

# GPSによる旅行者位置の測位時間間隔と 経路特定率の関係についての考察 -都市内街路における観光客の 移動軌跡の特定に向けて-

中塚 典孝<sup>1</sup>・清水 哲夫<sup>2</sup>・相 尚寿<sup>3</sup>・片桐 由希子<sup>4</sup>

<sup>1</sup>首都大学東京博士前期課程 大学院都市環境科学研究科観光科学域 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

E-mail: ynwa0423@gmail.com

<sup>2</sup>正会員 首都大学東京教授 大学院都市環境科学研究科観光科学域 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

E-mail: t-sim@tmu.ac.jp

<sup>3</sup>首都大学東京助教授 大学院都市環境科学研究科観光科学域 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

E-mail: hisaai@tmu.ac.jp

<sup>4</sup>首都大学東京助教授 大学院都市環境科学研究科観光科学域 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

E-mail: yukiko-k@tmu.ac.jp

本研究では大規模な位置情報から、都市内街路における周遊の際の利用経路を効率的に特定するために必要な測位時間間隔を探索的に明らかにするために実施したものである。具体的には、都市内における格子型街区を仮想モデルとして設定し、その上を旅行者を移動させ、定めたルールによって位置情報が測位されたとして経路上に測位データをプロットすることで、GPSの測位時間間隔と経路特定率の関係性をシミュレーション分析によって明らかにした。経路を特定できる条件を導出し、また測位誤差を考慮したシミュレーション分析を行い、誤差の影響により経路特定率が下がることまでを把握した。

**Key Words :** GPS, observation frequency, route deification

## 1. 本研究の背景と目的

ICT技術の発達により、携帯電話のGPS機能を用いた交通行動を観測するモニタリング手法の開発が試みられ、これらを用いた学術研究や周遊行動の分析が増えている<sup>1)2)</sup>。例えば、生形ら<sup>3)</sup>はGPS携帯電話の位置情報を基に観光客の来訪頻度、滞在時間、周遊行動の実態分析を行い、日帰り観光の実態、周遊観光の概観を把握した。観光庁<sup>4)</sup>は株式会社ゼンリンデータコム社の「混雑統計<sup>®</sup>」を活用することにより、観光客のODデータや滞在场所、来訪者の行動、幹線交通の移動経路などの分析を行っている。その一方で都市内街路における周遊行動の移動経路の特定に関する研究は十分ではない。

このような周遊行動を分析するためには高頻度な測

位時間間隔が求められる。しかし、広範囲に用いられるようになった「混雑統計<sup>®</sup>」は測位時間間隔が5分以上と広めに設定されている。GPS搭載携帯電話はプローブカーと異なり、GPS軌跡を収集・送信することが機器の本来の役割ではないため、GPS測位・データ送信によるバッテリーの消費は日常使用とデータ観測の足かせとなる。例えばこの「混雑統計<sup>®</sup>」で蓄積される大量のデータを都市内の移動経路を特定するために有効活用するには、データの観測・送信頻度と特定精度のトレードオフを考える必要がある。しかし都市内街路における移動経路を特定するための最適な測位時間間隔は十分に分析されていない。

本研究では大規模な位置情報から都市内街路における周遊の際の利用経路を効率的に特定するために必要な測

位時間間隔を探索的に明らかにすることを目的とする。具体的にはGPSの測位間隔と経路特定率の関係性を仮想空間によるシミュレーションによって分析する。

## 2. 研究手法

本研究では、格子型街路の仮想ネットワークを設定し、その上に旅行者を発生させ、旅行者が等速度で移動するものとして、GPSロガーで一定の時間間隔でその位置座標を記録する。測位時間間隔を変化させ、その経路特定率を計測する。

### (1) シミュレーションの方法

格子型仮想ネットワークは、街区数  $5 \times 5$ 、長さの比が1対1の正方形街区モデル (図-1) と長さの比が2対1の長方形街区モデル (図-2) を考える。旅行者はスタート地点からゴールまでを最短距離かつ一定速度で移動するものとする。

$5 \times 5$  の街区で最短距離を移動する経路は 252 通りある。このネットワークに 10000 人の旅行者を発生させ、経路特定率を算出するものとした。経路に 1~252 番までナンバリングし、1~252 番までの乱数を 10000 個発生させ、旅行者の経路を割り当てる。

