

大規模災害に備えた避難施設の段階的整備計画

2016SS011 平田奈々

指導教員：福嶋雅夫

1 はじめに

1.1 研究の背景

日本では、毎年のように自然災害が起こり、そのたびに甚大な被害を及ぼしている。そして都市直下型地震や南海トラフ地震がいつ起きるかわからない今、自然災害に向けての対策を考えなければならない。特に避難施設の問題は災害関連死にもつながる緊急性の高い問題である。具体的には、指定避難所での設備や備蓄の不足、プライバシーの確保が不十分などがある [2, 3]。厳しい生活環境では、心身や健康状態に悪影響を及ぼし、災害関連死につながる [4]。そのため、既存の避難施設では生活に十分なスペースを確保して十分な人数を収容することが困難な場合、既存の避難施設を増築や他の避難施設に活用できそうな施設を新たに避難施設にすることで、被災者生活の負担を軽減し災害関連死の減少が期待できる。

1.2 研究の目的

まず前提として、いくつかの地区から成り立つ自治体を考える。震災発生時に住民が地区に割り当てられている避難施設に避難したとき、避難施設までの距離を考慮すると、現状の避難施設では大規模災害などの非常事態に対応することが困難であると想定する。

この問題を解決するため、現在は避難施設として使うことはできないが、改装などを行うことで避難施設として活用できそうな既存の施設（以下、候補施設と呼ぶ）を避難施設に変えたり、その候補施設の容量を増やすことを考える。小池 [1] は以上のことを踏まえ、適切な避難施設を同時に配置することを考えた。しかし、現実的には予算や整備期間の長さの点で同時に配置することは困難であるため、ここでは多期間に渡って段階的に避難施設を整備することを考える。そして、予算や住民の避難距離を現実的に考慮した避難施設の整備計画を作成することを目的とし、各期間ごとに費用や避難時間の偏りのない配置を考える。

2 定式化

2.1 記号の定義

既存の避難施設の集合を J とし、それらを拡張する場合は固定費用と拡張量に応じた費用がかかる。候補施設の集合を K とし、それらを避難施設にする場合に固定費用がかかり、さらに拡張をする場合は、固定費用と拡張量に応じた費用がかかる。計画期間の長さを T とし、地区の集合を I とする。各避難施設を拡張するのは高々 1 回であり、候補施設を避難施設に変えたり、さらにそれを拡張するのも高々 1 回とする。

- 定数

f_{tk} : t 期目に候補施設 $k \in K$ を避難施設にする際の固定費用

g_{tk} : t 期目において候補施設 $k \in K$ を拡張する際の固定費用

h_{tk} : t 期目における候補施設 $k \in K$ の単位あたりの拡張費用

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

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

b_t : t 期目における予算の上限

r_t : t 期目における最大避難距離の目標値

U_j : 計画初期における避難施設 $j \in J$ の容量

V_k : 計画初期における候補施設 $k \in K$ の容量

p_i : 地区 $i \in I$ の人口

R : 十分大きい定数 ($R \geq 0$)

c : 重み定数 ($c > 0$)

- 変数

y_{tk} : t 期目に候補施設 $k \in K$ を避難施設とすることを表す 0-1 変数

z_{tk} : t 期目に候補施設 $k \in K$ を避難施設としたとき、さらにそれを拡張するかどうかを表す 0-1 変数

v_{tk} : t 期目の候補施設 $k \in K$ の拡張量 ($v_{tk} \geq 0$)

x_{tij} : t 期目に地区 $i \in I$ を避難施設 $j \in J$ に割り当てるかどうかを表す 0-1 変数

x'_{tik} : t 期目に地区 $i \in I$ を候補施設 $k \in K$ に割り当てるかどうかを表す 0-1 変数

2.2 問題

問題は以下のように定式化される。

$$\min. \sum_{t=1}^T [\max\{0, \sum_{j \in J} d_{ij} x_{tij} + \sum_{k \in K} d'_{ik} x'_{tik} - r_t\} + c \sum_{k \in K} (f_{tk} y_{tk} + g_{tk} z_{tk} + h_{tk} v_{tk})] \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \sum_{j \in J} x_{tij} + \sum_{k \in K} x'_{tik} = 1 \quad (i \in I, t \in T) \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} p_i x_{tij} \leq U_j \quad (j \in J, t \in T) \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} p_i x'_{tik} \leq \sum_{s=1}^t (V_k y_{sk} + v_{sk}) \quad (k \in K, t \in T) \quad (4)$$

$$\sum_{k \in K} (f_{tk} y_{tk} + g_{tk} z_{tk} + h_{tk} v_{tk}) \leq b_t \quad (t \in T) \quad (5)$$

$$0 \leq v_{tk} \leq R z_{tk} \quad (k \in K, t \in T) \quad (6)$$

$$z_{tk} \leq \sum_{s=1}^t y_{sk} \quad (k \in K, t \in T) \quad (7)$$

$$x'_{tik} \leq \sum_{s=1}^t y_{sk} \quad (i \in I, k \in K, t \in T) \quad (8)$$

