

環境要素を考慮した歩行者事故発生の危険性 ～事故リスクアセスメントフェーズⅡ～

研究部 研究第二課 北野 朋子

1. 概要

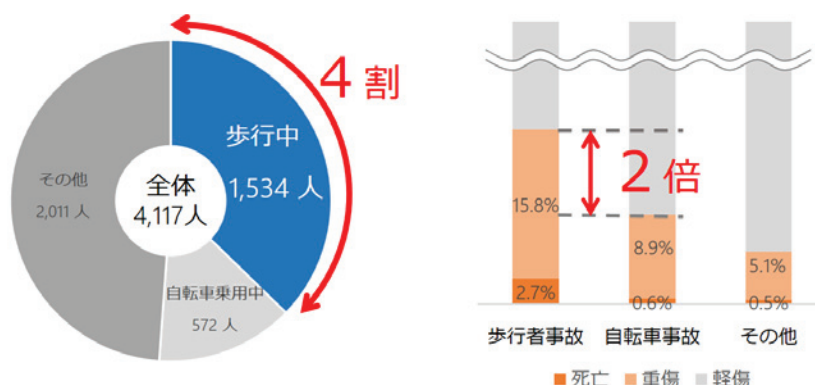
交通事故の発生にはさまざまな要因が相互に影響していると考えられるが、エリアごとの事故発生件数の多さについては、そのエリア内における歩行者や車の密度が大きく関係していると思われる（つまり人が多いところは事故が多い）。

そこで今回は、重大事故割合の高い歩行者事故について、歩行者の密度の観点から環境要素を抽出し、各要素の事故発生への影響度をベイズ統計に基づき確率的に推定した。さらにその推定結果を使ってエリアごとに事故件数の推定値を算出し、その結果をもとにして事故発生の危険性について評価を行った。

2. 研究の背景・目的

2015 年の状態別死者数と当事者別重大事故割合を図-1 に示す。左のグラフが示すとおり、2015 年の交通事故死者数は 4,117 人であり、そのうちの約 4 割（1,534 人）が歩行中の事故によるものである。また右のグラフのとおり、歩行者事故は他と比べて重大事故割合が高く、その割合は自転車事故の約 2 倍である。いかに歩行者事故が重大事故につながりやすいかがわかる。

政府は 2020 年までに年間交通事故死者数を 2,500 人以下まで減少させるという目標を掲げ、道路環境面においても各自治体を中心に対策が進められているところであるが、交通事故死者数を減少させるには、1 件でも多く歩行者事故を減少させることが重要であると思われる。



歩行者事故：1当または2当が歩行者となった事故（列車が相手方である場合を除く）
自転車事故：1当または2当が自転車となった事故（歩行者、列車が相手方である場合を除く）

図-1 左が状態別死者数、右が当事者別重大事故割合（2015 年）

そのためには、これまで行なわれてきた交通事故が多発するエリアでの対策に加えて、潜在的に交通事故が発生する危険性の高いエリアを選定し、当該エリアの特性に応じた予防的な交通安全対策を進めていくことが不可欠である。

そこで本研究では、エリアごとの歩行者事故発生の危険性（リスク）を評価し、潜在的に危険性の高いエリアを抽出する手法（事故リスクアセスメント）について検討した。

その工程としては、まず歩行者事故の発生と相関の高い環境要素を選定し、次に各要素の事故発生への影響度をベイズ統計に基づき確率的に算出した。さらに算出した影響度を使ってエリアごと（500m メッシュ）に歩行者事故の発生件数を推定し、その結果から歩行者事故発生の危険性を評価することを目的に研究を進めた。

3. 環境要素の選定

環境要素の選定でまず着目したのは、人口と歩行者事故件数の相関の高さである。全国 10km メッシュ別の人口と歩行者事故件数の相関を図-2 に示す。分析に使った事故データは、平成 25 年～27 年の歩行者事故のうち、高速道路、自動車専用道、駐車場・広場等で発生した事故を除外した事故件数である。これ以降の分析はこの 3 年間の事故データを対象としている。図-2 のとおり人口と歩行者事故件数の相関係数は 0.91 であり、相関が非常に高いことがわかる。個々の歩行者事故の発生にはさまざまな要因が相互に影響していると考えられるが、全体的に見るとやはり人の多いところは事故が多いと言える。

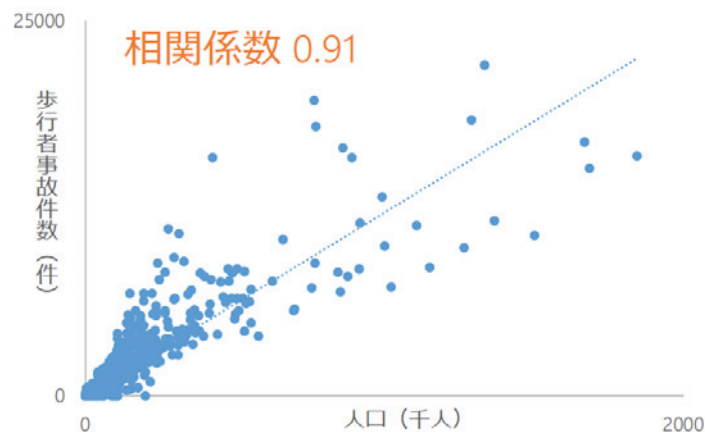


図-2 全国 10km メッシュ別人口（H22 国勢調査）と歩行者事故件数（H25～H27）の相関

次に分析対象を東京都、神奈川県、栃木県、滋賀県、福岡県、佐賀県の 6 都県に絞り、さらに詳細な分析を行った。この 6 都県は図-3 に示すとおり、全国平均値より人口が多いグループの中から任意に 3 都県、少ないグループの中から任意に 3 県を抽出したものである。

