

位置情報活用に関する基礎的考察 ～経路データ活用とインデックス～

河野 浩之†

† 京都大学大学院情報学研究科システム科学専攻
〒 606-8501 京都市左京区吉田本町
Phone: 075(753)5493, E-mail: kawano@i.kyoto-u.ac.jp

あらまし

地理情報システムを代表とする空間データベース技術は急速に発展しており、空間データマイニング (spatial data mining) の対象となる実データも整備されつつある。また、携帯端末や GPS を用いた位置測定システムの普及は、交通計画やマーケティングの基礎となるパーソントリップデータ収集技術を大きく変化させている。本稿では、移動体通信システムを用いたパーソントリップデータ処理システム開発における基礎実験を報告する。本稿は、パーソントリップ調査に必要な基礎データ整備の問題、空間インデックスを利用した移動経路推定アルゴリズムの提案、アルゴリズムの精度評価のためのシミュレーション及び実測データ処理からなる。

キーワード: 地理情報システム, 空間インデックス, 経路推定, 位置情報活用, パーソントリップデータ

Fundamental Experiments of Location Service - Towards Mining Person Trip Data with Spatial Index -

Hiroyuki KAWANO†

†Department of Systems Science, Graduate School of Informatics, Kyoto University
Yoshida Hommachi, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8501, JAPAN
Phone: 075(753)5493, E-mail: kawano@i.kyoto-u.ac.jp

Abstract

Technologies of GIS and spatial databases have been developed rapidly, and huge amount of geographic data has been archived in the clearing houses. We try to apply the actual spatial data to the data mining applications. Especially, the positioning systems change the quality and quantity of person trip database, which is a fundamental data for the traffic planning and marketing. In this paper, we discuss the basic problems in order to construct location service systems. This paper also includes our proposed route estimation algorithm with the spatial index and the performance evaluation based on the simulation and the actual PHS data.

Keywords: GIS, spatial index, route estimation, location service, person trip data

1 はじめに

現在、地理情報システム (GIS:Geographic Information System) を代表として、空間情報を効果的に処理するデータベース応用技術の展開が期待されている [5]. 例えば、複数の衛星から時々刻々と得られる画像データにおける性質を明らかにする可視化技術 [8], 環境デザインにおけるコンセプトの視覚化技術 [12] などの研究へと広がっており、また、それらのデータの基礎を形成する空間データ基盤自体も急速に整備されつつある [3].

一方、データマイニング (data mining) の分野でも、この種の空間データから知識発見を行う数多くの手法が提案されており、空間データマイニング (spatial data mining) と呼ばれる領域を形成している [14, 13, 6]. なお、空間データマイニングでは、空間属性と非空間属性をもつデータベースから知識発見を行う研究、空間的特性としての密度や連続性を利用したクラスタリングアルゴリズムなどが研究されている。さらに、GPS データを用いて道路モデル生成を行うなど [17], 本格的な空間データマイニングアプリケーションの構築が可能になりつつある。

我々は、R-Tree, R*-Tree, PR-Quadtree などの各種空間インデックス技術 [18] に注意を払いながら、空間データマイニングに関する研究を行ってきた。詳しい議論は、文献 [10, 11] に譲るが、クラスタリング処理の高速化・精度・ノイズ除去など、空間データ処理に伴う基本的問題に対して、適切なインデックス利用が欠かせないことを述べている。

そして、現在、将来の位置情報技術を交通調査において高度活用することを視野に入れながら、移動体通信システムを用いたパーソントリップデータ処理システムの開発を行っている。なお、パーソントリップ調査は、どのような人が、どこからどこへ、どのような目的で、どのような交通手段を用いながら、どの時間帯に動いているかを一定期日にわたって調べるものであり、交通計画やマーケティングにおいて精度の高いデータ収集が欠かせない。しかし、アンケート用紙に交通行動を記入する従来方式では、高精度の行動データを取得することは難しく、かつ、時間的・空間的に連続したデータ収集は不可能であった。ところが、GPS(Global Positioning System), PHS(Personal Handy-phone System), 携帯電話、及び、それらを混合したシステムによる位置特定技術が実用化されるに伴い、携帯端末

