

乙訓地区における救急搬送業務の現状分析に基づいた出動モデルの構築と期待効用を用いた消防施設の立地最適化に向けた提案

城山 幸芳¹ 北村 幸定² 白柳 博章³

¹学生会員 大阪府立大学工業高等専門学校 総合工学システム専攻(〒572-8572 大阪府寝屋川市幸町 26-12)
E-mail:fl19009@osaka-pct.ac.jp

²フェロー会員 大阪府立大学工業高等専門学校 総合工学システム専攻(〒572-8572 大阪府寝屋川市幸町 26-12)
E-mail:kitamura@osaka-pct.ac.jp

³正会員 大阪府立大学工業高等専門学校 総合工学システム専攻(〒572-8572 大阪府寝屋川市幸町 26-12)
E-mail:smk1-gflbn3_nsdcschsal4@maia.eonet.ne.jp

日本における救急搬送の出動件数は増加傾向にある。また人口減少・少子高齢化の進展や公共施設の老朽化に伴い、公共施設の更新・再編や都市の再構築を考えて行く中で、救急搬送を行う消防署及び消防出張所においても、施設や立地箇所の安全性といった観点や地域の取り巻く状況等を加味してそのような議論を進めていくことが求められている。しかしながら住民の生命に直接かかわる消防施設の更新・再編にあたって、現在の搬送件数や救急搬送に関わる業務負担量といったものを定量的に把握し計画が策定されているとは言い難い状況である。そこで本研究では、京都の乙訓地区（向日市・長岡京市・大山崎町）を対象として、救急隊の救急搬送業務に関する現状把握を行い、出動モデルの構築ならびに複数の消防施設が存在することによる期待所要時間を算出した上で、消防施設の立地適正化に関する提案を行うことを目的とする。

Key Words : reorganization, emergency transport, equality, average disparity, Expected time required

1. 背景・目的

日本の総人口は、2004年をピークに今後100年間で100年前（明治時代後半）の水準に戻っていくと予想されており、現代の日本では人口減少局面に突入している状態である¹⁾。日本の総人口が減少していく一方で65歳以上の高齢者人口は、1950年以降一貫して増加しており、2012年には3,000万人を超えている²⁾。今後の人口減少と高齢化率の増加に伴う超少子高齢社会に向け、都市の低炭素化³⁾、コンパクトシティ⁴⁾、公共施設の集約と適正化が大きな課題となってくる。しかし、人口が減少傾向にあるのに対して年々救急出動件数は図-1に示すように増加傾向にあり、この20年間で約2倍も救急出動件数が増加している⁵⁾。本研究対象地である京都の乙訓地区においても同様に人口減少が進む中救急搬送件数が増加していると言える。

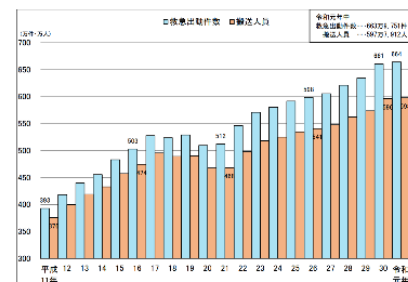


図-1 救急出動件数及び搬送人員の推移

住民の生命に直接かかわる消防施設の更新・再編にあたって、現在ならびに将来における搬送件数や救急搬送に関わる業務負担量といったものを定量的に把握した上で、施設や立地箇所の安全性といった観点や地域の取り巻く状況等を加味して総合的かつ慎重に考える必要がある。本研究では、京都の乙訓地区（向日市・長岡京市・大山崎町）を対象として施設配置の適正化の手法を提案することを最終の目的とする。

