

# 積雪・寒冷地における踏切安全性評価手法

畠山 直\* 宮地 由芽子\* 栗原 靖\*\*

## Safety Assessment of Railroad Crossing in Snowy Cold Region

Naoki HATAKEYAMA Yumeko MIYACHI Yasushi KURIHARA

In snowy cold regions, the number of railroad level crossing accidents in winter is larger than that in other seasons, so that the weather condition like snowfall or snow coverage is considered to have a large influence on the occurrence of the accident. The previous studies have assessed safety of the railroad level crossings based on the equipment information which doesn't contain the information of weather conditions around. The purpose of this study, therefore, is to develop a method to assess the safety of railroad level crossing with due consideration on the factors of weather conditions. We have applied the method to a case study and improved its assessment precision.

キーワード：踏切，安全性，積雪寒冷地，気象要因，交通環境

### 1. はじめに

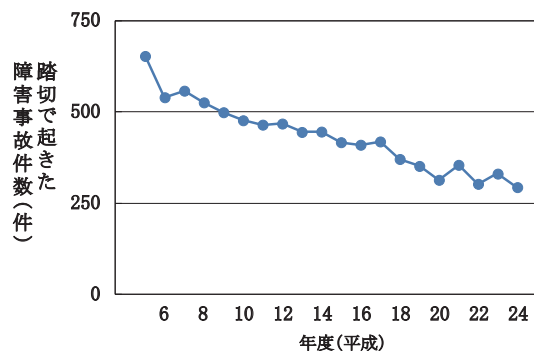
近年、踏切対策により踏切で起きた障害事故件数（踏切障害に伴う列車事故を含む）は減少してきており、平成5年から24年までの20年間で、約600件から300件へと半減しているが、その減少傾向は頭打ちの傾向にある（図1（a））。一方、平成24年度の鉄道運転事故811件に占める踏切障害事故（踏切障害に伴う列車事故を含まない）の割合は、人身障害事故に次ぎ、4割近くを占め、依然として鉄道事業者にとって重要な課題となっている（図1（b））。

踏切安全性評価手法は、統計的な観点から踏切箇所毎の安全性を評価すると共に、その安全性を脅かす要因を把握する手法であり、踏切事故対策の優先順位等を検討することに利用できる。従来の踏切安全性評価手法<sup>2)~5)</sup>では、踏切事故（踏切障害事故および踏切支障；以降、合わせて踏切事故と呼ぶ）の情報と踏切設備台帳の情報から、踏切の安全性を評価していたため、気象状況等の影響については十分に考慮されていなかった。しかし、積雪・寒冷地における月毎の踏切事故件数を見ると（図2）、冬期に踏切事故件数が増加しており、降雪や積雪等の気象状況が踏切事故の発生に何らかの影響を与えていることが想像される。

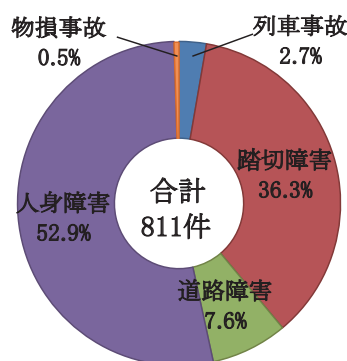
そこで、本研究では、積雪・寒冷地における踏切の安全性を評価するため、踏切事故と踏切設備台帳の情報に加え、降雪や積雪等の気象状況の影響を考慮し、踏切の

安全性を評価することのできる手法<sup>6)</sup>を開発した（図3）。

また、積雪・寒冷地の要因ではないが、踏切周辺の交通環境として、踏切から交差点の距離と交差点での自動車交通量が、踏切事故の発生に与える影響が大きいと分



(a) 踏切で起きた障害事故件数の推移 (踏切障害に伴う列車事故を含む)



(b) 平成24年度鉄道運転事故の内訳

図1 踏切障害事故の傾向 (文献<sup>1)</sup>のデータに基づいて作成)

