

# 救急駆けつけ搬送の救命制約時間信頼性を考慮した 消防署・分署の配置に関する考察

著者	柳沢 吉保, 古本 吉倫, 栗原 柁太, 高山 純一
雑誌名	長野工業高等専門学校紀要
巻	47
ページ	1-11
発行年	2013-06-30
URL	<a href="http://id.nii.ac.jp/1051/00000827/">http://id.nii.ac.jp/1051/00000827/</a>



# 救急駆けつけ搬送の救命制約時間信頼性を考慮した 消防署・分署の配置に関する考察\*

柳沢吉保\*<sup>1</sup>・古本吉倫\*<sup>1</sup>・栗原柁太\*<sup>2</sup>・高山純一\*<sup>3</sup>

## A Study on the Optimal Location of the Fire Station by the Travel Time Reliability of an Ambulance

YANAGISAWA Yoshiyasu, FUROMOTO Yoshinori  
,KURIHARA Masato 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 reliability 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 accessibility indicator practicality.

キーワード：救急拠点配置，救急車両数，被災者数，時間信頼性

### 1. ま え が き

#### 1-1 本研究の背景

東日本大震災の発生以後，日本全体で地震に対する意識が向上し，発生が懸念されている東海地震，東南海地震などのプレート境界型地震や，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が，安否確認や見舞いなど，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．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を行うための消防署・分署病院の配置も重要な課題である．

長野市では，第4次長野市総合計画において，災害に強いまちづくりおよび防災対策の推進が主要政策の一つとされている．特に，地震発生による被災時の対応として消防，救急，救助体制の充実が求められている．市民アンケートの中で「消防や救急救命活動が迅速に行われているか」の間に対して，現状で達成しているとした回答は53.4%（H23年度）であり，目標値70%を下回っているのが現状である．

現在長野市では，地震発生時の救急体制として市

\* 2013年3月8日土木学会中部支部にて発表

\*1 環境都市工学科教授

\*2 中部電力

\*3 金沢大学教授

原稿受付 2013年5月20日

内に消防署・分署 14ヶ所、搬送先である後方病院 8ヶ所が配置されている。ここで、駆けつけ先の經由拠点は重傷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。ここでいう重傷者とは、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をいう。しかしながら、長野市の救急駆けつけ搬送体制が必ずしも、地震による被災地点を考慮して配置されているわけではない。被災地点に対応した消防署・分署、救護所、搬送先病院の組み合わせを考慮する必要がある。ここで、市内に配置される駆けつけ先救護所に向かうことのできる被災者は歩ける程度の軽傷者であるとし、緊急車両によって搬送を行う対象は、家屋の下敷きになるなど、自力で歩くことのできない重傷者とする。よって、駆けつけ先は重傷者自身の連絡した各地点とされているが、本研究においては、駆けつけ先は市内 21ヶ所全ての地区に配置される支所を拠点と仮定して研究する。

### 1-2 既往研究と本研究の位置づけ

救急駆けつけ搬送に関する既往研究は平常時と非常時について検討されてきた。概要を表-1に示す。平常時では、搬送時間短縮のための高速道路専用退出路設置、道路整備、ドクターカー導入効果を検討した研究と、消防署から医療機関までの救急車両の移動時間を確率的に評価し、適切な救急車両の配置など救急拠点配置が検討されてきた。一方、非常時(災害時)では、道路閉塞時の情報提供効果、駆けつけ搬送に要する所要時間の時間信頼性評価、医療機関へのアクセス性を考慮した医師配置等が検討されてきた。

救命率の向上に重点を置いた場合、地震被災直後の道路閉塞時を評価対象とする必要がある。被災地に対する消防署および後方病院の選定を行うためには、救急駆けつけ搬送時間を明示的に扱うとともに、移動中の所要時間の変動を考慮した時間信頼性に基づいた評価を導入する必要がある。さらに、秦<sup>8)</sup>の指摘のように同時多発的に発生する被災者の救命を対象とすると、発生する被災者数と対応できる救急車両数も考慮する必要がある。

