

# 被災地におけるリアルタイム性を考慮した リバランシングを実現する物資配送計画方式

田中 雄大<sup>1,a)</sup> 川上 朋也<sup>1</sup> 柴田 直樹<sup>1</sup> 柴田 義孝<sup>2</sup>

**概要：**東日本大震災や熊本地震によって日本各地は甚大な被害を受けた。その被害によって、救援物資の配送においては大きな混乱が生じ、避難所への物資の配送が十分になされない問題が発生した。この問題に関して様々な研究がなされているが、扱える物資の品目の数は少なく、また、配送拠点での物資の偏りが指摘されている。物資量を拠点間で調整するリバランシングによって、物資の配送を改善できる可能性がある。また、災害時には道路の寸断や、通行困難な箇所が出ることで、物資の配送が困難となる問題もある。本稿では、災害直後に物資の供給が不足することを想定し、避難所への物資の配送を的確に、そして迅速に行うためのロジスティクス・モデルの提案を行う。上記の問題を解決するために、物資やトラックを配送拠点間でリバランシングを導入し、道路の寸断や避難所での需要量や各避難所に対してどれほどの物資が配送されているかを情報として取り入れ、これらを利用して物資の不足が起こらないように逐次配送ルート最適化を行う。

**キーワード：**リバランシング、配送計画問題、サプライチェーンマネジメント

## 1. はじめに

熊本地震などでは、トラックなどを用いた配送において、各避難所に割り当てる物資の量に偏りがあり、十分に救援物資が届かないといった問題や、逆に一つの避難所に多くの救援物資が届いてしまい最終的には廃棄しなければならない状況に見舞われた問題が指摘されている [1]。実際に1995年の阪神・淡路大震災の際には、救援物資配送の偏りが発生した [2]。2004年の新潟県中越地震の際にも地震直後の物資不足が発生した [3]。近年では最大の被害となった2011年の東日本大震災でも、特に道路を使用するトラックの燃料の不足 [4,5] や道路の寸断 [6] によって救援物資の配送に問題が発生した [7]。

東日本大震災直後の物資配送において、仙台市を例にとると、当初物資の配送拠点は宮城野区にある体育館に設定されていたが、フォークリフトや台車などの荷役機器がなく、物資が多量のため対応ができなかった [8]。物資は、配送拠点に一旦届けられたあと避難所に配送されるが、各配送拠点に様々な物資が届けられるため、他の配送拠点に物

資がどの程度あるか把握するのが困難であり、そのため、物資の偏りが発生した。複数の配送拠点がある場合は、物資を拠点間で再分配するリバランシングを行うことでこの問題を解決できる可能性がある。また、災害発生後、救援物資配送計画を立てるためには、避難所となっている場所からの様々な情報の入手が必須であるが、避難所間やトラックドライバー間、そして物資を積み込む拠点において物資に関する情報の共有がこれまではなされておらず、どれくらいの量をどの避難所に配送すればよいか不明瞭である。物資の配送方式として、予め必要物資を想定して商品を送り込むプッシュ型方式や、被災者ニーズに合わせて適切な量と質の商品を届けるプル型方式があるが、現在は災害発生時はプッシュ型で配送し、ある程度の時間が経過し、生活復興期になったときにプル型に移行する流れ [1] となっている。既存研究において、プル型の配送を実現するために物資を避難所に配送する配送計画問題に対しては、過去の災害データから予め需要量のモデルを決定することで配送量や避難所を算出している [9]。しかし、現場の要求などに応じて物資の配送計画が変更されることもあり、配送当初の計画では避難所ニーズを満たせない可能性がある。我々はこの問題に対して、リアルタイム性を考慮し、刻々と変わる避難所のニーズを逐一把握しつつ、また、現場での臨機応変な対応を許容し、情報を逐次更新することに

<sup>1</sup> 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科  
Graduate School of Information Science, Nara Institute of  
Science and Technology

<sup>2</sup> 岩手県立大学  
Iwate Prefectural University

a) tanaka.yudai.tt2@is.naist.jp

よって、災害発生後、プル型配送を中心とした配送ルートの最適化を行う。需要量は、現在では一部で御用聞き方式で把握している [1] ため、この方式を採用する。各避難所のニーズを満たす方法として、需要量に対する供給量を充足率とし、これを最大化する研究があるが、各避難所に対して平等に充足率を最大化すると、規模の大きな避難所のニーズは満たされるが、規模の小さな避難所のニーズが無視されがちな問題がある。これに対して、本研究では、充足率が低い避難所に対して、物資を優先的に配送するためのパラメタを設けることにより、オペレータが避難所間の公平性を保つ。

