

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*

Evaluation of a location positioning method using PHS and probe stations

島田 雅俊**・井料 隆雅***・朝倉 康夫****

By Masatoshi SHIMADA**・Takamasa IRYO***・Yasuo ASAKURA****

1. はじめに

移動体の行動を客観的に捉える方法として、携帯電話などに代表される移動体通信システムを用いる位置測定手法がある。その中でも PHS は特に高密度に基地局が配置されており、都市内における移動体行動の把握に適したシステムであるといえる。

PHS を用いて位置測定を行う際には、PHS の基地局の座標をあらかじめ知っておく必要がある。通常は基地局座標は既知のものであり、このような場合における位置測定手法についてはすでに研究が行われているが、実験環境によっては基地局座標が未知の場合もある。

この研究では、基地局座標が未知の場合でも PHS による位置測定を可能とするために「基準観測点」の概念を導入した。そして、基準観測点による方法と基地局座標の情報を直接用いる方法とを比較し、基準観測点による方法の精度について評価することを行っている。

2. 位置特定手法について

この研究では、PHS の基地局が発信する電波の強度（電界強度）の情報を用いて移動体の位置を特定することを行う。今回の実験で使用した PHS システム（PErsonal Activity MONitor : PEAMON）は、周囲に存在する基地局の電波のうち、電界強度が強い順番に最大 7 局までの基地局が発する電波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。一般には基地局から離れば離れるほど電界強度は弱くなるので、電界強度のより大きい電波を発する基地局ほどその PHS 端末の近くにあることが推測される。そのため、基地局の座標が既知であれば、各基地局の座標を電界強度の重みをつけて平均することによってその PHS 端末（移動観測点）の座標を推測できることになる。一方、基地局の座標が未知の場合には、座標が既知である「基準観測点」における電界強度の観測結果と移動観測点が観測した電界強度の観測結果とを比較して移動観測点の座標の推定を行うものとする。

基地局座標が既知の場合の測定方法について説明する。移動観測点における電界強度は、

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

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

$\vec{\alpha}_i$: i 番目の基準観測点電界強度ベクトル

$\vec{\beta}_t$: t 番目の移動観測点電界強度ベクトル

i : 基準観測点番号 (i=1, 2, ..., i, ..., I)

t : 移動観測点番号 (t=1, 2, ..., t, ..., T)

k : 基地局番号 (k=1, 2, ..., k, ..., K)

で示すような「電界強度ベクトル」で示される。このベクトルは全基地局からの電波の電界強度を表現するが、実際には最大 7 局分の情報しか記録されないため、それ以外の基地局からの電界強度は 0 と記録される。

基地局の位置座標を用いた位置特定手法について具体的に示す。いま、各基地局の座標を電界強度で重みをつけて平均することにより移動観測点の座標が推測できるとしたので、移動観測点の推定位置座標を $(\bar{X}_i(m), \bar{Y}_i(m))$ とすると、

*キーワード：交通行動分析、位置特定

**学生員、神戸大学大学院自然科学研究科

(神戸市灘区六甲台町 1-1, E-mail: 035t122n@y03.kobe-u.ac.jp)

***正員、博(工)、神戸大学工学部建設学科助手

****正員、工博、神戸大学大学院自然科学研究科

$$\bar{X}_t(m) = \sum_{k=1}^K (\beta_{tk})^m x_k / \sum_{k=1}^K (\beta_{tk})^m \cdots (3)$$

$$\bar{Y}_t(m) = \sum_{k=1}^K (\beta_{tk})^m y_k / \sum_{k=1}^K (\beta_{tk})^m \cdots (4)$$

β_{tk} : t 番目の移動観測点で観測された k 番目の基地局からの電界強度

x_k : k 番目の基地局の x 座標

y_k : k 番目の基地局の y 座標

m : パラメータ

のようにして推定位置座標を計算することが可能である。

基準観測点を用いた位置特定手法は以下になる。まず、基準観測点の位置座標および、さらに基準観測点における電界強度ベクトルをあらかじめ測定しておく。電界強度ベクトルは、基準観測点上で数分間電界強度を計測し、その間に観測された電界強度を平均することにより決定する。次に、移動観測点で測定された電界強度ベクトルと基準観測点で測定された電界強度ベクトルとの類似度を示す指標 F_{ti} を計算することをおこなう。指標 F_{ti} は

$$F_{ti} = \frac{|\bar{\alpha}_i - \bar{\beta}_t|^2}{|\bar{\alpha}_i|^2 + |\bar{\beta}_t|^2} \cdots (5)$$

