

関西大学審査学位論文

プローブデータを用いた道路交通分析のための  
デジタル道路地図の生成技術に関する研究

平成30年 3月

渡辺 完弥

関西大学大学院総合情報学研究科



## 要旨

自動車の走行履歴や挙動履歴を収録したプローブデータは、カーナビゲーションシステム等を介して各事業者にて数百万台もの莫大な量が収集されている。現行のプローブデータは、10m~20m 程度の測位誤差が含まれることがあるため、道路ネットワークデータを用いて走行した道路を特定した後、活用されている。道路ネットワークデータとは、交差点を表すノード（節点）と交差点間の区間を表すリンク（辺）とで道路交通網を表現した道路地図であり、日本デジタル道路地図協会のデジタル道路地図データベースが代表的である。元来、プローブデータの用途はテレマティクスサービスの道路交通情報の収集・提供、道路ネットワークデータの用途は経路探索や自車位置特定である。近年は道路管理者でも、旅行速度、渋滞長および交差点の交通状況等の道路交通分析にて両者が多用されており、安全・安心で快適な道路交通環境を実現する上で重要な資産となっている。一方、道路空間には、歩行者交通もあり、都市部で需要のある歩行者ナビゲーションサービスを提供するため、歩行者ネットワークデータが政令指定都市等の中心部のみを対象に整備・更新されている。

準天頂衛星システムや自動運転等の技術が進展すると、走行車線が識別できる自動車のプローブデータが莫大かつ網羅的に流通することや測位精度の高い歩行者のプローブデータが流通し始めることが予想される。こうしたプローブデータの流通により、例えば、歩行者の乱横断による自動車と接触する可能性の高い潜在的事故危険箇所の抽出等、現在は解明が困難な交通現象の知見を得られることが期待される。

このような有益なプローブデータの特長を活かした道路交通分析を実施するには、自動車の走行車線や歩行者の正確な移動軌跡を識別し、これら複数の交通モードのプローブデータを同時に扱えるデジタル道路地図が必要となる。しかし、現在の道路交通分析では、車線単位のネットワークまでは整備されていないデジタル道路地図データベースが用いられている。車線単位のネットワークが整備対象となっている道路ネットワークデータとしてはダイナミックマップがあげられるが、その用途は自動運転システムの制御が対象となっており、デジタル道路地図データベースのような網羅的な整備・更新はコスト面等の制約から未定となっている。一方、歩行者交通の分析には歩行者ネットワークデータが必要となるが、現在は歩行者のナビゲーションシステムの需要のある政令指定都市等の中心部のみを対象に整備・更新されている状況にある。また、現在の道路交通分析は、単一の交通モード単位で実施されており、複数のプローブデータを同時に扱えるデジタル道路地図は、整備されていない。

測位精度の高い自動車や歩行者のプローブデータが流通することを見据えると、道路交通分析の用途に即した自動車の走行車線や歩行者の正確な移動軌跡を識別して同時に扱えるデジタル道路地図の整備・更新は喫緊の課題であるといえる。

## 要旨

本研究の目的は、自動車の走行車線や歩行者の正確な移動軌跡を識別し、複数の交通モードのプローブデータを同時に扱えるデジタル道路地図の生成技術の提案とする。具体的には、車線ネットワークデータと歩行者ネットワークデータを統合したデジタル道路地図の生成技術を提案する。本研究は、次の3つで構成される。

### 1) 車線ネットワークデータの生成手法の提案

膨大な道路を対象に車線単位のネットワークデータを整備するには、既存資産を活用した生成手法の確立が求められる。既存研究には、モバイルマッピングシステムで取得した道路の表面形状を表す点群座標データを活用した地物の自動取得が提案されている。これらは、車道、中央分離帯等の実在する地物が対象となっている。点群座標データを用いると、前述のネットワークデータも整備ができると想定されるが、実用に供するような生成手法は開発途上である。また、画像処理にて抽出した車線両側の側線から中央の線を生成し、リンクとして扱う既存研究もあるが、側線が必ず撮影されることが条件であり、撮影できなかった区間の補完手法は提案されていない。

本研究では、コストや時間のかかる作図作業を省力化するため、既存の地図や測量成果を基にした車線ネットワークデータとして、大縮尺地図である道路基盤地図情報と道路空間のレーザ計測成果である点群座標データとを組み合わせた生成手法を提案する。

### 2) 歩行者ネットワークデータの生成手法の提案

膨大な歩行空間を対象に歩行者ネットワークデータを整備するには、既存資産を活用した生成手法の確立が求められる。既存研究には、モバイルマッピングシステムで取得した点群座標データから2次元の図面や幅員・勾配等の形状属性の生成手法が提案されている。しかし、ノードやリンクのネットワークデータの具体的な生成手法は提案されていない。

本研究では、現地測量を省力化するため、既存の地図や測量成果を基にした歩行者ネットワークデータとして、道路基盤地図情報等のデジタル地図と道路空間のレーザ測量成果である点群座標データとを組み合わせた生成手法を提案する。

### 3) 車線・歩行者ネットワークデータを統合したデジタル道路地図の生成手法の提案

今後、流通することが予想される測位精度の高い自動車や歩行者のプローブデータの特長を活かした道路交通分析を実現するには、自動車や歩行者の交錯箇所等の多様な交通現象を表現できるデジタル道路地図が必要となる。既存研究では、ビデオ動画を用いてプローブデータを手動で作成し、メッシュ分割した道路地図に重畳・集計する道路交通分析が行われている。しかし、分析の都度、道路地図を再編集や地物属性を付与する必要があるため、対象範囲によっては作業負荷を強いられる。また、生成した道路地図は、ネットワークを保持していないため、交通モード別や方向別、経路別にプローブデータを扱うことが難しい。

本研究では、メッシュ分割した道路地図に前述の車線ネットワークデータおよび歩行者ネットワークデータに関連づけて扱える統合型デジタル道路地図の生成手法を提案する。

# 目次

第1章 緒論 .....	1
1.1 研究の背景 .....	1
1.2 道路交通分析で顕在化する課題.....	1
1.3 研究の目的 .....	2
1.4 研究の手順 .....	4
1.5 本論文の構成.....	5
第2章 車線ネットワークデータの生成手法の提案.....	6
2.1 まえがき .....	6
2.2 車線ネットワークデータの仕様.....	7
2.3 手法の全体概要.....	9
2.3.1 本手法に利用するデータの概要.....	9
2.3.2 車線ネットワークデータの生成手法の開発.....	10
2.4 プロトタイプの開発.....	18
2.5 アルゴリズムの検証.....	19
2.5.1 検証方法 .....	19
2.5.2 検証に利用したデータ .....	20
2.5.3 路面点群の検証.....	23
2.5.4 3次元道路中心線の検証.....	26
2.5.5 車線中心線の検証.....	29
2.6 あとがき .....	34
第3章 歩行者ネットワークデータの生成手法の提案.....	35
3.1 まえがき .....	35
3.2 生成手法の全体概要.....	36
3.2.1 対象空間 .....	36
3.2.2 本手法に利用するデータの概要.....	37
3.2.3 歩行者ネットワークデータの仕様.....	37
3.2.4 生成手法で設定したレベルと研究の内容.....	37
3.2.5 生成手順 .....	38
3.3 レベル1の生成手法の開発.....	39
3.3.1 概要 .....	39
3.3.2 リンク・ノードの認識.....	40
3.3.3 点群座標データによる経路情報の生成.....	41

## 目次

3.3.4 ノード（経路情報の変化点）の追加.....	41
3.3.5 有用性の検証.....	42
3.4 レベル2の生成手法の開発.....	47
3.4.1 概要.....	47
3.4.2 デジタル地図の調査.....	47
3.4.3 歩道.....	49
3.4.4 歩道橋.....	51
3.4.5 歩車共存道路.....	52
3.4.6 横断歩道.....	53
3.4.7 踏切.....	54
3.4.8 階段.....	55
3.5 レベル2の生成手法に準じたデータの試作.....	56
3.5.1 検証方法.....	56
3.5.2 歩道（交差点）の試作.....	57
3.5.3 歩道（単路）の試作.....	58
3.5.4 歩道橋の試作.....	59
3.5.5 歩車共存道路の試作.....	60
3.5.6 横断歩道の試作.....	60
3.5.7 踏切の試作結果.....	62
3.5.8 階段の試作結果.....	63
3.5.9 試作結果のまとめ.....	64
3.6 レベル3の生成手法の実現可能性の分析.....	64
3.6.1 概要.....	64
3.6.2 分析方法.....	65
3.6.3 リンク及びノード属性の自動生成の実現可能性分析.....	65
3.6.4 経路情報の自動生成の実現可能性分析.....	66
3.7 各レベルの適用条件やメリットの整理.....	66
3.8 あとがき.....	68
第4章 車線・歩行者ネットワークデータを統合したデジタル道路地図の生成手法の提案 .....	69
4.1 まえがき.....	69
4.2 多様な交通モードの道路交通分析を支援するデジタル道路地図の要件定義.....	70
4.3 多様な交通モードの道路交通分析を支援するデジタル道路地図生成手法の考案..	72
4.3.1 地図の仕様.....	72
4.3.2 入力データ.....	74
4.3.3 生成手順.....	75

4.4 有用性の検証内容.....	79
4.4.1 検証の対象道路.....	79
4.4.2 検証の内容.....	81
4.5 地図の生成手法の有用性の検証.....	82
4.5.1 結果.....	82
4.5.2 考察.....	84
4.5.3 地図の生成手法の有用性の検証のまとめ.....	85
4.6 地図の要件に対する満足度の検証.....	86
4.6.1 交通モード別通行状況の分析の要件検証.....	86
4.6.2 錯綜箇所抽出の要件検証.....	87
4.6.3 ヒヤリハット箇所の抽出の要件検証.....	91
4.6.4 交通モード別・方向別通過速度分析の要件検証.....	92
4.6.5 地図の要件に対する満足度の検証のまとめ.....	93
4.7 あとがき.....	93
第5章 結論.....	94
参考文献.....	98
謝辞.....	104





# 第1章 緒論

## 1.1 研究の背景

自動車の走行履歴や挙動履歴を収録したプローブデータは、カーナビゲーションシステム等を介して各事業者にて数百万台もの莫大な量が収集されている[1]-[4]。現行のプローブデータは、10m~20m程度の測位誤差[5][6]が含まれることがあるため、道路ネットワークデータを用いて走行した道路を特定した後、活用されている。道路ネットワークデータとは、交差点を表すノード（節点）と交差点間の区間を表すリンク（辺）とで道路交通網を表現した道路地図である。道路ネットワークデータには、日本デジタル道路地図協会提供のデジタル道路地図データベース、地図調製企業各社提供の道路ネットワークデータ、ダイナミックマップや高度 DRM 等がある[7]-[18]。このうち実用化しているのは、デジタル道路地図データベースおよび地図調製企業各社提供の道路ネットワークデータである。

元来、プローブデータの用途はテレマティクスサービスの道路交通情報の収集・提供、道路ネットワークデータの用途は経路探索や自車位置特定である。近年は道路管理者でも安全・安心で快適な道路交通環境の実現を目指して、旅行速度、渋滞長および交差点の交通状況等の道路交通分析にて両者が多用されている[19]-[24]。

一方、道路空間は自動車交通にも歩行者や自転車の交通があり、その中で歩行者を対象にしたナビゲーションサービスが都心部で展開されている[25]-[27]。このサービスを提供するには、歩行可能な空間を表現した歩行者ネットワークデータが必要であるため、歩行者ネットワークデータは、現在、同サービスで需要のある政令指定都市等の中心部のみを対象に整備・更新されている[28][29]。

## 1.2 道路交通分析で顕在化する課題

準天頂衛星システムの4機体制構築による測位精度の向上[30][31]や自動運転等の技術が進展[32]すると、自動車の走行車線が識別できるプローブデータが莫大かつ網羅的に流通することが予想される。さらに、スマートフォン等携帯端末で取得される位置情報を活用した情報提供サービスの進展によって、歩道や横断歩道等の歩行者の詳細な移動履歴を収録したプローブデータの流通も予想される[33]。こうしたプローブデータの流通により、例えば、歩行者の乱横断による自動車と接触する可能性の高い潜在的事故危険箇所の抽出等、現在は解明が困難な交通現象の知見を得られることが期待され、安全・安心で快適な道路交通環境の効果発現に寄与する。

## 第1章 緒論

このような有益なプローブデータの特長を活かした道路交通分析を実施するには、自動車の走行車線や歩行者の正確な移動軌跡を識別し、これら複数の交通モードのプローブデータを同時に扱えるデジタル道路地図が必要となる。しかし、現在の道路交通分析では、自動車交通を対象にしていることが多く、車線単位のネットワークまでは整備されていないデジタル道路地図データベースが用いられている[7]。車線単位のネットワークが整備対象となっている道路ネットワークデータとしてはダイナミックマップがあげられるが、その用途は自動運転システムの制御が対象となっている[14]。また、現時点では、高規格道路が主たる整備対象となっており、デジタル道路地図データベースのような網羅的な整備・更新はコスト面等の制約から未定となっている。一方、歩行者交通の分析には歩行者ネットワークデータが必要となるが、政令指定都市等の中心部のみを対象に整備・更新されている状況にある。また、国土交通省では、高齢者や体の不自由な方を対象とした歩行者のナビゲーションサービスの普及を図る目的で、歩行空間ネットワークデータの仕様[34]を策定している。同仕様は、高齢者や体の不自由な方にとってのバリア情報（階段の蹴上げ高さ、歩車道の段差やスロープの有無等）の整備方法が規定されているが、整備・更新のコスト面の制約から実用には供していない状況である。さらに、現在の道路交通分析は、単一の交通モード単位で実施されており、自動車と横断歩道上の歩行者・自転車、さらに歩道内の歩行者・自転車の交錯箇所を集計・分析できる等複数の交通モードのプローブデータを同時に取り扱えるデジタル道路地図は、整備されていない。

測位精度の高い自動車や歩行者のプローブデータが流通することを見据えると、道路交通分析の用途に即した自動車の走行車線や歩行者の正確な移動軌跡を識別して同時に扱えるデジタル道路地図の整備・更新は喫緊の課題であるといえる。

### 1.3 研究の目的

本研究の目的は、測位精度の高いプローブデータの特長を活かした道路交通分析を支援する道路ネットワークデータや地図の普及を目指して、自動車の走行車線や歩行者の正確な移動軌跡を識別し、複数の交通モードのプローブデータを同時に扱える統合型デジタル道路地図の生成技術の提案とする。具体的には、車線ネットワークデータと歩行者ネットワークデータを統合したデジタル道路地図の生成技術を提案する。本研究は、「車線ネットワークデータの生成手法の提案」、「歩行者ネットワークデータの生成手法の提案」および「車線・歩行者ネットワークデータを統合したデジタル道路地図の生成手法の提案」の3つで構成される。

「車線ネットワークデータの生成手法の提案」では、自動車の走行車線が識別できる車線単位のネットワークデータの生成手法を考案する。現在、普及している路線単位のデジタル道路地図データベースは、工事図面や地図を用いた既存図数値化によって整備されている。全国を対象に新たに車線単位のネットワークデータを整備するには、対象となる道路が膨大であるため費用や時間がかかる。道路地図の整備手法の既存研究には、モバイルマッピングシステムで取得した

点群座標データを活用した地物の自動取得が提案されている[35]-[37]。これらは、車道、中央分離帯等の実在する地物が対象となっている。点群座標データを用いると、前述のネットワークデータも整備ができると想定されるが、実用に供するような生成手法は開発途上である。また、画像処理にて抽出した車線両側の側線から中央の線を生成し、リンクとして扱う既存研究[38]もあるが、側線が必ず撮影されることが条件であり、撮影できなかった区間の補完手法は提案されていない。作図作業にコスト面や整備に時間がかかる課題があることを考慮すると、既存資産を活用した車線ネットワークデータの生成手法の確立が求められる。そこで、本研究では、コストや時間のかかる作図作業を省力化するため、既存の地図や測量成果を基にした車線ネットワークデータとして、大縮尺地図である道路基盤地図情報[39]と道路空間のレーザ計測成果である点群座標データとを組み合わせた生成手法を提案する。

「歩行者ネットワークデータの生成手法の提案」では、歩行者を対象とした歩道や横断歩道等の歩行空間を識別できるネットワークデータの生成手法を考案する。政令指定都市等の中心部のみ対象に整備・更新されている既存の歩行者ネットワークデータは、現地測量にて整備されている。全国を対象に新たに歩行者ネットワークデータを整備するには、歩行空間が膨大に存在するため、費用や時間がかかる。歩行空間を対象とした地図の整備手法の既存研究には、モバイルマッピングシステムで取得した点群座標データから 2 次元の図面や幅員・勾配等の形状属性を生成する手法が提案されている[40]-[42]。しかし、ノードやリンク(属性含む)のネットワークデータの具体的な生成手法は提案されていない。現行の整備手法を用いるとコスト面や整備に時間がかかる課題があることを考慮すると、既存資産を活用した歩行者ネットワークデータの生成手法の確立が求められる。そこで、本研究では、現地測量を省力化するため、既存の地図や測量成果を基にした歩行者ネットワークデータとして、道路基盤地図情報等のデジタル地図[7][39][43]-[45]とレーザ測量成果である点群座標データとを組み合わせた生成手法を提案する。

「車線・歩行者ネットワークデータを統合したデジタル道路地図の生成手法の提案」では、複数の交通モードのプローブデータを用いて、自動車と横断歩道上の歩行者・自転車、さらに歩道内の歩行者・自転車の交錯箇所等の多様な交通現象を表現できる地図の生成手法を考案する。既存研究では、ビデオで撮影した動画を用いて自動車、自転車や歩行者の移動軌跡であるプローブデータを手動で作成し、メッシュ分割した道路地図に重畳・集計する道路交通分析が行われている。既存研究の手法では、分析の都度、道路地図を再編集や各メッシュに対して歩道部、車道部、車道交差部や横断歩道等の地物を属性として付与する必要があり、対象範囲によっては作業負荷を強いられる。また、生成した道路地図は、ネットワークを保持していないため、交通モード別や方向別、経路別にプローブデータを扱うことが難しく、広域の交通流の分析には適さない。そこで、本研究では、メッシュ分割した道路地図に前述の車線ネットワークデータおよび歩行者ネットワークデータを統合したデジタル道路地図の生成手法を提案する。

## 1.4 研究の手順

本研究は、図 1.1 に示す手順で、自動車の走行車線や歩行者の正確な移動軌跡を識別し、複数の交通モードのプロープデータを同時に扱えるデジタル道路地図の生成技術を提案することを旨とする。

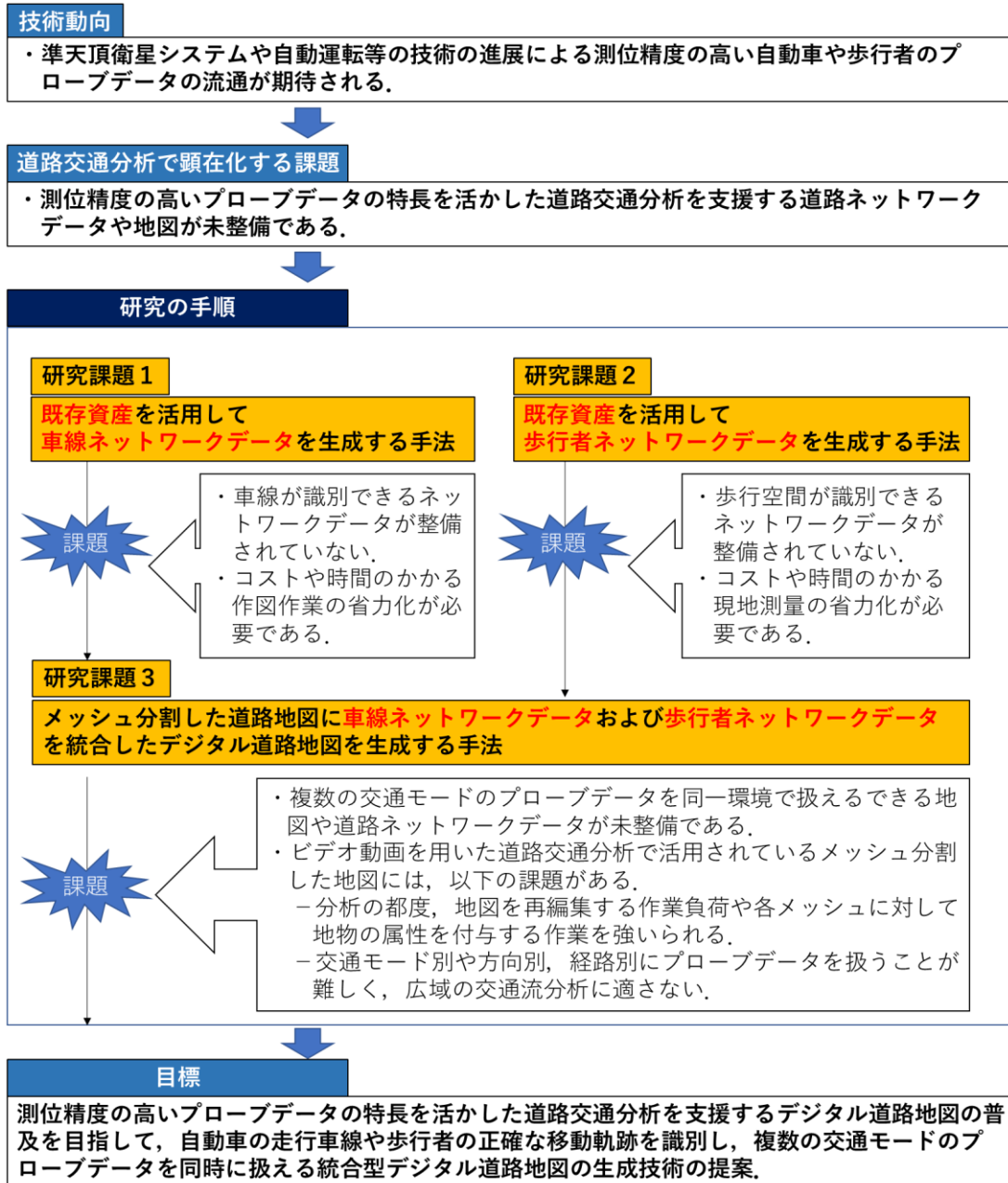


図 1.1 本研究の手順

## 1.5 本論文の構成

本論文では、測位精度の高いプローブデータの特長を活かした道路交通分析を支援する道路ネットワークデータやデジタル道路地図の普及を目指して、車線や歩行空間の識別ができ、複数の交通モードのプローブデータを同時に扱えるデジタル道路地図の生成手法の提案に関する研究を取り纏める。本節では、本論文の構成と、各章の概要を示す。

第2章および第3章では、「車線ネットワークデータの生成手法の提案」および「歩行者ネットワークデータの生成手法の提案」と題して、車線や歩行空間を識別できる道路ネットワークデータが未整備という課題を解決するため、コストや時間のかかる作図作業や現地測量を省力化するため、既存の地図や測量成果を基にした車線ネットワークデータおよび歩行者ネットワークデータの生成手法を提案する。

第4章では、「車線・歩行者ネットワークデータを統合したデジタル道路地図の生成手法の提案」と題して、複数の交通モードのプローブデータを同時に扱うことができる地図や道路ネットワークデータが未整備という課題を解決するため、前述の車線ネットワークデータおよび歩行者ネットワークデータを統合したデジタル道路地図の生成手法を提案する。車線が識別できる車線ネットワークデータや歩行者の移動軌跡が識別できる歩行者ネットワークデータを用いてメッシュ単位に車線や歩道等の道路構造物の地物を関連付けることで、車線と歩行空間を識別でき、かつ、複数の交通モードのプローブデータを同時に扱える統合型デジタル道路地図を生成できる。

第5章では、第2章、第3章と第4章において得られた研究の成果を総括するとともに、今後残された研究課題と将来への展望について述べる。

## 第2章 車線ネットワークデータの生成手法の提案

### 2.1 まえがき

カーナビゲーションをはじめとする経路案内サービスや旅行速度分析等の道路交通分析の分野では、道路ネットワークデータが活用されている。道路ネットワークデータとは、交差点を表すノードと交差点間の区間を表すリンクとで道路交通網を表現した道路地図である。

現行の道路ネットワークデータには、日本デジタル道路地図協会が整備するデジタル道路地図データベース（以下、「DRM (Digital Road Map)」という。）[7]があり、DRMは、複数車線を1本の直線のリンクとする等、道路交通網を簡略化し全国の道路約95万kmを表現している[46]。技術の進展に伴い、昨今はAHS (Advanced Cruise-Assist Highway Systems) [47]、経路案内サービスや道路交通分析にて、車線単位で表現した道路ネットワークデータ（以下、「車線ネットワークデータ」という。）への関心が高まっている。例えば、車線逸脱警報サービス[48]による注意喚起や運転支援、プローブデータを活用した車線単位の渋滞把握[49]やブレーキ多発箇所の分析による道路整備計画の立案等があげられる。また、道路中心線の縦断勾配の活用例としては、カーブ進入危険情報の提供[50]、縦断勾配を考慮した走りやすいルート検索[51]やEV (Electric Vehicle) 向けのエコルート検索[52]があげられる。

測位技術の向上により、車線単位の走行車線の特定が可能になると、こうしたニーズがますます高まり、実用化に向けた展開が可能になる。この展開を図るには車線単位や3次元の道路ネットワークデータが必要不可欠である。車線単位の3次元道路ネットワークデータとは、路面の高さを持ったリンクで車線形状や縦断勾配を表現し、リンクの交点にノードを配置して経路を示す等道路を詳細に表現したものを指す。

日本デジタル道路地図協会では、車線ネットワークデータの潜在的ニーズを見据えて、交差路数や車線数の多い政令指定都市の交差点500箇所を対象に、車線の情報を持つ高度DRMデータベース（以下、「高度DRM」という。）[18]が整備されている。また、車線が整備対象となっている道路ネットワークデータには、ダイナミックマップがあげられる[14]。しかし、これらの道路地図はデジタル道路地図データベースのような網羅的な整備・更新がコスト面等の制約から未定となっている。佐々木ら[53]は、道路基盤地図情報と高度DRMとの平面的な形状の親和性を分析し、互いの地図の整備・更新の適用可能性を示唆している。ただし、道路基盤地図情報の距離標や測点の地物が保持する高さの親和性は分析していない。また、当該分野の既存研究としては、航空写真、CADデータ、レーザレンジデータ、移動体計測車両から取得した点群座標データおよび写真を活用し、3次元の道路線形や地図の整備手法が提案されている[35]-[37] [48][54][55]。これらの既存研究では、車線ネットワークデータの

生成ではなく、道路形状を表現した地図の調製に着目されている。そこで得られた地図は、車線ネットワークデータを整備する上で有益な資源となることが期待される。さらに、既存の研究[38]には、画像処理にて抽出した車線両側の側線から中心線を生成し、リンクとして扱う研究もあるが、側線が必ず撮影されることが条件であり、撮影できなかった区間の補完手法は提案されていない。また、現地測量による既存の整備手法にはコスト面の課題があることから、既存資源を活用した整備手法が得策と考えられる。ネットワークデータの用途を踏まえると、大縮尺が要件になるため、本研究では、道路基盤地図情報および移動計測車両により取得された点群座標データに着目した。

本研究の目的は、道路基盤地図情報と点群座標データとを組み合わせた車線単位の3次元道路ネットワークデータの生成手法の提案とした。道路構造の情報を持つ道路基盤地図情報と道路空間の表面形状の情報を持つ点群座標データとを組み合わせることで、省力化の期待できる生成手法の確立を目指す。

本章の構成として、2節では、データ交換標準や生成するデータの定義等、車線単位の道路ネットワークデータの表現方法を論ずる。3節では、考案する生成手法の概要や処理内容を論ずる。4節では、開発したプロトタイプを論ずる。5節では、開発したプロトタイプを用いてデータを試作し、開発技術の有用性を検証した結果を論ずる。

## 2.2 車線ネットワークデータの仕様

国内の道路ネットワークのデータ標準には、デジタル道路地図データベース標準（以下、「DRM標準」という。）、KIWIフォーマット[56]（以下、「KIWI」という。）、DRM標準フォーマット21[57]（以下、「DRM標準21」という。）がある。DRM標準21は、KIWIを踏襲し、DRM標準との親和性も確保しつつ、国際標準への対応も視野に入れている。本手法の実用化と普及を見据えると既存の仕組みとの連携が得策であることから、本手法の対象となる道路ネットワークデータの仕様は、DRM標準との親和性がある上、汎用性の高いDRM標準21に準拠することとした。

表 2.1 に DRM 標準と DRM 標準 21 の特徴比較と本研究のデータ定義を示す。DRM 標準 21 は、汎用性や拡張性を兼ね備えたフォーマットであり、データ運用者が採用する形式や表現方法等運用を規定する必要がある。表内の「本研究で定義した運用規定」に、その概要を示す。「測地座標系」は、道路基盤地図情報や点群座標データとの整合性を考慮して、世界測地系の平面直角座標系とした。データの「ファイル形式」は、DRM 標準 21 に準拠し、テキスト形式および CSV 形式とした。「リンクに関わる属性」には、リンク長や幅員区分、車線数に加え、12 時間交通量や制限速度等の交通規制が含まれる。本研究では、データ整備や更新の効率化を目指して、線形データ生成およびネットワーク化の自動化を第一目標とし、「リンク属性」の生成を対象外とした。また、車線ネットワークデータは、AHS

## 第2章 車線ネットワークデータの生成手法の提案

等で幅員 3m 程度の走行車線を識別する用途があり，大縮尺地形図（1/1,000~1/500）の精度（水平位置の標準偏差 0.70m~0.25m）が求められる．そこで，「縮尺」は，道路基盤地図情報と同じ 1/1,000~1/500 とした．高さは，3次元道路ネットワークデータを生成するため保持する．比高は道路ネットワークデータとともに建物を表現する際に利用するデータ項目であり対象外とした．道路交通分析では，リンク単位に集計や分析を行う必要があり，「網表現」は，路線を1つのデータとして取り扱うマルチリンクは採用せず，リンクとノード

表 2.1 データ表現方法の特徴比較と本研究のデータ定義

項目	DRM 標準	DRM 標準 21	本研究で定義した 運用規定
測地座標系	日本測地系の平面直角座標系	日本測地系と世界測地系をコード選択	世界測地系の平面直角座標系
ファイル形式	テキスト形式	テキスト形式および CSV 形式	テキスト形式および CSV 形式
リンクに関わる属性	リンク長，幅員区分，車線数，車道幅員，最小車道部幅員，12時間交通量，制限速度等の交通規制等	リンク長，幅員区分，車線数，車道幅員，最小車道部幅員，12時間交通量，制限速度等の交通規制等	リンク長，幅員区分，車線数，車道幅員，最小車道部幅員，12時間交通量，制限速度等の交通規制等
縮尺	1/25,000~1/2,500	1/25,000~1/500 リンクごとに定義可 (高度 DRM データベース： 1/1,000 ~1/500)	1/1,000~1/500
高さ	無し	高さ (Z) 比高 (H)	高さ (Z)
網表現	リンク・ノード	リンク・ノード，マルチリンク・ノード	リンク・ノード
路線表現	原則上下線分離せず	上下線分離・車線単位可	車線単位および路線単位（原則上下線分離せず）
形状表現	ノードと補間点による折線，補間点間隔は任意	折線，円・円弧（構成点の間隔は任意）	折線，円・円弧（構成点の間隔は 1.0m）



とで表現することとした。さらに、道路ネットワークデータでは、路線を車線単位で詳細に表現する方式や 1 本の路線単位に簡略化して表現する方式がある。本手法では、既存の仕組みとの連携を考慮して、この「路線表現」を車線単位および路線単位とした。「形状表現」は、GIS で取り扱える折線、円・円弧とした。線形の構成点の間隔は、短いほど線形を正確に表現できるが、各用途における処理時間やデータサイズの増大につながる懸念される。そこで、構成点の間隔は、用途に合わせて変更することとし、本研究では、実用性を考慮した上で、1.0m とした。

## 2.3 手法の全体概要

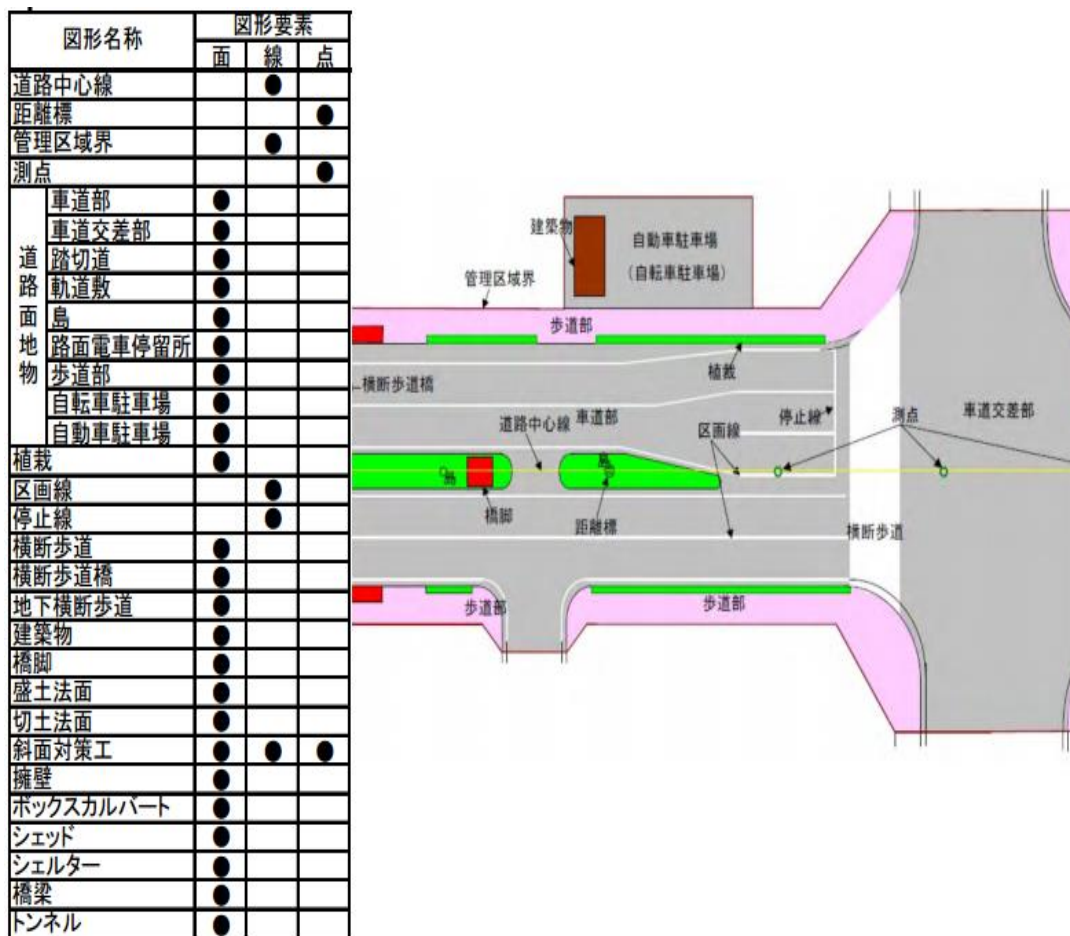
### 2.3.1 本手法に利用するデータの概要

#### (1) 道路基盤地図情報

道路基盤地図情報[58]は、道路構造を表現した大縮尺 (1/1,000~1/500) の GIS データ (図 2.1) で、ファイル形式には、XML 形式 (JPGIS 準拠) が採用されている。道路基盤地図情報は、図 2.1 に示すとおり道路中心線や区画線等の 30 種類の地物から構成されており、道路工事完成図等作成要領[59]に則した工事完成図をもとに生成される。特に、直轄国道の道路基盤地図情報は、道路工事の完成図を用いた整備・更新のサイクルを確立しているため、地図の鮮度や正確性が確保されている。本研究では、表 2.1 に示すデータを生成するために、道路構造を最も大縮尺で表現している道路基盤地図情報に着目した。

#### (2) 点群座標データ

近年、公共測量では、3D レーザスキャナと高精度 GPS とを搭載した移動計測車両による測量システムの利用が増加している。この測量システムには、絶対精度 10cm (rms: Root Mean Square) 以内で点群座標データを取得できるものがあり、取得した点群座標データに基に、道路法施行規則に定められた道路台帳図 (1/1,000 以上) を調製する事例が増えつつある [40]。また、本測量システムは、計測時に併走する車両が映りこむ等のオクルージョンが発生しなければ、時速 60km 以下で走行した場合に、概ね 10cm×20cm のメッシュ内に 1 点以上の点群を取得できるため、点群座標データを目視することで、道路空間の表面形状を確認できる。取得された点群座標データは、高さを保持しており、この点群座標データを活用することで、高さを持たない線形に高さを付与できる。本研究では、今後、広域的に点群座標データが蓄積されていくことを見据えて、高さを持ち、かつ高精度な点群座標データに着目した。



出典：国土交通省 国土技術政策総合研究所

([http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/road\\_gis\\_trial.htm](http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/road_gis_trial.htm) の一部を抜粋)

図 2.1 道路基盤地図情報のイメージ

### 2.3.2 車線ネットワークデータの生成手法の開発

#### (1) 本手法の全体概要

本手法の全体概要を図 2.2 および表 2.2 に示す。本手法では、道路基盤地図情報と点群座標データとを用いて、車線ネットワークデータを生成する。図表に示すとおり、本手法は、5つのアルゴリズムで構成される。2節で述べたとおり、本手法は、既存の仕組みとの連携を考慮して、車線ネットワークだけでなく、複数車線を1本のリンクで表現した従来の道路ネットワークデータを合わせて生成する。各アルゴリズムの詳細は後述する。

