

卒業研究

南足柄市の避難所割当の数理的評価と改善策の提案

文教大学

情報学部 経営情報学科

根本研究室 19 期生

B2P21115 津田 賢吾

概要

日本は大規模な地震が発生しやすく、地震が発生するたびにニュースなどでは避難所のこととその混乱が取り上げられている。地震が発生していない地域でもこれから発生する可能性は十分ある。そこで、本研究では、2000年～2016年の間に大規模な地震が発生していない南足柄市の避難所割当について簡便な方法で評価を行い、より良い評価を得る避難所割当の提案に取り組んだ。まずは、現在の避難所割当を移動距離と収容定員で評価してみた。収容定員を評価するにあたって、予想避難人数は2016年4月に発生した熊本地震を参考にした。現在の割当では、平均移動距離1462mで、収容定員が足りない避難所が観察された。この現状分析から、移動距離を減らす割当を考えた。まず、町丁目から最短距離の避難所を割り当てると仮定した。最短距離と設定することで、平均移動距離を606mまで減らすことができた。しかし、収容定員が足りない避難所が発生するため、最短距離での割当から近い避難所を合わせて利用することで収容定員を増やそうとした。しかし、それでも収容定員が足りない避難所が残るため、新たな避難所を設置することの重要性を提言した。さらに、新たな避難所の設置を提言する上で、高齢化社会である日本の現状を考慮し、高齢避難者への配慮をした避難所割当を考えた。高齢避難者が過ごしやすい避難所を考慮しようとしたが、配慮ができる施設が少なく、高齢避難者に配慮ができる施設を新たに設置すべきだと提言した。まとめとして、現在の避難所割当から、数値的に改善した避難所割当を提案することができた。

目次

第1章 はじめに

第2章 南足柄市の現状の避難所割当の評価

2-1 現状の避難所割当

2-2 移動距離での評価

2-3 収容定員での評価

第3章 移動距離を重視した避難所割当の提案

第4章 移動距離と収容定員を重視した避難所割当の提案

4-1 最短移動距離の避難所周辺の避難所の利用

4-2 避難所の候補の施設

第5章 高齢避難者への配慮

第6章 おわりに

謝辞

参考文献

付録

南足柄市の避難所割当の数理的評価と改善案の提案

津田 賢吾

第1章 はじめに

日本は大規模な地震が発生しやすく、地震が発生するたびにニュースなどでは避難所のこととその混乱や問題が取り上げられている。問題として例えば、避難所での生活の不満や健康被害などが発生していると言われている¹。ニュースなどでは避難所での生活が取り上げられるが、避難所に避難するまでや避難所を決める段階で問題がないかを考え、避難所に避難して生活する前の問題の1つとして、どの避難所に避難するかを決める避難所割当に注目した。本論文では避難所割当について数理的評価をし、改善案の提案を行うことにした。

対象として南足柄市の避難所割当の数理的評価と改善案の提案をすることにした。方法として、過去の論文[1]では関数などを用いて避難所割当を提案していたが、本論文では移動距離と収容定員の2つの簡便な評価方法で評価をし、改善案の提案を行う。現状の避難所割当では移動距離と収容定員の両方に問題が見つかった。問題を改善する案として移動距離を重視した避難所割当を提案したが、収容定員不足の避難所が発生したため、移動距離と収容定員の両方を重視した避難所割当を提案した。しかし、収容定員不足の問題を解決することができなかった。原因として、南足柄市の避難所不足が考えられたため、避難所の候補を提示した。

本論文の構成として、2章で南足柄市の現状の避難所割当の移動距離と収容定員で数理的評価を行い、現状の避難所割当の移動距離と収容定員の問題を浮き彫りにし、その問題を改善するために、3章では移動距離を重視した新たな避難所割当を提案する。4章では3章の避難所割当のさらなる改善を行い、移動距離と収容定員の両方を重視した避難所割当の提案を行う。5章では高齢化社会である日本の現状から高齢避難者への配慮を考え、福祉避難所の活用を考えていく。最後の6章で南足柄市の避難所割当の改善の成果をまとめる。

第2章 南足柄市の現状の避難所割当の評価

ここではまず、南足柄市における避難所割当の現状を示し、それに対して簡便な方法で評価する方法と結果を示す。

¹ 朝日新聞デジタル : <http://www.asahi.com/special/saigaishi/hinanzyo/>

2-1 現状の避難所割当

南足柄市では自治会ごとに避難所を指定し、避難所割当を作成している。表1は南足柄市が市のホームページ²で公開している自治会ごとの避難所割当である。本研究では市指定の避難所割当を改善していくのが目的である。表1では避難所を自治会で割当をしているが、本研究では自治会を町丁目に変えて避難所割当を提案する。本研究で行う評価などで使用するデータは国勢調査³のデータを使用した。国勢調査のデータは自治会ではなく、町丁目に記載されていたため、自治会を町丁目に変換した。

表1 市指定の避難所割当

避難所	避難自治会
北足柄小学校	地藏堂、矢倉沢、内山
北幼稚園	荻野
南足柄小学校	弘西寺、福泉、雨坪、関本
南足柄中学校	大雄町、広町、飯沢、狩野
向田小学校	中沼、向田、竹松、和田河原
県立足柄高等学校	上怒田、下怒田
福沢小学校	班目、千津島、壺下
岡本小学校	駒形新宿、生駒、山崎
岡本中学校	台河原
駒千代青少年広場	日向、板屋窪、日影
岩原小学校	グリーンヒル、矢佐芝、三竹、いずみ、岩原、怒田

