

地震被災時の救急駆けつけ搬送体制の評価に関する研究 -松本都市圏を対象として-

柳沢吉保*¹・轟 直希*²・林 響大*³・古本吉倫*⁴・高山純一*⁵

Evaluation of Emergency Transport System at the time of the earthquake - Matsumoto Urban Area -

YANAGISAWA Yoshiyasu, TODOROKI Naoki, HAYASHI Kyo-ta,
FURUMOTO Yoshinori and TAKAYAMA Jun-ichi

In this paper, evaluation of emergency care service framework is developed to study network reliability using I.A method. 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 Matsumoto 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 accessibility indicator practicality. 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，消防署分署勢力圏，松本市

1. まえがき

1-1 本研究の背景と目的

東日本大震災の発生以後，内陸部に多く存在する活断層を原因とする地震に対して，被害想定が積極的に行われ，その対策が検討されている．長野県にも活断層が多く分布しているが，主要断層である糸魚川-静岡構造線，信濃川断層帯，伊那谷断層帯，阿寺断層帯は県内に大きな被害をもたらす可能性があるため，地震発生時の対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事例として，阪神・淡路大震災では，交通渋滞により救急活動に大きな影響を与えた．特に被災地外からの応援（消防，警察，自衛隊）が，道路渋滞に巻き込まれ，到着に時間がかかっ

たことは救助活動が大幅に遅れる一因となった．

道路渋滞の最大の原因は，落橋などによる幹線道路と鉄道の寸断であった．救助部隊を円滑に到着させる交通規制や，救助部隊を現場や搬送先まで交通渋滞に巻き込まれないような誘導も重要な課題であるが，救命制約時間を考慮し，被災地に対して救命可能時間内に駆けつけ搬送が可能な消防署・分署と後方病院の組み合わせを考慮することも重要な課題である．

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羽田ら¹⁾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ている．戸澤ら²⁾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ている．三室ら³⁾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)

* 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 環境都市工学科准教授

*3 ヒロセホールディングス株式会社

*4 環境都市工学科教授

*5 金沢大学教授

原稿受付 2021年5月20日

を評価するシステムの構築を行っている。また、原田ら⁴⁾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⁵⁾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⁶⁾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。柳沢・鳥羽ら⁷⁾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、駆け付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している。

ある被災地に対して、消防署・分署と後方病院の組み合わせが、救命制約上望ましいかを検討された研究は少なく、道路ネットワークの異なる対象地域で課題を検討した研究は少ないのが現状である。

本研究では、松本市を対象に通常時・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、駆け付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。

2. 分析対象地域および調査データ

分析対象地域は、長野県において中核都市の条件を擁している松本市とする。また、被災時には市内のあらゆるところで重傷者が発生することが想定されるために小ゾーン単位で分析を行う。被災地は小ゾーン内の支所を対象とし、人口密度の高い中心市街地は公民館単位を被災地と考えた。

分析のための調査データは、松本都市圏パーソントリップ調査と重点検討区域における災害危険度判定調査を用いた。救命制約を考慮するため消防署・分署→被災地(代表として各支所, 公民館)→後方病院の最短経路および所要時間を算出するため、松本都市圏パーソントリップ調査からは、OD表と道路ネットワークデータそして所要時間等のパラメータのファイルを使用した。最短経路探索には経路配分ソフトのSTRADAを用いた。また被災リンクの特定および重傷者数の算定には松本市災害危険度判定調査の地震被災状況災害危険度判定調査の道路閉塞率図と建物倒壊危険度ランク図を参考にした。

3. 松本市の被災リンクと駆け付け搬送体制

3-1 松本都市圏の地震被災による通行止め状況

松本市の被災による閉塞する道路は、危険度別道

路閉塞確率を基に被災時に通行不可となる道路のリ

表1 被災リンクとそのリンク番号

| エリア | 被災リンク |
|----------------|----------------------------|
| 本北駅松 松く本 | 女鳥羽橋-国道143号線の道間 |
| | 市上-白板一丁目間 |
| 旧開智学校と お城周辺 | 中央図書館北側道路から国道143号線 |
| | 中央図書館北側道路 |
| | 松本城南側道路 |
| | 松本城南側道路 |
| | 松本市役所東側道路 |
| | 松本市役所東側道路北上 松本市役所東側道路北上 |

