

南海トラフ地震に備えた プッシュ型支援物資供給チェーンの検討

後藤 治樹¹・山本 俊行²・伊藤 秀行³

¹ 非会員 国土交通省 北海道開発局小樽開発建設部小樽道路事務所（〒047-0036 北海道小樽市長橋 4 丁目 14 番 34 号）

² 正会員 名古屋大学 未来材料・システム研究所（〒464-8603 愛知県名古屋千種区不老町）
E-mail: yamamoto@civil.nagoya-u.ac.jp (Corresponding Author)

³ 非会員 減災ロジスティクス研究所（〒480-0103 愛知県丹羽郡扶桑町柏森天神 287-2）
E-mail: pi0001@h3.dion.ne.jp

南海トラフ地震の発生に際して国が実施を計画している避難者への「プッシュ型支援」について、名古屋市での実行可能性と効率性を検討した。物資の積み替え時間などを仮定した上で地域内輸送拠点（二次拠点）の利用の有無や組み合わせによる輸送時間の増減の検討を行った結果、広域物資輸送拠点（一次拠点）から二次拠点への輸送の集約によって輸送の所要時間を短縮でき、二次拠点を利用する場合でもその総所要時間を利用しない場合に近づけられることがわかった。さらに、地震災害による道路ネットワークのランダムな寸断をデータ上で再現した上での輸送の到達率に関する検討を実施した上で、そのような道路ネットワーク被災時における地域内の基幹的な道路ネットワークの優先的な復旧が到達率を改善させることを示した。

Key Words: Nankai Trough earthquake, push-mode support, logistic depot location

1. はじめに

日本列島のすぐ南側、南海トラフ沿いを震源とするマグニチュード 8 から 9 程度の大規模地震は、気象庁の発表している情報によれば今後 30 年以内に発生する確率が 70% から 80% とされており、昭和東南海・昭和南海地震の発生からすでに 70 年以上が経過していることもありその切迫性の高さが指摘されている。この大規模地震が発生し、かつ特に東海地域で被害が大きい場合、発災一週間後の時点での避難所への避難者数は国内全域で 500 万人に達し、特に愛知県内においては都道府県単位では最大となる約 96 万人が避難所に避難するとの想定が内閣府から出されている。この地震災害後は、物流の途絶などの影響により物資が不足する地域が発生するとされており、同じ内閣府の想定では発災直後の 3 日間の合計で、国内全体において約 3200 万食、発災 4 日後から 7 日後までの合計で同じく約 6400 万食が不足するとされている。また、生活必需品としての毛布についても住宅を失った被災世帯の需要により国内全域で最大で 520 万枚不足すると想定されている。

2011 年の東日本大震災において、戦後経験したことないほどの広域的かつ甚大な被害を経験した政府は、同震災の災害対応において政府緊急対策本部が行った特例的な被災地への物的支援により得られた知見をもとに、2015 年に“プッシュ型支援”という大規模災害被災地への支援の新たな仕組みを設立している。プッシュ型支援とは、本来被災市町村が担うべき災害被災者への支援物資の調達や配送について、その災害の規模が大きくかつ被災地域が広域で市町村単独での必要な物資量の迅速な調達が困難と想定される場合に、政府の緊急災害対策本部が主導して国内の他の地域からの物資の調達及び被災地域への配送の一部を担う仕組みである。この支援の計画においては、災害発生時に支援を受け入れる側となる市町村、そして都道府県は、国の調達物資の受け入れと配送を担う拠点の設置と運営が求められる。特に大規模災害として南海トラフ地震や首都直下型地震などの発生が想定されている地域では、その具体的な選定が行われており、南海トラフ地震については、政府の中央防災会議が「南海トラフ地震における具体的な応急対策活動に関する計画」を定めており、愛知県ではこれを受けた広

域受援計画を策定している。

プッシュ型支援の枠組みは 2016 年の熊本地震、2018 年の西日本豪雨(平成 30 年 7 月豪雨)などの際に活用されてきて一定の効果を挙げている。しかしながら、まだ運用開始して間もない仕組みであることから、その運用のノウハウが不足して必ずしも効果的に機能したとはいえないとの報告もある。また、愛知県においては先に述べた広域受援計画などによって拠点の設置個所などは指定されているが、実際の災害時においてその拠点から各避難所の被災者に対してどのように物資を輸送するのか、車両や人員をどこからどれだけ確保すれば実行可能なのか、などといった検討の結果は現時点において公表されていない。南海トラフ地震がプッシュ型支援導入後のこれまでの災害と比べても甚大な被害をもたらすと想定されていることを考えれば、多くの被災者の避難先での生活を守るためにはより具体的な検討と計画の練り直しが必要であるといえる。

