

# GPS ログを用いた歩行散策行動の自動判別：

## 歩行速度の個人差を考慮した判別ルール修正

### Auto-detection of strolling behavior using GPS trajectory: Accuracy enhancement considering individual difference of walking speed

相 尚 寿 \*・直井 岳人 \*・倉田 陽平\*・田中 昂助 \*\*

Hisatoshi Ai \*, Taketo Naoi \*, Yohei Kurata \*, Kosuke Tanaka \*\*

#### 摘 要

本研究では、携帯端末の利用者に対する適切な時機の観光情報配信実現に向け、GPS ログを用いた散策行動の自動判別ルールの開発を目標とする。全体よりやや遅い歩行速度が一定時間以上継続し、その後や途中に立ち止まりを含むという、既往研究で提案された判別ルールの基本的な枠組みは継承しつつ、平均歩行速度の個人差を加味することで判別に用いる速度の閾値を被験者ごとに個別化し、誤検出が少なく検出漏れも少ない判別ルールの開発を試みる。従来の提案手法では検出漏れを抑制できるものの、一部の被験者で誤検出が増えるという課題を克服するため、本研究では被験者別に散策行動中と散策行動以外における歩行速度の度数分布を観察し、それを反映させた判別ルールを提案した。しかし、歩行速度のみでの判別精度向上には限界があると示唆されたため、他のセンサー情報の活用が待たれる。

#### I. はじめに

携帯電話が広く普及し、その携帯電話にGPSセンサーが標準搭載されるようになったことから、個人レベルの長期間にわたる連続的な位置情報が蓄積可能となってきた。プライバシー保護の観点から、これらの位置情報の利用を完全に一般開放することは不可能であるものの、個人が特定されない形での利用や、当該携帯電話を利用する本人に対するサービス向上に限定した利用であれば実現可能性があるため、このような位置情報の分析や活用に関する研究が進められている。

その例として、個々人の時系列的な位置情報の集合である移動軌跡データを用いたトリップエンドとトリップの自動抽出(例えば大野ら, 2012 や羽田野ら, 2012)、移動中の交通手段の推定(例えば堀口ら, 2006 やGong et al., 2011)など交通行動調査への応用が挙げられる。これらの研究は従来のパーソントリップ調査や大都市交通センサスと同等の情報取得が可能であり、一方で調査用紙の配布や回収のための人的、時間的コストの大幅な削減や継続的な実態把握、交通施策の効

果測定や過去に遡っての実態把握などが可能になると期待されている(相, 2014)。

利用者本人へのサービスの例としては、位置情報に基づく観光情報提供の深度化が考えられる。スマートフォンに代表される携帯端末の特長として、位置情報に基づくサービスが可能なこと、搭載されたアプリ側から能動的にユーザに情報を通知できることが挙げられる。これらを利用して、利用者が一定の地域内にいるときだけ使える機能、地域内のクーポンや情報を配信する機能を備えた観光アプリが様々に開発されているものの、現状では地域ごとにアプリをインストールする必要があり各アプリのダウンロード数は必ずしも多くない(倉田ら, 2015)ため、乗り換え案内や地図閲覧と同様に全国で共通して使える観光情報配信アプリが実現すれば有用性は高いと考えられる。しかし、位置情報に基づく配信時機の判定だけでは、通勤通学途中や用務先への移動中などにも情報配信が行われ、必ずしも好機を捉えて適切な情報提供が行われるとは限らない。必ずしも必要ではない状況下で観光情報の提供が繰り返されると、利用者が当該サービスは不要な情報が多いと認識して煩わしいと思ったり、情報提供を読み飛ばしたりする可能性が高くなると考えられる。

\*首都大学東京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

\*\*首都大学東京大学院観光科学域博士前期課程 2014 年度修了

そこで相ら(2014, 2015a, 2015b)の一連の研究は、歩行には、(1)最寄り駅から自宅までのように特に情報が必要としない場合、(2)旅行中の最寄り駅から宿泊施設までのように道案内が歓迎される場合、(3)歴史的町並みや公園内などで目的地を定めず見物するときのように周辺情報の提供が歓迎される場合などがあると整理し、歩行中と推定される移動軌跡から(3)に該当する散策行動とそれ以外とを自動的に判別するルールの提案を行った。携帯端末の様々なセンサー情報を用いて所持者の移動状態の判別を試みた研究は多く見られるものの(例えば Han et al., 2012)、徒歩移動の細分化を試みる事例は管見の限り見られない。散策行動を携帯端末側で自動判別できれば、周辺の観光施設や飲食店の情報提供、割引などの優待提供の適切な時機の抽出に応用でき、観光者の満足度向上や観光地側の効率的なプロモーションに寄与すると期待される。本研究は相ら(2014, 2015a, 2015b)の成果を発展させ、GPS ログに基づく散策行動の自動判別の精度向上を目的とする。

