

# 長岡市防災訓練における災害時の救援物資配送支援システムの利用に関する検討

長岡技術科学大学	環境社会基盤工学課程	非会員	○春日井裕也
長岡技術科学大学大学院	環境社会基盤工学専攻	非会員	高村亘
長岡技術科学大学大学院	環境社会基盤工学専攻	正会員	高橋貴生
長岡技術科学大学大学院	環境社会基盤工学専攻	正会員	佐野可寸志

## 1. はじめに

令和元年10月6日、台風第19号は静岡県や関東地方、甲信越地方、東北地方などで記録的な大雨となり、甚大な被害をもたらした。長岡市内では10月11日から13日にかけて台風が接近し、強風による建物の損壊や豪雨による建物内への浸水が発生し、多くの長岡市民に避難を強いらせた。

現在、内閣府において災害発生時に市町村の物資拠点や避難所の物資情報をリアルタイムで共有する物資調達・輸送調整等支援システム<sup>1)</sup>が開発されている。

そこで、その情報を受け取ってから迅速に配送経路の選択を行う必要がある。また、災害時に配送に割ける車両数や、配送が完了するまでの時間は限られているので、限られた台数で適切な配送ルート選択と限られた時間内で適切な動員車両台数の選択が求められる。

一方、D Sariklis, S Powell の研究<sup>2)</sup>から今回扱うような配送拠点に戻る必要のない運搬経路問題が初めて導入されたが、災害時のような時間や車両が限られた場面は想定されていなかった。

そこで、本研究では、長岡市での災害発生を想定して、動員する車両台数の指定と配送時間の制限をして最適な輸送計画の検討をする。

## 2. 研究概要

巡回セールスマン問題を一般化した問題を運搬経路問題(Vehicle Routing Problem, 以下 VRP)という。VRPは、複数の車両で複数の顧客のいる場所に訪れて荷物を配達するときにかかる総配送コストを最小化するような経路を求める問題である。しかし、災害時の状況を考えると配送拠点から避難施設に救援物資を届けるまでが重要なのでトラックが配送拠点まで帰らない。

