

## 緊急物資配送計画に影響を与える要因の分析

Analysis of Influence Factor to Emergency Goods Delivery Time

岡部 和広\*, 徳永 幸之\*\*, 須田 熙\*\*\*

BY Kazuhiro OKABE, Yoshiyuki TOKUNAGA, Hiroshi SUDA

### 1. はじめに

平成7年1月17日に発生した阪神・淡路大震災では、震度7の激しい揺れを記録した。これらの地域は人口密集地域であったため一般住宅の被害が大きく、約18万棟もの家屋が倒壊または焼失の被害にあっている。また水道・電気・ガス・電話等のライフラインも寸断されたため、ピーク時で32万人もの人々が避難所生活を余儀なくされ避難所数も1153カ所に達している。しかし、予期せぬ大災害であったため各自治体の防災計画は十分には機能せず、被災者のための避難所への緊急援助物資の配送も迅速に行うことがなかなか出来なかった。<sup>2) 3)</sup>

この震災を契機として全国の多くの自治体で地域防災計画の見直しが進められていおり、あらゆる面での危機管理が重要視されてきている。しかし、これらの地域防災計画<sup>4) 5)</sup>では、被害想定の見直し为中心であり、食糧供給計画、物資供給計画等については自治体内での各部署の担当や、食糧・物資の調達方法等の事務処理についての記載されているにすぎない場合がほとんどである。この状態で大震災に遭遇した場合、早急に配送体制を整えることは不可能であると考えられる。そこで、事前に配送拠点の配置に関する検討や緊急路の設定など、具体的な配送計画の検討が必要となってくる。

本研究では主に都市の形態の違いや幹線道路の破損や渋滞状況を考慮し、配送拠点の配置、被災の程度、路線の破損が緊急物資の配送に及ぼす影響をシミュレーションモデルを仮想都市に適用することによって分析し“事前に立ておくべき対策はどのようなものであるか”ということをはっきりとすることによって、具体的な配送計画を立てる際にその指針となり得る考え方を提案していくことを目的とする。

### 2. 既存研究及び本研究の考え方

本研究では、被災地域外からの物資受け入れ拠点でもある配送拠点から各避難所までの配送に影響を与える要因の分析を目的としている。緊急物資の配送計画は配送拠点、道路ネットワーク、避難所とそこでの必要物資量が与えられた場合、宅配便やコンビニエンスストア等の通常のネットワーク最適化問題と基本的には変わりはない。すなわち、ある一定の条件の下では最適化問題と考えることが出来る。このことから、湯浅ら<sup>1)</sup>は、宅配便ネットワークの最適化問題を緊急物資配送に適用した。しかし、防災計画として考えた場合、災害時の状況では不確定要素が多く、輸送条件がはっきりしない。また、その状況は時間の経過とともに変化する。湯浅らの研究では設定条件の妥当性の検討や感度分析が十分でなく、得られた結論の一般性に関して疑問が残るという問題点があった。そこで、本研究では、最適化問題をシミュレーションモデルの一部と位置づけ、輸送条件を変化させたときのシステムの挙動をみることでシステムに影響を与える要因を分析し、防災計画に役立たせようと考えている。なおここでは、条件を操作しやすくするために仮想都市を用いている。

キーワード：物資流動、ネットワーク分析、防災計画

\*学生員 東北大学大学院情報科学研究科

\*\*正会員 工博 東北大学助教授 情報科学研究科

\*\*\*正会員 工博 八戸工業大学教授 土木工学科

(〒980-77 仙台市青葉区荒巻字青葉)

(TEL 022-217-7502, FAX 022-217-7500)

### 3. 本研究のフロー

本研究は、以下のような流れで進めていく。

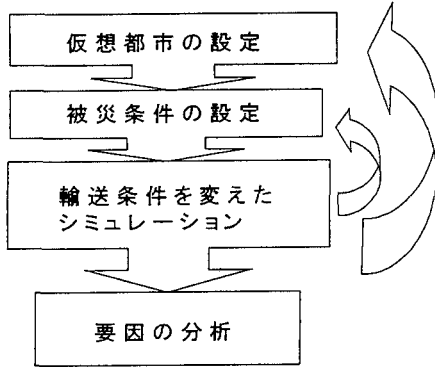


図1 本研究のフロー

#### (1) 仮想都市の設定

都市規模、形状、道路網などの異なる様々タイプの仮想都市を設定する。

#### (2) 被災条件の設定

避難所の配置、避難所の必要物資量、道路の被災状況等を設定する。

#### (3) シミュレーション

仮想都市に対して配送拠点の配置、走行速度等の輸送条件を変えてシミュレーションを行う。このシステムは、被災地域外からの緊急物資の集荷拠点となり、また避難所への拠点となる配送拠点から、各避難所へ緊急物資を配送するものである。途中に配送拠点からの物資を大量に輸送し、そこから避難所へ配送する中継基地を設けている。配送拠点から中継基地までは10t車を、中継基地から避難所、配送拠点から避難所までは2t車を用いる。

