

踏切通行者の行動実態と警報時分の最適化に関する一考察

長 濱 友 治

A Study of the Optimization of Bell-Ringing Intervals in Relation to the Behaviors of Persons and Vehicles Passing Through Railroad Crossings

Tomoharu NAGAHAMA

We survey and analyze the behaviors of persons as well as passenger vehicles passing through a two-way-opening type automatic full barrier crossing to find an optimum ringing interval of bells in the crossing. In connection with it we have also made a factor analysis for accidents caused by passing persons.

Moreover, various watching behaviors of drivers of vehicles passing through the crossings are analyzed by using an eye-mark recorder.

1. ま え が き

本研究では、まず、1種自動踏切における最も一般的な「2組全しゃ断」について、旧国鉄の警報時分規程の矛盾を指摘した。次に警報時分の最適化に関する検討、見直しを行うことを目的とし、当該踏切の通行者行動調査および警報時分の長短に影響するとみられる歩行者事故の要因分析を行った。さらに、車輛の踏切近接時におけるドライバーの注視点行動についても実験を行った。

表-1 2組全しゃ断の警報時分

2. 警報時分規程等の問題点^{1), 2), 3)}

旧国鉄の『踏切設備の設備方および取扱い方に関する標準』では最も一般的な「2組全しゃ断」において警報時分の最小値を表-1のように、こ線数で示している。また、通行者は大型車(車長10m)を基準とし踏切手前1mで一旦停止後

警報時分(秒) \ こ線数	1～5	6～9	10～11
しゃ断かんの降下予告時分	4	4	4
しゃ断かんの降下時分	6+6	6+4+6	6+6+6
しゃ断かん降下後、列車の前頭が踏切に到達するまでの時分	15	15	15
警 報 時 分 の 計	31	35	37

- (注) 1. 道路から踏切に向かって進入側左半分の1組が降下後残りの右半分の1組が降下する。
2. 進入側左半分が降下後、4秒又は6秒の時素をおいてから、残りの右半分が降下する。

1.0 m/sec² の加速度で加速し、速度が 15 km/h になったら等速度で通過するものと予測している。ここで問題となるのは、①警報時分は踏切長でなく「こ線数」できめており、しかも3群に粗く大別して画一的にきめている。②「こ線数」1～5本で「時素」が0秒であるのは不合理である。③通行者の基準とした大型車の踏切通過速度は仮定されたものであり実測値から得られたものではない。④通行者に最も通過速度の遅い歩行者が考慮されていないなどである。

3. 踏切通行者の通行行動調査⁴⁾

3. 1 調査方法

一旦停止した踏切通行者が、通常で速度で踏切をクリアーする時間を観測することを主目的として調査を行った。対象踏切は北陸線を中心とした「1種2組全しゃ断」踏切7箇所である。観測方法を図-1に示す。なお、詳細な行動調査解析のため次の項目について調査した。

(1) 通行者の種別……普通乗用車、普通貨物車、大型バス、大型貨物車、歩行者（男女、老人）の別
さらに、通行条件について最も踏切長の長い No. 7 踏切を対象として、自動車（普通乗用車）と歩行者（男性）に関し

(2) 踏切警報との時間的な関係

(3) 先行車との時間的な関係

などについても測定した。

3. 2 調査結果と考察

表-2に自動車の測定結果を示す。N=サンプル数、 T_m =平均クリアー時間、 σ =標準偏差である。踏切通行者の平均クリアー時間を踏切長を説明変数とする回帰モデルを示すと次式でよく近似される。

$$Y = aX^b$$

$$Y = T_m \text{ or } T_m + 3\sigma(\text{sec})$$

X = 踏切長

a = 係数

b = 冪数

回帰モデルを計算して自動車については、図-2に踏切長—— T_m 、図-3に踏切長—— $T_m + 3\sigma$ 、また図-4に歩行者の回帰曲線とモデル式を示す。相関係数 $R=0.98\sim0.99$ で適合度はきわめて高い。図から自動車の場合、各車種とも T_m では、完全に進出側しゃ断かんをクリアーするが $T_m + 3\sigma$ の場合には普通乗用車を除くほかの車種は進出側で通行不能となり、「トリコ」事