本研究では、以下の 2 つの視点から経路特定率を算出する。

- 完全に経路が特定可能な旅行者の数：全旅行者のうち、スタート地点からゴール地点までの移動経路をすべて特定することができる旅行者の数。
- 全旅行者による平均経路特定率：各旅行者について全長のうち、特定できるリンク長の割合を算出し、全旅行者で平均する。

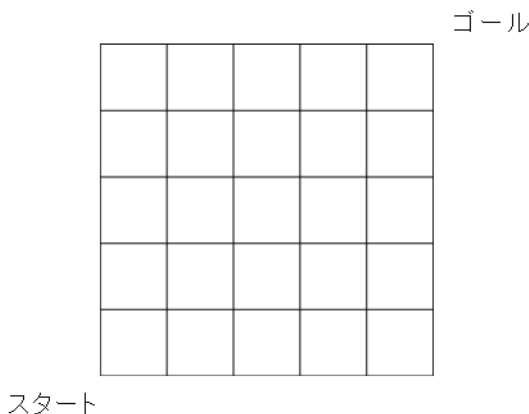


図-1 正方形街区モデル

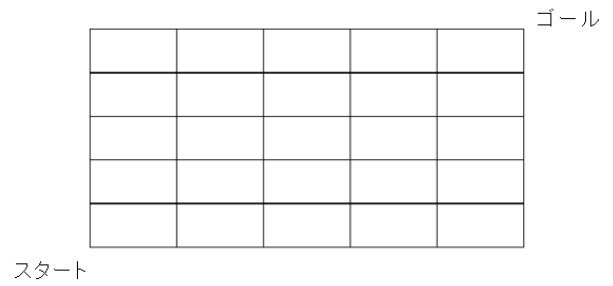


図-2 長方形街区モデル

### (2) シミュレーション方法

今回の研究では、以下の3パターンでシミュレーションを行う。

#### a) 測位時間間隔とリンク長を無次元化したシミュレーション分析

様々な街区長、移動手段にも適用可能とするために、正方形街区モデルの各リンク長と、長方形街区モデルの短辺のリンク長を1として、測位時間間隔を  $d (>0)$  とする。仮に位置の測位時間間隔が1分の場合、旅行者が徒歩で等速  $4\text{km/h}$  で移動すると、1分間で約  $67\text{m}$  進むこととなる。リンク長が  $67\text{m}$  であれば、ちょうど交差点で位置が測位されることになる。このように位置がすべて隣接する交差点で測定される場合の時間間隔を  $d=1$  とする。

例えば、図-3の経路を旅行者が通過したと仮定した場合の、測位間隔が  $d=1$  (図-4)、 $d=2$  (図-5)、 $d=2.1$  (図-6) は以下のように表される。 $d=1$ では図-3の経路を完全に特定することが可能であり、 $d \geq 2$ では経路の完全な特定は不可能である。分析では  $d$  を  $0.1$  から  $0.1$  ずつ増加させる。

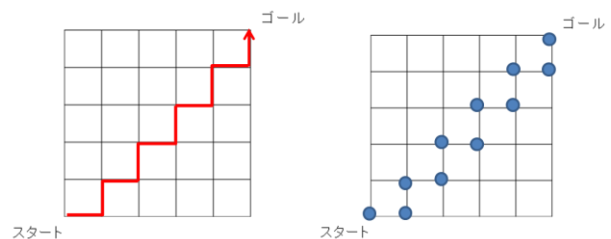


図-3 旅行者の移動経路(例) 図-4  $d=1$ の測位位置

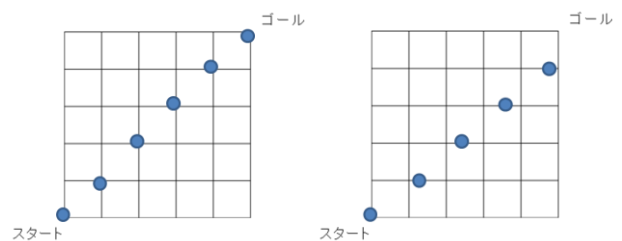


図-5  $d=2$ の測位位置 図-6  $d=2.1$ の測位位置

#### b) リンク長と速度を設定したシミュレーション分析

a) のシミュレーションに対して現実の街路を模倣として、リンク長と旅行者の速度を設定した分析を行う。リ

リンク長を正方形はリンク長を120m（東京大手町をモデル）、80m（大阪市心斎橋）とし、長方形の短辺のリンク長を35m（東京浅草）、60m（横浜市関内）とした。移動速度は徒歩の平均速度4km/hに設定する。

