

並行在来線の第三セクター鉄道における災害リスク評価

中央大学 学生会員 ○北山 晴人
中央大学 正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

近年，多発する自然災害が鉄道路線網の長期間にわたる寸断を度々引き起こし，旅客輸送の他に貨物輸送にも影響を及ぼしている。

日本の貨物列車は，JR 貨物が線路使用料を支払う形で，JR 他社や並行在来線の第三セクター鉄道会社等の設備を借りて運行している。即ち，並行在来線の第三セクター鉄道は日本の重要な物流ルートの一部と言えるが，実際には経営状態が厳しい会社が多く，収入のうち線路使用料収入の割合が他社と比べて大きい。加えて，鉄道構造物が被災した際，復旧費の一部が国から補助されるが，旅客収入や貨物列車運休による線路使用料の損失分の補償はない。そのため，経営の厳しい路線が一度被災すると，早期に復旧出来ず，長期間の運休や経営状態のさらなる悪化の可能性がある。日本の重要な物流ルートを担う路線での運休や廃線は日本の産業界にも大きな影響を及ぼすため，路線の維持は極めて重要である。

この状況に対し，栗田¹⁾は，鉄道構造物被災後に復旧費の補助が行われる現行の制度下において，並行在来線の第三セクター鉄道では，他路線に比べて補助金によるリスク低減効果が低いことを明らかにした。従って，このような路線の維持の為には，路線ごとに災害リスクを把握し，耐震工事等のリスク回避・低減策や保険等のリスク移転策を適切に講じる必要がある。そこで本研究では，各対策を講じるために必要な路線ごとの災害リスクの調査・評価を目的とする。

2. 研究対象

(1) 対象路線

対象路線は並行在来線の第三セクター鉄道である，

- ① 道南いさりび鉄道（道南，北海道）
- ② 青い森鉄道（青い森，青森県）
- ③ IGR いわて銀河鉄道（IGR，岩手県）
- ④ しなの鉄道（しなの，長野県）
- ⑤ えちごトキめき鉄道（えちご，新潟県）
- ⑥ あいの風とやま鉄道（あいの風，富山県）
- ⑦ IR いしかわ鉄道（IR，石川県）
- ⑧ 肥薩おれんじ鉄道（肥薩，熊本県・鹿児島県）

の 8 路線とする。（以降各路線は括弧内と略す）

(2) 対象の自然災害

本研究で対象とする自然災害は，被災時に復旧まで長期間要することの多い地震，大雨とした。

3. 研究手法

リスクとは一般的に災害発生確率 P_f とその災害によって被る被害額 C_f の積（ $P_f \times C_f$ ）で表される。

本研究では，以下の式(1)を用いて各対象路線の路線長 1km あたりの災害リスク C_t を算出する。

表-1 (a) 地震の年発生確率

路線	駅	年発生確率[%]		
		震度5強	震度6弱	震度6強以上
道南	七重浜	1.979	0.421	0.044
青い森	陸奥市川	6.902	2.063	0.395
IGR	奥中山高原	2.417	0.478	0.047
しなの	屋代高校前	4.965	1.640	0.358
えちご	上越妙高	2.835	0.725	0.167
あいの風	富山	2.685	0.591	0.119
IR	東金沢	1.380	0.418	0.206
肥薩	肥後高田	2.897	0.615	0.095

表-1 (b) 大雨の年発生確率

路線	観測点	年発生確率[%]		
		100<X≤200mm	200<X≤300mm	300mm<X
道南	木古内	21.685	0.200	0.002
青い森	三戸	25.891	0.469	0.009
IGR	二戸	21.694	0.411	0.010
しなの	軽井沢	31.833	2.451	0.237
えちご	糸魚川	47.292	1.961	0.060
あいの風	朝日	45.821	2.348	0.098
IR	金沢	42.150	1.040	0.019
肥薩	水俣	61.173	23.387	5.049

$$\sum C_t = \sum \{P_{f1} \times (P_{f2} \times C_{f1} + C_{f2})\} \tag{1}$$

P_{f1} は災害の年発生確率， P_{f2} は被災時の鉄道構造物の被害率(箇所/km)を表す。 C_{f1} は災害復旧費(円/箇所)， C_{f2} は営業損失費(円/km)である。

