

(27) 多様な交通モードのプローブデータの組合せ分析に適したデジタル道路地図に関する研究

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丁目1番1号)
E-mail: k211625@kansai-u.ac.jp

²正会員 東京都市大学准教授 工学部 都市工学科 (〒158-8557 東京都世田谷区玉堤1丁目28番1号)
E-mail: imair@tcu.ac.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丁目1番1号)
E-mail: tanaka@res.kutc.kansai-u.ac.jp

私たちの生活空間である道路は、自動車、自転車や歩行者などの往来が絶えずある。安全・安心で快適な道路交通環境を実現・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。昨今は、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交通分析に活用されている。また、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することが期待される。このことを見据えると、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基盤となるデジタル道路地図の整備により、道路交通分析の効率化・高度化に寄与すると考えられる。

著者らは、高精度な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の組合せ分析を支援するデジタル道路地図を研究している。本稿は、道路交通分析のユースケースを元に抽出したデジタル道路地図の要件と仕様、仕様に則した地図の生成手順および地図の試作のケーススタディ結果を報告する。

Key Words: digital road map, pedestrian space network, travel behavior analysis

1. まえがき

私たちの生活空間である道路は、自動車、自転車や歩行者等の往来が絶えずある。交通の動線が多く交わる交差点およびその付近の交通死亡事故は、全体の約半数を占める年間約 900 件も発生¹⁾している。また、自転車対歩行者の交通事故件数は、年間約 2,800 件も発生しており、ここ 10 年間で増加している²⁾。このような状況への施策として、国土交通省では「安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン」³⁾を策定し、道路空間の再配分を推進している。したがって、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言える。

交通実態を把握する既往の研究には、ビデオ観察を用いた手法がある⁴⁾⁵⁾。具体的には、ビデオ映像から歩行者等の移動軌跡を秒単位で再現し、メッシュ分割した道路空間に重畳して交通実態を把握している。また、昨今は、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⁶⁾⁷⁾。プローブデータは、一定間隔の測位座標や計測時刻等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。

昨今の G 空間社会の動向⁸⁾を踏まえると、近い将来、プローブデータ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国内で網羅的かつ大量に取得され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み合わせた交通の錯綜現象の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、その分析基盤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基盤は開発途上の状況である。

本研究の目的を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の組合せ分析を支援するデジタル道路地図(道路ネットワーク)の開発とした。本稿は、道路交通分析のユースケースを元に抽出したデジタル道路地図の要件と仕様、仕様に則した地図の生成手順

および地図の試作のケーススタディ結果を報告する。

2. デジタル道路地図の要件定義

本研究では、自動車、自転車や歩行者のプロープデータを用いた道路交通分析のユースケースを整理し、デジタル道路地図の要件を定義した(表-1)。

交通モード別の通行箇所分析(No.1)では、ビデオ観察を用いる手法⁴⁵⁾のように、移動軌跡を1m×1m等のメッシュ単位で交通モード別に集計、表現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り、通行方向の区別ができることが要件となる。さらに、歩道や交差点等、道路構造の視点から分析することも多く、道路構造毎に移動軌跡を集計できることが要件となる。道路構造の分類は、車道、歩道、交差点、横断歩道、関連なし、さらにメッシュ内に歩道と車道とがある場合や歩車道を考慮して、歩道を含む車道の6種類を区別できる要件を定義した。

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、交通モード別の分析結果を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⁹⁾も踏まえ、方向率(例:進行方向交通量/総交通量)や混入率(例:自転車交通量/総交通量)の指標を算出・表現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、プロープデータに含まれる重加速度等の属性値をメッシュ単位で表現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、自転車が歩道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ができることを要件とした。

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、データ交換(No.5)として、プロープ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要件とした。

