

令和 4 年 (2022 年)

第 25 回 交通事故・調査分析研究発表会

「低速域における歩行者事故の特徴」

渡辺 泰介
研究部 主任研究員

1. 背景と目的

国内における歩行者の死者数は、2009 年に四輪車乗員を抜いて以降、交通事故当事者中で最多の状態が続いている（図 1）。また最近 10 年間を見ると、歩行者の死亡重傷事故は低速域（20km/h 以下）では殆ど減っておらず、次なる課題と考えられる（図 2, 3）。このような背景から、本研究では（1）低速域の事故が減らない原因（2）低速域でも死亡重傷に至るメカニズムを調べた。

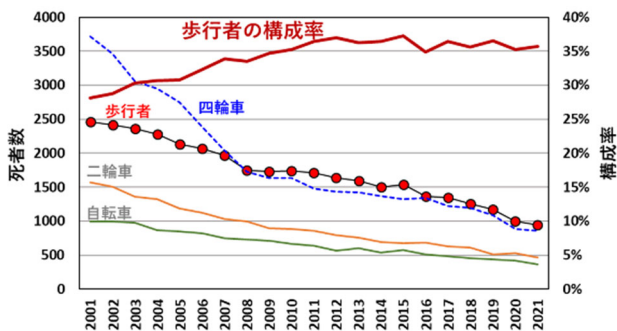


図 1 交通事故死者の推移

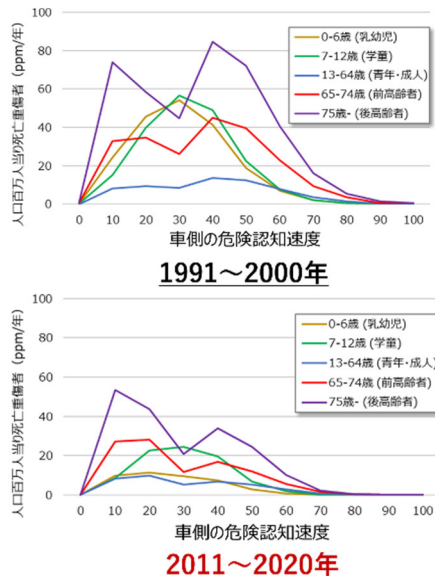


図 2 速度と人口当たり死亡重傷者の関係

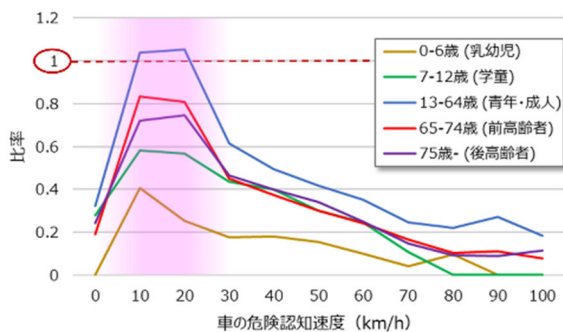


図 3 2011～20年と1991～2000年の比率

2. 検討手法

検討目的、使った事故データ、分析手法の一覧を表 1 に示す。前述の目的(1)に対してはクロス集計で実態把握を、RCT(Randomized Controlled Trial)で因果関係の推定を行なった。目的(2)については非階層クラスタ分析（k-means 法）で対象を絞ったうえで、クロス集計を行なった

表 1 検討手法の概要

目的	データ	分析手法	
(1)	ITARDAマクロデータ ・人対車両事故 ・1995/2010～21年 ・n=183万/54万件	・クロス集計 ・RCT（ランダム化比較試験）	実態把握 因果関係の推定
(2)		・非階層クラスタ分析 +クロス集計	情報圧縮 原因推定

3. 結果

3.1 (1) 低速域の死亡重傷事故が減らない原因

最初に、歩行者事故の危険認知速度の年次変化を確認した。二輪～貨物の 6 車種平均は一貫した傾向で下がり続けており、26 年で 9km/h 低下している（図 4）。

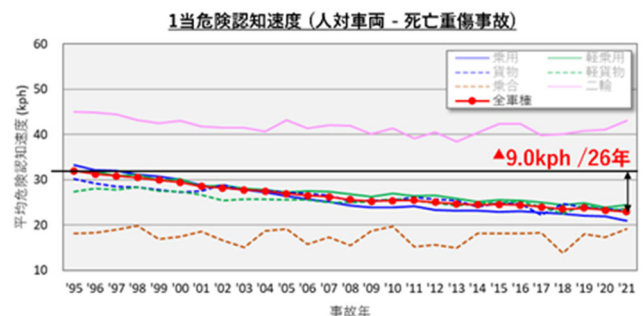
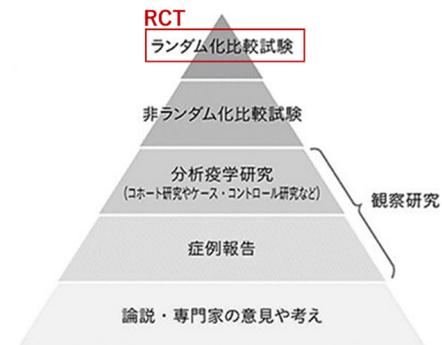