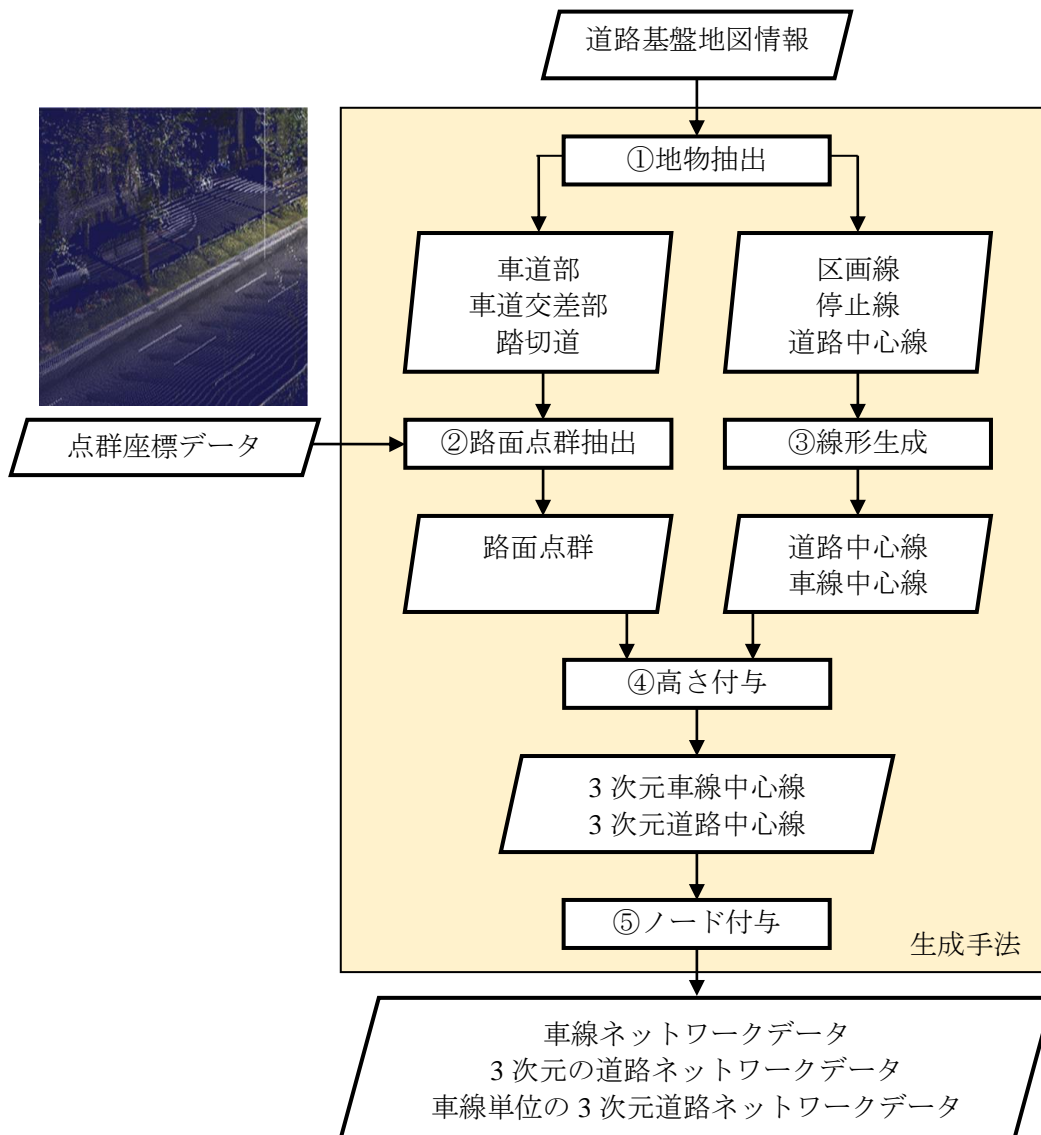


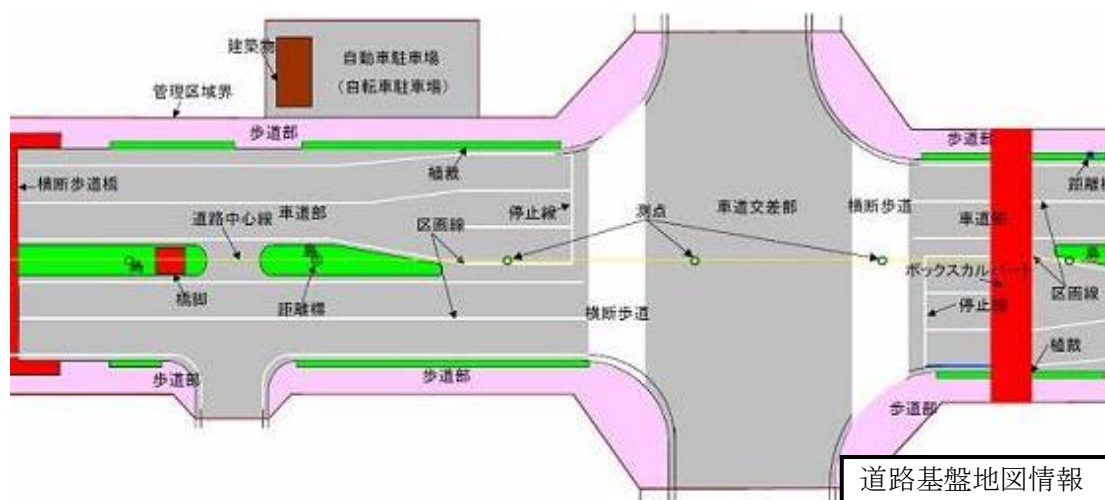
図 2.2 本手法の全体概要

表 2.2 本手法の全体概要

処理名称	概要	入力データ	出力データ
①地物抽出	後工程で利用する地物（車道部，車道交差部，踏切道，区画線，停止線，道路中心線）を道路基盤地図情報から抽出	道路基盤地図情報	車道部，車道交差部，踏切道，区画線，停止線，道路中心線
②路面点群抽出	①で抽出した車道部と車道交差部，踏切道のXY平面（水平面）領域内の点群座標データを抽出	車道部，車道交差部，踏切道および点群座標データ	路面点群
③線形生成	区画線から車線を把握し，車線中心線の構成点を1.0m間隔で発生 道路中心線も同様に構成点を発生 構成点を結び線形を生成	区画線，停止線，道路中心線	車線中心線，道路中心線
④高さ付与	②の路面点群座標データを分析し，③で生成した車線中心線，道路中心線に高さを付与	車線中心線，道路中心線，路面点群	3次元車線中心線，3次元道路中心線
⑤ノード付与	空間演算を行い④で得られた線形データ同士の交点にノードを発生	3次元車線中心線，3次元道路中心線	車線ネットワークデータ 3次元道路ネットワークデータ 車線単位の3次元道路ネットワークデータ

## (2) 地物抽出

図 2.3 に地物の抽出イメージを示す。道路基盤地図情報は，地物が分類され格納されているため，地物種別を指定することで，一括した地物抽出ができる。抽出する地物は，「路面点群抽出」に必要な車道部，車道交差部，踏切道および「線形生成」に必要な区画線，停止線，道路中心線である。ここで，車道部，車道交差部，踏切道は，面で表現される地物であり，区画線，停止線，道路中心線は線で表現される地物である。



地物の抽出  
車道交差点, 道路中心線, 車道部の例

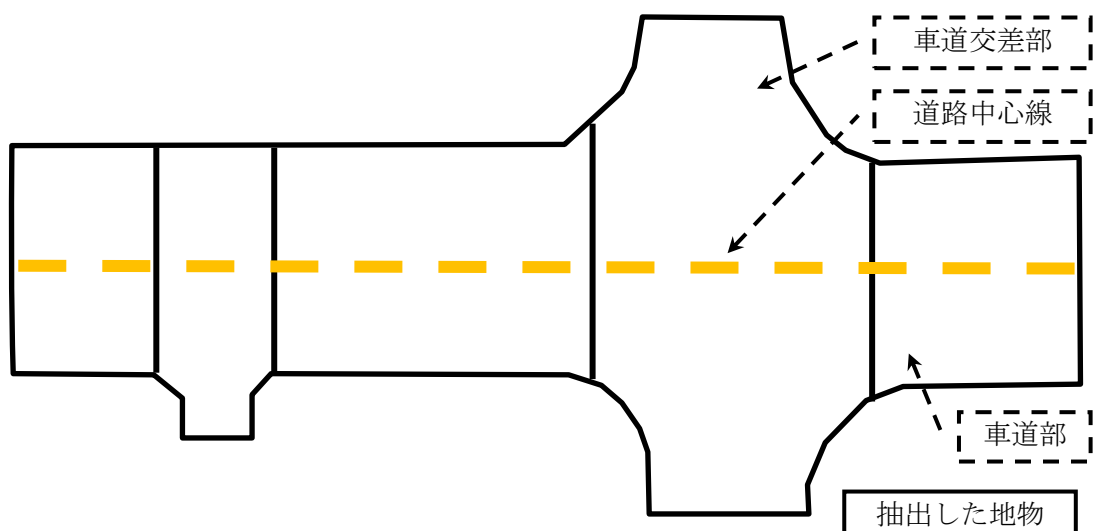


図 2.3 地物の抽出イメージ

### (3) 路面点群抽出

図 2.4 に路面点群の抽出のイメージを示す。「路面点群抽出」では、「線形生成」で生成した線形に高さを付与するための前処理として、線形の高さを示す路面の点群を抽出する。道路基盤地図情報は、道路空間を道路面地物のいずれかで表現することとなっており、「地物抽出」で抽出した車道部と車道交差点、踏切道を合わせることで、路面範囲を特定できる。道路基盤地図情報の地物を用いて、点群座標データから路面範囲内の点群座標データを抽出することで、交通島等に存在する路面以外の点群の高さが線形に付与されることを防ぐ。

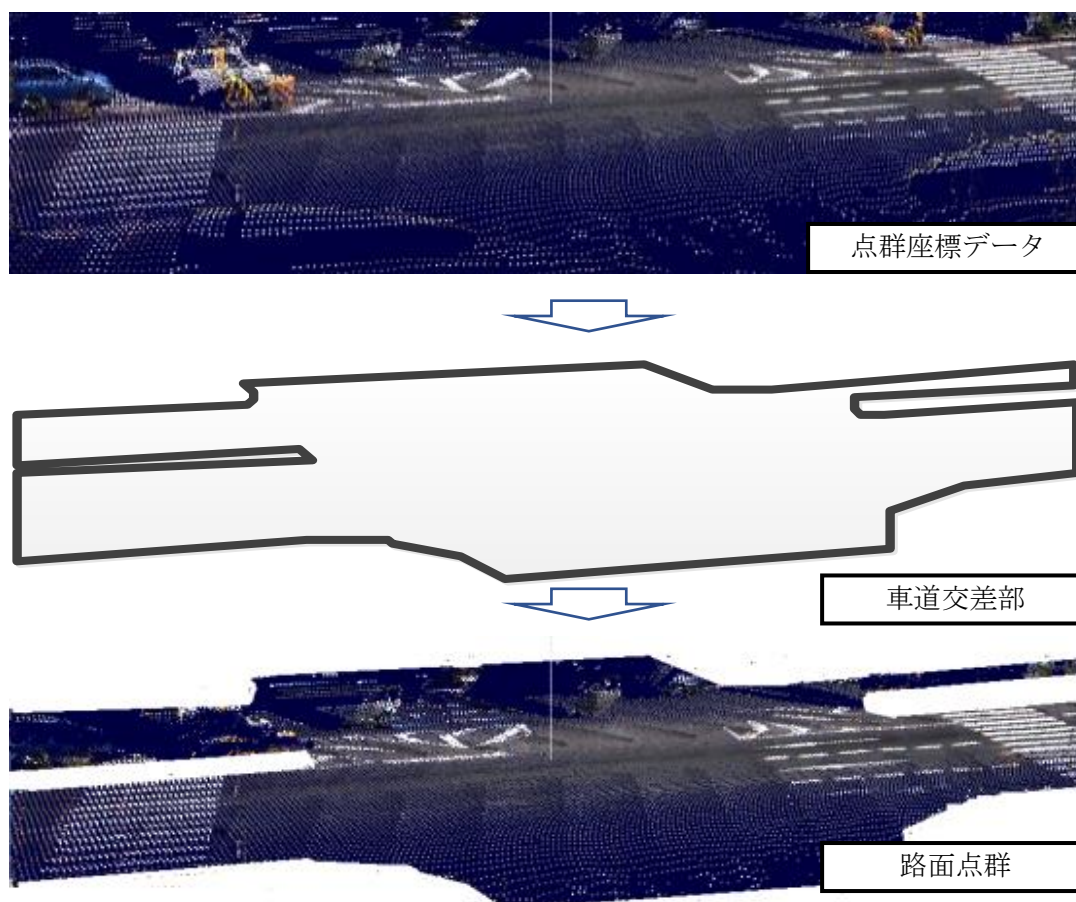


図 2.4 路面点群の抽出イメージ

#### (4) 線形生成

「線形生成」では、道路基盤地図情報から道路中心線と車線中心線を生成する。ここで、車線中心線とは、区画線で仕切られた各車線の中央の線を指す。道路中心線の生成では、「地物抽出」で抽出した道路中心線から 1.0m 間隔の構成点を生成し線形とする。線形の構成点には、「高さ付与」で高さが付与される。また、道路基盤地図情報には、区画線が保持されており、車線中心線は、この区画線から生成する。道路には右折車線や左折車線等があり、本線から分岐するネットワークを本線と合わせて生成する必要がある。そこで、本生成手法では、交差点間で処理単位を区切って車線中心線を抽出することとした。図 2.5 に線形の生成イメージを示す。処理の単位となる範囲を認識するため、「地物抽出」で抽出した停止線と区画線を手掛かりに交差点間の各車線を識別する。停止線が道路基盤地図情報に含まれない場合には、目視、あるいは道路の中央帯上に作図された道路中心線を手がかりに交差点間の各車線を識別する。道路が交差することや分岐することを想定し、対象区間の道路中心線と平行な区画線から車線中心線を生成する。図に示すとおり、まず、道路中心線から 1.0m 間隔で垂線を発生させ、区画線の交点間の中央に車線中心線の構成点を生成す

る。次に、生成した構成点を接続し線形とすることを考慮して、車線番号と行番号を組み合わせた番号を付与する。さらに、右折車線や左折車線等の車線数の変化に対応するため、付与した車線番号から車線数を判別し、垂線と区画線の交点の間隔から分岐、合流箇所の構成点を識別する。

最後に処理単位ごとに生成された本線の車線中心線を接続するため、道路中心線に沿って交差点内にリンクを延長し車線中心線同士を接続する（図 2.6）。左折車線や右折車線の中心線等本線以外の中心線も、他の路線とのノードを生成するため、交差点内にリンクを延長し、区画線との交点に構成点を生成する。

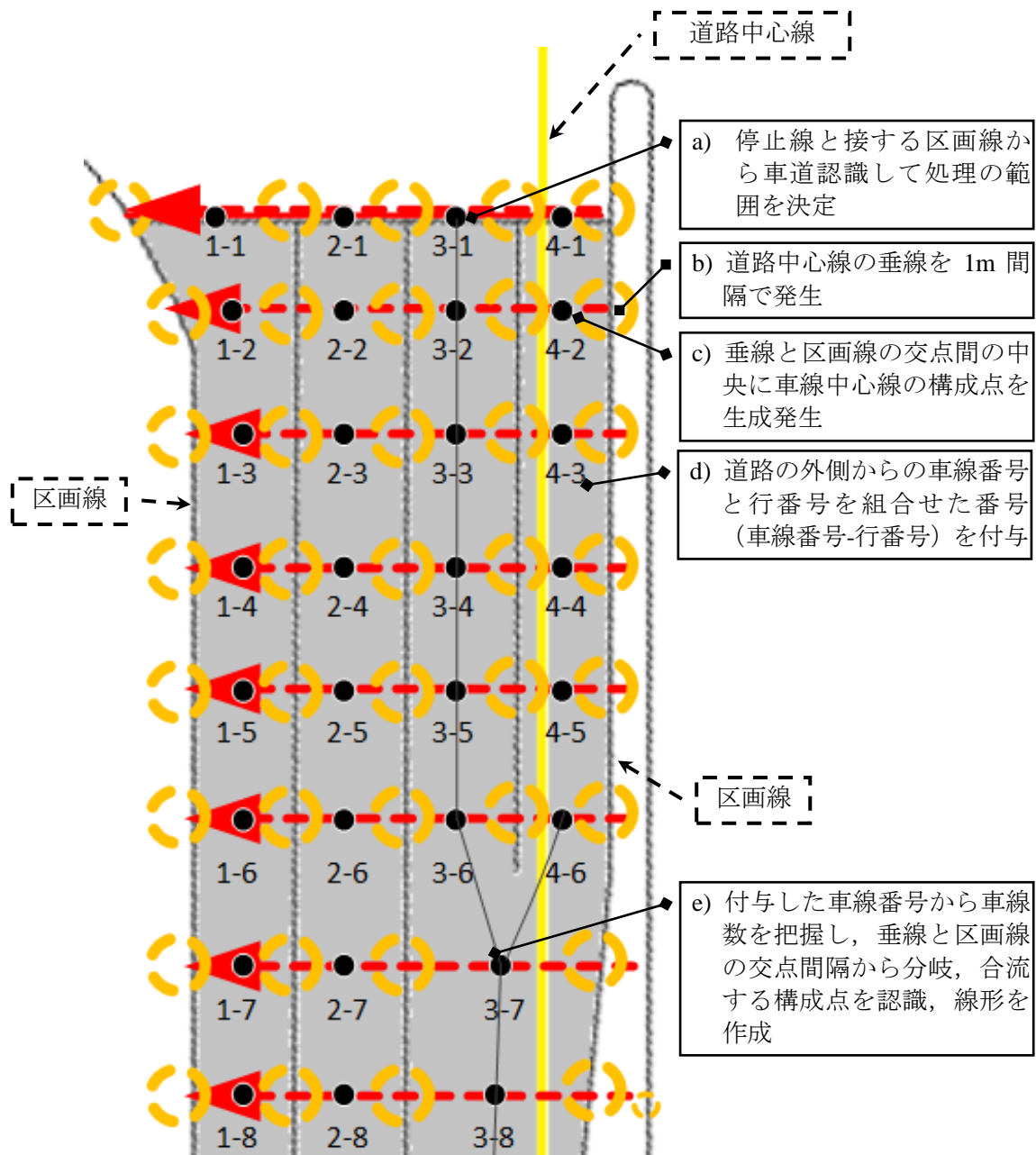


図 2.5 線形の生成（構成点生成）イメージ

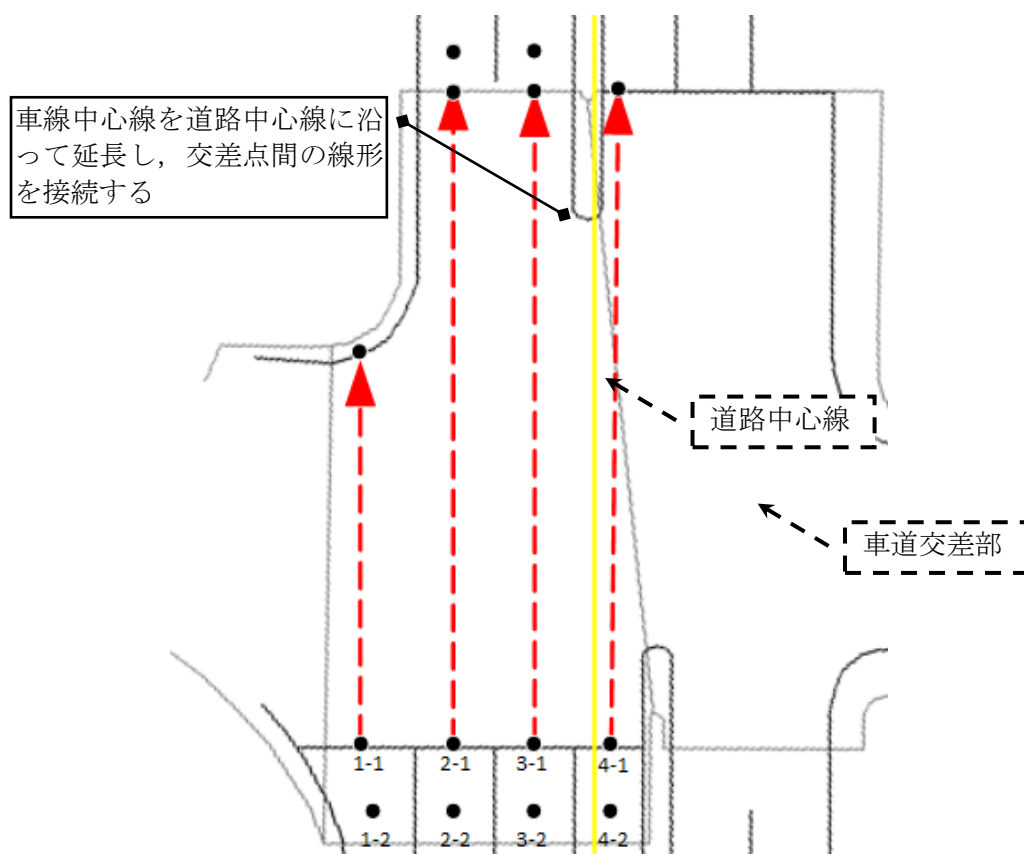


図 2.6 線形の生成 (交差点間の接合) イメージ

### (5) 高さ付与

図 2.7 に線形の構成点への高さの付与イメージを示す。「高さ付与」は、今井ら[60]の提案手法を参考とし、平面直角座標系の XY 平面（水平面）上で線形の構成点の近傍にある 2 点の高さの平均を付与する。具体的には、図に示すとおり、点群の分析範囲にある点のうち、線形までの XY 平面距離が最短の左右 2 点の高さ平均を構成点に付与する。2 点の高さの平均を付与する理由は、道路中心線には、路面高を付与する必要があり、横断勾配により左右の路面高が異なることがあるからである。交通島がある道路では、路面点群抽出時に交通島の点群座標データが削除されるため、線形までの XY 平面距離が最短となる路面上の 2 点の高さが付与されることとなる。今井ら[60]の提案手法では、路面高を自動取得するために、測点の位置を調整しており、測定位置の調整作業の効率化が課題とされている。本手法では、さらなる効率化を目指し、路面点群を抽出して路面高を付与している。また、「路面点群抽出」で抽出される路面点群には、路上駐車や右折の車両の表面形状が映り込んでいる場合（以下、「車両ノイズ点群」という。）があり、構成点に付与した高さが路面高を表していないことが考えられる。そのため「高さ付与」では、異常値の影響を受けにくいメディアンフィルタを用いて、異常な高さを除去、路面高を表す他の構成点の高さを



活用して補間する．具体的には，図 2.8 に示すとおり，メディアンフィルタを用いて，構成点の高さを参照範囲の構成点の高さの中央値で更新する．この際，点群座標データの高さの精度（15cm (rms) 以内）と比べてネットワークデータの構成点の高さの精度が低くなる可能性があるため，高さが更新された構成点に更新記録を残すこととする．また，利用する点群座標データごとに最適な値を選択できるようにメディアンフィルタの参照する構成点数は，設定可とした．

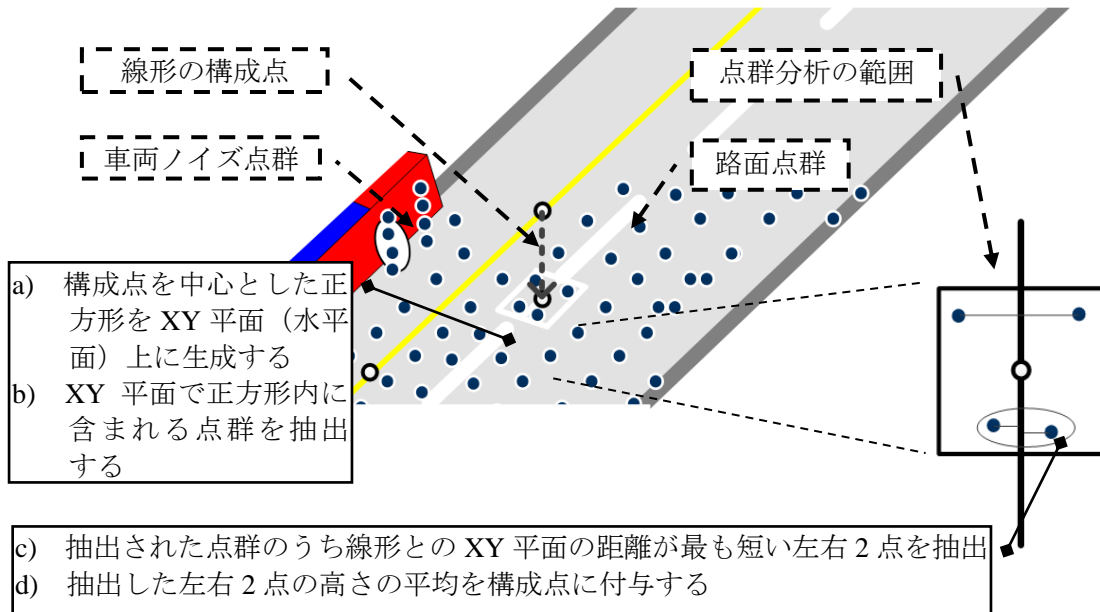


図 2.7 線形構成点への高さ付与イメージ

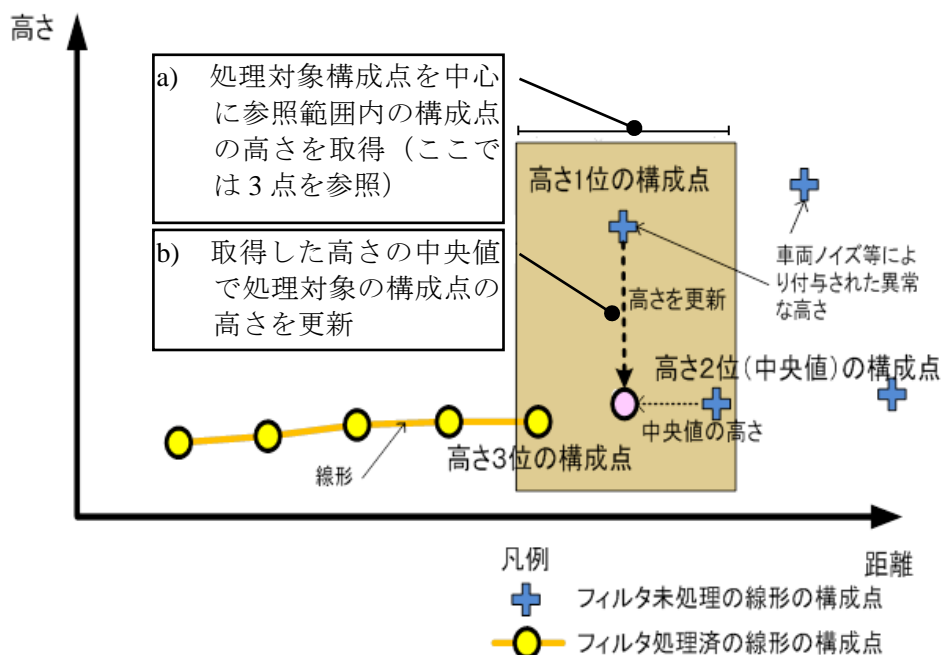


図 2.8 参照構成点 3 点のメディアンフィルタ処理のイメージ

### (6) ノード付与

図 2.9 に車線の場合のノードの付与イメージを示す。「ノード付与」では、空間演算を行い、車線中心線同士の交点にノードを発生させ、線形をネットワーク化する。複数車線の全ての中心線同士の交点でノードを発生すると、交差点に車両進行方向を逆走する経路が図示されるが、交通ルールに基づく通行規制情報をリンク属性に付与することで解決できる。道路中心線も同様にネットワーク化する。最後に、生成したリンクとノードの情報を、DRM 標準 21 に準拠しファイル出力する。

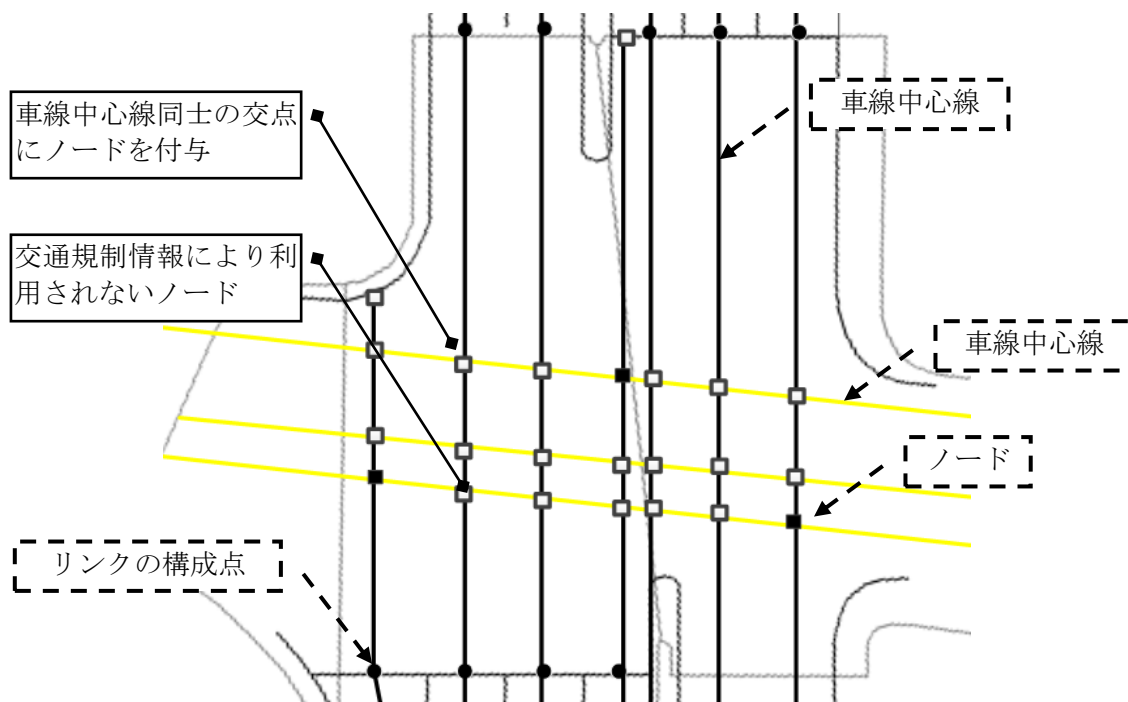


図 2.9 ノード付与のイメージ

## 2.4 プロトタイプの開発

本研究では、データを試作し本手法の有用性を検証することを目的に図 2.2 に示す「地物抽出」、「路面点群抽出」、「線形生成」、「高さ付与」のプロトタイプを開発した。本プロトタイプを用いることで、3次元道路中心線や車線中心線を生成、検証できる。道路中心線や車線中心線を網羅的に生成し、既存ソフトウェアを用いて交点を抽出することでノードを生成できるため、「ノード付与」は、プロトタイプの開発対象外とした。

## 2.5 アルゴリズムの検証

### 2.5.1 検証方法

本検証では、道路基盤地図情報と点群座標データをプロトタイプに入力し、リンクとなる車線単位の中心線や路線単位の3次元道路中心線を試作することで、アルゴリズムの有用性を検証した。また、中間の成果である路面点群が考案した手法に則して生成されているか目視確認を行った。さらに、「地物抽出」が生成する地物と「線形生成」が生成する2次元の道路中心線は、プロトタイプの構造上、直接確認できないが、路面点群や3次元道路中心線、車線中心線を分析することで、適切に生成されているか目視確認を行った。

本検証で利用した設定値と理由を表 2.3 に示す。表に示すとおり、線形生成の構成点間隔は実用性を考慮した上で、実現可能な値の中でより正確に線形を表現できる値として 1.0m を採用した。道路中心線と区画線の平行判定では、左折車線への分岐箇所等、道路中心線と区画線が平行とならない区間があるため、いくつかの値で試行し±30 度とした。高さ付与では、点群を2点以上分析できるようにするため点群分析範囲を 50cm×50cm とした。さらに、メディアンフィルタで除去したい車両ノイズの長さは、点群座標データの計測方法や計測環境によるため、メディアンフィルタの処理で参照する構成点は、実際の点群座標データに対しいくつかの値で試行し決定した。

表 2.3 検証における設定値

処理名称	設定値	理由
線形生成	構成点間隔：1.0m	実用性を考慮した上で、実現可能な値の中でより正確に線形を表現できる値を採用した
	道路中心線と区画線の平行判定：±30 度以内	左折車線への分岐箇所等、道路中心線と区画線が平行とならない区間があるため、いくつかの値で試行し決定した
高さ付与	構成点の高さを付与するための点群分析範囲：50cm×50cm	点群座標データの密度が、概ね 10cm×20cm のメッシュ内に 1 点であり、2 点以上分析できる範囲とした。
	メディアンフィルタの処理で参照する構成点数 3～11 点（奇数のみ）	メディアンフィルタで除去したい車両ノイズの長さは、点群座標データの計測方法や計測環境によるため、実際の点群座標データに対しいくつかの値で試行し決定した。

## 2.5.2 検証に利用したデータ

今回の3次元の道路ネットワークデータの試作では、道路基盤地図情報が整備され、点群座標データが取得可能な路線のうち、路面点群の生成検証を考慮して、交通島がある国道25号心斎橋駅付近（大阪市中央区）と3次元道路中心線の試作を考慮してカーブや勾配がある国道26号孝子峠付近（大阪府岬町）を選定した（表2.4）。また、車線ネットワークデータの試作では、車線のある路線のうち、左折や右折専用車線がある上下線で4車線の国道23号富島交差点付近（愛知県弥富市）と上下線で2車線の国道9号（鳥取県湯梨浜町付近）を選定した。

検証範囲を図2.10に示す。図には、道路基盤地図情報の範囲や点群座標データの取得路線もあわせて表示している。路線1は、都市部の国道で直線が多く、路線2は、山地の国道でカーブや勾配が多いことが分かる。点群座標データの取得距離は、それぞれ2kmである。また、図2.11に利用した道路基盤地図情報を示す。路線1および2では、路面点群の生成に必要な車道部や車道交差部があり、路線3および4では、車線中心線の生成に必要な道路中心線や区画線の地物が存在する。また、路線1および3には、交通島の地物が存在する。

表 2.4 検証対象の路線と利用したデータの概要

路線名	概要	道路基盤地図情報	点群座標データ
路線1 国道25号 大阪市 心斎橋付近	交通島が有り、車線数が多い道路 一方通行6車線	1ファイル 延長3.8km 区画線および高さ無し	延長2km 車両ノイズ有 本線1回、側道2回 走行し取得
路線2 国道26号 大阪府岬町 孝子峠付近	カーブや勾配が多くある山地の道路 上下線2車線	1ファイル 延長15.6km 区画線および高さ無し	延長2km 車両ノイズ有 上下線を往復し取得
路線3 国道23号 愛知県弥富市 富島交差点付近	交通島や右左折専用車線がある道路 上下線4車線	1ファイル 延長0.85km 区画線有り 高さ無し	無し
路線4 国道9号 鳥取県湯梨浜町 新天神橋付近	橋梁が含まれる道路 上下線2車線	1ファイル 延長0.2km 区画線、測点・距離標に高さ有り	無し



図 2.10 検証範囲

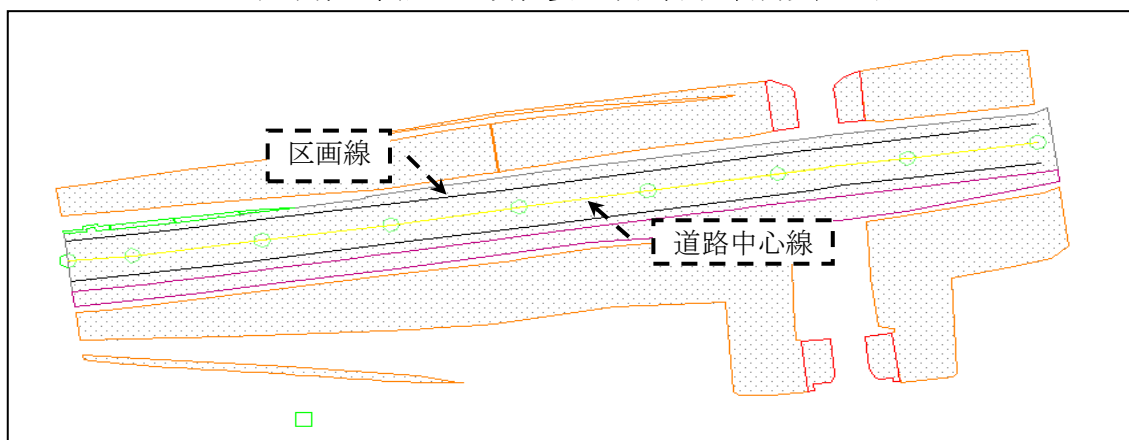
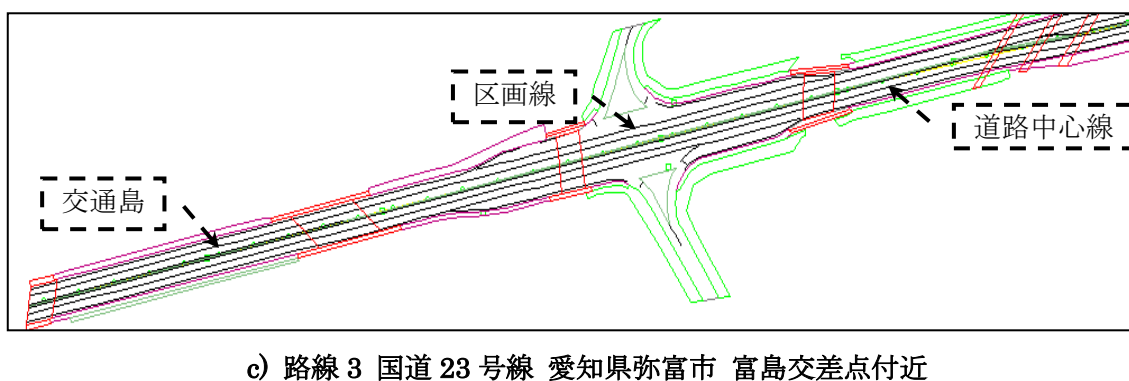
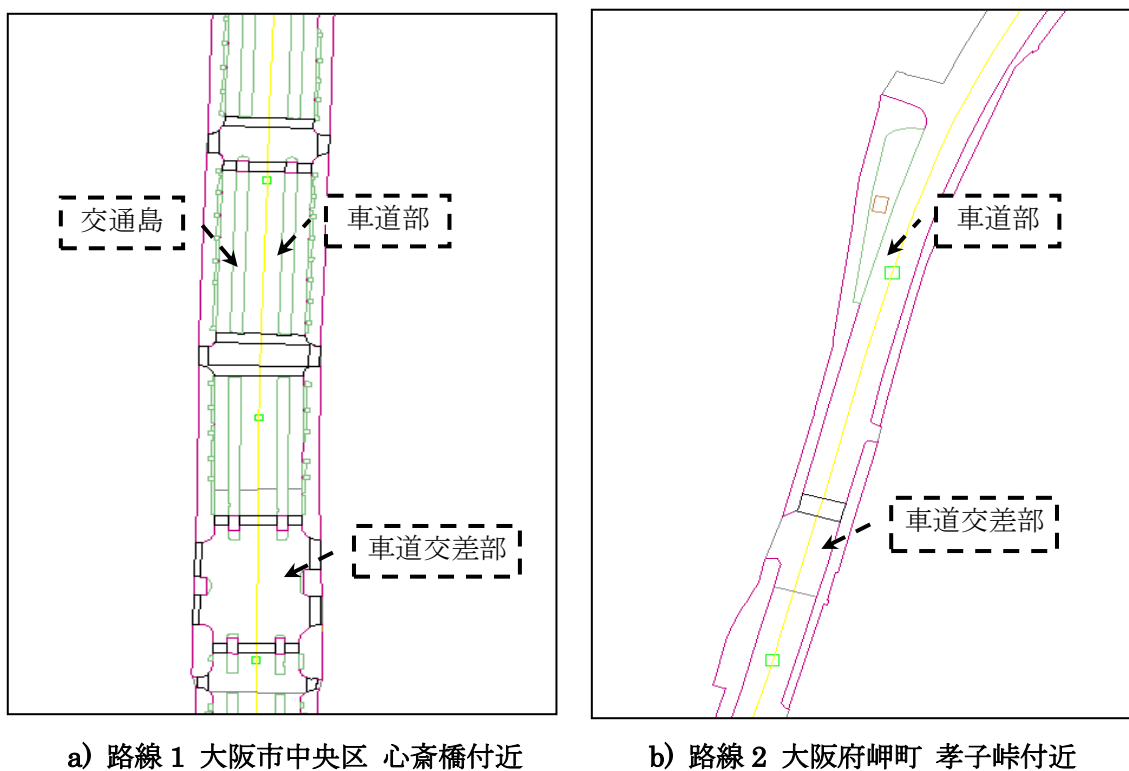


図 2.11 検証対象の路線の道路基盤地図情報 (抜粋)

### 2.5.3 路面点群の検証

試作した路面点群を図 2.12 に示す。図に示すとおり、生成された路面点群は、交通島等路面以外の点群が削除されている。また、生成された路面点群と道路基盤地図情報の車道部および車道交差部で構成される路面を重ねあわせて、形状が一致していることを確認した。これにより、「地物抽出」のアルゴリズムが自動的かつ期待したとおりに地物を抽出したと判断できる。しかし、詳細に路面点群を確認すると交通島周辺に一部路面以上の高さを持つ点群座標データが残っていた。点群座標データや現地写真にて、交通島周辺に一部残った点群座標データ（図 2.12 地点 A）を確認したところ、車道部等の地物で構成される路面の領域線の周辺に存在する縁石や植栽の点群座標データであることが明らかになった（図 2.13）。

本手法では、道路基盤地図情報の地物の位置座標を元に路面点群を抽出しているが、道路基盤地図情報と点群座標データそれぞれに許容誤差が含まれ、点群座標データ（絶対精度 10cm (rms) 以内）の交通島の縁石と地図情報レベル 1000 の道路基盤地図情報の車道部（水平位置の標準偏差 70cm 以内）の位置が完全に一致しない。そのため、路面の領域線の周辺に存在する一部の縁石等の点群を除去できなかったと考える。

