

費用負担を考慮した支援物資マッチングシステムの提案と利用インセンティブ分析

東北大学大学院 非会員 ○橋本 泰行
東北大学大学院 正会員 福本 潤也

1. はじめに

東日本大震災では、地震や津波により東北地方の太平洋沿岸地域は甚大な被害を受けた。発災直後から国や地方自治体、民間企業が緊急支援物資の供給を開始したが、広範囲への支援物資の供給は困難を極め、多くの問題が明らかとなった。問題の多くは物資支援にて効果的なマッチングが行われなかったことに起因するものが多く、有用なマッチングを実施することで効率的な物資支援体制を構築できると考えられる。

災害時における緊急支援物資のマッチングに関する研究として土生・福本(2013)¹⁾は、被災者のニーズ情報と物資支援者の情報から効率的な物資供給を行う方法としてマッチングシステムを提案した。本システムは、支援者と受援者（被災者）に供給・需要情報を入力させ、入力情報に基づき物資の割当・輸送計画を策定する。物資はシステム管理者がまとめて輸送し、輸送費用を全額負担する。支援者は無料で物資提供できるため、システムを利用するインセンティブを持つ。他方、多くの支援者が利用することで提供量が膨大になり、管理者の負担が増大するという問題がある。災害時には輸送費用を自己負担して提供を行う支援者は数多く存在しており、支援者に輸送費用の一部を負担させて管理者の負担を軽減できると考えられる。本研究では、土生らが提案したマッチングシステムを、費用負担を考慮したマッチングシステムへ拡張する。

マッチングシステムを社会的に実装するには、多くの支援者に利用される必要がある。しかし、支援者はシステムを利用せず個別に受援者を探し物資提供を行うこともできる。支援者がシステムを利用するインセンティブを持つ条件についても明らかにする。

2. マッチングシステムの概要

マッチングシステムはインターネット上で稼働するシステムである。物資支援者と物資受援者の2主体が利用し、管理者がシステムの管理を行う。支援者は企

業や被災地域外の団体の物資管理者、受援者は被災市町村の物資管理者を想定する。支援者は提供可能な物資種類と数量、1単位提供した際の利得である「限界利得」をシステムに入力し、受援者は需要する物資種類と数量をそれぞれ入力する。入力された情報に基づいて、物資の割当・輸送計画と在庫計画と、支援者のペイメントを決定する。

本システムは、プッシュ型の物資支援が一段落した後の「プル型」の物資支援を想定する。マッチングシステムは支援者と受援者からの情報入力を随時受け付け、24時間ごとに割当計画を策定する。

3. 定式化

支援者の集合を I 、受援者の集合を J 、物資の種類の集合を K とする。支援者 $i \in I$ から受援者 $j \in J$ まで物資を輸送するには、車両台数に比例した固定費用と輸送量・輸送距離に比例した可変費用が必要である。総輸送費用を式(1)に示す。ただし、 a は限界固定費用、 f_{ij}^k は受援者 $j \in J$ に提供される支援者 $i \in I$ の物資 $k \in K$ の数量、 c_{ij}^k は受援者 $j \in J$ に提供される支援者 $i \in I$ の物資 $k \in K$ の限界輸送費用、 F は1台の車両に積載可能な物資量である。

$$a \left[\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} f_{ij}^k / F \right] + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} c_{ij}^k \cdot f_{ij}^k \quad (1)$$

支援者が物資を提供した際に得られる利得は、提供物資量に比例すると仮定する。このとき、物資の割当問題は、以下の多品種輸送問題として定式化できる。目的関数(2)は、支援者の総利得と総可変費用の差の最大化、すなわち社会的余剰の最大化を意味する。制約条件式として、需要量制約(式(3))、提供量制約(式(4))、輸送量の非負条件(式(5))を設ける。ただし、輸送費用のうち固定費用は定式化に加えていない。固定費用は離散変数であるため、求解が困難になってしまうためである。

キーワード 災害ロジスティクス、マッチング、費用配分、オークション、線形計画問題、利用インセンティブ

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 社会システム計画学研究室(406号室) TEL 022-795-7498

$$\max_{\{f_{ij}^k\}} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} (\hat{v}_i^k \cdot f_{ij}^k - c_{ij}^k \cdot f_{ij}^k) \quad (2)$$

$$s.t. \quad \sum_{i \in I} f_{ij}^k \leq x_j^k \quad \forall j \in J, \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J} f_{ij}^k \leq \bar{y}_i^k \quad \forall i \in I, \forall k \in K \quad (4)$$

$$f_{ij}^k \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J, \forall k \in K \quad (5)$$