## II. ログデータ取得のための歩行実験の概要

相ら(2014)では20歳代男女11名を対象として2012年11月の週末に、相ら(2015a, 2015b)では大学生男女30名を対象に2014年11月または12月の週末に、いずれも埼玉県川越市で行った歩行実験で取得したデータを用いている。被験者に対しては、川越駅での概要説明の後に駅を出発して(1)クリアモール商店街を北端まで通り抜け、(2)伝統的建造物群保存地区を經由するという条件を満たせば以降の経路選択は被験者の自由とし、(3)川越市役所に2時間後に集合するよう依頼した。歩行軌跡データの取得のため、被験者には測位間隔を1秒に設定したQstarz社のGPSロガーBT-Q1300を携



図1 実験対象地周辺地図

行してもらい、同時に、散策中に周辺の観光情報を過度に調べること、被験者間で連絡を取り

合って分合流することは避けるよう依頼した。なお、店への立ち寄り、短時間の休憩、道中での写真撮影については制限を設けていない。さらに、2014年の歩行実験では、終了直後に被験者自身の想起によって、歩行中の閲覧用として被験者に配付した地図に散策したと思う区間の記入を依頼した。その際に同行者がいた場合も相互の相談は認めないこととした。

なお、GPS ログに記録されている速度には誤差や本体の揺れが含まれると考えられるため、各ログについて前後各10秒を含んだ移動平均を算出し、その値を当該ログの時点での速度として用いることとした。

## III. 散策行動の自動判別ルール構築の概要と課題

相ら(2014, 2015a, 2015b)の一連の研究では、上記の実験で取得した歩行軌跡のGPSログと、被験者による想起と地図への記入で得られた散策区間の教師データをもとに、散策行動の自動判別ルール構築を試みた。

しかし、判別ルールの構築は容易ではない。一般的には、予め散策行動中か否かが判明している歩行軌跡データすなわち教師データをもとに適合度の高い判別ルールを構築するものの、I章で述べた適切な時機での観光情報配信を実現するためには、即時的、即応的な散策行動の判別が必要であり、時間解像度の高い教師データが求められる。しかし、どの瞬間が散策であったかを逐一被験者に記録させると、その煩わしさや記録に要する時間によって行動軌跡そのものが本来の状態から変化する可能性があること、事後的に散策していた区間を精確に想起するのは困難であることなどから、時間解像度の高く精確な散策行動の教師データ入手は困難である。

これらの課題に対して、相ら(2014, 2015a, 2015b)の一連の研究では、2つの解決策が試みられている。第一に、散策行動を直接的に記録するのではなく、その代替と考えられ、かつ自動的に記録できる行動を教師データとして援用するもの、第二に、散策行動区間を事後的ではあっても比較的記憶が鮮明であると考えられる歩行直後に被験者自身が想起し、記録するものである。

### 3.1 散策行動の代替となる行動を用いる方法

相ら(2014)では、第一の方法として、被験者に歩行実験中の気になった光景や景色の写真撮影を依頼した。歩行中に興味関心を惹起されて写真撮影を行う行動と、散策を開始する心理的な状況とに共通項があると仮定したもので、写真撮影地点の前後を散策行動区間とし

て、散策行動の判別ルールの構築を試みた。この判別ルールは、1秒ごとに取得されているGPSログに対して適用され、当該ログが散策行動区間に含まれるか否かを判別する。

歩行実験の結果をもとに、相ら(2014)では被験者ごとの歩行速度の時系列変化と写真撮影時刻を表したグラフ(図2)と、速度域ごとに色分けされたGPSログと写真撮影地点をプロットした地図をもとに、散策行動の抽出条件として「全体的な歩行速度よりもやや遅い0.5~2.0km/hの歩行が60秒以上にわたって継続しており、その途中に0.5km/h未満の立ち止まりが存在すること」を提案した。0.5~2.0km/hという速度域は、写真撮影時点の大半が含まれている速度域であり、60秒以上継続するという条件は、信号待ち前後の減速などの一時的な速度低下を除外するためである。これに該当するものを以降「散策候補区間」と呼ぶ。また、途中で0.5km/h未満の「立ち止まり」を含むことを散策行動判別の条件としたのは、散策行動中の写真撮影、店への立ち寄りなどにより、歩行速度が全体的に遅い被験者の場合でも、散策区間を判別できるようにするためである。

この判別ルールは、散策候補区間を抽出するための上限値と下限値、立ち止まりを定義する速度と、速度に関する複数の閾値を用いるものの、歩行速度の個人差が大きいため、判別ルールの閾値に被験者間で共通する特定の値を設定することの限界が指摘される。

### 3.2 被験者自身が散策行動を想起・記入する方法

相ら(2015a)では、第二の教師データ収集方法として、実験直後の本人による想起および地図への記入で取得した散策区間を、3.1で述べた判別ルール(以降「修正前」と呼ぶ)によって再現することを試みた。その際、判別ルールで抽出したログのうち、本人の想起した散