本研究では、今後の発生が想定されている南海トラフ地震の発生時に政府の緊急災害対策本部が主導して実施することが定められているプッシュ型支援に焦点を当て、東海地域最大の都市である愛知県名古屋市を対象として、県や市が設置する拠点から市の指定避難所への支援物資の配送についての分析を行う。本分析では、上述の各種の計画により設定された拠点から各避難所までのトラックによる物資輸送について、各避難所の物資の需要量を分析の要素に加え、車両に積載した物資の積み下ろしに必要な時間なども考慮した上で、全避難所への物資の輸送の完遂にかかる時間の算出を試みて、いくつかの拠点の利用パターンによる総時間の変化の分析を行う。また、災害による道路ネットワークの被災を考慮して、仮想的に道路ネットワークをランダムに寸断させた場合の輸送の可否の検討や、上の各種計画に盛り込まれた災害対応のための基幹的な道路ネットワークの活用の効果などについての検討を行う。

2. 先行研究と本研究の位置付け

伊藤ら(2017)は、国のプッシュ型支援の愛知県内における実行可能性について検討を行っている。この中で、プッシュ型支援が必要となるような大規模災害では“被災市町村役場がその機能を喪失している可能性が高く、現地での拠点運営が難しい可能性が高い”ことや、それらの拠点での物資の積み替えのための人員や時間などを考慮した上で、市町村に設けられる拠点への経路と積み替えの作業を廃止して、県が設ける拠点から各避難所までの直接の輸送の方が効率的であるとしており、市町村の拠点を経由する場合としない場合の都道府県設置の拠

点から各避難所までの旅行時間の総計を比較することでその効率性を示している。ただし、この検討においては、各避難所に配送する物資量やその多寡によって変化する輸送の必要回数、物資の積み下ろしの所要時間についての検討が行われていない。また、この検討に用いられた旅行時間・距離の導出には 2016 年の 9 月の平日に Google マップの API を用いて取得されたデータを用いており、この時の道路状況が同サービスでのデータ算出に対してどの程度に影響を与えたかが不明であるほか、災害発生後の道路ネットワークがどの程度信頼でき、それによって輸送にどういった影響が出るのか、といった検討はされていない。

本研究では、伊藤らの検討における「市町村の設置する拠点を活用するか否か」という観点を引き継いだうえで、GIS ソフトウェア向けの道路ネットワークデータを活用し、所要時間等の算出についても GIS ソフトウェアの最短経路探索機能を用いることで、特定の日時の道路状況に依存しないデータを得て検討を行った。また、各避難所の物資の需要や積み替え時間などを仮定することでより実際の輸送体系に近づけた条件での検討を行った。さらには、道路ネットワークのデータを加工することで、一定の確率で道路ネットワークが寸断された場合の輸送の実現可能性に関する検討も併せて行った。

その他の災害時の緊急物資輸送に関する先行研究として、伊坂・大窪(2018)は、Cell-Based M-N モデルを用いることで、物資の配送・集積拠点から避難所への物資輸送について、拠点内や道路上での物資の対流が生じる中で輸送の総所要時間を最小化するような輸送経路と、各集積拠点への労働力の最適配置を求める輸送計画モデルの提案を行っている。輸送経路のネットワークとしては現実での最短経路もしくは緊急輸送道路のいずれかの活用にとどまっているが、検討対象エリアの外から検討する拠点の物資の流入元が不現実であることを再現するために配送をスタートする拠点毎の物資量をランダムとして 1000 回のシミュレーションを行うなど、本研究とは異なる切り口から緊急物資輸送と災害時の状況に関する研究が行っている。また、災害時の道路ネットワークについても多くの研究が行われており、中尾ら(2019)は東日本大震災発生直後のプローブデータを用いて、震災発生後の道路ネットワークの破断状況の時間変化や、橋梁の耐震化などの道路の強靱化施策による破断確率の低減などを明らかにしている。

