

# 道路ネットワーク構造に着目した 交通事故要因のマクロ分析

福井 智侑<sup>1</sup>・塩見 康博<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 学生会員 立命館大学 理工学研究科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)  
E-mail: rv0039fs@ed.ritsumei.ac.jp

<sup>2</sup> 正会員 立命館大学准教授 理工学部環境都市工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)  
E-mail: shiomi@fc.ritsumei.ac.jp

交通事故分析は、その成果の実現可能性や細かさを考慮すると、個々の対策箇所ごとに講じることが望ましい。しかしながら、生活道路への通過交通の流入などが事故の要因だとすると、その原因は、幹線道路と生活道路の階層性や道路ネットワーク構造、土地利用といった、特定交差点・単路以外の要素が事故の発生につながっている可能性が考えられ、対策箇所ごとの分析ではそれらの考慮が難しい。そこで本研究では、市区町村単位で方向別交通容量比を用いて道路ネットワーク構造を把握するとともに、ETC2.0 データによりその妥当性を判断した。その後、ポアソン回帰分析によって事故との関係を明らかにした結果、幹線道路の網羅的な整備が事故件数削減に有効であることなどが明らかとなり、交通安全対策としての道路高規格化の重要性が示されたと考える。

**Key Words:** traffic- accidents, road network, polar chart, probe car data, ETC2.0

## 1. はじめに

近年、我が国においては交通事故およびそれに伴う死者数は年々減少傾向にあり 2018 年は観測史上最少の値を記録した。しかしながら、内閣府によって作成された第 10 次交通基本計画によって定める事故件数の目標は依然達成されておらず、今後より一層の交通事故削減が望まれる。

交通事故の分析において、個々の道路や交差点に着目する場合、交差点のコンパクト化や路側帯幅員拡張のように具体的な成果が得られることが多く<sup>1)2)</sup>等、きめ細かな対策を講じる際の参考として利用することが可能であると考えられる。しかしながら、それらの分析には対象サンプルごとに、より詳細で正確なデータが求められることに加えて、生活道路への通過交通の流入などが事故の要因だとすると、その原因は、幹線道路と生活道路の階層性や道路ネットワーク構造、土地利用といった、特定交差点・単路以外の要素が事故の発生につながっている可能性があり、それらの考慮が難しい。実際に現在の我が国における交通事故の課題として、通過交通による交通事故が挙げられている。実例として東京都内において、環状 3 号線に並行する生活道路では、交通事故発生率が都内平均の 5 倍になっていること<sup>3)</sup>、通過交通の走

行速度が一般交通と比較して高いこと<sup>4)</sup>が明らかにされており、筆者らの研究<sup>5)</sup>においても通過交通が発生しやすい地域では右左折および出会い頭事故リスクが高まる傾向にあることを示している。これらの事例は、交通事故の要因は必ずしもその発生地点のみに存在するのではなく、道路ネットワーク構造や土地利用特性など、広範囲な交通流動特性が間接的な原因となっている可能性がある。

道路ネットワーク構造と交通事故に関する研究として Rifaat ら<sup>6)</sup>は都市の構造を 4 つに区分して事故件数とその重大さを分析し、幹線道路と生活道路の接続点を集約させたような、loops and lollipops 形状の地域においては、事故件数そのものは増加するが重大な事故件数は減少する傾向にあることを示した。

橋本<sup>7)</sup>は道路ネットワーク構造に関連する指標として「接続ノード数 (Link to node ratio)」<sup>8)</sup>を用いて、ノード総数に対するリンク総数を把握することで、対象エリア内における通過交通の多さを推測し、交通事故との関係を見たところ、接続ノード数の小さい(袋小路が多用されていると考えられる)地域では出会い頭事故が減少することを明らかにしている。

高橋ら<sup>9)</sup>はスペースシンタックス理論の媒介性指標を用いて経路ごとに「構造的な使われやすさ」を表現し、

経路として使われやすいセグメントほど追突事故リスクが高まる傾向にあることを明らかにしている。

田村・浅野<sup>10)</sup>は、街路網の迷路性を、形状指数・見通し距離からなる「迷路指数」として表現し、ヒアリング調査の結果と比較することで、迷路指数を用いて実際に人々が感じることできる複雑さを表現することができたとまとめている。

以上の研究にみられるように、都市の構造を評価する試み、およびそれを指標として発展させた研究も多く存在している。しかしながら、対象とする道路の種別や個々の道路特性に着目したものは少なく、そのような地域における評価は、Rifaat ら<sup>9)</sup>のように定性的な評価にとどまることが課題である。

そこで本研究では、道路ネットワークにおける道路種別とその構造に着目した交通事故分析を行うことで、交通事故リスクにおける、道路ネットワーク構造の影響を定量評価することを目的とする。具体的には、幹線道路と全道路において方向別交通容量比を算出し、標準偏差などを用いることで対象地域ごとに定量評価する指標を定義し、その妥当性については実測データである ETC2.0 の走行履歴データを用いて判断する。その後、道路ネットワーク構造を表す指標や土地利用特性などを考慮したポアソン回帰モデルを構築する。

本論文の構成は以下の通りである。まず 2 章で、用いるデータの概要について説明する。3~6 章で道路ネットワーク構造の定量評価およびその妥当性の確認を行い、7 章でそれらを用いた事故率推定モデルを構築する。8 章では、7 章で構築したモデルを用いて、事故対策を講じる際に得られる効果について推測する。

## 2. 使用データ概要

本研究で用いるデータについて以下に整理する。

### (1) 分析対象地域

本研究では、以下の計 44 地域を対象とした分析を行う。

- ・滋賀県大津市、草津市、栗東市、守山市、野洲市
- ・京都市内全 11 区
- ・大阪市内全 24 区
- ・香川県高松市、丸亀市、坂出市、宇多津町

各種データの格納状況、面積のばらつきなどを考慮し、政令指定都市については、区を最小単位とする。

### (2) 交通事故データ

2017 年に分析対象地域で発生した交通事故に関して、各自治体、警察で公開されているものを用いる。なお、事故類型については、データの制約上考慮せず、対象地域ごとに、単位人口当たりの事故件数を事故率として定

表-1 本研究で用いる道路分類

分類方法	幹線道路延長
a : 本研究による分類	2547.4km
b : センサスリンク	2609.1km
補充率 (=a : b)	0.976 : 1.000

義する。

### (3) 道路ネットワークデータ

平成 26 年度版デジタル道路地図データの基本道路リンク、基本ノードデータ、および平成 27 年度道路交通センサスの調査結果を用いる。本研究においては幹線道路からの通過交通を取り扱う。しかしながら、我が国において、幹線道路と生活道路の明確な定義は存在しないため、本研究においてはデジタル道路に格納されている各種データに基づく、以下の条件によって分類する。

- 1) 高速道路、都市高速道路、自動車専用道路。
- 2) 上下線分離リンク。
- 3) 幅員コード 13.0m 以上。

以上の条件 1)~3)のいずれかに該当するリンクを幹線道路、いずれにも該当しないリンクを一般道路と定義する。

本分類の整合性を確かめるために分析対象地においてセンサスリンクの延長と比較したものが表-1 である。表-1 によると本研究で定義した分類でセンサスリンクの 97.6%を補うことができていることから、以降の分析では条件 1)~3)に基づく分類を用いることとする。

