

令和元年6月11日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H03157

研究課題名(和文) 災害時救援物資輸送システムのボトルネック解析

研究課題名(英文) Bottleneck analysis on logistics system under disaster condition

研究代表者

間島 隆博 (Majima, Takahiro)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：30392690

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：マルチエージェントシステムにより複合輸送(トラックや船舶といった複数の輸送機関にまたがる輸送)を表現することが可能な災害時物資輸送シミュレータを開発し、輸送拠点において、貨物の積替えが起こることが表現できるシミュレーションシステムを構築した。また、過去の震災の記録から、需要に比例した平等な物資配分が概ね妥当なことを確認し、エージェントの配送先決定過程に組み込んだ。

ボトルネック解析については、シミュレータの入力条件から、滞留が発生しやすい輸送拠点を推定出来る手法を開発するとともに、シミュレータには、荷役待ち行列の長さから待ち時間を推定する過程を導入し、ボトルネックを回避する動きが実現できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大規模災害における救援物資輸送は、混乱を繰り返している。各自治体は、災害時の物資輸送に関する体制を考慮して、防災計画に反映しているが、その計画は、輸送に係る個別の要素についての準備、計画であり、トータルシステムとして捉えた計画ではない。このため、どの程度の輸送量が確保できるのか、また、ボトルネックがどこにあるのか、把握出来ていない。

本件では、災害時物資輸送シミュレータ、および、輸送体制のボトルネック解析手法を研究開発し、社会的意義が大きい。また、災害時特有の平等な物資配分を一義的に考慮する問題設定は、これまでに無い新たな解析条件となり、学術的にも意義ある成果となる。

研究成果の概要(英文)：We developed a simulation system with multi agent system for multimodal transportation under disaster situations, which enable to represent transfer operation at transport depots, such as from ship to truck. An investigation of the record in the past disaster showed that distribution of relief supplies was conducted in accordance with even distribution proportional to the demand of the disaster sites. This result was reflected into the process of agent rule that judge the next delivery destination.

In bottleneck analysis for the disaster transportation system, we developed methods with input parameters for the simulator to estimate the transport depots where waiting queue is likely to occur. Moreover, the agent of the simulation system was improved to detect the waiting queue and realize the behavior to avoid the waiting in the queue.

研究分野：シミュレーション、ネットワーク理論

キーワード：輸送シミュレータ 輸送システム ネットワーク 災害 防災 人道支援

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

大規模災害における救援物資輸送は、混乱を繰り返している。各自治体は、災害時の物資輸送に関する体制を考慮して、防災計画に反映しているが、その計画は、輸送に係る個別の要素についての準備、計画であり、トータルシステムとして捉えた計画ではない。このため、どの程度の輸送量が確保できるのか、また、ボトルネックがどこにあるのか、把握出来ていない。また、災害時における救援物資の配送先に関する優先順位の考え方が明確化されていない。

### 2. 研究の目的

災害時における救援物資輸送システムの定量的評価を目的として構築されたマルチエージェントシステム(自律的に行動する複数のエージェントで構成されるシステム(以下、MAS と略す))を展開し、経路・拠点・輸送機材などの輸送に係るすべての要素を考慮したトータル輸送ネットワークシステムを構築する。具体的には、提案システムによる解析結果を実際の救援物資輸送に適用できるように、(1)複合輸送機関(トラック、船舶、航空機)を対象とするために、異種ネットワークの統合とその効果の検証、(2)時系列データに内在するボトルネック解析機能の確立、(3)災害時における輸送先優先順位の影響とその法則性の明確化を目指す。

### 3. 研究の方法

複合輸送機関を扱える災害時物資輸送シミュレータを、MAS を基礎とし、輸送機関間での救援物資の積み替えが表現できる手法を研究開発する。過去の大規模災害における救援物資の配送先の優先順位に関する調査を行い、上記エージェントの配送先決定過程に導入する。さらに、シミュレータへの入力パラメータから、シミュレータ実行前に、ボトルネックになりやすい輸送拠点を把握できる手法を研究開発し、エージェントの行動ルールにボトルネックを避ける意思決定過程を導入する。

