

# PHSシステムを用いた狭域での消費者回遊行動追跡のための位置特定手法\*

## Location Positioning Technique for Tracking Consumer's Behaviour in a Limited Area Using PHS System \*

岡本篤樹\*\*・朝倉康夫\*\*\*・内田敬\*\*\*\*・近藤勝直\*\*\*\*\*・田名部淳\*\*

By Atsuki OKAMOTO\*\*・Yasuo ASAKURA\*\*\*・Takasi UCHIDA・Katsunao KONDOH・Jun TANABE\*\*

### 1. はじめに

都市内の魅力向上や中心市街地の活性化を図るためには、都市施設や商業施設の再生が重要な課題であり、都市施設の設計や歩行空間などの整備を行うための効率的なデータ収集と客観的かつ信頼性の高い評価指標というものが必要となってきた。しかしながら、従来までのパーソントリップ調査に代表される大規模なアンケート形式の交通行動調査は、社会基盤整備を目的とした交通需要予測のためのものであり、比較的狭い都市空間を対象とした交通計画の際のデータソースとしては必ずしも適切ではない。

本研究は、商店街やショッピングセンターなどでの消費者の買い回り行動の調査(追跡型調査)に、PHSの位置特定機能を利用した手法を適用するための基礎技術となる位置特定の方法を新たに提案することを目的としている。具体的な方法の特徴は、以下の点にある。(1)地下街・建物内でもアンテナ基地局や自営アンテナ(以下パワーアンテナ)の電波を受信することができるPHS機能をもったオフライン型の端末【PErsonal Activity MONitor】(以下PEAMON)を用いる。(2)大型店舗内にいくつかのパワーアンテナを設置し、同時に店舗内の主要箇所(以下基準観測点)で電界強度(以下

RSSI)をあらかじめ観測しておく。(3)被験者が携帯するPEAMON(以下移動観測点)が受信した店内設置パワーアンテナのRSSIと基準観測点で観測されたRSSIを比較して、最も類似した基準観測点を被験者の位置とする。

### 2. 位置特定

#### (1)基本的考え方

調査対象エリアに複数のパワーアンテナを設置する。パワーアンテナは、PHSの利用者が郊外などでサービスを受けるために電波を中継するもの(以下ノーマルアンテナ)である。パワーアンテナには自ら電波を発信し、電波の出力強度を8段階に調整できるもの(以下アッテネータアンテナ)も開発されている。パワーアンテナはPHSの基地局アンテナの電波を受信しその電波を増幅し中継する機能を持っているが、その際にアンテナ固有のID番号であるCSIDも発信する。PEAMONは複数のパワーアンテナのCSIDとRSSIを受信・記録することができるので、それを利用してPEAMONを携帯した被験者の位置を特定するのである。

位置特定のための参照値を得るために、対象地区内の主要箇所に基準観測点を配置する。基準観測点では設置パワーアンテナのID(CSID)とRSSIを数分間観測し、観測点毎のRSSIベクトル(個々のアンテナのRSSI平均値、以下参照ベクトル)を作成する。移動観測点を受信したパワーアンテナのRSSIベクトル(以下観測ベクトル)と参照ベクトルを比較して最も類似した基準観測点を抽出し、移動観測点の位置を特定するものである。位置特定手法についてのイメージを図1に示す。この例では、移動観測点の観測ベクトルと最も類似している参照ベクトルは基準観測点2のベクトルなので、移動観測点の位置を基準観測点2の位置と特定する。

---

\*キーワード:交通行動分析, 歩行者交通計画, 移動体通信

\*\*正員, (株)都市交通計画研究所

(大阪市中央区釣鐘町1-1-11 MUSES1 3F,  
TEL 06-6945-0144, FAX06-6946-1069)

\*\*\*正員, 工博, 神戸大学大学院教授 自然科学研究科

(神戸市灘区六甲台町1-1,  
TEL 078-803-6208, FAX078-803-6208)

\*\*\*\*正員, 工博, 大阪市立大学院 工学研究科

(大阪市住吉区杉本3-3-138,  
TEL 06-6605-2731, FAX 06-6605-3077)

