

震災時におけるドクターカー・ドクターヘリの 到達可能圏域に関する研究

備後 友貴¹・高山 純一²・中山 晶一郎³・藤生 慎⁴・高山 雄貴⁵・辰野 肇⁶

¹学生会員 金沢大学大学院 自然科学研究科環境デザイン学専攻 (〒921-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: bongoo@stu.kanazawa-u.ac.jp

^{2,3}正会員 金沢大学教授 理工学域環境デザイン学系 (〒921-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: takayama@staff.kanazawa-u.ac.jp

E-mail: nakayama@staff.kanazawa-u.ac.jp
⁴正会員 金沢大学助教 理工学域環境デザイン学系 (〒921-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: fujiu@se.kanazawa-u.ac.jp

⁵正会員 金沢大学准教授 理工学域環境デザイン学系 (〒921-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: ytakayama@se.kanazawa-u.ac.jp

⁶正会員 (株) 国土開発センター (〒924-0838 石川県白山市八束穂3丁目7番地)
E-mail: tatsuno_hajime@kokudonet.co.jp

東日本大震災ではドクターカーやドクターヘリでの迅速な救急医療サービスの提供により、多くの救急患者を搬送した。石川県においても例外ではなく、森本・富樫断層による甚大な被害が想定されている。しかし、石川県では石川県立中央病院や公立能登総合病院にドクターカーが配備されているが、ドクターヘリは配備されておらず、地震発生時、建物倒壊による道路閉塞により、ドクターカー配備病院から各避難所まで到達時間の遅延、到達不能個所が発生する可能性がある。本研究では、平常時と地震時で緊急輸送道路沿道の建物倒壊による被災リスクを考慮し、救命救急センターから災害時避難所である小中学校へのドクターカー・ドクターヘリにおける到達可能性を分析した。

Key Words : *medical helicopter, rapid response car, the earthquake disaster, achievability analysis*

1. 研究の背景

地震大国日本において、災害医療における初期医療体制の課題が浮き彫りとなった阪神・淡路大震災から、2005年に日本の災害医療派遣チーム (DMAT) が発足された。実際に、多くの被害を出した東日本大震災の際、全国各地のドクターカーが出動、医師が派遣され、被災地での迅速な救急対応が可能となった。地震など緊急時に発生する緊急輸送を円滑に行うため、緊急輸送道路が設定されている。しかし、大規模地震時には高速道路や鉄道などの高架構造物の倒壊や沿道建物の倒壊、路面崩壊などによって道路が閉塞し、救急車やドクターカーによる陸路での救急活動に支障をきたす要因となる。東日本大震災では、道路状況に左右されず救急・救助活動にあたることのできるドクターヘリも活躍し、広域搬送を可能とした。¹⁾

ドクターヘリは2016年4月現在全国38道府県に46機配備されており、宮城・鳥取・愛媛県で導入に向けて検

討が行われている。2015年8月には北陸地方初となる富山県でも運航が開始された。²⁾ 現在石川県では救命救急センターである石川県立中央病院や公立能登総合病院にドクターカーが配備されているが、ドクターヘリは1機も配備されていない。石川県においても大規模地震は例外ではなく、過去に死傷者や家屋倒壊などの被害が生じるような地震が発生している。特に活断層帯である森本・富樫断層は、今後30年以内にM7.2程度の地震発生確率が2~8%といわれており甚大な被害が想定されている。³⁾ そのため、早急に石川県における地震発生時の救急・救助対応を検討する必要がある。

そこで本研究では、ドクターカーを保有している救命救急センターから災害時避難場所となり得る小中学校までの到達可能性について分析する。その際、地震による緊急輸送道路沿道の建物倒壊を想定し、道路閉塞のおそれのある区間を分析する。その分析結果を用い、石川県の緊急輸送道路を、GISを用いてネットワーク解析を行う。

2. 既存研究の整理と本研究の位置づけ

地震による道路閉塞の評価に関する研究として、小谷ら⁴⁾や大谷ら⁵⁾がある。小谷ら⁴⁾は、道路閉塞を進行もしくは抑制させる要因となる環境特性を抽出し、それらから道路の各被害様相による道路閉塞の危険度評価式を示している。更に、この評価式を用いて、金沢市内の道路を53路線に分割し、様相別・路線別の道路閉塞危険度を分析している。大谷ら⁵⁾は、各防災拠点が含まれる市町程度の広がり（数km～10km四方程度）の地区を対象とし、震災直後に幹線系道路に影響する施設・要因等として路面、橋梁といった道路施設、跨道橋や歩道橋といった沿道・専用施設（地上）、水道管・ガス管などの沿道・専用施設（地下）を考慮し、それぞれに被災関数を当てはめ、道路閉塞に与える影響を設定し、そこから交通容量の期待値を算出することにより道路閉塞による影響を評価している。