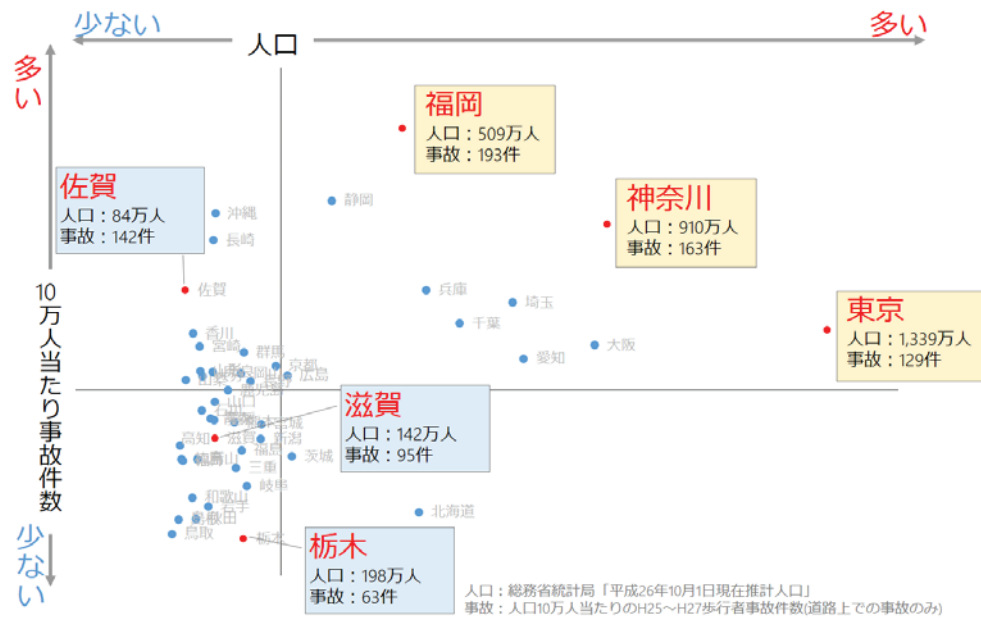


図-3 都道府県別人口及び10万人当たり事故件数比較図

真ん中のラインは全国平均値を表す

この6都県について、10kmメッシュ別、1kmメッシュ別、500mメッシュ別の人口と歩行者事故件数の相関を表したものを図-4に示す。これを見ると、メッシュが小さくなるにつれて、相関が弱くなりばらつきが出てきている。このことから500mメッシュ別の事故件数は人口だけでは説明できないことがわかる。ここで使用している人口データは夜間人口データであり、そのエリアに住む人の数である。よって人通りの多さはこれだけでは表せない。例えば人口が少ないエリアでも、商業施設の数が多ければ人通りは多いはずである。

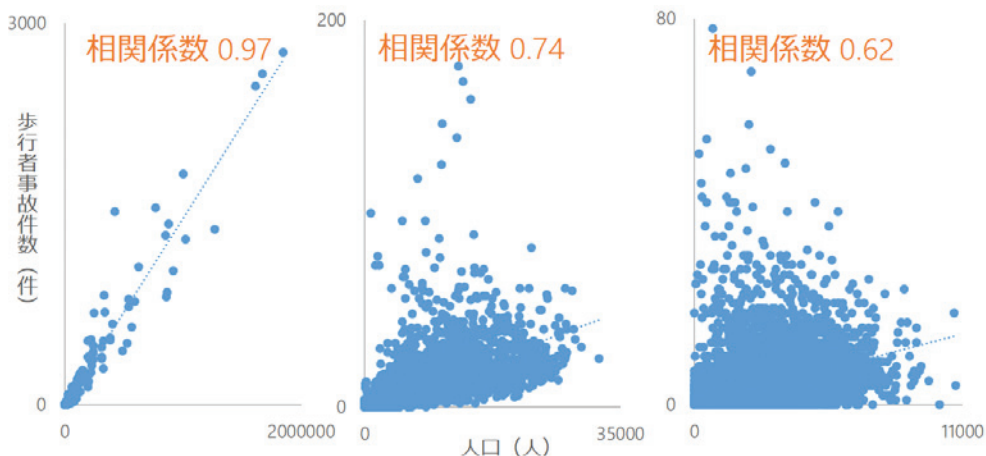


図-4 対象6都県メッシュ別人口(H22国勢調査)と歩行者事故件数の相関：

左が10kmメッシュ別、中が1kmメッシュ別、右が500mメッシュ別

そこで、人通りの多さを表せるようなデータを中心に500mメッシュ別に次のデータ収集を行った。建物用地とは住宅地・市街地等で建物が密集しているところをいう。

- 用途地域別面積（住居系、商業系、工業系、用途地域外）
- 建物用地面積
- 商業施設等の数（コンビニ、デパート・スーパー、病院、ファーストフード店、銀行、ガソリンスタンド、学校）
- 道路延長（DRM リンク延長）
- 交差点の数（DRM ノード数）
- 駅からの距離
- 人口（人口総数、15 歳以上自宅外就業者・通学者数のうち利用交通手段が徒歩のみの数）

次に、この中から分析項目を選定するために相関分析を行った。歩行者事故件数と各データとの相関係数を図-5 に示す。コンビニの数、商業地域面積の相関が比較的高い結果となった。その他の項目については、まず建物用地面積、交差点の数、人口総数、15 歳以上自宅外就業者・通学者数のうち利用交通手段が徒歩のみの数の 4 項目については、項目同士の相関が高いため 1 つに絞る必要があった。