表1の避難自治会を町丁目に変えて避難所割当を作成したものが表2である。

表2 自治会から町丁目に変換

避難所	町丁目
北足柄小学校	内山、矢倉沢、矢倉沢
北幼稚園	荻野
南足柄小学校	関本、福泉、雨坪、弘西寺
南足柄中学校	飯沢、狩野、大雄町、広町
向田小学校	向田、竹松、和田河原、中沼、竹松、狩野、狩野
県立足柄高等学校	怒田、怒田、小市、怒田
福沢小学校	千津島、壺下、班目
岡本小学校	駒形新宿、生駒
岡本中学校	塚原、塚原
駒千代青少年広場	塚原、塚原、塚原、塚原、塚原
岩原小学校	塚原、沼田、塚原、沼田、塚原、三竹、三竹、岩原、三竹、塚原

同じ名前の町丁目が複数あるが、これは飛地である。この避難所割当を基に次節では簡

² 南足柄市公式ホームページ : <http://www.city.minamiashigara.kanagawa.jp/>

³ 統計局ホームページ : <http://www.stat.go.jp/index.htm>

便な評価を行っていく。

2-2 移動距離での評価

避難所に避難する際の問題の1つとして、移動距離の長さがある。最初の評価方法として、町丁目から避難所への直線距離を計測し、それを移動距離とすることで避難所への移動の長さを評価していく。距離を計測する際に、GISソフトであるQGISを使用して計測した。計測した結果（付表A参照）をグラフにしたものが図1である。

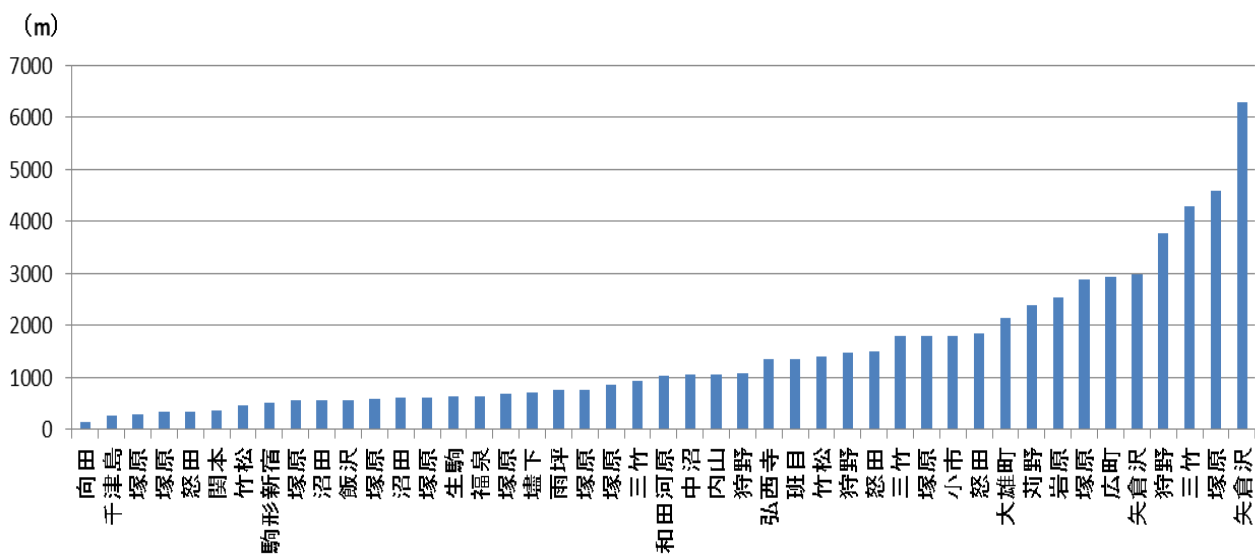


図1 現状の避難所割当てでの移動距離のグラフ

図1の横軸は町丁目である。縦軸は町丁目から避難所への移動距離を表している。図1を見ると、町丁目45か所中23か所の移動距離が1000mを超えた。徒歩1分で進める距離が80m⁴とすると、避難に10分以上かかる町丁目が45か所中25か所という結果になった。

2-3 収容定員での評価

次に、移動距離に続いて、避難所に避難した際に収容定員が足りずに避難できない避難所が存在するかどうかを見るために収容定員を評価していく。評価方法として避難所への避難人数に対して収容定員が足りているのかで評価した。収容定員は次の式で算出する⁵。

⁴ 不動産の表示に関する公正競争規約施行規則 第5章 表示基準 第10条

⁵ 防災・減災対策をマンション防災士が提案：

<http://manboukama.ldblog.jp/archives/50519267.html>

$$\text{“総面積} \times 0.8 \div 1.65 = \text{収容定員”}$$

この式において、まず総面積に 0.8 で掛けることで床面積を求め、1.65 で割ることで一人あたりのスペースを求めている。総面積は Google マップ⁶で建物面積を計測して求めた（付録 B 参照）。避難人数は次の式で算出する。

$$\text{“人口} \times \text{避難率} = \text{避難人数”}$$

ここで、人口は町丁目の人口である。避難率は 2016 年 4 月に発生した熊本地震の避難者数（付表 C 参照）を参考に算出した。避難率は次の式で算出する。

$$\text{“避難者数} \div \text{人口} = \text{避難率”}$$

震度ごとに避難率を算出した結果が表 3 である。

表 3 震度ごとの避難率

震度	避難率
震度7	45%
震度6強	13%
震度6弱	6%
震度5強	2%
震度5弱	0%

収容定員は避難者数が最も多い場合に足りている必要があると考え、避難率が一番高い震度 7 の避難率を本論文では今後使用する。収容定員と避難者数の結果（付表 D 参照）をグラフにしたものが図 2 である。

