

第5章 移動体情報の高精度かつ低廉な収集システムの開発

概要

ITS による車両や歩行者の移動支援にあたって必要となる基礎的なデータである過去の移動体情報について、位置情報の取得技術の向上を図ることにより、より高精度かつ低廉な収集を実現することは、多様なサービスを展開する際の基盤となる共通の課題である。このため、GPS を利用した移動体の位置特定技術の高精度化、都市空間における人の動線情報解析技術の開発、ならびに自動車の走行履歴・挙動履歴プローブ情報を活用した交通情報提供サービスおよび交通調査の高度化について研究を行った。

「移動体の高精度な測位」については、建設機械等の中低速移動体において、連続的かつ高精度な位置特定を可能とする搬送波位相測位（RTK-GPS）と自律慣性航法技術を組み合わせた複合的な測位を実現する技術の開発を目的として研究を行った。GPS 測位では、衛星から直接届く電波と高層建築物などによる反射波や回折波が重なり合って発生するマルチパスにより、GPS 衛星と受信アンテナ間の距離の測定後差が生じ、測位計算結果に誤差が生じるという課題がある。また、移動体における測位では、高層建築物などによる電波遮蔽と電波受信の復帰が繰り返されることから、電波受信復帰時の初期化処理を繰り返し行う必要があるが、従来の RTK-GPS 技術では初期化処理に数十秒から数分を要する状況にある。さらに、電波遮蔽時には測位結果そのものが得られない。これらの課題を解決するため、マルチパス誤差低減技術、RTK-GPS 高速初期化技術および慣性航法複合化技術を開発した。また、シミュレーション実験および屋外実験により RTK-GPS の利用可能時間の向上を確認した。

「都市空間における動線解析」については、都市空間における円滑な人の移動を確保するための施策立案に活用するために、GIS データを効率的に活用した人の動線解析技術を開発するとともに、そのための IT プラットフォームを開発することを目的に研究を行い、さらに都市交通調査への適用に向けたケーススタディを行った。動線解析プラットフォームでは、「人の時空間的な移動を表現するデータを補正・補間し、相互利用が可能な水準にクレンジングするサービス（データ加工サービス）」と、「加工済みのデータを蓄積し提供するサービス（データ提供サービス）」を有するシステムのプロトタイプを開発した。この成果は、多様なニーズに応えるための基本情報となる時空間上での人の移動を把握するためのオープンなプラットフォームとして、東京大学空間情報科学研究センターで公開され、医療・都市防災、環境・マーケティング、統計・セキュリティ、交通・モビリティなど、幅広い分野での研究・分析に活用されている。また、複数の動線データを活用した動線解析技術のケーススタディとして、バス IC カードデータと自動車の会員制プローブデータを用いて、バス停留所付近の走行改善の検討支援への活用や道路整備効果の検証への活用を行い、動線解析技術の有用性を確認した。

「交通情報提供サービスおよび交通調査の高度化」については、プローブ技術の収集・

蓄積に関する規格・仕様の策定、プローブ技術の活用について検討を行った。ITS スポットによりプローブ情報を収集するシステム（プローブシステム）は、無線通信技術を用いてプローブ情報を収集するため、ITS スポット対応カーナビが普及すれば大量のデータを低コストで収集することが可能となる。また、これまでの断面での旅行速度調査しかできなかった固定的な装置と比較して、区間の実際の旅行速度データを収集することが可能となり、広範囲に道路管理に関わる情報を収集することができるため、高精度な道路交通情報の把握・提供や、低コストに道路管理業務の効率化・高度化を実現することが可能となる。本研究成果をもとにプローブ統合サーバ、プローブ処理装置等の仕様書を平成 21 年度に策定した。

5.1 移動体の高精度な測位

5.1.1 研究目的と研究方法

5.1.1.1 研究の背景

平成 19 年の 5 月に地理空間情報活用推進基本法が制定され、国内における GPS(Global Positioning System: 全地球測位システム)などの衛星測位の利用拡大が進んでいる。日常生活レベルでも、カーナビゲーションや携帯電話など、GPS を利用した機器の普及は目覚ましい。子どもや高齢者の安心安全を目的とした人の見守りシステムにも GPS が使われるようになった。また、産業分野においても、トラックなどの移動体をはじめ、コンテナや荷物などの物流の管理にも GPS をはじめとする位置情報技術が活用されている。

今後、衛星測位の活用分野として期待され研究されている分野が、土木工事などにおける情報化施工である。

情報化施工とは、建設事業の調査・設計、積算・発注、施工、維持管理という実施プロセスの中から施工に注目し、各プロセスから得られる施工に関連する電子情報や各作業から受け渡される電子情報を活用し、建設機械と電子機器、計測機器の組み合わせによる連動制御あるいはそれら機器のネットワーク化による一元的な施工管理など、個別作業の横断的な連携、施工管理の情報化を行う建設生産システムである。施工の効率化、品質の向上、安全性の確保など、施工段階の高度化のみならず、施工の前のプロセス（設計等）で得られた電子データの活用や、逆に施工段階で得られた電子データの別のプロセスでの活用も可能にし、工事のライフサイクル全体の効率化・高度化に寄与するものである。情報化施工は、情報化施策である CALS/EC に密接に関連した施策であり、CALS/EC の工事施工フェーズの一部を受け持つものと定義できる。

情報化施工の一つに、GPS などでリアルタイムに取得した位置情報を用いて、建設機械の位置を正確に把握しながら施工を行う技術がある。施工と並行して、建設機械の移動軌跡や施工状況を電子的に記録でき、条件によっては建設機械の自動制御も可能となるため、計測作業の合理化、精度の向上、丁張なしでの施工や少人数の施工による効率化等が期待できる。今後、建設費の削減や熟練従事者の高齢化等が進む中で、生産効率と品質を確保していく技術として注目されている。

現在は、ショベルでの切り土・盛土の法面形成、ローラーでの転圧管理、ブルドーザーでの敷均し・まき出し、グレーダーでの路床仕上げ・砂利敷均しなど、多種の建設機械に適用されている。この場合、GPS のみでなく、センサの利用や 2 台の GPS を搭載しており、また、建設機械外に追尾型トータルステーションやレーザを設置して位置を正確に把握している。

日本国内での、GPS などでリアルタイムに取得した位置情報を用いての情報化施工の適用は、空港やダムなどの造成工事の盛土の締固め管理などに利用されている

が、上空視界が良好かつ大規模な工事に限定されているのが実情である。

その理由として、GPS が持つ、以下の特徴が挙げられる。

情報化施工に利用される RTK-GPS(Real Time Kinematic : 移動体高精度 GPS)では、5 基以上の GPS 衛星からの電波を受信し続ける必要があるが、GPS は干渉や信号変動に極めて弱く、一瞬でも電波が遮られると測位が中断され、継続して利用できない。さらに、RTK-GPS 測位は、利用開始時に行う初期化が数分以上かかる場合もある。

このため、山間部や都市部など障害物による GPS 電波の遮蔽が多い環境では、頻繁に電波が途切れて測位が中断され、一度中断されると再会までに時間がかかるという状況になりやすい。そのため、情報化施工できる時間が短い、施工途中で利用できなくなる等、結果的に施工の効率化にならないケースも少なくないため、恵まれた条件が揃った一部の現場以外では導入が難しいのが現状である。

高精度測位技術を情報化施工等に適用するに当たって、RTK-GPS 利用上の課題やニーズを把握するため、この分野における専門家及び有識者に対して実施したヒアリング調査でも、以下の問題点が浮かび上がった。

- ・見晴らしが良く衛星電波遮断がない場所でなければ使えない
- ・一旦衛星電波が遮断されると測位が出来なくなり復帰に時間がかかる(数 10 秒)
- ・上記の問題のために RTK-GPS の利用シーンが限られている

さらに、RTK-GPS は装置が非常に高価であり、導入費用の増大も利用拡大の妨げになっている。

しかし、RTK-GPS 測位は、cm レベルの高精度な位置特定が可能であり、電波遮断に対する脆弱性や初期化にかかる時間の課題が解決されると、適用可能工事の拡大が進み、我が国全体の工事の品質水準向上につながる可能性を持っている。また、災害地域での無人化施工なども容易にし、安全・安心にも寄与する技術ともなりうる。

5.1.1.2 研究の目的

RTK-GPS を利用した情報化施工で、利用可能な範囲や時間が短くなる主な理由としては、図 5.1.1 に示すように、以下の原因が挙げられる。

- ① 他の建機や建物によるマルチパス（反射波）による位置誤差の増大
- ② GPS 電波の瞬間的な遮断による GPS 受信機内のサイクルスリップの発生
- ③ RTK-GPS の初期化にかかる時間が長い（数十秒～数分）ことによる効率の低下
- ④ 電波遮蔽により、RTK-GPS のみによる連続した測位が困難な地形条件

なお、マルチパス、サイクルスリップ等の用語については、次項 5.1.2 で解説する。

山間部は、これらの条件が揃っている場所であり、複数の要因が複合的に作用して RTK-GPS の適用をいっそう困難にしている。すなわち、GPS 電波が遮蔽されやすい地形で、マルチパス誤差が増大しやすい上、瞬間的な電波遮断が多く、時間のかかる初期化が必要なタイミングが頻繁に発生する。

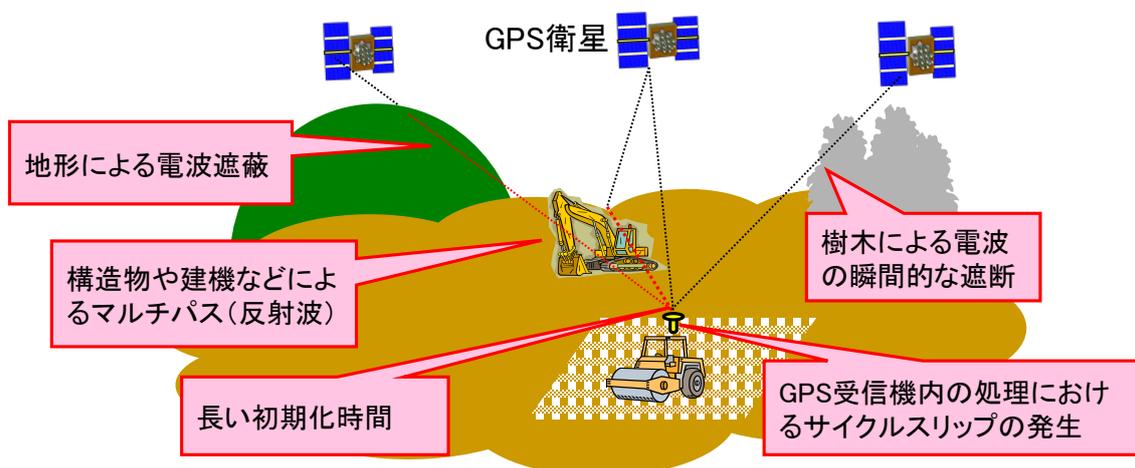


図 5.1.1 情報化施工における RTK-GPS の課題

本研究は、建設機械等の中低速移動体において、連続的かつ高精度な RTK-GPS 測位が可能となる技術基盤の構築を目的とした。

具体的には、以下の 3 つの技術開発を行った。

- ①マルチパス誤差低減技術の開発
- ②RTK-GPS 高速初期化技術の開発
- ③慣性航法複合技術の開発

さらに、上記 3 技術の有効性を検証するため、開発した技術を適用した高精度測位ソフトウェアを試作し、シミュレーション実験および屋外実験を行い、開発技術の評価を行った。

5.1.1.3 研究の全体概要

本研究は、五箇年に渡って行った。全体スケジュールは図 5.1.2 のとおり。

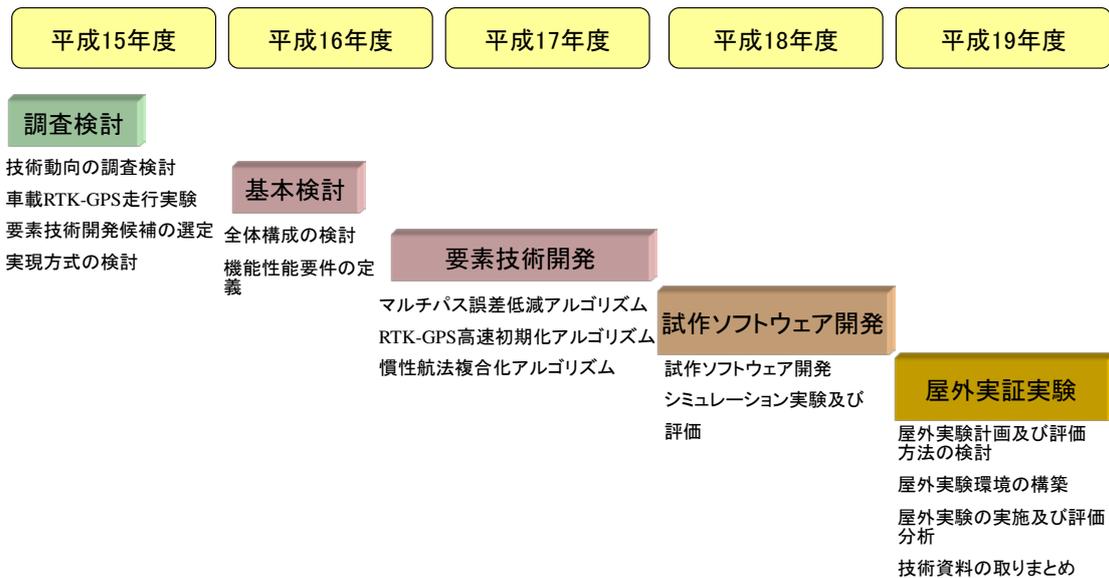


図 5.1.2 全体研究スケジュール

5.1.2 中低速移動体の高精度な測位のための技術開発

ここでは、本研究で開発した3つの要素技術について概説する。なお、詳細は国土技術政策総合研究所資料第513号「中低速移動体へのRTK-GPS適用化技術の開発に関する技術資料」を参照されたい。

5.1.2.1 用語

本報告書において使用する用語の意味を、以下に示す。

- 基準局
相対測位において位置が既知である受信機のこと。
- 移動局
相対測位において位置が未知である受信機のこと。
- 搬送波
GPS衛星からの電波のことである。GPSではL1帯（波長約19cm）とL2帯（波長約24cm）の2波が用いられている。
- 擬似距離
GPS衛星からの電波を受信することで得られる観測量の一つで、衛星・受信機間の距離のこと。受信機の時計誤差に起因する比較的大きい誤差が含まれるため「擬似」と呼ばれる。
- 搬送波位相
GPS衛星からの電波を受信することで得られる観測量の一つで、観測開始時点からの搬送波の位相変化分を積算したもの。擬似距離よりも精密な衛星・受

信機間の測距が可能であるが、整数波長分の不確定性を含む。

- 整数値バイアス、アンビギュイティ
基準局と移動局との搬送波の行路差上にある波数の整数部。GPS 電波の受信開始時には、小数部は観測量から求められるが整数部は不確定。アンビギュイティ決定とは、この整数値が定まり、衛星から受信機までの距離が決定されることをいう。詳細は（４）RTK-GPS 高速初期化技術の開発を参照。
- マルチパス
電波の伝播において送信側から送出された信号が、反射・回折等により 2 つ以上の経路を通過して受信側に到達する現象。
- サイクルスリップ
干渉測位において観測中に衛星電波受信に瞬断があると、GPS 受信機での位相積算も一時中断してしまい、位相データにずれが生じる。これをサイクルスリップと呼ぶ。
- エポック
干渉測位でのデータ取得時のこと。
- ジャイロ
物体の角速度を得るためのセンサ。
- 慣性航法演算
ジャイロから得られる角速度、加速度計を用いて得られる加速度を積算して、初期位置からの移動量、及び速度、姿勢・方位を演算する手法。
- IMU
3 軸のジャイロと 3 軸の加速度計から構成される慣性装置。
- INS
IMU に慣性演算処理部、入出力インタフェースを含めたシステム。
- カルマンフィルタ
観測データが与えられたとき、観測データに含まれるノイズを確率的に取り扱い、それを 1 つずつ増やしながら、ステップごとに解析モデル式のパラメータの解を求め、次第に解の精度を向上させていく方法。
- ドリフト
実際の角速度がない(=0)場合のジャイロ出力
- バイアス
実際の加速度がない(=0)場合の加速度計出力

5.1.2.2 概説

図 5.1.3 に示すように RTK-GPS 測位では、まずカーナビ等で利用されている GPS 観測データの擬似距離を用いたコード測位が行われる。この測位結果を探索範囲の初期値として無数のアンビギュイティ候補解の中からただ一つの整数値を決定する。従って、この初期探索範囲が狭い程、RTK-GPS 初期化時間が短くなることになる。

このコード測位結果が、衛星電波の反射や回折（マルチパス）で大きな擬似距離誤差を生じる場合、正しいアンビギュイティを決定できないか、探索範囲を広げる必要があるため初期化時間が長くなるという問題が生じる。

マルチパス誤差低減技術は、このコード測位の異常な誤差を取り除き、RTK-GPS 測位の初期化を短縮する技術を開発する。

また、RTK-GPS 高速初期化技術では、時々刻々と位置が変化する移動体の位置決めに適するため、GPS 観測エポック毎にアンビギュイティを決定するワンエポック決定

RTK-GPS 測位手法を開発する。これにより、初期化時間を短縮し、継続性を確保することを目的とする。

さらに慣性航法複合技術では、衛星測位の限界を補完するため、ジャイロ等による自律的な移動体用位置特定手段である慣性航法システム(INS)と RTK-GPS とのハイブリッド測位手法により、衛星電波が途切れた状況においても高精度測位を継続できる技術を開発する。

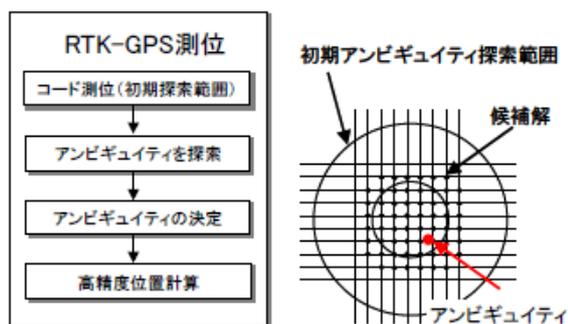


図 5.1.3 RTK-GPS 測位処理

5.1.2.3 マルチパス誤差低減処理

(1) 背景・課題

一般にマルチパスとは、電波の伝播において送信側から送出された信号が 2 つ以上の経路を通過して受信側に到達する現象のことである。GPS においては、衛星から送出された電波がアンテナに直接到来する直接波と受信アンテナ周囲の建物や地表で反射・回折された電波が重なり合った現象をマルチパスと呼ぶ。(図 5.1.4)

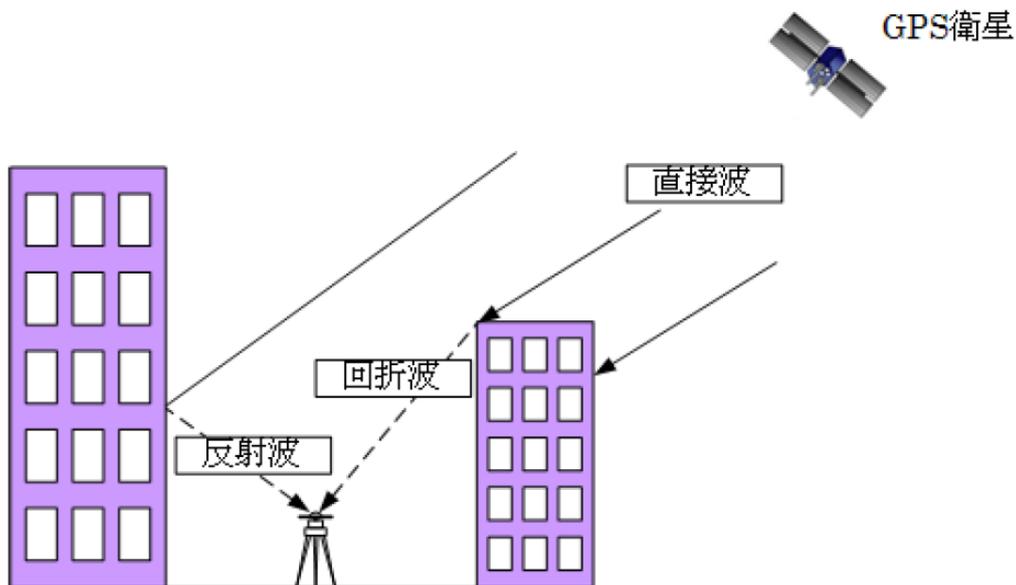


図 5.1.4 反射・回折の例

この直接波と反射波が合成された信号は、直接波の波形を崩し受信機の動作に影響を及ぼす。その影響は GPS 受信機での擬似距離測定の誤差となって現れる。

GPS 測位では GPS 衛星から送信される信号を利用して GPS 衛星～受信アンテナ間の距離（擬似距離）を測定し、擬似距離を利用して測位計算を行う。この測位計算において、より正確な測位計算を行うためには、出来るだけ直線的な経路で GPS 衛星～受信アンテナ間の距離を測定することが求められる。しかし、マルチパスが発生する環境において、反射・回折した GPS 信号は本来の直線的な経路を通らないため、実際の GPS 衛星～受信アンテナ間距離よりも長い距離となる場合が多い。この信号から求めた擬似距離を利用して測位計算を行うと、測位計算結果に誤差が生じる結果となる。

(2) 開発技術

障害物によって反射・回折された GPS 信号（劣化信号）は、直接波と比較して信号強度が低くなる傾向を持つ。この特徴を利用すれば、受信機で実際に受信した信号強度と直接波が到達した場合の信号強度推定値とを比較することで、劣化信号を特定することができる。

直接波が到達した場合の信号強度推定値は、GPS 信号の信号強度と衛星仰角の間に関連があることが知られており、これを利用すると信号強度を衛星仰角の関数として表すことができる。図 5.1.5 に直接波における衛星仰角と信号強度の関係の例を示す。

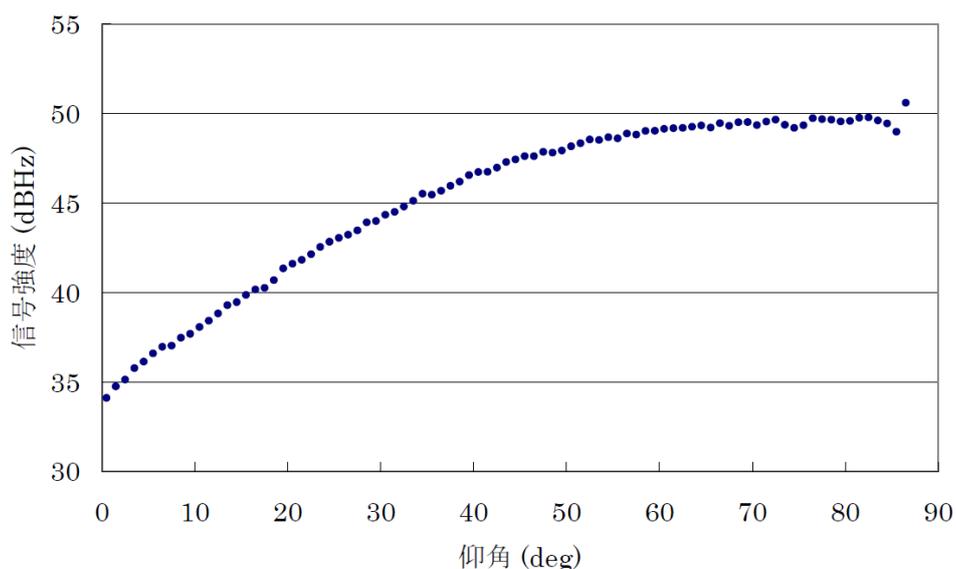


図 5.1.5 衛星仰角と信号強度の関係

なお、この関係は、アンテナ・アンテナケーブル・受信機といった受信構成の組み合わせによって決まるため、これらの組み合わせを変更した場合、衛星仰角と信号強度の関係も変化してしまう。このため、受信構成を変更した場合は信号強度と衛星仰角の関係も改めて求めなおさなければならない。

図 5.1.5 のような特性を持つ受信構成を使用して測定を行った場合に、受信したある衛星の信号強度がその衛星の仰角から図 5.1.5 の関係を使って得られる信号強度と比べて低い値をとった時、その衛星は劣化信号であると判断できる。

本手法の具体的なアルゴリズムは、

SSobs(t) : 移動局側で受信した衛星信号の信号強度の観測値

EVobs(t) : 移動局側で受信した衛星の仰角の計算値

SSref(x) : 信号強度を衛星仰角 x を変数として表した関数

とすると、

$$SS_DIFF(t) = SSref(EVobs(t)) - SSobs(t) \quad (\text{式 5.1.1})$$

と表すことができる。

実際の計算においては、受信している各衛星に対して、1 エポック毎に、式 5.1.1 を用いて SS_DIFF(t) を計算し、その値があらかじめ決めた閾値によりも大きい場合は、その衛星の信号は劣化信号と判断して測位計算から除外する。

(3) まとめ

劣化信号除去手法は測位精度に影響を与える信号（劣化信号）を送出している衛星を特定し、その衛星を測位計算から除外するという考え方である。本研究では、

劣化信号を特定する手法として、反射・回折を受けた衛星電波の信号強度の特徴を利用して、その衛星を特定する手法について検討・開発を行った。

5.1.2.4 RTK-GPS 高速初期化処理

(1) 背景・課題

RTK-GPS は、衛星から送られる搬送波の位相を測定し、搬送波の波数を推定することにより、高精度に位置を求める相対測位手法である。この手法では、基準局と移動局との搬送波の行路差上にある波数を推定する初期化処理が必要である(図 5.1.6)。この波数の整数部を“Integer Ambiguity”、日本語では「アンビギュイティ」又は「整数値バイアス」と呼ぶ。初期化処理では波数の小数部は観測量から求められるが、アンビギュイティは未知量となる。

初期化処理の際には、このアンビギュイティを決定し移動局の位置を決定するが、無数の整数値候補によって無数の基線ベクトルの候補(多重解)が存在し(図 5.1.7)、この多重解から真の解(整数解)を求めるのに数十秒から数分を要してしまう。

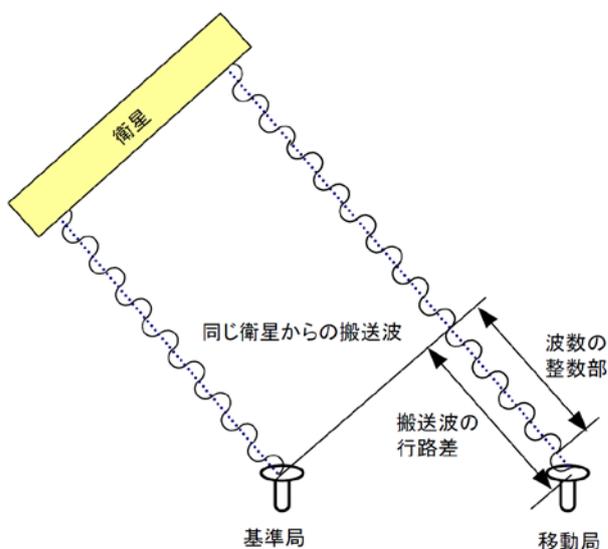


図 5.1.6 搬送波におけるアンビギュイティ

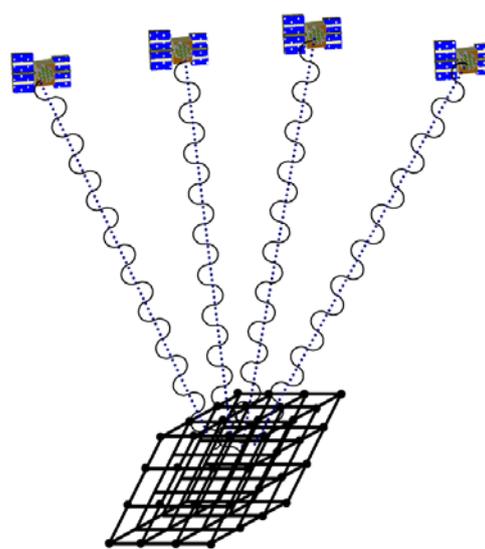


図 5.1.7 基線ベクトルの候補(多重解)

山間部や都市部の建設現場では、もともと可視衛星数が少ない上、建機が移動すると、樹木や構造物などにより受信が遮断されるため、電波受信が復帰するたびに初期化処理を行う必要がある(図 5.1.8)。この頻繁かつ時間を要する初期化処理が作業効率を低下させ、建機などへの RTK-GPS の普及を阻む一つの要因となっている。

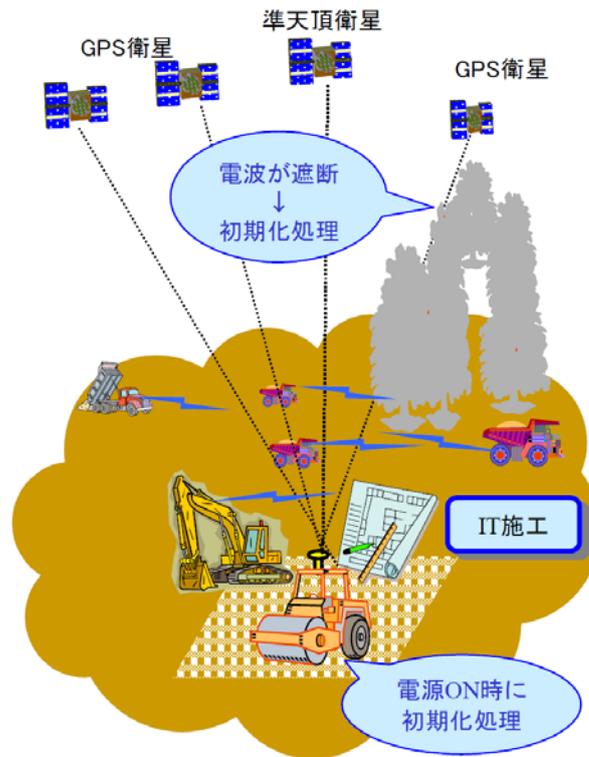


図 5.1.8 建設施工現場における RTK-GPS 初期化处理

RTK-GPS では、観測された搬送波位相積算値（搬送波位相）をもとにアンビギュイティの実数解を算出し、実数解に最も近いアンビギュイティを探索する。この実数解に大きな誤差が含まれていると、正しいアンビギュイティを求めることができない（図 5.1.9）。

このため、ワンエポックでアンビギュイティを決定するには、アンビギュイティ実数解を精度良く算出する必要がある。しかし、以下の誤差があり、その妨げとなっている。これら以外にマルチパス誤差が考えられるが、前述のマルチパス誤差低減技術を用いることにより、マルチパスが除去されるものとする。

- ・ 電離層及び対流圏遅延による搬送波位相の誤差
- ・ 推定位置の誤差

搬送波位相には電離層及び対流圏遅延の誤差が含まれている。RTK-GPS では、搬送波位相をもとにアンビギュイティ実数解を算出するため、搬送波位相に消去不可能な誤差が含まれていると、アンビギュイティ実数解の精度が悪くなり、正しいアンビギュイティを得ることができなくなる。

また、RTK-GPS では、アンビギュイティ実数解とともに移動局の推定位置も算出する。この移動局の推定位置に誤差が生じると、アンビギュイティ実数解にも悪影響を与えてしまい、誤差が付加されてしまう（図 5.1.10）。

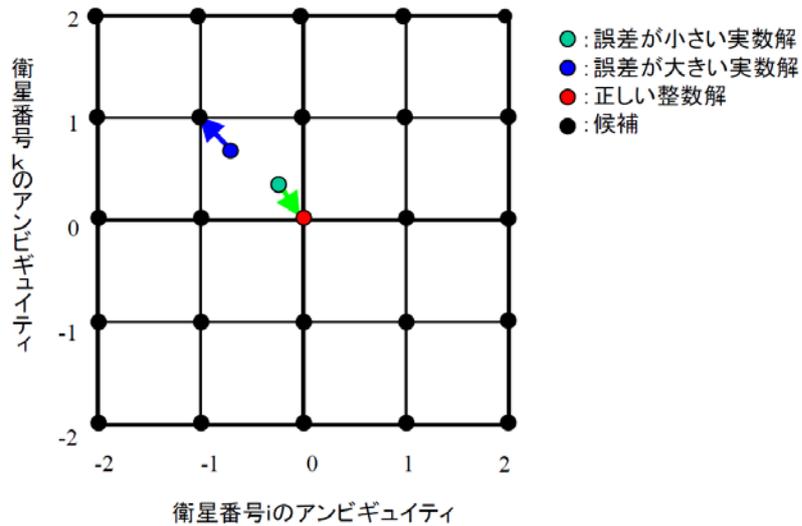


図 5.1.9 アンビギュイティ実数解と整数解 (2つの衛星のみ表示)

