

# Personal Positioning System におけるマップマッチング法の提案

北澤桂、小西勇介、柴崎亮介

東京大学 空間情報科学研究センター

東京都目黒区駒場 4-6-1 〒153-8505

TEL / FAX : +81-3-5452-6417

E-mail : [kitazawa@iis.u-tokyo.ac.jp](mailto:kitazawa@iis.u-tokyo.ac.jp)

KEY WORDS: マップマッチング、ポジショニング、ジャイロ、3次元、歩行者

## 要約

人間の歩行行動を高い精度でトラッキングするための手法として GPS・PHS を用いたポジショニングシステムが実用化されている。しかし特に都市域では、地下街や高層ビルの谷間など、既存のシステムを利用できない場所が存在するため、何らかの異なる計測方法を用いた補間方法が必要だ。その一案として、ジャイロコンパスと加速度計を GPS と組み合わせた Personal Positioning System ( 以後 PPS ) が提案されているが、センサーによる測定だけでは誤差の蓄積が生じてしまい、利用者の正確な位置を把握できない。従来のカーナビゲーションでは誤差を解消するためにマップマッチングという手法を用いている。しかしこの手法は車が道路上を走るということを前提としているため、ただ単純に適用したのでは歩行者の複雑な動きを正確に把握することは難しい。

そこで本研究では、PPS を用いた歩行者の位置決めのためのマップマッチングの 1 方法を提案する。本研究の主眼は 2 つある ; 歩行者の複雑な動きをそのままトラッキングする、上下の動きも正確に把握する ( マッチングを 3 次元で行う )。マップマッチング処理のアルゴリズムは、既存の 2 つのアルゴリズムを状況に応じて使い分けている。一方は一步ごとに周囲の障害物の輪郭線との交差判定を行うもの、他方は比較的大きなスケールでの移動軌跡を通路ネットワークと形状比較するものである。本研究では東京都目黒区にて実際に PPS を装着して屋外・屋内でのポジショニング実験を行い、得られたデータに対するマッチングを行った。その結果、三次元空間における人間行動のトラッキング及び正確な位置の把握において、この手法が有効であることが示された。

## 背景

技術の発展に伴い、利用者の正確な位置を基にした情報・サービスを提供するビジネスの発展が期待されている。こうしたビジネスにはより精度の高いポジショニング技術が求められる。既に実用化されている GPS システムはかなり高精度での位置決めが可能

であるが、地下街や高層ビルの谷間など電波の届かない場所では利用できない。こうした場所でも確実なポジショニングを続けるためには、GPS が利用できるようになるまでの補間的方法を組み合わせる必要がある。有望な方法の1つとして、ジャイロセンサーと加速度計を用いて歩数と進行方向を測定し、測定開始地点からの移動軌跡を推定する PPS の開発が進められている。しかしセンサーには誤差の蓄積という問題があり、そのままでは位置決め精度は低い。このシステムの精度を少なくとも GPS と同等レベルに引き上げるためにはマップマッチングという方法を用いる。しかし従来のカーナビゲーションなどに用いられているマッチング手法は、利用者の位置が常に地図に示された道路のネットワーク（交差点をノード、道路中心線をエッジで表現）上に来るように調整する、というものであり歩行軌跡の表現には十分でない。人が歩くのは道路上だけではなく、ネットワーク化するには複雑すぎるからだ。建物の何階にいるか、という上下方向の移動にも対応する必要がある。（図1）またタイヤの回転数やハンドル方向などに比べ、歩行者のステップや進行方向の把握は難しい。こうした問題の解決策として、本研究では道路を線ではなく面で表示した三次元の地図データベースを作成し、人間の歩行の細かい動きにも対応できるような新しいマップマッチングの手法を提案する。