また、GISを活用した道路閉塞の研究事例もある。源ら⁶⁾は、道路網ネットワークを作成し、それを道路閉塞予測へ適用している。源らは道路閉塞の予測にあたっては、道路幅員4m未満、道路幅員4m以上8m未満の道路に分けて閉塞確率算定モデルを策定し、沿道建物の倒壊による道路の閉塞確率を算定している。Ahmedら⁷⁾は緊急輸送道路を対象とした河川氾濫による道路の冠水、地震による建物高さを考慮した建物倒壊に伴う緊急輸送道路の閉塞、これらの複合ケースを考慮した県庁と市町村役場間の到達可能性をGISのネットワーク解析により分析し、緊急輸送道路の被災リスクを明らかにしている。

道路閉塞に着目した災害時の避難、広域災害における研究としては、近藤ら⁸⁾、市川ら⁹⁾、田村ら¹⁰⁾がある。近藤ら⁸⁾は、道路閉塞の想定として、地震動の場合は橋梁被害、土砂災害は急傾斜地崩壊危険箇所、地すべり指定地、砂防指定地の崩壊、津波被害は道路構造による浸水被害とし、モデル地域における集落の孤立日数を評価している。市川ら⁹⁾は地震による建物の倒壊について、瓦礫は全方向に広がり、かつ流出幅が建物個々の高さ一致する倒壊モデルを設定し、GISを用いて道路閉塞の判定を行っている。田村ら¹⁰⁾は、地震時の建物倒壊によって街路閉塞が発生することを考慮した津波浸水時の避難行動シミュレーションを行っている。

また、震災時における救急駆けつけ時間の信頼性の評価として柳沢ら¹¹⁾の研究では、信濃川活断層を震源とする地震を想定した被害予測を、盛土、切土、橋梁部の被災による道路閉塞を考慮し、建物倒壊による被災重傷者の救命制約時間信頼性を明らかにしている。

以上の既往研究では地震時の複数の災害による道路閉塞についての研究や、それに伴う県庁役場間の到達

可能圏、避難行動シミュレーション、救命制約時間信頼性を明らかにした研究である。これらに対し、本研究ではドクターヘリのカバー範囲も考慮し、地震に伴う建物倒壊による道路閉塞を想定した救命救急センター避難所間のドクターカー到達可能圏の分析を行う。

3. 緊急輸送道路のネットワーク構築方法と被災リスク評価方法

(1) 緊急輸送道路網の構築方法

本研究では、Ahmedら⁷⁾のモデルを参考にし、国土数値情報で公開されている石川県の緊急輸送道路¹²⁾を使用する。このデータは、都道府県の作成した地域防災計画、緊急輸送道路ネットワーク計画に関する資料を使用し、緊急輸送道路の路線形状・緊急輸送道路区分、道路種別、路線名称等を整理している。

(2) 建物倒壊に伴う道路閉塞によるリスクの評価

地震時に緊急輸送道路が通行不能となる要因として、本研究では緊急輸送道路沿道の建物の倒壊による道路閉塞による道路閉塞を考慮する。建物倒壊による道路閉塞のリスクを評価するためには、建物の位置、高さ、建築時期、建物の構造等に関するデータが必要となる。そこで本研究では、Ahmedら⁷⁾が作成した建物の位置、種類及び高さを把握することができるデータを使用した。データ作成にはesriジャパンが提供する詳細地図2012¹³⁾が用いられている。このデータは詳細地図のデータベースから建物に関するデータを抽出し、建物の位置、種類及び高さが把握可能なデータとなっている。ここでは、建物の高さは1階あたり3mとして計算されている。また、建物の種類は独自の分類となっている。建物の構造形式については、データの分類にしたがって表-1のように木造と非木造に分類されており、4階以上の一般家屋（高さ9mを越す建物）はマンションなど高層の住居も含まれているため非木造となっている。建築年代に関してはすべて現行の建築基準で建築された建物であると仮定し、建物の倒壊による道路閉塞のリスクを最小被害で想定する。

表-1 詳細地図 建物データの建物種類と構造形式の分類

建物種類	構造形式
宿泊施設	非木造
商業施設	
学校	
余暇・レジャー	
目標物	
公共施設	
医療	
交通	
一般家屋(4階以上)	
一般家屋(3階以下)	

この建物データから、建物の高さに応じた円を描き、緊急輸送道路と重なる建物が、道路閉塞をもたらす建物として抽出されている。抽出された建物データに対し、J-SHIS 地震ハザードステーションが公開している地震動予測地図¹⁴などを用いて、どの程度の計測震度の揺れに見舞われる可能性があるか設定されている。このようなデータを用いることで、地震に伴う建物倒壊の道路閉塞リスクを評価することが可能である。リスク評価のためにはこれらデータに対し、地震による建物の被害関数を適用し、各建物の全壊確率を決定する。さらに乱数シミュレーションにより、各建物が全壊するかどうかを判定、全壊した建物沿いの緊急輸送道路では道路閉塞が発生すると想定することができる。

4. 救命救急センターと小中学校の到達可能性に関する分析

(1) 到達可能性の分析条件

本研究では、石川県を対象地域として分析を行っている。分析対象の道路は石川県が定める緊急輸送道路とし、それ以外の道路は含んでいない図-1のような平時の緊急輸送道路ネットワークを構築した。このネットワークを構築する際、救命救急センターと緊急輸送道路間、緊急輸送道路と小中学校間を結ぶリンクが必要となる。このリンクは二点間で最近接を行い、最短の直線で表現した。



