

今発表会の趣旨説明および交通特性と歩行者交通事故特性の関連性の分析

研究部長 山田 晴利

1. はじめに

イタルダ研究発表会では、これまで特定のテーマを設定せず、開催の時点で重要なトピックを選択して発表を行ってきた。今発表会から、緊急性・重要性の高い特集テーマを設定し、関連する研究を集中的に発表することとした。

今発表会では、「歩行者の交通事故」を特集テーマとして設定し、関連する発表を行うとともに、歩行者の交通事故に関係する集計結果をイタルダホームページから無償で提供することとした。

本報告では、まず第2章で歩行者の交通事故を特集テーマとして取り上げた理由を述べ、第3章で無償提供する集計項目を述べる。第4章では、地域の交通特性として「パーソントリップ調査」結果をとりあげ、交通特性と歩行者の事故特性との関連性を分析した結果を紹介する。

2. 特集テーマ「歩行者の交通事故」設定の背景

歩行者の交通事故を取り上げる主な理由は、次の3点である。

- ① 2009（平成 21）年以降、交通事故による歩行者の死者数は、自動車乗車中の死者数を抜いてトップとなっている（図 1）。
 - ② 事故類型別の死亡事故件数の経年変化を見ると、車両相互、車両単独事故が減少しているのに対して、人対車両の事故件数には顕著な減少が見られない。また、横断中の事故が多い（図 2）。
 - ③ 他の年齢層と比べて、高齢者（65 歳以上）では歩行中の交通事故による死者が多い（図 3）。
- こうしたことから、歩行者の交通事故の防止が喫緊の課題となっており、今発表会でさまざまな角度から実施した分析成果の発表を行うこととした。