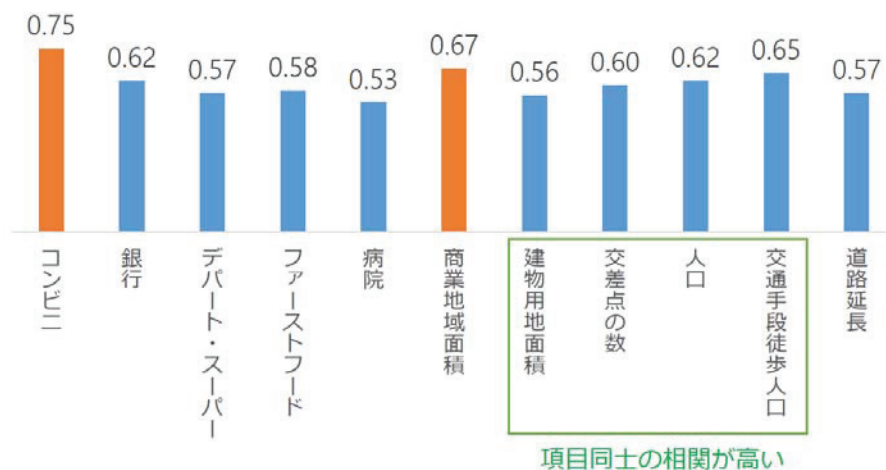


図-5 対象 6 都県の 500m メッシュ別歩行者事故件数と各データとの相関係数
相関係数 0.50 未満の項目は表示していない

そこでまず先に、コンビニの数、商業地域面積と 4 項目それぞれを使ってベイズモデルを作成し、モデルの選択に使われる WAIC という指標の値を比較した。その結果を表-1 に示す。ベイズモデルについては次章で詳しく説明する。WAIC というのはモデルの予測の良さを表す指標で、値が小さいほど良いモデルと言われている。この結果から、どの県においても建物用地面積を使ったモデルの WAIC が一番小さい値であったため、この 4 項目からは建物用地面積を採用した。

	東京	神奈川	栃木	滋賀	福岡	佐賀
建物用地面積	17,990	18,568	5,356	4,407	16,266	3,930
交差点の数	17,992	18,668	5,448	4,463	16,446	4,045
人口	18,010	18,644	5,426	4,446	16,359	4,009
交通手段徒歩人口	18,017	18,648	5,414	4,455	16,426	4,036

表-1 コンビニの数、商業地域面積と各項目を使ったベイズモデルの WAIC

次に残った項目について決定木分析を行った。その結果、商業地域面積、コンビニの数、建物用地面積の3項目の組み合わせでは比較的有意な差が見られた。例として滋賀県の結果を図-6に示す。

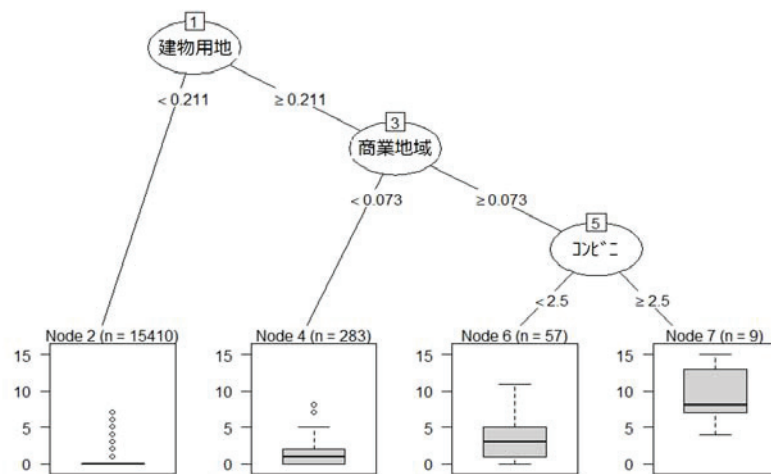


図-6 滋賀県の商業地域面積、コンビニの数、建物用地面積3項目での決定木分析結果

滋賀県以外の県についてもこの3項目では比較的有意な差が見られたため、今回はこの3項目について事故発生への影響度を算出することにした。

4. 環境要素別事故発生への影響度の推定

4.1. 影響度の算出方法

各要素の事故発生への影響度は県ごとに算出した。その理由は、県によって気象や行動パターンなどが違うため、一括で算出するよりも県別に算出した方が適切であると判断したためである。

算出方法については、一般化線形混合モデルをベイズ推定化したモデリングに基づいて算出している。モデルの内容は、事故件数の母集団はポアソン分布に従うと仮定し、ポアソン分布の平均 λ を次式で表した。

$$\lambda = \exp(\beta_1 + \beta_2 \times \text{コンビニの数} + \beta_3 \times \text{建物用地面積} + \beta_4 \times \text{商業地域面積} + \text{道路延長(オフセット項)} + \text{ランダム効果}) \quad (1)$$

この式のうち、 β_2 はコンビニの数、 β_3 は建物用地面積、 β_4 は商業地域面積の事故発生への影響度を表す。 $\beta_1 \sim \beta_4$ は、県内全メッシュで共通の値となる。道路延長は延長が長いメッシュほど交通量が多いと思われるため、その重みづけとしてオフセット項で追加している。最後にランダム効果を追加する。これは $\beta_1 \sim \beta_4$ では表せない環境要素等の事故発生への影響度を空間的な自己相関を考慮して表したものである。