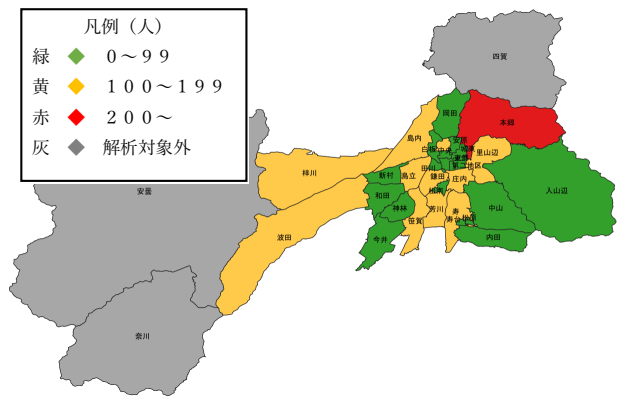


図1 各地区の重傷者数

ンクを特定する。本研究では、閉塞率が40%以上の道路は寸断するとし、被災後に寸断し通行不可となるリンク数は51本を抽出した。これらは当該市内のいたる所に点在している。

特定した被災リンクの一部(市役所周辺)を一覧を表1に示す。また、表のリンク番号は、ネットワーク表中のリンク番号を指す。

3-2 松本都市圏の重傷者数の予測

内閣府(防災担当)作成資料を用いて、負傷者数を算出する。算定式は以下の示すとおりである。

$$\text{重傷者率} = 0.0309 \times \text{建物全壊率(倒壊率)} \quad (1)$$

$$\text{重傷者数} = \text{ゾーン人口} \times \text{重傷者率} \quad (2)$$

上記の算定式を用いて試算した結果を図1に示す。灰色の解析対象外地域は、STRADAのネットワーク図上にゾーンが存在しないため、代表地(支所)が検討できなかった地区が該当する。なお、算定式に用いた建物全壊率(倒壊率)については、「松本市災害危険度判定調査業務報告」令和2年3月を参考にした。また、対象地域全域で発生すると思われる総重傷者数は2674人となった。

3-3 松本都市圏の駆け付け搬送体制

松本市には消防署・分署が9つ存在しているが、

表2 解析対象消防署・分署と後方病院一覧

| | 名称 | ゾーン番号 |
|--------------------|----------------|-------|
| (救急車両台数) 消防署・分署 | 丸の内消防署 (1) | 5 |
| | 庄内出張所 (1) | 9 |
| | 渚消防署 (2) | 51 |
| | 芳川消防署 (1) | 68 |
| | 本郷消防署 (1) | 94 |
| | 梓川消防署 (1) | 110 |
| 後方病院 | 信大附属病院 | 27 |
| | 相沢病院 | 10 |
| | 県立こども病院 | 156 |
| | まつもと医療センター松本病院 | 76 |
| | 松本協立病院 | 19 |
| | 丸の内病院 | 22 |
| | 松本市立波田総合病院 | 202 |

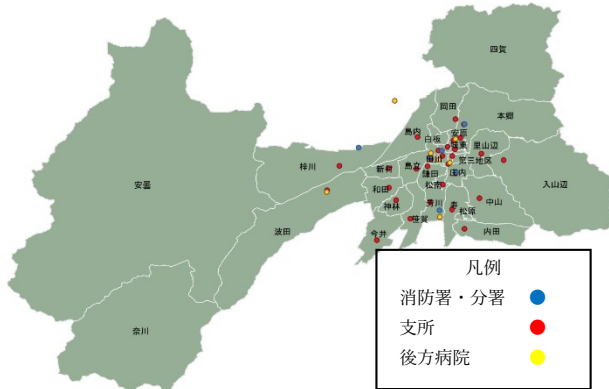


図2 消防署，支所，後方病院の位置関係

それらの内高規格救急自動車を保有していて、かつ前節の条件を満たす地域内に存在する消防署・分署を解析対象とした。本研究では当該都市圏の消防署・分署は6つとする。また、本研究で対象としている後方病院は、災害対応病院の種別の内赤タグおよび黄タグに対応している病院をピックアップした。本研究では後方病院は7つとした。本研究で対象となる消防署・分署と後方病院の一覧を表2に示す。また、ネットワーク図上で対応するゾーン番号も示す。当該都市圏における位置は支所との位置関係も含めて図2に示す。なお、消防署・分署についてはゾーン番号の昇順に、後方病院についてはタグの色別に示している。