そこで、本研究では図-1 に示す容量制限付きの

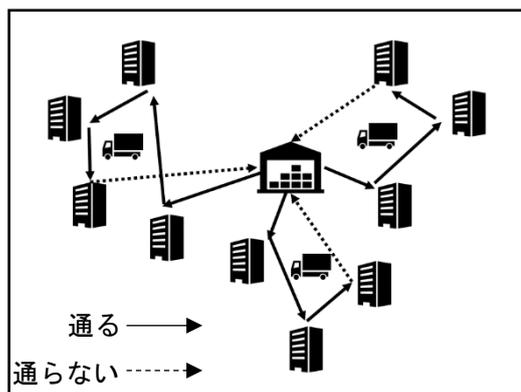


図-1 COVRP の最適化

COVRP(Capacitated Open VRP)を実装する。

また、災害時での限定的なケースを予測するために、本研究では経路の予測の際に、台数指定と配送時間制限の2つのパターンで最適化を行った。

## 3. 前提条件

### 3.1 対象地域

図-2 に対象地域となる長岡市の避難施設・配送拠点を表示する。本研究では特に配送経路の選択が困難と予想される避難施設の密集エリアを選んだ。

### 3.2 入力条件と設定方法

本研究では python と QGIS を組み合わせて配送経路の最適化を行う。そこで、次に示すような配送時の各パラメータを決定する必要がある。

- ・ 配送拠点と避難施設間の道路ネットワーク
- ・ 各避難所の物資要求量
- ・ 使用するトラックの積載量
- ・ 荷降ろし時間

まず、道路ネットワークは QGIS 上に OpenStreetMap を開き、地点ごとに最短経路探索を行い作成した。

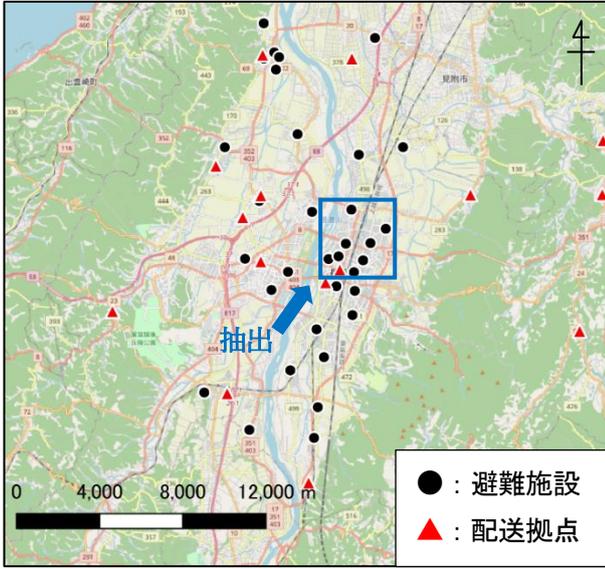


図-2 長岡市の配送拠点と避難施設

表-1 設定条件

対象地域	新潟県長岡市
救援物資	折り畳みダンボールベッド
物資必要量	各避難施設による
トラックの積載量	95 人分
荷降ろし時間	10 分

次に、各避難所の必要物資は令和元年台風 19 号時<sup>3)</sup>を参考に、短期間の避難が求められると考えられるためダンボールベッドと決定し、その量については台風 19 号時の避難人数を考慮して決定した。トラックの積載量はトラックの容量と段ボールベッド 1 つの容量から算出して決定した。最後に荷降ろし時間については、実際に長岡市の災害対策本部運営訓練の時に実際に荷降ろし時間を計測した結果、一概に荷物量が多ければ荷降ろし時間が増えるわけではないことがわかったため、一律に 10 分とした。それらの入力条件についてまとめたものを表-1 とする。

## 4. 問題の定式化

### 4.1 変数の定義

Victor らの論文<sup>4)</sup>を参考に今回の COVRP を定式化するために変数を定義する。G=(V,E)は避難施設の場所及び経路を表す。V={0,1,...,n}は節点の集合を表し、配送拠点を表す節点 0 と各避難施設をあらわす節点

{1,2,...,n}となる。E は各節点間を結ぶ  $e_{ij}=(i,j)$  の集合を表す。K={1,2,...,|K|}で車両の集合である。d<sub>i</sub>(≥0)は各顧客 i の荷物の量であり、Q(≥0)は各車両  $k \in K$  の最大容量を指す。c<sub>ij</sub>は顧客 i と j 間の移動時間である。t<sub>j</sub>は j 地点での荷降ろし時間である。

決定変数として車両 k が経路 e<sub>ij</sub> を通るかどうかとして x<sub>ij</sub><sup>k</sup> が 1 であれば通る、0 であればそれ以外とする。y は車両 1 台による合計配送時間の最大値である。

### 4.2 定式化

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in E} c_{ij} x_{ij}^k + t_j \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in V, i \neq j} x_{ij}^k = 1 \quad \forall j \in V \setminus \{0\} \quad (2)$$

$$\sum_{j \in V \setminus \{0\}} x_{0j}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{i \in V, i \neq j} x_{ij}^k - \sum_{i \in V} x_{ji}^k = 0 \quad \forall j \in V, \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{i \in V, i \neq j} \sum_{j \in V \setminus \{0, i \neq j\}} q_j x_{ij}^k \leq Q \quad \forall k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{i \in V, i \neq j} \sum_{j \in V \setminus \{0, i \neq j\}} x_{ij}^k \leq |S| - 1 \quad S \subseteq V \setminus \{0\} \quad (6)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} x_{ij}^k + t_j \leq y \quad \forall k \in K \quad (7)$$

$$c_{i0} = 0 \quad (8)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\} \quad \forall k \in K, \forall (i,j) \in E \quad (9)$$

(1)式は、総配送時間を最小化する目的関数である。(2)式は、各避難所が 1 台の車両によって 1 回訪れることを保証する制約式である。(3)式は必ず配送拠点から出発するという制約式である。(4)式は避難施設に来る車両数と出ていく車両数が同じである制約式である。(5)式は各車両においての最大積載量を超えないようにする制約式である。(6)式は部分巡回経路除去制約である。(7)式は各車両においての最大距離を制約している。前述したように y は任意の区間における車両の輸送の総時間である。

(8)式は最後の避難施設から配送拠点までのコストが 0 であるとしている。(9)式は決定係数の制約を示している。

本研究では、CVRP への入力値の、最後の避難施設からかえる時間を 0 とすることで実質的に COVRP になるようにしている。一方、配送完了時間の最小化する目的関数は次式で表せる。(10)式で全車両中の配送時間の最大値を最小化し、各車両の配送時間を平準化できる。

$$\min \left( \max \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} x_{ijk} + t_j \right) \quad (10)$$

しかし、本研究では変数  $y$  を用いて次のようにする。

$$\min y \quad (11)$$

$$s.t. \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} x_{ijk} + t_j \leq y \quad \forall k \in K \quad (12)$$

## 5. 計算結果

QGIS で実際の道路ネットワークを用いて出力される各避難施設と配送拠点間の距離をコストとして OD 表を作成して、python のライブラリの 1 つである PuLP を用いて最適化を行った。

