

歩行者事故リスク評価を活用した今後の交通安全対策 ～事故位置情報を活用した効率的な歩行者事故対策を目指して～

常務理事兼研究部長	大塚 俊介
研究部次長兼研究第二課長	箕作 光一
研究部研究第二課調査役	山本 俊雄
研究部研究第二課	北野 朋子
研究部研究第二課	下村 静喜

1. 概要

交通事故の発生要因は、大きく分けると、① 気象・地形条件、道路構造、道路交通の状況、沿道の土地利用の違いなどの道路交通環境に関連する要因、② 運転技術、心理状態や体調、歩行者や自転車の飛び出しなどの人的な要因、③ 車両の点検・整備の状況、安全デバイスの装備状況などの車両の要因、の3つに大別されるが、個々の交通事故はこれらの要因が絡み合って発生する 경우가多い。加えて、エリア単位または道路の区間単位での交通事故の発生件数は、1年間で見ると件数そのものが多くないことに加えて年ごとの変動も大きい場合が多く、エリア単位あるいは道路の区間単位で交通事故リスクを正確に把握し、その主たる要因を特定し、交通安全対策につなげるためには、個別箇所ごとの詳細な検討が必要となっている。このため、エリア単位あるいは道路の区間ごとの交通事故リスクを評価し、主な事故リスク要因を明示する評価モデルの構築により、交通安全対策の検討を効率化することが強く求められている。

一方、平成24年から、交通事故原票に緯度経度情報が付与されるようになり、幹線道路だけでなく、生活道路で発生する交通事故についても、発生地点を特定した事故分析が可能となってきており、事故の発生頻度の高いエリアを特定し効率的な交通安全教育や取締りに活用するなど、交通安全対策への活用は広まりつつある。

右図は、平成24年から27年までに新宿駅周辺で発生した交通事故を歩行者事故、自転車事故、自転車を除く車両事故（単独事故

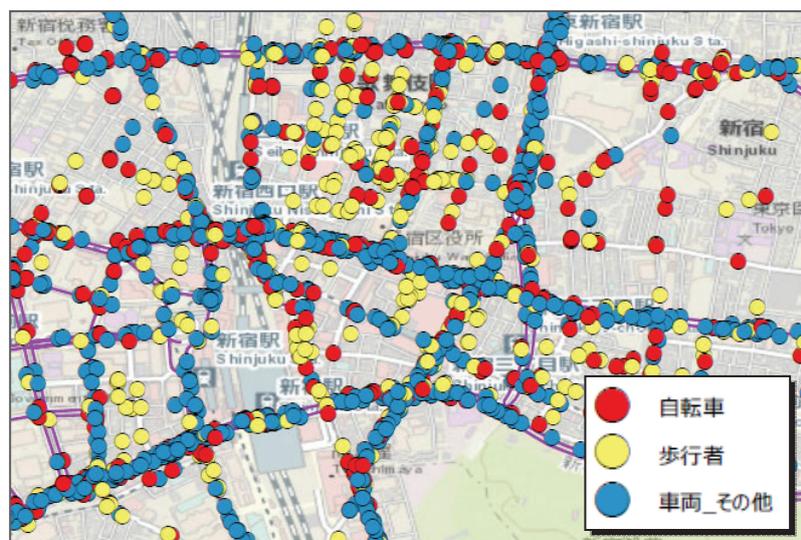


図1 新宿駅周辺での交通事故発生状況図(平成24年から27年までの累計)

と車両相互事故)に分けて表示したものである。図1から分かることは、車両事故の多くが幹線道路(図中の紫の線は道路交通センサスが実施される幹線道路)上で発生するのに対して、歩行者事故と自転車事故は、幹線道路以外の生活道路での発生も多いことである。幹線道路での歩行者事故と自転車事故の発生が少ない要因としては、ほとんどの幹線道路で歩道等の整備が進んでいることが考えられる。また、図2に示すように、歩行者事故と自転車事故の半分以上は、自宅から1km以下の範囲で発生しており、これらの事故が地域性の強い事故形態であることがわかる。

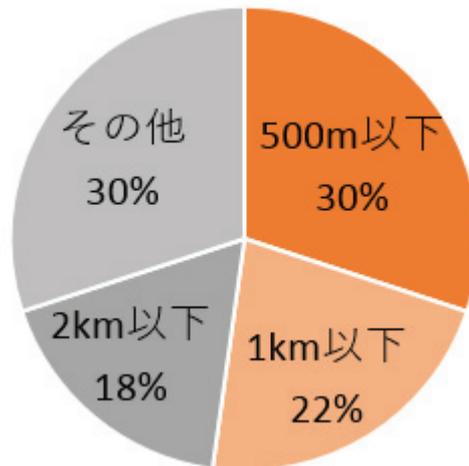


図2 自宅からの距離別歩行者事故・自転車事故件数構成比(2017年)

こうした交通事故の発生状況は全国でほぼ共通であり、歩行者事故と自転車事故については、個別の道路を対象とした事故分析というよりはエリア単位での事故分析が適していることがわかる。このため、当センターでは、すでに過年度において、代表6都県を対象に歩行者事故リスクを500m×500mのメッシュ単位で評価するモデルの構築を行っているところであるが、本研究では、全国レベルの評価モデルの構築と今後の交通安全対策への活用方策について報告するものである。

2. 研究の背景・目的

平成24年から、交通事故原票に緯度経度情報が付与されるようになり、幹線道路だけでなく、生活道路で発生する交通事故についても、発生地点を特定した事故分析が可能となってきており、事故の発生頻度の高いエリアを特定し効率的な交通安全教育や取締りに活用するなど、交通安全対策への活用は広まりつつある。第10次交通安全基本計画の目標である平成32年の交通事故死者数2500人以下の達成に向けて、こうした事故位置情報を活用した効率的な交通安全対策の推進が期待されているところである。

しかしながら、個別の交差点、道路の区間、エリアごとの交通事故発生件数は、下記の例に示すとおり年ごとに大きく変動する場合が多い。このため、事故位置情報を活用し、交差点、道路の区間、あるいはエリアごとに事故分析を行い、事故の主たる要因を特定し、対策を検討していくためには、事故発生件数の変動を確率的に表現するとともに、個別の交差点、道路の区間、地域単位で

潜在的な交通事故リスクを評価し、事故リスクの主な要因を示す事故リスク評価モデルを構築し、効果的な事故分析と交通安全対策の検討に活用することが望まれる。

<個別交差点、道路の区間、地域ごとに事故件数が変動している事例>

東京都杉並区大原交差点の事故件数の推移

H26	12件	H27	9件	H28	14件	H29	9件
-----	-----	-----	----	-----	-----	-----	----

東京都国道246号表参道交差点～南青山三丁目交差点間の事故件数の推移

H26	7件	H27	3件	H28	4件	H29	9件
-----	----	-----	----	-----	----	-----	----

滋賀県守山市での歩行者事故件数の推移

H26	36件	H27	25件	H28	38件	H29	26件
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

滋賀県甲賀市での自転車事故の推移

H26	37件	H27	23件	H28	27件	H29	34件
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

また、前述したとおり、自転車を除く車両事故の多くが幹線道路上で発生するのに対して、歩行者事故と自転車事故は、幹線道路以外の生活道路での発生も多い。加えて、幹線道路の単路部と交差点部では、車両事故の事故形態や事故要因も大きく異なっている。このため、交通事故リスクを評価するモデルを体系的に構築する前提として、以下の2点を基本方針とすることとした。なお、本研究における幹線道路とは、道路交通センサスの調査対象となっている道路を意味している。

基本方針①：歩行者事故、自転車事故、生活道路上の自転車事故を除く車両事故は500m×500mのメッシュ単位でリスク評価モデルを構築

基本方針②：幹線道路の自転車を除く車両事故は、単路部と交差点部別にリスク評価モデルを構築、なお、幹線道路の交通事故リスク評価結果の提供においては、歩行者事故および自転車事故リスク評価結果もあわせて提供が必要なことから、幹線道路における歩行者事故および自転車事故評価モデルも単路部と交差点部別に併せて構築

この2つの基本方針の下に、本研究では、交通死亡事故の4割弱を占めており、高齢化の進行に伴う高齢歩行者の死亡事故比率の増加と健康志向に伴うウォーキング・ランニング需要の増加に伴い、リスクの増大が懸念される歩行者事故について、全国レベルの事故リスク評価モデルを構築するとともに、今後の交通安全対策への活用方策について報告している。

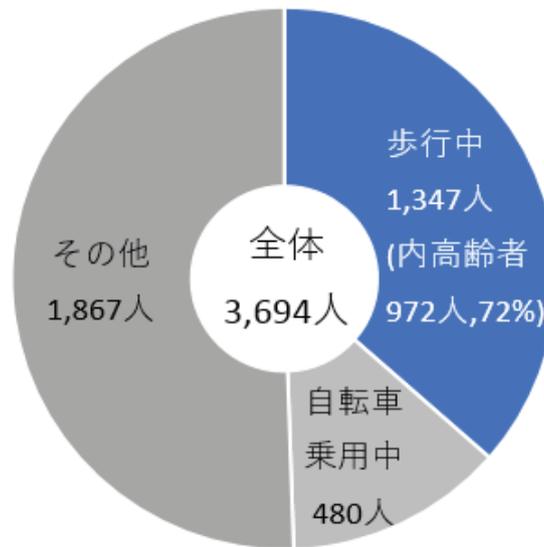


図3 状態別交通事故死者数（2017年）

3. 歩行者事故リスク評価モデルの提案の前提条件

仮定①：所定の期間（3年間）内に発生する歩行者事故のメッシュ別歩行者事故件数の生起確率はポアソン分布に従う

交通事故の生起確率を表すモデルとしては、様々な確率分布モデルが考えられるが、交通事故は、離散的な現象（所与の領域内や所与の時間内において、0回、1回、2回、3回…と発生する現象）であり、現象が発生する確率は、所与の時間ないし空間内において一定であると考えることができる。また、一定期間内の交通事故件数は、希にしか起こらない現象を大量に観測した結果であり、個々の交通事故が発生する確率はそれより前の交通事故にほぼ関係なく独立して発生していると考えることができる。こうした現象の生起確率を表すモデルとしては、ポアソン分布が用いられる場合が多く、例えば、1時間に特定の交差点を通過する車両の台数などがポアソン分布に従うことが知られている。このため、本研究では、500m×500mのメッシュで所定の期間（3年間）内に発生する歩行者事故の生起確率はポアソン分布に従うと仮定している。

すなわち、 K 個のメッシュで3年間に発生した歩行者事故件数が $Y = \{Y_1, \dots, Y_k, \dots, Y_K\}$ で与えられるとき、任意のメッシュ k の歩行者事故件数 Y_k の確率分布は以下の式で与えられる。

$$P(Y_k | \lambda k) = \lambda k^{Y_k} \cdot \exp(-\lambda k) / Y_k!$$

ここで λ_k は、メッシュ k のポアソン分布の母数であり、ポアソン分布においては、 λ_k は Y_k の平均値(μ)と分散(σ^2)に等しくなる。本研究では、 λ_k は Y_k の平均値かつ期待値でもあることから、 λ_k の推計値を歩行者事故リスク評価値としている。

仮定②：500m×500mメッシュで収集可能なデータによって、 λ_k の説明変数を構成し、説明変数の候補は決定木分析によって決定

歩行者事故件数の平均値である λ_k をメッシュごとに変動させる要因としては、歩行者需要を生み出す集客施設の立地、メッシュ内道路の交通需要、居住者の数、歩道整備や交差点改良など道路整備の状況などが考えられるが、メッシュごとに変動させる全ての要因をメッシュごとにデータとして指標化できるわけではない。例えば、生活道路も含めた自動車走行台キロをデータとして収集することは現状では困難であり、また、交差点や道路の交通安全対策の実施状況を指標化することも困難である。なお、運転技術、心理状態や体調、歩行者や自転車の飛び出しなどの人的な要因、さらには、車両の点検・整備の状況、安全デバイスの装備状況などの車両の要因については、子供が多く居住し飛び出しが多いなど、メッシュごとに歩行者事故件数を変動させる場合もあるが、その多くはメッシュごとに歩行者事故リスクを変動させる要因ではないことから、本研究においては、これらの要因は、歩行者事故リスク評価値を変動させる要因ではなく、実際の歩行者事故件数がポアソン分布に従ってばらつく要因と想定している。また、説明変数の候補は、決定木分析によって、もっとも優位にメッシュ別歩行者事故件数の区分が行えるものを選択することとした。

仮定③：ポアソン分布のリンク関数（母数 λ_k と説明変数の関係式）は、 $\text{Log}\lambda_k$ に対して、線形関数で定義、説明変数では設定されないメッシュごとの全ての要因をランダム効果として付加

ポアソン回帰モデルでは、リンク関数は対数関数であることから、本研究においても、 λ_k の対数値と説明変数の関係式を線形関数で表すこととした。また、仮定②で説明したように、現状では、メッシュごとの歩行者事故件数の平均値でありリスク評価値を意味する λ_k を説明する要因を全て説明変数として取り入れることは困難である。加えて、500m×500mのメッシュごとの歩行者事故は、隣接するメッシュにおいて土地利用や道路交通環境が類似する場合に、事故件数の多いメッシュに隣接するメッシュで事故件数が多くなるなど発生傾向が類似する場合が多い。生態学や社会学等の分野では、エリアごとの個体数や犯罪率などを分析する手法の中で、エリアごとに異なる要因ではあるが、データの制約等により説明変数化ができない要因がある場合、リンク関数として設定・観測した要因である固定効果と設定・観測されていない要因であるランダム効果を組み合わせるモデルが用いられる。すなわち、説明変数に表すことが困難なすべての要因を、メッシュごとにランダムに変動する要因に置き換えるモデルが用いられている。さらに、交通事故と同様に、生態学や社会学等で取り扱う多くの現象において、空間的に隣接するエリアでの現象が相互に類似する傾向が見られる場合があり、こうした傾向を表現する「空間的自己相関モデル」が用いられている。2016年、山田晴利氏は、「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」の中で、生態

学や社会学等の分野ですでに適用されているモデルを引用し、メッシュ別の交通事故を分析するためのポアソン回帰モデルのリンク関数のランダム効果として、2000年 Leroux et al.が提案した CAR (条件付自己回帰, Conditional Auto Regression) モデルを採用することを提案している。2000年 Leroux et al.が提案した CAR モデルでは、パラメータ ρ の大きさによって空間的自己相関の強度を表現することができる。なお、このように固定効果とランダム効果を組み合わせた線形のリンク関数のモデルは「一般化線形混合モデル」と呼ばれている。

仮定④：パラメータは都道府県別（北海道 10 地区）に推定

気象条件や地形条件の違い、道路ネットワークの整備状況の違い、土地利用の違い、公共交通機関の利用の違い、運転者の気質の違いなど都道府県別の事故発生要因の違いを踏まえ、パラメータは都道府県別（北海道 10 地区）に推定することとした。都道府県別に見てみると、表 1 に示すように、平成 28 年の高速道路を除く幹線道路の走行台キロ当たりの事故率は最小値と最大値で約 7 倍の差があり、人口 10 万人当たりの歩行者事故件数も 3 倍程度の差があり、都道府県別の交通事故リスクには大きな差がある。都道府県ごとにこのように事故リスクに大きな差が生まれる背景としては、気象条件や地形条件の違い、道路ネットワークの整備状況の違い、土地利用の違い、公共交通機関の利用の違い、運転者の気質の違いなど様々な要因が考えられるが、現時点でその要因を特定できず、今後の検討課題となっている。なお、北海道については面積が広くメッシュ数も多いことから、10 地区に分割して評価モデルを構築することとした。

表 1 平成 28 年都道府県別幹線道路（高速道路を除く）の事故率と人口当たり歩行者事故件数

	走行台キロ当たり事故件数（一般国道 + 主要地方道 + 一般都道府県道）				10万人当たり歩行者事故件数			
	H28死傷事故件数	H27センサス 24 時間走行台キロ (千台キロ)	年走行台キロ (億台キロ)	走行台キロ当たり 死傷事故件数 (件/ 億台キロ)	H28歩行者事故件 数	人口(千人) ※平成28年10月1 日現在	人口(10万人)	人口10万人当たり 歩行者事故件数 (件/10万人)
全国	252,468	1,235,561	4,510	55.98	51,551	126,933	1,269	40.61
北海道	5,046	66,253	242	20.87	1,405	5,352	54	26.25
青森	1,888	17,361	63	29.79	501	1,293	13	38.75
岩手	1,327	21,295	78	17.07	320	1,268	13	25.24
宮城	3,908	29,237	107	36.62	864	2,330	23	37.08
秋田	1,251	16,599	61	20.65	228	1,010	10	22.57
山形	3,487	18,838	69	50.71	453	1,113	11	40.70
福島	3,299	30,181	110	29.95	567	1,901	19	29.83
東京	15,852	44,381	162	97.86	5,139	13,624	136	37.72
茨城	5,878	41,634	152	38.68	897	2,905	29	30.88
栃木	3,120	29,330	107	29.14	458	1,966	20	23.30
群馬	7,597	25,986	95	80.10	872	1,967	20	44.33
埼玉	12,193	45,824	167	72.90	3,303	7,289	73	45.31
千葉	7,302	43,140	157	46.37	2,799	6,236	62	44.88
神奈川	10,477	39,693	145	72.32	4,650	9,145	91	50.85
新潟	2,459	35,915	131	18.76	620	2,286	23	27.12
山梨	2,565	11,235	41	62.55	353	830	8	42.53
長野	4,582	28,339	103	44.30	822	2,088	21	39.37
静岡	14,553	40,227	147	99.12	2,304	3,688	37	62.47
富山	2,075	16,846	61	33.75	378	1,061	11	35.63
石川	1,967	17,622	64	30.58	417	1,151	12	36.23
福井	1,051	12,348	45	23.32	187	782	8	23.91
岐阜	3,636	30,204	110	32.98	575	2,022	20	28.44
愛知	19,865	66,725	244	81.57	3,212	7,507	75	42.79
三重	3,370	27,332	100	33.78	477	1,808	18	26.38
滋賀	3,242	18,536	68	47.92	479	1,413	14	33.90
京都	4,460	21,157	77	57.75	975	2,605	26	37.43
大阪	19,448	42,532	155	125.28	3,339	8,833	88	37.80
兵庫	12,207	46,872	171	71.35	2,856	5,520	55	51.74
奈良	2,567	13,453	49	52.28	528	1,356	14	38.94
和歌山	1,686	12,389	45	37.28	226	954	10	23.69
鳥取	645	10,511	38	16.81	129	570	6	22.63
島根	874	11,972	44	20.00	156	690	7	22.61
岡山	5,043	26,408	96	52.32	625	1,915	19	32.64
広島	4,907	30,063	110	44.72	1,090	2,837	28	38.42
山口	3,164	20,392	74	42.51	460	1,394	14	33.00
徳島	2,378	11,830	43	55.07	242	750	8	32.27
香川	4,085	13,616	50	82.20	410	972	10	42.18
愛媛	2,329	16,537	60	38.59	466	1,375	14	33.89
高知	1,426	10,728	39	36.42	239	721	7	33.15
福岡	18,931	45,727	167	113.42	3,470	5,104	51	67.99
佐賀	4,897	13,974	51	96.01	450	828	8	54.35
長崎	3,333	16,506	60	55.32	727	1,367	14	53.18
熊本	3,549	23,529	86	41.32	537	1,774	18	30.27
大分	2,695	18,046	66	40.92	431	1,160	12	37.16
宮崎	4,682	15,977	58	80.29	503	1,096	11	45.89
鹿児島	3,759	22,587	82	45.60	656	1,637	16	40.07
沖縄	3,413	15,673	57	59.66	756	1,439	14	52.54

