

期待総費用と利得表を用いた鉄道における災害保険制度の検討

中央大学 学生会員 ○栗田 樹 中央大学 正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

近年、地震や台風、豪雨などの大規模災害により、鉄道が大きな被害を受け長期間不通になり、沿線住民の生活に影響を与える事態が多く発生している。

このような事態を防ぐためには、鉄道構造物をより災害に強くする補強を行う必要がある。しかし鉄道の設備投資は多大な金額がかかり、利益にも直接結びつかないため、少子高齢化や高速道路網の整備などにより経営状態が厳しい鉄道事業者には優先順位が低いとされている場合がある。¹⁾ このような背景の中、鉄道構造物の安全性向上はなかなか実現できていないのが現状である。

2. 研究目的

本研究では、鉄道事業者が構造物補強をしやすくなる災害保険制度について検討する。補強により災害時のリスクが低減された効果が定量的に把握できれば、保険料を割引できるものとする。鉄道事業者が加入かつ土木構造物の災害対策補強を行ったほうが優位になる保険料や保険金、割引率をゲーム理論の利得表の枠組を用いて検討する。これは、「対策レベル」を人間側、「発生する被害規模」を自然側のプレイヤーの手段として離散化して表し、この組み合わせによる補強を人間側の利得として考えることである。

経営基盤の弱い第三セクターは被災した場合、自力での復旧が困難なことを踏まえて、本研究では第三セクターを対象に地震保険制度を検討する。また、国・自治体を保険事業者として設定する。

3. 期待総費用最小化原則

本研究ではゲーム理論のプレイヤーを第三セクターの鉄道事業者と国・自治体の二者に設定し、効用関数として期待総費用最小化原則を用いる。『期待総費用』は式(1)のように表される。

$$C_t = C_i + \sum P_f \times C_f \quad (1)$$

C_t は期待総費用、 C_i は構造物の耐震補強にかかる初期コスト、 P_f は自然災害によって構造物に被害が発生する確率、 C_f は被害時コストである。 P_f と C_f の積である災害リスクは、発生する地震規模によって異なる。本研究では地震規模を震度6強以上、6弱、5強の三段階に分け、それぞれの災害リスクの和を算出する。この総費用は国や自治体が負担する災害予防事業への補助率や、鉄道会社がどの程度の災害予防を行うのかによって金額が変動する。保険制度を考える前に、保険がない状態で土木構造物の耐震補強を行った場合の両者の期待総費用を考える必要がある。本研究ではこの総費用を鉄道路線20kmごとに考え、その大小を比較し最適な耐震補強のレベルを検討する。そのための各値を以下のように定めた。

表-1 浜松駅と豊岡駅の地震規模別の年間発生確率

震度	浜松駅	豊岡駅
5強	5.27%	2.04%
6弱	4.48%	0.30%
6強以上	2.96%	0.04%

表-2 地震規模及び対策レベル別の鉄道構造物の破壊選択率

震度6強以上					震度6弱				
対策レベル	被害規模				対策レベル	被害規模			
	大	中	小	なし		大	中	小	なし
なし	55%	30%	15%	0%	なし	11%	15%	40%	34%
1	20%	35%	30%	15%	1	3%	8%	15%	74%
2	3%	10%	25%	62%	2	0%	2%	4%	94%
3	1%	2%	7%	90%	3	0%	0%	2%	98%

震度5弱				
対策レベル	被害規模			
	大	中	小	なし
なし	3%	4%	17%	76%
1	1%	2%	4%	93%
2	0%	1%	2%	97%
3	0%	0%	0%	100%

表-3 被害時コストの算出に用いる地震の復旧費

	地震の名称	復旧費	鉄道事業者・路線名	距離
被害大	長野県北部地震	17億6802万円	JR東日本 飯山線	59.1km
被害中	新潟県中越沖地震	9億9000万円	JR東日本 越後線	49.8km
被害小	十勝沖地震	7億610万円	JR北海道 根室線	239.5km

(1) 初期コスト C_i

本研究では耐震補強の規模を対策レベル3・2・1の三段階に分けて考える。第三セクターの多くは盛土の上を走行しているため、耐震補強する構造物を盛土と設定した。本研究では、対象地域の路線20kmのうち、5kmの範囲で耐震補強が必要だと仮定し、各対策レベルの初期コストを算出した。

対策レベル3：15億5880万円

対策レベル2：9億5880万円

対策レベル1：3億5880万円

また国・自治体は鉄道施設総合安全対策事業費補助制度より、条件を満たした路線の耐震補強事業費の1/3を補助する。今回はこの制度を適用し、また選択の幅を広げるため補助率1/2及び3/4の場合も検討する。

(2) 被害確率 P_f

被害確率は、和合による先行研究を参考に、²⁾ 地震の年間発生確率と被害選択率の積として考える。

$$P_f = P_{f①} \times P_{f②}$$

$P_{f①}$ が地震の年間発生確率、 $P_{f②}$ が被害選択率であ

キーワード ゲーム理論、利得表、第三セクター、期待総費用最小化原則、保険制度

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 TEL.03-3817-1816 FAX.03-3817-1803