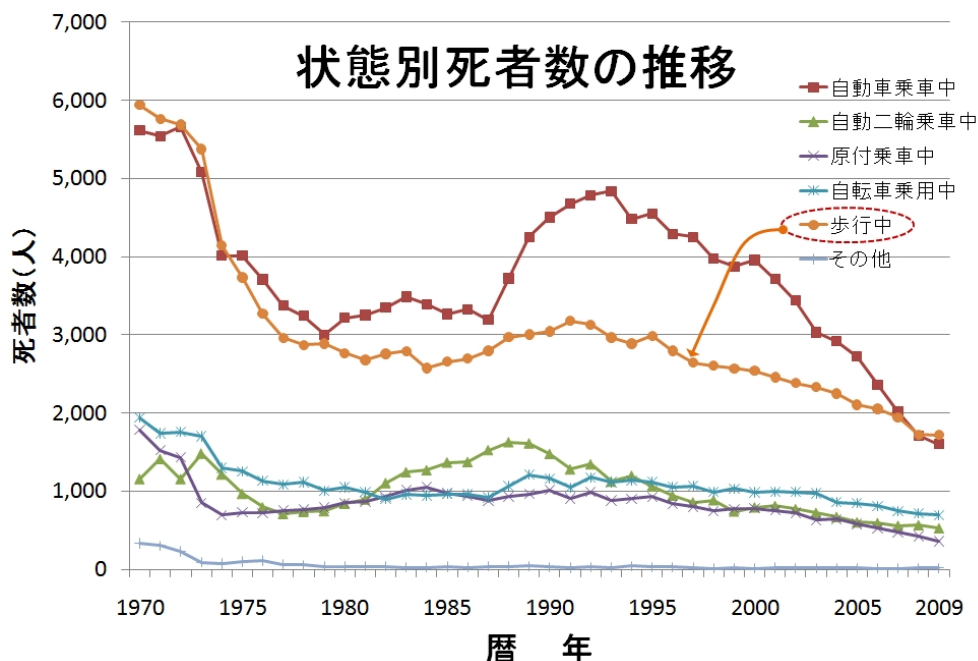


図 1 交通事故による状態別死者数の推移

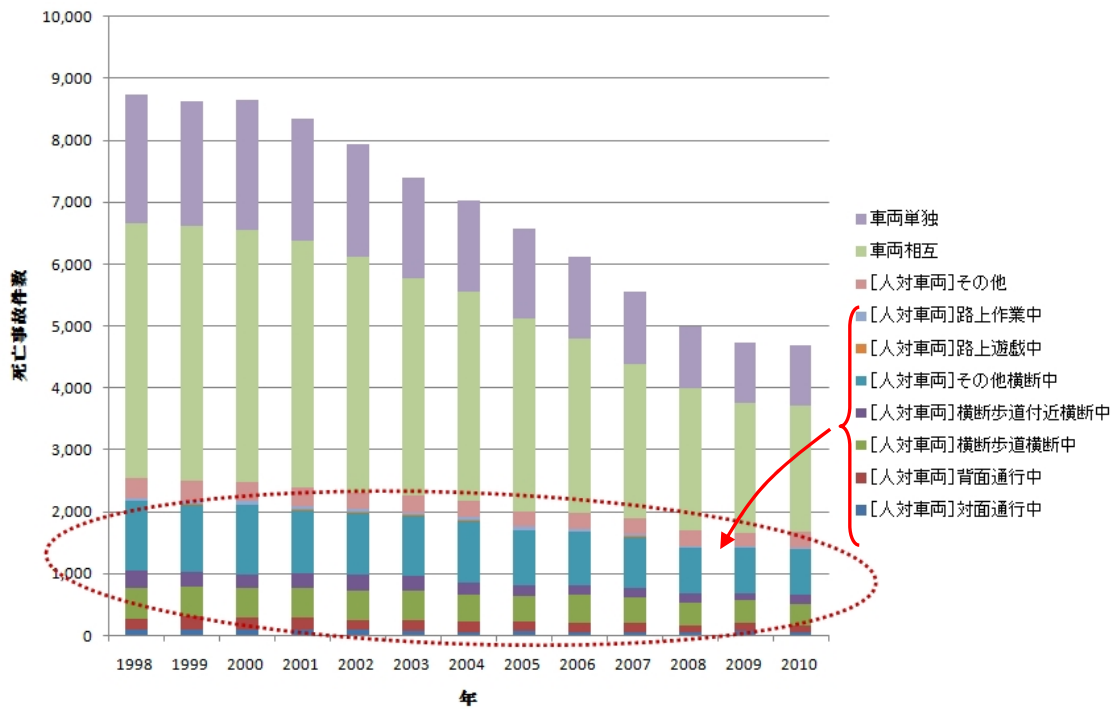


図 2 事故類型別死亡事故件数の推移

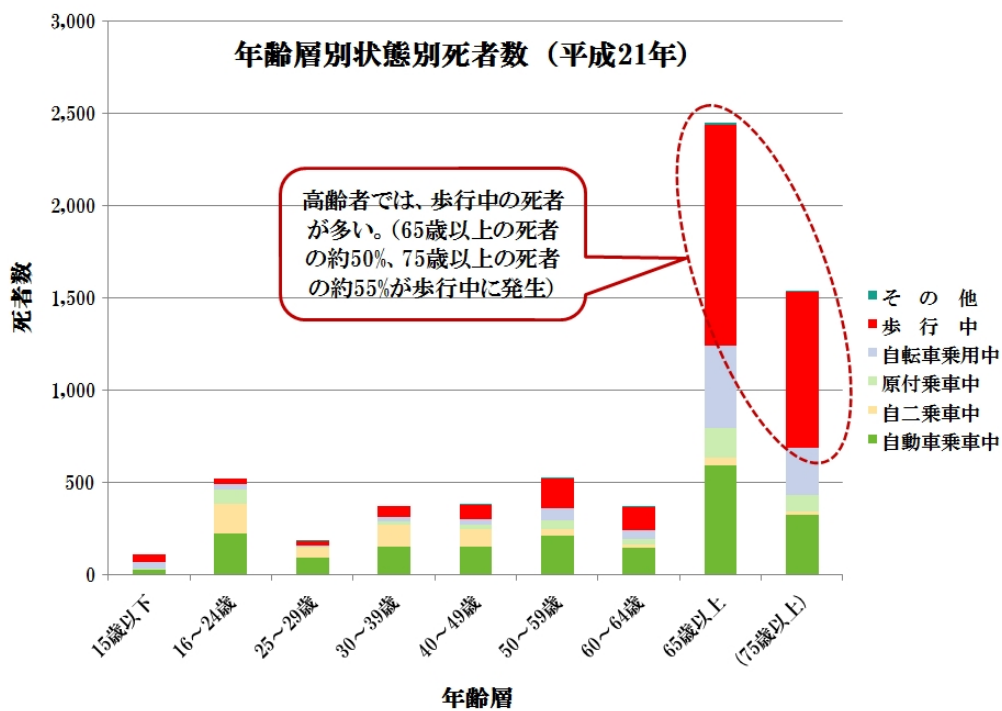


図 3 年齢層別状態別死者数 (平成 21 年)

3. 歩行者の交通事故に関わる集計結果の提供

イタルダの所有する交通事故統合データベースをもとにして、都道府県別に、また全国一括で歩行者の関係する交通事故について集計を行った。集計した項目は次のとおりである。

