

生活道路における 交通事故危険箇所予測モデルに関する研究

難波 秀太郎¹・橋本 成仁²・吉城 秀治³

¹正会員 中電技術コンサルタント(株) 道路交通部 (〒734-8510 広島県広島市南区出汐二丁目3-30)
E-mail: nanba@cecnet.co.jp

²正会員 岡山大学大学院 環境生命科学研究科 (〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中3-1-1)
E-mail: seiji@okayama-u.ac.jp

³正会員 福岡大学 工学部社会デザイン工学科 (〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈8-19-1)
E-mail: syoshiki@fukuoka-u.ac.jp

近年、我が国の交通事故件数は減少傾向にある。しかしながら、生活道路における交通事故件数の全体を占める割合は増加傾向にある。そのため、より一層生活道路における交通安全対策が重要だと考えられる。交通安全対策を行う上で、事故の発生状況が重要な指標となる。しかし、幹線道路などの大きな道路の交通事故発生地点データは比較的入手がしやすいが、生活道路を含めた都市全域の交通事故発生地点データは容易に入手できない場合が多い。そこで、本研究では、交通事故データが入手困難な場合において、生活道路事故における交通事故危険箇所を予測することのできるモデルを構築することを目的とする。

Key Words : Kernel density estimation, traffic accident, space syntax

1. はじめに

我が国の交通事故件数は年々減少傾向にある。しかしながら、生活道路として想定されている車道幅員5.5m未満の道路における交通事故の減少幅は低下しており、全体の交通事故を占める生活道路事故の割合は増加している。今後、さらなる安全な道路交通を実現するためには、幹線道路等の大きな道路だけでなく、生活道路も含めた都市全域を対象とした交通安全対策を行うことが必要であると考えられる。

交通安全対策を行う上で、交通事故データは重要なものとなる。しかし、幹線道路などの大きな道路の交通事故発生地点データは比較的入手しやすいが、生活道路を含めた都市全域の交通事故発生地点データは容易に入手できない場合が多い。このような状況において、ゾーン30やあんしん歩行エリアなどの生活道路に関する交通安全対策地域の選定を行う際、どの地域に対して優先的に対策を行うかの判断については明確な方針は示されておらず、自治体などの担当者の経験などを基にした主観的な基準に頼っている部分が多い。そのため、一般的に入手が容易であるような客観的な指標を用いて、交通事故リスクの高低を把握することは重要である。

このような背景のもとで、交通事故分析では、交通事故データを用いて交通事故にかかわる要因を抽出する研究が数多く行われており、様々なスケール・角度から研

究が進められている。都道府県、市町村などの自治体単位の特性を対象とした研究としては、交通事故による死者数と人口や経済、住環境などの社会生活指標との相関を明らかにした研究¹⁾が挙げられる。都市構造や道路網構造を用いた研究としては、自動車型都市構造をなす地方都市内の幹線道路網を対象として、道路の機能、土地利用及び両者の対応性から交通事故発生要因を明らかにした研究²⁾や住区内街路における土地利用や道路網構造から事故多発の原因について把握した研究³⁾などが挙げられる。路線単位を対象として研究には、長区間路線での事故分析を行い、沿道施設や道路環境等の路線特性の事故発生への影響を明らかにした研究⁴⁾が挙げられる。交差点を対象とした研究としては、交通事故多発交差点における交通安全対策の策定のために交差点の特性を用いて、事故要因の分析を行い、事故の推計を行った研究⁵⁾や生活道路交差点におけるカーブミラー設置箇所やその個数と交通事故との関係を明らかにした研究⁶⁾などが挙げられる。その他にも地域特性を交差点の特性に置き換え、「地域DNA」と定義することで、生活道路と幹線道路の交差点で発生している事故の要因を把握した研究⁷⁾が挙げられる。近年では高齢者による事故が多発していることから、高齢者事故を対象とした研究もなされている。高齢者事故を対象とした研究としては高齢者の事故を都道府県別、男女別に分析を行い、その特性を明らかにした研究⁸⁾が挙げられる。

また、近年では複雑に絡み合う複数の情報を視覚的に把握し、分析する1つの手段としてGISが様々な分野で活用されている。交通事故の研究においても、交通事故データをGIS化し、分析を行うことでデータを有効に活用できることを示した研究が行われている。交通事故1件ごとに着目し、それらの交通事故発生状況を視覚的に把握することができる事故情報支援システムを構築した研究⁹⁾、交通事故データを統計的分析に併用することで事故対策案の検討、交通安全教育への応用などに有効であることを明らかにした研究¹⁰⁾などが挙げられる。また、地域全域あるいは都市全域の交通事故対策の検討を行うために、町丁目や地域メッシュ単位といったスケールによる分析も進められている。例えば、交通事故分析を面的な単位で行い、回帰モデルを構築した研究¹¹⁾や地域区分を大字とし、大字ごとの地域特性を加えることにより、区域区分の規模と総合的な事故実態の把握方法について検討した研究¹²⁾などが挙げられる。さらには、周辺土地利用状況と生活道路として必要とされる理想的性能という視点から面的速度抑制対策箇所を選定する方法論を提案するとともに、住民意識や交通事故の発生状況からその妥当性を検証した研究¹³⁾が挙げられる。

既往研究により交通事故に関わる要因は明らかになりつつあるが、交通量等の実際の交通状況に密接に関わると考えられる道路ネットワークの特性を考慮した研究は少ない。

また、既往研究では、交通事故データを直接用いて議論が進められているものが多い。つまり、顕在化した事故の発生状況のデータのみを用いて、交通事故の発生状況を捉えたものとなっている。そのため、交通事故の発生していない箇所の交通事故発生リスクについてはゼロと考えることで議論を進めている。ところが、交通事故は稀有かつ偶発的に発生する事象であるため、交通事故データにおいて、事故が発生していない箇所においての交通事故のリスクを考慮したうえで、交通事故発生リスクの高低を把握することが重要であると考えられる。特に、生活道路事故のような発生件数そのものが少ない事象においては過去数年分のデータのみでは統計的な偏りを生む可能性も考えられる。また、近年ではこれらの点を考慮した研究¹⁴⁾もなされているが未だ乏しい状況にある。

以上を踏まえた上で本研究では、施設、人口、土地利用などの都市構成要素に加え、道路ネットワークの特性を示す指標を使用した生活道路事故における交通事故危険箇所を予測することのできるモデルを構築することを目的とする。

