

脆弱性と重要性を考慮した 乗合バス営業所の災害リスク評価手法

田島 治希¹・加藤 博和²・大野 悠貴³・高山 芳樹⁴

¹学生会員 名古屋大学大学院 環境学研究科 (〒464-8601 愛知県千種区不老町)

E-mail: htajima@urban.env.nagoya-u.ac.jp

²正会員 名古屋大学大学院教授 環境学研究科 (〒464-8601 愛知県千種区不老町)

E-mail: kato@genv.nagoya-u.ac.jp

³正会員 名古屋大学大学院研究員 環境学研究科 (〒464-8601 愛知県千種区不老町)

E-mail: yuukiohno@urban.env.nagoya-u.ac.jp

⁴学生会員 名古屋大学大学院 環境学研究科 (〒464-8601 愛知県千種区不老町)

E-mail: ytakayama@urban.env.nagoya-u.ac.jp

乗合バス営業所が被災し、地域のバス運行に長期的な悪影響を与えた事例が近年いくつか発生している。乗合バスは災害発生時において、被災した鉄道の代行やボランティア・物資の運送など、重要な役割を果たすが、営業所が被災してはその役割を果たすことができない。乗合バス営業所の災害対策を考えるためには、災害リスクを定量的に把握することが必要である。そこで本研究では、はじめに全国の乗合バス事業者を対象としてどれだけの営業所に被災リスクがあるのかを調査した。次に、乗合バス営業所の災害に対する脆弱性と社会的な重要性の2つの指標を定義し、営業所間で対策優先度の比較検討を行うための災害リスク評価手法を作成した。さらに愛知・岐阜・三重の3県に営業所を持つ乗合バス事業者を対象としたケーススタディを行った。

Key Words : route bus, operation bases, disaster risk, disaster prevention, vulnerability, importance

1. 本研究の背景と目的

気候変動による自然災害の激甚化・頻発化が懸念されている。近年、日本において甚大な被害をもたらす自然災害が頻発しており、被害は交通分野にも及んでいる。水害や土砂災害によって鉄道・道路が寸断され、長期不通に追い込まれ、不採算の鉄道路線ではそのまま廃線となる事例もある。

さらに、乗合バス営業所が被災し、地域のバス運行が長期間の運休や減便を余儀なくされた事例もある。乗合バスは陸上交通機関の総輸送人数の約15%を担い、通学や通院、買い物などのための重要な交通手段である。加えて、災害発生時においてはボランティアや救援物資の輸送、被災した鉄道の代行輸送などの役割も果たす。

一方、乗合バスの運行拠点である営業所は、災害リスクの高いところが少なからずあると考えられる。営業所はバス車両の車庫であるとともに、運行管理を行う事務所が置かれる拠点であり、ここが被災すると担当地域のバス運行ができなくなってしまう。

広い土地を必要とするため、地価の低い場所に立地することが有利となるが、このような場所は往々にして災害リスクが高い。さらに、気候変動に伴う自然災害の激甚化を念頭に置き、災害リスクを定量的に把握し、リスクが高い営業所から順に、早期に災害対策を進めることが必要である。

本研究では、乗合バス営業所が災害に対して置かれている現況を調査し、災害対策を講じる必要性を提起する。加えて、対象とする乗合バス営業所間で対策優先度の比較を可能にする災害リスク評価手法を作成し、乗合バス営業所の災害対策の検討に寄与することを目的とする。

2. 既往研究と本研究の位置づけ

自然災害に関する研究は菊本ら(2017)¹⁾の例がある。この研究では災害の発生回数や災害対策状況を表すデータを複数用いて評価指標とし、全国47都道府県を対象に自然災害リスクを計算している。

乗合バス事業者の災害発生後の対応をまとめた研究は、福本ら (2012) ²⁾ や佐藤ら (2016) ³⁾ の例がある。

これらの既往研究では、特定の施設を広域にわたり網羅的に扱った自然災害リスク評価や、バス事業の事前の災害対策に関しては扱っていない。本研究は、災害対策を検討するにあたり、その手掛かりとして災害リスクを評価する方法を作成するという点に意義がある。

