

# GPS 携帯端末による交通モード自動判定法の開発

前司敏昭<sup>\*1</sup> 堀口良太<sup>\*2</sup> 赤羽弘和<sup>\*1</sup> 小宮粹史<sup>\*1</sup>

千葉工業大学 工学部 (〒275-8588 千葉県習志野市津田沼 2-17-1) <sup>\*1</sup>

(株)アイ・トランスポート・ラボ (〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台 3-7 第2三勢ビル 5階 A) <sup>\*2</sup>

本研究は、GPS 携帯端末による汎用的な測位データのみを利用した、交通モードのリアルタイム自動判定法の開発について報告するものである。ここでは、大規模なパーソンプローブ調査を実施する際に、できるだけ汎用性のある機器を利用し、かつ被験者の負担を少なくする目的から、時刻と位置情報のみを用いて端末で実行できる簡易なモード判定法の実現を目指している。また、歩行者ナビ、カーナビ、乗換案内などにおいて、交通モードに応じて関連コンテンツを自動選択して提供するなど、一歩進んだ移動支援サービスの実現も可能である。本稿では、判定手法および実データを用いた検証実験について報告する。

## Development of a method for estimating transportation modes with handy GPS equipment

Toshiaki ZENJI<sup>\*1</sup> Ryota HORIGUCHI<sup>\*2</sup> Hirokazu AKAHANE<sup>\*1</sup> Tadashi KOMIYA <sup>\*1</sup>

Chiba Institute of Technology, Department of Technology (2-17-1 Tsudanuma, Narashino-shi, Chiba 275-8588) <sup>\*1</sup>

i-Transport Lab. Co., Ltd. (Sansei Build.#2 5F-A, 3-7 Kanda Surugadai, Chiyoda-ku, Tokyo 101-0062) <sup>\*2</sup>

This research reports on a study about development of a real time automatic method for estimating transportation modes using only general measurement data with handy GPS equipment. Here, it aims at realizing a simple method for estimating transportation modes based on just information about times and positions in order to apply equipment for general use and to reduce burdens of subjects when large-scale person probe surveys are carried out. In addition, this method can realize advanced traveler support services by automatically choosing related contents depending on transportation modes and offering them to travelers. In this paper, we report on an algorithm to estimate transportation modes and a validation experiment on real roads and railways.

**Keywords:** GPS, Pedestrian navigation, Transportation mode, Person probe

### 1. はじめに

本研究は、携帯電話へのより高度な移動支援サービスコンテンツの実現や、数万人規模のパーソンプローブ調査を実施することを目標に掲げ、その基礎研究として、汎用的なGPS携帯電話端末(以下、GPS携帯)での交通モード自動判定法を構築し、その有効性を検証するものである。

近年の情報通信端末の進展はめざましく、GPSや周辺基地局の電界強度を利用した測位機能を備える携帯端末を利用した位置情報サービスが広く一般に使われるようになってきた。

現在の位置情報関連サービスは、自身の現位置周辺の関連するコンテンツを提供するものが主体であり、交通モードによる適切なコンテンツを提供する

までには及んでいない。GPS携帯で交通モードが判定できれば、歩行者ナビ、カーナビ、乗換案内といったコンテンツを、端末が自動選択し、交通モードに応じて関連コンテンツも選択的に提示するなど、一歩進んだ移動支援サービスが実現可能になる。

パーソントリップ調査においても、すでに普及しているGPS携帯が、そのまま調査機器として利用でき、被験者が交通モードを記録する際の操作を不要にすることで、より多くのサンプルデータを、より長期にわたって収集することが可能になると期待される。特にパーソンプロブ調査に関するGPS携帯の利用可能性については、いくつかの先行研究事例が報告されており、十分に実用に供せられると考えられている。しかしながら、その調査手法のスケラビリティには、いくつかの課題も指摘される。

本稿では、既往の研究の概要を紹介した後、ここで開発する交通モード自動判定法の概要、および検証のための実験結果について報告する。

## 2. 既往の研究

### 2-1 測位機能と加速度計を併用したパーソンプロブ

田名部ら<sup>1)</sup>は、PHSのアンテナ電界強度による測位機能と三次元加速度計を組み合わせた、携帯型調査デバイスPEAMON (Personal Activity Monitor)を開発し、これを用いた調査業務を展開している。