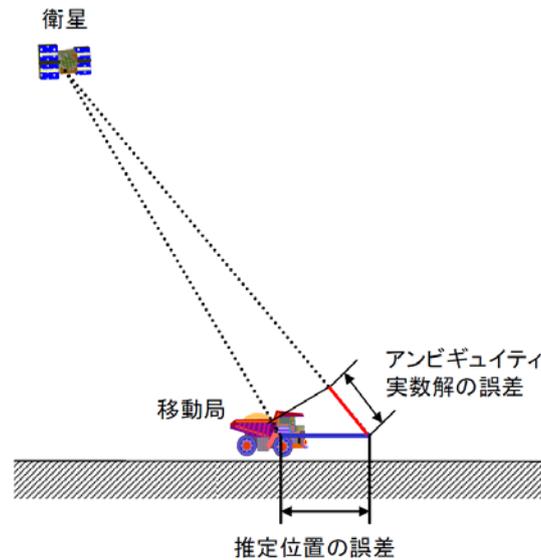


図 5.1.10 推定位置の誤差によって発生するアンビギュイティ実数解の誤差

(2) 開発技術

アンビギュイティを高速決定する技術として、ある時刻に得られた観測データのみを用いてアンビギュイティを決定する (ワンエポック決定) 技術を開発した。具体的には、電離層及び対流圏遅延による搬送波位相の誤差、推定位置の誤差の低減を図るため、衛星選択手法及び運動モデルを検討し、ワンエポックでアンビギュイティを決定できるアルゴリズムを開発した。

1) 衛星選択手法の検討

衛星仰角が低くなると、電離層及び対流圏遅延は長くなる。それに伴って、搬送

波位相の誤差も大きくなる。一方、位置精度は衛星配置に依存する。このため、どの衛星の観測データを使用するかによってアンビギュイティ実数解の精度が変わる。

従来の RTK-GPS においては、ある仰角以上の衛星を選択していた。本研究では、衛星の仰角と配置を同時に考慮して、衛星を選択する手法を検討した。

2) 移動体の運動モデルの検討

アンビギュイティ実数解の算出ではカルマンフィルタを用いる。このとき、移動局の運動を考慮して、速度や加速度を推定すると、推定位置精度が向上すると考えられる。そこで、移動体に適応した、速度及び加速度を考慮した運動モデルを検討した。

(3) まとめ

従来技術では数十秒から数分かかる RTK-GPS 初期化時間を 1 から数秒で短縮することを目的として、仰角と配置をもとに衛星を選択する手法と、速度及び加速度を考慮した運動モデルを導入したワンエポック決定ソフトウェアを開発した。

また、山や建物に囲まれた場所を走行したときの模擬観測データによる評価を行い、一時的に電波が途切れても、5 衛星の観測データを再び受信できるようになったとき、ワンエポックでアンビギュイティを決定できることを確認した。

5.1.2.5 慣性航法複合演算処理

(1) 背景・課題

RTK-GPS 測位技術は GPS 衛星が常に 5 基以上可視できるような上空視界の良好な場所で使用することが前提となる。よって、山間部の谷間など上空視界が良好でない建設現場等で使用する作業用車両には適用できない。(図 5.1.11 参照)

上記の問題を解決するために、本研究開発では移動車両の運動を 3 次元空間として捉え、高精度に車両の 3 次元位置・姿勢を検出する慣性航法装置 (Inertial Navigation System、以後「INS」という) と、RTK-GPS 測位を組み合わせた、高精度複合航法手法を検討した。これにより、衛星電波で途切れた状況においても高精度測位を継続でき、データの品質やシステムの信頼性が必要とされる建設機械への適用性も高まると考えられる。

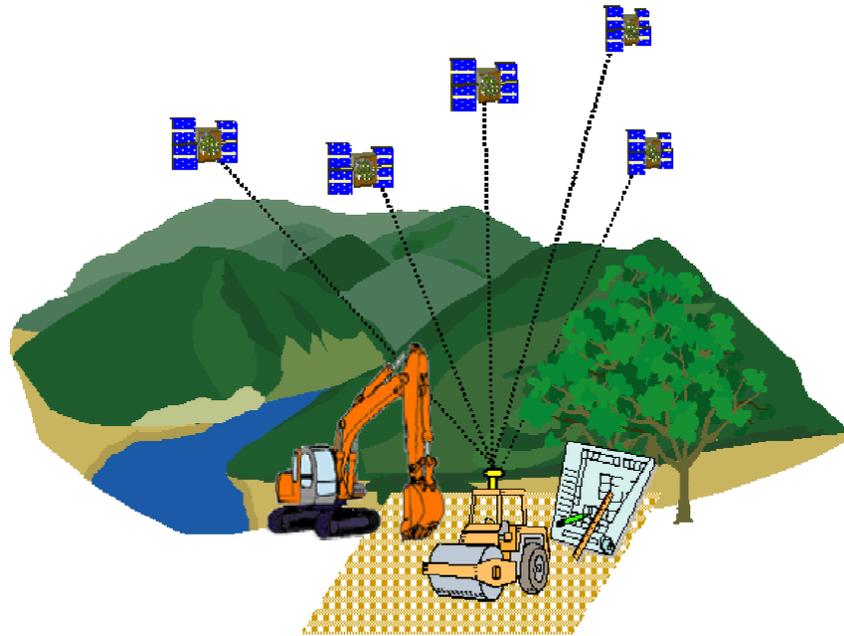


図 5.1.11 建設現場の想定

図 5.1.12 に、慣性航法複合技術と RTK-GPS 技術を比較する。

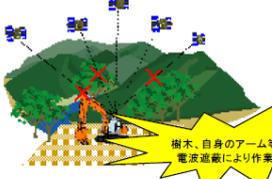
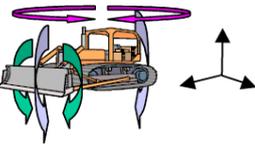
項目	連続性	姿勢方位 (向き・傾斜)	リアルタイム性 (出カインターバル)
RTK-GPS	 <p>5衛星以上の信号が捕捉出来ないと、測位結果を出力しない。</p> <p>樹木、自身のアーム等による電波遮蔽により作業中断</p>	<p>向き、傾斜が判らない。</p> <p>or</p> <p>2台以上のGPS受信機を取付ける</p>	<p>通常 1 Hz</p> <p>制御情報として使用し難い。</p>
慣性航法複合	<ul style="list-style-type: none"> ・常時測位結果を出力する。 ・作業を中断させない。 	<p>1台の装置で対応</p>  <p>緯度、経度、高度、時刻 方位、傾き(前後、左右)</p>	<p>50Hz～100Hz</p> <p>制御情報として使用できる (油圧制御等)</p> 

図 5.1.12 慣性航法複合技術のメリット

(2) 開発技術

RTK-GPS 測位が不可能な上空視界の良好でない場所では、電波環境に依存せず、搭載したセンサのみで測位できる INS は有用である。しかし、INS における問題点として、センサから得られる加速度や角速度を積分して位置を求めるため、センサ固有のバイアスやドリフトに起因する誤差が時間の経過とともに蓄積され、測位精度を劣化させる点が挙げられる。さらに、コストを下げるために低価格な INS を用いた場合、誤差が急激に増大するため、作業用車両への適用は困難である。

この誤差の増大を抑える方法として、速度あるいは位置を検出できる他のセンサと組み合わせて、互いの欠点を補いながら最適な航法性能を維持・向上させる複合航法システムを検討した。具体的には、各 GPS 衛星より得られる擬似距離、搬送波位相、ドップラ周波数等を用いて、RTK-GPS 測位が不可能な場所においても、RTK-GPS と低価格 INS による複合航法により高精度な測位を実現する手法を検討した。

RTK-GPS との複合航法においては、RTK-GPS 測位演算結果の位置、速度を用いる既存複合航法方式 (Loosely Coupled 方式) ではなく、RTK-GPS 観測の生データである擬似距離、搬送波位相データを直接使用する方式 (Tightly Coupled 方式) を検討した (図 5.1.13)。本方式の優れた点は、GPS 衛星からの観測データの擬似距離、搬送波位相を直接用いることで、演算処理による誤差を避けられることである。さらに衛星毎の擬似距離、搬送波位相を用いているため、RTK-GPS 測位演算を実施するために必要な、5 基以上の衛星が捕捉できないような上空視界の悪い場所においても、INS のみによる純慣性航法の誤差増大を抑えられることである。

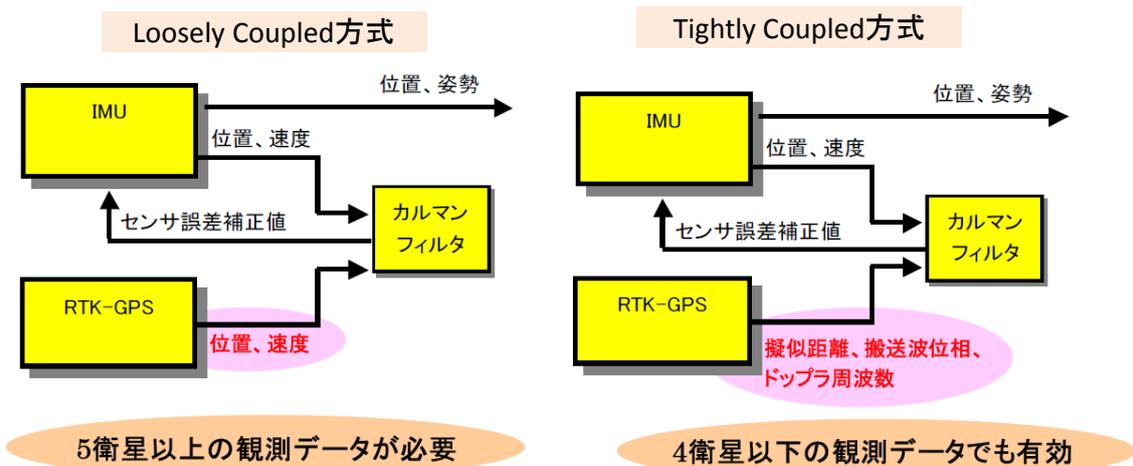


図 5.1.13 複合航法方式の違い

Loosely coupled 方式は、アンビギュイティ決定時には高精度な誤差補正が可能であるが、衛星電波の遮断等によりひとたびアンビギュイティが未決定になると、加速度的に誤差が増大していく。一方、Tightly coupled 方式は、アンビギュイティ決定時の精度は Loosely coupled 方式に劣るが、RTK-GPS 測位を行えないアンビギュイティ未決定時においても誤差を小さく抑えられる。

本研究では、運用時の GPS 利用状況によって、Loosely coupled 方式と Tightly coupled 方式を適宜切換えて使用することによって、より効果的な複合航法を行うことが可能となった。

(3) まとめ

開発した技術では、一旦 RTK-GPS 測位ができない環境（例えば可視衛星数が 4 基）となっても、慣性航法誤差の要因となるジャイロ等を補正し続けることが可能となり、RTK-GPS に必要な環境（可視衛星数が 5 基以上）の継続が無くともある程度の測位精度を維持することができる。

本技術により、山間部の谷間などの、これまで RTK-GPS の適用が不可能であった場所においても、少なくとも 4 衛星が可視できれば、連続して高精度測位が可能となり、利用エリアが格段に広がることが期待できる。

5.1.3 シミュレーション実験及び屋外実験

前項で解説した技術の有効性を検証するため、ソフトウェアに実際に測位演算をさせる実験を行った。実験は、シミュレーション環境および現実の屋外環境にて行った。

5.1.3.1 シミュレーション実験

(1) 実験の目的

開発した高精度測位技術を、作業用車両の測位に適用した状況をシミュレーション環境下で設定してシミュレーション実験を行い、アルゴリズムの有効性と性能を検証した。

(2) シミュレーションの設定

シミュレーション実験では実際の建設機械を使用した作業を模擬し、作業中の測位技術の性能を評価した。以下に基本的なシミュレーションの設定について述べる。

1) シミュレーション地点

シミュレーション実験の想定地点は、以下の国内 2 地点とする。

- ・ 日立建機 浦幌試験場（北海道）
- ・ 第 2 東名高速建設現場（中部地方）

2) 対象建設機械

本シミュレーションの対象となる建設機械は以下の 2 種とする。

- ・ 転圧ローラ
- ・ 油圧ショベル

転圧ローラは、造成・道路工事の際の締固めに使用される建設機械である。転圧ローラを使用する作業では、空港等の大規模土木工事における転圧回数の管理等に情報化施工が多く使用されている。

油圧ショベルは積み込み・掘削・法面整形等に使用される。油圧ショベルを使用する作業では、ダム建設現場等の法面整形作業において情報化施工が使用されることがある。

3) シミュレーション時間

シミュレーションを行う時間は、実際の建設現場での作業時間を想定して最大12時間とする。

4) シミュレーション領域

シミュレーション中に建設機械が動く領域は高速道路建設現場を想定し、長さ60m×幅30mの大きさとする。

5) 建設機械の動き

シミュレーション中の建設機械の動きを以下に示す。

i) 転圧ローラ

作業領域の長辺方向に直線的に前進して転圧後、作業領域外で車幅程度短辺方向に移動する。その後、後進して転圧を行い、再度、作業領域外で車幅程度短辺方向に移動する。この動作を繰り返し、作業領域内をくまなく移動し転圧を行う（図 5.1.14）。

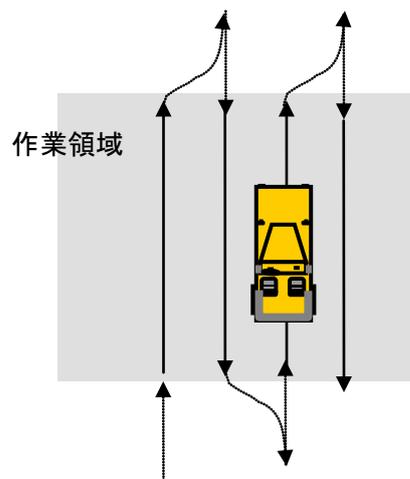


図 5.1.14 転圧ローラの動作

ii) 油圧ショベル

油圧ショベルでは、バケット操作による法面整形作業を想定した動作を行う。動作内容は以下の通りとする（図 5.1.15）。

- ① 油圧ショベルはブームを作業領域の外周に直交させた状態で、作業領域の法面のある外周に沿って移動する。
- ② ブームを作業領域の外周に直交させた状態で掘削作業を行った後、作業領域外周に沿って若干移動する。
- ③ ②の動作を繰り返して、外周の法面の掘削を行う。

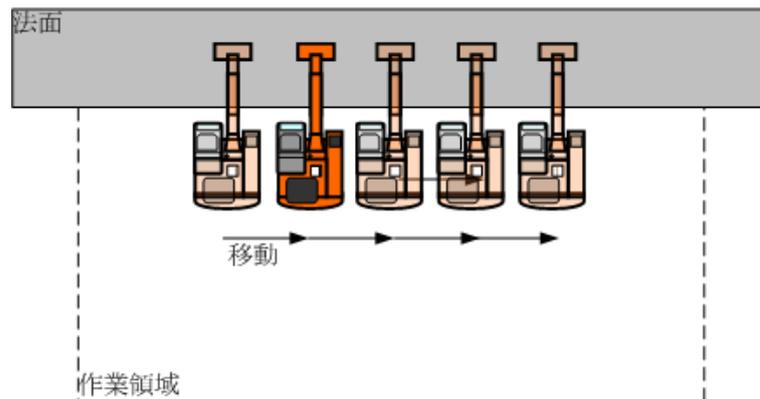


図 5.1.15 油圧ショベルの動作

6) 建設機械上の GPS アンテナ・IMU 設置位置

建設機械上に設置する GPS アンテナは、転圧ローラ・油圧ショベルそれぞれ以下の場所に設置していると想定する。

- ・ 転圧ローラ・・・本体中心
- ・ 油圧ショベル・・・本体の旋回軸上

また、IMU は GPS アンテナの直下に設置していると想定する。

7) 擬似的な測位誤差要因の生成

シミュレーションで生成する測距情報に、サイクルスリップやマルチパスの影響を意図的に付加する。サイクルスリップ及びマルチパスの発生方法は以下の通りである。

i) サイクルスリップ

300 エポックごとに一定周期で搬送波位相積算値にとびを加える。

ii) 2) マルチパス

60 エポックごとに一定の周期で擬似距離にとびを加えた上で、信号強度を減少させる。

8) 評価条件

シミュレーションでは、「電波遮蔽状況」と「使用技術」の条件の組み合わせを変えたときのシミュレーション結果を比較することで、開発した技術の評価を行う。

i) 電波遮蔽状況

シミュレーション実行中に、作業領域周辺の地形により電波遮蔽状況を変化させる。具体的な方法は、シミュレーション領域の周囲に 1 割勾配の多段法面を配置する。法面の勾配の値 1 割については、日本道路協会出版「道路土工一のり面工・斜面安定工指針」に標準的な法面勾配の値として記載のある値を採用した。

段数の設定については法面無し～5段の6パターンとする。図 5.1.16 に法面を設定した場合の法面段数と遮蔽仰角の関係を示す。

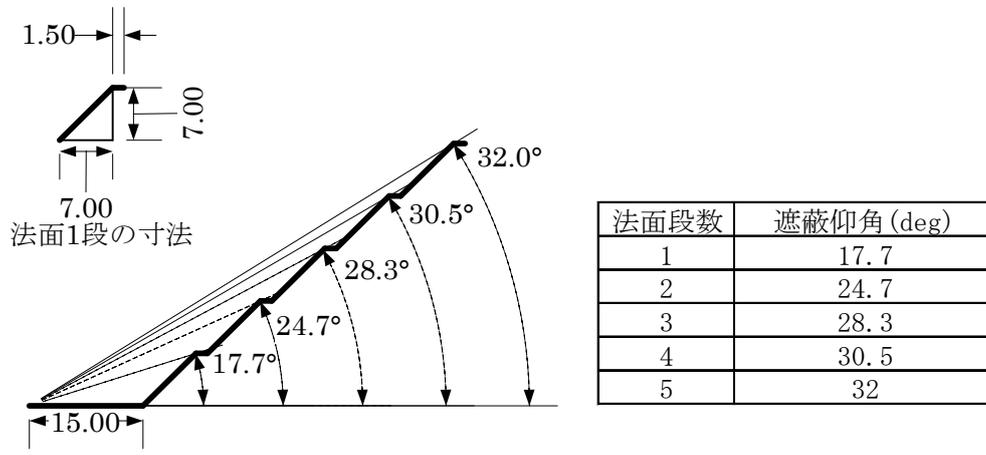


図 5.1.16 法面段数と遮蔽仰角の関係

ii) 使用技術

使用技術は、「従来技術」「RTK-GPS 高速初期化技術」及び「慣性航法複合技術」の3パターンを設定する。

- ・従来技術
 - ：従来一般的な RTK-GPS 技術
- ・RTK-GPS 高速初期化技術
 - ：マルチパス誤差低減処理技術および RTK-GPS 高速初期化技術を適用
- ・慣性航法複合技術
 - ：RTK-GPS 高速初期化技術にさらに慣性航法複合演算処理技術を適用

9) 評価項目

実験結果は以下の項目について評価した。

i) 利用率

全稼働時間のうち、アンビギュイティを決定し、かつ位置誤差が 10cm 以下である時間の割合。

ii) 位置誤差

アンビギュイティを決定した状態における真の位置と計算位置の水平面上の差の平均値。

iii) 初期化時間

アンビギュイティを決定するまでの平均時間。サイクルスリップ及びマルチパスの発生後から初期化が始まる。初期化できなかった場合、マルチパスを 60 秒

おきに発生させるため、初期化時間を 59 秒とする。また、初期化途中で衛星数の増減があった場合を計算から除く。この項目は RTK-GPS 高速初期化のみの評価項目となる。

(3) 実験結果

1) 法面段数による評価

浦幌（北海道）で転圧ローラを走行させたシミュレーション実験を行った。図 5.1.17～図 5.1.19 に示す解析結果を得て、以下の結論を得た。

- ・ 図 5.1.17 に示すように、慣性航法複合技術を用いることにより、法面 4 段以下で 90%以上の利用率を確保できた。
- ・ 図 5.1.17 に示すように、法面が 4 段である場合、RTK-GPS 高速初期化技術の利用率が従来技術に比べて約 30%向上した。同様に、慣性航法複合技術の利用率が従来技術に比べて約 40%向上した。
- ・ 図 5.1.18 に示すように、法面が 4 段である場合、RTK-GPS 高速初期化技術及び慣性航法複合技術の位置誤差は数 cm 程度であり、10cm 以下となった。
- ・ 図 5.1.19 に示すように、法面が 4 段である場合、RTK-GPS 高速初期化技術の平均初期化時間は従来技術に比べて 3 分の 1 以下に短縮された。

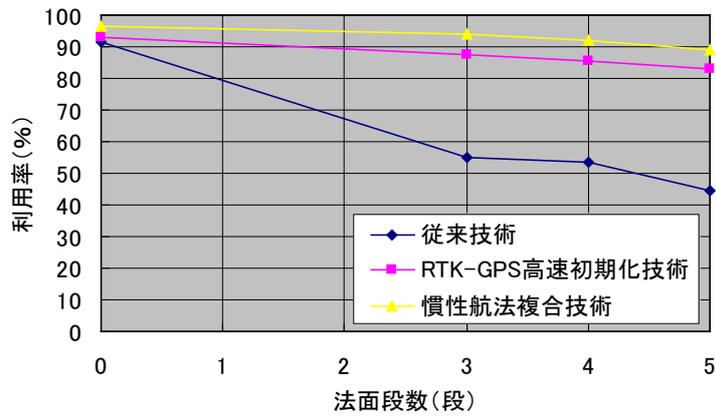


図 5.1.17 法面段数と利用率の関係（浦幌、転圧ローラ）

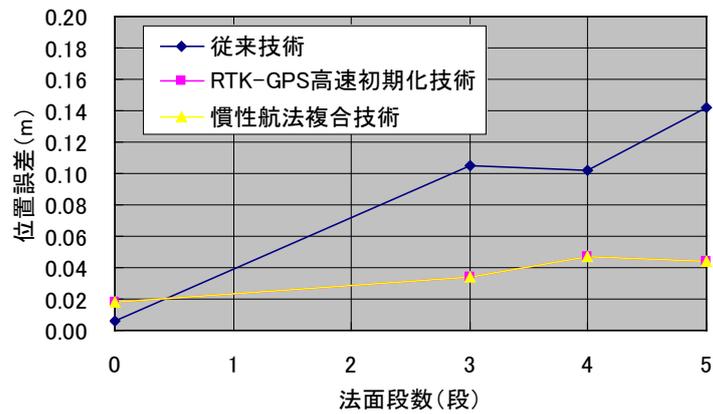


図 5.1.18 法面段数と位置誤差の関係（浦幌、転圧ローラ）

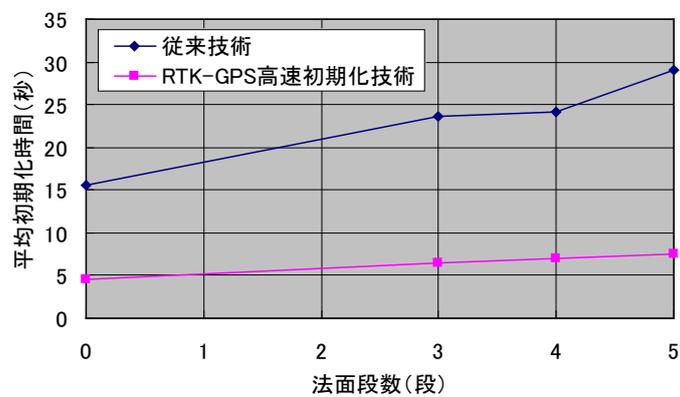


図 5.1.19 法面段数と平均初期化時間の関係（浦幌、転圧ローラ）

2) 実験場所による評価

実験場所が浦幌（北海道）及び第2 東名（静岡）である場合の利用率、位置誤差及び平均初期化時間を表 5.1.1～表 5.1.3 に示す。

表 5.1.1 に示すように、実験場所が第2 東名であったとしても、RTK-GPS 高速初期化技術の利用率が従来技術に比べて約 23%向上した。同様に、実験場所が第2 東名であったとしても、慣性航法複合技術の利用率が従来技術に比べて約 25%向上した。

表 5.1.3 に示すように、実験場所が第2 東名であったとしても、RTK-GPS 高速初期化技術の平均初期化時間が従来技術に比べて、約 3 分の 1 短縮された。

以上のことから、RTK-GPS 高速初期化技術及び慣性航法複合技術により、場所に関係なく、利用率および平均初期化時間が向上すると言える。但し位置誤差については、浦幌（北海道）では誤差が小さくなったが、第2 東名では明確な誤差改善が見られなかった。

表 5.1.1 各実験場所における利用率（転圧ローラ、法面 4 段）

評価項目		利用率 (%)		
評価対象		従来技術	RTK-GPS 高速初期化技術	慣性航法複合技術
実験場所	浦幌（北海道）	53.3	85.6	92.2
	第2 東名（静岡）	59.8	82.5	84.7

表 5.1.2 各実験場所における位置誤差（転圧ローラ、法面 4 段）

評価項目		位置誤差 (m)		
評価対象		従来技術	RTK-GPS 高速初期化技術	慣性航法複合技術
実験場所	浦幌（北海道）	0.102	0.047	0.047
	第2 東名（静岡）	0.222	0.277	0.277

表 5.1.3 各実験場所における平均初期化時間（転圧ローラ、法面 4 段）

評価項目		平均初期化時間 (秒)	
評価対象		従来技術	RTK-GPS 高速初期化技術
実験場所	浦幌（北海道）	24.2	7.0
	第2 東名（静岡）	18.1	6.6

3) 建機の種別と動きによる評価

建機の種別が転圧ローラ及び油圧ショベルである場合の利用率、位置誤差及び平均初期化時間を表 5.1.4～表 5.1.6 に示す。

表 5.1.4 に示すように、法面が 4 段である場合、建機種別が油圧ショベルであったとしても、RTK-GPS 高速初期化技術の利用率が従来技術に比べて約 35%向上した。同様に、建機種別が油圧ショベルであったとしても、慣性航法複合技術の利用率が従来技術に比べて約 43%向上した。

表 5.1.6 に示すように、法面が 4 段である場合、建機種別が油圧ショベルであったとしても、RTK-GPS 高速初期化技術の平均初期化時間が従来技術に比べて、3 分の 1 以下に短縮された。

以上のことから、RTK-GPS 高速初期化技術及び慣性航法複合技術により、場所に関建機の種別に関係なく、利用率および平均初期化時間が向上すると言える。但し位置誤差については、油圧ショベルでは明確な誤差改善が見られなかった。一方、建機種別間で比較すると、転圧ローラに比べて油圧ショベルでは若干、利用率、位置誤差、平均初期化時間が低下する傾向があった。

表 5.1.4 に示すように、法面が 4 段である場合、油圧ショベルの利用率が転圧ローラに比べて約 5～6%低下した。

表 5.1.6 に示すように、法面が 4 段である場合、油圧ショベルの平均初期化時間が転圧ローラに比べて 1～4 秒程度長くなった。

表 5.1.4 建機種別における利用率（浦幌）

評価項目		利用率 (%)					
		従来技術		RTK-GPS 高速初期化技術		慣性航法複合技術	
評価対象		0	4	0	4	0	4
法面段数 (段)							
建機種別	転圧ローラ	91.6	53.3	93.0	85.6	96.6	92.2
	油圧ショベル	91.2	43.9	92.7	79.7	96.4	86.9

表 5.1.5 建機種別における位置誤差（浦幌）

評価項目		位置誤差（m）					
評価対象		従来技術		RTK-GPS 高速初期化技術		慣性航法複合技術	
法面段数（段）		0	4	0	4	0	4
建機種別	転圧ローラ	0.006	0.102	0.018	0.047	0.018	0.047
	油圧ショベル	0.007	0.033	0.033	0.056	0.033	0.056

表 5.1.6 建機種別における平均初期化時間（浦幌）

評価項目		平均初期化時間（秒）			
評価対象		従来技術		RTK-GPS 高速初期化技術	
法面段数（段）		0	4	0	4
建機種別	転圧ローラ	15.6	24.2	4.5	7.0
	油圧ショベル	7.1	28.5	4.1	6.9

5.1.3.2 屋外実験

(1) 実験の目的

開発した高精度測位技術を作業用車両の測位に適用した状況を、実環境にて構築して実験を行い、アルゴリズムの有効性と性能を検証した。

(2) 実験の条件

H18 年度に開発されたシミュレーション実験用の高精度測位ソフトウェアを、実環境での作業用車両用に改良を行い、実運用を想定した屋外実験を行った。

屋外実験では建設機械を使用して実際の建設作業中の動作を模擬し、作業中の測位技術の性能を評価した。以下に実験方法・実験日程・場所等、基本的な実験環境について述べる。

1) 評価対象ソフトウェア

屋外実験では、表 5.1.7 に示す 3 種類のソフトウェアを用いる。

表 5.1.7 評価対象について

評価対象	内容
開発ソフト	本研究で開発した RTK-GPS ソフトウェアの演算結果
既存製品	NovAtel 社の 2 周波 GPS 受信機に組み込まれたソフトウェアの結果
市販ソフト	Waypoint 社の GrafNav Ver. 7 で演算した結果

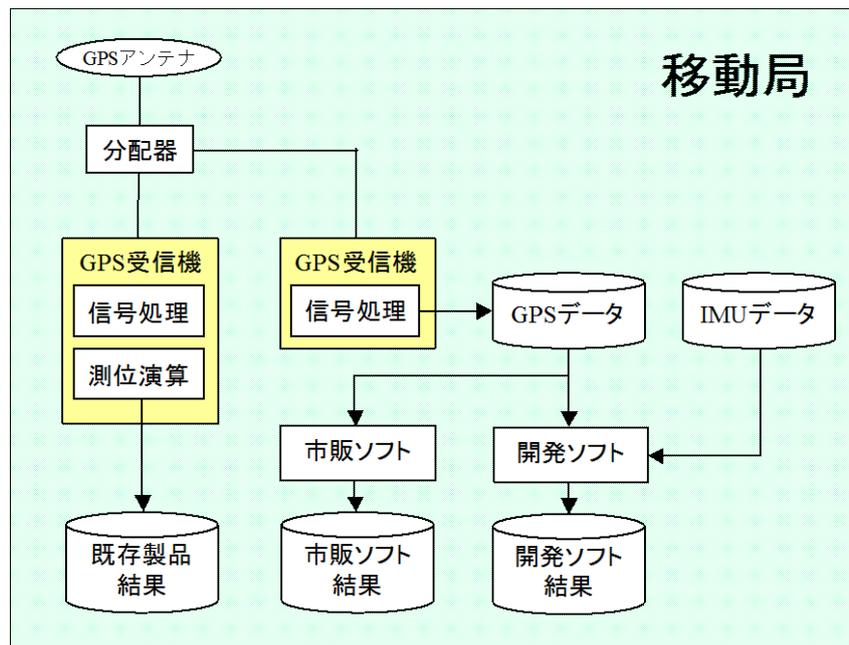


図 5.1.20 移動局機器・評価対象ソフトウェア等構成図

図 5.1.20 に、移動局における機器・ソフト等の構成を示す。

1つのアンテナで受けた電波を2つのGPS受信機に分配し、一方の受信機では、受信機に組み込まれたソフトウェアで演算した結果を出力する。これを既存製品結果とする。GPS受信機は、NovAtel社のGPS受信機OEM4を用いた。精度のスペックに関して、位置精度は20[mm]+0.5ppmであり、初期化時間は15[sec](基線長100[m])である。2周波GPS受信機は、どのメーカーも同様な精度であり、今回の屋外実験ではNovAtel社のGPS受信機で比較を行った。

もう一方の受信機では、GPSデータをさらに2つに分配し、市販のソフトと開発ソフトそれぞれで演算した結果を出力する。これを市販ソフト結果および開発ソフト結果とする。

2) 実験場所

実験は日立建機(株)浦幌試験場(北海道十勝郡浦幌町)で行った。浦幌試験場は、実験のための環境整備の自由度や建設機械等の機材調達の点で、実際の工事現場の現場に比べて制約が少なく、実験場所として適していたため、実験場所を選定した。

実証実験で建設機械が走行する領域は、長さ50m×幅20m程度の平面とした。また、可視GPS衛星数が不安定な状況を模擬するために、走行領域の長辺の片側に建設機械を設置する。図5.1.21に作業領域のイメージを示す。