まず、配置案を検討するには様々な要因を考慮する事が必要であるが、平面上で配置計画を検討する際は、平

等性や効率性といった観点から、搬送現場と施設間の移動距離といった距離評価もしくは時間評価が必要である
と考える。更に、図-2に示す様に、心臓停止は3分、呼吸停止は10分、多量出血は30分放置すると死亡率が50%に達するとされている⁶⁾。この事から最短の時間で搬送する必要があると考えられる。更に、出動件数が多い地点の近辺に配置すれば良いのか、救急隊がよく出払っている地区に配置するのか検討し、適切な施設配置を提案するための基礎的研究を行う。

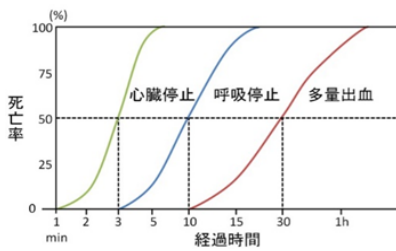


図-2 救命曲線

2. 研究対象地域

対象地域は、道路交通網の向上が進められている京都府の乙訓地区(向日市・長岡京市・大山崎町)を取り上げる。乙訓地区は面積32.86km²、人口154,117人(平成30年度)のエリアである⁷⁾。昭和30年代後半から、京都・大阪都市圏のベットタウンとして低・中層住宅建設が進み、自然環境や歴史文化にも優れた近郊住宅都市を形成している。また、JR東海道本線、阪急京都線が並行して走り、バス路線も含め公共交通機関の利便性が非常に高い状況である。

乙訓地区には、向日消防署・長岡京消防署・大山崎消防署・東分署の4つの消防署と一つの乙訓消防本部が存在している状況である。

3. 研究方法

本研究では、京都の乙訓地区における人口データを基に将来人口・高齢化率の推移を算出する。その後、実働データ(2016年度)に基づく救急搬送の現状把握をおこなひ、得られたデータに基づいて出動モデルの構築及び救急搬送予測に人口減少を加味した施設の統廃合を想定した消防署配置計画の提案をおこなう。

4. 乙訓地区の現状

乙訓地区における道路ネットワークを構築した上で、救急車は制限速度で走行するという仮定のもと、所要時間に関するダイクストラ法によるプログラム計算を用いて、大字を最小の時間で出動できる消防署に分類し、それを理論上の最寄り消防署として、最短消防区域として4つの消防署のエリア分けを行った。その結果を図-3に示す。

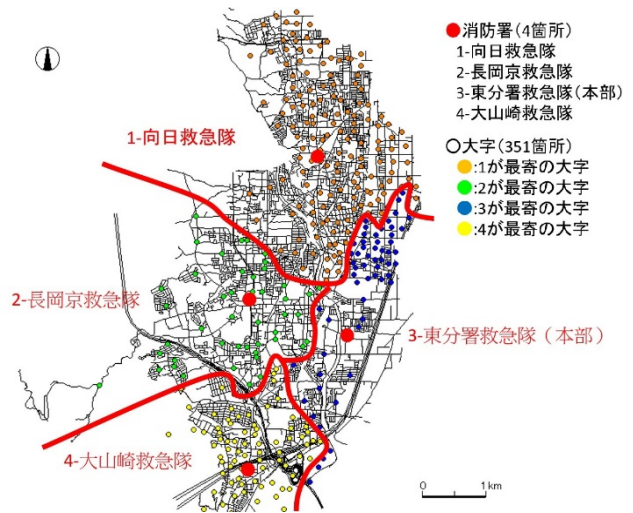


図-3 大字と理論上の最寄り消防署

5. 救急搬送に関する分析

(1) 消防署の負担量

京都の乙訓地区で発生した救急搬送を対象として、それに出勤した4つの消防署における出動件数と理論上の最寄り消防署を用いて、実際の救急搬送がどの程度最寄りの消防署から出動しているかを算出し、表-1に示す。

表-1 救急隊間での救急搬送件数

	向日救急隊	長岡京救急隊	東分署救急隊(本部)	大山崎救急隊	総出動(合計)
向日救急隊	1947	627	145	60	2779
長岡京救急隊	78	1248	251	235	1812
東分署救急隊(本部)	70	87	585	139	881
大山崎救急隊	4	80	41	640	765
最短出動(合計)	2099	2042	1022	1074	

