

# 大規模災害の発生に備えた避難施設の最適配置

2015SS032 小池礼華

指導教員：福嶋雅夫

## 1 はじめに

### 1.1 研究の背景

近年日本では平成 30 年 7 月豪雨や北海道南海沖地震など立て続けに自然災害が発生し、甚大な被害を及ぼしている。日本で防災に対する意識が向上したきっかけは、1995 年の阪神・淡路大震災の発生であり、それ以降様々な防災対策がなされた [1]。そして 2011 年には東日本大震災が発生した。医療体制やボランティア制度の改善、災害対策本部の設置などかつての災害の教訓が生かされている一方、情報の伝達手段の確保や避難物資の輸送の問題など、依然として具体的な解決策が見つからない問題もある。これらの中に避難施設に関する問題が挙げられる。具体的な問題として、避難施設として指定されていない場所やライフラインが途絶した場所への避難や避難施設となるべき場所の設備や備蓄の不足、避難施設において被災者がそこで生活するのに十分なスペースが確保されていないことなどがある [2]。大勢の人がひしめき合った状態などの厳しい生活環境は、心身に悪影響を及ぼし災害関連死の増加にもつながる [3]。そのため、既存の避難施設のみでは人数が収容できない場合や、被災者が当面の生活のために十分なスペースを確保することが困難な場合、他の避難施設として活用できそうな施設（以下、候補施設と呼ぶ）を新たに避難施設とすることで被災者の避難生活における負担の軽減が期待できる。

### 1.2 研究の内容

本研究では、現状の避難施設では大規模自然災害が発生した際の非常事態に対応することができないことを想定し、施設の設置、拡張コストおよび各地区と施設間の距離を考慮した適切な避難施設の配置について考えることにより、各市や自治体ごとに適した避難施設の設置方法の提案を目的とする。

## 2 定式化

本問題の定式化にあたり、以下の記号を定義する。

### ● 定数

$M$  : 既存の避難施設の集合

$N$  : 候補施設の集合

$L$  : 地区の集合

$q_j$  : 避難施設  $j \in M$  を拡張する際の固定費用 ( $q_j \geq 0$ )

$r_j$  : 避難施設  $j \in M$  の単位あたりの拡張費用 ( $r_j \geq 0$ )

$f_k$  : 候補施設  $k \in N$  を避難施設にする際の固定費用 ( $f_k \geq 0$ )

$g_k$  : 候補施設  $k \in N$  を拡張する際の固定費用 ( $g_k \geq 0$ )

$h_k$  : 候補施設  $k \in N$  の単位あたりの拡張費用 ( $h_k \geq 0$ )

$d_{ij}$  : 地区  $i \in L$  と避難施設  $j \in M$  の距離

$d'_{ik}$  : 地区  $i \in L$  と候補施設  $k \in N$  の距離

$t$  : 避難距離の上限を表す定数 (パラメータ)

$S_j$  : 避難施設  $j \in M$  の容量

$T_k$  : 候補施設  $k \in N$  の容量

$p_i$  : 地区  $i \in L$  の人口

$R$  : 十分大きい定数 ( $R \geq 0$ )

### ● 変数

$w_j$  : 避難施設  $j \in M$  を拡張するかどうかを表す 0-1 変数

$y_k$  : 候補施設  $k \in N$  を避難施設とするかどうかを表す 0-1 変数

$z_k$  : 候補施設  $k \in N$  を拡張するかどうかを表す 0-1 変数

$u_j$  : 避難施設  $j \in M$  の拡張量 ( $u_j \geq 0$ )

$v_k$  : 候補施設  $k \in N$  の拡張量 ( $v_k \geq 0$ )