3. プッシュ型支援の概要

(1) プッシュ型支援の特徴

プッシュ型支援は 2015 年に東日本大震災発生直後の

物資輸送から得られた教訓を基にして政府が導入したものである。以前の支援体制や東日本大震災時の対応と比較した最大の特徴は“被災自治体からの要請を待たない”ことである。大規模災害が発生し被災自治体のみでの迅速な物資調達・供給が難しいと判断される場合、政府の緊急災害対策本部は、被災自治体からの具体的な品目・数量の要請を待たずして、避難所避難者への支援を中心に必要不可欠と見込まれる物資を調達し、被災地に物資の緊急輸送を行う。この輸送に対し対象となる都道府県は「広域物資輸送拠点」を開設し、緊急輸送されてきた物資を受け入れ、仕分けや積み替えを行い市町村が開設する「地域内物資輸送拠点」への輸送までを実施する。被災市町村は都道府県により輸送された物資を地域内輸送拠点で受け入れ、再度仕分けなどを行ったうえで自ら設置した避難所へ輸送する。以下広域物資輸送拠点を「一次拠点」、地域内輸送拠点を「二次拠点」と呼称する。なおこのプッシュ型の生活必需品の輸送は基本的には災害発生の日後から7日後にかけて行うとされている。

(2) 南海トラフ地震への対策と輸送品目

「具体計画」におけるプッシュ型支援は、「南海トラフ地震防災対策推進地域」（静岡・愛知・三重・滋賀・奈良・和歌山・徳島・香川・愛媛・高知・宮崎県の全域を含む、茨城県から沖縄県にかけての1都2府26県・707市町村）に指定されている都道府県のうち、多数の避難者が見込まれ物資の不足が予想される被災府県を対象にしている。この計画での輸送品目は「食料・毛布・乳児用粉ミルクまたは乳児用液体ミルク、乳児・幼児用紙おむつ、大人用おむつ、携帯トイレ・簡易トイレ、トイレットペーパー、生理用品」の8品目が基本とされた。「被災者の命と生活環境に不可欠な必需品」とされている。上で述べた通り輸送量は発災4日目から7日目までの必要量を、想定される自治体ごとの避難者数や人口構成比率などをもとに自治体毎（名古屋市の場合、行政区毎）に設定されており、愛知県分については南海トラフ地震における愛知県広域受援計画（以下「県受援計画」と呼称する）にて公表されている。

4. 分析の方法

(1) 対象地域の選定

本研究では、対象地域を名古屋市の全域とした。南海トラフ地震の被害想定では都道府県単位で最大となる約96万人の避難所避難者数が想定されている愛知県の中でも最大都市であり、後述する「県受援計画」における受援物資量も愛知県内で最大となっている。

表-1 対象避難所

	指定 避難所数 (箇所)	合計想定 収容人数 (人)	住民基本 台帳人口 (人)
東区	31	16731	79563
北区	55	18541	163155
守山区	57	16397	174807
千種区	50	17949	165105
西区	53	19341	149607
中村区	50	18641	134541
中区	22	7521	87302
昭和区	34	10606	108759
瑞穂区	32	11721	106899
熱田区	29	9031	66176
中川区	69	22162	220388
港区	80	27674	144203
南区	54	16742	136353
緑区	73	23168	244990
名東区	56	14441	165140
天白区	46	13374	164144
名古屋市 合計	791	264040	2311132

(2) 使用データ

a) 避難所データ

避難所のデータは、愛知県防災会議の公表している「愛知県地域防災計画（平成30年修正）」の附属資料にある「災害対策基本法第49条の7に基づく指定避難所の指定状況(平成30年4月1日時点)」より、名古屋市の指定避難所のみを抽出して使用した。この表にある名古屋市の指定避難所は計867か所（うち1か所は隣接する北名古屋市に所在）であるが、このうち本研究では「福祉避難所」として指定されている76か所を除外した791か所（北名古屋市に所在する1か所を含む）を対象とした。以下この避難所群を「対象避難所」と呼称する。本研究ではこのリストから「住所」と「想定収容人数」のデータを使用している。表-1に名古屋市の16の行政区毎の避難所数・収容人数の合計のデータを示し、併せて参考のために同じく平成30年4月現在の各区の住民基本台帳人口を示す。避難所の想定収容人数の名古屋市での合計は26万4040人である。