表-1 から各消防署の負担率は、向日救急隊が 92.8% (1947/2099)・長岡京救急隊が 61.1% (1248/2042)・東分署救急隊が 57.2% (585/1022)・大山崎救急隊が 59.6% (640/1074)

であった。この事から、負担率が救急隊によりかなりの差があることが伺える。また、向日救急隊では処理件数が多い中でも最短の距離で現場に迎えている確率が高いと言える。それに対して東分署救急隊では向日に比べて件数は約半分であるのにも関わらず最短の所要時間で最寄りの現場に急行出来ていない可能性があると言える。

(2) 各救急搬送要請における消防隊の出動モデル分析

乙訓地区で発生した救急要請に対してどの救急隊が対応したのかを説明変数として、所要時間・救急隊員数の2つを用いてロジットモデルによる分析を行った。

救急搬送を要請する個人が受ける効用 v_{ij} を出場場所からのネットワーク所要時間 NT_{ij} と各消防署の救急隊数 SR_j を用いて、効用関数は次の様になる。

$$v_{ij} = \alpha \times NT_{ij} + \beta \times SR_j \quad (1)$$

*パラメータ α (所要時間), β (救急隊員数)

救急搬送を要請する個人 i が最寄り消防署 j を選択する選択確率は次の様になる。

$$P_{ij} = \frac{\exp(NT_{ij})}{\sum \exp(NT_{ij})} \quad (2)$$

数値計算用プログラミング言語として FORTRAN を用いてパラメータを推定した。その結果式(1)のパラメータ α は、0.009674であり、 t 値が-60.599、 β は0.002947であり、 t 値が2.281と双方とも有意であり、尤度比が0.3956及び式(2)での適中率が71.75%であることからこのロジットモデルの推定式は有意であると言える。

6. 消防署配置適正化に関する分析

(1) 平均所要時間の分析

消防署配置の提案を行う上で、救急要請の現場に急行する時間が最も短くなる様な配置場所を提案する事が必要であると考えられる。本章では、搬送時間を算出するにあたって平均所要時間を用いて消防署配置に向けた分析を行う。

大字を i 、乙訓地区の大字数を m 、大字 i の人口を Pop_i 、大字 i における最寄り消防署 r までのネットワーク所要時間(s)を $MNT_{i,r}$ 、 x, y, z (4つある消防署内の一つを廃止した残りの3消防署を x, y, z とする)：救急隊、 i ：大字 $NT_{i,r}$ ：大字 i →救急隊 r までのネットワーク所要時間(s)を $MNT_{i,r} = \min(NT_{x,1}, NT_{y,2}, NT_{z,r})$ とすると、平均所要時間は次の様になる。

$$\text{平均所要時間 AveTime}_r = \frac{\sum_{i=1}^m Pop_i \cdot MNT_{i,r}}{\sum_{i=1}^m Pop_i} \quad (3)$$

式(3)を用いて、現状の配置の平均所要時間及び4つの消防署をそれぞれ1つだけ廃止した場合の平均所要時間を算出した。平均所要時間を算出した結果を表-2に示す。

表-2 平均所要時間

	平均所要時間(s)
現状	140.451
1廃止	235.962
2廃止	171.682
3廃止	153.261
4廃止	156.031

現状：現状の乙訓地区（4つの消防署）
 1 廃止：向日救急隊を廃止
 2 廃止：長岡京救急隊を廃止
 3 廃止：東分署救急隊を廃止
 4 廃止：大山崎救急隊を廃止