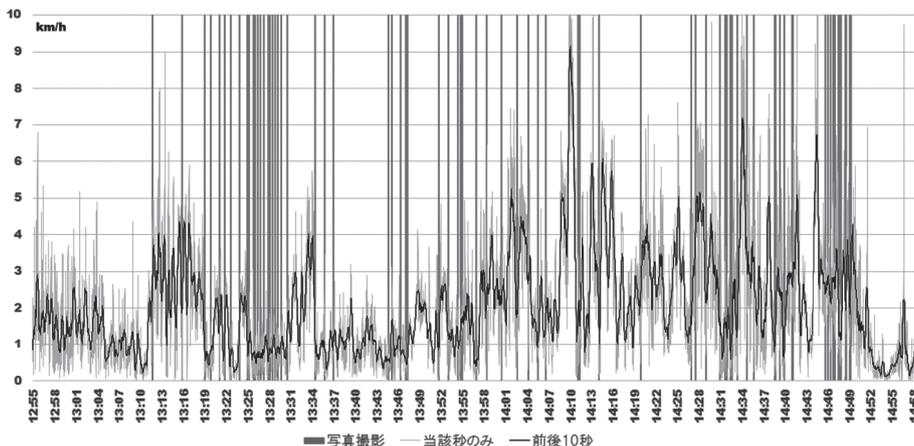


図2 被験者ごとの歩行速度の時系列変化と写真撮影位置を表すプロットの例

策区間に含まれるログの割合を「包含率」、本人が想起した散策区間のうち判別ルールで抽出できたログの割合を「抽出率」とし、評価を行った(図3)。包含率は散策の誤検出の多少、抽出率は検出漏れの多少を反映する指標であるといえる。

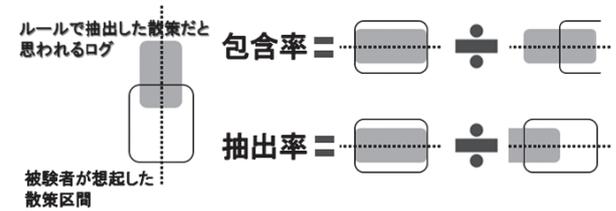


図3 包含率と抽出率の概念図

表2の修正前の列が導出された被験者ごとの包含率と抽出率である(相ら, 2015a)。包含率が1、すなわち修正前ルールで抽出したログの全てが本人の想起した散策区間に含まれる被験者が4人おり、包含率が0.8を超える被験者をあわせると約半数の14人であった。一方で包含率が0.5を下回る被験者は8人であった。抽出率は包含率と比較すると低水準となることが多く、0.5を下回る被験者が過半の17人であった。以上のことから、被験者によって差異はあるものの、修正前ルールには、誤検出は少なく検出漏れが多い傾向があると解釈できる。

## IV. 提案する判別ルールの修正案

前章の修正前ルールでは閾値となる速度が固定されており、被験者ごとの歩行速度の差異は反映されていない。しかし、実際には実験全体を通じた平均歩行速度の速い被験者も遅い被験者もおり、その開きは2.6倍である(表1最左列)。そこで次の段階として相ら(2015b)では、相ら(2015a)と同様の歩行軌跡データに対して、複数パターンの修正を加えた散策行動の判別ルールを適用し、包含率と抽出率の挙動を観察することで、判別ルールの精度向上に対する考察を行った。

本章では3.2の分析に対し、散策候補区間や立ち止まりの基準となる閾値を被験者ごとに設定する方法を複数提案し、包含率と抽出率の挙動を観察する。包含率と抽出率がともに高く、双方の和が最大となる316番の被験者を基準被験者と設定したうえで、修正前ルールの閾値である0.5km/hと2.0km/hを被験

者ごとに変更することを試みる。

#### 4.1 単純拡大方式

まず、基準被験者と各被験者の平均歩行速度の比率に基づき、大小いずれの閾値も拡大する「単純拡大方式」を適用したときの包含率と抽出率を概観する。例えばある被験者の平均歩行速度が基準被験者(1.2km/h)の2倍の2.4km/hであるとき、修正前ルール of 基準である 0.5~2.0km/h を 2 倍して、1.0km/h~4.0km/h のログを散策候補区間とし、1.0km/h 未満のログを立ち止まりと判別する。各被験者の閾値は表 1 に示したとおりである。

表 2 に示した結果によると、単純拡大方式では、包含率が大きく低下する被験者が散見される一方で、多くの被験者で抽出率が大幅に上昇している。平均歩行速度は基準被験者のものが全 30 被験者中で最も遅いため、他の被験者については単純拡大方式を用いることにより、散策候補区間の速度の値域が拡大されている。このため、より多くのログが散策中であると判別されたことと、その中には本来は散策区間として抽出すべきではないログも含まれることから、抽出率が上昇して包含率が低下したものと考えられる。



図 4 各方式による散策候補区間

(←→は被験者ごとに可変で基準被験者の2倍の平均歩行速度の例)

#### 4.2 下限固定拡大方式

先述の修正前ルールや単純拡大方式において、立ち止まりを抽出する際に理論値である 0km/h ではなく例えば 0.5km/h を閾値として用いたのは、測位誤差や GPS ロガーの携行様態に起因する若干の揺れなどを考慮するためであり、この要素に被験者間の個人差は少ないと考えられる。そこで、「下限固定拡大方式」では閾値の下限値は全被験者共通で 0.5km/h とし、上限値は単純拡大方式と同様の値を用いた判別ルールを検証する。すなわち平均歩行速度が基準被験者の2倍の被験者の場合、0.5km/h~4.0km/h のログを散策候補区間、0.5km/h 未満のログを立ち止まりと判別する。

