

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 27 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2022

課題番号：17K06591

研究課題名(和文) 支援物資マッチングシステムの社会的実装に向けた研究開発

研究課題名(英文) Research and Development for the Social Implementation of Matching System of Disaster Relief Goods

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) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、大規模災害発生後に被災地に大量・多種類の物資が集中することで発生する二次災害を防ぐ上で有効なマッチングシステムの社会的実装に向けた研究開発に取りくんだ。第一に、車両配送と費用配分を考慮したマッチング・アルゴリズムを開発した。第二に、潜在的利用者の利用インセンティブとそれにより実現する均衡状態をゲームモデルを用いて分析し、理論分析の結果を経済実験を通じて検証した。分析結果として、マッチング・システムが十分利用されない劣位均衡が存在し、それを防ぐうえで物資提供を申し出た人の割当率の分散を最小化するマッチングアルゴリズムの利用が効果的であることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大規模な災害が起きると被災地に大量かつ多種類の義援物資が送られるのですが、これにより現地に更なる混乱が生じてしまいます。この問題を防ぐための有効な方策としてWEB空間上に実装されたマッチングシステムを利用することで必要な物資を必要な量だけ被災地に届けることが考えられます。しかし、多くの方が善意により物資を提供したいため、MSを利用せずに物資を届けようとする方が大勢います。その結果、MSが効果的に機能されなくなる可能性があります。本研究では、物資提供を試みる方々がMSを利用するインセンティブや実現する状態について分析するとともに、MSの利用率を向上させる方策について検討しました。

研究成果の概要(英文)：In this study, research and development was undertaken for the social implementation of a matching system that is effective in preventing secondary disasters caused by the concentration of a large amount and variety of goods in a disaster area after a large-scale disaster occurs. First, a matching algorithm that takes into account vehicle routing and cost allocation was developed. Second, the use incentives of potential users and the resulting equilibrium state were analysed using a game theoretic model, and the results of the theoretical analysis were verified through economic experiments. The results revealed the existence of an inferior equilibrium in which the matching system is not fully utilised, and that the use of a matching algorithm that minimises the variance of the allocation rate of those who offer to donate goods is effective in preventing such an equilibrium.

研究分野：土木計画学

キーワード：物資集中問題 マッチングシステム 人道支援ロジスティクス 費用配分

1. 研究開始当初の背景

大規模災害が発生すると、被災地に大量かつ多種類の支援物資が送られる。そのロジスティクス（Humanitarian Logistics, HL）において様々な問題が生じる。なかでも多様な主体が無償で被災地に提供しようとする義援物資の集中問題は古くから指摘されてきた。しかし、同問題は解決が難しい問題の一つとされ、HLを扱ったオペレーションズ・リサーチや組織論の既存研究においても十分取り上げられてこなかった。

研究代表者らは、義援物資の集中問題の原因が潜在的な支援者と受援者を効率的にマッチングするメカニズムが存在しない点に着目し、支援物資マッチングシステム（Matching System, MS）を提案した。更に、システムの実装に必要なアルゴリズム開発とシステム設計を行ってきた。ただし、MSの社会的実装に向けてはいくつもの課題が残されていると認識してきた。なかでも潜在的な物資提供者にMSを利用するインセンティブが必ずしも存在しない点が最大の課題であると考えていた。潜在的な支援者にとっては自らが支援に貢献した事実や実績が重要であり、支援にともなうコストを重要視しない可能性がある。被災者に直接コンタクトをとって物資提供を打診する行動をとりやすくなり、多くの支援者が同様の行動をとることで被災者のニーズが充足してしまう。結果として、MSが十分利用されずに義援物資の集中問題の解決につながらない可能性があると考えた。