### (4) プローブデータ

本研究では道路ネットワークの幾何構造による定量評価を行うが、その際にプローブデータの走行履歴データを用いて実際の車両挙動を確認することで、定義した指標の妥当性の確認を行う。本研究ではETC2.0の走行履歴データに基づいた分析を行う。詳細を以下に示す。

- ・対象：走行履歴データ（様式I-2）
- ・集計期間：2015年11月（30日間）

ETC2.0のデータは国土交通省が高速道路（ITSスポット）および直轄国道（経路情報収集装置）でETC2.0登載車両から収集している走行履歴データであり、民間のプローブデータと比較してデータの即時性に優れること等が挙げられている<sup>11)</sup>。本研究で用いるデータには、車種や用途といった車両情報に加えて、時刻、緯度経度情報、走行速度、走行道路の種別などが含まれている。これらは走行距離200mごと、進行方向の変化ごとに蓄積され、点列データとして格納されている。なお、走行開始直後および走行終了直前はプライバシー保護の観点からデータは収集されない。

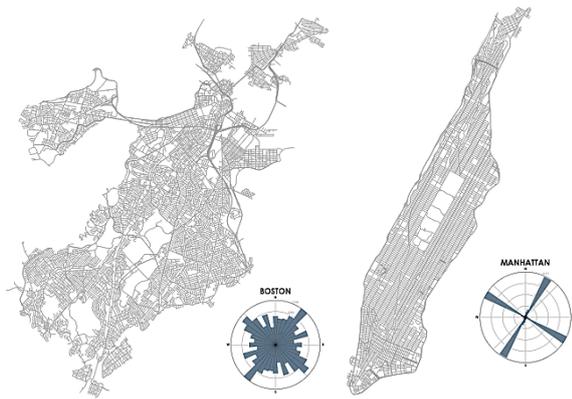


図-1 Boeingによるリンク本数の polar chart

### (5) 各種土地利用データ

土地利用データとして、国土数値情報データとして公開されているGISデータを用いる<sup>12)</sup>。具体的には以下のデータを対象地域ごとに整理する。

- ・2015年国勢調査：人口
- ・工業地，農用地面積データ
- ・学校，鉄道駅ポイントデータ

## 3. 道路ネットワーク特性指標の構築

先に挙げた橋本<sup>7)</sup>の研究成果によると、幹線道路のみを用いる経路が遠回りとなる場合、最短経路として生活道路を用いる「最短の抜け道交通」が発生すると考えられており、地域内の道路ネットワーク、とりわけ幹線道路の網羅状況は通過交通の発生に大きな影響を与えると考えられる。道路ネットワークの網羅状況を評価するツールの一つとして、G.Boeing<sup>13)</sup>は各道路に方向角を設定し、角度ごとの相対頻度を円形グリッドにプロットする「polar chart」を提案している(図-1)。polar chartを用いることで対象地域内の移動可能方向を直観的に把握することができるが利点として考えられ、複数都市で比較する研究も見受けられる<sup>14,15)</sup>。しかしながら、G. Boeingの手法ではリンク長のみを考慮しており、道路種別やその交通容量などは考慮されていない。そこで本研究では、この考え方にに基づき、道路ネットワークの階層構造を考慮するため、デジタル道路地図のリンクに角度、交通容量を定義し、道路種別および交通容量を考慮した相対頻度分布を円状にプロットすることでpolar chartを描写する。このように道路ネットワークの特徴量を捉えることにより、対象とする道路ネットワークが供給する道路交通サービスの程度を方向別に把握することができる。また、それを道路種別に捉えることで、移動方向別の供給量に対する幹線道路が占める割合を評価することも可能となる。以下、提案する道路ネットワーク指標の詳細に

ついて説明する。

### (1) リンク方向角の定義

本研究ではデジタル道路地図のリンクidが起終点ノード番号を並列させていることに基づいて起終点座標からリンクの方向角を定義する。本研究においては以下の手順で定義する。

- 1) 任意のリンクidより起終点座標を特定する。
- 2) 終点座標と起点座標の差をとることで経度の増加量 $\Delta x$ と緯度の増加量 $\Delta y$ を算出する。
- 3) 逆三角関数を用いて角度を算出する。
- 4) 上下線非分離であるリンクに対しては、反対方向のリンクを考慮するために算出された値と180度反対のダミーリンクを設定する。

本研究においては相対頻度分布の描写にあたり、真東を0とした360度を8つのランクに区切り、ランクに基づいた分析を行う。具体的には0度以上45度未満であれば1、45度以上90度未満であれば2、のように8まで方向ランクを割り振る。

### (2) リンク交通容量の定義

階層性を考慮した道路ネットワーク構造を把握するためにはリンクの本数のみではなく、そのリンクの持つ交通容量を考慮する必要がある。しかしながら、非センサスリンクにおいてはリンク単位で交通容量を把握することが難しい。そこで本研究では、デジタル道路地図から得られるデータに基づいて、リンクごとに仮想の交通容量を定義する。デジタル道路地図の幅員コードは4段階に分類されており、コードが1であれば幅員13.0m以上、2であれば5.5m以上13.0m未満、3であれば3.0m以上5.5m未満、4であれば3.0m未満である。そのため本研究では、コード1は4線以上、コード2および3は2車線程度、コード4は1車線であると想定し、以下の式(1)によってリンクごとに交通容量を定義する。

$$c_i = L_i \cdot c_{i,d}$$

$$c_{i,d} = \begin{cases} 4.00 & (c_{i,w} = 1) \\ 1.94 & (c_{i,w} = 2) \\ 1.64 & (c_{i,w} = 3) \\ 0.88 & (c_{i,w} = 4) \end{cases} \quad (1)$$

ただし、

- $c_i$  : リンク*i*における交通容量
- $L_i$  : リンク*i*の延長[m]
- $c_{i,d}$  : リンク*i*における幅員ランク (後述)
- $c_{i,w}$  : リンク*i*における幅員コード

とし、幅員ランク $c_{i,d}$ は飽和交通流率の車線幅員による補正值 $\gamma_L$ (表-2<sup>16)</sup>参照)に基づいて与える。

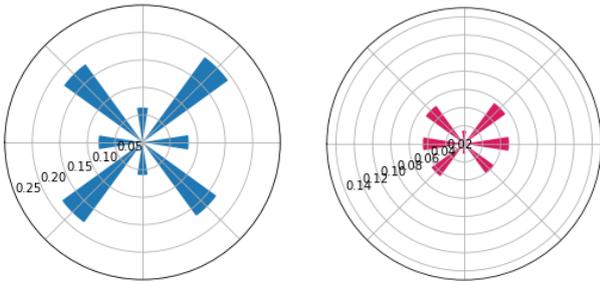
算出した方向ランクと交通容量より「方向別交通容量

表-3 幅員コードと幅員ランク

幅員コード	想定車線数	補正率 $\gamma_L$ ※	幅員ランク
1	4	1.00	4
2	2	0.94	1.88
3	2	0.88	1.64
4	1	0.88	0.88