\* 人間科学研究部 安全性解析研究室  
\*\* 前 防災技術研究部 気象防災研究室

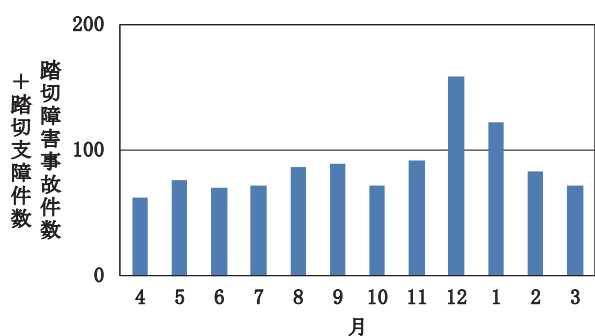


図2 積雪・寒冷地における踏切事故件数 (平成14～平成22年度)  
(鉄道技術推進センター 鉄道安全データベースデータに基づいて作成)

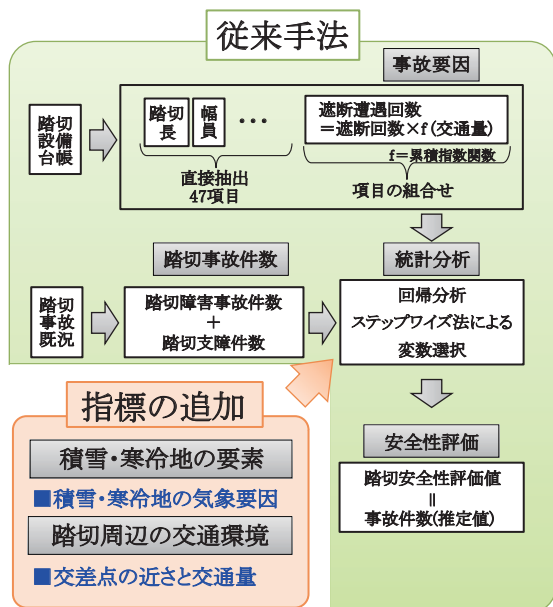


図3 積雪・寒冷地における踏切安全性評価手法概要

かったため、気象状況の要因と共に、踏切安全性評価手法の指標に追加すべき要因として検討した(図3)。

## 2. 積雪寒冷地の要素の検討

### 2.1 気象データ

分析の対象期間を平成19～平成21年度の3年間とし(後述する踏切事故の分析対象期間と一致)、冬期(各年12月～3月)における各踏切設置箇所の気象データを調査した。個々の踏切設置箇所の気象計測データはなかったため、個々の踏切に最も近い地域気象観測所(気象庁)のデータを用いた。

気象データとしては、1日(または24時間)の平均気温[℃]、累積降水量[mm]、累積日照時間[時間]、最大積雪深[cm]の4項目を用いた。また、降水量には、雪やみぞれを融かした水量も含まれている。

### 2.2 気象状況毎の分析

得られた気象データ(12～3月の月毎に1日(または24時間)の平均気温、累積降水量、累積日照時間、最大積雪深を整理したもの)を、以下の3条件に整理し、それぞれの累積相対度数を求めた。

- ① 当月に事故が発生した踏切箇所(以下、事故踏切と呼ぶ)全てにおける、事故発生時点から24時間前までの気象データ(以下、「事故前24時間」)
- ② 当月の事故踏切全てにおける、その月の1日毎の気象データ(以下、「事故踏切1ヶ月」)
- ③ 全踏切箇所における当月1日毎の気象データ(以下、「全踏切1ヶ月」)

「事故前24時間」は、事故踏切の事故当時の気象状況、「事故踏切1ヶ月」は、事故踏切の地域的な気象状況、「全踏切1ヶ月」は、全踏切の地域的な気象状況を表すと考えられる。また、累積相対度数として表すことにより、それぞれの気象状況の分布(1日毎の気象データの頻度分布)を正規化している。

例えば、図4は、3月の平均気温について、「事故前24時間」、「事故踏切1ヶ月」、「全踏切1ヶ月」の各累積相対度数を表したものである。グラフでは、「事故前24時間」において、平均気温が0℃のときに、その割合が72%となっていることから、事故当時の気象状況では、平均気温が0℃以下の日が72%を占めることが分かる。一方、「事故踏切1ヶ月」から、事故踏切の地域的な気象状況では、平均気温0℃以下の日は47.6%しか占めないこと、「全踏切1ヶ月」から、全踏切の地域的な気象状況では、平均気温0℃以下の日は55%を占めることが分かる。このことから、平均気温が0℃以下の日には、踏切事故が発生し易いことや、平均気温が0℃以下の日の多い地域では、僅かながら踏切事故が起き難い(平均気温が0℃より高い地域では、僅かながら踏切事故が起き易いとも言える)というような傾向が読み取れる。

