

数理計画法による避難計画の作成支援について

01015322 秋田県立大学 *稲川敬介 INAKAWA Keisuke

1. はじめに

近年、度重なる災害が社会的に大きな関心を集めている。同時に、これらの災害を防災対策だけで防ぎきることは難しいという考え方が浸透し始め、減災 (Disaster risk reduction: DRR) という考え方が注目されている。

本研究では、個別の被害状況に応じて避難民を適切な避難施設 (避難所) に割当てて問題を避難施設割当て問題としてモデル化する。このモデルを実行することで、災害が起きた直後、迅速な避難計画の作成を支援することを目的とする。

2. 避難施設割当てモデル

本研究における避難施設とは、避難民が宿泊滞在できる施設のことであり、一時的な避難場所とは区別する。多くの場合、小中学校や公民館が避難施設に指定されており、3日分を目安に水や食糧などが備蓄されている。このとき、施設の広さや備蓄の量などに応じて、避難施設には収容できる人数 (収容上限) が計画されている。

本研究では、各避難施設の収容上限を満たし、避難民の移動距離をできるだけ少なくしつつ、かつ、同じ地区内の避難民を積極的に同じ避難施設に割当てて問題を考える。ここでは、輸送問題とビンパッキング問題 (以後、BP 問題) [1] の両方の特性を活かした、以下の式 (1) のモデルを提案する。

$$\begin{aligned}
 \min. \quad & \alpha \sum_i \sum_j d_{ij} y_{ij} + (1 - \alpha) \sum_i \sum_j x_{ij} \\
 \text{s.t.} \quad & \sum_j y_{ij} = a_i, \quad \forall i \\
 & \sum_i y_{ij} \leq b_j, \quad \forall j \\
 & y_{ij} \leq p_{\max} x_{ij}, \quad \forall i, j \\
 & x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i, j \\
 & y_{ij} \in \{0, \mathcal{N}\}, \quad \forall i, j
 \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 d_{ij} は地区 i から避難施設 j までの移動距離を表す。 a_i は避難指示地区 i の人口、 b_j は利用可能な避難施設 j の収容上限、 p_{\max} は人口が最多で

ある地区の人口である。 x_{ij} は地区 i の住民を避難施設 j に割当てるとき 1、そうでないとき 0 の値をとる変数であり、 y_{ij} は地区 i の避難民を避難施設 j に割当てて人数の変数である。 y_{ij} は正の整数であり、 $x_{ij} = 1$ のときのみ値を持つことができる。また、定数 α は 0 より大きく 1 以下の値 ($\alpha \in (0, 1]$) をとるバランス係数である。

3. シナリオと数値計算例

ここでは、秋田県由利本荘市の津波ハザードマップ [2] に基づくシナリオを用いて、輸送問題、BP 問題、提案モデルの比較をおこなう。

由利本荘市の総人口は 84,902 人 (平成 22 年度国勢調査) であり、避難施設の総数は 390 箇所 (国土数値情報ダウンロードサービス) である。本研究では、地理情報システム (GIS) を用いて、津波ハザードマップ [2] の浸水予測地域と重複する地区 (町丁目) と避難施設を特定し、それぞれの代表点間の道路距離を計算する。図 1 に由利本荘市の避難施設と各町丁目の人口密度、図 2 に津波浸水予測地域を示す。この結果、浸水予測地域に含まれる人口 (避難民) は 34,583 人であり、浸水予測地域に含まれない施設 (利用可能な避難施設) の数は 230 箇所である。すなわち、このシナリオでは、34,583 人の避難民を、できるだけ近い 230 箇所の利用可能な避難施設に割当てて問題となる。

尚、避難が必要な地域の指定と利用可能な避難施設の指定は、それぞれ 0/1 インデックスのファイルで指定されているので、どのようなシナリオにも対応できる。

3.1. 数値計算結果と比較

図 3, 図 4, 図 5 に、輸送問題、BP 問題、提案モデルの計算結果による割当てを適用した避難民の移動距離帯別のヒストグラムを示す。横軸は 300m 刻みの移動距離であり、縦軸はその人口を表す。折れ線グラフは人口の累積頻度であり、右側の縦軸に尺度を示す。棒グラフの一番右の階級 (最後の階級) には 6km 以上の人口がまとめられている。図 4 と図 5 を比べると、2,100m 以降の範囲では同じ

