

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- *

柳沢吉保*¹・鳥羽水美*²・轟 直希*³・古本吉倫*⁴・高山純一*⁵

Consideration of Travel Time Reliability and District Responsible of Emergency Car with a Limit Time to Life-Saving - Nagano Urban Area -

YANAGISAWA Yoshiyasu, TOBA Minani, TODOROKI Naoki,
FURUMOTO Yoshinori and TAKAYAMA Jun-ichi

This paper discusses transportation network reliability in time of disaster and consideration of the district Responsible of emergency conveyance service framework. Analyzing the present condition of an emergency business, in this study we examine the optimal location of fire stations and first-aid station. We propose an accessibility indicator of the travel time to the urgent medical institution of an ambulance. In this paper, the above method is applied to Nagano urban area. In the experimental study, we verified location of fire stations and first-aid station affects a limit time to life-saving. We confirmed district responsible of emergency car based on accessibility indicator practicality and lifesaving rate.

キーワード：地震被災，救急駆けつけ搬送，救命アクセシビリティ，救命率，消防署分署勢力圏

1. まえがき

1-1 本研究の背景と目的

我が国では、平成 7 年兵庫県南部地震以降、全国で死者を伴う大規模地震がたびたび発生している。特に、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震では、従来の想定をはるかに超え、甚大かつ広域的な被害をもたらした。また、その翌日発生した長野県北部の地震では、県内においても死者 3 名のほか建物倒壊などの多くの被害が発生した。本研究の背景として、このような大規模地震に備えるための調査・被害想定が積極的に行われ、その対策について検討していることが挙げられる。長野県には活断層が多く分布しているが、特に糸魚川-静岡構造線、信濃川断層帯、伊那谷断層帯、阿寺断層帯は長野県に甚大な被害をもたらす可能性が高く、地震

発生時の対応策を至急検討しなければならない。

大規模地震による被害実例として、阪神淡路大震災が挙げられる。被災時の救援活動では倒壊した建物内の人々の救出等、人命救助にとって迅速な行動が不可欠であるが、阪神淡路大震災では地震直後の交通混乱により、迅速な救護活動が行われたとは言えなかった。交通混乱の主な要因は道路寸断による交通渋滞であったが、安否確認や見舞などといった救助以外の自動車の殺到や交通規制の難しさも渋滞に拍車をかけた。このような問題を踏まえ、緊急時において救助部隊を円滑に到着させることができる救急拠点（消防署・分署）や搬送拠点（後方病院）の配置が課題となっている。

長野市では地震発生時の救急体制として、市内に消防署・分署を 16 箇所、後方病院を 8 箇所配置しているが、必ずしも被災時など移動経路の交通条件が大きく変わる可能性や重傷者数を考慮して配置されているわけではない。そこで、救命にかかる時間と各被災時の重傷者数を考慮した、消防署・分署および後方病院のより望ましい組み合わせを検討する必要がある。そのために消防署の救命勢力圏を提案し、この指標を用いて緊急時の救急駆けつけ搬送における消防署・分署および後方病院の最適な組み合わせを明らかにすることを目的とする。

* 2020 年 3 月 6 日 土木学会中部支部研究会にて発表

*1 環境都市工学科教授

*2 松本市役所職員

*3 環境都市工学科准教授

*4 環境都市工学科教授

*5 金沢大学教授

原稿受付 2020 年 5 月 20 日

1-2 既往研究と本研究の枠組み

地震被災時の救急拠点配置に関する既往研究として高山ら¹⁾は、時間信頼性による救急搬送サービスの評価法と救急拠点管轄エリアの最適配置を検討している。緊急時の情報提供方法に関する既往研究として、陶山ら²⁾は緊急時の交通流動変化を考慮した交通情報の最適空間を検討している。一方、陶山らも指摘しているように被災時などの緊急時には日常的な交通状態から大きく変化することと、救急搬送にはよりシビアに最短経路への誘導が求められることを考慮すると、交通ネットワーク上の経路選択行動に対して、ドライバーの主体的意思決定行動を救急搬送問題に組み込む必要があると考えられる。

以上のような項目を考慮した研究として、尾曾ら³⁾はマルチエージェントシミュレーションによる時間信頼性によって最適経路の探索を検討している。ただし、陶山や尾曾らはシミュレーションによる分析であり、実際のエリアを対象に生起する地震の規模および交通ネットワークエリアの被災状況を対象に検討した知見は得られていない。生存率を上げるためには、救急車が現場にできるだけ早く到着し、救命救急士などの救命医療専門家による救命処置が施される必要がある。また、尾曾ら^{3,4)}の行った救命制約時間を考慮した地震被災地への未到達危険度評価では長野市をケーススタディとして取り上げ、駆けつけ搬送体制を消防署・分署から救護所、救護所から後方病院への経路で評価を行っている。