3-4 救急駆け付け搬送と救命制約時間の制定

救急駆け付け搬送体制とは、救急車両が配備されている各消防署・分署から救急車が出発して、救急要請先(被災場所として本研究では支所および公民

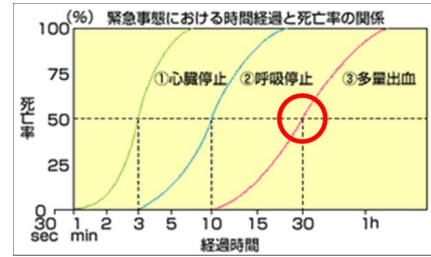


図3 カーラーの救命曲線

館)に駆けつけて重傷者を各救命拠点(後方病院)へ搬送する一連の行動を指す。本研究の対象は重傷者であり、地震によって倒壊した家屋の下敷きになるなどした大量出血状態の被災者を想定している。ここで重傷者の救命制約時間は図3に示す”カーラーの救命曲線”より、死亡率が50%まで上が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30分と設定した。計算の都合上、救急要請先は、郊外では各地区の支所、市街地についてはさらに細かい小ゾーン単位として各ゾーンの公民館を被災場所として想定した。

4. 駆け付け搬送評価フローと評価指標

4-1 救急車両による救命評価フロー

評価手順は以下のとおりである。

- ①地震発生時の松本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(3章)。
- ②STRADAを用い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を算出し救命評価を行う。

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。駆け付け搬送の、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、駆け付け搬送の各組合せのアクセシビリティを算出する。

4-2 駆け付け搬送所要時間の算出について

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_l :交通容量、 α は0.48、 β は2.82とする。添え字 l 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、松本市内の道路の交通量、交通容量については、H23 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の算定

本研究では各消防署・分署の駆けつけ搬送アクセシビリティ、各被災地の駆けつけ搬送アクセシビリティを算定する。消防署・分署の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り、当該消防署・分署の救命度合いを示す指標である。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、被災地の駆けつけ搬送アクセシビリティは当該被災地の重傷者を救える消防署・分署および後方病院がどの程度あるか評価する指標である。被災地側からみた指標で、当該被災地の救命度合いを表す指標である。この値が高いほど、当該被災地(支所および公民館)に消防署・分署および後方病院が近接していて、駆けつけ搬送が短く、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。

この二つの指標では、前述のとおり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・分署の駆けつけ搬送アクセシビリティ(以下 AC)を式(3)に、被災地の駆けつけ搬送 AC は式(4)に示すとおり、重傷者一人当たりの AC 式である。すなわち重傷者数が少ないほど、一人当たりの救命度合いは高くなる。

$$A_i^a = V_i \times \sum_{j=1}^J \left\{ \frac{1}{S_j} \sum_{k=1}^K \frac{1}{t_{ik}(j)} \right\} \quad (3)$$

ここに、 A_i^a : 消防署・分署 i (起点セントロイドを表す) の AC, S_j : 被災地 j の重傷者数, $t_{ik}(j)$: 消防署分署の起点 i から被災地 j を通って後方病院の終点 k (終点セントロイドを表す) 間所要時間 (30 分以内), V_i : 当該消防署分署の救急車両保有台数, j : 被災地(支所および公民館のセントロイド)

$$A_j^b = \frac{1}{S_j} \times \sum_{i=1}^I \left\{ V_i \sum_{k=1}^K \frac{1}{t_{ik}(j)} \right\} \quad (4)$$

ここで、 A_j^b : 被災地(支所) j のアクセシビリティ、

S_j : 被災地(支所) j の重傷者数, V_i : 当該消防署分署の救急車両保有台数, $t_{ik}(j)$: 消防署分署の起点 i から被災地 j を通って後方病院の終点 k (終点セントロイドを表す) 間所要時間 (30 分以内)

5. 松本都市圏の道路ネットワークの渋滞状況の分析

5-1 被災前後の道路ネットワークの渋滞状況

まずは通常時あるいは地震発生時において被災リンクが無い場合の経路選択についての解析結果を出力する。つぎに被災時(被災リンク 51 本)の同事項を出力して被災前後の経路選択を比較する。通常時・被災時の消防署・分署と支所および後方病院の個別経路選択状況を以下に図示する。なお、次節では全ての組み合わせを掲載することは不可能なため、特に特徴的な駆けつけ搬送の結果として丸の内消防署から安原地区への駆けつけ経路とを示す。

