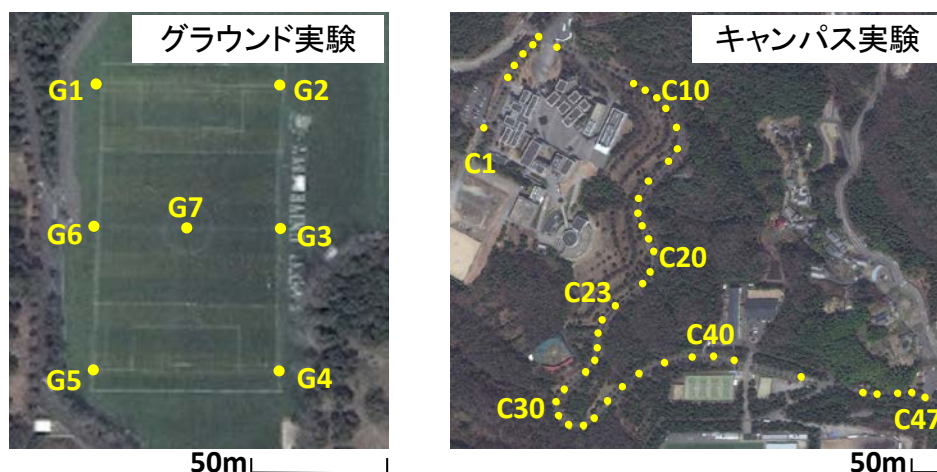


図4.2 測量点

(Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

実験では、グラウンドの測量点 G1～G7 の 7 点（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（以下、キャンパス実験）を使用した。実験環境を図 4.3 に示す。



図4.3 実験環境

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し、6 台同時に計測点を取得した。グラウンド実験の走行経路を図 4.4 に示す。

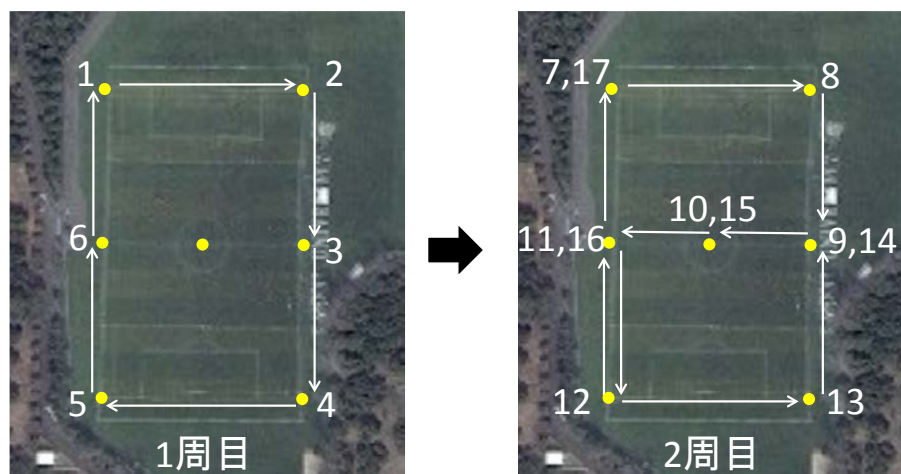


図4.4 グラウンド実験の走行経路

(Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

まず、グラウンド実験では、図 4.4 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。同一機種 GPS センサの精度は、衛星の配置によって利用される衛星の種類とその数の違いによって異なる。GPS センサの特性を捉えるには、時間帯や天候などの変化によって同一機種でも精度が異なることに対応するため、それらの誤差要因が異なる環境で複数回実施した計測データを分析する。本研究では、2015 年 2 月 23 日から 4 月 23 日の 2 ヶ月間で、それぞれの実験を 100 回ずつ、計 200 回行った。

4.2.2 実験結果

GPS センサの絶対精度、信頼性、PDOP、平均誤差半径について、グラウンド実験とキャンパス実験の測量点上で静止した 10 秒間の計測点を用いて、それぞれの結果を述べる。

(1) 絶対精度と信頼性

グラウンド実験およびキャンパス実験それぞれ 100 回の計測点を用いて、計測点と真値の 3 次元の 2 点間距離を算出する。絶対精度は、真値と計測点の 3 次元の 2 点間距離を測量点毎に平均した結果とする。信頼性は、絶対精度のばらつき度合を測量点毎に平均した結果とする。測量点毎のグラウンド実験の絶対精度と信頼性を図 4.5 に示す。

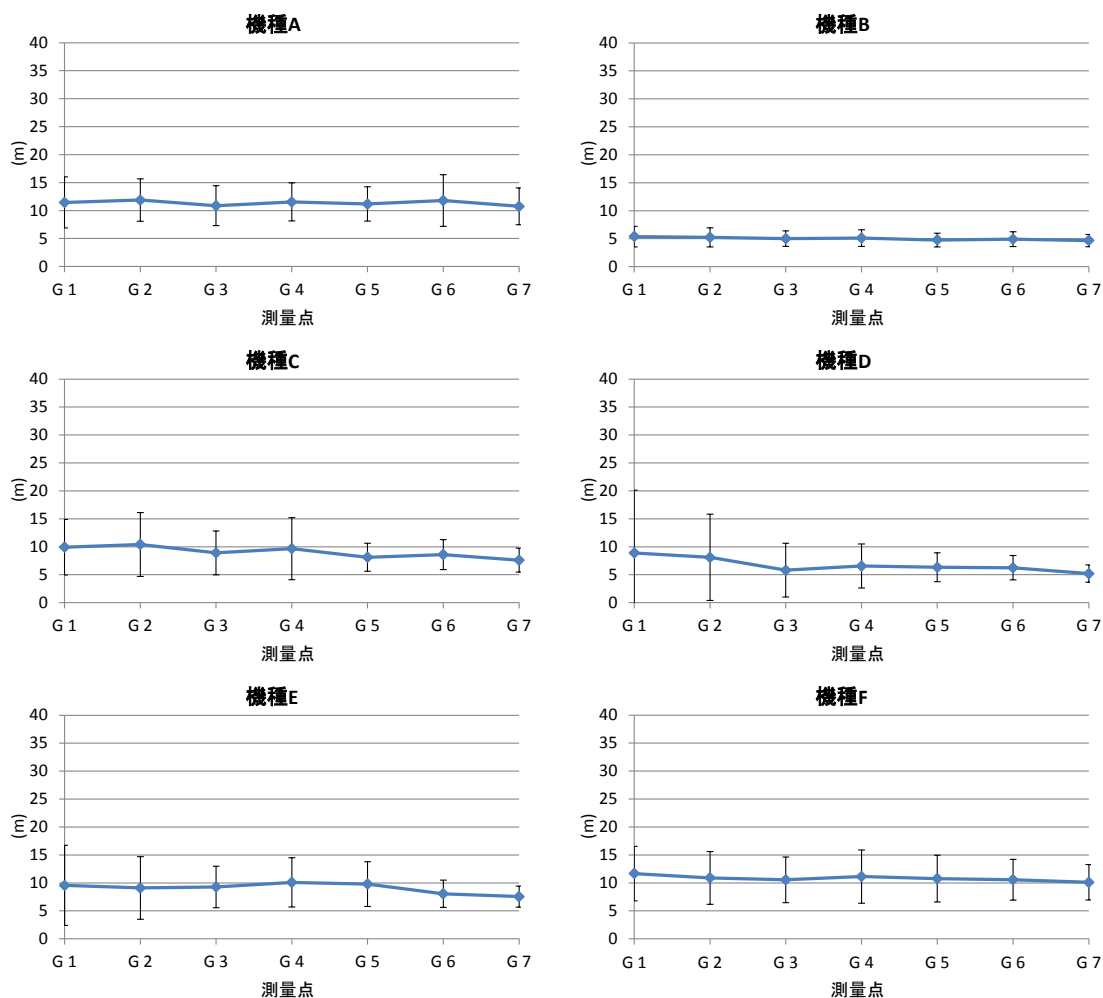


図4.5 測量点毎のグラウンド実験の絶対精度と信頼性

機種 A の絶対精度は 10.76m~11.88m, 精度は 6.13m~9.22m, 機種 B の絶対精度は 4.66m~5.38m, 精度は 2.18m~3.68m, 機種 C の絶対精度は 7.61m~10.41m, 精度は 4.30m~11.45m, 機種 D の絶対精度は 5.21m~8.89m, 精度は 3.11m~22.45m, 機種 E の絶対精度は 7.65m~10.10m, 精度は 3.77m~14.35m, 機種 F の絶対精度は 10.11m~11.67m, 精度は 6.33m~9.74m であった. 絶対精度と信頼性を測量点毎に比較すると, G7 が良好であった.

測量点毎のキャンパス実験の絶対精度と信頼性を図 4.6 に示す.

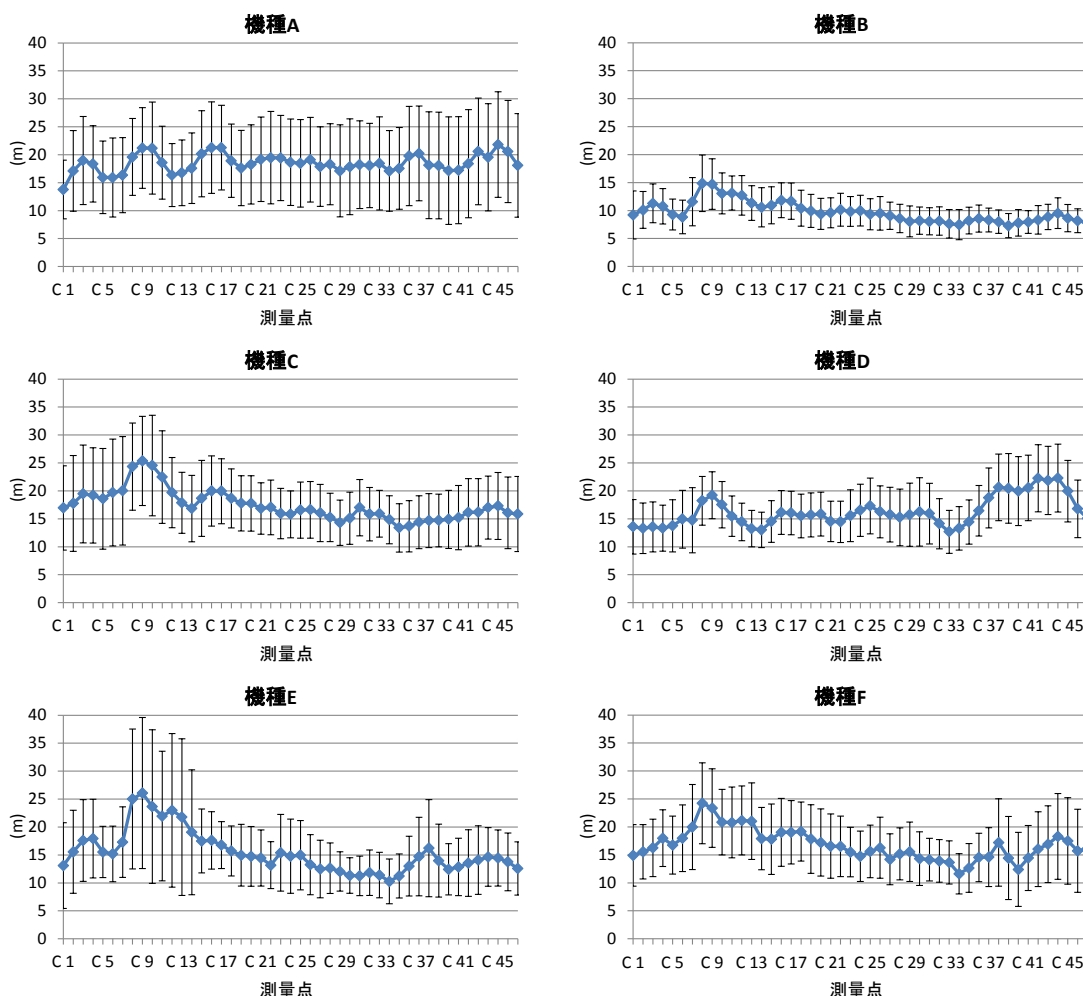


図4.6 測量点毎のキャンパス実験の絶対精度と信頼性

機種 A の絶対精度は 13.78m～21.82m，信頼性は 10.50m～19.37m，機種 B の絶対精度は 7.30m～14.88m，信頼性は 4.09m～10.10m，機種 C の絶対精度は 13.39m～25.36m，信頼性は 8.11m～19.41m，機種 D の絶対精度は 12.68m～22.28m，信頼性は 6.33m～12.46m，機種 E の絶対精度は 10.27m～26.08m，信頼性は 6.35m～28.04m，機種 F の絶対精度は 11.61m～24.23m，信頼性は 7.22m～16.03m であった。絶対精度と信頼性を測量点毎に比較すると，C8 と C9 の絶対精度と信頼性が低かった。

グラウンド実験とキャンパス実験の 100 回の計測結果について，すべての測量点の絶対精度と信頼性の平均を図 4.7 に示す。

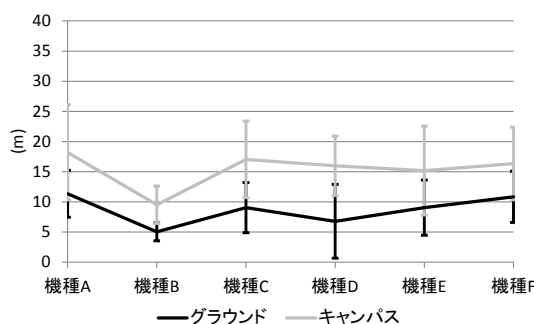


図4.7 すべての測量点の絶対精度と信頼性の平均

100 回の計測結果を平均したすべての機種 of 絶対精度は 5.03m~18.22m, 信頼性は 1.48m~7.92m であった. グラウンド実験 100 回の計測結果の平均を機種毎に比較すると, 絶対精度が 6 機種の中で最大の機種 A と最小の機種 B の差は 6.33m, 信頼性が 6 機種の中で最大の機種 D と最小の機種 B の差は 4.64m であった. キャンパス実験 100 回の計測結果の平均を機種毎に比較すると, 絶対精度が 6 機種の中で最大の機種 A と最小の機種 B の差は 8.69m, 信頼性が 6 機種の中で最大の機種 A と最小の機種 B の差は 4.80m であった. 機種毎で比較すると, 機種 B の絶対精度と信頼性は, その他の機種に比べて良好であった.

機種毎の絶対精度と信頼性の特性は, グラウンド実験およびキャンパス実験で類似した. グラウンド実験の絶対精度と信頼性は, キャンパス実験に比べ小さかった.

(2) 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 4.8 に示す.

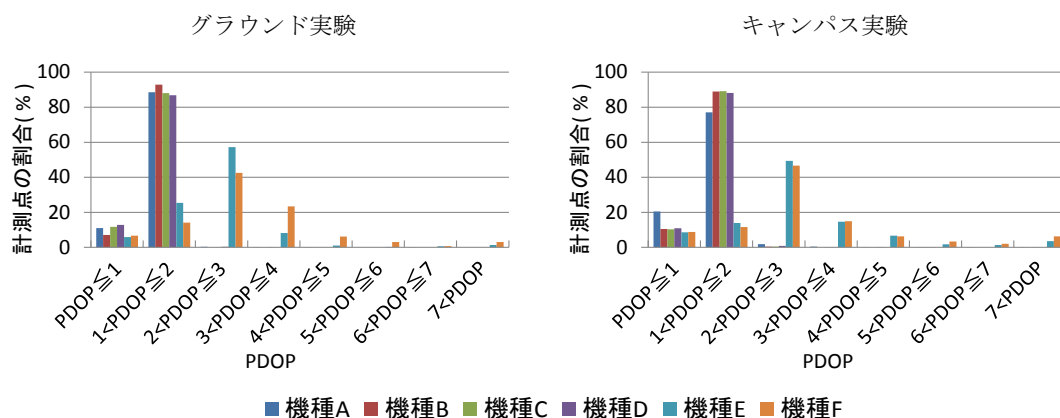


図4.8 PDOP の割合

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.

(3) 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 4.9 に示す。

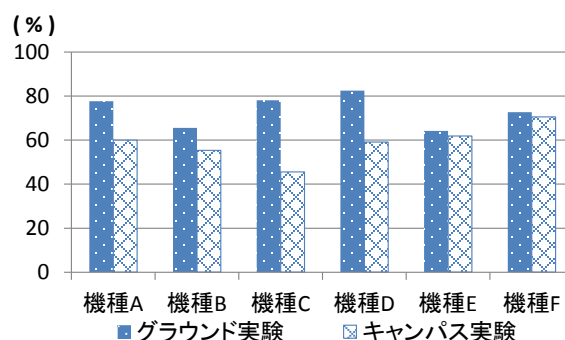


図4.9 平均誤差半径を用いて描いた円内に真値がある割合

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。

4.2.3 考察

図 4.5 より、すべての機種において G7 の絶対精度と信頼性が良好であるのは、その他の測量点に比べ周囲の樹木や建物の影響を受けていないためである。一方、図 4.6 より、C8 と C9 の絶対精度と信頼性が低いのは、その他の測量点に比べ、樹木が密集する地点である上、周辺に建物があることが影響しているためである。図 4.7 より、キャンパス実験の絶対精度はグラウンド実験の 1.51～2.36 倍、キャンパス実験の信頼性はグラウンド実験の 0.81～2.11 倍になった。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。絶対精度および信頼性の実験結果より、同一機種においても位置情報を取得する環境によって異なること、同一環境において機種毎の GPS センサの特性が異なることが明らかとなった。したがって、GPS センサから信頼性の高い位置情報を取得するためには、ノイズを含む位置情報を除去するための閾値を汎用的に決める必要がある。

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 $1 < PDOP \leq 2$ の計測点の割合が多く、機種 E と機種 F は $2 < PDOP \leq 3$ 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、計測点と真値の差との関係性を考慮して閾値を設定する必要がある。

4.3 PDOPを用いたノイズ除去機能

4.3.1 PDOPの閾値の検証

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 100 回において機種 E の GPS センサから取得した計測点と真値の差および平均誤差半径との関係を図 4.10 に示す。

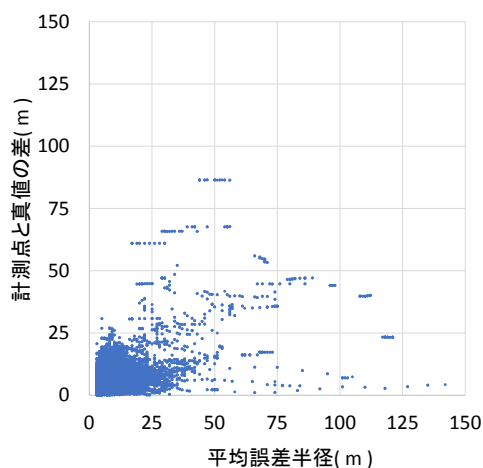


図4.10 計測点と真値の差および平均誤差半径との関係 (グラウンド実験の機種 E)

同一機種において絶対精度の幅が大きいのは、計測時間の相違による取得できる衛星の種類や数が異なるためである。50mを基準に計測点を4つのゾーンに分類した結果を図 4.11 に示す。

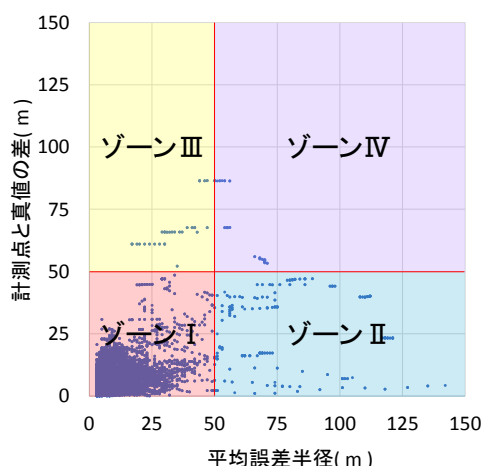


図4.11 計測点を4つのゾーンに分類した結果（グラウンド実験の機種 E）

ゾーン I とゾーン II 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、第 4.2 節のグラウンド実験（7 点）とキャンパス実験（47 点）の測量点を用いて、ノイズを含む位置情報と判定するための PDOP 値と平均誤差半径の閾値を決定する。第 4.2.3 項での考察を踏まえ、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。

本ノイズ除去では、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 4.10 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 4.12 に示す。

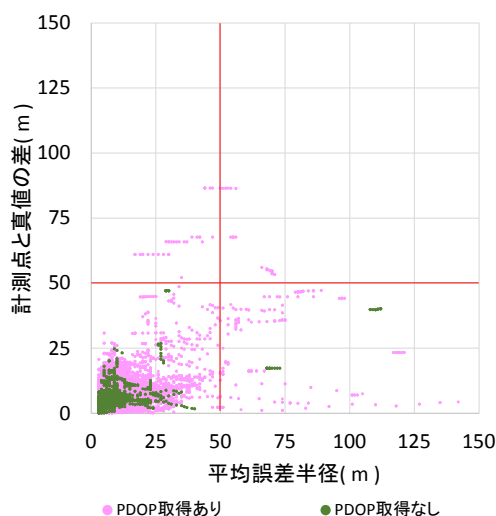


図4.12 PDOP の取得有無で色分けした結果（グラウンド実験の機種 E）

図 4.12 より、GPS センサから取得する位置情報は、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 の値が小さい程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る場合もある。

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 4.13 と図 4.14 に示す。

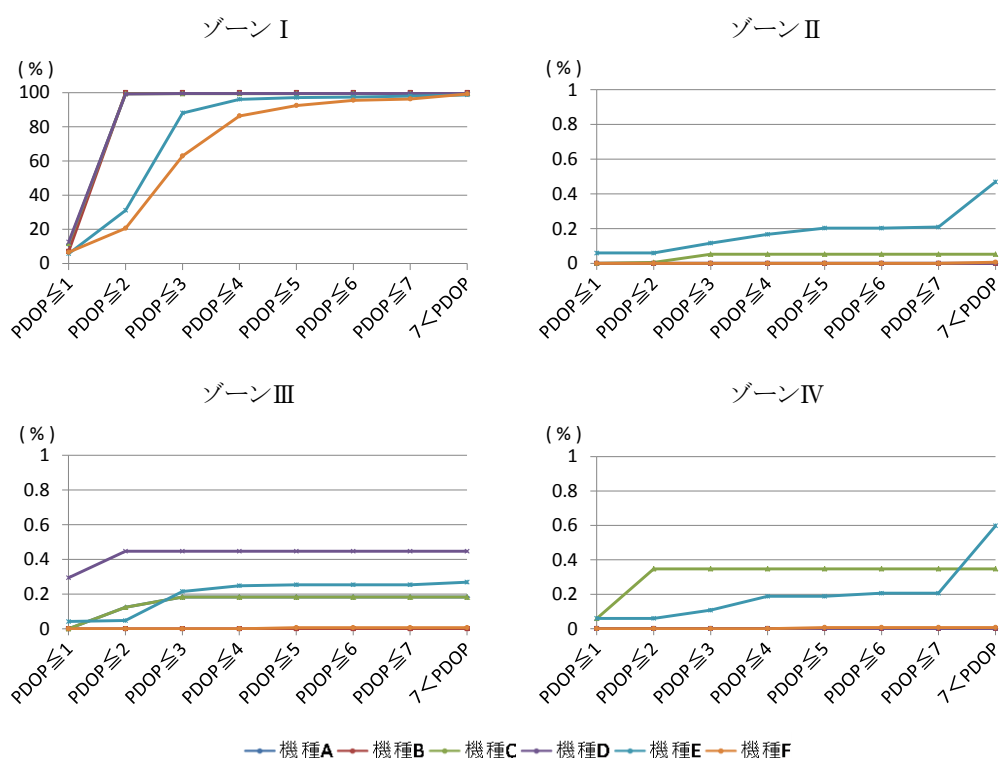


図4.13 PDOP の分類別に計測点が占める割合の累積結果 (グラウンド実験)

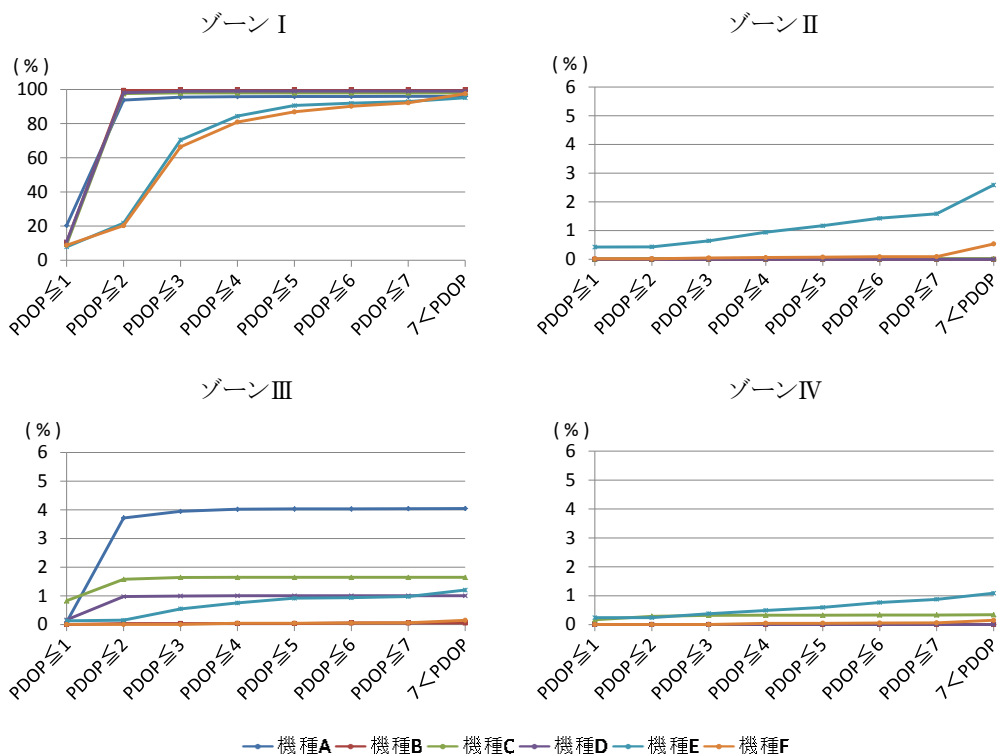


図4.14 PDOP の分類別に計測点が占める割合の累積結果 (キャンパス実験)

ゾーン I 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 4.1) 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 \leq 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 より大きい場合にノイズを含む位置情報とし除去する。

1.1.1 検証結果

グラウンド実験（7 点）とキャンパス実験（47 点）の測量点上で取得した計測点に対して、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する。グラウンド実験およびキャンパス実験のノイズ除去前後の計測点と除去率を表 4.2 および表 4.3 に示す。

表4.1 グラウンド実験（測量点）のノイズ除去前後の計測点と除去率

機種	除去前	PDOP の除去後	
	計測点(点)	計測点(点)	除去率(%)
A	33,943	33,939	0.01
B	34,010	34,010	0.00
C	33,944	33,938	0.02
D	33,998	33,998	0.00
E	33,466	32,187	3.82
F	29,910	25,534	14.63

表4.2 キャンパス実験（測量点）のノイズ除去前後の計測点と除去率

機種	除去前	PDOP の除去後	
	計測点(点)	計測点(点)	除去率(%)
A	93,362	93,200	0.17
B	93,995	93,973	0.02
C	93,835	93,739	0.10
D	93,926	93,926	0.00
E	93,469	79,967	14.45
F	73,407	59,331	19.18

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 0.00%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。

グラウンド実験およびキャンパス実験において、ノイズ除去前の計測点を PDOP で色分けした結果を図 4.15 および図 4.16 に示す。

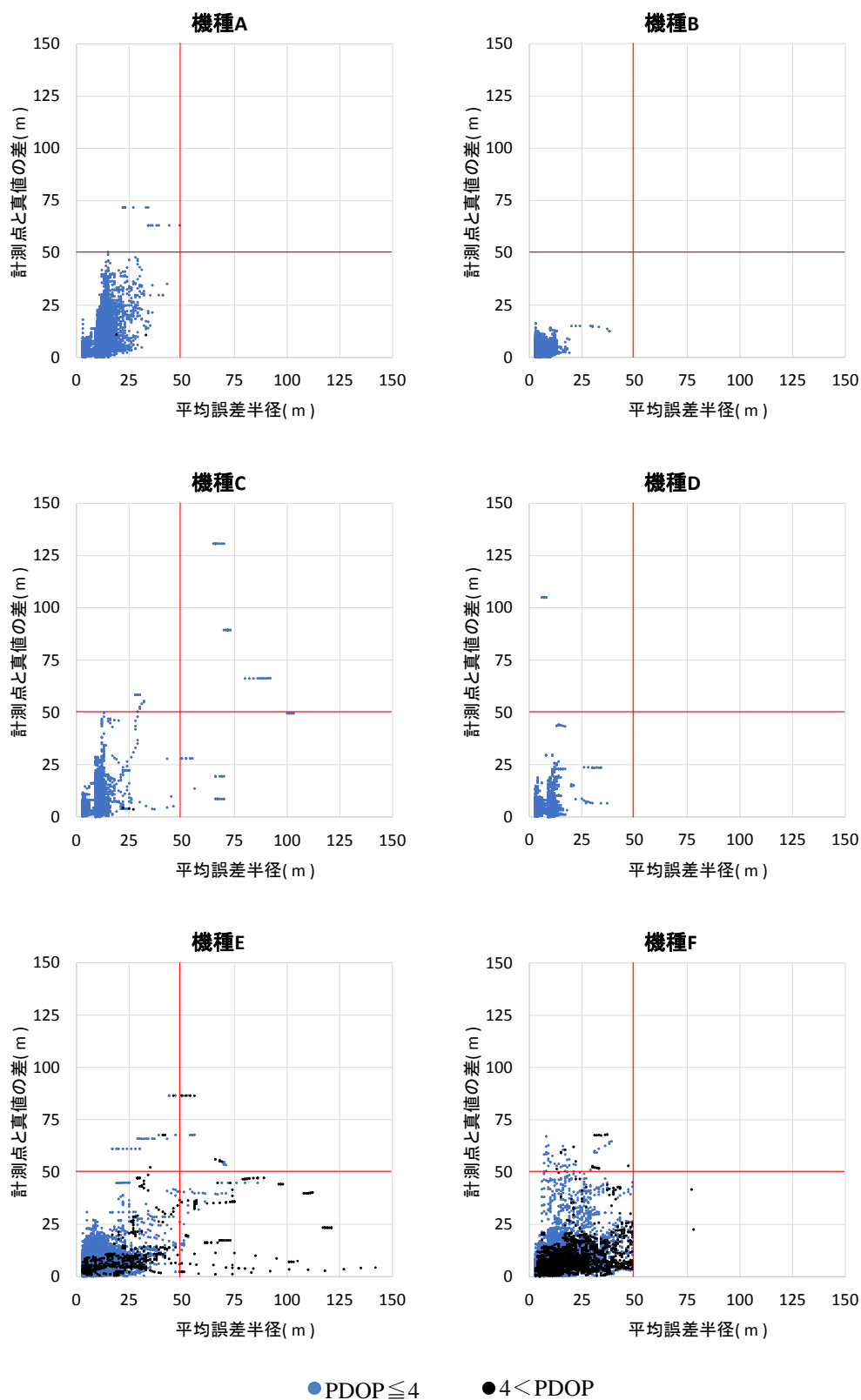


図4.15 ノイズ除去前の計測点を PDOP で色分けした結果 (グラウンド実験)

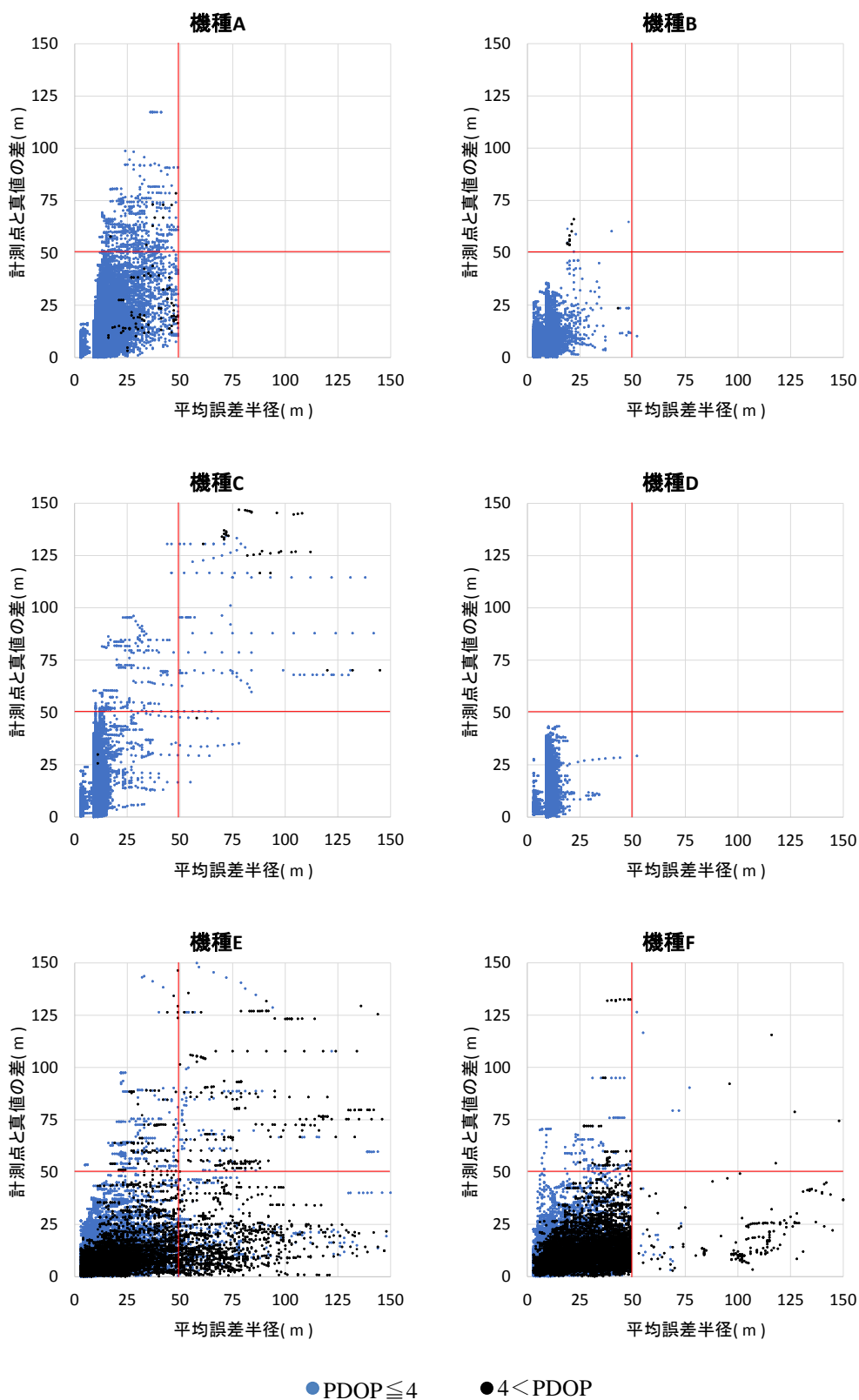
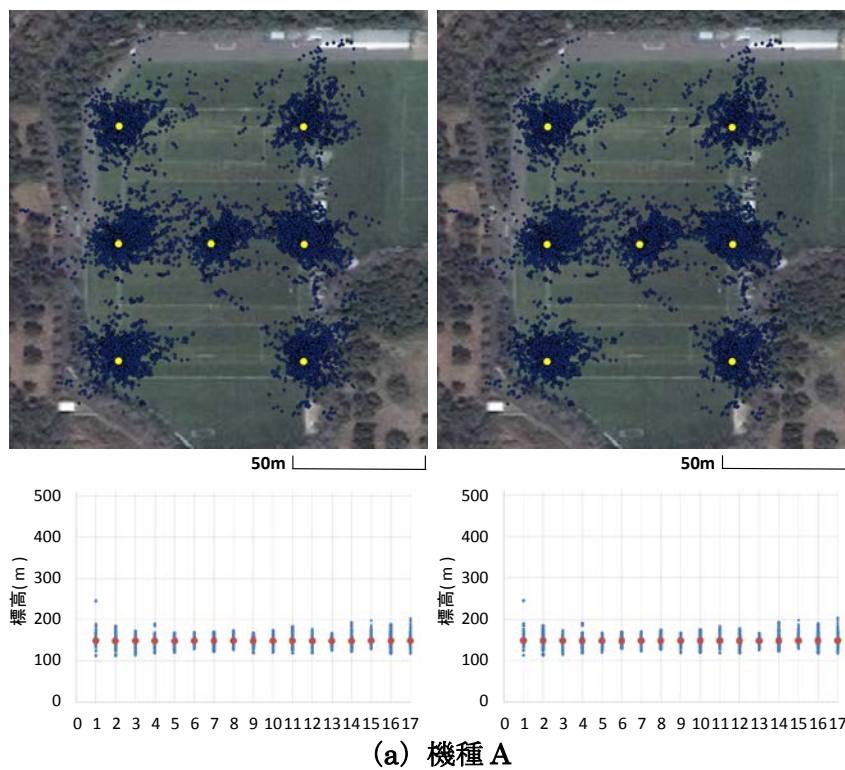
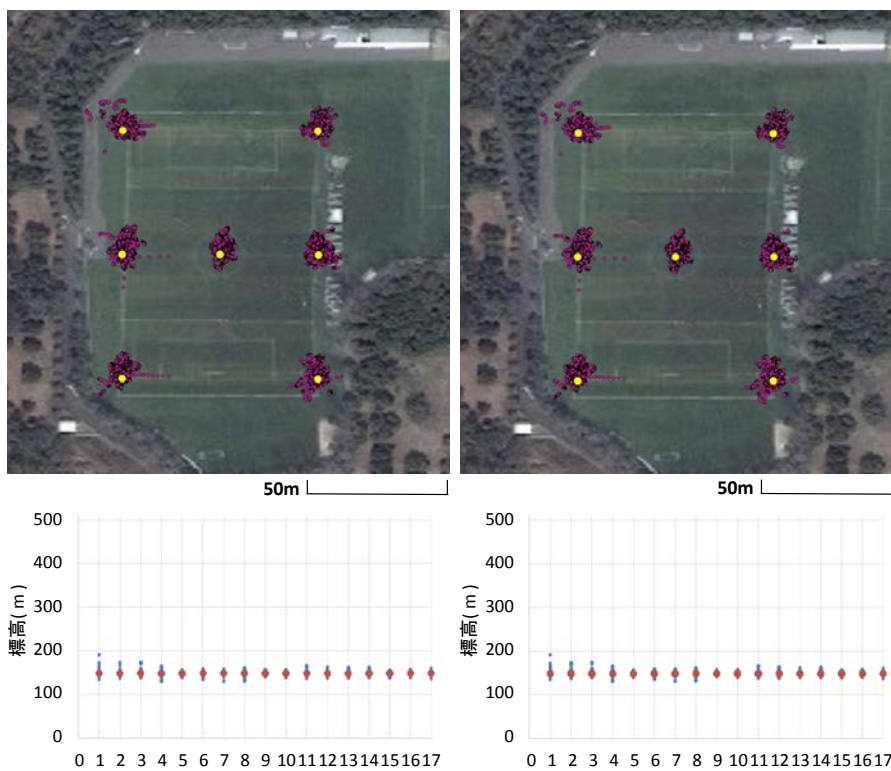


図4.16 ノイズ除去前の計測点を PDOP で色分けした結果 (キャンパス実験)

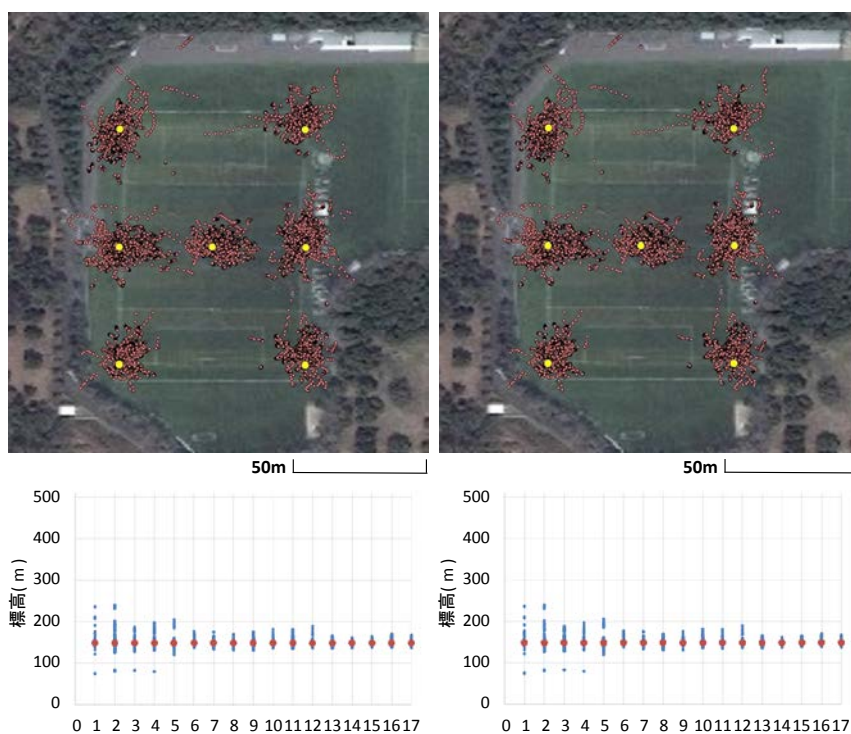
図 4.15 および図 4.16 より、各ゾーンに含まれる PDOP の値が 4 より大きい計測点がノイズを含む位置情報として除去されたことがわかる。

ノイズ除去前後の計測点を比較するために、グラウンド実験の 100 回分の経緯度を地図にプロットした結果と標高を図 4.17 に示す。

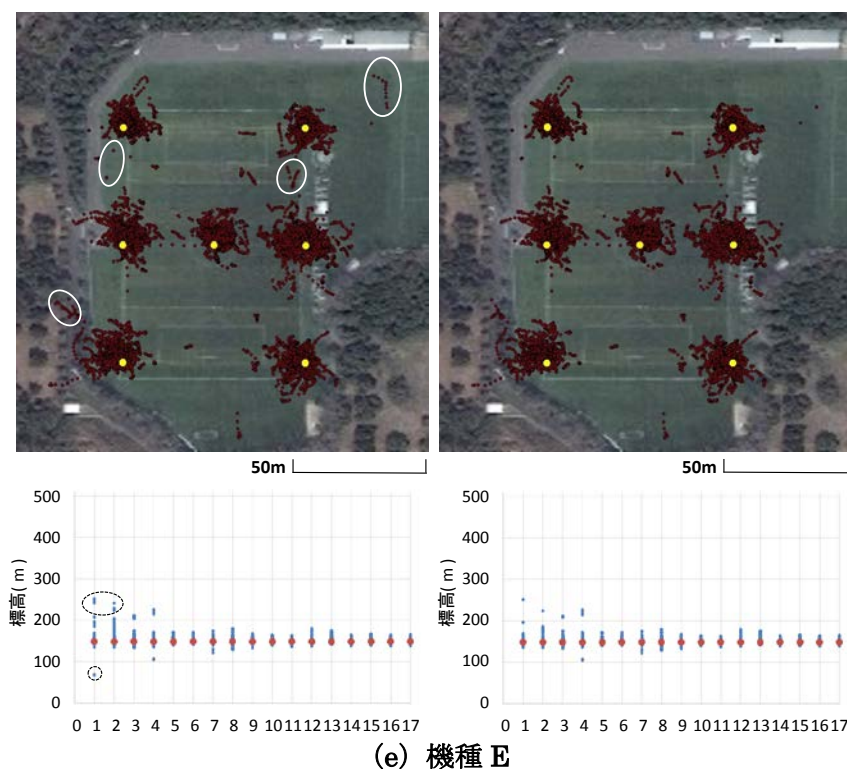
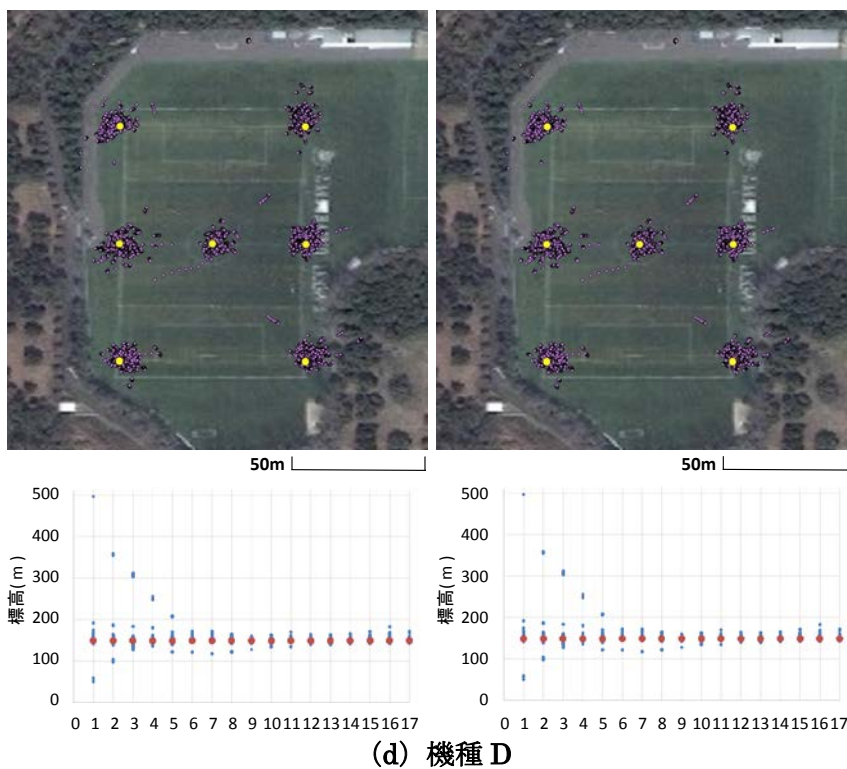




(b) 機種 B



(c) 機種 C



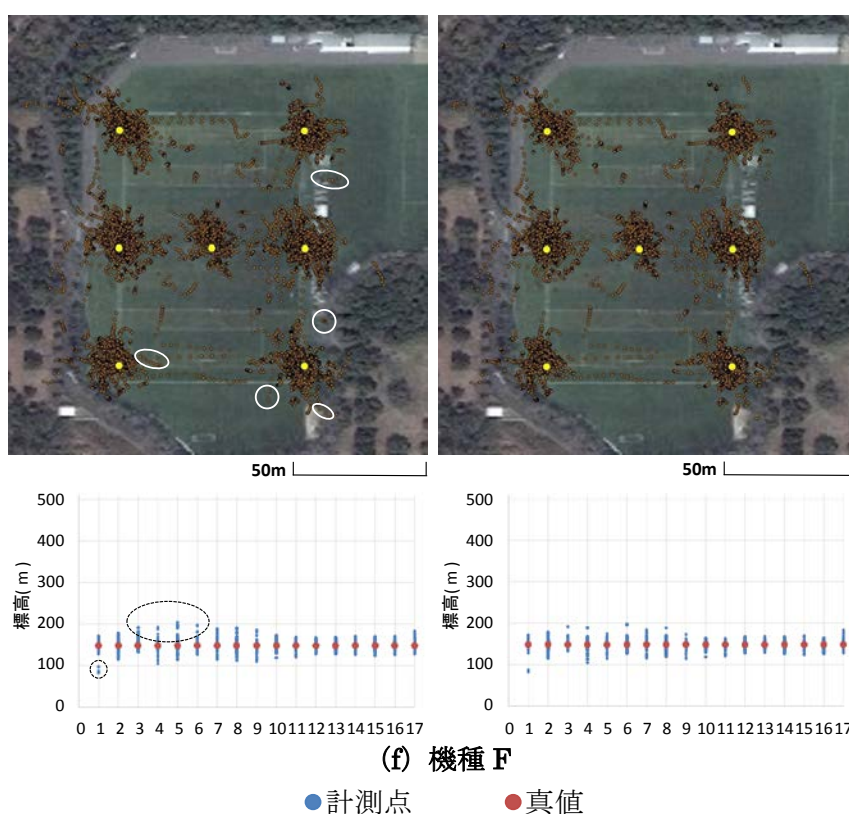
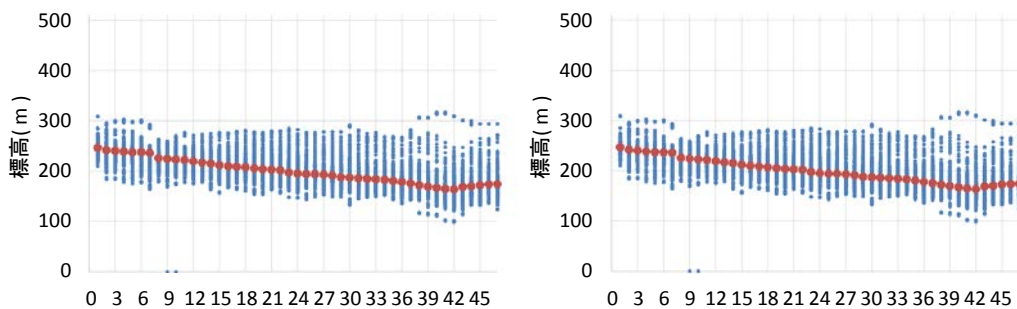
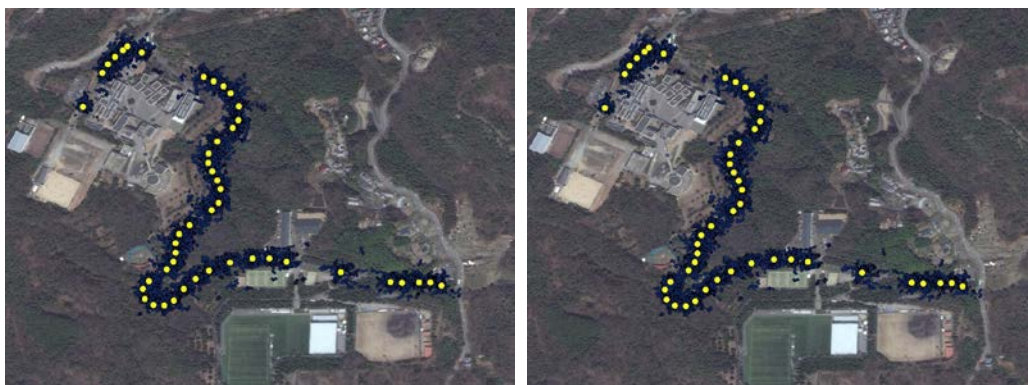


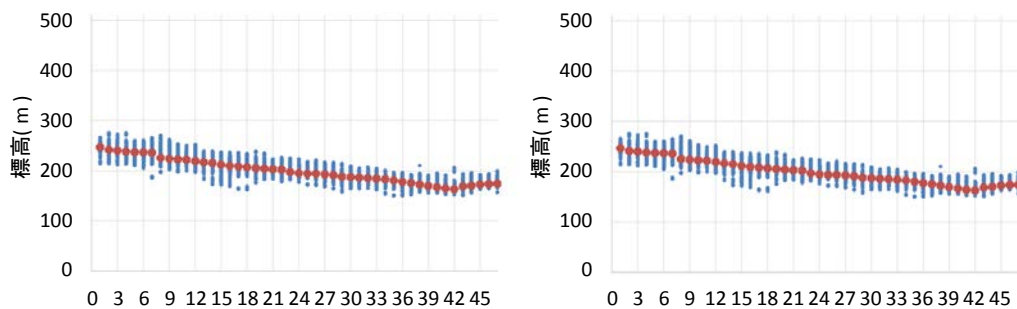
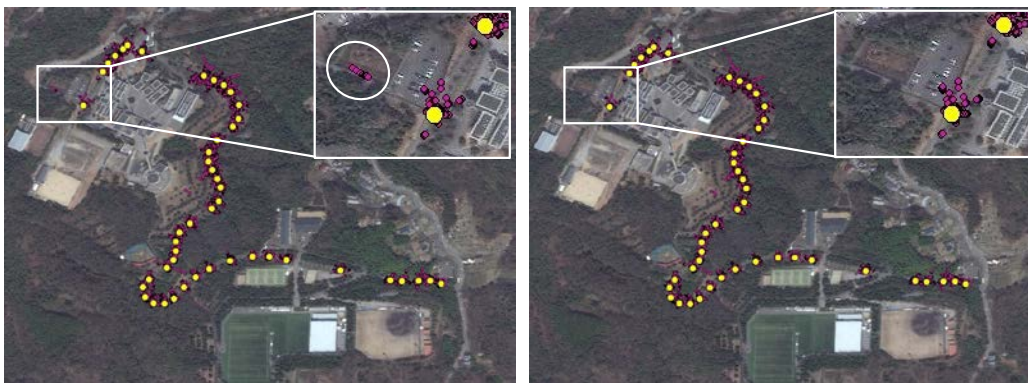
図4.17 グラウンド実験の除去前後の経緯度を地図にプロットした結果と標高
 (Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

図 4.17 では、ノイズ除去前の結果を図中の左、ノイズ除去後の結果を図中の右に示している。図中の白丸と点線の黒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。機種 A と機種 C は、除去率が低く、除去前後の変化箇所を目視で確認できなかった。機種 E は、経緯度のプロット結果より、G1, G2 と G5 の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。標高においては、G1 と G2 の付近において真値から離れた測量点が除去された。機種 F は、経緯度のプロット結果より、G2~G5 の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。標高においては、G1 と G2~G5 の付近で真値から離れた計測点が除去された。

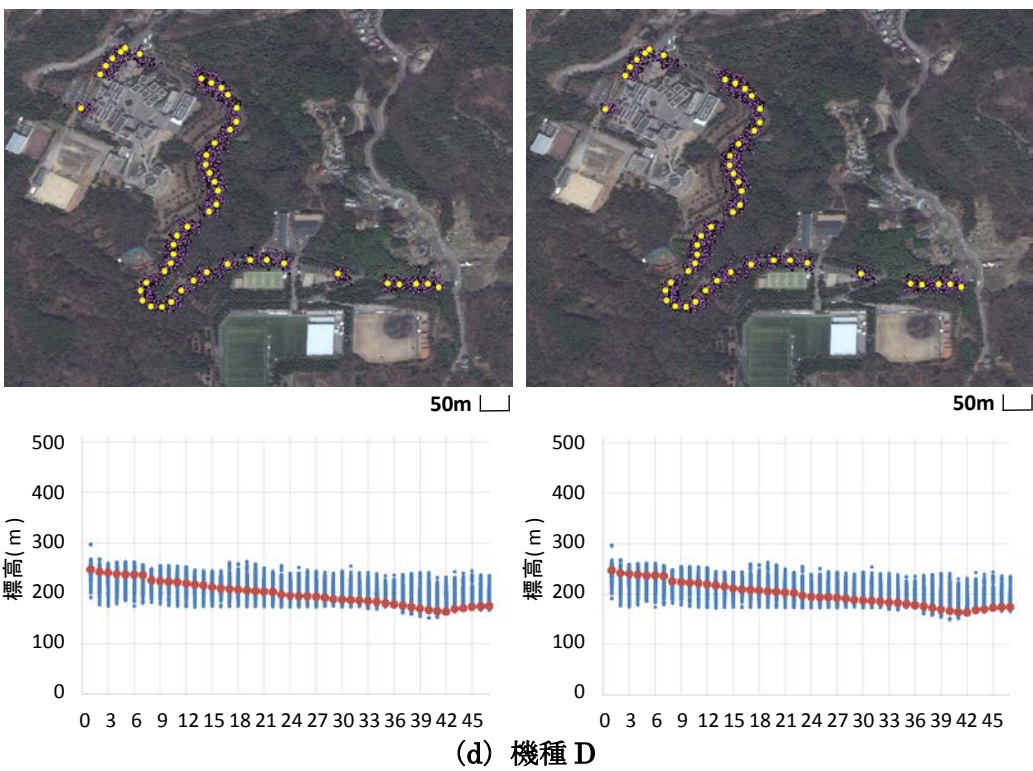
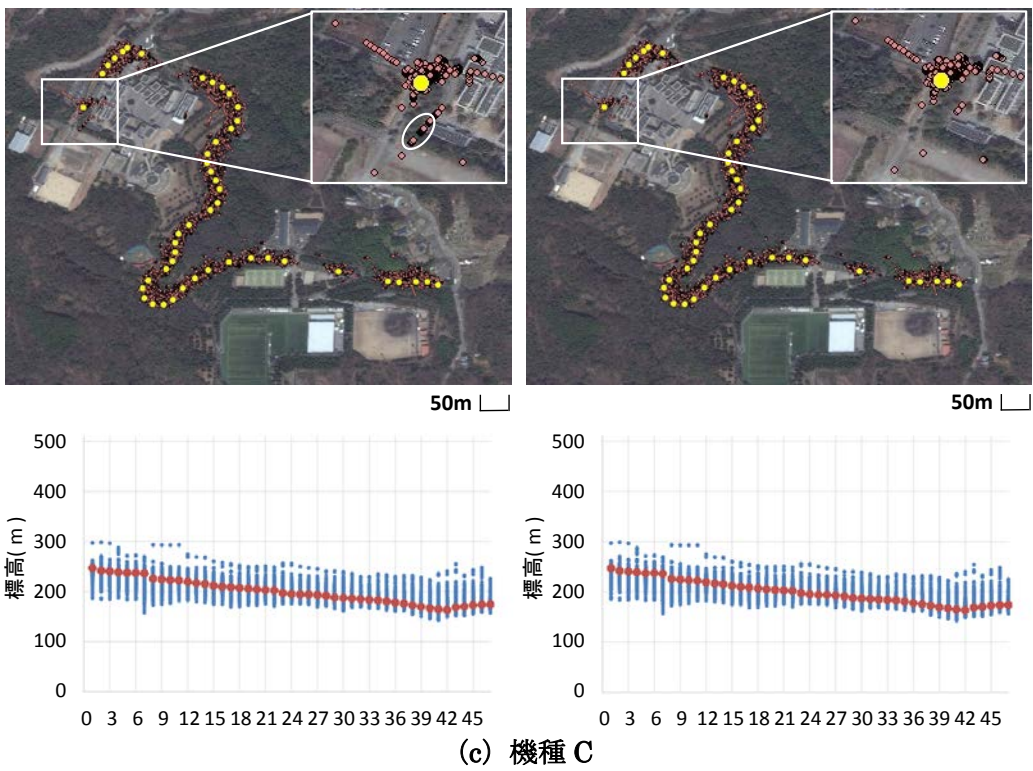
ノイズ除去前後の計測点を比較するために、キャンパス実験の 100 回分の経緯度を地図にプロットした結果と標高を図 4.18 に示す。