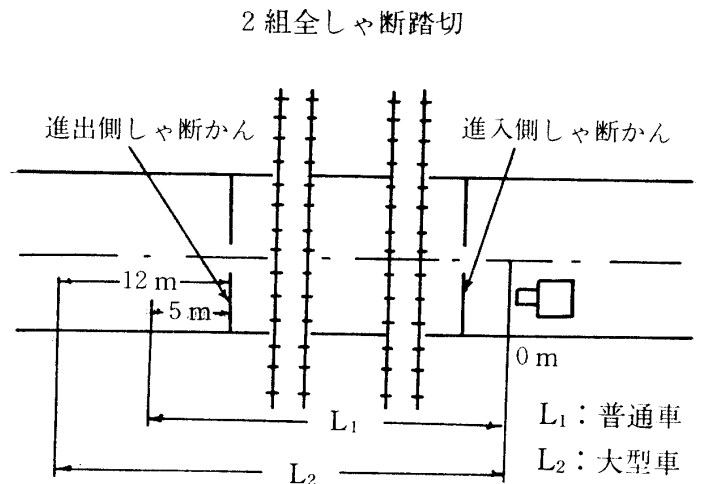
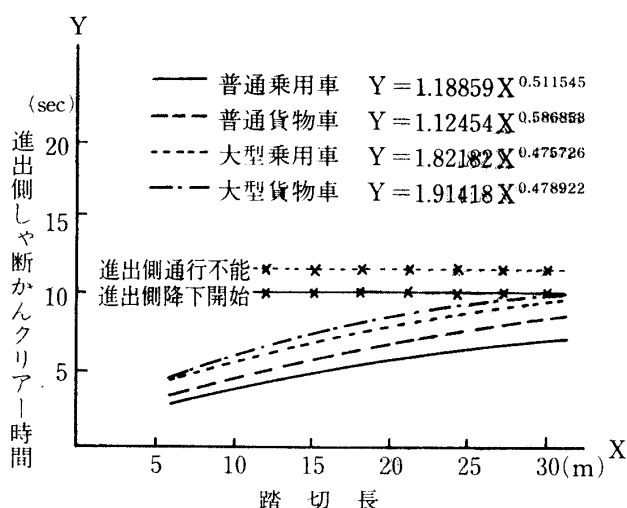
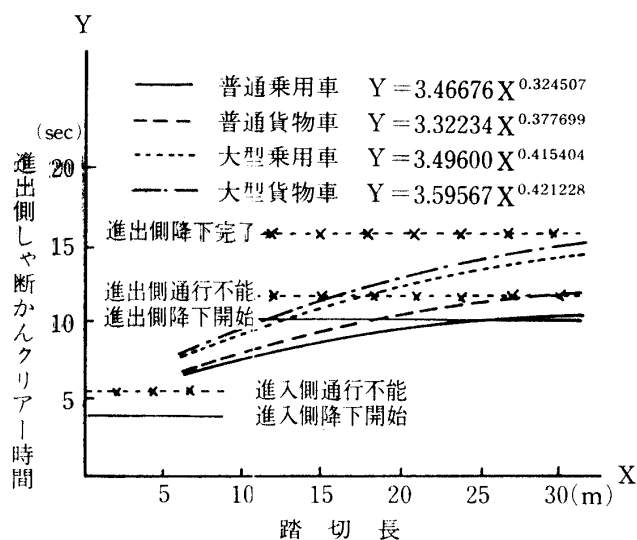


図-1 踏切クリアー時間調査図

表-2 自動車クリアー時間(秒)

普 通 車									
		乗 用 車				貨 物 車			
踏 切	踏切長	N	T_m	σ	$T_m+3\sigma$	N	T_m	σ	$T_m+3\sigma$
No. 1	6.1 m	105	3.10	1.13	6.49	102	3.35	1.18	6.89
No. 2	11.9	117	4.33	1.18	7.87	94	5.00	1.20	8.60
No. 3	13.2	102	4.49	1.21	8.12	95	5.09	1.22	8.75
No. 4	16.9	125	4.97	1.19	8.54	105	5.77	1.24	9.49
No. 5	20.6	115	5.42	1.21	9.05	96	6.49	1.26	10.27
No. 6	28.6	134	6.89	1.23	10.58	113	8.11	1.29	11.98
No. 7	31.4	121	6.98	1.28	10.82	108	8.81	1.27	12.62
大 型 車									
No. 1	6.1 m	48	4.49	1.09	7.76	71	4.76	1.14	8.18
No. 2	11.9	51	5.89	1.21	9.52	85	6.23	1.23	9.92
No. 3	13.2	45	6.17	1.40	10.37	88	6.53	1.35	10.58
No. 4	16.9	42	6.94	1.44	11.26	79	7.38	1.42	11.64
No. 5	20.6	53	7.62	1.58	12.36	89	7.93	1.69	13.00
No. 6	28.6	47	9.14	1.68	14.18	91	9.74	1.75	14.99
No. 7	31.4	59	9.59	1.79	14.96	85	10.28	1.84	15.80

