

水害を想定した防災訓練における救援物資配送 最適化システムの実験的導入の検討 —新潟県長岡市災害対策本部運営訓練の事例—

高村 亘¹・高橋 貴生²・佐野 可寸志³・永田 力也⁴・吉澤 厚文⁵
・松田 曜子⁶

¹ 非会員 長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)
E-mail: s183268@stn.nagaokaut.ac.jp

² 正会員 長岡技術科学大学助教 環境社会基盤工学専攻 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)
E-mail: takataka@vos.nagaokaut.ac.jp

³ 正会員 長岡技術科学大学教授 環境社会基盤工学専攻 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)
E-mail: sano@vos.nagaokaut.ac.jp

⁴ 非会員 長岡技術科学大学客員准教授 技術開発センター (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)
E-mail: nagata.rikiya@tepcoco.jp

⁵ 非会員 長岡技術科学大学客員教授 技術開発センター (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)
E-mail: yoshizawa@vos.nagaokaut.ac.jp

⁶ 正会員 長岡技術科学大学准教授 環境社会基盤工学専攻 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)
E-mail: ymatsuda@vos.nagaokaut.ac.jp

自治体の災害対応において、避難所への救援物資の配送はリソースの必要数の把握や道路の被災状況など不確実な要素を多く含んでおり、その情報共有の難しさから大きな課題となっている。また災害情報の共有後、救援物資配送の最適化計算を行い実際に配送する場合、物資・配送車等の物的リソースおよび救援物資を配送する運転者等の人的リソースの確保が問題となり、平時とは異なる制約が生まれると考えられる。そこで本研究では、災害情報を考慮した配送最適化システムのプロトタイプを作成し、長岡市で行われた災害対策本部運営訓練で試験運用を行うことで、一連の災害対応およびシステムの課題を把握し、救援物資配送の円滑化に役立てることを目的とする。

Key Words: *disaster drill, mathematical optimization, vehicle routing problem*

1. はじめに

2019年10月に発生した台風19号は、東日本広域にわたって大雨をもたらし、河川の氾濫やがけ崩れ等の被害を発生させた。その年の水害被害額は2兆1500億円と津波以外の水害では過去最大となり、今後も豪雨による災害発生が懸念される¹⁾。

災害時の物資支援では、プッシュ型支援が平成28年熊本地震から行われており、令和2年豪雨では熊本県に対して新型コロナウイルス感染症対策に必要なパーティーションなど、被災地のニーズを踏まえた物資支援が行われた。多様化する被災地のニーズに対応するため、内閣府は「物資調達・輸送調整等支援システム」を構築し、

令和2年から運用を開始した²⁾。これにより、備蓄物資およびさまざまな物資の要請情報が国、県、市町村で一元的に管理され、情報共有が円滑化されると考えられる。

しかし、その情報から実際に物資を輸送するとき、誰が配送を行うのか自治体が明確な意思決定ができなければ、結果として物資支援の遅延が引き起こされてしまう。物資を輸送する機関としては自治体、輸送業者、自衛隊等があり、自治体と配送業者の間には災害連携協定こそあるものの、具体的な取り決めがないことも多々ある。西脇ら³⁾は、熊本地震において物資輸送協定を民間企業と締結していたのにもかかわらず輸送業務に支障が生じた原因として、物資の要請後、その輸送を誰が行うのかについて認識の違いから混乱が生じたためと述べている。

したがって、情報を受け取る自治体側もある程度輸送の規模を把握し、それを基に自分たちで輸送可能なのか、それとも業者や自衛隊に委託するのが良いのか決定する必要があると考えられる。

そこで本研究では、あらゆる災害情報共有プラットフォームからリアルタイムに集まる情報を基に、輸送拠点から避難所までの最適な配送経路を表示し、自治体の救援物資配送における意思決定を支援するシステムを提案する。実災害時に提案システムを活用することによって、要請情報から輸送車の輸送経路、輸送時間、必要な輸送台数を把握できるようになり、円滑な意思決定が期待できる。システムの概要を図-1 に示す。また本提案システムの課題抽出および評価を目的として、長岡市で毎年行われている災害対策本部運営訓練で実際に試験運用を行った。その概要と結果については5章で述べる。