ここで、消防署からの駆けつけ先の経路拠点は重傷者（家屋倒壊などによって自力で歩くことのできない被災者）より連絡された各地点とされているため、定められた拠点は設置されていない。よって、駆けつけ先は不特定な地点とされているため、栗原ら⁵⁾の行った研究においては、駆けつけ先は市内22ヶ所全ての地区に配置される支所を拠点と仮定し、駆けつけ先拠点を救護所から支所に変更して長野市内の対象地域の細分化を図り、緊急車両の制約時間内の駆けつけ搬送行動の時間信頼性を評価し、時間信頼性の向上につなげるための方法を検討している。

これに加え久保田ら⁶⁾の研究では、さらに一か所の被災地に対して、時間信頼性および重傷者数や救急車両台数を考慮した救命アクセシビリティが最も高い消防署・分署、後方病院を明らかにした。これにより駆けつけ元や搬送先が重複する被災地を明らかにし、一定値以上の時間信頼性および救命アクセシビリティを確保するための救急車両の配備数、消防署・分署、後方病院の配置についての検討も行った。また、栗原ら⁵⁾の研究では一つの支所とその付近の

消防署・分署および後方病院の組み合わせで時間信頼性を算出していたのに対し、久保田らの研究においては一つの被災地に対して全ての消防署・分署および後方病院の組み合わせで検討を行った。これにより、より現実的な消防署・分署および後方病院の組み合わせの算出を図った。

さらに、羽田ら⁷⁾の研究では長野市域の災害危険地域における被災確率及び被害規模を考慮するとともに、緊急時の救急駆けつけ搬送時間信頼性を考慮した望ましい消防署の配置及び救急車両の配車方法について検討も行った。

戸澤ら⁸⁾の研究では信濃川断層帯による地震で被災するリンクが緊急時の救急駆けつけ搬送体制に与える影響を明らかにし、救命率を維持するために重要なリンクの抽出を行った。和久井ら⁹⁾の研究では、道路および重傷者が同時被災した状況を想定し、消防署・分署の駆けつけ搬送の救命制約時間を考慮した救命勢力圏を明らかにすることで、同時多発的被災したときのリスク分析を行っている。

三室ら¹⁰⁾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¹¹⁾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¹²⁾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。土倉ら¹³⁾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。

しかしながら、ある対象地域においてどの消防署・分署がどの地区に駆け付け、どの後方病院に搬送するのが望ましいかは検討されていない。本研究では、通常時・被災時において駆け付け搬送の所要時間とアクセシビリティ、救命率から求められる消防署の救命勢力圏を提案し、駆けつけ搬送のより望ましい消防署、地域、後方病院の組み合わせを検討する。

本研究では消防署・分署の勢力圏を用いて、救急駆けつけ搬送において最適な消防署、支所、後方病院の組み合わせを検討する。多くの支所に救命制約時間以内に駆けつけ搬送ができる消防署・分署は、アクセシビリティが高いという利点があるが、救急車の台数が限られているため、救急駆けつけ搬送が行き渡らず、救命率が低くなるといった欠点がある。一方、消防署のアクセシビリティが低いと救命



図1 シナリオ地震破壊断層の位置

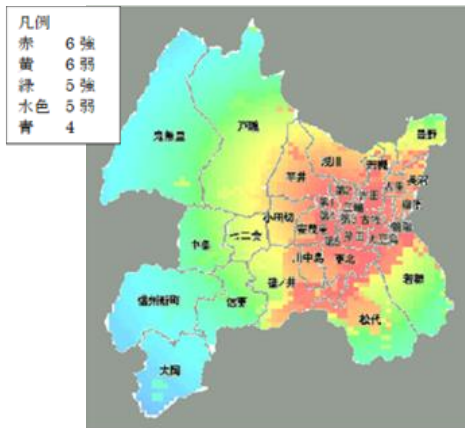


図2 シナリオ地震による震度分布

率は高くなるといったように、アクセシビリティと救命率にはトレードオフの関係があると考えられる。当該消防署にとって最適なアクセシビリティと救命率になるような勢力圏を提案することで、消防署、支所、後方病院の望ましい組み合わせを明らかにする。

2. シナリオ地震による信濃川断層帯の震度分布

現在の技術では正確な断層の破壊状態や位置を特定することは極めて困難である。よって、あらかじめ断層の破壊パターンを複数用意し、それぞれについて断層破壊を想定して生じる震度を求める。これをシナリオ地震と呼ぶ。本研究では信濃川断層帯を10kmに分割した内、南から30~40kmの区間において、その北側から破壊した場合を想定する。このシナリオ地震では、破壊断層の位置が長野市市街地を通過しており、被災する人口が多いため、被災が起こった際に危険の高い状況でシミュレーションを行える。シナリオ地震の破壊断層の位置を図1、シナリオ地震による震度分布を図2に示す。破壊断層の位置は、図1より、赤線5番の記載のある位置である。長野市の図2より、震度6強と予測される地区は長