より正確に、踏切事故の起き易い条件を抽出するため、「全踏切1ヶ月」を基準として、「事故前24時間」および「事

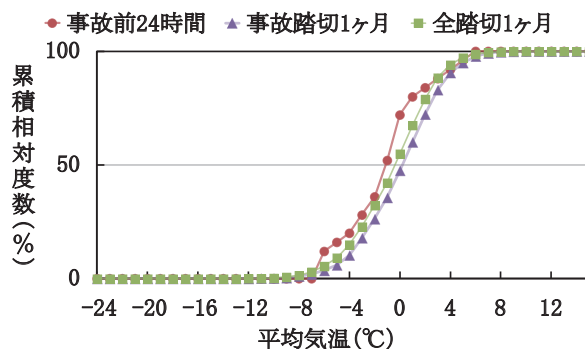


図4 気象データの分析例(3月の平均気温)

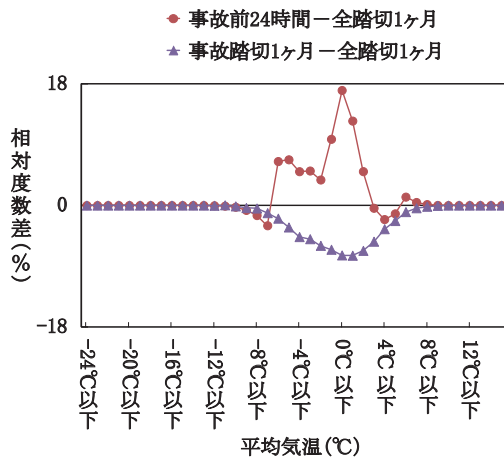


図5 「事故踏切1ヶ月」「事故前24時間」と「全踏切1ヶ月」の比較結果例（3月の平均気温）

表1 気象条件の指標

①	1日の降水量が	12～3月	0mmより多い日数
②	1日の平均気温が	12月	2°C以下の日数
		1月	1°C以下の日数
		2月	-3°C以下の日数
		3月	0°C以下の日数
③	1日の日照時間が	12月	5時間以下の日数
		1月	1時間以下の日数
		2月	3時間以下の日数
		3月	7時間以下の日数
④	1日の積雪の高さが	12月	5cmより高い日数
		1月	25cmより高い日数
		2月	65cmより高い日数
		3月	60cmより高い日数
⑤	1日の平均気温が	12月	-3°Cより高い日数
		1月	-5°Cより高い日数
		2月	-5°Cより高い日数
		3月	1°Cより高い日数
⑥	1日の日照時間が	12月	4時間以下の日数
		1月	6時間以下の日数
		2月	3時間以下の日数
		3月	0時間の日数
⑦	1日の積雪の高さが	12月	0cmの日数
		1月	50cm以下の日数
		2月	30cm以下の日数
		3月	25cm以下の日数

注) ①は「事故前24時間」と「事故踏切1ヶ月」の両条件、②～④は「事故前24時間」、⑤～⑦は「事故踏切1ヶ月」に対応

「事故踏切1ヶ月」との割合の差（相対度数差）を算出し、その差が最大となる条件を、踏切事故が起きやすい条件として抽出した。図5は、図4の累積相対度数グラフにおいて、「事故前24時間」と「全踏切1ヶ月」の割合の差を取ったもの（図5赤●線）、および「事故踏切1ヶ月」と「全踏切1ヶ月」の割合の差を取ったもの（図5紫▲線）である。「事故前24時間」と「全踏切1ヶ月」の差は、0°C以下の時に差が最大、「事故踏切1ヶ月」と「全踏切1ヶ月」の差は、1°C以下の時に負側に差が最大となっている。

よって3月は、平均気温が0°C以下の日に踏切事故が最も発生しやすく、平均気温が1°Cより高い日の多い地域では、最も踏切事故が起きやすいということが分かる。

このように「全踏切1ヶ月」の累積相対度数を基準として、「事故前24時間」および「事故踏切1ヶ月」の累積相対度数との差が最大となる条件を抽出し、踏切毎に、その条件に当てはまる日数を月毎（12～3月）に合計することで、指標とした。