PEAMONはオンラインデータ収集用ではなく、内蔵メモリーにPHS基地局データと三次元加速度データを蓄積し、事後にオフラインで分析する。加速度はスカラー化され、PHSで測位時点の前後4秒間の変動について、変動幅やパワースペクトルなどの特徴量に変換して、徒歩、自転車、乗用車、バス、鉄道といった交通モードの判定に用いられる。

柴崎ら<sup>2)</sup>は、同様にGPSやPHSの測位機能と、ジャイロセンサー、加速度計、気圧計などのセンサー類を携行し、各種のデータを取得・分析することで、交通モードの判定を行っている。研究報告では、加速度のパワースペクトルの特徴と、気圧計で計測した高度情報を組み合わせて、階段の上り下りや、電車、自動車、自転車など、詳細に区分した交通モード、移動状態を推定している。

### 2-2 ダイアリーを併用するパーソンプロブ

大森ら<sup>3)</sup>、あるいはAsakuraら<sup>4)</sup>は、従来行われているパーソントリップ調査で、行動記録をとる際の記入者の不確かさを補完するために、PHSやGPS等で取得した位置情報履歴を併用して、移動時間や経路などに関する、より正確な行動記録ダイアリーを作成することを提案している。

朝倉ら<sup>5)</sup>によるPHSを用いた移動履歴データの収集実験では、鉄道や道路の路線地図に、移動軌跡を照合することで、その利用者の交通モードを推定し、ダイアリーを記入する際の補助情報として利用している研究事例などがある。

## 3. 本研究での交通モード判定法の概要

上述の通り、これまでのパーソンプロブの研究では、GPS以外の特別なセンサー情報を取得する調査デバイスを利用するか、被験者にダイアリーを記入させる、などの方式がとられてきた。しかしながら、これらの手法を用いた実験は、被験者数が数十人から数百人規模のものであり、例えば数万人規模のパーソンプロブ調査に適用するには、実務上の課題が懸念される。すなわち、特別な端末を利用する場合は、被験者数分の機器を準備するコスト、配布や管理のためのコストがかさむ。またダイアリー併用方式では、被験者の理解を得るために、調査手法に関するレクチャーが必要だが、これを数万人規模で実施することができるかどうかには、疑問の余地がある。

本手法では、数万人規模のパーソンプロブ調査を実現することを目標とすえて、そのための基礎研究として、汎用的なGPS携帯を利用した、かつ被験者に負担がかからないオペレーションフリーな交通モードの自動判定法を構築することを目的としている。

交通モード判定には、サーバとの通信を必要とせず、端末機能だけでGPS測位が可能な機器を想定し、10~数十秒間隔で取得する位置データ(測地点)と、2測地点間の移動軌跡(レグ)における見かけの速度と角速度変化の特徴を利用する。すなわち、次の特徴量を採用している。

現在のレグの速度 - 角速度

直前の一定数レグの速度標準偏差 - 角速度標準偏差

直前の一定数レグのピーク速度

判定方法は、特徴量に応じて各交通モードに確信度ポイントを逐一付与していき、現時点でのポイントが最も高い交通モードを判定するという「投票形式」を採用する。また、GPS衛星が捕捉できずに測位できなかった場合については、ヒューリスティックなルールで、モードを推定する。図-1にモード判定の全体の流れを図示する。

以降において、本研究で判定の対象とする交通モードを次の3つに想定し、データの分析結果を交えながら、判定法の処理内容と検証結果を述べる。

徒歩(待機を含む)

