

## 第 XXII 部

# インターネットと GNSS を 利用した高精度測位



## 第 22 部

### インターネットと GNSS を利用した高精度測位

#### 第 1 章 はじめに

GNSS WG では、移動体の測位デバイスとして人工衛星を利用した Global Satellite Navigation Systems (GNSS) に着目し、インターネットと GNSS を組み合わせた高精度測位の実現に関する議論を行ってきた。本 WG における活動は、WIDE Project の WG のみならず、NPO 法人「高度測位社会基盤研究フォーラム」(<http://www.fpoir.org>) とも深く連携して行われている。

今年度の活動は、大きく分けて以下の 3 つとなる。

#### 1.1 インターネット基準局ネットワークの運用

GNSS による測位精度を向上させるためには、あらかじめ精密な位置が求められている基準局で衛星からの電波を観測し、そのデータから誤差を補正する情報を生成して測位を行う者に配信することが有効である。

GNSS WG では、各関係機関の協力を得て東京湾周辺および奈良に計 6 ヶ所の基準局を設置し、インターネットを通じて観測データの収集と補正情報の配信を行うシステムを構築・運用している。本システムによる補正情報は、ICAR WG および GLI WG の実験環境に提供されており、今後一般に対しても提供を開始する予定である。

インターネット基準局ネットワークの詳細については、第 2 章にて述べる。なお第 2 章は、下記の論文として発表されたものである。

戸辺論, 和泉順子, 浅子正浩, 石井真, 植原啓介, 砂原秀樹, “インターネットを基盤とした高度衛星測位環境”, 信学技報 ITS2004-15, pp. 45-50, Jul. 2004.

#### 1.2 観測データのインテグリティ確保に関する研究

GNSS による高精度測位を行う際に重要となるのは、衛星からの電波の各基準局における観測データ

が、誤差要因(衛星クロック、電離層遅延、対流圏遅延、マルチパス、受信機ノイズ、その他)ごとに監視され、インテグリティが確保されていることである。

GNSS WG では、前節で述べたインターネット基準局ネットワークによって得られる観測データを利用し、観測データに含まれる誤差成分の分析とその除去に関する研究を行っている。

第 3 章では、基準局における観測データに含まれる誤差成分のうち、マルチパスの影響によるものの推定を試みた結果について述べる。

#### 1.3 位置情報プラットフォームの提案

これまで GNSS WG では、移動体の測位デバイスとしてとくに GNSS に着目して活動を行ってきた。しかし、世の中には GNSS のほかにさまざまな測位デバイスが存在しており、移動体がいつでもどこでもその位置情報を取得するためには、複数の測位デバイスを状況に応じて使い分ける必要があると考えられる。また、これまで位置情報は、主に緯度、経度、高度といったパラメータによって表現されてきたが、屋内における位置表現など、必ずしもこの表現が適切でない状況も存在する。

そこで本 WG では、移動体の位置情報取得に際し複数の測位デバイスをシームレスに利用し、位置情報をさまざまな表現によって取り扱うことを可能にする、位置情報プラットフォームについて検討を行った。

位置情報プラットフォームの詳細については、第 4 章にて述べる。なお第 4 章は、下記の論文として発表されたものである。

斎藤充治, 戸辺論, 植原啓介, 砂原秀樹, “位置表現を考慮したシームレスな位置情報取得のためのプラットフォームの提案と実装”, 第 46 回プログラミングシンポジウム報告集, pp. 95-106, Jan. 2005.

## 第 2 章 インターネットを基盤とした高度衛星測位環境

### 概要

移動体の測位には Global Navigation Satellite System (GNSS) が有効であるが、さまざまな誤差要因により、GNSS 単独で得られる位置情報の精度には限界がある。この精度を向上させるためには、あらかじめ精密な位置が求められている基準点で衛星からの電波を観測し、そのデータから誤差を補正する情報を生成して測位を行う者に配信することが有効である。

本章では、衛星からの電波を観測したデータの収集および補正情報の生成・提供をインターネット上で行うシステム (Internet-Based Augmentation System for GNSS: IBAS) の有用性について述べ、実証実験と実運用を行うために構築したテストベッドについて報告する。そして、今後のシステムのさらなる性能向上について検討する。

### 2.1 はじめに

近年の技術進歩により、パーソナルコンピュータや Personal Digital Assistance (PDA)、携帯電話などの小型化・高性能化が進展している。また、携帯電話や Personal Handyphone System (PHS)、無線 Local Area Network (無線 LAN) を利用したインターネットへの接続も一般的になっている。これらの動向を背景としてモバイル・コンピューティングという計算機の利用形態が普及しつつあるが、このモバイル・コンピューティングの最大の特徴は、端末の位置が移動するという点にある。

移動体の測位を行う場合、測位手段は携帯電話や PHS の基地局を利用する方法、赤外線や電波の発信機を利用する方法など様々なものが考えられる。その中でも、アメリカによる Global Positioning System (GPS) [128, 239] をはじめとする Global Navigation Satellite Systems (GNSS) には以下のような特徴がある。

- 地球上全体での利用が可能である。
- 位置情報が緯度・経度・高度で取得可能である。
- 利用のために事前の手続きが不要である。

したがって、移動体の測位において GNSS の果たす役割は非常に大きいといえる。しかし、さまざまな誤差要因により、GNSS 単独での測位精度には限界がある。そこでこの問題に対し、精密な位置が既知である基準点において衛星からの電波を観測し、その結果から誤差に対する補正情報を生成し、移動体に配信することによって測位精度を向上させる技術が開発されている。

現在、移動体に補正情報を提供するサービスには、主として FM 多重や中波ビーコンによる電波放送が利用されている [346, 349]。しかし既存のサービスには、サービス範囲や利用者に対する柔軟性・利用手段といった点で問題がある。

我々はこれらの問題に対し、衛星測位補正システムの構築においてインターネットを利用することに着目し、インターネットを基盤とした衛星測位補正システム (Internet-Based Augmentation System for GNSS: IBAS) の提案を行ってきた [115, 160, 304]。

本章では、改めて 2.2 節で電波放送による既存サービスの問題点を指摘し、続く 2.3 節でインターネットを基盤としたシステムの有用性について述べる。2.4 節では、これまでに行ってきた設計に基づき構築した、6 カ所の基準局からなる IBAS について紹介し、2.5 節では自動車での移動中に IBAS から Differential GPS (D-GPS) [358] 補正情報を受信して測位を行った結果について報告する。2.6 節では、IBAS による測位精度の高精度化と信頼性の向上を目指して現在行っている研究について述べ、最後に 2.7 節で本章のまとめを行う。

### 2.2 既存システムの問題点

ここでは、主にカーナビゲーションシステム向けに提供されている D-GPS 補正情報配信サービスを例に挙げ、既存のシステムが持つ問題点について整理する。

カーナビゲーションシステム向けに構築された補正情報配信システムは、FM 多重による電波放送を利用している [349]。電波放送によるサービスの特長は、同時に多くの利用者をサポートできる点にある。しかし、このサービス形態には以下のような欠点がある。

- サービスの提供範囲

既存サービスの提供範囲は、電波の到達範囲内に限られる。FM 放送局は都市部に設置されて

いるため、郊外部では FM 放送の電波が到達せず、サービスを受けることができない。また、たとえ電波の到達範囲内であっても、ビルの谷間など電波の遮蔽物がある場所では受信感度が悪く、FM 音声放送は利用できても FM 多重放送は利用することができない場合がある。

- 利用者に応じた補正情報の配信  
放送による配信では、サービス提供側から利用者への一方向の通信となる。したがって、利用者の位置や要求に応じたきめ細かい補正情報の提供を行うことは難しい。

- 通信方式依存  
既存のサービスは、FM 多重放送でのみ提供されている。同様のサービスとして、海上船舶向けに提供されている中波ビーコンを利用したものがあるが [346]、それぞれ異なる通信方式が採用されているため、利用者はサービスごとに利用手段を用意しなければならず、利用者がこれらのサービスをシームレスに利用することは不可能である。また現在のサービスが利用している通信方式ではデータの帯域が限られており、将来の衛星数の増加や新しい補正方式の登場に対応するのは難しいと予想される。

これらの問題を解決するため、広域性・双方向性・利用手段の多様性という特長を持つ、インターネットを基盤とした衛星測位補正システムを構築することが有効であると考えられる。

### 2.3 インターネットを基盤としたシステムの特長

2.2 節で指摘した問題を解決するため、これまでに我々は、インターネットを基盤とした衛星測位補正システム (Internet-Based Augmentation System for GNSS: IBAS) を提案し、IBAS に求められる機能要件やシステムを構築する際の問題点を整理し、システムの設計を行ってきた。

IBAS の持つ特長として、以下の 3 つが挙げられる。

- 広域性  
インターネットには世界中のネットワークが接続されており、その利用は国境、電波到達範囲などにとらわれない。したがって、インターネットを利用してサービスを提供すれば、世界中どこからでも利用することが可能である。
- 双方向性  
インターネットは双方向の通信が可能であり、

放送と異なり 1 対 1 でのデータの送受信ができる。したがって、利用者と補正情報を配信するサーバとの間でメッセージを交換できるシステムを構築すれば、利用者ごとの位置や要求に応じた補正情報を提供することが可能である。

- 利用手段の多様性  
インターネットを利用する際に、その接続手段は利用者が選択することが可能である。現在モバイル・コンピューティングにおいて最も広く利用されているのは携帯電話や PHS、無線 LAN などであるが、今後専用狭域通信 (Dedicated Short Range Communications: DSRC) や赤外線など新たな接続手段が広く利用されることも予想される。インターネットを利用してサービスを提供すれば、これら複数の接続手段を同時にサポート可能であり、利用者はそれぞれの環境に応じた接続手段でサービスを利用することが可能となる。

サービス提供者にとっても、補正情報の配信のために大規模な放送設備を準備する必要がなく、基準局やサーバの設置場所の地理的条件に応じた接続手段を選択することができるという特長がある。

### 2.4 IBAS テストベッドの構築

現在までに我々が提案してきた IBAS の実証実験を行い、実運用に入るために、我々は IBAS テストベッドの構築を行った。ここでは、IBAS テストベッドの概要を述べる。

#### 2.4.1 システム概要

IBAS を構成する計算機には、主として以下の 5 つがある。

- 「観測サーバ」: 基準局の GNSS 受信機から出力される観測データを受信し、収集サーバへ送信する。
- 「収集サーバ」: 「観測サーバ」から送信される観測データを収集する。
- 「計算サーバ」: 「収集サーバ」から観測データを受信し、補正情報を生成して「配信サーバ」へ転送する。
- 「配信サーバ」: 「クライアント」からの要求を受け付け、補正情報を配信する。
- 「クライアント」: 「配信サーバ」へ補正情報の配

信要求を送信し、補正情報を受信して GNSS 受信機に供給する。

観測データから補正情報を生成する計算は複雑であるため、計算機に対する負荷が高い。したがって、1 つのサーバが補正情報を生成しながら同時に多数のクライアントに対し補正情報を配信することは難しいと考えられる。そこで、観測データから補正情報を生成するサーバと、クライアントに対し補正情報を配信するサーバを分離している。計算サーバと配信サーバを分離することにより、負荷の原因に応じて柔軟にサーバを増強することが可能になる。

#### 2.4.2 基準局の配置

各組織の協力により、首都圏では東京湾を取り囲む形で5ヶ所、関西で1ヶ所、インターネットに接続された基準局を設置した。首都圏、関西における基準局の配置を、それぞれ図 2.1、図 2.2 に示す。首都圏では、複数の基準局における観測データを制御局で収集し補正情報を生成する、仮想基準点方式によ

