

踏切待ち台数が直前横断発生率に及ぼす影響

小林 貴¹・坂本 将吾²

¹正会員 中央大学大学院 理工学研究科 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)
E-mail:x5116t@gmail.com

²正会員 一般財団法人 運輸政策研究機構 運輸政策研究所 (〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-18-19)
E-mail:s-sakamoto@jtrc.or.jp)

本研究では、踏切内事故の主要な原因となっている踏切が遮断する直前における車両の横断の発生に、踏切到着までの待ち台数が及ぼす影響を明らかにすることを目的として、踏切における車両の挙動の実測調査の結果を分析した。その結果、直前横断した車両としなかった車両では、踏切到着までの待ち台数に統計的に有意な差があること、そして、直前横断の発生率と待ち台数には正の相関があり、待ち台数は直前横断発生率の説明変数として統計的に有意であり説明力も高いことを示した。これらの結果から、踏切を通過するドライバーの行動には、踏切到着前の待ち台数が影響しており、直前横断をするか否かを決定している要因の一つとなっている可能性があることを明らかにした。

Key Words : *Incidence of just before railway crossing, number of waiting railway crossing*

1 はじめに

鉄道踏切においては、踏切が故障した場合に備え一時停止し、確認を行うことが道路交通法33条により義務づけられている。踏切は日本国内に3万箇所以上あり、踏切を通過する自動車が一時停止することによって、停止・再加速による温室効果ガスの排出量の増加や、環境負荷物質の排出量の増加、また、渋滞の要因となっており、その廃止が議論されている。一時停止廃止は踏切前後の区間を通過する貨物車交通において、平均20%以上の環境負荷物質の削減効果が得られ、特に交通量が多く、列車本数が少ない踏切でより削減率が高いことが示されている¹⁾。

一方で、一時停止の廃止による安全面への影響にも配慮する必要がある。三和ら²⁾では、踏切に関する事故発生率は年々減少しており、1997年以降の事故発生率は1997年以前と比べ1割程度にまで減少しているものの、踏切事故の要因は、踏切の遮断直前での横断とそれに伴う踏切内停滞であり、鉄道における重大事故の4割程度を占めていることが示されている。

また、踏切における一時停止の廃止によってどの程度踏切内停滞が発生するかについての分析^{3) 4) 5)}では、

ドライブシミュレータを用いて、一時停止廃止により、踏切通過速度が増加するほど、踏切内停滞(トリコ)が起こりにくいことが示されている。この先行研究では、踏切遮断について明示されていないため、停滞してから列車到着までの時間を考慮されていない。しかし、踏切内停滞が事故にいたるのは、踏切遮断中に停滞してしまうことであり、遮断直前に横断した場合に発生した踏切内停滞が最も事故が発生する可能性が高い。そのため、踏切の遮断直前での横断発生率とその要因を把握する必要があるが、これまで明らかにされていない。

直前横断を行うドライバーには、早く踏切を通過したいという心理があると考えられる。「早く踏切を通過する」ことを阻害する要因には、踏切の遮断による待ち時間に加えて、渋滞による踏切に到着するまでの待ち時間があり、待ち時間が長くなることにより直前横断をするドライバーが増えると予想される。

しかしながら、踏切に到着するまでの待ち時間によって、どの程度踏切の直前横断が発生しやすくなるのかは明らかにされていない。

そこで本研究では、踏切で遮断直前に横断する車両の発生率と、その車両が踏切に到着するまでの待ち台数との関係を分析し、直前横断の発生率に待ち台数が及ぼす

影響を明らかにする事を目的とする。

踏切付近での渋滞の原因の一つとして、踏切を通過するすべての車両が一時停止を行うことが考えられ、そのため、一時停止を廃止することによって渋滞が緩和される可能性があり、それにより踏切に到着するまでの待ち時間が短くなれば、直前横断をする車両も減少すると考えられる。本研究では、待ち台数と直前横断発生率の関係式を実測調査結果から推定し、それを用いて一時停止の廃止による待ち台数の減少と、それに伴う直前横断をする車両の台数の減少についての試算も行う。

本稿の構成は以下の通りである。次章で、分析方法について述べる。ここでは、本研究で明らかにしたい仮説を設定し、仮説の検証方法の説明をする。3章で、実際の踏切の調査結果の分析を行い、直前横断と待ち台数の関係を明らかにする。4章で一時停止の廃止による待ち台数の減少と、それに伴う直前横断の発生率の減少についての試算を行う。5章でまとめと今後の課題について述べる。

