

都市商業施設内におけるPHSシステムを応用した位置特定手法*
~ 基準観測点を用いた地下商業施設内での位置特定手法に関する検討 ~

The location positioning method using PHS system in an urban commercial institution was applied *

岡本 篤樹**

By Atsuki OKAMOTO**

1. はじめに

都市商業施設内のヒトの回遊行動・購買行動を活発にすることは、都市活性化の牽引的な役割を担っている。商業施設の活性化をヒトの回遊行動分析、購買行動分析の2つの側面から捉え、店舗間におけるヒトの流動分析であり、店舗内でのヒトの購買分析である。この2つの視点を関連づけて分析するためには、店舗間の移動と店舗内の滞在時間などを同時に観測することが必要となる。

一方、GPS・PHSなどの位置特定機能を利用した調査が行われ、都市圏レベルのヒトの流動に関しては、その有用性も確認されている。しかし、都市内の施設や店舗間レベルのヒトの動きに関して、GPSではアーバンキャニオンや地下での利用は困難である。また、PHSについても都市内での位置特定誤差が大きいことから、既存の位置特定手法ではヒトの詳細な動きを観測することは不可能である¹⁾。

本研究では、都市施設内でのヒトの回遊や購買行動を観測するために、地下商業施設において、来街者の回遊行動実験を行った。PHSシステム端末が受信する自営基地局からの電界強度観測データを用いて移動体の位置を特定する。しかし、自営基地局からの電波状況は不安定であることから、あらかじめ回遊ルートを指定した移動体の位置を真の位置とし、観測データから推定される移動体の推定座標を比較することで、都市商業施設内における位置特定精度の検討を行う。

2. 位置特定手法

本研究では、PHSの基地局が発信する電界強度か

ら移動体の位置を特定する。位置特定手法は朝倉他²⁾によって提案されており、本研究での位置特定もその手法を用いて位置精度の検討を行う。

まず、基地局と基準観測点の概念を以下に示す。基地局は公衆基地局と自営基地局の2つの基地局からなり、PHSキャリアが設置したアンテナを公衆基地局とする。公衆基地局は地下街などでの設置密度が低いことから本研究では利用しない。一方、自営基地局は簡易設置可能なアンテナであり、公衆基地局からの電波を中継・拡幅する機能を持ち、電波発信時に固有のIDを発信するアンテナである。基準観測点には、固定基準点がある。固定基準点はPHSシステム端末を固定設置し、その場所で受信される基地局からの電界強度を観測する基準点である。

実験に使用したPHSシステム 端末 (PEAMON) は周囲に存在する自営基地局の電波のうち、電界強度が強い順番に最大7局までの電界強度とその基地局のIDを記録することが可能である。基準観測点を用いた具体的な位置特定手法について以下に示す。固定基準点と移動体を受信したの電界強度ベクトルは式(1)、(2)で表される。

$$\vec{\alpha}_i = (\alpha_{i1}, \alpha_{i2}, \dots, \alpha_{ik}, \dots, \alpha_{iK}) \quad (1)$$

$$\vec{\beta}_t = (\beta_{t1}, \beta_{t2}, \dots, \beta_{tk}, \dots, \beta_{tK}) \quad (2)$$

$\vec{\alpha}_i$: i 番目の固定基準点電界強度ベクトル

$\vec{\beta}_t$: t 番目の移動体の受信電界強度ベクトル

i : 固定基準点番号 ($i=1, 2, \dots, i, \dots, I$)

t : 移動体受信番号 ($t=1, 2, \dots, t, \dots, T$)

k : 基地局番号 ($k=1, 2, \dots, k, \dots, K$)

固定基準点と移動体を受信した電界強度の観測結果から移動体の位置を推定する。固定基準点は各自営基地局からの電界強度を観測し、そのベクトル要素は観測された電界強度を平均することにより決定する。移動体を受信した電界強度ベクトルと固定

*キーワード：位置特定手法，PHSシステム

**学生員，工修，大阪市立大学大学院工学研究科

(〒558-8585 大阪市住吉区杉本町3丁目3番138号

TEL 06-6605-2731、FAX 06-6605-3077)

