

自然災害が救急駆け付け搬送の救命可能率に及ぼす影響

- 長野市居住誘導区域の設定を対象とした検証 -

柳沢吉保*1・轟 直希*2・窪田愛夢瑠*3・古本吉倫*4・浅野純一郎*5・高山純一*6

Impact of Disasters on Emergency Transport System

- Residence Attraction Area of Nagano Urban City -

YANAGISAWA Yoshiyasu, TODOROKI Naoki, KUBOTA Amuru,
FURUMOTO Yoshinori, ASANO Jun-ichirou and TAKAYAMA Jun-ichi

In this paper, Impact of disasters on emergency care service framework is developed to study network traffic volume assignment. We examine the life-saving constraints considering the location of fire stations and first-aid station. We propose the life-saving potential indicator of the travel time to the urgent medical institution of an ambulance. In this paper, the above method is applied to residence attraction area of Nagano Urban City. In the experimental study, we verified location of fire stations and first-aid station affects a limit time to life-saving. We confirmed residence attraction area responsible of emergency car based on life-saving potential.

キーワード：地震被災，救急駆け付け搬送，救命可能率，長野市

1. まえがき

1-1 本研究の背景と目的

自然災害の激甚化に対応するため，防災指針を考慮した居住誘導区域の設定は大きな課題である．自然災害の発生が居住誘導区域内外の被災事象に与える影響を確認しておく必要がある．ここでは自然災害の発生が救急駆け付け搬送に与える影響を分析する．被災時には道路ネットワークのリンク寸断が生起する可能性がある．これにより，救急車両の駆け付け搬送時間および救命に与える影響を検証しておく必要がある．

そこで，本研究では長野市における，「被災前」，「地震被災時」，「浸水被災時」，「土砂災害時」について，駆け付け搬送時間，救命率について明らかにする．また，居住誘導区域内外の駆け付け搬送時間，救

命率の差についても明らかにし，立地適正化計画が自然災害時の救急駆け付け搬送の救命率に及ぼす影響を明らかにする．

また，本研究では即時および応急対応として被災者の救急駆け付け搬送に与える影響を明らかにするとともに，適切な多核連携型都市構造における駆け付け搬送による救命の有効性についても分析する．

1-2 既往研究と本研究の枠組み

三室ら¹⁾の研究では，災害後の状況変化に対応した交通網復旧プロセスを検討できる方法論の開発，具体的なアプローチとして，被災者の「生活の質」(QOL)を評価するシステムの構築を行っている．また，原田ら²⁾の研究ではノードのアクセシビリティと到着できる経路数から接続性と脆弱性を総合的に評価している．さらに，原田ら³⁾の研究ではこの研究方法を拡張し，重複を避けつつ複数経路の走行時間が最小となるような経路を数え上げる方法を活用している．戸倉ら⁴⁾の研究では，道路交通の信頼性を評価し，信頼性を考慮したモデルの確立を行い，連結の向上に対して道路の便益を評価している．しかし，立地適正化計画における居住誘導区域内外の被災地が救急駆け付け搬送体制に与える影響

*1 工学科都市デザイン系教授

*2 工学科都市デザイン系准教授

*3 飯山市役所

*4 環境都市工学科教授

*5 豊橋技術科学大学

*6 金沢大学教授

原稿受付 2022年5月20日

は分析されていない。本研究では、被災前、自然災害時において駆け付け搬送時間、救命率から考えられる駆け付け搬送体制の現状について、居住誘導区域の相違について考察する。

本研究では、長野市を対象に自然災害時の居住誘導区域内外の駆け付け搬送体制を評価する。自然災害時には交通ネットワークの当該リンクが寸断されるため、救急駆け付け搬送体制に影響を及ぼす。自然災害時における救急駆け付け搬送は非常に重要である。ここで、居住誘導区域において被災前と変わらず救急駆け付け搬送ができるか、都市構造の観点から実態を評価する。

具体的には、①自然災害(地震災害、土砂災害、浸水災害)による長野市の交通ネットワークの被災リンクの特定。②シミュレーションにより長野市における被災前および各自然災害における駆け付け搬送時間の算出を行い、分析対象地域の救命可能率を算定する。③長野市全体における被災前・自然災害時の救急駆け付け搬送および、長野市の居住誘導区域内外における被災前・自然災害時の救急駆け付け搬送の救命可能率を比較し、コンパクト+ネットワークの枠組みで救急駆け付け搬送を評価する。