2. 研究の目的

以上の問題意識のもと、本研究では「支援物資MSの社会的実装」に向けて、大きく2つの研究開発に取り組むこととした。

第一に、プロトタイプ版MSに実装可能な車両配送と費用配分を考慮したマッチング・アルゴリズムを開発し、既に実装していたプロトタイプ版の機能改善に取り組んだ。

第二に、MSの潜在的利用者の利用インセンティブの解明とその改善方策の解決に取り組んだ。理論分析を通じて、どのような条件下であれば利用インセンティブが働くかを明らかにするとともに、実装済みのMSを用いた室内実験を行った。理論分析で得られた分析結果の妥当性を検証するとともに、十分なインセンティブが働かない場合に利用インセンティブを向上させる方策について検討した。

3. 研究の方法

車両配送と費用配分を考慮したマッチング・アルゴリズムについては、組み合わせオークションの研究分野で開発されてきた同時競り上げオークションを容量制約付きの多品種フロー問題に適用した。

MSの利用インセンティブ問題については、最初に、潜在的利用者がMSを通じた義援物資の提供と被災者への物資提供の直接打診を選択できる状況をゲーム理論に基づいてモデル化した。ナッシュ均衡解を導出し、問題の構造と理論的特性の解明を試みた。次に、理論モデルで想定した状況をMSを用いて室内実験環境として再現し、複数の被験者が参加する経済実験を実施した。実験結果を理論分析の結果と比較することで、理論予測が実証的に成立するかどうかを検証した。以上の分析結果を踏まえ、MSの利用率を高めるための技術的方策ならびに社会的方策について検討した。

4. 研究の成果

(1) 車両配送と費用配分を考慮したマッチング・アルゴリズムの開発

組み合わせオークションの研究分野で開発されてきた同時競り上げオークションを多品種フロー問題に適用した。

費用負担について支援者に正直な情報を表明させるためのベンチマークとしてVCGメカニズムがある。しかし、割当計画と費用配分を同時に決定するVCGメカニズムでは以下の割当問題を義援物資の提供者別かつ品種別に解く必要があり、計算負荷が大きいという問題があった。

$$\max_{x_{ij}^k, s_j^k} \sum_{i,j,k} (v_i^k - c_{ij}^k) x_{ij}^k - \sum_{j,k} Ms_j^k \quad (1)$$

$$s.t. \quad \forall i, k : \sum_j x_{ij}^k \leq z_i^k \quad (2)$$

$$\forall j, k : \sum_i x_{ij}^k + s_j^k = y_j \quad (3)$$

$$\forall i, j, k : x_{ij}^k \geq 0 \quad (4)$$

$$\forall j, k : s_j^k \geq 0 \quad (5)$$

これに対し、本研究では Ausubel and Milgrom が提案した代理人による同時競上げオークションを参考に以下のアルゴリズムを設計して実装を行った。これにより、計算負荷が大きく低減し、実用可能なシステムに落とし込むことに成功した。

$$1) \quad t=1, \quad \underline{b}_{ij}^{k,t} = 0, \quad \underline{b}_{ij}^{k,t-1} = 0$$

$$2) \quad \tilde{x}_{ij}^{k,t} = \arg \max_{x_{ij}^k} \sum_{i,j,k} (v_i^k - \underline{b}_{ij}^{k,t}) x_{ij}^k \quad s.t. \quad (2), (4)$$

$$\tilde{b}_{ij}^{k,t} = \begin{cases} \underline{b}_{ij}^{k,t} & \text{if } \tilde{x}_{ij}^{k,t} > 0 \text{ and } v_i^k \geq \underline{b}_{ij}^{k,t} \\ \underline{b}_{ij}^{k,t-1} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$3) \quad \hat{x}_{ij}^{k,t} = \arg \max_{x_{ij}^k, s_j^k} \sum_{i,j,k} (\tilde{b}_{ij}^{k,t} - c_{ij}^k) x_{ij}^k - \sum_{j,k} Ms_j^k \quad s.t. \quad (2), (3), (4), (5)$$

$$\underline{b}_{ij}^{k,t+1} = \begin{cases} \tilde{b}_{ij}^{k,t} + \varepsilon & \text{if } \hat{x}_{ij}^{k,t} = 0 \\ \tilde{b}_{ij}^{k,t} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$4) \quad \text{IF } \exists i, j, k : \underline{b}_{ij}^{k,t+1} > \underline{b}_{ij}^{k,t} \quad t = t + 1$$