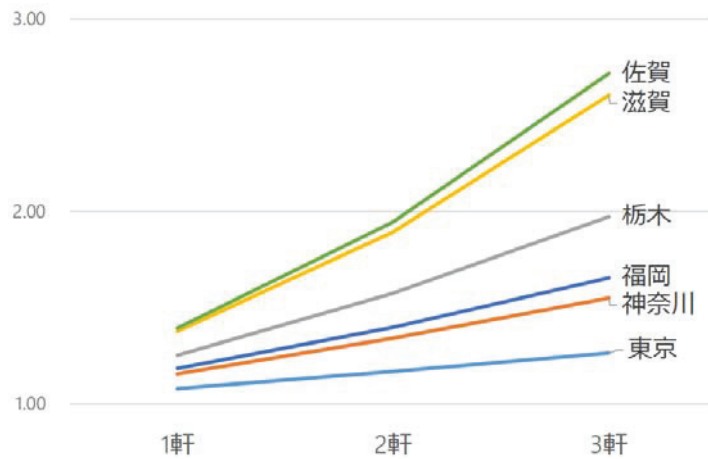
モデルの詳細は次式のとおりである。詳しい説明については、山田 (2016) p.33⁷⁾を参照されたい。

$$\begin{aligned} Y_k | \mu_k &\sim \text{Poisson}(\mu_k), \quad k = 1, \dots, K \\ \log(\mu_k) &= \mathbf{x}_k^\top \boldsymbol{\beta} + O_k + \phi_k, \\ \boldsymbol{\beta} &\sim \mathcal{N}(\boldsymbol{\mu}_\beta, \boldsymbol{\Sigma}_\beta) \end{aligned} \quad (2)$$

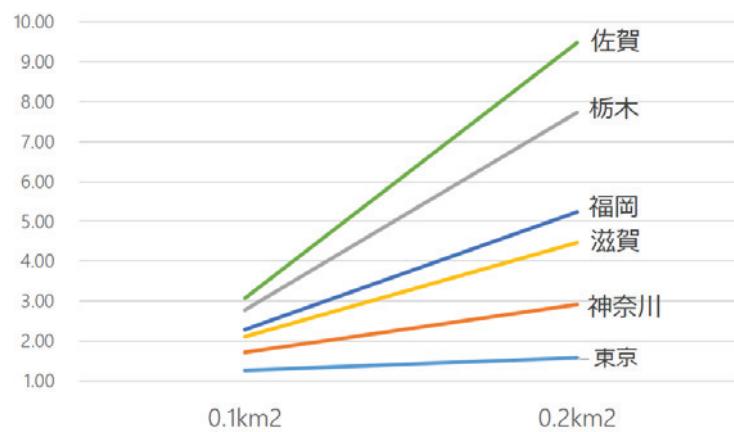
$$\begin{aligned} \phi_k | \phi_{-k}, W, \tau^2, \rho &\sim \\ \mathcal{N} \left(\frac{\rho \sum_{i=1}^K w_{ki} \phi_i}{\rho \sum_{k=1}^K w_{ki} + 1 - \rho}, \frac{\tau^2}{\rho \sum_{k=1}^K w_{ki} + 1 - \rho} \right), \\ \phi_{-k} &= (\phi_1, \dots, \phi_{k-1}, \phi_{k+1}, \dots, \phi_K), \\ \tau^2 &\sim \text{Inverse-Gamma}(a, b), \\ \rho &\sim \text{Uniform}(0, 1). \end{aligned} \quad (3)$$

4.2. 影響度の推定結果

モデルから算出した各要素の事故発生への影響度の推定結果について、まずコンビニの数の推定結果を図-7に示す。東京都は、メッシュ内のコンビニの数が1軒でも3軒でも事故発生への影響はほとんど無い。一方、佐賀県、滋賀県においては事故発生への影響度が大きくなっており、コンビニ1軒の重みが大きいことがわかる。このことから特に地方部においては、コンビニ周辺におけるドライバーへの注意喚起が必要と思われる。

図-7 コンビニの数による事故発生への影響度 (β_2) 推定結果

次に建物用地面積の影響度の推定結果を図-8 に示す。東京都は建物用地についても事故発生への影響はほとんど無い。その他の県については、建物用地面積が大きいメッシュほど事故発生の確率が高いと言える。特に佐賀県、栃木県はその傾向が強い。

図-8 建物用地面積による事故発生への影響度 (β_3) 推定結果

商業地域面積の事故発生への影響度の推定結果を図-9 に示す。商業地域面積については、栃木県以外の推定結果はほとんど同じ結果となった。栃木県の推定結果が低い理由については、さらに詳細な分析が必要である。

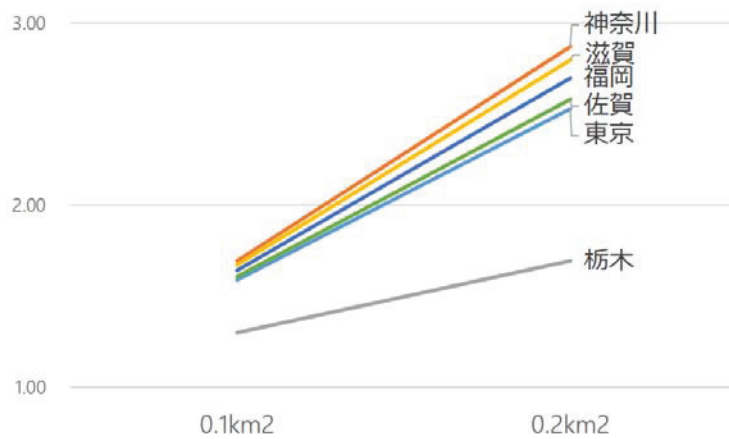


図-9 商業地域面積による事故発生への影響度 (β_4) 推定結果

最後にランダム効果について、例として滋賀県の推定結果を図-10 に示す。人口分布と比較するとほぼ同じような分布となっており、項目として追加できなかった周辺人口等の環境要素をうまく重みづけできているように見える。