表-2より、現状の平均所要時間とそれぞれを廃止した場合を比較すると、1廃止した場合95.511(s)、2廃止した場合31.231(s)、3廃止した場合12.81(s)、4廃止した場合15.58(s)という結果が得られた。この事から向日救急隊及び長岡京救急隊を廃止してしまうと影響が大きいと言える。それに対して東分署救急隊及び大山崎救急隊を廃止した場合での平均所要時間にあまり差がなく、また表-1より、現状の乙訓地区に存在する4つの消防署の負担量から、東分署救急隊及び大山崎救急隊が低い事からこの2つの消防署を廃止し向日救急隊・長岡京救急隊と新たに検討した場所に配置する提案を行う必要があると考えられる。

(2) 3, 4を廃止して1箇所に統合したときの平均所要時間の分析

向日救急隊・長岡京救急隊を残し東分署救急隊・大山崎救急隊を廃止して乙訓地区内の全ノードにおいて平均所要時間を算出して最小となるノードの算出を行う。

ネットワークのノード約 2 万箇所を対象として平均所要時間が最小になる所を探索した。その結果、平均所要時間の最小値が 143.74(s)となり場所については、長岡京市調子 2 丁目(阪急西山天王山駅付近)の結果が得られた。乙訓地区の各ノードの平均所要時間を算出したものを図 4 に示す。

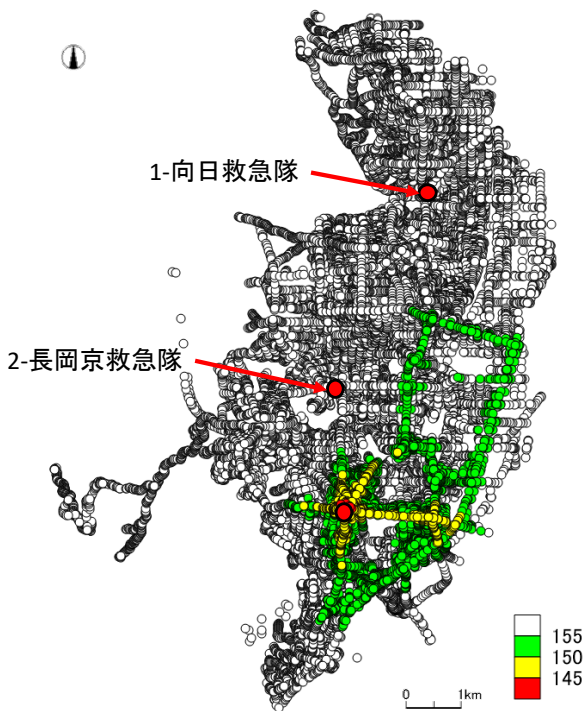


図4 各ノードにおける平均所要時間

(3) 期待効用を考慮した期待所要時間の分析

現在の日本では、地方の都市だけでなく大都市においてもコンパクトシティを目指す必要がある。消防署などの公共施設の配置はコンパクトシティの形成においては重要な役割を果たす⁷⁾。

消防署が複数あることによるメリットを加味するため、期待効用を考慮した期待所要時間を算出することとした。乙訓地区の消防署再編に向けて期待所要時間を用いて

消防署の再編を行う上で最も効率が良い地点の算出を行った。なお期待所要時間の算出するに当たって下記の選択確率の式を用いた。

大字を*i*, 救急隊を*x, y, z*(4つある消防署内の一つを廃止した残りの3消防署を*x, y, z*とする), 大字*i*→救急隊*r*までのネットワーク所要時間(s)を $NT_{i,r}$ を用いて、大字*i*における救急搬送にて救急隊*r*を選択する確率 $P_{i,r}$ はを式(4)のように表す。

$$P_{i,r} = \frac{\exp(V_{i,r})}{\exp(V_{x,1}) + \exp(V_{y,2}) + \exp(V_{z,r})} \tag{4}$$

大字を*i*, 乙訓地区の大字数を*m*, 大字*i*の人口を Pop_i , 大字*i*における最寄り救急隊までの期待ネットワーク所要時間(s)を $ENT_i = P_{ix}NT_{ix} + P_{iy}NT_{iy} + P_{iz}NT_{iz}$ とすると期待所要時間は次の様になる。

$$\text{期待所要時間ExTime}_r = \frac{\sum_{i=1}^m Pop_i \cdot ENT_{i,r}}{\sum_{i=1}^m Pop_i} \tag{5}$$