and GOTO 2), ELSE END

(2) MS の利用インセンティブ問題

①ゲーム分析

MS の利用インセンティブ問題については、複数の潜在的利用者が MS を通じた義援物資の提供と被災者への物資提供の直接打診を選択できると仮定し、その場合に実現する均衡状態を求め、物資提供者の人数により 1) 全ての利用者が MS を利用する均衡解 (M 均衡) と一部の利用者だけが MS を利用する均衡解 (S 均衡) の 2 種類が存在すること、2) 利用者数が少ない場合には M 均衡のみが存在し、利用者数が多い場合には S 均衡のみが存在すること、3) 利用者数が中間的な場合には M 均衡と S 均衡の両方が実現しうる複数均衡状態になること、を明らかにした (図-1)。

②経済実験とユーザビリティ調査

ゲーム分析で得られた理論解が実証的に成立するかどうかを検証するため、MS の潜在的利用者役の 8 名と被災者役の 4 名の計 12 名を被験者とする経済実験を行った。潜在的利用者はゲーム分析で想定した通り、MS を利用するか被災者に物資提供を直接申し出る (チャットシステムで実装) かのいずれかを選択できるようにした。需給条件を変更しながら、物資のマッチングの効率性と情報効率性 (物資提供者・被災者間の情報伝達コスト) を比較した。

分析結果として、財の需給バランスが需要超過状態と供給超過状態では M 均衡と S 均衡がそれぞれ実現するという理論分析と同じ結果が得られた。一方、需給バランスが需給均衡状態では理論分析で得られた複数均衡のいずれかが実現するのではなく、M 均衡と S 均衡の両者が混合した不安定な状態が実現することを確認した (図-2)。更に物資提供者役の被験者が実験を繰り返すなかで MS を利用した場合の提供成功確率について学習するプロセスに着目し、直接打診を選択した場合には財の提供の成否が次回以降の選択に影響しないのに対し、MS を選択した場合には被災者とのマッチングに失敗すると次回以降に直接打診する行動を選択する確率が有意に高くなる、すなわち MS の利用率が有意に低下することを明らかにした (表-2, 表-3)。