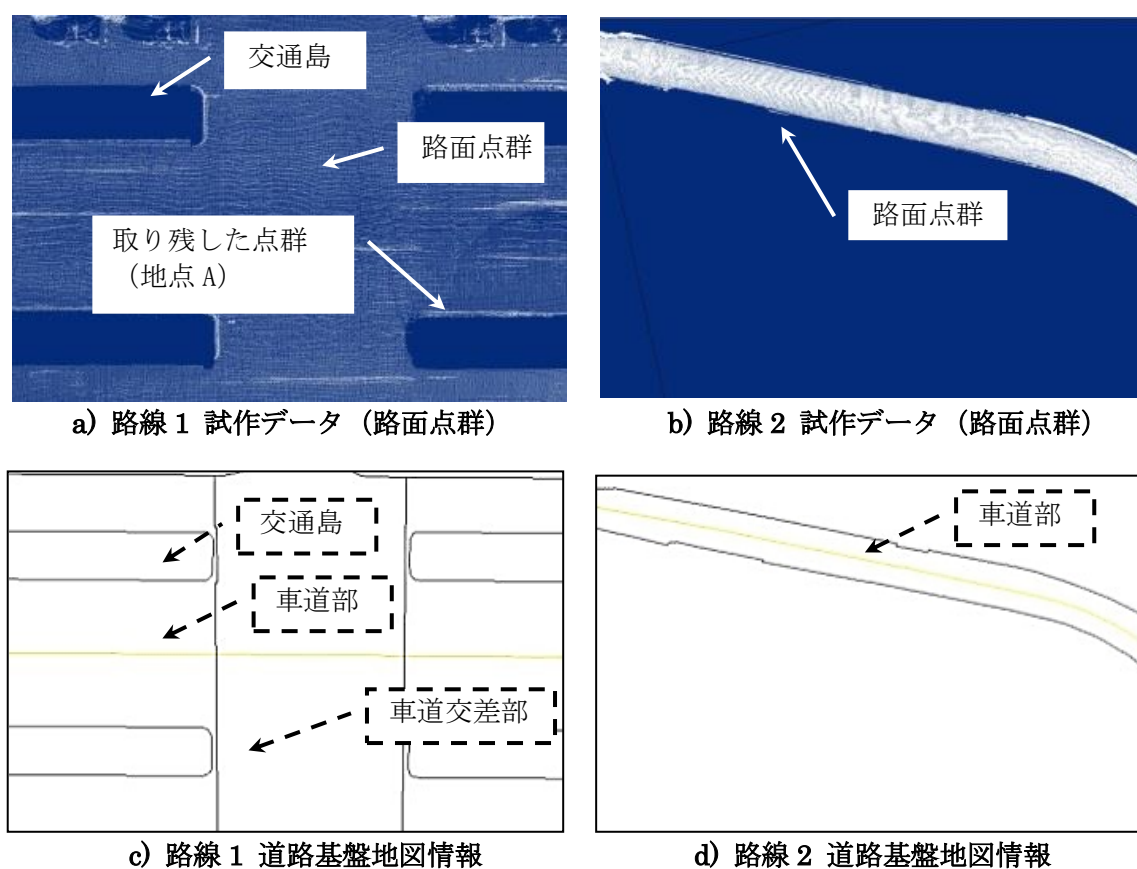
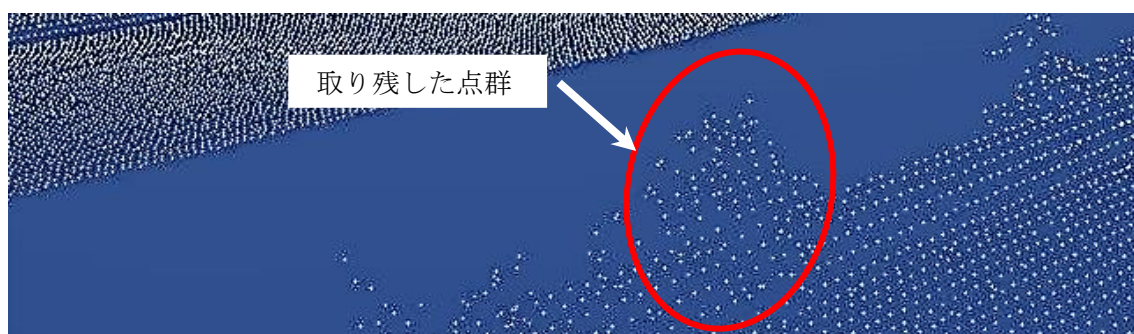


図 2.12 試作結果と道路基盤地図情報との比較



a) 路線1 地点A付近の点群座標データ



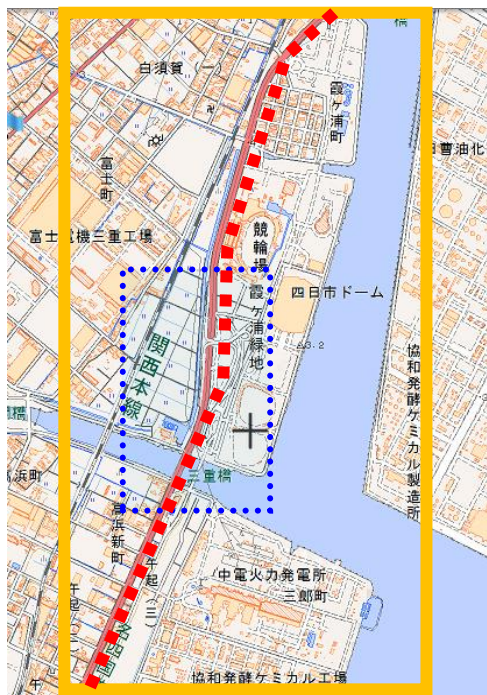
b) 路線1 地点A付近 写真と点群座標データの重畳

図 2.13 一部残された点群の分析

そこで、道路基盤地図情報と点群座標データの許容誤差に起因する線形のノイズ点群を除去するため、道路の横断方向の許容誤差分を含めて、点群座標データを多く切り取る処理を追加することとした。ここで、点群座標データと道路基盤地図情報の精度は、標準偏差で表現されており、必ずしも計測点が明示された値内の精度ではない。そこで、30cmの余裕幅を持たせ、点群座標データの許容誤差10cmおよび道路基盤地図情報地図情報レベル1000の70cmとあわせ、道路横断方向に110cmずつ多く切り取る処理を追加することとした。余裕幅としての30cmの値は、いくつかの値で試行し決定した。また、交通島内の縁石から車道にはみ出した植栽のノイズ点群は、平面直角座標系のXY平面（水平面）上では車道部内に存在するため、車両ノイズ点群と同様に「路面点群抽出」では除去できず、「高さ付与」のアルゴリズム内でメディアンフィルタを適用して除去することとした。

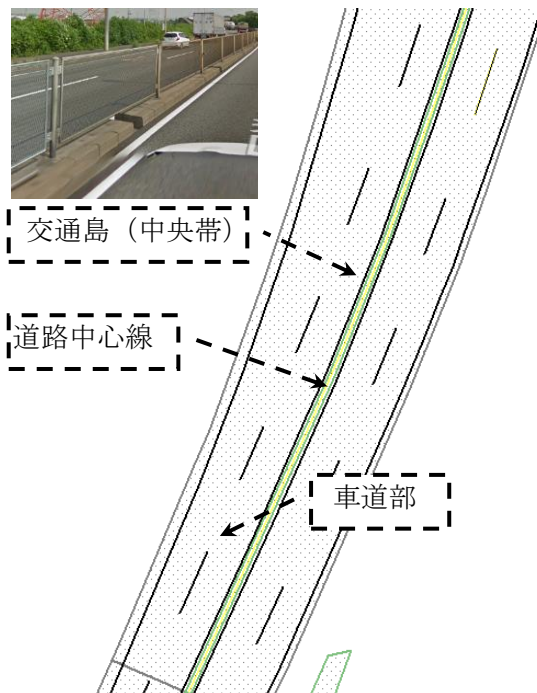
本検証で路面点群抽出のアルゴリズムの有用性を確認したが、本検証結果を踏まえると道路中心線の周辺に中央帯（フェンス）がある場合等、路面の領域線の周辺に存在する取り残された線形のノイズ点群が路面の高さとして取り扱われる可能性があり、汎用性に課題が残る。そこで、道路中心線の周辺に中央帯がある路線a（三重県四日市）（図2.14のa）およびb）を選定し、汎用性を確認した。本試作では、点群座標データの許容誤差10cmと道路基盤地図情報（地図情報レベル1000）の許容誤差70cmに30cmの余裕幅を持たせ道路の横断方向110cm分を多く切り取る処理を加えている。





凡例：点群座標データ取得路線  
検証範囲  
出典：国土交通省国土地理院 (<http://maps.gsi.go.jp>)

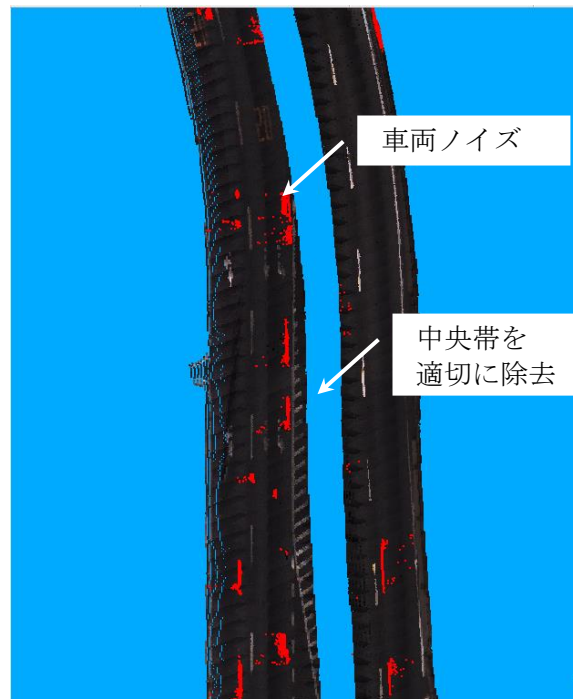
a) 路線 a 位置図



d) 路線 a 道路基盤地図情報 (拡大)



c) 路線 a 試作データ (処理改善前)



d) 路線 a 試作データ (処理改善後)

図 2.14 道路中心線付近に中央帯のある箇所の試作結果

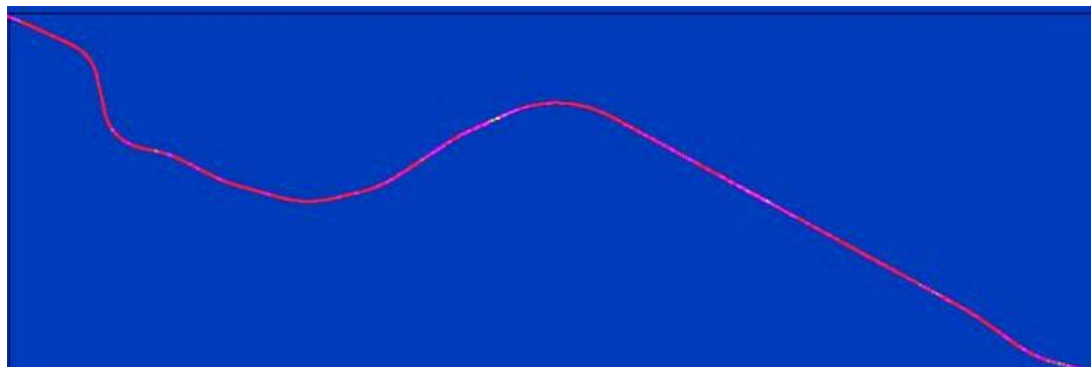
結果を図 2.14 の c)および d)に示す。図では、路面以上の高さを持つ点群を赤色で表示している。許容誤差を考慮しない処理改善前の図 2.14 の c)では、中央帯のフェンスや土台の縁石が線形にノイズ点群として取り残されている。一方、処理改善後の図 2.14 の d)では、許容誤差を含めて中央帯を道路の横断方向に広くとり、路面点群を切り取っているため、線形のノイズ点群は確認されなかった。中央帯にフェンス等の構造物がある道路について、路面点群抽出のアルゴリズムで適切に路面点群を生成でき、中央帯のある道路における汎用性を確認できたと考える。

### 2.5.4 3次元道路中心線の検証

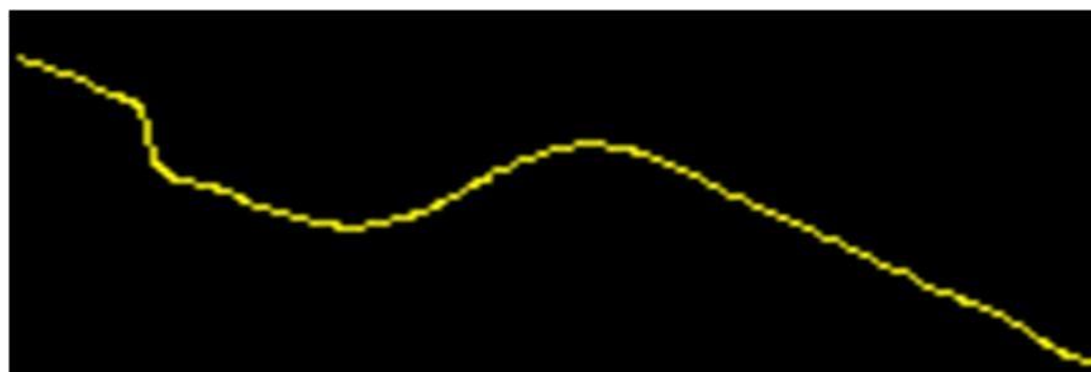
試作した 3 次元道路中心線を図 2.15 に示す。図は、「地物抽出」のアルゴリズムが自動的かつ期待したとおりに地物を抽出しているか検証するために、生成された 3 次元道路中心線を平面直角座標系の XY 平面（水平面）に投影している。道路基盤地図情報の道路中心線と重ね合わせた結果、形状が一致していることを確認した。これにより、「地物抽出」のアルゴリズムが自動的かつ期待したとおりに地物を抽出したと判断できる。試作データと点群座標データの重畳を図 2.16 に示す。試作した 3 次元道路中心線は、路面上の点群の高さが付与されているのを目視にて確認した。また、図 2.17 に示すとおり、一部の区間では、メディアンフィルタの参照する構成点数により異なる高さが付与されていた（区間 B）。区間 B の点群座標データを図 2.18 に示す。図に示すとおり、区間 B では、点群取得走行時に後方からのトラック 2 台による追い越しがあり、道路中心線上に車両ノイズ点群が存在する。区間 B の構成点の高さのグラフを図 2.19 に示す。図には、同区間に車両ノイズ点群の存在しない取得時間帯が異なる点群座標データから生成（参照する構成点数は 3 点）した 3 次元道路中心線データの高さ（以下、「ノイズ無し」という。）とメディアンフィルタ未処理のデータを加えている。図に示すとおり、連続しない高さの異常値は、メディアンフィルタの処理で除去されている。また、連続する高さの異常値は、参照する構成点数が大きいほど車両ノイズ点群の影響を受けていないことがわかる。参照する構成点数 11 点とノイズ無しの較差の最大値は 4.25cm、最小値は、-2.55cm であった。詳細に分析した区間 B は、なだらかな上り坂であり、メディアンフィルタの参照する構成点数が大きいほど、ノイズ無しの高さに近づくと考えられる。ノイズ無しと参照する構成点数 11 点との較差は、目標とする位置精度（水平位置の標準偏差 0.70m~0.25m）よりも小さく、車両ノイズ点群の除去にメディアンフィルタが有効であることの見通しが得られた。様々なノイズを含む点群座標データや道路形状で検証を行い、データを蓄積することで、点群座標データに求められる品質や取得要件を明らかにすることが今後の課題である。

さらに、図 2.19 に示すとおり、車両ノイズ点群の影響がある地点では、ノイズ無しよりも高い値が付与されている。このため、上り車線と下り車線を往復して点群座標データを

取得している場合には、点群座標データを区別して処理し、低い方の高さを付与することで、車両ノイズ点群の影響を除去できると考える。



a) 試作データ (3次元道路中心線) 路線2



b) 道路基盤地図情報 (道路中心線) 路線2

図 2.15 試作データと道路基盤地図情報との比較

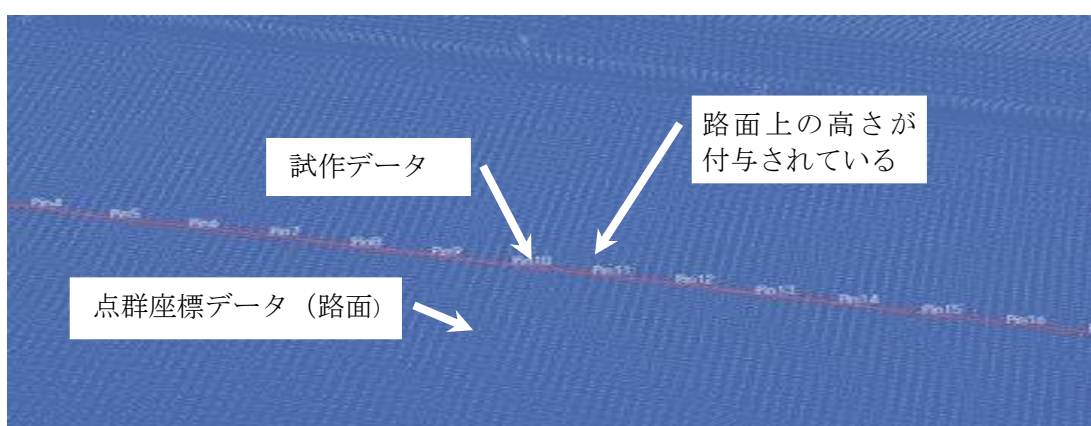


図 2.16 試作データと点群座標データとの重畳 路線2

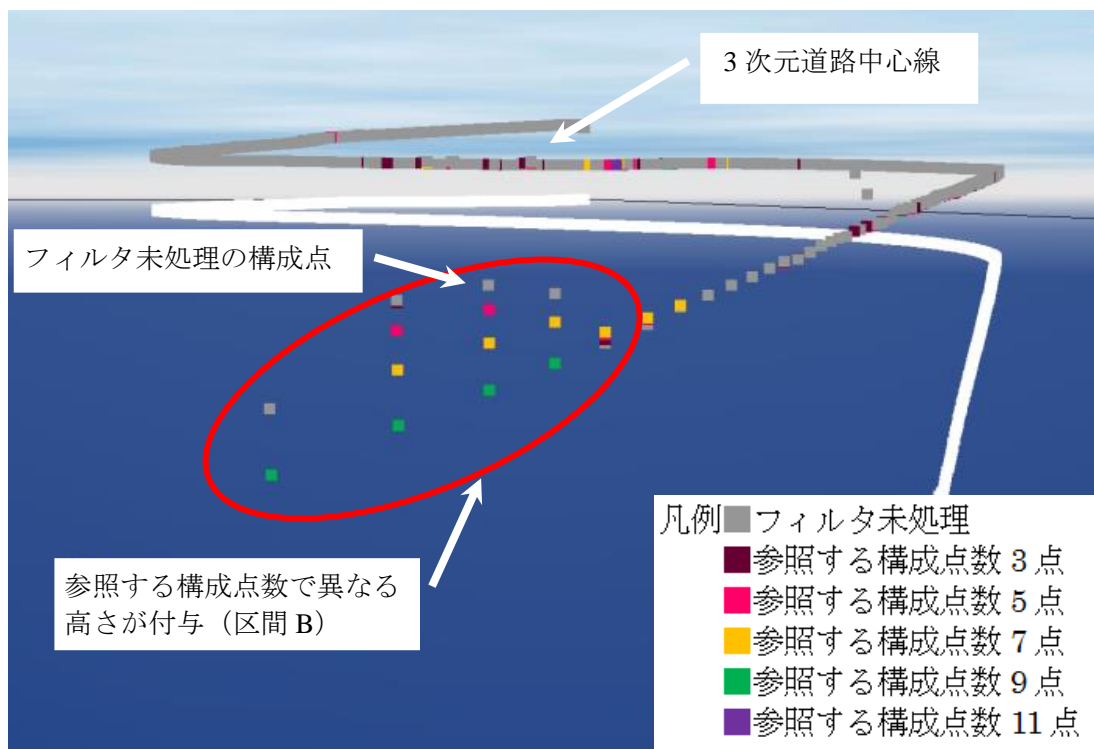


図 2.17 試作した3次元道路中心線 路線2

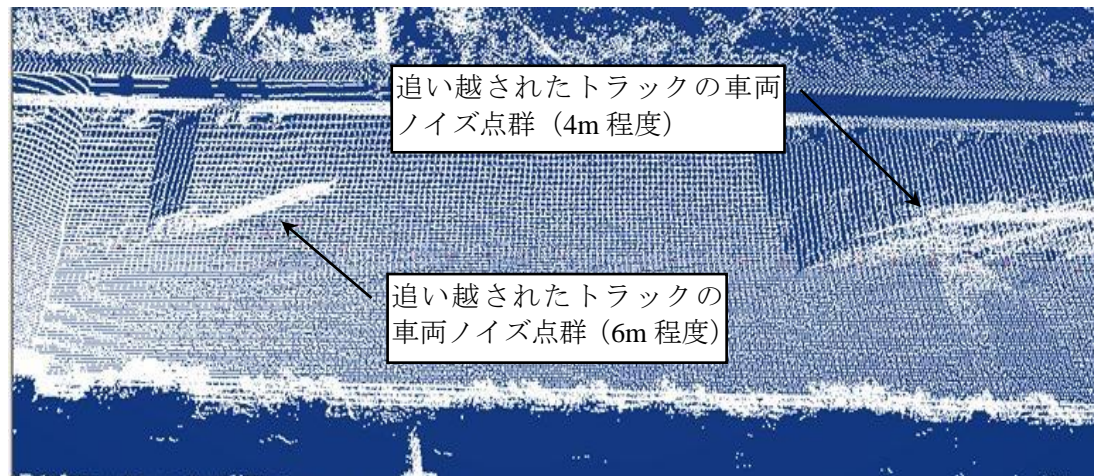


図 2.18 区間Bの点群座標データ 路線2

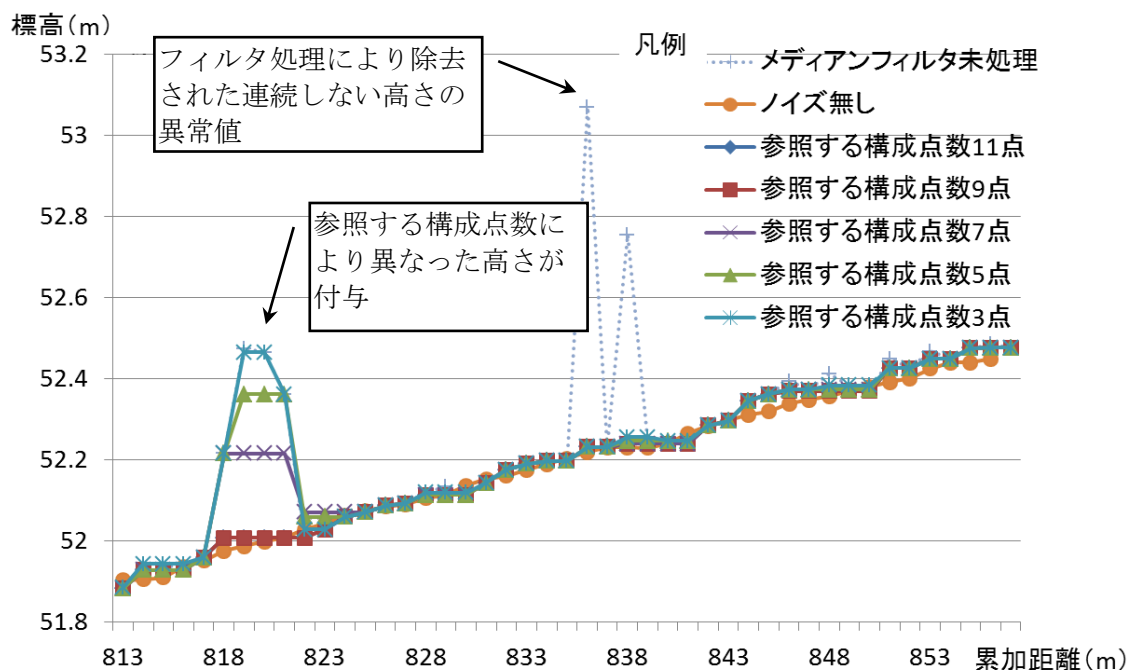
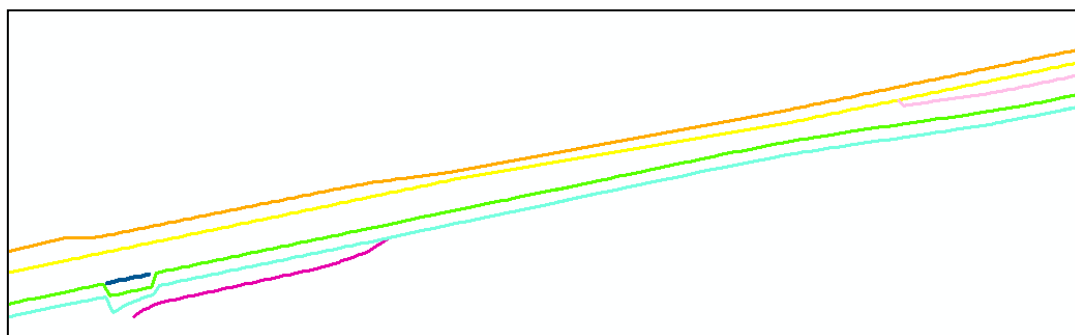


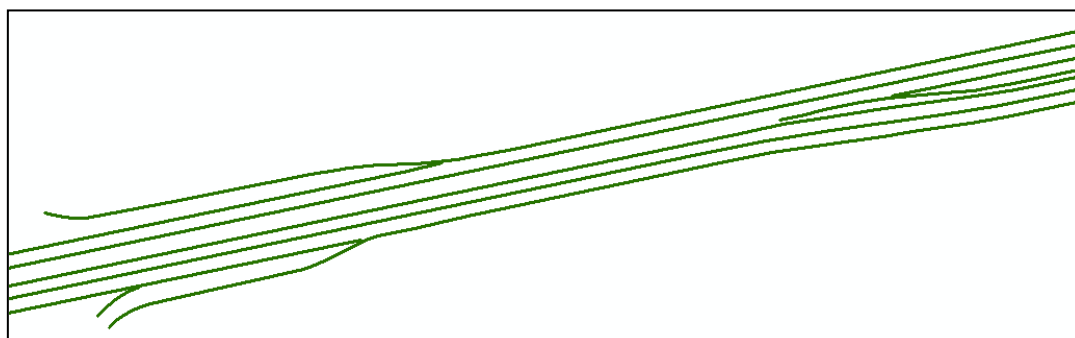
図 2.19 区間 B の構成点の高さのグラフ

### 2.5.5 車線中心線の検証

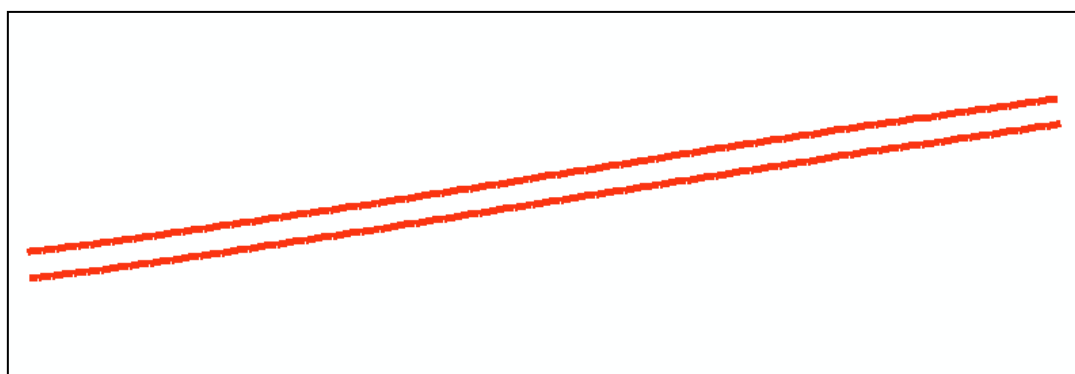
試作した車線中心線と道路基盤地図情報の区画線との比較結果を図 2.20 および図 2.21 に示す。直進する道路の一部である路線 4 の道路基盤地図情報では、車線線形が正しく生成されたことを確認した。車線数が多く合流や分岐が存在する路線 3 の道路基盤地図情報では、一部で線形が正しく生成されなかった。路線 3 の道路基盤地図情報で正しく線形が生成されない部分の詳細を表 2.5 に示す。表に示すとおり、現地には車線外側線があるが省略されている部分では、車線中心線が正しく生成されなかった。また、道路の分流点では、車線以外の領域に車線中心線が生成され、正しく線形を生成されなかった。



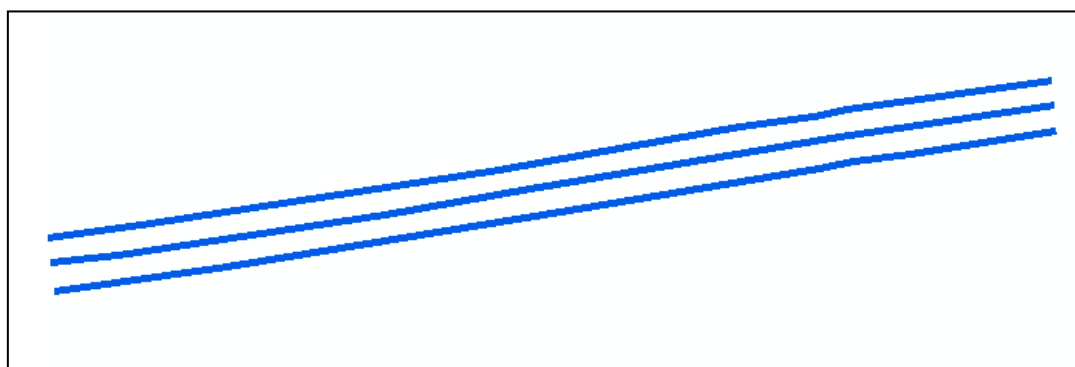
a) 試作データ (車線中心線) 路線3



b) 道路基盤地図情報 (区画線) 路線3

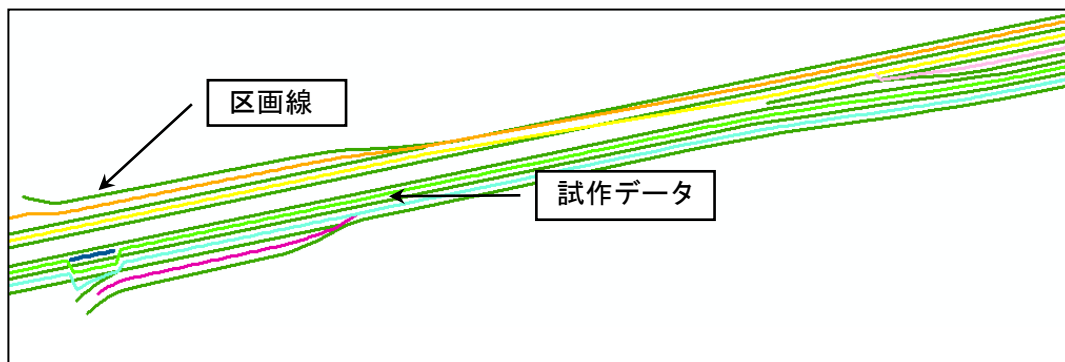


c) 試作データ (車線中心線) 路線4

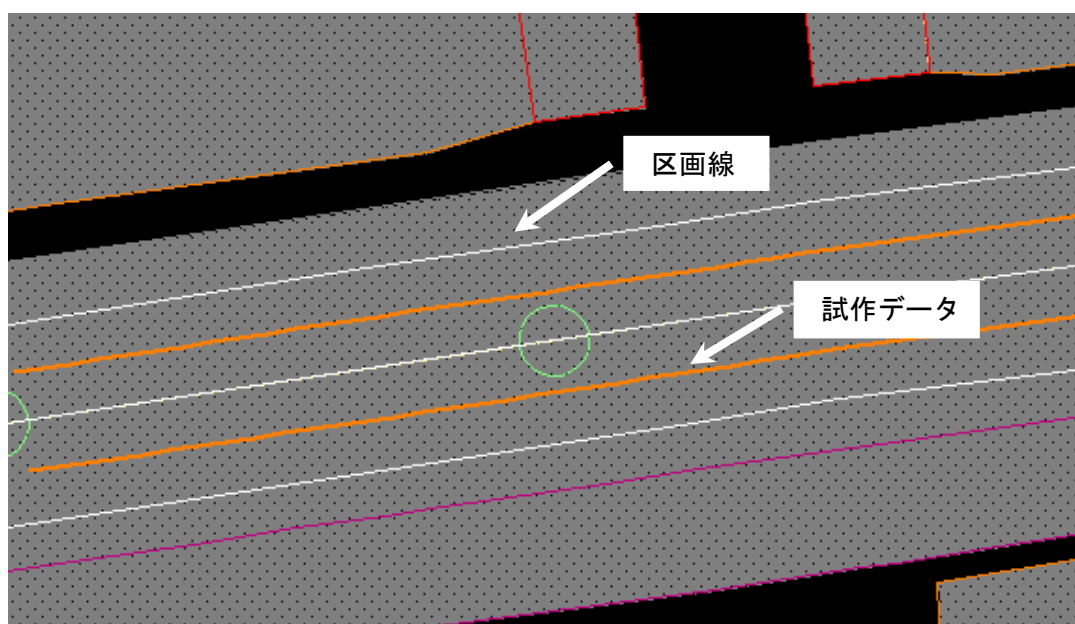


d) 道路基盤地図情報 (区画線) 路線4

図 2.20 試作データと道路基盤地図情報との比較



a) 試作データ（車線中心線）と道路基盤地図との重畳 路線3



b) 試作データ（車線中心線）と道路基盤地図との重畳 路線4

図 2.21 試作データと道路基盤地図情報との重畳

表 2.5 路線3の検証結果 (正しく線形が生成されなかった部分の詳細)

No	結果	該当部分
1	道路基盤地図情報の区画線の作図漏れがある範囲では, 車線中心線が生成できない	
2	分流地点(左折導流路)で, 誤った中心線が生成された	

表 2.5 に示すとおり路線3では, 区画線の車道外側線の作図漏れがあることが適切に車線中心線を生成できなかった原因と考えられる. そこで, 本研究では, 中央帯の地物を手掛かりに車道外側線を作図することとした. また, 表 2.5 の No.2 に示すとおり, 左折導流路との分流地点で, 誤った車線中心線が生成された. 分流地点では, 本線と左折導流路の間にバス停車帯が設置されており, 内側の区画線が車道内で分岐する. この分岐した左折導流路の区画線と本線の区画線との間に車線中心線が生成されてしまった. 誤って車線が生成されたことで, 車線番号がずれ, 周辺の車線ネットワークにも影響している. 左折導流路は, 円曲線で設計されるため, 線形生成のアルゴリズムで対象とする道路中心線と±30度以内の区画線は, 短い区間で発生しやすい. また, 交通島を用いて交通流が分離されるため, 車道部内に存在する誤った車線中心線は短い区間となることが多い.

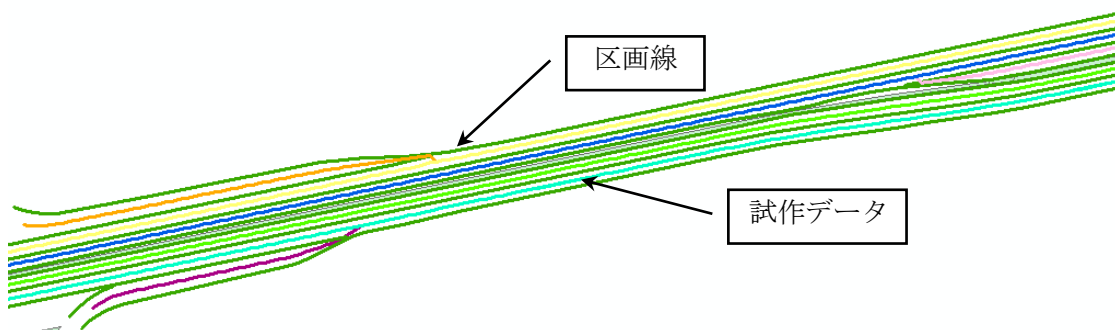
そこで, 車線ネットワークの構成点の前後の角度が±40度以内を同一線形とみなし, 車線番号のずれを補正後, 車道部内に存在する 20m 以下の短い車線中心線を, 延長距離から抽出, 目視確認の後, 削除することとした. ここで, 同一線形とみなす±40度以内と削除対象となる 20m は, いくつかの値で試行して決定した. 処理の修正方針を表 2.6 に整理する. 表の No は表 2.5 の No と対応している. この方針に則して図面を修正するなどし再生成することで, 適切に車線中心線が生成されることを確認した (図 2.22).

本検証の結果, 「地図図形抽出」は, 適切に地図図形を抽出できることを確認した. また, 「線形生成」では, バス停車帯のある左折導流路で目視確認が必要となることがあるが, 適切に線形を生成できることを確認した.