今回は、COVRP で各配送制約がなにもない場合を CASE1、各車両の時間の制約がある場合を CASE2、使用可能な台数の制約がある場合を CASE3 として、それぞれで最適化をして、図-3 から図-6 に示した。ここでは、CASE2 では配送完了時間が 50 分と 40 分のもの、CASE3 では動員可能台数の制約が 5 台の場合のみを掲載している。

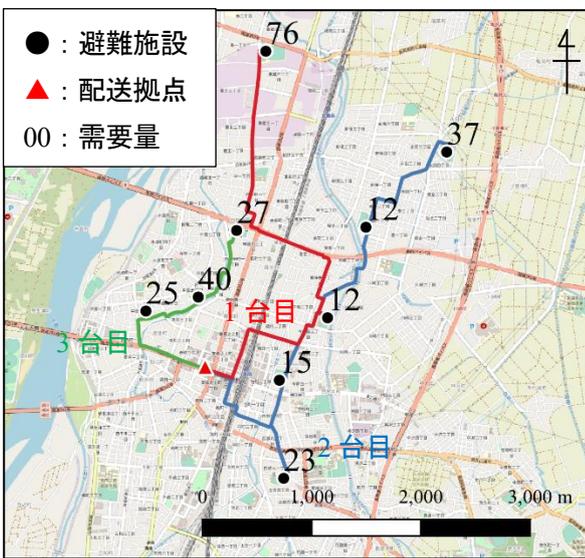


図-3 CASE1  
(総配送時間の最小化 制約なし)

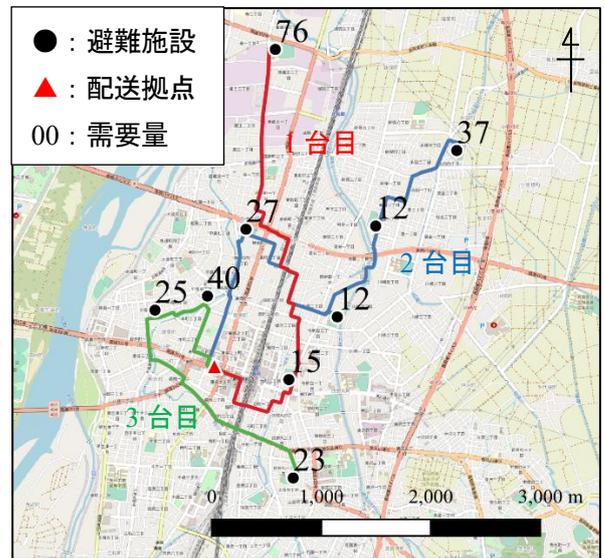


図-4 CASE2-1  
(総配送時間の最小化 50分以内に配送完了)

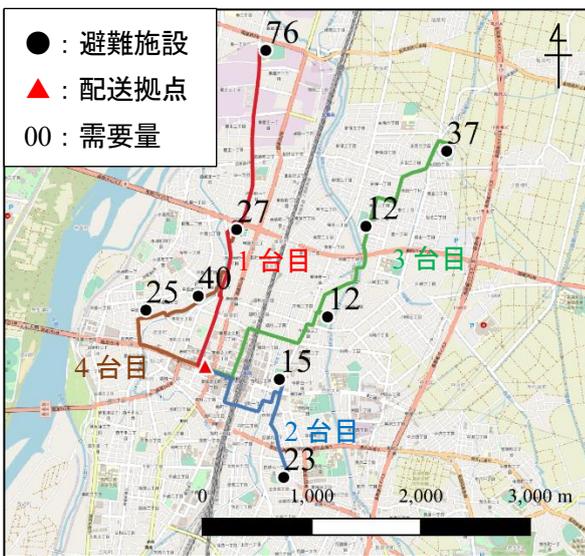


図-5 CASE2-2  
(総配送時間の最小化 40分以内に配送完了)

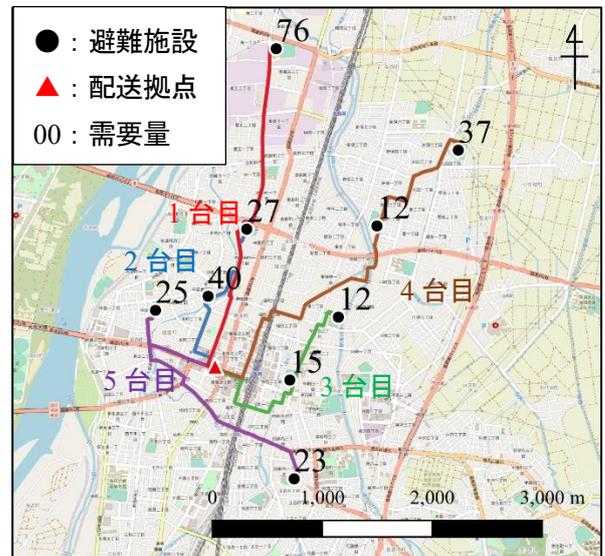


図-6 CASE3  
(配送完了時間の最小化 5台で配送)