### 4. 研究成果

#### (1) MAS を基づく災害時物資輸送シミュレータ

MAS を基づく災害時物資輸送シミュレータの応用例を以下に示す。対象は、熊本地震とし、救援物資輸送に混乱を来した熊本市内の状況についてシミュレータによる再現を試みる。なお、シミュレータは積み替えを表現できるが、輸送機関間ではなく図1に示すように、災害時輸送で計画されている階層構造の表現に積み替えの機能を活用する。すなわち、熊本市内の輸送では、熊本市外からの救援物資は、熊本市の物資集積所(総合運動公園)、区役所において、より小さな機材への積み替えが発生し、輸送作業が行われた。

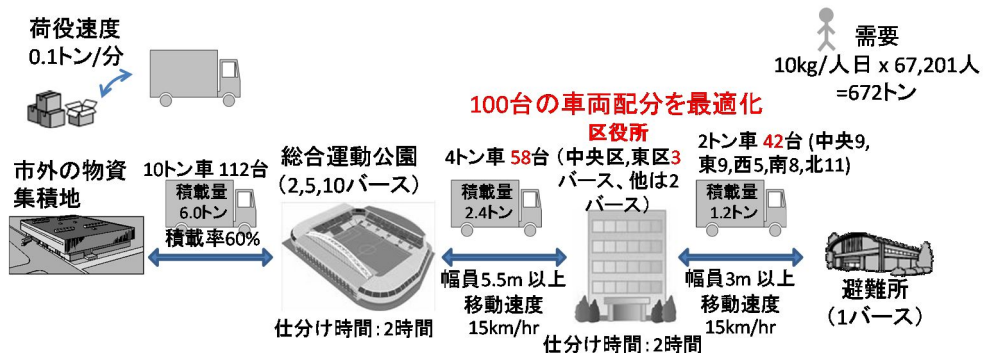


図1 熊本市内の輸送条件の設定

図1の条件下におけるシミュレーション解析の結果を、図2に示す。市外からの物資は、総合運動公園で荷受けされ、その後、区役所を経て避難所へと輸送されるが、図2は、それぞれの荷受け拠点における荷受け量の時間履歴を示している。実際には、総合運動公園や区役所などの荷受けから出荷の間で、物資の仕分け作業が行われたが、このシミュレーションでは仕分け作業に係る時間は含まれない。そのため、実際には、避難所へ届く物資の量は、図2の結果より、少なくとも数時間遅れたはずである。ここで設定した必要な物資量は、24時間で運ばなくてはならない量であるため、

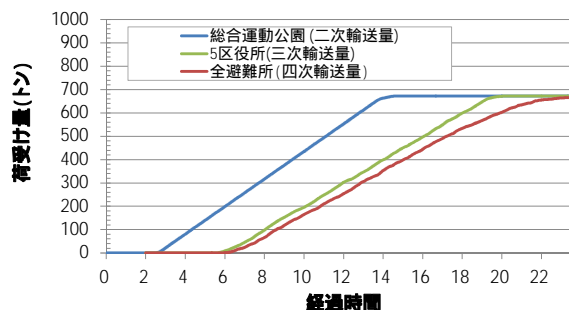


図2 救援物資荷受け量の時間履歴

この輸送システムは、需要を満たすことが出来ないことを暗示している。

(2) ボトルネック解析

上記の災害時物資輸送シミュレータを活用すれば、シミュレーション結果を分析することで、ボトルネックの発生場所を見出すことが出来るが、その手順は煩雑で、様々な条件を変えて試行錯誤する必要が生じる。ここでは、シミュレータへの入力条件から、シミュレーションの実行前に、ボトルネックが発生しやすい場所を推定する手法を説明する。開発された手法は、供給拠点が1箇所の場合と、複数の場合で異なるが、ここでは、1箇所の場合を取り上げる。

新潟県中越大地震の記録は、災害時の救援物資の配送先は、その需要に比例して仕向けられるという平等な配送方針を否定するものではなかった。そのため、災害時物資輸送シミュレータのエージェントには、図3に示すような充足率(出荷量/需要)に基づき、常時更新される優先順位表で、高順位となる避難所が優先的に選択される決定過程が実装されている。また、エージェントの作業は、「供給地での積載 輸送 避難所での荷降ろし 供給地への移動」を1サイクルとして構成されるため、エージェントの積載量/1サイクルに係る時間が、エージェント1台あたりの物資輸送能力となるため、 $n$ 台のエージェントが投入される条件では、以下の式で輸送システムの輸送能力  $S$ (ton/hr)が見積もれる。

$$S = \frac{nV_sV_cL_s}{2(\bar{D}L_s+V_sV_c)} \quad , \quad \bar{D} = \sum_i d_i q_i / \sum_j d_j \quad (1)$$

