

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 1 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24510184

研究課題名(和文)自然災害時の人道援助ロジスティクスにおける在庫モデルの開発

研究課題名(英文)Relief inventory model of humanitarian logistics in natural disaster

研究代表者

花岡 伸也(Hanaoka, Shinya)

東京工業大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：90467027

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：近年、自然災害の被災者への適切な支援物資輸送を目的とする人道支援ロジスティクスの重要性が高まっている。発災後、支援物資の需要量は大きな不確実性を有する。また、支援活動は発災後の応答段階だけでなく発災前の準備段階でも重要である。さらに、国内外のステークホルダーが様々な業務に携わることから、組織間の行動の調整も必要である。以上より、本研究では次の3つのモデルを開発した。(1)準備段階と不確実性のある応答段階の2段階支援物資拠点配置モデル。(2)ステークホルダーの関係と行動をエージェント・ベース・モデルによって表現する配送モデル。(3)応答段階の不確実性を考慮した支援物資発注理論モデル。

研究成果の概要(英文)：Humanitarian Logistics (HL) becomes an underpinning task of disaster management for relief planning. This study provides three sequential mathematical models for relief operation to illustrate response strategies after earthquake. The three models are (i) Network model in pre-disaster stage, (ii) Relief allocation in response stage and (iii) Relief ordering in response stage. The first network model integrates the pre- and post-disaster situations and comprises two mathematical formulations. The second model explains relief allocation in the domain of stakeholder's behavior in HL. The seemingly different objectives of stakeholders are integrated in the framework of an agent-based model. The third model analyzes the inventory ordering policy with given logistics network. The model combines two stochastic variables that are lead time and demand.

研究分野：交通計画・ロジスティクス

キーワード：人道支援ロジスティクス 不確実性 エージェント・ベース・モデル 支援物資拠点配置 支援物資配送 支援物資発注

1. 研究開始当初の背景

近年、地震、洪水、台風などの大規模自然災害が世界各地で頻発する中、被災者への適切な支援物資輸送を目的とする人道支援ロジスティクス(Humanitarian Logistics)の重要性が高まっている。2010年のハイチ大地震では、各国からの支援物資が大規模倉庫まで届いているにも関わらず、末端の被災者まで行き届かず多くの不良在庫や滞留が発生し、不十分なロジスティクスマネジメントを露呈した。一方、東日本大震災において、支援物資は最初に被災県の集積所に集約され、次に市町村の集積所を經由し、最終的に避難所まで輸送された。このような支援物資の階層的な在庫管理は、ハイチ大地震でも国連の世界食糧計画によって採用されている。

災害後は、リードタイムの長期化や物資供給の途絶などの平常時とは異なるリスク、つまり不確実性が高まる。平常時の商業ロジスティクスと比較して、人道支援ロジスティクスは、在庫管理のみならず、需要量の変化、輸送ネットワークの状態などにおいて、より大きな不確実性を有する。また、被災者への支援計画や支援活動は、発災後の応答段階(Response Stage)だけでなく、発災前の準備段階(Preparedness Stage)においても重要である。さらに、人道支援ロジスティクスでは、国内外の複数の関係者(ステークホルダー)が様々な業務に携わることから、迅速な支援活動には組織間の行動の調整も必要である。以上より、不確実性に対応した準備段階と応答段階の段階的な支援物資輸送や、ステークホルダー間の関係を表現するモデルを構築する必要がある。

2. 研究の目的

研究開始当初の目的は、リスク(不確実性)を考慮した階層的在庫管理シミュレーションモデルの開発であった。以後、研究を進める中で、より包括的に人道支援ロジスティクスの課題に対応するモデルを構築することを念頭に、下記の3つを具体的な目的として研究を遂行した。

- (1) 準備段階と不確実性のある応答段階の2段階を考慮した支援物資拠点配置モデルの開発。(雑誌論文,)
- (2) 支援物資輸送に関わるステークホルダーの関係と行動をエージェント・ベース・モデルによって表現する配送モデルの開発。(雑誌論文,)
- (3) 応答段階の不確実性を考慮した支援物資発注の理論モデルの開発。(雑誌論文,)

対象とする災害は主に地震である。地震は予測が難しく、発災直後に被害を受けるといった突発性が高いため、準備段階と応答段階の連携が特に重要である。また、一般に被災範囲が広範なことから、適切な人道支援ロジスティクスマネジメントが強く求められている。

3. 研究の方法

目的(1)のため、支援物資拠点の配置について、P-メディアン問題として定式化した決定的モデルと、準備段階と応答段階の2段階を考慮した確率的費用最小化モデルを構築する。