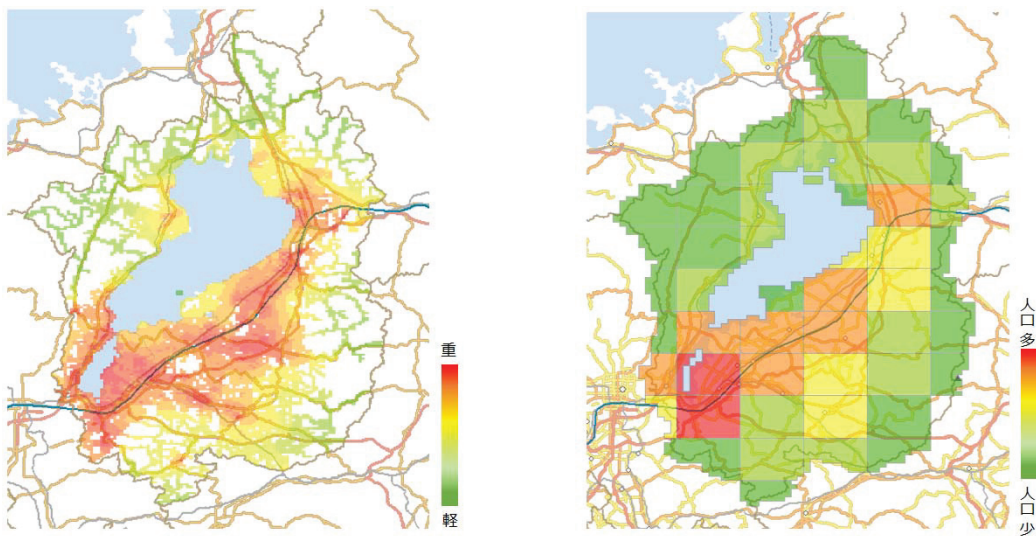


図-10 ランダム効果の推定結果（滋賀県）:

左がランダム効果の推定結果の分布（道路延長 0km のメッシュは分析対象から除いている）
右が 10km メッシュ別の人口分布

5. 500m メッシュ別事故件数の推定

5.1. 事故件数の推定結果

次に 4 章で算出した環境要素別の事故発生への影響度を使って、メッシュ別の事故件数を推定した。例として滋賀県のあるエリアの 4 メッシュの推定結果を図-11 に示す。例えば右上のメッシュは、歩行者事故が 3 年間で 14 件発生しているエリアで、コンビニの数は 3 軒、建物用地面積は

0.25km²、商業地域面積は 0.24km²である。メッシュ 1 つの面積は平均で 0.26 km² ぐらいであるから（面積は緯度経度から算出しているため、場所によって多少誤差がある）このエリアは建物用地と商業地域が 9 割以上を占めるエリアである。これら 3 つの環境要素の実測値と 4 章で算出した各要素の事故発生への影響度を使って算出した事故件数の推定結果は、中央値が 16 件、95%信頼区間は 10～24 件という結果になった。このように全メッシュについて事故件数の推定値を算出した。



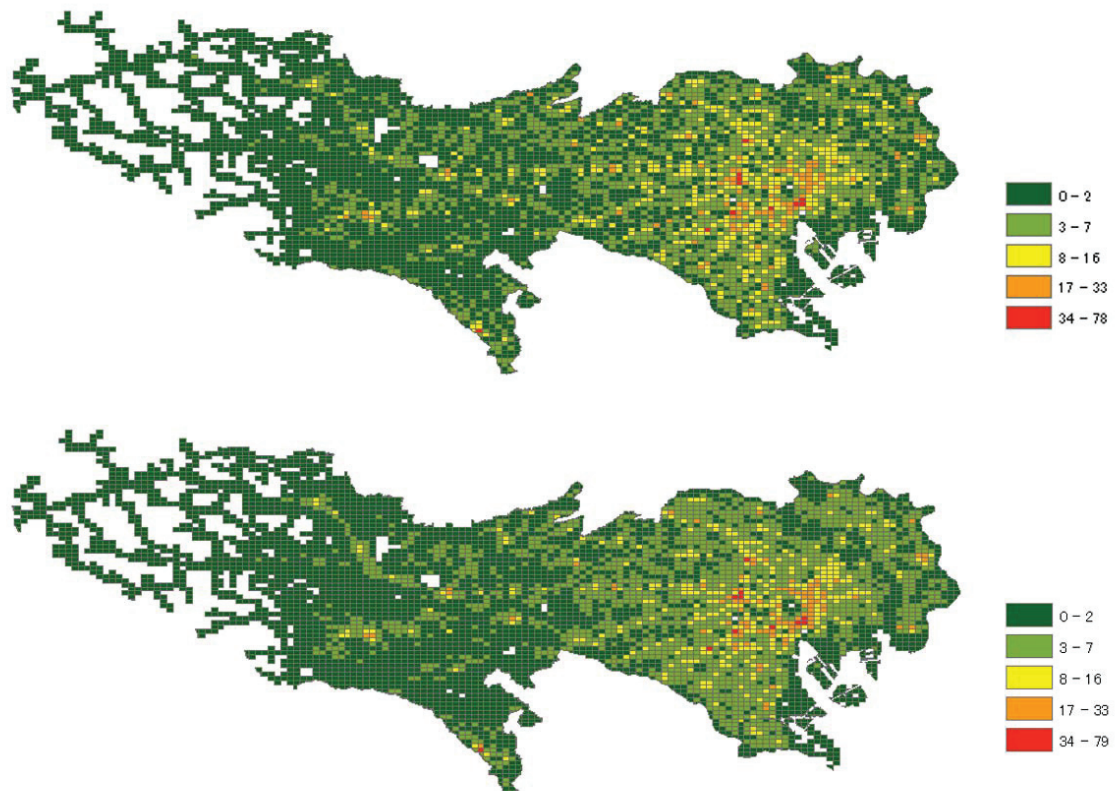
図-11 500m メッシュ別事故件数の推定結果例：滋賀県のあるエリアの 4 メッシュ

