

防災拠点の重要度ランクに基づく道路ネットワークの接続性評価

A Road Network Connectivity Evaluation based on Priority Rank of Disaster Prevention Base

○大澤 脩司¹, 中山 晶一朗², 山口 裕通³, 小泉 奏子⁴
 Shuji Osawa¹, Shoichiro NAKAYANA², Hiromichi YAMAGUCHI³
 and Kanako KOIZUMI⁴

¹ 金沢大学大学院 自然科学研究科

Graduate School of Natural Science & Technology, Kanazawa University

² 金沢大学理工研究域地球社会基盤学系

Faculty of Geosciences and Civil Engineering, Institute of Science and Engineering, Kanazawa University

³ 金沢大学大学院 自然科学研究科

Graduate School of Natural Science & Technology, Kanazawa University

⁴ 元金沢大学大学院 自然科学研究科

formerly Graduate School of Natural Science & Technology, Kanazawa University

To prevent damage expansion and smooth emergency restoration, keeping connectivities on road network between disaster prevention bases are required for disaster prevention base. In this research, conduct a questionnaire survey targeted people in charge of local government and researchers in disaster prevention filed is and estimate the priority rank of disaster prevention base considering the time scale. Disaster prevention base settings following this result, road network evaluation targeted at Ishikawa-prefecture is tried and it is suggested that more effective road network strengthen plan is possible.

Keywords : Disaster prevention base, Disaster prevention plan, Road network reliability, connectivity

1. はじめに

災害時には、救命救急活動等による被害の拡大阻止や、生活機能の復旧に向けた活動を迅速に展開することが求められる。このような機能を担う、あるいは補助する施設・場所である「防災拠点」がその機能を発揮するためには、災害状況下でも、外部からの物資・人的資源・情報のやり取りを行うために交通・通信ネットワークに接続されている必要がある。とくに、防災拠点間が走行可能な道路で接続されていることは、被災した地域が外部からの人的・物的な支援を受けるために、最も基本的な要件である。つまり、道路ネットワークの面からは防災機能として、いくつかのリンクが被災したとしても、拠点間の接続性を確保し続ける能力が求められる。実際に、国土交通省が2016年に発表した「道路の防災機能の評価手法(案)」¹⁾では、道路の防災機能の向上効果の計測において、「地域の防災計画等に基づき、災害時において移動経路が確保されている必要のある拠点ペアを評価対象として抽出」²⁾して、代替となりうる経路について、途絶リスク・所要時間を加味しながら防災機能の評価することとしている。災害時における道路ネットワークの防災機能評価を目的として提案された多くの手法^{3),4),5),6)}においても、いくつかの「防災拠点」を設定した上で、その間の接続性を確認するアプローチがとられている。

しかし、これらの研究において、「どの拠点を防災拠点とするか?」という疑問に対する答えは、明確には回答されておらず、計算「例」を示すにとどまっている。さらに、計算例として採用した拠点ペアについても研究によって大きく異なっている。

行政においても、阪神淡路大震災での教訓を踏まえて、「緊急輸送道路」として防災拠点を相互に連絡する道路を指定して強化する取り組みは行われているが、ここでも「防災拠点」についての統一的な基準はない。緊急輸送道路は第1次から第3次まで設定されるが、その階層区分を決める拠点について全国統一の基準は存在しておらず、自治体ごとに異なっている。つまり、「災害時に最低限どのような拠点が走行可能な道路と接続されているべきか?」が明確にされていないまま、多くが規格の高い主要国道等をそのまま指定しているだけにすぎない。その結果、広域においてネットワーク上での拠点間の接続性と各リンクの代替可能性などが考慮されて、緊急輸送道路が指定されているとは言い難いのが現状である。

以上のように、道路ネットワークの対災害能力の強化を図るためには、防災拠点をどのように指定するかが重要であるが、その答えは定まっていないのが我が国の現状である。ここで、ネットワークの性質を考えると、このような状態のまま災害対応能力の強化を進めることは非効率である。なぜなら、道路ネットワークがある拠点に対して必要な機能を提供するためには、支援側拠点と被災地側の拠点の間がすべて接続状態であることが求められるが、被災地側の拠点が防災拠点として指定されて機能強化がなされていたとしても、隣接する自治体でその機能が重視されていないとすれば、拠点として機能しない状況も発生しうる。効率的に広域の防災機能強化を図るためには、「最低限接続すべき拠点」の統一的な基準を設けることが求められる。