図-2 踏切長— T_m 曲線 (自動車)図-3 踏切長— $T_m+3\sigma$ 曲線 (自動車)

故の危険性がある。歩行者の場合は、 T_m 、 $T_m+3\sigma$ の両ケースとも進出側しゃ断かんをクリアーする前に、しゃ断かんが降下完了し行動の鈍い老人、子供、身障者の安全性に問題がある。こ

こで警報時分を大型貨物を基準に $T_m + 3\sigma$ に設定した場合「トリコ」事故の発生確率を概算すると次のようになる。いま、具体的に列車回数 300 trains/day, 道路交通量 12000 vehicles/day のうち 10 % が大型貨物の通行する都市部の踏切において「トリコ」事故の発生確率を求める。

- ① 一旦停止した車が発進とともに警報に遭遇する列車本数を x trains/day, 運転者の反応時間を t sec とすると

$$3600 \times 24 : 300 = 12000 t : x$$

$$t = 1 \text{ sec とすると } x = 42 \text{ trains/day となる。}$$
 つまり, 42 vehicles/day の車が発進とともに警報に遭遇する。年間では 42 trains/day $\times 365 = 15330 \text{ vehicles/year}$ となる。
- ② 大型貨物の混入率が 10 % であるから

$$15330 \text{ vehicles/year} \times 0.1 = 1533 \text{ vehicles/year}$$
 の大型貨物が発進とともに警報に遭遇する。

- ③ 1533 vehicles/year のうち $T_m + 3\sigma$ 以上 (確率 $p = 1/741$) の通過時間を要する車は $1533 \times 1/741 = 2.1 \text{ vehicles/year}$ となる。
- ④ 旧国鉄の調査によると年間約 6000 件の進出側しゃ断かん折損事故があり約 80 件の「トリコ」事故が報告されている。いまの場合, 「トリコ」事故となる台数は $2.1 \times 80 / 6000 = 0.028 \text{ vehicles/year}$ であり, 同一条件の踏切 100 箇所あたり 2.8 vehicles/year となり, この踏切の年間事故発生確率は $0.028 / 365 \times 1200 \approx 1 / 1.56 \times 10^7$ となる。

次に通行条件と平均クリアー時間の関係について No. 7 踏切において普通乗用車と歩行者 (男性) の調査を行った結果を図-5 に示す。平均クリアー時間の統計的有意差検定の結果, 次のことがいえる。まず自動車について

- (1) 「警報と無関係」の場合は, 「警報待ち後」に比べ少し時間の短縮がみられる。
- (2) 「通行中警報」の場合は, 「警報と無関係」および「警報待ち後」との間に有意差はない。つまり, 通過速度は警報の鳴動によって影響を受けないことを示唆している。
- (3) 「警報違反」の場合には他の 3 条件に比べ, かなり時間の短縮がみられ通過速度の高いことを示している。
- (4) 「先行車なし」の場合は「先行車あり」に比べ少し時間の短縮がみられる。