以上を考慮し本研究では、長野県北部に大きな被害を及ぼすとされる信濃川活断層が、長野都市圏交通ネットワークと長野市の被災時救急駆けつけ搬送行動に与える影響を検討する。具体的には、(1)信濃川活断層を震源とした地震発生が長野都市圏交通施設へ及ぼす被害予測を整理し、建物倒壊に基づく被災による重傷者数を予測する、(2)長野市の地震被災時の救急体制と本研究の枠組みを示す、(3)リンク

表 1 救急駆けつけ搬送に関する既往研究の概要

平常時	非常時(災害時)
<ul style="list-style-type: none"> <li>・救急車の搬送時間短縮のための高速道路専用退出路設置<sup>2)</sup></li> <li>・道路整備による死亡リスク削減便益効果<sup>3)</sup></li> <li>・ドクターカー導入による救命処置時間短縮効果<sup>4)</sup></li> <li>・都市規模別の医療施設までの許容所要時間<sup>5)</sup></li> <li>・確率モデルに基づいた救急車の配置の検討<sup>6)</sup></li> <li>・時間信頼性による救急搬送サービスの評価<sup>7)</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・救命率向上のための搬送時間短縮と搬送活動の質の向上<sup>8)</sup></li> <li>・道路閉塞時における交通状態の変化と情報提供効果<sup>9)</sup></li> <li>・非重複経路と医療サービスへのアクセス性を考慮した医師配置計画<sup>10)</sup></li> <li>・道路閉塞時の救命制約時間信頼性評価指標の構築<sup>11)</sup></li> </ul>

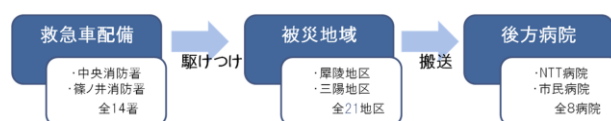


図 1 長野市救急駆けつけ搬送体制

交通量に基づく交通量の変動を考慮した OD 間経路選択モデルを示す、(4)長野都市圏交通ネットワークにおける救命制約時間信頼度に基づく駆けつけ搬送アクセシビリティ(以下 AC と記述する)指標を示す、(5)長野市交通ネットワークをケーススタディとした長野都市圏内駆けつけ搬送 AC を検討する。

## 2. 長野市救急駆けつけ搬送体制と本研究のフレーム

### 2-1 長野市救急駆けつけ搬送体制

長野市の搬送体制は図 1 に示すとおりである。市内には消防署・分署が全14ヶ所、救護所が全13ヶ所、後方病院が全8ヶ所配置されている。一般的に救護所は、避難場所としての役割が主であり、救護所に向かう多くの被災者は、自力で移動できる比較的軽傷者が多いと考えられる。そこで、救急車両によって搬送を行う被災者は、倒壊した家屋等の下敷きになる、あるいは大量の出血があるなど、自力では病院等まで移動できない重傷者が対象となると考えられる。すなわち救急車が対応することになる主な駆けつけ先は重傷者が発生した地点となる。以上より、駆けつけ搬送プロセスは図 1 に示すとおり、①重傷者発生の連絡を受けたのち救急車両が消防署・分署を出発する、②重傷者が存在する被災現場へ駆けつける、③重傷者を後方病院へ搬送する、である。

### 2-2 駆けつけ被災地区と分析対象時点

長野市の救急駆けつけ搬送体制において、おもな駆けつけ先は、出動要請がなされる市内の不特定の被災現場となる。このことを考慮しつつ、本研究では

時間信頼性評価を便宜的に行うため、被災現場は、行政機能を有し、最小行政界である地区単位ごとに一つずつ設置されている支所で代表させることとする。したがって長野都市圏の被災現場対象地区は21地区あるが、交通ネットワークデータが平成13年度のPT調査しかないため、平成24年3月現在の長野市から、鬼無里地区、中条地区、戸隠地区、大岡地区の4地区を除いた地区を対象として分析評価する。本研究における時間信頼性評価の枠組みは、救急車が各消防署・分署から出勤し、重傷者が存在する被災現場がある地区の支所に駆けつけ、重傷者は後方病院に搬送されるとする。

