

# 交通および物流における位置情報処理の研究

3月修了(2011年) 人間環境学専攻 096692 安 百合  
指導教員 保坂 寛 教授

This study describes a method to integrate a personal handy-phone system (PHS) positioning system, which utilizes the electric-field intensity of the base station, with an exploration method, which utilizes the directional-antenna terminal electric-field strength, to search lost items in logistics markets. This methodology employs the directional antenna to confirm the position of the lost item within the errors of the PHS positioning system. An effective exploration method is proposed by comparing the position, which is obtained from the relationship between the electric-field intensity of the PHS terminal and the distance, and the position obtained from the cross point of directions of the maximum terminal electric-field intensity measured at several positions. By focusing on Chinese logistics business background and targeting the positioning and car sharing, the quantitative utilization tendency and requirement estimation are done by using the traffic data which includes PHS positioning data, reservation data, cycle data, etc.

Key words: logistics, personal handy-phone system

## 1. 緒言

中国は世界の環境問題の中心である。製造業だけでなく、物流、交通も重要な課題である。物流での解決には、無駄を省くための位置追跡が有望技術とされている。追跡方法の一つに、日本で開発され中国で最も普及した PHS による測位が期待されている。PHS 測位は、屋内外シームレス、低消費電力、初期投資不要などの利点があるが、建物による反射や減衰により数百 m の誤差が生じるという欠点がある<sup>1)2)</sup>。通常時はこの誤差は問題とならないが、製品紛失時の発見には不十分である。

交通では、中国の車両台数は 1.92 億台あり、自家用車台数と駐車場の空きとの比が 7:1 という深刻な状態である<sup>3)</sup>。さらに世界的な経済不況により自家用車の購入が困難になり、移動の不便が生じている。この解決策として、安価、駐車場が削減可能、低環境負荷であるカーシェアリングが期待されている<sup>4)</sup>。

本研究では低炭素社会の実現に向けて、特に中国で問題となる物流用位置探査の高精度化と、カーシェアリングの事業性検討を行った。位置探査では PHS 測位を複数地点で行う方法を考案し、紛失物が存在する建物の遠隔検知を可能とした。カーシェアリングでは東大柏キャンパスの導入実験データにより事業性検討を行った。

## 2. PHS 端末と指向性受信機を用いる

### 高精度シームレス位置探索法

#### 2.1 PHS 測位システムによる探査手法

本研究では、指向性アンテナ、LNA(Low Noise Amplifier)、PHS プロトコルアナライザ、PHS カード (PHS 移動端末) による探索方法を開発した。先行研究で、PHS 基地局電波と指向性アンテナによる高精度探査法が開発されている。この方法では、紛失物が他者の所有する建物に存在する場合、建物に入る際に管理者の許可を得ること

が、実運用時の課題となっている。そこで目標建物を遠隔から正確に求める方法を 3 種考案し、最適な方法を決定した。

#### 2.2 測定方法 1 校正曲線法

PHS 端末発信電界強度と測定地点から端末までの距離の関係を実測により確認した。測定は見通しの良い東大柏キャンパス内で行い、移動端末は屋外と建物 2 階の 2 カ所に設置した。屋内に設置した端末電波は、LNA で増幅した場合も測定した。結果を Fig.1 に示す。LNA あり、なしを組合せることで、広い範囲で距離を求めることができる。Fig.1 を元に、違う場所で周りの環境に問わず千葉県江戸川駅付近任意 5 か所で測定を行った。得られた結果は最大誤差 92m で、最小誤差 25m、平均誤差 52m であった。従来法の平均誤差と比較して約 6 分の 1 となった。

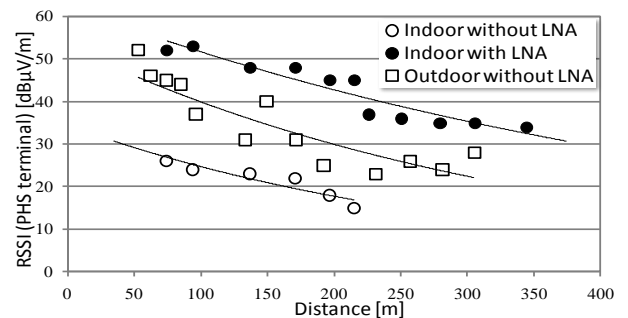


Fig.1. In-outdoor relationships between electrical field intensity and distance.

