

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	災害時の人道支援ロジスティクスの在り方：東日本大震災と熊本地震をケーススタディとして
Title(English)	
著者(和文)	河瀬理貴, 浦田淳司, 井料隆雅
Authors(English)	Riki Kawase, Junji Urata, Takamasa Iryo
出典(和文)	第59回土木計画学研究発表会・講演集, , ,
Citation(English)	, , ,
発行日 / Pub. date	2019, 6
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は土木学会に帰属します。 Copyright (c) 2019 Japan Society of Civil Engineers.

災害時の人道支援ロジスティクスの 在り方：東日本大震災と熊本地震を ケーススタディとして

河瀬 理貴¹・浦田 淳司²・井料 隆雅³

¹学生会員 神戸大学大学院 工学研究科市民工学専攻（〒 657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1）
E-mail: r-kawase@stu.kobe-u.ac.jp

²正会員 東京大学大学院 工学系研究科社会基盤学専攻（〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1）
E-mail: urata@bin.t.u-tokyo.ac.jp

³正会員 神戸大学大学院教授 工学研究科市民工学専攻（〒 657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1）
E-mail: iryo@kobe-u.ac.jp

災害時の人道支援ロジスティクス（PD-HL:post-disaster humanitarian logistics）は、被災した人々の苦しみを最小限に抑えるために重要な役割を果たす。未曾有の大災害となった東日本大震災では、初めて国による物資支援が実施されたものの、様々な問題が発生した。これ期に、物資支援に関する法律が改正され、我が国の PD-HL 体制は大きく変化した。2016 年に発生した熊本地震は、法律が改正されて以降、国が物資支援を主導した初めての災害であるが、尚多くの課題が報告されている。本研究では、東日本大震災と熊本地震における物資支援活動を比較することにより、現行の PD-HL 体制の特徴を明らかにする。この上で比較結果を考察し、目指すべき PD-HL の在り方及び今後の研究ニーズを示す。

Key Words: post-disaster humanitarian logistics, push/pull-mode support, tohoku disaster, kumamoto disaster

1. はじめに

地震や集中豪雨等、災害発生後の被災地においては、様々なインフラが破壊し被災者の生活環境を大きく変化させる。例えば、交通網やライフラインの途絶がもたらす生活必需品の欠乏によって、被災者の生存率が低下することは十分に想像できよう。こうした環境の変化がもたらす被害は、災害の直接的な被害以上に甚大なものとなる可能性があることが知られている¹⁾。消防庁応急対策室²⁾は 2016 年に発生した熊本地震において、死者 269 人に対して災害関連死は 200 名を超えていることを報告した。災害後の人道支援ロジスティクス（PD-HL:post-disaster humanitarian logistics）の目的は、こうした災害関連死の数を最小限に留めるために、適切な物資を、適切な量だけ、適切な場所に、適切なタイミングで、適切な費用で、適切な状態で供給すること³⁾である。しかし災害発生後には、道路・通信インフラの途絶や膨大な物資需要が発生し、被災地内の物資支援体制では対処不可能な量の物資が被災地に集中する。これにより PD-HL は機能不全に陥り、「第二の災害⁴⁾」を引き起こすことが過去の災害で確認されている。

こうした問題を解決する手段として、PD-HL の様々な要素（e.g. 輸送経路、輸送量）の意思決定を支援する

モデル開発が進められている。しかしながら、物資支援に関する記録が十分に残されていないことや災害の希少性故に、PD-HL の在り方は十分に理解されていない。この PD-HL に対する不十分な理解が適切な意思決定支援モデルを構築する上での障害となり、誤った政策を施行する可能性は十分に考えられる。従って PD-HL の機能を改善するためには、過去の災害における物資支援活動に基づき PD-HL の在り方を考察することが重要であると言える。

本研究では、数ある災害の中でも 2011 年に発生した東日本大震災と 2016 年に発生した熊本地震における物資支援活動の比較を行う。ここで二つの震災での物資支援活動を比較する理由は以下の通りである。第一に、東日本大震災を期に変化した PD-HL の効果を検証する。太平洋沿岸部を中心に甚大な被害を及ぼした東日本大震災では、初めて国による物資支援が実施された⁵⁾。しかし限られた人員による広範囲な物資支援は困難を極め、多くの課題を残した。東日本大震災での経験を踏まえ、災害対策基本法の改正⁶⁾や地方自治体の応援協定の見直し⁷⁾が行われるなど、我が国の PD-HL 体制は大きく変化した。熊本地震は PD-HL 体制が変化して以降、初めて国による物資支援が実施された災害である。各々の災害における物資支援の課題については、これ

までにいくつか報告・提言がなされているものの、両者の物資支援活動を比較したものは筆者の知る限りない。PD-HL の在り方を考察する上で、問題の原因が災害そのものにあるのか、PD-HL の構造にあるのか、内訳を明確にすることは重要である。これは複数の災害における物資支援活動を比較して初めて可能となる。第二に、共に被災地の外からの支援が必要な壊滅的な災害である。PD-HL は災害の規模によって大きく構造が変化する「スケーラビリティ」のない活動である⁸⁾。例えば、大阪府北部に局地的な被害をもたらした 2018 年の大阪府北部地震と東日本大震災の比較によって有用な知見は得られないであろう。東日本大震災と熊本地震は共に著しく異常かつ激甚な非常災害と判断され、特定非常災害特別措置法が適用されている⁹⁾¹⁰⁾。第三に、共に国が主導して物資支援を行っている。1995 年に発生した阪神・淡路大震災は、東日本大震災や熊本地震と同様に特定非常災害特別措置法が適用された。しかし、当時の物資支援体制は兵庫県と被災地市町が主導したものに限られ、国主導の物資支援は行われていない¹¹⁾。

以上の背景のもと、本研究では二つの震災における物資支援活動の比較を通じて、目指すべき PD-HL の在り方に関する知見を得ることを目的とする。特に国や県、市町村といった公共機関による物資支援を分析対象とする。また PD-HL の対象となるのは、減災 (mitigation)・準備 (preparedness)・応答 (response)・復旧 (recovery) の四段階に区される¹²⁾ 災害時の支援計画・活動のうち、減災を除いた後者の三段階であるとされている。ただし復旧段階においては、活動目的は異なるものの、支援に必要なインフラが回復し平時のロジスティクスとほぼ変わらない活動が可能である。そのため本研究では、準備段階と応答段階の二つの段階を分析対象とする。

論文の構成は次のとおりである。二章では、東日本大震災における物資支援活動を整理する。東日本大震災の物資支援については既にいくつかの報告や提言がなされており、これらのレビューを行う。三章では、熊本地震における物資支援活動を整理する。熊本地震の物資支援についても多くの報告がなされているものの、これらを体系化したものは限られる。体系化したものを東日本大震災のものと比較することで、より有用な知見が期待できる。四章では、両者の物資支援の実態をもとに、現行の PD-HL の特性を明らかにすると共に、目指すべき PD-HL の在り方を考察する。加えて、今後の PD-HL の構築に向けての研究ニーズを示す。

2. 東日本大震災における物資支援計画と実態

本節では、東日本大震災における物資支援活動に関する既存研究のレビューを行う。まずは、(1) 東日本大

震災の概要及び主な道路・通信インフラ被害を示す。次に、(2) 準備段階と (3) 応答段階に分けて、本震災の物資支援活動を整理する。準備段階については、本震災以前の物資支援計画を説明する。応答段階については、ボトルネックとなった物流ネットワークにおける a) ノード (集積所) と b) リンク (輸送)、c) ソーシャルネットワーク (情報管理) の三箇所に分類する。なお、東日本大震災と熊本地震の物資支援計画及び実態を整理した後、両者の実態を比較した表を示す。

(1) 災害の概要

2011 年 3 月 11 日、宮城県沖で日本における観測史上最大の M9.0 を記録した巨大地震が発生した。この地震により最大震度 7 の揺れが発生したものの、建物の耐震化により、揺れの被害は最小限に収まった。しかし、その後観測記録最大の遡上高 40m を超える津波が東北地方の太平洋沿岸部を襲い、広範囲に甚大な被害をもたらした。ピーク時の避難所数は 2,417 箇所、避難者数は 386,739 人にのぼり、阪神・淡路大震災や新潟県中越地震を上回っている¹³⁾。

