

IV-30

救援物資輸送のための拠点配置及び輸送形態に関する研究

東北大学 学生員 ○湯浅 健
 東北大学 正 員 徳永幸之
 東北大学 正 員 須田 熙

1. はじめに

1995年1月に起きた阪神淡路大震災は、阪神間の人口密集地域を中心に多大な被害をもたらした。神戸市では被災者数が最大時で約23万人、避難所数が589ヶ所にもおよび、全国から送られてきた救援物資は4ヶ所の物流基地を介して各避難所に輸送された。この震災を機に、地方自治体では地域防災計画の見直しや防災拠点・避難所等のハード面の整備が進められている。現在の地域防災計画には物資輸送計画についての概念がないが、実際に震災に見舞われた際に、被害状況（避難所数、必要物資量）に応じて早急に救援物資輸送システムを構築することは非常に重要である。

本研究は、都市直下型地震発生時における救援物資の輸送システムを提供するためのモデルを構築することを目的としており、ここではモデルの定式化についての説明を行う。

2. 従来研究

防災計画に関する従来研究としては、広域避難場所、緊急車両基地、救急医療センター等を兼ね備えた防災拠点の整備およびそれを中心とした緊急路網の整備に関する研究や、道路網の信頼性の評価および災害に強い道路網のネットワーク構成に関する研究などがある。しかし、物資輸送システムの最適化に関する研究はなされていない。そこで、本研究では宅配便の輸送問題に関する研究である岡田¹⁾のハブを用いた集配モデルに関する研究や、深野²⁾の中継拠点の設置問題を参考にして定式化を行う。

3. モデルの概要と定式化

3.1 モデルの概要

救援物資は迅速に避難所に届けられなければならない。そこで本研究では、配送拠点（ベース）、避難所、必要物資量を所与として総輸送時間を最小とする輸送システムを考える。まず最初に、中継や巡回ルートを持たない直接輸送のシステムを考える。避難所を j とすると、トラックの容量制約に関する

式(1)が全ての避難所において満たされるとき、式(2)が輸送時間を表す。

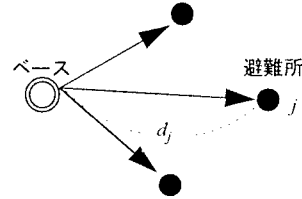


図-1 直接輸送システム

$$\frac{q_j}{c_j} \leq N_j \leq \frac{q_j}{c_j} + 1 \quad (1)$$

j : 避難所 ($j=1 \sim m$)

N_j : ベース-避難所 j 間のトラックの往復回数

c_j : 配送トラックの積載可能量

q_j : 避難所 j の1口あたりの必要物資量

$$\sum_j^m \{ (2d_j / v_j + s_1) \times N_j \} \quad (2)$$

d_j : ベース-避難所 j 間の距離

v_j : ベース-避難所 j 間の平均移動速度

s_1 : 配送1回あたりの積み卸し時間

しかし、この直接輸送システムは q_j が c_j より少ない場合は明らかに非効率的である。そこで本論文では、より効率の良い輸送システムとして、(a) 物流拠点（ベース）と避難所の間に必要に応じて中継基地を設置したもの[ハブ&スポークシステム]（図-2 参照）と、(b) 巡回型の輸送ネットワークシステム（図-3 参照）について定式化を行う。

3.2 定式化

(a) ハブ&スポークシステム

中継基地を i 、避難所を j とし、中継基地の候補地は与えられるとすると目的関数は式(3)で表せる。

$$Z = \sum_i^n \sum_j^m T_{ij} x_{ij} + \sum_i^{n-1} L_i y_i \rightarrow \min \quad (3)$$

$$T_{ij} = (2d_{ij} / v + s_1) \times N_j \quad (4)$$

$$L_i = (2d_{ni} / v + s_2) \times N_i \quad (5)$$

i : 中継基地 ($i=1 \sim n$, ただしベース= n)

j : 避難所 ($j=1\sim m$)

$x_{ij} = \begin{cases} 1: & \text{避難所 } j \text{ が中継基地 } i \text{ を経由する} \\ 0: & \text{ " " " " " " 経由しない} \end{cases}$