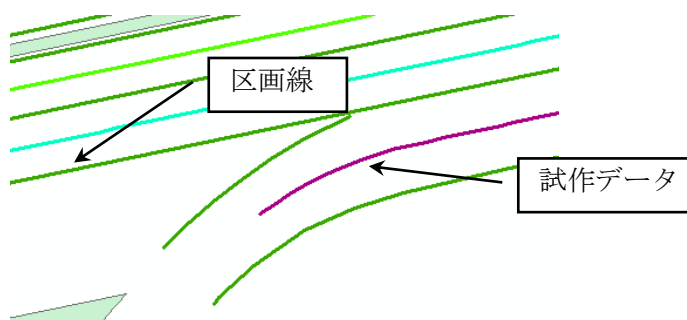
表 2.6 処理の修正方針

No	原因	処理の修正方針	例示
1	現地では、中央帯付近の区画線（車道外側線）が描かれているが、道路基盤地図情報では、作図漏れとなっている	車線の両側が区画線で明示されるように、中央帯を手掛かり、区画線（車道外側線）を作図する	
2	線形生成のアルゴリズムでは、分流点で、誤って車線中心線が生成される。	車線中心線の線形の補正後、車道部に存在する20m以下の短い車線中心線を、削除対象として抽出、目視にて削除・	



路線 4 国道 23 号線 愛知県弥富市 富島交差点付近（道路基盤地図区画線を修正）

a) 結果 1 の作図漏れにおける再生成結果



b) 結果 2 の道路の分流点における再生成結果

図 2.22 修正した道路基盤地図情報からの試作結果

## 2.6 あとがき

本研究では、大縮尺地図で道路構造の情報を持つ道路基盤地図情報と道路空間のレーザ測量成果である点群座標データとを組み合わせた車線単位の3次元道路ネットワークデータの生成手法を考案した。また、道路基盤地図情報および点群座標データを用いて3次元道路中心線を試作し、その有用性を検証した。結果として、「路面点群抽出」では、交通島周辺の路面以外の高さを持つ点群が除去できないという課題があったが、そのうち、道路基盤地図情報と点群座標データの許容誤差に起因する路面以外の高さを持つ線形のノイズ点群が交通島に残るという課題に対して、道路の横断方向に許容誤差分多く切り取る処理を追加し、有用性や汎用性を確認した。また、交通島内の縁石から車道にはみ出た植栽のノイズ点群は、車両ノイズ点群と同様に「路面点群抽出」では除去できず、「高さ付与」のアルゴリズム内でメディアンフィルタを適用して除去することとした。「線形生成」では、適切に地図図形を抽出することができ、道路中心線や車線中心線を生成できることを確認した。ただし、バス停車帯のある左折導流路付近で誤った短い車線中心線が生成されることがあり、抽出された短い車線中心線を目視で確認し削除必要がある。「高さ付与」では、交通島等がなく、構成点の平面直角座標系のXY平面（水平面）上の近傍に点群が存在すれば、3次元道路中心線を期待通りに生成できたことから、その有用性を確認できた。さらに、道路中心線を跨がる車両ノイズ点群の影響に対する解決策として、メディアンフィルタの一定の有用性を確認できた。以上のことから、考案した生成手法の有用性を確認した。

## 第3章 歩行者ネットワークデータの生成手法の 提案

### 3.1 まえがき

少子高齢化社会に対応するために、高齢者や障がい者をはじめ、誰もが積極的に活動できる都市交通の環境が求められている。2006年には通称バリアフリー法[61]が施行された。この法律では、全ての人々が安全・安心して行動できる社会を実現するため、駅、官公庁施設や病院等を結ぶ交通網である歩行空間のユニバーサルデザインの推進が示されている。しかし、すべての歩行空間の構造を改修してバリアフリー化するには、時間や費用がかかる。このため、ハード面の対策に加えて、ICTを積極的に活用したソフト面の支援策が求められている。

現在、様々な機関で歩行者へのバリアフリー経路案内や施設案内等の都市交通の円滑化に向けた取り組みが推進されている[62]。東京都、神戸市や京都市等の地方公共団体では、自律移動支援プロジェクト[63]として、交通行動に係わる情報に「いつでも、どこでも、だれでも」アクセスできるユビキタス環境の構築が取り組まれている。具体的には、対象地区の歩行空間ネットワークデータ（バリア情報、経路情報や施設情報等含む）を整備して歩行者に自律歩行支援のサービスを提供する社会実験が実施されている。その結果、その場所ならではの情報提供が観光や買い物等の回遊行動を誘発すること、視覚障がい者の経路案内時における情報項目・提供方法や地域住民と協力したサービス維持継続の方法等を明らかにし、有益な知見が得られている[64]-[66]。また、国土交通省からは、こうしたサービスの基盤となる歩行空間ネットワークデータ整備仕様案[34]が公表されている。

当該分野の民間サービスに着目すると、PND（Portable Navigation Device）やスマートフォン等の可搬式端末の爆発的な普及により、経路案内サービスが多様化してきている。例えば、階段や雨よけの有無を考慮した歩行者や自転車向けの経路案内サービス[25]-[27]が実現されている。しかし、高齢者や障がい者の交通行動の特性に配慮したきめ細かな経路案内サービスの提供には至っていない。このサービスを実現するには、例えば、歩道、歩道橋や横断歩道の識別に加え、スロープの有無や歩道の段差まで現地測量にて計測し、利用者に保証しなければならない。

誰もが活動できる都市交通環境を創造するうえで、歩行空間ネットワークデータは重要な社会基盤であるといえる。その反面、歩行空間ネットワークデータの整備・更新には多大な労力・コストがかかることが逼迫した課題となっている。そのため、駅の構内や実証実験等の限られた範囲を対象にしたデータ整備になっている。

一方、計測技術の進展により、3D レーザスキャナ等を用いると、1秒間に1万点程度の高精度な点群座標データとして広域に歩行空間を取得できる[67]。点群座標データは、計測対象物の表面形状を点群で正確に表現でき、道路や河川の構造物の3次元モデルの作成や地図調製等の分野で蓄積され始めている[40][68]-[71]。蓄積された点群座標データには、道路に付随する歩行空間も含まれるので、こうした既存資産を活かして歩行空間ネットワークデータを作成できれば、データ整備の早期実現に寄与できる。

昨今、点群座標データを用いた研究も活発化している。具体的には、道路の中心線の推定手法[69]、河川堤防[70][71]や歩道[72]の3次元形状モデルの作成手法、建物壁に着目した地図の補正手法[73]、電柱の位置の取得手法[74]が提案されている。これらの既存研究は、点群座標データから2次元の図面や3次元の形状モデルを作成する手法である。また、既存研究には、モバイルマッピングシステムで取得した点群座標データを用いた歩道の境界や幅員、勾配の取得方法[41]が提案されている。しかし、歩行空間には、歩道以外にも横断歩道や歩車共存道路等の道路構造物の地物があり、歩行空間の道路構造物の地物を識別し、リンクの種類としてリンク属性に付与する方法を含め、歩行者ネットワークデータの具体的な生成手法は提案されていない。

本研究の目的は、既存の現地測量作業を省力化するため、道路空間のレーザ測量成果である点群座標データや道路基盤地図情報等のデジタル地図を用いた歩行者ネットワークデータの生成手法の提案とした。本研究では、まず、道路を対象に計測された点群座標データやデジタル地図を用いて生成可能な歩行者ネットワークデータのリンクおよびノードの属性を分析し、歩行者ネットワークデータを生成する手法を考案する。そして、考案した手法に則して歩行空間ネットワークデータを試作し有用性を検証する。

本章の構成として、2節にて提案手法の全体概要、3節にて点群座標データから手動でデータを生成する手法と有用性を論ずる。また、4節にて考案した点群座標データにデジタル地図を組み合わせてデータを生成する手法を論ずる。5節にて4節で考案した生成手法に基づいてデータを試作し有用性を検証する。6節にて点群座標データからすべてのデータを自動生成する手法について考察する。7節にて結論を論ずる。

## 3.2 生成手法の全体概要

### 3.2.1 対象空間

歩行空間は、歩道や横断歩道をはじめ、駅構内および商業施設の自由通路やエレベーター一等屋内外に存在するが、本研究では、道路を対象に計測・蓄積された点群座標データの活用を図るため、屋外の歩行空間を対象にする。

### 3.2.2 本手法に利用するデータの概要

#### (1) 点群座標データ

点群座標データは、3D レーザスキャナ計測成果で、経緯度や高さの値を保持している。また、計測機器によっては、計測と同時に取得したカメラ画像から、色情報の RGB 値も各点に付加できる。昨今の公共測量では、3D レーザスキャナと高精度 GPS とを車に搭載したモバイルマッピングシステムが利用される事例が増えてきている[40]。同システムで計測した点群座標データは、相対精度 0.01m (rms : Root Mean Square) 以内を確保している[67]。ここで、相対精度 0.01m (rms) とは、例えば、計測した点群座標データから電柱の太さ、歩道の車止め間の有効幅員、路面から見た縁石の高さ等を算出した際の実物との差が 1cm (rms) の精度であること示す。

#### (2) デジタル地図

点群座標データは、座標や RGB 値を持つ点の集合体で構造物名等の部位の意味を持たない。このため、本研究では、地物を持つデジタル地図を用いて歩行空間の抽出を補完することを考えた。本研究で用いるデジタル地図は、道路構造の情報を持つ拡張デジタルマッピング実装規約(案)[43](以下「拡張 DM」という.)、基盤地図情報[44][45]および道路基盤地図情報[39]と道路のネットワークを持つデジタル道路地図データベース[7]とした。

### 3.2.3 歩行者ネットワークデータの仕様

本研究で生成する歩行者ネットワークデータは、広く公表されている国土交通省の整備仕様(案)(以下「整備仕様」という.)[34]に準拠することとした。歩行空間ネットワークデータは、歩行経路を示すリンクおよびリンクの結節点であるノード(以下、「ノード(結節点)」という.)で構成される。リンクおよびノードには位置情報等の属性を付加し、リンクには段差の位置等の詳細な経路情報を付加する。リンクは、歩道等 13 種類に分類される。ノードは、リンクの結節点に加え、経路情報の変化点や公共施設等の出入り口に配置する。また、この出入り口のノードには、公共施設、病院、公共用トイレや指定避難所の施設属性を付加する。

### 3.2.4 生成手法で設定したレベルと研究の内容

本手法は、実用化を図ることを想定して、3つのレベルを設けた(表 3.1)。それぞれのレベルの適用条件やメリットを踏まえ、対象範囲やリンクの種別ごとにレベルを選択し整備をす

めることを想定している。本研究のレベル1では、ノードとリンクを手動で生成する手法を考案した上で、点群座標データから生成できるノードやリンクの属性を分析し有用性を確認する。レベル2は、デジタル地図を活用して道路構造物の地物の識別手法を考案し、さらに、道路空間に多く存在する歩道、歩車共存道路や横断歩道について、デジタル地図からノード候補を生成する手法を考案する。また、考案した手法に則してデジタル地図からノード候補を試作して有用性を検証する。レベル3は、市販ソフトウェアを用いて手動でデータを試作し、点群座標データから自動生成できるか考察する。

表 3.1 本生成手法のレベル

レベル	内容
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>点群座標データから目視で歩行空間の地物を識別、手動でリンクとノードの位置を指定</li> <li>点群座標データを手動で計測、幅員や勾配等形状に関わる属性を生成</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>デジタル地図の地物を用いて道路構造物の地物を自動で識別</li> <li>デジタル地図の地物を目視で確認し、リンクとノードの位置を指定</li> <li>歩道、歩車共存道路、横断歩道は、デジタル地図を用いて位置候補を自動取得</li> <li>点群座標データを手動で計測、幅員や勾配等形状に関わる属性を生成</li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>デジタル地図と点群座標データから幅員や勾配等形状に関わる属性を含め、全自動で生成</li> </ul>

### 3.2.5 生成手順

歩行空間ネットワークデータの生成手順を図 3.1 に示す。「1.リンク・ノード（結節点）の認識」は、点群座標データ等から歩行空間を認識し、リンクおよびノードを取得する（属性を含む）。このうち「(1)歩行空間を抽出」はレベルにより処理が異なる。「2.点群座標データによる経路情報の生成」は、点群座標データの形状を解析し、経路情報を生成する。「3.ノード（経路情報の変化点）の追加」は、縦断勾配の変化点でノードを生成する。

施設情報は、地図と点群座標データとを重ね合わせて、出入口ノードを生成後、施設に関連する供用制限曜日やトイレの有無等の情報を別資料を用いて整理する必要がある。そのため、図 3.1 に示した手法とは別の手法を考案する必要があり、施設情報（出入口ノードや出入口情報を含む）の作成は、図 3.1 の手法の対象外とした。

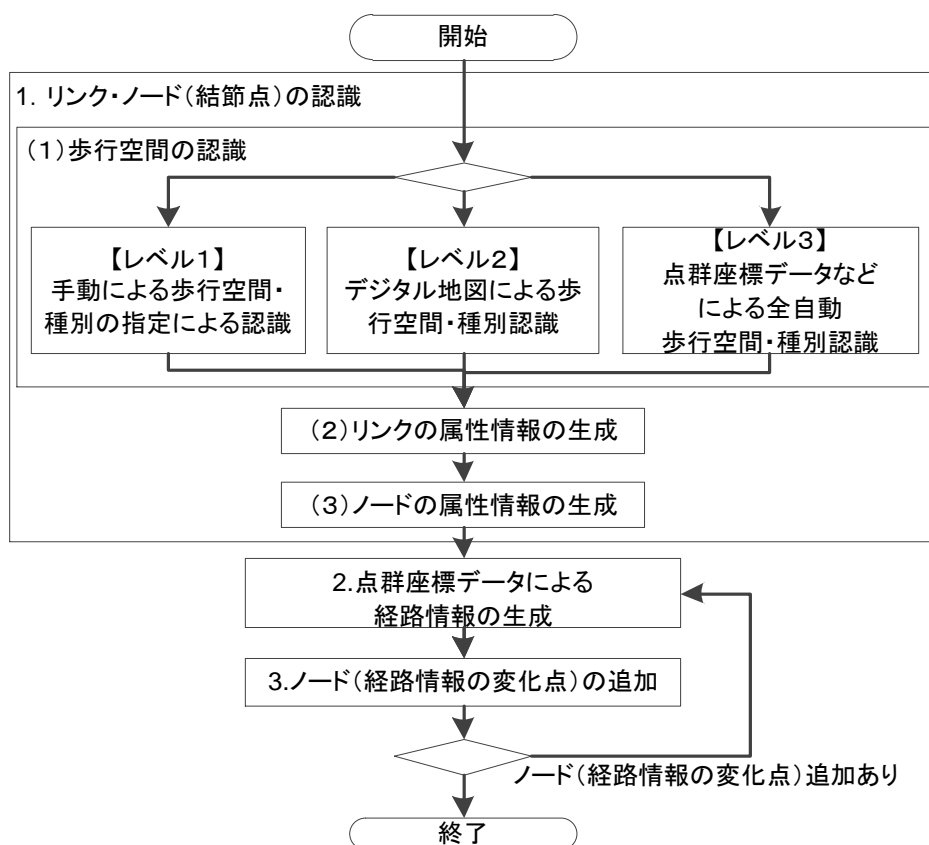


図 3.1 歩行空間ネットワークデータの生成手順

### 3.3 レベル1の生成手法の開発

#### 3.3.1 概要

レベル1のデータ生成手法を表3.2に示す。表には、「レベル1 手動による歩行空間・種別の指定による識別」に加えて、全レベル共通の「2.点群座標データによる経路情報の生成」、「3.ノード(経路情報の変化点)追加」も含めている。各手順の詳細は次項以降に示す。

表 3.2 レベル1のデータ生成手法

処理名称	処理内容
1.リンク・ノード (結節点)の認識	・点群座標データの読み込み
(1)歩行空間の認識 【レベル1】	<ul style="list-style-type: none"> <li>・点群座標データからノード(結節点)の位置情報(経緯度)を指定</li> <li>・ノード(結節点)を直線で結んでリンク中心線を生成</li> <li>・曲線や折れ線等複雑な経路には、補間点のノードを指定</li> <li>・リンク中心線に沿ったリンク領域をリンク幅として指定</li> </ul>
(2)リンクの属性の生成	<ul style="list-style-type: none"> <li>・リンクや起終点ノードのIDを生成</li> <li>・経路の種類を手動登録</li> </ul>
(3)ノードの属性の生成	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ノードや接続リンクのIDを生成</li> <li>・点群座標データを目視確認し読み取ったノードの位置情報(経緯度)、高さ(階層)、経緯度桁数コードを手動登録</li> </ul>
2.点群座標データによる経路情報の生成	・点群座標データの形状を既存のソフトウェア等で解析し、経路情報を手動登録
3.ノード(経路情報の変化点)の追加	・点群座標データの形状を既存のソフトウェア等で解析し、縦断勾配の変化点にノードを手動登録

### 3.3.2 リンク・ノードの認識

図 3.2 は、リンク・ノード(結節点)の認識方法を実際の点群座標データを用いて表現している。図中の 1)~4)は、処理の順序を示す。図に示すとおり、点群座標データは、色情報を持つため平面直角座標系の XY 平面(水平面)に投影した画面を手がかりにノード(結節点)やリンク領域を指定できる。具体的には、マウス等でノード(結節点)を配置する座標を指定し、近傍の点をノード(結節点)とする。リンク領域は、リンク中心線からの幅員を指定し設定する。歩行者や植栽等に起因するオクルージョンが発生し、経路の交差点や分岐点で点群座標データが大きく欠落している場合には、周辺の点群座標データを手掛かりに補間するか、点群座標データを再取得する。整備仕様では、提供サービスを勘案した位置精度を確保することを基本と定められていることから、本研究の歩行空間ネットワークデータの要求精度は、既存の実証実験[62]と同様に経路案内等で利用する地図に示す歩行空間内にネットワークが収まる程度とした。そのため、ノード(結節点)を指定する際に発生する誤差は、極微小である。最後に ID 等のリンクおよびノードの属性を生成する。



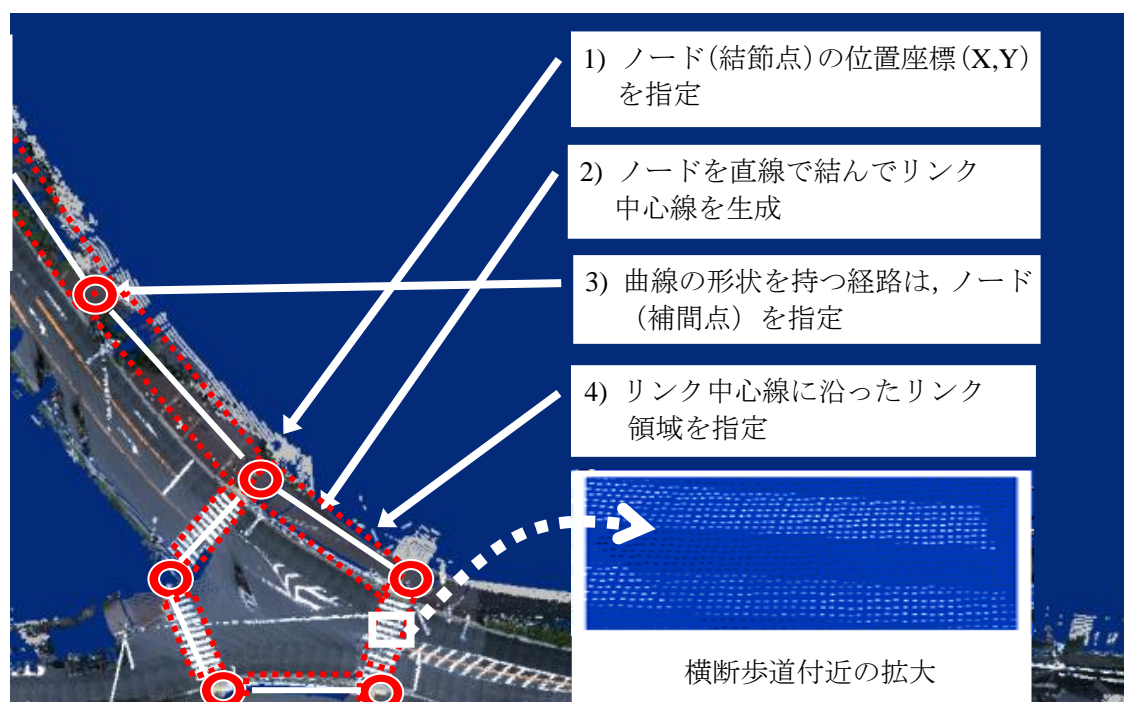


図 3.2 ノードとリンクの指定方法

### 3.3.3 点群座標データによる経路情報の生成

経路情報は、歩道の段差や縦断勾配等、経路情報に定められている各項目に対応した点群を計測して生成する。各項目の点群は、既存のソフトウェア[75][76]の点間距離計測や断面形状表示等の機能を用いて計測する。

### 3.3.4 ノード（経路情報の変化点）の追加

ノード（経路情報の変化点）は、経路情報が変化した箇所で設定するとされているが、整備仕様では、設定方法の詳細が明らかになっていない。そこで、現段階では、縦断勾配の変化点のみを取扱う。点群座標データにより、リンクの縦断勾配の変化点を抽出し、ノード（経路情報の変化点）を追加する。リンクの縦断勾配の変化点の分析は、点群座標データを扱える既存のソフトウェアを用いて、点群座標データの当該リンクの領域の縦断勾配を計測することで求める。

### 3.3.5 有用性の検証

#### (1) 検証方法

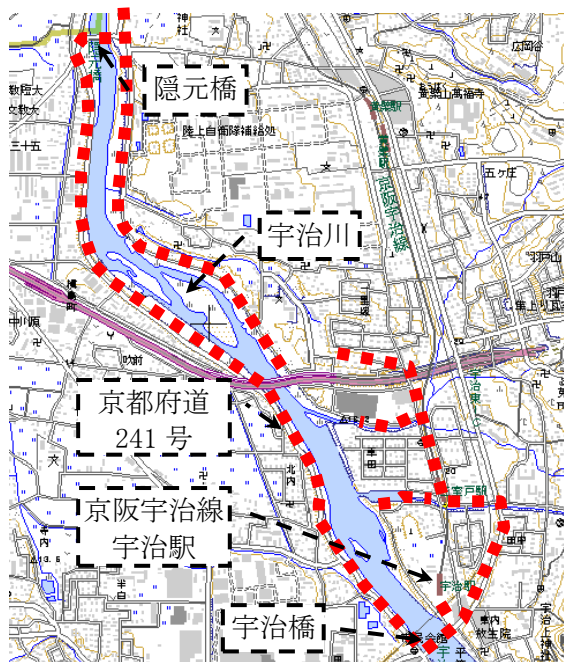
本研究は、レベル1のデータ生成手法に則して歩行空間ネットワークデータを試作し、有用性を検証した。具体的には、点群座標データとリンクの種類および経路情報の項目ごとの対応とを点群座標データを扱えるソフトウェア（今回は、三菱電機社製のG-Viz[75]を利用）で確認した。

#### (2) 検証に用いたデータ

今回の分析には、京都府道241号等隠元橋～宇治橋ルート約8km（図3.3）、芥川大橋～鷺打橋ルート約3km（図3.4）、淀川大橋～伝法大橋ルート約7km（図3.5）、のモバイルマッピングシステムで計測した点群座標データを用いた。この点群座標データには、住宅街における歩車共存道路（1車線）、商店街や駅周辺の道路（1車線）、住宅街と幹線道路を結ぶ道路（2車線）、駅前的大通りや幹線道路（4車線）等が含まれており、園路や歩行者専用道路を除く都市部の屋外歩行空間の縮図としてとらえることができる。また、この点群座標データのリンクの概要を表3.3に示す。計測範囲に含まれるリンクのうち、計測時に歩行者や植栽等に起因するオクルージョンの発生が比較的少なく歩行空間の点群座標データが取得されているリンクを対象に分析した。分析に利用した点群座標データは、概ね10cm×20cmのメッシュ内に1点以上取得されている。10cm×20cm程度のメッシュ内に1点とは、モバイルマッピングシステムで、ノイズの影響を受けず時速60km以下で走行した際に取得できる点の密度である。

表 3.3 分析に用いた点群座標データのリンクの概要

分類	内容
計測範囲に含まれるリンク	歩道（マウンドアップ約3.8km，フラット約4km）， 歩車共存道路（約10km），横断歩道（34箇所）， 横断歩道の路面標示の無い交差点の道路（3箇所）， 踏切（5箇所），階段（3箇所），スロープ（1箇所）
計測時にオクルージョンの影響が少なく歩行空間の点群が取得されているリンク	歩道（マウンドアップ約1.3km，フラット約4km）， 歩車共存道路（約10km），横断歩道（10箇所）， 横断歩道の路面標示の無い交差点の道路（3箇所）， 踏切（5箇所），階段（1箇所），スロープ（1箇所）



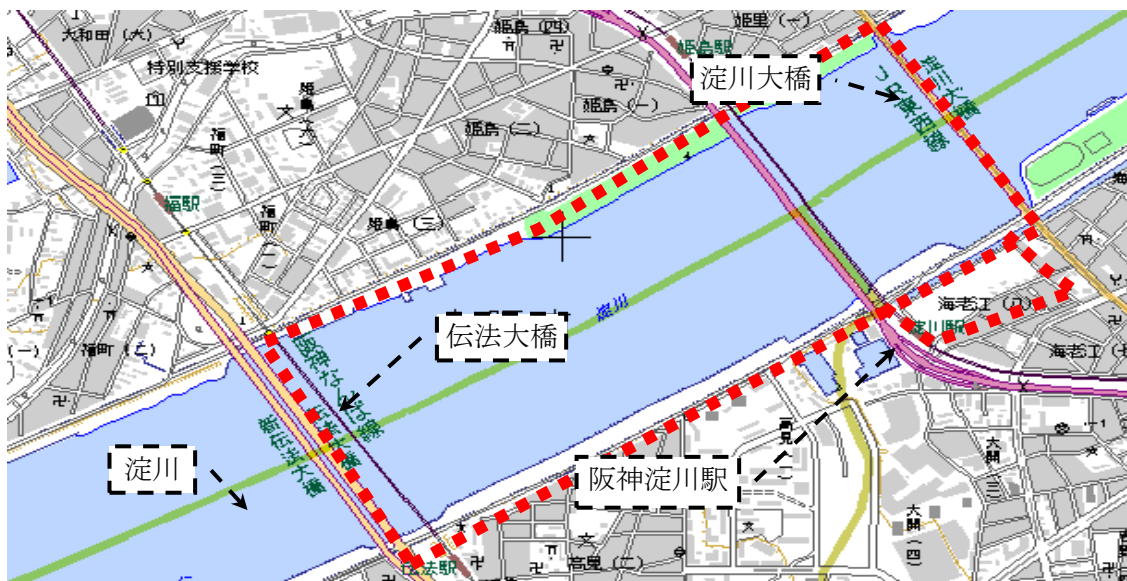
凡例：走行軌跡 ■■■■■■■■■■

図 3.3 隠元橋～宇治橋ルート



凡例：走行軌跡 ■■■■■■■■■■

図 3.4 芥川大橋～鷺打橋ルート



凡例：走行軌跡 ■■■■■■■■■■

図 3.5 淀川大橋～伝法大橋ルート

### (3) リンクの種類を試作結果及び考察

点群座標データから生成できるリンクの各種類の検証結果を表 3.4 に示す。今回の試作で用いた点群座標データには、歩行者専用道路および園路が含まれていなかったため、作

成可否が確認できなかった。それ以外のリンクの種類は、点群座標データを目視で指定することができるので、すべて識別できることを確認した。

表 3.4 リンクの種類別の試作結果

リンクの種類	分類	作成可否
歩道	道路・通路	可
歩行者専用道路	道路・通路	判定できず
園路	道路・通路	判定できず
歩車共存道路	道路・通路	可
横断歩道	道路・通路	可
横断歩道の路面表示の無い交差点の道路	道路・通路	可
動く歩道	道路・通路	対象外（屋内施設）
自由通路	道路・通路	対象外（屋内施設）
踏切	道路・通路	可
エレベーター	昇降施設	対象外（屋内施設）
エスカレータ	昇降施設	対象外（屋内施設）
階段	昇降施設	可（屋外のみ）
スロープ	昇降施設	可（屋外のみ）

#### (4) 経路情報の試作結果及び考察

点群座標データから生成できる経路情報の検証結果を図 3.6 および表 3.5 に示す。図表に示すとおり、点群座標データは、歩行空間を含んだ道路の表面形状を取得している。そのため、歩行者や植栽等の影響を受けずに歩行空間の点群座標データが取得されている区間では、歩行空間の点群から形状に関連する歩行空間ネットワークデータに関わる項目を生成できる。

表 3.5 には、レベル 2 の開発に向けて、各デジタル地図から補完できる項目の候補も示している。また、現時点のレベル 3 の自動生成の実現可能性の考察としては、作成できる項目のうち、「縦断勾配 2」と「路面状況」以外は、自動生成できる可能性がある。この 2 つの項目は、「通行に問題なし」等の主観的評価を含む内容を入力する必要があるため、この主観的要素を除いた判定基準を設けると、自動生成ができる可能性がある。

試作結果から、歩道の経路情報の項目は、点群座標データから約 6 割（22 項目／35 項目）の生成が可能であることが明らかになった。また、リンクの種類別の経路情報の分析の結果、対象としたリンクの種類全体で主観的評価を除き生成が可能な項目を含め、点群座標データから約 6 割（143 項目／237 項目）が生成できる可能性のあることが明らかになった。

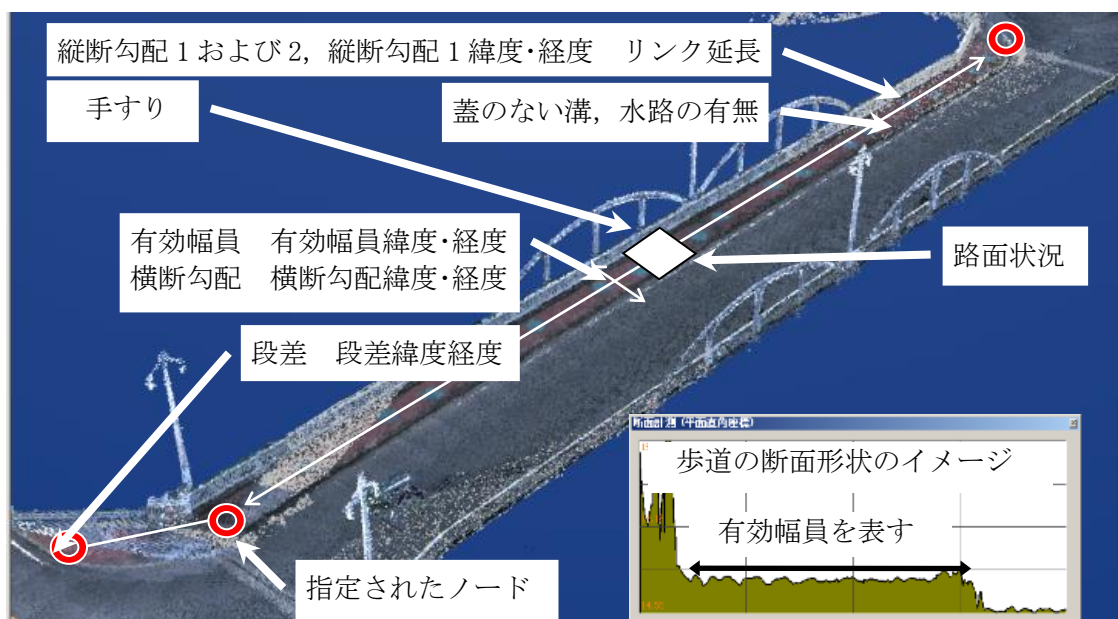


図 3.6 経路図情報のデータ項目との対応（歩道）

表 3.5 歩道における経路情報の分析結果（1/3）

項目名	点群座標データ	道路基地図情報	拡張 DM	基盤地図情報	DRM
供用開始時間	×	×	×	×	×
供用終了時間	×	×	×	×	×
供用開始日	×	×	×	×	×
供用終了日	×	×	×	×	×
供用制限曜日	×	×	×	×	○
方向性	×	×	×	×	○
通行制限	×	×	×	×	○
有効幅員	○	○	○	○	×
有効幅員緯度	○	○	○	○	×
有効幅員経度	○	○	○	○	×
縦断勾配 1	○	×	×	×	×
縦断勾配 1 緯度	○	×	×	×	×
縦断勾配 1 経度	○	×	×	×	×
縦断勾配 2	△	×	×	×	×

凡例 ○：自動生成可，△：主観的評価を除き生成可，×：不可

表 3.5 歩道における経路情報の分析結果 (2/3)

項目名	点群座標データ	道路基地図情報	拡張DM	基盤地図情報	DRM
横断勾配	○	×	×	×	×
横断勾配緯度	○	×	×	×	×
横断勾配経度	○	×	×	×	×
路面状況	△	×	×	×	×
段差	○	×	×	×	×
段差緯度	○	×	×	×	×
段差経度	○	×	×	×	×
最小階段段数	—	×	×	×	×
最大階段段数	—	×	×	×	×
手すり	○	×	×	×	×
屋根の有無	○	×	×	×	×
蓋のない溝, 水路の有無	○	×	×	×	×
バス停の有無	○	×	×	×	×
バス停の緯度	○	×	×	×	×
バス停の経度	○	×	×	×	×
視覚障害者誘導用ブロック	○	×	×	×	×
補助施設の設置状況	×	×	×	×	×
補助施設の緯度	×	×	×	×	×
補助施設の経度	×	×	×	×	×
エレベーター種別	—	×	×	×	×
エレベーターの緯度	—	×	×	×	×
エレベーターの経度	—	×	×	×	×
信号の有無	—	×	×	×	×
信号の緯度	—	×	×	×	×
信号の経度	—	×	×	×	×
信号種別	—	×	×	×	×
日交通量	×	×	×	×	×
主な利用者	×	×	×	×	×

凡例 ○：自動生成可，△：主観的評価を除き生成可，×：不可，—：歩道の経路情報では取得の対象外

表 3.5 歩道における経路情報の分析結果 (3/3)

項目名	点群座標データ	道路基地図情報	拡張DM	基盤地図情報	DRM
通り名称または交差点名称	×	×	×	×	○
エスコートゾーン	—	×	×	×	×
リンク延長	○	○	○	○	○

凡例 ○：自動生成可，△：主観的評価を除き生成可，×：不可，—：歩道の経路情報では取得の対象外

## 3.4 レベル2の生成手法の開発

### 3.4.1 概要

レベル2のデータ生成手法は、表 3.2 の「(1)歩行空間の認識」が「レベル2 デジタル地図による歩行空間・種別認識」となり、それ以外は同じ手順である。具体的には、点群座標データにデジタル地図を組み合わせて道路構造物の地物の識別やリンクやノードの位置を手動で生成する。さらに、道路空間に多く存在する歩道、歩車共存道路、横断歩道では、生成を支援するためデジタル地図を用いてノード候補の位置を自動取得する。

### 3.4.2 デジタル地図の調査

本研究では、既存のデジタル地図の持つ地物からリンクおよびノードの生成可能性を調査した。リンクの種類は表 3.4 の「可」の7種類と歩道橋を対象に調査した。整備仕様によると、歩道橋は歩道に分類されるが、歩道とは階層や側壁の有無の点で異なり、レベル3での自動生成を考慮して別々に取り扱った。表 3.6 は調査結果を示しており、横断歩道の路面標示無し交差点およびスロープは、今回調査したデジタル地図では、確認できなかった。階段も見当たらなかったが、拡張DMに歩道橋、石段と地下街・地下鉄等出入口の地物が存在し、情報を生成できる可能性があることが分かった。通常、基盤地図情報には、歩道を必ずしも含める必要はない。しかし、国土地理院が公開する基盤地図情報には、道路構成線の種別に拡張DMに対応した地物を保持することができ[45]、公開されている各地方公共団体の基盤地図情報には、歩道の情報が含まれる。そのため、歩行空間ネットワークデータを作成する際に活用できる可能性があることがわかった。

### 第3章 歩行者ネットワークデータの生成手法の提案

本調査結果を受けて、リンクの種類ごとに利用するデジタル地図は、面的な網羅性、データ入手の容易性や特徴、鮮度から表 3.7 のとおり選定した。また、リンクの種類ごとの具体的なデータの作成方法は次項以降に示す。

表 3.6 デジタル地図から作成可能なリンクの調査結果

屋外のリンク種類		道路基盤 地図情報	拡張 DM	基盤地図情報	DRM
道路・ 通路	歩道	○歩道部	○歩道	○道路構成線 (歩道)	×
	歩道橋	○横断 歩道橋	○横断 歩道橋	×	●歩道橋が あるリンク
	歩車共存道路	×	×	△道路縁	△全道路 データ
	横断歩道	○横断歩道	×	×	×
	横断歩道の路面 標示無しの交差点	×	×	×	×
	踏切	○踏切道	●軌道・ 道路縁	●軌道・ 道路縁	●踏切があ るリンク
昇降 施設	階段	△横断 歩道橋	△横断歩道 橋、石段、 地下街・ 地下鉄等の 出入口	×	●歩道橋が あるリンク
	スロープ	×	×	×	×

凡例 ○：対応するデータあり                          ×：対応するデータなし  
△：一部対応するデータあり                      ●：解析することで候補を抽出可能

表 3.7 選定したデジタル地図

リンクの種類	選定したデジタル地図
歩道	基盤地図情報（交差点） 道路基盤地図情報（単路）
歩道橋	拡張 DM
歩車共存道路	DRM
横断歩道	道路基盤地図情報
踏切	DRM
階段	拡張 DM



### 3.4.3 歩道

市街地には、片側1車線対向2車線の道路が多くあり、立地条件等の制約がない場合は、幅員2m以上[77]の歩道が整備されている。こうした道路は交差点で車道によって歩道が断られるため、交差点ごとにノード（結節点）を生成する必要がある。本研究は、まず、経路案内サービスで必要がある市街地の歩道（以下、「歩道（交差点）」という。）に着目してアルゴリズムを考案する。次に、道路に沿って存在する歩道（以下、「歩道（単路）」という。）に着目してアルゴリズムを考案する。

交差点が多く存在する市街地では、十字路の交差点4隅にある隅切部に1点のノードを設置することで歩行空間ネットワークを表現できる。しかし、交差点の規模や横断歩道のノードとの関連づけを考慮すると、隅切された歩道に沿って複数のノードを生成しておくことが考えられる。市街地の対向2車線の道路が直交する左折導流路の内側半径は、通常7.5m~10m程度[78]で設計される。このため、左折導流路に寄り添う歩道曲線部の弧長は、約12m~16m程度となる。本研究は、この市街地に多い道路構造を対象に、歩道曲線部の端点のそれぞれから5mの曲線部上にノードを配置し、横断歩道のノードとの関連づけにも配慮したノード候補を試作した。デジタル地図から歩道を認識する概念を図3.7、認識手順を表3.8に示す。図に示すとおり、歩道の領域は、「歩道」と「道路縁」で囲われた領域から識別する。また、基盤地図情報は、曲線を描画できない拡張DMを基に作成されている。そのため、歩道曲線部は、折れ線であり、補間点としての座標を多数保持している。そこで、歩道の線の起終点と曲線補間点群の代表点を抽出することでノード候補を生成する。

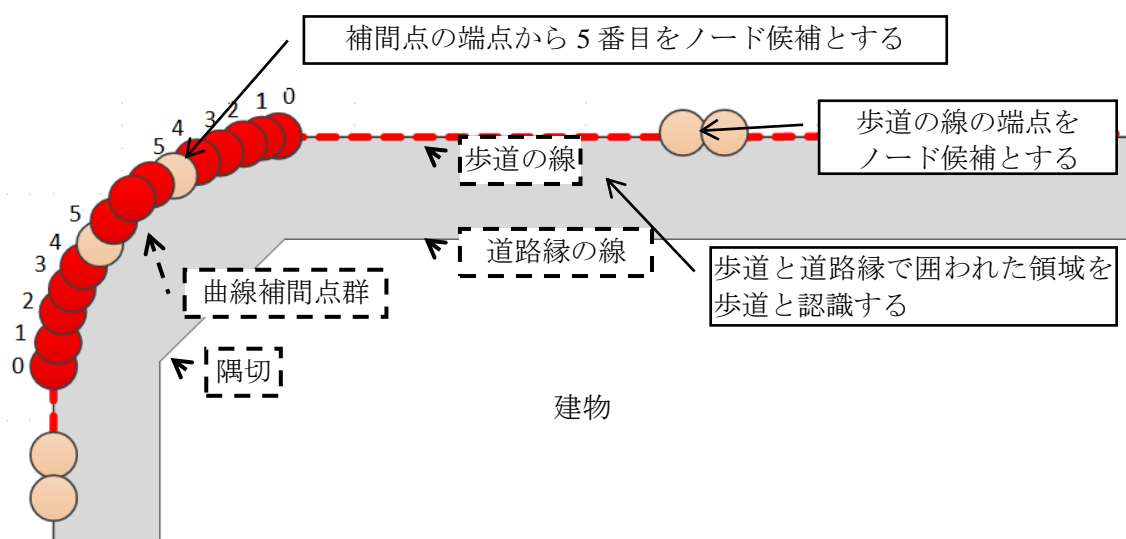


図 3.7 歩道（交差点）の認識の概念

表 3.8 歩道（交差点）の生成手順

処理名称	処理内容
a) データの読み込み	・ 基盤地図情報の読み込み
b) 歩道の認識	・ 種別「歩道」と「道路縁」の地物を抽出
c) リンク領域の認識	・ 種別「歩道」と「道路縁」で囲われた領域を認識
d) ノード・リンクを生成	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 歩道の起終点の座標を抽出しノード候補に設定</li> <li>・ 曲線補間点群（間隔 3m 以下， 4 連続以上）の端点を抽出</li> <li>・ 端点から 5 番目の曲線補間点をノード候補に設定．曲線補間点群が 12 個以下で奇数個の場合は，真ん中の座標を，偶数の場合は 2 つに等分した際，端点となる点の中間座標をノード候補とする</li> <li>・ ノード間にリンクを生成</li> <li>・ リンクが隣接リンクと直線となる場合は，中間にあるノードを削除</li> </ul>

次に道路に沿って存在する歩道（単路）に着目しアルゴリズムを考案する．このような歩道は，道路の外側に道路中心線に沿って整備されるため，道路中心線を持つ道路基盤地図情報を用いて生成する．道路基盤地図情報から歩道のリンクおよびノードを自動生成する概念を図 3.8 に，生成手順を表 3.9 に示す．図中の番号は処理の順番を表す．歩道の領域は，「歩道部」の図形から識別する．ノード候補の位置は，歩道部図形から求める．具体的には，歩道部図形から道路中心線と平行に近い外形線 2 本を抽出しリンクの中心線を算出する．算出したリンク中心線と歩道部図形の交点を求めノード候補を生成する．