また、被災重傷者の救命率を上げることを目的に、被災直後の道路閉塞による通行不可を考慮した救急駆けつけ搬送行動を検討するため、通常時のネットワーク上の交通状態において、被災可能性のあるリンクが閉塞し、ルート連結が途絶された時の利用可能なルートの時間信頼性を検討することとする。リンク閉塞時の交通行動は、閉塞リンクの復旧状況や、交通情報及び経路誘導によって大きく変化するので、別途扱うのが妥当と判断した。

### 3. 信濃川断層のよる被害予測

#### 3-1 信濃川断層の概要

長野県に影響を及ぼす主な地震は、糸魚川-静岡構造線、信濃川断層帯、伊那谷断層帯、阿寺断層系による地震、および東海地震である。このうち、おもに長野県北部に大きな影響を与える信濃川断層帯を震源とした地震を対象に、長野都市圏交通ネットワークおよび建築物に与える影響を分析する。信濃川断層地震による長野県内震度分布を図2に示す。長野県地震対策基礎調査<sup>1)</sup>によると断層の長さは43km、断層の幅は21kmと大きく、断層の範囲は飯山市から長野市へとつながっている。地震動が最大となる断層上端深さは3km、最大想定地震規模はM7.5で、計測震度は平均値5.9、最大値は6.2にも達すると予測されている。本断層による地震被害は建築物の倒壊による人的被害のほかにも、交通施設およびライフラインにも甚大な被害を与えると予測されている。

#### 3-2 長野都市圏交通ネットワークの被害予測

地震により交通ネットワークに与える被災事象はリンク閉塞による通行不可を考慮する。平成14年長野県地震対策基礎調査<sup>1)</sup>では、液状化・地すべり・落石崩壊および過去の地震被害状況を考慮し、表-2に示すとおり道路被災箇所として、盛土、切土、橋梁部において通行制限も含む道路通行不可箇所が予

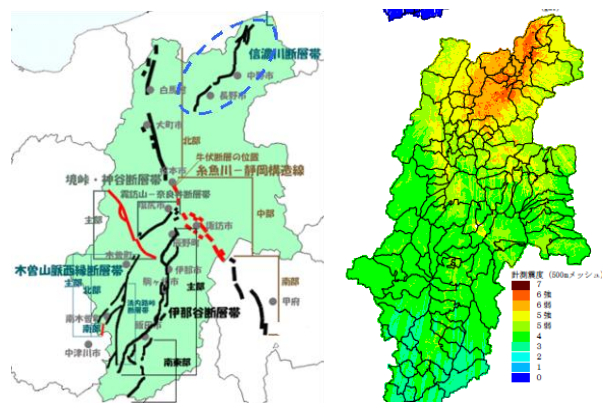


図2 信濃川断層帯による震度分布<sup>1)</sup>

表2 信濃川断層による地震被災時被害生起箇所

	盛土	切土	橋梁
被災の対象となるリンク数	7	248	88
通行不可となる箇所	3	39	5

表3 各地区で発生する重傷者数

\*建物一戸当たりの居住者は2.5人。

地区名	建物数	H <sub>1</sub> (%)	R <sub>1</sub> (%)	重傷者数
三輪	26314	3.8	0.1	63
芋井	994	22.4	0.3	8
古牧	10385	30.4	0.4	102
柳原	2677	20.7	0.3	20
古里	5358	34.8	0.4	58
長沼	901	93.3	0.8	19
浅川	2803	12.3	0.2	15
若槻	7847	26.5	0.4	70
豊野	3541	40.7	0.5	42
安茂里	12763	12.0	0.2	67
小田切	515	11.9	0.2	3
七二会	838	27.2	0.4	8
芹田	11772	20.6	0.3	89
大豆島	4564	29.6	0.4	44
朝陽	5794	44.2	0.5	73
篠ノ井	15353	24.1	0.3	129
信更	1020	16.3	0.3	7
松代	6901	20.9	0.3	5
若穂	4343	15.3	0.2	52
川中島	9833	12.7	0.2	27
更北	11947	28.1	0.3	53

測されている。災害対象となるリンクでは最も切土が多く、通行不可箇所も最も多いが、盛土が存在するリンクでは、通行不可となる可能性が高いことがわかる。なお、ここで通行制限とは大幅な補強後に使用可能となるため、被災直後の駆けつけ搬送時には通行不可として扱うこととする。

