

# 鉄道事業におけるリスク評価手法適用の試み

## APPLICATION OF RISK ASSESSMENT METHOD IN RAILWAY

福山 浩史<sup>1</sup>・犬塚 史章<sup>2</sup>・館 雅憲<sup>3</sup>・石毛 哲雄<sup>4</sup>

- <sup>1</sup> 東日本旅客鉄道株式会社 JR 東日本研究開発センター安全研究所 (E-mail: fukuyama@jreast.co.jp)
- <sup>2</sup> 東日本旅客鉄道株式会社 JR 東日本研究開発センター安全研究所 (E-mail: inutsuka@jreast.co.jp)
- <sup>3</sup> 東日本旅客鉄道株式会社 JR 東日本研究開発センター安全研究所 (E-mail: m-tachi@jreast.co.jp)
- <sup>4</sup> 東日本旅客鉄道株式会社 JR 東日本研究開発センター安全研究所 (E-mail: t-ishige@jreast.co.jp)

鉄道事故の安全対策を効果的に進めるため、鉄道事業におけるリスク評価の適用を考えた。実際には発生していない事故をも的確に評価するため、鉄道エリアを駅または駅間ごとに分割し、そこでの事故の発生確率をハードウェアの種類別に推定、また事故後の影響をモンテカルロシミュレーション等を用いて評価する方法を構築した。また社会の安心に応える対策を実施するため、社会的価値観を含めたリスク評価を試みた。いくつかのリスクシナリオを対象にリスク値を算出することにより、実用的な評価手法を構築することができた。

**キーワード：** リスク評価, 社会的価値観, 鉄道事業, モンテカルロシミュレーション

### 1. 背景

1872年に我が国最初の鉄道が開業して以来、日本では100年以上にわたって鉄道の安全性を改善するための多大な努力が費やされ、その間に多くの事故から教訓を学ぶことによって、今日における安全性の高い鉄道が築き上げられてきた。

Fig. 1は1975年以降の日本国内における鉄道運転事故の発生件数推移を示したものである。鉄道運転事故とは、列車衝突事故、列車脱線事故、列車火災事故の3種をあわせた列車事故に、踏切障害事故、道路障害事故、人身障害事故、鉄道物損事故の総称である。さて、この図からは次の2つの解釈が可能である。一つは、日本の鉄道の安全が過去約30年の間で大幅に改善されたということであり、もう一つは、長期的に見ると、安全性の改善率が徐々に鈍くなっているということである。なお、ここで取り上げた鉄道運転事故とは、主に死傷者が発生する可能性のある事故であって、列車の遅延が生じるようなトラブルは含んでいない。例え

ば、踏切事故防止のために踏切の危険を列車に知らせるための押しボタン装置を導入しているが、この装置が動作すると踏切の安全を確認した後に運転再開することとなり、列車の遅れが従来以上に生じることとなる。すなわち、安全対策が進むことにより、一方では列車が遅延する(事故よりは些細な)トラブルが増加する傾向にあるということを指摘しておきたい。

東日本旅客鉄道株式会社(以下、「JR東日本」という)では、安全に関する5ヵ年計画を継続的に立て、鉄道の

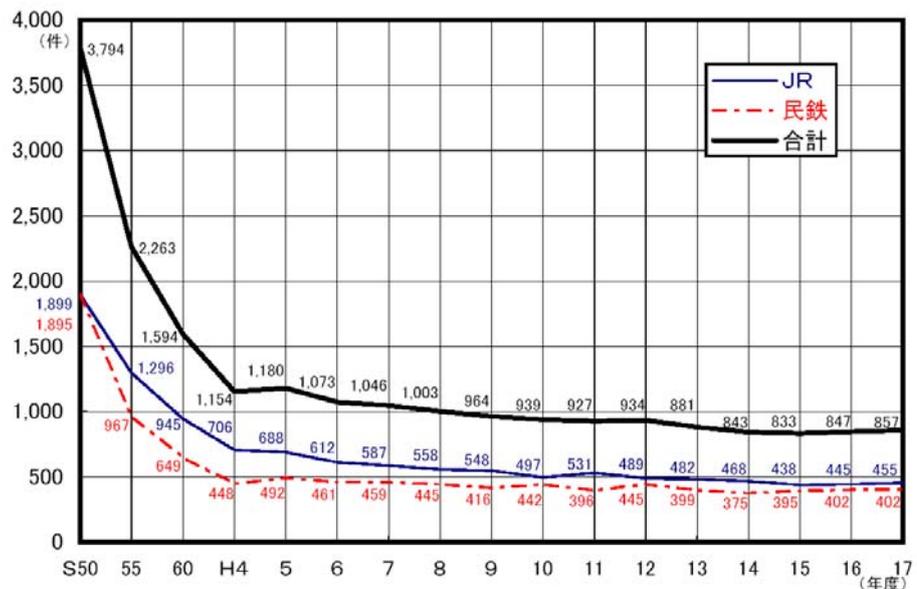


Fig. 1 日本国内における鉄道運転事故発生件数推移  
「平成17年度鉄道事故等の発生状況について」(国土交通省)

安全性向上への取り組みを進めているが、鉄道の安全性が高まるにつれて、その安全性をさらに改善することは次第に困難になってきている。これは、単に実際に発生した事故から教訓を学ぶことだけによって経験的に安全性を高めようと試みる限り、避け得ない事実である。なぜならば、一般にあるシステムは、その安全性が高まるにつれて事故に遭う機会は稀になり、実際の事故から教訓を見つけることが難しくなるからである。