図 4 危険認知速度の推移（歩行者事故）

速度別の増減をみると、30km/h 以上の件数は減少している一方で、20km/h 以下は件数横ばいとなっており、その結果、40km/h 以上の構成率は減少し 10-20km/h が増加している（図 5）。つまり、速度低下の全体トレンドの中で中高速域の件数が低速域に流れ込んでおり、これが全体の件数は減っているにも拘らず低速域の事故が減らない原因となっている。

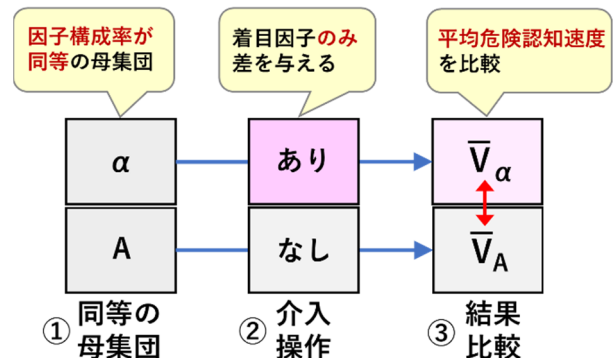
変化と紐づいていることを確認する必要がある。通常の統計手法では因果関係(≠相関関係)を評価するのは困難であるため、本研究では RCT の適用を試みた。RCT は臨床医学のエビデンスピラミッドでは最上位に位置付けられ、最も説得力があるとされる手法である。その仕組みは、同等と見なせる母集団のペアを準備し、一方だけに薬物投与などの介入操作を行ない、その結果を比較することで、介入の効果を検証するものである(図 7)。



エビデンスピラミッド

出典: https://twitter.com/katalab_s/status/1412957154521214978

本研究



RCT (ランダム化比較試験)

図 7 RCT の概要(文献 1)と事故分析への適用

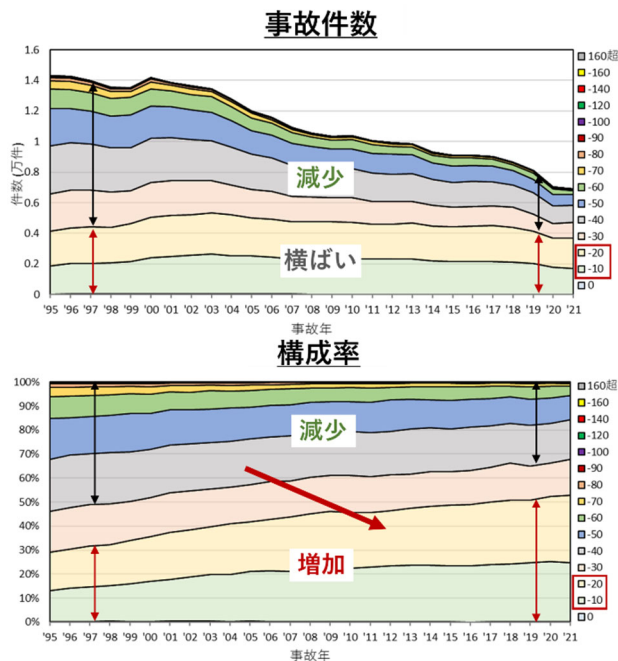


図 5 危険認知速度の速度別の増減(歩行者事故)

※いずれも1当側危険認知速度(人対車両-死亡重傷)

次に、他の事故形態(車両相互事故、車両単独事故)の推移も確認した。やはり全車種の平均速度は一貫して下がり続けており(図 6)、歩行者事故に限らず主要な事故形態全て共通して低下傾向が見られることから、背景には何か社会変化と関係のある大きな力が働いていると推察される。