図-1 対象地域の平時の緊急輸送道路ネットワーク図

今回対象とする救命救急センターと小中学校のデータは、国土数値情報の医療機関データ¹⁵と学校データ¹⁶を用いる。医療機関データは平成26年9月時点での全国の医療機関の内、医療法に基づく「病院」「(一般)診療所」「歯科診療所」の地点、名称、所在地、診療科目、開設者分類が整備されたものである。今回はそのデータの中から救急センターでありドクターカーを保有している石川県立中央病院と公立能登総合病院を抽出した。また学校データについては、平成25年度における全国の学校の内、学校教育法に基づく全国の小学校、中学校、中等教育学校、高等学校、高等専門学校、短期大学、大学及び特別支援学校に分類されたものである。この中から災害時避難所となり得る小学校、中学校データ (328校) を抽出した。

通行不能区間の発生により、通行不能区間を迂回しても目的地である小中学校へ到達できない状態を到達不能とし、0~60分を5分ごとに到達可能小学校数を集計した。ドクターカーの走行速度は10, 15, 20, 25, 30km/時の5段階で設定し、それぞれで分析を行う。

(2) 地震による建物倒壊に伴う道路閉塞を考慮した救命救急センターと小中学校の到達可能性に関する分析

本研究では、建物の被害関数として東京都防災想定¹⁷に示されている全壊率曲線 (図-2, 図-3) を採用した。

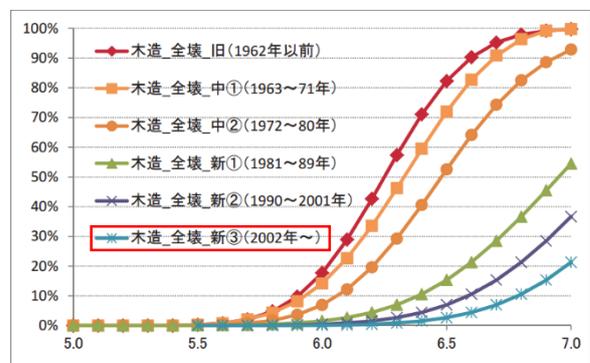


図-2 木造建物の全壊率曲線

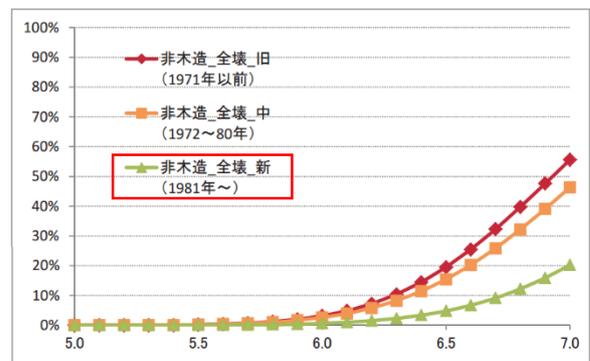


図-3 非木造建物の全壊

ここで、今回全ての建物は現行の建築基準で建築されたものと考えており、分析に使用する被害関数は図-2、図-3に枠線で示した曲線のみである。全壊率を与えた緊急輸送道路沿道の各建物について、0から100の範囲で0.1刻みの乱数を発生させ、全壊率を下回る数値が発生した場合にその建物は全壊し、隣接する緊急輸送道路を閉塞させるとして建物の倒壊シミュレーションを行った。

地震動の想定には、確率論的地震動予想地図やシナリオ地震が考えられ、シナリオ地震は今後生じる可能性のある地震のうちの1つにすぎないため、今後生じる地震を網羅的に予測している確率論的地震動予測地図図を利用する。これにより、長期的な視点で緊急輸送道路の被災可能性が分析でき、災害対策箇所や優先度の選定への活用が期待される。地震動の想定規模としては、J-SHIS地震ハザードステーションが公開している確率論的地震動予測地図¹⁴⁾のうち50年間超過確率2%となる場合の計測震度分布(図-4)を使用した。

