

京都大学工学部 学生員 ○小川 慶輔
 京都大学大学院工学研究科 フェロー 谷口 栄一
 京都大学大学院工学研究科 正会員 山田 忠史
 京都大学大学院工学研究科 正会員 中村 有克

1. 研究の背景と目的

近年、大規模災害における救援物資配送に対して、具体的な計画策定の必要性が高まっている。大規模災害時の被災地での救援物資配送は、被災者の避難生活を支え、その後の二次災害を抑える重要な活動である。ところが、昨今の大規模災害における救援物資配送では、末端輸送において配送量の偏りや配送の混乱が発生した¹⁾。これにより、避難所への物資の到着の遅れ、供給不足などの問題が起これ、被災者にとって十分でない配送になったと言える。これは、各自治体の地域防災計画に救援物資の配送に関して曖昧な記載しかなくされていないことが原因の1つであると考えられる。

本研究ではまず、末端輸送を対象に被災者の不満を低減することを目的とした計画策定のためのモデルを構築する。本モデルでは、配送量割当・配送経路といった定量的な計画を目標とした数理計画モデルを用いる。目的関数には、Holguin-Veras *et al.*²⁾が定義した被災者の不満を表す「欠乏費用」を置き、定式化を行う。その後、仮想ネットワークに本モデルを適用し、想定しうる災害に備えて計画策定を行う。

2. モデルと定式化

上述の「欠乏費用」について、Holguin-Veras *et al.*は災害時の支払い意思額を基にして、図-1が示すように

$$p_i(t_i) = e^{(1.5031+0.1172 \cdot t_i)} \quad (1)$$

と決定した。ここで、 t_i は欠乏時間(Deprivation Time)であり、配送トラックが拠点を出発してから被災者のもとに物資が届けられるまでに要する時間を指す。

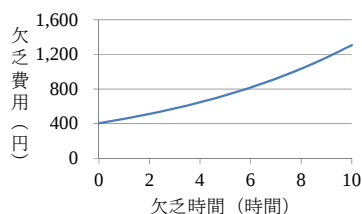


図-1 欠乏費用

本研究では、救援物資の到着時間を考慮した Holguin-Veras *et al.*のモデルを発展させ、「供給不足」(本研究ではこれを「欠乏量」と呼ぶことにする。)を考慮に加えたモデルを構築した。震災時の救援物資配送計画問題を、被災者の不満足度を表す避難所ごとの欠乏費用の総和の最小化問題として、以下のように定式化を行った。

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i \in N} p_i(t_i)(d_i - q_i) \quad (2)$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ijk} / E_k \leq F \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in V} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N, \quad (4)$$

$$\sum_{j \in V} x_{0jk} = 1 \quad \forall k \in K, \quad (5)$$

$$\sum_{i \in V} x_{ihk} - \sum_{j \in V} x_{hjk} = 0 \quad \forall h \in N, \forall k \in K, \quad (6)$$

$$\sum_{i \in V} x_{i,n+1,k} = 1 \quad \forall k \in K, \quad (7)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in V \setminus S} x_{ij} \geq 1 \quad \forall S \subset V, (S \neq \emptyset, S \neq V), \quad (8)$$

$$\sum_{i \in N} q_i \sum_{j \in V} x_{ijk} \leq Q \quad \forall k \in K, \quad (9)$$

$$\sum_{i \in N} q_i \leq T \quad (10)$$

$$q_{i,\min} \leq q_i \leq d_i \quad \forall i \in N, \quad (11)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V, \forall k \in K, \quad (12)$$

ただし、

t_i : 避難所*i*における救援物資の到着時間

p_i : 避難所*i*における欠乏費用 (円/個)

d_i : 避難所*i*における需要量 (個)

q_i : 避難所*i*における配送量 (個)

c_{ij} : 避難所*i-j*間の距離(*m*)

E_k : 配送トラック*k*の燃費(*m/L*)

F : 使用可能な燃料の総量(*L*)

i, j, h, n : 避難所番号, 0及び*n+1*は配送拠点を表す

N : 避難所の集合

K : 配送トラックの集合

k : 配送トラック番号

x_{ijk} : 配送トラック k が避難所 i - j 間を移動するとき
 は1, それ以外のときは0をとる変数
 V : 避難所及び配送拠点の集合
 S : V の部分集合
 Q : 配送トラックの積載容量 (個)
 T : 配送拠点に存在する総供給量 (個)
 $q_{i,\min}$: 避難所 i に対する最低限の配送量 (個)

式(2)は欠乏費用の総和最小化の目的関数である. 式(3)～式(8)は避難所における配送トラックの訪問に関する制約条件, 式(9)は配送トラックの積載容量に関する制約条件である. 式(10)は被災地における総供給量に関する制約条件, 式(11)は配送量に関する制約条件を示しており, 配送トラックが避難所に到着すれば, 必ず最低限の物資を降ろすという条件である. 式(12)は変数 x_{ijk} の整数条件を示している. 本モデルは, 被災地における各避難所への配送量及び配送順序を決定する組み合わせ最適化問題である. 本研究では遺伝的アルゴリズム (GA) を用いて, 解を求めることとした.

