

測位機能を搭載した移動端末向け
位置情報応用システムに関する研究

A Study on a Location-based System for a Mobile
Terminal with a Positioning Function

2010年3月

東京農工大学大学院 工学府 電子情報工学専攻

田島 孝治

Koji Tajima

要 旨

本論文は、利用者の行動履歴に基づき、携帯電話など移動端末にその時その場で適切な情報を提示する位置情報応用システムについて述べる。測位機能を搭載した端末から利用者の位置情報を収集し、それを活用することで、個人に適した情報を自動的に提示可能なシステムの実現性が高まってきた。本論文では、このようなシステムの実現に必要な(1) 情報提示処理に適した形式での効果的な位置情報の保存方式、(2) 経緯度を地名やランドマーク名へ高速に変換する方式、(3) アプリケーションの要求する通信性能を満たす通信網の自動的な選択および併用を特徴とする通信網の制御方式について述べる。

第1章「序論」では、本研究の背景、目的、研究のアプローチについて述べる。携帯電話の普及や、モバイルブロードバンド環境の拡大により、屋外で移動端末を用いた高速データ通信を容易に利用できる環境が整ってきた。携帯電話には測位機能が搭載されているため、位置情報も容易に扱うことが可能である。しかし、移動端末は固定端末に比べ入力の手間が大きいという課題がある。このような背景から、位置情報を収集し活用することで、移動端末の利用時における入力の手間を軽減可能な情報提示システムに着目した。本論文では、位置情報を活用することで、その時その場で個人にとって適切な情報を提示可能なシステムを目指した方式開発を目的とする。システムの実現には、膨大な位置情報を対象とする必要があり、個人の特徴や集団の特徴を維持した形式での「情報の収集」、「情報の解析」、情報の提供とそれを支えるインフラの管理などの「基盤技術」が求められる。以下、3章、4章、5章でこれらに対する取り組みについて述べる。

第2章「位置情報応用システムの動向」では、まず位置情報の取得方式の動向について述べる。次に、位置情報応用システムの技術動向として、現在までのサービスの変遷について述べる。

第3章「行動履歴に基づく予測型情報提示システム」では、インターネット上の情報検索と、移動端末の操作性に関わる問題の解決を目標とし、利用者が現在いる場所と過去の行動履歴から、適切な情報を入力の手間無しに提示する携帯電話向けの予測型情報提示システムを提案した。位置情報を用いた情報提示システムの実現には、利用者から送信される膨大な位置情報を、情報提示処理に適した形式でスペース効率良く、かつ効果的に利用できるように保存する必要がある。そこで、本研究では多数の行動履歴からその地域で意味のある特徴点を抽出し、その特徴点を個人の行動履歴の保存形式として利用する方式を開発した。その結果、膨大な位置情報の中から情報提示に利用される可能性の低いものを排除することでサーバに保存すべき情報量を大幅に減らし、人間が特徴的な行動を取る位置を抽出した形で保存することができた。提案方式は、利用者の日常的な行動を学習することで個人に合わせた情報提示が可能であると共に、初めて訪れる地域でもその地域の利用者の行動により生成された特徴点を用いることで、的確な情報提示が可能である。評価対象地域にも依存するが、学生被験者による評価において、約2.8MBの行動履歴を提案方式により保存すると約6.2KBとなり、データ量の削減効果が確認できた。

第4章「位置情報応用システムのための高速逆ジオコーディング方式」では、地点名称ごとに色で塗り分けた画像を用いて、経緯度を地名やランドマーク名に高速に変換する方式を提案し

た。逆ジオコーディングは、経緯度のような数値情報をランドマーク名のようなテキスト情報に変換する処理であり、近年端末に位置測定機能が実装されたことに伴い、位置情報応用システムで重要度を増してきている。従来は、複数の基準点からの距離比較により変換していたため、基準点の数に比例した処理が必要であったが、提案方式では、塗り分け画像を用いることで経緯度から座標値への変換処理のみで逆ジオコーディングを実現した。この結果、変換対象の数によらず、一定時間で処理できるようになり、従来方式より処理を高速化できた。一例として、埼玉県の市区町村区分による評価実験では、70倍高速化できることを確認した。

第5章「異種通信網を連携させるための通信サービス制御方式」では、適切な通信網の選択的な利用を自動的に行うことを目標に、ベース/ユースネットワークモデルによる通信サービス制御方式を提案した。現在、様々な特性や機能を備えた通信網が多く存在しているが、利用者は1つの通信網のみに接続しているケースがほとんどである。その結果、通信を伴うアプリケーションは通信網の性能を考慮して開発する必要があった。そこで、本研究ではアプリケーションの要求する通信性能を備える通信網をシステムが自動的に選択し、また必要に応じて併用することで、これまでとは異なる通信サービスの実現を目指している。提案方式の一例として、携帯電話網と無線LANを同時に利用するプロトタイプシステムを試作し、通信遅延とデータ転送スループットを測定することで方式の実現可能性を示した。

第6章「結論」では、研究成果をまとめた。本研究の成果を以下に示す。(1) 行動履歴に基づく予測型情報提示システムの提案を行った。多人数の行動から地域特性を抽出し、データ削減を行う位置情報保存方式の有効性を示した。また、情報提供時に利用者の入力作業を不要とした情報提示システムの可能性を示唆した。(2) 位置情報応用システムのための高速逆ジオコーディング方式の提案を行った。塗り分け画像を用いた変換方式により、地名登録数に依らない処理時間を実現した。(3) 異種通信網を連携させるための通信サービス制御方式の提案を行った。通信内容に応じて利用する通信網を自動的に使い分ける方式を提案し、プロトタイプシステムを用いて有効性を示した。最後に、本研究の成果から得られた知見および将来性について論じた。

目次

第 1 章	序論	1
1.1	研究の背景	1
1.2	研究の目的	3
1.3	研究の課題	4
1.4	研究のアプローチ	6
1.5	研究の位置付け	8
1.6	論文構成	8
第 2 章	位置情報応用システムの動向	11
2.1	はじめに	11
2.2	位置情報取得技術の動向	12
2.2.1	測位技術の種類	12
2.2.2	位置情報の種類	14
2.2.3	GPS を利用した測位技術	15
2.2.4	既存通信網を利用した測位技術（携帯電話・無線 LAN）	18
2.2.5	RFID を利用した測位技術	19
2.2.6	その他の測位技術	20
2.3	位置情報応用システムの動向	22
2.3.1	位置情報応用システムの分類	22
2.3.2	GIS（地理情報システム）の動向	23
2.3.3	ナビゲーションシステムの動向	28
2.3.4	Context-aware System の動向	33
2.4	まとめ	39
第 3 章	行動履歴に基づく予測型情報提示システム	41
3.1	はじめに	41
3.2	システムの概要と課題	42
3.2.1	システムの概要	42
3.2.2	システムの基本方針	42

3.2.3	システム開発の課題	43
3.3	システム設計	44
3.3.1	システムの開発方針	44
3.3.2	サーバシステムの機能	44
3.3.3	システム設計の課題と検討ポイント	45
3.3.4	クライアントの必要条件	46
3.3.5	クライアントとサーバ間の通信方式	46
3.3.6	サーバの構成とサーバ間通信方式	46
3.3.7	ポータルサイトの構成方法	47
3.3.8	位置情報保存方式	47
3.3.9	多数の予測アルゴリズムへの対応方式	55
3.4	実装	56
3.4.1	サーバシステムの構成	56
3.4.2	クライアントシステムの構成	58
3.5	運用実験	59
3.5.1	実験の概要	59
3.5.2	位置情報保存方式の効果検証	60
3.5.3	レスポンスタイムの検証	62
3.6	関連研究	63
3.7	まとめ	65
第4章	位置情報応用システムのための高速逆ジオコーディング方式	66
4.1	はじめに	66
4.2	空間情報とジオコーディング	67
4.3	既存の逆ジオコーディング方式	68
4.3.1	点近傍方式	68
4.3.2	ベクトルデータ利用方式	68
4.3.3	空間検索技術の応用方式	69
4.4	塗り分け画像による高速逆ジオコーディング方式	70
4.4.1	提案方式の概要	70
4.4.2	逆ジオコーディングの処理手順	70
4.4.3	検討事項	72
4.5	実験的評価	73
4.5.1	実装と実験環境	73
4.5.2	基礎データの種類	74
4.5.3	検証項目	74
4.5.4	実験手順	75
4.5.5	塗り分け画像のスケール	76

4.5.6	対象となるデータの個数	77
4.5.7	実験結果	79
4.5.8	結果の考察	82
4.6	まとめ	84
第 5 章	異種通信網を連携させるための通信サービス制御方式	85
5.1	はじめに	85
5.2	オンデマンド型ネットワーク	86
5.3	提案方式	87
5.3.1	ベース/ユースネットワークモデル	87
5.3.2	SIP による通信網連携方式	89
5.3.3	状況を考慮したネットワーク選択方式	91
5.4	実装	92
5.5	評価	93
5.6	関連研究	97
5.7	まとめ	98
第 6 章	結論	99
6.1	本研究の成果	99
6.2	今後の課題	101
6.3	本研究から得られた知見	103
6.4	本研究の将来性	105
謝辞		109
参考文献		110

第1章 序論

1.1 研究の背景

家庭へのブロードバンドの普及や携帯電話の進化により、インターネットの利用範囲が大きく広がった。従来は Web による情報の閲覧とメールが、インターネットの利用目的として一般的であった。しかし、現在では電子商取引、音声や映像の配信など多様なサービスが展開され、新たなサービスも日々登場している。このようなサービスの増加には、利用端末と通信環境の変化が影響している。

インターネット利用端末の変化で特徴的なのは、移動端末が急増していることである。移動端末の中でも、特に携帯電話からのインターネットアクセスが盛んに行われており、携帯電話の利用用途は、電話からインターネット上の情報取得や電子メールの送受信などのデータ通信へ変化しつつある。また、インターネットアクセス機能を備えた移動端末の種類は増加を続けており、携帯ゲーム機や携帯音楽プレイヤーなど様々な機器がインターネットへと接続され始めている。移動端末を利用することで、家庭では寝室やリビング、仕事先では会議室や食堂など場所を問わず、空き時間や外出先で必要な時、好きな時に、インターネットアクセスが可能になった。移動先や移動中の利用においては、小型で持ち運びが手軽であり、必要な時に情報を取得できる移動端末は、パソコンよりもはるかに利便性が高い。現状では携帯電話とパソコンを併用している利用者が多いが、10代を中心に携帯電話のみを利用する利用者も現れ始めており、移動端末でのインターネットの利用は今後も増加していくと考えられる。

移動端末が急増している要因として、特に無線通信技術の開発によるインターネット接続の高速化が挙げられる。移動端末を有効に使うには、無線通信による高速なインターネット接続が欠かせない。このため、家庭への高速なインターネット接続の普及 [1] と共に、無線 LAN 利用が一般的になってきている。無線通信デバイスを搭載した端末が増加したため、無線 LAN は家庭内だけでなく駅や飲食店にも設置され、利用可能範囲が拡大している。また、携帯電話網の高速化による恩恵も大きい。これらにより、屋外においても安価で高速な無線通信が実現され始めている。無線通信の高速化はモバイルブロードバンドと呼ばれる。モバイルブロードバンドを実現する技術として、IEEE802.16e(モバイル WiMAX) などの広域で利用可能な無線通信サービスも開発され、注目を集めている。さらに、携帯電話においても、LTE (Long Term Evolution) や 4G などの技術開発が進んでいる。やがて、無線通信においても 1Gbps 以上の通信速度が実現すると予想されている [2]。このような、通信網の変化を受けて、携帯電話網と無

線 LAN のような複数の通信網に選択的に接続可能な移動端末も多数登場し始めている [3, 4]。

屋外で移動端末を用いた高速なインターネット接続が可能になってきたため、このような端末を対象とする新たなサービスが登場した。新たなサービスの中で、特に注目を集めているのが、移動端末の位置情報を利用したサービスである。一般的に位置情報を利用したシステムは、「位置情報応用システム (Location-based System)」と呼ばれる。携帯電話への GPS (Global Positioning System) 装着の義務化 [5]、無線通信に利用する電波を用いた測位機能の搭載などにより、利用者が自身の位置情報を容易に取得可能になった。このため、移動端末を対象としたサービスにおける位置情報の利用が活発になってきている。位置情報とは、計算機上で、利用者や端末などの物理的な位置を表す情報で、経緯度、地名、住所、ランドマーク名などがある。位置情報を利用したサービスは、利用者の現在いる位置周辺の地図とそれに付随する情報の提供を主な目的としている。総務省の統計調査では、携帯電話から利用したことのある機能・サービスにおいて、個人のホームページの閲覧 16.3%、地図情報の提供サービス 14.0%、企業・政府のホームページ閲覧 13.6% となっており、位置情報を利用したサービスがホームページ閲覧と拮抗するほどの割合で利用されていることが分かる [1]。位置情報を利用したサービスで提供される情報は、地図情報だけにとどまらず多様化してきている。例えば、周辺の飲食店の「割引情報」と「所在地の地図」を同時に配信するようなサービスも登場している [6, 7]。このようなサービスの登場により利便性が高まることで、位置情報を利用したサービスの利用者は、さらに増加していくと予想される。

一方で、移動端末からインターネット利用する際には、端末の特性を原因とする以下のような問題が発生している。

(1) 機器の小型化に伴う入力の手間の増加

移動端末はパソコンなどの大型機器に比べ、入力デバイスが小さく、ボタン数などに制限があり、入力が不便である。しかし、インターネットの利用においては、URL やメールアドレス、Web ページ検索のためのキーワードなど入力情報が多い。加えて、セキュリティ対策などのために、ID やパスワードを毎回入力させられることもある。携帯電話用の Web サイトでは URL やメールアドレスを短くするなどの、文字入力量を削減する対策を行っている場合もあるが、ページ内の検索や、情報の書き込み時の入力などには効果がなく、この問題を完全に解決できているわけではない。

(2) 移動に伴う利用可能な通信網の変化

移動端末の場所により利用できる通信網は異なる。また、現在の無線通信網は、モバイルブロードバンドの実現を目指した技術開発により多様化が進んでおり、この傾向はさらに強まると予想される。このため、利用者はインターネットの利用前に、その場で利用する通信網を意識的に選択する必要がある。複数の通信網から利用する通信網を選択することは、熟練した利用者には煩わしく、それぞれの網の特性を理解していない利用者には難しい。

位置情報の利用は、これらの問題を解決する方法のひとつとしても注目されている。位置情報を用いて利用者の状況を認識し、その結果を活用することで、意識的な入力の手間の軽減が期

待できる。利用者の状況に基づいて動作するシステムは、Context-aware System[8, 9] と呼ばれる。また、Context-aware System が認識する利用者や計算機の状態を、Context と呼ぶ。

Context の種類には、計算機資源 Context (通信状況、通信帯域、周辺機器)、利用者 Context (プロファイル、位置情報、生体情報、周囲の人物)、自然環境 Context (照度、温度、湿度)、時間 Context (時刻、週、月、年) など様々なものがある [10, 11]。位置情報は他の Context に比べ、利用者の状況の認識に必要なデータ解析や予測処理が容易であるため、多くの Context-aware System が基本情報として利用している。

利用者の位置情報を Context として利用し、提示する情報の選別や提示方法の変更などを自動的に行うシステムは Location-aware System と呼ばれ、その実現が期待されている。Location-aware System には、従来の位置情報応用システムと比べて高頻度な位置情報の収集や、利用者の過去の位置情報が必要ななどの課題があり、この解決が求められている。Location-aware System を実現することで、利用者は特別な入力や、意識的な機器操作を行うことなく、現在いる位置に基づいた情報やサービスを享受することが可能となる。

1.2 研究の目的

本研究は、位置情報を活用することで、その時その場で個人にとって適切な情報を提示可能なシステムの実現を目指した方式開発を目的とする。目標とする情報提示システムとして、欲しい所で、欲しい時に、欲しい情報を自動的に提供するシステムを提案する。提案システムが利用者に提供する機能は以下の 2 つである。

- その時その場で適切な情報を自動的に選択し提示する
- 情報の選択と提示に必要な通信網を、その場で利用できる通信網から自動的に選択し、また必要に応じて併用する

提案システムは、位置情報を収集し活用することで、移動端末の利用時における入力の手間を軽減する。提案システムの対象機器としては、携帯電話や携帯ゲーム機などの小型の移動端末を想定する。この理由として、移動中に利用可能な情報提示端末として利便性が高いこと、位置情報の利用が一般的になり測位機能を保有していることが多いことが挙げられる。

提案システムを利用する状況として、「日常的な行動」、「旅行など特別な行動」を想定している。これらの行動時における、提案システムの動作を以下に述べる。

- 日常的な行動

1 日の行動において、移動端末の利用率が高い状況は、利用者の職業などにより異なるが、学生やサラリーマンなどであれば通学・通勤、また主婦や自営業者であれば買い物など屋外での活動と想定できる。通学・通勤時に閲覧する情報としては、交通機関の到着時刻、乗換え時刻、障害情報などがある。一方、買い物時に閲覧する情報には、店舗の営業状況や特売商品などが考えられる。これらの情報の取得には、同一の Web サービスを定常的に利用することが多い。しかし、定常的に同一の Web サービスを利用しているに

も関わらず、駅名や路線名、店舗名などを、利用するたびに入力や選択する必要がある。提案システムは、位置情報を利用することで利用者の現在の位置を認識し、過去に同じ位置で参照された情報を基に、日常的な情報の入手に必要な入力処理を自動化する。この結果、端末への複雑な入力作業を不要とした情報の入手が可能になり、移動端末利用時の入力の不便さを解消できる。

- 旅行など特別な行動

旅行時など日常の生活環境とは異なる地域での行動時にも、移動端末を用いることが多い。普段訪れない地域では、周辺の飲食店の検索や、地図の取得、道路の混雑状況や天気情報などの取得が行われることが多いと考えられる。提案システムは、多数の利用者の日常的な行動を学習している。このため、利用者が初めて訪れる地域でも、その地域の他の利用者の行動の分析から得られた地域の特徴を用いて、的確な情報提示が可能である。加えて、普段訪れない地域で発生しやすい、携帯電話や無線 LAN の利用可能地域などを把握出来ない問題に対しても効果を発揮する。本システムでは端末が自動的に周辺の通信網を把握し、大容量のデータ通信などのアプリケーションの要求に応じて、適切な通信網を選択的に利用可能にする。通信網の選択的な利用とは、アプリケーションの要求する通信性能を備える通信網を、システムがその場で使える通信網を基に自動的に選択し、また必要に応じて併用する利用方式である。例えば、大量の画像などを含む店舗情報や地図情報の受信時には大容量のデータ通信に適した通信網、位置情報の送信には広範囲で利用可能な通信網をシステムが自動的にアプリケーションに割り当てるといった通信網の制御を行う。このようなシステムの動作により、利用者が意識することなく複数の通信網の同時利用が実現できる。

1.3 研究の課題

その時その場で個人にとって適切な情報提示を行うためには、システムが現在の利用者の行動を記録し、過去の自分の行動や他人の行動などと比較した上で、必要とする情報を的確に判断する必要がある。また、情報の収集と提示に利用する通信サービスを検討する必要がある。以下にシステム実現における課題を述べる

(A) 小型の移動端末に適したシステム構成

提案システムは、端末として携帯電話などの小型の移動端末を想定している。このため、行動の記録や情報の予測などを端末で行うには、データ保存領域や処理能力が不足する可能性もある。そこで、集中管理されたサーバを用いて行うクライアント/サーバ(C/S)型のシステムを構成する。集中管理型のシステム構成をとることで、他者との情報共有が容易になる。一方で、利用者数の増加による負荷に対応可能なサーバシステムの構成が必要である。また、移動端末に適した提示方法の検討や、提示を自動化するための方式も検討する必要がある。

(B) 情報提示処理に適した形式での効果的な位置情報の保存

システムが利用者の行動を記録する際に問題となるのが、大量に発生する位置情報の保存である。周辺の店舗を検索するだけの位置情報システムでは、検索時に位置情報を一度限り利用し、保存は行わない。また、サーバへの送信も経緯度のような点の情報である。これに対し、位置情報を個人の行動の解析や予測処理に利用するためには、行動時に定期的に位置情報を取得し、複数の点を保存しておく必要がある。この結果、サーバには大量の位置情報が蓄積されることになり、入力された情報を経緯度を表す座標値として全て記録することは、保存容量、予測時の利用しやすさから考えると適切ではない。このため、目標とする位置情報応用システムの実現には、効率的な位置情報の保存方式を開発する必要がある。

(C) 経緯度から地名やランドマーク名への高速な変換

システムが過去の自分の行動や他人の行動などとの比較を行うためには、入力された位置情報の形式を統一する必要がある。一般的に、GPSなどの測位機器から得られる位置情報は、経緯度の数値情報で与えられる。これに対し、RFIDや屋内での無線LANを用いた測位では、特定の屋内地図固有の座標系に基づく仮想的な位置や場所を表すIDなどで位置情報が与えられることが多い。数値情報は、地図上に利用者が現在いる位置を表示したり、事前に設定された地点との距離を計算する際には都合が良いが、取得時の位置が少しでも異なる場合には異なる値を取るため、過去の情報と比較を数値形式で行うことは困難である。一方、独自に付与されたIDや仮想的な位置は、システム内だけで局所的に利用可能な識別子であり、一般的な情報との関連性に乏しい。これらの数値情報を、現在地の地名、ランドマーク名、近隣の駅名などのテキスト情報に変換することで、過去の自分の行動や他人の行動などとの比較が容易になる。経緯度やID情報から地名やランドマーク名への変換は、移動端末の負荷と記憶領域を考慮しサーバを用いて行うことが望ましい。数値情報を用いた計算処理は位置情報の記録に比べ、比較処理を多用するため変換時の計算量が多い。このため、1回あたりの変換に必要な計算量が少ない高速な変換方式が必要である。

(D) 利用者の行動履歴に基づいた提示情報の予測

必要とする情報の的確な判断には、利用者の行動から適切な情報を選択する予測方式の開発が必要である。情報の予測方式は、利用者の状況や用途に合わせ適切に変更可能な方式が求められる。加えて、旅行などで初めて訪れる場所における行動時には、過去の行動を予測に利用できないため、他者との行動の類似性や、地域の特徴などを利用した予測方式が必要である。

(E) 情報の収集と提示に必要な通信網の提供

C/S型のシステム構成であるため、端末は情報通信網を利用したサーバへの通信を定期的に行う必要がある。また、位置情報の送信と、画像などを含む情報ページの受信では通信頻度や通信量が大きく異なるため、必要な通信網にも違いがある。アプリケーションの要求に応じた通信網の提供には、周辺の無線通信網を探索し、通信コストや通信網の負荷状況を考慮した通信網の選択や併用を行う必要がある。

1.4 研究のアプローチ

提案システムの実現のためには 1.3 節で述べた課題を解決する必要がある。本研究では、主に (B) 情報提示処理に適した形式での効果的な位置情報の保存、(C) 経緯度から地名やランドマーク名への高速な変換、(E) 情報の収集と提示に必要な通信手段の提供の 3 つの課題に焦点を当て、課題を解決する方式を提案する。(A) 小型の移動端末に適したシステム構成、(D) 利用者の行動履歴に基づいた提示情報の予測については、システムの実現に必要な部分に限定して取り組み、既存手法も含め解決策を検討することにする。

情報提示処理に適した形式での効果的な位置情報の保存を行うために、C/S 型の集中システムで多人数の位置情報を収集可能な特徴を活かし、「集団の行動の特性」を利用するアプローチを検討する。「集団の行動の特性」を利用することで、多くの人の行動に意味のある地点が抽出可能となり、この地点のみを利用して個人の位置情報を保存する。この方式は、利用者から送信された膨大な位置情報を、スペース効率が良く、かつ効果的に利用可能な情報提示処理に適した形式で保存することを目的としている。

経緯度から地名やランドマーク名へ高速に変換するために、経緯度を用いた計算回数を削減するアプローチを検討する。現状の変換方式は、電子地図やナビゲーションサービスの用途向けに作成された、地名やランドマーク名と経緯度を表す数値情報を 1 対 1 で対応させたデータを利用している。このデータを基に経緯度から地名やランドマーク名の変換を行うと、複数の基準点からの距離比較が必要となり、基準点の数に比例した演算処理が必要となってしまう。そこで、塗り分け画像を用いて経緯度から座標値への変換処理を行うことで経緯度を用いた計算回数を削減し、経緯度から地名やランドマーク名への高速な変換を実現する。

加えて、利用者に提供する情報の選択に関するデータ処理のアプローチに「集合知」の概念を用いる。日常的な行動における、通勤・通学時などに閲覧するページは、過去に閲覧したページを再び利用することも多く、行動の分析によりある程度の選択が可能である。これに対し、初めて訪れる場所では過去の履歴が存在しないため情報の選択が出来ない。そこで、「集合知」を利用することで他人の行動を元に情報を選択する。例えば、地域で閲覧されることの多いページを検出することで、その地域で「よく見られている情報」を注目が集まっている情報として提供することが可能となる。また、行動や目的地の類似性の利用により、自身だけでは気づくことが出来なかった情報の存在通知を行うことも期待できる。

最後に、C/S 型のシステムを実現する上で必要なインターネットへの接続網の提供方式について考える。近年、屋外でインターネットを利用するための様々な通信網の提供が始まっている。しかし、現状の通信網は、特定のアプリケーションに合わせた設計となっている。このため、既存の通信網を新たなアプリケーションが利用する場合、満足のいく性能を持っていない場合がある。そこで、アプリケーションが必要とする性能を持った通信網を提供するために、アプリケーション自身が既存の網の特性を把握し、用途に応じて組み合わせて利用する方式を検討する。

これらのアプローチを用いて、提案した位置情報応用システムの実現を目標とする以下の3つの研究を行う。

(1) 行動履歴に基づく予測型情報提示システム

位置情報を用いて適切な情報を自動的に提供するサービスとして、利用者が現在いる位置と時刻情報から、その時、その場所で、その人だけに必要と思われる情報を選択し、移動端末に自動的に映し出す情報提示システムを提案する。システムの実現には、秒単位で生じる位置情報を多人数から収集して得られた、膨大な行動履歴の保存と、多種の予測方式や移動端末固有の環境に柔軟に対応できるシステム構成が必要である。そこで、多人数の行動履歴から、その地域での移動に重要な意味を持つ点を抽出し、この点のみを用いて個人の位置情報を保存する、データ量削減方式を開発する。

(2) 位置情報応用システムのための高速逆ジオコーディング方式

位置情報応用システムでは、利用者から取得した位置情報を数値情報（経緯度）のままではなく、近傍の地名やランドマーク名、駅名などの地点名称に変換して利用することが多い。この経緯度と地点名称の相互変換をジオコーディングと呼び、位置情報応用システムを構成する上で欠かせない技術である。しかし、従来手法は地点名称から経緯度に変換することに重点を置いて設計されており、逆に経緯度から地点名称へ変換する際には、変換時間と変換精度に課題があった。そこで、本研究では、地点名称の範囲ごとに色で塗り分けた画像を用いて、経緯度から地点名称への変換を高速に行う新しい逆ジオコーディング手法を開発する。

(3) 異種通信網を連携させるための通信サービス制御方式

その場で使える適切な通信網を自動的に選択し利用可能にする方式として、ベース/ユースネットワークモデルによる通信サービス制御方式を提案する。小型の移動端末を中心に、無線通信網を利用した高速インターネット接続の需要が増大しており、現在は多数の通信サービスが混在する状況にある。それぞれの通信サービスに使われる通信網は、携帯電話網であれば高品質通話や安全性の高い通信、無線 LAN であれば高速なインターネット接続のように、アプリケーションの必要性を満足するよう個別に設計されていることが多い。このため、現在では、これら個別の特性を持つ網がそれぞれ独立して存在する形で、通信網の多様化が進んでいる。端末側は多様化する通信網に対し、複数の通信インタフェースを搭載し、利用者が用途に合わせて切り替える方式で対応している。本研究では、このような特性の異なる通信網を連携させ同時に使用することで、それぞれの網の持つ長所を活かし、その場で使える通信網から、アプリケーションの要求に応じた特性を持つ通信網を自動的に選択し利用可能にする方式を提案する。

1.5 研究の位置付け

位置情報応用システムの技術分野における本研究の位置付けを図 1.1 に示す。本研究は、Context-aware System の中でも、位置情報を利用した Location-aware System を対象としている。Location-aware System に必要な機能を、情報の収集、情報の解析、情報の提供、そしてこれらを支える 共通基盤技術に分類した。

(1) 行動履歴に基づく予測型情報提示システムにおける、多人数の行動履歴から地域の特性を抽出し利用する位置情報保存技術は、情報の収集における「情報保存技術」分野の位置情報履歴保存技術と、情報の解析における「位置情報処理」分野の統計・重ね合わせ技術に該当する。また、プロトタイプシステムの構築に際し、情報の提供における「提示技法」分野について端末特性の考慮とマッシュアップに関する検討を行った。

(2) 位置情報応用システムのための高速逆ジオコーディング方式は、情報の解析における「位置情報処理」分野の空間検索技術に位置付けられる。

(3) 異種通信網を連携させるための通信サービス制御方式は、共通基盤技術における「通信網管理」分野の通信網の選択、利用技術に位置付けられる。

1.6 論文構成

第 2 章「位置情報応用システムの動向」では、まず位置情報の取得方式の動向について述べる。次に、位置情報応用システムの技術動向として、現在までのサービスの変遷について述べる。

第 3 章「行動履歴に基づく予測型情報提示システム」では、インターネット上の情報検索と、移動端末の操作性に関わる問題の解決を目標とし、利用者が現在いる場所と過去の行動履歴から、適切な情報を入力の手間無しに提示する携帯電話向けの予測型情報提示システムを提案した。位置情報を用いた情報提示システムの実現には、利用者から送信される膨大な位置情報を、情報提示処理に適した形式でスペース効率良く、かつ効果的に利用できるように保存する必要がある。そこで、本研究では多人数の行動履歴からその地域で意味のある特徴点を抽出し、その特徴点を個人の行動履歴の保存形式として利用する方式を開発した。その結果、膨大な位置情報の中から情報提示に利用される可能性の低いものを排除することでサーバに保存すべき情報量を大幅に減らし、人間が特徴的な行動を取る位置を抽出した形で保存することができた。提案方式は、利用者の日常的な行動を学習することで個人に合わせた情報提示が可能であると共に、初めて訪れる地域でもその地域の利用者の行動により生成された特徴点を用いることで、的確な情報提示が可能である。評価対象地域にも依存するが、学生被験者による評価において、約 2.8MB の行動履歴を提案方式により保存すると約 6.2KB となり、データ量の削減効果が確認できた。

第 4 章「位置情報応用システムのための高速逆ジオコーディング方式」では、地点名称ごとに色で塗り分けた画像を用いて、経緯度を地名やランドマーク名に高速で変換する方式を提案し

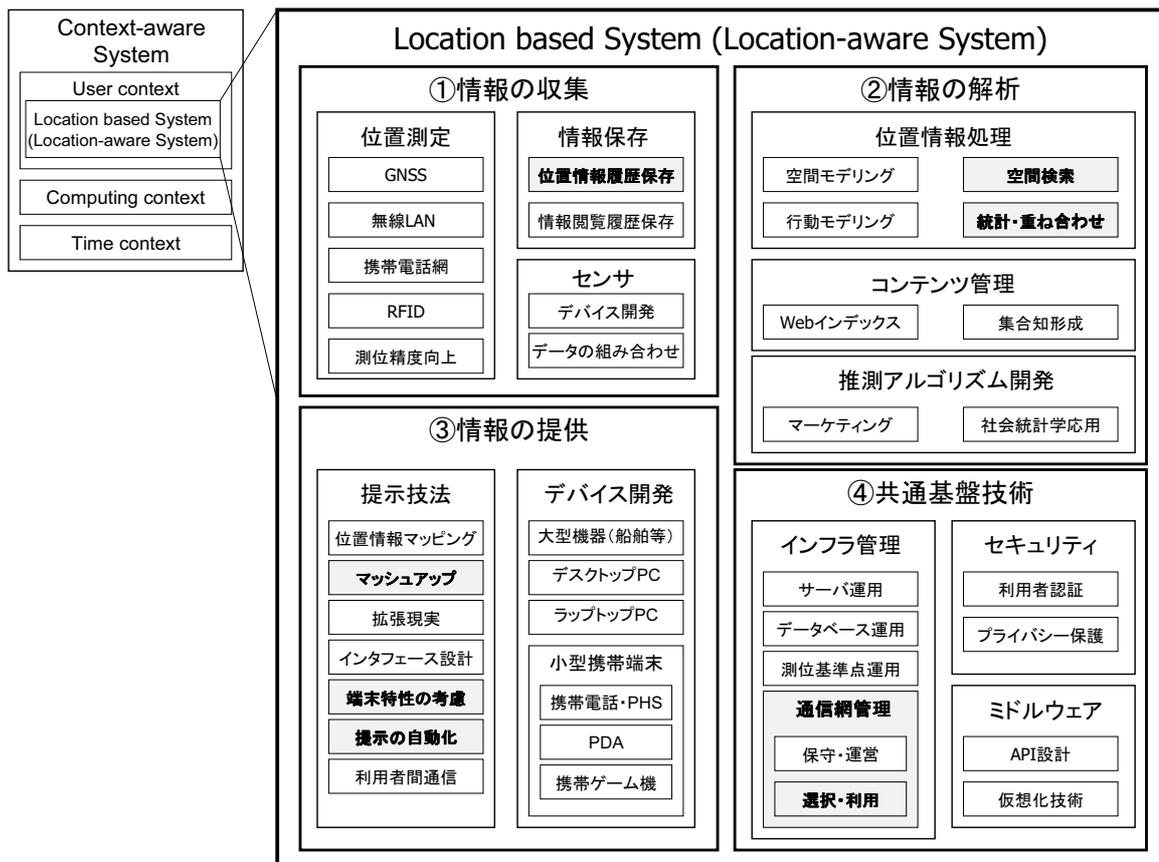


図 1.1 本研究の位置付け

た。逆ジオコーディングは、経緯度のような数値情報をランドマーク名のようなテキスト情報に変換する処理であり、近年端末に位置測定機能が実装されたことに伴い、位置情報応用システムで重要度を増してきている。従来は、複数の基準点からの距離比較により変換していたため、基準点の数に比例した処理が必要であったが、提案方式では、塗り分け画像を用いることで経緯度から座標値への変換処理のみで逆ジオコーディングを実現した。この結果、変換対象の数によらず、一定時間で処理できるようになり、従来方式より処理を高速化できた。一例として、埼玉県の市区町村区分による評価実験では、70倍高速化できることを確認した。

第5章「異種通信網を連携させるための通信サービス制御方式」では、適切な通信網の選択的な利用を自動的に行うことを目標に、ベース/ユースネットワークモデルによる通信サービス制御方式を提案した。現在、様々な特性や機能を備えた通信網が多く存在しているが、利用者は1つの通信網のみに接続しているケースがほとんどである。その結果、通信を伴うアプリケーションは通信網の性能を考慮して開発する必要があった。そこで、本研究ではアプリケーションの要求する通信性能を備える通信網をシステムが自動的に選択し、また必要に応じて併用することで、これまでとは異なる通信サービスの実現を目指している。提案方式の一例として、携帯電話網と無線LANを同時に利用するプロトタイプシステムを試作し、通信遅延とデー

タ転送スループットを測定することで方式の実現可能性を示した。

第6章「結論」では、研究成果をまとめた。本研究の成果を以下に示す。(1) 行動履歴に基づく予測型情報提示システムの提案を行った。多人数の行動から地域特性を抽出し、データ削減を行う位置情報保存方式の有効性を示した。また、情報提供時に利用者の入力作業を不要とした情報提示システムの可能性を示唆した。(2) 位置情報応用システムのための高速逆ジオコーディング方式の提案を行った。塗り分け画像を用いた変換方式により、地名登録数に依らない処理時間を実現した。(3) 異種通信網を連携させるための通信サービス制御方式の提案を行った。通信内容に応じて利用する通信網を自動的に使い分ける方式を提案し、プロトタイプシステムを用いて有効性を示した。最後に、本研究の成果から得られた知見および将来性について論じた。

第 2 章 位置情報応用システムの動向

2.1 はじめに

インターネット上のサービスは、高性能な携帯電話の普及により、自宅や会社などの固定端末だけではなく、外出中の利用者に対して、必要な情報をその場で提供するという形式で提供されることが多くなっている [14]。

ここで注目されているのが「位置情報」である。インターネットにおける通信は、端末に対し固有の IP アドレスを付与し識別を行っている。アドレスの割り当てにおいては、端末の実際の位置は考慮されず、近いアドレスを持つ端末が地理的にも近くに存在するとは限らない。また、回線交換型の電話網が採用している E.164[15] のような、地域に基づくアドレス割当を行っていないため、アドレスから地域を特定することも不可能である。それに加えて、インターネットは、大学、企業、ISP など複数の団体により構築・運営する分散協調的なシステムであり、一元的な管理を行っていない。これらの理由により、アクセス元から地域を決定することは非常に困難である。そこで、固定端末からインターネット上の地図や地域情報を提供するサービスを利用する際には、住所や最寄り駅を手動で入力することが一般的となっている。

これに対し、携帯電話では、そのキャリアを利用するすべての利用者が、携帯電話会社により構築された通信網を経由し、インターネットへと接続する。そのため、通信網へ接続する際のアクセスポイント（携帯電話基地局）が特定でき、サービス提供者側が事前にアクセスポイントの位置を知っていれば、電波の発信場所から端末の位置を推定することができる。これに加えて、近年では利用者が現在いる位置を取得するために、GPS などの測位機器が搭載された端末も多数発売されている。これらの端末では、利用者が手動で現在いる位置を指定すること無しに、自身の位置情報を用いたサービスを利用することが可能となりつつある。

本章では、「位置情報応用システムの動向調査」として、現在提供されている位置情報応用サービスと技術の動向について述べる。

図 2.1 に位置情報応用システムの基本構造を示す。位置情報応用システムを構成する技術は、「位置情報の取得技術」と「位置情報を利用したシステム」に大きく分けられる。本章では図 2.1 に示した基本システムの中で、位置情報の取得技術については代表的な方式である、(1)GPS、(2) アクセスポイント利用方式、(3)RFID 方式の 3 点について歴史と現状を調査する。地図の管理や更新については、応用システム上では第三者が発行した物を利用するだけのことが多いため、詳細な調査は省略した。また位置情報を利用したシステムについては、位置情報取得のり

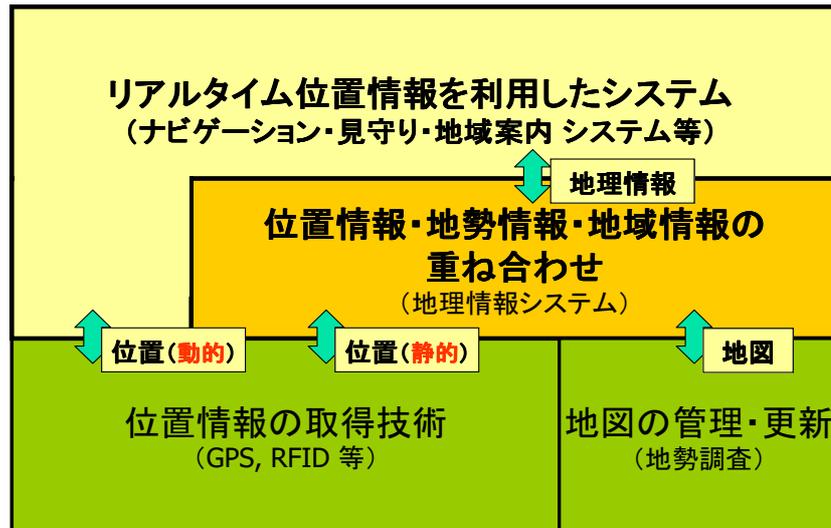


図 2.1 位置情報応用システムの基本構造

リアルタイム性に着目して分類し、情報に対して「静的な位置」を付与する GIS (地理情報システム) と、人間などの移動物に対して、リアルタイム性の高い「動的な位置」を付与するナビゲーションシステムや監視システム、最後にこの 2 つを同時に用いることで利用者の状況に合わせた情報を提供する Context-aware System について調査する。

位置情報と似た言葉として「地理情報」という言葉も広く使われている。これはマーケティングなどの統計処理や、行政の都市計画の分野で利用される GIS (地理情報システム) で使われる表現である。GIS は、地形 (地勢)、ビルや空き地などの土地利用状況、人口、地域住民の年齢などの情報を地理的な位置と組み合わせ、地域の特徴の分析を行う。この、特定の位置に関連付けされた情報を一般的に「地理情報」と呼ぶ。また、地理情報は位置に対して付随する情報であるため、「属性情報」と呼ぶこともある。

