

# 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

## A Study of Emergency Goods Delivering System in Disaster-stricken Area with Earthquake

湯浅 健\*, 徳永 幸之\*\*, 須田 熙\*\*\*

By Takeshi YUASA, Yoshiyuki TOKUNAGA and Hiroshi SUDA

### 1. はじめに

1995年1月17日の阪神・淡路大震災では、断層に沿った神戸市須磨区～西宮市間約25kmの地域で震度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家の被害が大きく、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、家屋の被害は免れても断水や停電で自宅での生活が困難になったり、相次ぐ余震や火災のため不安になった人々が避難所に移動したため、避難所とそこに集まる被災者の数は発災後日増しに増加し、その数はピーク時で1,153箇所、約32万人に達している。しかし、避難所に対する援助物資の配送体制は、発災による混乱が大きかったことや事前に緊急物資の配送計画について検討がなされていなかったことから、発災後直ちに配送体制を構築し、全国から次々と送られてくる援助物資に即座に対応することが出来なかった。

被災による避難者に対する援助物資の配給は迅速に行われるべきであるが、援助物資を避難所に配送する上で問題となってくるのは、被災地域内における配送をいかに効率よく行うことができるかという点である。実際に神戸では、道路の渋滞や人員不足などが原因で被災地域内における配送力が大幅に低下しており、十分な配送能力を確保するまで約1ヶ月も要している。そこで、広域震災時において被災地域内配送を効率よく行うためには、震災時の被災地域内の状況に臨機応変に対応した配送体制をとる必要が

ある。そのためには事前に被災地域内の避難所数や分布状況、中継基地候補位置やその数、そして、道路網の被害位置について種々のパターンを想定し、それぞれのパターンに応じた適切な配送体制を検討しておく、災害発生後直ちに適切な配送体制がとれるようにしておく必要がある。本研究では、このような目的に使用する配送時間最小化問題の定式化を行い、さらに広域被災にも対応可能とするためのモデルの改良について言及する。

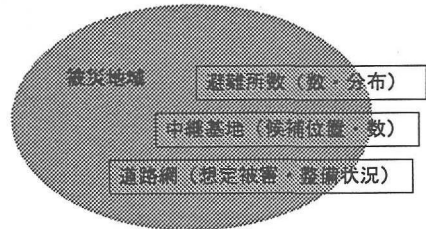


図-1 被災地域の特性を表すパラメータ

### 2. 研究フロー

本研究では、被災地の地理特性の違いによる最短時間配送ネットワークの違いを検証するため、配送に用いられる全輸送車両の輸送時間の和で表される総輸送時間を最小化するLP(線形計画問題)を用いて最短時間配送ネットワークを求めることにした。

#### (1) 配送システム

ロジスティクスの分野では、配送問題や施設配置問題について様々な研究が成されている。配送問題の代表的な例としては、巡回セールスマン問題 TSP や、ハブ&スポーク型配送問題がある。巡回セールスマン問題とは、配送ベースを出発した配送車両が

キーワード：物質流動、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 東北大学教授 情報科学研究科

(〒980-77 仙台市青葉区荒巻字青葉)

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

複数の目的地に順番に立ち寄り、配送ベースに戻ってくる型の配送システムで、図-4で表されるようなシステムである。一方、ハブ&スポーク型配送問題とは、図-5のように配送ベースと避難所の間に必要な中継基地を配置し、配送を行うシステムである。阪神・淡路大震災では、これらの配送システムはとっておらず、配送ベースと各避難所間の輸送に図-3で表される直接輸送体制をとっている。しかし、配送ベースから避難所への配送をすべて直接輸送とすると、被災地域内の全輸送車両の総走行距離が大きくなり、これが神戸での問題点となっている。そこで本研究では直接輸送ではなく、より効率の良い配送システムを考える必要があるが、震災時には巡回型輸送のような正確な配送スケジュールを必要とする輸送システムが事実上適用不可能であるため、ハブ&スポーク型配送システムを用いることにする。