を所持する個人の位置を測定することによって、交通行動を高度に支援するためのデータ収集が可能となりつつある。

なお、本研究では、大きな母集団に対して長期間にわたるパーソントリップ調査を行うために携帯端末を利用するシステム開発を想定している [20]. そして、パーソントリップ調査に必要な基礎データ収集に伴う基本的問題、空間インデックスを利用した移動経路推定アルゴリズムの提案、シミュレーション及び実測データを用いた移動経路推定アルゴリズムの精度評価を扱う。なお、一連の実験は、実用性を備えたパーソントリップデータ処理システムを開発する上で不可欠な基礎データ処理である。ただし、本稿は、現時点において、ビル内や地下街での位置測定に有利な性質をもつ PHS 端末装置から得られた位置データを用いた合理的な経路推定となっていることに注意しておく。

以下、2章ではパーソントリップ調査を目的とした地理情報システム構築を行う上の基本的課題に触れる。3章では移動経路推定のための道路データの格納法と、空間インデックスを用いたデータベース化について述べる。4章で経路推定アルゴリズムを提案し、5章ではシミュレーションと実データ処理による評価実験を行い、6章の結論と将来の課題で締め括る。

2 パースントリップデータ収集

本章では、パーソントリップデータ収集を行う場合の、現在提供されている様々な地理情報システム及び地図データに関わる問題を述べる。

2.1 地理情報システムにおける問題

地理情報システムは、道路や建物等の地図情報と、それらに付随する道路名称や建物所有者のような属性情報を相互に関連づけたデータベースと、検索・解析・表示処理などを行う計算機システムから構成される。例えば、防災予測システムや環境問題に対する GIS 利用の研究が進められ [15], 社会・経済・自然・文化といった広範な情報を複合 [2] することによって高い付加価値が得られることが期待されている。また、自治体における医療福祉、防災対策、環境保全等を効率的に行う「全庁的 GIS」の管理・運用なども進められている [1, 16].

しかし、本研究の目標とするパーソントリップ

データの高精度処理を行うシステムを構築するには、現状の地理情報システムをそのまま利用することは非常に難しい。なぜなら、現在の地理情報システムで想定していない詳細な都市情報と道路情報を必要とするからである。実際、都市内の多様な交通機関を利用し、地下街を移動するトリップを実時間で蓄積処理するに適切な地理情報システムが存在していないため、次節に述べるような基礎データからの整備を必要とした。また、移動体通信を用いて大量に蓄積されるデータに対する解析の問合せ処理を実行するには、空間データマイニングと同様の処理コストの問題が生じる。加えて、時々刻々と都市の状況が変化するため、最新のデータを常に維持するためのコストも大きな問題となる。

2.2 地図データの整備

複数組織のもつ多数の情報の複合的活用を進めるために、地理空間データに対するクリアリングハウスなどを通じたデータ交換が試みられている[3]。しかしながら、日本国内では、パーソントリップデータ処理に必要なレベルの精度をもつデータを有償で入手することすら現時点では様々な制約のため困難である。そこで、建設省国土地理院が整備している空間データ基盤である1/2500レベルの解像度をもつ数値地図2500を基に整備したデータ[20]相当のデータを準備した。¹

【数値地図からのデータ抽出】

数値地図では、道路アークは、図式分類コード(アークIDレコードであることを示すLに平成6年国土基本図図式の図式分解コードに準拠した4桁のコードを付加したもの)、線分タグ、個別番号(道路ノードのID)、多重連結構造(1つの道路アークを形成する線分の数)からなる[21]。なお、数値地図の道路データは、道路中心線を表現しており、一方通行や交差点の右折禁止等の制約は表現されていない。そこで、これらの制約を格納する属性を付加し、表1のような属性値を与える。

¹本稿の実験でも、回転楕円体である地球の位置を「平面直角座標系」で表すための変換処理に加えて、5系と6系で表記されている近畿地方の地図を接続するための座標変換処理が必要となった。さらに、WGS-84系、ITRF(International Terrestrial Reference Frame)系の変換に国土地理院の変換プログラム(http://vldb.gsi-mc.go.jp/sokuchi/program_s.html)を利用するなど基本的データの利用にかなりの作業を要する。

表 1: 一方通行属性

0	<始点> ⇄ <終点> の両方向通行可能
1	<始点> ⇒ <終点> の方向のみ通行可能
2	<始点> ⇐ <終点> の方向のみ通行可能
9	両方向通行不可(歩行者専用道路)

また、交差点における右折禁止等を処理するデータも付与しなければならない。その他、パーソントリップデータ処理では、自動車、徒歩、タクシー、バス、電車、自転車等の交通手段の属性により、経路推定に利用する制約や、用いる地図データが変更されることにも注意してサンプルデータを準備した²。