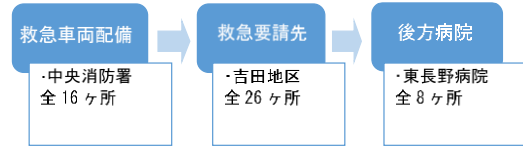


図3 長野市における救急駆けつけ搬送体制

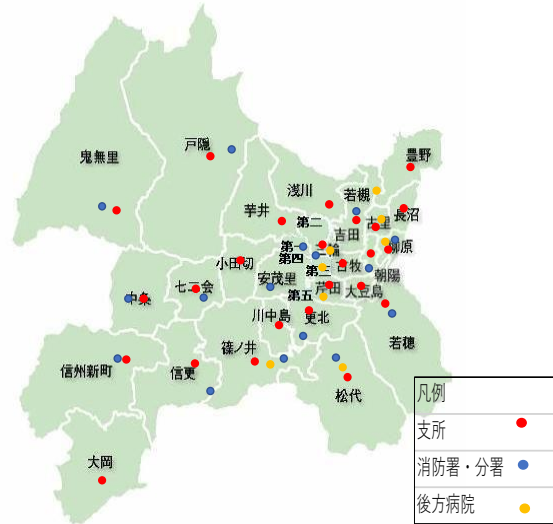


図4 救急駆けつけ搬送体制評価対象地域

表1 対象となる消防署・分署および後方病院

消防署・分署(救急車両台数)
中央消防署(2)、安曇里分署(1)、七二会分署(1)、飯綱分署(1)、鬼無里分署(1)、鶴賀消防署(2)、若槻分署(1)、柳原分署(1)、東部分署(1)、篠ノ井消防署(2)、更北分署(1)、塩崎分署(1)、松代分署(1)、若穂分署(1)、新町消防署(2)、小川出張所(1)
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

野市中心市街地(三輪地区、吉田地区、芹田地区等)を含む広範囲に渡る。この地震により、木造建築物全壊11089棟・半壊10400棟、非木造建築物全壊6996棟・中破1210棟の被害が予測されている。

本研究では、被災による道路被害状況を考慮した、駆けつけ搬送の消防署、地域、後方病院の最適な組み合わせを提案することを目的としている。よって、被災時に道路が通行不可となった場合の交通行動の変化を考慮するため、PT調査が行われた長野市交通ネットワークを分析の対象とし、地震により倒壊した建築物による人的被害、地滑り等の土砂災害による道路の被害を取り扱う。

3. 長野市救急駆けつけ搬送体制と被災時の重傷者数および被災リンク

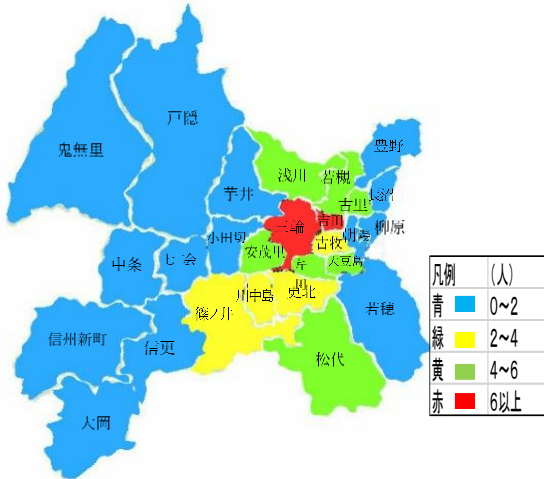


図5 長野市内各地区の重傷者数分布

表2 信濃川断層帯地震発生時の通行不可リンク

被災時通行不可リンク(計 50 リンク)
県道 399 号上駒沢簡易郵便局付近、県道 76 号芋井局付近、 県道 384 号信更町安庭付近、県道 70 号信更町吉原蟹沢付近、 県道 70 号信更町今泉付近、県道 31 号七二会小学校笹平分校、 国道 19 号両郡橋付近、県道 399 号三輪 7・8 信号付近、 田子川橋、長野大橋、瀬在橋、更埴橋、小市橋、赤坂橋、 屋島橋、落合橋、関崎橋、県道 37 号坂中峠付近、 村山橋、東条橋、他力橋、砂田橋、大道橋、丹波島橋、 県道 406 号鬼無里小学校付近、県道 406 号鬼無里、 県道 406 号大字山田中、県道 401 号大字小鍋、県道 406 号 大字安茂里、県道 406 号祖山郵便局周辺、県道 86 号七二会、 県道 86 号笹平トンネル付近、県道 452 号中条日下野、 県道 475 号信州新町中条、県道 391 号信州新町山穂刈、 県道 12 号信州新町牧野島、県道 12 号大岡中牧、県道 393 号 信州新町信級、県道 394 号信州新町左右、県道 395 号大岡甲、 県道 12 号大岡乙、県道 12 号大岡丙、県道 75 号信更町田野口、 県道 35 号松代町豊栄、県道 34 号若穂保科、岩野橋、 篠ノ井橋、県道 70 号篠ノ井二ツ柳、県道 86 号篠ノ井布施高田、 県道 86 号篠ノ井布施五明