#### 3-3 信濃川断層被災時の重傷者数

信濃川断層帯を震源とする地震被災時の、救命処置が必要な地震被災重傷者数を、前章で示したとおり支所が設置されている21地区ごとに算出する。平成14年長野県地震対策基礎調査報告書で提示さ

れた住宅被害率および重傷者数算定式を用いて、以下のアルゴリズムで各地区で発生する地震被災重傷者数を算出した<sup>13)</sup>。

#### 4. 長野市交通ネットワークの時間信頼性評価信濃川断層による被害予測

##### 4-1 救急車両の救命制約時間信頼性評価フロー

###### (1) 交通ネットワークの経路交通量

消防署・分署から後方病院までの駆けつけ搬送にかかる経路所要時間を求めるため、長野都市圏交通ネットワーク上にかかる交通量を算出する。各 OD 交通量は平成 13 年度長野都市圏 PT 調査データを用いる。被災後の閉塞リンクに基づくドライバーの利用経路の変更を考慮するため利用均衡状態を再現する分割配分法による配分交通量を適用する。さらに配分された交通量に基づき、リンク平均所要時間と分散を初期状態として算出する。

###### (2) 時間信頼性評価

被災による重傷患者の駆けつけ搬送先病院までの救命制約時間を  $t_d$  とする。各経路の実所要時間分布は、分割配分法により得られた実平均所要時間  $E(t_{rn})$  および分散  $V(t_{rn})$  により与えられる。経路  $r$  において救命制約による指定所要時間までに駆けつけ搬送行動が完了する確率  $R^+$  を時間信頼性指標とする。救命制約時間  $t_d$  の時間信頼性の概念図を図 3 に示す。

###### 4-2 リンク平均所要時間およびその分散の算出方法

前節(1)におけるリンク所要時間は、経路選択行動により生じたリンク交通量  $x_l$  を用い、式(1)、(2)で示す BPR 関数を用いて算出することになる。BPR 関数パラメータとして、 $\kappa=0.15$ 、 $\nu=4$  を用いた。

また、救急車両と一般車両を区別するため、救急車両の式(7)では交通量軽減係数  $\eta$  を乗じた。既往研究<sup>14)</sup>により、交通量軽減係数  $\eta$  は救急車両で現場まで駆けつける場合、前方の車両の影響が少なく信号を無視できるため、一般車両より速く到達できることを考慮し  $\eta=0.35$  と設定した。一方、後方病院までの搬送は、重傷者を乗せているので  $\eta=0.70$  と設定した。一般車両の BPR 関数は式(1)に示す。

$$t_l = t_{l0} \times \left\{ 1.0 + \kappa \times \left( \frac{x_l}{C_l} \right)^\nu \right\} \quad (1)$$

救急車両の BPR 関数は式(2)に示す。

$$t_l = t_{l0} \times \left\{ 1.0 + \kappa \times \eta \times \left( \frac{x_l}{C_l} \right)^\nu \right\} \quad (2)$$

しかしながら、本研究では日常的に交通量が大きく変動することを考慮するため、式(1)、(2)の  $x_l$  は確率変数として扱う。

ここで、積率母関数の性質を用い、実平均所要時間

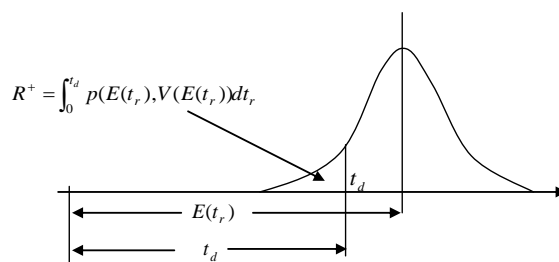


図3 救命制約時間  $t_d$  の時間信頼性

の期待値(平均値)は、一般車両が式(3)、救急車両が式(4)、分散は式(5)で示す。

$$E(t_l) = E[t_{l0} \{ 1.0 + \kappa \left( \frac{x_l}{C_l} \right)^\nu \}] = t_{l0} \left\{ 1.0 + 0.15 \cdot \frac{E(x_l^4)}{C_l^4} \right\} \quad (3)$$

$$E(t_l) = E[t_{l0} \{ 1.0 + \kappa \eta \left( \frac{x_l}{C_l} \right)^\nu \}] = t_{l0} \left\{ 1.0 + 0.15 \cdot \eta \cdot \frac{E(x_l^4)}{C_l^4} \right\} \quad (4)$$

$$V(t_l) = \int_{-\infty}^{\infty} (t_l - E[t_l])^2 p(t_l) dt_l = \int_{-\infty}^{\infty} t_l^2 p(t_l) dt_l - E[t_l]^2 \quad (5)$$