それに加えて、近年の新システムの導入による高速化と大量輸送により、「実際の事故から学ぶ」ことそのものが許されなくなってきている。例えば東北新幹線は、最高速度 275km/h のスピードで 1,000 人以上を運んでいるが、万一この列車に衝突事故が発生したら、その事故影響が社会の受容限度を超えることは明らかであろう。すなわち、実際に事故が発生してから初めて手を打ったのでは遅いのである。そこで我々は、鉄道の安全性をさらに改善するために、「実際の事故から学ぶ」以外の何らかの方法を見いださねばならない。

一方、近年の目覚ましい技術革新や情報技術の急速な進展に伴い、産業界の多くのシステムが高度化、複雑化、更には巨大化している。鉄道事業においても、鉄道車両やその運行管理システム等の高度化、様々なシステムが混在することによる複雑化、そして鉄道サービス全体を 1 つのシステムととらえると非常に巨大化したものと考えられる。

こうした巨大なシステムの安全性については、原子力発電所や化学プラントなどにおいて、リスク評価の考え方が導入されてきている。すなわち、J R 東日本の安全性を向上するため、経験則に替わる方法のひとつとしてリスク評価手法の活用が肝要と思われる。

また、社会では「安全・安心」というキーワードが標榜され、これまで以上に安全でしかも安心を得られるサービスが受けられるようなニーズの高まりがある。安全対策の取り組みの際には、安全の先にある安心を求める社会が受け入れうる観点も必要であると考えている。

こうしたことを背景に、この研究ではリスク評価にお客さまの観点（以下、「社会的価値観」という）を加え、実用的かつ総合的な安全指標を構築する試みを行っている。

## 2. 目標

この研究の大局的な目標は、J R 東日本の鉄道事業の安全性向上に資するようリスク評価を行うことである。さて、一般にリスク評価とは、

1. どのような事象がリスクの発生源になっているか？

2. その事象が、どれくらいの頻度で発生するか？
3. その事象が発生した場合、どの程度の被害が考えられるか？

の 3 つの質問に答えることである。様々なタイプの事故がどのように全体のリスクに寄与するか、リスクが全鉄道システムの中でどのように分布しているかを定量的に知ることは、安全管理の意志決定、すなわち安全に関する設備投資をどのように決めるかに役立つはずである。つまり、この研究の具体的な目標の一つは、現在の J R 東日本におけるリスクの分布や内訳を定量的に見いだすことである。

一方、J R 東日本という鉄道システムの状態と、それをとりまく環境は常に変化し続けているので、1 回限りの評価だけでは安全管理に十分とは言えず、安全管理の意思決定を下すために必要なときにはいつでも評価を繰り返すことができなければならない。従って、この研究のもう一つの目標は、その方法を具体的な手法として確立することである。一定の間隔で繰り返してリスク評価を実行することにより、時系列的なリスク変化を読み取り対策を立てることも可能となると考えられる。

## 3. 鉄道事業におけるリスク評価の具体的な考え方

### 3.1. リスク評価の対象

国際規格 ISO/IEC Guide51 を受けて制定された日本工業規格 JIS Z 8051 によると、リスクとは「危害の発生確率及びその危害の程度の組合せ」と定義されている。

先述のように、J R 東日本グループでは安全の中期計画をたてているが、現在は「安全計画 2008」を定め、その中で「お客さまの死傷事故、グループ社員の死亡事故ゼロ」を目指している。このためこの研究におけるリスクを次のように定義した。

[定義]

リスク：リスクは発生確率とその影響の組合せ

影響：お客さま及びグループ社員の死亡及び負傷

※ お客さま及びグループ社員以外でも、J R 東日本が社会的責任を負うべきと考えられるリスクの被害者は考慮する。（例、踏切無遮断という事象のもとに発生した踏切上での事故に関わる踏切横断者など）

つまり、このリスク評価で扱う対象は生命の損失・負傷だけでなく、物損や経済的損失は、この研究ではリスクとして考慮していない。

そこで、このリスク評価では、想定する事故シナリオとして、部内原因（列車が停止信号を超えて他の列車と衝突、車両不具合による脱線転覆、軌道整備不良による脱線転覆など）や部外原因（落石・地震などの災害によ

る脱線転覆、自動車との衝突など)の事故シナリオを取り上げることとした。

なお、リスク評価において研究の対象範囲を詳細に記述することは、考慮の対象とする事故シナリオをリストアップすることとまさに同じであるため、その詳細は3.3節で述べることにする。

### 3.2. リスク評価の手法

この研究におけるリスク評価の考え方は、主として原子力発電所の分野において開発されてきた確率論的リスク評価手法を基本にしたものである。またJIS Z 8051ではリスク評価のプロセスが規定されている (Fig. 2)。

確率論的リスク評価の一般的な手法は以下の通りである。

1. 「ハザードの特定」において、対象とする事故シナリオをリストアップする。
2. 「リスクの見積もり」においては、各事故シナリオによる事故の発生確率と事故後の影響である被害規模を算出する。
3. 算出した発生確率と影響を結合することによって全体のリスクを算出、評価する。

以下に、各ステップにおける詳細な手法を述べる。

### 3.3. 鉄道事故シナリオのリストアップ

リスク分析の第1ステップは、考慮する事故シナリオをリストアップすることである。事故シナリオとは、想定される事故の原因から事故影響までを含んだ一連の記述のことである。確率論的リスク評価では、このステップで想定されなかった事故シナリオはそれに続くステップの中では決して評価されず、ここで見過ごされた事故シナリオがリスク評価の結果として自然に浮かび上がってくることは原理的にあり得ない。従って、事故シナリオは想定されるあらゆるものをリストアップしなければならないが、一方、考慮する事故シナリオの全体数は実際に評価(発生確率の計算など)ができる範囲内でなければならない。そこで現実には、重要な事故シナリオを省略しないように注意しながらシナリオの数を絞り込むことになる。

