

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 31 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26630235

研究課題名(和文)大規模災害に備えた支援物資のマッチングシステムの開発

研究課題名(英文)Development of Matching System of Disaster Relief Supplies

研究代表者

福本 潤也 (Fukumoto, Junya)

東北大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：30323447

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円

研究成果の概要(和文)：東日本大震災では、発災直後より支援物資のロジスティクスに関する様々な問題が生じた。多様な主体から提供される大量の義援物資が、支援物資ロジスティクスの混乱を引き起こした大きな原因であり、被災地に届けられる義援物資を効率的にコントロールする方策を検討しなければならない。本研究では、災害発生時に被災地に届けられる大量の義援物資の効率的なコントロールを可能にする(義援物資を含めた)支援物資のマッチング・システムを提案し、提案システムを実装可能なシステムとするためのマッチング方式の定式化とアルゴリズムの開発を行った。また、提案システムのインターフェースを開発し、WEB上に提案システムを実装した。

研究成果の概要(英文)：In the aftermath of a large disaster, we need to distribute emergency relief goods to affected people as quickly and fairly as possible. Enormous emergency relief goods are sent to affected people from all over the country, and many problems take place in humanitarian logistics operations. The difficulty in sharing information and the lack of an effective matching mechanism are two major causes of such problems. We proposed a matching system of relief goods to overcome these difficulties, and formulated algorithms necessary to output the allocation plans, the distribution plans, the inventory plans, and the delivery plans. In addition, we implemented the proposed system on the Web space.

研究分野：土木計画学

キーワード：大規模災害 支援物資 マッチングシステム ロジスティクス

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災では、発災直後より支援物資のロジスティクスに関する様々な問題が生じた。研究代表者は、支援物資の調達・輸送・管理・配布を担った多数の組織に対してヒアリング調査を行い、問題が生じた原因や解決策について検討した。被災自治体に届けられた支援物資の記録を収集し、物資の数量の時間的推移や市町村間の差異、提供者別比率などについての定量的な分析も行った。加えて、義援物資の提供者に対するアンケート調査も行い、提供動機や提供先の選定理由についても調査した。

これらの調査結果から、研究代表者は、多様な主体から提供される大量の義援物資が、支援物資ロジスティクスの混乱を引き起こした大きな原因であり、被災地に届けられる義援物資を効率的にコントロールする方策を検討しなければならないとの認識を強く有するに至った。被災地に届けられる義援物資をコントロールする必要性は、阪神淡路大震災や新潟県中越地震の経験から、これまでに何度も言われてきたことである。しかし、人々の善意に歯止めをかけることは難しく、効果的な対策が検討されてこなかった。そのため、東日本大震災において過去と同様の問題が生じた。

国内外の関連研究を見渡しても、義援物資が引き起こす問題について言及している文献は多数あったが、義援物資のロジスティクスを効率的にコントロールするアイデアが乏しく、具体的な仕組みや方策の提案には至っていなかった。大規模災害発生後の支援物資ロジスティクスの方法論については、OR 分野に多くの研究蓄積があるが、中央管理者がシステム最適を図る方法を検討する研究がほとんどであった。研究代表者が知る限り、独立に行動する多数の物資提供者の行動を協調させることで、支援物資ロジスティクスの効率化を図るアプローチを採用している先行研究は見当たらなかった。

2. 研究の目的

本研究では、災害発生時に被災地に届けられる大量の義援物資の効率的なコントロールを可能にする（義援物資を含めた）支援物資のマッチング・システムを提案し、提案システムを実装可能なシステムとするため、以下の2つの課題に取り組むこととした。

第一に、支援物資の割当計画・在庫計画・配送計画を数理計画問題として定式化して、解法アルゴリズムを開発する。定式化については、車両の分散性や参加者間での費用配分を考慮した方式への拡張も図る。第二に、提

案システムのインターフェースを開発し、WEB上に提案システムを実装する。

3. 研究の方法

本研究の方法は大きく2つのパートで構成される。第一パートでは、支援物資マッチング・システムの概念を提案し、システムの実装に必要なマッチング方式を数理計画問題として定式化する。加えて、アルゴリズムの開発も行う。支援物資ロジスティクスでは、被災者に物資が届くまでの時間を重視する考え方や、被災者間での物資の公平な配分を重視する考え方など、複数の考え方がある。マッチング方式の定式化では、それぞれの価値規範に対応した複数の定式化を行い、数値実験を通じてマッチング方式の特性を把握する。