歩行者については

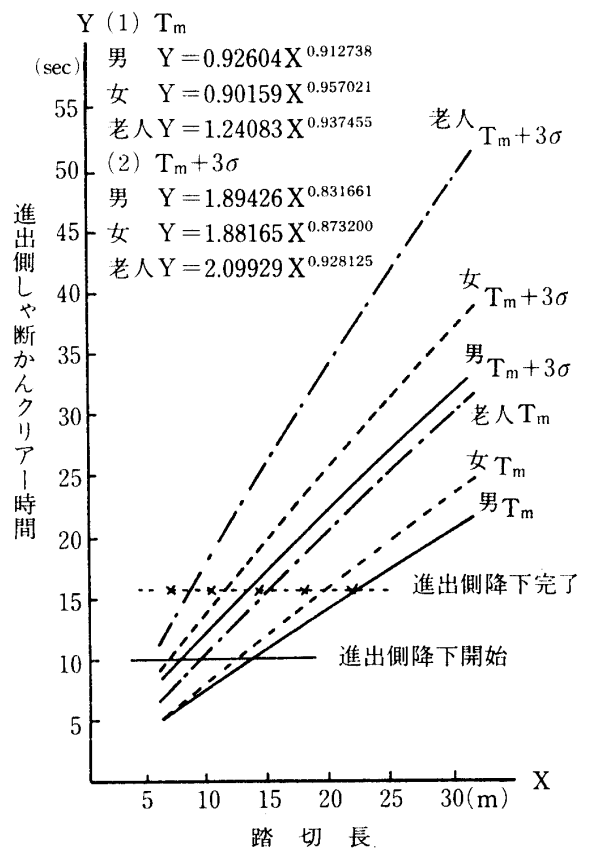
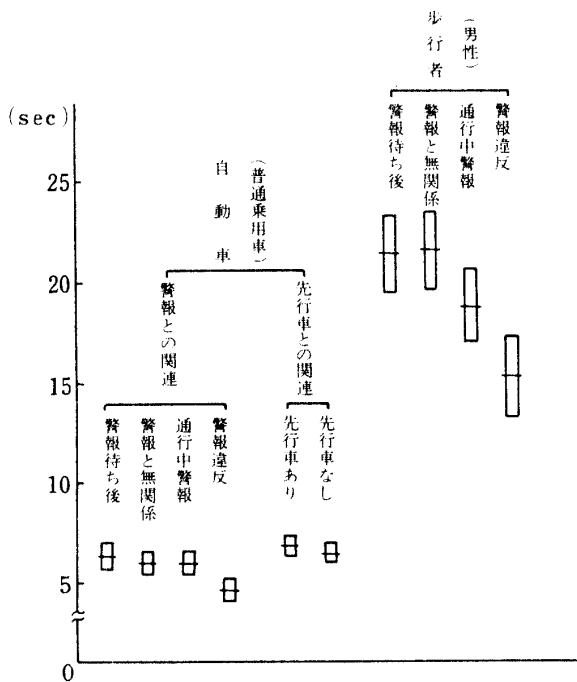


図-4 踏切長— T_m , $T_m + 3\sigma$ (歩行者)



図一 5 自動車(普通乗用車)・歩行者(男性)
の警報と先行車との関連(No. 7 踏切)

- (1) 「警報待ち後」と「警報と無関係」の間に有意差はない。
- (2) 「通行中警報」の場合は、「警報と無関係」および「警報待ち後」に比べ、かなり大きな時間の短縮がみられ自動車の場合と逆に、警報鳴動によって通過速度の変化が顕著に表われることを示している。
- (3) 「警報違反」の場合は自動車の場合と同様に時間の短縮がきわめて大きく通過速度が顕著に高いことを示している。

4. 歩行者事故の要因分析⁵⁾

最近 7 年間の全国で発生した歩行者の 1 種全しゃ断踏切事故(約 8 割が警報無視) 272 件について「年令」、「性別」、「身体状況」の 3 次元分類クロス集計を行った結果、① 6 才以下の未就学幼児および 60 才以上の老人一

交通弱者に多発している。② 身体異常者の発生が顕著であり事故者の 35% を占め、老人層の「難聴」、「青壮年層」のノイローゼなどの精神障害が異常内容の大部分を占めている。③ 全体の 15% が飲酒事故者であり正常者の青壮年層に多いことが指摘される。

次に「警報時分」を中心として「しゃ断機くぐり」による歩行者事故の物理的要因の寄与度をみるため「歩行者事故」―「無事故」踏切を外的基準として数量化理論 II 類を適用した⁶⁾と取り入れた要因は「交通負荷」、「踏切構造」、「立地環境」など 17 要因である。なお、事故サンプルは「身体異常者」、「6 才以下の幼児と 80 才以上の老人」、「飲酒事故者」を除く 81 サンプルであり、無事故サンプルは 20 年以上無事故踏切 638 箇所の中からランダムに 162 箇所を抽出した。表一 3 に分析結果を示す。

「最長警報時分」のレンジが最も大きく、警報時分が事故に大きく影響し数値が増すほど危険度が高く、91 秒以上では顕著である。

踏切警報時分の延伸(警報時分差の拡大)の原因は低速・高速列車の混在および停車・通過列車の介在することであるが、特に駅構内および、これに近い踏切では大巾に警報時分の延伸、拡大がみられる。これは歩行者が警報を信頼せず「列車が見えなければ安全」の憶測によって「しゃ断機くぐり」を誘発し事故発生につながるものと考ええる。「最長警報時分」を 90 秒以下におさえ、警報時分差の縮小、警報時分の斉一化をはかることが効果的な対策といえよう。

