

踏切の鳴動状態を考慮した歩行速度特性

鈴木 大輔* 遠藤 広晴* 秋保 直弘*
榎並 祥太* 水上 直樹*

Walking Velocity Characteristics in Consideration of Railroad Crossing Warning

Daisuke SUZUKI Hiroharu ENDOH Naohiro AKIUI
Shota ENAMI Naoki MIZUKAMI

Walking velocity of 4,726 pedestrians at three railroad crossings was measured. The data analyzed were the mean, standard deviation and probability distribution of walking velocity in the case of entering a railroad crossing before/after warning. The findings were compared with those of previous studies in the field of pedestrian crossings. As a result, there were pedestrians who increase and pedestrians who do not increase their walking velocity in the case of warning. The range of the walking velocity at the railroad crossings was the same as that of pedestrian crossings. The longer the railroad crossings were, the faster the walking velocity was. This tendency was the same as that of pedestrian crossings.

キーワード：踏切，鳴動状態，歩行者，確率分布，歩行速度特性

1. はじめに

踏切事故の原因究明と再発防止のために国土交通省が設置した「高齢者等による踏切事故防止対策検討会」の報告¹⁾によると、2013年度の踏切事故死者に占める歩行者の割合は約7割で、そのうち約4割は65歳以上の高齢者であった。その原因として、歩行速度が遅いことや自動車とすれ違う際に歩行を中止してしまうこと等が挙げられた。踏切における歩行者の歩行速度特性を知ることが、踏切の安全性向上に極めて重要である。

踏切での人間の行動の研究については、主に自動車ドライバーと歩行者の報告に分けられる。松本ら²⁾は、自動車ドライバーの横断直前における、一旦停止の有無が安全性に与える影響を評価した。羽山ら³⁾は、ドライビングシミュレータを用いて、一旦停止義務を解除した場合の踏切内での滞留可能性を検討した。また、歩行者については事故分析が報告されている。久宗ら⁴⁾は、電車遅延時の踏切での人間の行動を観察して、列車が遅れた際の迂回を促す情報の提供について検討した。梶原ら⁵⁾は、2005年に発生した踏切事故を事例として、高齢者の踏切での行動について分析した。このように踏切における自動車ドライバーの運転行動や歩行者の事故分析は報告されているが、歩行速度特性については検討されてこなかった。

一方、道路交通分野では日常の歩行速度特性の研究が行われてきた。交通工学ハンドブック⁶⁾によると、通勤

中では平均1.54m/s(標準偏差0.18m/s)、買い物中では平均1.06m/s(標準偏差0.19m/s)である。

歩行者の横断行動を考慮した信号現示方式や横断速度に応じた青点灯時間の延長について検討するために、横断歩道における歩行速度特性が数多く報告されている。斉藤ら⁷⁾は、東京都内の35箇所の横断歩道において12,668人の歩行者を対象に歩行速度を計測した。その結果、青点灯時間中に横断を開始した場合の歩行速度は概ね0.6～2.2m/sの範囲に、青点滅時間以後に横断を開始した場合の歩行速度は概ね0.7m/s～3.0m/sの範囲にそれぞれ分布していることがわかった。また、平均歩行速度は横断歩道長と正の相関があった。

矢野⁸⁾は、東京都内3箇所の横断歩道において4,333人の歩行者を対象に、横断途中で信号が青点滅や赤に切り替わった場合の横断歩行者の速度変化について調査した。その結果、残りの横断距離が長くない場合、横断途中で信号が青点滅や赤に切り替わっても歩行速度はあまり上昇しないことがわかった。この理由として、歩行者は信号が青点滅や赤に切り替わることを見越して普通より速い速度で横断を始め、中間部を過ぎて横断歩道の終了端が近づいてくると普通速度に戻ってしまうためだと考えられた。また、信号切り替わり後の残りの横断距離が20mを越えるような長い場合、歩行速度は上昇する傾向があった。

矢野⁹⁾は、東京都内5箇所の横断歩道において2,686人の歩行者を対象に、青点灯が始まってからの横断タイミングに着目し、横断歩道長と横断速度の関係を調査し

* 人間科学研究部 人間工学研究室

特集：安全の人間科学

た。その結果、横断歩道が長く横断開始タイミングが遅い歩行者ほど横断速度が高い傾向であることがわかった。

森ら¹⁰⁾は、東京都内4箇所と埼玉県内3箇所の横断歩道において移動制約者4,547人を含む10,283人の歩行者を対象に、移動制約者の横断速度が健常者と比較してどの程度低下しているかを調査した。その結果、杖や補助具を使用している歩行困難者は全歩行者の2%程度を占めており、そうした歩行者が横断に要する時間は、横断速度の平均値および10パーセント値の双方による評価において健常者と比べると約1.5倍であることがわかった。