車両（タクシー，バスを含む）  
電車（地下鉄を含む）  
上記以外の交通モードは本研究の対象外とした。

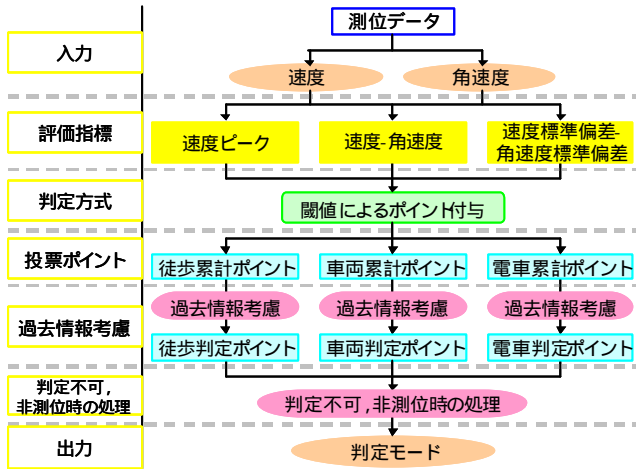


図-1 交通モード判定処理の流れ

4. 測位データの収集と基礎分析

4-1 データ収集基本方針

交通モード判定法で用いる各種パラメータを同定するためと、判定結果の精度を検証するために、GPS携帯を用いてデータ収集を行った。実験では日時、緯度、経度などを10秒間隔で収集している。GPS携帯として、データ収集用のアプリケーションを搭載したGPS携帯を模擬し、レジヤー用のハンディGPS端末とデータ記録装置で代用した。なお、携帯電話でも自律測位機能を備えたものでは2~3秒間隔で位置データを記録できるので、ここでの10秒という間隔は十分に実現可能である。

実験に際しては、短時間で効率よく多種の交通モードを利用できることを条件とし、「秋葉原」「錦糸町」「津田沼」周辺の3コースを設定し、各コースで3~4周分の測位データを収集した。同時に、ビデオカメラで被験者を追跡撮影し、時報を音声記録することで、実際の交通モード（以下、実モード）の切り替わり時刻を秒単位で記録した。例として、図-2に錦糸町周辺の実験コースを、また、GPS携帯で測位した位置データを緯度-経度平面にプロットした錦糸町周辺の移動履歴例を図-3に示す。GPS携帯は常に測位状態を把握できるようにディスプレイが見られる状態で携帯し、タクシーやバス、電車で移動する場合は、可能な限り窓際に位置をとった。参考のため、データ収集におけるGPS衛星捕捉率を図-4に示す。

4-2 測位誤差と速度と角速度

交通モードにはそれぞれ移動時の速度に特徴がある。速度はGPS測位データの位置差分で求めている。

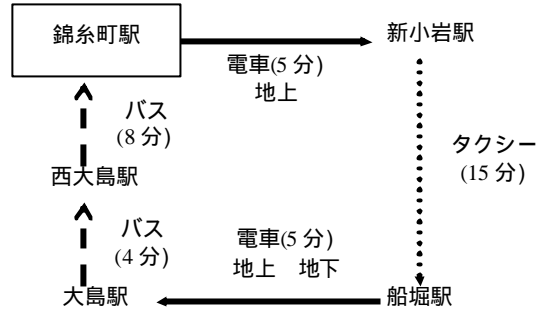


図-2 実験コースの例（錦糸町駅周辺コース）

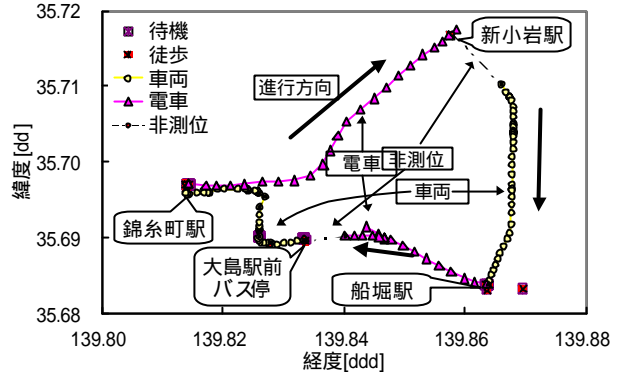


図-3 移動履歴例

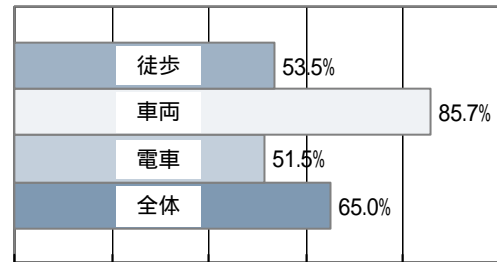


図-4 データ収集実験におけるGPS衛星の捕捉率

他の交通モードと明確に区別できるのは、徒歩であり、移動速度の変動範囲は0~5[km/h]程度と想定される。車両の走行速度は、道路・交通状況に大きく左右されるが、一般道路は10~60[km/h]程度と想定される。電車の走行速度は、相対的に高速で安定しており、50~100[km/h]程度と想定される。