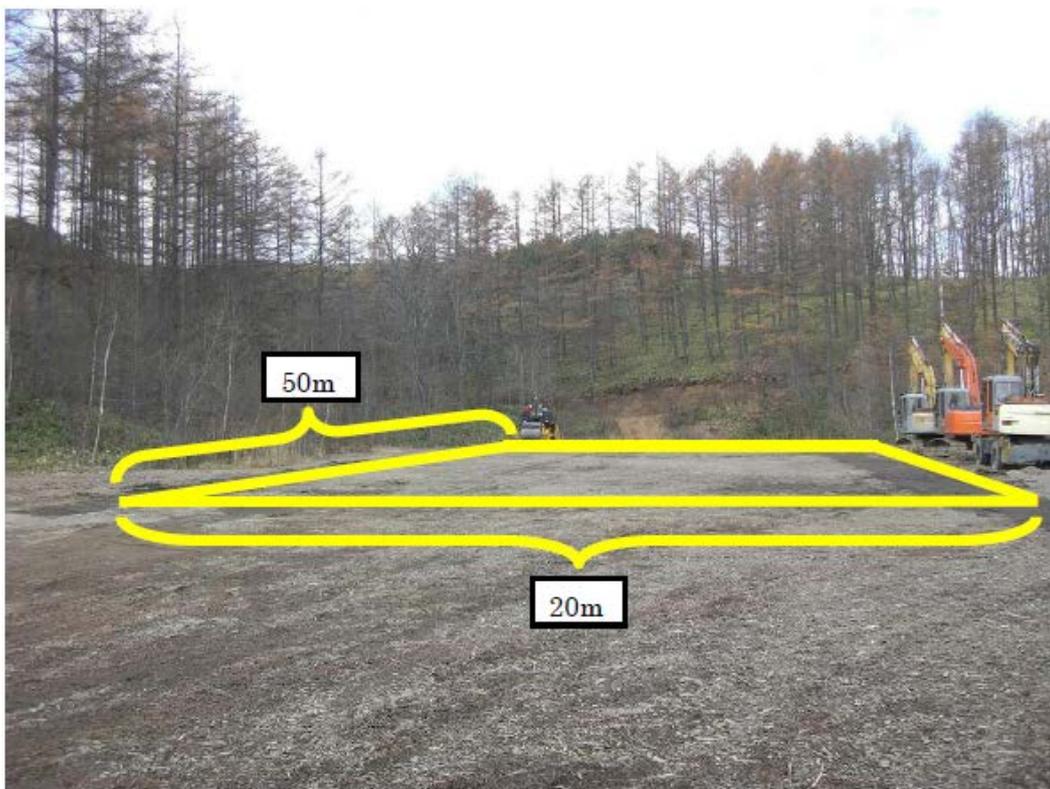


図 5.1.21 屋外実験作業領域

3) 使用建機および走行方法

建機には転圧ローラを用いた。

走行方法は、長さ 50m×幅 20m 程度の作業領域の長辺方向に直線的に前進して転圧後、作業領域外で車幅程度短辺方向に移動する。その後、後進して転圧を行い、再度、作業領域外で車幅程度短辺方向に移動する。この動作を繰り返し、作業領域内をくまなく移動し転圧を行う（図 5.1.22）。

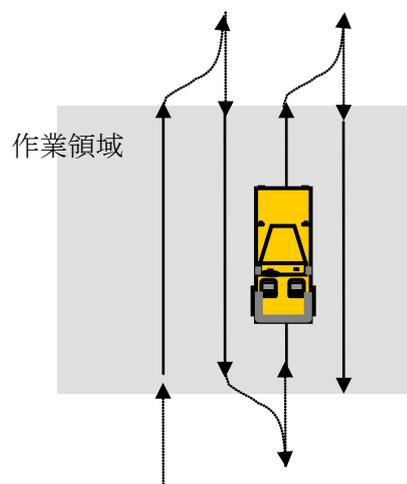


図 5.1.22 転圧ローラの動作

4) 評価時間

評価を行う時間は、屋外実験における GPS 衛星の配置と機械の動作速度を考慮して 1 回の実験に対して約 20 分間とした。また、評価データの周期は 1 秒とした。

5) 評価項目

評価を行う項目は、表 5.1.8 に示す項目とする。

表 5.1.8 評価項目

評価項目	内容
初期化時間	GPS で測位できない状況から測位可能になるまでの時間 (秒) (図 5.1.23)
アンビギュイティ決定率	全時間におけるソフトウェアで計算されたアンビギュイティの決定率 (時間割合) (%)
利用率	自動追尾 TS (トータルステーション) で測定した建機の位置と GPS データを用いて演算した位置との差異を計算し、その範囲が 20cm 以下である時間の割合 (図 5.1.24)

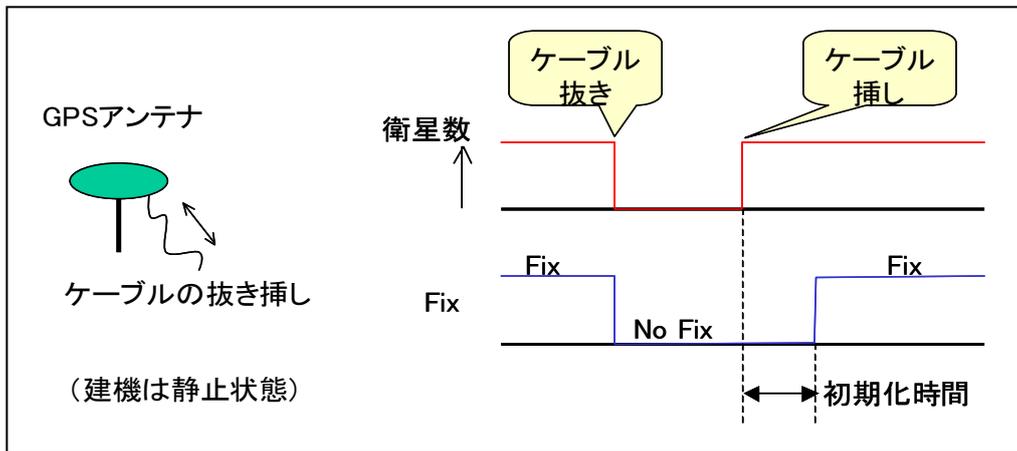


図 5.1.23 初期化時間計測方法

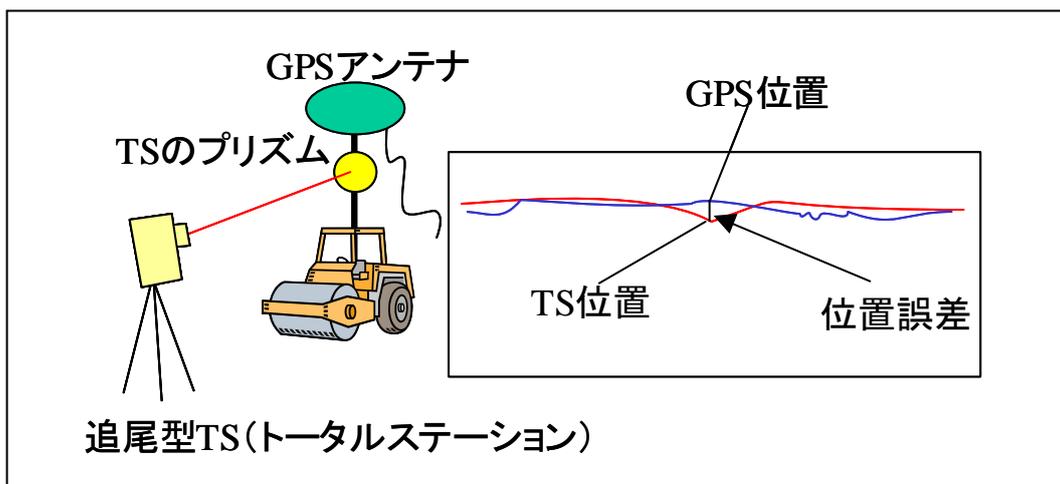


図 5.1.24 利用率計測方法

6) 自動追尾型トータルステーション(TS)について

屋外実験における利用率の評価を行う際、真の走行軌跡（真値）が必要となるが、真値は不明であるため、本研究では真値の代替として、自動追尾型トータルステーションを用いて評価を行う（図 5.1.24 参照）。ただし、TS での計測は追尾が外れたり、計測における誤差をもつ欠点がある。そのため、利用率の評価における許容範囲は、TS との誤差 20cm 以内と設定した。

7) 実験環境の全体図

1)~6)に沿って構築した屋外実験環境の全体図を図 5.1.25 に示す。

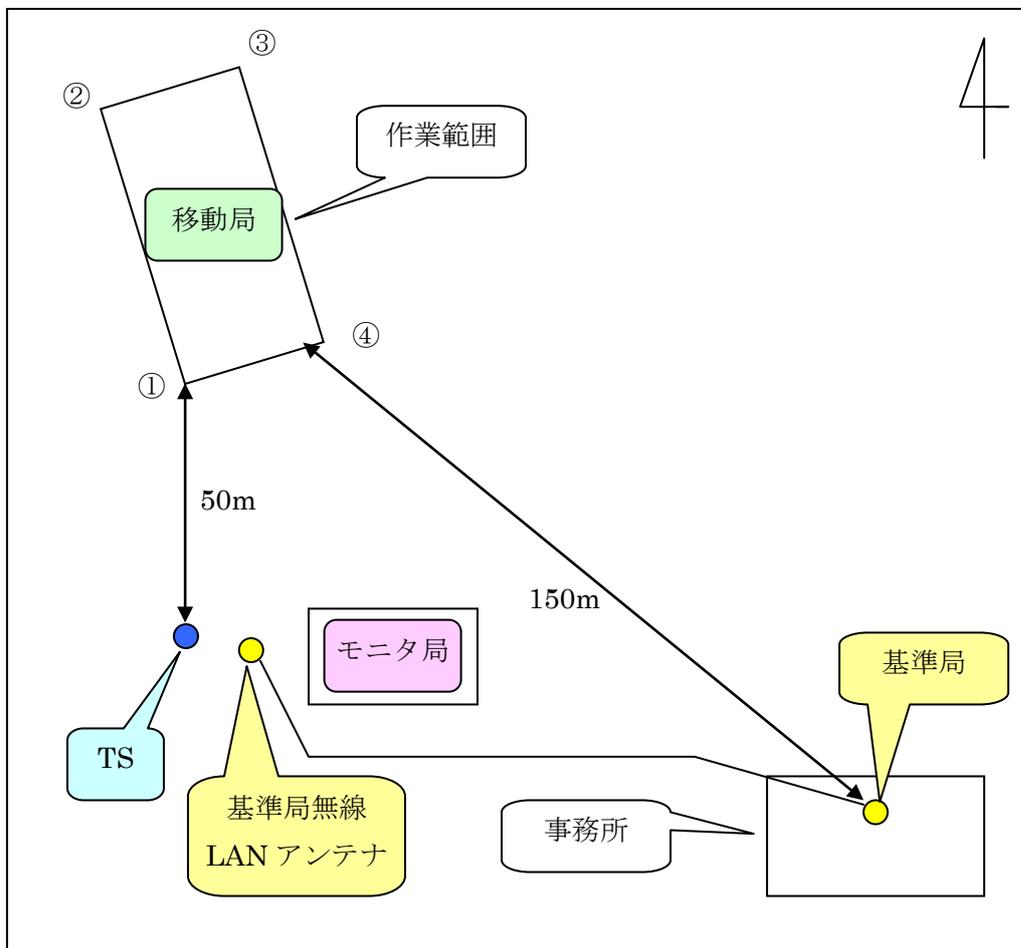


図 5.1.25 屋外実験環境の全体図

(3) 実験結果

1) 初期化時間の評価

初期化時間の実験結果を表 5.1.9 に示す。静止時の初期化時間の結果は、衛星数が多い時間帯と少ない時間帯に分けて実験を行い、移動時の初期化時間の結果は衛星数が少ない時に実験を行った。

表 5.1.9 初期化時間実験結果

		初期化時間[sec]			
		回数	開発ソフト	既存製品	市販ソフト
静止	【多い】 平均衛星数 5 基以上	1	4	45	3
		2	4	15	50 以上
		3	7	31	43 以上
		4	9	19	22 以上
		5	4	26	47 以上
	【少ない】 平均衛星数 5 基未満	1	10	63	66 以上
		2	13	49	57 以上
		3	10	99	117 以上
	移動	【少ない】	1	12	23

開発ソフトは、RTK-GPS の高速初期化技術により、衛星が多い場合と少ない場合いずれにおいても高速にアンビギュイティが決定していることが分かる。一方、既存製品は初期化するまでに数十秒時間がかかる結果となった。また、市販ソフトは静止時の 1 回目の実験以外で、初期化時間計測用に取得したデータ時間内で初期化が行えない結果となった。

2) アンビギュイティ決定率・利用率の評価

開発ソフトと既存製品、市販ソフトのアンビギュイティ決定率と利用率の実験結果を図 5.1.26 に示す。ここで、「RTK-GPS」とは開発ソフトにおいて慣性航法複合技術を適用していないケース、「複合航法」とは「RTK-GPS」に慣性航法複合技術を適用したケースである。

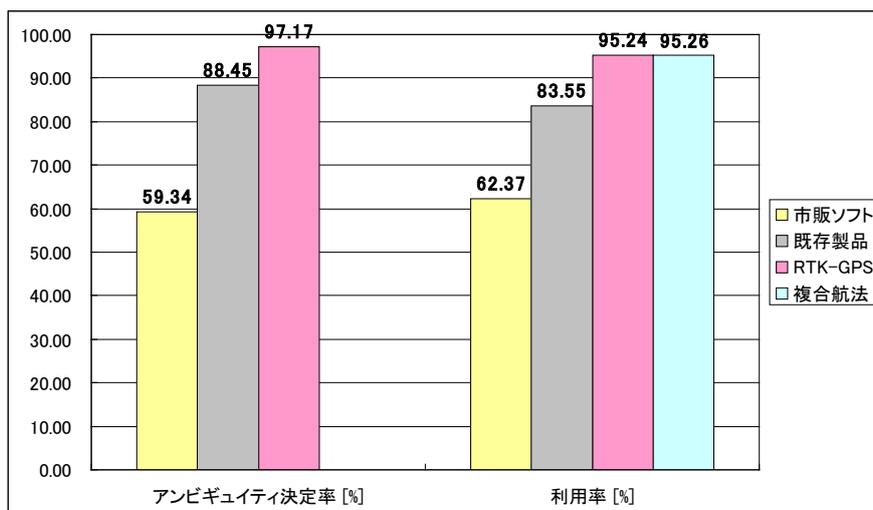


図 5.1.26 屋外実験の評価結果

開発ソフトは屋外実験の環境下において、高速なアンビギュイティの初期化が行われているため、既存製品よりアンビギュイティ決定率と利用率が 10%程向上した。利用率がアンビギュイティ決定率よりも数%減少した原因は、アンビギュイティの誤決定による測位精度の低下と、利用率の評価に用いるトータルステーションの測位結果に誤差を含んでおり、本当の真値ではないためと考えられる。

また、初期化時間の長い市販ソフトは、衛星の増減が多くアンビギュイティの再決定が頻繁に必要な屋外環境では、アンビギュイティ決定率が低下した。そのため、利用率も減少する結果となった。

複合航法を適用しても、RTK-GPS と比較して利用率に大きな上昇は見られなかった。これは、RTK-GPS のみでも既に 97.17%の高率でアンビギュイティ決定しているため、複合航法の適用によってさらに利用率が上昇する余裕しろが少ないためと考えられる。

全体として、屋外実験において、高精度測位技術を組み込んだ開発ソフトは既存製品より有用であるとの結果が得られた。

5.1.4 成果の活用と今後の課題

本研究では、中低速移動体において継続的に高精度な RTK-GPS 測位を行う技術を開発し、またシミュレーション実験及び屋外実験によってその有効性を確認した。

本研究で開発した技術は、民間企業が自由に活用できるよう、国総研資料「中低速移動体への RTK-GPS 適用化技術の開発に関する技術資料—ソフトウェア仕様書—」としてとりまとめ、一般公開している。

今後の課題としては、GPS 測位に関する最新の技術動向や、情報化施工における施工業者等の現場ニーズを踏まえた見直し・改良が考えられる。

5.2 都市空間における動線解析

5.2.1 研究目的と研究方法

(1) 研究の背景

近年、就業・集客施設の高層化、地下化が進み、複雑な都市空間への人の集中が著しい。それにより、例えば高層ビルを標的としたテロや地下街への浸水災害など従来の災害と異なる突発事象に対処するため、適切な避難路の確保と安全な誘導が重要な課題となっている。また、鉄道駅前広場のような交通結節点などの事業計画を行うに当たっては、魅力的な都市空間を創出して地域活性化を図るため、安全かつ円滑な移動経路の確保が必要である。

この様な時空間的に複雑な動的事象を考慮した事業計画の立案および利用者への情報提供を行うためには、XYZ 方向に加え、時間を扱える四次元的な GIS 技術を活用することが有効である。また、近年の都市構造の複雑化、国民生活の多様化を踏まえた都市空間における利便性・快適性の向上のため、IT を活用した動線データの活用が期待されている。

(2) 研究目的と研究方法

本研究では、都市空間における円滑な人の移動を確保するための施策立案に活用するために、GIS データを効率的に活用した人の動線解析技術を開発するとともに、そのための IT プラットフォーム、さらに都市の交通調査のあり方についても検討を行う。なお、平成 22 年度の検討結果についても本報告書に盛り込んでいる。

5.2.2 動線解析プラットフォーム

5.2.2.1 研究内容

本研究では、四次元 GIS データの活用・普及によって、情報提供や事業計画といったフェイズで国土交通行政の効率化、高度化を促進することを最終目的に掲げ、都市空間における人の動線解析技術を主要なターゲットにした四次元 GIS 活用のプロトタイプの開発を行った。

5.2.2.2 動線解析プラットフォームの概要

動線解析プラットフォームは、「人の時空間的な移動を表現するデータを補正・補間し、相互利用が可能な水準にクレンジングするサービス（データ加工サービス）」と、「加工済のデータを蓄積し提供するサービス（データ提供サービス）」を有する仕組みである。データ加工サービスは、様々な形で表現された人の移動情報を、統一的なデータ構造、形式に加工するサービスであり、データ提供サービスは、加工済みのデータを提供するサービスである（図 5.2.1）。動線解析プラットフォームで加工したデータを利用すると、「人の動きの概観」や「特定箇所での人数や属性の集計」などが実現でき、行政における防災分野や、民間におけるマーケティング分野等での活用が想定される。

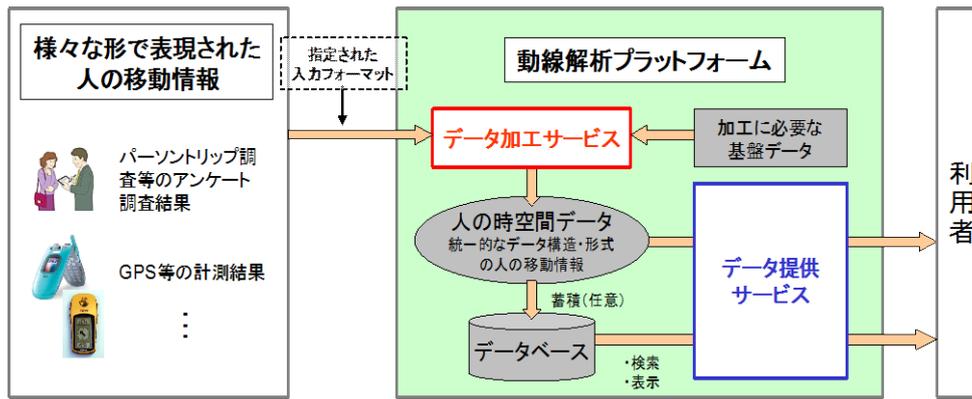


図 5.2.1 動線解析プラットフォームの概念

5.2.2.3 動線解析プラットフォームの機能

動線解析プラットフォームは、以下の機能から構成される。(図 5.2.2)

- データ登録機能：パーソントリップデータ、GPS 観測データ等の人の移動に関する情報を動線解析プラットフォームに登録するための機能。
- データ加工機能：登録されたデータを補正・補間し、プラットフォームで定義した統一的なデータ構造、形式に変換する機能。具体的には、出発地と到着地、移動手段、時刻の情報から、途中経路、通過時刻を推測し、データ化する(図 5.2.3)。
- データ蓄積機能：加工処理されたデータをプラットフォームのデータベースに蓄積する機能。
- データ検索・配信機能：位置情報(対象エリアなど)や時間(時間帯など)の指定に対して、プラットフォームに保有するデータを検索し配信する機能。検索結果に基づき、配信用データファイルを生成し、インターネットを通じてダウンロードできる。(図 5.2.4)

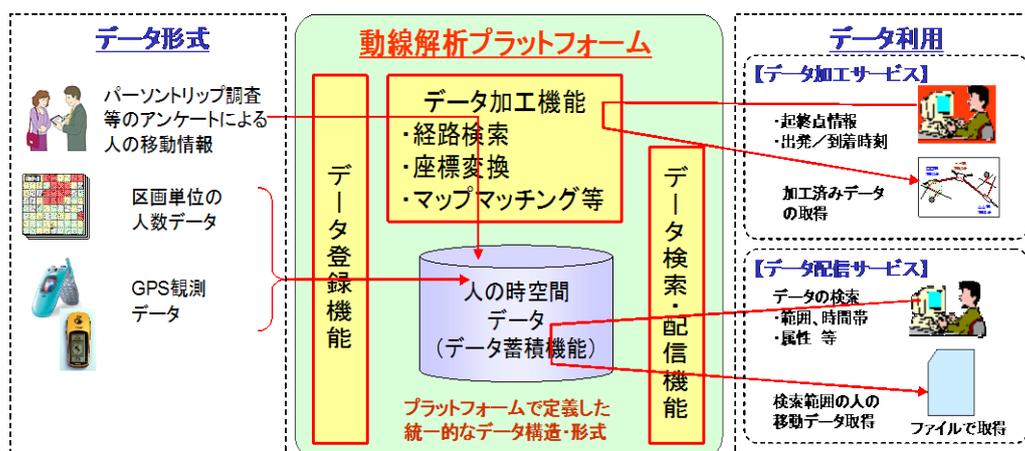


図 5.2.2 動線解析プラットフォームの機能

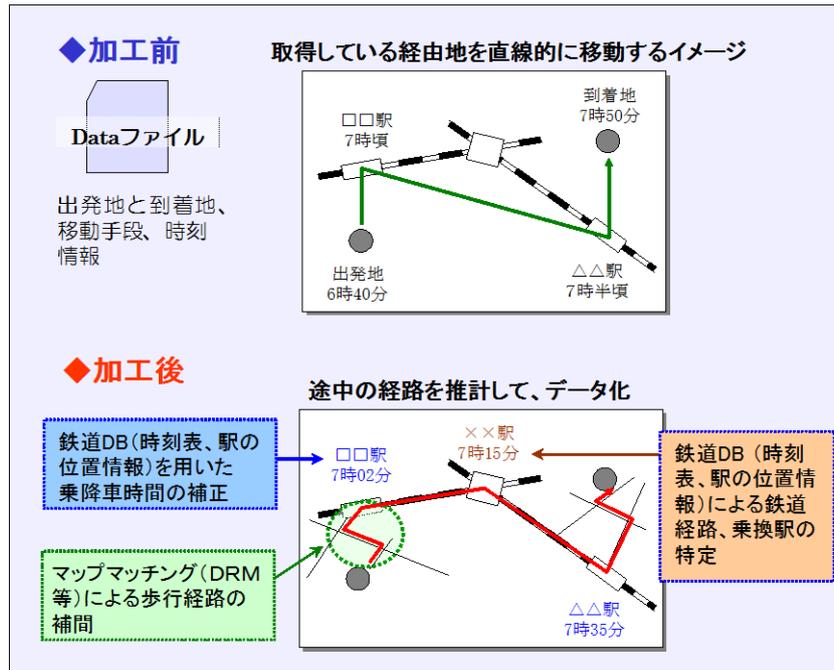


図 5.2.3 データ加工機能

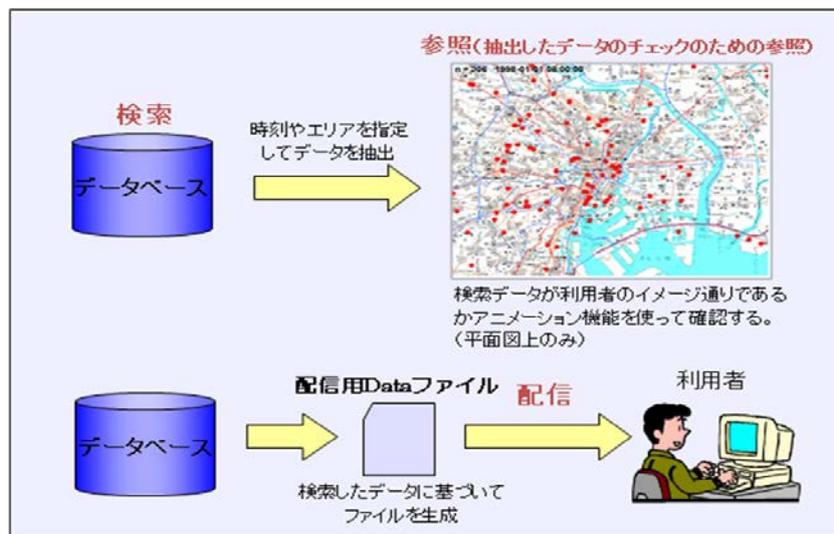


図 5.2.4 データ検索・配信機能

5.2.2.4 動線解析プラットフォームの活用場面

動線解析プラットフォームは、人の動きに関わる様々なデータを扱い、必要な加工(補正・補間等)を行い、人の時空間データを生成する。

プラットフォームの機能を用いることにより、「人の移動のモニタリング」、「統計データの標準化、蓄積」、「調査データのクレンジング」、「文字情報からの位置情報への変換」などの技術を実現できる。これらの技術が実現すると、例えば「災害発生時における人の動きの把握や情報提供」、「帰宅困難者の推計」、「交通系調査データの電子納品」、「マーケティング分野での計画立案」等の場面で活用できると考えられる。(図

5.2.5)

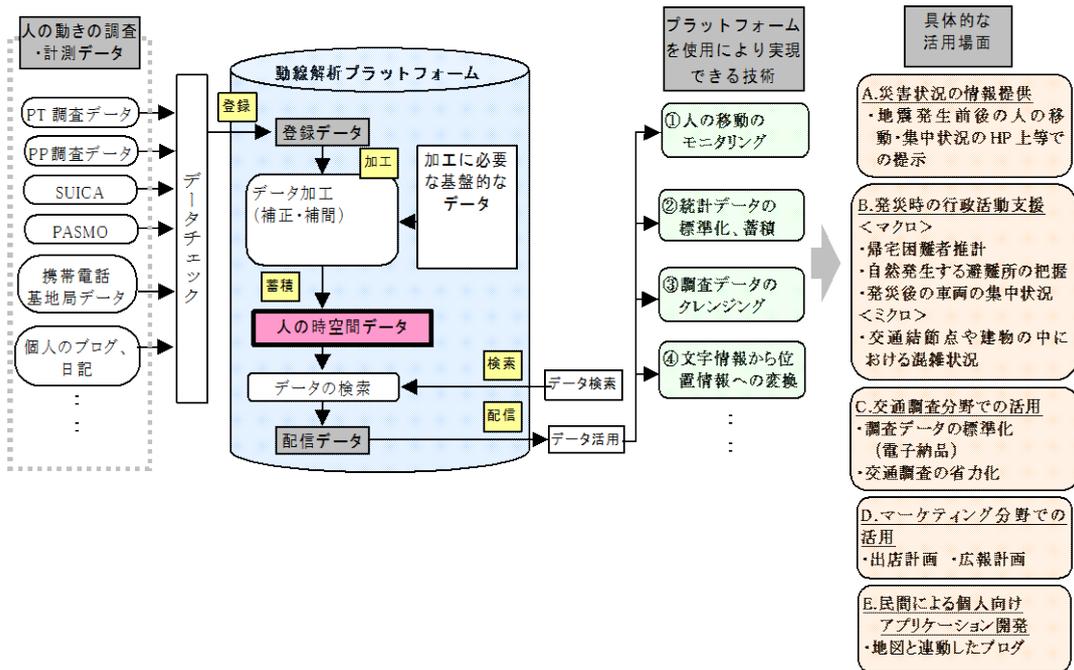


図 5.2.5 プラットフォームの全体像と主な活用場面

活用分野には、安全性や円滑性の向上など、社会全体の利益に繋がるものや、マーケティングへの活用で特定企業の事業展開の方向を定めるものなど、様々なものが想定される。これらについて、行政の関わり度合いで表 5.2.1 の大きく 3 つのタイプに分類することができる。

表 5.2.1 動線解析プラットフォーム活用分野のタイプ分類

	行政の関わり度合い	あり方 (整備・管理等)	該当する 活用分野の特徴	活用分野の例
タイプ A	行政が単独で実現する活用分野	・データ入手、サービス運営、管理など、全て行政主体で実施	・PT 調査等の統計データを使用 ・都市圏等比較的広範囲なエリアを対象とする ・安全性や円滑性等、社会的な意義が高いテーマ	・交通系調査データのクレンジングツールとしての活用
タイプ B	行政が主体で実現する内容であるが、一部民間の力を借りる活用分野	・データ入手、サービス運営、管理などで行政と民間で役割分担 (例、データ入手のみ民間データを活用するなど)	・リアルタイムのデータ収集などレベルの高いデータの収集が求められる ・都市圏等比較的広範囲なエリアを対象とする ・安全性や円滑性等、社会的な意義が高いテーマ	・携帯電話基地局データを利用したモニタリングシステム
タイプ C	民間が主体で実現する活用分野	・データ入手、サービス運営、管理など、全て民間主体で実施	・統計的なデータをもとにしたマーケティングなど商業的な分析 ・ビジネスモデルとして成立し民間がサービス主体となるもの	・人の移動データを活用した商店出店計画の検討

(1) 広域レベルでの活用事例

動線解析プラットフォームの広域レベルでの活用事例として、防災分野における災害発生前の事前の対応として「帰宅困難者数推定への活用」、災害発生後の対応として「人の分布状況のモニタリング」への活用が考えられる。

1) 災害発生前の対応（帰宅困難者数の推定）

大都市部での地震などの広域災害の発生により、大量の帰宅困難者が発生することが想定される。例えば新宿区などでは関係機関を集めた協議会を設立し、シミュレーションによる帰宅困難者の推計、帰宅困難者対策案の策定を行っている。

この中では、想定した災害発生時刻における移動目的別、居住地域別の人数を求め、その中における帰宅困難者の数を把握している。このシミュレーション結果をもとに、個人レベル、事業所レベルでの対策を示している。

動線解析プラットフォームにより生成された人の移動経路を補間したデータを用いることにより、特定の鉄道ルートが遮断された場合の帰宅困難者数の把握などが可能になり、帰宅困難者数の精緻な把握や、集中や混雑が生じる交通結節点などを把握することができる。

2) 災害発生後の対応（人の分布状況のモニタリング）

都市直下型の地震が発生したときには、寸断された交通網の中、帰宅しようとする者、広域避難所に移動する者、勤務先などにとどまる者などの混乱の中で、緊急物資の輸送や救援活動のための移動が行なわれる。災害対策基本法によると、災害発生後に自治体により災害対策本部が立ち上げられ、被災状況や救助・救援活動、物資輸送活動を総合的に指揮することになる。この時、現状を正確に把握することが重要になる。

例えば、国民の7割以上に普及しているといわれている携帯電話を用いることにより、災害発生後の人の位置や動きを把握することができた場合、そのデータをプラットフォームに入力し、処理済のデータをメッシュで表現することにより、被災エリアにおける人の分布や動きを把握することができ、災害発生後の救援活動を支援することができる。(図 5.2.6)