$y_i = \begin{cases} 1: & \text{中継基地 } i \text{ を設置する} \\ 0: & \text{ " " " " " " 設置しない} \end{cases}$

d_{ij} : 中継基地 i - 避難所 j 間の距離

s_2 : 中継輸送の1回あたりの積み卸し時間

N_i : ベース-中継基地 i 間のトラック往復回数

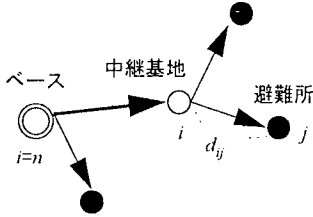


図-2 ハブ&スポークシステム

この問題の制約条件は式(6)~(9)で表される.

$$\sum_j x_{ij} = 1 \quad (j=1\sim m) \quad (6)$$

$$N_i \times c_2 \geq \sum_j q_j x_{ij} \quad (7)$$

$$\sum_j x_{ij} - y_i \geq 0 \quad (i=1\sim n) \quad (8)$$

$$\sum_j x_{ij} - y_i \leq m y_i \quad (i=1\sim n) \quad (9)$$

c_2 : トラック 2 の積載可能量

ここで, 式(6)は配送に関する制約, 式(7)は中継トラックの容量制約, そして式(8)(9)は中継基地経由に関する制約を表している.

(b) 巡回型輸送システム

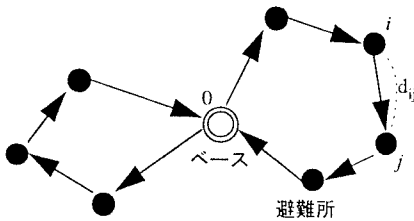


図-3 巡回型輸送システム

ベースを 0, 避難所を $1\sim m$ とし, r 台のトラックで巡回するものとするとき目的関数は式(10)で表せる.

$$\sum_i \sum_j \sum_k T_{ij} x_{ij}^k \rightarrow \min \quad (10)$$

$$T_{ij} = d_{ij} / v + s \quad (11)$$

i, j : 避難所 $1\sim m$ (0 =ベース)

$x_{ij}^k = \begin{cases} 1: & \text{避難所 } i-j \text{ 間にトラック } k \text{ が運行する} \\ 0: & \text{ " " " " " " 運行しない} \end{cases}$

d_{ij} : $i-j$ 間の距離

s : 1 避難所あたりの積み卸し時間

この問題に対する制約条件は式(12)~(14)で表される.

$$\sum_j \sum_k x_{ij}^k = \sum_j \sum_k x_{ji}^k = 1 \quad (i=0\sim m) \quad (12)$$

$$\sum_j \sum_k x_{0j}^k = \sum_j \sum_k x_{j0}^k = r \quad (13)$$

$$\sum_j \sum_k x_{ij}^k q_j \leq c \quad (q_0=0, k=1\sim r) \quad (14)$$

ここで, 式(12)は配送に関する制約, 式(13)は巡回ルート数に関する制約, そして式(14)は容量制約を表している.

3.3 説明変数および制約式の数

0-1 整数線形計画問題は, 変数が多くなると問題を解くのが非常に困難になる. 今回行った2つの輸送システムに対する定式化において, 説明変数および制約式の数を表したものが表-1である.

表-1 説明変数および制約式の数

	説明変数 x, y	制約式
(a)	mn^2 (組合せ)	$3m+2n$
(b)	$km(m+1)$	$k+m+2$

ここで, m, n は (a) m : 避難所数, n : 中継基地数

(b) m : 避難所数, k : トラック台数

これより, (a)では中継基地候補が, (b)では避難所が多くなると解くのが困難になることがわかる.

4. おわりに

本研究では, 都市直下型地震発生時においてどの輸送システムが救援物資輸送に最適であるかを, 被害状況を表す簡単なパラメータによって瞬時に判別することが最終目的である. 本論文では簡単な輸送システムについて定式化を行ったが, 今後はより効率的なシステムの定式化と, 仮想エリアへの適用による各システムの特性的理解が課題である.

参考文献

- 岡田龍二: 宅配輸送におけるセンター配置及び輸送経路決定モデル, 土木計画学研究講演集 17, pp887-890, 1995
- 深野俊介: 宅配ネットワークにおけるサブセンター出店問題, 平成6年度土木学会東北支部講演概要集, pp424-425