データ取得間隔がほぼ一定の正常なデータであれば、GPSの誤差半径距離もほぼ一定と期待できる。図-5に示すように、見かけの相対角度へのGPS誤差の影響はレグの距離に反比例すると考えられる。つまり、距離と正比例する速度と単位時間当たりの相対角度変化=角速度の関係は反比例関係にあり、速度が増大するほど角速度は減少すると考えられる。本手法では、測位誤差の大きさを角速度で推定するものである。

図-6は、全交通モードの速度と角速度を速度-角速度平面にプロットしたものである。速度のみに着目したのでは、測位誤差が非常に大きい場合の対処が困難である、そこで、速度と角速度とが成す双曲線によりクレンジング処理することにした。

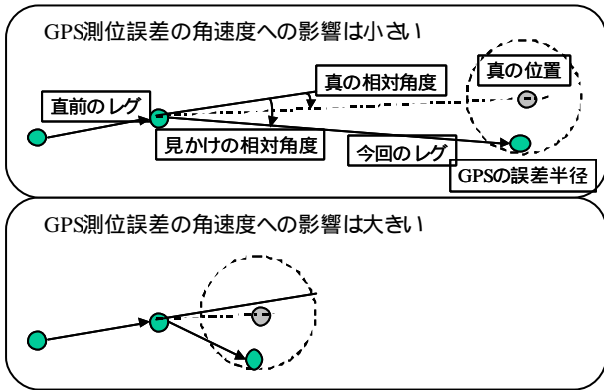


図-5 測位誤差と角速度との関係

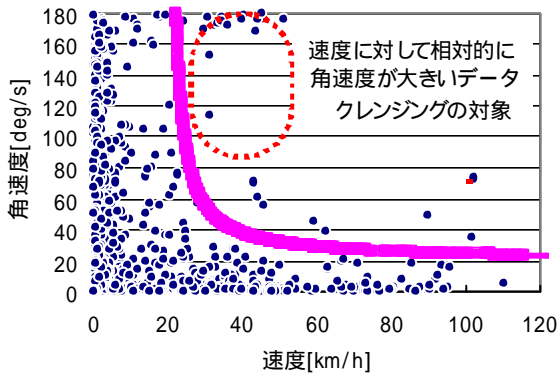


図-6 速度 - 角速度の分布

#### 4-3 標準偏差

各交通モード利用時の定常的走行状態における速度 - 角速度の特徴は、区別しやすい。しかし、低速時・停止時には、車両および電車を徒歩と誤判定するが多い。また、速度域が同水準である車両と電車の両モードでも 相互に誤判定するが多い。そこで、本手法では過去数レグの速度・角速度の標準偏差を各交通モードの特徴量として追加利用する。

#### 4-4 ピーク速度

速度 - 角速度ならびにそれらの標準偏差だけを特徴量として利用した場合、車両の信号待ちや渋滞による一時停止するとき、電車が駅等に停止する場面では、徒歩と誤判定する傾向がある。そこで、停止前の速度変動の特徴量として、ピーク速度（速度の最大値）に着目した。すなわち、過去数レグにおけるピーク速度を車両と電車モードの特徴量として利用する。

### 5. 判定アルゴリズム

#### 5-1 投票形式のポイント付与

前述の特徴量について、図-7に示すように、速度-角速度平面上で各モードを代表する適切な領域(閾値)を設定し、現在のレグが閾値内に存在している場合には、表-1に示す一定のポイントを該当する交通モードに与えるものである。また、他モード領域との重なりのない領域に存在する場合には、より高い特徴ポイントが付与される。