基準点で観測された電界強度ベクトルの類似度を示す指標を式(3)から算出する。

$$F_{ii} = \frac{|\bar{\alpha}_i - \bar{\beta}_i|^2}{|\bar{\alpha}_i|^2 + |\bar{\beta}_i|^2} \quad (3)$$

一般に指標 F_{ii} は移動体と固定基準点が空間的に近ければ近いほど小さい値になると期待される。移動体の推定座標 ($\bar{X}_t(m), \bar{Y}_t(m)$) は各固定基準点の座標を指標 F_{ii} の逆数で重みを付けて平均した値となり、式(4), (5)で表される。

$$\bar{X}_t(m) = \sum_{i=1}^l \left(\frac{1}{F_{ii}}\right)^m x_i / \sum_{i=1}^l \left(\frac{1}{F_{ii}}\right)^m \quad (4)$$

$$\bar{Y}_t(m) = \sum_{i=1}^l \left(\frac{1}{F_{ii}}\right)^m y_i / \sum_{i=1}^l \left(\frac{1}{F_{ii}}\right)^m \quad (5)$$

x_i : i 番目の固定基準点 x 座標

y_i : i 番目の固定基準点 y 座標

m : パラメータ

本実験は都市商業施設内において、自営基地局を高密度に配置した。これは、常に固定基準点と移動体が自営基地局からの電波を受信している状態にするためである。すなわち、電界強度ベクトルを用いて移動体の位置を推定する場合、類似度を算出する電界強度ベクトルの要素が少なければ位置特定誤差や位置特定不能の原因になるからである。

3. フィールド実験

本研究では、都市内のヒトの動きを観測するために、都市施設が集積した大阪市内のクリスタ長堀地下商業施設内で実験を行った。実験エリアは東西方向に約750mの地下通路の両岸に複数の店舗が並び、公共交通機関・地上商業施設へのアクセス通路としても利用されている。

(1) フィールド実験の枠組み

移動体(被験者1名)は、実験エリア内にあらかじめ設定された移動ルートを約45分間歩行する。地

下商業施設内の店舗間の移動、店舗内での購買や広場での滞在を観測するといった観点から滞在地点は10箇所とし、それぞれの地点で約3分間(計30分間)滞在する。固定基準点は、自営基地局からの電波を9:00~21:00の12時間観測する。固定基準点と自営基地局の設置位置を図-1に示す。

(2) 実験結果の検討内容

a) 電界強度と距離の関係

移動体と自営基地局との実距離と移動体を受信した電界強度から距離と電界強度の関係を見る。移動体の観測データをエリア別に通路部、店舗内、広場の3つの場所に分類し検討する。通路部は移動時の観測データである。マルチパスの影響が大きく、距離と電界強度の関係にばらつきが大きいと推測される。店舗内・広場は滞在時の観測データである。店舗は通路の両岸にあり、厚いガラスやコンクリートなどで通路と店舗を仕切っているため電波の届きにくい場所である。広場は比較的オープンなスペースであることから電界強度と距離の関係にばらつきが小さいと推測される。

b) 位置特定精度

固定基準点の電界強度の受信状況はマルチパスの影響などから不安定である。そのため、偶然に受信した電波を固定基準点の電界強度ベクトル要素とし、移動体の電界強度ベクトルとの類似度から位置特定を行うと位置特定誤差が大きくなることが推測される。そこで、移動体を受信したベクトル要素と類似度を比較する固定基準点のベクトル要素の作成について、以下に示す手法を考える。

受信率閾値による手法(回数): 受信率は基地局からの電波受信回数を最大受信回数で割った百分率とする。偶然に受信した基地局からの電波に対し、受信率閾値を設定することで受信率の低いベクトル要素を除去する。