(a) 草津市の道路ネットワーク



(b) 全道路の方向別交通容量 (polar chart) (c) 幹線道路の方向別交通容量比 (polar chart)

図-2 草津市における polar chart を用いた可視化

比」を算出し、polar chartを描写する。具体的には以下の式2, 式3で算出される $C_{all,i,d}$ および $C_{main,i,d}$ をプロットすることで描写される。

$$C_{all,i,d} = \sum_{j=1}^{n_i} c_{i,j,d} / \sum_{j=1}^{n_i} c_{i,j} \quad (2)$$

$$C_{main,i,d} = \sum_{k=1}^{n_{main,i}} c_{main,i,k,d} / \sum_{k=1}^{n_{main,i}} c_{main,i,k} \quad (3)$$

ただし、

$C_{all,i,d}$  : 地域*i*における、方向ランクが*d*である全道路の方向別交通容量比

$c_{i,j}$  : 地域*i*における、リンク*j*が持つ交通容量

$c_{i,j,d}$  : 地域*i*における、方向ランク*d*のリンク*j*が持つ交通容量

$n_i$  : 地域*i*におけるリンク本数

$C_{main,i,d}$  : 地域*i*における、方向ランクが*d*である幹線道路の方向別交通容量比

$C_{main,i,k}$  : 地域*i*における、幹線道路*k*が持つ交通容量

$C_{main,i,k,d}$  : 地域*i*における、方向ダミー*d*の幹線道路*k*が持つ交通容量

$n_{main,i}$  : 地域*i*における幹線道路本数とする。

$C_{all,i,d}$ および $C_{main,i,d}$ は、任意の方向ランクにおける交通容量を、全方向の交通容量で除すことで、方向別の交通容量の比率を表したものである。

図-2に、草津市においてpolar chartを描写した例を示す。図-2(a)は、草津市の範囲および道路ネットワークを示したものであり、幹線道路であるリンクはピンク色で表している。草津市は市の北西に沿って琵琶湖の湖岸となっており、北西方向への道路は基本的に丁字路交差点となっていることが特徴である。(b)および(c)には道路種別ごとの方向別交通容量比を示している。3時の方向にプロットされる値が方向ダミー1の交通容量の合計値 $C_{all,i,1}$ および $C_{main,i,1}$ であり、反時計回りに方向ダミー2のもの、方向ダミー3のものと続く。(b)に着目すると方向ダミー2, 4, 6, 8に占める交通容量の割合が比較的多い、凹凸のあるpolar chartであると読み取れる。これは、草津市を通る主要な幹線道路として、国道1号線、名神高速道路などが挙げられ、それらは主に北東方向(南西方向)に走っていることが要因であると考えられる。幹線道路の方向別交通容量比である(c)に着目すると、(b)とは異なって方向ダミー1および5の値が比較的大きいことが読み取れる。これは、リンク本数が比較的小さい東西方向の移動について、幹線道路である近江大橋などによって担われていることが想定される。

本研究では、(c)の考察に用いたように、全道路の交通容量に占める幹線道路の割合を「幹線道路交通容量分担率」として定義し、幹線道路の網羅状況を把握する。具体的には、以下の式4, 式5で定義される。

$$share_{i,d} = \frac{C_{main,i,d}}{C_{all,i,d}} \quad (4)$$

$$share_{i,mean} = \frac{1}{8} \sum_{d=1}^8 share_{i,d} \quad (5)$$

ただし、

$share_{i,d}$  : 地域*i*, 方向ランク*d*における、幹線道路交通容量分担率

$share_{i,mean}$  : 地域*i*における、幹線道路交通容量分担率の平均

$C_{main,i,d}$  : 地域*i*における、方向ランクが*d*である幹線道路の交通容量(合計値)

$C_{all,i,d}$  : 地域*i*における、方向ランクが*d*である全リンクの交通容量(合計値)

とし、 $share_{i,d}$ に対しても $C_{all,i,d}$ ,  $C_{main,i,d}$ と同様にpolar chartを用いて可視化する。一例として草津市における、 $share_{i,d}$ のpolar chartを図-3に示す。

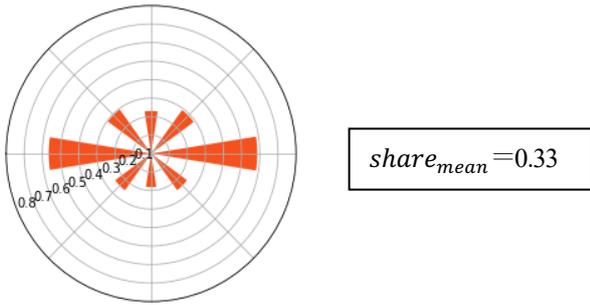


図-3 草津市における幹線道路交通容量分担率の polar chart

図-3によると、東西方向の移動において、全交通容量のうち、6割程度を幹線道路が担っていることが読み取れるが、その他の方向では3割程度であり、東西方向以外への移動に関しては、幹線道路ではない道路が利用されている可能性を示している。また、幹線道路交通容量分担率の平均である $share_{mean}$ は0.33であり、市内全交通容量のうち3割程度は幹線道路によって担われていることが読み取れる。

(3) polar chart形状の定量評価

図-2および図-3に示した polar chart を用いることで道路ネットワーク構造を直観的に読み取ることが可能となった。 polar chart を定量評価するために、以下の3つの指標を定義する。

a) 方向別交通容量の標準偏差 :  $sd_{C,i}$

polar chart の形状を示す指標として、標準偏差を用いる。交通容量の標準偏差は以下の式(6)で表される値である。

$$sd_{C,i} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x_{C,k} - \bar{x}_C)^2} \quad (6)$$

ただし、

- $sd_{C,i}$  : 地域*i*における、 $C_{all,i,d}$ の標準偏差
- $n$  : データ総数 (=方向ダミー数 : 8)
- $x_{C,k}$  : 方向ダミー*k*の $C_{all,i,d}$
- $\bar{x}_C$  : 方向ダミー*k*の、 $C_{all,i,d}$ の平均