表一 3 1 種踏切カテゴリースコア

ア イ テ ム	カ テ ゴ リー	サ ン プ ル 数	ス コ ア	レ ン ジ (順 位)
歩 行 者 交 通 量	100 以下	36	-0.6814	0.9799 (4)
	101～ 500	92	-0.1329	
	501～1000	89	0.2985	
	1001～3000	78	0.0678	
	3001 以上	29	0.1688	
鉄道交通量	50 以下	67	-0.2014	0.9847 (3)
	51～ 100	70	-0.4074	
	101～ 200	64	0.2991	
	201～ 300	54	0.3141	
	301 以上	69	0.5773	
踏 切 長	6.0m以下	48	-0.3374	0.5531 (7)
	6.1～10.0	109	-0.1192	
	10.1～16.0	105	0.1506	
	16.1 以上	62	0.2157	
踏 切 通 過 最 高 速 度	45k/h 以下	30	-0.9045	1.1300 (2)
	46～60	75	-0.2793	
	61～90	102	0.1506	
	91 以上	117	0.2157	
最 長 警 報 時 分	45秒以下	19	-0.8593	1.1870 (1)
	46～60	95	-0.1683	
	61～90	92	-0.0686	
	91 以上	118	0.3277	
列 車 見 通 し 距 離	100m 以下	92	-0.4148	0.6804 (5)
	101～ 200	89	0.1490	
	201～ 400	84	0.2656	
	401 以上	59	0.0439	
踏 切 見 通 し 距 離	50m 以下	102	0.1626	0.6298 (6)
	51～ 100	116	-0.3392	
	101～ 200	64	0.1648	
	201 以上	42	0.2906	
$\eta = 0.6028$				

5. アイマークレコーダーによるドライバーの踏切注視挙動^{7, 8, 9)}

5-1 調査の概要

これまでの事故分析の結果^{10, 11)}、「踏切の明視性」つまり、「踏切所在の明確化」をはかることが、きわめて重要であると考えられる。特に通行経験のない踏切の場合、ドライバーが早く踏切を視

認して的確な判断のできる余裕のあることが重要である。現在、警戒標識「踏切あり」を予告表示する標識が踏切の手前50m～120mまでの地点の左側に設置されている。また、踏切警報機、踏切警標、しゃ断機、踏切注意柵などの視覚表示類によって踏切所在を示している。そこで本節では、これら設備の有効性をみることを主眼として、踏切近接時におけるドライバーの注視挙動——ドライバーが踏切の所在を何によって視認し、視認距離はどれ位か、また、踏切視認前と視認後では注視対象物の注視時間比率がどのように変化するかなどについて、アイマークレコーダーを用いて実験を行った。被験者は本学の卒研学生2名（運転経験豊富、視力正常）であり、対象踏切は福井市街地の①通行経験のない補助幹線道路踏切（タイプA-1）、②日常、通行している幹線道路踏切（タイプB-1）であり、いずれも1種自動全しゃ断踏切である。試験車はカラー1500を用い40km/hの速度で走行して踏切に近接し、注視行動を16mmフィルムに18コマ/secの速度で記録した。なお、各踏切とも先行車がないか、または遠い状況で測定した。

5-2 解析結果と考察

解析はフィルムモーションアナライザーを用い、1コマごとにアイマークがどの対象物に一致しているかを読みとって記録した。すなわち、解析作業は1コマごとの注視対象を記号（数値）化する作業となる。なお、本実験に用いたアイマークレコーダーⅣ型は装着、操作時においてアイマークの検出には熟練を要し、走行中の振動などにより視野周辺部において装置がずれて注視点とアイマークが一致しないことがあり、安定性に問題がある。そのため測定中に何度もアイマークの較正を行ったが、解析時においても補正を行い精度の向上につとめた。