2. 分析対象地域および駆け付け搬送体制

分析対象地域は、長野市とする。図1に示したとおり、水色部分が長野市と長野市の小ゾーンである。また、青線で示したのが長野市のネットワークである。ピンク色で囲っている地域が長野市の居住誘導区域である。図1より、居住誘導区域にネットワークが集中していることがわかる。

図2に長野市の消防署・分署、後方病院の配置図¹⁾を示す。支所の境界線は白い線で表されている。また、本研究では被災地を各小ゾーンの支所の位置とした。各支所に近接して消防署・分署が配置されているが、後方病院は市街地を対象とした居住誘導区域に立地していることがわかる。

対象とする自然災害は、防災都市づくり計画および防災指針で対象となる、地震災害、土砂災害、浸水災害とする。

使用データは以下の表1に示す。

救急駆け付け搬送体制は、救急車両が配備されている各消防署・分署から救急車が発発して、救急要請先に駆けつけて重傷者を後方病院(各救命拠点)へと搬送する流れとする。本研究においては重傷者に絞って被災後の駆け付け搬送時間による救命の可能性を検証する。ここでは、建物の倒壊をはじめさまざまな被災で重傷者が生起することが想定される。

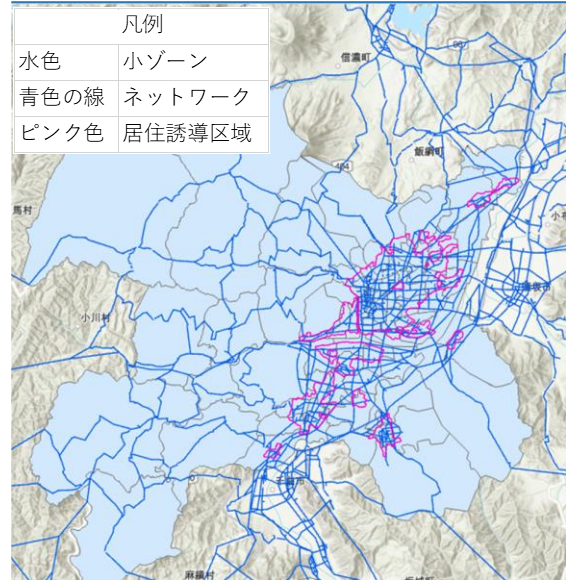


図1 長野市の交通ネットワークと小ゾーンおよび居住誘導区域

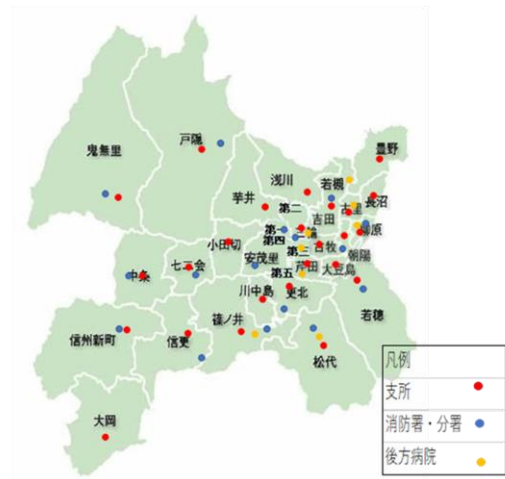


図2 支所、消防署・分署、後方病院の位置関係

表1 使用データ

長野都市圏ネットワーク図(H28)．長野都市圏 OD 表(H28)．長野市 C ゾーン(R3)．長野市居住誘導区域図(H29)．土砂災害警戒区域データ(R2)．洪水浸水想定区域データ(R2)．
--

ここで重傷者の救命制約時間は、カーラーの救命曲線より、死亡率が50%を超える確率が大量出血後30分とされていることから本研究では救命制約時間を30分とした駆け付け搬送の評価を行う。