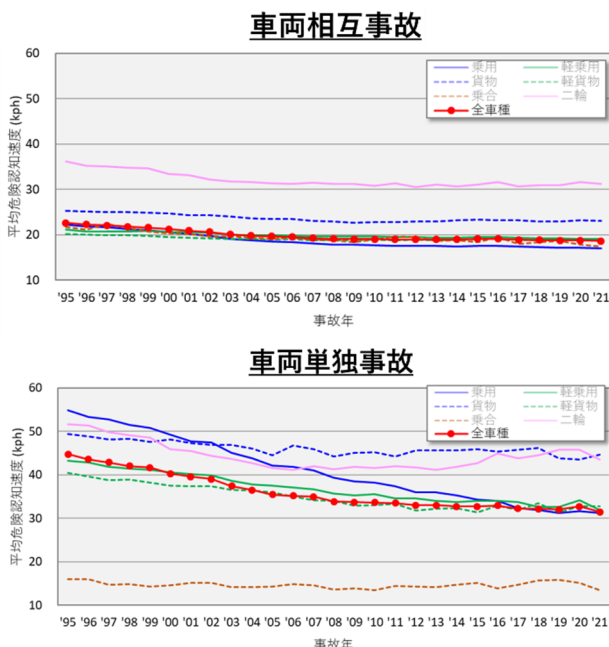


図 6 危険認知速度の推移(車両相互/単独事故)

※いずれも1当側危険認知速度(死亡+重傷+軽傷)

この仮説を検証するためには、危険認知速度と因果関係のある要因を同定し、それらの因子が社会

本研究では、まず速度に関係すると思われる因子をリストアップし(表 2)、その因子の件数構成率が全体母集団と同等(誤差 0.1%以内)となるよう複数の集団を抽出し、その上で着目した因子だけに構成率の差をつけ、結果として計算される平均の危険認知速度の差異を調べた*。

今回は、54 万の全体データから各水準 2000 件を抽出した。抽出率は 1%未満であり、99%以上を捨て去ることでこのような人為的にコントロールさ

※本手法の制約等については、末尾の付録を参照方。

れたデータセットを作ることが可能となった。

表 2 危険認知速度の因子(=説明変数)と水準

因子	事故年	人					車		道			
		性別	年齢	飲酒 運転	通行 目的	行動類型	当事者 種別	車齢	道路 形状	信号機	地形	昼夜
水準1	2010-12	男	0-24歳	あり	業務	発進後退	普乗用	0-2年	交差点	点灯	DID	昼
水準2	2013-15	女	25-44歳	なし	通勤	直進等	軽乗用	3-5年	単路	点滅	市街	夜
水準3	2016-18		45-64歳		私用	右左折	他乗用	6-8年	踏切	なし	非市街	
水準4	2019-21		65-99歳			その他	貨物	9年以上	一般場			