c) 測位誤差を考慮したシミュレーション分析

実際のGPSの測位データの、機器の影響や周辺条件等による測位誤差を考慮するため、確率的に測位点に誤差を与えてシミュレーションを行う。誤差を含むデータは以下のように（図-7）作成した。

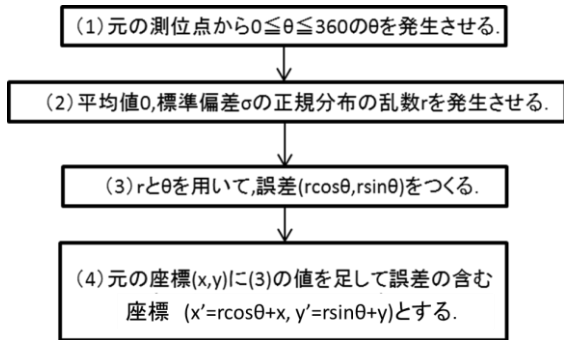


図-7 誤差を含むデータの作成手順

なおGPSの測位誤差は、一般に平均値0の正規分布に近似でき、標準偏差は既往研究<sup>5)</sup>を参考に設定した15mである。街区条件はb)の条件に合わせ、正方形のリンク長を120m、長方形のリンク長を60mとした。移動速度は徒歩の平均速度である4km/hとする。なお誤差を考慮する場合、リンク上でデータが測位されないケースが出てくるため、どのリンクを通ったデータなのかを判定するために、測位データを最近隣リンクへのマッチングを行う必要がある。本研究では以下（1）（2）（3）の手順（図-8）でマッチングを行う。

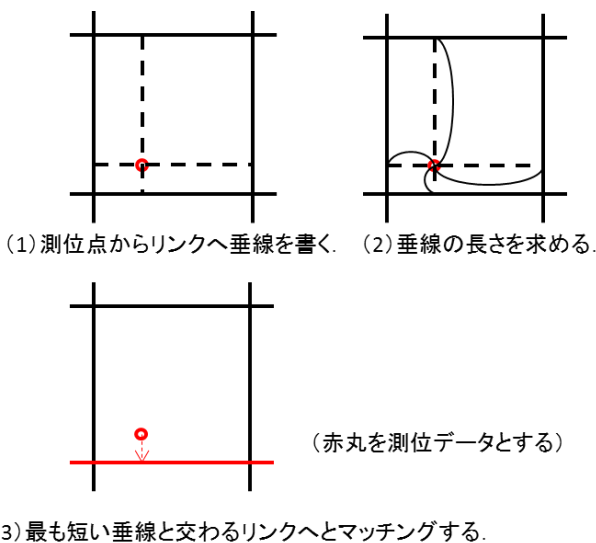


図-8 マッチング方法

なお垂線の長さが等しくなった場合の測位データ（図-

9）はマッチング不可能として削除した。街区モデルの外にプロットされた測位データ（図-10）は長さ関係なく最近隣への街路へマッチングさせるが、図-11の斜線範囲に落ちた測位データについては、マッチング不可能として削除した。