前述の標準偏差、ピーク速度の特徴量についても、同様に各モードを代表する閾値を設定し、各レグについてモード別にポイントを付与し加算する。

表-1 各付与ポイント数例

獲得 P	標準偏差 P	特徴 P	ピーク速度 P	非特徴 P
5	5	10	5	0

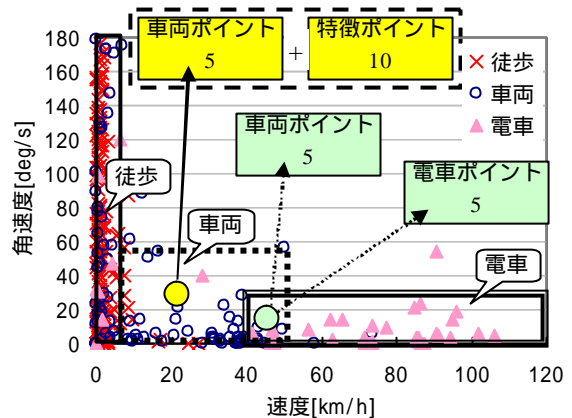


図-7 速度-角速度平面での閾値とポイント付与方式

このようにして求めた、現時点での3種類の特徴量から導出したモード別の累計ポイントは図-8のように過去時点の累計ポイントの値と加算し、判定ポイントが最高の交通モードを現在の交通モードと推定する。図-8の例では、判定モードは車両となる。

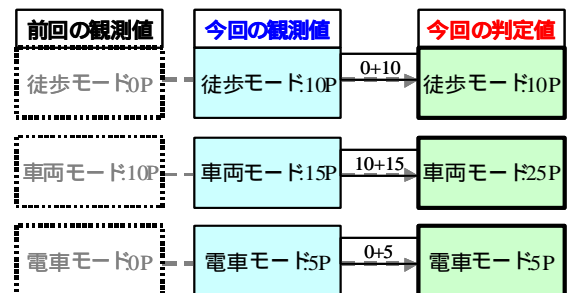


図-8 過去情報考慮

#### 5-2 判定不能時、非測位時の特別処理

判定アルゴリズムによって得た各交通モードの判定ポイントが等値となると判定不能となる。特徴量が重なる状況や、車両、電車利用前後の実モードが切り替わる停発車前後の低速時によるポイントの移

行の境界にあるのが要因である．ここでは，統一して1レグ過去の判定モードを継続する処理をする．

どの特徴量のどの領域にも属さないときや，非測位時には1レグ過去の判定モードを継続する処理をする．また，駅の近傍での非測位状態は，電車乗車時に屋外から駅構内に移動する，逆に降車してプラットフォームから駅構内に移動するために生じることが多い．そこで，駅近傍での非測位時には，次の測位時まで徒歩と判定するように処理した．

## 6. 実験データへの適用と結果

表-2に，交通モードを判定するために，実際に用いた特徴量などをまとめる．相対的ウエイトは，各特徴量のポイントへの重み付けを示す．

表-2 特徴量

特徴量	対象モード	対象データ	相対的ウエイト
速度と角速度	徒歩 車両 電車	現在のレグ	3
速度標準偏差と角速度標準偏差	徒歩 車両 電車	現在+過去で10レグ	3
ピーク速度	車両	現在+過去で5レグ	1

(相対的ウエイト:ピーク速度が基準)

例えば，徒歩モードは速度域が他モードと明確に異なるなど，交通モードに毎に分布域がある程度分離できると期待される．図-9は，測位データを実モードごとに区分して描いた，速度と角速度との散布図である．これより，徒歩モードが低速度域で高角速度域に分布すること，鉄道モードが高速度域で低角速度域に分布すること，車両モードが中速度，中角速度域に多くが分布しているなどの特徴があることがわかる．図-10は，先と同様にして速度-角速度標準偏差の散布図で，交通モードによって分布する領域が異なることがわかる．図-11は，新小岩駅～船堀駅間の車両移動時のみの各瞬間の速度変位とピーク速度を表したものである．交通量の多い幹線道路との交差路において渋滞と信号待ちとが複合し低速・停止時間が長く続くような場合には課題が残るが，他の箇所での短時間の信号待ちなどはおおよそ補間できることがわかる．

## 7. 判定精度と判定遅れ時間の検証

### 7-1 判定精度

判定手法の精度を評価するため，的中率と誤判定率を指標として用いる．それぞれ，交通モードごとに図-12のように定義する．ここでは，車両モードを例とした．非測位時データを除去したときの判定結果と，非測位時データを含めたが非測位時及び判