(a) 機種 A



(b) 機種 B



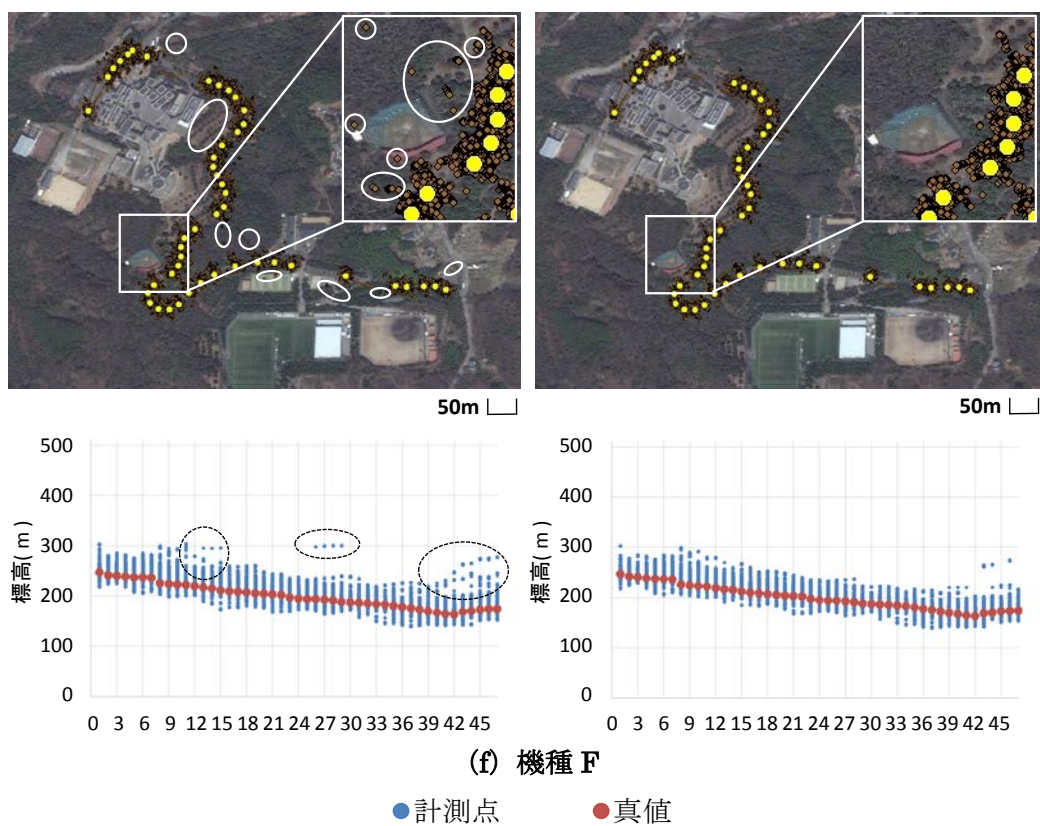
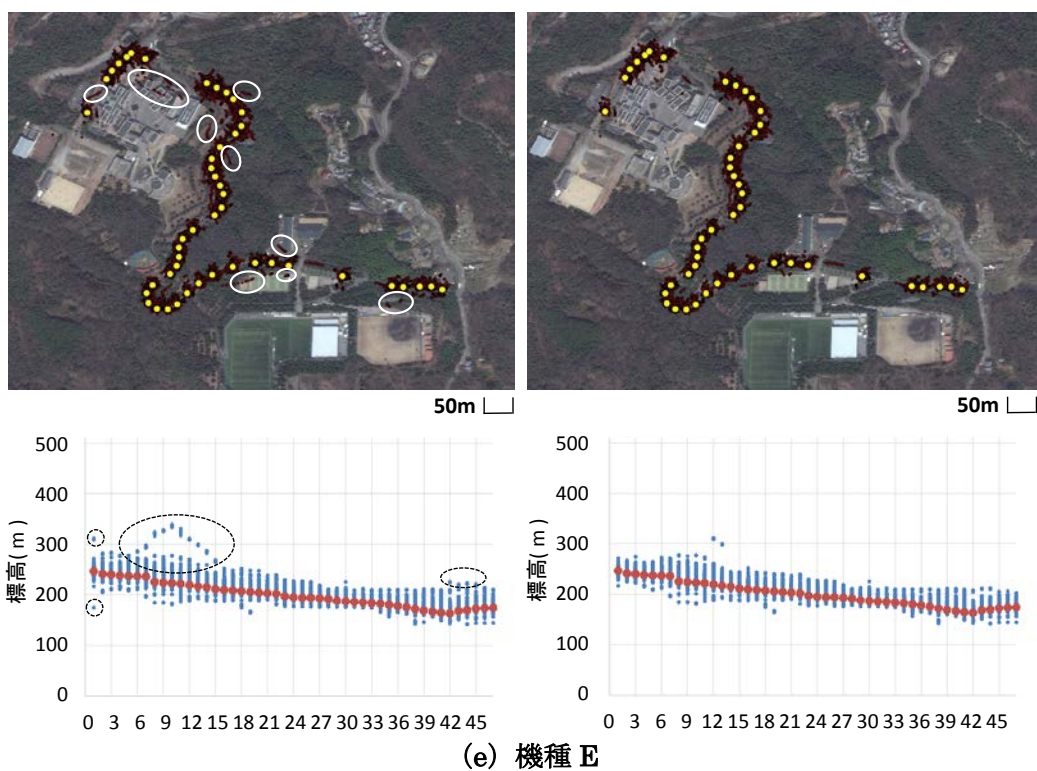


図4.18 キャンパス実験の除去前後の経緯度を地図にプロットした結果と標高
 (Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

図 4.18 では、ノイズ除去前の結果を図中の左、ノイズ除去後の結果を図中の右に示している。図中の白丸点線の黒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。経緯度をプロットした結果の図右上、白線の四角枠は拡大を意味する。キャンパス実験の機種 A は、除去率が低く、除去前後の変化箇所を目視で確認できなかった。キャンパス実験の機種 B と機種 C は、経緯度のプロット結果より、C1 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。キャンパス実験の機種 E と機種 F は、カーブ付近の測量点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。

4.3.3 考察

PDOP を用いたノイズ除去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 4.8）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 4.19 に示す。

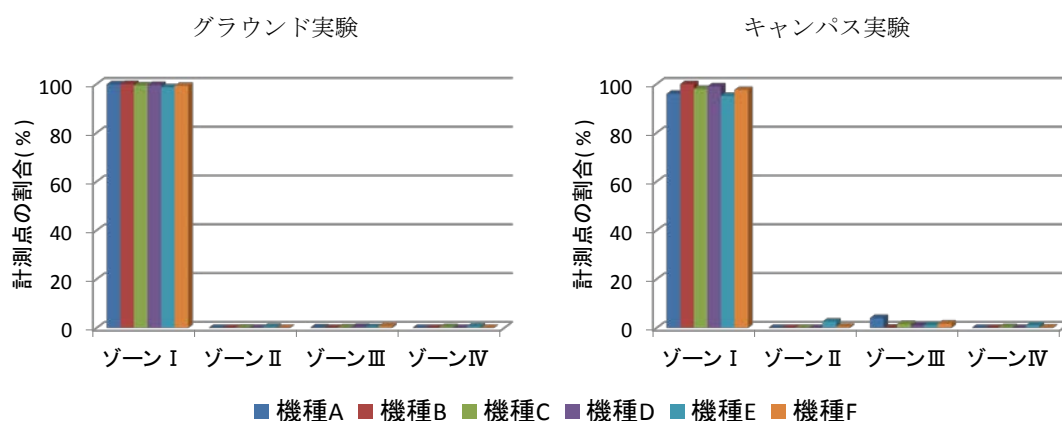


図4.19 ゾーン毎に含まれる計測点の割合

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（第 4.5 節）する。

4.4 平均誤差半径を用いたノイズ除去機能

4.4.1 平均誤差半径の閾値の検証

本ノイズ除去では、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、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4.19)であるため、大きな影響を受けない。本ノイズ除去では、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において、平均誤差半径が5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50mの場合の機種毎の計測点をゾーン別に比較した結果を図4.20および図4.21に示す。

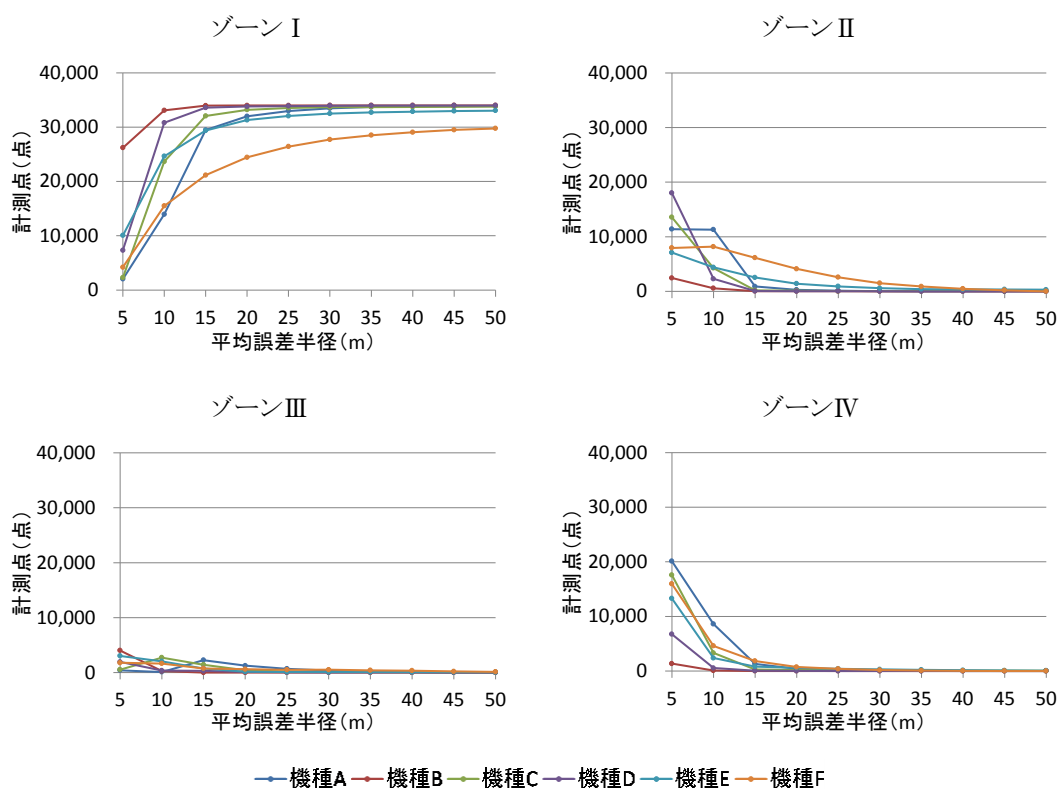


図4.20 グラウンド実験の計測点をゾーンに分類した結果

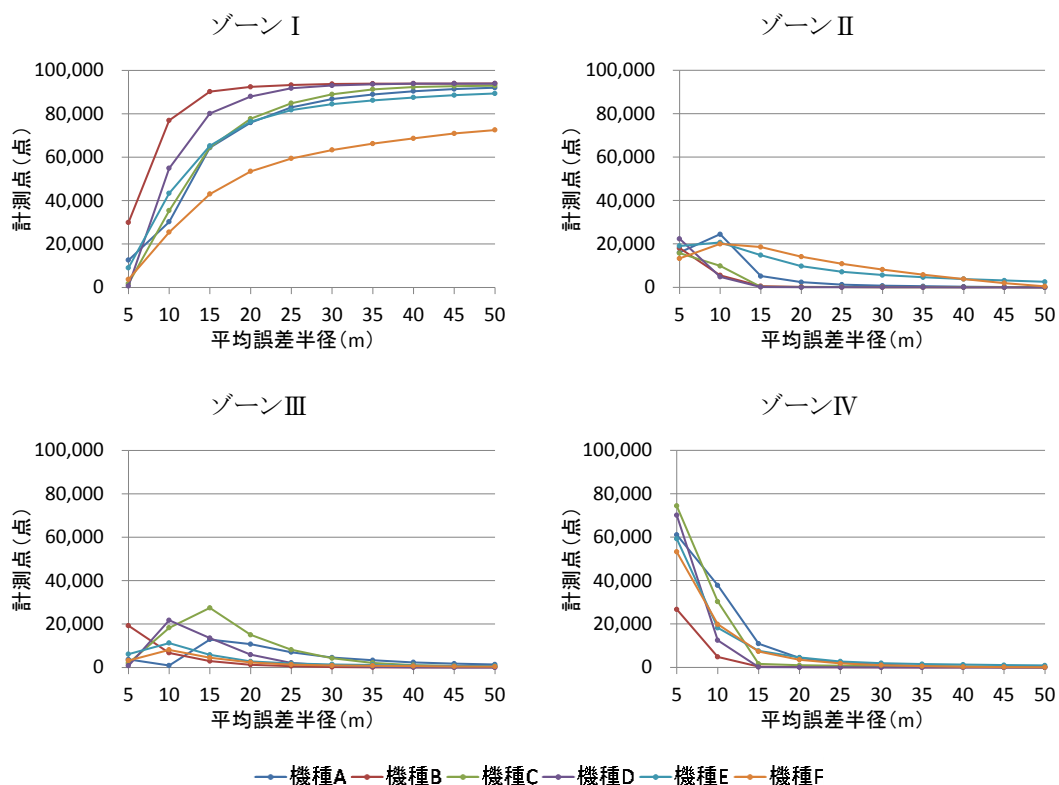


図4.21 キャンパス実験の計測点をゾーンに分類した結果

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、本ノイズ除去では、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し除去する。

4.4.2 検証結果

グラウンド実験（7 点）とキャンパス実験（47 点）の測量点上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、平均誤差半径が 35m より大きい場合にノイズを含む位置情報として除去する。グラウンド実験およびキャンパス実験のノイズ除去前後の計測点と除去率を表 4.4 および表 4.5 に示す。

表4.4 グラウンド実験（測量点）のノイズ除去前後の計測点と除去率

機種	除去前	PDOP の除去後		平均誤差半径の除去後	
	計測点(点)	計測点(点)	除去率(%)	計測点(点)	除去率(%)
A	33,943	33,939	0.01	33,917	0.08
B	34,010	34,010	0.00	34,004	0.02
C	33,944	33,938	0.02	33,790	0.45
D	33,998	33,998	0.00	33,996	0.01
E	33,466	32,187	3.82	31,931	4.59
F	29,910	25,534	14.63	25,098	16.09

表4.5 キャンパス実験（測量点）のノイズ除去前後の計測点と除去率

機種	除去前	PDOP の除去後		平均誤差半径の除去後	
	計測点(点)	計測点(点)	除去率(%)	計測点(点)	除去率(%)
A	93,362	93,200	0.17	92,209	1.23
B	93,995	93,973	0.02	93,936	0.06
C	93,835	93,739	0.10	93,353	0.51
D	93,926	93,926	0.00	93,918	0.01
E	93,469	79,967	14.45	77,853	16.71
F	73,407	59,331	19.18	57,592	21.54

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。

グラウンド実験およびキャンパス実験において、PDOP を用いたノイズ除去後の計測点を平均誤差半径で色分けした結果を図 4.22 および図 4.23 に示す。

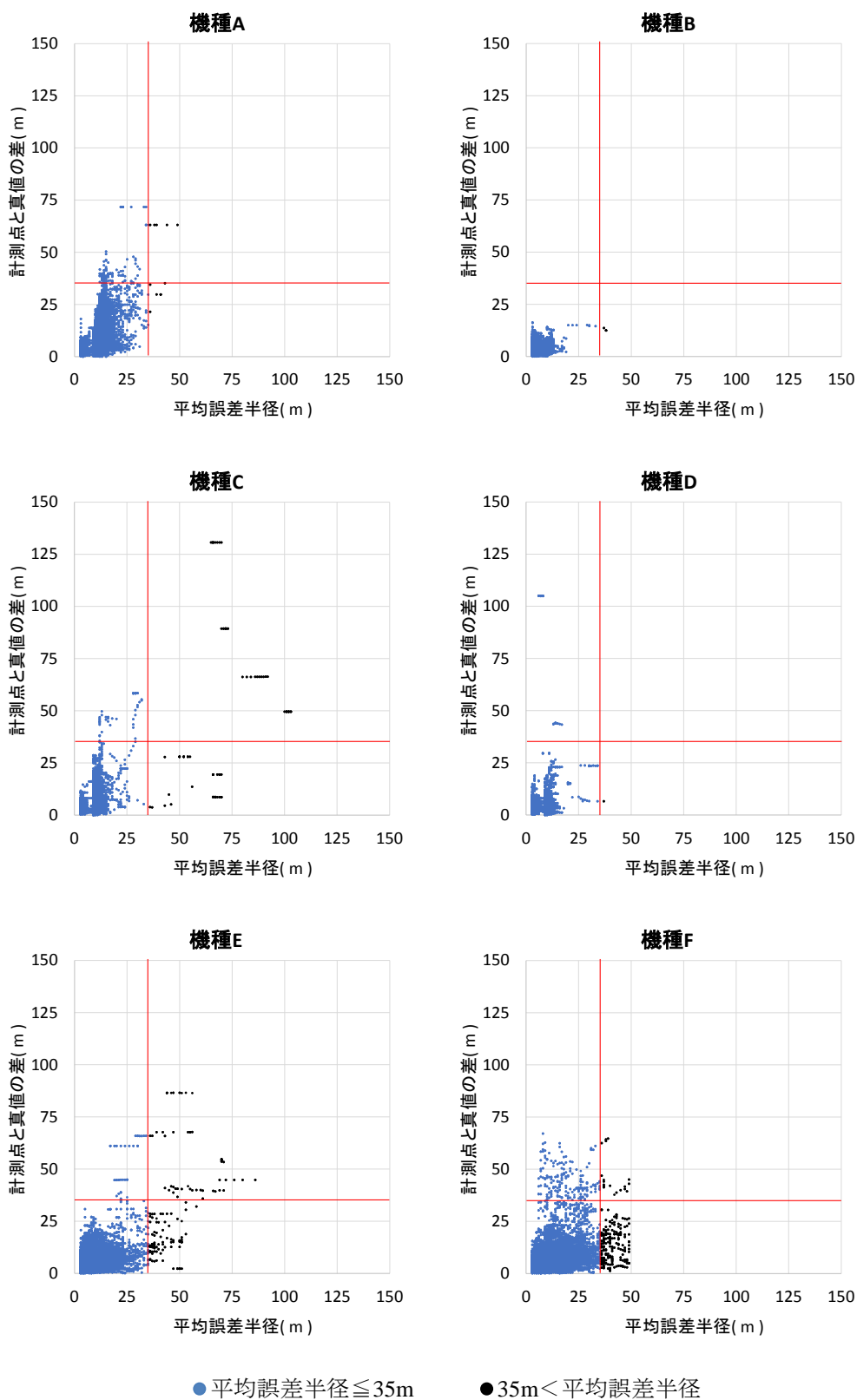


図4.22 PDOP を用いたノイズ除去後の計測点を平均誤差半径で色分けした結果 (グラウンド実験)

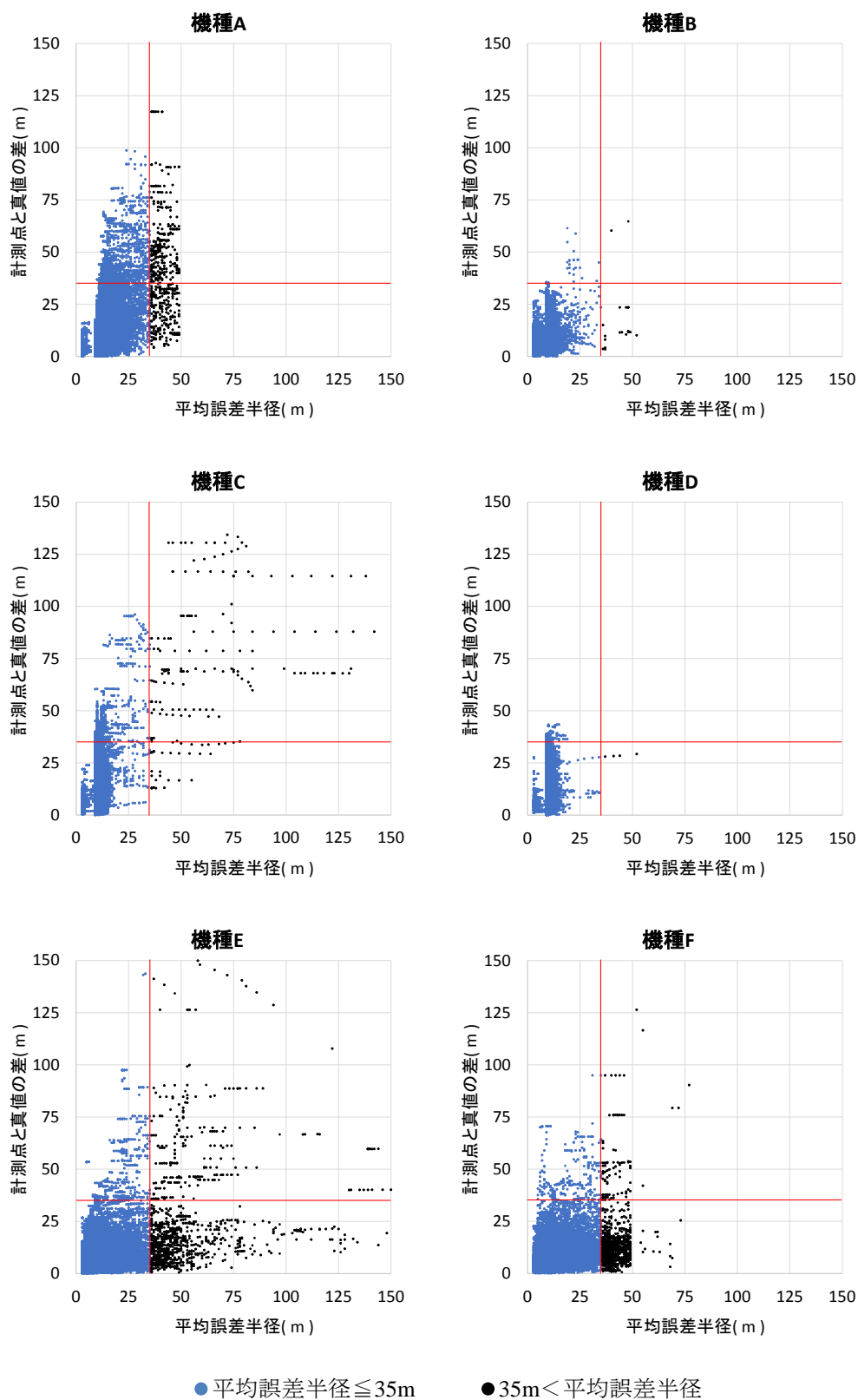
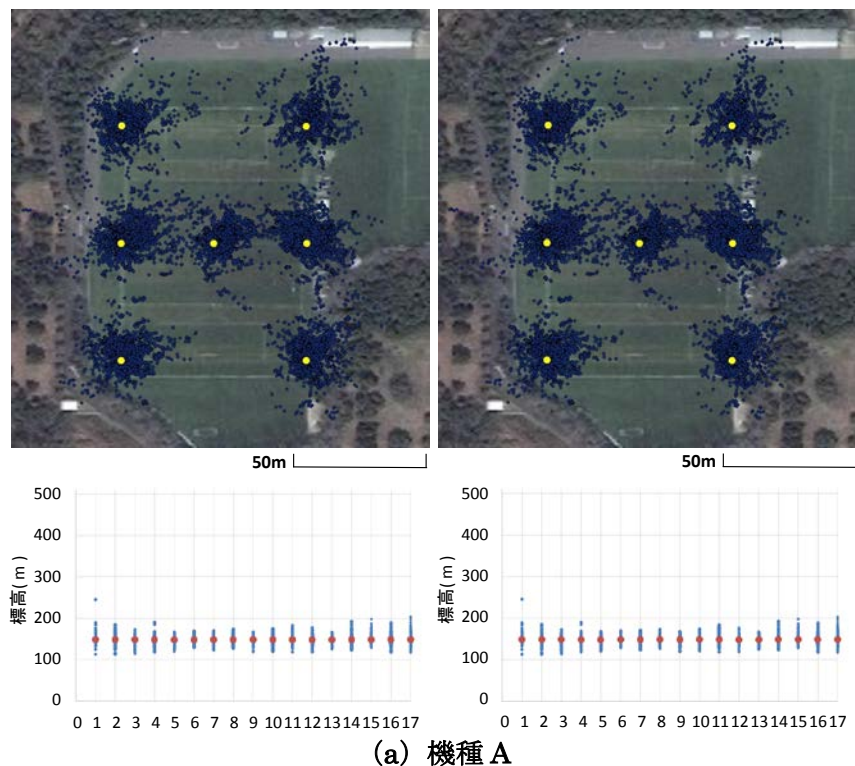
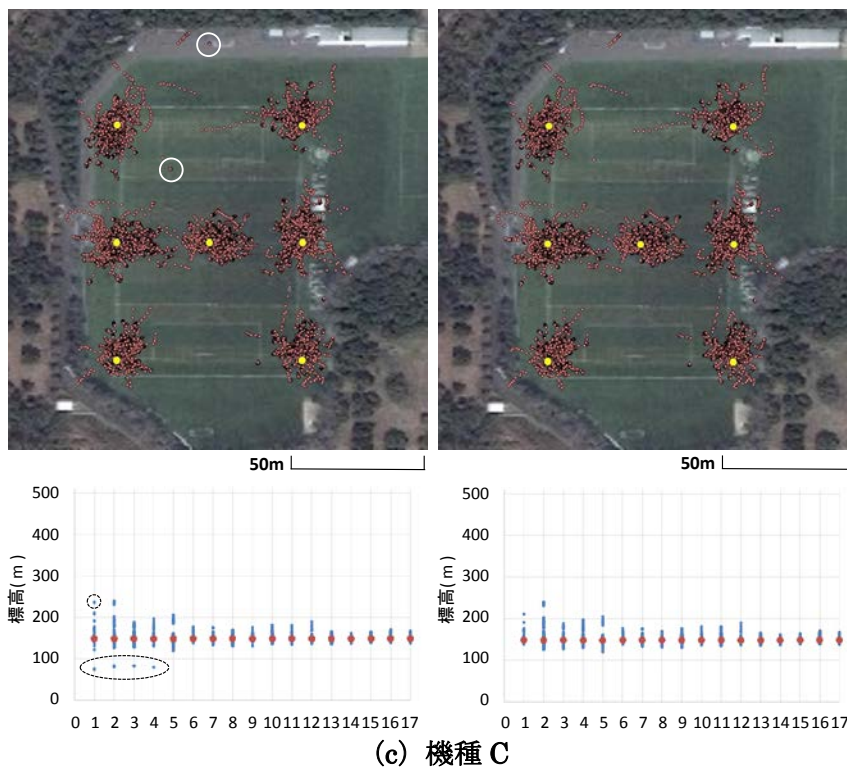
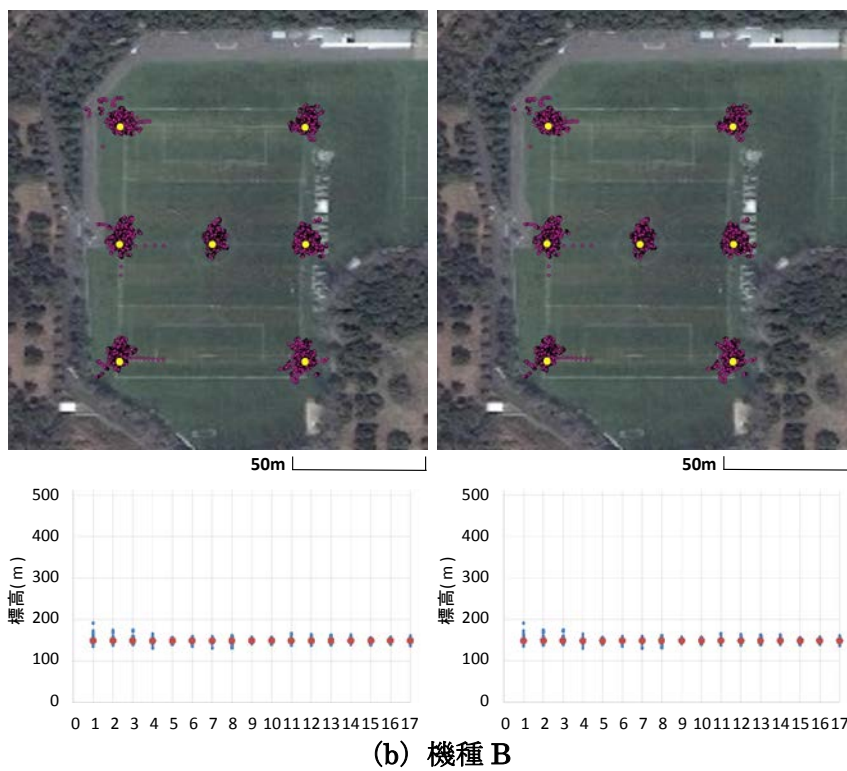


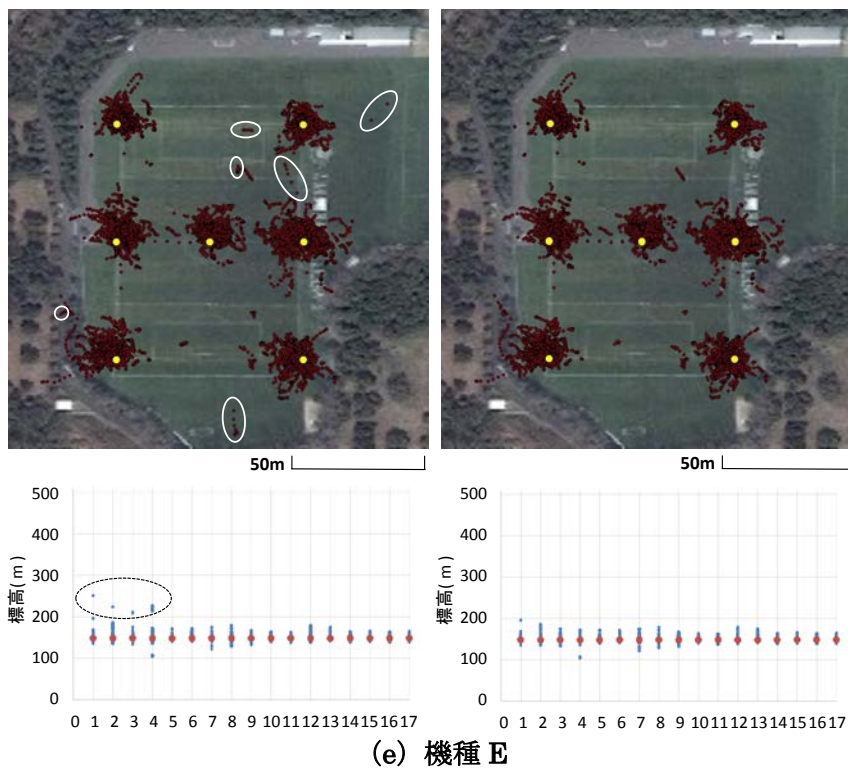
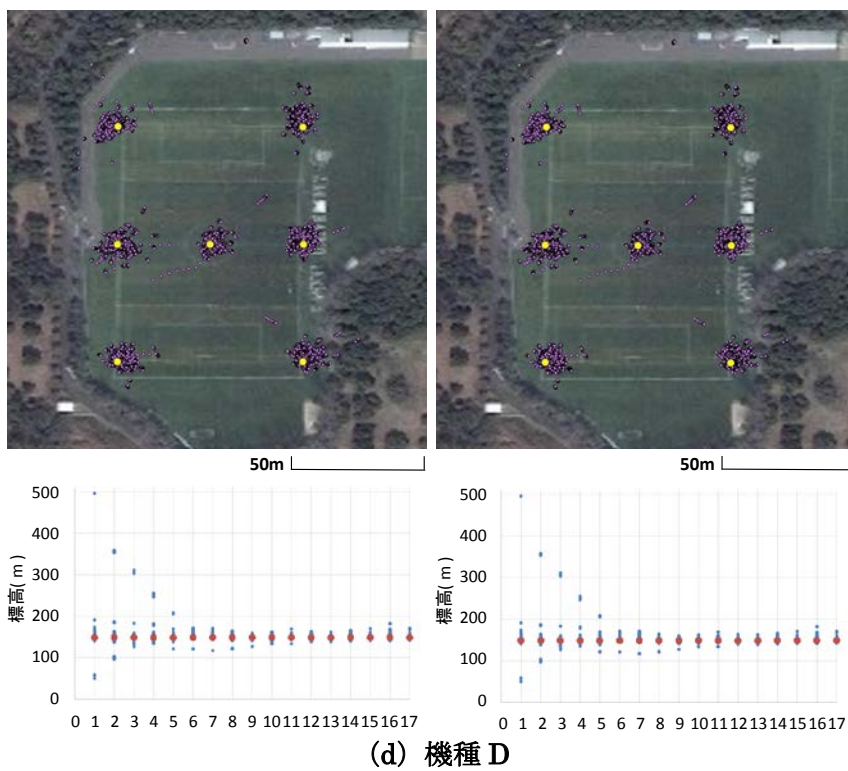
図4.23 PDOP を用いたノイズ除去後の計測点を平均誤差半径で色分けした結果
(キャンパス実験)

図 4.22 および図 4.23 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．

ノイズ除去前後の計測点を比較するために，グラウンド実験の 100 回分の経緯度を地図にプロットした結果と標高を図 4.24 に示す．







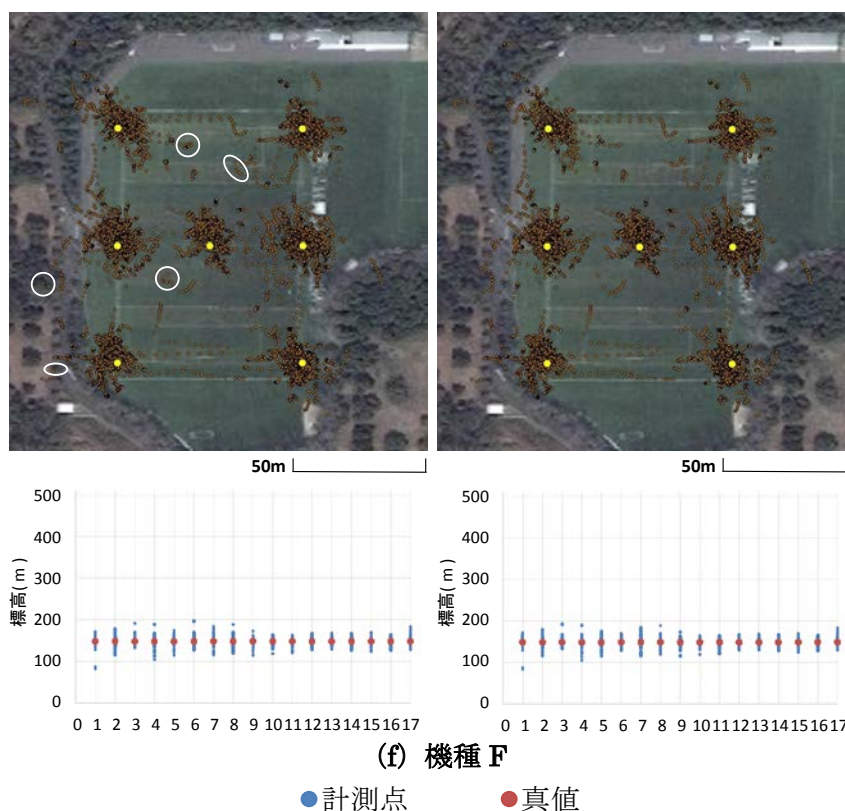
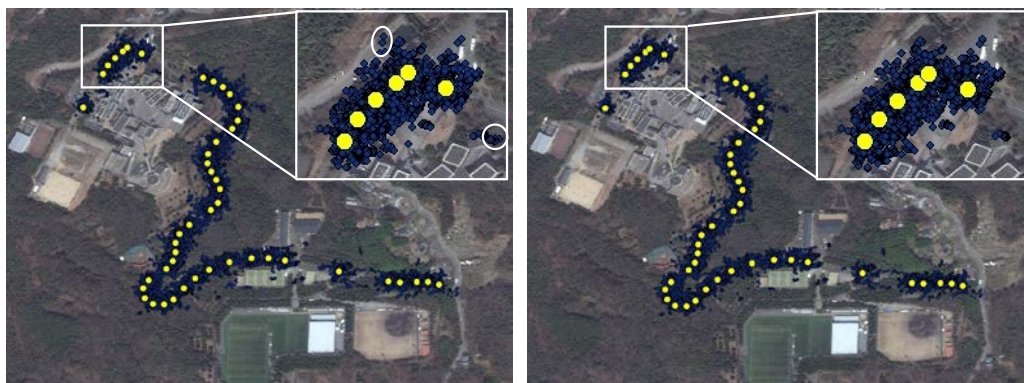


図4.24 グラウンド実験の除去前後の経緯度を地図にプロットした結果と標高
 (Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

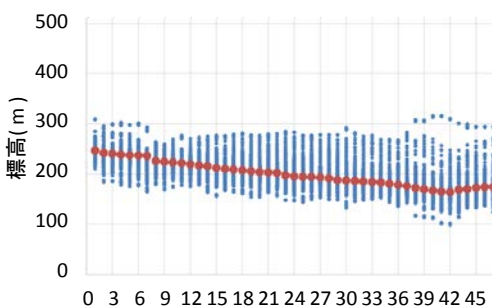
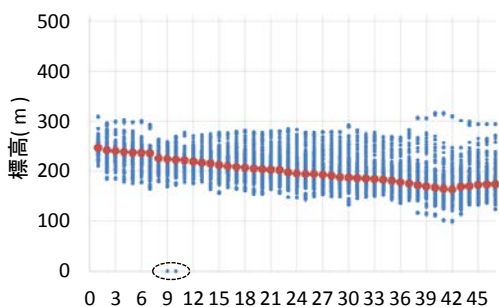
図 4.24 では、ノイズ除去前の結果を図中の左、ノイズ除去後の結果を図中の右に示している。図中の白丸と点線の黒丸はノイズ除去前後で変化があった箇所を意味し、経緯度と標高を 3 次元的に捉えて最終的にノイズを含む計測点であるかを判断する。機種 A、機種 B と機種 D は、除去率が低く、除去前後の変化箇所を目視で確認できなかった。機種 C は、経緯度のプロット結果より、G1 の付近において測量点から離れた計測点が除去されたことがわかる。標高においては、G1～G4 の付近において真値から離れた測量点が除去された。機種 E は、経緯度のプロット結果より、G2～G5 の付近において測量点から離れた計測点が除去されたことがわかる。標高においては、G1～G4 の付近において真値から離れた測量点が除去された。機種 F は、経緯度のプロット結果より、G1、G2 と G5～G7 の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。

ノイズ除去前後の計測点を比較するために、キャンパス実験の 100 回分の経緯度を地図にプロットした結果と標高を図 4.25 に示す。

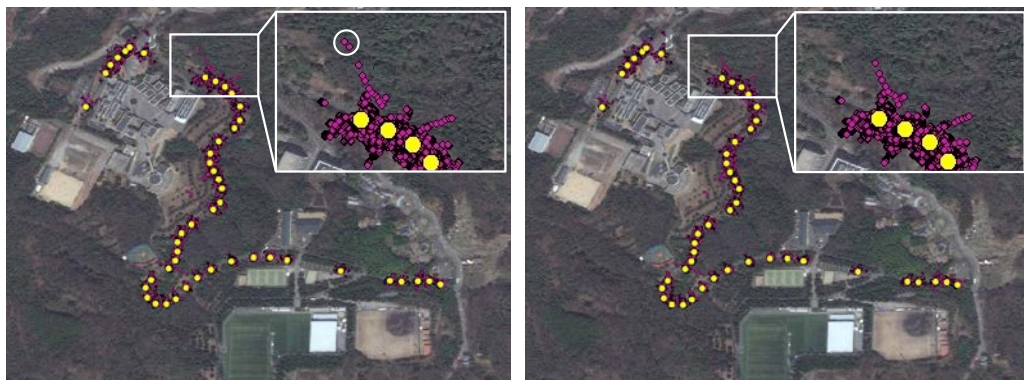


50m

50m

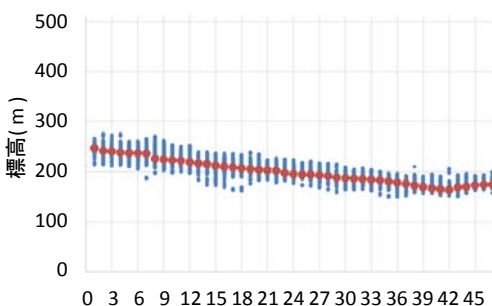
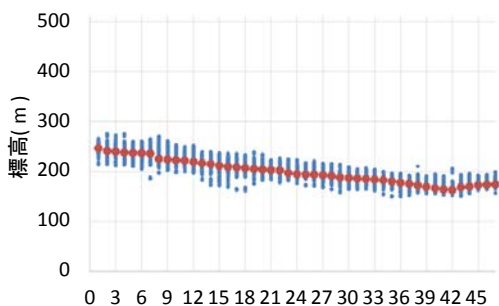


(a) 機種 A

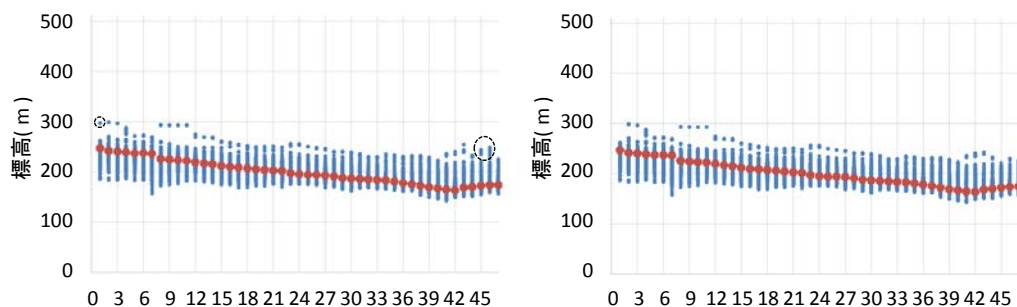
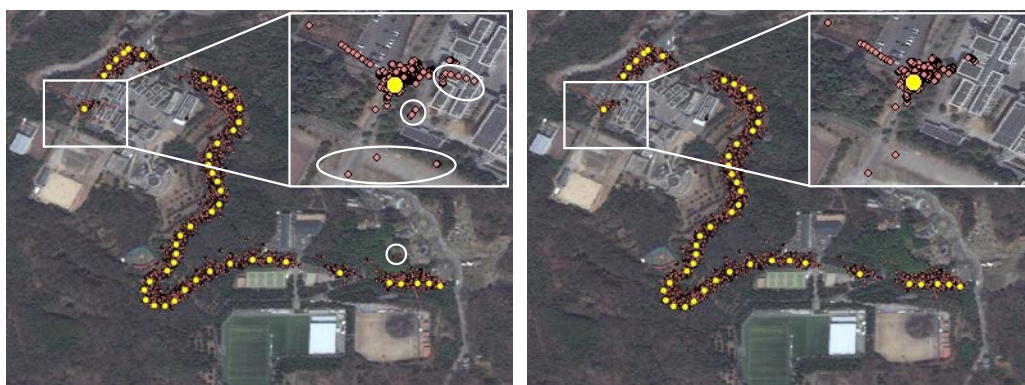


50m

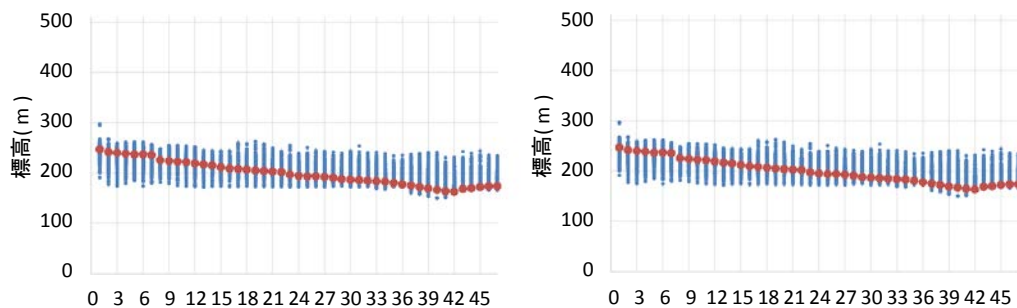
50m



(b) 機種 B



(c) 機種 C



(d) 機種 D

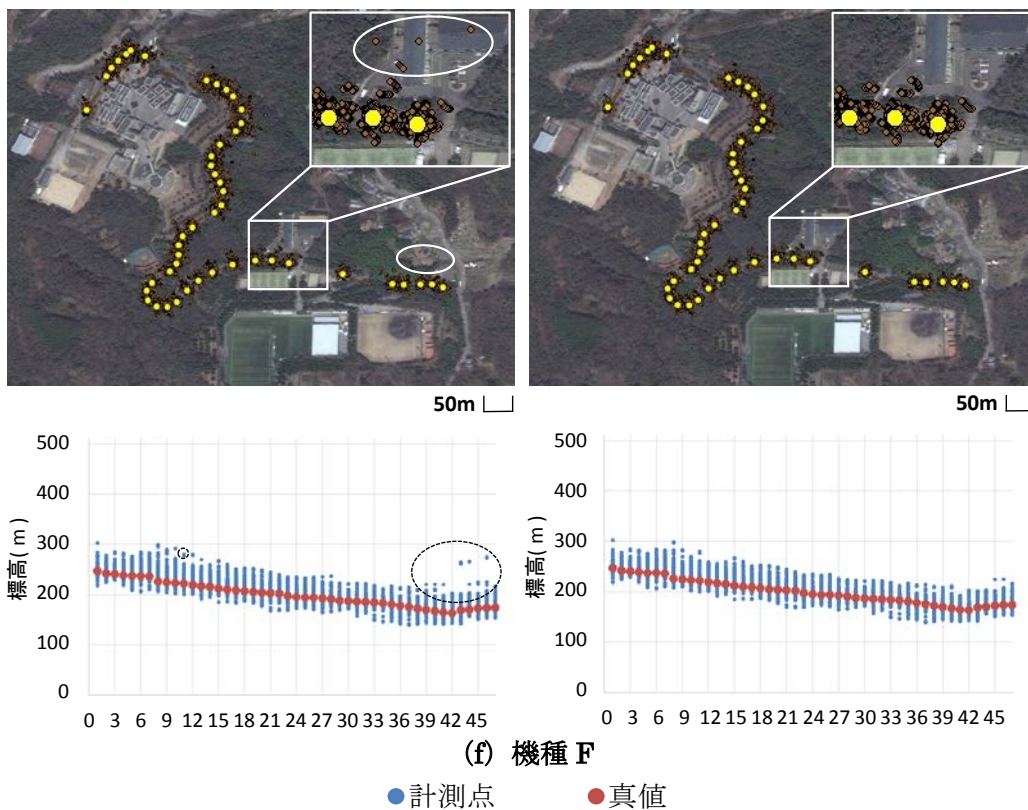
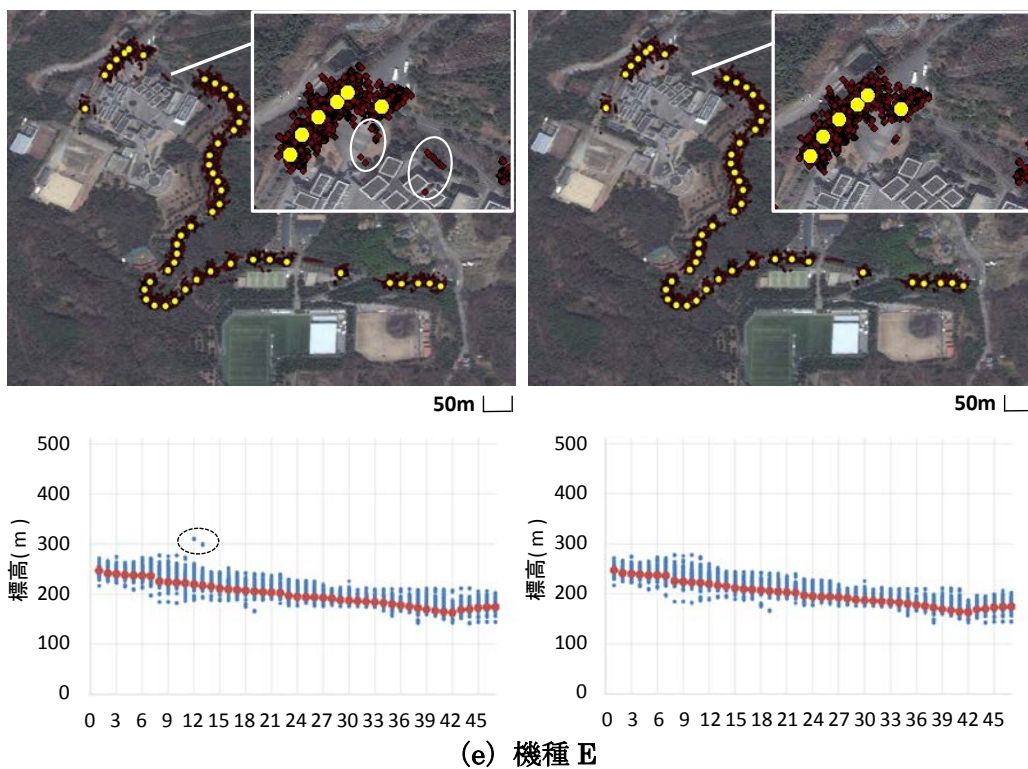


図4.25 キャンパス実験の除去前後の経緯度を地図にプロットした結果と標高
 (Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

図 4.25 では、ノイズ除去前の結果を図中の左、ノイズ除去後の結果を図中の右に示している。図中の白丸と点線の黒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。経緯度をプロットした結果の図右上、白線の四角枠は拡大を意味する。機種 D は、除去率が低く、除去前後の変化箇所を目視で確認できなかった。機種 A は、経緯度のプロット結果より、C5 と C6 の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。標高においては、C9 と C10 の付近において真値から離れた測量点が除去された。機種 B は、経緯度のプロット結果より、C8 の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。機種 C は、経緯度のプロット結果より、C1 と C43 の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。標高においては、C1, C45 と C46 の付近において真値から離れた測量点が除去された。機種 E は、カーブ付近の測量点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。機種 F は、経緯度のプロット結果と標高より、C39~C41, C43~C47 の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。標高においては、C9, C10 の付近において真値から離れた測量点が除去された。

4.4.3 考察

本ノイズ除去では、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。グラウンド実験およびキャンパス実験において、本ノイズ除去後のゾーン別計測点分布を図 4.26 および図 4.27 に、本ノイズ除去前後のゾーン別計測点数を表 4.6 および表 4.7 に示す。

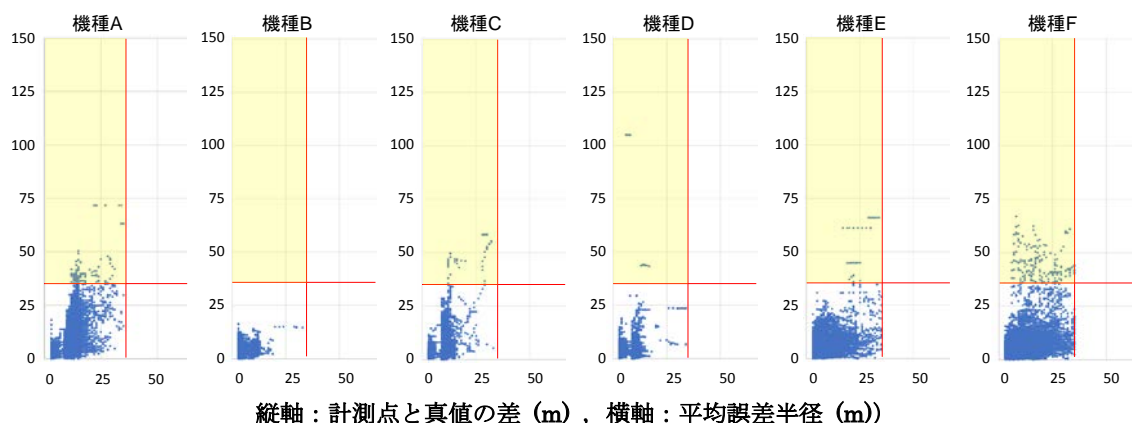


図4.26 PDOP と平均誤差半径によるノイズ除去後のゾーン別計測点分布(グラウンド実験)

表4.6 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(グラウンド実験)

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

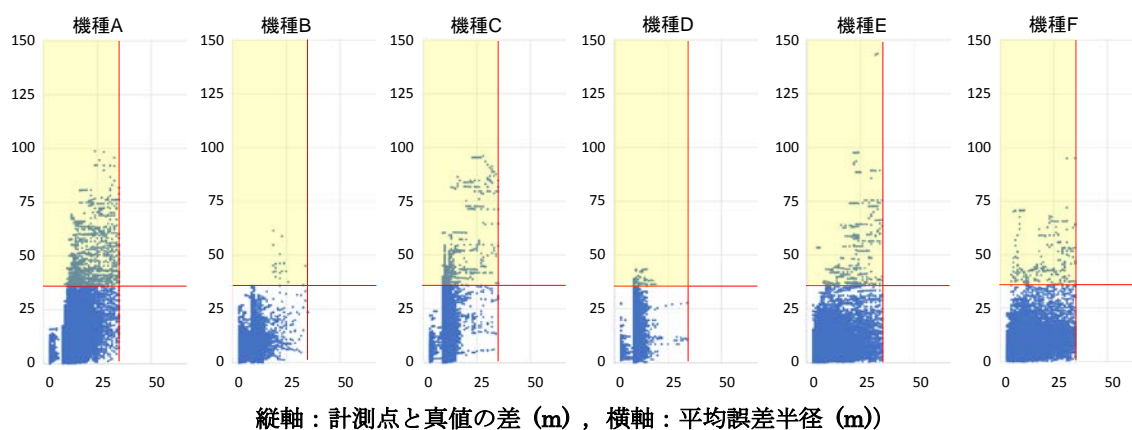


図4.27 PDOP と平均誤差半径によるノイズ除去後のゾーン別計測点分布(キャンパス実験)

表4.7 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(キャンパス実験)

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

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が残った。グラウンド実験 (図 4.26 と表 4.6) およびキャンパス実験 (図 4.27 と表 4.7) 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。

4.5 実証実験

4.5.1 実験方法

本章では、グラウンド実験およびキャンパス実験のそれぞれで 100 回取得したすべての計測点に対して、PDOP を用いたノイズ除去機能および平均誤差半径を用いたノイズ除去機能を用いてノイズを含む位置情報を除去し、その有用性を検証する。具体的には、まず、PDOP が 4 より大きい場合にノイズを含む位置情報とする。次に、PDOP を用いたノイズ除去後にゾーンⅢおよびゾーンⅣに含まれる計測点を除去するため、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する。

4.5.2 実験結果

グラウンド実験およびキャンパス実験のノイズ除去前後の計測点と除去率を表 4.8 および表 4.9 に示す。

表4.8 グラウンド実験（全点）のノイズ除去前後の計測点と除去率

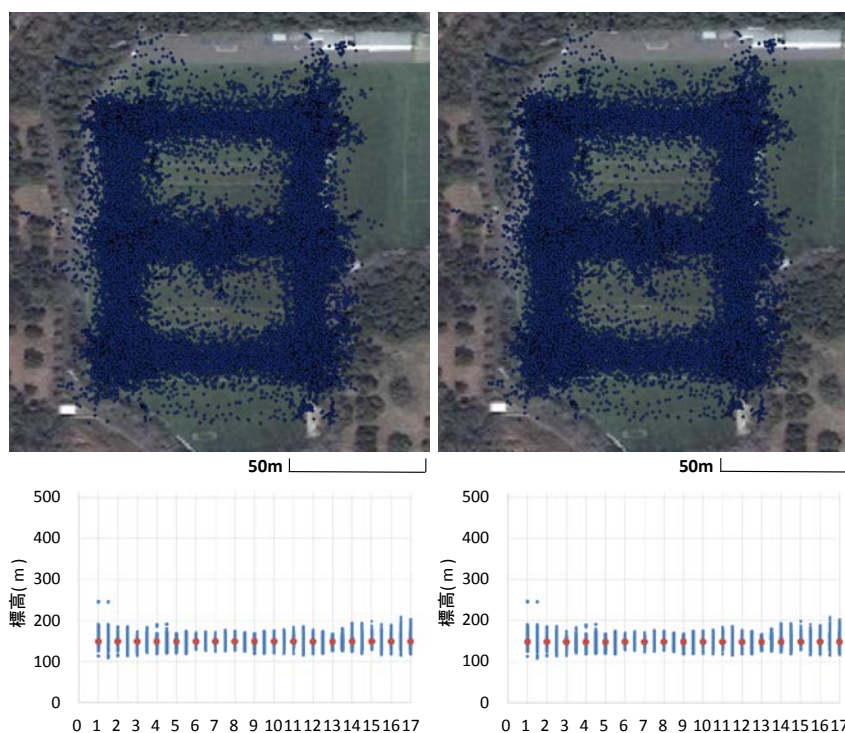
機種	除去前	PDOP の除去後		平均誤差半径の除去後	
	計測点(点)	計測点(点)	除去率(%)	計測点(点)	除去率(%)
A	136,358	136,346	0.01	136,144	0.16
B	136,220	136,220	0.00	136,196	0.02
C	137,619	137,541	0.06	136,525	0.79
D	137,361	137,361	0.00	137,321	0.03
E	133,609	128,652	3.71	127,350	4.68
F	117,342	100,555	14.31	98,817	15.79

表4.9 キャンパス実験（全点）のノイズ除去前後の計測点と除去率

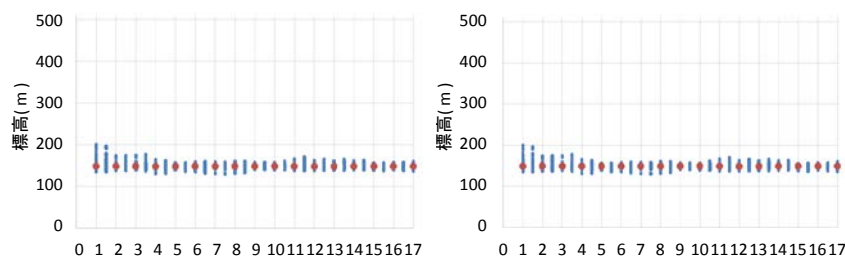
機種	除去前	PDOP の除去後		平均誤差半径の除去後	
	計測点(点)	計測点(点)	除去率(%)	計測点(点)	除去率(%)
A	312,141	311,831	0.10	308,397	1.20
B	315,106	315,012	0.03	314,900	0.07
C	315,973	315,665	0.10	313,827	0.68
D	315,106	315,106	0.00	315,070	0.01
E	313,701	273,597	12.78	265,568	15.34
F	247,775	203,170	18.00	196,928	20.52

除去率は、ノイズ除去前の計測点に対して、PDOP および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として区別された計測点の割合を指す。グラウンド実験では 0.02%~15.79%，キャンパス実験では 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。

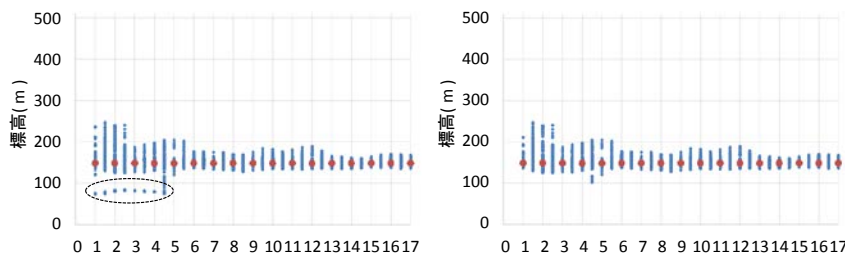
ノイズ除去前後の計測点を比較するために、グラウンド実験の 100 回分の経緯度を地図にプロットした結果と標高を図 4.28 に示す。



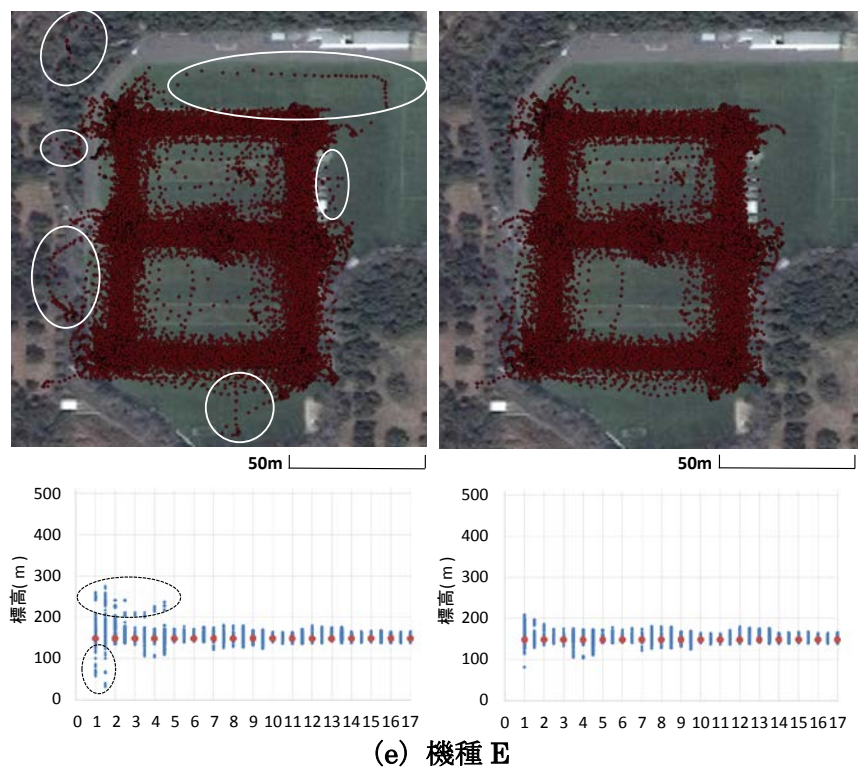
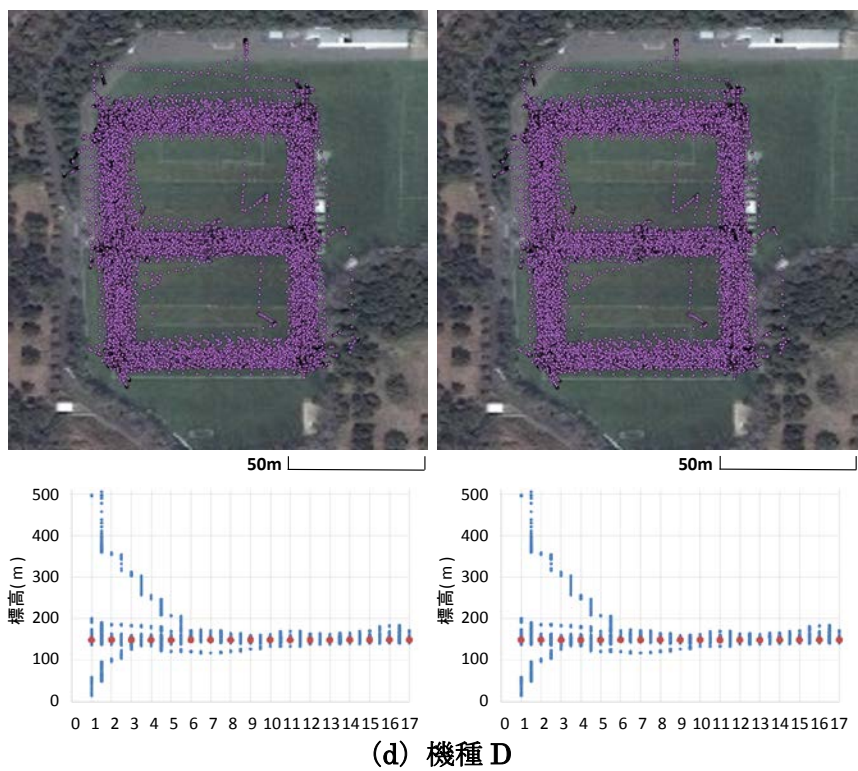
(a) 機種 A