道路インフラは、路面亀裂や段差発生等の損傷に加え、浸水と瓦礫の堆積により、東北地方を中心に高速道路や直轄国道が通行ができない状況が発生した¹⁴⁾。国は道路復旧に当たって、段階的な道路啓開策 (くしの歯作戦) を実行し、緊急輸送道路の確保を図った。くしの歯作戦の流れは以下通りである¹⁴⁾。

1. 南北方向の幹線である東北自動車道と国道 4 号線を確保。翌日には東北地方へのアクセスのための縦軸ラインが確保された。
2. 太平洋沿岸へのアクセスのために、東北道、国道 4 号線からの東西ラインを確保。発災翌日には 16 本の幹線道路のうち 11 本を確保した。
3. 太平洋沿岸の南北方向の幹線である国道 45 号、6 号を確保。3 月 18 日には 97% の啓開作業が完了した。

通信インフラは、有線回線等の固定通信系が約 190 万回線、携帯電話等の移動通信系が約 2 万 9 千局が被災した¹⁵⁾。直接被災しなかった基地局も長引く停電の中でバッテリーの容量が枯渇し、甚大な通信被害が発生していた。

(2) 準備段階

a) 物資支援計画

東日本大震災における災害対策法制的概要を図-1 に示す。災害時の物資支援活動については、まず災害対策基本法に基づき被災市町村が一義的責任を有している¹⁶⁾。ただし被害の規模が大きく、災害救助法が適用される場合には県が災害救助を実施する。さらに都道

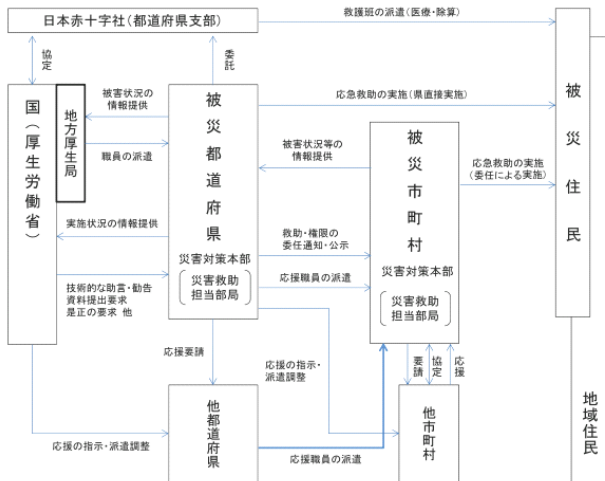


図-1 災害対策法制の概要¹⁶⁾

府県の対応能力を超える場合には、防災基本計画に記載されている通り、都道府県は国に物資を要請する。こうした垂直的な支援体制に加え、市町村単位で近隣自治体間の災害時相互応援協定が締結されており、水平的な支援が計画されていた。

各地方自治体においても、局地的な災害を想定した災害対応策が計画されていた¹⁶⁾。例えば、宮城県では物資の搬入・仕分け・詰替え・搬出作業を行う集積所を事前に想定していた。しかしながら、被害の大きかった岩手県・宮城県・福島県の内、事前に災害時に利用する集積所を計画していたのは宮城県のみであった。福本ら(2012)¹⁶⁾は、ヒヤリングを行った33の被災市町村の内、集積所を計画していたのは2市町村のみであったと報告している。主要三県の物資備蓄は民間企業が保有する流通在庫備蓄を基本とし、公的な備蓄は殆ど無かった。

b) 物資支援計画の実態

本震災では、被災規模が大きく広範囲に渡っていたため国が初めて物資支援活動を主導した⁵⁾。本震災で実施された物資支援体制を図-2に示す。図-2の実線で示すように、被災地における物資支援体制は、県の一次集積所、市町村の二次集積所、避難所という段階的な構造になっている。また一次集積所を経由するか否かで、一次集積所を経由するルート（経由）と二次集積所に直接輸送されるルート（直送）の2種類の供給ルートがある。二次集積所までの輸送は、国や県が調達したトラックが物資の輸送を行った。二次集積所から避難所への輸送は、市町村職員が公用車や自家用車を利用して運んだケース、自衛隊が車両で輸送したケース、市町村の委託を受けた民間物流業者が輸送したケースの三つのパターンが存在する¹⁶⁾。

図-2の点線は物資の要請ルートを示す。要請ルートは、市町村は備蓄物資や調達した物資を被災者に輸送

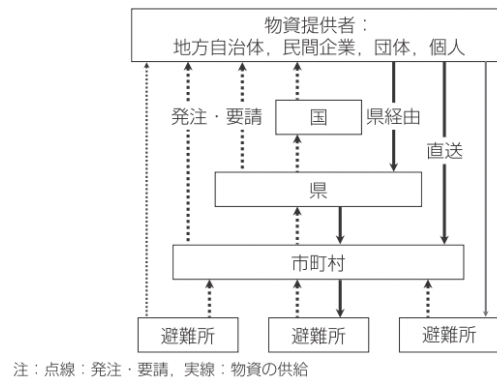


図-2 東日本大震災において実施された物資支援体制⁵⁾

する。対応できない場合は県に物資を要請する。要請を受けた被災県はそれらを整理し、国に物資を要請する、という3段階の体制が基本であった⁵⁾。また、公的な調達に加え、被災地外の自治体や民間企業、個人の義援者からも多くの義援物資が提供された。

市町村は避難所までの輸送を担ったが津波被害により行政機能を失い、都道府県が避難所までの配送に取り組むことを余儀なくされた⁸⁾。これにより被災地内の集積所や避難所に直接物資が届けられることもあり、プロセスは整理されていなかった⁸⁾。各自治体の責任範囲は明確でなく、全体を把握し自治体間の調整を行う主体は存在していなかった⁸⁾¹⁷⁾。

また広域的な津波被害により局地的な災害を想定した災害計画は機能せず、災害直後の物資支援は著しく滞った。本震災では周辺地域の地方自治体も甚大な被害を受けたため、市町村単位で締結された部分的な応援協定は機能しなかった¹⁶⁾。実際の避難所の数は計画されたものの4倍であり⁸⁾、加えて備蓄物資が津波で流失し、備蓄物資の数量が絶対的に不足していた¹⁶⁾。道路インフラも大きな被害を受け、くの歯作戦により迅速に道路啓開が行われたものの、太平洋沿岸の緊急輸送道路が確保されたのは発災から一週間後である¹⁴⁾。このように、サプライ・チェーンが壊滅的な被害を受け、殆どの備蓄在庫が壊滅し、物資の需要が急増し、道路インフラが影響を受けたため、一部地域の避難所では食料が地震発生から一週間経っても全くない状況であった⁸⁾¹⁶⁾。

(3) 応答段階

a) 集積所

宮城県は、主要三県のうち唯一、事前に災害時に利用する集積所を計画していた。しかし実際には、利用予定の施設が津波で被災したため、新たな施設を確保する必要が生じた。加えて他の施設も被災したり、遺体安置所など他の用途として利用したりしたため、施

設の確保が困難であった¹⁶⁾¹⁸⁾。

岩手県は集積所の利用計画はなかったものの、新たに設置した集積所が効率的に機能した⁵⁾¹⁶⁾。本県では、広大なスペースを有し、東北自動車道の滝沢 IC にも近い、岩手産業文化センターを一次集積所として利用した。フォークリフトやパレットも持込み、多種大量の物資を一ヶ所に集中して管理する体制をとり、効率的な物流作業を可能とした。

大半の被災市町村では、役場などの公共施設を二次集積所として利用し、搬入から搬出までの物流作業を行った。しかし、施設のスペース不足や電力不足による機材の利用不可など、公共施設の利用は機能面で問題となった¹⁶⁾。さらに、物流作業に慣れない職員による非効率的な作業や絶対的なマンパワー不足が集積所の機能低下を助長した¹⁶⁾。