上で述べたデータをGISソフトウェアにて使用するために、住所のデータを緯度・経度のデータに変換した。この変換には埼玉大学教育学部 谷謙二研究室が公開している、Yahoo!マップ API を利用したジオコーディングツールを活用した。

表-2 一次・二次拠点と担当区

一次拠点	二次拠点			指定担当区
	a) ~2019.06	b) 2019.06~2021(予定)	c) 2021(予定)~	
中小企業振興会館	稲枝スポーツセンター			港区
	戸田川緑地南地区	名古屋競輪場		中川区
	庄内緑地グリーンプラザ	名古屋国際会議場		中村区 西区
	千種スポーツセンター	名古屋国際会議場		中区 熱田区
		瑞穂公園体育館		昭和区
愛・地球博記念公園	守山スポーツセンター			瑞穂区 南区 緑区
				千種区 名東区 天白区
			東区 北区 守山区	

b) 拠点データ

本研究における一次拠点、二次拠点の設定に当たっては、同じく愛知県や名古屋市が公表している一次・二次拠点を使用した。「県受援計画」には一次拠点とその代替施設のリストが存在する。また同計画の別表には、二次拠点のリストと、県内の各市町村（名古屋市については行政区毎）に担当する一次拠点・二次拠点の組み合わせが示されている。本研究では、これらの計画において名古屋市に対応されている一次拠点・二次拠点をを用いることとした。

一次拠点については、名古屋市の各区は名古屋市千種区の中小企業振興会館（吹上ホール）と長久手市の愛・地球博記念公園が担当することとなっている。二次拠点については計画の変更が行われており、従来から二次拠点として設定されていた5か所の施設のうち、2019年6月に3か所が他の施設へと変更され、区の担当の割り振りも変更されている。また、名古屋市の公表している「名古屋市災害救助用物資供給計画」によれば、現在建設中の新施設（瑞穂公園体育館）の供用開始を見込んで2021年にさらなる計画の変更（当該施設の追加、区の担当の見直し）が見込まれている。よって、二次拠点については、2019年6月以前の計画による5か所、同月の変更により新規に運用を開始した3か所、さらに2021年に追加見込みの1か所を合計した9か所の施設を候補として本研究に用いることとした。

拠点のデータとしては以上の合計11か所について、それぞれの公表されている計画から名称、担当区と住所を利用し、避難所データと同じツールを用いて緯度・経度を取得した。これらを以下「拠点候補」と呼称し、拠点候補と担当の区の一覧を表-2に示す。

c) 物資量データ

本研究では、物資の輸送量の概念の導入を試みた。このデータは、各拠点間や拠点から各避難所への輸送回数の検討、積み替え時間の検討に必要となる。なお本研究

の対象は国のプッシュ型支援であるため、品目毎に荷姿は統一されており、パレット単位での輸送が容易に可能であるとの前提を設けている。大量の物資のトラックへの積み下ろしは非常に大きな労力と時間が必要であるが、品目毎に荷姿を統一化してパレット化されていれば、フォークリフトなどの機械を活用することでその大幅な効率化を図ることができる。過去の災害時の物資輸送においても、フォークリフトの活用は拠点の運営の円滑化に寄与することが指摘されており、また品目ごとの荷姿の統一やパレット化の必要性は伊藤ら(2017)の先行研究においても指摘されている。

「県受援計画」の別表には、プッシュ型支援の8品目について、愛知県内の各市町村（名古屋市については行政区）への配分量（食料については1日毎、他の品目については合計）が示されている。本研究ではこの「行政区毎の各品目の物資量」と上に示した避難所データから、次のように各避難所への物質輸送量を設定した。

1. 「行政区ごとの各品目の物資量」を、表-3.1の「合計想定収容人数」で割り、行政区毎に「避難所収容人数一人当たりの各品目需要量」を算出する。
2. 主要品目のパレットへの梱包時の容量を考慮し、「避難所収容人数一人当たりの各品目需要量」をパレット単位に変換する。
3. パレット単位に変換した「避難所収容人数一人当たりの各品目需要量」に各避難所の「想定収容人数」を掛け合わせて「各避難所の各品目需要物資量」をパレット単位で算出する。
4. 各品目のうち、食料以外の5品目はすべてプッシュ型支援初日の発災4日目に輸送するものとして、5日目から7日目はそれぞれの当日分の食料のみを輸送すると仮定する。この仮定に基づき足し合わせて、「各避難所への輸送量」を実施日毎に算出する。

