

都市間交通ネットワークの脆弱性評価指標に関する研究

日本大学大学院 学生員 ○相沢 圭俊

日本大学 正会員 金子雄一郎

1. はじめに

2011年3月に発生した東日本大震災は、都市間の交通ネットワークに多大な影響を及ぼした。未曾有の大災害ではいかなるネットワークも途絶する可能性が考えられることから、途絶による影響が大きい脆弱な区間の対策が重要であり、そのためには脆弱性の適切な評価が求められる。

そこで本研究では、平成23年3月の東日本大震災の事例を参考に、既往研究で提案されている一般化費用の変化、アクセシビリティ指標、ログサム変数の3つの評価指標を用いて、都市間交通ネットワークの脆弱性を評価し、各指標の特性を考察する。

2. 評価対象及び計算条件

本研究では、東京都と東北圏（青森、岩手、宮城、秋田、山形、福島）間の旅客流動を対象に、新幹線、航空、高速バスの各公共交通で構成される交通ネットワークの脆弱性を評価する。具体的には、表-1に示した3つのケースを設定し、各ケースにおける都県庁間の脆弱性指標値を算出する。なお、東日本大震災時に運航された航空の臨時便（羽田～岩手花巻、羽田～仙台、羽田～福島）については、ケース2で考慮している。

評価にあたって必要となる交通需要量は第4回（2005年）全国幹線旅客純流動調査の代表交通機関別需要量を、都市の人口は平成17年国勢調査の結果を用いる。また、各交通機関の運賃や所要時間は、国土交通省の総合交通分析システム（NITAS）を用いて算出する。なお航空の臨時便の運賃や所要時間（アクセス、イグレス、搭乗時間等）については、NITASに設定されていないため、航空会社や空港会社のHP等の情報を参考に設定する。

表-1 各ケースの想定

ケース	東北 新幹線	航空 (定期便)	航空 (臨時便)	高速 バス
ケース0(平常時)	○	○	×	○
ケース1(震災時)	×	○	×	○
ケース2(震災時)	×	○	○	○

3. 各評価指標の概要

3-1 一般化費用の変化¹⁾ (指標1)

特定のリンクが途絶した際の2地点間の最小一般化費用の変化分と流動量の積を脆弱性指標としたものであり、式(1)のように表現される。

$$V_{rs} = \sum_i \sum_j d_{ij} v_{ijrs} \quad (1)$$

ここで、 V_{rs} ：リンク e_{rs} が途絶した場合に低下する利便性、 d_{ij} ：ノード i から j への交通量、 v_{ijrs} ：リンク e_{rs} が途絶した際のノード i から j への最小一般化費用の変化量である。

3-2 アクセシビリティ指標¹⁾ (指標2)

交通計画において一般に活用されているアクセシビリティ指標を脆弱性指標としたものであり、式(2)のように表現される。

$$A_i = \sum_j B_j f(c_{ij}) \quad (2)$$

ここで、 A_i ：都市 i から都市 j へのアクセシビリティ指標、 B_j ：都市 j （東北圏の各都市）の人口、 $f(c_{ij})$ ：都市 i と都市 j 間の最小所要時間の逆数である。

3-3 ログサム変数²⁾ (指標3)

最大効用の期待値であるログサム変数を脆弱性指標としたものであり、式(3)、(4)のように表現される。なお、ロジットモデルの効用関数及びパラメータについては、Kato et al.³⁾における検討結果を用いる。

$$\Lambda = \ln \sum_m \exp(U_m) \quad (3)$$

$$U_{ijm} = \sum_k \beta_k \cdot X_{km} \quad (4)$$

ここで、 Λ ：ログサム変数の値、 U_m ：交通機関 m による ij 間の効用、 X_{1m} ：総所要時間（分）（共通変数）、 X_{2m} ：総費用（円）（共通変数）、 X_{3m} ：乗換回数（回）（鉄道）、 X_{4m} ：1/頻度（回）（鉄道）、 β_k ：パラメータである。

表-2 各パラメータの値³⁾

	総所要時間(分)	総費用(円)	乗換回数(回)	1/頻度(回)
鉄道	-0.2001 (-150.3)	-0.000155 (-53.8)	-0.2386 (-26.8)	-2.2575 (-30.0)
高速バス			-	-
航空		0.0000246 (-11.8)	-	-

(括弧内:t値)

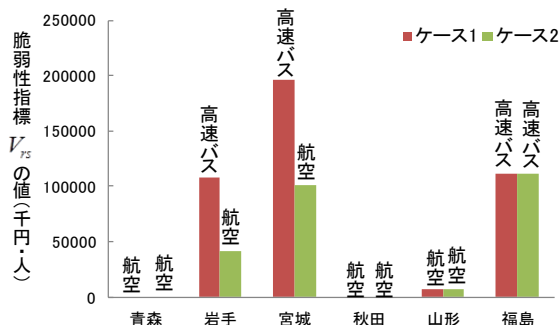
キーワード：都市間交通、脆弱性

連絡先 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14 日本大学理工学部土木工学科 TEL&FAX：03-3259-0664