本研究で対象とする支所26ヶ所、後方病院8ヶ所、消防署・分署16ヶ所を表2,表3および表4に示す。

3. 各災害が駆け付け搬送に及ぼす影響

3-1 駆け付け搬送時間の算定フロー

表 2 対象の支所

居住誘導区域 (15 化ヶ所)
安茂里, 吉田, 古里, 古牧, 芹田, 大豆島, 松代, 浅川, 若槻, 朝陽, 柳原, 篠ノ井, 更北, 川中島, 豊野
居住誘導区域外 (11 ヶ所)
小田切, 大岡, 鬼無里, 長沼, 芋井, 信更, 若穂, 信州新町, 七二会, 中条, 戸隠

表 3 対象の消防署・分署

消防署・分署 (16 ヶ所)
中央消防署, 安茂里分署, 七二会分署, 飯綱分署, 鬼無里分署, 鶴賀消防署, 若槻分署, 柳原分署, 東部分署, 篠ノ井消防署, 更北分署, 塩崎分署, 松代分署, 若穂分署, 新町消防署, 小川出張所

表 4 対象の後方病院

後方病院
長野赤十字病院, 篠ノ井総合病院, 松代総合病院, 長野市民病院, 東長野病院, 長野県立リハビリテーションセンター, 長野中央病院, 朝日ながの病院

以下に駆け付け搬送の算定フローを示す。

- Step 1 : 長野市に発生すると仮定する各災害による長野市交通ネットワークの被災リンクの特定を行う。
- Step 2 : 分割配分法によるゾーン間所要時間の算出
- Step 3 : 配分結果を用いて, 消防署・支所・後方病院の駆け付け搬送時間の総所要時間の算出を行う。
- Step 4 : 長野市内の被災地(支所)のうち, 救命可能な 30 分以内で駆けつけ搬送できる支所数の割合を示す, 50%救命可能率は以下の式(1)で算出する。

$$L_s = \frac{n_b^{30}}{N_b} \times 100 \quad (1)$$

ここで, L_s : 50%救命可能率, n_b^{30} : 30 分以内で駆けつけ搬送できる支所数, N_b : 支所の総数とおく。

3-2 被災前の駆け付け搬送状況

被災前の救急駆け付け搬送状況を確認することで, 各災害がどれだけ救急駆け付け搬送に影響を及ぼすのか比較できるため, 被災前の駆け付け搬送状況を確認する。

被災前の駆け付け搬送時間の算定結果を図 3 に示す。これは, 各支所の駆け付け搬送時間を 5 分間隔のヒストグラムで表したものである。

支所 26 ヶ所の駆け付け搬送時間の平均は 24.6 分, 標準偏差は 19.37 であり, 通常時においては駆け付け搬送が救命制約時間である 30 分を切っている。

50%救命可能率としては, 対象とする全体の駆け付け搬送箇所に対する 30 分以内駆け付け搬送箇所比として算出している。これより, 被災前の長野市の 50%救命可能率は 65.3%であり, 34.7%は 30

