

乗合バス路線を活用した災害時の知的ロジスティクス支援システムの構築

Bus Route based Intelligent Disaster Logistics Support System

沖本 天太*
Tenda Okimoto

酒井 裕規*
Hiroki Sakai

西村 悦子*
Etsuko Nishimura

1. まえがき

平成 7 年 1 月 17 日の阪神淡路大震災及び、平成 23 年 3 月 11 日の東日本大震災は未曾有の大被害を我が国にもたらした。阪神淡路大震災では死者・行方不明者 6437 人、負傷者 43792 人、東日本大震災では死者・行方不明者 18486 人、負傷者 6152 人が報告されている。防災、減災、傷病者や避難民の救済・救援活動等の災害対策を考えることは、自然災害大国といわれる日本において、最重要課題の 1 つであるといえる。

阪神淡路大震災や東日本大震災からの教訓として、迅速かつ効率的な救済・救援活動の鍵となる「災害時におけるロジスティクス」の重要性が認識されている。また平成 28 年 4 月 14 日以降、熊本県及び、大分県で連続して発生した熊本地震でもロジスティクスの重要性が再認識された。ロジスティクスとは、元々、戦闘時の物資の配給や整備、施設の構築や維持など「兵站」を表す軍事用語であり、例えば、豊臣秀吉はロジスティクスを駆使して天下を取ったともいわれている。

災害時のロジスティクスにおいて重要となるのが、(i) 災害ロードマップの作成及び、(ii) 避難民・救援物資の搬送・輸送スケジューリングである。災害ロードマップとは、被災後、避難経路や救済・救援活動に利用可能な道路を指す。従来手法では、被災地域に存在する無数の道路の中から災害ロードマップを網羅的に探索していた。しかし、この手法は通行可能な道路探索・調査に多くの時間を要し、効率的とはいえない。例えば、各道路の被害状況の調査だけでも多くの時間を必要とし、さらに、どの道路の被害状況を優先的に調査するののかという道路間の優先順位の問題もある。加えて、道路の被害状況が分かったとしても、どの道路を基に災害ロードマップを作成するのかという最適化問題を解く必要がある。その他にも、近年ツイッターや SNS 等を利用した災害ロードマップ作成に関する研究がいくつか紹介されているが、そもそも通信網が遮断された地域では、インターネットをはじめとする通信機器の利用が困難であり、たとえ一部の地域で通信機器が利用可能だとしても、得られた情報の信憑性や偏りの問題がある。例えば、全ての住民、特に、高齢者がスマートフォン等の通信機器を使っているとは限らないため得られる情報には偏りが生じる。したがって、得られた一部の情報のみを用いて被災地全域の災害ロードマップを作成することは非現実的であるといえる。

本論文では、乗合バスに着目し、乗合バス路線を活用した災害時の知的ロジスティクス (Intelligent Disaster Logistics, IDL) 支援システムを構築するための方法論を議論する。まず、乗合バス路線に基づく災害ロード

マップ作成問題の定式化及び、この問題を解く迅速かつ効率的なアルゴリズムを開発する必要がある。乗合バス路線は、より多くの住民の移動を考慮して作成されているため、避難民の搬送に適している。また、乗合バス路線を雛型として利用することにより、従来の網羅的な探索が不要になるという利点もある。さらに、ある区間が通行不可能な場合は、地元の乗合バス運転手の知識を利用して、近傍の道が通行可能かを調査し、これらの情報を集積することにより、短時間で災害ロードマップの代替案が作成可能となる。

