

点群座標データ及びデジタル地図を用いた歩行空間ネットワークの整備に関する基礎的研究

渡辺完弥¹・今井龍一²・田中成典³

¹正会員 関西大学大学院 総合情報学研究科 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2-1-1)
E-mail: k211625@edu.kansai-u.ac.jp

²正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 高度情報化研究センター 情報基盤研究室
(〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)
E-mail: imai-r92ta@nilim.go.jp

³正会員 関西大学 教授 総合情報学部 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2-1-1)
E-mail: tanaka@res.kutc.kansai-u.ac.jp

健全者、高齢者や障がい者などの歩行者向け経路案内サービスの実現には、歩行空間ネットワークデータを整備する必要がある。しかし、歩道の段差の計測に人手を介するなど、データ整備には膨大な労力が伴う。一方、計測技術の進展により、3Dレーザスキャナなどを用いると、高精度の点群座標データとして広域に歩行空間が取得できる。点群座標データから歩行空間ネットワークデータを生成できれば、効率的なデータ整備に寄与する。本研究は、点群座標データにデジタル地図を組み合わせ、屋外を対象にした歩行空間ネットワークデータのノードとリンクを生成する手法を考案した。また、計測された点群座標データと整備されたデジタル地図を用いて考案した手法の実現可能性を検証した。

Key Words : *Pedestrian space network, Pedestrians support, Point cloud data, Digital map*

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¹⁾が施行された。この法律では、全ての人が安全・安心して行動できる社会を実現するため、駅、官公庁施設や病院など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など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²⁾。東京都、神戸市や京都市などの地方公共団体では、自律移動支援プロジェクト³⁾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に取り組まれている。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など含む)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などの回遊行動を誘発すること、視覚障害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などを明らかにし、有益な知見が得られている⁴⁾⁶⁾。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が公表されている⁷⁾。

当該分野の民間サービスに着目すると、PND (Portable Navigation Device) やスマートフォンなど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が実現されている⁸⁾⁹⁾。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、歩道橋、横断歩道や歩道の識別に加え、スロープの有無や歩道の段差まで計測し、利用者に保証しなければならない。

こうしたことから、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言える。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など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レーザスキャナなどを用いると、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¹⁰⁾。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などの分野で蓄積され始めている^{11,12)}。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^{13,14)}、河川堤防^{15,16)}や歩道¹⁷⁾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¹⁸⁾、電柱の位置の取得手法¹⁹⁾、歩行空間の歩道境界や歩道内の有効幅員の取得手法が提案されている²⁰⁾。これらの既往研究は、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。点群座標データを用いて、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作成方法を提案した既往研究は、著者らが調査した限り見当たらなかった。

本研究の目的は、点群座標データを用いて歩行空間ネットワークデータを自動的に整備できる手法(以下、「提案手法」という。)の確立とした。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空間ネットワークデータのノード、リンクや属性の情報を分析し、提案手法を考案する。そして、ノードとリンクで構成された歩行空間ネットワークデータを試作し、考案した提案手法の有用性を検証する。

本論文の構成として、2章は提案手法の全体概要、3章は手動によるデータ作成方法と有用性検証結果、4章はデジタル地図を組み合わせたデータ作成方法を論ずる。また、5章は4章で考案した提案手法に基づいてデータを試作して有用性を検証し、6章で結論を論ずる。

2. 提案手法の全体概要

(1) 提案手法の対象空間

歩行空間は屋内外に存在するが、本研究は、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。

(2) 提案手法で用いるデータの概要

a) 点群座標データ

点群座標データは、3Dレーザスキャナの計測結果で、

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映像から、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²¹⁾。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¹⁰⁾。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など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。

b) 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などの部位の意味を持たない。このため、本研究は、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DM²²⁾、基盤地図情報²³⁾および道路基盤地図情報²⁴⁾と道路のネットワーク情報を持つデジタル道路地図²⁵⁾(以下、「DRM」という。)とした。