- 都道府県別の集計
 - － 歩行者の性別、年齢階層別の死者数、重傷者数、軽傷者数（過去 5 年の値を合計）

- － 年齢階層別，歩行者の違反別の歩行者の第一当事者比率（過去 5 年分の事故を対象にして計算）

- 全国一括の集計

- － 当事者別，法令違反別，事故類型別の死者／重傷者／軽傷者数（過去 5 年の値を合計）
- － 中央分離帯施設，歩車道区分別の死者／重傷者／軽傷者数（過去 5 年の値を合計）
- － 人身損傷部位，車両衝突部位別の死者／重傷者／軽傷者数（過去 5 年の値を合計）
- － 性別，死亡／重傷／軽傷者別の人口当たり事故率を算定した標準コーホート表
（コーホート表の年齢階層は 5 歳刻み，年代は 1980 年から 2010 年まで 5 年ごとに計算）

なお，集計結果はエクセル表を pdf 形式で出力したファイルで提供される。

4. 交通特性と歩行者の事故特性との関連性の分析

ここでは，交通特性として「パーソントリップ調査」によって得られるゾーン別の交通特性（世帯当たりの自動車保有台数，徒歩時間など）を用いて，歩行者事故との関連性を分析した結果を紹介する。

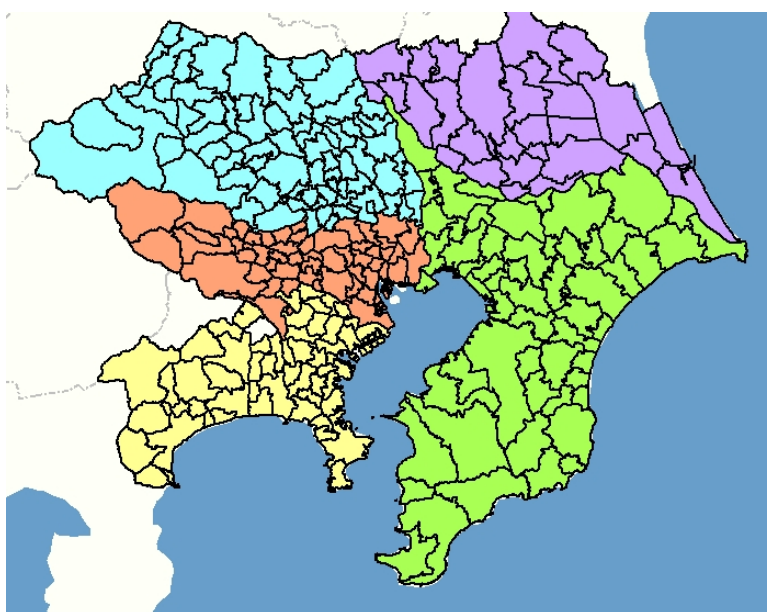
4.1 パーソントリップ調査とは

まず，「パーソントリップ調査」（以下，PT 調査と記す）について概要をまとめておく。

PT 調査とは，大都市圏においてほぼ 10 年に 1 回行われる交通行動調査である．東京都市圏では 2008 年（平成 20 年）に実施された．調査の対象地域は，東京都，神奈川県，埼玉県，茨城県南部である（図 4）。

PT 調査では，地区町村をさらに細分化した「ゾーン」と呼ばれる地域が最小の調査単位となっており，この調査単位ごとに交通特性を把握することが可能である．しかしながら，交通事故をこの最小単位に応じて集計することは困難なため，市区町村単位に歩行者の事故を集計することとした。

PT 調査のデータは次のようにして収集される．まず，住民基本台帳をもとにして調査対象となる世帯が抽出される．抽出された世帯に対して調査票を郵送で配布し，世帯の 5 歳以上の人に特定の一日の交通行動をすべて記入してもらい，調査票を郵送回収する。



出典：
東京都市圏交通計画協議会：東京都市圏パーソントリップ調査 PT データ利用の手引き，平成 22 年 9 月。

図 4 東京都市圏パーソントリップ調査（2008 年）の対象地域

2008 年の東京都市圏 PT 調査での回収状況は次のとおりである。

- 調査対象世帯数 1,408,450 に対し、有効回収世帯数は 340,619 世帯(世帯回収率は 24.2%)。
- 都市圏の 5 歳以上人口 34,624,027 人に対し、有効回収数は 733,873 人(有効回収率は 2.12%)。

PT 調査では、人々の交通行動を「トリップ」という概念を用いて把握するので、「トリップ」について説明しておく。「トリップ」とは、特定の目的（通勤、買物など）を達成するために行われる移動のことであり、移動の途中で交通手段が替わっても目的が同じならば 1 トリップと数える。トリップの具体的な例は、図 5 に示したとおりである。

