

鉄道の複合的リスクを評価する

柴田 徹
人間科学研究部(安全性解析 研究室長)



しばた とおる

はじめに

日本の鉄道の安全性は、非常に高い水準を達成しており、公共交通機関として利用者や社会から大きな信頼を得ています。そして鉄道事業者では、現在の高い安全性を維持するために、または更なる安全性の向上を達成するために、従来から行われてきた事故やトラブルに対する再発防止策を中心とした事後の対策を中心とした安全管理とともに、リスク評価を活用した事故等の発生を未然に予防する安全管理を組み合わせたことが注目されています。

リスク評価においては、事故の原因から危害の発生に至るまでの事象について評価します。しかし、鉄道システムは分野が多岐にわたり、多くの人や物が関与する大規模なシステムであるために、事故原因から危害発生までの間には、複数の事象が複雑に連鎖する場合も少なくありません。そのため、複合的な事象を分析・評価する必要があります。

リスク評価の概要

リスクとは、事故に至るような危険な事象（ハザード）について、その発生頻度と想定される危害の大きさを組み合わせた指標です。

リスク評価（リスクアセスメント）では、様々なハザードについて、そのリスクの大きさを評価し、リスク値の大きなハザードに対しては、その対策を考えることとなります。リスク評価の手順を図1に示します。

多重防護と複合的リスクについて

リスク評価において、発生頻度を推定するために、ハザードが事故に至るまでの経緯を解明することを事故進展分析と呼びます。つまり事故進展分析では、事故に至るまでの事象の連鎖と、安全対策の失敗の経緯を整理します。

日本の鉄道システムは、開業以来少なからず事故やトラブルを経験し、そのつど再発防止策を積み重ねることにより安全性を向上してきました。その結果、現在のシステ

ムは単純な作業ミスや故障等が発生しても事故に至らないように、多くの安全対策により幾重にも防護されています。このような状況を「多重防護」と呼びます。

実際に起こってしまった事故を分析すると、いくつかの事象が連鎖して発生して、幾重にも構築されている安全対策をすり抜けるようにして事故に至っている場合が少なくありません。

信号冒進（列車が赤信号を越えて進入）が事故に至ってしまうような場合を考えてみますと、「運転士の信号見誤り」というヒューマンエラーだけでは事故に至ることはあり得ません。自動列車停止装置（ATS）の不動作（故障、またはスイッチの入れ忘れ等）等の事象が前後に連鎖していることが想定されます。

また、地震などの影響をリスク評価する場合においては、鉄道システムは多くの分野に関連しているため、車両、構造物（高架橋、橋梁、トンネル、駅等）、信号設備、電力設備、ヒューマンファクタ等、多岐にわたる分野において、地震発生時の個々の分野の影響を分析し、さらには分野間の相互影響などについて複合的に分析・評価することが必要となります。地震動による構造物の振動が、走行車両に与え