式(5)を用いて、現状の配置の期待所要時間及び4つの消防署をそれぞれ1つだけ廃止した場合の期待所要時間を算出した。期待所要時間を算出した結果を表-3 に示す。

表-3 期待所要時間

	期待所要時間(s)
現状	183.01
1廃止	268.03
2廃止	201.01
3廃止	183.46
4廃止	190.40

現状：現状の乙訓地区（4つの消防署）

- 1 廃止：向日救急隊を廃止
- 2 廃止：長岡京救急隊を廃止
- 3 廃止：東分署救急隊を廃止
- 4 廃止：大山崎救急隊を廃止

表-3 より、現状の期待所要時間とそれぞれを廃止した場合を比較すると、1 廃止した場合 85.02(s), 2 廃止した

場合 67.02(s), 3 廃止した場合 0.45(s), 4 廃止した場合 7.39(s)という結果が得られた。

(4) 3, 4を廃止して1箇所へ統合したときの期待所要時間の分析

期待所要時間においても平均所要時間と同様東分署救急隊及び大山崎救急隊を廃止した場合における期待所要時間を算出して最小となるノードの算出を行う。

ネットワークのノード約 2 万箇所を対象として期待所要時間が最小になる所を探索した。その結果、期待所要時間の最小値が 176.28(s)となり場所については、長岡京市調子 2 丁目(阪急西山天王山駅付近)の結果が得られた。乙訓地区の各ノードの期待所要時間を算出したものを図 5 に示す。

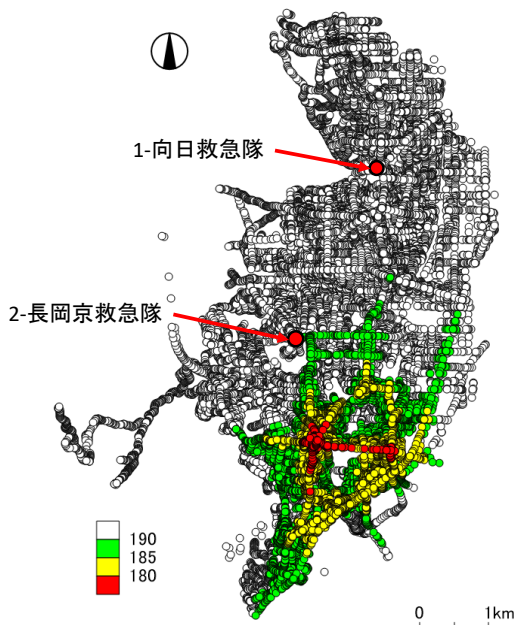


図5 各ノードにおける期待所要時間

(5) 消防署立地の平等性に関する分析

施設配置の評価に関する既存研究において、効率性に関する議論は文献など多くの研究で行われている。一方で、行政サービスを提供する消防署において住民に対して平等性についても検討する必要があるが、平等性に関する議論は少ない。そのため本章では平等性に関する分析を行う。

平等性の指標としては、偏差、分散、ジニ係数など多

数ある。しかし、これらの指標には問題点がある。平等性の指標について満たすべき公理として移転原理を挙げている。移転原理とは平均より大きい値が小さくなり、その分平均より小さい値が大きくなったときすなわち、あるペアの差が小さくなった時に必ず指標の値がより平等を示す様に変化することである。偏差と較差はこれを満たさない。また、分散は移転原理を満たすが 2 乗をとるという恣意的手続きをとっており、平均から離れるほど大きな値となる点で指標として問題がある。ジニ係数も移転原理を満たすが基準化された無次元の値であり指標として物理的解釈が難しい。その一方で、平均格差は移転原理を満たし、距離という物理的な量で示す事ができ直感的に理解できる。本章では、指標として平均格差を用いて平等性に関する分析を行う⁸⁾。