4.2 分析に用いるモデル

ここでは、PT 調査が実施された 2008 年の市区町村毎の歩行者交通事故の死者数、重傷者数、軽傷者数をモデル化することを試みる。対象となる市区町村数は 275 である。

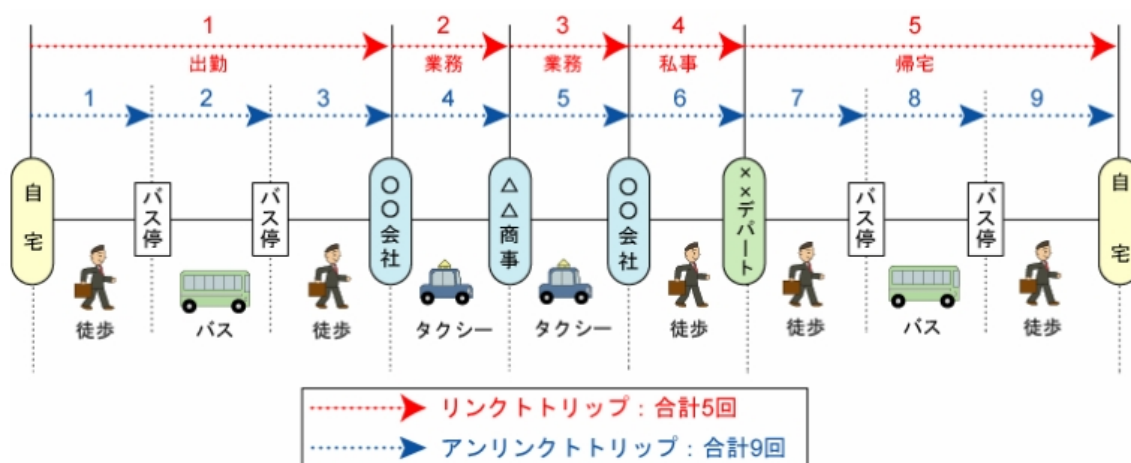
交通事故のように稀に発生する事象のモデルとしては、「ポアソン分布」が用いられることが多いので、ポアソン分布について説明を行い、ポアソン分布の持つ限界を克服するために考案されたモデルについても解説する。

0 または整数値をとる確率変数 Y がポアソン分布に従うとき、 Y の確率密度関数は次式で与えられる。(Pr (・) は括弧内の事象が起こる確率を表す。)

$$\Pr(Y = y) = \frac{e^{-\mu} \mu^y}{y!} \quad (1)$$

e は自然対数の底を表し、 μ はポアソン分布のパラメーターである。また、 $y=0,1,2,\dots$ である。 Y の期待値と分散は等しく、 μ で与えられる。

$$E(Y) = \mu, \quad V(Y) = \mu. \quad (2)$$



PT 調査では、上図の赤の矢印で示された「リンクトトリップ」をそれぞれ 1 トリップと数える。

図 5 PT 調査におけるトリップの説明図

図 6 には、東京都市圏 PT 調査の対象となった 275 の市区町村について、市区町村別の死者数、重傷者数、軽傷者数のヒストグラムを示した。この図では、赤い点あるいは赤線で、それぞれのデータにポアソン分布を当てはめた結果を上書きしてある。

ポアソン分布の当てはめは最尤法によって行った。すなわち、市区町村別の死者数、重傷者数、または軽傷者数を y_i ($i=1, \dots, N$ で、 N は対象市区町村の数) とするとき、次式(3a)の尤度（あるいは、その対数をとった対数尤度）を最大化するようにポアソン分布のパラメーター (μ) を定めるのが、最尤法である。

$$\text{尤度} = \prod_{n=1}^N \frac{e^{-\mu} \mu^{y_n}}{y_n!}, \quad (3a)$$

$$\text{対数尤度} = \log(\text{尤度}) = -N\mu + \sum_{n=1}^N \{y_n \log \mu - \log(y_n!)\}. \quad (3b)$$

対数尤度を (3b) を μ で偏微分してゼロと置くことによって、 μ の最尤推定量を求めると、次式(4)になる。この式からわかるように、 μ の最尤推定量はデータの標本平均値で与えられる。