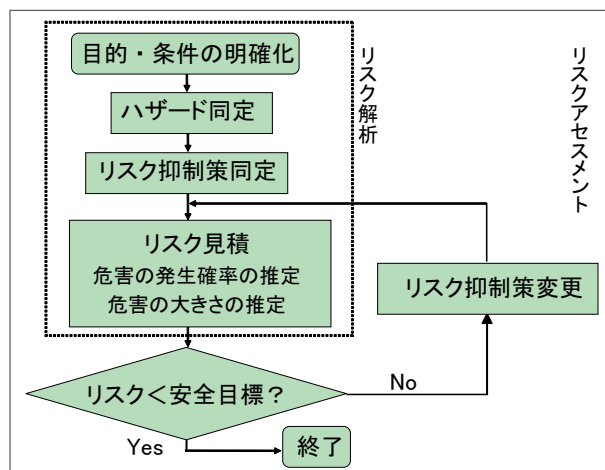


図1 リスク評価手順

る影響など、鉄道総研でも複合的な問題に対して様々な角度から分析・評価を進めてきています。

複合的なリスクを評価する場合に、最も多い組み合わせとしてハードウェアとヒューマンファクタの組み合わせ、制度・ルールとヒューマンファクタの組み合わせ等が挙げられます。今回は従来からのルールとヒューマンファクタに関するリスク評価例として、踏切を対象としたリスク評価についてご紹介します。踏切で起こる事故は、鉄道事故全体の約半分を占めている大きな問題です。鉄道事業者では、踏切に関する事故に対して、障害物検知装置の設置、しゃ断かんの大型化・配色変更、オーバーヘッド型の踏切警報装置の設置等の様々な対策を実施してきています。そして、これ

らの対策は、鉄道側からのアプローチが中心でした。踏切事故の一方の当事者である、踏切を通行する側への取り組みは、踏切事故防止キャンペーンなどの意識向上策の他には、道路からの視認性や意識調査についての研究が数例行われてきた程度です。一方で、自動車運転の安全性の分野においても、踏切事故の占める割合が全体のわずか数%という実情から、踏切における自動車ドライバーの行動分析はほとんど行われてきませんでした。しかし、踏切における自動車の通行行動が変化した場合のリスク評価を実施するにあたり、従来の踏切に関する保安装置と規則の変更との関連の分析だけではなく、自動車を運転する方がどのような行動を取るのか、という分析と組み合わせて評価することが必要です。そこで、以下は、踏切に関する規則を変更した場合のリスク評価の事例です。

踏切におけるリスク評価事例

踏切通行時の一旦停止を行わないことにより、以下のような利点があるとの意見があります。

- 踏切に起因する渋滞の緩和
- 一旦停止が無くなることによるCO₂排出量の削減

一方、安全性については、踏切警報機・しゃ断機の設置状況については言及されことはありますが、踏切通行時に一旦停止をすることが、安全性に直接及ぼす効果について

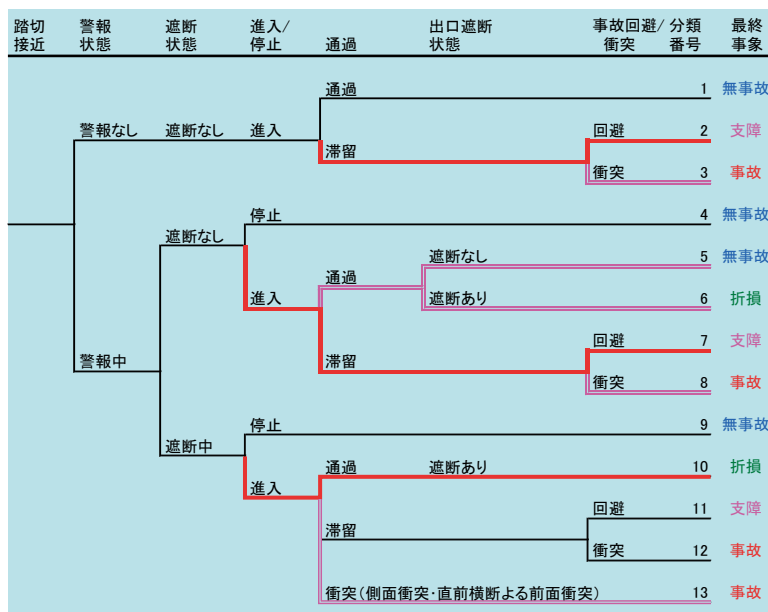


図2 踏切通行に関するイベントツリー

はほとんど議論されてきていません。一旦停止を行わないことにより、安全性にどれほどの影響があるのか、十分な検討が必要不可欠です。そこで、一旦停止をすることの安全性に与える影響を、損害としてのリスクの変動の度合として定量的に評価しました。