全メッシュにおける実際の事故件数と推定値を比較したものを表-2 に示す。どの県においても推定した分布の中央値から±2 件以内に 90%以上の事故件数が含まれている。

	全メッシュ数	中央値±1 以内		中央値±2 以内	
		メッシュ数	推定率	メッシュ数	推定率
東京	6,618	4,844	73.2%	6,076	91.8%
神奈川	7,660	6,125	80.0%	7,241	94.5%
栃木	16,277	16,115	99.0%	16,245	99.8%
滋賀	8,158	7,951	97.5%	8,114	99.5%
福岡	15,033	14,010	93.2%	14,780	98.3%
佐賀	7,828	7,685	98.2%	7,805	99.7%

表-2 実際の事故件数と推定値の比較表

次に実際の事故件数と推定結果を図面に落としたものを図-12 に示す。例として東京都の図面を表示している。図面で見てもほぼ同じような分布になっていることがわかる。



道路延長0kmのメッシュは分析対象から除く

図-12 実際の事故件数と推定結果の比較：
上が実際の事故件数の分布、下が推定事故件数中央値の分布

5.2. 実際の事故件数が推定値と乖離のないエリア

実際の事故件数が推定値と乖離のないエリアについて、例として東京都大田区のあるメッシュを図-13に示す。このエリアはコンビニが4軒、建物用地面積が 0.25km^2 、商業地域面積が 0.09km^2 で、3年間で歩行者事故が5件発生しており、推定事故件数の中央値も5件のエリアである。東京都の事故件数5件のメッシュは、ほとんどがこういった建物の多い比較的にぎやかなエリアになる。



図-13 推定値と実際の事故件数に乖離のないエリア（東京都大田区）

5.3. 実際の事故件数が推定値と乖離のあるエリア

次に実際の事故件数が推定値と乖離のあるエリアについて紹介する。図-14 は東京都の乖離のあるエリアの分布図で、赤いメッシュは実際の事故件数が推定値を上回っているエリアである。推定値よりも実際の事故件数が大きく下回るエリアは見つからなかった。また、乖離のあるエリアの分布に、地理的な特徴はなく、全体的に分布している。この中から特に乖離の大きい矢印のメッシュの詳細を図-15 に示す。

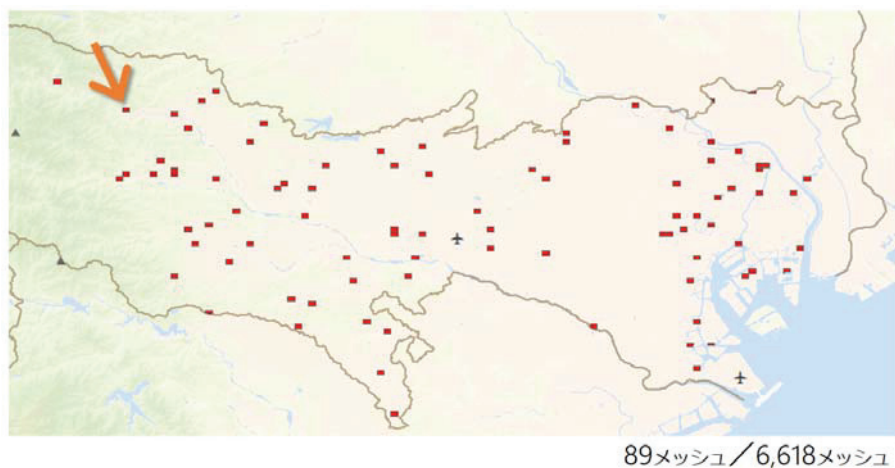


図-14 推定値と実際の事故件数に乖離のあるエリアの分布図（東京都）



図-15 推定値と実際の事故件数の乖離が大きいエリア（東京都青梅市）

東京都青梅市のあるエリアである。コンビニは0軒、建物用地面積は0.1km²、商業地域面積は0km²のエリアで確率から考えれば事故1件でもおかしくないエリアであるが、実際は5件歩行者事故が発生している。5件中4件は真ん中の交差点で発生しており、うち3件は1当行動類型が「右折専用レーン以外での右折」となっていることから、北から西に向かう右折車と歩行者の事故が3件起きているものと思われる（西から南に向かう場合、右折専用レーンがあるため）。右下の写真は、真ん中の交差点を北から南に見た写真である。