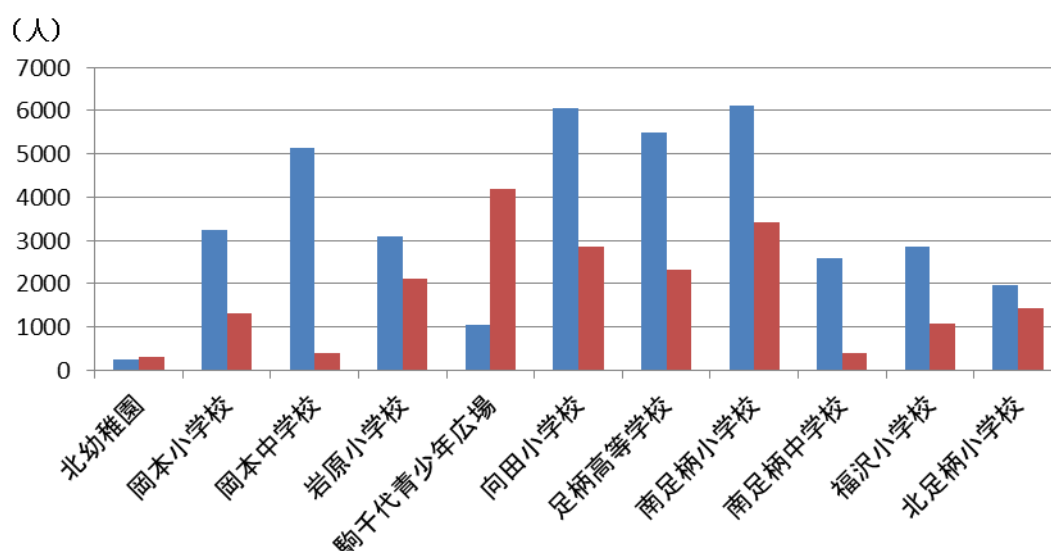


図 2 現状の避難所割当の収容定員と避難者数

⁶ Google マップ : <https://www.google.co.jp/maps>

図 2 の横軸が避難所で、縦軸が収容定員と避難者数である。各避難所から出ている 2 本のグラフの左側が収容定員で右側が避難者数である。図 2 の結果を見ると、収容定員を避難者数が上回る避難所が 2 か所ある。まず、全体の収容定員の 37810 人に対して避難者数は 19809 人であり、全体の収容定員が避難者数より少ないわけではない。避難所割当によって収容定員が足りない避難所が出てしまった。現状の避難所割当では南足柄市の住民が避難する際に移動距離と収容定員の両方で問題が生じている。そこで次の章では新しい避難所割当を提案していく。

第 3 章 移動距離を重視した避難所割当の提案

現状の避難所割当では移動距離が長くなっていた。この章では、まずは移動距離を重視して新たな避難所割当を考える。移動距離を重視するために、現状の避難所割当の移動距離より短くなるように避難所割当を作成する。そこで、町丁目から最短移動距離にある避難所を割当ててことで移動距離の削減を図る。南足柄市内にある全ての避難所を利用できることを前提に考える。最短移動距離で割当てた結果は付録 E に記載する。この章でも第 2 章で行ったように移動距離と収容定員を評価していく。移動距離の計測結果（付表 E 参照）をグラフにしたものが図 3 である。

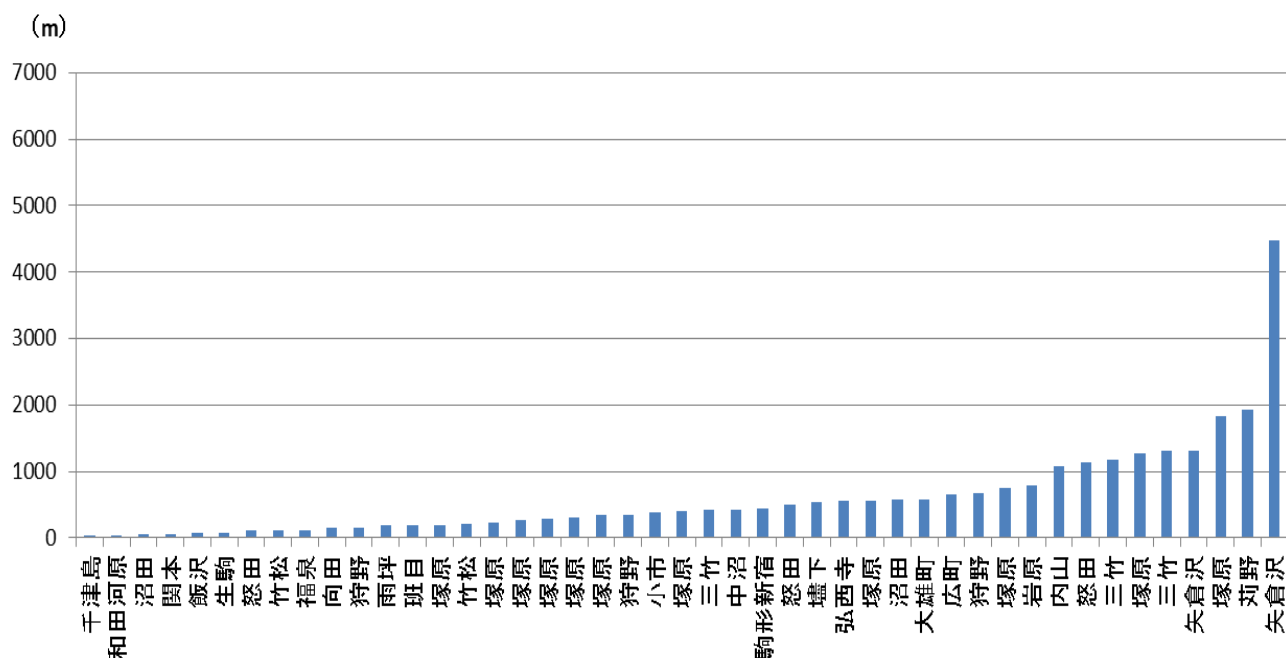


図 3 最短移動距離で割当てた場合の移動距離

図 3 の横軸が町丁目、縦軸が移動距離である。現状の避難所割当と比較すると、全ての町丁目の移動距離を削減することができた。そして、現状の避難所では 45 か所中 23