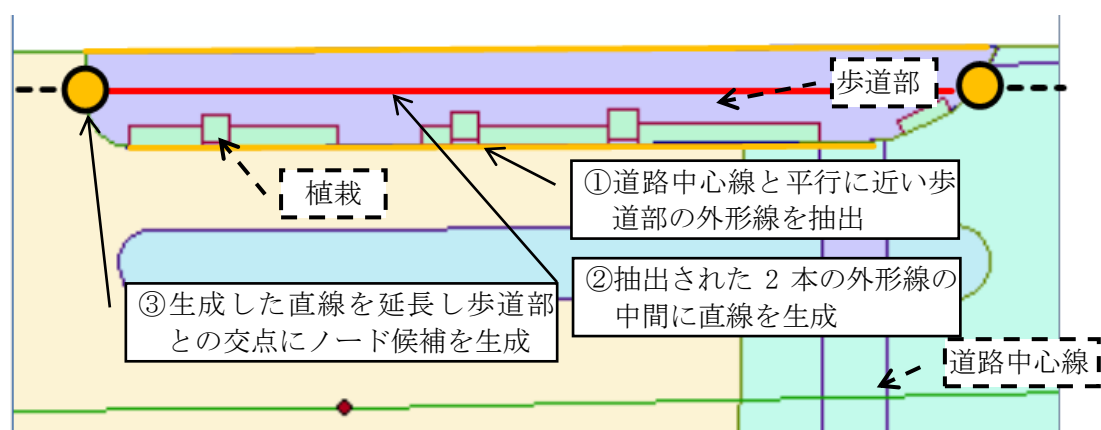


図 3.8 歩道（単路）の認識の概念

表 3.9 歩道（単路）の生成手順

処理名称	処理内容
a) データの読み込み	・道路基盤地図を読み込み
b) 歩道の認識	・種別「歩道部」と「道路中心線」の地物を抽出
c) リンク領域の認識	・種別「歩道部」の領域を認識
d) ノード・リンクを生成	<ul style="list-style-type: none"> <li>・歩道部の1つの図形に着目</li> <li>・道路中心線と平行に近い歩道部の外形線を抽出</li> <li>・抽出された2本の外形線の間には直線を生成</li> <li>・生成した直線を延長し、歩道部の外形線との交点にノード候補を生成</li> <li>・ノード間にリンクを生成</li> </ul>

### 3.4.4 歩道橋

歩道橋は、拡張 DM から「横断歩道橋」の地物を抽出し、その図形をノードとリンク候補の領域とすることとした。歩行空間を認識する概念を図 3.9 に、生成手順を表 3.10 に示す。図に示すとおり、横断歩道橋の領域は、拡張 DM の図形から識別する。また、目視にて横断歩道橋の領域を確認しながらノード位置を指定する。また、整備仕様では、歩道橋の歩行空間を歩道橋と階段とに分けるように定めている。しかし、拡張 DM の歩道橋の地物は、階段やデッキまでは区分されていない。そこで、目視にて歩道橋と階段を識別することとする。これらの特徴を踏まえ、レベル 3 の考察として、レベル 3 では、生成した歩道橋の領域と点群座標データとを組み合わせることで階段とデッキを区分することや領域のパターンマッチングから階段とデッキを区分する方法が考えられる。

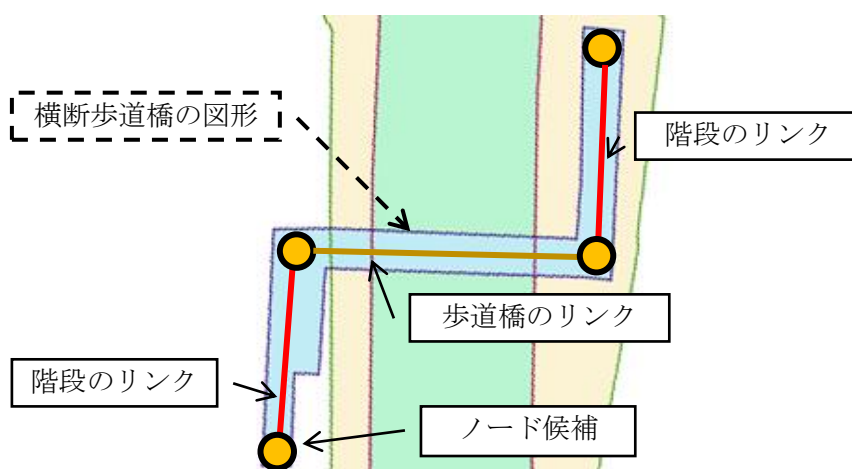


図 3.9 歩道橋の認識の概念

表 3.10 歩道橋の生成手順

処理名称	処理内容
a) データの読み込み	・拡張 DM を読み込み
b) 歩道橋の認識	・種別「横断歩道橋」の地物を抽出
c) リンク領域の認識	・種別「横断歩道橋」で囲われた領域を認識
d) ノード・リンクを生成	・「横断歩道」の1つの図形に着目 ・目視にて階段と歩道橋の領域を確認しリンク中心線を生成，ノード間にリンクを生成

### 3.4.5 歩車共存道路

歩車共存道路とは、自動車、自転車や歩行者が通行する空間が物理的に区分されていない道路を指す。この歩車共存道路のリンクは、DRMの道路ネットワークデータから歩道が設置されていない道路（DRMの道路種別コード「その他の道路」）を抽出することで生成できると仮定した。DRMから歩車共存道路を認識する概念を図3.10に、認識手順を表3.11に示す。図に示すとおり、歩車共存道路は、DRMのリンクとリンク内属性の車道幅員を活用して道路内にリンク幾何形状と平行な歩道の有無を判定する。車道幅員には、路肩や歩道の幅員を含まないため、判定の際には、車道幅員に加えて左右1m程度範囲を拡大して判定する。歩道が無いと判定された場合は歩車共存道路と認識する。歩車共存道路の領域は、DRMのリンク幾何形状と幅員から識別する。ノード候補は、DRMのノード位置とする。また、歩車共存道路が歩道のある道路に接続される場合は、リンクの直進性を考慮して、接続する歩道のリンクの延長線と歩車共存道路のリンクの延長線の交点にノードを設置し、接続する道路の不要な歩道のノードを削除する。

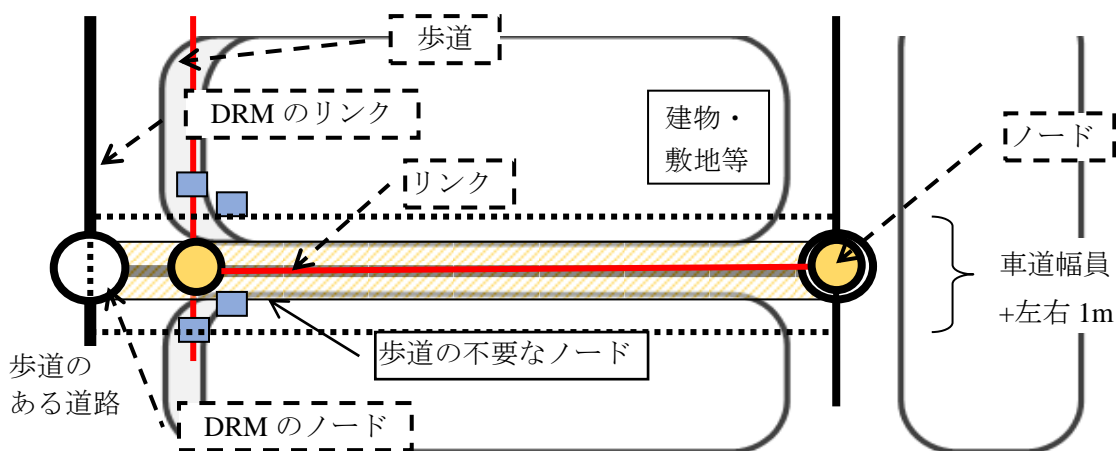


図 3.10 歩車共存道路認識の概念（歩道のある道路に接続）

表 3.11 歩車共存道路の生成手順

処理名称	処理内容
a) データの読み込み	・ DRM の読み込み
b) 歩車共存道路の認識	・ 歩道の無いリンク (道路種別コード「その他の道路」) を抽出. 具体的には, リンクの幾何形状と車道幅員を手がかりにリンク (道路) 領域を推定 (車道幅員+左右 1m), リンクと平行な歩道の有無を空間検索により把握 ・ 歩道のある道路への接続の有無を空間検索により判別
c) リンク領域の認識	・ リンクの幾何形状と車道幅員を手がかりにリンクの領域を推定 (再掲)
d) ノード・リンクを生成	・ DRM のノードを抽出し, ノード候補とする ・ 歩道のある道路へ接続する場合には, 接続する歩道のリンク延長線と歩車共存道路のリンク延長線の交点にノードを設置. 不要な歩道のノードを削除 ・ ノード間にリンクを生成

### 3.4.6 横断歩道

横断歩道は, 道路基盤地図情報のみに対応する地物があるため, 道路基盤地図情報を用いて歩行空間を認識することとした. 歩行空間を認識する概念を図 3.11 に, 生成手順を表 3.12 に示す. 図中の番号は処理の順番を表す. 横断歩道の領域は, 拡張 DM の図形から識別する. ノード候補の位置は, 横断歩道の図形から求める. 具体的には, 横断歩道図形から長辺 2 辺を抽出し, 中間に直線を生成する. 生成した直線と歩道部図形の交点にノード候補を生成する.

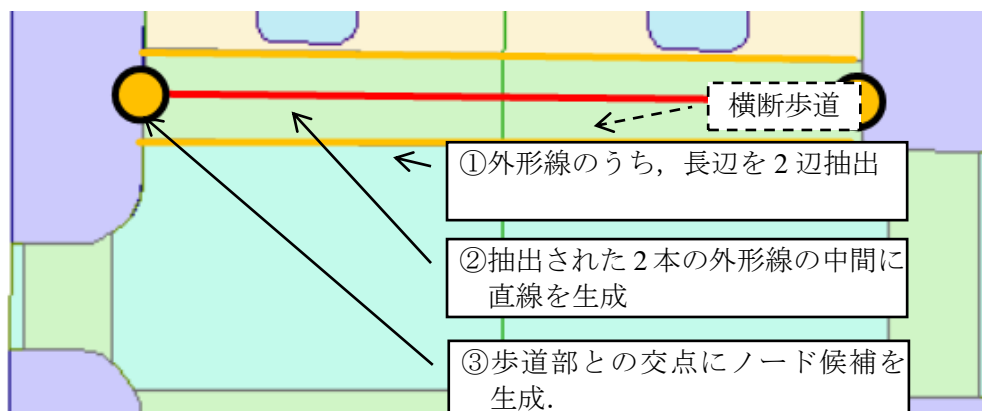


図 3.11 横断歩道の認識の概念

表 3.12 横断歩道の生成手順

処理名称	処理内容
a) データの読み込み	・道路基盤地図情報を読み込み
b) 横断歩道の認識	・「横断歩道」の地物を抽出
c) リンク領域の認識	・種別「横断歩道」で囲われた領域を認識
d) ノード・リンクを生成	<ul style="list-style-type: none"> <li>・横断歩道の1つの図形に着目</li> <li>・外形線のうち、長辺を2辺抽出</li> <li>・抽出された2本の外形線の間には直線を生成</li> <li>・歩道部との交点にノード候補を生成</li> <li>・ノード間にリンクを生成</li> </ul>

### 3.4.7 踏切

踏切は、道路基盤地図情報にも対応する地物があるが、整備状況を踏まえて、本研究では、DRM を用いて踏切の領域を認識する。歩行空間を認識する概念を図 3.12 に、生成手順を表 3.13 に示す。図に示すとおり、属性種別コードに踏切が収録されているリンクを抽出し、リンクの幾何形状と車道幅員からリンク領域を推定する。さらに、目視にて、ノード位置を指定する。

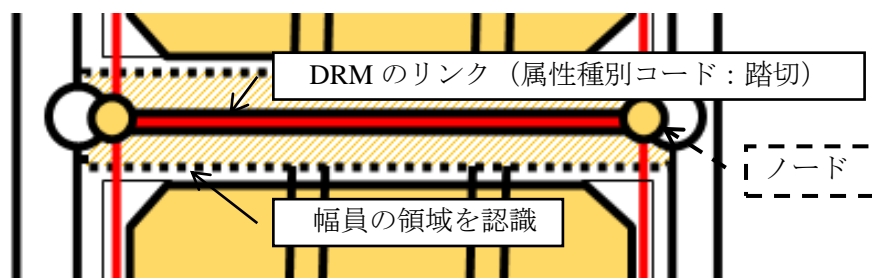


図 3.12 踏切の認識の概念

表 3.13 踏切の生成手順

処理名称	処理内容
a) データの読み込み	・DRM を読み込み
b) 踏切の認識	・「踏切」が収録されているリンクを抽出
c) リンク領域の認識	・「踏切」が収録されているリンクの幅員領域を認識
d) ノード・リンクを生成	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「踏切」が収録されている1つのリンクに着目</li> <li>・目視にて領域を確認しノードを生成</li> <li>・ノード間にリンクを生成</li> </ul>

### 3.4.8 階段

階段は、拡張 DM から、「石段」、「地下街・地下鉄等出入口」と「歩道橋」を抽出し、リンク領域を認識する。歩行空間を認識する概念を図 3.13 に、生成手順を表 3.14 に示す。図に示すとおり、階段の領域を拡張 DM の図形（石段、地下街・地下鉄等の出入口、歩道橋）から識別する。さらに、目視にてノード位置を指定する。なお、歩道橋のリンクは、先に述べたとおり別の手段で抽出する。

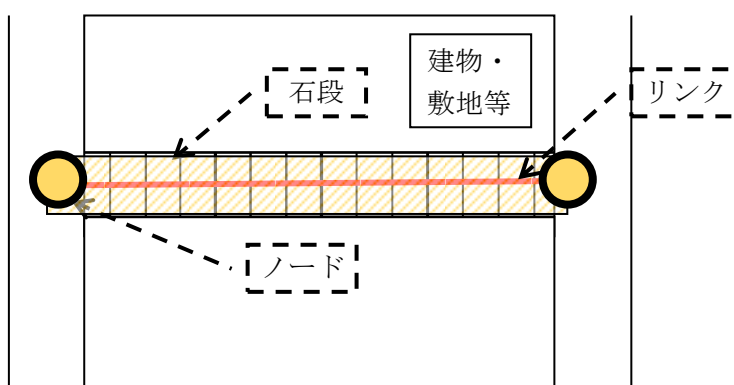


図 3.13 階段の認識の概念

表 3.14 階段の生成手順

処理名称	処理内容
a) データの読み込み	・拡張 DM を読み込み
b) 階段の認識	・「石段」と「地下街・地下鉄等の出入口」の地物を抽出
c) リンク領域の認識	・「石段」と「地下街・地下鉄等の出入口」で囲われた領域を認識
d) ノード・リンクを生成	・1つの図形に着目 ・目視にて領域を確認しノードを生成、ノード間にリンクを生成

## 3.5 レベル2の生成手法に準じたデータの試作

### 3.5.1 検証方法

本研究では、考案したレベル2の生成手法に則して歩行空間ネットワークデータを試作し、有用性を検証した。検証内容を表3.15に示す。表に示すとおり、デジタル道路地図を組み合わせることで道路構造物の地物を自動で判別できるか検証する。主要な屋外の歩行空間である歩道（交差点および単路）、歩車共存道路、横断歩道は、リンクの種類判別に加えて、データ生成作業の支援策として、ノード候補の位置が自動取得できるか検証する。また、試作に利用したデジタル地図を表3.16に示す。本検証では、公開されている整備仕様に則した歩行空間ネットワークデータ[34]を正解データとして、試作したノード候補と重ね合わせ評価に利用した。

表 3.15 検証内容

リンクの種類	リンクの種類 自動判別	リンクとノードの位置候補の 自動取得による支援
歩道（交差点）	対象	位置候補の自動取得対象
歩道（単路）	対象	位置候補の自動取得対象
歩道（歩道橋）	対象	対象外
歩車共存道路	対象	位置候補の自動取得対象
横断歩道	対象	位置候補の自動取得対象
踏切	対象	対象外
階段	対象	対象外

表 3.16 検証に利用したデジタル地図

名称	内容
拡張 DM	平成 17 年度都市計画基本図（一般市）の実データ
基盤地図情報	国土地理院より公開されている基盤地図情報（政令指定都市）の実データ
道路基盤地図情報	実際に整備された国道の道路基盤地図情報（政令指定都市）の実データ
DRM	政令指定都市の実データ



### 3.5.2 歩道（交差点）の試作

基盤地図情報を用いて試作した歩道（交差点）のリンク領域を図 3.14に示す。図に示すとおり、歩道（交差点）は、基盤地図情報の地物を用いて領域を識別でき、リンクの種類を自動でリンク属性に付与できることがわかった。また、図には、歩道の地物（線）の曲線補間点をあわせて表示している。図に示すとおり、曲線が多くの補間点の折れ線で表現されていることが分かる。また、考案した生成手法に則して基盤地図情報から試作した歩道のリンクおよびノードの位置を図 3.15に示す。

図には、正解データのうち横断歩道に接続するノードを削除したのもあわせて表示している。図に示すとおり、市街地における対向2車線の道路と他の道路が直交する交差点の歩道の場合、生成したノードは正解データのノードに近接し、歩行空間内のネットワークは一致した。また、歩道曲線部の端点から5mの位置にノードを配置した妥当性を確認するために、正解データのノード100点の位置を調査し、歩道曲線部の端点から平均で5.04mの位置にあることを確認している。考察として、前述した道路構造の場合は端点から5mの位置がノード付与の指標になると考えられる。図 3.15のAに示すノードのずれが約6mと大きいのは、これは、基盤地図情報の元となる拡張DMを作成する図化作業時に、直線部へのすりつけ区間の座標が十分に取得されていないことが原因と考えられる。しかし、歩行空間のネットワークは一致しており、整備仕様上も満足している。また、図 3.15のBの付近でノードのずれが大きいのは、歩車共存道路の入口にノードが追加されるため、歩行空間のネットワークは一致する。試作結果から市街地における対向2車線の道路と他の道路が直交する交差点の歩道では、ノード候補を自動的に生成でき、生成手法の有用性が明らかになった。

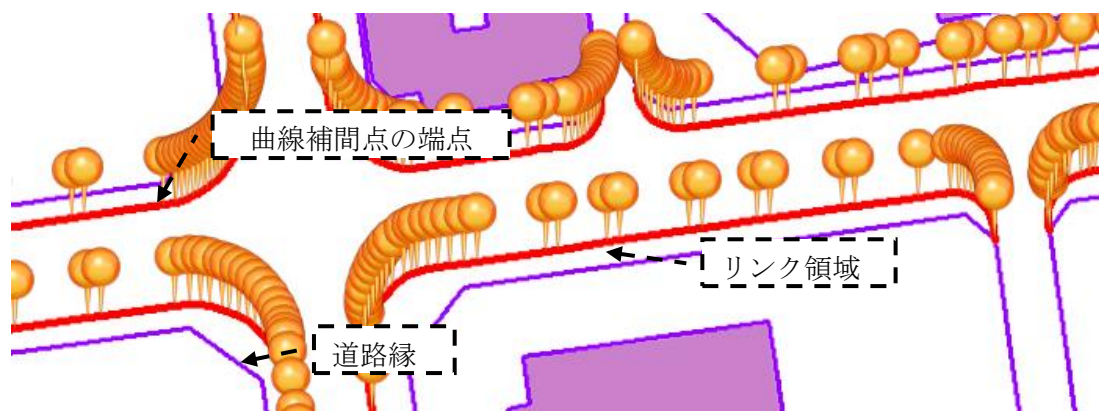


図 3.14 試作した歩道のリンク領域と歩道外形線の補間点

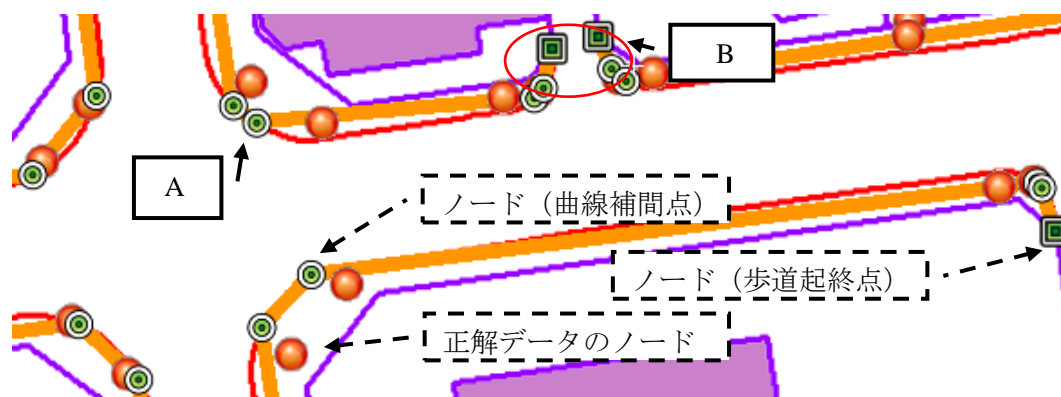


図 3.15 試作した歩道のリンクおよびノード

### 3.5.3 歩道（単路）の試作

道路基盤地図情報を用いて試作した歩道（単路）のリンク領域を図 3.16-a)に示す。図に示すとおり、歩道（単路）は、道路基盤地図情報の地物を用いて領域を識別でき、リンクの種類を自動でリンク属性に付与できることがわかった。また、ノード候補の位置の自動生成の検証結果を、表 3.17 に示す。表に示すとおり、本検証に利用した路線 1 の道路基盤地図情報では、全 151 箇所歩道のうち、101 箇所リンク線形が適切に生成されることを道路基盤地図の歩道図形と目視で比較することで確認した。また、横断歩道内に作図された横断方向の歩道 47 箇所生成した線形のリンクの方向が誤っていた（図 3.16-b)）。さらに、曲線や多数の頂点で構成される複雑な形状の歩道 3 箇所（図 3.16-c)および図 3.16-d)）で、歩道内にリンクが生成されたが正しく線形を生成できなかった。

表 3.17 リンクおよびノードの位置候補の自動生成の検証結果

確認した路線	確認した歩道数	適切に生成された歩道数	適切に生成されなかった歩道数
路線 1 国道 25 号線 大阪市中心区付近	151 箇所	101 箇所	50 箇所 (横断方向の歩道 47 箇所, 複雑な形状の歩道 3 箇所)

路線 1 の横断方向の歩道 47 箇所に該当する図形を道路基盤地図情報で確認したところ、47 箇所すべて横断歩道内に含まれる交通島を横断する歩道であることがわかった。車道上では無いため横断歩道ではなく、歩道部として作図されたと考えられる。また、曲線や多数の頂点で構成される歩道では、歩道内にリンクが生成されているが、正確にリンクやノードの位置を生成できていない。そのため、このような歩道の場合には、自動生成後に目視で確認、補正する必要があることが分かった。

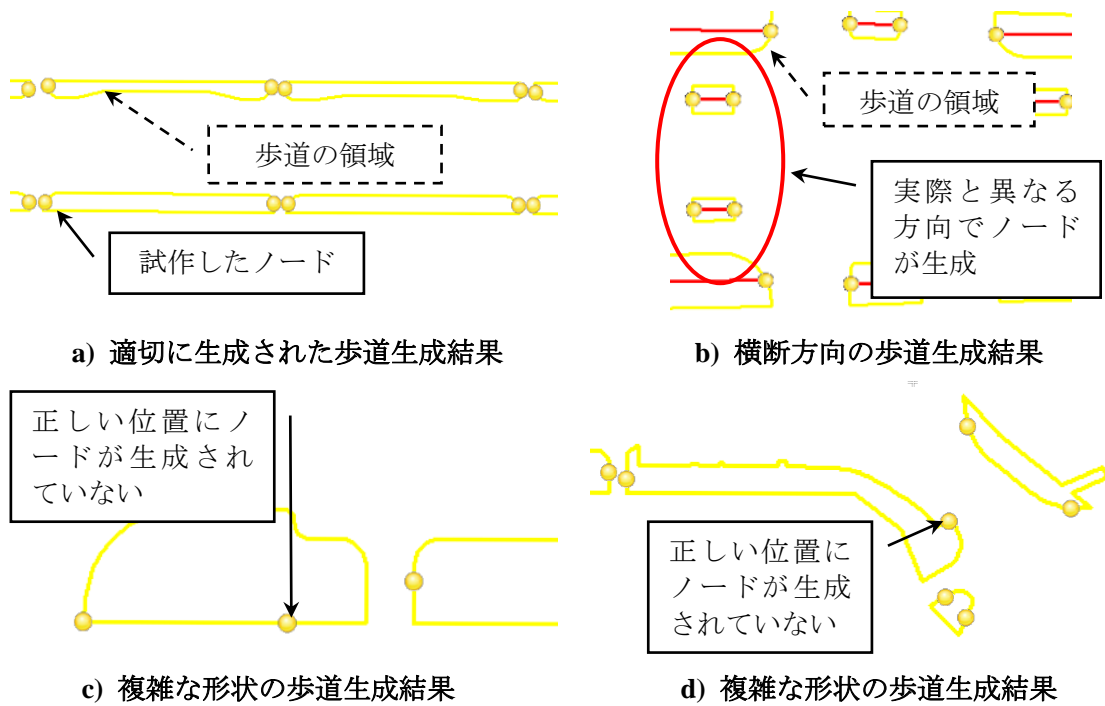


図 3.16 歩道のリンク線形生成結果

### 3.5.4 歩道橋の試作

拡張DMを用いて試作した歩道橋のリンク領域を図 3.17に示す。図に示すとおり、歩道橋では、リンク領域を識別でき、リンクの種類を自動でリンク属性に付与できることがわかった。駅前等にあるペデストリアンデッキは、建物との隣接する外形線部分は、閉領域にならないことがわかった。考察として、レベル3の自動認識を考慮すると、歩道橋のリンク領域は、閉領域であることが望ましい。そのため、閉領域でない領域は、隣接する建物図形と合わせて閉領域とすることをレベル2の生成手法に反映して対処する必要があることがわかった。

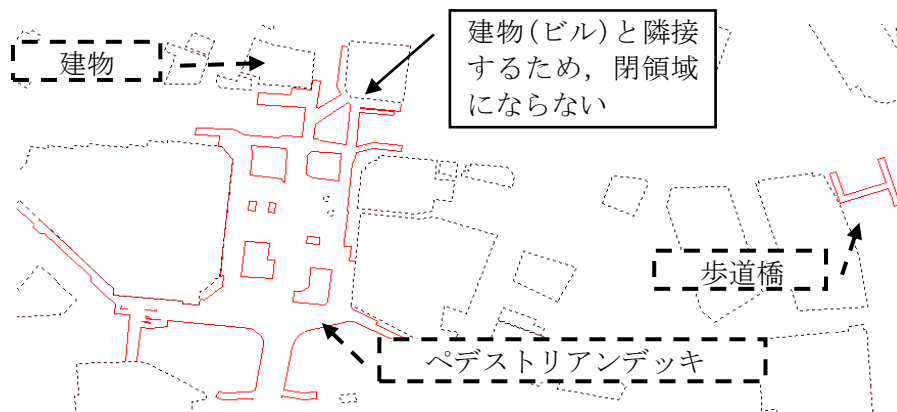


図 3.17 歩道橋の試作結果

### 3.5.5 歩車共存道路の試作

DRMデータを用いて試作した歩車共存道路のノードおよびリンクを図 3.18に示す。図に示すとおり、DRMは、本来の位置に表示されなかった。

考察として、DRMは、道路のネットワークデータであり、自動車の経路案内を目的としたデータである。1/2,500~1/25,000の地図を元に調製された範囲があり、最大10mまでの誤差を許容している。歩車共存道路の候補となる細道路は、全国に50万km存在する。そのため、デジタル地図を組み合わせて点群座標データからノードやリンクを自動的に抽出する場合（レベル3）は、これら既存のデジタル地図の誤差の補正手法も検討する必要がある。

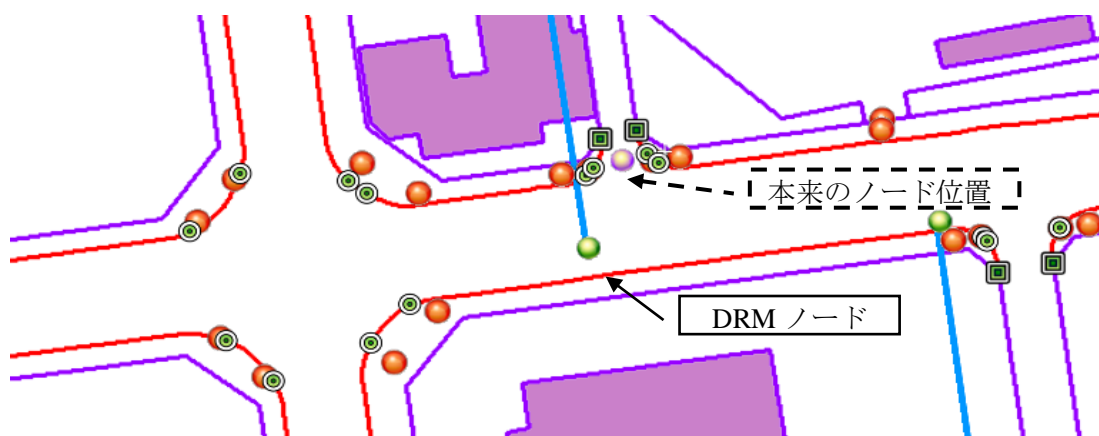


図 3.18 歩車共存道路の試作結果

### 3.5.6 横断歩道の試作

道路基盤地図情報を用いて試作した横断歩道のリンク領域を図 3.19に示す。図に示すとおり、横断歩道は、道路基盤地図情報の地物を用いて領域を識別でき、リンクの種類を自動でリンク属性に付与できることがわかった。考察として、生成手法は、長辺を手掛かりにリンクとノードを作成するが、道路基盤地図情報では歩道と横断歩道の図形が適切に接合されており、処理性能が許せば、歩道に接する辺にノードを発生させる方法もあると考える。また、歩道等のリンクとの接続処理が必要となるため、横断歩道のリンクの延長線上に存在する他の種類のリンクとの交点にノードを生成、もしくはリンクとの交点近傍のノードを移動し、横断歩道のリンクと接続する処理をレベル2の生成手法に反映して対処する必要があることがわかった。

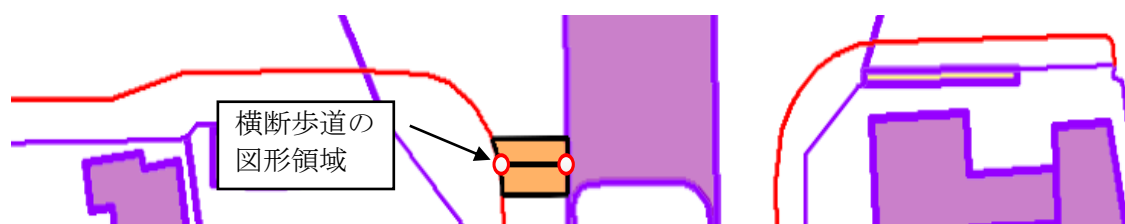


図 3.19 横断歩道の試作結果（リンク領域の識別）

また、試作した横断歩道のノード候補の位置と道路基盤地図情報の横断歩道部の比較結果を表 3.18に示す。表に示すとおり、道路基盤地図の横断歩道図形と目視で比較することで、路線1では、全131箇所の横断歩道のうち、89箇所ではリンク線形が適切に生成されることを確認した（図 3.20-a）。3箇所ではリンクの方向が誤っていた（図 3.20-b）。また、複数のリンクが一つの作図された20箇所の横断歩道（図 3.20-cおよびd）では、正しくリンクが生成されなかった。さらに、図郭またがりの横断歩道4箇所（図 3.20-e）では、正しくリンクが生成されなかった。加えて、形状が複雑で実際よりも短いリンクが生成されたものが17箇所（図 3.20-f）あった。

リンクの方向が異なって生成された横断歩道（図 3.20-b）では、横断歩道の延長距離が幅員よりも短く誤った方向で生成された。対策としては、目視にて正しいノードを選択するか、横断歩道の領域が道路中心線を跨ぐか跨がないかで方向を判定する処理を加えることが考えられる。複数リンク横断歩道は、実際の路面の白線に従い、2つの横断歩道が結合している図形と、斜め横断を許容する面的な横断歩道の2種類に分類される。2つの横断歩道が結合している図形では、道路基盤地図情報の元データである工事完成図作成時に横断歩道を別々に作図することが望ましい。斜め横断を許容する面的な横断歩道では、目視により必要なリンクやノード位置を取得する必要があることが明らかになった。

表 3.18 横断歩道の線形生成の検証結果

確認した 路線	確認した 横断歩道数	適切に生成 された横断歩道数	適切に生成されなかった 横断歩道数
国道 25 号線 大阪市中央 区付近	131 箇所	89 箇所	42 箇所 ・方向が異なる横断歩道（3 箇所） ・複数リンク横断歩道（20 箇所） ・図郭またがりの横断歩道（4 箇所） ・リンクの延長距離が実際より短い 横断歩道（17 箇所）ただし、上記 複数に該当する横断歩道が 2 箇所 あり

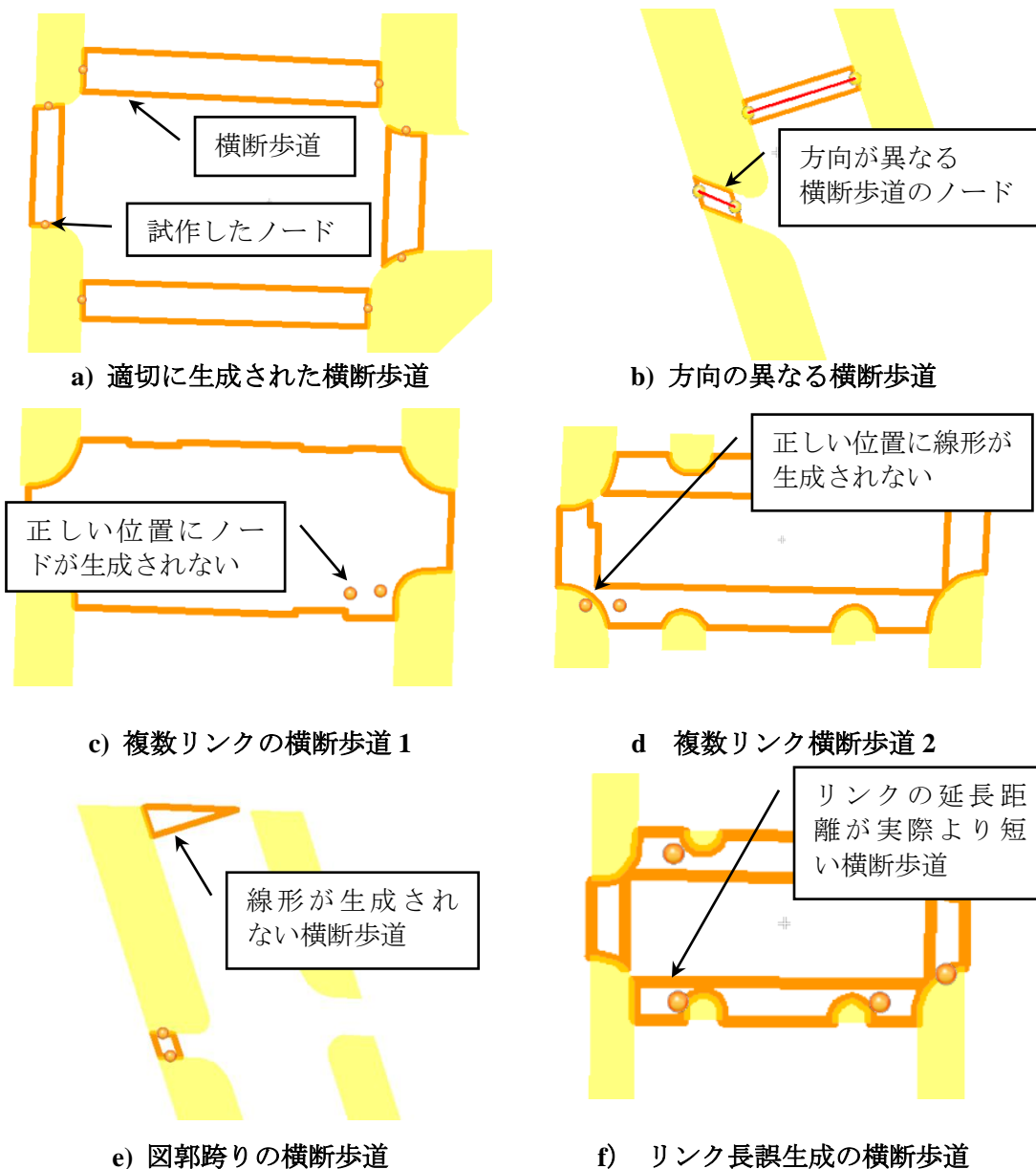
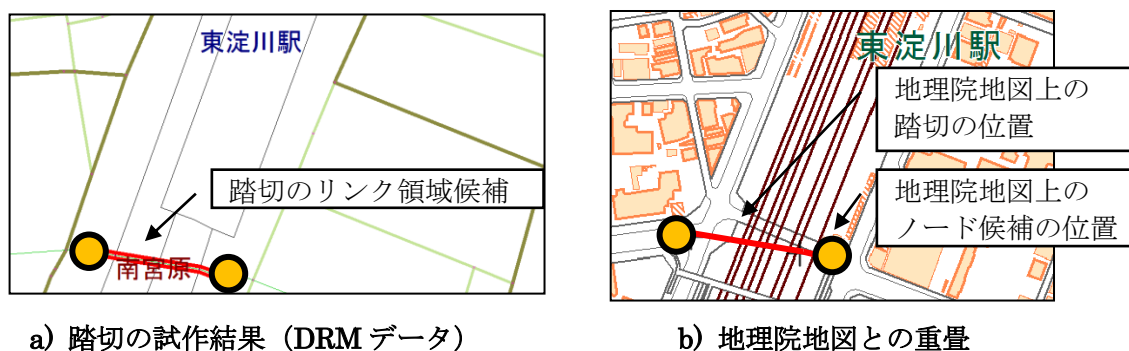


図 3.20 横断歩道のリンク線形の比較結果 (路線 1)

### 3.5.7 踏切の試作結果

DRM を用いて試作した踏切のリンク領域の候補を図 3.21-a)に示す。DRM は前述のとおり、最大 10m までの誤差を許容しているため、生成したリンク領域の位置の補正が必要となる。本地域の歩行空間ネットワークデータが公開されていないため、同等の精度を持つ 1/2500 の地理院地図との重畳を図 3.21-b) に参考として示す。図に示すとおり、地理院地図の踏切と異なる位置にノード候補が表示されており、誤差があることが分かる。拡張 DM

は、踏切の情報は持っていないが、道路縁と鉄道の軌道の交差領域が解析できる。しかし、アンダーパスか踏切かの情報はない。一方、DRMは、踏切の図形情報を持っていないが、道路ネットワークのデータであり、リンク内属性として踏切とアンダーパスを区別した情報を持っている。したがって、現時点の考察としては、DRMを用いて範囲を絞り込み、拡張DMや点群座標データと組合せ位置を補正することで、認識できると考える。



出典：国土交通省国土地理院 (<https://maps.gsi.go.jp/>)

図 3.21 踏切の試作結果

### 3.5.8 階段の試作結果

拡張DMを用いて試作した階段のリンク領域の候補を図 3.22に示す。図に示すとおり、階段は、拡張DMの地物を用いて領域を識別でき、リンクの種類を自動でリンク属性に付与できることがわかった。考察として、拡張DMの石段には、階段線が明示されているが、すべての図形で同じ間隔で作図されており、経路情報にある階段段数とは関係がないことに注意してデータを作成する必要がある。



図 3.22 階段の試作結果

### 3.5.9 試作結果のまとめ

表 3.19 に試作結果を整理した。表に示すとおり，デジタル地図を組合せることで，歩道橋，踏切，歩車共存道路を除き，リンクの種類を自動識別できることが分かった。ノード候補の位置候補自動取得では，歩道（交差点），歩道（単路），横断歩道で，いくつかの課題があるが，位置候補を取得でき，生成を支援できることが分かった。

表 3.19 試作結果のまとめ

リンクの種類	リンクの種類の自動識別	リンクとノードの位置候補の自動取得による支援
歩道（交差点）	自動識別可能	市街地2車線交差点では支援可能。
歩道（単路）	自動識別可能	直線の単路では，支援可能 ただし複雑な図形を除く。
歩道（歩道橋）	ペDESTリアンデッキを閉領域に変換することで自動識別可能	対象外
歩車共存道路	別手段にて DRM の位置情報の補正が必要	別手段にて DRM の位置情報の補正が必要
横断歩道	自動識別可能	支援可能 ただし複雑な図形を除く。
踏切	別手段にて DRM の位置情報の補正が必要	対象外
階段	自動識別可能	対象外