以上により、791か所の避難所それぞれに対して、発災4日後から7日後の4日それぞれの輸送すべき物資量を設定した。なおこの計算では整数値に丸めるなどの端数処理はしておらず、小数のまま以降の分析に利用する。本研究では、梱包サイズの資料を得られなかったトイレトーパー、生理用品については輸送量に含めずに分析から省くこととした。

d) 輸送に用いる車両の設定、積み下ろし時間

本研究では、輸送に用いるトラックは標準的な4t(中型)トラックと10t(大型)トラックの2種類を想定している。国土交通省が公開しているハンドブックによれば、1100mm×1100mmの標準的なパレットを積載する場合、4t車には5枚、10t車には16枚のパレットを積載できる。本分析ではこの資料を基にすることとした。拠点から避

難所への輸送に際しては、平均的な「各避難所への輸送量」が大きくないこと、避難所の数から多くの台数の車両を確保する必要があること、実際の輸送において各避難所に至る道路ネットワークがすべての区間で大型トラックの円滑な通行が可能とは考えにくいこと、などの理由から、原則として4tトラックによる輸送を想定する。なお、一次拠点と二次拠点間の輸送については、大型トラックでの集約した輸送の効果を検討するために4tトラックと10tトラックの両方の使用を検討することとし、個別の分析に関わる詳しい条件は後述する。

なお、トラックの積荷の二次拠点での積み替え、避難所での荷下ろしに必要とする時間の検討に際しても、同ハンドブックで紹介される数値から単純化して決定することとした。同ハンドブックによれば、フォークリフトを活用できる場合で4tトラックの5枚のパレットの積み込みに10分、10tトラックの16枚のパレットの積み込みには30分かかるとされている。また、フォークリフトを用意できない場合の例として、トラックから20m離れた場所へと4パレット分の飲料水(2lペットボトル6本入りの箱が1パレット当たり80箱)の積荷を20人によるリレー方式で降ろす場合150分かかると紹介されており、この例だと1パレット当たり積み下ろしに約40分かかるとなる。今回検討する物資に飲料水は含まれず、より小さい、軽い品目もしくは毛布のようなかさばる品目が多いと考えて1パレット当たり30分と仮定する。今回の検討では各二次拠点では任意の台数のフォークリフトを使用できると仮定した上で、二次拠点での積み替えにはフォークリフトを使用する場合の所要時間を、避難所での荷下ろし時間はリレー形式の1パレットあたり30分と設定した。前述の通り各避難所の物資量は切上げ処理をしていないため、この荷役時間についても端数処理を行わない。

e) 道路ネットワークデータ

本研究では、道路ネットワークのデータについて、GISソフトウェア「MapInfo」での使用のために三井造船システム技研株式会社が提供している「道路地図V2013-9」の道路区間データを使用した。このネットワークデータで得られる各リンクの属性のうち、本研究では「区間種別」「市区町村コード」「区間長」「幅員区分コード」「規制速度」「車線数コード」「有料道路コード」「管理者コード」の各属性を使用した。「区間長」についてはそのままリンクの長さとして最短経路探索の入力データに使用している。

本分析では、データ量を削減するために、リンク数約45万4千・総延長約4万3千kmに及ぶ愛知県全体の道路データから、「市区町村コード」を用いて名古屋市周辺の道路ネットワークデータを抽出した。この時、先に述べたように拠点や避難所の一部が名古屋市外に所在す

ることや、また市境に近い避難所や拠点では市外の道路を経由するルートが最短となる可能性があることを考慮し、名古屋市と隣接する16市町村に所在するリンクを抽出して名古屋周辺のネットワークとした結果、リンク数は約20万8千、総延長は約15万5千kmとなった。