電界強度閾値による手法(強さ): 固定基準点は基地局からの電界強度を大きい順に7局しか受信

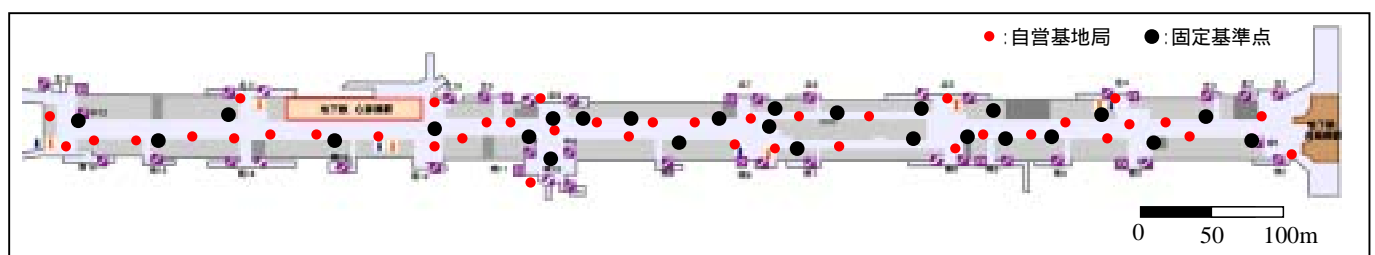


図-1 自営基地局と基準観測点配置図

できないことから、電界強度が小さい基地局からの電波受信状況の有無は不安定になる。このことから、電界強度の閾値を設定し、電界強度の小さいベクトル要素を除去する。

本稿では、地下商業施設での位置特定を考慮し、マルチパスの影響で偶然に電波を受信する可能性や固定基準点ベクトルの不要なベクトル要素を簡単に除去できるといった観点からこの手法を用いて、地下商業施設での位置特定精度を検討する。

4. 検討結果

(1) 電界強度と距離の関係

移動体と自営基地局の実距離と電界強度の関係を図-2 a) ~ c) に示す。通路部・広場では、基地局からの最大受信距離が約200mある。一方、店舗内での

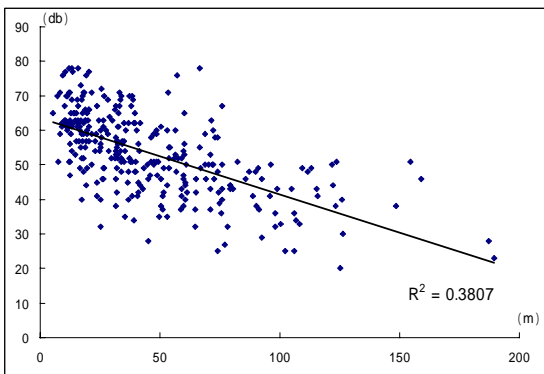


図 - 2 a) 距離と電界強度の関係 (移動時-通路部)

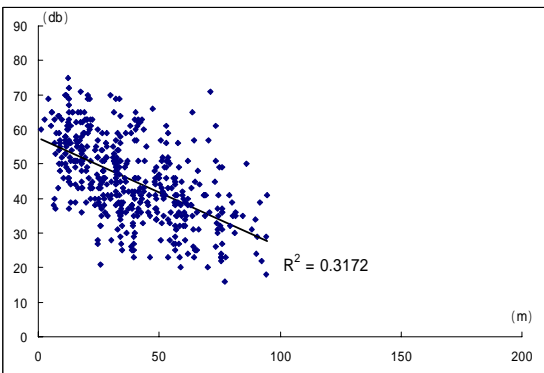


図 - 2 b) 距離と電界強度の関係 (滞在時-店舗内)

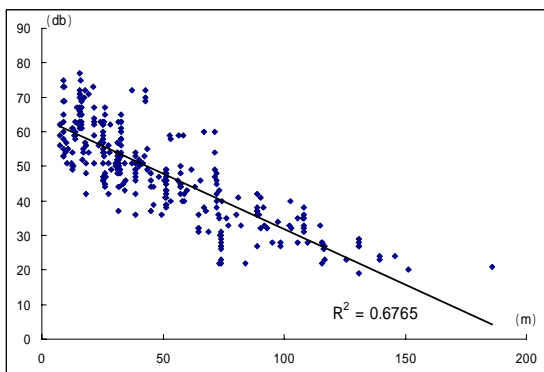


図 - 2 c) 距離と電界強度の関係 (滞在時-広場)