2. 既存研究

既存研究では、災害時のリアルタイムなデータの収集に関して課題があり、またそれらのデータを取り入れつつも実用的な解析、計算時間を実現することが大きな課題であった⁴⁾。しかし、物資調達・輸送調整等支援システムのような情報共有プラットフォームを導入する自治体が増え、物資のリアルタイムな要請情報が扱いやすくなったことから、データを収集し分析することが容易になった。被災情報の収集に関してはまだ課題があるが、国立研究開発法人防災科学技術研究所と株式会社日立製作所が開発した SIP4D(基盤的防災情報流通ネットワーク)等の情報共有プラットフォームの基盤整備が進み、災害時に活用され始めているのが現状である。

また計算時間に関しては、最適化ソルバーの性能の向上から、限られた時間内で精度の高い計算結果を返せるようになった。以上の点を踏まえ、リアルタイムで集約された情報を入力し、限られた時間内で物資配送の意思決定の支援を行うことができるシステムを構築した。

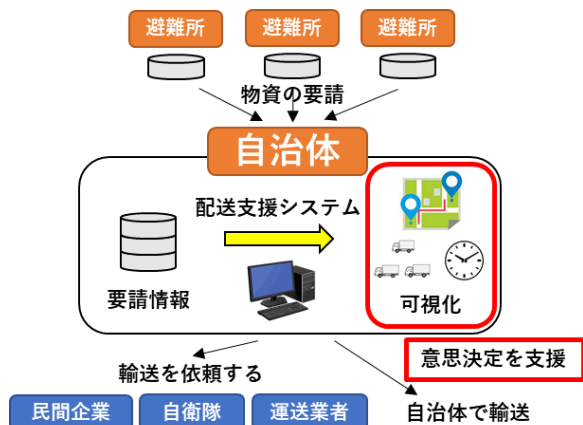


図-1 システムの概要

3. 配送支援システムの提案

提案システムは、要請された物資を輸送する際、被災情報を考慮し、その輸送経路、輸送時間、必要な輸送台数、輸送車の物資の配分の4項目を限られた時間内で可視化し、物資配送の際の意思決定を支援することをコンセプトとして設計を行った。なお被災情報、輸送拠点および避難所等の施設の位置情報および経路の可視化を行うため、提案システムには地理情報システム(GIS)を組み込んだ。システムの設計に用いたPCはマウスコンピューターDAIV X7 CPU:Corei9 メモリ 32GBである。次の章で計算手順の詳細を説明する。

4. 提案システム(プロトタイプ)の計算手順

システムの処理は、物資の要請データを自治体本部から受け取り、地理情報システムを用いて道路等の被災状況を考慮した施設間の所要時間のOD表を作成した後、それらをプログラムに読み込んで最適化の結果を出力するという流れで行われる。図-2 に計算手順のイメージを示す。なお、現段階では出力された結果をGIS上で可視化する部分のシステム化が不十分であるため、今後システム化を進める必要がある。次に、提案システムのプロトタイプの各フローの概要を述べる。

① 道路被災情報の読み込み

最適化による輸送経路決定の際、災害による道路の途絶を考慮するため、道路の浸水状況や土砂崩れ状況などをGIS上に描画するかそのデータを読み込み、そのポリゴン上の道路ネットワークを削除する。削除後のネットワークは、後ほど拠点と避難所間の所要時間を算出する際に用いる。なお、道路ネットワークは地理情報データをフリーで扱っているOpenStreetMapから抽出したものを利用した。