4. リスク算出

(1) 年発生確率

a) 地震

地震の年発生確率は，地震ハザードステーションから得た，各対象路線，全駅の今後 30 年以内の震度 5 強，震度 6 弱，震度 6 強以上の地震の発生確率の中で，最も確率が高い駅の値を年発生確率に変換し，路線の代表値とする。その値を 表-1 (a) に示す。

b) 大雨

表-1 (b) で示す大雨の年発生確率は，気象庁の HP から得られた，各対象路線周辺のアメダス観測点の過去の年最大日降水量データから求め，最も確率の高い地点の値を路線の代表値として用いた。

年発生確率の導出は，得られた過去の年最大日降水量を確率変数 X とすると，これは対数正規分布に従うと仮定できる。このとき，変数 X の対数が正規分布に従い，この平均と標準偏差をそれぞれ (μ, σ) とすると，変数 X の確率密度関数 $f(x)$ は，

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} \exp\left(-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

と表せられる。この関数を用いて日降水量の年発生確率を 100mm ごとの範囲において導出した。

(2) 被害率

a) 地震

地震の被害率は、内閣府による南海トラフ巨大地震の被害想定手法の概要²⁾の中で用いられた、表-2(a)に示す東日本大震災での各震度における鉄道施設の被害率の数字を使用する。

b) 大雨

大雨においても地震と同様の単位の被害率を、鉄道技術推進センターの安全データベースから入手した過去データや QGIS 等を用いて算出する。大雨では路線の周辺環境によって被害率が異なると考え、その分類の指標として自治体が定める土砂災害警戒区域に着目し、路線長 1km あたりの警戒区域数ごとに被害率を算出した。近年発生した豪雨災害による九州地方の在来線の被災データから算出した被害率を表-2(b)で示す。各対象路線の路線長 1km あたりの警戒区域数を調べ、表-2(b)の数値から各路線で条件を満たした数値を被害率として用いる。

(3) 災害復旧費

災害復旧費は両災害とも、安全データベースから得られた過去の災害の復旧費と、被災箇所付近の被災当日の震度や降水量のデータから、震度と日降水量ごとに被害 1 箇所あたりの復旧費を設定した。その結果表-3の値が得られた。

また、冒頭でも述べた、経営の厳しい路線が大規模災害によって被災した際に、最大 5 割まで国と自治体が復旧費を補助する災害復旧事業費補助制度を、地震では震度 6 弱、震度 6 強以上、大雨では降水量 200mm~300mm、300mm 以上の場合に適用する。この制度を適用させる対象路線は、近年の収益状況から、道南、IGR、えちご、あいの風、肥薩の 5 路線とした。

(4) 営業損失費

営業損失費は、表-4 に示す、過去の災害での復旧日数から設定した震度・降水量ごとの平均復旧日数と、各対象路線の決算報告書から計算した、令和 3 年度の各路線 1 日 1km あたりの鉄軌道業の営業収益との積で求める。その結果が表-5 である。

5. 分析結果

ここまで求めた各値を用いて算出した、路線長 1km あたりの災害リスクが表-5 の通りである。

肥薩以外の 7 路線で、地震と比べて大雨のリスクが小さい結果になったが、この 7 路線は降水量の少ない地域や平野部の走行割合が高く、大雨の発生確率と被害率が低くなったことに加え、地震と大雨の復旧費の差の大きさが影響していると考えられる。

路線ごとでは、青い森としなの、肥薩でリスクが高い結果となった。青い森としなのでは補助制度の対象外の影響も考えられるが、肥薩は補助を適用してもなおリスクが高く、かつ 1km あたりの営業収益も対象路線の中で最も悪いことから、大規模な災害に被災し、多額の損失を被るリスクが最も高い路線と言える。

6. 今後の課題

本研究では鉄道貨物輸送に着目し、貨物の輸送ルートを担当する路線の災害リスクを算出し評価を行った。今後の課題として、今回得られた値をもとに、各路線で優先すべき災害対策の検証・提案、保険やデリバティブ