ただし、一般車両の分散の  $E(t_l)$  は式(3)に従い、救急車両の分散の  $E(t_l)$  は式(4)に従う。

###### 4-3 救命制約時間信頼度を用いた救命AC算定

本研究で用いる時間信頼性を考慮した駆けつけ搬送の評価指標(以下、救命 AC と呼ぶ)は、各地区で発生が予想される重傷者数、各消防署・分署に配備されている救急車両台数を考慮し以下のように構築する<sup>8)</sup>。

①消防署・分署  $i$  の救急車両が救命制約時間  $t_d$  内に要請のあった被災地区  $j$  に駆付け、後方病院  $k$  に搬送できる確率を  $p_{ijk}$  とし、消防署・分署  $i$  の救急車両数を  $E_i$  とすると、消防署・分署  $i$  の救急車両が救命制約時間内に重傷者の救命に対応できる可能性は、

$$E_i \times p_{ijk}(t \leq t_d) \quad (6)$$

である。 $p_{ijk}(t \leq t_d)$  の算定には、救急駆けつけ搬送所要時間関数式(6)を用いる。

②被災地区  $j$  で発生した重傷者数を  $P_j$  とすると、被災者一人当たり、消防署・分署  $i$  から駆けつけた急車両を割り当てられる可能性、すなわち消防署・分署  $i$  から出発した救急車両が、被災地  $j$  に駆けつけ、後方病院  $k$  に搬送する場合の救命 AC は、式(7)で表わす。

$$C_{ji,k} = E_i \left\{ \frac{p_{ijk}(t \leq t_d)}{P_j} \right\} \quad (7)$$

そこで被災地  $j$  の重傷者が救命制約時間内に後方病院へ搬送される可能性を表す総救命 AC は、以下の指標  $C_j$  で表すこととする。

$$C_j = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K E_i \left\{ \frac{p_{ijk}(t \leq t_d)}{P_j} \right\} \quad (8)$$

ここで

$C_j$ : 都市圏内の消防署・分署から出動した救急車両



が被災地区  $j$  の重傷者を救命制約時間内に都市圏内後方病院搬送できる可能性を示す総救命 AC.  $E_i$ : 消防署・分署  $i$  が所有する救急車両台数.  $p_{ijk}(t \leq t_d)$ : 消防署・分署  $i$  から出動した救急車両が被災地区  $j$  の重傷者を救命制約時間  $t_d$  内に後方病院  $k$  に搬送できる時間信頼度.  $P_i$ : 地区  $i$  内で発生した重傷者数.

## 5. 消防署・分署の配置と救命アクセシビリティ (AC) の比較分析

### 5-1 時間信頼性と救命 AC の比較

信濃川断層による地震被災で閉塞リンクがなかった場合を取り上げ、長野市内の駆けつけ搬送の救命制約時間信頼性と救命 AC との比較を図 4 と図 5 に示す. 救命制約時間を地震被災の重傷者を対象に 30 分とした. 閉塞リンクが生起しない状態でも 21 支所中 9 支所が時間信頼性を 50% 下回っている. 中心市街地の時間信頼性が高いことがわかる. これは、消防署・分署、後方病院が幹線道沿いに面していて、被災地にアクセスしやすいためである. 例えば、中央消防署と中央病院のある三輪地区では、高い救命信頼性が確認された. 一方、山間地区や病院が地区内に無い地区では、時間信頼性が低いことが分かる. 一方、各消防署・分署の救急車数および各被災地の重傷者数を考慮した救命 AC による評価では、消防署や病院が近くに配置されていても、重傷者の数が極めて多い、また、重傷者の数に対して緊急車両台数が少ないと救命 AC は低下していることが分かる. 図 4 で時間信頼性が高かった中心市街地においては、救命 AC が低下していることが分かる. 例えば、篠ノ井消防署と篠ノ井病院のある篠ノ井支所では、距離は近いが、重傷者数が極めて多く、さらに、緊急車両台数が重傷者にして少ないため、救命 AC が低下している. 一方、芋井支所のような時間信頼性が低くとも、重傷者が少ないことと、救急車両台数が多い中央消防署からの配車になるため、救命 AC は、高い値を示している.