4. 決定木分析による説明変数の候補の決定

4.1. 緯度経度の精度が高い 31 都道府県の選定

当センターでは、毎年の交通事故データに基づいて作成する幹線道路交通事故統合データベースの作成に当たり、平成 26 年以降、幹線道路上の交通事故の事故原票に付加された緯度経度情報の精度を確認し、精度が高い都道府県の事故データについては事故発生位置の現場での確認を省略することとしている。この確認手法をダイレクトマッチングと呼んでいるが、平成 26 年から 28 年までの緯度経度情報の精度が確認された都道府県は 31 都道府県であった。本研究では、平成 25 年から 27 年までの 3 年間のメッシュ別歩行者事故データを用いて、歩行者事故リスク評価モデルを構築しているが、歩行者事故は幹線道路のみならず生活道路でも多く発生しており、緯度経度情報の精度がモデルの精度に大きな影響を与えることから、緯度経度情報の精度が確認されている 31 都道府県のみを対象に評価モデルの構築を行っている。

4.2. 決定木分析による説明変数の候補の決定

歩行者事故リスク評価モデルを 31 都道府県で構築するに当たって、500m×500m のメッシュ単位で指標化が可能であり歩行者事故の発生に関連があると考えられる以下の 15 の指標を用いて、決定木分析を行い、もっとも優位に 3 年間の事故件数による区分が可能な指標を選び、選ばれた指標を評価モデルの説明変数の候補とすることとした。

- ①コンビニの数 ②建物用地面積 ③商業地域面積 ④道路延長 ⑤住居地域面積
- ⑥工業地域面積 ⑦デパートの数 ⑧病院の数 ⑨ファーストフード店の数
- ⑩銀行の数 ⑪ガソリンスタンドの数 ⑫中学・高校の数 ⑬駅からの距離 ⑭交差点の数
- ⑮総人口（夜間人口）

なお、交通事故リスクの正規化においては、自動車の走行台キロ当たりで正規化するのが一般的であるが、メッシュ単位での生活道路も含めた自動車走行台キロのデータについては現状では入手困難であるため、道路延長当たりの事故件数として正規化するため、15 の指標の内、④道路延長をオフセット項とした。決定木分析の結果、31 全ての都道府県で、①コンビニの数、②建物用地面積、③商業地域面積、⑮総人口（夜間人口）で歩行者事故件数別のメッシュ区分が優位に行えることが分かった。ただし、⑮総人口（夜間人口）については、事故件数が少ないメッシュの区分においては有効であるが、歩行者事故発生件数が多いメッシュのほとんどが夜間人口の少ない市街地中心部の繁華街に位置していることから、説明変数として適当でないと判断し、①コンビニの数、②建物用地面積、③商業地域面積の 3 つの指標を説明変数の候補とした。なお、青森県では、③と⑧病院の数の組み合わせが、①、②、③の組み合わせよりやや有利な組み合わせとなり、奈良県では、①、②、③に⑩銀行の数を加えた組み合わせがやや有利な組み合わせとなったが、有意差が小さいこと

から、全国共通の評価モデルとすることを優先し、①コンビニの数、②建物用地面積、③商業地域面積の3つの指標を説明変数の候補とした。

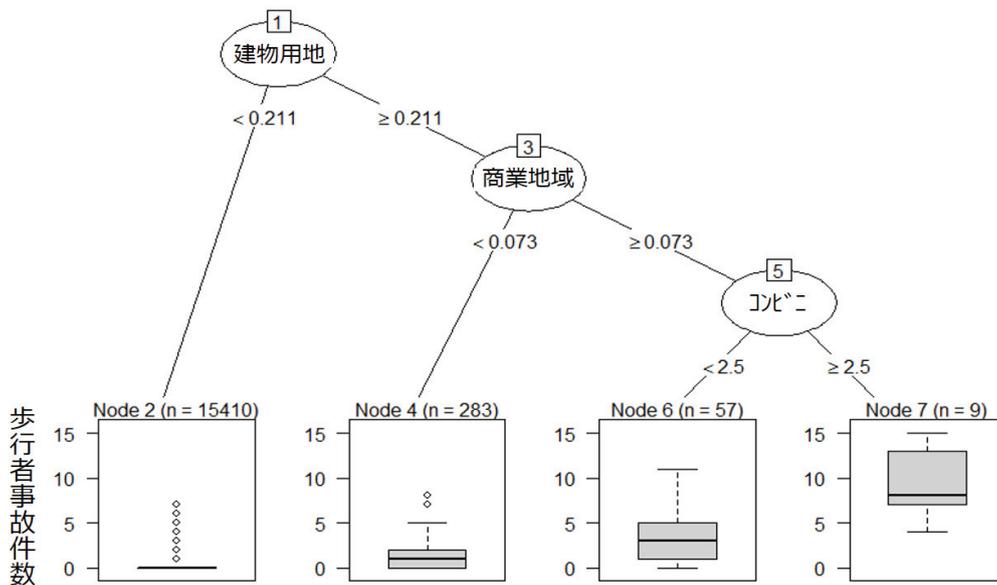


図4 決定木分析による説明変数の候補の決定（滋賀県の事例）

5. 歩行者事故リスク評価モデルの提案

前述したとおり、現状では、メッシュごとの歩行者事故件数の平均値であり、歩行者事故リスク評価値を表す λ_k を説明する要因を全て説明変数として取り入れることは困難である。加えて、500m×500mのメッシュごとの歩行者事故は、隣接するメッシュにおいて土地利用や道路交通環境が類似する場合には、事故件数の多いメッシュに隣接するメッシュで事故件数が多くなるなど事故件数が類似する場合が多い。このため、2016年、山田晴利氏は、「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」の中で、生態学や社会学等の分野ですでに適用されているモデルを引用し、リンク関数については、設定した要因である固定効果と設定されていない要因であるランダム効果を組み合わせ、ランダム効果の事前分布には、2000年 Leroux et al.が提案したCAR（条件付自己回帰、Conditional Auto Regression）モデルを採用することを提案している。2000年 Leroux et al.が提案したCARモデルでは、近接するメッシュ同士の事故発生傾向の類似性を表す空間的自己相関についてもパラメータ ρ の値によってその強度を表現することができる。このため、過年度の研究と同様に、本研究においても、ランダム効果の事前分布として2000年 Leroux et al.が提案したCARモデルを採用することとした。こうした評価モデルのパラメータを推定する手法としては、ベイズ統計学の基本公式に基づいたベイズ推定によるパラメータの推定が一般的に行われていることから、本研究においてもベイズ推定によってパラメータの推定を行うこととした。以下に提案した歩行者事故リスク評価モデルの概要と詳細を示す。

一般化線形混合モデル

3年間のメッシュ別歩行者事故件数の生起確率はポアソン分布に従うと仮定
メッシュ k のポアソン分布の母数 λ_k (=期待値, リスク評価値)を以下の式で表す

β_2 はコンビニの数、 β_3 は建物用地面積(km²)、 β_4 は商業地域面積(km²)の事故発生への影響度(倍率)を表す($\beta_1 \sim \beta_4$ は、県内全メッシュで共通の値であり、都道府県別に推定)

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

オフセット変数の項目であり、メッシュ内の道路延長(km)の対数値(道路延長に λ は比例と仮定、パラメータは1に固定)

$\beta_1 \sim \beta_4$ 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自己相関を考慮して表したものを(メッシュごとに算出)

空間的自己相関イメージ

空間的に近いところは事故発生の傾向が類似するということ



$$Y_k | \lambda_k \sim \text{Poisson}(\lambda_k), \quad k = 1, \dots, K \quad (\text{メッシュ数は}K\text{個})$$

$$\mathbf{x}_k = (1, x_{k1}, \dots, x_{k3})$$

$$\boldsymbol{\beta} = (\beta_1, \dots, \beta_4)$$

$$\log(\lambda_k) = \mathbf{x}_k^\top \boldsymbol{\beta} + O_k + \phi_k,$$

$$\boldsymbol{\beta} \sim \mathcal{N}(\boldsymbol{\mu}_\beta, \boldsymbol{\Sigma}_\beta) \quad (\text{多変量正規分布: } \boldsymbol{\beta} \text{ の事前分布})$$

($\boldsymbol{\beta}$ の事前分布は、平均値0、分散1000の正規分布(無情報事前分布))

O_k : オフセット項(メッシュ k の道路延長(km)の対数値)

ϕ_k : メッシュ k のランダム変数

以下の式で表す(2000年 Leroux et al.が提案したCAR(条件付自己回帰)モデル)

$$\phi_k | \phi_{-k}, W, \tau^2, \rho \sim$$

$$\mathcal{N} \left(\frac{\rho \sum_{i=1}^K w_{ki} \phi_i}{\rho \sum_{i=1}^K w_{ki} + 1 - \rho}, \frac{\tau^2}{\rho \sum_{i=1}^K w_{ki} + 1 - \rho} \right), \quad (\phi_k \text{ の事前分布})$$

$$\phi_{-k} = (\phi_1, \dots, \phi_{k-1}, \phi_{k+1}, \dots, \phi_K),$$

$$\tau^2 \sim \text{Inverse-Gamma}(1, 0.01), \quad (\tau^2 \text{ の事前分布})$$

$$\rho \sim \text{Uniform}(0, 1). \quad (\rho \text{ の事前分布})$$

重み付け行列 W は、メッシュ k とメッシュ i が境界を共有しているならば対応する要素 $w_{ki} = 1$, そうでなければ $w_{ki} = 0$ で定義される。

ベイズ統計学では、メッシュごとの歩行者事故件数 $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_K\}$ がデータとして与えられる場合、パラメータの確率分布を以下のとおり定義している（ベイズ統計学の基本公式）。ここで、 $P(x)$ は、 x の確率分布を表している。

$$P(\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \rho, \tau^2, \{\phi_k\} | Y) \propto \underbrace{\prod_{k=1}^K P(y_k | \lambda_k)}_{\text{データ } Y \text{ が与えられた後の事後分布}} \underbrace{P(\{\phi_k\} | \rho, \tau^2)}_{\text{尤度}} \underbrace{P(\rho, \tau^2) \times P(\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4)}_{\text{パラメータの事前分布}}$$

ベイズ推定においては、パラメータの事前分布を設定し、MCMC（マルコフ連鎖モンテカルロ）法により、パラメータの事後分布に従ったサンプリングが行われるが、本研究では、事後分布の中央値をパラメータの推定値としている。また、本研究では、パラメータ β と ρ の事前分布については無情報事前分布となるよう、 β については平均値ゼロ、分散 100,000 の正規分布を、 ρ については 0 から 1 までの一様分布を事前分布としている。また、ランダム効果の分散の大きさを表す τ^2 の事前分布についても、 $a=1, b=0.01$ の逆ガンマ分布を事前分布としている。

ベイズ推定のための統計計算ソフトは、グラスゴー大学の Duncan Lee 氏が開発した統計ソフト「R」の CAR Bayes package version 4.6 を利用し、パラメータの事後分布を求めるためのサンプリングを 10,000 回（burn-in=20,000 回、thinning=1/10）行い、パラメータの推定を行った。

6. 歩行者事故リスク評価モデルのパラメータ推定結果とその分析

6.1. パラメータ推定結果

31 都道府県を対象に歩行者事故リスク評価モデルのパラメータをベイズ推定によって推定したところ、全ての都道府県で良好な推定結果を得ることができた。以下に東京都のパラメータの事後分布を示すが、全ての都道府県で同様のシャープな事後分布を得ることができた。

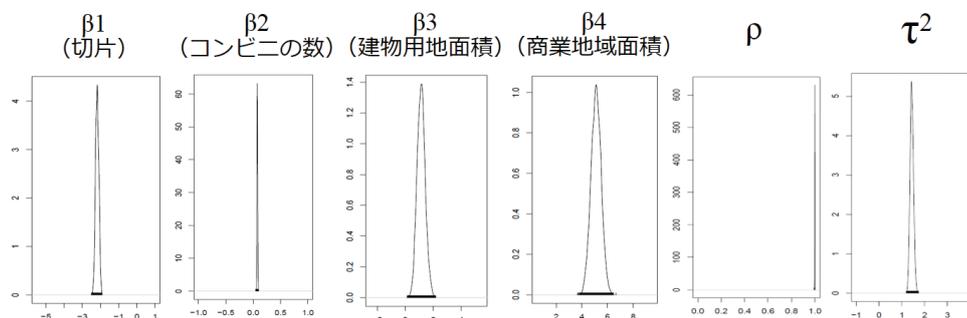


図5 パラメータの事後分布（東京都の事例）

表 2 31 都道府県における歩行者事故リスク評価モデルのパラメータ推定結果

地整	都道府県名	中央値							平均値				平均値 (0除く)		
		$\beta 1$ 切片	$\beta 2$ コンビ ニの数	$\beta 3$ 建物用 地面積	$\beta 4$ 商業地 域面積	tau2	rho	ランダ ム効果 の標準 偏差	log道路 延長	コンビ ニの数	建物用 地面積 (km ²)	商業地 域面積 (km ²)	コンビ ニの数	建物用 地面積 (km ²)	商業地 域面積 (km ²)
北海道	石狩・空知総合振興局	-5.3	0.09	6.9	10.1	1.9	1.0	0.48	-0.37	0.09	0.00	0.03	1.54	0.05	0.08
	後志総合・胆振総合振興局	-5.5	0.34	14.4	8.3	2.2	0.4	0.78	-0.71	0.03	0.00	0.01	1.22	0.04	0.06
	日高振興局	-6.1	0.89	17.1	20.9	0.1	0.4	0.12	-0.89	0.00	0.00	0.01	1.10	0.03	0.03
	渡島総合・檜山振興局	-5.2	0.31	14.5	5.7	0.8	0.2	0.61	-0.74	0.02	0.00	0.02	1.29	0.04	0.06
	上川総合振興局	-6.2	0.09	15.2	6.7	2.4	0.7	0.66	-0.70	0.02	0.00	0.01	1.27	0.05	0.05
	留萌・宗谷総合振興局	-5.8	0.44	15.1	7.0	0.0	0.5	0.04	-0.95	0.00	0.00	0.01	1.03	0.04	0.03
	オホーツク総合振興局	-5.9	0.31	17.1	7.2	0.0	0.2	0.13	-0.79	0.01	0.00	0.01	1.14	0.04	0.04
	十勝総合振興局	-5.9	0.73	13.7	7.1	0.0	0.4	0.08	-0.74	0.01	0.00	0.01	1.14	0.05	0.04
	釧路総合振興局	-6.2	0.27	15.9	10.1	1.1	0.2	0.73	-0.87	0.01	0.00	0.01	1.24	0.04	0.04
	根室振興局	-6.6	0.79	18.8	2.1	0.0	0.4	0.04	-0.92	0.00	0.00	0.01	1.07	0.04	0.03
東北	青森	-4.9	0.24	14.4	6.4	2.4	0.4	0.79	-0.54	0.02	0.00	0.02	1.18	0.04	0.06
	宮城	-5.0	0.11	9.1	6.7	2.9	1.0	0.60	-0.33	0.06	0.00	0.03	1.44	0.05	0.06
	福島	-5.2	0.30	11.5	4.5	2.4	1.0	0.55	-0.40	0.03	0.00	0.02	1.14	0.05	0.05
関東	茨城	-4.4	0.39	9.8	6.5	2.9	0.7	0.69	0.03	0.07	0.00	0.05	1.11	0.04	0.07
	群馬	-4.5	0.24	8.0	5.1	2.4	1.0	0.54	-0.03	0.06	0.00	0.05	1.10	0.05	0.08
	埼玉	-3.3	0.14	6.3	6.7	1.9	1.0	0.49	0.51	0.23	0.00	0.09	1.33	0.04	0.12
	千葉	-3.4	0.24	6.6	4.8	2.6	1.0	0.58	0.15	0.15	0.00	0.06	1.37	0.04	0.08
	東京	-2.1	0.08	1.1	5.1	1.4	1.0	0.42	0.83	1.17	0.02	0.13	2.78	0.05	0.16
	神奈川	-2.5	0.16	4.8	5.7	2.4	1.0	0.55	0.77	0.51	0.01	0.12	1.79	0.05	0.14
	長野	-4.9	0.24	11.3	5.7	1.8	1.0	0.47	-0.29	0.04	0.00	0.03	1.15	0.05	0.07
北陸	新潟	-4.7	0.13	11.1	5.6	2.3	0.9	0.57	-0.29	0.04	0.00	0.03	1.16	0.05	0.06
	石川	-4.5	0.16	7.8	4.7	1.5	1.0	0.43	-0.29	0.05	0.00	0.03	1.26	0.05	0.07
中部	静岡	-4.0	0.21	8.8	4.0	2.1	1.0	0.51	-0.07	0.09	0.00	0.05	1.22	0.06	0.09
	愛知	-3.6	0.16	5.1	4.7	1.6	1.0	0.45	0.41	0.21	0.01	0.08	1.36	0.06	0.11
	三重	-4.3	0.42	9.6	5.6	1.8	0.5	0.65	-0.10	0.05	0.00	0.04	1.13	0.05	0.07
近畿	福井	-4.4	0.32	10.3	5.6	0.9	0.3	0.57	-0.28	0.04	0.00	0.03	1.13	0.05	0.06
	滋賀	-4.0	0.33	7.5	5.2	1.3	1.0	0.40	-0.15	0.07	0.00	0.04	1.20	0.05	0.07
	京都	-4.2	0.20	5.8	6.1	1.9	1.0	0.48	-0.28	0.11	0.00	0.04	1.65	0.05	0.07
	大阪	-2.3	0.15	3.3	5.3	1.8	1.0	0.48	0.81	0.55	0.01	0.13	1.82	0.05	0.15
	兵庫	-4.0	0.19	6.4	5.2	2.5	1.0	0.56	-0.20	0.10	0.00	0.04	1.38	0.05	0.08
	奈良	-3.8	0.35	10.2	5.4	1.4	0.1	0.86	-0.25	0.06	0.00	0.04	1.24	0.04	0.08
	和歌山	-5.5	0.17	10.3	4.2	2.3	1.0	0.54	-0.45	0.03	0.00	0.02	1.14	0.05	0.08
中国	鳥取	-5.1	0.39	12.2	4.9	1.6	0.1	0.92	-0.38	0.03	0.00	0.02	1.17	0.07	0.06
	島根	-5.1	0.28	14.7	2.7	1.8	0.8	0.54	-0.53	0.01	0.00	0.02	1.15	0.05	0.05
	岡山	-4.3	0.17	12.5	4.3	0.9	0.1	0.77	-0.37	0.04	0.00	0.03	1.21	0.06	0.06
四国	徳島	-4.5	0.36	12.1	2.1	2.0	0.7	0.57	-0.41	0.03	0.00	0.03	1.20	0.05	0.07
	香川	-3.8	0.27	11.1	3.7	2.5	0.7	0.64	-0.11	0.06	0.00	0.05	1.13	0.06	0.08
	高知	-4.7	0.13	15.2	3.7	1.0	0.2	0.65	-0.55	0.02	0.00	0.02	1.24	0.05	0.05
九州	福岡	-3.6	0.17	8.0	5.5	2.9	1.0	0.60	0.13	0.14	0.00	0.06	1.41	0.06	0.09
	佐賀	-4.0	0.36	11.8	5.2	2.4	0.8	0.61	-0.16	0.04	0.00	0.03	1.10	0.05	0.06