大字を i 、乙訓地区の大字数を m 、大字 i の人口を Pop_i 、大字 i における最寄り消防署までのネットワーク所要時間(s)を MNT_i 、 $1, 2, r$: 救急隊、 i : 大字、 $NT_{i,r}$: 大字 i → 救急隊 r までのネットワーク所要時間 (s) を $MNT_{i,r} = \min(NT_{i,1}, NT_{i,2}, NT_{i,r})$ とすると、平均格差は次の様になる。

$$\text{平均格差} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m Pop_i \cdot Pop_j \cdot |MNT_i - MNT_j|}{(\sum_{i=1}^m Pop_i)^2} \tag{6}$$

式(6)を用いて、現状の配置の平均格差及び 4 つの消防署をそれぞれ 1 つだけ廃止した場合の平均格差を算出した。平均格差を算出した結果を表 4 に示す。

表4 平均格差

	平均格差(s)
現状	59.17
1廃止	154.38
2廃止	79.38
3廃止	67.41
4廃止	73.76

現状：現状の乙訓地区（4つの消防署）

1 廃止：向日救急隊を廃止

2 廃止：長岡京救急隊を廃止

3 廃止：東分署救急隊を廃止

4 廃止：大山崎救急隊を廃止

表4 より、現状の期待所要時間とそれぞれを廃止した場合を比較すると、1 廃止した場合 95.21(s), 2 廃止した場合 20.21(s), 3 廃止した場合 8.24(s), 4 廃止した場合 14.59(s)という結果が得られた。

(6) 3, 4を廃止して1箇所に統合したときの平均格差の分析

平均格差においても平均所要時間と同様東分署救急隊及び大山崎救急隊を廃止した場合における平均格差を算出して最小となるノードの算出を行う。

ネットワークのノード約2万箇所を対象として平均格差が最小になる所を探索した。その結果、平均格差の最小値が 64.18(s)となり場所については、大山崎町字円明寺小泉川付近の結果が得られた。乙訓地区の各ノードの平均格差を算出したものを図6に示す。

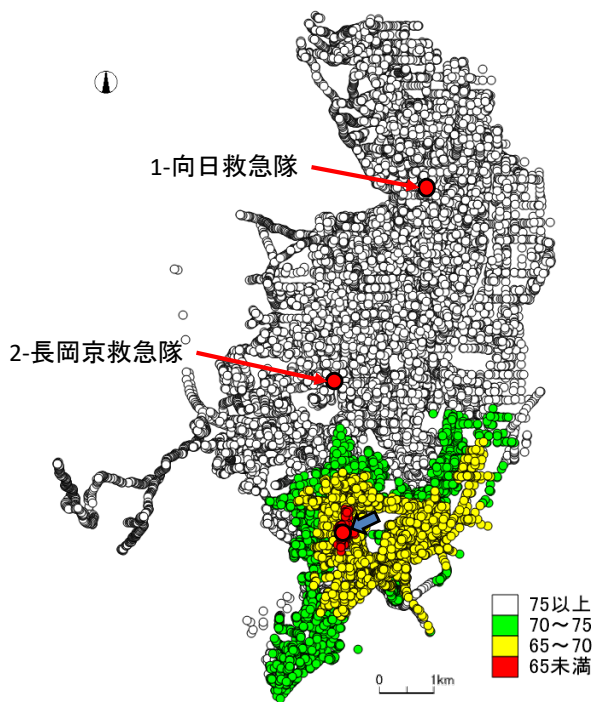


図6 各ノードにおける平均格差

7. 総合考察及び知見の総括

乙訓地区内に存在する4つの救急隊エリアそれぞれ将来人口推計及び高齢化率に違いがあるため地区の特性を加味した配置計画の提案が必要と考えるが、各消防署の負担量算出より、救急隊間にかんがりの差がある事が分か