(3) 作成する歩行空間ネットワークデータの仕様

本研究で作成する歩行空間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。)⁷⁾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。)で構成する。リンクおよびノードには位置情報などの属性を付加し、リンクには段差の位置などの詳細な経路情報を付加する。リンクは、歩道など13種類に分類する。ノードは、リンクの結節点に加え、経路属性の変化点や公共施設などの出入りに配置する。また、この出入り口情報の属性には、公共施設、病院、公共用トイレや指定避難所の施設情報を付加する。

整備仕様⁷⁾では、ネットワークの幾何形状の表現方法は規定されていない。ただし、ノードやリンク、施設の位置などを利用目的に応じてわかりやすく表示するため、基盤地図情報上に歩行空間ネットワークデータを重ねた描画地図をPDF形式で作成することを規定している。

(4) 提案手法で設定したレベルと研究の内容

提案手法は、段階的に開発を進める方針とし、3つの開発レベルを設けた(表-1参照)。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提案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詳細を分析し有用性を確認する。レベル2は、デジタル地図の地物を活用してノードとリンクを生成する提案

手法を考案した上で、デジタル地図から生成できるノードやリンクの詳細を分析する。さらに、デジタル地図からノードやリンクを実際に生成して有用性を検証する。レベル1・2では、レベル3の実現に向けたデータ作成の可能性分析も含む。レベル3の研究は、本研究成果に基づいて今後実施する。

(5) データの作成方法

歩行空間ネットワークデータの作成方法を図-1に示す。「1.リンク・ノード(結節点)の認識」は、点群座標データなど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など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-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-1の手法の対象外とした。

表-1 提案手法の開発レベル

レベル	内容
1	ノードとリンクを手動により認識することで、歩行空間ネットワークデータを生成する。
2	ノードとリンクをデジタル地図の地物と組み合わせて歩行空間ネットワークデータを自動生成する。
3	ノードとリンクを点群座標データなどから全自動で生成する。

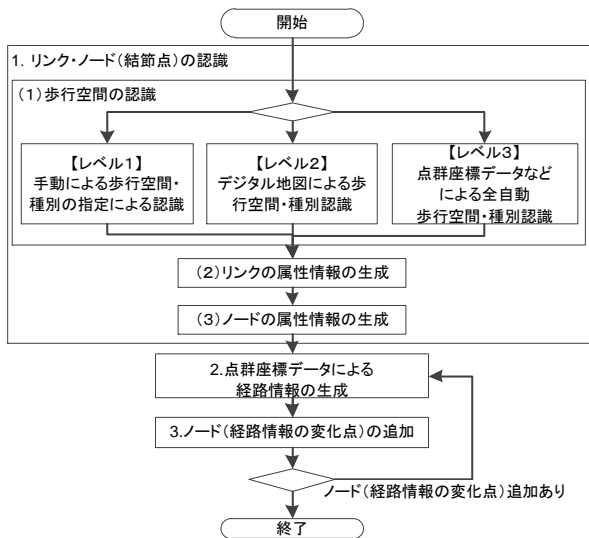


図-1 歩行空間ネットワークデータの作成方法

3. レベル1の提案手法の開発

(1) レベル1データ作成方法

レベル1のデータの作成方法を表-2に示す。表には、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」も含まれている。各手順の詳細は次節以降に示す。

(2) ノード・リンクの認識

図-2は、ノード(結節点)・リンク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XY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、マウスなどでノード(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を指定し設定する。歩行者や植栽などのノイズにより、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、アルゴリズムを含めて今後検討する必要がある。その際は、周辺の点群座標データを手掛かりに補完するか、点群座標データを再取得する必要がある。整備仕様⁷⁾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、既往の実証実験²⁾と同様に経路案内など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。用途によ

表-2 レベル1のデータ作成方法

処理名称	処理内容
1.リンク・ノード(結節点)の認識	【準備】 ・点群座標データの読み込み
(1)歩行空間の認識 【レベル1】	・点群座標データからノード(結節点)の位置情報(xy)を指定 ・ノード(結節点)を直線で結んでリンク中心線を生 ・曲線や折れ線など複雑な経路には、補完点のノードを指定 ・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
(2)リンクの属性の生成	・リンクや起終点ノードのIDを生成 ・経路の種類を手動登録
(3)ノードの属性の生成	・ノードや接続リンクのIDを生成 ・点群座標データからノードの位置情報(経緯度)、高さ(階層)、経緯度桁数コードを生成
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解析により、経路情報を生成
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解析により、縦断勾配の変化点にノードを生成

