

地理空間情報に関する研究概況

Research Progress on Geospatial Information Technology

谷崎 正明 Masaaki Tanizaki
石丸 伸裕 Nobuhiro Ishimaru

林 秀樹 Hideki Hayashi
伊藤 大輔 Daisuke Ito

浅原 彰規 Akinori Asahara
佐藤 暁子 Akiko Sato

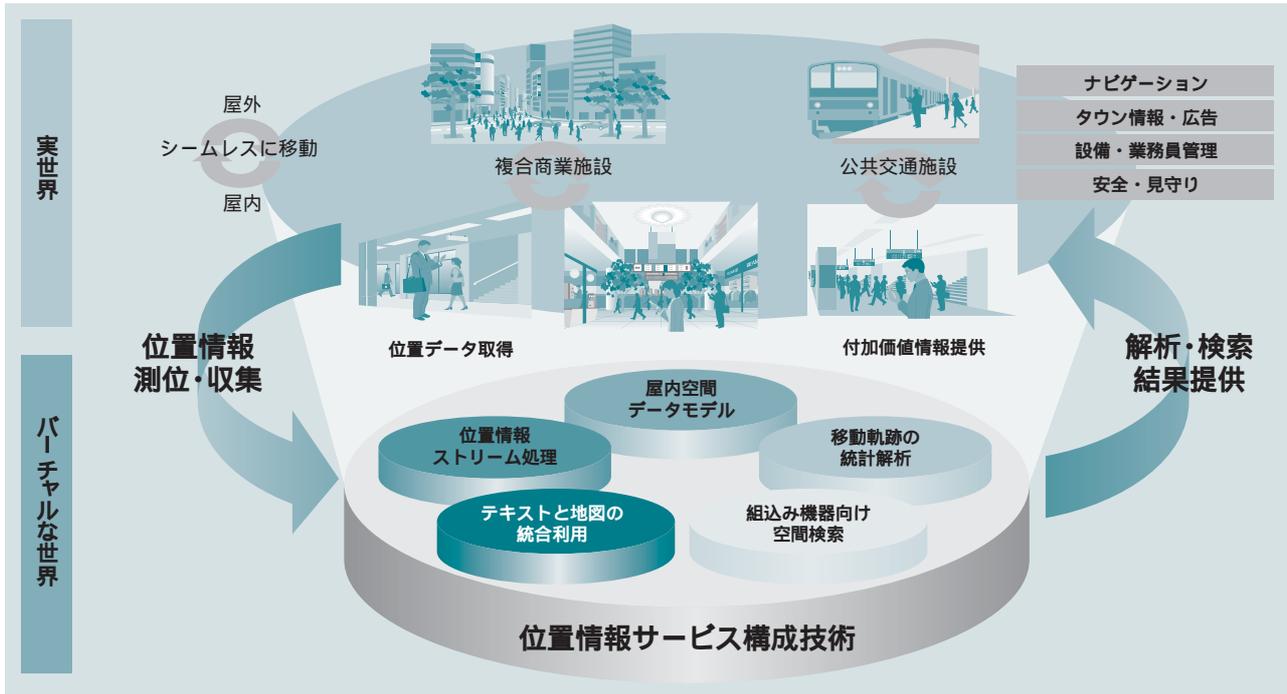


図1 位置情報サービス構成技術の位置づけ

屋外だけでなく屋内環境でも測位装置が普及すると、人・物の移動軌跡をシームレスに取得できる。実世界から測位・収集結果を用いて位置情報サービス技術を用いることで、ナビゲーションなどに代表される各種応用へ適用することができる。

近年、携帯電話など位置測位が可能な携帯端末の急速な普及により、多くの位置情報サービスアプリケーションが提供され始めている。さらに、これまでは測位エリアが屋外に限られていたが、無線LANやシームレスGPSなど測位手法の多様化により、屋内でも測位環境が整備可能となりつつある。これにより、複合商業施設、駅・空港などのような屋内環境であっても屋外同様に位置情報サービスの利用が可能となりつつある。

日立製作所は、地理空間情報処理技術についての研究開発を進めるとともに、標準化活動にも取り組み、空間情報サービス市場のさらなる活性化による生活の利便性向上をめざしている。