か所の移動距離が 1000m 以上という結果になったが、最短移動距離の避難所割当では 45 か所中 9 か所まで 1000m 以上の移動を減らすことができた。次に、収容定員の評価を行う。収容定員と避難者数の結果（付表 G 参照）をグラフにしたものが図 4 である。

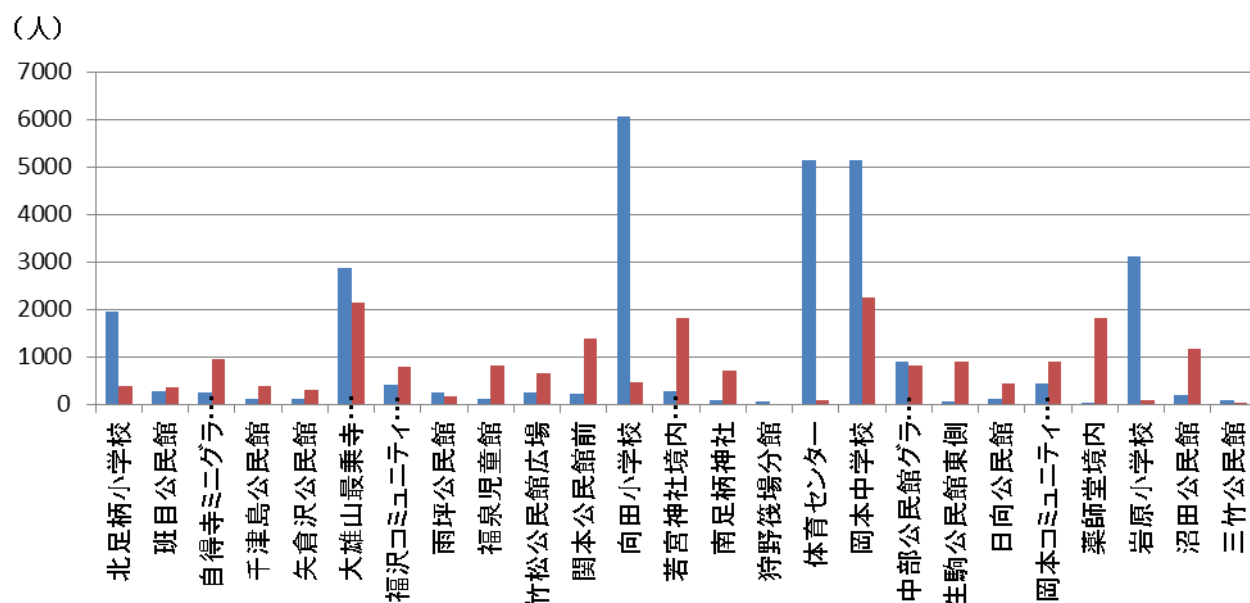


図 4 最短移動距離で割当てた場合の収容定員と避難者数

図 4 の横軸が避難所、縦軸がその収容定員と避難者数である。各避難所から出ている 2 本のグラフの左側が収容定員で右側が避難者数である。現状の避難所割当では収容定員を避難者数が上回った避難所が 2 か所だったのに比べ、最短移動距離での割当では 15 か所に増加してしまった。移動距離だけを重視してしまうと収容定員が足りない避難所が増加してしまった。そこで、次の章では移動距離だけではなく収容定員も重視した割当を模索したい。

第 4 章 移動距離と収容定員を重視した避難所割当の提案

ここでは最短移動距離での割当では収容定員不足が多く発生してしまうので、それに対応するために移動距離だけではなく収容定員も重視した避難所割当を提案する。そこで、収容定員不足の避難所周辺の避難所を利用することで収容定員不足を解消することを試みる。

4-1 最短移動距離の避難所周辺の避難所の利用

移動距離と収容定員を重視するために収容定員不足の避難所を減らしながら、移動距離は増加させすぎないように避難所割当を作成したい。そこで、第3章での避難所割当の避難所から500m以内を基準にして避難所を割当てることとする。収容定員不足の避難所と500m以内にある避難所を地図で表したのが図5である。