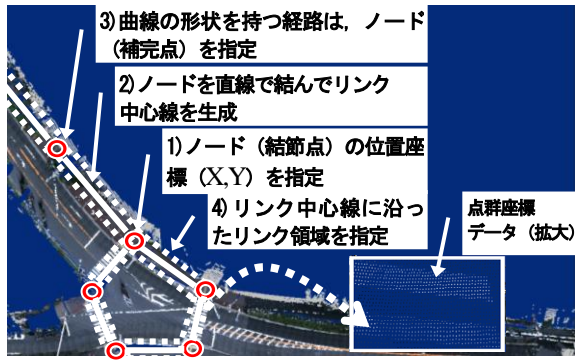


図-2 ノードとリンクの指定方法

表-3 リンクの属性の分析結果

項目名	形式	生成の可否
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	○手動選択による自動生成可能

表-4 ノードの属性の分析結果

種別	項目名	形式	生成の可否
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	○自動生成可能
	高さ(階層数)	文字列	(階層数: 屋外は0)
	接続リンク ID	文字列	○自動生成可能

つては、さらに高い位置精度を求められる可能性があるが、対応は、今後ニーズを踏まえて検討する。

次に、点群座標データからノード・リンクの属性を生成する。本研究は、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作成できるノードやリンクの詳細を分析した。その結果は表-3 および表-4 に示すとおりで、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）により、すべての項目が作成できることを確認した。また、現時点の考察としては、レベル3の場合は経路の種類を除く項目は自動的に生成できる可能性が高い。今回の分析には、京都府道 241 号など隠元橋～宇治橋ルート(図-3)など約 8km、淀川大橋～伝法大橋ルート(図-4)など約 7km、芥川大橋～鷺打橋ルート(図-5)約 3km 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）、駅前の大通りや幹線道路（4 車線）などが含まれており、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。分析に用いた点群座標データの概

要を表-5 に示す。このうち、歩行者や植栽などのノイズが比較的少ない範囲を対象に分析した。具体的には、概ね 10cm×20cm のメッシュ内に 1 点以上取得されている歩行空間を対象に分析した。なお、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。



図-3 京都府道 241 号など隠元橋～宇治橋ルート

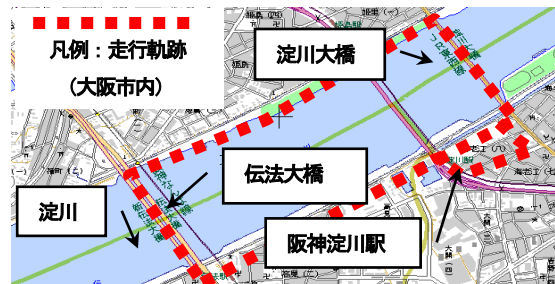


図-4 淀川大橋～伝法大橋ルート

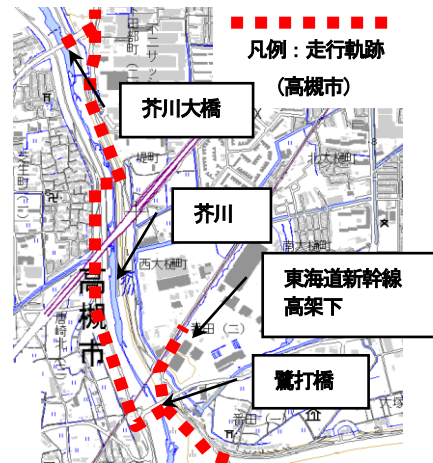


図-5 芥川大橋～鷺打橋ルート

表-5 分析に用いた点群座標データの概要

分類	内容
計測されているリンクの種類および距離など	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)
ノイズの影響が少なく分析に利用したリンクの種類および距離など	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)

(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など、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の点間距離計測や断面形状表示などの機能を用いて計測できる。

(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を設定するとされているが、整備仕様⁷⁾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。