った。負担量の算出結果から、東分署救急隊・大山崎救急隊の2つの救急隊が救急要請に対して最短の距離で最寄りの現場に急行できていない可能性があると言える。次に、乙訓地区で発生した救急要請に対してどの救急隊が対応したのかを説明変数として、所要時間・救急隊員数の2つを用いてロジットモデルによる分析により、効用関数及び選択確率を算出する事によって、ある程度救急隊の対応行動がモデル化できた。

消防署再編に向けた配置場所を提案するにおいて消防署負担量分析において東分署救急隊・大山崎救急隊の2つを廃止し、乙訓地区内の消防署を向日救急隊・長岡京救急隊と新たに1つ配置する提案を行う事が負担量分析の結果から良い提案であると考えられる。

各大字ごとに消防署からの時間を算出したものと大字ごとの人口を用いて平均所要時間を算出する事により、より効率的に救急搬送要請がある場所に急行する事が可能になる消防署配置場所の提案を行なった。

現状の乙訓地区での平均所要時間及び期待所要時間と各救急隊を廃止した場合とをそれぞれ比較すると東分署救急隊・大山崎救急隊を廃止した場合での提案では、平均所要時間にあまり差がなかった。原因として考えるのがこの2つの救急隊員数が少ない事が考えられる。この2つの値に差がある原因として考えられるのは、期待所要時間を算出する過程で選択確率の算出を行なっている事から乙訓地区内の大字人口を用いている事が影響していると考えられる。

本研究で提案した箇所について、平等性を検証する上で平均格差を用いた事から現状の乙訓地区の平均格差の値と再編計画を提案した場所の値と比較してみると5.01(s)長かったのみであり、再編しても格差はさほど広がらないことが明らかとなった。

8. 今後の課題

本研究では、乙訓地区内に存在する4つの消防署から東分署救急隊・大山崎救急隊を廃止して向日救急隊・長岡京救急隊と今回提案した場所の3つの消防署での再編計画をおこなったが、今後は現状より更に減らした場合での変化を分析。また消防署から現場までの踏み切りや信号などを加味したより実状に近い所要時間を用いた分析を行なっていきたい。

謝辞：本論文の作成にあたり終始適切な助言を賜り、また丁寧にご指導して下さいました北村幸定先生に深く感謝いたします。白柳博章先生には日頃から研究の進捗具合を気にかけて頂き研究方法や考察などの助言を頂き深く感謝いたします。

最後になりましたが、救急搬送データの提供及び乙訓地区についての説明をおこなって下さった乙訓消防団の皆様へ深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 我が国における総人口の長期的推移 - 総務省
https://www.soumu.go.jp/main_content/000273900.pdf
- 2) 1. 高齢者の人口 - 総務省統計局
<https://www.stat.go.jp/data/topics/topi1131.html>
- 3) 【参考】都市の低炭素化の促進に関する法律の概要
http://www.env.go.jp/earth/ondanka/sakutei_manual/kaitei_comm-kuiki/com04/ref01.pdf
- 4) コンパクトシティの形成に向けて - 国土交通省
<https://www.mlit.go.jp/common/001083358.pdf>
- 5) 令和元年中の救急出動件数等（速報値） - 総務省消防庁
https://www.fdma.go.jp/pressrelease/houdou/items/20200327_houdou_2.pdf
- 6) 水本旭洋：修士論文 多数傷病者事故における救命率向上のための電子トリアージタグを用いた傷病者搬送計画手法，修士論文，2011
https://library.naist.jp/mylimedio/dllimedio/showpdf2.cgi/DLPDFR008257_P1-47
- 7) 公表・公告 | 乙訓消防組合
<https://www.otokuni119-kyoto.jp/kouhyou/>
- 8) 尾崎尚也，大澤義明：移動距離の平等性及び効率性からみた公共施設配置の評価，日本建築学会計画系論文集，2003
https://www.jstage.jst.go.jp/article/aija/68/563/68_KJ00004226672/article-char/ja/

(? 受付)