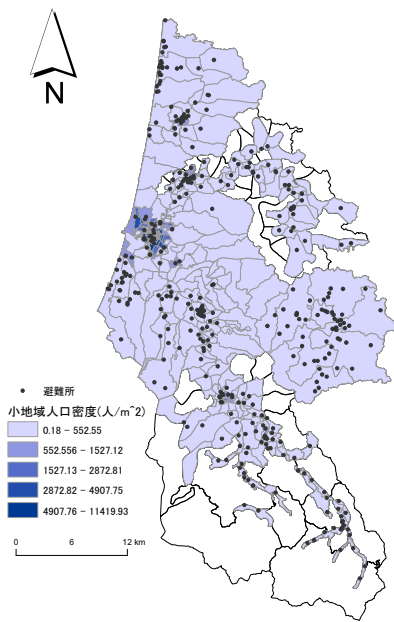


図 1: 町丁目と避難施設

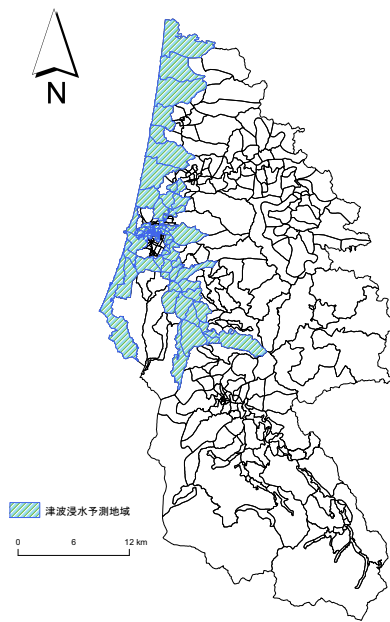


図 2: 津波浸水予測地域

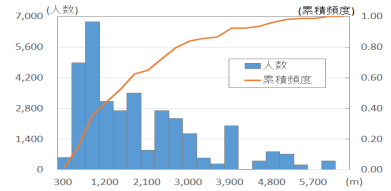


図 3: 輸送問題の結果

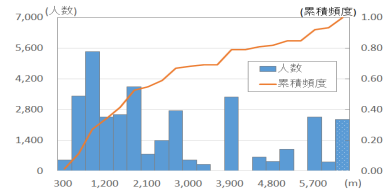


図 4: BP 問題の結果

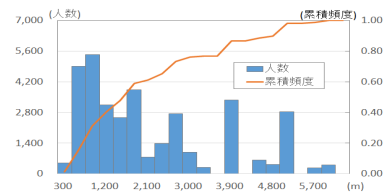


図 5: 提案モデルの結果

表 1: 各モデルの比較

	分割指数	平均移動距離 (m)	最長移動距離 (m)
輸送問題	2.02	1,793.81	5,966.65
BP 問題	1.00	2,760.21	10,498.07
提案モデル	1.02	2,046.40	5,707.68

ような分布となっているが、最後の階級に注目すると、図5の方の人口は0である。これは、BP問題で6km以上の避難施設に割当てられた人口が、提案モデルでは解消されていることを示す。

また、表1にモデル別の特性値の比較を示す。表中の分割指数を以下の式(2)で定義する。

$$\text{分割指数} = \frac{\sum_i \sum_j x_{ij}}{\text{総地区数}} \quad (2)$$

BP問題では地区の避難民を分割しないので1.00となり、輸送問題ではひとつの地区が平均2箇所以上に分割して割当てられていることがわかる。提案モデルの分割指数は1.02であり、避難民はほぼ同じ避難施設に割当てられていることがわかる。これにより、家族がバラバラになるような状況ができるだけ避けることが可能となる。

また、提案モデルにおける避難民の平均移動距離はBP問題よりも713.81m短縮されている。避難民の最長移動距離を見ると、提案モデルはBP問題よりも4790.39m短縮されている。

4. おわりに

本研究では、避難施設の収容上限を超えないように、なるべく地区のまとまりが分割されないように、かつ、できるだけ近い避難施設に避難民を割当ててるモデルを提案した。また、シナリオの数値計算により、提案モデルは、輸送問題よりも地区のまとまりが分割されず、BP問題よりも避難民の平均移動距離が短くなることを示した。

また、0/1インデックスのファイルで避難民の地区(町丁目)と利用可能な避難施設の指定を変更すれば、さまざまな災害状況に対応することができる。災害を防ぎきることは難しいが、このようなシステムの活用が被害の軽減につながることを期待する。

謝辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金課題番号:15K01193, 19K04882の補助を受けた。

参考文献

- [1] 久保幹雄(編集)・田村明久(編集)・松井知己(編集): 応用数理計画ハンドブック, 朝倉書店.(2012).
- [2] 由利本荘市津波ハザードマップ: <https://www.city.yurihonjo.lg.jp/bosai-anzen/bosai/c1019/5373> (2016年-2018年にアクセス).