3. 乗合バス営業所の被災事例と対策事例

(1)被災事例

乗合バス営業所が被災した直近の事例としては、2019年10月の台風19号や2020年7月の九州地方の豪雨が挙げられる。

2019年台風19号の際には福島交通の郡山営業所が被災し、退避が間に合わなかった92台の車両が水没し、運休は半年間続いた。

2020年の九州地方の豪雨の際には産交バスの人吉営業所が被災し、25台の車両が水没した。タクシー会社にも被害が及んだことから、人吉市の地域交通に甚大な影響を与えた。

これら2つの営業所はハザードマップの浸水想定区域に入っていたが、急速な氾濫に対応できなかった。

一方、2019年台風19号で水没した長電バスの長野営業所では、事前の避難計画はなかったものの、その場の判断により車両をすべて避難することができた。

(2)対策事例

乗合バス営業所の対策としては、しずてつジャストライン相良営業所（静岡県）のような「営業所の移転」、三重交通と桑名市の協定をはじめとする「バス事業者と自治体の連携」、「BCPの作成」などが具体例として挙げられる。営業所の移転はコスト面で実施のハードルが高いが、BCPの作成は対策の初第一歩であり、バス事業者と地方自治体との連携は今後取り組んでいかなければならない課題である。

本研究ではケーススタディを行うため、東海地方の乗合バス事業者13社にアンケート調査を行った。被災が想定される営業所のうち約6割は事前に車両避難場所を指定するなどの対策をとっていたが、残りの約4割の営業所は対策をとっておらず、事業者によって対策の進捗は異なることが分かった。

4. 全国の乗合バス営業所を対象とした簡易的な災害リスク評価

乗合バス営業所が災害に対してどれほど脆弱な状況にあるのかを把握するため、全国の乗合バス営業所を対象として簡易的な災害リスク評価を行った。

国土交通省の各運輸局がまとめた乗合バス営業所のリストを入手し、2020年12月時点で事業者ホームページ及び自治体ホームページから定時・定路線で乗合バスを運行していることが確認できた営業所2,375か所を対象に、災害が発生した際に被災が想定される営業所がどれだけあるかを調査した。災害は今後の気候変動によって激甚化すると考えられる洪水・津波・土砂災害の3種類を扱い、被災可能性のある地区の特定には主に国土数値情報のデータを用いた（一部自治体の公表するデータを使用）。その結果を図-1～図-3に示す。

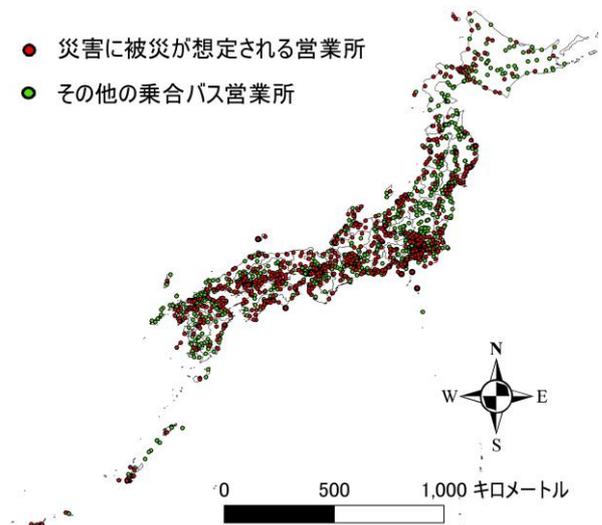


図-1 被災が想定される営業所の分布図 (洪水・津波・土砂災害)

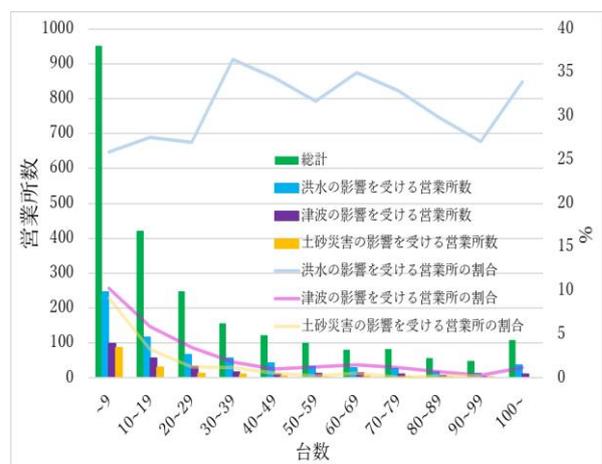


図-2 被災が想定される営業所数 (所属車両数別)