このような問題意識のもと、筆者らは「道路ネットワ

ークの対災害能力の強化にあたって、どの拠点を重要視する防災拠点とすべきか？」という疑問に答えることを目的とした研究を行ってきた^{7,8)}。ここでは各都道府県の「地域防災計画」をレビューし、そこでの防災拠点の指定状況を整理した。その結果、ここでも防災拠点の種類や機能についての全国統一の基準はなく、都道府県ごとに指定の状況が大きく異なることが改めて確認された。

この現状を念頭に、道路ネットワークの対災害能力の向上に向けて、防災拠点の重要度ランクをアンケート調査から推定することを試みた。この方法は、災害時の「機能」と「時間軸」に着目しつつ、多くの地域・想定との差異を踏まえながら統計的に有意な、防災拠点機能の重要度ランクを決定しようというものである。この結果を道路ネットワークの強化に活用することで、より効果的な道路ネットワークの災害対応能力の強化が期待できる。このためには、特に、時間軸を加味した防災拠点の重要度をランク付けし、「災害時にもつねに接続性が確保ような対応が望ましい拠点」と、「発災後に、迅速に接続性の回復ができるような構造にしておくべき拠点」とを分離することが重要となる。

本研究はアンケート調査に基づく時間軸を加味した防災拠点の重要度ランクを検討した上で、それを道路ネットワークの災害時の機能評価に応用することで、効果的な道路ネットワークの災害対応能力の向上策を検討可能となることを示すものである。

2. 防災拠点の指定における現状と課題

地域防災計画における防災拠点の指定状況の詳細は小泉ら⁷⁾に譲り、ここでは地域防災計画における防災拠点の指定状況とその課題を概説する。

防災拠点の指定状況は以下の2点にまとめられる。1点目は、地域防災計画における「防災拠点」の扱い方は都道府県で大きく異なっている。拠点を重要度別に区分しているような県もあれば、まったく「防災拠点」について記載がない県も多い。2点目は、記載されている県の中でも、指定に関する基準は大きく異なっている。その結果として、全都道府県で共通に指定されている施設が全く存在しないというのが現状である。

道路ネットワークの災害対応能力の強化を考えると、防災拠点の指定に関する基準が、各都道府県で全く統一されていないことは大問題である。救命救急機能にしても、物資輸送機能にしても、災害時にこれらが機能するためには出発地から目的地までのすべてで接続性が確保されている必要があり、広域な大規模災害において、どこか一か所で分断されてしまえば、これらは一切機能しなくなる。すなわち、ある防災拠点について対策をしていない自治体があると、全体でのその拠点の機能（災害時の対応能力）が低い状態になってしまう可能性がある。

効果的な道路ネットワークの災害対応能力強化のためには、防災拠点が「機能の重要性」と「災害時の時間軸」の視点から、優先順位がランク付けされていることが望ましい。しかし、このような区分が設定されている都道府県は現時点では少数であり、その基準も各県で異なる。なかには、接続されている緊急輸送道路の区分が適用されており、道路ネットワークの機能評価に用いるには不適当な基準で重要度を設定しているケースも見られた。

3. 防災拠点の重要度ランクの検討⁸⁾

(1) 重要度ランク設定に向けたアイデア

本章では、道路ネットワークの災害時の機能評価に用いるための防災拠点の重要度ランク設定方法⁸⁾を概説する。ここでは、道路ネットワークの災害時の機能評価には、a) その重要度に応じて区分分けされていること、b) 日本全国で統一して適用できる基準であること、という2つの要件を満たす防災拠点の分類が望ましいと考える。

まず、a)の重要度の区分分けについて説明する。弱点となりうる箇所をすべて強化することは非現実的であり、災害対応時に各リンクが担う機能（接続する拠点の機能）の重要性に応じて、強化の優先順位を設定することが必須である。この重要度が時間軸に応じて決められていれば、「ほとんどのハザードに耐える能力が求められるところ」と「すぐに復旧できる状態であれば一次的な途絶も許容できるところ」にわけて、効果的に道路ネットワークの強化を行うことが可能となる。