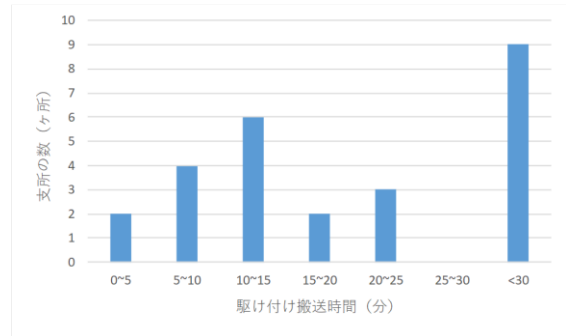


図 3 通常時の駆け付け搬送時間

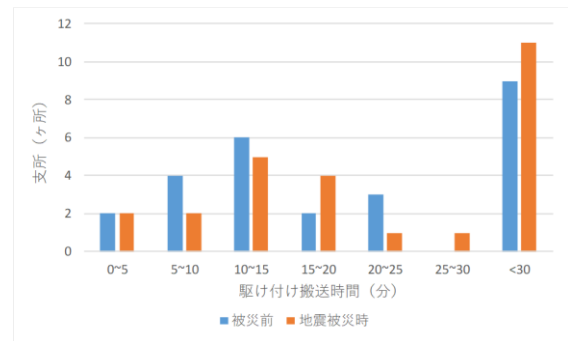


図 4 地震被災時の駆け付け搬送時間

分以内での駆け付け搬送が不可能である。

3-3 地震被災後の駆け付け搬送状況

鳥羽ら^{5),6)}により, 地震被災によって計 50 本のリンクが寸断されることがわかっている。

地震被災後の駆け付け搬送時間の算定結果を図 4 に示す。

被災地である支所 26 ヶ所の駆け付け搬送時間の平均は 56.8 分, 標準偏差は 99.32 であり, 50%救命可能率は 57.6%であった。

駆け付け搬送時間の平均は被災前と比べて 32.2 分増大し, 50%救命可能率は 7.7%減少していた。また, 救命制約時間の 30 分を大幅に超えている。

具体的には長沼, 小田切, 信更, 七二会, 大岡が 50%救命制約時間を超えてしまう結果となった。一方, 被災前と比べて古牧, 篠ノ井, 浅川, 朝陽, 芹田, 吉田の駆け付け搬送時間が短縮していた。

3-3 土砂災害後の駆け付け搬送状況

長野市のネットワーク(青線), 居住誘導区域(ピンク色で囲った地域)および土砂災害地域(黄色色の地域)を図 5 に示す。これより, 土砂災害地域と居住誘導区域は重なっていないことがわかる。また, 土砂災害によって 236 本のリンクが寸断されることが分かった。