### 5-2 被災状態と救命 AC の比較

閉塞リンクが生起しなかった場合と、被災可能リンクの 47 箇所がすべて閉塞してしまった場合の救命 AC を比較する. 閉塞リンクが 47 箇所の救命 AC を図 7 に示す. 閉塞リンクがない図 6 と比較し、図 6 は市郊外部および中山間地域で救命 AC が大きく低下していることがわかる. リンクが閉塞し、被災地まで救急車両が到達できないことを示している. また、橋梁が閉塞することで、犀川周辺地域の救命 AC が低下していることがわかる.

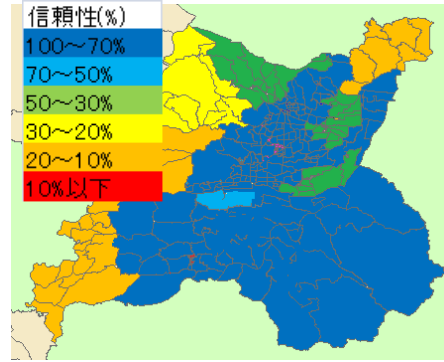


図 4 閉塞リンクが無い救命時間信頼性分布

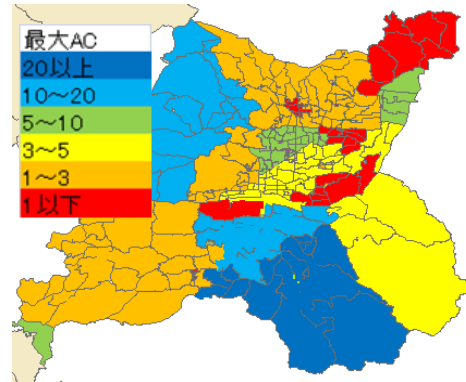


図 5 閉塞リンクが無い救命 AC 分布

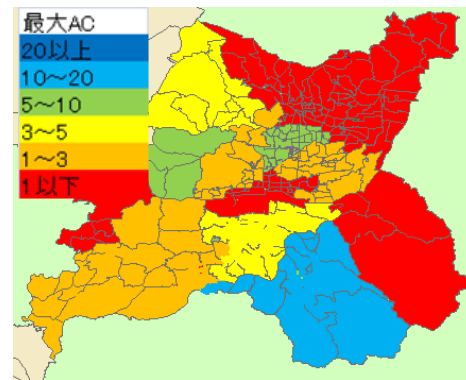


図 6 被災リンクがすべて閉塞した場合の救命 AC

### 5-3 消防署分署再配置による効果分析

被災可能性があるリンク 47 本がすべて閉塞した状態について消防署・分署の再配置の検討を行った. 本状態では時間信頼性が 50% 未満の支所が 18 カ所存在した. 消防署・分署の配置を行った結果、16 カ所の支所の時間信頼性の向上につながった. しかしそのうち 11 カ所の支所は目標としていた時間信頼性 50% を下回っていた. 消防署・分署の配置を行っても時間信頼性が向上しなかった理由として、後方病院までの搬送時間が長かったことが原因していた. とくに橋梁が被災し閉塞してしまい南北の移動に制