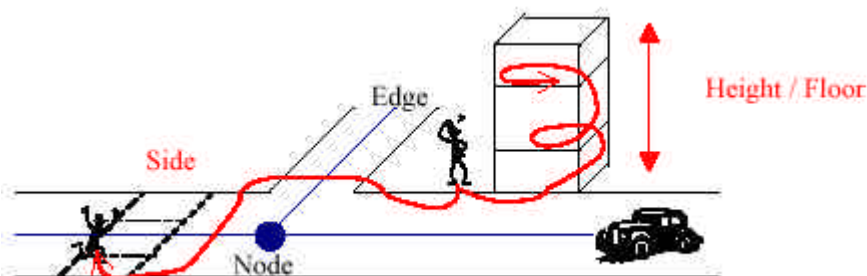


図1 . 人間の複雑な歩行軌跡

## レビュー：従来のマップマッチングアルゴリズム

はじめに従来のマップマッチングアルゴリズムを概観し、問題点を指摘したい。既存のアルゴリズムは大別して2つある。比較的長めの移動軌跡の中から特徴的なパターンを取り出し、周囲の道路ネットワーク形状と比較する。軌跡とネットワークの形状の類似度・相関の高さを計算し、最も相関の高いノード・エッジの集合に対応させる。この方法は角を曲がるなど判別しやすい行動が生じた際になされるが、利用者が特徴的な行動をせずに直進し続けている場合にはマッチング処理の間隔が長くなりすぎてしまう、という問題がある。処理間隔が長いと誤差の蓄積も大きくなりがちである。短い間隔で推定位置と周囲の道路ネットワークとの距離を計算し、最近のエッジ上に修正する。宮田（1991）は数秒単位で頻繁に計算を行うことによって、車の推定位置が道路のネットワークからそれほど離れてしまう前に正しいエッジ上に修正を行う、という方法を提案してい

る。この方法は誤差が蓄積しにくいという点では優れているが、一度異なるエッジにミスマッチングされてしまった場合、前に遡って大きく修正することが困難である。ミスマッチングは複数のエッジが集まる交差点付近で発生することが多いため、この方法は相互補完的な関係にある。そこで本研究のマップマッチングのプロセスでは、この2つのアルゴリズムを併用するというアプローチをとる。

## アルゴリズムの概要

### 原則

2つのアルゴリズムを併用するため、使用するアルゴリズムに応じて2つの異なる地図データベースを参照する； ノードとエッジから成る道路ネットワーク、 周辺の地物を境界線と領域で表したもの。これらのデータベースとは別に、時間軸上にセンサーのデータから推定された点の座標とマッチング処理による修正後の点の座標とがデータベースに蓄積される。

点が推定されたらまず周囲の地物の境界線（壁面など）との交差判定を行い、交差がない場合はそのまま地図上に表示する。つまり、歩行経路をネットワークに沿わせるのではなく、ステップ毎にある領域上においていくことになる。交差が見つかった場合は、その交差を解消し、適当な領域内に2つの点が位置するように現在の点と直前の点とを修正する。修正後の点をもとに次の点の位置決めを行う。これは頻繁に修正を行うローカルレベルでのマッチングである。

通常はこの方法を使うが、ジャイロセンサーが閾値以上の角度変化を検出した場合には、その前の角度変化が生じた場所（最初は測定開始点）からの軌跡上の全ての点を大きく修正する。周辺のネットワークのデータベースを参照し、角度変化のあった点が交差点のノードに合うように長めの軌跡全体の形状とネットワークの形状との類似性を見る。これはグローバルレベルでのマッチングである。

### ローカルマッチング

センサーからのデータによって推定された位置は、その一步前の位置座標と現在の座標とを結ぶ軌跡が、周囲の地物の外郭線との間に交点を持った場合にその交差角に基づいて修正される。交差角が閾値以下の場合、この位置推定の誤りはジャイロセンサーのドリフトエラーによって生じたものと考え、一步前の座標を中心として軌跡をその交差角分回転させる。回転修正後の座標をもとに次の位置の推定を行う。交差角が閾値以上の場合、位置推定の誤りは軌跡の長さ（歩幅等から算出）の推定のエラーと考える。この場合、軌跡は地物の外郭線に正面もしくは深い角度でぶつかる形になるからである。位置の修正は軌跡の長さの伸縮によって行う。

## グローバルマッチング

進行方向がある程度一定であるようなステップが複数続いている間に急激で大きな角度変化を検知した場合、グローバルマッチングプロセスに移行する。角度変化のあった点から数歩分は修正作業をせずに進行方向のデータを取り、進行方向が本当に変わっているかどうかを調べる。2つの長めの軌跡（1つ1つは進行方向がほぼ一定のステップの集合）がある点を境に切り替わっている場合は、その点を交差点を曲がった点とみなして、グローバルマッチングを行う。推定位置の周辺の道路ネットワークデータベースを参照し、交差点付近にある複数のエッジどうしの交差角の中から、角度変化量の最も近いエッジの組み合わせを探す。推定位置が本来あるべき可能性の高いエッジが選択されたら、角度変化点はそのエッジをつなぐノード上に来るように、軌跡の角度や長さを調整する。