#### 2.3 測定方法 2 誤差比一定法

測定電界強度と距離の関係は測定地域の環境により変化する。したがって、測定方法 1 において、実際の計測において、電波の強さが周りの環境 (建物壁、樹木など) により増大する。そこで、誤差と距離の比が一定の仮定を用いて距離を補正する方法を考案した。Fig.2 を用いて説明する。探索開始地点を A とし、紛失物までの距離を X とする。地点 A で測定した移動端末電波電界強度を用いて電界強度と距離の関係により紛失物までの距離を予測し  $d_1$  とする。次に、端末発信電波の来る方向に少し進み (進行距離 Y) ,

そこ（地点 B）で測定した端末電波電界強度より予測した紛失物までの距離を  $d_2$  とする。真の距離と電界強度から得られた距離の比が、2 回の測定で等しいとすると、 $d_1, X, d_2, Y$  の関係は次式となり、 $d_1$  を補正することができる。

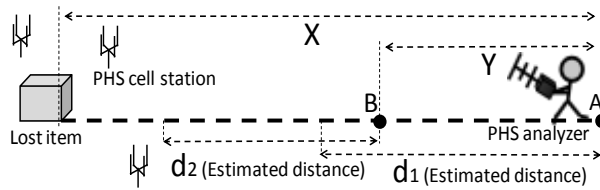


Fig. 2. Correction of distance estimation.

$$\frac{d_1}{X} = \frac{d_2}{X - Y} \Rightarrow X = \frac{d_1 \times Y}{d_1 - d_2} \quad [1]$$

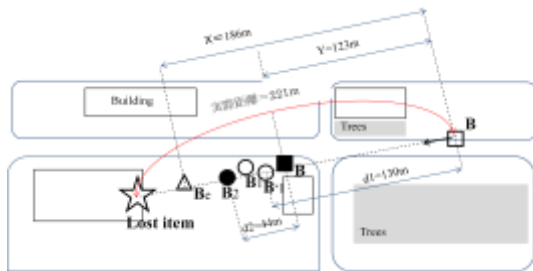


Fig. 3. Indoor PHS terminal searching.

本方法を用いて PHS カードの探索を行った。PHS カードは、Fig1 とは別の建物内に設置し、Fig.3 に☆で示した。本実験では PHS を利用した重心法による測位方法を用いて、PHS カードの概略位置を計算し、その位置を探索開始地点とした。Fig.3 の○印は開始地点、○印はそれぞれの開始地点における端末電波電界強度から予測した端末位置を表し、各印に添記されたアルファベットにより対応が示されている。距離の予測には、Fig.1 のグラフを用いた。添記アルファベットに「r」が付記されている○印は LNA で増幅した測定値を用い、それ以外は増幅しない測定値を用いた予測結果である。地点 A, C, D では 1 回の探索でほぼ正確な位置が得られたが、B では誤差が大きい。そこで、B に対して Fig.2 の方法により再度の探索と補正を行った。B 地点に対して、校正曲線法を用いて、一回目が位置 ■B に計算され、2 回目が位置 B2 に計算された。式(1)の補正を行うと Be となり、誤差は 35m となった。一方、2 章の方法で同じ回数（2 回）の測定を行った場合の測定位置は B2 であり、誤差は 54m である。すなわち本方法により誤差は約 2/3 となった。

2.4 測定方法 3 交点法

まず、PHS を利用した重心法による測位方法を用いて、PHS カードの概略位置を計算し、その位置を探索開始地点とする。開始地点において指向性アンテナで電波強度の計測を行い、端末電界強度が最も強い方向を確認する。次に、この地点から 90 度程度の角度がある B 地点で再び電界強度最大の方向を求める。A, B 両地点の電界強度方向の交点を求めると端末位置を得ることが出来る。

東大柏キャンパスで測定した結果を Fig.4 に示す。この

他の 5 地点においても本方法を用いて実験を行った。いずれも誤差は数メートル以内となり、平均誤差は約 5m となった。

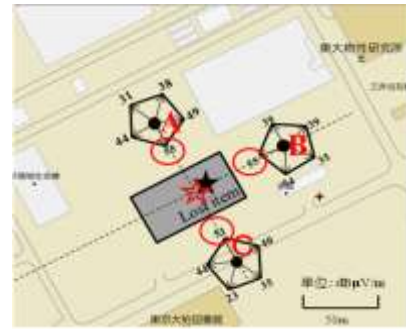


Fig.4. The method of finding lost item by calculating the cross point of directions of the maximum terminal electrical field intensity measures at several positions.