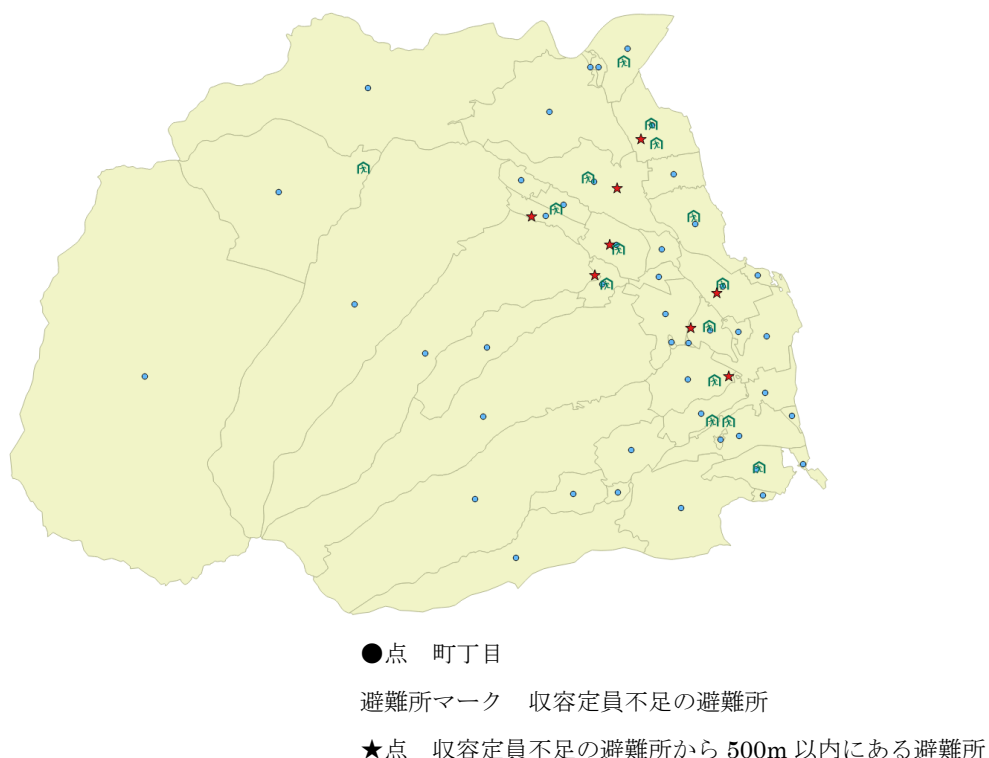


図5 収容定員不足の避難所とその避難所から500m以内にある避難所

図5を見ると、収容定員不足の避難所が15か所に対して、500m以内の避難所が8か所である。このことから、収容定員不足の避難所1か所につき500m以内の避難所1か所で収容定員をカバーすると考えた場合に数が足りない。つまり、南足柄市の避難所が場所によって不足しているのではないかと考えられる。

4-2 避難所の候補の施設

前節の議論から南足柄市では適切な位置での避難所が不足していると考えられる。そこで、この章では南足柄市内にある避難所として指定されていないが避難所の候補にできる施設を提示しその活用を考えたい。新たな避難所候補の条件として、(1) 収容定員不足の避難所から500m以内、(2) 企業や法人が運営している施設とした。この条件で

探した避難所の候補の施設を図 5 に加えたのが図 6 である。

避難所の候補の施設を提示したが、収容定員不足の避難所が 15 か所で、避難所の候補の施設と 500m 以内の避難所を合わせても 11 か所であり、4-1 の場合と同様に収容定員の避難所をカバーすることができない。避難所候補施設を追加したとしても不足は補えず、南足柄市は新たな避難所を物理的に増やす必要があると考えられる。

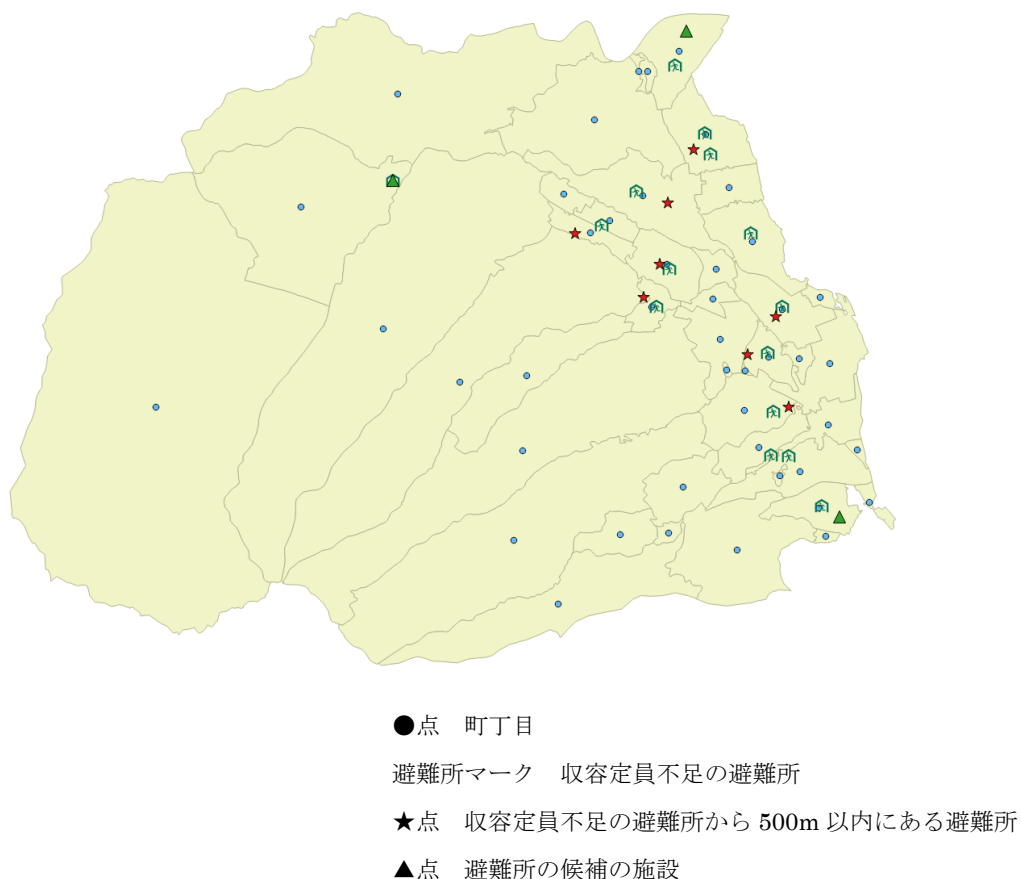


図 6 新たな避難所候補の施設

第 5 章 高齢避難者への配慮

最後に、高齢化が進んでいる日本では見過ごせない問題として、高齢避難者への配慮がある。この章では、南足柄市では高齢避難者への対策ができているのかをこの章で簡単に触れていく。高齢者及び高齢避難者は 65 歳以上とする。