表-2(a) 地震による在来線の鉄道施設被害率

震度	被害率 (箇所/km)
震度5強	1.01
震度6弱	2.03
震度6強以上	2.80

表-2(b) 大雨による在来線の鉄道施設被害率

日降水量 (mm)	被害率 (箇所/km)		
	土砂災害警戒区域数 0~0.5 (箇所/km)	0.5~1	1~
100<x ≤ 200	0.02	0.08	0.13
200<x ≤ 300	0.09	0.19	0.74
300<x	0.23	0.58	2.70

表-3 在来線の災害復旧費

震度	復旧費 (円/箇所)	日降水量(mm)	復旧費 (円/箇所)
震度5強	5,540,414	100<x ≤ 200	6,720,862
震度6弱	64,306,618	200<x ≤ 300	15,294,000
震度6強以上	122,636,364	300<x	27,924,867

表-4 平均運休日数・鉄軌道業営業収益

震度	運休日数(日)	路線	営業収益(円/(日・km))
震度5強	10	道南	123,794
震度6弱	21	青い森	42,451
震度6強以上	29	IGR	135,304
		しなの	92,901
		えちご	99,542
		あいの風	137,270
		IR	316,697
		肥薩	37,959

日降水量(mm)	運休日数(日)
100<x ≤ 200	9
200<x ≤ 300	26
300<x	53

表-5 路線長 1km あたりの営業損失費

路線	震度	営業損失 (円/km)	日降水量 (mm)	営業損失 (円/km)
道南	震度5強	1,250,316	100<x ≤ 200	1,123,665
	6弱	2,584,192	200<x ≤ 300	3,183,973
	6強以上	3,596,531	300<x	6,561,063
青い森	震度5強	428,760	100<x ≤ 200	385,329
	6弱	886,174	200<x ≤ 300	1,091,852
	6強以上	1,233,327	300<x	2,249,927
IGR	震度5強	1,366,573	100<x ≤ 200	1,228,146
	6弱	2,824,475	200<x ≤ 300	3,480,024
	6強以上	3,930,943	300<x	7,171,123
しなの	震度5強	938,298	100<x ≤ 200	843,253
	6弱	1,939,303	200<x ≤ 300	2,389,408
	6強以上	2,699,012	300<x	4,923,741

路線	震度	営業損失 (円/km)	日降水量 (mm)	営業損失 (円/km)
えちご	震度5強	1,005,371	100<x ≤ 200	903,532
	6弱	2,077,933	200<x ≤ 300	2,560,213
	6強以上	2,891,948	300<x	5,275,710
あいの風	震度5強	1,386,423	100<x ≤ 200	1,245,985
	6弱	2,865,502	200<x ≤ 300	3,530,574
	6強以上	3,988,043	300<x	7,275,288
IR	震度5強	3,198,638	100<x ≤ 200	2,874,632
	6弱	6,611,045	200<x ≤ 300	8,145,441
	6強以上	9,200,875	300<x	16,784,930
肥薩	震度5強	383,384	100<x ≤ 200	344,549
	6弱	792,389	200<x ≤ 300	976,300
	6強以上	1,102,802	300<x	2,011,815

表-6 路線長 1km あたりの災害リスク

路線	地震リスク(円/km)	大雨リスク(円/km)	計(円/km)
道南	497,891	280,749	778,641
青い森	4,489,483	146,958	4,636,442
IGR	576,572	404,857	981,429
しなの	3,735,408	619,449	4,354,857
えちご	967,244	768,299	1,735,543
あいの風	798,891	741,854	1,540,746
IR	1,420,712	1,371,775	2,792,486
肥薩	743,119	4,301,934	5,045,053

等の新たな制度の構築を行う。また、各路線の貨物輸送量の実態も踏まえ、物流業界への影響も考慮した災害リスク評価も行いたい。

参考文献

- 1) 栗田樹, 佐藤尚次, 西岡英俊 第三セクター鉄道路線を対象とした河川橋梁の豪雨時被害リスクの検討 土木学会鉄道工学シンポジウム 2022
- 2) 内閣府 南海トラフ巨大地震の被害想定項目及び手法の概要 2013