1.はじめに

位置情報サービスにかかわるマーケットは、国内で2011年に4,000億円、欧州で2009年に20億ユーロ、米国において2010年に36億ドルに拡大すると予測される¹⁾。測位手法も多様化し、屋外測位のデファクトスタンダードであるGPS(Global

Positioning System)に加えて、屋内でも多様な測位技術が製品化されつつある。

位置情報サービスを実現するために必須となる構成技術として、(1)ニュースやブログなどのテキストに含まれる場所の記述を抽出し、地図と結び付けて位置情報として利用可能にする、テキストと地図の統合利用技術、(2)広範な地図上に存在する膨大な施設情報から利用者の興味地点付近の対象のみを効率よく検索することができる組込み機器向け空間検索技術、(3)膨大な携帯電話の位置情報を高速に分析するための基盤となる位置情報ストリーム処理技術、(4)収集した移動軌跡を統計解析処理によって分析する技術などがある(図1参照)。

ここでは、日立製作所の地理空間情報処理技術に関する取り組みの中で、上述のような構成技術の研究開発や、屋内における位置情報を扱うための基盤となる地図データモデルの策定および標準化への取り組みについて述べる。

2. テキストと地図の統合利用技術

2.1 地理空間情報としてのテキスト

情報の約8割は場所に関連する情報であると言われている。近年のWebの発達により、実世界の場所に関連するさまざまなテキスト情報が入手可能となっている。その内容は幅広く、公的な行政情報や最新のニュース、地域またはコミュニティに関するブログなど、さまざまなコンテンツが存在する。これらを地理空間情報として有効に活用できれば、最新の地域状況に応じた行動計画立案や位置情報サービスなど、幅広い応用が可能になると考えられる。しかし、これらテキストには「その情報が示す場所はどこか」が明示的に記述されていない場合が多く、地図などの一般的な地理空間情報と同等に扱うことが難しい。特にニュースやブログなど、非定型テキストに記載された多様なコンテンツを解釈し、地図上の適切な場所に関連づけて利用可能とするため、日立製作所は、テキストと地図の統合利用技術を開発した(図2参照)。

2.2 曖昧(あいまい)性許容型メタデータ生成・管理技術

限られた文面から正確な場所を特定する技術が必要である。ニュースやブログなどでは、町名、丁目や番地など完全な住所表記で場所が記述されていることは少なく、地名代表点の経緯度座標などを含む地名辞典との照合だけでは場所を特定できない。そこで、文書情報処理の固有表現抽出技術を用いて、テキスト中に含まれるすべての地名記述と、さらに複数地名間の空間的な位置関係などを表す空間関係子を抽出する。さらに、各地名を地名辞典と照合し、得られた経緯度座標を候補とする。ここで、地名には類似表記地名が存在する場合が多いため、地名の場所を一意に特定できず、複数の地名候補が得られることとなる。また、空間関係子が抽出された場合、地名をノード、空間関係子をエッジとするグラフを生成し、XML(Extensible Markup Language)形式のメタデータとして記述する。

2.3 空間情報処理による曖昧性解消技術

メタデータに管理された複数の候補について、その曖昧性を解消するため、空間的なコンテキストを考慮した空間解析ベースの曖昧性解消が必要である。従来は、類似表記地名が存在する場合、有名な地名の影響を強く受け、知られていない地名に関連づけられないことがあった。そこで、空間情報処理機能により、注目地名の前後に記載されている上位地名や近隣地名および空間関係子を用いて空間的なコンテキストを解釈し、場所を一意に特定して曖昧性を解消する。具体的には多重仮説検定法を用いる。まずメタデータに含まれるすべての地名候補および空間関係子の組み合わせから場所特定のための複数の仮説を生成し、仮説検定によって