5-2 丸の内消防署から安原地区への駆けつけ

図 4 の黄色丸がゾーン、青色丸が消防署、赤色丸が支所の位置を示している。黄色丸内の数字はゾーン番号を示している。黒線がリンクを、赤線が選択経路を示す。また、支所は当該ゾーンの代表的な被災場所と仮定している。

図 4 から、丸の内消防署から安原地区への駆けつけ経路は被災リンクがある場合では、利用経路が大きく変化していることがわかる。当該地区では被災リンクはないが、他のリンクが被災することで丸の内消防署から安原地区への最短距離の経路に他の OD 交通量が流れ込み、渋滞を引き起こしていることが想定される。丸の内消防署から安原地区への迂回経路が最も利用されていることがわかる。

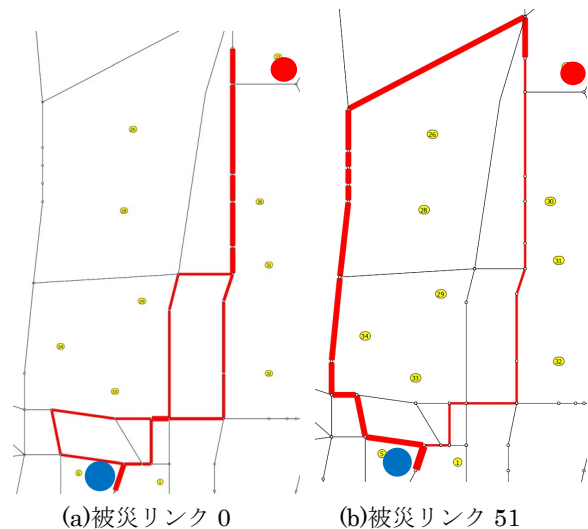


図 4 丸の内消防署から安原地区への駆けつけ経路

表3 通常時における駆け付け搬送 (分)

| | 丸の内消防署 | 庄内出張所 | 渚消防署 | 本郷消防署 | 梓川消防署 |
|----|--------|-------|-------|-------|-------|
| 信大 | 8.88 | 17.46 | 13.44 | 3.96 | 27.66 |
| 相沢 | 18.18 | 26.76 | 22.74 | 13.26 | |
| 協立 | 22.62 | | 27.18 | 17.7 | |
| 丸内 | 19.26 | 27.84 | 23.82 | 14.34 | |

表4 被災時における駆け付け搬送 (分)

| | 丸の内消防署 | 渚消防署 | 本郷消防署 |
|-------|--------|------|-------|
| 信大付属 | 20.4 | 27.9 | 4.5 |
| 丸の内病院 | | | 26.76 |

5-3 丸の内消防署から安原地区への駆けつけ搬送時間

被災リンク0の場合を表3に、被災リンク51の場合を表4に示す。表の縦軸が病院、横軸が30分以内に駆け付け搬送が可能な消防署・分署を示している。

通常時に救急要請できる消防署・分署は5か所存在するが、被災時には3か所に減少する。搬送先病院は、通常時には信大附属病院、相沢病院、松本協立病院、丸の内病院の4か所存在するが、被災時には信大附属病院と丸の内病院の2か所となる。しかし、本郷消防署を起点にすれば、被災前後拘わらず非常に短時間での駆け付け搬送が可能である。

6. 消防署・分署および被災地の救命ACの算定

被災リンク0本の場合と被災リンク51本の場合の救命AC評価を行う。以下、消防署・分署駆け付け搬送ACを表5に、被災地駆け付け搬送ACを表6に示す。なお、表の一番右側の欄のDは被災リンク0本に対して被災リンク51本の場合のAC値の減少率を表す。減少率は、被災前後でどの程度値に差があるかを示すために設けた。減少率が大きいほど、被災後のAC値が被災前より大幅に下がっていることを意味する。すなわち、減少率が大きいと当該消防署・分署の駆けつけ搬送に要する所要時間が大きくなり利用経路の所要時間が長くなったと考えられる。

6-1 消防署駆け付け搬送ACの算定結果

表5から、被災リンクがない通常時では、渚および丸の内消防署の立地位置が、救命制約30分で駆け付け搬送できる被災地および後方病院を多く有していると考えられる。

一方、減少率を見ると被災リンクが生じた場合、いずれの消防署・分署の駆けつけ搬送に影響を与えることがわかる。とくに庄内および梓川消防署のAC

表5 消防署・分署のAC値 (D:減少率%)

| 消防署・分署 | 被災リンク0本 | 被災リンク51本 | D |
|--------|-----------|-----------|----|
| 丸の内 | 0.0729368 | 0.0357145 | 51 |
| 庄内 | 0.0509403 | 0.0136292 | 73 |
| 渚 | 0.1125936 | 0.049130 | 56 |
| 芳川 | 0.0202547 | 0.0138327 | 32 |
| 本郷 | 0.0428505 | 0.0183407 | 57 |
| 梓川 | 0.0171321 | 0.0049329 | 71 |

