

災害復旧時の物資輸送を利用したDTNに向けた検討

田中 雄大^{†1,a)} 川上 朋也^{†1} 柴田 直樹^{†1} 伊藤 実^{†1}

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、救援物資の輸送においては大きな混乱が生じ、避難所への物資の輸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、物流のみに注目したものが多く、ネットワークを用いて時々刻々と変化する需要に対応したものはない。本稿では、災害直後の物資の供給が不足することを想定し、避難所への物資の輸送を的確に、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。災害時には道路の寸断や、通行困難な箇所が出ることで、物資の輸送が困難となる。またインターネットの寸断も重なることで、各避難所への情報の伝達も困難となる。そこで、各避難所に対してどれほどの物資が輸送されているかを示す充足率に注目し、この充足率の最大化を目的関数とした最適化を行う。また、インターネットの寸断に対応するため、自動車同士でDTNを生成し、各自動車が持つ情報をアップデートし共有することによって、配送ルートの最適化を行う。

キーワード：DTN, 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

近年、大地震や津波などによる大規模災害が多発している。災害時における被害を最小限にするための防災・減災技術の向上が急務となっている。大地震の際の問題点として、道路や鉄道のインフラストラクチャが滞ってしまうことが挙げられる。こうしたことから災害時には救援物資配送計画を立てる必要がある。この計画に含まれる内容として、配送拠点の決定、人員の確保、燃料の確保などがあげられる。しかし、これらの計画に対する不備が指摘されており、改善が求められている。具体的に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数に偏りがあり、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いけない状況に見舞われた問題である。実際に1995年の阪神・淡路大震災の時には、救援物資配送の偏りが発生 [1] している。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 [2] している。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 [3,4] や道路の寸断 [5] によって救援物資の配送に問題が発生 [6] している。

これらの事例から、近年の大災害の中で、同じような問

題が多数報告されていることがわかる。このような問題が発生する理由として、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ためであると考えられる。近年では、インターネットやモバイル通信端末の普及に伴い、情報の共有は以前よりも容易になったが、災害時においては、通信局の被災などによりインターネットへの接続が困難となるケースが多い [7]。そのためインターネットへの接続が困難になると、上記のような情報の伝達も困難となってしまうことが考えられる。地震災害が多い日本では、同様の事態が今後も引き起こされることが考えられるため、物資輸送とネットワーク接続の両方の面において対策を講じる必要があると考えられる。

災害時における物資輸送の方法は様々であるが、本研究では、配送計画の不備により発生する配送量の偏りを防止するために各避難所の充足度を考慮するのがよいとしている。充足度とは、供給量に対する需要量の割合で、偏りのなさを示す指標となっている。

本研究の目的は、災害によって引き起こされる物資輸送の問題と災害時のネットワーク接続の問題を解決することである。配送計画を立てる上で必要な情報のやり取りをネットワークを用いて行うが、災害時のインターネットへ

^{†1} 現在、奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
Presently with Graduate School of Information Science,
Nara Institute of Science and Technology

^{a)} tanaka.yudai.tt2@is.naist.jp

の接続が困難な問題を解決するべく、物資輸送に用いられる車両を有効活用してDTNを構築する。こうすることで、情報の共有や情報のアップデートを行い、物資の配送計画を把握することができる。物資輸送を可能にしながら、様々な情報のやり取りのできるDTNを用いた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 [8] 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、石油の欠乏によって、配送する車両は潤沢にあるが、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うように配送することが重要であるとしている。この問題に対して、東日本大震災の際の緊急物資輸送の方法を示す。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ったとし、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をとったとしている。次に、配送に関して、被災地に向けて救援物資の輸送が行われたが、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、末端輸送に関する計画等の策定、輸送作業の指揮、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。ネットワークに関しては、基地局がダウンし、携帯電話などが使えなくなった時期があったとの報告がある。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 少子高齢化に関する問題

近年の日本は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。

2.4 配送リアルタイム運行管理システムの問題

物流業界において、運行管理システムは、サービス・品質、規制緩和と安全強化、地球環境保全などに対応するために導入されている。概要として、速度や時間、距離を測定するデジタル式運行記録計、速度や温度などを記録する各種センサー、GPSなどを搭載し、車両内と営業所や倉庫などの拠点とのデータの送受信を行う。一般的に送信されるデータは、車両位置、車両状況（速度、温度、空車、実車、待機、休憩、荷降ろし、荷積み）と運行指示（配送スケジュール変更、集荷指示）や運行完了（配達、集荷）、荷物追跡、動態情報などのやりとりである。拠点から車両に送信する情報として、運行変更や集荷指示のデータなどがある。クライアントサーバーでは、車両管理、運行実績管理、ドライバー管理、安全運転管理などを行う。既に各社に導入されているこのシステムはサーバーを必要とし、様々な情報を送受信している。災害時にサーバーが機能しなくなると、このシステムは役割を果たさなくなるため、早急な対策が求められる。