3 道路データベースとインデックス

数値地図から抽出したノードとアークIDと座標を地理情報データベースに格納し、一方通行データや進入不可アークの組を道路隣接関係データとして格納する。また、携帯端末から得られる(時刻、位置、端末ID)からなるデータを空間データとして処理し、本稿で提案するアルゴリズムによって合理的な移動経路を推定するために蓄積する。

ところで、これらの空間データを活用するには、さまざまな問い合わせに対する効率良い処理が不可欠である。そして、このような処理を行うために適切な空間インデックスが必要である。なお、空間データベースで利用するインデックスは、データの空間的配置に基づいて、空間をバケット(bucket)と呼ぶ領域に再帰的に分割しながら階層的なデータ構造を生成するものである。また、表現対象となるデータの型(点、直線、多角形など)や分割方法に関する基本的な規則などによって、これまでに数多くの空間データ処理技術が提案されている[18, 19, 4]。

なお、携帯端末から得られる位置データを処理するには、位置データの誤差半径内に存在するオブジェクトを求めることが頻繁に必要であるため、我々の空間データマイニング研究[10, 11]を通じて得られた経験に基づいて、クワッドツリーを用いたインデックスを用いた実験を行うことにする。

²速度計や加速度計から得られたデータを用いて、自動車、徒歩、自転車等の区別を試みる。タクシーやバスは自動車と徒歩の混合の交通手段であると判断し、線路上を通過することで、電車を他の交通手段と区別する。

【クワッドツリー】

クワッドツリーは、1つのデータが1つのバケットに対応するまで、バケットを再帰的に4等分するプロセスを繰り返すことによって木を構成する。従って、葉のノードはデータを含むものと含まないものが存在する。ここで、クワッドツリー構造の深さは最小で $\lceil \log_4 N \rceil$ 、最大で $\lceil \log_2((s/d) \cdot \sqrt{2}) \rceil$ となる。また、 d はデータ間の距離の最小値である。よって、 d が非常に小さい場合、木が深くなり検索効率が低下する。また、1つのバケットに含まれるデータ数の上限 $c(c > 1)$ を設定し、バケット内のデータ数が上限値を越えない範囲で分割することもある。

本研究では、道路ノードに関してクワッドツリーを用いたインデックスを付与する。また、道路アークに対しても、クワッドツリーに用いる矩形領域との交点に着目しながら、道路ノードと同様のインデックスを作成した。

4 移動経路推定アルゴリズム

移動端末から送信される緯度経度座標で表された位置データを、2章で触れた手法を用いて平面直角座標系へと変換する(表2, 表3)。

表 2: 変換前の位置データ

経緯度座標 (単位: 度)			
緯度	経度	ID	日時
34.680616	135.506702	1	1999/09/13 14:32:16
34.680661	135.506702	2	1999/09/13 14:32:33
34.681065	135.506425	3	1999/09/13 14:32:52
34.681939	135.506843	4	1999/09/13 14:33:10
34.681310	135.506096	5	1999/09/13 14:33:33

表 3: 変換後の位置データ

平面直角座標 (単位: 10cm)			
x 座標	y 座標	ID	日時
7593	8031	1	1999/09/13 14:32:16
7643	8031	2	1999/09/13 14:32:33
8092	7780	3	1999/09/13 14:32:52
9060	8168	4	1999/09/13 14:33:10
8366	7480	5	1999/09/13 14:33:33

4.1 MBR を用いた位置候補決定

次に、位置測定誤差を考慮しながら、地図上のどの領域に対象が存在するかを調べるために、位置データ中心の誤差半径の円がクワッドツリーのいずれのバケットと重複領域を持つかを調べる処理を行う。そして、重複領域を持つバケット内に格納されている道路ノードと道路アークと位置データの距離を求める処理を行う。

なお、携帯端末を中心とする円を用いる経路推定法として、Screening 法を用いたアルゴリズムが朝倉らにより提案されている [20]。しかし、本稿では、得られた位置の正方形 (即ち、円に対する MBR (Minimum Bounding Rectangle)) を用いたデータ処理を行う方が容易に処理できるため MBR を用いて処理する。そして、求められた共通領域のバケット内の道路ノード、道路アークに対して、測定位置からの距離が半径以内に近いものを位置候補とする。また、道路ノードを候補に含む場合、道路ノード付近に滞在しているものとして経路を特定する。

