

デュアル目的最適化モデルに基づく災害時救援物資緊急輸送ルートに関する研究

九州大学大学院 学生会員 胡雨吟

九州大学大学院 正会員 外井哲志

九州大学大学院 正会員 大枝良直

1. 研究の背景

災害時において、避難所に避難している多数の被災者に水・食料・日用品などの救援物資を配送することは重要な問題である。災害直後、救援物資の緊急輸送は経済性より、有効性・効率性を求められている。しかし、輸送ネットワーク信頼性や輸送時間の不確実性により、輸送システムの悪化などの困難が伴っている。1995年の阪神淡路大震災、2011年の東日本大震災において見られたように、被災者への救援物資配送は、必要なものが必要なときに届かない、あるいは物資が道路の途絶で滞ってしまう、また公民の連携がうまくできないなどの様々な課題がある。同じような救援物資配送問題は2008年の中国四川大震災や2010年の青海大震災のときにも発生した。

2. 既存研究

時間最小化や道路信頼度についての研究は多数存在しているが、基本的にシングルターゲットの輸送システム最適化問題である。例えば、近藤・塩見ら¹⁾は、道路途絶リスクと周辺都市で医療施設の享受可能なサービス機会数を考慮した道路網評価指標を提案し、提案指標の特性を明らかにした。その上で、ある予算制約の下で道路と医療施設の整備計画を構築した。ゾウら²⁾は、灰色理論に基づき、複数の合理的なルートのメリットとデメリットを評価し、最適なルートを選択した。

3. 研究の目的

これらの問題を解決するために、本研究においては、災害時の救援物資を被災者に迅速に配送するとともに、需要に対して供給が十分である場合を想定し、輸送ネットワークの信頼性と輸送時間のデュアル目的最適化問題に着目し、より効率的に最適経路を選択できる方法を開発する。このため、モデルを構築する。陸上のトラックを用いた避難所への救援物資配送について、輸送時間と道路信頼度二つの要因を同時に考慮したデュアル目的配車配送モデルを構築し、効率的かつ確実

な救援物資配送について検討を行う。

4. 研究の方法

時間最小化問題と道路信頼度についてモデルを構築し、ある地域の主要道路ネットワークを対象として検討を行う。モデルの構造は図1のように表す。

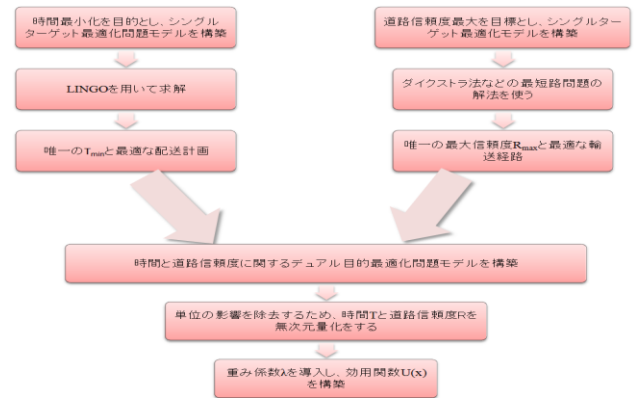


図1

(1) シングルターゲット時間最小化モデル

モデルに関する仮定は次に示す通りである。

- ① 配送拠点は一つで、位置は確定している；
- ② 配送用車両数と積載容量は確定している；
- ③ 避難所は複数存在しており、各位置および救援物資の需要量は確定している。

$$\min T = \sum_{k=1}^K \sum_{j=0}^N \sum_{i=0, i \neq j}^N x_{ijk} t_{ij} \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{k=1}^S \sum_{j=1}^N x_{ijk} \leq K, i=0 \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^S \sum_{i=1, j=0}^N x_{ijk} = \sum_{k=1}^S \sum_{j=1, i=0}^N x_{ijk} \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^K y_{ki} = 1, \forall i \in \{1, 2, \dots, N\} \quad (4)$$

$$\sum_{i=0}^N x_{ijk} = y_{kj}, \forall j \in \{1, 2, \dots, N\}, k \in \{1, 2, \dots, K\} \quad (5)$$

$$\sum_{j=0}^N x_{ijk} = y_{ki}, \forall i \in \{1, 2, \dots, N\}, k \in \{1, 2, \dots, K\} \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{p=1}^P y_{ki} m_{pi} \leq Q, k \in \{1, 2, \dots, K\}, p \in \{1, 2, \dots, P\} \quad (7)$$

$$t_j = \sum_{i=0, j=i}^N x_{ijk} (t_i + t_{ij}), \forall j \in \{1, 2, \dots, N\} \quad (8)$$