\*\*\*\*\*正員, 工博/商博 神戸流通科学大学

(神戸市西区学園西町3-1  
TEL 078-796-4840, FAX 078-796-4840)

表 1 実験の枠組み

項目	内容
日時	2001/04/12 21:00-23:00 (閉店後)
対象地域	大型小売店舗 食料品売場
被験者	店舗内回遊(1名)
計測機器	PEAMON(蓄積型Off-Line PHS) パワーアンテナ VTR

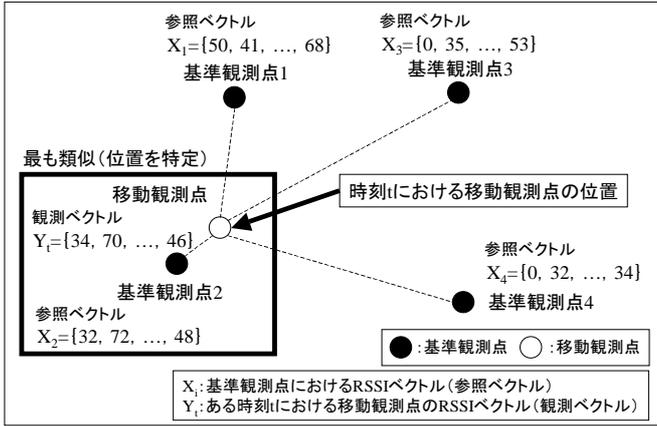


図1位置特定手法イメージ図

(2)類似度算出方法(RSSI距離法)

観測ベクトルと参照ベクトルの類似度を評価する指標について述べる。ある時刻  $t$  での移動観測点の位置(未知)を求めるということは、観測ベクトル  $Y_t$  に最も似たベクトルを基準観測点の参照ベクトル  $X_i$  の集合 ( $i = 1 \sim 53$ ) から抽出する作業である。いずれのベクトルも設置したパワーアンテナの数に等しい要素数を持つ。時刻  $t$  における移動観測点と  $i$  番目の基準観測点とのベクトル空間内距離  $D_{ii}$  は

$$D_{ii} = \sum_{k=1}^k (X_{ik} - Y_{tk})^2 \quad (1)$$

$X_{ik}$ :  $i$  番目の基準観測点で観測された  $k$  番目のパワーアンテナの RSSI 値。

$Y_{tk}$ : 移動観測点がある時刻  $t$  に受信した  $k$  番目のパワーアンテナの RSSI 値。

である。この距離を用いて、最小の  $D_{ii}$  値を与える基準観測点の位置を時刻  $t$  での移動観測点の位置とする。この位置特定方法を RSSI 距離法と呼ぶ。

3. 実験内容

(1)実験の枠組み

大型小売店舗内の食料品売場(概ね1000m<sup>2</sup>のエリア)において、被験者の買い回り行動を把握するために表1に示す枠組みで実験を行った。被験者が携帯したPEAMONのデータ収集間隔は約5秒とした。図2 はパワーアンテナと基準観測点の配置図である。店舗内の21箇所パワーアンテナを設置した。一方、店舗内の主要箇所53地点に基準観測点を配置することで参照ベクトルを計測した。