(5) 有用性の検証

本研究は、レベル1のデータ作成方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で確認した。データの試作に用いた点群座標データ（前述参照）は、リンクのすべての種類を取得できていないため、取得範囲でデータを試作した。

a) リンクの試作結果及び考察

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-6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。それ以外のリンクはすべて作成できることを確認した。また、現時点の考察としては、リンクの種類は、目視や形状による把握で識別でき、画像処理やデジタル地図などの技術で補完することで、レベル3にて自動生成できる可能性がある。

b) 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-6および表-7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、歩行者や植栽などのノイズの影響を受

けずに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-7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、レベル3にて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」など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。本稿には、歩道以外のリンクの種類別の経路情報の分析結果は割愛するが、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。

表-6 リンクの試作結果

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（屋内通路）
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）

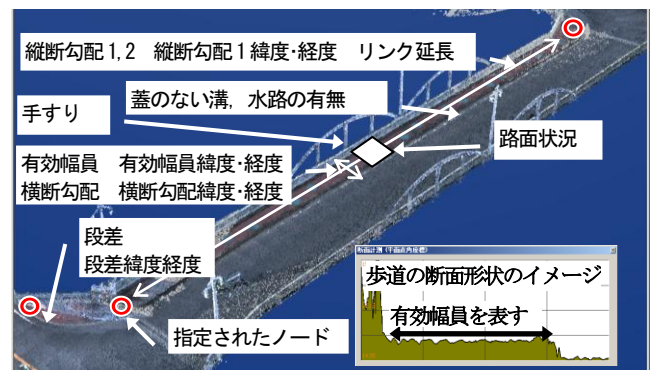


図-6 経路情報のデータ項目との対応（歩道）

表-7 歩道における経路情報の分析結果

項目名	点群座標データ	道路基地図情報	拡張 DM (1/2500)	基盤地図情報 (1/2500)	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	△	×	×	×	×
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・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・経度	×	×	×	×	×
エレベーター種別	—	×	×	×	×
エレベーターの緯度・経度	—	×	×	×	×
信号の有無	—	×	×	×	×
信号の緯度・経度	—	×	×	×	×
信号種別	—	×	×	×	×
日交通量	×	×	×	×	×
主な利用者	×	×	×	×	×
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

表-8 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	×	×	△道路緑	△全道路データ
	横断歩道	○横断歩道	×	×	×
	標示無し交差点	×	×	×	×
	踏切	○踏切道	●軌道・道路緑	●軌道・道路緑	●踏切があるリンク
昇降施設	階段	△横断歩道橋	△歩道橋, 石段, 地下街・地下鉄など出入口	×	●歩道橋があるリンク
	スロープ	×	×	×	×

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

4. レベル 2 の提案手法の開発

(1) レベル 2 のデータ作成方法

レベル 2 のデータ作成方法は、表-2 の「(1)歩行空間の認識」が点群座標データにデジタル地図を組み合わせて、歩行空間ネットワークデータを生成するとなり、それ以外は同じ手順である。具体的には、デジタル地図の持つ地物から、リンクやノードの位置候補を生成する。

(2) デジタル地図の調査

本研究は、既存のデジタル地図の持つ地物からノードやリンク生成可能性を調査した。リンクの種類は、表-6 の「可」の 7 種類と歩道橋を対象に調査した。整備仕様により、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-8 は調査結果を示しており、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には見当たらなかった。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・地下鉄など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²⁰⁾、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。

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-9 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節以降に示す。

(3) 歩道

市街地では、片側1車線対向2車線の道路が多く、立地条件などの制約がない場合は、幅員2m以上²⁷⁾の歩道が整備されている。こうした道路は交差点で分割されるため、歩行空間ネットワークでも交差点に必ずノード(結節点)を生成させる必要がある。本研究は、まず、交差点の歩道に着目してアルゴリズムを考案する。歩道の交差点は、隅切部に1点のノードを設置することで表現できる。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誘導路の内側半径は、通常7.5m~10m程度²⁸⁾で設計される。このため、左折誘導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歩行空間ネットワークデータを自動生成することとした。デジタル地図から歩道を認識する概念を図-7、認識手順を表-10に示す。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、補完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完点群の代表点を抽出することでノードを生成する。具体的には、曲線補完点群の間隔の平均が1m程度(調査曲線補完点群数:500)であることから、アルゴリズムの処理を簡素化することも考慮して、曲線補完点群の両端点から5番目を目安にした点座標と歩道の起終点座標をノードとする。また、曲線補完点の判定値を、点間隔3m以内で4連続とした。