注：上記のパラメータの数値は、ベイズ推定によって得られた事後分布の中央値である。また、ベイズ推定によって、パラメータのサンプリングと同時に、メッシュ別にポアソン分布の母数 λk とランダム効果 ϕk の頻度分布を得ることができる。

6.2. パラメータ推定結果の分析

31 都道府県のパラメータ β_1 , β_2 , β_3 , β_4 , ρ , τ^2 の分析結果は以下の通りである。

β_1 : 切片 β_1 については、都道府県別平均メッシュ内道路延長の対数値 (log 道路延長) との正の相関が非常に高い。 β_1 が平均道路延長の対数値の 2.19 倍にほぼ比例していることは、 λk が都道府県別平均メッシュ内道路延長のほぼ 3 乗に比例して増加していることを意味している。メッシュ内の道路延長が増加すると、単路部よりも歩行者事故発生リスクの高い交差点の数が道路延長の約 2 乗に比例し増加することに加えて、道路延長の増加は市街化の進展を意味しており、道路延長当たりの自動車走行台キロも同時に増加するためと考えられる。このことから、歩行者事故評価モデルのさらなる精度向上と評価モデルによるよりの確な事故要因分析のためには、オフセット項として、メッシュ別道路延長の対数値に代えてメッシュ別走行台キロの対数値の採用が望ましいと考えられるが、現状ではデータの入手が困難なことから、決定木分析では選択されなかった「交差点の数」に代えて、自動車走行台キロとの相関がある程度考えられる「信号交差点の数」の説明変数化の検討を行うこととした。

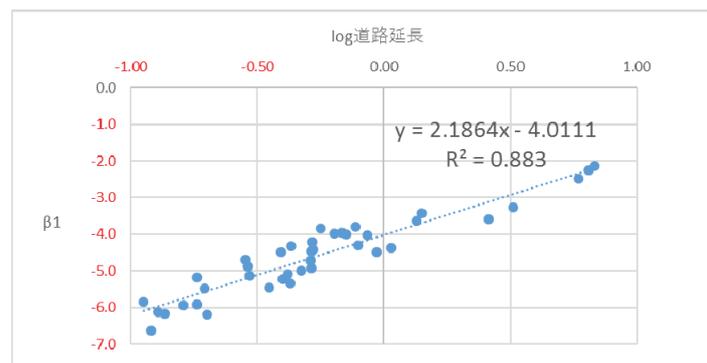


図 6 β_1 と都道府県別平均メッシュ内道路延長の対数値 (log 道路延長) との相関

β_2 : コンビニの数に対するパラメータである β_2 は、メッシュ当たりのコンビニの数の少ない地方部ほど大きな値を取る傾向にあるが、青森県や高知県のような例外もある。一般的に、大都市中心部のコンビニには駐車場がない場合が多いが、住宅地やその近くにあるコンビニや郊外部のコンビニには、一定規模の駐車場が設置されており、歩行者や自転車による利用も多く、加えてこうしたコンビニへのアクセス道路に歩道が整備されていない場合があることなどが、歩行者事故が多くなる要因と考えられる。

β_3 : 建物用地面積に対するパラメータである β_3 は、建物の密度が高くなり、建物用地面積が大きい大都市部ほど小さい値を取る傾向がある。

β_4 : 商業地域面積に対するパラメータである β_4 は、北海道でやや高い傾向があるが、全国的に見ると、地域ごとに大きく異なり、まさに地域の特色を示すパラメータとなっている。

ρ : 1.0 となっている都道府県が大都市部を中心に多い一方で、0.1 の県もあり、大都市部ほど空間的自己相関が強い傾向がある結果となった。

τ^2 : 推定された τ^2 により算出される、当該メッシュと境界点を共有するメッシュを隣接メッシュとした場合のランダム効果の標準偏差 (σ) を都道府県別に比較すると、北海道ではほぼゼロとなる地区があるもののその他の都道府県で 0.40 から 0.92 の値となった。すなわち、ランダム効果は、都道府県ごとに多少の違いはあるものの、平均して $\pm 1\sigma$ の範囲で λk に 0.6 倍から 1.7 倍程度の変動を与える結果となった。ランダム効果の標準偏差は、ほぼゼロに近い場合には説明変数以外の要因によるメッシュ固有の差が小さく、歩行者事故リスクを説明変数と空間的自己相関だけで説明していることを意味しており、標準偏差が大きくなると、ランダム効果は、実際の事故件数の対数値と固定効果により算出される λk の対数値の差に近づくとされている。現状の歩行者事故リスク評価モデルによって、リスク評価値については十分な精度の予測が可能となっているものの、ほとんどの都道府県でランダム効果によるリスク評価値の変動が見られたことから、リスク評価モデルのさらなる精度向上と評価モデルによる事故要因の説明性向上に向けて、説明変数のさらなる改善が必要であること、メッシュ別に歩行者事故リスク要因を特定するためには、ランダム効果の変動要因についてもさらに分析する必要があることが確認された。

なお、歩行者事故リスク評価モデルによる精度を確認するため、評価モデルによって推定される λk (中央値) と実績値の違いを、① 中央値から ± 1 以内のメッシュの数、② 中央値から ± 2 以内のメッシュの数、③ λk の中央値を母数とするポアソン分布の 95% 信頼区間に入るメッシュの数、で比較を行った結果が表 3 である。表 3 からわかるように、東京都や大阪府など大都市圏の都府県では①において、評価値 (中央値) ± 1 に入るメッシュの割合が 90% 以下となっているが、これは、これらの都府県ではメッシュ別の事故発生件数が多いメッシュが多く含まれているためであり、③においては、全ての都道府県で 99% 以上となっている。このことから、歩行者事故リスク評価モデルによる評価結果は実績値の再現性が高く、十分に現場で活用可能な精度であることがわかる。なお、下図に、滋賀県の 4 メッシュでの評価結果と実績値の事例を示す。

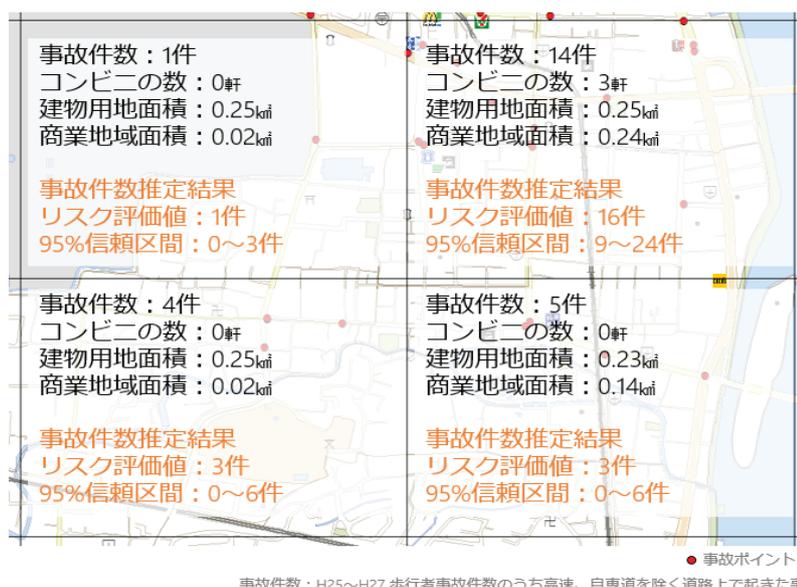


図 7 滋賀県の 4 メッシュにおけるリスク評価結果 (λk の中央値) と実績値の比較
(中央値は小数点以下を四捨五入している)

表3 歩行者事故リスク評価モデルによる評価結果と実績値の比較

地整	都道府県名	全メッシュ数 (道路延長0kmの メッシュを除く)	中央値±1以内		中央値±2以内		95%信頼区間内 (下限<=事故<=上限)		3年間事故件数ゼロ	
			メッシュ数	推定率	メッシュ数	推定率	メッシュ数	推定率	メッシュ数	割合
北海道	石狩・空知総合振興局	16,673	16,362	98.1%	16,590	99.5%	16,623	99.7%	15,746	94.4%
	後志総合・胆振総合振興局	11,958	11,897	99.5%	11,952	99.9%	11,934	99.8%	11,690	97.8%
	日高振興局	4,764	4,761	99.9%	4,764	100.0%	4,754	99.8%	4,742	99.5%
	渡島総合・檜山振興局	7,820	7,778	99.5%	7,810	99.9%	7,796	99.7%	7,628	97.5%
	上川総合振興局	14,209	14,173	99.7%	14,204	100.0%	14,184	99.8%	14,041	98.8%
	留萌・宗谷総合振興局	9,622	9,614	99.9%	9,621	100.0%	9,606	99.8%	9,583	99.6%
	オホーツク総合振興局	15,421	15,388	99.8%	15,415	100.0%	15,397	99.8%	15,304	99.2%
	十勝総合振興局	19,316	19,287	99.8%	19,310	100.0%	19,283	99.8%	19,209	99.4%
	釧路総合振興局	9,498	9,473	99.7%	9,494	100.0%	9,486	99.9%	9,418	99.2%
根室振興局	6,705	6,701	99.9%	6,704	100.0%	6,697	99.9%	6,684	99.7%	
東北	青森	19,139	19,005	99.3%	19,115	99.9%	19,055	99.6%	18,432	96.3%
	宮城	18,227	17,923	98.3%	18,168	99.7%	18,170	99.7%	17,196	94.3%
	福島	27,695	27,449	99.1%	27,646	99.8%	27,601	99.7%	26,707	96.4%
関東	茨城	19,833	19,525	98.4%	19,774	99.7%	19,767	99.7%	18,295	92.2%
	群馬	13,758	13,377	97.2%	13,674	99.4%	13,699	99.6%	12,410	90.2%
	埼玉	12,125	10,848	89.5%	11,829	97.6%	12,072	99.6%	8,717	71.9%
	千葉	17,281	16,264	94.1%	17,053	98.7%	17,230	99.7%	14,226	82.3%
	東京	6,610	4,826	73.0%	6,050	91.5%	6,591	99.7%	3,004	45.4%
	神奈川	7,645	6,116	80.0%	7,230	94.6%	7,628	99.8%	4,023	52.6%
	長野	24,453	24,089	98.5%	24,384	99.7%	24,355	99.6%	23,174	94.8%
	新潟	25,161	24,870	98.8%	25,103	99.8%	25,064	99.6%	23,971	95.3%
	北陸	9,926	9,743	98.2%	9,885	99.6%	9,882	99.6%	9,298	93.7%
中部	静岡	18,085	17,284	95.6%	17,902	99.0%	18,014	99.6%	15,528	85.9%
	愛知	16,363	15,031	91.9%	16,036	98.0%	16,290	99.6%	12,559	76.8%
	三重	13,902	13,682	98.4%	13,866	99.7%	13,845	99.6%	12,934	93.0%
近畿	福井	7,519	7,431	98.8%	7,495	99.7%	7,479	99.5%	7,102	94.5%
	滋賀	8,107	7,901	97.5%	8,059	99.4%	8,066	99.5%	7,362	90.8%
	京都	9,923	9,539	96.1%	9,813	98.9%	9,890	99.7%	8,843	89.1%
	大阪	6,206	4,881	78.6%	5,870	94.6%	6,191	99.8%	3,163	51.0%
	兵庫	19,326	18,414	95.3%	19,118	98.9%	19,272	99.7%	16,730	86.6%
	奈良	7,064	6,877	97.4%	7,031	99.5%	7,046	99.7%	6,317	89.4%
	和歌山	9,854	9,749	98.9%	9,831	99.8%	9,833	99.8%	9,389	95.3%
中国	鳥取	7,491	7,450	99.5%	7,486	99.9%	7,464	99.6%	7,265	97.0%
	島根	14,712	14,655	99.6%	14,700	99.9%	14,648	99.6%	14,391	97.8%
	岡山	17,387	17,161	98.7%	17,347	99.8%	17,340	99.7%	16,328	93.9%
四国	徳島	8,276	8,179	98.8%	8,263	99.8%	8,243	99.6%	7,846	94.8%
	香川	5,713	5,542	97.0%	5,680	99.4%	5,693	99.6%	5,023	87.9%
	高知	12,392	12,301	99.3%	12,381	99.9%	12,351	99.7%	12,010	96.9%
九州	福岡	14,996	13,971	93.2%	14,759	98.4%	14,952	99.7%	12,090	80.6%
	佐賀	7,814	7,677	98.2%	7,791	99.7%	7,784	99.6%	7,188	92.0%

6.3. ランダム効果の空間的自己相関に関する分析

歩行者事故リスク評価モデルにおけるメッシュ別のランダム効果は、パラメータ ρ が 1 に近い場合には対象となるメッシュに隣接するメッシュのランダム効果の影響をより強く受け、 ρ が 0 に近い場合には隣接するメッシュのランダム効果の影響を受けにくくなる。図 8 は、東京都のランダム効果（中央値）の分布を示しているが、 ρ が 1.0 であり、ランダム効果は隣接するメッシュのランダム効果の影響をもっとも強く受け、ランダム効果が類似するため、ランダム効果の分布図はグラデーションがかかった図になっている。一方、図 9 は、岡山県のランダム効果（中央値）の分布を示しているが、 ρ が 0.1 と小さいことから、ランダム効果は隣接するメッシュの影響をあまり受けておらず、ランダム効果のおおきな赤いメッシュに近接するメッシュでもランダム効果は大きな値となっていない。このように、空間的自己相関に違いが生まれる要因はよく分かっていないが、大都市圏の都道府県のほとんどで空間的自己相関が強く、 ρ がほぼ 1 となったことから、市街化の進

んだエリアが連担する地域では空間的自己相関が強くなる傾向にあると考えられる。歩行者事故リスク評価モデルのλのリンク関数については、説明変数による効果である固定効果と設定・観測されていない要因であるランダム効果を組み合わせるとともに、ランダム効果については、空間的自己相関を考慮したモデルとすることで、実績値の再現性の高いモデルを構築することが可能となっていることから、今後、空間自己相関の発生要因についてさらに検討する必要がある。

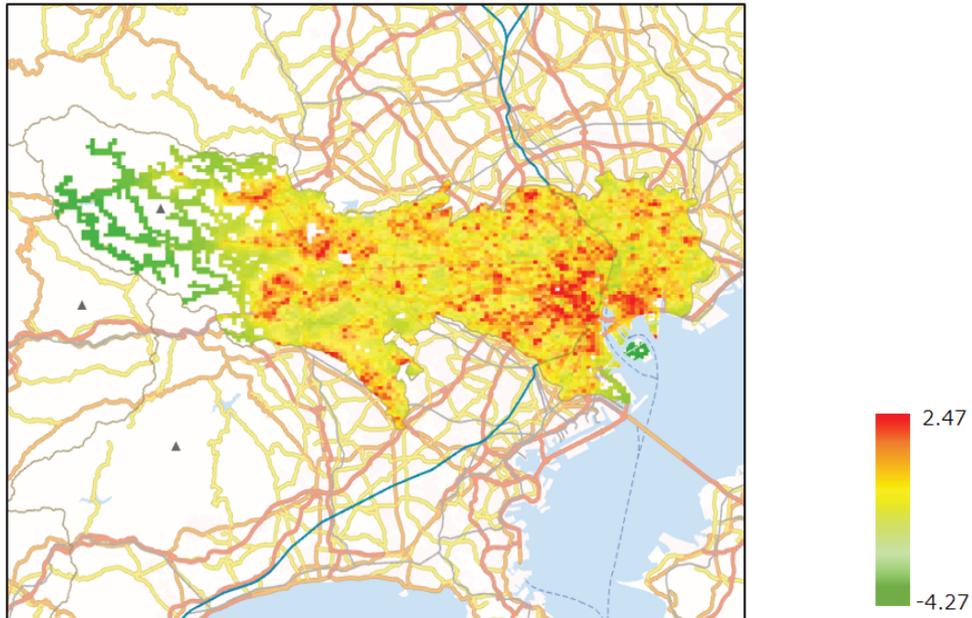


図8 東京都のランダム効果（中央値）の分布 ($\rho=1.0$ 、道路のないメッシュは評価対象外で白地表示)

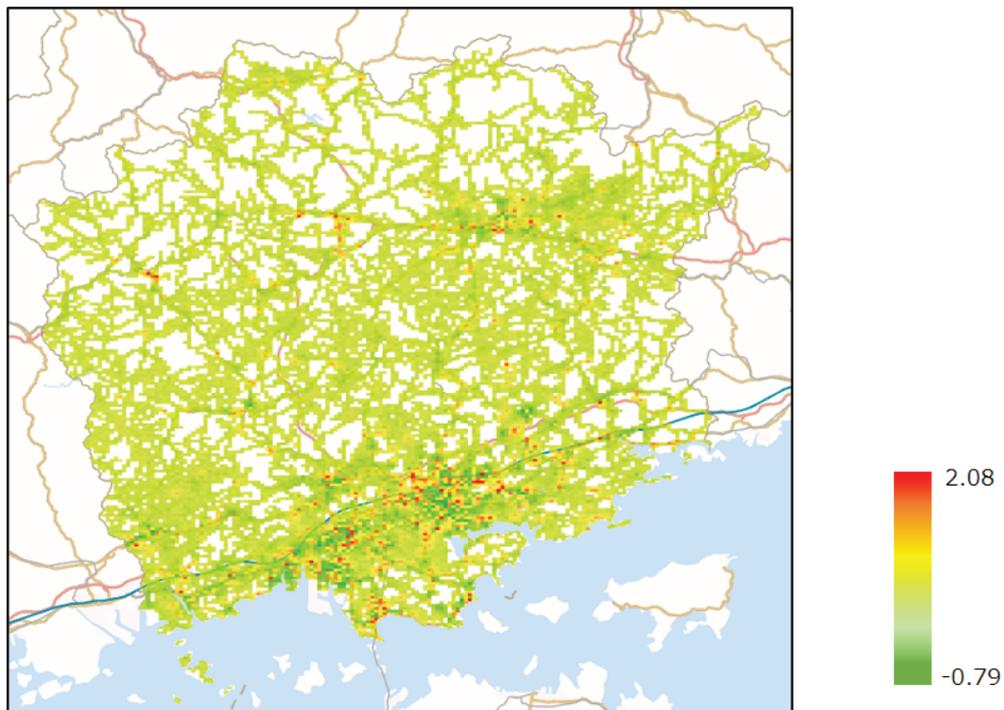


図9 岡山県のランダム効果（中央値）の分布 ($\rho=0.1$ 、道路のないメッシュは評価対象外で白地表示)