この調査においては、次の定義に基づき位置情報と地理情報を区別して扱う。

- 位置情報：情報の中で位置のみを示すもの。経緯度や住所、場所の ID など
- 地理情報：位置に関連付けされた、位置を表す以外の情報。人口や降水量、店舗情報など

2.2 位置情報取得技術の動向

2.2.1 測位技術の種類

本節では、システムが位置情報をどのような形式で取得するかという基礎技術についてまとめる。一般的な位置情報の取得方法として、GPS を利用した方式、無線通信用のアクセスポイントを利用した方式、アクティブ・パッシブそれぞれの RFID を用いる方法が挙げられる。以

後、これらの機器を用いて位置情報を取得する技術を指して測位技術と呼ぶ。測位技術は測位精度と利用環境により、図 2.2 のように分類できる。それぞれについては、2.2.3 項から 2.2.5 項で詳しく述べる。

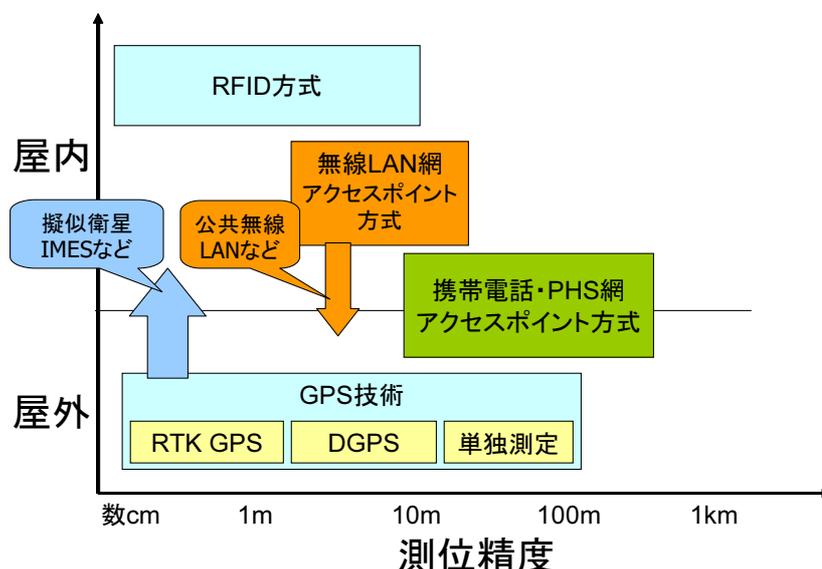


図 2.2 測位精度と場所による測位技術の分類

古くから用いられてきた電波による測位は、無線通信用の基地局を用いた相対的な測位である。携帯電話や無線 LAN 登場以前から、軍事・船舶分野では地上に設置した複数の基地局を用いた無線通信により、受信機の位置を計測していた。

GPS はこれらを改良したシステムである。その測位精度は単独測位では 10 メートル程度の誤差があるが、各種追加技術を組み合わせることで屋外においては数 cm まで向上させることが可能である。また、位置情報は経緯度と高度による三次元の値を取り、絶対位置で表される。しかし、屋内やビルの谷間など衛星からの電波が受信できない地点においては、測位を行うことができないという欠点がある。

RFID は、事前に設置した複数のリーダー（受信機）を用いて位置情報を決定する。RFID を用いた測位方式は、位置情報を利用する地域に、固有の ID を設定した RFID リーダーを数箇所に設置する。そして、ID と場所の管理表を用いて位置のマッピングを行う。測位精度は RFID の通信可能範囲に依存する。他の無線通信方式に比べ一般的に RFID は通信範囲が短いため、1 つの受信機のみから電波を受信し、その ID を測位結果とすることが多い。RFID による位置情報取得システムの用途には、インフラの整備が可能で、経緯度ではなく ID で位置を管理してもよい、博物館や家庭内での居場所検索などがある。

2.2.2 位置情報の種類

位置情報を扱う際には、位置を表すための表現形式について考慮する必要がある。ある地点を表す形式は、住所、経緯度、近隣の建物の名称など多岐に渡る。

2.2.1 項に挙げたシステムで取得できる値は、無線 LAN と RFID を除き、経緯度に限定される。経緯度による位置情報に、住所やランドマークなどを結びつけ変換することをジオコーディング (Geocoding) と呼ぶ。経緯度以外の形式で位置情報を利用する場合にはジオコーディングを行い適切な形式へと変換する必要がある。表 2.1 に位置情報の表現形式とその取得方法をまとめる。

RFID の場合は地点の ID を利用するため、対応表により名称を自由に変換することが可能な方式であるといえる。

表 2.1 位置情報の表現形式と取得方法

表現形式	表現例	範囲	取得方法
経緯度	北緯 35.41.54.26 東経 139.31.11.32	数m ~ 数十m	GPS, アクセスポイント網
住所	東京都小金井市中町 埼玉県さいたま市 千葉県	数十m以上	GPS (Geocoding) , アクセスポイント網
ランドマーク	東京農工大学 東小金井駅	数m ~ 数百m	GPS (Geocoding) , アクセスポイント網, RFID
施設内の位置	東門前, 生協前 7号館 5E 室	数m	アクセスポイント網 RFID
相対的な位置 設定	東門から 500 m 先 の交差点の向かい側	任意	GPS などの基準点と、地 磁気や加速度センサなど による動作認識の併用

2.2.3 GPS を利用した測位技術

(1) GPS の基本原理

GPS は 1970 年代に米軍によって開発が進められた測位システムである。GPS の基本原理を図 2.3 に示す。GPS は衛星軌道上に打ち上げた複数の衛星が発信する電波を受信することで、受信機自身が位置を算出する方式である。GPS 衛星は非常に高精度の時計を搭載し、発信する電波に正確な発信時刻の情報を付与している。受信機も時刻が設定されており、受信時刻と発信時刻の差に電波の速度（光速）を乗算することで衛星までの距離を算出する。この手順で複数の衛星からの距離を求め、連立方程式を解くことで、端末の位置が決定できる。したがって、GPS 受信端末自体は発信を一切行わない。このため、端末数の増加がシステムに影響を与えることがない方式のシステムである。また、受信機に電波発信に必要な機器が不要であるため、現在では比較的安価な GPS 受信機が生産されている。

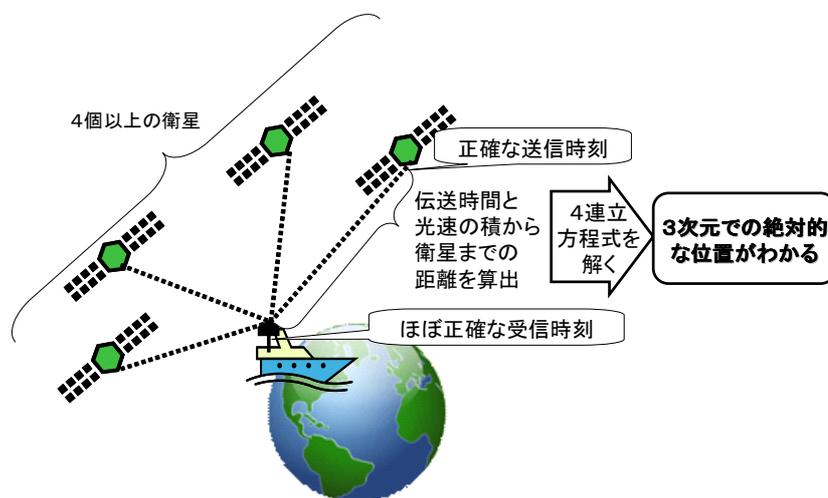


図 2.3 GPS の基本原理

衛星数は 32 個（2009 年 11 月 11 日現在）であり、そのうち 31 個が運用されている [16]。システムを持続させるためには、衛星の軌道調整などの保守や、定期的な衛星の打ち上げを行う必要がある。

(2) GPS の歴史と測位精度

GPS による測位は、位置が決定している地点から発信される電波を用いた方式である。当初は、船舶の航行や軍事作戦に必要な経緯度の把握を目的として開発された。電波の発信源は初めから衛星を利用していたわけではなく、初期のシステムは地上に発信源を設置していた。このような地上配備型の最初のシステムが、ロラン (LONg RANGE Navigation) である。ロラン

は 1942 年に軍事利用を目的として開発された。現在は、一般船舶やレジャーボート、漁船などの位置情報取得方式として利用されている。国内で利用中の地上配備型のシステムにはロラン C がある。

地上配備型の電波測位システムでは、測位を行いたい地域の周辺に電波の発信源を設置しなければならないことや、島や建物などの地上の障害物によって電波が遮られ、測位のできないエリアが存在するという欠点があった。GPS では電波の送信源を衛星にすることで、障害物の影響を観測者の上空に物体がある状況のみに抑えることができる。さらに、衛星軌道上に複数の GPS 衛星を配置したことにより、地球上のどの地点においても測位が可能となった。

GPS はこのような歴史的背景から、米国の影響が大きいシステムである。このため、欧州やロシアなどの各国も独自に衛星を用いた測位システムの開発を進めている。これらの衛星を用いた三次元測位システムを総称して、GNSS(Global Navigation Satellite System) と呼ぶこともある [17, 18]。

一方で、地上配備型の位置情報取得方式は完全に廃れたわけではない。現在でも携帯電話や無線 LAN などの既存通信網を用いた方式として利用されている。これらについては、2.2.4 項に詳しく述べる。地上配備型の位置情報取得方式が利用されている理由として、GPS の測位精度を改善できること、位置情報取得のために専用機器が不要なことがある。

GPS の正式運用が開始されたのは 1993 年である。運用当初は軍事上の理由から衛星からの電波に故意に誤差を乗せる処理 (SA:Selective Availability) を行っていた。このため測位結果には 100 メートル程度の誤差があった。その後、2000 年 5 月 2 日に米国大統領宣言によってこの処理が解除され、現在では測位誤差は 10 メートル程度の測位精度に向上している。

GPS の測位誤差の要因には、SA のような意図的な誤差だけではなく、測位機器の時計の誤差、地球大気や周囲の状況による、電波干渉による誤差等の GPS の原理による誤差が存在する。そのため SA 解除以前から正確な測位するために様々な技術が開発されてきた。本節では代表的な GPS の補正技術である、DGPS(Differential GPS) と RTKGPS(Real Time Kinematic GPS) について詳しく述べる。

(3) Differential GPS

DGPS は測位済みの固定点を利用した、位置情報の補正方式である。測位済みの固定点で電波を受信し測位を行うことで、正確な値との誤差が計測できる。この誤差は、SA や大気による影響を原因とするもので、観測点の周囲でも同様の誤差が発生していると考えられる。そこで、周囲の観測者はこの誤差を固定点から、通信回線を利用して受け取り、自身の測位結果を受け取った値で補正することで、正確な位置を再計算することができる。DGPS 方式を用いると誤差を数メートルレベルまで小さくすることができる。誤差情報の発信にはラジオ電波やインターネットが利用される。また通信時のメッセージフォーマットとして、RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Service) SC-104[19] が定められており、地域を問わずに DGPS を利用できる環境が整い始めている。

(4) RTKGPS

更なる測位精度の向上のために、測位において衛星と GPS 機器の時間差だけではなく、2 地点以上で、同じ衛星からの電波を受信し、伝送波の位相を利用して測位精度を高める方式が RTKGPS(Real Time Kinematic GPS) である。キネマティック(Kinematic)方式は、観測した電波の値を複数の機器で保存し、計測後に重ね合わせて測位結果を得る。RTKGPS は機器同士を無線通信で結ぶことで、重ね合わせの処理をリアルタイムで行えるようにしたものである。RTKGPS では誤差を数 cm とする高い測位精度が実現できる。しかし RTKGPS を利用した測位機器は、一般の GPS 機器が 1 万円程度なのに対し、400 万円以上と高価である。そのため、建物や地形の測量などの高い測位精度が必要とされる場合にしか利用されていない。RTKGPS も測位済みの地点を誤差修正に用いるが、この固定点での計測と、固定点と情報を交換する通信回線の確保を利用者レベルで行うことは、金銭的・規模的にも困難である。このため、国土交通省が全国 1200 箇所以上に電子基準点を設置し、正確な測位を実現するためのデータをインターネット上に公開している。このように広域のネットワークを利用した RTKGPS をネットワーク型 RTK-GPS と呼ぶ事もある。

これらの測位精度向上に伴い GPS を利用した機器は船舶だけでなく、測位機器やカーナビゲーションに応用され、現在では携帯電話や航空機などさらなる応用が進んでいる。これらには GPS に加えて独自の補正技術を用いているものも多い。

(5) GPS 測位結果の補正技術

GPS による測位結果の補正技術の中でも RTK-GPS は高価であるため、測量分野を除いて利用は困難である。そこで他のハードウェアなどを連携させることで、より正確な位置情報を取得する技術が開発されている。

例えばカーナビゲーションシステムでは、車本体に速度センサ、地磁気センサ等を搭載することで、特定の方向に移動した距離を正確に把握することができる。これと GPS により取得した位置情報、さらに移動可能な領域である道路をあらかじめ設定することで、測位誤差を修正し、正しいポイントに自身の位置を設定することが可能となる。またこの技術は都市部やトンネルなど GPS 電波の受信が困難な環境での位置情報取得にも利用されている。

また GPS の最大の欠点である衛星からの電波を受信できない屋内などでの測位を実現する技術も開発されている。pseudo-lite と呼ばれる擬似衛星を用いることで、任意の場所で GPS 電波を発生させることができる。屋内やビルの谷間での測位を補助するように、この擬似衛星を配置することで、端末機器に変更を与えずに位置情報を付与することが可能となる。擬似衛星は、GPS 衛星打ち上げ以前に実験のために作成された機器を基にしている。

pseudo-lite を用いる場合、測位原理も GPS と同じ方式を利用するため、地下街などで測位を行うためには、pseudo-lite が 4 台以上必要になる。また pseudo-lite には GPS 衛星と同程度の精度の高い時計が必要であり、コスト面の課題があった。この課題を解決する方式が IMES (Indoor Messaging System) [20] である。IMES も GPS 電波と互換性のある信号を発信する

が、送信する情報は経緯度であり、端末は1台のGPS信号発信機から電波を受信するだけで、計算の必要なく測位を完了することができる[21]。ただし、機器を設置した場所の経緯度を送信する方式であるため、測位精度はGPS信号発信機の密度に依存する。

これらの技術を加えることで、屋内外を問わずGPSによる安定した測位が実現し、位置情報を利用したサービスの増加につながっている。GPSを用いた位置情報取得技術は、航空機などの高精度でリアルタイム性の高い測位が求められる分野の利用を目標に、今後も測位精度向上のための補助技術が開発されていくと考えられる[18, 22, 17]。

2.2.4 既存通信網を利用した測位技術（携帯電話・無線LAN）

(1) 携帯電話網を利用した測位技術

携帯電話・PHSを利用して位置を検出する方式は、利用者への高度なサービスの提供や子供・お年寄りの安全を守る分野で積極的に進められてきた[23]。この方式には、測位のために特別な機器が不要で、網の管理者が端末の位置を取得するという特徴がある。

携帯電話とPHSを比較すると、PHS網を用いた方式が技術的に簡易であった。これは、PHS基地局のカバーエリアが100から500メートルの範囲であるため、どの基地局に接続しているかを調べるだけで、100～300メートル程度の測位精度を実現できるからである。この方式を単一基地局方式と呼び、数キロメートルを単一基地局でカバーする携帯電話網では測位精度に問題が発生する。これに対し、複数の基地局から受信した電波強度を用いて、相対的に測位する方式を複数基地局方式と呼ぶ。携帯電話を利用して測位を行う場合には、複数基地局方式を用いる。しかし、携帯電話網での測位精度は300メートル程度であり、カバーエリアと電波の状況によっては、測位精度がさらに低下する可能性もある。一方で、PHSの複数基地局方式では、測位精度を40～70メートル程度まで向上させることができる。

携帯電話・PHS網を利用した測位方式の優位性は、PHS普及時の1990年代半ばにおいては、米軍の政策によりGPSの測位精度が故意に100メートル程度に落とされていたために、GPSよりも測位精度の高い位置情報を得る方式として普及した。しかし、2000年以降の政策解除によってGPSの測位精度が10メートル程度に向上し、この点の優位性は無くなってしまった。だが、端末に新たな機能を付加することなく測位可能な点と、GPSの欠点である、頭上を障害物でふさがれたビル街や室内での測位を実現できることから、現在でも利用が続けられている。ただし、PHS網は山岳地帯などの僻地では利用できないことも多く、GPSを併用した方式に移行しつつある。

携帯電話・PHSの測位がGPS利用方式を併用するようになった理由の一つに、緊急通報時における位置の確認という問題がある。近年の携帯電話普及[24]により、警察・消防への連絡に携帯電話を利用するケースが増加している。従来の固定電話や公衆電話を利用した通報においては、通報者の位置を自動的に決定する事が可能であった。しかし、携帯電話では発信者の位置がわからず、通報時には発信者も混乱状態にある事が多いため自動的に発信者の位置を高い測位精度で取得し、通知するシステムが必要であった。このため総務省は平成16年5月に「携

携帯電話からの緊急通報における発信者位置情報通知機能に係る技術的条件」[5]を策定し、2007年4月以降の第三代携帯電話にはGPSによる測位機能を原則として付与するという方針を打ち出した。さらに2011年には携帯電話のGPS普及率を90%とすることを目標にしている。このため携帯電話を利用した測位は次第にGPSを利用するシステムを併用したものになっていくと考えられる。

(2) 無線 LAN を利用した測位技術

無線 LAN を用いた測位は、GPS に対し LPS (Local Positioning System) と呼ばれ、GPS 電波の届かない室内を中心に行われている。LPS は、機械の自動制御における相互の位置の認識等にも利用可能な 1 メートル単位の測位精度を目標に研究が進められている。基本的な測位原理は携帯電話や PHS と同一であり、アクセスポイントと端末間の距離を概算し、三角測量によって相対的な位置を決定する。しかし各アクセスポイントの位置は経緯度ではなく ID として表現し、利用する屋内の地図を用いて場所を示すシステムが多い。このため取得した位置情報は部屋番号や部屋内のどこにいるかを表す情報となり、経緯度に比べて局所性が高い物となる。

改良を施す装置によって性能や必要条件が異なるが、アクセスポイントを改良し、端末が送信した特定のデータに対する時間差を求める方式では、AirLocation[25] システムや P-Getter WE[26] 等がある。この方式は端末を改良する必要が無く、外部から各アクセスポイントを一括して制御し、時刻同期やデータ処理ができる場合に有効である。携帯電話・PHS の方式と基本的に同じ方式であり、位置情報は管理者側が取得する。これに対し、アクセスポイントは既存のまま、端末側に各アクセスポイントの位置情報を与え、取得した電波強度を利用して端末の現在ある位置を求める方法がある。この方式によるシステムは RADER[27] や Ekahau[28] 等があり、アクセスポイント等のインフラの変更を必要とせずに位置情報を検出できるという利点がある。しかし、各端末がアクセスポイントの位置だけでなく、利用エリア内の壁の配置などの障害物情報を保持しなければならない。このため、工場や倉庫など、障害物の配置が定期的に変更される環境においては、地図情報の更新が必要となる。

どちらの方式においても、無線 LAN の電波には障害物やノイズの影響による不確定な要因が多く、その時々により誤差が発生する。これらは、1 メートル単位の測位精度を目標とする上で、大きな問題となる。測位精度を向上させるために、センサ側のノイズ除去や状態の学習、推論技術などを利用した補正処理によって誤差の影響を軽減する研究が進められている [29]。

2.2.5 RFID を利用した測位技術

RFID を利用した測位技術は、無線 LAN を用いたシステムと同様に経緯度ではなく ID を用いた管理方式である。このため測位を行う範囲は限定的なことが多く、屋内向けとして使われることが多い。また、測位結果も絶対位置ではなく、事前に設定した範囲内でのみ通用する値のことが多い。

RFID は自身が電波を発信するアクティブ型と、リーダからの電波を電源として応答するだ

けのパッシブ型に分類される。日本国内においては、Suica や PASMO,ICOCA などの IC カードとしてパッシブ型の RFID が普及している [14]。

RFID は流通分野において既存のバーコードを用いた POS (Point of sale) システムに変わるものとして期待を集めてきた。RFID を用いると、タグ同士の重なりやタグまでの距離、タグに付着した汚れなどの、従来の印刷型のバーコード読み込みにおける問題を大幅に緩和できる上に、一度に大量の ID を読みこむ事も可能である。コンテナやトラック内の複数の商品の ID を個別に確認することなく一度に読み込んだり、買い物かごをレジの上に置くだけで、すべての商品を一度に精算するということが可能になると期待されている。パッシブ型の RFID は生産コストが低いため、リーダなどの設備投資、データベースとの連携などの課題が解決すれば、流通分野での利用が始まると考えられる。ただし、既存のバーコードに比べるとまだまだコストが高く、消費者の手元までタグ付の商品が届くような方式の実現には、プライバシーの問題なども含め、普及までには多くの課題が残っている。

流通分野では RFID は商品などの物の位置情報を管理していたが、先に述べたように Suica をはじめとする IC カードは個人を識別する道具であり、行動範囲各地に RFID リーダが普及すれば、十分に個人が現在いる位置を取得するツールとなりえる。実際に Suica を利用する場合には、乗車・下車駅とその時間を後から取得する事も可能であり、グリーン車など特定の車両の利用時には指定席券として利用する事もできる。

しかし、パッシブ型の RFID ではリーダにかざす程度の距離でなければ認識は難しく、誤差の小さい測位を実現できる反面、広範囲にリーダを設置と設備コストが増大するという問題を抱えている。これに対しアクティブ型の RFID は自ら電波を発信するため 100 メートル程度離れていても、リーダは ID を識別することができる。これを利用し、市内の電柱や学校の入り口などにリーダを設置し、小学生のランドセルにアクティブ型の RFID を設置することで、子どもの安全を守る実証実験も行われている [30]。この実験においては通過情報の認識率が高く、GPS などに比べ利用者の測位精度が向上したと結論付けられている。しかし、実際にインフラを設置し、位置情報を取得するための機器への定期的な充電と、持ち歩きが必要という点が、一般の人々が利用する上では障害になると考えられる。

同様に RFID の利用例として、図 2.4 に示すような博物館での利用が想定されている [31]。博物館における展示物は、室内に並べて設置されるために、数メートルまたは 1 メートル以下の測位精度が求められるのに加え、移動する可能性がある。このような場合は経緯度ではなく、展示物ごとの ID で管理するほうが都合がよい。リーダもしくは ID 本体を展示物に付与することにより、高い測位精度と、展示物の移動に対応した、個人別の展示物案内システムが実現できる。

2.2.6 その他の測位技術

先に述べた基本的な測位方式以外にもいくつかの測位方式がある。局地的な位置を取得する方式では、ロボットやコンピュータビジョンの分野で画像を利用した方式が研究されている [14, 32]。この方式では、過去に位置と関連付けられた画像と、搭載されたカメラによりリアル

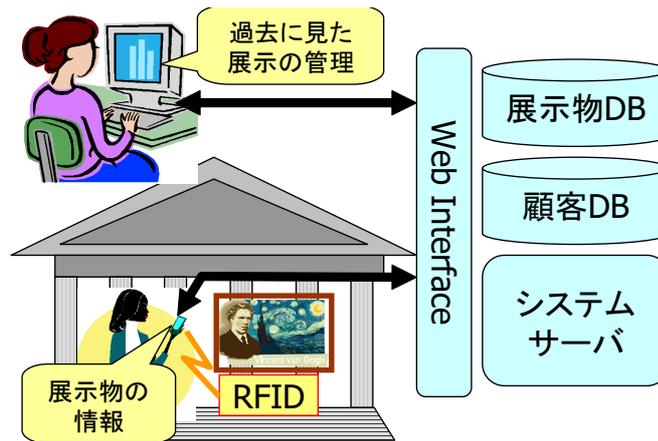


図 2.4 博物館における RFID 測位の利用例

タイムに撮影された画像を比較し、同一地点かを認識する。同じ地域での移動を繰り返す場合には、ある地点で得られる画像はほぼ同一のものであるため測位誤差の軽減が期待できる。しかし、事前の学習処理が多く、認識処理も複雑であるため、簡単に導入できる技術ではなく、利用用途の制限が大きい。この方式には位置だけでなく、方向を取得できる利点があるが、地磁気センサなどを搭載した機器であれば同様の事は実現できる。周辺の画像を使う処理は、近年ナビゲーションサービスにおける交差点など地図だけではわかりにくい部分のサポートとして利用されている。

高度交通管理システム (ITS) の分野では、道路上に埋め込んだプローブを用いて、車の位置情報を取得し、渋滞の検知や緩和などに役立てようという試みが行われている [33, 34]。プローブを用いたシステムは、センサとの距離が近く、経路が道路上に限定されることから、密度を高めることで測位精度の高い情報を得ることができる。車の自動運転システムなどに利用可能な技術として注目されており、大型の機器を搭載可能な交通分野においては有力な測位システムである。

先に述べた無線 LAN による測位とは別に、公共無線 LAN [35, 36, 37] を使って位置情報の検知するシステムもある。PlaceEngine [38] は、設置された無線 LAN の位置情報を収集し、データベース化することで、無線 LAN 電波を受信するだけで利用者が現在いる位置を特定する技術である。しかし、無線 LAN の電波範囲は数 100 メートル程度であり、全国を網羅するためには、各家庭に設置された無線 LAN 情報の登録や収集、そして収集におけるプライバシー問題などの課題がある。さらに、無線 LAN を利用した分野では、アドホックモードでの通信を利用した測位システム [39] や、RFID との組み合わせで測位精度の向上を狙ったシステム [40] などが存在する。

携帯電話や PDA を利用した他の測位技術としては、これら端末の特徴である通信機能を用いたものがある。小型端末を利用する環境においては、電力の制限や端末そのものに GPS 機器が搭載されていないなどの理由で、すべての端末が常時 GPS が使えるわけではない。そこで

GPS により値が取得できた端末との直接通信により位置情報を取得し、相互に利用する方式が研究されている [41]。この方式では、端末同士は 10 メートル以内に接近した際に直接通信が可能なアドホックネットワークを構成する。端末は自身の移動速度と、最後に取得した位置情報から、現在自分が存在可能な範囲を計算し周辺の端末に伝える。これを受け取った端末は、自身の存在可能範囲と他人の存在可能位置を重ね合わせることで、自身が存在する可能性が高い位置を絞り込むことができる。これを繰り返すことにより、端末に設定された通信距離である 10 メートルに近い測位精度で利用者が現在いる位置を絞り込むことが可能となる。

また、地図と移動経路を利用し、マップマッチングという手法で位置を決定する方式 [42] もある。この方式はカーナビゲーションシステムにおける自律的な測位にも利用されている。

2.3 位置情報応用システムの動向

2.3.1 位置情報応用システムの分類

近年の GPS 携帯電話などの広がりを受けて、位置情報を利用するシステムに注目が集まり、多数のサービスが開始されている。位置情報応用システムの動向を調べるにあたり、まずこれらのシステムを分類しておく必要がある。

位置情報応用システムの分類図を図 2.5 に示す。分類軸として、システムのリアルタイム性、位置情報の共有度、位置情報の利用形態を考える。古くより存在した位置情報を利用するシステムは、地図上に情報をプロットする主題図、そしてこれが発展した GIS(地理情報システム)である。GIS はリアルタイム性は低いが、一般的なデータと位置情報を組み合わせ、地域の分析や、他者との情報共有を行う汎用性が高いシステムである。これに対して、GPS 登場以降のシステムには、リアルタイムに位置情報を利用するものが多い。カーナビをはじめとするナビゲーションシステム、家族のリアルタイムな位置を伝える安心・安全のための見守りシステム、利用者が現在いる位置にあわせたサービスを行う Context-aware System では、リアルタイムに取得した利用者が現在いる位置を用いてサービスを提供する。位置情報の共有度については、見守りシステムや Context-aware System では、自身だけでなく、他者の位置情報にも重要な意味がある。一方、交通管理システムのように自身の位置と位置に関連する多数の情報を組み合わせて利用するシステムもある。多くのリアルタイムシステムは、GIS に蓄えられた情報を基礎としており、位置情報応用システムを考える上で、GIS の歴史的な経緯を調査することには意味があると考えられる。

本節では、まず GIS の現在までの動向について述べる。その後、代表的なリアルタイムシステムであるナビゲーションシステムと Context-aware System について述べる。最後に今回想定した軸では表現できない複合的なシステムの研究動向をまとめる。

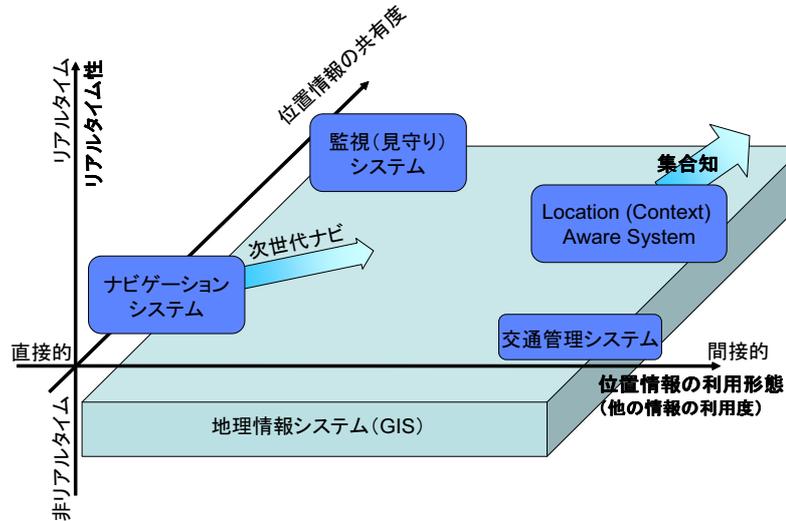


図 2.5 位置情報応用システムの分類図

2.3.2 GIS (地理情報システム) の動向

(1) GIS の歴史と分類

GIS の原点となっているのは、主題図 (thematic maps) と呼ばれる植生や人口、鉄道網などの特定の主題に基づいて作られた地図であるといわれている [43]。行政区画や地名などを明記した一般的な地図とは異なり、主題図では目的に特化した情報や記号を地図上に散布する。主題図と GIS の違いを図 2.6 に示す。GIS で大きく進歩した点は、情報と地図を独立させて管理することで、情報の更新を容易にした点と、必要な図面を用途に合わせて何度でも簡単に作り直しができる点である。

基本となる地図に関しては、航空写真・衛星写真を用いて広範囲の正確な地図が作れるようになった点、そしてこのデータを国や自治体が製作し配布を行っているため、誰もが手軽に利用できるようになった点が現在の GIS を支えている。特に国土交通省国土計画局では、「国土数値情報ダウンロードサービス」として、国内の行政境界線や湾岸線、さらに自然の状況や土地利用状況など、幅広いデータを点・線・面とそれぞれの形式に合わせて配布している。デジタルデータの製作は昭和 49 年度から始まり、当初はテキスト形式であったが、現在では JP GIS と呼ばれる「GIS アクションプログラム 2002-2005」で規格化された形式に基づき XML 形式で配布されている。このデータを用いることで、全国の市区町村別にアイコンを貼り付けるなどの処理を容易に行うことが可能となる。

GIS ソフトウェアも計算機の汎用化、ブロードバンドインターネットの普及など、社会的変化を背景にいくつかの方向へ分岐し変化を続けている。初期の GIS ソフトウェアはデータ形式と非常に関連性が強いものであった。当時は、Microsoft Excel を利用したデータの入力とその

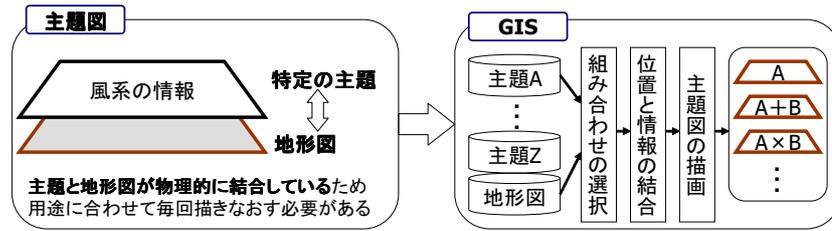


図 2.6 主題図と GIS の違い

専用プラグインを用いた地図への描画が一般的であり、データの形式が特殊なものや、オリジナルの地図を使いたい場合には、ペイントを初めとするレンダリングソフトウェアに手動で色やアイコンを設定して描画する必要があった。そのため、これらの専門的な用途に関しては、その分野の専門家による専用ソフトが開発され利用されていた。当初 Excel に組み込まれたプラグインは都道府県レベルまでの地図しか作成できなかったために、作言語地理学分野では SEAL や GLAPS などの専用ソフトが作られていた [44]。

これらの専用ソフト開発の中で、入力データ中から必要な情報のみを表示する機能や、基本画像に河川や山脈などをレイヤとして書き加える機能が生まれ、発達していった。さらに、情報の重ね合わせを任意の地図画像上で何回も行い、主題図を再描画しながら分析を行うという使い方が生まれた。

その後、これらの専用ソフトウェアはデータの共有と一般化を目標に改良が行われた。異なる機能を持った複数のソフトウェアが登場したため、互いのソフトにおいて入力したデータを共有する仕組みが必要となった。データを共有することで、1つの入力データを複数人で分析し、その結果を再び共有するなどの処理が可能となった。それぞれのソフトのデータファイル形式を統一することは困難であるため、一般的には CSV やテキスト形式でデータを出力し、データの共有は実現されている。

現在このような単体で動作させるソフトウェアは、地図を販売している会社や GPS を販売している会社が、自身のソフトの一機能として実現しているものが多い [45, 46, 47, 48]。また、これら以外にもフリーウェアという形式でいくつかの GIS が流通している。MANDARA[49] は機能と高速性に優れるほか、先ほど紹介した国が定期的に更新し配布している XML 形式の地図情報を利用できる。

これらソフトウェア型の GIS は、ソフトウェアで生成したファイルを交換するという形式でデータを共有する。しかし、この方式ではデータの正確性が保証される半面、データを作成できる利用者はごく一部に限られてしまい、広く情報を集めることが困難であった。そこで登場したものが Web GIS やインターネット GIS と呼ばれる、Web ブラウザ上で動作する簡易な GIS である。図 2.7 に Web GIS システムの構成例を示す。Web GIS では、地理情報と地図情報をデータベースとしてサーバ上に設置する。利用者は Web ページを見るだけで、地図と重ね合わされた地理情報を閲覧することが可能となる。さらに近年では Java Script を併用することで、利用者が必要とする情報のみを選択して重ね合わせることも可能な Web GIS システムも多数登

場している [6, 50]。

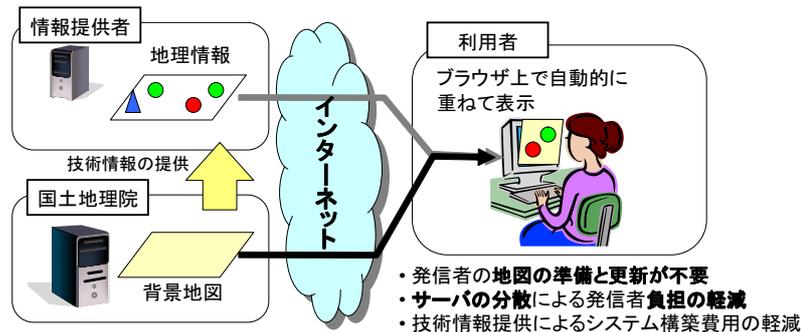


図 2.7 電子国土による Web GIS システム [50]

Web GIS がソフトウェア型の GIS と最も異なる点は、任意の場所から任意の利用者により情報を書き込むことを可能とした点である。既存の Web 掲示板に書き込む技術を利用することで、地図上に貼り付けられた地理情報に対し、利用者が任意に追加や変更を行うことができるシステムが登場している [51]。

Web GIS は、広域における環境状態の調査や、観光情報のまとめマップ、通学路の安全管理 [52] などに利用されている。また、災害対策のためのハザードマップ製作 [53, 54] や、災害時における被害状況のリアルタイムな把握や、などにも役立つと期待されている [43]。

(2) 現在普及している GIS の事例

ここで、現在利用されているいくつかの GIS についてその特徴をまとめる。

(1) CGIS (Canada Geographic Information System)

製作 R.Tomlinson (カナダ農林省)

製作年度 1967 年

目的 カナダの土地調査の電子化

特徴 初めて製作されたソフトウェア型 GIS。ベクトル型の情報を扱い、大量の地図や地理情報を数値化できる。当時のハードウェアでは動作環境が厳しかった。

(2) SEAL (System of Exhibition and Analysis of Linguistic Data)[55]

製作 福嶋秩子 (県立新潟女子短期大学)

製作年度 1983 年

目的 言語地図の電子化

特徴 言語地理学の専門家自らが用途に合わせて製作したソフトウェア。白地図とそこにマークアップする模様 (はんこ) などを自由に設定可能であり、はんこを多数搭載している。

(3) GRASS (Geographic Resources Analysis Support System)[56]

製作 U.S. Army Construction Engineering Research Laboratories

製作年度 1982 年

目的 土地利用状況の把握や軍事作戦のプランニング用（開発当時）

特徴 オープンソースの GIS ソフトウェアとして開発された。現在のバージョンでは 2D/3D によるインタフェースや、SQL によるデータベースとの連携など多彩な機能を持つ。

(4) カシミール 3D [57]

製作 DAN 杉本

製作年度 1994 年

目的 風景の可視マップ（山が見える範囲）などの作成

特徴 3D の描画エンジンを備え、風景 CG の作成ができる。国土地理院やスイス地理局、米国 USCS など各機関が作成している地図を利用可能である。フリーウェアとして自由に利用できる。また GPS との連携用など各種プラグインも開発され、GPS 販売時に同梱もしくは紹介されたり、専門の書籍が発売されたりと幅広く利用されており、エンターテインメント性が高いソフトウェアである。

(5) MANDARA [49]

製作 谷 謙二（埼玉大学）

製作年度 1993 年

目的 人文地理学分析 / 教育に使える GIS の開発

特徴 国土地理院データを基礎とした、幅広い分野で利用可能な GIS ソフトウェア。当初はシェアウェアであったが、現在はフリーウェアとして公開されている。地理情報を Microsoft Excel を利用して作成し、簡単に主題図を作成できるため、学習や研究の分野で広く利用されている。

(6) MappleX [58]

製作 昭文社

目的 GIS の製作・公開の補助をするためのソフトウェア

特徴 昭文社が発売している地図ソフト Super Mapple と連携し、主題図を作成するための GIS 製作用ソフトウェア。地図の綺麗さや更新頻度、基本的な情報の多さなど、メーカー製の地図の特性がそのまま反映でき、スクロール自在な地図などが作成できる。昭文社では、1999 年に SiMAP と呼ばれる、紙面やデジタル地図を製作する基本システムを形成し、旅行会社や観光情報などと連携した利用価値の高い地図を提供している。また、オンライン地図配布サービス（ちず丸）などの運営も行っている。

(7) GoogleMap [6]

製作 Google Inc.