さらに、本研究で扱う車両が中型もしくは大型のトラックであることを考慮し、こうした車両が災害発生直後でも通行可能である道路のネットワークを検討するために、道路幅員が一定以上の道路を抽出してこのネットワーク上で最短経路探索を行うこととした。具体的には、「幅員区分コード」による区分において道路幅員が5.5m以上とされているリンク、または「車線数コード」による分類において往復合計の車線数が2以上とされているリンクを抽出した。そして、この条件を満たさないリンクのうち、「区間種別」「有料道路コード」「管理者コード」などを基にして高速道路、有料道路、一般国道等のランプウェイに相当するリンクも分析対象とした。この絞り込んだネットワークを本研究の今後の分析で使用することとし、以下「使用ネットワーク」と呼称する。この「使用ネットワーク」のリンク数は81914、総延長は6433.8kmとなった。

f) 旅行速度の設定とリンク通過時間

本研究では旅行速度のデータを外部から取得せずに、「使用ネットワーク」の種別や車線数、「規制速度」データの分類情報に基づいた定数として各リンクに設定することとし、この速度を以下「設定速度」と呼称する。基本的には規制速度を設定速度として用いるものの、高速道路で80km/h以上、一般道で50km/h以上の規制速度の場合、設定速度をそれぞれ80km/h、50km/hとした。

この設定は道路の構造や通常時の規制速度から仮想的に交通障害がない場合の旅行速度を設定したものである。本研究のGISソフトウェアによる解析では、解析に使用するネットワークデータに時間の変数が必須であったことから、「使用ネットワーク」のデータにこの「設定速度」の項目を追加した上で、「リンク長」を「設定時間」で割ることによって各リンクの「通過時間」として使用した。同解析では交通流や信号交差点等による所要時間の増加は考慮しておらず、「緊急車両や緊急輸送車両の通行のために一般車両の通行が一切制限された、緊急物資輸送に対して理想的な状態」と見ることができる。

g) 緊急輸送道路、緊急輸送ルート等

「具体計画」や「県受援計画」、さらには愛知県や名古屋市がそれぞれ策定している地域防災計画には、南海トラフ地震による大規模災害の発生時に物資や人員の輸送を実施するための基幹的な道路網が複数の枠組みによって指定されている。本研究では、これらの一部の道路網を“災害直後にあっても信頼性の高い”道路として、こうした道路網の優先的な復旧によりどの程度プッシュ

表-3 緊急輸送道路等の延長

道路網種別	リンク数 (リンク)	総延長 (km)
(名古屋市・周辺15市町村 道路網 総計)	208152	15522.1
使用ネットワーク 総計	81914	6433.8
うち 緊急輸送道路	18852	1980.7
第一次緊急輸送道路	9372	1233.0
第二次緊急輸送道路	9480	747.7
うち 緊急輸送ルート	2184	638.5
(一次・二次拠点間標準アクセスルートにのみ含まれる道路)	98	7.7

型支援物資の輸送が円滑に実施できるかの検討を試みる。ここでは、「緊急輸送道路」と「緊急輸送ルート」の二つの道路網を主に取り扱う。

「緊急輸送道路」に関しては、一次・二次の緊急輸送道路について、愛知県の地域防災計画の附属資料や国土交通省中部地方整備局の公開している道路防災情報マップを参考に「使用ネットワーク」に緊急輸送道路への指定の有無を反映させた。また「緊急輸送ルート」については、「具体計画」や「県広域受援計画」に示されている緊急輸送ルートの表に基づき「使用ネットワーク」に反映させた。さらには、「県広域受援計画」において設定された「広域物資拠点から地域内輸送拠点までのルート（標準アクセスルート）」のうち緊急輸送道路等に含まれない道路についても緊急輸送道路等と同等に扱うものとして「使用ネットワーク」に反映させている。以上の緊急輸送用の道路ネットワークの対象地域内におけるリンク数・総延長を表-3に示す。

(3) 検討の方法・条件

a) 検討1—ネットワーク平常時の輸送時間の検討

初めに、「使用ネットワーク」のすべてのリンクが使用できる場合を想定して、プッシュ型支援の物資を一次拠点からすべての避難所まで配送するために必要な総所要時間を探索して、拠点の配置によってどのように変化するかを検討した。拠点配置は以下の各条件を設定した。