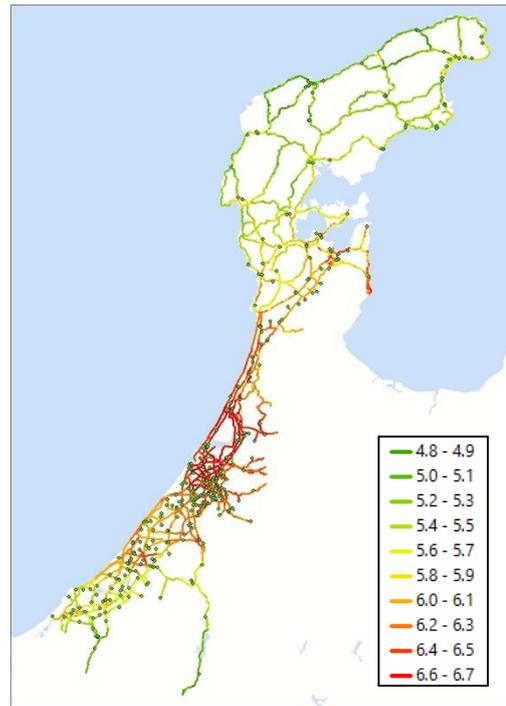


図-4 50年間超過確率2%となる計測震度の緊急輸送道路上の分布

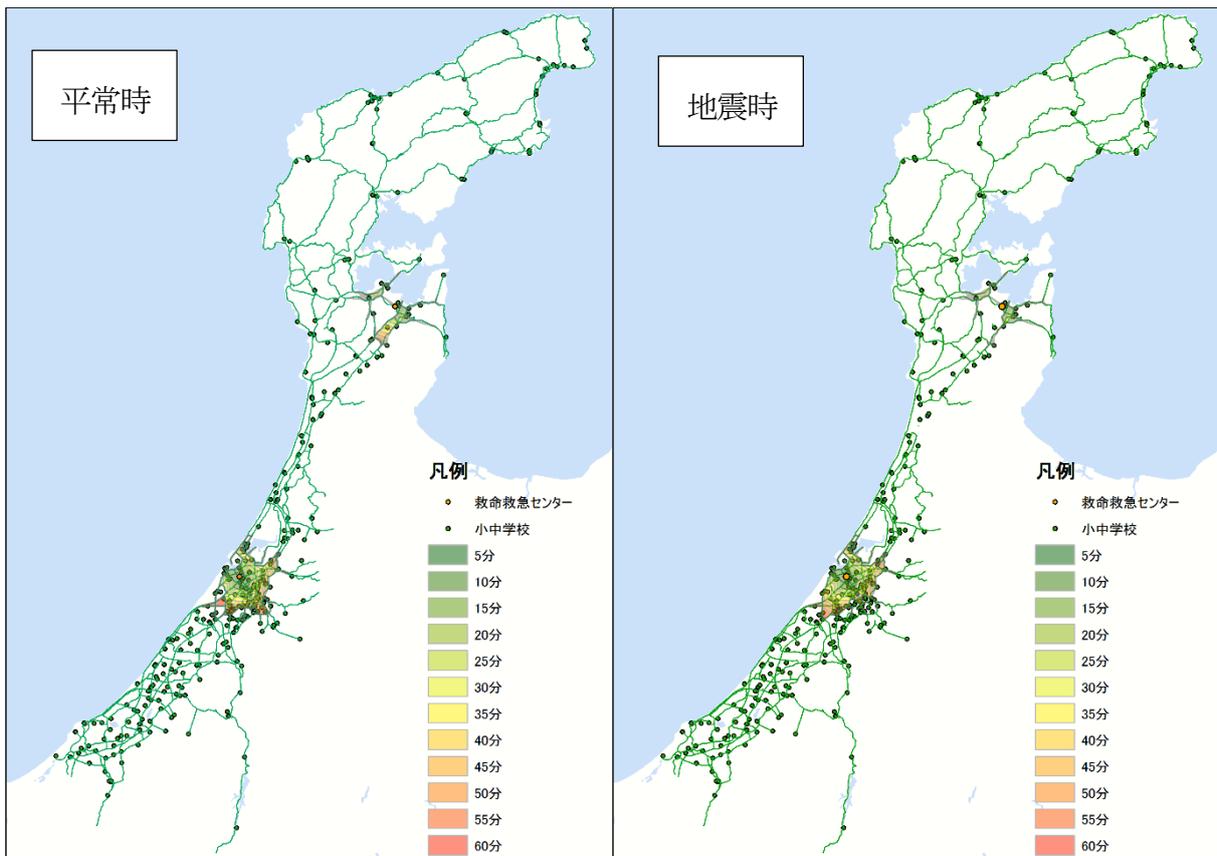


図-5 ドクターカーの到達可能圏(10km/時)