7. 評価結果 (λ_k の中央値) と実績値の乖離の大きなメッシュの分析

7.1. 空間的自己相関を除くランダム効果発生要因分析の必要性

歩行者事故件数の平均値である λ_k をメッシュごとに変動させる要因としては、歩行者需要を生み出す集客施設の立地、メッシュ内道路の交通需要、居住者の数、歩道整備や交差点改良など道路整備の状況などが考えられるが、 λ_k をメッシュごとに変動させる全ての要因をメッシュごとにデータとして指標化できるわけではない。このため、説明変数の候補としては、メッシュ別に指標化が可能な 15 の指標の中から、①コンビニの数、②建物用地面積、③商業地域面積、の 3 つを決定木分析によって説明変数の候補として選定し、ポアソン分布のリンク関数は、選定された説明変数による効果である固定効果と設定・観測されていない要因であるランダム効果を組み合わせるモデルとするとともに、ランダム効果については、隣接するメッシュのランダム効果が類似することを表す空間的自己相関を考慮したモデルを構築している。なお、運転技術、心理状態や体調、歩行者や自転車の飛び出しなどの人的な要因、さらには、車両の点検・整備の状況、安全デバイスの装備状況などの車両の要因については、子供が多く居住し飛び出しが多いなど、メッシュごとに歩行者事故件数を変動させる場合もあるが、その多くはメッシュごとに歩行者事故リスクを変動させる要因ではないことから、本研究においては、これらの要因は、歩行者事故リスク評価値を変動させる要因ではなく、実際の歩行者事故件数がポアソン分布に従ってばらつく要因と想定している。

交通事故の緯度経度情報の精度が確認された 31 都道府県を対象に、平成 25 年から 27 年の歩行者事故データを用いて、歩行者事故リスク評価モデルによる歩行者事故リスク評価値 (λ_k の中央値) と実績値を比較した結果、歩行者事故リスク評価モデルは、実績値の再現性において現場で十分活用可能なレベルの精度を有していることが確認された。しかしながら、メッシュ別の事故発生件数の平均値を表している λ_k が、都道府県ごとに多少の違いはあるものの、 $\pm 1\sigma$ (σ はランダム効果の標準偏差) の範囲で 0.6 倍から 1.7 倍程度変動していることを踏まえると、現場で歩行者事故リスク評価モデルを活用し対策につなげるためには、3 つの説明変数やランダム効果による空間的自己相関に加えて、ランダム効果変動要因についても明らかにする必要がある。本研究では、ランダム効果の変動要因を明らかにするため、リスク評価値から実績値が大きく乖離しているメッシュを個別に調査し、その乖離要因を明らかにすることでランダム効果の発生要因を特定することとした。

7.2. 評価結果 (λ_k の中央値) と実績値の乖離の大きなメッシュの選定

空間的自己相関以外のランダム効果の発生要因を明らかにするため、ランダム効果が大きく評価されているメッシュとして、評価結果 (λ_k の中央値) より 4 件以上多く発生しており、かつ λ_k の中央値を母数とするポアソン分布の 95%信頼区間の上限値以上に発生している 136 のメッシュと、ランダム効果が小さく評価されているメッシュとして、評価結果 (λ_k の中央値) より 3 件以上少なく発生している 54 メッシュを選定した。大きくなる方向へ乖離しているメッシュについて、95%信頼区間の上限値を上回るという条件を付加したのは、4 件以上大きくなる方向へ乖離という条件だ

けれど、10件を超える歩行者事故が発生しているメッシュでは、実績の事故件数が95%信頼区間の中に入る可能性があり、ランダム効果が正の方向に大きくシフトしているとは限らないためである。逆に3件以上少なく発生しているメッシュでは、評価結果が6件以上となったメッシュはなく、95%信頼区間の下限値を下回るという条件をつける必要がなかった。メッシュ別の概要は表4と表5の通りである。

表4 歩行者事故件数の実績値が多い方向に乖離している136メッシュの一覧

No.	地区	歩行者事故件数 (H25～H27)	実測値			ρ (中央値)	ランダム効果の標準偏差	ϕ_k (中央値)	λ_k 中央値	λ_k の中央値をパラメータとしたポアソン分布の95%信頼区間上限値	(m) 隣接メッシュ数	$\sum_{i=1}^m \Phi_i$	(X) $\frac{\rho \times \sum_{i=1}^m \Phi_i}{(7\rho + 1)}$	ϕ_{k-X}
			コンビニ数	建物用地面積 (km2)	商業地域面積 (km2)									
1	北海道_石狩・空知	7	0	0.13	0.01	1.00	0.48	3.51	1.64	5.00	8	18.27	2.28	1.23
2	北海道_石狩・空知	8	2	0.16	0.04	1.00	0.48	3.37	3.71	8.00	8	19.26	2.41	0.96
3	北海道_石狩・空知	5	0	0.16	0.00	1.00	0.48	3.30	1.32	4.00	8	19.80	2.47	0.83
4	北海道_石狩・空知	6	1	0.10	0.04	1.00	0.48	3.42	1.72	5.00	8	19.55	2.44	0.98
5	北海道_石狩・空知	6	2	0.13	0.00	1.00	0.48	2.69	1.26	4.00	8	12.92	1.61	1.08
6	北海道_渡島・檜山	4	0	0.06	0.09	0.18	0.61	1.41	0.32	2.00	7	-0.17	-0.01	1.43
7	北海道_十勝	7	2	0.12	0.24	0.37	0.08	0.04	2.00	5.00	8	0.05	0.01	0.04
8	宮城県	8	2	0.14	0.00	0.99	0.60	2.98	3.45	7.00	8	11.32	1.41	1.57
9	宮城県	4	0	0.06	0.00	0.99	0.60	3.22	0.42	2.00	8	15.53	1.94	1.28
10	福島県	9	1	0.19	0.00	1.00	0.55	2.68	4.04	8.00	8	9.39	1.17	1.51
11	福島県	7	1	0.11	0.00	1.00	0.55	3.39	2.14	5.00	8	14.93	1.86	1.53
12	茨城県	6	0	0.11	0.00	0.73	0.69	2.78	1.60	4.00	8	6.16	0.74	2.04
13	茨城県	5	1	0.07	0.01	0.73	0.69	2.32	1.07	3.00	8	4.12	0.49	1.83
14	群馬県	6	0	0.10	0.00	1.00	0.54	3.14	1.96	5.00	8	15.85	1.98	1.16
15	群馬県	5	0	0.21	0.00	1.00	0.54	2.50	1.04	3.00	8	10.91	1.36	1.14
16	群馬県	5	0	0.18	0.01	1.00	0.54	2.51	1.49	4.00	8	12.05	1.51	1.00
17	群馬県	5	1	0.03	0.00	1.00	0.54	2.28	0.82	3.00	8	8.59	1.07	1.21
18	埼玉県	5	1	0.05	0.00	1.00	0.49	2.32	1.45	4.00	8	11.84	1.48	0.84
19	埼玉県	6	1	0.09	0.00	1.00	0.49	2.04	1.87	5.00	8	8.63	1.08	0.96
20	埼玉県	12	0	0.15	0.04	1.00	0.49	3.10	6.24	12.00	7	11.07	1.38	1.72
21	埼玉県	6	0	0.09	0.00	1.00	0.49	2.39	1.53	4.00	8	10.75	1.34	1.05
22	埼玉県	5	0	0.03	0.00	1.00	0.49	1.94	0.50	2.00	8	6.77	0.85	1.09
23	埼玉県	10	1	0.18	0.00	1.00	0.49	1.80	4.53	9.00	8	4.20	0.53	1.28
24	埼玉県	7	1	0.19	0.00	1.00	0.49	1.44	3.02	7.00	8	4.21	0.53	0.92
25	埼玉県	8	0	0.21	0.00	1.00	0.49	1.92	3.57	8.00	8	7.13	0.89	1.03
26	埼玉県	7	0	0.20	0.00	1.00	0.49	2.05	2.15	5.00	8	7.35	0.92	1.13
27	埼玉県	5	1	0.11	0.00	1.00	0.49	1.57	1.34	4.00	8	5.58	0.70	0.87
28	埼玉県	6	1	0.18	0.00	1.00	0.49	1.66	1.74	5.00	8	5.22	0.65	1.00
29	埼玉県	6	0	0.22	0.00	1.00	0.49	1.52	2.42	6.00	8	5.63	0.70	0.82
30	埼玉県	5	1	0.12	0.00	1.00	0.49	1.56	1.37	4.00	8	5.66	0.71	0.85
31	千葉県	6	1	0.19	0.02	0.98	0.58	1.63	2.34	6.00	8	3.72	0.46	1.17
32	千葉県	7	0	0.02	0.02	0.98	0.58	3.42	0.73	3.00	8	11.03	1.38	2.04
33	東京都	7	0	0.18	0.02	1.00	0.42	1.42	2.60	6.00	7	3.76	0.47	0.95
34	東京都	6	0	0.14	0.00	1.00	0.42	1.36	2.43	6.00	8	5.92	0.74	0.62
35	東京都	15	2	0.15	0.05	1.00	0.42	2.12	8.47	15.00	8	7.91	0.99	1.14
36	東京都	6	4	0.11	0.00	1.00	0.42	1.72	2.44	6.00	7	7.20	0.90	0.82
37	東京都	6	0	0.23	0.04	1.00	0.42	0.96	1.81	5.00	8	1.80	0.22	0.73
38	東京都	7	2	0.19	0.00	1.00	0.42	2.16	2.27	6.00	8	10.68	1.34	0.82
39	東京都	9	1	0.19	0.00	1.00	0.42	1.63	4.47	9.00	8	6.88	0.86	0.77
40	東京都	6	1	0.20	0.00	1.00	0.42	1.34	2.38	6.00	8	5.69	0.71	0.63
41	東京都	10	1	0.18	0.03	1.00	0.42	2.14	4.45	9.00	8	9.34	1.17	0.97
42	東京都	6	1	0.17	0.00	1.00	0.42	1.48	2.48	6.00	8	7.04	0.88	0.60
43	東京都	8	0	0.21	0.00	1.00	0.42	1.53	3.91	8.00	8	6.63	0.83	0.70
44	東京都	10	3	0.19	0.00	1.00	0.42	2.33	3.75	8.00	8	9.85	1.23	1.10
45	東京都	7	1	0.17	0.03	1.00	0.42	1.86	3.26	7.00	8	9.62	1.20	0.66

No.	地区	歩行者事 故件数 (H25～ H27)	実測値			ρ (中央 値)	ランダム 効果の標 準偏差	ϕ_k (中央 値)	λ_k 中央値	λ_k の中 央値をパ ラメータ としたポ アソン分 布の95% 信頼区 間上限 値	(m) 隣接メ ッシュ 数	$\sum_{i=1}^m \Phi_i$	(X) $\frac{\rho \times \sum_{i=1}^m \Phi_i}{(7\rho + 1)}$	$\phi_k - X$
			コンピ ニ 数	建物用 地 面積 (km ²)	商業地 域 面積 (km ²)									
46	東京都	10	3	0.04	0.08	1.00	0.42	1.58	5.23	10.00	8	6.09	0.76	0.82
47	東京都	5	0	0.07	0.00	1.00	0.42	1.57	0.89	3.00	7	5.20	0.65	0.92
48	東京都	7	1	0.20	0.01	1.00	0.42	1.91	3.29	7.00	8	10.16	1.27	0.64
49	東京都	10	1	0.19	0.02	1.00	0.42	1.56	4.97	10.00	8	5.60	0.70	0.86
50	神奈川県	10	0	0.14	0.05	0.99	0.55	2.31	4.74	9.00	7	4.33	0.54	1.77
51	神奈川県	5	0	0.07	0.00	0.99	0.55	1.69	1.13	4.00	8	4.61	0.58	1.12
52	神奈川県	5	1	0.12	0.00	0.99	0.55	1.16	1.21	4.00	8	0.46	0.06	1.10
53	神奈川県	8	1	0.24	0.00	0.99	0.55	1.40	3.58	8.00	8	1.14	0.14	1.26
54	神奈川県	14	1	0.09	0.00	0.99	0.55	2.65	7.25	13.00	8	5.68	0.71	1.94
55	神奈川県	9	0	0.10	0.00	0.99	0.55	2.19	4.11	8.00	8	6.52	0.81	1.37
56	神奈川県	6	1	0.04	0.00	0.99	0.55	1.97	1.67	5.00	8	5.91	0.74	1.23
57	神奈川県	6	2	0.02	0.17	0.99	0.55	1.07	2.42	6.00	8	0.65	0.08	0.99
58	神奈川県	6	1	0.20	0.02	0.99	0.55	1.34	2.13	5.00	8	1.90	0.24	1.11
59	新潟県	7	1	0.19	0.00	0.88	0.57	2.13	2.86	7.00	8	7.01	0.86	1.27
60	新潟県	6	0	0.11	0.11	0.88	0.57	2.46	2.28	6.00	8	10.65	1.31	1.15
61	新潟県	5	0	0.10	0.05	0.88	0.57	2.19	1.22	4.00	8	8.20	1.01	1.19
62	新潟県	7	0	0.16	0.00	0.88	0.57	2.52	2.61	6.00	8	9.40	1.15	1.36
63	石川県	15	0	0.18	0.07	0.99	0.43	3.46	6.15	11.00	8	14.96	1.87	1.59
64	石川県	5	0	0.13	0.02	0.99	0.43	2.39	1.32	4.00	8	13.90	1.74	0.66
65	石川県	5	0	0.16	0.01	0.99	0.43	1.49	0.80	3.00	8	5.77	0.72	0.77
66	長野県	4	1	0.09	0.00	1.00	0.47	2.12	0.37	2.00	8	10.64	1.33	0.79
67	長野県	7	1	0.17	0.00	1.00	0.47	2.39	2.33	6.00	8	11.13	1.39	1.00
68	長野県	8	1	0.16	0.00	1.00	0.47	2.46	3.58	8.00	8	12.22	1.53	0.93
69	長野県	6	1	0.19	0.01	1.00	0.47	2.17	2.46	6.00	8	11.37	1.42	0.75
70	長野県	6	1	0.17	0.00	1.00	0.47	2.41	1.83	5.00	8	12.24	1.53	0.88
71	長野県	4	0	0.12	0.00	1.00	0.47	1.84	0.38	2.00	8	8.37	1.05	0.79
72	長野県	6	1	0.22	0.00	1.00	0.47	1.95	2.29	6.00	8	9.21	1.15	0.80
73	長野県	4	0	0.08	0.00	1.00	0.47	2.80	0.27	2.00	8	15.73	1.97	0.83
74	静岡県	4	0	0.00	0.00	1.00	0.51	2.43	0.03	1.00	8	11.17	1.40	1.04
75	静岡県	7	0	0.17	0.02	1.00	0.51	1.96	2.60	6.00	8	6.88	0.86	1.10
76	静岡県	7	1	0.23	0.00	1.00	0.51	1.94	3.14	7.00	8	7.86	0.98	0.95
77	静岡県	7	0	0.12	0.00	1.00	0.51	3.39	2.62	6.00	8	18.34	2.29	1.10
78	静岡県	5	0	0.07	0.04	1.00	0.51	2.27	1.50	4.00	8	11.19	1.40	0.87
79	静岡県	6	1	0.09	0.08	1.00	0.51	2.17	2.47	6.00	8	10.34	1.29	0.88
80	静岡県	6	0	0.14	0.00	1.00	0.51	2.64	1.84	5.00	8	12.76	1.59	1.04
81	静岡県	10	1	0.21	0.00	1.00	0.51	2.17	4.17	9.00	7	3.40	0.42	1.75
82	愛知県	4	0	0.07	0.00	1.00	0.45	1.81	0.20	1.00	8	8.30	1.04	0.77
83	愛知県	7	0	0.22	0.17	1.00	0.45	1.03	2.77	6.00	8	1.53	0.19	0.84
84	愛知県	6	1	0.24	0.00	1.00	0.45	1.40	2.01	5.00	8	4.94	0.62	0.78
85	愛知県	6	0	0.21	0.03	1.00	0.45	1.88	2.11	5.00	8	8.85	1.11	0.77
86	愛知県	6	1	0.13	0.06	1.00	0.45	1.61	2.47	6.00	8	7.32	0.91	0.70
87	愛知県	9	1	0.15	0.00	1.00	0.45	2.32	4.25	9.00	8	11.09	1.39	0.94
88	愛知県	10	0	0.15	0.10	1.00	0.45	1.97	4.68	9.00	8	7.42	0.93	1.04
89	愛知県	7	1	0.14	0.00	1.00	0.45	2.33	1.23	4.00	8	9.38	1.17	1.16
90	愛知県	7	0	0.20	0.00	1.00	0.45	1.87	2.05	5.00	8	7.12	0.89	0.98
91	愛知県	5	0	0.16	0.00	1.00	0.45	1.92	1.21	4.00	8	9.30	1.16	0.76
92	愛知県	7	1	0.17	0.06	1.00	0.45	1.90	2.78	6.00	8	8.49	1.06	0.84
93	愛知県	6	0	0.19	0.02	1.00	0.45	2.08	2.45	6.00	8	11.15	1.39	0.68
94	愛知県	5	0	0.11	0.02	1.00	0.45	1.79	1.33	4.00	8	8.47	1.06	0.73
95	愛知県	4	1	0.07	0.00	1.00	0.45	1.58	0.48	2.00	8	6.84	0.85	0.73
96	愛知県	6	0	0.20	0.00	1.00	0.45	1.32	2.21	6.00	8	4.59	0.57	0.75
97	愛知県	7	0	0.22	0.00	1.00	0.45	1.96	3.22	7.00	8	9.73	1.22	0.75
98	愛知県	7	0	0.17	0.01	1.00	0.45	2.18	2.70	6.00	8	10.74	1.34	0.84
99	愛知県	7	0	0.07	0.00	1.00	0.45	2.33	1.51	4.00	7	7.47	0.93	1.40
100	三重県	6	0	0.13	0.00	0.47	0.65	2.22	1.88	5.00	8	5.24	0.57	1.65