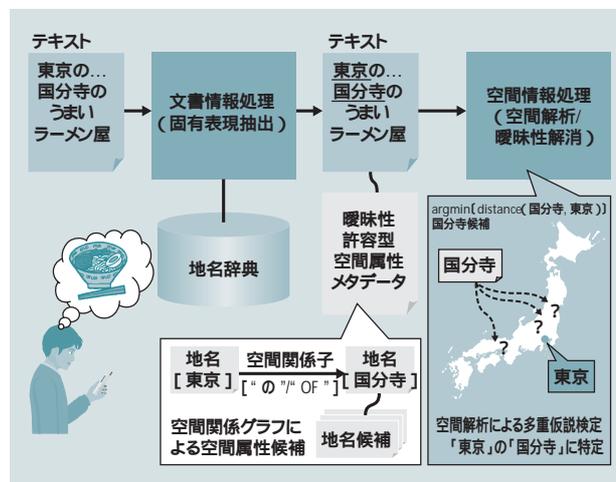


図2 テキストへの空間属性付与の処理の流れ

文書情報処理によりテキスト中の候補を抽出し、空間情報処理によって候補組み合わせの仮説検定を実施して、曖昧(あいまい)性を解消する。

矛盾を含む空間関係仮説を棄却し、複数の候補から最適なものを特定する。

以上に述べたように、場所の曖昧性を許容して抽出し、解消できる構成とすることで、テキストも空間情報と同等に地図上で扱えるようになる。今後は、空間解析機能の拡張により、さらに複雑な空間コンテキストの解釈の実現をめざす。

3. 組み込み機器向け空間検索技術

3.1 組み込みデータベースの登場

近年、大容量のハードディスクドライブやフラッシュメモリを搭載した携帯電話や車載情報端末、情報家電などの組み込み機器が普及しつつある。これらの機器では、インターネットへの接続によりデータの更新機能を備え、高度なデータ管理機能が要求されている。一方でソフトウェア開発サイクルの短縮が求められており、組み込み機器向け汎用データ管理機能を持つデータベース製品の導入が進みつつある。日立グループは、このような需要に応え、組み込みデータベース「Entier」を製品化し、車載情報端末などへの展開を進めている³⁾。

3.2 空間検索機能の必要性

組み込みデータベースの代表的な適用先は車載情報端末である。車載情報端末では、施設や店舗などの多量の地点データの中から、指定した地域周辺の地点データを高速に検索することが求められる。例えば、「現在地から300 m以内の駐車場」や、「現在地から距離の近い上位10件のガソリンスタンド」などが挙げられる(図3参照)。このような位置や範囲を条件とする検索を「空間検索」と呼び、前者は範囲検索、後者は「最近傍検索」と呼ばれている。範囲検索では、指定した領域に含まれる地点データを取得する。一方、最近傍検索では、指定した地点から距離の近い上位k件だけを取得する。

組み込みデータベースで空間検索を実現する場合、組み込み

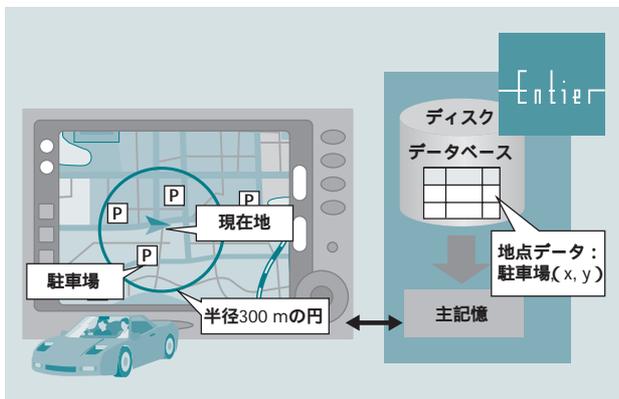


図3 組み込みデータベースを用いた空間検索
組み込みデータベースを用いて、近くの駐車場などを空間検索できる。

システム特有の二つの制約を考慮する必要がある。一つは、CPU(Central Processing Unit)の処理速度、メモリやディスクの容量などのハードウェアの制約である。もう一つは、使い勝手の面から決められた時間内に検索処理を終了させる処理時間の制約である。これらの制約を考慮した空間検索について以下に述べる。

3.3 範囲検索およびk最近傍検索技術

範囲検索を行う場合、すべての地点データの中から、指定範囲との包含関係を調べると、検索時間が長くなる。この主な要因は、ディスクから主記憶装置への地点データの読み込み回数が多いことである。つまり、包含関係を調べる地点データの件数を削減できれば、検索時間を短縮可能となる。そこで「Entier」では、地図平面を再帰的に四分割した空間領域ごとに地点データをまとめて管理する四分木を用いることで効率化を図っている。まず四分木を用いることで、条件で指定した範囲と重なる空間領域だけを選択し、さらにその空間領域に格納される地点データを対象として包含関係を調べることで、ディスクの読み込み回数の削減を図り、検索時間を短縮させる。