土砂災害後の駆け付け搬送時間の分布を図 6 に示

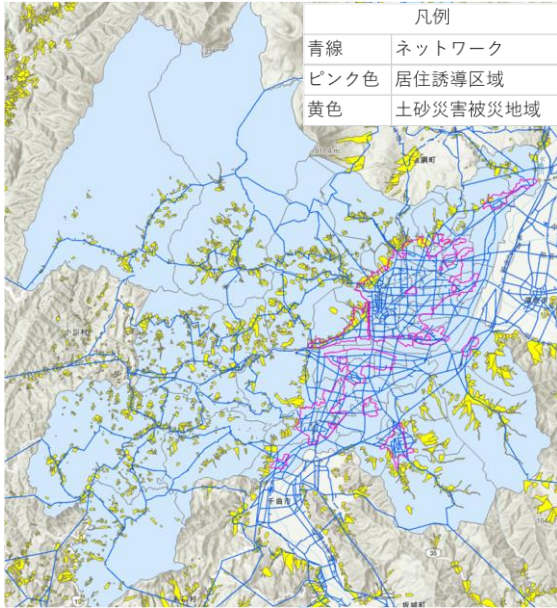


図5 長野市の道路ネットワークおよび居住誘導区域と土砂災害地域

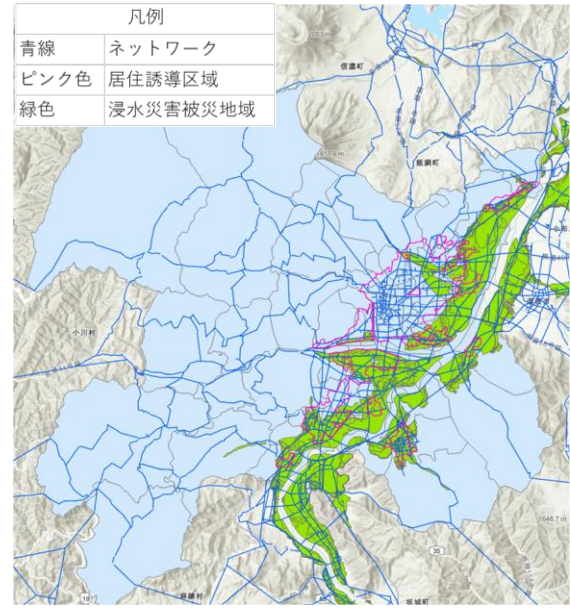


図7 長野市のネットワークおよび居住誘導区域と浸水災害地域

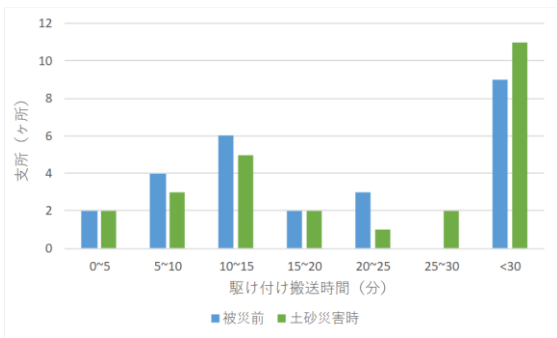


図6 土砂災害時の駆け付け搬送時間

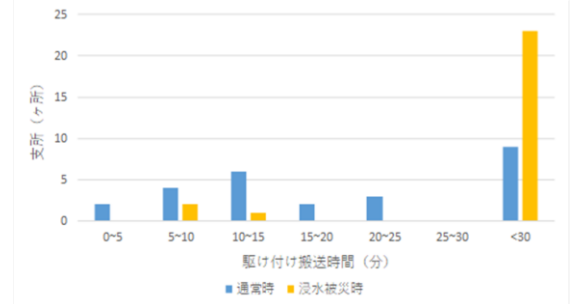


図8 浸水被災時の駆け付け搬送時間

す。

被災地である支所 26ヶ所の駆け付け搬送時間の平均は 392317.6 分、標準偏差は 535098.5 であり、50%救命可能率は 57.7%であった。ここで、駆け付け搬送の平均時間が 392317.6 分であるが、これは約 272 日に相当し、リンクが復旧しない限り到達不可能な所要時間と判断する。以降、このような値が算出された場合も同様に判断する。

算出結果を確認した結果芋井、信更、戸隠、小田切、中条、七二会、大岡、若槻、鬼無里、信州新町が 50%救命制約時間を超えてしまう結果となった。被災前と比べて古牧、芹田、松代、篠ノ井、浅川の駆け付け搬送時間が短縮または等しい結果となった。

3-4 浸水災害後の駆け付け搬送状況

長野市のネットワーク（青線）、居住誘導区域（ピンク色で囲った地域）および浸水災害地域（緑の地域）を図7に示す。これより、居住誘導区域と浸水

被災地域は一部重なっていることがわかる。

また、浸水災害によって 773 本のリンクが切断されることがわかった。

浸水被災による駆け付け搬送時間の分布を図8に示す。

浸水被害地である支所 26ヶ所の駆け付け搬送時間の平均は 24 時間を大幅に超えた 6925 時間であり、ネットワークが復旧しない限り到達不可能と考える。標準偏差は 556821.5 となった。長野市で浸水被災が起きた場合には甚大な被害が予想される。また、算定結果を確認したところ、特に篠ノ井、更北、古里、柳原、大豆島、朝陽、豊野、吉田、松代、長沼、七二会、信更、若槻、若穂、大岡、芋井、中条、川中島、信州新町、小田切、戸隠、鬼無里、浅川が 50%救命制約時間を超えてしまう結果となった。被災前と比べて古牧、芹田の駆け付け搬送時間が短縮していた。

4. 居住誘導区域内外の駆け付け搬送状況

4-1 被災前の居住誘導区域内外の 駆け付け搬送比較

被災前の居住誘導区域内外の駆け付け搬送比較を行い、今後居住誘導が進んだときに重傷者救命のための駆け付け搬送に及ぼす影響を確認する。

被災前の居住誘導区域内外の駆け付け搬送時間の分布を図9に示す。

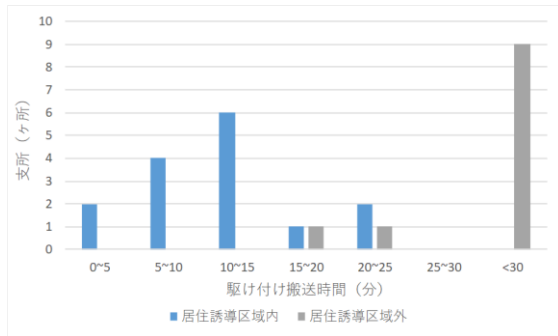


図9 被災前の居住誘導区域内外の
駆け付け搬送比較

居住誘導区域 15ヶ所の駆け付け搬送時間の平均は12.0分、標準偏差は5.57であった。また、居住誘導区域外 11ヶ所の駆け付け搬送時間の平均は41.8分、標準偏差は18.3であった。なお、居住誘導区域内の50%救命可能率は100.0%であり、居住誘導区域外は18.2%であった。これは後方病院が居住誘導区域に隣接して立地していることが考えられる。