とする。

ここでの標準偏差の大きさは、 polar chart のばらつきを意味し、 $sd_{C,i}$ の値が大きい地域ほど交通容量の方向に偏りがあると解釈することができる。

b) 方向別幹線道路交通容量分担率の平均 :  $share_{i,mean}$

地域ごとに幹線道路交通容量分担率を把握するために式(5)で定義した幹線道路交通容量分担率の平均値を用いる。

c) 幹線道路交通容量分担率の標準偏差 :  $sd_{S,i}$

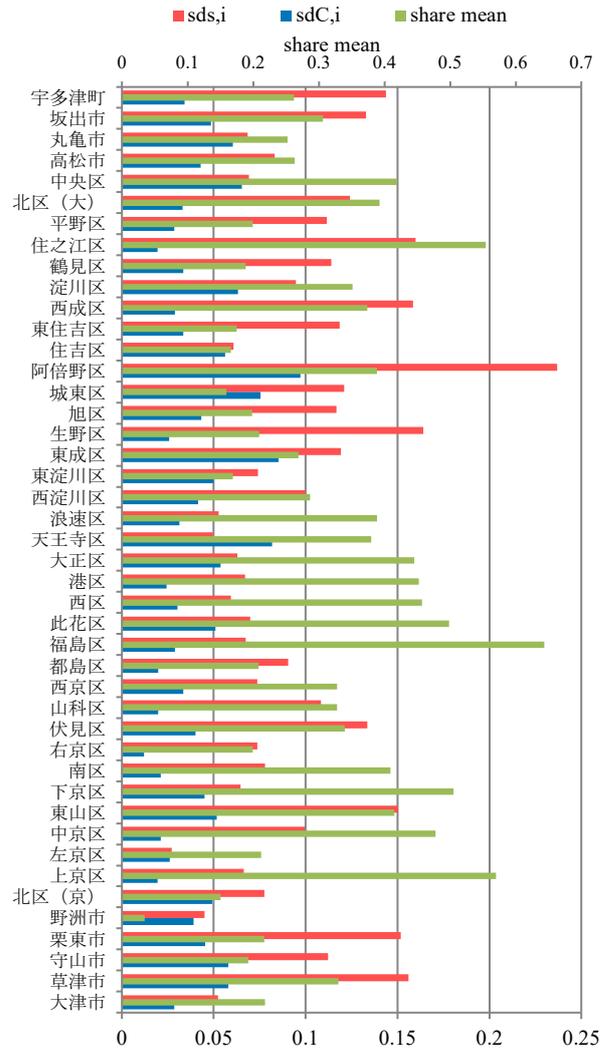


図-4 対象地域ごとの道路ネットワーク特性指標の比較

式(6)で定義した標準偏差を、幹線道路交通容量分担率においても算出するために式(7)を用いる。

$$sd_{S,i} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x_{S,k} - \bar{x}_S)^2} \quad (7)$$

ただし、

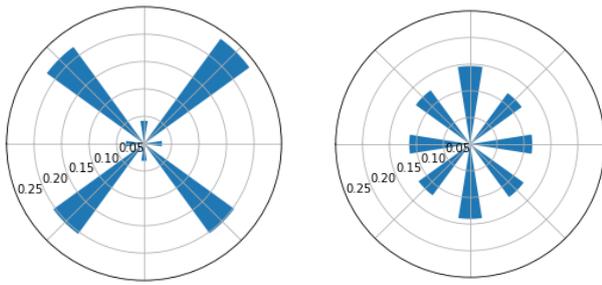
- $sd_{S,i}$  : 地域*i*における、 $share_{i,d}$ の標準偏差
- $n$  : データ総数 (=方向ダミー数 : 8)
- $x_{S,k}$  : 方向ダミー*k*の $share_{i,d}$
- $\bar{x}_S$  : 方向ダミー*k*の、 $share_{i,d}$ の平均

とする。

算出された3つの指標を地域ごとに比較したものが図-4である。図-4によると、大阪市阿倍野区において、 $sd_{C,i}$ の値が最も大きかったことから、当該地域においては、交通容量の大きさに方向の偏りがあることが推測できる。逆に、最も $sd_{C,i}$ の小さい地域である京都市右京区においては交通容量の大きさに偏りがないことが推測できる。 $share_{mean}$ の値については、大阪市福島区において最大

表-3 クラスタ分析結果

クラスター	要素数 (割合)	説明変数					
		交通容量 方向標準偏差		幹線道路 交通容量 分担率の平均		幹線道路 交通容量 分担率 標準偏差	
			平均値と の差		平均値と の差		平均値 との差
1	20 (0.46)	0.042	-0.001	0.20	-0.12	0.10	0.0
2	15 (0.36)	0.048	0.004	0.36	0.04	0.11	0.0
3	9 (0.18)	0.033	-0.011	0.51	0.19	0.08	-0.0
全サンプル平均値		0.043	-	0.32	-	0.10	-



(a)阿倍野区 ( $sd_c = 0.097$ ) (b)右京区 ( $sd_c = 0.012$ )

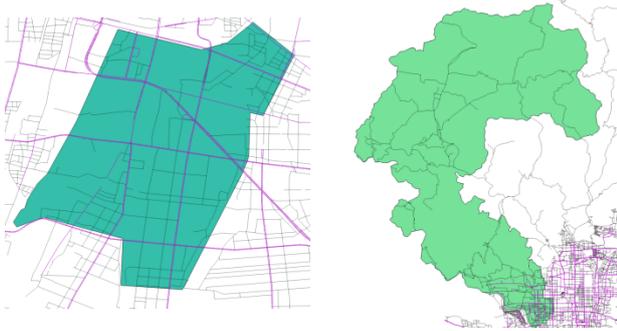


図-5 標準偏差の地域比較

値 0.65 ほど、滋賀県野洲市において最小値 0.03 を観測した。そのため、福島区は地域内の交通容量の多くを幹線道路が担っている地域であり、反対に野洲市では幹線道路ではない一般の道路が交通容量を担っていることが読み取れる。

交通容量の標準偏差である  $sd_{c,i}$  の値が最大となった大阪市阿倍野区と最小となった京都市右京区を比較する。図-5 には、阿倍野区と右京区の polar chart と実際の道路ネットワークを示す。図-5 より、標準偏差が大きい polar chart(a)において高い値をとる方向に偏りがみられ、標準偏差が小さい polar chart(b)はいずれの方向もおおむね同じような値をとっていることが読み取れる。polar chart の形状と実際の道路ネットワーク構造を併せて考察すると、標準偏差が大きい、polar chart に偏りがある地域は、碁盤の目状の道路ネットワーク構造であると考えられ、標準偏差が小さい、polar chart に偏りがみられない地域は不規則な道路ネットワーク構造であると考えられる。

#### 4. 道路ネットワーク特性指標の妥当性について

##### (1) クラスタ分析による地域の分類

polar chart の形状を定量評価した3つの指標である、方向別交通容量の標準偏差  $sd_{c,i}$ 、幹線道路交通容量分担率の平均  $share_{i,mean}$ 、方向別幹線道路交通容量分担率の標準偏差  $sd_{s,i}$  (以降、道路ネットワーク特性指標と呼ぶ) に基づいて、本研究で対象とする地域をクラスタ分析によって分類することで、道路ネットワーク構造を示す

指標である道路ネットワーク特性指標によって地域が分類可能かどうかについて明らかにする。

本研究ではk-means法<sup>7)</sup>に基づく非階層クラスタ分析を行う。なお、クラスタ数を3とし、分類結果および、クラスタごとに道路ネットワーク特性指標の値を平均して整理したものを表-3に示す。

表-3から得られる結果をクラスタごとに整理する。

##### i) クラスタ-1

表-3によると、クラスタ-1には全対象地域の46%が所属していることが読み取れる。特徴として、幹線道路交通容量分担率の平均が0.2と全体平均以下であることに加えて、他の2つのクラスタではいずれも平均値を上回っていることから、比較的幹線道路の整備が進んでおらず、交通容量の多くを生活道路が担っている地域が属すると想定される。そのため当クラスタを「幹線道路未整備層」と呼ぶ。