3. デジタル道路地図の仕様及び生成手順の考案

本研究では、前章で定義した道路交通分析の要件に則したデジタル道路地図のクラス図を図-1のように定義した。図に示すとおり、デジタル道路地図は、交通モード毎にメッシュを持ち、原点座標により重畳できる。プロープデータの集計結果は、分析のアプリケーションがメッシュIDをキーに保持することを想定している。

デジタル道路地図の生成手順を図-2に示す。入力データは、実務で多用されているデジタル道路地図¹⁰⁾や地図¹¹⁾に加えて、研究開発や調製が推進されている車線単位のネットワーク¹²⁻¹⁵⁾や大縮尺地図¹⁶⁾も対象とする。

STEP1のメッシュ生成では、まず、原点座標やメッシュサイズを決定する。メッシュサイズは、分析の粒度やプロープデータの測位座標の高精度化を見据え、歩行者の通行幅とされる1m×1mを想定する。また、各メッシュにはメッシュIDおよび座標を格納する。STEP2のリンク関連付けでは、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あるかを判定する。1点以上含まれれば、当該リンクと関連付ける。STEP3の道路構造の関連づけでは、まず、入力データが既存のデジタル地図や航空写真の場合は手動で、メッシュと交差点領域とを関連付ける。入力データが大縮尺地図、車線単位の3次元自動車ネットワークモデルや高度DRMデータの場合は、交差点リンクや車道交差部等の地物を用いて交差点領域を計算し、該当するメッシュと関連付ける。次に交差点領域と関連づけたメッシュ以外でSTEP2においてリンクと関連づけされたメッシュに、車道等リンクが表す道路構造を関連づける。STEP4の上下線の別・高さ・勾配・段差付与では、入力データに、上り線や下り線の別、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、分析用途に応じて該当メッシュと関連付ける。

表-1 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箇所の分析	1) 移動軌跡を1m×1m等のメッシュ単位で交通モード別に集計、表現できること。 2) 通行方向の区別ができること。 3) 道路構造毎(車道、歩道、交差点、横断歩道、関連なし、歩道を含む車道)に移動軌跡を集計できること。
2	錯綜箇所の抽出	1) 交通モード別の分析結果を重畳できること。 2) 方向率・混入率を算出・表現できること。
3	ヒヤリハット箇所の抽出	1) 重加速度等の属性値をメッシュ単位で表現できること。
4	交通モード別・方向別通過速度の分析	1) 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ができること。
5	データ交換	1) プロープデータの集計結果等を他のデジタル道路地図と容易に交換できる親和性の確保。

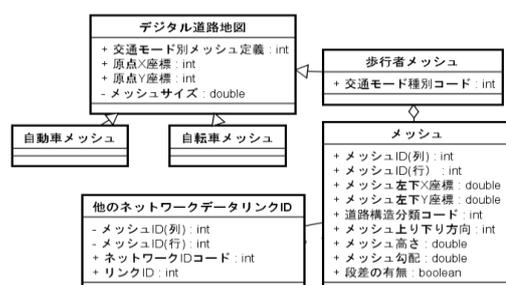


図-1 デジタル道路地図のクラス図

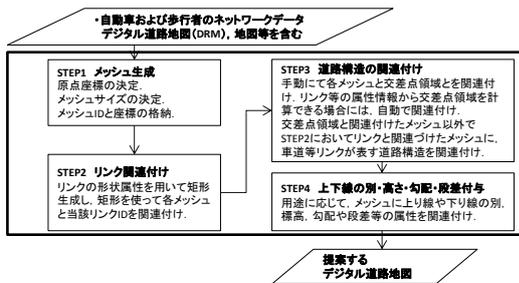


図-2 デジタル道路地図の生成手順

4. デジタル道路地図の試作のケーススタディ

(1) 実施内容

本研究では、前章で考案したデジタル道路地図の生成手順に準じて、地図を試作し、スマートフォンで取得した複数の交通モードのプローブデータを用いて表-2に示す検証を実施した。なお、表-2にはデジタル道路地図の要件との対応(表-1のNo.)も併せて示している。