ところで鉄道事故の場合、同じ原因で生じた事故であっても、その事故の発生環境が異なれば全く異なる事故影響になってしまうという特徴がある。例えば、車軸折損による列車転覆事故を想定した場合、乗客の少ない列車が平坦地の真ん中を低速で走行中であれば死亡事故とはならないかもしれないが、混雑した列車が橋りょう上を高速で走行中ならば多数の死亡者を生じるかもしれない。このため、リスク評価の事

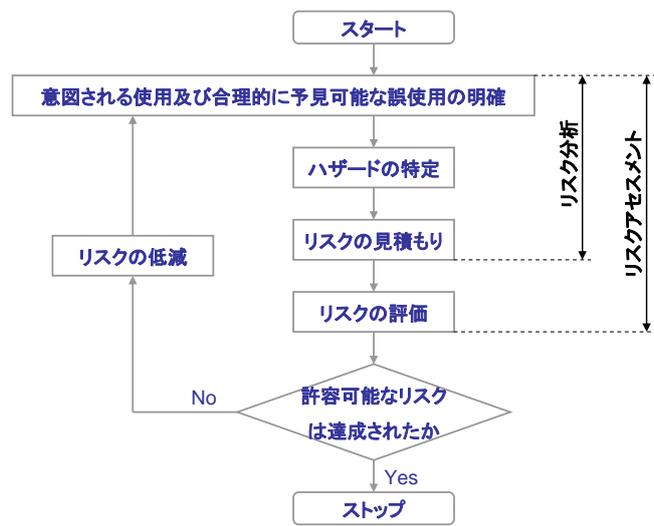


Fig. 2 リスクアセスメント及びリスク低減の反復プロセス (JIS Z 8051 より引用)

故シナリオとして事故の原因と発生環境の全ての組合せをリストアップしようとする、そのシナリオ数はほとんど無限となり、事故シナリオのリストアップ作業そのものが不可能となってしまう。

そこで我々は、この問題を解決するために以下の二つの仮定をおいた。

1. 多くの死亡者を伴うような鉄道事故のほとんどは、衝突または脱線、転覆(これらをピボット事象と呼ぶ)を伴う。
2. 衝突または脱線、転覆などの事故発生後に結果として生じる損害の規模は、その事故の原因に依存するのではなく、その事故の発生環境に依存する。

そして上記の仮定の下に、事故シナリオを原因部分と事故影響部分の2つに分割した。すなわち鉄道事故の原因と事故影響はお互いに独立であり、両者はピボット事象によってのみ結び付けられていると考えたわけである。Fig. 3 にその概念を示す。この考え方により、無限の組み合わせに近い事故シナリオの構造を単純化することが

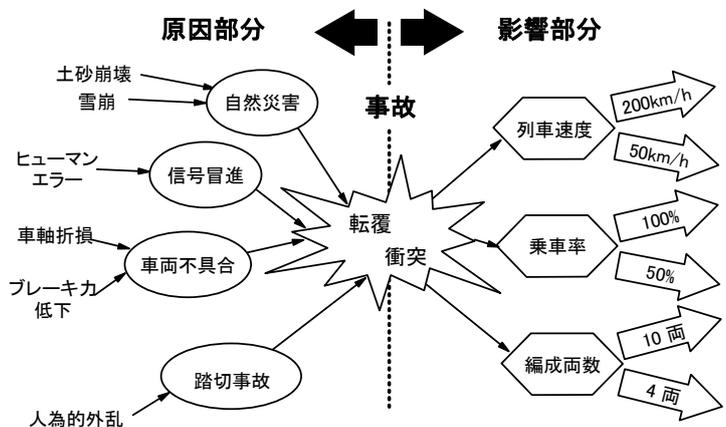


Fig. 3 鉄道事故シナリオの分割

でき、原因部分と事故影響部分とを別々に評価することを可能とした。

なお当然ながら、死亡者を伴う鉄道事故のシナリオとしては、衝突も脱線、転覆も伴わないものも想定される。この研究ではこうした事故シナリオとして、列車火災、駅での人身事故などを想定しているが、これらはシナリオの数が比較的少ないので独立してリスクを算出することとし、リスク算出の最終段階で他の事故シナリオによるリスクと合計するという方法を考えている。

結果的にリストアップしたシナリオは、「列車が停止信号を超えて他の列車と衝突する事故」、「ホームから旅客が転落して列車と衝撃する人身事故」、「豪雨などにより路盤が崩れた箇所に列車がくる脱線事故」、「踏切での自動車と列車との衝突事故」などである。

### 3.4. 発生確率の見積もり

確率論的リスク評価の次のステップは、各事故シナリオの発生確率を算出することである。この研究では大部分の事故シナリオがピボット事象に通じるので、ここで算出しなければならないのは、各シナリオの原因部分から生じる衝突事故および転覆事故の発生確率である。

確率論的リスク評価の中で事故発生確率を算出するためのもっともポピュラーな方法は、FTA (Fault Tree Analysis=故障の木解析) に代表されるツリー解析を用いる方法である。そこで、この研究においても鉄道事故の発生確率を算出するために FTA を用いようと試みたが、結果的にうまく適用できなかつた。その理由としては、原子力発電所のように高度に自動化されたシステムの事故シナリオと比較すると、鉄道における事故の因果関係は体系化しにくく、ツリー解析の適用が困難であったことが挙げられる。