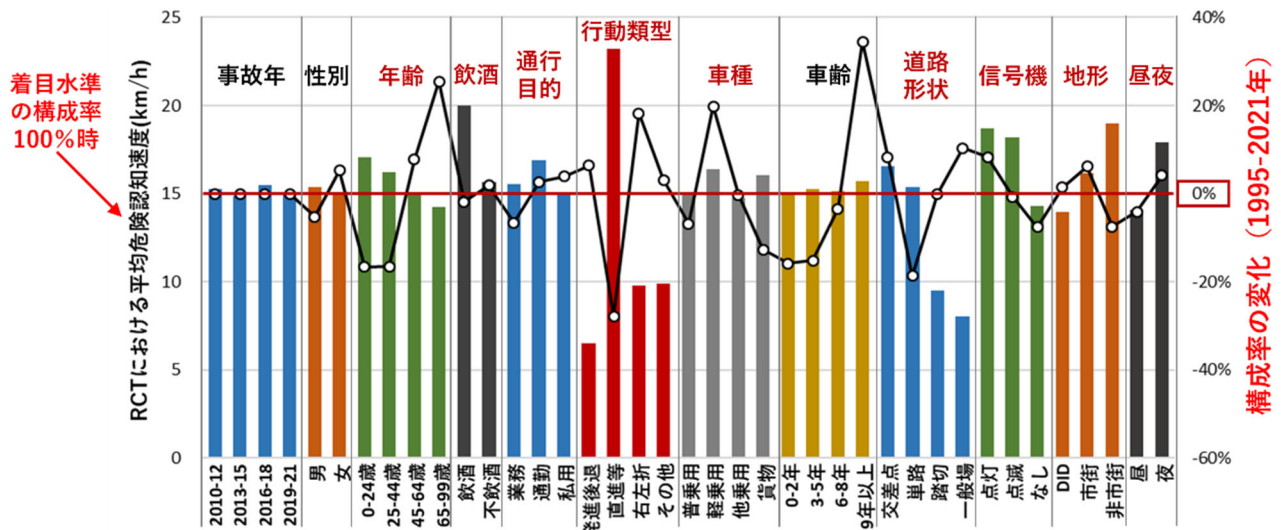


図 8 着目因子(水準)の平均危険認知速度と構成率の変化

抽出した計 39 集団の結果を、図 8 に示す。棒グラフは平均危険認知速度（着目水準の構成率＝100%時）、折れ線グラフは着目水準の構成率変化（1995 年から 2021 年にかけて）である。また、因子毎に t 検定を行ない、有意（p 値≤5%）な因子名を赤字で表示している。まず、事故年だけを振って他の因子・水準を同一にした集団（左端）を見ると、平均速度に差がない結果が出ており、抽出した因子（説明変数）の種類に不足がなかったことが分かる。また、年齢（加齢：遅い）、飲酒（速い）、行動類型（直進：速い、右左折/発進：遅い）、車種（軽や貨物：速い）、道路形状（交差点や単路：速い、駐車場：遅い）、信号機（あり：速い）、地形（都市部：遅い）、昼夜（夜：速い）といった、特に違和感のない結果が得られた。

次に、平均危険認知速度に構成率変化を乗ずることで、直近 26 年の速度変化に対する実際の寄与量

を算出した（図 9）。結果、行動類型が卓越しており、続いて年齢、道路形状、地形が速度低下に寄与していることが明らかになった。

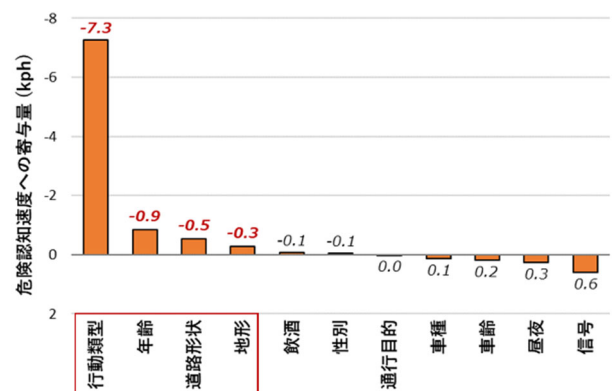


図 9 各因子の危険認知速度への寄与(1995～2021 年)

3.2 (2) 低速域でも死亡重傷に至るメカニズム

分析の手順を、図 10 に示す。

- ① まず、歩行者の傷害程度と関係のある 27 の因子をリストアップし、データセットを作成した。
- ② 次に、危険認知速度で中高速、低速 2 群のデータセットに分割した。
- ③ 各群に対し、k-means 法による非階層クラスタ分析を行なった。分割数=2~10 で試行計算を

行なったところ、両群とも 4 分割時に死亡重傷率の高いクラスが現れ、これらに着目クラスタとした。

- ④ 着目クラスタに対して、27 因子全ての分布を比較し、低速群の特徴を確認した。

上記④で各因子の度数分布を比較したところ、12 因子で着目クラスタ間に顕著な差が認められた(図 11)。これらをまとめると、以下となった。
・道：低速群は、昼間、DID, 交差点, 点灯信号あ