表6 被災地のAC値 (D:減少率%)

| 地区 | 0本 | 51本 | D | 地区 | 0本 | 51本 | D |
|----|---------|----------|-----|----|---------|----------|-----|
| 第三 | 0.01192 | 0.000549 | 95 | 今井 | 0 | 0 | - |
| 中央 | 0.03064 | 0.020645 | 33 | 庄内 | 0.00467 | 0.001254 | 73 |
| 第二 | 0.01330 | 0.007261 | 45 | 寿 | 0.00319 | 0.002915 | 9 |
| 田川 | 0.02419 | 0.011769 | 51 | 内田 | 0.01634 | 0.013495 | 17 |
| 安原 | 0.01574 | 0.005229 | 67 | 松南 | 0.00537 | 0.002460 | 54 |
| 東部 | 0.02346 | 0.008859 | 62 | 島内 | 0.00360 | 0.000753 | 79 |
| 城北 | 0.01231 | 0.004446 | 64 | 本郷 | 0.00371 | 0.001626 | 56 |
| 白板 | 0.01705 | 0.002857 | 83 | 岡田 | 0.00516 | 0.001773 | 66 |
| 鎌田 | 0.00222 | 0.001465 | 34 | 城東 | 0.01476 | 0.004764 | 68 |
| 新村 | 0.00402 | 0 | 100 | 中山 | 0.00888 | 0.002402 | 73 |
| 和田 | 0 | 0 | - | 里山 | 0.00040 | 0 | 100 |
| 島立 | 0 | 0 | - | 入山 | 0 | 0 | - |
| 神林 | 0.00156 | 0 | 100 | 梓川 | 0.00293 | 0.002073 | 29 |
| 笹賀 | 0.00205 | 0 | 100 | 波田 | 0.0010 | 0.00090 | 10 |
| 芳川 | 0.00090 | 0.000468 | 48 | | | | |

値減少率が大きく、被災後の影響を大きく受けることがわかる。

6-2 被災地の駆け付け搬送ACの算定結果

表6から、被災後のACの減少率を見ると多くの被災地で、救命制約30分で駆け付け搬送できる消防署・分署および後方病院が減少し、救命に大きな影響を与えると考えられる。第三地区、白板地区、庄内地区、島内地区、中山地区はAC値が大きく減少している。とくに新村地区、里山辺地区、神林地区、波田地区は、30分以内の駆けつけ搬送が不可能な場合も

ある。さらに被災リンクが0の場合でも30分以内の駆けつけ搬送が困難な地区が存在する。

7. おわりに

本研究では、松本市を対象に地震が発生した際の重傷者数および道路寸断の状況を整理し、STRADAを用いた救急駆けつけ搬送所要時間の算出結果から、松本市の消防署・分署の駆けつけ搬送体制の評価を行った。以下に、各章で得られた知見、考察をまとめて示す。

(1) 対象地域全域で道路寸断するリンクは51本あり、総重傷者数は2674人であった。重傷者数は中心市街地周辺が多い傾向にある。

(2) 松本市の消防署・分署は6つ、後方病院は7つであった。

(3) 51本のリンクが被災すると、駆けつけ搬送の利用ルートが大きく変わるとともに、被災後の所要時間が2倍以上も長くなり、救命制約の30分で駆けつけ搬送できなくなる被災地もあることが分かった。

(4) 重傷者を考慮したAC値では、消防署・分署および被災地側からみても減少率が大きい結果となった。

(5) 被災リンクが0本の場合でも、30分以内の駆けつけ搬送ができない被災地もあり、早急な対応が必要と考える。

駆けつけ搬送のAC値から適正な消防署・分署、被災地、後方病院の組み合わせ検討し、できるだけ多くの被災地の30分以内で駆けつけ搬送が完了できるように検討する。

参 考 文 献

- 1) 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つけ搬送体制. 平成 27 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集 (20616.3)
- 2) 戸澤 謙弥, 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つ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)
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 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)
- 8) 平成 14 年度長野県地震対策基礎研究報告書