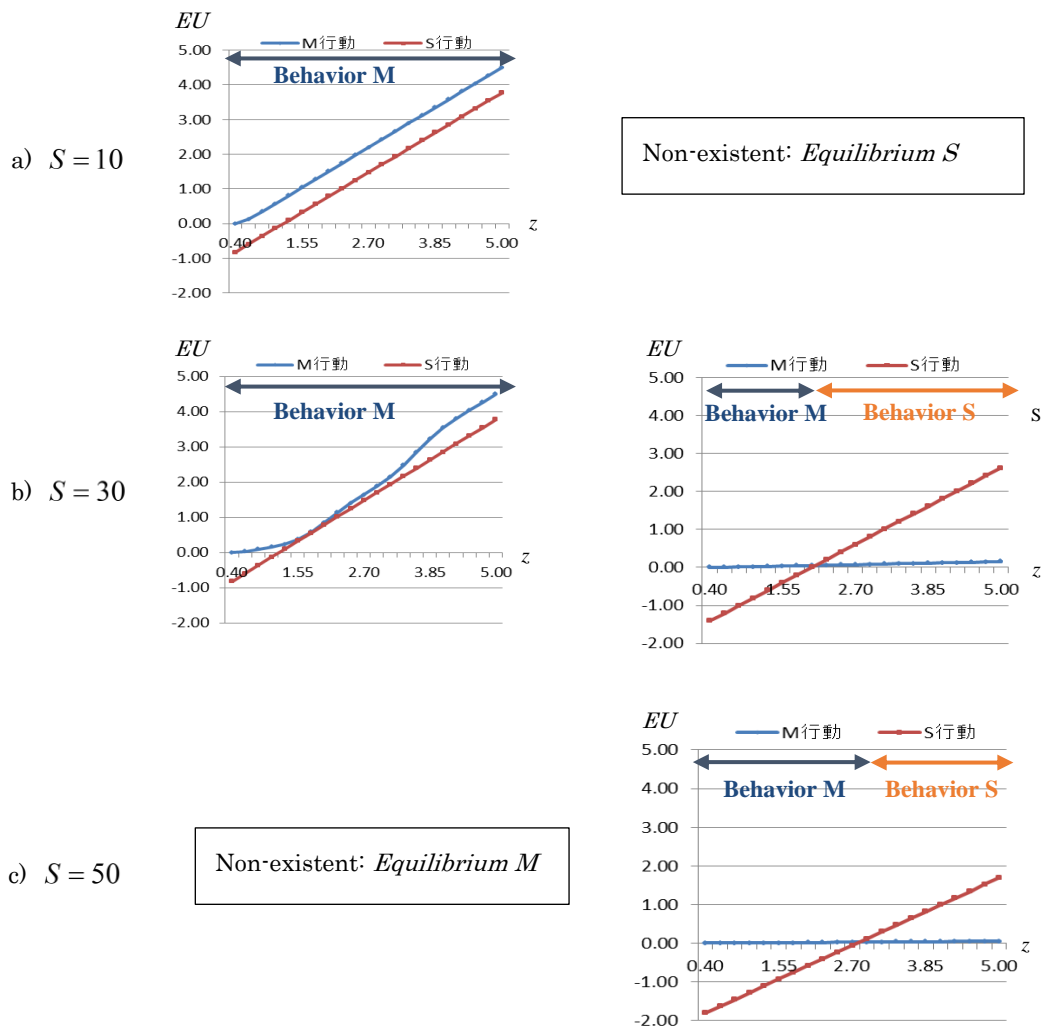


図-1 需給状態と均衡パターン

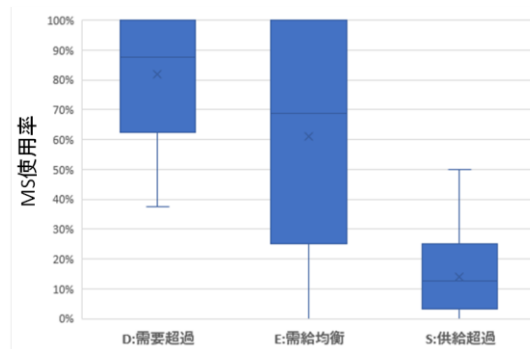


図-2 需給状態と MS 利用率

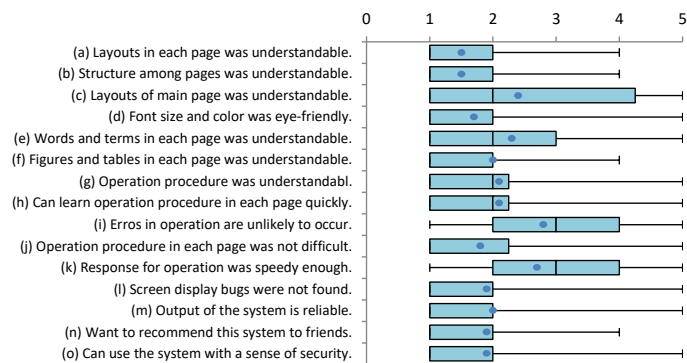


図-3 ユーザビリティ調査の結果

表-1 直線行動と次回の選択行動

i. 直接取引の場合

前ラウンドの 直接取引	次のラウンドの直接取引の試行	
	あり	なし
試行あり・取引失敗	59	13
試行あり・取引成立	347	41
試行なし	99	497
p 値	0.05<p<0.1	

ii. MS 取引との関係

前ラウンドの MS 取引	次ラウンドの直接取引の試行	
	あり	なし
入力あり・取引失敗	187	31
入力あり・取引成立	130	492
試行なし	188	28
p 値	p<0.001	