一方、鉄道は長い歴史のなかで多くの事故経験があり、そのデータは十分に存在する。そこで今回のリスク評価では、過去の事故データに基づいて各事故シナリオの発生確率を算出することとした。また、事故のデータだけでなくインシデント（鉄道運転事故には至らない事故に準ずる事象）のデータも用いて、インシデントが起きてから事故に至るといような階層的な考え方とし、ツリー解析のイメージを留めることとした。

各事故シナリオによる事故の発生確率を算出するために、JR東日本社内の運転事故データベースを使用した。このデータベースは、1987年のJR東日本発足以来のJR東日本の全ての鉄道運転事故およびインシデントのデータを蓄積しているデータベースである。

### (1) リスク算出単位

事故影響が大きく評価対象に含めるべきリスクは、未発生又は極低頻度であることが多い。したがって単に実績に基づいて発生頻度を設定することは不適切である。

一方で事故が発生した際、その発生箇所により影響は大きく異なることから、特定の箇所毎に発生頻度を設定する必要がある。このためJR東日本の鉄道サービスエリアを駅単位に分割し、それぞれに対して発生頻度を設定することとした。すなわち、路線の設備状態、乗車人員、列車本数、沿線地形の変化が著しいと思われる駅単位において線区を分割することとした。これにより、線路が複線であるか単線であるか、沿線が平坦地であるか山間部であるかなどを決定できる。なお、同一駅内に複数の線がある場合、それぞれ別の駅として考えたため、計算箇所は約2,100となる。1つのリスクシナリオに対して発生頻度を設定する計算箇所が約2,100箇所あり、数十のリスクシナリオを想定していることから、発生頻度を設定する計算対象の総数は数万から数十万となる。

### (2) 発生確率の見積もり方法

上記を踏まえて実現可能な方法を模索した結果、事故は Fig. 4 に示すメカニズムで発生すると考えることとした。この考え方に基づくと、発生頻度は、要因数、インシデントに至る確率及び事故に至る確率の3要素で定義することができる。この3要素を、計算箇所の関数とすることで、同一の考え方を全計算対象に適用できるととなり、数万から数十万の発生頻度計算対象に対して機械的な算出が可能となる。

例えば「列車が停止信号を超えて他の列車と衝突する事故」の発生頻度を考えた場合、以下の手順により、特定の駅における事故発生頻度が算出できる。

#### ①インシデントの決定

この例では「ブレーキ操作ミスにより停止信号を超える事象」及び「滑走により停止信号を超える事象」をインシデントと考える。(以下、順にインシデントA、Bとする)

#### ②要因の決定

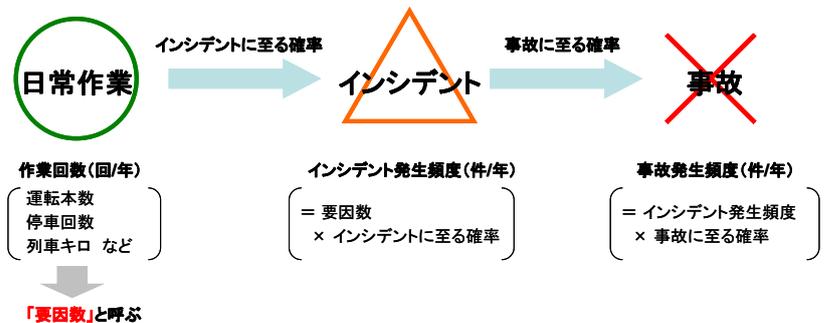


Fig. 4 事故発生メカニズム

要因は、事故のメカニズムを考慮してインシデント発生件数に大きく影響を与えるものを選定した。先に挙げたインシデントは、いずれも列車が停止信号に遇う場合を要因と考えることが理想であるが、この数を直接得ることは困難であるので、近似的代用値としてその駅を通る列車本数を用いることとし、列車本数を要因数とした。これは、列車運転士が信号機（その信号機が青を現示しているか、赤を現示しているかは不明であるが）を見る回数と一致する。

③インシデントに至る確率の決定

インシデントに至る確率は、式(1)に基づいて算出する。ただし必要により対象をカテゴライズして算出することとする。

$$\text{インシデントに至る確率} = \frac{\text{インシデント発生件数}}{\text{総要因数}} \quad (1)$$

※インシデント発生件数及び総要因数はサービスエリアの総計

例えばインシデントAはヒューマンファクターに関わるもので、この対策として、いわゆるATSなどの保安装置を導入している。このため保安装置毎にデータをカテゴライズし、保安装置Iに対する確率、保安装置IIに対する確率、といった具合にそれぞれに対して算出する。発生頻度の設定箇所により設備が異なるため、この例では「インシデントに至る確率」が保安装置種別の関数になっている。インシデントBについては、滑走に対してはどんな保安装置も効果が無いと考え、全エリアのデータをそのまま用いて確率を算出する。

④事故に至る確率の決定

事故に至る確率は、原則として式(2)に基づいて算出する。これはインシデントのうちの一部が事故に至り、その確率は一定であるという考え方による。

$$\text{事故に至る確率} = \frac{\text{事故発生件数}}{\text{総インシデント発生件数}} \quad (2)$$

ここまでの例でいえば、分子である事故発生件数は列車衝突事故の件数、分子の総インシデント発生件数はインシデントAの発生件数とインシデントBの発生件数の和である。JR東日本では、インシデントBにより事故が発生したことは無いが、上記のように定義するとインシデントBに起因する列車衝突事故の発生頻度も算出可能となる。