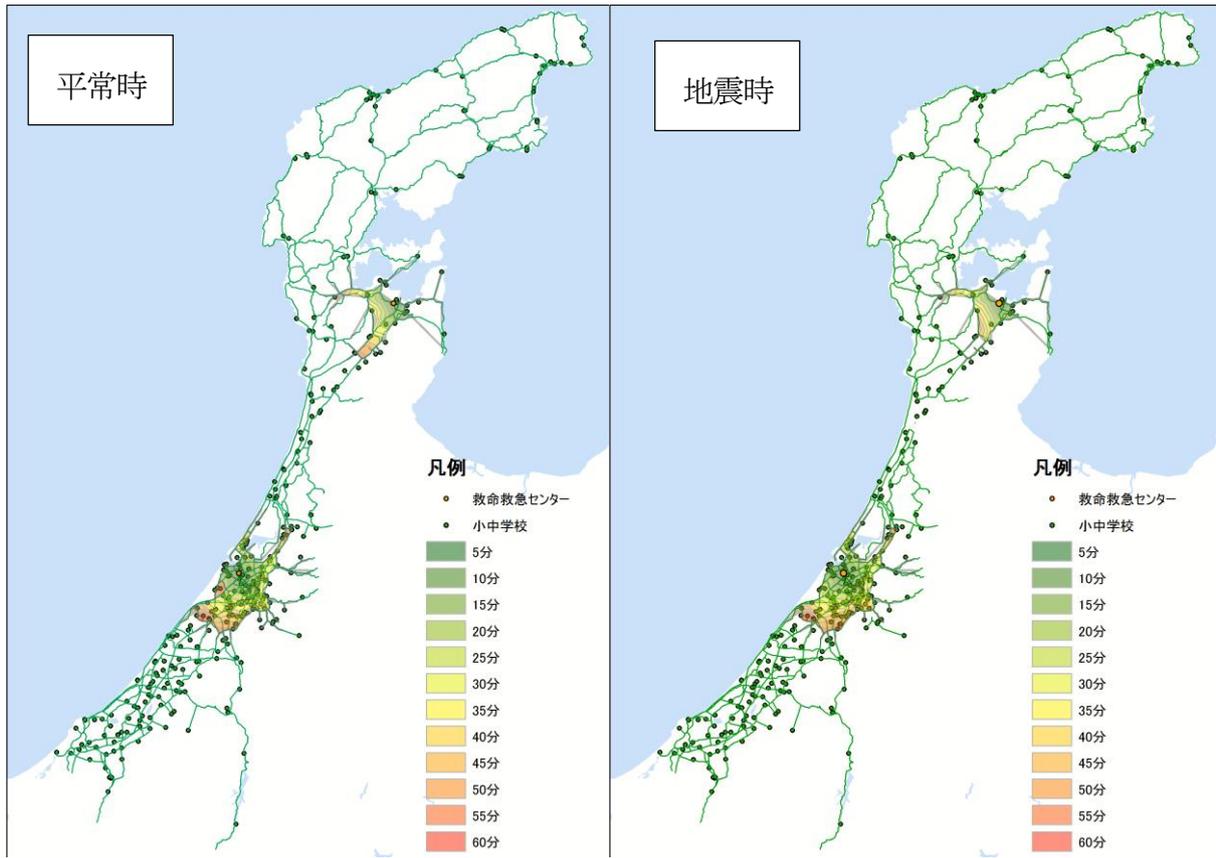


図-6 ドクターカーの到達可能圏(15km/時)

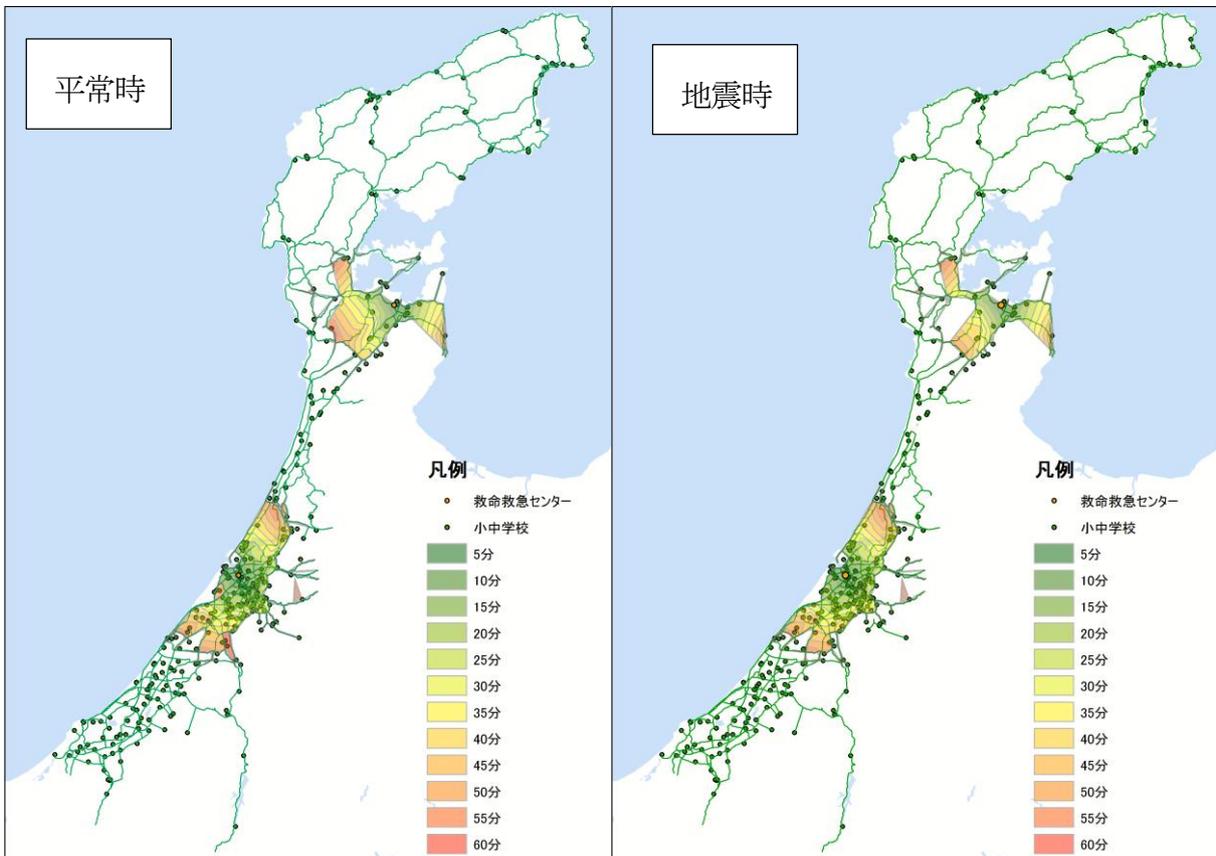


図-7 ドクターカーの到達可能圏(20km/時)