一方、例えば範囲検索を都市域で利用すると、指定した範囲内に必要以上に多数の地点データが検索される結果となるケースが生じる。逆に地方では指定範囲内では検索結果0件というケースが生じ、ユーザーの要求を満たせない。そこで、指定した地点から距離の近い領域の順に地点データを取得し、上位k件が決まった時点で、処理を終了するk最近傍検索が有効である。この方法により、地点データの密度の多寡によらず多数の地点データの中から上位k件を取得するため、検索時間の短縮と主記憶装置の使用量の削減が期待できる。

車載情報端末を主適用先とした組み込み機器向けの空間検索技術は、MID(Mobile Internet Device)など、地図情報を管理する組み込み機器全般に有効である。

4 .位置情報ストリーム処理技術

4.1 位置情報ストリーム処理技術

GPSケータイの普及や通信カーナビゲーションの登場によって、位置情報を絶え間なく送信し続ける携帯端末が現実のものとなった。これらの携帯端末がさらに普及すると、端末からの位置情報を収集・分析するサーバに集まる情報量も増加の一途をたどることとなる。

絶え間なく流入し続ける情報を高速に処理できるようになれば、「今」を分析できるようになる。さらに、分析結果から得た知見を基に、あたかもPDCA(Plan , Do , Check , and Action) サイクルを回すように分析手法を逐次改善し続けることで、より正確な分析結果が得られるようになる。

しかし、従来の技術を用いて絶え間なく流入し続ける情報を分析するには専用のデータ分析処理プログラムを個別に作り込む必要があるが、これでは分析手法を逐次改善し変化に追随することが困難である。一方、分析手法の改善を受け入れられる汎用性の高い処理基盤であるデータベースにおいても、取り扱えるデータ量は格段に向上してきたものの、過去に蓄積されたすべてのデータが分析対象となるため、処理速度が2けた程度足りないと思われる。

4.2 イベントストリーム処理技術

イベントストリーム処理技術³⁾は「今」を分析するためのデータ処理技術であり、既存のデータベース処理技術のように過去に蓄積されたすべてのデータを処理する代わりに処理対象をイベントストリームと呼ばれる逐次到来するデータに限定する(図4参照)。また、分析処理はメモリ上で必要な差分のみ計算を行うことで高速に処理される。この分析処理は既存のデータベース処理技術のクエリ言語であるSQL(Structured Query Language)を拡張したCQL(Continuous Query Language)を用いて記述される。分析手法の改善にも、クエリの変更で容易に対応可能である。

日立製作所は、イベントストリーム処理技術を適用した基盤

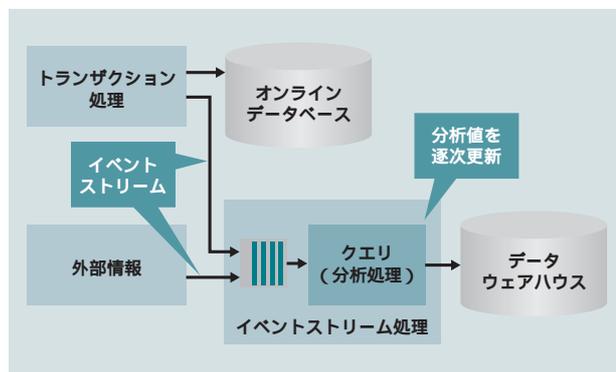


図4 イベントストリーム処理技術の特徴
処理対象をイベントストリームと呼ばれる逐次到来するデータに限定し、高速な分析処理を行う。

製品である「uCosminexus Stream Data Platform」(以下、uCSDPと記す。)の製品出荷を2008年10月に開始した。

4.3 位置情報処理への適用

位置情報処理の一例として、ここではプローブカーシステムを取り上げる。GPSの位置情報とともに車速や外気温度、ワイパーやABS(Anti-lock Brake System)の作動状況といった情報を、携帯電話網などを通じて多数の車から収集することで、詳細な渋滞情報や路面情報などを入手できる。これらの詳細な情報を渋滞回避や路面状況把握による交通事故減少に役立てることが期待されている。

日立製作所は、uCSDPをプローブカーシステムに適用し、渋滞を検出するプロトタイプを作成した(図5参照)。このプロトタイプはノートPC上でも数千台の車からのデータをリアルタイムに処理でき、クエリの変更によって渋滞検出アルゴリズムを容易に交換することが可能であり、さらに大規模化した場合にも十分な処理速度を実現する見通しを得た。