なお、パーソントリップは、移動と滞在を繰り返すため、位置データの候補円が一定時間以上重複した時滞在しているものとみなす。そして、移動時間と滞在時間を区別しながら、次節に述べるように合理的移動経路を推定する³。

4.2 合理的移動経路探索

ある時刻の位置候補から、次時刻の位置候補への移動経路を考慮する場合、例えば PHS から 15 秒ごとに空間データを得る場合は、大きく距離が離れることは少ないと考えられる。しかし、実際に経路推定を必要とする場面では様々な状況を想定しなければならないため、各時刻における位置候補となる道路ノード、もしくは、道路アークのデータを用いて、以下の4通りの移動経路推定を考える必要が生じる。

- (a) ノード、ノード間 ノードからノードへの最短経路を求める場合は、ダイクストラ法を用いて最短経路を求める。ノード間の最短経路を求めるときに、道路データが膨大になるのを避けるため、両ノードが共通の親をもつクワッ

³なお、加速度計を用いた携帯端末を利用することによって交通手段の判別可能性があるため、さらに、詳細なデータ利用も可能である。

ドツリーの範囲内の経路探索に制限することで高速化を図る。

- (b) ノード、アーク間 アークに一方通行属性が存在し、かつ移動手段が自動車と判別できている場合には、そのアークの始点から進入する以外に方法はないので、ノードから次時刻の始点ノードまでの最短経路を探索することになる。こうすることでノード間最短経路と同一の条件になる。それ以外の場合は、全道路に進入可能なので、アークに進入するには始点側からと終点側からの2通り考えて両経路とも移動経路候補として残しておかねばならない。
- (c) アーク、ノード間 アークからノードへの最短経路を求める時に、前時刻からそのアークの両端のどちらから進入したかを調べることで逆端ノードから次時刻へ向かうことが分かる。こうすることでノード間の最短経路探索と同等になる。
- (d) アーク、アーク間 最短経路の候補が4通り存在することになるが、前時刻からの進入および、一方通行属性を調べて、経路候補を絞りこむことが可能である。

以上のように道路ノードと道路アークを用いながら、合理的な移動経路を決定し、隣接時刻における最短経路をダイクストラ法により求める。また、測定誤差の関係で複数の候補が存在する場合は、全候補に関わるルートを探査し、合理性を備えた移動経路を全て抽出することになる。そして、求めた経路を、時系列上で連続させることによって、全計測時間において合理的な移動経路の候補を求める。なお、位置候補が全くない時刻については、建物内などの測定不能地域に移動したものと判断して、最大限に合理性のある経路推定を行わざるを得ない。以上、時間区間の移動経路の候補集合を求め、分岐前の位置から分岐終了位置までの最短経路を求めることで合理的経路を推定する⁴。

5 シミュレーションと実データ評価

本章では、シミュレーションおよび実データを用いて、推定した移動経路と真の移動経路を比較

⁴ 適当な評価尺度に照らし合わせて望ましい候補を複数個検索する処理についても検討されている [9]。

する評価実験を行い、本稿で提案した手法の有効性を確認する。

なお、評価実験を行う前に、携帯端末で利用可能な各種デバイスの平均誤差の大阪市内における測定結果を表4に簡単に引用しておく [7]⁵。

表 4: 各デバイスの平均誤差 (大阪市中央区中低層ビル街, 単位 m)

装置	平均誤差	中央値	標準偏差	標本数
PHS	188.7	187.2	41.7	71
GPS	24.4	20.9	10.5	29
DGPS	16.8	17.8	5.7	29

5.1 シミュレーションによる評価実験

後述の実測データと同じ地域を対象としており、数値地図の大阪市中央区付近の地図に対して一方通行情報を付加した道路データを作成した。次に、典型的な移動経路を生成し、その位置データを地図データに従った平面直角座標系で作成する。そして、データ生成段階で、交通法規に従う車輛を想定しながら、15秒毎の位置データを移動経路上にプロットした。また、歩行者により生成される位置データも同じ地図上に作成した。このようにして、各8分間の測定位置を求めながら真の経路を生成する。

次に、携帯端末で測定される位置データとして、正規分布に従う測定誤差半径をもつデータが測定されるとする。そこで、最大測定誤差を20mと考え、測定誤差の99%が真の位置の20m以内に存在する正規分布に従って、1つの経路に対して5通りの測定位置データを生成する。そして、複数経路においても同様に生成し、計7通りの移動経路データから、提案した経路推定アルゴリズムにより経路を推定することを試みた。