受信距離は100m程度となっていることから、遮蔽物の影響により電波の受信範囲が狭くなっていると考えられる。また、それぞれの決定係数 R^2 を見ると、通路部と店舗内の値は広場と比較して小さい値となっている。これは通路部・店舗内での距離と電界強度の関係にはばらつきが大きいことを示し、電界強度ベクトルの類似度を指標とした手法を用いた場合、ベクトル要素にはばらつきが生じ位置特定誤差が大きくなると推測できる。

(2) 位置特定精度

移動体の真の位置座標 (X_i, Y_i) と推定位置座標 $(\bar{X}_i(m), \bar{Y}_i(m))$ の誤差を平均誤差 $G(m)$ を用いて評価し、その誤差が最小となるようなパラメータ m を決定する。平均誤差 $G(m)$ は式(6)から算出する。

$$G(m) = \sum_{i=1}^T \sqrt{(\bar{X}_i(m) - X_i)^2 + (\bar{Y}_i(m) - Y_i)^2} / T \quad (6)$$

指標 $F_{i,j}$ と固定基準点の座標を式(4), (5)に代入し、移動体の推定座標を求める。真の位置座標と推定座標の平均誤差が最小となるパラメータは $m=6.9$ となり、平均誤差は30.1mであった。朝倉他の屋外での実験結果では、 $m=2.6$ のとき最小平均誤差は33.15mであった。ここで、パラメータ値の大小関係を以下のように推測する。基地局からの電界強度ベクトルが少数の場合、限定された電界強度ベクトルの中で最も類似しているベクトルの影響を大きくするため、 m の値は大きくなる。多数の基地局から電界強度ベクトルを受信している場合、多数のベクトルを参照し類似度を算出することから、 m の値が小さくなる。本実験では店舗内、通路・広場とし、が混在した実験エリアであるため、朝倉他の実験結果と比較して m の値が大きくなった。

3章(2)のb)で述べたように受信率閾値から固定基準点ベクトルを作成する。閾値を決定するために、その値を0%から10%ごとに上げて、平均誤差が最小となる受信率を求めた。また、各受信率での固定基準点の電界強度ベクトル要素の平均個数も受信率を上げることで減少している。この結果から、閾値が80%のとき平均誤差が24.1mと最小になり、そのときの平均ベクトル要素数は4.79個であった(図-3参照)。本実験での移動体の平均ベクトル要素数が5.41個であることから固定基準点のベクトル要素とほぼ同数のベクトル要素で類似度を算出しているこ