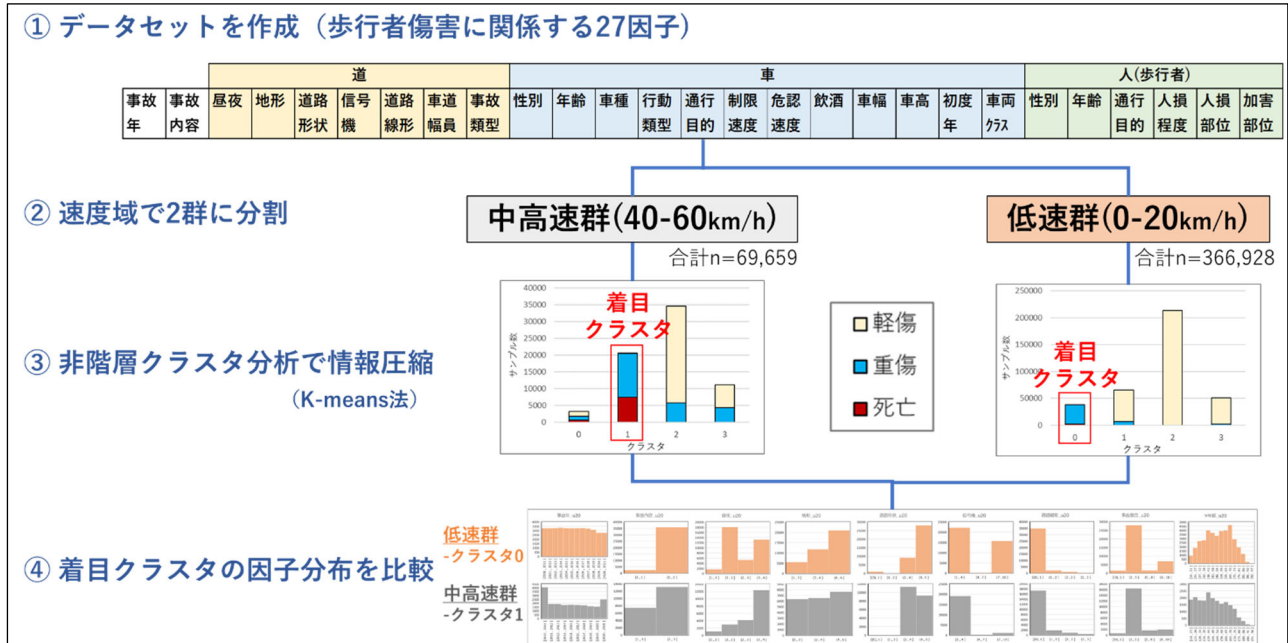


図 10 低速域で死亡重傷に至る要因の分析手順



図 11 着目クラスタにおける因子・水準毎の度数分布比較

り、が多い。

- ・車/運転者：低速群は、普通車セダン、発進右左折、私用、高齢運転者が多い。
- ・人（歩行者）：低速群は、脚部傷害、タイヤ/路面による加害、子供/高齢者が多い。

着目クラスタ（死亡重傷クラスタ）のうち、低速群で多くなる因子・水準を表3に示す。「道」と「車」にはRCTでも確認された因子が多数入っているが、これらは専ら速度低下に関連した因子と考えられ、2つの異なるアプローチによる検討が整合する結果を示したことになる。

表3 低速群で多くなる因子・水準

・ 低速化因子 ：RCTでも確認された「速度を下げる」因子(水準)		
・ 傷害関連因子 ：「低速域における重症化」に関連する因子(水準)		
道	屋間、市街地、交差点、信号機	
車	普通セダン、発進/右左折、私用、高齢運転者	
人 (歩行者)	年齢	子供、高齢女性
	人身傷害主部位	脚部
	加害部位	タイヤ、路面

一方、人（歩行者）に関係する因子は、低速域での重症化に関係があると考えられるため、これらの速度群による差異を分析した(図12)。左の棒グラフは年齢層と性別毎の度数分布、右のバブルチャートは人身損傷主部位と加害部位毎の発生頻度を表しており、歩行者の年齢層に応じた4つの断面(A:3歳児、B:7歳、C:20-54歳、D:70-84歳)で作図した。