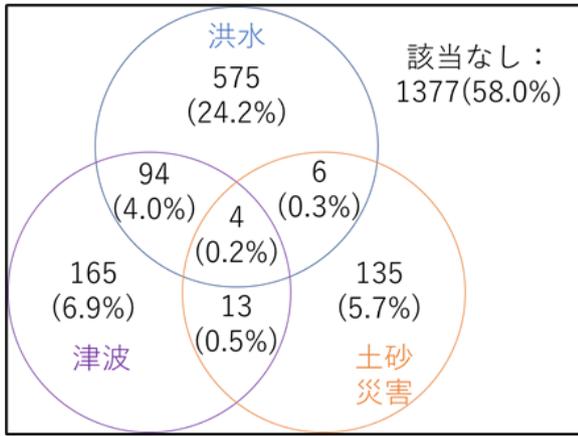


図-3 被災が想定される営業所数 (災害種類別)

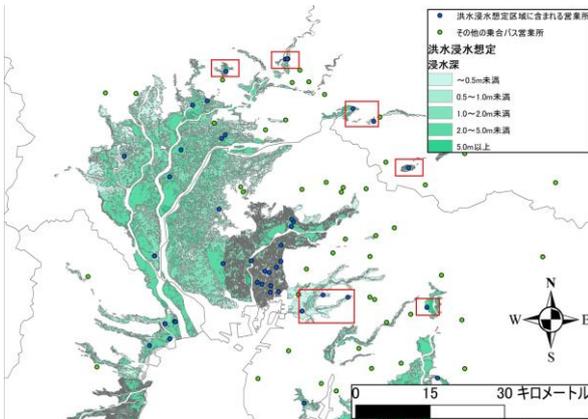


図-4 愛知県西部，岐阜県南部，三重県北部の浸水想定区域と乗合バス営業所

図-2に示すように、洪水に被災することが想定される営業所の数は、どの規模（所属車両数）においても総計の3割前後に該当した。

加えて、図-3に示すように、いずれかの災害に被災することが想定される営業所は全体の約42%にあたる998か所であった。

ところで、営業所の中には狭小な洪水浸水想定区域に含まれる場所が複数みられた。例として図-4に愛知県西部、岐阜県南部、三重県北部を拡大した図を示す。特にそのような特徴がみられる箇所を赤色の四角で囲んでいる。

このような営業所がみられる理由として、周辺に住宅が少ないので騒音・排ガスに配慮する必要がないことや、地価が安いので広い土地を得やすくバス車両の駐車場所を確保しやすいことなど、バス営業所にとって有利な点が多いことが考えられる。このような土地であれば、比較的行いやすいと考えられる車両避難などのソフト対策でも非常に有効である。

5. 乗合バス営業所の災害対策優先度を定める災害リスク評価手法

(1) リスク評価の考え方

本研究では、乗合バス営業所の災害対策の優先度を、災害に対する“脆弱性”と社会的な“重要性”を考慮して決定するための災害リスク評価手法を作成する。

“脆弱性”は、営業所がどれだけ災害に影響を受けやすいかを表す指標である。災害による営業所への影響度と、災害発生確率から評価される。

“重要性”は、営業所の社会的な重要度を表す指標である。その評価指標はバス事業者へのヒアリング調査などを基に決定した。

以上2つの指標を数値化し、その積を災害リスク値と定義する。脆弱性と重要性のいずれかが0であれば災害リスク値は0となる。

(2) 評価指標の設定

リスク評価に用いる指標を表-1に示す。

a) 脆弱性

被災が想定される各災害の規模と確率、加えて、災害の規模を営業所への影響度合いに換算するために「営業所収容車両数のうちノンステップバス車両数が占める割合 (%)」を用いる。洪水被害と津波被害については浸水深 (m) と1年間の発生確率 (%), 土砂災害については区域区分 (土砂災害警戒区域, 土砂災害特別警戒区域) と1年間の発生確率 (%) の指標から評価を行う。

b) 重要性

営業所の規模を表す4つの指標 (収容台数, 従業者数, 高速バスの有無, 整備工場の有無) と周辺への影響度を表す2つの指標 (1日当たり乗客数, バス停勢圏人口) から評価を行う。