つぎに、b)の日本全国で統一して適用できる基準について説明する。ある拠点について、ほかの県からの人的・物的な支援を受け入れながら、災害時に救命・救援・復旧機能を最大限に引き出すためには、同一の機能を持つほかの自治体の拠点と接続されていることが望ましい。一部の自治体だけである拠点について高規格な接続性を確保したとしても、他の自治体のネットワークが脆弱であり途絶が発生してしまえば、結局広域の連携機能を発揮することは不可能になってしまう。そのため、ネットワークの災害対応能力を効果的に強化するためには、重要視する拠点・機能を統一しておく必要がある。

以上の問題意識のもと、本研究では、全国の都道府県やそれぞれで視点が異なると考えられる防災の研究者に対して、各防災拠点の重要度に関するアンケート調査を実施し、その結果から得られる統計的に有意な大小関係のみを抽出して拠点の重要度ランクを決める方法をとる。

(2) アンケート調査の概要

本アンケートでは、2パターンの地震災害の想定の下で、被災後早急に走行可能な道路で繋ぐべき拠点の「順位」と、その「時期」を質問した。2パターンの地震災害は、以下のように設定した：

[想定1]：熊本地震のように主に自県だけが被害に見舞われ、特に県の中心都市に顕著な被害が生じた場合

[想定2]：東日本大震災のように複数の県が被害に見舞われ、自県の複数の都市で顕著な被害が生じた場合

このような想定を指定することで、災害の規模感を統一しつつ、その中で自治体の空間・経済的な状況による想定の差異、各研究者の視点による想定の差異を踏まえた防災拠点の優先順位データを得ることが期待できる。

アンケートではまず沖縄県の緊急輸送道路ネットワーク計画⁹⁾を参考に設定した表-1のような拠点分類に基づいて、「道路に繋ぐ」というポイントを前提に優先順位と必要となる時期を回答をいただいた。次に、発災後に各機能が必要となる時間について訪ねた。ここでは、回答者が考える時間オーダーを統一するために、「～12時間」、「～24時間」、「～48時間」、「～72時間」、

表-1 本研究で用いる防災拠点の分類

拠点分類名	施設例
A 役所	県庁、市役所、役場、出先機関
B 医療機関	三次救急病院、その他病院、診療所
C 救助機能拠点	消防本部、消防署、警察本部、警察署、自衛隊基地
D 物流拠点	トラックターミナル、運送会社
E 空港・ヘリポート	空港、ヘリポート
F 港	重要港湾、地方港湾、漁港
G 道路関連施設	IC、SA、PA、道の駅、道路管理者
H インフラ管理者	電力会社、水道局、ガス会社、通信会社
I 備蓄拠点	備蓄基地、備蓄庫

「～以降」の5段階の選択肢を用意した。

アンケート調査の対象は、全国の47都道府県の県庁、政令指定都市20市・中核市48市の115の自治体と、全国土木系教員名簿2016年版(大学・高専)に記載されている教員のうち専門に「防災」「減災」と入っている教員(以下、研究者と示す)94名とした。その結果、自治体からは61件(回収率:53.0%)の回答を、研究者からは20件(回収率:21.3%)の回答を得た。

(3)二項検定による重要度ランクの決定

回収したアンケートを基礎集計した結果、単純な集計のみでは、防災拠点の明確な順位を確定することが不可能であることが分かった。そこで、優先順位について二項検定を用いて統計的に有意に判断できる優先順位の大小区分を抽出することでグループ分けを試みていく。

二項検定の結果、図-1のようなグループ分けが得られた。この図は、9種類の拠点分類について、2つの統計的に有意な大小区分があることを表現している。これについて図-1(a)を例に概説する。1つ目の大小区分は、グループ1(救助機能拠点・医療拠点・役所)とグループ2(それ以外)の間の大小区分であり、このグループ間のすべてのペアについて、グループ2よりグループ1の拠点の方が優先順位が高いことを示している。2つ目の大小区分は、グループ2に含まれる、空港・ヘリポートと港の間では前者の方が優先順位が高いという関係である。また、これら以外には有意な大小区分は見られなかった。