3-1 長野市救急駆けつけ搬送体制

長野市内には消防署・分署が 16ヶ所、後方病院が 8ヶ所配置されている。現在の長野市における駆けつけ搬送体制は、以下の図 3 に示す通りである。被災時には救急車両による駆けつけ搬送を前提とし、搬送経路は、救急車両が消防署・分署を出発して重傷者のいる被災現場を経由した後、後方病院へ搬送することを想定する。この際、被災現場は不特定の拠点となるため、各地区に一つずつ設置されている支所を救急要請先と仮定する。また、本研究における対象地域は長野市全域である。対象地域である長野市の消防署・分署、支所、後方病院の位置関係を図 4 に示す。対象とする消防署、病院については表 1 に示す。

3-2 信濃川断層帯被災時の重傷者数の算定

平成 14 年長野県地震対策基礎調査¹⁴⁾に基づき、住宅の被害率と重傷者の発生率によって、長野市内各地区の重傷者数を算出した。重傷者をさらに重傷度(心臓停止・呼吸停止・大量出血)別に推計することはできない。そこで、本研究で推計された重傷者は地震による被災を考慮し、大量出血者とする。重傷者分布を図 5 に示す。長野市中心市街地に近い三輪地区のほか吉田地区といった世帯数が多い地区で重傷者数が多いことがわかる。

3-3 被災により通行不可となる道路区間

本研究では平成 14 年度長野県地震対策基礎調査報告書¹⁴⁾において、震度階別被害生起確率を考慮して作成された長野都市圏交通ネットワークの被害生起箇所を元に道路を「通行可」、「通行不可」の二つのパターンに分けて解析を行う。表 2 に被災時に通行不可となる道路および橋梁を示す。

4. 長野市交通ネットワークの救命制約時間および救命勢力圏システムの構築

4-1 救急車両による救命制約時間評価フロー

評価手順は以下のとおりである。

- ①信濃川断層帯地震が発生した際の長野市の重傷者および被災による通行不可リンクの被害想定を行う。
- ②分割配分法によるネットワークの利用リンクおよびゾーン間所要時間を求める。
- ③消防署・分署の救命アクセシビリティ、救命率、救命勢力圏の算定評価を行う。

なお、ゾーン間所要時間は、消防署・分署から被災地(本研究では支所の位置)、被災地から後方病院までの消防署・分署、支所、後方病院をセントロイドとする。本研究では、救急車両は一般車両と同じ速度で走行すると仮定する。駆けつけ搬送の、各消防署・分署、被災地(支所)、後方病院の各組合せの最短所要時間を用いて、駆けつけ搬送の各組合せのアクセシビリティと救命率を算出する。

消防署・分署の救命アクセシビリティと救命率のトレードオフ関係を考慮し、各消防署の救命勢力圏を算定する。

4-2 駆けつけ搬送所要時間の算出について¹⁾

リンク所要時間は、経路選択行動により生じたリンク交通量 x_l により、式(1)で示す BPR 関数を用いて算出することとする。

$$t_l = t_{l0} \left(1 + \alpha \left(\frac{x_l}{C_l} \right)^\beta \right) \quad (1)$$

ここに、 t_l :所要時間, t_{l0} :自由走行時間, x_l :交通量,

C_i :交通容量, α は0.48, β は2.82とする。添え字 i はリンク番号である。なお、関数パラメータである α 、 β は2003年土木学会標準パラメータを用い、長野市内の道路の交通量、交通容量については、H28年PT調査のデータを用いる。なお、救急車両と一般車両の走行速度は同じと仮定し、駆けつけ搬送所要時間に一般車両と救急車両の重みづけは行わないこととする。

4-3 救命制約時間を考慮した救急駆けつけ搬送アクセシビリティおよび救命率の算定

本研究では各消防署・分署のアクセシビリティ、救命率を算定する。アクセシビリティは、当該消防署の駆けつけ先の支所がどの程度近接しているか、近接している支所および後方病院がどの程度あるか評価する指標である。この値が高いほど、多くの支所(被災地)および後方病院の組み合わせに対して、駆けつけ搬送が短い、あるいは救命制約時間内に駆けつけ搬送ができることを示している。