目的(2)のため、国内外の支援組織による物資援助から始まり、輸送業者が支援物資を集積所から避難所に届けるラストマイル輸送までの過程において、複数のステークホルダーがかかわるその関係と行動を、エージェント・ベース・モデルを用いて支援物資配送モデルとして構築する。TOPSIS法による支援物資ニーズの緊急度評価や、輸送費用に対する物資欠乏費用の割合を用いた社会的不利益指標を用いて、ステークホルダー間の関係を表現する。

目的(3)のため、応答段階の支援物資の発注において、ネットワークの途絶や支援物資ニーズの変化などにより、リードタイムと需要に大きな不確実性が生じること考慮し、発注点方式による在庫モデルに、リードタイムと需要の積を確率変数として応用した理論モデルを構築する。

4. 研究成果

(1) 準備段階と応答段階を考慮した段階的支援物資拠点配置モデル

総輸送距離を最小化するP-メディアン問題で定式化した決定的モデルを用いて、アジア・オセアニア地域を対象にした事例分析により、支援物資備蓄の国際拠点を設置すべき国を提案した。現在、国連人道支援物資備蓄庫(UNHRD: United Nations Humanitarian Response Depot)が世界6か所で備蓄庫を運営しており、非常時には可能な限り48時間以内に支援物資や食料などを世界中に輸送する体制を構築している。アジアの拠点はマレーシアのスパン空港内にある。本モデル適用の結果、アジア・オセアニア域内で1カ所のみとした場合は中国、2カ所までの場合はインドが追加、3カ所までの場合はインドネシアが追加と、過去、地震による被災者数の多い国(注: 災害データベースEM-DATを参照に設定)に拠点を設置する結果となった。(雑誌論文,)

次に、確率的費用最小化モデルを構築し、決定的モデルの結果と比較分析した。基本モデルは、準備段階として支援物資拠点の配置数と在庫量を決定し、応答段階として避難所の需要を満たす配分量を定める2段階モデルである。準備段階の費用は、拠点の建設費、調達費、輸送費である。ここでは、供給者から拠点まで輸送される支援物資の輸送費が含まれている。応答段階の費用は、調達費、拠点から避難所までの輸送費、そして偏差費用(deviation cost)である。偏差費用は不確実性を表現しており、シナリオで与えられる。

バングラデシュを対象として、過去の災害実績を参考にシナリオを設定して分析を行

った結果、準備段階と応答段階の費用はトレードオフ関係にあり、8つの拠点候補地のうち、5つ拠点を設置したとき総費用が最小化することが分かった。また、需要と供給が共に決定的、需要が決定的と供給が確率的、需要と供給が共に確率的という3種類のモデルを比較分析した。その結果、需要と供給が共に確率的なモデルでは輸送費が大きく減少すること、また決定的モデルと比較して需要が確率的な場合は費用削減効果が大きいものが分かった。(雑誌論文,)

(2) エージェント・ベース・モデルによる支援物資配送モデル

国際的な支援物資輸送では、資金援助から始まり支援物資を避難所に届けるまでの過程で、国際機関や他国の援助機関だけでなく、国内支援組織、輸送業者など複数の組織がステークホルダーとして関わる。本研究では、これらのステークホルダーを、(i)国内支援組織(政府直轄機関など)、(ii)支援物資を被災者に届ける組織(地元自治体やNGOなど)、(iii)輸送業者、(iv)国際機関、(v)一般社会、として分類し、地方自治体に設置された集積所から避難所までのラストマイル輸送における互いの関係と行動を、エージェント・ベース・モデルによって表現した。具体的には、(i)は(ii)からの支援物資需要を元に支援物資を収集し輸送業者を指定する、(ii)は被災地の支援物資需要を推定する、(iii)は輸送費用を算出し輸送する、(iv)は支援物資輸送の緊急度を評価し(i)と(iii)を調整する、(v)は何らかの形で(i)、(ii)、(iv)に謝意を示す、と仮定した。避難所の支援物資ニーズの緊急度評価には、多基準分析の一つであるTOPSIS法を用いた。また、被災地で支援物資需要が遅延などの理由により満たされない場合、物資欠乏費用(deprivation cost)が発生するとした。輸送費用に対する物資欠乏費用の割合を、社会的不便益指標(数値は小さい方が望ましい)とし、これを(v)が示す謝意の代理変数とした。図1はエージェント・ベース・モデルのシミュレーションフローを示したものである。ここで、AOAは(i)、DAは(ii)、CAAは(iii)、COAは(iv)を意味している。