本研究の目的は、災害によって引き起こされる物資配送の問題と配送拠点での物資の不足やトラックの不足問題を解決することである。このために配送計画の中で、避難所への物資配送に加えて、拠点間での物資やトラックのリバランシングを行うことで、道路の寸断や物資の偏りに対応する。配送計画を立てる上で必要な情報のやり取りを行い、最新の道路状況や配送状況を随時入手する。物資配送を可能にしながら、物資やトラックのリバランシングを行うシステムモデルを提案し、その有用性を確認する。

## 2. ロジスティクス業界における事例

本章では、物流の分野において報告されている事例を示す。対象とした事例は、ロジスティクス業界における事例を多数掲載しているサカタウエアハウス株式会社のロジスティクスレビュー [10] や土木学会土木計画学調査報告 [1] によるものである。

### 2.1 サプライチェーンマネジメントに関する問題

サプライチェーンマネジメントとは、自社内だけではなく、他社との受発注や、在庫、販売、物流などの情報を共有し、流通における全体的な最適化を行う管理手法のことである。過去の震災時には、このサプライチェーンマネジメントの問題が発生している。具体的な例として、清涼飲料水の生産が滞ったことがあげられる。これは、震災による石油供給量の欠乏により、ペットボトルのキャップなどの生産ができなくなり、結果的には生産の中断を余儀なくされた。物流においても同じことが起こり、石油供給量の欠乏によって、配送する車両は十分にあるが、燃料がないため配送が行えない問題が発生した。サプライチェーンマネジメントによって、災害時でも、各社間での情報を取りまとめ、運用する方法が求められている。

### 2.2 東日本大震災に関する問題

ロジスティクスでは、被災地の状況を把握し、必要な物資を必要な場所に補給することが重要である。すなわち災害の初期対応に目処がつけば、被災地からの要求を把握し、現地で仕分けしやすいように配送することが重要であり、

これを行わなければ現地での作業が混乱する。この問題に対して、東日本大震災の際の緊急物資配送の方法を示す。まず、東日本大震災の物流インフラの被災状況を阪神・淡路大震災と比較すると、阪神・淡路大震災は 100km 圏内の都市部の被災であったのに対して、東日本大震災では 500km 圏内と、広い範囲での被災があり、阪神・淡路大震災とは異なり、自衛隊や米軍の支援による、自己完結型のロジスティクスの体制がとられた。次に、配送に関して、被災地に向けて救援物資の配送が行われたが、被災地の集積拠点に物資が滞留することから、物流専門家が数名派遣された。この物流専門家は、救援物資の搬入先の指示、救援物資の仕分け及び在庫管理、末端配送に関する計画等の策定、配送作業の指揮、監督の関わるアドバイザー業務、避難所との物資ニーズ把握、データベース化、配送ルートの見直しなどを行う。人数としては、計 12 名が派遣されていたとしている。これらの事例を通して、今後の大災害に備えた対策が急務である。

### 2.3 熊本地震に関する問題

熊本地震における緊急支援物資の供給において、特に大きな問題となったのは、市町の集積所から物資の配送を行うフェーズである。集積所間でのニーズの情報共有ができておらず、物資の仕分けと配分の混乱やそもそも避難所の把握すら困難であった実態があったとした。指定避難所は把握できても、指定外となっている避難所を把握できなかったという問題である。被災地外の拠点（一次集積所）から市町村単位の集積所（二次集積所）への物資の配送は比較的順調で、量も把握できていたとしている。しかし、二次集積所には不要な支援物資が届き、集積所の保管場所が支援物資で溢れたという実態もある。

### 2.4 少子高齢化に関する問題

日本は近年、少子高齢化の時代と言われており、この時代になると自動車を持たない者や、車いすの利用者、また、公共交通手段の不便な住民などの交通弱者がや生活弱者が多数発生すると見られている。このため、ロジスティクスの分野においても、このような生活弱者への対策を講じる必要がある。災害時に、生活弱者への必要物資の量は増加し、通院患者や要介護者への診療や薬の供給の必要性などが考えられ、複数の業界や企業の協調や協力が必要である。また、このような体制を作り上げるためには、行政や自治体の役割は大きく、備蓄や防災のための条例を設けたりするなど、日頃から準備が必要である。