この方式を用いると、多くの被験者において単純拡大方式と比較して包含率と抽出率がともに上昇している。特に抽出率に関しては修正前ルールの結果と比較しても値が高くなる被験者が多い。単純拡大方式に

比べて下限固定拡大方式では、散策候補区間の速度の値域が下方に拡大されている。この拡大された速度域に含まれ、散策に該当するログが下限固定拡大方式によって散策区間として判別された結果、抽出率が上昇したと考えられる。しかしながら、包含率は修正前ルールのほうが高い値を示す被験者が多く、本来は情報提供すべきではない状況下での情報提供を抑制するという観点、すなわち包含率を高くするという観点からは改良の余地が残る結果であった。

#### 4.3 値域幅固定拡大方式

これまでの単純拡大方式や下限固定拡大方式では歩行速度が速い被験者ほど散策候補区間の速度の値域が拡大するため、抽出率は上昇するものの、包含率が低くなる傾向にある。そこで、閾値の上限値と下限値の差分である 1.5km/h 幅は初期設定のまま固定し、上限値と下限値を各被験者の歩行速度に応じて上下させる

表 1 各ルールで用いた散策候補区間を抽出する閾値

No.	平均歩行速度 km/h	単純拡大		値域幅固定		度数分布	
		下限	上限	下限	上限	3%	4%
010	2.15	0.9	3.7	1.4	2.9	1.8	
012	1.54	0.7	2.7	0.8	2.3	1.3	
023	1.57	0.7	2.7	0.9	2.4	1.3	
042	1.87	0.8	3.2	1.1	2.6	1.6	
045	1.62	0.7	2.8	0.9	2.4	1.5	
048	1.69	0.7	2.9	1.0	2.5	1.6	1.5
049	1.78	0.8	3.1	1.0	2.5	1.8	1.6
052	1.71	0.7	3.0	1.0	2.5	1.5	1.0
069	1.75	0.8	3.0	1.0	2.5	1.4	1.5
072	1.67	0.7	2.9	1.0	2.5	1.3	1.5
106	1.55	0.7	2.7	0.8	2.3	1.8	1.5
224	2.24	1.0	3.9	1.4	2.9	2.3	2.7
242	1.50	0.7	2.6	0.8	2.3	1.2	0.9
243	1.51	0.7	2.6	0.8	2.3	1.8	1.3
251	1.83	0.8	3.2	1.1	2.6	1.4	
253	1.61	0.7	2.8	0.9	2.4	1.6	1.0
270	2.07	0.9	3.6	1.3	2.8	2.7	
273	2.11	0.9	3.7	1.3	2.8	1.8	
279	1.81	0.8	3.1	1.1	2.6	1.4	1.5
282	1.79	0.8	3.1	1.1	2.6	1.6	0.7
316	1.15	0.5	2.0	0.5	2.0	0.8	
410	1.40	0.6	2.4	0.7	2.2	1.1	
423	1.38	0.6	2.4	0.7	2.2	1.2	1.0
445	2.35	1.0	4.1	1.5	3.0	2.6	2.1
448	1.22	0.5	2.1	0.6	2.1	1.3	1.5
449	1.29	0.6	2.2	0.6	2.1	1.2	1.4
452	3.01	1.3	5.2	2.1	3.6	3.7	
465	2.33	1.0	4.0	1.5	3.0	1.5	
469	2.42	1.1	4.2	1.6	3.1	1.1	
472	1.40	0.6	2.4	0.7	2.2	1.0	0.9

※下限固定方式は、下限が 0.5、上限が値域幅固定と同一  
 ※度数分布欄には度数分布方式、下限調整度数分布方式の上限値を掲載。下限は各々 0.5 と 0.3。

表 2 ルール別・被験者別の包含率と抽出率

No.	修正前		単純拡大		下限固定		値域幅固定	
	包含	抽出	包含	抽出	包含	抽出	包含	抽出
010	0.30	0.60	0.21	0.73	0.26	0.15	0.17	0.29
012	0.39	0.36	0.10	0.20	0.31	0.52	0.33	0.50
023	0.51	0.53	0.26	0.58	0.42	0.65	0.25	0.41
042	1.00	0.27	0.61	0.80	0.88	0.89	0.64	0.59
045	0.74	0.43	0.76	0.60	0.74	0.69	0.67	0.50
048	0.64	0.52	0.43	0.51	0.55	0.66	0.34	0.23
049	1.00	0.27	0.87	0.65	1.00	0.71	0.72	0.48
052	0.45	0.59	0.35	0.65	0.41	0.79	0.39	0.39
069	0.92	0.57	0.16	0.45	0.34	0.70	0.15	0.28
072	0.85	0.42	0.62	0.59	0.81	0.69	0.63	0.41
106	0.51	0.53	0.48	0.71	0.45	0.63	0.51	0.61
224	1.00	0.20	0.29	0.35	0.39	0.23	0.31	0.10
242	0.77	0.59	0.73	0.57	0.75	0.71	0.77	0.48
243	0.91	0.44	0.66	0.60	0.76	0.75	0.74	0.39
251	0.27	0.47	0.17	0.51	0.23	0.75	0.25	0.32
253	0.70	0.51	0.58	0.66	0.65	0.69	0.62	0.45
270	0.96	0.07	0.59	0.53	0.66	0.53	0.79	0.22
273	0.28	0.13	0.23	0.83	0.41	1.00	0.23	0.52
279	0.82	0.54	0.40	0.65	0.50	0.88	0.47	0.52
282	0.20	0.18	0.25	0.41	0.23	0.49	0.25	0.27
316	0.86	0.76	0.86	0.76	0.86	0.76	0.86	0.76
410	0.81	0.76	0.72	0.75	0.72	0.83	0.71	0.64
423	0.70	0.64	0.54	0.64	0.58	0.76	0.51	0.49
445	0.98	0.22	0.73	0.69	0.77	0.76	0.48	0.15
448	0.59	0.41	0.54	0.43	0.54	0.43	0.50	0.37
449	0.89	0.49	0.81	0.48	0.85	0.56	0.84	0.47
452	1.00	0.06	0.62	0.46	1.00	0.24	0.86	0.21
465	0.45	0.10	0.73	0.51	0.65	0.38	0.82	0.09
469	0	0	0.15	0.26	0.07	0.13	0.02	0.01
472	0.94	0.60	0.83	0.62	0.84	0.69	0.82	0.51