$x_{ij}$  : 地区  $i \in L$  を避難施設  $j \in M$  に割り当てるかどうかを表す 0-1 変数

$x'_{ik}$  : 地区  $i \in L$  を候補施設  $k \in N$  に割り当てるかどうかを表す 0-1 変数

これらを用いて問題は以下のように定式化される。

$$\min. \sum_{j \in M} (q_j w_j + r_j u_j) + \sum_{k \in N} (f_k y_k + g_k z_k + h_k v_k) \quad (1)$$

$$s.t. \sum_{j \in M} d_{ij} x_{ij} + \sum_{k \in N} d'_{ik} x'_{ik} \leq t \quad (i \in L) \quad (2)$$

$$\sum_{j \in M} x_{ij} + \sum_{k \in N} x'_{ik} = 1 \quad (i \in L) \quad (3)$$

$$\sum_{i \in L} p_i x_{ij} \leq S_j + u_j \quad (j \in M) \quad (4)$$

$$\sum_{i \in L} p_i x'_{ik} \leq T_k y_k + v_k \quad (k \in N) \quad (5)$$

$$u_j \leq R w_j \quad (j \in M) \quad (6)$$

$$v_k \leq R z_k \quad (k \in N) \quad (7)$$

$$z_k \leq y_k \quad (k \in N) \quad (8)$$

$$x'_{ik} \leq y_k \quad (i \in L, k \in N) \quad (9)$$

$$w_j \in \{0, 1\} \quad (j \in M), y_k \in \{0, 1\} \quad (k \in N)$$

$$z_k \in \{0, 1\} \quad (k \in N)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad (i \in L, j \in M)$$

$$x'_{ik} \in \{0, 1\} \quad (i \in L, k \in N)$$

式 (1) は各々の施設にかかる総費用を表す目的関数である。式 (2) は各地区からその地区が割り当てられる施設までの距離が上限値を越えてはいけないことを表す。式 (3) は各地区に対し、割り当てられる避難施設は 1 つとする制約である。式 (4), (5) は避難施設や候補施設を拡張し、容量を増やすための制約である。ただし、候補施設を避難施設にしない場合、どの地区もその施設に避難で

きない。式 (6), (7) はそれぞれ避難施設と候補施設を拡張しないとき, 拡張量は 0 であることを示す。式 (8) は, 候補施設が避難施設となるとときに限り候補施設を拡張できることを表す。式 (9) は候補施設が避難施設となる場合, 地区  $i \in L$  を候補施設  $k \in N$  に割り当て可能であることを表す。

### 3 数値実験

#### 3.1 データ

本研究では岐阜県可児市を対象地域とし, 可児市指定避難所マップ [4] を参考に避難施設, 地区を定めた (図 1 参照)。候補施設は, 指定緊急避難場所の指定に関する手引き [5] に基づいて設定する。避難施設を 34 か所, 候補施設を 19 か所, 地区を 45 か所とし, 施設と地区間の距離はユークリッド距離を採用する。Python 言語でプログラムを作成し, Gurobi を用いて最適解を導出した。避難距離の上限を表す定数  $t$  の値を, どの地区から施設へ移動するにも必要な最短距離である  $t = 1.6$  から  $t = 3.4$  まで変化させ, そのときの設置, 拡張費用との関係性を調べる。