目的 縮尺や位置をダイナミックに変更できる Web 上の世界地図の作成 API 化による利用者が自由にオブジェクトを配置できる地図の実現

特徴 Google 社と連携した地図業者によるオンライン型の地図。自由な縮尺ができる“世界地図”であり、衛星写真などでの表現も行うことができる。2010 年 1 月現在も公開の扱い。同社が公開中のサービスにおいては、店舗や住所、移動経路などを

検索するサービスを中心としている。APIの公開により、インターネット利用者は自由に地図を使った主題図を作成し、公開することが可能となった。地図データと地理情報データを分離し Web 化した一種の Web GIS として、幅広く利用されている。しかし、県別の塗りわけ地図を作成するなどのソフトウェア型 GIS の機能を広く実現しているわけではない。

(8) 電子国土ポータル [50]

製作 電子国土事務局

製作年度 2003 年

目的 いつでも、だれでも、どこでも、位置情報・地理情報を利活用できる社会の実現

特徴 国土地理院データを基礎とした、地図とレイヤの重ね合わせによる地理情報システム。通常の Web GIS が地理情報と地図情報を両方用意しなければ運営できなかった問題の解決を目的として開発された。API を利用して、地図情報を利用者が自由に用意した地理情報と重ねて表示することができる。地図情報は電子国土上の Web サーバに設置されているため、利用者側の負担が少ない。国によるプロジェクトのため、地方自治体や各地の観光局などが情報発信のために利用している。また地図は国土地理院データを日々更新しているため、地図会社各種が行っているサービスに加え更新速度が速い利点もある。

(9) Mapple Online [59]

製作 昭文社

目的 旅行情報の収集・プランニング・旅行記・口コミ登録をオンライン上で実現する地図ソフトウェア

特徴 ダウンロードし、年間の利用料を納めることで利用可能な地図型の GIS ソフトウェア。情報はオンライン上から取得するが動作は単一アプリケーションである。利用者が口コミで情報を追加していくことが可能な点に特徴がある。地図データは同社の地理情報システムによって管理されているため、高品質と高頻度の更新を行うことができる。

(10) ワイワイマップ [51]

製作 ヤフー株式会社

目的 地図を使った利用者間のコミュニティサービスの実現

特徴 インターネットポータルサイトである Yahoo! におけるサービスの一つ。ブラウザ上で動作し、利用者は特別なソフトウェアをインストールする必要がない。特定のテーマを持ったコミュニティ上で地図を共有する。例えばドライブマップなどのテーマをもったコミュニティを作成すると、利用者はその目的にあったコースなどに写真や口コミを自由に投稿できる。地図は同社の Web サービスで使われている ALPS 社のオンライン地図上に配置される。GoogleMap や電子国土などと同様に自由な地図を元に主題図を作れるわけではない。

(11) PetaMap [60]

製作 Sony Style Japan

目的 個人のお気に入りスポットや気になるスポットの共有

特徴 インターネット上で閲覧可能な口コミ地図サービス。ポータブルゲーム機のソフトウェアなどからも利用が可能である。また Place Engine[38] による WiFi を用いた位置情報取得サービスと連携しており、GPS を持たない利用者でも自分の位置の周辺にあるスポット検索を行うことができる。

これらのソフトウェアを年代と機能に注目してまとめると、図 2.8 のようになる。GIS ソフトウェアは専門的な分野で利用されていたアプリケーション型から、Web 型へと移行を続けている。一方で、Web 型 GIS では、汎用的に利用できる地図のみが利用されているため、専用の地図や 3 次元描画の分野ではソフトウェア型の GIS システムが現在でも利用されている。しかし、地図を利用した情報の共有に対する注目は年々高まっており、自由に地図を書き換え可能な Web 型の GIS ソフトウェアも登場する日は近いのではないかと考えられる。

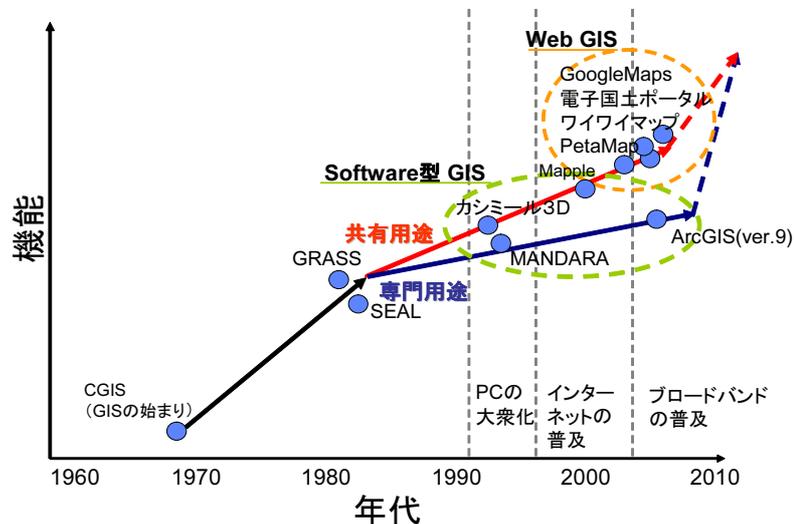


図 2.8 GIS ソフトの進化と特徴

2.3.3 ナビゲーションシステムの動向

(1) ナビゲーションシステムの歴史と分類

ナビゲーションシステムは船舶の海洋移動や航空機における空路など、目的地にいたるまでの目印が少ないが、安定した航路を必要とする分野で早くから実用化されてきた。これらの分野では、緯度・経度を何らかの方法で取得し、航路の地図と合わせる事で概算の位置を把握し、安定した航行を実現している。

本調査では、これら船舶や航空分野でのナビゲーションシステムの歴史は省略し、「ナビゲーション」と一般的に言われるカーナビゲーション、および近年実用化が進んでいるヒューマンナビゲーションの歴史と、現在の動向について述べる。

カーナビゲーションシステムが船舶などに比べ大きく異なる点は、求める測位精度の高さと、道路という限られた経路による制約である。海洋船舶や航空機の移動においては、船体が移動可能な範囲という概念はほとんど発生しない。これに加えて移動距離が非常に大きく、入港処理などは人力で行うため、ナビゲーションシステムは目的地までの概算を行うに過ぎなかった。これに対してカーナビゲーションシステムは、道路が入り組んだ狭い地域を詳細に示した地図の上に、正確かつリアルタイムに自分が現在いる位置を表示する必要がある。このためには、測位や地図の開発という技術的なインフラの準備が必要不可欠であった。世界で始めて実用化されたカーナビゲーションシステムは 1981 年に本田技研工業が開発したジャイロケーターである [61]。ジャイロケーターは名前のとおりジャイロを用いた、ロケーターと呼ばれる自身の位置を示すための装置である。当初は現在のような最短経路の計算や音声による経路案内などは実用化されていない。また、利用する位置情報は GPS などの測位機器による絶対的な値ではなく、車自体がどの方向にどれだけ動いたかという相対的なものである。このような、自身の移動方向と移動量のみによる測位を「自律方式の測位」と呼ぶ。また、地図との重ね合わせもデジタルデータとしての地図が普及する以前は、困難な課題であり、ジャイロケーターでは透明なフィルム上に印刷された地図を、手動でモニタの移動経路に重ね合わせて見る方式で実現していた。このため、地域を移動するたびにフィルムの切り替えが必要であった。自律方式の測位は、後付け型のナビゲーションシステムがパイオニアによって販売されるまで、カーナビゲーションシステムの主流を占めることになる。ジャイロケーターに利用された技術が改良され、地図の電子化が行われたのは、1987 年のことである。CD-ROM に電子地図を搭載したエレクトロマルチビジョンを、トヨタ自動車が高級車種へと搭載したのがこの始まりである。エレクトロマルチビジョンはその後も改良が進み、1991 年には世界初の目的地入力型の経路案内機能を実現した。

自律方式に加え、GPS を利用した測位を行った世界初のナビゲーションシステムはマツダと三菱電機が開発したカーコミュニケーションシステムである。現在では測位における主流技術となっている GPS も、当時は測位精度の問題に加えトンネルなどでの利用ができないことから、自律方式の補助技術に過ぎなかった。しかし、GPS による外部測位型のカーナビゲーションシステムは、高級車にしか搭載されて居なかったナビゲーションシステムを、大衆車に後付けして利用する方式の引き金となり、1990 年にパイオニアが発売した小型のナビゲーションシステムによって、「カーナビゲーション」という言葉が広く人々の間に普及し認知されるようになった。その後も技術開発は進み、地図の DVD 化や HD 化、GPS 以外の外部からのデータ情報であるビーコンを利用した測位技術や、VICS (Vehicle Information and Communication System) [62] を利用した渋滞情報などの活用が行われた。さらに現在では、音声認識による指示や、交差点の三次元表示、地上デジタル放送との融合、車載カメラによる死角の確認機能、道路に埋め込まれたプローブとの連携など様々な付加機能が加わり進化を続けている。

さらに、大学や研究機関を通して次世代のカーナビゲーション開発が進められている。大阪大学が研究している次世代カーナビゲーションシステムは、ナビゲーションにおける目的地の入力を自動で行うという「目的地の予測」という機能の特徴としている [63, 64]。運転時にカーナビゲーションシステム操作すると、運転の集中力低下し重大な事故に発展する可能性も高い。このような社会的な問題に対し、次世代のカーナビゲーションシステムでは、運転者の状況や周

困の車の状況などを判断し、的確な運転サポートを行う機能が求められている [61]。

カーナビゲーションの技術を応用し、同じナビゲーションの用途で現在注目されているものが、ヒューマンナビゲーションシステムである。ヒューマンナビゲーションシステムは、マンナビゲーションシステムと呼ばれ、人間を直接案内する機能を持つシステムである。外付け可能なカーナビゲーションシステムを、持ち運ぶことで、人間の道案内を行うシステムも存在するが、マンナビゲーションの主な端末は携帯電話である。マンナビゲーションシステムでは車を対象とするのに比べ、より詳細な地図が必要である。加えて、自由な移動経路や様々な交通手段の選択も考慮する必要がある。このような、交通手段の選択までを含め、目的地までの経路を総合的に案内するシステムを総合ナビゲーションシステムと呼ぶ。総合ナビゲーションシステムのシステム例を図 2.9 に示す。図 2.9 は NAVITIME JAPAN[65] が公表している検索エンジンの種類を基に作成したものである。システムは、個人の持つ携帯電話などの端末に対し、インターネットを通して時刻表は渋滞情報、勾配情報などを基にした歩行経路情報などを送信し、歩行者のナビゲーションを行う。

一方で、特定機能に特化したマンナビゲーションシステムも登場している。ワムネットサービスによる山海ざんまい [66] は、山や海のレジャー用にシステムを特化することで、登山時の入山手続きが行える、遭難時に救助を求めるなどの特殊な機能を提供し、総合ナビゲーションシステムとの差別化を図っている。

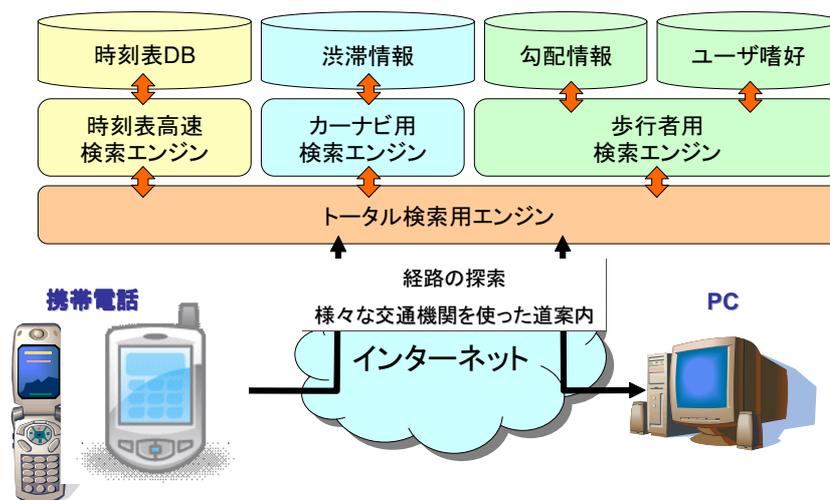


図 2.9 総合ナビゲーションシステムの実現例

(2) 歴史的なナビゲーションシステムと現在研究・実用化されているシステムの例

ここで、歴史的に重要な役割を果たした、カーナビゲーションシステムと現在提案・実用化されているナビゲーションシステムについて実例をあげて紹介する。

(1) ジャイロケータ

製作 本田技研工業

製作年度 1981年

目的 地磁気センサとガスレートジャイロによる世界初のナビゲーションシステムの
実現

特徴 地磁気センサとガスレートジャイロを用いて実現した自律方式のナビゲーション
システム。本格的なナビゲーションシステムとしては世界初のものである。CRT上
に車の移動経路を描くシステムであり、利用者はその上に透明なフィルムに印刷さ
れた地図を重ねることで現在位置とルートを確認することが可能である。

(2) エレクトロマルチビジョン

製作 トヨタ自動車

製作年度 1987年

目的 電子地図を利用したナビゲーションシステム

特徴 世界初の CD-ROM による電子地図を利用したナビゲーションシステム。測位は
自律制御方式であり、車に取り付けられた各種センサの値を利用して、自身の移動経
路を決定する。そのため、ダッシュボードに組み込まれた状態で利用する高級車向
けの装備であった。

(3) カーコミュニケーションシステム

製作 マツダ・三菱電機

製作年度 1987年

目的 GPS を利用したナビゲーションシステム

特徴 世界初の GPS を用いたナビゲーションシステム。マツダのコスモシリーズの
「ユーノスコスモ」に搭載された。基本となる位置情報は自律型のシステムから取得
するが、補助情報として GPS による測位結果を採用していた。

(4) 外付け可能なカーナビゲーションシステム (AVIC-1)

製作 パイオニア

製作年度 1990年

目的 GPS を利用した後付け可能なナビゲーションシステム

特徴 世界初の GPS 測位によって動作する、後付け可能なナビゲーションシステム。外
部の測位システムのみで動作させるシステムとしては世界初の商品で、カーオーディ
オの販売メーカーによるナビゲーションシステム製作の引き金となった。また、大
衆車でもナビゲーションシステムが利用可能となり、ナビゲーションシステムその
ものの知名度を向上させる役割も果たした。

(5) 経路誘導型のナビゲーションシステム (エレクトロマルチビジョンの後続機)

製作 トヨタ自動車

製作年度 1991年

目的 目的地を入力により経路案内を行うナビゲーションシステム

特徴 (1)-(4) のナビゲーションシステムにおいては、機能は自身と自身の周りの道路を
示すのみであった。1991年に改良されたエレクトロマルチビジョンでは目的地を入

力することにより、現在地からの最短経路を計算し、経路案内を行うシステムがはじめて実用化された。これは現在のナビゲーションシステムでも使われている技術であり、その後メディアのDVD化やHDD化など様々な改良が行われている。

(6) 目的地予測型カーナビゲーションシステム [63, 64]

製作 大阪大学・三菱電機

製作年度 2006年

目的 目的地を自動予測するナビゲーションシステム

特徴 提案レベルであるが、車や利用者自身の状況を判断し目的地と経路を自動的に設定してくれるカーナビゲーションシステム。ショッピングセンターの駐車場が混んでいる状況を認識し、他の駐車場へ案内する。ガソリンの残量を検知してガソリンスタンドへ誘導するなどの利用者補助機能を備える。ナビゲーションシステムにおける、運転に意識を集中できる情報の提示方法などの改良も提案している。

(7) Predestination [67]

製作 John Krumm Eric Horvitz (Microsoft Research)

製作年度 2007年

目的 目的地を自動予測するナビゲーションシステムの実現

特徴 提案レベルであるが、実際の車上実験を行った目的地予想型のカーナビゲーションシステムである。米国内において車両のナビゲーションシステムに、過去の行動を学習・予測を行わせることで、数キロ単位のグリッドのどこに移動するかを予想させた。

(8) ナビタイム [65]

製作 NAVITIME JAPAN

製作年度 2000年

目的 携帯電話向け経路探索および地図配信システムの配信

特徴 携帯電話用いたヒューマンナビゲーションシステム。現在国内のほとんどの携帯電話から利用可能なシステムであり、月額制でサービスされている。カーナビゲーションで実現された経路情報に加え、電車やバスの路線を含めた経路探索。周辺の交通情報を考慮した検索。さらに終電案内や駐車場情報などの追加情報を配信している。

(9) 海山ざんまい [66]

製作 ワムネットサービス

製作年度 2003年

目的 海や山などアウトドアでの利用を目的とした総合ナビゲーションシステム

特徴 携帯電話向けにサービスされている、アウトドアレジャー向けのナビゲーションシステム。海上や登山時において、利用者が位置を知るだけでなく、遭難時の通報や行動のロギング、さらに利用者間での位置の共有などを実現する。また入山届や出港届など海・山に特化した機能ももつ。

以上のように、ナビゲーションシステムは次第に多くの情報を扱い、様々な機能を利用者へと提供するように新化を続けている。これらの発展系のひとつが、次に述べる Context-aware System である。

2.3.4 Context-aware System の動向

(1) Context-aware System の歴史と位置情報ウェアなシステム

Context-aware とは、1994 年に Bill Schilit によって提案された概念である [8]。当時より、Context-aware System の概念を持つアプリケーションはいくつか存在していた。しかし、Context-aware の概念を明確に定義しアクティブバッジ [68] などを Context-aware として位置付けたのはこの論文が最初である。以後 Context-aware の概念はユビキタスコンピューティング実現のための重要な要素として広く研究される事になる。

図 2.10 に Bill Schilit が提案した Context を利用した、所在地表示システムの表示例を示す。システムでは、全員が移動端末を持ち歩き ID により識別可能である。また、各部屋には、これら端末の位置を取得するための装置が置かれている。ここで Context を一切用いない表示例が図 2.10(a) である。これは単にユーザ名と部屋番号そして距離が並んでいるだけの表示となっている。一般的に表の表示を行う場合、何らかの順に並び替えたほうが理解しやすいものとなる。これが図 2.10(b) である。この例では距離順にユーザ名を並び替えている。距離という Context を利用した表示方法はほかにもあり、図 2.10(c) では文字の太さ、図 2.10(d) では文字の大きさをを用いて、表示を見ただけで瞬時に理解できるような仕組みを実現している。Bill Schilit は、このように各利用者の状況に合わせた表示を行うシステムを Context-aware なシステムと定義し多数紹介している。

Context には、人物の属性情報である性別や嗜好、役職などに加え、状況を表す時刻や曜日、一緒に居る人物などの多彩な要素がある。システムはこれらの情報を多数のセンサを利用して取得し、利用者の状況を学習・予測する [69, 70]。

Context-aware なシステムの中で、特に位置情報を Context に用いるシステムは、位置情報ウェアまたは Location-aware なシステムと呼ばれる。ナビゲーションシステムもこの一例であるといえる。既存のアプリケーションの中には、個人の過去の行動と時刻と季節から、嗜好にあった音楽を自動で再生してくれるオーディオ機器 [71] など、位置 Context を利用しないアプリケーションも少なからず存在する。これらは位置情報応用システムとは呼べないが、ほとんどの Context-aware System では、位置情報を重要な役割を持つ要素として利用している。

このように、Context-aware は位置情報応用システムの上位に当たる概念であると考えられる。位置情報応用システムの多くは Context-aware アプリケーションに属しているため、本調査においても、これらについてまとめる必要がある。数ある Context の中でも、位置情報はユビキタス&パーベイシブコンピューティングを支える重要な要素として位置づけられている。しかし、位置情報は個人のプライバシーに大きく関係する要素であるため、慎重に利用しなければ豊かな生活を支えるサービスにはなり得ないと警告の声も上がっている [72, 73]。

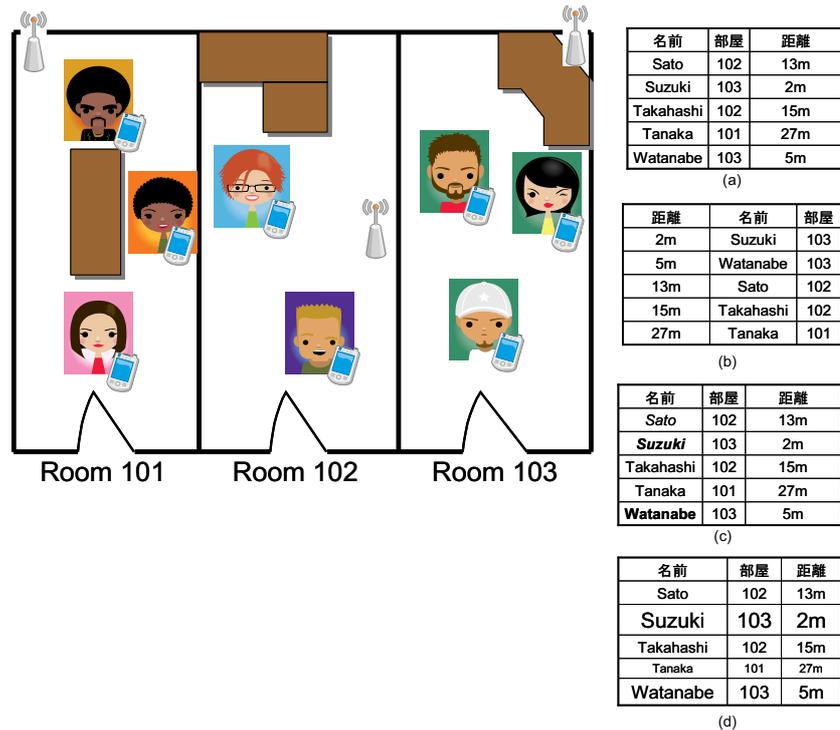


図 2.10 Context-aware を利用した表示例

Context-aware なサービスは、「自身が過去に利用した物」を再び選択するのではなく、過去に蓄積した多人数のデータを利用して、「自分は知らないが、同じような好みを持つ人が好んで利用しているデータ」を提供することが可能であり、このような嗜好に合った情報を提供するサービスが数多く提案されている [74, 75, 76]。

Context からの状況推測には、様々な推測アルゴリズムが存在する。Context 同士に距離を設定し、その差を最小とする方式 [71] や、ベイズの理論を用いてより人間的な考え方に近い学習を行わせる方式などが実現されている。ベイズ理論による推定アルゴリズムは次世代ナビゲーションシステムにおける目的地推測にも利用されおり、今後の Context-aware アプリケーションの実現においてより重要な役割を持つと考えられる [33, 77, 78]。

さらに近年では、1 人の Context だけではなく、複数人をグループと見た際の、人間同士の距離から、そのグループの特性を Context として利用する研究 [79] も進められている。

(2) Context-aware System の実例

本節では、Context-aware System として提案されてきた歴史的なシステムを Chen と Kotz の調査論文 [10] 及び 山田らによる調査論文 [11] から代表的な例を選択し実例を挙げる。また、現在提案されている Context-aware System についても幾つか実例を述べる。

(1) Call Forwarding [80, 68]

製作 Olivetti Research

製作年度 1992 年

目的 利用者の位置情報を利用した電話転送システムの実現

特徴 アクティブバッジを用いた電話転送システム。社内などに電話がかかってきた際に、自分が居る場所へ呼を自動転送する。また自身の Context に応じて、たとえば上司とミーティング中などの場合には転送が行われないなどの処理が実現される。

(2) Shopping Assistant [81]

製作 AT&T Bell Laboratories

製作年度 1994 年

目的 店舗内での自分の位置を用いた買い物支援システムの実現

特徴 ショッピングモールなどにおいて、自身の位置情報を基に近くにある商品などを紹介するサービスアプリケーション。買い物を目的とした Context-aware System は、都市や館内のガイドシステムと並んで、数多く提案されているサービス分野である。

(3) Cyber guide [82, 83]

製作 Future Computing Environments (Georgia Institute of Technology)

製作年度 1996 年, 1997 年

目的 観光客の位置と時間を利用したガイドシステムの実現

特徴 観光時において、現在いる場所の説明や、その場所や物が生まれた背景、そして他の人が残したコメントなどを管理・配信するガイドシステム。他人が過去に訪れた観光地と自分の観光地を比較し、興味のあるような観光地を推薦する機能を持つ。

(4) Location-aware Information Delivery [84]

製作 MIT Media Laboratory

製作年度 2000 年

目的 利用者の位置と現在時刻を利用した情報提示システムの実現

特徴 現在の場所や時刻を Context として記録し、同じ状況になったときに提示するメッセージを設定することで、リマインダ(忘れ物防止メモ)を実現する。さらに複雑な Context を用いて同様な機能を実現するいくつかの論文も同時に示されている。

(5) タウンガイドシステム [85]

製作 A.K.Beeharee, A.Steed (University College London)

製作年度 2005 年

目的 実際に見える店舗を紹介するタウンガイドシステムの実現

特徴 現在の場所を利用して、利用者の居る場所から実際に見える店舗などに関する情報を提示するシステム。情報はその店舗に関連づけされた、写真や Web ページである。距離が近いだけでなく、「現在歩いている通りにある」店舗などのように実際に到達しやすい場所を提示する点に特徴がある。

(6) 忘れ物通知システム [86]

製作 G. Borrello, W. Brunette, M. Hall, C. Hartung, C.Tangney (University of Washington)

製作年度 2004 年

目的 RFID を利用した忘れ物通知システムの実現

特徴 利用者と物それぞれに RFID を設置し、取得時と遺失時の時刻と場所を記録する。
このようにして定常状態を記録し、定常状態と異なる状況が発生した際にアラームを鳴らし、忘れ物を通知する。遺失場所も記録されているため、アラームが鳴らなかった場合にも落とし物の場所をある程度絞り込むことも可能となる。

(7) eXspot [31]

製作 S. Hsi, H. Fait (The Exploratorium)

製作年度 2004 年

目的 博物館利用者に対する体験履歴の記録・提示システムの実現

特徴 博物館の来訪者に対し、携帯型の RFID を手渡し来訪者が体験した履歴を記録する。博物館におけるキオスク端末や Web 端末を利用して、自身が体験した記録を後から確認することが可能となる。博物館における RFID の利用については、移動端末に展示物の詳細な情報を表示したり、音声ガイドを実現したりと様々な提案がなされている。

(8) 認知症の介護向けシステム [87]

製作 Chung-Chih Lin, Ming-Jang Chiu, Chun-Chieh Hsiao, Ren-Guey Lee, Yuh-Show Tsai (Chang Gung University)

製作年度 2006 年

目的 RFID と携帯電話などを複合的に利用した介護システムの実現

特徴 RFID と小型の GPS 機能付き携帯電話デバイスを、認知症に悩む患者の日常的に利用する物（メガネや杖など）に付加することで、患者が迷子になった場合の救助要請を行う機能を実現した。さらに、患者の定常行動範囲以外の移動や、1人で危険な場所へ移動した場合に家族へ警告メッセージを送信することも可能である。迷子や緊急通報は地域のボランティアユーザへも通知することが可能である。

(9) 携帯電話の Web ブラウジング向けコンテンツ推薦システム [88]

製作 酒井 亮, 東 基衛 (早稲田大学)

製作年度 2005 年

目的 携帯電話の Web ブラウズにおけるコンテンツ推薦の実現

特徴 携帯電話の操作性や通信速度の問題を緩和するために、利用者の嗜好と状況に合わせたコンテンツを推薦するシステム。位置情報と Web コンテンツの特徴をモデル化し、位置情報とアクセス履歴を用いて推薦するコンテンツを選択する。コンテンツ配信者が事前にコンテンツの特徴を設定せずに、自動的にコンテンツの特徴を抽出し位置と結びつける点に特徴がある。

(10) 携帯電話向け都市ガイドシステム

製作 Xerox パロアルト研究所 (PARC)

製作年度 2007 年

目的 個人の行動パターンを利用した、モバイル端末向けコンテンツ推薦システムの実現

特徴 利用者の日常行動を記録し、その人の嗜好と状況を自動的に判断、見知らぬ町においても、今必要なものを売っている場所や興味のありそうな場所を自動的に提示してくれる。2008 年内に試験運用をはじめ、2009 年の実用化を目指してプロジェクト進行中である。開発コード名で「Magitti」と呼ばれている。

(11) Context を利用した携帯電話の操作性向上システム [89]

製作 清原 良三, 三井 聡, 松本 光弘, 沼尾 正行, 栗原 聡 (大阪大学)

製作年度 2007 年

目的 携帯電話の煩雑な操作の簡略化

特徴 携帯電話においては、操作の煩雑性がしばしば問題視される。このシステムでは Context を用いる事で、携帯電話の利用者が行いたいと思っている機能を推薦する。これにより利用者は少ない操作手順で必要な機能を利用する事が可能となる。

Context-aware System は、位置情報以外の Context を用いたシステムも多数提案されているが、本節では主に位置情報を利用したシステムについて述べた。Context-aware の概念が提案された当時に提案されたシステムは、RFID ベースのシステムが多かったが、現在の携帯電話や GPS の普及を受けて、個人の位置を広範囲で利用できるこれらのシステムを利用したサービスが数多く提案され始めている。

(3) その他の位置情報応用システム

GIS、ナビゲーションシステム、Context-aware System の 3 種類に大きく分類をして調査を進めてきた。しかし、ナビゲーションシステムは次第に Context-aware System に近づきつつあると考えられ、リアルタイムに情報を扱うサービスにおいては、その区分は曖昧になりつつあると考えられる。本節ではナビゲーションシステム以外のリアルタイムに取得した位置情報を用いるシステムについて実例を挙げる。

(1) 位置情報を利用したアドホックマルチキャストのオーバーヘッド削減 [90]

製作 熊谷 佑紀, 大野 優樹, 須藤 崇徳, 阪田 史郎 (千葉大学)

製作年度 2007 年

目的 アドホックネットワークにおけるメッシュ型プロトコル ODMRP の経路構築におけるオーバーヘッドの削減

特徴 アドホックネットワークのプロトコル内に位置情報を加えることで、経路構築における不安定なリンク構築を防ぎ、オーバーヘッドを削減する。少ない帯域しか利用できないアドホックネットワークにおいて、不安定なノードの除外により冗長な経路が構成されることを防ぎ、オーバーヘッドを削減する。シミュレーションを用いてオーバーヘッド削減状況を示した提案論文である。

(2) 歩行モデルを利用した都市計画の実現 [91]

製作 山本 剛大, 大貝 彰, 桶野 俊介 (大貝都市地域計画研究室)

製作年度 2001 年

目的 回遊行動モデルを利用した都市計画

特徴 利用者の都市における行動の位置情報を記録すると、回遊行動における人間の歩行についてモデル化を行うことが可能である。このような歩行モデルを、都市計画に利用することで、歩行者や車などが移動しやすい街づくりを行うことを目的として研究が進められている。

(3) イマドコサーチ [92]

製作 NTT DoCoMo

目的 携帯電話の位置情報を利用した他人の居場所検索サービス

特徴 携帯電話の向けの見守りと安心安全を目指したサービス。検索する側が料金を支払うことにより、事前登録しておいた高齢者や子どもの現在いる位置を表示することができる。単純な位置の表示のほかに、定期的な位置の報告や、学校などのエリアを設定したサービス、さらに非常時にボタンを押して通知するサービスや、電源オフ時に自動で送信するなど様々な状況に合わせて利用できる。見守り用途以外の利用方法として、待ち合わせ向けのプランもあり、こちらは事前登録の必要がなく、代わりに検索の度に相手の同意を、ショートメッセージにより確認する必要がある。

(4) 携帯電話向け駆けつけサービス [93]

製作 セコム株式会社

製作年度 2007年

目的 携帯電話の位置情報を利用した緊急時駆けつけサービス

特徴 携帯電話の向けの見守りサービスで、利用者の非常通知に基づき本人または緊急連絡先に警備会社が直接連絡後、要請を受けて駆けつけるサービスである。携帯電話各社が行っている、子供の現在いる位置がわかるサービスだけでは実現できない、「現場への直接駆けつけ」という点に特徴がある。

(5) タクシー呼び出し用生活支援システム (e-CAB かけつけサービス) [94]

製作 ホームネット株式会社

目的 携帯電話の位置情報を利用したタクシーの呼び出しサービス

特徴 携帯電話の GPS 機能を利用したタクシーの呼び出しサービスで、必要な時にボタンを押すだけで最寄りのタクシーを呼び出すことが可能である。全国約 200 社のタクシー会社と連携しており、旅行先でも気軽に利用することが可能である。

以上のように、位置情報を利用したサービスは、主に携帯電話向けとして提供され始めている。現在の携帯電話に搭載されている GPS は、単体で測位専用機として販売されている物に比べ、測位精度が劣る点や位置情報取得までの時間が長い点などの欠点を抱えているが、急速に GPS 携帯電話は普及を続けており、ハードウェアの進化がこれらの問題を解決するのは時間の問題である。今後も、より多くの位置情報応用サービスが提案・実装されていくと考えられる。

ここまでに述べた、ナビゲーションシステムから Context-aware System 実現までのシステムの進化を図 2.11 に示す。

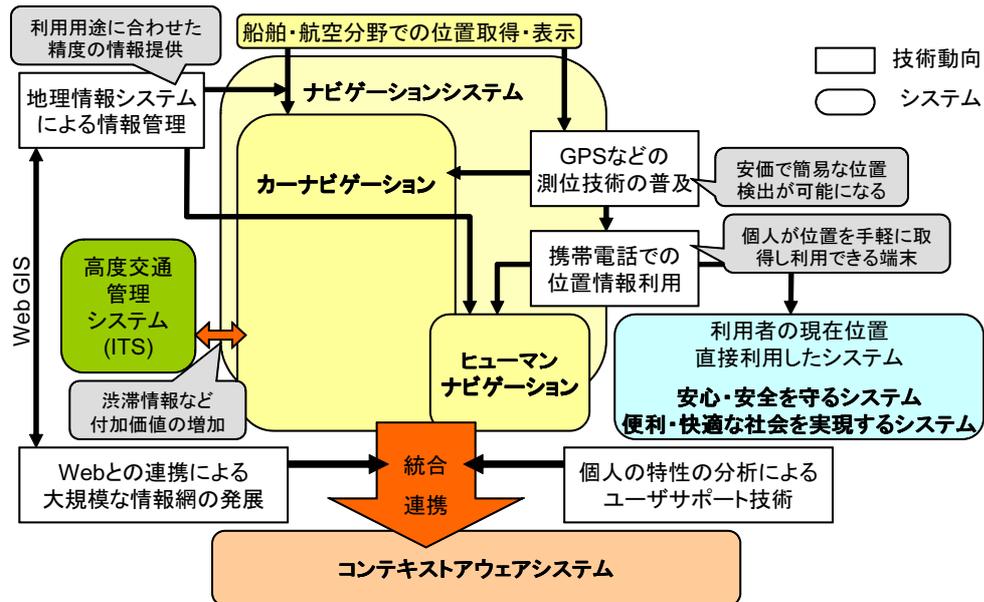


図 2.11 リアルタイムに位置情報を利用するシステムのサービス動向

従来、利用者が現在いる位置を知るために発達したナビゲーションや GPS の測位技術であるが、カーナビゲーションシステムが成熟するにつれ、利用者に与えられる情報はますます便利なものへと進化を続けている。カーナビゲーションの分野で道路交通情報システム（VICS）を組み合わせ、渋滞情報や運転しやすい経路などの情報が提供されるようになった。同様に携帯電話が発展し、その位置情報が取得可能になったことで、マンナビゲーションと安心安全を見守るシステムが発展した。外部のデータベースを利用した多種の情報の扱いと、個人を意識したシステムの構成により、ナビゲーションシステムは Context-aware System へと現在進化を続けている。

2.4 まとめ

本章では、位置情報応用システムの動向として、測位技術の種類と特徴、位置情報を利用したサービスについて調査し、その結果をまとめた。

まず、現在利用されている測位技術を、利用用途と測位精度により分類した。次に、GPS、携帯電話・無線 LAN などのアクセスポイントを利用した方式、RFID を用いた方式、その他の方式に分けて調査・分析を行った。特に近年注目が集まっている GPS については、その歴史と測位精度向上のための追加方式についてまとめた。

位置情報を利用したサービスに関しては、位置情報と地理情報を結びつける要となる GIS について言及し、現在地図サービスとして普及している Web 型の GIS が登場するまでの歴史的な背景と、既存システムについてまとめた。また、リアルタイムに位置情報を用いる代表的なシステムであるナビゲーションシステムについて、歴史的背景を調査し、カーナビゲーションシ

システムとヒューマンナビゲーションシステムについて実例を挙げて、現在の動向を述べた。最後に GIS とリアルタイムな位置情報を活用して利用者の状況を判断し、その意図を汲み取った動作を行う Context-aware System の動向を、黎明期から現在に至るまでに提案・試作されたサービスを中心にまとめた。

第3章 行動履歴に基づく予測型情報提示システム

3.1 はじめに

国内における携帯電話の契約数は1億を超えており、多くの人が個人用の携帯デバイスとして携帯電話を日常的に利用している [24]。更に、端末の高機能化により従来の通話、メール以外にもインターネットへのアクセス、電子マネー、カメラやGPSなどのセンサーデバイスとしての利用など、用途も多様化している。また、未来のコンピュータ像としてユビキタスコンピューティング [13] が注目を集め、様々なシステムが開発されてきた。ユビキタスコンピューティングでは、高いモビリティ (Mobility) と、実環境への高い融合性 (Embeddedness) の2要素が重要となる [95]。携帯電話は、この2要素を高いレベルで保持しているデバイスであるため、ユビキタスコンピューティングを実現するための有力なデバイスとして注目されている。

一方で、携帯電話によるインターネットやその応用サービスを利用するためには、情報機器の操作に対する多くの知識が必要である。インターネットから情報を取得する場合、端末サイズや入力デバイスの制限から効率的な情報検索や表示は難しい。現状では、サービス業者が提供しているメニューリストを用いて、用途やジャンルから情報を大まかに選択するディレクトリ型検索を利用している利用者も多い。しかし、この方法はキーワード入力型検索に比べて操作に手間がかかり、操作時間の割には得られる情報量が少ないという欠点がある。更に、メニューリストへの登録もサービス業者が中心となって行うため、自分の望む情報が得られないケースも多々ある。また、Googleなどの検索サービスの広がりを受け、携帯電話においてもキーワード入力型検索が利用可能になっているが、効率的な検索を行うには複数のキーワードの組み合わせや特殊な記述方式などの応用的な知識が必要である。以上のように、現在の携帯電話を利用した情報提供サービスは、誰もが手軽に利用できるとはいえない。

この問題に対し、利用者の状況を分析し、状況に合わせて適切な情報を自動的に推薦、選択する Context-aware という考えに基づくサービスがある [8]。Context-aware なサービスは利用者の性別や嗜好、現在いる位置などの Context を基に情報の推薦を行う [11, 10]。推薦により検索の手間が減り、高度な検索技術を必要とせず、状況に合わせた有益な情報を容易に取得することが可能となる。

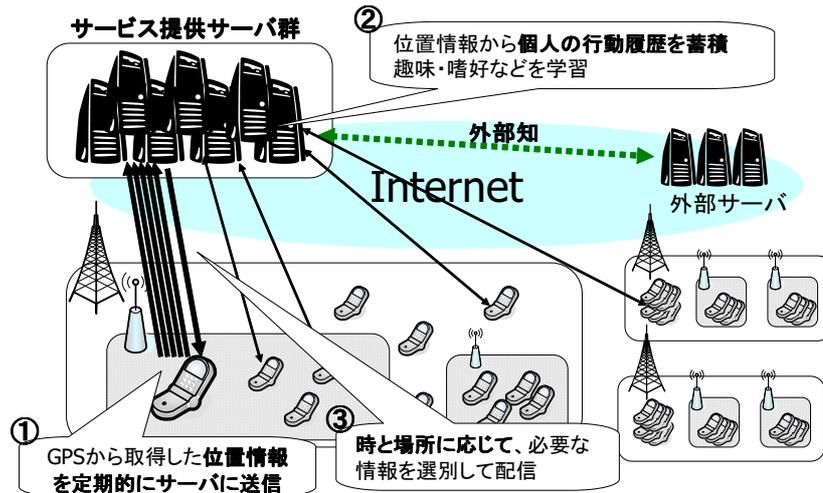


図 3.1 システムの概要

本章では、利用者の現在いる位置と過去の行動履歴を利用し、適切な情報を入力の手間無しに提示する携帯電話向けの予測型情報提示システムの試作について述べる。提案システムを「水晶珠」と名付ける。水晶珠は、特別な入力を行わず「携帯電話の画面を開くだけ」で自身の必要とする情報を取得できることを目標としている [96]。

3.2 システムの概要と課題

3.2.1 システムの概要

システム概要を図 3.1 に示す。利用者の持つ携帯電話などの移動端末は携帯電話網や無線 LAN などを利用し、利用者の現在いる位置をサービス提供サーバ群へ定期的に送信する。サーバは個人の位置情報を行動履歴として適切な形式に変換して保存し、提供された位置情報や過去の行動履歴、現在時刻を基に、利用者にとって有益と思われる情報を外部サーバのコンテンツから選択し提供する。これらの処理はリアルタイムに行ない、利用者は端末を開くだけで、情報検索のための入力を必要とせず、必要な情報を自動的に受け取ることが可能となる。

3.2.2 システムの基本方針

提案システムの開発方針を「どこでも」「誰でも」使える「柔軟性の高い」「利用者主体」の予測型情報提示システムの実現とする。「どこでも」は、自宅やオフィスなどの固定端末だけでなく、移動時に利用する小型の移動端末でも利用可能であることを意味している。そのため多種のデバイスに対応可能な入出力のインターフェースを検討する必要がある。また、端末の種類やネットワーク環境によって、利用可能なプロトコルや通信方式が制限されることもあるため、こ

れらネットワークの制限についても考慮する必要がある。「誰でも」は、利用者が携帯電話などの移動端末やアプリケーションを「開くだけ」「起動しておくだけ」で、必要な情報が提示されることを意味している。利用者に負担とならない操作方法を実現し、利用の手間を削減する必要がある。「柔軟性の高い」は、サーバ構成や予測方式を規模や用途に合わせて、柔軟に変化させることができる方式を意味している。「利用者主体」は、提供される情報を利用者が自由に追加、編集可能であり、この情報の多人数共有による集合知的利用ができることを意味している。