今後は既存のデータベース基盤製品との連携を強化し、より多くのパラメータから「今」を分析できるように機能を拡張していく予定である。

5. 移動軌跡の統計解析技術

5.1 実空間における動線解析

動線解析とは人・物の動線を計測して解析する技術である。店舗における顧客行動の分析をはじめ、さまざまな応用が考えられる。顧客動線の解析としては、Webサイトのアクセスログ解析がオンラインショップなどで大きな効果を上げているが、それはあくまでバーチャル世界での顧客行動分析である。もし、実世界において同様のことが実現できれば、移動軌跡の統計情報を用いて顧客への広告提示の最適化ができる。また、人の行動が定量化できるため、業務改善やトレンド分析などのコンテンツとして活用するなどの利用が見込まれる。



*1 ZENRIN(ゼンリン)は、株式会社ゼンリンの商標または登録商標である。

*2 Googleおよびロゴは、Google, Inc.の登録商標である。

図5 プローブカーを用いた渋滞検出プロトタイプ

「uCosminexus Stream Data Platform」をプローブカーシステムに適用している。

この動線解析の実用化には以下の三つの課題がある。

(1) 実世界空間情報の電子化

実世界の動線を処理できる電子データとするためには、測位技術が必要となる。測位方式としては各種提案されているが、解析対象を十分な精度、解像度で測位できなければならない。店舗の顧客のように不特定多数の動線を解析する場合、環境側で計測して移動体側に特別な端末を必要としない方法を用いる、あるいは携帯電話のように十分普及した装置に搭載された測位機能を使用しなければならない。

(2) 座標値列への意味づけ

動線情報は、時刻と座標(緯度、経度など)のデータ列にすぎない。これを顧客行動として理解するためには、例えば、興味を持って立ち止まっている、目的方向に向かって歩いているなどの意味的な解釈が必要となる。

(3) プライバシーの問題

一般利用者にとって自分の位置を第三者に知られる抵抗感は大い。そのため、動線情報を収集するにあたり、十分なインセンティブが必要である。例えば、動線解析による高度なサービスは動線情報を提供することに同意したユーザーしか受けられない、という形である。現在、情報化に伴うプライバシー保護に関しては、法整備の面も含め、議論がなされている。今後の枠組みづくりの進展に期待したい。

5.2 動線情報の統計処理

一般的に測位データを用いて得られる動線情報は、座標値と時刻のデータ列である。前述のとおり、座標値はそれだけでは無意味であり、何らかの方法で意味を与えなければならない。店舗内における顧客動線の解析処理の模式図を図6に示す。(a)には店舗内の顧客の移動軌跡を示した。(a)はそのまま理解するのは困難である。そこで(b)に示すように屋内地図に重ねる。そうすると、顧客が立ち止まった棚や巡回経路などが推測できる。

動線解析処理では、この例のように、歩行者の行動・状態を移動軌跡座標列から判別する推定処理が必要となる。歩行者の状態が推定できれば、(c)に示すように、ある状態から他の状態への遷移を重み付き有向グラフを用いて表現できる。このグラフの例では、ノードは一つの顧客行動状態を意味し、エッジは状態の遷移を表す。状態間の遷移確率はエッジの重みとして表現される。これにより、例えば(d)のような代表的な経路の抽出が可能となる。

このようにして、移動軌跡から確率的な状態遷移を意味するグラフ構造が得られる。それをHMM(Hidden Markov Model:隠れマルコフモデル)やDBN(Dynamic Bayesian Network:動的ベイジアンネットワーク)として扱うことにより、異常行動の検出などに適用する研究がなされている⁵⁾。