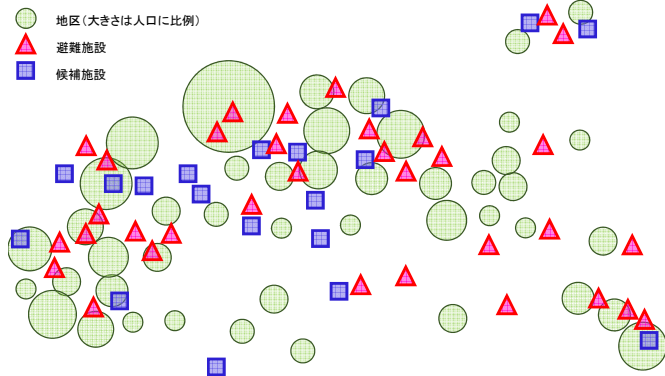


図 1 地区の人口と施設間の関係

#### 3.2 結果と考察

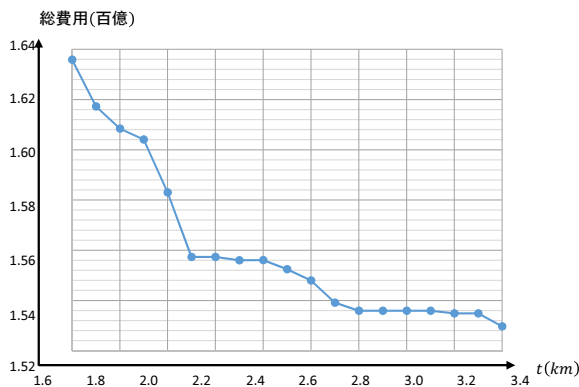


図 2 計算実験の結果

計算結果を図 2 に示す。曲線上の点  $(t, c)$  は, 避難距離を  $t$  以下にしようとするなら, 費用は  $c$  以上必要であり, また費用を  $c$  以下に収めようとする場合, 避難距離の

最大値は  $t$  となることを表す。曲線上の点  $(t, c)$  は, 避難距離を  $t$  以下にしようとするなら, 費用は  $c$  以上必要であり, また費用を  $c$  以下に収めようとする場合, 避難距離の最大値は  $t$  となることを表す。  $1.6 \leq t \leq 2.0$  では費用の幅が極端に大きいのが以降は緩やかに下がっていく。また避難距離の上限を 2.0km 以下にしようすると, 費用が急激に増加する。避難距離が短いに越したことはないが, 人間の歩行平均速度を時速 4.0km とすると, 少なくともでも 30 分以内には避難を終わらせることが妥当であると考えられるため, 可児市の例では避難距離の上限が 2.1km, 総費用が 1.5573 (百億円) となる避難施設の配置が妥当であると考えられる (図 3 参照)。

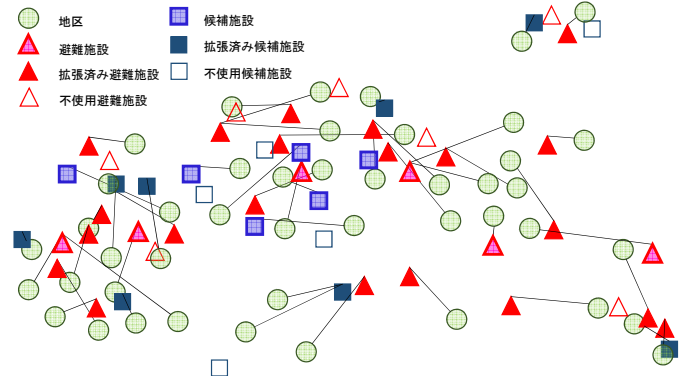


図 3  $t = 2.1$  の配置図

### 4 おわりに

本研究では, 現状の避難施設では容量が不十分なとき, 候補施設を新たに避難施設にしたり, 現状の避難施設の容量を増やすことにより, 費用と避難距離のバランスを考慮した施設の設置方法を提案した。地区の住民はすべて同じ施設に避難するとしたが, 実際には同じ地区でもより近くにある施設へ避難する。より現実的な課題を解決するために必要な条件を考えることが今後の課題である。

### 参考文献

- [1] 内閣府防災担当:『防災意識の向上』, <http://www.bousai.go.jp/jishin/tsunami/hinan>
- [2] 内閣府防災担当:『避難に関する総合的対策の推進に関する実態調査結果報告書 平成 25 年』, [http://www.bousai.go.jp/kaigirep/houkokusho/hinan\\_taisaku](http://www.bousai.go.jp/kaigirep/houkokusho/hinan_taisaku)
- [3] 復興庁:『東日本大震災における震災関連死に関する報告 平成 24 年』, <http://www.reconstruction.go.jp/topics>
- [4] 可児市指定避難所マップ: [http://www.city.kani.lg.jp/secure/4063/bousaimap\\_2018](http://www.city.kani.lg.jp/secure/4063/bousaimap_2018)
- [5] 内閣府:『指定緊急避難場所の指定に関する手引き』 <http://www.bousai.go.jp/oukyu/hinankankoku>