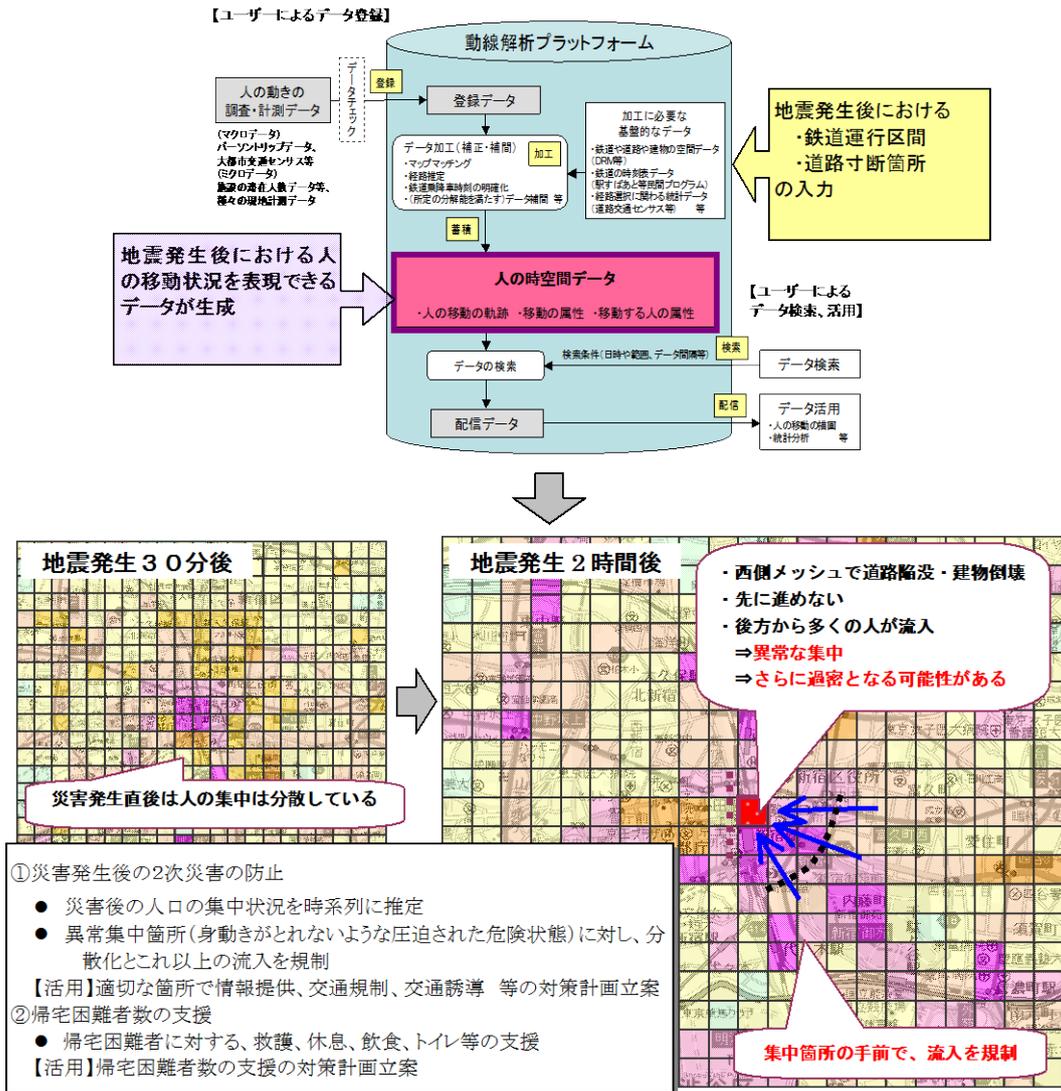


図 5.2.6 人の分布状況のモニタリング

広域レベルでの活用方法の場合における、データの収集から処理、活用までの一連の流れと、プラットフォームが関与する部分を、「帰宅困難者数の推計」を例に取り以下に示した(図 5.2.7)。

- ① パーソントリップ調査データをプラットフォームに入力し、鉄道利用経路や途中の移動点が補間された人の移動データが生成される。
- ② 災害により寸断する交通網の箇所を想定する。(例えば阪神大震災の例のように、JRは普通になっても地下鉄などは早期に動くことが考えられる。)
- ③ 人の移動データに対し、交通網が一部寸断された状態で、個々のトリップデータについて帰宅経路のシミュレーションを行う。
- ④ シミュレーションの結果、帰宅まで長時間を要すトリップ、帰宅不可能なトリップを抽出し、帰宅困難者の数を把握する。

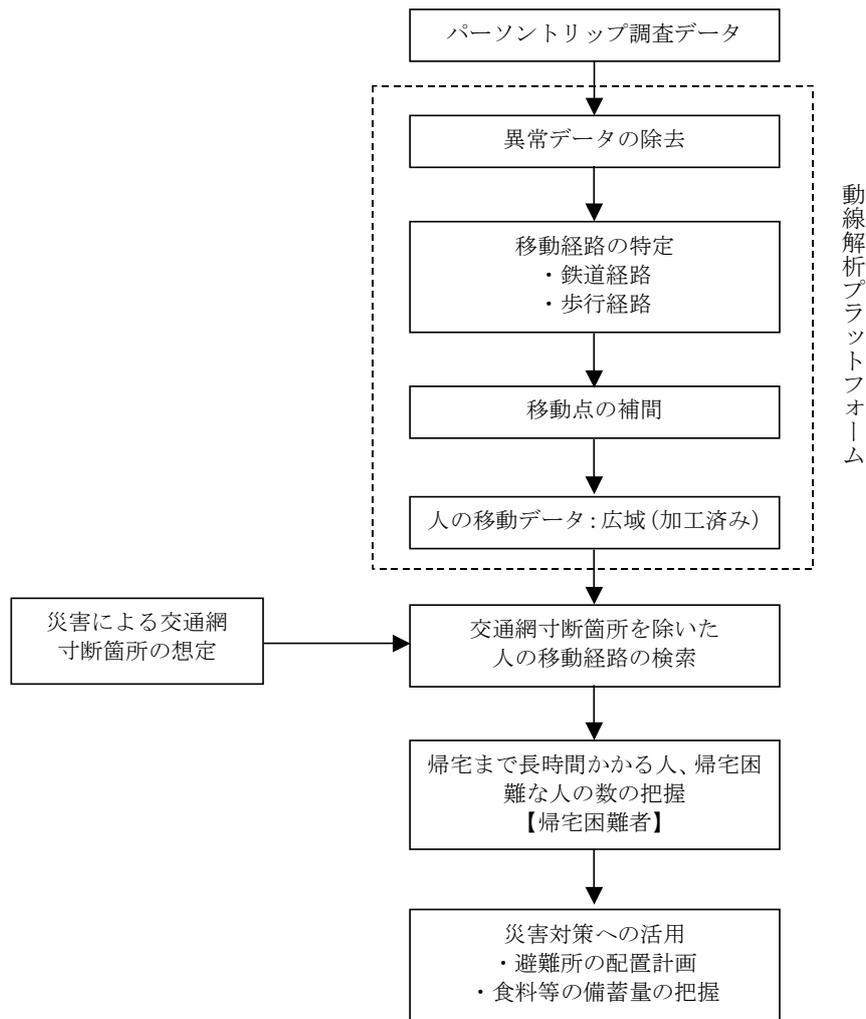


図 5.2.7 プラットフォームのデータ処理の流れ（帰宅困難者の推計）

(2) 狭域レベルでの活用事例

駅前再開発など地域、地区の開発に当たっては、開発前と開発後での人の動きを把握することが安全性や円滑性の高い街を構築する観点より重要である。特に近年は、交通バリアフリー法が施行され、一定規模以上の利用がある交通結節点においては、垂直移動施設や点字ブロックの設置などが求められており、人の動きの把握がますます重要になっている。

駅周辺の人の動きを捉えたデータをプラットフォームに入力し、補正・補完済みの人の移動データを用いることにより、開発計画の評価や見直しを行うことに活用できる。

狭域レベルでの活用方法の場合における、データの収集から処理、活用までの一連の流れと、プラットフォームが関与する部分を、「駅周辺地域の再開発への活用」を例に取り以下に示した（図 5.2.8）。

- ① 開発を行う地域を通過する人を対象に、地域内・外の移動状況を調査する。
- ② 動線解析プラットフォームにより、移動データの補正・補間を行い、当該地域内における移動状況の現状データを生成する。

- ③ 計画している開発計画に基づいた道路ネットワーク、歩道ネットワークなどのデータを生成し、シミュレーションにより開発後の人の動きを再現する。
- ④ 再現の結果、歩行者滞留の面、交通弱者の移動の面、防災の面などでの問題点の有無を把握する。
- ⑤ 再開発計画にフィードバックし、適切な計画立案に寄与する。

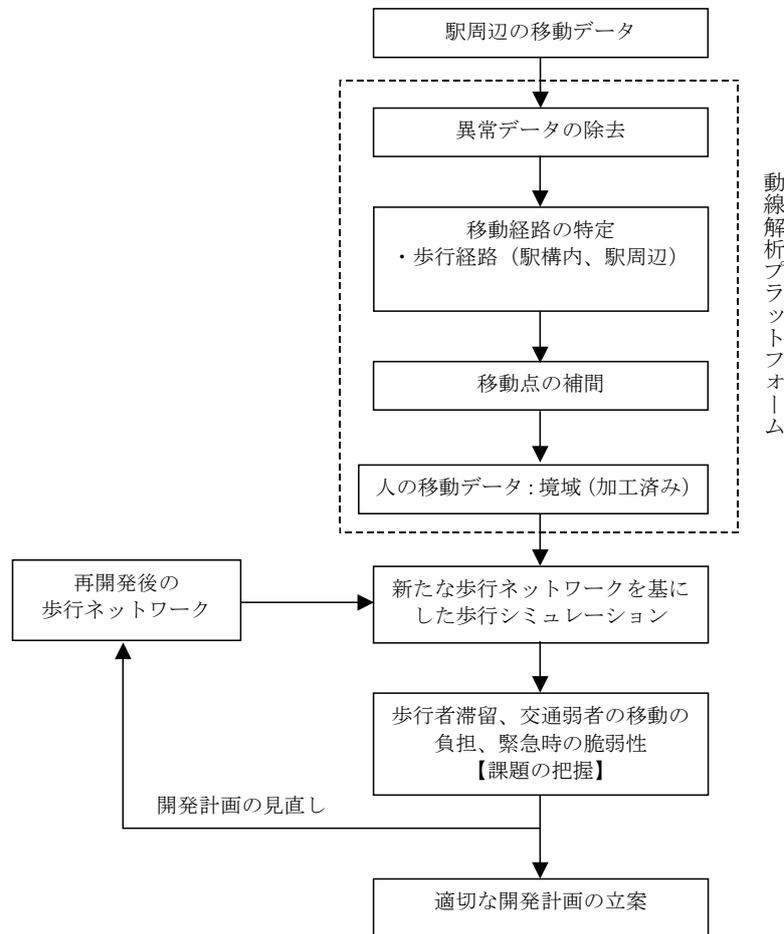


図 5.2.8 プラットフォームのデータ処理の流れ（駅周辺地域の再開発への活用）

5.2.3 複数の動線データを活用した動線解析技術

5.2.3.1 研究内容

本研究では、動線データを活用した人の移動・滞在状況の実態を把握するために、ICカードやGPS等のITにより取得可能な動線データの種類や取得方法を検討した。また、取得した動線データを利用する上での課題を整理し、各用途に応じた動線データの提供のあり方を検討するとともに、交通計画や道路事業前後の効果把握の活用場面に着眼し、実際の動線データを用いて分析を進めながら活用方法を検討した。

5.2.3.2 動線データの種類

行政が実施している既存統計調査（パーソントリップ調査、大都市交通センサス、道路交通センサス、国勢調査等）（表 5.2.2）や、鉄道・バス等の公共交通機関、移動体通信系企業、マーケティング企業、大学等が取得している動線データ（交通系 IC カ

ードデータ、プローブデータ等) (表 5.2.3) について整理を行った。

人の交通行動を把握する統計調査は、概ね 5~10 年間隔で取得しており、その規模は全国~都市圏など様々である。移動を把握する発着地レベルは、C ゾーン (直径 1km 程度) から都道府県レベルと、どの調査も施設というよりも面的に把握している。また、調査では移動目的や個人属性も収集できている (道路交通センサス、都市 OD 調査、都市圏パーソントリップ調査、全国都市交通特性調査、大都市交通センサス)。但し、調査の中には、交通手段を限定した調査もあり、自動車での移動は、道路交通センサス、都市 OD 調査、公共交通での移動は、大都市交通センサスである。

表 5.2.2 行政主体の既存統計調査

調査対象	内容
全手段	旅客地域流動調査 全国幹線旅客純流動調査 都市圏パーソントリップ調査 全国都市交通特性調査 (全国都市パーソントリップ調査) 国勢調査
自動車	全国道路・街路情勢調査 (道路交通センサス) 自動車起終点調査 都市 OD 調査
鉄道	大都市交通センサス 鉄道定期券・普通券利用者調査 大都市交通センサス バス・路面電車定期券・普通券利用者調査
物流	全国貨物純流動調査 貨物地域流動調査 内航船舶流動実態調査 航空貨物流動実態調査 全国道路・街路情勢調査 (道路交通センサス) 自動車起終点調査 都市圏物資流動調査

表 5.2.3 動線データ一覧

調査対象	内容
交通系 IC カード	ETC Suica/PASMO
移動体通信系, マーケティング, 大学等の動線関連 データ一覧	首都圏・関西圏移動者調査 携帯電話通過基地局データ プローブパーソン調査 プローブカー調査

(1) 位置情報の把握項目・精度

位置情報で最も細かいデータは、プローブパーソン調査、プローブカー調査のように位置座標として把握できるデータである。パーソントリップ調査や道路交通センサスでは、複数の町丁目を統合したゾーンでコード化されている。ETC、Suica/PASMO は乗降駅・乗降 IC しか把握できず、真の出発地、目的地が把握しないことに留意が必要である。

(2) 時刻情報の把握項目・精度

パーソントリップ調査や道路交通センサスのような調査対象者が記入する調査では、時分で記録するものが多い。交通 IC カードや GPS によるものは、時分秒で記録するものが多い。ただし、ETC、Suica/PASMO は乗降駅・乗降 IC の通過時刻しか把握できない。また、GPS で観測しているプローブパーソン調査、プローブカー調査につい

ては、途中経路についても時刻情報が取得可能である。

5.2.3.3 ITによる動線データの取得手法

(1) 国内外の事例整理

実用化、あるいは実験段階にある IT による動線データ取得手法の国内外の事例の整理を行った。動線データの取得手法に関しては国内において、多数紹介されており、表 5.2.4 に媒体と活用例を示す。また海外においては、1996 年に米国 Lexington で実施された HTS (Household Travel Survey) が代表的な事例として挙げられ、ほぼ毎年、HTS の調査が行われている。

表 5.2.4 ITによる動線データ取得手法の事例（国内）

媒体	活用例
GPS	民間通信事業者による位置特定 (au, docomo)、ブローブパーソン調査
基地局	徘徊高齢者位置把握サービス、減災効果の向上を目指した研究事例 (H19)
ICタグ	福岡での歩行者回遊行動調査 (H14)、バスICデータ (PASMO) (H19~)
ビデオカメラ	微視的な交通行動の把握 (H17)
人体装着型 物理センサー	Welsupport (カロリメータ) (H20)

(2) ITを活用したデータ取得手法の特性整理

(1)にて整理した事例より、データ取得手法別に IT でのデータ取得項目、データの取得場所やデータ精度、移動上の適用エリア、データ取得上の制約についての整理を表 5.2.5 に示す。この整理により、位置特定のデータ精度面からは、GPS や基地局方式は広域～中域（都市間、都市内：数 km～数百 km）の移動、自律航法、無線タグ、ビデオカメラ方式は、狭域（中心市街地、特定施設内：数 m～数十 m）の移動の把握に適すると考えられる。

表 5.2.5 ITによる動線データ取得手法の特性整理

既存の業務、研究のIT機器による動線データの取得方法	ITでの取得データ					位置情報の取得できる場所/データ精度			移動上の適用エリア			データ取得上の制約						
	位置情報把握		位置情報以外の把握			屋外			屋内			広域	中域	狭域	位置情報把握(時刻、位置)		位置情報以外の把握	
	時刻	位置情報	交通目的	交通手段	他	上空の障害物無し	上空の障害物有り(高架下、ビル群等)		都市間(数十~百km)	都市内(数~十km)	都心(中心市街地、施設内)	電波不感場所	壁内(施設内)	交通目的	交通手段			
GPS方式	単独測位(携帯電話内蔵GPS)	○	○	○	○	○	×	×	○	○	△	有	有	無	無			
	相対測位(携帯電話内蔵GPS)	○	○	○	○	○	△	△	○	○	△	有	有	無	無			
基地局方式(携帯電話、PHS)	○	○	-	-	-	○	○	○	○	△	×	有	有	無	無			
自律航法方式	○	○	-	-	-	※総移動距離に対する誤差3~6%	※総移動距離に対する誤差3~6%	※総移動距離に対する誤差3~6%	△	△	○	無	無	有	有			
無線ICタグ方式	アクティブ型	○	○	-	-	○	○	○	×	×	○	無	無	有	有			
	パッシブ型	○	○	-	-	○	○	○	×	×	○	無	無	有	有			
ビデオカメラ方式	○	○	-	-	-	○	○	○	×	×	○	無	無	有	有			
人体装着型の物理センサー(加速度センサ、気圧センサ+自律航法)方式	○	○	-	-	加速度、気圧	○	○	○	△	△	○	無	無	有	有			

(3) 利用可能な動線データと課題整理

1) バス IC データ

バス IC データは、2007 年 3 月に東京都市圏において、73 事業者、約 1.4 万台のバスを対象に、PASMO によるバス乗降時に取得される IC カードデータである。国土交通省では、道路交通円滑化のためのバスに対する総合的な支援として、バス等の共通 IC カード導入により、道路交通の渋滞緩和、環境改善の実現、公共交通の連携支援、データ活用による道路管理の高度化、ETC との連携による多様な施策の展開を目的としている。バス IC データの特徴として、バス停留所間の所要時間や利用系統の把握は可能である。

バス IC データを集計解析することで、バス乗車人員、区間の平均旅行速度、バス走行台数、遅れ時間、バス停間 OD 流動等の把握が可能となる。例えば、図 5.2.9 は特定系統のバス停留所間での遅れ時間を示したものである。あるエリアでの日々の利用性向が把握できることから、平日毎日利用する割合、月に数回のみの利用割合など、バス利用の使い方についても解析可能である。バス IC カード利用者の増加に伴って、実流動量に動線データが近づいていくという特徴を有している。



図 5.2.9 特定系統のバス停留所間の遅れ時間 (1 日計)

バス IC データの活用に関する制度的な課題として、個人情報保護の観点から、得られるデータに個人属性の情報が付加されていないことが挙げられる。バス IC データでは契約時に第三者の利用を明示的に示しておらず、現在収集されているデータに付加することができない。詳細な交通計画の活用にあたっての技術的な課題を以下に示す。

- バス停間の OD 量が把握できるもの、出発地から到着地までの真の OD が直接データからはわからない
- 移動の目的がわからない
- データの収集はバスの運行時間、運行経路に限定されるため、サービス水準は日中の状況が中心となる
- IC カードの利用者以外のデータは収集されない
- 時刻表との整合ができない

2) 会員制プローブデータ

カーナビゲーションシステムで取得出来る OD データを用いて、ある 1 車両の 1 日の動きを図化したものが図 5.2.10、平日 1 日での愛知県内起終点ペアを図示したものが図 5.2.11 である。

会員制プローブデータは提供元によりデータフォーマットは異なるものの、日々のゾーン発生量やゾーン集中量、ゾーン間での自動車流動量、利用経路が把握できる可能性が高いデータである。利用したデータは既に会員数 100 万人を超えており、例えば道路交通センサスの OD 調査のサンプル数（自家用乗用車）を超えるデータ量である。

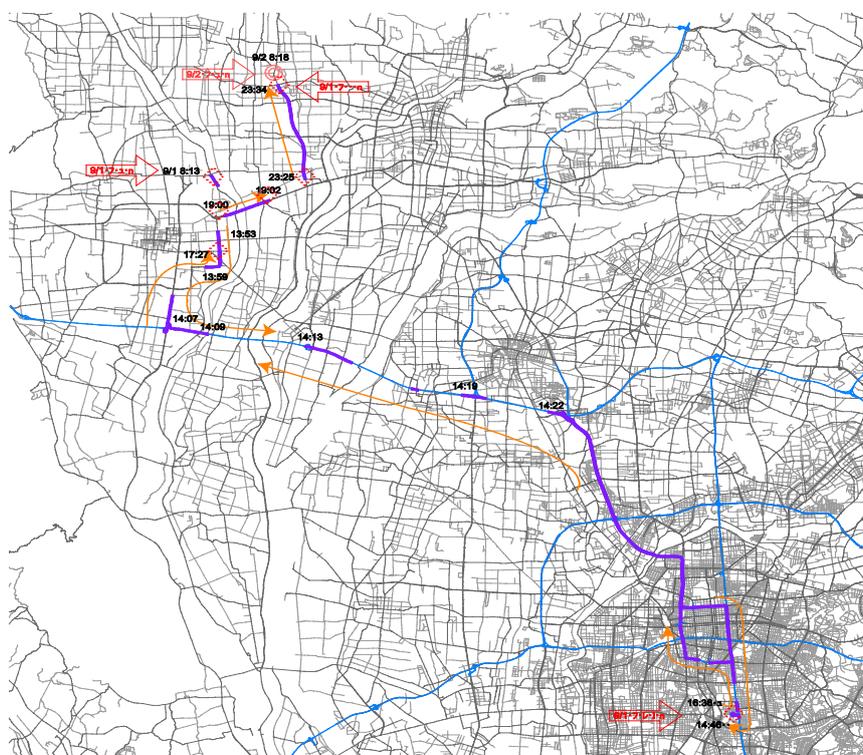


図 5.2.10 ある 1 車両の 1 日の動き

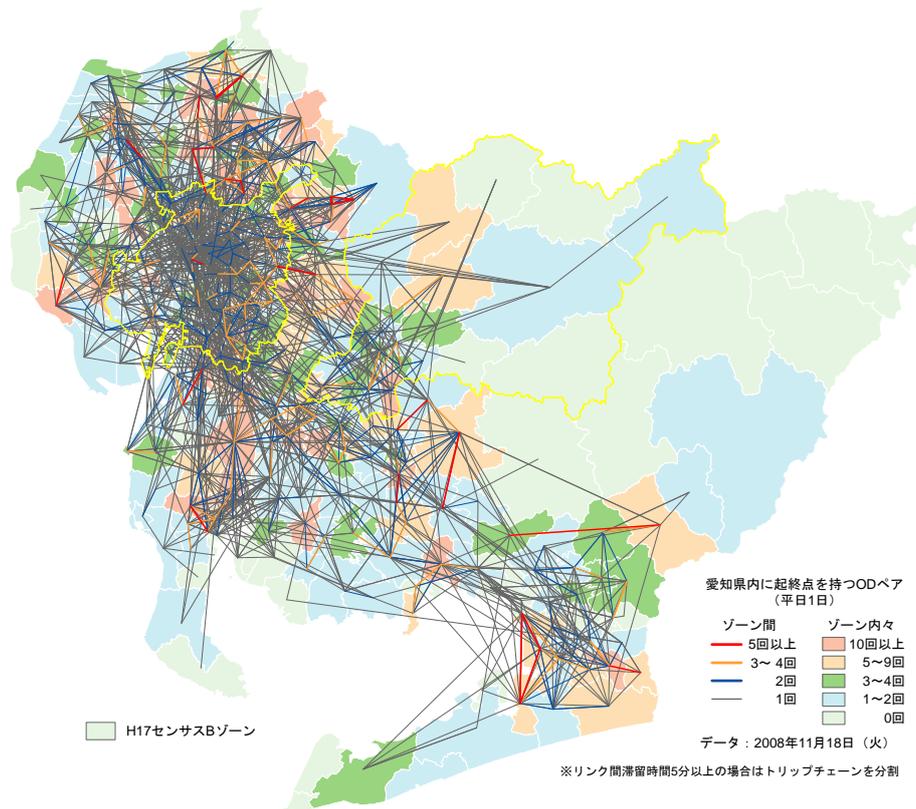


図 5.2.11 平日1日での愛知県内起終点ペア

会員プローブデータの活用に関する制度的な課題として、まず、第三者に提供されるデータは個人情報が付加されていないため、属性別の把握が出来ないことが挙げられる。技術的な課題としては、下記2点が挙げられる。

- 真の起終点の把握が困難

提供されるデータはリンク単位のデータであることから、真の起終点の把握は困難である。ゾーン間の集計データとしてデータ化する場合には、発生地点及び着地点のリンクデータからゾーンデータへの推計が必要となる。

- 走行経路の欠損データの補完が必要

今回利用したデータでは、連続的な経路データとして完結していないデータが存在していることが明らかとなった。経路データを利用する場合には、欠損区間の推計が必要である。また、高速道路上では流入出ICのみ把握されており、一般道では独自リンクが設定されている点に留意が必要である。

5.2.3.4 動線データの活用検討

(1) 活用シナリオの検討

利用可能な動線データである会員制プローブデータとバス IC データについて、埼玉県、さいたま市を想定した適用方策を検討した。

各主体の政策ニーズと必要データについて整理すると（表 5.2.6）、個別計画の観点からは、高齢者の身近な公共交通であるバスの利便性を高めるためのバス停整備計画へバス IC カード、会員制プローブのデータを活用することが考えられる。

また、バスの走行阻害箇所、バスの走行性などのバスのサービス水準について把握可能であり、バスのサービス水準のモニタリングに活用することが考えられる。

表 5.2.6 政策ニーズと活用データ

	政策ニーズ	バス IC		プローブ	その他
		利用者	サービス		
埼玉県	バス走行阻害箇所や利用者データに基づいたバス停整備計画，優先順位の検討	○	○	○	
	天候を考慮したバス運行サービス支援への活用検討（雨天予報時の増発とその事前影響把握）	○	○		天候
	一般車とバスの両方からみた道路事業の事後効果把握		○	○	事業箇所
さいたま市	都市交通戦略への活用	○	○		
	都心副都心への 30 分圏域目標水準に対する現状把握，課題抽出		○		
大宮国道	バス走行性やバス利用者を考慮した渋滞対策優先箇所の検討	○	○		渋滞 P 事故多発箇所
関東地整	都市構造の可視化計画における交通利便度への活用 (バス停位置情報，バス運行頻度他)		○		
	バス利用頻度（バスキャプティブ層とチョイス層）からみたバス路線の潜在需要分析	○			

(2) バス停留所付近の走行改善の検討支援

1) 分析手法

従来のバス走行改善の検討事例として、新潟市オムニバスタウン計画に基づくバス停環境整備計画がある。同計画では、各バス停留所を現地踏査で確認し、運行路線や運行本数などのサービスレベル、バリアフリー重点地区および病院などの施設を加味した上で改善すべきバス停留所（とくに上屋の整備候補箇所）を選定している。

一方、本研究が提案する動線データを用いたバス走行改善の検討支援の手順を図 5.2.12 に示す。従来手法（新潟市）では把握していない動線データによるバスの走行速度や利用者数、一般車の走行速度などの客観的なデータに基づき、走行阻害箇所を抽出していることが大きな特徴である。各 Step の内容を以下に示す。

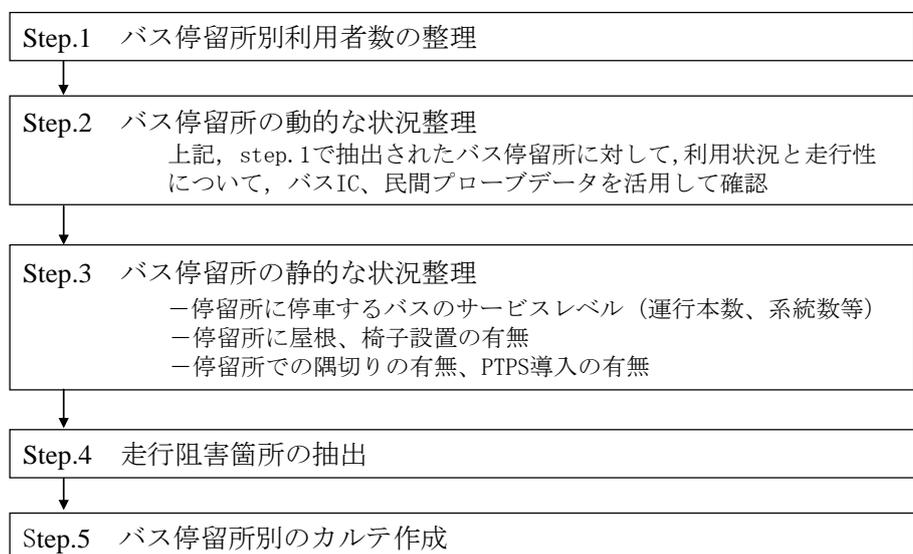


図 5.2.12 バス走行改善の検討支援の手順

a) Step. 1 バス停留所別利用者数の整理

Step.1 では、バス IC カードデータを用いて各停留所別利用者数を整理する。この結果、例えばバス停留所が 1,000 箇所以上存在していても優先的に整備すべきバス停留所の効率的な抽出が可能となる。

b) Step. 2 バス停留所の動的な状況整理

Step.2 では、民間プローブデータとバス IC カードデータとを活用し、目的に応じた様々な指標を設定して動的な状況を整理する。具体的には、表 5.2.7 に示す 9 つの指標を動的な状況として設定した。この設定により、乗車人員の多い停留所や時間帯、天候や通勤時間帯での利用状況の違いなどが把握できる。

表 5.2.7 のバスの利用状況では、利用者数の 1 日平均や月別の指標に加えて、ベッドタウン地域の通勤時間帯の利用者数が多くなることを想定した通勤時間利用率も 1 つの指標とした。また、一般的に休日の利用者数は平日より少なくなること、雨の日の利用者数は晴れの日より多くなることから、1 つの指標として設定した。

表 5.2.7 のバス・一般車の走行性は、バス・一般車が当該バス停留所付近をどれくらいの速度で走行しているのかを捉えるために時間帯別、時間区分別を指標とした。これは、同じ箇所でも時間帯によって走行性は大きく異なるためである。

Step.2 で設定する指標は、先に示した従来手法の新潟市のバス停環境整備計画では把握することが大変困難な項目であるが、本研究のように動線データを利用すると比較的容易に作成できる。

表 5.2.7 停留所の動的な状況整理の項目

	項目	指標	内容
動的な状況の整理	バスの利用状況	利用者数の平均	当該停留所でのICカードによる利用者数を1日平均で平日・土曜・日祝別に算出
		利用者数の変動	当該停留所でのICカードによる利用者数を月別に整理
		通勤時間利用率(平日)	平日の通勤時間(7時台～8時台)の利用者割合を「通勤利用者数(7時台～8時台計)/平日利用者数」として算出
		休日利用率	平日と比較した土曜日、日祝の利用者割合を「土曜日の利用者数(人/日)/平日の利用者数(人/日)」として算出
		雨天利用率	平日、土曜日、日祝別に「雨天日利用者数(人/日)/晴天日利用者数(人/日)」として算出
	バス・一般車の走行性	バスの平均旅行速度	当該停留所でのバスの平均旅行速度を朝ピーク(7・8時台)、日中(9～16時台)、夕ピーク(17・18時台)、日平均で算出
		バスの平均旅行速度の変動	平日の月別の平均旅行速度の変動、時間帯別の平均旅行時間の変動を算出
		一般車の平均旅行速度	当該停留所直前の一般車の平均旅行速度を朝ピーク、日中、夕ピーク、日平均で算出
		一般車の平均旅行速度の変動	平日の月別の平均旅行速度の変動、時間帯別の平均旅行時間の変動を算出

c) Step.3 バス停留所の静的な状況整理

Step.3 では、バス停留所の運行本数、運行系統数や運行本数などのバスサービスレベルの把握や停留所の位置する道路の車線数やバスベいの整備状況などのバス走行環境も整理する。具体的には、表 5.2.8 に示す9つの指標を静的な状況として設定した。

表 5.2.8 のバス運行実態では、運行事業者や運行系統の基礎情報に加えて、サービスレベルの指標となる運行本数も設定した。バスの走行環境では、バス停留所のサービスレベルの向上に係わる指標を設定した。具体的には、走行性向上に関する指標として車線数、バスベいの整備状況、PTPS(公共車両優先システム, Public Transportation Priority System)の導入状況および優先(専用)レーンの整備状況、利便性向上に関する指標として、上屋や椅子の整備状況を設定した。

Step.2 の動的な状況は動線データを用いて整理・把握できるが、静的な状況は、実際に現地踏査する必要がある。しかし、Step.1 にて、乗車人員の多いバス停留所を先に抽出していることから、新潟市の事例のように対象エリア内の全停留所を現地踏査しなくても、例えば乗車人員の多い停留所を対象にするなど、計画的に現地踏査ができる。

表 5.2.8 停留所の静的な状況整理の項目

	項目	指標	内容
静的な状況整理	バスの 運行 実態	運行事業者	当該停留所を走行するバス事業者
		運行系統	当該停留所を走行する運行系統数
		運行本数	当該停留所を走行する運行本数を平・土・日祝別に整理
	バスの 走行 環境	車線数	停留所の位置する道路の車線数
		バスベイ整備状況	当該停留所にバスベイが整備されているか否か
		上屋の整備状況	当該停留所に上屋が整備されているか否か
		椅子の整備状況	当該停留所に椅子が整備されているか否か
		PTPSの導入状況	当該停留所を走行する系統がPTPS導入路線であるか否か
		優先（専用）レーン導入状況	当該停留所を走行する系統がバス優先（専用）レーンであるか否か

d) Step. 4 走行阻害箇所の抽出

走行阻害とは、図 5.2.13 に示すようなバス 停留所でのバスの停車に伴って後続車両が追越できず、渋滞が発生する箇所を指している。走行阻害箇所の抽出には、民間プローブデータおよびバスICカードデータから集計したバス停留所リンクの旅行速度と、バス停留所直前のリンクの旅行速度とを利用する。具体的には、3 つの旅行速度を用いて、走行阻害発生率を定義する。