3. ケーススタディ

本モデルを, 東日本大震災で被害を受けた宮城県石巻市のデータを参考にした仮想ネットワークに適用し, 予想される被害に備えた救援物資配送計画を行う. 今回は, 配送拠点に送られた物資がネットワーク全体の総需要量に対して大きく不足している状況を想定し, 目的関数値を最小にする配送経路・配送量割当を決定する. 物資の種類は水・おにぎりといった食料とする. また, 目的関数値最小化の観点からトラックの種類を決定する.

(1) ケース 1

ケース 1 として, 4 トントラックを用いた場合に得られた計画について, トラックの配送の一例を, 図-2, 図-3 に示す. 訪問順序が先の避難所は, 需要量が多いのに対して, 訪問順序が後の避難所は需要量が少なく, かつ欠乏量が極めて少ないことが分かる. この傾向は他のトラックの配送にも共通して見られた. これは, 救援物資の到着時間が遅い避難所は欠乏費用が大きくなるので, 欠乏量が少ない方が目的関数値最小化の観点から妥当であるためと考えられる.

(2) ケース 2

ケース 2 では 10 トントラックを用い, ケース 1, 2 の間で目的関数値の比較を行う. その結果を図-3 に示す. これより, 4 トントラックの使用が望ましいと言える.

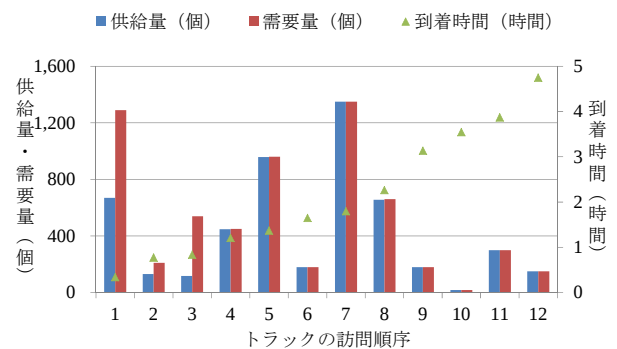


図-2 避難所の欠乏費用, 配送量, 需要量 (トラックの訪問順序ごと)

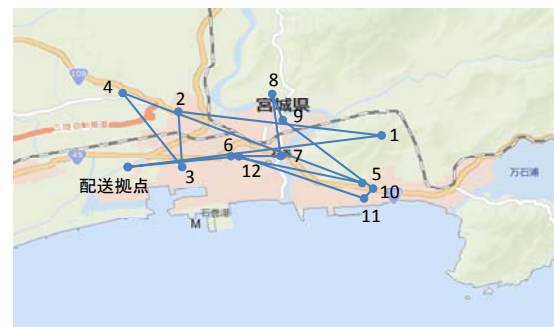


図-3 配送経路 (図-2 のトラック)

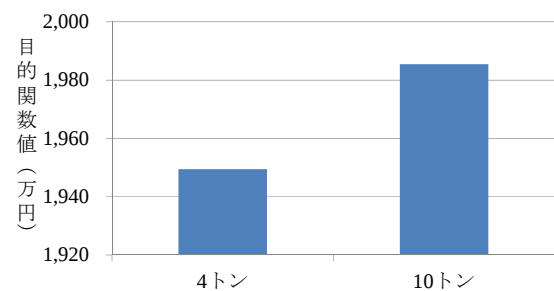


図-4 トラックの種類ごとの目的関数値の比較

4. おわりに

本研究ではまず, 「救援物資の到着時間」と「供給不足量」を考慮した, 被災者の不満を低減するためのモデルを構築した. その後, 仮想ネットワークに適用し, 訪問順序に応じた配送量割当がなされていることが確認できた. また, 目的関数値最小化の観点からトラックの種類を決定できた.

参考文献

- 1) 内閣府: 阪神・淡路大震災教訓情報資料集, 緊急食糧・物資調達と配給, 輸送網・輸送手段
http://www.bousai.go.jp/1info/kyoukun/hanshin_awaji/data/detail/1-7-2.pdf(2012.2 月現在)
- 2) Holguín-Veras *et al.*: On the unique features of post-disaster humanitarian logistics: Deprivation costs, *Journal of Operations Management*, pp.494-506, 2012