$$\sum_{t=1}^T y_{tk} \leq 1 \quad (k \in K)$$

$$\sum_{t=1}^T z_{tk} \leq 1 \quad (k \in K)$$

$$y_{tk}, z_{tk} \in \{0, 1\} \quad (k \in K, t \in T)$$

$$x_{tij} \in \{0, 1\} \quad (i \in I, j \in J, t \in T)$$

$$x'_{tik} \in \{0, 1\} \quad (i \in I, k \in K, t \in T)$$

式(1)の第一項は、各地区からその地区に割り当てられる施設までの総避難距離が各期ごとの最大避難距離の目標値を上回ったときの超過分の合計を表す。なお、実際の計算では、補助変数を導入して、問題がmaxを含まない形に変換する。第二項は各期に生じる費用の合計を表す目的関数である。cは重み定数である。式(2)は、どの期においても各地区に対して割り当てられる施設は避難施設と候補施設を合わせて1つとする制約式である。式(3)、(4)は、それぞれ避難施設や避難施設になる候補施設の収容可能人数は拡張された期以降は拡張されたままであり、その収容可能人数以下しか各地区から受け入れることができないことを示す制約式である。ただし、避難施設になっていない候補施設は、どの地区にも割り当てられない。式(5)は各期の候補施設を避難施設にした場合の固定費用と避難施設にした候補施設を拡張する際の固定費用と単位あたりの拡張費用の総費用であり、それらの合計を各期ごとの予算の上限以下とする制約式である。この上限値を期間ごとに変更することで避難施設の条件を調整することが可能である。式(6)は避難施設にした候補施設が拡張されないときは拡張量も0であることを示している。式(7)は候補施設が避難施設になった後は候補施設を拡張できることを示している。式(8)は候補施設が避難施設になった後は地区への割り当てができることを示している。式(9)は計画期間内に1回限り候補施設を避難施設にできることを示している。式(10)は計画期間内に1回限り避難施設になった候補施設を拡張できることを示している。

3 数値実験

3.1 問題

避難施設を2か所、候補施設を5か所、地区を5か所、計画期間は3期とし、施設と地区間の距離はユークリッド距離で求める。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。初期段階では避難所に全地区が収まっており、最大避難距離の目標値を表す定数 r_t を1期では30、2期では25、3期では18と段階的に小さくしていき、各地区と割り当てられる施設の推移を調べる。

3.2 結果と考察

まず、予算の上限を1期を150、2期を150、3期を300にした場合、使われた費用は1期が131、2期が148、3期が236となり、合計は515となる。地区と施設の距離は、最大で、1期が28、2期が22、3期が17となり、距離の上限を満たす。期間ごとの推移を図1に示す。

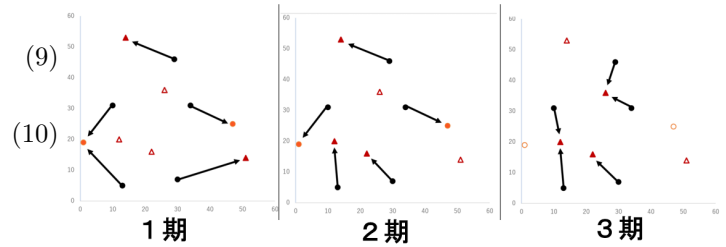


図1 地区と施設の割り当ての推移(その1)

次に、予算の上限を1期を200、2期を200、3期を200にした場合、使われた費用は1期が188、2期が97、3期が169となり、合計は454となる。地区と施設の距離は、最大で、1期が26、2期が22、3期が17となり、距離の上限を満たす。期間ごとの推移を図2に示す。

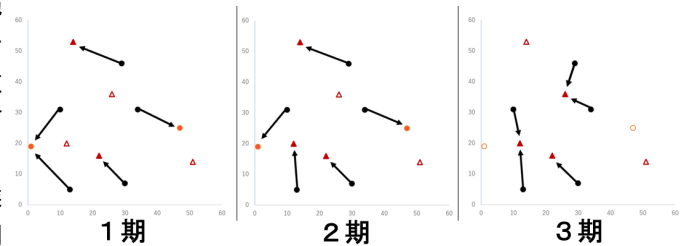


図2 地区と施設の割り当ての推移(その2)

これらの結果から予算が余った場合、その期間で使われない候補施設が避難施設化されることがあり、また予算の上限が初期段階に多いほうが全期間での合計費用が少なくなることがわかった。

4 おわりに

本研究では、予算や整備期間の長さの理由で同時に避難施設を整備することは現実的に困難であると考え、多期間に渡って段階的に避難施設を整備することを考えた。段階的に計画すると、いずれ使われなくなる施設にも予算が使われることがある。この問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] 小池礼華;『大規模災害の発生に備えた避難施設の最適配置』, 南山大学理工学部卒業論文 2019.1
- [2] 内閣府防災担当:『東日本大震災における災害応急対策に関する検討会_中間とりまとめ_』, http://www.bousai.go.jp/oukyu/higashinohon/pdf/cyukan_torimatome.pdf
- [3] 内閣府防災担当:『東日本大震災における災害応急対策の主な課題』, http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/5/pdf/2.pdf
- [4] 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/20120821_shinsaikanrenshihoukoku.pdf