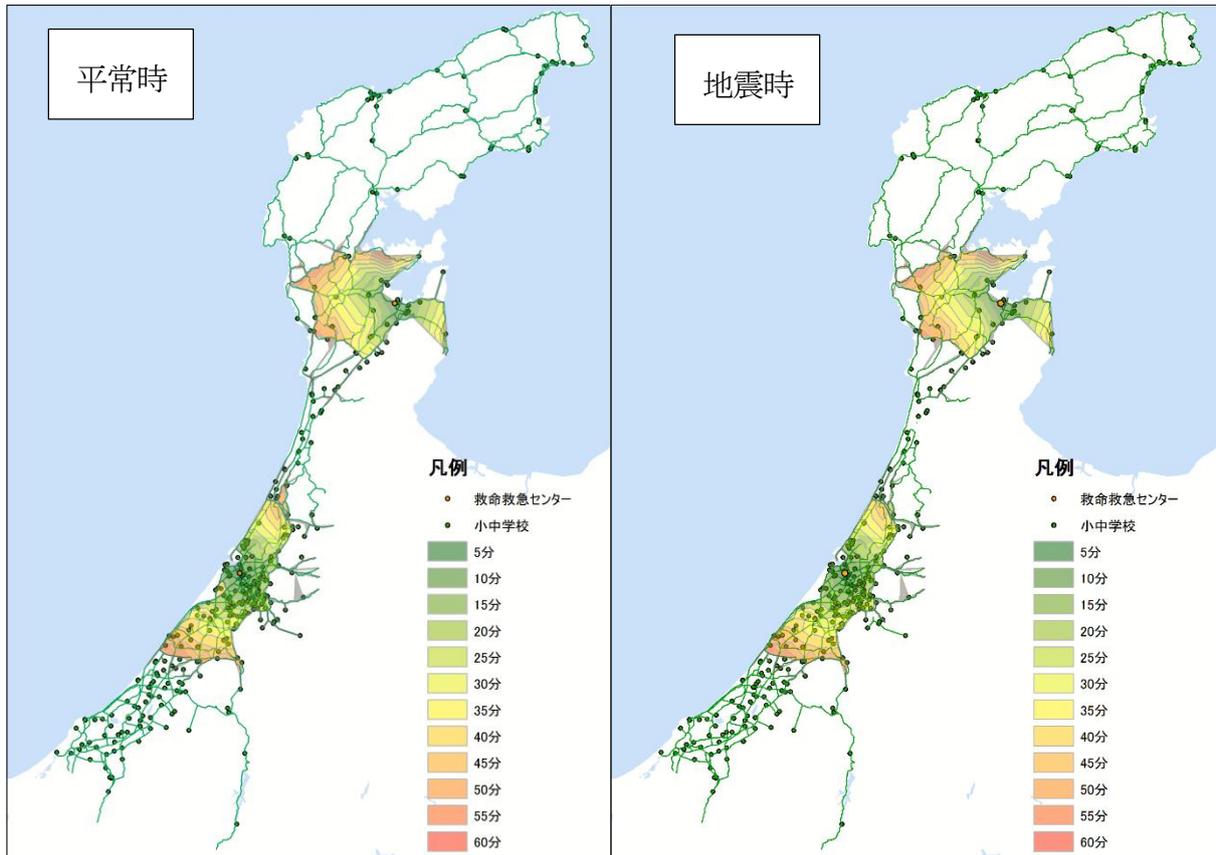


図-8 ドクターカーの到達可能圏(25km/時)