次に、災害ロードマップに基づく避難民及び、救援物資の搬送・輸送スケジューリングの定式化及び、この問題を解くアルゴリズムを開発する必要がある。輸送・搬送スケジューリングに関する既存研究はいくつか存在するが、災害時、特に乗合バス路線を活用したスケジューリングに関する研究はほとんど存在しない。災害時には刻一刻と変化する状況に対して、迅速かつ効率的なスケジューリングの実現が重要な課題となり、この度の熊本地震でも救援物資の適材適所が課題となっている。災害時における輸送・搬送スケジューリングには、傷病者の医療機関への搬送、避難経路の誘導、救援物資の搬送が必要であると考えられる。まず、傷病者の医療機関への搬送に関しては、地元の災害拠点病院や災害派遣医療チーム (Disaster Medical Assistance Team, DMAT)[4] と協力しながら、迅速かつ効率的な傷病者搬送スケジューリングを作成する必要である。次に、避難誘導に関しては、各地域内の避難民の数や避難所の被災状況を考慮したスケジューリングが必要となる。最後に、救援物資の搬送については、地域外から届く物資の備蓄拠点を避難所とは異なる場所 (例えば、バス営業所や港) に設け、備蓄拠点から各避難所への物資を効果的に割当てられるように安定したスケジューリング等が必要とされる。本研究では、特に避難経路の誘導及び、救援物資の搬送に着目する。具体的には、災害ロードマップを用いて、避難民及び救援物資の搬送・輸送問題をダイナミック・スケジューリング問題として定式化し、この問題を解く迅速かつ効率的なアルゴリズムを開発する。さらに、神戸市を対象に IDL 支援システムの運用制度設計について議論する。

2. 乗合バス路線に基づく災害ロードマップの作成

災害ロードマップ作成問題では、バス停、避難所、バス営業所や港を変数 (ノード)、各ノード間の道路をエッジとし、通常時の運行時間及び、運行経路との相違を評価基準とした 2 目的制約最適化問題 (2 目的制約ネットワーク) [1] を考える。この問題は、ナース・リスケジューリング問題 [2] と類似したモデルを用いて定式化可能であり、 $\langle X, D, C, M, O \rangle$ の組により定義

*神戸大学大学院海事科学研究科

される。 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ は変数 (バス停や避難所等) の集合を, $D = \{0, 1\}$ は変数値の集合を表す。例えば, バス停 x_i ($1 \leq i \leq n$) が使用可能な場合は $x_i = 1$, 被災状況により使用不可能な場合は $x_i = 0$ となる。 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ は制約の集合, $M = \{M_t, M_r\}$ は通常の運行時間及び, 運行経路を表す。 M_t は通常時の運行時間, M_r は通常時の運行経路を表し, それぞれマスター・タイム及び, マスター・ルートと呼ぶ。 $O = \{o^t, o^r\}$ は目的関数の集合を表し, o^t は M_t からの運行時間変更数, o^r は M_r からの運行経路変更数に関する目的関数を表す。災害ロードマップ作成問題を解くとは, 運行時間及び, 運行経路の変更数が最小となるようなパレート最適解を見つけることである[†]。

3. 避難民・救援物資の搬送・輸送スケジューリング

避難民の搬送及び, 救援物資の輸送スケジューリングでは, 災害ロードマップを基に, 避難民の避難場所への搬送スケジューリング及び, 救援物資の効率的な分配を考慮した配送スケジューリング問題を考える。具体的には, まず避難所における収容人数と各施設までの移動時間等を調査する。また支援物資の輸送に関して, 備蓄拠点での荷捌き及び, そこから避難所等への搬送が必要になるが, 過去の関連データを自治体等と協力して集積する。これらの問題は, 動的環境における搬送・輸送スケジューリング問題や資源割当問題 [3] と類似したモデルを用いて定式化可能である。

災害ロードマップで得られた避難所までのルート情報をもとに, 一般車両に対する搬送可能経路を提示するモデルを構築する。避難経路は避難所までの徒歩圏内が一般的であるが, 非常時には避難所容量等その他の制約によっては, 必ずしも徒歩圏内とは限らない。そこで住民に対する避難経路を提示するモデルを構築する。また支援物資の輸送に関しては, 備蓄拠点と避難所その他への資源分配と配車計画のモデルを構築する。