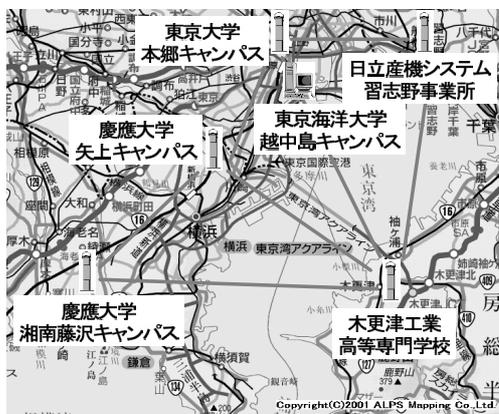


図 2.1. 基準局の配置 (首都圏)



図 2.2. 基準局の配置 (関西)

る Realtime Kinematic GPS (RTK-GPS) [363] 補正情報の提供を視野に入れ、隣あった基準局間の距離が 30–40 km 以内となるよう基準局の配置を考慮した。制御局は、東京海洋大に設置している。

#### 2.4.3 基準局における機器構成

図 2.3 は、基準局における IBAS の機器構成を示している。基準局の GNSS 受信機は、GPS/GLONASS 受信機を中心に利用している。その理由として、今後 GNSS による測位においては、GPS、GLONASS [269]、GALILEO [92]、そして日本の準天頂衛星など複数の衛星システムが同時に利用され、高精度・高信頼性を実現するために、基準局ではハイブリッド受信機の利用が主流になると予想されるためである。仮想基準点方式による RTK-GPS 補正情報を提供するため、奈良先端大以外の基準局における GNSS 受信機は、観測データの RAW データを出力しており、観測サーバはこれらのデータを RS-232C 経由で受信している。観測サーバは学内 LAN やフレッツ ISDN を経由してインターネットに接続されており<sup>1</sup>、東京海洋大に設置された制御局の収集サーバに観測データを定期的送信している。また、全基準局の GNSS 受信機で RTCM SC-104 type1 フォーマット [267] による D-GPS 補正情報を出力しており、これらの補正情報は観測サーバから奈良先端大に設置された 2 台の配信サーバへ転送されている。D-GPS 補正情報に関しては、観測サーバは計算サーバに近い役割も果たしているといえる。

#### 2.4.4 制御局における機器構成

図 2.4 は、制御局における IBAS の機器構成を示

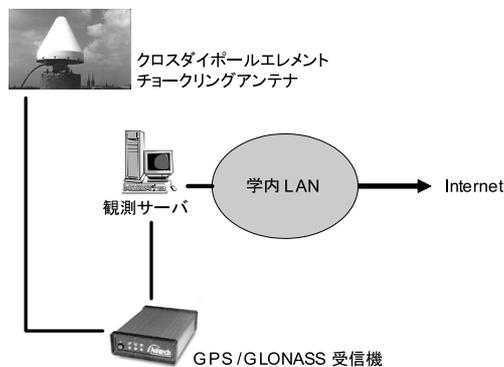


図 2.3. 基準局における機器構成

1 日立製作所に設置された基準局は、フレッツ ISDN を利用してインターネットに接続されている。

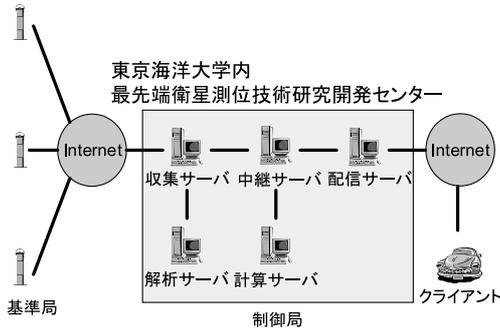


図 2.4. 制御局における機器構成

している。首都圏に設置した 5ヶ所の基準局における観測データは、インターネットを通じて制御局内の収集サーバに集約され、計算サーバで仮想基準点方式による RTK-GPS 補正情報を生成し、配信サーバから補正情報がクライアントに配信される。解析サーバについては 2.6 節で述べる。

2.4.5 処理の流れ

D-GPS 測位を行うクライアントは、まず Hyper Text Transport Protocol (HTTP) によって基準局の位置や配信サーバアドレスなどのシステム情報を

取得する。その後、単独測位による現在位置から最も近い基準局を、参照する基準局として設定し、適切な配信サーバを選択し補正情報を受信する。参照する基準局および配信サーバは、一定時間ごとに再設定することにより、クライアントと基準局との間の距離の増大による測位精度の劣化を抑える。

仮想基準点方式による RTK-GPS 測位を行うクライアントは、単独測位による現在位置を制御局の配信サーバに送信すると、その位置に応じた RTK-GPS 補正情報が計算サーバで生成され、配信サーバを経由してクライアントに送信される。

2.5 IBAS による D-GPS 測位結果

移動体における IBAS による測位実験は、計算機と GNSS 受信機・アンテナを自動車に搭載し、計算機を DDI ポケット株式会社による AirH<sup>2</sup>を利用してインターネットに接続し、配信サーバから D-GPS 補正情報を受信することにより行った。この実験は、奈良先端大周辺で行ったため、参照先の基準局および配信サーバは、クライアントソフトにより自動的に奈良先端大のものに設定された。

日常と同様に一般道路を走行しながらインターネッ

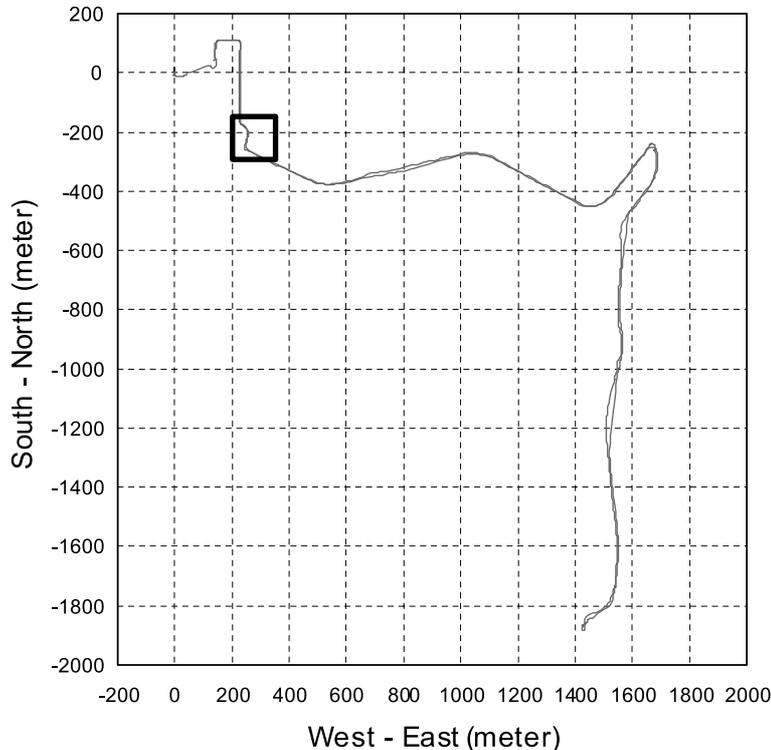


図 2.5. 一般道路走行中における D-GPS 測位結果

2 [http://www.ddipocket.co.jp/p\\_s/service/air\\_h/index.html](http://www.ddipocket.co.jp/p_s/service/air_h/index.html)

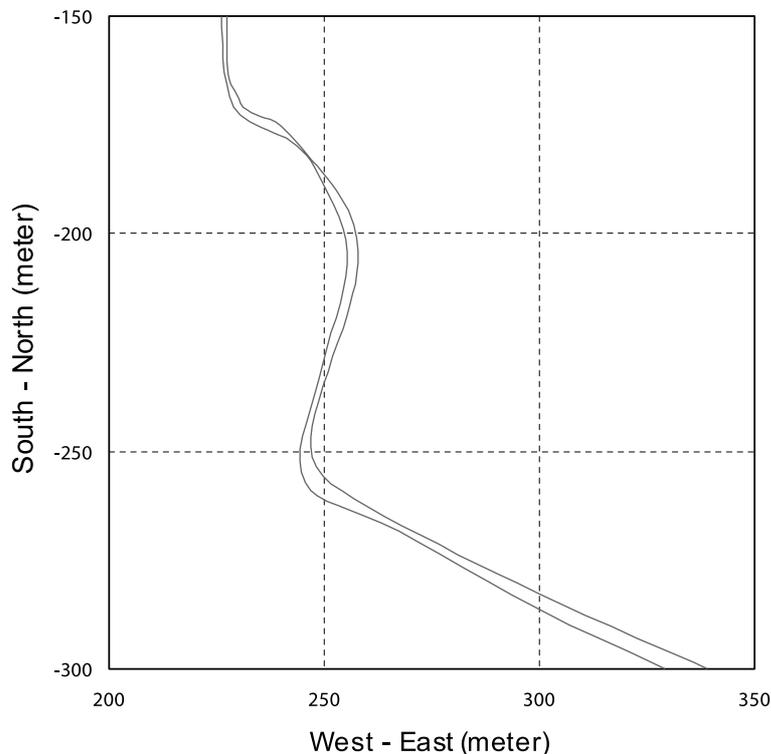


図 2.6. 一般道路走行中における D-GPS 測位結果 (拡大)

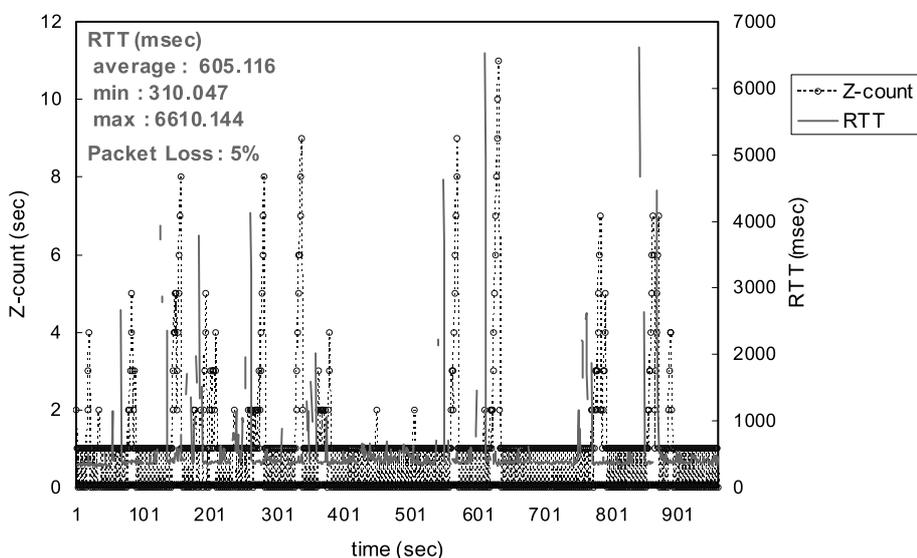


図 2.7. 一般道路走行中の RTT と補正情報の遅延

トによる D-GPS 測位を行った結果を図 2.5 に、図 2.5 中の太枠部の拡大図を図 2.6 に示す。走行範囲は奈良先端大を出発点・終着点とした往復約 8km であり、最高時速 50 km 程度で往路と復路で同じ道路を走行した。また、実験中のクライアントと配信サーバ間の Round Trip Time (RTT) と、補正情報の遅延時間の推移を図 2.7 に示す。この図における補

正情報の遅延時間は、GNSS 受信機から出力される Z-Count を利用した。Z-Count は、測位時刻と使用した補正情報に含まれるタイムスタンプの差から計測され、その値は 1 秒単位で出力される。

今回走行した道路の大部分は片側 1 車線であったが、図 2.6 の示す通り、走行した車線の区別が可能な程度の精度を得られたことが確認できる。実験を

行った範囲は、FM 多重放送による D-GPS 補正情報配信サービスのサービスエリア外であり、こういった地域であっても GPS の測位精度を向上させることが可能であるという点で、IBAS は非常に有用であるといえる。