(b) 機種 B



(c) 機種 C



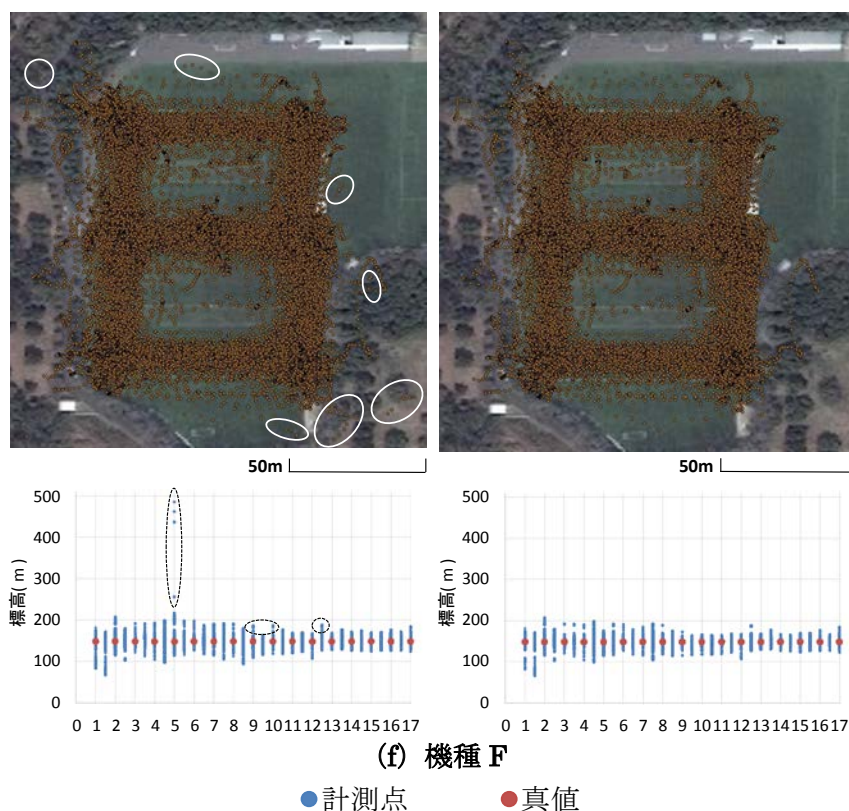
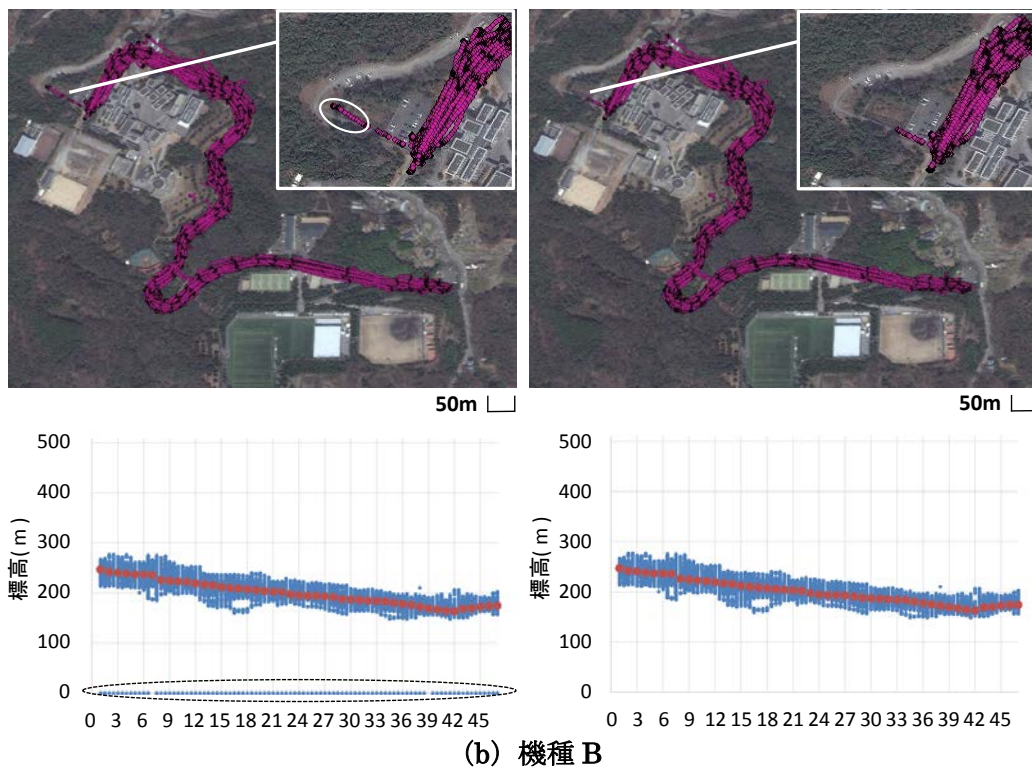
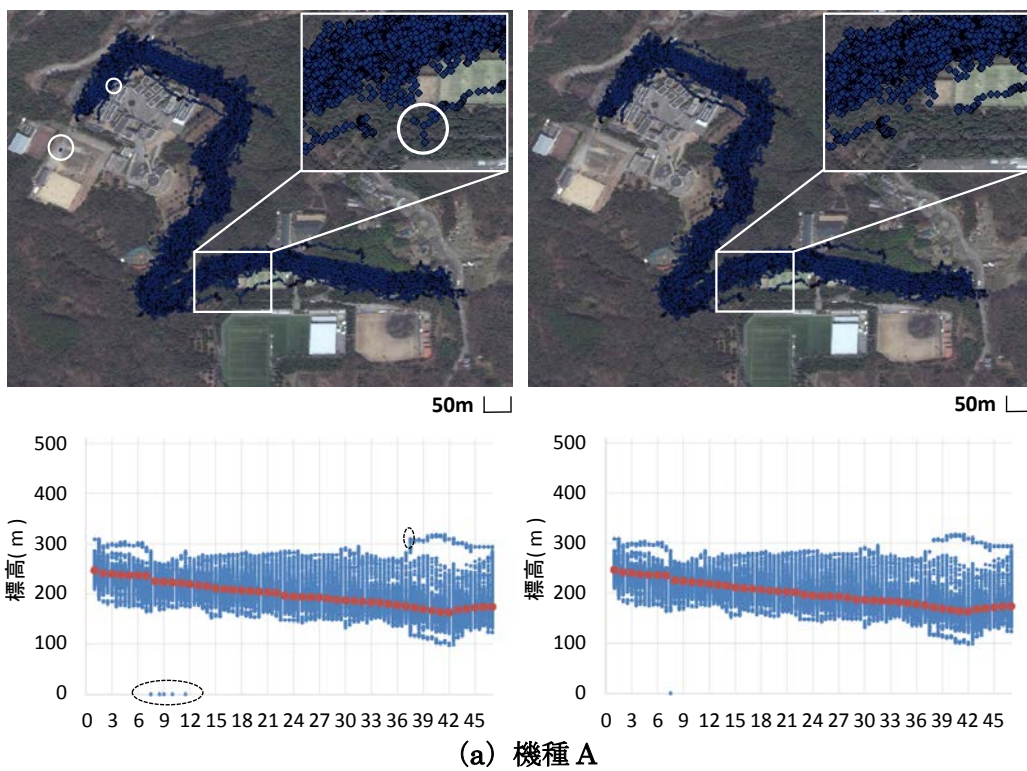
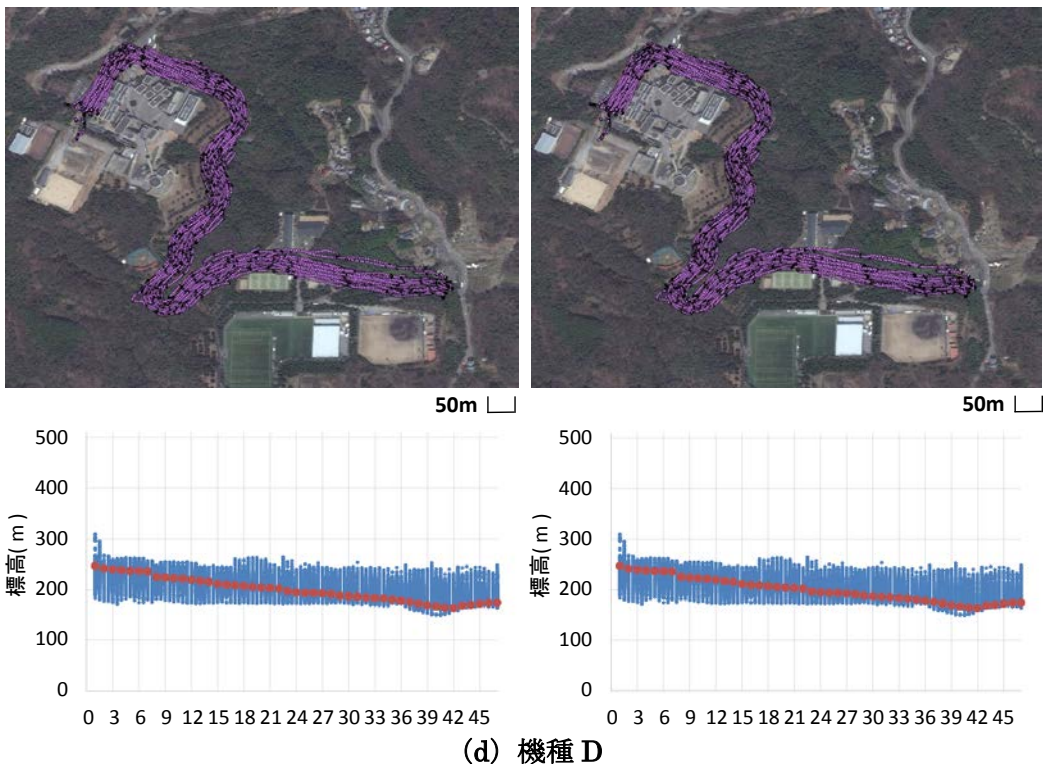
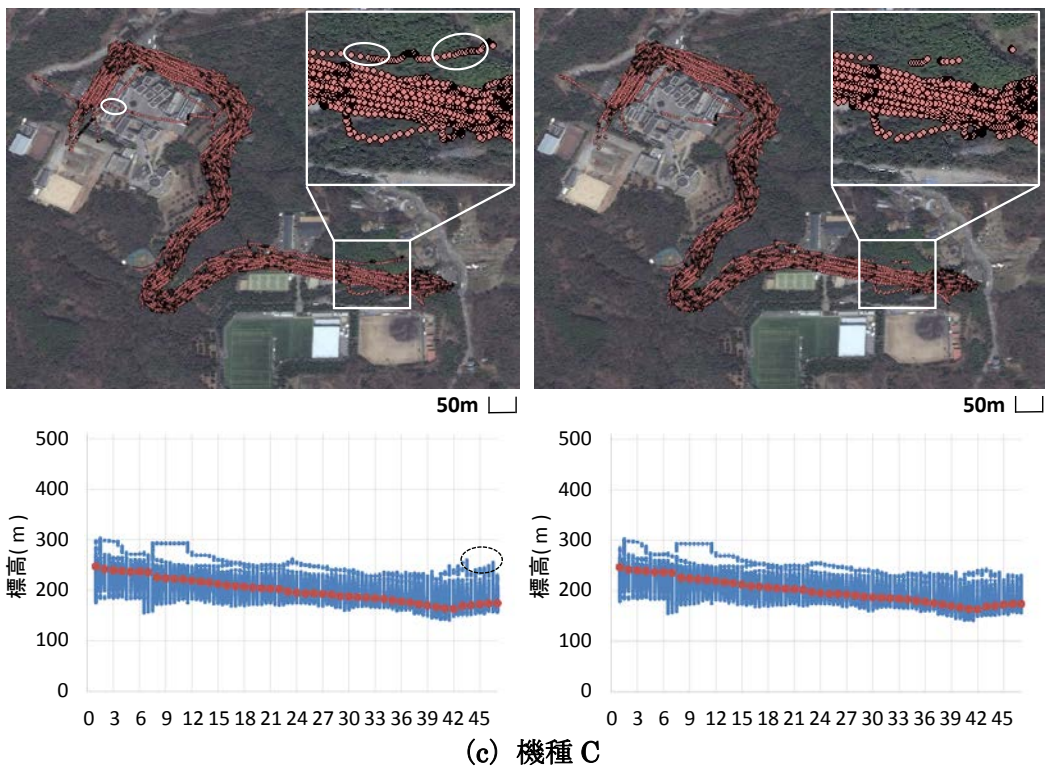


図4.28 グラウンド実験の除去前後の経緯度を地図にプロットした結果と標高
 (Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

図 4.28 では、ノイズ除去前の結果を図中の左、ノイズ除去後の結果を図中の右に示している。図中の白丸と点線の黒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。機種 A、機種 B と機種 D は、除去率が低く、除去前後の変化箇所を目視で確認できなかった。機種 C は、経緯度のプロット結果より、G1 の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。標高においては、G1～G5 の付近において真値から離れた測量点が除去された。機種 E は、経緯度のプロット結果より、G1～G6 の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。標高においては、G1～G4 の付近において真値から離れた測量点が除去された。機種 F は、経緯度のプロット結果より、G1～G4 の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。標高においては、G3～G5、G7 の付近において真値から離れた測量点が除去された。

ノイズ除去前後の計測点を比較するために、キャンパス実験の 100 回分の経緯度を地図にプロットした結果と標高を図 4.29 に示す。





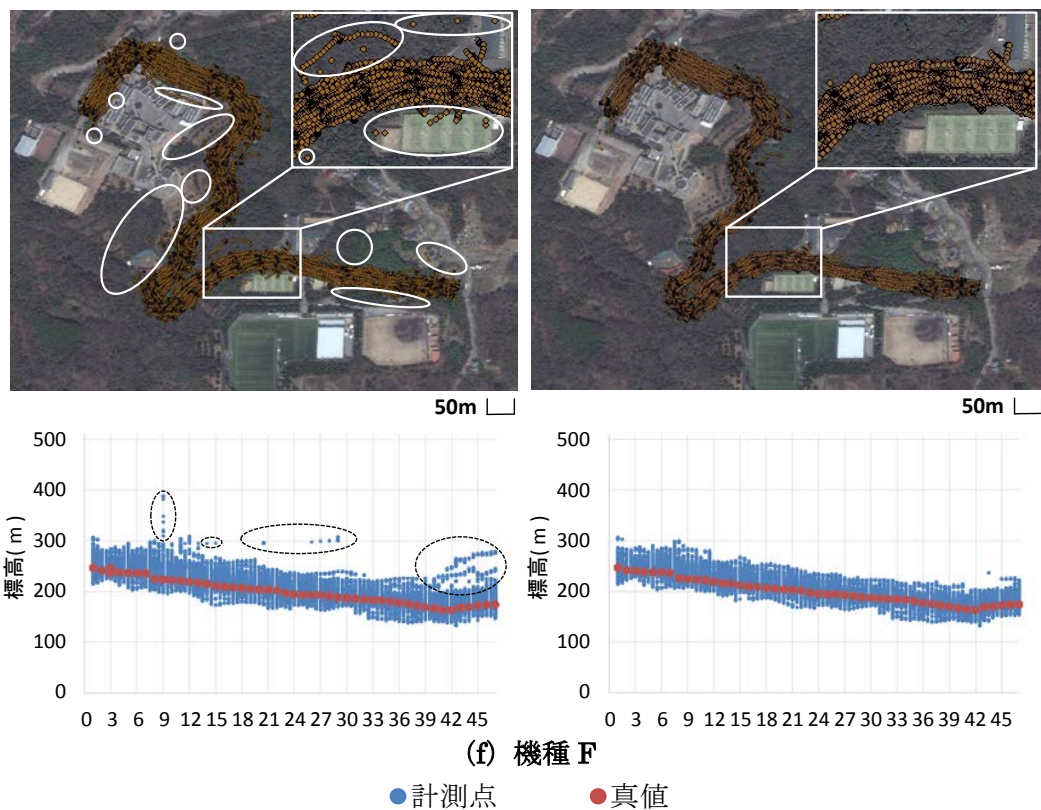
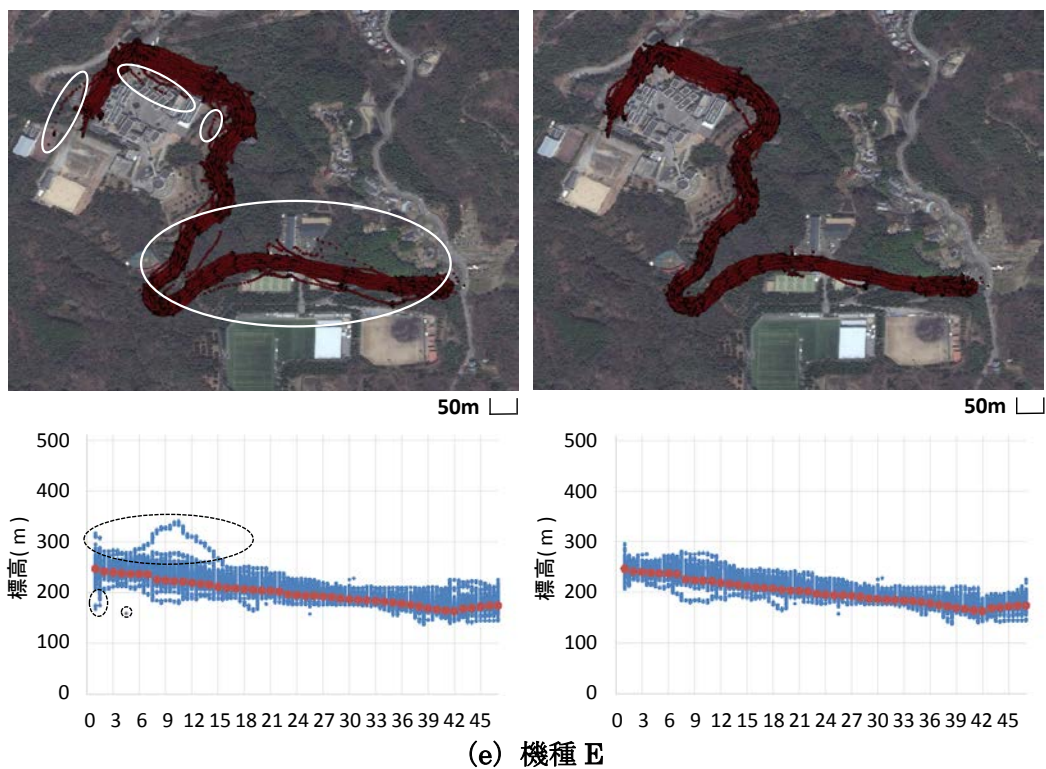


図4.29 キャンパス実験の除去前後の経緯度を地図にプロットした結果と標高
 (Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

図 4.29 では、ノイズ除去前の結果を図中の左、ノイズ除去後の結果を図中の右に示している。図中の白丸と点線の黒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。経緯度をプロットした結果の図右上、白線の四角枠は拡大を意味する。機種 D は、除去率が低く、除去前後の変化箇所を目視で確認できなかった。機種 A～機種 C は、カーブ付近の測量点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。標高においては、機種 A の C7～C11, C37 と C38 の付近、機種 B の全体、機種 C の C43～C47 の付近において真値から離れた測量点が除去された。機種 E と機種 F は、その他の機種に比べ全体の測量点において測量点から離れた計測点が多く除去されたことがわかる。

4.5.3 考察

PDOP と平均誤差半径の指標を用いて汎用的な閾値を解析した結果、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。第 2.3 節で前述したとおり、慣性計測装置(IMU) を用いてベクトル情報を加味することで GPS センサから取得した位置情報を高精度化する手法が提案されてきた。しかし、スマートフォンに搭載されている加速度センサやジャイロセンサのセンサ特性や精度が機種毎に異なる場合や、歩行者を対象とした場合などのスマートフォンを固定しない場合の対応が困難である。ただし、歩行者を対象とする場合は前後の位置情報の差が小さいためスカラー情報のみを考慮することで対応できると考える。よって、PDOP と平均誤差半径を用いたノイズ除去後にゾーンⅢにノイズを含む位置情報が残る課題については、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が可能であると考えられる。

第 5 章

第5章 歩行者トリップデータを用いたノイズ除去手法

5.1 研究の概要

第4章ではPDOPと平均誤差半径の指標を活用することで、全く無意味な位置情報を除去することはできたが、真値と異なるノイズを含む位置情報を完全には除去しきれない課題が残った。本研究で調査した限り、スマートフォンから得られる二次情報を用いて、その解決策となる実装可能な手法が見当たらなかった。そこで、本研究ではその課題を解決するために、単独の計測データそのものの絶対精度や正確度をさらに追及するのではなく、計測データにフィルタリング処理を施すことを考える。本章では、歩行者トリップデータに着目し、リアルタイムに信頼性の高い位置情報を取得する手法を提案する。本研究の位置付けを図5.1に示す。

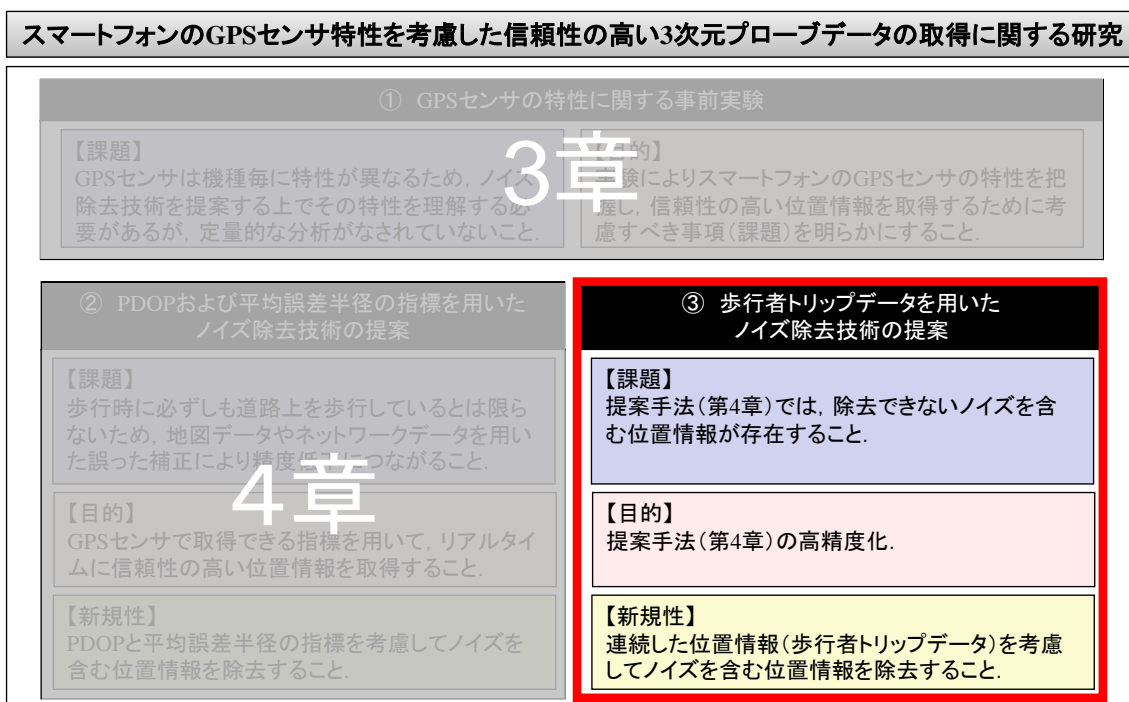


図5.1 本研究の位置付け

5.2 歩行者トリップデータを用いたノイズ除去機能

ノイズ除去手法のフローを図 5.2 に示す。

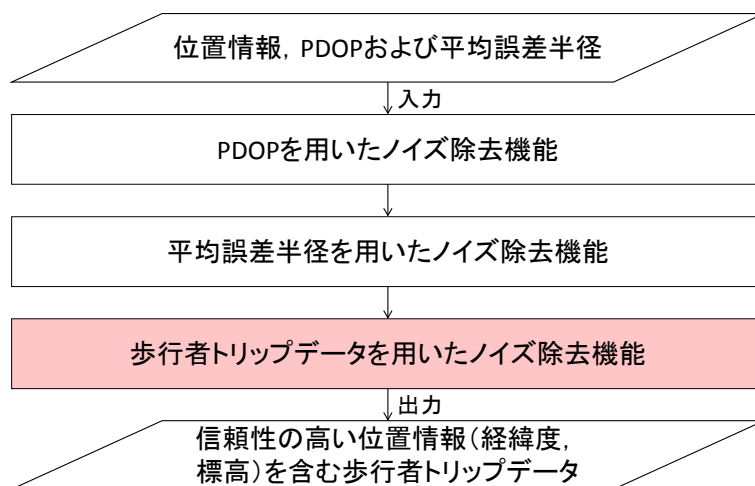


図5.2 ノイズ除去手法のフロー

ノイズ除去手法は、PDOP を用いたノイズ除去機能、平均誤差半径を用いたノイズ除去機能、歩行者トリップデータを用いたノイズ除去機能（以下、提案手法）で構成される。入力は、スマートフォンのGPS センサから取得した位置情報、PDOP および平均誤差半径とする。出力は、ノイズを除去した信頼性の高い位置情報を含む歩行者トリップデータとする。本研究では、リアルタイムに信頼性の高い位置情報を含む 3 次元の歩行者トリップデータを取得することを目的とする。提案手法では、スマートフォンで取得できる歩行者トリップデータからノイズを含む位置情報を判定する。ノイズを含む位置情報の判定方法を図 5.3 に示す。

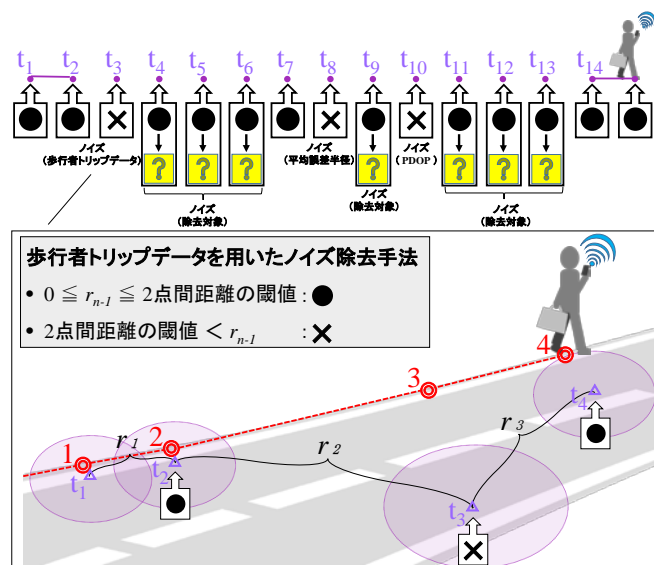


図5.3 ノイズを含む位置情報の判定方法

まず、3次元空間上の連続した位置情報に対して、現在の計測点 (t_n) とその直前の計測点 (t_{n-1}) の3次元の2点間距離 r_{n-1} を用いて次の2パターンに分ける。

- $0 \leq r_{n-1} \leq 2$ 点間距離の閾値 : ●
- 2 点間距離の閾値 $< r_{n-1}$: ×

ここで「●」はノイズを含まない位置情報とする。「×」はノイズを含む位置情報である。

次に、2パターンの計測点に対して、歩行者トリップデータを用いてノイズを含む位置情報を判定する。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する。計測点 t_3 は提案手法によってノイズを含む位置情報と判定されたことを意味する。ノイズを含む計測点と判定された直後の計測点は信頼性が低いため、「●」の場合には「？」に変更し、ノイズの除去対象とする。ノイズの除去対象とする計測点が連続すると曲り角や歩道橋などの動作を見逃す可能性があるため、ここではノイズの除去対象とする計測点を3点とする。PDOP、平均誤差半径および歩行者トリップデータを用いたノイズ除去機能のいずれかでノイズを含む位置情報と判定された「×」の判定後は、「×」の直後3点に含まれる「●」を「？」とみなし、ノイズを含む位置情報とする。計測点 t_{10} のように「×」(計測点 t_8) の後3点以内で「×」と判定された場合、その直後の計測点 t_{11} から3点を「？」とする。3点としたことについては、第5.2.2項で後述する。そしてノイズを含む位置情報と判定された後、3回「？」が続いた後の計測点 t_{14} を「●」とする。計測点が途切れた場合にもこの手法を適用する。図5.3では、「●」と判定された計測点 t_1 , t_2 , t_7 と t_{14} が信頼性の高い歩行者トリップデータとして残る。

提案手法では、まず、平均誤差半径35m以下を対象に5m間隔で2点間距離の閾値の候補を検討する。次に、候補とした2点間距離の閾値に対して1m間隔で閾値を決定する。そして、ノイズの除去対象とする計測点数として3点の妥当性を検討する。

5.2.1 2点間距離の閾値の検証

(1) 2点間距離の閾値が5m~35mの場合

提案手法では、ゾーンⅢの計測点をノイズとして除去する割合が大きく、ゾーンⅠの計測点を除去する割合ができるだけ小さくなる2点間距離を閾値とする。

グラウンド実験およびキャンパス実験において、2点間距離を5、10、15、20、25、30、35mに設定した場合、機種毎のゾーンⅠとゾーンⅢの除去率を図5.4および図5.5に示す。

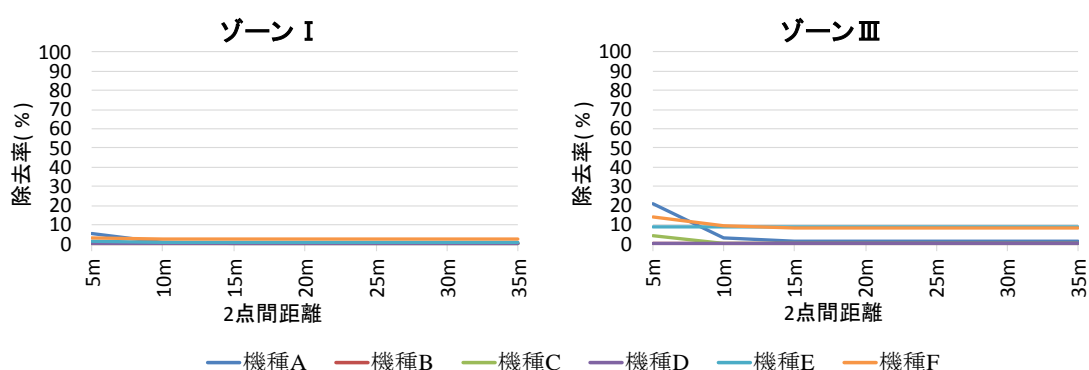


図5.4 グラウンド実験のゾーンⅠとゾーンⅢの除去率 (5m~35m, 3点の場合)

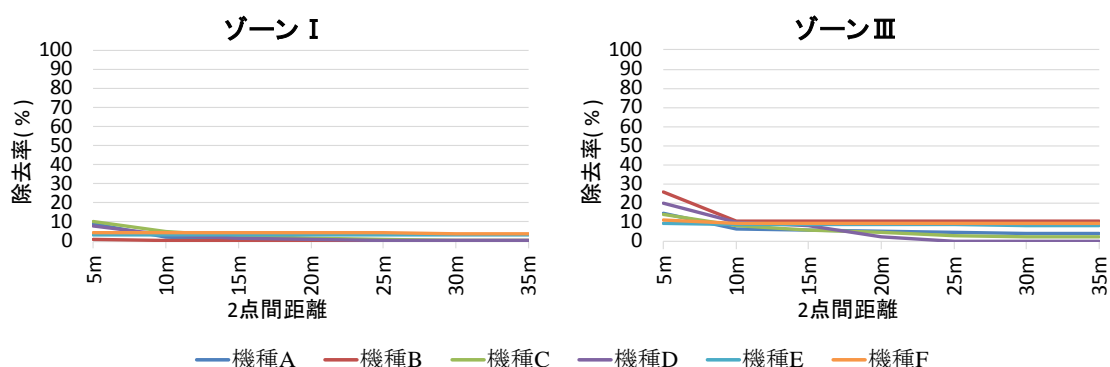


図5.5 キャンパス実験のゾーンⅠとゾーンⅢの除去率 (5m~35m, 3点の場合)

ゾーンⅠとゾーンⅢの除去率は、提案手法の適用前後で減少した計測点の割合を意味する。7パターンにおけるゾーンⅠの除去率はグラウンド実験で0.01%~5.70%、キャンパス実験で0.17%~10.44%であった。ゾーンⅢの除去率は、グラウンド実験で0%~20.83%、キャンパス実験で0%~26.15%であった。図5.4より、機種B、DとEにおけるゾーンⅢの除去率は、2点間距離5m~35mで変化がなかった。機種Cは2点間距離5mおよび10m、機種AとFは2点間距離5m~15mの場合、2点間距離が短くなるにつれて除去率が増加した。図5.5より、機種BとFにおけるゾーンⅢの除去率は、2点間距離10m~35mでは変化がなかった。機種A、C、DとEは2点間距離が短くなるにつれて除去率が増加した。

提案手法の 2 点間距離の閾値を検証した結果、ゾーンⅢの除去率が大きくなるのは 5m であった。ただし、7 パターンを比較すると、閾値毎の除去率の変動が小さいため、これを閾値として決定することは適切ではないと考える。機種 A が 2 点間距離 10m から 5m で除去率が 17.59%増加すること（図 5.4 中のゾーンⅢ）、機種 B が 2 点間距離 10m から 5m で除去率が 15.38%増加すること（図 5.5 中のゾーンⅢ）、機種 D が 2 点間距離を短くするほど除去率が高くなること（図 5.5 中のゾーンⅢ）より、2 点間距離の閾値の候補として 5m 以下を対象に検証する。

(2) 2 点間距離の閾値が 1m~5m の場合

第 5.2.1 項 (1) の結果を踏まえ、閾値の候補として、1, 2, 3, 4m の 4 パターンを追加し、同様の手法で判定する。ここでは、ノイズの除去対象とする計測点数が 3 点の場合だけでなく、2 点の場合も同様に処理する。まず、グラウンド実験およびキャンパス実験において、除去対象とする計測点数が 3 点の場合の機種毎のゾーンⅠとゾーンⅢの除去率を 1m~5m の 5 パターンで図 5.6 および図 5.7 に示す。

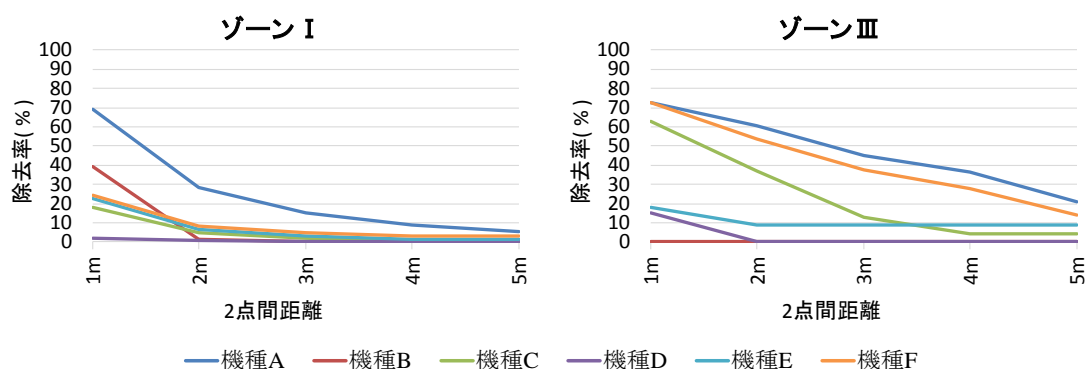


図5.6 グラウンド実験のゾーンⅠとゾーンⅢの除去率（1m~5m，3点の場合）

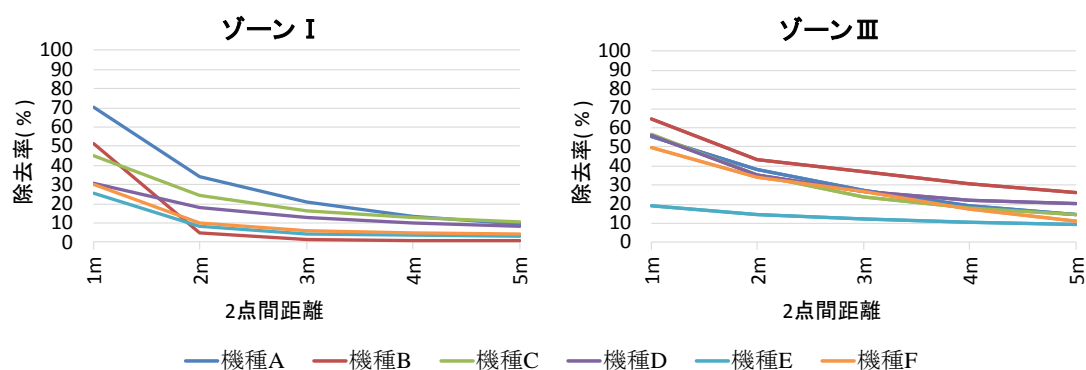


図5.7 キャンパス実験のゾーンⅠとゾーンⅢの除去率（1m~5m，3点の場合）

1~5m の 5 パターンにおけるゾーンⅠの除去率は、グラウンド実験で 0.02%~69.34%、

キャンパス実験で 0.77%~70.53%であった。ゾーンⅢの除去率は、グラウンド実験で 0.00%~72.70%，キャンパス実験で 9.23%~64.62%であった。図 5.6 より，ゾーンⅠの除去率の差は，機種 A~C，E と F における 2 点間距離 1m から 2m では著しく高いが，3m から 4m になるほど低くなった。機種 D では，ゾーンⅠの除去率の差が 2 点間距離 1m~5m において 1.77%以下と小さかった。一方，ゾーンⅢの除去率の差は，2 点間距離が短いほど増加する機種が大半を占めた。図 5.7 より，ゾーンⅠの除去率の差は，すべての機種の 1m から 2m では著しく高いが，3m から 4m になるほど低くなった。一方，ゾーンⅢの除去率の差は，2 点間距離が短いほど増加した。グラウンド実験およびキャンパス実験において，1m~5m の 5 パターンで機種毎のゾーンⅠの除去率とゾーンⅢの非除去率を図 5.8 に示す。

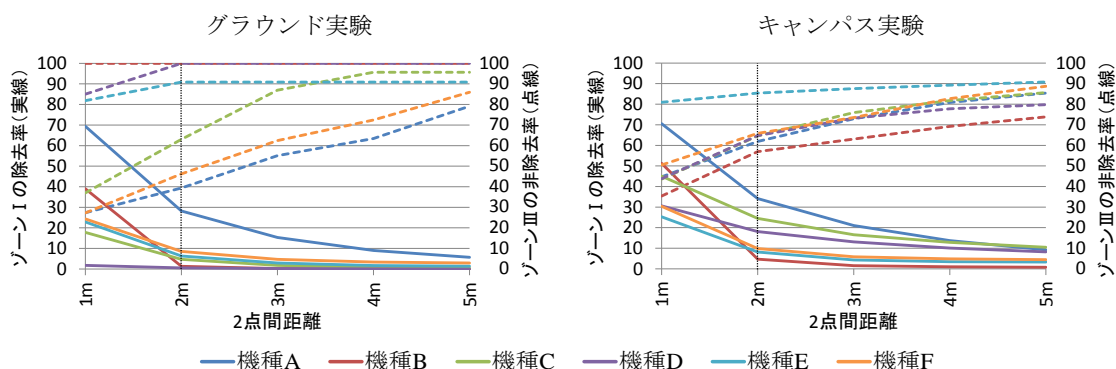


図5.8 ゾーンⅠの除去率とゾーンⅢの非除去率 (1m~5m, 3点の場合)

図 5.8 より，ゾーンⅢの非除去率が低く，ゾーンⅠの除去率が低くなる 2 点間距離は 2m である。

次に，グラウンド実験およびキャンパス実験において，除去対象とする計測点数が 2 点の場合の機種毎のゾーンⅠとゾーンⅢの除去率を図 5.9 および図 5.10 に示す。

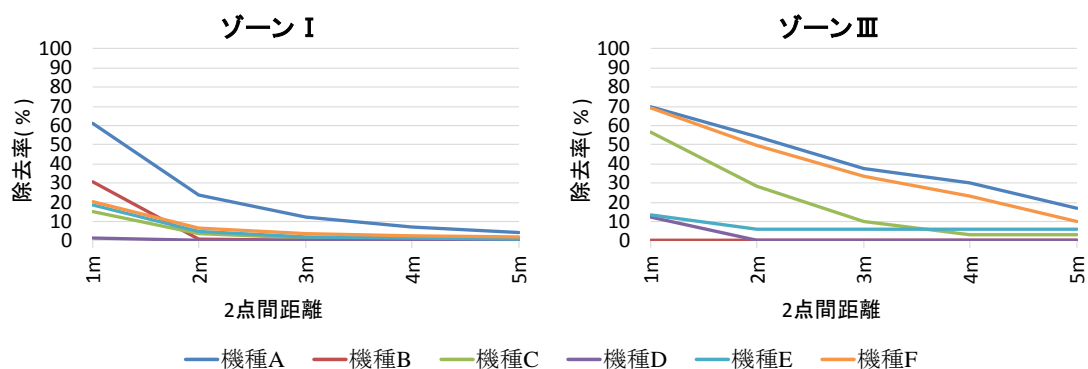


図5.9 グラウンド実験のゾーン I とゾーン III の除去率 (1m~5m, 2 点の場合)

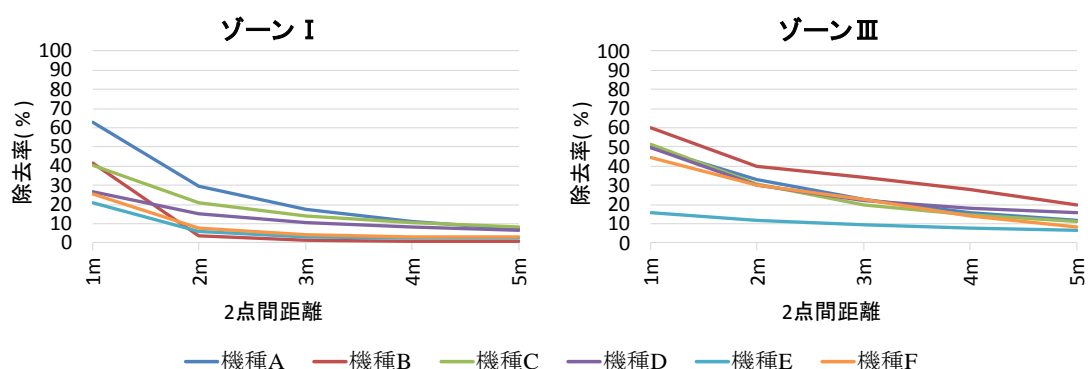


図5.10 キャンパス実験のゾーン I とゾーン III の除去率 (1m~5m, 2 点の場合)

除去対象とする計測点数が 2 点の場合 (図 5.9 と図 5.10) と 3 点の場合 (図 5.6 と図 5.7) のゾーン I とゾーン III の除去率の特徴が類似した。グラウンド実験およびキャンパス実験において、除去対象とする計測点数が 2 点の場合の機種毎のゾーン I の除去率とゾーン III の非除去率を図 5.11 に示す。

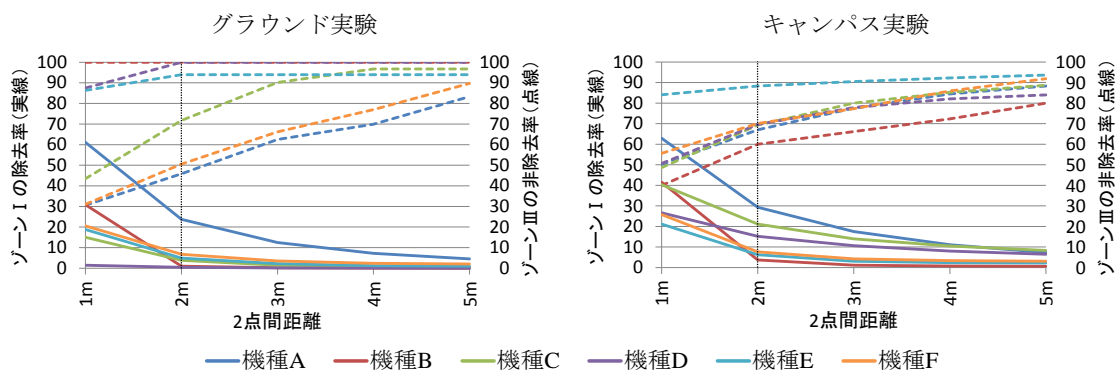


図5.11 ゾーン I の除去率とゾーン III の非除去率 (1m~5m, 2 点の場合)

除去対象とする計測点数が 2 点の場合 (図 5.11) と 3 点の場合 (図 5.8) のゾーン I の除

去率とゾーンⅢの非除去率の特徴が類似した。これらの結果より、提案手法では、2点間距離が2mより大きい場合、ノイズを含む位置情報として除去する。

5.2.2 ノイズの除去対象とする計測点数の閾値の検証

2点間距離の閾値の検討では、ノイズを含む位置情報の直後3点（第5.2.1項（1））、または2点および3点（第5.2.1項（2））をノイズの除去対象とした。ゾーンⅠとゾーンⅢの除去率およびゾーンⅢの非除去率の比較だけでは、除去対象の計測点数の最適値として3点が妥当であるかを判断できないため、本研究では適合率を比較する。

除去対象とする計測点数が2点および3点の場合、グラウンド実験およびキャンパス実験の提案手法適用後の計測点に対する機種毎の適合率を図5.12に示す。

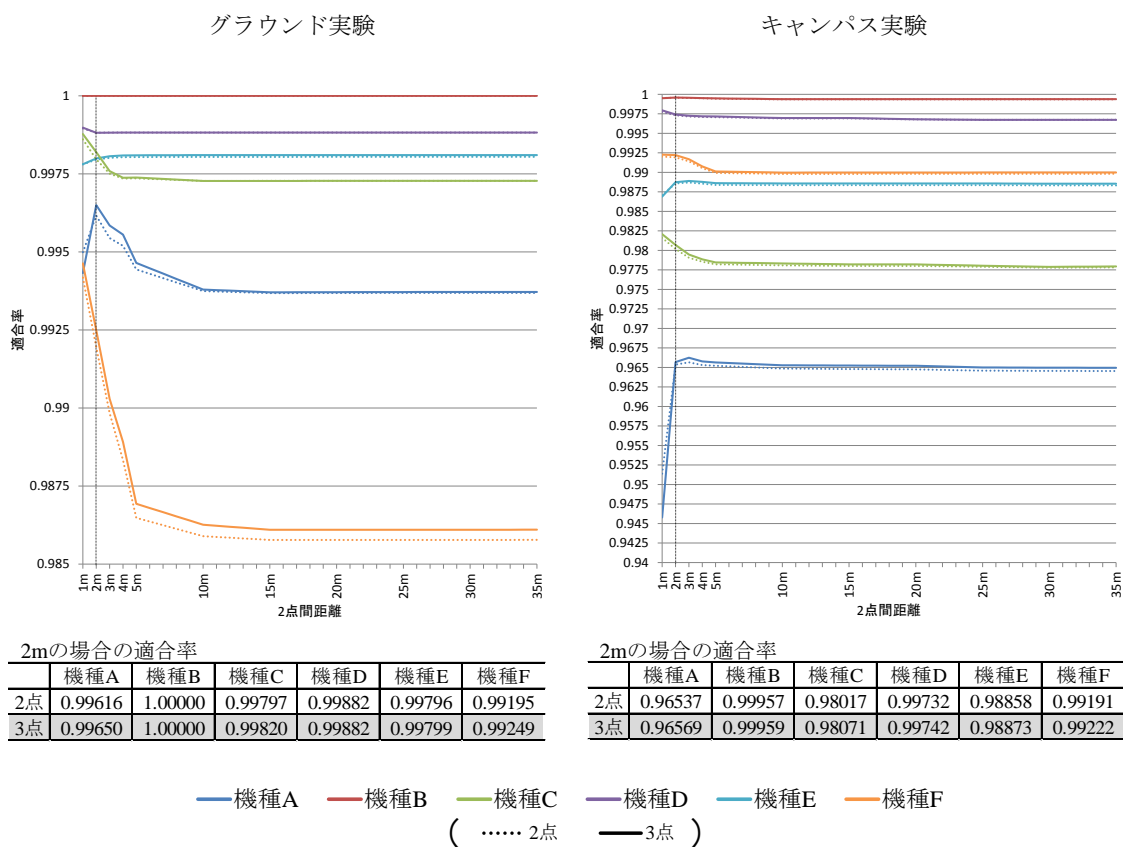


図5.12 適合率

2点間距離が2mの場合に着目すると、2点に比べ3点の適合率が若干高いが、その差はないに等しい。グラウンド実験およびキャンパス実験において、2点間距離が2m、除去対象とする計測点数が2点および3点で提案手法を適用した場合のゾーン別の計測点数を表5.1および表5.2に示す。

**表5.1 グラウンド実験（測量点）のノイズ除去前後のゾーン別計測点数
（2m, 2点および3点の場合）**

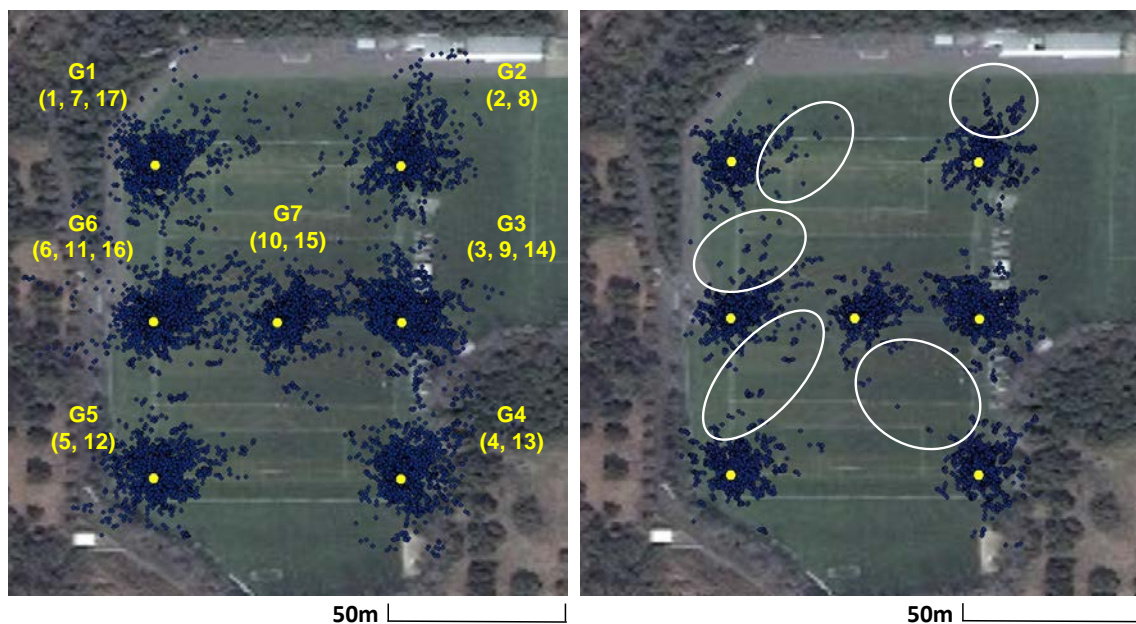
ゾーン		機種 A	機種 B	機種 C	機種 D	機種 E	機種 F	
I	除去前	33,701	34,004	33,698	33,956	31,865	24,728	
	除去後	2点	25,702	33,666	32,393	33,800	30,293	23,048
		3点	24,206	33,571	32,120	33,765	29,849	22,611
III	除去前	216	0	92	40	66	370	
	除去後	2点	99	0	66	40	62	187
		3点	85	0	58	40	60	171
すべて	除去前	33,917	34,004	33,790	33,996	31,931	25,098	
	除去後	2点	25,801	33,666	32,459	33,840	30,355	23,235
		3点	24,291	33,571	32,178	33,805	29,909	22,782

**表5.2 キャンパス実験（測量点）のノイズ除去前後のゾーン別計測点数
（2m, 2点および3点の場合）**

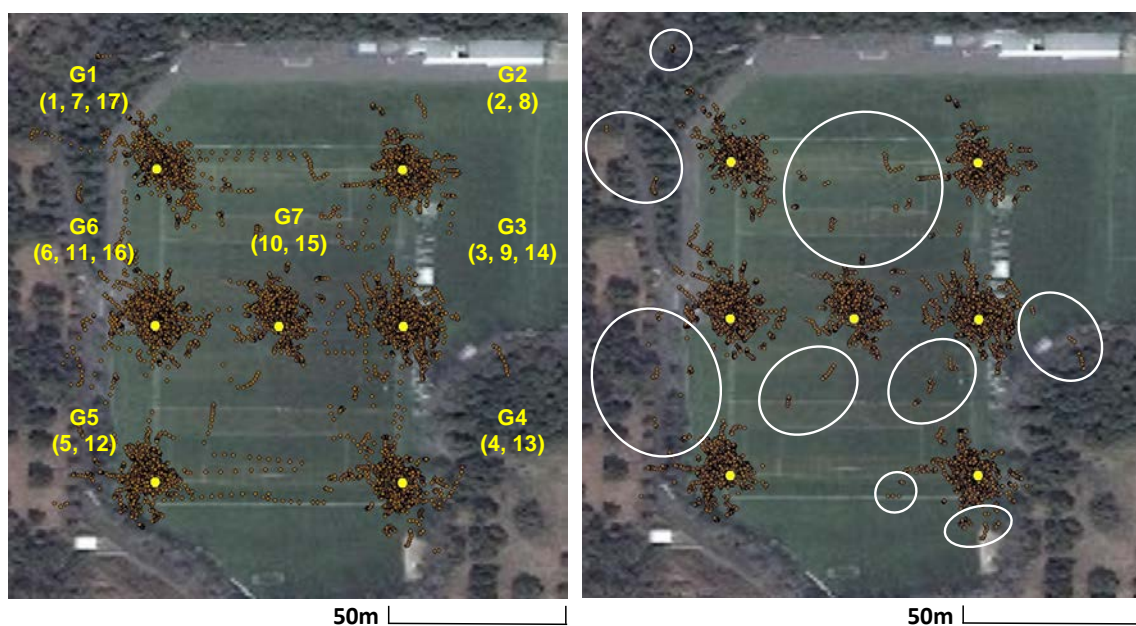
ゾーン		機種 A	機種 B	機種 C	機種 D	機種 E	機種 F	
I	除去前	88,849	93,871	91,253	93,612	76,910	56,980	
	除去後	2点	62,754	90,403	71,966	79,348	72,124	52,630
		3点	58,518	89,450	68,929	76,656	70,650	51,379
III	除去前	3,360	65	2,100	306	943	612	
	除去後	2点	2,251	39	1,456	213	833	429
		3点	2,079	37	1,356	198	805	403
すべて	除去前	92,209	93,936	93,353	93,918	77,853	57,592	
	除去後	2点	65,005	90,442	73,422	79,561	72,957	53,059
		3点	60,597	89,487	70,285	76,854	71,455	51,782

表 5.1 および表 5.2 より、信頼性が高いと思われるゾーン I の計測点は、3 点に比べ 2 点の場合において除去される計測点数が少ない。同時に、信頼性が低いと思われるゾーン III の計測点は、2 点と 3 点で除去される計測点数の差が小さい。したがって、3 点の場合は、2 点とほぼ同程度の適合率で、ゾーン III の計測点の除去率が低く、ゾーン I の計測点の除去率が高くなる。よって、3 点に比べ 2 点の方が良いと判断できる。

しかし、3 点の場合に着目して詳細に分析すると、グラウンド実験（表 5.1）の機種 A および機種 F の提案手法適用前後の経緯度を地図にプロットした結果として図 5.13 を得る。また、キャンパス実験（表 5.2）の機種 A および機種 C を同様に図示すると図 5.14 を得る。



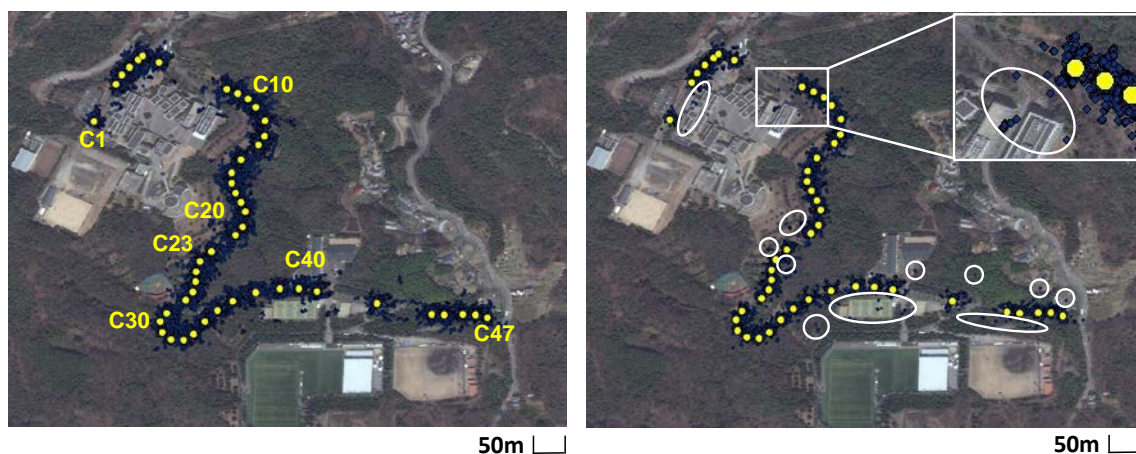
(a) 機種 A



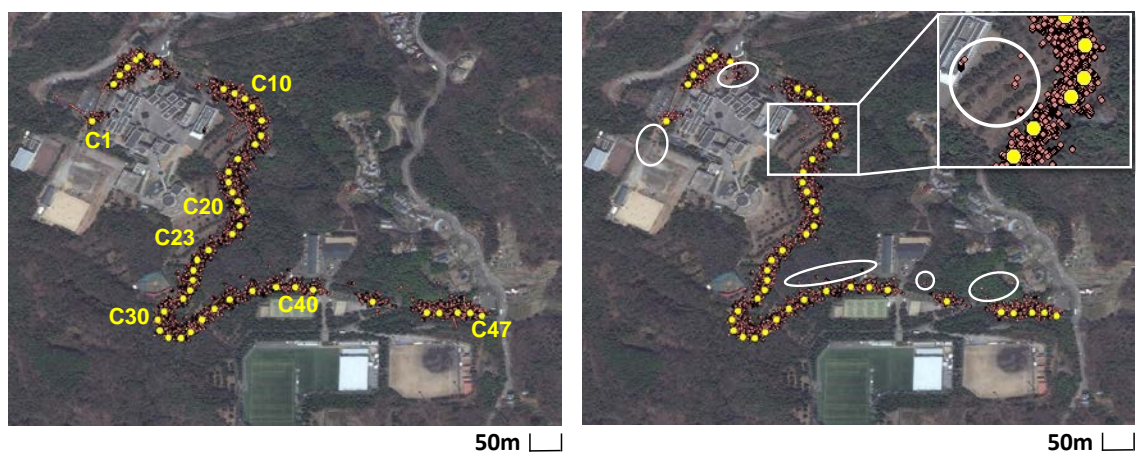
(b) 機種 F

図5.13 グラウンド実験の経緯度のプロット結果

(Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)



(a) 機種 A



(b) 機種 C

図5.14 キャンパス実験の経緯度のプロット結果

(Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

図 5.13 および図 5.14 では、ノイズ除去前の結果を図中の左、ノイズ除去後の結果を図中の右に示している。図中の白丸は主にゾーン I の計測点のノイズを意味する。これらは、潜在する 2m 以内の誤差が累積することで生じたもので、これらを定量的に見つけ出してノイズを含む位置情報であると判断することは難しい。2 点の場合を同様に図示すると、3 点の場合に比べノイズを含む位置情報が増加することは容易に想像できる。したがって、前述のように定量的には 2 点の方が良いと考えられるが、これは見かけ上のもので、実体は 2m 以内の誤差が累積されることによりノイズを含む位置情報が増加するため、3 点の場合を採用することが妥当であると考えられる。ここで、4 点以上の場合も詳細に分析する必要があるが、計測点の除去率を考えるとトレードオフになる。そのため、歩行の軌跡をなるべく途切れることなく取得するために、本研究ではノイズの除去対象とする計測点数として 3 点を採用した。