東日本大震災の被災地区を対象に、本モデルの実証分析を実施した。被災者数、死者数などを用いて各地区の緊急度を算出し、支援物資輸送の配送車両数をシナリオとして与え、輸送費用と需要不満足の関係进行分析した。配送車両数を定める手法には列挙法と分解法を用いた。その結果、配送車両数が増えるほど、輸送費用が増加し、需要不満足度および社会的不便益が下がることが示された。また、同じ地区でも日によって変化する緊急度を考慮できる分解法を用いることにより、物資欠乏費用が削減できることを示した。(雑誌論文,)

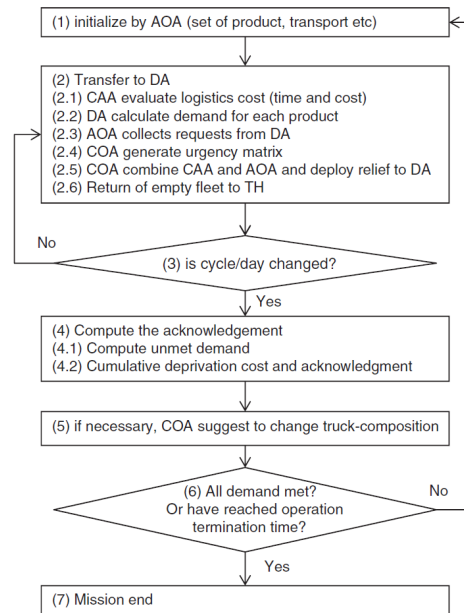


図1 エージェント・ベース・モデルのシミュレーションフロー

(3) 応答段階の支援物資発注の理論モデル

地震など災害後の応答段階において、ネットワークの途絶や混雑、不確実な情報やトラック・燃料の不足などにより、支援物資発注におけるリードタイムと需要の不確実性は大きくなる。そこで、発注点方式による在庫モデルに、リードタイムと需要の積を確率変数として応用した理論モデルを構築した。確率関数を一様分布とし、物資欠乏費用に与える影響を数値実験したところ、再発注量によって物資欠乏費用は大きく変化するものの、再発注量を一定以上増やせば安定することが示された。この結果は、適切な再発注量を定める際の参考になる。(雑誌論文)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計6件)

Das, R. and Hanaoka, S., An agent-based model for resource allocation during relief distribution, Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management, Vol.4, No.2, 265-285, 2014, DOI: 10.1108/JHLSCM-07-2013-0023, 査読あり.

Das, R. and Hanaoka, S., Relief inventory modelling with stochastic lead-time and demand, European Journal of Operational Research, Vol.235, No.3, 616-623, 2014, DOI: 10.1016/j.ejor.2013.12.042, 査読あり.

Das, R. and Hanaoka, S., Robust network design with supply and demand

uncertainties in humanitarian logistics, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.10, 954-969, 2013, DOI: 10.11175/easts.10.954, 査読あり.

Das, R. and Hanaoka, S., Relief distribution planning using a agent-based model,土木計画学研究・講演集,47巻,CD-ROM, 2013, 査読なし.

Das, R. and Hanaoka, S., Prepositioning aid for Asia and Oceania, Proceedings of the 4th International Conference on Transportation and Logistics (T-LOG 2012), CD-ROM, 2012, 査読あり.

Das, R. and Hanaoka, S., Risk based humanitarian logistics network design,土木計画学研究・講演集,45巻,CD-ROM,2012, 査読なし.

〔学会発表〕(計4件)

Das, R. and Hanaoka, S., Robust network design with supply and demand uncertainties in humanitarian logistics, 10th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies (EASTS), 2013.9.10, 台湾, 台北.

Das, R. and Hanaoka, S., Relief distribution planning using a agent-based model, 第47回土木学会土木計画学研究発表会, 2013.6.1, 広島工業大学, 広島県, 広島市.

Das, R. and Hanaoka, S., Prepositioning aid for Asia and Oceania, 4th International Conference on Transportation and Logistics (T-LOG 2012), 2012.8.24, 韓国, 釜山.

Das, R. and Hanaoka, S., Risk based humanitarian logistics network design, 第45回土木学会土木計画学研究発表会, 2012.6.3, 京都大学, 京都府, 京都市.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

花岡 伸也 (HANAOKA SHINYA)

東京工業大学・理工学研究科・准教授

研究者番号: 9 0 4 6 7 0 2 7

(2) 研究分担者

川崎 智也 (TOMOYA KAWASAKI)

日本大学・理工学部・助教

研究者番号: 3 0 7 0 5 7 0 2