また、位置データの99%が50m以内に存在するように乱数を与えた場合と99%が100m以内に存在するような、より大きな測定誤差をもつ場合についてのシミュレーション実験も併せて行った。さらに、計測間隔を変化させた場合を想定したシミュレーション実験も行った。

なお、以下には、自動車について誤差20m, 50m, 100mについて各々35通り、歩行者についても同

⁵ なお、2000年5月以後、GPSの精度は大幅に向上している。

様のシミュレーション実験を行った結果得られた推定経路(図1)と、真の経路として与えたデータとの適合率を評価し、表5に示す。

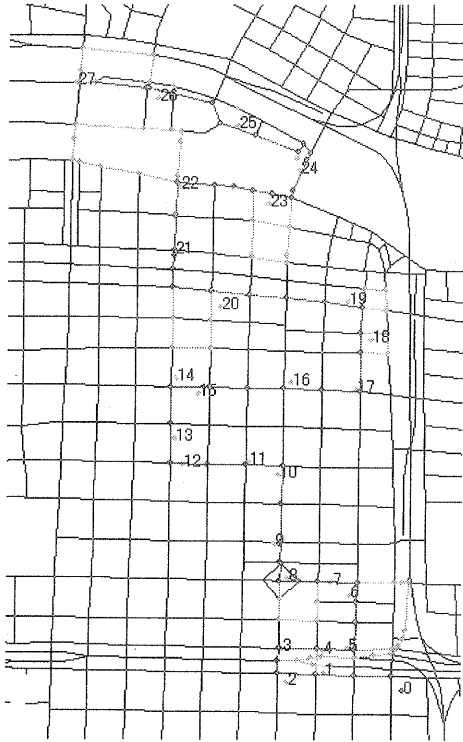


図1: 推定経路の例

表5: シミュレーション結果(計測間隔15秒)

交通手段	自動車			徒歩		
測定誤差(m)	20	50	100	20	50	100
適合確率(%)	95.1	80.4	69.5	97.3	54.2	43.2

上記シミュレーション結果を分析した所、車輛データの場合に適合しなかった原因として、斜めの近道が存在する場合、ジグザグ道で測定誤差が大きい場合、誤差範囲を大きく外れた値でUターンする場合等があった。また、歩行者の場合には、車輛と同様の問題に加えて、一方通行の制約が存在しないため処理が難しかった点も問題である。しかし、総じて、大阪市内のように道路間隔が狭い場所においても、交通法規による制約データを付加することで、本研究で提案したアルゴリズム程

度で精度の高い移動経路を推定することが可能であると評価できる。

5.2 PHSによる実測データによる評価実験

実際に大阪市内を移動するPHSにより測定した位置データを元に移動経路を推定する実験を行った。

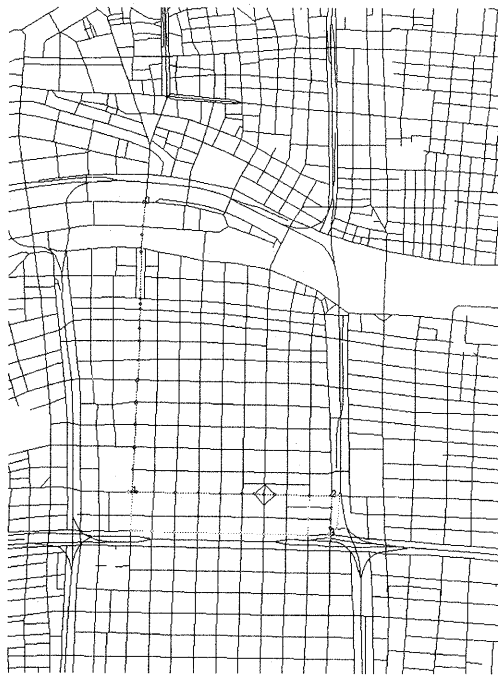
こちらにも、シミュレーション実験と同様、大阪市中心区付近の数値地図に対して正しい道路接続関係を修正し、一方通行情報を付加した地図を用いてデータを処理した。なお、ASTEL関西の通信網を利用しているローカスシステム(株式会社ローカス)のPHSを用いて、該当地域を自動車ですら約30分間運転し、15秒間隔で得られた実測データであり、データの一部を表6に示す。また、測定誤差は150mと想定して処理を行っている。