※網掛けは4つのルール間の最大値 出典:相ら(2015b)

「値域幅固定拡大方式」を検証する。

修正前ルール の 0.5km/h～2.0km/h の値域から 1.0km/h を基準として定める。平均歩行速度が基準被験者の 2 倍である被験者の場合、これを 2 倍した 2.0km/h を基準とし 1.5km/h～3.0km/h を散策候補区間

の速度域とする。

被験者によって差異はあるものの、包含率は単純拡大方式と比較して同程度もしくは上昇しているものの、修正前ルールと比較すると大半の被験者で低下している。さらに、抽出率に関しても修正前ルールや単純拡大方式より低下している被験者が多いことから、値域幅固定方式は、散策区間の判別ルールの修正方式として効果的であるとはいいがたい。

#### 4.4 方式間での包含率と抽出率の比較

方式ごとの抽出率と包含率を概観する(表 2)と、多くの被験者において下限固定方式のときに抽出率が最大となり、修正前ルール のときに包含率が最大となる傾向が見出せる。この結果から、包含率を高い水準に維持し、かつ抽出率を高めようとする場合、散策行動の判別ルールは以下のような戦略に基づくべきであると考えられる。

まず、立ち止まりの基準となる速度の閾値は個人差ではなく GPS ロガーの測位誤差や携行時の揺れに起因するものなので全ての被験者で共通とし、その値は 0.5km/h 程度の小さい値とすべきであろう。次に、散策候補区間の抽出に用いる速度域は、歩行速度の個人差を考慮して上限値を変動させることで抽出率の向上に効果が見られるものの、包含率の低下を招く可能性があるため、散策候補区間の抽出に用いる上限値は、平均歩行速度の個人差ほど大きく変動させないことが有効である可能性がある。