## 3. 関連研究

本章では、災害時におけるロジスティクスモデルの関連研究についてまとめる。また、本研究の位置づけについてまとめる。

### 3.1 救援物資を配送するロジスティクスモデル

Wei らの研究 [11] では、物流の支援や避難の支援は災害時において重要な行動であるとし、経路検索をベースとした多物資ネットワークフローを用いて、避難者の健康管理や優先的に配送する物資の時間遅れを少なくするためのロジスティクスモデルを提案している。災害時には、怪我の程度が軽い人や、重い人が出てくることが予想され、重病人がいる地点に優先的に救援物資が配送されるとした。このような複雑な問題を解くために、配送ルートを探段階と配送量を決める段階に分け、それぞれを比較することで、結果を算出している。ケーススタディを通して、サービスレベルを最大化することができ、かつ医療関係の物資や救急センター間で高いサービスレートを達成できるとしている。

災害時に必要な医療機器や、その他医療に関する物資に関しての配送計画問題を解くロジスティクスモデルであるが、食料や飲料水に関する考察は行われていない。これらの品目は需要量と供給量が変わりやすく、逐一状況を把握すべきであるが、災害時における想定としては不十分である。

### 3.2 緊急時の物資配送に関するロジスティクスモデル

Yen らの研究 [12] では、多物資、多車両、多期間において、物資配送問題を多目的整数プログラミングモデルとして提案している。この研究では、様々な物資において優先度を考慮している点が過去の研究と異なる。加えて、新たなヒューリスティック手法である、分割割当ヒューリスティック (DAH) を開発し、考えられる全ての配送ルートにおいて、演算をおこなうことができると述べている。DAH の手法を用いることで、過去の手法と比べて 4.3 % の時間削減に成功したと報告している。

災害時に必要な物資の配送に関するロジスティクスモデルに関して、予め定めたモデルに対して計算を行っており、リアルタイム性が考慮されるべき災害時の想定としては不十分であり、また、品目の数は医薬品、水、食料の 3 種類に限定されていることも実際の災害時の想定としては数が少なく不十分である。また、整数線形計画問題は品目の数が増えると爆発的に計算量が増えることが知られており、スケーラビリティに問題が発生することが考えられる。

### 3.3 配送量の優先度を考慮した救援物資配送モデル

岡林らの研究 [13] においては、配送時に救援物資供給量に偏りが生じている現状に注目し、救援物資の配送モデルを提案している。災害時の混乱した状況では配送計画を決定することは困難であるとし、優先度を考慮した事前計画のための意思決定支援モデルの構築を行っている。岡林らは災害時に配送計画を適用せず、平常時に様々な状況設定を行い分析することで、災害時の支援モデルを構築したと

報告している。

しかし、岡林らはモデルの構築に際して、総需要量が多く供給量が不足している状況下での配送計画しか想定しておらず、災害時において変化しやすい需要量と供給量に対する想定としては不十分である。

### 3.4 災害救援活動のためのロジスティクスモデル

添田らの研究 [9] では、災害時の混乱状態にある物流において、必要な物資が必要な量だけ届くように需要量に対する供給量を被災者の充足率として設定し、この充足率を最大化し、各避難所に対して平等に物資が配送されるようなロジスティクスモデルを構築した。

各避難所の需要量を予め決定しているため、リアルタイムで変化する需要量には対応できていない。また避難所に配置する車両数も予め決定しているため、一つの避難所に対して、7 割程度の物資は配送されているが、どの物資においても不足が発生しており、充足率が満たされたとは言えない。

### 3.5 緊急支援物資の数量推移

早乙女らの研究 [8] は、災害発生時における様々なインフラが大きなダメージを受けたことから、緊急物資の不足とともに要求物資の把握と物資の供給時期のずれによる過剰供給等の問題が生じたとし、要求物資と供給物資について整理した上で問題点を見つけ出すことが目的である。この目的のために、東日本大震災における仙台市の救援物資の実績データを分析し、避難者の要求の推移と実際の供給の関係について、基礎的検討を行っている。仙台市では、地震発生当初、配送拠点を宮城野区の体育館に設定し各避難所に送るというオペレーションを行ったが、フォークリフトや台車などの荷役機器がなく、人海戦術で対応するには物資が多量だったとした。また、区役所にも拠点を作っただが、物資の置き場所がなく、積み替えのための人員確保などの問題から、物資を円滑に配送することは難しかった。問題点としては、県と市の連携が十分に取れていなかったとし、これによって余剰物資が発生し、最適な分配が行われなかったことがある。つまり、複数の配送拠点間で、物資のリバランシングが行われていなかったことを指摘している。