表-1 評価指標

脆弱性					
項目	営業所への影響度	災害規模			災害発生確率
指標	ノンステップバス割合	洪水	津波	土砂災害	年発生確率
		浸水深	浸水深	区域区分	
単位	%	m	m	2段階	%

重要性						
項目	営業所規模				周辺への影響度	
指標	収容台数	従業者数	高速バス	整備工場	1日当たり乗客数	バス停勢圏(300m)人口
単位	台	人	(有 or 無)	(有 or 無)	人/日	人

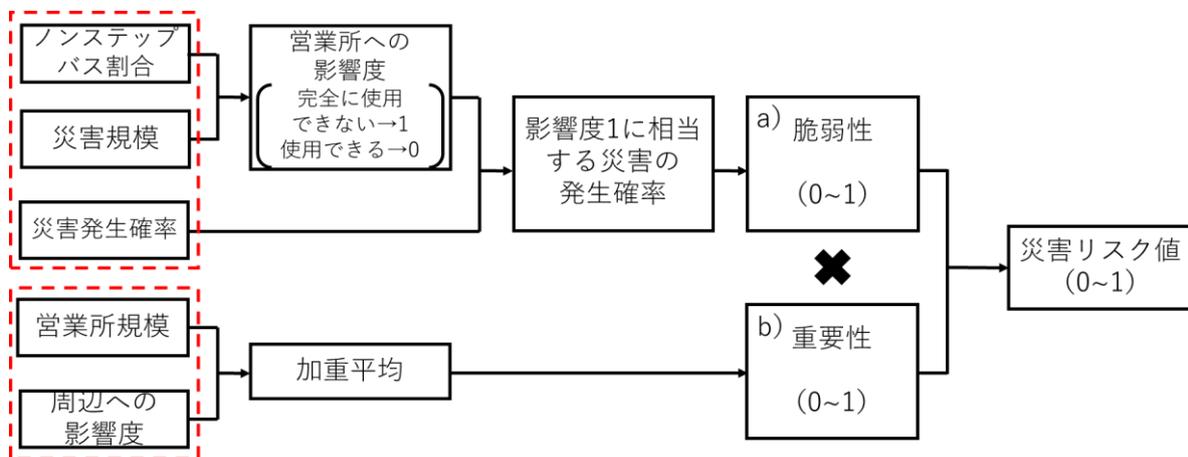


図-5 評価フロー

表-2 災害の規模による営業所への影響度への設定

被害レベル	洪水・津波	土砂災害	営業所への影響度
ノンステップバス使用不可	0.5m 未満		(ノンステップバス割合)
ノンステップバスと他車両の一部が使用不可	0.5~1.0m	土砂災害警戒区域	(ノンステップバス割合) + (他車両割合) / 2
すべてのバスが使用不可	1.0m 以上	土砂災害特別警戒区域	1

(3) 評価手法

評価フローを図-5 に示す。

災害による営業所への影響度合いを「営業所への影響度」と定義し、ノンステップバスの割合を用いて災害の規模を営業所への影響度に換算する。営業所への影響度が1に相当する災害の発生確率を比較し、脆弱性を数値化する。一方、重要性は評価指標から得られる数値の加重平均をとり、脆弱性の数値と同じスケールに換算し、数値化する。その後、重要性和脆弱性の数値の積をとり、災害リスク値と定義する。

a) 脆弱性

営業所が有する機能として、例えば事務所や整備工場、給油施設などがあるが、いずれもほとんどが地上にあるため、わずかな浸水被害・土砂災害でも影響を受ける。一方、バス車両は車種と災害規模により車両被害の影響度合いが異なるため、これを災害による営業所への影響度として用いる。

