

## (63) 車両ネットワークモデルと歩行者ネットワークモデルとの統合技術に関する研究

渡辺 完弥<sup>1</sup>・今井 龍一<sup>2</sup>・田中 成典<sup>3</sup>

<sup>1</sup>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@kansai-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所防災・メンテナンス基盤研究センターメンテナンス情報基盤研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地) / 関西大学大学院総合情報学研究科連携大学院客員教授

E-mail: imai-r92ta@nilim.go.jp

<sup>3</sup>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丁目1番1号)

E-mail: tanaka@res.kutc.kansai-u.ac.jp

プローブデータが人の回遊行動分析や道路交通分析に活用されている。人の回遊行動分析や道路交通分析にプローブデータを用いるには、車道を1条線で表現した車両ネットワークと関連づけるマップマッチング処理が行われる。今後、プローブデータの位置精度が向上すると、自動車の走行した車線、通行した歩道まで判別できるようになり、より詳細な回遊行動や道路交通を分析するには道路空間を精緻に表現した車線単位の車両ネットワークや歩行者ネットワークが基図として必要になる。

本研究は、車線単位の車両ネットワークと歩道や横断歩道のリンクを持つ歩行者ネットワークとを統合した道路ネットワークモデルを考案した。

**Key Words :** Road Network Data, Pedestrian Space Network, Fundamental Geospatial Data of Road.

### 1. まえがき

プローブデータとは、カーナビゲーションシステムやスマートフォンなどから取得された自動車、徒歩や自転車の移動軌跡であり、マーケティング分析や人の回遊行動分析など多面的に活用されている。国土交通省では、平成22年の道路交通センサスに自動車のプローブデータを用いて旅行速度調査を実施している。プローブデータは、広域かつ持続的に道路網の旅行速度を把握できるため、道路整備の効果計測などの道路交通分析で活用されている<sup>1)4)</sup>。

プローブデータを人の回遊行動分析や道路交通分析に用いるには、位置情報に関連づけられた複数のセンサから取得されたデータ（以下、「ローデータ」という。）と車両ネットワークとを関連づけるマップマッチング処理が行われるのが一般的である。ローデータの位置情報は、GPSの測位精度に依存するので数mの精度となる。現在のマップマッチング処理や分析の基図には、交通手段によらず車道を1条線のリンクで、交差点を1点のノードで表現した車両ネットワーク（以下、「車道単位の車両ネットワーク」という。）が利用される。ローデータ

は、マップマッチング処理を経て、車道単位のリンクに関連づけられるとともに、リンクの流入時刻や所要時間が推定されたプローブデータとなる。なお、本稿では、マップマッチング処理後の集計データをプローブデータと定義する。

現在の道路交通分析では、単一の自動車のプローブデータおよび車道単位の車両ネットワークが用いられているが、高度利用を図るうえで幾つかの課題がある。

既往研究<sup>3)4)</sup>では、交差点の自動車の交通現象が分析されている。これらの分析に際しては、利用する自動車のプローブデータの特性や分析の要件に応じて、車道単位の車両ネットワークの属性（例えば、車線や右折帯など）が適宜調整されている。また、自動車に加えて歩行者の交通現象を再現するには、歩行者のプローブデータおよび分析の基図の歩行者ネットワークが必要になる。さらに、分析の基図である歩行者ネットワークと車両ネットワークとが相互連携していると交差点における歩行者横断待ちの右折車両に起因する渋滞や接触事故などの交通現象の高度分析に寄与する。

加えて、各ネットワークが相互連携していると、自動車・徒歩・自転車の複数の交通モードが含まれるプロー

ブデータを分析に用いる際もマップマッチング処理や交通モード推定の効率化に寄与することが期待される。

経路案内サービス分野でも交通手段によらず車道単位の車両ネットワークが利用されることが多い。歩行者ネットワークは、都市部の駅周辺で整備されているが、自動車と歩行者のネットワークを相互連携したマルチモーダルな経路案内サービスは現時点で広く普及していない。