### 3.6 Emergency Department Patient Satisfaction

Boudreaux らの研究 [14] は、救命救急センターに運ばれてきた患者の満足度に関する研究を行っている。病院に入院している患者の重症度をトリアージレベル別に 4 段階に分け、予想入院期間や実際の入院期間を考慮した、重症度と患者の満足度の関係を調査することが目的である。大都市における病院の患者を調査対象とし、様々な入院期間と救命救急センターを訪れた患者の満足度を 7 ポイント

スケールを用いて患者に評価してもらい、分散分析や共分散分析および相関を行って関係性を調査している。この結果、トリアージレベルで「緊急」に分類される患者は他の程度の患者より満足度が高い傾向にあることがわかった。また、実際の予想入院期間と満足度の関連性は低く、はじめに患者に伝えられる予想入院期間が満足度に影響を与えているとした。すなわち、予想入院期間より実際の入院期間が短かった場合、感覚的に満足度が高い結果となるという結果である。

この研究では、通知された予想時間より、早く処置が終わった場合に満足度が高くなるという結果を示しており、災害発生時の避難所への物資配送においても、適用できる問題であると考えている。すなわち、避難所への物資配送の予想時刻を予め伝えておき、その時間内に配送することで満足度を向上させることができるということである。

### 3.7 本研究の位置づけ

本章で挙げた関連研究に基づいて、本研究の位置づけを以下に示す。

#### 3.7.1 リバランシング

関連研究では、物資を避難所に配送する配送計画問題に関しては考慮されているが、先の仙台市の例のように、配送拠点に物資が過剰にある場合等の対処に対して考慮されていない。配送拠点に直接様々な物資が届けられるため、別の配送拠点に物資がどの程度あるか把握しておらず、物資の偏りが発生する。したがって、複数の配送拠点で管理されている物資のリバランシングを行うことは重要である。既存研究では、配送トラックがより上位の配送拠点との間を往復する計画を立てることが多かったが、本研究では、トラックが同レベルの配送拠点間を移動する計画を立てる。この際、配送トラックが一部の拠点に偏らないよう調整する必要がある。

#### 3.7.2 多品目の取扱い

品目の数に関して、既存研究においては多品目を扱っているもの問題もあるものの、数種類程度の研究が多い。しかし、実際の災害時に配送される品目は数百に及ぶ。提案手法では、これら多数の品目を扱う問題を解決できることを目指す。

#### 3.7.3 避難所間の公平性

充足率に関して考慮している研究は存在するが、各避難所の充足率の平均値を最大化すると、規模の大きな避難所に多く物資が配送される傾向にあり、規模の小さい避難所ではほとんど物資が手に入らないという問題も発生する。また、最も物資の配送量が少ない避難所を優先することを考えると、元々配送する物資が不足していた場合、問題が発生することから、実際の災害時を想定した研究としては不十分である。したがって、提案手法では、平均値と最低値の中間的な値を最適化するためのパラメタを用意し、こ

れを変えることによって、その時点で必要とされている物資を必要な避難所に適切に配送できるようオペレータが操作できるようにする。

#### 3.7.4 リアルタイム性の考慮

関連研究では、「医薬品のみ」や「品目の数が数種類と少ない」といった限定されたシナリオのみ考慮していることや、災害時の混乱した状況において配送に必要な物資の量は事前に作成した計画に基づいたものであること、通行可能なルートが指定しているなど、何れも限定的な条件下でのみ配送計画を考慮している。物資の需要量や通行可能なルートは時々刻々と変わるため、結果としては配送計画通りに進まない可能性がある。このような場合において、通信を行って配送計画を更新し、ベストエフォートな選択をすることが望ましい。

これらを踏まえて、各避難所の物資の需要量や供給量、また通行可能なルート、各配送車がどのような物資をどれぐらい配送しているかといった情報を送信し、サーバー上で管理する。次に物資の配送が行えない理由となっている物資の偏りに対して、物資のリバランシングを行う。配送拠点で物資が過剰に発生した場合、逆に配送拠点で物資が不足した場合は、他の配送拠点との分配を行うものである。これにより、配送拠点間での情報共有と物資の確保が可能となる。また、現場の判断で、配送計画と違った配送が行われることが考えられる。本研究では、移り変わる被災地の状態を収集し、毎日配送計画を練り直す。数日（例えば一週間）経過後に最も良くなるような配送計画を毎日立て、その一日目の計画を実行する。このようにすることで、物資のリバランシングに数日要するような場合も考慮することができ、また現場での臨機応変な計画変更にも自然に対応することが可能になる。