⑤個々の事故発生頻度の算出

①から④までに決定した考え方に基づき、各駅における事故発生頻度を算出する。ここでは理解を容易にするために仮の数値を用いて例を示す。

[C駅の場合]

- ・列車本数: 100本/日 (36,500本/年), 保安装置II
- ・保安装置IIに対するインシデントAに至る確率:  $1.0 \times 10^{-7}$

- ・インシデントBに至る確率:  $5.0 \times 10^{-8}$
- ・事故に至る確率: 0.01

とすると、C駅における要因数あたりの発生頻度は、次式のように算出できる。

$$\begin{aligned} \text{発生頻度} &= (1.0 \times 10^{-7} \times 100 + 5.0 \times 10^{-8} \times 100) \times 0.01 \\ &= 1.5 \times 10^{-7} \end{aligned} \quad (3)$$

(3) 事故データがない場合の見積もり方法

過去の事故データを用いて事故の発生確率を算出する際の問題として、事故シナリオによっては実際の事故データがない（つまり過去に事故経験がない）ものがあるということである。

このような評価する際、事故の経験がないからといって仮に式(2)の分子に0を代入すると、そのサブシステムでは事故発生確率が0となって、「完璧に安全な」サブシステムと評価されてしまう。この評価は、事故の経験がないという事実のみ立脚して事故のポテンシャル（潜在性）を無視しているという点で「実際に起きた事故からだけ学習する」という経験則的評価と何ら変わりはない。

しかし、リスク評価の大前提の一つは世の中には「完璧な安全」は存在しないという点であり、仮に過去の一定の期間内に実際の事故が発生していないとしても、あらゆるシステムは多かれ少なかれ事故を発生させるポテンシャルを持っていると考えるべきである。

この研究では、実際の事故が発生していないサブシステムにおいても、国内の事故発生データや海外の事故事例などのデータと当社でのインシデントの発生状況を事故発生メカニズムの面等から比較検討することで、発生頻度の見積もりを行った。

3.5. 事故影響の見積もり

今回のリスク評価では、事故シナリオを原因部分と事故影響部分に分割してそれぞれが独立であると考えたので、ここで行う作業は、原因とは関係なく、種々の状況・環境において事故が発生した場合の影響、すなわち被害規模を推定することである。

事故影響は3.4節で発生頻度を設定した箇所とリスクシナリオの組み合わせ全てに対して設定するが、前述の通り、同一の考え方を全ての計算区間に適用できることが重要と考えた。ここでは一例として、列車が何かに衝突したり脱線したりすることに起因して乗客が死傷する事故影響見積もりの考え方を示す。

衝突や脱線、転覆に起因する乗客の死傷影響は、Fig. 5の流れで算出する。衝突や脱線に起因する事故の全てを一旦重大性指数SIに置き換えることとした。この際、事故の重大性は、速度（衝突時又は脱線時）、衝撃重量（衝突した相手の重量）、転落高さ（脱線後に転落した場合）、

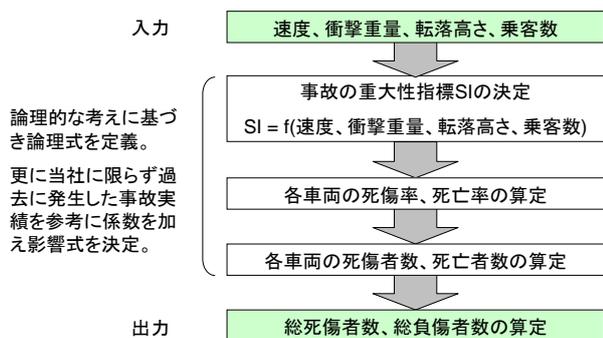


Fig. 5 事故影響算出の流れ

乗客数の4要素に基づくと考えた。事故の発生の際には、列車の走行速度が0になるなどエネルギーが変化すると考えられる。この4要素はこのようにエネルギーの変化に影響を与える要素として選択し、これら4要素を入力することにより、定量的に影響を得ることができる影響式を定めた。影響式の詳細については割愛するが、座っている乗客数、つり革などにつかまっている乗客数、つかまっていない乗客数を推定乗客数より求め、事故発生により列車の速度が変化するエネルギー量がそれぞれの乗客にどのような影響（死傷状況）を与えるかを過去の事故事例と対比させて求めることができるものである。

上記の影響式を用いるために、パラメータである4要素を与える必要があるが、その与え方が問題となる。乗客数に着目した場合、事故時の乗客数は事故発生時刻により大きく異なる。例えば、昼間時の乗客率は数十パーセントであるが朝ラッシュ時は200パーセント程度であり5倍程度乗客数が異なる。また、事故のシナリオによっては、ラッシュ時間帯に起こりやすい事故や深夜時間帯に起こりやすい事故、朝方に起こりやすい事故など発生時間帯に特徴がある事故が存在する。このような状況を踏まえると、一日平均の乗客数をパラメータとして与えるのではなく、時刻毎の乗客数をパラメータとして与えることが望ましい。衝撃重量についても同様で、例えば踏切で自動車と衝突する場合、大型トレーラーと衝突する影響と普通乗用車と衝突する影響は異なるが、これらを単に平均した重量に衝突すると考えてしまうと、一般に普通自動車の方が多くことから大型トレーラーと衝突するような大事故を見逃すことになってしまう。

これらは影響のばらつきとして議論される問題であり、この研究で考慮した重要なポイントである。検討の結果、パラメータである4要素を確率変数として与えることとした。つまり4要素の確率分布に従い組み合わせを考え、それらに対して影響式を適用することにより、事故影響を確率分布として得ることができる。特定のある踏切について評価した一例を Fig. 6 に示す。