5.2.3 検証結果

グラウンド実験（7点）とキャンパス実験（47点）の測量点上で取得した計測点に対して、提案手法を用いてノイズを含む位置情報を除去した。ここでは、2点間距離が2mより大きい場合にノイズを含む位置情報とし、PDOP、平均誤差半径および提案手法を用いたノイズ除去機能のいずれかでノイズを含む位置情報と判定された直後3点分の計測点を除去対象とする。グラウンド実験およびキャンパス実験のノイズ除去前後の計測点と除去率を表5.3および表5.4に示す。

表5.3 グラウンド実験（測量点）のノイズ除去前後の計測点と除去率

機種	除去前	PDOPの除去後		平均誤差半径の除去後		歩行者トリップデータの除去後	
	計測点 (点)	計測点 (点)	除去率 (%)	計測点 (点)	除去率 (%)	計測点 (点)	除去率 (%)
A	33,943	33,939	0.01	33,917	0.08	24,291	28.44
B	34,010	34,010	0.00	34,004	0.02	33,571	1.29
C	33,944	33,938	0.02	33,790	0.45	32,178	5.20
D	33,998	33,998	0.00	33,996	0.01	33,805	0.57
E	33,466	32,187	3.82	31,931	4.59	29,909	10.63
F	29,910	25,534	14.63	25,098	16.09	22,782	23.83

表5.4 キャンパス実験（測量点）のノイズ除去前後の計測点と除去率

機種	除去前	PDOPの除去後		平均誤差半径の除去後		歩行者トリップデータの除去後	
	計測点 (点)	計測点 (点)	除去率 (%)	計測点 (点)	除去率 (%)	計測点 (点)	除去率 (%)
A	93,362	93,200	0.17	92,209	1.23	60,597	35.09
B	93,995	93,973	0.02	93,936	0.06	89,487	4.80
C	93,835	93,739	0.10	93,353	0.51	70,285	25.10
D	93,926	93,926	0.00	93,918	0.01	76,854	18.18
E	93,469	79,967	14.45	77,853	16.71	71,455	23.55
F	73,407	59,331	19.18	57,592	21.54	51,782	29.46

グラウンド実験およびキャンパス実験のノイズ除去前後の除去率を図5.15に示す。

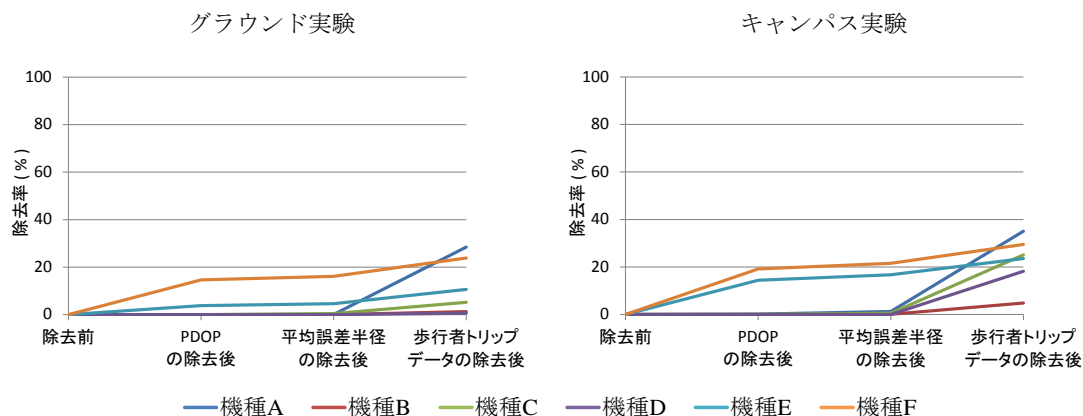


図5.15 ノイズ除去前後の除去率

提案手法の除去率は、グラウンド実験で 0.57%~28.44%，キャンパス実験で 4.80%~35.09%であった。図 5.15 より、PDOP や平均誤差半径を用いたノイズ除去に比べ、提案手法の除去率が高いことがわかる。

グラウンド実験およびキャンパス実験の提案手法適用後の適合率、再現率および F 値を図 5.16 に示す。

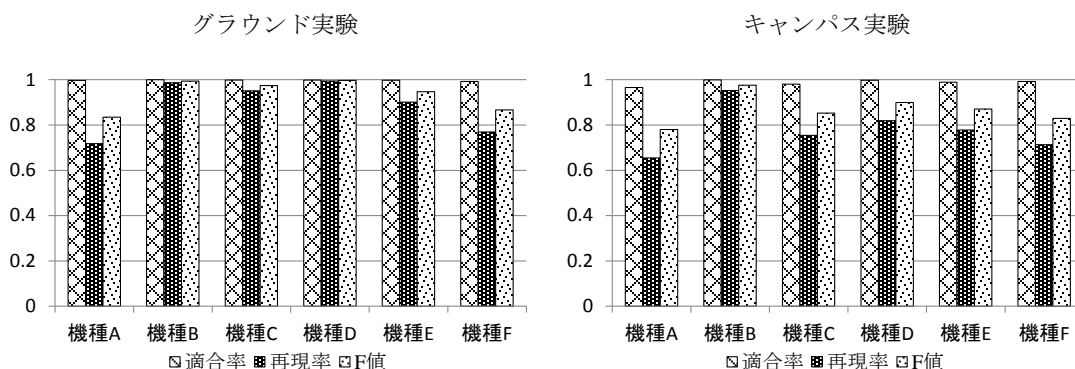


図5.16 提案手法適用後の適合率、再現率および F 値

適合率の算出式を次に示す。

$$P = \frac{Z_{after I}}{Z_{after I} + Z_{after III}} \quad (5.1)$$

ここで、P は適合率、 $Z_{after I}$ は提案手法適用後のゾーン I の計測点数、 $Z_{after III}$ は提案手法適用後のゾーン III の計測点数を意味する。再現率の算出式を次に示す。

$$R = \frac{Z_{after I}}{Z_{before I} + Z_{before II}} \quad (5.2)$$

ここで、R は再現率、 $Z_{after I}$ は提案手法適用後のゾーン I の計測点数、 $Z_{before I}$ は PDOP を用いたノイズ除去機能適用前のゾーン I の計測点数、 $Z_{before II}$ は PDOP を用いたノイズ除去

機能適用前のゾーンⅡの計測点数を意味する。図 5.16 より、適合率は、グラウンド実験で 0.99~1.00、キャンパス実験で 0.97~1.00 であった。再現率は、グラウンド実験で 0.72~0.99、キャンパス実験で 0.65~0.95 であった。F 値は、グラウンド実験で 0.83~1.00、キャンパス実験で 0.78~0.98 であった。適合率に比べ再現率が低いのは、ノイズを含まない位置情報をノイズとして除去したことが要因と考えられる。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を含む歩行者トリップデータを取得することを目的としているため、適合率が高いことが重要である。

グラウンド実験およびキャンパス実験において、平均誤差半径を用いたノイズ除去後の計測点を 2 点間距離で色分けした結果を図 5.17 および図 5.18 に示す。

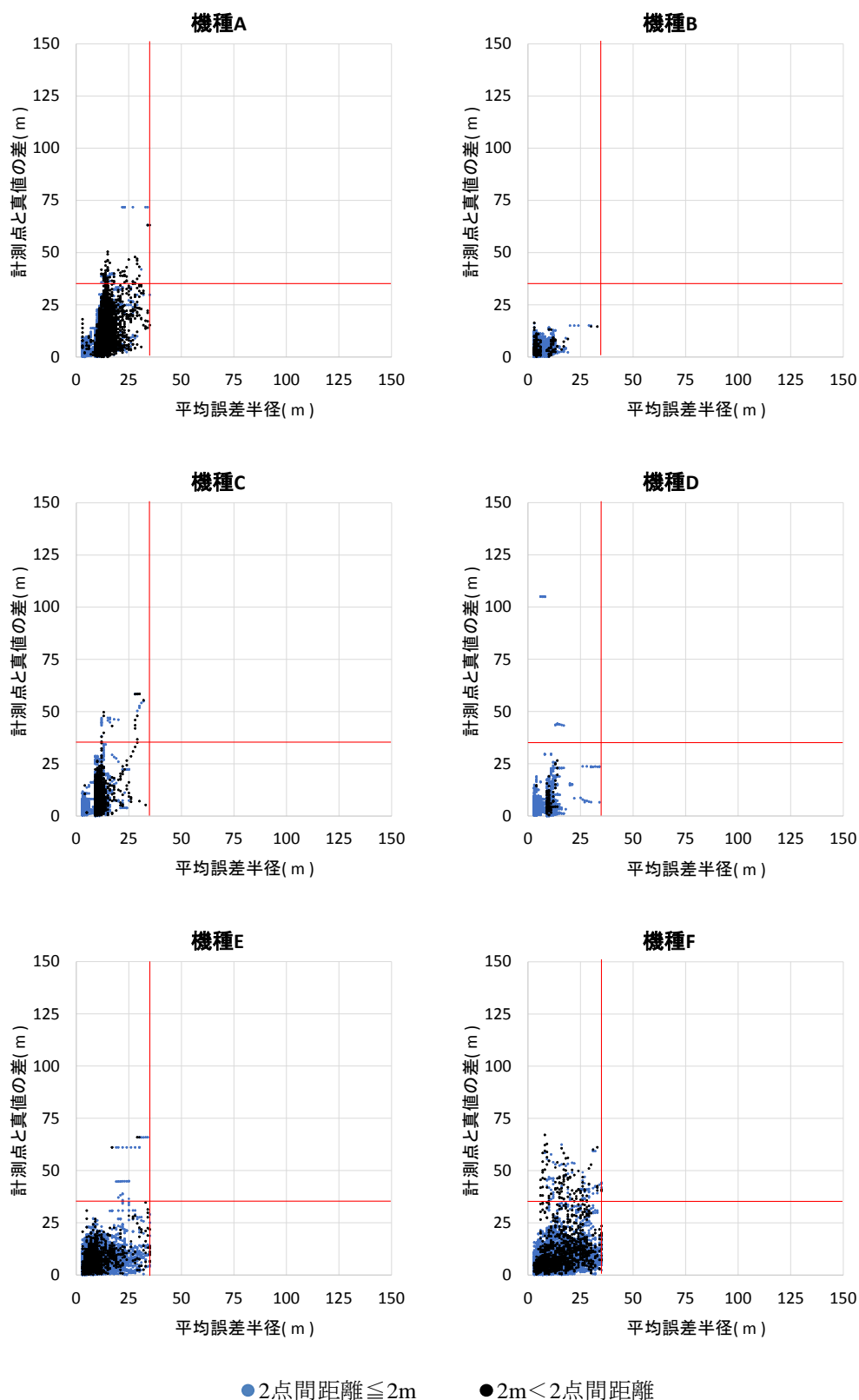


図5.17 平均誤差半径を用いたノイズ除去後の計測点を 2 点間距離で色分けした結果 (グラウンド実験)

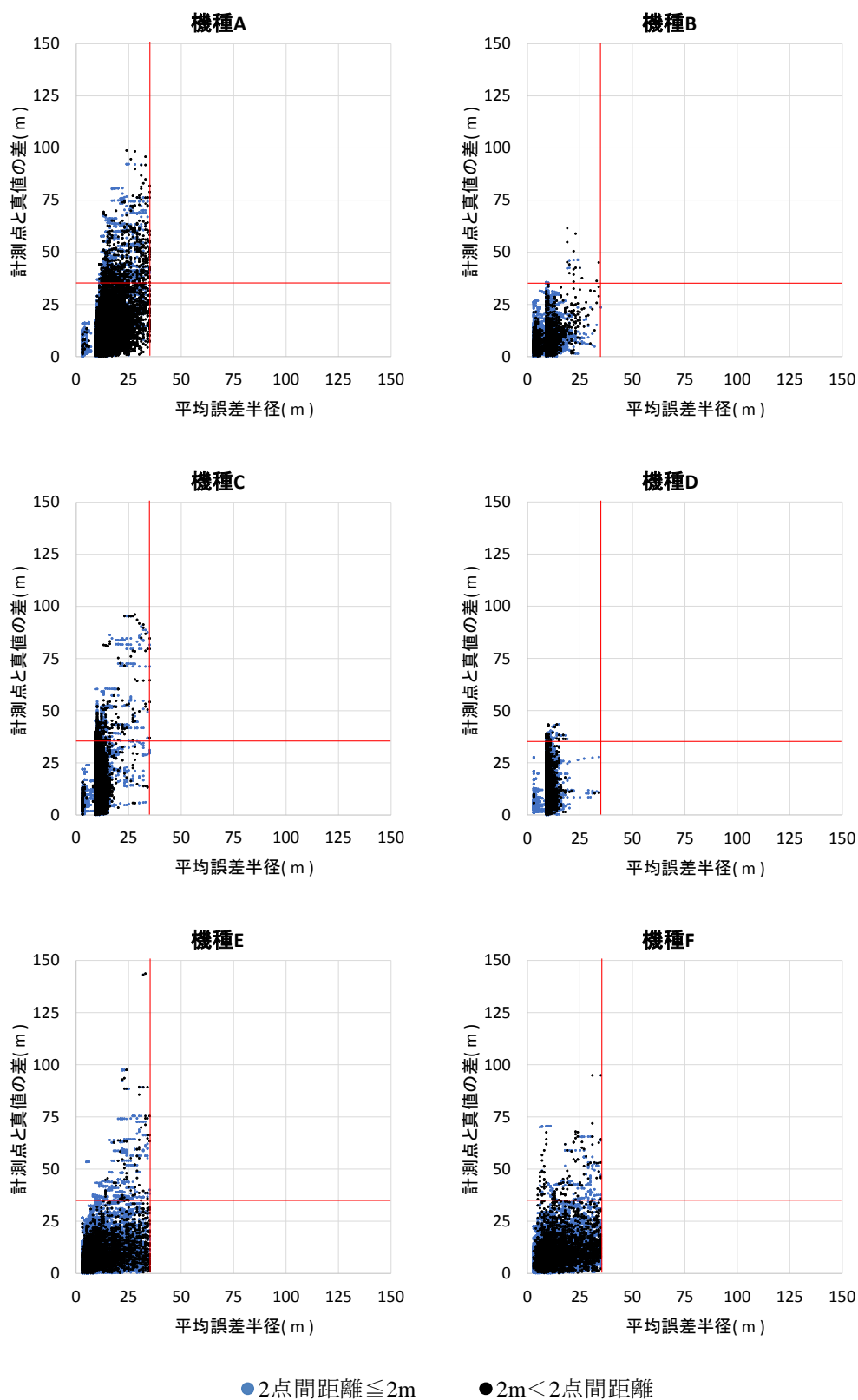
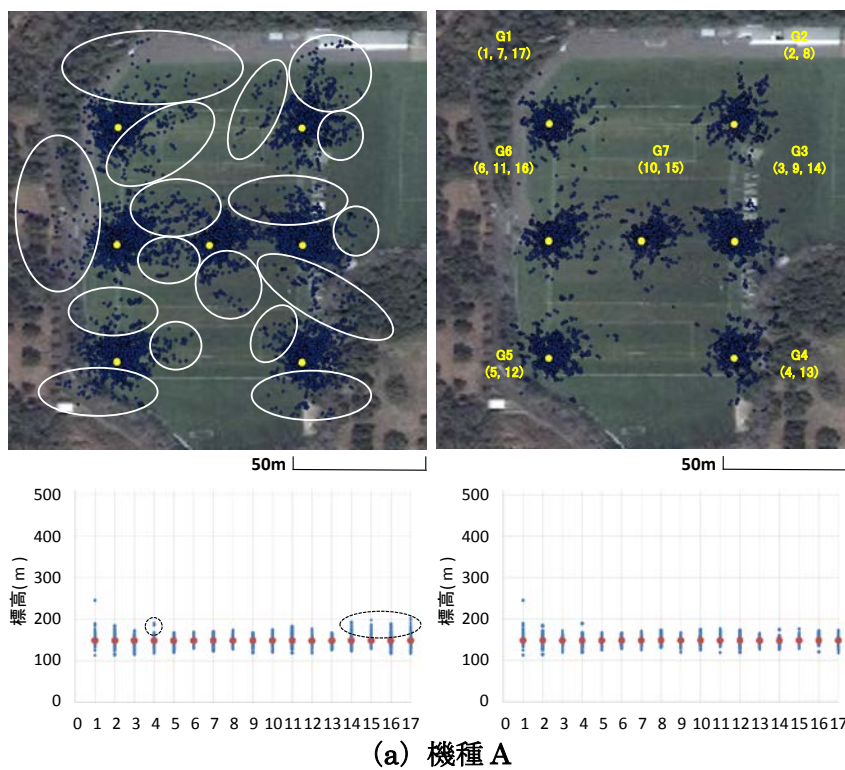
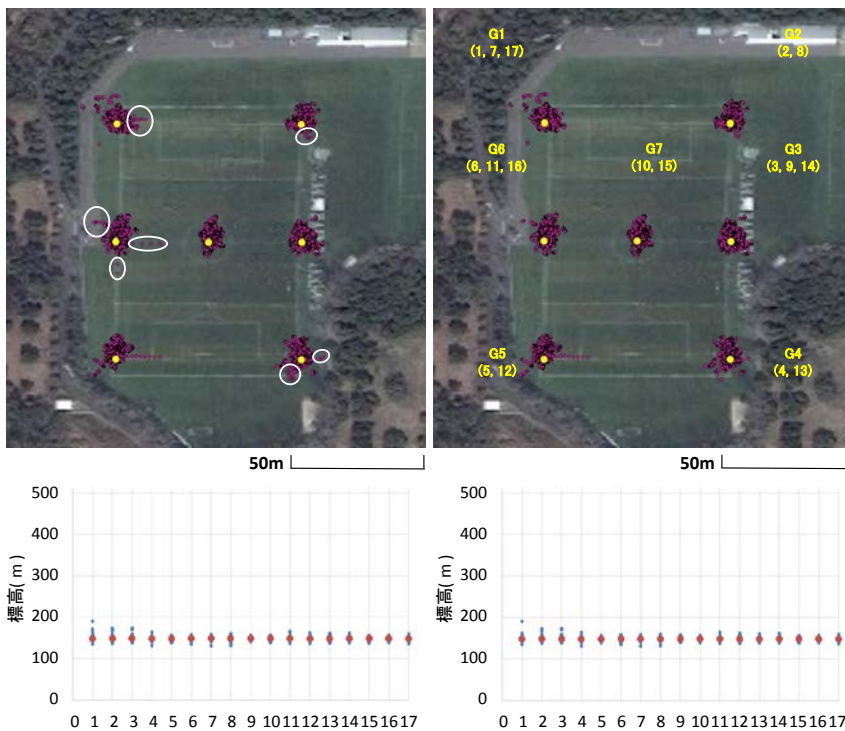


図5.18 平均誤差半径を用いたノイズ除去後の計測点を2点間距離で色分けした結果
(キャンパス実験)

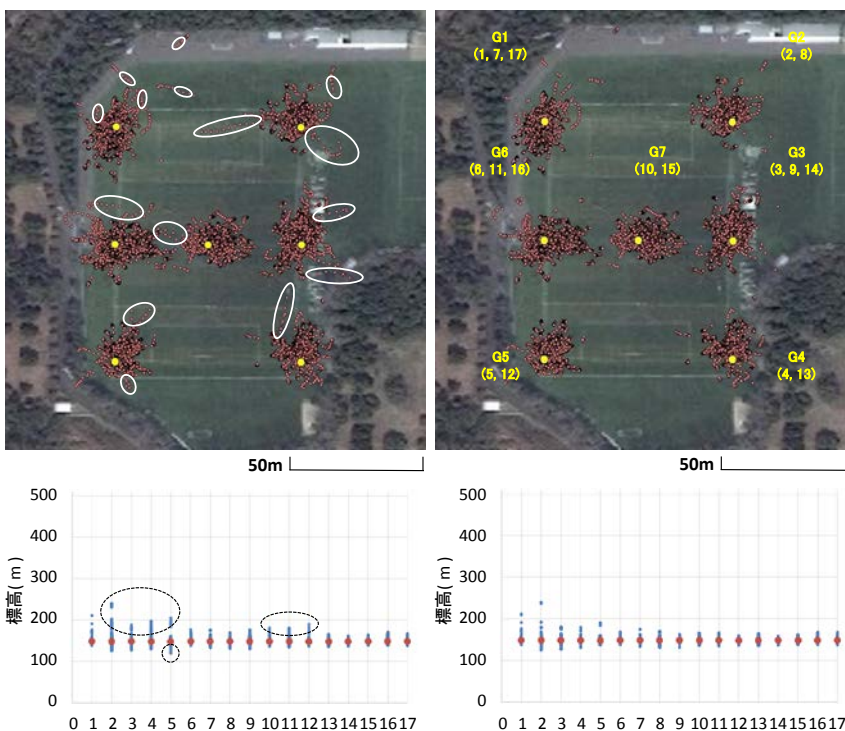
図 5.17 および図 5.18 より, ゾーン I とゾーン III に含まれる 2 点間距離が 2m より大きい計測点がノイズを含む位置情報として除去されたことがわかる.

ノイズ除去前後の計測点を比較するために, グラウンド実験の 100 回分の経緯度を地図にプロットした結果と標高を図 5.19 に示す.

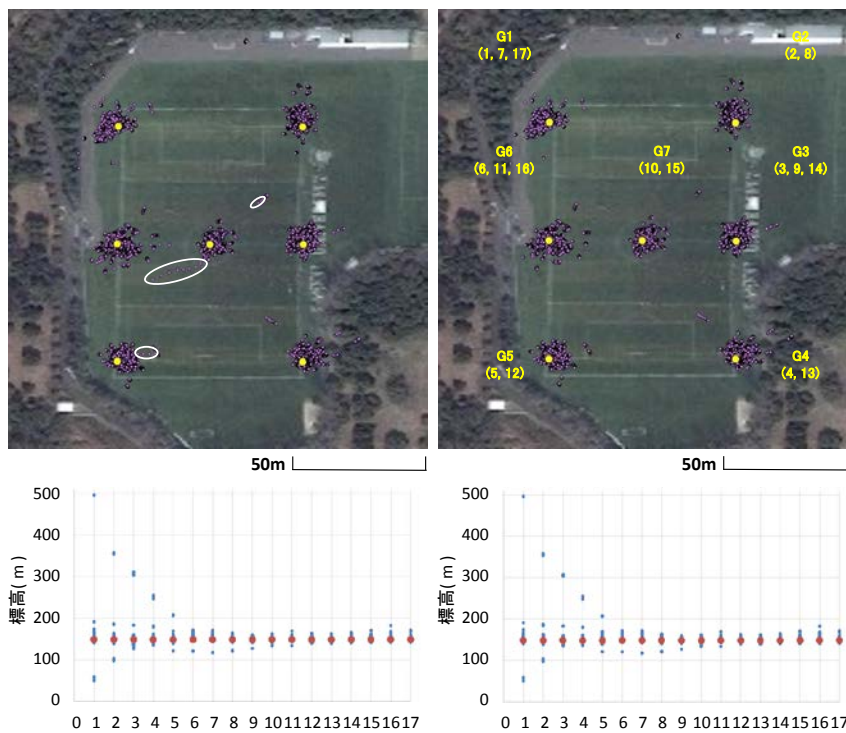




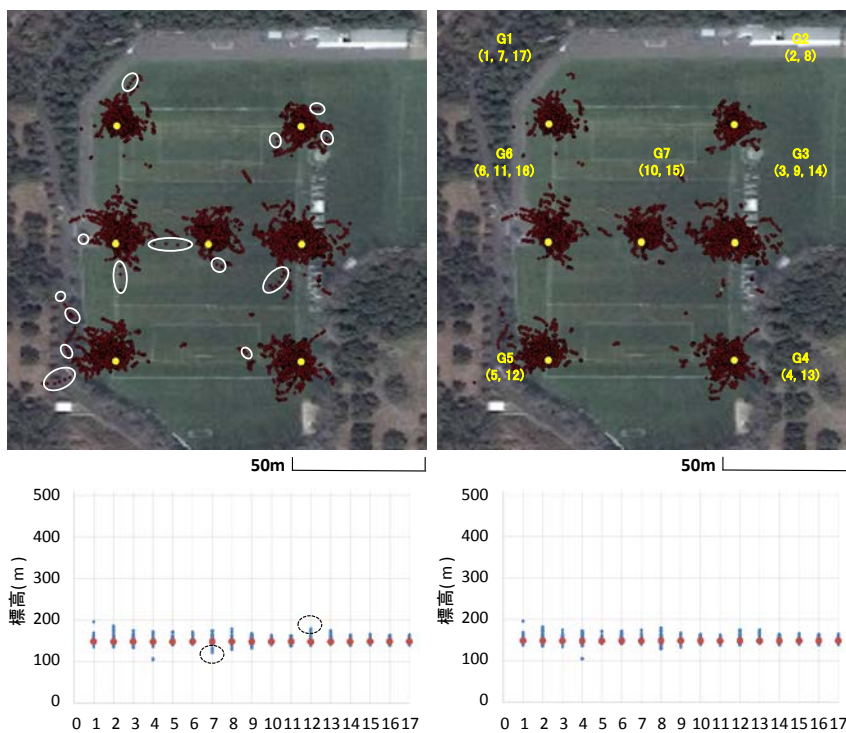
(b) 機種 B



(c) 機種 C



(d) 機種 D



(e) 機種 E

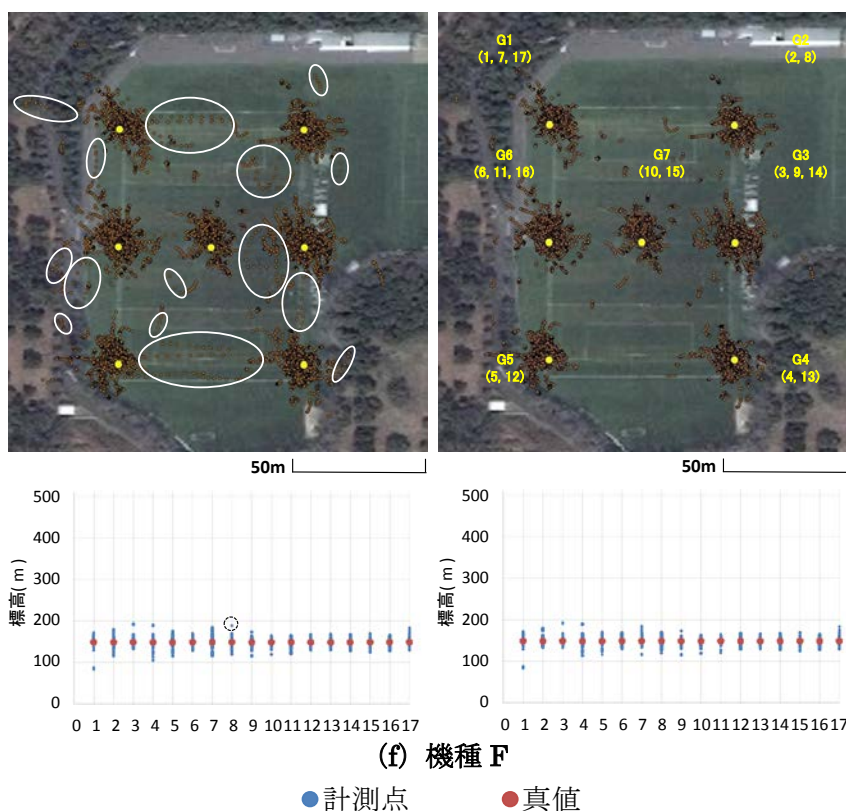
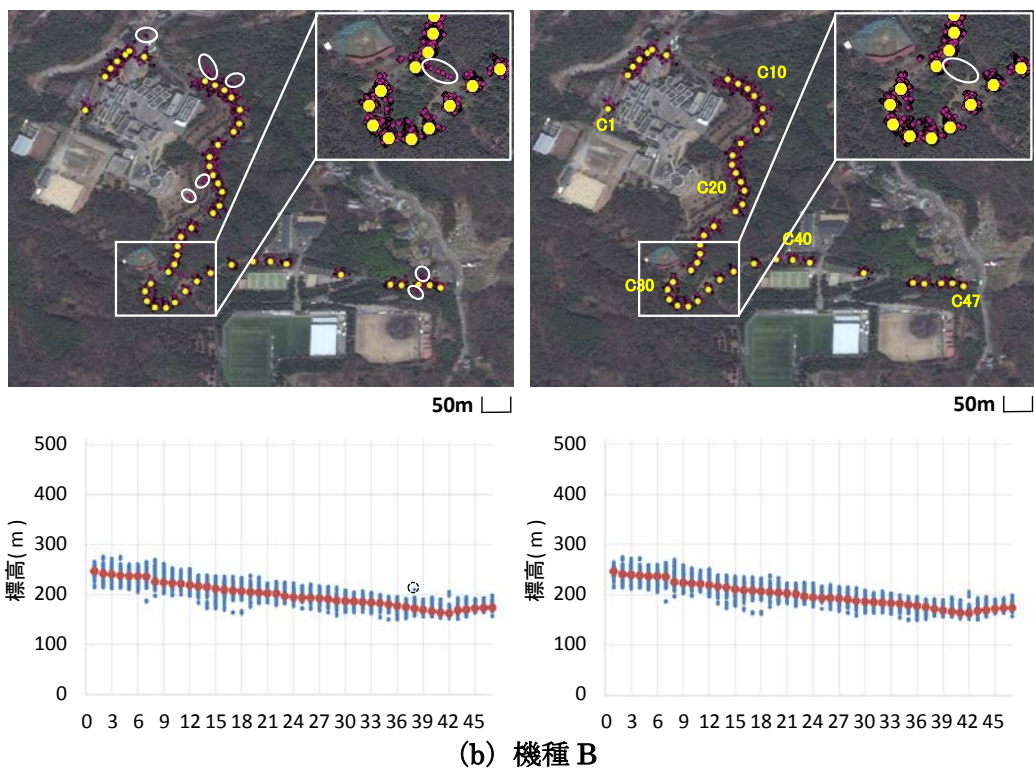
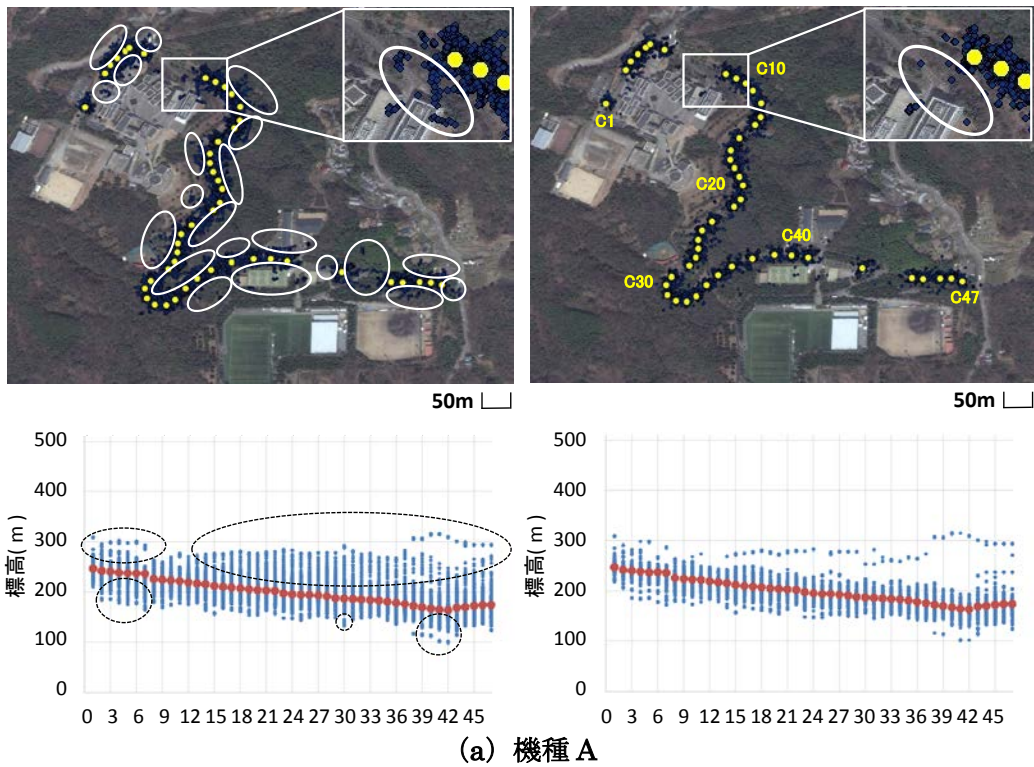
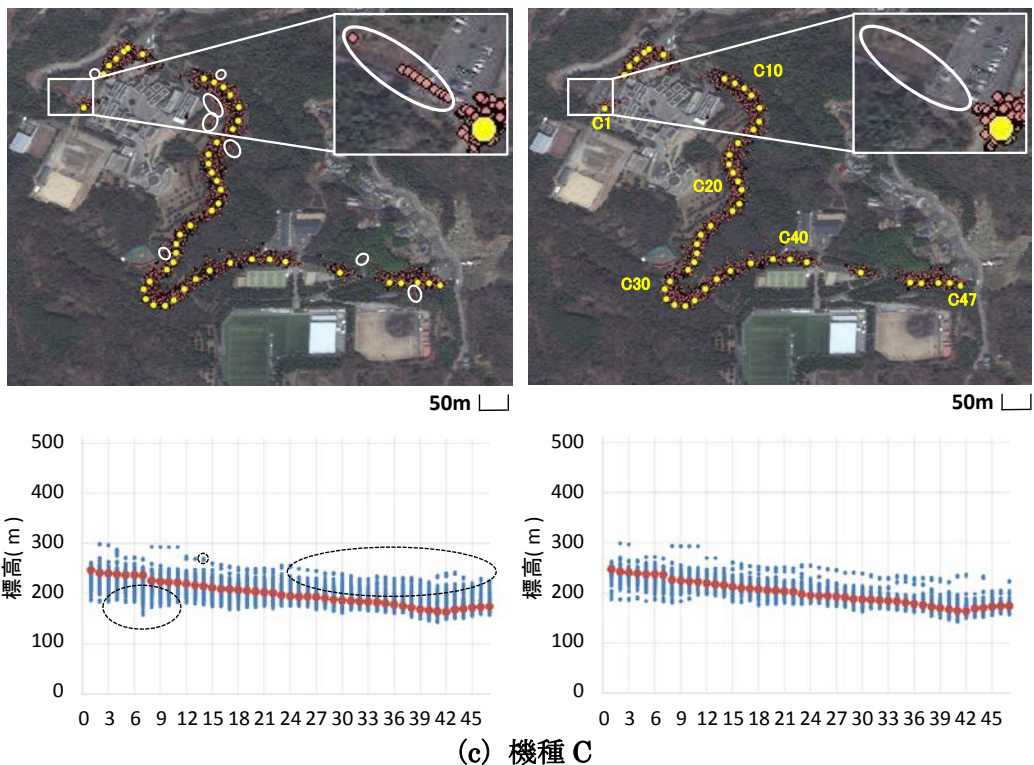


図5.19 グラウンド実験の除去前後の経緯度を地図にプロットした結果と標高
 (Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

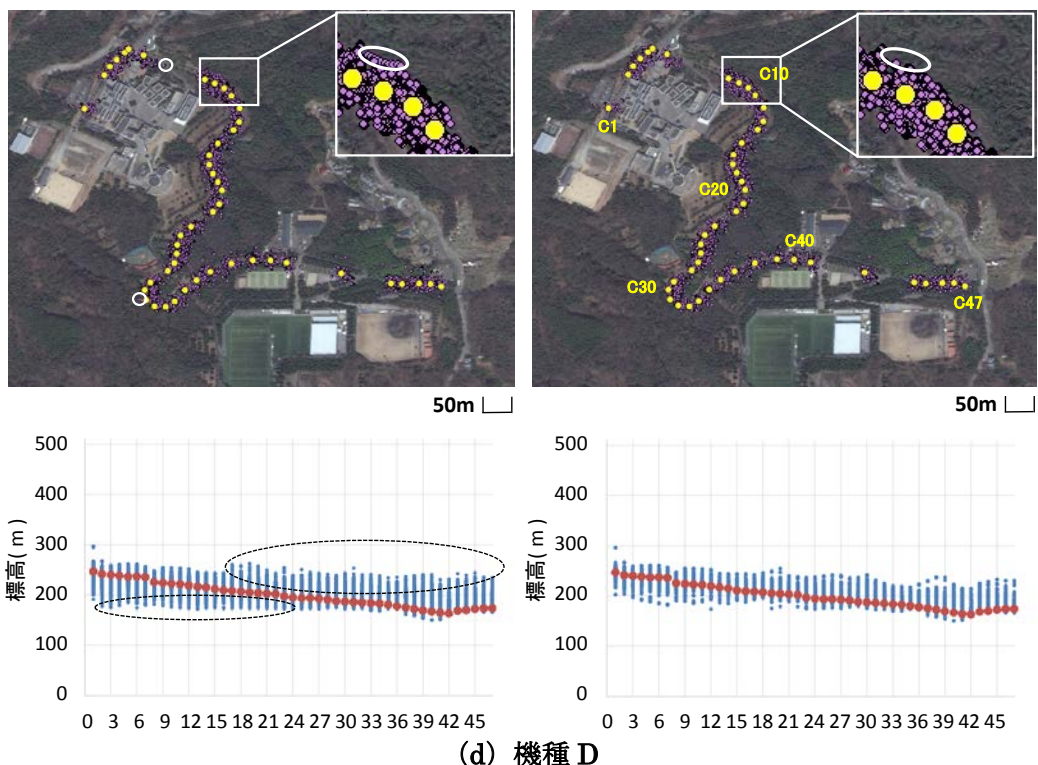
図 5.19 では、ノイズ除去前の結果を図中の左、ノイズ除去後の結果を図中の右に示している。図中の点線の丸はノイズ除去前後で変化があった箇所を意味し、経緯度と標高を 3 次元的に捉えて最終的にノイズを含む計測点であるかを判断する。機種 A、機種 C、機種 E および機種 F は、すべての測量点付近で測量点から離れた計測点がノイズを含む位置情報として除去されたことがわかる。機種 B は、経緯度のプロット結果より、G1, G2, G4, G6 の付近において測量点から離れた計測点が除去されたことがわかる。機種 D は、経緯度のプロット結果より、G5 と G7 の付近において測量点から離れた計測点が除去されたことがわかる。機種 B と機種 D の標高においては、除去前後の変化箇所を目視で確認できなかった。

ノイズ除去前後の計測点を比較するために、キャンパス実験の 100 回分の経緯度を地図にプロットした結果と標高を図 5.20 に示す。





(c) 機種 C



(d) 機種 D

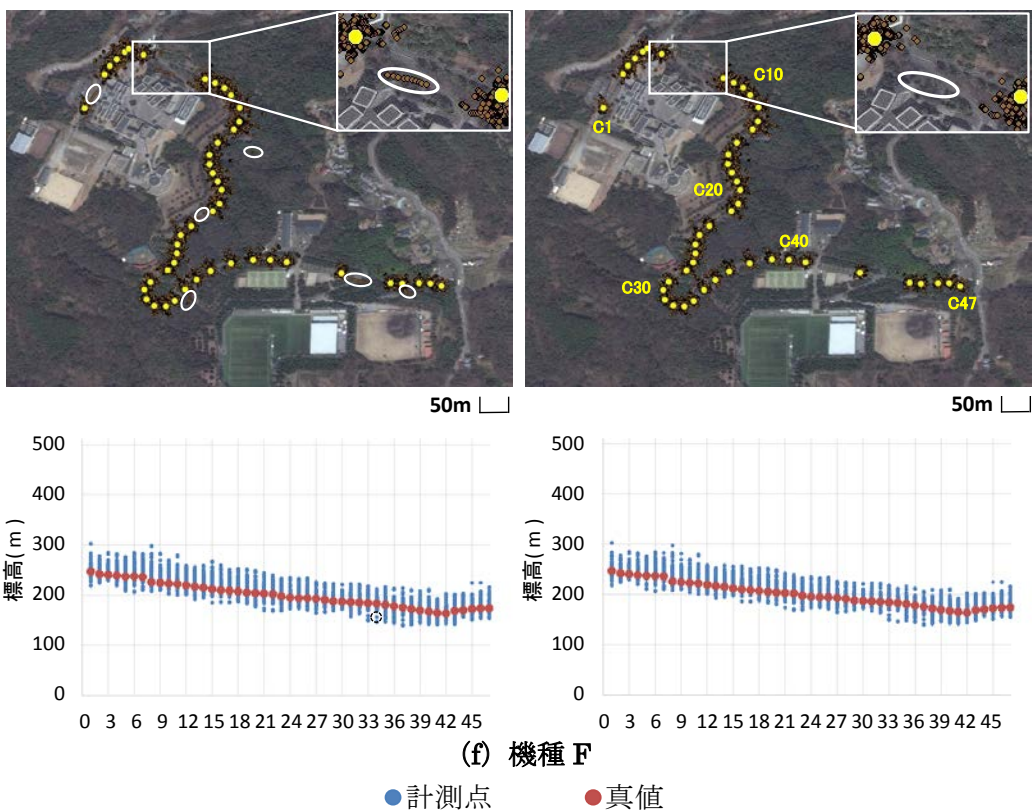
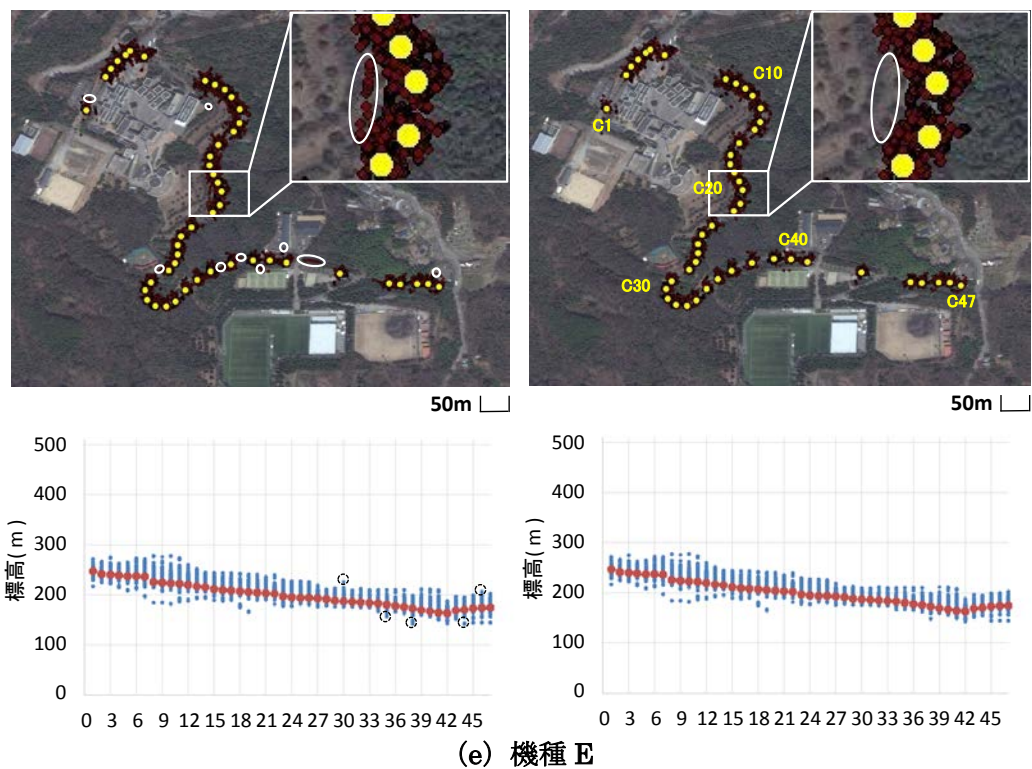


図5.20 キャンパス実験の除去前後の経緯度を地図にプロットした結果と標高
 (Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

図 5.20 では、ノイズ除去前の結果を図中の左、ノイズ除去後の結果を図中の右に示している。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。経緯度をプロットした結果の図右上、白線の四角枠は拡大を意味する。機種 A~機種 F は、測量点から離れた計測点が除去されたことがわかる。グラウンド実験およびキャンパス実験において、経緯度をプロットした結果の点線の丸に着目すると、真値から離れた計測点が連続して除去された。

5.2.4 考察

PDOP と平均誤差半径を用いたノイズ除去後にゾーンⅢにノイズを含む位置情報が残る課題に対して、提案手法を適用することにより、ゾーンⅢのノイズを含む位置情報を除去できることが明らかになった。機種毎に除去率が異なるのは、PDOP と平均誤差半径を用いたノイズ除去後の計測点に影響するためである。ゾーンⅢに真値との差が大きい計測点が多く含まれる機種は、提案手法の除去率が高かった。

第 5.2.3 項の実験結果より、PDOP と平均誤差半径に比べ歩行者トリップデータを用いたノイズ除去機能の除去率が高いことがわかっている。そこで、歩行者トリップデータのみに着目し、歩行者トリップデータのみを用いたノイズ除去手法（以下、比較手法）において、提案手法と同様にリアルタイムに信頼性の高い位置情報を含む 3 次元の歩行者トリップデータを取得することができるかを検討する。比較手法では、提案手法と同条件にするため 2 点間距離が 2m より大きい場合と、その直後 3 点分の計測点をノイズとして除去する。比較手法を用いたノイズを含む位置情報の判定方法を図 5.21 に示す。

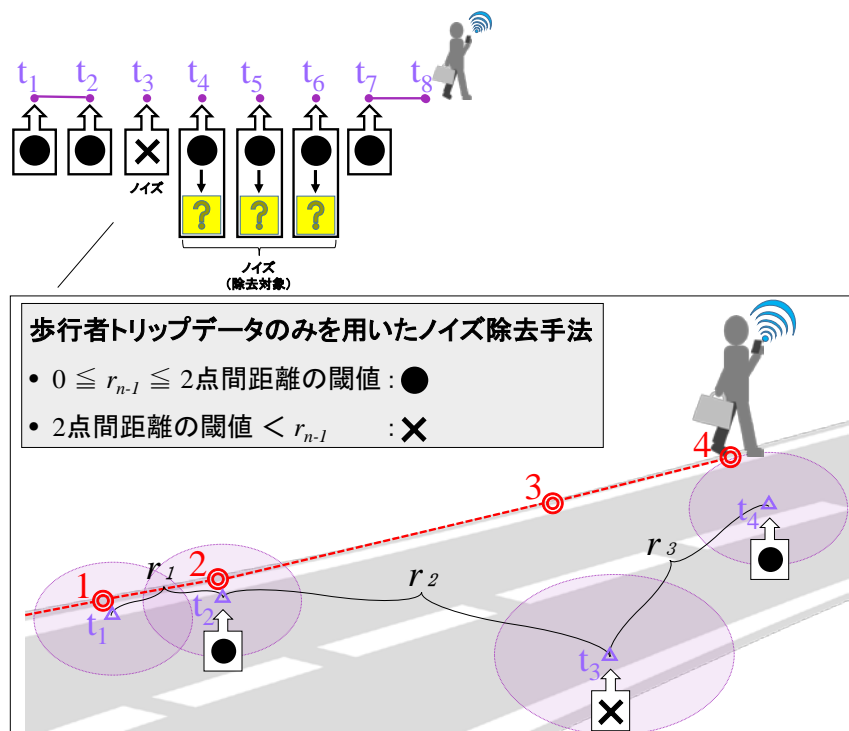


図5.21 比較手法を用いたノイズを含む位置情報の判定方法

まず、3次元空間上の連続した位置情報に対して、2点間距離が2m以下の場合にはノイズを含まない位置情報「●」と2mより大きい場合はノイズを含む位置情報「X」の2パターンに分ける。歩行者トリップ情報を用いたノイズ除去機能でノイズを含む位置情報と判定された「X」の判定後は、「X」の直後3点に含まれる「●」を「?」とみなし、ノイズを含む位置情報とする。図5.21では、「●」と判定された計測点 t_1 , t_2 , t_7 が信頼性の高い歩行者トリップデータとして残る。

比較手法と提案手法を比較検討するために第5.2.3項と同一の計測点を対象にする。グラウンド実験およびキャンパス実験の比較手法と提案手法のノイズ除去前後の計測点と除去率を表5.5および表5.6に示す。

表5.5 グラウンド実験（測量点）のノイズ除去前後の計測点と除去率の比較

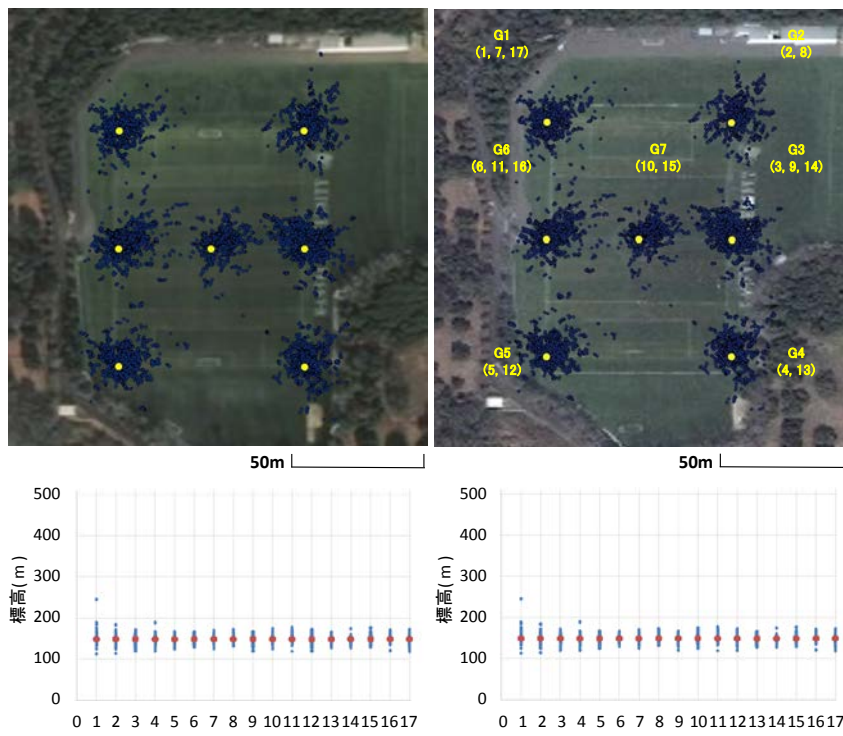
機種	除去前	比較手法の除去後		提案手法の除去後		除去率の差
	計測点 (点)	計測点 (点)	除去率 (%)	計測点 (点)	除去率 (%)	
A	33,943	24,317	28.36	24,291	28.44	0.08
B	34,010	33,580	1.26	33,571	1.29	0.03
C	33,944	32,327	4.76	32,178	5.20	0.44
D	33,998	33,810	0.55	33,805	0.57	0.02
E	33,466	31,550	5.73	29,909	10.63	4.90
F	29,910	27,542	7.92	22,782	23.83	15.91

表5.6 キャンパス実験（測量点）のノイズ除去前後の計測点と除去率の比較

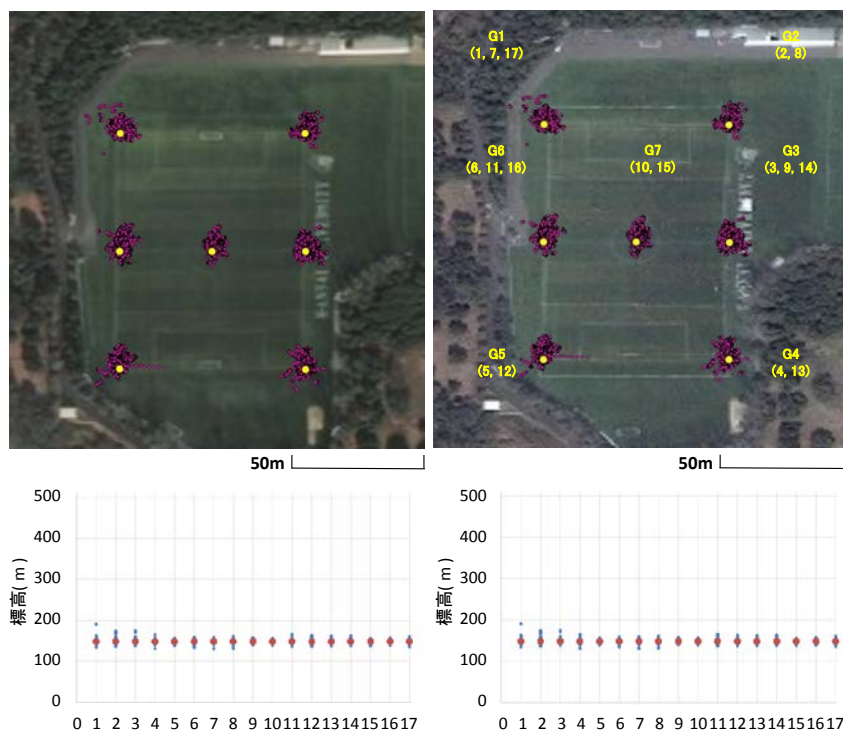
機種	除去前	比較手法の除去後		提案手法の除去後		除去率の差
	計測点 (点)	計測点 (点)	除去率 (%)	計測点 (点)	除去率 (%)	
A	93,362	61,209	34.44	60,597	35.09	0.65
B	93,995	89,530	4.75	89,487	4.80	0.05
C	93,835	70,735	24.62	70,285	25.10	0.48
D	93,926	76,865	18.16	76,854	18.18	0.02
E	93,469	88,009	5.84	71,455	23.55	17.71
F	73,407	67,628	7.87	51,782	29.46	21.59

表 5.5 と表 5.6 から比較手法と提案手法の除去率の差は、機種 A～機種 D では 0.02%~0.65%と小さいが、機種 E と機種 F では 4.9%~21.59%と大きくなった。

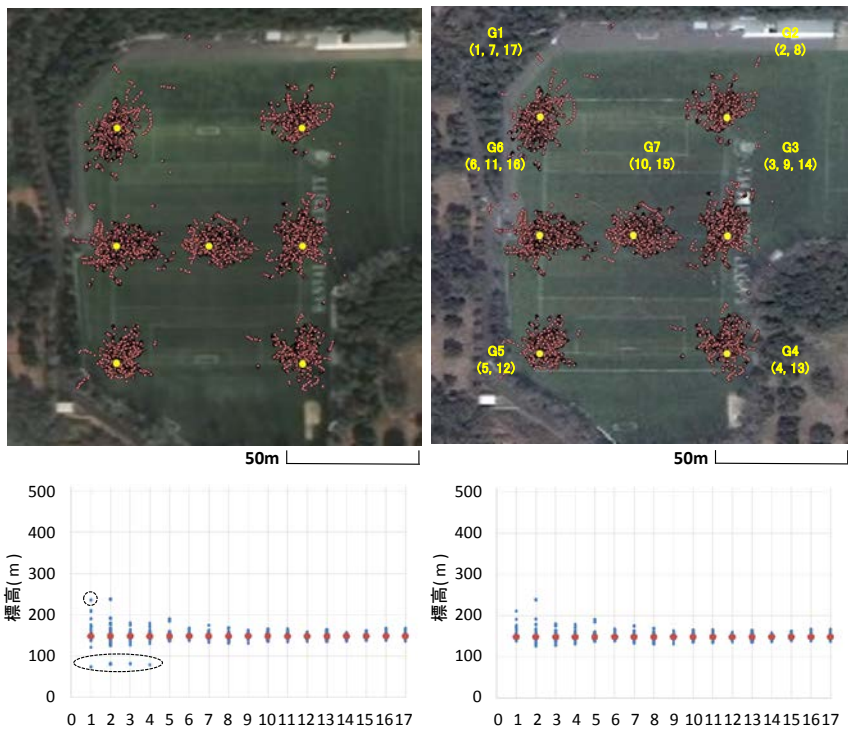
比較手法と提案手法のノイズ除去前後の計測点を比較するために、グラウンド実験の 100 回分の経緯度を地図にプロットした結果と標高を図 5.22 に示す。