## 4. 提案手法

### 4.1 被災地モデル

まず、「被災地」という用語のこの論文における定義について述べる。東日本大震災では、規制や税制を優遇するため、災害による被災状況に応じて、国が復興特別区域を指定を行った例がある。本研究では、被災地は、定常状態の物流が行えなくなり、燃料の補給も困難な地域と定義する。下記の図1は東日本大震災で大きな被害が出た地域を分類したものである。この中で、我々は概ね凡例にて緑で示されている死者・行方不明者10人以上の地域が被災地に当てはまると考える。被災地内では、電力は通常使えず、避難所のみ発電機等で電力を賄えるものとする。本研究での被災地モデルを図2に示す。配送拠点の場所は、被災地内と被災地外の配置、そして他の地方自治体などの配置の3つが考えられる。今回は、配送拠点はインターネットにつながっていることを前提とする。配送拠点は被災地外と

被災地内のどちらにもあるものとするが、被災地外の配送拠点は給油地点も兼ねるものとする。被災地外では、定常状態の物流に加えて、被災地向けの各種物資の取扱いや、タンクローリーなどの進入も可能とし、一般車両への給油は制限されているが、災害救援車両（物資配送のためのトラックなど）への給油は特に制限なく行えるものとする。なお、被災地外に指定される配送拠点のある地域に関して、道路寸断や家屋倒壊などの被害は存在するが、緊急配送道路等を利用して滞りなく被災地内に運ばれるものとする。熊本地震では、鳥取県の鳥栖市や福岡県の福岡市に配送拠点が設けられた [1] ことから、他の地方自治体の配送拠点には、被害がない程度の遠距離に存在する場所を指定する。

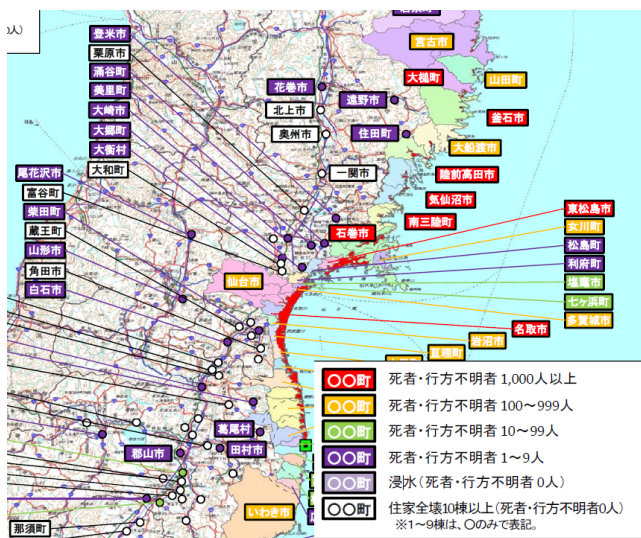


図 1 東日本大震災での被災状況 (出典: 東日本大震災復興構想会議 (2011)『復興への提言』, p.3 (部分))

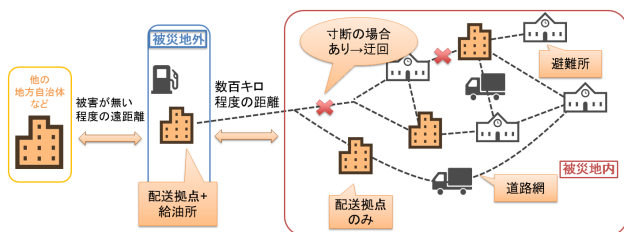


図 2 被災地モデル

#### 4.2 物資の管理方法

救援物資の品目数は数十から数百に及び、各品目の物資を各配送拠点および避難所でどう管理するかが問題となる。本研究では、物資の品目は通常のバーコード (JAN コード) を使って区別し、また各物品にはユニークな ID を示すバーコードを印刷したシールをバーコードの横に貼ることで、各物品一つ一つの現在地をシステムが追跡・把握す