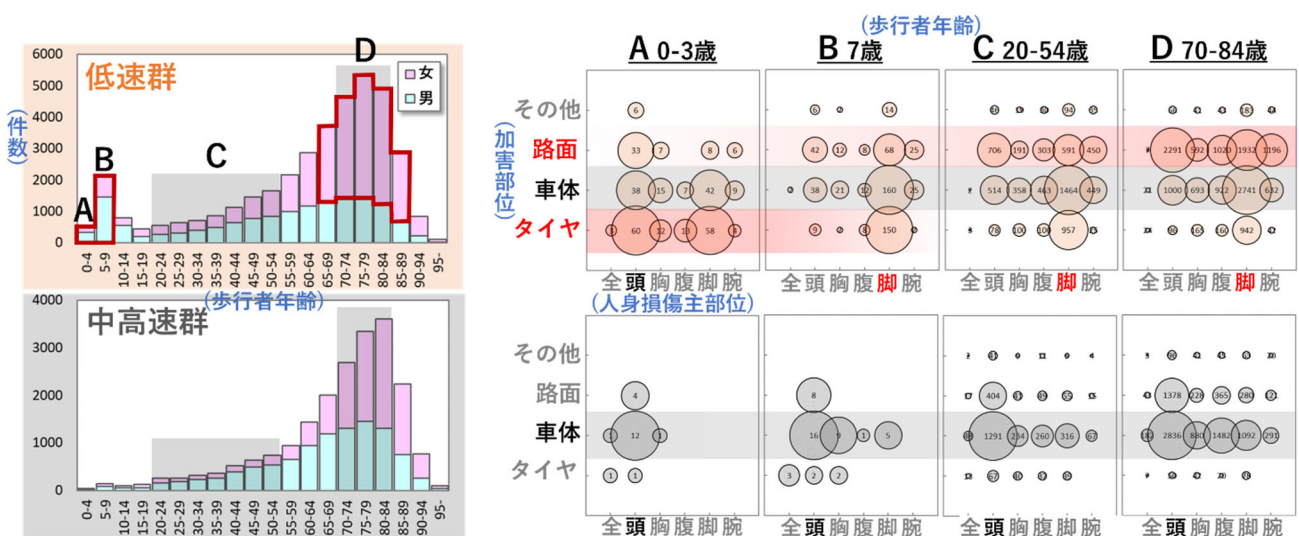


図12 速度群による傷害関連因子の差異

まず中高速群を見ると、度数分布では子供の凹凸や女性への偏りはなく、バブルチャートでは年齢層を問わず車体により頭部が損傷主部位となるケースが最多となっている。一方、低速群では、①子供(A・B)の件数が多い、②高齢者(D)で女性比率が高い、③加害部位は車体に加え路面・タイヤ(特にA)が多い、④脚部が損傷主部位となるケースが多いといった4つの特徴が認められる。

続いて、これらの特徴の背景にあるメカニズムを推定した。事故分析のみで物理的なメカニズムに迫るのは困難なため、衝突安全の歩行者保護分野における一般的な知見を踏まえて推定した。図13に、加害部位と衝突速度による傷害程度の傾向を示す。速度低下と共に軽症となる傾向があり、20km/h以下の低速域では一般的に軽症や中等症が多いとされるが、この条件下でも重症となる事故では人体耐性の低い歩行者の割合が増えると考えられる。特に高齢女性は骨粗鬆症で耐性が低下するケースが多く、これが②の原因と推定される。また、車体接触による傷害程度は低速域で大きく下がるが、路面接触はあまり変わらない。よって、低速域では路面の加害性が相対的に浮上し、③の原因になっていると考えられる。

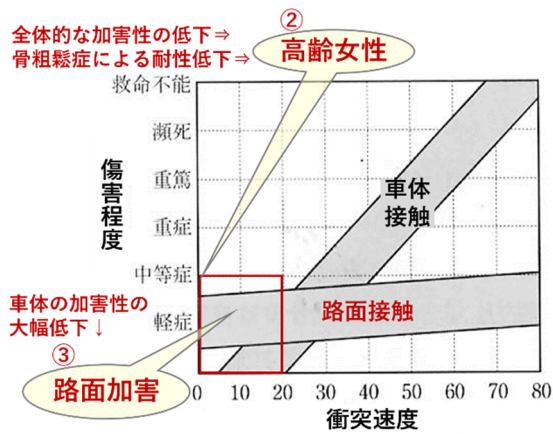


図 13 加害部位・衝突速度と傷害程度の傾向
(文献 2)

図 14 に、歩行者の典型的な衝突挙動（時系列）を示す。ボンネットのある車に大人の歩行者が当たった時、まずバンパーで足を払われ、ボンネット側に倒れて頭を打ち、さらに体が回転し、車がブレーキをかけることで、車の前方にずり落ちる。中高速では、勢いよく頭を強く打ち、そのまま体が宙返りして、空中から路面に落下する。中高速では車体と頭部が接触したタイミングで頭部が損傷主部位となることが多いが、低速では勢いが弱いため、最初の脚部が当たったタイミングで損傷主部位が決まることが多くなり、④の原因になっていると考えられる。また、身長の高い子供は、脚ではなく上

半身がバンパと接触し、大人とは逆の路面側に倒れる。さらに、低速のため遠方には飛ばされず、タイヤで轢過されることが多くなると考えられる。これが③（幼児へのタイヤ加害）の原因と考えられる。

最後に、重症化のメカニズムとは異なるが、①（子供（A・B）の件数が多い）の背景にも触れておく。ITARDA で別途実施した事故分析（図 15）から、A は幼児の発進時事故と考えられる。特に 3 歳以下は身長が 90cm 程度であり、車両に近接した位置に立つとミニバンなど着座位置の高い車の運転席から見え辛くなる。そのため、自宅付近で発進時に轢過されてしまう事故が多い。発進時のため、当然低速事故となる。B は、小学 1 年生の事故である。入学で急に行動圏が広がるのに伴い、この年齢だけ事故頻度が急増する。登下校中に通学路で事故に遭うことが多いため、低速事故になりやすいと考えられる。