#### V. 被験者ごとの速度別ログ数の分析

前章までに検証したルールでは閾値の修正に歩行速度の平均値を利用したものの、大半の被験者で散策中の

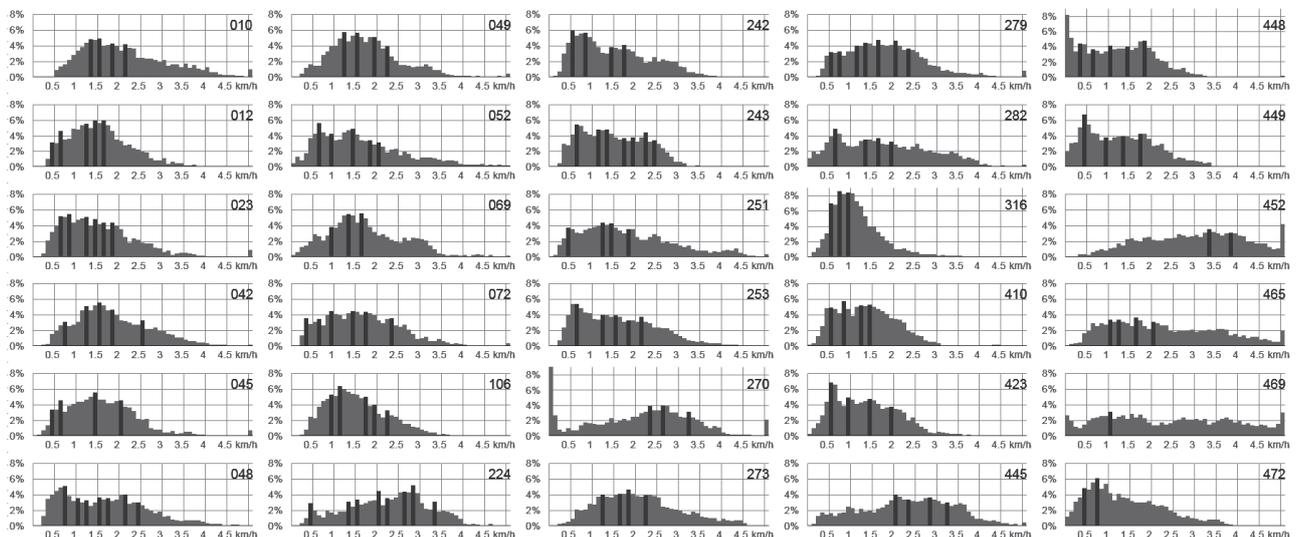


図 5 各被験者の歩行速度の相対度数分布 相ほか(2015b)より再掲 ※各グラフ右上は被験者番号、濃い部分は3%以上のピークを表す。

平均歩行速度は実験中全体の歩行速度よりも遅い（相対、2015a）ことから、散策中とそれ以外で歩行速度が異なると考えられる。これは、平均歩行速度のみで判別ルールを構築することの限界を示唆する一方、歩行速度の差を自動判別ルールの修正に利用できる可能性を示唆するものと考えられる。そこで各被験者の歩行において、時速0.1km/hごとに、該当するGPSログ数の度数分布表を作成した（図3）。全被験者とも歩行実験は2時間で同一ながら、ログの欠損や測位誤差の大きいログを除去したことで、被験者間にログ数の差が生じているため、ログの実数ではなく全ログに占める割合に基づく相対度数分布表を示した。

図3は前後の階級よりも相対度数が大きく、かつ当該相対度数が3%以上のものをピークとして濃い棒グラフで示している。結果を概観すると大半の被験者において度数分布表に2つ以上のピークが認められた。この結果は主たる歩行速度域が2つ以上存在することを示唆するものであり、散策候補区間を抽出するため

表3 度数分布方式での被験者ごとの包含率と抽出率

No.	度数分布 4%		度数分布 3%		下限調整 4%		下限調整 3%	
	包含	抽出	包含	抽出	包含	抽出	包含	抽出
010	0.15	0.03	←		0.29	0.49	←	
012	0.39	0.14	←		0.45	0.33	←	
023	0.56	0.31	←		0.77	0.26	←	
042	1	0.13	←		1	0.11	←	
045	0.73	0.29	←		0.87	0.09	←	
048	0.75	0.43	0.74	0.44	1	0.30	1	0.30
049	1	0.14	1	0.19	1	0.12	1	0.16
052	0.55	0.24	0.47	0.42	0.47	0.17	0.42	0.24
069	0.97	0.51	0.98	0.47	0.98	0.67	0.98	0.63
072	0.90	0.31	1	0.27	1	0.16	1	0.15
106	0.54	0.31	0.55	0.41	0	0	0	0
224	1	0.23	1	0.23	0	0	0	0
242	0.92	0.22	0.90	0.36	1	0.18	1	0.24
243	0.99	0.33	0.99	0.42	0.93	0.30	0.92	0.33
251	0.31	0.36	←		0.20	0.24	←	
253	0.68	0.16	0.69	0.49	0.76	0.09	0.76	0.20
270	0.98	0.14	←		1	0.13	←	
273	0	0	←		0.32	0.47	←	
279	0.89	0.27	0.88	0.26	0	0	0	0
282	0	0	0.21	0.12	0.19	0.05	0	0
316	1	0.16	←		1	0.10	←	
410	0.88	0.33	←		0.89	0.15	←	
423	0.85	0.28	0.81	0.34	0.91	0.35	0.91	0.39
445	0.98	0.22	0.82	0.27	0.86	0.17	0.78	0.23
448	0.71	0.23	0.74	0.23	0.93	0.32	0.99	0.29
449	1	0.35	1	0.30	1	0.37	1	0.36
452			1	0.15			0.47	0.65
465			0.41	0.06			1	0.04
469			0	0			0	0
472	1	0.18	1	0.23	0.92	0.41	1.00	0.27

※網掛けセルは各被験者の表2も含む最大の包含率と抽出率  
※←は左側ルールと閾値が同一で、本表の結果も左と同じ

の閾値設定に向けた重要な情報となりうる。

そこで、被験者自身による想起と地図への記入で取得した散策区間に基づいてログをその内外に区別し、それぞれについて上記と同様に相対度数分布表を作成して重ねたところ、被験者が散策だと思ふ区間に含まれるログの度数分布表(棒グラフ■)が散策だと思わない区間のそれ(棒グラフ□)に比べて速度の遅い側に偏っている傾向が読み取れた。散策区間内外の相対度数の差分は、概ね0.3km/h~1.1km/hの範囲内において、被験者自身が散策だと地図に記入した区間に含まれるログのほうが高い割合を示すという結果が得られた。

## VI. 速度別ログ数を考慮した判別ルールの修正

度数分布表に2つ以上のピークが現れた被験者について、相対的に速度の遅いピークが散策中のもの、速いピークが散策中でないものと仮定して、これらのピークの間に対応する速度を散策候補区間の抽出に用いる速度域の上限値とする「度数分布方式」を検証した。ピークが3つある被験者であれば2つめのピークの値を、ピークが4つある被験者であれば2つめと3つめのピークの値の中間値を上限値として用いる。なお、散策行動候補区間の抽出に用いる速度域の下限値はIV章の考察に基づき0.5km/hに固定している。