2 分析方法

(1) 分析の流れ

直前横断が発生する要因には、ドライバの「早く通過したい」心理があると考えられ、それを阻害する要因として、踏切の待ち台数が考えられる。待ち台数が多くなるほど待ち時間が長くなるため、それに伴い直前横断が発生しやすくなると考えられる。そこで本研究では、踏切を通過する車両の直前横断発生率と踏切到着時点の待ち台数との間には正の相関があるかどうか分析する。

分析の流れは以下のとおりである。

まず、直前横断が発生した場合の待ち台数と、直前横断が発生しなかった場合の待ち台数の比較を行う。ここでは待ち台数の平均の差の検定を行い統計的に有意な差があれば、待ち台数が直前横断発生率に影響がある、と判断する。

次に、待ち台数の増加によってどの程度直前横断の発生率が高くなるのかを回帰分析により求める。複数の関係型を検討することで、待ち台数の影響の仕方についても明らかにする。

また、朝は出勤時刻の制約があるために急ぐが、夕方は帰宅のみなので朝に比べると急がないといった場合など、時間帯によってドライバーがどの程度急いでいるのかに違いがあることが考えられ、時間帯によっては待ち台数が直前横断発生率に影響しないことも考えられる。そこで、時間帯別に直前横断発生率に直前横断が発生した場合の待ち台数と、直前横断が発生しなかった場合の待ち台数の比較を行うことで、時間帯によらず待ち台数が直前横断発生率に影響しているかを確認する。そして

待ち台数の平均に有意な差が確認された時間帯については待ち台数の増加によってどの程度直前横断の発生率が高くなるのかを回帰分析により求めることとする。

最後に、実測調査結果から推定した待ち台数と直前横断発生率の関係式を用いて、一時停止の廃止による待ち台数の減少と、それに伴う直前横断をする車両の台数の減少についての試算を行う。

(2) データ

(a) 直前横断と待ち台数の計測方法

調査対象とする踏切を34時間動画撮影し、撮影した映像から、目視により踏切の警告が開始した時に踏切にさしかかった車両を特定し、その車両が遮断直前に横断したかどうかを記録する。なお、本研究においては、直前横断は、「踏切の遮断の警告音が発せられた後に踏切を横断すること」と定義して記録する。

待ち台数の定義は「踏切遮断警告開始時に踏切にさしかかった車両が車列に到着した時点における車列の台数」と定義する。映像を確認しながら、踏切遮断警告開始時に踏切にさしかかった車両が車列に到着した時点にまで巻き戻し、車列到着時の待ち台数をカウントする。

(b) 分析対象の踏切

本研究で分析対象とした踏切は、神奈川県大和市にある小田急江ノ島線鶴間駅付近の踏切である。この踏切は小田急江ノ島線と厚木街道(旧国道246号)が交差している。列車本数は一日243本¹である。

踏切に隣接するビルの三階から撮影許可を得て撮影した。道路の1方向のみ(東方向車線)を対象とし、踏切の遮断状況と待ち台数を確認できる角度で撮影した。撮影日時は、平成25年7月1日(月)18時から7月3日(水)午前8時までの間である。

(c) 計測結果の概要

撮影した動画から採取したサンプル数(通過車両があった踏切遮断回数)は291回であり、その回数と同じ台数通過車両がいる。時間帯別サンプル数は表1による。なお、分析対象とした踏切では、道路の下流方向10m先に横断歩道があり、歩行者の横断待ち車両により踏切先で車列が発生することがある。そのため、その横断歩道がなければ直前横断していた車両がある可能性があり、直前横断回数を過小にカウントしている可能性がある。

表1 時間帯別サンプル数

時間帯	サンプル数
1:00-4:59	5
5:00-8:59	71
9:00-12:59	54
13:00-16:59	58
17:00-20:59	56
21:00-24:59	47

3. 結果

(1) 直前横断有無の待ち台数の比較

図1に、警告音開始時に踏切に差し掛かった車両の直前横断有と無の割合を待ち台数別に示す。図中の数字は実際の通過台数を示している。

待ち台数が1～2台では直前横断有の割合が24%程度と少ないが、待ち台数が3台以上になると直前横断有の割合が50%を超え、増加傾向が見られる。

直前横断有と無で、待ち台数の平均に統計的な差があるか確認するため、待ち台数の平均について差の検定(ウェルチのt検定)を行った結果を表2に示す。

直前横断無の待ち台数の平均は2.3台(分散4.7)であるのに対し、直前横断有の待ち台数の平均は4.7台(分散8.1)と、2倍以上直前横断有の方が大きい値となっている。t値は8.3となり、帰無仮説は棄却され「直前横断がある場合とない場合では待ち台数の平均が等しくない」という結果が得られた。