被災地外より提供された大量の義援物資も集積所の機能を著しく低下させた。義援物資の殆どは、ダンボールを開けなければ内容が分からずかつ一つのダンボールに物資が混載されていたため、仕分け作業に多くのリソースを割り当てる必要があった¹⁶⁾¹⁷⁾。必要のない物資も多く、不要物資となって集積所に滞留し、施設の空間の 40-50% を占領していた⁸⁾。

b) 輸送

物資を輸送するには、物資を運搬する交通機関、交通機関が移動するためのインフラ、交通機関を動かすための資源が必要である。支援物資の輸送においては、機動性を有するトラック輸送の果たす役割が極めて大きい。東日本大震災においては、何れも不足しており、物資支援の遅れが発生した。特に燃料の不足は、東日本大震災の特筆すべき問題である¹⁶⁾。被災地では、東北地方唯一の仙台製油所が被災し機能が停止した¹⁹⁾。関東地方の 2 箇所でも製油所の機能が停止し、発災前には全体の半分以上を占めていた東北地方への石油製品輸出量が約 1/3 に激減した¹⁹⁾。加えて電力不足によりガスを抽出することができず、トラック輸送に必要な燃料油が不足する事態に陥った⁸⁾。

道路インフラは前述したように、津波による浸水と瓦礫の堆積が原因で、東北地方を中心に幹線道路が不通となった¹⁴⁾。被災地への緊急輸送道路のアクセスがほぼ完全になるまでは一週間を要したが、当初の被害状況を考えれば迅速に行われたと評価されている¹⁷⁾。これはくしの歯作戦が功を奏したと共に、啓開作業が PD-HL とは異なりスケラビリティのある作業であることが大きい⁸⁾。

物資輸送で最も困難であったのが、二次集積所から避難所までのラストワンマイル輸送である⁸⁾。広範囲に渡る津波によりドライバーや輸送車両が被災し、避難所までの輸送は困難を極めた¹⁶⁾¹⁸⁾。特に二次集積所か

ら避難所までの輸送はトラック協会等との協定がなく、災害直後は市町村職員の公用車や自衛隊の車両を使用していた¹⁶⁾¹⁸⁾。また災害援助法を十分把握していなかった市町村では、物流作業を民間企業等に委託することを躊躇するケースもあったというヒアリング結果もある¹⁶⁾¹⁷⁾。

福島第一原子力発電所の事故は、福島県内の物資輸送に大きな影響を与えた⁸⁾。本県内は最も被害の大きかった宮城県内に比べ、道路インフラの被害は小さく通行可能であった。しかし放射性物質の飛散による影響を鑑み、県内に流入することを躊躇するケースが存在した。例えば、36 台の燃料タンカーが目的地から 50km 離れた地域に留まったり、福島県の県境で荷物が荷降ろしされたりするなど、県の自治体が物資や資源の回収を行う必要があった⁸⁾。

c) 情報管理

物資支援活動における情報は、被災地内の需要に関する需要情報と、物資の流れや道路インフラに関する供給情報に分類することができる。前述したように、東日本大震災では通信インフラが甚大な被害を受け、被災地の需要の把握・共有には困難を極めた⁸⁾¹⁶⁾¹⁸⁾。被災地自治体は職員が大きな被害を受けたため避難者数を把握することができず、情報伝達手段も著しく制限されていたため、国や県も需要の把握には時間を要した¹⁶⁾¹⁷⁾。特に指定避難所に避難していない在宅避難者の把握は困難であった¹⁶⁾。市町村の要請を待たずに物資支援を行うケースもあったが、需要に合致しない物資が被災地に届けられ、大量の余剰物資が発生した¹⁶⁾。また一部の市町村に過剰に物資が集まる一方で、物資があまり集まらない市町村も存在するなど、物資の偏在も発生した¹⁶⁾。

被災地のインフラ状況を把握するために、国土交通省や県ではヘリコプターや飛行機を利用した⁸⁾。しかし津波の被害のためにヘリコプターや飛行機が壊滅したため、それらが使えないケースも存在した⁸⁾。加えて、一部の被災地内で地震による地盤沈下のため、満潮時に洪水が発生した。この時、被災地が浸水するため上空からの状況把握は困難となり、何度もヘリコプターを運行する状況が生じた⁸⁾。

物資の輸送状況に関する情報についても、情報途絶により自治体間の情報共有が困難であった¹⁶⁾。事前連絡なしに物資が集積所に運び込まれ、集積所にトラックが滞留したり、作業員の労務管理が難しくなる等の問題が生じた。特に災害直後の搬入・搬出記録の殆どは手書きのメモ程度であり、一部の情報は散逸していた。また国から末端の避難所までの全体を把握し、調整を行う責任者や専門家は存在しておらず、物資支援プロセスでは幾度も混乱が生じていた⁸⁾¹⁷⁾。

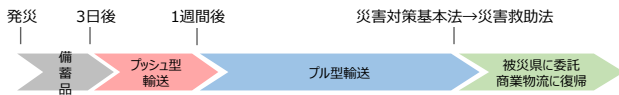


図-3 物資支援の時系列推移

3. 熊本地震における物資支援計画と実態

本節では、熊本地震における物資支援に関する論文、論説、報告書のレビューを行う。第二節同様、2) 準備段階と 3) 応答段階に分けて物資支援活動を整理する。

(1) 災害の概要

2016年4月14日に熊本県でM6.5の地震が発生し、熊本県の益城町で最大震度7を観測した。また4月16日にも熊本県でM7.3の地震が発生し、益城町と西原村で震度7を、熊本市、宇城市、合志市、菊名市、宇土市、嘉島町、大津町、南阿蘇村で震度6強を観測した。短期間に震度7の地震が2回発生したのは、観測史上初めての出来事であり、最大で183,882人が885箇所の避難所へ避難したことが報告されている²⁰⁾。

道路インフラは、九州自動車道と大分自動車道で通行止めを伴う被害箇所が約10箇所が発生し、点検のため一時通行止めとなった²¹⁾。ただし被災地へのアクセスとなる植木ICから益城熊本空港ICまでの通行止め区間では、本震2日後から緊急輸送車に限り通行を開始した²¹⁾。国道等の一般道の被害は軽微で、長期的な通行止めを伴う被害は東日本大震災と比較して少なく、南阿蘇村へのアクセスを除き代替経路が概ね確保できていた²¹⁾。

通信インフラは、固定通信系が約2,100回線、移動通信系が約400局が被災した¹⁵⁾。通信被害は東日本大震災と比較して限定的であり、被災箇所では何が起きているかわからないといった情報の分断はなく、物流が機能するための情報は最低限確保されていた²²⁾。

(2) 準備段階

a) 物資支援計画

東日本大震災での教訓を踏まえ、2012年6月に災害対策基本法の改正が行われた⁶⁾。この法改正により、東日本大震災で実施された広域的な物資支援が法制化された。一つは、都道府県は国に対し、市町村は都道府県に対し、必要な物資等を要請し、要請に応じて被災地の支援を行うプル型支援である。これにより、各自自治体の役割・責任範囲が明確となった。加えて、地方自治体が被災により行政機能を失い要請が不可能な状況を想定し、国や都道府県が要請を待たずして、必要不可欠と見込まれる物資を支援するプッシュ型支援が明文化された。