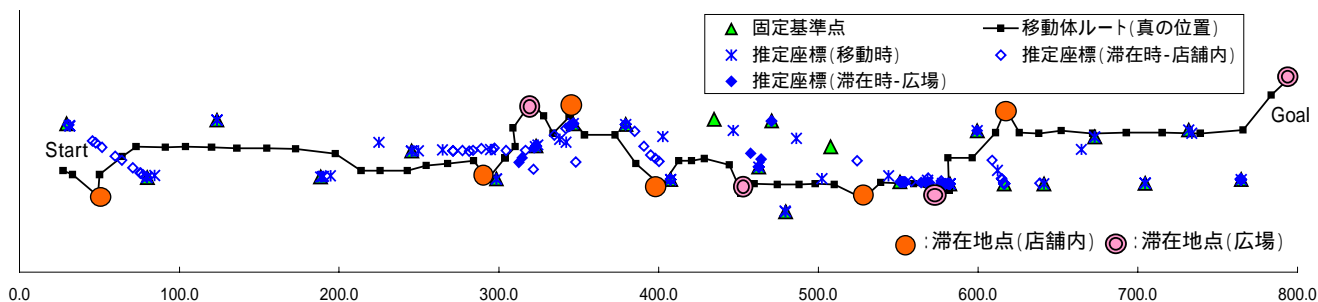


図 - 4 移動体ルート(真の位置座標)と推定座標

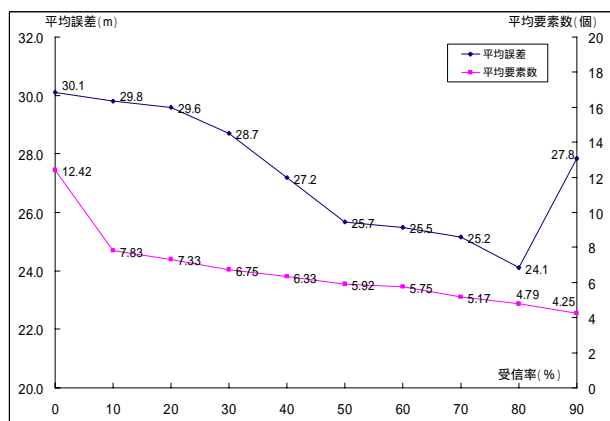


図 - 3 平均誤差・電界強度ベクトル数と受信率

とが分かる。パラメータを $m=6.9$ とし、受信率閾値を80%としたときの固定基準点の電界強度ベクトルを用いて移動体の推定座標をプロットした(図-4参照)。移動体の推定座標は固定基準点の設置位置に依存している。特に固定基準点の設置が疎のエリアでは、移動体の推定座標は固定基準点の設置位置上にほぼ重なってプロットされている。また、誤差分布の結果(図-5参照)から、真の位置との誤差はほとんどが30m以内であり、移動時の平均誤差は約30m、店舗内・広場での滞在時はそれぞれ20m程度であった。4章(1)の結果から、店舗内での誤差が大きくなると推測されたが、広場での誤差より良い結果となった。これは、4章(2)でパラメータ m の値が大きくなったことから、固定基準点付近に推定座標が算出

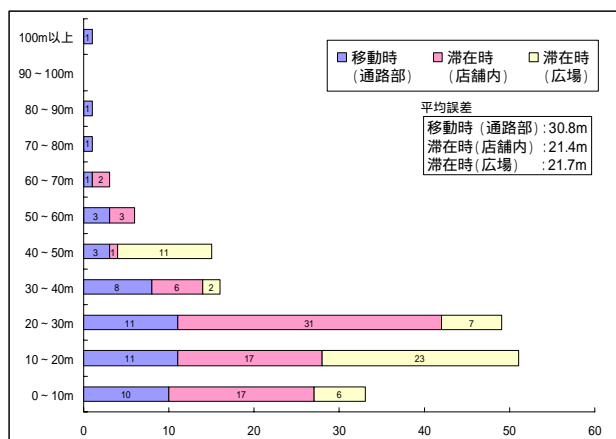


図 - 5 誤差分布($m=6.9$ の固定基準点ベクトル使用)

され、その固定基準点と滞在店舗が近接していたため、店舗内での位置特定誤差が小さくなった。

5. まとめ

都市商業施設内において基準観測点を用いた移動体の位置精度を検討した結果、その知見を述べる。

屋外での位置特定誤差と比較し、地下での誤差が24.1mであったことは、基準観測点を用いた位置特定手法の位置精度として良い結果といえよう。

固定基準点ベクトルについて、1つの固定基準点ベクトルの要素数は5個程度とし、移動体を受信した電界強度ベクトルと類似度を算出する。本研究では固定基準点のベクトル要素除去の閾値として受信率80%が適当であった。

移動体の推定座標プロット図と誤差分布の結果から、移動体の推定座標は固定基準点の設置場所やその密度に依存している。

以上より、地下商業施設では固定基準点を配置することで位置特定誤差は24.1mとなり、十分な位置精度が得られたと考える。また、本実験では固定基準点の設置密度を密・疎の2つの実験エリアに分けている。今後、固定基準点を密・疎に配置した場合の位置精度を比較することで、都市商業施設における固定基準点の最適な設置台数や設備投資を検討し、新たな位置特定手法を提案したい。

参考文献

- 岡本, 朝倉, 内田, 近藤, 田名部, : 「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」, 土木計画学研究講演集, CD-ROM, 2002
- 島田, 井料, 朝倉: 「基準観測点を用いたPHSによる移動体の位置特定手法の開発と評価」, 土木計画学会, CD-ROM, 2003