しかし、走行中の AirH<sup>TM</sup> による通信はやや不安定であり、RTT の平均は約 605 ミリ秒、最大 6.6 秒、パケットロス率は 5% で、補正情報の遅延時間の最大は 11 秒であった。図 2.7 によると、RTT の増大に追従して補正情報の遅延時間も増大しているが、RTT の増大やパケットロスからの復帰は速やかであった。これは、クライアントと配信サーバとの通信には、コネクションを必要とせず、パケットの再送処理を行わない User Datagram Protocol (UDP) を利用することを選択したためと考えられる。UDP を採用したのは、本システムにおけるクライアントのインターネットへの接続形態は多岐にわたると予想され、移動中は接続も不安定になりかねないこと、クライアントの IP アドレスが変化する可能性があることを考慮したためである。

## 2.6 IBAS の性能向上のための検討

ここでは、現在我々が検討している、IBAS の性能向上の方向性について述べる。

### 2.6.1 高精度化・信頼性向上の必要性

GNSS における測位誤差の要因には、観測データに含まれる以下の要素による誤差成分が挙げられる。

- 衛星の軌道誤差
- 衛星の時計誤差
- 電離層および対流圏における電波伝搬遅延誤差
- マルチパスによる電波干渉
- 受信機ノイズ

このうち、衛星の軌道誤差および時計誤差については、同時刻に受信している基準局と移動局の観測値内に同じ誤差が含まれているので、相殺することが可能である。しかし、電離層遅延・対流圏遅延といった伝播経路上での遅延誤差は、基準局と移動局が近傍の場合は同じ影響を受けていると近似できるが、距離が離れている場合には、電離層や対流圏の影響量は場所によって異なるため、その誤差量も異なってくる。マルチパスや受信機ノイズについては、各基準局ごとに固有の誤差要素である。とくにマルチパスの影響は、基準局の設置環境によって異なり、そ

の誤差量は衛星位置と反射面との相対関係によって刻々と変化する。

従来の衛星測位補正システムでは、これらの相殺することができない誤差成分を含んだままの観測データから補正情報が生成され、利用者に提供されてきた。しかし、より高精度かつ高信頼性を実現するシステムを構築するためには、各基準局における観測データに含まれる誤差成分がその要因ごとに監視・除去され、生成される補正情報の完全性を確保する必要がある。

### 2.6.2 観測データからの誤差成分の除去

我々は、2.4 節で紹介したインターネット基準局網で収集される観測データを利用し、利用者の測位における高精度・高信頼性に直接関与する観測データについて、含まれている誤差成分をその要因ごとに切り分け、除去するアルゴリズムについて検討している。

これまで制御局では、各基準局から収集された観測データは、中継サーバを経由して直接計算サーバに送信されていた。ここで、図 2.4 に示しているように新たに解析サーバを設置する。解析サーバは、観測データが計算サーバに渡される前に各誤差成分を解析・除去する。そして、誤差成分が除去された観測データが計算サーバに渡され、補正情報が生成される。

誤差成分をその要因ごとに切り分け除去するアルゴリズムの具体的な手法に関しては、長期的な統計的観測手法に基づき、観測データの定常状態をモデル化することを検討している。

### 2.6.3 仮想基準点方式 D-GPS

我々は、誤差成分が除去された観測データから、仮想基準点方式を利用し、D-GPS 補正情報を生成することを検討している。仮想基準点方式は、これまで主に RTK-GPS 測位に対して利用されてきた。RTK-GPS 測位は測量向けの技術であり、cm オーダの測位精度を可能にするものの、可視衛星数の変化や補正情報の欠落・遅延に弱く、補正情報を受信してから補正状態に入るまでに時間がかかるといった欠点がある。したがって、衛星からの電波の受信状態やデータ通信が不安定であることが予想され、さらに測位結果のリアルタイム性が要求される移動体の測位には適していない。

そこで、仮想基準点方式を利用し、前述の手法によって誤差成分が除去された観測データから D-GPS 補正情報を生成することで、移動体のより高精度な測位を実現することを目指している。

2.7 おわりに

移動体が高精度な位置情報を取得するには、GNSS とその測位誤差を補正するシステムを利用することが有効である。我々はこれまで、モバイル・コンピューティング、ユビキタス・コンピューティングといった計算機の利用形態の普及を踏まえ、インターネットを基盤とする衛星測位補正システム (IBAS) を提案し、広域性・双方向性・利用手段の多様性といった、既存のシステムにはない特長をもつシステムの設計を行ってきた。

本章では、IBAS の実証実験および実運用のためのテストベッドの構築について報告した。予備実験の結果、自動車に IBAS を利用した D-GPS 測位によって、走行車線の区別が可能な程度の測位精度を得られることを確認した。

IBAS が衛星測位補正システムに対する高精度かつ高信頼性といった要求を満たし、次世代のモバイルコンピューティングにおける基盤となるべく、今後は本システムにより収集される観測データを利用して、観測データからの誤差成分の除去技術と、誤差成分が除去されたデータによる仮想基準点方式 D-GPS に関する研究を進めていく予定である。

第 3 章 東京湾周辺のインターネット基準局ネットワークにおけるインテグリティモニタリング手法の開発について

概要

GPS を使った単独測位、相対測位における主な誤差要因は、衛星軌道誤差、電離層および対流圏遅延誤差、サイト固有のマルチパスと受信機ノイズである。今回は、現在運用を始めている東京湾周辺のインターネット基準局ネットワークを構成する各基準局において、まずはマルチパスの影響について推定を試みた。また、今後開発を進めていくインテグリティモニタリング手法に関して、各基準局の観測データに含まれるそれぞれの誤差量を要因別に分離する手法について検討を行った。

3.1 仮想基準局方式の概念

仮想基準局 (Virtual Reference Station: VRS) 方式は、移動局の近傍に“仮想的な”基準局を作成することにより、RTK (または DGPS) における距離的な限界を解決する手法である。この手法を用いることにより約 30 ~ 100 km 程度の間隔で基準局を配置することが可能となるが、これは従来型の RTK と比較しておよそ 1.5 ~ 3 倍程度のカバレッジを実現することになる。従来の基準局 1 局を利用する RTK に対して、複数の基準局をネットワーク化することにより、少ない基準局数でより広いサービスエリアを実現するとともに、システムとしての信頼性も向上し、より高精度な測位が可能となる [350]。図 3.1 に本方式におけるデータの流れを示す。

図 3.1 に示すように、複数の基準局において取得された観測データはリアルタイムでデータ処理センターに転送され、センター側でリアルタイム処理することでサービスエリア内の相対誤差をモデル化し、補正情報を生成することとなる。データ処理センターの機能は以下の 4 つにまとめられる。

1. 各基準局観測データの収集
2. サービスエリア内における相対誤差のモデル化
3. 補正情報の生成
4. 補正情報の配信

実際の流れとしては、まず各基準局間のアンビギュイティを決定し、次に実際の搬送波位相観測値と、衛星軌道および観測点座標から計算された各衛星までの距離との残差を求める。この残差をもとに最小 2 乗コロケーション法を用いて、サービスエリア内における擬似距離および搬送波位相の相対誤差を推定し、電離層・対流圏遅延誤差および衛星軌道誤差をモデル化する。モデル化した相対誤差に基づいて、ユーザの利用形式に応じた形式で補正情報を生成し、ネッ

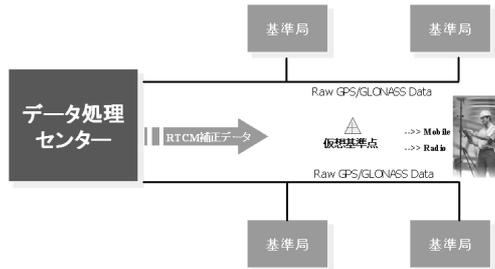


図 3.1. 仮想基準局 (VRS) 方式におけるデータの流れ

W I D E P R O J E C T 2 0 0 4 a n n u a l r e p o r t

トワーク経由、あるいは放送波などを使って補正情報を配信する。

3.2 GPS 測位における誤差要因とそのモデル化

GPS 測位における主な誤差要因は、衛星に起因する軌道誤差、衛星からの電波伝播経路に起因する電離層および対流圏遅延誤差、各サイトに固有のマルチパスと受信機ノイズである(図 3.2 参照)。この中で軌道誤差、電離層および対流圏遅延誤差に関しては、基準局側とユーザ側の物理的な距離(いわゆる基線長)がそれほど大きくない場合、ほぼ同じ大きさや方向を持っていると見なし、共通誤差として相殺できる。一方で、マルチパスはそれぞれの観測局固有の誤差であり、受信機ノイズとは受信機内回路に起因する観測データのふらつきで、これらは共通誤差として相殺することができない誤差要因である。このような共通誤差として相殺するという手法を

使わない場合、電離層遅延誤差については、複数の基準局の L1/L2 搬送波位相観測データから、シングルあるいはマルチレイヤモデルを用いて推定することも可能である。また対流圏遅延に関しては、Modified Hopfield モデルなどを使うことによって補正することも可能である。水蒸気ラジオメータと呼ばれる装置を使って大気中の水蒸気量を実測する方法もあるが、装置自体が非常に高価なため現実的ではない。

これらの誤差要因については、上述のように誤差軽減手法が一般的に存在するが、マルチパスについては依然 GPS 測位における最大の誤差要因の 1 つとされている。マルチパスとは、衛星から受信アンテナに直接到達する信号のほかに存在する、建物などによる反射で生じた別の経路から到達する同一信号のことである。このマルチパスはそれぞれの環境固有の幾何学的かつ物理的な条件に大きく依存しているため、単純かつ一般的なモデルを適用することは難しいとされている。Farrell and Givargis および Wanninger and May らは、基準局におけるコードと搬送波位相観測値のマルチパスについて研究を行った [96, 321]。今回我々は、東京海洋大学構内にある観測局において複数日の連続観測を行うことで、観測データからマルチパスの影響を検出する手法について検討した。これは、マルチパスの原因となる衛星と観測局周辺の構造物との幾何学的な関係が、恒星日ごと(23 時間 56 分 4 秒)に繰り返し再現されるため、複数日にわたる観測データを処理することで、マルチパスの影響があるパターンの繰り返しとして表れるかどうかを検証するためである。