$$t_{ij} = \frac{d_{ij}}{v} \quad (9)$$

$$t_i \leq l_i, \forall i \in \{1, 2, \dots, N\} \quad (10)$$

k : 配送トラックの集合 , $k=(1,2,...,k)$
 i, j : 避難所, $i, j=(0, 1, \dots, N)$, 0 は配送拠点
 d_{ij} : 避難所と避難所及び配送拠点と避難所の距離
 t_{ij} : 避難所 i から j までのトラック運行時間
 p : 物資の種類, $p=(1,2,...,p)$
 m_{pi} : 避難所 i の物資需要量
 Q : トラック k の積載容量 (一定)
 t_i : トラックが避難所 i に到着する時間
 l_i : 物資到着時間の制限
 v : トラックの平均速度
 $x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{トラックは } i \text{ から } j \text{ まで輸送} \\ 0, & \text{それ以外の場合} \end{cases}$
 $y_{ki} = \begin{cases} 1, & \text{避難所 } i \text{ へは } k \text{ が輸送} \\ 0, & \text{それ以外の場合} \end{cases}$

式(1)は目的関数である。式(2),(3)は配送拠点から出発するルートは S 本が存在しており、配送拠点まで到着するルートも S 本存在することを表している。式(4)は各避難所は唯一のトラックによって救援物資を供給されることを表している。式(5),(6)は任意の避難所の救援物資はトラック k によって配送され、 k はほかの避難所からこの避難所に入り、そしてこの避難所から出て、またほかの避難所まで配送することを表している。式(7)は一両のトラックの積載容量総和は配送タスクの総和より大きいことを表している。式(8)は避難所 j に到着する時間＝避難所 i に到着する時間＋避難所 i から j までの所要時間であることを表している。式(9)は避難所 i から j までの所要時間は ij 間の距離をトラックの速度で割った値である。式(10)はトラックは各避難所の最遅終了時刻前に到着することが必要であることを表している。

(2)デュアル目的最適化モデル

デュアル目的最適化モデルを以下のように示す。

$$\min T(x) = \sum_{(i,j) \in L} t_{ij}(x) \quad (11)$$

$$\max R(x) = \prod_{(i,j) \in L} r_{ij}(x) \quad (12)$$

s.t. x は i, j 間のあるルート L

$T(x)$: ルート L での輸送所要時間

$R(x)$: ルート L の信頼度

所要時間最短、信頼度最大のルート L を求める。こ

のようなデュアルターゲット最適化問題の最適解は一つではなく、最適解集合が存在している。その中から、様々な要件に応じて適切な最適解を選択する。

モデルに関する仮定は次に示す通りである。

①ルート L_1 と L_2 は i, j 間のルートであるとき、 $T(L_1) \leq T(L_2)$, $R(L_1) \geq R(L_2)$ ならば、 L_1 は L_2 より有効と定義される。

② L^* は i, j 間のあるルートで、 L^* より有効なルートが存在していない場合、 L^* は有効解と定義される。

$T(x)$ と $R(x)$ を無次元化すると

$$\bar{T}(x) = \frac{T^*(x)}{T(x)} = \frac{T_{\min}(x)}{T(x)} \quad (13)$$

$$\bar{R}(x) = \frac{R(x)}{R^*(x)} = \frac{R(x)}{R_{\max}(x)} \quad (14)$$

ここで、 λ を重み係数、効用関数を $U(x)$ として、ふたつの目的関数を統合する。

$$\max U(x) = \max [\lambda \bar{T}(x) + (1 - \lambda) \bar{R}(x)] \quad (15)$$

$$s.t. \quad x = L_1, L_2, \dots, L_m$$

$\{L_i\}$ は i, j 間のルート集合, $0 < \lambda < 1$.

5. 予想される結論と今後の展開

本研究によって、道路網信頼性と時間最小化を同時に考慮する配送経路選択問題の手法を構築できる。

今後の展開としては、

①デュアル目的最適化モデルの実現可能性を検討し、改良する。

②構築した問題をある地区の主要道路ネットワークへ適用し、その結果について考察する。

参考文献

- 1) 谷口栄一, et al. “災害時における被災者への救援物資輸送に関する研究.”
- 2) Zou, Zhi-yun, Cheng Song, and Xiang-yang Guo. “How to Select the Optimal Emergent Logistics Route Based on Grey Theory.” *Logistics Technology* 27.1 (2008): 46-48.
- 3) 近藤竜平, 塩見康博, and 宇野伸宏. “アクセシビリティと連結信頼性を考慮した道路網・医療施設計画モデル.” *土木計画学研究・論文集* 26 (2010).