まずは、避難者のうち高齢避難者がどのくらい存在するのかを把握するために、第 2 章で算出した避難率を使用して高齢避難者数を求めた。結果は表 4 である。

表 4 南足柄市の総避難者数と高齢避難者数

総人口	総避難者数	高齢者人口	高齢避難者数
44,020	19,809	12,414	5,586

総避難者数の4分の1以上が高齢避難者という結果となったため、高齢避難者の配慮をしながら避難所割当を提案するべきだと考えられる。高齢避難者への配慮として、高齢避難者が避難生活を安心して過ごすことができる避難所として福祉避難所という避難所がある。南足柄市ではいくつかの施設が福祉避難所に指定されている。福祉避難所は図8の通りである。

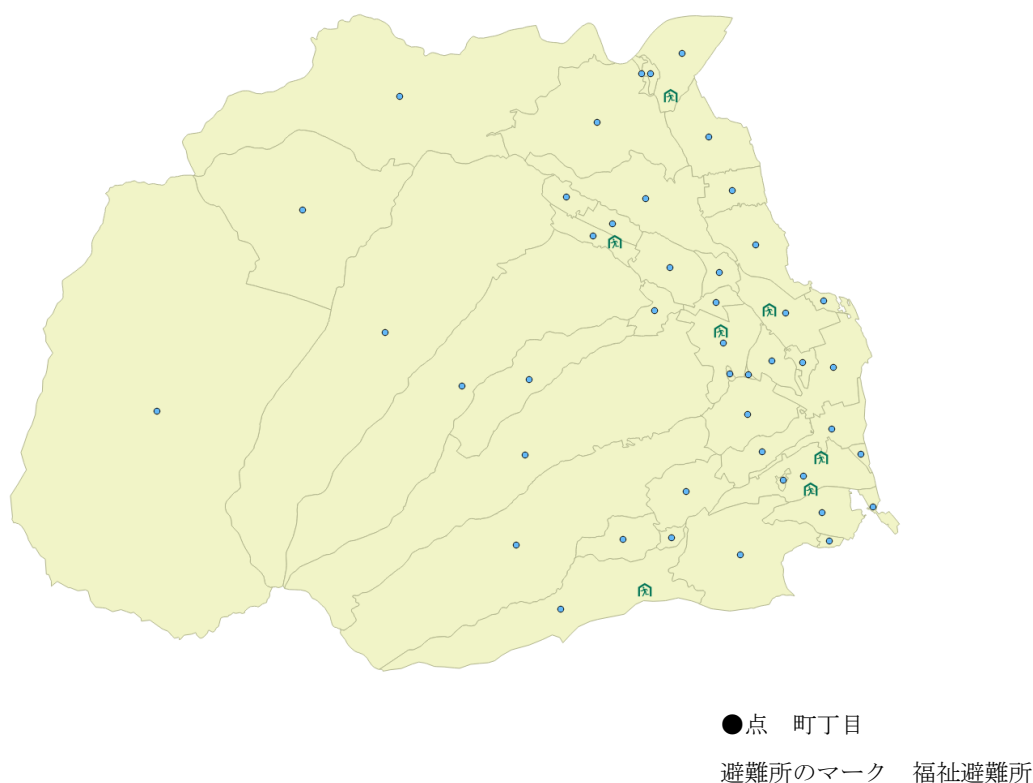


図 9 福祉避難所の配置

通常の避難所の数と比べると少なく、高齢避難者の全員が避難しないと考えると収容定員不足になってしまう。福祉避難所も通常の避難所と同様に増やしていかなくてはならない。福祉避難所として指定されている施設は老人ホームなどである。そこで、南足柄市内の老人ホームなどの施設を福祉避難所として考えた場合はどうかを見ていく。市内にある老人ホームを図8に加えたのが図9である。図9を見ると、町丁目の数45か所に対して、福祉避難所と老人ホームを合わせた9か所では、町丁目1か所につき福祉避難所1か所で町丁目に住む高齢避難者を避難させると考えた場合に数が足

りていないことがわかる。このため、現状の福祉避難所の数では南足柄市内の高齢避難者をカバーできていないと考えられるので、今後は福祉避難所を増やしていかなければならないと考える。