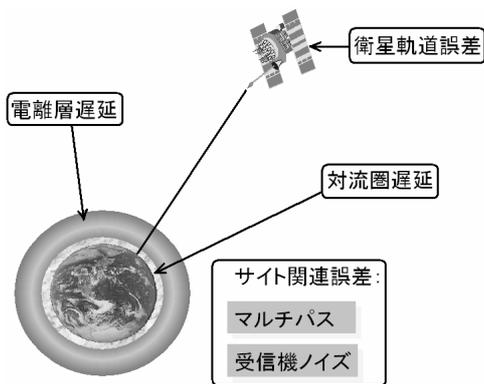


図 3.2. GPS 測位における主な誤差要因

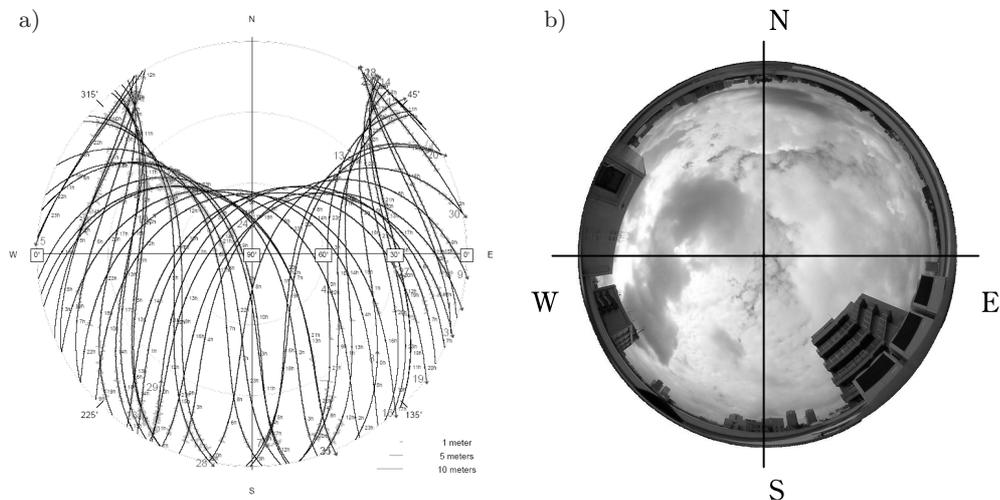


図 3.3. a) . マルチパスのスカイプロット (2004/7/11) b) . 観測局の周辺環境

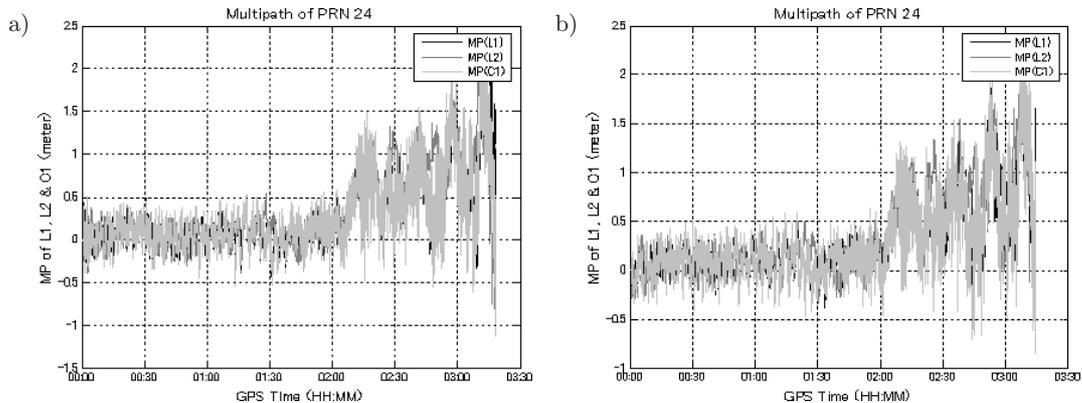


図 3.4. a) . マルチパスの日変化 (2004/7/10、PRN24) b) . マルチパスの日変化 (2004/7/11、PRN24)

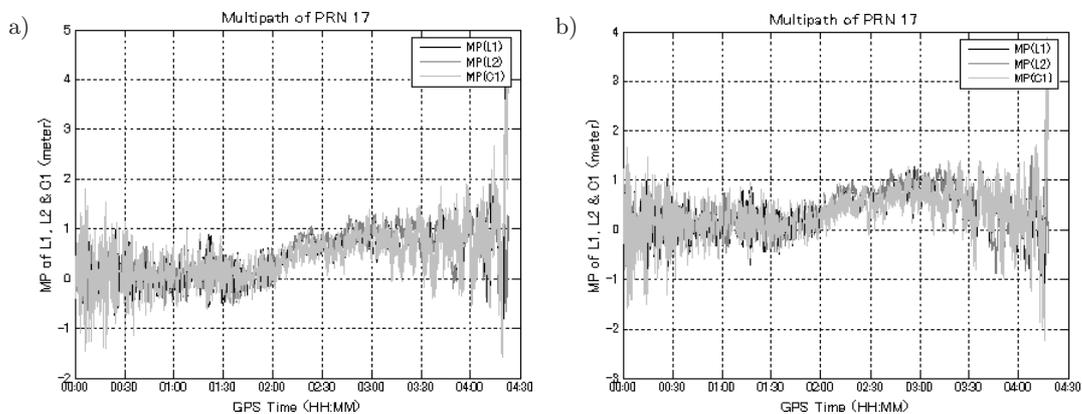


図 3.5. a) . マルチパスの日変化 (2004/7/10、PRN17) b) . マルチパスの日変化 (2004/7/11、PRN17)

今回我々は、東京湾インターネット基準局ネットワークから収集した観測データを用いて、擬似距離および搬送波位相の線形結合を用いる手法 [88] に基づき、各観測局の擬似距離におけるマルチパス量を推定した。図 3.5 の結果からは、連続する 2 日間でほぼ同じパターンのマルチパスが発生していることがわかる。この特徴を利用することで、観測局ごとに固有のマルチパスによる誤差を事前にモデル化し、観測データからその影響を取り除くことが可能になると考えられる。

通常の単独測位計算において基本観測量となる擬似距離の中には、これらの誤差が一体化して含まれており、それらを分離・推定できないことが単独測位精度の上限を決定しているといえる。もしこれらの誤差を、基準局において測定した各衛星との擬似距離に含まれる誤差量として推定することができれば、その推定した誤差量に基づいてユーザ側の擬似距離を補正することで、単独測位精度を大きく向上させることも可能になると考えられる。

### 3.3 東京湾インターネット基準局ネットワークにおけるインテグリティモニタリング

現在運用中の東京湾インターネット基準局ネットワークでは GPS/GLONASS 受信機による基準局網を構築しているが、インテグリティモニタリング機能を実現するためのソフトウェアの開発を現在進めている。各基準局の擬似距離および搬送波位相観測データを処理することにより、リアルタイムでデータの品質を管理し、統合的なインテグリティモニタリング機能を実現することを目標としている。

現時点では、UNAVCO のデータ品質検査手法で使われているアルゴリズム [88] に基づき、RINEX 形式のデータを使った後処理方式での検証を行っている。この方式では、観測局におけるマルチパス誤差の推定に加え、電離層遅延に関わる情報も出力可能である。そのほかにも、受信機のクロック誤差、受信機のサイクルスリップや、衛星トラッキング状況など、有用な情報をサマリファイルとして出力することが可能である。現在開発中の手法では、観測

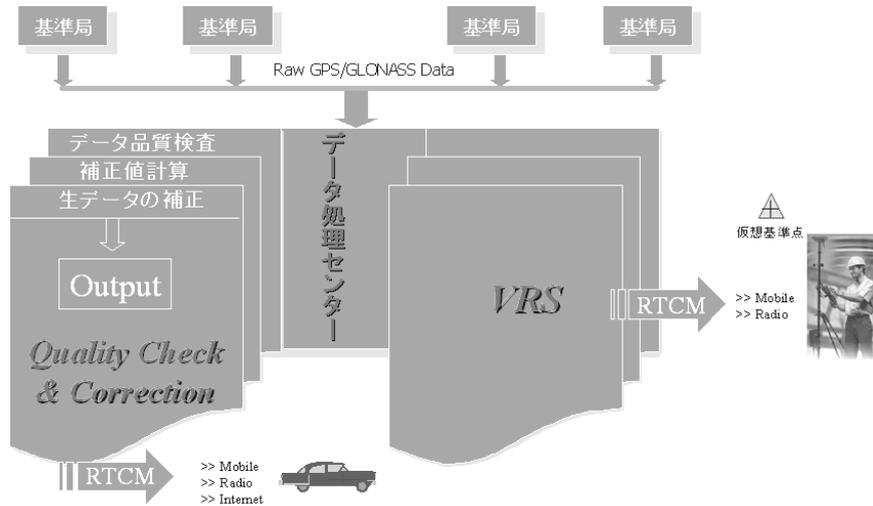


図 3.6. 本ネットワークにおけるインテグリティモニタリング機能を含むデータの流れ

データのゼロディファレンスレベルで以下のような内容を含む予定である。

- データのアービタリビリティ
- データギャップ
- サイクルスリップ
- 擬似距離における異常値
- 観測局におけるマルチパス
- 電離層遅延量とその変化
- 衛星側の故障
- ノイズ

将来的な開発目標として、モデル化できていない誤差が発生したかどうかについてもリアルタイムに検出できるようにしたいと考えており、このようなインテグリティモニタリング機能をいずれリアルタ

イム化して実装することを目標としている。外部からとくに追加情報を必要としないため、データを利用するアプリケーション側との独立性を保つことも可能である。また、最終的に得られる誤差モデルや、対流圏、電離層遅延、マルチパス誤差に対する補正情報を生の観測データに適用することにより、単独測位ユーザに対しても大きなメリットをもたらすことが期待される。

3.4 今後の活動について

現在東京湾インターネット基準局ネットワーク上では、仮想基準局方式に基づき、ネットワークを構築する各基準局の観測データをもとにサービスエリア内の電離層および対流圏誤差や衛星軌道誤差をモ

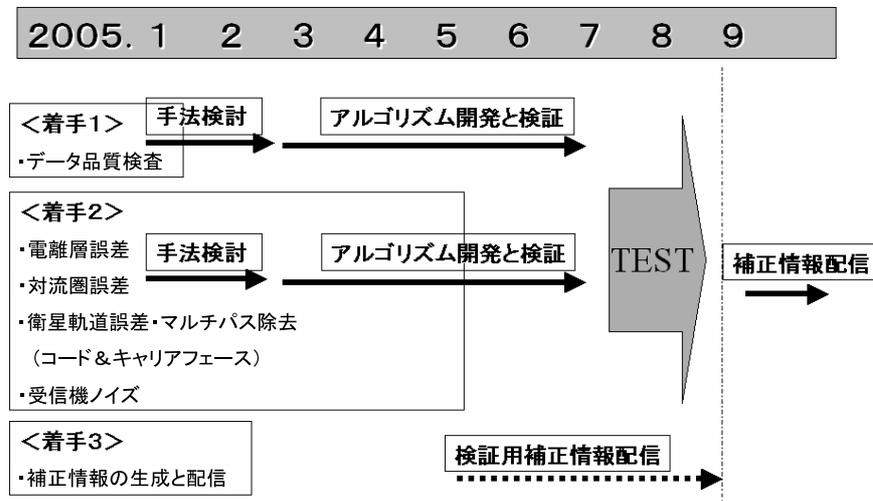


図 3.7. 今後の活動スケジュール案

デル化し、補正情報を生成・配信することで、基準局からの物理的な距離に依存せずに、広域にわたって RTK を利用できる環境を構築しつつある。今後は RTK ユーザだけでなく、より幅広いアプリケーションが想定される D-GPS ユーザに対する補正情報も生成できるよう、システムのアップグレードを行っていく予定である。

また、空間的な相関を持つ電離層、対流圏遅延誤差や衛星軌道誤差に加えて、各観測サイト固有のマルチパスの影響、あるいは受信機ノイズによる影響などを分離推定する手法を開発し、誤差を含まない観測データを生成するための手法を確立し、信頼性の高い、かつインテグリティが確保された、次世代の高精度測位を担う、新たな基準局ネットワークのあり方について検討・提言していきたいと考えている。

#### 第 4 章 位置表現を考慮したシームレスな位置情報取得のためのプラットフォームの提案と実装

##### 概要

近年、移動体の位置を取得し、その位置情報を利用したサービスが増加している。そのサービスの多くは、測位システムとして GPS (Global Positioning System) のみを使い、緯度経度による表現で移動体の位置を取り扱っている。しかし、GPS のみを使う場合、その測位可能範囲や精度に限界が生じる。また、直接測位システムと通信しているため、その測位システムのインタフェースや出力するメッセージ構造など、測位システムの詳細を知らなければ利用することができないという問題が生じる。さらに、今後は屋内で測位することに対する需要が増加すると考えられるが、屋内での GPS の利用は非常に困難であるばかりでなく、緯度経度による表現では屋内位置を的確に表現することは難しい。今後も位置情報を利用したサービスの増加が予測されるが、個々に独立した測位システムを用いてサービスが構築されており、新たなサービスを提供する場合には、高い構築コストが必要となってしまう。そこで本研究では、複数の測位システムをシームレスに取り扱い、移動体の位置をさまざまな表現によって取り扱うことができる、位置情報取得のための統合プラットフォームを提案する。提案プラットフォームでは、測位シ

ステムから得られる位置情報をそのまま用いるのではなく、新たに位置の表現構造を定義することで、さまざまな位置の表現を取り扱い、測位システムの間取り扱いをシームレスに行い、複数の測位システムを取り扱うことが可能となる。