道路構造によっては、曲線部の弧長が短いなど、曲線補完点数が少ない場合がある。この対応として、12点未満で曲線補完点数が奇数の場合は真ん中の点をノードとし、偶数の場合は2つに等分した際に端点となる点同士の間座標をノードとする処理が一案となる。また、歩道図形が複数の線データで構成されている場合を考慮して、作成したリンクが隣接リンクと直線となる場合は、中間のノードを削除する処理を加えた。歩道の線は、歩道境界であるため、生成したノードを歩道の幅員中心に移動させることを考えたが、リンクは歩道の幅員中心に配置する規定ではないので、そのままとした。

(4) 歩道橋

整備仕様²⁹⁾は、歩道橋の歩行空間をペDESTリアンデッキ(歩道)と階段とに分けるように定めている。一方、デジタル地図では、階段やデッキまでは明示されていない。これらの特徴を踏まえ、歩道橋は、デジタル道路地図(拡張DM)から地物を抽出し、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。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自動生成する方法や領域のパターンマッチングから階段とデッキを分離する方法が考えられる。

表-9 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
(1)歩道	基盤地図情報
(2)歩道橋	拡張DM
(3)歩車共存道路	DRM
(4)横断歩道	道路基盤地図情報
(5)踏切	DRM
(6)階段	拡張DM

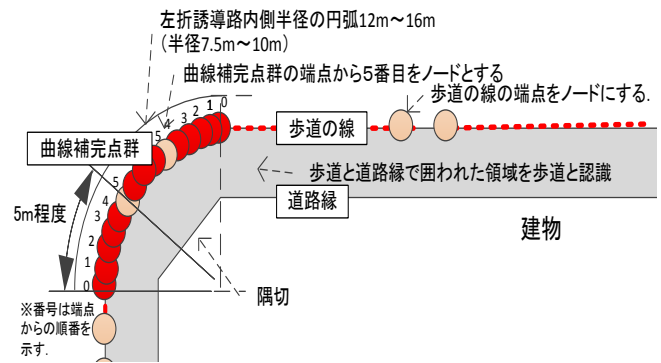


図-7 歩道認識の概念

表-10 歩道の認識手順

処理名称	処理内容
(1)歩行空間の認識	
a) 準備	・基盤地図情報の読み込み
b) 歩道の認識	・種別「歩道」を抽出
c) リンク領域の認識	・種別「歩道」と道路線で囲われた領域を認識
d) リンク中心線の生成	・歩道の起終点の座標を抽出しノードに設定 ・曲線補完点群(間隔3m以下、4連続以上)の端点を抽出。端点から5番目の曲線補完点をノードに設定。曲線補完点群が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、端点となる点の間座標をノードとする。 ・領域内のノードからリンク中心線を生成 ・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

(5) 歩車共存道路

歩車共存道路は、自動車、自転車や歩行者が通行する空間が物理的に別れていない。この道路のリンクは、DRM から歩道が設置されていない一般道の抽出により生成できると仮定した。デジタル地図から歩車共存道路を認識する概念を図-8、認識手順を表-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幅員から形成される範囲内にリンク幾何形状と平行な歩道の有無を判定する。そして、無いと判定された場合は歩車共存道路と認識することとした。また、歩道のある道路に接続する形で歩車共存道路があるときは、歩道の直進性を考慮してノードを設置するとともに、不要な歩道のノードを削除することとした。

さらに、歩車共存道路に中央線がある場合には、リンクを2条線化する必要がある。DRM のリンク内属性には、車線情報を持つため、2条線化が必要なリンクは判別できる。2条線リンクの正確な位置は、レベル3で点群座標データと組み合わせて生成することとした。

(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、この地物をリンク領域とし、長辺に沿ってリンク中心線を生成する。