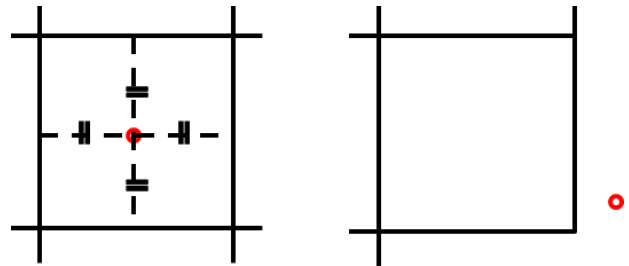


図-9 垂線の長さが等しいケース

図-10 モデルの外で測位されたケース

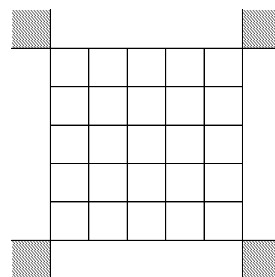


図-11 データ削除の範囲（斜線部分）

3. 結果

(1) 測位時間間隔とリンク長を無次元化したシミュレーション分析の結果

正方形街区の場合は  $d < 2$ 、長方形街区の場合は  $d < 3$  であれば、どの経路を通っても 100%特定できる（図-12）。また図-13 より、移動経路を 100%特定したい場合正方形においては測位時間間隔が  $d=0.1$  でも  $d=1.9$  でも、長方形においては測位時間間隔が  $d=0.1$  でも  $d=2.9$  でも変わらないということが言える。また、正方形街区の場合は  $d \leq 2.4$ 、長方形街区の場合は  $d \leq 3.4$  であれば走行経路を 80%前後特定可能であり、場合によっては高頻度な測位間隔にする必要はなく、データ情報量や通信料を低下させることができるため、観測機器のバッテリーや通信網にとって大きなメリットとなる。

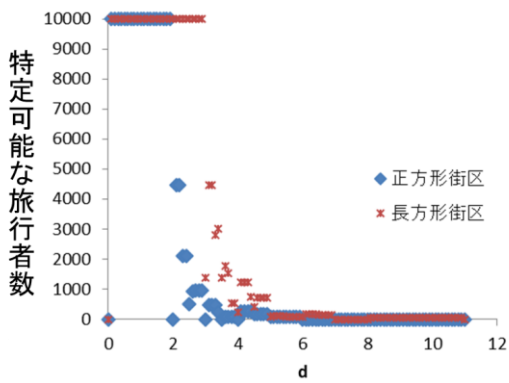


図-12 経路が特定可能な旅行者の数

図-14 経路が特定可能な旅行者の数（正方形）

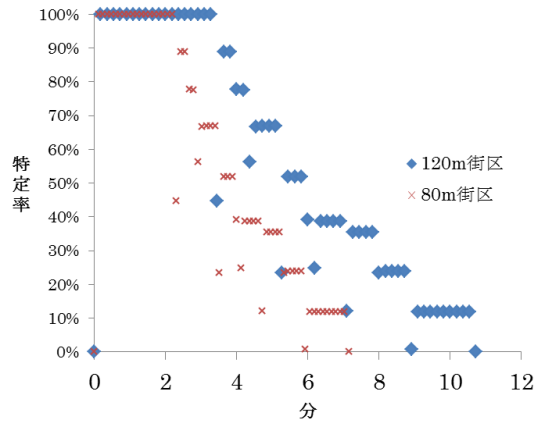


図-15 平均経路特定率（正方形）

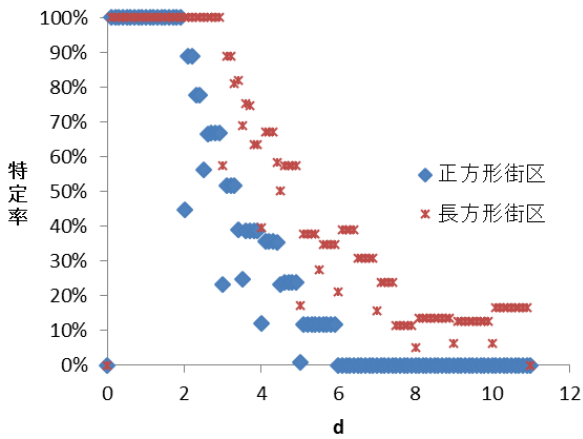


図-13 平均経路特定率

表-1 リンク長 120mの結果

正方形	リンク長 120m	大手町	
特定可能なサンプル数	10000	4455	462
特定率	100%	80%	50%
測位間隔	3分27秒	4分22秒	6分