ハブ&スポーク型輸送システムを適用する上で問題となってくるのは、配送ベースの位置、中継基地の位置をどのように決定するかであるが、配送ベースの位置は、仕分け作業に広大なスペースと人員を必要とするため、被災地域外に配置することが望ましいため、図-2のように被災地周辺の主要幹線道路や高速道路のインターチェンジ、あるいは空港、港湾といった物流施設の近くに配置するのが良いと考えられる。次に中継基地は、必要に応じて配置されるものであるが、その候補地は大型車両が被災地外からアクセスできる位置である必要がある。

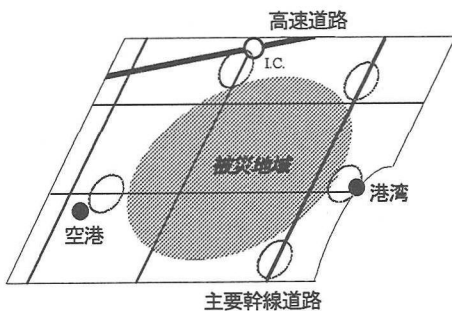


図-2 集荷拠点配置候補位置例

(2) 定式化

ハブ&スポーク型輸送システムに対して、被災地外に配送ベースを配置し、被災地内に必要に応じて

中継基地を設け、そこまでの輸送を 10tトラックで行い、さらに端末の避難所までは 2tトラックで配送するシステムとして定式化を行う。ベースと中継基地の候補位置と、避難所の位置は与えられるとすると図-5のシステムに対する定式化は次のようになる。

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

ここで、

$x_{ij}$ : ベースあるいは中継基地  $i$  - 避難所  $j$  間を走るトラックの台数

$y_i$ : ベース - 中継基地  $i$  間を走るトラックの台数

$t_{ij}$ : ベースあるいは中継基地  $i$  - 避難所  $j$  間の最短移動時間

$T_i$ : ベース - 中継基地  $i$  間の最短移動時間

$$\begin{cases} t_{ij} = d_{ij} / v \\ T_i = d_{0i} / v \end{cases} \quad (2)$$

$d_{ij}$ : ベースまたは中継基地  $i$  - 避難所  $j$  間の最短

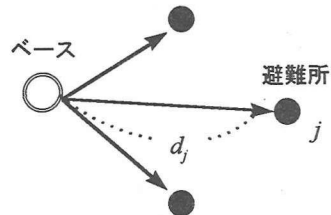


図-3 直接輸送システム

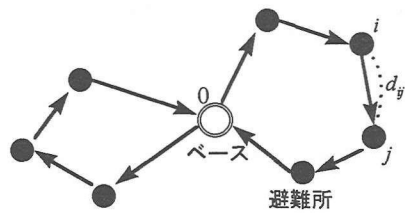


図-4 巡回セールスマン問題

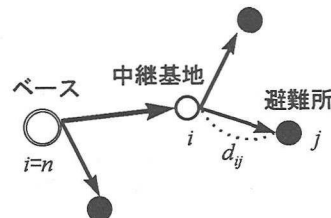


図-5 ハブ&スポーク型輸送システム

### 経路距離

$d_{oi}$  : ベースー中継基地  $i$  間の最短経路距離

$v$  : 輸送車両の平均速度

この目的関数に対する制約式は、

$$\sum_{j=1}^m q_j x_{ij} - c_{10} \cdot y_i \leq 0 \quad (i = 1 \sim n) \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ij} = 1 \quad (j = 1 \sim m) \quad (4)$$

ここで、

$q_j$  : 避難所  $j$  の必要物資量

$c_{10}$  : 10tトラックの積載可能量

### (3) ノード間距離の算出

震災による道路の被害状況を考慮に入れるため、道路網を用いて Dijkstra のアルゴリズムを基本的に OD間の最短経路を探索する。ただし、巨大な道路網においては、道路網全体を一様に扱うと最短経路探索の手間が極めて大きくなってしまいますので、本研究では道路を幹線道路のネットワークと、それらに囲まれた領域内の生活道路のネットワークの2つの階層に分け、効率よく最短経路を求めることにした。

最短経路を求める具体的な方法としては、まず図-6のように道路網を上位層 (10t車通行可能) ネットワークと下位層 (2t車通行可能) ネットワークに階層分けを行う。そして出発地点と目的地点がそれぞれ所属する、上位層ネットワークによって囲まれた下位層ブロックに着目し、それらが同じブロックであるか、あるいは隣接するブロックである時は、下位層レベルに Dijkstra のアルゴリズムを適用して2点間の最短経路を求める。