(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、今回は DRM を用いた踏切候補の抽出方法を考案した。具体的には、DRM のリンクの属性種別コードに踏切が収録されている箇所を抽出し、リンクの幾何情報と幅員情報からリンク領域を推定してリンク中心線を生成する。

(8) 階段

階段は、拡張 DM から、歩道橋、石段と地下街・地下鉄など出入口を抽出し、リンク領域を認識する。そして、石段と地下街・地下鉄など出入口は、リンク領域の長辺に沿ってリンク中心線を生成する。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。

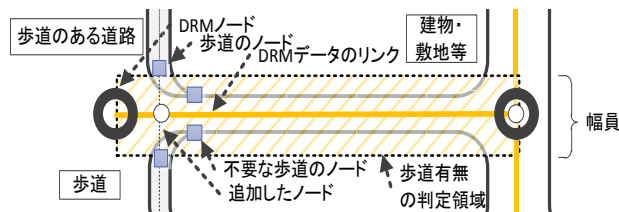


図-8 歩車共存道路認識の概念 (1車線)

表-11 歩車共存道路の認識手順

処理名称	処理内容
(1)歩行空間の認識	
a) 準備	・ DRMの読み込み
b) 歩車共存道路の認識	・ 歩道の無いノードとリンクを抽出 具体的には、リンクの幾何情報と幅員情報からリンク(道路)の範囲を推定、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	・ リンクの幾何情報と幅員情報からリンクの範囲を推定(再掲)
d) リンク中心線の生成	・ DRMのリンクを抽出 ・ 歩道がある道路に接続される場合には、歩道の直線部の延長線と歩車共存道路の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 ・ ノード間を結びリンク中心線を生成

5. レベル2の提案手法に準じたデータの試作

(1) 検証方法

本研究は、レベル2のデータ作成手順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。試作に利用したデジタル地図を表-12に示す。また、公開されている整備仕様⁷⁾に則した歩行空間ネットワークデータ²⁹⁾を正解データとして、試作したデータと重ね合わせ提案手法の評価に利用した。

(2) 歩道の試作

基盤地図情報から抽出した歩道の座標を図-9に示す。図に示すとおり、歩道の曲線補完点を表す座標が多数存在する。この座標に基づいて点群座標データから試作した歩道のノードおよびリンクを図-10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も示している。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が一致した。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点を確認し歩道曲線部の端点から平均で5.04mの位置にあることが分かった。

表-12 試作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)
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)
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
DRM	政令指定都市の実データ

考察として、前述(第4章)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(A)に示すノードのずれが約6mと大きいのが、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、歩行空間は一致しており、整備仕様⁷⁾上も満足している。図(B)の付近でノードのずれが大きいのが、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、ノードやリンクを自動的に生成でき、有用性が明らかになった。今後は、道路が直交しない交差点の歩道や他の車線数の道路などに適用できるか研究していく。