表-2 リンク長 80mの結果

正方形	リンク長 80m	心齋橋	
特定可能なサンプル数	10000	4455	462
特定率	100%	80%	50%
測位間隔	2分18秒	2分55秒	4分

## (2) リンク長と速度を設定したシミュレーション分析の結果

正方形街区の結果を図-14、図-15、表-1、表-2に、長方形街区の結果を図-16、図-17、表-3、表-4に示す。正方形街区、長方形街区共に、経路を特定するためには、街区の長さが短くなるにつれて、測位時間間隔を短くする必要があることがわかる。またこの結果より、本研究のシミュレーションにおける、時速4kmの徒歩で移動している場合に経路の特定を確実にするための必要な測位間隔  $d_{max}$  (秒) は、正方形で  $d_{max}=1.725 \times$  リンク長 (m) 1対2の長方形で  $d_{max}=2.6 \times$  リンク長 (m) で計算できる。

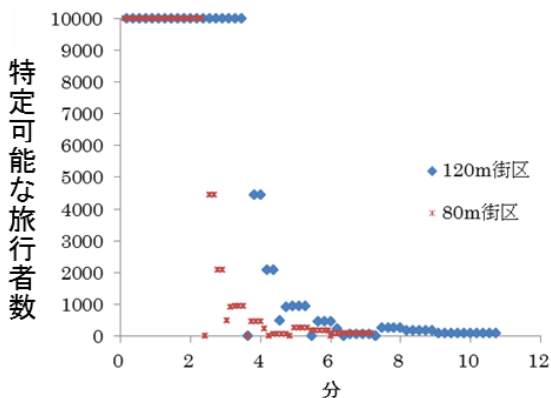
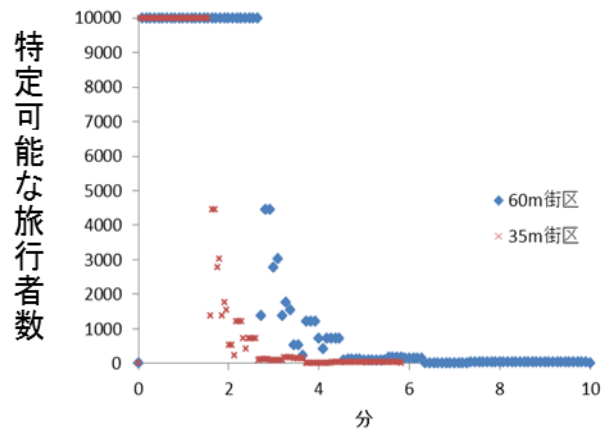


図-16 経路が特定可能な旅行者の数（長方形）



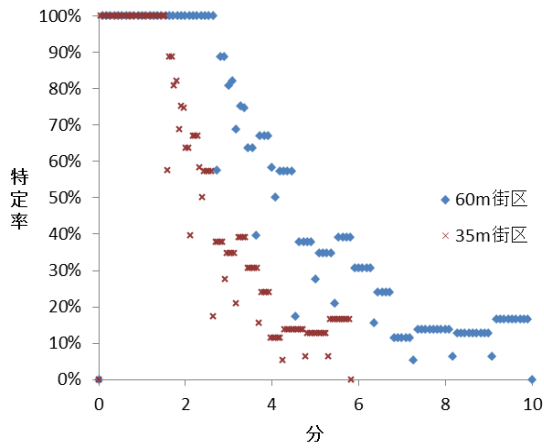


図-17 平均経路特定率（長方形）

表-3 リンク長 60mの結果

長方形	リンク長 60m	関内	
特定可能なサンプル数	10000	1773	715
特定率	100%	80%	50%
測位間隔	2分36秒	3分16秒	4分27秒

表-4 リンク長 35mの結果

長方形	リンク長 35m	浅草	
特定可能なサンプル数	10000	1773	715
特定率	100%	80%	50%
測位間隔	1分31秒	1分54秒	2分36秒

### (3) 測位誤差を考慮したシミュレーション分析の結果

正方形街区の結果を図-18、図-19、表-5に、長方形街区の結果を図-20、図-21、表-6に示す。

誤差がない場合（表-1）（表-3）と見比べてみると、誤差を与えることにより全体的に特定率は下がることがわかる。これは測位誤差が大きく、元の測位点から大きくずれたことで、本来通行したはずのリンクから違うリンクへとマッチングされたことが原因であると考えられる。