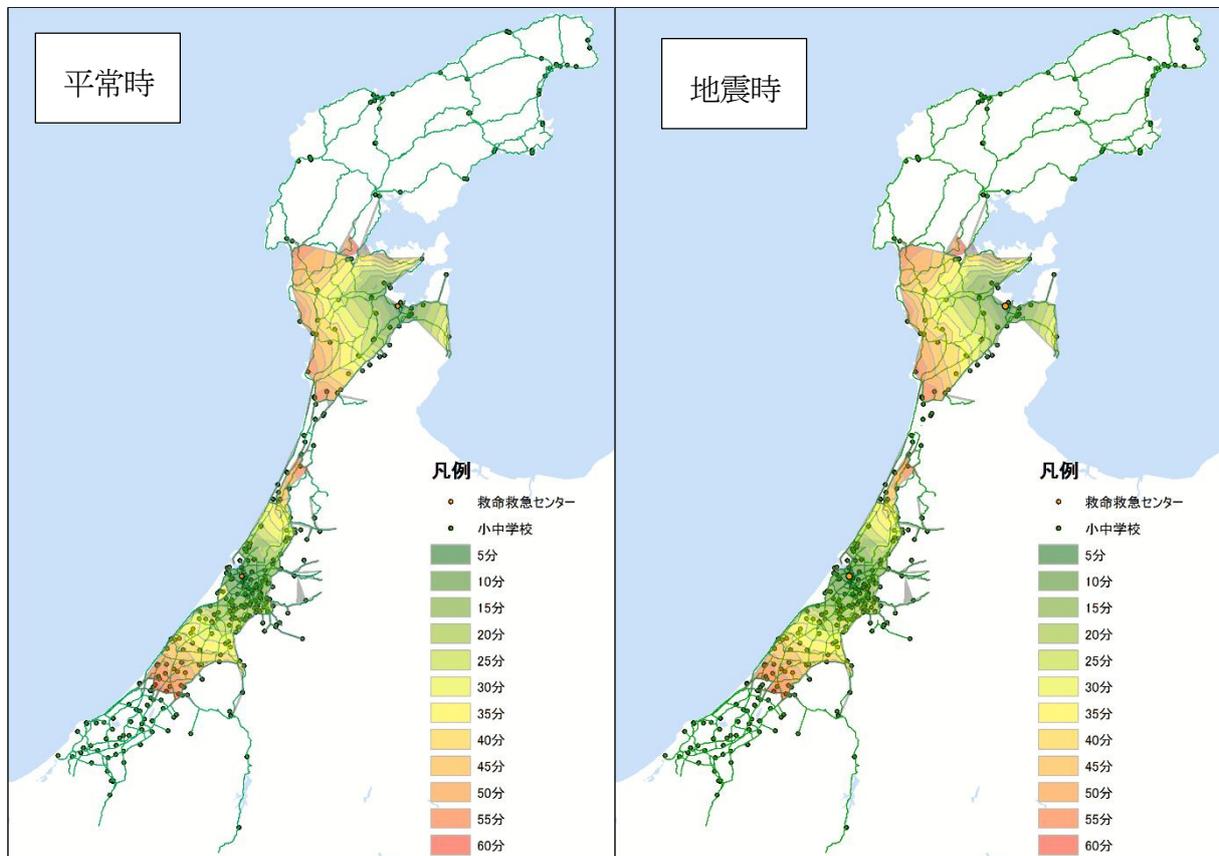


図-9 ドクターカーの到達可能圏(30km/時)

図-5から図-9に平常時と建物倒壊による道路閉塞を考慮した到達圏を示す。左図は平常時、右図は地震時の到達可能圏で、上からドクターカーの走行速度を10, 15, 20, 25, 30km/時と設定している。

図-5～9の平常時と地震時の緊急輸送道路ネットワークを比較すると、能登地方などの地方部よりも金沢市やその周辺の市街地でのリンク途絶が多く見られる。これは、地方部に比べ緊急輸送道路沿道に多くの建物が存在し、建物倒壊による道路閉塞のリスクが高くなっていることが考えられる。また、到達可能圏を比較すると、県立中央病院からの到達圏はネットワークが密なため到達時間に大きな変化はないものの、公立能登総合病院の場合、周辺のネットワークが疎であるため、平常時と地震時で到達可能圏域に差が出ていることが分かる。ドクターカー走行速度30km/時ケースにおける平常時、地震時の時間別到達可能学校数は表-2、図-10、11のような結果となった。

表-2 時間別到達可能小学校数(30km/時)

到達時間(分)	県立中央病院		公立能登総合病院	
	平常時	地震時	平常時	地震時
～5	2	2	2	2
6～10	19	18	3	3
11～15	35	30	6	6
16～20	29	31	5	3
21～25	15	17	2	3
26～30	19	17	6	5
31～35	9	9	5	7
36～40	13	11	4	4
41～45	9	9	5	5
46～50	9	9	0	0
51～55	12	12	8	2
56～60	11	9	2	4
計	182	174	48	44

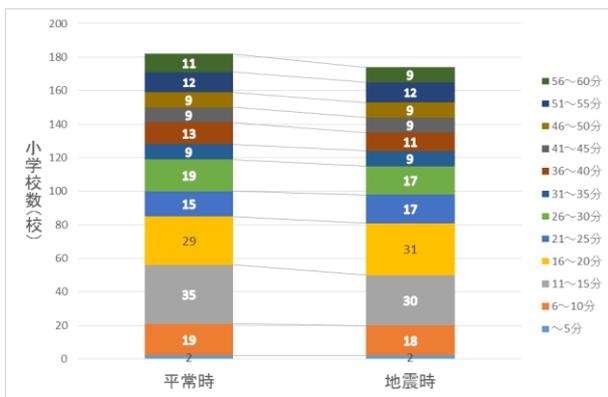


図-10 県立中央病院からの時間別到達学校数(30km/時)

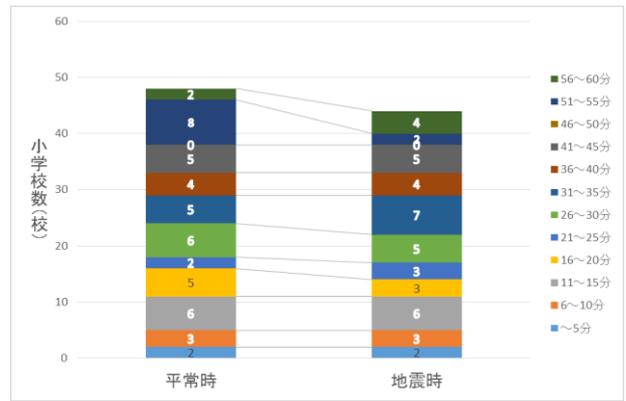


図-11 公立能登総合病院からの時間別到達学校数(30km/時)