研究対象の道路と使用したプローブデータの概要を表-3および図-3に示す。本検証では、井上ら¹⁷⁾が関西大学構内の道路を徒歩やセグウェイで取得したプローブデータを利用する。ここで、セグウェイのプローブデータは、自転車として取り扱う。また、本研究では、高精度測位座標のプローブデータの分析を想定するが、利用するプローブデータには、測位誤差が含まれ、歩行者の移動軌跡が必ずしも歩道内に存在しない。そこで、道路を歩車共存道路として取り扱う。さらに、メッシュサイズは、準天頂衛星など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とすることが望ましいが、ここでは、集計処理の検証を考慮して、3m×3mとしている。

(2) デジタル道路地図の試作結果

デジタル道路地図の試作結果を図-4に示す。図に示すとおり、道路空間を3m×3mのメッシュで分割できている。また、分析対象の道路には、測点の情報があり、測点を用いてリンクを生成し、リンクの形状属性を用いて矩形を発生し、一部を含めて矩形内に含まれる各メッシュをリンクと関連づけた。結果、車道上のすべてのメッシュをリンクに正しく関連づけることができた。また、図に示すとおり、リンクの折れ点付近では、前後の矩形が分離した部分があり、メッシュが細かい場合やカーブがきつい場合に、メッシュ全体がこの部分に包含され、正しく関連付けられない可能性があることが分かった。

(3) 交通モード別通行箇所分析と錯綜箇所の抽出結果

交通モード別の通行箇所の分析と錯綜箇所の抽出結果を図-5示す。図には、歩行者上り方向のみ・下り方向

のみ等の通行箇所をメッシュ色で表現している。図に示すとおり、交通モード別かつ通行方向の区別をした通行箇所を集計・表現できることを確認した。また、図には、歩行者上りと自転車下りの通行回数を棒グラフで可視化し、自転車と歩行者の錯綜箇所を表現している。図に示すとおり、交通モード別の分析結果を重畳できることを確認した。

表-2 検証内容

検証項目	検証方法	表-1の要件との対応
交通モード別の通行箇所の分析	交通モードを既知として、交通モード別かつ通行方向の区別をした通行箇所をメッシュ単位に分析。	No.1の1)と2)
錯綜箇所の抽出	上記2つの交通モードの分析結果を重畳し、錯綜箇所を分析。	No.2の1)
方向率および自転車混入率の分析結果	メッシュ単位に、方向別の通過回数を集計して方向率を算出。交通モード別の通過回数から自転車混入率をメッシュ単位に算出。	No.2の2)
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スマートフォンの速度センサ値の平均をメッシュ単位に算出。	No.4の1)

表-3 検証対象の道路とプローブデータの概要

項目	内容
道路幅員と構成	道路幅員 12m 実際は歩道があるが、本稿では、歩車道として分析。
プローブデータ	スマートフォンで取得した以下のデータを利用 歩行者(全8回分) セグウェイ(全13回分)。
走行手法	セグウェイでは、道路中央を走行し30m程度ごとに10秒間の停止を行っている。



図-3 検証対象の道路とプローブデータ(歩行者)

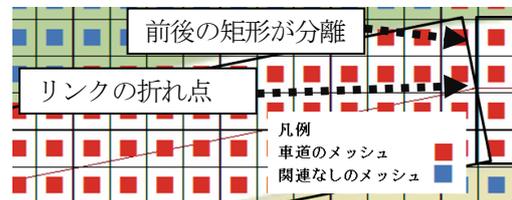


図-4 デジタル道路地図の試作結果



図-5 交通モード別通行箇所分析と錯綜箇所抽出結果

(4) 方向率および自転車混入率の分析結果

図-6 に方向率（自転車と歩行者の総通過量に対する上り方向の通過量の割合）の分析結果と自転車混入率の分析結果を示す。図に示すとおり、方向率や混入率を算出・表現できることを確認した。