2 種類の動線データの 30 分ごとの旅行速度データのサンプル数を N とする。この N は対象期間（第 4 章で言う 2010 年 6 月の 1 ヶ月）のうち、2 種類の動線データがともにデータ収集された場合のみ利用する。

時刻 t における停留所の存在するリンク i のバスおよび一般車の旅行速度、一般車の直前リンク ($i-1$) の旅行速度を次のように定義する。

$V_{t,i}^{bus}$: 時刻 t における停留所の存在するリンク i のバスの旅行速度

$V_{t,i}^{car}$: 時刻 t における停留所の存在するリンク i の一般車の旅行速度

$V_{t,i-1}^{car}$: 時刻 t における停留所の直前リンク ($i-1$) の一般車の旅行速度

定義した 3 つの旅行速度を用いて、2 つの条件式を設定する。

$$V_{t,i}^{car} - V_{t,i}^{bus} < 0 \quad \text{①}$$

$$V_{t,i}^{car} - V_{t,i-1}^{car} < 0 \quad \text{②}$$

上記条件式は、停留所リンクにおけるバスの旅行速度よりも一般車の旅行速度が小さく（式①）、かつ一般車の旅行速度が停留所の直前リンクよりも停留所リンクが小さい（式②）ことを示している。（式①）を満たす 15 分ごとの旅行速度データのサンプル数を n としたときにバス停留所の走行阻害率を次のように定義する。

$$BlockRate = \frac{n}{N} \quad \text{③}$$

定義した走行阻害率は、停留所で一般車がバスを追い抜くことができずに走行阻害が発生している状況を示しており、その数値が大きいほど走行阻害が発生しやすい。



図 5.2.13 バス停での走行阻害発生状況

e) Step.5 バス停留所別のカルテの作成

Step.5 では、検討結果を見える化する。具体的には、現場での使いやすさを踏まえ、Step.4 までの結果を用いて停留所別にカルテ形式で整理する。

2) ケーススタディ

さいたま市内の全バス停留所を対象に考案したバス停留所付近の走行改善の検討支援策を適用して有用性を検証した。また、関東地方整備局大宮国道事務所、埼玉県、さいたま市の公共交通関係各課から適宜助言を頂きながら遂行した。

i) 分析エリアとデータ期間

分析対象エリアおよび分析データ期間を図 5.2.14 及び表 5.2.9 に示す。

さいたま市では交通戦略会議を設置し、2009 年より都市交通戦略の策定を目標に検討を進めている。同戦略では、地域拠点間および隣接都市との移動性向上が置づけられ、速達性・定時性向上の実現を目指した施策が計画されている。

その中で公共交通としてのバスは大きな役割を果たすことが期待されている。一方、さいたま市では図 5.2.14 に示すとおり、南北に鉄道が走行しており、移動しやすい環境が整備されている。しかし、大宮駅や浦和駅といった主要鉄道駅から東西方向への移動に際しては鉄道網が整備されておらず、バスに依存している状況である。そのため、バス走行環境やバス停留所の整備に対する要望は多い。しかし、市内の 1,000 箇所以上のバス停留所のどこから整備を進め、走行改善を図るべきかは交通戦略会議でも議論されていない。これらも踏まえ、検討支援の対象エリアをさいたま市とした。

分析データの時間帯は、バスの走行時間帯を考慮して 6 時台～22 時台を対象としている。

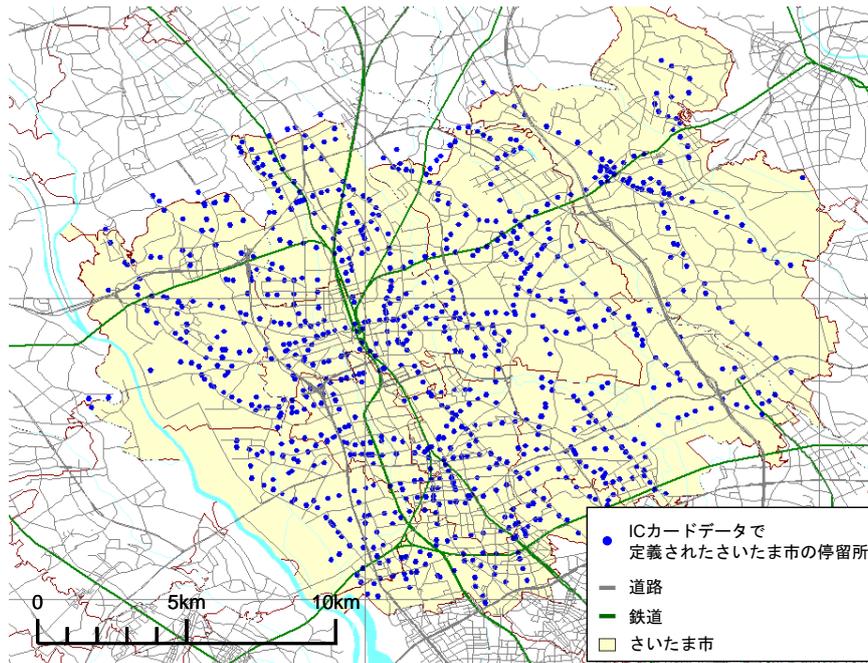


図 5.2.14 分析対象エリア（さいたま市）とバス停留所

表 5.2.9 分析データ期間

項目	内容
分析対象エリア	埼玉県さいたま市
分析データ期間	2010年6月（1ヶ月） 平日：22日，土曜：4日，日祝：4日

ii) バス走行改善の検討支援の step 別の結果と考察

考案したバス走行改善の検討支援の手順に沿って Step 別の実施結果および考察を以下に示す。

a) Step.1 バス停留所別利用者数の整理

バス IC カードデータを利用することで、対象エリアのさいたま市のすべての停留所の時間帯別、日別や系統別の乗車人員が収集可能であり、乗車人員の多い停留所から改善するなど効率的な方法での抽出が可能となる。その点を考慮し、バスの乗車人員の多いバス停留所を抽出した。図 5.2.14 に示した対象エリアの全 1,116 停留所から鉄道駅を除く 802 停留所の乗車人員を集計した結果のうち、上位 30 停留所を図 5.2.15 に示す。図に示すとおり、学校・病院・役所などが上位に位置づけられ、鉄道駅を除く上位 30 停留所合計で全乗車人員の約 27%を占めていた。

Step.2 以降は、Step.1 で抽出された上位 30 停留所を対象に動的な状況整理、静的な状況整理や走行障害箇所の抽出を実施する。なお、今回は便宜上、上位 30 停留所を対象としたが、エリア規模、停留所総数に対する停留所の割合や総乗車人員に対する乗車人員割合などの条件によって分析対象の停留所数を選定することが望ましい。

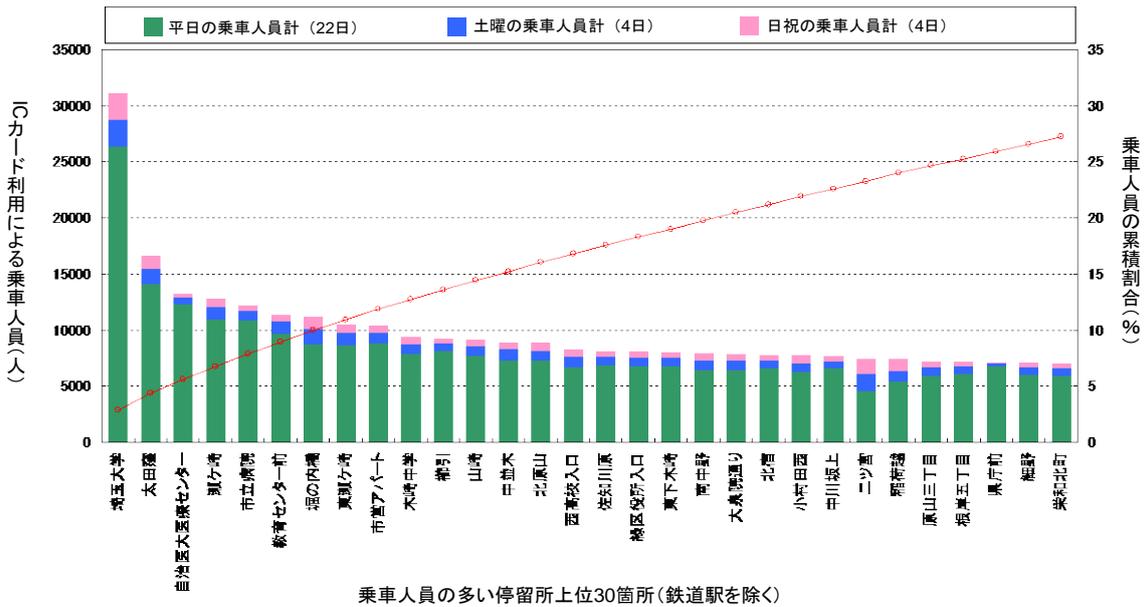


図 5.2.15 乗車人員（IC カード利用）の多い上位 30 停留所

b) Step. 2 バス停留所の動的な状況整理

表 5.2.7 に示した指標のうち、利用者数に関する動的な状況の整理結果の一部を表 5.2.10 に示す。この表のように旅行速度データを整理することで、図 5.2.16 のようなバス停留所別・日別の利用者数を視覚的にわかりやすい形で作成することが可能となる。例えば、日別の利用者数を示した図 5.2.16 の太田窪停留所は、平日 1 日あたり約 640 人のバス利用者が存在していた一方で、休日では約 300 人弱と平日の 5 割程度の利用者数であることが把握できた。

表 5.2.7 に示した指標のうち、旅行速度に関する動的な状況の整理結果の一部を表 5.2.11 に示す。この表のように旅行速度データを整理することで、図 5.2.17 のようなバス停留所別・時間区分別の旅行速度を視覚的にわかりやすい形で作成することが可能となる。図 5.2.17 より、太田窪停留所では平日朝夕ピーク時の旅行速度が低いことと、平日夕ピーク時の一般車はバスの旅行速度と同程度であることが把握できた。

上記の利用者数、旅行速度の分析結果から、動線データを活用すると、バス停留所の状況を数値化して整理できるとともに、図表化（見える化）によって実際の現象の把握が容易になったと言える。

表 5.2.10 利用者数に関する動的な状況の整理結果

Rank	停留所名称	利用者数の平均（人/日）			通勤時間 利用率	休日利用率			雨天利用率		
		平日	土曜	日曜祝日		平日	土曜	日曜祝日	平日	土曜	日曜祝日
1	埼玉大学	1,198	594	601	0.12	0.50	1.01	1.32	1.13	0.69	
2	太田窪	638	359	271	0.38	0.56	0.75	1.36	1.08	1.09	
3	自治医大医療センター	561	133	75	0.05	0.24	0.56	1.27	1.58	1.02	
4	瀬ヶ崎	494	287	202	0.53	0.58	0.70	1.40	1.15	1.11	
5	市立病院	492	201	161	0.15	0.41	0.80	1.24	0.85	1.04	
6	教育センター前	441	258	163	0.35	0.58	0.63	1.26	0.93	1.12	
7	堀の内橋	396	337	282	0.38	0.85	0.84	1.31	0.93	0.75	
8	東瀬ヶ崎	394	281	181	0.49	0.71	0.65	1.41	1.19	1.20	
9	市営アパート	399	236	171	0.48	0.59	0.72	1.30	1.06	0.81	
10	木崎中学	356	233	162	0.51	0.65	0.70	1.46	1.17	0.96	
11	櫛引	372	151	105	0.18	0.41	0.69	1.33	1.25	0.92	
12	山崎	351	208	137	0.50	0.59	0.66	1.33	1.07	1.12	
13	中並木	334	221	171	0.42	0.66	0.78	1.35	1.31	0.89	
14	北原山	330	234	177	0.43	0.71	0.76	1.39	1.15	1.13	
15	西高校入口	303	219	186	0.36	0.72	0.85	1.41	0.93	1.72	
16	佐知川原	309	199	150	0.46	0.64	0.75	1.28	1.11	0.92	
17	緑区役所入口	305	191	166	0.32	0.63	0.87	1.34	0.96	1.11	
18	東下木崎	304	210	140	0.48	0.69	0.67	1.34	1.18	0.96	
19	南中野	295	195	184	0.40	0.66	0.94	1.24	0.93	1.28	
20	大泉院通り	294	201	146	0.34	0.68	0.73	1.33	0.88	1.07	
21	北宿	296	188	130	0.46	0.64	0.69	1.23	1.08	1.04	
22	小村田西	283	194	187	0.13	0.69	0.96	1.32	0.89	1.13	
23	中川坂上	299	162	115	0.36	0.54	0.71	1.29	1.05	1.10	
24	二ツ宮	209	357	354	0.26	1.71	0.99	1.16	0.68	0.86	
25	稲荷越	246	233	270	0.12	0.94	1.16	1.39	1.06	1.41	
26	原山三丁目	267	198	141	0.34	0.74	0.71	1.41	1.07	1.03	
27	根岸五丁目	275	171	111	0.41	0.62	0.65	1.40	1.10	0.89	
28	県庁前	306	63	42	0.17	0.20	0.67	1.48	1.31	1.55	
29	細野	272	173	113	0.50	0.63	0.65	1.45	1.08	1.08	
30	栄和北町	266	176	124	0.43	0.66	0.70	1.28	0.97	0.92	

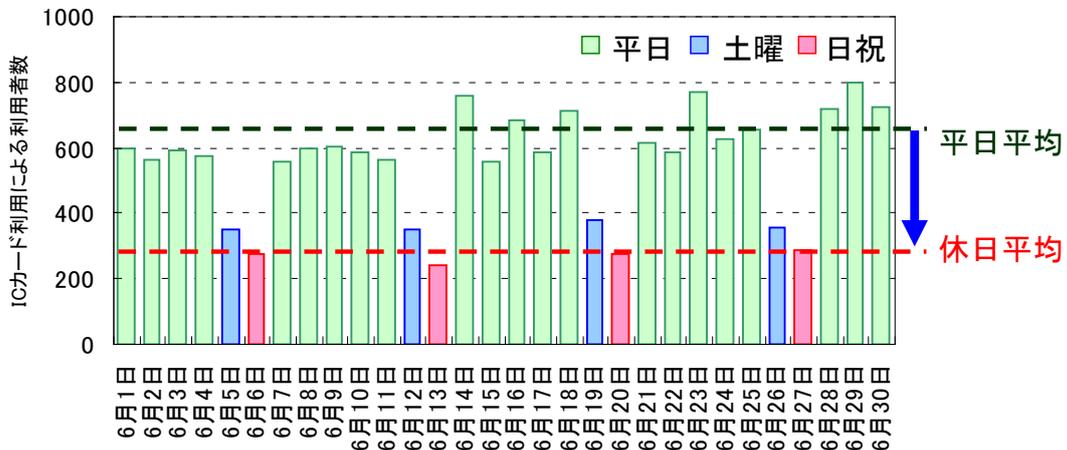


図 5.2.16 太田窪停留所における平土休別利用者数

表 5.2.11 旅行速度に関する動的な状況の整理結果

Rank	停留所名称	バスの平均旅行速度						一般車の平均旅行速度					
		平日				土曜	休日	平日				土曜	休日
		朝ピーク	日中	夕ピーク	日平均	日平均	日平均	朝ピーク	日中	夕ピーク	日平均	日平均	日平均
1	埼玉大学	15.3	15.0	14.4	14.8	14.0		17.2	18.2	19.9	21.0	21.3	21.4
2	太田窪	13.0	14.4	13.0	14.3	13.9	14.7	20.0	18.1	12.2	21.9	18.8	17.3
3	自治医大医療センター	12.6	13.0	13.3	13.1	13.1	13.9						
4	瀬ヶ崎	14.1	15.6	15.7	16.0	15.7	15.6	28.8	24.5	22.8	26.3	26.4	24.8
5	市立病院	13.2	14.1	13.5	14.1	13.9	14.8	27.8	31.1	30.2	33.1	33.0	38.5
6	教育センター前	12.9	14.0	12.4	14.1	14.3	15.5	30.0	24.3	27.9	29.7	28.1	32.4
7	堀の内橋	14.3	16.1	15.1	16.3	17.1	17.7	28.1	28.2		30.9	31.2	39.6
8	東瀬ヶ崎	17.2	17.8	18.6	18.2	18.5	18.3	28.8	24.5	22.8	26.3	26.4	24.8
9	市営アパート	11.9	13.4	11.1	13.3	13.3	14.7	20.0	22.5	20.7	21.4	21.8	24.3
10	木崎中学	14.9	15.6	15.7	15.9	16.0	15.9	28.8	24.5	22.8	26.3	26.4	24.8
11	櫛引	16.0	16.5	16.7	17.2	15.4	15.7	22.4	21.0	20.1	24.6	24.3	23.6
12	山崎	15.6	16.9	14.8	16.7	16.0	17.0	21.5	23.0	21.1	25.1	24.2	26.7
13	中並木	11.7	14.1	11.9	13.7	13.4	14.7						
14	北原山	15.4	15.0	14.0	15.6	14.6	15.4	24.0	18.4	16.1	25.8	23.7	24.3
15	西高校入口	12.1	15.7	13.5	15.1	15.2	16.2	12.8	24.2			14.0	22.0
16	佐知川原											34.9	34.6
17	緑区役所入口	17.2	17.7	17.9	18.5	18.0	18.3	33.5	31.4	31.0	36.1		26.7
18	東下木崎	15.6	17.3	16.3	17.2	16.8	17.7	21.5	23.0	21.1	25.1	24.2	26.7
19	南中野	13.7	13.6	12.3	13.6	14.2	15.0	25.4	22.7	21.4	25.2	23.4	27.4
20	大泉院通り	14.7	15.6	15.8	16.0	14.8	16.3	31.6	29.1	26.9	32.8	35.1	30.6
21	北宿	13.8	14.7	14.2	14.7	14.5	15.1	27.8	31.1	30.2	33.1	33.0	38.5
22	小村田西	11.5	12.7	11.2	12.7	12.5	12.7						
23	中川坂上	15.5	16.1	15.9	16.5	17.1	17.6	30.7	26.6	25.3	27.7	26.4	30.3
24	二ツ宮	22.9	25.6	27.4	25.9	26.0	22.7	33.6	38.9	37.4	41.5	40.2	41.9
25	稲荷越	13.9	15.9	17.3	16.6	16.4	17.0	33.5	31.0	30.7	35.2	32.2	33.8
26	原山三丁目	15.1	14.9	13.5	15.3	14.3	15.1	24.0	18.4	16.1	25.8	23.7	24.3
27	根岸五丁目	14.5	15.0	14.3	15.4	15.3	15.9	29.7	27.1	25.9	32.8	30.2	31.8
28	県庁前	13.2	13.8	14.2	14.4	14.7	15.5	19.6	19.9	19.6	20.5	21.9	22.2
29	細野	15.2	16.4	15.9	16.3	16.2	16.4	36.5	31.1	29.8	35.9	35.1	33.5
30	栄和北町	13.3	13.8	13.0	13.7	13.1	13.9	21.8	21.0	19.5	24.5	21.8	21.2

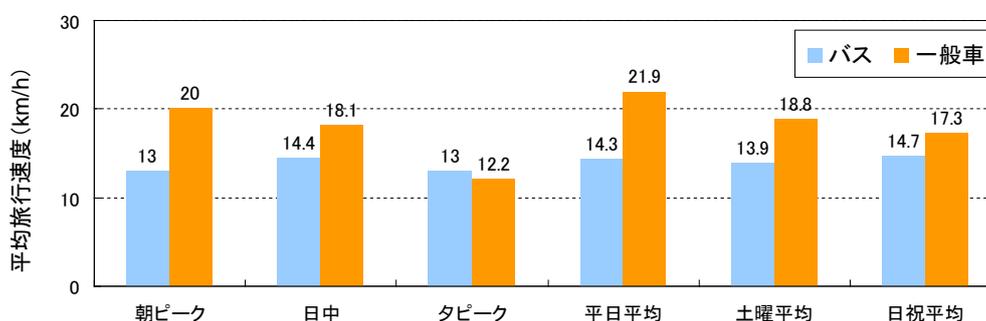


図 5.2.17 太田窪停留所における時間区分別平均旅行速度

c) Step.3 バス停留所の静的な状況整理

表 5.2.8 に示した指標のうち、さいたま市の鉄道駅を除いた乗車人員の多い太田窪停留所の静的な状況の整理結果を表 5.2.12 に示す。表中の運行系統数、バス委の走行環境の各項目は現地調査を踏まえて整理している。

表 5.2.12 太田窪停留所の静的な状況の整理結果

バスの運行実態	事業者	国際興業株式会社				
	系統数	9系統				
	運行系統数	系統	起点・終点	運行本数(2010年10月時点)		
				平日	土曜	休日
	浦50	浦和駅東口～南浦和駅西口	65	52	47	
	浦50-2	浦和駅東口～二十三夜坂下	4	3	2	
	浦51	浦和駅東口～北浦和駅東口	28	25	24	
	浦51-2	浦和駅東口～北浦和駅東口	6	6	6	
	浦51-3	浦和駅東口～北浦和駅ターミナル	12	12	12	
	浦04	浦和駅西口～北浦和駅	58	32	32	
浦04-2	浦和駅西口～馬場折返場	58	50	56		
浦04-3	浦和駅西口～さいたま東営業所	20	15	15		
浦05	浦和駅西口～明花	9	3	2		

バスの走行環境	車線数	片側1車線	PTPS対象	○
	バスベイ整備	×	優先(専用)レーン	×
	上屋の整備	×	公共交通幹線軸	×
	椅子の整備	×		

d) Step. 4 走行阻害箇所の抽出

Step.2 で整理した動的なデータを用いて、バス停留所の走行阻害箇所として、乗車人員の多い上位 30 停留所の走行阻害の発生率を全日(分析対象期間の 1 時間ごとの数値)、朝ピーク、夕ピークおよび雨天時の 4 つのカテゴリ別に算出した(表 5.2.13)。なお、表中に走行阻害の発生率が算出できないバス停留所が存在しているが、停留所位置が病院や学校の敷地内に存在し、一般車の旅行速度データが収集できていないことが原因である。

表 5.2.13 の走行阻害発生率の数値が大きい箇所は、バス停留所にバスが停車している際に一般車が追い抜けない状況が発生していることが想定される。実際に走行阻害の発生率が高い停留所、低い停留所に対して走行阻害の発生状況を現地踏査し、走行阻害発生率と実際の走行阻害とを比較検証した。

現地踏査した特徴的な停留所として、ランク 2 の太田窪停留所、ランク 6 の教育センター前停留所の状況を概説する。走行阻害発生率の高い太田窪停留所は、交差点間隔の短い場所に位置している上に、片側 1 車線であることから、後続車の追い抜きができずに走行阻害が発生している状況が確認できた(図 5.2.18)。また、走行阻害発生率の低い教育センター前停留所では、太田窪同様に片側 1 車線道路であるが、バス停部分で隅切られており、バス停車時でも後続車両の追越が可能であることが確認できた(図 5.2.18)。

表 5.2.13 乗車人員の多い30 停留所における走行阻害発生率

Rank	停留所名称	走行阻害発生率			
		全日	朝ピーク	夕ピーク	雨天時
			7・8時台	17・18時台	
1	埼玉大学	0.16	0.46	0.33	0.40
2	太田窪	0.32	0.25	0.62	0.30
3	自治医大医療センター	-	-	-	-
4	瀬ヶ崎	0.11	0.00	0.18	0.60
5	市立病院	0.00	0.00	0.00	0.00
6	教育センター前	0.04	0.03	0.00	0.04
7	堀の内橋	0.00	0.00	0.00	0.00
8	東瀬ヶ崎	0.20	0.00	0.24	0.80
9	市営アパート	0.14	0.25	0.00	0.00
10	木崎中学	0.10	0.00	0.12	0.40
11	櫛引	0.19	0.32	0.20	0.25
12	山崎	0.15	0.32	0.17	0.25
13	中並木	-	-	-	-
14	北原山	0.12	0.17	0.24	0.20
15	西高校入口	-	-	-	-
16	佐知川原	-	-	-	-
17	緑区役所入口	0.01	0.00	0.00	0.00
18	東下木崎	0.18	0.32	0.29	0.25
19	南中野	0.22	0.27	0.24	0.18
20	大泉院通り	0.08	0.14	0.07	0.17
21	北宿	0.00	0.00	0.00	0.00
22	小村田西	-	-	-	-
23	中川坂上	0.12	0.00	0.20	0.17
24	二ツ宮	0.09	0.17	0.17	0.12
25	稻荷越	0.00	0.00	0.00	0.00
26	原山三丁目	0.12	0.13	0.24	0.20
27	根岸五丁目	0.06	0.04	0.02	0.06
28	県庁前	0.20	0.08	0.25	0.17
29	細野	0.01	0.00	0.02	0.00
30	栄和北町	0.08	0.09	0.18	0.10

【走行阻害が発生している停留所】

【走行阻害が発生していない停留所】

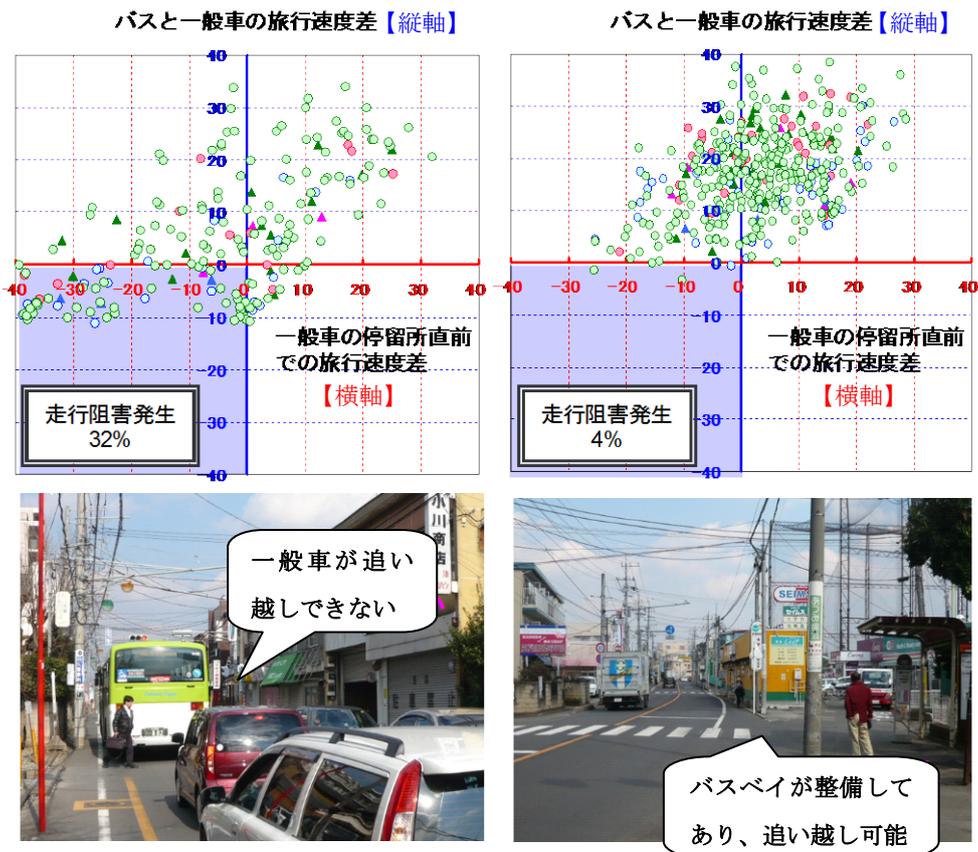


図 5.2.18 走行阻害箇所の抽出例

e) Step. 5 バス停留所別のカルテ作成

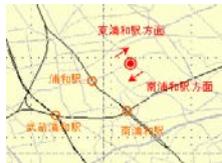
Step.4 までの結果を用いてバス停留所別にカルテ形式で整理した。図 5.2.19 はカルテ例を示しており、バス停留所別の状況把握が容易となり、現場でも使いやすさも想定して作成している。カルテに掲載する内容としては、Step.2 のバス停留所の動的な状況の整理で動線データにより数値化した結果をわかりやすい表現となるよう図表を用いて示したものである。この動線データを活用した乗車人員や旅行速度の整理自体も、従来のバス走行環境整備計画では困難であった内容であり、実現象を数値化していることに大きな意味があるといえる。

なお、図 5.2.19 記載のバス停留所の評価内容は、関係者間で合意形成を得たものではないことに留意されたい。

Rank 2 太田窪 (さいたま市南区)

利用者が多く、バスの停車による走行阻害が夕方に多く発生!