第二パートでは、支援物資マッチング・システムのインターフェースを開発し、WEB上に実装する。支援物資のマッチングを難しくする大きな理由に、多種多様な物資が扱われるため、物資データベースの標準化が難しい点が挙げられる。システムの実装にあたり、標準化が比較的容易な物資と難しい物資に区別し、前者についてはデータベースに基づく板寄せ型のマッチングを、後者についてはデータベースを利用しないザラバ型のマッチングの仕組みを実装する。

4. 研究成果

(1) マッチング・システムの提案

提案するマッチング・システムは、インターネット空間上で稼働するシステムであり、被災者・支援者・在庫者がそれぞれ、必要物資量・提供可能物資・集積所在庫目標量を入力する（図-1 参照）。被災者や支援者は複数の種類の物資に関する情報を同時に入力できる。マッチング・システムでは、入力された三種類の情報を集約し、後述するマッチング方式を用いて、複数種類の物資の割当計画・配送計画・在庫計画を出力する。具体的には「ある支援者が提供可能な物資を受け取ることのできる被災者と配送経路」や「ある支援者が提供可能な物資が在庫として保管される集積所と配送経路」を出力する。

システムにアクセスする主体として、被災者については被災市町村の物資担当者、支援者については企業や被災地外の地方自治体の職員、在庫者については被災県の物資担当者を想定している。対象となる物資については、生鮮食品を除く任意の物資を想定している。システム稼働時期については、被災地の被害状況が明らかではない段階で、プッシュ型の物資支援が一段落した後の期間を想定

している．発災から概ね数日から一週間程度が経過した後の期間と考えている．

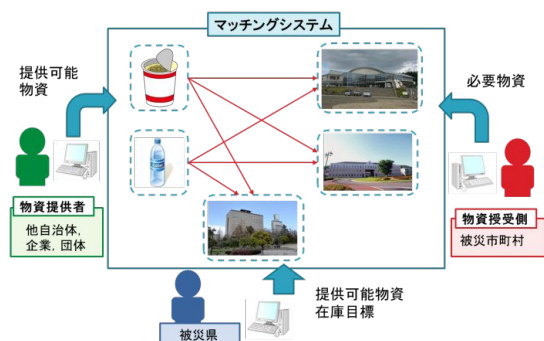


図-1 マッチング・システムのイメージ

マッチング・システムは、割当・配送計画サブシステムと在庫・配送計画サブシステムの二つのサブシステムで構成される．前者は、物資提供者と被災県集積所が入力した供給情報（供給可能な物資の種類と数量）と、被災市町村が入力した需要情報（受入を希望する物資の種類と数量）に基づき、物資の割当計画を策定する．同時に、物資の配送計画も策定する．後者は、物資提供者が入力した供給情報と被災県集積所が入力した在庫情報（目標在庫量からの不足数量）に基づき、物資の在庫計画と配送計画を策定する．二つのサブシステムは一定期間（*e.g.* 6時間、半日）ごとに入力された情報を集約して各種計画を出力する．

(2) マッチング方式の定式化

マッチング・システムの実装には、入力情報から割当・配送計画や在庫・配送計画を出力するルールを定義する必要がある．本研究では、それらのルールをマッチング方式と呼ぶ．

支援物資ロジスティクスで要求される複数の価値規範に応じて以下の四つの方式を定義し、それぞれの特性を数値実験を通じて考察する．

- 1) 充足最大・輸送費用最小化方式
- 2) 時間優先方式
- 3) 按分方式
- 4) 多目的最適化方式

1) は被災市町村の充足度を最大化するように需要者全体の受取量を決定してから、総輸送費用を最小化するように割当量や配送量を決定する方式である．効率性を優先した方式とも言える．2) は被災市町村の割当を入力先の到着順とし、輸送費用を最小化するように配送量を逐次決定する方式である．3) は被災市町村の充足率の分散を最小化するように各市町村の受取量を決定した後に、輸送費用を最小化する配送量を決定する方式である．