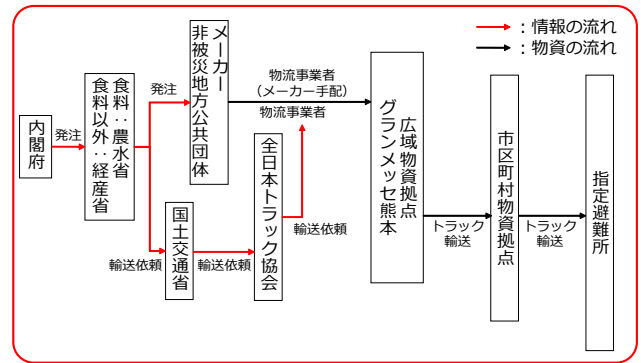


図-4-a プッシュ型支援

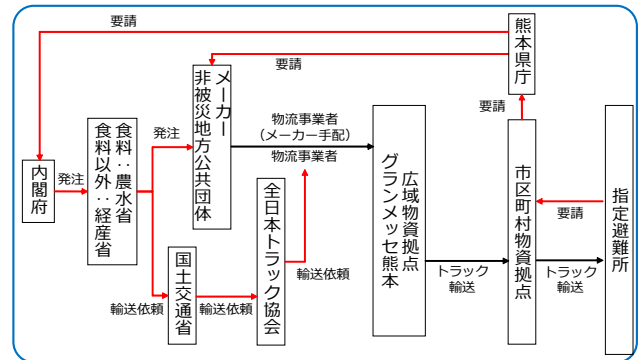


図-4-b プル型支援

図-4 熊本地震において計画された物資支援体制

災害対策基本法に基づく物資支援計画を図-3に示す。プッシュ型で輸送された物資が届く震災後3日目までは、被災地内の備蓄品で避難所の需要を補う。次にプッシュ型の物資が被災者に届けられるが、プッシュ型の継続は被災地内での物資の滞留を招く恐れもあるため、プル型への切替えを可能な限り早く行う。国はプッシュ型からプル型への切替えを、震災から約1週間後を想定している。このプル型輸送は被災地の物流機能が回復し、災害救助法スキームに移行するまで実施される²³⁾。災害対策基本法に基づき計画された物資支援体制を図-4に示す。

近隣自治体間のみで締結されていた災害時相互応援協定も、東日本大震災を経て協定の見直しが行われた⁷⁾。九州地方知事会では九州・山口9県災害時相互応援協定の見直しを行うとともに、関西広域連合及び全国知事会との協定を締結し広域的な応援体制を構築した⁷⁾。また九州・山口各県では、県ごとに一つ若しくは複数の一次集積所がリストアップされている⁷⁾。図-4に示すように、熊本県では益城町にあるグランメッセ熊本を集積所として利用することを計画していた。

市町村単位では、熊本市や南阿蘇など利用する集積所を計画していた自治体もあったが、被害が大きかった益城町や西原村では計画されていなかった²³⁾。また熊

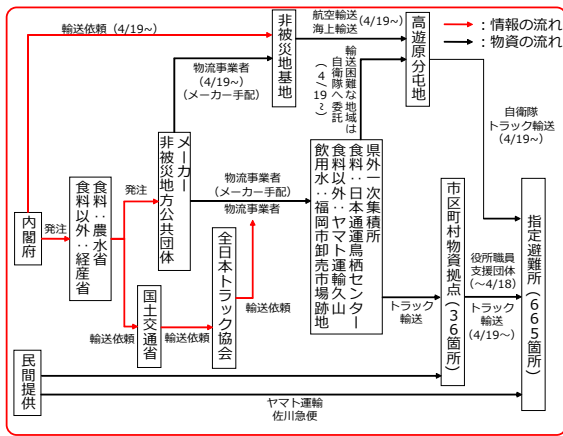


図-5-a プッシュ型支援 (4/16~4/22)

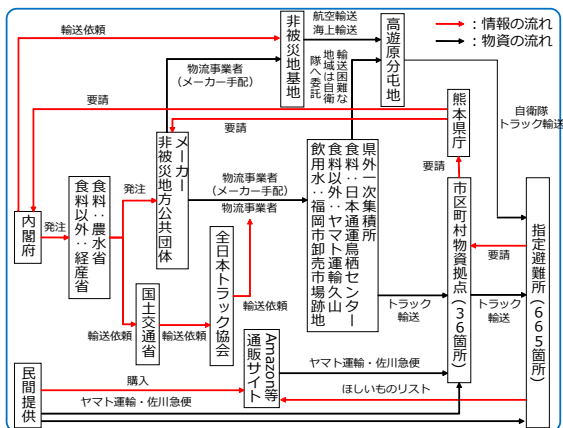


図-5-b プル型支援 (4/23~5/13)

図-5 熊本地震において実施された物資支援体制

本県内の備蓄は、水害に備えた比較的小規模なものであった²⁴⁾。

b) 物資支援計画の実態

本震災で実施された物資支援体制を図-5に示す。図-5は内閣府の平成28年熊本県熊本地方を震源とする地震非常災害対策本部会議の資料及び議事録²⁰⁾、平成28年熊本地震に係る初動対応検証チームの資料²⁵⁾、熊本地震を踏まえた応急対策・生活支援検討ワーキンググループの資料²³⁾や西脇ら(2017)²⁶⁾をもとに作成した。

国は熊本県からの要請を受け、16日よりプッシュ型支援を開始し、22日まで行われた²³⁾。16日から19日までは食料や水、毛布など必要最低限の物資が輸送され、19日から22日まではベビーフードや介護食品など需要の変化を想定した物資輸送が行われた²⁰⁾。20日から22日には初期のプッシュ物資が避難所に概ねいきわたり、避難者に安心感を与えるという意味でもプッシュ型輸送は有効であった²²⁾。しかし実際には、ライフラインやインフラの復旧により需要の変化が早まり、18日後半には需要が多様化した²²⁾²⁵⁾。このようにプッシュ型支援は需要の変化に対応できないため、大量の余剰

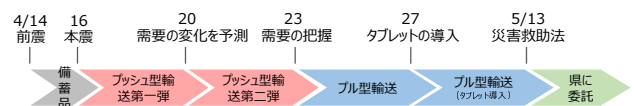


図-6 物資支援の時系列推移 (熊本地震)

物資が発生したことが指摘されている²³⁾²⁷⁾²⁸⁾。

23日からは需要の把握に伴ってプル型の支援策に切り替えられ、27日にはiPadを用いた発注システムが導入された²⁵⁾。プル型支援の実態については、(3) 応答段階の(c) 情報管理にて詳しく述べる。国からの支援は5月13日まで行われ、被災地の物流機能回復に伴い熊本県に業務が引き継がれた。図-6に熊本地震における物資支援方策の推移を示す。

計画された物資支援の時系列推移(図-3)と実態(図-6)を比較すると、震災後の4日間と想定していたプッシュ型輸送が16日から22日までと長期化していることが分かる。この原因として、1) 被災自治体の備蓄量が少なかったこと、2) プッシュ型支援体制の構築に時間がかかったことが指摘されている²⁴⁾。前述したように、熊本県内では水害を想定し、約12.3万食の小規模な備蓄が行われていた。しかし14日の前震から16日の本震直後までに累計21万人を超える避難者には対応できず、本震前には在庫がない状況に陥った²⁴⁾。震災直後2,3日は物資が不足しており、この期間は国による物資輸送が行き届かない可能性が高いため、事前の備蓄で補う必要がある²³⁾。また、物資支援体制の計画(図-4)と実態(図-5)の比較から分かるように、度々と役割分担が変更し混乱が起きていたことが指摘されている²³⁾。特に一次集積所としての利用を計画していたグランメッセ熊本が被災し、新たな施設の確保に時間を要したことが問題視された⁷⁾²³⁾。

一方で、プル型支援については被災自治体として問題が少なかった²⁴⁾。背景としては、1) プッシュ型支援の長期化により、被災直後の混乱期に大規模なプル型支援を実施せずに済んだこと。2) 近隣県が九州・山口9県災害時相互応援協定に基づき、積極的に物資を供給して被災自治体を支援したこと。3) 被災自治体による本格的なプル型支援は、23日以降の被災直後の混乱が収まった時期に開始され、プッシュ型支援によって構築された物資支援体制を利用できたこと、が挙げられる²⁴⁾。

(3) 応答段階

a) 集積所

前述したように、熊本県が利用を計画していたグランメッセ熊本が被災し、新たな施設を確保する必要があった²⁶⁾²⁷⁾。新たな一次集積所として、17日から日通鳥栖配送センター、18日からヤマト運輸久山配送センター、