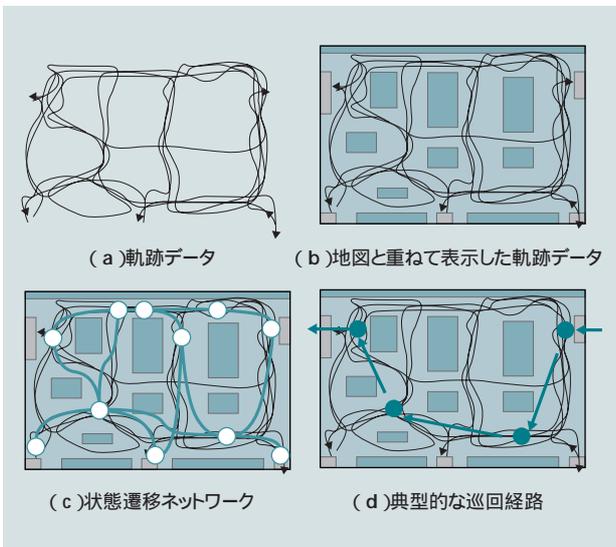


図6 動線解析の処理手順
軌跡データを地図と重ね、どの部分がどのような意味を持つかを判別する。判別結果を基に構築されるグラフを用いて、歩行者の挙動が分析できる。

5.3 動線解析結果の活用

動線解析により、これまでの人手による調査の一部が自動化できる。しかし、解析結果の活用はそれにとどまらない。例えば、動線解析結果を基に顧客の嗜好(し)好を推定し、嗜好に基づいて推薦するなど、サービスシステムへ反映させる使い方が考えられる(図7参照)。このようなシステムでは動線解析結果から条件式を生成し、移動軌跡がその条件を満たした場合に、特定の機能が実行される。また、複雑な条件式を大量に処理できる必要があり、例えば、前述した位置情報ストリーム処理技術の適用が効果的である。

利用者側の生成するコンテンツを他の利用者が使用するという流れは、Webの世界では「Web 2.0」と呼ばれ、大きく発展した。動線解析技術は、「Real 2.0」とも呼ぶべき新たな地平を切り開く可能性をも秘めている。

移動軌跡解析技術の発展には多くの実データの収集が最

も重要である。今後は、実データ収集を実施し、それを基に、より実用的な解析技術の研究開発を行っていく予定である。

6. 屋内空間データモデル

6.1 屋内外シームレス位置情報サービス

GPS測位に加え、無線LAN(Local Area Network), UWB (Ultrawideband), IMES(Indoor Messaging System), RFID (Radio-frequency Identification) 技術などを利用した測位手法が提案・実用化され始めている⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾。これらはGPSと異なり屋内でも十分利用可能であるため、位置情報サービスの提供範囲が屋外のみならず、一気に屋内にまで広がる可能性を秘めている。複合商業施設や公共交通施設などの屋内構造物と屋外の違いを意識することなくシームレスに利用可能な案内サービスや検索サービスの普及が、今後新たに期待される。このような屋内外シームレス位置情報サービスのイメージを図8に示す。

屋内外シームレス位置情報サービスを実現するため、現在、以下の二つの技術課題の解決に取り組んでいる。

(1) 屋内空間データモデル

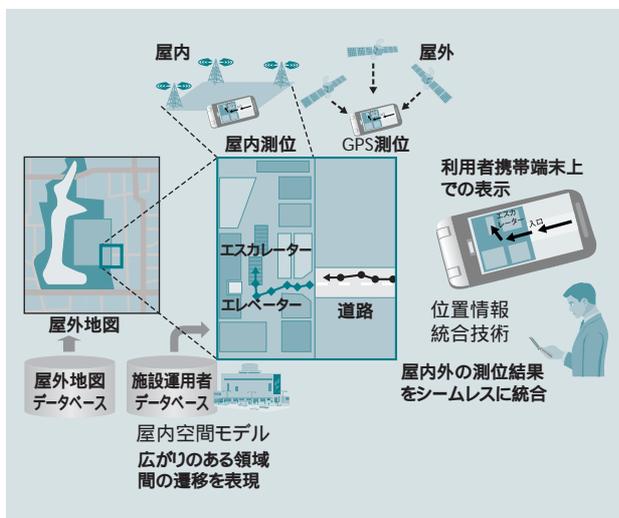
すでにカーナビゲーションや携帯電話向け歩行者ナビゲーションにより、屋外空間を表現するデータモデル・サービスは多数提供されている。同様に複雑かつ多様な屋内構造物を表現・処理するための適切な屋内空間データモデルを定義し、それに基づくデータベースを構築することが必要となる。しかし、経路探索を可能にするネットワークポロジを有する屋内空間データモデルの標準仕様はまだ存在しないため、当該データモデルの開発が急務である。