2018年の準天頂衛星4機体制による測位精度の向上やICTの技術革新を見据えると、位置情報を持つローデータも高密高精細になることが想定される。その結果、例えば走行した車線や通行した歩道を判別できるローデータの取得が期待される。また、プローブデータ以外の具体例として、既往研究ではスマートフォンの加速度センサとGPSから路面性状を把握する手法<sup>9)</sup>が提案されており、今後、車線単位の把握への高度化が期待される。

ローデータの高密高精細化にあわせたマップマッチング処理、交通モード推定や分析の高度化を図るには、車線単位の車両ネットワークの整備や歩道や横断歩道を持つ歩行者ネットワークとの相互連携などが求められる。なお、本稿では、車線単位の車両ネットワークと歩行者ネットワークとを統合したモデルを道路ネットワークモデルと定義する。全国の道路交通網を対象に道路ネットワークモデルを整備するには、手間やコストがかかるため、効率的な整備・更新の仕組みの確立が課題となる。

著者らは、デジタル地図や移動計測車両で取得した点群座標データから車線単位の車両ネットワークや歩行者ネットワークの生成技術<sup>6) 7)</sup>を研究しており、各ネットワークを統合して扱える環境を構築することにより、上記の課題解決に寄与できる。

本研究の目的は、車線単位の車両ネットワークと歩行者ネットワークの効率的な統合技術となる道路ネットワークモデルの確立とした。2章では、ユースケース分析結果に基づく道路ネットワークモデルへの要件を述べる。3章では、考案した道路ネットワークモデルを述べる。

## 2. ユースケース分析による道路ネットワークモデルの要件定義

本章では、車両や歩行者の複数のネットワークを利用することで高度化が期待される3シーンに着目してユースケースを分析し、道路ネットワークモデルへの要件を定義した。現状の車両ネットワークを利用した場合と、道路ネットワークモデルを利用した場合のユースケース分析結果を表-1、その詳細を以下に示す。

### (1) 交差点の交通分析

現状では、ローデータのマップマッチング処理に加え

表-1 ユースケース分析結果

ユースケース	現状の車両ネットワークを利用した場合	道路ネットワークモデルを利用した場合
(1) 交差点の交通分析	利用する自動車のプローブデータの特性や分析の要件に応じて、車両ネットワークの属性の調整が必要となる。自動車と人の交錯の交通現象再現が困難である。	調整作業なしで交差点の右左折直進等の交通現象の再現ができる。複数の交通モードのプローブデータを用いた自動車と歩行者の交錯を再現ができる。
(2) 交通モード推定	交通モードは、前後のローデータの位置情報から求められる加速度や角速度から推定される。	道路ネットワークモデルを利用した交通モード推定ができる。
(3) 経路案内	交通手段を指定することで経路案内を行う。	自動車と徒歩のマルチモーダルな経路案内ができる。

て、交差点進入と退出のリンクの組み合わせに右左折直進の属性を車両ネットワークに対応づけることで右左折直進を推定し、交差点における方向別の交通量割合や交差点の通過時間を再現<sup>3) 4)</sup>している。また、交差点では、右左折する自動車と横断歩道の歩行者との交錯により渋滞が発生することがある。しかし、複数のプローブデータを用いた自動車と歩行者の交錯を再現した事例は著者らの調査した限り見当たらない。

今後、走行した車線が判別できるローデータが取得できるようになり、かつ道路ネットワークモデルを活用すると、右左折する自動車と横断歩道の歩行者との交錯の因果関係も含めて正確に再現できることが期待される。

都市部における交差点の方向別通過時間分析結果の可視化例を図-1に示す。現状の車両ネットワークを利用した場合と道路ネットワークモデルを利用した場合の双方で右折車線の渋滞がわかる。加えて、道路ネットワークモデルを利用した場合の分析結果は、交差点を直進する車線の通過時間が短く、通過時間の長い横断歩道があるため、横断歩道と右折車の交錯が渋滞原因となっている可能性が読みとれる。道路ネットワークモデルを利用した場合のユースケースは、自動車のプローブデータに対応した車両ネットワークと歩行者のプローブデータに対応した歩行者ネットワークを統合して扱うことで、交差点の右左折直進等の交通現象や渋滞、事故原因となる車両と歩行者の交錯を再現できることと定義される。