そのために、道路ネットワークを示す指標として位相幾何学的指標のスペースシンタックス理論（以下SS理論とする）を用いる。

また、交通事故データを直接利用するのではなく、ネットワークを考慮した密度推定を行うネットワークカーネル密度推定法(以下NKDE法とする)を導入することで、交通事故データの点データを密度として捉えることによって、過去数年分の交通事故発生地点データでは顕在化していない交通事故発生リスクを密度として、考慮した分析を行う。

2. 対象地域と交通事故データの概要

(1) 生活道路上の事故と幹線道路上の事故の定義

まず、本研究における生活道路と幹線道路の定義づけを行う。本研究では、幅員、道路の管理区分、歩道の有無、リンク長の4つの項目を判断基準として、生活道路と幹線道路の分類を行う。幅員、道路の管理区分、リンク長については、ArcGISデータコレクション道路網2014のデータを使用した。また、歩道の有無についてはZmap-AREA デジタル住宅地図2011年度版のデータを使用した。本研究における生活道路と幹線道路の定義を整理した結果を図-1に示す。なお、本定義は既存研究¹³⁾を参考に定義した。

次に、本研究における幹線道路上の事故と生活道路上の事故の定義づけを行う。本研究では、幹線道路の中心線から20mのバッファを作成し、そこに含まれる交通

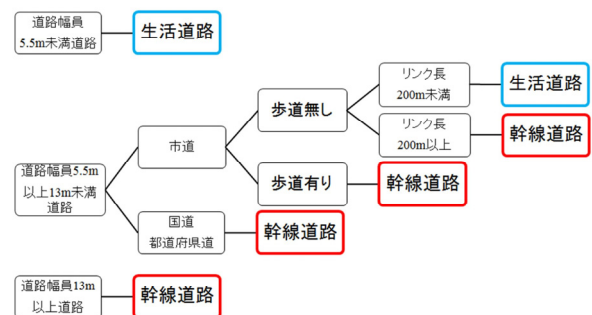


図-1 生活道路・幹線道路の定義

表-1 交通事故データ概要

| 交通事故データ概要 | | |
|-----------|--|-------|
| 対象地域 | 岡山市 | 倉敷市 |
| 年度 | 2010-2014年 | |
| 件数 | 34772 | 18804 |
| データ形式 | ポイント | |
| 項目 | ・発生日時 ・発生地住所 ・道路形状 ・信号機 ・車道幅員 ・事故類型 ・事故内容(死亡、重傷、軽傷) ・当時車種別 ・危険認知速度 ・緯度、経度 | |

事故を幹線道路上の事故（以下幹線道路事故とする）、それ以外を生活道路上の事故（以下生活道路事故とする）と定義した。

(2) 交通事故データの概要

本研究の分析対象地域は岡山県岡山市と岡山県倉敷市である。交通事故データは岡山県警に提供していただいた2010-2014年の5年間に岡山県内で発生した交通事故のデータを基に分析を行う。交通事故データの概要を表-1に示す。

また、図-2に岡山市と倉敷市の事故分布を示す。岡山市の事故分布は中心部から南部にかけて発生件数が多くなっている。北部は山間部を広く含んでいるため、事故分布が少ない傾向にある。倉敷市の事故分布は全域に比較的まんべんなく分布している。これは、岡山市とは異なり広く山間部を含んでいないためだと考えられる。岡山市と比較すると倉敷市の交通事故発生件数が少なくなっているのは、岡山市のほうが倉敷市よりも人口が少ないためであると考えられる。

3. KDE法とNKDE法の概要

(1) KDE法とNKDE法の概要

カーネル密度推定法（以下KDE法とする）とは、有限の標本点から、全体の分布を推定する手法の1つである。GISにおいては点が密集している箇所の分布を連続的で滑らかな密度分布にすることで、視覚的に分かりやすく表現できる手法である。KDE法は犯罪発生マップや交通事故発生マップに利用されている事例があり、一般市民向けにも有用なツールとして利用されている。

KDE法は、ポイントデータの影響を設定した一定の範囲に対して平滑化することで密度分布として表す。このポイントデータの影響の範囲を表すのがバンド幅である。バンド幅として設定した範囲まで一定の減衰を伴いつつポイントデータの密度分布が計算される。バンド幅には絶対的な設定方法及び推定方法は確立されていないため、バンド幅の値は分析者側で設定する必要がある。

近年では道路ネットワークの空間特性を考慮したNKDE法が交通事故の分析に使用され始めている^{15) 16) 17)}。NKDE法とはネットワーク上の与えられた点に対して、ネットワーク上における密度分布の推定を行う手法である。基本的にはKDE法と同様の手法であるがKDE法と比べ、道路ネットワークに適用することに適している。

(2) KDE法とNKDE法の事故密度分布の比較

本節ではKDE法とNKDE法を交通事故データに適用した場合の事故密度分布の比較を行う。KDE法の推定値に

ついてはArc GIS 10.1の空間解析ツールであるSpatial Analystを使用することで算出した。また、NKDE法の推定値についてはSANETにより提供されているソフトであるSANETVer.4.1¹⁸⁾を使用することで算出した。なお、対象地域は岡山市とし、バンド幅はKDE法、NKDE法ともに300mとし、4次メッシュ（500mメッシュ）に事故件数を集計した。

次に、図-3に生データの事故件数、KDE法適用による事故件数、NKDE法による事故件数をメッシュに集計した結果を示す。なお、道路リンクのないメッシュについては分析から除外している。全体のおおまかな傾向として中心部の事故件数が多いということは、KDE法を適用した場合もNKDE法を適用による事故件数も類似している。また、KDE法適用による事故件数のほうが、NKDE法による事故件数と比べ、やや平滑化されている傾向が