ある積雪・寒冷地の気象データ（平成19～平成21年度）に当作業を適用することによって、表1のような指標を得た。

### 3. 積雪・寒冷地の要素以外の検討

積雪・寒冷地の3年間（平成19～平成21年度）の踏切事故データに対して、従来手法<sup>5)</sup>を適用したところ、数箇所の踏切において、実際の大きなズレがみられた（図6）。そこで、大きなズレがみられた踏切について、踏切設備台帳に現れない事故要因（踏切の交通量、踏切周辺の駐車場や脇道等の有無、道路交通量の多い道路までの距離等）について現地調査を実施した。この結果、大きなズレがみられた箇所では、「踏切長が長い」、「踏切から交差点までの距離が近い」、「交差点で交差している道路の交通量が多い」の特徴が見られた。

そこで、「踏切から交差点までの距離」について、踏切設備台帳のデータを用い、事故件数との関係を分析した。その結果、交差点までの距離が10m未満である踏切において、他の条件に比べて事故率が有意に大きいことが分かった（図7）。

一方、「交差点で交差している道路の交通量」は踏切設備台帳に記載が無いため、踏切から交差点までの距離が10m未満の踏切を、「国道と接続しており、退避スペース等も無い場合」、「国道と接続しているが、交差点に退

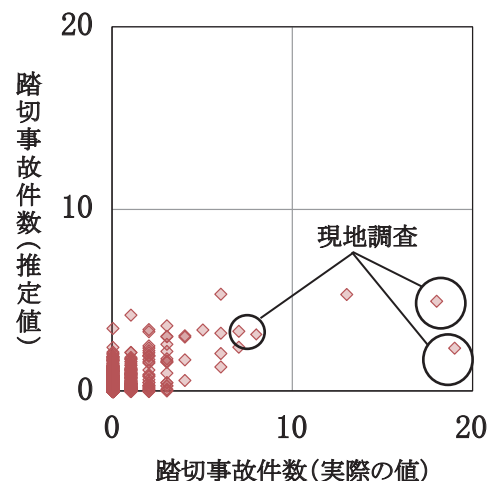
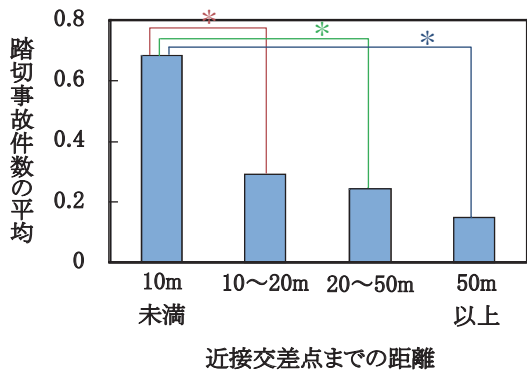
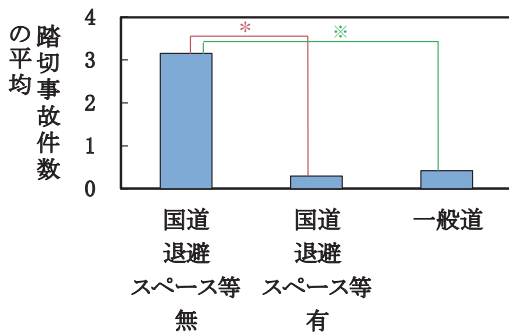


図6 従来手法<sup>5)</sup>の積雪・寒冷地への適用結果



注) \*印は5%水準で有意差が有ることを示す

図7 交差点までの距離と事故件数の平均



注) \*は5%水準, ※は10%水準で有意差があることを示す

図8 交差道路種類と事故件数の平均

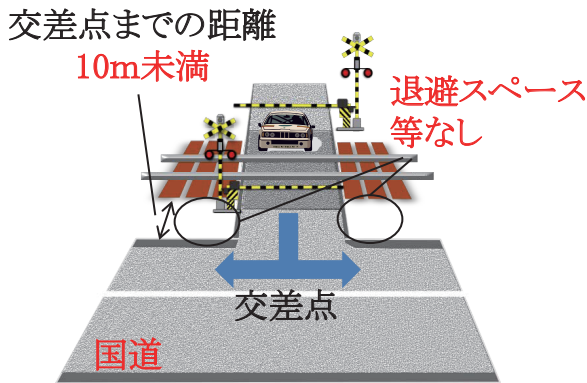


図9 追加すべき踏切周辺の交通環境要因

避スペース等がある場合」,「一般道と接続している場合」の3条件に分け、事故件数の平均を比較した。この結果、「国道と接続しており、退避スペース等も無い場合」は、他の条件と比べて有意（5%水準）に事故件数の平均が高いことが分かった（図8）。