一方、救命率は当該消防署の救急車台数を考慮し、当該消防署・分署のアクセシビリティが大きいほど、すなわち短時間で制約時間内に駆けつけ搬送できる被災地(支所)および後方病院の組み合わせが多いほど、重傷者の駆けつけ搬送要請が重なり、救命率が低下することを示した指標である。

この二つの指標では、当該消防署が駆けつけ搬送所要時間の重傷者の救命制約時間である30分以内で駆けつけ搬送できる支所および後方病院を対象としている。消防署のアクセシビリティ、救命率の計算式を以下に示す。また、駆けつけ搬送所要時間の救命制約時間を30分と設定した理由については、改めて次章で記述する。

$$A_i = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{t_i} \quad (2)$$

$$S_i = E_i \sum_{i=1}^n \frac{1}{P_i} \quad (3)$$

ここに、 A_i :当該消防署のアクセシビリティ。 i :当該消防署・分署が30分以内で駆けつけ搬送できる消防署・分署、支所(被災地)、後方病院の組み合わせ。 S_i :当該消防署の救命率、 P_i :救命制約条件内の駆けつけ搬送対象の支所で発生する重傷者数、 t_i :支所 i まで30分以内で駆けつけ搬送できる所要時間、 E_i :当該消防署・分署の救急車両台数とする。

4-4 消防署・分署の救命勢力圏の設定

本研究では、消防署のアクセシビリティと救命率を掛け合わせた指標に基づき救命勢力圏を決定する。

算定式を以下に示す。この救命勢力圏は、一般的に大きいほうが良いが、アクセシビリティと救命率はトレードオフの関係にあるため、救命制約時間以内を満たすことを前提に、この二つの値ができる限り大きくなるように、駆けつけ被災地(支所)を決定する。

$$C_i = A_i \times S_i \quad (4)$$

ここに、 C_i :消防署・分署の救命勢力圏、 A_i :消防署・分署のアクセシビリティ、 S_i :消防署・分署の救命率、また、 i :当該消防署・分署が30分以内で駆けつけ搬送できる消防署・分署、支所(被災地)、後方病院の組み合わせ。なお、消防署・分署のアクセシビリティ、救命率は前述した式(2)、(3)により算定される。

5. 駆付搬送の消防署・分署および後方病院の現状

5-1 救命制約時間の設定

緊急事態における時間経過と死亡率の関係を表すカーラーの救命曲線では、死亡率が50%まで上がる確率は、大量出血後30分とされている。本研究では、カーラーの救命曲線に基づき地震被災による重傷者の状態を大量出血とし、死亡率50%のケースを仮定するとして、救命制約時間を30分と設定する。

5-2 被災前後の各地区への駆付搬送消防署・分署および後方病院

本研究では、以下に示す二つのケースに基づいて地震被災前後における救命勢力圏評価を行う。

①通常時(被災リンク 0本)

②地震被災時(被災リンク 50本)

まず、各地区における、救急駆けつけ搬送が救命制約時間以内で行うことのできる消防署・分署について、その数と救急駆けつけ搬送所要時間を被災前後の場合について確認する。なお、どの消防署・分署からも駆けつけ搬送所要時間が救命制約時間を超えてしまう中山間地域の支所(被災地)9箇所を本研究における救命勢力圏評価の対象外とする。

以下に、30分以内に駆けつけ搬送でき、被災時に重傷者の多い代表的な2つの支所の、被災前後の駆付搬送時間を示す。

(1)吉田地区

本研究では吉田、三輪、第1~5地区の重傷者発生場所を吉田支所とする。重傷者数は15,9097人である。通常時に救急要請できる消防署・分署は1ヶ所存在する。一方、被災時には4ヶ所となる。搬送先

表3 通常時における駆け付け搬送

消防署・分署	所要時間(分)
若槻	28.74

表4 被災時における駆け付け搬送

消防署・分署	所要時間(分)
中央	27.12
鶴賀	25.56
柳原	29.76
東部	29.46

病院は、通常時、被災時ともに朝日ながの病院である。

(2) 古牧支所

古牧支所では、重傷者数は4,2402人である。通常時救急要請できる消防署・分署は10ヶ所存在する。一方、被災時には5ヶ所に減少する。搬送先病院は、通常時、被災時ともに長野中央病院である。

表5 通常時における駆け付け搬送

消防署・分署	所要時間(分)
中央	10.68
安茂里	21.66
鶴賀	7.08
若槻	19.38
柳原	17.52
東部	8.7
篠ノ井	29.16
東北	19.26
松代	26.16
若穂	21.72