3. カーシェアリング実証実験

3.1 柏キャンパスカーシェア移動距離と時間

東大柏キャンパスでは約 1 年間カーシェア無料実験が行われている。その利用状況を把握するため、1 カ月間の移動距離と利用時間の関係を整理した。9 月分の結果を Fig.5 に示す。横軸が一日の時刻となり、単位は 1 時間である。縦軸は一か月の日付である。総時間の半分程度しか利用されていないこと、5km~25km の利用が多いことが分かる。利用目的の大半が、一時帰宅、買い物、食事であった。

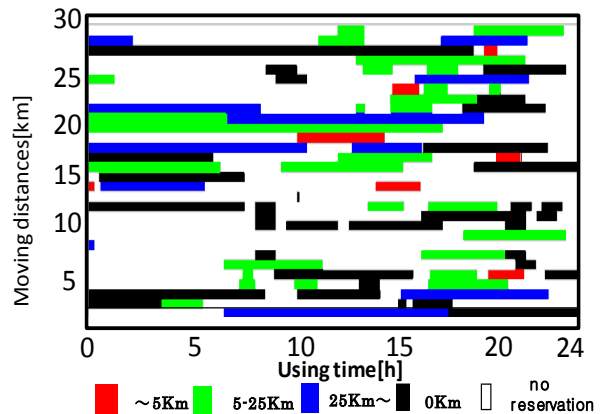


Fig.5. using time and moving distance on September.

次に、1 日のうちの時間と予約回数との関係を求めた Fig.6 に示した。利用回数のピークは 17 時、最小は 4 時頃である。また昼夜の利用回数の差が少ない。この原因は院生が徹夜するためである。また明け方に小さなピークがある。これは朝から会議を行う研究室があり、徹夜後に帰宅し、入浴や着替える院生がいるためである。

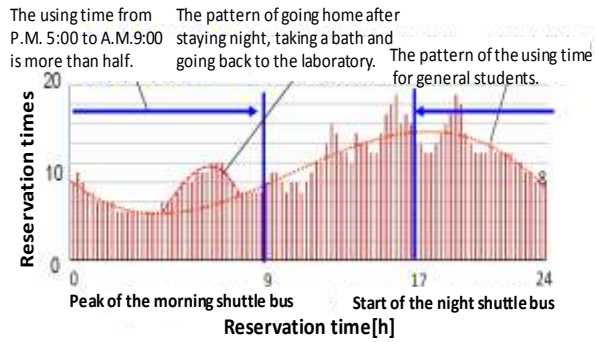


Fig.6.The reservation times according to the time area.

3.2 柏有料化時利用時間の計算

柏キャンパスと類似条件の筑波大学での有料カーシェアのデータを用いて、柏での有料化時の利用時間を予測した。運転時の車両の平均速度と、移動目的地での停車時間が場所によらず一定と仮定する。柏と筑波における10月の有料化時の移動距離と予約時間の関係と、それらを直線回帰したものを用いて Fig.7 に示す。柏のデータの方が高い位置にあり、同じ距離であれば利用時間が長いことが分かる。これは、柏では無料のため無駄時間が多いためである。有料化すれば筑波と同様の回帰直線になると考えられる。

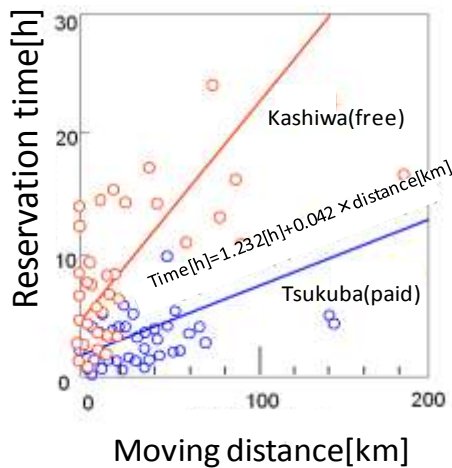


Fig.7. The relationship of the moving distance and reservation time for the paid period of Kashiwa and Tsukuba, and linear regression of these data.

つぎに、柏と筑波の移動距離と利用回数の関係性を求めたものを Fig.8, 9 に示す。柏では距離が短いほど回数が多いのに対し、筑波では、5km以下の回数は少ない。

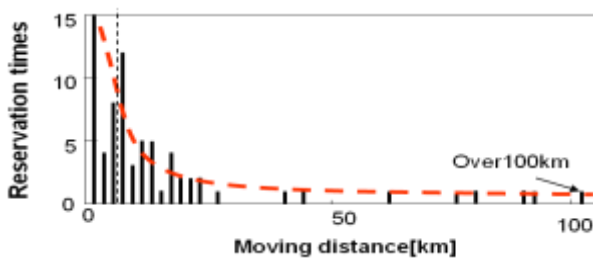


Fig.8.The relationship between moving distance and reservation time of Kashiwa on October.