$$\hat{\mu} = \frac{\sum_{n=1}^N y_n}{N}. \quad (4)$$

図 6 によると、死者数についてはポアソン分布の当てはまりの度合いがよいが、重傷者数、軽傷者数については当てはまりがよくないことがわかる。

そこで、ポアソン分布の当てはまりを改善する方策について紹介する。一つは一般化線型モデルの

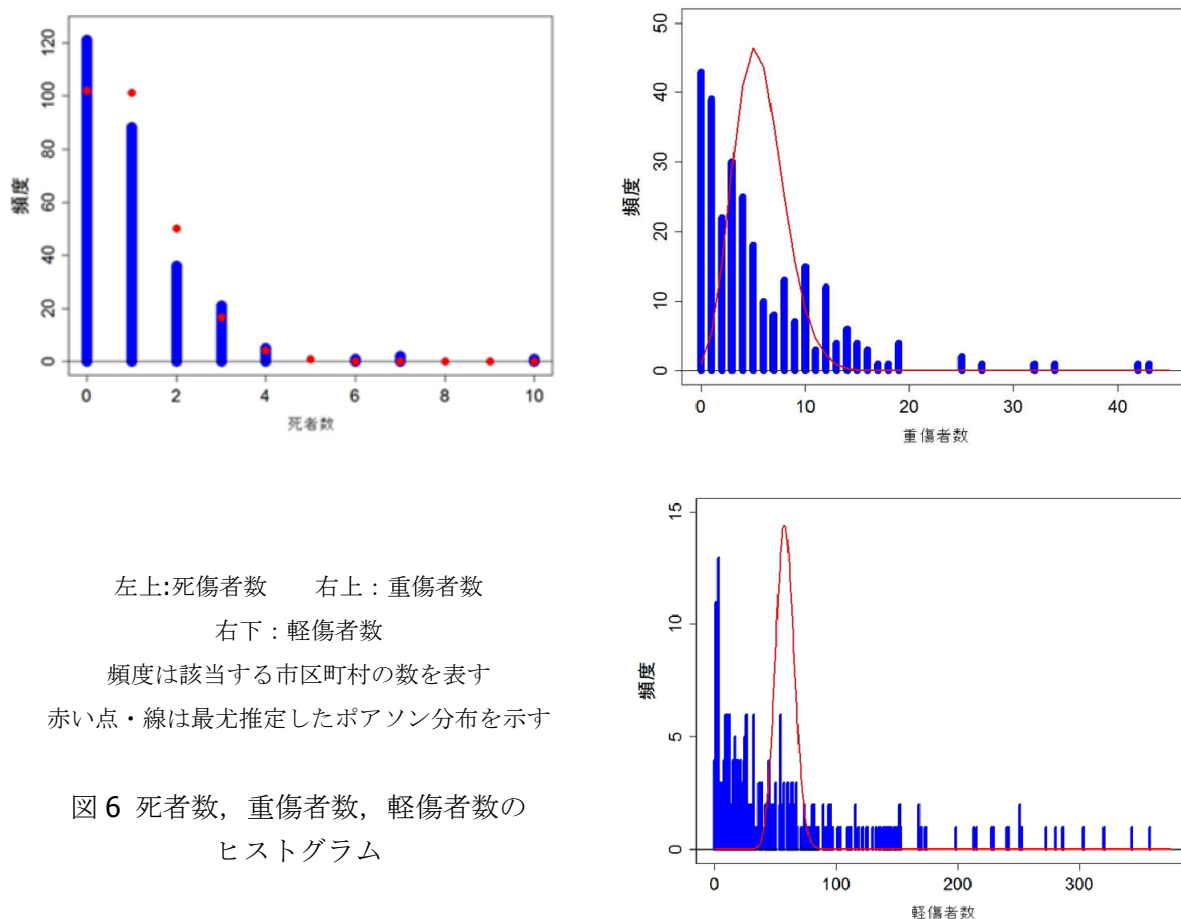


図 6 死者数、重傷者数、軽傷者数のヒストグラム

適用であり、もう一つは負の二項分布モデルの適用である。

まず一般化線型モデルについて概要を紹介する．反応変数 Y_n が計数（すなわち、一つ、二つと数えられるデータ）で与えられる場合、予測変数（のベクトル） x_n を使ってモデル化するのに、一般化線型モデルが用いられる．式(1)に示すように、 Y_n が期待値 μ_n のポアソン分布に従うならば、期待値 μ_n と予測変数 x_n とを結びつけるのに「リンク関数」を用いる．ポアソン分布の場合に広く用いられるのは、下式(5)の対数リンク関数である．

$$\log(\mu_n) = x_n^\top \beta. \quad (5)$$

ただし、 β は係数ベクトルでデータをもとに推定される．また、 x_n は m 次元ベクトルで（ m は説明変数の数）、 $(\cdot)^\top$ は行列の転置を表す．