5. まとめと今後の課題

今回の分析で、地震による建物倒壊で道路が閉塞されることで、平常時よりもドクターカーの活動が制限され、到達可能圏域が変化すること、それにより到達可能小中学校数にも影響を与えることが明らかとなった。しかし、今回の分析は1回のシミュレーション結果であり、複数回シミュレーションを行い分析する必要がある。また、道路閉塞の要因として建物倒壊しか考慮しておらず、今後橋梁被災や浸水、土砂災害等による道路閉塞も考慮した場合、ドクターカーによる到達可能な小中学校はより減少するはずである。そこで道路閉塞に左右されないドクターヘリでの救急・救助活動により、迅速な災害救助救急対応が図れるはずである。図-12は出動準備時間5分、飛行速度200km/時と設定した時のドクターヘリ到達時間である。ドクターカーに比べ、ドクターヘリは40分前後で石川県全域をカバー可能である。ドクターヘリの利便性を活かし、より現実的で精緻なシミュレーションを行っていく必要がある。

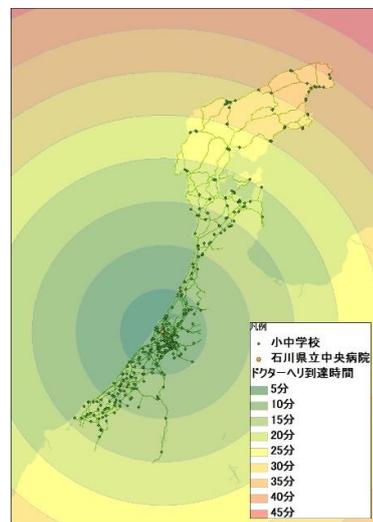


図-12 県立中央病院からのドクターヘリ到達時間

参考文献

- 1) 増野智彦, 渡邊顕弘, 五十嵐豊, 萩原純, 恩田秀賢, 新井正徳, 辻井厚子, 宮内雅人, 布施明, 川井真, 横田裕行: 東日本大震災に対する日本医科大学救急医学教室の取り組み われわれはどう行動したのか, 日本医科大学医学会雑誌, Vol. 7 (2011) No. Suppl.1 P S43-S52
- 2) ヘムネット HEM-Net, ドクターヘリ配備状況 : <http://www.hemnet.jp/where/>
- 3) 地震調査研究推進本部, 森本・富樫断層 : http://www.jishin.go.jp/main/yosokuchizu/katsudanso/f057_monimoto_togashi.htm
- 4) 小谷武司, 池本敏和, 北浦勝: 大地震時における道路閉塞危険度評価法の開発と金沢市への適用, 第24回地震工学研究発表会講演論文集, pp.1101-1104, 1997.
- 5) 大谷康史, 村越潤: 幹線系道路の耐震性評価に関するケーススタディー, 第26回地震工学研究発表会講演論文集, pp.1465-1468, 2001.
- 6) 源貴志, 成行義文, 天野健, 平尾潔: GISによる道路ネットワーク及び属性データの作成方法と道路閉塞予測への適用, 土木情報利用技術論文集, Vol.15, pp.127-138, 2006.
- 7) Ahmed WAHID UDDIN, 大澤脩司, 藤生 慎, 高山 純一, 中山 晶一朗: 緊急輸送道路の災害リスクを考慮した都道府県庁と市町村役場間の到達可能性に関する分析, 地震工学論文集, 2016
- 8) 近藤伸也, 照本清峰, 太田和良, 片家康裕, 高尾秀樹, 河田恵昭: 道路閉塞に着目した広域災害における集落の孤立危険度マップの検討, 生産研究, Vol.62, No.4, pp.417-419, 2010.
- 9) 市川総子, 阪田知彦, 吉川徹: 建物倒壊および道路閉塞のモデル化による避難経路の危険度を考慮した避難地への到達前性能に関する研究, Theory and Applications of GIS, Vol.12, No.1, pp.47-56, 2004.
- 10) 田村保, 西畑剛, 森屋陽一, 瀧本浩一, 三浦房紀: 街路閉塞を考慮した津波浸水時の避難シミュレーション手法の適用, 海岸工学論文集, Bok.52, pp.1286-1290, 2005.
- 11) 柳沢吉保, 古本吉倫, 高山純一, 南澤智美, 尾曾真理恵: 震災時における救急車の駆けつけ搬送圏域の救命制約時間信頼性評価, 土木学会論文集P6(安全問題), Vol.68, No.2, L_30-L_37, 2012
- 12) 国土数値情報緊急輸送道路 : <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N10.html>
- 13) esriジャパン, ArcGIS データコレクション詳細地図 : <http://www.esri.com/products/arcgis-data-collection-detail/>
- 14) J-SHIS 地震ハザードステーションJ-SHIS MAP : <http://www.jshis.bosai.go.jp/map/>
- 15) 国土数値情報 医療機関データ : http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P04-v2_1.html
- 16) 国土数値情報 学校データ : <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P29.html>

(2016. 4. 22 受付)