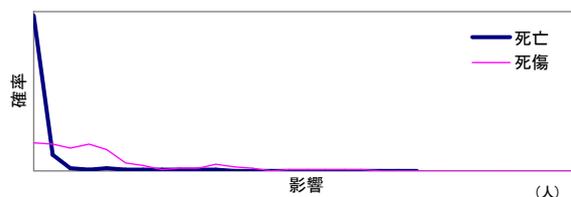


Fig. 6 踏切の事故影響確率分布の一例

### (1) 併発事故について

ここまでは、説明を容易にするため衝突と転覆が各々別の事象であると考えた場合を説明したが、複線以上の線路で転覆事故が発生した場合、併発事故（転覆した列車に他の列車が衝突する事故）が発生する可能性があるため、これを考慮する必要がある。

上述の影響式を構築する中では、隣接線列車の平均衝突速度を、隣接線列車の平均列車間隔および平均速度、平均ブレーキ性能から算出し、その速度で二次的な衝突事故が発生するものとした。

なお、上記とは逆に、衝突事故が転覆事故を併発する可能性も否定できないが、このような事故では、列車上の死亡インパクトの大部分は最初の衝突事故で決まってしまうと考えられるので、今回のリスク評価では考慮していない。

### 3.6. 社会的価値観の考慮

リスク  $R$  はしばしば、そのリスクを生じる事象の発生確率  $P$  と事象が発生した後の被害規模である影響  $C$  を用いて式 (4) で表現される。

$$R = P \times C \tag{4}$$

この研究での目標は、冒頭でも述べたように、安全の向上だけではなく、お客さまが感じる安心の向上も含めたものである。安心という観点からみると、式 (4) で表現される純粋なリスクだけでは捉えられないものがある。純粋リスクに付加すべき情報として社会的価値観（第1章参照）という概念を取り入れることとした。この社会的価値観の内容がどのようなものであるかを確認する試みとして、人びとの鉄道事故発生時の許容度を、グループインタビューにて明らかにした。その結果、Fig. 7 のようになり、主な意見は「原因」の違いと「被害規模、影響」の違いに集中し、その他として同じ事故の繰り返しの「頻度」の違いと「事後対応」が悪いといった点が指摘された。

この研究を進める上では、社会的価値観として重要な因子と思われる事故原因と影響規模に対して重み付けをすることにより、社会的価値観を考慮することとした。具体的には、Fig. 7 で得られた許容度をもとに、それぞれ次のような観点で専門化判断により重み付けを決定し

た。重み付けの値については社会背景により変わりうるものと考えられるので、ここでは概念のみを示すこととする。

[事故原因]

部内原因 > 部外原因 (災害以外) > 部外原因 (災害),

[影響規模]

影響規模に応じて非線形に大きくなる (今回の試算では死亡者数の 1/3 乗を用いた。)

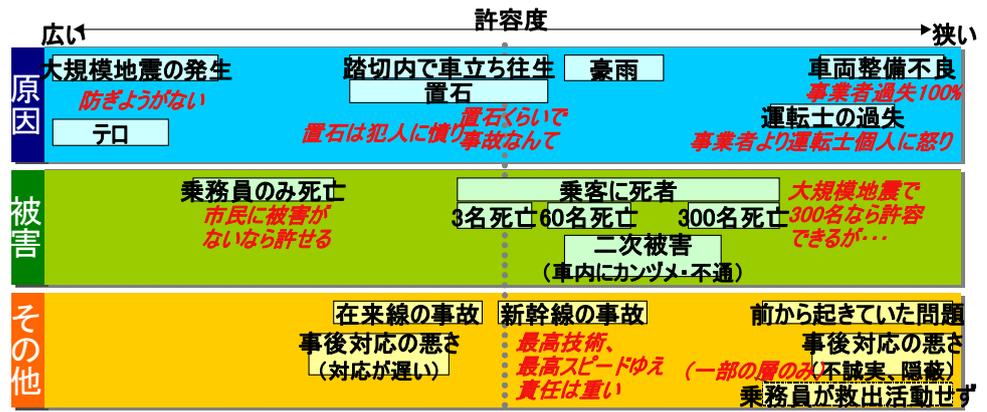


Fig. 7 一般の人を対象としたグループインタビューによる鉄道事故に対する許容度

### 3.7. 大規模低頻度事故と小規模高頻度事故との比較

効果的な事故対策を実施しようとする際、大規模低頻度事故と小規模高頻度事故を定量的に比較することが課題として挙げられる。鉄道事業においては、前者は数十年に一回発生する大地震、後者は毎年数十件発生する踏切事故が良い例である。仮に大地震の総リスクと踏切事故の総リスクが等しい場合、対策の優先度は同じになるのだろうか。リスクが等しいという前提においては、経営判断として大地震に優先度が置かれているように思われる。これは一定以上の経営を脅かすような大事故 (社会反響の大きな事故) が生じた場合、事業運営そのものが危ぶまれることから、そのようなリスクを回避する意味での防衛的な考えが働くからである。この考え方は投機的リスクを扱うファイナンス分野で用いられており、一定以上の危険な状態が生じる確率を評価 (VaR: Value at Risk など) し経営判断に用いている。この考え方は効果的な事故対策を検討する上で有益であると考えた。