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 [9] では、物流の支援や避難の支援というの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る。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ている。このような複雑な問題を解くために、配送ルートを探す段階と配送量を定める段階に分け、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のサービスレートは達成することができたとしている。

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。災害時において需要量と供給量が変わりやすい品目であるため、これらに関するモデルの提案が望まれている。

3.2 緊急時の物資輸送に関するロジスティクスモデル

Yen らの研究 [10] では、多物資、多車両、多期間において、物資輸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点だとしている。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たとしている。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輸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うだけでなく、リアルタイムで変化する状況にも対応する必要があるため、シナリオとしては限定されている。

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 [11] 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 [12] 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度として設定し、この充足度を

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、充足度が満たされたとはいえない。

3.5 災害時の利用を想定した情報共有システム

塚田らの研究 [13] では、災害時の孤立集落において集落の住民が自治体などに救援要請を発することが困難になったり、自治体などが集落の被災状況を把握することが困難になることを挙げ、DTN と P2P モデルを用いて、既存の通信インフラの被災の影響を受けない情報共有システムを提案している。現状の DTN における問題として、トランスポート層の上位にバンドル層を置くことを想定しているため、TCP や UDP を用いた既存アプリケーションをそのまま利用することはできないため、塚田らはバンドル層を用いず、従来のネットニュースシステムを基盤とし、DTN を実現している。経路制御プロトコルとして、OLSR (Optimized Link State Routing) を利用し、7台の同時接続を行っている。

評価方法としてシステムを試作し、端末間の距離を 20m ~ 50m としているが、距離が短いため、長距離の輸送において頑健なネットワークを築くことができるとは必ずしも言えない。また、同時接続数は7台であり、被災地間の輸送に用いるシステムとしては接続数が少なく、不十分である。

3.6 DTN を用いた災害時の情報収集

Fajardo らの研究 [14] では、災害時には正確でタイムリーな情報が必要であるとし、被災地域における様々な関心領域からデータを収集する方法を提案している。この関心領域を最大化し遅延時間を最小化するために、DTN を用いている。この方法によって、災害関連情報を含むメッセージを作成している。この場合、作成されるメッセージが重複してしまう問題があるとし、これを防ぐためにブルームフィルターを用いていることである。

しかし、DTN の利用法としては災害時のコミュニケーションに注目しており、物資輸送時などの情報を逐一伝えるものではない。

3.7 移動端末を用いた DTN ルーティング

陶山らの研究 [15] では、災害時はネットワークケーブルの切断により、インターネットが利用できないことから、DTN を用いたメッセージ配送を行うルーティング手法を提案している。被災者や救助隊の所有する携帯端末により構成されるアドホックネットワークと防災無線や衛星通信

などによる専用回線を組み合わせた災害情報システムを想定している。このシステムに対して、MEED (Minimum Estimated Expected Delay) を用いたルーティング手法の提案と、課題点を述べ、改善案を提示している。

ルーティングにDTNを用いることにより信頼性の高い通信を可能としているが、DTNによって遠隔地のサーバーにメッセージが配送されるのは一度のみであり、端末同士が情報を共有するものではない。

3.8 移動計画に基づくDTNルーティング

岩井らの研究 [16] では、移動無線ノードの分布密度が低く移動速度や移動頻度が高い環境において、データメッセージ群を配送するための方法として、Store-Carry-Forward方式を利用したDTNルーティング手法が検討されていることを挙げている。このルーティング手法において、通信オーバーヘッドがより低く、配送遅延がより短い次ホップ中継無線ノード選択手法が必要であるとし、これを実現するためには無線ノードの移動計画を活用する方法があるとしている。隣接無線ノードの移動計画を交換することによって、各無線ノードの移動計画を共有する。これによって配送途中のデータメッセージの有無とは無関係に各無線ノードの移動計画を無線マルチホップ転送で無線マルチホップネットワーク内に拡散される。このようにしてデータメッセージを到達率を向上させ、配送遅延を低減する手法を提案している。

DTNにおけるデータメッセージの到達率や配送遅延の課題を移動計画を予め策定して解決しているが、物資輸送においては移動計画は自由に変更が加えられるものである必要があるため、この手法を本研究にそのまま適応させることはできない。