同様に、神奈川県内の乖離のあるエリアの分布図を図-16に示す。この中から矢印のメッシュの詳細を図-17に示す。

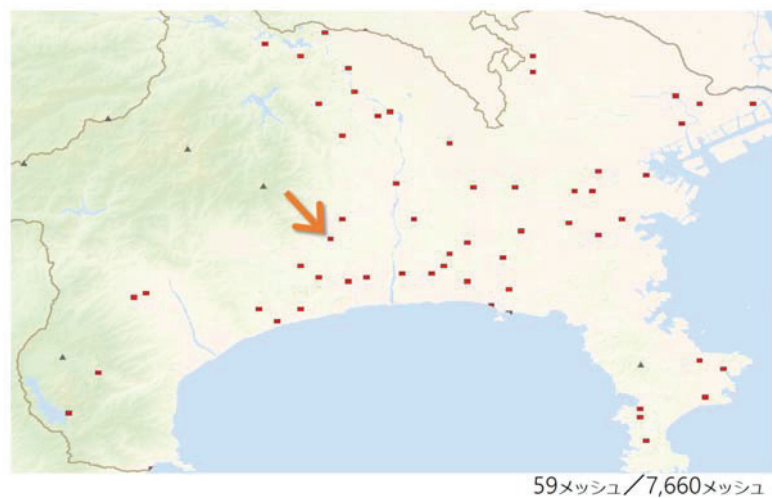


図-16 推定値と実際の事故件数に乖離のあるエリアの分布図（神奈川県）



図-17 推定値と実際の事故件数の乖離が大きいエリア（神奈川県伊勢原市）

神奈川県伊勢原市のあるエリアである。コンビニは1軒、建物用地面積は0.11km²、商業地域面積は0km²で、こちらのエリアについても推定事故件数の中央値は1件であるが、実際には5件の歩行者事故が発生している。四角で囲った交差点で2件発生しており、いずれも歩行者対右折車の事故である。右下の写真はこの交差点を東から西に見た写真である。

その他の県の分布図を図-18に示す。その他の県の分布についても地理的な特徴は無く、全体的に分布している。

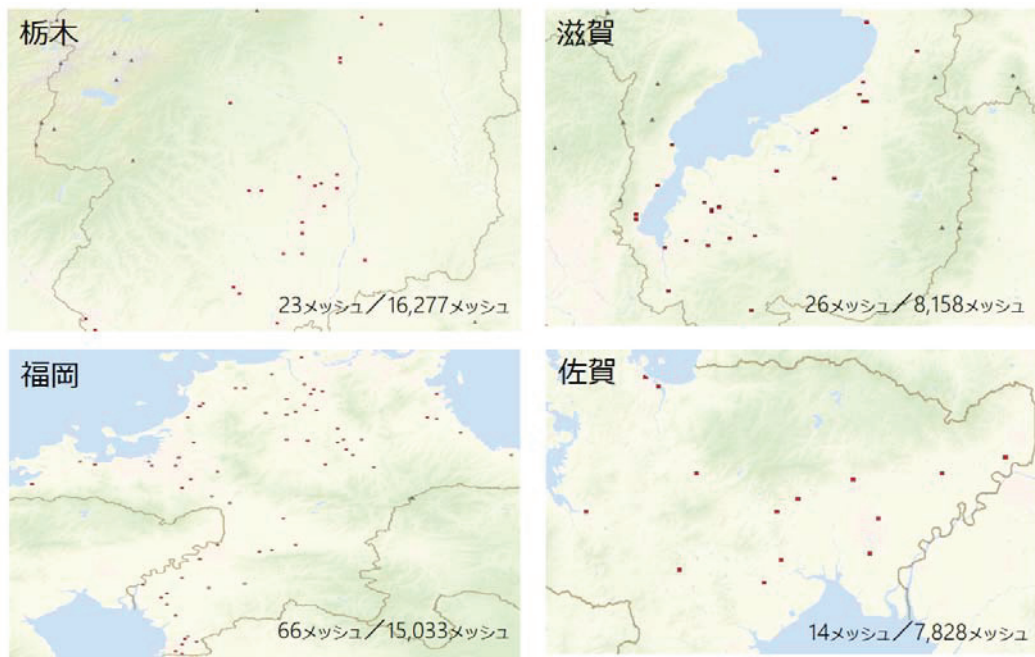


図-18 栃木県、滋賀県、福岡県、佐賀県の推定値と実際の事故件数に乖離のあるエリアの分布図

いずれにしても、このような推定値と実際の事故件数に乖離のあるエリアについては、現地におけるエリアごとの詳細な分析が必要と思われるが、乖離のあるエリアの全体的な特徴としては、対右折車事故の比率が高い傾向があった。乖離のあるエリアと乖離のないエリアで対右折車事故の比率を比較したグラフを図-19に示す。どの県においても乖離のあるエリアの方が、対右折車事故の比率が高いことがわかる。