停留所名	太田窪
住所	埼玉県さいたま市南区
緯度	35.86377194
経度	139.6708247
停留所ID	791108686

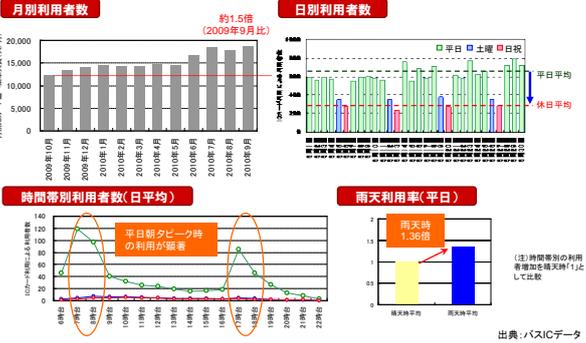


事業者	国際興業株式会社		
系統数	9系統		
運行系統数	系統	起点・終点	運行本数(2010年10月時点)
			平日 土曜 休日
	浦50	浦和駅東口～南浦和駅西口	65 52 47
	浦50-2	浦和駅東口～二十三夜坂下	4 3 2
	浦51	浦和駅東口～北浦和駅東口	28 25 24
	浦51-2	浦和駅東口～北浦和駅東口	6 6 6
	浦51-3	浦和駅東口～北浦和駅ターミナル	12 12 12
	浦04	浦和駅西口～北浦和駅	58 32 32
	浦04-2	浦和駅西口～馬場折返場	58 50 56
	浦04-3	浦和駅西口～さいたま東営業所	20 15 15
	浦05	浦和駅西口～明花	9 3 2

バスの走行環境	車線数	片側1車線	PTPS対象	○
	バスベイ整備	×	優先(専用)レーン	×
	上屋の整備	×	公共交通幹線軸	×
	椅子の整備	×		

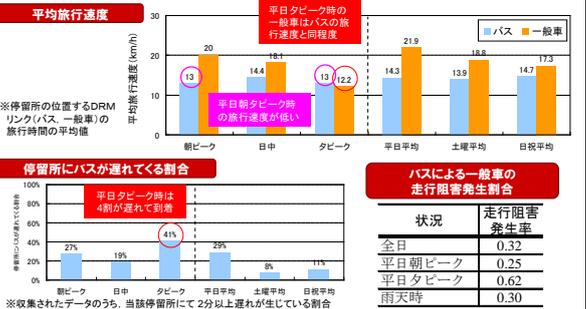
動的な状況 (利用者)

- ICカードによる乗客数が、さいたま市の停留所で第2位の15,300人/月(年平均)
- 平日の利用者は平均640人/日と多く、休日は平日の0.75倍の利用
- 平日朝タビーク時間帯の利用者が特に多く、通勤でのバス利用が想定
- 雨天時には、晴天時に対して、約1.36倍の利用者が増加



動的な状況 (走行状況)

- バスの平均旅行速度は日中と比較して、朝・タビーク時には約1.5km/h低い
- 停留所へのバスの到着遅れは朝タビーク時で27%、タビーク時で41%の割合で発生
- タビークでは、停留所へのバスの停車により、一般車の走行阻害が発生している可能性あり



評価

- 停留所は片側1車線の道路に位置しており、一般車がバスを追い抜くことができず、バスの停車により走行阻害が発生しており、交差点付近の停留所位置変更等が考えられる
- 歩道の狭い箇所停留所に位置していることもあり、バス待ちの際に自転車、自動車との接触の危険あり、バス待ちスペースの確保が望まれる

図 5.2.19 Step. 1~4 の結果を用いて作成したバス停留所別のカルテ例

(3) 道路整備効果の検証

1) 分析手法

バス IC カードデータおよび民間プローブデータを用いて道路整備の効果・影響を明らかにする分析手法を考案した。具体的には、2 種類の動線データを用いて対象区間の整備前後の旅行速度の変化と、バス IC カードデータを用いて整備前後の速度信頼性の変化とを分析する。

分析の流れを図 5.2.20 に示す。この分析手法を適用するには、バス IC カードデータが取得できる区間であり、さらにプローブデータも取得できることが前提条件となる。

まず、分析対象区間の各動線データの取得量およびデータの内容(速度分布など)を確認し、分析期間を設定する。分析では、整備前後の時間帯別平均旅行速度および平均速度の時系列推移を比較する。また、バス IC カードから取得されるデータ量が十分な場合は、平均旅行速度のばらつきに着目した速度信頼性を分析する。

以上の分析から得た結果に基づいて、道路整備の効果を取りまとめる。

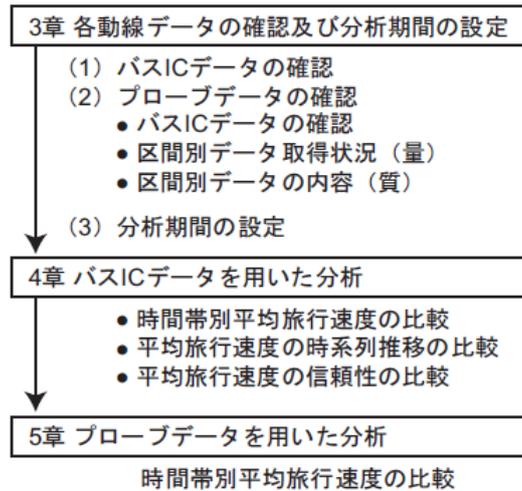


図 5.2.20 分析の流れ

2) 各動線データの確認

i) 分析対象区間の選定

埼玉県内で近年実施された道路事業のうち、2種類の動線データが取得されている県道79号朝霞蕨線で行われた右折帯延伸事業を分析対象とした。

朝霞蕨線は、埼玉県朝霞市内の国道254号朝霞警察署前交差点から埼玉県蕨市の国道17号錦町3丁目交差点までを結ぶ主要地方道である。このうち、図5.2.21に示す北戸田駅北側の国道298号と朝霞蕨線とが交差する『北戸田駅入口』交差点への流入方向で、平成22年2月に右折帯の延伸事業が実施された。この事業により、右折車の走行性向上のみならず、右折車の混雑によって阻害されていた左折車の走行性の向上も期待される。

そこで、右折帯延伸による左折車の走行性向上効果を計測することとした。



図 5.2.21 分析対象箇所

ii) バス IC カードデータ

系統別のバス 1 台毎のバス停留所間で集計されたバス停留所間の個別データを用いて分析する。

2011 年 2 月時点でのデータ量は、図 5.2.22 に示すように、月当たりバス IC カードの延べ利用回数が約 6,500 万回/月、日平均利用回数が約 345 万回である。

朝霞蕨線の北戸田駅入口交差点を左折する路線バスは、2009 年時点で 4 系統である。バス IC カードデータを確認した結果、4 系統のうちデータが取得されているのは 1 系統のみであった。しかし、その 1 系統は表 5.2.14 に示すようにほぼ全時間帯で 1~8 台/時のデータが取得されていた。データ量は日当たり約 50~70 台/日、2009 年 3 月の 1 ヶ月間合計では約 2,700 台/月であり、分析上、十分なデータ量が確保されていると判断した。

続いて、2009 年 3 月の平日に着目して、全 1,983 台の時間帯別平均旅行速度の分布を確認した結果が図 5.2.23 である、速度は 10~18km/h の幅で、14~15km/h が最頻値となっている。したがって、バス IC カードデータから取得される旅行速度は実勢を反映した速度分布を示していることが確認できる。

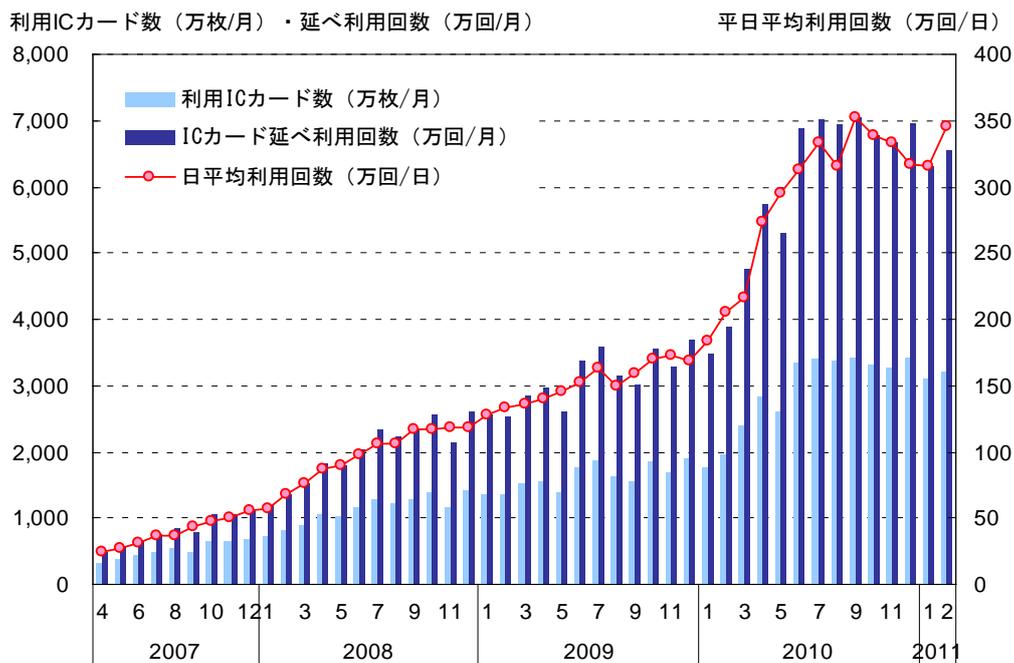


図 5.2.22 バス IC カードデータの利用状況 (平日)

表 5.2.14 分析対象区間を走行するバス台数 (2009年3月)

2009年3月		時間帯																					総計
日	曜日	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22				
1	日		1	3	2	3	5	4	4	6	3	7	7	3	7	8	2	4	3	72			
2	月	1	4	5	5	2	6	2	4	4	7	4	4	5	8	11	8	6	6	92			
3	火	1	4	5	5	2	9	2	3	4	5	5	6	3	6	11	9	8	6	94			
4	水	1	4	5	5	4	5	3	3	4	6	5	4	5	9	11	10	6	5	95			
5	木	1	4	5	5	3	8	2	3	5	7	7	6	5	8	10	7	6	5	97			
6	金	1	4	5	4	5	10	3	3	7	6	8	6	5	7	11	9	7	6	107			
7	土	1	3	3	4	7	6	1	5	3	3	4	7	5	8	8	4	3	4	79			
8	日		1	3	3	2	2	2	6	4	3	5	8	2	8	7	4	3	3	66			
9	月	1	4	5	5	2	7	4	2	6	4	7	6	6	6	11	10	7	6	99			
10	火	1	4	5	4	4	7	3	4	4	3	6	6	6	7	10	9	5	6	94			
11	水	1	4	5	4	2	7	2	5	3	8	6	6	4	6	10	9	7	6	95			
12	木	1	4	5	4	3	4	2	5	4	6	7	6	6	7	7	8	7	6	92			
13	金	1	4	5	5	2	8	4	4	6	6	6	5	4	6	9	8	4	6	93			
14	土	1	3	3	4	5	6	3	5	3	3	5	8	5	5	8	5	3	5	80			
15	日		1	3	2	2	4	4	3	6	3	6	7	2	7	4	2	4	4	64			
16	月	1	4	5	4	5	7	3	4	5	4	6	3	5	7	10	10	7	5	95			
17	火	1	4	5	5	4	7	2	5	4	7	6	6	3	9	11	9	7	5	100			
18	水	1	4	4	5	4	8	4	2	6	6	6	4	5	7	9	9	6	6	96			
19	木	1	4	5	5	3	7	4	4	4	5	4	5	4	8	11	7	8	5	94			
20	金		1	3	2	3	4	5	6	5	4	5	6	3	7	9	4	3	4	74			
21	土	1	2	3	3	5	2	3	3	5	2	7	5	4	8	7	4	2	5	71			
22	日		1	3	3	2	4	3	3	4	3	5	11	3	7	8	3	5	2	70			
23	月	1	4	5	5	2	7	4	3	3	7	7	5	4	7	11	8	6	6	95			
24	火	1	4	5	4	3	7	2	4	5	4	4	3	3	8	10	10	6	6	89			
25	水	1	4	5	5	4	8	4	3	4	5	3	6	5	7	10	7	7	5	93			
26	木	1	4	5	5	3	4	3	2	4	6	5	5	4	6	9	7	7	6	86			
27	金	1	4	5	5	2	6	2	3	4	8	5	6	4	8	7	8	7	6	91			
28	土	1	3	3	4	4	4	2	4	3	4	5	8	4	5	6	3	2	4	69			
29	日		1	3	2	3	3	4	4	4	5	4	5	2	5	8	3	3	3	62			
30	月	1	4	5	5	3	8	2	4	4	6	5	4	6	7	7	6	8	7	92			
31	火	1	4	5	5	4	9	3	2	5	5	6	5	5	7	9	8	6	5	94			
平日計		21	84	104	99	66	149	60	72	95	121	118	107	97	151	205	176	138	120	1,983			
休日計		4	17	30	29	36	40	31	43	43	33	53	72	33	67	73	34	32	37	707			
総計		25	101	134	128	102	189	91	115	138	154	171	179	130	218	278	210	170	157	2,690			

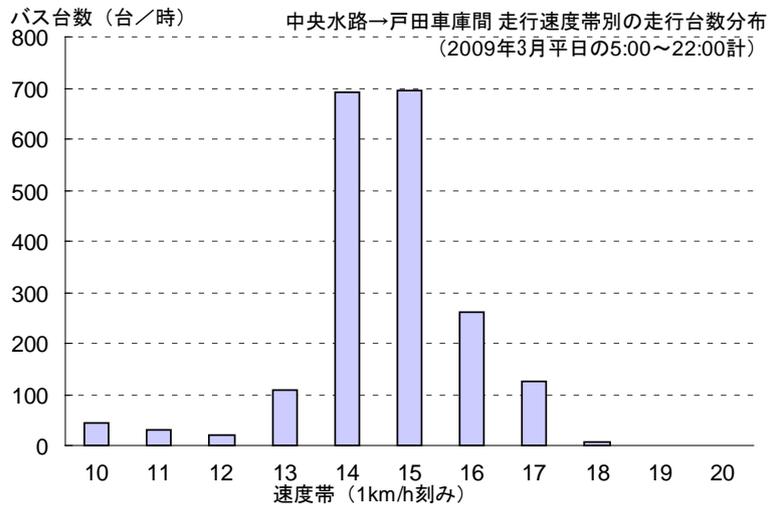


図 5.2.23 バスの速度帯別の走行台数分布

iii) 民間プローブデータ

本分析で対象とする朝霞蕨線の北戸田駅入口交差点を左折する経路上には、図 5.2.24 に示すように北戸田駅方向から国道 298 号まで DRM で 2 リンク（図 5.2.24 中の a と b）、左折して国道 298 号に 3 リンク（同 c～e）、さらに右折して『戸田車庫』バス停過ぎまでの 4 リンク（同 f～i）、合計 9 リンクが存在する。

この 9 リンクのうち、2009 年 3 月 1 ヶ月間のデータを確認したところ、データが取得されているのは a、b、i の 3 リンクであった。この状況を踏まえ、今回の分析では、データ取得されている a（DRM ノード番号で 4508→3541）、b（同 3541→3542）、i（同 3527→4528）の 2009 年 3 月の 1 ヶ月間を対象とした。

平休別時間帯別平均走行台数を確認した結果を図 5.2.25、平均旅行速度を算出した結果を図 5.2.26 に示す。図 5.2.25 を見ると、a および b で概ね 5～10 台/時程度の走行が見られるが、i は 1～2 台/時程度になっており、データ量としては十分とは言えない状況であることが確認された。さらに図 5.2.26 の平均旅行速度から、a と b は概ね日中は 10km/h 前後で夜間の速度が速くなるなど実勢を反映していると考えられるが、i ではデータの分散が大きく、かつ欠値も多く見られることが確認された。

以上を踏まえた結果、民間プローブデータの分析対象区間は a および b の 2 リンクと、リンク長が短いことを考慮して 2 リンクを合わせた約 180m 区間の平均値として算出することとした。

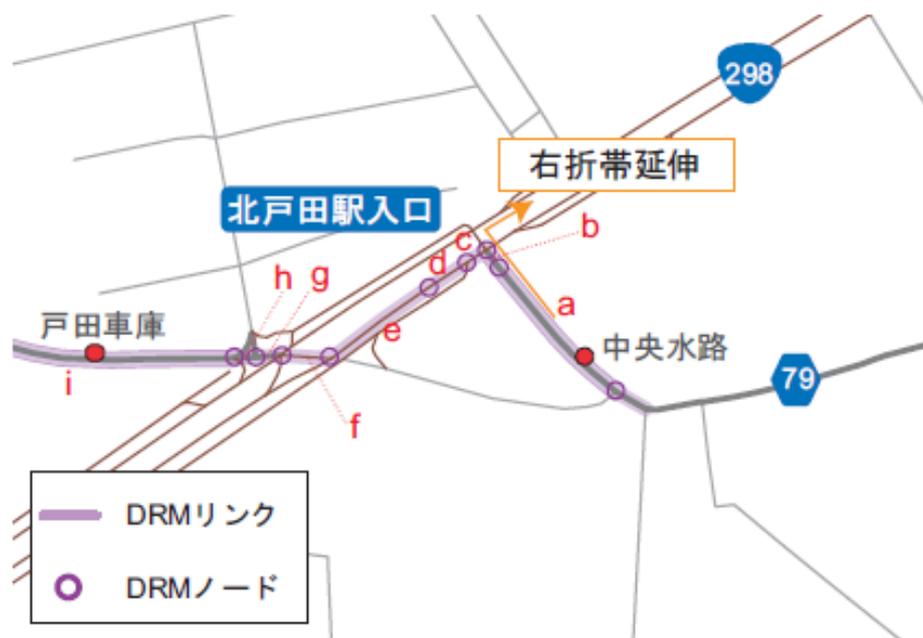


図 5.2.24 分析対象区間上の DRM リンク

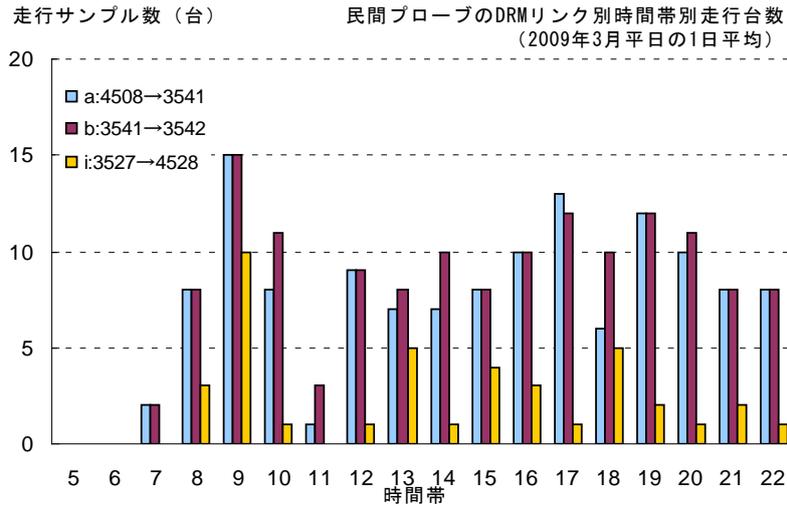


図 5.2.25 DRM リンク別時間帯別平均走行台数 (平日平均)

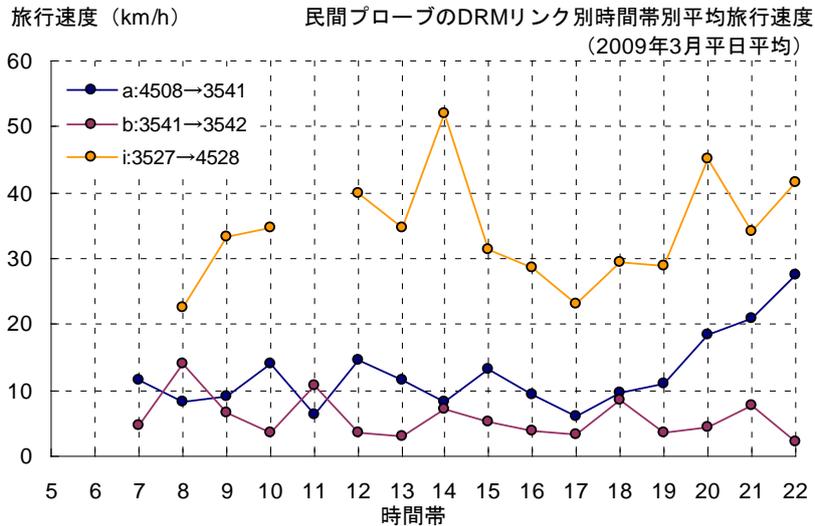


図 5.2.26 DRM リンク別時間帯別平均旅行速度 (平日平均)

iv) 分析期間の設定

分析期間は、表 5.2.15 に示すとおり、整備後の供用が 2010 年 2 月であることとデータ取得状況を踏まえて設定した。

表 5.2.15 分析期間

整備後 供用時期	前年同月比較	
	バス IC カードデータ	民間プロローブデータ
2010年2月	事前：2009年3月 事後：2010年3月 ※平日時間帯別	事前：2009年3～6月 事後：2010年3～6月 ※平日時間帯別

3) バス IC カードデータを用いた分析

i) 時間帯別平均旅行速度の比較

バス IC カードデータを用いて整備前の 2009 年 3 月平日と整備後の 2010 年 3 月平日の時間帯別平均旅行速度を比較した結果を図 5.2.27 に示す。整備後は、朝の通勤ピーク時間帯である 7～8 時台で約 0.5～0.8km/h の速度上昇が確認された。この結果は、ピーク時間帯の速度上昇を指しており、右折帯延伸による左折車両スムーズ化の効果と想定される。なお、昼間の時間帯では整備前後ともに速度低下が見られるが、整備前後ともに同一の傾向であることから、例えば国道 298 号を優先とする信号現示の設定など、他の要因が影響していることが考えられる。

20～21 時では整備前の平均速度が整備後を上回っているが、整備前の 16～17km/h と速度が速いことを考慮すると、整備による影響とは想定しえないと考えられる。

以上より、当該区間での右折帯延伸により、朝ピークにおけるバス走行速度の向上が確認された。

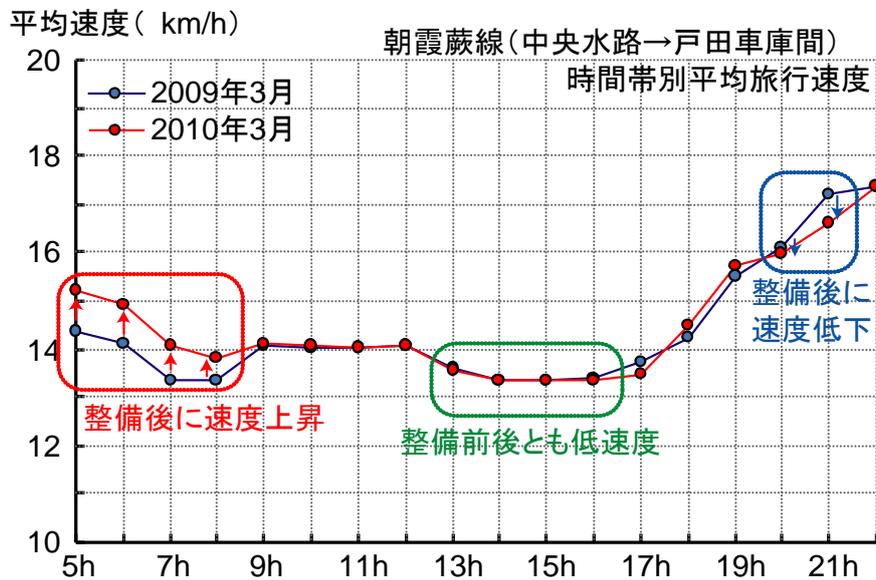


図 5.2.27 整備前後の時間帯別平均旅行速度の比較結果

ii) 平均旅行速度の時系列推移の比較

前項では日平均値を比較したが、本項では日別の時間帯別平均速度の時系列推移をヒートマップにより比較した結果を図 5.2.28 に示す。図に示すとおり、整備後の朝ピーク時間帯で、明らかな速度上昇が確認できる。

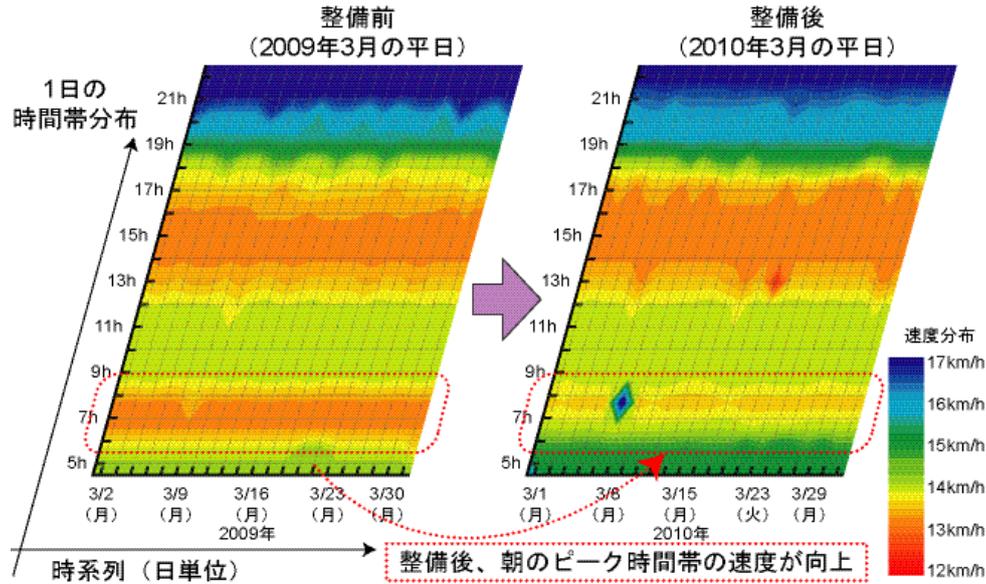


図 5.2.28 整備前後の日別時間帯別平均旅行速度の推移

iii) 平均旅行速度の信頼性の比較

整備前後の走行速度帯別のバス走行台数分布を図 5.2.29 に示す。整備前は 10～11km/h が多く 16km/h 以上は存在しなかったが、整備後は 10～11km/h が大幅に減少して 14km/h に集中し、16km/h 以上も若干数出現している。

すなわち、バスの平均速度が整備前の 13.2km/h から整備後は 13.8km/h へと上昇するとともに、バス走行速度の標準偏差が整備前の 1.56 から整備後は 1.22 へと小さくなっていることから、バスの走行速度の安定性（定時性）が向上したことが確認できる。

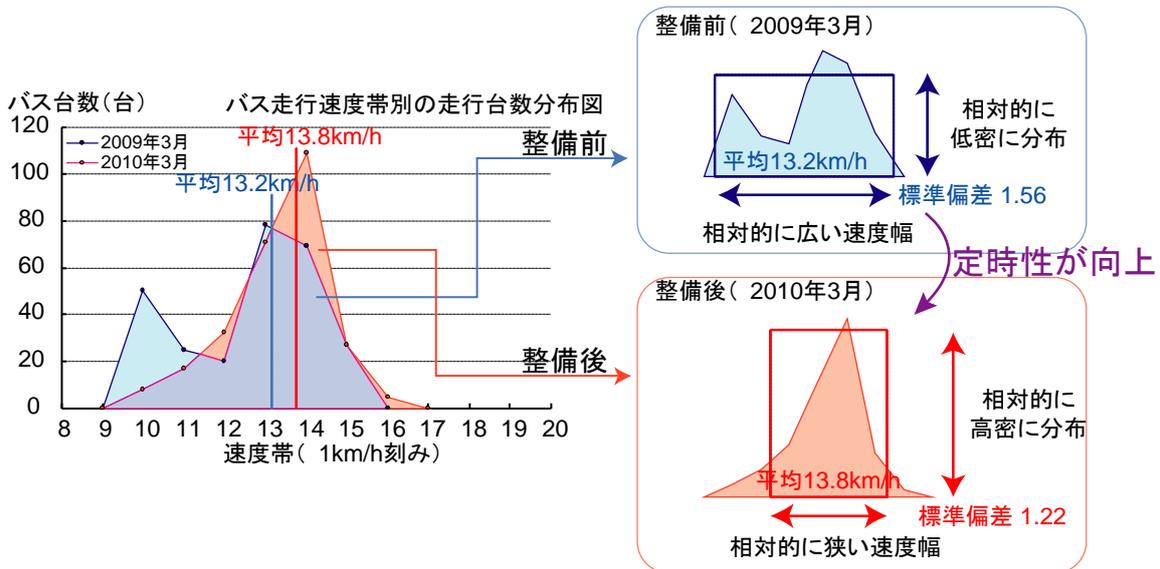


図 5.2.29 バス走行速度帯別の走行台数分布

4) 民間プローブデータを用いた分析（時間帯別平均旅行速度の比較）

DRM リンク a および b の平均として算出した平日朝夕ピーク時間帯における平均旅行速度を整備前後で比較した結果を図 5.2.30 に示す。朝ピークでは 3 月を除く 4～6 月の 3 ヶ月で速度上昇、夕ピークでは 5～6 月の 2 ヶ月で速度上昇が確認できる。

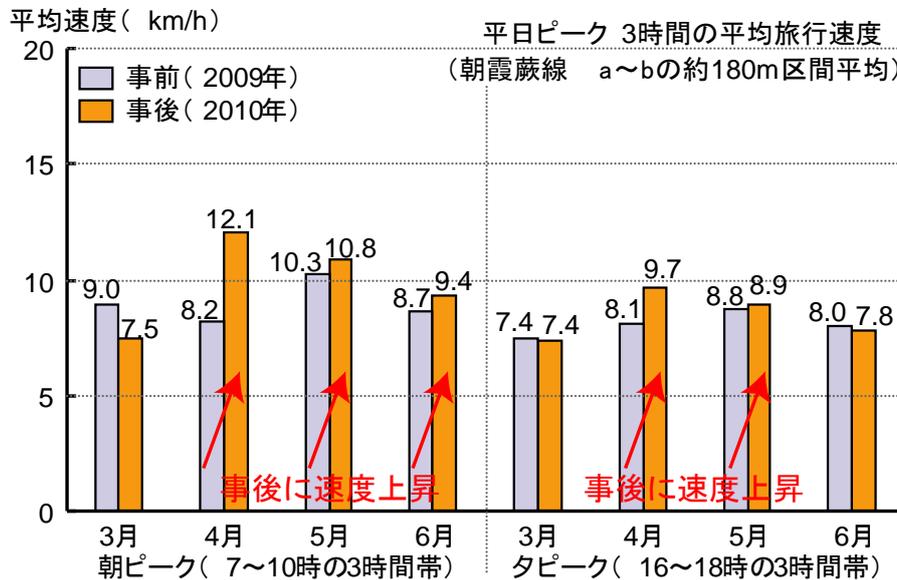


図 5.2.30 整備前後の時間帯別平均旅行速度の比較結果

(4) 動線データ活用検討のまとめ

複数の動線データ（バス IC カードデータ、民間プローブデータ）を用いて、バス停留所周辺の走行改善支援策及び道路整備効果の分析手法を考案し、ケーススタディを行った。

バス停留所周辺の走行改善支援策では、バス停留所の走行阻害箇所の抽出結果および抽出されたバス停留所の現地踏査の結果から、実際に走行阻害が発生していることが確認できた。バスの走行改善の検討支援の最終的な成果として、現場で利用しやすい各停留所の状況を示すカルテの作成を提案した。

道路整備効果の検証では、右折帯の延伸により左折交通の整流化がなされた結果、交通が集中する朝ピーク時間帯にバス・自動車ともに旅行速度が上昇していることを把握することができた。さらに、バス IC カードデータの旅行速度分布から、整備後に旅行速度分布の標準偏差が低下しており、バスの走行定時性が向上したことも明らかになった。以上より、バス IC カードデータと民間プローブデータの異なる 2 種類の動線データを用いて、バスおよび一般車両の両方で道路整備による効果が発現していることを確認することができ、交差点改良などの道路事業のミクロな効果計測の可能性が示唆された。

5.2.4 成果の活用と今後の課題

(1) 成果の活用

動線解析プラットフォームは、多様なニーズに応えるための基本情報となる時空間上での人の移動を把握するためのオープンなプラットフォームとして、東京大学空間情報科学研究センターで公開され、医療・都市防災、環境・マーケティング、統計・セキュリティ、交通・モビリティ等、幅広い分野での研究・分析に活用されている。

また、複数の動線データを活用した動線解析技術は、国や地方公共団体の交通計画の策定、道路整備効果の検証等に活用される予定である。

(2) 今後の課題

複数の動線データを活用した動線解析技術では、バス IC カードデータ及び民間プローブデータを使用したのが、以下のような課題が明らかになった。

- バス IC カードデータでは、道路整備効果の検証の対象区間を走行している 4 系統のうち、データが取得されているのは 1 系統のみであった。また、時期によってデータが取得できていない期間があることが確認された。このことから、系統として存在しているにも関わらずデータが取得できていない場合もあり、分析の際には当該区間および対象期間でのデータ取得状況の確認が必要となる。
- 民間プローブデータでは、バス IC カードデータと同様にデータが取得できていないリンクが存在する場合や、データが存在してもデータ信頼性の低い場合があった。このため、民間プローブデータを用いた分析の際には、データの有無とともに、データの詳細の確認が必須であることに留意が必要である。

以上のような課題はありつつも、時系列で分析可能なデータとしての動線データの持つ可能性は非常に大きい。

今後は、動線データのさらなる活用のために、今回使用した以外の動線データ（携帯電話や他の交通系 IC カードのデータ等）の取得方法や活用方法、複数の動線データを組み合わせた分析方法等を検討していく必要がある。

5.3 プロブ技術による交通情報提供サービス及び交通調査の高度化

5.3.1 研究目的

ITS スポットに用いられている通信技術は、双方向の高速・大容量通信が可能という特徴があり、これまでのように道路側から一方的に道路交通情報等を提供（ダウンリンク）するだけでなく、車両側から道路側に情報を送信（アップリンク）することが可能である。このため、ITS スポットは車両の走行位置（緯度、経度、時刻等）（以下、走行履歴情報）や挙動（前後加速度、左右加速度、ヨー角速度等）（以下、挙動履歴情報）等のプロブ情報を収集するシステムとしての活用が期待されている。

これまで、自動車に設置して走行速度や加速度（異常な挙動）を取得するドライビングレコーダ等のシステムは存在しているが、一般にはメモ리카ード等に取得したデータを蓄積するものであり、メモ리카ード等から手作業でデータをパソコン等に移動しなければならず、作業に手間がかかっていた。また、近年では民間各社からテレマティクスを用いてプロブ情報をアップリンクするシステムも普及しつつあるが、一般にはその通信料をユーザーが負担する必要がある。

ITS スポットによりプロブ情報を収集するシステム（以下、プロブシステム）は、無線通信技術を用いてプロブ情報を収集するため、ITS スポット対応カーナビが普及すれば大量のデータを低コストで収集することが可能となる。またこれまで、断面での旅行速度調査しかできなかった固定的な装置と比較して、区間の実際の旅行速度データを収集することが可能となり、広範囲に道路管理に関わる情報を収集することができるため、高精度な道路交通情報の把握・提供や、低コストに道路管理業務の効率化・高度化を実現することが可能となる。

本章では、プロブシステムによって収集されるプロブ情報（以下、道路プロブ情報）の収集・蓄積に関する規格・仕様の策定の経緯を取りまとめるとともに、道路プロブ情報の挙動履歴情報の収集要件の検討、実験用プロブサーバを用いた道路プロブ情報の収集実験成果について報告する。

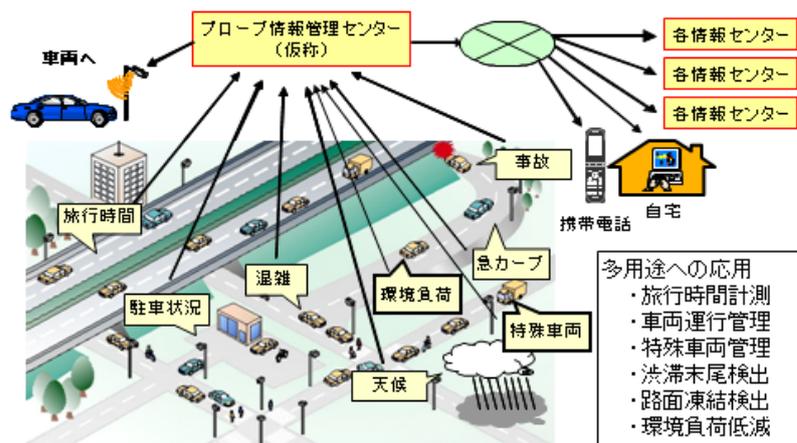


図 5.3.1 プロブ情報の収集システムと活用イメージ

5.3.2 道路プローブ情報の収集・蓄積に関する規格・仕様の策定の経緯

スマートウェイ推進会議の提言「ITS，セカンドステージへ」（平成16年8月）をもとに実施された「次世代道路サービス提供システムに関する官民共同研究（以下、官民共同研究）」（平成17年3月～平成18年3月）及び「スマートウェイパートナー会議 次世代道路システム 技術検討WG（以下、ITR部会）」（平成18年6月～）において、プローブシステムの情報収集機能について、機能要件などの技術的検討を実施した。また、平成18年度からは、国土技術政策総合研究所の試験走路や、首都高速道路等で公道実験を実施し、後述する挙動履歴情報の閾値等の決定に資するデータを収集するとともに、平成19年には、Smartway2007 デモに向け首都高に設置された ITS スポット及び ITS スポット対応車載器、プローブサーバの試作機を用いて、プローブ情報の収集実験を実施した。これらに並行して、アップリンク情報を活用した ITS サービスに関する研究会（平成17～18年度）、DSRC データに関する研究会（平成19～20年度）などを通じて、道路プローブ情報に対するニーズの整理、サービス内容、サービスに必要な情報項目、活用可能性等の研究を実施した。実施内容の概要は、表 5.3.1、表 5.3.2 を参照。