##### ii) クラスタ-2

表-3によると、クラスタ-2には全対象地域の36%が所属していることが読み取れる。特徴として、交通容量の標準偏差が0.004と全体平均以上であることに加えて、他の2つのクラスタではいずれも平均値を下回っていることから、交通容量の方向に偏りがみられる地域が属すると想定される。そのため当クラスタを「交通容量方向偏在層」と呼ぶ。

##### iii) クラスタ-3

表-3によると、クラスタ-3の特徴として、幹線道路交通容量分担率の平均が0.51と全体平均以上であることに加えて、幹線道路交通容量分担率の標準偏差が他の2つのクラスタよりも小さい値をとっていることから、幹線道路が方向の偏りがなく整備されている地域であると考えられる。そのため当クラスタを「幹線道路充実層」と呼ぶ。

以上の結果より、道路ネットワーク特性指標によって対象地域を分類できる可能性が示され、道路ネットワーク特性指標の妥当性・利用可能性を確認する成果の一つとなったと考える。

(2) ETC2.0データを用いた道路ネットワーク特性指標の確認

道路ネットワーク特性指標によって地域ごとに幹線道路の在り方を定量的に表現し、クラスター分析を用いることで道路幾何構造によって道路ネットワークを分類できる可能性を得た。本章では、実際の経路利用などの機能面と道路ネットワーク特性指標の関係を確認するために、ETC2.0の走行履歴データを用いて実際の経路に占める幹線道路の利用率と提案指標の関係性を検証する。データの詳細については先述した通りである。

通過交通の定義として「長距離トリップが幹線道路以外を走行すること」とし、本研究では対象地域における外々トリップと内外トリップを長距離トリップと定義する。なお外内トリップについては、トリップ終点として想定される、データ収集装置の存在しないような生活道路における走行履歴の取得が難しいため考慮しないものとする。それらの全点列データ数における、幹線道路上で観測される点列データ数の割合を幹線道路利用率として式(8)、式(9)で定義する。

$$r_{i,inout} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left( \frac{p_{i,k,main,inout}}{p_{i,k}} \right) \quad (8)$$

$$r_{i,outout} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left( \frac{p_{i,k,main,outout}}{p_{i,k}} \right) \quad (9)$$

ただし、

$r_{i,inout}$  : 地域*i*における、内外トリップ幹線道路利用率

$r_{i,outout}$  : 地域*i*における、外々トリップ幹線道路利用率

$p_{i,k,main,inout}$  : 地域*i*, 日にち*k*における、幹線道路上で観測された内外トリップの点列データ数

$p_{i,k,main,outout}$  : 地域*i*, 日にち*k*における、幹線道路上で観測された外々トリップの点列データ数

$p_{i,k}$  : 地域*i*, 日にち*k*における、点列データ数

$n$  : 日数

とする。式(8)および式(9)で算出される $r_{i,inout}$ ,  $r_{i,outout}$ と式(5), 式(7)で表される幹線道路に関わる道路ネットワーク特性指標との関係を見たものを図-6, 図-7 に示す。

図-6, 図-7 より、幹線道路利用率は、幹線道路交通容量分担率の平均とは相関関係があるものの、その標準偏差(方向の偏り)とは明確な相関関係はみられない結果となった。そのため、道路ネットワーク特性指標を用いて幹線道路の利用状況を評価する妥当性を把握すると同時

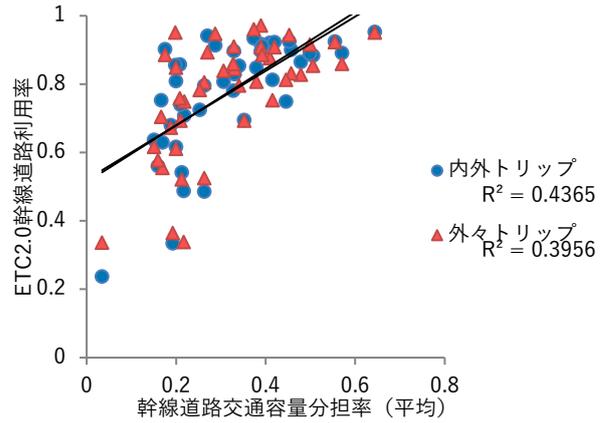


図-6 幹線道路利用率と幹線道路交通容量分担率の平均

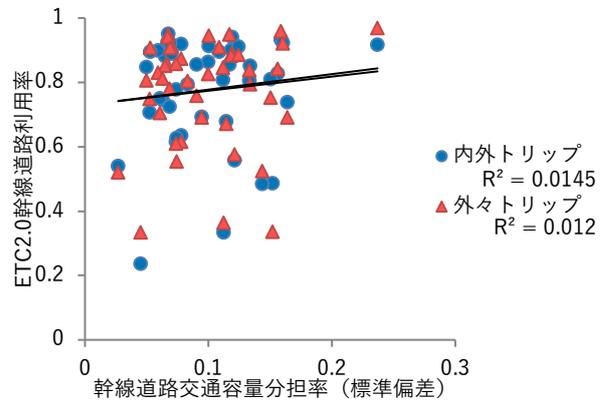


図-7 幹線道路利用率と幹線道路交通容量分担率の標準偏差

に、道路ネットワーク構造のような、静的かつ簡易なデータに基づく算出が可能であることが明らかとなった。

5. 道路ネットワーク構造を考慮した事故率推定

(1) 用いる説明変数

本研究で用いる説明変数とその定義について整理する。本研究においては、道路幅員など詳細な定義については表-4を変数間の相関関係については表-5を参照されたい。

本研究においては、マクロな視点での分析を行うため、土地利用データや人口密度、対象地域ごとにその形状が異なることから、それらを考慮可能な説明変数を用いている。説明変数間で相関係数の値が0.8以上および0.8以下となる変数の組み合わせが存在する。ポアソン回帰のような線形回帰分析を行う場合には多重共線性の回避が求められることから、そのような変数の組み合わせはどちらかを分析から除外することが望ましい。本分析では決定木 (decision tree) を描写することで、説明変数の重要さを把握する。決定木とは、データ全体の集合を何らかの基準で分割して補集合を作成し、さらにその補集合で補集合を反復して作り続け、補集合の分散が最小と

表-4 説明変数の定義

変数名	定義	出典
人口密度	人口を地域面積で除したもの	平成27年国勢調査
DID面積割合	DID（人口集中地区）面積を地域面積で除したもの	国土数値情報サービス
学校密度	学校（学校（小学校・中学校・高等学校・高等専門学校・短期大学・大学及び特別支援学校）数を地域面積で除したもの	国土数値情報サービス
駅密度	鉄道駅数を地域面積で除したもの	国土数値情報サービス
コンビニ密度	コンビニエンスストア数を地域面積で除したもの	経済産業省商業統計調査
農用地割合	湿田・乾田・沼田・蓮田及び田に加え、麦などを栽培する土地（農用地）面積を地域面積で除したもの。	国土数値情報サービス
工業地割合	工業用途に用いられる土地面積を地域面積で除したもの。	国土数値情報サービス
大型車混入率	センサスリンクにおける、大型車24時間交通量を24時間交通量で除したもの。地域内で平均した値を用いる。	平成27年道路交通センサス
走行速度	センサスリンクにおける昼間12時間交通量の地域内平均	平成27年道路交通センサス
信号交差点密度	信号交差点数の密度	平成27年道路交通センサス
形状指数	$=外周長/2\sqrt{\pi \times 面積}$	-