3.2.3 システム開発の課題

提案システムの開発は次の6点が課題となる。

(1) 自由度の高いポータルサイトのアクセス方法

「どこでも」「誰でも」使えるサービスを実現するため、サービス提供サーバへのアクセスを汎用的なアプリケーションとプロトコルにより実現する必要がある。これにより、利用者の環境に依存しないアクセス方法を実現する。

(2) 追加と削除に対応できるサーバ構成の検討

利用者人数や利用可能地域の拡大に合わせ、サービス提供サーバの数や地域への割り当てを動的に変更する必要がある。また、「柔軟性の高い」システムを実現するために、汎用的な計算機で動作可能で、システムの拡張が容易なサーバの構成方式が必要である。

(3) 利用者による情報追加方式の検討

インターネットを利用した発信者主体の情報提供は、発信者側のインターネットに対する知識や関心、コストなどから、十分な情報提供が行われない場合も多い。提案システムでは、発信者主体の情報に加え、「利用者主体」の情報の追加や編集を実現し、口コミなどの利用者が欲しいと思える情報を、自ら投稿し共有できることを可能にする。

(4) 位置情報の収集と効率的な行動履歴の保存

携帯電話を「開くだけ」、アプリケーションを「起動しておくだけ」で自動的に情報提供を行うために、利用者の行動を基に必要な情報を予測する必要がある。このためには、利用者の行動の収集と保存が必要である。しかし、多人数がシステムを利用すると、単純にすべてのデータを保存する方式では大量の保存領域が必要となり、予測時に大量の情報参照により処理が複雑になる可能性がある。そのため、行動の特徴を抽出し、効率的に行動履歴を保存する方式が必要である。

(5) 行動学習と情報予測方法の切替方式の検討

利用者の状況や、システム側に提供されている情報に応じて適した予測方式は異なる。また、人間の行動を予測して情報を推薦するアルゴリズム開発には専門的な知識が必要となる。このためシステムには、新たに開発された予測方式に、基本部分を変更せずに対応し、切り替えや追加が自由に行える「柔軟性の高い」方式が必要である。

(6) プライバシ情報の保護と通信時のセキュリティの検討

本システムが扱う情報は、位置情報を中心とした個人の行動であり、プライバシーの侵害

に注意を払う必要がある。このためには、収集した情報の利用方法だけでなく、通信路や保存時のセキュリティも考慮する必要がある。

本章では、(4)を中心に(1)～(5)について解決策を検討する。(6)は大規模なシステムの実現において重要な要素であるが、ネットワークインフラやOSの機能などを用いて運用時に対応するものとし、本試作においては検討の対象外とした。

3.3 システム設計

3.3.1 システムの開発方針

上記の課題を解決するために、次に示す5つの方針でシステムを開発する。

- (1) 多種の環境に対応するアクセス方式
利用者への情報提示は Web ブラウザを用いて行い、専用のソフトウェアは用いない。また、システムへの入出力は HTTP を用いて行い、ネットワーク環境による制限を受けにくい方式とする。
- (2) 拡張性と負荷分散に優れたサーバ構成
システムを提供するサーバは機能に応じて分割し、サービス提供の規模と負荷に応じて任意に増設可能な方式とする。
- (3) 標準的なユーザインタフェース
既存のデータベースや Web アプリケーションを利用した、利用者間のデータ共有システムを実現し、利用者の不慣れによる使いにくさを緩和する。
- (4) 効率的な行動履歴保存方式
多人数の位置情報を効率よく保存し、行動予測に利用可能な独自の保存技術を開発する。
- (5) 自由度の高い情報予測方式
用途に応じたアルゴリズムの変更が有効な予測部分は、方式の追加や編集、入れ替えが容易な実装方式にする。

3.3.2 サーバシステムの機能

図 3.2 に提案システムに必要な機能を部位ごとに分類して示す。サーバの機能は、ポータルサイト、行動履歴収集部、情報予測部、地理情報共有部の4種類から構成する。ポータルサイトはクライアントがサービス提供サーバへアクセスするための出入り口であり、利用者との通信はすべてポータルサイトを用いて行う。行動履歴収集部は利用者の位置情報を受け取り、地理情報共有部のデータベースの情報を利用し行動履歴の保存を行う。情報予測部は、行動履歴を基に、利用者の行動と推薦情報の予測を行う。地理情報共有部は、経緯度と地名(地域やラン

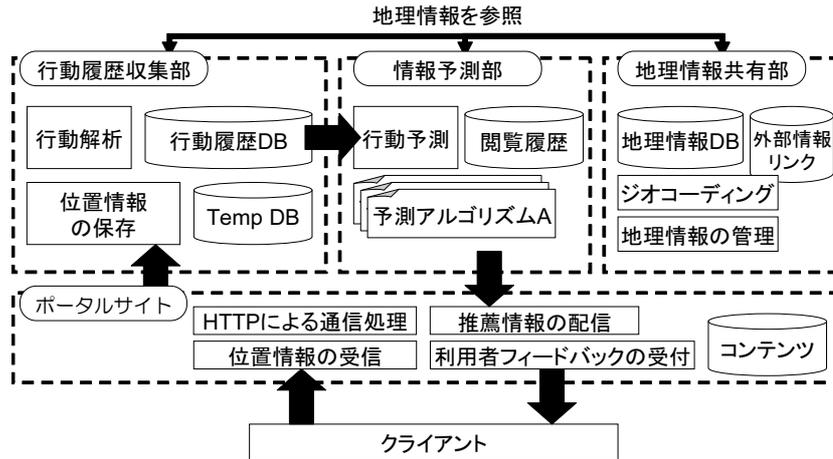


図 3.2 サーバ群の機能別部位構成

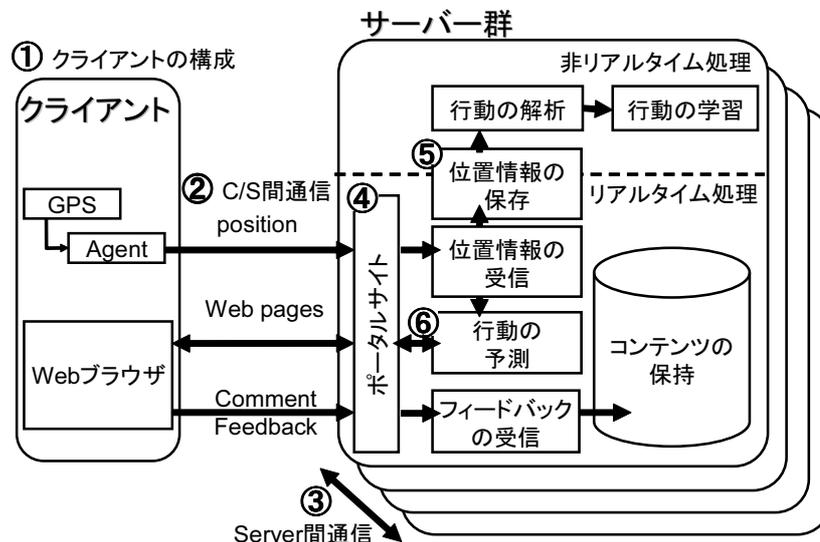


図 3.3 システムの全体構成と検討ポイント

ドマークの名称)の関連付けと、外部サーバのリンク情報を地理情報として保存し、利用者間で共有する。外部サーバのリンク情報は、お買い得品などの店舗情報、観光名所や防犯情報などの地域情報などであり、用途に合わせ自由に設定できる。地理情報共有部に集められた情報は、情報予測部の推薦情報の予測や行動履歴収集部の位置情報の保存時に使用する。

3.3.3 システム設計の課題と検討ポイント

図 3.3 にシステム設計上の課題と検討ポイントを示す。

- (1) クライアントの必要条件
- (2) クライアントとサーバ間の通信方式
- (3) サーバ構成とサーバ間での通信方式
- (4) ポータルサイトの構成方法
- (5) 位置情報の保存方式
- (6) 多数の予測アルゴリズムへの対応方式

各課題について以下に述べる。

3.3.4 クライアントの必要条件

本システムにおけるクライアントの必要条件は情報提示のための Web ブラウザと、位置情報を取得可能なデバイスを保持していることである。

位置情報は、常時バックグラウンドで動作するプログラムであるエージェントにより取得する。屋外においては GPS や携帯電話網、公衆無線 LAN などを用いた方法がある [38]。本試作では、移動端末を使う頻度が高いと考えられる屋外の利用を想定し、GPS による測位を用いて実装することにする。屋内での測位は、RFID、PAN、LAN などを用いた測位、擬似衛星による屋内での GPS 測位、屋内外の測位システムをシームレスに連携させる汎用的な位置情報基盤 [27, 28, 97, 98] などを利用すれば実現可能であると考えられる。また、屋内で利用する固定端末は、移動端末と異なり位置の変化はないと考えられる。このため、測位デバイスを用いることなく、手動で端末位置を設定することが可能である。

3.3.5 クライアントとサーバ間の通信方式

クライアントとサーバ間の通信は、クライアントからサーバへの位置情報の送信、クライアントのポータルサイトアクセス時の推薦情報の送信、推薦情報利用結果のサーバへのフィードバック、地理情報に関する情報の書き込みの 4 種類である。推薦情報の提示を Web ブラウザのみで行う理由は、3.2.3 項で述べた環境への依存性を軽減するためである。エージェントは独自のプログラムであるため、通信プロトコルは自由に設定することが可能である。しかし、独自プロトコルを利用するとプロキシサーバや利用するアクセス網などのネットワーク環境により、通信制限が発生する可能性がある。そこで、エージェントとサーバの通信も、情報の取得と同様に HTTP を用いることにした。この通信方式により Web 閲覧が可能な利用環境であれば、いつでも位置情報をサーバに送信することが可能である。

3.3.6 サーバの構成とサーバ間通信方式

サーバ内で動作するプログラムは機能毎に独立させ、それぞれを 1 つのプロセスとする。プロセス単位に分離することで、すべてを同一計算機上で動作させることも、負荷分散のために多

数の計算機で協調動作させることも可能である。

サーバ用の計算機は、LAN などの小規模なネットワーク内に多数設置する。したがって、サーバ間の通信は、C/S 間通信とは異なり、ネットワークの制限を受けずに行うことが可能である。このため、サーバ間通信は TCP の上に独自に実装したテキスト型プロトコルを利用する。

クライアントの Web ブラウザがポータルサイトにアクセスすると、リクエストは情報予測部に転送される。情報予測部は、利用者の現在いる位置の取得、取得した位置の名称や情報の取得、利用者の目的地と状況に合わせた提示情報の予測処理を行い、予測結果を返信する。機能部位をそれぞれ別の計算機上に設置すると、サーバ間の通信遅延が発生する。サーバ間を接続する LAN は WAN に比べ高速な網を想定しているが、VPN などによりサーバを物理的に別の地域へ分散配置した場合には、サーバ間の通信遅延に注意する必要がある。

情報提供時間の目標値は、本システムが対象としている歩行者の平均な移動速度である時速 4 キロメートルに基づいて検討した。システムが提供する情報は、飲食店などの店舗や駅などのランドマークに関連した情報であり、建物の大きさは 10～30 メートル程度である。このため、位置情報の送信間隔は 10～30 秒程度、予測結果の取得までに 30 秒以下が望ましいと考えられる。また、Web ページの読み込みと表示にも時間がかかるため、本試作では、全体で 1 分以下での表示を目標とする。通常の Web 閲覧の待ち時間と比べるとやや長い時間であるが、本システムでは利用者が常に画面を見続けて表示されるのを待つわけではなく、事前に読み込まれたページを閲覧することを想定している。

3.3.7 ポータルサイトの構成方法

ポータルサイトは、クライアントとサーバ群の間で行われるのすべての通信の出入り口であり、位置情報の受信、推薦情報の提示、利用者による地理情報の書き込みの 3 つの機能を持つ。位置情報の受信は、HTTP の GET もしくは POST メソッドにより行い、HTTP サーバ上に設置したスクリプト型のプログラムにより処理する。推薦情報の表示もサーバ上のスクリプト言語を用いて、動的に変化するページを作成し実現する。このページは利用者のリクエスト時に、利用者の現在いる位置を利用した予測結果を表示するだけでなく、Java スクリプトなどを利用し、閲覧中であっても利用者の位置情報の変化に合わせ動的に変化させる。利用者による地理情報の書き込みは、Wiki を用いたページを利用することで実現する。Wiki を利用することで、地理情報を管理するための基礎テーブルを多人数で共有可能となり、編集も手軽に行うことができる。また、対象となる地域やランドマークに関する情報ページを利用者自身が手軽に作ることが可能となる。

3.3.8 位置情報保存方式

(1) 位置情報保存の課題

多人数から収集した位置情報を行動履歴として利用するためには、保存領域節約のためのデータ量の低減と、情報予測のために使いやすい保存方式が必要である。

表 3.1 位置情報の保存形式

日付	時刻	緯度	経度	速度 (km/h)	高度 (m)
2008-05-23	13-30-02	N35.42.07.554	E139.31.28.494	3.20	60.0
2008-05-23	13-30-03	N35.42.07.590	E139.31.28.458	4.59	61.0
2008-05-23	13-30-04	N35.42.07.620	E139.31.28.440	4.20	62.0
2008-05-23	13-30-05	N35.42.07.590	E139.31.28.404	2.90	60.0
2008-05-23	13-30-06	N35.42.07.596	E139.31.28.374	3.70	60.0
2008-05-23	13-30-07	N35.42.07.620	E139.31.28.338	3.70	60.0

多人数の詳細な位置情報の記録は多量の記憶領域を必要とする。表 3.1 にクライアントから送信された位置情報の保存形式を示す。本システムが保存する情報は、時刻、経緯度、速度である。この情報は、1 回の測位当たり数バイトであるが、毎秒の値を記録すると 1 人の利用者の 1 時間あたりのデータ量は約 2MB となる。位置情報を行動履歴として利用するには、定期的な収集と蓄積が必要である。

このため、位置情報をデータ量の削減処理を行った後に保存する方法が必要である。しかし、削減処理の内容によってはデータの欠落が発生するため、適切なデータ保存精度の検討とデータ量の削減方式の検討が必要である。また、測位デバイスの測位結果に含まれる誤差にも考慮する必要がある。測位誤差のために、毎回入力される位置情報のすべてが利用者の本来の位置を反映しているとは限らない。したがって、誤差を含む点の影響を受けにくい保存方式を検討する必要がある。

加えて、予測型の情報提示を行うには、保存された位置情報を参照し、同じ地域での自身の過去の行動履歴や他人の行動履歴と、現在位置の変化と容易に比較できる保存形式が必要である。本システムでは、利用者の今後の行動を予想し、目的地に応じた情報提示をリアルタイムに行う。この場合、過去に保存されたすべての位置情報を用いた演算を行うことは、処理のリアルタイム性を考えると現実的ではない。また、機器、測位環境、利用者の微妙な行動の違いにより、同じ目的地に同じ道を使って到着したとしても、収集される位置情報は同じとは限らない。したがって、多数の利用者の集団的な特性を把握し、リアルタイムな情報提示を行うためには、行動の指標として用いることができる共通地点の設定と、この地点に着目した情報処理が必要である。

(2) 既存の位置情報保存方式

位置情報の保存における既存のデータ量削減手法を、保存する行動の特徴（行動特徴）の復元性と行動履歴の比較しやすさを基準に分類する。この結果を、図 3.4 に示す。行動特徴の復元性は、データ量削減後のデータから元のデータを正しく復元できるかを表す。また、行動履歴の比較しやすさは、行動の指標として用いることができる共通の位置情報を用いるかを表す。そして、集団の行動を表すのに適した指標を用いるほど高い値とした。分類したデータは次の 5 種類である。

(a) 可逆圧縮方式

ハフマン符号や LZSS(Lempel-Ziv-Storer-Szymanski) 符号などを用いて、データ

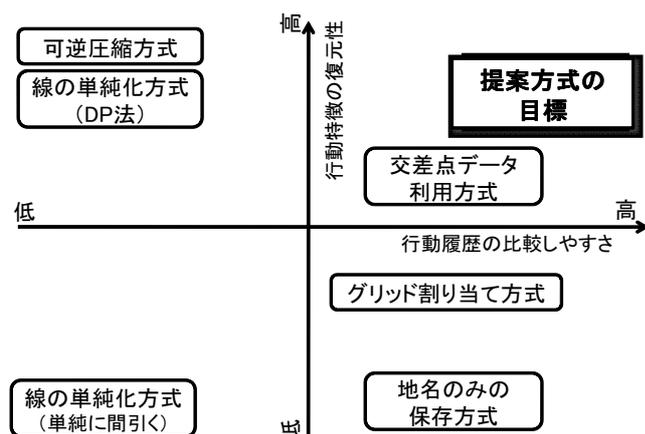


図 3.4 既存の保存方式の分類

量の削減を行う。利用時には展開処理を行う必要がある。

(b) 線の単純化方式[99]

位置情報が表す点の列を線として扱い、線を構成する点の数を減らすことで行動履歴として保存するデータ量削減する。点の減らし方により行動特徴の復元性が変化する。入力された点を内容に関係なく、単純に決定した個数になるように間引くと完全性が低下するが、DP法 [100] などの数学的に優れたアルゴリズムを用いると、完全性をほとんど低下させることなく保存が可能となる。

(c) グリッド方式[67]

地表を数メートルまたは数キロメートル単位のセル状に分割し、各セルに付与した固有の ID で行動を記述し保存する。

(d) 地名のみの保存方式

入力されたそれぞれの位置情報を、外部のデータを用いて地名に変換し、その変化のみを保存する。

(e) 交差点データ利用方式

入力されたそれぞれの位置情報から、外部のデータを用いて特定の点を選択し、その点のみを保存する。選択する点は、例えば GIS 用のデータから抽出した道路の交差点などが挙げられる。

行動特徴の復元性が高い保存方式は、可逆圧縮方式や線の単純化方式 (DP 法) である。しかし、これらの方式は特定の行動に特化して情報圧縮を行うため、それぞれの圧縮に時間がかかり、各々の行動が別の値になるため行動の予測が困難である。また、GPS 機器の測位誤差を考慮していないため、線の単純化を行う際に誤差が発生した点を選んでしまうという課題もある。

一方、行動履歴の比較しやすさが高い保存方式として、グリッド方式や交差点データの利用方式が挙げられる。これらは利用者の行動を ID の遷移として記録するため、行動の

表 3.2 個人別の行動履歴保存形式

出発地名	目的地名	曜日	時刻	頻度
Place A	Place X	Thu	12	1
Place A	Place Z	Wed	11	2
Place S	Place T	Sat	19	3
Place S	Place X	Thu	11	1

予測が容易な形式である。しかし、グリッド方式ではセルサイズの適切な設定が困難である。セルサイズが大きすぎる場合には測位精度上の問題が生じ、小さすぎる場合には行動の表現に多量の ID 保持が必要となる。また、交差点データの場合も行動履歴とは別に地図データを必要とすること、予測処理において人があまり利用しない点とも比較してしまうことが問題である。以上のことから、行動特徴の復元性と行動履歴の比較しやすさを両立した保存方式が必要である。

(3) 中間点による保存方式の提案

これらの問題を解決するために、位置情報を何時、どの地点（地名）からどの地点（地名）へ、どんな経路で移動したかを記録する保存方式を提案する。経路は位置情報に含まれた一部の点のみを選別し記録することで保存する。この 2 点間の経路を表現するための選別した点を「中間点」と定義する。中間点は、利用者の行動特性を考慮して算出し、多人数において共通して利用できる指標とする。これにより、行動特徴の復元性と行動履歴の比較しやすさを両立させる。

提案方式のデータ保存精度および保存領域の削減の目標値を、人間の行動と GPS の測位誤差に基づいて決定する。データ保存精度は、測位と保存方式の適用により生じた、実際の利用者の位置と保存されたデータが表す位置との差で表す。データ保存精度の目標値は並行する道路が判別できる値とし、ハンディタイプ GPS 機器の測位精度誤差 10 メートルの 2 倍である 20 メートルとする。また、保存領域の削減については、入力する位置情報の量に対し、必要な保存領域が単調に増加することが方式的に問題と考え、同じ利用者が特定の地域で行動を繰り返しても保存領域が増加しない保存方式を検討する。

以下に処理手順を示す。

(a) 位置情報の入力

取得した位置情報を表 3.1 の形式で、位置情報の列として一時的に保存する。機器の電源切断や長期の測位不能期間などにより入力は終了する。

(b) 位置情報の地名への対応付け

保存した位置情報を、どの地点からどの地点へ移動したという形式で保存するために、位置情報の構成要素である経緯度情報を地名に対応付ける。地名とは地域に付与した名前であり、「東京農工大学」や「JR 東小金井駅」などのランドマーク名である。地域は、対応するエリアを多角形として表現し、各頂点を経緯度として保存したものである。地域の登録個数やそれぞれの広さは、システムの管理者と利用者の登録に依存する。地域と地名の対応付けは、地理情報共有部が保持している対応表

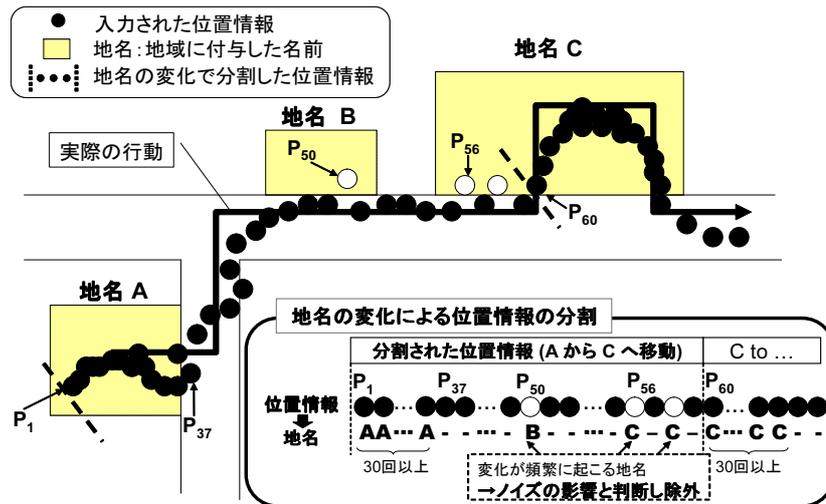


図 3.5 地名による位置情報の列の分割

を用いて行う。位置情報の保存は登録されている地名に基づいて行うため、対応表の内容によって保存時のデータ量が変化する。この過程では、図 3.5 の右下に示すように、入力されたすべての位置情報に対し、対応する地名を付与する。P₁ から P₃₇ は地名 A が、P₅₀ には地名 B が、P₅₆ や P₆₀ には地名 C が付与されている。対応する地名が存在しない場合は、空として記録する。

この処理では、登録される地名数の増大により経緯度から地名への変換コストが大きくなる問題がある。問題の解決方法として、本システムでは地図画像を用いた変換方式 [101] を利用し、変換の高速化を図った。

(c) 地名の変化による位置情報の列の分割

対応付けた地名の変化する位置を境界とし、位置情報の列を分割する。分割処理により 1 つの長い位置情報の列が「新宿駅から東京都庁までの移動」などの単位に分けられる。しかし、単純に地名の変化を利用すると、地名の境界付近において入力された位置情報に含まれるノイズによる問題が生じる。ノイズによる問題は、図 3.5 の P₅₀ のように訪れていない地点の地名で分割されたり、P₅₆ 周辺のように地名の変化が激しくなり、位置情報の列が細分化されてしまう点である。そこで、「同一地名が 30 秒以上継続した場合のみ」地名が変化したと判定することで問題を解決した。この結果、図 3.5 では P₁ から P₅₉ が地名 A から地名 C の移動として分割できる。分割した位置情報の開始地点を「出発地名」、終了地点を「目的地名」とする。分割結果は、個人別の行動履歴として保存する。個人別の行動履歴の形式を表 3.2 に示す。分割された結果の「出発地名」「目的地名」を「時刻」「曜日」と共に記述する。また、同一の要素を持つ記録が既にある場合は頻度のみを加算する。これにより同じ時間帯、同じ曜日に共通する行動を、データ量の増加なしに保存できる。

(d) 中間点の形成

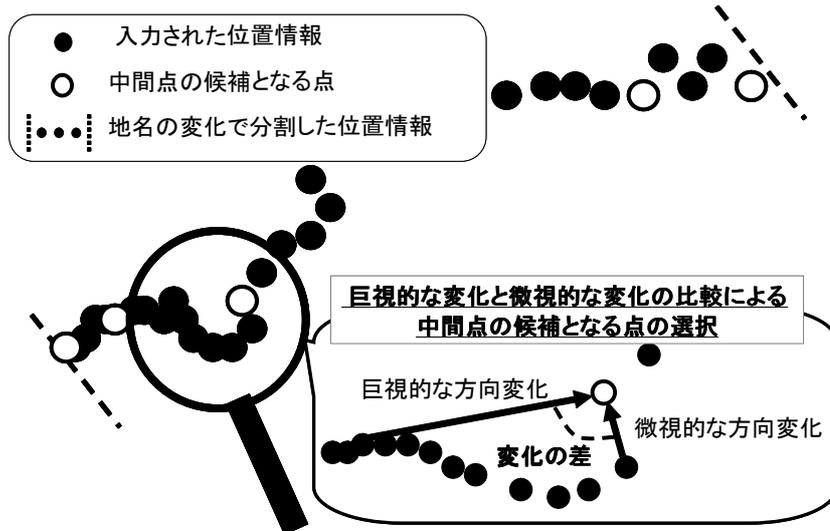


図 3.6 微視的・巨視的な移動方向を利用した中間点候補の算出

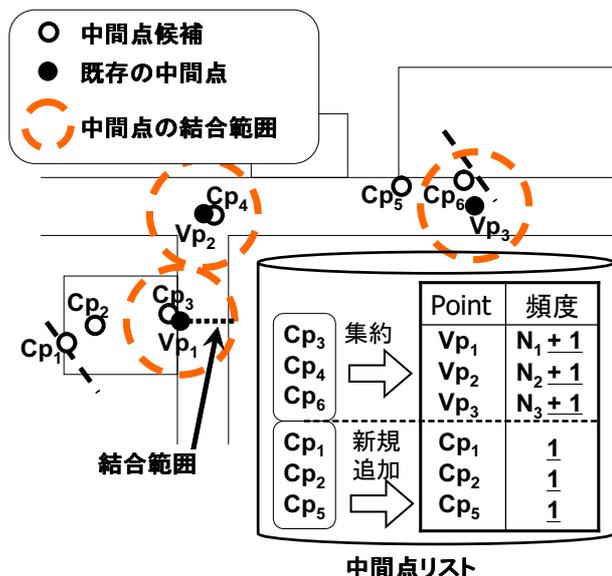


図 3.7 既存中間点と候補点の結合

この処理は、(c) で分割した位置情報の列に対して行う。中間点は識別用の ID と経緯度、頻度と共に表 3.3 の形式で保存する。識別用の ID は、中間点を表に登録する際に割り当てるユニークな整数とする。初期状態では中間点は 1 つも登録されておらず、位置情報の入力にあわせて形成する。そして、登録頻度の高いもののみを保持し続けることにする。

中間点の形成は、3 段階の処理で行う。まず、位置情報の列を解析し、中間点の候補となる点（以下候補点と呼ぶ）を選択する。候補点は、移動方向や速度が変化する

表 3.3 中間点の保存形式

ID	緯度	経度	頻度
53	N35.47.11.422	E139.53.14.702	102
35	N35.46.56.050	E139.53.19.573	65
42	N35.41.16.167	E139.46.25.261	26
34	N35.41.54.177	E139.31.39.978	23
164	N35.46.00.326	E139.52.33.960	20
266	N35.41.56.679	E139.31.30.774	19

点とする。しかし、移動方向や速度の検出には、位置情報に含まれるノイズが問題となる。連続して入力された 2 つの位置情報のみから方向や速度を計算すると、ノイズを含む点は位置が大きく異なるため、移動方向や速度の変化が大きい点と認識されてしまう。そこで、移動方向や速度の変化を、図 3.6 のように微視的な結果と巨視的な結果を比較することで算出した。入力された各点に対し、直前に入力された点と経緯度を比較することで微視的な移動方向と移動速度を計算する。同点において、10 秒前の点と経緯度を比較することで巨視的な移動方向と移動速度を計算する。この 2 種類の移動方向と移動速度の差が一定値以上である状態が、連続して発生した場合、真に移動方向が変化したと判断し、この点を候補点とする。ここで、移動方向の差を判断する閾値を「移動方向変化閾値」と定義する。移動速度も同様に「移動速度変化閾値」と定義する。また、巨視的な値を 10 秒前で測定した理由は、実装に依存する。歩行者の速度を秒速約 1 メートル、GPS 機器の誤差を 10 メートルと想定し、10 メートルを移動するのに必要な時間を採用した。

次に、図 3.7 のように既存の中間点と候補点の距離をそれぞれ比較し、一定距離以内であれば同一点とみなして結合処理を行う。結合処理は頻度を増加させ、経緯度を既存中間点と新規の点の平均値に書き換える。一定距離以内の点が 1 つも無い場合には、新規に ID を割り当て頻度 1 の中間点として登録する。本システムにおいて各点を中間点と同一か判断する範囲を「結合範囲」と定義する。また、平均値の算出時に頻度を重みとして利用し、既存の中間点の頻度が大きい点ほど、経緯度が変化しないようにした。結合処理において、既存の中間点数が増加した場合、距離計算量の増加が問題となる。この問題に対して、低頻度な点をノイズによる影響とみなして定期的に削除する。また、経緯度により地域を大別するか、テーブルそのものを分離し、比較対象となる点の数を少なくする方法で解決する。

最後に、中間点の追加や削除より登録されている ID が変化した場合、整合性を保つために、経路情報に使われる中間点の ID を変化に合わせ書き換える。

(e) 位置情報を経路へ変換

この処理も (c) で分割した位置情報の列に対して行う。本手順により、位置情報の列を中間点の ID を用いて表現した「経路」に変換する。図 3.8 のように位置情報の各点と中間点の各点の距離を計算し、結合範囲内の中間点 ID に変換する。結合範囲内に中間点が無い点は破棄する。この結果変換された列には、同じ中間点 ID を持つ

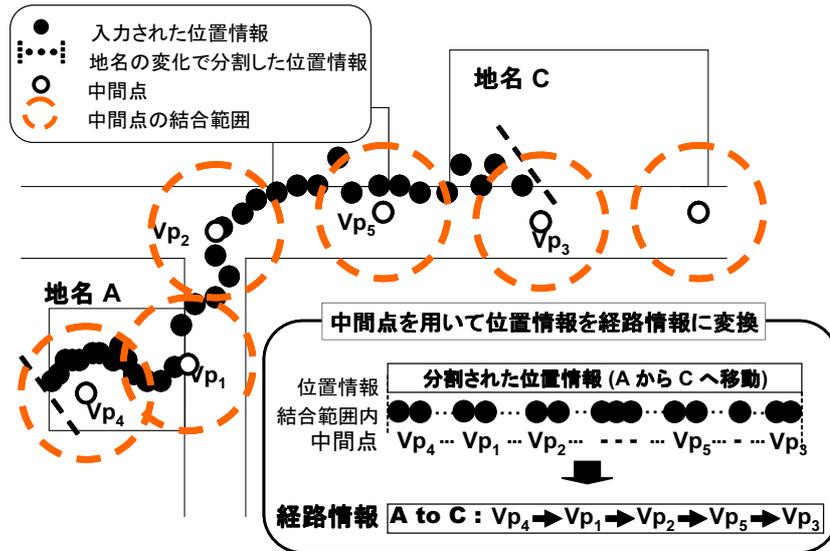


図 3.8 中間点を利用した位置情報の列の経路への変換

表 3.4 地点間の経路情報保存形式

出発地名	目的地名	頻度	中間点 ID リスト
Place A	Place Z	1	136,122,136
Place A	Place Z	1	218,179,208,209,1,37,179,1
Place A	Place X	1	76,26,306
Place B	Place Z	1	76

点が多数発生するが、経路を表現する際には一度のみ表記する。以上の処理により経路を表す「中間点 ID の列」が生成され、分割した位置情報の列を「出発地名」、「目的地名」、「中間点 ID の列」の組に変換できる。変換結果は、地点間の経路情報として、表 3.4 の形式で保存する。既に同一の経路が記録されている場合には、頻度のみを増加させる。人間が使う経路は歩道などの関係で制限があり、地域に依存する可能性が高い。そして、特定の 2 点間における移動は同一経路を利用することが多いため、利用者が異なる場合でも、「出発地名」、「目的地名」、「中間点 ID の列」が同じになる可能性が高い。そこで、経路情報はシステム全体で共有することにした。結果を集約することで、多数の位置情報の入力に対し、同一経路であればデータ量の増加を抑えた保存が実現できる。

以上の手順により、位置情報を 3 種類の表に分離して保存する。

提案方式の特徴は、個々の履歴を圧縮するのではなく、集団の行動の特徴を用いて抽出した地域固有の点を利用して保存することである。このため、既存方式では保存時のデータ量が入力されるデータ量に比例して増加するのに対し、提案方式の保存時のデータ量は登録されている地名数や利用者の行動範囲などの地域に依存する。個人の行動履歴は表 3.2 の形式のみである。したがって、特定の地域で多数の行動履歴を蓄積しても、

表 3.5 Estimatable インタフェースの必要メソッド

メソッド名	内容
getDistination	予測した目的地（行動）を取得
getMyPageList	予測した必要とする情報を取得
getMyPosition	利用者の現在いる位置を取得する
update	現在地を更新する
estimateInit	予測処理をリセット
estimate	予測処理の実行と予測結果の更新

保存領域がほとんど増加しない利点がある。更に、行動履歴を地名により表現しているため、経緯度ではなく場所名などを提供する測位手法との親和性も高いと考えられる。

3.3.9 多数の予測アルゴリズムへの対応方式

利用者が必要とする情報を正しく予測することは、本システムにおける重要な課題である。しかし、行動予測や必要とする情報の推薦方式には多数のアルゴリズムが存在し、どのアルゴリズムを最適と感じるかは、利用者ごとに異なる。更に、行動の予測に関しては社会学や経済学などさまざまな専門知識を必要とする。そのため、実装システムでは、アルゴリズムと本システム間とのソフトウェアインタフェースのみを定義し、予測アルゴリズムの追加や選択が容易な方式を実現した。

具体的には、オブジェクト指向型言語のインタフェース機能を利用して Estimatable というインタフェースを定義し、予測アルゴリズムはこのインタフェースを実装したクラスとして定義することで実現した。Estimatable インタフェースは、表 3.5 に示す 6 種類のメソッドを持つ。

この 6 種類のメソッドは本システムのサーバにアクセスするための API 的役割を果たす。そのため予測アルゴリズムが、時刻や、天気、気温や流行などの他の情報を利用したい場合には、直接外部のシステムに問い合わせ情報を取得することが可能である。例えば、スケジュール管理システムと連携することで行動予測を行わずに利用者の目的地を決定し、推薦情報を予測するといった機能を備えたアルゴリズムが実装できる。

実装されたアルゴリズムに対し、Estimatable インタフェースのみを利用してアクセスを行う設計により、アルゴリズムの追加時に基本システムを変化させる必要がない。ただし、予測に必要とする時間が極端に大きい場合、情報提示までの所要時間が大きくなり、Estimatable インタフェースを実装していても、利用に適さない場合もある。

実装システムでは、ベイジ理論を利用して目的地を予測し、目的地に合わせた情報を提示するアルゴリズム [96, 102] と、現在地が同じ利用者が見ているページの中で、頻度が最も高いものを提示するアルゴリズムの 2 種類を実装した。



図 3.9 サーバシステム

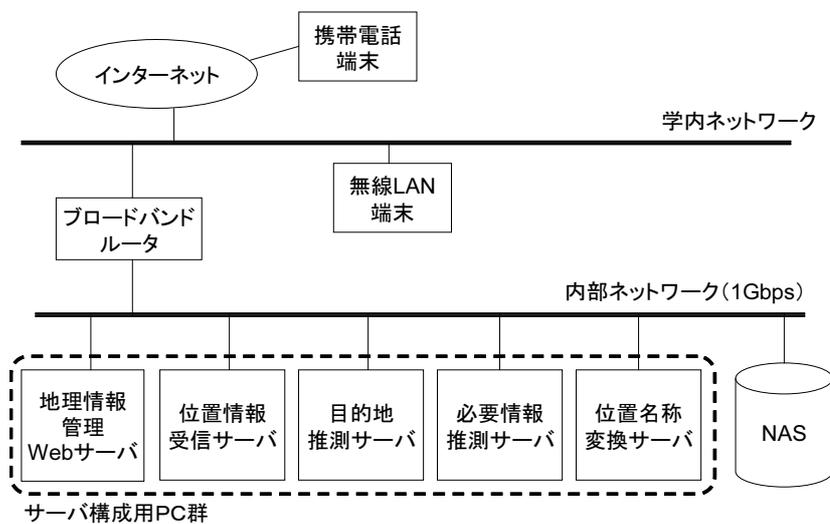


図 3.10 サーバシステムの物理的構成

3.4 実装

3.4.1 サーバシステムの構成

サーバ群は、機能で分割した次の 5 種類と保存装置から構成した。

- (1) 位置情報受信サーバ
- (2) 位置名称変換サーバ
- (3) 地理情報管理 Web サーバ
- (4) 目的地推測サーバ
- (5) 必要情報推測サーバ

表 3.6 サーバに用いた計算機の性能

項目	内容
CPU	Intel Core2 Duo 2.66GHz
Memory	2GB
HDD	160GB
OS	Windows XP Professional
Java VM version	Java2 SE 1.5.0

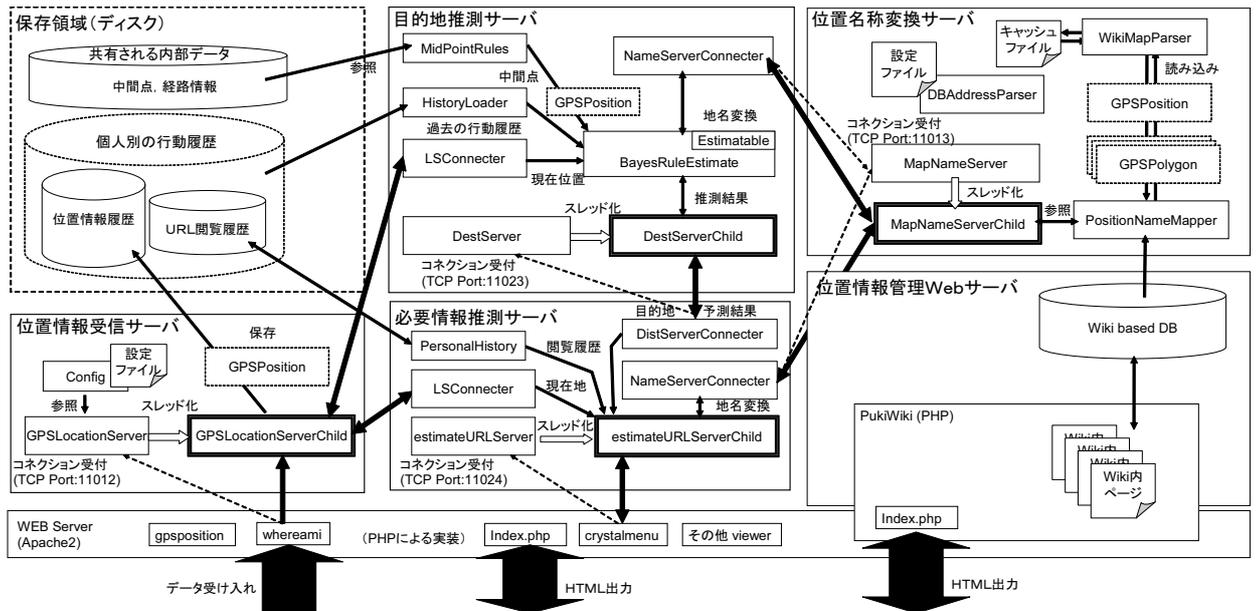


図 3.11 サーバのモジュール構成

これらのサーバ群は表 3.6 に示す仕様の計算機 5 台で構成した (図 3.9)。地理情報管理 Web サーバには Apache (version 2.0.59) を利用し PHP (version 5.1.6) も組み込んだ。サーバの構成を図 3.10 に示す。NAS は行動履歴などの最終的な保存先として利用する。今回は TS-H2.0TGL/R5 を利用し、RAID 構成によりハードディスクの故障に備えた。これらの機器は 1Gbps の LAN で接続し、相互に通信が可能ないように設定した。また、ポータルサイトとして動作する地理情報管理 Web サーバのみが、ブロードバンドルータを通して、外部からのアクセスに応答する。サーバの数は負荷に応じて増減させることが可能であり、規模に合わせて設定を変更することができる。