No.	地区	歩行者事故件数 (H25～H27)	実測値			ρ (中央値)	ランダム効果の標準偏差	ϕ_k (中央値)	λ_k 中央値	λ_k の中央値をパラメータとしたポアソン分布の95%信頼区間上限値	(m) 隣接メッシュ数	$\sum_{i=1}^m \Phi_i$	(X) $\frac{\rho \times \sum_{i=1}^m \Phi_i}{(7\rho + 1)}$	$\phi_k - X$
			コンビニ数	建物用地面積 (km2)	商業地域面積 (km2)									
101	滋賀県	6	1	0.13	0.00	1.00	0.40	1.94	1.78	5.00	8	10.10	1.26	0.68
102	滋賀県	8	0	0.19	0.09	1.00	0.40	1.72	3.34	7.00	8	7.88	0.98	0.74
103	滋賀県	7	0	0.26	0.07	1.00	0.40	1.78	3.24	7.00	8	9.71	1.21	0.57
104	滋賀県	5	0	0.21	0.00	1.00	0.40	1.61	0.93	3.00	8	7.68	0.96	0.65
105	滋賀県	7	0	0.21	0.04	1.00	0.40	2.03	1.71	5.00	8	9.64	1.20	0.82
106	京都府	7	1	0.12	0.06	1.00	0.48	2.98	2.65	6.00	8	15.98	2.00	0.98
107	京都府	6	0	0.16	0.00	1.00	0.48	2.62	2.43	6.00	8	14.62	1.83	0.79
108	大阪府	8	0	0.17	0.00	0.98	0.48	1.84	2.26	6.00	8	4.66	0.58	1.26
109	大阪府	7	1	0.15	0.02	0.98	0.48	1.47	1.63	5.00	8	2.16	0.27	1.20
110	大阪府	6	0	0.19	0.00	0.98	0.48	2.13	2.09	5.00	8	10.25	1.28	0.86
111	大阪府	5	0	0.07	0.01	0.98	0.48	0.77	0.67	3.00	8	-1.56	-0.19	0.97
112	大阪府	6	2	0.21	0.00	0.98	0.48	1.66	2.40	6.00	8	7.13	0.89	0.77
113	大阪府	7	0	0.21	0.07	0.98	0.48	1.49	3.09	7.00	8	5.13	0.64	0.85
114	大阪府	11	3	0.08	0.07	0.98	0.48	1.47	5.47	10.00	8	2.11	0.26	1.20
115	大阪府	7	0	0.23	0.00	0.98	0.48	0.84	2.80	6.00	8	-0.62	-0.08	0.92
116	大阪府	8	1	0.20	0.00	0.98	0.48	1.23	3.66	8.00	8	2.44	0.30	0.93
117	大阪府	9	1	0.15	0.15	0.98	0.48	1.03	4.24	9.00	8	-0.05	-0.01	1.03
118	大阪府	8	3	0.15	0.00	0.98	0.48	1.06	3.83	8.00	8	1.22	0.15	0.90
119	大阪府	7	0	0.14	0.00	0.98	0.48	0.73	3.18	7.00	8	-0.86	-0.11	0.84
120	大阪府	7	0	0.17	0.00	0.98	0.48	1.11	3.10	7.00	8	2.11	0.26	0.85
121	大阪府	8	1	0.22	0.00	0.98	0.48	1.05	3.57	8.00	8	0.68	0.08	0.97
122	大阪府	5	0	0.03	0.00	0.98	0.48	1.92	0.87	3.00	7	6.07	0.76	1.16
123	大阪府	6	1	0.14	0.03	0.98	0.48	0.86	2.43	6.00	8	0.63	0.08	0.78
124	兵庫県	12	0	0.16	0.04	1.00	0.56	3.36	5.11	10.00	8	10.14	1.27	2.09
125	兵庫県	8	0	0.07	0.00	1.00	0.56	3.66	2.49	6.00	8	15.88	1.98	1.68
126	兵庫県	9	1	0.04	0.03	1.00	0.56	3.32	4.32	9.00	8	15.20	1.90	1.42
127	兵庫県	6	1	0.10	0.00	1.00	0.56	2.82	2.29	6.00	8	13.48	1.68	1.14
128	和歌山県	6	1	0.00	0.06	1.00	0.54	4.39	2.10	5.00	8	26.52	3.31	1.07
129	和歌山県	4	0	0.06	0.04	1.00	0.54	2.19	0.24	1.00	8	8.83	1.10	1.08
130	島根県	5	1	0.17	0.00	0.75	0.54	1.08	0.87	3.00	8	-1.40	-0.17	1.24
131	徳島県	6	1	0.13	0.03	0.72	0.57	2.62	1.94	5.00	8	10.07	1.20	1.42
132	福岡県	6	0	0.17	0.01	0.99	0.60	2.32	2.40	6.00	8	8.73	1.09	1.24
133	福岡県	5	1	0.13	0.06	0.99	0.60	1.57	1.41	4.00	8	2.49	0.31	1.26
134	福岡県	6	1	0.10	0.00	0.99	0.60	2.85	1.80	5.00	8	11.10	1.39	1.46
135	福岡県	4	0	0.06	0.00	0.99	0.60	2.16	0.49	2.00	8	7.21	0.90	1.26
136	佐賀県	5	0	0.10	0.00	0.81	0.61	2.38	0.64	3.00	8	6.31	0.77	1.61

表5 歩行者事故件数の実績値が小さい方向に乖離している54メッシュの一覧

No.	地区	歩行者事 故件数 (H25~ H27)	実測値			ρ (中央 値)	ランダム 効果の標 準偏差	ϕ_k (中央 値)	λ_k 中央値	λ_k の中 央値をバ ラメータ としたポア ソン分布の 95%信頼 区間下限 値	(m) 隣接メッ シュ数	$\sum_{i=1}^m \Phi_i$	(X) $\frac{\rho \times \sum_{i=1}^m \Phi_i}{(7\rho + 1)}$	$\phi_k - X$
			コンピニ 数	建物用地 面積 (km2)	商業地域 面積 (km2)									
1	北海道_石狩・空知	0	2	0.22	0.08	1.00	0.48	1.88	2.78	0.00	8	20.51	2.56	-0.68
2	北海道_石狩・空知	0	2	0.24	0.09	1.00	0.48	1.63	2.83	0.00	8	18.69	2.34	-0.71
3	北海道_石狩・空知	1	3	0.20	0.24	1.00	0.48	1.16	4.00	1.00	8	15.30	1.91	-0.76
4	北海道_石狩・空知	1	1	0.20	0.19	1.00	0.48	1.31	3.57	0.00	8	15.71	1.96	-0.65
5	北海道_十勝	0	2	0.21	0.11	0.37	0.08	-0.01	2.68	0.00	8	0.06	0.01	-0.02
6	宮城県	1	1	0.22	0.25	0.99	0.60	0.54	3.71	1.00	8	12.92	1.61	-1.08
7	群馬県	0	2	0.23	0.18	1.00	0.54	0.26	2.91	0.00	8	9.46	1.18	-0.92
8	埼玉県	0	0	0.26	0.00	1.00	0.49	0.67	2.57	0.00	8	10.66	1.33	-0.66
9	埼玉県	0	2	0.24	0.00	1.00	0.49	0.55	2.90	0.00	8	10.48	1.31	-0.76
10	埼玉県	0	0	0.23	0.00	1.00	0.49	0.58	2.63	0.00	8	10.01	1.25	-0.67
11	埼玉県	1	1	0.26	0.21	1.00	0.49	-0.34	4.13	1.00	8	3.76	0.47	-0.81
12	埼玉県	0	0	0.26	0.15	1.00	0.49	-0.43	2.72	0.00	8	2.17	0.27	-0.70
13	千葉県	0	1	0.25	0.25	0.98	0.58	-0.63	2.60	0.00	8	2.47	0.31	-0.93
14	千葉県	0	2	0.25	0.00	0.98	0.58	0.56	2.97	0.00	8	13.00	1.62	-1.07
15	東京都	0	3	0.25	0.05	1.00	0.42	0.14	2.76	0.00	8	5.25	0.66	-0.52
16	東京都	1	5	0.25	0.09	1.00	0.42	0.10	3.67	0.00	8	4.93	0.62	-0.51
17	東京都	0	2	0.25	0.00	1.00	0.42	0.55	2.95	0.00	8	8.83	1.10	-0.56
18	東京都	0	1	0.24	0.00	1.00	0.42	0.59	2.62	0.00	8	8.69	1.09	-0.50
19	東京都	0	3	0.23	0.01	1.00	0.42	0.83	2.65	0.00	8	10.63	1.33	-0.50
20	東京都	0	0	0.21	0.10	1.00	0.42	0.32	2.56	0.00	8	6.39	0.80	-0.48
21	東京都	0	1	0.25	0.03	1.00	0.42	0.53	2.51	0.00	8	8.08	1.01	-0.48
22	東京都	0	0	0.24	0.01	1.00	0.42	0.55	2.52	0.00	8	8.17	1.02	-0.47
23	東京都	0	0	0.22	0.04	1.00	0.42	0.66	2.92	0.00	8	9.67	1.21	-0.55
24	東京都	1	4	0.22	0.03	1.00	0.42	0.66	3.58	0.00	8	9.26	1.16	-0.50
25	東京都	2	2	0.22	0.22	1.00	0.42	0.11	5.97	2.00	8	6.88	0.86	-0.75
26	東京都	0	3	0.22	0.26	1.00	0.42	-0.49	4.13	1.00	8	2.46	0.31	-0.79
27	東京都	1	5	0.21	0.08	1.00	0.42	0.27	4.25	1.00	8	7.13	0.89	-0.62
28	東京都	1	3	0.26	0.05	1.00	0.42	0.54	3.65	0.00	8	8.40	1.05	-0.51
29	東京都	2	3	0.24	0.15	1.00	0.42	0.35	5.55	1.00	8	8.20	1.02	-0.67
30	東京都	0	1	0.26	0.00	1.00	0.42	0.71	2.69	0.00	8	9.85	1.23	-0.52
31	東京都	1	4	0.22	0.09	1.00	0.42	0.23	3.96	1.00	8	6.35	0.79	-0.57
32	神奈川県	0	1	0.25	0.17	0.99	0.55	-0.73	2.63	0.00	8	0.83	0.10	-0.84
33	神奈川県	0	0	0.25	0.00	0.99	0.55	0.24	2.71	0.00	8	8.80	1.10	-0.86
34	神奈川県	0	0	0.22	0.00	0.99	0.55	0.20	2.66	0.00	8	8.41	1.05	-0.85
35	神奈川県	0	1	0.23	0.00	0.99	0.55	0.33	2.55	0.00	8	9.10	1.14	-0.80
36	神奈川県	0	1	0.22	0.00	0.99	0.55	0.09	2.55	0.00	8	7.23	0.90	-0.81
37	神奈川県	1	4	0.26	0.01	0.99	0.55	-0.20	3.51	0.00	8	4.88	0.61	-0.81
38	新潟県	1	0	0.22	0.24	0.88	0.57	0.08	3.78	1.00	8	8.64	1.06	-0.98
39	長野県	0	0	0.24	0.05	1.00	0.47	1.00	2.92	0.00	8	13.51	1.69	-0.69
40	長野県	0	2	0.26	0.00	1.00	0.47	0.48	2.66	0.00	8	8.84	1.10	-0.63
41	愛知県	1	1	0.20	0.24	1.00	0.45	0.28	4.00	1.00	8	7.54	0.94	-0.66
42	愛知県	2	3	0.25	0.26	1.00	0.45	-0.01	5.18	1.00	8	5.58	0.70	-0.71
43	愛知県	1	5	0.20	0.24	1.00	0.45	0.44	4.15	1.00	8	8.98	1.12	-0.68
44	愛知県	0	1	0.26	0.04	1.00	0.45	0.66	2.62	0.00	8	9.71	1.21	-0.55
45	愛知県	0	1	0.25	0.19	1.00	0.45	0.44	3.45	0.00	8	9.55	1.19	-0.75
46	三重県	0	4	0.26	0.07	0.47	0.65	-1.09	2.93	0.00	8	2.12	0.23	-1.32
47	滋賀県	1	3	0.25	0.01	1.00	0.40	0.37	3.51	0.00	8	6.42	0.80	-0.43
48	滋賀県	1	0	0.26	0.22	1.00	0.40	0.45	3.52	0.00	8	7.02	0.88	-0.43
49	京都府	0	2	0.26	0.06	1.00	0.48	0.55	2.54	0.00	8	9.44	1.18	-0.63
50	大阪府	0	3	0.22	0.15	0.98	0.48	-0.63	2.71	0.00	8	0.24	0.03	-0.66
51	大阪府	1	2	0.18	0.17	0.98	0.48	-0.55	3.94	1.00	8	1.30	0.16	-0.71
52	大阪府	0	4	0.24	0.12	0.98	0.48	-0.65	3.92	1.00	8	2.24	0.28	-0.93
53	大阪府	0	0	0.25	0.00	0.98	0.48	0.21	2.54	0.00	8	6.61	0.82	-0.62
54	福岡県	1	2	0.26	0.00	0.99	0.60	0.42	3.63	0.00	8	11.68	1.46	-1.04

7.3. 分析結果

7.3.1. 評価モデルの評価結果よりも大きい方向に乖離しているメッシュの分析結果

136カ所の箇所ごとに、3年間の歩行者事故が評価結果（ λk の中央値）より4件以上多く発生しており、ランダム効果も大きくなった要因について、これらのメッシュ別に、事故原票の記載内容、住宅地図、Googleが提供する写真や動画、現地調査等によって、現場状況を把握し、乖離要因の分析を詳細に行った。その結果は以下のとおり。

- ① 交差点が斜め交差になっており自動車右左折時の減速が不十分、横断歩道が交差点から離れておりコンパクト化されていない、建物等の影響で右左折する自動車から歩行者が視認しにくい、交差点の道路照明が不十分、右折レーンはあるが信号が右直分離されず歩行者事故が防止できていない、など交差点の歩行者事故対策が不十分なメッシュが、136箇所中111箇所（81.6%）
- ② 幹線道路に歩道が整備されていない、幹線道路にもかかわらず1車線道路、単路部の道路照明が不十分、ショッピングセンターの立地等により横断歩行者が多いにも係わらず信号が未設置など、幹線道路の歩行者事故対策が不十分なメッシュが、136箇所中39箇所（28.6%）、①+②では、136箇所中135箇所（99.3%）。なお、残り1箇所も生活道路が狭く、区画整理が成されておらず、生活道路の整備が不十分なため生活道路上で歩行者事故が発生しており、生活道路整備の不備も加えると全箇所道路整備と交通安全対策の不備が確認された。
- ③ 市街地中心部のメッシュであり、幹線道路の自動車交通量や歩行者交通量が多いにもかかわらず、河川区域や公園等によってコンビニの数、建物用地面積、商業地域面積が小さく、歩行者事故リスクが過小評価されたメッシュが136箇所中45箇所（33.0%）。
- ④ ショッピングセンターが立地し歩行者交通が多くなっているにもかかわらず、都市計画の用途地域である商業地域面積がタイムリーに見直されず、歩行者事故リスクが過小評価されたメッシュが136箇所中25箇所（18.3%）。
- ⑤ 近隣に著名な観光地、大規模な競技施設、コンベンションセンター等が立地し、季節的または一時的に歩行者交通が急増するにもかかわらず、それに伴う歩行者事故リスクが評価されていないメッシュが136箇所中11箇所（8.0%）。

7.3.2. 評価モデルの評価結果よりも小さい方向に乖離しているメッシュの分析結果

54カ所の箇所ごとに、事故発生地点をプロットした土地利用図、Googleによって提供される航空写真とストリートビュー、道路交通センサスで調査された幹線道路の交通量さらには事故原票に記載された事故の内容等を分析し、3年間の歩行者事故が評価結果（ λk の中央値）より3件以上少なく発生しており、ランダム効果が小さくなった要因について詳細に調査を行った。

その結果は以下のとおり。

- ① 生活道路での歩道設置や線形改良がなされている、生活道路の路側帯のカラー舗装化・カーブミラーの設置などの交通安全対策が実施済みである、生活道路の一方通行化や横断歩道・信号機の設置などの対策が実施されている、生活道路で注意喚起のための標識や路面表示が適切に設置されているなど、生活道路での交通安全対策が実施済みのメッシュが、54箇所中 51箇所 (94.4%)
- ② 規模の大きな交差点が交通安全対策面から適切に改良されている、幹線道路の立体化や歩道等が整備されているなど幹線道路での交通安全対策実施済みのメッシュが、54箇所中 36箇所 (66.7%)
- ③ 生活道路が基盤の目に整備されており、通過交通が進入しにくい構造になっているメッシュが 54箇所中 30箇所 (55.6%)
- ④ 商業地域面積が大きいにもかかわらず集客力の小さな商店等しか立地しておらず歩行者事故リスクが過大評価されているメッシュが 54箇所中 19箇所 (35.2%)

7.3.3. まとめ

歩行者事故件数の平均値である λk をメッシュごとに変動させる要因としては、歩行者需要を生み出す集客施設の立地、メッシュ内道路の交通需要、居住者の数、歩道整備や交差点改良など道路整備の状況などが考えられるが、 λk をメッシュごとに変動させる全ての要因をメッシュごとにデータとして指標化できるわけではない。このため、説明変数の候補としては、メッシュ別に指標化が可能な15の指標の中から、①コンビニの数、②建物用地面積、③商業地域面積、の3つを決定木分析によって説明変数の候補として選定し、ポアソン分布のリンク関数は、選定された説明変数による効果である固定効果と設定・観測されていない要因であるランダム効果を組み合わせるモデルとするとともに、ランダム効果については、隣接するメッシュのランダム効果が類似することを表す空間的自己相関を考慮したモデルを構築している。なお、運転技術、心理状態や体調、歩行者や自転車の飛び出しなどの人的な要因、さらには、車両の点検・整備の状況、安全デバイスの装備状況などの車両の要因については、子供が多く居住し飛び出しが多いなど、メッシュごとに歩行者事故件数を変動させる場合もあるが、その多くはメッシュごとに歩行者事故リスクを変動させる要因ではないことから、本研究においては、これらの要因は、歩行者事故リスク評価値を変動させる要因ではなく、実際の歩行者事故件数がポアソン分布に従ってばらつく要因と想定している。パラメータをベイズ推定によって推定し、歩行者事故リスク評価モデルによるリスク評価値(λk の中央値)と実績値を比較した結果、歩行者事故リスク評価モデルは、実績値の再現性において現場で十分活用可能なレベルの精度を有しているものの、メッシュ別の事故発生件数の平均値を表している λk は、都道府県ごとに多少の違いはあるが、ランダム効果の変動により平均して $\pm\sigma$ (σ はランダム効果の標準偏差)の範囲で0.6倍から1.7倍程度変動しており、歩行者事故リスクの要因をメッシュごとに特定していくためには、ランダム効果をメッシュごとに変動させている要因についても調査する必要がある。

このため、本研究では、ランダム効果の変動要因を明らかにするため、評価結果から実績値が大きく乖離しているメッシュを個別に調査し、その乖離要因を明らかにすることでランダム効果の変動する要因を特定することとした。その結果、以下の4点が判明した。

分析結果①：ランダム効果は、主にメッシュごとの幹線道路及び生活道路の整備状況と交通安全対策の実施状況によって変動している。

分析結果②：市街地中心部のメッシュで、河川区域や面積の大きな公園を含むメッシュでは、歩行者事故リスクが過小評価され、実績値が評価値よりも大きくなる場合がある。

分析結果③：著名な観光地、大規模な競技施設、コンベンションセンター等が隣接するメッシュでは一時的または季節的に歩行者需要が急増し、結果として歩行者事故リスクが過小評価され、実績値が評価値よりも大きくなる場合がある。