溝端¹¹⁾は、愛媛県松山市内20箇所の横断歩道において1,280人の歩行者を対象に、各歩行者の年齢を聞き取り高齢者の歩行特性を調査した。その結果、75歳以上の歩行速度低下が顕著であること、また75歳以上の約半数が青点灯と青点滅を合わせた時間内で横断不可能な交差点が存在することを明らかにした。

張ら¹²⁾は、名古屋市内8箇所の横断歩道において6,821人の歩行者を対象に歩行速度モデルを構築し、交差点の幾何構造や信号現示が歩行速度分布に及ぼす影響を調査した。その結果、青点滅後に横断を開始した歩行者は青点灯中に横断を開始した歩行者より速度が高く、そのばらつきが大きいことがわかった。

以上のように、歩行速度特性については道路交通分野で詳細に研究されており、歩行速度の平均値だけでなく歩行速度分布についても検討されている。

鉄道総研では踏切通行者の実態を把握するために、踏切の鳴動状態と混雑状態が歩行速度に与える影響について検討してきた。著者ら¹³⁾は、東京都内3箇所の踏切において2,854人の歩行者を対象に、踏切に進入する際の踏切の鳴動状態が歩行速度の平均値と標準偏差に与える影響を調査した。その結果、鳴動後に進入した場合は歩行速度が速く、ばらつきが大きいことがわかった。また著者ら¹⁴⁾は、東京都内3箇所の踏切において4,726人の歩行者を対象に、踏切内の混雑状態（通行者の密度）が歩行速度の平均値に与える影響を調査した。その結果、踏切鳴動後に進入する場合は鳴動前に進入する場合よりも、密度による歩行速度の低下がより顕著になることがわかった。

そこで本研究では、踏切の鳴動状態に着目し、鳴動前に進入した場合と鳴動後に進入した場合の歩行速度分布を同定すること、また横断歩道における知見と比較し踏切における歩行速度特性を明らかにすることを目的とした。

2. 調査方法

踏切内の歩行者の実態を把握するため、踏切長の異なる3箇所の踏切をビデオカメラで撮影した。撮影には

ビューポール（株式会社道路計画製）を用いた。ビューポールとは、ポールの先端にカメラを搭載した高所撮影システムである（図1）。踏切付近の照明柱等に設置し高所から踏切を撮影した。踏切外から広範囲を撮影することで、踏切に進入する前の通行者の行動を把握することができる。



図1 高所撮影システム（株式会社道路計画 HP より）

2.1 調査対象踏切

多様な属性の歩行者を調査するために駅付近で交通量の多い踏切を選定した。車道は2車線、歩道は左右両側が色分けされている踏切とした。対象踏切の概要を表1に示す。A踏切は2本の線路を跨ぐ複線の踏切である。B踏切は4本の線路を跨いでいるが2本の線路は分岐した直後のため複々線の踏切の中では短めの踏切である。C踏切は5本の線路を跨いでおり複々線の踏切の中でも長めの踏切である。




歩行者の属性が通勤・通学者に偏らないようにラッシュ時間帯を避け、昼（12:00～13:00）と夕方（16:00～17:00）を分析対象時間とした。なお、予備調査において一定時間の全通行者の歩行速度を計測した結果、踏切鳴動時のサンプルが少ないことがわかったので、鳴動時のサンプルを増やすために上記時間帯以外で踏切が鳴動した時間をピックアップし、その時間の歩行速度も計測した。分析対象時間を表1に併記した。

2.2 混雑状態および歩行速度の計測方法

ラッシュ時間帯以外でも混雑状態には差が見られ、その影響も分析することとした。混雑状態については、各歩行者が踏切に進入した際の踏切内の人数を計測し、歩道の面積で除して歩行者密度を算出した。踏切の映像から、歩行者が混雑の影響を受ける場面として以下の2つのパターンが観察された。

- ①踏切に進入する際に他の歩行者の後ろに付いて歩行する場合
 - ②逆側から横断してくる歩行者をよけながら歩行する場合
- そこで、当該歩行者が横断する際の前半と後半の密度

表1 対象踏切の概要と分析対象時間

	A踏切	B踏切	C踏切
	複線	短めの複々線	長めの複々線
横断線数 (本)	2	4	5
踏切長 (m)	9.2	13.5	24.6
踏切幅 (m)	8.6	9.0	8.2
交通量 (人/日)	9,948	5,074	5,663
最寄り駅 からの距離 (m)	110	210	100
概観			
分析 対象 時間	2016年1月14日 12:00~13:00 16:00~17:00	2016年1月14日 12:00~13:00 16:00~17:00	2016年2月25日 12:00~13:00 16:00~17:00