図-1より、港の優先順位については多少の差異が見られるものの、グループ1(救助機能拠点・医療拠点・役所)とグループ2(その他)の間の優先順位関係は、4つの結果全てで共通しており、空間的な要件・専門分野の違いによる視点の違いに対しても、非常に頑健な大小区分であることが分かる。このことから、道路ネットワークの災害対応能力の強化に向けては、防災拠点の重要度ランクとして、本研究で得られたグループ1とグループ2の2段階の分類を適用することが望ましいといえよう。

(4)時間軸を加味した優先順位ランク

図-2は、「防災拠点が必要となる時間」の回答結果を累積図の形で示したものである。ここでは、上述の優先順位ランクの検定結果から、グループ1を赤線、グループ2を青線で示している。この結果から、グループ1とグループ2で、明確に必要となる時間に差があることが確認された。グループ1に属す拠点は、24時間以内につなぐ必要があると考える回答が80%以上であり、多くのケースにおいて、道路の途絶が発生しない、あるいは早期に道路による接続性を確保することが求められることが分かる。一方で、グループ2では、24時間以内につなぐ必要があるという回答は多くても65%程度であり、一段階優先順位は低く、発災後一時的に接続性が確保できなくなっても、すぐに繋ぐことができるような環境を整えておく必要がある拠点であるといえよう。

4. 時間軸を加味した防災拠点の重要度ランクに基づく道路ネットワークの機能性評価の試行

(1)ネットワークの機能性評価の目的と評価方法

防災拠点について、時間軸を加味した設定のもとに機能性を評価することで、道路ネットワークにおいて「ほとんどのハザードに耐える能力が求められるところ」と「すぐに復旧できる状態であれば一次的な途絶も許容できるところ」を明らかにし、より効果的な対災害能力の向上策の検討が可能になると期待される。

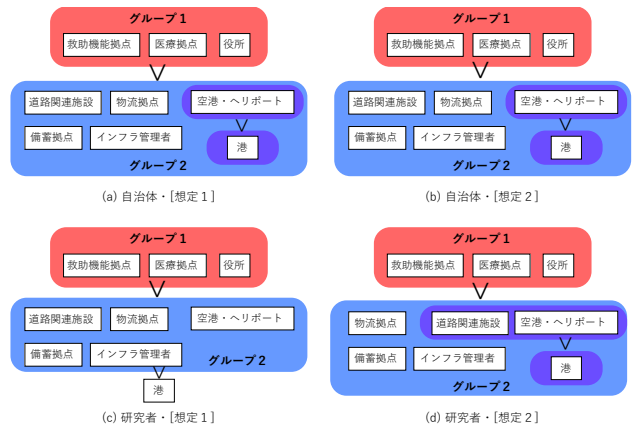


図-1 優先順位の二項検定結果に基づくグループ分け

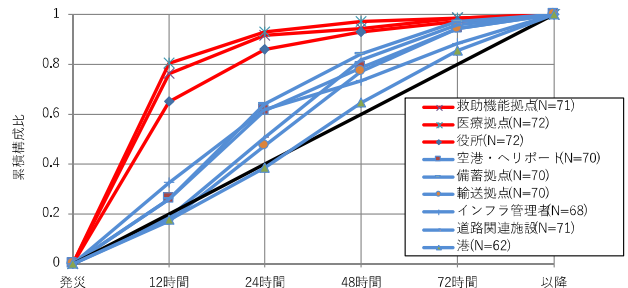


図-2 各防災拠点が必要になる時期の回答結果

機能性の評価は、道路の防災機能評価手法¹⁾を参考に、平常時と災害時の各ネットワークにおいて、ある防災拠点間の最短所要時間の増加割合によって評価するものとする。具体的には、式(1)のようにネットワークの各拠点間における脆弱度を定義し、これを踏まえて式(2)のようにリンク単位の累積脆弱度を定義する。