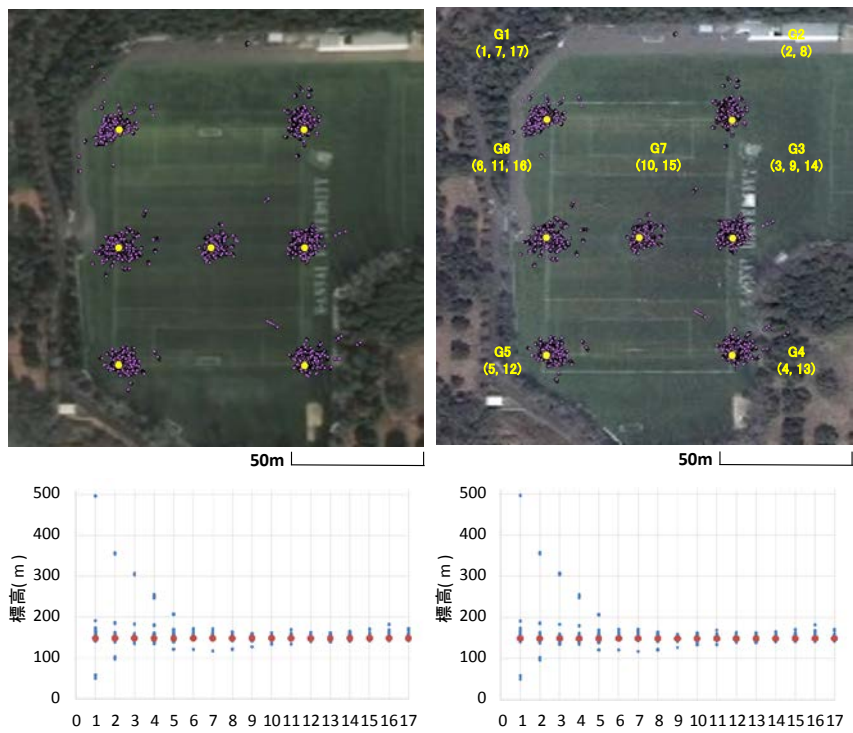
(a) 機種 A



(b) 機種 B



(c) 機種 C



(d) 機種 D

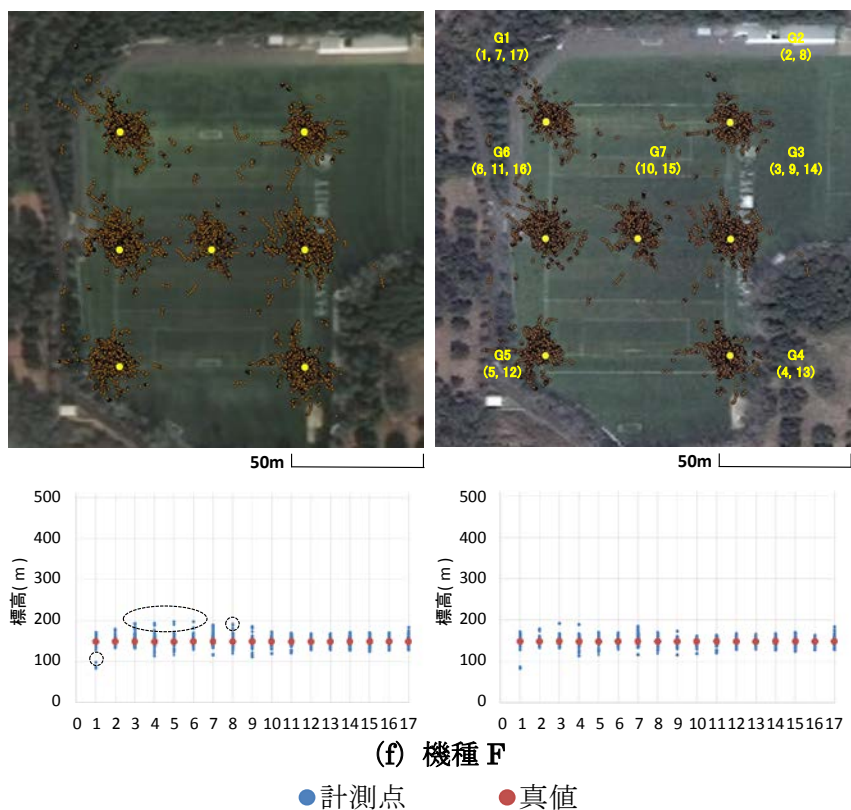
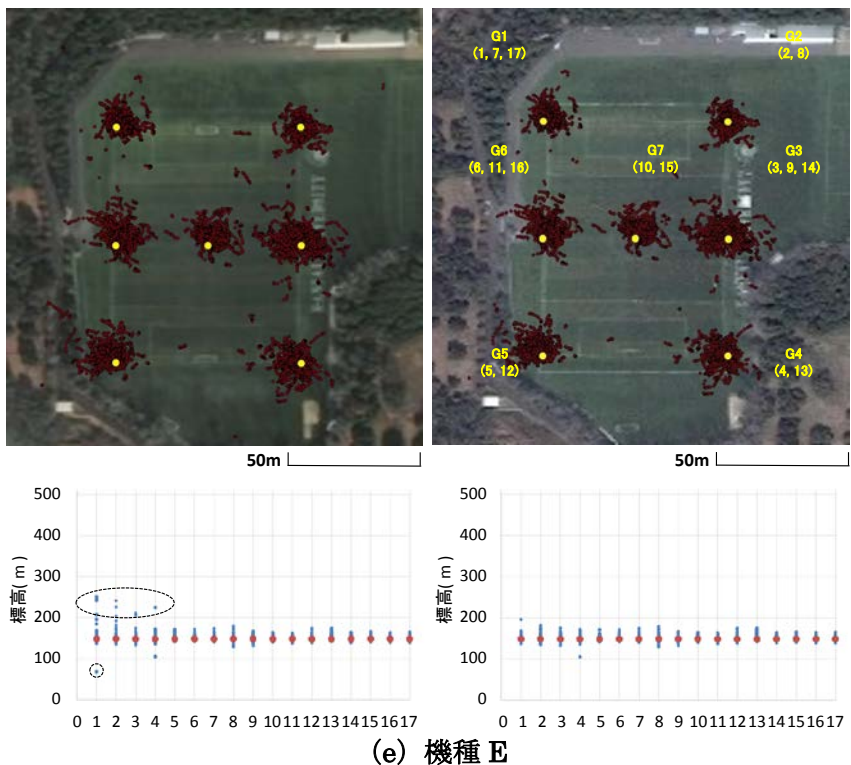
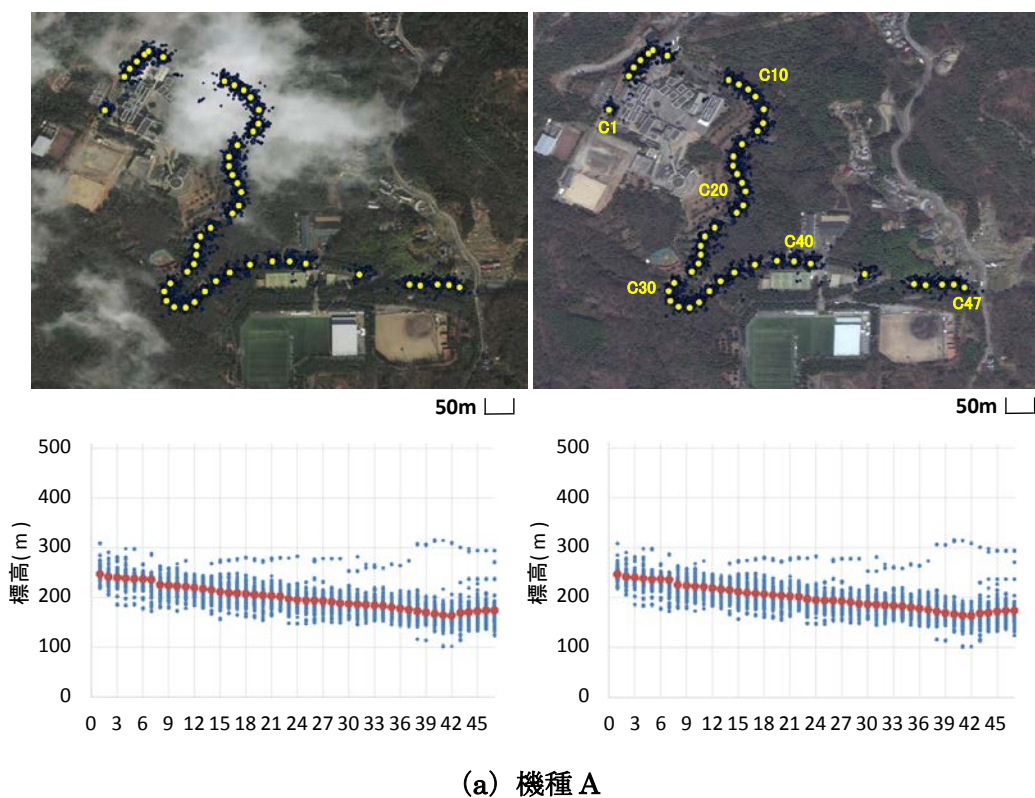
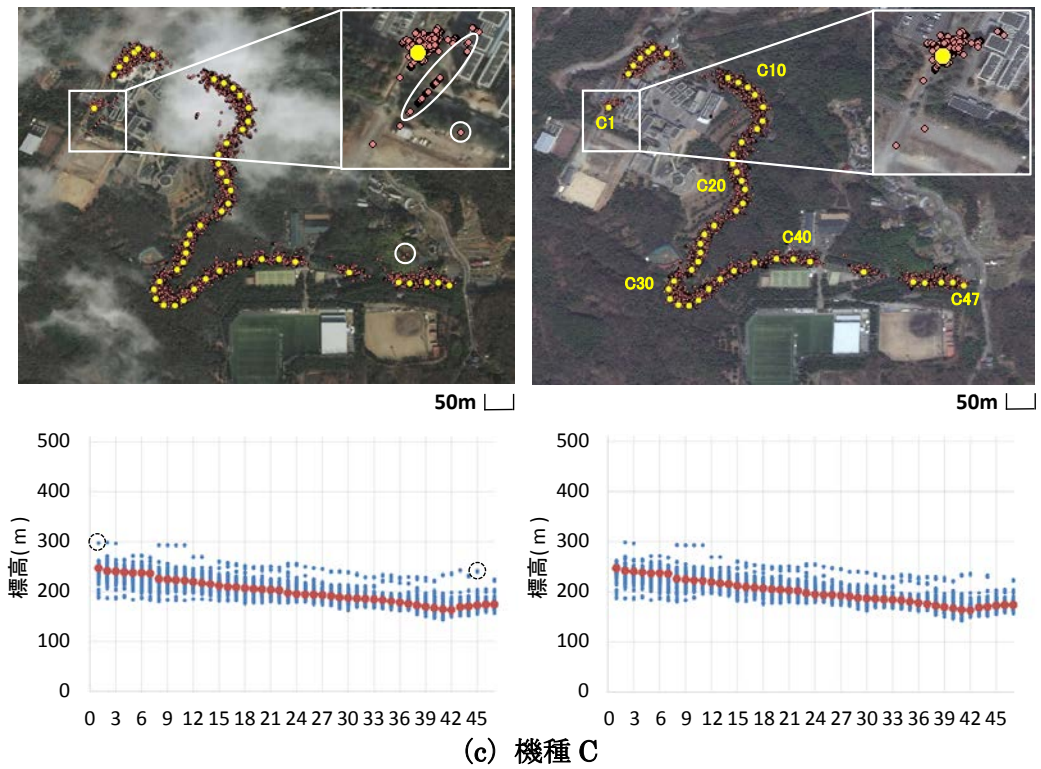
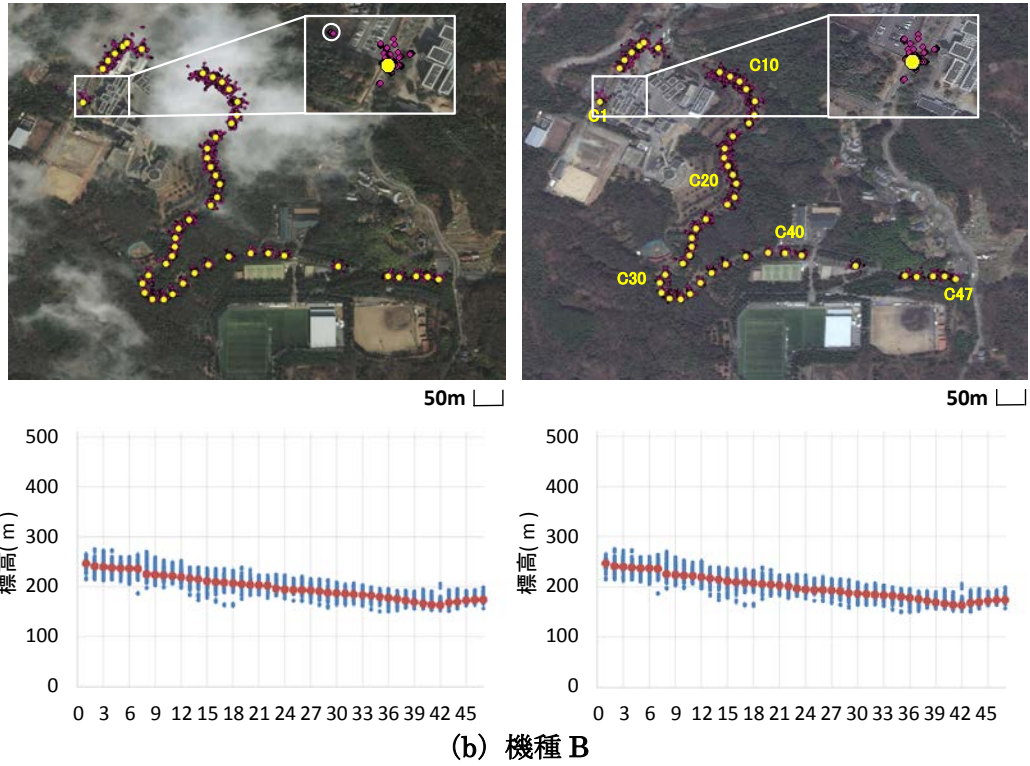


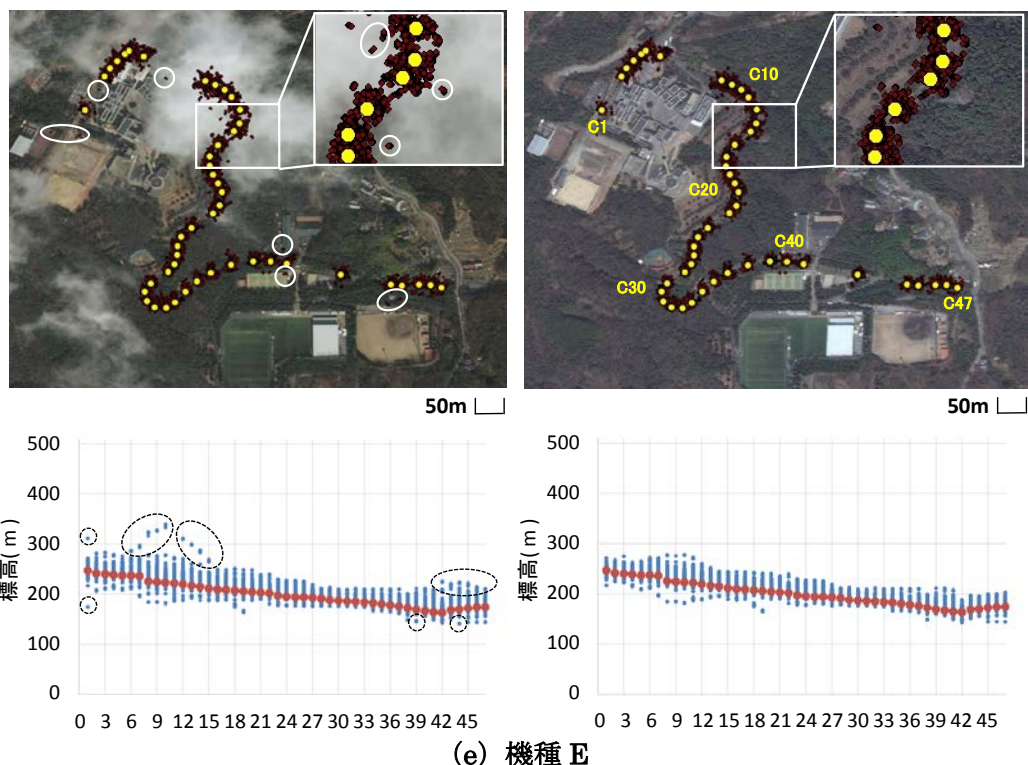
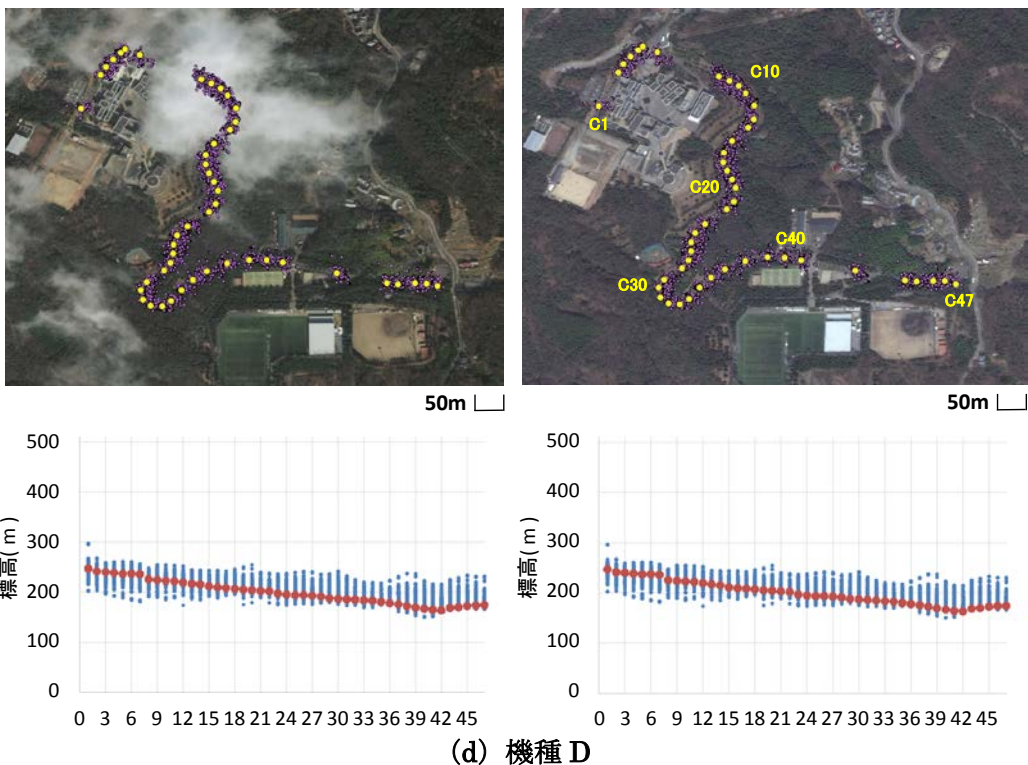
図5.22 グラウンド実験の除去後の経緯度を地図にプロットした結果と標高
 (Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

図 5.22 では、比較手法の結果を図中の左に、提案手法の結果を図中の右に示しており、図中の白丸と点線の黒丸は主に比較手法で除去できなかった計測点のノイズを意味する。機種 A、機種 B と機種 D は、比較手法と提案手法の除去率の差が 0.65%以下と小さく、比較手法で除去できなかった計測点を目視で確認できなかった。機種 C、機種 E と機種 F は、比較手法では G 1 ~G4 の付近において測量点から離れた計測点が除去できていないことがわかる。

比較手法と提案手法のノイズ除去前後の計測点を比較するために、キャンパス実験の 100 回分の経緯度を地図にプロットした結果と標高を図 5.23 に示す。







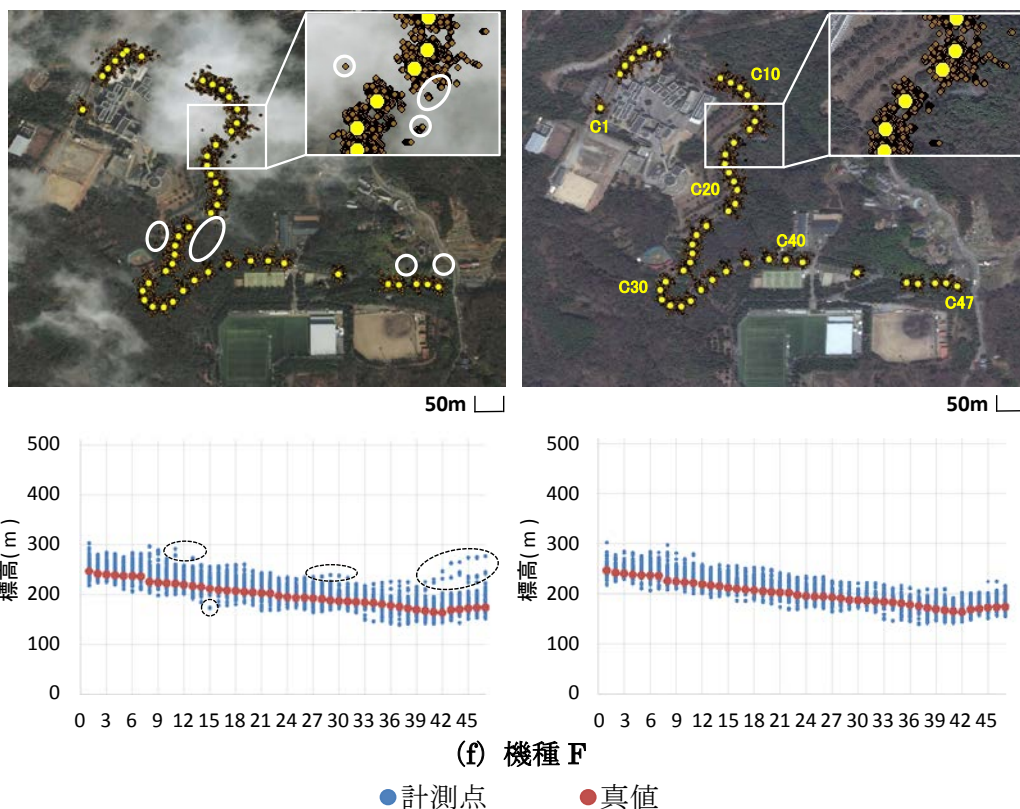


図5.23 キャンパス実験の除去後の経緯度を地図にプロットした結果と標高
 (Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

図 5.23 では、比較手法の結果を図中の左に、提案手法の結果を図中の右に示しており、図中の白丸と点線の黒丸は主に比較手法で除去できなかった計測点のノイズを意味する。機種 A と機種 D は、比較手法と提案手法の除去率の差が 0.65%以下と小さく、比較手法で除去できなかった計測点を目視で確認できなかった。機種 E は、C1 の付近において測量点から離れた計測点が除去できていないことがわかる。機種 C は、C1, C43, C45 の付近において測量点から離れた計測点が除去できていないことがわかる。機種 E と機種 F は、除去率の差がその他の機種より大きく、測量点から離れた計測点を除去できない箇所が多かった。

比較手法と提案手法の絶対精度と信頼性を比較する。絶対精度は、グラウンド実験およびキャンパス実験の 100 回分の計測点に対して、A 評価～H 評価の 8 パターンに分類した場合、全体に対する計測点の割合を機種毎に算出する。A 評価～H 評価の評価基準を表 5.7 に示す。

表5.7 評価基準

評価基準	絶対精度
A 評価	5m 以下
B 評価	5m 超過 10m 以下
C 評価	10m 超過 15m 以下
D 評価	15m 超過 20m 以下
E 評価	20m 超過 25m 以下
F 評価	25 m 超過 30m 以下
G 評価	30m 超過 35m 以下
H 評価	35m 超過

信頼性は、グラウンド実験およびキャンパス実験の 100 回分の計測点に対して、測量点毎に計測点の標準偏差を算出する。グラウンド実験の絶対精度の比較結果を表 5.8 および図 5.24 に示す。

表5.8 グラウンド実験の絶対精度の比較結果

測量点	評価	機種毎の全体に対する計測点の割合 (%)											
		機種 A		機種 B		機種 C		機種 D		機種 E		機種 F	
		比較手法	提案手法	比較手法	提案手法	比較手法	提案手法	比較手法	提案手法	比較手法	提案手法	比較手法	提案手法
G1	A	4.27	4.28	9.64	9.65	4.06	4.08	6.92	6.92	6.14	6.19	3.52	3.66
	B	7.08	7.09	6.78	6.79	7.72	7.76	7.39	7.40	8.29	8.43	7.61	7.52
	C	4.40	4.40	1.04	1.01	4.08	4.10	2.19	2.19	2.14	2.17	2.61	2.64
	D	1.91	1.91	0.13	0.13	0.93	0.94	0.40	0.40	0.51	0.45	2.15	1.90
	E	0.79	0.79	0.00	0.00	0.29	0.29	0.40	0.40	0.15	0.03	0.85	0.88
	F	0.28	0.28	0.00	0.00	0.27	0.27	0.13	0.13	0.18	0.14	0.43	0.38
	G	0.14	0.14	0.00	0.00	0.09	0.04	0.06	0.06	0.06	0.07	0.10	0.05
	H	0.50	0.50	0.05	0.05	0.36	0.17	0.24	0.24	0.61	0.13	0.56	0.32
G2	A	1.83	1.83	6.71	6.71	2.44	2.44	3.83	3.83	3.94	4.10	2.80	3.04
	B	5.15	5.15	3.95	3.95	5.38	5.40	6.48	6.48	5.01	5.19	4.30	4.62
	C	2.57	2.57	0.95	0.95	2.59	2.60	0.88	0.88	1.95	1.99	2.65	2.66
	D	1.32	1.32	0.08	0.08	0.67	0.67	0.26	0.26	0.27	0.23	0.73	0.61
	E	0.62	0.62	0.07	0.07	0.25	0.25	0.11	0.11	0.03	0.03	0.37	0.36
	F	0.16	0.16	0.02	0.02	0.04	0.04	0.06	0.06	0.10	0.10	0.22	0.25
	G	0.06	0.06	0.00	0.00	0.12	0.12	0.00	0.00	0.07	0.07	0.08	0.04

	H	0.09	0.07	0.00	0.00	0.18	0.12	0.17	0.17	0.18	0.01	0.13	0.02
G3	A	3.94	3.94	10.52	10.52	4.10	4.12	9.70	9.71	4.50	4.62	3.84	4.07
	B	7.50	7.50	6.18	6.18	8.37	8.39	6.77	6.77	7.61	7.77	7.54	8.25
	C	3.91	3.92	0.94	0.94	3.63	3.65	0.85	0.85	3.01	3.02	3.49	3.13
	D	1.71	1.71	0.01	0.01	0.75	0.75	0.14	0.14	1.50	1.49	1.45	1.32
	E	0.56	0.56	0.01	0.01	0.24	0.24	0.06	0.06	0.54	0.50	0.48	0.34
	F	0.31	0.31	0.02	0.02	0.11	0.11	0.00	0.00	0.06	0.07	0.07	0.04
	G	0.06	0.06	0.00	0.00	0.09	0.09	0.00	0.00	0.09	0.09	0.18	0.11
	H	0.05	0.05	0.00	0.00	0.07	0.01	0.09	0.09	0.24	0.05	0.40	0.34
G4	A	1.59	1.59	7.24	7.24	2.60	2.61	4.96	4.96	2.93	3.05	2.72	3.06
	B	4.76	4.77	3.64	3.64	5.34	5.37	5.80	5.80	4.76	4.79	4.83	4.75
	C	3.18	3.19	0.72	0.72	2.60	2.61	0.69	0.68	2.25	2.30	2.41	2.44
	D	0.98	0.98	0.05	0.05	1.00	1.00	0.14	0.14	0.58	0.61	0.93	0.72
	E	0.46	0.47	0.00	0.00	0.14	0.14	0.09	0.09	0.55	0.57	0.46	0.28
	F	0.16	0.16	0.00	0.00	0.08	0.08	0.00	0.00	0.34	0.32	0.11	0.04
	G	0.05	0.05	0.00	0.00	0.02	0.02	0.05	0.05	0.05	0.05	0.10	0.10
	H	0.07	0.07	0.00	0.00	0.06	0.00	0.06	0.06	0.11	0.06	0.35	0.29
G5	A	1.84	1.84	7.31	7.31	3.02	3.03	4.77	4.77	2.91	3.02	2.44	2.66
	B	4.47	4.48	4.05	4.05	5.81	5.83	6.04	6.04	4.91	5.02	5.04	5.08
	C	3.16	3.17	0.42	0.42	2.40	2.41	0.63	0.63	2.43	2.32	2.69	2.45
	D	0.96	0.96	0.05	0.05	0.45	0.45	0.15	0.15	0.68	0.67	0.94	0.97
	E	0.48	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.06	0.29	0.27	0.52	0.58
	F	0.30	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.06	0.16	0.09	0.15	0.18
	G	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.02	0.00	0.00
	H	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.06	0.06	0.16	0.11	0.17	0.14
G6	A	4.18	4.18	10.71	10.71	4.31	4.32	8.25	8.26	5.02	5.03	3.31	3.32
	B	6.41	6.41	6.24	6.24	7.95	7.98	7.23	7.24	8.35	8.26	7.60	7.73
	C	3.79	3.80	0.64	0.64	4.06	4.07	1.46	1.46	3.25	3.34	3.70	3.66
	D	1.23	1.24	0.03	0.03	0.85	0.85	0.33	0.33	0.86	0.79	1.89	1.57
	E	0.40	0.40	0.00	0.00	0.36	0.36	0.20	0.20	0.33	0.33	0.75	0.60
	F	0.25	0.25	0.00	0.00	0.11	0.11	0.06	0.06	0.01	0.01	0.22	0.13
	G	0.23	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.07	0.23	0.21
	H	0.42	0.37	0.00	0.00	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.00	0.16	0.09
G7	A	2.21	2.21	7.27	7.27	3.80	3.82	6.85	6.85	2.90	3.03	1.91	2.06
	B	4.92	4.92	4.32	4.32	5.38	5.40	4.17	4.17	6.44	6.51	5.30	5.81

C	2.85	2.85	0.22	0.22	2.17	2.18	0.49	0.49	1.76	1.79	2.73	2.98
D	0.69	0.70	0.00	0.00	0.48	0.48	0.15	0.15	0.51	0.52	1.04	0.86
E	0.22	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	0.06	0.06	0.48	0.34
F	0.26	0.26	0.00	0.00	0.12	0.12	0.01	0.01	0.03	0.03	0.01	0.02
G	0.10	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.11
H	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.19

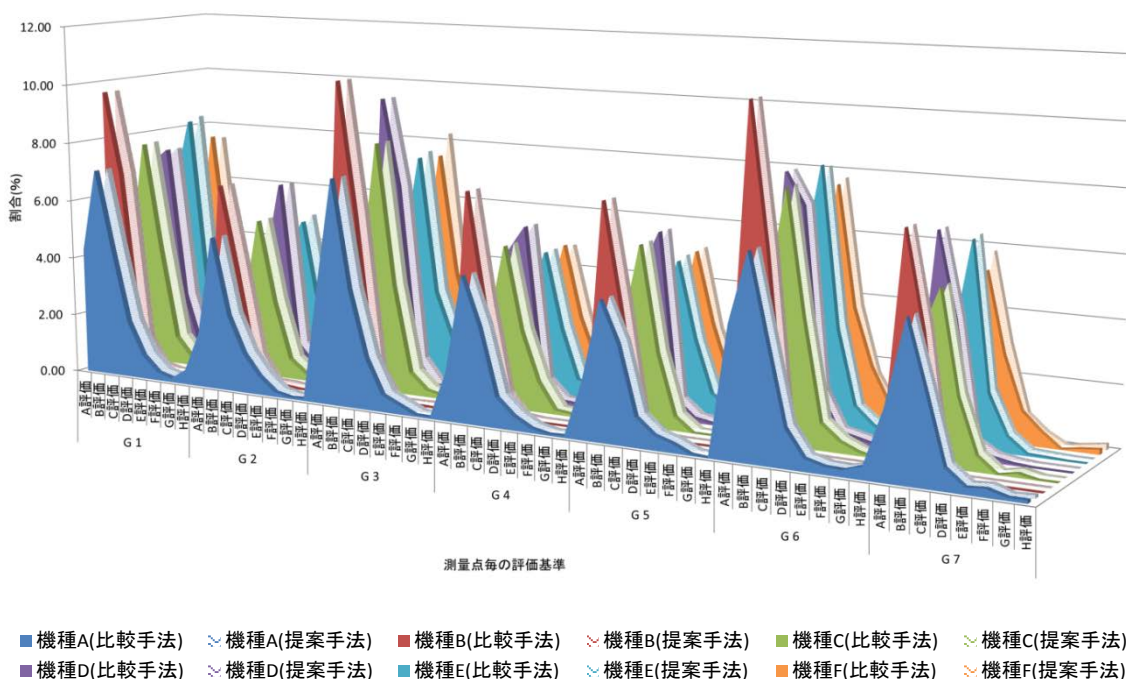


図5.24 グラウンド実験の絶対精度の比較結果

比較手法の計測点の割合は、A 評価が 1.59～10.71%，B 評価が 3.64～8.43%，C 評価が 0.22～4.40%，D 評価が 0.00～2.15%，E 評価が 0.00～0.85%，F 評価が 0.00～0.43%，G 評価が 0.00～0.23%，H 評価が 0.00～0.56%であった。提案手法の計測点の割合は、A 評価が 1.59～10.71%，B 評価が 3.64～8.39%，C 評価が 0.22～4.40%，D 評価が 0.00～1.91%，E 評価が 0.00～0.88%，F 評価が 0.00～0.38%，G 評価が 0.00～0.23%，H 評価が 0.00～0.50%であった。全体に対する測量点毎の計測点の割合を比較すると、A 評価に近づくほど比較手法より提案手法の割合が多く、H 評価に近づくほど比較手法より提案手法の割合が少ない傾向にあった。

キャンパス実験の絶対精度の比較結果を表 5.9 と図 5.25 に示す。

表5.9 キャンパス実験の絶対精度の比較結果

測 量 点	評 価	機種毎の全体に対する計測点の割合 (%)											
		機種 A		機種 B		機種 C		機種 D		機種 E		機種 F	
		比較 手法	提案 手法	比較 手法	提案 手法	比較 手法	提案 手法	比較 手法	提案 手法	比較 手法	提案 手法	比較 手法	提案 手法
C1	A	0.52	0.52	0.78	0.78	0.31	0.31	0.35	0.35	0.41	0.45	0.28	0.32
	B	0.84	0.85	0.80	0.80	0.58	0.58	0.63	0.63	0.85	0.95	0.77	0.79
	C	0.46	0.46	0.31	0.31	0.48	0.48	0.61	0.61	0.42	0.42	0.43	0.41
	D	0.36	0.36	0.10	0.10	0.41	0.41	0.20	0.20	0.15	0.07	0.30	0.35
	E	0.17	0.16	0.09	0.09	0.07	0.07	0.15	0.15	0.08	0.08	0.13	0.11
	F	0.20	0.20	0.09	0.09	0.07	0.07	0.08	0.08	0.07	0.06	0.16	0.15
	G	0.04	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03	0.03	0.08	0.08
	H	0.07	0.07	0.02	0.01	0.16	0.11	0.05	0.05	0.07	0.03	0.15	0.12
C2	A	0.47	0.48	0.50	0.50	0.30	0.30	0.37	0.37	0.13	0.16	0.09	0.09
	B	0.57	0.57	0.86	0.86	0.77	0.77	0.72	0.72	0.68	0.82	0.72	0.82
	C	0.38	0.38	0.43	0.43	0.37	0.38	0.51	0.51	0.72	0.75	0.37	0.40
	D	0.26	0.26	0.13	0.13	0.18	0.18	0.19	0.19	0.23	0.22	0.39	0.34
	E	0.17	0.17	0.12	0.12	0.07	0.08	0.19	0.19	0.11	0.07	0.17	0.15
	F	0.10	0.10	0.06	0.06	0.21	0.21	0.09	0.09	0.05	0.05	0.10	0.10
	G	0.06	0.06	0.02	0.02	0.03	0.03	0.01	0.01	0.04	0.00	0.09	0.10
	H	0.13	0.10	0.01	0.01	0.11	0.08	0.01	0.01	0.12	0.03	0.11	0.01
C3	A	0.40	0.40	0.31	0.31	0.12	0.12	0.33	0.33	0.11	0.13	0.15	0.18
	B	0.54	0.54	0.85	0.85	0.77	0.77	0.71	0.71	0.41	0.46	0.45	0.50
	C	0.33	0.34	0.50	0.50	0.44	0.44	0.56	0.56	0.73	0.79	0.56	0.56
	D	0.26	0.26	0.23	0.23	0.20	0.20	0.24	0.24	0.39	0.38	0.36	0.38
	E	0.24	0.24	0.14	0.14	0.17	0.17	0.19	0.19	0.19	0.20	0.27	0.23
	F	0.08	0.08	0.06	0.06	0.17	0.17	0.06	0.06	0.16	0.09	0.13	0.11
	G	0.10	0.08	0.06	0.06	0.10	0.10	0.02	0.02	0.00	0.00	0.08	0.04
	H	0.37	0.31	0.00	0.00	0.12	0.08	0.04	0.04	0.17	0.05	0.12	0.07
C4	A	0.25	0.25	0.38	0.38	0.15	0.15	0.23	0.23	0.05	0.06	0.07	0.10
	B	0.61	0.62	0.79	0.79	0.58	0.58	0.71	0.71	0.46	0.47	0.38	0.46
	C	0.47	0.48	0.50	0.51	0.42	0.42	0.67	0.67	0.46	0.45	0.40	0.37
	D	0.28	0.27	0.28	0.28	0.34	0.34	0.34	0.34	0.60	0.66	0.48	0.46
	E	0.20	0.20	0.10	0.10	0.19	0.19	0.15	0.15	0.18	0.17	0.16	0.19
	F	0.09	0.07	0.04	0.04	0.19	0.19	0.04	0.04	0.11	0.06	0.21	0.17

	G	0.16	0.17	0.01	0.01	0.08	0.08	0.02	0.02	0.06	0.01	0.12	0.10
	H	0.21	0.20	0.01	0.01	0.09	0.06	0.02	0.02	0.20	0.09	0.12	0.09
C5	A	0.38	0.38	0.44	0.44	0.23	0.23	0.33	0.33	0.12	0.15	0.10	0.11
	B	0.73	0.73	0.94	0.94	0.48	0.49	0.64	0.64	0.63	0.67	0.51	0.58
	C	0.44	0.44	0.51	0.51	0.51	0.52	0.47	0.47	0.40	0.39	0.61	0.59
	D	0.42	0.43	0.11	0.10	0.25	0.25	0.31	0.31	0.56	0.48	0.40	0.41
	E	0.23	0.23	0.08	0.08	0.29	0.29	0.19	0.19	0.15	0.15	0.27	0.27
	F	0.08	0.08	0.04	0.04	0.14	0.14	0.10	0.10	0.11	0.11	0.08	0.01
	G	0.01	0.01	0.00	0.00	0.06	0.06	0.01	0.01	0.10	0.10	0.08	0.09
	H	0.12	0.12	0.00	0.00	0.14	0.10	0.04	0.04	0.07	0.02	0.16	0.09
C6	A	0.39	0.39	0.55	0.55	0.12	0.13	0.24	0.24	0.22	0.24	0.04	0.05
	B	0.86	0.87	0.96	0.96	0.63	0.64	0.67	0.67	0.53	0.49	0.65	0.61
	C	0.36	0.36	0.34	0.34	0.53	0.53	0.56	0.56	0.54	0.59	0.46	0.54
	D	0.28	0.29	0.18	0.18	0.20	0.20	0.24	0.24	0.43	0.44	0.35	0.36
	E	0.13	0.13	0.05	0.05	0.20	0.21	0.17	0.17	0.22	0.23	0.24	0.13
	F	0.07	0.07	0.03	0.03	0.08	0.08	0.13	0.13	0.09	0.09	0.12	0.12
	G	0.10	0.10	0.03	0.03	0.10	0.10	0.03	0.03	0.05	0.06	0.14	0.12
	H	0.15	0.15	0.00	0.00	0.16	0.13	0.04	0.04	0.12	0.01	0.16	0.17
C7	A	0.26	0.26	0.37	0.37	0.25	0.25	0.40	0.40	0.19	0.16	0.12	0.12
	B	0.87	0.87	0.78	0.78	0.69	0.69	0.72	0.72	0.49	0.44	0.23	0.24
	C	0.48	0.49	0.47	0.47	0.39	0.39	0.43	0.43	0.40	0.45	0.51	0.54
	D	0.22	0.22	0.25	0.25	0.37	0.37	0.17	0.17	0.32	0.35	0.42	0.43
	E	0.13	0.13	0.12	0.12	0.08	0.08	0.09	0.09	0.26	0.27	0.25	0.24
	F	0.07	0.07	0.08	0.08	0.04	0.04	0.11	0.11	0.05	0.05	0.06	0.06
	G	0.02	0.02	0.00	0.00	0.08	0.08	0.07	0.07	0.14	0.11	0.13	0.12
	H	0.12	0.11	0.04	0.04	0.13	0.12	0.05	0.05	0.16	0.12	0.17	0.09
C8	A	0.27	0.28	0.20	0.20	0.00	0.00	0.01	0.01	0.04	0.05	0.05	0.07
	B	0.44	0.45	0.66	0.66	0.20	0.20	0.37	0.37	0.29	0.30	0.14	0.12
	C	0.34	0.34	0.39	0.39	0.37	0.37	0.56	0.56	0.45	0.42	0.21	0.20
	D	0.32	0.32	0.34	0.34	0.59	0.60	0.59	0.59	0.38	0.33	0.46	0.45
	E	0.10	0.11	0.17	0.17	0.23	0.23	0.32	0.32	0.21	0.22	0.29	0.27
	F	0.17	0.18	0.07	0.07	0.28	0.28	0.08	0.08	0.23	0.22	0.26	0.23
	G	0.08	0.08	0.06	0.06	0.10	0.10	0.10	0.10	0.14	0.15	0.18	0.20
	H	0.21	0.20	0.10	0.10	0.23	0.23	0.11	0.11	0.32	0.18	0.20	0.17
C9	A	0.21	0.21	0.18	0.18	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.03	0.07	0.08

	B	0.44	0.45	0.59	0.59	0.16	0.16	0.28	0.28	0.25	0.26	0.17	0.17
	C	0.20	0.20	0.45	0.45	0.29	0.29	0.43	0.43	0.41	0.38	0.28	0.24
	D	0.21	0.21	0.29	0.29	0.41	0.41	0.42	0.42	0.37	0.38	0.34	0.37
	E	0.29	0.29	0.25	0.24	0.41	0.41	0.45	0.45	0.22	0.24	0.39	0.43
	F	0.22	0.22	0.05	0.05	0.23	0.23	0.26	0.26	0.26	0.25	0.20	0.16
	G	0.18	0.18	0.11	0.11	0.21	0.22	0.12	0.12	0.11	0.08	0.19	0.16
	H	0.32	0.31	0.06	0.06	0.29	0.30	0.09	0.09	0.36	0.18	0.25	0.14
C10	A	0.32	0.32	0.25	0.25	0.05	0.05	0.10	0.10	0.10	0.10	0.01	0.01
	B	0.37	0.38	0.56	0.56	0.16	0.16	0.29	0.29	0.28	0.24	0.22	0.22
	C	0.26	0.27	0.57	0.57	0.36	0.36	0.54	0.54	0.55	0.61	0.45	0.39
	D	0.21	0.21	0.27	0.27	0.40	0.40	0.42	0.42	0.38	0.37	0.43	0.38
	E	0.19	0.19	0.16	0.16	0.18	0.18	0.34	0.34	0.19	0.23	0.28	0.21
	F	0.14	0.15	0.17	0.17	0.26	0.27	0.20	0.20	0.24	0.18	0.21	0.23
	G	0.14	0.14	0.05	0.05	0.23	0.23	0.10	0.10	0.07	0.06	0.21	0.23
	H	0.28	0.27	0.00	0.00	0.24	0.21	0.05	0.05	0.25	0.17	0.13	0.07
C11	A	0.30	0.30	0.09	0.09	0.05	0.05	0.08	0.08	0.02	0.01	0.06	0.04
	B	0.39	0.39	0.60	0.60	0.32	0.32	0.41	0.41	0.33	0.35	0.22	0.26
	C	0.44	0.45	0.75	0.75	0.23	0.24	0.61	0.61	0.54	0.52	0.62	0.62
	D	0.21	0.21	0.22	0.22	0.39	0.40	0.42	0.42	0.30	0.30	0.37	0.37
	E	0.27	0.27	0.29	0.29	0.34	0.35	0.34	0.34	0.36	0.41	0.27	0.24
	F	0.13	0.13	0.10	0.10	0.28	0.28	0.08	0.08	0.27	0.26	0.16	0.11
	G	0.10	0.10	0.00	0.00	0.18	0.18	0.05	0.05	0.08	0.09	0.22	0.24
	H	0.11	0.08	0.00	0.00	0.15	0.10	0.03	0.03	0.13	0.09	0.25	0.26
C12	A	0.20	0.21	0.16	0.16	0.02	0.02	0.09	0.09	0.11	0.09	0.02	0.03
	B	0.72	0.73	0.76	0.76	0.35	0.36	0.44	0.44	0.25	0.26	0.26	0.27
	C	0.33	0.33	0.54	0.54	0.35	0.36	0.66	0.66	0.55	0.64	0.47	0.48
	D	0.25	0.26	0.33	0.33	0.48	0.48	0.40	0.40	0.35	0.38	0.38	0.36
	E	0.17	0.17	0.13	0.13	0.34	0.34	0.24	0.24	0.23	0.27	0.28	0.28
	F	0.04	0.04	0.10	0.10	0.18	0.18	0.10	0.10	0.25	0.24	0.12	0.08
	G	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.04	0.04	0.03	0.04	0.09	0.11
	H	0.14	0.13	0.00	0.00	0.15	0.13	0.00	0.00	0.23	0.11	0.32	0.31
C13	A	0.21	0.21	0.25	0.25	0.10	0.11	0.16	0.16	0.08	0.05	0.07	0.05
	B	0.70	0.70	0.81	0.81	0.36	0.36	0.50	0.50	0.45	0.41	0.43	0.47
	C	0.50	0.50	0.59	0.59	0.49	0.49	0.85	0.85	0.52	0.48	0.29	0.32
	D	0.23	0.23	0.24	0.24	0.43	0.43	0.27	0.27	0.37	0.39	0.37	0.42

	E	0.27	0.27	0.15	0.15	0.31	0.31	0.16	0.16	0.21	0.24	0.23	0.26
	F	0.12	0.12	0.02	0.02	0.16	0.16	0.11	0.11	0.17	0.18	0.19	0.19
	G	0.08	0.08	0.04	0.04	0.08	0.09	0.00	0.00	0.10	0.09	0.22	0.17
	H	0.10	0.08	0.00	0.00	0.10	0.07	0.00	0.00	0.19	0.08	0.23	0.14
C14	A	0.18	0.18	0.38	0.38	0.11	0.11	0.14	0.14	0.16	0.17	0.11	0.15
	B	0.53	0.54	0.84	0.84	0.48	0.48	0.63	0.63	0.45	0.49	0.54	0.59
	C	0.53	0.53	0.53	0.53	0.54	0.54	0.78	0.78	0.46	0.49	0.42	0.43
	D	0.22	0.22	0.15	0.15	0.44	0.44	0.27	0.27	0.45	0.42	0.35	0.40
	E	0.17	0.17	0.10	0.10	0.14	0.14	0.11	0.11	0.18	0.19	0.21	0.20
	F	0.16	0.17	0.03	0.03	0.14	0.14	0.13	0.13	0.15	0.13	0.19	0.17
	G	0.11	0.11	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01	0.01	0.05	0.05	0.20	0.15
	H	0.14	0.10	0.03	0.03	0.10	0.09	0.00	0.00	0.11	0.02	0.15	0.05
C15	A	0.16	0.17	0.30	0.30	0.07	0.07	0.11	0.11	0.06	0.07	0.11	0.09
	B	0.59	0.60	0.79	0.79	0.34	0.34	0.55	0.55	0.46	0.46	0.49	0.52
	C	0.37	0.37	0.59	0.59	0.60	0.61	0.62	0.62	0.59	0.56	0.67	0.80
	D	0.13	0.13	0.19	0.19	0.45	0.46	0.33	0.33	0.37	0.32	0.16	0.12
	E	0.12	0.12	0.06	0.06	0.17	0.17	0.21	0.21	0.22	0.20	0.26	0.17
	F	0.10	0.10	0.09	0.09	0.15	0.15	0.12	0.12	0.19	0.18	0.23	0.19
	G	0.07	0.07	0.01	0.01	0.05	0.05	0.12	0.12	0.08	0.09	0.06	0.06
	H	0.24	0.20	0.01	0.01	0.11	0.09	0.00	0.00	0.09	0.02	0.16	0.08
C16	A	0.23	0.23	0.17	0.17	0.17	0.17	0.08	0.08	0.13	0.13	0.06	0.04
	B	0.37	0.37	0.79	0.79	0.29	0.29	0.45	0.45	0.32	0.28	0.28	0.20
	C	0.32	0.32	0.60	0.60	0.37	0.37	0.54	0.54	0.53	0.51	0.47	0.58
	D	0.25	0.25	0.33	0.33	0.34	0.34	0.35	0.35	0.49	0.43	0.48	0.45
	E	0.27	0.27	0.15	0.15	0.27	0.27	0.31	0.31	0.40	0.31	0.23	0.22
	F	0.12	0.12	0.03	0.03	0.27	0.27	0.18	0.18	0.10	0.11	0.17	0.10
	G	0.07	0.07	0.00	0.00	0.10	0.11	0.08	0.08	0.09	0.09	0.07	0.07
	H	0.23	0.21	0.02	0.02	0.18	0.15	0.06	0.06	0.11	0.06	0.18	0.10
C17	A	0.27	0.27	0.20	0.20	0.03	0.03	0.06	0.06	0.05	0.05	0.12	0.10
	B	0.41	0.41	0.81	0.81	0.34	0.34	0.44	0.44	0.45	0.48	0.26	0.29
	C	0.39	0.39	0.55	0.55	0.46	0.46	0.55	0.55	0.54	0.53	0.38	0.46
	D	0.15	0.16	0.31	0.31	0.36	0.37	0.52	0.52	0.51	0.55	0.45	0.46
	E	0.13	0.13	0.15	0.15	0.34	0.34	0.17	0.17	0.28	0.27	0.34	0.33
	F	0.29	0.29	0.05	0.05	0.11	0.11	0.20	0.20	0.16	0.15	0.20	0.18
	G	0.14	0.14	0.00	0.00	0.16	0.17	0.05	0.05	0.07	0.06	0.03	0.02

	H	0.28	0.25	0.02	0.02	0.21	0.18	0.02	0.02	0.09	0.05	0.19	0.13
C18	A	0.21	0.21	0.26	0.26	0.10	0.10	0.08	0.08	0.10	0.11	0.06	0.05
	B	0.52	0.53	0.94	0.95	0.42	0.42	0.47	0.47	0.54	0.58	0.28	0.29
	C	0.31	0.31	0.57	0.57	0.32	0.32	0.63	0.63	0.63	0.64	0.47	0.52
	D	0.27	0.27	0.17	0.17	0.39	0.39	0.37	0.37	0.34	0.32	0.47	0.50
	E	0.27	0.28	0.04	0.04	0.36	0.36	0.21	0.21	0.32	0.28	0.22	0.23
	F	0.19	0.19	0.03	0.03	0.23	0.23	0.22	0.22	0.08	0.09	0.17	0.09
	G	0.09	0.10	0.02	0.02	0.11	0.11	0.08	0.08	0.03	0.02	0.13	0.14
	H	0.20	0.20	0.01	0.01	0.12	0.10	0.02	0.02	0.12	0.06	0.12	0.08
C19	A	0.29	0.30	0.36	0.36	0.08	0.08	0.06	0.06	0.19	0.21	0.19	0.15
	B	0.63	0.63	0.98	0.98	0.49	0.50	0.40	0.40	0.63	0.74	0.58	0.66
	C	0.53	0.53	0.48	0.48	0.37	0.38	0.83	0.83	0.50	0.55	0.33	0.33
	D	0.24	0.24	0.15	0.15	0.23	0.23	0.33	0.33	0.28	0.25	0.26	0.24
	E	0.14	0.14	0.08	0.08	0.38	0.38	0.21	0.21	0.22	0.20	0.18	0.19
	F	0.09	0.09	0.01	0.01	0.19	0.19	0.22	0.22	0.11	0.08	0.23	0.22
	G	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.02	0.02	0.07	0.08
	H	0.15	0.15	0.00	0.00	0.15	0.14	0.01	0.01	0.14	0.09	0.19	0.19
C20	A	0.27	0.27	0.36	0.36	0.12	0.13	0.07	0.07	0.18	0.21	0.14	0.13
	B	0.54	0.54	1.02	1.02	0.39	0.39	0.35	0.35	0.56	0.59	0.57	0.60
	C	0.58	0.58	0.52	0.52	0.48	0.49	0.85	0.85	0.61	0.65	0.51	0.55
	D	0.27	0.28	0.14	0.14	0.29	0.29	0.32	0.32	0.37	0.36	0.27	0.32
	E	0.08	0.08	0.06	0.06	0.32	0.32	0.21	0.21	0.17	0.14	0.23	0.27
	F	0.11	0.11	0.00	0.00	0.13	0.13	0.16	0.16	0.10	0.12	0.09	0.07
	G	0.08	0.08	0.02	0.02	0.17	0.17	0.05	0.05	0.04	0.04	0.10	0.07
	H	0.17	0.17	0.02	0.02	0.13	0.10	0.04	0.04	0.09	0.04	0.22	0.12
C21	A	0.30	0.31	0.44	0.44	0.11	0.11	0.11	0.11	0.15	0.15	0.11	0.07
	B	0.37	0.37	0.84	0.84	0.40	0.40	0.51	0.51	0.56	0.60	0.63	0.68
	C	0.37	0.37	0.48	0.48	0.55	0.55	0.73	0.73	0.66	0.74	0.64	0.76
	D	0.37	0.37	0.24	0.24	0.45	0.45	0.39	0.39	0.50	0.55	0.35	0.43
	E	0.13	0.13	0.07	0.07	0.22	0.22	0.16	0.16	0.09	0.08	0.13	0.14
	F	0.15	0.15	0.01	0.01	0.10	0.11	0.15	0.15	0.08	0.09	0.14	0.11
	G	0.08	0.07	0.01	0.01	0.08	0.08	0.02	0.02	0.06	0.07	0.09	0.06
	H	0.13	0.13	0.00	0.00	0.08	0.06	0.04	0.04	0.05	0.04	0.18	0.11
C22	A	0.31	0.32	0.45	0.45	0.08	0.08	0.12	0.12	0.21	0.25	0.16	0.20
	B	0.46	0.47	0.68	0.68	0.35	0.35	0.54	0.54	0.71	0.78	0.45	0.54

	C	0.46	0.46	0.64	0.64	0.62	0.63	0.65	0.65	0.56	0.54	0.60	0.60
	D	0.22	0.22	0.28	0.28	0.41	0.42	0.40	0.40	0.34	0.37	0.40	0.48
	E	0.17	0.16	0.06	0.06	0.29	0.30	0.21	0.21	0.19	0.21	0.19	0.14
	F	0.20	0.21	0.01	0.01	0.09	0.09	0.12	0.12	0.02	0.01	0.16	0.14
	G	0.07	0.07	0.00	0.00	0.02	0.02	0.05	0.05	0.02	0.01	0.06	0.07
	H	0.15	0.15	0.00	0.00	0.11	0.09	0.03	0.03	0.08	0.05	0.13	0.07
C23	A	0.32	0.32	0.36	0.36	0.13	0.13	0.18	0.18	0.18	0.18	0.15	0.18
	B	0.42	0.42	0.81	0.81	0.42	0.43	0.52	0.52	0.52	0.59	0.59	0.70
	C	0.31	0.31	0.67	0.67	0.61	0.62	0.57	0.57	0.61	0.62	0.52	0.59
	D	0.34	0.34	0.18	0.18	0.49	0.49	0.30	0.30	0.40	0.39	0.32	0.34
	E	0.16	0.16	0.04	0.04	0.23	0.23	0.20	0.20	0.20	0.15	0.26	0.24
	F	0.10	0.10	0.02	0.02	0.05	0.05	0.12	0.12	0.13	0.16	0.20	0.10
	G	0.05	0.05	0.02	0.02	0.00	0.00	0.20	0.20	0.04	0.05	0.14	0.13
	H	0.22	0.20	0.00	0.00	0.13	0.13	0.06	0.06	0.05	0.03	0.03	0.02
C24	A	0.35	0.35	0.36	0.36	0.09	0.09	0.10	0.10	0.13	0.07	0.19	0.24
	B	0.38	0.38	0.86	0.86	0.38	0.38	0.52	0.52	0.77	0.85	0.61	0.72
	C	0.46	0.47	0.57	0.57	0.71	0.72	0.57	0.57	0.49	0.50	0.53	0.46
	D	0.26	0.27	0.20	0.20	0.44	0.45	0.35	0.35	0.35	0.38	0.37	0.30
	E	0.22	0.22	0.10	0.10	0.21	0.21	0.18	0.18	0.18	0.20	0.20	0.15
	F	0.06	0.06	0.04	0.04	0.11	0.11	0.17	0.17	0.13	0.10	0.14	0.12
	G	0.17	0.18	0.01	0.01	0.02	0.02	0.17	0.17	0.04	0.05	0.08	0.02
	H	0.12	0.11	0.00	0.00	0.07	0.07	0.08	0.08	0.07	0.05	0.08	0.08
C25	A	0.23	0.23	0.49	0.49	0.10	0.11	0.11	0.11	0.19	0.21	0.12	0.13
	B	0.60	0.61	0.87	0.87	0.57	0.57	0.42	0.42	0.57	0.55	0.54	0.59
	C	0.34	0.34	0.41	0.41	0.39	0.39	0.59	0.59	0.58	0.50	0.61	0.67
	D	0.35	0.35	0.25	0.25	0.43	0.43	0.36	0.36	0.39	0.42	0.42	0.39
	E	0.12	0.13	0.11	0.11	0.22	0.22	0.19	0.19	0.21	0.18	0.18	0.13
	F	0.13	0.13	0.01	0.01	0.08	0.08	0.18	0.18	0.13	0.14	0.15	0.18
	G	0.04	0.04	0.00	0.00	0.10	0.10	0.16	0.16	0.05	0.06	0.01	0.02
	H	0.22	0.21	0.00	0.00	0.09	0.09	0.11	0.11	0.07	0.05	0.15	0.08
C26	A	0.31	0.32	0.55	0.55	0.12	0.12	0.09	0.09	0.27	0.28	0.14	0.15
	B	0.57	0.58	0.82	0.82	0.42	0.42	0.48	0.48	0.54	0.56	0.51	0.59
	C	0.23	0.24	0.41	0.41	0.63	0.63	0.60	0.60	0.72	0.75	0.47	0.45
	D	0.44	0.45	0.23	0.23	0.42	0.43	0.40	0.40	0.28	0.31	0.32	0.30
	E	0.26	0.26	0.05	0.05	0.19	0.19	0.23	0.23	0.17	0.18	0.22	0.17

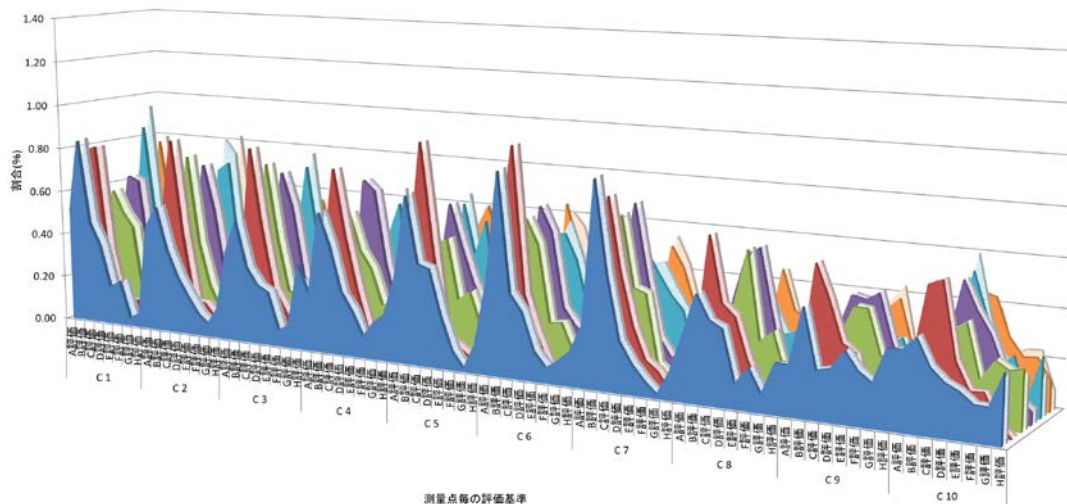
	F	0.22	0.22	0.02	0.02	0.04	0.04	0.14	0.14	0.08	0.10	0.22	0.16
	G	0.02	0.02	0.02	0.02	0.11	0.11	0.11	0.11	0.02	0.02	0.05	0.03
	H	0.21	0.16	0.00	0.00	0.11	0.11	0.08	0.08	0.07	0.05	0.12	0.06
C27	A	0.17	0.17	0.46	0.46	0.06	0.06	0.18	0.18	0.41	0.40	0.16	0.14
	B	0.71	0.71	0.91	0.91	0.73	0.74	0.55	0.55	0.60	0.60	0.63	0.76
	C	0.53	0.53	0.46	0.46	0.49	0.50	0.51	0.51	0.61	0.70	0.71	0.76
	D	0.28	0.29	0.27	0.27	0.41	0.41	0.44	0.44	0.30	0.29	0.26	0.26
	E	0.14	0.15	0.04	0.04	0.17	0.17	0.22	0.22	0.09	0.08	0.29	0.23
	F	0.09	0.09	0.00	0.00	0.09	0.09	0.06	0.06	0.09	0.11	0.14	0.07
	G	0.07	0.07	0.00	0.00	0.09	0.09	0.06	0.06	0.03	0.03	0.09	0.12
	H	0.15	0.13	0.00	0.00	0.08	0.08	0.16	0.16	0.05	0.00	0.01	0.00
C28	A	0.32	0.33	0.55	0.55	0.12	0.12	0.23	0.23	0.34	0.35	0.11	0.08
	B	0.60	0.60	0.95	0.95	0.54	0.54	0.54	0.54	0.67	0.74	0.66	0.71
	C	0.35	0.35	0.48	0.48	0.78	0.78	0.58	0.58	0.46	0.54	0.50	0.55
	D	0.30	0.30	0.11	0.11	0.27	0.27	0.38	0.38	0.45	0.46	0.50	0.42
	E	0.11	0.11	0.04	0.04	0.21	0.22	0.13	0.13	0.12	0.09	0.17	0.11
	F	0.16	0.16	0.03	0.03	0.15	0.15	0.07	0.07	0.02	0.02	0.08	0.05
	G	0.06	0.06	0.00	0.00	0.01	0.01	0.05	0.05	0.05	0.03	0.09	0.08
	H	0.21	0.18	0.00	0.00	0.06	0.06	0.17	0.17	0.07	0.01	0.07	0.05
C29	A	0.37	0.37	0.67	0.67	0.16	0.16	0.30	0.30	0.19	0.20	0.21	0.24
	B	0.64	0.64	0.92	0.92	0.65	0.65	0.69	0.69	0.76	0.83	0.47	0.53
	C	0.50	0.50	0.29	0.29	0.54	0.54	0.28	0.28	0.67	0.70	0.69	0.66
	D	0.14	0.14	0.15	0.15	0.35	0.36	0.33	0.33	0.35	0.41	0.60	0.57
	E	0.12	0.12	0.04	0.04	0.30	0.30	0.17	0.17	0.14	0.12	0.12	0.12
	F	0.12	0.12	0.06	0.06	0.08	0.08	0.17	0.17	0.01	0.01	0.05	0.02
	G	0.04	0.04	0.00	0.00	0.01	0.01	0.05	0.05	0.00	0.00	0.10	0.09
	H	0.13	0.08	0.00	0.00	0.03	0.03	0.16	0.16	0.05	0.04	0.09	0.04
C30	A	0.39	0.39	0.51	0.51	0.21	0.21	0.33	0.33	0.23	0.28	0.22	0.22
	B	0.57	0.58	1.12	1.12	0.55	0.55	0.61	0.61	0.82	0.81	0.52	0.55
	C	0.52	0.52	0.28	0.28	0.60	0.60	0.40	0.40	0.72	0.73	0.75	0.80
	D	0.09	0.09	0.12	0.12	0.43	0.43	0.24	0.24	0.26	0.29	0.45	0.40
	E	0.14	0.14	0.10	0.11	0.23	0.23	0.15	0.15	0.06	0.05	0.18	0.20
	F	0.17	0.17	0.00	0.00	0.10	0.10	0.18	0.18	0.02	0.03	0.00	0.00
	G	0.09	0.09	0.00	0.00	0.02	0.02	0.05	0.05	0.00	0.00	0.08	0.08
	H	0.14	0.14	0.00	0.00	0.05	0.05	0.20	0.20	0.04	0.02	0.05	0.00