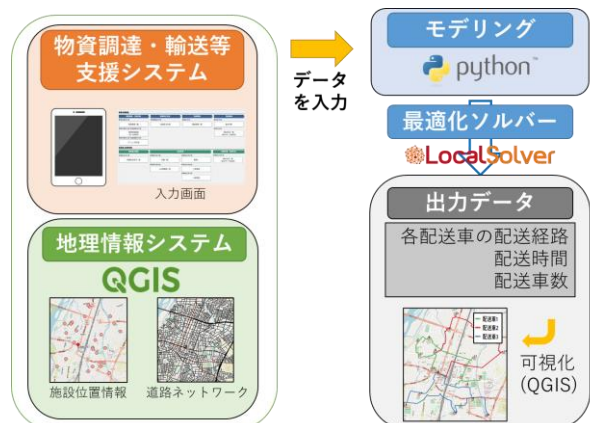


図-2 システムの計算手順

② 物資要請情報の読み込み

物資調達・輸送調整等支援システムから得られた要請情報を読み込むことで、事前に作成した施設位置情報データベースから対象施設を抽出し、GIS上に可視化する。

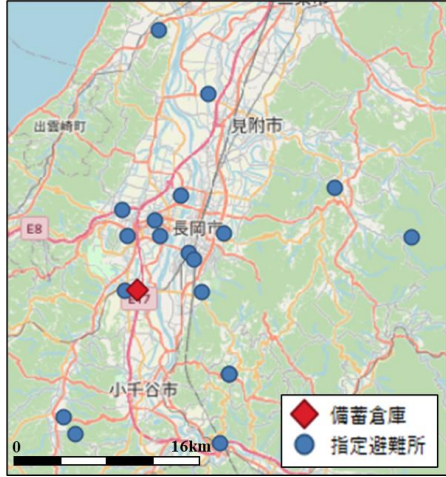


図-4 施設位置情報の読み込み

③ 所要時間ODの作成

施設ごとに最短経路探索を行い、配送経路最適化の際の入力データとなる所要時間OD表を作成する。



図-5 所要時間ODの作成

④ 配送最適化プログラムの実行および可視化

③で作成した所要時間ODおよび要請情報をプログラムに読み込み、輸送経路、輸送時間、必要な輸送車数、物資の配分の計算を行い可視化する。なお経路決定には、一般的な容量制約付き配送経路問題のアルゴリズムを用いた⁵⁾。また目的関数は、全ての輸送車の輸送時間の和、輸送車台数とし、それらが最小となるように最適化をし経路決定を行った。最適化のソルバーには、LocalSolver

を用いた。このソルバーは、システム上で処理の制限時間を入力することで、その時間内での最適化の結果と下限値とのギャップを表示し、限られた時間内で信頼性の高い最適化結果を返すことが可能である。



図-6 経路可視化の結果

5. システム試験運用

(1) 実験概要

本提案システムの有効性の検証のため、作成したプロトタイプを用いて試験運用を行った。対象地域は新潟県長岡市とし、2021年8月29日に行われた市の災害対策本部運営訓練で実際に使用した。

訓練では、実災害時を想定し避難所の開設・運営訓練等を毎年行っており、昨年度から訓練にも内閣府の「物資調達・輸送調整等支援システム」を試験運用している。そこで、訓練中に仮想の物資の要請を避難所の市職員が行い、それを長岡市の災害対策本部で集約したものを本提案システムに入力することで、限られた時間内で計算を行うことができるか検証を行った。訓練中の様子を図-7に示す。



図-7 訓練中の様子

システムの試験運用を行う前に、長岡市の災害時における物資支援体制の調査を行った⁹⁾。その結果、締結企業と具体的な契約内容があるとはいえない状況であり、最悪の状況を想定すると前述したように災害時に誰が物資を輸送するのか混乱が発生する可能性もあると考えられる。過去には令和元年台風 19 号による豪雨によって避難所を開設した際、物資拠点に集荷された物資を輸送業者等によらず、市職員が輸送したという事例があった。以上のことから、対象の自治体は輸送の意思決定を支援するシステムの試験運用場所に適していると考えられる。

(2) 前提条件

以下に計算のために受領した要請データの概要および対象施設、輸送に関して設けた仮定を示す。

a) 要請データの概要

避難所からの要請データは、主に避難所名称、要請する物資の種類および量、物資の集荷先で構成されている。今回は訓練のため、物資の申請内容は全て避難所の市職員に委ねられている。そのため、要請データに入力ミスがあった場合はシステム入力前に手作業で削除した。また、要請された物資の量に関しても、避難所ごとに極端なばらつきがみられ、非現実的な輸送経路になってしまうと想定されたため入力前に修正した。そして、今回はその中から集荷先を 1ヶ所に絞って計算を行った。入力したデータの概要を表-1に、対象施設を図-8に示す。