## 3.6 レベル3の生成手法の実現可能性の分析

### 3.6.1 概要

レベル3のデータ生成手法は，表 3.2 の「(1)歩行空間の認識」が「レベル3 点群座標データ等による全自動歩行空間・種別認識」となり，それ以外は同じ手順である。具体的には，点群座標データを用いて，リンクおよびノード属性を自動生成する。さらに，幅員や勾配等形状に関わる経路情報を自動生成する。



### 3.6.2 分析方法

レベル 3 の実現に向けて、計測された点群座標データから生成できるリンクやノードの属性を分析した。具体的には、点群座標データの集合体や点の座標を扱えるソフトウェア（今回は、三菱電機株式会社製の G-Viz を利用）を用いて手動でデータを生成し、作業をアルゴリズム化することで自動化できるか考察した。利用した点群座標データは、3.3.5 (2) に記載したとおりである。

### 3.6.3 リンク及びノード属性の自動生成の実現可能性分析

リンクおよびノード属性の自動生成の実現可能性の分析結果を表 3.20 および表 3.21 に示す。表に示すとおり、経路の種類およびノードの位置情報（緯度・経度）を除く属性は、リンク ID やノード ID のような自動で採番できるもの、接続リンク ID や起点ノード ID、終点ノード ID 等ネットワーク構成から論理的に生成できるもの、高さ（階層数）のようなリンクの種類により決定できるもので構成され、自動生成が実現できると考える。

経路の種類およびノードの位置情報は、点群座標データのみでは識別や生成が難しいが、前述したとおり、地物を持つデジタル地図を組み合わせることで、経路の種類を識別でき、歩道（交差点、単路）、歩道橋、踏切、歩車共存道路は、位置候補を自動生成できると考える。

表 3.20 リンクの属性の分析結果

項目名	形式	自動生成の可能性
リンク ID	文字列	自動生成可能
起点ノード ID	文字列	自動生成可能
終点ノード ID	文字列	自動生成可能
経路の種類	コード	点群座標データのみでは情報が不足 デジタル地図等と組み合わせることで 自動生成可能

表 3.21 ノードの属性の分析結果

種別	項目名	形式	自動生成の可能性
一般	ノード ID	文字列	自動生成可能
	緯度経度桁数コード	コード	自動生成可能
位置 情報	緯度・経度	文字列	点群座標データのみでは情報が不足 歩道（交差点，単路），歩道橋，踏切，歩 車共存道路は，デジタル地図等と組み合わ せることで自動生成可能（ただし，品質を 担保するためには，目視確認が必要）
	高さ（階層数）	文字列	リンクの種類により自動生成可能。 階層数：屋外のリンクは0 ペDESTリアンデッキや歩道橋は1
	接続リンク ID	文字列	自動生成可能

### 3.6.4 経路情報の自動生成の実現可能性分析

本項では，リンクに対して設定される経路情報，特に幅員や勾配等歩行空間の形状に関わるリンクの属性が点群座標データから自動生成できるか考察する．前述「3.3 レベル 1 の生成手法の開発」で示したとおり，歩行空間の点群座標データが十分に取得できている場合，既存ソフトウェアを用いて幅員，縦断勾配や横断勾配，段差等の歩行空間の形状に関わる属性が計測できた．この作業は，リンクやノードの位置が自動生成されれば，単純な作業であり，アルゴリズム化が可能である．また，点群座標データは，各点に緯度経度を保持しており，有効幅員箇所等の緯度経度を取得できる．そのため，表 3.5 の点群座標データ座標データから手動で取得可能な属性の各項目について自動で取得できる可能性があるといえる．

さらに，手すりや屋根，蓋のない溝，水路の有無，バス停，信号，視覚障害者誘導用ブロック等の施設の有無に関する項目についても，点群座標データで取得した施設の特徴となる形状を識別することで自動で推定できる可能性がある．

## 3.7 各レベルの適用条件やメリットの整理

これまでの検証や分析の結果を踏まえて，本研究では，実運用を想定し表 3.22 に各レベルの適用条件やメリットを整理した．表に示すとおり，レベル 1 は，点群座標データが入手可能な屋外の歩行空間に適用できる．また，レベル 1 を適用することで，点群座標データからデータを生成できるため現地測量作業を省力化でき時間やコストのメリットがある．レベル 2 は，

レベル 1 の適用条件である点群座標データに加えデジタル地図が入手できる歩行空間に適用できる。レベル 2 を適用することで、リンクの種類や歩道、歩車共存道路、横断歩道のリンク・ノード位置候補が自動取得でき、自動取得されたリンク・ノードの位置候補の目視確認が必要であるものの、レベル 1 と比べて時間やコストのメリットがある。レベル 3 の適用条件は、レベル 2 と同様であるが幅員や勾配等形状に関わる属性の計測が省力化できるため、レベル 2 よりも短時間でデータの整備が可能であり、時間やコストのメリットがある。

表 3.22 各レベルの適用条件とメリットの整理

レベル	現行手法	提案手法		
		レベル 1 (手動)	レベル 2 (半自動)	レベル 3 (自動)
リンクの種類 の識別	・現地計測 にて把握	・手動 (点群座標デ ータから目視)	・自動 (デジタル地図)	・自動 (デジタル地図)
リンク・ノード の位置の取得	・現地計測	・手動 (点群座標デ ータから指定)	・半自動 (歩道、歩車共 存道路、横断歩道は、 デジタル地図から位 置候補を取得)	・自動 (デジタル地図)
幅員や勾配等形 状に関わる経路 情報の取得	・現地測量	・手動 (点群座標デ ータを計測)	・手動 (点群座標デー タを計測)	・自動 (点群座標デー タを自動計測)
適用条件	・費用対効 果が見込 めれば、 適用可	・歩行空間が取得さ れた点群座標デー ータ (概ね 10cm ×20cm のメッシ ュ内に 1 点以上) を入手可能な範 囲 ・屋外の歩行空間	・レベル 1 の適用条件 ・デジタル地図が入手可 【リンク種類自動認識】 歩道、横断歩道、 階段 【位置候補の取得】 市街地 (2 車線) の交 差点、歩道単路、横断 歩道	・レベル 1 およびレ ベル 2 の適用条件
処理時間	・現地計測 に時間が かかる	・現地計測よりも短 時間で整備可能	・レベル 1 よりも短時間 で整備可能。特にリン クとノードの指定で は、地図上での指定が 容易 ・位置候補の取得では、 目視確認と修正が必 要であるが、修正が必 要な場合もレベル 1 と同等な作業であり、 適切に生成できた分 だけ短時間で整備可 能	・幅員や勾配等形状 に関わる属性の 計測が省力化で き、レベル 2 より も短時間で整備 可能
コスト メリット	・現地計測 にコスト がかかる	・現地計測を省力化 でき、現行手法よ りもコストメリ ットがある	・位置候補支援の効果 が高い、歩行空間の多い 都心部等で、レベル 1 の手法よりコストメリ ットがある	・幅員や勾配等形状 に関わる属性の 計測が省力化で きレベル 2 の手法 よりコストメリ ットがある

### 3.8 あとがき

本研究は、道路空間のレーザ測量成果である点群座標データや道路基盤地図情報等のデジタル地図を用いて抽出可能な歩行空間ネットワークデータのノードやリンクの情報を分析し、データ生成手法を考案した。本手法では、実用化を図ることを想定して点群座標データを用いた歩行空間の識別手法別に3つの生成レベルを定義している。

まず、レベル1では、点群座標データから手動でネットワークデータを生成する手法を考案した。考案した生成手法に則して歩行空間ネットワークデータを試作し、有用性を検証した。その結果、歩行者や植栽等のノイズの影響を受けず、点群座標データが取得されていれば、点群座標データから歩行者専用道路や園路を除く各リンクの種類が作成できることがわかった。また、リンクの各種類の経路情報は、約6割(143項目/237項目)の項目で点群座標データから生成が可能であることがわかった。

レベル2では、屋外の歩行空間のリンクの種類が生成できるか調査した結果、歩道(歩道橋を含む)、横断歩道、階段で識別できることを確認した。DRMを用いた歩車共存道路と踏切は、別手段で、位置補正が必要であることがわかった。横断歩道の標示無し交差点やスロープの作成は難しく、別手法の開発が必要であることがわかった。

屋外の歩行空間に多く存在する歩道や横断歩道では、ノード候補の位置を自動取得し、生成を支援する手法を考案した。歩道や横断歩道を対象に、ノード候補の位置が生成できるか検証した結果、いくつかの課題があるものの、位置を自動で取得でき、生成の支援ができることを確認した。また、歩道橋、歩車共存道路および踏切は、既存のデジタル地図だけでは、情報が不足しており、位置補正等の補完措置を講ずる必要があることがわかった。

レベル3では、点群座標データの集合体や点の座標を扱えるソフトウェアを用いて、リンクおよびノードの属性および形状に関わるリンクの属性を自動生成できるか考察した。結果、点群座標データは、歩行空間の表面形状を表現しており、ノード候補位置を手がかりに自動計測を行うことで、自動生成できると考察した。

最後に、検証や分析の結果を踏まえ、実運用を想定し各レベルの適用条件やメリットを整理した。

## 第4章 車線・歩行者ネットワークデータを統合した デジタル道路地図の生成手法の提案

### 4.1 まえがき

私たちの生活空間である道路には、自動車、自転車や歩行者等の交通がある。交通事故に着目すると、歩行者対自動車の交通死亡事故は、平成 27 年の全国交通死亡事故 4,028 件の約 37% の 1,474 件と報告されている[79]。これは、自動車単独の交通死亡事故件数 958 件より多く、自動車同士の 1,558 件と同程度である。また、自転車対歩行者の交通事故件数は、平成 17 年で全国の自転車事故 183,993 件の約 1.4% の 2,617 件、平成 27 年で全国の自転車事故 98,700 件の約 2.5% の 2,506 件である。自転車事故の全体件数が 10 年間で半減する中で、自転車対歩行者の交通事故件数は横ばいとなっている[80]。このような状況への施策として、国土交通省では、自転車ネットワーク計画策定や道路と交通状況に応じた自転車通行空間の整備促進のために「安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン」[81]を策定し、道路空間の再配分を推進している。したがって、さらなる安全・安心で快適な交通環境を実現・維持するには、歩車の交通実態をきめ細かく把握し、対策を講ずる必要があるといえる。

交通実態の把握に関する既存の研究にビデオ観察を用いた手法がある[82]-[86]。これらの手法では、ビデオ映像から自動車、自転車や歩行者等の移動軌跡を秒単位等で再現し、メッシュで表現した道路空間に重畳して交通実態をきめ細かく把握している。移動軌跡を集計するメッシュは、分析者自らが生成し、分析に係わる集計も手作業が伴うため、対象範囲や交通量が増えるほど作業負荷が強いられる。このため、メッシュ単位での移動軌跡の集計作業や道路構造物の地物単位での移動軌跡の集計作業を効率化できる地図をベースとした分析環境の整備が望まれる。

一方、分析に利用するデータに着目すると、携帯端末等から取得された自動車、自転車や歩行者の交通モードのプローブデータが道路交通分析に活用されている[19][85][86]。プローブデータとは、一定間隔の測位座標や加速度等のセンサ情報を有した移動軌跡である。現行のプローブデータの測位座標は、10m~20m 程度の誤差が含まれることがある。このため、例えば交差点の方向別の交通行動を分析するには、ノードおよびリンクで表現したデジタル道路地図（道路ネットワーク）を用いて、プローブデータをマップマッチング処理する必要がある。道路管理者におけるプローブデータの分析環境には、DRM[7]が用いられている。DRM は、自動車交通の分析に適したネットワークデータであるため、自動車と横断歩道上の歩行者・自転車との錯綜現象の分析等、複数の交通モードを組み合わせた道路空間の交通実態の分析には、そのまま利用できない場合がある。

さらに、プローブデータやドライブレコーダデータ等から急減速挙動の発生した位置をヒヤリハット箇所として分析する事例が増えている[21][87]。この分析により、潜在的事故危険箇所を把握できるため、効果的な交通安全対策を講ずることができる。これらの事例では、ドライブレコーダの記録映像を目視で確認しながら分類・集計したり、GIS上にプローブデータを表示させて目視確認したりしてヒヤリハットの発生箇所を把握しており、作業負荷が強いられている。この分析にあたり、道路構造物の地物を保持し、自転車や歩行者等の複数交通モードの交通挙動を表現できる地図の分析環境があると、ヒヤリハット箇所の把握に至る作業の効率化や、ヒヤリハットの生じる原因の究明を支援することができる。

我が国のG空間社会の動向[31]を踏まえると、近い将来、プローブデータ等の測位座標が高精度化し、さらに多様な交通モードのプローブデータが網羅的かつ大量に流通することが期待できる。これにより、多様な交通モードのプローブデータを組合せた道路交通分析が可能となる日はそう遠くないと考えられる。現在は、自動車のプローブデータを用いた道路交通分析が多く、その分析環境であるデジタル道路地図（道路ネットワーク）が整っている。しかしながら、多様な交通モードのプローブデータを同時に、効率的かつ効果的に扱える分析環境は開発途上の状況といえる。

本研究の目的を測位精度の高いプローブデータの特長を活かした道路交通分析を支援する道路ネットワークデータや地図の普及を目指して、自動車の走行車線や歩行者の正確な移動軌跡を識別し、複数の交通モードのプローブデータを同時に扱える統合型デジタル道路地図（道路ネットワーク）の生成技術の提案とした。本章の構成として2節では、道路交通分析のユースケースを基にデジタル道路地図の要件を定義する。3節では定義した要件を満足するデジタル道路地図の仕様や生成手順を考案する。4節では考案した生成手法の検証内容を述べ、5節では実際に地図を試作し、その有用性を検証する。さらに6節では試作データに対する地図の要件に対する満足度を検証する。最後に、7節では本研究の成果を総括する。

## 4.2 多様な交通モードの道路交通分析を支援するデジタル道路地図の要件定義

本研究では、ビデオ観察やプローブデータを用いた道路交通分析の既存の研究を基に、今後、測位精度が向上することも踏まえ、自動車、自転車や歩行者のプローブデータを用いた道路交通分析のユースケースを抽出し、デジタル道路地図の要件を定義した(表 4.1)。

交通モード別の通行状況の分析(No.1)では、ビデオ観察を用いる手法[82]-[84]のように、1m×1mのメッシュ等のポリゴン上で、交通モード別の通行状況を集計・可視化できることが要件となる。また、道路交通分析では、交通流を上り下りと分けて把握する必要がある、

通行方向を区別した集計・可視化ができることが要件となる。さらに、歩道や交差点等の道路構造物の地物毎での分析も多く行われているため、地物毎にプローブデータの分類ができることが要件となる。道路構造物の分類は、車道、歩道、交差点、横断歩道や関連なしとした。さらに、車道と歩道が隣接する箇所等では、メッシュ等のポリゴン内に両方の施設が混在する可能性がある。この対応や自動車と歩行者の双方が通行する歩車道を考慮して、歩道を含む車道を追加している。加えて、道路空間にはダブルデッキ、高速道と一般道とが並走する高架橋、歩道橋や地下道が存在する。このため、プローブデータ等の集計の際に、車道と歩道橋等の階層の異なる交通を区別できることを要件とした。

錯綜箇所の抽出 (No.2) では、自転車と歩行者の錯綜箇所を把握できるように、交通モード別にプローブデータを集計し、その結果を容易に重畳できることを要件とした。また、定量的な指標から錯綜状況を評価する手法[88]も踏まえ、その集計の具体例として方向率 (例：上り方向交通量／総交通量)・混入率 (例：自転車交通量／総交通量) を算出・可視化できることを要件とした。

ヒヤリハット箇所の抽出 (No.3) では、プローブデータに含まれる加速度の平均値や急減速挙動の回数等のセンサ情報を道路空間の各箇所で集計・可視化できることを要件とした。

交通モード別や方向別の通過速度の分析 (No.4) では、例えば、歩道における自転車の通過速度の高い位置を詳細に把握できるように、交通モード別に道路空間の各箇所の方向別通過速度の集計・可視化ができることを要件とした。

表 4.1 多様な交通モードの道路交通分析を支援するデジタル道路地図の要件

No.	ユースケース	要件
1	交通モード別の通行状況の分析	1) 交通モード別に通行状況を集計・可視化できること 2) 通行方向を区別した集計・可視化ができること 3) 道路構造物の地物毎 (車道、歩道、交差点、横断歩道、関連なし、歩道を含む車道) にプローブデータの分類ができること 4) 車道と歩道橋等の階層の異なる交通を区別できること
2	錯綜箇所の抽出	交通モード別にプローブデータを集計し、方向率・混入率を算出・可視化できること
3	ヒヤリハット箇所の抽出	加速度の平均値や急減速挙動の回数等のセンサ情報を道路空間の各箇所で集計・可視化できること
4	交通モード別・方向別通過速度の分析	交通モード別に道路空間の各箇所の方向別通過速度の集計・可視化ができること
5	データ交換	道路空間の各箇所に関連する他のネットワークのリンク ID を保持できること

No.1~4 は特定箇所のマイクロ分析のユースケースになるが、例えば経路付 OD 等を用いた既存手法による分析結果との組合せた分析も想定される。そこで、プローブデータの集計結果等を他のデジタル道路地図（道路ネットワーク）と容易に交換できる親和性を確保することを目的に、データ交換（No.5）として、道路空間の各箇所と関連する他のネットワークのリンク ID を保持できることを要件とした。

### 4.3 多様な交通モードの道路交通分析を支援するデジタル道路地図生成手法の考案

#### 4.3.1 地図の仕様

本研究では、前節で定義した道路交通分析の要件に即したデジタル道路地図の仕様（データモデル）を図 4.1 のように定義した。図に示すとおり、デジタル道路地図クラスは、プローブデータ等の集計結果を交通モード別に表現するため、交通モード毎にメッシュクラスを持つ。それぞれのメッシュクラスは、デジタル道路地図クラスで保持された原点座標により重畳できる。メッシュサイズは、きめ細かい道路交通分析の実現や近い将来のプローブデータの測位座標の高精度化を考慮し、歩行者通行幅の  $1\text{m} \times 1\text{m}$  を想定する。歩行者メッシュクラスを例にとると、分析対象範囲の多数のメッシュで構成されるメッシュクラスを持ち、メッシュクラスは、分析を支援するための属性として、メッシュ ID（列・行）や車道、歩道、交差点や横断歩道等の道路構造物の地物の分類コード等を持つ。他のネットワークのリンク ID クラスは、メッシュ ID によりメッシュクラスと関連付けられ、メッシュ上に複数のネットワークが存在することを考慮し、1対nの構造とした。プローブデータの集計結果クラスは、メッシュクラスとメッシュ ID により関連付ける。詳細な属性は、道路交通分析者やアプリケーション開発者が用途に合わせて定義することを想定する。



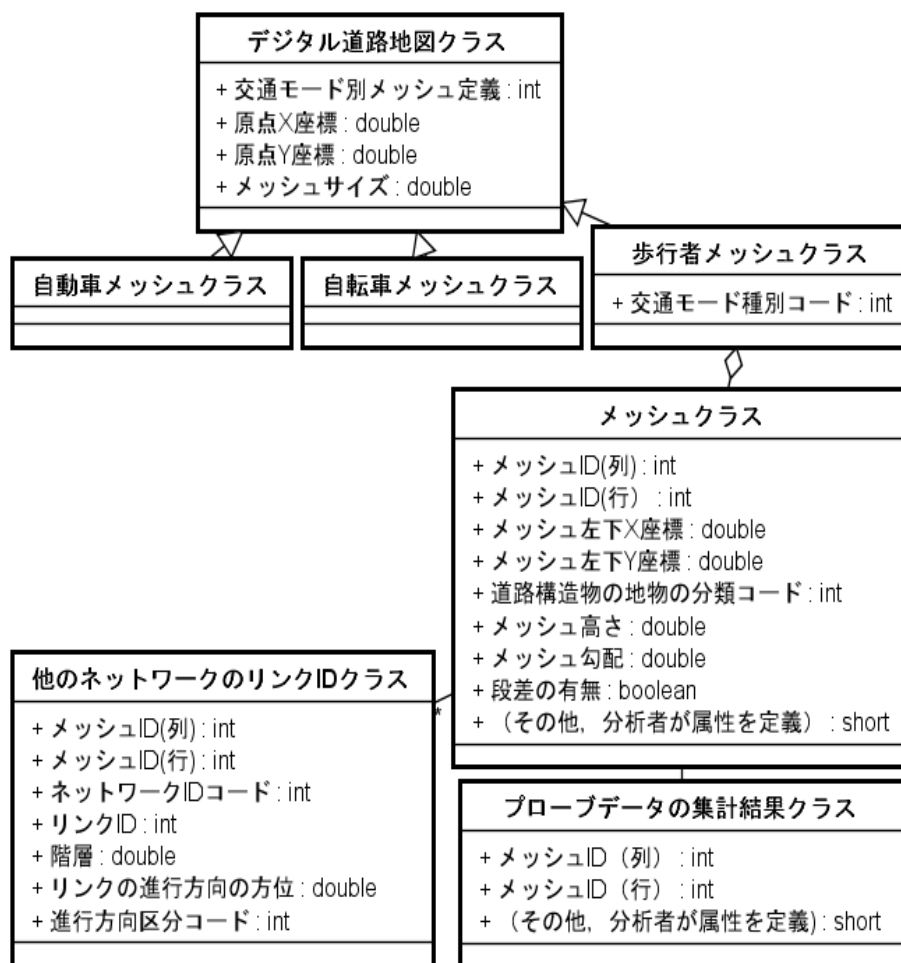
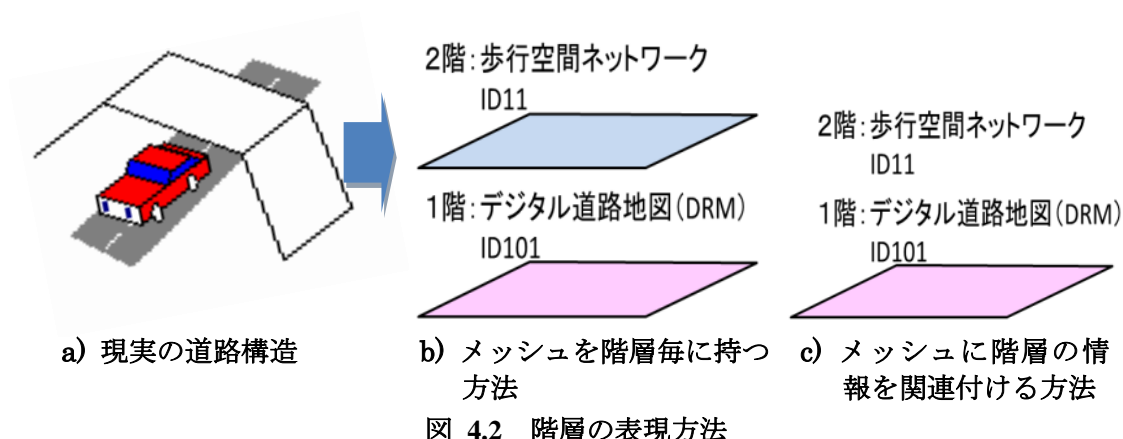


図 4.1 デジタル道路地図のデータモデル

表 4.1 No.1 の 4)車道と歩道橋等の階層の異なる交通を区別できることの要件への対応として、他のネットワークのリンク ID クラスに階層の属性を保持させた。図 4.2-a)のような車道と歩道橋の階層の表現には、図 4.2 に示す 2 通りが考えられる。図 4.2-b)メッシュを階層ごとに持つ方法は、メッシュ間の接続関係や可視化が複雑になるため、本研究では、階層毎にシンプルに交通実態を可視化できる図 4.2-c)のメッシュに階層の情報を関連付ける方法を採用した。メッシュの集計結果は、階層毎に可視化することを想定する。階層は、隣接する同階層のメッシュとの接続関係と合わせて把握できるように、他のネットワークのリンク ID クラスに持たせている。

表 4.1 の No.4 交通モード別に道路空間の各箇所の方角別通過速度の集計・可視化ができることの要件への対応としては、方向別にプローブデータを分離できるようにメッシュ毎にリンクの向きの方角と進行方向区分コード（両方・上り・下り）を持たせている。



### 4.3.2 入力データ

道路交通分析の対象である道路は、道路法の第三条（道路の種類）に定められたものだけで、総延長が約 128 万 km（平成 26 年現在）[89]もあり、デジタル道路地図の効率的な整備・更新が求められる。入力データとして活用する地図は、実務で多用されている DRM[7]や地理院地図[90]に加えて、航空写真、研究開発・調製が推進されている車線単位のネットワーク[14]-[18][91]、歩行空間ネットワークデータ[34]や道路基盤地図情報等の大縮尺地図[39]も対象とする（表 4.2 参照）。メッシュに関連付ける他ネットワークのリンク ID は、全国を網羅する DRM や都市部で整備が進められている歩行空間ネットワークデータを活用する。道路構造物の地物の判定や階層属性の登録は、分析の対象範囲が増えるほど登録作業の負荷が強えられることから、地図やネットワークデータ等の既存資産の活用や自動化が望まれる。道路構造物の地物の判定は、ネットワークデータのリンクとリンク属性に含まれる幅員から推定する手法が考えられる。ただし、DRM の持つ道路幅員が 4 段階に分類されたコードにより表現された路線の代表値であり、正確に道路構造物の範囲を推定できないため、DRM を用いる場合には、リンクごとに幅員を手動で登録することを想定する。階層属性の登録は、歩行空間ネットワークデータの階層属性や一般財団法人日本デジタル道路地図協会が研究開発・調製を推進している DRM 標準フォーマット 21[57]に準拠した高度 DRM データベースのオブジェクト高さ（比高）の属性を活用する。ここで、オブジェクト高さとは、建物のような地物自身の地上からの高さを指す。

表 4.2 活用対象の地図と取得できるデータ

No	地図の種類	整備状況	他のネットワークの リンク	道路構造物の 地物の判定			階層
				車道・歩道・歩車道	横断歩道	交差点	
1	全国デジタル道路地図 データベース	網羅	○ (自動車 NW)	△	—	—	—
2	高度 DRM データベース	一部	○ (自動車 NW)	△	△	△	△ 比高
3	歩行空間ネットワーク データ	一部	○ (歩行者 NW)	△	△	—	○ 階層
4	地理院地図	網羅	—	○	—	○	—
5	航空写真等	網羅	—	手 動	手 動	手 動	—
6	道路基盤地図情報	一部	—	○	○	○	—

凡例： ○ 取得できる情報がある    △推定が可能    —取得できる情報がない

### 4.3.3 生成手順

デジタル道路地図の生成手順を図 4.3 に示す。生成手順は、大きく 4 つの STEP で構成されており、プログラム処理の適用を想定している。

STEP1 では、交通モードごとのメッシュクラスを重畳するための原点やメッシュサイズを決定し、原点からメッシュを連続的に生成する (図 4.4)。また、各メッシュにはメッシュ ID (列・行) およびメッシュ左下座標 (X・Y) を格納する。

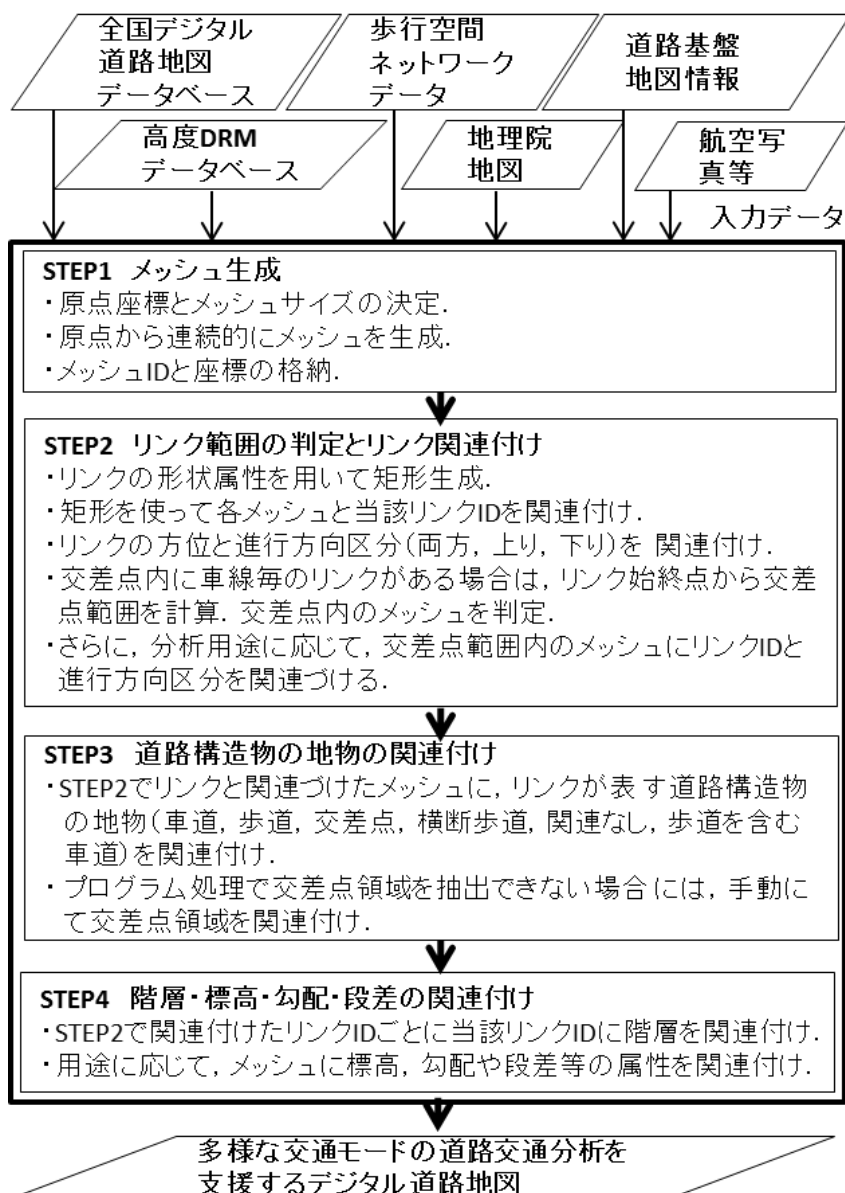


図 4.3 デジタル道路地図の生成手順

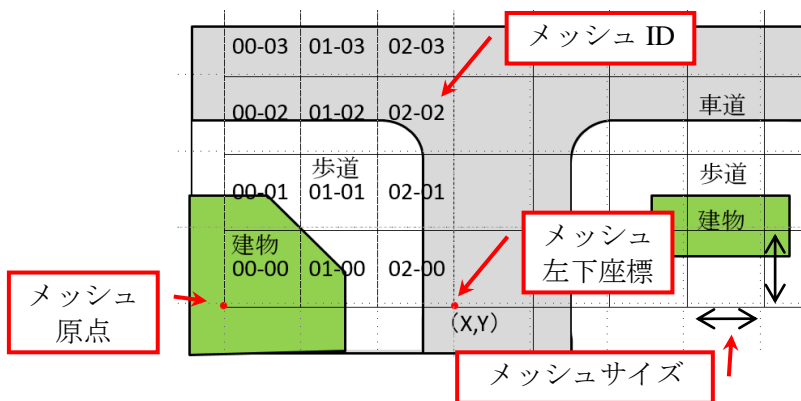


図 4.4 STEP1 メッシュ生成

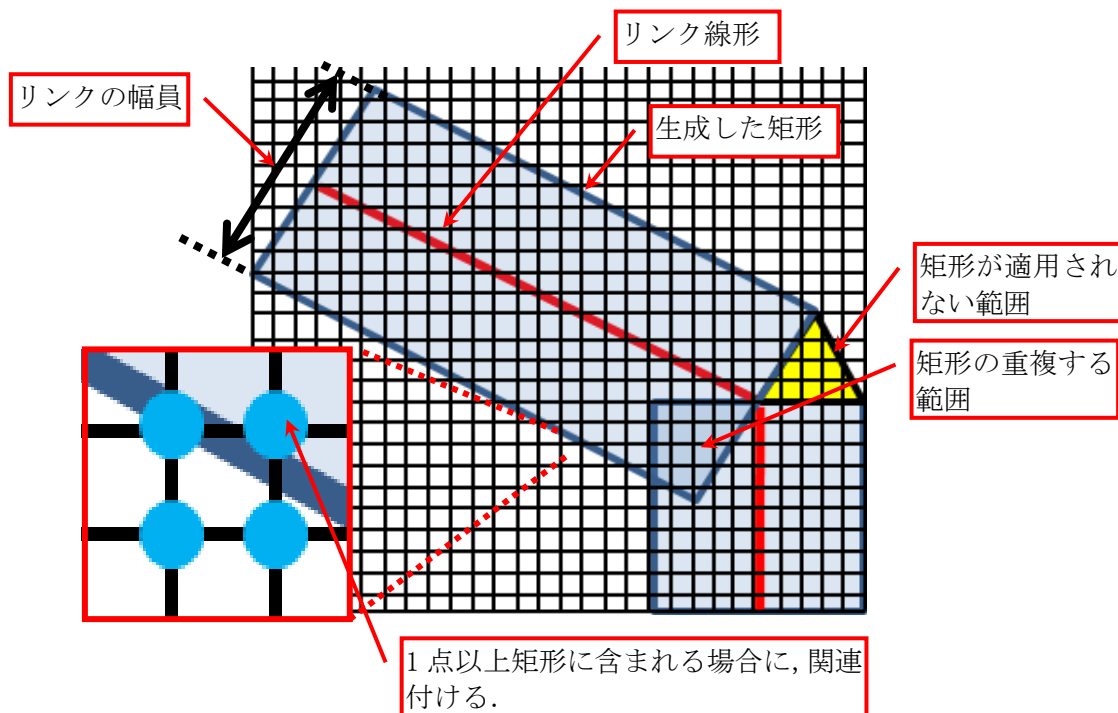


図 4.5 STEP2 リンク範囲の判定とリンク関連付け（単路）

STEP2 では、入力データであるネットワークのリンクの形状属性（幅員等）を用いて矩形を生成し、メッシュの各頂点が矩形内に1点以上あれば、リンク ID を当該メッシュと関連付ける（図 4.5）。リンクは、折れ線で表現されることが一般的であり、図に示すとおり折れ点付近では、矩形が重複する範囲と矩形が適用されない範囲とが発生する。前者は、それぞれのリンク ID を関連付ける。後者は、前後のリンクから発生した矩形の頂点を繋ぎ合わせた領域に対し前後のそれぞれのリンク ID を関連付ける。また、交通流を区別して分析できるようにするため、リンクの方位と進行方向区分（両方、上り、下り）を関連付け

る。さらに、高度 DRM データベースのような大縮尺のネットワークデータでは、車線毎に右左折直進の進行方向区分をリンクで表現している (図 4.6-a))。そこで、交差点内のリンクの始終点から交差点範囲を計算し、交差点内のメッシュを判定する (図 4.6-b))。さらに、分析用途に応じて交差点範囲内のメッシュにリンク ID と進行方向区分を関連付ける。

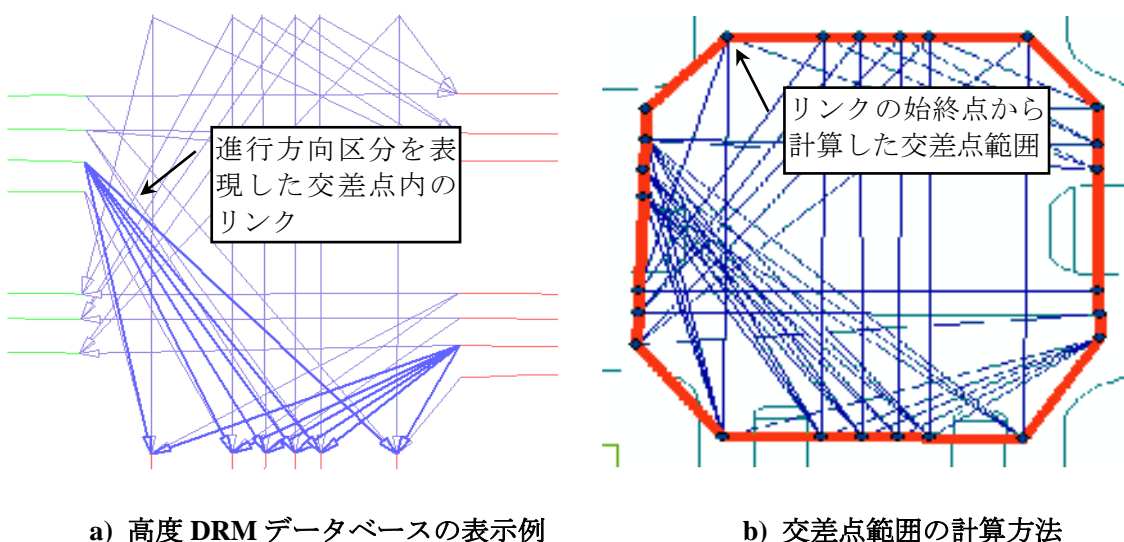


図 4.6 STEP2 リンク範囲の判定 (交差点)

STEP3 では、まず、STEP2 の成果であるメッシュに対して、リンクが表す道路構造物の地物の分類 (車道・歩道・横断歩道・交差点・歩道を含む車道) を関連付ける。メッシュ等のポリゴン内に車道と歩道の両方が存在する場合には、歩道を含む車道に分類する。STEP2 においてプログラム処理で交差点範囲を抽出できない場合は、航空写真や大縮尺地図を目視にて確認しながら当該のメッシュと関連付ける。最後に、生成したデジタル道路地図を目視にて確認し、道路構造物の関連付けに誤りがあれば、必要に応じて手入力で修正する。

STEP4 では、歩行空間ネットワークデータ等の入力データに応じて、STEP2 で関連付けたリンク ID に階層を関連付ける。さらに、入力データに、標高、縦横断勾配や歩道・車道の段差等の属性が含まれている場合は、分析用途に応じてメッシュと関連付ける。

## 4.4 有用性の検証内容

### 4.4.1 検証の対象道路

本研究は、前節で考案した生成手法に則して地図を試作・活用し、地図の生成手法の有用性およびの地図の要件に対する満足度を検証する。検証の対象道路は、上記の検証ができる道路構造およびプローブデータの条件を満足する表 4.3-表 4.5 の3箇所を選定した。

表 4.3 検証道路 A の条件

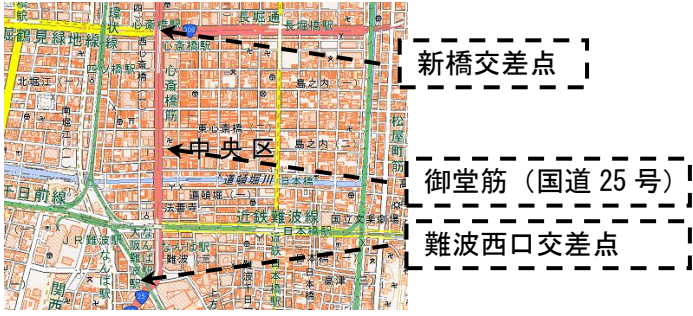
条件	概要
道路構造	<ul style="list-style-type: none"> <li>・新橋交差点付近および難波西口交差点</li> <li>・大阪市，御堂筋（国道 25 号）全 6 車線一方通行（幅員 43m）</li> <li>・繁華街を結ぶ大通り</li> </ul>
プローブデータ	無し
地図	 <p>出典：国土交通省国土地理院 (<a href="https://maps.gsi.go.jp/">https://maps.gsi.go.jp/</a>)</p>

表 4.4 検証道路 B の条件

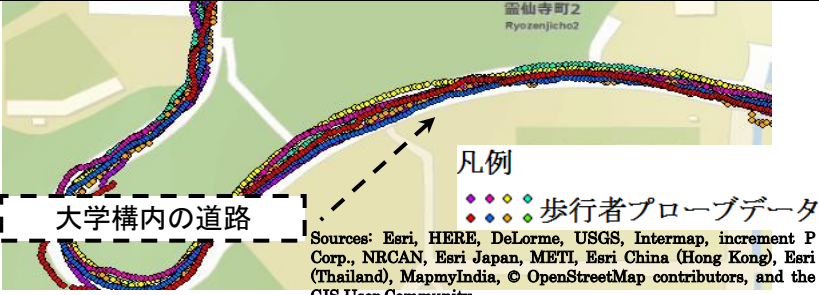
条件	概要
道路構造	<ul style="list-style-type: none"> <li>高槻市，関西大学構内の単路（幅員 12m）.</li> <li>歩道・車道による構成（測位精度を考慮し歩車道として分析）.</li> </ul>
プローブデータ	<ul style="list-style-type: none"> <li>スマートフォンを用いて歩行者および車両（セグウェイ）のプローブデータを取得[6]</li> <li>歩行者の単方向 8 回分（一部のデータは，車道内に位置を補正.）</li> <li>車両（セグウェイ）の双方向 13 回分（交通挙動は，道路中央付近を走行し，30m 毎に 10 秒間停止）</li> </ul>
地図	 <p>凡例 歩行者プローブデータ</p> <p>Sources: Esri, HERE, DeLorme, USGS, Intermap, increment P Corp., NRCAN, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), Esri (Thailand), MapmyIndia, © OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community</p> <p>出典：OpenStreetMap (<a href="https://www.openstreetmap.org/">https://www.openstreetmap.org/</a>)</p>