C31	A	0.24	0.24	0.62	0.62	0.16	0.17	0.20	0.20	0.20	0.24	0.09	0.07
	B	0.71	0.72	1.04	1.04	0.40	0.40	0.54	0.54	0.98	1.01	0.68	0.77
	C	0.41	0.41	0.25	0.25	0.61	0.61	0.54	0.54	0.52	0.51	0.76	0.80
	D	0.16	0.16	0.20	0.20	0.54	0.54	0.35	0.35	0.31	0.34	0.36	0.35
	E	0.19	0.19	0.03	0.03	0.22	0.22	0.17	0.17	0.06	0.08	0.21	0.20
	F	0.17	0.17	0.02	0.02	0.17	0.17	0.10	0.10	0.05	0.01	0.08	0.09
	G	0.13	0.14	0.00	0.00	0.11	0.11	0.07	0.07	0.02	0.02	0.05	0.02
	H	0.14	0.11	0.00	0.00	0.05	0.05	0.14	0.14	0.02	0.01	0.05	0.03
C32	A	0.27	0.27	0.62	0.62	0.15	0.15	0.24	0.24	0.20	0.22	0.17	0.19
	B	0.69	0.70	0.97	0.97	0.64	0.65	0.66	0.66	0.90	0.95	0.58	0.65
	C	0.29	0.30	0.39	0.39	0.59	0.59	0.55	0.55	0.65	0.60	0.64	0.73
	D	0.25	0.25	0.10	0.11	0.36	0.36	0.40	0.40	0.19	0.22	0.22	0.24
	E	0.22	0.22	0.06	0.06	0.33	0.33	0.14	0.14	0.07	0.03	0.19	0.11
	F	0.34	0.34	0.00	0.00	0.08	0.08	0.07	0.07	0.08	0.08	0.07	0.06
	G	0.09	0.10	0.01	0.01	0.09	0.09	0.02	0.02	0.02	0.02	0.07	0.09
	H	0.04	0.04	0.00	0.00	0.05	0.05	0.07	0.07	0.02	0.01	0.03	0.04
C33	A	0.45	0.46	0.77	0.77	0.07	0.07	0.19	0.19	0.30	0.32	0.22	0.25
	B	0.47	0.48	0.87	0.87	0.56	0.56	0.81	0.81	0.73	0.74	0.55	0.61
	C	0.52	0.53	0.38	0.38	0.63	0.64	0.63	0.63	0.57	0.59	0.71	0.72
	D	0.27	0.28	0.08	0.08	0.57	0.58	0.33	0.33	0.31	0.29	0.33	0.32
	E	0.17	0.17	0.06	0.06	0.27	0.27	0.09	0.09	0.18	0.18	0.20	0.19
	F	0.14	0.14	0.02	0.02	0.10	0.10	0.09	0.09	0.02	0.01	0.08	0.10
	G	0.05	0.05	0.00	0.00	0.05	0.05	0.02	0.02	0.00	0.00	0.09	0.08
	H	0.24	0.24	0.00	0.00	0.04	0.04	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02
C34	A	0.39	0.40	0.97	0.97	0.16	0.16	0.21	0.21	0.44	0.47	0.38	0.45
	B	0.70	0.71	0.66	0.66	0.63	0.64	0.72	0.72	0.90	0.98	0.64	0.70
	C	0.33	0.34	0.38	0.38	0.55	0.55	0.65	0.65	0.43	0.45	0.73	0.72
	D	0.40	0.40	0.14	0.14	0.56	0.56	0.25	0.26	0.29	0.27	0.24	0.21
	E	0.20	0.20	0.00	0.00	0.26	0.27	0.20	0.20	0.08	0.07	0.09	0.08
	F	0.17	0.17	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.00	0.01	0.04	0.05
	G	0.08	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01	0.02
	H	0.19	0.19	0.00	0.00	0.08	0.08	0.02	0.02	0.04	0.03	0.06	0.03
C35	A	0.49	0.50	0.59	0.59	0.20	0.20	0.14	0.14	0.24	0.24	0.34	0.29
	B	0.50	0.50	0.91	0.91	0.73	0.74	0.62	0.62	0.96	1.03	0.76	0.84
	C	0.29	0.30	0.60	0.60	0.84	0.84	0.67	0.67	0.60	0.69	0.50	0.56

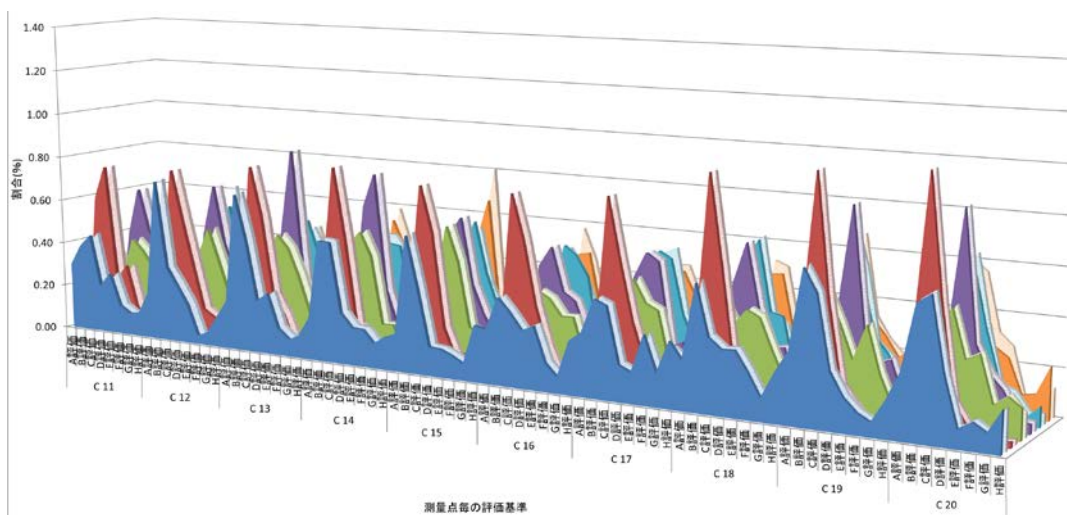
	D	0.37	0.37	0.06	0.06	0.32	0.32	0.37	0.37	0.22	0.23	0.28	0.25
	E	0.22	0.22	0.00	0.00	0.08	0.08	0.12	0.12	0.12	0.11	0.14	0.17
	F	0.08	0.08	0.03	0.03	0.03	0.03	0.13	0.13	0.01	0.01	0.08	0.09
	G	0.08	0.08	0.01	0.01	0.00	0.00	0.04	0.04	0.02	0.03	0.04	0.02
	H	0.11	0.09	0.00	0.00	0.08	0.08	0.02	0.02	0.02	0.03	0.07	0.05
C36	A	0.34	0.34	0.58	0.58	0.26	0.26	0.05	0.05	0.13	0.14	0.21	0.25
	B	0.35	0.36	0.94	0.94	0.81	0.82	0.62	0.62	0.78	0.88	0.57	0.64
	C	0.48	0.48	0.45	0.45	0.59	0.59	0.55	0.55	0.76	0.85	0.66	0.72
	D	0.21	0.21	0.16	0.16	0.43	0.43	0.46	0.46	0.26	0.30	0.40	0.45
	E	0.20	0.20	0.01	0.01	0.05	0.05	0.16	0.16	0.06	0.08	0.17	0.21
	F	0.14	0.14	0.04	0.04	0.06	0.06	0.14	0.14	0.06	0.05	0.07	0.08
	G	0.03	0.03	0.00	0.00	0.06	0.06	0.12	0.12	0.02	0.03	0.07	0.07
	H	0.17	0.14	0.00	0.00	0.07	0.07	0.04	0.04	0.07	0.04	0.09	0.06
C37	A	0.36	0.37	0.49	0.49	0.27	0.27	0.05	0.05	0.23	0.23	0.29	0.29
	B	0.48	0.49	1.03	1.03	0.66	0.66	0.47	0.47	0.63	0.72	0.54	0.47
	C	0.34	0.35	0.48	0.48	0.68	0.68	0.56	0.56	0.64	0.67	0.59	0.66
	D	0.28	0.28	0.14	0.14	0.31	0.32	0.45	0.45	0.34	0.33	0.39	0.41
	E	0.22	0.22	0.02	0.02	0.26	0.26	0.25	0.26	0.18	0.17	0.15	0.15
	F	0.14	0.14	0.00	0.00	0.10	0.10	0.18	0.18	0.04	0.04	0.04	0.02
	G	0.14	0.15	0.00	0.00	0.03	0.03	0.06	0.06	0.05	0.03	0.03	0.00
	H	0.15	0.13	0.00	0.00	0.05	0.05	0.17	0.17	0.07	0.03	0.13	0.12
C38	A	0.35	0.35	0.61	0.61	0.18	0.18	0.08	0.08	0.25	0.30	0.21	0.25
	B	0.64	0.65	0.94	0.94	0.84	0.85	0.24	0.24	0.59	0.65	0.50	0.54
	C	0.35	0.35	0.46	0.46	0.55	0.55	0.71	0.71	0.59	0.62	0.62	0.70
	D	0.21	0.21	0.09	0.09	0.38	0.38	0.35	0.35	0.30	0.30	0.31	0.34
	E	0.11	0.12	0.03	0.03	0.16	0.16	0.30	0.30	0.12	0.12	0.11	0.12
	F	0.08	0.08	0.00	0.00	0.09	0.09	0.32	0.32	0.07	0.09	0.03	0.04
	G	0.05	0.05	0.00	0.00	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.01	0.07	0.07
	H	0.13	0.09	0.00	0.00	0.07	0.07	0.16	0.16	0.11	0.02	0.22	0.07
C39	A	0.40	0.41	0.75	0.75	0.08	0.08	0.11	0.11	0.23	0.26	0.33	0.37
	B	0.60	0.61	1.01	1.01	0.78	0.79	0.37	0.37	0.84	0.93	0.71	0.73
	C	0.37	0.37	0.28	0.28	0.68	0.68	0.49	0.49	0.50	0.54	0.60	0.72
	D	0.21	0.21	0.08	0.08	0.43	0.43	0.45	0.45	0.28	0.26	0.38	0.43
	E	0.28	0.28	0.05	0.05	0.21	0.22	0.26	0.26	0.10	0.06	0.15	0.12
	F	0.09	0.09	0.00	0.00	0.07	0.08	0.19	0.19	0.10	0.07	0.09	0.11

	G	0.01	0.01	0.00	0.00	0.03	0.03	0.08	0.08	0.04	0.01	0.01	0.01
	H	0.10	0.08	0.00	0.00	0.01	0.01	0.20	0.19	0.07	0.06	0.13	0.09
C40	A	0.46	0.46	0.80	0.80	0.23	0.23	0.16	0.16	0.35	0.37	0.34	0.31
	B	0.64	0.64	0.88	0.88	0.72	0.73	0.38	0.38	0.82	0.92	0.76	0.89
	C	0.48	0.49	0.32	0.32	0.58	0.58	0.53	0.53	0.48	0.51	0.50	0.52
	D	0.28	0.29	0.13	0.13	0.36	0.36	0.33	0.33	0.16	0.17	0.33	0.36
	E	0.17	0.17	0.01	0.01	0.29	0.29	0.34	0.34	0.12	0.13	0.11	0.13
	F	0.09	0.10	0.04	0.04	0.13	0.13	0.15	0.15	0.08	0.10	0.05	0.06
	G	0.05	0.04	0.00	0.00	0.02	0.02	0.14	0.14	0.06	0.05	0.02	0.03
	H	0.08	0.08	0.00	0.00	0.04	0.04	0.18	0.18	0.09	0.09	0.06	0.05
C41	A	0.33	0.33	0.41	0.41	0.26	0.26	0.13	0.13	0.38	0.38	0.20	0.23
	B	0.69	0.69	1.34	1.34	0.76	0.77	0.26	0.26	0.69	0.67	0.75	0.80
	C	0.55	0.55	0.29	0.29	0.62	0.62	0.52	0.52	0.47	0.46	0.50	0.52
	D	0.29	0.29	0.11	0.11	0.23	0.23	0.50	0.50	0.23	0.26	0.41	0.39
	E	0.25	0.25	0.01	0.01	0.30	0.30	0.28	0.28	0.16	0.18	0.16	0.18
	F	0.08	0.08	0.02	0.02	0.10	0.11	0.18	0.18	0.02	0.03	0.08	0.09
	G	0.01	0.01	0.00	0.00	0.07	0.07	0.12	0.12	0.03	0.04	0.04	0.01
	H	0.08	0.08	0.00	0.00	0.05	0.05	0.23	0.23	0.09	0.04	0.08	0.06
C42	A	0.30	0.31	0.58	0.58	0.21	0.21	0.08	0.08	0.21	0.19	0.16	0.18
	B	0.58	0.58	1.02	1.02	0.68	0.69	0.25	0.26	0.78	0.75	0.59	0.63
	C	0.50	0.51	0.42	0.42	0.55	0.55	0.34	0.34	0.59	0.61	0.64	0.61
	D	0.28	0.28	0.14	0.14	0.40	0.41	0.51	0.51	0.30	0.27	0.32	0.29
	E	0.18	0.18	0.00	0.00	0.28	0.28	0.38	0.38	0.12	0.14	0.14	0.12
	F	0.14	0.15	0.00	0.00	0.12	0.12	0.33	0.33	0.05	0.04	0.04	0.04
	G	0.04	0.04	0.00	0.00	0.03	0.03	0.11	0.11	0.00	0.00	0.07	0.01
	H	0.06	0.05	0.01	0.01	0.05	0.05	0.22	0.22	0.09	0.00	0.11	0.06
C43	A	0.29	0.29	0.44	0.44	0.16	0.16	0.05	0.05	0.30	0.30	0.12	0.11
	B	0.50	0.51	1.01	1.01	0.68	0.68	0.23	0.23	0.61	0.62	0.53	0.60
	C	0.33	0.33	0.46	0.46	0.45	0.45	0.46	0.46	0.48	0.48	0.57	0.64
	D	0.43	0.44	0.20	0.19	0.59	0.59	0.44	0.44	0.41	0.43	0.31	0.32
	E	0.27	0.27	0.02	0.02	0.21	0.21	0.46	0.46	0.16	0.17	0.32	0.28
	F	0.01	0.01	0.01	0.01	0.08	0.08	0.22	0.22	0.04	0.03	0.07	0.07
	G	0.12	0.12	0.00	0.00	0.08	0.08	0.14	0.14	0.02	0.03	0.09	0.09
	H	0.21	0.21	0.00	0.00	0.03	0.02	0.19	0.19	0.09	0.00	0.08	0.01
C44	A	0.27	0.28	0.44	0.44	0.13	0.13	0.04	0.04	0.20	0.16	0.02	0.03

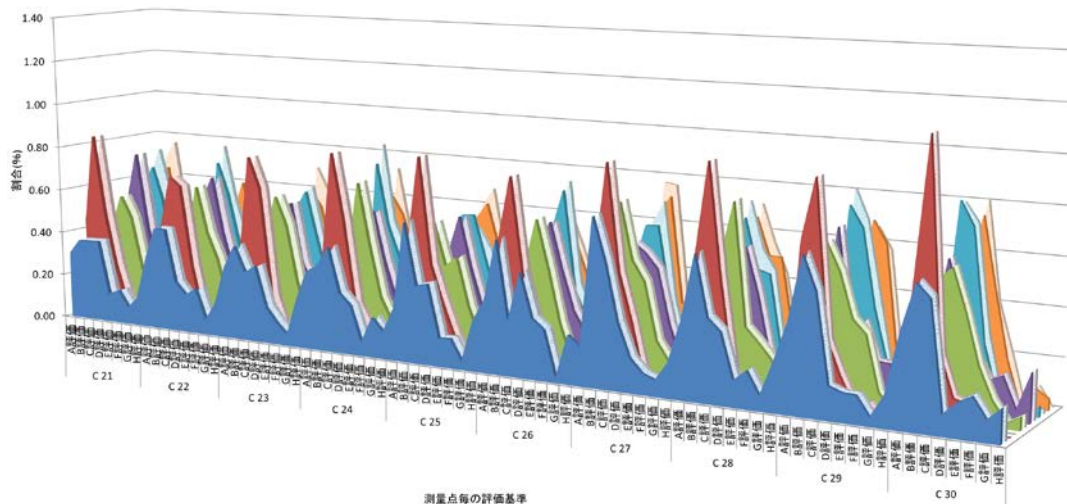
	B	0.56	0.56	0.93	0.93	0.58	0.58	0.21	0.21	0.70	0.75	0.61	0.58
	C	0.36	0.36	0.46	0.46	0.53	0.53	0.52	0.52	0.46	0.46	0.57	0.66
	D	0.31	0.31	0.24	0.24	0.43	0.43	0.37	0.37	0.40	0.39	0.39	0.45
	E	0.19	0.19	0.09	0.09	0.41	0.41	0.49	0.49	0.16	0.17	0.15	0.19
	F	0.15	0.15	0.03	0.03	0.15	0.15	0.27	0.27	0.12	0.12	0.18	0.13
	G	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.02	0.11	0.11	0.02	0.03	0.02	0.01
	H	0.18	0.18	0.00	0.00	0.05	0.05	0.23	0.23	0.11	0.04	0.19	0.05
C45	A	0.22	0.22	0.57	0.57	0.08	0.08	0.01	0.01	0.24	0.26	0.10	0.12
	B	0.50	0.51	0.82	0.82	0.58	0.58	0.36	0.36	0.67	0.74	0.52	0.62
	C	0.32	0.32	0.53	0.53	0.63	0.64	0.52	0.52	0.43	0.47	0.56	0.68
	D	0.22	0.22	0.17	0.17	0.51	0.52	0.62	0.62	0.33	0.34	0.37	0.44
	E	0.13	0.13	0.05	0.05	0.22	0.22	0.23	0.23	0.22	0.24	0.19	0.19
	F	0.20	0.20	0.00	0.00	0.09	0.09	0.21	0.21	0.11	0.13	0.09	0.09
	G	0.13	0.13	0.00	0.00	0.12	0.12	0.17	0.17	0.01	0.02	0.08	0.01
	H	0.32	0.31	0.00	0.00	0.03	0.02	0.13	0.13	0.16	0.06	0.14	0.03
C46	A	0.29	0.29	0.57	0.57	0.30	0.30	0.10	0.10	0.21	0.24	0.25	0.28
	B	0.41	0.42	0.97	0.97	0.61	0.61	0.56	0.56	0.76	0.85	0.60	0.74
	C	0.42	0.42	0.52	0.52	0.61	0.61	0.59	0.59	0.54	0.60	0.65	0.73
	D	0.32	0.33	0.08	0.08	0.36	0.36	0.44	0.44	0.23	0.24	0.35	0.36
	E	0.29	0.29	0.00	0.00	0.16	0.16	0.34	0.34	0.17	0.18	0.20	0.12
	F	0.15	0.15	0.02	0.02	0.02	0.02	0.07	0.07	0.07	0.09	0.16	0.15
	G	0.17	0.14	0.00	0.00	0.08	0.09	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.03
	H	0.26	0.26	0.00	0.00	0.07	0.07	0.09	0.09	0.11	0.03	0.10	0.02
C47	A	0.41	0.42	0.71	0.71	0.18	0.18	0.21	0.21	0.40	0.38	0.27	0.26
	B	0.71	0.72	0.99	0.99	0.80	0.81	0.57	0.57	0.73	0.79	0.89	1.04
	C	0.71	0.65	0.33	0.33	0.72	0.72	0.80	0.80	0.42	0.44	0.36	0.37
	D	0.34	0.34	0.09	0.09	0.28	0.28	0.38	0.38	0.28	0.30	0.35	0.33
	E	0.17	0.17	0.00	0.00	0.16	0.16	0.10	0.10	0.14	0.17	0.15	0.13
	F	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.09	0.09	0.11	0.14	0.06	0.05
	G	0.11	0.12	0.00	0.00	0.02	0.02	0.05	0.05	0.05	0.03	0.04	0.06
	H	0.26	0.26	0.00	0.00	0.07	0.06	0.06	0.06	0.08	0.06	0.23	0.05



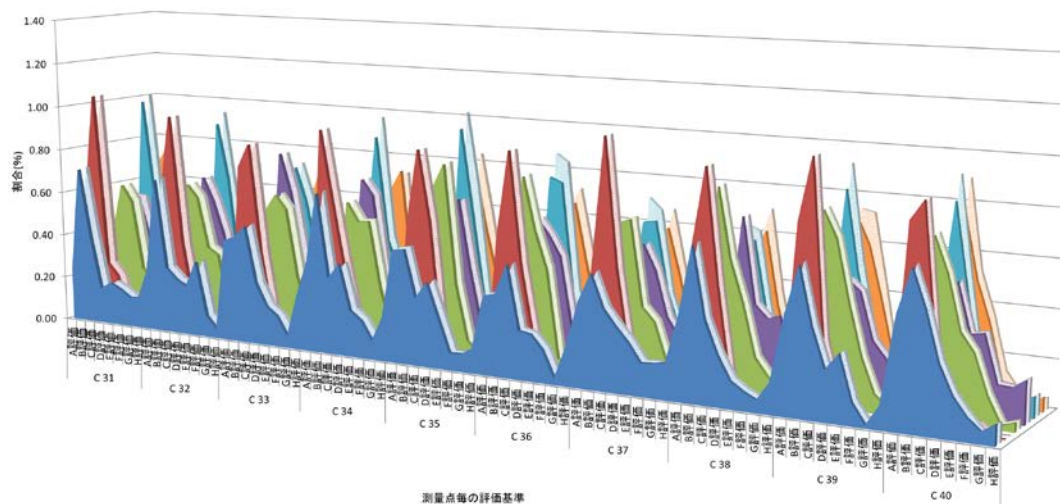
(a) C1~C10の結果



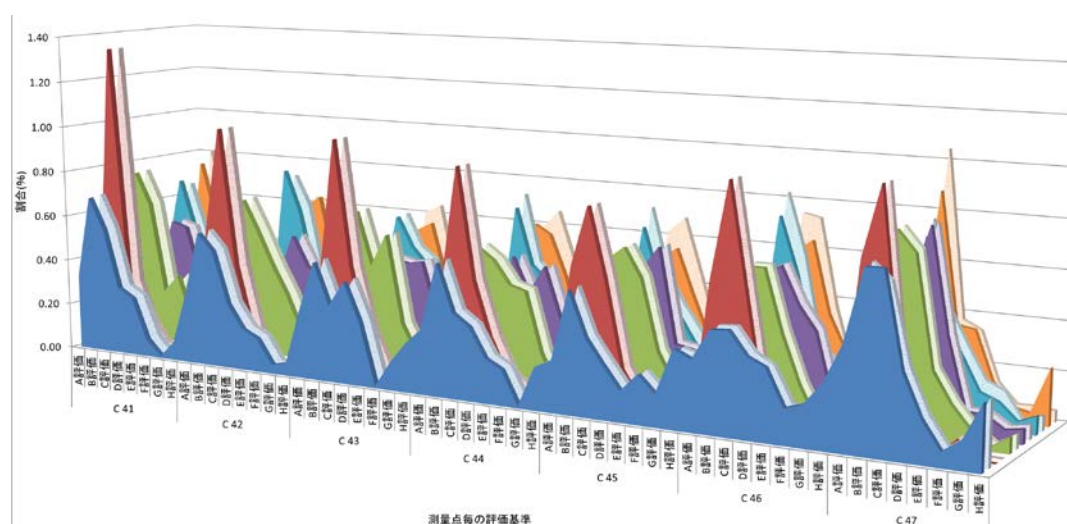
(b) C11~C20の結果



(c) C21~C30の結果



(d) C31~C40 の結果



(e) C40~C47 の結果

■ 機種A(比較手法) ⋈ 機種A(提案手法) ■ 機種B(比較手法) ⋈ 機種B(提案手法) ■ 機種C(比較手法) ⋈ 機種C(提案手法)
■ 機種D(比較手法) ⋈ 機種D(提案手法) ■ 機種E(比較手法) ⋈ 機種E(提案手法) ■ 機種F(比較手法) ⋈ 機種F(提案手法)

図5.25 キャンパス実験の絶対精度の比較結果

比較手法の計測点の割合は、A 評価が 0.00~0.97%，B 評価が 0.14~1.34%，C 評価が 0.20~0.85%，D 評価が 0.06~0.66%，E 評価が 0.00~0.49%，F 評価が 0.00~0.34%，G 評価が 0.00~0.23%，H 評価が 0.00~0.37%であった。提案手法の計測点の割合は、A 評価が 0.00~0.97%，B 評価が 0.12~1.34%，C 評価が 0.20~0.85%，D 評価が 0.06~0.62%，E 評価が 0.00~0.49%，F 評価が 0.00~0.34%，G 評価が 0.00~0.24%，H 評価が 0.00~0.31%であった。全体に対する測量点毎の計測点の割合を比較すると、グラウンド実験と同様、A 評価に近付くほど比較手法より提案手法の割合が多く、H 評価に近付くほど比較手法より提案手法の割合が少ない傾向にあった。

グラウンド実験の信頼性の比較結果を表 5.10 と図 5.26 に示す。

表5.10 グラウンド実験の信頼性の比較結果

測量点		信頼性 (計測点数)					
		機種 A	機種 B	機種 C	機種 D	機種 E	機種 F
G1	比較 手法	9.25 (4,713)	3.59 (5,926)	9.99 (5,756)	22.46 (5,994)	14.51 (5,701)	9.29 (4,909)
	提案 手法	9.25 (4,713)	3.58 (5,917)	6.66 (5,680)	22.46 (5,994)	5.46 (5,267)	8.23 (3,953)
G2	比較 手法	6.17 (2,868)	3.39 (3,954)	10.25 (3,771)	15.43 (3,986)	9.71 (3,645)	7.34 (3,105)
	提案 手法	6.10 (2,864)	3.39 (3,954)	8.22 (3,748)	15.43 (3,986)	4.54 (3,508)	5.71 (2,643)
G3	比較 手法	5.76 (4,386)	2.70 (5,936)	7.71 (5,610)	8.16 (5,953)	7.52 (5,536)	7.38 (4,805)
	提案 手法	5.76 (4,386)	2.70 (5,936)	4.69 (5,584)	8.16 (5,951)	5.35 (5,265)	6.96 (4,005)
G4	比較 手法	5.85 (2,737)	2.85 (3,913)	11.12 (3,830)	7.88 (3,988)	7.25 (3,649)	8.26 (3,281)
	提案 手法	5.85 (2,737)	2.85 (3,913)	4.85 (3,810)	7.88 (3,985)	6.50 (3,516)	7.58 (2,664)
G5	比較 手法	5.61 (2,740)	2.43 (3,972)	3.86 (3,779)	5.15 (3,977)	7.96 (3,668)	6.75 (3,292)
	提案 手法	5.61 (2,740)	2.43 (3,972)	3.86 (3,779)	5.15 (3,977)	6.95 (3,449)	6.53 (2,752)
G6	比較 手法	8.84 (4,113)	2.56 (5,915)	5.10 (5,718)	4.34 (5,947)	4.78 (5,658)	6.72 (4,915)
	提案 手法	8.32 (4,100)	2.56 (5,915)	5.10 (5,714)	4.34 (5,947)	4.54 (5,331)	6.08 (3,944)
G7	比較 手法	6.11 (2,760)	2.17 (3,964)	4.18 (3,863)	3.01 (3,965)	3.78 (3,693)	6.22 (3,235)
	提案 手法	6.01 (2,751)	2.17 (3,964)	4.18 (3,863)	3.01 (3,965)	3.79 (3,573)	6.11 (2,821)

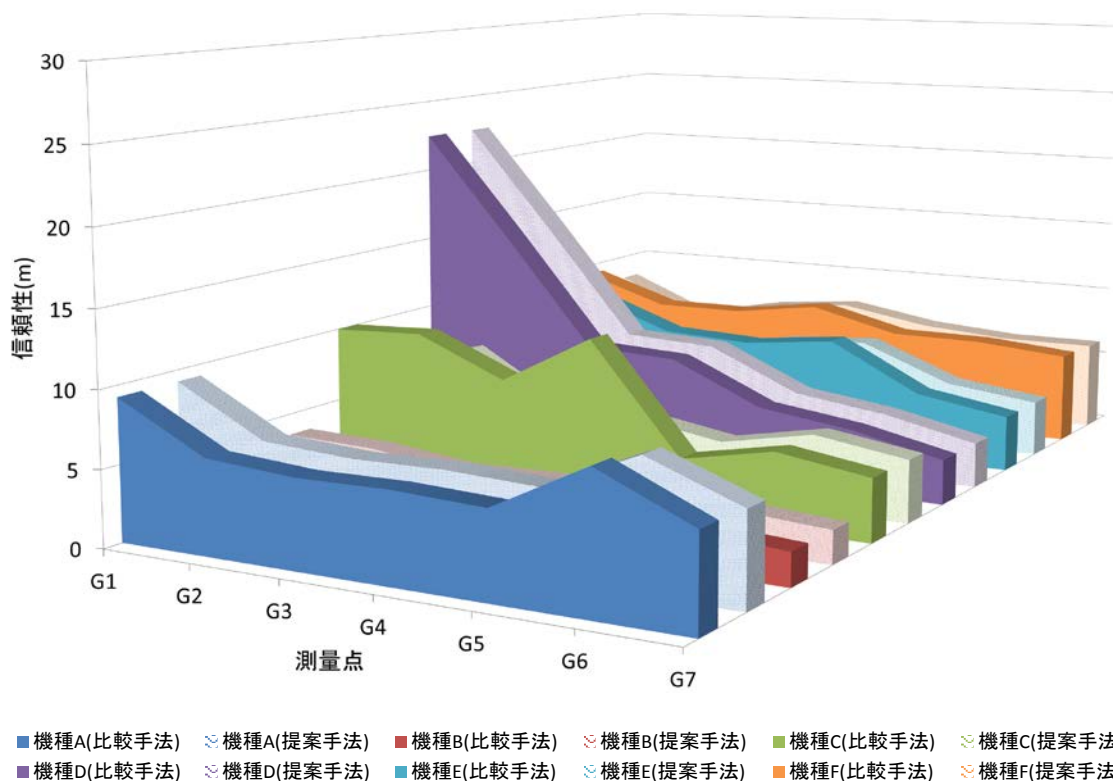


図5.26 グラウンド実験の信頼性の比較結果

機種 A～D と機種 F のすべての測量点および機種 E の測量点 G1～G6 の比較手法の信頼性は、提案手法に比べ大きくなった。機種 E の測量点 G7 の比較手法の信頼性は、提案手法に比べ 0.01 小さくなった。これは、提案手法において、真値に近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要因と考えられる。

キャンパス実験の信頼性の比較結果を表 5.11 と図 5.27 に示す。

表5.11 キャンパス実験の信頼性の比較結果

測量点		信頼性 (計測点数)					
		機種 A	機種 B	機種 C	機種 D	機種 E	機種 F
C1	比較手法	10.28 (1,620)	7.85 (1,965)	15.38 (1,467)	9.00 (1,611)	13.93 (1,827)	10.90 (1,552)
	提案手法	10.28 (1,614)	6.95 (1,953)	11.91 (1,433)	9.00 (1,611)	8.18 (1,495)	10.34 (1,202)
C2	比較手法	12.86 (1,302)	6.45 (1,905)	18.07 (1,444)	6.96 (1,596)	15.25 (1,820)	9.45 (1,375)
	提案手法	11.91 (1,281)	6.45 (1,902)	12.23 (1,421)	6.96 (1,596)	8.55 (1,499)	7.55 (1,041)

C3	比較 手法	16.84 (1,417)	6.89 (1,919)	18.11 (1,469)	7.43 (1,649)	14.83 (1,909)	10.18 (1,434)
	提案 手法	14.17 (1,359)	6.89 (1,919)	11.21 (1,438)	7.43 (1,649)	8.66 (1,506)	9.91 (1,079)
C4	比較 手法	13.03 (1,396)	6.10 (1,890)	18.51 (1,445)	6.84 (1,679)	14.37 (1,865)	10.13 (1,321)
	提案 手法	12.52 (1,365)	6.09 (1,888)	10.19 (1,417)	6.84 (1,679)	7.63 (1,406)	9.72 (1,002)
C5	比較 手法	12.49 (1,474)	5.29 (1,898)	19.48 (1,494)	8.24 (1,609)	8.66 (1,883)	10.36 (1,488)
	提案 手法	12.49 (1,474)	5.28 (1,894)	9.93 (1,466)	8.24 (1,609)	7.82 (1,475)	9.71 (1,122)
C6	比較 手法	13.03 (1,430)	5.94 (1,910)	20.69 (1,431)	8.58 (1,603)	10.01 (1,940)	11.66 (1,459)
	提案 手法	12.94 (1,429)	5.94 (1,910)	11.85 (1,411)	8.58 (1,603)	7.30 (1,546)	11.78 (1,092)
C7	比較 手法	10.32 (1,314)	8.40 (1,902)	14.84 (1,422)	9.31 (1,562)	12.07 (1,778)	14.08 (1,273)
	提案 手法	10.15 (1,310)	8.40 (1,902)	11.94 (1,414)	9.31 (1,562)	9.33 (1,387)	8.87 (945)
C8	比較 手法	14.07 (1,189)	9.52 (1,792)	15.75 (1,410)	8.32 (1,638)	25.79 (1,808)	13.56 (1,208)
	提案 手法	13.50 (1,179)	9.45 (1,789)	15.75 (1,410)	8.32 (1,638)	10.72 (1,328)	12.51 (884)
C9	比較 手法	13.18 (1,260)	8.67 (1,790)	15.78 (1,448)	8.31 (1,614)	27.85 (1,788)	14.01 (1,272)
	提案 手法	12.44 (1,251)	8.66 (1,780)	15.81 (1,444)	8.31 (1,614)	11.54 (1,296)	11.88 (907)
C10	比較 手法	17.02 (1,176)	7.36 (1,816)	20.26 (1,342)	8.39 (1,559)	23.55 (1,820)	11.15 (1,313)
	提案 手法	16.50 (1,168)	7.36 (1,816)	14.95 (1,319)	8.39 (1,559)	11.31 (1,407)	10.71 (900)
C11	比較 手法	10.91 (1,191)	6.16 (1,836)	18.70 (1,373)	7.11 (1,547)	22.26 (1,796)	11.48 (1,479)

	提案 手法	10.20 (1,174)	6.16 (1,836)	11.49 (1,341)	7.11 (1,547)	9.20 (1,451)	11.67 (1,109)
C12	比較 手法	10.85 (1,176)	7.05 (1,872)	13.29 (1,379)	6.51 (1,509)	26.01 (1,762)	11.80 (1,311)
	提案 手法	10.70 (1,169)	7.05 (1,872)	8.92 (1,359)	6.51 (1,509)	11.48 (1,455)	11.87 (996)
C13	比較 手法	10.87 (1,347)	6.23 (1,884)	11.89 (1,436)	5.90 (1,582)	28.82 (1,857)	13.65 (1,379)
	提案 手法	9.61 (1,335)	6.23 (1,884)	10.00 (1,418)	5.90 (1,582)	9.76 (1,370)	9.90 (1,035)
C14	比較 手法	12.08 (1,250)	7.05 (1,874)	10.00 (1,400)	5.88 (1,586)	16.36 (1,771)	10.91 (1,473)
	提案 手法	10.39 (1,224)	7.05 (1,874)	9.07 (1,392)	5.88 (1,586)	7.51 (1,390)	9.47 (1,103)
C15	比較 手法	16.62 (1,093)	6.23 (1,830)	15.33 (1,375)	7.65 (1,583)	11.18 (1,818)	10.45 (1,442)
	提案 手法	14.76 (1,064)	6.23 (1,830)	9.35 (1,355)	7.65 (1,583)	7.68 (1,353)	8.66 (1,059)
C16	比較 手法	15.39 (1,136)	6.00 (1,858)	13.74 (1,402)	8.12 (1,566)	10.25 (1,912)	11.51 (1,310)
	提案 手法	14.30 (1,120)	6.00 (1,858)	10.70 (1,382)	8.12 (1,566)	8.81 (1,375)	9.87 (905)
C17	比較 手法	15.74 (1,262)	6.59 (1,868)	12.64 (1,433)	7.24 (1,543)	8.37 (1,888)	10.54 (1,330)
	提案 手法	15.19 (1,239)	6.59 (1,868)	10.87 (1,409)	7.24 (1,543)	7.54 (1,528)	9.27 (1,022)
C18	比較 手法	12.92 (1,266)	5.91 (1,834)	10.87 (1,449)	7.57 (1,595)	8.79 (1,901)	10.55 (1,304)
	提案 手法	12.89 (1,262)	5.91 (1,834)	9.97 (1,429)	7.57 (1,595)	7.49 (1,498)	9.22 (979)
C19	比較 手法	11.75 (1,299)	5.97 (1,902)	10.49 (1,386)	7.10 (1,621)	11.24 (1,841)	11.83 (1,372)
	提案 手法	11.75 (1,299)	5.97 (1,902)	10.35 (1,379)	7.10 (1,621)	9.69 (1,539)	11.05 (1,071)

C20	比較 手法	12.68 (1,282)	5.56 (1,911)	10.15 (1,429)	7.27 (1,570)	10.87 (1,869)	12.51 (1,448)
	提案 手法	12.64 (1,279)	5.56 (1,911)	9.94 (1,409)	7.27 (1,570)	7.85 (1,542)	9.72 (1,102)
C21	比較 手法	13.95 (1,155)	5.34 (1,872)	9.69 (1,406)	7.02 (1,627)	8.56 (1,889)	11.20 (1,536)
	提案 手法	13.95 (1,151)	5.34 (1,872)	9.31 (1,386)	7.02 (1,627)	8.45 (1,654)	10.08 (1,220)
C22	比較 手法	17.55 (1,252)	5.11 (1,897)	10.45 (1,406)	7.22 (1,632)	8.42 (1,888)	10.37 (1,447)
	提案 手法	17.59 (1,246)	5.11 (1,897)	9.72 (1,388)	7.22 (1,632)	7.00 (1,578)	9.11 (1,163)
C23	比較 手法	13.30 (1,166)	5.30 (1,870)	9.42 (1,467)	9.07 (1,656)	9.93 (1,872)	8.63 (1,490)
	提案 手法	13.12 (1,158)	5.30 (1,870)	9.32 (1,464)	9.07 (1,656)	8.47 (1,551)	8.02 (1,190)
C24	比較 手法	16.14 (1,236)	5.60 (1,900)	8.80 (1,438)	9.06 (1,651)	13.47 (1,898)	8.79 (1,491)
	提案 手法	16.06 (1,226)	5.60 (1,900)	8.81 (1,434)	9.06 (1,651)	7.69 (1,574)	8.34 (1,085)
C25	比較 手法	14.82 (1,242)	5.63 (1,916)	10.61 (1,404)	9.75 (1,628)	12.57 (1,923)	9.43 (1,479)
	提案 手法	13.39 (1,233)	5.63 (1,916)	10.61 (1,404)	9.75 (1,628)	8.53 (1,497)	8.08 (1,135)
C26	比較 手法	14.75 (1,388)	5.70 (1,884)	10.25 (1,444)	9.05 (1,632)	10.93 (1,891)	9.58 (1,373)
	提案 手法	13.65 (1,358)	5.70 (1,884)	10.25 (1,444)	9.05 (1,632)	7.40 (1,610)	8.42 (988)
C27	比較 手法	13.31 (1,305)	4.83 (1,933)	10.36 (1,503)	9.40 (1,673)	10.47 (1,909)	7.81 (1,552)
	提案 手法	12.91 (1,296)	4.83 (1,933)	10.36 (1,503)	9.40 (1,673)	6.86 (1,582)	7.28 (1,207)
C28	比較 手法	14.92 (1,286)	4.87 (1,934)	8.49 (1,515)	9.94 (1,654)	9.18 (1,920)	8.45 (1,482)

	提案 手法	14.24 (1,271)	4.87 (1,934)	8.49 (1,515)	9.94 (1,654)	6.26 (1,599)	7.40 (1,064)
C29	比較 手法	17.25 (1,251)	5.56 (1,909)	8.08 (1,495)	11.15 (1,648)	7.07 (1,928)	9.12 (1,582)
	提案 手法	11.79 (1,214)	5.56 (1,909)	8.08 (1,495)	11.15 (1,648)	6.62 (1,646)	7.45 (1,167)
C30	比較 手法	13.55 (1,289)	4.88 (1,917)	9.13 (1,554)	11.98 (1,660)	6.05 (1,900)	8.13 (1,526)
	提案 手法	13.55 (1,289)	4.88 (1,917)	9.13 (1,554)	11.98 (1,660)	5.42 (1,580)	6.65 (1,170)
C31	比較 手法	14.40 (1,311)	4.83 (1,940)	9.58 (1,598)	10.16 (1,624)	7.15 (1,912)	7.37 (1,546)
	提案 手法	13.38 (1,291)	4.83 (1,940)	9.58 (1,598)	10.16 (1,624)	6.28 (1,579)	6.42 (1,206)
C32	比較 手法	10.70 (1,343)	4.94 (1,935)	8.96 (1,617)	7.77 (1,659)	8.14 (1,876)	7.35 (1,328)
	提案 手法	10.62 (1,341)	4.94 (1,935)	8.96 (1,617)	7.77 (1,659)	6.80 (1,525)	7.32 (1,092)
C33	比較 手法	14.43 (1,422)	5.10 (1,960)	7.96 (1,620)	6.15 (1,660)	8.27 (1,881)	7.57 (1,483)
	提案 手法	14.14 (1,420)	5.10 (1,960)	7.96 (1,620)	6.15 (1,660)	8.28 (1,533)	7.53 (1,194)
C34	比較 手法	14.19 (1,515)	5.35 (1,979)	8.49 (1,631)	6.67 (1,647)	8.10 (1,921)	7.20 (1,488)
	提案 手法	14.20 (1,513)	5.35 (1,979)	8.49 (1,631)	6.67 (1,647)	7.79 (1,623)	6.75 (1,173)
C35	比較 手法	11.50 (1,303)	4.71 (1,966)	8.64 (1,610)	7.03 (1,609)	7.71 (1,929)	8.20 (1,498)
	提案 手法	11.27 (1,294)	4.71 (1,966)	8.64 (1,610)	7.03 (1,609)	7.92 (1,689)	7.54 (1,175)
C36	比較 手法	19.98 (1,173)	4.85 (1,953)	8.63 (1,653)	8.30 (1,649)	10.86 (1,899)	8.53 (1,513)
	提案 手法	15.12 (1,148)	4.85 (1,953)	8.63 (1,653)	8.30 (1,649)	8.28 (1,690)	7.59 (1,290)

C37	比較 手法	14.06 (1,296)	4.25 (1,940)	8.35 (1,664)	10.04 (1,687)	14.30 (1,905)	10.06 (1,456)
	提案 手法	12.36 (1,278)	4.25 (1,940)	8.35 (1,664)	10.04 (1,687)	12.24 (1,594)	9.41 (1,097)
C38	比較 手法	15.22 (1,178)	3.98 (1,909)	8.58 (1,630)	10.89 (1,686)	17.36 (1,837)	15.87 (1,406)
	提案 手法	13.75 (1,154)	3.98 (1,909)	8.58 (1,630)	10.90 (1,683)	6.91 (1,510)	10.98 (1,106)
C39	比較 手法	15.81 (1,262)	4.31 (1,947)	7.42 (1,623)	10.45 (1,660)	9.72 (1,887)	14.68 (1,627)
	提案 手法	15.64 (1,251)	4.31 (1,947)	7.42 (1,623)	10.39 (1,652)	9.40 (1,565)	7.97 (1,339)
C40	比較 手法	16.32 (1,381)	4.71 (1,943)	9.62 (1,672)	10.92 (1,696)	9.07 (1,900)	8.00 (1,470)
	提案 手法	16.29 (1,371)	4.71 (1,943)	9.62 (1,672)	10.92 (1,696)	8.75 (1,666)	7.52 (1,214)
C41	比較 手法	11.04 (1,385)	4.02 (1,942)	10.41 (1,693)	11.14 (1,715)	9.04 (1,826)	10.11 (1,487)
	提案 手法	10.88 (1,383)	4.02 (1,942)	10.41 (1,693)	11.14 (1,715)	7.62 (1,466)	7.87 (1,180)
C42	比較 手法	14.41 (1,271)	4.44 (1,942)	8.97 (1,641)	10.79 (1,701)	12.02 (1,885)	11.84 (1,413)
	提案 手法	14.33 (1,269)	4.43 (1,939)	8.97 (1,641)	10.79 (1,701)	5.56 (1,435)	7.10 (1,004)
C43	比較 手法	20.36 (1,324)	4.54 (1,911)	9.03 (1,606)	11.18 (1,686)	12.53 (1,868)	12.55 (1,413)
	提案 手法	20.36 (1,324)	4.53 (1,905)	7.48 (1,600)	11.18 (1,686)	6.55 (1,464)	7.12 (1,097)
C44	比較 手法	16.45 (1,235)	5.43 (1,959)	10.41 (1,626)	11.23 (1,721)	10.48 (1,901)	15.43 (1,442)
	提案 手法	16.45 (1,235)	5.43 (1,959)	10.41 (1,626)	11.23 (1,721)	8.03 (1,522)	6.99 (1,085)
C45	比較 手法	20.74 (1,250)	4.80 (1,911)	9.51 (1,606)	10.15 (1,726)	10.07 (1,902)	14.31 (1,378)

	提案 手法	20.71 (1,243)	4.80 (1,911)	7.58 (1,598)	10.15 (1,726)	8.37 (1,613)	7.31 (1,134)
C46	比較 手法	18.25 (1,410)	4.08 (1,938)	8.00 (1,560)	9.36 (1,718)	10.33 (1,872)	14.83 (1,585)
	提案 手法	18.35 (1,383)	4.08 (1,938)	8.00 (1,560)	9.36 (1,718)	7.39 (1,612)	8.23 (1,262)
C47	比較 手法	18.60 (1,700)	5.17 (1,967)	12.02 (1,619)	9.09 (1,738)	9.06 (1,937)	16.03 (1,594)
	提案 手法	18.80 (1,662)	5.17 (1,967)	11.32 (1,616)	9.09 (1,738)	8.60 (1,652)	7.79 (1,190)

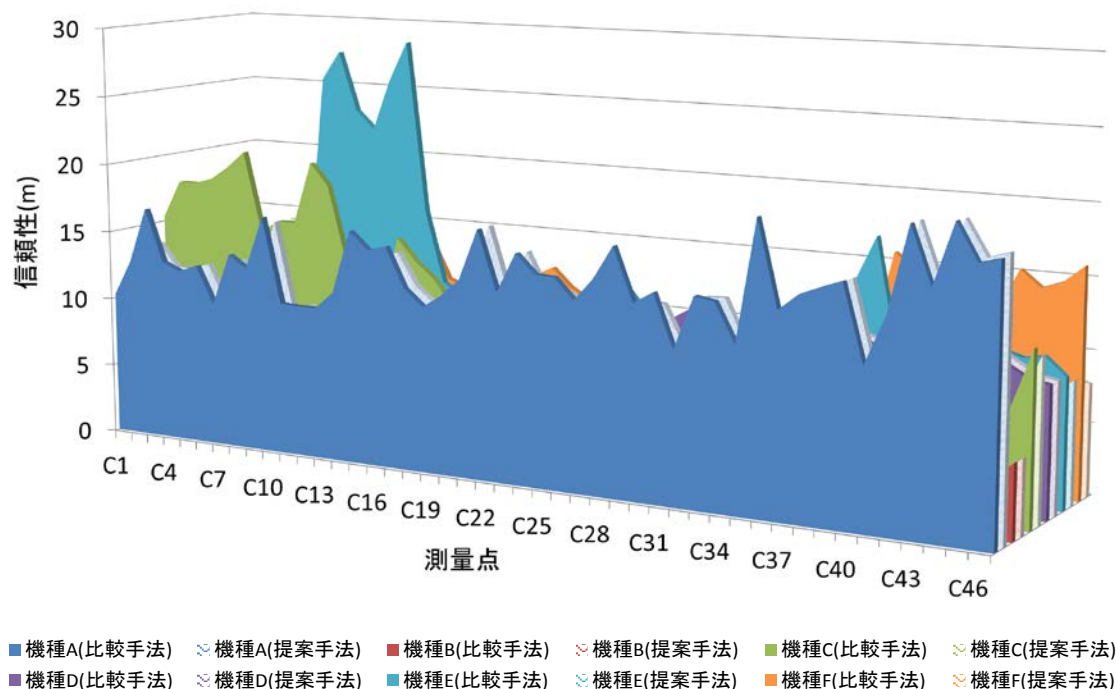


図5.27 キャンパス実験の信頼性の比較結果

機種 B の比較手法の信頼性は、提案手法に比べ大きくなった。機種 A の測量点 C22, C34, C46, C47, 機種 C の測量点 C9, C24, 機種 D の測量点 C38, 機種 E の測量点 C33, C35, 機種 F の測量点 C6, C11, C12 の比較手法の信頼性は、提案手法に比べ小さくなった。これは、グラウンド実験と同様、提案手法において、真値に近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要因と考えられる。

表 5.8～表 5.11, 図 5.24～図 5.27 の結果より、提案手法は、絶対精度圏が小さい計測点の割合が比較手法より多く、絶対精度が大きい計測点の割合が比較手法より少ないこと、信頼性は比較手法に比べ小さくなる場合が大半を占めることが明らかになった。したがっ

て、真値から離れた計測点のノイズを除去するためには、PDOP、平均誤差半径と歩行者トリップデータを用いる提案手法が必要であることがわかった。本項では、歩行者トリップデータのみを用いてノイズを除去する比較手法よりも、PDOP と平均誤差半径、そして歩行者トリップデータを併用した提案手法の有用性を再確認した。

5.3 実証実験

5.3.1 実験方法

本章では、グラウンド実験およびキャンパス実験のそれぞれで 100 回取得したすべての計測点に対して、提案手法を用いてノイズを含む位置情報を除去し、その有用性を検証する。具体的には、PDOP と平均誤差半径を用いたノイズ除去後にゾーンⅢに含まれる計測点を除去するため、2点間距離が2mより大きい場合ノイズを含む位置情報とする。そして、PDOP、平均誤差半径および歩行者トリップデータを用いたノイズ除去機能のいずれかでノイズを含む位置情報と判定された直後3点をノイズの除去対象とする。

5.3.2 実験結果

グラウンド実験およびキャンパス実験のノイズ除去前後の計測点と除去率を表 5.12 および表 5.13 に示す。

表5.12 グラウンド実験（全点）のノイズ除去前後の計測点と除去率

機種	除去前	PDOP の除去後		平均誤差半径の除去後		歩行者トリップデータの除去後	
	計測点 (点)	計測点 (点)	除去率 (%)	計測点 (点)	除去率 (%)	計測点 (点)	除去率 (%)
A	136,358	136,346	0.01	136,144	0.16	73,602	46.02
B	136,220	136,220	0.00	136,196	0.02	87,387	35.85
C	137,619	137,541	0.06	136,525	0.79	90,828	34.00
D	137,361	137,361	0.00	137,321	0.03	89,966	34.50
E	133,609	128,652	3.71	127,350	4.68	76,760	42.55
F	117,342	100,555	14.31	98,817	15.79	57,195	51.26

表5.13 キャンパス実験（全点）のノイズ除去前後の計測点と除去率

機種	除去前	PDOP の除去後		平均誤差半径の除去後		歩行者トリップデータの除去後	
	計測点 (点)	計測点 (点)	除去率 (%)	計測点 (点)	除去率 (%)	計測点 (点)	除去率 (%)
A	312,141	311,831	0.10	308,397	1.20	168,847	45.91
B	315,106	315,012	0.03	314,900	0.07	204,000	35.26
C	315,973	315,665	0.10	313,827	0.68	182,076	42.38
D	315,106	315,106	0.00	315,070	0.01	181,837	42.29
E	313,701	273,597	12.78	265,568	15.34	177,643	43.37
F	247,775	203,170	18.00	196,928	20.52	126,835	48.81

グラウンド実験およびキャンパス実験のノイズ除去前後の除去率を図 5.28 に示す。

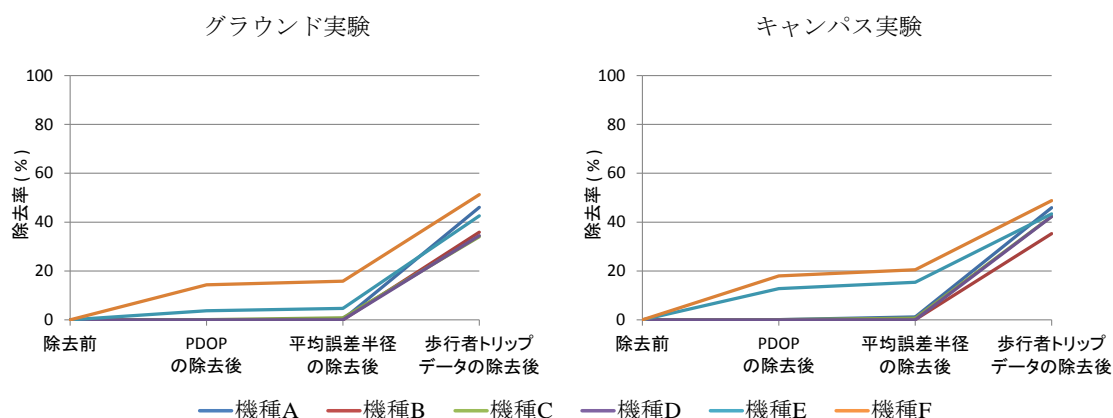
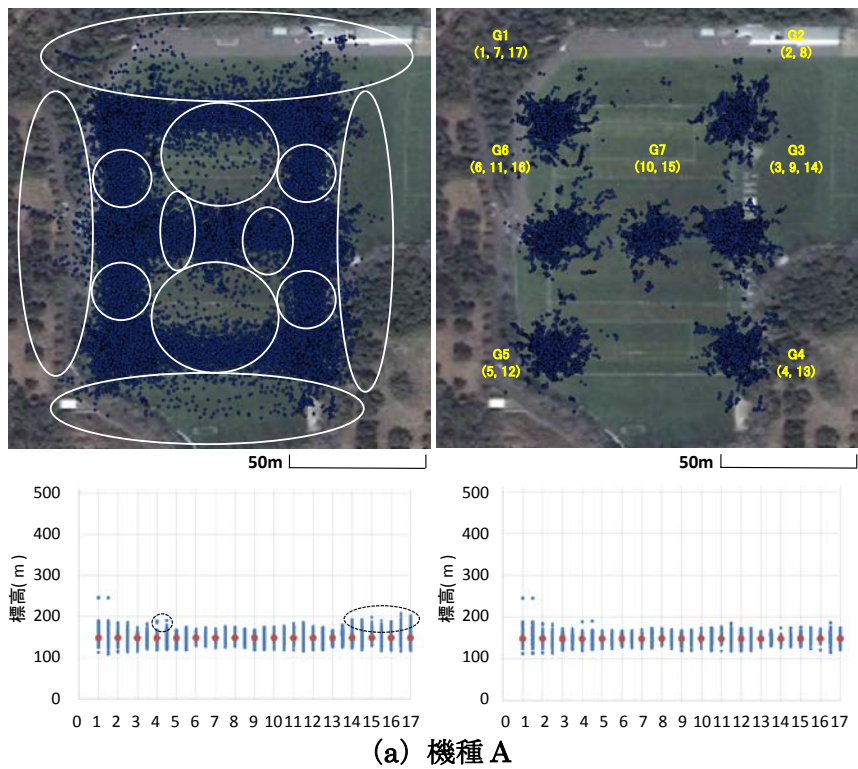


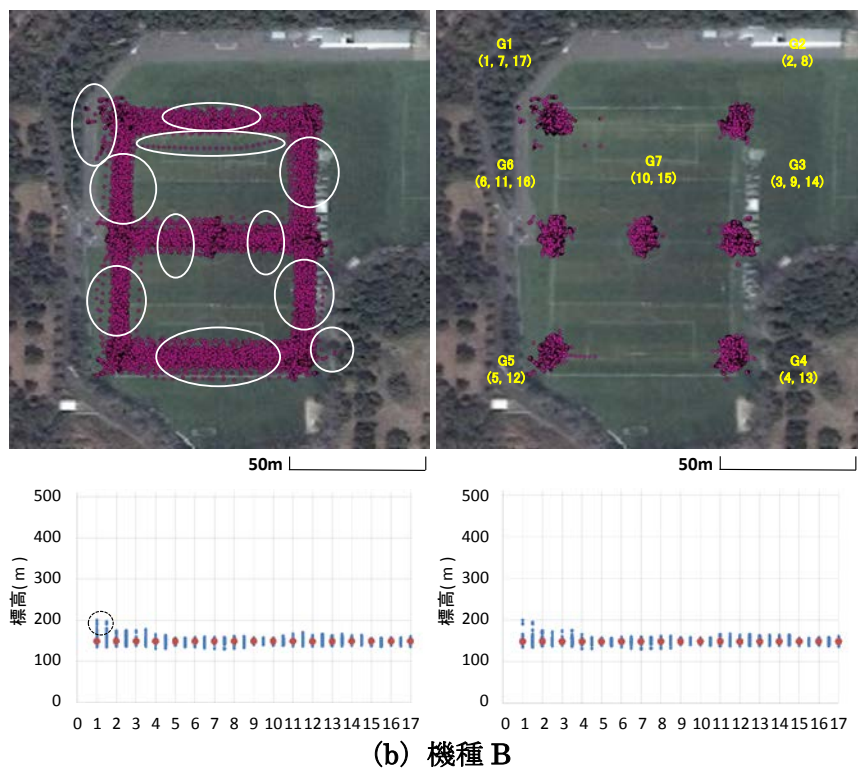
図5.28 ノイズ除去前後の除去率

除去率は、グラウンド実験で 34.00%~51.26%、キャンパス実験で 35.26%~48.81%であった。図 5.28 より、PDOP と平均誤差半径を用いたノイズ除去に比べ、提案手法の除去率が高いことがわかる。

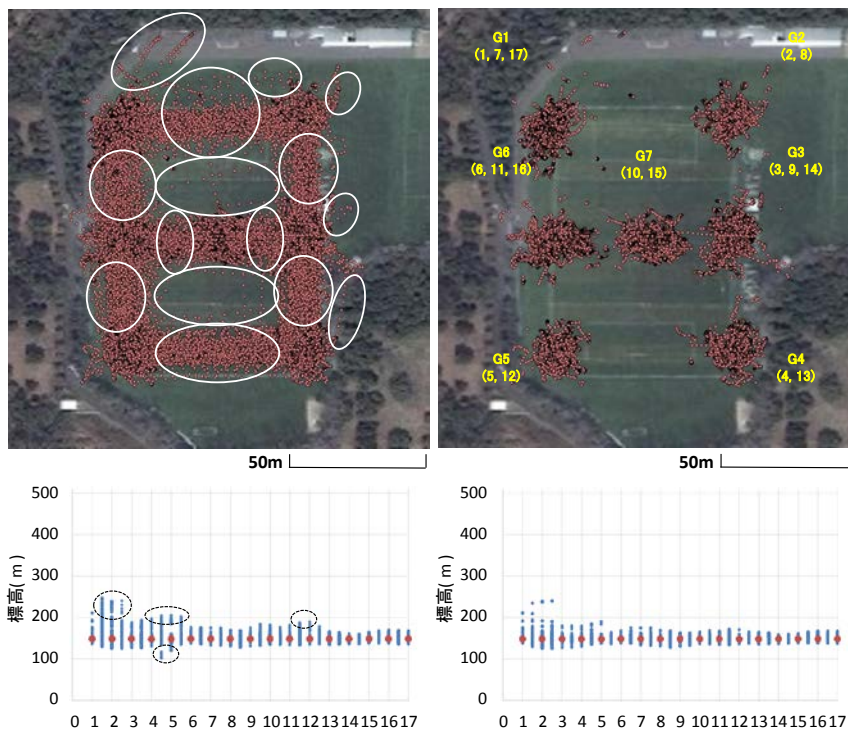
ノイズ除去前後の計測点を比較するために、グラウンド実験の 100 回分の経緯度を地図にプロットした結果と標高を図 5.29 に示す。