表-1 入力データの概要

対象物資	おにぎり、総菜パン、菓子パン、弁当、粉ミルク
施設数	集荷先：1/3ヶ所 避難所：20/89ヶ所
要請数	24/158個

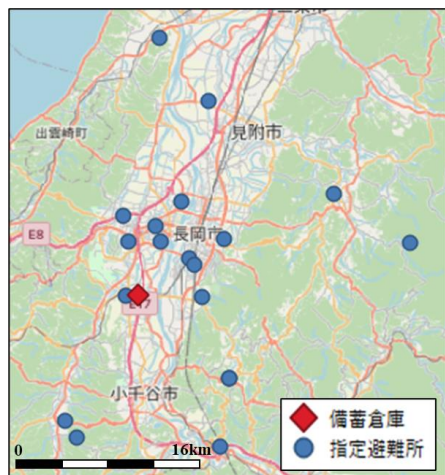


図-8 対象施設

b) 輸送に関して設けた仮定

輸送を最適化する際に、計算簡略化のためいくつかの仮定を設けた。まず、物資を輸送するトラックは備蓄拠点から出発し輸送を終えた後拠点に戻り、備蓄拠点には十分な量の物資があると仮定した。物資調達・輸送調整等支援システムで集荷先を指定する際には、避難所の要請量より備蓄量が多くなければ指定できないようになっているため、物資が十分な量あると仮定することで指定できないことによるエラーを防いだ。

トラックの寸法に関しては一般的な 2t ショートトラックとし、物資の寸法も一般的なものを用いた。また、長岡市内で供用年数が長く災害に対する耐性が低いとされる長生橋を途絶する道路として仮定した。以上の仮定で最適化計算を行い、最適な輸送経路を算出した。

(3) 実験結果

以上の仮定で災害対策本部運営訓練において配送支援システムを試験運用した結果を示す。なお、訓練ではデータの受領から計算結果を長岡市に返すまで 1 時間の時間制約が設けられていた。配送支援システムに関する訓練当日のタイムラインを表-2に示す。

市職員による物資の要請が終わり、午前 10 時にデータを受領した際、事前に想定していたデータ形式とは異なっていたため、データ受領後に形式の変更および先述したデータ修正を 20 分間行った。今回は手作業で修正したが、実災害時にも物資要請の際に入力ミス等が発生する可能性は考えられるため、システムで自動で検出する機能が必要になると考えられる。

また、最適化計算自体は約 2 分間で終了したが、その後の結果を可視化する部分はシステム化がまだ不十分であったことから 40 分と多くの時間を要した。今後システム化を進める上で改善が必要であると考えられる。

表-2 システムに関する訓練のタイムライン

時刻	実施内容
7:30	防災訓練開始 避難所開設訓練の開始
9:14	避難所開設の確認 避難所の市職員による物資の要請 本部で情報の集約
10:00	長岡市から要請データの受領
10:02	受領データの確認 データの修正後、データ抽出開始
10:25	最適化計算実行
10:27	最適化結果出力
10:30	結果の可視化開始
11:10	計算結果、可視化結果の共有

次に、最適化計算を行った結果と GIS で可視化を行った結果を示す。

表-3 各輸送者の輸送時間

トラック No	輸送時間(分)
1	167
2	78
3	62
Σ	306

表-4 物資配分量(個)

トラック No	おにぎり	総菜パン	菓子パン	弁当	粉ミルク
1	900	100	200	100	200
2	1000	-	-	600	200
3	100	100	300	-	-
Σ	2000	200	500	700	400