##### 4.1 はじめに

近年、無線通信技術が著しい発展をとげている。これによって多くの人々がラップトップ型コンピュータや携帯電話、PDA (Personal Digital Assistance) などを用いてインターネットへ接続し情報を取得する、モバイル・コンピューティング環境が普及している。モバイル・コンピューティング環境において、端末は移動をとめないながら通信を行う。したがって、移動体の位置に応じたサービスへの要求が高まっており、さまざまなアプリケーションが実用化されている。

本章では、位置情報の定義を、対象とする移動体を識別するための識別子、検知時刻、物体の位置を表したラベル、という 3 つの要素を合わせて持った情報と定義する。位置情報を用いたサービスの有用な例として、モノの位置情報を利用した物流管理や、子供や高齢者のための生活活動支援などが挙げられる。そして今後も位置情報を利用したサービスは増加すると考えられる。本章では、移動体の位置を取得する主体を、位置情報取得者と定義する。また位置情報取得者が、移動体の位置情報を用いて位置に基づいたサービスを提供する場合、そのサービスを位置情報サービスと定義する。

現在提供されている位置情報サービスの多くは、測位システムとして GPS のみを利用しており、緯度経度による表現で移動体の位置を取り扱っている。しかし、GPS のみを利用する場合、その測位可能範囲は屋外に限られ、屋外であっても上空の見通しが悪い地域では、測位精度が低下するなどの問題が生じてしまう。また、今後は屋内で測位することに対する需要が高まると考えられるが、屋内での GPS の利用は非常に困難であるばかりでなく、緯度経度による表現では屋内の位置を的確に表現することは難しい。つまり、単一の測位システムを用いる場合、その測位システムが持つ性質の影響を位置情報サービス全体が直接受けるという問題がある。

また、各位置情報サービス内では、専用の測位システムを用意し、移動体の位置情報管理、位置に基づ

いた情報提供など、すべてのシステムを1つの位置情報サービス内で構築し提供している。よって、各サービス内で、提供するサービスの内容や、測位システムから得られる位置情報の表現方法に依存した、専用の処理方法を用いて位置情報サービスが構築されている。つまり、移動体が複数の位置情報サービスを受ける場合、それぞれのサービスに対応した測位システムを複数装備しなければならないという問題や、ある位置情報サービスが整備した測位システムを、ほかの位置情報サービスから利用することができないといった問題が生じる。とくに後者の問題は、新たな位置情報サービスを構築するためには、さらに新たな測位システムや移動体の位置情報管理機構を構築しなければならないという悪循環が生じてしまう。

そこで本研究では、複数の測位システムをシームレスに取り扱い、移動体の位置情報をさまざまな表現によって取り扱うことができる、位置情報取得のための統合プラットフォームを提案することで上記の問題の解決を図る。

提案プラットフォームでは、測位システムから得られる位置情報をそのまま用いるのではない。まず、移動体の位置情報の利用場面を想定し、そこで必要となる位置要素を決定する。その位置要素を用いて、目的に合致する新たな位置の表現構造を定義する。たとえば、屋外に存在する移動体の位置情報は、緯度経度によって位置を表すのが有効であるが、屋内に存在する移動体の位置情報を取り扱うのであれば、たとえば建物の部屋番号で表現するほうが、より目的に合った表現であると言える。

次に、測位システムから得られた位置情報を、定義した位置表現へ変換する。提案プラットフォームでは、この変換された位置情報を取り扱うことで、測位システムの詳細に依存することなく、さまざまな測位システムをシームレスに利用することを可能とした。また、複数の測位システムが利用可能となったことで、単一の測位デバイスの持つ欠点を補い、プラットフォーム全体として測位可能範囲を広げることが可能となった。さらに、プラットフォームに対して移動体の位置情報を要求するための、汎用的なインタフェースを位置情報取得者に提供する。これによって、位置情報サービスは測位システムや、移動体の管理を行うことなく、本プラットフォームに問い合わせを行うことで移動体の位置を容易に取得

することが可能となる。移動体は、専用の測位システムを複数装備せずとも、プラットフォームに接続された汎用の測位システムを用いることで、複数の位置情報サービスを受けることが可能となる。

本章では、4.2節で既存技術が抱える問題点についてまとめ、4.3節で本章で提案するモデルを考案し、それを継承したプラットフォームを提案し設計を行う。4.4節では提案したプラットフォームのプロトタイプを実装する。4.5節では実装したプラットフォームの評価を行い、提案したプラットフォームの検証を行う。4.6節では本章のまとめと今後の研究課題について述べる。

## 4.2 既存技術

### 4.2.1 オープンセンサアーキテクチャ

オープンセンサアーキテクチャとは、多数のセンササーバが、多数のクライアントからの要求を受けてセンサ情報を提供するモデルを実現したアーキテクチャのことである。オープンセンサアーキテクチャの概念を図4.1に示す。現在進められているプロジェクトとしては、Intel Research社のIrisNet[106]やOpen GIS ConsortiumによるSensor Webが挙げられる。これらは位置をセンサから得られる情報の1つとして捉えており、位置情報の取得そのものに関しての統合化はなされていない。

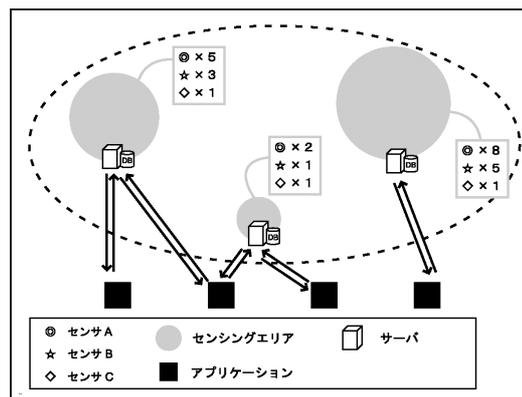


図 4.1. オープンセンサアーキテクチャの概念

### 4.2.2 Universal Locator

Universal Locatorとは、移動体の位置情報取得および軌跡情報を推定するためのプラットフォームである[354]。Universal Locatorの概要を図4.2に示す。Universal Locatorは、測位システムが移動体の位置を取得する際に用いられる“観測量”を抽象化

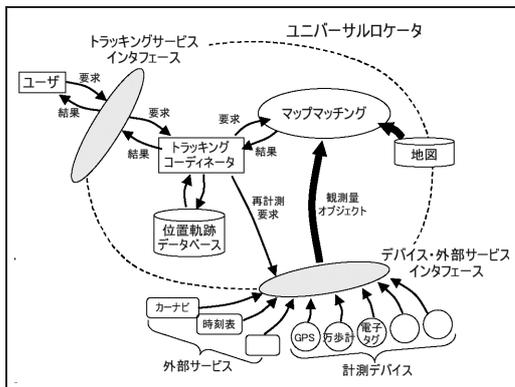


図 4.2. Universal Locator

して取り扱い、さらにマップマッチングを行って移動体の位置および軌跡を推定する。

観測量とは、センサデバイスが測定している値を直接取得することによって得られる値のことである。GPS を例に挙げると、GPS とは衛星から送信される時刻情報と衛星の軌道情報を GPS 受信機で受信し、この信号の伝達時間を計測することによって衛星から GPS 受信機までの距離を求め、GPS 受信機の位置を算出するシステムである。よって GPS から得られる観測量は、衛星から GPS 受信機までの距離となる。また超音波を利用した測位技術として ActiveBat[121] がある。ActiveBat は部屋の内部に複数設置した超音波受信機と、移動体が携帯している超音波発信機間の超音波伝達時間を計測することで、発信機と受信機の距離を求める。この場合の観測量も発信機と受信機の距離となる。つまり、GPS や ActiveBat であっても観測量は距離で表すことができる。よって、測位システムが違っている場合であっても、同様の処理方法によって取り扱うことができる。Universal Locator で取り扱われているそのほかの観測量として、存在領域などが挙げられている。存在領域とは、無線 LAN や電子タグなどから取得できる観測量である。

Universal Locator では、移動体の測位システムからの情報をそのまま利用するのではなく、観測量として抽象化して取り扱うことによって、複数の種類の測位システムからの情報を統合して取り扱うことを可能とした。しかし、観測量を処理することによって得られた位置情報は、最終的に緯度経度を使った単一な位置情報表現に変換されている。つまり、センサデバイスからの情報を観測量に変換し抽象化を行うことによって、そのセンサデバイスが本来持つ

ていた特性や利点が反映された、位置情報に関するコンテキストが失われてしまうという問題点がある。たとえば、RFID システムを用いることで建物内部のある部屋にいることを表現することや、無線 LAN を用いることである特定の領域に存在することを表現することが可能であったが、緯度経度に変換されてしまうことで漠然とした表現になってしまい、部屋やある特定の領域といった位置情報の意味が失われてしまうという問題が生じる。また、複数の移動体の位置情報を取り扱う、プラットフォームとしての機能は持っていない。

#### 4.2.3 まとめ

現在、さまざまなプラットフォーム技術が存在し実用化されているが、個々の技術内では利用可能範囲やその精度に多くの制約が存在しており、決定的な技術は存在しない。しかし、複数の位置情報取得技術やプラットフォーム技術を組み合わせることで、個々の位置情報取得技術の問題点を補うことができると考えられる。つまり、それらの複数の位置情報取得技術をプラットフォームに接続してシームレスに取り扱うことができる、統合プラットフォームを構築することで、前述した移動体と位置情報サービスが抱えている課題を解決することが可能となる。

### 4.3 提案プラットフォーム

#### 4.3.1 目的

本研究では、位置の表現構造の定義を行うことで、複数の測位システムをシームレスに取り扱い、さまざまな表現によって表された位置情報をネットワーク上で取り扱う、位置情報取得のための統合されたプラットフォームを提案する。そして、提案プラットフォームの試作システムの実装を行い、提案プラットフォームの有効性を検証する。以上によって、移動体の位置情報を、目的に応じた表現によって、容易に取得可能にすることを目的とする。

#### 4.3.2 想定環境

本項では移動体と測位システム、位置情報サービスに関する想定環境について定義する。

- 移動体

複数存在しており、それぞれ 1 つ以上の測位システムによって測位されている。

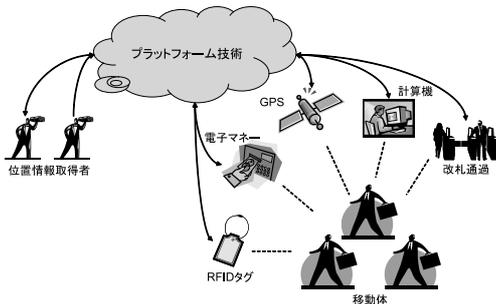


図 4.3. 提案プラットフォームの想定環境

- 測位システム  
種類の異なる測位システムが遍在し、それらはネットワークを通じて情報の交換を行う。
- 位置情報サービス  
さまざまな位置情報サービスが提供されており、それらはネットワークを通じてサービス提供を行う。またサービスは互いに独立に構築されており、連携して動作することは考慮されていない。

4.3.3 要求事項

本項では、位置情報取得のための社会的インフラストラクチャに対する要求事項を挙げる。

- 広範囲に移動体の位置を提供できること  
移動体の位置情報を常に取得する必要がある位置情報サービスを考えた場合、その測位は広範囲に行われている必要がある。
- さまざまな表現によって位置情報を表せること  
移動体の位置を目的に合った表現によって表すことで、その位置情報を利用する上で必要十分な精度かつ、より少ない情報量で位置を表現することが可能となる。
- スケーラビリティを兼ね備えること  
広範囲に渡る位置情報サービスを提供する場合、そのサービスを受けるクライアントの数とプラットフォームに対する位置情報要求は膨大な数となる。したがって、プラットフォームにかかる負荷に応じて柔軟に拡張し、位置情報に求められる要求に対して対応できなければならない。
- プライバシの保護が行えること  
移動体の位置情報を公開する相手や、移動体が存在する場所、公開してもよい時間帯などを、移動体自身によって設定し、そのプライバシーを守ることができる機構が必要である。