表6: PHS位置データ例

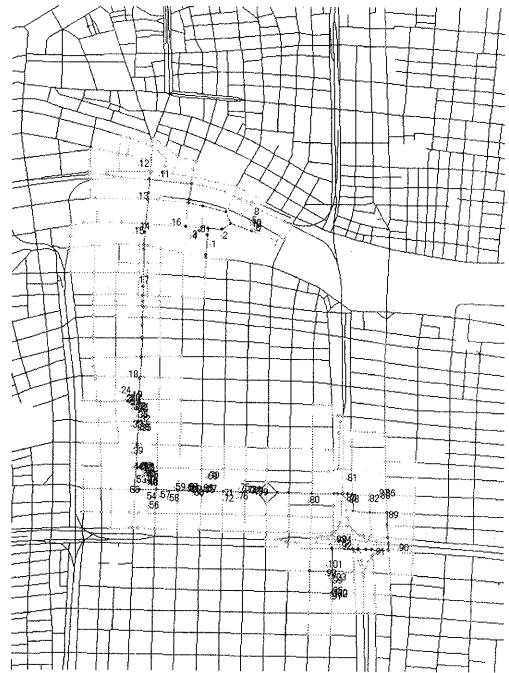
経緯度座標(単位:度)			
緯度	経度	ID	日時
34.680616	135.506702	1	1999/09/13 14:32:16
34.680661	135.506702	2	1999/09/13 14:32:33
34.681065	135.506425	3	1999/09/13 14:32:52
34.681939	135.506843	4	1999/09/13 14:33:10
34.681310	135.506096	5	1999/09/13 14:33:33

図2に、実際の移動経路と本稿のアルゴリズムを用いた合理的推定経路との比較を示す。

図2から分るように、ほぼ一致する経路を特定することができたが、<位置データID:80>あたりで異なる経路を推定している。これは、測定誤差が大きな場所であり、立地条件が高速道路の高架のインターチェンジ周辺となっている。このことについては、表4に示したように、位置測定が複数の基地局の電界強度によっていることから、ビルや障害物で電界強度が複雑に変化する領域で、図3に示したような誤差半径の偏りが存在することになり、ここで述べた問題が生じる[7]。よって、障害物による位置補正をすることでPHSによる測定誤差をさらに縮小できれば、より正確な経路推定が行えるものと考えている。



(a) 実際の移動経路



(b) 推定経路

図 2: 移動経路の比較

6 おわりに

本稿では、国土地理院発行の数値地図 2500 の道路データに対して、一方通行などの道路データを付加し、携帯端末から得られる位置実測データを用いて、合理的移動経路を推定するアルゴリズムを提案した。なお、クワッドツリーを用いたインデックスは、効率的に経路推定処理を行う上で有効である。また、シミュレーションと実測データを用いた評価実験により、本稿で提案したアルゴリズムが合理的経路を推定する上で有効であると確認できた。

なお、[20] で報告されている蓄積型のトリップデータ収集携帯端末には加速度計が搭載されていることから、交通手段の特定も可能となっており、多様な交通手段に応じて適切に判定基準を変更しながら、より合理的な経路推定を行う上で役立つものと考えている。

今後の課題として、複数の位置測定機器を用いた測定誤差の補正、大きな母集団から長期間の経路推定データを収集することにより、空間データ

マイニングアルゴリズムの実証実験を行うことがある。特に、空間属性と非空間属性を併せ持つ大量の時系列データを蓄積しデータマイニング技術を活用することは、交通計画やマーケティングの問題に対するより発展的な解決につながると考えている。

謝辞

最後に、本研究を進めるにあたって多くの御教示を賜りました、南山大学 長谷川 利治 教授に感謝致します。また、熱心な御討論および数多くの有益なデータ提供を頂いた長谷川 吉典 氏（当時、地域未来研究所 在籍）に深く感謝の意を表します。さらに、愛媛大学 朝倉 康夫 教授の研究グループ、都市交通計画研究所、地域未来研究所の皆様にも心より感謝の意を表します。また、経路推定に関する実験データの処理は、村上 幸治 氏（当時、修士二回生）らのサポートを受けている。