表-2 それぞれの配送時間

制約	CASE1	CASE2-1	CASE2-2	CASE3
	無し	50分以内	40分以内	5台
1台目	28.8	28.9	15.8	15.8
2台目	50.3	49.8	24.1	23.0
3台目	34.5	37.1	37.6	23.9
4台目			34.5	27.1
5台目				26.1
配送完了時間	50.3	49.8	37.6	27.1

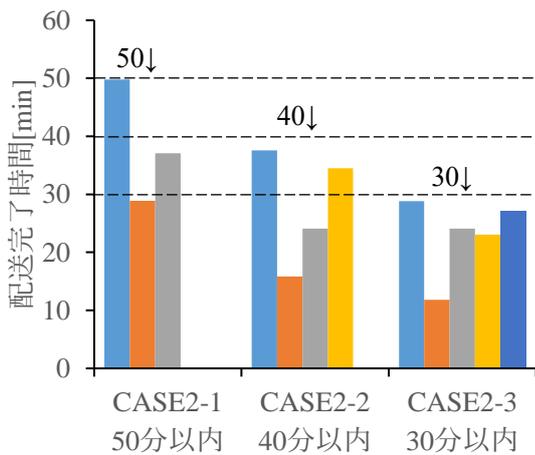


図-6 CASE2 の配送完了時間

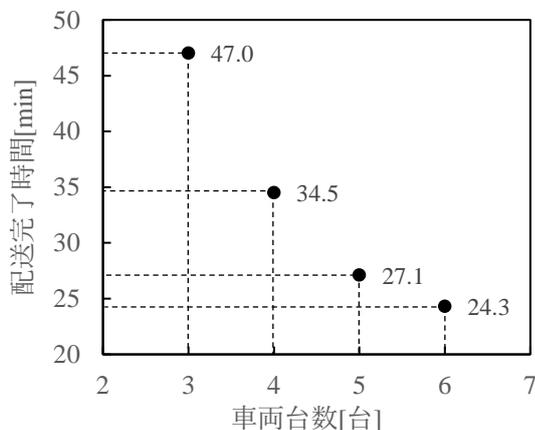


図-7 CASE3 車両台数-配送完了時間

次に、表-2 にそれぞれの配送時間を示す。表-2 より CASE1 のような車両台数や配送の時間に制限がなければ決まった台数でしか配送経路の予測ができず、また、配送にかかる時間を設定できない。

しかし、CASE2 では、配送完了時間の制約を設けて、その時間ごとに最低限車両を動員することができる。実際に、表-2 中の CASE2 では配送が完了するまでの

時間を 40 分または 50 分と設定しており、50 分以内の配送であれば 3 台で良く、40 分以内であれば 4 台の車両で十分であるとわかる。

また、CASE3 では 5 台の車両を用いて均等に配送時間を各車両に割り振ることで、指定の台数で最も早く配送を完了するための経路を知ることができる。

次に、CASE2 および 3 について、CASE 内で条件を変化させ、条件ごとの配送完了時間を算出する。図-6 は CASE2 において複数の配送完了時間設定の比較をしたものである。図-7 は、CASE3 において車両台数の設定と配送完了時間の関係を表したものである。

図-6 より時間が与えられた場合、それに応じた台数で最適な経路を知ることができ、図-7 より台数制約を与えた時、それに応じた配送完了時間で最適な経路を知ることができる。

## 6. まとめ

本研究では、各車両の時間の制約および配送に動員できる車両台数の制約を設け、そのような限定的な場面において効果的に配送経路の予測を可能とした。

本研究結果を用いれば、物資調達・輸送調整等支援システムから情報を受け取り効果的に最適経路の情報を出力できる。

謝辞：本研究結果は、東京電力ホールディングスとの共同研究により得られたものである。

## 参考文献

- 1)内閣府：物資調達・輸送調整等支援システムについて、2021
- 2) Sariklis, D., Powell, S. A heuristic method for the open vehicle routing problem. J Oper Res Soc 51, pp.564-573 (2000)
- 3) 新潟県長岡市：令和元年台風第 19 号 被害等の概要、2020 年 6 月 1 日
- 4) Victor Pillac, Michel Gendreau, Christelle Guéret, Andrés L. Medaglia, A review of dynamic vehicle routing problems, European Journal of Operational Research, Volume 225, Issue 1, (2013)