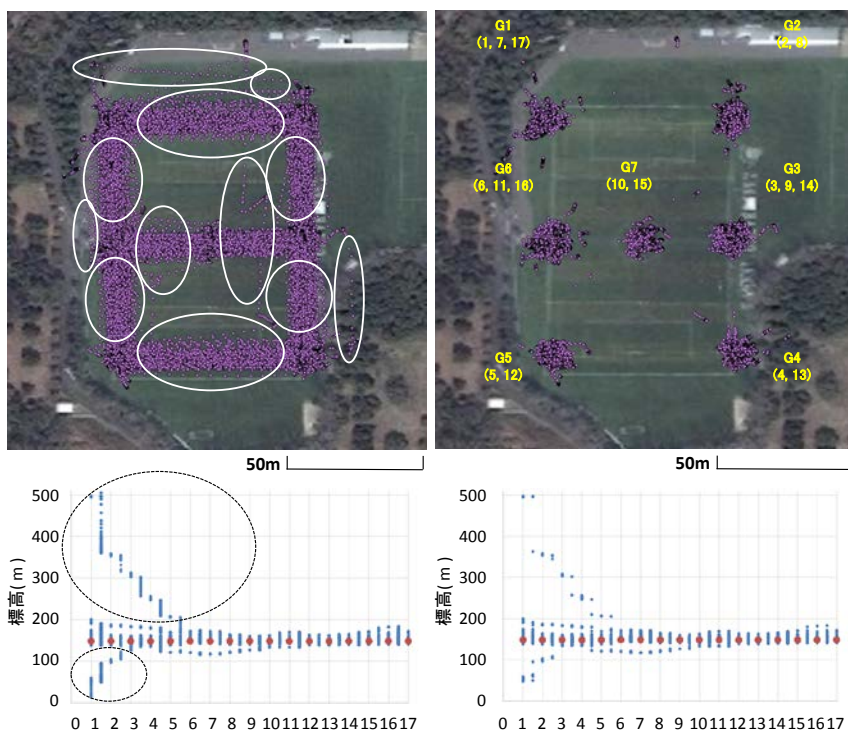
(a) 機種 A



(b) 機種 B



(c) 機種 C



(d) 機種 D

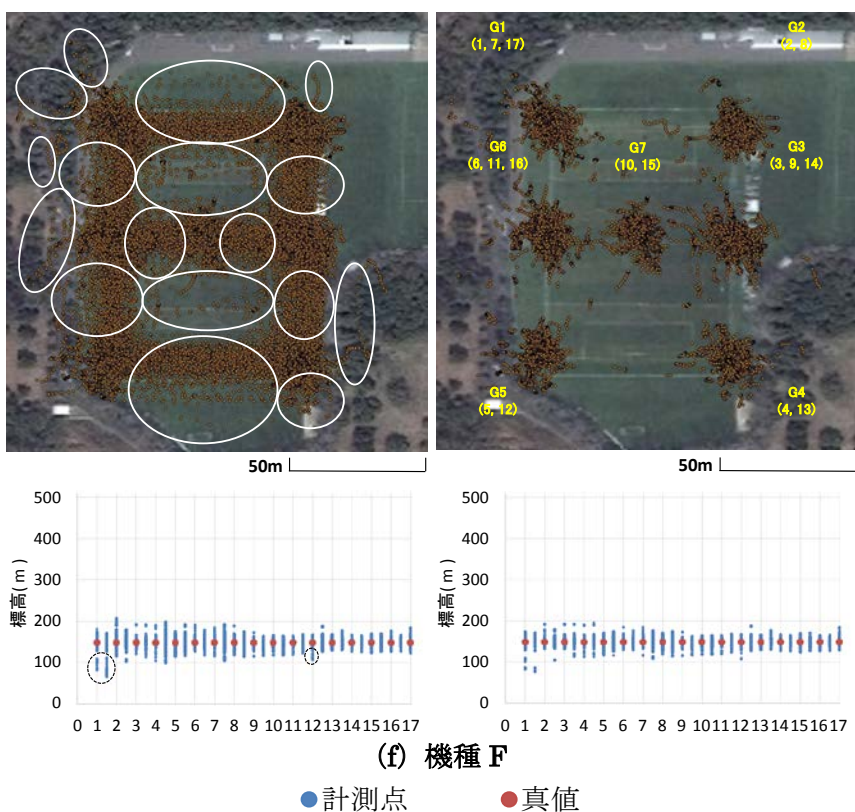
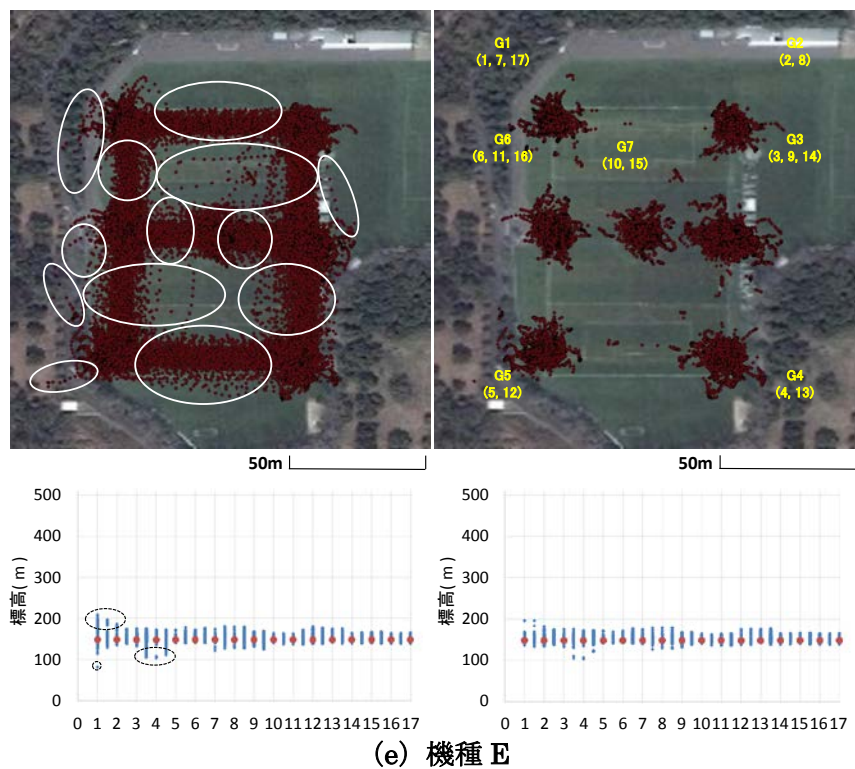
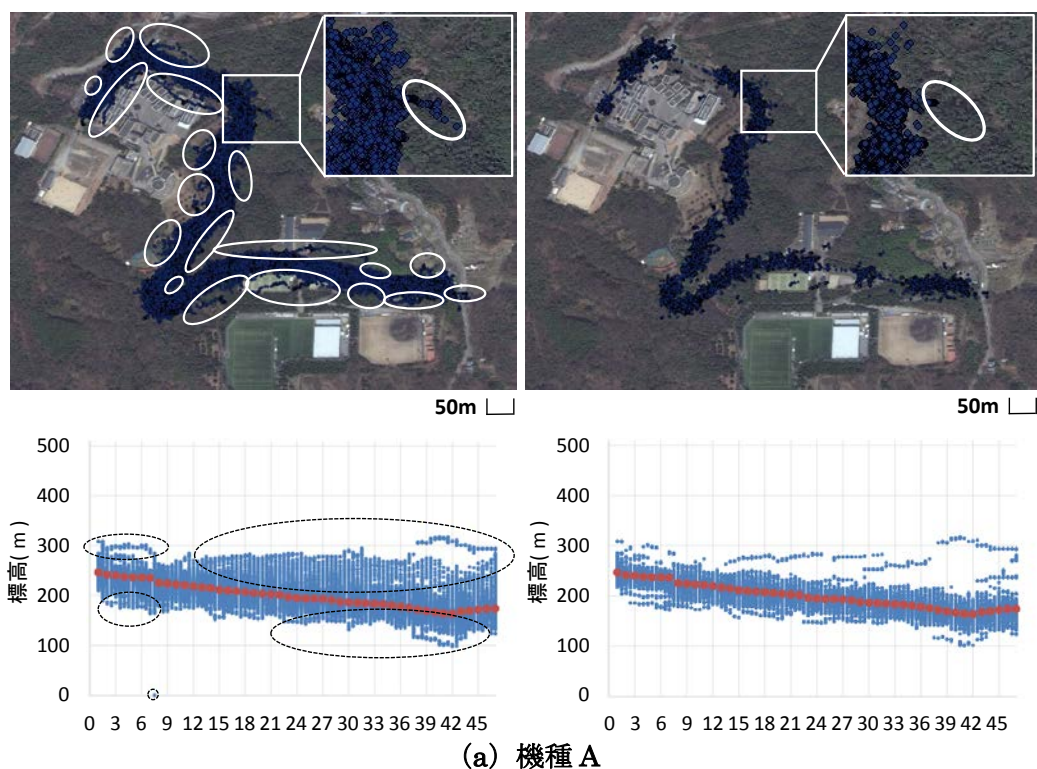
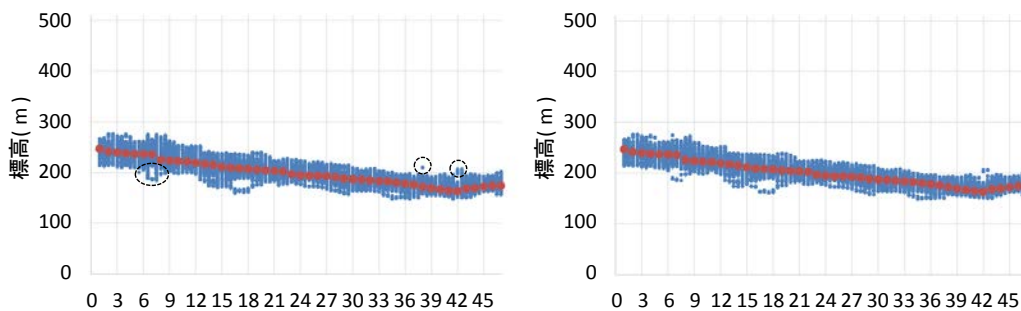
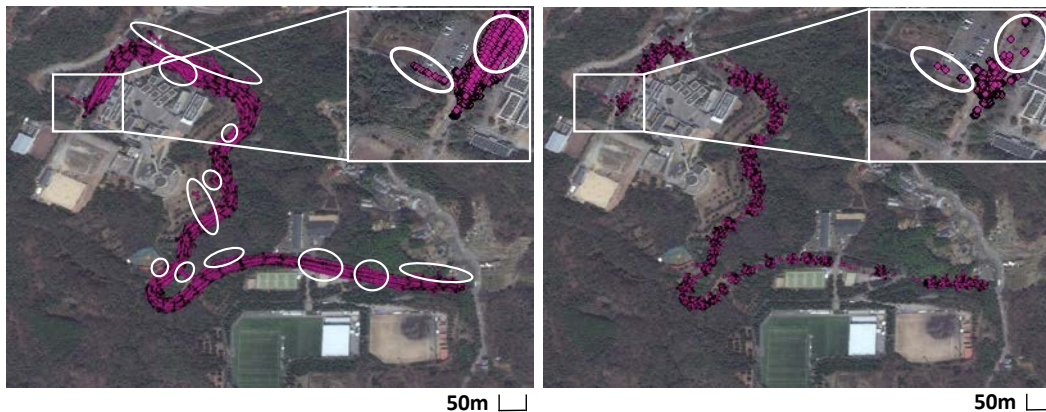


図5.29 グラウンド実験の除去前後の経緯度を地図にプロットした結果と標高
 (Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

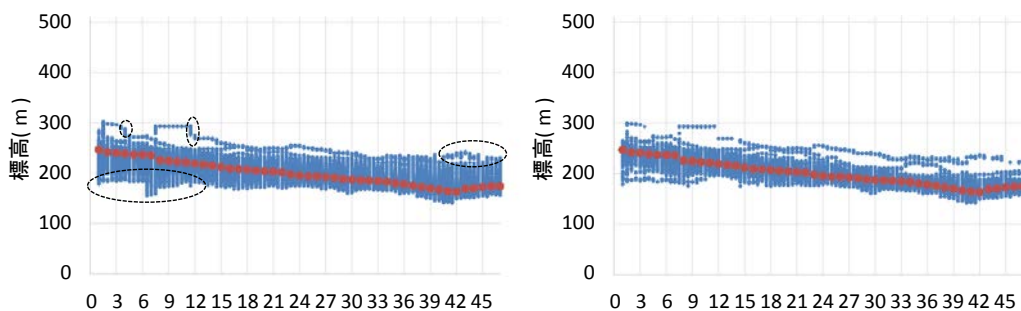
図 5.29 では、ノイズ除去前の結果を図中の左、ノイズ除去後の結果を図中の右に示している。図中の白丸と点線の黒丸はノイズ除去前後で変化があった箇所を意味し、経緯度と標高を 3 次的に捉えて最終的にノイズを含む計測点であるかを判断する。すべての機種においてノイズ除去後の経緯度をプロットした結果が測量点付近に密集した。標高に着目すると、機種 D において、その他の機種に比べ真値から離れた計測点が多く除去されたことがわかる。また、すべての機種が、PDOP および平均誤差半径のノイズ除去率に比べ提案手法のノイズ除去率が大きく、ノイズ除去前後で変化があった箇所を多く確認できた。

ノイズ除去前後の計測点を比較するために、キャンパス実験の 100 回分の経緯度を地図にプロットした結果と標高を図 5.30 に示す。

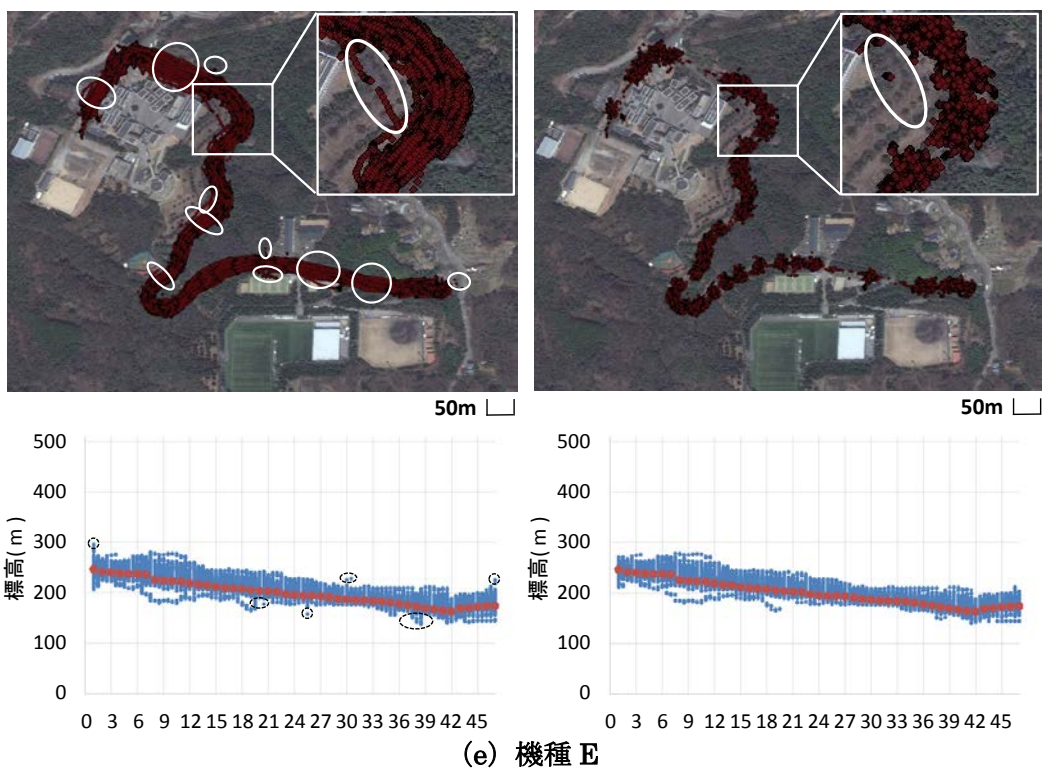
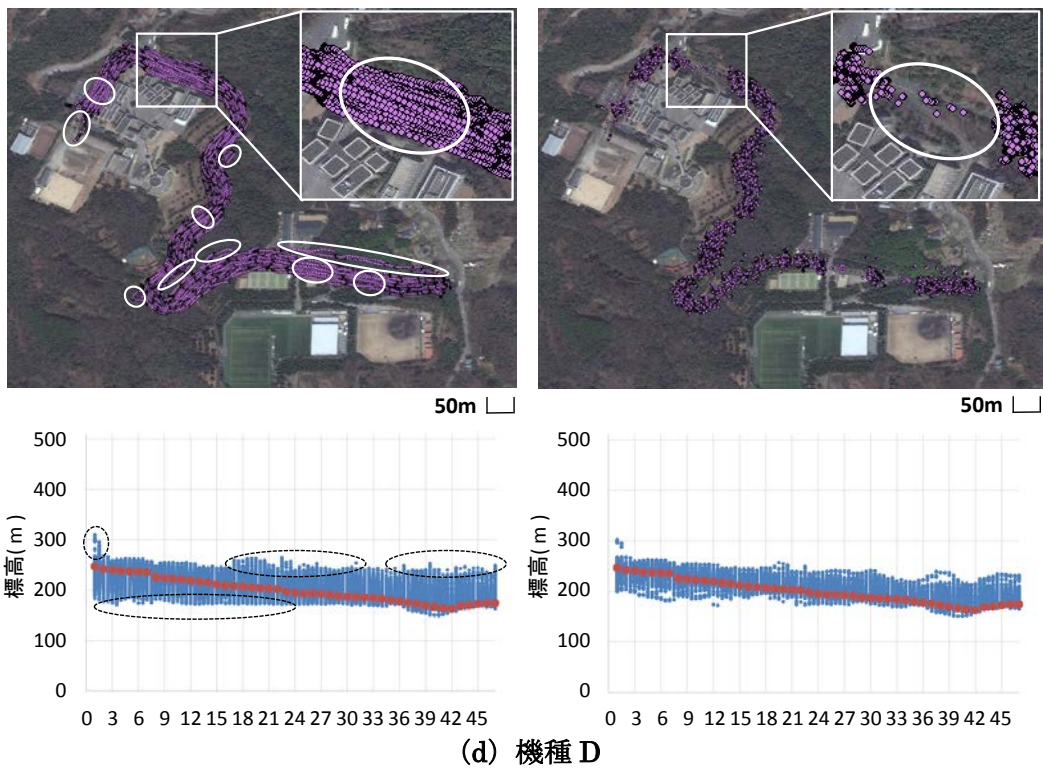




(b) 機種 B



(c) 機種 C



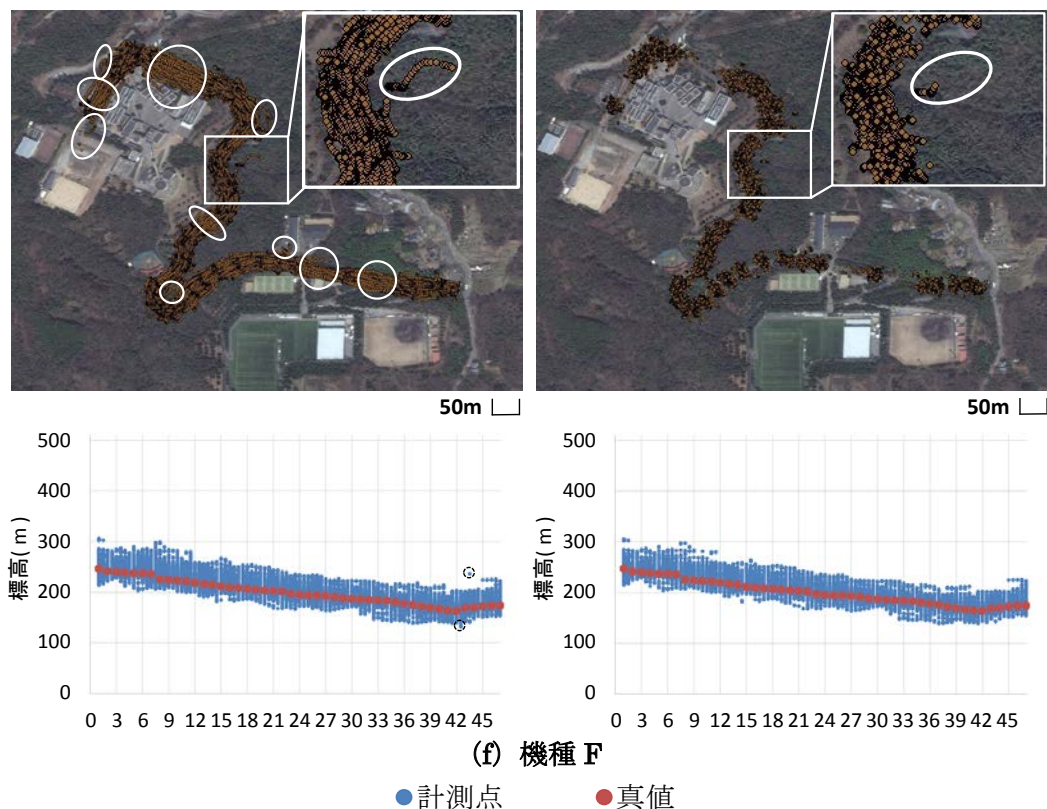


図5.30 キャンパス実験の除去前後の経緯度を地図にプロットした結果と標高
 (Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

図 5.30 では、ノイズ除去前の結果を図中の左、ノイズ除去後の結果を図中の右に示している。図中の白丸と点線の黒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。経緯度をプロットした結果の図右上、白線の四角枠は拡大を意味する。すべての機種においてノイズ除去後の経緯度をプロットした結果が測量点付近に密集した。標高に着目すると、機種 A において、その他の機種に比べ真値から離れた計測点が多く除去されたことがわかる。また、すべての機種が、PDOP および平均誤差半径のノイズ除去率に比べ提案手法のノイズ除去率が大きく、ノイズ除去前後で変化があった箇所を多く確認できた。

5.3.3 考察

経緯度を地図にプロットした結果と標高のノイズ除去前後を比較すると、測量点から離れた計測点が多く除去されていることが確認できた。この結果から、歩行者トリップデータを用いると、ノイズを含む位置情報を除去できることがわかった。本検証に使用したデータは、測量点上で10秒間静止したものである。そのため、ノイズ除去後の計測点が測量点付近に密集(図 5.29)した。測量点間はセグウェイで移動したため、実際の歩行スピード

より速くなり 2 点間距離が大きくなる。これに起因して、測量点間の計測点が多く除去された。この結果に基づくと、歩行速度で取得された歩行者トリップデータを用いた提案手法の検証が課題である。

第 6 章

第6章 PP調査データを用いた本技術の評価検証

6.1 本技術の処理フロー

本研究では、第 4 章および第 5 章で論じた PDOP, 平均誤差半径の指標および歩行者トリップデータを用いたノイズ除去手法を統合し、「高精度なプローブデータとして蓄積していくためのノイズ除去手法（以下、本技術）」と定義する。そして、スマートフォンで取得した歩行者トリップデータから本技術を用いてノイズを含む位置情報を除去し、信頼性の高い歩行者トリップデータを取得するアプリケーションシステムの構築を目指す。本技術の処理フローを図 6.1 に示す。

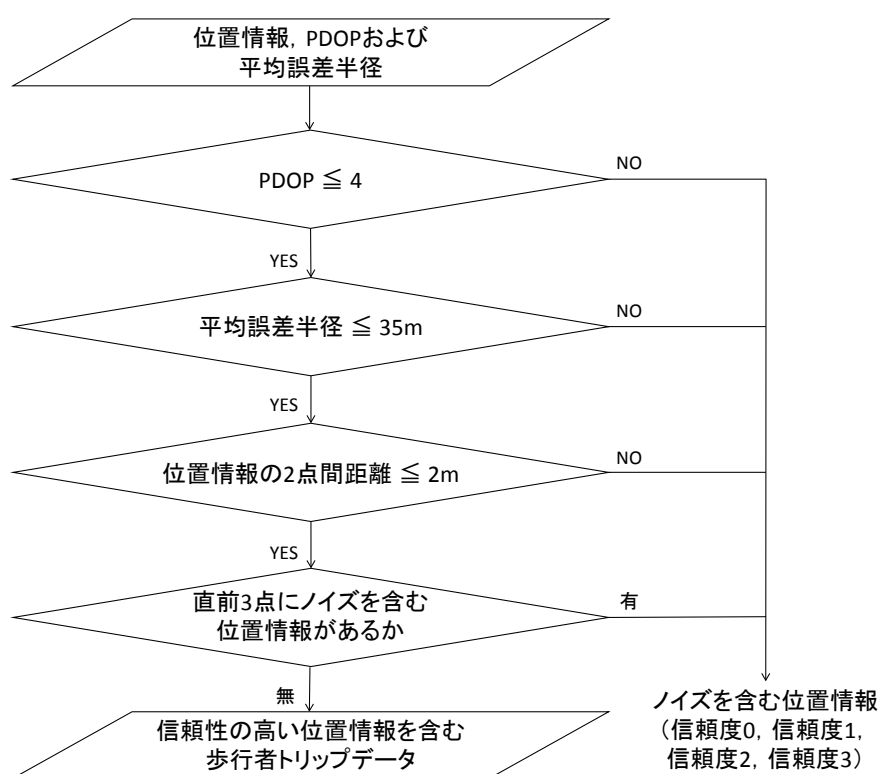


図6.1 本技術の処理フロー

入力は、スマートフォンの GPS センサから取得した経緯度と標高に加え、PDOP および平均誤差半径とする。出力は、信頼性の高い位置情報を含む歩行者トリップデータとする。

まず、PDOP を用いたノイズ除去機能では、PDOP が 4 より大きい場合、ノイズを含む位置情報として除去する。次に、平均誤差半径を用いたノイズ除去機能では、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。そして、歩行者トリップデータを用いたノイズ除去機能では、直前の計測点との 3 次元空間における 2 点間距離が 2m より大きい場合、ノイズを含む位置情報として除去する。最後に、直前の計測点を含む 3 点に対して、処理フローに示す 3 つのノイズ除去機能のいずれかでノイズを含む位置情報と判定された計測点の有無を確認する。直前の 3 点にノイズを含む位置情報がある場合、取得した位置情報は信頼性が低いためノイズを含む位置情報として除去する。ノイズを含む位置情報は信頼度 0~3 で区別する。ここでは、信頼度 0 が最も悪く、信頼度 3 が最も良い。3 つのノイズ除去機能のいずれかでノイズを含む位置情報と判定された場合は信頼度 0、直前の計測点がノイズの場合は信頼度 1、2 つ前の計測点がノイズの場合は信頼度 2、3 つ前の計測点がノイズの場合は信頼度 3 とする。この処理を繰り返すことにより、信頼性の高い位置情報を連続して取得できる。

6.2 実施目的と内容

本研究では、第 6.1 節で論じたアプリケーションシステムを実現するために、PP 調査における歩行者のデータに本技術を適用し、有用性を評価する。

評価検証では、2013 年~2015 年に茨城県つくば市で市民の社会活動を対象に実施された PP 調査のデータを使用する。PP 調査の実施期間は、2013 年 11 月 1 日~11 月 30 日の 30 日間、2014 年 10 月 18 日~31 日の 14 日間、2014 年 11 月 15 日~28 日の 14 日間、2015 年 1 月 10 日~23 日の 14 日間である。調査対象は、主につくば市在住者または在勤者である。PP 調査で取得される交通手段は、鉄道、バス、タクシー、自動車（運転）、自動車（同乗）、バイク・原付、徒歩、その他の 8 項目である。評価検証では、PP 調査において Android 版のスマートフォンアプリケーションで取得した徒歩の交通手段のデータを対象とし、1 トリップのデータ数の多い 7 名の 12 の歩行者トリップデータを使用する。

6.3 評価検証の方法

PP 調査の徒歩のデータに本技術を適用してノイズを含む位置情報を除去する手順を説明する。松島ら[40]は、被験者によるアプリケーションの操作忘れ、操作ミス、操作タイミングのズレが生じると、実際とは異なる交通手段が含まれると述べている。このことを踏まえ本研究では、すべての計測点を目視し、徒歩のデータであることを確認した。PP 調査では、PDOP を取得していないため、PDOP を用いたノイズ除去機能の処理は施さない。

6.4 評価検証の結果

7 ユーザ、12 の歩行者トリップデータに対して、ノイズを含む位置情報を除去した。ノ

ノイズ除去前，平均誤差半径を用いたノイズ除去後と歩行者トリップデータを用いたノイズ除去前後の計測点数と除去率を表 6.1 および図 6.2 に示す。

表6.1 ノイズ除去前後の計測点数と除去率

ユーザ No. (トリップ ID)	除去前 計測点(点)	平均誤差半径の除去後		歩行者トリップデータの除去後	
		計測点(点)	除去率(%)	計測点(点)	除去率(%)
1 (A)	3,518	3,494	0.68	1,363	61.26
2 (B)	3,449	3,380	2.00	1,379	60.02
3 (C)	1,132	1,131	0.09	579	48.85
4 (D)	2,950	2,950	0.00	1,447	50.95
5 (E-1)	2,219	2,219	0.00	1,227	44.70
5 (E-2)	2,182	2,182	0.00	807	63.02
5 (E-3)	2,131	2,127	0.19	1,178	44.72
5 (E-4)	2,111	2,111	0.00	1,000	52.63
5 (E-5)	2,283	2,282	0.04	1,414	38.06
5 (E-6)	2,179	2,179	0.00	796	63.47
6 (F)	1,928	1,928	0.00	710	63.17
7 (G)	3,317	3,317	0.00	1,345	59.45

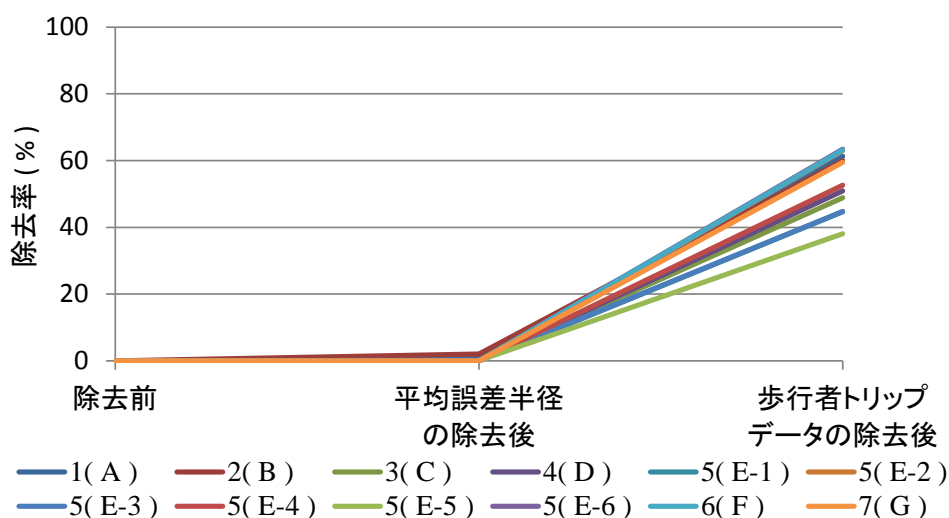


図6.2 ノイズ除去前後の除去率

表 6.1 より，平均誤差半径を用いたノイズ除去による除去率は 0.00%～2.00%，歩行者トリップデータを用いたノイズ除去による除去率は 38.06%～63.47%であった。

経緯度をプロットした結果と標高を用いてノイズ除去前後を比較する。本章では，ユー

ザの行動が特定されないよう全工程から一部を切り取った経緯度を使用している. ユーザ 1 (A) の結果を図 6.3 に示す.

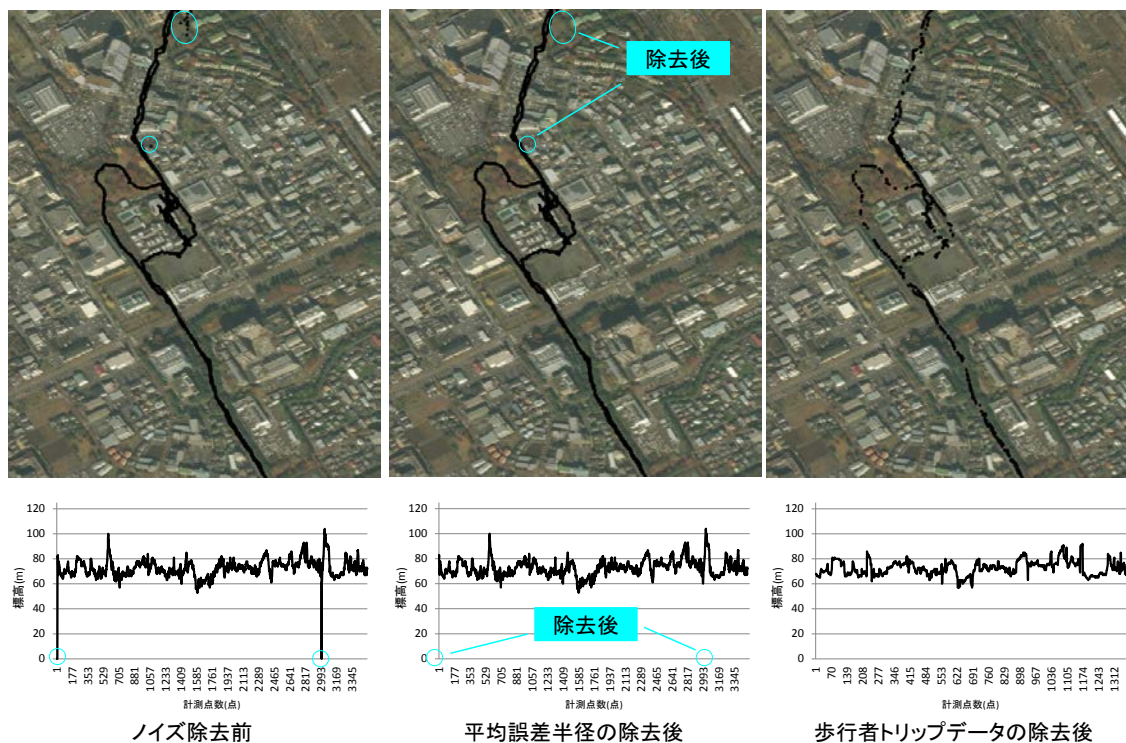


図6.3 ユーザ 1 (A) の結果

(Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

ユーザ 1 (A) の除去率は, 平均誤差半径を用いたノイズ除去後が 0.68%, 歩行者トリップデータを用いたノイズ除去後が 61.26%である. 図中の丸は, ノイズ除去前後で変化があった箇所を意味する. ノイズ除去前後を比較すると, 周辺に団地やビルがある箇所において歩行経路から外れた計測点が標高 0m を取得しており, それらの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. 歩行者トリップデータを用いたノイズ除去前後を比較するために, ユーザ 1 (A) の計測点をポリラインで結んだ結果を図 6.4 に示す.

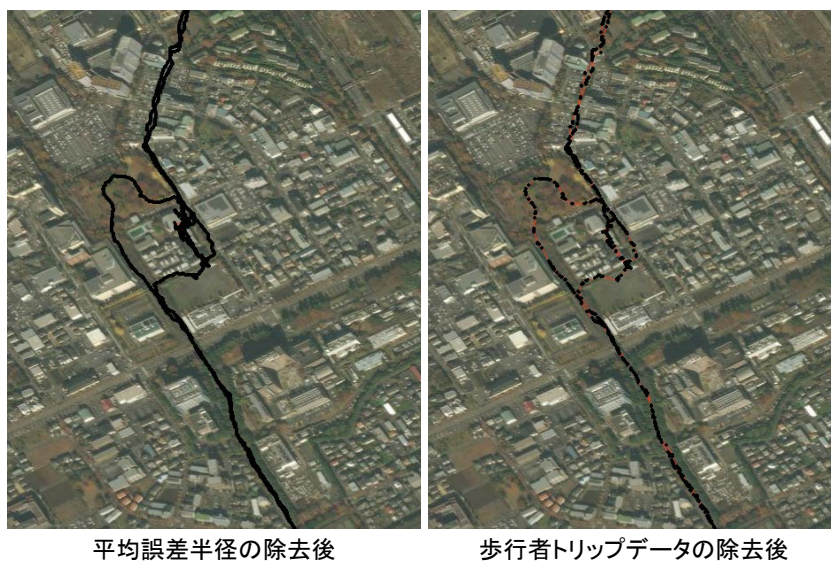


図6.4 ユーザ 1 (A) の計測点をポリラインで結んだ結果

(Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

除去前後の経緯度をポリラインで結んだ歩行経路は、ノイズ除去前後で一致した。
 ユーザ 2 (B) の結果を図 6.5 に示す。

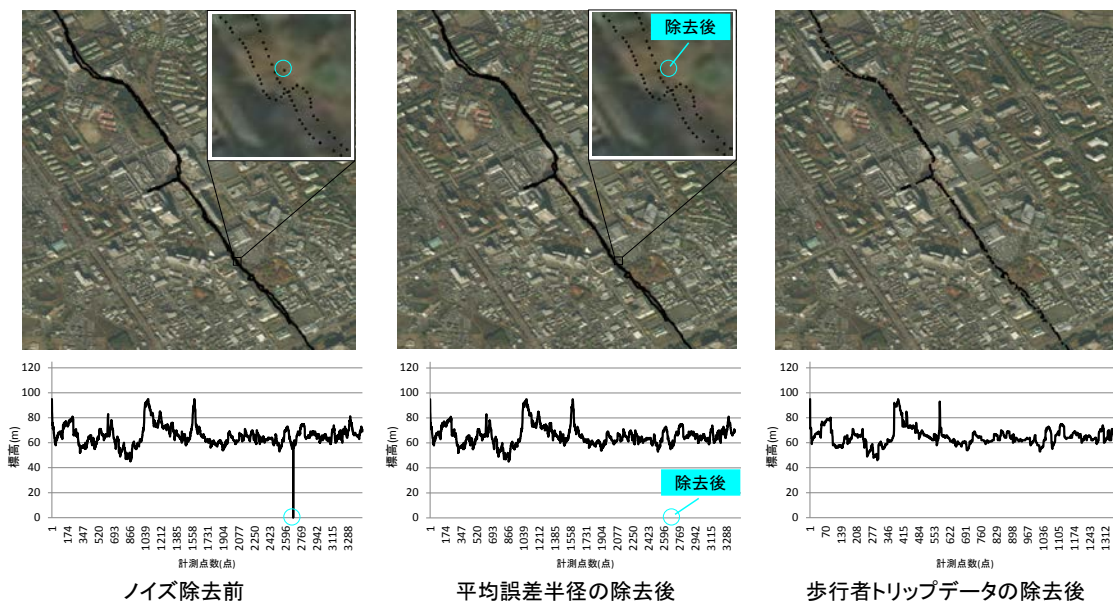


図6.5 ユーザ 2 (B) の結果

(Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

ユーザ 2 (B) の除去率は、平均誤差半径を用いたノイズ除去後が 2.00%、歩行者トリッ

プデータを用いたノイズ除去後が 60.02%である。図 6.5 の丸は、平均誤差半径を用いたノイズ除去前後で変化があった箇所の一例である。ノイズ除去前後を比較すると、周辺に樹木がある箇所において歩行経路から外れた計測点が標高 0m を取得しており、その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。歩行者トリップデータを用いたノイズ除去前後を比較するために、ユーザ 2 (B) の計測点をポリラインで結んだ結果を図 6.6 に示す。

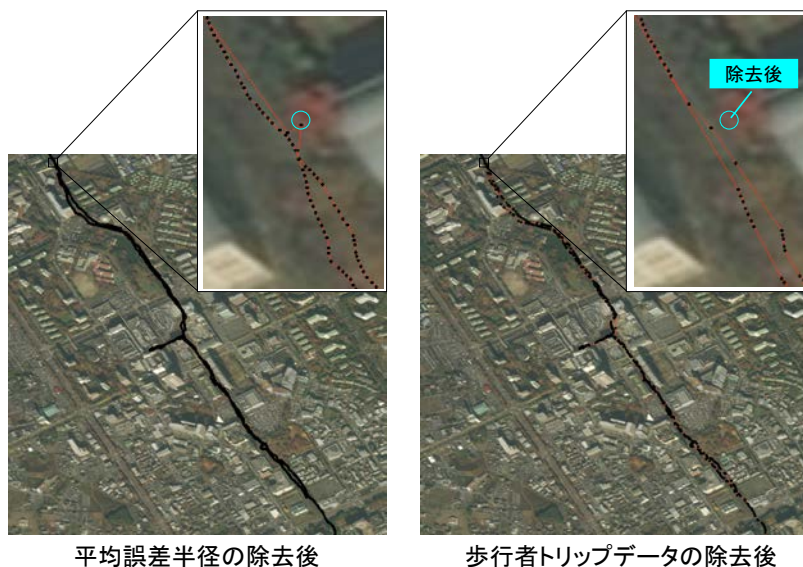


図6.6 ユーザ 2 (B) の計測点をポリラインで結んだ結果

(Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

除去前後の計測点を比較すると、除去前の凸部の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。除去前後の経緯度をポリラインで結んだ歩行経路は、ノイズ除去前後で一致した。

ユーザ 3 (C) の結果を図 6.7 に示す。

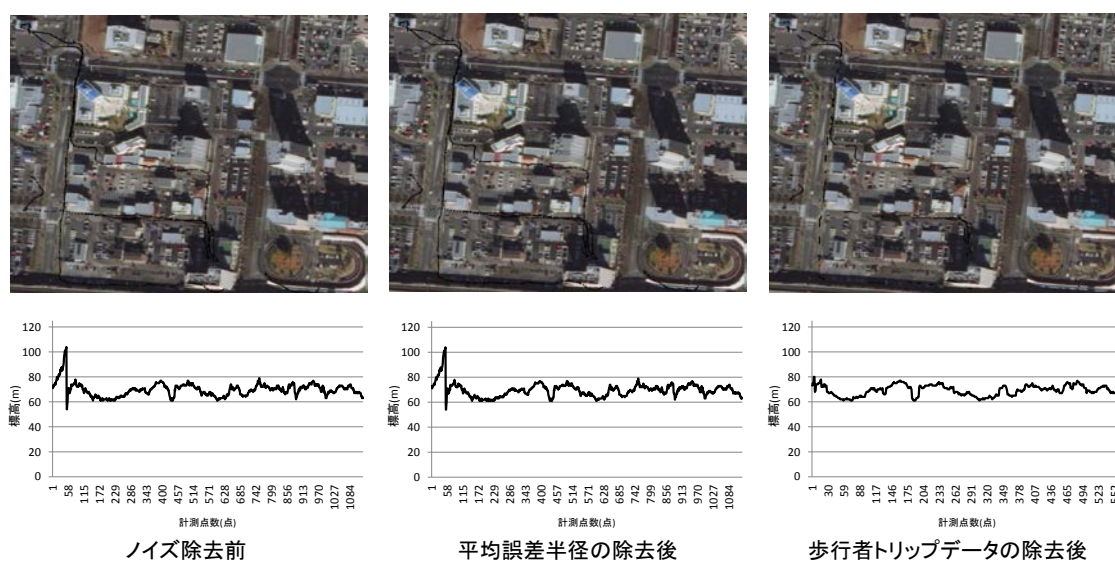


図6.7 ユーザ 3 (C) の結果

(Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

ユーザ 3 (C) の除去率は、平均誤差半径を用いたノイズ除去後が 0.09%、歩行者トリップデータを用いたノイズ除去後が 48.85%である。平均誤差半径を用いたノイズ除去前後の除去率が低く、除去前後の変化箇所を目視では確認できなかった。歩行者トリップデータを用いたノイズ除去前後を比較するために、ユーザ 3 (C) の計測点をポリラインで結んだ結果を図 6.8 に示す。

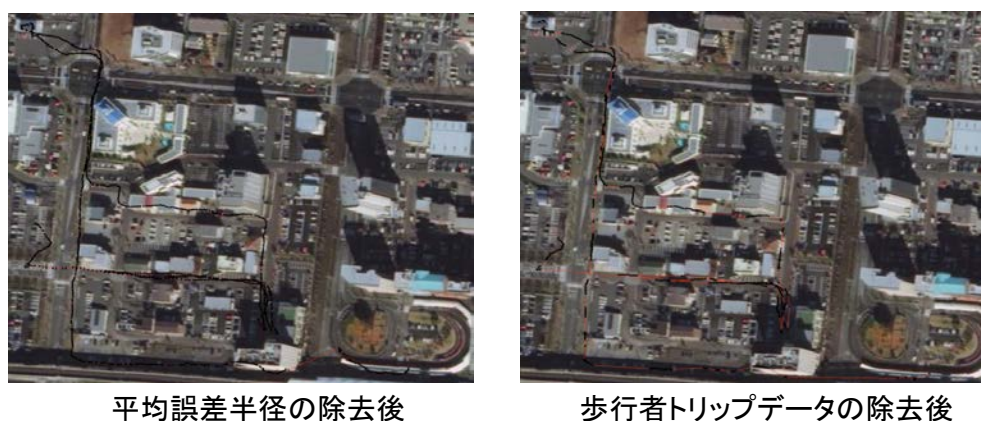


図6.8 ユーザ 3 (C) の計測点をポリラインで結んだ結果

(Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

除去前後の経緯度をポリラインで結んだ歩行経路は、ノイズ除去前後で一致した。ユーザ 4 (D) の計測点をポリラインで結んだ結果を図 6.9 に示す。

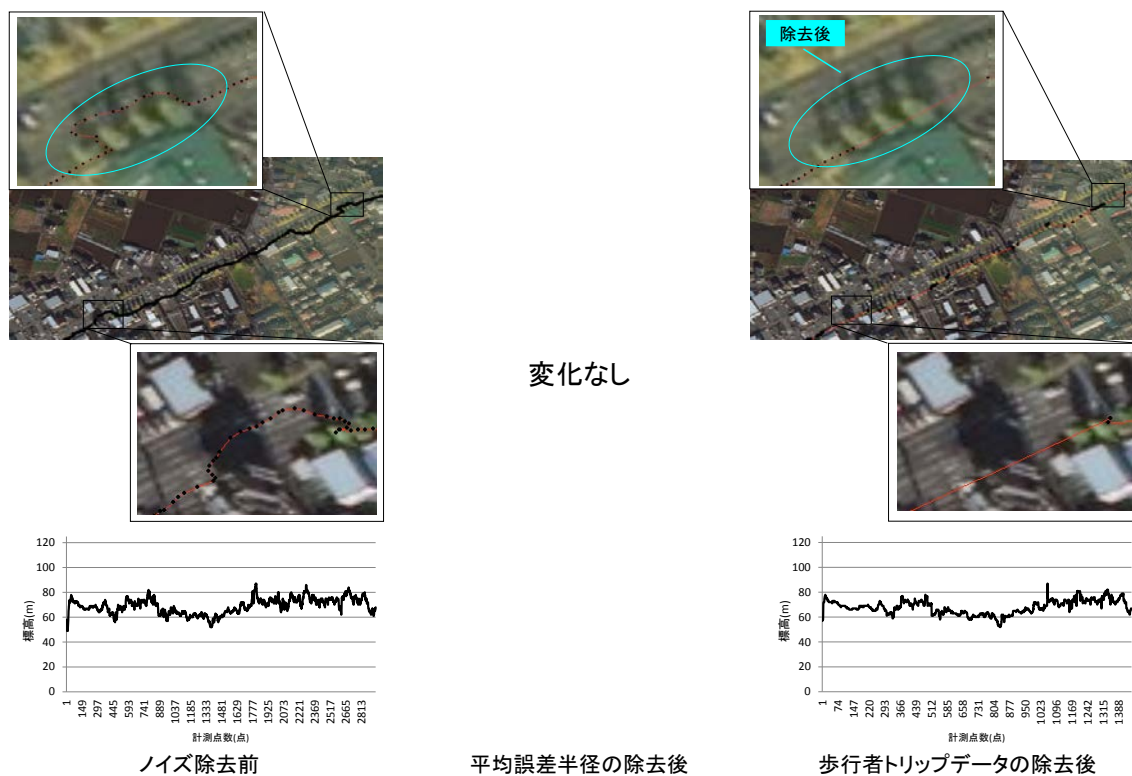


図6.9 ユーザ 4 (D) の計測点をポリラインで結んだ結果

(Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

ユーザ 4 (D) の除去率は、平均誤差半径を用いたノイズ除去後が 0.00%、歩行者トリップデータを用いたノイズ除去後が 50.95%である。歩行者トリップデータを用いたノイズ除去前に歩道から離れて車道にプロットされた計測点が除去され、除去後に車道を横断するポリラインがなくなった。

ユーザ 5 (E-1) の計測点をポリラインで結んだ結果を図 6.10 に示す。

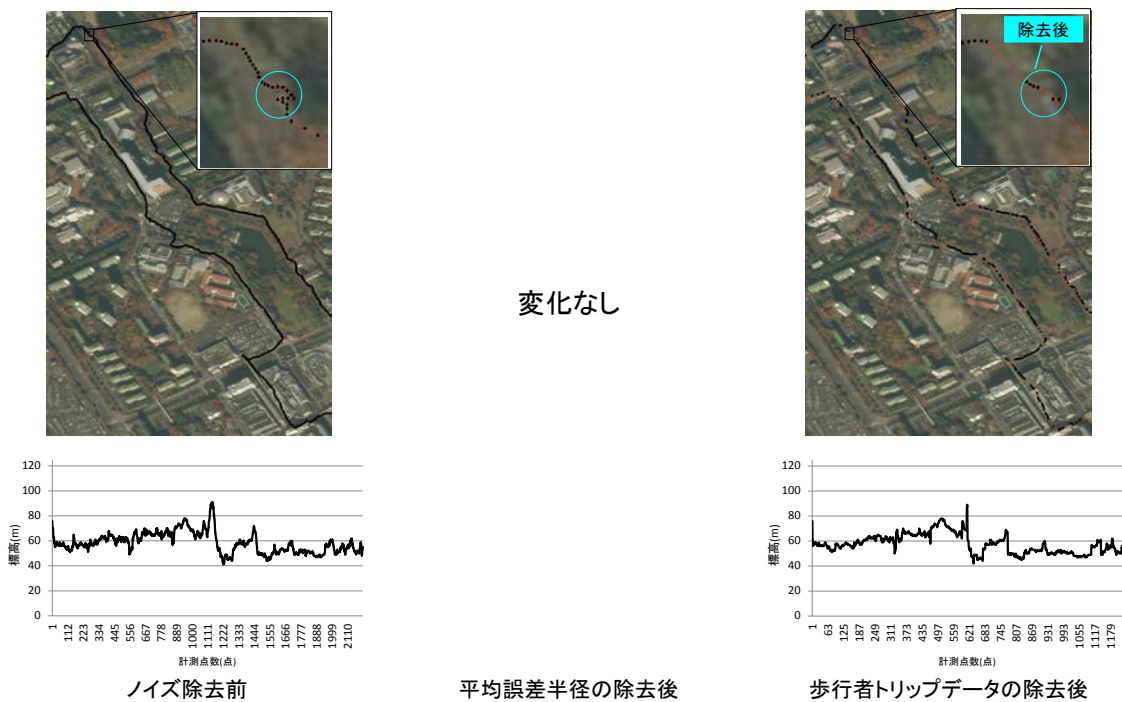


図6.10 ユーザ 5 (E-1) の計測点をポリラインで結んだ結果

(Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

ユーザ 5 (E-1) の除去率は、平均誤差半径を用いたノイズ除去後が 0.00%、歩行者トリップデータを用いたノイズ除去後が 44.70%である。歩行者トリップデータを用いたノイズ除去後の計測点同士を結ぶポリラインから凹凸部が消えた。

ユーザ 5 (E-2) の計測点をポリラインで結んだ結果を図 6.11 に示す。

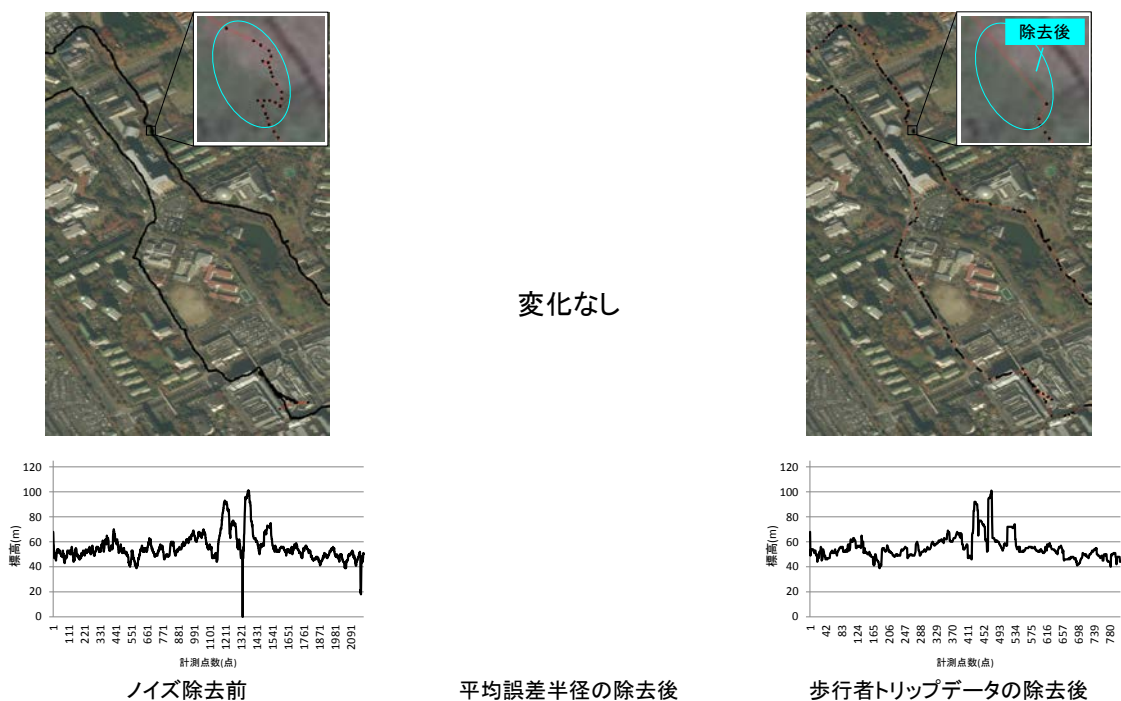


図6.11 ユーザ 5 (E-2) の計測点をポリラインで結んだ結果

(Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

ユーザ 5 (E-2) の除去率は、平均誤差半径を用いたノイズ除去後が 0.00%、歩行者トリップデータを用いたノイズ除去後が 63.02%である。歩行者トリップデータを用いたノイズ除去後の計測点同士を結ぶポリラインから凹凸部が消えた。

ユーザ 5 (E-3) の計測点をポリラインで結んだ結果を図 6.12 に示す。

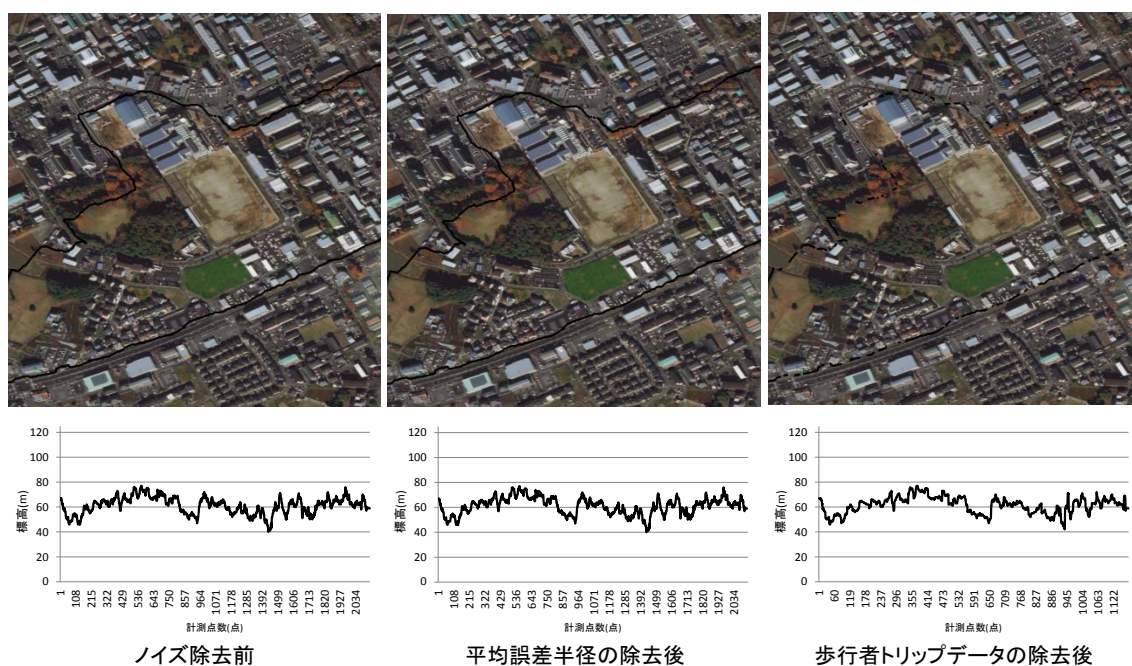


図6.12 ユーザ 5 (E-3) の結果

(Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

ユーザ 5 (E-3) の除去率は、平均誤差半径を用いたノイズ除去後が 0.19%，歩行者トリップデータを用いたノイズ除去後が 44.72%である。平均誤差半径を用いたノイズ除去前後の除去率が低く、除去前後の変化箇所を目視では確認できなかった。歩行者トリップデータを用いたノイズ除去前後を比較するために、ユーザ 5 (E-3) の計測点をポリラインで結んだ結果を図 6.13 に示す。

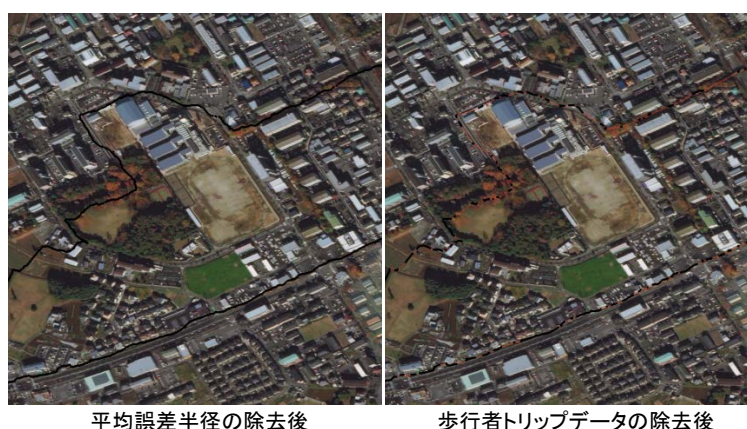


図6.13 ユーザ 5 (E-3) の計測点をポリラインで結んだ結果

(Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

除去前後の経緯度をポリラインで結んだ歩行経路は、ノイズ除去前後で一致した。
 ユーザ 5 (E-4) の計測点をポリラインで結んだ結果を図 6.14 に示す。

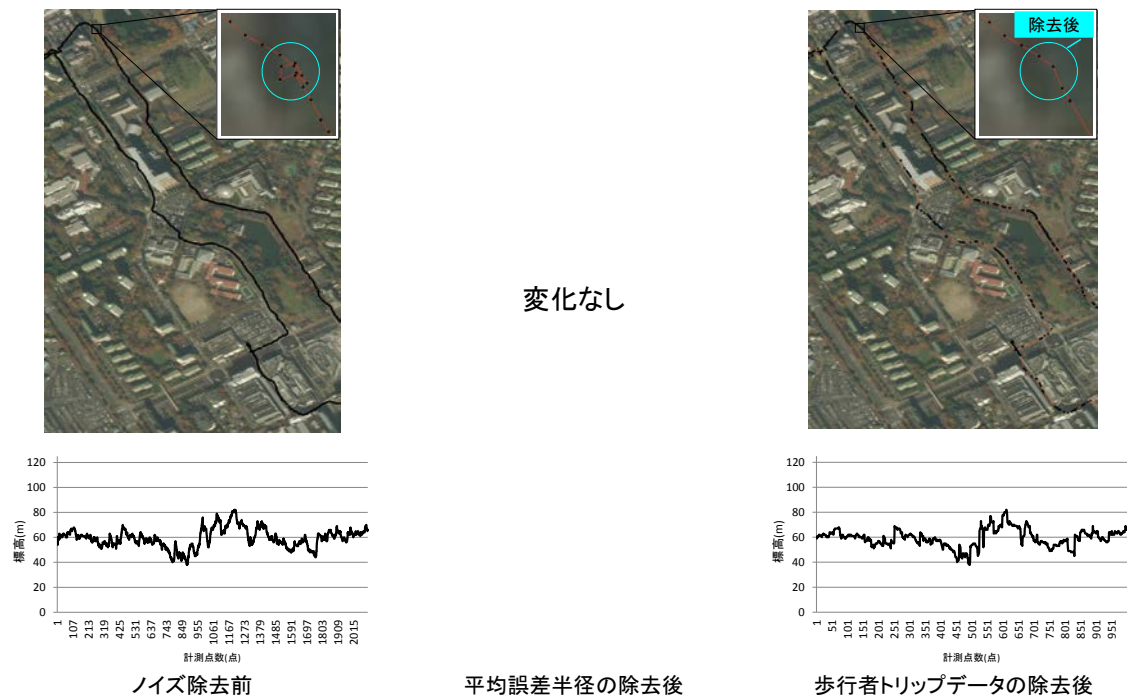


図6.14 ユーザ 5 (E-4) の計測点をポリラインで結んだ結果

(Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

ユーザ 5 (E-4) の除去率は、平均誤差半径を用いたノイズ除去後が 0.00%、歩行者トリップデータを用いたノイズ除去後が 52.63%である。歩行者トリップデータを用いたノイズ除去後の計測点同士を結ぶポリラインから凹凸部が消えた。