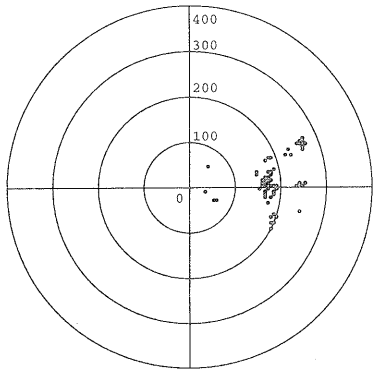


図 3: PHS の誤差分布 (大阪市中央区島町 1 丁目の交差点)[7]より引用

参考文献

- [1] 阿部 昭博, 南野 謙一, 渡邊 慶和, “地域情報化における GIS の役割に関する考察”, 情報処理学会研究会報告書 情報システム, 72-5, 1999.
- [2] 秋山 実, “地理情報の処理”, 山海堂, 1996.
- [3] 有川 正俊, “デジタルアース—空間データ基盤と視覚化インターフェース”, Bit, Vol.32, No2., pp.59-68, 2000.
- [4] Böhm, C., Klump, G., and Kriegel, H.-P., “XZ-Ordering: A Space-Filling Curve for Objects with Spatial Extension.” Proc. of 6th International Symposium, SSD'99, pp.75-90, Hong Kong, China, July 1999.
- [5] DBS 研究会, “特集:空間メディアと GIS, および一般,” 情報処理学会研究報告, 2000-DBS-120, 2000.
- [6] Ester, M., Frommelt, A., Kriegel, H.-P., and Sander, J., “Algorithms for Characterization and Trend Detection in Spatial Databases”, Proc. of the fourth ACM SIGKDD International Conference (KDD-98), pp.44-50, 1998.
- [7] 阪神高速道路公団, “移動体位置検索技術の動向”, 移動体情報の活用に関する研究会資料, 2月, 2000.
- [8] 生駒 栄司, 喜連川 優, “陸面植生シミュレータと連携した地球環境データベース可視化システムの開発,” 情報処理学会研究報告, 2000-DBS-120, pp.153-160, 2000.
- [9] 今井 浩, “地理・マルチメディアデータベースにおける高次質問・知識処理の研究”, 「高度データベース」公開シンポジウム 講演論文集 4, pp.59-66, 1998.
- [10] 伊藤 穰, 河野 浩之, 長谷川 利治, “空間データマイニングにおけるクラスタ発見とインデックス構造の利用,” 人工知能学会全国大会論文集, pp. 231-234, 1996.
- [11] 川原 稔, 河野 浩之, 長谷川 利治, “空間データ発掘によるクラスタ発見手法の精度評価,” 情報処理学会第 53 回全国大会講演論文集 (3), pp. 19-20, 1996.
- [12] 加賀 有津子, 上善 恒雄, 呉 受妍, 福田 知弘, 笹田 剛史, “環境デザインにおける添景オブジェクトデータベースに関する考察,” 情報処理学会研究報告, 2000-DBS-120, pp.121-128, 2000.
- [13] Koperski, K. and Han, J., “Discovery of Spatial Association Rules in Geographic Information Databases,” Proc. 4th International Symposium SSD '95, pp. 275-289, 1995.
- [14] Ng, R.T. and Han, J., “Efficient and Effective Clustering Methods for Spatial Data Mining,” Proc. 20th VLDB, pp. 144-155, 1994.
- [15] 西村知也, 浦本祐次, 中田幸男, 田中克己, 北村新三, “GIS を利用した開放型災害情報システムの設計と実装”, 「GIS-理論と応用」, 6-2, pp.57-64, 1998.
- [16] 大沢 裕, “自立性の高い分散型地理情報システムにおけるメディア融合”, 「高度データベース」研究成果報告会 講演論文集 2, pp.12-21, 1996.
- [17] Rogers, S., Langley, P., and Wilson, C., “Mining GPS Data to Augment Road Models,” Proc. of the fifth ACM SIGKDD International Conference (KDD-99), pp.104-113, 1999.
- [18] Samet, H., “Spatial Data structures,” Modern Database Systems, (W. Kim, ed.), ACM Press, New York, pp. 361-385, 1995.
- [19] Samet, H., “The Design and Analysis of Spatial Data structures,” Addison-Wesley, Reading, Mass. New York, 1995.
- [20] 都市交通計画研究所, 地域未来研究所, “移動体位置情報に基づく動的時空間データ分析技術の開発 (技術開発報告書),” 平成 10 年度新規産業創造技術開発費補助事業, 2000.
- [21] (財) 日本地図センター, (<http://www.jmc.or.jp>).