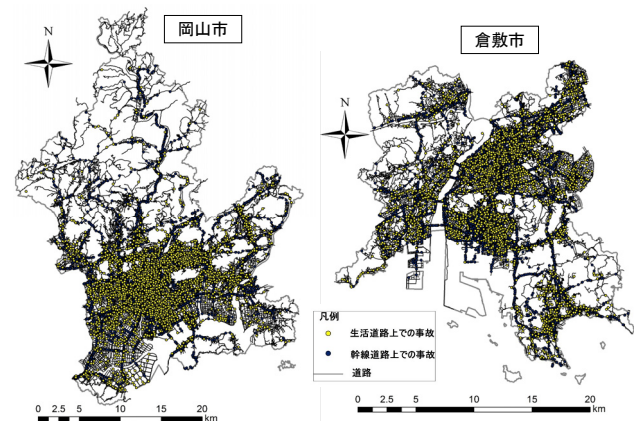


図-2 岡山市・倉敷市における事故分布

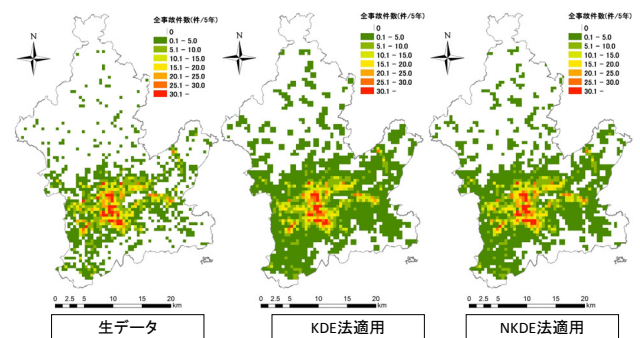


図-3 事故発生件数の集計結果

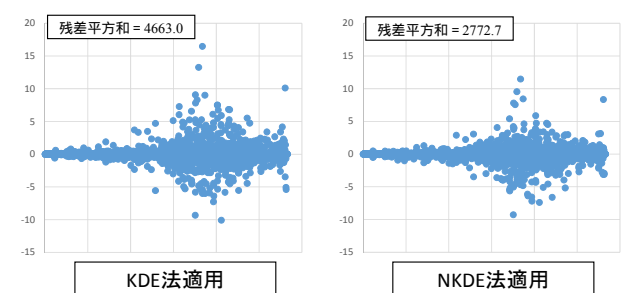


図-4 事故件数の残差プロット

見受けられる。これは、KDE法が同心円状にバンド幅300mの密度推定を行っていることに対して、NKDE法が道路ネットワークに沿った密度推定、つまり経路距離で密度推定を行っていることによる違いであると推察できる。また、図4に生データの事故件数とKDE法適用による事故件数の残差プロット、生データの事故件数とNKDE法適用による事故件数の残差プロットを示す。それぞれの残差プロットを比較すると、全体の傾向は類似した結果となっている。しかしながら、残差平方和を比較するとKDE法適用による事故件数の残差平方和が4663.0、NKDE法と適用による事故件数の残差平方和が2772.7であり、NKDE法適用による事故件数のほうが残差平方和が小さい。この点については、KDE法による密度推定はポイントに対して同心円状に行われ、道路のないメッシュに関しても密度推定を行う。そのため、全体として、NKDE法と比較して過小推計になったためであると考えられる。次に生データの事故件数、KDE法適用による事故件数、NKDE法による事故件数の3つの相関関係について調べた。表-2に相関行列、ケンドールの順位相関行列の算出結果を示す。相関係数についてはネットワークカーネル密度のほうがカーネル密度よりも高い結果となった。生データと相関係数が高いのはNKDE法適用による事故件数であり、ケンドールの順位相関係数においても同様の結果となっている。

これらの結果を踏まえると、NKDE法のほうがKDE法よりも実際の事故の状況に類似した傾向の密度推定ができると考えられる。そのため、本研究のモデル作成の際の目的変数としてはNKDE法を適用した事故件数を用いることとする。

4. SS理論の概要

(1) SS理論の概要

道路ネットワークの特徴を表す指標の1つとして、位相幾何学的指標がある。位相幾何学的指標の代表例として、ロンドン大学のBill Hillierらを中心とした研究グループによって確立されたSS理論が挙げられる。SS理論は空間の位相幾何学的関係に着目した空間解析手法であり、空間の物理的な形状情報を用いて、空間の繋がりのや人の認知・行動との関係を定量的に評価する手法である。

SS理論は道路ネットワークの繋がりを捉え「使われやすい道路」、「使われにくい道路」などの特性を間接的に説明できると考えられている。そのため、交通分野においては交通量指標として利用されている。近年では、交通事故の分析にも利用されつつある¹⁹⁾²⁰⁾。SS理論には主に、4種類の分析手法がある。本研究ではその中でも街路ネットワークの分析に適しているとされるSegment

表-2 相関行列及びケンドールの順位相関行列算出結果

| 相関係数 | 実事故件数 | KDE法適用 事故件数 | NKDE法適用 事故件数 | ケンドールの 順位相関 係数 | 実事故件数 | KDE法適用 事故件数 | NKDE法適用 事故件数 |
|-----------------|--------|----------------|-----------------|----------------------|--------|----------------|-----------------|
| 実事故件数 | 1.0000 | 0.9750 | 0.9851 | 実事故件数 | 1.0000 | 0.7972 | 0.8348 |
| KDE法適用 事故件数 | 0.9750 | 1.0000 | 0.9958 | KDE法適用 事故件数 | 0.7972 | 1.0000 | 0.9133 |
| NKDE法適用 事故件数 | 0.9851 | 0.9958 | 1.0000 | NKDE法適用 事故件数 | 0.8348 | 0.9133 | 1.0000 |

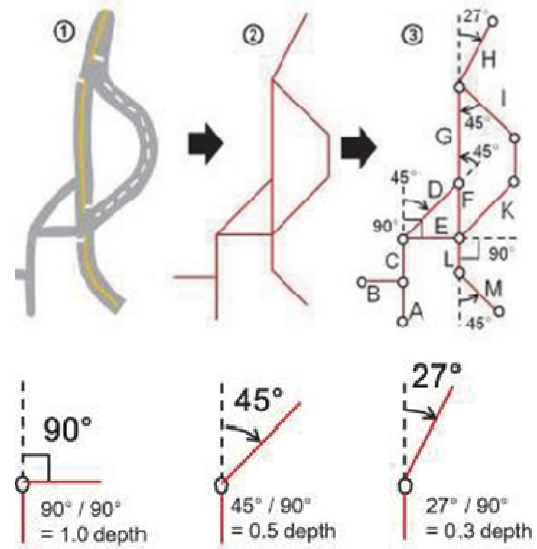


図-5 セグメントとdepthの関係²¹⁾

Angular分析を用いる。

Segment Angular 分析では街路を幾何構造の最小単位であるセグメントという単位に分割し、分割したセグメント同士の接続角度を考慮して分析を行う手法である。セグメントとは道路を1本の直線であらわすことのできる単位に分割したものを指す。具体的には直線部では交差点間ごとにセグメントは分割され、曲線部では曲線が直線になるように何本かのセグメントに分割する。また、Segment Angular分析ではあるセグメントから隣接するセグメントへ移動する際の移動負荷量をdepthと定義し、街路の有する空間的接続性を把握する。depthはセグメントの設置角度に応じて値が変化する。図-5にセグメントの概念²¹⁾と接続角度とdepthの関係について示す。