ることを可能にする。JAN コードからは、各物資に含まれる品目の種類、内容数の情報を取得することができる。物資管理の概要図を図 3 に示す。

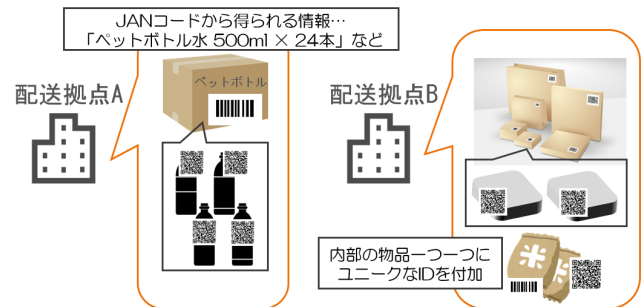


図 3 物資管理概要図

#### 4.3 システムモデル

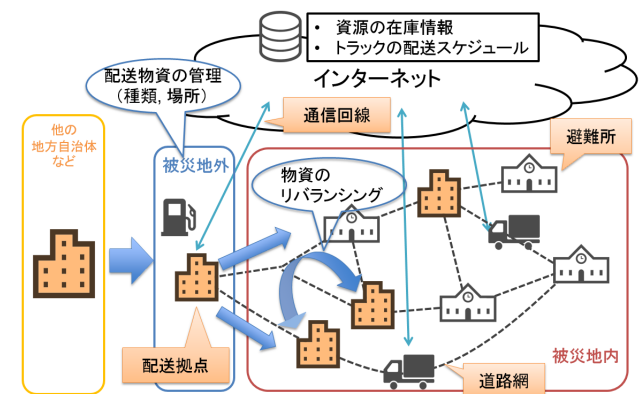


図 4 システム概要図

本研究では、配送を最適化するために、物資のリバランシングを行い、また、サーバー管理による情報の更新を行うロジスティクスモデルを提案する。システムの概要図を図 4 に示す。

ここで、以下の点について、検討する必要がある。車両の燃料の確保、通行可能なルート、一次集積所での物資量推定、資源の管理、配送ルートの決定法、交通渋滞、物資の優先度の問題である。

車両の燃料の確保については、被災地外の幾つかの配送拠点到に設けられているガソリンスタンドからいつでも給油が可能であるとする。これは被災地外に拠点在するため、ガソリンスタンドへ燃料を補給するタンクローリーが機能することよりこのように設定した。ガソリンスタンドでの給油時間や給油量は考慮せず、必ず満杯にするものとする。また、車両ごとに、燃料タンクの容量や燃費が決まっており、燃料が無くなる前に拠点へと戻り給油することとする。

通行可能なルートは、時々刻々と変わるので、それを考

慮したルートとする。また、トラックの大きさと道路をそれぞれ3段階で分け、通ることのできるルートに制限を設けることとする。

今回物資配送のシステムモデルを提案するにあたって、苦瀬らの調査報告 [1] では、一次集積所（地方自治体）から二次集積所（市町村）は比較的順調であったとしているが、この一次集積所に届く物資量を推定する必要がある。災害発生前を定常状態とすると、災害発生後は定常状態に加えて、緊急支援物資が上乘せされるため、この量を推定する関数を作成する。初期値として、平常時の状態から各物資がどれぐらい届くかを想定し、実際に災害が発生し、届く物資量から、誤差を修正する。

資源の管理については、複数の配送拠点間で情報を共有し、配送拠点内の物資が過剰になったり不足したりしないようにリバランシングを行うものとする。このようにすることで、物資の配送が滞りなく行われる。

既存研究において、配送拠点と一つの避難所のみを行き来する問題を取り扱ったものが多かったが、本研究では、より実際の問題に近づけるため、配送拠点を出発したトラックは、複数の避難所を周り、別の配送拠点に到着するモデルを考える。

交通渋滞に関しては、津田らの研究 [15] を参考とし、道路ごとに平均旅行速度を算出することにより考慮する。

物資の優先度に関しては、ユーザが3段階でカテゴリごとに設けることができるものとする。優先度を高く設定したものに関しては、優先的に配送されるようシステムが指示する。

#### 4.4 入力

入力は、あらかじめ与えられるデータベース入力とユーザ入力から構成される。

##### データベース入力

・地図データ：道路網を表すグラフが与えられる。道路網を構成する交差点をノードとし、いくつかのノード（座標）上に避難所があるとする。交差点間の道路をリンクとする。グラフには以下の項目がある。

- エッジに相当する道路の広さ（大中小）
- リンクが通れるか
- 避難所（リンク）間の距離 ( $km$ )
- 避難所間の現実的走行速度 ( $km/h$ )

・避難所データ：ユーザが巡回する避難所の集合を与える。各避難所には以下の項目がある。

- 避難所 ID
- 避難所に対応するグラフ上のノード
- 駐車スペースの大きさ（大中小）
- 荷物の積み下ろし時間 ( $min$ )