サーバ側のプログラムは、ユーザインタフェースには PHP を、内部のプログラムは Java 言語を用いて実装した。モジュール構成を図 3.11 に示す。位置情報がクライアントから Web サーバへと送信されると、Web サーバ上の PHP プログラムがこれを受信し、位置情報受信サーバへと送信する。位置情報受信サーバは PHP プログラムからの接続要求を受け取ると、子スレッドを生成し、接続してきた利用者の位置情報を管理する。子スレッドは位置情報を受け取

表 3.7 クライアントの実装機器

用途	機器名	備考
ノート PC1	CF-Y4	WindowsXP
ノート PC1	VGN-UX90S	WindowsXP
PDA	iPAQhx2790	WindowsMoblie5.0
携帯電話	WS007SH	WindowsMoblie5.0
GPS1	VGP-BGU1	Bluetooth 接続
GPS1	DG-100	USB 接続

るたびに、記録領域に情報を保存する。また、自身に接続している目的地推測サーバ及び必要情報推測サーバに対して更新メッセージを送信する。ポータルサイトへ Web ブラウザを用いてアクセスした際には、推薦情報を中心とした Web ページを返信する。この際に PHP で記述したプログラムを通して必要情報推測サーバから推薦情報を得る。必要情報推測サーバと目的地推測サーバもリクエストに対して子スレッドを生成し、複数の利用者に対する並列アクセスを実現している。目的地と必要情報の推測において、位置情報と地名の変換が必要となる場合は、位置名称変換サーバを利用する。位置名称変換サーバは Wiki によって記述された Web ページから地理情報が記述された表を抽出し、変換処理を行う。表をサーバ内に地図画像としてキャッシュすることで高速な変換を実現している [101]。Wiki による地名情報データベースは、地名と多角形を表す経緯度のカラムを持つ。実装においては PukiWiki 1.4.7 を利用し、1 行単位で表の要素を変更できるように table.edit プラグインを組み込んだ。

3.4.2 クライアントシステムの構成

本システムのクライアントは、ノート PC と PDA、携帯電話を想定し、表 3.7 に示す機器により実装した。プログラミング言語は、ノート PC 向けには Java を PDA、携帯電話向けには .NET framework を用いた C # を利用した。GPS 機器を接続しているシリアルポートは、Java の標準クラスでアクセスが不可能であるため、Perl スクリプトを用いて制御した。

外部の GPS 機器との通信は NMEA (National Marine Electronics Association) [103] で定められたプロトコルが用いられる。NEMA は現在市販されている GPS 機器で広く使われているプロトコルであり、このプロトコルによる通信によりユーザプログラムに空間情報 (緯度・経度・高度)、時刻、速度、衛星の補足状況などの多種の情報が提供される。本実装では NEMA の GPGGA メッセージ (GPS 固定データ) と GPRMC メッセージ (推奨最小 GNSS データ) を解析し、表 3.1 に示した情報を読み込んでいる。

3.5 運用実験

3.5.1 実験の概要

これらの実装機器を用いて、JR 東小金井駅周辺で運用実験を行った。図 3.12 に小型 PC による実験の様子を示す。

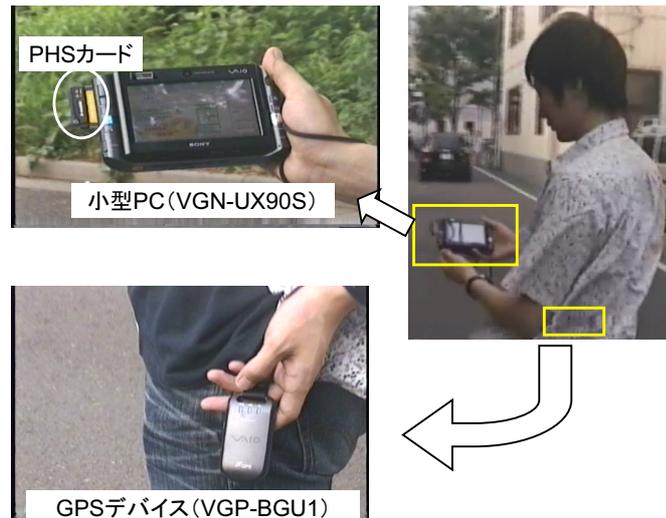


図 3.12 小型 PC を用いた実験の様子



図 3.13 ポータルサイトによる情報配信画面

情報提示システムを利用する状況を、現在の行動と地域別の利用者数で分類する。行動に関しては「習慣的な行動」か「例外的な行動」、地域はシステム利用者が「多数居る地域」と「ほとんど居ない地域」が想定される。現在広く普及している情報提示システムは、利用者が多数居る地域で一回限りの例外的な行動をサポートするように設計されており、首都圏で突然飲食店を検索するといった用途に有効である。これに対し本システムは、習慣的な行動のサポートを特徴としており、駅の時刻表や運行状況など、今すぐに見られれば便利ではあるが、入力の手間などから見ていなかった情報を提示することを目標にしている。更に利用者が多い地域では、現在注目が集まっている情報なども推薦し、利用者に気づきを与えることができる。しかし、例外的な行動を利用者がほとんど居ない地域で行う場合には、情報の推薦が行えない可能性がある。この際には他のサービスなどを用いて周辺情報の検索と本システムへの登録を行うことで、以後の情報提示が可能となる。また登録した情報は、他人が同じ地域を訪れた際に提示される参考情報となる。

運用実験は、「習慣的な行動」に関するシステムの動作の検証を目的として行った。行動の予測を行うため著者 1 名の日常の行動における行動履歴を収集した。著者は、大学院の研究室の学生であり、平日は主に自宅と学校を往復し、昼食は主に学外で取るか購入する。そのため、この 2 種類の移動が主な行動履歴として記録されている。休日の買い物や旅行も記録されているが、日常行動との個数の差から例外的な行動となっている。行動履歴の収集には、本システムのクライアントによりサーバへの蓄積を行っただけでなく、クライアント内部へもファイルとして保存することで通信不能時に対応した。約 1 年半による収集の結果 1,226,104 秒 (ポイント) 74,137,402byte (約 70MB) の行動履歴が収集された。室内における収集は行わなかったため、行動履歴の大半は通学時間となり、約 340 時間となった。地理情報管理 Web サーバには大学周辺の 39 件のランドマークを登録した。要素は大学 1 件、駅 1 件、食料品店 6 件、飲食店 27 件、コンビニエンスストア 4 件である。これらには、被験者が日常的に訪れないランドマークも含まれる。昼食時の実験では個人の行動履歴と現在位置、時刻から大学を出発時にこれらのランドマークの中から、食料品店の情報が表示された。その後の移動により、食料品店とは異なる方向に向かっていることが判明したため、進行方向にある飲食店へと表示が切り替わった。同じ行動経路において夕刻に実験を行ったところ、推測結果が「駅に向かっている」となり、利用者の自宅までの電車の乗り換え案内が提示された (図 3.13)。

3.5.2 位置情報保存方式の効果検証

本章で提案した、位置情報保存方式の有効性を検証するため、移動経路を指定した位置情報を、学生 10 人の被験者により実験的に収集した。位置情報は、5 種類の経路でそれぞれ 20 回以上、合計 107 回分である。また収集した各経路あたりの個数、記録時間、データ量を表 3.8 に示す。位置情報の測位結果は、1 秒毎に保存した。各経路の収集個数にばらつきがある理由は、測位中のノイズや被験者の行動の間違いによるものである。

検証実験を通し、提案した保存方式の適用による、データ保存精度と必要なデータ量を調査した。データ保存精度は、保存方式適用前の位置情報に含まれる各点と、保存結果の中間点と経路

表 3.8 実験的に収集した行動履歴

経路	収集個数	記録時間 (秒)	データ量 (Byte)
1	23	9,032	535,399
2	20	7,437	432,179
3	22	8,692	505,496
4	21	11,271	657,740
5	21	11,451	667,128
合計	107	47,883	2,797,942

表 3.9 評価時のパラメータ設定

パラメータ	最小値	最大値	増加間隔	標準値
移動方向変化閾値	20 度	100 度	10 度	60 度
結合範囲 (m)	9.26	40.13	3.08	30.87

から再現した直線の距離を誤差として計測した。元の位置情報には GPS 機器による 10 メートル程度の誤差が含まれていると想定できるため、計測した誤差が 10 メートル以下であれば、目標値とした誤差 20 メートル以内を達成できる。データ量は、保存方式の特徴により地域に依存した値となることが想定される。そのため検証実験の結果のみでデータ量を議論することは適切ではないと考えられる。そこで、本実験では結果を保存するために必要としたデータ量のみを参考として記述する。

保存方式におけるパラメータは、3.3.8 項で定義した「移動方向変化閾値」と、「結合範囲」である。今回の実験では徒歩のみで実験を行ったため、速度変化閾値は利用しなかった。これら 2 つのパラメータは表 3.9 のように設定し、最小値から最大値までを一定の間隔で増加させ検証した。検証実験は、2 つのパラメータを同時に変化させるのではなく、一方は標準値に設定し、もう一方のパラメータのみを変化させて結果を算出した。ここで、結合範囲が整数でない理由は、処理過程において経緯度の秒を単位としたためである。また、標準値が最小値と最大値の中央値ではない理由は、数サンプルを調査し良好な結果が得られる値を採用したためである。

図 3.14 に位置の精度を誤差量により示す。標準値における誤差の平均は 5 メートル程度であり、目標値を満たす保存に成功した。また、データ量は標準値において、個人別の行動履歴が 1 人あたり約 380Byte、地点間の経路情報が約 1470byte、中間点のリストが約 940byte である。単純に 10 人分で合計すると約 6.2KB となった。表 3.1 の形式で、10 人分 107 回の位置情報を保存すると約 2.7MB である。

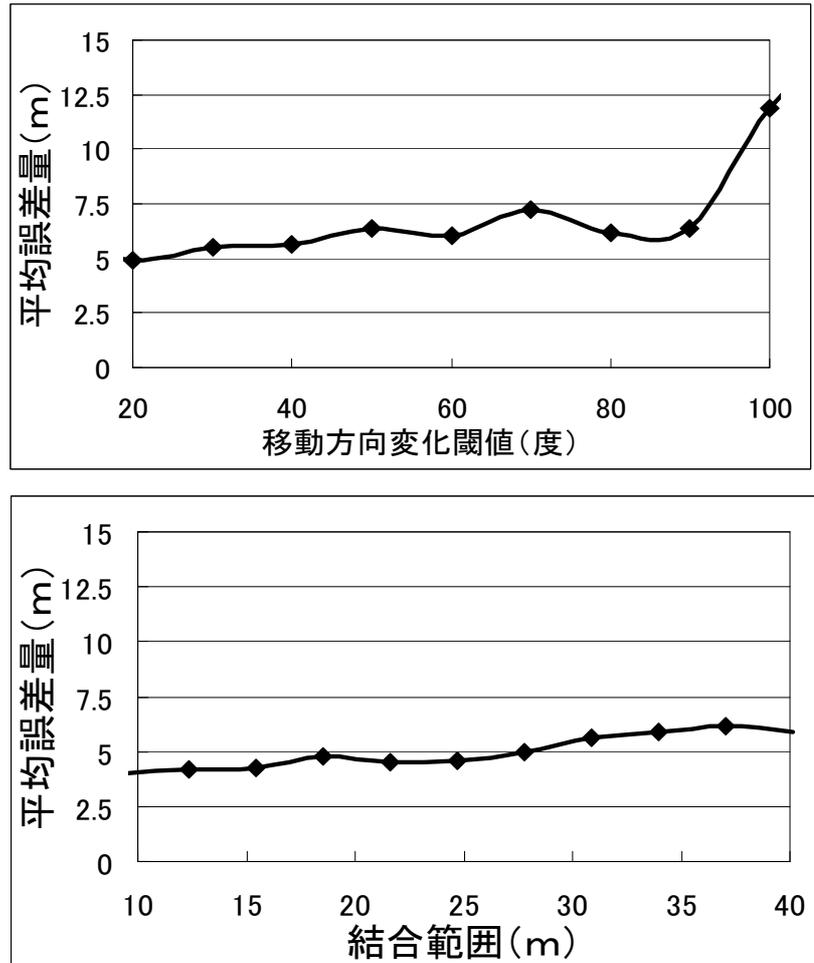


図 3.14 移動方向変化閾値と結合範囲の精度への影響

3.5.3 レスポンスタイムの検証

本システムのサーバは負荷分散のために機能別に分散配置した。このため、サーバ間の通信に遅延が発生し、情報が提示されるまでの所要時間が大きくなる可能性がある。そこで実装実験において、サーバの処理時間と利用者へのレスポンスタイムを検証した。利用者のリクエストから、情報提示までの通信手順を図 3.15 に示す。図 3.15 の灰色で示した部分が通信遅延である。位置情報は、ポータルサイトである地理情報管理 Web サーバ通して位置情報受信サーバへ定期的に入力され、位置が変化した場合に目的地の予測を行う。クライアントのリクエストが発生すると、ポータルサイトが必要情報推測サーバにリクエストを転送し、利用者の現在いる位置、目的地、提示情報を受け取り、推薦情報として提示する。この際クライアントには情報提示用のフレームのみが送信され、受信したクライアントがフレームに記述された情報に従い外部の Web サーバにアクセスすることでページ全体が表示される。

利用者に情報が提示されるまでの時間 T は 3.1 の式で表される。

$$T = T_{req} + T_{est} + T_{res} + T_{web} \quad (3.1)$$

$$T_{est} = T_{locrt} + T_{disrt} + T_{einfo} + T_{Delay.info}$$

T_{req} はリクエストの送信時間、 T_{res} はシステムが予測した情報と表示フレームの受信時間、 T_{web} は提示される Web ページの受信及び表示時間である。この 3 種類の情報の送受信は利用者が接続している WAN の通信速度の影響を受けるため、利用環境に依存する。 T_{est} は情報予測時間であり、現在位置の取得時間 T_{locrt} 、予想目的地の取得時間 T_{disrt} 、提示情報の予測時間 T_{einfo} 、サーバ間の通信遅延 $T_{Delay.info}$ の和になる。 $T_{Delay.info}$ は機能部位間を接続した LAN の速度の影響を受ける。

同様に、利用者の目的地を予測するまでの時間 T_d は 3.2 の式で表される。

$$T_d = T_{name} + T_{edist} + T_{Delay.est} \quad (3.2)$$

T_{name} は地域名を含めた位置情報の取得時間、 T_{edist} は利用者の目的地予測時間、 $T_{Delay.est}$ はサーバ間の通信遅延である。

T_{locrt} 、 T_{disrt} 、 T_{einfo} は各サーバで測定したところ 1 回あたり 1 ミリ秒以下であり、正確な値の取得は困難であった。そこで、必要情報推測サーバにおける、サーバ間遅延時間を含めた利用者の現在いる位置、目的地、提示情報予測時間を計測した。計測は実際の行動履歴による、53 回の情報取得の平均値とした。表 3.10 に情報取得までの所要時間とその内訳を示す。また情報送信時に行われる目的地予測も、同じ行動履歴を用いて平均値を算出した。この結果、 T_{est} は約 1400 ミリ秒であり、Web ページの表示時間を考慮しても目標値である 1 分以内の情報提示が十分可能であると考えられる。

表 3.10 情報取得までの所要時間

項目	時間 (ミリ秒)
Location receive time	736
Destination receive time	332
Estimate information time	363
情報予測時間 (T_{est})	1,431
Geographical information receive time	334
Estimate destination time	30
目的地予測時間 (T_d)	364

3.6 関連研究

Context-aware Computing の考え方は、Schilit らによって提唱され [8]、ユビキタスコンピューティングの重要な要素として位置付けられている。Chen や山田らにより、Context の中

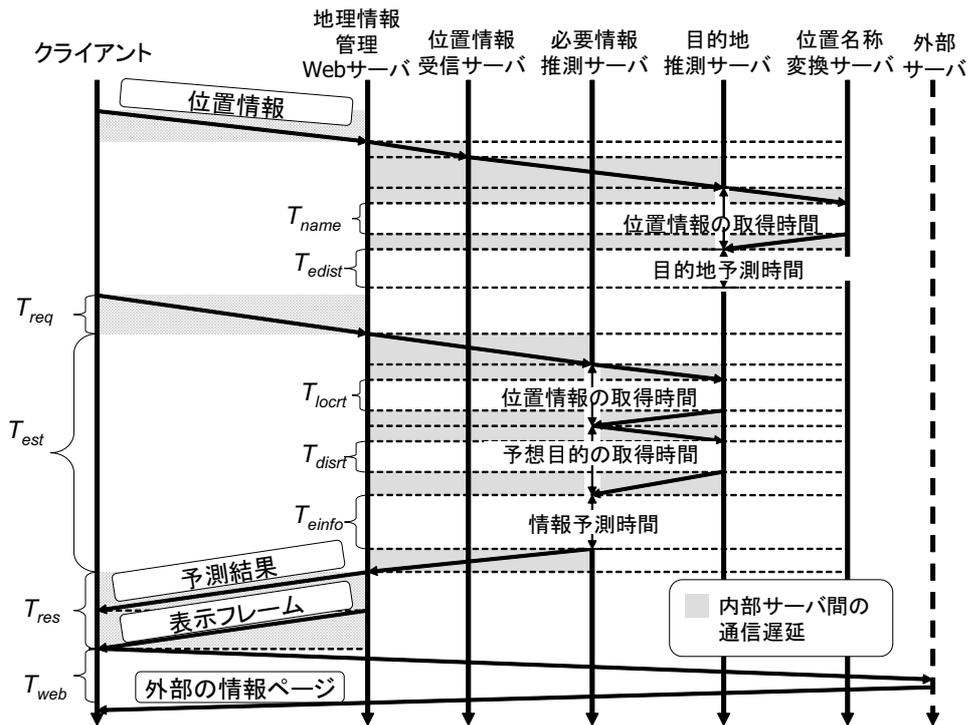


図 3.15 情報提示までのサーバ間通信と所要時間

で重要な役割を持つ要素は位置情報であると指摘されている [11, 10]。美術館において自身の前に展示されている絵画に合わせた説明を再生するプレイヤー、映画館やコンサート会場で自動的にマナーモードに切り替わる携帯電話 [73]、周辺の店舗情報を自動的に広告として配信するシステムなどが、Context-aware なシステムの例である。特に携帯電話における情報検索については、Context-aware な検索を実現するプラットフォームなども提案されている [80]。

利用者の能動的な「検索」という行為ではなく、Context を用いて情報機器を自動的に操作し利用者の手間を削減するといった、受動的な使い方も検討されている。目的地を行動履歴から自動的に予測して推定結果を元に情報を提示するカーナビゲーションシステムが提案されている [63]。また、John らも、行動履歴から目的地を自動的に設定し、目的地への経路を表示するカーナビゲーションを提案している [67]。前者は記録された行動履歴を点レベルで解析して目的地を予測している。後者はフィールドを 1 キロメートル四方のセルに分割し、どのセルを経由して移動したかを記録して分析することで、目的地の予測を行っている。

携帯電話を利用する歩行者の行動を予測し、利用者の生活シーンに応じた推薦情報を提供するための技術開発も行われている [104]。このシステムでは、携帯電話の GPS や IC カード乗車券としての利用記録を行動履歴として蓄積し、行動の予測に利用している。プライバシー情報である個人の行動内容を第三者が蓄積することや、プライバシー情報の開示と提供される情報によるメリットとのバランス、利用者にとって適切な情報の予測を実現するレコメンデーション技術 [105] の開発が課題とされている。

3.7 まとめ

本章では利用者の現在いる位置と過去の行動履歴を利用し、適切な情報を入力の手間無しに提示する携帯電話向けの予測型情報提示システム「水晶珠」を試作した。

サービスは、5種類のサーバコンポーネントとクライアントを、Java 及び C # により開発して実現した。システムの実現には、多人数から収集した膨大な位置情報を、情報提示処理に適した形式でスペース効率良く、かつ効果的に利用できるように保存する必要があった。そこで、多人数の行動履歴からその地域で意味のある特徴点を抽出し、その特徴点を個人の行動履歴の保存に利用する方式を開発した。この結果、膨大な位置情報の中から情報提示に利用される可能性の低いものを排除することでサーバに保存すべき情報量を大幅に減らし、人間が特徴的な行動を取る位置を抽出した形で保存することができた。評価対象地域にも依存するが、学生被験者による評価において、約 2.8MB の行動履歴を提案方式により保存すると約 6.2KB となり、データ量の削減効果が確認できた。また、抽出した人間が特徴的な行動を取る位置の経緯度の点のみをつないで構成した直線と、すべての入力された位置情報の経緯度の点をつないで構成した直線の距離を、提案方式の適用による誤差として測定した。学生被験者による評価での、提案方式の適用による誤差は 10 メートル以下であることを確認した。以上のことから提案方式では、行動履歴の特徴を維持したまま、効果的なデータ量の削減ができることが明らかとなった。加えて、サーバを分散したことによるレスポンスタイムへの影響を検証し、5 台のサーバを連携させた場合の遅延時間が約 1400 ミリ秒であることを明らかにした。

第4章 位置情報応用システムのための 高速逆ジオコーディング方式

4.1 はじめに

近年、利用者の現在いる位置を入力情報としたシステムに注目が集まっている。これらは、位置情報応用システムと呼ばれる。GPS、A-GPS (Assisted GPS)、無線 LAN などを利用した測位機能を備えた移動端末の普及により、歩行者でも現在いる位置を容易に取得可能な環境が整いつつある。このため、位置情報応用システムの新たな開発や更なる普及が予想される。

位置情報応用システムは取得した位置情報の利用方法によって、Location Tracking System と Location-aware System に大別される [106]。Location Tracking System は、特定の地図上に利用者の現在いる位置を提示することを目的としている。携帯電話などに備わった GPS を利用して、子どもや高齢者の現在いる位置を把握し、安心・安全を守るシステムなどが Location Tracking System の例である。これらのシステムは実用化され運用されている [92, 93]。一方、Location-aware System は、利用者の現在いる位置に合わせて計算機が動作することで、システムの利便性を高めることを目的としている。Location-aware System の例として、「駅の近くにいるので時刻表を提示する」、「利用者の周辺の飲食店を提示する」といった、現在いる位置に合わせた情報をインターネットや周辺のメディアから取得し利用者へと提示するシステムが挙げられる。Location-aware System は、ナビゲーションシステムの一部機能として、特定の状況のみに対応する形で実用化が進んでいる。Location-aware System は、移動端末において手間のかかる入力処理を軽減し、利便性を高めることができるため、位置情報応用システムの中でも特に注目を集めている。

位置情報応用システムの実現には、属性情報と経緯度等の座標値を関連付け相互に変換可能にするジオコーディングが必要である。ジオコーディングは、GIS の分野で発展してきた [43] 技術であり、主に地図上での位置検索に用いられる。位置情報応用システムでは、地図や属性情報などを GIS を用いて管理することが多く、ジオコーディングはシステムの基盤技術として重要性が高い。ジオコーディングは GIS において位置検索に使われることが多いため、地名等を経緯度へ変換することのみを差して、狭義の意味で使われることが多い。本章では、以後「ジオコーディング」を狭義の意味で用いる。

従来の位置情報応用システムは、住所やランドマーク名を経緯度に変換する用途が多かったが、近年、経緯度から住所やランドマーク名への変換の需要が増加している。従来システムの入力は利用者により行われるため、入力される情報は経緯度ではなく、人間が理解しやすい地名やランドマーク名であった。しかし、測位機能の普及により、利用者が現在いる位置を経緯度の形式で取得する機会が増加した。さらに、Location-aware System は、取得した経緯度から人間に理解しやすい地名やランドマーク名などの属性情報を取り出す必要がある。このため、経緯度から住所やランドマーク名への変換の需要が増加している。この経緯度から住所やランドマーク名への変換を逆ジオコーディングと呼ぶ。Location-aware System の発展には、多数の利用者の位置情報をリアルタイムに処理する必要があり、高速かつ正確な逆ジオコーディング方式が必要である。

そこで、本章では地域を色で塗り分けた地図画像を用いて、経緯度からエリア名への変換を行う高速逆ジオコーディング方式を提案する。提案方式は、GIS 等において地図情報として利用されているベクトルデータを利用して、地名やランドマーク名ごとに「面」の形式で塗り分けた画像を生成する。その後、この画像を利用して、経緯度から属性情報を取り出すことで、変換精度を維持したまま高速な逆ジオコーディングを実現する。

4.2 空間情報とジオコーディング

GIS における地理情報は、点、線、面から構成される空間情報と、それに付随する属性情報からなる。空間情報は、計算機にとって理解しやすい形式で保存される。このため、点は「北緯 35.658 度、東経 139.785 度」といった座標値、面や線は点の集合により表すことが一般的である。一方、属性情報は、GIS の用途に応じて地名、高度、来場者数、人口密度などの様々な値が記述される。中でも“東京都港区”や“東京タワー”などの「地名」や「ランドマーク名」は、人間がその空間を理解するためのインデックスの役割を果たすため、多くの GIS において属性情報として付加されている。本章では、ジオコーディングによって経緯度に関連付けられた地名やランドマーク名などをまとめて「エリア名」と呼ぶことにする。

図 4.1 に空間情報とジオコーディングの関係を示す。図 4.1(a) は、空間情報と属性情報の例である。点で表現される空間情報は“東京タワー”や“桜田門”などのランドマークや、ビルや商業施設などの広域で見れば面積をほとんど持たない要素である。線で表現される空間情報は、道路や市区町村の境界線である。面で表現される空間情報は、“東京都港区”など市区町村や、“皇居”などやや広い面積を持つオブジェクトである。図 4.1(b) はジオコーディング、空間検索、逆ジオコーディングの関係を示している。エリア名を経緯度に変換することをジオコーディング、経緯度をエリア名へ変換することを逆ジオコーディングと呼ぶ。また、ある空間情報を基に、一致検索や近傍検索、範囲検索など他の空間情報を検索する技術を空間検索と呼ぶ。GIS において、これらの空間情報およびその付随情報は、表示のズームアップや近傍検索など、利用者のインタラクティブな操作時に高速に検索する必要がある。逆ジオコーディングは、空間検索により点を表す空間情報から面を表す空間情報を検索し、この属性情報としてエリア名を取

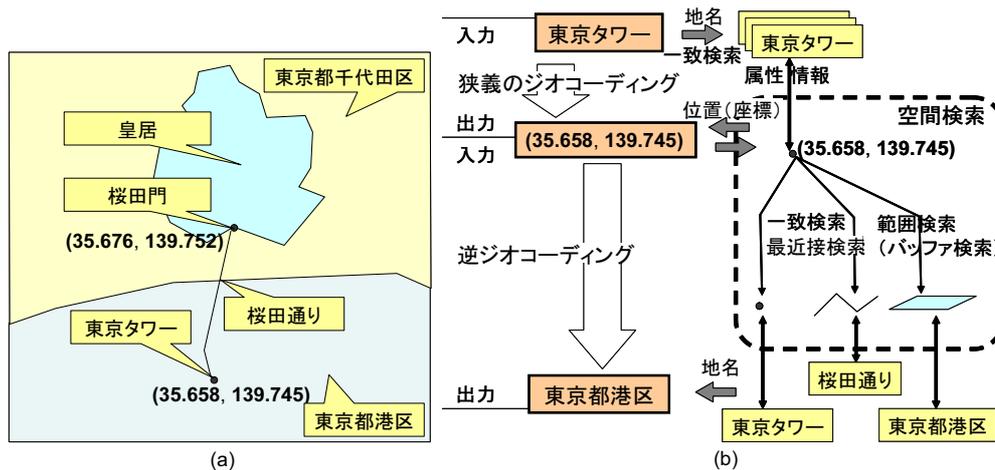


図 4.1 空間情報とジオコーディングの関係

得することで実現される。

4.3 既存の逆ジオコーディング方式

4.3.1 点近傍方式

点近傍方式は、ジオコーディングにおいて利用したエリア名と点の対応表のみを用いて逆ジオコーディングを行う。従来の対応表は、エリア名を1点に結びつけていることが多く、エリア名と経緯度は一対一に対応している。しかし、利用者がGPS等のデバイスにより取得した経緯度を入力する場合、経緯度は取得精度により任意の値を取りうる。この結果、表に存在しない経緯度での検索が発生するため、何らかの方式でエリア名を選択する必要がある。点近傍方式は、入力された経緯度とエリア名に対応付けられた経緯度とを比較して2点間の距離を算出し、最も近い点のエリア名を採用する。

この方式は、ジオコーディングに用いていた既存データのみで逆変換が可能なのが利点である。また、演算が単純であり容易に実装できることも利点である。しかし、地域の形状を考慮していないため、正しい地名へ変換できない欠点がある。特に、住所などの地域区分のような複雑な形状から構成された場合には、変換が正しく行えない問題が多く発生し、変換精度を維持することが困難である。加えて、定義されている地点の数が多いほど、距離比較に時間がかかることも欠点である。

4.3.2 ベクトルデータ利用方式

ベクトルデータ利用方式は、点を基準とした逆ジオコーディングの変換精度を改良するために、地域の形状を現す多角形を表現可能なベクトルデータを用いる。点近傍方式ではエリア名

は「点」に結び付けられていたが、ベクトルデータ利用方式では、エリア名を面で表わした地域に結びつける。そして、入力された経緯度とベクトルデータから構成された面とを比較し、どの面に包含されているかを算出することで変換を実現する。

ベクトルデータ利用方式の利点は、地域の形状を考慮した正確な変換が可能なことである。変換精度は入力したベクトルデータに依存するが、点近傍方式に比べ高い精度での変換が期待できる。しかし、各エリア名に対応する地域の形状を表した新たなデータが必要になり、面を構成するための点の数が多くなると変換用のデータサイズが大きくなることが欠点である。また、変換時に多数のベクトルを用いた二次元の計算処理が必要で、点近傍方式に比べ変換時間が長くなることも欠点である。

4.3.3 空間検索技術の応用方式

逆ジオコーディングには、経緯度で表現された点から、エリア名を持つ点や面を探す空間検索が必要である。この空間検索を高速に行うことで、変換時間が短い逆ジオコーディングが可能となる。

空間検索を高速に行う方式として、空間を分割しメッシュ構造や木構造などを用いて管理し、検索時の検索範囲を絞り込む方式が提案されている [107, 108, 109]。この方式では、あらかじめ対象空間を小さな空間に分割し、点や面をそれぞれが存在する空間に割りつける。すると、検索時にはリクエストされた点が所属している小さな空間内のみで、点や面との距離や包含関係を比較すれば良くなるので、検索負荷が軽減し、高速な検索が可能になる。

メッシュ構造で空間を管理する場合、対象空間を経緯度などにに基づき、等間隔の小さな空間に分割する。分割方法には統計のために制定された、地域メッシュコード [110] などがある。分割が等間隔であるため、検索対象の小さな空間を、入力された経緯度から即座に決定できる利点がある。しかし、検索対象のデータの粗密を考慮していないため、データ分布によっては検索効率が低下する問題がある。特に、店舗やランドマークなどの空間情報は都市部に集中することが多いため、検索効率を向上させるために、メッシュサイズを可変にするなどの改良が行われている。

木構造を用いた高速な空間検索には、R 木 [111] や MD 木 [112] などを用いたものがある。R 木は、対象空間の一部を小さな空間として取り出し、その包含関係を木構造で表わす。小さな空間の形状は、長方形に限定する。この方式は空間に含まれる要素に対して完全平衡木の構造を持ち、小さな空間同士の重なりを許す点に特徴がある。空間の分割方法によりさまざまな改良アルゴリズムが存在するが、要素の追加が複雑な点が欠点である。MD 木は R 木と同様に要素に対して完全平衡木であるが、小さな空間同士の重なりを許さない点に違いがある。また、小さな空間を再び分割する際にも、ノードの位置を考慮するため木構造のメモリ効率が低い利点がある。

空間検索の高速化は、分割後の空間における要素数が一定になることに重点を置いている。これは、最終的な検索結果を得るために、分割後の小さな空間での点近傍方式やベクトルデータ利用方式などを用いた要素の検索が必要であり、この検索効率が小さな空間の要素数に依存する

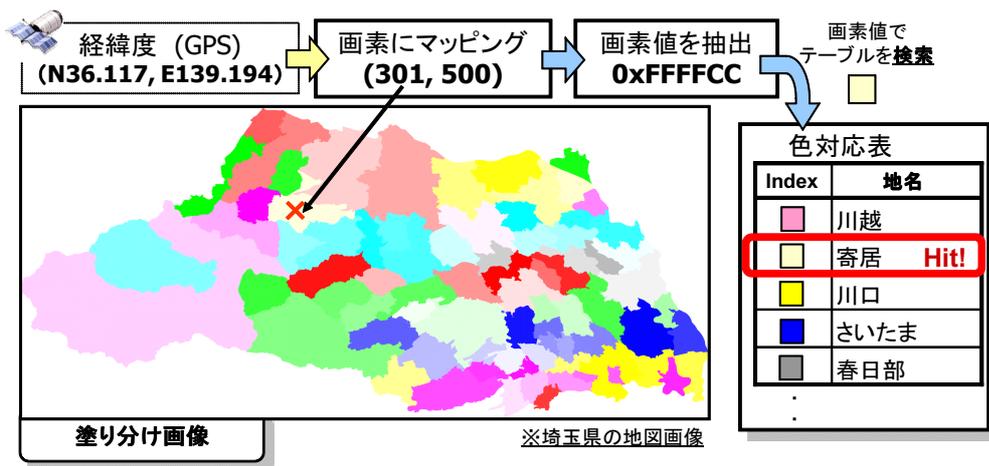


図 4.2 提案方式の概要

ためである。しかし、要素数が過密な一部の地域を考慮した空間の分割は、対象となる小さな空間の選択処理を複雑化している原因になっている。対象となる小さな空間を単純に選択できる分割方式を利用することで、さらに高速に逆ジオコーディングを行うことができる。このためには、各空間に登録された要素数に違いがあっても検索効率が落ちない処理方式が必要である。そこで、特定の空間から要素を検索する際に、点近傍検索やベクトルデータ利用方式とは異なり、空間に登録された対象の数によらず一定時間で処理できる方式を開発する。

4.4 塗り分け画像による高速逆ジオコーディング方式

4.4.1 提案方式の概要

提案方式の変換概要を図 4.2 に示す。変換には塗り分け画像と色対応表を用いる。まず、入力された経緯度を塗り分け画像の画素にマッピングし画素値を抽出する。その後、色対応表を検索し、画素値に対応したエリア名を取得する。提案方式は、ベクトルデータを用いて塗り分け画像を事前に作成しておくことで、変換時の経緯度を用いた計算の回数を 1 回のみに行うことができる。

提案方式は、逆ジオコーディングに事前に作成した塗り分け画像と色対応表を用いることで、変換時間が空間に登録された対象の数に依存しないことを特徴とする。加えて、ベクトルデータの持つ地形の形状を維持しつつ、距離計算や包含関係の計算を不要にした高速な変換を目指している。

4.4.2 逆ジオコーディングの処理手順

提案方式による逆ジオコーディングは、次の 5 つ手順で行う。

(1) 塗り分け画像と色対応表の作成

この処理は逆ジオコーディングを行う前に、事前に一度だけ行う。他の工程に比べ長い処理時間が必要だが、事前に行う処理なので、毎回の変換時間には影響しない。

塗り分け画像は地名やランドマーク名を表すベクトルデータを一定のスケールで描画し、作成する。塗り分けに利用する色は計算機上で識別可能であれば良い。通常は 8bit (256 色)、16bit (65536 色)、32bit (16,777,216 色) から、地名数にあわせて適切な bit 数を選択する。作成する画像は二次元平面とし、X 軸、Y 軸それぞれに経緯度を直接割り当てる。通常の二次元平面地図の作成には、曲面を平面に変換した歪みを取り除くための地図投影法を用いるが、本方式では経緯度からの変換が高速になるよう、このような図の形状変換は行わない。

塗り分け画像の作成と同時に、色とエリア名の対応表も作成する。この対応表を「色対応表」と定義する。色対応表の見出しには、地名と対応付けた色のみを用いる。

本方式における変換精度は、このデータ作成時に決定する。作成した塗り分け画像のスケールにより、1 画素あたりに対応する面積が決定される。画像サイズを大きくするか、対象範囲を小さくするほど、細かい形状を表現することができる。また、曲面を平面に変換した歪みを取り除かないため、極端に南北に長い空間を一枚の画像に保存すると極に近い地域が引き伸ばされる。この結果、極付近のほうが変換精度が高くなり、図内で変換精度に差が生じる可能性がある。国内のデータにおける引き伸ばし割合の差は、北海道を表現した場合で南北で 1.12 倍程度であり、他の県や市程度の大きさを扱う場合には変換精度の差はほとんど生じないと考えられる。

(2) 経緯度から画素値への変換

以後の処理は経緯度からエリア名への変換リクエスト毎に行う。この工程では、入力された経緯度を (1) で作成した画像上の座標値に変換する。まず、塗り分け画像を作成する時に記録した左上および右下の画素に対応する経緯度と、画像サイズから画像平面における基準ベクトルを算出する。次に、画像の左上の経緯度とリクエストされた経緯度からベクトルを算出し、基準ベクトルとの比を計算する。最後に、この基準ベクトルとの比と塗り分け画像の幅、長さをそれぞれ乗算する。この結果、与えられた経緯度を画像上の対応する座標値に変換できる。

(3) 座標値の画素の色情報を取得

続いて、画像から対応する座標の画素値 (色) を取得する。実装においては画像ファイルのサイズとメモリ制限に合わせ、メモリへの展開量を調整する。全てをメモリ上に展開したり、高頻度でアクセスされる一部ブロックのみをキャッシュすることで、ファイルを毎回読み込む必要がなくなり、変換をより高速に実現することができる。

(4) エリア名への変換

最後の工程として、(3) で取得した画素値をエリア名へと変換する。(1) で作成した色対応表の見出しを検索し、対応するエリア名を取得する。色対応表を検索するための「検索キー」は、色数決定時に指定した bit 数の整数値である。このため経緯度のような二次元の値ではなく、必ず一次元の値となる。しかし、見出しは登録されたエリアの数だけ存

在するため、高速な見出し検索が必要である。本方式では、値の追加や削除は色対応表を作り直さない限り発生しない点を考慮し、検索時の計算コストが最小となるハッシュ法などの検索アルゴリズムを利用する。

(5) エリア名を返信

(4) で取得したエリア名をリクエスト元へ返答し、処理を完了する。

1 回あたりの変換は、手順(2)から(5)を繰り返す。この作業において登録されたエリア名の個数に依存する処理は、色をエリア名へ変換する部分のみである。この変換は経緯度ではなく、一次元の値である色の検索である。このため、ハッシュ法のような、検索時の計算量が登録要素数に依存しない方式を用いることができる。したがって、提案方式では、全ての処理において登録されたエリア名の個数に依存しない検索が可能である。

4.4.3 検討事項

提案方式を実現するには、以下の点を考慮する必要がある。

(1) 塗り分け画像のスケールと変換精度

提案方式は画像を変換に用いるため、各画素に割り当てられる経緯度の範囲は、画像サイズに依存する。画像サイズを大きくするほど、1画素に対応する面の面積は小さくなるため、高精度な検索が実現できる。しかし、画像サイズを大きくすると、それを保持するのに必要なディスクやメモリなどの資源が多く必要になる。このため、変換対象とそれに必要な変換精度に合わせて、作成する画像のスケールを適切に設定する必要があると考えられる。そこで、作成する塗り分け画像のスケールと変換精度の関係を検証する。

(2) 登録要素数に依存しない検索方式

逆ジオコーディングの変換速度を低下させる主な原因は、登録されているエリア名の個数の増加である。提案方式の実装においては、変換時の処理が登録されているエリア名の個数に依存しない検索方式が求められる。画像ファイルから画素値(色)を抽出する処理は、入力された経緯度と画像サイズから一意に画像上の点が決定できるため、登録されているエリア名の個数には依存しない。しかし、画素値から対応するエリア名を検索する際に、登録されているエリア名の個数に依存した計算量が必要になる。これは、エリア名の検索時に利用する色対応表に、エリア名の個数分の値が記述されているためである。本方式の実装においては、色対応表の登録数に依存しないデータの検索方式としてハッシュ法を用いた検索アルゴリズムを利用する。さらに、本方式では表に記述すべき画素値が事前に決定しているため、完全ハッシュ関数を作成することが可能であり、計算量を1にすることができる。

(3) 計算資源への影響の考慮

提案方式は、インターネット上のサービスなどの多数の利用者を想定したサーバ上において、経緯度をエリア名へ変換するシステムを構成する際に利用することを想定している。このため、同時に複数のリクエストを処理する可能性が高く、この場合には2種類