表6 被災時における駆け付け搬送

消防署・分署	所要時間(分)
中央	10.62
鶴賀	7.02
若槻	25.92
柳原	15.24
東部	7.98

支所ごとに救急駆け付け搬送が救命制約時間以内で行うことのできる消防署・分署を確認すると、駆け付け搬送要請が重複している消防署・分署が多くあることが分かる。消防署・分署の救急車の台数には限りがあり、多数の地区へ駆け付け搬送を行うのは救命率が低下するため望ましくない。また、多くの地区において、救急駆け付け搬送を救命制約時間以内に行える消防署・分署が通常時に比べ、被災時では少なくなっていることが確認できる。

次に、消防署・分署ごとのアクセシビリティ、救急車台数と駆け付け搬送要請の重複を考慮した救命率および消防署・分署の救命勢力圏を、3章で示した式(2)、(3)および(4)を用いて算出する。この算出結果を表7に示す。

表7 消防署・分署のACと救命率および救命勢力圏指標値

消防署	通常時			被災時		
	AC	救命率	救命勢力圏	AC	救命率	救命勢力圏
中央消防署	2.31	0.05	0.12	1.85	0.06	0.11
安茂里分署	1.59	0.04	0.06	0.11	0.31	0.03
七二会分署	0.66	0.06	0.04	-	-	-
飯綱分署	-	-	-	-	-	-
鬼無里分署	-	-	-	-	-	-
鶴賀消防署	2.53	0.05	0.13	2.28	0.06	0.13
若槻分署	1.73	0.03	0.04	0.56	0.08	0.04
柳原分署	1.09	0.04	0.05	1.56	0.03	0.04
東部分署	2.21	0.02	0.05	2.03	0.03	0.06
篠ノ井消防署	2.55	0.04	0.09	2.00	0.12	0.24
東北分署	2.21	0.03	0.08	1.16	0.06	0.07
塩崎分署	1.23	0.05	0.06	0.55	0.08	0.05
松代分署	1.83	0.04	0.07	1.24	0.06	0.07
若穂分署	1.52	0.03	0.04	0.22	0.25	0.06
新町消防署	-	-	-	-	-	-
小川出張所	-	-	-	-	-	-

表7を見ると、被災時には消防署・分署のアクセシビリティが低下し、救命率が向上している地区が多いことが分かる。これは、被災による道路寸断により、駆け付け搬送所要時間が長くなるため、救命制約時間以内に駆け付け搬送が完了する地区が少なくなり、消防署・分署のアクセシビリティが低下していると考えられる。

なお、飯綱分署、鬼無里分署、新町消防署、小川出張所は通常時であっても救命制約時間以内に駆け付け搬送ができる地区がない。七二会分署は、被災時には救命制約時間以内に駆け付け搬送を行える地区がなくなってしまう。

6. 救急駆け付け搬送の勢力圏と救命率とのトレードオフ関係を考慮した最適勢力圏

6-1 各支所の救命率の設定

消防署・分署の最適な救命勢力圏の検討にあたって、各支所の救命率が想定される救命率の最低値を下回らないようにする必要がある。消防署の救命率並びに救命勢力圏を向上させるために、救急要請先の支所の救命率が下がらないようにするためである。以下に支所ごとの救命率の算定式を示す。

$$S_i^b = \frac{1}{P_i} \sum_{j=1}^M E_j \quad (5)$$

ここに、 S_i^b :支所ごとの救命率、 P_i :支所で発生する重傷者数、 E_j :救命制約時間内に駆け付け搬送できる消防署・分署の救急車台数とする。

なお、各支所において、想定される救命率の最低値とは、救急駆け付け搬送所要時間が最長である消防署・分署からのみ駆け付け搬送が行われる場合を想定する。

続いて、消防署・分署の最適な救命勢力圏算出フローを以下に示す。

- ① 救命勢力圏指標は、4章に記載した式(3)、(4)、

表 8 救急駆け付け搬送における支所と後方病院の組み合わせ

支所	通常時	被災時
安茂里	赤十字病院	赤十字病院
芹田	赤十字病院	赤十字病院
吉田	朝日ながの病院	朝日ながの病院
浅川	朝日ながの病院	朝日ながの病院
若槻	東長野病院	東長野病院
古里	リハビリテーションセンター	リハビリテーションセンター
長沼	長野市民病院	リハビリテーションセンター
朝陽	朝日ながの病院	朝日ながの病院
柳原	リハビリテーションセンター	朝日ながの病院
豊野	東長野病院	東長野病院
古牧	長野市民病院	長野中央病院
大豆島	長野市民病院	長野中央病院
篠ノ井	篠井総合病院	篠井総合病院
松代	松代総合病院	松代総合病院
更北	赤十字病院	篠井総合病院
川中島	篠井総合病院	篠井総合病院
若穂	松代総合病院	松代総合病院