・配送拠点データ：拠点の集合を与える。各拠点には以下の項目がある。

- 拠点 ID
- 拠点に対応するグラフ上のノード
- 配送拠点の物資量（項目ごと）（単位）

・トラックデータ：巡回するトラックの集合を与える。各トラックには以下の項目がある。

- トラック ID
- 航続可能距離 ( $km$ )
- 項目 ID 別物資個数（個）
- トラックの大きさ（大中小）
- 積載重量（単位）
- 積載体積 ( $m^3$ )
- 現在地（現在のノード ID）

・物資データ：物資データを与える。以下の項目がある。

- 項目 ID
- 単位重量 ( $kg$ )
- 単位体積 ( $m^3$ )

#### ユーザ入力

ユーザは以下の項目を入力とする。

- ・物資の項目別優先度パラメタ
- ・避難所の需要量（各物資ごと）（単位）

#### 4.5 出力

提案手法の解となる出力は、積み込み量スケジュール、配送経路の配送スケジュール、避難所に関する避難所スケジュール、配送拠点の拠点スケジュールに分けられる。

**積み込み量スケジュール** 積み込み量スケジュールは、トラックに積み込む物資の量や種類を定めるスケジュールである。積み込み量スケジュールは以下の項目を持つ。

- ・積み込むトラック ID
- ・項目 ID 別積み込み量（単位）
- ・避難所／配送拠点ごとの項目 ID 別配送量（単位）

**配送スケジュール** 配送スケジュールには、配送経路や配送にかかる時間、発着拠点などが含まれる。配送スケジュールは以下の項目を持つ。

- ・出発拠点 ID
- ・到着拠点 ID
- ・通る道路のノード番号
- ・経由避難所 ID
- ・経由避難所の到着予想時刻

- ・ 経由避難所の出発予想時刻

**避難所スケジュール** 避難所スケジュールでは、需要に対しての供給度合いから、次の配送に必要な物資量を算出する。

- ・ 項目 ID 別需要量 (単位)
- ・ 項目 ID 別供給量 (単位)
- ・ 次回項目 ID 別需要量 (単位)

**拠点スケジュール** 拠点スケジュールには、トラックの台数や、現在の物資量などが含まれる。拠点スケジュールは以下の項目を持つ。

- ・ トラック (大) の最大台数
- ・ トラック (中) の最大台数
- ・ トラック (小) の最大台数
- ・ 拠点 ID 別需要量 (単位)
- ・ 拠点 ID 別物資量 (単位)
- ・ 項目 ID 別物資量 (単位)

#### 4.6 制約条件

##### 燃料に関する制約条件

次の避難所に向かうまでに燃料が無くなりそうな場合、最寄りの給油所を目的地に変更する。

##### 道路と避難所の駐車スペースに関する制約条件

トラックの大きさと避難所の駐車スペースを両方満たせる場合のみ、その大きさのトラックがその避難所に向かうことができるものとする。道路は迂回できる場合は条件を満たせるものとする。

##### 拠点のトラック台数に関する制約条件

拠点に入ることでできるトラック台数の上限、下限をあらかじめ決定しておき、超えないようにする。

##### 積載容量に関する制約条件

各トラックの積載容量を超える物資の積み込みはできないものとする。

#### 4.7 目的関数

拠点から複数のトラックで避難所を巡回する際の、需要量に対する配送量の比率を充足率とし、この充足率を最大化することが本研究の目的である。しかし、充足率を平均的に最大化すると、規模の大きな避難所が優先されてしまう問題があり、また、規模の小さな避難所を優先すると、物資自体が不足しているとき、全体が最適化されない可能性がある。そこで、本研究では、softmax 関数を用いる。softmax 関数は活性化関数であり、ニューラルネットワークで用いられる関数である。この関数は、入力と重み、し

きい値を設定することで、0 から 1 までのパラメタを取る関数である。この関数を用いることで、充足率の最大化条件を変化させる。規模の大きな避難所が優先される場合を 0、規模の小さな避難所が優先される場合を 1 とし、この値を調整することで、オペレータが避難所間の充足率の公平性を守ることができる。

$$\text{Maximize softmax} \times \text{供給量} / \text{需要量}$$

## 5. 問題の解法

算出部の目的は、ユーザが物資の優先度と避難所における項目別需要量を入力することで、トラックに積み込む物資と配送ルートを決め、避難所を巡回する順序を決定することである。しかし、この問題は NP 困難な問題であると予想しており、現実的な時間では最適解は求めることは困難となる可能性がある。よって、提案手法では、実用的な時間で計算をするために、遺伝的アルゴリズム (GA: Genetic Algorithm) を利用することとする。需要量を可能な限り満たすように各品目ごとに充足率を最大化し、かつ、過去データから充足率の低い避難所に対して優先的に充足率を向上させる関数を用いて、問題を解く。