以上の画像を同時に利用する可能性もある。したがって、変換精度を維持しつつ、なるべく少ないメモリ使用量と処理時間で変換を実現する必要がある。

(4) 検索方式の階層化

検索速度を向上させる方式として、階層的に検索範囲の絞込みを行う方式が一般的である。階層的な絞込み検索は、近傍の駅名や各地点の天気、住所などを検索する場合等に用いられる。具体的には、全国レベル、県内レベル、市内レベルのように、何段階かの階層を作成し、検索を順に行うことで目的の値を取り出す方式である。この階層的な絞込み検索を、本章では階層化検索方式と呼ぶ。

逆ジオコーディングにおいても、ある地点の名称を全国レベルから1回で検索することは、登録要素数が大きすぎるため現実的ではなく、階層化検索方式が有効である。本方式における階層化検索方式は、複数の塗り分け画像を用意し検索を数回に分けて行うことで実現できる。

さらに、階層化検索方式においては、絞り込みには提案方式、狭い範囲ではベクトルデータを直接用いた検索のように、異なる逆ジオコーディング方式を組み合わせることも可能である。用途に合わせて適切な方式を組み合わせることで、高速で正確な変換を実現できると考えられる。そこで、複数の方式の組み合わせによる、変換精度と変換速度の向上について検証する。

4.5 実験的評価

4.5.1 実装と実験環境

逆ジオコーディングを行うプロトタイプシステムを Java 言語により開発した。コンパイラおよび Java VM (Virtual Machine) は「Java(TM) 2 Standard Edition (build 1.5.0_09-b01)」を利用した。実装した逆ジオコーディング方式は、提案方式、点近傍方式、ベクトルデータ利用方式の3種類である。

提案方式に必要な塗り分け画像を、ベクトルデータから自動的に生成するプログラムもプロトタイプシステムと同一の環境で製作した。このプログラムは XML データから面の輪郭を抽出し、各面に割り当てる色を重複が無いように自動的に設定した上で、指定した縮尺の塗り分け画像を作成する。

プロトタイプシステムおよび塗り分け画像の作成システムを動作させた計算機の仕様を表 4.1 に示す。変換時間およびメモリ使用量は機種により異なることが予想されるため、絶対量ではなく方式間の相対的な値を重要視する。

4.5.2 基礎データの種類

エリア名と経緯度を結びつける基礎データであるベクトルデータ、点データには、国土交通省国土計画局が平成 20 年度に発行した国土数値情報 [113] を用いた。数値情報は、「行政区域(面)」、「公共施設(点)」、そして詳細な点情報として「街区レベル位置参照情報 [114]」の 3 種類を利用した。

逆ジオコーディング結果として取得できるエリア名の最小単位は市区町村名とした。この理由は、「行政区域(面)」のベクトルデータに付与されたエリア名の最小単位が、市区町村名だからである。「公共施設(点)」には、市区町村名以下のデータである、大字・町丁目、地番なども記述されている。また、街区レベル位置参照情報は、「埼玉県さいたま市浦和区岸町一丁目の 1」のような街区を表すデータと経緯度とが対応付けられている。しかし、「行政区域(面)」との整合性から、市区町村名までをエリア名に用いた。

「行政区域(面)」、「公共施設(点)」は XML 形式のファイルで提供され、データフォーマットは JPGIS 形式に準拠する。JPGIS 形式は、面を構成する線、線を構成する点、点の経緯度、面に付与される属性情報に分別してベクトルデータを保持する。本実装においては、事前に XML を解析し、データを利用しやすい形式に変更した。したがって、XML の解析時間は変換時間には含まれない。「行政区域(面)」からは面を構成する点の集合と市区町村名を対応付けて取り出した。また、「公共施設(点)」からは市区町村の役所、「街区レベル位置参照情報」からは全ての点を取り出し、それぞれの経緯度が対応する市区町村名と関連付けた。

4.5.3 検証項目

提案方式の効果を検証するために、以下の 4 点を既存方式と比較する。

(1) 塗り分け画像作成時間

本システムで作成する塗り分け画像は事前に外部プログラムを用いて自動作成することを想定している。しかし、用途によっては定期的な書き換えが発生する可能性もある。そこで、複数の画像サイズにおいて塗り分け画像を作成し、その生成に必要な処理時間を記録する。

(2) 逆ジオコーディング時間

逆ジオコーディング時間は、経緯度からエリア名への変換時間であり、次の手順で算

表 4.1 プロトタイプの実行環境

項目	内容
CPU	Core2 DuoE6400 (2.13GHz)
Memory	3.00GB(DDR-2 SDRAM)
OS	Windows XP Professional
Disk	WD2500JS-00NCB1(7200RPM SATA2)

出する。まず、市区町村名に変換できる範囲内でランダムに発生させた経緯度 10,000 個を市区町村名に変換し、処理時間を記録する。その後、処理演算回数である 10,000 で除算し変換 1 回あたりの処理時間を算出する。処理時間は、計算機上で動作する他のアプリケーションの影響や、検索対象の偏りによってばらつきが発生する可能性があるため、繰り返し行い平均値を求める。繰り返し回数は 1 回あたりの処理時間を基に決定する。

(3) 変換精度

変換精度は、逆ジオコーディング時間の測定と同様に、市区町村名に変換できる範囲内でランダムに発生させた経緯度 10,000 個を市区町村名に変換し、正確に変換できている個数を基に算出する。変換時に、正しいエリア名と異なる市区町村名に変換された経緯度の個数を N_{error} とした場合、変換ミス率 E を式 4.1 で表す。

$$E = \frac{N_{error}}{10000} \times 100(\%) \quad (4.1)$$

E は小さいほど、変換精度が高い事を表す。本実験では、正しいエリア名としてベクトルデータの持つ市区町村の面データを用いる。したがって、ベクトルデータ利用方式の変換ミス率は常に 0 である。

(4) 計算機資源の利用量

計算機資源の利用量として変換時のメモリ使用量を測定する。他の評価と同様ランダムに発生させた経緯度 10,000 個を市区町村名に変換する作業における、実行時の Java VM が必要とした値を記録する。

4.5.4 実験手順

本実験では、まず階層化検索を行わない場合の方式による性能の違いを計測する。その後、2 段階の階層化検索を行い、各方式を組み合わせさせた効果を検証する。以下にその詳細について述べる。

(A) 階層化検索を行わない場合

階層化検索を行わない場合の実験には、埼玉県の市区町村区分を用いた。この理由は、埼玉県は著者のよく知る地域であり、完成した塗り分け画像の正確性を目視で判断できることと、海域と接しないため離島がなく県内全域を検索対象とできるためである。比較する逆ジオコーディング方式は、次の 4 種類とした。

(1) ベクトルデータ利用方式

ベクトルデータが保持している面に対し、入力された点から無限遠へ引いた線の結線回数を求め、包含関係を判断することでエリア名を得る。ベクトルデータには「行政区域(面)」を利用する。

(2) 点近傍方式(役所)

入力された点と市区町村の代表点との距離を比較し、距離が最も近い市区町村名

をエリア名として得る。代表点は、「公共施設(点)」から抽出した、市区町村の役所とした。すべての面を円状として扱うことになるため、変換ミスが多く発生する事が予想される。

(3) 点近傍方式(街区)

代表点の種類を(2)よりも増やした点近傍方式である。「街区レベル位置参照情報」を利用し、「X市Y丁目Z番地」までのすべてを代表点として距離比較の対象にする。距離比較を行う点の数が増えるため処理が遅くなる可能性があるが、点近傍方式(役所)に比べ高い変換精度で実現できると考えられる。

(4) 塗り分け画像方式(提案方式)

「行政区域(面)」のベクトルデータを基に、事前に作成した塗り分け画像を用いた方式である。画像サイズにより性能が変化するため、4.5.5項に述べる5種類の画像を用意した。

(B) 2階層の階層化検索を行った場合

階層化検索は、全国レベルと県レベルの2種類の階層を用いて逆ジオコーディングを行う。1段階目は、日本全土を検索範囲とし県名を取得する。2段階目は、県内を検索範囲とし市区町村名を取得し、最終結果とする。この際、全国レベル、県レベルそれぞれで変換ミスが発生する可能性がある。本実験では全国レベルの結果で変換ミスが発生した場合、続く県別レベルでの変換がどのような結果を返しても変換ミスとした。

階層化検索では、異なる種類の逆ジオコーディング方式を組み合わせる。本実験は、階層化検索を行わない場合に用いた逆ジオコーディング方式の中から、(1)ベクトルデータ利用方式、(2)点近傍方式(役所)、(4)塗り分け画像方式の3種類を、表4.2に示すパターンで組み合わせ、変換性能の違いを確認する。点近傍方式を全国レベルの検索時に用いない理由は、ミス率が大きすぎると判断したためである。

4.5.5 塗り分け画像のスケール

提案方式は、利用する塗り分け画像のスケールにより性能が変化すると考えられる。そこで、作成する塗り分け画像のスケールについて議論する。

まず、最も大きいサイズの画像を作成するスケールを決定する。国土数値情報「行政区域

表 4.2 2階層の階層化検索における変換方式の組み合わせパターン

全国レベル	県別レベル	備考
ベクトルデータ利用方式	点近傍方式(役所)	ミス率は常に0
ベクトルデータ利用方式	ベクトルデータ利用方式	
ベクトルデータ利用方式	塗り分け画像方式	
塗り分け画像方式	点近傍方式(役所)	
塗り分け画像方式	ベクトルデータ利用方式	
塗り分け画像方式	塗り分け画像方式	

(面)」の XML データにおける経緯度の表記は、100 万分の 1 度 (1.0×10^{-6} 度) を最小単位としている。したがって塗り分け画像作成時には、最小単位として 1.0×10^{-6} 度を 1 ピクセルの幅とすることが可能である。しかし、 1.0×10^{-6} 度は日本付近においては約 100 センチメートルであり、現在の GPS の測位精度である約 10 メートルに対して変換精度が高すぎると考えられる。そこで、本実験では 1 ピクセルあたりの幅と高さの最小値を、GPS の測位精度と同一の約 10 メートルに設定した。

次に、画像サイズを小さくした場合における変換精度を調査するために、1 ピクセルが相当する幅と高さをさらに大きくする。本実験では、人間の空間的行動スケールの設定 [115] に基づき 3 メートルの n 乗を基準に、30 メートル (3^3)、80 メートル (3^4)、250 メートル (3^5)、750 メートル (3^6) に設定した。本方式では、1 つのエリアの最小単位が 1 ピクセルに対応する面積という特徴を持つ。このため、これ以上スケールを大きくすると、1 キロメートル以上の大きさを持つエリアも表現できない。そこで、最大値は 750 メートルに設定した。以後表現の簡単化のために、1 ピクセルの幅をメートル単位で表す単位を m/pw と表す。

画像サイズは変換する県によって異なるが、一例として埼玉県の詳細データにおける 80m/pw の画像を図 4.3 に示す。この画像ファイルは、画像サイズが $1,486 \times 662$ ピクセルであり、ファイル容量が約 23.7KB である。画像ファイルは可逆圧縮可能な PNG (Portable Network Graphics) 形式で保存している。なお、埼玉県の物理的な大きさは経緯度では東西 1.189 度、南北 0.530 度であり、距離にすると東西 107 キロメートル、南北約 58 キロメートルである。

階層化検索を行う場合には、階層に応じて対象範囲が異なる点を考慮して、スケールを決定する必要がある。2 階層の階層化検索を行う場合、1 段階目に用いる画像の範囲は日本全国である。この範囲を 10m/pw で画像化すると、極めて大きな画像となる上、階層化検索の効果が発揮されない可能性が高い。そこで、階層化検索の 1 段階目に用いる画像サイズは 250m/pw、750m/pw のみとした。250m/pw を利用した場合の、画像サイズは $7,779 \times 7,272$ ピクセルである。また、本実装の機材の制約上、10m/pw で画像化した県別の画像全てを、同時にメモリ上に展開することが不可能であった。しかし、変換のたびに画像を読み込むと、逆ジオコーディング時間が長くなる可能性が高い。そこで、全ての県の画像をメモリ上に展開する方式では、80m/pw、250m/pw、750m/pw のみを用いて評価することにした。

4.5.6 対象となるデータの個数

「行政区域 (面)」のデータをそのまま利用すると、市区町村合併やデータ中の不正な地名により正しく変換ができない問題があったため、本実験では一部修正を行った。この結果、階層化検索を行わない場合に利用する埼玉県の市区町村は 79 種類に分類される。また、面の数は 87 個であり、飛び地などの関係上市区町村数とは一致しない。一方、階層化検索を行った場合の 1 段階目である都道府県名は 47 である。また、各都道府県のベクトルデータは隣接する市区町村を結合したため、面の数は合計 224 個となった。「公共施設 (点)」から抽出したデータは、すべてそのまま利用した。各県におけるデータ数は市区町村数と同一である。また、埼玉県の「街区レベル位置参照情報」の要素数は約 92 万である。

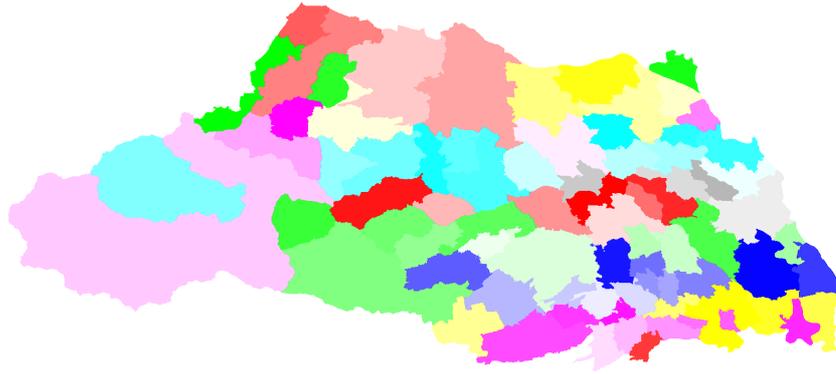


図 4.3 埼玉県の市区町村区分による塗り分け画像例

以下に、「行政区域(面)」に対する修正について詳しく述べる。

はじめに、ベクトルデータから構成される面に対応付けられたエリア名の個数を、ベクトルデータが作成された平成 21 年 3 月時の市区町村数に一致させる処理を行った。「行政区域(面)」の各県の持つエリア名には、所属未定地や他県の市区町村が含まれる場合があり、市区町村数とは一致していない。この処理で名称を削除したデータは、群馬県、千葉県、東京都、神奈川県、新潟県、愛知県、福岡県、鹿児島県、沖縄県の 9 県である。

次に、各都道府県の面を表すベクトル集合について、面積と距離を閾値として一部のベクトルを対象外とする事前処理を行った。この事前処理は、極端に離れた離島や極度に小さい飛び地を削除するための修正である。例えば、東京都には沖ノ鳥島や南鳥島などが所属しているが、東京都を表す画像中に、これらの離島を全て含めると、地名に変換できない海域を多く含むデータが生成され、画像サイズが巨大になる。離島のみを抽出した画像を作成したり、画像に含まれなかった地域の変換にはベクトルデータを直接利用するなどの改良を行えば、対象外とした地域も扱うことができる。修正処理では、以下の基準でベクトルデータの削除を行った。

- (1) ベクトルから構成される面が画像上の 1 ドット (約 750 メートル四方) に満たない場合
- (2) 最大の面積を持つ面からの距離が L の 2 倍以上の場合
ただし、 L はベクトルデータから構成される面の中で最大の面積を持つ長方形の対角線の長さとする

この計算で利用した面の面積は面の形状を意識したものでなく、面を全て含むことが可能な最小の長方形の面積で概算した。

最後に、ベクトルデータの削除により、ベクトルデータから構成される面が無くなったことで変換対象外となった市区町村数を調査した。東京都、鹿児島県、沖縄県の 3 県について、今回の評価では対象外となった市区町村が存在する。例えば、東京都では小笠原村、青ヶ島村、八丈町が該当する。エリア名に対する処理の結果、本実験では全市区町村数 1,950 個に対し、1,934 個のみを利用する。

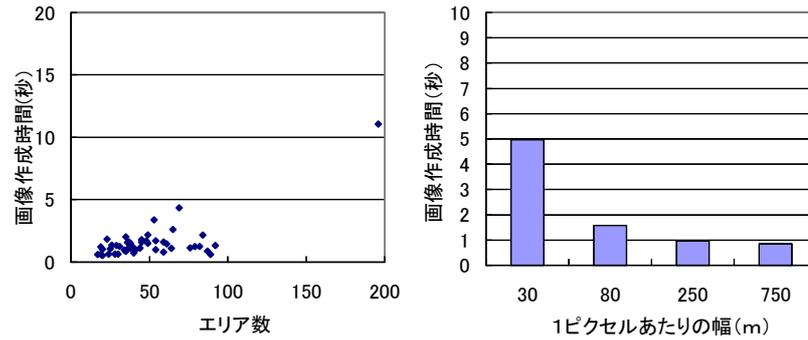


図 4.4 塗り分け画像作成時間の変化

4.5.7 実験結果

(1) 塗り分け画像作成時間

各県のベクトルデータから、塗り分け画像を作成する時間を調査した。作成時間は変換する県のエリア数と、1ピクセルを対応させる幅によって異なる。画像作成は10回繰り返し、平均値を作成時間とした。

エリア数、1ピクセルの対応幅と作成時間との関係を図4.4に示す。エリア数の増加に対し、画像作成時間はわずかに増加するが、100未満の場合にはほぼ一定である。したがって、作成時間の増加の要因は、エリア数ではなく作成された画像の大きさによるものと考えられる。ただし、エリア数が196である北海道のデータ作成に必要な時間は、他と比べ極端に大きい。これは、北海道がエリア数だけでなく、面積も大きいためと考えられる。一方、1ピクセルを対応させる幅を増加させた場合、画像作成時間は、ピクセル幅の増加と共に急速に増加する。これは、先に述べた通り作成される画像の大きさが急激に大きくなるためであり、画像面の保持に必要なメモリを、動的に確保する処理の増加が主な原因と考えられる。グラフには、10m/pwの場合を記述しなかった。この理由は、北海道のような面積の大きいデータにおいては作成される画像が大きすぎて扱えない問題が発生したためである。なお、作成可能なデータのみを用いて、画像作成時間を計測した場合は約17.5秒という結果が得られた。これは、30m/pwの場合とくらべ約3倍である。画像作成処理は逆ジオコーディングの過程において1度だけのものであるため、計算機やアプリケーションの起動時間と解釈すれば、現実的な範囲であると考えられる。だが、画像作成時間は次に述べる逆ジオコーディング時間に比べ大きく、エリア名に対応する範囲の変更が頻発するような用途においては、改善方法を検討する必要がある。

(2) 階層化検索を行わない場合

階層化検索を行わない場合の、逆ジオコーディング方式による変換性能の違いを表4.3に示す。以下で、逆ジオコーディング時間、変換精度、計算資源への影響について論じる。

(a) 逆ジオコーディング時間

逆ジオコーディング時間の測定は、変換時間の誤差を軽減するため、繰り返し回数を1,000回とした。ただし、街区データをすべて用いる方式の処理時間は約5,000秒であったため、繰り返し回数を20回に制限した。

方式による逆ジオコーディング時間の違いを表4.3の「変換時間」に示す。表中では方式名の略称として、ベクトルデータ利用方式を「ベクトル」、点近傍方式を「点近傍」、塗り分け画像方式を「塗り分け」と示した。提案方式は、最も大きな画像を用いた場合でも、1回の変換時間は1.1 μ 秒という結果になった。これに対し、ベクトルデータ利用方式では79 μ 秒であり、提案方式は約70倍の高速化を実現したといえる。また点近傍方式は、各点に対する距離の計算時間が多く、役所の点のみを利用した場合でも37 μ 秒とベクトル方式に対し、2倍程度しか高速化できないことが分かった。街区レベルまでの点を用いた場合の変換時間は約0.5秒であり、既存方式の変換時間が変換対象の個数に依存していることがわかる。

実験の結果、提案方式は逆ジオコーディングの高速化に効果的であることが分かった。また、提案方式は画像サイズの変化による変換速度の差がほとんどないことも明らかとなった。

(b) 変換精度

変換精度の指標である変換ミス率の変化を表4.3の「変換ミス率」に示す。ベクトルデータ利用方式を除くと、画像サイズが最も大きい提案方式のミス率が0.21%と最も低い。この結果、提案方式は、密度の高い点情報である街区の点を利用する方式よりも、高い変換精度を持つことが明らかとなった。さらに、提案方式は画像サイズを小さくしても変換精度の低下が起こりにくい。画像を100m/pw以下に設計すれば変換ミス率を1%以下にすることができ、約750m/pwに設定しても変換ミス率は10%以下である。約750m/pwの画像は、幅158pixel、高さ70pixelと非常に小さいものである。この程度の画像でも誤差が10%以下であるため、提案方式は変換精度大きく落とすことなく、大量の画像が必要な広域での利用も可能である。

(c) 計算機資源の利用量

変換を実現する上で必要となるメモリ使用量について、方式および画素値による

表 4.3 逆ジオコーディング方式による変換性能の違い

変換方式	変換時間 (μ 秒)	変換ミス率 (%)	メモリ使用量 (MB)
ベクトル	79	0	12.89
点近傍 (役所)	37	39.7	8.83
点近傍 (街区)	498,000	4.2	265.81
塗り分け (10m/pw)	1.1	0.21	196.92
塗り分け (30m/pw)	0.8	0.37	31.84
塗り分け (80m/pw)	0.9	1.1	14.56
塗り分け (250m/pw)	0.9	3.7	10.85
塗り分け (750m/pw)	0.9	7.7	10.85

違いを表 4.3 の「メモリ使用量」に示す。約 92 万個の点を保持している街区情報を用いる場合が最もメモリ使用量が多い。しかし、10m/pw の画像を利用した場合は、これに近い約 200MB ものメモリが必要である。本方式では適用範囲が広がることで、さらにメモリ使用量が多くなる。このため、提案方式は画像を保持するためのメモリ使用量がシステム実装上の制限になる可能性が高い。このため、提案方式は、実装するシステムと対象範囲に応じて、メモリ使用量と変換精度のバランスを考慮した上で、ベクトルデータから製作する画像の解像度を調整する必要がある。

本実験では、実行時の Java VM が利用したメモリ使用量を計測することで測定した。このため、測定値は点や面を保持する各オブジェクトが必要とするメモリ使用量の合計と、Java VM の実行に必要なメモリ使用量の合計になる。したがって、必要なメモリ使用量が本来よりも増えている点に考慮する必要がある。実装の方式によっては、本来は必要なメモリ使用量はもう少し小さな値になる可能性がある。

(3) 2 階層の階層化検索を行った場合

階層化検索を行った場合の、逆ジオコーディング方式による変換性能の違いを表 4.4 に示す。以下で、逆ジオコーディング時間、変換精度、計算資源への影響について論じる。

(a) 逆ジオコーディング時間

階層化検索を行った場合の実験では、10,000 点分のデータ集合を 10 個作成して実験データとした。このデータの変換は 20 回繰り返し、処理時間測定における誤差を軽減した。

階層化検索における変換パターンの組み合わせによる、逆ジオコーディング時間の違いを表 4.4 の「変換時間」に示す。表中では方式名の略称として、ベクトルデータ利用方式を「ベクトル」、点近傍方式を「点近傍」、塗り分け画像方式を「塗り分け」と示した。全国レベルの検索に、ベクトルデータ利用方式を用いた場合の逆ジオ

表 4.4 2 階層の階層化検索を行った場合の変換性能

全国レベルタイプ	県別レベルタイプ	変換時間 (μ 秒)	変換ミス 率 (%)	メモリ使用量 (MB)
ベクトル	ベクトル	854.75	0.00	499.04
ベクトル	点近傍 (役所)	769.60	88.53	138.71
ベクトル	塗り分け (80m/pw)	756.62	0.58	575.65
ベクトル	塗り分け (250m/pw)	756.37	1.41	144.61
ベクトル	塗り分け (750m/pw)	756.58	4.50	142.78
塗り分け (250m/pw)	ベクトル	92.03	0.43	617.37
塗り分け (250m/pw)	点近傍 (役所)	11.46	88.61	183.19
塗り分け (250m/pw)	塗り分け (80m/pw)	0.95	0.92	712.59
塗り分け (250m/pw)	塗り分け (250m/pw)	0.87	1.72	224.40
塗り分け (250m/pw)	塗り分け (750m/pw)	0.85	4.73	176.57
塗り分け (750m/pw)	ベクトル	92.04	1.16	424.09
塗り分け (750m/pw)	点近傍 (役所)	11.36	88.73	8.53
塗り分け (750m/pw)	塗り分け (80m/pw)	0.91	1.65	505.72
塗り分け (750m/pw)	塗り分け (250m/pw)	0.86	2.40	60.00
塗り分け (750m/pw)	塗り分け (750m/pw)	0.84	5.28	16.58

コーディング時間が、他の方式を利用するのに比べ著しく増加していることがわかる。全国レベルと県別レベルでは、ベクトルデータに含まれる経緯度情報の個数に大きな差がある。既存方式では、変換の基となるデータに含まれる情報量に変換時間が依存するため、逆ジオコーディング時間が増加したと考えられる。また、階層化検索を行わない場合と同様に、塗り分け画像方式では変換時間に対する画像サイズの影響はほとんど見られないことが明らかとなった。

(b) 変換精度

階層化検索を行った場合の変換精度を表 4.4 の「変換ミス率」の列に示す。階層化検索を行った変換においては、点近傍方式の変換ミス率が著しく高い。階層化検索を行わない方式に比べ変換ミス率が上昇した理由は、埼玉県地形が役所の点を利用した点近傍検索でも良い結果を得やすかったためである可能性が高い。海岸線を含んだり、細い形状を持った地域が多い場合、点近傍方式では変換ミスが大量に発生してしまう。

提案方式を全国レベルと県別レベルそれぞれに適用した場合を比べると、全国レベルに適用したほうが変換ミス率が低くなることが明らかとなった。これは、対象地域が広いほど、1ピクセルあたりの幅が同じ画像を使用しても高い変換精度が得られることを意味する。提案方式の利用には、対象地域の面積に合わせ、塗り分け画像のサイズを決定することが重要である。

(c) 計算機資源の利用量

階層化検索を行った場合のメモリ使用量を表 4.4 の「メモリ使用量」の列に示す。メモリ使用量は、階層化検索を行わない場合と同様に Java VM を含む総量で測定した。階層化検索を行わない場合と比較し、ベクトルデータを利用する方式では、サイズの小さい画像を用いた提案方式よりも多量のメモリを必要とする現象が生じた。これは、各県のベクトルデータを全て読み込むため、保持する経緯度の量が増大したからであると考えられる。各県別のデータを読み込む場合、ベクトルデータは提案方式の 80m/pw の画像を用いた場合と同程度のメモリを必要とする事も確認できた。しかし、提案方式の利用するメモリは多く、30m/pw の画像を用いる場合、1,400MB のメモリ領域を与えても、県別レベルの画像を全てをメモリ上に展開することは出来なかった。実装上、1つのプロセスが利用可能なメモリ量は 1,500MB 未満でなければならなかったため、画像を全てメモリ上に展開する方式では、利用可能な画像サイズに制限が生じる。

4.5.8 結果の考察

以上の結果より、提案方式では (1) 面の形状によらず一定の速度での変換が可能であること、(2) 変換速度は作成した画像の画素数に依存しないこと、(3) 画像サイズによっては実装においてメモリ量に制限があることが明らかとなった。このため、要素数が多い形状や複雑な形状を

持つ地域で利用するほど、有効性が高い。

提案方式は、ベクトル方式と異なり変換ミスが発生する欠点を持つ。しかし、ミスが発生する点は面どうしの境界線上であるため対策は可能である。例えば、塗り分け時に境界線を別の色に変更し、隣接する複数のエリア名を結果として返すような変更を加えると、ミス率を下げるができる。また、提案方式を用いた階層化検索もミス率の低減に効果がある。最終結果の算出にはベクトル方式を使うことで、変換精度を維持したまま、検索範囲の高速な絞込みが実現可能である。また、複数の画像を用いることによるメモリ量の増加も欠点である。これに対しては、メモリ上に保持しておくべき画像の選択に、LRU(Least Recently Used)のような置き換えアルゴリズムを検討したり、部分的な画像読み込みを検討する必要がある。

アルゴリズムやデータ構造の観点から考えると、本方式は二次元のルックアップテーブルを用いた変換に相当する。従来のジオコーディング方式では、線形検索や木構造により検索を高速化していた。ルックアップテーブルを用いて二次元の数値情報を一次元に変換し、さらにもう一度ハッシュ法を用いて最終結果を取り出す点が本方式のアルゴリズム的な特徴である。画像を二次元の配列で扱うと考えると、本方式の更なる改良が考えられる。今回の実装は、全ての画素値をメモリ上に読み込む。このため、海域など変換対象外の地域を多く含む画像では、多くの領域で変換結果無しという値が書き込まれ、メモリ使用の無駄が発生していた。このような場合には、全ての点に値を格納する二次元配列ではなく、つなぎ構造により空領域を削除した二次元配列を作成することで大幅に改善できると考えられる。

一方、保存されたデータが可視性に優れている点が、本方式がデータ保存に単なる配列ではなく画像を使った利点である。従来のデータ作成は限られた人のみが行っていたため、データの正確性や整合性などのチェックは容易であった。しかし、近年 CGM (Consumer Generated Media) と呼ばれる利用者主体の情報提供が注目を集めており、位置情報応用システムにおいてもこの傾向が強い。利用者がランドマークなどを地図上に登録する作業では、経緯度などの座標値を人間が直接入力すると誤入力が発生しやすい。本方式では、画像でデータを保存しているため、保存データそのものを見るだけで自身の追加したデータが地理的に正しい位置であるか、また異常な値を入力していないかなどが、容易に判断できる。また、実装的な観点からも、データが単なる配列ではなく画像というフォーマットで表現されていることには利点がある。例えば、画像の圧縮や伸長、部分的な読み込みなどは、既存のライブラリが多く存在するため、他の言語での実装を行った場合でも保存データをそのまま流用できることなどが挙げられる。

提案方式を用いた高速な逆ジオコーディングは、移動端末を対象とする集中型のシステムにおいて最も効果を発揮する。固定端末に比べ、移動端末は計算能力や搭載しているメモリ量が少ないため、端末で従来方式の逆ジオコーディングを実行することは負荷の観点から好ましくない。このため、逆ジオコーディングは、ネットワークを介して集中型のサーバで行われる方式が一般的である。逆ジオコーディングを必要とするサービスの増加とともに、移動端末からのリクエスト数が、さらに増加すると考えられる。本方式を用いることで、高い変換精度を維持したまま処理時間を削減することができ、サーバシステム 1 台あたりの処理可能数を向上できる。この結果、リクエストの効率的な処理が可能になり、集中型システムを構成する計算機台数の削減などに貢献できると考えられる。

4.6 まとめ

本章では、経緯度から住所やランドマーク名への変換である逆ジオコーディングに対し、既存方式が持つ変換時間および変換精度の問題を解決する方式を提案した。提案方式は、塗り分け画像を用いて逆ジオコーディングを行うことで、変換精度と計算資源のバランスを調整しながら、高速に逆ジオコーディングを行うことが可能である。提案方式の有効性を、国土交通省国土計画局が発行した 国土数値情報および街区レベル位置参照情報を用いて検証した。本方式を単一で用いた場合の変換実験を、埼玉県の市区町村区分を用いて行い評価した結果、従来方式に比べ約 70 倍の高速化を実現し、変換ミス率が 0.21% 程度になることを確認した。また、全国レベルと県内レベルによる 2 段階の階層化検索を行った場合、提案方式は登録された地域の個数によらず、一定の時間で経緯度を地域名へ変換することが可能であることを明らかにした。さらに、本方式は広域で複雑な地形を持つ地域に適用するほど、ベクトル方式に対する変換速度の増加が大きく、ミス率も低いため有効性が高いことが分かった。一方で、多量のデータを扱う場合にはメモリ使用量による限界がある。全国から県を検索する際には提案方式、県内で市区町村を検索する際にはベクトル方式のような組み合わせ方式が、メモリ使用量を考慮すると有効性が高いと考えられる。今後の課題としては、データ構造の改良によるメモリ利用量の削減や境界線の特徴を利用した変換精度の向上、2 つ以上のエリア名を持つ地域への対応などが挙げられる。

第5章 異種通信網を連携させるための通信サービス制御方式

5.1 はじめに

近年、モバイルブロードバンドと呼ばれる高速無線通信網に注目が集まっている。モバイルブロードバンドは、移動端末に高速なインターネット接続を提供する技術である。モバイルブロードバンドの利用により、移動端末を持つ利用者はいつでも、どこでも、通信速度を気にすることなくインターネットを利用できる。現在、標準化が進んでいるモバイルブロードバンドの技術には、“IEEE 802.16e (Mobile WiMAX)”、“LTE”、“4th Generation (IMT Advanced)”、“次世代 PHS”、“IEEE 802.11b/g” などがある。

これらの通信網には、それぞれ異なる特徴がある。一般的に、各通信網は対象とするアプリケーションの性能を引き出すことに特化して設計されており、長所と短所を併せ持っている。例えば、無線 LAN は高速な通信が可能ではあるが、通信可能範囲は限定的である。一方、携帯電話網は低遅延で高い安全性や広範囲で使える利点をもつが、帯域幅は狭く、利用料金も無線 LAN に比べると高価である。また、これらの通信網はそれぞれ独立して運用されている。そして、各通信網は対象とするアプリケーションに適合するように設計されている。このため、利用者が通信網の特性を理解し、アプリケーションに合わせて、通信網を選択する必要がある。

このような複数の通信網が存在するために、2種類以上の通信網に接続可能な移動端末が登場し始めている。例えば、“iPhone”[3]、“BlackBerry”[4] などスマートフォンと呼ばれる高性能の携帯電話がある。これらは、携帯電話網と無線 LAN の通信インタフェースを備え、必要に応じて切り替えることができる。しかし、周囲に存在する通信網を利用者自身が把握し用途に応じて切り替える処理は、利用者に対して通信網に関する知識と、切り替えの手間を要求するため、その負担は大きい。

そこで、本章では適切な通信網の自動的な選択と利用を目標とした、異種通信網を連携させるための通信サービス制御方式を提案する。現在の通信サービスでアプリケーションが利用可能な通信網は、独立した通信網のうちの一つだけである。一般に通信網は、特定のアプリケーションを意識して設計されており、その用途においては効率よく動作する。しかし、新たにアプリケーションを開発する場合、既存の通信網を利用することが多いため、アプリケーションから

みて通信網の性能に妥協が必要となる場合も多い。そこで、その場で使える通信網から、アプリケーションの要求に応じた特性を持つ網を自動的に選択し、通信内容に応じて使い分ける通信サービス制御方式を提案する。提案方式では、まず様々な通信網を特性によりモデル化する。通信網をベースネットワーク、ユースネットワークと名付けた 2 種類に分類し、それぞれの特徴を活かして使い分けることで連携させる。また、アプリケーションが主体的に 2 種類の異なる通信網を通信内容に応じて使い分ける。この通信網を特性により分類し、用途に合わせ使い分ける通信形式をベース/ユースネットワークモデルと名付ける。ベース/ユースネットワークモデルにより構築されたシステムにおいては、1 つのアプリケーションが多数の通信網を同時に利用できる。例えば、認証とデータ通信の処理を行うアプリケーションであれば、認証には安全性の高い網、データ通信には通信速度が高速な網のような使い分けができる。提案方式は、アプリケーションの要求に応じた通信網を、異種通信網の組み合わせにより実現することが特徴である。

提案方式の有効性を検証するために、テキスト、音声、静止画、動画といった複数のメディアを同時に利用し、コミュニケーションを支援するプロトタイプシステムを開発した。通信網の連携には、VoIP のシグナリングに用いられている SIP を拡張して用いた。プロトタイプシステムを用いた評価実験を行い、通信遅延、データ転送スループットを測定した。また、複数の通信網の同時利用による効果を確認した。提案方式は、アプリケーションが必要とする通信網を、いつでも、どこでも、複数の通信網の特性を組み合わせることを目標としている。このコンセプトを、オンデマンド型ネットワークと名づける。提案方式はベース/ユースネットワークモデルを用いて通信網の連携を可能にすることで、オンデマンド型ネットワークを実現する一つのアプローチである。

5.2 オンデマンド型ネットワーク

オンデマンド型ネットワークは、その場でアプリケーションの必要性に応じた通信網を利用可能にするコンセプトである。近年、多数の無線通信網が開発され、利用範囲を広げているため、ある地点において利用可能な無線通信環境が複数存在することは珍しいことではない。しかしながら、利用者がアプリケーションの通信に利用する通信網は通常 1 つだけであり、複数の網が存在する地点においても、利用者がどれか 1 つの通信網を選択する必要がある。この選択は、利用者の意思によって行われるため、アプリケーションは利用可能な通信網のみを利用することしかできない。このため、選択された通信網がアプリケーションの必要とする性能を常に満たしているわけではなく、通信品質に問題が発生する可能性もある。この問題を解決するために、オンデマンド型ネットワークには以下の特徴を持たせる。

- 利用者の周りの通信網の仕様などを自動的に検索し、アプリケーションに適した通信網を選択する
- その場でアプリケーションに適した通信網が見つからない場合には、複数の通信網を組み合わせることで、アプリケーションに適した通信網を仮想的なサービ

スとして実現する。

オンデマンド型ネットワークの概要を図 5.1 に示す。図 5.1 に示された通信網は、それぞれ広帯域、低エラー率、高い安全性、広い利用範囲などの異なる特性を持つ。既存通信サービスでは、移動により現在接続中の通信網から離脱すると、通信が一時的に切断され、その場で利用可能な同一方式の通信網を探し再接続を試みる。しかし、同一方式の通信網が存在しない場合には、通信を継続することが出来ない。これは、既存方式では通信網どうしが連携動作していないため、ネットワークの切り替えが自動的に行えないことが原因である。さらに、周辺に利用可能な方式の通信網が存在したとしても、通信網に対するアクセス権を持っていない場合には接続することが不可能である。これに対し、提案方式では利用者の移動に対し、自動的にアプリケーションの要求を満たす網を選択し再接続を試みる。この通信網は、もともと接続されていた通信網と別の種類でもかまわない。また、利用したい対象の通信網に対するアクセス権が存在しない場合にも、他の通信可能な網を経由して、アクセス権を取得し、接続を試みる事が可能となる。さらに、アプリケーションは複数の通信網に同時に接続することを可能とする。この結果、1 つだけの通信網では提供できない、様々な特性を複数組み合わせた通信網によりアプリケーションに特化した通信を実現することができる。

オンデマンド型ネットワークの特徴は、利用者の周辺にある通信網の持つ全ての特性を活かし、通信品質を向上させることで、目的とするサービスに適した通信網を容易に提供できる点である。既存の通信網では、特定のアプリケーションに特化して通信品質を設定している。このため、汎用的な通信網というものは存在せず、それぞれの通信網の持つ特性は異なっている。本方式を利用することで、既存のネットワークアーキテクチャでは実現できなかった機能を実現することが可能となる。例えば、インターネットはネットワークが分散した構造を持つため、完全な利用者の認証は困難である。一方、携帯電話網は中央で集中管理された通信網であるため、利用者の認証を確実に行うことが可能である。この 2 つを組み合わせることで、インターネットに対し確実な利用者認証を適用することが可能となる。このように、オンデマンド型ネットワークでは、複数のネットワークの機能を組み合わせた新たな通信網を提供する。今までに無い通信網の提供は、新たな情報サービスを創出し支える技術となりうるため、その価値は大きい。

5.3 提案方式

5.3.1 ベース/ユースネットワークモデル

ベース/ユースネットワークモデルは、多数の通信網を分類し連携させる通信形式である。本モデルの特徴は、2 種類以上の通信網に接続可能な移動端末を用いて、端末が接続可能な複数の通信網を連携させることである。そして、これらの通信網を 2 種類に分別し、それぞれベースネットワークとユースネットワークと名づける。

ベース/ユースネットワークモデルの概要を図 5.2 に示す。ベースネットワークは、コアネットワーク、ベースアクセスポイント、ベースアクセスメディアによって構成する。移動端末は、