ユーザ 5 (E-5) の結果を図 6.15 に示す。

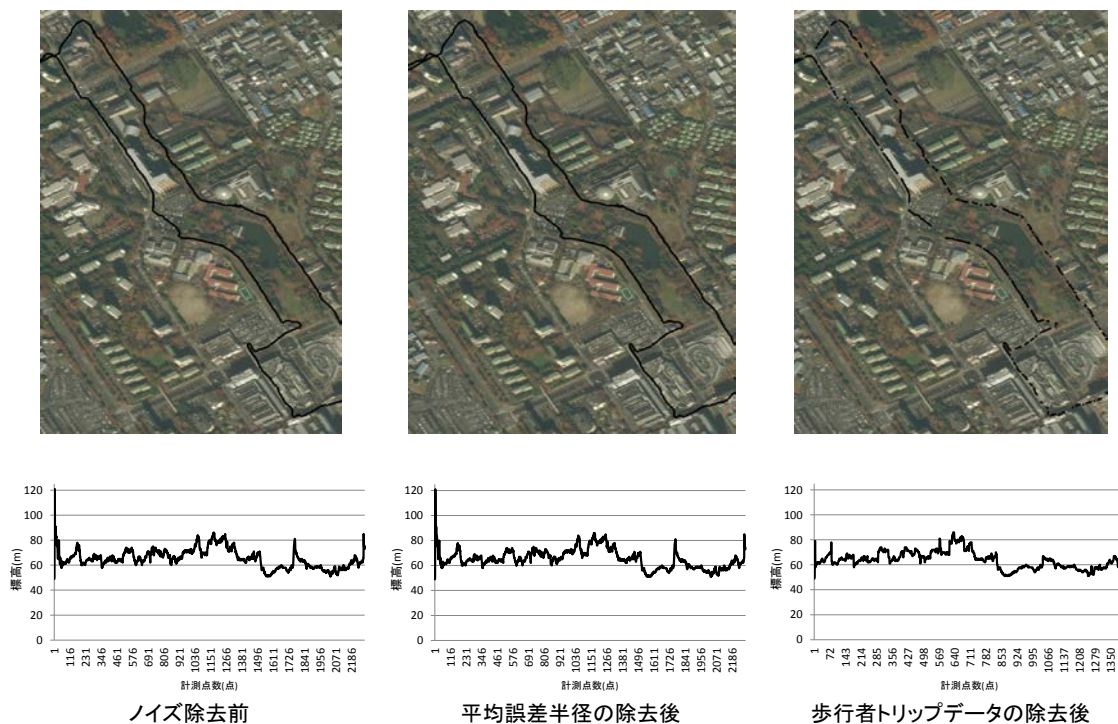
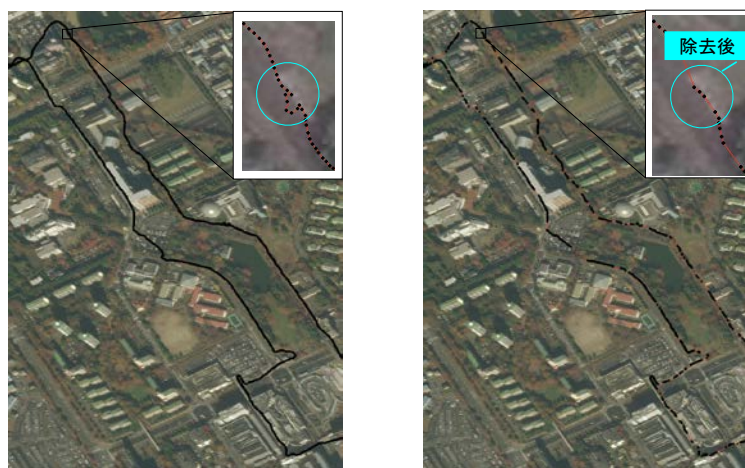


図6.15 ユーザ 5 (E-5) の結果

(Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

ユーザ 5 (E-5) の除去率は、平均誤差半径を用いたノイズ除去後が 0.04%、歩行者トリップデータを用いたノイズ除去後が 38.06%である。平均誤差半径を用いたノイズ除去前後の除去率が低く、除去前後の変化箇所を目視では確認できなかった。歩行者トリップデータを用いたノイズ除去前後を比較するために、ユーザ 5 (E-5) の計測点をポリラインで結んだ結果を図 6.16 に示す。



平均誤差半径の除去後

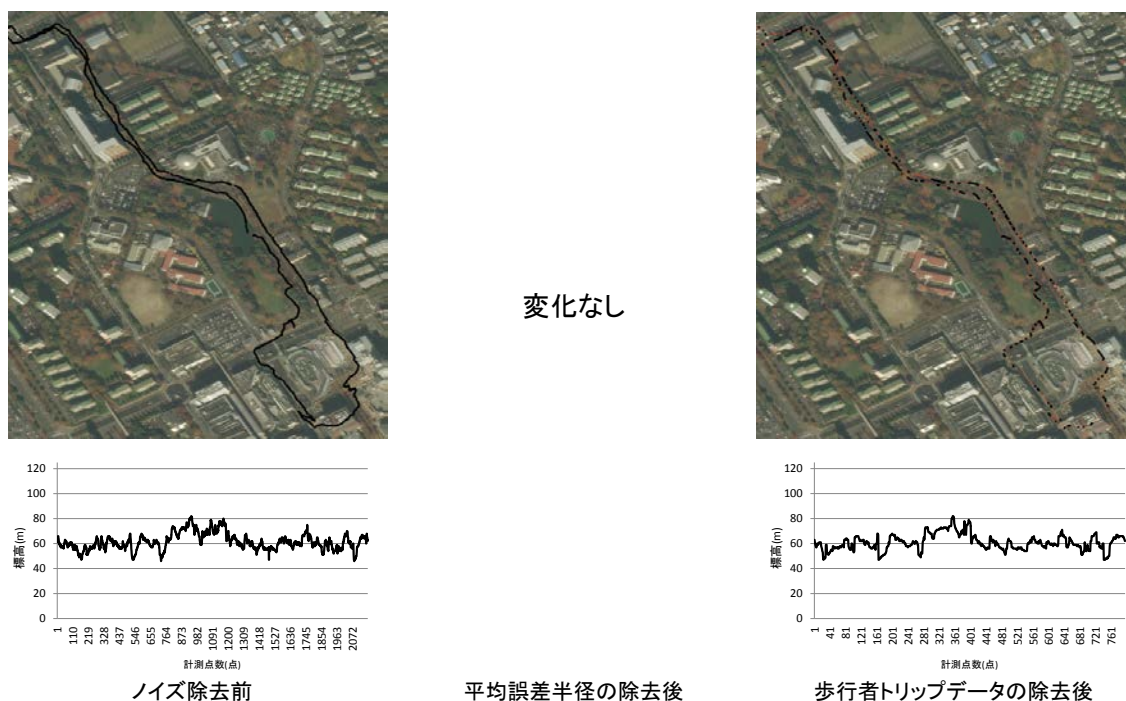
歩行者トリップデータの除去後

図6.16 ユーザ5 (E-5) の計測点をポリラインで結んだ結果

(Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

歩行者トリップデータを用いたノイズ除去後の計測点同士を結ぶポリラインから凹凸部が消えた。

ユーザ5 (E-6) の結果を図6.17に示す。



変化なし

ノイズ除去前

平均誤差半径の除去後

歩行者トリップデータの除去後

図6.17 ユーザ5 (E-6) の計測点をポリラインで結んだ結果

(Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

ユーザ 5 (E-6) の除去率は、平均誤差半径を用いたノイズ除去後が 0.00%、歩行者トリップデータを用いたノイズ除去後が 63.47%である。除去前後の経緯度をポリラインで結んだ歩行経路は、ノイズ除去前後で一致した。

ユーザ 6 (F) の計測点をポリラインで結んだ結果を図 6.18 に示す。

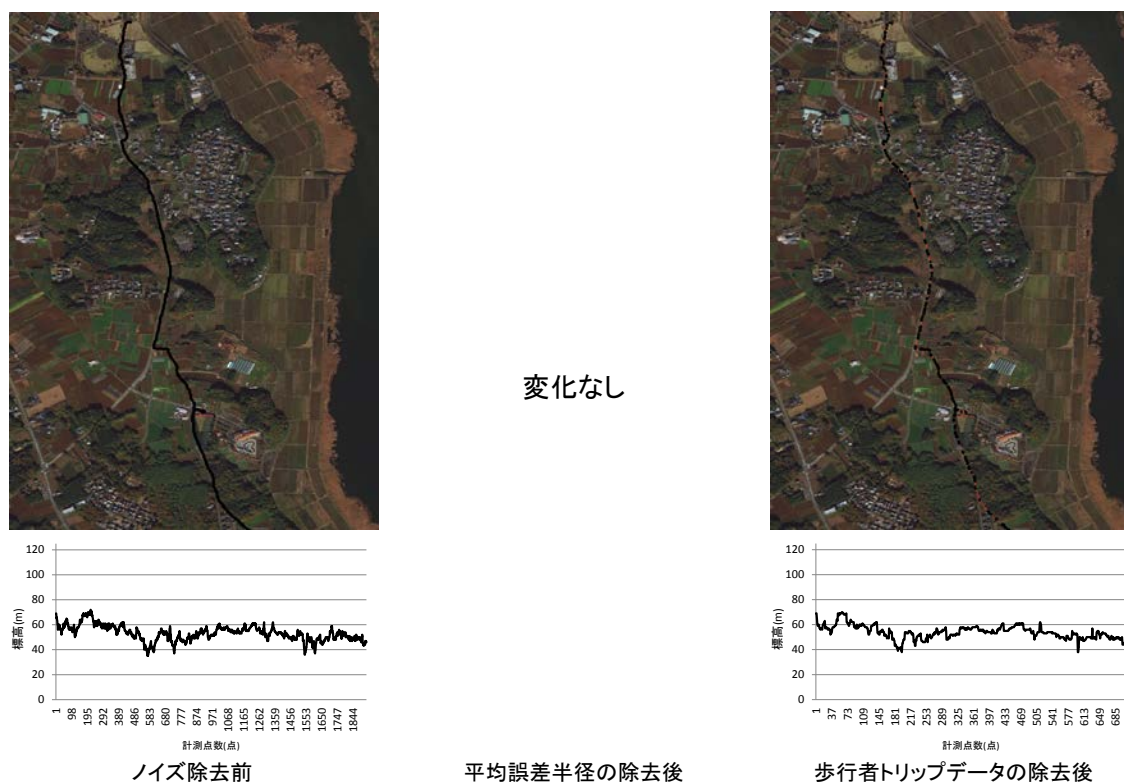


図6.18 ユーザ 6 (F) の計測点をポリラインで結んだ結果

(Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

ユーザ 6 (F) の除去率は、平均誤差半径を用いたノイズ除去後が 0.00%、歩行者トリップデータを用いたノイズ除去後が 63.17%である。除去前後の経緯度をポリラインで結んだ歩行経路は、ノイズ除去前後で一致した。

ユーザ 7 (G) の計測点をポリラインで結んだ結果を図 6.19 に示す。

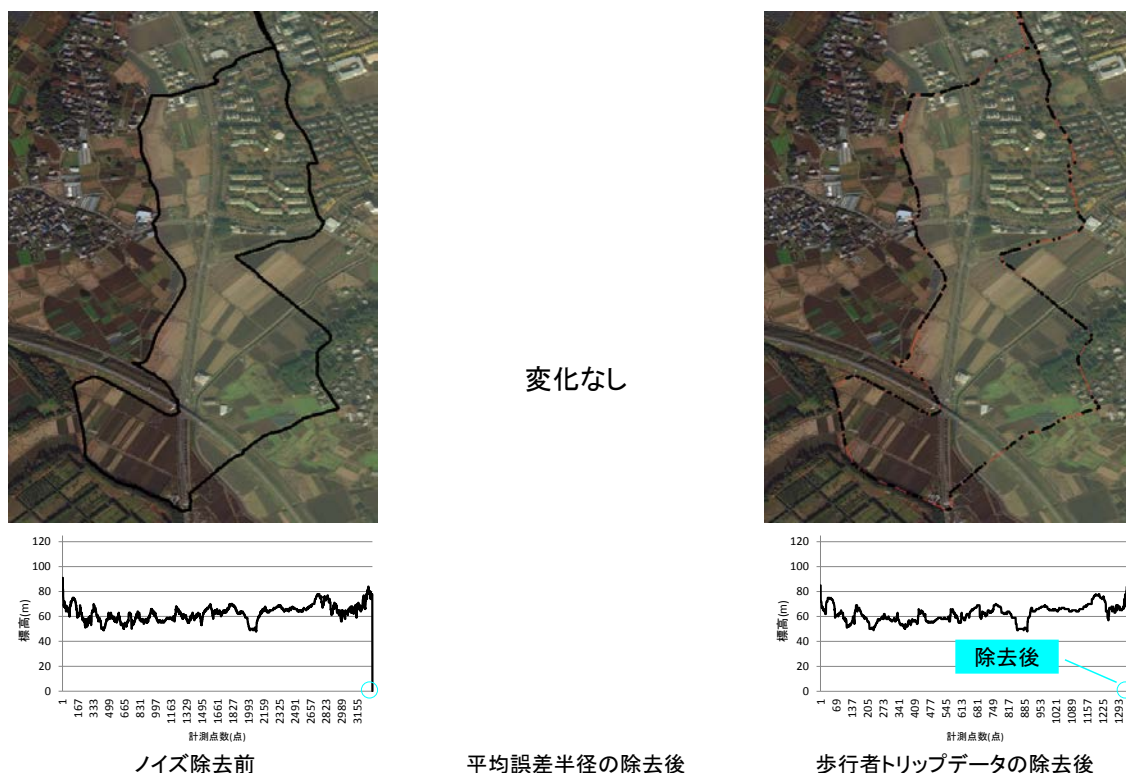


図6.19 ユーザ 7 (G) の計測点をポリラインで結んだ結果

(Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community)

ユーザ 7 (G) の除去率は、平均誤差半径を用いたノイズ除去後が 0.00%、歩行者トリップデータを用いたノイズ除去後が 59.45%である。ノイズ除去前に標高 0m を取得した計測点の経緯度は住宅にプロットされたため、経緯度をプロットした結果は切りとっている。除去前後の経緯度をポリラインで結んだ歩行経路は、ノイズ除去前後で一致した。

6.5 考察

評価検証の結果より、平均誤差半径を用いたノイズ除去では、全体の 2.00%までが除去され、異常値が明らかな場合のノイズを含む位置情報が除去された。一方、歩行者トリップデータを用いたノイズ除去では、全体の 38.06%~63.47%が除去され、周辺に建物や木々が並ぶ地点 (図 6.6, 図 6.10, 図 6.11, 図 6.12, 図 6.14, 図 6.16) や道路 (図 6.9) において、ノイズを含む計測点が適切に除去された。また、提案手法を用いると、経緯度をポリラインで結んだ歩行経路がノイズ除去前後で一致することより、ノイズ除去後の計測点には確度の高い計測点のみが残っていることがわかった。したがって、本技術を用いたアプリケーションシステムを用いることにより、信頼性の高い位置情報を含む歩行者トリップデータを取得できると考える。よって、第 6.1 節で論じた本技術の有用性を確認できた。

今後の展望として、提案手法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たい考えである。本アプリケーションシステムを用いて取得した信頼性の高い個々の歩行者トリップデータを蓄積すると、災害時の通行可能な箇所や安全に避難できる箇所を正確に把握することができる。平常時においては、ペDESTリアンデッキと歩道が併走する場所などの 3 次元での利用状況の把握も可能になる。例えば、位置情報と年齢階層を紐づけると、年齢別の移動特性を把握することが可能となる。位置情報とバリア情報を紐づけると、バリア情報を考慮したバリアフリー検索において肢体不自由者に対して有益な情報を提供できると考える。また、蓄積された信頼性の高い個々の歩行者トリップデータを利用すると、山間部や河川部などの人道が整備されていない回遊行動も把握できる。本研究では、Android OS を対象としたが、その他の OS においても同様のアルゴリズムを実装し、適用範囲を拡大する。

また、歩行以外の交通手段においても本技術の閾値を検討することで汎用的に適用できると考える。ただし、第 3.3 節の GPS センサの特性を確認する実験結果に示すように、交通手段が異なるとスマートフォンの GPS センサから取得する位置情報の間隔が異なる点に注意する必要がある。GPS センサから取得する位置情報の間隔は、移動速度が速くなると大きくなるため、歩行時を対象とした場合に比べその他の交通手段では曲がり角や方向転換などの動作を見逃す可能性が高くなる。この課題について、スマートフォンの GPS センサから取得する位置情報の間隔をアプリケーション開発者が短く設定することで対応できると考えるが、第 3.2 節に示すように GPS センサから取得できる位置情報の通知間隔の設定として、時間間隔を 0 秒未満、距離間隔を 0m 未満に設定することができない。さらに、同一の通知間隔であっても機種毎に取得する間隔が異なるのが現状である。そのため、歩行者トリップデータを用いたノイズ除去機能においては、歩行時以外の自転車や自動車などの交通手段を対象とする場合、スカラー情報だけでなくベクトル情報を加味することが必要であると考えられる。自転車や自動車などの交通手段の場合、歩行時の手持ちの場合に比べてスマートフォンを固定することが容易であるため、スマートフォンに搭載される加速度センサおよびジャイロセンサを利用して相対位置と姿勢方位角を利用することがベクトル情報を考慮する場合の一案である。ただし、スマートフォンに搭載される加速度センサやジャイロセンサは機種毎に異なる点[21]、時間経過と共に累積誤差が発生する点に注意する必要がある。

2010 年 9 月に準天頂衛星みちびきが打ち上げられ、2010 年代後半を目途に 4 機体制で準天頂衛星システムが運用されることが決定している。本技術は、これらの新しい技術が導入された場合にも適用できると考える。

第 7 章

第7章 アプリケーションシステムの仕様書

7.1 基本設計

7.1.1 開発目的

本章では、本技術を用いて、スマートフォンの GPS センサからリアルタイムに信頼性の高い位置情報を取得するアプリケーションシステムの基本設計と詳細設計を作成する。基本設計では、Android OS を搭載するスマートフォンを用いて信頼性の高い位置情報を取得するための基礎仕様を取り纏める。詳細設計では、基本設計書において取り纏めた設計内容をもとに、その実装に向けた詳細仕様を取り纏める。

7.1.2 設計方針

スマートフォンの GPS センサから信頼性の高い 3 次元位置情報を取得するアプリケーションシステムの開発では、次の点に留意する。

- 歩行者を対象とすること
本研究で対象としたノイズを含む位置情報は、歩行時に GPS センサから取得した位置情報であるため、本アプリケーションシステムにおいても歩行時に取得した位置情報のみを対象として設計を行う。
- Android OS のスマートフォンで実装すること
本研究で対象としたスマートフォンの OS は Android であるため、本アプリケーションシステムにおいても Android OS を対象として設計を行う。
- リアルタイムに GPS センサから位置情報を取得すること
本技術は後処理に適用することも可能であるが、緊急時を要する場合などに利活用することを想定し、リアルタイムに信頼性の高い位置情報を取得できる設計を行う。
- 本研究で提案したノイズ除去機能を実装すること
本技術の閾値は汎用的に決定したため、それらの機能を実装する設計を行う。
- 信頼性の高い位置情報のみを地図にプロットすること
リアルタイムに信頼性の高い位置情報を地図に可視化できる設計を行う。
- 出力情報は他のシステムで汎用的に使用できること
将来、本アプリケーションシステムで取得した信頼性の高い位置情報を利活用することを想定し、汎用的に扱えるデータ形式で出力データを保存する設計を行う。

7.1.3 アプリケーションシステムの機能要件

アプリケーションシステムが提供する機能について整理するとともに、機能要件を決定する。アプリケーションシステムは、次の5つの機能で構成される。

- 入力データの取得機能
- PDOP と平均誤差半径の指標を用いたノイズ除去機能
- 歩行者トリップデータを用いたノイズ除去機能
- 位置情報プロット機能
- 出力データの保存機能

(1) 入力データの取得機能の要件

本アプリケーションシステムでは、入力データを取得する機能を提供する。PDOP、平均誤差半径、歩行者トリップデータを用いたノイズ除去技術を実装するためには、位置情報（経緯度）だけでなく、標高、PDOP、平均誤差半径、日時情報を取得することが必須である。ここでは、GPS センサから位置情報を取得する間隔の設定も行う。また、位置情報とPDOPを取得するタイミングは異なるため、PDOPを取得しない場合は、直前のPDOP値を採用する。

- 要件1 スマートフォンで動作するアプリケーションシステムであること
- 要件2 経緯度、標高、PDOP、平均誤差半径および日時情報がリアルタイムに取得できること

(2) PDOP と平均誤差半径の指標を用いたノイズ除去機能の要件

本アプリケーションシステムでは、PDOP と平均誤差半径の指標を用いたノイズ除去機能を提供する。本機能では、ノイズを含む位置情報を判定するために、PDOP 値と平均誤差半径の計2個のパラメータが必要である。

- 要件3 PDOP、平均誤差半径の指標を用いてノイズを含む位置情報を除去すること
- 要件4 PDOP 値と平均誤差半径の2個のパラメータを用いてノイズを含む位置情報を判定すること

(3) 歩行者トリップデータを用いたノイズ除去機能の要件

本アプリケーションシステムでは、連続した位置情報に着目して3次元の2点間距離を用いたノイズ除去機能を提供する。本機能では、ノイズを含む位置情報を判定するために、2点間距離とPDOP、平均誤差半径、歩行者トリップデータのいずれかでノイズを含む位置情報であると判定された直後の除去対象とする計測点数の計2個のパラメータが必要であ

る。ここでは、連続する 2 点の経緯度と標高を用いて 3 次元の 2 点間距離を算出する必要がある。

要件 5 経緯度と標高を用いて 3 次元の 2 点間距離を算出すること

要件 6 2 点間距離と除去対象とする計測点数の 2 個のパラメータを用いてノイズを含む位置情報を判定すること

(4) 位置情報プロット機能の要件

本アプリケーションシステムでは、PDOP、平均誤差半径によるノイズ除去機能および歩行者トリップデータを用いたノイズ除去機能で得た信頼性の高い位置情報を Google マップにプロットする機能を提供する。

要件 7 地図は Google マップを使用すること

要件 8 信頼性の高い位置情報のみを Google マップにプロットすること

(5) 出力データの保存機能の要件

本アプリケーションシステムでは、PDOP、平均誤差半径によるノイズ除去機能および歩行者トリップデータを用いたノイズ除去機能で得た信頼性の高い位置情報と日時情報を保存する機能を提供する。

要件 9 信頼性の高い位置情報として経緯度、標高と日時情報を保存すること

要件 10 汎用的に扱えるデータ形式で出力データを保存すること

7.1.4 ユーザーインターフェース設計

本アプリケーションシステムの画面イメージを図 7.1 に示す。



図7.1 本アプリケーションシステムの画面イメージ
(地図データ©2017 Google、ZENRIN)

スマートフォンのメニューボタンを押したときに表示されるオプションメニューの「開始」を押すと位置情報の取得を開始する。「停止」を押すと位置情報の取得を停止し、本アプリケーションシステム専用のフォルダに出力データを保存する。「終了」を押すとアプリケーションシステムを終了する。GoogleMapには信頼性の高い位置情報のみがプロットされる。

7.2 詳細設計

7.2.1 システム環境

Android OS 搭載のスマートフォンを対象とした場合の開発環境および実行環境について説明する。

(1) 開発環境

Android アプリケーションシステムを開発するためには、開発環境を整える必要がある。ここでは、グラウンド実験およびキャンパス実験のためのアプリケーションシステムと同様の開発環境とする。開発環境としてダウンロードが必要なものは、Android SDK, Java Platform(JDK), Eclipse の3つである。本研究で使用した開発環境を表 7.1 に示す。

表7.1 開発環境

項目	バージョン
パソコンの OS	Windows7 64bit
Android SDK	22.3
JAVA Platform (JDK)	1.7.0_09-b05
Eclipse	4.2.1

(2) 実行環境

本アプリケーションシステムは、リアルタイムに位置情報を取得することが必須であるため、GPS センサを搭載するスマートフォンを対象とする。

7.2.2 機能の詳細設定

(1) システム設計

前節の機能要件を表 7.2 に整理する。

表7.2 機能要件

要件	内容
1	スマートフォンで動作するアプリケーションシステムであること
2	経緯度、標高、PDOP、平均誤差半径および日時情報がリアルタイムに取得できること
3	PDOP、平均誤差半径の指標を用いてノイズ除去すること
4	PDOP 値と平均誤差半径の 2 個のパラメータを用いてノイズを含む位置情報を判定すること
5	経緯度と標高を用いて 3 次元の 2 点間距離を算出すること
6	2 点間距離と除去対象とする計測点数の 2 個のパラメータを用いてノイズを含む位置情報を判定すること
7	地図は Google マップを使用すること
8	信頼性の高い位置情報のみを Google マップにプロットすること
9	信頼性の高い位置情報として経緯度、標高と日時情報を保存すること
10	汎用的に扱えるデータ形式で出力データを保存すること

● 入力データの取得機能の設計方針

本アプリケーションシステムでは、要件 1 と要件 2 を満たすため、スマートフォン向け端末の主要な OS である Android を対象とする。開発には、Android OS のアプリケーション開発用 SDK「Android SDK」を用いる。

- PDOP と平均誤差半径の指標を用いたノイズ除去機能の設計方針

本アプリケーションシステムでは、要件 3 と要件 4 を満たすため、PODP を用いたノイズ除去機能（4.3 節）と平均誤差半径を用いたノイズ除去機能（4.4 節）により得られたパラメータとして、PDOP = 4, 平均誤差半径 = 35 を閾値として設定する。

- 歩行者トリップデータを用いたノイズ除去機能の設計方針

本アプリケーションシステムでは、要件 5 と要件 6 を満たすため、本研究の実証実験により得られたパラメータとして、2 点間距離 = 2, 除去対象とする計測点 = 3 を閾値として設定する。

- 位置情報プロット機能の設計方針

本アプリケーションシステムでは、要件 7 と要件 8 を満たすため、Google マップを画面に表示するための設定をし、信頼性の高い位置情報のみをプロットする。

- 出力データの保存機能の設計方針

本アプリケーションシステムでは、要件 9 と要件 10 を満たすため、信頼性の高い位置情報として経緯度、標高と日時情報を csv 形式で出力する。

（2）本アプリケーションシステムの入出力データ

入力は、スマートフォンの GPS センサから取得した経緯度、標高、PDOP、平均誤差半径および日時情報とする。出力は、信頼性の高い位置情報と日時情報とする。アプリケーションシステムの処理フローを図 7.2 に示す。

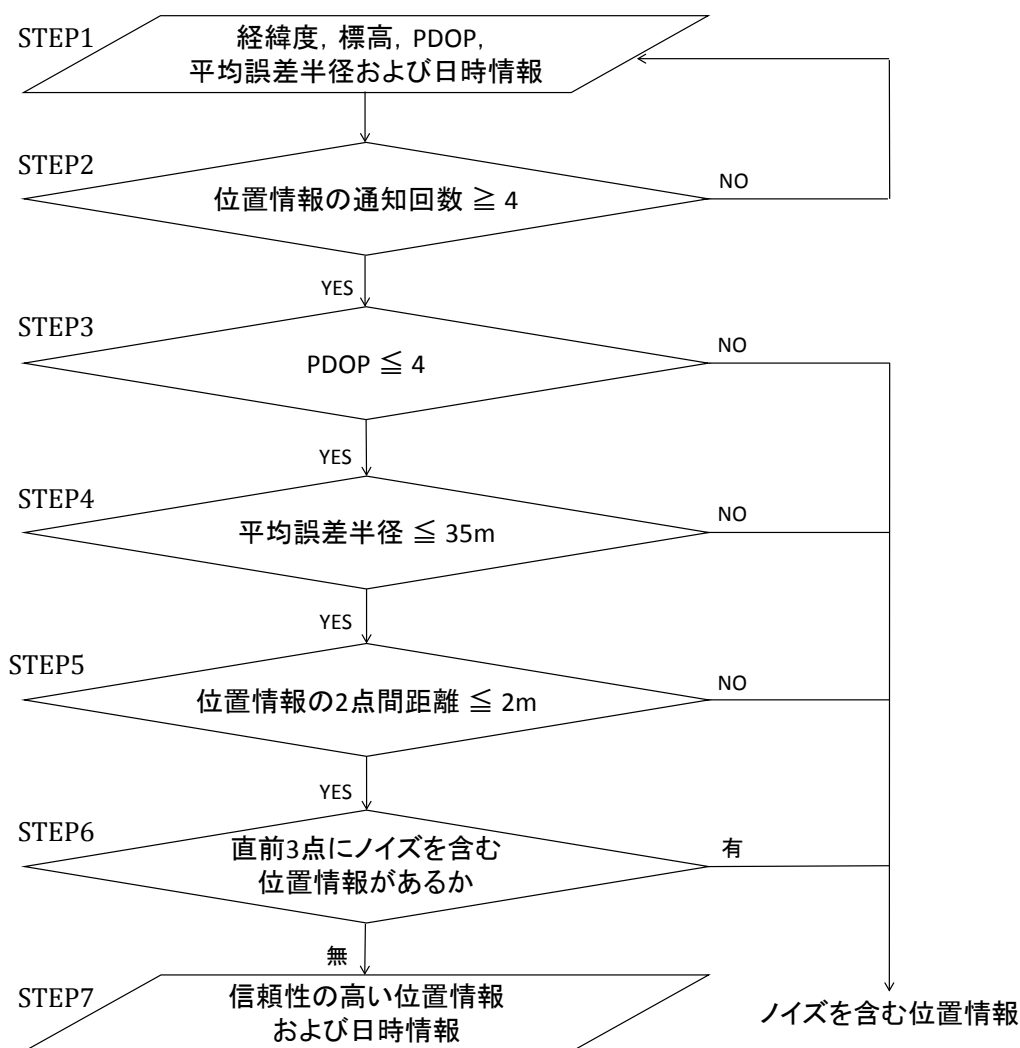


図7.2 アプリケーションシステムの処理フロー

STEP 1: GPS センサから経緯度, 標高, PDOP, 平均誤差半径および日時情報を取得する.

STEP 2: 位置情報の取得回数が 4 回以上の場合は STEP 3 に行く.

STEP 3: PDOP が 4 以下の場合は STEP 4 へ, 4 より大きい場合はノイズを含む位置情報とする.

STEP 4: 平均誤差半径が 35m 以下の場合は STEP 5 へ, 35m より大きい場合はノイズを含む位置情報とする.

STEP 5: 位置情報の 2 点間距離が 2m 以下の場合は STEP 6 へ, 2m より大きい場合はノイズを含む位置情報とする.

STEP 6: 直前の 3 点にノイズを含む位置情報が無い場合は STEP 7 へ, 有る場合はノイズを含む位置情報とする.

STEP 7: 信頼性の高い 3 次元の位置情報と日時情報を保存する.

(3) アクティビティ

Android におけるアクティビティのライフサイクルを図 7.3 に示す。

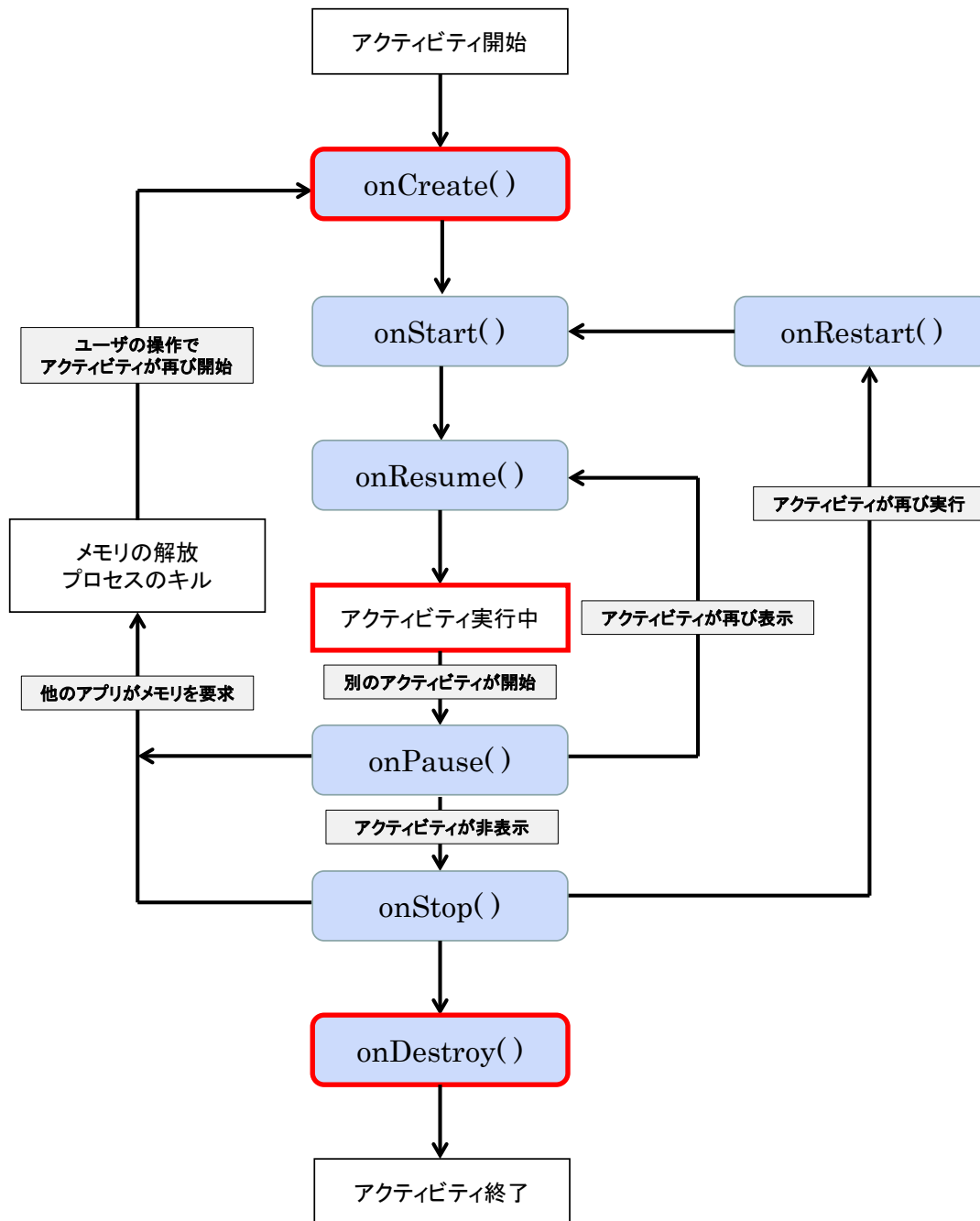


図7.3 Android におけるアクティビティのライフサイクル

本アプリケーションシステムは、onCreate メソッドと onDestroy メソッドを実装し、アクティビティを開始・終了する。

7.2.3 実装仕様

本アプリケーションシステムの主な処理を実装するために必要な Android SDK で定義されている機能、独自で定義する変数および関数について示す。

(1) Android SDK で定義されている機能

Activity クラスのメソッド

メソッド	意味
onCreate()	アクティビティが最初に作られたときに呼び出されるメソッド
onDestroy()	アクティビティが破棄されるときに呼び出されるメソッド
onCreateOptionsMenu()	最初にメニューボタンをクリックしたときに呼び出されるメソッド
onOptionsItemSelected()	MenuItem を選択したときに呼び出されるメソッド

LocationSource.OnLocationChangeListener インターフェース

メソッド	意味
onLocationChanged()	位置情報が更新されたときに呼び出されるメソッド

GoogleMap.onMyLocationButtonClickListener インターフェース

メソッド	意味
onMyLocationButtonClick()	現在地ボタンがクリックされたときに呼び出されるメソッド

GpsStatus.NmeaListener インターフェース

メソッド	意味
onNmeaReceived()	GPS センサから NMEA 情報を受信したときに呼び出されるメソッド

(2) 独自で定義する変数

入力データと出力データ

変数	型	説明
グローバル	double	緯度
	double	経度
	double	標高
	float	PDOP
	float	平均誤差半径

	double	3次元位置情報の2点間距離
	int[]	直前3点の位置情報のノイズ判定結果
	List<Double[]>	信頼性の高い位置情報（経緯度，標高）と日時情報
ローカル	SimpleDateFormat	日時情報

（3）独自で定義する関数

setGPS

関数名	setGPS
引数	なし
戻り値	なし
関数説明	
本関数は、GPS センサから位置情報を取得するための設定を行う。	
処理内容	
<ol style="list-style-type: none"> 1. LocationManager を初期化する。 2. Criteria を生成する。 3. 位置情報を取得するための設定として、プロバイダを GPS，時間間隔を 0 秒，距離間隔を 0m とする。 4. GPS センサから NMEA 情報を受信するリスナを設定する。 	
制約条件	
・位置情報の通知間隔として時間間隔を 0 秒，距離間隔を 0m に設定する。	

createFile

関数名	createFile
引数	なし
戻り値	なし
関数説明	
本関数は、本アプリケーションシステム専用のフォルダに csv ファイルを生成する。	
処理内容	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Date クラスと SimpleDateFormat クラスを用いて MMddkkmmss 形式で日時情報を取得する。 2. 本アプリケーションシステム専用のフォルダに取得した日時情報名の csv ファイルを生成する。 	
制約条件	
・本アプリケーションシステム専用のフォルダはユーザや他のアプリケーションシステムからアクセスできない。	

・アプリケーションシステムをアンインストールすると削除される。

determinePDOP

関数名	determinePDOP		
引数	型	変数名	説明
	float	pdop	PDOP 値
戻り値	boolean	ノイズの判定結果 true : 信頼性の高い位置情報, false : ノイズを含む位置情報	
関数説明			
本関数は、PDOP 値を用いてノイズの判定を行う。			
処理内容			
<ol style="list-style-type: none"> 1. 変数 pdop に PDOP 値を代入する。 2. 変数 pdop が 4 以下の場合は戻り値 true, 4 より大きい場合は戻り値 false として、関数を終了する。 			
制約条件			
・本関数の引数は null でない必要がある。			

determineAccuracy

関数名	determineAccuracy		
引数	型	変数名	説明
	float	accuracy	平均誤差半径
戻り値	boolean	ノイズの判定結果 true : 信頼性の高い位置情報, false : ノイズを含む位置情報	
関数説明			
本関数は、平均誤差半径を用いてノイズの判定を行う。			
処理内容			
<ol style="list-style-type: none"> 1. 変数 accuracy に平均誤差半径を代入する。 2. 変数 accuracy が 35 以下の場合は戻り値 true, 35 より大きい場合は戻り値 false として、関数を終了する。 			
制約条件			
・本関数の引数は null でない必要がある。			

determineDistance

関数名	determineDistance		
引数	型	変数名	説明

1	LatLng	nowLatLng	現在の経緯度
2	double	nowAltitude	現在の標高
3	LatLng	beforeLatLng	1つ前の経緯度
4	double	beforeAltitude	1つ前の標高
戻り値	boolean	ノイズの判定結果 true : 信頼性の高い位置情報, false : ノイズを含む位置情報	
関数説明			
本関数は、連続した位置情報の3次元の2点間距離を用いてノイズの判定を行う。			
処理内容			
<ol style="list-style-type: none"> 1. 経緯度と標高を用いて3次元の2点間距離を算出する。 2. 2点間距離が2以下の場合は戻り値 true, 2より大きい場合は戻り値 false として、関数を終了する。 			
制約条件			
<ul style="list-style-type: none"> ・本関数は位置情報の取得回数が2回目以降に呼び出すことができる。 ・本関数の引数は null でない必要がある。 			

determineThreePoints

関数名	determineThreePoints		
引数	型	変数名	説明
	int[3]	points	直前3点の位置情報のノイズの判定結果（要素0:1つ前の位置情報の判定結果, 要素1:2つ前の位置情報の判定結果, 要素2:3つ前の位置情報の判定結果） 0: 信頼性の高い位置情報, 1: ノイズを含む位置情報
戻り値	boolean	ノイズの判定結果 true : 信頼性の高い位置情報, false : ノイズを含む位置情報	
関数説明			
本関数は、直前3点の位置情報に対して、ノイズを含む位置情報の有無を確認する。			
処理内容			
1. 1次元配列 points の各要素の合計が0の場合は戻り値 true, それ以外の場合は戻り値 false として、関数を終了する。			
制約条件			
<ul style="list-style-type: none"> ・本関数の引数は null でない必要がある。 ・本関数の引数の各要素は、0または1である。 			

getMarkPosition

関数名	getMarkPosition		
引数	型	変数名	説明
	LatLng	latlng	プロットする経緯度
戻り値	なし		
関数説明			
本関数は、Google マップに経緯度をプロットする。			
処理内容			
1. MarkerOptions クラスを用いて指定した経緯度を Google マップにプロットする。			
制約条件			
・本関数の引数は null でない必要がある。			

saveFile

関数名	saveFile		
引数	型	変数名	説明
	List<Double[]>	data	信頼性の高い位置情報（経緯度，標高）と日時情報
戻り値	なし		
関数説明			
本関数は、信頼性の高い位置情報（経緯度，標高）と日時情報を csv ファイルに保存する。			
処理内容			
1. Data を 1 行ずつ csv ファイルに書き込む。			
制約条件			
・本関数の引数は null でない必要がある。			

7.3 操作マニュアル

本アプリケーションシステムを利用するためのユーザ操作を説明する。

- 位置情報を ON にする設定

スマートフォンの GPS センサから位置情報を取得するためには、スマートフォンの位置情報の設定を ON にする必要がある。「SC04F」を例に設定方法について説明する。位置情報を ON にする設定手順について図 7.4 に示す。



図7.4 位置情報を ON にする設定手順

「設定」→「位置情報」を選択し、画面右上にあるスライダを切り替えて ON / OFF の設定をする。ON にすると「ユーザ同意」が表示されるため、「同意する」を選択する。本研究では、GPS センサから取得する位置情報を対象とするため、「モード」を選択し、「GPSのみ」にチェックが入っていることを確認する。

- 位置情報の取得開始と終了

スマートフォンの「メニューボタン」を押したときに表示されるオプションメニューの「開始」を押すと位置情報の取得を開始し、信頼性の高い位置情報のみを Google マップにプロットする。オプションメニューの「停止」を押すと位置情報の取得を停止し、本アプリケーション専用のフォルダに信頼性の高い位置情報および日時情報を保存する。

- アプリケーションシステムの終了

スマートフォンのオプションメニューの「終了」を押すと、本アプリケーションシステムを終了する。

第 8 章

第8章 総括

本研究では、スマートフォンの GPS センサで取得した位置情報にはノイズを含む位置情報を有する課題を解決するための手法を提案し、実環境において複数機種で取得した位置情報および PP 調査で取得した位置情報を用いて有用性を確認した。各章の内容についてそれぞれ概説する。

第 1 章では、研究の背景として、位置情報の取得方法の多様化および高度化と位置情報を利活用に向けた現状の取組と課題について述べた。そして、都市計画や防災計画を対象に携帯電話で取得した位置情報の活用に関する既存研究を調査・分析した。スマートフォンの GPS センサから信頼性の高い 3 次元位置情報を取得する上で解決すべき課題は、GPS センサは機種毎に特性が異なるため、その特性を理解する必要があること、リアルタイムにノイズを含む位置情報を判定して信頼性の高い位置情報のみを取得する手法を確立することの 2 点とした。これらの課題を解決する方策として、スマートフォンの GPS センサの特性を踏まえて、スマートフォンで取得できる情報を加味することを提示した。

第 2 章では、第 1 章で提示した課題を解決する方策に適用可能な手法を調査した。そして、関連手法を適用するだけでは解決が困難な点として、PDOP が大きくなると誤差が大きくなる知見は得ているがリアルタイムでの本格的な検討はされていない課題、平均誤差半径と連続する位置情報を併用した研究では、計測実績がない場所や未開拓の地への適用ができない課題、また、経緯度のみを対象としているため標高を加味した 3 次元の位置情報の議論がなされていない課題を明らかにした。本章では、これらの課題を解決する方策として、PDOP、平均誤差半径と歩行者トリップデータについて整理した上で、歩行者を対象にリアルタイムに信頼性の高い 3 次元の位置情報を取得する手法を提示した。

第 3 章では、「スマートフォンの GPS センサは機種毎に特性が異なる課題」について、複数の機種の計測データを分析し、GPS センサの特性を把握するための事前実験について詳述した。本章では、7 割近いシェア率を持つプロセッサの Qualcomm Snapdragon に加え、Samsung Exynos を採用している 6 機種を対象に計測データを分析した。事前実験の結果、GPS センサの通知間隔は、各機種ともソフトウェア上で設定した時間間隔と距離間隔で位置情報が通知されないため両間隔を最小値に設定することが好ましいこと、機種毎の計測点は交通手段や機種によって異なり一貫性がないこと、補正前後の計測点を比較すると、補正前後の計測点の相関係数の差および平均二乗誤差の差も小さいため補正の必要がないことが明らかになった。

第 4 章では、「スマートフォンの GPS センサから取得する位置情報にはノイズを有する課題」について、本研究が取り組んだ解決手法により、リアルタイムに信頼性の高い位置情報を取得するについて詳述した。本章では、PDOP および平均誤差半径の指標を用いたノイズ除去手法において、ノイズを含む位置情報と判定するための閾値を解析した結果、PDOP を 4、平均誤差半径を 35m とした。実証実験の結果、機種によって異なるが、グラウンド実験では 0.02%~15.79%、キャンパス実験では 0.01%~20.52%で信頼性の低い計測点を除去することができた。その結果、提案手法の有用性を実証した。

第 5 章では、「第 4 章の PDOP と平均誤差半径の指標を用いたノイズ除去手法でノイズを含む位置情報を除去しきれない課題」について、本研究が取り組んだ解決手法により、リアルタイムに信頼性の高い位置情報を取得するについて詳述した。本章では、歩行者トリップデータを用いたノイズ除去手法において、ノイズを含む位置情報と判定するための閾値を解析した結果、2 点間距離を 2m、除去対象とする計測点数を 3 点とした。実証実験の結果、機種によって異なるが、グラウンド実験では 34.00~51.26%、キャンパス実験では 35.26%~48.81%の信頼性の低い計測点を除去することができた。このことにより、本技術の有用性を実証した。

第 6 章では、本技術を用いたアプリケーションシステムを構築するための処理の手順について詳述した。本章では、アプリケーションシステムを実現するために、PP 調査における歩行のデータに本技術を適用し、有用性を検証した。その結果、平均誤差半径を用いたノイズ除去では、全体の 2.00%までが除去され、異常値が明らかな場合のノイズを含む位置情報が除去された。一方、歩行者トリップデータを用いたノイズ除去では、全体の 38.06%~63.47%が除去され、周辺に建物や木々が並ぶ地点や道路においてノイズを含む計測点が適切に除去された。また、経緯度をポリラインで結んだ歩行経路がノイズ除去前後で一致したことより、ノイズ除去後の計測点には確度の高い計測点のみが残っていることを確認した。その結果、本技術の有用性を実証した。

第 7 章では、一連の成果を基に、スマートフォンアプリケーションの開発のための基本設計および詳細設計について纏めた。

以上、本研究では、スマートフォンの GPS センサで取得した位置情報から信頼性の高い位置情報を取得する手法を提案した。そして、実環境において複数機種で取得した位置情報および PP 調査を用いたプローブデータを用いて実証実験を行い、提案手法の有用性を確認した。本研究成果の今後の展望としては、提案手法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したい考えである。

また、Android 以外の OS に提案手法を適用することで、提案手法の汎用性を確認する予定である。さらに、考案した技術の適用範囲を拡大し、歩行以外の自転車や自動車などの交通手段における適用事例を増やすことで、技術自体を発展させ、今後の高度情報化社会において有用な解析技術の確立を目指す。

参考文献

参考文献

- [1] Liu, L., Hou, A., Biderman, A., Ratti, C., and Chen, J. : Understanding Individual and Collective mobility patterns from Smart Card Records : A Case Study in Shenzhen, *International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, IEEE, Vol.12, pp.1-6, 2009.
- [2] Giannotti, F., Nanni, M., Pedreschi, D., Renso, C., and Trasarti, R. : Mining Mobility Behavior from Trajectory Data, *International Conference on Computational Science and Engineering*, IEEE, Vol.4, pp.948-951, 2009.
- [3] Slingsby, A., Beecham, R. , and Wood, J. : Visual Analysis of Social Networks in Space and Time Using Smartphone Logs, *Pervasive and Mobile Computing*, ELSEVIER, Vol.9, No.6, pp.848-864, 2013.
- [4] Green, E., Ripy, J., Chen, M. , and Zhang, X. : Conflation Methodologies to Incorporate Consumer Travel Data into State HPMS Datasets, *Transportation Research Board 92nd Annual Meeting*, Transportation Research Board, Vol.92, pp.1-15, 2013.
- [5] 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, pp.1-8, 2015.
- [6] 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, pp.1-9, 2013.
- [7] 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, pp.1-12, 2013.
- [8] 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.I_1193-I_1204, 2012.
- [9] 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.
- [10] 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内地道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.I_1059-I_1066, 2014.
- [11] 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.
- [12] 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, 土木計画学研究・講演集, 土木学会, Vol.51, 2015.
- [13] 総務省 : 平成 26 年通信利用動向調査ポイント, 入手先 <http://www.soumu.go.jp/main_content/000369001.pdf> (参照 2015.12.15).

- [14] インプレス R&D インターネットメディア総合研究所：スマートフォン白書 2012, インプレス R&D, 2012.
- [15] 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, pp.1-12, 2013.
- [16] 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, pp.1-9, 2013.
- [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人物の行動把握支援に関する研究, 土木情報学シンポジウム講演集, 土木学会, Vol.39, No.1, pp.255-258., 2014.
- [18] 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.I_310-I_318, 2014.
- [19] 井上晴可, 窪田諭, 今井龍一, 田中成典, 重高浩一：スマートフォンの GPS センサを用いた 3 次元位置情報の精度検証に関する研究, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), 土木学会, Vol.40, No.1, pp.121-124., 2014.
- [20] 井上晴可, 窪田諭, 今井龍一, 田中成典, 重高浩一：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, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), 土木学会, Vol.71, No.2, pp. I_152- I_168, 2015.
- [21] 井上晴可, 窪田諭, 今井龍一, 田中成典：センサ特性を考慮したスマートフォンアプリケーションに関する一考察, 情報処理学会デジタルプラクティス, 情報処理学会, Vol.6, No.4, pp.306-315, 2015.
- [22] Inoue, H., Kubota, S., Imai, R., and Tanaka, S. : Application Systems for Acquiring Location Information Using GPS Sensor in Smart Phone, *The 16th International Symposium on Advanced Intelligent Systems*, ISIS, pp.1111-1121, 2015.
- [23] 井上晴可, 今井龍一, 窪田諭, 田中成典, 重高浩一：スマートフォンを用いた信頼性の高い歩行者トリップデータの取得手法に関する研究, 知能と情報, 日本知能情報ファジィ学会, Vol.28, No.5, pp.855-874, 2016.
- [24] 内閣府：世界最先端 IT 国家創造宣言, 入手先<<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20150630/siryou1.pdf>> (参照 2016.11.20).
- [25] 地理空間情報活用推進基本法, 法律第六十三号, 2007.
- [26] 内閣府：地理空間情報活用推進基本計画, 入手先<<http://www.gsi.go.jp/common/000065943.pdf>> (参照 2016.11.20).
- [27] 小荒井衛：3 次元 GIS の動向と現状の課題—3 次元 GIS 特集号によせて—, Vol.52, No.3, p. 3_1-3_4, 2014
- [28] 総務省：第 1 章「スマート ICT」の進展による新たな価値の創造, 入手先<<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h25/pdf/n1100000.pdf>> (参照 2016.11.20).
- [29] 総務省：G 空間×ICT 推進会議, 入手先<http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/gku

- kan-ict_suishin/> (参照 2016.11.20).
- [30] 総務省：G 空間プラットフォームの開発について，入手先<http://www.soumu.go.jp/main_content/000390992.pdf> (参照 2016.11.20).
- [31] ITS 情報通信システム推進会議：図解 これでわかった GPS 第 2 版—ユビキタス情報通信時代の位置情報，森北出版，2004.
- [32] 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>> (参照 2015.10.10).
- [33] 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.
- [34] 柴崎亮介，趙卉菁，中村克行，金杉洋，鶴岡政子：人の空間行動の計測と利用，情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM) 2005，Vol.18，No.2004-CVIM-148，pp.47-50，2005.
- [35] 関本義秀，薄井智貴，金杉洋：都市空間における効率的な動線解析の共通基盤のあり方について，土木情報利用技術講演集，土木学会，Vol.36，pp.111-114，2011.
- [36] 国土交通省 報道発表資料：道路交通センサ一般交通量調査の概要，平成 22 年度道路交通センサ 一般交通量調査結果の概要について，2011.
- [37] 国土交通省：PT 調査とは？，<<http://www.mlit.go.jp/crd/tosiko/pt.html>> (参照 2014-06-28).
- [38] 国土交通省：プローブパーソン調査とその活用可能性について，第 2 回プローブ研究会「プローブ技術を実務に生かす -その展望と課題」，2006.
- [39] 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，pp.1-10，2014.
- [40] 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，pp.1-12，2014.
- [41] 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，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.
- [42] 若生凌，関本義秀，金杉洋，柴崎亮介：GPS データを用いた東日本大震災における人々の経路選択行動分析，土木学会論文集 D3 (土木計画学)，土木学会，Vol.70，No.5，pp.I_681-I_688，2014.
- [43] 矢部貴大，関本義秀，檜山武浩，金杉洋，須藤明人：パーティクルフィルタを用いた災害時におけるリアルタイムな人流推定手法，交通工学論文集，交通工学研究会，Vol.2，No.2，pp.A_19-A_27，2016.
- [44] 横田孝義：次世代交通情報通信システムを担うプローブ技術，電子情報通信学会誌，電子情報通信学会，Vol.95，No.8，pp.718-723，2012.
- [45] 北澤桂，小西勇介，柴崎亮介：Personal positioning system におけるうマップマッチング法の提案，地理空間情報フォーラム，2001.
- [46] 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, pp.1-3, 2009.
- [47] 小島英史, 羽藤英二: プローブパーソンデータによるオンラインマッチングアルゴリズム, 土木計画学研究・講演集, 土木学会, Vol.29, No.1, pp.1-4, 2004.
- [48] 三輪富生, 木内大介, 山本俊行, 薄井智貴, 森川高行: 低コストプローブカーデータのオンラインマップマッチング手法の開発, 交通工学, 交通工学研究会, Vol.44, No.3, pp.100-110, 2009.
- [49] 薄井智貴, 中村敏和, 金杉洋, 関本義秀, 柴崎亮介, MixedMapMatching 手法を用いた GPS データクリーニングサービス, 地理情報システム学会, 2010.
- [50] 堀口良太, 清水行晴, 金崎貴文, 岡村明彦, 上田憲道: プローブデータのクレンジング処理と車種別の運行特性分析, 土木計画学研究・講演集, 土木学会, Vol.26, No.2, pp.1-4, 2002.
- [51] 山下浩昌: 民間プローブデータの活用事例について, 四国地方整備局管内技術・業務研究発表会論文集, 国土交通省四国地方整備局, Vol.2012, pp.II.81-II.84, 2012.
- [52] 熊谷正俊, 伏木匠, 横田孝義, 君田和也: 特徴空間射影によるプローブカーデータのリアルタイム補完, 情報処理学会論文誌, 情報処理学会, Vol.47, No.7, pp.2133-2140, 2006.
- [53] 日経 BP 社: 車で走行しながら地形などの三次元座標を記録, 日経コンストラクション, No.458, p.17, 2008.
- [54] 目黒淳一, 小島祥子, 鈴木徳祥, 寺本英二: GPS ドップラと慣性センサの統合による車両軌跡推定手法の提案, 情報処理学会論文誌, 情報処理学会, Vol.53, No.1, pp.212-222, 2012.
- [55] 熊谷秀夫: GPS/IMU の最新動向, 写真測量とリモートセンシング, 日本写真測量学会, Vol. 49, No. 5, pp.326-331, 2010.
- [56] 薄井智貴, 山本俊行: 空間統計的解析手法を用いた歩行者 GPS データの補正アルゴリズムに関する研究, 土木計画学研究・講演集, 土木学会, Vol.45, No.1, pp.1-4, 2012.
- [57] 多田俊也, 赤羽弘和: GPS および磁気センサによる人の移動軌跡の連続推定, 土木計画学研究・講演集, 土木学会, Vol.40, No.2, pp.1-3, 2009.
- [58] 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.
- [59] 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・論文集, 土木学会, Vol.27, No.3, pp.569-577, 2010.
- [60] 北沢匠, 坂本大輔, 安積卓也, 望月祐洋, 西尾信彦: GPS ログにおける欠損とノイズの分析手法, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2014 論文集, 情報処理学会, Vol.2014, pp.1595-1602, 2014.
- [61] 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.
- [62] 株式会社インプレス R&D インターネットメディア総合研究所: スマートフォン白書 2012, インプレス R&D, 2012.

- [63] 株式会社インプレス R&D : スマートフォン/ケータイ利用動向調査 2013, 2012.
- [64] 総務省 : 情報通信白書平成 24 年版, 総務省, 2012.
- [65] 米津克彦, 長谷川尚史 : 林内での GPS 単独測位におけるマスク設定の有用性, 森林利用学会誌, 森林利用学会, Vol.19, No.1, pp.35-42, 2004.
- [66] 庄司 浩一, 山口雄司, 川村恒夫, 安藤和登 : RTK-GPS を用いた圃場の高低差マップの精度評価, 農業機械学会誌, Vol.70, No.5, pp.83-91, 2008.
- [67] National Marine Electronics Association : NMEA 0183 Standard, 入手先<http://www.nmea.org/content/nmea_standards/nmea_0183_v_410.asp> (参照 2016.06.20).
- [68] 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())> (参照 2015.12.01).
- [69] 山田直治, 磯田佳徳, 南正輝, 森川博之 : 屋外行動支援のための GPS 搭載携帯電話を用いた移動経路の逐次の精練手法, 情報処理学会論文誌, 情報処理学会, Vol.52, No.6, pp.1951-1967, 2011.
- [70] Qualcomm Snapdragon : Snapdragon 800, <<https://www.qualcomm.com/products/snapdragon/processors/800>> (参照 2014.10.22).
- [71] Qualcomm Snapdragon : Snapdragon S3,S2,S1 Processor Product Specs , <<https://www.qualcomm.com/products/snapdragon/processors/s4-s1>> (参照 2014.10.22).
- [72] Samsung : Specifications, <<http://www.samsung.com/global/microsite/galaxynote/note8.0/specifications.html>> (参照 2014.10.22).
- [73] 国土交通省 : 作業規程の準則, <<http://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/jyunsoku/>> (参照 2014.10.22).
- [74] NTT ドコモ : 測位方法, <<https://www.nttdocomo.co.jp/service/safety/search/usage/gps/>> (参照 2015.12.01).
- [75] SoftBank : 測位方法, <<http://faq.mb.softbank.jp/smart/detail.aspx?cid=453&id=453&categoryId=0&catParentName=&categoryName=>>> (参照 2015.12.01).
- [76] KDDI : 位置情報, <<http://www.au.kddi.com/ezfactory/tec/spec/eznavi.html>> (参照 2015.12.01).
- [77] Google : Android Developers, <<https://developer.android.com/reference/com/google/android/gms/location/DetectedActivity.html>> (参照 2014-06-28).
- [78] TI アサヒ社 : G3100-R1, 入手先<http://www.pentaxsurveying.com/upload/product/pdf_KsVJMY.pdf> (参照 2015.06.23).

謝辭

謝辞

本論文を取り纏めるにあたり、御多忙の中、終始一貫して、暖かく懇切丁寧な御指導御鞭撻、またすばらしく充実した研究環境を賜りました。そして、研究全般に渡り、明確な方向付けまでして頂きました関西大学総合情報学部総合情報学科 田中成典教授に心より感謝の意を表しますと共に厚く御礼申し上げます。

本論文の研究を遂行するにあたり、関西大学総合情報学部総合情報学研究科 伊藤俊秀教授、および辻光宏教授には、御協力を賜りました。深く感謝する次第であります。

また、関西大学環境都市工学部 窪田諭准教授、東京都市大学工学部 今井龍一准教授、内閣府政策統括官（防災担当）付参事官（地方・訓練担当）付企画官 重高浩一様、終始一貫した研究への御理解ならびに貴重な御助言を賜りました。深く感謝する次第であります。

第 6 章の研究を遂行するにあたり、つくば市および国土交通省国土技術政策総合研究所から『つくばモビリティ・交通研究会』の活動の一環で実施された PP 調査のデータ提供を賜りました。国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究室の橋本浩良氏、松島敏和氏にはプローブデータに関する貴重なご意見を賜りました。深く感謝する次第であります。

第 4 章、第 5 章および第 6 章の研究を遂行するにあたり、関西大学大学院総合情報学研究科 津川昌隆氏（修士課程 2 年）に御協力を賜りました。深く感謝する次第であります。

最後に、勉学への意欲に対して深い理解と協力を頂いた祖父（井上泰廣）、祖母（井上禮子）、母（井上佳苗）に感謝するとともに、末永く健康であることを切に願っております。