表 5.3.1 道路プローブ情報の収集・蓄積に関する規格・仕様の策定の経緯

項目	基準	左記基準を定めた仕様（策定団体）	仕様策定期期	仕様策定に係る経緯
(ア) プローブ情報保存用のメモリサイズ	6kB 以上を推奨	ITS スポット対応車載器 DSRC 部標準仕様 (JEITA ^{※2})	2007 年 3 月	<ul style="list-style-type: none"> 2006 年度に ITR 部会^{※1}にて、プローブ情報保存用のメモリサイズについて検討。 ITR 部会^{※1}での検討結果を踏まえ、2007 年に JEITA^{※2}にて仕様化。
(イ) プローブ情報を保存するメモリ領域	<p>揮発領域： (電源 OFF でデータが消えるメモリ領域)</p> <p>・カーナビ部情報、ビーコン情報、走行履歴、挙動履歴</p> <p>不揮発領域： (電源 OFF でもデータが消え</p>	ITS スポット対応車載器 DSRC 部標準仕様 (JEITA ^{※2})	2007 年 3 月	<ul style="list-style-type: none"> 官民共研^{※3}にて、製造者番号などを不揮発領域に保存することを決定。 官民共研を受け、ITR 部会^{※1}にて不揮発領域に保存するデータ項目を具体化。 ITR 部会^{※1}での検討結果を踏まえ、2007 年に JEITA^{※2}にて仕様化。 さらに、ITR 部会^{※1}にて個人情報保護の観点も踏まえて継続審議し、2008 年に JEITA^{※2}より仕様

	ないメモリ領域) ・DSRC 部情報			を一部改定
(ウ)プローブ機能の停止	停止可能(ただし、DSRC 部情報については無条件にアップリンク)	ITS スポット対応車載器カーナビ部標準仕様(JEITA ^{※2})	2007 年 3 月	<ul style="list-style-type: none"> ・官民共研^{※3}にて、プローブ機能の停止ができることを決定。 ・ITR 部会^{※1}にて具体的に検討し、JEITA^{※2}に提案。2007 年に JEITA^{※2}にて仕様化。
(エ) 起点 終点情報	走行開始地点などを特定できないようにすることを規定	ITS スポット対応車載器カーナビ部標準仕様(JEITA ^{※2})	2007 年 3 月	<ul style="list-style-type: none"> ・官民共研^{※3}にて、走行開始地点(出発点)が特定できないように配慮することを決定。 ・官民共研^{※3}の結果を踏まえ、2007 年に JEITA^{※2}にて仕様化。
(オ) プローブ情報の内容	<ul style="list-style-type: none"> ① DSRC 部情報(必須) ② カーナビ部情報(オプション) ③ ビーコン情報(オプション) ④ 走行履歴情報(オプション) ⑤ 挙動履歴情報(オプション) 	5.8GHz 帯 VICS データ形式仕様書(VICS センター)	2008 年	<ul style="list-style-type: none"> ・官民共研^{※3}にて、プローブ情報の活用方法および取得するデータ項目を整理。 ・ITR 部会^{※1}での検討を踏まえ、2008 年に VICS センターにて仕様化。
(カ) 走行履歴の圧縮方式	差分圧縮方式(前回記録した緯度経度の差分を記録する方式)	ITS スポット対応車載器カーナビ部標準仕様(JEITA ^{※2})	2007 年	<ul style="list-style-type: none"> ・官民共研^{※3}にて、2 種類の圧縮方式を検討。 ・2007 年に、JEITA^{※2}にて差分圧縮方式を標準とすることを決定し、仕様化。
(キ) 走行履歴を記録する条件	100m 毎もしくは前の蓄積点から進行方位が 22.5 度以	5.8GHz 帯 VICS データ形式仕様書	2008 年	<ul style="list-style-type: none"> ・JEITA^{※2}にて差分圧縮方式を標準としたことを受け、走行履歴を記録する条件を現方式に決定。 ・決定事項を踏まえ、2008 年に

	上変化した時 点	(VICS セ ンター)		VICS センターにて仕様化。
--	-------------	-----------------	--	-----------------

- ※1 ITR 部会：スマートウェイパートナー会議（事務局：(財) 道路新産業開発機構）の『次世代道路システム 技術検討 WG』。官民共研の後、さらに技術検討が必要な内容を継続審議。
- ※2 JEITA：電子部品に関する規格の作成及び標準化を推進する業界団体『(社) 電子情報技術産業協会』。
- ※3 官民共研：H17.2～H18.3 に国総研および民間 23 社で実施した、『次世代道路サービス提供システムに関する共同研究』。
- ※4 DSRC データに関する検討会：H19、H20 年に、国総研事務局でプローブ情報の活用方法について検討した委員会（委員長：石田教授）

表 5.3.2 道路プローブ情報の研究の経緯

年次	名称	参加者・事務局	研究内容	得られた成果（仕様等）
H17年	次世代道路サービス提供システムに関する共同研究	<u>事務局:</u> HIDO ^{※2} <u>参加者:</u> 民間企業 23 社 (自動車メーカー 2 社、電機メーカー 10 社、カーナビメーカー 7 社、その他 7 社)	・次世代道路サービスについて、路車共通の機能、路側機機能、ITS スポット対応車載器機能、およびシステムの動作確認方法を検討。	官民共研の研究内容について更に検討した結果、以下の仕様等が策定された。 ・ITS スポット対応車載器標準仕様 (JEITA ^{※1}) ・5.8GHz 帯 VICS データ形式仕様書 (VICS センター) ・5.8GHz 帯 DSRC 路側無線装置仕様書 (案) (国総研)
H17年 ～ H18年	アップリンク情報を活用した ITS サービスに関する研究会 (座長: 石田東生教授)	<u>参加者:</u> 石田教授 (筑波大)、 国交省、国総研、 日本道路公団、 AHSRA ^{※3} 、など	・プローブ情報に対するニーズの整理と、プローブ情報を活用したサービス内容を検討	・サービスに必要な情報項目などを整理
H19年	DSRC データに関する研究会 (座長: 石田東生教授)	<u>事務局:</u> AHSRA ^{※3} 、 HIDO ^{※2} 、 IBS ^{※4} <u>参加者:</u> 石田教授 (筑波大)、 国交省、国総研、 各高速道路会社、 など <u>オブザーバ:</u>	・プローブ情報を道路利用者サービスの向上及び道路管理の高度化に直結させるべく、ITS スポット対応車載器から DSRC を介して収集したプローブ情報の活用可能性を検討	[走行履歴情報の収集結果] ・ITS スポット対応車載器による最大蓄積距離: 30～50km ・走行ルート・旅行時間解析が可能なことを実証。 ・環境負荷量 (CO2) を推計可能なことを示した。 [挙動履歴情報の収集結果] ・ITS スポット対応車載器による蓄積距離: 4～150km (個人差、道路種別により蓄積距離が大きく異なる) 挙動履歴データを蓄積する条件の妥当性を示した。

		VICS センター		
H20年	平成 20 年 度 DSRC データに 関する研 究会 (座長： 石田東生 教授)	事務局： 国総研 ITS 研 参加者： 石田教授(筑波 大)、 国交省、国総 研、 各高速道路会 社、 AHSRA * 3、 HIDO*2、など オブザーバ： VICS センター	<ul style="list-style-type: none"> ・ 19 年度検討結 果に加え、新たに 実施する実験によ り得られるプロー ブ情報の分析を通 じ、今後の DSRC システムの本格運 用に向けた課題及 び実用的な活用方 法について検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・ プローブ中央処理装置標準仕 様書(案)(国総研、HIDO*2) [CO2 排出量推計(走行履歴 データ)] ・ 走行履歴情報を地図と重ねる ことで、構造特性・交通特性に 応じた CO2 排出特性を分析 ・ 複数の CO2 排出量算定式を 比較し、推定精度向上のために 考慮すべき項目を示した [事故多発要因の推定(挙動履 歴)] ・ 事故多発地点において、挙動 履歴情報を活用することで、事 故が多発する要因(危険な挙動、 事故が発生しやすい交通状況) を推察することが可能なことを 示した。 ・ 車両挙動に与える影響の大き い構造特性等を把握可能である ことを示した。 プローブサーバ等のセンター 設備の基本要件を整理

5.3.3 車両の挙動履歴情報の収集要件の検討

車両から収集した挙動履歴情報を解析することで、どの地点でその車両に異常な挙動が起きているか否かを知ることができる。また、その地点での異常な挙動が起きるメカニズムの仕組みや原因が分かれば、道路線形の改良を施すことで危険事象を減少させることや、状況に応じて警報を与えることにより、危険事象を減少させるなどの対策が検討できる。

本検討では、国総研試験走路での走行実験や公道での走行実験を基に ITS スポット対応車載器が収集する挙動履歴情報の中から必要とするデータを抽出する手法として、収集閾値の検討を行うとともに、運用上 ITS スポット対応車載器が蓄積・アップリンクするために最適なデータ容量や収集タイミングの検討を行い、ITS スポット対応車載器の車両挙動データ収集要件を整理する。

5.3.3.1 車両挙動情報の閾値の検討

車両の挙動履歴情報の全てを収集することはデータ量が膨大となり運用上現実的ではない。そこで、限られたメモリに効率よくデータを格納するため、国総研試験走路での走行実験結果から得られた車両の異常挙動を判定した閾値と、公道走行実験の通常走行データから得られた閾値とを比較検討して ITS スポット対応車載器で挙動履歴情報を収集するのに最適な閾値を設定する。

ITS スポット対応車載器に設定する閾値は以下の前提条件で検討を行う。

- ① アップリンクのデータ量の制約（1 タグ：496 バイト）を超過しないこと。
- ② 道路種別や走行状態など多様な状況で汎用的に利用出来ること。
- ③ 設定した閾値を超えた時にだけ挙動を記録するイベント型とすること。
- ④ 閾値はデータの収集間隔（ビーコン設置間距離）を考慮して設定すること。

(1) 国総研試験走路での走行実験

ITS スポット対応車載器を構成するカーナビゲーションシステムの加速度センサ、ジャイロ等から取得できる情報（前後加速度、左右加速度、ヨー角速度）から、急減速、急回避を判定するための運用上最適な閾値を設定するために、国総研試験走路において走行実験を実施した。表 5.3.3 には実験条件を、表 5.3.4 には実験で収集するデータ項目を示す。

1) 実験概要

実験期間：平成 18 年 10 月 16 日～10 月 31 日

対象車両：普通乗用車 2 台
大型自動車 1 台

被験者数：11 人

調査項目：①車両挙動情報（前後加速度、左右加速度）の収集
②路面状態別、車種別事象検出しきい値の検証
③車載装置取り付け位置の相違によるデータ検証
④車線変更による前後加速度、左右加速度の収集

実験シナリオ

- ・行動開始点の速度を 20,40,60,80km/h の複数の条件で実施。
- ・急減速、急回避の挙動データを得るために、障害物の位置は状況に応じて配置。

表 5.3.3 実験パターン（急減速、急回避）

項目	内容		備考
車両	普通車：エスティマ、ヴィッツ 大型車：トラック	3 車種	大型車は積載物なしで約 4 トン。
対象挙動	急減速(停止を伴う減速挙動) 急回避(停止のない回避挙動)	2 種類	
速度	20、40、60、80km/h	4 速度	渋滞時の速度や一般道、高速道路の法定速度を考慮。
路面状態	乾燥 水膜（水膜厚：0.5mm～1.0mm）	2 状態	大型車の水膜走行は除く
障害物の位置	急回避を生じさせるような 厳しいレイアウトで障害物を配置	状況に応じて配置	発泡スチロールで作成した障害物とカラーコーンを使用

表 5.3.4 収集項目

収集項目		収集周期	単位	加速度換算時の算出精度
センサ	前後加速度	0.1 秒	0.01[G]	0.1 秒周期 0.01[G]
	左右加速度	0.1 秒	0.01[G]	
車速パルス（速度）		0.1 秒	0.1[m/s]	0.1 秒周期 0.1[G]
GPS	GPS 時刻	1 秒	年月日時分秒	1 秒周期 0.3[G]
	GPS 緯度経度	1 秒	緯度経度 度分秒(0.1 秒)	
ヨー角速度		0.1 秒	0.1[deg/s]	—

2) 実験結果概要

各被験者の速度別から得られた前後加速度及び、左右加速度、ヨー角速度の最大値分布から事象判定の閾値を求める。なお、本実験結果から、車種別、路面別の影響は少ないと考えられる結果が得られていることから、以下では、速度別の閾値を示す。

なお、本分析では、閾値の判定基準として、以下を参考に 85% タイル値を用いる。

※85%マイル値について

【参考】メリーランド州の State Highway Administration (Department of Transportation) のサイトより抜粋。(米国では速度規制は DOT (交通省) が決める)

85%マイル速度：

特定の道路において、悪天候や遅いクルマの影響を受けずに走るクルマ 85%が選択する速度である。つまり 85%マイル速度は、その道路を走る多くのドライバーが、安全で合理的であるとみなす速度なのである。適切な速度規制を行うためのよい指標となります。

上記のように、欧米の交通規制の範疇では 85%マイル値が最も合理的と認識されており、日本国内では、道路標識を設計する際の基準速度として用いられている。

道路標識設置基準・同解説 (日本道路協会 S62) によれば、標識の判読距離、車線変更必要距離、減速必要距離のすべてに 85%マイル値の速度を用いている。

本分析では、閾値の判定基準としてこの指標を用いる。

①急減速挙動

表 5.3.5 に前後加速度の速度別の閾値 (各被験者の速度別の最大値の 85%マイル値) を示す。表から、各速度の閾値は、ほぼ比例関係にあることがわかる。検出精度を高めるといふ観点からは、20km/h の-0.39G を前後加速度の閾値として設定すればよいと考えられる。

表 5.3.5 前後加速度の速度別の閾値 (85%マイル値)

	20Km/h	40Km/h	60Km/h	80Km/h
前後加速度 (G)	-0.39	-0.53	-0.65	-0.73

②急回避挙動

表 5.3.6 に左右加速度の速度別閾値を示す。表から、各速度に対する閾値は、ほぼ一定の値を示しており、速度が閾値に及ぼす影響は無視できると思われる。このため、全速度の閾値である 0.24G を左右加速度の閾値として設定すればよいと考えられる。

表 5.3.6 左右加速度の速度別の閾値 (85%マイル値)

	全速度	20Km/h	40Km/h	60Km/h	80Km/h
左右加速度 (G)	0.24	0.23	0.23	0.27	0.24

③ヨー角速度

ヨー角速度はステアリングを切った時に車両の進む方向が変わる角速度を示している。表 5.3.7 にヨー角速度の速度別閾値を示す。表から、速度が高くなるに従いヨー角速度の閾値は小さくなる傾向があることがわかる。ヨー角速度は、低速では車線変更挙動を補足できる可能性があるが、高速走行時では振動、ぶれ等と区別はつかない。このため、低速 (ここでは、20km/h~60km/h とした) の速度帯をほぼカバーすることのできる全速度の 8.5G を、ヨー角速度の閾値として設定すればよいと考えられる。

表 5.3.7 角速度の速度別の閾値（85%タイル値）

	全速度	20Km/h	40Km/h	60Km/h	80Km/h
ヨー角速度 (deg/s)	8.5	12.7	10.2	8.4	6.4

3) 国総研試験走路での実験結果から設定した閾値のまとめ

国総研試験走路における急減速／急回避時の車両挙動のピーク値測定実験より、急減速や急回避の挙動を検出する閾値の指標を下記の通り設定した。

- ①急減速挙動の閾値：前後加速度 $-0.39G$ （20km/h 時 85%タイル値）
- ②急回避挙動の閾値：左右加速度 $\pm 0.24G$ （全速度 85%タイル値）
 ヨー角速度 $\pm 8.5G$ （全速度 85%タイル値）

(2) 公道での走行実験

国総研試験走路での実験より設定した閾値の妥当性について検証するとともに、各道路種別での車両挙動の特徴を検証するため、一般道、都市間高速道、山岳道、都市内高速道の種類の異なる公道において走行実験を行った。表 5.3.8 には実験で収集したデータ項目、データ収集の周期を示す。また表 5.3.9 には、実験で走行したルート一覧を示す。

1) 実験概要

実験期間：平成 18 年 10 月 16 日～10 月 31 日

実験場所：国土交通省 国土技術政策総合研究所周辺一般道
 筑波山周辺山岳道
 常磐自動車道（都市間高速道）
 首都高速道路（都市内高速道）

対象車両：普通乗用車 2 台、大型自動車 1 台

調査項目：①車両挙動情報（前後加速度、左右加速度）の収集
 ②道路種別、車種別事象検出閾値の検証

表 5.3.8 収集データ

収集データ	収集周期		単位
	1.0 秒	0.1 秒	
時刻	○	—	年月日時分秒
位置	○	—	緯度経度度分秒(0.1 秒)
速度	—	○	0.1km/h
加速度	—	○	0.01G
ヨー角速度	—	○	0.1deg/s

表 5.3.9 実道走行ルート

道路種別	場所	走行距離
一般道	国総研周辺	43km
都市間高速道路	常磐道千代田石岡 IC－矢田部 IC	28km
山岳道	表筑波スカイライン	22km
都市内高速道路	首都高高井戸入口－中台出口	25km

2) 実験結果概要

表 5.3.10 に公道での走行実験によって収集された通常走行時の車両挙動値の平均ピーク値、最大値及び 15% タイル値を示す。

表 5.3.10 公道での走行実験による各道路種別毎の挙動値

公道走行実験		前後 加速 度	左右加速度		角速度 deg/s	
			左旋回	右旋回	左旋回	右旋回
都市間高速 N=17 25km (常磐道本線のみ)	平均	-0.22	+0.28	-0.19	+2.4	-2.3
	15%タイル値	-0.29	+0.38	-0.32	+2.3	-2.8
	max 値	-0.31	+0.47	-0.35	+6.0	-4.20
郊外路1 N=17 9km (つくば市郊外)	平均	-0.28	+0.29	-0.32	+26.3	-25.9
	15%タイル値	-0.33	+0.36	-0.38	+31.4	-33.2
	max 値	-0.39	+0.43	-0.56	+37.9	-37.8
市街路 N=15km (つくば市街)	平均	-0.31	+0.34	-0.33	+27.7	-30.1
	15%タイル値	-0.36	0.37	-0.39	31.3	-33.5
	max 値	-0.40	+0.47	-0.41	+39.1	-52.4
山岳路 N=16 22km (筑波山)	平均	-0.40	0.46	-0.47	33.8	-29.5
	15%タイル値	-0.45	0.54	-0.52	+38.1	-33.0
	max 値	-0.71	0.60	-0.62	41.4	-35.0
首都高走行実験* N=252	平均	-0.29	+0.27	-0.36	+13.1	-33.7
	15%タイル値	-0.41	+0.35	-0.43	+15.2	-43.2
	max 値	-0.78	+0.50	-0.53	+37.5	-54.0

* 高井戸～中台間 27.5km 往路 N=126 復路 N=126

ここではデータ全てが通常走行の値であるため、このデータの中から運用上最適な閾値を設定する際に、国総研試験走路での実験で用いた 85% タイル値を適用するのは適切ではなく、15% タイル値を用いることが適切であると考えられる。

最終的なヒヤリハットの判定等の高度なデータ処理は、データを集約するサーバで実施することを想定しているため、ITS スポット対応車載器で取得する車両挙動情報に用いられる閾値としてふさわしいのは、できるだけ多くの異常挙動を収集できる閾値である。

以下に、上記結果より絶対値が一番小さい前後加速度、左右加速度の値を示す。また、国総研試験走路での走行実験と比較した絶対値の大小を示す。

- 前後加速度 公道での走行実験の閾値：-0.29G

＜ 国総研試験走路での実験の閾値：-0.39G

- 左右加速度 公道での走行実験の閾値：±0.32G

> 国総研試験走路での実験の閾値：±0.24G

これより ITS スポット対応車載器で収集する挙動履歴情報の閾値は、前後加速度については国総研試験走路での実験の閾値「-0.39G」よりも小さくなる公道での走行実験の閾値「-0.29G」を適用でき、左右加速度については公道での走行実験の閾値「±0.32G」よりも小さくなる国総研試験走路での走行実験の閾値「±0.24G」を適用することが出来ると考えられる。

なお、ヨー角速度については、国総研試験走路での実験結果の解析から全速度の85% タイル値が±8.5deg/s であり、低速時(20km/h)の車線変更検出に適用可能な値として設定することとする。

3) 公道での実験結果から設定した閾値のまとめ

上記の検討より、異常挙動の検出性を優先する方針で以下の通り閾値を設定した。

- ① 急減速挙動を判定する前後加速度の閾値：-0.25G

(検出性を高めるため、15%タイル値-0.29G以下で、きりの良い値とした)

- ② 急回避挙動を判定する左右加速度の閾値：±0.25G

(検出性を高めるため、試験走路急回避実験の±0.24G(85%タイル値)程度の値とした)

- ③ ヨー角速度の閾値：±8.5deg/s

(国総研試験走路での実験結果から、低速時の低速時の車線変更が検出できる値とした)

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">・ 急減速挙動を判定する前後加速度の閾値：-0.25G・ 急回避挙動を判定する左右加速度の閾値：±0.25G・ ヨー角速度の閾値：±8.5deg/s |
|--|

5.3.3.2 データ形式とサンプリング周期の検討

(1) 生成するデータの形式の検討

ITS スポット対応車載器の挙動履歴情報に割り当てられた最大データ量は1タグ(496バイト)であるため、予め設定した閾値を超えた時だけ記録をするイベント型の収集方式とし、前後加速度、左右加速度、ヨー角速度のいずれかが「独立に」閾値を越えたときにイベントデータを生成することとする。データ項目は、ヨー角速度、前後加速度、左右加速度に加え、時刻、緯度経度、方位、道路種別、走行速度とし、容量は15.5バイトとする。これにより、車載器に最大31イベントを蓄積することが可能となる。

表 5.3.11 1 イベント辺りの挙動データ形式

7	6	5	4	3	2	1	0		記事	単位
時刻								Bin(32)	1970/1/1 からの経過時間	秒
絶対緯度								Bin(26)	北緯>0、南緯<0	10 ⁻⁵ 度
絶対経度								Bin(26)	東経>0、西経<0	10 ⁻⁵ 度
進行方位(16 方位)			道路種別		ヨー角速度			bin(4)	進行方位(北=0 とする時計回りの 16 方位)	
								bin(2)	道路種別(0: 高速、1: 都市高速、2: 一般道、3: その他)	
ヨー角速度								Bin(10)	-51.1 deg/s~+51.1 deg/s (無効データ表示: 3FFh)	0.1deg/s
前後加速度								bin(8)	-1.27G~+1.27G (無効データ表示: FFh)	0.01G
左右加速度								bin(8)	-1.27G~+1.27G (無効データ表示: FFh)	0.01G
走行速度								bin(8)	0~254km/h (無効データ表示: FFh)	km/h
								15.5B		

(2) サンプリング周期の検討

表 5.3.12 は、急減速挙動（前後加速度）時と急回避挙動（左右加速度、ヨー角速度）時のイベント持続時間を示したものである。前後加速度とヨー角速度では 1 イベント当たり平均 1 秒以上であり、サンプリング周期を 1 秒程度に設定しても問題はない。一方で左右加速度については、平均でも 0.4 秒前後の非常に短い時間内で挙動が出現しているため（図 5.3.3 参照）、サンプリング周期を 0.3 秒以下とする。

表 5.3.12 試験走路実験における閾値に対するイベント継続時間

閾値	前後加速度			左右加速度			ヨー角速度		
	-0.25G	-0.3G	-0.4G	0.22G	0.26G	0.3G	8deg/s	10deg/s	12deg/s
試行数	608 回			1280 回			1280 回		
閾値超回数	600	596	570	1225	1141	1000	1249	1214	1165
持続時間 平均	2.1	1.9	1.6	0.8	0.6	0.4	1.3	1.7	2.1
持続時間 最大	5.5	5.3	4.3	5.9	5.9	5.7	11.1	12.5	11.2
持続時間 85%	3.0	2.9	2.6	0.8	0.7	0.7	1.2	5.1	6.3

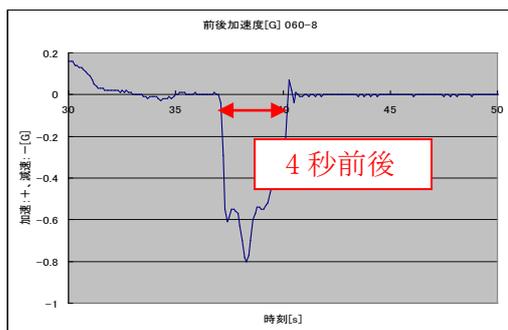


図 5.3.2 前後加速度の一例

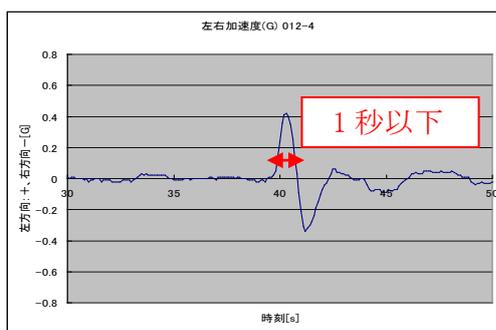


図 5.3.3 左右加速度の一例

(3) 収集タイミングの検討

ITS スポット対応車載器内のメモリ容量が限られており、蓄積可能な容量を超えた場合、古いデータから上書きされてしまうので、ITS スポットによるプローブ収集に対応した挙動履歴情報の収集のタイミングを検討する必要がある。

1) イベント判定後のデータ収集方式の検討

閾値の判定方法を収集データ容量が小さくなるように、設定した閾値を超えた時点を開始時点、閾値を超えなくなった時点を終了時点とし、そのうちのピーク値だけを選択して記録する方式とする。(図 5.3.4 参照)

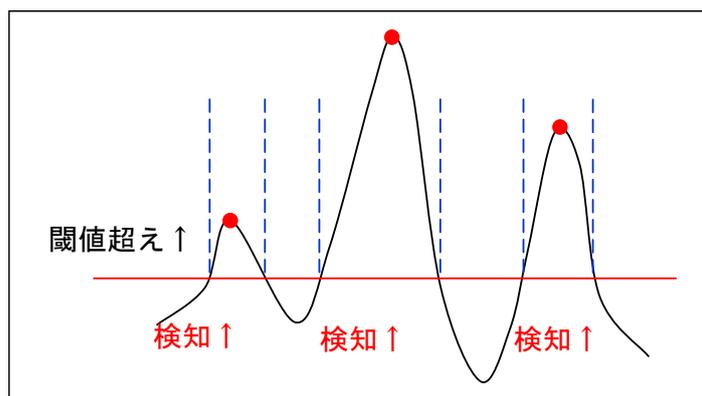


図 5.3.4 イベント判定方式

2) 蓄積可能距離

表 5.3.13 は道路種別毎に 10km 通常走行した場合のイベント検出回数を示したものである。これによれば道路種別による検出回数は、都市間高速 << 郊外路 < 都市内高速 < 市街路 << 山岳路となる。

表 5.3.13 道路種別イベント検出回数（通常走行時 10km 換算）

道路種別		都市内高速 (首都高)	都市間高速 (常磐道)	郊外路 1 (つくば市 郊外)	市街路 (つくば 市街)	山岳路 (筑波山)
	距離	27.5 km	25 km	9 km	15 km	22 km
閾値	サンプル数	N=252	N=17	N=17	N=17	N=16
前後 G -0.25G	平均	2.3	0.26	2.0	3.6	14.9
	比率(平均)	1	0.1	0.9	1.6	6.5
左右 G ±0.25G	平均	3.1	1.29	9.5	12.4	75.2
	比率(平均)	1	0.4	3.1	4.0	24.2
角速度 8.5deg/s	平均	4.8	1.55	9.7	9.7	74.5
	比率(平均)	1	0.3	2.0	2.0	15.5

比率（平均）は、都市内高速の平均検出回数を 1 としたときの平均検出回数

上記の検出回数より各道路種別のイベント検出比率を、都市内：都市間：市街路：山岳路=1：0.4：4.5：35 と仮定した場合、前後加速度、左右加速度、角速度を先述の閾値を用いて収集した場合の蓄積可能距離は以下の通りとなる。都市内高速、都市間高速では、各 IC 間毎に ITS スポットが設置されていれば、挙動履歴情報を網羅的に取得することが可能となる。

表 5.3.14 各道路種別による蓄積可能距離

首都高実験（通常走行） N=252								蓄積可能距離 (km/496B)			
前後加速度 平均/10km		左右加速度 平均/10km		ヨー角速度 平均/10km		検出回数 平均 /10km	データ量 平均 /10km	都市 内	都市 間	市街 路	山岳 路
-0.25G	2.3	±0.25G	3.1	±8.5deg/s	4.8	9.4	178.6	28	70	6	0.8

(4) データ蓄積に関する車載器の要件

1) ITS スポット対応車載器蓄積メモリのオーバーフロー時の扱い

蓄積メモリのオーバーフロー時の処理について、常に最新のデータを収集する事が目的であるので、蓄積するメモリ容量に対するバッファを越えたときは超えた分だけ“古いデータに上書き”をする。

2) 各種センサ値のオフセット

ITS スポット対応車載器の持つ加速度センサの個体差や、ITS スポット対応車載器の取付け状態によって、車両自体が平らな地面に停止している状態でも加速度センサ値がある一定値を示す場合がある。イベント型の挙動値では、収集側のセンターでこの値を補正する手段がないため、前後加速度、左右加速度、ヨー角速度に対して「ITS スポット対応車載器側でゼロ補正」の機能が実装されている事が望ましい。

3) ITS スポット対応車載器のナビ部から DSRC 部への転送周期

ITS スポット対応車載器のナビ部から DSRC 部への転送周期は、ITS スポットの手前何百 m までの挙動履歴情報をアップリンクできるかどうかに影響する。転送周期が短いほど直前のデータを収集できるが、ITS スポット対応車載器の負担が大きくなる。

将来的には、収集した挙動データから危険事象等を捉えて後続車両にリアルタイムに提供するサービスも想定しているため、転送周期を短く設定出来る事が望ましく、機器の設置間隔や検出遅延許容等を考慮して転送周期は約 10 秒が望ましい。(参考：時速 100km で 10 秒間走行すると約 280m 進む)

4) 収集する路側のセンターによる補正機能

ITS スポット対応車載器側では検知出来ない道路種別の、それぞれの特性による補正も行う必要があり、収集する路側のセンターにおいて、地点毎に挙動履歴情報を下記の項目で「補正」する機能を備える事が望ましい。

- カーブ部や交差点、上り勾配/下り勾配
- 道路種別特性 (都市内高速、一般道等)
- 天候、時間帯、交通流など
- 車種特性 (乗用車、積載トラック等)

5.3.3.3 まとめ

ITS スポット対応車載器が蓄積する挙動履歴情報の収集要件を以下の通りまとめる。

(1) 閾値の設定

- ・ 急減速挙動を判定する前後加速度の閾値：-0.25G
- ・ 急回避挙動を判定する左右加速度の閾値：±0.25G
- ・ ヨー角速度の閾値：±8.5deg/s

(2) データ形式の設定

各閾値を越えた際に収集されるイベントのデータ形式は下表の通り。

表 5.3.15 1 イベント当りの挙動データ形式

	7	6	5	4	3	2	1	0		記事	単位
1-6	時刻								Bin(32)	1970/1/1 からの経過時間	秒
7-10	絶対緯度								Bin(26)	北緯>0、南緯<0	10-5 度
11-14	絶対経度								Bin(26)	東経>0、西経<0	10-5 度
15	進行方位 (16 方位)	道路 種別	ヨー 角速度					bin(4)	進行方位 (北=0 とする時計回りの 16 方位)		
								bin(2)	道路種別 (0: 高速、1: 都市高速、2: 一般道、3: その他)		
16	ヨー角速度								Bin(10)	-51.1deg/s~+51.1deg/s (無効データ表示: 3FFh)	0.1deg/s
17	前後加速度								bin(8)	-1.27G~+1.27G (無効データ表示: FFh)	0.01G
18	左右加速度								bin(8)	-1.27G~+1.27G (無効データ表示: FFh)	0.01G
19	走行速度								bin(8)	0~254km/h (無効データ表示: FFh)	km/h
									15.5B		