分析結果④：ショッピングセンター等が商業地域面積の見直しに反映されていないメッシュでは歩行者事故リスクが過小評価され、実績値が評価値よりも大きくなる場合がある。逆に、商業地域面積が大きいメッシュで、シャッター街となっているなど規模の小さな商業施設しか立地していないメッシュでは歩行者事故リスクが過大評価され、実績値が評価値を下回る場合がある。

8. 歩行者事故リスク評価モデルの改善

8.1. モデル改善に向けた課題

歩行者事故リスク評価モデルは、実績値の再現性において現場で十分活用可能なレベルの精度を有しているものの、メッシュ別の事故発生件数の平均値を表している λ_k は、都道府県ごとに多少の違いはあるが、ランダム効果により平均して $\pm\sigma$ (σ はランダム効果の標準偏差) の範囲で 0.6 倍から 1.7 倍程度変動している。このため、評価結果と実績値の乖離の大きなメッシュを個別に調査する手法を用いて、ランダム効果の変動要因の調査を行った。その結果、ランダム効果を変動させている主な要因は、メッシュごとの幹線道路及び生活道路の整備状況と交通安全対策の実施状況の違いであることが明らかとなった。

一方、歩行者事故評価モデルの改善に向けて以下の5つの課題が明らかとなった。

課題①：地方部の県では、3年間の歩行者事故件数がゼロのメッシュの割合が90%以上となっており、中には95%以上となっている県もあり、事故ゼロのメッシュが5割程度となっている東京都や大阪府など大都市圏の都府県との差が大きい。このため、道路が存在する全てのメッシュを評価対象としていたが、歩行者事故リスクがほぼ想定されないメッシュを評価対象から除外するなど、評価対象メッシュの絞り込みを検討する必要がある。

課題②：商業地域面積は、集客力の大きな商業施設等の立地を表す説明変数として用いているが、ショッピングセンターの立地後の用途地域の見直しに時間がかかることから、ショッピングセンターの立地が商業地域面積の見直しにタイムリーに反映されず、歩行者事故リスク

評価が過小評価となる場合がある。また、商業地域面積には、いわゆるシャッター街となっている商店街が含まれる場合があり、こうした場合には逆に集客力が弱いために過大評価となる場合がある。このため、商業地域面積に代わる新たな説明変数の検討が必要である。

課題③：事故リスクを正規化するためのオフセット項としてメッシュごとの道路延長の対数値を用いているが、パラメータ β_1 の分析結果から分かるように、メッシュごとのリスク評価値 λ_k の中央値は道路延長の 3 乗にほぼ比例している。これは、道路延長の 2 乗にほぼ比例して歩行者事故リスクの高い交差点の数が増えることに加えて、道路延長の増加は市街化の進展を意味し、道路延長の増加以上に自動車走行台キロが増加しているためと考えられる。また、市街地中心部のメッシュで、河川区域や面積の大きな公園を含むメッシュでは、幹線道路の交通量は隣接するメッシュ同様に多いにもかかわらず、3 つの説明変数すべてが小さくなるため、歩行者事故リスクが過小評価され、実績値が評価値よりも大きくなる場合がある。道路延長に代えて自動車走行台キロをオフセット項にできれば、こうした過小評価も数を減らすことができるものと考えられるが、現状ではメッシュ別の走行台キロの指標化は困難である。決定木分析における説明変数候補の絞り込みにおいては、「交差点の数」が選択されていないが、「信号交差点の数」であれば、メッシュごとの自動車走行台キロのとある程度相関があると考えられる指標であり、歩行者横断量の多い交差点の数を代表する指標とも考えられることから、新たに「信号交差点の数」の説明変数化について検討することとした。

課題④：著名な観光地、大規模な競技施設、コンベンションセンターなど、季節的あるいは一時的に大量の歩行者需要を生み出す施設等による歩行者事故リスクへの影響をメッシュごとに明らかにするには、個別に調査をする必要があり、現状では、モデルに組み込むことは困難と考えられ、今後の検討課題である。当面は、ランダム効果の変動要因として、個別に対策を検討すべきメッシュとして扱う必要がある。

課題⑤：ランダム効果の変動をなるべく小さくするため、可能な限りメッシュごとの幹線道路及び生活道路の整備状況と交通安全対策の実施状況の違いを表す説明指標を指標化することが必要であるが、これらの整備状況や交通安全対策の実施状況すべてをメッシュごとに指標化することは現状では困難であり、当面は、ランダム効果の変動要因として扱う必要がある。今後は、「歩道等の整備されていない幹線道路の延長」などについて説明変数化の検討が必要である。

8.2. 評価対象メッシュの絞り込み

地方部の県では、3年間の歩行者事故件数がゼロのメッシュの割合が90%以上となっており、中には95%以上となっている県もあり、事故ゼロのメッシュが5割程度となっている東京都や大阪府など大都市圏の都府県との差が大きい。このため、歩行者事故リスクがほぼ想定されないメッシュを評価対象から除外し、絞り込みを行う必要があるが、「歩行者事故リスクがほぼ想定されない」ことを判定するための基準が必要なことから、以下の4点を判定基準とした。

判定基準①：平成24年から28年までの5年間に歩行者事故が発生していない

判定基準②：対象となるメッシュに隣接するメッシュにおいても平成24年から28年の5年間に歩行者事故が発生していない

判定基準③：当該メッシュに建物が立地していない

判定基準④：歩行者事故リスク評価モデルによるリスク評価の結果得られる対象となるメッシュの λk の事後分布において λk の95%信頼区間の上限値が0.5未満である

判定基準①は最も分かりやすい基準であるが、隣接するメッシュである程度土地利用が進んでいる場合、その影響で歩行者事故が発生するリスクが考えられることから、判定基準②を加えることとした。また、将来にわたってほぼ発生しないと判定するには、人が出入りする可能性がある建物が無いことが重要なことから、判定基準③を設けることとした。さらに、歩行者事故リスク評価モデルの結果も活用し、「 λk の事後分布において λk の95%信頼区間の上限値が0.5未満である」ことを追加した。

表6はモデル地区として選定した北海道石狩空知地区（札幌市を含む）、札幌市、東京都、佐賀県での除外メッシュを示しているが、歩行者事故ゼロのメッシュが多い北海道石狩空知地区では34%のメッシュが除外され、佐賀県でも24%が除外される結果となった。また、東京都では14%、札幌市では16%のメッシュが除外される結果となった。

表6 モデル地区における除外メッシュの割合

	除外前メッシュ数	除外後メッシュ数	除外メッシュの割合
北海道石狩空知地区（札幌市含む）	16,673	10,991	34.1%
札幌市	2,015	1,694	15.9%
東京都	6,610	5,712	13.6%
佐賀県	7,814	5,909	24.4%

表7は、除外前と除外後でリスク評価モデルによる評価精度を比較した結果であるが、除外後もほとんど精度の差がなかった。以上の結果から、改善後の歩行者事故リスク評価モデルにおいては、道路の存在する全てのメッシュを対象に評価を行った後に、判断基準①から④を用いて、「歩行者事故リスクがほぼ想定されない」メッシュを特定し、これらを除外した後に再度リスク評価を行うこととした。

表7 モデル地区における除外前後の評価精度比較

		中央値±1件以内	中央値±2件以内	95%区間内
北海道石狩空知地区（札幌市含む）	除外前	96.8%	98.9%	99.7%
	除外後	97.1%	99.2%	99.6%
札幌市	除外前	87.0%	96.7%	99.6%
	除外後	84.9%	96.2%	99.6%
東京都	除外前	73.0%	91.5%	99.7%
	除外後	68.8%	90.2%	99.7%
佐賀県	除外前	98.2%	99.7%	99.6%
	除外後	97.6%	99.6%	99.5%

8.3. 商業地域面積に代わる説明変数の検討

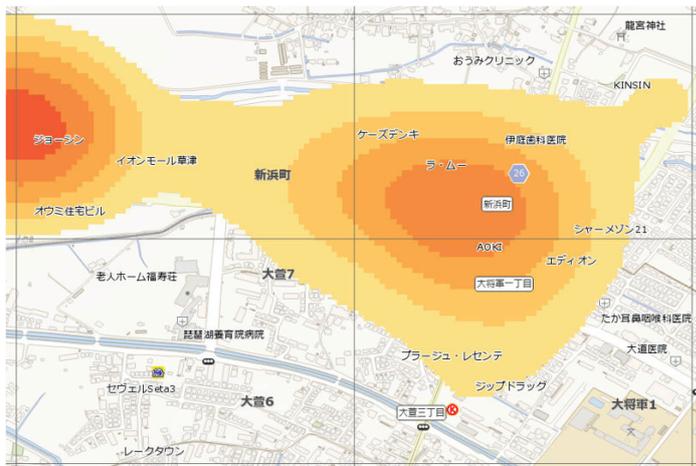
商業地域面積は、集客力の大きな商業施設等の立地を表す説明変数として用いているが、ショッピングセンターの立地後の用途地域の見直しに時間がかかることから、ショッピングセンターの立地が商業地域面積の見直しにタイムリーに反映されず、歩行者事故リスク評価が過小評価となる場合がある。また、商業地域面積には、いわゆるシャッター街となっている商店街が含まれる場合があり、こうした場合には逆に集客力が弱いために過大評価となる場合があり、新たな説明変数の検討が必要となっている。

新たな説明変数は、コンビニエンスストアを除く商業施設の内、集客力があり、歩行者需要を生み出す施設の中で緯度経度座標が入手可能な施設を検討対象とした。コンビニ以外の店舗（デパート・スーパー、ファミリーレストラン、ファーストフード店、カフェ、銀行）の位置座標と目標物（宿泊施設、大規模商業施設、余暇・レジャー施設）のポリゴン重心座標は入手可能であり、これらの座標を用いて、カーネル密度推定を行い、一定以上の密度を有する面積を「集客施設等影響面積」と定義し、商業地域面積に代わる説明変数とすることとした。これら集客施設等は、集客力がそれぞれ異なり、生み出される歩行者需要も異なるが、これら施設の重み付けを行うには個別施設の集客力に関するデータを入手する必要があるが、こうしたデータの入手が困難なことから、重み付けは行わないこととした。

カーネル密度推定とは、「有限の標本点から全体の分布を推定する」手法であり、本研究では、2次元正規分布を集客施設等の影響度の広がりとし、バンド幅については、集客施設等の密度が最も高い東京都において300mとし、他の道府県については東京都との密度比の平方根の逆数に比例してバンド幅を設定することとした。また、影響度については、30段階で評価し2段階以上となった面積を「集客施設等影響面積」と定義することとした。



←図 10 滋賀県でショッピングセンターの立地が商業地域面積の見直しに反映されていない例（4メッシュの内3メッシュでは商業地域面積がゼロになっている）



←図 11 カーネル密度推定による集客施設等影響面積の例（色の付いている所が集客施設等影響面積、全てのメッシュでよりの確な歩行者事故リスク評価が可能となっている）

8.4. 「信号交差点の数」の説明変数化の検討

決定木分析における説明変数候補の絞り込みにおいては、「交差点の数」が選択されていないが、「信号交差点の数」であれば、メッシュごとの自動車走行台キロとある程度相関する指標であり、歩行者横断量の多い交差点の数を代表する指標とも考えられ、メッシュ別自動車走行台キロのデータの入手が当面困難である現状を踏まえ、新たに「信号交差点の数」の説明変数化について検討することとした。このため、再度決定木分析を行ったところ、「信号交差点の数」を加えて、歩行者事故件数によるメッシュ区分が優位に行われる県が9県あることが判明した。このため、改善後のモデルでは「信号交差点の数」も説明変数の候補に加えることとした。図 10 は、信号交差点の数を用いて、歩行者事故件数別にメッシュの優位な区分が可能であった三重県の例を示す。

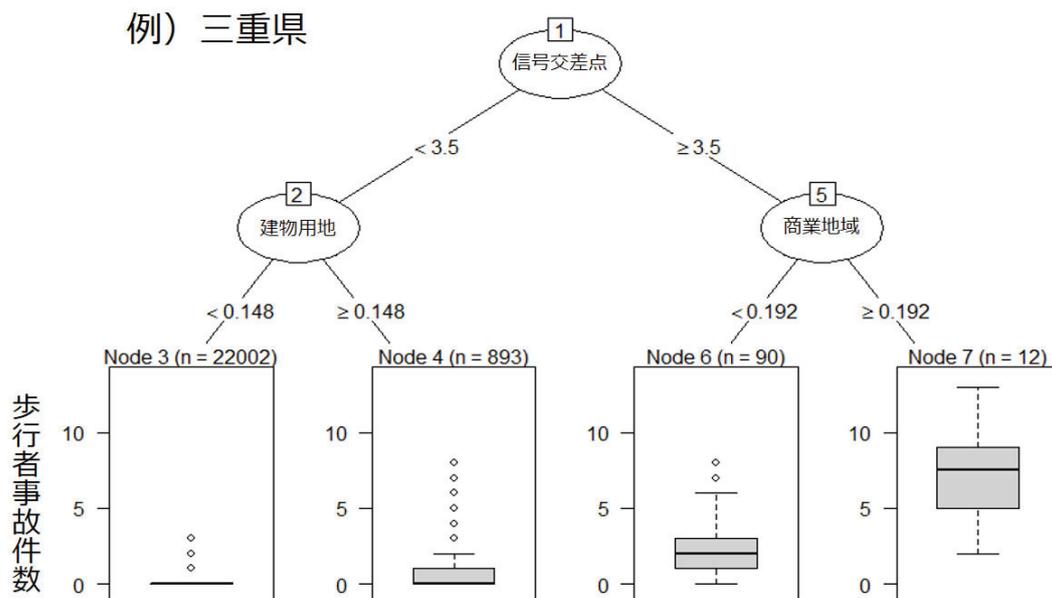


図 12 三重県での決定木分析の例

また、コンビニの数、建物用地面積、集客施設等影響面積に加えて、新たに信号交差点の数を説明変数として加える場合、説明変数間の相関が高くなり、多重共線性の問題が出ることが考えられる。このため、説明変数の選択においては、以下の2点をルール化することとした。

説明変数選択ルール1: 2つの説明変数間の相関係数が0.7以上の場合、どちらかの説明変数のみを選択することとする。選択においては、一般化線形混合モデル(階層ベイズモデル)の不適合度を評価するWAIC(広く使える情報量規準、Widely Applicable Information Criteria)が小さくなる説明変数を選択する。

説明変数選択ルール2: ただし、コンビニの数と集客施設等影響面積の相関が0.7以上の場合には、コンビニエンスストアも集客施設であることから、コンビニエンスストアを含めた集客施設等影響面積を新たな説明変数とする。

8.5. 改善後のモデルでの評価結果

改善前と改善後の歩行者事故リスク評価モデルのパラメータ推定結果の比較を表8に示す。なお、改善後の評価モデルにおいても、改善前の評価モデルと同様に、パラメータの事後分布がシャープな形状となる良好な推計結果が得られている。

- ① 静岡県を除いた全ての地区で改善後のモデルのWAICが小さくなり、評価モデルの実績値に対する適合度は改善されている。また、静岡県におけるWAICの増加もごくわずかであることから、改善後の評価モデルは、改善前の評価モデルと比較し、より適合度の高いモデルとなっていると結論づけられる。
- ② ランダム効果の標準偏差は、40地区中26地区で改善後の評価モデルにおいて小さくなり、40地区の平均値も0.53から0.49と小さくなり、全体としてはランダム効果の変動幅は縮小する傾向となったが、13地区では逆に大きくなるなど地区ごとに違いが見られた。これは、「商業地域面積」に代えて「集客施設等影響面積」を新たな説明変数としたこと、メッシュ当たりの走行台キロと歩行者事故リスクの高い交差点の数をある程度表現できる「信号交差点の数」を説明変数として取り入れたことなどにより、全体として改善したと考えられるが、ランダム効果変動の主な要因が、交通安全対策の実施状況や道路整備の状況であることから、変動幅の大幅な縮小にまでは至らなかったものと考えられる。抜本的に変動幅を縮小するには、交通安全対策の実施状況や道路整備の状況を効果的に表す指標の検討が必要であることが示唆された。
- ③ 空間的自己相関を表すパラメータである ρ については、特に大都市圏以外の地区で数値が低下する結果となった。逆に、 ρ が0.9以上の高い値となったのは3大都市圏の都府県だけとなった。空間的自己相関については、その発生要因についてさらなる検討が必要であるが、改善後のモデルでは市街地の連担する地域で ρ の値が高くなる傾向がさらに強まったことから、市街地の連担性がランダム効果の空間的自己相関に強く影響していることが考えられる。