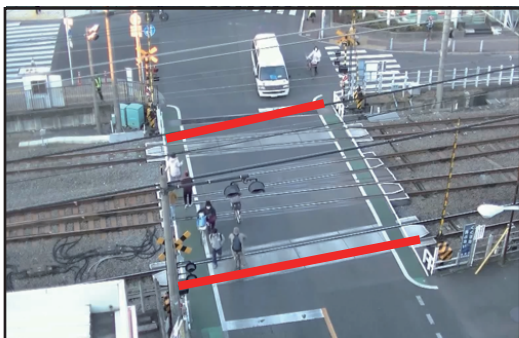


図2 踏切の進入・進出の境界線のイメージ

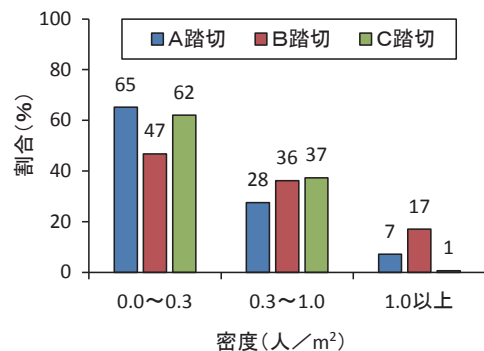


図3 歩行者密度の分布

の高い方を採用することとした。道路交通に関する既存研究¹⁵⁾では、歩行者密度が0.3人/m²を超えると通行に対して何らかの制約を想定することになり、1.0人/m²を超えると自由歩行は困難になると言われている。本研究でも、この区分に従い集計した。

歩行速度については、各歩行者が踏切に進入した時刻と進出した時刻を記録し、その時間差と踏切長から平均速度を算出した。踏切の進入・進出の境界線のイメージを図2に示す。図中の赤線が踏切の進入・進出の境界線を意味する。

鳴動状態については、踏切の警報が鳴動する前に歩行者が踏切に進入した場合を「非鳴動」、鳴動後に進入した場合を「鳴動」と分類した。

3. 調査結果

3.1 混雑状態および歩行速度の計測結果

各踏切の歩行者密度の分布を図3に示す。いずれの踏切でも、0.0~0.3人/m²が50~60%程度、0.3~1.0人/m²が30~40%、1.0人/m²以上が0~10%程度であった。

昼と夕方における歩行速度分布に差があるかについて χ^2 検定を行ったが、全ての踏切で有意差は見られなかったため、昼と夕方のデータを合わせて分析することとした。

各踏切における非鳴動/鳴動での歩行速度の計測結果を表2に示す。ヒストグラムの歩行速度の刻み幅は0.1m/sとした。サンプル数は合計4,726人となった。各踏切と

表2 歩行速度の計測結果

	A踏切		B踏切		C踏切	
踏切長	9.2m		13.5m		24.6m	
分布						
	(— : 非鳴動, — : 鳴動)					
鳴動状態	非鳴動	鳴動	非鳴動	鳴動	非鳴動	鳴動
サンプル数 (人)	1,119	462	1,288	166	1,403	288
平均値 (m/s)	1.23	1.60	1.27	1.80	1.40	2.00
標準偏差 (m/s)	0.28	0.57	0.28	0.59	0.34	0.60
5パーセンタイル値 (m/s)	0.84	0.95	0.90	1.15	0.98	1.31
50パーセンタイル値 (m/s)	1.23	1.44	1.23	1.58	1.36	1.85
95パーセンタイル値 (m/s)	1.60	2.83	1.69	2.85	1.91	3.06

も非鳴動／鳴動あわせて1,500人程度であった。

分布を見てみると、非鳴動に対して鳴動は歩行速度が速い方向（グラフの右側）にシフトしていた。

平均値は、各踏切において非鳴動よりも鳴動の方が速かった。踏切長で比較すると、非鳴動／鳴動ともに踏切長が長くなるほど速くなった。

標準偏差は、各踏切において非鳴動よりも鳴動の方が大きかった。踏切長で比較すると、非鳴動／鳴動ともに踏切長が長くなるほど大きくなった。

5パーセンタイル値、50パーセンタイル値、95パーセンタイル値はいずれも、各踏切において非鳴動よりも鳴動の方が速く、5パーセンタイル値で1.1～1.3倍、95パーセンタイル値で1.6～1.8倍であった。50パーセンタイル値を平均値と比較すると、非鳴動では同程度の値を示し、鳴動では平均値の方が大きな値であった。5パーセンタイル値と95パーセンタイル値より、歩行速度の範囲は非鳴動で概ね0.8～1.9m/s、鳴動で概ね0.9～3.0m/sであった。