## アルゴリズム

アルゴリズムは図2・3・4のフローチャートに示す。

### マップマッチングのメインプロセス（図2）

センサー及び位置データを蓄積するデータベースより、現在推定された位置の座標・時間と、一歩前の位置座標・時間を獲得する。 $(x, y, z, T)$

この2つの点を結ぶ軌跡のベクトルを計算する。

過去にドリフトエラーや距離の調整がある場合、その修正に用いた値（直前に行ったマッチングでの相関値）を使ってベクトルに初期修正を加える。

30度以上の角度変化を検出した場合はグローバルマッチングプロセスへ。  
角度変化が30度以下の場合はへ。

獲得した2点の周囲にある地物のデータベースを参照し、地物の外郭線の座標や属性を獲得。

軌跡と外郭線とが交点を持つかどうかを調べる。持つ場合はローカルマッチングへ。持たない場合は現在の推定位置の座標をそのまま返しへ。

座標値を位置データベースに加える。

### ローカルマッチング（図3）

軌跡と地物の外郭線の交点の座標が、「入り口」の属性を持つ地物の中に含まれるかどうかを調べる。含まれていた場合は修正を行わずにへ。

含まれていない場合は、最近の大きな角度変化があった点からの軌跡データ（座標・時間）を全て獲得する。つまり、現在の位置以前のステップそれぞれについて、一歩前の点とを結ぶ軌跡が成す角度を計算し、初めて閾値以上になる点を探す。

軌跡と外郭線との交点からある一定距離内かつ同一外郭線上に「入り口」オブジェクトがあるかどうか調べる。

あった場合、そのオブジェクトの中で最も現在の推定位置に近い点の座標を獲得し、その点を修正後の点としてへ。

入り口オブジェクトがない場合は交差角の大きさを調べる。交差角が90度以下の場合、は以下のプロセスAに従う。交差角が90度以上の場合にはプロセスBに従う。

プロセスA：交差角が閾値以下の場合、最近の大きな角度変化のあった点を中心として、現在の位置までの軌跡を交差角度分回転させる。交差角が閾値以上の場合、交差している外郭線から30cmの距離に来るように、最近の大きな角度変化点からの軌跡全体の長さを縮める。

プロセスB：交差角が閾値以上の場合、最近の大きな角度変化のあった点を中心として、現在の位置までの軌跡を(180 - 交差角)度分回転させる。交差角が閾値以下の場合、交差している外郭線から30cmの距離に来るように、最近の大きな角度変化点からの軌跡全体の長さを縮める。

全ての軌跡上の点をこの縮小時の比率に基づいて修正する。

で用いた回転角度と縮小比率を初期修正値として記録する。

#### グローバルマッチング (図4)

道路ネットワークデータベースより、現在の推定位置から一定距離内にある全てのノードとエッジを獲得する。

現在の推定位置及び一歩前の位置座標と、それぞれのエッジやノードとの距離を算出する。

現在の推定位置から閾値以下の距離にあるノードが合った場合、その中でも最近のノードを選択する。閾値以下の場合にはへ。

一歩前の点から最近のエッジを獲得する。

選択されたノードに接続する複数のエッジそれぞれについて、一歩前の点に最近のエッジとの間でなす角を調べる。ここで算出された角度と角度変化量とを比べ、最も近い角度を持つエッジ上に現在の点があるとみなす。

最近の大きな角度変化があった点からの軌跡データ(座標・時間)を全て獲得する。つまり、現在の位置以前のステップそれぞれについて、一歩前の点とを結ぶ軌跡が成す角度を計算し、初めて閾値以上になる点を探す。最近の大きな角度変化のあった点からの軌跡を回転・収縮して、現在の点を選択されたノードの座標に修正しへ。