仮に大地震の総リスクと踏切事故の総リスクが等しい場合、対策の優先度は同じになるのだろうか。リスクが等しいという前提においては、経営判断として大地震に優先度が置かれているように思われる。これは一定以上の経営を脅かすような大事故 (社会反響の大きな事故) が生じた場合、事業運営そのものが危ぶまれることから、そのようなリスクを回避する意味での防衛的な考えが働くからである。この考え方は投機的リスクを扱うファイナンス分野で用いられており、一定以上の危険な状態が生じる確率を評価 (VaR: Value at Risk など) し経営判断に用いている。この考え方は効果的な事故対策を検討する上で有益であると考えた。

### 3.8. リスク算出

リスク評価の最後のステップは、発生確率や影響を含めてリスクを算出することである。この値は、今まで述べてきた考え方にに基づき、JR東日本全体についてモン

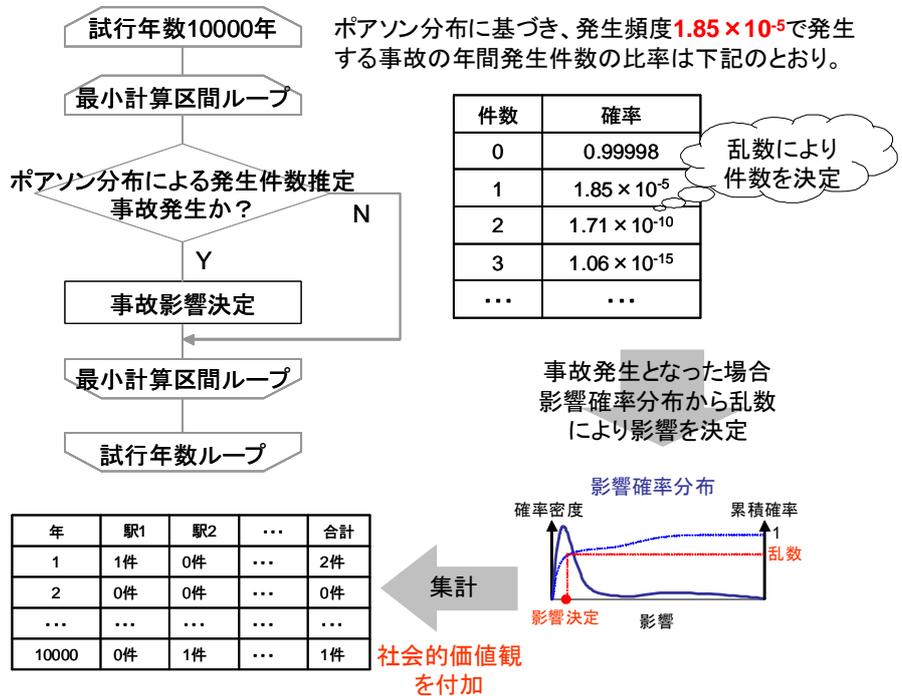


Fig. 8 シミュレーション概念

テカルロシミュレーションに基づく確率分布で評価することとした。シミュレーションは、最小計算区間 (リスクシナリオと計算箇所を組み合わせ) に対して 10,000 年分を実施することとした。主なポイントを次に示し、概要を Fig. 8 に示す。

[シミュレーションにおけるポイント]

1. 最小計算区間において毎年何件の事故が発生するかはポアソン過程 (一般に発生頻度の低い事象に適用できる分布の考え方) に基づくと仮定し、3.4 節で設定した発生頻度に基づいてポアソン分布を想定する。これに基づき年毎に事故発生件数

を乱数により決定する。

2. 事故発生となった場合、3.5 節で設定した影響確率分布から乱数により事故影響を決定する。複数の事故が発生した場合、再び乱数に基づき影響確率分布から影響を決定する。
3. 得られた影響に社会的価値観を付加する。(具体的には重み付けを乗じる)

### 3.9. 総合リスク算出と指標化

ここまでの検討により、予測影響に社会的価値観を付加した影響確率分布 (Fig.9 (a) 参照) を得ることができる。この分布の縦軸に更に影響を掛けることで (b) を得る。この分布から次の2つの種類の値を読み取ることが重要であると考えた。説明を容易にするため、ここでは期待損失指数及び危険損失指数と呼ぶ。

1. 期待損失指数 (全体のリスクの大きさ)  
一般的に期待値と呼ばれる値であり、これがいわゆるリスクに、社会的価値観を考慮したものである。Fig.9 (b) の面積に相当する。
2. 危険損失指数 (危険側のリスクの大きさ)

Fig.9 (b) において、期待損失指数のうち、年間総影響が許容限界値を超える値である。3.7 節で大地震と踏切事故を比較したが、この2つの期待損失指数が同じであった場合、危険損失指数については地震の方が明らかに大きくなる。許容限界値は経営判断として決定する。

いくつかのリスクシナリオについて J R 東日本全体を試算した結果、指標が Table 1 のように得られた。この表には社会的価値観を含まないリスク値も参考のため掲げた。事故対策を検討する際、第一の着眼点は期待損失指数であり、これを低下させる対策を模索する。期待損

Table 1 指数の試算値

リスクシナリオ	期待損失指数	危険損失指数	リスク値 (人/年)
列車が停止信号を超えて他の列車と衝突	77.7	33.1	0.22
踏切での自動車との衝突	69.7	2.57	1.48
降雨災害による脱線転覆	48.7	9.12	0.82