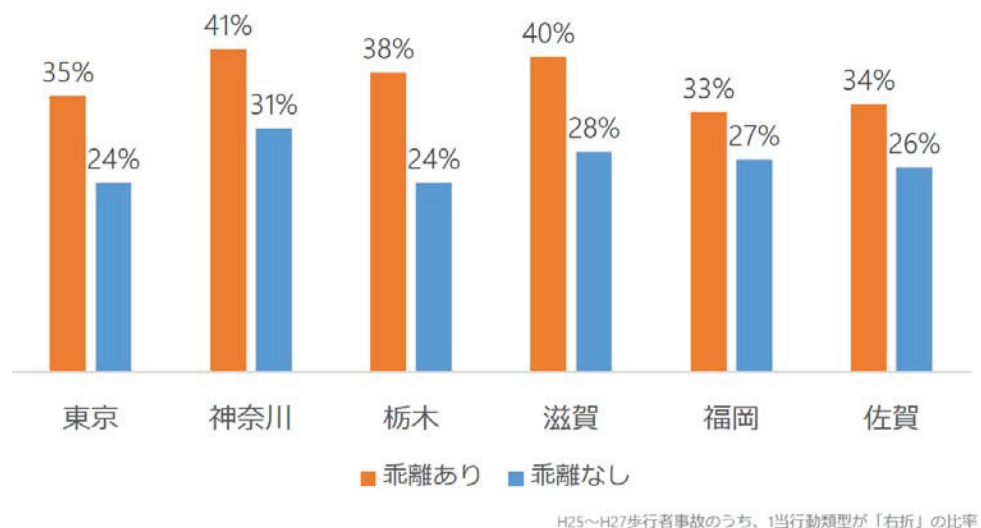


図-19 推定値と実際の事故件数に乖離のあるエリアと乖離のないエリアの歩行者対右折車事故の比率

これは1つの仮説であるが、推定値と実際の事故件数に乖離のあるエリアというのは、人通りが少ない傾向があるが、人通りが少ないエリアは交通量も比較的少ないエリアが多い。図-15、図-17で紹介した東京都と神奈川県之交差点についても、画像を確認する限りではそれほど交通量が多いようには見えない。2つの交差点の画像をもう一度図-20に示す。東京都の交差点は四角で囲ったところの看板等で死角ができており、神奈川県の箇所は交差点手前が上り坂となっているため、草などで死角ができています。



図-20 上が図-15で紹介した東京都の交差点、下が図-17で紹介した神奈川県の交差点

これを図-21の模式図で表した場合、①の時点ではどちらのドライバーも死角にいる歩行者には気

づかずそのまま交差点に入るものと思われる。交通量が多ければ②の時点で一旦停止するが、この場合は前方から車が来ていなければ、停止することなく前方を注視しながらハンドルを切るものと思われる。ハンドルを切りながら右後方を振り返ることは難しく歩行者確認が遅れる可能性がある。

これは1つの仮説であるが、このように交通量の少ない箇所では、交差点内での歩行者確認が遅れる可能性があるため、交差点に入る前に歩行者に気づけるよう、死角をできるだけ無くすことや、スピードを減速させるような工夫をすることが必要である。

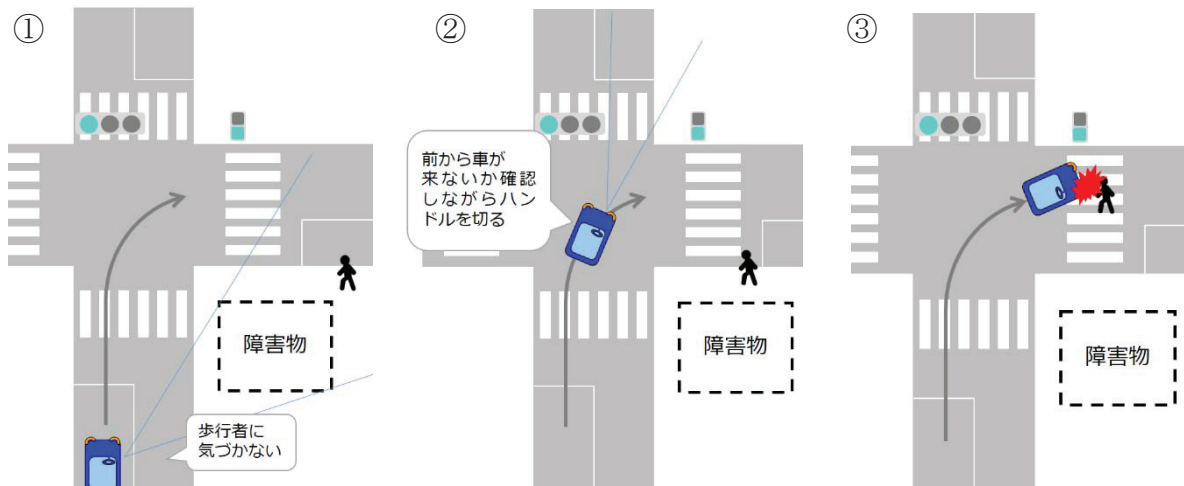


図-21 図-20 の2箇所の交差点の状況（仮説）を表した模式図

6. まとめ

イタルダでは交通事故多発箇所データを民間企業に提供し、カーナビやアプリ等での注意喚起機能等に役立てていただいている。多発箇所データは過去の事故データから交差点などピンポイントの危険性を評価するものであるが、今後は過去の事故データだけでなく、今回行ったような環境要素等からもエリアごとの危険性について予測・評価し、ドライバーへの注意喚起をすることが望ましい。

また今回、人通りの多さを表せるような環境データを使ってエリアごとの歩行者事故発生の危険性について評価したが、推定値と実際の事故件数に乖離のあるエリアについては、人が少ない割に事故が発生しているエリアが多いと思われる。よって人の多さ以外の環境的要因がある可能性があるため、エリアごとに詳細に分析し、その結果、改善できる場所があれば優先的に対策を進めることが必要ではないかと思う。

現在、国交省と警察庁では交通安全対策として、主に事故の多いエリアを選定して対策を進めているが、危険エリアの選定手法の1つとして、今回行った手法についても提案していければと考えている。

参考文献/データソース

- 1) 総務省統計局：平成 22 年国勢調査
- 2) 国土交通省国土政策局国土情報課：国土数値情報
- 3) ESRI ジャパン株式会社：Arc GIS データコレクション 2014
- 4) 一般財団法人 日本デジタル道路地図協会：デジタル道路地図 (DRM)
- 5) 久保拓弥：データ解析のための統計モデリング入門
- 6) 岩波データサイエンス刊行委員会：岩波データサイエンス Vol.1
- 7) 山田晴利：事故発生位置情報を用いた事故分析統合システムの研究開発，2016
- 8) GoogleEarth ストリートビュー