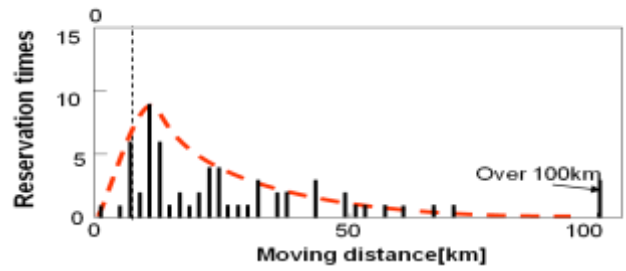


Fig.9. The relationship between moving distance and reservation time of Tsukuba on October

これより、柏での有料化時には5km以下の利用は無くなると仮定すると、柏の利用回数は40回、総移動距離は1121kmとなる。以上求めた筑波の回帰式と柏の5km以上の移動距離と回数から利用時間を計算すると次式となる。

$$\begin{aligned} & \text{柏の予想予約時間} \\ & = \Sigma [1.232 (h) + 0.042x \text{ 距離 (km)}] \\ & = 1.232h \times \text{予約回数 (40)} + 0.042 \times 1121\text{km} = 96h \end{aligned}$$

柏有料化時の利用時間は96時間となった。これは、無料時の予約時間473時間の1/5である。また、筑波の利用時間(156時間)よりも短い。短い原因は、柏では駅までの距離が短いこと、無料のシャトルバスが運行されていること、登録者数が少ないことなどが考えられる。

以上の方法で、2010年1月～12月の有料化時の利用時間を月ごとに求めたところ、100～150時間となった。これは、筑波の料金設定の場合の採算ラインと同程度であり、柏キャンパスにおいても事業化の可能性があるとと言える。

3.3 マルチステーションの検討

東大柏キャンパスと柏の葉キャンパス駅にステーション(駐車場)を設置した場合を検討した。東大シャトルバス利用時間帯を対象とし車両と登録者は現状と同じ、1台、36人とする。片道利用による車両利用効率は、駅→キャンパス(上りと呼ぶことにする)とキャンパス→駅(下りと呼ぶことにする)の利用数に依存する。そこで、類似の交通手段の利用者数により推定した。

まず、シャトルバスのデータを利用した。

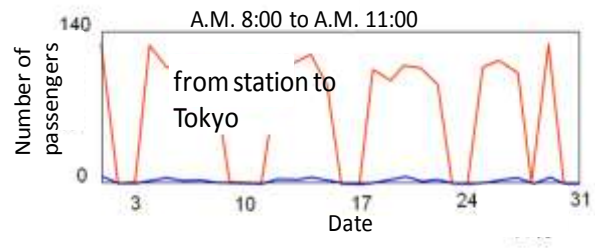


Fig.10. The number of passengers from station to Tokyo University in the period of A.M. 8:00 to A.M. 11:00

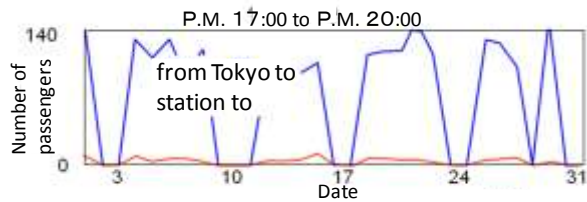


Fig.11. The number of passengers from Tokyo University to station to in the period of P.M. 17:00 to A.M. 20:00

2010年10月の1ヶ月分について、シャトルバスの午前便(8-11時)と午後便(17-20時)の上りと下りの乗客数を日ごとにまとめたものをFig10, 11に示す。結果から、平日の場合は、下りと上りの利用者数の比は1:20程度と推定された。

次に、スマートサイクルのデータを利用した。スマートサイクルとは、駅(UDCK)、キャンパス(環境棟)、柏の葉公園で乗り捨てが出来る、毎日が利用可能な貸し自転車である。利用時間帯を8-12時、17-20時、二つに分け、曜日ごとの利用者数を、2010年4月~2011年1月の間でまとめた結果をFig12, 13に示す。上りと下りの比は、8-12時は13:1、17-20時は1:7程度である。以上からの平均的には朝夕の移動者の比率は10:1程度となる。