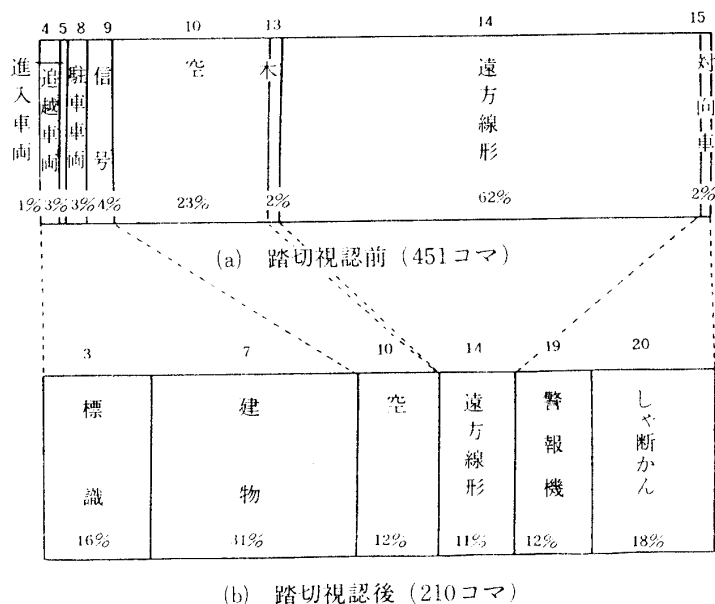
(1) A-1 踏切

踏切視認前後の注視対象物の注視時間比率を求めたが、図-6は被験者S、図-7は被験者Iによるものである。まず、被験者Sについてみると、最初の踏切視認は踏切警標によるとみられが視認距離は約90mである。踏切視認後において、踏切所在を表示する踏切警戒標識、警報機（踏切警標を含む）、しゃ断かんの注視比率は46%の高比率を占めている。踏切視認前に比べ視認後において注視比率の高くなったものは、建物（0→31%）、逆に低くなったものは遠方線形（62%→11%）、空（23%→12%）などである。次に被験者Iの場合、最初の踏切視認は、しゃ断かん、であり、視認距離は約75mである。踏切所在表示物類（踏切設備等）の警報機、しゃ断かん、踏切内の線路に対する注視比率は31%で、被験者Sの踏切視認後における踏切設備等（踏切警戒標識を除く）の30%と、きわめて類似している。踏切視認後、注視比率の高くなったものは、建物（1→13%）、低くなったものは遠方線形（66%→33%）、空（6%→0%）であり両者とも、しゃ断かんに対する注視比率が顕著に高く、全体として被験者Iが踏切警戒標識を見落した以外の注視対象物時間比率のパターンは似た傾向を示した。両者とも踏切設備等に対する注視時間比率の高いことは、不馴れな踏切通行に対する安全確認の対応の慎重さを示すものと考えられる。

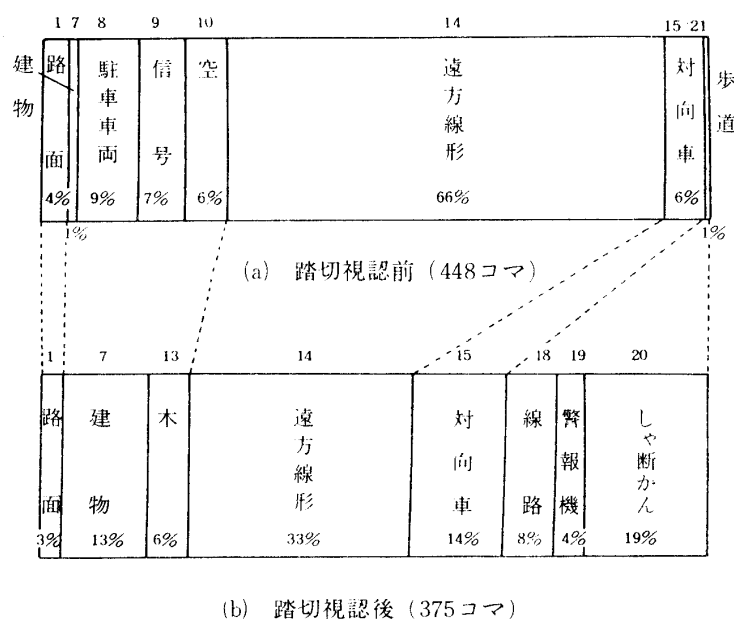
(2) B-1 踏切

図-8は被験者Sの注視比率図を示すが、踏切視認前は先行車（43%）と路面（24%）が高く、

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
注視対象物	路面	歩道	標識	追越車	進入車		建物	駐車車	信号	空	先行車	歩行者	木	遠方線形	対向車	バイク	計器	線路	警報機	しゃ断かん	歩道



図一6 A-1 踏切 (被験者S)



図一7 A-1 踏切 (被験者I)