- A) 二次拠点を経由せず、一次拠点から各避難所まで4tトラックにて直送する。
- B) 一次拠点から二次拠点を經由して4tトラックにて各避難所へ配送するが、二次拠点で積み替えを行わない。（避難所への輸送回数だけ一次拠点から二次拠点の移動が生じる）
- C) 一次拠点から二次拠点への輸送を4tトラックにて可能な限り集約する。各避難所へは二次拠点から個別に4tトラックにて配送する。
- D) 一次拠点から二次拠点への輸送を10tトラックにて可能な限り集約する。各避難所へは二次拠点から個別に4tトラックにて配送する。

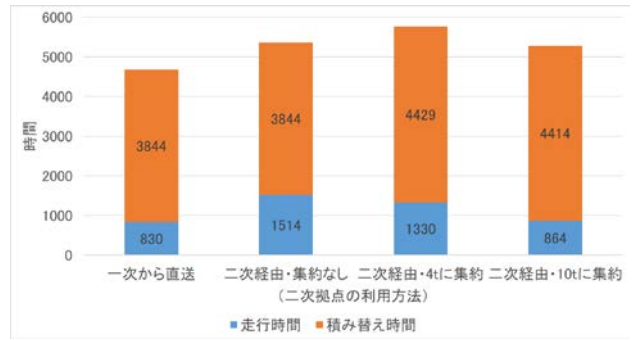


図-1 ネットワーク平常時の走行時間と総輸送時間

b) 検討2—ネットワーク不全時の到達可能性の検討

次に、地震災害等によるネットワークの被災により一部リンクが寸断されるような状況での輸送の状況を再現するため、「使用ネットワーク」のすべてのリンクについて一定の確率でランダムに通行不能になるようなモデルを作成し、避難者の待つ避難所への物資の配達可能性について検討した。「使用ネットワーク」すべてについて、一定確率で通行不能となるが、他の区間は「設定速度」で通行可能であるとし、5%、10%、20%、30%のリンクが通行不能であるネットワークをそれぞれ30通り作成した。

この検討では、所要時間などに関する検討は行わず、道路寸断割合毎に到達できた避難所の総数を比較する。二次拠点の位置によって避難所までの経路、または一次拠点からの経路の災害に対する強靭性に差があるのかどうかや、あるいは複数のパターンでの被災を想定する中でその結果の散らばりの考察を行う。また、到達できた避難所の避難者数・物資需要量をそれぞれ数え上げ、本来完遂すべき輸送量に対してどの程度輸送が可能であるかの割合についても考察することで、所要時間の増減以外の評価方法の検討を行う。

c) 検討3—緊急輸送道路等の効果の検討

ネットワーク不全時は、相当数の避難所への輸送が不可能になるため、緊急輸送道路等のデータを用い、検討2と同じ条件で道路網を30%破断させた後に緊急輸送道路等のみを復旧させた場合に、到達可能性がどのように改善するかについて分析を行う。

5. 分析結果と考察

(1) 検討1の結果

一次拠点および二次拠点ともに現行（2019年6月以降）の計画箇所を用いて4日目の輸送について走行時間と積み替え時間を計算した結果を図-1に示す。青色部分が走行時間であり、総輸送時間はこれにオレンジ色の積み替え時間を足し合わせた棒グラフ全体の高さで表してい