と定義される。指標 F_{ti} は、2つの電界強度ベクトルが近ければ近いほど小さい値をとる。すなわち、この移動観測点と基準観測点が空間的に近ければ近いほど指標 F_{ti} は小さくなることが予想される。移動観測点の推定位置座標 $(\bar{X}_t(m), \bar{Y}_t(m))$ は、各基準観測点の座標を指標 F_{ti} の逆数で重みをつけて平均した値、すなわち

$$\bar{X}_t(m) = \sum_{i=1}^I \left(\frac{1}{F_{ti}}\right)^m x_i / \sum_{i=1}^I \left(\frac{1}{F_{ti}}\right)^m \cdots (6)$$

$$\bar{Y}_t(m) = \sum_{i=1}^I \left(\frac{1}{F_{ti}}\right)^m y_i / \sum_{i=1}^I \left(\frac{1}{F_{ti}}\right)^m \cdots (7)$$

x_i : i 番目の基準観測点の x 座標

y_i : i 番目の基準観測点の y 座標

によって推定される。

3. フィールド実験とその結果

本研究で提示した基準観測点による位置推定手法を評価するためのフィールド実験を行った。実験エリア(約 250m × 約 300m)内にあらかじめ設定されたルートで PEAMON を携帯した 1 人の被験者に約 20 分かけて歩行してもらった。調査エリア内に「パワーアンテナ」という商用アンテナの電波を受信し、その電波を増幅し中継する装置を配置し、それを基地局として用いた。なお通常の商用基地局によるデータは用いていない。また調査エリア内の主要な箇所に基準観測点を配置し、電界強度を計測した。実験の詳細は表 - 1 に、移動体のルートは図 - 1 に示す。

表 - 1. 実験概要

項目	内容
実験対象エリア	神戸市元町近辺 (旧居留地) 約 250m × 約 300m
日時	2002 年 11 月 15 日 13 時 40 分 ~ 15 時 45 分
使用器機	PEAMON 12 台, パワーアンテナ 25 台
取得データ	基準観測点 40 点 移動観測点 161 点



図 - 1. 移動ルート

まず「電界強度は、基地局と移動観測点の距離が近いほど強くなる」という傾向があるかどうかを確認するため、移動観測点 t とパワーアンテナ k との実距離 d_{tk} と、移動観測点 t が受信したパワーアンテナ k からの電界強度 β_{tk} との関係性を調べた。結果を図 2 に示す。この図を見ると、距離が離れば離れるほど強い電界強度が観測されなくなるという傾向が確認できる。

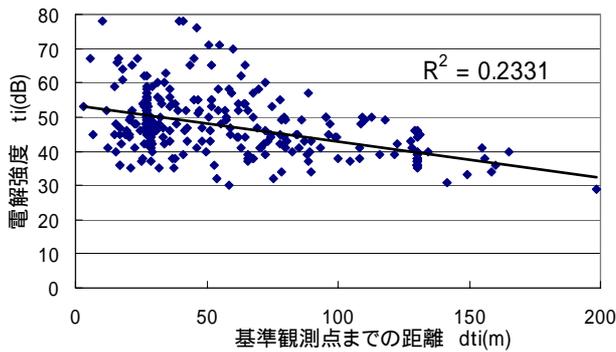


図 - 2 . 基地局までの距離と電界強度の関係

次に、基地局座標が既知であるとした場合の手法を用いて移動体の推定位置座標 $(\bar{X}_i(m), \bar{Y}_i(m))$ を求めた。このとき、式(3)(4)に含まれるパラメータ m を推測するために、別途取得した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、全観測点の平均誤差 $G(m)$

$$G(m) = \sum_{i=1}^T \sqrt{(\bar{X}_i(m) - X_i)^2 + (\bar{Y}_i(m) - Y_i)^2} / T \quad \dots (8)$$