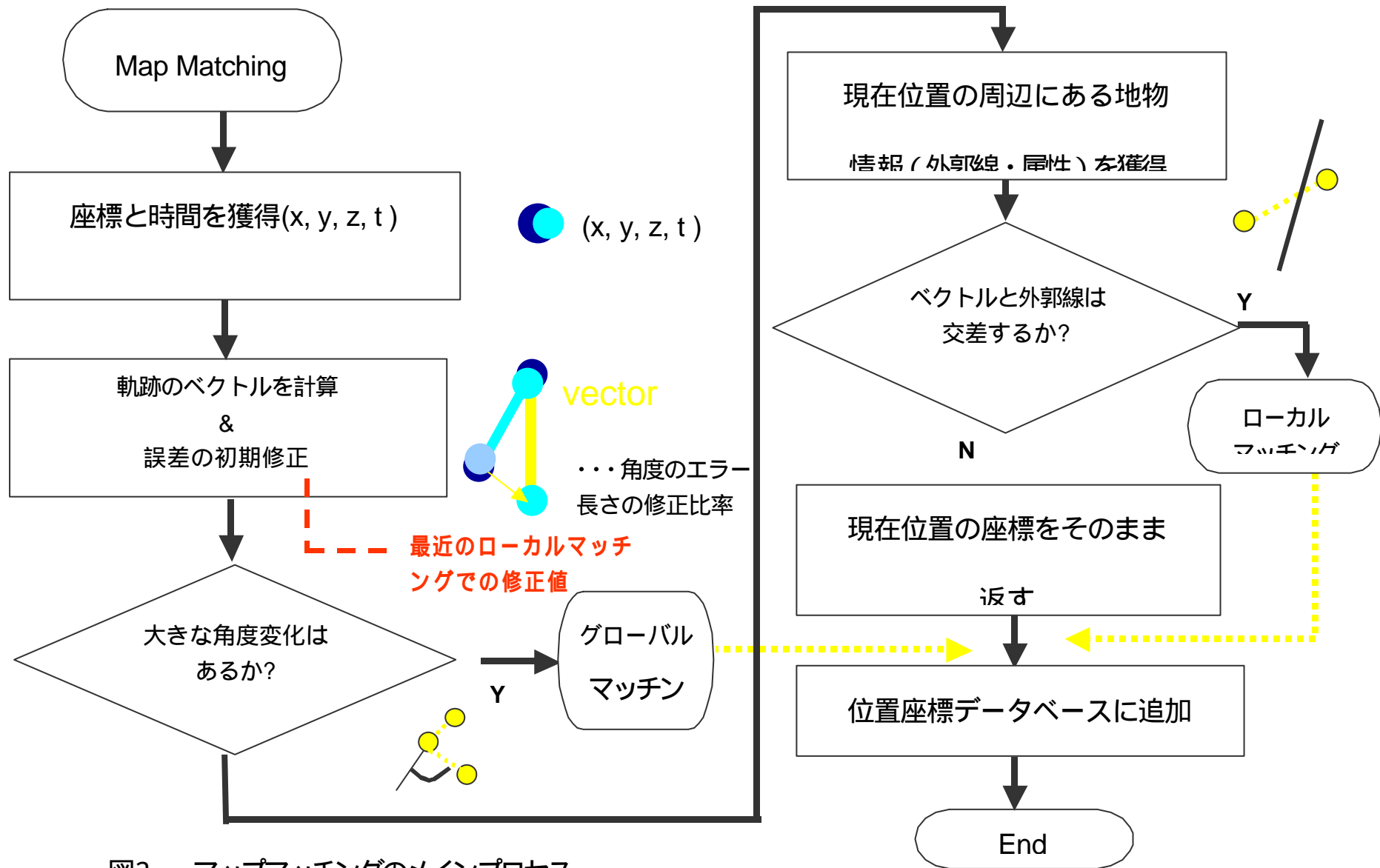


図2. マップマッチングのメインプロセス

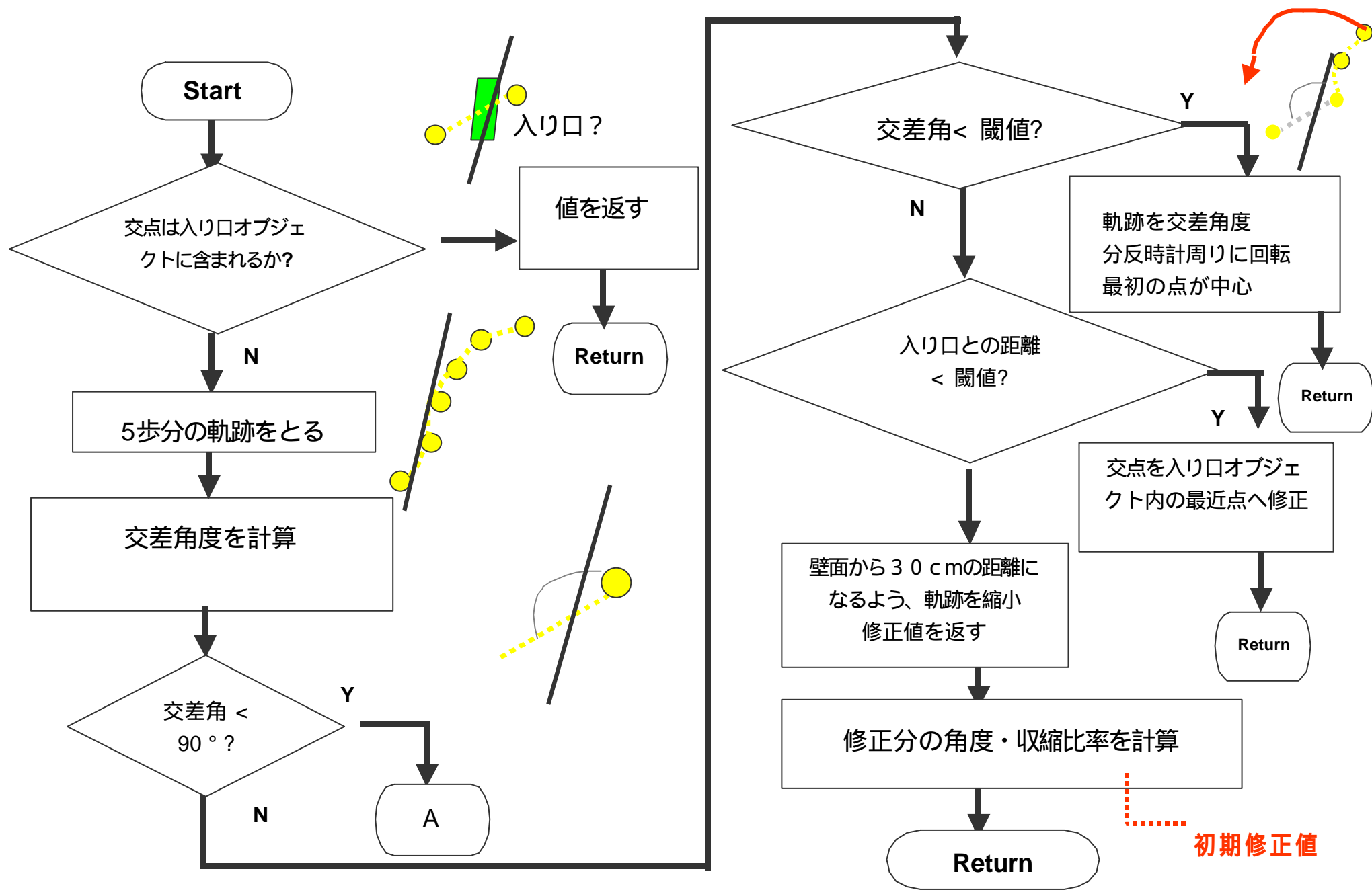


図3. ローカルマッチング

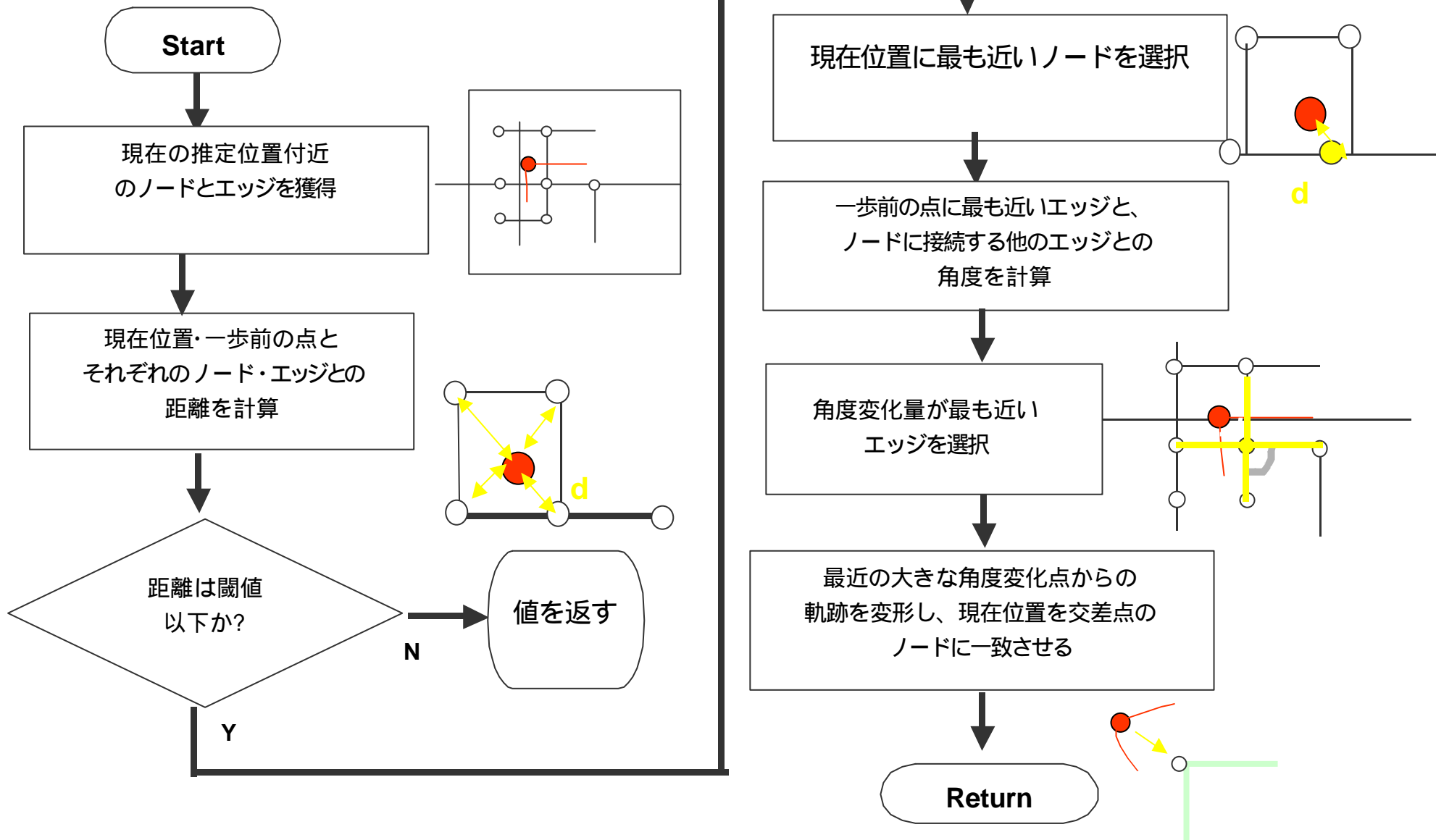