また、Segment Angular分析では主にdepthを用いて算出される近接性指標(Int.V: Integration Value)と呼ばれる指標を使用する。近接性指標はあるセグメントを基準に対象範囲内の全てのセグメントがどの程度のdepthで接続しているかを示す指標である。近接性指標が高いほど他のセグメントに容易に到達しやすいセグメントであり、低いほど何度も方向転換をしなければ到達することができないため、他のセグメントに到達しにくいセグメントを示す。

(2) SS理論と交通量・交通事故の関連把握

Segment Angular 分析にはSS理論の分析ソフトウェアであるdepthmapX²²⁾を用いた。近接性指標の算定には、一定の対象範囲の設定を行う必要がある。この近接性指標値の算定の対象範囲のことをRadiusという。

近接性指標値を算出した対象地域は、岡山県の主要都市である岡山市、倉敷市そして岡山市と倉敷市に隣接する周辺市町村の道路ネットワークとした。SS理論の分析を行った道路ネットワークの外縁部については中心部と比べ近接性指標が低く算出される傾向にあり、精度が落ちてしまう。そのため、対象地域とする岡山市と倉敷市において算出される近接性指標値の精度を高めるために周辺地域も含めた分析を行っている。Radius別の近接性指標値の算出結果を図-6に示す。なお、Globalとは対象とする道路ネットワーク全域を設定範囲としたRadiusを指す。Radiusの値の大きさに関わらず、岡山市と倉敷市の市街地を中心に近接性指標値が高い傾向にある。Radiusの値が大きくなるにつれて、近接性指標値は都市部が目立って高くなっており、周辺に行くにつれて小さくなっている。また、Radiusの値が小さいほど、近接性指標値が局所的に高い箇所が見られる。

次に、算出された近接性指標値と交通量の関係について、整理する。実際の交通量と近接性指標値との関係性を把握するためにGoogleがインターネットを通して提供しているサービスであるGoogleマップの中の航空写真を用いて交通量の計測を行った。具体的には、岡山市の道路ネットワークの全域を対象とし、乱数を発生させることによってランダムに1000リンクを抽出した。その後、抽出したリンク上に位置する自動車の台数を計測行った。また、航空写真を用いている点を考慮し、近接性指標値と交通量のおおよその傾向を把握するものとする。近接性指標値を算出する際のRadiusは全体の傾向把握を行うために、Globalとしている。

近接性指標値によって傾向の把握を行うために、近接性指標が22500未満、22500以上26000未満、26000以上28500未満、28500以上のリンクの4種類の階級に区分している。これら4区分は近接性指標値を500ごとに分割し感度分析を行い、傾向が見えた箇所まで区分している。図-7に抽出した1,000リンクの近接性指標値階級別の平均自動車台数を示す。平均自動車台数はリンク上で計測された自動車台数の単位リンク長あたりの平均値である。近接性指標値が大きくなるにつれて、平均自動車台数が増加する傾向が見られ、近接性指標値と交通量の関係性が示唆された。

最後に近接性指標値と交通事故の関係性について把握を行う。図-8に岡山市全リンクの近接性指標値階級別の平均交通事故件数(件/年/km)を示す。近接性指標値が高くなるにしたがって、平均事故件数は多くなる傾向にある。これらの結果から、近接性指標値が大きくなるにつ

れて、平均事故件数が増加する傾向が見られ、近接性指標値と交通量の関係性が示唆された。

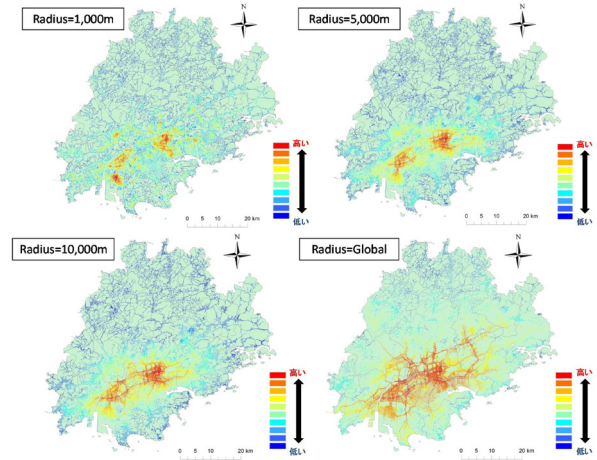


図-6 Radius別近接性指標値の算出結果

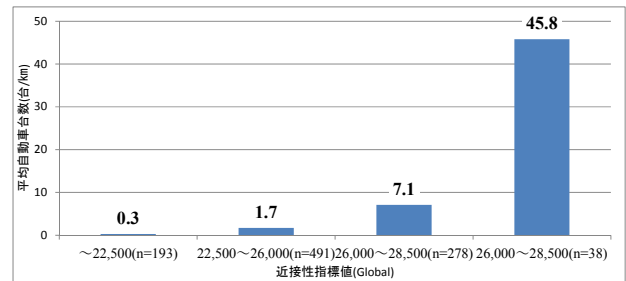


図-7 近接性指標値階級別の平均自動車台数 (抽出1000リンク)

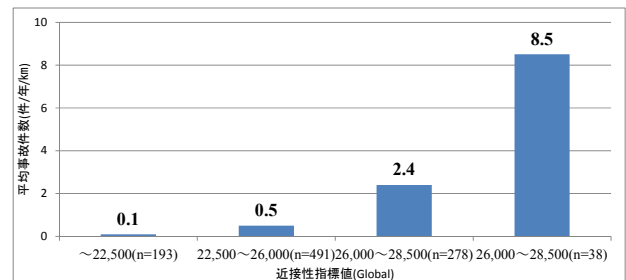


図-8 近接性指標値階級別の平均事故件数 (岡山市全リンク)