標識が見落され、信号 (2%) と市街地の交通量の多い注視パターンを表わしている。踏切視認後の踏切設備等 (しゃ断かん、線路) に対する注視比率は5%ときわめて低い。踏切視認後の注視比率が高くなったものは遠方線形 (13%→49%), 対向車両 (13%→29%) であり、低くなったものは路面 (24%→2%), 先行車 (43%→6%) である。次に図一9の被験車Iの場合、前者に比べ先行車が遠いことから踏切視認前の注視対象物が、かなり多く、信号 (12%), 標識 (6%) も前者より高い視認比率である。踏切視認後の踏切設備 (しゃ断かんのみ) に対する注視比率は7%と低い。踏切視認後、注視比率の高くなったものは、遠方線形 (15%→45%) であり逆に低くなったものは、先行車 (23%→14%) である。なお、両被験者とも踏切の所在を予知しているが、ともに、しゃ断かんを注視した時点で踏切を視認したものと判断した。視認距離は被験者Sが150m, Iが165mであり両者とも警戒標識は注視していない。

以上、対象箇所ごとに踏切の諸特性、交通条件の構成が多様であるため調査結果を単純に一括して結論できないが、①通行経験のない踏切では、踏切所在の確認は、しゃ断かん、線路、警報機によって行われ、踏切警戒標識は見落す場合がある。②踏切視認後においては遠方線形、空の注視比率の低下が目立ち、踏切設備

等に対する比率が30%程度と高く、踏切への注意度が高いことを示している。③馴れた踏切では踏切視認後、遠方線形の注視比率が高く、踏切設備等に対する注視比率は顕著に低く、関心の低いことを裏づけている。④交通密度が高く、先行車に追従走行の場合、注視対象は、ほとんど先行車に集中するものであり、交通環境の他の部分は微かに認知されるか、全く認知されず踏切設備等の所在表示を見落す原因となる。このため踏切予告路面表示、新型の踏切所在標識の効果について実験、研究の必要がある。