図4. グローバルマッチング



## 実験結果・考察

上記のアルゴリズムを用いて、実際に歩行者に PPS をつけて 3 次元の行動をトラッキングした際に得られたデータのマップマッチングを行った。実験場所は東京都目黒区にある東京大学生産技術研究所の建物のうち 5 階・6 階部分の 2 フロアを用いた。(図 5・6) 東京大学の学生 6 人がこの実験に被験者として参加した。PPS によるトラッキング、マップマッチングの結果とともに、被験者の歩行運動の差に基づく測定上の困難や違いは見られなかったため、ここでの結果に関しては 1 人のデータのみ記載する。

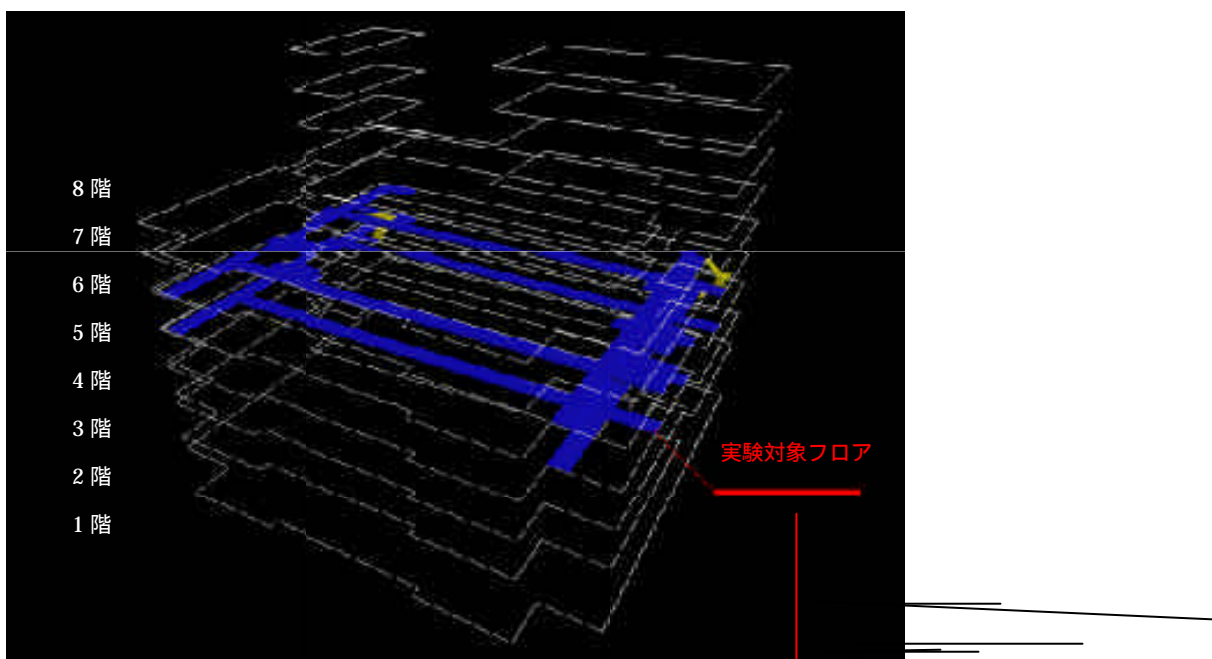


図 5 . 東京大学生産技術研究所 建物透視図 (東面)