ここで、 $V_s$ は機材の移動速度(km/hr)、 $V_c$ は機材の積載可能量(ton)、 $L_s$ は荷役速度(ton/hr)、 $d_i$ および  $q_i$ は避難所  $i$ の供給拠点からの距離(Km)と需要(ton)である。また、供給拠点がボトルネックとなる条件は、以下の式で判別できる。

$$n_{sat} = 2n_s \left( \frac{L_s \bar{D}}{V_s V_c} + 1 \right) \quad (2)$$

ここで、 $n_s$ は供給拠点の駐車スペース(台)であり、これを超える機材が荷積みのために供給拠点に集合すると、待ち行列が形成されてボトルネックとなる。 $n_{sat}$ は、この輸送システムに投入される輸送機材の台数の上限であり、これを超えると、供給拠点で待ち行列が形成される。

図4は、ボトルネック解析手法の応用例で対象となった基礎自治体の物資集積所(供給拠点1箇所)と避難所(15箇所)の位置関係を示す。

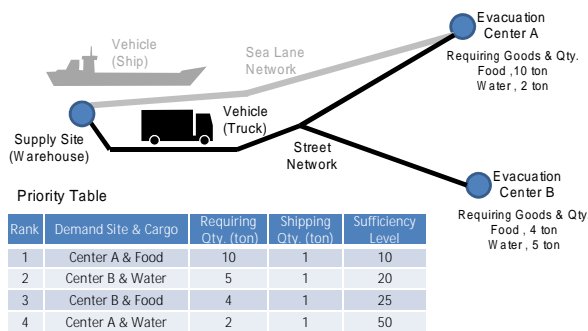


図3 配送先の優先順位表

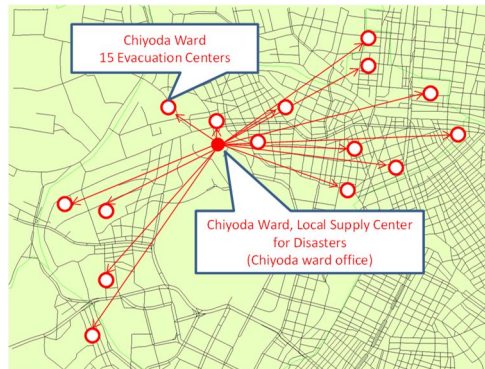


図4 解析対象の供給拠点と避難所

MASによるシミュレーションの結果(実線)と式(1)の解析解、 $S$ (ton/hr)の結果(破線)を図5で比較する。投入される機材数が10台では、両者に違いは無いが、20台では大きな差がある。理由は図6に示すように、供給拠点で荷積み作業を待つ機材が行列を形成するためである。この待ち行列が形成される台数は、式(2)の解析解、 $n_{sat}$ から16となる。すなわち、機材の台数が16を超えると、図7に示すように待ち行列が長くなるが、この待ち行列は輸送作業に関して何ら貢献していない状態であるため、図8のように、輸送量は頭打ちとなる。