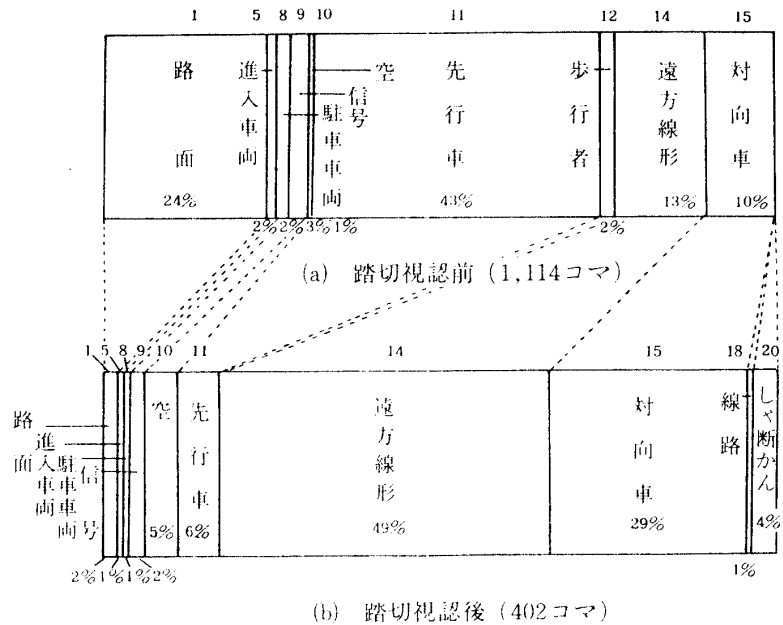
6. 結 論

踏切警報は踏切通行者に列車の接近を予告、表示することを目的とするものであるから次の2点が必要条件である。

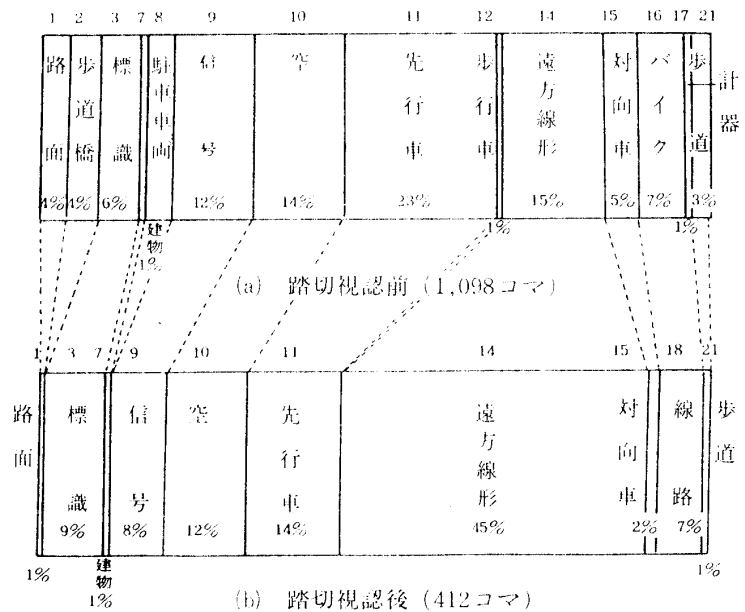
- (1) 警報開始と同時に踏切に進出した通行者が、通常ので速度で安全に踏切をクリアーできるものであること、すなわち「トリコ」になってはならない。
- (2) 警報により一旦停止して列車の通過を待つ場合、警報時分が長いと踏切通行者に焦燥感、抵抗感を与えてはならない。

(1)について検討の結果、旧国鉄規程に示す「2組全しゃ断」における警報時分の決め方は粗雑である。また、(2)については警報時分および警報時分差の標準を示しているにもかかわらず、ハード的に全く解決されていない。

(1)の問題をアプローチするため、実測調査を行い踏切通行者別に、踏切長—— $T_m + 3\sigma$ の回



図一 8 B-1 踏切 (被験者 S)



図一 9 B-1 踏切 (被験者 I)

帰モデルを求めた。その結果、最も通過速度の遅い大型貨物を基準に進出側しゃ断かんが降下する時分を定めることを提案する。(2)に最も関係深い歩行者事故の要因分析の結果、「最長警報時分」の影響が顕著であることが明確となった。警報時分差の縮小と斉一化が緊急課題であり、有効な警報時分適正化の制御装置の開発と歩行者保護対策として、高密度線区の踏切に「こ線橋」の設置を提案する。

次に、アイマークレコーダーによるドライバーの踏切注視行動実験の結果、不馴れな踏切に対して現在の踏切警戒標識は、あまり効果がないことがわかった。また、踏切確認は、しゃ断かん、警報機等によって行われ、踏切視認後のこれらに対する注視比率は、かなり高いものがある。さらに、高密度の交通条件の場合、先行車に追従走行し、踏切の所在を見落とし事故誘発の有力な要因となる。このため、「踏切の明視性」の向上をはかるため路面表示、予告標識等の新型踏切所在標識を開発しアイマークレコーダーによる視認性効果測定を行い、試行、試作を繰り返し効果的な予告標識とシステムの開発につとめる。特に幹線道路において、高速接近する車両および大型車混入率の高い混雑した自動車交通流の中で、視認効果の高いことが重要課題である。

本研究を遂行するにあたり、大阪大学工学部、毛利正光教授、前鉄道労働科学研究所・労働心理研究室長の池田敏久氏に有益な助言を賜った。ここに記して感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 信号保安協会：踏切保安の話，信号保安協会，1978. 6
- 2) 長浜友治・毛利正光：踏切通行者の挙動解析，土木学会関西支部年次学術講演会講演概要，1984. 5
- 3) 日本鉄道技術協会：踏切道における注意喚起方法の研究報告，1961. 3
- 4) 長浜友治・毛利正光：踏切警報時分の最適化検討に関する 二、三の考察，土木学会年次学術講演会講演概要集，1985. 9
- 5) 長浜友治・毛利正光：1種自動踏切における歩行者等事故の要因分析，土木学会関西支部年次学術講演会講演概要，1985. 5
- 6) 毛利正光・西村昂・本多義明：土木計画学，国民科学者，1983. 4
- 7) 長浜友治・毛利正光：踏切通行者の挙動と警報時分の適正に関する一考察，土木学会年次学術講演会講演概要集，1984.10
- 8) 毛利正光：交通安全施設の視認性に対する視覚環境の影響とその効果に関する研究，昭和57年度文部省科学研究費補助金（一般研究B）研究成果報告，1983. 3
- 9) 本多義明：積雪が街路交通流に及ぼす影響に関する基礎的研究，昭和56・57年度科学研究費補助金（一般研究C）研究成果報告書，1983. 3
- 10) 長浜友治：1種全しゃ断踏切事故の危険性に関する基礎的研究，土木学会論文報告集，第319号，1982. 3
- 11) T,Nagahama: Analysis of drivers consciousness for hazards at automatic full-barrier crossings, Memoirs of the Fukui Institute of Technology, No16, 1986