定性的評価および定量的評価の方針

定量的評価を行う前に、一旦停止が安全性に与える影響を、踏切の保安装置の動作条件と自動車運転状況との組み合わせに着目して定性的に評価しました。

まず、踏切を通過する自動車の行動について、踏切接近から通過までの行動や判断の有無によって分岐する枝分かれ図(イベントツリー)により整理し、この中で一旦停止の有無によって発生率が変化と思われる行動を抽出しました(図2の赤線部分)。

上記の分析の結果として

- (1) 出口の先詰まりから来る滞留による支障および事故(図2中分類番号7, 8)
- (2) 直前の警報不注意・無視から来る無謀進入によるしゃ断かん折損、支障および事故(図2中分類番号10, 13)が増大すると判断しました。今回は、前者の先詰まりによる滞留について、先行車が踏切出口で停止する行動を取った場合、自車がすでに踏切内に進入しているために、滞留してしまう可能性(以下、これを滞留可能性と呼びます)に着目して定量的評価を行いました。

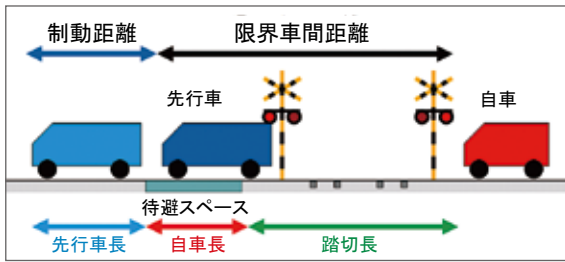


図3 滞留可能性の考え方

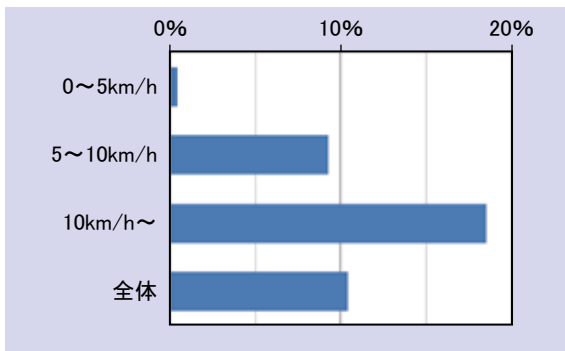


図4 現状での滞留可能性

現状の評価

現状踏切での滞留可能性を評価するために、通行車両の進入時・退出時の行動を調査・分析しました。

調査は、交通量の多い3踏切（一日平均通行台数1万台程度）を対象として行いました。撮影時間は24時間で、進入側、進出側をそれぞれ別のカメラで撮影し、進入時刻、進入速度（進入側4m区間での平均速度）、進入時の先行車の位置を測定しました。

滞留可能性の評価は、踏切進入時における先行車と自車との車間距離を求め、そこから先行車が制動したと想定し、進出側の待避スペースが出来る限界車間距離より小さい場合、滞留可能性があると判定しました。（図3）。

現状調査による滞留可能性評価の結果が図4です。

進入速度別の滞留率では、時速5km/h未満の一旦停止状態では1%未満、時速5~10km/hでは10%程度、時速10km/h以上では18%程度となり、急速に増加します。全体としては、滞留可能性は10%程度でした。

一旦停止を行わない場合の評価

一旦停止の有無に伴う滞留可能性を評価する場合、実車による実験と、仮想環境下におけるシミュレータによる実験の2つの方法が考えられます。両者それぞれ長所短所があります。よりリアルな現実感などの点で実車実験が優れていますが、様々な運転操作や、車間距離・速度などの運転環境を正確にデータとして取得できるという点ではシ