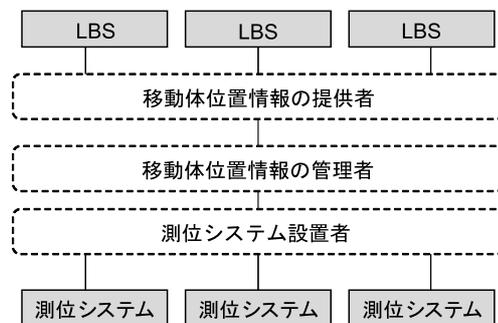
- インテグリティを考慮していること  
プラットフォームから取得できる位置情報の信頼性を保障する機構が必要である。
- セキュリティを考慮していること  
位置情報を流通する際の、途中経路上に悪意を持った者が存在する場合においても、位置情報の盗聴や改竄、測位システムへの成りすましなどの攻撃に対して、対応できることが必要である。

4.3.4 モデル

本項では、移動体の位置を取得するために必要なモデルを考案する。4.3.3 節では、位置情報取得のための社会的インフラストラクチャに対する要求事項を挙げたが、本項は其中で最も需要が高い、移動体の広範囲な測位と、さまざまな表現によって位置情報を表せることを考慮したモデルの考案を行う。そのほかの要求事項は、本モデルを継承することでその要求事項を満たすこととする。

本モデルでは、位置情報取得のために必要な機能や目的によって、内部が3階層に分離されている(図 4.4 参照)。モデル内部を分離した理由として、これまでのプラットフォームが持つモデルでは測位システムや移動体管理、それらを取り扱うインタフェースを単一のシステムで独自に設計していたものを、社会的インフラストラクチャとして位置情報をオープンに取り扱うためである。本モデルでは、以下のように分離を行った。

- 測位システム設置者  
移動体の位置を取得するための測位システムを設置し物理的に移動体の測位可能な環境を提供する。



LBS : Location-Based Service(位置情報サービス)

図 4.4. 提案モデル

- 移動体位置情報の管理者

移動体と測位システムを関連付け、移動体の位置情報がどの測位システムによって測位されているかを管理する。

- 移動体位置情報の提供者

モデルの構造を意識せずとも移動体の位置情報が取得できるよう、位置情報取得者に対し位置情報取得のためのインタフェースを提供する。

このように分離したことで、各層での役割が明確になった。その上で、各層間が通信するためのインタフェースを定義し、情報の交換を行う。このようなモデルを取ることで、移動体の管理や新たな測位システムが出現した場合にも、対応することができる。

しかし、測位システムの管理と移動体の管理を分離したことで、どの測位システムによって目的とする移動体の位置情報が取得可能かが不明になり、移動体の位置情報を得ることができなくなってしまうという問題が生じる。

本モデルでは、測位システムと移動体の関連付けを行うことで、移動体の位置情報を取得可能とした。つまり、移動体の位置情報はその関連付けられている測位システムの数だけ存在することとなる。このように、移動体と測位システムの関連付けをすることで、移動体は複数の測位システムが利用可能となり、またそれぞれの測位システムが出力する位置情報の位置参照系によってその位置表現が可能となった。

これによって、移動体の位置は、移動体に関連付けられている測位システムから得られる、1 つ以上の位置表現で取り扱われるようになり、移動体の測位を複数の測位システムによって行うことが可能となった。

しかし、移動体と測位システムの関連付けを行うのみでは、移動体の位置表現が、複数の測位システムから直接得られる表現で表されてしまう。つまり、移動体の位置情報を取得した側で、その表現を理解せねばならず、結局測位システムに依存したプラットフォームとなってしまふ。

そこで本モデルでは、測位システムから得られる位置情報をそのまま取り扱うのではなく、モデル内で新たに位置の表現を定義し、これに変換してから取り扱う。そして移動体の位置を表す場合の表現方法に名前空間を与え、その表現名を用いることで移動体の位置を表す。つまり、表現を定義することで、測位システムへの依存を無くし、汎用性のある表現

で移動体の位置を表現することが可能となる。

考案モデルは、位置情報を取得することを目的としている。プライバシー保護やセキュリティ、インテグリティなどの要求事項を考えた場合、本モデルが持つ位置情報取得機能を継承し、機能を加えることができる。よって、考案モデルではプライバシー保護やセキュリティ、インテグリティなどの要求事項に対する機能提案は別のレイヤで考慮がなされているものとし、本節では取り扱わないものとする。

#### 4.3.5 従来との比較

提案モデルを採用することで、従来のプラットフォームが採用するモデルと比較して、以下のような利点を得る。

- 複数の測位システムが利用可能となる
- 新たな測位システムに対応可能となる
- 移動体の位置情報取得が容易になる

これまで利用されてきたプラットフォームでは、移動体の位置はある特定の測位システムが出力する位置と同様であり、またその測位システムが出力する位置情報表現のみを取り扱うという前提で設計されている。位置情報取得者がプラットフォームから位置情報を取得する場合は、プラットフォームが提供する専用のインタフェースを通じてのみ、位置情報の取得を行うことが可能であった。

これらの要因により、プラットフォーム全体が特定かつ単一の測位システムに依存し、単一の位置表現しか扱うことができず、またその測位システムの特性によって測位可能範囲も決定されてしまうという問題が生じる。またプラットフォームからの位置情報取得の際、位置情報取得者側も専用のインタフェースを用いなければならないなどの問題も生じる。

提案モデルでは、移動体と測位システムを分離して管理し、移動体の位置は、その移動体に関連付けられている測位システムが出力する位置である、という概念を導入することで上記の問題を解決した。

一方、提案モデルを用いることで以下の問題が生じる。

- 1 回の位置情報要求に対し、各層間で複数の通信が発生しオーバヘッドが生じる

提案モデルは、各層は独立して構築されることを前提とし、情報の交換は通信によって行う。つまり、位置情報取得者からの単一の位置情報取得要求に対し、モデル内部では複数回の通信が行われる。よっ

てこれまでのプラットフォームで行われていた、直接測位システムに対して通信を行い、位置情報を取得する場合と比べてオーバーヘッドが大きくなるという問題が生じる。

しかし、昨今の通信技術の著しい発展や、各ホストの処理能力の向上により、プラットフォーム全体の処理時間におけるオーバーヘッドの割合は低下していくと考えられる。つまり、提案モデルを利用したことによる利点がより明確化すると考えられる。

#### 4.3.6 提案事項

##### 位置参照系

移動体の位置を表現する場合、絶対的な位置表現方法は存在しない。移動体の位置を表現するための基準点の置き方や、その表現方法が無数に存在しているからである。しかし、位置情報取得者が移動体の位置情報を利用してサービス提供を行う場合、そのサービス内容によって必要な位置表現方法は異なる。よって、移動体の位置情報を、必要な表現によって取得することが必要である。

一般に、移動体の測位を行う場合、測位システムを用いて移動体の位置情報を取得する。しかし、その位置表現方法は測位システムによって異なり、必ずしも位置情報取得者の利用目的に合った表現で表されているとは限らない。また、同類の位置情報を出力する測位システムであっても、出力されるメッセージフォーマットが異なる場合がある。これによって、位置情報取得者がそれらの位置情報に統一的な処理を行うことはできないなどの問題が引き起こされる。

そこで本プラットフォームでは、位置参照系と呼ばれる位置表現構造を定義する。位置参照系とは、位置表現の目的に応じて、その位置を決定するための要素を決定したものである。例として地球上の位置を表現する場合に多用される、WGS84(世界測地系)を挙げると、地球上のある位置を決定するための要素として、緯度、経度、高度を定めている。この3つの要素を用いることで、地球上のすべての位置を表現することが可能である(4.3.6項参照)。

位置参照系を利用して移動体の位置を表現することによって、測位システムから出力されるメッセージの差異を吸収し、位置情報利用者が利用目的に適する表現を持つ位置情報を取り扱うことが可能となる。

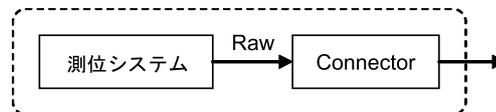


図 4.5. 位置情報センサ

##### 位置情報センサ

移動体の測位を行う場合、多くの場合GPSやRFIDシステムなどの測位システムを用いる。これらは、衛星からの電波や、RFIDタグからの電波を受信することにより現在位置を算出する。また、物理的な測位システムを用いずとも、たとえば現在住所のあるシステムに入力することで現在位置を取り扱うシステムがあった場合、これを測位システムとして取り扱うことも可能である。よって現在位置を得る手段は複数存在し、これらをシームレスに取り扱うことが必要不可欠である。また、多数の測位システムを取り扱う場合、それらのすべてを直接計算機に接続して取り扱うことは現実的ではない。よって、ネットワークなどを用いて遠隔から通信を行える必要がある。

本プラットフォームでは、位置情報センサと呼ばれる機構を定義し、これと通信を行うことによって現在位置を取得する(図4.5参照)。位置情報センサは、測位システム名、検知時刻、測位システムのタイプ名、測位システムからの出力メッセージの4つを出力する機構である。

位置情報センサとは、測位システムとConnectorから成る。Connectorとは、測位システムから直接出力されたメッセージを読み取り、そこに不足した情報を補完する。これによって、位置情報センサとして必要な上記4つのメッセージを出力することができる。

本プラットフォームでは、位置情報センサからの位置情報を使用して、定義された位置参照系に準拠する表現へ変換を行う(4.3.6項参照)。

##### 位置参照系の変換

位置参照系の変換の概略について図4.6に示す。本プラットフォームでは、移動体と位置情報センサの関連付けを管理している。また、その位置情報センサからの位置情報は、位置情報センサと関連付けられている位置参照系に準拠する表現に変換されて管理される。

つまり、移動体の位置情報の位置参照系は、関連

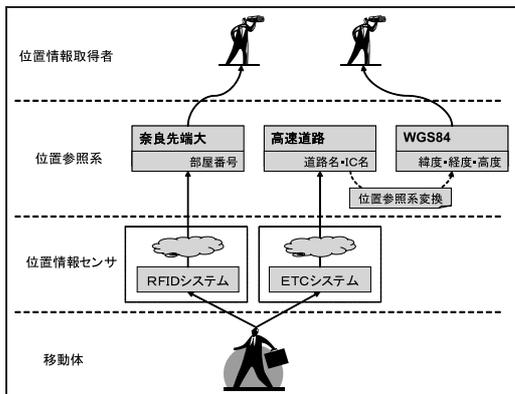


図 4.6. 位置参照系の変換

付けられている位置情報センサに依存する。よって、位置情報取得者が、移動体が属する位置参照系とは異なる位置参照系を要求した場合、要求された位置参照系による位置情報を返すことができないという問題が生じる。

本プラットフォームでは上記の問題を、位置参照系の変換機構を提供することによって解決する。位置参照系の変換機構は、位置情報取得者が要求する位置参照系が、移動体の属する位置参照系と異なる場合、移動体の属する位置参照系を要求された位置参照系に変換する。つまり、変換を行うことで目的の位置参照系による表現を用いて、位置情報を返すことが可能となる。

位置参照系の変換は、変換を行う位置参照系間の相対関係を記述し、それを変換元の位置参照系に適用することによって行う。

#### 4.3.7 構成

本項では、プラットフォームが持つ構成要素の説明を行う。プラットフォーム構成を図 4.7 に示す。

測位プラットフォームとは、図 4.4 に表される、測位システムを提供する者に相当し、位置表現プラットフォーム

トフォームとは、同図中の、移動体の位置情報を管理するものに相当し、位置利用プラットフォームとは、位置情報を提供するものに相当する。

#### 測位プラットフォーム

測位プラットフォームでは以下の機能を有する。

- 位置情報センサと位置参照系の関連付け
- 位置情報センサからの位置情報を、位置参照系を用いた表現へ変換
- 位置情報センサの最新位置の管理

測位プラットフォームでは、位置情報センサから得られる位置情報を、その位置情報センサが関連付けられている位置参照系に変換する。そして変換した位置情報を、位置情報センサの最新位置として保存する。また、測位プラットフォームでは、後述の位置表現プラットフォームとのインタフェースをもつ。