図-7-a 日通鳥栖流通センター
(一次集積所)²⁹⁾



図-7-b うまかな・よかなスタジアム
(二次集積所)²⁹⁾



図-7-c 熊本市東区役所(二次集積所)
2018年6月27日撮影

図-7 一次集積所と二次集積所の作業容量の比較

19日から福岡市卸売場跡地が設けられたが、施設の確保には時間を要し、物資支援の遅延を招いた²⁶⁾²⁷⁾。県内にもグランメッセと熊本に代わる一次集積所が設置されたものの、合志市の民間倉庫は20日以降、荒尾市の民間倉庫は22日以降と時間を要した⁷⁾。新たな集積所の設置には時間を要したが、被災地外の民間集積所を利用することにより、二次集積所までの輸送は効率的に行われた²²⁾²⁹⁾。

市町村の二次集積所は事前の計画がなかったこともあり、町役場や区役所といった自治体の施設や競技場等の床面積の大きい施設が利用された²⁹⁾。しかし、それらの施設は物流に適さない施設であったため、集積所としての機能が不足しボトルネックとなった。図-7に示すのは、熊本地震の際に利用された一次集積所と二次集積所を比較したものである。図-7-aの日通鳥栖流通センターでは、フォークリフトを用いて効率よく荷役作業が行われている²⁹⁾。一方、図-7-bのうまかな・よかなスタジアムでは、物資を置くスペースは広いものの、フォークリフト等の機器はなく手荷役での作業となり時間を要した²⁹⁾。図-7-cの熊本市東区役所は、物資を置くスペースは狭い上に搬入口も小さく、集積所としての機能を十分に果たしているとは言い難い²⁹⁾。さらに二次集積所では、物流作業に不慣れな職員やボランティアが作業にあたり、東日本大震災同様、集積所としての機能は十分ではなかった²²⁾²⁶⁾。義援物資についても、東日本大震災と同じように、内容が不明瞭かつ規格が不均一な物資が集積所に流入し、集積所のリソースを圧迫させた²⁸⁾²⁹⁾。

福岡市は二次集積所の負担を軽減する支援体制を構築し、一定の成果を上げた³⁰⁾。具体的には、被災地からの要望に応じて品目を限定して市民から義援物資を集め、避難所に直接輸送する体制を構築した。これによりボトルネックを回避しつつ、被災地の需要に応じた物資支援を可能とした。

b) 輸送

熊本地震においては、道路インフラの復旧も早く、一次集積所からの輸送を日通やヤマトの民間企業が担ったため、被災地内の二次集積所まではスムーズに物資輸送が行われた²²⁾。しかし国は二次集積所までの輸送以降の物資支援体制を十分に計画しておらず²³⁾、25日に自衛隊が参入するまでは、東日本大震災同様、積載量の小さい自家用車や貨物用のバンによる輸送が行われていた²³⁾²⁶⁾。職員の被災によるマンパワー不足も加わり、二次集積所から避難所までのラストワンマイル輸送は最大のボトルネックとなった(ラストワンマイル問題²⁸⁾)。

熊本地震の物資輸送のもう一つの問題として、交通渋滞による物資輸送の遅延が挙げられる²³⁾³¹⁾。前述したように、熊本県内の一般道の被害は小さく、南阿蘇村を除きアクセスは可能な状況であった²¹⁾。東日本大震災のように車両が流失することもなく、被災者が自ら物資を探しに道路上を交通していた。地震により道路容量が減少する中、買い物施設や避難所等に避難者が集中し、甚大な交通渋滞が発生した³¹⁾。被災地までの輸送は先導パトカーをつけることにより、スムーズな物資配送を実施することができた²²⁾が、被災地内のラストワンマイル輸送は困難を極めた。さらに個人やボランティアによる物資支援車両が渋滞悪化の原因となったことが指摘されている²³⁾。

c) 情報管理

熊本地震の通信インフラは、東日本大震災と比較し、被害は比較的限定的であり、物流が機能するために必要な情報は確保されていた¹⁵⁾。しかし、東日本大震災同様、情報管理の不備が原因で物資支援プロセスの停滞が発生している²³⁾²⁹⁾。

被災地の要請を待たずして物資支援を行うプッシュ型は、災害直後における物資の不足を補い被災者に安心感を与えることを可能とした。しかし前述したように、需要の変化に対応できない故、大量の余剰物資を生み出すことが指摘されている²³⁾²⁸⁾。

プル型支援で大きな問題となったのが、情報伝達経路の多元化による要請漏れや多重要請である²⁹⁾。図-4-bや図-5-bが示すように、計画していた民間企業に加えAmazon等の当初予定していなかった民間企業が物資の要請先となるなど、要請ルートは複雑化していた²⁹⁾。一部の自治体で使い方が分からないとの声はあったものの、27日から導入されたタブレットにより情報の一元化が図られ、物資の要請は効率化した²³⁾。

災害対策基本法に基づけば、物資輸送に関しては国が指揮することとなっているが、実際には二次集積所までの輸送以降の情報は災害対策本部では把握できていなかった²³⁾。前述したように、国は被災地内の物資支援体制を十分に計画しておらず、支援物資の到着情報も把握していないため、県や市町村の問い合わせに回答できなかった²³⁾。道路インフラに関する情報についても、情報へのアクセス方法が分からないなど情報共有体制の不備が指摘されている²⁷⁾。

4. 物資支援の実態比較とPD-HLの在り方

本節では、二章と三章で整理してきた二つの災害の物資支援の実態を比較し、PD-HLの在り方を考察する。次に、そのために必要な研究ニーズを議論する。表-1に、両災害の実態を比較した結果を示す。

(1) 目指すべきPD-HLの在り方の考察

表-1に基づき、目指すべきPD-HLを構築するための課題を挙げる。括弧内は表-1との対応関係を示す。

a) 大規模災害を想定した災害対応計画

熊本地震で初めて実施されたプッシュ型支援は、災害直後における被災地の物資不足を補い、一定の成果を上げた((p)-(1))。今後、大規模災害により被災地の需要が把握できない状況でも、必要最低限の物資を早期に支援することは可能であろう。東日本大震災を契機に見直しが行われた災害時相互応援協定も、広域的な応援協定を締結することにより、被災地の周辺からの早期の物資支援を可能とした((p)-(2))。災害規模が更に大きくなった場合も、現状の応援協定は十分機能することが期待できよう。

プッシュ型支援の実施は発災3日後から7日後までの4日間の予定であったが、実際には約一週間と計画よりも長期的に行われた。プッシュ型は需要の変化に対応できないため、正確な情報が把握でき次第、プル型支援に切り替えるのが望ましい。プッシュ型支援の長期化の原因として、被災自治体の備蓄量が少なかったこと((p)-(3))とプッシュ型支援体制の構築に時間がかかったこと((p)-(1))が挙げられる。

被災地内の備蓄量の問題は東日本大震災でも指摘さ

れているが、熊本地震においても問題となった。東日本大震災では、局地的な災害を想定した備蓄量であったことも原因であるが、津波被害により多くの流通在庫備蓄を失ったことが大きな原因であった。しかし熊本地震では、本震前の時点で水害に備えた備蓄量は底をつき、本震直後の物資不足をもたらした。従って、物資が支援されるまで凌ぐことが可能な備蓄量を被災内で確保するためには、大規模災害を想定した備蓄計画が必要であると考えられる。このためには民間企業と協力し、地方自治体の公的備蓄と民間の流通在庫備蓄を合わせた備蓄を行うのが良いだろう。東日本大震災のように被災地内の備蓄が壊滅した場合には、広域的な応援協定が効果的に機能することが期待される。