4. IDL 支援システムの運用制度設計

IDL 支援システムの運用制度設計について議論する。具体的には, 災害時の移動混雑を緩和するための政策として住民の誰もが知っているバス停を救済拠点とする。この政策は高齢者等の要援護者の移動支援や, どこへ避難すべきが分からない場合, 例えば, 避難所が被災した場合等, バス停で救済を待つことで, 収容可能な避難所へ搬送してくれるという第 2 の避難誘導手段を提供するものである。また乗合バスの活用は, より多くの避難民が搬送可能という利点もあり, 実際に京都府乙訓郡大山崎町は平成 25 年 9 月の台風第 18 号の教訓から, 災害時に避難者や要援護者の搬送に乗合バスを活用できるように, 東豊観光株式会社と「災害時における人員の輸送に関する協定」を締結している。

本研究では, 災害ロードマップ作成及び, 避難民・救援物資の搬送・輸送スケジューリングで得られた成果について, 兵庫県神戸市での実際の運用政策を考える。第一に, 本研究で提案する乗合バスを活用した IDL 支

援システムの導入の費用対効果の検証である。新たなシステムの導入には少なからず費用が必要となることが想定されるが, いかに望ましい効果が期待できるシステムであっても, 費用が大きくなるとその導入は非現実的なものになる。そのため, システム導入にかかる費用とその効果が代替的な災害支援システムと比較して, どの程度の効率性を持っているか測定を行う。第二に, IDL 支援システムの実際の運用面で障壁になると考えられる点を明らかにし, 神戸市など関係団体と協力の上で, システムの実現可能性を高める作業を行う。災害ロードマップの導入に際しては, 制度的, 人的, 資金的な障壁が出てくることが想定される。なかでも乗合バスの運転手の確保の問題は障壁の一つである。神戸市が災害に遭うケースでは, 乗合バスの運転手も同時に被災していることが考えられ, 緊急時にいかに運転手を確保する体制を事前に構築できるかは, 本システムを運用する上で重要な観点となる。搬送・輸送スケジューリングについても, 営業所を支援物資の備蓄基地として活用する際の事前の準備体制や追加的な投資などを考えた運用が求められる。神戸市で運営する神戸市営バスには現在 7 つの営業所があり, 神戸市内にバランスよく配置されている。このことから市営バスの営業所が支援物資を集約する備蓄基地となり, 各地域で必要とされている支援物資の効率的輸送が可能となる。一方で, 2004 年より経営の効率化を目指して民間事業者による営業所単位で業務の管理運営を委ねる「一般旅客自動車事業の管理の受委託許可」を導入しており, 現在までに 4 つの営業所が民間事業者により管理運営されている。このような委託を行っている営業所の民間事業についても災害時に十分な協力体制を築けるかについては, 事前の調整が必要となる。

5. まとめと今後の課題

本論文では, 災害時における避難民の避難所への知的な搬送及び, 救援物資の知的な輸送 (Intelligent Disaster Logistics: IDL) 支援システムの構築のための方法論と, その運用制度設計について議論した。

謝辞: 本研究の遂行にあたり, 高橋産業経済研究財団 (整理番号: 公財 06-003-153) の助成を受けました。ここに深く感謝致します。

参考文献

- [1] 沖本天太 and 井上克巳. 動的な多目的分散制約最適化問題に関する一検討. In 第 27 回人工知能学会全国大会 (JSAI 2013), 2013.
- [2] 呉詩敏, 沖本天太, 平山勝敏, and 井上克巳. 多目的ナース・リスケジューリング問題における平等性. In 第 29 回人工知能学会全国大会 (JSAI 2015), 2015.
- [3] 松井俊浩 and 松尾啓志. 分散資源割り当て問題の規模拡大のための異種解法の統合の検討. In 第 27 回人工知能学会全国大会 (JSAI 2013), 2013.
- [4] 日本集団災害医学会. Dmat 標準テキスト. へるす出版, 2015.

[†]目的関数がマスター・タイム (M_t) 及び, ルート (M_r) からの変更数最小化である理由は, 災害時における, 乗合バスの最大の目的が通常運行への迅速な復旧であるため (神戸市交通局より)。