被災者間での公平性を優先する方式と言える．4) は需要未充足量と輸送費用を重みづけした多目的関数を最小化するように各市町村の受取量と配送量を同時に決定する方式であり、需要の充足と輸送費用のトレードオフを考慮した方式である．

輸送車両の利用可能台数の制約や車両台数の整数性をひとまず無視すると、上記の四つの方式は線形計画問題もしくは二次計画問題として定式化できる．物資数や物資提供者数、集積所数などが現実に想定される大規模災害程度であっても、最適化問題の標準的パッケージを用いて実行可能な時間で解くことができる．

四つのシステムの特性を比較するために実施した数値実験の結果を図-2から図-5に示す．図-2と図-3は被災者が必要とする物資量に対して、潜在的な物資供給者から提供される物資量が増加する場合に、被災者の支援物資ニーズの充足度と充足度の市町村間格差がそれぞれどのように変化するかを表している．なお、図中のランダムは、マッチング・システムが全く利用されない状況を表している．東日本大震災で起きたように、それぞれの物資提供者が個別に被災地にコンタクトをとって物資提供を申し出る状況に対応する．二つの図より、マッチング・システムの導入は充足度と充足格差の両方を改善する効果を持っており、提案した4つの方式の中では按分方式が最も優れていることが分かる．

図-4と図-5はマッチング・システムを利用する物資提供者数の減少にともなう被災者ニーズの充足度と充足度の市町村間格差の変化をそれぞれ表している．図-4より、多目的方式を除き、システム利用率の低下にともない、総充足度が減少することが分かる．一方、図-5より充足最大・輸送費最小方式や按分方式はシステム利用率の変化にともない、充足度格差が拡大するのに対し、時間優先方式では充足度格差がほとんど変化せず、ランダム方式とほぼ一致することが分かる．

図-6は被災者がシステム利用時に過大な需要ニーズを深刻した場合に充足度がどの程度増加するかを表したものである．按分方式では過大申告時に充足度増加率が単調に増加するのに対し、時間優先方式では充足度増加率が変化しないことが分かる．これより、按分方式は支援物資の供給量が被災者のニーズに対して不足する場合に被災者に過大申告のインセンティブが生じるのに対し、時間優先方式では過大申告のインセンティブを一切生み出さないことが分かる．