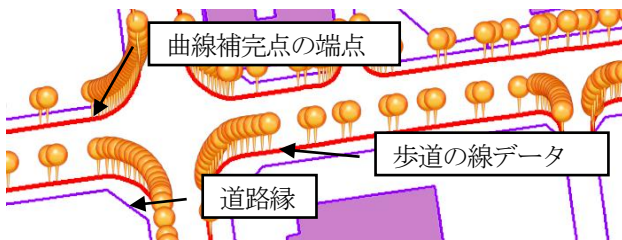


図-9 基盤地図情報「歩道」の座標

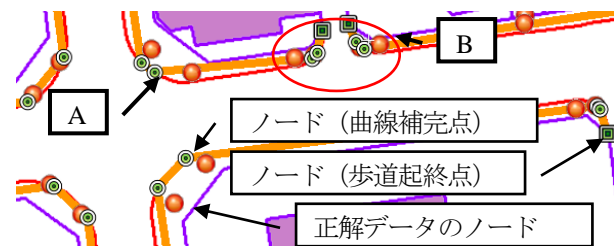


図-10 試作した歩道のリンクおよびノード

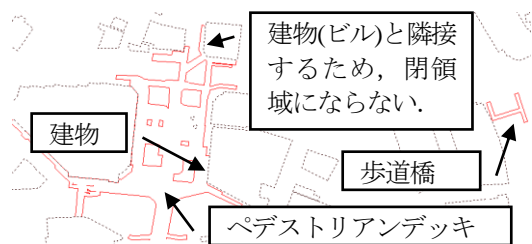


図-11 歩道橋の試作結果

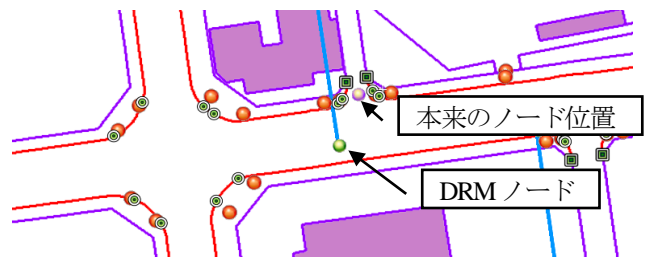


図-12 歩車共存道路の試作結果

(3) 歩道橋の試作

試作した歩道橋のリンク領域の候補を図-11に示す。図に示すとおり、歩道橋のノードとリンク候補領域を生成できた。駅前などにあるペDESTリアンデッキは、建物との隣接場所が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の提案手法に反映して対処する必要があることがわかった。

(4) 歩車共存道路の試作

試作した歩車共存道路のノードおよびリンクを図-12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。縮尺は1/2,500~1/25,000の地図を元に調製されており、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。

(5) 横断歩道の試作

試作した横断歩道のリンクおよびノードを図-13に示す。図に示すとおり、ノードとリンクを生成できた。

考察として、道路基盤地図情報では、歩道と横断歩道の図形は、適切に接合されている。提案手法は、長辺を手掛かりにリンクとノードを作成するが、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、歩道など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の提案手法に反映して対処する必要があることがわかった。

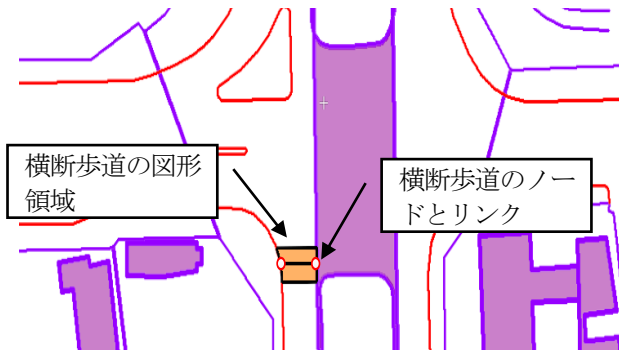


図-13 横断歩道の試作結果

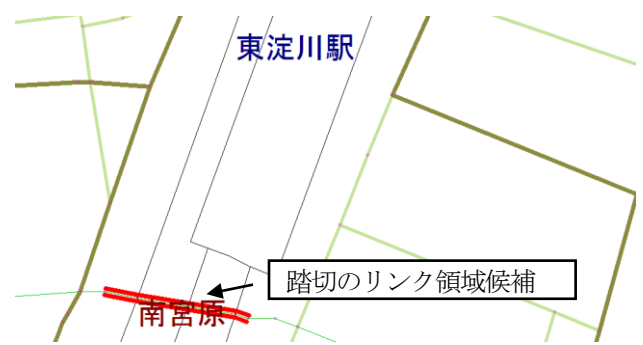


図-14 踏切の試作結果

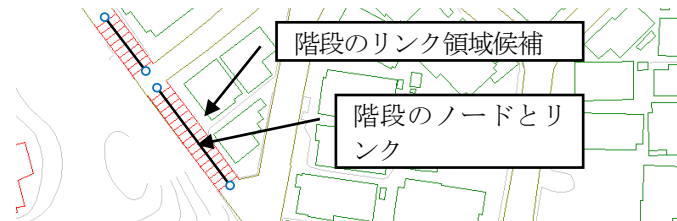


図-15 階段の試作結果

(6) 踏切の試作結果

試作した踏切のリンク領域の候補を図-14に示す。図に示すとおり、踏切が存在する領域を生成できた。

考察として、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むことで、点群座標データから踏切を自動認識できる可能性がある。