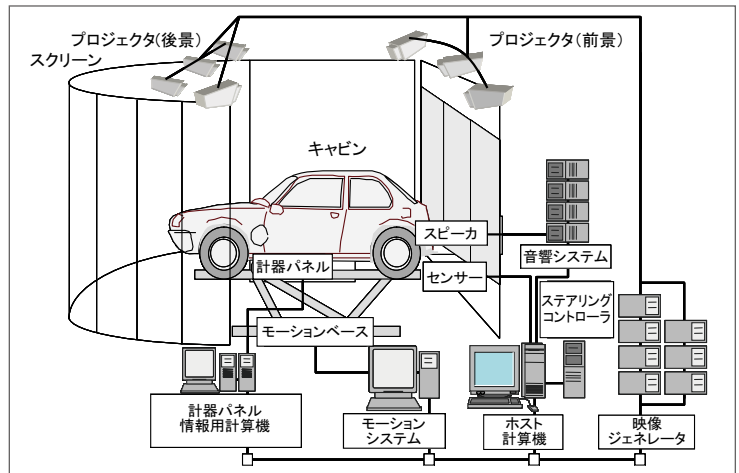


図5 ドライビングシミュレーター

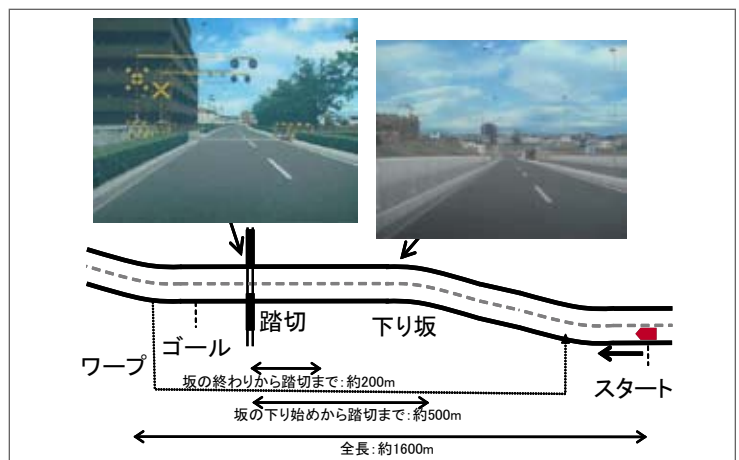


図6 実験コース概要

ミュレータ実験のほうが有利です。今回はデータ取得性を重視し、(独)産業技術総合研究所のドライビングシミュレータ(図5)を借用して、仮想環境上での踏切をドライバーが先行車に追従運転する条件で運転する実験によって評価することとしました。

仮想現実内の実験コースに踏切を設置し、踏切を通過した後、スタート地点に戻ること(ワープ)により、1試行で踏切を2回通過する試験としました(図6)。

評価の方法として、一旦停止を行わない場合においては、走行しながら前方の状況によって減速・停止の判断を行うことになるので、先行車が踏切出口で停止できる停止限界点に到達した時点で自車との車間距離を測定し、自車が踏切入口で停止できる限界車間距離より小さい場合、滞留可能性があると判定しました(図7)。

評価結果が図8です。

今回、以下の2ケースの減速度を設定しました。

- ケース1 先行車減速度=自車減速度
- ケース2 先行者減速度<自車減速度

ケース1の場合は、速度によらず滞留可能性は50～65%みられました。この結果から、踏切付近で事前に車間を開ける車は少ないことが分かります。

ケース2の場合は、ケース1よりも滞留可能性が低くなり、30km/hの場合で40%、それ以上の場合は15～20%となりました。高速で滞留可能性が低いのは、減速時間が長く、その間に先行車との間に十分な間隔が得られるためと考えられます。

リスク評価

現状踏切の調査および一旦停止を行わない場合の実験に基づき、一旦停止を行わない場合の滞留可能性の変動を評価しました。

各個別の踏切における平均通行速度に関しては、踏切の幅員から推定し、各踏切に対する現状での滞留可能性に対する、一旦停止を行わない場合の速度別での滞留可能性の変動率を計算した上で、ある都市圏の踏切全体での滞留可能性の変動を、地域全体の踏切の変動率を平均して評価しました。その結果、現状に比べて約2.6倍の増加が見込まれることが分かりました。