居住誘導区域内の支所では30分以内駆け付け搬送が100%可能であることに対し、居住誘導区域外の支所では30分以内駆け付け搬送が可能な支所は2カ所のみであった。

4-2 地震被災後の居住誘導区域内外の 駆け付け搬送比較

地震被災後の居住誘導区域内外の駆け付け搬送時間の分布を図10に示す。

居住誘導区域 15ヶ所の駆け付け搬送時間の平均は13.7分、標準偏差は6.7である。また、居住誘導区域外 11ヶ所の駆け付け搬送時間の平均は115.7分、標準偏差は127.9であった。なお、居住誘導区域内の50%救命可能率は93.3%であり、居住誘導区域外は9.0%であった。これは、被災前と同様、後方病院が居住誘導区域に隣接して立地していることが考えられる。

以上より、地震被災時においては居住誘導区域内外ともに被災前とほぼ変わらない結果であるものの、居住誘導区域内外ともに30分以内駆け付け可能箇所がそれぞれ1ヶ所ずつ減少していた。しかし、50%

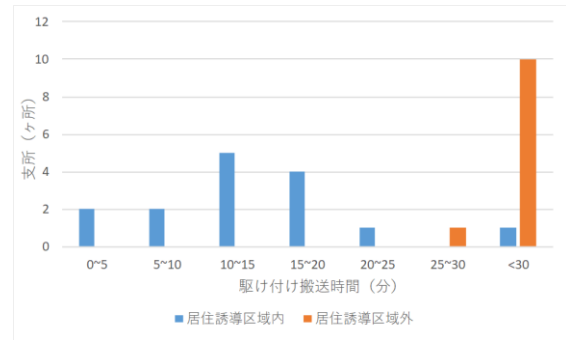


図10 地震被災後の居住誘導区域内外の
駆け付け搬送比較

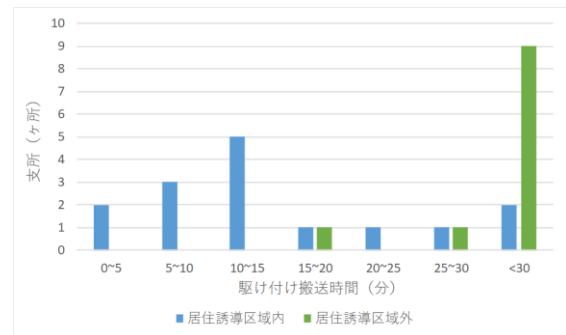


図11 土砂災害後の居住誘導区域内外の
駆け付け搬送比較

救命可能率は被災前と変わらず、居住誘導区域の方が50%救命可能率の観点で有利である。

4-3 土砂災害後の居住誘導区域内外の 駆け付け搬送比較

土砂災害後の居住誘導区域内外の駆け付け搬送時間の分布を図11に示す。

居住誘導区域 15ヶ所の駆け付け搬送時間の平均は40014.1分、標準偏差は154915.4である。また、居住誘導区域外 11ヶ所の駆け付け搬送時間の平均は872731.5分、標準偏差は492111.6であった。これは、28日以上であり、ネットワークが復旧しない限り後方病院への搬送は不可能と考えられる。なお、居住誘導区域内の50%救命可能率は86.7%であり、居住誘導区域外は18.2%であった。被災前と同様、居住誘導区域に隣接して後方病院が立地していること、被災リンクが居住誘導区域の中でも中山間地域を中心に分布していることが考えられる。

以上より、土砂災害時においては、居住誘導区域の50%救命可能率は13.3%減少している。また、居住誘導区域外では図3.3に示すように居住誘導区域外を中心に土砂災害被災地域が広がっているが、居住誘導区域外では18.2%と被災前と等しい。また、居住誘導区域外で被災前に30分以内駆け付け搬送

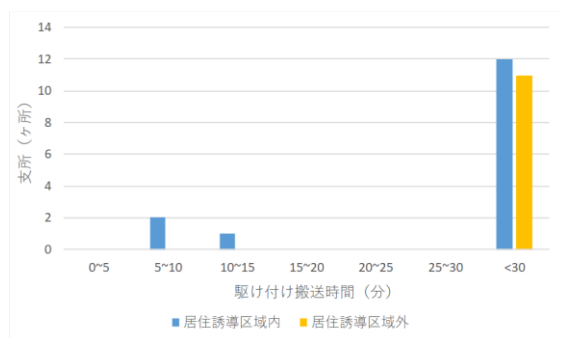


図 12 浸水被災後の居住誘導区域内外の駆け付け搬送比較

が可能であったのは長沼と若穂だが、土砂災害後では長沼と信州新町である。長沼の駆け付け搬送時間は遅くなっているものの、信州新町の駆け付け搬送時間は早くなっている。これは、土砂災害によってリンクが寸断され、他の道路からの交通量の流入が減少し、結果として駆け付け搬送時間が短縮された。