3.2 歩行速度分布の同定

歩行速度を計測した結果、非鳴動では平均値と50パーセンタイル値が同程度で左右対称の分布をしていたが、鳴動では平均値が50パーセンタイル値より大きく、分布範囲が右側（高速側）に大きく伸びていた。このような左右非対称の分布を考えるには、ガンマ分布がよいと言われている¹⁶⁾。また横断歩道における歩行速度の既存研究¹²⁾では歩行速度がガンマ分布に従うと仮定してモデル化されている。そこで本研究でも式(1)に示すガンマ分布を用いることとした。ここで、 x は歩行速度、 k は形状パラメータ、 θ は尺度パラメータを意味する。平均は k/θ 、分散は k/θ^2 である。

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma(k)} \theta^k x^{k-1} e^{-\theta x} \quad (x > 0, k > 0, \theta > 0) \quad (1)$$

$$\Gamma(k) = \int_0^{\infty} x^{k-1} e^{-x} dx$$

平均二乗誤差を最小とするパラメータを推定し歩行速度分布を同定した。非鳴動／鳴動について、推定された

表3 歩行速度分布の推定結果

	A踏切		B踏切		C踏切	
踏切長	9.2m		13.5m		24.6m	
分布						
	(— : 非鳴動, — : 鳴動) (棒グラフ: 実測, 折れ線グラフ: ガンマ分布 $f_{k,\theta}(x)$)					
鳴動状態	非鳴動	鳴動	非鳴動	鳴動	非鳴動	鳴動
形状パラメータ k	39.5	25.7	32.3	14.6	33.7	15.1
尺度パラメータ θ	0.03	0.06	0.04	0.11	0.04	0.13
平均二乗誤差平方根 (pt)	0.8	1.4	0.5	1.9	0.4	1.1
相関係数	0.990	0.995	0.995	0.842	0.997	0.927

(※ptはパーセントの差の単位)

確率分布と実測値の比較を表3に示す。いずれの踏切においても平均二乗誤差平方根は1.0pt程度、相関係数は0.9程度となり、当てはまりは良好であった。なお、本研究における歩行速度分布は図3に示す歩行者密度の分布の踏切に適用可能であり、密度分布が大きく異なる踏切では別途検討が必要である。

4. 考察

歩行速度の平均値は非鳴動より鳴動の方が速く、標準偏差は非鳴動より鳴動の方が大きかった。また、非鳴動と鳴動の比を見てみると、5パーセンタイルは1.1～1.3倍だったのに対して、95パーセンタイル値は1.6倍～1.8倍で、95パーセンタイル値の方が鳴動の場合に速くなる割合が高かった。このことから、踏切の鳴動時には歩行速度を上げる歩行者と上げない（あるいは、上げられない）歩行者がいるものと考えられる。

ここで踏切での歩行速度を先行研究と比較する。交通工学ハンドブック⁶⁾によると、歩行速度の平均値は通勤中では平均1.54m/s、買い物中では1.06m/sであった。本研究の平均値は非鳴動で1.23～1.40m/s、鳴動では1.60～2.00m/sとなり、鳴動では通勤中より速かった。

道路における先行研究⁷⁾では、青点灯中に横断を開始した場合の歩行速度は概ね0.6～2.2m/sの範囲であり、踏切での非鳴動の場合の歩行速度の範囲0.8～1.9m/sは同程度であった。青点減時間以後に横断を開始した場合の歩行速度は概ね0.7～3.0m/sの範囲であり、踏切での鳴動の場合の歩行速度の範囲0.9～3.0m/sは同程度であった。また、横断歩道における平均歩行速度は横断歩道長と正の相関があったが、踏切においても非鳴動/鳴動ともに踏切長が長いほど平均歩行速度が速く同様の傾向であった。

先行研究¹²⁾では、青点減後に横断を開始した歩行者は青点灯中に横断を開始した歩行者より速度が高くばらつきが大きかったが、踏切においても鳴動開始後に踏切に進入した場合には同様の傾向であった。どちらも渡りきるための制限時間が少ないことを知らされて、歩行速度を上げたためと考えられる。

混雑状態について、先行研究^{9) 12)}では、歩行者交通量が多く自由な横断が不可能であったと考えられた場合には分析対象から除外しているが、本研究では踏切内が混雑していても歩行速度を計測した。踏切が開いた直後に踏切内の密度が高くなるのは踏切交通の特徴の一つである。著者らの先行研究¹⁴⁾では、密度が高くなるほど