このことから、直前横断を行った車両の待ち台数の平均は直前横断を行わなかった車両の待ち台数の平均より多いことが明らかになった。

(2) 待ち台数が直前横断発生率に与える影響の大きさ次に、待ち台数が直前横断発生率へ与える影響の大きさを回帰分析により求める。

ここで直前横断発生率 P は、待ち台数別に直前横断をした台数を警告音開始時に踏切にさしかかった全台数で割った値とする。

図2に直前横断発生率と待ち台数の散布図を示す。

直前横断発生率は待ち台数の増加とともに増加している。直前横断発生率の増加傾向は、待ち台数4台以上で逓減し、待ち台数9台～10台で直前横断発生率が低下、更に待ち台数12台以上で増加している。散布図からでは関数形が定まらないため、線形モデル・二次関数モデル・対数線形モデルの3つの回帰式で単回帰分析を行った。単回帰分析の結果を表3に示す。

3つのモデルのすべての係数において t 値は有意な結果となった。決定係数 R^2 は線形モデルで0.56、二次関数モデルで0.62、対数線形モデルで0.74となり、対数線形モデルの説明力が最も高い。回帰式は対数線形モデルを選択する。

分析の結果得られた回帰式は式(1)となる。

$$P = 0.247 \cdot D^{0.575} \quad (1)$$

ここで、 P は直前横断発生率、 D は待ち台数を表す。
以上より、直前横断の発生率と待ち台数には正の相関

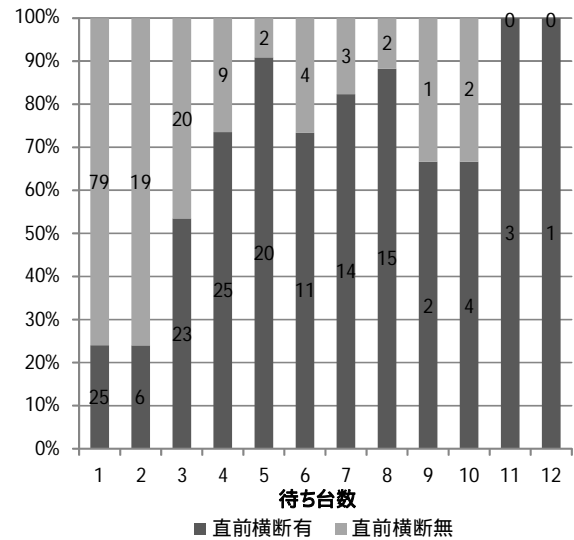


図1 直前横断有無別の待ち台数相対頻度

表2 直前横断有無の待ち台数平均の差の検定結果

	平均	分散	サンプル数	t 値
直前横断無	2.3	4.7	150	8.3
直前横断有	4.7	8.1	141	

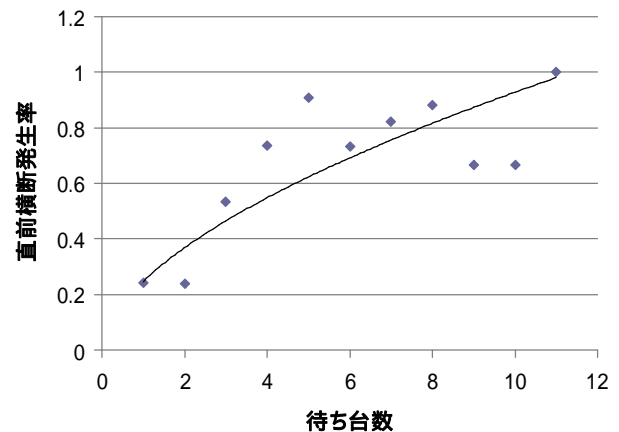


図2 直前横断発生率と待ち台数の散布図
(近似線は対数線形モデルを表示)

表3 回帰分析結果

		係数	t 値	R^2
線形	係数	0.055	3.2	0.56
	定数	0.342	2.9	
二次関数	係数	0.267	3.8	0.62
	定数	0.05	0.3	
対数	係数	0.575	5.1	0.74
	定数	0.247	7.1	

があり、待ち台数は直前横断発生率の説明変数として統計的に有意であり説明力も高かった。待ち台数と直前横断発生率の関係には、対数線形の関係があり、待ち台数の増加の影響は逓減していくことが明らかになった。