これらの結果より、「踏切から交差点までの距離が10m未満である」、「交差点で国道と交わる」、「退避スペース等がない」の3条件に一致するか否かを指標とし（図9）、踏切周辺の交通環境要因として追加することとした。

#### 4. 新たな踏切安全性評価手法の提案

##### 4.1 従来手法と積雪・寒冷地の気象要因の関係

積雪・寒冷地の気象要因は、一年を通して踏切の安全性に影響を与えるわけではない。そこで、積雪・寒冷地の気象要因を適用すべき期間を検討するため、従来手法<sup>5)</sup>で説明が困難な期間の検討を行った。まず、積雪・寒冷地の3年間(平成19～平成21年度)の踏切事故データを、月の組合せで分割し、従来手法を適用した。求められた事故件数の推定値と実際の事故件数の相関係数を比較したところ、従来手法では12～1月が0.49、2～3月が0.37と相関が低くなっていることが分かった。そこで、1年間を4～11月(以降「春～秋」)、12～1月(以降「冬Ⅰ」)、2～3月(以降「冬Ⅱ」)の3期間(季節)に分けることとし、積雪・寒冷地の気象要因は、冬Ⅰおよび冬Ⅱにのみ追加することとした。

##### 4.2 ポアソン回帰分析に基づいた新手法

本手法では、踏切の安全性を評価する手法として、稀にしか起きない事象の分析に用いられるポアソン回帰分析を使用し、踏切事故件数を目的変数、事故要因を説明変数として統計分析を行った(式(1))。事故要因には、踏切設備台帳から抽出した事故要因に加え、積雪・寒冷地の気象要因および踏切周辺の交通環境要因も用いた。

$$y = \sum_i \left\{ \exp \left( \sum_j W_{ij} \times F_{ij} \right) \right\} \quad (1)$$

ここで、 $y$ は踏切事故件数の推定値、 $W_{ij}$ はポアソン回帰分析の結果から得られる重み付け値、 $F_{ij}$ は事故要因を表している。なお、 $i$ は季節(春～秋、冬Ⅰ、冬Ⅱ)、 $j$ は各事故要因の種類を表す。また、投入した説明変数すべてが事故件数の説明に有効であるとは限らないため、情報量基準AIC<sup>7)</sup>を用いたステップワイズ法により事故要因を取捨選択した。本手法により選択された事故要因と、その影響度を表す重み付け値を表2に表す。

##### 4.3 積雪・寒冷地域の事例への適用結果

ある積雪・寒冷地域の踏切に対して、新手法を適用し、踏切の安全性を評価した。対象地域で3年間(平成19～21年度)に起きた踏切事故件数、同じく3年間(平成19～21年度)の地域気象観測所のデータおよび踏切設備台帳データ(平成21年度)を用いた。

新手法を適用した結果、実際の事故件数とその推定値の相関係数は、冬Ⅰで0.49から0.77、冬Ⅱで0.37から0.64に改善され、通年では0.57から0.81に改善された(表3)。

表2 事故要因の重み付けの値

分類	事故要因	重み付け値		
		春～秋	冬Ⅰ	冬Ⅱ
踏切 保安 装置	第1種踏切(遮断機+ オーバーハング型警報装置)	-2.59	-1.99	-2.92
	第1種踏切(遮断機+警報装置)	-1.47	-0.86	-1.16
	第3種踏切(警報装置のみ)	-0.60	-0.50	-1.38
	障害物検知装置	1.43	1.19	0.80
	支障報知装置押ボタン	0.88	1.31	
踏切 設置 状況	踏切長	0.21	0.29	0.22
	踏切幅員(車道)			0.21
	交差角	-0.11	0.17	
	道路勾配	0.14	-0.28	
周辺 環境	遮断遭遇回数自動車	0.26	0.31	0.54
	遮断遭遇回数歩行者		0.13	
	踏切遮断時間	0.17		
	10m未満で国道と交差 * (退避スペース無し)	1.23	2.09	3.07
	交差点までの距離	-0.12		
	大型車規制有	-0.72		-1.09
	踏切見通(列車→踏切)良 &踏切通過速度差大	0.15		
気象 条件	気象条件③ *		0.27	
	気象条件④ *			0.41
	気象条件⑤ *			0.25