配送経路を求める問題は積み替え時間を含めた総輸送時間を最小化する線形計画問題として定式化する。

目的関数

$$Z = \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^m t_{ij} l_j x_{ij} + \sum_{i=1}^n T_i k_i y_i \rightarrow \min$$

$$\begin{cases} t_{ij} = d_{ij} / \bar{v}_2 + s_2 \\ T_i = d_{0i} / \bar{v}_1 + s_1 \end{cases}$$

制約条件

$$\sum_{j=1}^m q_j x_{ij} - c_{i0} \cdot k_i \cdot y_i \leq 0 \quad (i = 1 \sim n)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ij} = 1 \quad (j = 1 \sim m)$$

ここで、

$$x_{ij} = \begin{cases} 1: \text{避難所} j \text{が中継基地(配送拠点)} i \text{に属する} \\ 0: \text{避難所} j \text{が中継基地(配送拠点)} i \text{に属さない} \end{cases}$$

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

$t_{ij}$ : 中継基地(配送拠点) $i$ ー避難所 $j$ 間の輸送時間

$T_i$ : 配送拠点ー中継基地 $i$ 間の輸送時間

$d_{ij}$ : 中継基地(配送拠点) $i$ ー避難所 $j$ 間の最短経路長

$d_{0i}$ : 配送拠点ー中継基地 $i$ 間の最短経路長

$\bar{v}_1, \bar{v}_2$ : トラックの平均速度

$s_1, s_2$ : 積み替え時間

$l_j$ : 中継基地(配送拠点) $i$ ー避難所 $j$ 間の輸送に必要なトラック台数 ( $q_j - l_j \cdot c_2 \leq 0$ を満たす値)

$k_i$ : 配送拠点ー中継基地 $i$ 間に用いるトラック台数

$q_j$ : 避難所 $j$ の必要物資量

$c_2, c_{i0}$ : 2t, 10tトラックの積載可能量

物資の積み卸し時間は、中継基地でのプラットフォーム、荷役機械の有無で大きく異なるため感度分析を行う。トラックの走行速度は幹線道路とその他の道路で、交通規制がかかった場合やかかからない場合等を想定して設定する。

#### (4) 要因の分析

様々な都市形態・被災条件に対して行ったシミュレーション結果から、トラックの走行速度の影響(交通規制の影響)や物資の積み卸しの影響(荷捌き設備の有無)等を分析し、その影響(仮想都市の形態において有効な配送拠点の配置の場所や、交通規制のかけ方、または絶対に確保すべき道路など)を検討する。

### 4. シミュレーション

ここでは一例として、一つの仮想都市・被災条件に対して適用した結果を示す。

(1) 仮想都市と被災条件の設定

図 2 のような仮想都市を設定しシミュレーションを行った。都市は 18km\*22km の都市とした。各避難所での必要物資量は 2t とした。基盤の目状の道路を持ち、10t 車通行可能な幹線道路とその他の道路とに分けられる。

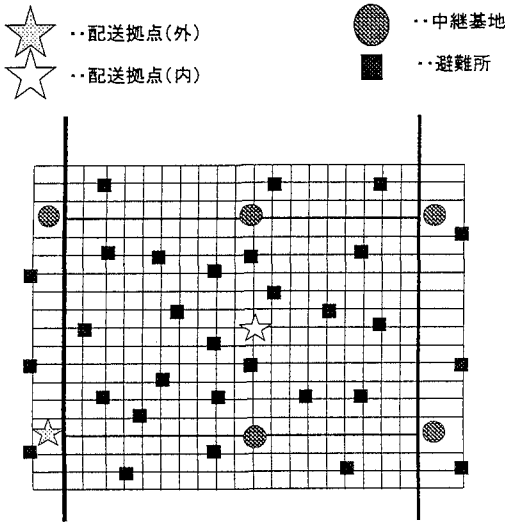


図 2 仮想都市

表 1 シミュレーション結果

被災地域内配送拠点

| 積み替え時間<br>(1中継基地あたり) | 総輸送時間  | トラックの<br>総運行時間 | 総積み<br>替え時間 |
|----------------------|--------|----------------|-------------|
| 幹線道路:時速10km          | 53.2時間 | 53.2時間         |             |
| 一般道路:時速5km           |        |                |             |
| 幹線道路:時速5km           | 59.4時間 | 59.4時間         |             |
| 一般道路:時速5km           |        |                |             |