表-3 モデルの概要

| モデルの概要 | |
|--------|---|
| 分析単位 | 4次メッシュ(500mメッシュ) |
| モデルの種類 | ・重回帰モデル ・ポアソン回帰モデル ・負の二項回帰モデル |
| 目的変数 | 生活道路事故にNKDE法を適用した事故件数(全事故) |
| 説明変数 | ・道路延長、交差点 ・道路ネットワーク(近接性指標値など) ・施設(施設数、施設までの距離、施設の延床面積) ・人口(年齢別、就業者など) ・用途地域 |

表4 説明変数の概要

| 説明変数 | | 基準 |
|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 道路延長 | 歩道 | メッシュ内の総道路延長 |
| | 幅員別 (3.0~5.5m, 5.5~13.0m, 13.0m~) | |
| | 管理区分別 (市道, 県道, 国道) | |
| 交差点数 | 信号有無別 | メッシュ内の全交差点数 |
| | 管理区分別 (市道, 県道, 国道) | |
| 道路ネットワーク | 平均接続リンク数 | メッシュ内のノードに接続されているリンク数の平均値 |
| | 近接性指標値 | メッシュ内の全リンクにおける近接性指標値の平均値 |
| | 抜け道リンク長(m) | メッシュ内の抜け道リンクの総延長 |
| 施設数 | 医療機関, 病院, 教育機関, 福祉施設, | メッシュ内の施設総数 |
| | 金融機関, 燃料給油所, 都市公園, バス停, | |
| | 駅, スーパー, コンビニ | |
| 施設までの最短距離 (逆数) | 医療機関, 病院, 教育機関, 福祉施設, | メッシュ内の各リンクから各施設までの平均最短距離の逆数 |
| | 金融機関, 燃料給油所, 都市公園, バス停, | |
| | 駅, スーパー, コンビニ | |
| 施設特性 | 駅別乗降客数 | メッシュ内の駅別乗降客数 |
| | 小中学校生徒数 | メッシュ内の小中学校総生徒数 |
| | 医療機関の病床数 | メッシュ内の総病床数 |
| 施設延床面積(m ²) | 住宅, 医療機関, 教育機関, 宿泊施設 | メッシュ内の総延床面積 |
| | 商業施設, 高層建物 (3階以上) | |
| 人口 | 年齢別 (15歳未満, 15歳以上65歳未満, 65歳以上) | メッシュ内の総人口 |
| | 就業者数, 通学者数 | |
| 土地利用面積(m ²) | 住居地域, 商業地域, 工業地域 | メッシュ内の用途地域種別の総面積 |

5. 生活道路事故発生危険箇所予測モデルの構築

(1) モデル構築方法の概要

本章では生活道路事故発生危険箇所予測モデルの構築を行う。構築するモデルの概要を表-3に示す。モデル構築の分析単位は4次メッシュとする。モデルの種類については、重回帰モデル、ポアソン回帰モデル、負の二項回帰モデルの3種類を構築する。目的変数については、生活道路事故にNKDE法を適用した事故件数を使用する。NKDE法を適用する際のバンド幅については300mを採用した。その理由は、50mから500mまで50m置きにNKDE法を適用し重回帰分析モデルを構築した結果、修正済み決定係数が最も高くなったことによる。説明変数については道路延長、道路ネットワーク、施設、人口、用途地域などを作成している。

説明変数の概要を表-4に示す。道路ネットワークの指標として、近接性指標値を使用しているが、近接性指標値は交通量の代替指標として使用している。また、近接性指標値はメッシュ内の総リンク長を考慮した平均値を使用する。具体的には、各リンクのリンク長を算出し、各メッシュ内の総リンク長で重み付けをした平均近接性指標値を算出した。なお、用いる近接性指標値のRadiusは500mから10,000mの間を500m間隔で算出している。加えてGlobalを算出している。さらに、近接性指標値が特に高いリンクを抜け道リンクと定義している。具体的にはz得点を算出し、z得点(平均0, 標準偏差1)に変換した得点が2以上となるリンクを抜け道リンクとして定義し用いた。

表-5 回帰モデル分析結果(岡山市全事故)

| 説明変数 | 重回帰モデル | | | ポアソン回帰モデル | | | 負の二項回帰モデル | | |
|--------------|---------|--------|-----|-----------|----------|-----|-----------|---------|-----|
| | 推定値 | t値 | 判定 | 推定値 | Z値 | 判定 | 推定値 | Z値 | 判定 |
| 国県道交差点数 | 0.079 | 4.269 | *** | 0.006 | 3.168 | | 0.028 | 15.806 | *** |
| 平均接続リンク数 | 0.028 | 0.560 | | 0.824 | 123.153 | *** | 0.907 | 214.488 | *** |
| 病院数 | 0.778 | 1.779 | | | | | | | |
| 小中学校生徒数 | 0.001 | 1.333 | | 0.000 | 9.911 | ** | 0.001 | 16.510 | *** |
| 都市公園数 | 0.572 | 3.234 | ** | 0.069 | 4.547 | * | 0.003 | 0.002 | |
| スーパー店舗数 | 1.638 | 5.355 | *** | 0.134 | 7.077 | ** | 0.190 | 3.711 | |
| 宿泊施設延床面積 | 0.000 | 6.603 | *** | 0.000 | 33.193 | *** | 0.000 | 2.675 | |
| 高層建物延床面積 | 0.000 | 5.966 | *** | | | | | | |
| 福祉施設最短距離(逆数) | 14.733 | 0.796 | | | | | | | |
| コンビニ最短距離(逆数) | 97.271 | 2.840 | ** | 71.929 | 37.549 | *** | 130.496 | 54.640 | *** |
| 15歳以上65歳未満人口 | 0.011 | 39.793 | *** | 0.002 | 1094.636 | *** | 0.002 | 508.718 | *** |
| 抜け道リンク長 | 0.001 | 3.372 | *** | 0.000 | 18.815 | *** | 0.000 | 13.347 | *** |
| 定数項 | -0.117 | -0.876 | | -2.569 | 121.114 | *** | -3.381 | 298.054 | *** |
| 修正済み決定係数 | 0.682 | | | | | | | | |
| 逸脱度 | | | | 7997.5 | | | 2618.9 | | |
| AIC | 6646.8 | | | 11324.6 | | | 7738.4 | | |
| 残差平方和 | 34471.1 | | | 55116.0 | | | 420157.0 | | |