ここで、度数分布表におけるピークとは、当該階級の度数が、前後双方の階級の度数よりも大きいものとする。ただし、比較的速い速度域で局所的なピークが生じることがあるため、一定の相対度数に達しないピークは除外することとする。以下では、全被験者の度数分布表の傾向を勘案して、その相対度数の基準を全ログ数に対して3%および4%と定めた2パターンを検証する。この基準はルール名称に付記し、例えば「度数分布 3%方式」などと表記する。なお、3%と4%の両方式で閾値が同一となる被験者が存在するほか、一部の被験者は度数が4%以上となる階級が存在しないために閾値を定義できない場合がある。後者の場合、当該分析からは除外し、表1と表3では斜線を示した。

また、第5章の結果から概ね0.3km/h以上のときに被験者自身が散策だと思ふ区間に含まれるログの割合が相対的に高いことから、散策候補区間の抽出に用いる速度域の下限値および立ち止まりの閾値を0.3km/hに引き下げたルールを「下限調整度数分布方式」として適用する場合も検証する。

度数分布方式と下限調整度数分布方式を各被験者に適用したときの包含率と抽出率を表4に示す。表1に

示したように、多くの被験者で修正前ルールよりも散策候補区間の値域は小さくなっている。また、この値域は図4に示した、被験者自身が想起した散策区間の内外それぞれで作成した相対度数分布表において、散策区間の相対度数がより高くなる値域と概ね一致する。したがって誤検出が減り、包含率が上昇する被験者が多く見られるものの、一方で検出漏れが増え、抽出率は大きく低下するという結果を得た。

上記の結果は、包含率と抽出率すなわち誤検出の防止と検出漏れの抑制はトレードオフの関係に近いことを表しており、修正ルールには「60秒以上連続」や「立ち止まりの介在」という単純な歩行速度に基づかない条件は設けているものの、基本的には各ログの速度情報のみから散策行動を高精度に抽出する一定の限界を示唆するものであろう。

## Ⅶ. おわりに

本稿では、GPS ログによる散策行動の自動判別を目標にすえ、相ら(2014, 2015a, 2015b)の一連の分析で得られた結果を整理し、またその結果をもとに追加分析を行ったところ、散策行動の自動判別ルールの精度向上に関して以下のような知見を得ることができた。

(1) 散策行動の自動判別ルールに用いる散策候補区間の下限値および同一の値とする立ち止まりを定義する閾値は、平均歩行速度の個人差を考慮するのではなく0.5km/hに固定したほうが判別精度は高い

(2) 散策候補区間の上限値を平均歩行速度の個人差を考慮して被験者ごとに個別に設定することは、抽出率の向上に一定の効果が見られたものの、包含率を高水準に維持するという観点からは、平均歩行速度の個

人差ほど閾値に大きな個人差を与える必要はないと示唆される

(3) 散策区間の内外で歩行速度の度数分布を比較すると散策区間内の歩行速度のほうが遅い傾向を示しているものの、この分布をもとに判別ルールの閾値を修正しても判別精度向上は達成されなかった

以上のことから、相ら(2014, 2015a, 2015b)の一連の研究で用いられている判別ルールの「やや速度の遅い歩行が一定時間以上継続し、その前後や途中で立ち止まりがある」という基本的な概念は、散策行動の自動判別ルールの枠組みとして有効であると考えられるものの、歩行速度のみを用いた散策行動の自動判別の精度向上には限界があると示唆される。

最後に、Ⅵ章の結果をもとに、効果的かつ効率的な観光情報配信に向けた散策行動の抽出という観点から、今後の分析における方向性について検討する。

第1点に、本稿で検証した判別ルール修正では包含率を高水準に維持する、すなわち散策行動の誤検出を防止することに重点をおいていた。この点は今後も継承すべきであろう。しかし、包含率を向上させようとすると多くの場合に抽出率の低下を招いた。この傾向に対して、観光情報配信の効果という観点から許容される抽出率の最低限度を議論する方向性が考えられる。携帯電話やアプリが必ずしも利用者の散策行動を完全に把握する必要はなく、散策行動の開始時や初期の挙動を検出できれば、観光情報配信の好機を逃していないと考えられる。この点から考えると特定の条件を満たすログが一定時間継続するという本稿での提案手法よりも、むしろログの速度や移動方向の時系列的な配列が変化したことを検出する手法が有効である可能性