表-5 説明変数間の相関係数

		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
人口密度	a	1.00	0.86	0.62	0.87	0.65	0.61	-0.53	-0.42	-0.12	-0.58	-0.71	0.21	0.17	0.14
DID面積割合	b	0.86	1.00	0.82	0.78	0.58	0.61	-0.63	-0.35	0.14	-0.40	-0.66	0.09	0.44	0.09
信号交差点密度	c	0.62	0.82	1.00	0.59	0.69	0.80	-0.50	-0.19	0.11	-0.30	-0.51	0.06	0.53	-0.10
学校密度	d	0.87	0.78	0.59	1.00	0.66	0.56	-0.49	-0.40	-0.24	-0.62	-0.65	0.31	0.24	0.15
駅密度	e	0.65	0.58	0.69	0.66	1.00	0.83	-0.37	-0.32	-0.24	-0.43	-0.54	0.24	0.34	-0.04
コンビニ密度	f	0.61	0.61	0.80	0.56	0.83	1.00	-0.39	-0.33	-0.24	-0.53	-0.56	0.12	0.43	-0.13
農用地割合	g	-0.53	-0.63	-0.50	-0.49	-0.37	-0.39	1.00	0.28	-0.08	0.36	0.57	0.13	-0.32	-0.09
工業地割合	h	-0.42	-0.35	-0.19	-0.40	-0.32	-0.33	0.28	1.00	0.25	0.41	0.30	0.05	-0.04	0.37
大型車混入率	i	-0.12	0.14	0.11	-0.24	-0.24	-0.24	-0.08	0.25	1.00	0.69	0.18	-0.18	0.17	0.06
走行速度	j	-0.58	-0.40	-0.30	-0.62	-0.43	-0.53	0.36	0.41	0.69	1.00	0.59	-0.12	-0.10	0.03
形状指数	k	-0.71	-0.66	-0.51	-0.65	-0.54	-0.56	0.57	0.30	0.18	0.59	1.00	-0.11	-0.14	-0.01
交通容量標準偏差	l	0.21	0.09	0.06	0.31	0.24	0.12	0.13	0.05	-0.18	-0.12	-0.11	1.00	-0.11	0.23
幹線道路交通容量分担率の平均	m	0.17	0.44	0.53	0.24	0.34	0.43	-0.32	-0.04	0.17	-0.10	-0.14	-0.11	1.00	-0.01
幹線道路交通容量分担率の標準偏差	n	0.14	0.09	-0.10	0.15	-0.04	-0.13	-0.09	0.37	0.06	0.03	-0.01	0.23	-0.01	1.00

なるようにデータ全体をいくつかの補集合に分割する方法である。

本研究では、事故率を被説明変数として決定木を描写することで事故率に影響を与える変数を把握する。図-8に本研究で用いるデータに適用した決定木の結果を示す。

図-8より、工業地割合0.001を基準値として、基準値以上の10地域は事故率の高いグループに、基準値未満である34地域に関しては、幹線道路交通容量分担率の標準偏差0.11を基準値として基準値以上の12地域は基準値未満の22地域と比較して事故率が高いグループに分類される結果となった。今後のモデル構築においては、この結果で得られた工業地割合と幹線道路交通容量分担率の標準偏差を優先的に用いることとする。また、道路ネットワーク特性指標がノードに選定されたことによって、道路

ネットワーク特性指標が事故率を分類する際に重要な指標であることが考察される。

決定木において選定された2つの変数においては他の説明変数と強い相関関係はみられなかったため、変数選択の際の参考とすることは難しいが、提案する道路ネットワーク特性指標が選定されたことは1つの成果であると考えられる。

(2) ポアソン回帰モデル概要

ポアソン回帰モデルは、一般線形化モデルの一種であり、発生件数がポアソン分布に従うという仮定のもと、式(10)に示すような期待値λを対数変換した値を線形モデルにより推定するものである。

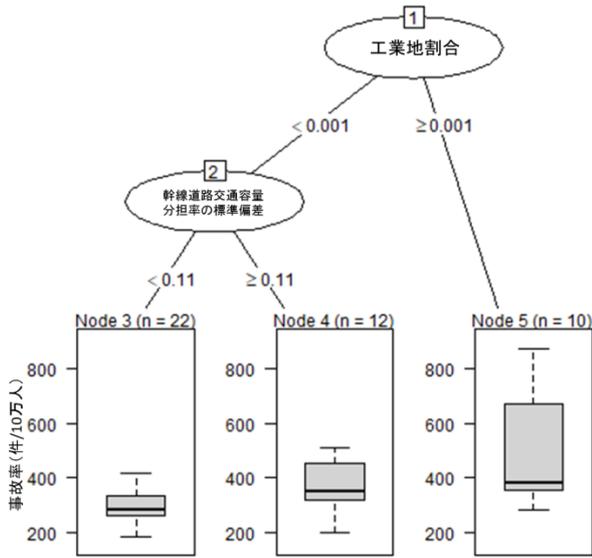


図-8 事故率を対象とした決定木

$$\ln(\lambda) = \sum_{k=1}^n (\beta_k x_k) + \varepsilon \quad (10)$$

ただし、

- $\lambda$  : 期待値
- $\beta_k$  : 偏回帰係数
- $x_k$  : 説明変数の値
- $\varepsilon$  : 誤差項

をそれぞれ表し、偏回帰係数 $\beta_k$ を最尤推定法によって求める。

### (3) モデル推定結果

事故率を被説明変数としたポアソン回帰モデルの結果を表-6に整理する。なお、有意水準を5%以下とする。

駅密度の項が有意に正の値をとっていることから、駅密度が高い地域であるほど事故率が高まる結果となっている。神奈川県警<sup>18)</sup>によると、人身事故が多発するエリア上位10か所のうち5か所が鉄道駅周辺であることを併せると、駅への送迎車などによって交通量が増加している影響や、人の往来の多さによる事故率の増加が考えられる。

農用地割合の項が有意に正の値をとっていることから、農用地割合が多い地域ほど事故率が高まる結果となった。農林水産省によると、農家人口に占める65歳以上の割合は平成29年で41.7%であることによる、高齢者による事故が多いことが想定される。実際に年齢層別の事故データが公開されている大阪市で14.4%、京都市で14.6%の負傷者が65歳以上の高齢者である。高齢者は加齢による身体機能の低下によって交通事故の加害者、被害者ともなりえること、少子高齢化に伴ってその人口が増加するこ