注1) \*は今回追加した指標  
 注2) 気象条件③, ④, ⑤は表1に対応し, ③は日照時間が月毎の閾値以下, ④は積雪量が月毎の閾値より高い, ⑤は平均気温が月毎の閾値より高いことを示す  
 注3) 春～秋は, 4～11月, 冬Ⅰは12～1月, 冬Ⅱは2～3月を示す  
 注4) 斜線は, 重み付け値が0を示す。

表3 適用期間別の事故件数の推定値と実際の値の相関係数

適用手法	適用期間 通年	春～秋	冬Ⅰ	冬Ⅱ
		4～11月	12～1月	2～3月
従来手法	0.57	0.52	0.49	0.37
新手法 気象条件なし	0.81	0.68		
新手法 気象条件あり			0.77	0.64

4.4 新手法に関する考察

表2より, 気象要因について, 冬Ⅰの期間では, 日照時間が短い日に事故が起り易い傾向(表1の気象条件③)があり, 冬Ⅱの期間では, 積雪量が多い日に事故が起り易い(表1の気象条件④)と共に, 平均気温が低くなり過ぎない地域で事故が起り易い(表1の気象条件⑤)という傾向が分かる。気象要因以外では, 警報装置, 遮断機, オーバーハング型警報装置等を設置することによって, 事故件数が少なくなることも定量的に推定できる。また, 10m未満で国道と交差し, 退避スペースが無い踏切は, 一年を通して事故が起り易いが, 特に冬期(冬Ⅰ, 冬Ⅱ共に)に事故が起り易いことが分かる。

このことから, 国道の交差点からの距離が10m未満で退避スペースが無いという条件は, 結果的に季節影響を反映する要因となっている。

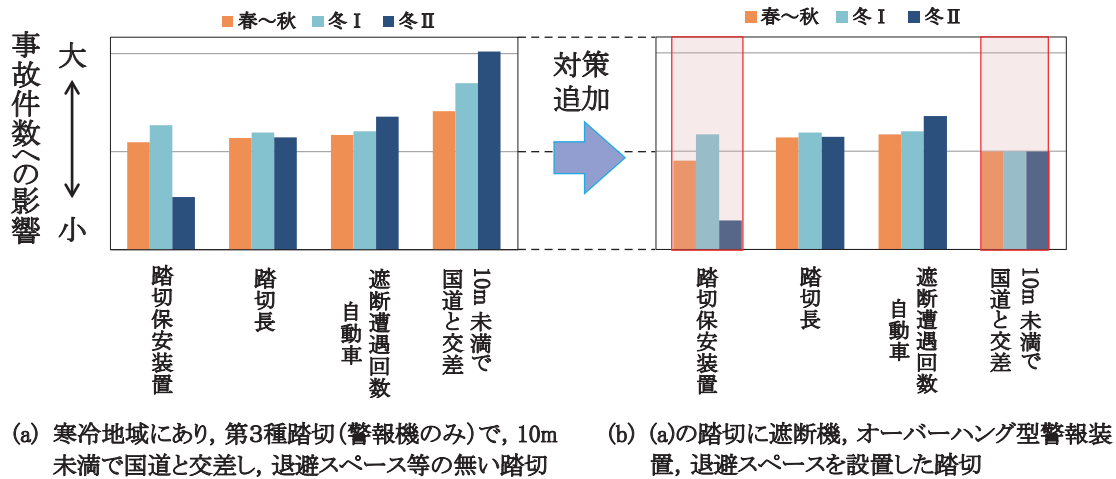
さらに, 成果の活用としては, 以下の3項目が考えられる。

- (ア) 各踏切の安全性評価(事故件数の推定)
- (イ) 各踏切の事故要因の診断
- (ウ) 対策による事故低減効果の推定

まず, (ア)の各踏切の安全性評価は, 安全性評価式(式(1))に, 各踏切の事故要因の値とその重み付けの値(表2)を代入することによって得られる。これにより, 統計的な観点から, 踏切の安全性評価(事故件数の推定)を行うことができる。利用場面としては, 踏切の周辺環境が変化したときや, 設備を変更したときに, 対象となる踏切の安全性がどの程度変化したかを知りたい場合などが考えられる。例えば, 踏切を通過する自動車交通量が大きく変わった場合に踏切の安全性を再評価する場面等が考えられる。