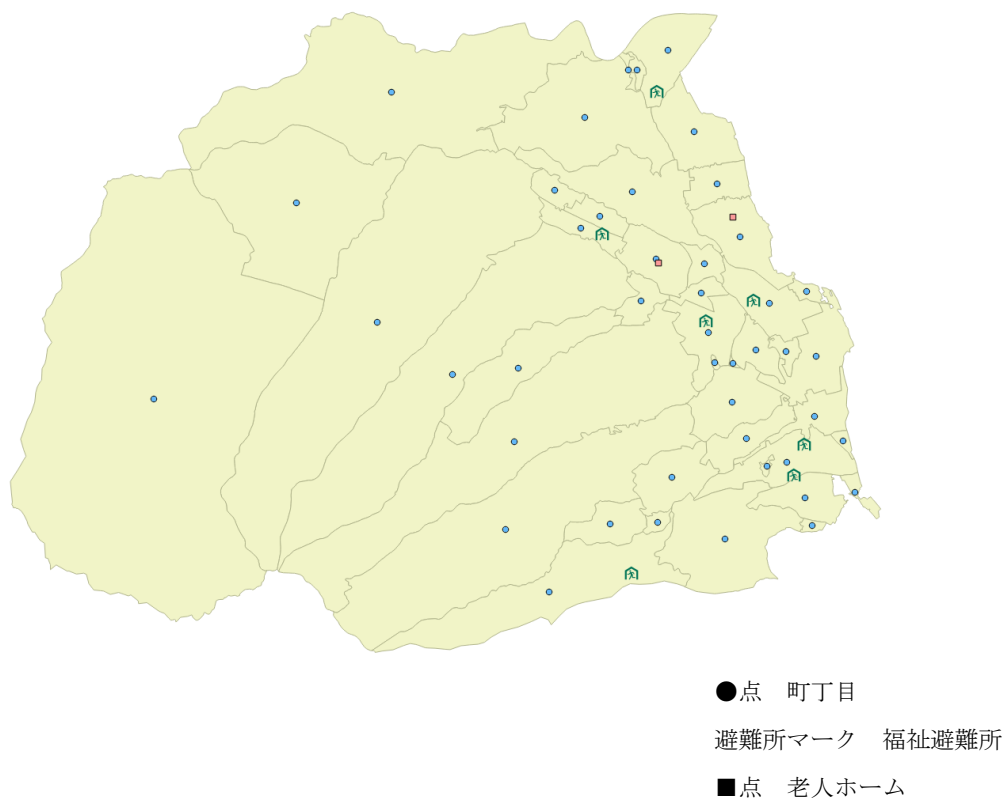


図9 福祉避難所と老人ホーム

第6章 おわりに

本論文では、避難所割当を数理的評価することで見つかった問題点を改善していく流れで避難所割当を提案してきた。最終的に、南足柄市にある避難所の配置では移動距離と収容定員を重視した避難所割当を提案することが難しく、新たな避難所を設置することが重要であるという結果となった。さらに、高齢避難者の配慮する福祉避難所の場合でも同様の結果となった。今後は、別の評価基準を加えることでより良い避難所割当を提案できるのかを模索していきたい。

謝辞

本研究を行うにあたり、根本俊男教授には大変お世話になりました。また、根本ゼミのメンバーやOB、OGの方々にもとてもお世話になりました。本研究に関わって

くださった皆様に感謝を申し上げます。ありがとうございました。

参考文献

- [1] 中野浩太郎、斉藤寿樹、加藤直樹、瀧澤重志：都市における避難所割当ての列挙と評価方法の研究、第76回全国大会講演論文集、1号（2014）p.771-773
- [2] 橋本雄一：QGISの基本と防災活用、古今書院（2015）

付録

付表 A 現状の避難所割当の移動距離

町丁目	市の割当	距離 (m)
向田	向田小学校	154.1772
千津島	福沢小学校	273.3778
塚原	岡本中学校	287.4831
塚原	岩原小学校	348.4674
怒田	足柄高等学校	351.7132
関本	南足柄小学校	375.1648
竹松	向田小学校	477.3340
駒形新宿	岡本小学校	508.6485
塚原	岡本中学校	560.4465
沼田	岩原小学校	571.6276
飯沢	南足柄中学校	573.9511
塚原	岩原小学校	579.8435
沼田	岩原小学校	606.2303
塚原	駒千代青少年広場	607.4851
生駒	岡本小学校	643.4848
福泉	南足柄小学校	645.7448
塚原	駒千代青少年広場	682.5350
壺下	福沢小学校	712.5900
雨坪	南足柄小学校	756.6488
塚原	駒千代青少年広場	774.3631
塚原	岩原小学校	865.9362
三竹	岩原小学校	931.4677
和田河原	向田小学校	1030.2705
中沼	向田小学校	1070.4390
内山	北足柄小学校	1071.0681
狩野	南足柄中学校	1093.6624
弘西寺	南足柄小学校	1349.8474
班目	福沢小学校	1358.9838
竹松	向田小学校	1401.8160
狩野	向田小学校	1489.6699
怒田	足柄高等学校	1515.9231
三竹	岩原小学校	1805.4220
塚原	駒千代青少年広場	1810.4828
小市	足柄高等学校	1810.7326
怒田	足柄高等学校	1843.1052
大雄町	南足柄中学校	2154.1948
苧野	北幼稚園	2391.2475
岩原	岩原小学校	2530.5978
塚原	駒千代青少年広場	2890.2495
広町	南足柄中学校	2929.4114
矢倉沢	北足柄小学校	2987.9816
狩野	向田小学校	3783.6650
三竹	岩原小学校	4298.7864
塚原	岩原小学校	4592.3386
矢倉沢	北足柄小学校	6299.7662

付表 B 避難所の面積の計測結果

<u>避難所</u>	<u>面積 (m²)</u>
北幼稚園	506
岡本小学校	6681
岡本中学校	12593
岩原小学校	6392
駒千代青少年広場	2168
向田小学校	12500
足柄高等学校	11305
南足柄小学校	5341
南足柄中学校	10594
福沢小学校	5880
北足柄小学校	4023