プッシュ型支援体制の構築が遅れた原因は、被災した一次集積所の代替りの施設を迅速に設置できなかったこと((a)-(1))である。大規模災害を想定し、県外を含め広域的に集積所として活用できる施設を複数リストアップする必要があるだろう。また自衛隊やNPO団体など主体が物資支援に参入するたびに役割が変更し、支援プロセスに混乱が生じていた。被害が広範囲になるほど地方自治体だけでは対応不可能な物資需要が発生する。責任や役割を明確化し、スケーラビリティのある災害対応計画を策定する必要があると考える。

b) 二次集積所の負担軽減策

両震災共に、被災地内の集積所は機能面で問題となり、物流ネットワークのボトルネックとなった((a)-(2))。東日本大震災における岩手県の例や熊本地震における一次集積所のように、適した施設の選択や民間企業への委託により効率的な物流作業が期待できる。しかし災害規模によっては、絶対的なマンパワー不足や物流機器の利用不可も十分に発生しうするため、二次集積所の負担を軽減することが効果的であると考えられる。福岡市の取り組みを参考にすれば、一次集積所から避難所への直接輸送((a)-(2))や義援物資の流入制限((a)-(3))が有効であろう。加えて、一次集積所で物資の仕分けやセット化を行うことで、二次集積所は通過型の集積所として機能し、二次集積所での作業は少なくなると期待される。

c) ラストワンマイル輸送の円滑化

物資支援において最も複雑で困難な部分は、二次集積所から避難所までのラストワンマイル輸送である。物資を輸送するには、運搬するトラック((b)-(1))、道路インフラ((b)-(2))、燃料((b)-(3))が必要であることは前述のとおりである。大規模災害時には三つ全てが失われる可能性がある。東日本大震災はその典型的な例である。熊本地震においては前者の二つが十分に機能せず、物流ネットワークのボトルネックとなった。

どちらの災害においても災害直後は、積載量の小さ

表-1 東日本大震災と熊本地震における支援物資の実態の比較

項目		東日本大震災における実態	熊本地震における実態	
			課題	東日本大震災からの改善点
(p) 災害対応計画	(1) 物資支援プロセス	市町村の対応能力を超える場合は、都道府県が支援を実施する計画。被害範囲が広域に及び、国は対応に混乱。	計画していた一次集積所の被災等により、度々役割分担が変更。避難所までの物資支援計画も不十分で支援プロセスは混乱。	国が主導で物資支援を行うプッシュ型支援とプル型支援が計画。発災 4 日後には物資が被災地に到着した。
	(2) 広域応援協定	近隣自治体間で締結した自治体間の災害時相互応援協定は、協定先の自治体も被災したため有効に機能しなかった。		近隣県は九州・山口 9 県災害時相互応援協定に基づき、早期にプル型の物資支援を行い被災自治体を支援した。
	(3) 大災害に応じた備蓄	局地的な災害を想定した備蓄量であった。加えて津波により多くの流通在庫備蓄が流失し、備蓄量は絶対的に不足していた。	水害に備えた備蓄量であったため、被災地外からの支援を受ける前に物資が不足。本震前には物資が不足する状況に陥った。	
(a) 集積所	(1) 集積所の被災	想定していた集積所が被災。遺体安置所等でも多数の施設を使用したため、物資集積所の場所の確保が困難であった。	事前に使用を想定していた施設が被災。被災地外に新たな一次集積所が設けられたが、施設の確保には時間を要した。	
	(2) 集積所の物流機能	集積所のスペース不足や不慣れた職員による作業、マンパワー不足、電力不足による機器の不使用により集積所の機能は不足。	被災地内の二次集積所は機能が不足しており、物流ネットワークにおけるボトルネックとなった。	被災地外の物流センターが一次集積所として機能。一部輸送ルートでは、二次集積を経由せず避難所に物資を直接輸送した。
	(3) 義援物資管理	内容が不明瞭かつ規格が不均一な義援物資が膨大なリソースを消費。不必要な物資も多く滞留物資となり、スペースを圧迫。	東日本大震災と同様、大量の義援物資が流入し、集積所の機能低下をもたらした。	福岡市では受け入れ品目を限定して市民から義援物資を集め、被災地内のニーズに合う義援物資を支援した。
(b) 輸送	(1) 輸送車両	マンパワー不足に加え、車両が流失し輸送車両が不足。被災地輸送では協定がなく、十分な容量の車両が使用されなかった。	災害直後は東日本大震災と同様、職員の家用車等の容量の小さい車両でラストワンマイル輸送が行われた。	
	(2) 道路インフラ	瓦礫の堆積により緊急輸送道路が不通。くしの歯作戦により主要道路の啓開が迅速に行われた。	被災地内は深刻な交通渋滞により、避難所までの輸送に長時間を要した。	被災地までは先導パトカーをつけることにより、スムーズな輸送が行われた。
	(3) 燃料供給	製油所が被災し機能停止。電力不足も伴い燃料供給が激減。燃料油不足に陥った。		
	(4) 原発事故による影響	放射性物質の飛散による影響を鑑み、立ち入りが制限されていない福島県境で物資が荷卸しされる事態が発生。		
(c) 情報管理	(1) 供給情報	上空から状況把握を行った。津波により機器が被災したケースや洪水が発生し上空からの状況把握が困難なケースが存在。自治体間の調整を行うものが存在していなかったことに加え、通信手段の途絶により情報共有に支障が生じた。	道路の通行状況に関する情報アクセス方法が不明瞭で、効率的な輸送ルートが把握できなかった。国が輸送した物資の到着状況を把握しておらず、県や市町村の問い合わせに回答できない状況にあった。	
	(2) 需要情報	地方自治体が被災し避難所の状況把握が困難。特に在宅避難者の人数を把握することは困難であった。被災地内の情報伝達手段が制限され、物資の要請は困難であった。	指定外避難所や車内への避難者が多く存在し、それらの状況把握は困難を極めた。プッシュ型支援が行われたものの、ニーズに合致しない物資が被災地に届けられた。情報伝達経路が多元化しており要請漏れや重複要請が発生。	タブレットの導入により情報の一元化が図られた。使用用途が分からない自治体も一部存在したが、物資の要請は効率化した。

※ (p)-(1) は災害対応計画の物資支援プロセスを示す

い車両がラストワンマイル輸送を行った。この原因として、ラストワンマイル輸送において、民間企業やトラック協会等との協定が締結されておらず、輸送車両の支援がなかったことが挙げられる。被災したこと状況でマンパワーが不足する中で、輸送車両も足りないとすれば、ボトルネックとなるのも当然と言えよう。

一方で、道路インフラの機能低下については、その原因が両災害間で異なる。東日本大震災は、観測史上最大の津波により幹線道路が浸水若しくは瓦礫が堆積し、道路が啓開されるまで不通となった。しかし熊本地震は一般道を含め、概ね代替経路が確保されていた。道路インフラの機能低下の原因となったのが、一般車両を含めた交通渋滞である。ここに PD-HL のスケラビリティの無さが確認できるだろう。道路上に一般車両が混在する中で円滑にラストワンマイル輸送を行うためには、被災地の交通状況を把握しつつ、輸送車

両を優先的に避難所に誘導するシステムが必要であると考えられる。

d) 災害状況の把握及び共有システムの開発

情報管理の不備がどちらの災害でも発生し、物資支援に影響を及ぼしたが、その原因は大きく異なる。東日本大震災においては、津波により大規模な通信途絶が発生し、自治体間で連絡が取れない状況が生じた ((c)-(1),(2))。一方、熊本地震の通信被害は、東日本大震災と比較して限定的であった。しかし、情報伝達ルートの多元化による多重要請の発生や道路情報へのアクセス不可など、情報共有システムが十分でないことがプル型支援の問題となった ((c)-(1))。国が支援した物資の状況を把握していない問題も情報共有システムの不備であると言えよう。

また大規模災害時には、東日本大震災のように、情報が完全に途絶する可能性は十分に考えられる。プッ

シュ型支援はその解決策の一つであるが、長期化すると集積所に大量の余剰物資が滞留し、第二の災害を引き起こしかねない ((c)-(2))。通信インフラが被災している中でも、オフラインで簡潔に情報を伝達するシステムを構築し、プル型支援に切り替えることも検討すべきであろう。

(2) 今後の PD-HL の構築に向けた分析課題

前節の考察に基づき、今後の PD-HL の構築に向けた研究のニーズを示す。

a) 平時の商業ロジスティクスと組み合わせた分析

大規模災害に備えた備蓄量を確保するためには、民間企業の流通在庫備蓄を利用することが必要不可欠である。しかしながら、災害時にために備蓄を行うことにより、民間企業が在庫を管理する費用が多くなることは明らかである。これは平時の商業ロジスティクス (BL) における費用最小化/利益最大化の目的と相反する公共政策である。そのため最適な備蓄量を策定するには、BL と PD-HL を組み合わせた分析が必要であると言える。