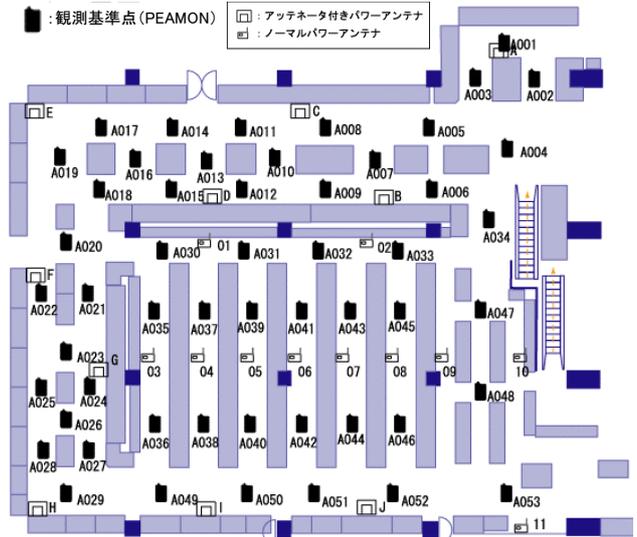


図2 パワーアンテナと基準観測点の配置図

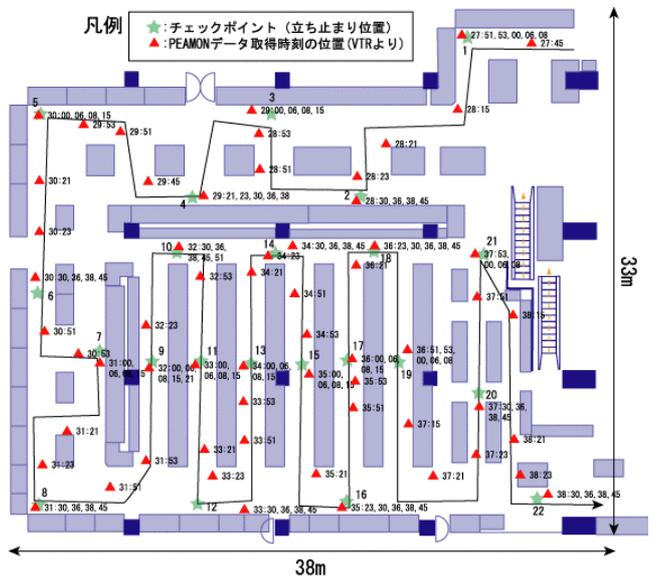


図 3 被験者の回遊ルートとデータ取得地点

(2)被験者(移動観測点)の回遊ルート

あらかじめルートと滞在地点を指定して、被験者に店内を回遊させた。滞在地点では、約20秒間の滞在进行、店内のほぼ全通路を歩行するようなルートを設定した。滞在地点と時刻に関する真値を得るために、被験者の回遊行動を撮影した。図3 は被験者の回遊ルートとCSID&RSSIのデータ取得時刻と位置を示している。

## 4 . 実験結果

### (1) 基準観測点データ( $X_i$ : 参照ベクトル)

基準観測点では、22:30~22:39 の 9 分間、各基準点に PEAMON を配置して、約5秒間隔で店内設置パワーアンテナの RSSI を観測した。各基準点において観測・記録できるパワーアンテナの数は、RSSI の大きい順に最大 7 つまでである。RSSI の時間的な変動やマルチパス・人体効果などの影響により、9分間に各基準観測点で観測するパワーアンテナの組み合わせは一定とは限らない。安定した参照ベクトルを作成するために、9分間に収集された観測基準点での受信率により打ち切りの閾値を設け、受信回数が少なく偶然に受信されたとみなされるパワーアンテナの RSSI を参照ベクトルの中ではゼロとすることにした。受信率とはある特定の ID を持つパワーアンテナから RSSI を受信した回数を最大受信回数(109 回)で割った百分率である。閾値を低く設定しすぎると、わずかでも電波を受信したアンテナの RSSI の値が参照ベクトルに反映されてしまう。逆に、閾値を上げすぎると、ゼロにすべきでないアンテナの RSSI 値をゼロとみなすことになる。

### (2) 閾値の決定

閾値を決定するために、その値を 0%から 10%ごと上げていき、平均誤差(m)が最も小さな値を求めた。平均誤差とは、個々の移動観測点ごとの推計位置と真の位置(真値)との直線距離を誤差とし平均した値である。ここに、移動観測点の推計位置は、式(1)に示す RSSI 距離が最小の基準観測点の位置である。真値とは被験者の回遊行動を VTR で撮影した映像から求めた被験者の位置に最も近い基準観測点の位置である。