を用いて評価し、その誤差が最小になるような m を決める必要がある。今回の実験ではパラメータ m と平均誤差の関係は図 - 3 のようになった。平均誤差を最小にするパラメータは $m = 9.1$ であり、そのときの平均誤差は 37.75m であった。

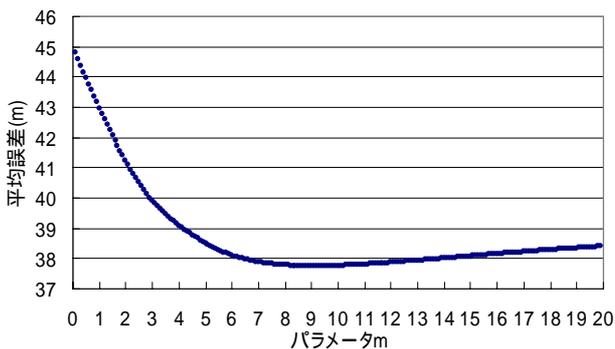


図 - 3 . パラメータ m と平均誤差 $G(m)$

パラメータ $m = 9.1$ のときの推定位置座標 $(\bar{X}_i(m), \bar{Y}_i(m))$ をプロットした図を図 4 に示す。また、パラメータ $m = 9.1$ のときの、各観測点で発生した誤差の頻度分布を図 - 5 に示す。エリア南東部付近で位置測定がうまく行えていないのはこの付近

におけるパワーアンテナに発生したトラブルのためである。他のエリアではおおむね移動軌跡を再現している。誤差は半数以上の地点において 30m 以下であった。

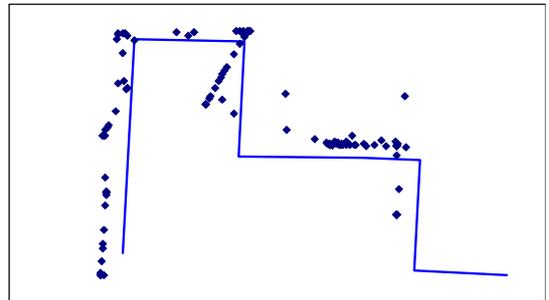


図 - 4 . $m = 9.1$ の推定位置座標プロット図

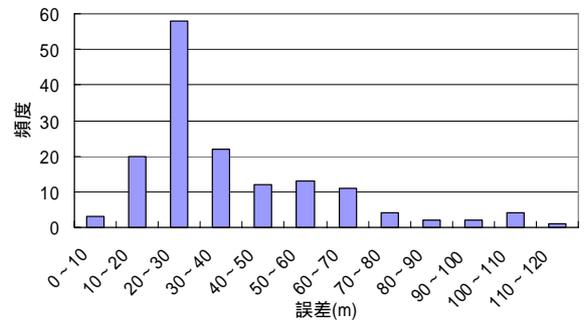


図 - 5 . 誤差分布 ($m = 9.1$)

基地局の位置が不明な場合の手法を用いて移動体の位置座標を推定する。まず、指標 F_{ti} が移動観測点と基準観測点の距離に関係しているかどうかを確認することを行った。ある移動観測点における結果を図 - 6 に示す。この移動観測点では、指標 F_{ti} と移動観測点と基準観測点の距離には高い相関があることが分かり、他の移動観測点についても概ね同様の結果となった。

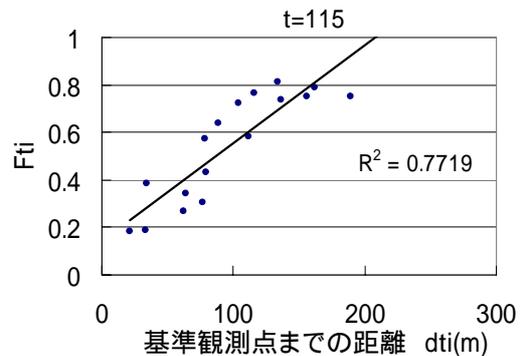


図 - 6 . ある移動観測点と全基準観測点との間の F_{ti} と距離 d_{ti} の関係

指標 F_{ii} と基準観測点の座標を式(6)(7)式に代入し、移動体の推定位置座標 $(\bar{X}_i(m), \bar{Y}_i(m))$ を求める。このとき、基地局座標を直接用いた場合の手法と同様に、真の位置座標と推定位置座標の平均誤差 $G(m)$ が最小になるようなパラメータ m を推測する必要がある。今回の実験では図7に示すような平均誤差 $G(m)$ と m の関係を得、その結果、 $m = 2.6$ のときに最小平均誤差 33.15mを得た。