浸水被害の場合、一般的にどの車両も床下までの浸水であれば修理可能であるが、エンジンや座席まで浸水した場合には廃車になる可能性が高くなる。加えて、全国のバス車両のうち約4割を占めるノンステップバス車両は車高が低いため、床下の電子機

器用の配線が浸水した時点で使用できなくなる。本研究では、土砂災害についても同様にノンステップバスが影響を受けやすいと仮定し、表-2に示す通り、災害の規模により営業所への影響度を設定した。算出した営業所への影響度と災害発生確率の積をとり、これを影響度が1（営業所が使用不可能になる）に相当する災害が起こる確率として定義する。

次に、営業所への影響度が1に相当する災害が起こる確率の総和を、分析対象とする営業所間で比較し、確率が最も小さい営業所を0、確率が最も大きい営業所を1として0~1のスケールで数値化する。これを営業所の脆弱性を表す数値として定義する。

b) 重要性

収容台数、従業者数、1日当たり乗客数、バス停勢圏人口の4指標は、分析対象とする営業所間で比較し、項目ごとに最も小さいものを0、最も大きいものを1として営業所に0~1のスケールで数値化する。整備工場の有無、高速バスの有無の2指標はない場合：0、ある場合：1として数値化する。

以上6指標の数値の加重平均をとり、さらに、これを脆弱性の数値と同様、最小の営業所を0、最大の営業所を1として0~1のスケールで数値化する。これを営業所の重要性を表す数値として定義する。重み付けの方法は、対象とする地域やバス事業者により特性が異なるため、本研究では統一的な重みは定義しない。

6. ケーススタディ

作成した災害リスク評価手法を用いて、愛知・岐阜・三重の3県で路線バスを運営する14事業者の58営業所を対象にケーススタディを行った。

(1)用いたデータと設定

a) 脆弱性

災害に関するデータは4章と同様に国土数値情報の洪水浸水想定、津波浸水想定、土砂災害警戒区域のデータを用いた。それぞれの災害の発生確率について、以下のように設定した。

● 洪水

国土数値情報のデータに、設定されている計画規模（30~200年に1度発生する確率）の表記があるため、その数値を用いた。

● 津波

防災科研の「J-THIS 津波ハザードステーション」(<http://www.j-this.bosai.go.jp/map/>)を参照し、三重県南部では100年に1度、三重県北部と愛知県西部では500年に1度発生する確率と設定した。愛知県東部で津波浸水想定に該当する営業所はない。

● 土砂災害

国土技術政策研究所（2020）⁴⁾が「全国の土砂災害特別警戒区域を平均して100年以内に1回以上発生する確率が約30%」と示していることから、250年に1度発生する確率と設定した。大きく見積もり、土砂災害警戒区域でも同様の発生確率であると仮定した。

b) 重要性

収容台数、従業者数、整備工場の有無、高速バスの有無、1日当たり乗客数に関する情報は、対象となる乗合バス事業者へのアンケート調査より得た。バス停勢圏人口の算出にはアンケート調査から得られた各営業所が担当する路線の情報と、国土数値情報から得られたバスルートとバス停留所のデータ、500mメッシュ別2020年次推計人口のデータを用いた。

(2)重要性の重み付け

ケーススタディにあたり、6パターンを設定した。

表-3に示すそれぞれのパターンでの重みの設定要因は以下の通りである。

● パターン①

重みをすべて均等にした。

● パターン②

表-1に示す、営業所規模を重視した。

● パターン③

広域交通の役割を担う高速バスを重視した。

● パターン④

収容台数や乗客数、バス停勢圏人口といった営業所が管轄する運行規模を重視した。

● パターン⑤

表-1に示す、周辺への影響度を重視した。

● パターン⑥

移転・移動が難しいものを重視した。車両や従業員は比較的容易に動かせるが、整備工場やバス停勢圏人口を動かすことは困難である。

表-3 重要性の重み付けパターン設定の一覧

	パターン①	パターン②	パターン③	パターン④	パターン⑤	パターン⑥
収容台数	1	3	2	3	1	1
従業者数	1	3	2	1	1	1
高速バス	1	2	3	1	2	1
整備工場	1	3	2	1	1	3
1日当たり乗客数	1	1	1	2	3	2
バス停勢圏人口	1	1	1	2	3	3