失指数を構成するリスクシナリオとその割合を把握することにより、対策を推進すべきリスクシナリオは容易に抽出できる。この場合、「列車が停止信号を超えて他の列車と衝突」や「踏切での自動車との衝突」の対策が重要であることが示唆される。第二の着眼点として、危険損失指数について対策すべきと判断するならば、先の対策推進リスクシナリオの中に危険損失指数を下げることに効果があるものを多く盛り込めば良い。「降雨災害による脱線転覆」についても、この観点から見れば「踏切での自動車との衝突」以上の対策が望まれる。これらの視点は、従来のリスク値のみでは考慮されず、今回構築した概念でのみ考慮される。なお、設備投資のデータをインプットすることにより対策効果を定量的に把握することも可能である。

## 4. 結論

ここでは、鉄道の安全性を評価するためのリスク評価手法を構築し、J R 東日本のリスク算出に適用することを試みた。また、この研究では、一般的なリスク評価にお客さまの観点 (社会的価値観) を加えた指標 (期待損失指数, 危険損失指数) の枠組みを構築した。このような指標を用いることで、設備投資の定量的な効果予測、異なる事故シナリオに対する投資効果の比較が可能となると考えている。さらに本指標は社会的価値観による重み付けを含んでいるため、この指標に基づく設備投資はお客さまの安心を得やすいと考えられる。

## 5. 今後の課題

本リスク評価手法は、個々のリスクシナリオのリスクについて統一的な考え方で定量把握し、その結果を積み上げる手法であり、個別の事例のリスク算出により実際的事例であることは確認されたが、まだ以下のように改善を要する点がいくつかある。

第1に、J R 東日本全体のリスクを総観するため、必

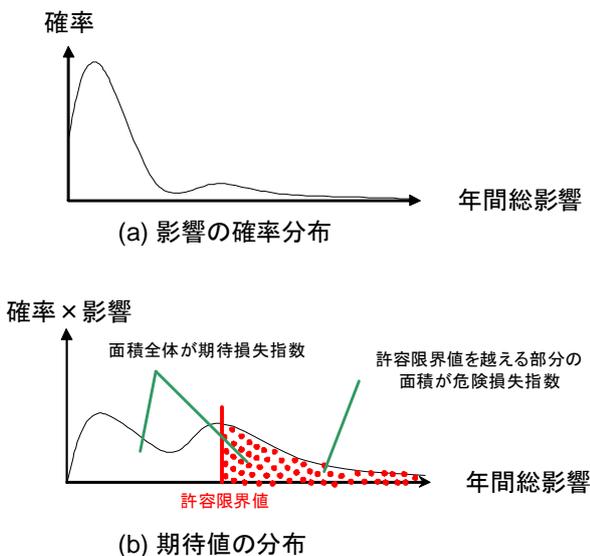


Fig.9 指標の概要

要なリスクシナリオを確実にリストアップしてリスクの全体値を算出することである。現在は個別のリスクシナリオについての算出にとどまっているので、安全対策の優先順位をつけるまでには至っていない。当初の目的を達成するためにも鉄道システム全体の評価を進めたい。

第2に、ヒューマンファクターの考え方を取り入れることである。本リスク評価手法では、主にハードウェアの相違により、発生確率が異なるとしており、人間の関わる部分が多ければ、実際の発生確率を正確には見積もることができない。安全性を決定するのはハードウェアだけではなく、ヒューマンファクターを含むさまざまな要因なので、安全管理を進めていく上では、この点を考慮すべきと考える。

第3に、社会的価値観のモデル化である。社会的価値観を含まずに単純にリスクを評価した結果だけでは、社会の安心は得られない。現在は、事故原因と影響規模についてのみ専門家判断により値を決めているが、事故頻度や事後対応を含めて実際の社会の声に適合する社会的

価値観をモデル化し定量的に求めようと考えている。

なお、我々は、今後リスクの算出を定期的に行う計画である。このように繰り返してリスクを算出することで、JR東日本のリスク分布やリスク内訳の長期的なトレンドを見出すだけでなく、上記の3点を含めたリスク評価方法そのものの改善ができるものと考えている。

## 参考文献

- 1) 佐藤一男(2006)『改訂 原子力安全の論理』日刊工業新聞社
- 2) 清水久二, 福田隆文 編著(2000)『機械安全工学—基礎理論と国際規格』養賢堂
- 3) 日本規格協会 編(2006)『JIS ハンドブッカーリスクマネジメント』日本規格協会
- 4) 岡本浩一(1992)『リスク心理学入門』サイエンス社

---

## APPLICATION OF RISK ASSESSMENT METHOD IN RAILWAY

Hiroshi FUKUYAMA<sup>1</sup>, Fumiaki INUTSUKA<sup>2</sup>, Masanori TACHI<sup>3</sup>, and Tetsuo ISHIGE<sup>4</sup>

<sup>1</sup> East Japan Railway Company, Safety Research Laboratory (E-mail: fukuyama@jreast.co.jp)

<sup>2</sup> East Japan Railway Company, Safety Research Laboratory (E-mail: inutsuka@jreast.co.jp)

<sup>3</sup> East Japan Railway Company, Safety Research Laboratory (E-mail: m-tachi@jreast.co.jp)

<sup>4</sup> East Japan Railway Company, Safety Research Laboratory (E-mail: t-ishige@jreast.co.jp)

To advance measures for safety of the railroad accidents effectively, we have tried to apply the risk assessment method to the railway network. We divide the railway areas into the stations to evaluate risk adequately including the accident that actually did not occur, and we estimated the probability of the accidents according to the kind of railway facilities. In addition, we constructed the method of evaluating the consequences of the accidents by the Monte Carlo Simulation. Moreover, we tried to assess the risks including social sense of values to reflect the social safety. We made a practicable assessment method to estimate the risk value for some scenarios.

**Key Words:** Risk Assessment, social sense of values, Railway, the Monte Carlo Simulation