これによって、上位層から位置情報センサに対して位置情報要求があった場合、一般化されたアクセスメソッドを使って位置情報を即座に返すことが可能となる。

位置情報センサが移動体の位置情報を取得する場合、RFID システムを用いる場合のように、RFID 受信機が受信した RFID タグの情報を保持している場合と、GPS システムのように位置情報を出力した瞬間のみ位置情報を持つものがある。

後者の場合、その現在位置を知る際に GPS 受信機から位置情報を取得可能となるまで待たなければならない。つまり上位層からの位置情報要求に対して即座に対応することができない。測位プラットフォームでは、位置情報センサからの受け取った最新の位置情報を保持し上位層からの位置情報要求に対して即座に対応する機能を有する。

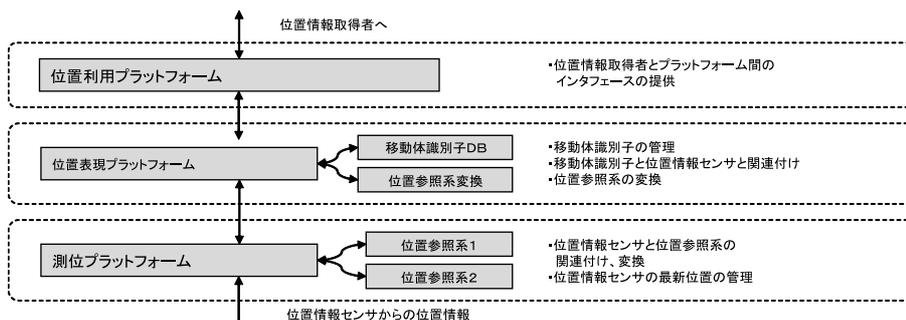


図 4.7. プラットフォーム構成

### 位置表現プラットフォーム

位置表現プラットフォームでは以下の機能を有する。

- 移動体識別子の管理
- 移動体識別子と位置情報センサ識別子との対応付け
- 位置参照系の変換

移動体識別子とは、人やモノなど移動体に対して割り当てる識別子である。また位置情報センサ識別子とは、位置情報センサに対して割り当てる識別子である。本プラットフォームにて、移動体がどの位置情報センサによって測位が行われているか、という対応付けを、移動体識別子と位置情報センサ識別子の対応付けをすることによって行う。

位置利用プラットフォームからの位置情報要求に含まれる移動体識別子を鍵として、位置情報センサ識別子解決要求を行い、移動体に関連付けられている位置情報センサを検索する。さらにその位置情報センサ識別子を鍵として、測位プラットフォームに位置情報センサの位置情報要求を行う。移動体に対して複数の位置情報センサ識別子が関連付けられている場合はこの処理を複数回行う。

また本プラットフォームでは位置参照系の変換を行い、そのための変換プロファイルを保持している。位置参照系の変換には、位置を表すラベルの変換や、簡単な数値計算で完了する場合もあるが、緯度経度という位置表現から住所という位置表現へ変換する場合、外部データベースに接続して問い合わせることが必要になるなど、外部との通信機能が必要となる場合がある。

### 位置利用プラットフォーム

位置利用プラットフォームでは以下の機能を有する。

- 位置情報取得者とプラットフォーム間のインタフェース

位置利用プラットフォームでは、位置情報取得者と提案プラットフォームとのインタフェースを提供する。提案プラットフォームに対する位置情報取得者からの位置情報要求は、位置利用プラットフォームを通じて前述の位置表現プラットフォームへ送信される。位置利用プラットフォームは、移動体識別子を解析することにより、移動体がどのホストで動作している位置表現プラットフォームで管理されて

いるかを検索する。つまり、どこに設置されている位置利用プラットフォームに対して位置情報要求を出した場合でも、対象とする移動体の位置情報を取得することが可能である。

また、位置利用プラットフォームは、さまざまな位置情報サービスからの位置情報取得要求に対応できるように、SOAP や TCP/IP などによる複数のインタフェースを持つ。これによって位置情報サービスはさまざまなアクセス方法によって移動体の位置を取得することが可能となる。また提案プラットフォーム内で使用されているプロトコルに、変更や機能追加があった場合でも位置情報サービスへの影響を最小限にする役割もあわせ持つ。

## 4.4 実装

### 4.4.1 実装環境

各プラットフォームは、FreeBSD5.2.1-RELEASE において、Java( Java2 Platform, Standard Edition v 1.4.2 ) 言語を用いて実装した。実装概要を図 4.8 に示す。各プラットフォーム間は TCP/IP を使用して通信を行う。本フレームワークで取り扱う位置情報の表現構造には XML ( eXtensible Markup Language ) 文書を用いた。位置利用プラットフォームと位置情報サービスとのインタフェースプロトコルとしては、TCP/IP を使ったプレインテキストベースプロトコルと XML を使った SOAP の 2 種類を実装した。位置表現プラットフォームでの位置表現変換機構は、XML 文書にさまざまな加工を行うことができる XSLT ( eXtensible Stylesheet Language Transformation ) を用いた。測位プラットフォームと位置情報センサとの通信には TCP/IP を用いた。位置情報要求を行うクライアントプログラムは Perl を用いて実装した。

本章では、位置情報センサによって移動体の位置情報を取得し、移動体の位置情報取得の流れについての実装を行い、評価を行うこととする。よって移動体のプライバシーやセキュリティに関する機構の実装は行わない。

### 4.4.2 実装項目

本項ではプラットフォームの実装に必要なモジュールについて説明を行う。文中の LBS( Location-Based Service ) は位置情報サービスを指し、LRS( Location Reference System ) は位置参照系を指す。

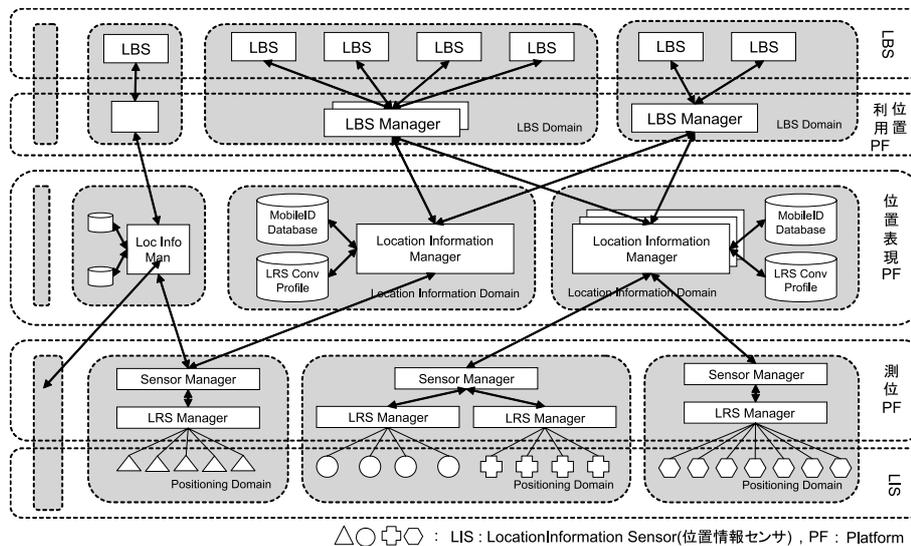


図 4.8. 実装概要

位置利用プラットフォーム

- LBS Manager  
LBS Manager とは、LBS からの位置情報要求を受け取り、要求に含まれる移動体識別子を解析することによって、移動体がどのホストで動作している Location Information Manager で管理されているかを判断する。その判断に基づいて、LBS からの位置情報要求を目的の Location Information Manager へ送信する。

位置表現プラットフォーム

- Location Information Manager  
Location Information Manager とは、LBS Manager からの位置情報要求を解析し、要求に含まれる移動体識別子をキーとして MobileID Database に問い合わせることによって、移動体識別子に関連付けられている位置情報センサ識別子を取得する。また必要な際には、LRS Converter を利用して位置情報の位置参照系の変換を行う。
- MobileID-DB  
移動体識別子と位置情報センサ識別子の対応付けを管理している。Location Information Manager からの要求に基づいて、位置情報センサ識別子を返す。
- LRS Converter Profile  
位置参照系同士の相対関係が記述してあるプロファイルを格納している。位置参照系を変換する際、このプロファイルを参照して変換する。

測位プラットフォーム

- LRS Manager  
LRS Manager とは、位置情報センサからの位置情報を解析し XML 文書に変換した上で、XML 文書その位置情報センサの最新位置として保存する。
- Sensor Manager  
Sensor Manager は、Location Information Manager からの位置情報センサ識別子を受け取り、識別子を解析することによって位置情報センサがどの LRS Manager に登録されているかを判断する。その判断に基づいて、LRS Manager へ位置情報センサの最新位置を要求する。
- Connector  
本プラットフォームでは、位置情報センサを用いて移動体の位置を取得する。しかし、測位システムから得られる位置情報が、位置情報センサが出力すべき位置情報の要素を満たしていない場合、Connector によって補完する必要がある。

4.4.3 動作

位置情報登録

位置情報登録処理とは、取得した位置情報センサの位置情報を XML 文書へ変換し、LRS Manager へ登録することである (図 4.9 参照)。位置情報センサから出力される位置情報は、測位システム名と検知時刻、測位システムのタイプ名、測位システムから出力される Raw メッセージである。ここで、RFID

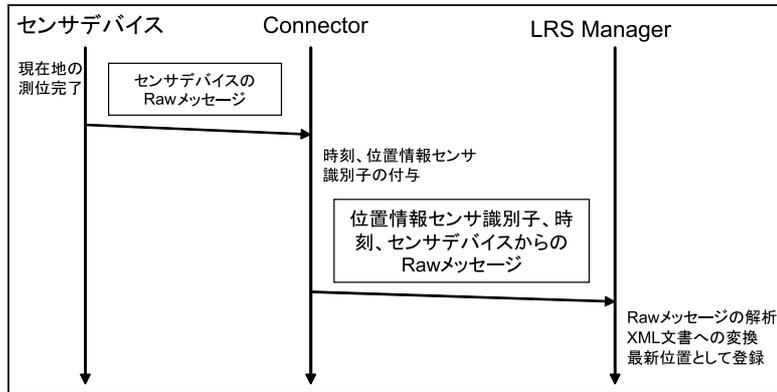


図 4.9. 位置情報登録

システムを利用した位置情報センサから出力される位置情報の例を図 4.10 に示す。

LRS Manager は、位置情報センサ識別子を元に XML 文書を構築し、位置情報センサの最新位置として保存する。このとき構築される XML 文書の例を図 4.11 に示す。