付表 C 熊本地震における避難者数（2016年4月17日）⁷

震度7	人口(人)	避難者数(人)	避難率
西原村	7,075	2,951	42%
益城町	33,639	16,050	48%
震度6強			
南阿蘇村	11,912	3,043	26%
菊池市	51,130	1	0%
宇土市	38,010	744	2%
大津町	33,094	12,848	39%
嘉島町	8,979	2,000	22%
宇城市	62,083	4,204	7%
合志市	57,501	969	2%
熊本市	731,815	50,244	7%
震度6弱			
阿蘇市	28,244	7,277	26%
八代市	132,775	1,183	1%
玉名市	69,182	134	0%
菊陽町	38,821	1,321	3%
御船町	17,939	3,234	18%
美里町	11,403	94	1%
山都町	17,242	1975	11%
氷川町	12,811	253	2%
和水町	11,221	0	0%
上天草市	30,647	15	0%
天草市	88,936	0	0%
震度5強			
南小国町	4,412	201	5%
小国町	8,004	19	0%
産山村	1,668	43	3%
高森町	7,066	150	2%
山鹿市	55,812	119	0%
玉東町	5,625	2	0%
長洲町	16,665	0	0%
甲佐町	11,496	561	5%
芦北町	19,348	10	0%
震度5弱			
荒尾市	55,381	13	0%
南関町	10,737	5	0%
人吉市	35,043	11	0%
あさぎり町	16,690	0	0%
山江村	3,727	0	0%
水俣市	26,909	0	0%
津奈木町	5,102	0	0%

⁷ 減災インフォ： <https://www.gensaiinfo.com/blog/2016/0420/3028/#i-4>

付表 D 現状の避難所割当の収容定員と避難者数

避難所	収容定員(人)	予想避難者数(人)
北幼稚園	245	310
岡本小学校	3239	1310
岡本中学校	5136	387
岩原小学校	3099	2112
駒千代青少年広場	1051	4203
向田小学校	6061	2855
足柄高等学校	5481	2318
南足柄小学校	6106	3406
南足柄中学校	2590	387
福沢小学校	2851	1086
北足柄小学校	1951	1437

付表 E 最短移動距離での割当の移動距離

町丁目	避難所	距離 (m)
千津島	千津島公民館	24.7674
和田河原	若宮神社境内	41.1387
沼田	沼田公民館	49.4431
関本	関本公民館前	61.6296
飯沢	南足柄神社	71.6260
生駒	生駒公民館東側	73.5649
怒田	自得寺ミニグラウンド	111.2909
竹松	竹松公民館広場	117.9154
福泉	福泉児童館	118.1461
向田	向田小学校	154.1772
狩野	狩野筏場分館	154.2548
雨坪	福泉児童館	188.8742
班目	班目公民館	195.5884
塚原	岡本コミュニティセンター	195.8252
竹松	体育センター	216.2747
塚原	中部公民館グラウンド	217.9364
塚原	薬師堂境内	274.1312
塚原	岡本中学校	287.4831
塚原	薬師堂境内	303.9648
塚原	岩原小学校	348.4674
狩野	中部公民館グラウンド	351.1151
小市	班目公民館	384.1594
塚原	日向公民館	397.6195
三竹	沼田公民館	420.4590
中沼	中部公民館グラウンド	426.3958
駒形新宿	生駒公民館東側	443.6775
怒田	班目公民館	499.6476
壙下	福沢コミュニティセンター	532.3631
弘西寺	雨坪公民館	555.2432
塚原	岡本中学校	560.4465
沼田	岩原小学校	571.6276
大雄町	大雄山最乗寺境内の中庭	578.2531
広町	大雄山最乗寺境内の中庭	645.3613
狩野	大雄山最乗寺境内の中庭	669.7383
塚原	三竹公民館	741.4413
岩原	三竹公民館	793.5429
内山	北足柄小学校	1071.0681
怒田	自得寺ミニグラウンド	1128.8793
三竹	三竹公民館	1178.1718
塚原	岡本コミュニティセンター	1278.3724
三竹	沼田公民館	1305.7105
矢倉沢	矢倉沢公民館	1309.8103
塚原	大雄山最乗寺境内の中庭	1822.0221
荻野	大雄山最乗寺境内の中庭	1918.9395
矢倉沢	矢倉沢公民館	4479.6323

付表 F 最短移動距離の割当の収容定員と避難者数

避難所	収容定員 (人)	予想避難人数 (人)
北足柄小学校	1951	384
班目公民館	272	360
自得寺ミニグラウンド	242	948
千津島公民館	107	392
矢倉沢公民館	102	304
大雄山最乗寺境内の中庭	2873	2130
福沢コミュニティセンター	412	783
雨坪公民館	242	176
福泉児童館	103	816
竹松公民館広場	250	658
関本公民館前	233	1394
向田小学校	6061	453
若宮神社境内 (和田河原公民館)	278	1817
南足柄神社	77	721
狩野筏場分館	58	0
体育センター	5139	81
岡本中学校	5136	2255
中部公民館グラウンド	884	811
生駒公民館東側	57	887
日向公民館	121	449
岡本コミュニティセンター	443	887
薬師堂境内	43	1806
岩原小学校	3099	88
沼田公民館	187	1180
三竹公民館	78	29

付表 G 収容定員不足の避難所と 500m 以内の避難所と避難所の候補

収容定員不足の避難所	500m以内の避難所	避難所の候補
班目公民館	県立足柄高等学校	北小田原病院
自得寺ミニグラウンド	福沢小学校	東雄技研
千津島公民館	雨坪公民館	足柄香粧
矢倉沢公民館	長福寺	
福沢コミュニティセンター	むつみ幼稚園	
福泉児童館	こどもセンター	
竹松公民館広場	中部公民館	
関本公民館前	駒千代青少年広場	
若宮神社境内		
南足柄神社		
生駒公民館東側		
日向公民館		
岡本コミュニティセンター		
薬師堂境内		
沼田公民館		

付表 H 福祉避難所と老人ホーム

福祉避難所	老人ホーム
足柄療護園	はなことば
コスモス学園	すいふようの郷
草の家	
にじの丘足柄	
四季の丘	
ツクイ南足柄	
和らぎ	