交通事故の分析では、事故件数あるいは死傷者数（ Y_n ）を直接扱うよりは、件数・死傷者数を暴露量（ E_n ）で除して得られる事故率（ Y_n / E_n ）をモデル化の方がよい場合が多い．この形式のモデルは「比率モデル」と呼ばれ、対数リンクを持つポアソンモデルの場合には、次式になる．

$$\log \left\{ \frac{Y_n}{E_n} \right\} = x_n^\top \beta, \quad (6a)$$

$$\log(Y_n) = \log(E_n) + x_n^\top \beta. \quad (6b)$$

ポアソンモデルの適用において問題になるもう一つの点は、ポアソンモデルの期待値と分散が常に等しいという制約である．現実のデータではこの制約が常に満たされるという保証はなく、期待値と分散の値が異なることも多い．分散の値が期待値よりも大きい場合には、負の二項分布を適用することができる．

負の二項分布は、ポアソンモデルの期待値 μ がガンマ分布に従い、 μ を与件としたとき確率変数 Y が期待値 μ のポアソン分布に従うという前提（下式）から導かれる．

$$Y \text{ の条件付き確率分布 : } Y|\mu \sim \text{Poisson}(\mu), \quad (7a)$$

$$\mu \text{ の確率分布 : } \mu \sim \text{Gamma}(\mu\phi, \phi). \quad (7b)$$

ただし、 $\text{Gamma}(\cdot, \cdot)$ はガンマ分布を表す．上の二つの式 (7a), (7b) を掛け合わせると Y と μ の同時分布になる．その式から μ を積分消去すると Y の分布である負の二項分布が導かれる．

$$\Pr(Y = y) = \frac{1}{y!} \frac{\phi^{\mu\phi}}{\Gamma(\mu\phi)} \frac{\Gamma(\mu\phi + y)}{(\phi + 1)^{y+\mu\phi}}. \quad (8)$$

負の二項分布の期待値と分散は次式(9)のようになり、分散の値が期待値より大きくなることがわかる．

$$E(Y) = \mu, \quad V(Y) = \frac{\mu(1+\phi)}{\phi} = \mu \left(1 + \frac{1}{\phi} \right). \quad (9)$$

4.3 モデル推定

モデルを推定するに当たり、歩行者交通事故の死者数、重傷者数、軽傷者数の説明変数の選択を行

表 1 相関係数

	死者数	重傷者数	軽傷者数	居住人口	発生トリップ	徒歩時間	軽乗用	乗用車	軽貨物	貨物車	自転車	原付	自動二輪
死者数	1												
重傷者数	0.587	1											
軽傷者数	0.419	0.434	1										
居住人口	0.502	0.493	0.892	1									
発生トリップ総数	0.490	0.471	0.892	0.999	1								
総徒歩時間	0.499	0.491	0.897	0.999	0.998	1							
軽乗用保有率	0.171	0.222	0.595	-0.576	-0.582	-0.578	1						
乗用車保有率	0.161	0.137	0.602	-0.553	-0.562	-0.554	0.834	1					
軽貨物保有率	0.191	0.287	0.471	-0.468	-0.471	-0.471	0.785	0.732	1				
貨物車保有率	0.129	0.183	0.315	-0.298	-0.301	-0.300	0.528	0.569	0.639	1			
自転車保有率	0.018	0.023	0.154	-0.006	-0.001	-0.009	0.032	0.169	0.011	0.030	1		
原付保有率	0.163	0.198	0.388	-0.414	-0.424	-0.418	0.579	0.584	0.613	0.440	0.168	1	
自動二輪保有率	0.120	0.163	0.191	-0.216	-0.218	-0.217	0.366	0.366	0.309	0.129	0.049	0.48	1

った。表 1 には、主要な変数との間の相関係数の値を掲げた。

この表によると、次のことがわかる。

- 死者数、重傷者数、軽傷者数は居住人口、発生トリップ総数、総徒歩時間と高い相関を持つ。
- 軽傷者数は、軽乗用車保有率、乗用車保有率との相関も高い。
- 居住人口と車の保有率とは負の相関関係にあり、都市部ほど車を使わない（地方部ほど車が利用される）という傾向を表している。
- 総徒歩時間と自動車の保有率との間には負の相関があり、自動車の保有率が高い地域ほど徒歩時間が少ない。
- 各種の自動車の保有率の間には正の相関があり、自転車、原付の保有率とも正の相関関係にある。

また、自動車の保有率を地図上で表現した結果（コロプレス図）を図 7 に示した。図 7 によると、軽乗用車および乗用車の保有率は都心部で低く、周辺部で高いことがわかる。軽貨物車の保有率は全般に軽乗用車に比べて低い。一方、自動二輪車の保有率には都心部で低いという傾向は見られない。