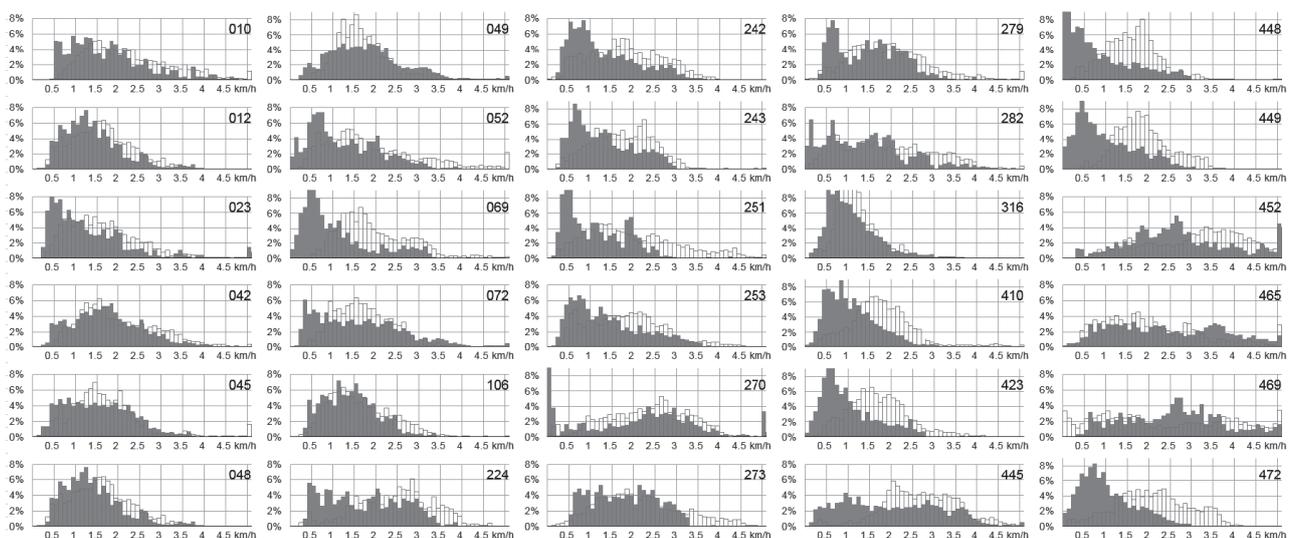


図4 各被験者の散策区間内外の歩行速度の相対度数分布 ※各グラフ右上は被験者番号。塗り：散策区間内、枠線：散策区間外

がある。例えば観光行動の分野では川瀬ら(2015)が動物園内滞在エリアを文字配列に置き換えて来園者の回遊行動を類型化しており、これを援用して上記の速度や移動方向の変化を類型化すれば、散策行動が効果的に判別できる可能性がある。

第2点に、スマートフォンに搭載された他のセンサーの活用である。例えば、先述の Han et al. (2012)ではスマートフォンのGPS機能に加えて、加速度センサーとマイクのデータを用いて所持者の「歩行」「バス移動」「地下鉄移動」などを判別する研究が行われている。上記のうち、加速度センサーには重力加速度も記録されるため、地面に対するスマートフォンの傾きとその向きを推定することができ、例えば、カバンの中に収納、手に持って閲覧、前に掲げて写真撮影といった状態の判別が可能になる。写真撮影や、手に持って閲覧しているときなどのうち、ウェブなどで観光情報を検索しているときなどに観光情報が配信されれば新たな観光行動を誘発することができる可能性が高い。加速度センサーのデータは、本研究で開発している散策行動の判別ルールへの精度向上に資すること、あるいは本研究の提案手法で抽出された散策行動の中から特に観光情報配信に適した時機の絞り込みを実現することを通じて、効果的な観光情報発信の実現に活用できる可能性がある。

#### 謝辞

本分析は、科研費基盤研究C「二次交通体系整備計画策定のための観光周遊行動分析手法の開発」(課題番号25501008、代表:清水哲夫)の一部として実施したものである。また、図2の背景地図は「基盤地図情報」を利用した。データ取得実験にご参加いただいた皆様に紙面を借りてお礼申し上げます。

#### 参考文献

- 相尚寿・田中昂助・直井岳人 2014. GPS データを用いた歩行散策行動の抽出に向けた基礎分析, 地理情報システム学会講演論文集, 23, CD-ROM.
- 相尚寿・直井岳人・田中昂助・倉田陽平 2015. 散策行動の自動判別に向けた GPS ログ特性の把握, 情報処理学会第 77 回全国大会講演論文集, DVD-ROM.
- 相尚寿・直井岳人・倉田陽平・田中昂助 2015. GPS ログを用いた散策行動の自動判別のための歩行速度の分析, 地理情報システム学会講演論文集, 24, CD-ROM. 発行予定
- 大野夏海・関本義秀・中村敏和・Horanont Teerayut・柴崎亮介 2012. 東京都市圏における長期の GPS データを用いた

移動経路の推定に関する研究. 地理情報システム学会講演論文集 21, CD-ROM.

川瀬純也・矢部直人・伊藤史子 2015. 配列解析を用いた上野動物園来園者の園内行動分析の試み. 観光情報学会第 12 回全国大会, 金沢.

倉田陽平・青木美岬・相尚寿 2015. 日本国内のご当地観光アプリの概要把握, 観光情報学会第 12 回全国大会, 金沢, 68-69.

羽田野真由美・上山智史・秋山祐樹・Teerayut Horanont・柴崎亮介 2012. 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 21, CD-ROM.

堀口良太・長岡亨・畑成年 2006. GPS 携帯電話による大規模パーソンプローブ調査のためのトリップ情報抽出手法に関する研究. 土木計画学研究・講演集, CD-ROM.

Gong, H., Chen, C., Bialostozky, E., Lawson, C.T. 2011. A GPS/GIS method for travel mode detection in New York City. Computers, Environment and Urban Systems 36 : 131-139.

Han, M., Vinh, L., Lee, Y., Lee, S. 2012. Comprehensive Context Recognizer Based on Multimodal Sensors in a Smartphone, Sensors, 12, 12588-12605.