### (2) 交通モード推定

プローブデータの現状の交通モードは、前後のローデータの位置情報から求められる加速度や角速度から推定される。しかし、走行した車線や通行した歩道を判別できるローデータの取得できることで、複数モードのプローブデータの交通モード推定に道路ネットワークモデルが利用できる。道路ネットワークモデルを利用した場合のユースケースは、道路ネットワークモデルを利用した交通モード推定ができることと定義される。

### (3) 経路案内

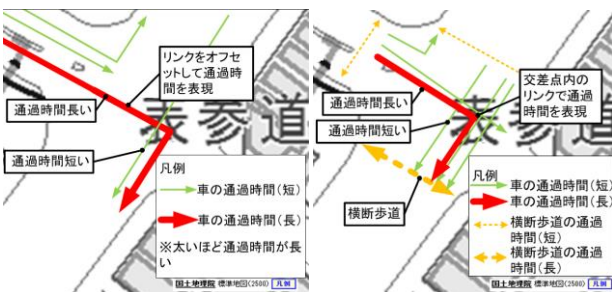
現状の経路案内サービスでは、交通手段を指定した経路案内が一般的であり、自動車と徒歩とを組み合わせた経路案内は普及していない。しかし、プローブデータの位置精度の向上や道路ネットワークモデルの整備により、マルチモーダルな経路案内の実現が期待される。自動車と徒歩を組み合わせた経路案内例を図-2に示す。道路ネットワークモデルを活用すると、円滑な車線変更の案内や徒歩の経路を組み合わせた案内ができる。道路ネットワークモデルを利用した場合のユースケースは、複数の交通モードの経路探索ができ、車線単位の自動車の経路や徒歩の経路を組み合わせた経路を案内できると定義する。

### (4) 道路ネットワークモデルの要件

ユースケース分析結果から抽出された道路ネットワークモデルへの要件を以下に示す。

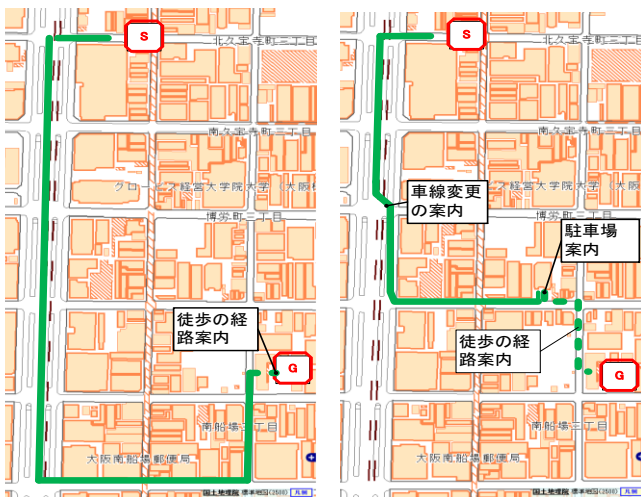
[要件1]交差点で交錯している複数のネットワークを交差点単位で集約して関連づけること。