3.9 本研究の位置づけ

ロジスティクス業界における様々な事例より、災害発生時に具体的な配送計画を決め、状況によってスケジューリングを変更することが重要であることがわかる。また、「物流専門家」の業務は本研究と関わりが深いと考えられ、この業務を行うシステムモデルの評価は必要であると考えられる。また、基地局のダウンにより、携帯電話が使えなくなったとの報告もあり、これについても情報を伝達する手段の構築が求められる。また、本章で挙げた関連研究では、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、通行可能なルートを指定しているなど、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、結果としては満足度の最大化や配送ルートの最適化ができない可能性がある。このような場合において、リアルタイムで通信を行い、配送計画を更新

することが望ましい。

これらを踏まえて、本研究では、まず、インターネットに繋がるエリアと繋がらないエリアを設定する。災害時には、被災地域ではインターネットが遮断され使用できなくなる恐れがあり、これを想定したシステムモデルを構築する必要がある。次に、インターネットに接続できないエリアにおいても、ネットワークを形成し、サーバーレスで運用できるようにする。インターネットに接続できるエリアでは、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、各自動車がどのような物資をどれぐらい輸送しているかといった情報を発信するが、インターネットに接続できないエリアでは物資輸送に用いられるトラックを利用してDTNを形成することにより、サーバーレスでこれらの情報の伝達が可能となる。最後に、状況に応じて処理をオーバーライドできるようにする。被災地域ではDTNによる配送計画の更新が行われるが、システムの特性上、トラックによっては情報の更新が遅れる可能性がある。このことから、古い情報を保持したトラックの配送計画には、道路の寸断や事故などの状況が考慮されておらず、配送ルートの変更を余儀なくされる可能性がある。このような場合に、配送計画をオーバーライドできるシステムは必要となる。これらは災害時の物資輸送に関して有意義であるといえる。

4. 提案手法

4.1 システムモデル

本研究では、輸送を最適化するために、需要量に対する供給量から充足度を算出し、また、インターネットやDTN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1に示す。

ここで、以下の点について、検討する必要がある。すなわち、配送拠点の場所、車両の燃料の確保、通行可能なルート、資源の管理、交通渋滞、物資の優先度、オーバーライドの問題である。

まず、配送拠点の場所であるが、この場所は被災地内と被災地外の配置の2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し、かつ、給油地点も兼ねるため、燃料を運ぶタンクローリーなどへの影響を考えて、被災地外に設定する。従って、配送拠点、また給油拠点への物資や燃料の輸送は滞り無く行われ、いつでも補給が可能であるように設定される。

車両の燃料の確保については、幾つかの配送拠点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と、これは被災地外に拠点が存在するため、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。しかし、拠点によってガソリンスタンドの燃料の容量は異なるため、一度に給油できる量は異なるものとする。配送拠点には様々な車両が集まる

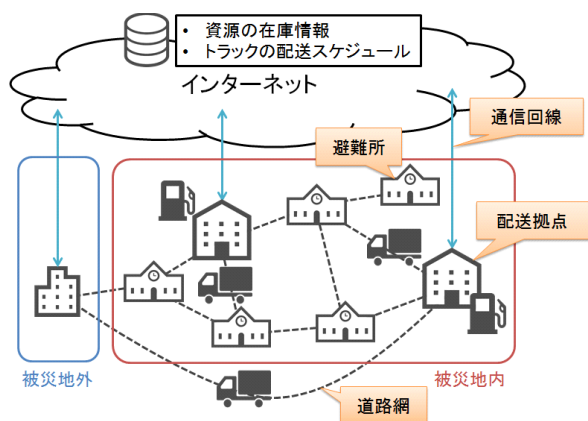


図 1 システム概要図

ため、ガソリンスタンドでの給油時間も考慮する。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。

インターネットに接続できる配送拠点では通行可能なルートなどの情報がリアルタイムで手に入るため、この情報を DTN を用いて配送車両から避難所間のネットワークに伝搬させる。

資源の管理であるが、その管理方法については考慮せず、どの車両がどの種類をどれぐらいの量持っているかということに焦点を当て、想定を行う。各避難所に配送を行う際、車両ごとに定められている積載容量を超えないように設定する。

交通渋滞については、被災地内の渋滞は考慮しないこととした。

医薬品などは物資の優先度が高いものとして分類されるが、今回は、定常的に必要な飲料水や食料についてのみ検討を行った。

DTN による問題として、常に最新の情報が手に入るとは限らないことがあげられる。これにより、土砂崩れなどの自然災害により道路が分断されてしまっても、情報が古いままだと、通行可能なルートとして配送計画がたてられてしまう恐れがある。このような場合に、制御をオーバーライドできるようなシステムを構築する。