る。この式から、地震の発生確率によって期待総費用も変動することが予想されるため、地震発生確率の高い地域と低い地域を1つずつ選定し、それぞれの期待総費用を求め比較していく。本研究では地震発生確率の高い地域として静岡県南西部、低い地域として兵庫県北東部を選定した。それぞれ代表地点を浜松駅、豊岡駅として、J-SHISの地震ハザードカルテを用いて震度6強以上、6弱、5強それぞれの30年以内の地震発生確率を導出した。また、それぞれの確率は30年間常に一定であると仮定して、1年以内の発生確率に換算し、表-1の値が得られた。

被害選択率 P_{r2} は各地震が発生した際にどの被害時コストが生じるかを割合で示したものであり、本来は実際に観測して得られたデータを用いる。今回は各地震別の被害選択率は対数正規分布に従うと仮定し、表-2のように耐震補強のレベル別に設定した。

(3) 被害時コスト C_f

本研究において、被害時コストは被害大、中、小の三段階に分けて検討する。また、被害時コストは災害からの復旧費と鉄道不通期間中の営業損失費の和で表されると考えた。

鉄道技術推進センターの安全データベースから過去に発生した地震による復旧費を調べ、表-3に示す地震の復旧費を元に三段階の被害時コストを算出することにした。それぞれの地震の被害額を、路線20kmあたりの金額に換算し、以下の値のように復旧費を設定した。

被害大： 5億9831万円
被害中： 3億9759万円
被害小： 5909万円

また、平成24年度鉄道構造物等設計標準・同解説³⁾では、営業損失費は復旧費の倍数で求めるものとし、兵庫県南部地震での実際の復旧費と営業損失費の関係から、その倍数を2.0として計算していた。よって本研究でも倍数を2.0として同じ手法で営業損失費を求める。

また、第三セクターなどの自力での復旧が困難な路線が大規模災害によって被害に合った場合、最大で被害額の5割を国・自治体が負担する災害復旧事業費補助という制度がある。今回は鉄道事業者が大及び中の被害を受けた際にこの制度を適用する。

4. 保険導入前のテーブルの作成

設定した数値をもとに鉄道事業者と国・自治体の期待総費用を計算し、表-4のようなテーブルを作成した。結果を見ると、静岡県南西部において補助率3/4の場合、災害保険制度を導入する前の段階から、耐震補強をするほど期待総費用が抑えられていた。兵庫県北東部はいずれの補助率の場合も、対策レベル1の選択が最も鉄道事業者の期待総費用が小さくなった。

5. 保険制度を導入したテーブルの作成

保険導入前の期待総費用の結果を踏まえて、静岡県南西部の保険制度を検討した。保険金を被害大の場合15億円、中の場合10億円、小の場合2億円、保険料を対策レベル3の場合800万円、レベル2の場合2200万円、レベル1の場合3600万円、対策なしの場合

表-4 耐震補強による鉄道事業者と
国・自治体の期待総費用のテーブル
静岡県南西部

静岡県	鉄道事業者				
	補助率	3	2	1	なし
国・自治体	1/3	108,591 52,578	86,423 35,370	113,020 27,896	171,721
	1/2	82,611 78,558	70,443 51,350	107,040 33,876	31,013
	3/4	43,641 117,528	46,473 75,320	98,070 42,846	

(万円)

兵庫県北東部

兵庫県	鉄道事業者				
	補助率	3	2	1	なし
国・自治体	1/3	104,008 51,968	65,214 32,152	28,685 12,765	11,861
	1/2	78,028 77,948	49,234 48,132	22,705 18,745	1,869
	3/4	39,058 116,918	25,264 72,102	13,735 27,715	

(万円)

表-5 保険制度を導入した静岡県南西部の
期待総費用のテーブル

静岡県	鉄道事業者				
	補助率	3	2	1	なし
国・自治体	1/3	127,703 33,467	129,130 -7,336	130,342 10,575	147,255
	1/2	101,723 59,447	113,150 8,643	124,362 16,555	55,479
	3/4	62,753 98,417	89,180 32,613	115,392 25,525	

(万円)

5000万円と設定すると、補助率1/2及び1/3の場合でも耐震補強をするほど期待総費用が抑えられる結果が、表-5に示すテーブルから分かった。しかしこの期待総費用は保険制度がない場合のものより大きな値となった。これは、鉄道施設総合安全対策事業費補助制度により耐震補強費の補助を受けた鉄道業者には、保険の加入を義務付ける法律・条例を定めることで、鉄道事業者に耐震補強を促すことができると考えられる。

6. おわりに

本研究では、第三セクター鉄道事業者が盛土の耐震補強を行った場合の期待総費用を算出し、その大小から鉄道事業者が積極的に耐震補強を行えるような保険料や保険金、条例の設定を検討した。今後の課題として、地震動による盛土の被害のばらつきや、地震の発生確率の変化などを考慮して、より正確な期待総費用の算出を行う。

参考文献

- 1) 土木学会構造力学委員会 既設構造物を対象とした安全性評価研究小委員会 報告書 平成29年11月27日
- 2) 和合 希世子 ゲーム理論を用いた防災投資の合意形成 第31回土木学会関東支部 2004.3.
- 3) 平成24年度鉄道構造物等設計標準・同解説 簡易に復旧性を検討する場合の作用と限界値の組み合わせに関する検討の例