[要件2]異なる交通モードのネットワークを交通モードの切り替わる箇所で関連づけること。



車両ネットワークを利用 道路ネットワークモデルを利用

図-1 交差点方向別通過時間の分析結果の可視化例



現状の車両ネットワークを利用 道路ネットワークモデルを利用

図-2 自動車と徒歩の経路を組み合わせた経路案内の例

## 3. 道路ネットワークモデルの考案

本研究では、前述の要件を踏まえ、車線単位の車両ネットワークと歩行者ネットワークとを統合した道路ネットワークモデルを考案した。

### (1) 道路ネットワークモデルの定義

道路ネットワークモデルのクラス図を図-3に示す。要件1に対応するため、車両ネットワークの構成点クラスの属性に交差箇所フラグを定義した。これにより、分析の際、異なるネットワークが交錯する可能性のある箇所を抽出できる。また、要件2に対応するため、乗り換えノードおよび乗り換えリンクを定義した。結節箇所は、現実の道路空間で交通モードが切り替わる駐車場、路上駐車場、駐輪場、タクシー乗り場、バス停留所および車道の6箇所とした(表-2)。結節箇所は属性で表現することとし、歩道側のリンククラスのリンクID属性や乗り換えノードクラスの施設ID属性を対応する車両側のクラスであるリンククラスと位置情報クラスにそれぞれ定義した。これにより、複数の交通モードを組み合わせた経路探索や複数の交通モードの含まれるプローブデータを用いた分析の際、異なるネットワークを有機的に扱える。道路ネットワークモデルの可視化例を図-4に示す。各ネットワーク間の結節箇所の位相は、属性で表現しているので幾何形状は結合していない。

### (2) 道路ネットワークモデルの生成手法

道路ネットワークモデルは、既往研究の手法<sup>6,7)</sup>を用いて生成された車線単位の車両ネットワークと歩行者ネットワークとを統合して生成する。具体的には、交差点を範囲指定し、歩行者ネットワークのリンクと交錯する車両ネットワークのリンクとを関連づける。また、結節箇所に対しては、表-2の結節箇所近傍を対象に、乗り換えノードおよび乗り換えリンクを生成して車線単位の車両ネットワークと歩行者ネットワークとを関連づける。

表-2 結節箇所一覧

	結節箇所	フォーマット仕様の拡張点	
		車両	歩行者
1	駐車場(商業施設、民間等)	施設等種別コードに(パーキングエリア、路外駐車場等)に駐輪場、タクシー乗り場、バス停を追加。	施設データに乗り換えノードを追加。
2	路上駐車場		
3	駐輪場	位置情報クラスの属性に歩行者側の施設IDを追加。	
4	タクシー乗り場		
5	バス停		
6	車道乗り換えリンク	リンク内属性に歩行者側リンクIDを追加。	