(5) 交通モード別・方向別通過速度分析結果

図-7 に交通モード別・方向別通過速度の分析結果を示す。矢印等により交通モード別や方向別の通過速度を表現でき定義した要件が満たされていることを確認した。

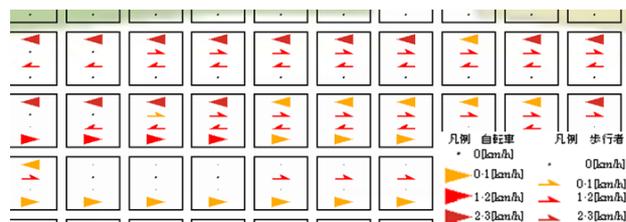


図-7 交通モード別・方向別通過速度分析結果

5. 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の組合せ分析を支援するデジタル道路地図の開発を目指して、道路交通分析のユースケースを元に要件定義を行い、要件を満足するデジタル道路地図の仕様や生成手順を定義した。さらに、ケーススタディとしてデジタル道路地図を試作し、スマートフォンで取得した複数交通モードのプローブデータを用いて、実際に道路交通分析を行い考案したデジタル道路地図が定義した要件を満足するか検証した。結果、デジタル道路地図の試作では、期待したとおりにメッシュを生成でき、車道上のすべてのメッシュをリンクに正しく関連づけることができた。また、リンクとの関連付けの際、リンクの折れ点付近で、発生した前後の矩形が分離する部分があり、メッシュが細かい場合やカーブがきつい場合に、メッシュ全体がこの部分に包含され、リンクとメッシュを正しく関連付けられない可能性があることが分かった。今後、交差点を含む複雑な形状の道路についても検証を行い対策を行う。また、考案したデジタル道路地図が定義した要件を満足するかの検証では、交通モード別通行箇所分析、錯綜箇所の抽出、方向率および自転車混入率の分析、交通モード別・方向別通過速度の分析を行い表-1 に示す 3 つのユースケースの内、5 つの要件を考案したデジタル道路地図が満足することを確認した。

今後は、考案したデジタル道路地図が残り要件を満足するか検証するとともに、自転車と歩行者が錯綜する歩道等でプローブデータを用いた道路交通分析を行い、考案したデジタル道路地図の有効性を検証する予定である。

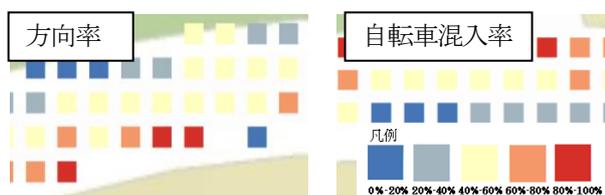


図-6 方向率と自転車混入率の分析結果

参考文献

- 1) 警察庁交通局：平成 27 年上半期の交通死亡事故の特徴及び道路交通法違反取締り状況について，2015.
- 2) 國行浩史：自転車と歩行者の交通事故の実態，ITARDA 第 15 回研究発表会，2012.
- 3) 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，2012.
- 4) 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，Vol.20，pp.463-469，2003.
- 5) 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，Vol.23，pp.417-422，2006.
- 6) 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，Vol.2000，No.653，2000.
- 7) 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，北海道開発技術研究発表会，Vol.54，2011.
- 8) 閣議決定：地理空間情報活用推進基本計画，2012.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 国土地理院：地理院地図，< <http://maps.gsi.go.jp/>>，（入手 2016.6.28）.
- 12) 一般財団法人日本デジタル道路地図協会：DRM 標準フォーマット 21 第 1.3 版，2012.
- 13) 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，2015.
- 14) 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，国総研資料第 372 号，2005.
- 15) 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），Vol.68，No.2，pp.117-126，2012.
- 16) 国土交通省：道路基盤地図情報製品仕様書（案），2008.
- 17) 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，Vol.6，No.4，pp.306-315，2015.