(3) 直前横断有無の待ち台数の時間帯比較

次に、ドライバーの急ぎ状況の違い等時間帯が直前横断へおよぼす影響を確認するため、時間帯別に直前横断有の待ち台数と、直前横断無の待ち台数の比較を行う。比較により、時間帯によらず待ち台数が直前横断に影響しているかを確認する

比較を行う時間帯は、1:00~8:59(朝)、9:00~16:59(昼)、17:00~24:59(夜)の3つの時間帯とする。この3つの時間帯に区分したのは、朝の出勤時間帯と昼の就業時間帯、夜の帰宅時間帯で影響の差が現れやすいと考えたことと、サンプル数の偏りを極力少なくするためである。

(a) 直前横断有無の待ち台数の時間帯比較

時間帯別に直前横断有と無で、待ち台数の平均に統計的な差があるか確認するため、待ち台数の平均について差の検定を行った結果を表4に示す。

いずれの時間帯も直前横断無の待ち台数の平均に対し、直前横断有の待ち台数の平均は2倍以上大きい値となっている。待ち台数の平均の大小関係は、直前横断有の場合も無の場合も夜、朝、昼の順で大きくなっている。t値は、朝が4.1、昼が6.8、夜が6.5とすべての時間帯で帰無仮説は棄却され「直前横断がある場合となない場合では待ち台数の平均が等しくない」という結果が得られた。

このことから、時間帯によらず直前横断を行った車両の待ち台数の平均は、直前横断を行わなかった車両の待ち台数の平均より多いことが明らかになった。

(b) 待ち台数が直前横断発生率に与える影響の大きさの時間帯比較

次に、時間帯によって待ち台数が直前横断発生率におよぼす影響の大きさがどの程度違うかを確認する。時間帯別の直前横断発生率と待ち台数の散布図を図3に示す。

朝と夜の分布はサンプル数の少なさからバラつきが目立つ(直前横断発生率が0と1に振れている)が、ばらついた点以外の点は、概ね重なっている。昼は朝と夜に比べ分布が右側に寄っており、直前横断が発生しにくい傾向が見られる。

時間帯別に対数線形モデルによる単回帰分析を行った結果を表5に示す。なお、回帰分析を行う際に、上述したサンプル数の少なさからくる外れ値の影響を除去するため、サンプル数が4以上の点において回帰式を推定している。

3つの時間帯において全ての係数と定数で値は有意な結果がえられた。朝の決定係数 R^2 が0.63と低い、昼と夜は0.77、0.85と高い説明力がえられた。朝の決定係数が低いのは、サンプル数が少ないため、直前横断発生率のばらつきが大きくなったことが原因であ

表4 時間帯別待ち台数の平均の差の検定結果

		平均	分散	サンプル数	t 値
朝	直前横断無	2.4	8.2	45	4.1
	直前横断有	5.1	8.3	31	
昼	直前横断無	2.6	2.1	54	6.8
	直前横断有	5.9	2.8	58	
夜	直前横断無	1.4	0.9	45	6.5
	直前横断有	3.7	2.3	58	

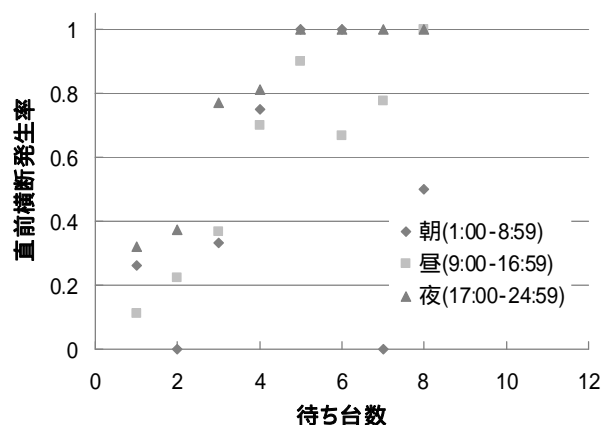


図3 時間帯別直前横断発生率と待ち台数の散布図

表5 時間帯別回帰分析結果

		係数	t 値	R^2
朝	係数	0.277	2.2	0.63
	定数	0.653	3.5	
昼	係数	0.142	5.3	0.77
	定数	0.840	7.3	
夜	係数	0.290	3.4	0.85
	定数	0.739	6.0	