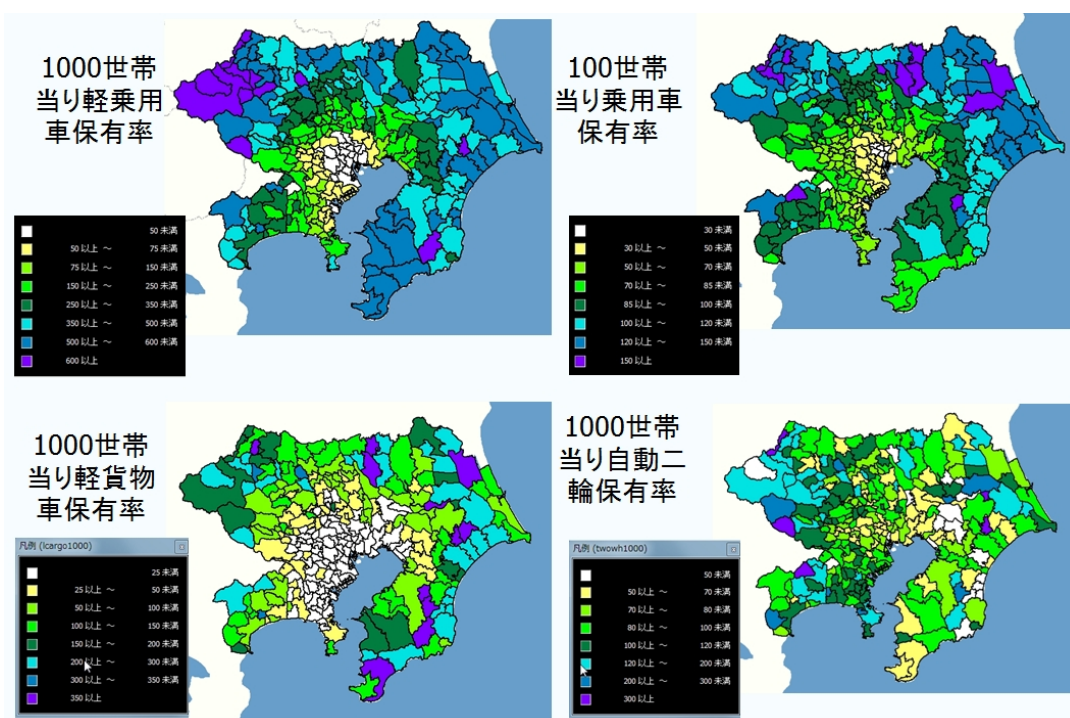


図 7 車種別保有率（コロプレス図）

表2 歩行者事故の死者数に関するモデル推定結果

■ 死者数ーポアソンモデル
(負の二項分布モデルよりもポアソンモデルの方が統計的に有意)

説明変数	係数	標準誤差	z値	Prob > z
log(発生トリップ総数)	0.995	0.105	9.46	0.000
世帯当たり軽乗用車平均保有台数	3.073	0.498	6.17	0.000
定数項	-13.170	1.430	-9.20	0.000

データ数 : **275**

Waldの χ^2 値 = **95.09** (自由度2), P値 < **0.0001**

尤離度による当てはまりの良さの検定: χ^2 値 = **272.2**, P値 > **0.485**

歩行者事故の死者数についてモデルを推定した結果を表2に示す。ポアソンモデルと負の二項分布の二つを推定したところ、ポアソンモデルの方が統計的に有意であるという結果が得られたので、表2にはポアソンモデルの推定結果をのせた。Waldの χ^2 検定、尤離度による検定いずれの結果もモデル全体としての当てはまりが統計的に有意であることを示している。説明変数としては発生トリップ総数の対数をとった変数と、世帯当たりの軽乗用車平均保有台数が有意に推定されている。注目すべき点は、発生トリップ総数の対数項の係数が**0.995**と**1**に近い値に推定されていることである。このことは、このモデルが式(6b)に示した「比率モデル」に近いことを意味している。世帯当たりの軽乗用車平均保有台数の係数は正となっているが、このことは軽乗用車の保有台数の多い地域（具体的には地方部）において死者数が多くなることを意味している。ただし、軽乗用車の保有が死者数の増加につながるという因果関係を意味するわけではなく、あくまで相関関係を示しているに過ぎない。