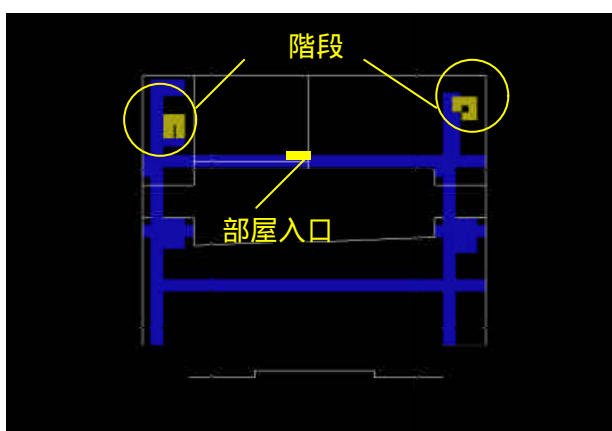


図 6 . 東京大学生産技術研究所 建物平面図 (5・6階部分共通)

図7・8・9は、PPS から獲得した推定位置の軌跡とマップマッチングによって修正された歩行軌跡の両方を示している。図7では5階部分の1フロアを、長方形型の廊下に沿って歩いている。図8は、それに廊下沿いの部屋に入るという行動を付加した場合である。図9は3次元のマッピングの例で、図4における行動を2フロアにまたがって行い、階段による上下移動を行ったものである。いずれのマッチング例においても、センサーによる推定位置を用いた歩行軌跡（赤線）やマップマッチング処理により修正された歩行軌跡（青線）それぞれが部屋や廊下の外壁とどのような位置関係にあるかを見ると、本研究で提案した2つのプロセス併用アルゴリズムの有効性は明らかであると言える。