また, 踏切の安全性評価式(式(1))において, 事故要因毎に値を整理すると, (イ)の各踏切の事故要因の診断が可能である。事故要因毎に値を整理することによって, その要因が, どの程度踏切事故の発生に影響を与えているかを評定することができる。例えば, 事故の原因が, 自動車交通量が多いからなのか, 歩行者交通量が多いからなのか等の分析に利用できる。図10(a), (b)の各グラフは, 事故要因毎の診断結果を表している。

(ウ)の対策による事故低減効果の推定では, 今後実施する踏切事故対策の効果を推定し, 定量的に評価することが可能となる。図10(a)は, 積雪・寒冷地域で, 第3種踏切(警報機のみ), 10m未満で国道と交差し, 退避スペースが無いという条件を仮定したときの, 仮想的な踏切の各事故要因の事故件数への影響をグラフ化したものである。このとき, 踏切事故件数は, 10年間で52.6件起きることが本手法(式(1))から推定される。この踏切に, 遮断機とオーバーハング型の警報装置を設置し, 更に退避スペースを設けた場合, 図10(b)となる。この時, 踏切保安装置が遮断機とオーバーハング型警報装置に変わったことにより, 事故件数への影響が小さくなり, 10m未満で国道と交差の要因も, 退避スペース設置により, 事故件数への影響が小さくなっている。その結果, 踏切事故件数の推定値は2.5件に減少する。このように, 本手法を活用することによって, 踏切事故対策を実施した場合に, 踏切事故件数がどの程度減少するかを推定することができ, 実際に対策を行う前に, 事故件数への影響を定量的に評価することができる。



注) (b)の赤枠は、事故件数への影響が変化している要因であることを示す

図 10 事故要因毎の評価および対策による事故低減効果の予測

## 5. まとめ

本研究では、冬期の気象要因等を考慮することにより、積雪寒冷地における踏切の安全性を評価する手法を提案した。本手法を積雪寒冷地の踏切へ適用した結果、事故件数の推定値と実際の値の相関が0.81となったことから、積雪寒冷地の踏切事故要因を完全に説明しきれたとは言えないが、十分な説明能力を持つと考えられる。

また、本手法を用いることによって、積雪・寒冷地を含め、各踏切の安全性評価、各踏切の事故要因の診断、踏切事故対策による事故低減効果の推定等に活用することができる。

## 文 献

- 1) 国土交通省:鉄軌道輸送の安全にかかわる情報(H24年度), 2013
- 2) 池田敏久, 大嶽ヒサ:踏切事故防止対策の研究(9), 国鉄

鉄道労働科学研究所, 鉄道労働科学, No.35, pp.95-114, 1981

- 3) 福田久治:踏切危険度評価指標の研究—数量化理論による第1種踏切の危険度評価指標と対策の事前評価—, 鉄道総研報告, Vol.3, No.6, pp.9-16, 1989
- 4) 松本真吾:踏切のリスクおよび対策評価手法, 鉄道総合技術研究所, 第207回鉄道総研月例発表会講演要旨, 2007
- 5) 畠山直, 松本真吾:遮断遭遇回数をを用いた踏切安全性評価手法, 日本信頼性学会, 第24回秋季信頼性シンポジウム発表報文集, pp.7-10, 2011
- 6) 畠山直, 宮地由芽子, 栗原靖, 鏑木俊暁:積雪寒冷地における冬期気象条件を考慮した踏切安全性評価手法, 日本信頼性学会, 第21回春季信頼性シンポジウム報文集, pp.43-46, 2013
- 7) Akaike, H.: Information theory and an extension of the maximum likelihood principle, *proceedings of the 2nd International Symposium on Information Theory*, Petrov, B. N., and Caski, F., pp. 267-281, 1973.