4. 脆弱性の評価結果

4-1 一般化費用の変化（指標 1）

図-1 はケース毎の一般化費用の変化を用いた脆弱性指標 V_{rs} の値を示したものである。ケース 1, 2 の青森, 秋田で V_{rs} が 0 と不変であるが, これは震災時にも航空の定期便が運航されたためである。一方, ケース 2 の岩手, 宮城では V_{rs} が大幅に減少しているが, これは航空の臨時便が設定されたことによる。

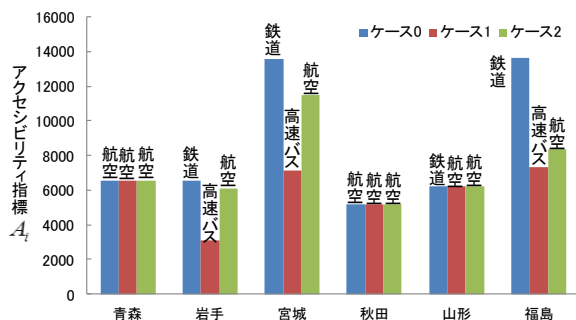


注：図中の交通機関は一般化費用が最小であるものを示す。

図-1 一般化費用の変化を用いた脆弱性指標値

4-2 アクセシビリティ指標（指標 2）

図-2 はケース毎のアクセシビリティ指標を用いた脆弱性指標 A_i の値を示したものである。ケース 0 の宮城, 福島で A_i が高いが, これは平常時から交通利便性が高いことを示したものである。一方, ケース 1 の岩手, 宮城, 福島で A_i が大幅に減少しているが, これは震災時に東北新幹線が運休したためであり, このうち岩手, 宮城では, 航空の臨時便の設定によってある程度回復していることが分かる(ケース 2)。



注：図中の交通機関は所要時間が最小であるものを示す。

図-2 アクセシビリティ指標を用いた脆弱性指標値

4-3 ログサム変数（指標 3）

図-3 はケース毎のログサム変数を用いた脆弱性指標 Λ の値を示したものである。ケース 1 の岩手, 宮城, 福島で Λ が大幅に減少しているが, 4-2 と同様に東北新幹線が運休したことによるものであり, 航空の臨時便設定によって Λ が増加している(ケース 2)。

なお, 青森, 秋田でも震災時(ケース 1)に Λ が

若干減少しているが, これも東北新幹線の運休によるものである。この点について, 指標 1 及び指標 2 ではこれら 2 県の値は不変と非現実的であったが, これは一般化費用や所要時間が最小となる単一の交通機関しか考慮できないためである。一方, 指標 3 はモデルの性質上, 複数の交通機関の効用を考慮できることから, より実際に即した指標と言える。

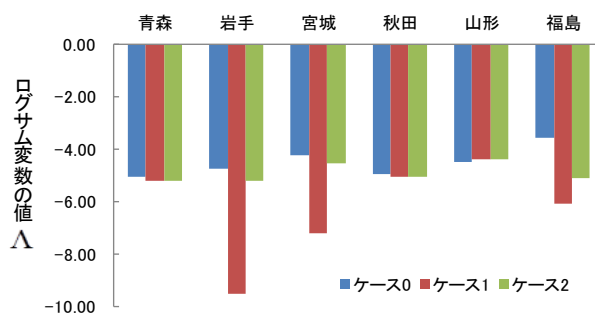


図-3 ログサム変数を用いた脆弱性指標値

4-4 評価指標に関する考察

東日本大震災では東北新幹線が全線開通まで 1 ヶ月半近く要し, その間, 航空と高速バスによって一定の輸送力が確保された。このような交通ネットワークの多重性による脆弱性の緩和効果について, 3 つの指標とも考慮が可能であることが確認されたが, そのうち指標 3 は複数の交通機関の効用を反映できることから, より実際に即したものである。

一方, 各交通機関の輸送力など供給側の条件については, いずれの指標も考慮できていない。この点は今後の重要な検討課題である。

5. おわりに

本研究では, 東日本大震災時の事例を参考に, 都市間交通ネットワークの脆弱性を 3 つの指標で評価した。その結果, ログサム変数を用いた指標の妥当性が高いことが確認された。

参考文献

- 1) Michael A. P. Taylor, Somenahalli V. C. Sekhar, Glen M. D'Este: Application of Accessibility Based Methods for Vulnerability Analysis of Strategic Road Networks, Networks and Spatial Economics, Vol.6, pp.267-291, 2006.
- 2) Anthony Chen, Chao Yang, Sirisak Kongsomsaksakul, Ming Lee: Network-based Accessibility Measures for Vulnerability Analysis of Degradable Transportation Networks, Networks and Spatial Economics, Vol.7, pp.241-256, 2007.
- 3) Kato Hironori et al.: Inter-Regional Travel Demand Analysis Using Integrated Model For Practical Travel Demand Forecast, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.9, pp.239-254, 2011.