(3) サンプリング周期

車両挙動を効率的に検出するサンプリング周期は 0.3 秒以下。

(4) 閾値の判定方法の方式

閾値を超えた開始時点と閾値を超えなくなった終了時点の区間のピーク値を 1 点だけ記録する方式。

(5) 閾値の組み合わせとデータ蓄積可能距離

各道路種別でのデータ蓄積可能距離は下表の通り。

表 5.3.16 各道路種別による蓄積可能距離

首都高実験 (通常走行) N=252								蓄積可能距離 (km/496B)			
前後加速度 平均/10km		左右加速度 平均/10km		ヨー角速度 平均/10km		検出回数 平均 /10km	データ量 平均 /10km	都市 内	都市 間	市街 路	山岳 路
-0.25G	2.3	±0.25G	3.1	±8.5deg/s	4.8	9.4	178.6	28	70	6	0.8

(6) その他の要件

- ・ ITS スポット対応車載器蓄積メモリのオーバーフロー時：古いデータに上書き

以下の点は満たされていることが望ましいが必須ではない項目

- ・ 加速度センサ値のオフセット： ITS スポット対応車載器でゼロ補正
- ・ ITS スポット対応車載器のナビ部から DSRC 部への転送周期：約 10 秒
- ・ センターによる補正機能：道路勾配、道路特性、車種特性、天候、時間帯、交通流量など。

5.3.4 ITS スポットによるプローブ情報の収集実験

5.3.4.1 実験概要

前節までの検討に基づいた道路プローブ情報の収集システムの実用化に向けて、実際に ITS スポットから収集する道路プローブ情報の蓄積可能距離等の基礎データを確認するとともに、旅行速度調査、CO2 排出量推計への適用可能性や、ヒヤリハット地図描画への実現可能性等を探るため、都市内高速道路として首都高速道路、都市間高速道路として中央自動車道、一般道路として東京都区内の幹線道路にて、道路プローブ情報の収集実験を行った（表 5.3.17）。なお、一般道 A は都市内高速道路に接続する幹線道路として、一般道 B は 2 車線道路の走行や交差点右左折を繰り返す走行路として、一般道 C は一般道の事故多発箇所を含む走行路としてそれぞれ選択した。以下に実験の概要を示す。

- ・実施期間：平成 20 年 1 月 19 日～2 月 1 日
- ・実施日数：11 日間
- ・プローブカー：普通乗用車 5 台
- ・被験者数：31 名
- ・走行数：首都高速道路 70 走行
中央自動車道 75 走行
一般道 a 10 走行、一般道 b 4 走行一般道 c 4 走行

表 5.3.17 走行経路

道路種別	経路	走行経路	図番号
都市内高速	首都高 4 号線～都心環状線	約 25km	図 5.3.5
都市間高速	中央道大月 IC～高井戸	70km	図 5.3.6
一般道 A	環状 8 号線	20km	図 5.3.7
一般道 B	世田谷通り等	20km	図 5.3.8
一般道 C	新宿付近	20km	図 5.3.9

道路プローブ情報は、首都高速道路に設置された ITS スポット（図 5.3.10）を通過時際に収集され、首都高速道路西東京管理局に設置した実験用プローブサーバに転送・蓄積される。



図 5.3.5 走行経路（都市内高速：首都高 4 号新宿線、都心環状外回り）



図 5.3.6 走行経路（都市間高速：中央自動車道 大月 IC から首都高初台まで）



図 5.3.7 走行経路（一般道 A：環八通り）



図 5.3.8 走行経路（一般道 B：交差点右左折を含む）



図 5.3.9 走行経路（一般道 C:事故多発地点を含む）

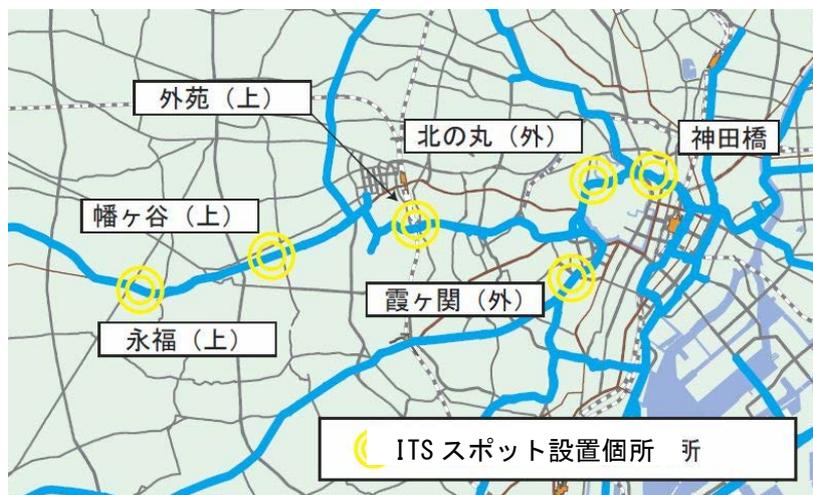


図 5.3.10 ITS スポットの配置

5.3.4.2 収集する道路プローブ情報の構成

(1) 挙動履歴情報

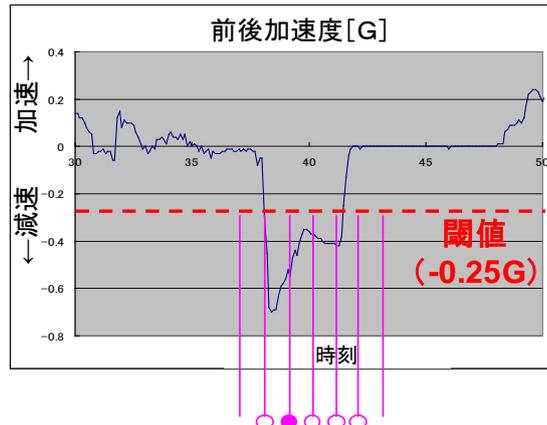
前節までの検討により、挙動履歴情報は蓄積データ量を節約するため、常時連続してデータを記録するのではなく、急減速、急回避などの危険事象により、設定した閾値を超えたデータのみを記録するイベント型の記録方式とした。具体的には、ITS スポット対応車載器を構成するカーナビゲーションシステムから一定周期で取得されるデータが、危険事象を判定するために使用する前後加速度、左右加速度、ヨー角速度の各閾値（表 5.3.18）を超えた時のピーク値（図 5.3.4）のみを車載器に記録する（図 5.3.11）。危険事象を検出するための閾値は走行速度や道路種別により異なるが、危険事象を確実に検出することを考慮した閾値を設定した。道路線形の問題に起因するイベントが多発する場合の補正処理や、最終的なヒヤリハットの判定等の高度なデータ処理は、データが集約されるプローブサーバ等にて処理する必要がある。

挙動履歴データのフォーマットを表 5.3.19 に示す。1 イベント分のデータ量は 16Byte で、最大 31 イベント分のデータを ITS スポット対応車載器に蓄積することがで

きる。蓄積された車両挙動データは、ITS スポット通過時にアップリンクされるとともに、ITS スポット対応車載器から消去される。

表 5.3.18 判定閾値

データ項目	閾値
前後加速度	-0.25 G
左右加速度	±0.25 G
ヨー角速度	±8.5 deg/sec



一定周期でセンシングし、閾値を超えた場合の**最大ピーク値**だけを選択して記録(上図で●を記録)

図 5.3.11 挙動履歴情報記録タイミング

表 5.3.19 挙動履歴情報フォーマット

データ項目	センシング周期	分解能
時刻	1.0秒	1sec
緯度/経度	1.0秒	10 ⁻⁵ 度
方位	1.0秒	16方位
道路種別	1.0秒	高速、都市高速、一般道、その他
速度(パルス)	0.3秒以下	1km/h
前後加速度	0.3秒以下	0.01G
左右加速度	0.3秒以下	0.01G
ヨー角速度	0.3秒以下	0.1deg/sec

5.3.4.3 走行履歴情報

走行履歴データについても、蓄積データを節約するため、車両が 100m 走行する毎、および進行方向が 22.5° (1 周の 16 分の 1) 以上変化した時に、時刻、緯度・経度、道路種別、速度、高度を記録する方式を採ることとした(図 5.3.12 走行履歴データの蓄積タイミング)。また、初めに基準データを生成した後、次回からは前回値との差分データのみを記録する差分圧縮方式を用いることにより、データ量の更なる節約を図っている。

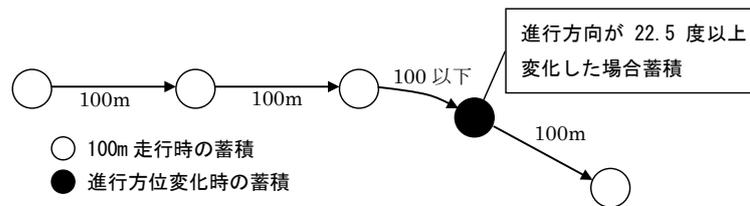


図 5.3.12 走行履歴データの蓄積タイミング

5.3.4.4 実験結果（挙動履歴情報）

(1) 挙動履歴情報の蓄積距離

道路プローブ情報の収集システムの実用化に向けた基礎データとして、ITS スポット配置間隔の目安となる、挙動履歴情報の蓄積距離の分析を行った。表 5.3.20 に道路種別毎の蓄積距離を、表 5.3.21 にほぼ同一時間帯に同一ルートを走行していきながらより大きな差異がみられた例を示す。ここで蓄積距離とは 31 イベント分の挙動履歴情報が蓄積される間に、車両が走行する距離としている。

表 5.3.20 挙動データの蓄積距離（道路種別ごと）

道路種別	走行回数	最小蓄積距離	最大蓄積距離	85%タイル値
都市内高速道路	70	3.8km	16km	7.4km
都市間高速道路	75	50km	100km 以上	155km
一般道A	10	8.0km	40km	-
一般道B	4	4.5km	9.5km	-
一般道C	4	5.0km	12km	-

表 5.3.21 挙動データの蓄積距離（被験者別）

交通状況	走行時間帯	累積距離	
		被験者A	被験者B
渋滞	夕方	16km	3.8km
閑散	夜間	7.6km	8.3km
閑散	夜間	6.0km	9.3km

実験の結果、下記のような結果が得られた。

- ① 都市内高速道路では、被験者の運転特性により挙動履歴情報記録イベントの発生頻度の差が大きい。この差は渋滞発生時に顕著になる。
- ② 都市間高速道路では、挙動履歴情報記録イベントの発生頻度が都市内高速道路と比較して低い。即ち、挙動履歴情報の蓄積距離が長い。これは、両者の幾何構造の違いや、インターチェンジ間の距離が比較的長いことによるものと思われる。
- ③ 一般道路では、挙動履歴情報記録イベントの発生頻度が高く、被験者の運転特性に依存するものと思われる。

(2) 異常挙動発生場所の調査

本実験にて収集した挙動履歴情報から求めたイベント発生が集中した場所の例を図 5.3.13、図 5.3.14 に示す。ここで全試験走行数の内、10%以上の走行で挙動イベントが発生した場所をイベント発生集中地点と定義した。また、比較のため道路管理者が公表している事故多発地点も合わせて示した。それぞれの事故多発地点の特徴を表 5.3.22、表 5.3.23 に示す。都市間高速道路では、事故多発地点 3 箇所（A, B, C）ともイベント発生集中地点と一致した。また、事故多発地点と一致しないイベント発生集中地点が八王子 JCT 等 4 箇所あり、これらの場所は潜在的危険箇所である可能性がある。

都市内高速道路では、事故多発地点 4 箇所（A, B, C, D）ともイベント発生集中地点と一致している。また、事故多発地点と一致しないイベント発生集中地点が 5 箇所あり、これらの場所は潜在的危険箇所である可能性がある。



図 5.3.13 イベント発生集中地点（都市間高速）

表 5.3.22 事故多発地点の特徴（都市間高速）

	事故多発地点の特徴
事故A	急な下り坂のS字カーブ
事故B	料金所手前の渋滞
事故C	料金所に沿ってカーブが連続

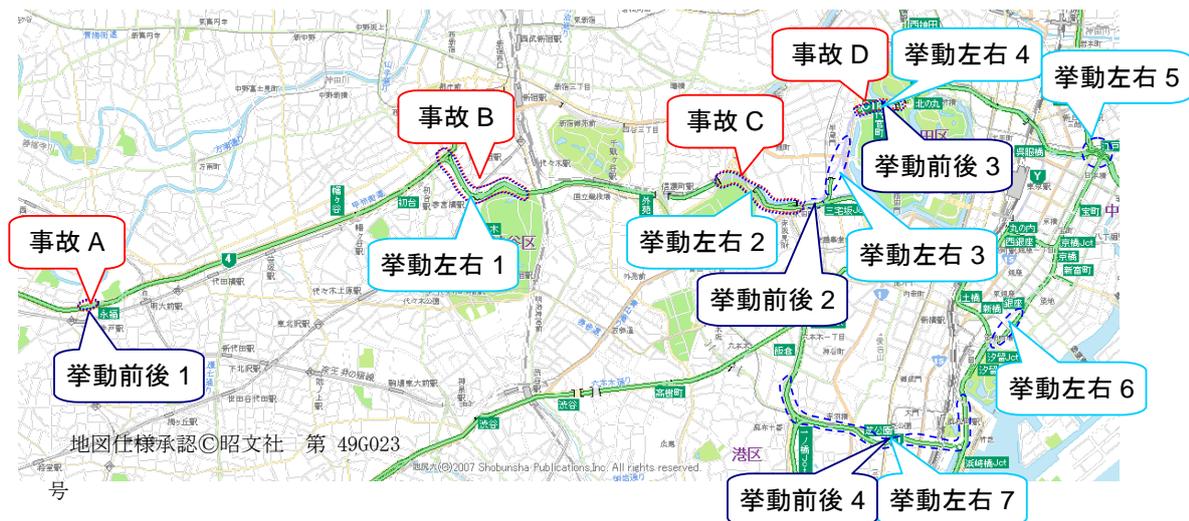


図 5.3.14 イベント発生集中地点（都市内高速）

表 5.3.23 事故多発地点の特徴（都市内高速）

	事故多発地点の特徴
事故A	料金所手前
事故B	長い直線の後に急カーブが連続
事故C	トンネル内の渋滞
事故D	トンネル後の急カーブ

5.3.4.5 実験結果（走行履歴情報）

(1) 走行履歴情報の蓄積距離

都市間高速道路における走行履歴情報の最大蓄積距離（78 サンプル）を調べると、自動車専用道における理論値約 50km に対して、最小 35.9～最大 51.4km の間のデータが得られた。この最大 15.5km の差異が生じた原因は、最大蓄積時において、データはタグ単位で上書きされるため、アップリンクのタイミングによって最大タグ 1 つ分（約 10km に相当）の蓄積データ量の差が生じるためと考えられる。

(2) 旅行速度

図 5.3.15 にトラフィックカウンタ及び走行履歴情報より求めた平均旅行速度を示す。都市間高速道路では、双方のデータはほぼ等しい結果となったが、都市内高速道路では約 10km/h ほど高い結果となった。これは混雑区間においてトラフィックカウンタが細かい速度変動を捉えきれず走行履歴情報より大きな旅行速度を示したものと考えられる。

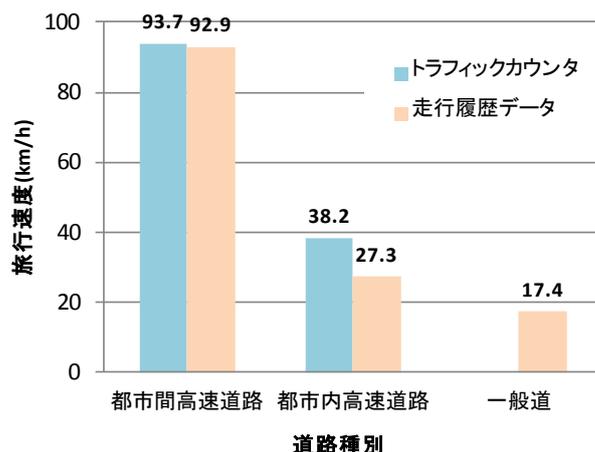


図 5.3.15 区間旅行速度の比較

(3) CO2 排出量の推定

燃料消費計を搭載した実験車両 1 台で都市間高速道路、都市内高速道路、一般道の 3 ルートを 1 回ずつ走行し、トラフィックカウンタ、走行履歴情報、燃料消費計の各計測値から経路合計の CO2 排出量を推定した。都市間高速では三者ともほぼ同じ値を示したが、都市内高速と一般道では、燃料消費計による CO2 排出量に比べて走行履歴情報による CO2 排出量は約 3 割、トラフィックカウンタによる CO2 排出量はさらにそれより 1 割小さい値を示した (図 5.3.16)。

実験時に使用した燃料消費計は燃料噴射時間にエンジン回転数を乗じて消費量 (0.01L 単位) を算出するため、この算出値に CO2 係数を乗じて求められる CO2 排出量がこの三者の中では最も真値に近いと考えられる。これに対して、トラフィックカウンタによる CO2 排出量・走行履歴データによる CO2 排出量は、ともに区間平均旅行速度を算出し、平均速度に対する CO2 排出係数原単位(5)を乗じて求められるため、速度変動のより大きい一般道と都市内高速において、とくに燃料消費量による CO2 排出量と乖離した値を示したものと考えられる。

さらに前項にて示したように混雑区間ではトラフィックカウンタが細かい速度変動を捉えきれず走行履歴情報より大きな旅行速度を示し、低速度域では速度に対する CO2 排出係数の変化が大きいため、トラフィックカウンタによる CO2 排出量が真値からより乖離した値を示すものと考えられる。以上のことから、走行履歴データによる CO2 排出量の推定のほうがトラフィックカウンタによる方法と比べ有利であると考えられる。

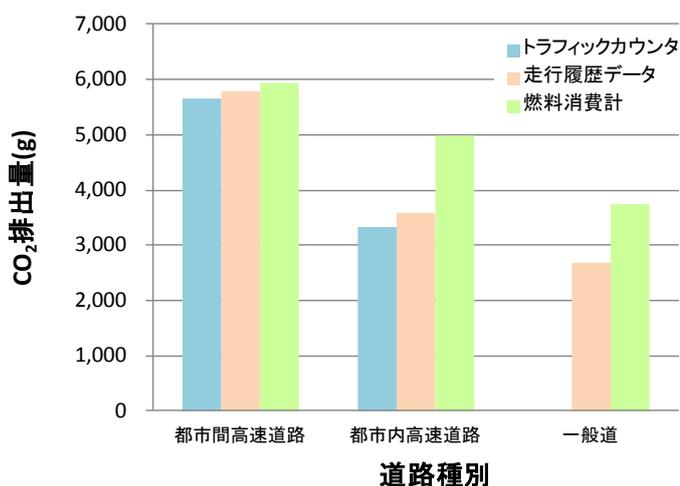


図 5.3.16 CO₂排出量算定値の比較

5.3.5 成果の活用と今後の課題

5.3.5.1 成果の活用

前項までの検討や実験結果を踏まえ、アップリンク情報のデータ形式仕様書（道路プローブ情報の収集を行う際の路側機と車載器間の情報内容等を記述したもの）等への反映やプローブシステム関連の仕様を作成した。プローブシステム関連の仕様は、3章参照。以下、プローブシステム、道路プローブ情報の概要を記載するとともに、道路プローブ情報の活用について記載する。

(1) プローブシステム概要

プローブシステムは、自動車に搭載された「ITS スポット対応カーナビ」、道路に設置した「ITS スポット」、ITS スポット対応カーナビが ITS スポットに送信する道路プローブ情報を収集し、プローブ統合サーバへ送信する「プローブ処理装置」、全国の ITS スポットにて収集される道路プローブ情報を一元的に集約し、蓄積し、旅行時間・旅行速度の算出等の処理を行う「プローブ統合サーバ」からなる（図 5.3.17）。

なお、「ITS スポット対応カーナビ」は、道路プローブ情報を収集するために特別な観測装置を実装しているのではなく、カーナビゲーションシステムに従来から搭載されている GPS 受信機、加速度センサ、ジャイロセンサ等を活用して道路プローブ情報を収集する。

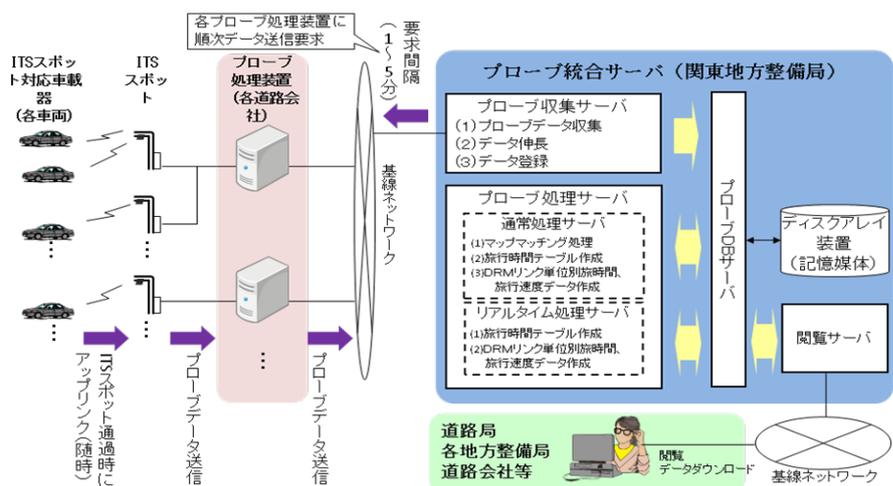


図 5.3.17 プローブシステムの構成 (略図)

ITS スポット対応カーナビに蓄積された道路プローブ情報は、自動車が ITS スポットの通信領域 (ITS スポットの直下 20m 程度の範囲) を通過した際に、ITS スポットにアップリンクされる。この際、ITS スポット対応カーナビの最大蓄積容量を超えない限り、前回アップリンクされた以降に蓄積された道路プローブ情報が全てアップリンクされる。ITS スポットにアップリンクされた道路プローブ情報は、ネットワーク上でファイル転送され、プローブ処理装置、プローブ統合サーバに集積される。なお、プローブ統合サーバでは、道路プローブ情報の集積のほか、マップマッチングや道路の一定区間毎の旅行時間等の集計を行う。各道路管理者は、イントラネットを通じて、この集計データを閲覧・ダウンロードすることが可能となっている。

(2) 道路プローブ情報概要

1) 情報内容

道路プローブ情報の情報内容は、官民共同研究にて、道路プローブ情報の利活用が要求するアップリンク情報の情報項目との対応 (表 5.3.24) を整理し、後述する試験走路や実道での実験や、ITR 部会での検討を踏まえ、平成 20 年に財団法人 道路交通情報通信システムセンター (VICS センター) にて、仕様化されており、基本情報、走行履歴情報、挙動履歴情報からなる。

表 5.3.24 利活用が要求するアップリンク情報の情報項目

アプリケーション	情報項目	情報の内容	道路 交通 情報	安全 運転 支援	運行 管理	調査 計画	道路 管理
車両ID情報収集	車両ID情報	匿名ID (LID)	○	○	○	○	○
時刻・位置情報収集	車種情報	車種コード	○	○	○	○	○
	前ビーコン通過日時	前ビーコン番号、通過日時	○	○	○	○	○
	走行履歴情報	走行位置(時刻・座標)	○	○	○	○	○
	車載器情報	カーナビ等車載機器情報					○
地点速度・方位・加速度・角速度情報収集	車両挙動履歴情報(カーナビ)	急ブレーキ、急ハンドル等の発生イベント履歴(カーナビ)		○			○
車両制御情報収集	車両挙動履歴情報(ECU)	急ブレーキ、急ハンドル等の発生イベント履歴(ECU)		○			○
	リアルタイム車両情報	右左折、加減速車両挙動瞬時情報		○			○
運行情報収集	車両管理情報	車両ID情報、属性情報等(特車、危険物、バス、商用車)			○		○
	車両情報	車両ID、車両番号、車両諸元等			○	○	
	付属情報	詳細履歴等サービス毎に規定する情報			○		○

なお、道路プローブ情報を収集するプローブシステムの路車間の通信には通信容量の制約があるため、道路プローブ情報のアップリンクに割り当てられるデータ量を4kBに制限している。このうち、基本情報には最大154Byte、走行履歴には最大496Byte×5~7タグ、挙動履歴には最大496Byte×1タグが割り当てられている。

2) プライバシー保護の考慮

官民共同研究において、プライバシーの保護を考慮し、以下のことを示し、(社)電子情報技術産業協会(JEITA)にて、仕様化されている。

- ・走行履歴情報から個人を特定できないようにするため、ITS スポット対応車載器は走行履歴の起点周辺の情報を蓄積しない機能を具備する。
- ・機器認証・暗号化を実施する。
- ・ITS スポット対応カーナビは、走行履歴情報等のアップリンクを停止する機能を具備する。

3) 基本情報

基本情報は、ITS スポット対応カーナビに関する情報(無線機に関する情報(製造メーカ、型番等)、カーナビゲーションに関する情報(製造メーカ、型番等))、車両に関する情報からなる。なお、車両に関する情報は、ITS スポット対応カーナビのセットアップの際に、利用者から提供いただく車両情報の一部であるが、ITR 部会での検

討結果を踏まえ、車台番号や、ナンバープレート情報の一部は、ゼロマスク等の処理を行うため、車両又は個人を特定することは出来ない。

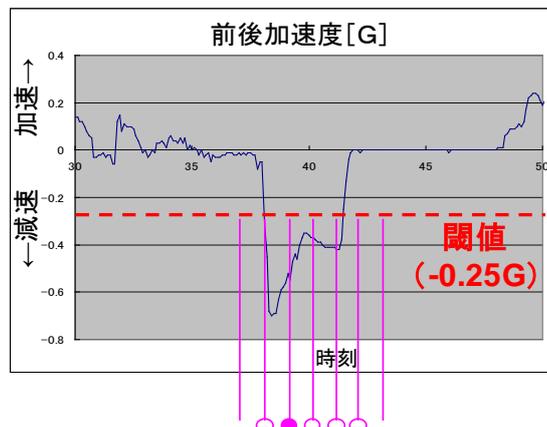
4) 挙動履歴情報

挙動履歴は蓄積データ量を節約するため、常時連続して挙動データを記録するのではなく、急減速、急回避などの危険事象により、設定した閾値を超えたデータのみを記録するイベント型の記録方式を採用している。具体的には、カーナビゲーションシステムから一定周期で取得されるデータが、危険事象を判定するために使用する前後加速度、左右加速度、ヨー角速度の各閾値（表 5.3.25）を超えた時のピーク値（図 5.3.18 の●）をのみを車載器に記録する。先行する研究(4)により危険事象を検出するための閾値は走行速度や道路種別により異なるという知見を得ているが、危険事象を確実に検出することを考慮した閾値を設定した。道路線形の問題に起因するイベントが多発する場合の補正処理や、最終的なヒヤリハットの判定等の高度なデータ処理は、データが集約されるプローブサーバにて処理する。

挙動履歴データのフォーマットを表 5.3.26 に示す。1 イベント分のデータ量は16Byte で、最大 31 イベント分のデータを ITS スポット対応車載器に蓄積することができる。蓄積された車両挙動データは、DSRC 路側機通過時にアップリンクされるとともに、ITS スポット対応車載器から消去される。

表 5.3.25 判定閾値（再掲）

データ項目	閾値
前後加速度	-0.25 G
左右加速度	±0.25 G
ヨー角速度	±8.5 deg/sec



一定周期でセンシングし、閾値を超えた場合の**最大ピーク値だけを選択して記録**(上図で●を記録)

図 5.3.18 挙動履歴情報記録タイミング（再掲）

表 5.3.26 挙動履歴情報フォーマット (再掲)

データ項目	センシング周期	分解能
時刻	1.0秒	1sec
緯度/経度	1.0秒	10 ⁻⁵ 度
方位	1.0秒	16方位
道路種別	1.0秒	高速、都市高速、 一般道、その他
速度(パルス)	0.3秒以下	1km/h
前後加速度	0.3秒以下	0.01G
左右加速度	0.3秒以下	0.01G
ヨー角速度	0.3秒以下	0.1deg/sec

5) 走行履歴情報

走行履歴データについても、蓄積データを節約するため、車両が 100m 走行する毎、および進行方向が 22.5° (1 周の 16 分の 1) 以上変化した時に、時刻、緯度・経度、道路種別、速度、高度を記録する方式を採っている (図 5.3.19)。また、初めに基準データを生成した後、次回からは前回値との差分データのみを記録する差分圧縮方式を用いることにより、データ量の更なる節約を図っている。

※プロジェクト研究終了後、データ量のうち走行距離を優先することとなったため下図のように仕様変更となっている。

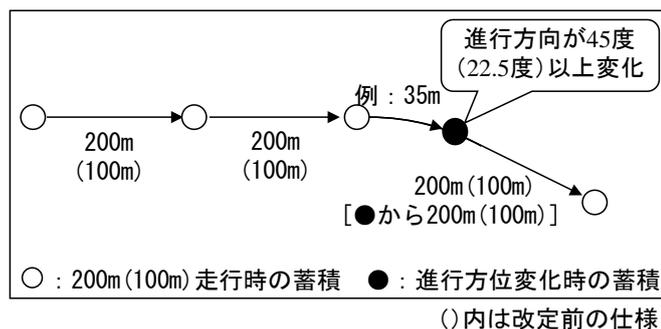


図 5.3.19 走行履歴取得タイミング

(3) 旅行速度調査への活用

道路交通センサスは概ね 5 年毎の特定の 1 日を対象に、道路や道路交通の状況を全国的な規模で調査が実施される。この調査の一つに旅行速度調査がある。旅行速度調査によって得られる旅行速度は、道路のサービスレベルを表わす最も基本的な指標の一つである。

従来は特定の 1 日 (平日、休日) の旅行速度調査の結果を施策に反映していたが、プローブデータを用いて旅行速度の常時観測をすることで、従来の調査ではわからなかった道路サービスレベルの変動などについてモニタリング (特異日や季節変動の把握・評価) が可能となり、旅行速度調査の高度化・効率化が図られることとなる。

そこで、プローブシステムを構成する「プローブサーバ」で集積したプローブデータを集計処理し、道路の一定区間毎の旅行時間を算出し、旅行速度調査の常時観測体制を構築することとしている。

旅行時間の集計は、DRM のリンク（主要な交差点間等）単位毎に、日別、時間帯別（15 分帯）、上下線別に行われる。各道路管理者は、イントラネットを通じて、各個人に割り当てられたパソコン若しくは特定のパソコンから、この旅行時間データをダウンロードすることが可能となっている。なお、旅行時間データは、各道路管理者が汎用表計算ソフトやデータベースソフト等で容易に用いることができるよう CSV 形式で出力される(図 5.3.20)。

旅行時間のダウンロード画面

都道府県	北海道	①箇所を選択 (地図からも選択可)
2次メッシュ	<input type="text"/> 2次メッシュ	
DRMリンク	<input type="text"/> - <input type="text"/>	
道路種別	ゼンダス+片側二車線相当	②道路種別を選択
開始日	20110401	③期間を選択
開始時間	0 : 0	
終了日	20110430	
終了時間	23 : 45	
<input type="button" value="ダウンロード"/>		④ダウンロードをクリック

↓

選択した箇所、道路種別、期間について、DRMリンク単位毎に、日別、時間帯別(15分帯)、上下線別の旅行時間を CSV形式で出力

図 5.3.20 プローブ統合サーバの旅行時間ダウンロード画面

5.3.5.2 今後の課題

本論文では、国土交通省におけるプローブデータの収集システムの概要を報告するとともに、収集したプローブデータの道路管理業務への適用について報告した。

今後は、より道路管理者が道路状況を簡易に把握できるよう、図 5.3.21 のように旅行速度が変化する区間毎に、地図上に自動的に旅行速度を表示する機能を搭載したり、潜在的な事故多発箇所を把握するため、図 5.3.22 のように急加速度多発箇所を地図上に表示するツールを作成する等、道路管理業務への活用を図っていく。

また、現段階では、収集したプローブデータを加工して情報提供を行うなど、道路利用者へ直接還元する仕組みはないが、今後、プローブデータを分析・加工し、道路利用者へ直接還元する仕組みも検討していく。また、ITS スポットで収集したデータ以外のデータを統合させた相互利用についても検討していく。



図 5.3.21 旅行速度が変化する区間毎の旅行速度表示画面イメージ



図 5.3.22 急加速度多発箇所の表示イメージ