表 4.5 検証道路 C の条件

条件	概要
道路構造	<ul style="list-style-type: none"> <li>吉祥寺駅北口交差点付近</li> <li>駅に通ずる道路と主要都道が交わり，自転車の交通量が多い</li> <li>五日市街道（都道 7 号）全 2 車線（幅員 15m）と全 4 車線（幅員 21m）の道路の交差点</li> </ul>
プローブデータ A	<ul style="list-style-type: none"> <li>自転車にスマートフォンを搭載し，重加速度センサを用いてプローブデータを取得</li> <li>計測時間は，自動車や歩行者の交通量の多い平日夕方 16:15～18:15</li> </ul>
プローブデータ B	<ul style="list-style-type: none"> <li>交差点を俯瞰できる中層ビルからビデオ撮影した動画から 1 秒毎の静止画像を作成し，移動軌跡を取得し，座標値を付与</li> <li>自動車 23 台，自転車 9 台，歩行者 11 名の移動軌跡</li> <li>計測は，平日 17:50 から信号 1/2 サイクルの 1 分間</li> </ul>
地図	 <p>ビデオ画像</p> <p>拡大</p> <p>撮影範囲</p> <p>吉祥寺東</p> <p>吉祥寺北交差点</p> <p>吉祥寺駅</p> <p>祥寺本町</p> <p>吉祥寺南町</p> <p>出典：国土交通省国土地理院 (<a href="https://maps.gsi.go.jp/">https://maps.gsi.go.jp/</a>)</p>



#### 4.4.2 検証の内容

地図の生成手法の有用性の検証内容を表 4.6 に示す。ここでは、自動化や効率化が期待できるリンク ID、道路構造物の地物、階層が考案したアルゴリズムにより適切に関連付けられているかを検証する。また、地図の要件に対する満足度の検証内容を表 4.7 示す。ここでは、表 4.1 の No.1 から No.4 までのユースケースごとに、試作した地図が定義した要件を満足しているかを検証する。ただし、No.1 の 4)の階層の異なる交通を区別できることを除く。検証で用いるメッシュサイズは、準天頂衛星等の取り組みにより測位精度が cm 級に向上することを見据えて、歩行者の通行幅の 1m×1m とする。

表 4.6 地図の生成手法の有用性の検証内容

No.	検証方法	要件との対応	検証道路
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>DRM および歩行空間ネットワークデータを用いて単路および交差点の地図を試作</li> <li>リンク ID、道路構造物の地物、階層の関連付け結果を確認</li> </ul>	表 4.1 の No.1 の 3), 4) No.5	A
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>自作した車両ネットワークや歩行者ネットワークのリンクを用いて交差点の地図を試作</li> <li>リンク ID、道路構造物の地物の関連付け結果を確認</li> </ul>		C

表 4.7 地図の要件に対する満足度の検証内容

要件	検証方法	要件との対応	検証道路
交通モード別の通行状況の分析	歩車道の単路における方向別の通行状況を可視化	表 4.1 の No.1 の 1) および 2)	B
	交差点における自動車、自転車、歩行者の通行状況を可視化		C
錯綜箇所抽出	<ul style="list-style-type: none"> <li>歩車道の単路にて 2 種の交通モードの分析結果を重畳し、錯綜箇所を集計・可視化</li> <li>メッシュ毎に方向別の通行回数を集計して方向率を算出。また、交通モード別の通行回数から自転車混入率をメッシュ毎に算出</li> </ul>	表 4.1 の No.2	B
	交差点における自転車の混入率、方向率や通行回数をメッシュ毎に集計し、錯綜箇所を可視化		C
ヒヤリハット箇所の抽出	0.3G 以上の急減速挙動回数をメッシュ毎や道路構造物の地物毎に集計	表 4.1 の No.の 3) および No.3	C
交通モード別・方向別通過速度の分析	交通モード別かつ方向別に速度センサの平均値をメッシュ毎に集計・可視化	表 4.1 の No.4	B

## 4.5 地図の生成手法の有用性の検証

### 4.5.1 結果

考案したアルゴリズムに即して、プログラム処理によりメッシュを生成、リンクの始終点の座標と幅員から矩形等を発生させ、リンク ID および道路構造物の地物を関連付けた結果を図 4.7-図 4.9 に示す。今回、試作した検証道路 C（交差点）および検証道路 A（単路と交差点）のほとんどのメッシュで期待したとおりに道路構造物の地物やリンク ID の関連付けができた（リンク ID の具体的例は、図 4.7 に示す。）。また、図 4.8 に示すとおり、道路基盤地図情報と重ね合わせ詳細に確認すると、道路構造物の境界付近、植栽がある歩道、形状が複雑な歩道で正しく関連付けられていないことが分かった。図 4.9 では、道路を一条線のリンクで表現するデジタル道路地図データベースを活用して車道のリンク ID の関連付け・道路構造物の地物の判定を行ったが、側道にメッシュが関連付けられなかった。さらに、緩やかなカーブ等、1本のリンクが直線でない場合は、リンク ID や道路構造物の地物が正しく関連付けられなかった。

階層の関連付け結果を図 4.10 に示す。地下通路を表現するメッシュに、期待したとおりに階層を関連づけることができた。

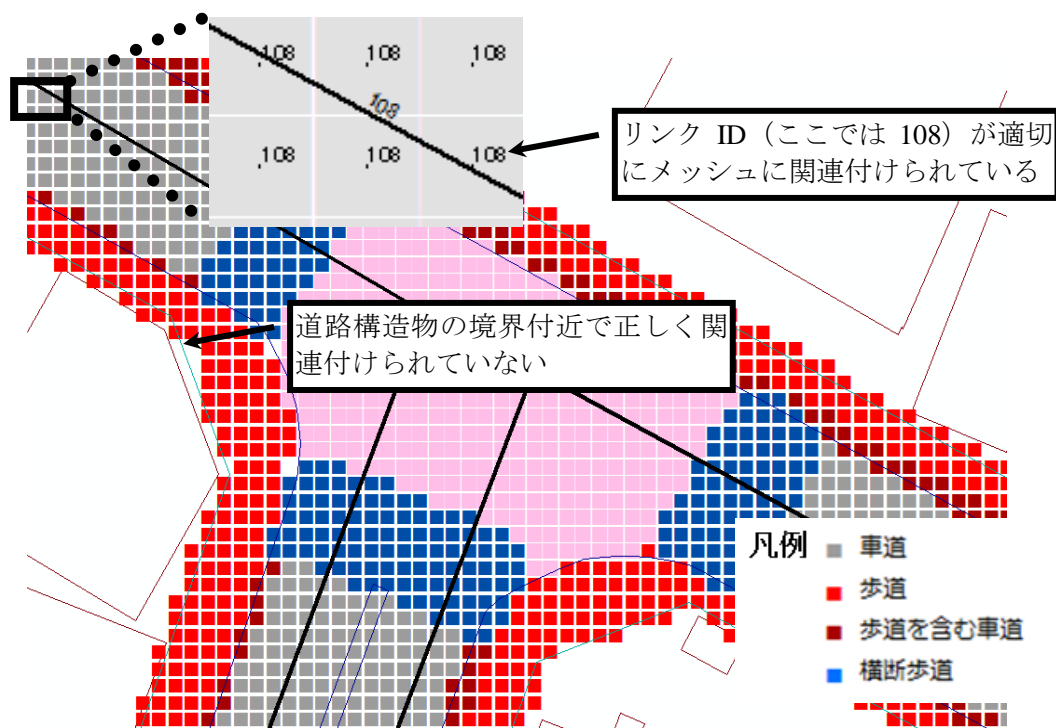


図 4.7 検証道路 C（交差点）の試作結果

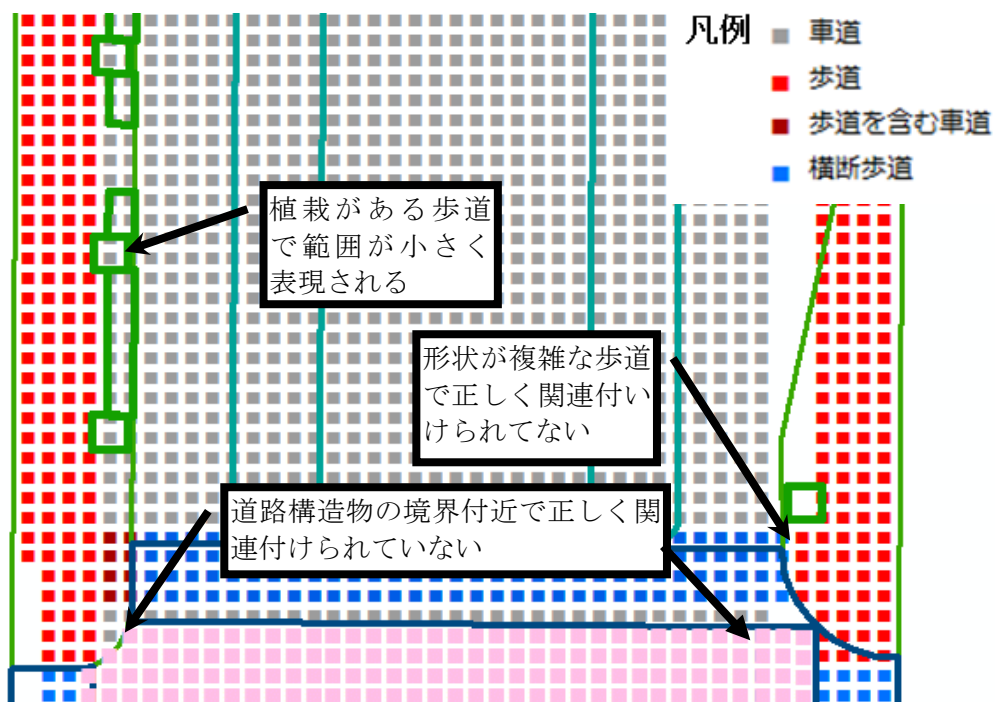


図 4.8 検証道路 A (単路) の試作結果

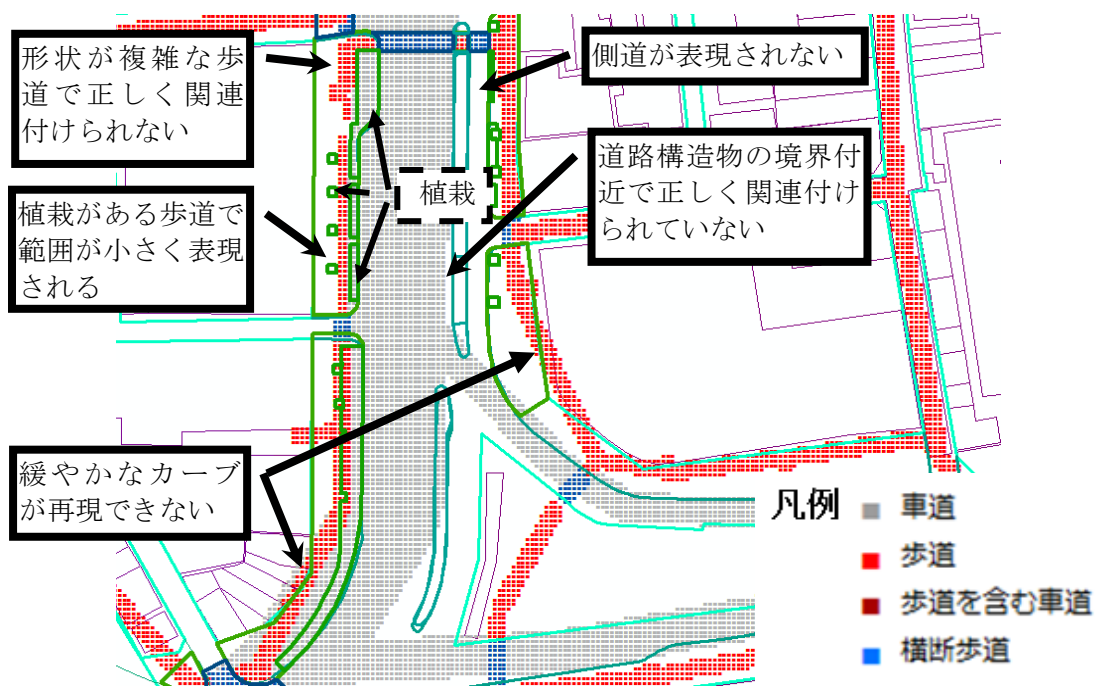


図 4.9 検証道路 A (交差点) の試作結果

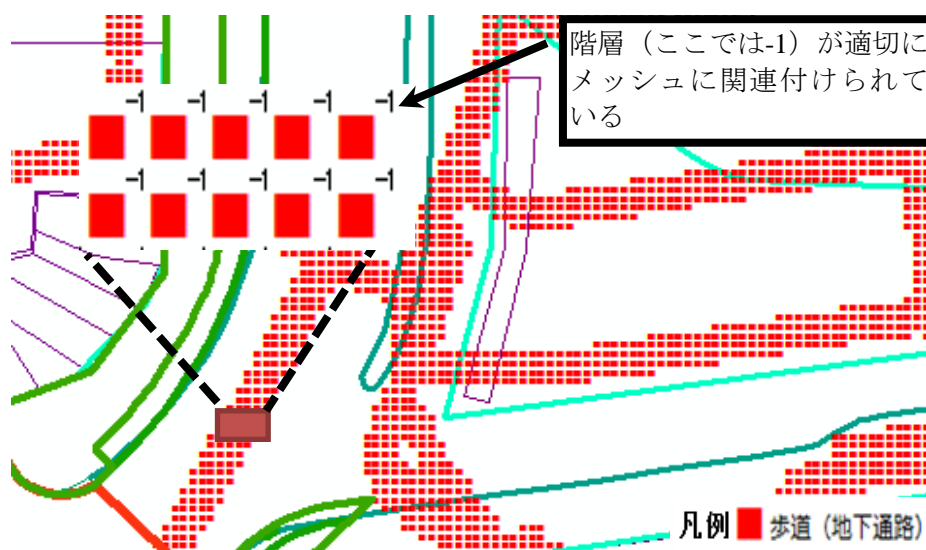


図 4.10 検証道路 A（地下通路）の試作結果

#### 4.5.2 考察

リンク ID や道路構造物の地物の分類が正しく関連付けられなかった原因を以下で考察する。道路構造物の境界付近でリンク ID や道路構造物の地物が正しく関連付けられなかった原因には、活用した DRM データの地図精度が考えられる。活用した範囲の DRM は、1/1000 程度の地図精度があるが、水平で最大 0.7m 程度の誤差が許容される。また、形状が複雑な歩道や植栽等がある歩道で、正しくリンク ID や道路構造物の地物の分類が関連付けられなかったが、これは、地物の判定に活用した歩行空間ネットワークデータの歩道幅員が、歩道の最小幅を意味する有効幅員であるためで、実際の歩道よりも歩道の範囲が小さく判定された。リンク線形と幅員から発生した矩形を用いて地物を判定するアルゴリズムでは、幅員が変化する歩道の形状に即した地物判定は難しい。道路基盤地図情報や地理院地図は、歩道や車道の形状を保持した大縮尺の地図であり、解決策としては、ネットワークデータを活用しリンク ID を関連付けた後に、大縮尺の地図を活用し道路構造物の地物の判定を修正する方法が考えられる。

図 4.9 で側道にリンク ID や車道が関連付けられなかったのは、DRM が道路を 1 条線のリンクで表現するためである。解決策としては、車線単位の情報を持つネットワークデータや大縮尺の地図を活用する方法が考えられる。緩やかなカーブが正しく再現されなかった原因は、本検証では、リンクを直線と想定し関連付けを行っているためである。リンクの始終点の座標だけでなくリンク線形の補間点の座標を活用することで解決できる。歩行空間ネットワークデータの補間点を活用し、図 4.9 を補正した地図を図 4.11 に示すとおり、幅員に有効幅員を用いたため、実際の歩道より判定範囲が小さいが、補正した緩や

かなカーブを持つ歩道について実際の歩道内を正しく歩道と判定できている。また、図には、道路基盤地図情報を用いて手作業で補正したメッシュも合わせて表示している。

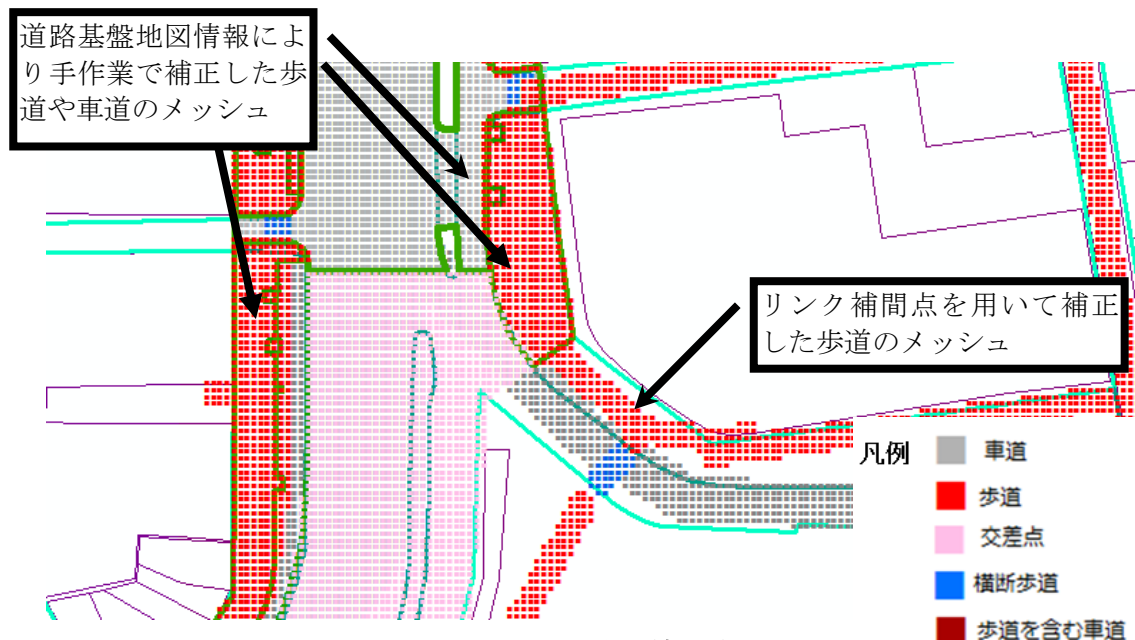


図 4.11 地物判定の補正結果

#### 4.5.3 地図の生成手法の有用性の検証のまとめ

本検証では、考案したアルゴリズムにより、いくつかの課題があるものの、表 4.1 No.1 の 3), 4)および No.5 の要件を満足するために必要となるリンク ID、道路構造物の地物や階層が適切に関連づけられることを確認した。また、本検証では、リンク ID の関連付けや道路構造物の地物の判定をプログラム処理で行っている。手作業による確認が必要である等、いくつかの課題があるが、本生成手法のアルゴリズムや入力データを活用することで、分析基盤の作成作業を効率化できる可能性を示唆できた。

## 4.6 地図の要件に対する満足度の検証

本節では、表 4.7 に示した地図の要件に対する満足度の検証の結果と考察を述べる。

### 4.6.1 交通モード別通行状況の分析の要件検証

本検証では、交通モード別に道路空間の通行状況を集計・可視化できることや通行方向を区別した集計・可視化ができることの要件を満たすか確認するため、試作した地図を用いて、プローブデータを集計し、通行状況を表示した。図 4.12 および図 4.13 に示すとおり、表-1 No.1 の 1)および2)の要件が満足することを確認した。図 4.12 は、自転車の通行方向を区別して集計し可視化している。1回でも移動軌跡がメッシュに含まれれば、当該メッシュを通行箇所とした。図では、上り方向と下り方向の通行が分離されている等、通行状況が読み取れる。今後、測位精度が高く、かつ24時間365日の膨大な歩行者や自転車のプローブデータが蓄積され、交通分析に活用できれば、交通事故の起きやすい時間帯の通行状況の分析や交通施策前後での効果検証に活用できると考える。

また、図 4.13 で四輪車は、メッシュサイズよりも大きいため、車の大きさを考慮し通行箇所を判定している。具体的には、車を幅1.7m×車長4.7mの矩形とし、通行箇所を判定した。矩形は、進行方向の精度を上げるため、1m以上移動した際に、前回の移動軌跡の位置から進行方向を推定している(図 4.14)。図 4.13 を注意深く見ると歩行者は、横断歩道を通行しているが、自転車の一部が交差点中央付近を乱横断していることが読み取れる。特に図 4.13 では、交通ルールに則していない通行状況を再現できた。交通ルールに則さない通行は、ネットワークデータを用いてマップマッチングする交通分析で再現しにくいいため、考案したデジタル道路地図を提供することで、きめ細かい交通挙動の分析の支援となる。

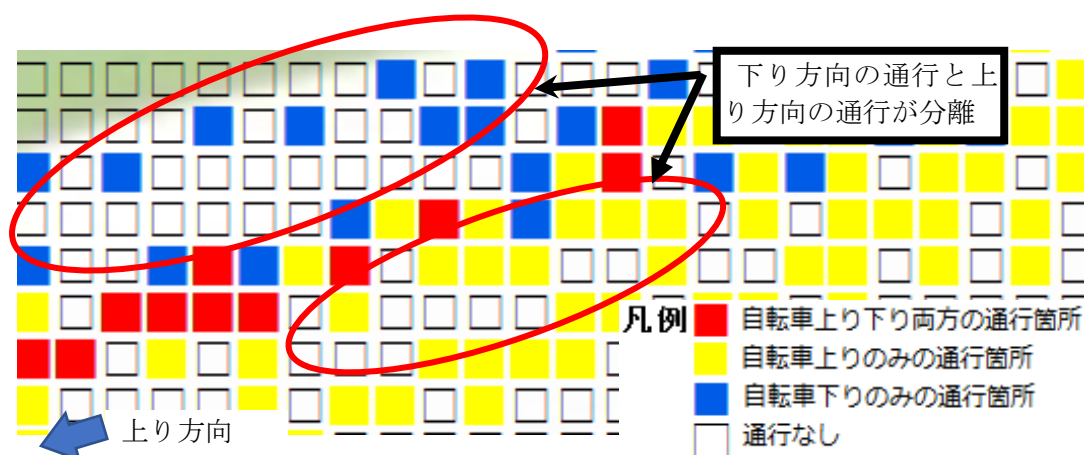


図 4.12 通行状況の分析の要件検証結果 (通行方向を区別)

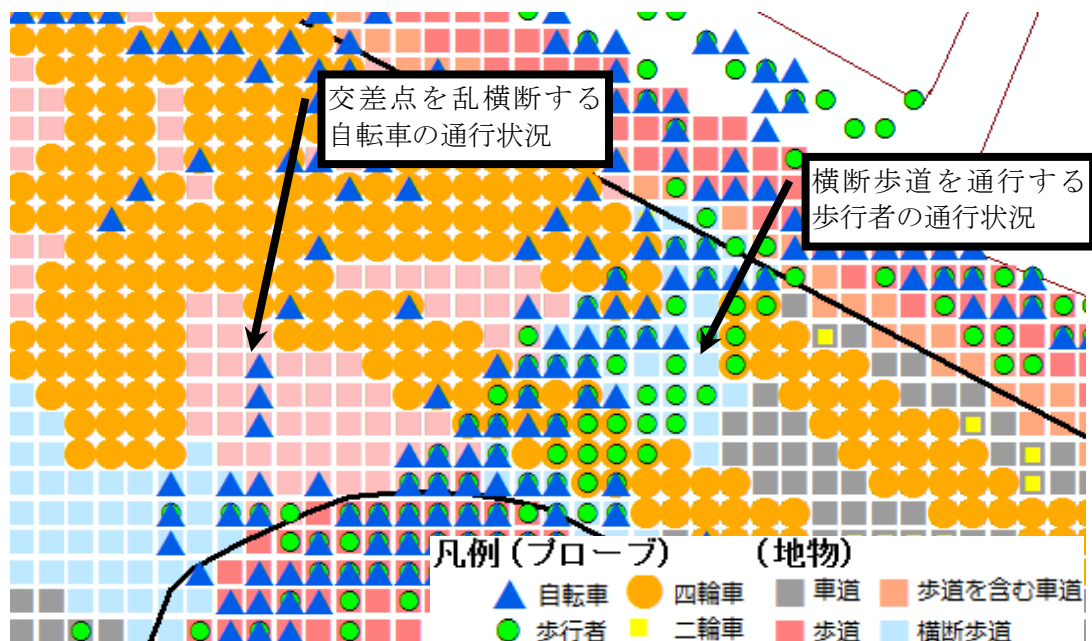


図 4.13 通行状況の集計結果 (自動車, 自転車, 歩行者)

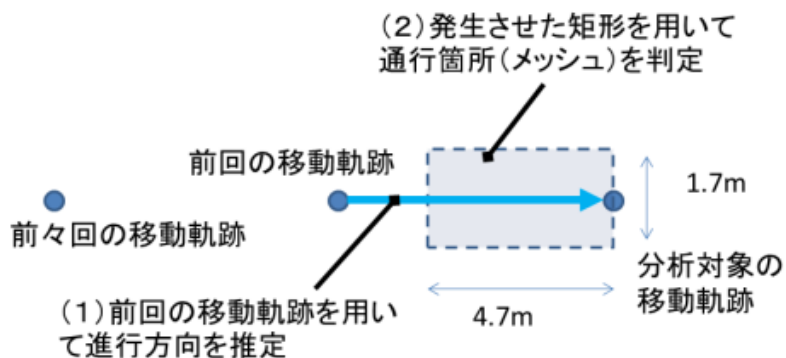


図 4.14 四輪車の通行箇所の判定方法

#### 4.6.2 錯綜箇所の抽出の要件検証

本検証では、交通モード別にプローブデータを集計し、その結果を容易に重畳できることや方向率（総通行回数に対する上り方向の通行回数の割合）・混入率（総通行回数に対する自転車の通行回数の割合）を算出・表現できることの要件を満たすか確認するため、前述 a)で集計したそれぞれの交通モードの分析結果を組合せ可視化した図 4.15-図 4.21 に示すとおり、表 4.1 の No.2 の要件を満足することを確認した。図 4.15 は、自転車上りと歩行者下りの通行回数を集計し、その結果を重畳している。交通モード別の利用回数を読み取れ、どのメッシュの利用状況が多いか交通モード別に確認できる。図 4.16 は、方向率を可視化しており、上り下りの通行がどの程度混在しているかメッシュ単位に確認できる。図 4.17

は、自転車混入率を可視化しており、どのメッシュの自転車利用の割合が高いか確認できる。図 4.18 の A の箇所では、方向率が 50%程度であり上り下りの交通流が重なりあっていること、図 4.19 の B の箇所では、歩道状公開空地を含め歩道の真ん中を自転車が占有していること、C の箇所では、横断歩道に隣接する自転車横断帯を自転車が占有していることが読み取れる。さらに、全交通モードの通過回数の多いメッシュ（図 4.20 の D）に対し流入方向を分析した結果を図 4.21 に示す。図では、8回の通行回数のうち5回の通行が、自動車の上り方向であるが、残りの3回が自転車で逆走や乱横断の方向であることが確認できた。このように、考案したデジタル道路地図を活用することで、それぞれの位置に対する交通モードや通行方向の偏り、メッシュへの流入方向が把握でき、錯綜箇所の分析の支援に役立つと考える。さらに、自転車の乱横断を防止する対策の支援として、ガードレール等、現状の道路施設の位置を交通分析者に提供することで、さらなる、道路交通分析の効率化や高度化につながると考える。

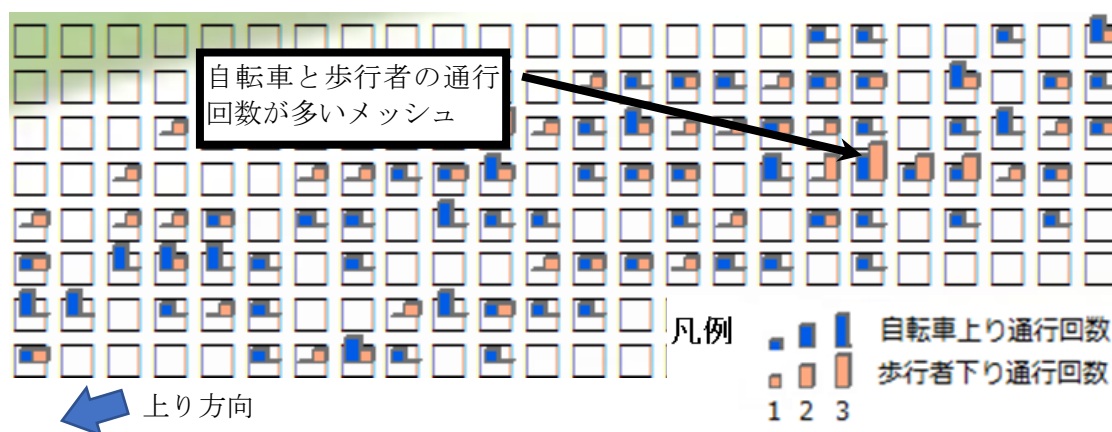


図 4.15 錯綜箇所の抽出分析の要件検証結果

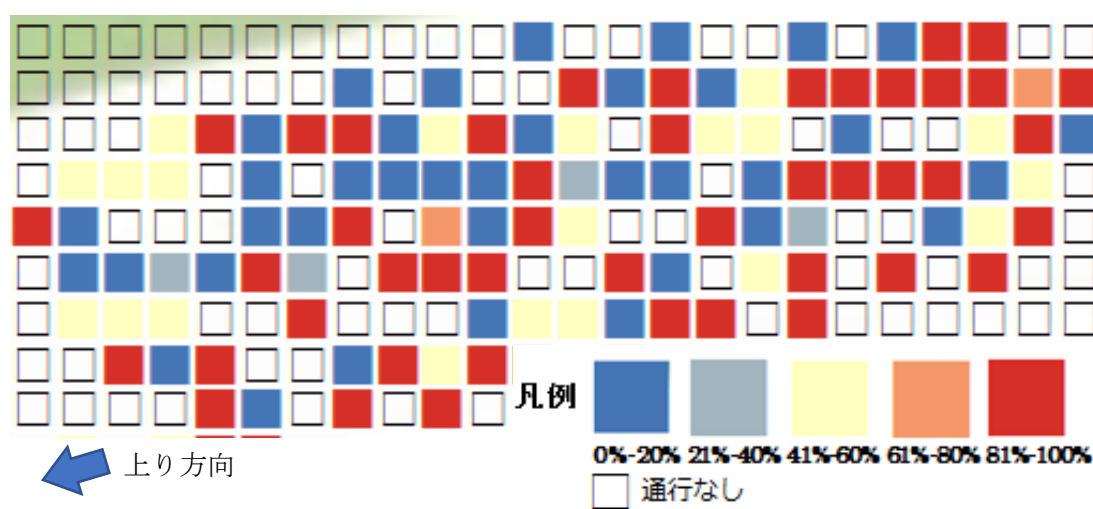


図 4.16 方向率の分析の要件検証結果



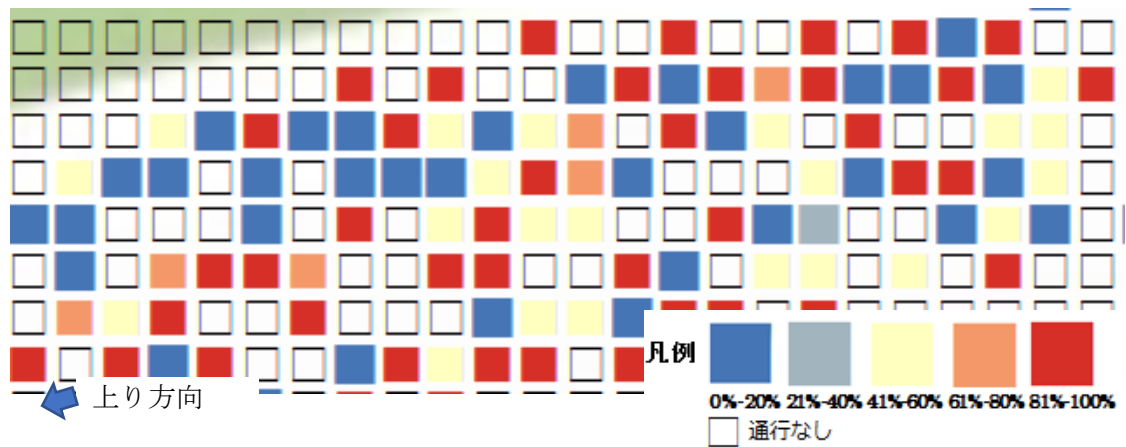


図 4.17 自転車混入率の分析の要件検証結果

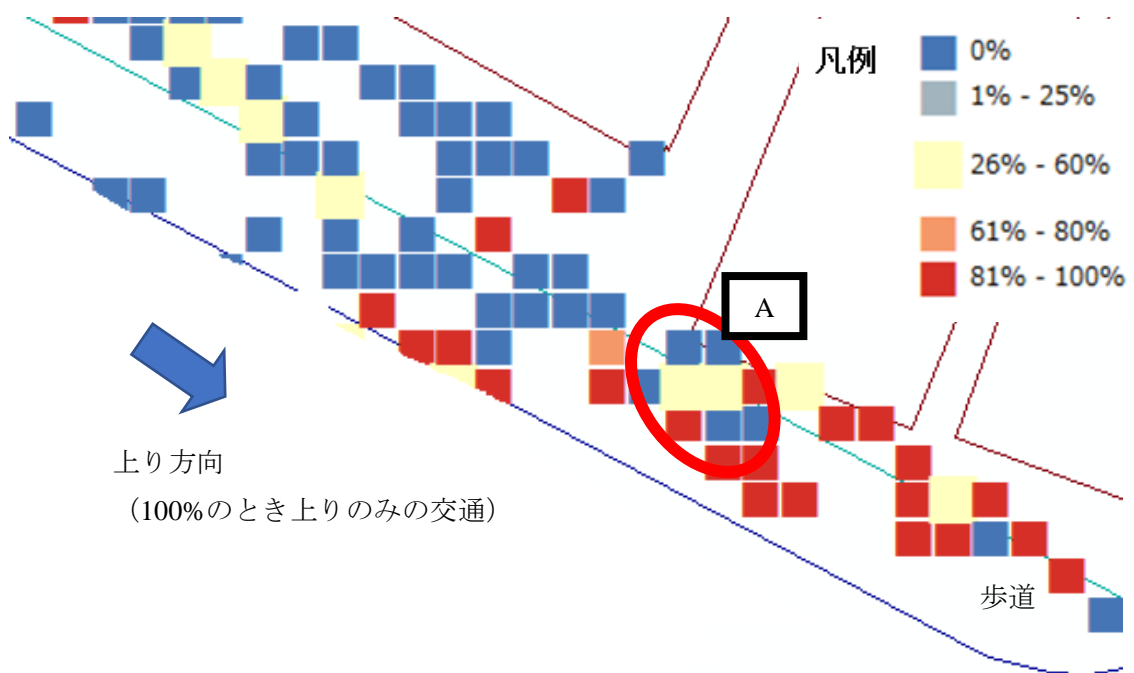


図 4.18 歩道の方向率の分析の要件検証結果

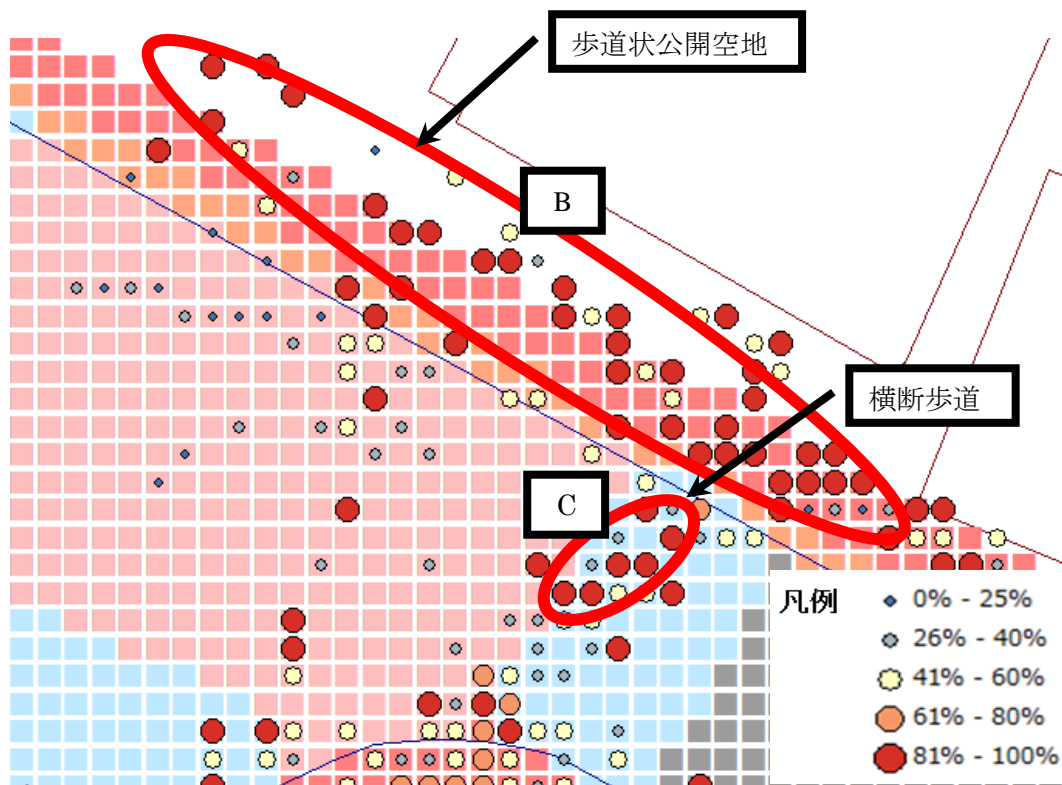


図 4.19 自転車混入率の分析の要件検証結果

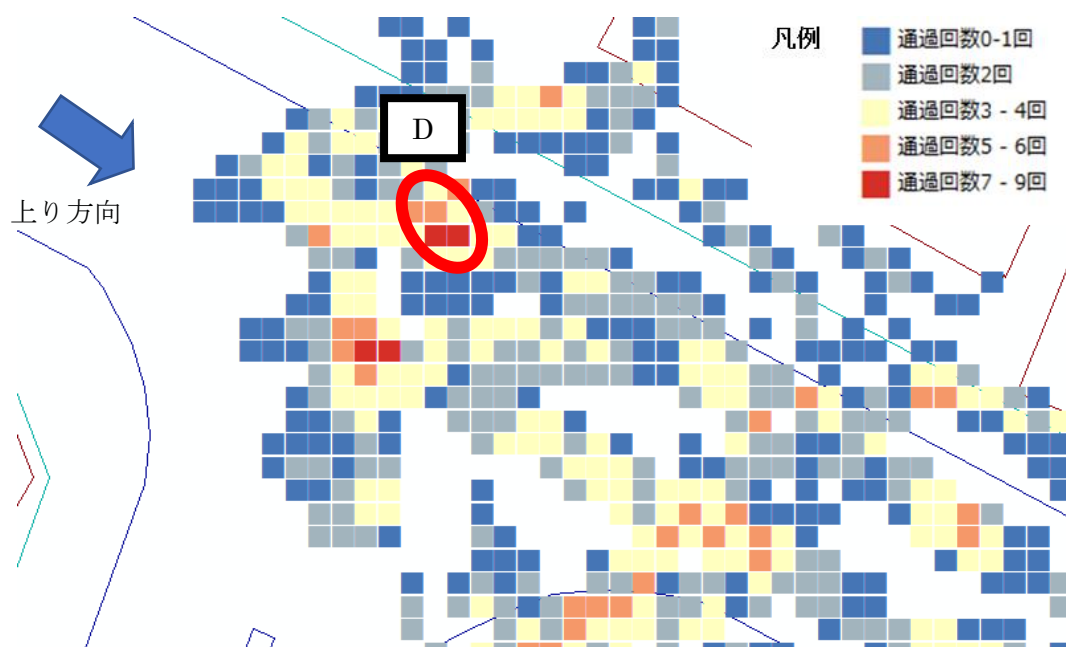


図 4.20 全交通モードの通過回数の分析結果

自動車 5台(上り) 自転車 1台(乱横断)	自転車 1台 (乱横断)	
	通過回数 8回 (交差点内)	
		自転車 2台 (逆走)

