

福祉避難所の配置問題

—四日市市を例として—

2020SS045 水谷唯斗

指導教員：佐々木美裕

1 はじめに

30年以内に発生する確率が70~80%とされている南海トラフ地震発生時の三重県に住む高齢者の予想死者数は約2万6千人であると言われている。日本では、一般の避難所とは別に福祉避難所という施設がある。福祉避難所は高齢者や乳幼児、妊婦など一般の避難所では生活に支障のある「要配慮者」を受け入れる避難所であり、全国にある一般の指定避難所の78,243カ所のうち、22,078カ所が福祉避難所として指定されている[3]。福祉避難所に指定される候補として挙げられるのは老人福祉施設、障害者支援施設、児童福祉施設などである。しかし、福祉避難所の設置数は少なく認知度が低い。そのため、福祉避難所に速やかに避難することが難しい高齢者が多く存在している。そこで、新たに福祉避難所を設置し、巨大な災害が発生したときに施設の不足が原因で起こる災害関連死等を減らそうと考えた。

2 問題の説明

本研究では施設の配置対象を四日市市とする。四日市市を対象にする理由は、南海トラフ地震での被害が大きいと予想されている県の1つが三重県であり、四日市市は県内で最も人口が多く、海にも面しているため津波による被害も考えられるためである。東日本大震災での死者のうち6割以上が高齢者であったことから高齢者かつ自力で避難できるが一般の避難所では生活を送ることが難しいと考えられる要支援1・2、要介護1・2の人を避難の対象とする。また、福祉避難所の候補地点は、既存の介護施設とし、需要点は各町丁目の代表点とする。「歩いていける距離(平均, m)」[4]より徒歩で移動できる距離は1,057m、70代以上の歩いて行ける距離は879mであった。この結果から、町丁目の代表点から半径1000m以内にある候補地をを選択する。需要点と候補地点の距離は、2点の緯度と経度からハーバーサインの公式を用いて求める。

四日市市には、前述した避難の対象約9300人(令和5年4月)である。介護施設は487カ所あり、そのうち73カ所が福祉避難所である。四日市市には527の町丁目がある。これらのデータは四日市市が公開しているオープンデータ[2]から使用する。四日市市の福祉避難所と介護施設の配置と津波浸水予測図を図1に示す。津波の高さごとの影響を表1[1]に示す。

本研究での目的は、施設を利用する人数の最大化であり、既存の施設の容量をどれだけ増やせば全員が避難できるかを考える。そこで、避難者数最大化モデル(モデル1)、施設容量最小化モデル(モデル2)、施設拡張率を考慮した避難者数最大化モデル(モデル3)、移動距離最小化モデル(モデル4)を考えた。今回はモデル3について説明する。



図1 介護施設と福祉避難所の配置 (赤: 福祉避難所, 青: 介護施設)

表1 津波の高さごとの影響

津波の高さ	影響	色
0.01m以上~0.3m未満	特に影響なし	緑
0.3m以上~1.0m未満	避難行動がとれなくなる	黄
1.0m以上~2.0m未満	津波に巻き込まれたときほとんどの人が亡くなる	橙
2.0m以上~5.0m未満	木造家屋のほとんどが全壊する	桃
5.0m以上~10.0m未満	2階建ての建物が水没する	赤
10.0m以上	3階建ての建物が水没する	紫

3 定式化

本節では避難場所を確保できる人数の最大化を目的とした定式化の説明を行う。はじめに、以下の記号を定義する。

I : 需要点(各市町村の代表点)の集合。

J : 候補地(介護施設)の集合。

w_i : 需要点 $i \in I$ の重み(人口)。

c_j : 候補地 $j \in J$ の重み(施設の定員)。

d_{ij} : 需要点 $i \in I$ と $j \in J$ 間の距離。

p : 配置する施設の数。

T : 施設までの距離の閾値。

$$a_{ij} = \begin{cases} 1: d_{ij} \leq T. \\ 0: \text{上記を満たさないとき.} \end{cases}$$

x_{ij} : 需要点 $i \in I$ が候補地 $j \in J$ を利用する割合。

$$y_j = \begin{cases} 1: \text{施設候補地 } j \in J \text{ に施設を配置.} \\ 0: \text{上記以外.} \end{cases}$$

z_j : 候補地 $j \in J$ の容量の拡張率.

$$\text{maximise.} \quad \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} w_i x_{ij} - \sum_{j \in J} z_j, \quad (1)$$

$$\text{subject to.} \quad x_{ij} \leq a_{ij} y_j, \quad i \in I, j \in J \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} y_j \leq p, \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \leq 1, \quad i \in I \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I} w_i x_{ij} \leq c_j (1 + z_j), \quad j \in J \quad (5)$$

$$0 \leq x_{ij} \leq 1, \quad i \in I, j \in J \quad (6)$$

$$y_j \in \{0, 1\}, \quad j \in J \quad (7)$$

$$0 \leq z_j, \quad j \in J \quad (8)$$

定式化の説明を行う.