ると考えられる。

係数を比較すると、朝と夜は概ね近い値である。昼は朝と夜に比べて定数が大きく、係数が小さい値となっており、待ち台数が多くても直前横断が起こりにくい傾向を示している。これは、昼の時間帯は朝と夜に比べて、ドライバーの急ぎ度合いが低いことや、朝と夜は移動の目的が異なるが、急ぎ度合いはあまり変わらないといった要因が考えられる。

以上より、時間帯によって待ち台数が直前横断発生率に与える影響の大きさに違いが見られ、朝と夜に比べて昼の時間帯の方が直前横断が起こりにくい傾向が見られた。ただし、前述したように、時間帯別に見た場合、待ち台数区分によってはサンプル数が不足するが発生しているため、再度詳細な分析が必要であると考えている。

4. 一時停止廃止による直前横断発生率の変化

ここでは、3章で作成した回帰式を用いて一時停止の廃止による待ち台数の減少と、それに伴う直前横断の発生率の減少についての試算を行う。

(1) 一時停止廃止ケースの設定

踏切の一時停止の有無・徐行の有無により比較ケース3つ設定する(表6)。

ケース1は、一時停止有・徐行有の場合とし、現状の踏切の条件である。ケース2はケース1から一時停止をなくすが、踏切内を20 km/hで徐行する場合である。ケース3はさらに、踏切帯内での徐行をなくし、前後の制限速度と同じ40 km/hで走行した場合を設定する。

(2) 待ち台数の算出

各ケースについて、平均待ち台数を算出する。待ち台数は、車両の到着をポアソン分布に従うと仮定し、待ち行列理論より式(2)により算出する。

$$L = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \quad (2)$$

ここに、 L は平均待ち台数、 μ は処理率、 λ は到着率を表す。

(a) 処理率の決定

ケース1(一時停止有)の処理率は、実測調査の結果から踏切に到着してから踏切を退出するまでの平均時間を記録し、その逆数により0.2台/秒とする。

ケース2(一時停止無・徐行有)の処理率は、踏切内の徐行速度を20 km/h、踏切内延長を12 mとして、踏切内を通過するのに要する時間の逆数により算出する。ケース2の処理率の算出結果は0.4台/秒となる。

ケース3(一時停止無・徐行無)の場合の処理率は、踏切内の通過速度を調査対象路線の制限速度である40 km/h、踏切内延長を12 mとして、踏切内を通過するのに要する時間の逆数により算出する。ケース3の処理率の算出結果は0.9台/秒となる。

(b) 到着率の決定

到着率は交通流率台/hの逆数により算出する。交通流率は、時間帯により異なるため、100台/hから600台/hまで100台刻みで変化させる。

(3) 直前横断発生確率の違い

3つのケースで交通流率を変化させた場合の直前横断発生率を図4に示す。

交通流率100台/h付近では3つのケースの直前横断発生率は近い値であるが、400台/h付近からケー

表6 比較ケース

	一時停止	徐行	摘要
ケース1	有	有	現状の一時停止有の場合
ケース2	無	有	一時停止は廃止するが、同時進入禁止と徐行をする場合
ケース3	無	無	停車禁止帯とするのみで制限をしない場合

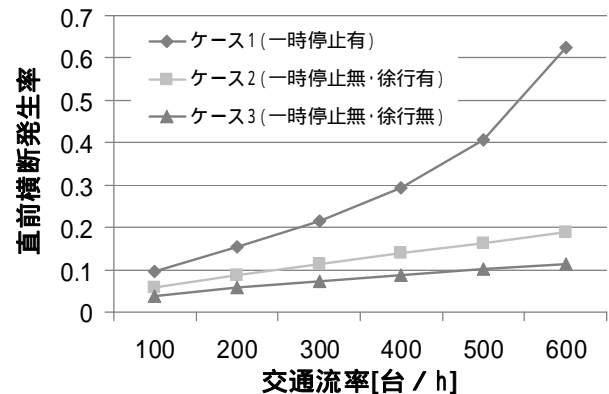


図4 一時停止廃止時の直前横断発生率の試算

ス1の直前横断発生率が急激に増加し、600台/hで、ケース1が62%、ケース2が19%、ケース3が11%と差が拡大する。

一時停止を廃止したケース2・ケース3の直前横断発生率の減少割合は、ケース1と比較すると、100/hの時、ケース2で4%減少、ケース3で6%減少であるが、交通流率が600台/hの時には、ケース2で43%減少、ケース3で51%減少となる。