表-6 事故率モデル推定結果

説明変数	単位	偏回帰係数	z値
定数項	-	5.357	84.015 ***
DID面積割合	-	-0.010	-0.229
学校密度	箇所/km <sup>2</sup>	0.001	0.122
駅密度	箇所/km <sup>2</sup>	0.044	4.049 ***
農用地割合	-	0.805	8.381 ***
工業地割合	-	0.502	2.928 **
走行速度	km/h	-0.003	-1.707 .
形状係数	-	0.226	9.629 ***
交通容量標準偏差	-	-0.358	-0.710
幹線道路交通容量分担率の平均	-	-0.353	-4.411 ***
幹線道路交通容量分担率の標準偏差	-	2.359	10.213 ***
N	-	-	44
LL	-	-	1389.2
LL(0)	-	-	2116.3
対数尤度比	-	-	0.296

.p<0.1,\*p<0.05,\*\*p<0.01,\*\*\*p<0.001

とが考えられており、そのような事故対策は喫緊の課題とされている。対策として歩道拡幅やバリアフリー化、免許の自主返納などハード、ソフトの両面からの対策がなされている。

工業地割合が有意に正の値をとっていることから、工業用地を多く含む地域において事故率が高まる結果であることが読み取れ、工業用車両などによって引き起こされる事故が多いことが考察できる。工業地を多く走行していると考えられる商用車は、普通乗用車との比較で死角の少なさと制動力で劣るため、単独および追突事故が発生しやすいと想定され、平成23年におけるトラック事業者による重大事故のうち34%は追突事故であり、側面衝突や物件衝突なども含めると52%に上ることが示されている<sup>19)</sup>。また、ITARDAによると貨物車の車両接触事故のうち、78.8%が貨物車どうしによって引き起こされることが明らかにされており<sup>20)</sup>、工業地における商用車の安全対策の必要性を示す結果であると考えられる。

形状係数の項が有意に正の値をとっていることから、形状指数の値が大きくなる、形状が複雑な地域ほど事故率が高くなる結果が得られた。形状指数の高い地域として、大津市や高松市、丸亀市のような、湖ならびに海と接している地域が挙げられ、そのような地域においては橋やトンネルといった地形の制約を受けた道路ネットワーク構造であると想定され、交通が一部の道路に集中することによる交通量の増加によって事故率が高まることが考えられる。

「交通容量標準偏差」の項について考察する。パラメータは負の値をとっており、対象地域内における、交通容量の方向が偏っているほど事故率が下がる結果ではあるが有意ではなかった。そのため、交通容量の偏りと事故率には関係はないという結果となる。

次に「幹線道路交通容量分担率の平均」の項について

考察する。有意に負の値をとっていることから、交通容量を幹線道路が分担しているほど事故率が低下する結果となった。そのため、地域内における幹線道路の整備、または一般道路の高規格化が事故率低下に有効であることを示した。

最後に「幹線道路交通容量分担率の標準偏差」の項について考察する。有意に正の値をとっていることから、分担率の方向が偏っている地域ほど事故率が高まる結果となった。これは、様々な移動方向の需要に対して幹線道路を用いた移動が可能であることによる、事故率の低下を表すものと考えられ、地域内において幹線道路を網羅的に整備し、様々な方角に対して幹線道路が交通容量を分担することが事故率を低下させることに有効であることを示した。幹線道路交通容量分担率の平均の項と併せて考察すると、幹線道路の整備が事故率低下に有効であり、かつその方向を網羅的にすることでさらなる事故率の低下に有効であることを示す結果となった。

#### (4) 幹線道路整備による対策効果の推計

表-6に示したモデルを用いて、交通安全対策として一般の道路を高規格化し、幹線道路とした場合の事故率の変化を明らかにすることで、道路整備による事故削減効果の一知見を得ることを目的とする。本章では滋賀県草津市を対象とした分析を行う。草津市は北東-南西間の道路に関しては名神高速道路や国道1号線、京滋バイパスなど高規格な道路が整備されているが、それらどうしを結ぶような南北および東西の道路に高規格なものは少ない。草津市都市交通マスタープラン<sup>21)</sup>によると、先に述べた国道1号線は、草津市内のすべての区間で混雑度が1.5を超え、その周辺への交通流入などが懸念されている。そこで本章では図-9に示すリンク(青の丸印)が整備され、車道幅員が13.0m以上を確保できた場合を想定し、事故率の低下量を明らかにすることで、先に示した、道路整備による効果を把握する。

本分析で対象とするリンクを以下に整理する。

- a) 県道 43 号線 野路中央交差点—南田山交差点間 (約 800m)
- b) かがやき通り 東矢倉南交差点—野路町交差点間 (約 500m)
- c) 県道 18 号線 野路中央交差点—矢橋中央交差点間 (約 1800m)

これらの道路の幅員拡幅および高規格化によって、本分析で用いる幹線道路の要件を満たしたと想定すると、道路ネットワーク特性指標は以下のように変化した。

- ①交通容量標準偏差：0.057 (0.04%減)
- ②幹線道路交通容量分担率の平均：0.365 (10.8%増)
- ③幹線道路交通容量分担率の標準偏差：0.135 (13.5%減)

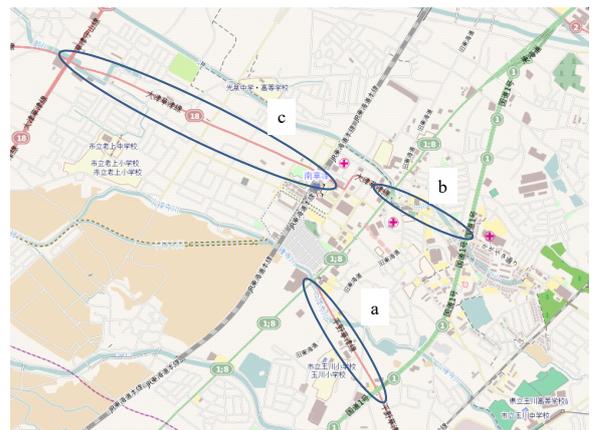


図-9 草津市の対象リンク

既存の幹線道路とは異なる方向への幹線道路整備が進んだことを仮定しているため②の値が増加し、方向の偏りが減少したことによって③の値が減少している。これらの値を、構築したモデルに代入すると、推定値が593.3[件/10万人]となり、対策前推定値である631.3[件/10万人]の6%を削減する結果となった。本分析が対象としたリンク延長は市内全体の2%程であることから、方向と交通容量を考慮した対策の有効性を示す結果となった。

## 6. まとめと今後の課題

本研究では、マクロな指標を用いて交通事故率に影響を与える要因を明らかにした。その上で、道路ネットワーク構造を定量評価する指標として、リンクの方向と交通容量に基づくpolar chartを描写し、3つの道路ネットワーク特性指標を得た。それらの妥当性はクラスター分析で地域を分類できたことや決定木にノードとして出現したことで確認できる。その上で道路ネットワーク構造が事故に与える要因を明らかにするために道路ネットワーク特性指標に基づくポアソン回帰モデルを構築した。その結果、

- i) 道路ネットワーク特性指標による地域の分類、お

よびETC2.0の走行履歴データとの相関がみられたこと。

- ii) 駅の密度が高い地域において事故率が高まること。
- iii) 農用地, 工業地割合の多い地域において事故率が高まること。
- iv) 幹線道路の整備方向に偏りが無い地域ほど事故率が低下すること。