表 8 改善前、改善後モデルのパラメータ比較

地整	都道府県名	改善後									改善前							
		WAIC	パラメータ (中央値)								WAIC	パラメータ (中央値)						
			切片	コンピ ニの数	建物用 地面積	集客施 設影響 面積	信号交 差点の 数	tau2	rho	ランダ ム効果 の標準 偏差		切片	コンピ ニの数	建物用 地面積	商業地 域面積	tau2	rho	ランダ ム効果 の標準 偏差
北海道	石狩・空知総合振興局	5,247	-4.8	0.11	8.5	—	0.2	2.7	0.9	0.61	5,253	-5.3	0.09	6.9	10.1	1.9	1.0	0.48
	後志総合・胆振総合振興局	1,709	-5.1	0.36	6.7	4.9	0.2	1.3	0.3	0.68	1,772	-5.5	0.34	14.4	8.3	2.2	0.4	0.78
	日高振興局	196	-5.4	—	13.2	3.3	0.4	0.0	0.4	0.04	199	-6.1	0.89	17.1	20.9	0.1	0.4	0.12
	渡島総合・檜山振興局	1,146	-4.8	0.31	9.8	1.4	0.1	0.8	0.2	0.57	1,186	-5.2	0.31	14.5	5.7	0.8	0.2	0.61
	上川総合振興局	1,133	-5.6	0.22	7.2	4.8	0.1	0.9	0.3	0.57	1,163	-6.2	0.09	15.2	6.7	2.4	0.7	0.66
	留萌・宗谷総合振興局	294	-5.1	—	4.9	6.5	0.2	0.0	0.5	0.04	347	-5.8	0.44	15.1	7.0	0.0	0.5	0.04
	オホーツク総合振興局	789	-5.4	0.24	11.1	2.7	0.1	0.0	0.4	0.05	836	-5.9	0.31	17.1	7.2	0.0	0.2	0.13
	十勝総合振興局	743	-5.9	0.46	3.4	9.1	0.1	0.0	0.4	0.05	862	-5.9	0.73	13.7	7.1	0.0	0.4	0.08
	釧路総合振興局	567	-5.2	0.14	4.4	6.5	0.2	0.0	0.2	0.13	601	-6.2	0.27	15.9	10.1	1.1	0.2	0.73
	根室振興局	183	-5.7	0.34	11.3	2.0	0.2	0.0	0.4	0.05	197	-6.6	0.79	18.8	2.1	0.0	0.4	0.04
東北	青森	4,622	-4.4	0.25	8.0	3.6	0.2	1.4	0.3	0.69	4,795	-4.9	0.24	14.4	6.4	2.4	0.4	0.79
	宮城	6,189	-4.4	0.08	6.2	5.3	0.2	2.0	0.6	0.61	6,273	-5.0	0.11	9.1	6.7	2.9	1.0	0.60
	福島	6,414	-4.7	0.25	6.9	4.9	0.2	1.6	0.4	0.63	6,600	-5.2	0.30	11.5	4.5	2.4	1.0	0.55
関東	茨城	9,676	-4.2	0.20	4.9	4.1	0.2	1.7	0.5	0.64	9,877	-4.4	0.39	9.8	6.5	2.9	0.7	0.69
	群馬	7,744	-4.0	0.14	4.9	4.4	0.2	1.3	0.3	0.61	7,946	-4.5	0.24	8.0	5.1	2.4	1.0	0.54
	埼玉	17,622	-3.1	0.16	4.0	2.6	0.1	1.8	1.0	0.48	17,794	-3.3	0.14	6.3	6.7	1.9	1.0	0.49
	千葉	16,878	-3.3	0.17	4.1	2.9	0.2	1.9	1.0	0.50	17,157	-3.4	0.24	6.6	4.8	2.6	1.0	0.58
	東京	17,947	-1.8	—	0.96	—	0.1	2.0	1.0	0.50	17,978	-2.1	0.08	1.1	5.1	1.4	1.0	0.42
	神奈川	18,285	-2.3	0.07	3.0	4.1	0.1	1.7	0.9	0.49	18,582	-2.5	0.16	4.8	5.7	2.4	1.0	0.55
	長野	7,855	-4.5	0.22	7.0	5.0	0.2	0.9	0.2	0.62	8,136	-4.9	0.24	11.3	5.7	1.8	1.0	0.47
北陸	新潟	7,464	-4.4	0.04	5.9	3.7	0.2	0.9	0.1	0.66	7,723	-4.7	0.13	11.1	5.6	2.3	0.9	0.57
	石川	3,669	-4.0	0.13	—	6.0	0.3	0.8	0.6	0.41	3,778	-4.5	0.16	7.8	4.7	1.5	1.0	0.43
中部	静岡	14,050	-3.1	0.17	—	5.6	0.1	1.7	0.9	0.47	14,037	-4.0	0.21	8.8	4.0	2.1	1.0	0.51
	愛知	19,358	-3.2	0.10	2.9	3.6	0.1	1.2	1.0	0.39	19,619	-3.6	0.16	5.1	4.7	1.6	1.0	0.45
	三重	5,906	-3.9	0.23	5.4	3.2	0.2	0.4	0.0	0.57	6,147	-4.3	0.42	9.6	5.6	1.8	0.5	0.65
近畿	福井	2,522	-4.3	0.14	4.4	3.7	0.2	0.6	0.2	0.53	2,630	-4.4	0.32	10.3	5.6	0.9	0.3	0.57
	滋賀	4,291	-3.8	0.32	4.2	4.4	0.2	0.4	0.1	0.53	4,412	-4.0	0.33	7.5	5.2	1.3	1.0	0.40
	京都	5,987	-3.5	0.22	7.93	—	0.17	0.9	0.2	0.61	6,031	-4.2	0.20	5.8	6.1	1.9	1.0	0.48
	大阪	14,910	-2.2	0.09	2.3	4.5	0.1	1.4	0.9	0.44	15,050	-2.3	0.15	3.3	5.3	1.8	1.0	0.48
	兵庫	14,648	-3.4	0.14	—	4.9	0.1	1.8	1.0	0.48	14,767	-4.0	0.19	6.4	5.2	2.5	1.0	0.56
	奈良	4,233	-3.7	0.31	—	6.8	0.2	1.2	0.2	0.71	4,419	-3.8	0.35	10.2	5.4	1.4	0.1	0.86
	和歌山	2,790	-4.6	0.09	3.4	7.8	0.1	1.6	0.5	0.59	2,854	-5.5	0.17	10.3	4.2	2.3	1.0	0.54
中国	鳥取	1,617	-4.8	0.22	4.8	4.3	0.2	0.9	0.1	0.67	1,664	-5.1	0.39	12.2	4.9	1.6	0.1	0.92
	島根	2,249	-4.8	0.15	7.8	4.3	0.2	0.4	0.5	0.30	2,306	-5.1	0.28	14.7	2.7	1.8	0.8	0.54
	岡山	6,410	-4.1	0.09	10.2	—	0.2	0.6	0.0	0.74	6,538	-4.3	0.17	12.5	4.3	0.9	0.1	0.77
四国	徳島	2,738	-4.2	0.29	6.4	4.8	0.1	0.9	0.1	0.67	2,830	-4.5	0.36	12.1	2.1	2.0	0.7	0.57
	香川	4,010	-3.7	0.24	9.5	—	0.2	2.1	0.6	0.65	4,048	-3.8	0.27	11.1	3.7	2.5	0.7	0.64
	高知	2,478	-4.3	0.03	9.3	3.0	0.1	0.6	0.1	0.61	2,567	-4.7	0.13	15.2	3.7	1.0	0.2	0.65
九州	福岡	16,124	-3.3	0.13	7.5	2.7	0.1	2.1	0.8	0.58	16,252	-3.6	0.17	8.0	5.5	2.9	1.0	0.60
	佐賀	3,816	-3.8	0.20	7.2	3.5	0.2	1.7	0.6	0.58	3,912	-4.0	0.36	11.8	5.2	2.4	0.8	0.61

また、改善後の歩行者事故評価モデルによる評価結果と実績値の比較結果を表9に示す。改善前の評価モデル同様に、改善後の評価モデルにおいても、実績値の再現性が高く、評価結果は十分に現場で活用可能な精度を有していることがわかる。

表9 改善モデルによる評価結果と実績値の比較

地整	都道府県名	全メッシュ数 (除外対象メッシュを除く)	中央値±1以内		中央値±2以内		95%信頼区間内		3年間事故件数ゼロ	
			メッシュ数	推定率	メッシュ数	推定率	メッシュ数	推定率	メッシュ数	割合
北海道	石狩・空知地区	10,976	10,807	98.5%	10,932	99.6%	10,942	99.7%	10,049	91.6%
	後志総合・胆振地区	6,203	6,165	99.4%	6,197	99.9%	6,179	99.6%	5,935	95.7%
	日高地区	2,272	2,269	99.9%	2,271	100.0%	2,263	99.6%	2,250	99.0%
	渡島総合・檜山地区	3,831	3,805	99.3%	3,824	99.8%	3,809	99.4%	3,639	95.0%
	上川地区	6,473	6,446	99.6%	6,468	99.9%	6,446	99.6%	6,305	97.4%
	留萌・宗谷地区	2,761	2,754	99.7%	2,760	100.0%	2,752	99.7%	2,722	98.6%
	オホーツク地区	6,043	6,022	99.7%	6,041	100.0%	6,023	99.7%	5,926	98.1%
	十勝地区	7,746	7,725	99.7%	7,743	100.0%	7,725	99.7%	7,639	98.6%
	釧路地区	2,916	2,896	99.3%	2,912	99.9%	2,901	99.5%	2,836	97.3%
根室振興局	2,515	2,513	99.9%	2,514	100.0%	2,508	99.7%	2,494	99.2%	
東北	青森	10,563	10,463	99.1%	10,540	99.8%	10,502	99.4%	9,856	93.3%
	宮城	14,009	13,844	98.8%	13,971	99.7%	13,941	99.5%	12,978	92.6%
	福島	20,193	20,058	99.3%	20,169	99.9%	20,095	99.5%	19,205	95.1%
関東	茨城	17,759	17,559	98.9%	17,727	99.8%	17,668	99.5%	16,221	91.3%
	群馬	9,978	9,767	97.9%	9,943	99.6%	9,931	99.5%	8,630	86.5%
	埼玉	11,084	10,345	93.3%	10,881	98.2%	11,026	99.5%	7,676	69.3%
	千葉	16,132	15,497	96.1%	15,985	99.1%	16,070	99.6%	13,077	81.1%
	東京	5,715	4,817	84.3%	5,438	95.2%	5,706	99.8%	2,109	36.9%
	神奈川	6,840	5,939	86.8%	6,563	96.0%	6,817	99.7%	3,218	47.0%
	長野	16,043	15,858	98.8%	16,007	99.8%	15,962	99.5%	14,764	92.0%
北陸	新潟	16,125	15,960	99.0%	16,094	99.8%	16,041	99.5%	14,935	92.6%
	石川	6,708	6,618	98.7%	6,677	99.5%	6,667	99.4%	6,080	90.6%
中部	静岡	13,304	12,790	96.1%	13,176	99.0%	13,239	99.5%	10,747	80.8%
	愛知	13,911	13,082	94.0%	13,698	98.5%	13,838	99.5%	10,107	72.7%
	三重	9,890	9,744	98.5%	9,870	99.8%	9,823	99.3%	8,922	90.2%
近畿	福井	5,229	5,166	98.8%	5,216	99.8%	5,190	99.3%	4,812	92.0%
	滋賀	6,122	6,026	98.4%	6,093	99.5%	6,088	99.4%	5,377	87.8%
	京都	7,341	7,146	97.3%	7,283	99.2%	7,310	99.6%	6,261	85.3%
	大阪	5,786	5,046	87.2%	5,569	96.2%	5,770	99.7%	2,743	47.4%
	兵庫	15,679	15,100	96.3%	15,523	99.0%	15,622	99.6%	13,083	83.4%
	奈良	4,785	4,665	97.5%	4,755	99.4%	4,764	99.6%	4,038	84.4%
	和歌山	6,191	6,129	99.0%	6,180	99.8%	6,162	99.5%	5,726	92.5%
中国	鳥取	4,841	4,806	99.3%	4,835	99.9%	4,804	99.2%	4,615	95.3%
	島根	10,691	10,639	99.5%	10,682	99.9%	10,617	99.3%	10,370	97.0%
	岡山	13,740	13,607	99.0%	13,715	99.8%	13,693	99.7%	12,681	92.3%
四国	徳島	5,813	5,751	98.9%	5,807	99.9%	5,773	99.3%	5,383	92.6%
	香川	4,953	4,846	97.8%	4,933	99.6%	4,933	99.6%	4,263	86.1%
	高知	7,742	7,684	99.3%	7,735	99.9%	7,703	99.5%	7,360	95.1%
九州	福岡	12,765	12,168	95.3%	12,606	98.8%	12,717	99.6%	9,859	77.2%
	佐賀	5,929	5,838	98.5%	5,910	99.7%	5,892	99.4%	5,303	89.4%

次に、ショッピングセンターの立地が商業地域面積の見直しにタイムリーに反映されず歩行者事故リスクが過小評価となっていた 25 のメッシュについて、どの程度改善されているかを確認した。なお、確認に当たっては、乖離要因としては、商業地域面積の影響だけでなく交通安全対策の実施状況や幹線道路の整備状況等の影響が大きい点に留意する必要がある。確認結果は、表 10 の通りであるが、24 のメッシュで λk が大きく改善しており、改善しなかった 1 メッシュも 1.60 から 1.58 への悪化に止まっている。

表 10 商業地域面積が過小評価となり大きい方向に乖離した 25 メッシュの改善状況

Table with 20 columns: 地区, 管理番号, 歩行者事故件数, 説明変数 (コンビニ, 建物用地面積, 集客施設影響面積, 改善前商業地域面積, 信号交差点の数, 道路延長), 評価結果 (改善後, 改善前), 乖離幅の改善, 95%信頼区間 (改善後, 改善前), 事故件数が95%区間の上限値以上であった入の中央値から4件以上大きいメッシュ.

逆に、シャッター街等の影響で商業地域面積が大きいにもかかわらず集客力が弱く、歩行者事故リスクが過大評価となっていた 19 メッシュの改善結果を表 11 に示す。こちらも、18 のメッシュで λk が改善しており、悪化した 1 メッシュも 2.55 から 2.73 への悪化に止まっている。

表 11 商業地域面積が過大評価となり小さい方向に乖離している 19 メッシュの改善状況

Table with 20 columns: 地区, 管理番号, 歩行者事故件数, 説明変数 (コンビニ, 建物用地面積, 集客施設影響面積, 改善前商業地域面積, 信号交差点の数, 道路延長), 評価結果 (改善後, 改善前), 乖離幅の改善, 95%信頼区間 (改善後, 改善前), 事故件数が入の中央値から3件以上小さいメッシュ.

以上から、商業地域面積に代えて集客施設等影響面積を説明変数とすることで、歩行者事故リスク評価モデルの精度が全体として高まったと考えられる。一方、ごく僅かではあるが、悪化したメッシュもあることから、集客施設等影響面積の設定に当たり、集客施設の集客力に応じた重み付けを行うなど、モデルの精度向上に向けてさらなる改善が必要であることが確認された。

次に、市街地中心部のメッシュで、河川区域や面積の大きな公園を含み、幹線道路の交通量は隣接するメッシュ同様に多いにもかかわらず、3つの説明変数すべてが小さくなるため、歩行者事故リスクが過小評価されていた45のメッシュについて、改善前と改善後の評価結果を比較した。改善後の評価モデルでは、メッシュ別の走行台キロの入手が困難なことから、大きな交差点での歩行者事故リスクに関連し、走行台キロとある程度相関があると考えられる信号交差点の数を説明変数として追加している。比較した結果は表12に示すとおりであるが、45メッシュ中、5メッシュでは信号交差点の数が0であり、残り40メッシュの内32メッシュではリスク評価値 λk が大きくなり改善されたが、8メッシュでは改善されていない。これは、信号交差点の数は歩行者事故リスクが相対的に大きいと思われる交差点の数を示すとともに、ある程度走行台キロとの相関が考えられる指標ではあるものの、直接的に歩行者事故リスクの高い交差点の数やメッシュごとの走行台キロそのものを示す指標ではなく、市街地中心部に位置し河川区域や面積の大きな公園の影響により歩行者事故リスクが過小評価されるメッシュのリスク評価をある程度改善するものの、その改善効果はメッシュごとにばらつきがあるためと考えられる。このため、さらなる歩行者事故リスク評価モデルの改善のためには、メッシュ別走行台キロのオフセット項化および歩行者事故リスクから見た交通安全対策や道路整備の実施状況の説明変数化が課題であることが明らかとなった。

表 12 河川区域や大きな公園等の影響で過小評価となっていたメッシュの改善状況

地区	管理番号	歩行者事故件数 (H25～H27)	説明変数 (グレーのセルは、モデルから除外された変数)								評価結果 (A中央値)		評価結果と実績値の差					95%信頼区間						事故件数が95%区間の上限値以上かつAの中央値から4件以上大きいメッシュ	
			コンビニの数	(改善前)コンビニの数	建物用地面積	集客施設影響面積	(改善前)商業地域面積	信号交差点の数	道路延長	改善後								改善前							
										下限								上限	95%区間以内	下限	上限	95%区間以内			
			改善後	改善前	改善後	改善前	乖離幅の改善	改善後	改善前	改善後	改善前														
埼玉県	1-01	5	0	0	0.03	0.00	0.00	0	1.54	0.48	0.50	5	5	△	0	2	×	0	2	×	○	○			
東京都	1-02	5	0	0	0.07	0.00	0.00	2	1.45	1.19	0.89	4	4	△	0	4	×	0	3	×	○	○			
神奈川県	1-03	5	0	0	0.07	0.07	0.00	1	1.77	0.97	1.13	4	4	△	0	3	×	0	4	×	○	○			
静岡県	1-05	4	0	0	0.00	0.00	0.00	0	0.14	0.03	0.03	4	4	△	0	1	×	0	1	×	○	○			
大阪府	1-09	5	0	0	0.03	0.04	0.00	0	1.12	0.81	0.87	4	4	△	0	3	×	0	3	×	○	○			
埼玉県	3-05	6	0	0	0.09	0.15	0.00	1	2.02	1.88	1.53	4	4	△	0	5	×	0	4	×	○	○			
東京都	3-09	7	0	0	0.18	0.04	0.02	4	3.96	3.96	2.60	3	4	○	1	8	○	0	6	×	○	○			
長野県	3-16	4	0	0	0.12	0.26	0.00	1	2.05	0.83	0.38	3	4	○	0	3	×	0	2	×	○	○			
長野県	3-17	4	0	0	0.08	0.26	0.00	0	0.89	0.32	0.27	4	4	△	0	2	×	0	2	×	○	○			
京都府	3-26	6	0	0	0.16	0.20	0.00	0	4.76	2.15	2.43	4	4	△	0	5	×	0	6	○	○	○			
北海道	4-01	7	0	0	0.13	0.20	0.01	2	3.65	2.56	1.64	4	5	○	0	6	×	0	5	×	○	○			
北海道	4-02	4	0	0	0.06	0.23	0.09	5	3.45	0.45	0.32	4	4	△	0	2	×	0	2	×	○	○			
群馬県	4-03	6	1	0	0.10	0.26	0.00	4	3.29	3.07	1.96	3	4	○	0	7	○	0	5	×	○	○			
埼玉県	4-05	12	0	0	0.15	0.09	0.04	4	2.21	6.32	6.24	6	6	△	2	12	○	2	12	○	○	○			
東京都	4-08	7	2	1	0.17	0.18	0.03	3	2.85	4.31	3.26	3	4	○	1	9	○	0	7	○	×	○			
東京都	4-09	10	1	1	0.19	0.06	0.02	2	5.85	5.33	4.97	5	5	△	1	10	○	1	10	○	○	○			
新潟県	4-11	6	1	0	0.11	0.25	0.11	5	3.44	2.67	2.28	3	4	○	0	6	○	0	6	○	×	○			
新潟県	4-12	5	1	0	0.10	0.25	0.05	5	3.75	2.26	1.22	3	4	○	0	6	○	0	4	×	○	○			
石川県	4-14	5	0	0	0.13	0.26	0.02	2	3.32	1.33	1.32	4	4	△	0	4	×	0	4	×	○	○			
静岡県	4-16	7	0	0	0.17	0.26	0.02	7	4.37	4.22	2.60	3	4	○	1	9	○	0	6	×	○	○			
静岡県	4-17	5	0	0	0.07	0.26	0.04	4	3.97	2.76	1.50	2	4	○	0	6	○	0	4	×	○	○			
愛知県	4-21	6	1	0	0.19	0.18	0.02	2	3.89	2.40	2.45	4	4	△	0	6	○	0	6	○	○	○			
愛知県	4-22	5	0	0	0.11	0.18	0.02	2	4.23	1.67	1.33	3	4	○	0	5	○	0	4	×	○	○			
東京都	5-03	6	4	4	0.11	0.12	0.00	2	2.37	2.48	2.44	4	4	△	0	6	○	0	6	○	○	○			
神奈川県	5-05	14	1	1	0.09	0.09	0.00	4	3.38	7.08	7.25	7	7	△	2	13	×	3	13	×	○	○			
神奈川県	5-06	6	1	1	0.04	0.15	0.00	2	1.98	2.18	1.67	4	4	△	0	5	×	0	5	×	○	○			
東京都	6-01	10	2	3	0.04	0.13	0.08	6	4.55	6.50	5.23	3	5	○	2	12	○	1	10	○	×	○			
神奈川県	6-02	6	2	2	0.02	0.24	0.17	3	2.55	2.86	2.42	3	4	○	0	7	○	0	6	○	×	○			
大阪府	6-03	11	4	3	0.08	0.20	0.07	5	4.06	5.94	5.47	5	6	○	2	11	○	1	10	×	○	○			
兵庫県	6-04	9	1	1	0.04	0.26	0.03	5	4.49	5.48	4.32	4	5	○	1	10	○	1	9	○	×	○			
埼玉県	7-06	10	0	1	0.18	0.04	0.00	3	5.57	3.95	4.53	6	5	×	1	8	×	1	9	×	○	○			
埼玉県	7-08	5	1	1	0.11	0.17	0.00	1	3.09	1.50	1.34	3	4	○	0	4	×	0	4	×	○	○			
東京都	7-12	10	2	3	0.19	0.16	0.00	3	1.96	6.28	3.75	4	6	○	2	12	○	1	8	×	○	○			
愛知県	7-24	7	3	1	0.14	0.11	0.00	4	1.79	1.49	1.23	6	6	△	0	4	×	0	4	×	○	○			
北海道	8-01	8	2	2	0.16	0.24	0.04	5	4.85	4.73	3.71	3	4	○	1	9	○	1	8	○	×	○			
北海道	8-02	6	1	1	0.10	0.15	0.04	3	3.35	2.01	1.72	4	4	△	0	5	×	0	5	×	○	○			
茨城県	8-04	5	1	1	0.07	0.26	0.01	1	2.60	1.36	1.07	4	4	△	0	4	×	0	3	×	○	○			
東京都	8-06	15	3	2	0.15	0.24	0.05	4	4.92	11.29	8.47	4	7	○	5	18	○	3	15	○	×	○			
神奈川県	8-07	6	2	1	0.20	0.06	0.02	1	1.97	1.74	2.13	4	4	△	0	5	×	0	5	×	○	○			
静岡県	8-09	6	1	1	0.09	0.26	0.08	8	4.09	5.29	2.47	1	4	○	1	10	○	0	6	○	×	○			
愛知県	8-10	6	1	1	0.13	0.26	0.06	1	5.93	2.29	2.47	4	4	△	0	6	○	0	6	○	○	○			
愛知県	8-11	7	1	1	0.17	0.26	0.06	3	3.99	2.95	2.78	4	4	△	0	7	○	0	6	×	○	○			
京都府	8-12	7	2	1	0.12	0.26	0.06	2	2.65	2.52	2.65	4	4	△	0	6	×	0	6	×	○	○			
大阪府	8-14	9	2	1	0.15	0.06	0.15	4	3.56	3.65	4.24	5	5	△	0	8	×	1	9	○	○	○			
福岡県	8-17	5	1	1	0.13	0.00	0.06	1	2.45	1.21	1.41	4	4	△	0	4	×	0	4	×	○	○			