施設配置問題も同様の研究ニーズが発生する。物資支援を効率的に行うには、民間の物流施設の利用が有効であることは、熊本地震における一次集積所の成功が明らかにしている。さらに大規模災害に対応するためには、複数の集積所のリストアップが必要である。しかし民間企業は BL の効率化のために施設の規模を縮小する方向でマネジメントが行われる。

b) プッシュ型とプル型の最適な在庫配送計画の分析

熊本地震では災害対策基本法に基づき、初めてプッシュ型とプル型の物資支援が行われた。プッシュ型支援は災害初期においては役割を果たしたものの、需要の変化に対応できず、大量の余剰物資を招いた。この問題を解決するためには、過去の災害における需要の変化を分析し、需要予測の精度を向上することが考えられる。

プッシュ型からプル型支援への最適な転換点を分析することも大きな意味を成す。現行の物資支援体制では、需要を把握次第、方策を切り替える時間的な境界しか存在しない。しかし実際には、国は需要を把握していないが被災市町村は把握しているといった空間的な境界も存在するはずである。この空間的な境界は通信インフラの回復、すなわち時間的に遷移する。そのためプル型支援への転換の境界線が時空上の何処にあるのか分析することは重要であると考えられる。

プッシュ型とプル型の境界線の分析は、一次集積所から避難所への直接輸送を行うか否かに大きく関係する。集積所は国からの供給と避難所の需要のミスマッチを緩衝するバッファ的役割を有する。二次集積所を

経由せず避難所に直接輸送することは、このバッファ機能を破棄することを意味し、需要のミスマッチを引き起こす可能性が考えられる。しかし福岡市の事例にもあるように、避難所への直接輸送は二次集積所の負担を軽減し、迅速な物資支援を可能とする。すなわちプッシュ型とプル型の境界線の分析は、迅速な物資支援と需要のマッチングのトレードオフ関係にあり、二次集積所の機能性が重要な要因になると考えられる。

c) 被災者の行動を考慮した最適運搬経路の分析

東日本大震災と熊本地震の支援物資の実態を比較することにより、道路インフラが利用可能な状況でも、交通渋滞により機能停止の陥ることが明らかになった。輸送車両が交通渋滞を回避するには、優先して避難所に誘導することが一案として考えられるが、それによって交通渋滞が悪化するならば大きな問題である。

ラストワンマイル輸送で如何なる輸送方法を選択するかについても被災地内の交通に大きな影響を与える。例えば、一台の輸送車両が複数の避難所を巡回輸送する場合、道路上を走行する輸送車両は少なく交通への影響は少ないが、巡回するため最短で物資を届けることはできない。一方、一台の車両が一つの避難所を往復する Point-to-Point な輸送は最短で物資を輸送できるが、道路上を多くの輸送車両が走行する。加えて集積所と避難所との間の距離が長くなるほど、巡回輸送の効率性は増加することが知られている³²⁾。すなわち、輸送経路の選択問題は集積所の配置若しくは集積所の利用有無と同時に決定する複雑な問題として捉える必要があることを意味する。しかし災害時においては、輸送先である避難所の需要が膨大であるため、巡回輸送ができない可能性も考えられる。また輸送ネットワークを木構造に簡略化することで、分析の複雑性が緩和されることが期待できる (東日本大震災で実施された、くしの歯作戦は木構造を形成するステップと言える³³⁾)。

d) 災害時の多様な情報を踏まえた情報共有システムの開発

災害時において情報共有システムの開発の有効性は明らかである。しかし災害時に利用可能な情報源は多様である。例えば、ソーシャルメディア発信の情報は、情報量が多いがデマも存在し不確実性が大きい³⁴⁾。一方、地方自治体間の公的な情報は、不確実性は小さいが情報量は限られる。こうした多次元で多様な不確実性を持つ災害時特有の情報を処理する情報共有システムの開発が必要であると言える。

また通信インフラが被災し、オフラインでしか情報が伝達できない場合の情報共有システムの在り方についても分析の必要がある。このように情報が分散して伝達される場合、その情報が上流に伝わるほど不確実性が増大する鞭効果³⁵⁾が発生することは理論的にも実

証的にも確認されている。不確実性の大きい情報を利用しても、需要のミスマッチが解消しないケースは十分に考えられる。すなわち前述のプッシュ型とプル型の境界線の分析は、二次集積所の機能性と共に情報の不確実性が大きな要素であると言える。

5. おわりに

本研究では、著しく異常かつ激甚な非常災害である東日本大震災と熊本地震の物資支援計画及び実態の比較を行った。熊本地震では、東日本大震災を期に PD-HL 体制が大きく変わってから初めて、国による物資支援が行われた。両者の災害における物資支援活動を比較することにより、体制変更による効果を明らかにした。また、物資支援活動の比較結果に基づき、今後の PD-HL の方向性を考察した。その結果、以下のことが明らかになった。

- プッシュ型支援は災害直後の物資不足を最小限に留めたが、計画よりも長期的に行われた。長期化を回避するために、大規模な備蓄と集積所候補のリストアップが必要である。
- ボトルネックとなる可能性の高い二次集積所の負担軽減策が望まれる。
- 道路上の交通渋滞がラストワンマイル輸送の足枷となった。
- 通信インフラが機能していても、情報共有システムの不備が物資支援の遅れをもたらす。

特に、プッシュ型支援の特徴や東日本大震災でのインフラの破断により隠された潜在的な課題（交通渋滞や情報共有システムの不備）を明らかにしたことは本研究の大きな貢献である。さらに考察結果に基づき、今後の研究ニーズを示した。これは実際の災害対応に基づき考察したものであるため、実務と研究とのギャップを補完することが期待できる。

本研究では、東日本大震災と熊本地震の二つの地震災害における物資支援の実態を整理したが、現行の PD-HL 体制の問題をより明確化するためには、平成 30 年 7 月豪雨のような種類の異なる災害と比較する必要がある。本災害は、熊本地震と同様に、特定非常災害特別措置法が適用されており、国のプッシュ型支援が行われた。本研究での分析結果と平成 30 年 7 月豪雨の物資支援の実態を比較することで、問題の原因の内訳が明らかになるだろう。特に、本災害は、水害で初めて特定非常災害特別措置法が適用されたものであり、水害における物資支援の特徴を明らかにする上で大きな意義をなす。

今回の熊本地震では、東日本大震災での経験を踏まえ、PD-HL 体制に幾つか改善点が見られた。しかし、巨

大津波が発生し災害規模がより甚大かつ広範囲となることが予想される南海トラフ巨大地震において、熊本地震での教訓が活かされるとは限らない。少なくとも熊本地震においては、道路・通信インフラともに早期に復旧しており、被災地内に物資を届けることが可能な状況にあった。南海トラフ巨大地震が発生した際には、東日本大震災のように、道路・通信インフラともに甚大な被害が起きる可能性は十分に考えられる。この場合、本研究のような実証ベースの知見に加え、モデルやシミュレーションをベースに PD-HL の改善点を把握する必要があるだろう。

謝辞: 本研究の一部は、科学研究費補助金（基盤研究 (A)「ポスト・ビッグデータ時代に向けた次世代交通システムの動学的マネジメント手法の構築（課題番号 16H02368）」、代表：井料隆雅）の一環として実施された。