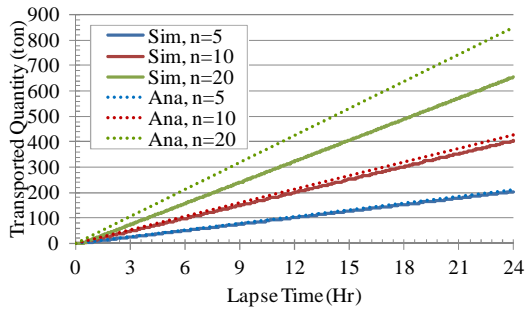


図 5 輸送量の時間履歴の比較

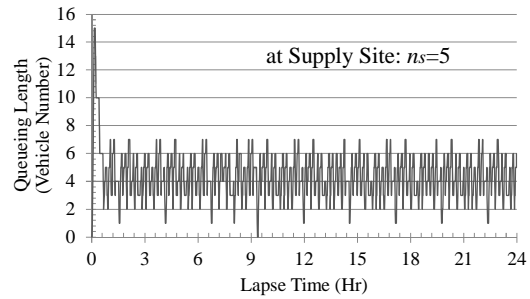


図 6 供給拠点の待ち行列の長さ

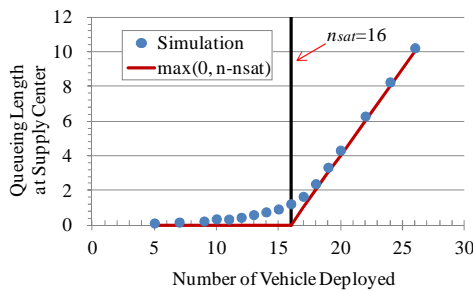


図 7 輸送機材台数と待ち行列の長さの関係

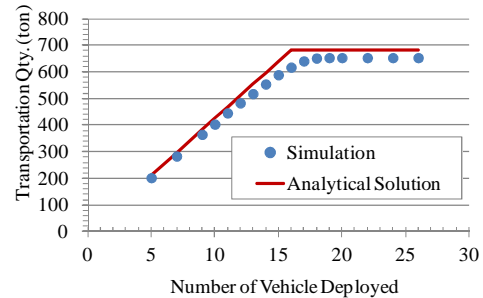


図 8 輸送機材台数と輸送量の関係

## 5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 10 件)

Takadama, K., Sato, K., and Sato, H.:Evolving Generalized Solutions for Robust Multi-Objective Optimization: Transportation Analysis in Disaster, Evolutionary Multi-Criterion Optimization, Lecture Notes in Computer Science, 査読有, Vol.11411, Springer-Verlag, pp. 491-503, 2019.  
DOI:10.1007/978-3-030-12598-1

Murata, A., Sato, H., and Takadama, K.:Towards Adaptive Aircraft Landing Order with Aircraft Routes Partially Fixed by Air Traffic controllers as Human Intervention, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration (JCMSI), 査読有, Vol. 11, No. 2, pp. 105-112, 2018.  
DOI: 10.9746/jcmsi.11.105

Majima, T., Takadama, K., Watanabe, D., and Aratani, T., and Sato, K.: Transportation Simulator for Disaster Circumstance and Bottleneck Analysis, Journal of Artificial Life and Robotics, Springer-Verlag, 査読有, Vol. 23, Issue 4, pp. 593-599, 2018.  
DOI:10.1007/s10015-018-0493-3

Murata, A., Sato, H., and Takadama, K.: Exploring Tradeoff Between Distance-minimality and Diversity of Landing Routes for Aircraft Landing Optimization, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration (JCMSI), 査読有, Vol. 11, No. 5, pp. 409-418, 2018.  
DOI: 10.9746/jcmsi.11.409

Uwano, F., Tatebe, N., Nakata, M., Tajima, Y., Kovacs, T., and Takadama, K.: Multi-Agent Cooperation Based on Reinforcement Learning with Internal Reward in Maze Problem, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration (JCMSI), 査読有, Vol.11, Issue 4, pp.321-330, 2018.  
DOI: 10.9746/jcmsi.11.321

Murata, A., Sato, H., and Takadama, K.: Exploring Tradeoff Between Distance-minimality and Diversity of Landing Routes for Aircraft Landing Optimization, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration (JCMSI), 査読有, Vol.11, Issue 5, pp.409-418, 2018.  
DOI: 10.9746/jcmsi.11.409

Uwano F. and Takadama, K.: Comparison Between Reinforcement Learning Methods with Different Goal Selections in Multi-Agent Cooperation, Journal of Advanced

Computational Intelligence and Intelligent Informatics (JACIII), 査読有, Vol.21, No.5, pp.917-929, 2017.

DOI: 10.20965/jaciii.2017.p0917.

Takadama, K., Jinba, T., Harada, T., Sato, H.: Evolutionary Multi-Objective Route and Fleet Assignment Optimization for Regular and Non-Regular Flight, International Journal of Automation and Logistics (IJAL), 査読有, Vol.2, No.1/2, pp.122-152, 2016.