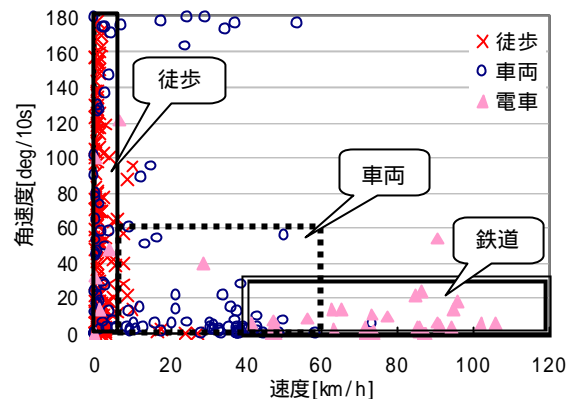


図-9 速度 - 角速度分布と領域区分図

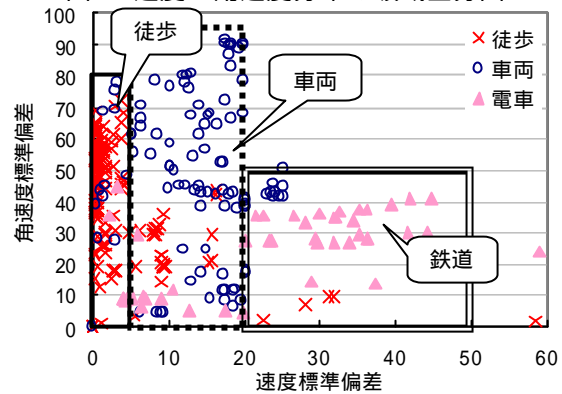


図-10 標準偏差分布と領域区分図

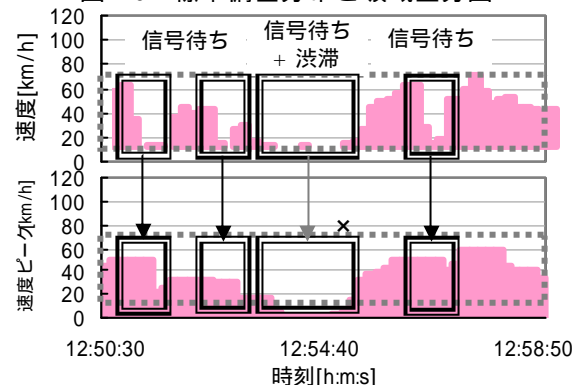


図-11 速度とピーク速度の比較

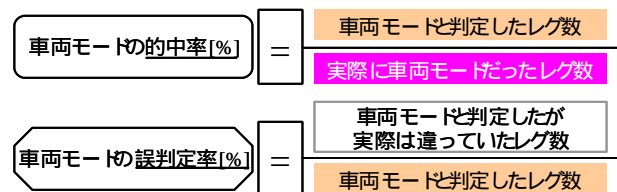


図-12 的中率と誤判定率の定義

定不能時の処理を実行しないときの判定結果，非測位時データを含め同処理を実行したときの判定結果を表-3にそれぞれ示す．

前節で述べたように，GPS衛星捕捉率は測位環境によって大きく左右され，端末の測位性能には限界があるので非測位時の処理が重要になる．測位時の



データだけだと的中率は各モード 80% 以上と高精度の結果が得られるが、非測位時のデータを含めると的中率は約 40% ~ 約 70% と精度が著しく低下する。そこに、判定不能時、非測位時の特別処理を加えることによつて的中率は約 5% ~ 約 30% も向上する。

徒歩と電車の誤判定率が高い。特に、電車の誤判定率は約 50% に達する。これは、本分析対象コースでは電車利用の時間比率が低く、判定精度の全体最適の余波を受けたためである。車両、電車の発着時の徒歩との区別がまだ不完全であるのが、徒歩の誤判定率が大きくなる要因である。

表-3 判定結果  
(非測位データを含まず、特別処理なし)

		実モード			誤判定率
		徒歩	車両	電車	
判定モード	徒歩	83.7%	15.0%	8.3%	19.1%
	車両	14.5%	84.1%	7.3%	14.1%
	電車	1.8%	1.0%	84.4%	12.4%
	不明	0.0%	0.0%	0.0%	
	合計	100.0%	100.0%	100.0%	
全体		83.9%			