図 4.10. 位置情報センサからのメッセージ

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<Position CoordinateSystem='Naist'>
  <Date>20041206120148</Date>
  <Room>IS-B206</Room>
</Position>
```

図 4.11. 変換後の XML 文書

位置情報解決

位置情報解決とは、位置情報取得者からの位置情報要求に対し、移動体の位置情報を返すことである。

位置情報取得者からの位置情報要求には、移動体識別子、要求する位置参照系が含まれている。移動体識別子とは、移動体が管理されているホスト名とそのホスト内におけるユニークなアカウント名が組み合わされて表されている。たとえば移動体識別子が、“mitsu-sa@ls.naist.jp”であれば、その移動体はホスト“ls.naist.jp”に管理されており、そのホスト内におけるアカウント名は“mitsu-sa”であることが分かる。

ここでは、移動体識別子が“mitsu-sa@ls.naist.jp”、要求する位置参照系を“WGS84”とする。

1. 位置情報取得者は位置情報要求を LBS Manager へ送信する。要求を受け取った LBS Manager

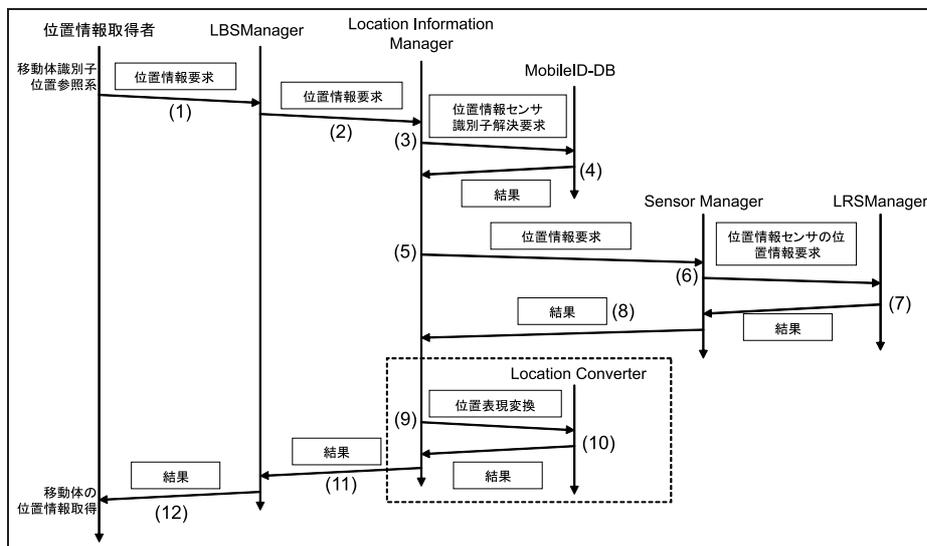


図 4.12. 位置情報解決

は、位置情報要求に含まれる移動体識別子を解析し、目的の移動体が管理されているホストを取得する。

2. 移動体が管理されているホストで動作している Location Information Manager へ位置情報要求を送信する。
3. Location Information Manager は、移動体がどの位置情報センサによって位置を取得可能かを調べるために、移動体識別子を鍵として位置情報センサ識別子要求を MobileID-DB へ送信する。
4. Location Information Manager が移動体に関連付けられている位置情報センサ識別子を得る。位置情報センサ識別子は、位置情報センサが接続されているホスト名と位置情報センサを表す位置情報センサ名、その位置参照系名で構成される。たとえば位置情報センサ識別子が “AEGOWBU@NAIST:ls.naist.jp” であった場合、位置情報センサは、ホスト名 “ls.naist.jp” の測位プラットフォームに接続されており、その位置情報センサ名は “AEGOWBU”、またその位置参照系は “NAIST” であることが分かる。
5. Location Information Manager は、得られた位置情報センサ識別子を解析し、目的の測位プラットフォームの SensorManager に対して位置情報要求を送信する。
6. Sensor Manager は、位置情報要求に含まれる位置参照系名によって LRS Manager を選択して要求を送信。
7. 位置情報センサ名を用いて対象の位置情報を取得する。
8. 取得した位置情報を Location Information Manager へ返す。
9. 位置情報センサ識別子に含まれる位置参照系と、位置情報取得者が要求した位置参照系が異なる場合、位置表現の変換が行われる。これまで得られた位置情報と目的の位置参照系名を Location Converter に送信する。
10. Location Converter は、位置情報を要求された位置参照系へ変換して結果を返す。
11. Location Information Manager は LBS Manager へ結果を返す。
12. LBS Manager は、位置情報取得者に対して位置情報を返す。

```
<xsl:choose>
  <xsl:when test="@CoordinateSystem='NAIST'">
    <Position CoordinateSystem="WGS84">
      <Date><xsl:value-of select="Date" /></Date>
      <Convert>NAIST to WGS84</Convert>
      <xsl:choose>
        <xsl:when test="Room='IS-B206'">
          <Lon>488643903</Lon>
          <Lat>125034192</Lat>
          <Alt>789</Alt>
        </xsl:when>
      </xsl:choose>
    </Position>
  </xsl:when>
</xsl:choose>
```

図 4.13. XSL ファイル

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<Location MobileID=mitsu-sa@ls.naist.wide.ad.jp>
  <Position CoordinateSystem="WGS84">
    <Date>20041119221049</Date>
    <Convert>NAIST_SPIDER to WGS84</Convert>
    <Lon>488643903</Lon>
    <Lat>125034192</Lat>
    <Alt>789</Alt>
  </Position>
</Location>
```

図 4.14. NAIST WGS84 へ変換された位置情報の例

位置表現の変換は XSLT を用いて行われ、その際使用される XSL ファイルは Location Converter 内にあらかじめ用意する必要がある。例として、NAIST 位置参照系から WGS84 位置参照系へ変換する際に使用する XSL ファイルを図 4.13 に示す。またその変換された結果も図 4.14 に合わせて示す。XSLT の特徴として、Java のクラスファイルが利用可能である点が挙げられる。つまり、変換に複雑な処理や、膨大なデータベースが必要な場合などは、その変換処理を外部のホストに対して通信を行うことで委託することができる。

これまでの処理によって、位置情報取得者の指定した位置参照系を用いた位置情報を、位置情報取得者に返し、位置情報取得者からの位置情報要求を解決することができた。

#### 4.5 評価

本実装におけるプラットフォームの処理時間を測定し、評価を行った。各ホストは、PentiumIII/1 GHz、メモリ 512 MBytes のマシンを使用した。

評価を行った環境について図 4.15 に示す。移動体

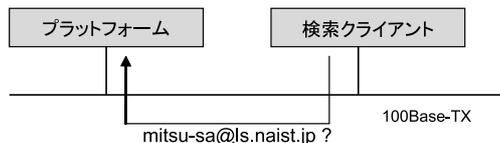


図 4.15. 実験環境

識別子 “mitsu-sa@ls.naist.jp” で表される移動体の位置情報を取得した。“mitsu-sa@ls.naist.jp” は、位置情報センサ識別子として、“LREOYWG@NAIST:ls.naist.jp”、“mitsu-sa\_MobilePhoneGPS@WGS84:ls.naist.jp” が関連付けられている。前者は NAIST 位置参照系、後者は WGS84 位置参照系に関連付けられている位置情報センサである。

NAIST 位置参照系は、奈良先端科学技術大学院大学で用いられる位置参照系であり、位置を表す要素として “部屋番号” が定義されている。WGS84 位置参照系は、緯度経度を用いた位置参照系であり、位置を表す要素として、“緯度、経度、高度” が定義されている。ADDRESS 位置参照系は、住所を用いた位置参照系であり、位置を表す要素として “住所” が定義されている。

NAIST WGS84、WGS84 NAIST、NAIST ADDRESS の位置参照系変換は、XSL ファイルに定義された位置参照系変換を行うが、WGS84 ADDRESS の位置参照系変換は、XSL ファイルから、緯度経度から住所に変換するためのデータベースを持っている外部のホストに対して通信を行い、そのホストで変換して結果を戻し、位置参照系の変換を行う。

4.5.1 位置情報取得

位置参照系を指定せずに移動体の位置情報要求を行った (表 4.1 参照)。この場合、位置情報センサが関連付けられている位置参照系を用いた位置情報を

取得することができる。

位置参照系を指定しなかった場合、プラットフォーム内の動作は、MobileID-DB へ移動体識別子を基に位置情報センサ識別子を取得することと、Sensor Manager へ位置情報センサ識別子を送信して位置情報センサの最新位置を取得することである。この場合、処理時間のほとんどが、測位プラットフォームから位置情報センサの最新位置を取得するための通信時間である。つまり、位置参照系を指定せずに位置情報取得を行う場合、その処理時間はネットワークの速度や、ホストの処理速度に依存する。

4.5.2 位置参照系変換をとまなう位置情報取得

位置参照系を WGS84、NAIST、ADDRESS に指定し、移動体の位置情報要求を行った (表 4.1 参照)。まず、位置参照系に WGS84 を指定した場合、移動体に関連付けられている 2 つの位置情報センサから得られる位置情報のうち、“NAIST 位置参照系” に属する位置情報のみ、位置参照系の変換が行われる。もともと “WGS84 位置参照系” に属する位置情報は変換の対象とはならない。位置参照系を NAIST から WGS84 に変換する場合、図 4.13 に示される XSL ファイルを用いて XML 文書で表現された位置情報の変換を行う。処理時間の大半は位置参照系の変換に用いられており、その処理時間はホストの処理速度に依存する。

次に、位置参照系に NAIST を指定し位置情報の要求を行った。この処理は、位置参照系に “WGS84” を指定した場合と同様に、“WGS84” から “NAIST” への位置参照系変換が行われる。処理時間の大半は位置参照系の変換に用いられており、その処理時間はホストの処理速度に依存する。

最後に、位置参照系に ADDRESS を指定し位置情報の要求を行った。位置参照系に ADDRESS を

表 4.1. 位置情報要求にかかる時間

指定した位置参照系	全体処理時間 [ms]	全体処理時間の内訳				
		位置情報センサ識別子取得 [ms]	位置情報センサの位置を取得 [ms]	位置参照系の変換		
				変換前	変換後	変換時間 [ms]
(指定なし)	10	<0	10	—	—	—
WGS84	41	<0	10	WGS84	WGS84	—
				NAIST	WGS84	31
NAIST	48	<0	10	WGS84	NAIST	38
				NAIST	NAIST	—
ADDRESS	721	<0	10	WGS84	ADDRESS	668
				NAIST	ADDRESS	68

指定した場合、NAIST ADDRESS、WGS84 ADDRESS の 2 つの変換が行われる。WGS84 ADDRESS の変換を行う場合、外部のホストに対し通信することで位置参照系を変換している。よって、外部ホストまでのネットワーク遅延時間や、外部ホストの処理速度の影響を受ける。

#### 4.5.3 考察

本プラットフォームでは、ネットワークを使用して通信することで、位置情報の取得、位置参照系の変換を行った。現在、移動体の位置情報を取得する際に用いる通信メディアは、携帯電話や PHS、無線 LAN などを用いた無線通信技術である。その無線通信区間の通信速度は 8 kbps ~ 54 Mbps と非常に差があるが、位置情報のように少量の情報を送受信するには充分であると考えられる。しかし、無線通信にはその遅延が大きな問題となる。一般的に使われている PHS の通信網を用いて通信する場合、100 ms 程度から、場合によっては数 1000 ms かかる場合がある。よって、評価で得られた、ADDRESS 位置参照系への変換以外の処理時間はそれと比べて、小さな値であることが示され、十分な処理速度が確保されていることが確認された。もし、多数のクライアントへの対応が必要な場合には、より高速に処理可能なホストへ移行することでその処理速度を維持することが可能である。しかし、ADDRESS 位置参照系へ変換する場合は、すべてのプラットフォーム内部に緯度経度から住所に変換するデータベースを持つことは現実的ではないため、その変換は外部ホストに依頼する必要がある。外部ホストに変換を依頼する場合、外部ホストとの通信時間と位置参照系変換にともなう処理時間の両方が必要となる。

今後、位置情報サービスの利用場面の増加にともない、取り扱う位置参照系が増加すると考えられる。さまざまな位置情報サービスへ位置を提供する場合、プラットフォームはさまざまな位置参照系を取り扱える必要がある。しかし、すべての位置参照系を単体のホストで取り扱うことはできないため、今後はネットワークを利用して位置参照系を変換するなどが必要である。

#### 4.6 おわりに

本章では、移動体の位置情報を目的に合った表現によって取得するためのプラットフォームを提案し

た。提案プラットフォームを利用して移動体の位置情報を取得することで、位置情報取得者の目的に応じた位置表現によって移動体の位置情報を取得することが可能となった。また目的ごとにプラットフォームを分割したことによってその役割を明確に分担し、位置情報取得のためのインフラストラクチャ構築を効率的に進めることが可能となった。

本章では提案プラットフォームの実装を行い、処理時間を計測した。これによって、提案方式は位置情報取得のためのインフラストラクチャとして、十分な処理速度を確保していることが示された。

今後は提案方式が持つ位置情報流通のアーキテクチャを元に、位置参照系の変換を、プラットフォームが個別にもつ相対関係を利用するのではなく、ネットワークを利用し、位置参照系を管理するホストが分散して変換を行う機構を考案、提供したいと考えている。