ここで、 x_j^k は受援者 $j \in J$ の物資 $k \in K$ の需要量、 $\bar{y}_i^k$ は支援者 $i \in I$ の物資 $k \in K$ の最大提供可能数量、 $\hat{v}_i^k$ は支援者 $i \in I$ が物資 $k \in K$ を 1 単位提供する際に得られる限界利得である。

支援者のペイメントは、オークションメカニズムを用いて決定する。本研究では、理論的性質が明らかな VCG メカニズムを用いる。定式化では可変費用のみを考慮しているため、支援者のペイメントも可変費用のみを考慮したペイメントになる。このペイメントを暫定ペイメントと呼び、式(6)に示す。

$$p_i = \left\{ \sum_{n \in I_{-i}} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} (\hat{v}_n^k - c_{nj}^k) \cdot f_{nj}^{k,-i} \right\} - \left\{ \sum_{n \in I_{-i}} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} (\hat{v}_n^k - c_{nj}^k) \cdot f_{nj}^{k,*} - \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} c_{ij}^k \cdot f_{ij}^{k,*} \right\} \quad (6)$$

ここで、 $f_{ij}^{k,-i}$ は支援者 $i \in I$ がマッチングシステムに参加しない場合の割当問題の最適解、 $f_{ij}^{k,*}$ は式(2)～(5)の最適化問題の最適解である。1つ目の括弧内の式は、支援者 $i \in I$ がシステムに参加しない場合の i 以外の利得の総和、2つ目の括弧内の式は、支援者 $i \in I$ がシステムに参加した場合の i 以外の利得の総和を表す。

暫定ペイメントは可変費用のみを考慮しているため、別途固定費用の配分が必要である。VCG メカニズムは効率性と誘因両立性の2つを持つメカニズムであるが、固定費用を別方式で配分すると誘因両立性を満たさなくなるという問題がある。しかし、大規模災害等の緊急時には嘘の申告をする可能性は低いと考えられる。固定費用の配分方法には、支援者全員で均等に配分する方式を考える。

4. 支援者の行動選択

マッチングシステムを社会的に実装するには、多くの支援者にシステムが利用されなければミスマッチの問題は改善されない。支援者はシステムを利用せず個別に受援者を探し物資提供を行うこともできる。

支援者がマッチングシステムを利用せずに物資提供を行うことを「サーチ行動」と呼ぶ。支援者は受援者を探索し、輸送費用を自己負担して物資提供を行う。

サーチには時間やコスト等の費用がかかる。

支援者は、サーチ行動の場合の利得と、システムを利用した場合の利得を比較して、利得が大きくなるように行動を選択すると考えられる。システム導入時にどのような均衡が成立するか明らかにし、システムが利用される条件を解明する必要がある。

5. 均衡分析

単純な場合における、支援者の行動選択問題の均衡を分析する。2人の支援者と D 人の潜在的受援者が存在する。 D の人数による均衡の変化を明らかにする。支援者のうち、 $z_i \equiv \hat{v}_i - c_i$ が大きい順に支援者 1、支援者 2 とする。物資種類は 1 種類とし、支援者と受援者は各 1 単位ずつ物資を提供可能・需要している。全ての支援者はマッチングシステムに情報を入力し、その後サーチ行動をとることもできる。1回のサーチには探索費用 $e=1$ がかかる。限界固定費用は $a=2$ とする。

	$z_i \equiv \hat{v}_i - c_i$		
支援者 1	サーチする	サーチする	サーチしない
支援者 2	サーチする	サーチしない	サーチしない
	1	2	3
	D		

図-1 均衡状態における各支援者の行動

潜在的受援者数 D を変化させたときの、均衡状態における支援者の行動選択を図-1 に示す。 $D=3$ のとき、マッチングシステムを利用して物資を割当てられる確率が高いため、サーチ行動をとるインセンティブがない。 D が小さくなると z_i が大きな支援者からサーチ行動をとるようになる。 z_i が大きい支援者ほど利得に余裕があるため、サーチ行動をとるインセンティブが生じるためである。

6. 結論

本研究では費用負担を考慮したマッチングシステムを提案し、定式化を行った。均衡分析より、受援者数が多いほど多くの支援者にシステムが利用されることが分かった。今後は支援者数が多い一般的な場合と、その他の条件（探索費用の大きさ、共同輸送のメリットの有無等）について分析を行う。

参考文献

- 1). 土生浩貴, 福本潤也: 支援物資のマッチング方式の提案, 第 47 回土木計画学会研究発表会・講演集, Vol. 47, 2013.