また, 構築したモデルを用いて草津市において道路整備が進んだと仮定した場合の事故率を計算した結果

- v) 草津市において一般道路の 2%にあたる道路が幹線道路となった場合, 事故率が 6%削減できること。

などが明らかとなった。

i)については, 定性的な評価をせざるを得なかった域内の道路ネットワーク構造を定量的に評価する指標を定義したことによって, 今後の道路ネットワーク構造に対する研究における利用可能性を示した。

ii)については, 駅はターミナルとして人の往来の多い施設であると想定されることから, 人の往来と事故率の関係を示す結果であると考えられる。送迎の車両や, 時間に余裕のない人が同乗している車両による事故などが考えられる。また, 自動車を日常的に利用しない学生や高齢者が巻き込まれる事故などの影響が考えられるが, 本分析では類型別の分析は行っていないため, 推測の域を出るものではない。

iii)については, 土地利用によって事故率が左右されることを示しており, 農用地においては, 農業従事者が比較的高齢であることによる, 高齢者が被害者および加害者となる事故が多いこと。工業地においては, トラックなど, 車両特性が普通自動車と異なる商用車が多く走行していると考えられ, 商用車によって引き起こされる事故が多いことがそれぞれ考えられる。

iv)については, 幹線道路を整備する方向にも着目した分析を行ったところ, 幹線道路の交通容量に加え, その方向も事故削減に効果的であることを示した。これは, 幹線道路の混雑および幹線道路で移動できる方向が限定的な場合, 通過交通が発生しやすいことによって事故率が高くなることが考えられ, 幹線道路を網羅的に整備することが事故率の低減に効果的であると考えられる。

v)については, 道路整備に必要なコストとその成果の比較を行うことで, 整備するリンクの優先順位決定のような, 政策決定段階での判断材料としての利用可能性を示す結果となった。

今後の課題としては, 事故類型によってその発生要因と対策内容も異なるため, 事故の詳細なデータを用いた事故類型別のモデル構築などが考えられる。

**謝辞:** 本研究の遂行にあたり, 国土交通省からETC2.0に関わるデータを提供いただきました。また, 愛媛大学吉井稔雄教授, (株) オリエンタルコンサルタンツ尾高慎二様には多大なご協力をいただきました。ここに記して謝辞を表します。

#### 参考文献

- 1) 塩見康博, 渡辺数樹, 中村英樹, 赤羽弘和: 交差点幾何構造を考慮した交通事故リスク要因の分析, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), vol.72, No.4, pp.368-379, 2016.
- 2) 吉城秀治, 橋本成仁, 佐伯亮子: 生活道路における速度規制の効果と速度違反の要因分析, 第 30 回交通工学研究発表会論文集 2010 年 9 月, pp.361-364, 2010.
- 3) 国土交通省関東地方整備局: 生活道路への交通流入と事故発生, [http://www.ktr.mlit.go.jp/honkyoku/road/3kanjo/whats/traffic\\_hazard.htm](http://www.ktr.mlit.go.jp/honkyoku/road/3kanjo/whats/traffic_hazard.htm)
- 4) 稲垣具志, 寺内義典, 橋たか, 大倉元宏: 生活道路における実勢速度と速度規制に対する地域住民の認識状況に関する研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), vol.70, No.5, pp.I\_933-I\_941, 2014.
- 5) 福井智佑, 塩見康博: プローブデータを用いた非センサリンクを対象とした事故リスク要因の分析, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), vol.74, No.5, pp. I\_703-I\_713, 2018.
- 6) Rifaat, S. M., Tay, R. and de Barros, A.: Effect of street pattern on the severity of crashes involving vulnerable road users, *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 43, pp. 276-283, 2011.
- 7) 橋本成仁, 嶋田喜昭, 安藤良輔, 三村泰広, 吉城秀治: 土地利用と道路ネットワークを考慮した面的速度抑制対策の対象地域選定モデルの検定, 平成 26 年度 (本報告) タカタ財団助成研究論文, ISSN 2185-8950
- 8) Ewing, R. : *Best Development Practices: Doing the Right Thing and Making Money at the Same Time*, American Planning Association, Chicago, IL, 1996.
- 9) 高橋誠治, 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.
- 10) 田村光司, 浅野光行: 迷路性のある商業地の魅力に関する研究, (社) 日本都市計画学会 都市計画論文集 No.39-3, pp.667-672, 2004.
- 11) 伊藤正秀: ETC2.0 データを用いた道路交通の見える化, <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoutnn/tnn0948pdf>
- 12) 国土交通省国土政策局国土情報課: 国土数値情報ダウンロードサービス, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>
- 13) Geoff Boeing : <https://geoffboeing.com/>
- 14) Geoff Boeing : *Comparing US City Street Orientations*, Geoff Boeing , <http://goeffboeing.com/2018/07/comparing-city-street-orientations/>.

- 15) Boeing, G. 2017. "OSMnx: New Methods for Acquiring, Constructing, Analyzing, and Visualizing Complex Street Networks." *Computers, Environment and Urban Systems*. 65, 126-139.
- 16) 塚口博司, 塚本直幸, 日野泰雄: 交通システム, 国民科学社, pp82, 2003.
- 17) 佐藤義治: 多変量データの分類-判別分析・クラスター分析-, 朝倉書店, 2009.
- 18) 神奈川県警察: 人身交通事故多発エリア (平成 30 年 1 月~6 月末, <https://www.police.pref.kanagawa.jp/mes/mesf2004.htm>)
- 19) 田路龍吾, 平成 23 年における事業用自動車の事故について, 中部運輸局自動車技術安全部, <http://www.tb.mlit.go.jp/chubu/gian/jikosemina2011/siryou1.pdf>.
- 20) 公益財団法人交通事故総合分析センター: 交通事故と運転者と車両の相関, イタルダフォーメーション, No.20, [http://www.itarda.or.jp/itardainfomation/info20\\_1.html](http://www.itarda.or.jp/itardainfomation/info20_1.html), 1999 (最終アクセス: 2019/2/1) .
- 21) 草津市: 草津市都市交通マスタープランおよび草津市総合交通戦略, 2014 年 7 月策定

## THE ANALYSIS OF FACTORS FOR ROAD TRAFFIC ACCIDENTS BASED ON STRUCTURE OF ROAD NETWORK

Tomoyuki FUKUI and Yasuhiro SHIOMI

When taking measures for road traffic accidents, it's desirable to focus on each measure point for example road or intersection. However; that measures is inefficient and difficult to consider of structure of road network as macroscopic factor.

The objective of this study is to quantitative evaluation of structure of road network and estimated traffic accidents based on that. The study method is calculating of the ratio of traffic capacity on each direction and plotting them on polar chart, and then we quantitative evaluate that by using standard deviation. After that, we categorize sample by them using cluster analysis and, analyze accidents factors using Poisson distribution model. As a result, we can categorize by share ratio of arterial road capacity and, for decreasing accidents we needed not only improvement arterial road extension but also them direction.