***P<0.001, **P<0.01, *P<0.05

以上のデータを説明変数としてモデルの構築を行う。これらの指標はGISデータとして入手もしくは整備が比較的容易なものを用いている。説明変数については交通安全分野における過去の既存研究を参考にして選定を行った。

(2) 岡山市における生活道路事故発生危険箇所予測モデルの構築と精度の検証

岡山市の生活道路事故を目的変数とした重回帰モデル、ポアソン回帰モデル、負の二項回帰モデルの分析結果を表-5に示す。

重回帰モデルの結果について述べる。施設の指標についてはスーパー店舗数、宿泊施設延床面積、高層建物延床面積が高度に有意(P<0.001)となっており影響力が大きい。また、15歳以上65歳未満人口が高度に有意(P<0.001)となっている。道路ネットワークの指標については国県

道交差点数，抜け道リンク長が高度に有意($P<0.001$)となっている．モデルの精度を示す修正済み決定係数についてみると，全事故は0.682と比較的良好である．ポアソン回帰モデルの結果について述べる．施設の指標については宿泊施設延床面積，コンビニ最短距離(逆数)が高度に有意($P<0.001$)となっている．また，15歳以上65歳未満人口が高度に有意($P<0.001$)となっている．道路ネットワーク指標については平均接続リンク数，抜け道リンク長が高度に有意($P<0.001$)となっている．負の二項回帰モデルの結果について述べる．施設の指標については小中学校生徒数，コンビニ最短距離(逆数)が高度に有意($P<0.001$)となっている．また，15歳以上65歳未満人口が高度に有意($P<0.001$)となっている．道路ネットワーク指標については国県道交差点数，平均接続リンク数，抜け道リンク長が高度に有意($P<0.001$)となっている．

重回帰モデル，ポアソン回帰モデル，負の二項回帰モデルそれぞれの説明変数を比較すると，15歳以上65歳未満人口は全てのモデルにおいて高度に有意($P<0.001$)となっており，影響が大きい．また，抜け道リンク長についても高度に有意($P<0.001$)となっており，近接性指標値をモデルに組み込むことの有効性が示唆された．重回帰モデル，ポアソン回帰モデル，負の二項回帰モデルの精度の比較を行う．実事故件数からのずれを示す残差平方和に着目すると，重回帰モデルの値が最も小さく，負の二項回帰モデルの値が最も大きくなっている．負の二項回帰モデルが過大に推計する傾向が読み取れ，予測値が過分散であることが確認された．

次に本モデルが都市における危険箇所を実際に予測できているかどうかを把握するために全メッシュ(2,831)のうち事故件数の多かった上位10%のメッシュを危険メッシュとして定義し抽出した．さらに，この危険メッシュを半分に分割し，上位危険メッシュ(142)，下位危険メッシュ(142)と定義した．そしてこれらの定義のもと予測値についても同様の分類を行った．これらの実事故件数と各モデルの予測値の関係を集計した．重回帰モデル予測値，ポアソン回帰モデル予測値，負の二項回帰モデル予測値のそれぞれの結果を表-6に示す．全体的中率についてみると，重回帰モデル予測値と負の二項回帰モデル予測値については90%以上と比較的高い中率となっている．実事故件数と予測値とも上位危険メッシュと分類した割合についてはポアソン回帰モデル予測値が86.6%と最も高くなっている．ポアソン回帰モデルが事故件数の特に多い箇所の推計に適していることが示唆される．次に，実件数と予測値の間の相関関係を把握することでどの程度モデルが実件数を推定できているのかということの把握を行った．実件数と予測値の相関行列とケンドールの相関行列の結果を表-7に示す．実件数との相関係数については重回帰モデル予測値が最も値が大き

表-6 予測値と実事故件数の関係(岡山市全事故)

| | | 重回帰モデル予測値 | | |
|-------|---------------------|-----------|----------|----------|
| | | 危険メッシュ外 | 下位危険メッシュ | 上位危険メッシュ |
| 実件数 | 危険メッシュ外 (n=2547) | 97.0% | 2.4% | 0.6% |
| | 下位危険メッシュ (n=142) | 40.8% | 34.5% | 24.6% |
| | 上位危険メッシュ (n=142) | 12.7% | 23.2% | 64.1% |
| 全体的中率 | | 92.2% | | |

| | | ポアソン回帰モデル予測値 | | |
|-------|---------------------|--------------|----------|----------|
| | | 危険メッシュ外 | 下位危険メッシュ | 上位危険メッシュ |
| 実件数 | 危険メッシュ外 (n=2547) | 87.9% | 9.2% | 2.9% |
| | 下位危険メッシュ (n=142) | 16.2% | 23.2% | 60.6% |
| | 上位危険メッシュ (n=142) | 2.8% | 10.6% | 86.6% |
| 全体的中率 | | 84.6% | | |

| | | 負の二項回帰モデル予測値 | | |
|-------|---------------------|--------------|----------|----------|
| | | 危険メッシュ外 | 下位危険メッシュ | 上位危険メッシュ |
| 実件数 | 危険メッシュ外 (n=2547) | 97.0% | 2.3% | 0.7% |
| | 下位危険メッシュ (n=142) | 40.8% | 32.4% | 26.8% |
| | 上位危険メッシュ (n=142) | 12.7% | 26.8% | 60.6% |
| 全体的中率 | | 91.9% | | |

表-7 実事故件数と予測値の相関行列及びケンドールの順位相関行列算出結果

| 相関係数 | 実件数 | 重回帰予測値 | ポアソン回帰予測値 | 負の二項回帰予測値 | ケンドールの順位相関係数 | 実件数 | 重回帰予測値 | ポアソン回帰予測値 | 負の二項回帰予測値 |
|-----------|--------|--------|-----------|-----------|--------------|--------|--------|-----------|-----------|
| 実件数 | 1.0000 | 0.7930 | 0.6915 | 0.6091 | ケンドールの順位相関係数 | 1.0000 | 0.5701 | 0.6052 | 0.5909 |
| 重回帰予測値 | 0.7930 | 1.0000 | 0.8516 | 0.7196 | 重回帰予測値 | 0.5701 | 1.0000 | 0.7596 | 0.7337 |
| ポアソン回帰予測値 | 0.6915 | 0.8516 | 1.0000 | 0.8995 | ポアソン回帰予測値 | 0.6052 | 0.7596 | 1.0000 | 0.9101 |
| 負の二項回帰予測値 | 0.6091 | 0.7196 | 0.8995 | 1.0000 | 負の二項回帰予測値 | 0.5909 | 0.7337 | 0.9101 | 1.0000 |