上記の滞留可能性の増加率にもとづき、現状での事故数から、一旦停止を行わない場合の事故数および損害額としてのリスクの変動を評価しました。

事故に関しては、先詰まりによる滞留の結果として、列車との衝突による踏切障害事故のほか、衝突に至らないものの列車の遅延が起きる踏切支障が考えられます。踏切支障の多くは、列車遅延が30分未満のため、輸送障害としては届けられていませんが、事例数としては多いため、その影響は決して小さくありません。過去の事故実績から判断すると、滞留による支障の割合は、同じ原因による事故の10倍程度と考えられます。

1事故あたりの損害額としては物損および輸送障害の双方について評価しました。

物損に関しては先頭車両の損害として

- 踏切障害事故 2500万円
- また、輸送障害の影響に関しては、
- 踏切障害事故 平均1時間の遅延
- 踏切支障 平均15分の遅延
- 乗客一人当たりの時間価値を2400円/時間
- 列車1編成あたり2000人

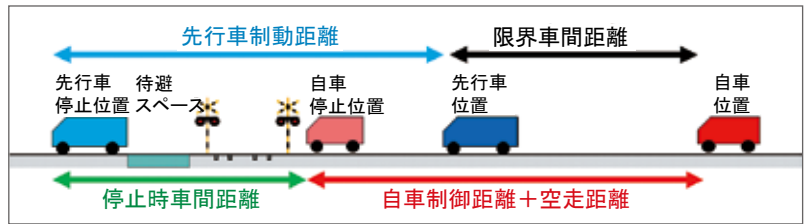


図7 一旦停止義務解除時の評価

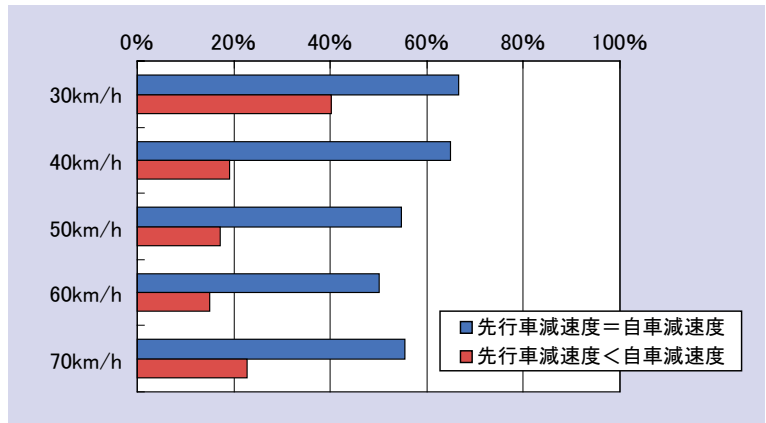


図8 一旦停止解除時の滞留可能性

- 踏切障害事故による影響 20編成
 - 踏切支障による影響 4編成
- 等を条件とすると
- 踏切障害事故 9600万円
 - 踏切支障 480万円

の損害が発生すると推定されました。

上記の都市圏での事故数の推定に基づき、先行車停止時の滞留可能性と支障・事故の比は、踏切によらず一定と前提した上で、リスクとしての物損および遅延の損害額を評価したところ、現状で年間20億円、一旦停止を行わない場合、年間52億円の損害となることが評価されました。

上記の評価により、一旦停止を行わない場合には現状の約2.5倍にリスクが増大する可能性があり、安全上大きな問題であることが判明し、その損害を金額としても算出することができました。

おわりに

鉄道の安全性向上におけるリスク評価への期待と、複合的な事象を扱わなくてはならない難しさについて、人間の行動に関するリスク評価の事例と共にご紹介いたしました。今後も鉄道システムの複合的なリスクの評価について研究を重ねて、鉄道の安全性向上に貢献できるように努力していきたいと考えています。 [RRR]