(2) 位置情報統合技術

すでに屋外を中心にWGS84(World Geodetic System 1984) などの測地座標系に基づいた地図データが整備されており、携帯電話やカーナビゲーションに搭載され、GPSによる位置



図7 移動軌跡の統計情報の活用例
移動軌跡の統計情報を用いると、顧客への情報提示を最適化できる。また、人の行動が定量化できるため、業務改善やトレンド分析などのコンテンツとして活用できる。



注:略語説明 GPS Global Positioning System)

図8 屋内外シームレス位置情報サービス

屋内外シームレス位置情報サービスは、屋内・屋外の違いを意識することのないシームレスな利用を実現する。

データが利用されている。一方、屋内環境の測位は基地局を用いた三点測量によるローカル座標系や、RFIDなど独自に付番された位置コード体系を利用する。そのため、屋内外をシームレスに移動する場合、測位デバイスの切り換えに加え、異種座標系間の整合性を保証するための位置情報統合処理も課題である。

6.2 屋内空間データモデルの標準化

屋内外シームレス位置情報サービスの需要は、さらに高まると考えられる。その普及促進には複数企業の参入が不可欠であり、「利用可能な基盤の整備」、「空間データの相互運用性の確立」が必要である。そのための第一歩として、日立

製作所は、屋内空間データモデルの標準化活動を行う予定である。

具体的には、この研究は2008年度の総務省「ユビキタス空間情報基盤技術」として採択済みであり、4社(三菱電機株式会社、株式会社パスコ、株式会社横須賀テレコムリサーチパーク、日立製作所)参加の下、実用化に向けたシステム開発および実証実験を実施する。この活動の成果を基に、国内における屋内外シームレス位置情報サービス市場の活性化に貢献していく。また、国際標準化団体への仕様提案も検討しており、グローバル標準へ向けた活動にも努めていく。

7. おわりに

ここでは地理空間情報処理技術に関して、特に位置情報サービスを実現するための構成技術について述べた。

今後、各技術開発とともに標準化活動を積極的に進め、空間情報サービス市場のさらなる活性化により、日常生活の利便性の向上に寄与していく考えである。

参考文献など

- 1) 日本位置情報サービス(LBS)の動向と展望, ROA Group Inc(2007)
- 2) 経済産業省:2008年版組込みソフトウェア産業実態調査報告書 プロジェクト責任者向け調査
- 3) 組み込みデータベースEntier, <http://www.hitachi.co.jp/Prod/comp/soft1/Entier/>
- 4) A.Arasu, et al.:STREAM:The Stanford Stream Data Manager, IEEE Data Engineering Bulletin, Vol.26(2003.3)
- 5) 鈴木, 外:人物動線データ群における逸脱行動人物検出及び行動パターン分類, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J91-D, No.6, p.1550~1560 (2008)
- 6) PlaceEngine, クウジツ株式会社, <http://www.placeengine.com/>
- 7) 無線LAN位置検知システム日立AirLocation, <http://www.hitachi.co.jp/wirelessinfo/airlocation/>
- 8) センサネット情報システム日立AirSense, <http://www.hitachi.co.jp/wirelessinfo/airsense/>

執筆者紹介



谷崎 正明
1995年日立製作所入社, 中央研究所 知能システム研究部 所属
現在, 空間情報処理技術の研究開発に従事
情報処理学会会員



伊藤 大輔
2002年日立製作所入社, 中央研究所 プラットホームシステム研究部 所属
現在, イベントストリーム処理技術の研究開発に従事
情報処理学会会員



石丸 伸裕
1996年日立製作所入社, 中央研究所 知能システム研究部 所属
現在, 異種情報融合など空間情報処理技術の研究開発に従事
日本写真測量学会会員, 日本リモートセンシング学会会員



浅原 彰規
2004年日立製作所入社, 中央研究所 知能システム研究部 所属
現在, 空間情報システムの研究開発に従事
電子情報通信学会会員



林 秀樹
2006年日立製作所入社, 中央研究所 知能システム研究部 所属
現在, モバイルデータベースの研究開発に従事
博士(情報科学)
電子情報通信学会会員, 情報処理学会会員, 日本データベース学会会員



佐藤 暁子
1998年日立製作所入社, 中央研究所 知能システム研究部 所属
現在, 位置情報サービスシステムの研究開発に従事
電子情報通信学会会員, 情報処理学会会員