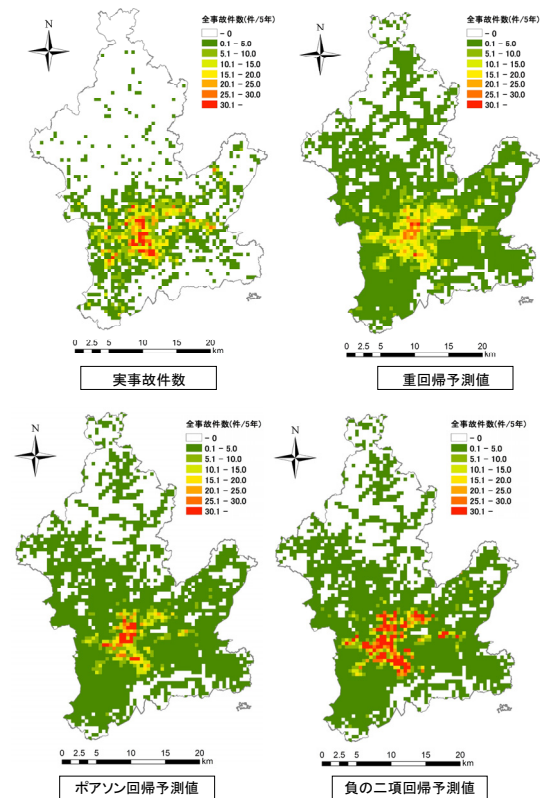


図-9 実事故件数と予測値の発生状況(岡山市全事故)

く，ケンドールの順位相関係数についてはポアソン回帰モデル予測値が最も大きい結果となっている．順位という相対的な関係において比較するとポアソン回帰モデル

が適していることが示唆される。

最後に、図-9に実事故件数と予測値の分布を示す。重回帰モデル予測値については過小傾向、負の二項回帰モデル予測値については、過大推計の傾向が見受けられる。

(3) 岡山市における生活道路事故発生危険箇所予測モデルの倉敷市への適用

本節では構築した全事故に関するモデルを倉敷市に適用する。倉敷市に適用し算出した予測値が危険箇所を実際に予測できているかどうかを把握するために岡山市と同様、上位危険メッシュ(142)、下位危険メッシュ(142)を定義した。そしてこれらの定義のもと予測値についても同様の分類を行った。重回帰モデル予測値、ポアソン回帰モデル予測値、負の二項回帰モデル予測値のそれぞれの集計結果を表-8に示す。全体的中率についてみると、岡山市の結果より中率が低くなっている。実件数と予測値ともに上位危険メッシュと分類した割合についても岡山市と比べ低い傾向にある。実件数と予測値ともに上位危険メッシュと分類した割合についてはポアソン回帰モデル予測値が最も高くなっており、岡山市と同様の傾向が見られた。次に、岡山市と同様に相関関係を比較した。実件数と予測値の相関行列とケンドールの相関行列の結果を表-9に示す。実件数との相関係数については重回帰モデル予測値が最も値が大きく、ケンドールの順位相関係数についてはポアソン回帰モデル予測値が最も大きい結果となっている。相関関係についても岡山市と同様の傾向が見られた。

岡山市のモデルを適用した結果倉敷市においても同様の傾向は見られたが、精度が低下した結果となった。岡山市が北部に広く山間部を有するという倉敷市との地形の違いが1つの原因であることが予測される。そのため、他都市における適用に課題も残るがおよその傾向は表現できたと考える。

6. 結論

本研究では客観的指標から生活道路事故の発生危険箇所を事前に予測できるモデルの構築を試みた。第4章ではNKDE法とSS理論のネットワーク指標と交通事故の関連性の把握を行った。第5章においてはモデルの構築を行った。15歳以上65歳未満人口と抜け道リンク長が全てのモデルにおいて高度に有意(P<0.001)であることが明らかとなった。また、近接性指標値を用いた抜け道リンク長が全てのモデルにおいて高度に有意(P<0.001)であることから事故予測の際の有効な指標であることが示唆された。また、モデルの精度に関してはポアソン回帰モデルが最も上位危険メッシュの的中率が高く、より事故が集中し

表-8 予測値と実事故件数の関係(岡山市全事故)

| | | 重回帰モデル予測値 | | |
|-------|------------------|-----------|----------|----------|
| | | 危険メッシュ外 | 下位危険メッシュ | 上位危険メッシュ |
| 実事故件数 | 危険メッシュ外 (n=1230) | 94.6% | 3.1% | 2.3% |
| | 下位危険メッシュ (n=68) | 63.2% | 19.1% | 17.6% |
| | 上位危険メッシュ (n=68) | 33.8% | 25.0% | 41.2% |
| 全体的中率 | | 88.2% | | |

| | | ポアソン回帰モデル予測値 | | |
|-------|------------------|--------------|----------|----------|
| | | 危険メッシュ外 | 下位危険メッシュ | 上位危険メッシュ |
| 実事故件数 | 危険メッシュ外 (n=1230) | 89.0% | 7.3% | 3.7% |
| | 下位危険メッシュ (n=68) | 29.4% | 39.7% | 30.9% |
| | 上位危険メッシュ (n=68) | 17.6% | 29.4% | 52.9% |
| 全体的中率 | | 84.8% | | |

| | | 負の二項回帰モデル予測値 | | |
|-------|------------------|--------------|----------|----------|
| | | 危険メッシュ外 | 下位危険メッシュ | 上位危険メッシュ |
| 実事故件数 | 危険メッシュ外 (n=1230) | 94.6% | 3.0% | 2.4% |
| | 下位危険メッシュ (n=68) | 63.2% | 13.2% | 23.5% |
| | 上位危険メッシュ (n=68) | 35.3% | 32.4% | 32.4% |
| 全体的中率 | | 87.4% | | |