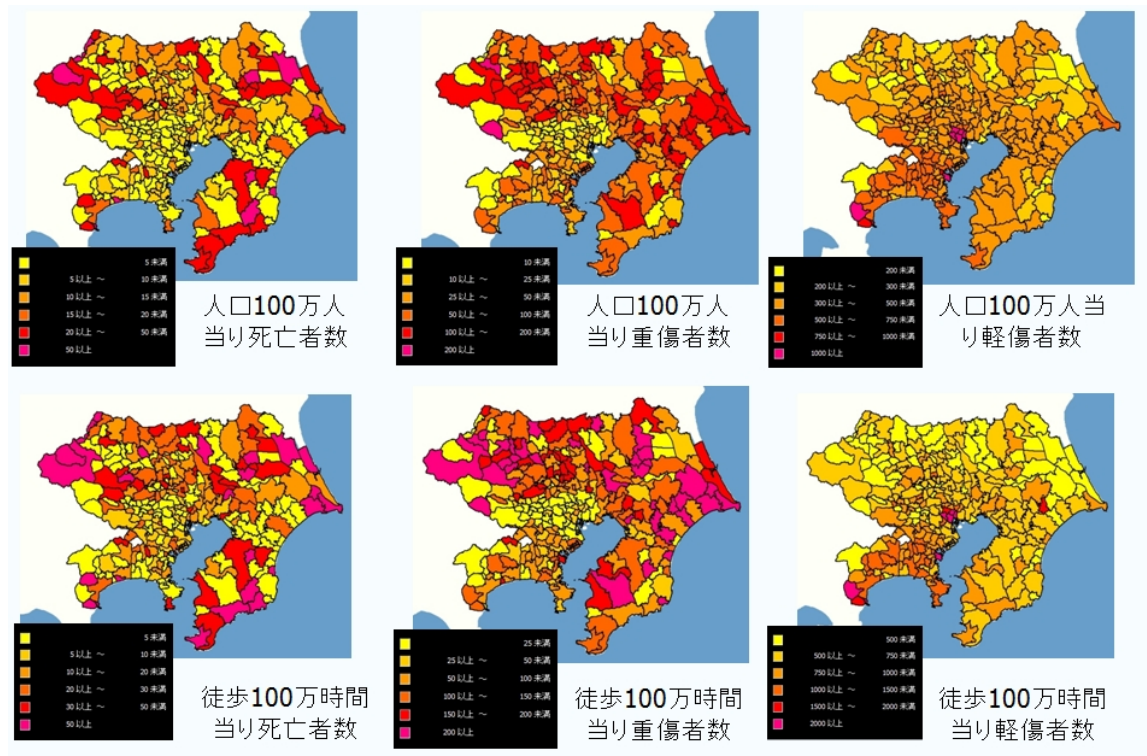
重傷者数、軽傷者数についてのモデル推定の結果によると、ポアソンモデルよりも負の二項分布モデルの方が統計的に有意であるという結論が得られている。しかし、モデル全体としての当てはまりはそれほどよくないので、結果は割愛する。

4.4 市区町村毎の事故率の比較

PT調査の結果を使うと、市区町村毎の「総徒歩時間」を算出することができる。ここでは、トリップの発ゾーン別の平均徒歩時間にゾーン別の発生トリップ数を乗じて市区町村毎の総徒歩時間を算出した。「総徒歩時間」を歩行者事故における暴露量と見なして、市区町村別の事故率を計算し、比較した結果を図8に示した。なお、図8には各地区町村の居住人口当たりの事故率もあわせて掲載してある。

図8によると、暴露量として居住人口、総徒歩時間のいずれをとっても事故率の傾向はほぼ同じであり、死亡／重傷者率では周辺部の事故率が高く、都心部で低くなっている。逆に、軽傷者率では都心部の事故率が高いという傾向が認められる。暴露量によらず事故率の傾向が類似しているという結果は、市区町村別の1トリップ当たり徒歩時間と居住人口一人当たりのトリップ発生数が市区町村の違いにかかわらずほぼ一定の値を取ることから説明できる。

ただし、居住人口が暴露量として適切かどうかについては議論の余地がある。居住人口は夜間人口を表しているが、都心のゾーンでは昼間の就業人口が居住人口に比べて多いという実態があるからである。各ゾーンに存在する人の数を時間帯別に把握することができれば、暴露量としてより適切な指標になるはずである。



上段：居住人口当たり 下段：総徒歩時間当たり

図8 市区町村別の死亡／重傷／軽傷者率（コロプレス図）

5. 結論

本報告では、最初に歩行者の交通事故を特集テーマとして取り上げた理由を述べ、次に無償提供する集計項目を紹介した。さらに、地域の交通特性として「パーソントリップ調査」結果をとりあげ、交通特性と歩行者の事故特性との関連性を分析した結果を呈示した。歩行者の死者数については、ポアソンモデルがよい当てはまりを見せたが、重傷者数、軽傷者数についてはさらに検討が必要である。また、歩行者事故に対する暴露量として市区町村の居住人口と総徒歩時間を用いて死傷者の率を計算したところ、この二つの暴露量の間では結果に大きな差がないことが判明した。

謝辞

東京都市圏パーソントリップ調査結果を提供いただくにあたっては、東京都市圏交通計画協議会及び一般社団法人計量計画研究所にお世話になった。感謝する。