表 9 通常時駆付け搬送 表 10 被災時駆付け搬送

支所	所要時間(分)
安茂里	9.24

支所	所要時間(分)
古牧	10.62

- ① (5)を用い、前章で算出した結果を用いる。
- ② 消防署・分署の救命勢力圏指標が向上するように、当該支所に対して駆け付け搬送所要時間が長い消防署・分署を、駆け付け要請から外す。
- ③ 支所の救命率が設定値を下回らないか確認する。
- ④ ②と③を繰り返し、それぞれの消防署・分署の救命勢力圏指標が最大値となったところで計算をストップする。

5-2 各地区の最適な消防署・分署および後方病院の組み合わせ

被災前後において、消防署・分署の勢力圏指標値が最大になり、なおかつ、その際の支所ごとの救命率が最低値を下回らない消防署・分署、支所、後方病院の組み合わせが、最適な駆け付け搬送の組み合わせである。この時の消防署・分署の担当範囲が当該消防署・分署の勢力圏である。

各支所と後方病院の最適な組み合わせについて記載する。支所から後方病院への搬送では、搬送先の後方病院の重複率の考慮は行わないため、搬送にかかる所要時間が最短の組み合わせとなる。表 8 に結果を示す。消防署・分署の救命勢力圏および支所ごとの救命率を考慮した、最適であると考えられる消防署・分署と支所の組み合わせを示す。代表例として地区を示す。

(1) 中央消防署

駆け付け搬送対象の支所は、通常時、被災時ともに 1ヶ所のみという結果になった。

(2) 柳原分署

表 11 通常時駆付け搬送 表 12 被災時駆付け搬送

支所	所要時間(分)
古里	12.78
長沼	21.84
柳原	12.66

支所	所要時間(分)
浅川	26.82
古里	16.2
長沼	30
朝陽	14.58
柳原	14.58
古牧	15.24

表 13 被災前後における、各消防署の最適救命勢力圏指標

消防署	通常時			被災時		
	AC	救命率	救命勢力圏	AC	救命率	救命勢力圏
中央消防署	0.35	0.61	0.22	0.40	0.47	0.19
安茂里分署	1.48	0.04	0.06	0.11	0.31	0.03
七二会分署	0.20	0.23	0.04	-	-	-
飯綱分署	-	-	-	-	-	-
鬼無里分署	-	-	-	-	-	-
鶴賀消防署	0.60	0.47	0.28	0.60	0.47	0.28
若槻分署	1.36	0.03	0.05	0.32	0.16	0.05
柳原分署	0.26	0.29	0.08	0.68	0.09	0.06
東部分署	0.69	0.14	0.09	1.79	0.03	0.06
篠ノ井消防署	1.32	0.39	0.52	1.36	0.39	0.54
更北分署	0.37	0.29	0.10	1.16	0.06	0.07
塩崎分署	0.59	0.20	0.12	0.30	0.20	0.06
松代分署	0.56	0.42	0.23	0.73	0.14	0.10
若穂分署	0.14	0.42	0.06	0.22	0.25	0.06
新町消防署	-	-	-	-	-	-
小川出張所	-	-	-	-	-	-

表 14 消防署・分署の AC と救命率および救命勢力圏指標値

消防署	通常時			被災時		
	AC	救命率	救命勢力圏	AC	救命率	救命勢力圏
中央消防署	2.31	0.05	0.12	1.85	0.06	0.11
安茂里分署	1.59	0.04	0.06	0.11	0.31	0.03
七二会分署	0.66	0.06	0.04	-	-	-
飯綱分署	-	-	-	-	-	-
鬼無里分署	-	-	-	-	-	-
鶴賀消防署	2.53	0.05	0.13	2.28	0.06	0.13
若槻分署	1.73	0.03	0.04	0.56	0.08	0.04
柳原分署	1.09	0.04	0.05	1.56	0.03	0.04
東部分署	2.21	0.02	0.05	2.03	0.03	0.06
篠ノ井消防署	2.55	0.04	0.09	2.00	0.12	0.24
更北分署	2.21	0.03	0.08	1.16	0.06	0.07
塩崎分署	1.23	0.05	0.06	0.55	0.08	0.05
松代分署	1.83	0.04	0.07	1.24	0.06	0.07
若穂分署	1.52	0.03	0.04	0.22	0.25	0.06
新町消防署	-	-	-	-	-	-
小川出張所	-	-	-	-	-	-

柳原分署では、通常時に駆け付け搬送対象の支所は 3ヶ所存在する。一方、被災時には 6ヶ所となる。

消防署・分署の救命率とアクセシビリティ、ならびに救命勢力圏を、通常時、被災時に分けて示す。算定結果を、表 13 に示す。

消防署・分署のアクセシビリティと救命率を最適にしたことによる、救命勢力圏指標値の向上を確認するため、前章で示した現状の消防署・分署のアクセシビリティと救命率および救命勢力圏指標値を表 14 に示す。