以上の2つの移動手段の比率を用いて、マルチステーション時の利用状況を推定した。カーシェアの利用実績から、1日1回の利用とする。バスデータを用いた場合、上りと下りの平均利用回数は、1/11:10/11である。これは、ほぼ毎日片道で利用されるが、逆方向は11日に1回しか発生しないことを意味する。帰りの利用がない日は、朝夕片道ずつの利用となり、合計距離は5kmである。この間、キャンパスにいる登録者は、車両がキャンパスに無いため、利用することが出来ない。

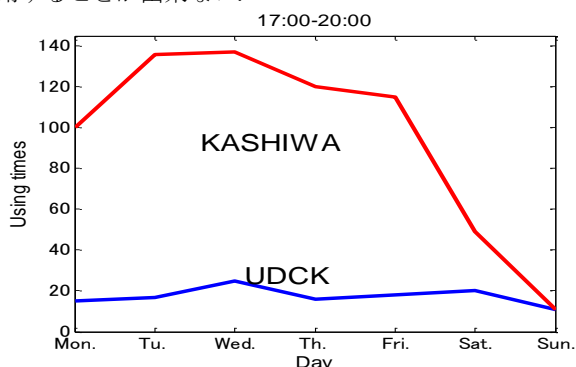


Fig.12. Number of using people for everyday in the week

11日に1回だけは、さらに1往復増える可能性があり、平均的には、1日当たり0.5kmの増加である。合計で5.5kmとなる。一方、現在の利用状況(周回利用)では、夜間の利用はほぼ1日1回であり、その距離は多くが5-25kmである。平均的には、15km程度と推定される。以上をまとめると、1日当たりの利用距離は、マルチステーション化すると

むしろ減少すると言える。

次に、シャトルバスの1:20を用いる。この場合は往復利用による利用回数がさらに減り、1日当たりの平均距離は5.25kmとなり、マルチステーション化により益々利用距離が減る。

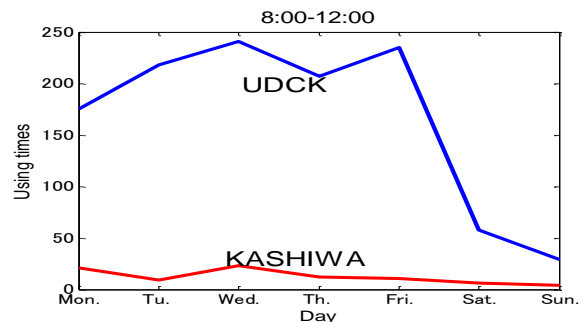


Fig.13. Number of using people for everyday in the week

### 3.4 登録者数と車両台数を増加させた場合

東大柏キャンパスには3000人の学生教職員がおり、それらに利用者を拡大した場合を検討した。利用時間の増加は空き時間に比例し、また、車両一台当たりの登録者数に比例すると仮定すると、登録者数と利用時間の関係は指数関数となる。これを用いて1カ月ごとの利用時間を計算し、採算ラインを月100~150時間とすると、最適車両数は約20台となった。

## 4. まとめ

物流用PHS測位における3つの位置探索法を考案し、複数の地点から測定した端末電界強度が最大の方向の交点を用いて端末位置を推定する方法が最も精度が良く、その推定誤差は5m程度であることを確認した。また東大柏キャンパスでのカーシェア事業性を検討した。利用時間は有料化時には100時間となること、マルチステーション化すると1日当たりの移動距離が減少すること、キャンパス全体に利用者を拡大すると20台程度が最適となることが分かった。

### 参考文献

- 1) 川原靖弘, 澤喜彦, 松原遼, 酒田健治, 廣田輝直: PHS 端末を用いた物流用パレット位置探索システム, マイクロメカトロニクス, Vol.49, No.192, pp.12-23, (2005)
- 2) 川原 靖弘, 小林俊介, 横井直明, 越地福朗, 保坂寛: PHS と指向性アンテナを用いた紛失物探索システム, マイクロメカトロニクス, Vol.52, No.199, pp.47-57 (2008).
- 3) 経済参考網, URL:<http://jjckb.xinhuanet.com/>, 2010.9
- 4) 水谷亮介, 谷口綾子: 筑波大学におけるカーシェアリングの利用実態とその影響に関する研究, 筑波大学卒業論文 (2009.1)