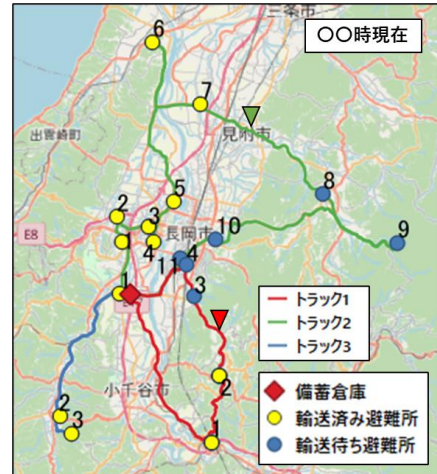


図-10 ヒヤリングを反映した出力イメージ

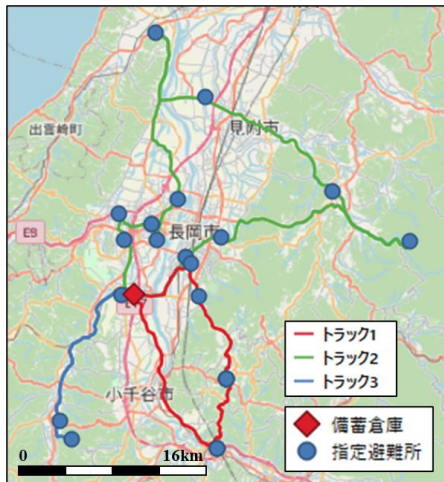


図-9 可視化結果

システムの評価として、訓練後長岡市にヒヤリング調査を行った。ヒヤリングでは、システムによるメリット、可視化結果で経路の他に必要な情報・機能、システムの改善点の3点調査を行った。まず、システムを導入することによるメリットは、自治体と輸送業者で輸送経路を共有し、輸送の対応ができることという回答が得られた。そのため、今回は輸送の意思決定を支援するという目的でシステムを構築したが、その後の対応の支援を含めた機能も必要であると考えられる。その例として、輸送を行っているトラックをリアルタイムで追従し、自治体と輸送業者で現在の輸送状況を共有する機能が必要だという回答があった。また、避難所の輸送順序の分かりやすい表示や、輸送済みの避難所と輸送予定の避難所を区別する機能も必要という回答も得られた。図-10 に上記機能を付与したシステムの可視化イメージを示す。

またシステムで改善すべき事項は、計算結果の可視化に時間を要するという点であった。今後システム化を

進めるうえで改善する必要があると考えられる。

6. まとめ

本研究では、提案システムを構築し防災訓練でプロトタイプを試験運用することによって、実災害時に近い状況でシステムの課題や改善点の抽出を行った。今後の展望として、抽出した改善点およびヒヤリングによって得た自治体のニーズを踏まえ、システム化を進めていく。また、要請情報だけでなく、リアルタイムの道路通行実績データや道路状況データを入手し反映することで、より現実的な出力結果が得られると考えられる。その入手方法について今後模索する必要がある。

謝辞：本研究結果は、株式会社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) 国土交通省：令和元年東日本台風の発生した令和元年の水害被害額が統計開始以来最大に～令和元年の水害被害額(暫定値)を公表～，2020.
- 2) 内閣府：物資調達・輸送調整等支援システムの概要，2021.
- 3) 西脇文哉，畑山満則，大西正光，伊藤秀行：熊本地震での緊急支援物資輸送における当事者間コミュニケーションに関する考察，土木計画学研究・論文集第 35 巻，pp.389-397，2018.
- 4) 間島隆博，渡部大輔，鳥海重喜：災害時における緊急・代替輸送支援システムの開発 海上技術安全研究所報告，7，(4)，pp.87-102，2008.
- 5) P. Augerat, J.M. Belenguer, E. Benavent, A. Corberan, D. Naddef, G. Rinaldi, Computational results with a branch and cut code for the capacitated vehicle routing problem, IASZ, 1995
- 6) 長岡市：地域防災計画，2021.

A STUDY ON THE EXPERIMENTAL INTRODUCTION OF A RELIEF GOODS DELIVERY
OPTIMIZATION SYSTEM IN AN DISASTER DRILL ASSMING FLOOD DAMEGE:
A CASE STUDY OF NAGAOKA CITY

Wataru TAKAMURA, Takao TAKAHASHI, Kazushi SANO, Rikiya NAGATA,
Atsufumi YOSHIZAWA, and Yoko MATSUDA

In the disaster response of local governments, the delivery of relief goods to evacuation centers involves many uncertain factors such as the number of resources required and the damage to roads, and the difficulty of sharing information is a major issue. In this paper, we propose a new method to optimize the delivery of relief goods in a disaster-stricken area. In this study, we developed a prototype of a delivery optimization system that takes disaster information into account, and experimentally introduced it into the disaster drills held in Nagaoka City, with the aim of understanding the issues involved in a series of disaster responses and the system, and using it to facilitate the delivery of relief goods.