## 6. 結論・今後の課題

本研究では、災害によって混乱した状況において、充足率の最大化とインターネット接続を用いて経路の最適化を行い、時々刻々と変化する道路状況や物資の配送状況などを統合的に管理し、運用するロジスティクスモデルを提案した。今後は、最適化問題として、シミュレーションを行うことによってエリアの選定やエリアの実データを基に提案モデルの有用性を検討する。

## 謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 16K12421, 16K16059, 15H02693 の助成による成果である。

## 参考文献

- [1] 苦瀬博仁, 原田昇, 桑原雅夫, 矢野裕兒, 岩尾詠一郎. 物流 (緊急支援物資供給) の課題. 土木学会 土木計画学研究委員会 熊本地震報告会 熊本地震調査報告, 2016.
- [2] 阪神・淡路大震災教訓情報資料集, 参照 2016-07-23. [http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kyokun/hanshin\\_awaji/data/detail/pdf/1-7-3.pdf](http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kyokun/hanshin_awaji/data/detail/pdf/1-7-3.pdf).
- [3] 松本昌二, 佐野可寸志. 救援物資の流動実態と課題, 2006.
- [4] 助川利信, 小野秀昭. トラック運送協同組合の給油施設の災害時活用方策に関する研究. 物流問題研究, Vol. 61, No. 1, 2014.
- [5] 枝澤祥子, 庄司純子, 高橋美耶, 柿原悠一, 早瀬翔, 和田卓也. 震災時における石油サプライチェーンの混乱に関する課題. 日本物流学会誌, No. 20, pp. 285-292, 2012.

- [6] Okada Norio, Tao Ye, Yoshio Kajitani, Peijun Shi, and Hirokazu Tatano. The 2011 eastern japan great earthquake disaster: Overview and comments. *International Journal of Disaster Risk Science*, Vol. 2, No. 1, pp. 34–42, 2011.
- [7] 桑原雅夫, 和田健太郎. 東日本大震災における緊急支援物資の流れの記録と定量分析: 国および県が取り扱った緊急支援物資の流れの分析. *運輸政策研究*, Vol. 16, No. 1, pp. 42–53, 2013.
- [8] 早乙女愛, 沼田宗純, 目黒公郎. 2011年東日本大震災における緊急支援物資の数量推移に関する研究 - 仙台市の救済物資を事例として -. *土木学会論文集 A1 (構造・地震工学)*, Vol. 68, No. 4, pp. 969–975, 2012.
- [9] 添田大智, 加幡美音, 開沼泰隆. 災害救援活動のためのロジスティクス・モデルに関する研究. *日本経営工学会論文誌*, Vol. 66, No. 1, pp. 23–29, 2015.
- [10] ロジスティクスレビュー. <http://www.sakata.co.jp/logistics/>.
- [11] Wei Yi and Linet Özdamar. A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities. *European Journal of Operational Research*, Vol. 179, No. 3, pp. 1177 – 1193, 2007.
- [12] Yen-Hung Lin, Rajan Batta, Peter A. Rogerson, Alan Blatt, and Marie Flanigan. A logistics model for emergency supply of critical items in the aftermath of a disaster. *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol. 45, No. 4, pp. 132 – 145, 2011.
- [13] 岡林楠博, 中村有克, 安東直紀, 山田忠史, 谷口栄一. 災害時における配送量の優先度を考慮した救援物資配送モデルの構築. *土木学会論文集 D3 (土木計画学)*, Vol. 67, No. 5, pp. 67I887–67I897, 2011.
- [14] Edwin D Boudreaux, Jason Friedman, Michael E Chansky, and Brigitte M Baumann. Emergency department patient satisfaction: examining the role of acuity. *Academic Emergency Medicine*, Vol. 11, No. 2, pp. 162–168, 2004.
- [15] 津田圭介, 胡内健一, 許斐信亮. 首都直下地震発生時に想定される緊急対応車両の走行状況の推定. *こうえいフォーラム : 日本工営技術情報*, No. 21, pp. 37–45, 2013.