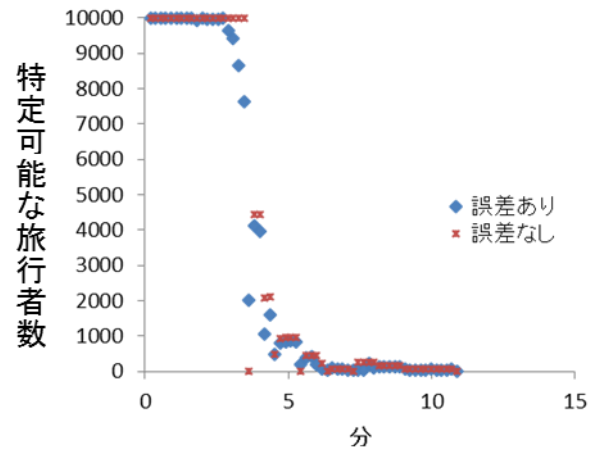


図-18 測位誤差を含んだ場合の経路が特定可能な旅行者の数（正方形）

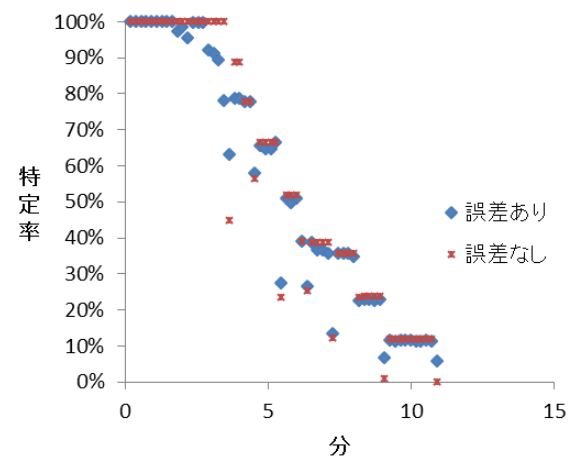


図-19 測位誤差を含んだ場合の平均経路特定率（正方形）

表-5 測位誤差を含んだ場合の結果（正方形）

正方形	120mリンク長	大手町	
特定可能なサンプル数	10000	3968	207
特定率	100%	80%	50%
測位間隔	2分43秒	4分	6分

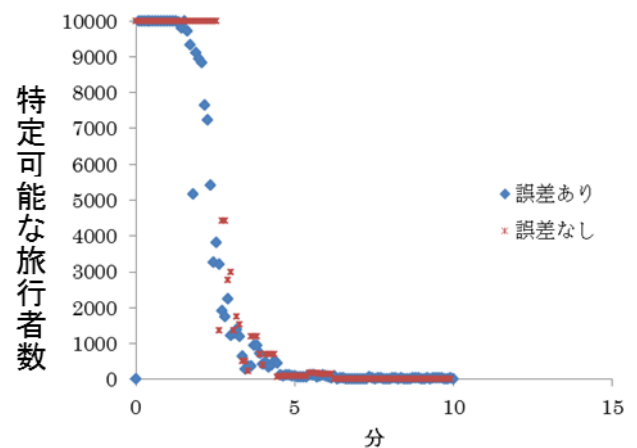


図-20 測位誤差を含んだ場合の経路が特定可能な旅行者の数  
(長方形)

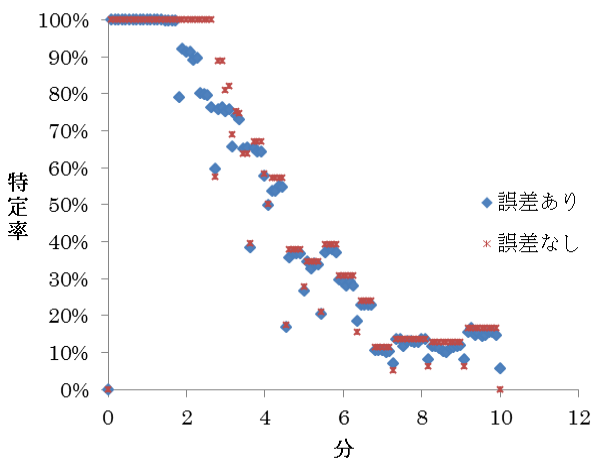


図-21 測位誤差を含んだ場合の平均経路特定率 (長方形)

表-6 測位誤差を含んだ場合の結果 (長方形)

長方形 60m リンク長	関内		
特定可能なサンプル数	10000	1278	444
特定率	100%	80%	50%
測位間隔	1分43秒	3分05秒	4分27秒