図 4.21 D の箇所の流入方向の分析の要件検証結果

### 4.6.3 ヒヤリハット箇所の抽出の要件検証

本検証では、加速度の平均値や急減速挙動の回数等のセンサ情報を道路空間の各箇所で集計・表現できることの要件を確認するため、加速度が 0.3G 以上のプローブデータを包含するメッシュをプログラム処理で判定した。図 4.22 に示すとおり、表 4.1 の No.3 の要件を満足することを確認した。さらに、道路構造毎に移動軌跡を集計できることの要件を満たすか検証するため急減速挙動のあったメッシュを道路構造物の地物別に集計した(表 4.8)。表に示すとおり、No.1 の 3)の要件が満足することを確認した。歩道内のヒヤリハット箇所のうち、横断歩道の境界と 35cm 以内にあるヒヤリハット箇所を誤認識したほかは整合している。メッシュサイズが 1m であり、大量のプローブデータを分析することで精度が高まると考える。

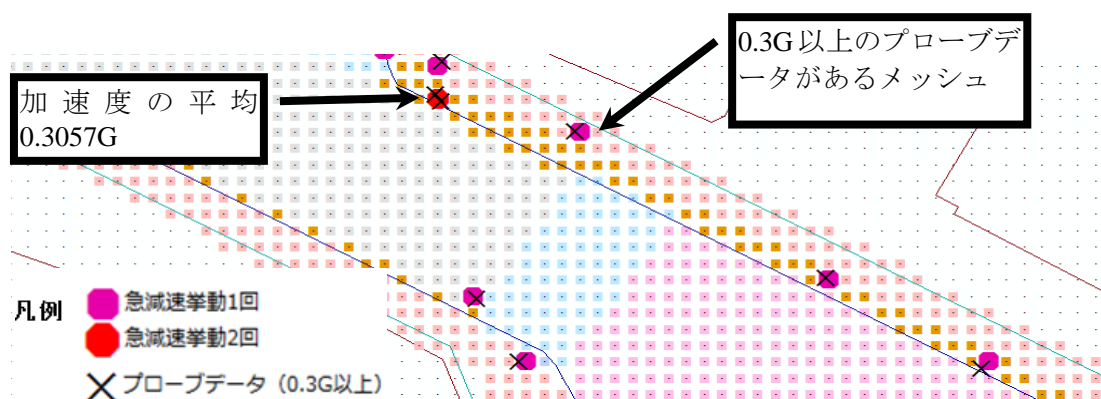


図 4.22 ヒヤリハット箇所の抽出の要件検証結果

表 4.8 道路構造別ヒヤリハット箇所の集計

道路構造	デジタル道路地図での集計	目視による確認結果	備考
車道	2件(8%)	2件(8%)	
歩道	17件(71%)	19件(79%)	差異の2件は、横断歩道との境界から35cm以内にある
歩道を含む車道			
横断歩道	5件(21%)	3件(13%)	

#### 4.6.4 交通モード別・方向別通過速度分析の要件検証

本検証では、交通モード別に道路空間の各箇所の方向別通過速度の集計・表現ができることの要件を満たすか確認するため、メッシュに含まれたプローブデータのGPS速度をプログラム処理で平均化した。図4.23に示すとおり表4.1のNo.4の要件を満足する。自転車は、30m程度ごとに10秒間の停止を行っており、図では、停止位置付近が平均速度の低い箇所として読み取ることができる。

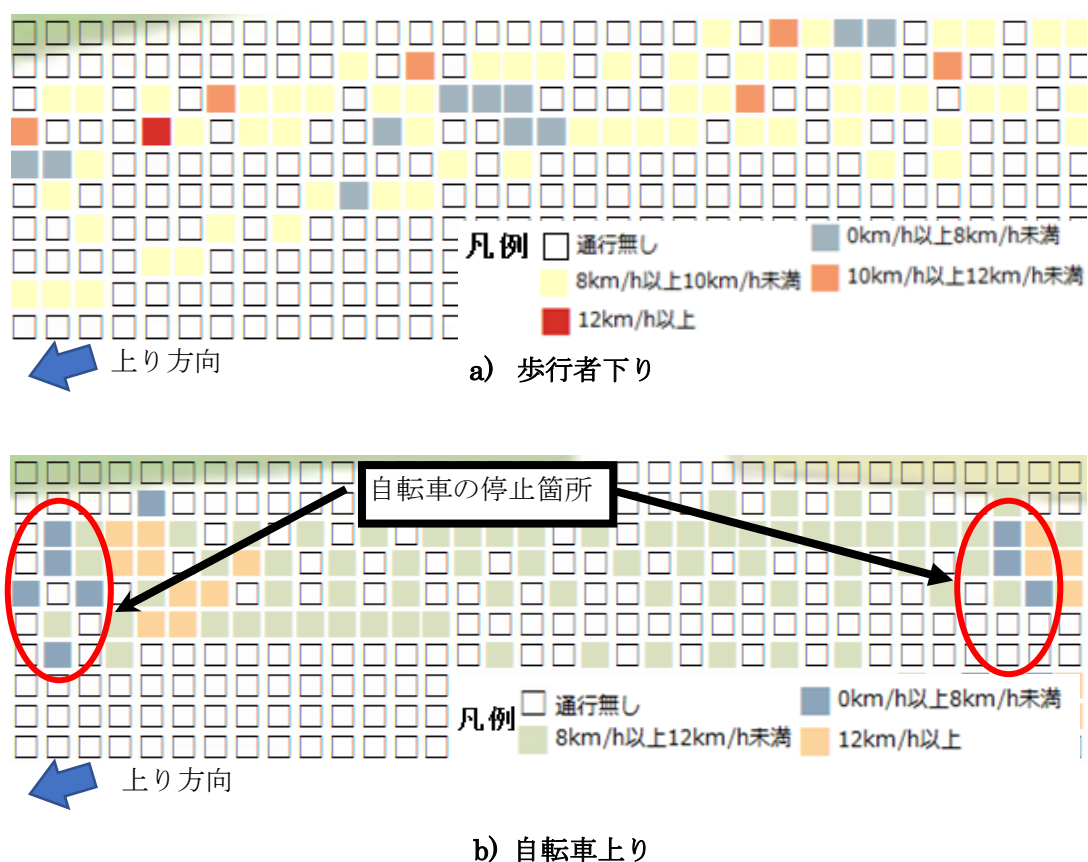


図 4.23 交通モード別・方向別通過速度分析の要件検証結果

#### 4.6.5 地図の要件に対する満足度の検証のまとめ

本検証により、考案した生成手法に基づき試作したデジタル道路地図が、表 4.1 の No.1 から No.4 のユースケースの要件を満足することを確認した。ただし、No.1 の 4)の階層の異なる交通を区別できることを除く。また、各検証では、集計作業の一部をプログラム処理で行っており、考案したデジタル道路地図を分析者に提供することで、これまで作業負荷を強いられていた分析に係わる集計作業を省力化できる可能性がある。

### 4.7 あとがき

本研究では、高精度測位座標で表現された多様な交通モードのプローブデータを組合せた道路交通分析を支援することを目指して、複数モードのプローブデータを同時に扱うこと可能とするため道路空間をメッシュ分割する道路地図の生成手法や自動車の走行車線や歩行者の正確な移動軌跡を識別するため、2章で述べた車線ネットワークデータおよび3章で述べた歩行者ネットワークデータとをメッシュ分割した道路地図に統合する手法を考案した。さらに、考案したデジタル道路地図を試作し、生成手法の有用性を検証した。具体的には、地図の生成手法の有用性の検証と地図の要件に対する満足度の検証を行った。

地図の生成手法の有用性の検証では、いくつかの課題があるものの、単路や交差点等で期待したとおりにデジタル道路地図を生成することができた。ただし、植栽がある歩道、形状が複雑な歩道、道路構造の境界付近のメッシュ等で適切にリンク ID や道路構造物の地物の判定ができない課題があることが分かった。また、本生成手法のうち既存の地図等の入力データを活用したメッシュとリンク ID や道路構造物の地物の関連付けの処理は、プログラム処理の適用を想定しており、短期間に大量のデータを分析する必要があるヒヤリハット箇所分析の取り組みや、近い将来、高精度な測位座標のプローブデータが大量に流通した際の分析基盤として活用が期待される。

地図の要件に対する満足度の検証では、定義した要件のうち、表 4.1 の No.1 の 4)を除き No.1 から No.4 のユースケースの要件を満足することを確認した。高精度で測位されたプローブデータと考案した生成手法で生成したデジタル道路地図を用いることで、交差点の乱横断を含めた道路空間の通行状況の可視化や複数の交通モードの錯綜の抽出、ヒヤリハット箇所の効率的な抽出等が実現でき、道路交通分析のさらなる効率化や高度化に繋がる。

## 第5章 結論

近年、自動車の走行履歴や挙動履歴を収録したプローブデータおよび道路ネットワークデータは、道路管理者による旅行速度、渋滞長および交差点の交通状況等の道路交通分析で多用されており、安全・安心で快適な道路交通環境を実現する上で重要な資産となっている。

準天頂衛星システムや自動運転等の技術が進展すると、走行車線が識別できる自動車のプローブデータが莫大かつ網羅的に流通することや移動軌跡を正確に識別できる歩行者のプローブデータが流通し始めることが予想される。これにより、例えば、歩行者の乱横断による自動車と接触する可能性の高い潜在的事故危険箇所の抽出等、現在は解明が困難な交通現象の知見を得られることが期待される。

このようなプローブデータの特長を活かした道路交通分析を実施するには、自動車の走行車線や歩行者の正確な移動軌跡を識別し、これら複数の交通モードのプローブデータを同時に扱えるデジタル道路地図が必要である。しかし、自動車の走行車線や歩行者の正確な移動軌跡が識別できるデジタル道路地図や複数の交通モードのプローブデータを同時に扱える地図は、未整備の状況であり、測位精度の高い自動車や歩行者のプローブデータが流通することを見据えるとその整備・更新は喫緊の課題であるといえる。

本研究では、自動車の走行車線や歩行者の正確な移動軌跡を識別し、複数の交通モードのプローブデータを同時に扱える統合型デジタル道路地図の生成技術を提案した。具体的には、自動車の走行車線や歩行者の移動軌跡が識別できるデジタル道路地図が未整備の課題の解決策として、車線ネットワークデータの生成手法および歩行者ネットワークデータの生成手法を提案した。そして、複数の交通モードのプローブデータを同時に扱えるデジタル道路地図が未整備の課題の解決策として、メッシュ分割した道路地図に前述の車線ネットワークデータや歩行者ネットワークデータを統合したデジタル道路地図の生成手法を提案した。以下に、本研究によって得られた成果を章別に総括する。

第1章では、道路交通分析で多用されるプローブデータと道路ネットワークデータの現状を述べ、今後、プローブデータの測位精度が向上した際に道路交通分析で顕在化する道路ネットワークデータの課題を指摘した。この課題を解決するために、本研究の目的を測位精度の高い複数の交通モードのプローブデータの特長を活かした道路交通分析を支援するデジタル道路地図の生成技術の提案とすることを述べた。さらに、本研究では、課題の解決策として車線ネットワークデータの生成手法(2章)、歩行者ネットワークの生成手法(3章)、車線・歩行者ネットワークデータを統合したデジタル道路地図の生成手法(4章)の3つを提案することを述べて、研究の手順や本論文の構成を示し、その内容を簡単に説明した。

第2章では、「車線ネットワークデータの生成手法の提案」と題して、既存の道路ネットワークデータの仕様を調査し、道路交通分析における車線ネットワークデータの要件および仕様を定義した。次にデータ仕様を満足する車線ネットワークデータの生成手法として、大縮尺地図である道路基盤地図情報と道路空間のレーザ計測成果である点群座標データとを組み合わせた生成手法を提案した。同生成手法の内容として、道路基盤地図情報の道路中心線、区画線、停止線から路線単位や車線単位のリンクを生成する手法、道路基盤地図情報の車道部や車道交差部等と点群座標データとを組み合わせ、路面以外の高さを持つ地物の点群座標データを排除した路面点群を生成する手法、ノイズ点群が含まれる路面点群からメディアンフィルタを用いて、リンクに路面高さを付与する手法、区画線を用いて生成した車線単位のネットワーク線形を道路中心線と並行して交差点内に延長し、交点を求めることで車線ネットワークデータのノードを生成する手法を考案した。そして、考案した手法に基づき、道路基盤地図情報および点群座標データを用いて、車線ネットワークデータを試作し、生成手法の有用性を検証した。その結果、既存資産である道路基盤地図情報や測量成果である点群座標データを用いて、走行車線が識別できる車線ネットワークデータを生成できることを確認した。

第2章の研究で得られた成果を次に示す。

- 道路交通分析における車線ネットワークデータの要件を定義した。
- 要件を満足する車線ネットワークデータの仕様を定義した。
- 定義した仕様に則した車線ネットワークデータの生成手法、具体的には、道路基盤地図情報と点群座標データとを活用した生成手法を考案した。

第3章では、「歩行者ネットワークデータの生成手法の提案」と題して、既存の歩行者ネットワークデータの仕様を調査し、道路交通分析における歩行者ネットワークデータの要件および仕様を定義した。次にデータ仕様を満足する歩行者ネットワークデータの生成手法として、道路基盤地図情報等のデジタル地図と道路空間のレーザ計測成果である点群座標データとを組み合わせた生成手法を提案した。生成手法は、点群座標データを用いた歩行空間の識別方法別に3つの生成レベルを定義した。レベル1では、点群座標データから手動でデータを生成、レベル2では、点群座標データにデジタル地図を組み合わせてデータを半自動で生成、レベル3では、点群座標データから自動でデータを生成する。そして、レベル1の生成手法に則して、点群座標データから手動で歩行者ネットワークデータを試作し、歩行者専用道路や園路を除く各リンクの種類が生成できることを確認した。レベル2では、デジタル地図の地物から手動で歩行者ネットワークデータを試作し、横断歩道の路面標示なし交差点やスロープを除く、各リンクの種類が自動で生成できることを確認した。レベル3では、市販ソフトウェアを用いて手動で点群座標データからノードやリンクの属性を試作し、形状に関わる属性等が点群座標データから自動生成できると考察した。その結果、既存資産である道路基盤地図情報等のデジタル地図や測量成果である点群座標データを用いて、歩行空間が識別できる歩行者ネットワークデータを生成できることを確認した。

第3章の研究で得られた成果を次に示す。

- 道路交通分析における歩行者ネットワークデータの要件を定義した。
- 要件を満足する歩行者ネットワークデータの仕様を定義した。
- 定義した仕様に則した歩行者ネットワークデータの生成手法，具体的には，デジタル地図や点群座標データを用いた歩行空間の識別方法別に3つの生成レベルを設けた生成手法を考案した。

第4章では、「車線・歩行者ネットワークデータを統合したデジタル道路地図の生成手法の提案」と題して，今後，プローブデータの測位精度が向上することを踏まえた上で，複数の交通モードのプローブデータを用いた道路交通分析のユースケースを抽出し，道路交通分析におけるデジタル道路地図の要件および仕様を定義した。次に，データ仕様を満足するデジタル道路地図の生成手法として，メッシュ分割した道路地図に前述の車線ネットワークデータおよび歩行者ネットワークデータを関連づけて扱える統合型デジタル道路地図の生成手法を提案した。定義したデジタル道路地図は，道路空間をメッシュ分割することで，複数の交通モードのプローブデータを集計でき，メッシュ単位の交錯箇所が分析できる。また，プローブデータが通過するメッシュに関連づけられたリンクを用いて，交通モード別や方向別，経路別のプローブデータを抽出できる。さらに，同手法では，メッシュごとの道路構造物の地物の関連付け作業を省力化するため，車線ネットワークデータと歩行者ネットワークデータを使ってメッシュに道路構造物の地物を関連づける。具体的には，ネットワークデータの線分情報と幅員から矩形を発生し，メッシュ単位の車線や歩道等道路構造物の地物を判定する。そして，考案した生成手法に基づき，デジタル道路地図を試作し，生成手法の有用性や定義した地図の要件に対する満足度を道路交通分析のケーススタディを通じて検証した。その結果，2章，3章で生成手法を提案した車線ネットワークデータや歩行者ネットワークデータを用いて，自動車の走行車線や歩行者の正確な移動軌跡の識別ができ，複数の交通モードのプローブデータを同時に扱える統合型デジタル道路地図を生成できることを確認した。

第4章で得られた成果を次に示す。

- 道路交通分析におけるデジタル道路地図の要件を定義した。
- 要件を満足するデジタル道路地図の仕様を定義した。
- 定義した仕様に則したデジタル道路地図生成手法，具体的には，メッシュ分割した道路地図に2章や3章で生成手法を提案した車線ネットワークデータおよび歩行者ネットワークデータを関連づけて扱える統合型デジタル道路地図の生成手法を考案した。



本研究で得られた成果によって明らかになった今後の課題は、次のとおりである。

- 本研究では、自動車の走行車線や歩行者の正確な移動軌跡の識別ができ、複数の交通モードのプローブデータを同時に扱える統合型デジタル道路地図の生成に着目した。しかし、地図には、鮮度、精度および網羅性の3つの要件を満足する必要がある、一度整備したデジタル道路地図が交差点改良や拡幅工事により、鮮度が低下することを考慮すると、本生成技術を基にした更新技術への展開、応用が今後の課題として挙げられる。
- 本研究では、道路交通分析のユースケースに基づき地図の要件を定義している。提案したデジタル道路地図を活用して、これまで実現できなかった測位精度の高いプローブデータの特長を活かした道路交通分析が実務に展開されると、道路交通分析者の新たなニーズが顕在化すると考えられる。そこで、道路交通分析者から新たなニーズを集め、継続的にデジタル道路地図の改善を図ることが課題として挙げられる。

本研究では、自動車の走行車線や歩行者の正確な移動軌跡を識別し、複数の交通モードのプローブデータを同時に扱える統合型デジタル道路地図の仕様および生成技術を提案し、その有用性を明らかにした。今後、本生成手法に則して整備されたデジタル道路地図を用いることで、交通の状態を表す一般的な指標  $Q-K-V$ （交通量、交通密度、平均速度）を道路空間のそれぞれの箇所ごとに細かく表現できるだけでなく、交差点の乱横断を含めた道路空間の通行状況の可視化や複数の交通モードの交錯箇所の抽出、ヒヤリハット箇所の効率的な抽出、自動車の急減速時における歩行者と自転車の位置の可視化等、これまで再現できなかった道路交通分析ができる。

## 参考文献

- [1] 森川高行：プローブ情報を活用した新しい道路交通サービスの可能性，システム／制御／情報，システム制御情報学会，Vol.54，No.9，pp.366-370，2010.
- [2] 今井武，柘植正邦，菅原愛子：インターナビ・フローティングカーシステムと渋滞情報について，IATSS Review，国際交通安全学会，Vol.31，No.1，pp.39-45，2006.
- [3] トヨタコネクティッド社：T-connect，入手先<<https://tconnect.jp/>>（参照 2017-9-27）.
- [4] 本田技研工業社：Internavi，入手先<<http://www.honda.co.jp/internavi/>>（参照 2017-9-27）.
- [5] 山本俊行，劉錯，森川高行：タクシー配車データのプローブデータとしての活用に関する基礎的分析，土木計画学研究・論文集，土木学会，Vol.23，pp.863-870，2006.
- [6] 井上晴可，窪田諭，今井龍一，田中成典：センサ特性を考慮したスマートフォンアプリケーションに関する一考察，情報処理学会デジタルプラクティス，情報処理学会，Vol.6，No.4，pp.306-315，2015.
- [7] 一般財団法人日本デジタル道路地図協会：全国デジタル道路地図データベース標準第3.8版，2009.
- [8] 一般財団法人日本デジタル道路地図協会：デジタル道路地図データベース作成作業マニュアル第100226版，2010.
- [9] 昭文社社：MAPPLE 道路ネットワークデータ，入手先<<http://www.mapple.co.jp/biz/product/digital/road/index.html>>（参照 2017-9-27）.
- [10] ESRI ジャパン社：交通規制情報付き道路ネットワーク データ，入手先<<https://www.esri.com/products/data-content-geosuite-douromo/>>（参照 2017-9-27）.
- [11] 住友電工システムソリューション社：地図データベース，入手先<[http://www.seiss.co.jp/ms/gis/map\\_db.html](http://www.seiss.co.jp/ms/gis/map_db.html)>（参照 2017-9-27）.
- [12] 渡辺陽介，高木建太郎，手嶋茂晴，二宮芳樹，佐藤健哉，高田広章：協調型運転支援のための交通社会ダイナミックマップの提案，DEIM Forum 2015，日本データベース学会，F6-6，pp.1-8，2015.
- [13] 渡辺陽介，竹内栄二郎，高田広章，二宮芳樹：交通マネジメントに向けたダイナミックマップアーキテクチャの研究，システム／制御／情報，システム制御情報学会，Vol.60，No.11，pp.488-494，2016.
- [14] 内閣府政策総括官（科学技術・イノベーション担当）：SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）自動走行システム研究開発計画，入手先<[http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/6\\_jidousoukou.pdf](http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/6_jidousoukou.pdf)>（参照 2017-9-27）.
- [15] ダイナミックマップ構築検討コンソーシアム：自動走行システムの実現に向けた諸課題とその解決の方向性に関する調査・検討におけるダイナミックマップ構築に向けた試作・評価に係る調査検討委託業務成果報告書（本編），入手先<[http://www.sip-adus.jp/wp/wp-content/uploads/co\\_2015\\_co1-1\\_doc4.pdf](http://www.sip-adus.jp/wp/wp-content/uploads/co_2015_co1-1_doc4.pdf)>（参照 2017-9-27）.
- [16] 関本義秀，金澤文彦，松下博俊：次世代デジタル道路地図のあり方に関する研究，国土技術政策総合研究所資料，国土交通省国土技術政策総合研究所，No.372，2005.

- [17] 重高浩一, 今井龍一, 深田雅之, 木村篤史, 松井晋: 大縮尺道路地図の整備・更新手法に関する共同研究, 国土技術政策総合研究所資料, 国土交通省国土技術政策総合研究所, No.848, 2015.
- [18] 一般財団法人日本デジタル道路地図協会: 高度DRMデータベース(平成21年度整備), <<http://www.drm.jp/research/pdf/H22boshuQAkoseido.pdf>> (参照 2017-9-27).
- [19] 太田恒平, 大重俊輔, 矢部努, 今井龍一, 井星雄貴: 携帯カーナビのプローブ交通情報を活用した道路交通分析, 土木計画学研究・講演集, 土木学会, Vol.47, No.323, p p.1-12, 2013.
- [20] 橋本浩良, 水木智英, 高宮進: プローブデータを利用したボトルネック交差点とその影響範囲の特定方法, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 土木学会, Vol.70, No.5, p p.I\_1159-I\_1166, 2014.
- [21] 菊地春海, 岡田朝男, 水野裕彰, 絹田裕一, 中村俊之, 萩原剛, 牧村和彦: 道路交通安全対策事業における急減速挙動データの活用可能性に関する研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 土木学会, Vol.68, No.5, pp.I\_1193-I\_1204, 2012.
- [22] 今村知人: DSRC 技術を活用した高速バスプローブシステムの評価, 電気設備学会誌, 電気設備学会, Vol.28, No.12, pp.24-27, 2008.
- [23] 門間俊幸, 橋本浩良, 河野友彦, 上坂克己: 常時観測データを用いた新たな道路サービスレベル指標に関する研究, 土木計画学研究・講演集, 土木学会, Vol.43, No.293, pp.1-9, 2011.
- [24] 水木智英, 橋本浩良, 門間俊幸, 上坂克己, 中西雅一: 常時観測道路交通データを用いた渋滞状況の動的変化に関する分析, 土木計画学研究・講演集, 土木学会, Vol.45, No.52, pp.1-7, 2012.
- [25] ナビタイムジャパン社: NAVITIME プレミアムコース, 入手先<<https://www.navitime.co.jp/serviceinfo/totalnaviinfo/>> (参照 2017-9-27).
- [26] ゼンリンデータコム社: ゼンリンいつも NAVI[マルチ], 入手先<<http://app.its-mo.com/multi/>> (参照 2017-9-27).
- [27] Google 社: マップ-ナビ, 乗換案内, 入手先<<https://android.app-liv.jp/000968664/>> (参照 2017-9-27).
- [28] 昭文社社: 歩行者ネットワーク, 入手先<<http://www.mapple.co.jp/biz/product/digital/road/routing.html>> (参照 2017-9-27).
- [29] アイティメディア社: 歩行者ナビ/カーナビを支える膨大な地図データ——その制作現場をゼンリン本社で見てきた, 入手先<<http://www.itmedia.co.jp/mobile/articles/1503/09/news106.htm>> (参照 2017-9-27).
- [30] 藤田征吾, 宮雅一, 瀧口純一: 準天頂衛星システムを用いたセンチメートル級測位補強システムの構築(<特集>衛星測位技術とその応用), システム/制御/情報, システム制御情報学会, Vol.59, No.4, pp.126-131. 2015.
- [31] 内閣官房: 地理空間情報活用推進基本計画, 入手先<[www.cas.go.jp/jp/seisaku/sokuitiri/290324/170324\\_masterplan.pdf](http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/sokuitiri/290324/170324_masterplan.pdf)> (参照 2017-9-27).
- [32] 菅沼直樹, 米陀佳祐: 自動車の自動運転におけるデジタル地図の活用, 日本ロボット学会誌, 日本ロボット学会, Vol.33, No.10, pp.760-765, 2015.
- [33] 今井龍一, 中條覚, 松山満昭, 重高浩一, 石田稔, 浜田隆彦: 道路関連情報の流通の

## 参考文献

- ための位置参照方式に関する研究，土木学会論文集 F3（土木情報学），土木学会，Vol.69，No.1，pp.34-46，2013.
- [34] 国土交通省：歩行空間ネットワークデータ整備仕様案，入手先<<http://www.mlit.go.jp/common/001177504.pdf>>（参照 2017-9-27）.
- [35] トウ利洪，小野晋太郎，影澤政隆：車載レーザセンサによる住宅地区の高精度三次元化手法，電気学会研究会資料，電気学会，Vol.TER-07，No.45，pp.17-22，2007.
- [36] 中川雅史，柴崎亮介：TLS(Three Line Sensor)を用いた三次元建物データ構築手法の開発，情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア，情報処理学会，Vol.2004，No.6，pp.89-94，2004.
- [37] 船戸智也，佐田達典：モバイルマッピングシステムを用いた道路構造物データの抽出手法に関する研究，応用測量論文集，日本測量協会，Vol.23，pp.68-79，2012.
- [38] 高野雅史，石川貴一郎，瀧口 純一，島嘉宏，天野嘉春，橋詰匠：モバイルマッピングシステムを用いた次世代デジタル道路地図作成システムに関する研究，ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集，日本機械学会，pp.1A2-B21(1)-1A2-B21(2)，2009.
- [39] 国土交通省：道路基盤地図情報製品仕様書(案)，2008.
- [40] 今西暁，石井康：新技術 MMS による道路空間 3 次元計測と公共測量への適用について，近畿地方整備局研究発表会，国土交通省近畿地方整備局，2010.
- [41] 花田吏，荒木俊輔，碓崎賢一：MMS データを用いた歩行空間情報取得法，地理情報システム学会講演論文集，地理情報システム学会，Vol.20，No.F-4-3，pp.1-4，2011.
- [42] 花田吏，曾鑫，荒木俊輔，碓崎賢一：MMS 点群データの密度に依存しない道路図化情報取得手法，地理情報システム学会講演論文集，地理情報システム学会，Vol.21，D-2-2，pp.1-4，2012.
- [43] 国土交通省国土地理院：作業規程の準則（付録 7 公共測量標準図式），2016.
- [44] 国土交通省国土地理院：基盤地図情報を利用した地理空間情報整備のための手引，2010.
- [45] 国土交通省国土地理院：基盤地図情報ダウンロードデータファイル仕様書（案），2010.
- [46] 一般財団法人日本デジタル道路地図協会：道路網の表現方法，入手先<<http://www.drm.jp/database/expression.html>>（参照 2017-9-27）.
- [47] 国土技術政策総合研究所：AHS，入手先<[http://www.nilim.go.jp/lab/qcg/japanese/0frame/under/02ahs/index\\_02.htm](http://www.nilim.go.jp/lab/qcg/japanese/0frame/under/02ahs/index_02.htm)>（参照 2017-9-27）.
- [48] 山田晴利，関本義秀，松林豊：CAD および線形情報を用いた高速道路三次元線形の再現と検証：土木情報利用技術論文集 F3（土木情報学），土木学会，Vol.67，pp.133-141，2012.
- [49] HONDA：internavi linc PremiumClub 車線別情報，入手先<<http://www.honda.co.jp/internavi/about/floating/lane/>>（参照 2017-9-27）.
- [50] ITS Japan：ITS Japan 次世代デジタル道路情報委員会 2010 年度活動報告書，ITS Japan 次世代デジタル道路情報委員会，2010.
- [51] 国土技術政策総合研究所：走りやすさマップのカーナビ等への活用に関する共同研究

- 報告書, 国土技術政策総合研究所資料, 国土交通省国土技術政策総合研究所, No.576, 2010.
- [52] 伊東敏夫, 杉野泰三, 有吉正昭: 高さ情報を利用した省エネルギーガイダンスの検討, 自動車技術会論文集, 公益社団法人自動車技術会, Vol.41, No.5, pp.1151-1154, 2010.
- [53] 佐々木洋一, 今井龍一, 重高浩一, 土居原健, 檜林厚: 異なる大縮尺道路地図の親和性に関する考察, 地理情報システム学会講演論文集, 地理情報システム学会, Vol.21, No.E-1-2, pp.1-4, 2012.
- [54] 植村匠, 下徳 悟, 内村圭一, 胡振程: Digital Surface Model を用いた 3 次元デジタル道路地図の構築, 電子情報通信学会技術研究報告, 電子情報通信学会, Vol.109, No.128, pp.25-29, 2009.
- [55] 増田明, 川中彰, 岩根和郎: 車載カメラ画像からの道路平面の分離処理, 2008 年電子情報通信学会総合大会講演論文集, 電子情報通信学会, Vol.2008, No.D-11-60, pp.60, 2008.
- [56] 日本工業規格: 自動車カーナビゲーションシステム用地図データ格納フォーマット, JIS D0810, 2004.
- [57] 畑山満則, 土肥規男, 小田泰充: DRM 標準フォーマット 21 を用いた道路地図データベースの管理, 土木情報利用技術論文集, 土木学会, Vol.12, pp.65-72, 2003.
- [58] 国土技術政策総合研究所: 「道路基盤地図情報 (試行提供版)」の試行提供, 入手先<[http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/road\\_gis\\_trial.htm](http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/road_gis_trial.htm)> (参照 2017-9-27).
- [59] 国土技術政策総合研究所: 道路工事完成図等作成要領, 国土技術政策総合研究所資料, No.493, 2008.
- [60] 今井龍一, 井星雄貴, 佐々木洋一, 岩切昭義, 今西暁久, 小山裕也: 点群座標データを利用した 3 次元の道路中心線の整備手法, 地理情報システム学会講演論文集, 地理情報システム学会, Vol.21, No.D-2-1, pp.1-4, 2012.
- [61] 国土交通省: 高齢者, 障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律 (バリアフリー法) について, 入手先<<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/barrierfree/index.html>> (参照 2017-9-27).
- [62] 国土交通省: ICT を活用した歩行者移動支援システムの水平展開に向けた事例とノウハウについて, 2011.
- [63] 国土交通省: 自律移動支援プロジェクト, 入手先<[http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/soukou/seisakutokatsu\\_soukou\\_tk\\_000010.html](http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/soukou/seisakutokatsu_soukou_tk_000010.html)> (参照 2017-9-27).
- [64] 国土交通省政策統括官付: 自律移動支援プロジェクト 平成 16 年度~19 年度の実証実験内容及び成果の概要, 2008.
- [65] 京都子連れ観光推進協議会: 平成 22 年度京都地区モビリティサポートモデル事業成果報告, 入手先<<http://www.mlit.go.jp/common/000138069.pdf>> (参照 2017-9-27).
- [66] 林隆史: 自律移動支援プロジェクトにおける取組と今後の展開について, JICE report, Vol.16, pp.23-29, 2009.
- [67] 吉田光伸, 瀧口純一, 石原隆一, 小崎真和: モービルマッピングシステムを用いた道路三次元情報の活用, 三菱電機技報, 三菱電機社, Vol.83, No.5, pp.22-25, 2009.

## 参考文献

- [68] 小林一郎, 宮下征士, 藤田陽一, 高尾篤志: 立面点群データにおける車道空間の属性分析, 土木情報利用技術論文集, 土木学会, Vol.19, pp.185-192, 2010.
- [69] 小林一郎, 宮下征士, 坂口将人, 上田誠: MMS データを用いた視距改良設計, 土木情報利用技術論文集, 土木学会, Vol.18, pp.1-8, 2009.
- [70] 田中成典, 今井龍一, 中村健二, 川野浩平: 点群座標データを用いた 3 次元モデルの生成に関する研究, 土木情報利用技術論文集, 土木学会, Vol.19, pp.165-174, 2010.
- [71] 田中成典, 今井龍一, 中村健二, 川野浩平: 点群座標データを用いた 3 次元モデルの自動生成に関する研究, 知能と情報 (日本知能情報ファジイ学会誌), 日本知能情報ファジイ学会, Vol.23, No.4, pp.198-216, 2011.
- [72] Sherif El-Halawany, Adel Moussa, Derek D.Lichti and Naser El-Sheimy: DETECTION OF ROAD CURB FROM MOBILE TERRESTRIAL LASER SCANNER POINT CLOUD, *Proceedings of ISPRS Workshop Laser Scanning 2011*, ISPRS, Vol.XXXVIII-5/W 12, pp.109-114, 2011.
- [73] 柴山純一, 前原秀明他: 点群データを利用した三次元地図補正 (第 2 報), 情報処理学会研究報告 高度交通システム (ITS), 情報処理学会, Vol.2010-ITS-40, No.4, pp.1-8, 2010.
- [74] 亀井克之, 富樫健司, 橋本義明, 西川啓一: モービルマッピングシステムによる 3D 点群データからの電柱検出, 電気学会研究会資料, 電気学会, Vol.ITS-11, No.1-15, p.11-16, 2011.
- [75] 三菱電機社: 三次元空間計測・情報管理システム G-Viz, 入手先< <https://www.mitsubishielectric.co.jp/pas/service/gviz.pdf> > (参照 2017-11-1).
- [76] Bentley Systems 社: Pointools, 入手先< <https://www.bentley.com/ja/products/brands/pointools> > (参照 2017-11-1).
- [77] 日本道路協会: 道路構造令の解説と運用, 2004.
- [78] 交通工学研究会: 改訂 平面交差の計画と設計 (基礎編), 2007.
- [79] 警察庁交通局: 平成 27 年中の交通死亡事故の発生状況及び道路交通法違反取締り状況について, 入手先<<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001150519>> (参照 2017-9-27).
- [80] 警察庁交通局: 平成 27 年における交通事故の発生状況, 入手先<<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001150496>> (参照 2017-9-27).
- [81] 国土交通省道路局, 警察庁交通局: 安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン, 入手先<<http://www.mlit.go.jp/road/road/bicycle/pdf/guideline.pdf>> (参照 2017-9-27).
- [82] 上村寿志, 松永千晶, 出島甫信, 角知憲: 商業街区における路上条件を考慮した歩行者の遊歩行動に関する研究, 土木計画学研究・論文集, 土木学会, Vol.20, pp.463-469, 2003.
- [83] 南正昭, 青山佑介, 安藤昭, 赤谷隆一: 街路における歩行空間設計と有効幅員に関する調査研究, 土木計画学研究・論文集, 土木学会, Vol.23, pp.417-422, 2006.
- [84] 柿元祐史, 浅野美帆, 中村英樹: 駅前広場におけるキスアンドライド車両の停車特性に関する研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 土木学会, Vol.67, No.5, pp.I\_1079-1087, 2011.

- [85] 朝倉康夫, 羽藤英二, 大藤武彦, 田名部淳: PHS による位置情報を用いた交通行動調査手法, 土木学会論文集, 土木学会, No.653, pp.95-104, 2000.
- [86] 堀田美和子, 仲田田, 奈良照一: 自転車利用者の行動特性分析における新たな手法について, 入手先<[http://www.mlit.go.jp/chosahokoku/h23giken/program/kadai/pdf/ippan/ippa\\_n2-07.pdf](http://www.mlit.go.jp/chosahokoku/h23giken/program/kadai/pdf/ippan/ippa_n2-07.pdf)> (参照 2017-9-27).
- [87] 佐々木諒, 稲垣具志, 竹本雅憲, 大倉元宏: ヒヤリハット分析に基づいた自転車通行方法の安全性評価に関する研究—ドライブレコーダデータを活用した錯綜状況の定量化—, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 土木学会, Vol.70, No.5, pp.I\_859-I\_868, 2014.
- [88] 松丸未和, 大蔵泉, 中村文彦, 平石浩之: 自転車の歩道通行可運用区間における錯綜現象に関する研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集IV, Vol.56, pp.318-319, 2001.
- [89] 国土交通省: 道路統計年報 2016, 入手先<<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/tokei-nen/>> (参照 2017-9-27).
- [90] 国土地理院: 地理院地図, 入手先<<http://maps.gsi.go.jp>> (参照 2017-9-27).
- [91] 渡辺完弥, 今井龍一, 田中成典: 車線単位の道路ネットワークモデルの効率的な整備手法に関する研究, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), 土木学会, Vol.68, No.2, pp.117-126, 2012.

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、関西大学総合情報学部 田中成典教授には、研究の方向性に加えて、主体性や自己の行動に対する責任の意味等、時に厳しく時に親身に、時間をかけてご指導を賜りました。また、東京都市大学工学部 今井龍一准教授には、御多忙の中、関連分野の具体的な知識から研究に対する情熱や取り組み姿勢まで、終始ご指導や励ましを賜りました。心より感謝の意を表しますと共に厚く御礼申し上げます。さらに、関西大学総合情報学部 伊藤俊秀教授、および吉田宣章教授からは、多大なご協力と御支援を賜りました。深く感謝いたします。

国土技術政策総合研究所の青山憲明氏をはじめ、高度情報化研究センター 情報基盤研究室（現 社会資本マネジメント研究センター 社会資本情報基盤研究室）の関係各位には、出向中に研究の進め方や論文の取り纏め方をご指導いただき、学位取得活動のきっかけを与えていただきました。心より御礼申し上げます。

三菱電機株式会社の西川啓一氏（現 i システムリサーチ株式会社）をはじめ、電子システム事業部の関係各位には、モバイルマッピングシステムや点群座標データの解説等、丁寧に教えていただきました。また、同社の川田卓嗣氏をはじめ、社会環境事業部および神戸製作所の関係各位には、学位取得への取り組みについてのご理解、並びに絶えず暖かい励ましを賜りました。心より御礼申し上げます。

川野浩平氏（現 国土技術政策総合研究所）をはじめ、株式会社関西総合情報研究所の関係各位には、プログラム開発に関するご指導やツールの開発でご協力いただきました。心より御礼申し上げます。

最後に、社会人でありながら学位取得を目指す自分に対して深い理解を示してくれた父 昭男と母 秋子、そして、9年間という本当に長い間、日々の生活を支え続けるとともに、厳しいようで暖かい励ましを絶えずくれた妻 礼恵と一緒に遊びたい気持ちを抑えいつも応援してくれた息子 貴大に心から感謝します。