特集：安全の人間科学

歩行速度の平均値が低くなることがわかっている。密度が高い場合のサンプル数を増やし、密度別の歩行速度分布について検討することは今後の課題である。

5. まとめ

本研究では、踏切通行者の歩行速度の実態を把握するために、4,726人の歩行速度を調査した。歩行者の属性が通勤・通学者に偏らないようにラッシュ時間帯を避け、昼(12:00～13:00)と夕方(16:00～17:00)を分析対象時間とした。踏切が鳴動する前に進入した場合と鳴動した後に進入した場合について、歩行速度の平均値、標準偏差、分布についてのデータを取りまとめるとともに、横断歩道を対象とした先行研究の知見と比較した。その結果、以下のことがわかった。

- (1) 鳴動／非鳴動における歩行速度の平均値、標準偏差、5パーセンタイル値、95パーセンタイル値の比較から、踏切の鳴動時には歩行速度を上げる歩行者と上げない(あるいは、上げられない)歩行者がいるものと考えられた。
- (2) 踏切における歩行速度の範囲は、横断歩道と同程度であった。
- (3) 踏切長が長いほど、歩行速度の平均値、5パーセンタイル値、95パーセンタイル値は高く、横断歩道と同様の傾向であった。

今後は、踏切内の混雑状態が歩行速度分布に与える影響について検討する必要がある。

謝辞

踏切の撮影においては、西武鉄道株式会社の関係者の皆様に多大なご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

文献

- 1) 高齢者等による踏切事故防止対策検討会：高齢者等の踏切事故防止対策について、2015
- 2) 松本真吾，羽山和紀，畠山直，柴田徹：踏切直前での警報開始に対するドライバーの運転行動評価，鉄道総研報告，Vol.24，No.11，pp.11-16，2010
- 3) 羽山和紀，松本真吾，柴田徹，畠山直，赤松幹之，佐藤稔久：踏切通行時の滞留可能性に関する研究(その1)，人間工学，Vol.45，Supplement，pp.280-281，2009
- 4) 久宗周二，岸田孝弥：踏切での人間行動についての一考察，人間工学，Vol.44，Supplement，pp.196-197，2008
- 5) 梶原一騎，池上徹，松田文子，久宗周二，岸田孝弥：踏切事故と高齢者，人間工学，Vol.42，Supplement，pp.208-209，2006
- 6) 交通工学研究会編：交通工学ハンドブック，技法堂出版，pp.90-96，1984
- 7) 斉藤威，有菌卓：信号交差点における横断歩行者の歩行速度に関する基本的な特性，科学警察研究所報告(交通編)，Vol.27，No.1，pp.15-27，1986
- 8) 矢野伸裕：信号機付き横断歩道における歩行者の横断速度に関する研究(1.信号表示の切り替わり前後での横断速度の比較)，科学警察研究所報告(交通編)，Vol.41，No.2，pp.22-37，2001
- 9) 矢野伸裕：信号機付き横断歩道における歩行者の横断速度に関する研究(2.横断開始タイミングと横断速度の関係)，科学警察研究所報告(交通編)，Vol.44，No.1，pp.38-43，2005
- 10) 森健二，横関俊也，矢野伸裕，萩田賢司：信号機付き横断歩道における移動制約者の横断速度，科学警察研究所報告(交通編)，Vol.66，No.1，pp.25-32，2017
- 11) 溝端光雄：高齢ドライバーと高齢歩行者の交通特性について，IATSS Review，Vol.16，No.1，pp.49-57，1990
- 12) 張馨，中村英樹，井料(浅野)美帆，陳鵬：横断歩道長と歩行者信号現示を考慮した横断歩行速度のモデル化，土木学会論文集D3(土木計画学)，Vol.70，No.5，pp.I_1031-I_1040，2014
- 13) 鈴木大輔，遠藤広晴，藤浪浩平：踏切鳴動を考慮した踏切通行者の歩行速度，人間工学，Vol.52，Supplement，pp.308-309，2016
- 14) 鈴木大輔，遠藤広晴，秋保直弘，榎並祥太，水上直樹：踏切の鳴動状態と混雑状態を考慮した通行者の歩行速度，人間工学，Vol.53，Supplement，pp.302-303，2017
- 15) 高宮進，森望：歩行者交通流からみた歩道幅員に関する一考察，土木技術資料，Vol.44，No.9，pp.109-114，2002
- 16) 上玉利瑛太，田中秀和：ガンマ分布の形状母数の推定について，数理解析研究所講義録，No.1860，pp.9-32，2013