参考文献

- 1) 荒木一視, 岩間信之, 楮原京子, 熊谷美香, 田中耕市, 中村努, 松多信尚: いかにして救援物資を輸送するのか—広域災害発生時における二次的被害の軽減に対する地理学の貢献—, *E-journal GEO*, Vol.11, No.1, pp.526–551, 2016.
- 2) 消防庁: 消防庁応急対策室: 熊本県熊本地方を震源とする地震 (第 120 報) (<http://www.fdma.go.jp/bn/cd03219f8ffc8ef211ef050661c5283e9e2ce1f2.pdf>), 2018 年 11 月 25 日閲覧.
- 3) Chomilier, B.: Wfp logistics, world food programme, 2010.
- 4) Newsweek (2002/2/18), \$75 million of stuff, pp.62–63.
- 5) 桑原雅夫, 和田健太郎: 東日本大震災における緊急支援物資の流れの記録と定量分析: 国および県が取り扱った緊急支援物資の流れの分析, 運輸政策研究, Vol.16, No.1, pp.42–53, 2013.
- 6) 内閣府: 防災対策推進検討会議 (第 11 回) 災害対策基本法の一部を改正する法律 (平成 24 年法律第 41 号) のあらまし (http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/suishinkaigi/11/pdf/2_1.pdf), 2019 年 3 月 6 日閲覧.
- 7) 九州地方知事会事務局 熊本地震に係る広域応援検証・評価チーム: 熊本地震に係る広域応援検証・評価について (https://www.pref.oita.jp/chijikai/kyuyama/data/20170523kumamotoearthquake_finalreport.pdf), 2018 年 6 月 8 日閲覧.
- 8) Holguín-Veras, J., Taniguchi, E., Jaller, M., Aros-Vera, F., Ferreira, F., and Thompson, R. G.: The Tohoku disasters: Chief lessons concerning the post disaster humanitarian logistics response and policy implications, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol.69, pp.86–104, 2014.
- 9) 東日本大震災についての特定非常災害及びこれに対し適用すべき措置の指定に関する政令 (http://www.bousai.go.jp/taisaku/hourei/pdf/0311_04.pdf), 2019 年 3 月 6 日閲覧.
- 10) 平成 28 年熊本地震による災害についての特定非常災害及びこれに対し適用すべき措置の指定に関する政令 (<http://www.bousai.go.jp/taisaku/>)

- hourei/pdf/tokutei_houritsu06.pdf), 2019 年 3 月 6 日閲覧.
- 11) 小谷通泰: 阪神・淡路大震災時における救援物資の都市内輸送の実態と今後の課題, 土木計画学研究・講演集, Vol.18, No.1, pp.509-514, 1995.
 - 12) National Governors' Association Center for Policy Research: Comprehensive emergency management, a governor's guide, 1979.
 - 13) 復興庁: 避難所生活者・避難所の推移(東日本大震災、阪神・淡路大震災及び中越地震の比較) (<http://www.reconstruction.go.jp/topics/hikaku2.pdf>), 2018 年 12 月 25 日閲覧.
 - 14) 吉崎収: 東日本大震災の道路の被災状況と復旧への対応 (<https://www.hido.or.jp/itsapq/jsp/auth/trab/no97/tokusyu5-10.pdf>), 2018 年 12 月 25 日閲覧.
 - 15) 総務省: 平成 29 年版情報通信白書 (<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h29/pdf/index.html>), 2017 年 12 月 14 日閲覧.
 - 16) 福本潤也, 井上亮, 大窪和明: 東日本大震災における緊急支援物資の流動実態の定量的把握 (<http://www.mlit.go.jp/common/000207696.pdf>), 2017 年 7 月 4 日閲覧, 2012.
 - 17) 国土交通省: 支援物資物流システムの基本的な考え方 (<http://www.mlit.go.jp/common/000184634.pdf>), 2018 年 12 月 25 日閲覧.
 - 18) 峯猛: 東日本大震災における救援物資供給停滞の発生とその要因, 物流問題研究, Vol.56, pp.16-21, 2011.
 - 19) 赤松隆, 大澤実, 長江剛志, 山口裕通: 3.11 震災時の東北地域で生じたガソリン需給ギャップの時空間分析, 土木学会論文集 D3, Vol.69, No.2, pp.187-205, 2013.
 - 20) 内閣府非常災害対策本部: 熊本県熊本地方を震源とする地震に係る被害状況等について(2016 年 12 月 14 日 18:00 現在) (http://www.bousai.go.jp/updates/h280414jishin/pdf/h280414jishin_37.pdf), 2018 年 12 月 25 日閲覧.
 - 21) 広域交通ネットワーク調査団: 土木学会 熊本地震・広域交通ネットワーク調査団 調査報告(中間とりまとめ)～広域交通ネットワークの被災状況と今後の方向性～ ([http://committees.jsce.or.jp/report/system/files/熊本地震・広域交通ネットワーク\(中間とりまとめ\).pdf](http://committees.jsce.or.jp/report/system/files/熊本地震・広域交通ネットワーク(中間とりまとめ).pdf)), 2017 年 7 月 4 日閲覧.
 - 22) 山本慎二: 熊本地震の災害支援物資対策と今後の課題について, 運輸政策研究, No.3, 2016.
 - 23) 中央防災会議 防災対策実行会議熊本地震を踏まえた応急対策・生活支援検討ワーキンググループ: 熊本地震を踏まえた応急対策・生活支援策の在り方について(報告書) (http://www.bousai.go.jp/updates/h280414jishin/h28kumamoto/okyuseikatu_wg.html), 2017 年 12 月 14 日閲覧.
 - 24) 吉富望: 熊本地震から見る支援物資供給上の課題ー被災自治体の視点からー, 一般財団法人消防防災科学センター『季刊 消防防災の科学』, No.127, pp.25-29, 2017.
 - 25) 平成 28 年熊本地震に係る初動対応検証チーム: 平成 28 年熊本地震に係る初動対応の検証レポート (<http://www.bousai.go.jp/updates/h280414jishin/h28kumamoto/shodotaiio.html>), 2017 年 12 月 14 日閲覧.
 - 26) 西脇文哉, 畑山満則, 伊藤秀行: 熊本地震における緊急支援物資の計画と実態に関する考察, 第 55 回土木計画学会研究発表会, CD-ROM, 2017.
 - 27) JILS 総合研究所: 熊本地震から学び取る 物流・ロジスティクスの教訓ー災害時の支援活動で問われるロジスティクスの使命ー (http://www.logistics.or.jp/jils_news/「JILS 総研レポート」%28Vol.2%29.pdf), 2017 年 7 月 4 日閲覧.
 - 28) 土木計画学研究委員会物流調査団: 土木計画学・熊本地震調査報告 物流(緊急支援物資供給)の課題, 2016.
 - 29) 興村徹: 物流事業者からみた災害ロジスティクス (<http://www.dri.ne.jp/wordpress/wpcontent/uploads/060740.pdf>), 2017 年 7 月 4 日閲覧.
 - 30) 福岡市: 平成 28 年熊本地震福岡市被災地支援活動レポート (http://www.city.fukuoka.lg.jp/data/open/cnt/3/53301/1/report_280512.pdf), 2017 年 7 月 4 日閲覧.
 - 31) 桑原雅夫, 原祐輔, 三谷卓磨, 川崎洋輔, 竹之内篤, 井料隆雅, 浦田淳司: 熊本地震における都市内交通, 避難の実態と課題, 第 54 回土木計画学会研究発表会, CD-ROM, 2016.
 - 32) Sadjadi, S. J., Jafari, M., and Amini, T.: A new mathematical modeling and a genetic algorithm search for milk run problem (an auto industry supply chain case study), *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.44, pp.194-200, 2009.
 - 33) Tran Thanh Hai, 小林俊一, 坪川秀太郎, 中山晶一郎, 山口裕通: ネットワーク上に構成する木構造を利用した道路網の緊急復旧ルート選定に関する一考察, 第 58 回土木計画学会研究発表会, CD-ROM, 2018.
 - 34) 荻上チキ: 荻上式 blog:[流言飛語] 熊本地震に関する流言のまとめ, 簡易版 2016-04-18 (<http://d.hatena.ne.jp/seijotcp/20160418/p1>), 2018 年 11 月 20 日閲覧.
 - 35) Chen, F., Drezner, Z., Ryan, J. K., and Simchi-Levi, D.: Quantifying the bullwhip effect in a simple supply chain: The impact of forecasting, lead times, and information, *Management science*, Vol.46, No.3, pp.436-443, 2000.

(2019. 3. 9 受付)