このことから、交通流率が高い踏切において、一時停止を廃止することがより有効となる試算結果が得られた。

5. まとめ

(1) 結論

本研究では、踏切内事故の主要な原因となっている踏切が遮断する直前における車両の横断の発生に、踏切到着までの待ち台数が及ぼす影響を明らかにすることを目的として、踏切における車両の挙動の実測調査の結果を分析した。その結果、以下の知見を得た。

第1に、直前横断を行った車両の待ち台数の平均は、直前横断を行わなかった車両の待ち台数の平均より多いことが統計的に明らかになった。

第2に、直前横断の発生率と待ち台数には正の相関があり、待ち台数は直前横断発生率の説明変数として統計的に有意であり説明力も高かった。待ち台数と直前横断発生率の関係には、対数線形の関係があり、待ち台数の

増加の影響は減滅していくことが明らかになった。

第3に、時間帯によって待ち台数が直前横断発生率に与える影響の大きさに違いが見られ、朝と夜に比べて昼の時間帯の方が直前横断が起こりにくい傾向が見られた。

これらの結果から、踏切を通過するドライバーの行動には、踏切到着前の待ち台数が影響しており、直前横断をするか否かを決定している要因の一つとなっていることが明らかになった。

(2) 今後の課題

今後の課題は以下のとおりである。

第1に、今回は、全時間帯で集計した直前横断発生率と待ち台数で回帰式を作成した。しかし、直前横断の発生率に待ち台数以外の要因が影響を及ぼしている可能性が残されている。例えば、前述した時間帯によるドライバーの心理の違いや、地域や時期や曜日による変動といった影響である。これら进行分析するために、今後、サンプル数を増やし、時間帯別・地域別・時期別・曜日別に回帰式を作成し、パラメータを比較する等の分析をする必要がある。

第2に、一時停止を廃止した場合に、踏切先の車列のつまりにより、踏切内に停滞してしまう可能性を評価する必要がある。

第3に、一時停止廃止を検討するために、一時停止廃止の費用便益比の分析をする必要がある。その際、直前横断と事故発生確率の関係を分析し、貨幣価値を算出する必要がある。

第4に、踏切通過速度が増加した場合、踏切遮断機の故障によって重大事故につながる可能性がある。この点进行分析する必要がある。

補注

1 列車本数は駅の時刻表から数えているが、実際の本数は回送車両や特急車両（ロマンスカー）が有るため、この本数より多い。

参考文献

- 1) 小林貴,坂本将吾:鉄道踏切における一時停止義務解除時の大型貨物車が発生する環境負荷量の推計.第32回交通工学研究発表会論文集,99-102,2012
- 2) 三和雅史,大山達雄:鉄道重大事故統計データ解析に基づく事故防止策の提案と評価,土木学会論文集D,vol66,No.2,89-105.2010
- 3) 佐藤稔久,赤松幹之,柴田徹,松本真吾,樋田航:踏切前での一旦停止義務解除時における踏切内での停滞可能性の評価.自動車技術会論文集,vol39,No.6,259-264,2010
- 4) 佐藤稔久,赤松幹之,柴田徹,松本真吾,畠山直,羽山和紀:踏み切り前での一旦停止義務解除時における踏み切り内での停滞可能性の評価(第2報)-徐行時での停滞可能性と先々行車による影響,自動車技術会論文集,vol41,No.4,PP933-939,2010
- 5) 佐藤稔久,赤松幹之,柴田徹,松本真吾,羽山和紀:踏切前での一旦停止義務解除時における踏切警報の開始タイミングがドライバーの踏切進入行動へ及ぼす影響,自動車技術会論文集,vol42,No.4,PP945-951,2011
- 6) 鉄道事故インフォメーション,<http://jtsb.mlit.go.jp/jtsb/railway/rail-incident-toukei.php>, (アクセス:2013/7)

Relationship between Incidence of just before railway crossing and number of waiting railway crossing Takashi KOBAYASHI, Shogo SAKAMOTO

This study intended to reveal the effect of number of waiting railway crossing on the incidence of just before railway crossing. Results of analysis of the actual survey of the behavior of the vehicle at railway crossing revealed the following:

First, There is a statistically significant difference in the number of wait between railway crossing just before crossing and railway crossing not just before crossing. Second, There is a positive correlation between number of waiting railway crossing and number just before crossing incidence. It is also high explanatory power is statistically significant.

I revealed the results that waiting the number of railway crossing is affecting the behavior of the driver passing through the railway crossing. Number of waiting railway crossing is one of the factors that determines whether or not to just before crossing.