表-2 直前行動と次回の選択行動の独立性

	MS 取引	直接取引
χ 二乗値	289.2	3.3
p 値	p<0.001	0.05<p<0.1

以上の分析結果は、S 均衡が相対的に安定であるのに対し、M 均衡は相対的に不安定であることを意味している。ロジスティクスの社会的コストという観点では MS において輸送費用を最小化するようなマッチングを行うことが効率的である。しかし、被災地に近い一部の潜在的利用者が優先的にマッチングされると他の潜在的利用者が MS を利用せず直接打診するようになるため、マッチングの長期的効率性が低下する。この問題を解決するため、マッチングアルゴリズムを輸送費用最小化ではなく潜在的利用者の物資提供率分散最小化に変更することを提案した。数値シミュレーションを通じて短期的効率性と長期的効率性の比較から提案方策の有効性を示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Junya Fukumoto	4. 巻 -
2. 論文標題 Usability assessment of a humanitarian relief supplies matching system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 2019 6th International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ICT-DM47966.2019.9032902	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Junya Fukumoto, Hirotaka Habu, Hiroyuki Hashimoto	4. 巻 -
2. 論文標題 Proposal for a Relief Supply Matching System	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 2018 5th International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM)	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ICT-DM.2018.8636392	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Fukumoto, J., Hashimoto, H.	4. 巻 -
2. 論文標題 Matching system of disaster relief supplies and users' incentives	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2019 International Conference on Climate Change, Disaster Management and Environmental Sustainability	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 0件／うち国際学会 9件）

1. 発表者名 Chihiro Sakayori, Junya Fukumoto
2. 発表標題 Development of spatial waiting-line auction model
3. 学会等名 Pacific Regional Science Conference Organization Summer Institute 17th (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Junya Fukumoto
2. 発表標題 Equilibrium analysis of waiting-lines for fuels in the aftermath of disaster
3. 学会等名 68th North America Meetings of the Regional Science Association International (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 酒寄千展, 福本潤也
2. 発表標題 空間的 WL オークションモデルの開発
3. 学会等名 日本地域学会 第58回(2021年) 年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 酒寄千展, 福本潤也
2. 発表標題 空間的Waiting-Lineオークションモデルの数値解析
3. 学会等名 土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Junya Fukumoto
2. 発表標題 Usability assessment of a humanitarian relief supplies matching system
3. 学会等名 2019 International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中川裕介, 福本潤也
2. 発表標題 支援物資マッチングシステムと利用インセンティブの実証分析
3. 学会等名 土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 浅川雅知, 福本潤也
2. 発表標題 空間的Waiting-Lineオークションモデルの開発
3. 学会等名 土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Junya Fukumoto, Hirotaka Habu, Hiroyuki Hashimoto
2. 発表標題 Proposal for a Relief Supply Matching System
3. 学会等名 2018 5th International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福本潤也
2. 発表標題 支援物資マッチングシステムの割当方法の改良
3. 学会等名 土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Junya Fukumoto
2. 発表標題 Disaster relief donation matching system and users' incentives
3. 学会等名 8th International Congress ICICT 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Junya Fukumoto
2. 発表標題 Equilibrium evacuation model with the facility capacity constrains
3. 学会等名 69th North America Meetings of the Regional Science Association International (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 酒寄千展, 福本潤也
2. 発表標題 空間的Waiting-Lineオークションモデルの数値解析
3. 学会等名 土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Chihiro Sakayori, Junya Fukumoto
2. 発表標題 Development of spatial waiting-line auction model
3. 学会等名 Pacific Regional Science Conference Organization Summer Institute 17th (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Junya Fukumoto
2. 発表標題 Equilibrium analysis of waiting-lines for fuels in the aftermath of disaster
3. 学会等名 68th North America Meetings of the Regional Science Association International (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 酒寄千展, 福本潤也
2. 発表標題 空間的 WL オークションモデルの開発
3. 学会等名 日本地域学会 第58回(2021年) 年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Junya Fukumoto
2. 発表標題 Matching system of disaster relief supplies and users' incentives
3. 学会等名 International Conference on Climate Change, Disaster Management and Environmental Sustainability (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Xin-She Yang et al. (Eds)	4. 発行年 2023年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 -
3. 書名 Proceedings of Eighth International Congress on Information and Communication Technology	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------