4.2 入力

入力には、被災地への物資輸送を行う車両からの拠点への入力がある。サーバーレスでの運用のため、車両から拠点への入力は拠点付近にいる車両で行う。配送中の車両の情報は DTN により共有されており、そのすべての車両の情報が拠点に伝えられる。入力として、情報アップデート時の車両の位置、荷降ろし中などの車両の状況、各車両に積まれている物資の種類、積載量、次の避難所への時間、燃料の残量、各避難所における必要物資の情報である。

4.3 出力

出力には、拠点から各車両に伝えられる情報がある。大別すると、配送スケジュールに関する出力と、輸送する物資に関する出力となる。前者に関しては、配送を終えた、もしくは燃料の給油のために拠点に帰ってきた車両に、配送スケジュールの情報を与える。全車両の配送ルートを格納することで、DTN によるサーバーレスでのルート変更を可能にする。後者では、避難所からの必要物資の情報から各車両に積み込む物資の種類と量を決定する。

4.4 制約条件

制約条件には、どんな場合においてもそれぞれの自動車ごとに設定されている積載容量を超えないというもの、配送中の燃料に関するものである。前者は、配送に使う車両は自動車ごとに積載量が異なっているため、制約条件として設けた。後者は、拠点に戻るまでの燃料に関する制約条件である。燃料が無くなる前に拠点に戻り給油を行うことが示されている。

4.5 目的関数

各避難所における需要に対して、物資の種類や量に偏りがないように配送することが必要である。目的としては、需要量に対する供給量を充足度とし、これを指標として、最大化することにある。よって、1つ目の目的関数は、充足度 X の最大化とする。

また、DTN によって伝達される情報には、車両の位置や配送量など多数の情報が含まれているため、常にアップデートされる必要がある。よって、2つ目の目的関数は、情報の更新頻度の最大化とする。

5. 問題の解法

本研究の問題は、NP 困難な問題である。この問題の解法として、大規模な問題に対して短時間で近似解を得ることのできるヒューリスティック手法が有効であると考えられる。その中でも、遺伝的アルゴリズムによる手法が多く提案されているため、これを用いて、配送ルートの決定や、物資の種類、量などを決定する。配送ルートの変更は DTN を用いて、ドライバーに通知される。

6. 評価方法

本モデルを現実的な問題として適用するにあたり、東日本大震災で大きな被害を受けた市を例としてシミュレーションによる分析を行う。評価項目としては、配送ルート、配送時間、充足度、情報の更新頻度、シミュレーションの計算時間となる。

7. 結論・今後の課題

本研究では、災害において混乱した状況において、充足

率の最大化と DTN 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輸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、インターネットに繋がるエリア（サーバー）の集中制御用の最適化問題と DTN のエリア（サーバーレス）の最適化問題に分けて検討を行う。さらに定式化を行い、シミュレータを作成し、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 16K01288, 16K12421, 16K16059 の助成による成果である。

参考文献

- [1] 阪神・淡路大震災教訓情報資料集 (2016 年 7 月 23 日閲覧). http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kyokun/hanshin_awaji/data/detail/pdf/1-7-3.pdf.
- [2] 松本昌二, 佐野可寸志. 救援物資の流動実態と課題, 2006.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 桑原雅夫, 和田健太郎. 東日本大震災における緊急支援助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助物資の流れの分析. 運輸政策研究, Vol. 16, No. 1, pp. 42-53, 2013.
- [7] Yoshitaka Shibata, Noriki Uchida, and Norio Shiratori. Analysis of and proposal for a disaster information network from experience of the great east japan earthquake. *IEEE Communications Magazine*, Vol. 52, No. 3, pp. 44-50, 2014.
- [8] ロジスティクスレビュー. <http://www.sakata.co.jp/logistics/>.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 大智添田, 美音加幡, 泰隆開沼. 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.
- [13] 塚田晃司, 野崎浩平. 災害時孤立集落での利用を想定した地域内情報共有システム. 情報処理学会論文誌, Vol. 51, No. 1, pp. 14-24, 2010.
- [14] Jovilyn Therese B Fajardo, Keiichi Yasumoto, Naoki Shibata, Weihua Sun, and Minoru Ito. Disaster information collection with opportunistic communication and message aggregation. *Journal of information processing*, Vol. 22, No. 2, pp. 106-117, 2014.
- [15] 陶山優一, 横田裕介, 大久保英嗣. 移動端末を用いた災害情報システムにおける DTN ルーティング手法. 電子情報通信学会技術研究報告. USN, ユビキタス・センサネットワーク, Vol. 108, No. 399, pp. 117-121, 2009.
- [16] 岩井正敏, 松垣博章. 移動計画に基づく DTN 通信における送信先移動計画未取得時のルーティング手法. マルチメディア通信と分散処理 (DPS) 研究報告, Vol. 2013, No. 38, pp. 1-8, 2013.