DOI: 10.1504/IJAL.2016.074924

Murata, A., Nakata, M., Sato, H., Kovacs, T., and Takadama, K.: Optimization of Aircraft Landing Route and Order: An approach of Hierarchical Evolutionary Computation, EAI Endorsed Transactions on Self-Adaptive Systems, 査読有, Vol.2, Issue 6, pp.1-8, 2016.

DOI:10.4108/eai.3-12-2015.2262953

Morimoto, S., Jinba, T., Kitagawa, H., Takadama, K., Majima, T., Watanabe, D., and Katuhara, M.: Multi-agent based Bus Route Optimization for Restricting Passenger Traffic Bottlenecks in Disaster Situations, International Journal of Automation and Logistics (IJAL), 査読有, Vol.2, No.1/2, pp.153-177, 2016.

DOI: 10.1504/IJAL.2016.074936

[学会発表](計 43 件)

Iwase, T., Takano, R., Uwano, F., Sato, H., and Takadama, K.: Bat Algorithm with Dynamic Niche Radius for Multimodal Optimization, The 3rd International Conference on Intelligent Systems, Metaheuristics & Swarm Intelligence (ISMSI 2019), 2019.

Iwase, T., Takano, R., Uwano, F., Sato, H., and Takadama, K.: Novelty Search-based Bat Algorithm: Adjusting Distance among Solutions for Multimodal Optimization, The 22nd Asia Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems (IES 2018), pp. 29-36, 2018.

Murata, A., Delahaye, D., and Takadama, K.: Merging Flows and Optimizing Aircraft Scheduling in Terminal Maneuvering Area Based on GA, International Conference for Research in Air Transportation (ICRAT 2018), 2018.

Iida, J., Watanabe, D., Nagata, K. and Matsuda, M.: The Development of Information System for Sharing Procedure Status Information of Ocean Container across Countries, 7th International Conference on Transportation and Logistics (T-LOG 2018), 2018.

Umenai, Y., Uwano, F., Sato, H., and Takadama, K.: Multiple Swarm Intelligence Methods based on Multiple Population with Sharing Best Solution for Drastic Environmental Change, Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO 2018), 2018.

Takano, R., Sato, H., and Takadama, K.: Artificial Bee Colony Algorithm based on Adaptive Local Information Sharing: Approach for several dynamic changes, Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO 2018), 2018.

Murata, A., Delahaye, D., and Takadama, K.: Merging Flows and Optimizing Aircraft Scheduling in Terminal Maneuvering Area Based on GA, International Conference for Research in Air Transportation (ICRAT 2018), 2018.

Watanabe, D., Majima, T., and Takadama, K.: Simulation model for emergency medical transportation with deployment of floating medical support systems -The case study of Tokyo inland earthquake-, International Symposium on Scheduling 2017 (ISS 2017), 2017.

Iwase, T., Takano, R., Uwano, F., Umenai, Y., Sato, H., and Takadama, K.: Searching multiple local optimal solutions in Multimodal Function by Bat Algorithm based on Novelty Search, 進化計算学会, 第 11 回進化計算シンポジウム 2017, pp.318-322, 2017.

Takano, R., Sato, H., and Takadama, K.: Toward adaptation to various landscape environment by Artificial Bee Colony Algorithm based on Local Information Sharing, The 2nd International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics (SWARM 2017), pp.147-154, 2017.

Majima, T., Takadama, K., Watanabe, D., Aratani, T., and Sato, K.: Transportation Simulator for Disaster Circumstance and Bottleneck Analysis, Proceedings of The Second International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics (SWARM2017), pp.155-158, 2017.

Majima, T.: Network Structure Analysis for International Maritime Container Transportation -From the View Point of Complex Networks-, Proceedings of International Association of Maritime Economists (IMAE 2017 Conference), 2017.

間島隆博, 荒谷太郎, 大門 創, 岩尾詠一郎: 熊本地震における熊本市内の災害時輸送シ

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：高玉 圭樹

ローマ字氏名：Keiki Takadama

所属研究機関名：電気通信大学

部局名：大学院情報理工学研究科

職名：教授

研究者番号(8桁)：20345367

研究分担者氏名：渡部 大輔

ローマ字氏名：Daisuke Watanabe

所属研究機関名：東京海洋大学

部局名：学術研究院

職名：准教授

研究者番号(8桁)：30435771

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。