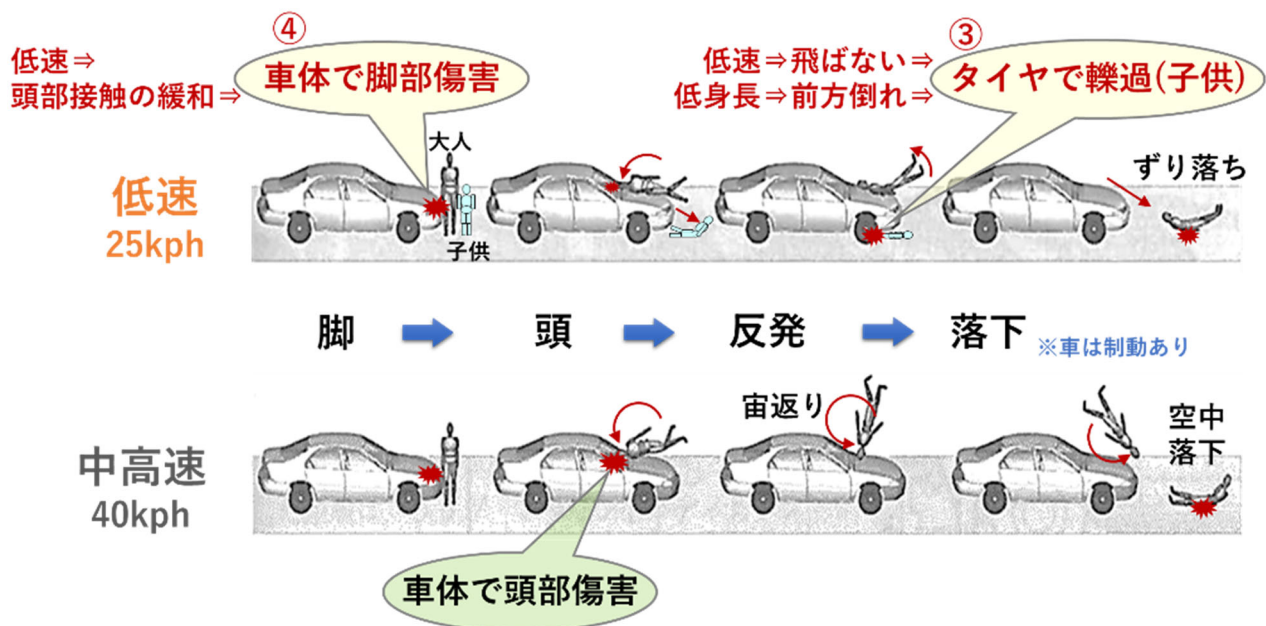


図 14 速度群による傷害関連因子の差異 (文献 2)

A：幼児の発進時事故**【原因】**

- ・ **背が低い**⇒運転席から見えにくい
- ・ **発進時**⇒低速事故となる

**B：小学一年生の事故****【原因】**

- ・ **入学**で行動圏が広がる⇒事故頻度が急増
- ・ **登下校中**⇒通学路の低速事故が多い

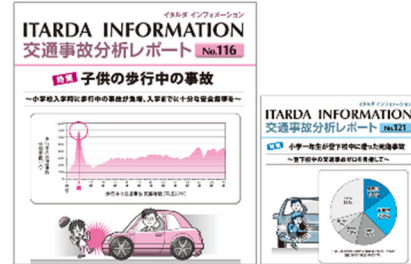


図 15 子供の低速事故(文献 3, 4, 5)

4. まとめ

低速域（危険認知速度 20km/h 以下）の歩行者事故について、(1)事故が減らない原因、(2)低速度で死亡重傷に至るメカニズム を調べた。結果、以下が明らかとなった。

- (1) 1995 年以降、ほぼ全ての事故形態で危険認知速度の低下傾向が続いており、結果として中高速域の件数が低速域に流れ込んでいる。これが（全体件数は減っているにも拘らず）低速域の事故が減らない原因と考えられる。危険認知速度低下の主要因は、イ) 行動類型（直進：減，右左折：増），ロ) 年齢（44 歳以下：減，65 歳以上：増），ハ) 道路形状（単路：減，交差点/駐車場：増）である。背景の社会変化としては、まず高齢化が挙げられるが、イ) ハ) の変化に鑑みると、人口の都市集中の影響も考え得る。
- (2) 低速域では傷害要因が多様化し、中高速域と比較して a) 低耐性歩行者，b) 路面加害，c) 轢過，d) 脚部傷害 の割合が増える。a～c は従来の衝突安全方策（歩行者保護構造）では対応が困難であり、衝突を未然に防ぐ方策が必要になると考えられる。

参考文献

- 1) https://twitter.com/katalab_s/status/1412957154521214978
- 2) 水野幸治『自動車の衝突安全 基礎論』，名古屋大学出版会，2018，p207/220.
- 3) (公財) 交通事故総合分析センター「イタルダ インフォメーション No. 141」，2022 年 6 月．
- 4) (公財) 交通事故総合分析センター「イタルダ インフォメーション No. 116」，2016 年 6 月．
- 5) (公財) 交通事故総合分析センター「イタルダ インフォメーション No. 121」，2017 年 3.