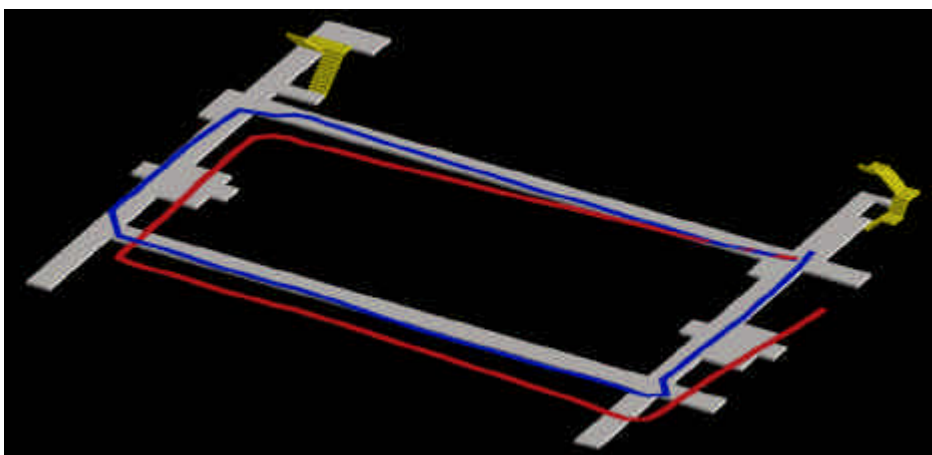


図7 1フロア歩行実験結果

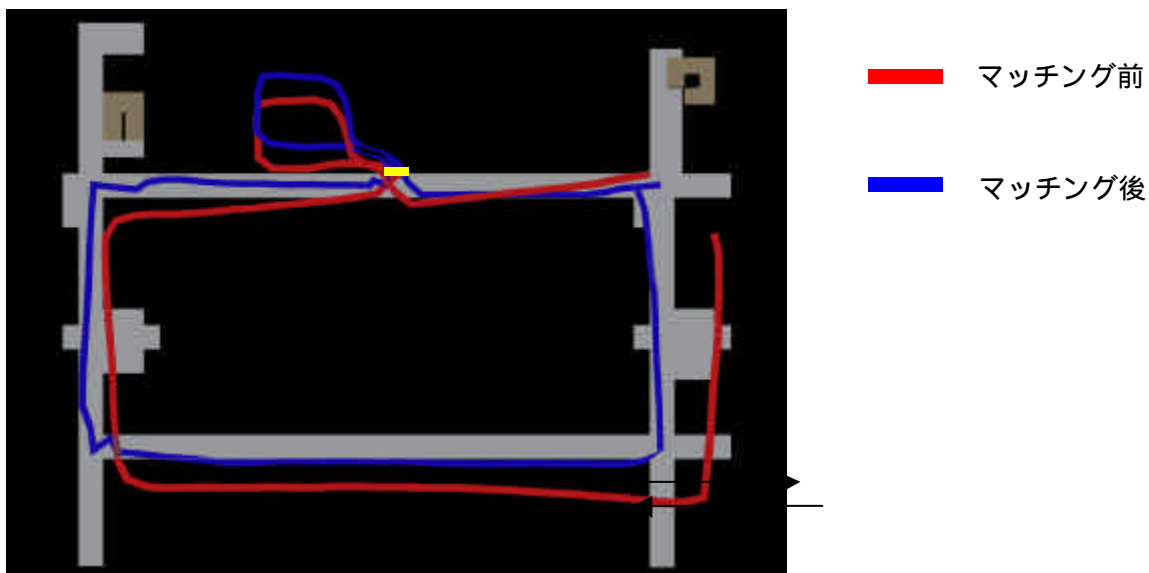


図8 1フロア歩行実験結果（入室行動あり） 俯瞰図

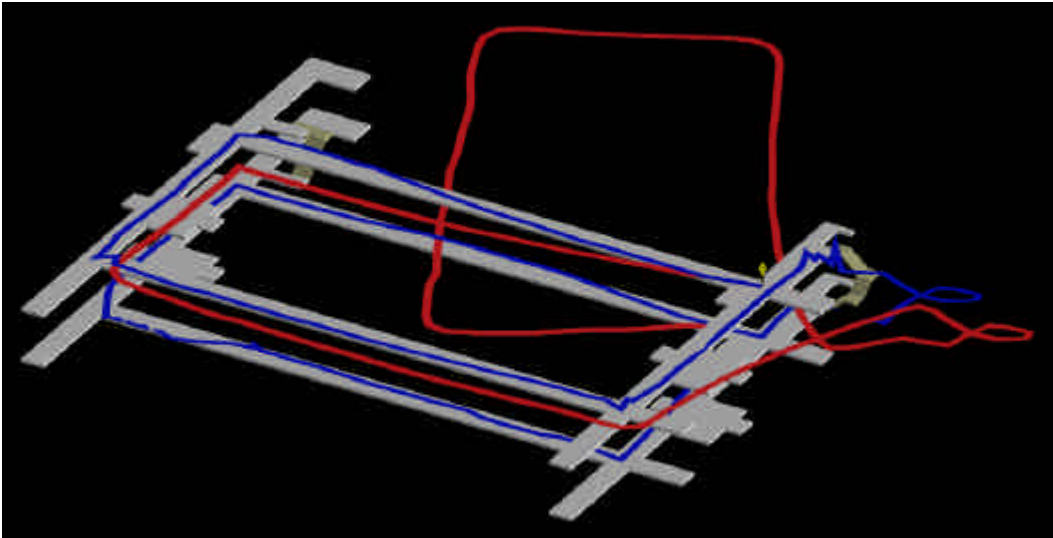


図9 2フロア歩行実験結果（階段による上下移動）

図9では階段部分でマップマッチング後もやや実際とは食い違う軌跡が見られる。これは階段部分の地物データベースにおけるノードやエッジ数の不足が原因であると考えられる。階段の一つ一つの段差や階段室の外壁の形状は複雑であるため、データベースをどのレベルまで現状に忠実に作りこむかは、マッチングの精度とデータベース作成の労力・コストとのバランスによる。本研究では階段という空間内での歩行運動は上下の移動さえトラッキングできればよい、という前提をおいたが、さらにマッチングの精度をあげるには地物の外郭線とネットワーク構造とをより効率的に結合する仕組みを考える必要があるだろう。

## 参考文献

宮田武雄、古沢和美、塚本幸助、1991 T.IEEE JAPAN, vol.1.111-C, No.10, pp.83-89  
自動車ナビゲーションのためのマップマッチングの一手法

宮田武雄、古沢和美、塚本幸助、1991 T.IEEE JAPAN, vol.1.111-C, No.10, pp.83-89  
マップマッチングにおける誤り検出法

宮田武雄、古沢和美、塚本幸助、1994 茨城大学工学部研究論文集, vol.42, pp.109-115  
低精度角度検出計を用いたマップマッチングの一手法