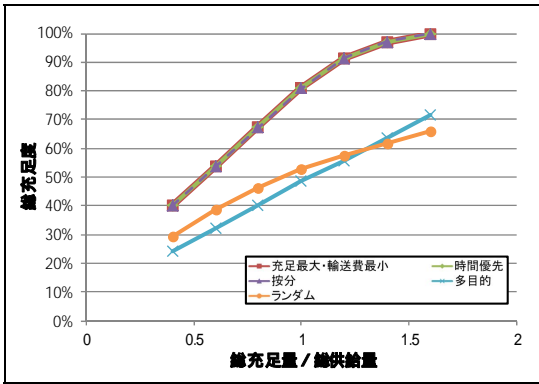


図-2 物資供給量と総充足度の関係

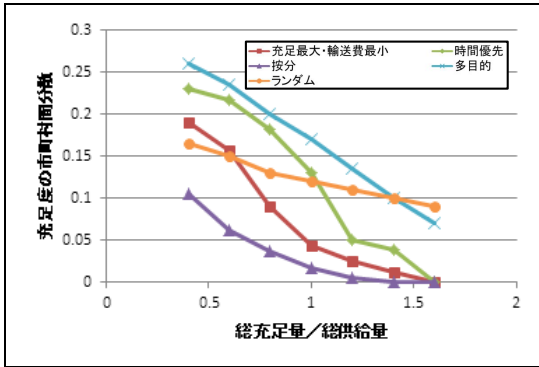


図-3 物資供給量と充足度格差の関係

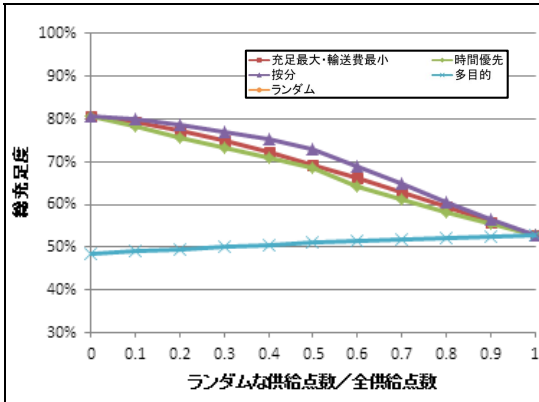


図-4 システム利用率と総充足度の関係

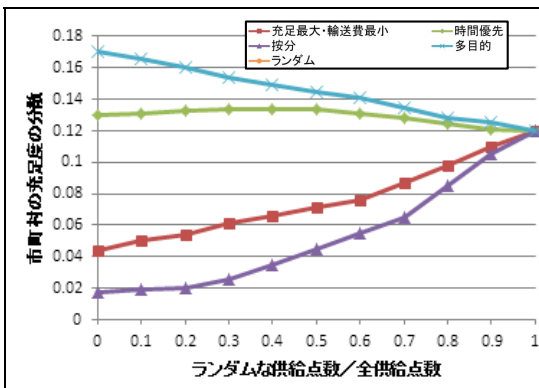


図-5 システム利用率と充足度格差の関係

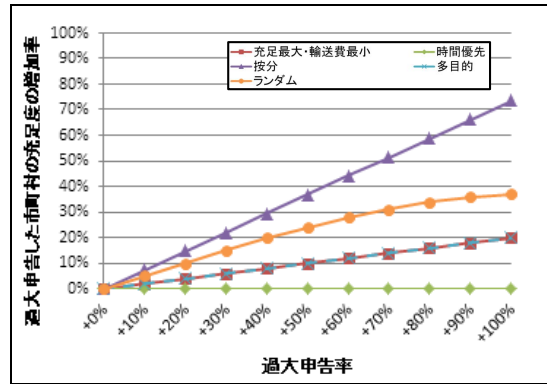


図-6 過大申告時の充足度増加率の変化

(3) 車両の離散性を考慮したマッチング方式の定式化

大規模災害時には輸送車両の利用可能台数が制約される可能性がある。また、限られた車両の効率的利用を図る場合、各車両の積載可能量を考慮した上で効率的な配送計画を策定する必要がある。このような場合、車両の整数性を明示的に考慮する必要があり、マッチング方式も整数計画問題として定式化する必要がある。一般的な車両経路問題はNP 困難で解くことが難しいため、新たな手法を開発したり、既存の近似解法を用いる必要がある。本研究では、Yi らによる「2 段階法」を援用したアルゴリズムを開発した。具体的には、最適化問題を2 段階のシンプルなサブ問題に分け、第一段階では個々の車両の輸送経路は考慮せずネットワーク内のリンク上の走行車両台数のみを求め、第二段階で個々の車両の輸送経路を求める。これにより、実際に起こりうる最大規模の大規模災害では厳密解を求めることは難しいものの、中規模災害であれば実行可能な範囲で厳密解を求めることを可能とした。また、大規模災害であっても近似解であれば、ヒューリスティクスにより実用可能な割当計画や配送計画の求解を可能とした。

大規模災害時に混乱している被災地内に集積所を設けるべきか否かが議論されている。被災地内における集積所設置の是非と、マッチング・システムの利用率や被災地内の集積所・利用可能輸送車両台数の関係を明らかにするための数値実験を行った。図-7 と図-8 はシステムの利用率が50%と100%のそれぞれの場合について、被災者の需要充足度が被災地内に設けられる集積所(図中の中間点2)の容量と、物資が被災地に運ばれるまでに要する輸送時間によって、どのように変化するかを表している。両方の図より、輸送時間が短い場合には被災地内の集積所の容量が0の方が被災者のニーズが高くなる、すなわち被災地内に集積所を設けるべきではないことが分かる。これは、集積所に物資が滞留して被災者に行き渡らないという問題が

生じるリスクが小さくなるためである。一方、輸送時間が長い場合には被災地内の集積所の容量が増加すると、充足度が高くなることから分かる。これは、被災地内に集積所があることで、被災者が物資を要望した場合に集積所の在庫から物資が輸送されるため、時間的ロスが小さくなるためである。また、二つの図を比較するとシステム利用率が高いほど需要充足度が大きく、特に、輸送時間が短く、被災地内の集積所の容量が小さい場合にその傾向が大きいことが分かる。これは、マッチング・システムの導入が、集積所の在庫機能を代替する役割を持っていることを示している。