図7 朝陽支所の消防署・分署配置の検討について

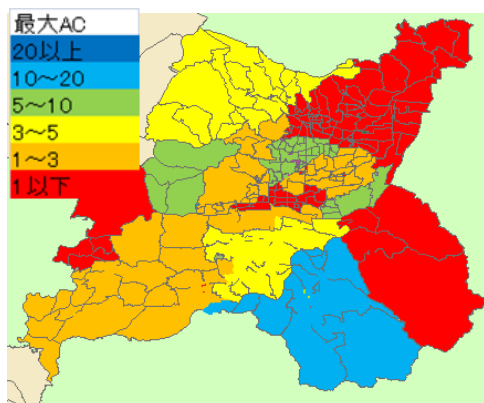


図8 救命ACを考慮した消防署分署の再配置効果

限がかかったことにより、消防署、分署からの救急車両が機能しなかった。また被災リンクの閉塞によって図7の朝陽支所のように、周辺で大規模な渋滞が発生して消防署を配置しても時間信頼性の向上につながらない。救命ACを考慮した消防署・分署を再配置した効果を図8に示す。

## 6. あとがき

本研究では、信濃川断層帯による地震が発生した場合の長野市の経路交通量に基づく所要時間の変動を考慮した時間信頼性および、各消防署分署の配車救急車数と被災地重傷者数を考慮した救命AC指標を提案した。AC考慮した場合の消防所・分署の再配置を検討した。得られた知見を述べる。

(1) 各地区の住宅被害率は、市街地、山間地区での違いよりも、木造住宅戸数の多少が大きく関わっていることが分かった。市内の木造住宅の分布に基づき、各被災地区の重傷者数を予測した。

(2) アクセシビリティを考慮していない時間信頼性の場合において、基本的には被災リンク数が増えるほど時間信頼性が低下する。例外として豊野支所などでは、周囲の経路交通量の変化により平均所要時間も変化し、被災リンク数が増えたのに、時間信頼性が向上した。

(3) 中央消防署など救急車両台数が多い消防署・

分署からの配車と、救急車両台数が少ない消防署とでは、アクセシビリティに大きな違いが表れた。

(4) アクセシビリティを考慮した場合の消防所・分署の再配置によって、中山間地の一部と中心市街地の犀川周辺で改善が見られた。しかしながら被災リンクによる経路選択行動が変更されることで、アクセシビリティが低下した支所も確認された。救命率を改善するためにも、被災可能リンクの改良と後方病院の配置も同時に検討する必要がある。

## 参考文献

- 1) 平成14年長野県地震対策基礎調査報告書
- 2) 高山, 中山, 中野, 辰野: 3次救急医療を対象とした高速道路救急車専用退出路の設置位置の選定, 第45回土木計画学研究・講演集, 274, (2012.6)
- 3) 阪田, 坂本, 中嶋他: 高速道路整備による死亡リスク削減便益の計測, 第45回土木計画学研究・講演集, 275, (2012.6)
- 4) 二神, 池田: 四国における救急搬送時間の短縮効果に関する考察, 第45回土木計画学研究・講演集, 271, (2012.6)
- 5) 大橋: 医療関係施設への所要時間と許容時間に関する居住都市規模別調査, 第45回土木計画学研究・講演集, 276, (2012.6)
- 6) 稲川, 古田, 鈴木: 救急車の配置計画における確率的評価指標とその重要性について, 日本都市計画学会学術論文集, pp.469-474, (2007.11)
- 7) 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)
- 8) 秦, 高山, 中山: 東日本大震災発生時における救急搬送の実態と課題, 第45回土木計画学研究・講演集, 278, (2012.6)
- 9) 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の運用に関する検討, 第23回交通工学研究発表会, 論文報告集, pp.201-204, (2003.10)
- 10) 瀬戸, 宇野, 塩見: 非重複経路を考慮したアクセシビリティ指標に基づく医師配置計画モデルの構築, 日本都市計画学会学術論文集, pp.487-492, (2010.11)
- 11) 尾曾真理恵, 柳沢吉保, 古本吉倫, 高山純一, 和泉佑紀: 救命制約時間を考慮した救急車両の地震被災地への未到達危険度評価. 土木計画学研究・講演集 No.42, 講演番号 117, (2010.11)
- 12) 柳沢吉保, 古本吉倫, 高山純一, 南澤智美: 地震被災時の救命制約時間信頼度を考慮した救急拠点

および後方病院の駆けつけ搬送圏域の評価. 長野工業高等専門学校紀要 No.46, pp.1-6, (2012.6)  
13) 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 F6(安全問題),Vol68.No.2, pp.30-37, (2012)