(非測位データを含み、特別処理なし)

		実モード			誤判定率
		徒歩	車両	電車	
判定モード	徒歩	44.7%	13.0%	4.5%	18.9%
	車両	7.8%	71.9%	4.0%	14.4%
	電車	1.0%	0.8%	43.1%	13.0%
	不明	46.5%	14.3%	48.5%	
	合計	100.0%	100.0%	100.0%	
全体		54.5%			

(非測位データを含み、特別処理あり)

		実モード			誤判定率
		徒歩	車両	電車	
判定モード	徒歩	77.3%	22.1%	40.1%	25.4%
	車両	9.6%	77.1%	3.9%	15.7%
	電車	13.1%	0.8%	56.0%	49.3%
	不明	0.0%	0.0%	0.0%	
	合計	100.0%	100.0%	100.0%	
全体		74.6%			

## 7-2 判定遅れ時間

GPS携帯の交通モード切り替わり時の判定遅れ時間を評価するため、信頼度を指標として用いる。信頼度の定義を図-13に示す。

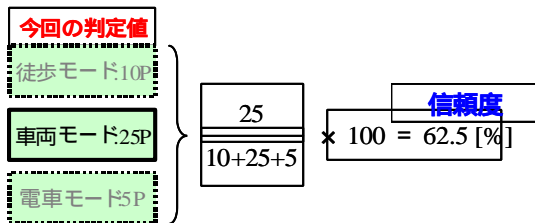


図-13 信頼度の定義

判定遅れ時間は、実際のモード切り替わり時刻から、信頼度が 50.1 ~ 99.9% で 30 秒間継続、あるいは 100% となった時点との差と定義する。なお、30 秒

間継続する間に非測位区間がある場合は、判定遅れ時間を求めていない。表-4に遅れ時間を算出した結果を示す。判定遅れ時間は、非測位区間を省く、含む、処理の有無でほとんど変わらなかった。

表-4 判定遅れ時間

徒歩	電車	車両
+ 40s ~ - 90s	- 40s ~ - 90s	- 40s ~ - 50s

## 8. まとめと今後の課題

GPS携帯で取得した位置情報データの履歴から各交通モードの特徴を見出し、交通モードを自動的に判定するためのアルゴリズムを開発し、判定精度の検証を行った。以下に、本手法の特徴を総括する。

- ・ 速度と角速度とから、定常的移動状態における各交通モードの特徴を見出せる。
- ・ 速度および角速度の標準偏差から、非定常的移動状態における各交通モードの特徴を見出せる。
- ・ ピーク速度により、道路・交通状況に応じて大きく変動する車両の走行状態の特徴を見出せる。
- ・ 上記の各特徴量に閾値を設定し、ポイントを付与することで、交通モードを総合判定できる。

今後は非測位時や車両・電車の発着時に徒歩と誤判定した箇所を分析し、各交通モードに対応する地理学的な位置情報を参照・利用した判定アルゴリズムに導入し、判定精度の向上、判定遅れ時間の減少をはかる計画である。

謝辞

本研究のデータ収集実験を実施するに当たり(株)都市交通計画研究所より多大なる支援を受けた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 田名部淳, 李竜煥, 岡本篤樹, 杉野 勝敏: 移動体端末による交通行動調査の成立可能性, 土木計画学シンポジウム。
- 2) 東京大学生産技術研究所・柴崎研究室:  
<http://shiba.iis.u-tokyo.ac.jp/index-j.html>。
- 3) 大森宣暁, 室町泰徳, 原田昇, 太田勝敏: 高度情報機器を用いた交通行動データ収集の可能性, 都市計画学会学術研究論文集, 1999。
- 4) Asakura, Y. and Hato, E. Analysis of Travel Behaviour Using Positioning Function of Mobile Communication Devices, Travel Behaviour Research; The Leading Edge, Ed. Hensher, pp.885-900, Pergamon, 2001.
- 5) 朝倉康夫, 羽藤英二, 大藤武彦, 田名部淳: PHSによる位置情報を用いた交通行動調査手法, 土木学会論文集, Vol. IV-48号, pp. 95-104, 2000。