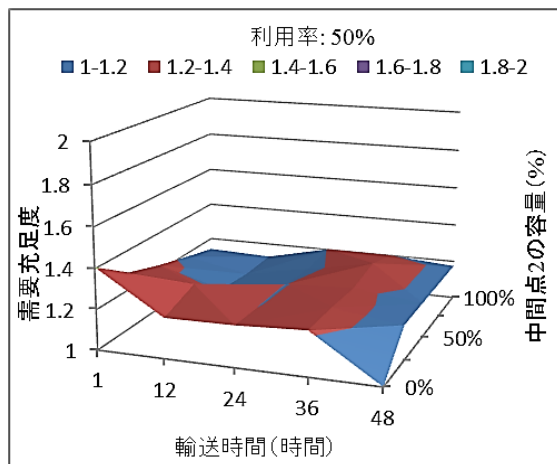


図-7 需要充足度と輸送費用・集積所容量の関係（システム利用率 50%）

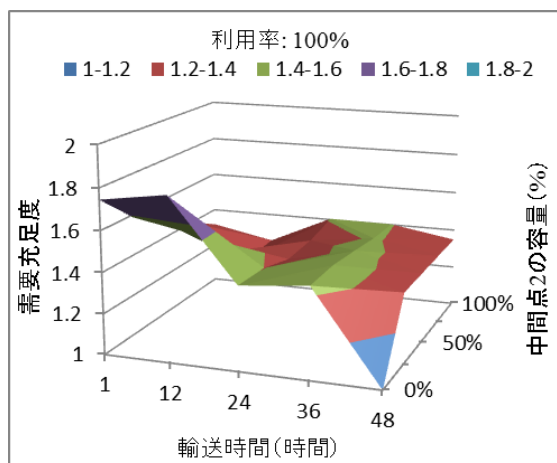


図-8 需要充足度と輸送費用・集積所容量の関係（システム利用率 100%）

(4) マッチング・システムの実装

マッチング・システムの実装を難しくする大きな要因の一つに多種多様な物資が扱われる点がある。水や毛布は標準化が比較的容易である。一方、乳幼児・高齢者・障害者等の方々が個人的事情により必要とする特別な種類の物資などは標準化が一般に容易ではない。

前者については、標準化が容易であり、マッチングが行われる機会も多いことから、データベースを事前に用意した。そして、システムを利用する物資提供者や被災者がデータベース上に登録された物資のリストから希望の物資を選択して、数量・日時・場所等の情報を入力するインターフェースとした。マッチングについては、一定間隔(e.g. 6時間、半日)ごとに板寄せ型で行う仕組みを実装した。一方、標準化が困難な物資についてはシステム利用者が数量・日時・場所等の情報に加えて、希望物資の詳細な情報(e.g. メーカー、サイズ、特別な要望)も追加するインターフェースとした。そして、マッチングは随時行われるザラバ型の仕組みを実装した。実装したマッチング・システムは以下の url 上に公開した (<http://203.137.55.148/>)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Hashimoto, Y. and Fukumoto, J.: Matching system of disaster relief supplies integrating vehicle routing problem, Transportation Research Procedia, 2016, 印刷中, 査読有り。

〔学会発表〕(計 3 件)

Hashimoto, Y. and Fukumoto, J.: Matching system of disaster relief supplies integrating vehicle routing problem, 14th World Conference On Transport Research, July 10th-16th, 2016, Shanghai, China.

福本潤也：東日本大震災における支援物資ロジスティクス, 日本応用経済学会 2016 年度春季大会, 2016 年 6 月 25 日, 広島(招待講演)。

橋本泰行, 福本潤也：車両配送を考慮した支援物資マッチングシステムの開発, 第 51 回土木計画学研究発表会, 6 月 6 日, 2015, 福岡。

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福本 潤也 (FUKUMOTO, JUNYA)

東北大学・大学院情報科学研究科・准教授
研究者番号：30323447