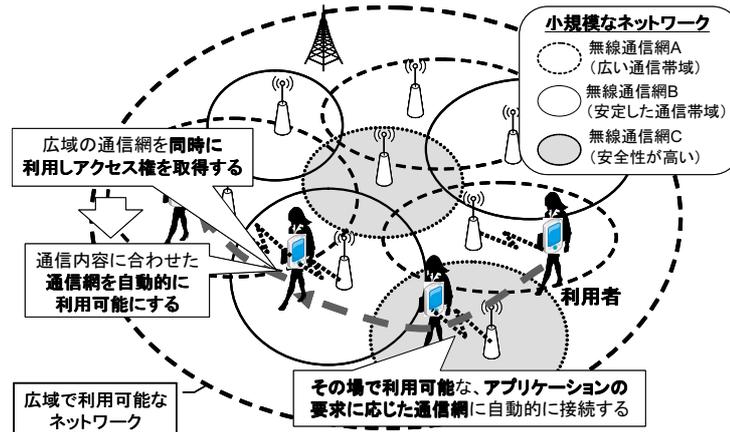


図 5.1 オンデマンド型ネットワークの概要

ベースネットワーク側に接続可能なデバイスを用いて、ベースアクセスメディアを通じてベースアクセスポイントに接続する。ベースネットワークは、ベースコアネットワークにより相互接続する。ベースコアネットワークは、携帯電話キャリア等の管理主体が1つであり、集中的に管理されているネットワークとする。また、ベースコアネットワークに接続された端末間は、常に相互通信可能であるとする。

一方、ユースネットワークはバックボーンネットワーク、ユースアクセスポイント、ユースアクセスメディアから構成される。移動端末は、ベースネットワークと同様に、ユースネットワーク側のデバイスを用いて、ユースアクセスメディアを利用し、ユースアクセスポイントへ接続する。ユースアクセスポイント間はバックボーンネットワークを通して接続される。バックボーンネットワークは、コアネットワークと異なり分散協調型の通信網とする。バックボーンネットワークで結ばれた通信網はそれぞれ独立して管理されるため管理主体が異なってもよい。また、どの通信網と接続するかや、接続速度なども全て自由とする。

ベースネットワーク、ユースネットワークの特性の違いを表 5.1 に示す。ベースネットワークに必要な要件は、中央で集中管理され広域でサービスが展開されていることである。ベースネットワークに適した通信網の例としては、携帯電話網が挙げられる。

一方、ユースネットワークの必要要件としては、個人が簡単に設置可能で、分散管理されることが挙げられる。加えて、ユースネットワークはベースネットワークに比べ高速である必要がある。ただし、ユースネットワークにおいて、相互接続性や運用ポリシーなどは全て管理者に任されている。このため、ユースネットワークが、複数の通信網から構成されることも考えられる。ユースネットワークに適した具体的な通信網の例としては、無線 LAN が挙げられる。

ベース/ユースネットワークモデルの利点は、ベースネットワークとユースネットワークを同時に利用することにより、既存の通信網の持つ利点を1つのアプリケーションで共に利用可能としたことである。例に挙げた携帯電話網と無線 LAN を組み合わせた場合は、携帯電話網を利用した端末の認証による信頼性の向上と、高速な通信が同時に実現可能である。携帯電話

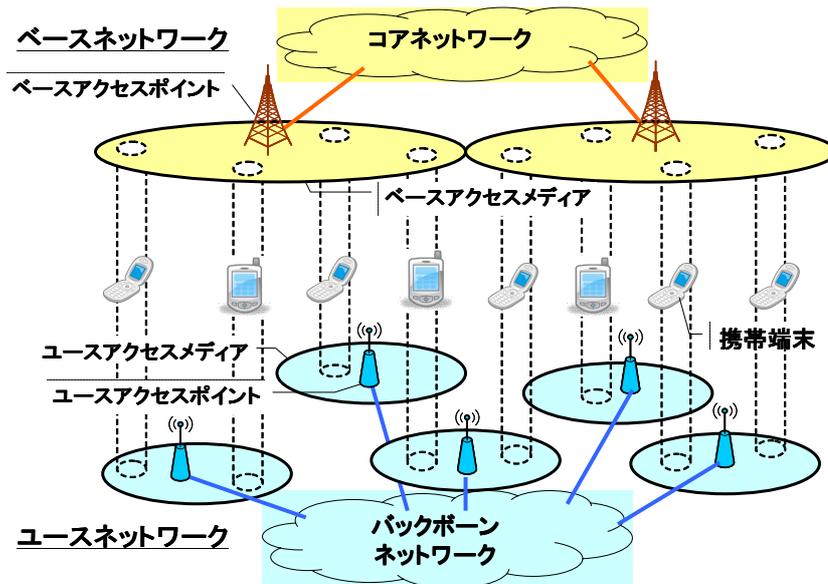


図 5.2 ベース/ユースネットワークモデル

網は集中管理されており、またサービスエリアが広いため、利用者には移動により変化しない一意の識別子を与えることが可能となる。一方無線 LAN は、通信範囲が狭く移動時には通信網の切り替えが発生する可能性が高い。通信網の切り替えが発生すると、無線 LAN 側の識別子が変わるため、無線 LAN だけでは、端末を一意に識別することが難しい。そこで、携帯電話網で与えられた一意の識別子を用いることで、個人の識別・認証が可能になり、通信相手や接続前後の無線 LAN に自身の情報を的確に与えることが可能となる。通常、無線 LAN は特定の利用者しか利用できないように、認証などの設定がされている。そのため、対象外の利用者にはアクセス権が与えられず、一時的に利用することはできない。この結果、無線 LAN アクセスポイントの数は年々増加しているが、特定の個人にとってはアクセス権の不足により利用できない通信網が増加しているにすぎない。しかし、携帯電話網を用いた個人識別・認証を可能にすることで、管理側のポリシーによっては一時的に利用可能なアクセス権を取得することが可能となるかもしれない。この結果、利用可能な通信網の増加が期待でき、より高品質な通信網を利用できる可能性が大きくなる。また、ベースネットワークの欠点である通信速度は、ユースネットワークをデータ通信に利用することによって補うことができる。以上のように、両者のネットワークの長所を活かすことで、信頼性が高く、高品質で、高速な通信網といった、これまでにない通信網を構成することが可能となる。

5.3.2 SIP による通信網連携方式

ベースネットワークとユースネットワークの同時利用のためには、通信網の連携方式を検討する必要がある。一般的に、異なる通信網間においては、基盤プロトコルやアドレッシング方式

など様々な点で異なりがある。このためプロトコル変換や、アドレス変換がネットワーク間の連携には必要となる。プロトコル変換やアドレス変換は、通信網の境界において GW やルータなど端末以外の機器で行われる。しかし、異種のネットワーク間のプロトコル変換は、対応する命令や方式の不足、オーバヘッドなど様々な問題があり、中継時の変換は困難である。そこで、本章では端末が直接複数の通信網に接続し、アプリケーションが複数の通信網を同時に利用する方式をとる。端末が接続可能な通信網を利用しているため、データ転送においてプロトコル変換の必要がない。したがって、アドレスやセッションの管理はアプリケーションが必要に応じて行うことになる。

本方式では、通信網連携のためのプロトコルとして SIP(Session Initiation Protocol)[116] を用いることにする。SIP はマルチメディア通信におけるセッション管理用のプロトコルである。セッション管理用のメッセージをベースネットワークを経由して、端末間で転送することにより、ベースネットワーク、ユースネットワークどちらを利用した通信を行うかをアプリケーションが直接制御することが可能となる。

通信網の連携に SIP を用いた理由は、次の 3 点である。第一に、SIP は IP 電話における親和性が高く、多数の機器で利用可能である。第二に、次世代通信網においても利用が期待されており、今後に対応する端末が増加すると考えられる [117]。第三に、テキストベースで柔軟性の高いプロトコルであり、実装、拡張が容易である。

通信網の連携を実現するにあたり、SIP における REGISTER メッセージと INVITE メッセージに拡張を施した。

REGISTER メッセージは、アドレスの登録に使われるメッセージであり、拡張により複数のアドレスを同時に登録可能とした。通常の REGISTER メッセージで自身のアドレスである SIPURI を記入する From ヘッダに加えて、“X-Another-Address” ヘッダと “X-Private-Address” ヘッダを SIPURI の通知用に追加した。アプリケーションは、From ヘッダを利用してベースネットワークのアドレスを通知すると共に、“X-Another-Address” ヘッダと “X-

表 5.1 ベースネットワークとユースネットワークの特徴

項目	Base Network (BN)	Use Network (UN)
ネットワーク管理	中央・集中管理	分散管理
敷設	キャリア	個人
サービスエリア	広い	狭い
通信速度	低速	高速
端末認証	強力	非力
サービス品質	高い信頼性 高品質	信頼性が低い ベストエフォート

Private-Address” ヘッダを用いてユースネットワークのアドレスを登録することが可能となる。REGISTER メッセージの拡張に影響を受ける SIP エンティティは、SIP レジストラとロケーションサーバである。SIP ユーザエージェント（以下 SIPUA）から拡張された SIP メッセージが SIP レジストラに到着した際には、SIP レジストラは複数のアドレスをメッセージから取り出す必要がある。つづいて、この複数のアドレスを対応する網の識別子と共にロケーションサーバに登録する必要がある。

一方、INVITE メッセージは SDP(Session Description Protocol)[118] を利用し、通信網を選択できるように拡張した。具体的には SDP 中のメディアストリームの識別を表す s 行に、“BASE_session” または “USE_session” の識別子を追加した。INVITE メッセージの拡張に影響を受ける SIP エンティティは、SIP プロキシとロケーションサーバである。SIP プロキシは拡張されたメッセージの解析を行い、対応したアドレスをロケーションサーバから取得する。その後、SIPUA へと適切なアドレスを返信する。この結果、SIPUA においてベースネットワーク、ユースネットワークの選択が可能となり、適切な通信網を用いたセッション確立が可能となる。

5.3.3 状況を考慮したネットワーク選択方式

提案方式は、アプリケーションの必要に応じて、通信網を自動的に選択し切り替える必要がある。通信網の選択は 2 種類に分類される。

一つは、特定のデータ転送に用いる通信網にベースネットワークとユースネットワークのどちらを割り当てるかを選択することである。この選択はアプリケーションが自身の用途に合わせて行う。これは、必要とする通信網の特性が、それぞれのアプリケーションによって異なるためである。例えば、アプリケーションがプライバシーに配慮した、高いセキュリティを必要とする通信を行う際にはベースネットワークを選択すればよい。一方、ストリームの伝送のような、広い帯域を必要とする通信を行う場合にはユースネットワークを選択すればよい。このように、適切な通信網の選択は用途に合わせて行う。したがって、一つのアプリケーションが制御用のデータの通信にはベースネットワーク、データ用のデータの通信にはユースネットワークのような組み合わせで利用することも可能である。

もう一つは、多数のユースネットワークが存在する場所において、どのユースネットワークを利用するかを選択する場合である。このような問題は、無線 LAN のように狭い範囲に多数のアクセスポイントが存在する場合に発生することが多い。利用する通信網を適切に選択するには、周辺にある通信網の特性を入手し、利用する必要がある。入手方法の例として、ベースネットワークを用いたサーバとの通信や、よく利用する地域の通信網の情報を自身に保存しておくなどの手段が考えられる。しかし、適切な通信網があったとしても、何らかの理由で利用できない可能性もある。例えば、近年の無線通信網においては、WEP/WPA などの暗号化や認証が施されている場合も多い。このような認証を必要とする通信網を利用するには、通信網の管理者から適切なアクセス権を得る必要がある。このアクセス権の取得時に、ベースネットワークを利用することで、集中的に管理された安全な認証機構を利用できる。

ベースネットワークとユースネットワークの選択については、セッション確立の過程において処理することにする。まず、通信開始時におけるセッション情報の交換と共に、他の通信網のアドレス情報や、どのような種類の通信網が利用できるかなどの情報を交換する。これらの情報は、広範囲で利用可能なベースネットワークを利用して転送する。そして、通信端末間においてベースネットワークでの接続を維持することで、定期的な交換を行う。通信時には、転送するデータの特性と交換により得られた情報に基づき、お互いが利用可能な網から適切な通信網を選択し利用する。以上の手順により、アプリケーションが通信内容に応じた通信網を使い分けて利用することが可能となる。

ユースネットワークの選択にも、ベースネットワークの特性を利用する。本方式では、ベースネットワークは信頼性が高く、集中管理されており、利用者の認証が容易に可能であることを想定している。そこで、ベースネットワークを用いてその場で利用可能な通信網の情報や、アクセス権の取得を行い、用途に合わせてユースネットワークを切り替える。例えば、ベースネットワークで通信速度に関する情報を取得し、出来る限り高速なユースネットワークを選択するといった切り替えを実現する。さらに、近年の無線アクセスポイントの持つ、ESSID を複数所持し一時的に利用者の認証を行い接続を許可する機能を用いれば、ユースネットワークが、ベースネットワークにより認証した利用者を一時的に受け入れる方式も実現可能であると考えられる。以上のように、ベースネットワークを使ったユースネットワークの切り替えにより、その場で使える通信網から、より通信内容に適した網を選択することが可能となる。

5.4 実装

ベース/ユースネットワークモデルの有効性を検証するために、プロトタイプシステムを開発した。プロトタイプシステムは、テキスト、音声、静止画、動画の4種類のメディアを同時に利用し、コミュニケーションを支援するシステムである。システムは、提案した通信サービス制御方式によりベースネットワークとユースネットワークを同時に使うことで、高速で安全な通信網をアプリケーションに提供する。図 5.3 にプロトタイプシステムの構成を示す。システムは、拡張した SIP サーバと、ベースネットワークとユースネットワークに同時接続可能なモバイル PC から構成した。本実装では、SIP サーバとして、SIP エンティティであるロケーションサーバ、SIP レジストラ、SIP プロキシの役割を全て一台に集約したサーバを構築した。クライアントは、ベースネットワークを利用してセッション情報を交換する。これにより、ユースネットワークが切り替わっても、新たなユースネットワークのアドレスを確実に入手可能となり、アプリケーションにおいてはセッションを継続することが可能となる。一方、大容量データである、静止画や動画はユースネットワークを利用して転送する。この結果、転送速度や通信コストを気にすることなく大容量のデータ転送が行える。プロトタイプシステムでは、ベースネットワークに携帯電話網、ユースネットワークに無線 LAN を用いた。表 5.2 にプロトタイプシステムに用いた機器の性能を示す。

SIP サーバはオープンソースのソフトウェアである BEA WebLogic SIP Server[119] を用い

て、必要な機能を拡張し実装した。先に述べたように、追加のヘッダを処理できるように、それぞれの SIP エンティティの実装部分を拡張した。実装において、SIP サーバはユースネットワークのバックボーンネットワークであるインターネット上に設置した。本来、セッション情報の管理はベースネットワークの役割であり、SIP サーバもベースコアネットワーク上に置くのが理想的である。しかし、無線通信網は、携帯電話キャリアにより集中的に管理されているため、容易に他のサーバを設置することは困難である。このため、SIP サーバはインターネット上に設置し、ベースネットワークからは、ベースコアネットワークを経由した接続により代用した。

クライアントアプリケーションは C 言語及び Java 言語で実装した。実装には、既存の 3 種類の API を用いた。一つ目は、“Native Wifi”であり、Windows 上から無線 LAN アクセスポイントの切り替えや、接続プロファイルを変更するために利用する。二つ目は、“JAIN SIP”[120]であり、SIP の基本となるプロトコルスタックを実装している。本実装ではこれを拡張して、メッセージ交換に用いた。最後に、音声、静止画、動画の読み込みに “Java Media Framework”[121]を用いた。このフレームワークを通し、クライアントプログラムは接続されたマイクや Web カメラからデータを読み込む。

本実装において、ユースネットワークの選択を次の手順で行った。まず、クライアントアプリケーションは定期的に周辺の電波状況をスキャンし、無線 LAN のアクセスポイントを検索する。ユースネットワークとして現在利用中の通信網より、通信内容に適した通信網を発見した場合には、自動的に通信網を切り替える。実装における、通信に適した通信網の判断には、データ転送速度を基準とした。このため、プロトタイプシステムには提案方式で述べたベースネットワークを利用した、利用可能な通信網の検索や、動的なアクセス権の付与機能は実装していない。アクセスポイントの切り替えが発生した場合には、ベースネットワークを用いてユースネットワークのアドレス変更通知を通信先に送信する。これにより SIP のセッション情報を更新し、セッションを継続することで、アプリケーション層における通信を維持することが可能となる。

5.5 評価

プロトタイプシステムによる評価を、大学内の廊下を用いて行った。図 5.4 に評価環境を示す。45メートルの長さの廊下に、計測地点を 3メートル毎に設置した。評価実験のために無線 LAN アクセスポイント 3種類を設置した。設置したアクセスポイントの台数と、無線 LAN の

表 5.2 プロトタイプシステムに用いた機器の性能

項目	CPU	Memory	OS
Client A	Celeron M 1.06GHz	512MB	Windows XP
Client B	Pentium M 1.30GHz	512MB	Windows XP
SIP Server	Pentium 4 2.99GHz	512MB	Windows Server2003

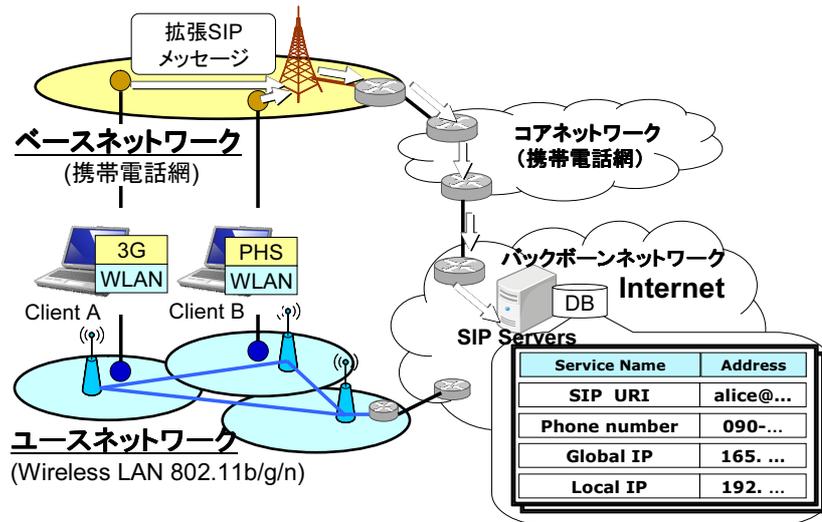


図 5.3 プロトタイプシステムのネットワーク構成

種類は、802.11b 対応機器が 3 台、802.11g 対応機器が 3 台、802.11n 対応機器が 2 台である。ただし、802.11b と 802.11g のアクセスポイントには同一の機器を用いて、転送速度のみを変更した。また、NAT によるアドレス変換が発生しないようにするため、全てのアクセスポイントは同じネットワークセグメントに接続した。さらに、機器の無線電波の到達距離が、実験環境である廊下の大きさに対して長すぎるため、出力電波の強度を 25% まで減少させた。また、このアクセスポイントは自動的に通信チャンネルを変更し、周辺の無線 LAN 電波との干渉を避ける機能を保持している。

評価項目は次の 3 点である。

- (1) 端末を移動させない場合の通信遅延
- (2) 移動時におけるデータ転送スループットの変化
- (3) 移動時におけるアクセスポイントの切り替えに必要な時間

評価環境の確認のために、各計測地点における RSSI(Received Signal Strength Indication) を測定し、距離と RSSI の関係を調査した。図 5.5 に各計測地点における RSSI を示す。また、この結果をアクセスポイントからの距離と RSSI の関係に注目してグラフ化した結果を図 5.6 に示す。この結果より、RSSI は距離に比例し単調に減少することが確認された。アクセスポイントの 3 メートル以内では、API の仕様上の最大値である $-50dBm$ が維持されていた。また、アクセスポイントからの距離が 9 メートルを超えると、RSSI は測定可能であるが、正常にデータを転送出来ない現象が生じることが多かった。この結果より、評価実験においてアクセスポイント切り替えの閾値は $-65dBm$ に設定することにした。

表 5.3 および、表 5.4 に端末を移動させない場合の通信遅延の実測結果を示す。この実験において、端末は共にアクセスポイントから 3 メートル以内の場所に設置した。結果は、100 回計測

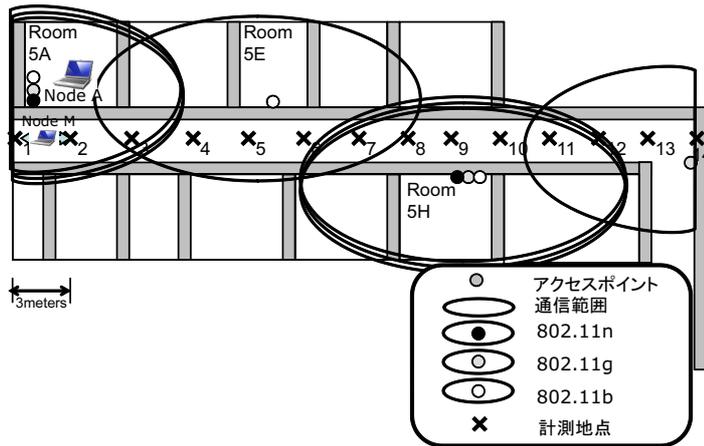


図 5.4 評価環境

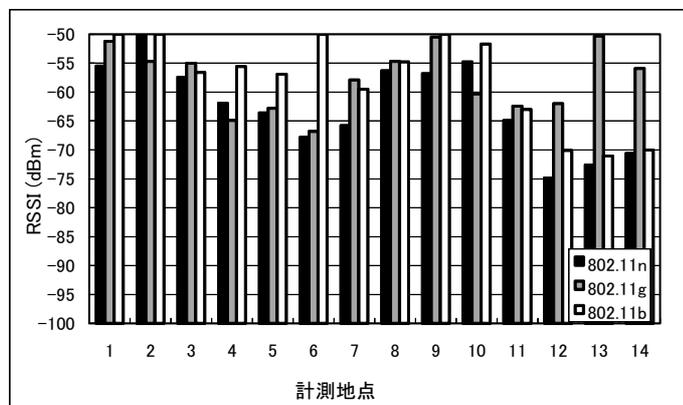


図 5.5 各計測地点における RSSI

を行った平均値とした。また、転送に使用した静止画の画像サイズは 1024×768 である。動画はフレームサイズは、 320×240 で、1 秒当たり 30 フレーム転送した。この結果、ベースネットワークを利用したセッション確立に必要な時間は約 4.2 秒であった。また、セッション確立後のデータ転送遅延は静止画において約 390 ミリ秒、動画においては約 200 ミリ秒であった。以上より、セッション情報以外の大容量データの転送に高速なユースネットワークを用いて、データ転送時間を削減できることを確認した。

続いて、端末移動時におけるデータ転送スループットの変化を確認した。表 5.5 にデータ転送スループットと、選択されたアクセスポイントを示す。データ転送スループットの測定は、計測用のソフトウェア：Iperf[122] を用いた。端末間におけるプロトコル設定は、動画転送時と同様に UDP/IP を用いて、100Mbit/秒でのデータを転送を試みた。図 5.7 に、各計測地点の RSSI 値とアクセスポイント切り替えの閾値 $-65dBm$ 、選択されたアクセスポイントの種類の関係を示す。動作実験の結果、各計測地点において利用可能で最も高速なアクセスポイントへ、接続を自動的に切り替える動作を確認した。また、いくつかの計測地点ではデータ転送スループット

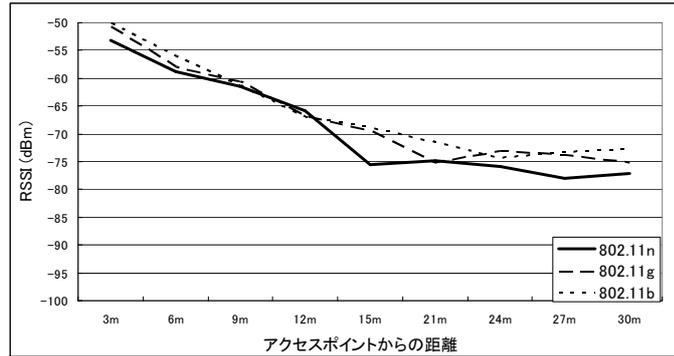


図 5.6 評価環境におけるアクセスポイントからの距離と RSSI の関係

が極端に変化することがあった。この理由としては、周囲には評価用以外の無線アクセスポイントが多数設置されているため、他の無線通信網の干渉などで、一時的に通信を行いにくい状態が発生した可能性が考えられる。このような場合には、より安定した通信が可能な通信網を選択した方が良いと考えられる。

最後に、移動時におけるアクセスポイントの切り替え時間を計測した。本プロトタイプにおける、アクセスポイントの切り替えは 2 つの手順で行う。まず通信網の基本設定を行い、その後システムへの登録を行う。クライアントは、網の切り替え時に DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) でアドレスやデフォルトゲートウェイなどの基本情報を取得し、ユーザネットワークとして設定する。その後、SIP サーバに対し REGISTER メッセージを送ることで、システムへの再登録が完了する。本評価実験では、通信網の基本設定に約 7.3 秒、システムへの登録に約 1.5 秒を必要とした。この結果から、アクセスポイントの切り替えには、通信網の基本設定による処理時間が多く必要なことが分かる。この対策としては、IP を利用するのであれば、Mobile IP[123, 124] などの移動をサポートするプロトコルを利用することが有効であると考えられる。

表 5.3 セッション確立に必要な処理時間

処理内容	処理時間 (ミリ秒)
ユーザネットワークアドレスの検索	2,797
SIP メッセージの交換	1,406
セッション確立処理時間	4,203

表 5.4 静止画と動画送信における遅延時間

処理内容	処理時間 (ミリ秒)	
	静止画	動画
メディアデータの生成	368.58	2.66
データ転送	20.19	0.05
描画処理	0.02	192.53
合計遅延時間	388.79	195.24

表 5.5 データ転送スループット測定結果

計測地点番号	帯域幅 (Mbit/秒)	アクセスポイントの種類
1	13.72	802.11n
2	6.45	802.11n
3	31.28	802.11n
4	1.17	802.11b
5	2.58	802.11b
6	8.51	802.11b
7	9.55	802.11n
8	15.14	802.11n
9	52.28	802.11n
10	12.79	802.11n
11	7.72	802.11b
12	15.90	802.11g
13	16.64	802.11g
14	49.36	802.11g

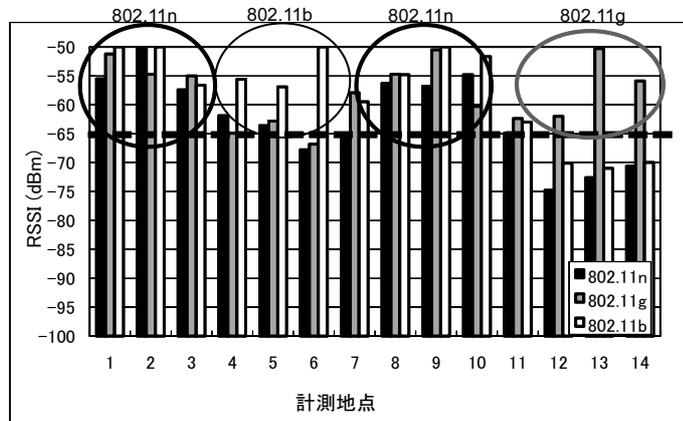


図 5.7 各計測地点における RSSI と選択された AP の関係

5.6 関連研究

ETSI(European Telecommunication Standards Institute) で規定された NGN[125] では、端末、アプリケーションなどのサブシステムが、それぞれ別の網に分散することを想定し、サービスレイヤとトランスポートレイヤという考え方で通信を機能別に分離している [117]。この、トランスポートレイヤにおいて接続性の管理や IP レイヤでの認証、IP レイヤ上のロケーション管理などを行うことが検討されている。本提案も、複数の網に接続された端末間の通信をベースネットワークとユースネットワークという 2 種類の網に分類するが、通信網の使い分けは、制御信号とデータでの分離ではなく、通信内容の特性に応じて設定することが異なる点である。具体的には、音声や認証情報、位置情報などのデータは、遅延や安全性に考慮した転送が必要なため、ベースネットワークを利用する。

利用可能な無線通信網を自動的に選択して利用する技術は、コグニティブ無線 [126] (ソフトウェア無線) におけるメディア制御として検討されている。コグニティブ無線は異なるシステム間で、無線通信に利用する周波数帯を共有し、動的に切り替える技術である。これにより、その場で利用可能な周波数帯を有効活用することが可能となる [127]。本方式は、既存の携帯電話網や無線 LAN を想定し、網の特性は考慮するが通信はオーバレイ方式で行うためコグニティブ無線のような、無線周波数帯の動的な変更や利用は行わない点で違いがある。

複数の網から、用途に合わせた網を選択するネットワーク方式として、FMC(Fixed Mobile Convergence) がある。FMC は固定通信サービスと移動通信サービスを融合し、携帯電話を構内においては固定電話の子機として利用するといったサービスなどが実現できる。運営主体が異なる異種ネットワークを統合し、アプリケーションが、多様なネットワークを融合的に利用するヘテロジニアスなネットワーク [127] 構築という点で、提案方式と FMC は共通している。しかし、固定系と移動系の通信サービスの統合に特化している点や、利用可能な網から 1 種類のみを選択して利用するという利用形態においては、提案方式と異なる。

異種ネットワーク環境下において、シームレスな通信を行う方式として、2 種類のネットワークを組み合わせる研究が井上らにより行われている [128, 129]。この方式では、はじめに利用可能な全ての通信網 (RAN と呼ぶ) を調査する。この RAN の中から、共通基盤として利用する通信網 (BAN) を選択する。そして、通信時には BAN はシグナリング情報に、その他の通信網はデータの通信に用いる方式である。本提案方式においては、ベースネットワークをシグナリングのためだけに用いるのではなく、ユースネットワークと共に、データ転送にも用いることが可能である点に違いがある。

5.7 まとめ

本章では、ベース/ユースネットワークモデルにより、複数の通信網を同時に利用可能にする通信サービス制御方式を提案した。提案方式は、アプリケーションの要求する通信性能を備える通信網を、システムがその場で使える通信網を基に自動的に選択し、また必要に応じて併用することで提供する。通信網を組み合わせて利用することで、それぞれの網の持つ長所を持ったこれまでにない通信網が実現できる。提案方式の一例として、テキスト、音声、静止画、動画の 4 種類のメディアを同時に利用し、コミュニケーションを支援するプロトタイプシステムを開発した。プロトタイプシステムを用いて、通信遅延とデータ転送スループットを測定し、データの特徴に合わせて通信網を変更することで、高画質な動画や静止画を低遅延で転送できることを確認した。また、その場で利用可能な最も高速な通信網へ接続を自動的に切り替え、データ転送スループットを向上させる動作を確認できた。以上のプロトタイプシステムの動作確認を通し、提案方式の実現可能性を示した。今後の課題は、通信網のオンデマンドベースでの提供のためのアクセス権の動的な配信や、周辺の無線 LAN 情報を自動的に収集し通信網の切り替えに利用する方式の検討、携帯電話網を用いた提案方式の実装、複数のユースネットワークを同時利用する方式の検討などが考えられる。

第6章 結論

6.1 本研究の成果

本研究は、位置情報を活用することで、その時その場で個人にとって適切な情報を提示可能なシステムの実現を目指した方式開発を行った。まず、欲しい所で、欲しい時に、欲しい情報を自動的に提供する情報提示システムを提案した。提案システムを実現するには、情報提示処理に適した形式での効果的な位置情報の保存、情報の収集と提示に必要な通信網の提供などの課題があった。そこで、この課題に対する解決策として、位置情報の効率的な保存方式、高速逆ジオコーディング方式、通信サービス制御方式を提案した。これらの研究で得られた成果は以下の通りである。

(1) 行動履歴に基づく予測型情報提示システム

従来の情報システムの利用において、情報の取得には利用者の主体的な入力が必要であった。本研究では、利用者が現在いる位置と過去の行動履歴を利用し、その時、その場所で、その人だけが必要と思われる情報を入力の手間無しに提示する、携帯電話向けの予測型情報提示システムを提案した。提案システムのプロトタイプを、5種類のサーバコンポーネントとクライアントを Java 及び C # により実装し、システムの開発における課題の整理、サーバ構成方式の検討、位置情報の収集と効率的な行動履歴の保存方式の検討、サーバ分散時のレスポンスタイムへの影響の検証を行った。

特に、位置情報の収集と効率的な行動履歴の保存方式について深く検討し、多人数の行動履歴からその地域で意味のある特徴点を抽出し、その特徴点を個人の行動履歴の保存に利用する方式を開発した。提案方式は、膨大な位置情報の中から情報提示に利用される可能性の低いものを排除することでサーバに保存すべき情報量を大幅に減らし、人間が特徴的な行動を取る位置を抽出した形で保存する。人間が特徴的な行動を取る位置とは、交差点や店舗の前など移動の方向が変わる地点である。

提案方式の効果は評価対象地域にも依存するが、東小金井駅周辺で学生被験者により実験を行った場合には、有効性があることが確認できた。評価実験では、約 2.8MB の行動履歴が収集され、提案方式により保存すると約 6.2KB となり、データ量の削減効果が確認できた。また、抽出した人間が特徴的な行動を取る位置の経緯度の点のみをつないで構成した直線と、すべての入力された位置情報の経緯度の点をつないで構成した直線

の距離を、提案方式の適用による誤差として測定した。この評価においては、提案方式の適用による誤差は約 5 メートルであった。この結果、保存した位置情報と実際の測位位置との差は、GPS 本体の持つ測位誤差 10 メートルを加えても、人間が歩いた道を判断可能な範囲である 20 メートル以下にできることが確認できた。以上のことから提案方式では、行動履歴の特徴を維持したまま、効果的なデータ量の削減ができることが明らかとなった。

この行動履歴の保存方式を用いて、提案した情報提示システムのプロトタイプを作成し、実験を行った。これにより、事前のユーザ登録のみで、情報提供を受ける時には利用者は入力作業を行う必要のない情報提示システムの可能性を示唆した。

(2) 位置情報応用システムのための高速逆ジオコーディング方式

本研究で提案する位置情報応用システムにおいては、数値情報である経緯度と、地名、店舗名、業種などの属性情報を関連付け、相互に参照可能にする必要がある。そこで、地名やランドマーク名などのエリア名ごとに色で塗り分けた画像を用いて、経緯度から地点名称への変換を高精度で高速に行う新しい逆ジオコーディング方式を提案した。

従来は、複数の基準点からの距離比較により変換していたため、基準点の数に比例した処理が必要であったが、提案方式では、塗り分け画像を用いることで経緯度から座標値への変換処理のみで逆ジオコーディングを実現した。この結果、変換対象の数によらず、一定時間で処理できるようになり、従来方式より処理を高速化できた。さらに、点との距離比較によりエリア名を決定する従来方式は、地形の形状を意識していないため、誤ったエリア名への変換（誤変換）が起こる可能性がある。提案方式は面の形状を考慮した変換を行なっているため、誤変換が起こる可能性が点との距離比較を用いた方式に比べ低い。

一例として、全国の市区町村区分を用いた評価実験を行い、提案方式の効果を検証した。埼玉県の市区町村区分による評価実験では、約 70 倍高速化できることを確認した。また、全国レベルと県内レベルによる 2 段階の階層化検索を行った場合でも、提案方式は登録された地域の個数によらず、一定の時間で経緯度を地域名へ変換できることが確認できた。さらに、埼玉県の市区町村区分を用いてランダムに発生させた 10,000 地点を変換した場合の誤変換の量は、従来方式を用いた場合 420、提案方式では 21 となった。誤変換の量は変換対象の形状によるが、提案方式を用いることで低減できることが確認できた。一方、提案方式は多量のデータを扱う場合にはメモリ使用量による制限がある事も分かった。

評価実験の結果から、提案方式は属性情報の中で重要度が高い、地名、ランドマーク名など場所を表す名称への変換に高い効果を発揮し、スケーラビリティの高い位置情報応用システムの実現に貢献する技術であることが分かった。

(3) 異種通信網を連携させるための通信サービス制御方式

本研究で提案した情報提示システムは、主に外出時、特に屋外において利用することを想定している。また、提案システムは、インターネットを通してサービス提供サーバへ定期的に利用者の位置情報を送信し、提示する情報を取得する。このため、提案システムの利用には屋外におけるインターネット接続が必須である。ここで、提案システムのデータ

転送に適した通信網について考える。位置情報の送信には、広域において利用でき、安全性の高い通信網が必要である。一方、情報の取得には高速通信能力を持った通信網が必要である。しかし、既存の無線通信網は、電話や Web 閲覧といった特定のアプリケーションに特化して作られており、上記の 2 つの条件を同時に満たした通信網とは限らない。

そこで、システムがアプリケーションの要求する通信性能を備えた通信網を、その場で利用可能な通信網の選択や必要に応じた併用により、自動的に実現する通信サービス制御方式を提案した。自動的な通信網の選択や必要に応じた併用を行うために、ベース/ユースネットワークモデルを提案し、複数の通信網をモデル化を行った。

本方式の実装として、テキスト、音声、静止画、動画の 4 種類のメディアを同時に利用し、コミュニケーションを支援するプロトタイプシステムを試作し動作確認を行った。プロトタイプシステムを用いて、通信遅延とデータ転送スループットを測定し、データの特性に合わせて通信網を変更することで、高画質な動画や静止画を低遅延で転送できることを確認した。また、その場で利用可能な最も高速な通信網へ、接続を自動的に切り替え、データ転送スループットを向上させる動作を確認できた。以上の動作確認を通し、提案方式の実現可能性を示した。

6.2 今後の課題

今後の課題としては次のことが挙げられる。

(1) 適用範囲の拡大に対する提案方式の有効性の検証

本論文で提案した情報提示システムは、多人数、広範囲での利用を想定したサーバの分散配置を行っている、しかし、評価実験における実験エリアは狭く、登録されているオブジェクト数も限定的であった。実際の利用時においては、データの規模は数十倍、数百倍になると想定される。このような大規模なデータに対し、本方式のデータ保存方式などを適用し評価すると共に、有効性について更なる検証が必要である。

(2) 利用人数の増加に対する処理分散方式の検討

利用人数に関しても、評価実験においては数人分での検証であった。このため、サーバの多重化も、各機能に対し 1 台までの割り当てであり、多重化度も低かった。本方式においては、高速逆ジオコーディング方式などを搭載し、1 リクエストあたりの処理負荷を軽減させたため、各処理に関しては既存方式に比べ優位性があると考えられる。しかし、規模の拡大に対しては、分散化したサーバシステム内のトラフィック制御や、リクエストの効率的な分散方式なども必要となるため、処理の分散方式に関する更なる検討が必要である。一例として、サーバシステムに入力されるリクエストを、リクエストが発生した地点やリクエスト先の位置情報を用いて分散させる方式が考えられる。サーバ側の設定としては、保存時に必要な地域別の特徴点のデータベースや、逆ジオコーディングの画像などを位置情報に基づいて分割し、対応したサーバにそれぞれ分散配置する。そして、利用

者からのリクエストを、利用者が現在いる位置に基づいて対象となるサーバへ転送する。これにより、保存や状況の認識に必要なデータを、同一もしくは近傍のサーバに配置することが可能となり、処理の効率化を実現できる。分散方式を考える上で、利用者の人口密度に合わせて、担当領域を変更する方式も検討する必要がある。

(3) メモリ使用量を削減するデータ保存方式の検討

この課題は「位置情報応用システムのための高速逆ジオコーディング方式」に関わるものである。提案方式は、画像により地図情報を保持する。この際対象となる面の形は様々である。評価実験に用いた地形においても、離島が多く含まれる地域と、内陸地では作られる画像の大きさが同じであっても、変換に有効な点の数には大きな違いがある。面同士が離れ、隙間が多く生じるような面の集合の変換では、画像上に有効に変換できない点が多く存在する。このような画像の画素値を、全てメモリ上に形状に合わせて配置すると、変換対象ではない部分が多く発生し、最適な配置方法とは言いがたい。この場合、多少配置上の構造が複雑になっても、二次元のつながりリスト構造など、空データを考慮したデータ構造を用いてメモリ上に展開することで、無駄なメモリ使用量を減少させる効果があると考えられる。ただし、計算機の記憶領域は、半導体分野の技術進化を受け、日々増加しているため、将来的には、実装における多少のメモリの無駄を気にする必要が無い可能性も考えられる。

(4) 周辺通信網の特性・性能情報を管理する方式の検討

この課題は「異種通信網を連携させるための通信サービス制御方式」に対するものである。提案方式の実装において、周辺にある通信網の検索は、受信した電波強度に基づいて RSSI 値を利用することで行っている。また、通信網の性能は、端末内に事前に設定したアクセスポイントの ID と性能の対応表を利用し、RSSI 値と同時にアクセスポイント ID を取得することで判断した。この結果、切り替えが可能な通信網は、事前に端末に登録されたものに限定される。提案方式を、広範囲で使うには、存在する通信網全ての情報を端末内に保存しておくことが必要となり現実的ではない。このため、動的にその場で使える通信網の特性を取得する方式が必要がある。この一例として、ベースネットワーク側で各地点に存在する通信網の一覧を集中的に管理する方式が考えられる。本方式においてベースネットワークは、広域で利用可能であり、何処からでも安定した通信が可能である。そこで、各地域ごとに存在する通信網に関する特性や ID 情報を提供するシステムをベースネットワーク上に配置し、端末が大まかな地域の移動にあわせてこのシステムから情報を取得し、通信に適した通信網を選択するなどの方法が考えられる。