(7) 階段の試作結果

試作した階段のリンク領域の候補を図-15に示す。図に示すとおり、階段が存在すると推定される領域やノードやリンクの位置候補を生成できた。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。

6. あとがき

本研究は、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、データ整備手法を考案した。

まず、レベル1として、手動によるデータ作成方法を

考案した。考案した方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、歩行者や植栽など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。

次にレベル2として、デジタル地図の地物を組合せたデータ作成方法を考案した。また、デジタル地図から生成できるかノード・リンクを調査した結果、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。それ以外のリンクの種類は作成できることが確認できた。考案した方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、いくつかの課題があるものの、ノードやリンクの位置候補を生成できた。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、補完措置を講ずる必要があることがわかった。

今後は、本研究で得た知見を基にして、レベル1・2の手法の実用化に向けた研究に加え、レベル3の実現に向けた研究を行って行く予定である。

謝辞：本研究の遂行にあたり、財団法人日本デジタル道路地図協会には、DRMを提供いただいた。ここに記して、感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 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、
<<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/barrierfree/index.html>>, (入手 2011.10.9) .
- 2) 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.
- 3) 国土交通省：自律移動支援プロジェクト,
<http://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/soukou/seisakutokatsu_soukou_tk_000010.html>, (入手 2011.10.9) .
- 4) 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.
- 5) 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,
<<http://www.mlit.go.jp/common/000138069.pdf>>, (入手 2011.10.18) .
- 6) 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.
- 7) 国土交通省：歩行空間ネットワークデータ整備仕様案, 2010.
- 8) NAVITIME JAPAN：ナビタイム,
<<http://www.navitime.co.jp>>, (入手 2011.10.9) .
- 9) ゼンリンデータコム：いつもナビ,
<<http://www.its-mo.com>>, (入手 2011.10.9) .
- 10) 吉田光伸, 瀧口純一, 石原隆一, 小崎真和：モバイ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, Vol.83/No.5, pp.22-25, 2009.
- 11) 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, Vol.19, pp.185-192, 2010.
- 12) 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, Vol.19, pp.165-174, 2010.
- 13) 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, Vol.18, pp.1-8, 2009.
- 14) 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, Vol.19, pp.185-192, 2010.
- 15) 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, Vol.19, pp.165-174, 2010.
- 16) 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ィ学会誌), Vol.23, No.4, pp.198-216, 2011.
- 17) 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*, 2011.
- 18) 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), Vol.40, pp.1-8, 2010.
- 19) 亀井克之, 富樫健司他：モバイ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ITS研究会資料, Vol.2011(1-15), pp.11-16, 2011.
- 20) 花田吏他：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, Vol.20, 2011.
- 21) 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, 2010.
- 22) 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), 2011.
- 23) 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.
- 24) 国土交通省：道路基盤地図情報製品仕様書(案), 2008.
- 25) 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.
- 26) 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.
- 27) 日本道路協会：道路構造令の解説と運用, 2004.
- 28) 交通工学研究会：改訂 平面交差の計画と設計(基礎編), 2007.
- 29) 国土交通省：歩行空間ネットワークデータ,
<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/soukou/seisakutokatsu_soukou_tk_000026.html>, (入手 2011.10.18) .

(2011.10.21 受付)

**A BASIC STUDY ON CONSTRUCTION OF PEDESTRIAN SPACE NETWORK
BY USING POINT CLOUD DATA and DIGITAL MAP**

Kanya WATANABE, Ryuichi IMAI and Shigenori TANAKA

Healthy people, the realization of a service route guidance for pedestrians, including elderly and people with disabilities, needs to develop pedestrian space network data. But we need to measure a step in the pedestrian corridor. Therefore, if we are to develop the data, it takes enormous effort. On the other hand, with the advances in measurement technology, by using a 3D laser scanner, you can get wide area high-precision point cloud data. If you can generate a pedestrian space network by using point cloud data, which contribute to efficient data development. In this study devised a method for generating by combines a digital map and point cloud data, aimed at outdoor pedestrian space network data development.