次に、出発地点を含むブロックと目的地点を含むブロックが隣接しない場合、図-7に示すように下位層ネットワークにおける交差点のうち、上位層ネットワークにおける交差点でもある交差点 (共通交差点) を求め、その共通交差点と出発地点 (あるいは目的地点) 間の最短経路を Dijkstra で求める。そして、求まった共通交差点-出発地点 (目的地点) 間の最短経路距離を長さとする仮想的な道路を設定し、図-8のように上位層ネットワークに組み込む。そして、幹線レベルにおいて Dijkstra のアルゴリズムを適用して最短経路を求める。

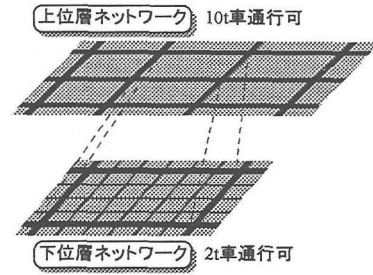


図-6 階層分け

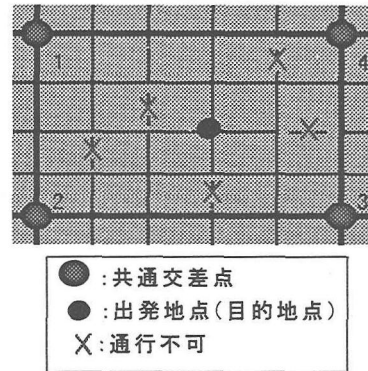


図-7 下位層ブロック

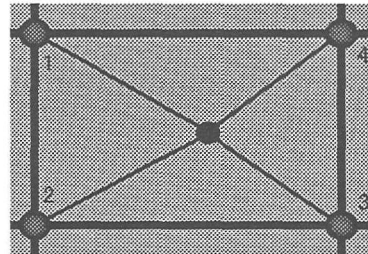


図-8 仮想道路

### (4) 必要物資量

避難者に対する緊急物資の配送において、避難者当たりの必要物資量を把握するためには、避難者数はもとより避難者一人当たりの必要物資量を知る必要がある。必要物資の内容は、避難の初期段階ではすぐ口のできる食料品や飲料、米、衣料、毛布などであるが、避難生活が長期化するにつれて炊飯器やカセットコンロなどの簡単な調理器具へとニーズが変化していく。そのため、避難生活の全段階を通して一人当たりの必要物資量を概算することは困難である。しかし、本研究では発災直後の緊急物資輸送を前提としているため、避難生活の初期段階におけ

るニーズである、食料品、飲料、米、衣料、毛布といった直ちに必要とされるものだけを必要物資として考え、一人当たり一日当たりの必要量を算出することにする。この算出方法については、今後検討を行うことにする。

表-1 主要な緊急物資

物資	内容
●飲料	飲料水, お茶, ジュース 乾パン, 缶詰, おにぎり, 弁当, パン, 果物, ラーメン, ベビーフード, 粉ミルク
●食料品	
●米	抗生物質, 血液製剤, 胃腸薬, かぜ薬 ポリ容器, カゴ, カセットボンベ, 仮設トイレ, 防水シート, 炊飯器, ティッシュペーパー, トイレトイレットペーパー
●毛布	
●医薬品	
●衣類・下着	
●生活用具	

出所：運輸省自動車交通局貨物課

### 3. 今後の課題

本稿では、配送時間最小化問題としてLPを用いた定式化を行っているが、今後は実際にいくつかの配送エリアパターンを想定し、いくつかの配送システムに対して最小輸送時間を算出し、それぞれの配送エリア特性に適切な配送体制を検討していく。また、今回行った定式化は、車両の移動速度のばらつきや積み替え時間といったものについて触れていないので、それらについても検討する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 湯浅, 徳永, 須田: 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, 平成7年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要
- 2) 丹羽寿男ら: 道路の階層的表現にもとづく経路探索アルゴリズムと地図情報システムへの応用, 情報処理学会論文誌, Vol. 31, No. 5, pp. 659-666, 1990
- 3) 日交研シリーズ: 貨物輸送における物流ターミナルのあり方に関する研究, 日本交通政策研究会, Nov. 1995