4-4 浸水災害後の居住誘導区域内外の駆け付け搬送比較

浸水被災後の居住誘導区域内外の駆け付け搬送時間の分布を図 12 に示す。

居住誘導区域 15ヶ所の駆け付け搬送時間の平均は 680038.6 分、標準偏差は 594210.8 である。これは、土砂災害同様、ネットワークが復旧しない限り到達不可能と考える。また、居住誘導区域外 11ヶ所の駆け付け搬送時間の平均は 54776.4 分、標準偏差は 180830.3 であった。これも上記と同様ネットワークが復旧しない限り到達不可能と考えられる。なお、居住誘導区域内の 50%救命可能率は 20.0%であり、居住誘導区域外は 0 であった。居住誘導区域の 3ヶ所が 30 分以内駆け付け搬送が可能理由は前述の通り、居住誘導区域に隣接して後方病院が立地していることが考えられる。

30 分以内駆け付け搬送が不可能である地域を確認した結果、330 分以内駆け付け搬送が不可能な地域の中でも、現実的な駆け付け搬送時間である支所と、500000 分を超えるような現実的でない数値が算出されている地域がある。これは、図 7 に示したように、浸水被災地域が広大であり、多くのリンクが寸断されるからであることが考えられる。

5. 結 論

(1) 被災前および各災害とも、程度の差はあったが総じて居住誘導区域が 50%救命可能率に対して居

住誘導区域が有利であった。これは、分析対象地域の交通ネットワークと居住誘導区域で述べたように、消防署・分署は各支所に近接して配置されているが、後方病院は居住誘導区域に立地していることが原因と考えられる。

(2) 土砂災害被災地域は居住誘導区域外に分布しているが、浸水被災地域は一部居住誘導区域にかかっていた。50%救命可能率に対して、通常時、地震被災、土砂災害に関しては明らかに居住誘導区域が 50%救命可能率の観点で有利であったが、浸水被害においても居住誘導区域の方が 50%救命可能率の観点で有利ではあるものの、他の災害と比較するとその差は小さい結果となった。これは、浸水被災地域が居住誘導区域にかかっていることが理由であることが考えられる。

(3) 立地適正化計画において適切な居住誘導区域を設定するうえでも災害発生箇所の把握は必要であるが、被災時の救命活動も考慮する必要がある。とくに考慮が必要な災害は浸水災害である。

(4) 災害によりリンクが寸断されても被災前と変わらない駆け付け搬送を行える支所や、リンクが寸断されることによって交通量および交通流入量が減少し被災前よりも駆け付け搬送時間が減少する支所が存在することがわかった。

(5) 区域内外で駆け付け搬送は区域内の方が 50%救命可能率の観点で有利であることが確認できた。

参 考 文 献

- 1) 三室，戸川，加藤，林，西野，高野：QOL 指標による地震災害に伴う道路交通網寸断の影響評価～モンテカルロシミュレーションを用いて～．土木計画学研究・講演集，2011.11
- 2) 原田，倉内，高木：道路ネットワークの接続脆弱性に基づくリダンダンシーの経済価値の計量化手法の検討．土木計画学研究・講演集，2012.5
- 3) 原田，倉内，高木：リダンダンシーを考慮したアクセシビリティに基づく道路ネットワークの接続脆弱性評価．土木学会論文集 D3 70 巻 1 号 p. 76-87,2014
- 4) 土倉，中山，高山：時間信頼性と連結信頼性に基づく道路ネットワーク評価法の開発．土木計画学研究・講演集，2012.11
- 5) 柳沢，鳥羽，轟，古本，高山：地震被災時の救命制約時間を考慮した救急拠点の救命勢力圏に関する一考察-長野都市圏を対象として-．長野工業高等専門学校紀要第 54 号 1-3 (2020.6)
- 6) 平成 14 年度長野県地震対策基礎研究報告書

自然災害が救急駆け付け搬送の救命可能率に及ぼす影響 - 長野市居住誘導区域の設定を対象とした検証 -