#### 4. 考察

前章の各シミュレーション分析の結果をまとめると、旅行者の周遊行動の経路を特定するのに最小限必要な測位時間間隔は、旅行者が街区における交差点を当刻時間内で2ヶ所通過することができないような時間設定が望ましいと言える。交差点を2ヶ所超えてしまうことで通過したとされる経路の選択肢が増えてしまい、特定率が大きく低下する。次に誤差の影響により特定率が低下するため、経路特定率を高めるためには測位時間間隔を小さくする必要がある。

また、本研究のシミュレーションにおける、正方形街区と長方形街区における旅行者の周遊行動を把握するための必要な測位間隔は以下のとおりである(表-7)(表-8)。現在の「混雑統計<sup>®</sup>」のような5分以上の測位時間間隔は、正方形街区ならば約175m以上、長方形街区ならば約115m以上と比較的大きな街区でなければ経路を特定できず、本研究のモデルとした地域(大手町、栄、浅草、関内)の旅行者の周遊行動の経路を把握することは困難であると言える。加えて誤差を考えるとさらに測位間隔を短くする必要があるため、GPSデータを都市内の周遊行動分析に有効活用するためには、現在の低頻度な測位間隔を改善することが望ましい。

表-7 正方形街区における必要な測位間隔

街区長(m)	50	80	100	120	150	175	200
必要測位時間	1分26秒	2分18秒	2分52秒	3分27秒	4分18秒	5分	5分45秒

表-8 長方形街区における必要な測位間隔

街区長(m)	35	50	60	100	115	150
必要測位時間	1分31秒	2分10秒	2分36秒	4分20秒	5分	6分30秒

#### 5 結論

本研究では、仮定の正方形街区、長方形街区それぞれに対してGPSの測位時間間隔と経路特定率の関係性をシミュレーション分析によって明らかにすることができた。経路を特定できる条件を導出し、また測位誤差を考慮したシミュレーション分析を行い、誤差の影響により経路特定率が下がることまでを把握した。

今後の課題として、本研究のシミュレーション分析は初期段階として単純な街区を設定したが、現実には信号待ちや公園の通過など、様々な行動を考慮する必要がある。また周辺の建造物の立地状況で誤差の標準偏差も変わってくると予想されるため、これらの条件を考慮してシミュレーション分析を行うことも必要である。また実際に今回のモデルとした地域において実際のGPSデータによる経路特定率を分析し、本シミュレーションの分析結果の妥当性を検証する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 柴崎亮介, 羽田野真由美, 上山智士, 秋山祐樹, Teerayut Horanont: GPSデータを用いた商業集積地来訪者の行動パターン抽出方法の検討, 地理情報システム学会講演論文集, Vol.21, 2012
- 2) 大野夏海, 関本義秀, 中村敏和, Horanont Teerayut, 柴崎亮介: 東京都市圏における長期のGPSデータを用いた移動経路推定に関する研究, 地理情報システム学会講演論文集, Vol.21, 2012
- 3) 生形嘉良, 関本義秀, Horanont, T.: 大規模・長期間のGPSデータによる観光統計調査の活用可能性—石川県を事例に一, 土木学会論文集, 69,5,345-352, 2013
- 4) 観光庁: 観光ビッグデータを活用した観光振興 <http://www.mlit.go.jp/common/001045125.pdf>
- 5) 安田明夫, 平田 誠, 奥田邦晴, 今津隼馬: GPSにおけるGDOPと測位誤差分布について, 日本航海学会第78回講演会, 1989

# AN ANALYSIS OF RELATION BETWEEN OBSERVATION FREQUENCY OF TRAVELER'S POSITION DATA AND RATE OF ROUTE IDENTIFICATION

Noritaka NAKATSUKA, Tetsuo SHIMIZU, Hisatoshi AI and Yukiko KATAGIRI

The purpose of this study is to clarify an appropriate observation frequency required for identifying traveler's trajectories an urban road network through simulation analysis. In the simulation analysis we set virtual road networks, and provide travelers on the networks. The positions of travelers are detected in a designated observation frequency. The main results of this study is that clarify the appropriate observation frequencies required for identifying travelers trajectories precisely.