付録：本研究の RCT 手法の制約等

今回採った手法では、図 A のように因子間の連鎖関係がある場合であっても、上流側因子（赤字）の影響は下流側因子の構成率の調整で無効化される。従って、因果関係を評価できるのは危険認知速度（目的変数）に直結する因子（緑字）のみとなる。連鎖関係の上流側因子を評価する方法としては、目的変数を下流側の各因子に変更し RCT を総当りで繰返す等が考えられるが、因子数が多い場合、現実的に実施は困難である。

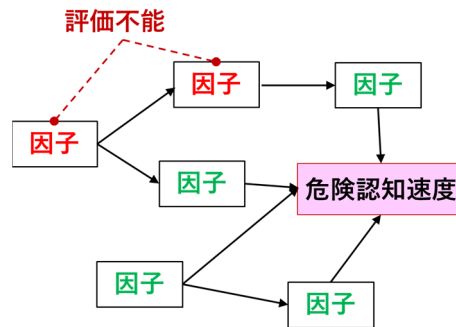


図 A 因子の評価範囲

また、本研究では、図 9 に示した危険認知速度に対する各因子の寄与量は ①因子/水準の(単独)感度および ②因子/水準の構成率変化 の積で算出している（図 B）。

前者は着目因子/水準の構成率=100%かつ他の因子/水準のそれは母集団と同一とした時の危険認知速度である。よって、他因子による交絡や交互作用等の影響がない条件下で算出された感度であり、また応答の非線形性は考慮されていない。今回、危険認知速度変化量の実測値（事故データ）と計算値（Σ各水準の感度×構成率変化）の間には 13%の誤差があったが、これが非線形性の影響である可能性がある。後者は事故データによる実測値であり、因子間の諸々の相互作用は結果的に全て入っている。

広い意味での因子/水準の感度は、②、すなわち当該因子/水準の構成率変化が他因子の構成率変化に及ぼす影響も含むべきとも考えられるが、全ての因子/水準の構成率に対して RCT の実施が必要となるため、今回は見送った。

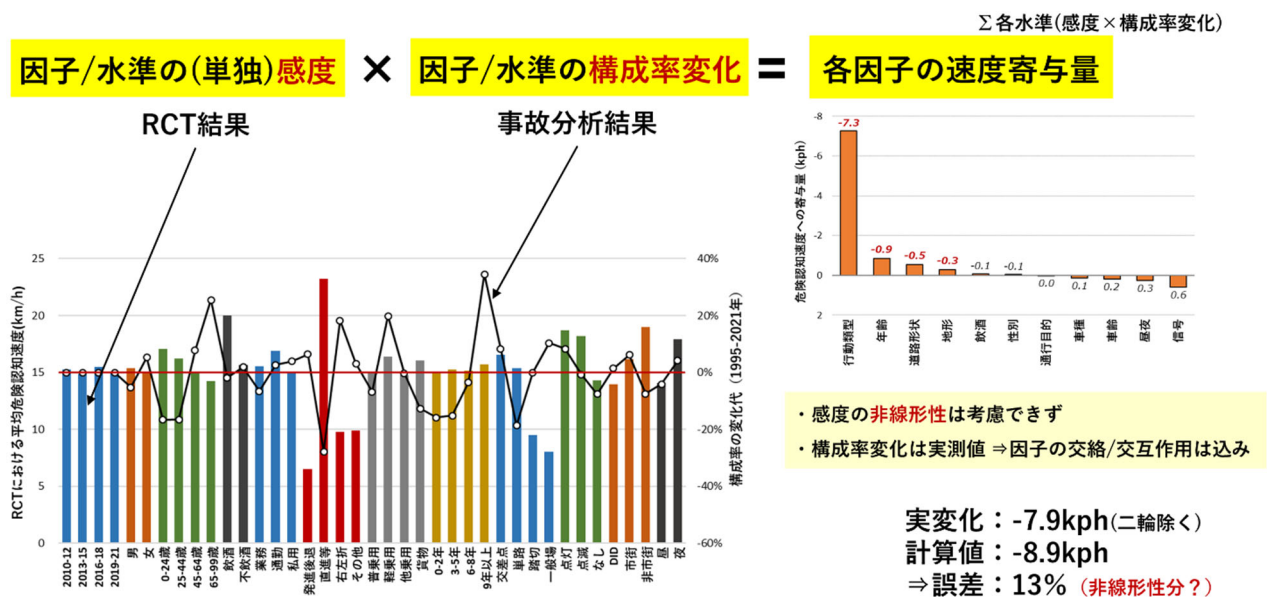


図 B 危険認知速度に対する各因子の寄与量の計算プロセス