(5) 他の技術との適合性の検証

プロトタイプシステムにおける情報の予測方式や、Web ページを用いた提示方式などは位置情報の保存方式や逆ジオコーディング方式に合わせて開発したため、適合性に問題は生じなかった。しかし、行動の予測方式やユーザインタフェースは、現在も様々な方式の開発が進んでおり、本論文で提案した保存方式などが、これらの予測方式すべてにおいて有効とは限らない。例えば、利用者が現在いる位置と事前に入力したスケジュールから次の行動を予測する方式と、提案方式である位置情報の保存方式を組み合わせた場

合、経緯度のデータを保存する必要がないため、この予測方式にとっては提案した保存形式は冗長となる。このように、提案した位置情報の保存方式はどんな予測方式に対して有効であり、逆に利用できない予測方式にはどう改良することで適用できるのかといった、他の技術との適合性を考える必要がある。

(6) 情報の予測技術の検討

情報の予測を行う上での最大の課題は、目的の一般化が困難な点である。このため、実用化されているシステムでは、予測対象を限定した実装が行われている。今後の情報提示システムでは、多種の予測方式を搭載し、利用者が何をしたいかを自ら選択することで、最適な予測方式が自動的に選択されるようになる。あるいは、システムが「利用者が何をしたいか」を予測した後に、個々の予測方式を適用するような、二段階型の予測方式も今後開発されていくのではないかと予想される。

6.3 本研究から得られた知見

本研究から得られた知見として、自動的な情報提示に対する位置情報を用いたアプローチと、現状の移動端末を対象とした位置情報応用システムにおける消費電力量、機器の性能差による測位結果の異なりへの対応について論じる。

(1) 自動的な情報提示に対する位置情報を用いたアプローチ

提案システムは、移動端末において手間のかかる情報の入力を無くすために、位置情報を用いるアプローチで開発した。利用者の所持している移動端末から定常的にサーバに送信される位置情報を保存、学習するシステムの開発により、利用者が欲しい情報を取得する際の入力を無くせる可能性を示唆した。開発したシステムは学習を行っているので、その人に合わせた提示情報のパーソナライズ化を行うことができる。また、利用者が定常的な行動を行う際には目的地を判断し、この地点に関連付けられた情報の自動的な提示を可能としている。

提案システムの利用により最も恩恵を受ける利用者は、サラリーマンや学生など、一定のリズムで毎日の行動を送っている生活スタイルの人々である。しかし、不規則な生活リズムの人々が提案システムを利用する場合は十分な学習を行えないため情報のパーソナライズ化が難しい。これらの人々に対し、システムはその地域の利用者の行動による集合知を用いて、一般的な情報を入力なしに提示することしかできない。言い換えると、移動先が定常的ではない行動や、初めて訪れる場所で利用する人々に対し、システムは理想とした最大限の効果である、個人に特化した情報提示を行うことができない。

これは、利用者の行動を推測するために位置情報のみを用いたことによる制約であると思われる。位置情報の変化を情報提示のトリガとしているため、利用者が移動を開始しなければ行動の検知が行えず、情報の提示を行うことができない。また、人間の行動は個人差が大きいいため学習が必要不可欠であり、一度のみの位置情報の利用では人間の行

動把握を十分に行うことが難しい。

したがって、利用スタイルに合わせたアプローチの選択や併用が今後重要になってくると思われる。例えば、行動把握を位置情報だけに依存せず、スケジュール情報やどのような人と行動しているかなどを用いて、通勤時、旅行時、仕事などを識別し、必要とする情報の判断に利用するなどの応用が考えられる。利用スタイルを考慮した地域情報の自動的なインデクシングにより、利用者の定常的な行動以外でも、より適した情報の提示が可能になると思われる。このような、それぞれの利用スタイルに適したアプローチを検討し、またこれらを組み合わせる方式の検討が、より利用者の行動に合わせた自動的な情報提示には必要になると考えられる。

(2) 移動端末における消費電力量

携帯電話で広く使われている電源は充電式の二次電池であるため、屋外等での利用ではバッテリー残量に留意し、利用しない際には出来る限り消費電力を少なくすることが求められている。しかし、継続的な位置情報の収集や自動的な情報の受信を行うシステムは、休止することなく動作し電力を消費し続けるため、電力面の負担が大きい。単純に自身の位置情報をサーバに送るだけの動作であっても、測位機器の稼働電力、GPSなど端末での計算が必要な場合は演算のための消費電力、さらに常時通信を行うための通信電力が常時必要である。加えて、閲覧時には情報の受け取りや表示などの電力を消費する。消費電力の問題が解決されなければ、いつでも個人の状況を認識し、対応するシステムの実現は困難であると考えられる。携帯電話に多様な機器が搭載されたことから、これらの消費電力を補うべく電池に対する技術開発も進んでいる。しかし、デバイスを常時使うことを想定しているわけではないため、測位と通信を常時行うためには端末側における改良が必要である。例えば、測位が必要な時だけデバイスを動かし、最低限の通信量で位置の送信を行う方法が考えられる。これは、携帯電話の間欠待ち受けのように、特定のタイミングだけ測位や通信を行う方式である。位置情報の送信は、携帯電話の待ち受けとは異なり時間分割による効果は少なく、位置が変化したときに送信する方式のほうが効果が高いと考えられる。そこで、端末に搭載された測位用途以外のセンサを利用して移動を検知し、それに合わせて即座に測位を行うことが有効である。この際には、本研究により明らかとなった、行動が大きく変化する点のみをサーバへと送信すれば行動の保存が実現できる特徴を活かし、測位結果に応じて通信を行うかを検討する方式が有効であると考えられる。

(3) 機器の性能差による測位結果の異なりへの対応

システムの実現においては測位機器の性能差による測位結果の違いも考慮が必要である。例えばGPSの測位において、同じ衛星から同じ強度の電波を受信したとしても、ハードウェアの違いによって、出力される結果は微妙に異なる。特にマルチパスなど、周囲の環境の影響で測位誤差が大きくなりやすい都市部ではこの差が大きく、あるハードウェアでは正常に測位できるが、もう一方では誤差が大きく正常な測位が行えないといったこともある。しかも、単一のGPS機器を用いた測位における測位誤差は、利用者が自身の位置と測位結果の違いを地図などで確認して初めて計算できるため、GPS機器単体

で判断することは困難である。測位誤差の軽減にも、測位用途以外のセンサ間の連携は効果が発揮できると考えられる。例えば加速度センサや照度センサなどの値を利用することで、誤差の発生を検知可能になると考えられる。さらに、周囲の端末と位置情報の交換を行えば、位置の補正も可能になると考えられる。以上のように、センサの技術向上だけでなく、端末内部でのセンサ間連携や端末間の連携が、今後の位置情報応用システムを発展させていくと推測される。

6.4 本研究の将来性

本研究の成果が、今後の位置情報応用システムの発展にどう貢献できるかについて、個々の技術の視点と、システム全体としての視点から考察する。

(1) 位置情報履歴の保存方式

本研究で行った(1)行動履歴に基づく予測型情報提示システムの成果である、「位置情報履歴の保存」方式は位置情報応用システムの基盤となる技術であり、様々な応用が考えられる。例えば「位置情報履歴の保存」方式を用いた応用例として、汎用的に利用可能な行動履歴データベースの構築が考えられる。位置情報応用システムの高度化と共に、利用者が現在いる位置の情報のみを用いた処理ではなく、本システムのような利用者の過去の行動に着目したサービスの開発が始まっている。このようなシステムにおいては、情報の学習、推薦の精度は利用者がシステムを利用している期間に依存することが予想される。各システムが個別に個人の行動履歴を保存しては、新たなサービスを利用する度に、過去の行動履歴がクリアされ、システムの学習までに再び長期間の利用が必要になる。そこで、多数のサービスが共通に利用可能な、行動履歴の蓄積データベースを構成することで、新たなサービスを利用する場合にも、過去の情報をそのまま利用可能にすることが可能になる。提案した位置情報保存方式は、多人数の行動から地域の特性を抽出し、個人の履歴保存に利用するため、利用者数が多いほど、本来の行動履歴と保存時の行動履歴の誤差が軽減し、全保存領域に対する、個人あたりの保存容量が小さくなる。したがって、多数の位置情報システムで共通して利用する基盤となるようなシステムへの適用に有利な方式であるといえる。

利用者の位置情報を記録する技術は、インターネット上の情報に位置情報を付与する技術としても応用することが可能である。現在のインターネット上の情報は、散逸的で、Web ページ同士のリンクによって繋がってはいるものの、現実世界との関係が薄い。これらの情報に対し、利用者が閲覧時に居た位置を付与していくことで、現実の位置を持つ飲食店や、ランドマークなどに特定の位置を付与することが可能になる。このように、情報が記述されたページに対して位置情報を付与することで、ページ同士の関係を距離で表現することが可能になり、観光スポットの検索などの用途では、ページ間の関連性を容易に利用できるシステムが実現できると考えられる。

位置情報の変化を行動履歴として保存し、統計的に利用することは、実用的な用途だけではなくエンターテインメント的なアプリケーションにも利用可能である。健康管理のために徒歩での移動量を抽出したり、現実の位置を利用するネットワークゲームを構成するなど様々な利用が考えられる。

(2) 高速逆ジオコーディング方式

(2) 位置情報応用システムのための高速逆ジオコーディング方式の成果である、「高速逆ジオコーディング方式」は、情報を位置情報に関連付けて保存・利用するシステムの構築において、汎用的に利用可能な技術であるといえる。本方式の優位性は、地名の変換だけではなく、地理的に存在する特定の面に対応付けられた情報の検索であれば、幅広い分野での利用が可能である。

「高速逆ジオコーディング方式」の応用例として、分散コンピューティングへの利用が考えられる。固定端末において利用する情報においても、不動産情報や、店舗検索、さらには地域別のマーケティング情報など、現実の位置に関連付けられた情報は多い。さらには、個人の撮った写真の web を用いた管理システムや、twitter などのリアルタイム Web サービスにも位置情報の関連付けが始まっている。このように、今後位置情報を付与した大量の情報を管理するシステムが登場することが予想される。このような大量の情報を扱うシステムにおいては、情報へのアクセス集中を避けるための分散処理が必要である。特に、現実の位置に関連付けた情報を保持するためには、情報の管理も現実の位置に基づいて行うことが効率的であるといえる。現実の位置に基づいて収集した情報は都市部などに集中しやすい特性をもっているため、各計算機の担当する範囲は異なり、担当範囲を面で保持することが有効である。この際に、本方式を利用すれば位置情報に基づき、処理を担当する計算機を高速に検索することが可能になるため、システムの応答性などを向上することが可能になると考えられる。

また、「高速逆ジオコーディング方式」は、周辺の機器や通信サービスの検索にも効果が期待できる。無線通信を備えた端末の利用においては、自身の周りにあるプリンタやディスプレイなどの機器を自動的に検索し、利用者が意識することなく最寄のものを選択するシステムの実現が検討されている。このような周辺機器の選択は、面として保持された機器の対応範囲に対し、利用者が現在いる位置を用いて検索を行うものであり、本方式を適用することが可能である。これと同様に、通信サービス制御方式で考えたような、複数網の同時利用時には、ある通信網を利用することによって、もう一方の利用可能な通信網を検索するといった処理も可能である。例えば、携帯電話網を利用して、周辺で利用可能な無線 LAN アクセスポイントを検索し、その認証情報を取得するといった利用方法が考えられる。

(3) 通信サービス制御方式

本研究で考案した (3) 異種通信網を連携させるための通信サービス制御方式は、アプリケーションが必要とする特性を持つ通信網を自由に設計することを可能にした。本成果は、自由度の高いアプリケーションやサービスの開発に対する貢献が期待できる。今までのアプリケーション開発では、利用する通信網の特性を常に考える必要があり、網の

制限のために実現できる機能に限界が生じていた。しかし、本研究により通信網の特性を意識することなく、必要な機能を複数の通信網から適宜利用することが可能となった。このため、今までに無いアプリケーションやサービスを創出する基盤として、本研究の成果を利用することが可能になると予想される。

本研究の将来像として「無意識的な利用者認証の実現」、「バックボーンネットワークの多様化への適用」、「ミドルウェア化」などが考えられる。

- 無意識的な利用者認証

「無意識的な利用者認証」とは、個人認証時に必要な ID やパスワードなどの入力処理を不要にし、通信網の機能を利用して自動的に認証を行う応用である。現在のインターネットは、通信網のみでの個人認証は設計上困難であり、認証には第三者機関を用いるか、ID、パスワードが必要になることが多い。しかし、多数のサービスを利用する利用者にとって、個別の ID をパスワード設定し、記憶することは困難であり、これらに同一のものを利用する安全面での懸念もある。しかし、本方式ではベースネットワークとして、携帯電話網などの安全性、安定性を考慮して設計された通信網を利用可能であり、ベースネットワークに接続している時点で、個人の認証が完了しているとみなして、通信を実現することが可能になる。

- バックボーンネットワークの多様化への適用

「バックボーンネットワークの多様化への適用」とは、今後登場するであろう新世代ネットワークなどの、新たなバックボーンネットワークの登場に対し、本方式を利用することで、既存通信網と新たな通信網の特性を合わせて利用することを可能にする。現在、欧州、米国、日本など各国で新世代ネットワークの議論が進んでいる。これらの新世代ネットワークは、インターネットを完全に置き換えるものではなく、並存したまま、必要に応じて使い分けることが一般的になると考えられる。このように、通信網の多様化は、今後も無線通信網だけにとどまらず続いていくと考えられる。アプリケーションの必要性に合致する通信網を、利用可能な通信網の特徴を組み合わせて実現する方式は、通信網の種類が増えれば増えるほど、真に利用したい通信環境を実現できる可能性が高くなり、効果的なアプローチであると考えられる。

- ミドルウェア化

「ミドルウェア化」は、個別のアプリケーションに対し、個々の通信網の違いをある程度吸収することで、細かな通信網の違いを意識する必要を無くす方式である。今回の実装においては、アプリケーションは通信内容に合わせて事前に設定した通信網を利用していた。また、ユースネットワークのみを、その場で使える通信網の中から選択して切り替えていた。しかし、将来的には OS とアプリケーションの間で動作するミドルウェアが、通信網の持つ特性を把握し、その切り替えを自動的に判断するほうが、アプリケーションにとっては都合が良い。こうすることで、アプリケーション自身は利用する通信網をベースネットワークまたはユースネットワークから選択するだけで良く、新たな種類の通信網が登場したとしても、アプリケーションを改良することなく利用することが可能になると考えられる。

(4) 位置情報応用システムの発展への貢献

最後に、本研究が今後の位置情報応用システムの発展に、どのように貢献できるかについて述べる。現在、多くの位置情報応用システムが提案され、サービスが始まりつつある。位置情報応用システムは年々その数を増しているが、広範囲で利用可能なシステムは利用端末、利用範囲、用途等に対して制限をかけることで実現されている。この大半は、現在の位置と、自ら入力した嗜好情報を用いて、情報を提示するものであり、利用者の今後の行動を予測し情報を提示するシステムは、未だ実験的・研究的なものに留まっている。これは、個々の利用者が移動端末を持ち歩きながら、リアルタイムに位置情報を収集し、それを保存して活用するための基盤技術が完成していなかったことが原因と考えられる。

本研究が提案した収集した位置情報の適切な保存と利用方法は、人間の行動分析や、実空間のモデル化、これらに基づく予測方式の開発時に有用である。これらの応用技術の開発なしに、行動履歴を活用した位置情報応用システムは実現できない。位置情報を広域で収集するデバイスが存在しないという問題は、測位機能を搭載した携帯電話の普及により解決されつつある。この結果、本論文が提案した技術の有効範囲はますます増加していくと考えられ、位置情報システムの発展への貢献が見込まれる。

謝辞

本研究は、多くの方々の多大なご指導、ご協力のもとに行われ、その方々の助力がなければ本研究は成立しませんでした。ここに心から深く感謝の意を表します。

東京農工大学大学院 共生科学技術研究院 寺田松昭教授には、研究活動を通して的確なアドバイスを頂くと共に、本論文をまとめるにあたり熱心な御指導と御鞭撻を賜りました。また、研究室での生活を通して、今後の研究生活や人生を考える上で必要な様々な助言を頂きました。先生の御指導なくしては、この研究は成立しませんでした。心よりお礼申し上げます。

東京農工大学大学院 共生科学技術研究院 川島幸之助教授、藤田欣也教授、並木美太郎教授、中條拓伯准教授には、本論文をまとめるにあたり適切にご指導を頂きました。心から深く感謝致します。

(株) 日立製作所 システム開発研究所 主管研究員 松井進博士、佐藤弘起氏には、本研究についての助言を頂くなど多大なる助力を頂きました。心から深く感謝の意を表します。

東京農工大学大学院 共生科学技術研究院 大島浩太助教には、研究に関するご指導だけでなく、論文執筆にあたり数々の助力を賜りました。また、研究室における充実した研究活動を公私共に支えていただきました。心から深く感謝の意を表します。

研究室の後輩である志賀信三氏には、「異種通信網を連携させるための通信サービス制御方式」において、システム開発や、実験などにおいて協力していただきました。氏の助力なくしてこれらの研究は成立しませんでした。心から深く感謝の意を表します。

研究室の先輩であります安藤公彦博士には、本研究に対し、多くの助言を頂き、研究活動において公私共ににお世話になりました。心から深く感謝の意を表します。

人間文化研究機構 国立国語研究所 高田智和准教授には、異分野の観点から研究に対する建設的なご意見をいただいただけでなく、博士課程を通じた研究生活に対する多くのアドバイスを頂きました。心から深く感謝の意を表します。

寺田研究室に在籍した間に、同時に在籍していた全ての学生には、研究室でのゼミや中間発表の場での活発な討論を通し、有益な意見を頂きました。心から深く感謝の意を表します。

寺田研究室秘書の瀬川晶子さんには、研究に必要な備品の購入や学会発表の出張手続きなど、研究生活を支える事務処理面で多大な協力を頂きました。心から深く感謝の意を表します。

最後に、博士後期課程に進学することができたのは、両親の積極的な理解と、心強い支えがあったからです。心から深く感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 総務省：平成 21 年版 情報通信白書，ぎょうせい (2009).
- [2] 野村総合研究所技術調査部：IT ロードマップ 情報通信技術は 5 年後こう変わる！ 2009 年版，東洋経済新報社 (2009).
- [3] アップルジャパン株式会社：iPhone，<http://www.apple.com/jp/support/iphone/>.
- [4] Research In Motion：BlackBerry，<http://www.blackberry.com/>.
- [5] 緊急通報機能等高度化委員会：「携帯電話からの緊急通報における発信者位置情報通知機能に係る技術的条件」についての報告書案に対する意見の募集，http://www.soumu.go.jp/s-news/2004/040517_3.html.
- [6] Google Inc.：google maps，<http://www.google.com/maps>.
- [7] 株式会社オネスティ：イマダケ，<http://imadake.jp/>.
- [8] B. Schilit，N. Adams，Roy Want：Context-Aware Computing Applications，*Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*，IEEE (1994).
- [9] Seng Loke：Context-Aware Pervasive Systems: Architectures for a New Breed of Applications，Auerbach Publications (2006).
- [10] G. Chen，D. Kotz：A Survey of Context-Aware Mobile Computing Research，*Dartmouth College Technical Report*，No. TR2000-381 (2000).
- [11] 山田辰美，服部正嗣，平松薫，柳沢豊，丘留剛：実世界指向コンテキストウェアサービスの入力に着目した比較，電子情報通信学会論文誌 D，Vol. J90-D，No. 3，pp. 820–836 (2007).
- [12] B. Ruyter，E. Aarts：Ambient intelligence: visualizing the future，*Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces*，pp. 203–208 (2004).
- [13] Mark Weiser：The Computer for the 21st Century，*Scientific American*，Vol. 265，No. 3，pp. 94–104 (1991).
- [14] 野村総合研究所技術調査室：野村総合研究所：2010 年の IT ロードマップ，東洋経済新報社 (2005).
- [15] International Telecommunication Union：The international public telecommunication numbering plan，<http://www.itu.int/rec/T-REC-E.164/en>.
- [16] 海上保安庁：海上保安庁 GPS 配備状況，<http://www.kaiho.mlit.go.jp/syoukai/soshiki/toudai/dgps/haibi.htm>.

- [17] 安田明生：GPS の現状と展望，電子情報通信学会学会誌，Vol. 82，No. 12，pp. 1207–1215 (1999).
- [18] 佐田達典：GPS 測量技術，オーム社 (2003).
- [19] Radio Technical Commission for Maritime Services：Special Committee (SC) 104 on Differential Global Navigation Satellite Systems，<http://www.rtcn.org/>.
- [20] 宇宙航空研究開発機構：準天頂衛星システムユーザインタフェース仕様書 (IS-QZSS) 1.1 制定版 付録 地上補完信号，pp.A1–A9 (2009).
- [21] 川口貴正，海老沼拓史，下垣豊，小暮聡，江端智一，川口敦生：シームレス GPS 測位技術確立への取り組み，日立評論，Vol. 90，No. 12，pp. 48–53 (2008).
- [22] 高精度衛星測位システムに関する調査研究会：高精度 GPS の展望，日刊工業新聞社 (1995).
- [23] ユビキタス：子どもの防犯・高齢者徘徊・位置検索「どこ・イルカ」，<http://www.dokoiruka.jp/>.
- [24] 社団法人電気通信事業者協会：携帯電話・PHS・無線呼出し 事業者別契約数 (2008).
- [25] 山崎良太，荻野敦，玉木剛，雅樂隆基，松沢直人，加藤猛：無線 LAN 位置検出システム「AirLocation」におけるアクセスポイントの開発，電子情報通信学会 2004 年総合大会，B-5-140 (2004).
- [26] 富士通ネットワークソリューションズ：無線 LAN 位置情報管理「P-Getter WE」，<http://jp.fujitsu.com/group/fnets/services/networkappli/p-get-we.html>.
- [27] P. Bahl，V. N. Padmanabhan：RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system，*INFOCOM 2000*，775–784 (2000).
- [28] ekahau Inc：Ekahau Positioning Engine，<http://www.ekahau.com/>.
- [29] A. M. Ladd，K. E. Bekris，A. Rudys，G. Marceau，L. E. Kavradi，D. S. Wallach：Robotics-Based Location Sensing using Wireless Ethernet，*The Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*，227–238 (2002).
- [30] パナソニック株式会社：「子ども見守りシステム」実証実験の結果について，<http://panasonic.co.jp/pss/rd/usn/>.
- [31] S. Hsi，H. Fait：RFID enhances visitors' museum experience at the Exploratorium，*Communications of the ACM*，Vol. 48，No. 9，pp. 60–65 (2004).
- [32] K. Min，S. Lee，K. Kim，J. H. Kim：Place Recognition Using Multiple Wearable Cameras，Springer Berlin / Heidelberg LNCS 4836: Ubiquitous Computing Systems，pp. 266–273 (2007).
- [33] 三津橋晃丈，藤山健一郎，喜田弘司，中村暢達：次世代プローブ情報システム (1) ~ スケーラブルなプローブ情報の収集・配信アーキテクチャの提案 ~，マルチメディア，分散，協調とモバイルシンポジウム *DICOMO2007*，pp. 96–103 (2007).
- [34] 喜田弘司，藤山健一郎，三津橋晃丈，中村暢達：次世代プローブ情報システム (2) ~ 大規模高速マップマッチングアルゴリズムの提案 ~，マルチメディア，分散，協調とモバイルシンポジウム *DICOMO2007*，pp. 104–109 (2007).
- [35] NTT Communications：ホットスポット，<http://www.hotspot.ne.jp/>.

- [36] FREESPOT 協議会：FREESPOT，<http://www.freespot.com/>.
- [37] livedoor：livedoor Wireless，<http://wireless.livedoor.com/>.
- [38] 暦本純一，塩野崎敦，末吉隆彦，味八木崇：PlaceEngine: 実世界集合知に基づく WiFi 位置情報基盤，インターネットコンファレンス 2006 (2006).
- [39] 内山彰，藤井彩恵，梅津高朗，山口 弘純，東野 輝夫：アドホック無線通信を用いた位置推定プラットフォームの設計と性能評価，マルチメディア，分散，協調とモバイルシンポジウム *DICOMO2007*，pp. 303–311 (2007).
- [40] 井上文暁，張勇兵：無線 LAN および RFID を統合した位置検知システム，マルチメディア，分散，協調とモバイルシンポジウム *DICOMO2007*，pp. 287–292 (2007).
- [41] 藤井彩恵，内山彰，梅津高朗，山口 弘純，東野 輝夫：無線端末の遭遇履歴情報を用いた位置トレース推定手法の提案，マルチメディア，分散，協調とモバイルシンポジウム *DICOMO2007*，pp. 312–321 (2007).
- [42] 小西勇介，柴崎亮介：自律方式による歩行者用ポジショニングシステムの開発，全国測量技術大会 学生フォーラム (2001).
- [43] 中村和郎，寄藤昂，村山祐司：地理情報システムを学ぶ，古今書院 (1998).
- [44] 中井精一：社会言語学の調査と研究の技法 フィールドワークとデータ整理の基本 ，おうふう (2005).
- [45] サイバーマップジャパン：地図情報検索サイトマピオン，<http://www.mapion.co.jp/>.
- [46] インクリメントピー株式会社：MapFan，<http://www.mapfan.com/>.
- [47] ゼンリン：いつもガイド，<http://www.its-mo.com/>.
- [48] 昭文社：ちず丸，<http://www.chizumaru.com/index.aspx>.
- [49] 谷謙二：地理情報分析支援システム MANDARA，<http://ktgis.net/mandara/>.
- [50] 電子国土事務局：電子国土ポータル，<http://cyberjapan.jp/>.
- [51] Yahoo Japan：ワイワイマップ，<http://waiwai.map.yahoo.co.jp/>.
- [52] 三重県地域振興部電子業務推進室：通学路におけるヒヤリマップ作成，<http://www.miegis.com/>.
- [53] 後藤真太郎：電子国土が作る空間情報社会，<http://www.gis.jacic.or.jp/>.
- [54] 浅野俊幸，天見正和，佐土原聡：地方自治体における災害対応管理 WebGIS システムの構築とその有効性の検討，マルチメディア，分散，協調とモバイルシンポジウム *DICOMO2007*，pp. 997–1002 (2007).
- [55] 福嶋秩子：SEAL，<http://www.nicol.ac.jp/fukusima/inet/>.
- [56] GRASS Development Team：GRASS，<http://wgrass.media.osaka-cu.ac.jp/grassh/>.
- [57] D A N杉本：カシミール 3D，<http://www.kashmir3d.com/index.html>.
- [58] 昭文社：MappleX，<http://www.mapple.co.jp/corporate/product/20.html>.
- [59] 昭文社：Mapple Online，<http://m-online.mapple.net/leisure/>.
- [60] Sony Style Japan：PetaMap，<http://petamap.jp/>
- [61] 新居宏壬，鷺野翔一：ナビゲーションシステム，山海堂 (2001).
- [62] 財団法人道路交通情報通信システムセンター：Vehicle Information and Communication

- System , <http://www.vics.or.jp/>.
- [63] 寺田努, 宮前雅一, 岸野泰恵, 中川隆志, 山口喜久, 西尾章次郎: 目的地予想型カーナビゲーションシステムの実現, 電子情報通信学会 2006 年総合大会, A-17-19, (2006).
 - [64] 宮前雅一, 岸野泰恵, 寺田努, 中川隆志, 山口喜久, 西尾章次郎: 目的地予想型カーナビゲーションシステムにおける目的地推定法, 電子情報通信学会 2006 年総合大会, A-17-20 (2006).
 - [65] NAVITIME JAPAN : ナビタイム, <http://www.navitime.co.jp/>.
 - [66] ワムネットサービス : 海山ざんまい, <http://www.wham.jp/function.html>.
 - [67] J. Krumm ,E.Horvitz: Predestination: Where Do You Want to Go Today? , *IEEE Computer Magazine* , Vol. 40 , No. 4 , pp. 105–107 (2007).
 - [68] Roy Want , Andy Hopper , Veronica Falcao , Jonathan Gibbons : The Active Badge location system , *ACM Transactions on Information Systems* , Vol. 10 , No. 1 , pp. 91–102 (1992).
 - [69] 大瀧保明, 胡丹, 猪岡光, 鈴木明宏: 携帯型装置による人間の移動行動の推定, 計測自動制御学会東北支部第 222 回研究集会, 資料番号 222-10 (2005).
 - [70] J. Suutala , S. Pirttikangas , J. Roning : Discriminative Temporal Smoothing for Activity Recognition from Wearable Sensors , Springer Berlin / Heidelberg LNCS 4836: Ubiquitous Computing Systems , pp. 181–195 (2007).
 - [71] J. S. Lee , J. C. Lee : Context awareness by Case-Based Reasoning in a Misoc Recommendation System , Springer Berlin / Heidelberg LNCS 4836: Ubiquitous Computing Systems , pp. 45–58 (2007).
 - [72] J. Burrell , G. K. Gay , K. Kubo , N. Farina : Context-Aware Computing: A Test Case , *International Conference on Ubiquitous Computing 2002* , pp. 1–15 (2001).
 - [73] T. P. Moran , P. Dourish : Introduction to This Special Issue on Context-Aware Computing , *Human-Computer Interaction* , Vol. 16 , No. 2 , pp. 87–95 (2001).
 - [74] 佐橋典幸, 長尾確: 個人用知的移動体における実世界と連動した情報コンテンツの利用, 情報処理学会第 67 回全国大会講演論文集 (3) , pp. 729–730 (2005).
 - [75] 宮沢和也, 内田理, 中西祥八郎: ユーザの嗜好と位置情報を利用した携帯電話向け地域ポータルサイトの構築, 情報処理学会第 68 回全国大会講演論文集 (3) , pp. 531–532 (2006).
 - [76] 水越友之, 松岡勇樹, 武井恵雄: 個人の好み情報をベースとした情報取得のためのモバイルコミュニケーションシステムの開発, 情報処理学会第 68 回全国大会講演論文集 (3) , pp. 533–534 (2006).
 - [77] D. V. Lindley : Introduction to Probability and Statistics from a Bayesian Viewpoint , Cambridge University Press (1965).
 - [78] G. E. P. Box , G. C. Tiao : Bayesian Inference in Statistical Analysis , Wiley-Interscience (1973).
 - [79] 鄭哲成, 西尾信彦: グループドリブンのサービス提供に向けたグループコンテキスト管理機構, マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム *DICOMO2007* , pp. 1490–1495

- (2007).
- [80] P. Bellavista ,A. Corradi ,R. Montanari ,A. Toninelli : Context-aware semantic discovery for next generation mobile systems , *IEEE Communications Magazine* , Vol. 44 , No. 9 , pp. 62–71 (2006).
 - [81] A. Asthana ,M. Cravatts ,P. Krzyzanowski : An indoor wireless system for personalized shopping assistance , *Mobile Computing Systems and Applications* , pp. 69–74 (1994).
 - [82] S. Long ,R. Kooper ,G. D. Abowd ,C. G. Atkeson : Rapid prototyping of mobile context-aware applications: the Cyberguide case study , *The Annual International Conference on Mobile Computing and Networking* , pp. 97–107 (1996).
 - [83] G. D. Abowd ,C. G. Atkeson ,J. Hong ,S. Long ,R. Kooper ,M. Pinkerton : Cyberguide: A mobile context-aware tour guide , *Wireless Networks* , SpringerLink , Vol. 3 , No. 5 , pp. 421–433 (1997).
 - [84] N. Marmasse ,C. Schmandt : Location-aware information delivery with ComMotion , *The International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing* , pp. 157–171 (2000).
 - [85] A. K. Beeharee , A. Steed : Filtering location based information using visibility , *International Workshop on Location- and Context-Awareness* , Vol. 3479 , pp. 306–315 (2005).
 - [86] G. Borriello ,W. Brunette ,M. Hall ,C. Hartung ,C. Tangney : Reminding about tagged objects using passive RFIDs , *International Conference on Ubiquitous Computing 2004* , pp. 36–53 (2004).
 - [87] C. Lin ,M. Chiu ,C. Hsiao ,R. Lee ,Y. Tsai : Wireless Health Care Service System for Elderly With Dementia , *IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION TECHNOLOGY IN BIOMEDICINE* , Vol. 6 , No. 4 , pp. 696–704 (2006).
 - [88] 酒井亮 , 東基衛 : 携帯電話からの web ブラウジングにおけるユーザの嗜好と状況を考慮したコンテンツ推薦システム , 情報処理学会第 67 回全国大会講演論文集 (3) , pp. 765–767 (2005).
 - [89] 清原良三 , 三井聡 , 松本光弘 , 沼尾正行 , 栗原聡 : 携帯電話における操作複雑性とコンテキストに応じた操作機能推薦方式 , 人工知能学会第 21 回全国大会 , 1E1-4 (2007).
 - [90] 熊谷佑紀 , 大野優樹 , 須藤崇徳 , 阪田史郎 : 位置情報の利用によりオーバーヘッドを削減するアドホックマルチキャストプロトコル , マルチメディア , 分散 , 協調とモバイルシンポジウム *DICOMO2007* , pp. 1123–1128 (2007).
 - [91] 山本剛大 , 大貝彰 , 桶野俊介 : メソ , ミクروسケール行動を考慮した中心市街地歩行者行動エージェントベースモデル , 日本建築学会 学術講演梗概集 , Vol. 2002 , No. F-1 , pp. 629–630 (2002).
 - [92] NTT DoCoMo : イマドコサーチ <http://www.nttdocomo.co.jp/service/location/imadoco/>.
 - [93] セコム株式会社 : ココセコム , <http://www.855756.com/service/cocosecom/mobile/>.
 - [94] ホームネット株式会社 : e-CAB かけつけサービス , <http://www.homenet-24.co.jp/ecab/default.html>.

- [95] K. Lyytinen ,Y. Yoo:Issues and Challenges in Ubiquitous Computing ,*Communications of the ACM* , Vol. 45 , No. 12 , pp. 62–65 (2002).
- [96] 田島孝治 , 安藤公彦 , 大島浩太 , 寺田松昭 : 個人と集団の行動履歴に基づく予測型情報提示システム『水晶珠』の提案 , マルチメディア , 分散 , 協調とモバイルシンポジウム *DICOMO2007* , pp. 1089–1097 (2007).
- [97] 高島雅弘 , 趙大鵬 , 柳原健太郎 , 福井潔 , 福永茂 , 原晋介 , 北山研一 : センサネットワークにおける受信電力と最ゆう法を用いた位置推定 , 電子情報通信学会論文誌 B , Vol. 89 , No. 5 , pp. 742–750 (2006).
- [98] 原史明 , 沼田雅美 , 植原啓介 , 砂原秀樹 , 寺岡文男 : Universal Location Platform : 汎用的位置情報基盤の設計と実装 , 情報処理学会論文誌 , Vol. 47 , No. 12 , pp. 3112–3123 (2006).
- [99] H. Cao , O. Wolfson , G. Trajcevski : Spatio-temporal data reduction with deterministic error bounds , *The VLDB Journal* , Vol. 15 , No. 3 , pp. 211–228 (2006).
- [100] D. H. Douglas , T. K. Peucker : Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a line or its caricature , *Canadian Cartographer* , Vol. 10 , No. 2 , pp. 112–122 (1973).
- [101] 田島孝治 , 安藤公彦 , 大島浩太 , 寺田松昭 : 位置情報応用システムのための塗り分け画像を用いた高速ジオコーディング手法の提案 , マルチメディア , 分散 , 協調とモバイルシンポジウム *DICOMO2008* , pp. 458–465 (2008).
- [102] 渡部洋 : ベイズ統計学入門 , 福村出版 (1999).
- [103] 米 国 海 洋 電 子 機 器 協 会 : National Marine Electronics Association , <http://www.nmea.org/>.
- [104] Infomation Grand Voyage Project : 情報大航海プロジェクト , <http://www.igvpj.jp/index/>.
- [105] 土方嘉徳 : 嗜好抽出と情報推薦技術 , 情報処理 , Vol. 48 , No. 9 , pp. 957–965 (2007).
- [106] I. A. Junglas , R. T. Watson : Location-based services , *Communications of the ACM* , Vol. 51 , No. 3 , pp. 65–69 (2008).
- [107] 大沢裕 , 中村泰明 : 空間データの効率的な管理と高速空間検索のためのデータ構造 , 情報処理 , Vol. 42 , No. 10 , pp. 965–971 (2001).
- [108] 根岸幸生 , 大沢裕 : GBD 木のための空間インデックス高速初期構築法の提案 , 情報処理学会 研究報告 データベース・システム (DBS) , No. 67 , pp. 55–60 (2005).
- [109] 寺岡照彦 , 丸山稔 , 中村泰明 , 西田正吾 : 空間検索を効率化した時空間データ管理構造の提案 : 多次元 Persistent Tree , 電子情報通信学会論文誌 D , Vol. J78-D , No. 2 , pp. 1346–1355 (1995).
- [110] 村山祐司 , 柴崎亮介 : シリーズ GIS 第 1 巻 GIS の理論 , 朝倉書店 (2008).
- [111] A. Guttman : R-trees: a dynamic index structure for spatial searching , *Readings in database systems* , Morgan Kaufmann Publishers (1988).
- [112] 中村泰明 , 阿部茂 , 大沢裕 , 坂内正夫 : 多次元データの平衡木による管理—MD 木の提案 , 電子情報通信学会論文誌 D , Vol. J71-D , No. 9 , pp. 1745–1752 (1988).

- [113] 国土交通省国土計画局:国土数値情報ダウンロードサービス ,<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>.
- [114] 国土交通省国土計画局:街区レベル位置参照情報ダウンロードサービス ,
<http://nlftp.mlit.go.jp/isj/>.
- [115] 遠山緑生, 服部隆志, 萩野達也:携帯電話の測位機能を用いた優位位置の学習, 情報処理学会論文誌, Vol. 46, No. 12, pp. 2915–2924 (2005).
- [116] J. Rosenberg, H. Schulzrinne, G. Camarillo, A. Johnston, J. Peterson, R. Sparks, M. Handley, E. Schooler: SIP: Session Initiation Protocol, *RFC3261*, Internet Engineering Task Force (2002).
- [117] ゴンザロ カマリロ, ミゲール・A. ガルシア・マーチン:実践入門ネットワーク IMS (IP Multimedia Subsystem) 標準テキスト NGNのコア技術(実践入門ネットワーク), リックテレコム (2006).
- [118] M. Handley, V. Jacobson: SDP: Session Description Protocol, *RFC2327*, Internet Engineering Task Force (1998).
- [119] Oracle: BEA WebLogic SIP Server, <http://www.oracle.com/bea/>.
- [120] NIST: JAIN SIP, <https://jain-sip.dev.java.net/>.
- [121] Sun microsystems: Java Media Framework, <http://java.sun.com/javase/technologies/desktop/media/jmf/>.
- [122] NLANR/DAST: iperf, <http://sourceforge.net/projects/iperf/>.
- [123] C. Perkins: SDP: IP Mobility Support for IPv4, *RFC3344*, Internet Engineering Task Force (2002).
- [124] C. Perkins, P. Calhoun, J. Bharatia: Mobile IPv4 Challenge/Response Extensions, *RFC4721*, Internet Engineering Task Force (2007).
- [125] ETSI TISPAN NGN Specifications: <http://www.tech-invite.com/Ti-tispan-standards.html/>.
- [126] J. Mitola, G. Q. Maguire: Cognitive Radio: making software radios more personal, *IEEE Personal Communications*, Vol. 6, No. 4, pp. 13–18 (1999).
- [127] 三瓶政一: コグニティブ無線の動向と展開, 電子情報通信学会通信ソサイエティマガジン, No. 5, pp. 35–45 (2008).
- [128] 井上真杉, マハムドカレド, 村上誉, 長谷川幹雄, 森川博之: シームレス通信環境のためのコンテキスト情報を利用したネットワーク・アプリケーション制御機構, 情報処理学会論文誌, Vol. 46, No. 9, pp. 2236–2249 (2005).
- [129] M. Inoue, K. Mahmud, H. Murakami, M. Hasegawa, H. Morikawa: Novel Out-of-Band Signaling for Seamless Interworking Between Heterogeneous Networks, *IEEE Wireless Communications Magazine*, Vol. 11, No. 2, pp. 56–63 (2004).