被災地域外配送拠点

|             |         |         |         |
|-------------|---------|---------|---------|
| 幹線道路:時速10km |         |         |         |
| 一般道路:時速5km  |         |         |         |
| 12分         | 58.0時間  | 57.0時間  | 1.0時間   |
| 24分         | 58.2時間  | 58.2時間  | 0時間     |
| 36分         | 58.2時間  | 58.2時間  | 0時間     |
| (直接輸送)      | 58.2時間  | 58.2時間  |         |
| 幹線道路:時速5km  |         |         |         |
| 一般道路:時速5km  |         |         |         |
| 12分         | 197.4時間 | 192.8時間 | 4.6時間   |
| 24分         | 202.0時間 | 192.8時間 | 9.2時間   |
| 36分         | 206.6時間 | 192.8時間 | 13.8時間  |
| 180分        | 260.6時間 | 192.8時間 | 167.8時間 |
| (直接輸送)      | 468.0時間 | 468.0時間 |         |

(2) シミュレーションで変化させる条件

全国からの援助物資が持ち込まれる配送拠点を被災地内と被災地外に設定した(ここで、被災地外とは被災地域外縁部のことをさす)。配送拠点が被災地内の場合、幹線道路を 10t 車が通れないので中継基地は考慮せずシミュレーションをおこなった。配送拠点が被災地外として幹線道路沿いにある場合、中継基地での幹線輸送用のトラックから端末輸送用のトラックへの積み替え時間を 12 分、24 分、36 分、180 分とした。輸送トラックの速度は交通規制をかけた幹線道路を 10km/h、その他の道路を 5km/h とした場合と交通規制をかけず、幹線道路・その他の道路とも 5km/h と設定した場合の 2 ケースを考えた。

(3) 配送時間に影響を与える要因の分析

(a) 配送拠点の設置場所について

この仮想都市においては、配送拠点は被災地域内に設置したほうが効率的であることになる。しかし、被災地内配送拠点までの輸送や被災地内で広大なスペースの確保や仕分け作業員、荷役機械の確保などを考えると被災地域外に設置するほうが妥当と考えられる。被災地域外の場合、交通規制をかけることによって、配送拠点の設置場所の違いによる差は小さくなることから、交通規制の重要性が解る。

(b) 中継基地の設置について

被災地域外に配送拠点がある場合、中継基地の設置という観点から分析してみると、交通規制を行った場合、積み替え時間が 12 分程度であれば直接輸送よりも効率的な配送が行えるということが解る。交通規制を行わず、渋滞が発生している場合は 180 分の積み替え時間でも効果は大きい。しかし、阪神・淡路大震災の時は被災地域外からの緊急援助物資の中身が、様々な物が一緒に梱包されて送られてきたり、数が不足していたり、またその作業に当たった人が災害発生当初は市の職員であり不慣れであったことなど、荷物の仕訳・積み替えが問題となっていたことから、中継基地を設ける場合でも仕分け作業は配送拠点で行い、中継基地は積み替えのみとする。その作業もゲージを用いる、プラットフォームを設ける、フォークリフトを使うなど、極力効率化を図る必要がある。

5. 結論と今後の課題

今回の結果から、配送拠点は被災地域内にあったほうが有効である。しかし、仕分け作業の問題等から配送拠点を被災地域外に設置することも考えられるが、その場合には走行性の確保が重要になる。また、渋滞に対しては、中継基地の設置が有効であることが明らかになった。

今後の課題として、今回の仮想都市ではトラックの台数についての制約をつけなかったが、実際の阪神・淡路大震災の例をみると、援助体制が整ってきた1月25日以降でも避難所100カ所に対して約2.5台のトラックしか利用できなかったこともあり、この点に関する制約も考える必要がある。また、今回対象とした仮想都市は、基盤の目状の道路を持つ条件的に恵まれた都市であり、阪神・淡路大震災に比べ避難所数も低密度であった。より条件の厳しい都市と被害状況においては分析結果も異なってくるものと思われる。今後は、より多くの仮想都市（放射状の都市や、避難所が密集・分散している都市等）と被災状況を設定し、それぞれの都市の形態による配送への影響を分析する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 湯浅, 徳永, 須田: 震災時における緊急物資の被災地域内配送に関する研究, 土木計画学研究・講演集 19(2), pp339-pp342, 1997
- 2) (財)運輸経済研究センター: 大規模地震災害等における貨物緊急輸送及び代替輸送対策に関する調査報告書, 1995
- 3) (財)関西交通経済研究センター: 阪神・淡路大震災復興に伴う神戸市における都市内物流のあり方に関する調査研究報告書, 1995
- 4) 仙台市防災都市づくり基本計画策定調査報告書, 1997
- 5) 宮城県防災会議, 宮城県地域防災計画, 1994
- 6) 平成五年度 仙台都市圏パーソントリップ調査報告書, 1993