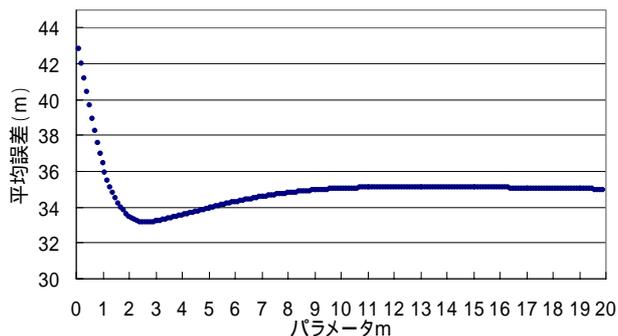


図 - 7 . パラメータ m と平均誤差 $G(m)$

パラメータ $m = 2.6$ のときの推定位置座標 $(\bar{X}_i(m), \bar{Y}_i(m))$ をプロットした図を図 - 8 に示す。基地局座標から求めた場合と同様に、エリア南東部付近に配置したパワーアンテナからは電界強度を受信することができなかつたので、エリア南東部は位置特定を行えてない。しかしその他の地点では移動ルートを概ね再現できているといえる。

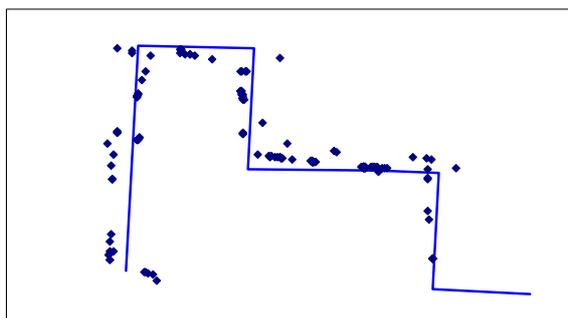


図 - 8 . $m = 2.6$ の推定位置座標プロット図

誤差の空間的な分布を調べたところ図 - 9 のようになった。誤差はほとんどの地点で 80m 以内に集中しているが、基地局座標が既知であるとした場合の結果(図 - 5)に比べ 20m 以内の誤差の地点が増えている。

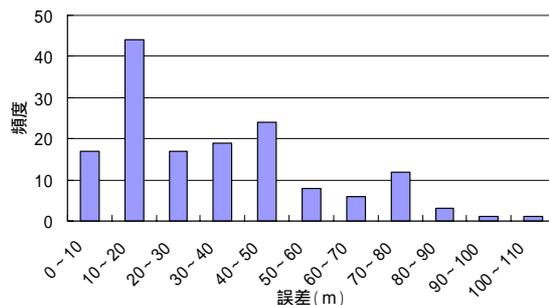


図 - 9 . 誤差分布 ($m = 2.6$, 基準観測点使用)

4. まとめ

本研究において実験を行い位置特定を試みた結果、パワーアンテナの位置座標から求める方法と、基準観測点を用いて求める方法とを比べても位置特定精度に大きな違いはなく、平均誤差は共に 30 ~ 40m 程度であった。これにより、基地局の位置座標が不明の場合でも基準観測点における位置座標が測定できれば移動体の位置を推定できることがわかった。このことは、PHS 基地局の座標を調べることなく位置測定実験を行うことが可能であることを示しており、PHS による位置測定手法の可能性をより広げるものであるといえよう。

参考文献

- 1) 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, No653/ -48, pp95-104, 2000
- 2) 岡本篤樹, 鈴木明宏, 李竜煥, 田名部淳, 朝倉康夫: PEAMON (Personal Activity MONitor) の開発と機能実験, 土木計画学研究講演集, No.23(1), pp659-662, 2000
- 3) 岡本篤樹, 朝倉康夫, 内田敬, 近藤勝直, 田名部淳: 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, 土木計画学会, CD-ROM, 2002