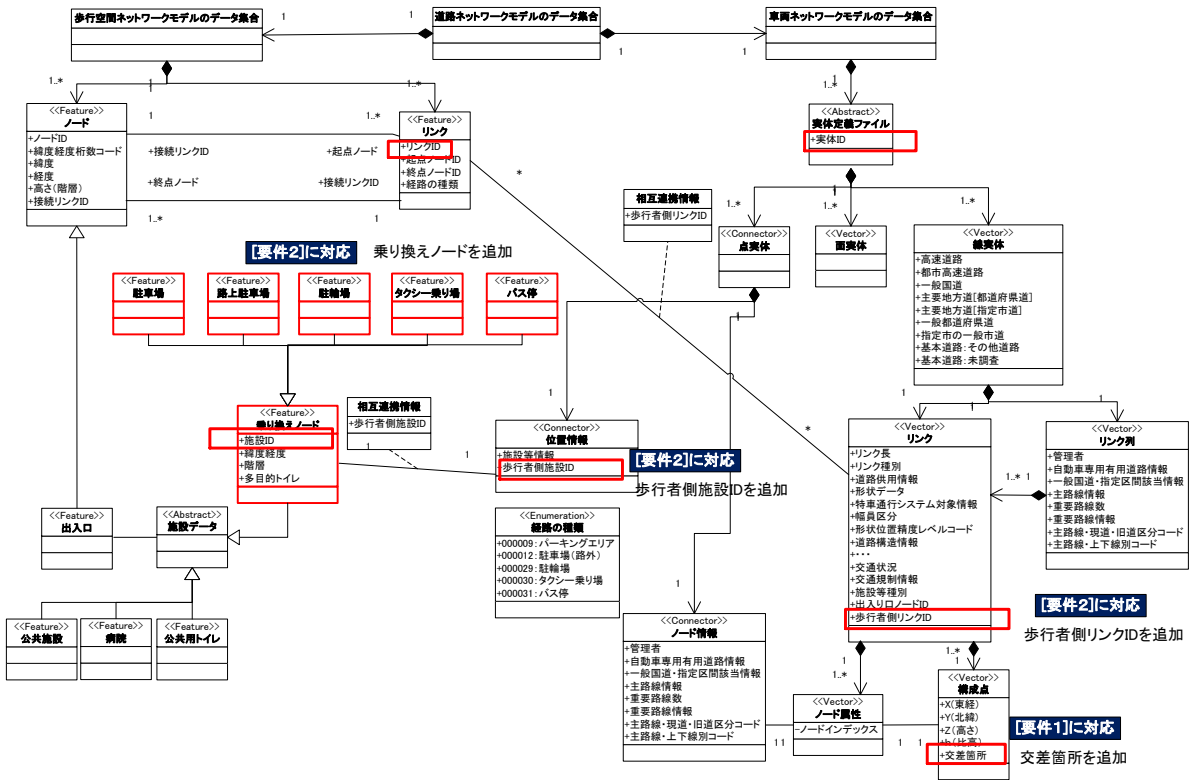


図-3 道路ネットワークモデルのクラス図

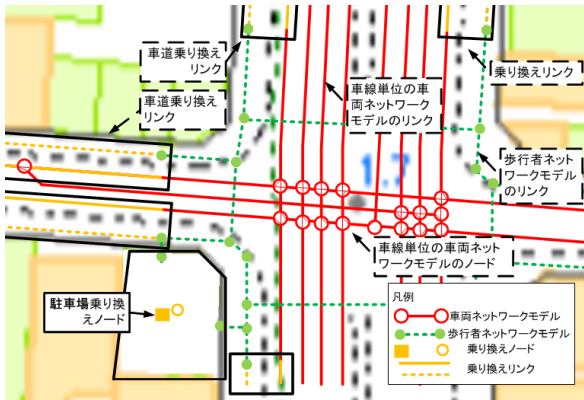


図-4 道路ネットワークモデルの可視化例

#### 4. まとめ

本研究では、車線単位の車両ネットワークと歩道や横断歩道のリンクを持つ歩行者ネットワークを統合する道路ネットワークモデルを考案した。まず、車両や歩行者の複数のネットワークを利用することで高度化が期待される3シーンに着目してユースケースを分析し、道路ネットワークモデルへの要件を定義した。次に、要件を満足する道路ネットワークモデルを定義した。具体的には、車線単位の車両ネットワークと歩行者ネットワークとを統合するために、車両側の構成点クラスの属性に交差点所フラグおよび車両ネットワークと歩行者ネットワークを結節する乗り換えノードと乗り換えリンクを定義し、

その生成手法を考案した。今後の課題として、考案した道路ネットワークモデルの有用性の検証に取り組む予定である。

#### 参考文献

- 1) 戸谷奈穂子, 牧野浩志, 佐々木政秀, 栗原和彦, 磯邊達夫: 千葉県柏市域における携帯電話を用いたプローブパーソン調査結果と今後の活用, 土木計画学研究・講演集, Vol.45, CD-ROM, 土木学会, 2012.
- 2) 上坂克巳, 門間俊幸, 橋本浩良, 松本俊輔, 大脇鉄也: 道路交通調査の新たな展開, 土木計画学研究・講演集, Vol.43, CD-ROM, 土木学会, 2011.
- 3) 橋本浩良, 水木智英, 門間俊幸, 上坂克巳, 田名部淳: プローブデータを用いた交差点における交通動向分析のケーススタディ, 土木計画学研究・講演集, Vol.45, CD-ROM, 土木学会, 2012.
- 4) 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, Vol.47, CD-ROM, 土木学会, 2013.
- 5) 八木浩一: 自動車のばね上観測加速度からの路面縦断プロファイルの推定とその精度検証, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.69, No.3, pp.1-7, 2013.
- 6) 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データ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), Vol.68, No.2, pp.117-126, 2012.
- 7) 渡辺完弥, 今井龍一, 田中成典: 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, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.67, No. 2, pp.150-161, 2011.