表2 に受信率閾値による平均要素数と平均誤差の関係を示す。平均要素数は一つの参照ベクトルに含まれる要素数の平均を示している。受信率閾値を設けることで参照ベクトルに含まれる要素数は減少している。また、閾値を0%とし全受信RSSIデータを使用した場合に比較して、閾値50%までは平均誤差は減少している。しかし、閾値が60%を越えると逆に増加している。この理由として、閾値50%までは、マルチパスや人体効果などの影響による電波の乱れの影響を低減する効果を持つが、閾値が60%を越えると参照ベクトル中のRSSIがゼロでないアンテナが限定され、逆に精度が悪くなるのである。

表2 受信率閾値と平均要素数・平均誤差

受信率閾値 (%)	平均要素数 (個)	平均誤差 (m)
0% (全データ)	10.2	6.67
10%	7.5	6.42
20%	6.7	7.02
30%	5.9	6.21
40%	5.0	6.30
50%	4.6	5.91
60%	4.1	7.68
70%	3.5	9.50
80%	3.1	9.62
90%	2.6	9.65

### (3) RSSI 距離計算による位置特定結果

前項の検討結果を踏まえて、受信率 50%のときの参照ベクトルを用いて、式(1)から時刻  $t$  で RSSI 距離が最小となる基準観測点を算出する。表 3 に位置特定結果と真値との誤差の累積分布を示す。この表から位置特定の結果と真値の誤差の範囲が“0~5, 5~10(m)”の区間に約 80%弱のデータが含まれていることがわかる。この結果から、全体的には位置特定の精度は悪くないといえる。しかし、移動観測点を真の基準観測点に完全に一致させることは困難であることも確認できた。

表3 位置特定結果と真値との誤差の累積分布

データ区間 (m)	頻度 (個)	累積 (%)
0~5(m)	70	52.2%
5~10(m)	37	79.9%
10~15(m)	19	94.0%
15~20(m)	3	96.3%
20(m)~	5	100.0%

### (4) ゾーンに注目した位置特定結果

大型店舗内の回遊行動分析などでは、移動体の位置をゾーンで特定できれば十分な場合もある。そこで複数の基準観測点を含むゾーンを設定し、移動観測点の位置をゾーンで特定する。ゾーンの決定は、それぞれの陳列棚によって分割し、その周辺に配置した基準観測点をゾーン内基準観測点とする。ゾーンの分割とそのゾーンに含まれるゾーン内観測基準点を図4に示す。店舗内を“A~F”の6つのゾーンに分割する。各ゾーンにおいて、ゾーン面積やゾーン内観測基準点の個数などは異なるが、店舗の機能や陳列商品の種類などを考慮したゾーン分割を行っている。

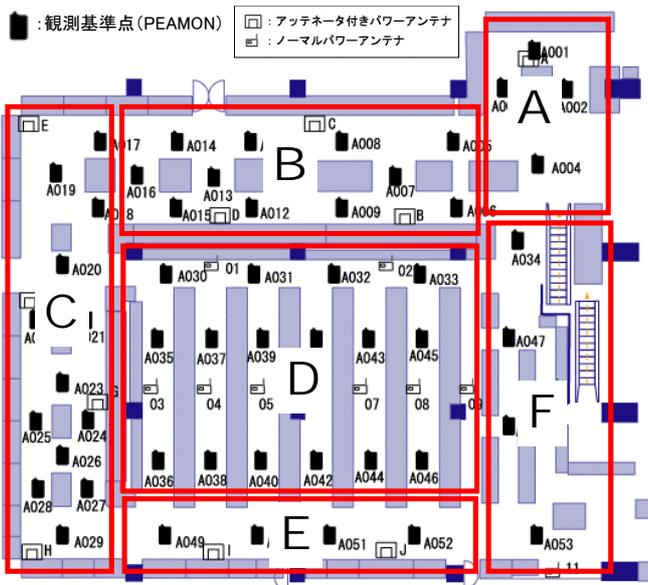


図4 ゾーン分割

式(1)の値を最小とする基準観測点が含まれるゾーン(推計値)と、VTRから求めた被験者(移動観測点)が含まれるゾーン(真値)を比較したときの的中率を表4に示す。被験者(移動観測点)の回遊行動をVTRの映像から移動・滞在時に分け、移動・滞在時ごとの的中率も求めた。マルチパスや人体効果などの影響を受けやすい滞在時は的中率も低くなっている。ゾーン別に見ると、概ね安定した的中率であるが、“ゾーン\_B”での滞在時における的中率がやや低いことがわかる。“ゾーン\_B”は比較的大きな通路からなるゾーンで滞在時にマルチパスの影響があったと考えられる。