表-9 実事故件数と予測値の相関行列及びケンドールの順位相関行列算出結果

| 相関係数 | 実件数 | 重回帰予測値 | ポアソン回帰予測値 | 負の二項回帰予測値 | ケンドールの順位相関係数 | | | |
|-----------|--------|--------|-----------|-----------|--------------|--------|-----------|-----------|
| | | | | | 実件数 | 重回帰予測値 | ポアソン回帰予測値 | 負の二項回帰予測値 |
| 実件数 | 1.0000 | 0.6394 | 0.5607 | 0.4450 | 1.0000 | 0.5594 | 0.5922 | 0.5902 |
| 重回帰予測値 | 0.6394 | 1.0000 | 0.9049 | 0.7996 | 0.5594 | 1.0000 | 0.7840 | 0.7754 |
| ポアソン回帰予測値 | 0.5607 | 0.9049 | 1.0000 | 0.9420 | 0.5922 | 0.7840 | 1.0000 | 0.9457 |
| 負の二項回帰予測値 | 0.4450 | 0.7996 | 0.9420 | 1.0000 | 0.5902 | 0.7754 | 0.9457 | 1.0000 |

ている危険な箇所を予測することに適しているモデルであることが示唆された。最後に岡山市で構築したモデルを倉敷市に適用し、他都市に適用した場合においても全体の事故発生状況およその傾向を把握することができた。

しかしながら、他都市に適用した際のモデル精度の低下といった課題も残っている。そのため、モデル精度の向上に向けて一般化線形混合モデルの適用や都市全域ではなく、住居地域や都市部のような地域を絞った分析の検討が今後の課題である。また、道路ネットワークの特性をよりいかにするために道路リンク単位のモデルの構築の検討に関しても今後の課題として挙げられる。

謝辞：本研究を進めるにあたり、公益財団法人タカタ財団の研究助成を頂きました。この場をかりて感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 田久保宜晃，高嶺一男：地域別の交通事故と社会生活要因の相関に関する分析，第 18 回交通工学研究発表会論文報告集，pp.93-96，1998。
- 2) 川上洋司，本多義明，竹内伝史，岩崎光男：道路機能と沿道土地利用パターンの対応からみた交通事故のマクロ的発生構造に関する研究，土木計画学研究・論文集，No.9，pp.165-172，1991。

- 3) 尾崎俊秀, 竹内伝史, 川上洋司: 住区内街路に発生する交通事故と街路網の特性 福井市を例にして, 日本都市計画学会学術研究論文集, Vol.26, pp.343-348, 1991.
- 4) 三谷哲雄, 日野泰雄, 吉田長裕: 路線特性を考慮した事故対策のためのデータベース化とその分析事例, 土木計画学研究・論文集, Vol.24, no.4, pp.797-802, 2007.
- 5) 村瀬満記, 秋山孝正, 奥嶋政嗣: 交通事故多発交差点に関する事故要因分析システムの構築, 土木計画学研究・論文集, Vol.21, no.4, 2004.
- 6) 三谷哲雄, 日野泰雄, 横井耕二, 吉田長裕: 生活道路交差点における交通安全対策整備と交通事故発生状況, 土木計画学研究・論文集, Vol.25, no.4, pp.823-828, 2008.
- 7) 吉田進悟, 宮崎正典, 坂本邦宏, 久保田尚: 「地域 DNA」に着目した生活道路と幹線道路との交差点における交通事故要因分析, 第 29 回交通工学研究発表会論文集, pp.69-72, 2009.
- 8) 山田晴利: 高齢者の事故に関する基礎的分析, 第 33 回交通工学研究発表会論文集, pp.23-27, 2013.
- 9) 高井広行: 東広島市における交通事故の分析と GIS を活用した事故情報支援システムの構築, 土木計画学研究・論文集, Vol.19, no.4, pp.757-764, 2002.
- 10) 増岡義弘, 橋本成仁, 嶋田喜昭, 荻野弘: 交通事故データの GIS 化と交通安全対策への適用, 第 26 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.121-124, 2006.
- 11) 兵藤哲朗, 森地茂, 浜岡秀勝: 地理情報システムを用いた交通事故発生要因分析, 行動計量学, Vol.20, pp.39-47, 1993.
- 12) 三谷哲雄, 日野泰雄, 上野精順, 沢田道彦: 大字単位の地区特性値に対応した地理情報システムによる交通事故分析の試みとその考え方, 土木計画学研究・論文集, Vol.18, no.5, pp.843-848, 2001.
- 13) 三村泰広, 安藤良輔, 橋本成仁・嶋田喜昭・吉城秀治: 周辺土地利用と生活道路の理想的性能を考慮した面的速度抑制対策箇所の選定方法に関する研究 - 豊田市におけるケーススタディ, 土木学会論文集 D3, Vol.71, No.5, pp.1711-1724, 2015.
- 14) Seiji Hashimoto, Syuji Yoshiki, Ryoko Saeki, Yasuhiro Mimura, Ryosuke Ando & Shutaro Nanba: Development and application of traffic accident density estimation models using Kernel Density Estimation, Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), Vol.3, No.3, pp.262-270, 2016.
- 15) Xie, Z., & Yan, J.: Kernel Density Estimation of traffic accidents in a network space, Computers, Environment and Urban Systems, Vol.32(5), pp.396-406, 2008.
- 16) Loo, B. P. Y., Yao, S., & Wu, J.: Spatial point analysis of road crashes in Shanghai: A GIS-based network kernel density method, Proceedings - 2011 19th International Conference on Geoinformatics, Geoinformatics 2011, pp1-6, 2011.
- 17) Xie, Z., & Yan, J.: Detecting traffic accident clusters with network kernel density estimation and local spatial statistics: An integrated approach, Journal of Transport Geography, Vol.31, pp.64-71, 2013.
- 18) 岡部篤行, 奥貫圭一, SANET チーム: SANET, A Spatial Analysis on Networks (Ver.4.0), http://sanet.csis.u-tokyo.ac.jp/index_jp.html, 最終閲覧 2016.07.
- 19) 坂本尚基, 赤羽弘和, 高松誠治, 南部繁樹, 堀口良太, ロバスト・ポアソン回帰による交通事故リスクモデルの同定と適用, 土木計画学研究発表会講演集, vol.40, CD-ROM, 2009.
- 20) 高松誠治, 堀口良太, 赤羽弘和, 道路網の位相幾何学的評価尺度を導入した交通事故リスク推計モデルの構築, 交通工学, vol.44, no.1, pp.54-62, 2009.
- 21) 西村卓也, 石倉智樹, 小根山裕之, 鹿田成則: 街路の利用特性と接続特性の関係に関する実証分析, 土木学会論文集 D3, Vol.70(5), pp.279-293, 2014.
- 22) depthmapX: <http://varoudis.github.io/depthmapX/>, 最終閲覧 2016.07.

(2016. ●. ● 受付)