表 13 と表 14 を見比べると、消防署・分署の最適な勢力圏および救命率を検討したことにより、ほぼすべての消防署・分署において救命勢力圏指標値が向上していることが確認できる。しかし、被災時の救急駆け付け搬送では、各消防署からの駆け付け搬送所要時間が救命制約時間以内に間に合う支所が少なくなることもあり、通常時に比べて救命勢力圏指標値の向上が少なかった。

6. おわりに

本研究では、信濃川断層帯で地震が発生した際の長野市の被害状況や道路寸断の状況を整理し、STRADA を用いた救急駆け付け搬送所要時間の算出結果から、長野市の消防署・分署における救命勢力圏指標の評価、ならびに救急駆け付け搬送の最適な消防署・分署、支所、後方病院の組み合わせの検討を行った。以下に、各章で得られた知見、考察をまとめて示す。

- (1)信濃川断層帯は、複数の市町村を跨ぐように位置する大規模な断層帯である。本研究では、信濃川断層帯の南から 30～40 km の区間が破壊された地震を想定して、長野市の救急駆け付け搬送の評価を行った。地震の被害規模は、信濃川断層帯全体が破壊された場合より小さいが、長野市全域に被害が及ぶ。
- (2)平成 14 年度長野県地震対策基礎研究報告書により、長野市内で地震被災により交通不可となる恐れのあるリンクは 50 本あることが分かった。
- (3)長野市内の後方病院は長野市東側に多く集中していて、立地に偏りがある。
- (4)世帯数の多い三輪・吉田・第 1～5 地区や篠ノ井地区では、重傷者数が多い傾向にあることが分かった。
- (5)長野市内の救急駆け付け搬送では、通常時であっても、戸隠や鬼無里といった中山間地域は救急搬送の制約時間に間に合わないことが分かった。
- (6)各消防署・分署のアクセシビリティと救命率および救命勢力圏指標値について、駆け付け搬送所要時間が救命制約時間内に間に合うすべての支所を対象とすると、アクセシビリティが大きすぎ、救命率が低下することにより、最適な消防署・分署の勢力圏指標値が得られていないことが確認できた。
- (7)各支所の救命率ならびに、各消防署・分署のアクセシビリティと救命率のトレードオフ関係を考慮した、救急駆け付け搬送の最適な消防署・分署、支所、後方病院の組み合わせでは、救命制約時間以内に駆け付け搬送が行える組み合わせの数よりも大幅に少なくなることが確認できた。これにより、各消防署・分署のアクセシビリティおよび救命率が最適な値となり、救命勢力圏指標の向上が見られた。

参考文献

- 1)高山、黒田：救急車の走行時間信頼性からみた救急拠点の最適配置に関する研究、日本都市計画学会学術論文集、pp.595-600、2000.10.
- 2)陶山、秋山、奥嶋：都市道路網における緊急時交通情報提供の効率的運用に関する検討、第23回交通工学研究発表会、論文報告集、pp.201-204、2003.10
- 3)尾曾、柳沢、高山他：マルチエージェントを適用した被災時救急搬送サービスの評価について、平成20年度土木学会中部支部研究発表会概要集、pp.403-404、2009.3
- 4)増井、尾曾、柳沢、古本他：信濃川断層を考慮した被災時救急搬送サービスの信頼性評価に関する研究、平成21年度土木学会中部支部研究発表会概要集、pp.393-394、2010.3
- 5)栗原、柳沢、高山他：救急駆け付け搬送の救命制約時間信頼性を考慮した消防署・分署の最適配置に関する研究H24 卒業論文
- 6)久保田、柳沢、高山他：地震被災時の救急駆け付け搬送システムの救命制約時間信頼性 H25 卒業論文
- 7)羽田 裕貴、柳沢 吉保、古本 吉倫、轟 直希、和田 彩花、高山 純一：救命制約時間を考慮した地震被災時の救急駆け付け搬送体制、平成 27 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集 (2016.3)
- 8)戸澤謙介、柳沢吉保、古本吉倫、轟直希、和田彩花、高山純一：地震被災時の救急駆け付け搬送救命制約時間信頼性を考慮した交通ネットワーク評価システムの構築、平成29年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集(2018.3)
- 9)和久井、柳沢他：地震被災時の救急駆け付け搬送の時間信頼性に基づくリスク分析H30 卒業論文
- 10)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・講演集、2011.11
- 11)原田、倉内、高木：道路ネットワークの接続信頼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・講演集、2012.5
- 12)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信頼性評価、土木学会論文集 D3 70 巻 1 号 p.76-87,2014
- 13)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・講演集、2012.11
- 14)平成 14 年度長野県地震対策基礎研究報告書