$$z_{rs} = 1 - \frac{c_{rs}^N}{c_{rs}^H} \quad (1)$$

ここで、 z_{rs} :拠点間 rs における脆弱度、 c_{rs}^N :平常時の拠点間 rs の最短所要時間、 c_{rs}^H :災害時の拠点間 rs の最短所要時間である。

$$z_l = \sum_r \sum_s \delta_{rs}^a \cdot \delta_a^z z_{rs} \quad (2)$$

ここで、 z_l :リンク a の累積脆弱度、 δ_{rs}^a :拠点 rs 間の平常時の最短経路にリンク a が含まれる場合は1、含まれない場合は0、 δ_a^z :リンク a が災害時に通行不能となる場合は1、通行不能とならない場合は0である。

上記評価式は、複数の拠点間を結ぶ上で重要なリンクでありながら脆弱なリンクを把握することが目的である。

想定災害については、ここでは地震動とし、ハザードの規模として50年間で超過確率2%以上となる計測震度を設定した。また、道路が通行不能となる要因としては、建物・橋梁・土砂災害によるものを想定する。それぞれ、地域の耐震化率の現状と想定される計測震度、橋梁の健全度と想定される計測震度、土砂災害警戒区域の指定状況と計測震度との関係によって通行の可否を設定した。

(2)ネットワークの機能性評価の試行結果

時間軸を加味した防災拠点設定のもとで機能性を評価することで、より効果的な対災害能力の向上策の検討が可能となることを確認するため、ここでは時間軸を考慮せずにすべての防災拠点を評価対象としたケース(Case1)と、評価対象とする防災拠点を時間軸ごとに分けたケース(Case2)について以下の手順で評価・比較する。