表4 ゾーン別の中率

ゾーン	的中(個)			真値(個)			的中率		
	移動時	滞在時	合計	移動時	滞在時	合計	移動時	滞在時	合計
A	2	5	7	2	6	8	100%	83%	88%
B	4	7	11	5	13	18	80%	54%	61%
C	9	11	20	11	14	25	82%	79%	80%
D	27	15	42	35	22	57	77%	68%	74%
E	2	5	7	3	6	9	67%	83%	78%
F	4	9	13	4	13	17	100%	69%	76%
合計	48	52	100	60	74	134	80%	70%	75%

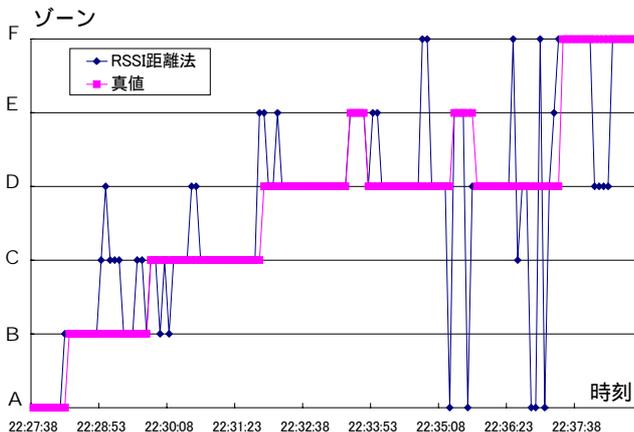


図5 ゾーン間回遊行動軌跡

### (5) ゾーン間回遊行動軌跡

図5は被験者(移動観測点)のゾーン間の回遊行動軌跡を示している。RSSI距離法により算出された結果と真値を比較すると、全体的にはゾーン間の回遊行動を再現できている。しかし、ゾーン境界周辺では微妙なズレが発生している。

## 5. 今後の展開

本稿では、PHS機能を持った移動体通信デバイスの一つであるPEAMON(受信器)とパワーアンテナ(発信器)を用いた狭域での新たな位置特定手法について述べた。本研究がターゲットとする狭域での調査ではパワーアンテナの設置から基準観測点での観測ベクトルと参照ベクトルの算出に至るまで、さほど手間をかけることなく調査準備を整えることができる。位置特定のための基本的な考え方についても参照ベクトルと観測ベクトルを比較することで被験者の回遊行動をゾーンレベルでは概ね再現できることを確認した。

参照ベクトルと観測ベクトルの類似度の算定については、クラスター分析などの多変量解析手法の適用や、参照ベクトルと観測ベクトルの要素差や内積を用いるなどいくつかの方法論が考えられる。対象エリアを複数のゾーンに分割して、移動観測点の位置を各ゾーンの存在確率として特定することも考えられる。これらの諸点については、実証実験を通してより適切な方法論を開発するための検討を進めている。検討結果については講演時に述べる。

### 参考文献

- 1) 朝倉康夫, 羽藤英二, 大藤武彦, 田名部淳 (2000) 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, No.653 /IV-48, pp.95-104.
- 2) OKAMOTO A et al.(2001) Monitoring Personal Travel Behaviour using a Cellular Phone System with Power Antennas and CSID Analysis. the 8th ITS World Congress in Sydney 2001, CD-ROM.
- 3) 岡本篤樹・近藤勝直・朝倉康夫・田名部淳(2001) 狭域調査におけるPHSシステムによる位置特定機能の利用可能性について, 土木計画学研究・講演集 Vol. 24, CD-ROM.