(1) は、人数の和から各施設容量の拡張率の和を引いた最大化を示している. (2) は、施設 $j \in J$ が需要点 $i \in I$ の閾値内に設置されないときは、 x_{ij} は 0 となることを示す制約である. (3) は配置する施設の個数は p 個以下であることを示す制約である. (4) は需要点 $i \in I$ がいずれかの施設を利用する割合の和は 1 以下であることを示す制約である. (5) は施設 $j \in J$ を利用する人数は容量を増加した施設 $j \in J$ の定員以下であることを示す制約である. (6) は x_{ij} のバイナリ制約である. (7) は y_j のバイナリ制約である. (8) は拡張率の値は 0 以上である.

4 計算結果と考察

津波の高さが 0.3m 未満の場所にある介護施設を候補地とし計算実験を行った結果、避難対象者 9286 人のうち 8617 人が避難場所を確保でき、527 の町丁目のうち、489 の町丁目に住む人が避難場所を確保できた。避難に使用した施設数は、既存の福祉避難所を含めて 302 カ所であり、15 カ所の施設を拡張させる必要があることがわかった。

津波の影響を受けやすい海沿いの町丁目や四日市市の郊外にある町丁目に住む人は施設の容量を増加しないと避難場所を確保できないことがわかった。また、施設の容量を大幅に増やす必要がある施設がいくつかあることから郊外には介護施設が足りていないことがわかった。図 2 に使用した施設と避難場所を確保できた町丁目を示す。

5 おわりに

今回の研究では 1 次避難所を福祉避難所として施設配置問題を行ったため津波の影響を大きく受ける町丁目は避難場所を確保できないという結果になった。だから、今後の課題は 1 次避難所として高い建物や高い位置にある施設に避難し、地震や津波が収まった後に 2 次避難所として使用する福祉避難所の最適配置を考えたい。

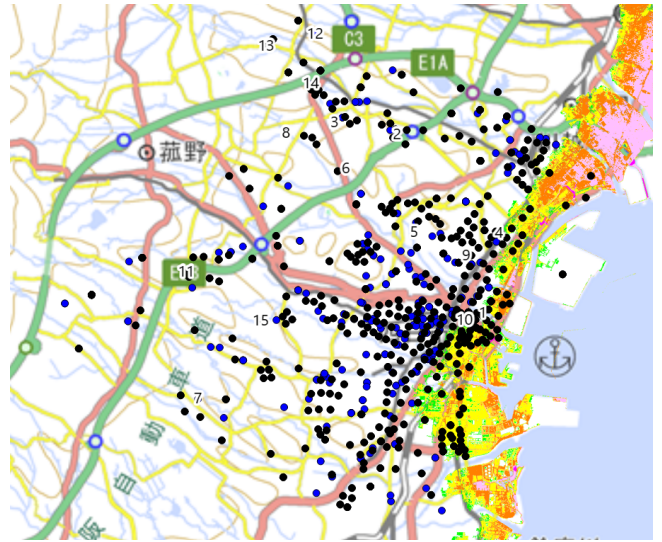


図 2 使用した施設と避難場所を確保できた町丁目の配置 (数字: 拡張した施設, 青: 使用した施設, 黒: 町丁目)

表 2 施設の容量と拡張率

施設の番号	元の容量 (人)	拡張後の容量 (人)	拡張率
7	33	162.29	5.13
8	22	71.94	3.27
11	50	151.00	3.02
2	50	124.00	2.48
13	27	59.94	2.22
12	21	43.89	2.09
6	25	50.00	2.00
1	27	38.88	1.44
15	48	67.68	1.41
5	50	70.00	1.40
3	47	58.75	1.25
10	48	58.56	1.22
4	40	42.00	1.05
9	50	52.00	1.04
14	44	44.88	1.02

参考文献

- [1] 三重県 | 各種防災関連報告書：津波浸水予測図一覧 (平成 25 年度版). <https://www.pref.mie.lg.jp/D1BOUSAI/84188007991.htm>. (Accessed on 01/09/2024).
- [2] 統計情報 - 四日市. <https://www.city.yokkaichi.lg.jp/www/genre/1496040010830/index.html>. (Accessed on 12/29/2023).
- [3] 福祉避難所の利用方法。直接避難してはダメ？対象者・設備・持参すべき物品は？ — og スマイル. https://www.ogw-media.com/smile/cat_care/5502. (Accessed on 09/20/2023).
- [4] 歩きは 1 キロ、自転車は 3 キロ……普段の生活で行ける距離 - ガバージニュース. <http://www.garbagenews.net/archives/1031070.html>. (Accessed on 09/27/2023).