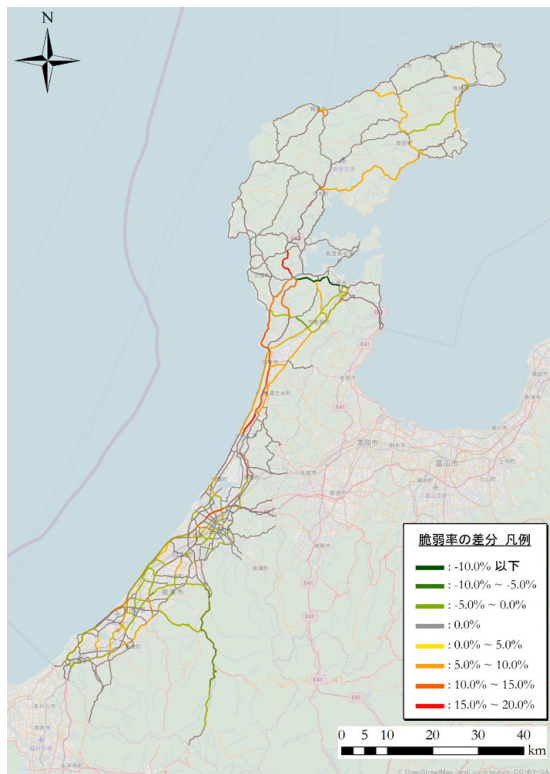


図-3 グループ1の拠点設定下での脆弱率の差分

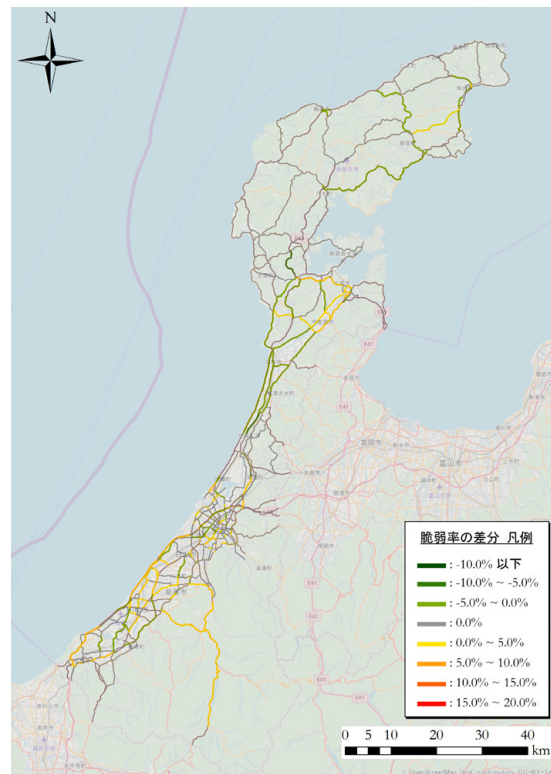


図-4 グループ2の拠点設定下での脆弱率の差分

- [1] 式(2)で算出される各リンクの累積脆弱度について、最大値に対する比率（脆弱率）へ変換
- [2] 脆弱率は各リンクのネットワーク内での（相対的な）脆弱度の高さであると解釈し、Case1に比べてCase2では脆弱率がどの程度変動したかを算出し、比較

図-3、図-4に各グループごとの拠点設定下でのCase1との脆弱率の差分を示す。これらを比較すると、発災直後から必要とされる拠点群であるグループ1と、ある程度時間が経過してから必要とされる拠点群であるグループ2とでは、相対的に重要となるリンクが異なることが分かる。時間軸を加味すると、拠点間を結ぶための道路に求められる対災害能力はその意味合いが異なるにも関わらず、時間軸を考慮しない一括した拠点設定のもとでのネットワーク評価では、リンクに求めるべき対災害能力の意味解釈を誤る可能性があることが指摘される。時間軸を加味した拠点設定を行うことで、こうした問題を回避しつつ、時間軸ごとに重要視すべきリンクを更に明確に把握できる可能性があることが確認されたと言える。

5. おわりに

本研究では、道路ネットワークの対災害能力強化の視点から現状の防災拠点の指定・設定の問題点を整理し、アンケート調査から防災拠点の重要度を推定した。また、この結果を活用した道路ネットワーク評価を試行し、時間軸を考慮した重要度に基づく防災拠点設定を行うことで、より効率的な道路ネットワークの対災害能力向上策の検討が可能となることの示唆を得た。今後は表-1に示した各分類の施設について、どこまでを拠点設定に含めるべきか、その基準の検討を行っていく。

謝辞： 本研究を遂行するにあたり、多くの自治体・研究者の方々に、防災拠点に関するアンケート調査にご協力をいただいた。この場を借り、ご協力いただいた皆様に心より感謝いたします。

参考文献

- 1) 国土交通省 道路局 都市局:道路の防災機能の評価手法(案), 2016. <http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-hyouka/pdf/hyouka.pdf>(2018. 4. 12 閲覧).
- 2) 国土交通省 道路局 都市局:道路ネットワークの防災機能の向上効果 計測マニュアル(案), 2016, http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-hyouka/pdf/nw_manual.pdf(2018. 4. 12 閲覧).
- 3) 大澤脩司, 藤生慎, 中山晶一朗, 高山純一:地震に対する道路網の脆弱区間評価手法の構築と緊急輸送道路網への適用,土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.73, No.4, pp. I_467-I_478, 2017.
- 4) M. Sanchez-Silva, M. Daniels, G. Leras, and D. Patino:A transport network reliability model for the efficient assignment of resources, Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 39, No.1, pp.47-63, 2005.
- 5) M.G.H. Bell:A game theory approach to measuring the performance reliability of transport networks,Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 34, No.6, pp. pp.533-545, 2005.
- 6) W.Y. Szeto:Cooperative game approaches to measuring network reliability considering paradoxes,Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 19, No.2, pp. pp.229-241, 2011.
- 7) 小泉奏子, 中山晶一朗, 山口裕通, 高山純一, 藤生慎:全国の防災拠点の指定の現状とその重要度のランク付け方法に関する研究, 平成29年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.503-504, 2018.
- 8) 山口裕通, 小泉奏子, 大澤脩司, 中山晶一朗:道路ネットワークの接続性強化に向けた防災拠点の重要度ランクの推定, 土木学会論文集 D3(土木計画学), Vol.74, No.5, 2018(投稿中)
- 9) 沖縄県緊急輸送道路ネットワーク計画等策定協議会:緊急輸送道路ネットワーク計画, 2011 <http://www.pref.okinawa.jp/site/doboku/dorokan/hoshu/kinkyu.html>(2018. 4. 12 閲覧).