(2)分析結果

以上の設定に基づき、災害リスク値を算出した。

重要性の評価指標で設定した重み付けのパターン別に、災害リスクの高い上位 5 か所の営業所を表-4 に示す。

重み付けのパターンにより多少順位が前後するものの、表-4 で示された A 営業所~G 営業所が、対象地域において災害リスクが高く、対策優先度の高い営業所であることが明らかになった。

7. おわりに

本研究により得られた成果は、以下の通りである。

- 全国の乗合バス営業所の災害リスクを示し、約 4 割の営業所が何らかの災害によって大きなダメージを受ける可能性があることを明らかにした。
- 乗合バス営業所の災害対策の優先度を、災害に対する“脆弱性”と社会的な“重要性”を考慮して決定することができる災害リスク評価手法を作成した。
- 作成した手法を、愛知・岐阜・三重の 3 県における乗合バス営業所に適用し、対象地域において災害対策優先度の高い営業所を明らかにした。

本研究で示した災害リスク評価手法は、乗合バス営業所のみならず、他の交通モードの運行拠点にも応用可能である。

本研究では、簡易的な手法によって全国での災害リスク評価を行ったが、災害対策優先度を定めるための災害リスク評価手法については全国レベルでの

適用には至っていない。評価指標に必要となるデータ収集が膨大になる点が課題である。加えて、周辺への影響度を表す 2 つの指標の基となる国土数値情報のバスルート・停留所のデータが古いために現状と異なる地域も多く、オープンデータの整備・更新が待たれる。

本研究のケーススタディにおいて、重要性の指標間重み付けのパターンを 6 種類用意して一律で分析したが、地域や事業者の特性に合わせて重み付けパターンを適用させることが望ましく、重み付けパターンの内容を精査することも必要であると考えている。

謝辞：本研究は（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（JPMEERF20S11818）の一環として実施したものである。

参考文献

- 1) 菊本統, 下野勘智, 伊藤和也, 大里重人, 稲垣秀輝, 日下部治: 我が国の自然災害に対する統合的リスク指標, 土木学会論文集 F6 (安全問題), 73 巻 1 号, pp.43-57, 2017
- 2) 福本雅之, 加藤博和, 星野雄二: 東日本大震災直後における路線バス事業者の対応に関する調査研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.45, 2012
- 3) 佐藤良太, 谷口綾子: 東日本大震災における路線バス運行現場の災害応急対応—岩手県大船渡エリアを対象に一, 実践政策学, 第 2 巻 1 号, pp.35-44, 2016
- 4) 国土技術政策総合研究所: 地形・地質に関する主題図を用いた全国における土砂災害発生リスク推定法に関する考察, 国総研資料第 1120 号, 2020

(?)

表-4 災害リスクの高い営業所全 58 か所中上位 5 か所 (重み付けのパターン別)

順位	パターン①	パターン②	パターン③	パターン④	パターン⑤	パターン⑥
1	A営業所 0.5582	A営業所 0.6751	A営業所 0.5305	A営業所 0.5636	A営業所 0.5438	A営業所 0.4542
2	B営業所 0.3632	C営業所 0.3911	C営業所 0.3812	B営業所 0.3216	C営業所 0.3482	B営業所 0.3748
3	C営業所 0.3559	D営業所 0.3422	B営業所 0.3783	C営業所 0.3008	B営業所 0.3396	C営業所 0.3151
4	D営業所 0.2867	F営業所 0.3247	D営業所 0.3198	G営業所 0.2783	E営業所 0.2936	D営業所 0.2613
5	E営業所 0.2848	B営業所 0.3099	F営業所 0.3153	E営業所 0.2759	G営業所 0.2853	F営業所 0.2569

A DISASTER RISK EVALUATION METHOD
FOR ROUTE BUS OPERATION BASES
CONSIDERING THEIR VULNERABILITY AND IMPORTANCE

Haruki TAJIMA, Hirokazu KATO, Yuki ONO, Yoshiki TAKAYAMA