9. 今後の活用方策とさらなるモデル改善に向けた課題

9.1 今後の活用方策

本研究で開発した歩行者事故リスク評価モデルは、現場で十分活用可能な精度のリスク評価値を提供できるだけでなく、95%信頼区間も同時に提供することで、95%信頼区間の上限値を上回る件数の歩行者事故が発生しているメッシュを特定することが可能である。また、メッシュ別の歩行者事故件数の実績値を見ると、**31都道府県において、平成25年から27年までの3年間に、20件以上の歩行者事故が発生しているメッシュは270メッシュであり、全体のメッシュ数からすると、わずか0.05%にすぎず、これらのメッシュで6.1%もの歩行者事故が発生している。また、10件以上のメッシュは1618メッシュで、わずか0.3%のメッシュで19.6%もの歩行者事故が発生している。**これらのメッシュは、その多くが市街地中心部の繁華街に位置しており、効果的な歩行者事故対策を推進して行くには、こうした中心市街地に位置し、歩行者事故が多発するメッシュを特定し、これらメッシュを含む地区単位で効果的な歩行者事故対策を検討していくことが重要で

ある。また、歩行者事故対策の推進に当たっては、通学路で子供が犠牲になる歩行者事故や住宅地およびその周辺などの居住地で発生する高齢者や子供が犠牲となる歩行者事故の削減に取り組むことが、安全・安心な生活ゾーンを確保する上で極めて重要である。このため、警察庁では、エリア単位で最高制限速度を30km/hに設定する「ゾーン30」の取り組みを推進するとともに、国土交通省では、生活道路での交通安全対策を強化するため、警察庁を始め関係機関や専門家等と連携し、通学路の交通安全対策とともに、平成30年5月現在で地域住民との合意形成がなされた全国588地区を「安心歩行エリア」に登録し、ETC2.0等から得られる急ブレーキや速度データなども活用しつつ、生活道路における交通安全対策をPDCAサイクルによって持続的に改善する取り組みを推進している。

さらなる歩行者事故削減に向けて、従来のこうした歩行者事故削減に向けた取り組みに加え、本研究で開発した歩行者事故リスク評価モデルを活用した以下の交通安全対策の検討を提案したい。

提案① 3年間でおおむね5件以上歩行者事故が発生し、歩行者事故発生件数が95%信頼区間の上限値を上回るメッシュを特定し、当該メッシュを含む地区単位で効果的な交通安全対策を検討

歩行者事故リスク評価モデルによって算出されるメッシュごとのリスク評価値と95%信頼区間の上限値を用いれば、3年間でおおむね5件以上歩行者事故が発生し、歩行者事故発生件数が95%信頼区間の上限値を上回るメッシュを特定することができる。31都道府県において、平成25年から27年の歩行者事故データに基づき特定されるメッシュ数は、88メッシュであり、全体の0.02%となっている。特定されたメッシュでは、これまでの歩行者事故対策が不十分であった可能性が高いが、不十分な歩行者事故対策が異常に多く歩行者事故が発生している主な要因かどうかを確認するためには、以下の手順で歩行者事故発生要因を絞り込んでいく必要がある。

手順1：認知症のドライバーなど車両操作が困難なドライバーによる歩行者事故、車両故障など車両の異常が原因で発生した歩行者事故、路上横臥による歩行者事故など、道路交通環境と関連がないと考えられる特殊要因によって発生した歩行者事故を除外し、除外後も95%信頼区間の上限値を上回るかどうかを確認する。こうした特殊要因による歩行者事故は、当該メッシュを含む地区単位での歩行者事故対策による防止が困難であり、別途対策を検討する必要がある。

手順2：手順1の特殊要因による歩行者事故を除いても95%信頼区間の上限値を上回る場合には、市街地中心部に位置し河川区域や大きな公園等によってリスク評価値が過小評価となっていないかどうか、著名な観光地や大規模な競技施設、コンベンションセンター等の立地により、季節的あるいは一時的な歩行者需要の増加により歩行者事故が増加していないかどうかを確認する。前者の場合には、河川区域等の影響のない周辺のメッシュの歩

行者事故件数と比較し歩行者事故件数が同程度以下であれば、メッシュごとの歩行者事故対策に関する問題は小さいと考えられるが、異常に多く発生している場合には、これまでの歩行者事故対策に課題がある場合が多く、当該メッシュを含む地区単位で歩行者事故対策の検討に着手する必要がある。後者の場合には、個別に歩行者事故対策を検討する必要があることから、観光客や観客の移動経路を詳細に調査し、歩行者の交通安全面の課題がないかどうかを確認し、歩行者事故対策を検討する必要がある。

手順3 : 河川区域等の影響や著名な観光地等の影響がない場合には、これまでの歩行者事故対策が不十分である可能性が極めて高いメッシュであり、当該メッシュを含む地区単位で発生した個別の歩行者事故の発生要因を詳細に分析し、これまで実施されてきた歩行者事故対策をレビューするとともに、交差点改良、信号機の設置や運用改善、歩道整備などの道路整備、路面表示の改善、注意喚起のための看板の設置、駐車場出入り口の改善など、必要な歩行者事故対策の検討を重点的に実施する必要性が高い。特に、当該メッシュが住宅地やその近郊に位置している場合や通学路で12歳以下の子供の歩行者事故が発生している場合には、すでに通学路の交通安全対策の検討や安心歩行エリアの登録により重点的な歩行者事故対策への取り組みが推進されている地区も多いと考えられるが、生活道路の安全対策に課題がある場合が多いことから、一般社団法人交通工学研究会が発行している「生活道路のゾーン対策マニュアル」等の文献を参考に歩行者事故対策を検討する必要がある。中でも、通学路で12歳以下の子供の歩行者事故が複数発生している場合には、すでに対策の検討がなされている場合が多いと思われるが、通学路の交通安全対策について重点的に検討すべきである。

提案② 提案①のメッシュを除き、大都市圏の都府県では3年間におおむね20件以上の歩行者事故、その他道県ではおおむね10件以上の歩行者事故が発生しているメッシュを特定し、地区単位で効果的な歩行者事故対策を検討

提案①で特定されるメッシュ以外において、歩行者事故リスク評価モデルのリスク評価値と実績値の乖離が大きいわけではないが、歩行者事故が多発するメッシュが数多く存在する。特に、大都市圏の都府県では多く、歩行者事故対策を重点的に検討するメッシュの特定に当たっては、大都市圏の都府県とそれ以外の道県で閾値に差を設けることが望ましい。これらのメッシュは、通常考えられるレベルの歩行者事故対策はすでに実施されているが、歩行者事故を効果的に削減するためには、これらのメッシュでさらなる歩行者事故対策の実施を図ることが不可欠である。多くのメッシュが市街地中心部の繁華街に位置していることから、交通安全対策の実施には困難を伴う場合が多いと考えられるが、当該メッシュを含む地区単位で発生した個別の歩行者事故の発生要因を詳細に分析し、これまで実施されてきた歩行者事故対策をレビューするとともに、交差点改良や信号機の運用改善などの通常の対策に加えて、対象となったメッシュを含む地区単位で、ゾーン30の設定、ハンプの設置、時間帯別通行規制とライジングボラードの設置、一方通行規制の強化など、さらなる歩行者事故対策の検討に取り組むことが望ましい。

歩行者事故リスク評価モデルによる評価結果は、36 都道府県を対象に平成 28 年から 30 年の交通事故データを用いて、本年度開発予定の自転車事故リスク評価モデルによる評価結果と合わせて、平成 31 年度中に提供予定である。また、評価結果の提供に当たっては、交通事故リスク評価結果活用マニュアル（案）を作成し、同時に提供予定である。交通事故リスク評価マニュアル（案）では、リスク評価結果との乖離の大きかったメッシュの分析結果を踏まえて、多くの事例を掲載し、現場での活用が進むよう工夫する予定である。

9.2 モデル改善に向けた課題

さらなる歩行者事故リスク評価モデルの改善に向けて、顕在化している課題は以下のとおりである。当センターでは、これらの課題について引き続き検討することとしている。

課題 1：歩行者事故の緯度経度情報の精度向上

平成 28 年の幹線道路の交通事故データについては 36 都道府県の、平成 29 年の幹線道路の交通事故データでは 44 都道府県の緯度経度情報が十分な精度を有していることが確認されているが、未だに 47 都道府県全てで十分な精度が確保されている訳ではない。47 都道府県全てで十分な精度が確保されるよう引き続き関係機関のご協力をお願いしたい。

課題 2：都道府県別の交通事故リスクの違いに関する研究

平成 28 年の高速道路を除く幹線道路の走行台キロ当たりの事故率は最小と最大で約 7 倍の差があり、人口 10 万人当たりの歩行者事故件数も 3 倍程度の差があり、都道府県別の交通事故リスクには大きな差がある。都道府県ごとにこのように事故リスクが大きく異なる背景としては、気象条件や地形条件の違い、道路ネットワークの整備状況の違い、土地利用の違い、公共交通機関の利用の違い、運転者の気質の違いなど様々な要因が考えられるが、現時点でその要因を特定できておらず、今後の検討課題となっている。

課題 3：空間的自己相関が地域により異なる要因に関する研究

歩行者事故の発生において空間的自己相関に違いが生まれる要因はよく分かっていないが、大都市圏の都道府県のほとんどで空間的自己相関が高い結果となったことから、市街化の進んだエリアが連担する地域では空間的自己相関が高くなる傾向にあると考えられる。歩行者事故リスク評価モデルの λ のリンク関数にランダム効果を付加することで、説明変数化が難しい要因をランダムに変動する要因として取り入れ、また、空間的自己相関を考慮したモデルとすることで、実績値の再現性の高いモデルを構築することが可能となっていることから、今後、空間的自己相関の発生要因についてさらに検討する必要がある。

課題 4：幹線道路の歩道未整備延長など歩行者事故対策の実施状況を表す指標の説明変数化

開発した歩行者事故リスク評価モデルは現場で十分活用可能な精度のリスク評価値を提供できるものの、説明変数、道路延長、空間的自己相関では説明できないメッシュ別の歩行者事故発生要因をランダムに変動する要因として扱っており、リスク評価値との乖離の大きなメッシュの分析結果から、こうした変動の主たる要因は、交通安全対策や道路整備の実施状況であることが分かった。このため、ランダムに変動する要因の変動幅を縮小し、歩行者事故リスク評価モデルの説明力を向上させるには、交通安全対策や道路整備の実施状況の中で、特に歩行者事故対策との関連が高い施策をメッシュごとに指標化し、説明変数に加えることが望ましい。

課題5：メッシュ別走行台キロのオフセット項化

市街地中心部のメッシュで、河川区域や面積の大きな公園を含み、幹線道路の交通量は隣接するメッシュ同様に多いにもかかわらず、3つの説明変数すべてが小さくなるため、歩行者事故リスクが過小評価されていたメッシュについて、信号交差点の数を新たに説明変数として加えた改善後のモデルでも十分に改善されたとは言いがたい。また、交通事故リスクの正規化においては、道路延長ではなく、走行台キロで正規化することが一般的であり、ETC2.0等から得られる生活道路の走行データ等を用いて、メッシュ別の走行台キロを再出す手法を開発し、歩行者事故リスク評価モデルのオフセット項として取り入れる必要がある。

課題6：集客施設等の重み付けによる集客施設等影響面積の精度向上

集客施設等影響面積をカーネル密度推定によって算出する際には、全ての集客施設が歩行者需要などの歩行者事故の曝露量を等しく表すとの仮定を置き、大規模なショッピングセンターとファーストフード店の影響度を同じとして扱っている。今後、モデルの精度向上に向けて、販売額、ホテルの部屋数、レストランの座席数などを用いて、各集客施設の重み付けについて検討する必要がある。

10. 結語

歩行者事故件数の平均値である λk をメッシュごとに変動させる要因としては、歩行者需要を生み出す集客施設の立地、メッシュ内道路の交通需要、居住者の数、歩道整備や交差点改良など道路整備の状況などが考えられるが、 λk をメッシュごとに変動させる全ての要因をメッシュごとにデータとして指標化できるわけではない。このため、説明変数の候補としては、メッシュ別に指標化が可能な15の指標の中から、①コンビニの数、②建物用地面積、③商業地域面積、の3つを決定木分析によって説明変数の候補として選定し、ポアソン分布のリンク関数は、選定された説明変数による効果である固定効果と設定・観測されていない要因であるランダム効果を組み合わせるモデルとするとともに、ランダム効果については、隣接するメッシュのランダム効果が類似することを表す空間的自己相関を考慮したモデルを構築している。なお、運転技術、心理状態や体調、歩行者や自転車の飛び出しなどの人的な要因、さらには、車両の点検・整備の状況、安全デバイスの装備状況などの車両の要因については、子供が多く居住し飛び出しが多いなど、メッシュごとに歩行者事故件

数を変動させる場合もあるが、その多くはメッシュごとに歩行者事故リスクを変動させる要因ではないことから、本研究においては、これらの要因は、歩行者事故リスク評価値を変動させる要因ではなく、実際の歩行者事故件数がポアソン分布に従ってばらつく要因と想定している。

交通事故の緯度経度情報の精度が確認された 31 都道府県を対象に、平成 25 年から 27 年の歩行者事故データを用いて都道府県別（北海道は 10 地区）にパラメータを推定し、メッシュごとの歩行者事故リスク評価モデルによる評価結果（ λk の中央値＝歩行者事故リスク評価値）と実績値を比較した結果、歩行者事故リスク評価値は、現場で十分活用可能なレベルの精度を有していることが確認された。

また、本研究では、ランダム効果の変動要因を明らかにするため、評価結果から実績値が大きく乖離しているメッシュを個別に調査し、その乖離要因を明らかにすることでランダム効果の変動する要因を特定することとした。その結果、ランダム効果は、主にメッシュごとの幹線道路及び生活道路の整備状況と交通安全対策の実施状況によって変動していることを明らかにすることができた。

さらに、歩行者事故リスク評価モデルの改善を提案するとともに、モデルを活用した効果的な歩行者事故対策の検討方を提案し、さらなるモデルの改善に向けた課題も明らかにすることができた。当センターでは、改善後の歩行者事故リスク評価モデルによって、36 都道府県を対象に平成 28 年から 30 年の交通事故データを用いた歩行者事故リスク評価を行うとともに、本年度開発予定の自転車事故リスク評価モデルによる評価結果と合わせて、平成 31 年度中に提供予定であり、また、評価結果の提供に当たっては、交通事故リスク評価結果活用マニュアル（案）を作成し、同時に提供する予定である。さらに、交通事故リスク評価結果活用マニュアル（案）では、リスク評価結果との乖離の大きかったメッシュの分析結果を踏まえて、多くの事例を掲載し、現場での活用が進むよう工夫する予定である。これらの取り組みによって、効果的な歩行者事故・自転車事故削減に向けた現場での取り組みが推進されることを切に願うものである。

最後に、当センターが設置した「交通事故リスク評価手法高度化に関する検討会」において、本研究に関し大所高所からアドバイスをいただいた千葉工業大学創造工学部都市環境工学科教授 赤羽弘和氏（座長）、東京大学空間情報科学研究センター特任教授 山田晴利氏、立命館大学理工学部環境都市工学科准教授 塩見康博氏、日本大学理工学部交通システム工学科助手（現助教）兵頭 知氏、国土技術政策総合研究所 喜安和秀道路交通研究部長に対し厚く御礼を申し上げる次第である。また、本研究の主な成果は、国土交通省道路局から委託された「平成 29 年度 事業用自動車等に係る交通事故分析及び交通事故リスク評価による交通安全対策検討業務」の中で検討されたものであり、同委託業務のとりまとめにおいてご指導いただいた道路局担当者の皆様に対しても深く感謝申し上げます。次第である。

<参考文献>

- [1] Lee D: CARBayes version 5.0: An R package for spatial areal unit modelling with conditional autoregressive priors, Vignette for CARBayes package, <https://cran.r-project.org/web/packages/CARBayes/vignettes/CARBayes.pdf>, 2017.
- [2] 久保 拓弥: データ解析のための統計モデリング入門—一般化線形モデル・階層ベイズモデル・MCMC, 岩波書店, 2012.
- [3] 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.
- [4] 大嶋 菜摘: 地域性にみる交通事故分 (8) ~データでみる都道府県別の道路交通状況と交通事故 (1), 月刊交通, 2017年8月.
- [5] 北野 朋子: 環境要素を考慮した歩行者事故発生の危険性, 2016(公益財団法人 交通事故総合分析センター主催第19回研究発表会)