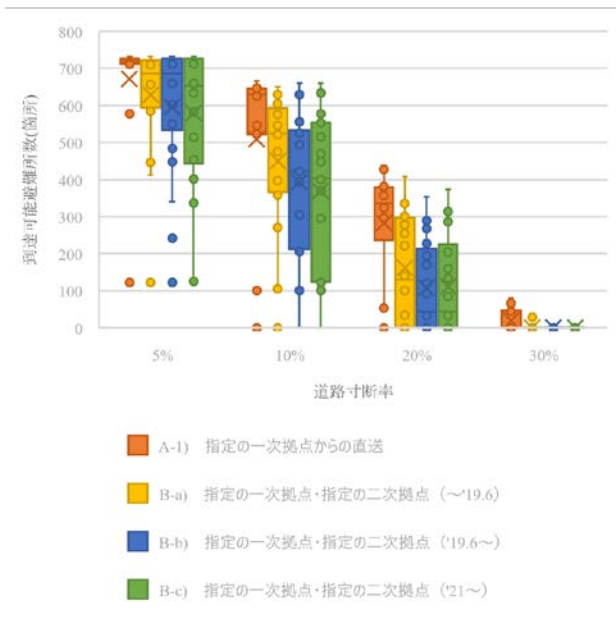


図-2 ネットワーク不全時の到達可能避難所数

る。なお、解析の途中で、避難所 791か所のうち 13か所については常に最短経路の探索が不可能であることが明らかとなった。これは「使用ネットワーク」において一部の道路リンクが他のリンクと接続しない（幅員 5.5m 未満の道路を介してのみ他のネットワークと接続する）孤立状態となったためであり、4tトラックで到達できないことを意味する。以下の各検討の結果は、この 13か所の避難所を解析対象から除外したものである。図-1より、走行時間と総輸送時間ともに二次拠点を經由せず、一次拠点から各避難所まで4tトラックにて直送する場合が最小となった。また、二次拠点を經由する場合は、一次拠点から二次拠点への輸送を集約することで走行時間の短縮が可能であるが、4tトラックで集約した場合は積み替え時間が余計に生じてしまうため、集約をせず、二次拠点で積み替えを行わない方が総輸送時間が小さいことが示された。一方、10tトラックで集約した場合には、積み替え時間が余分に生じるものの走行時間の短縮が大きいため、集約しない場合より総輸送時間を短縮できることが示された。なお、日中 12 時間で輸送を完了する場合、一次拠点からの直送で 390 台、4t集約時で 480 台、10t集約時も 441 台のトラックが必要であり、輸送に必要な台数の観点からも一次拠点からの直送が有利であることが示された。

(2) 検討 2 の結果

到達可能避難所数について、一次拠点からの直送のものと、二次拠点を經由する場合の結果をその二次拠点の組み合わせ毎に図-2 に示す。図-2 は災害による道路被災によってどの程度の避難所がアクセス不能になるかに

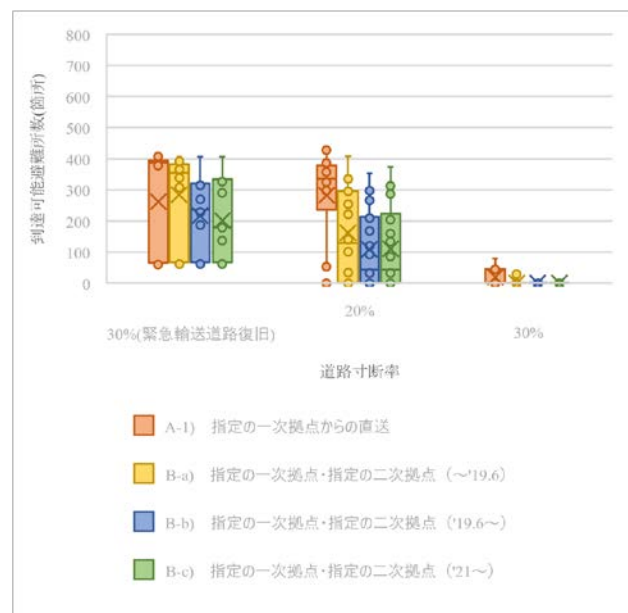


図-3 緊急輸送道路等の啓開の効果

ついて、そのばらつきも含めて明らかにするために、「到達可能避難所」数の 30 回の解析の結果を箱ひげ図に示したものであり、×印はその平均値を示す。例えばネットワーク寸断率が 10%に上る場合、一次拠点から直送の場合では到達できた避難所数の中央値は中央値は解析可能な 778 箇所のうち 630 箇所：80%となるが、二次拠点を經由する場合は 2019年6月以前、現行、2021年以降の配置で 67%、54%、52%となった。到達できた避難所の避難者数や配送完了できた物資量も同様の傾向となった。図-2より、寸断率が 30%に達するといずれの場合も輸送はほとんど機能しなくなることがわかる。また、一次拠点からの直送の場合と二次拠点を經由する場合を比べた場合、前者の方が到達可能避難所が多く、ばらつきは小さいが、これは経由地点が少ない分、経路選択の自由度が上がり、二次拠点の直近のネットワークの被災などの局所的な理由で輸送不能となることを回避しやすかったためと考えられる。

二次拠点の組み合わせについて、検討 1 においては 2019年までの二次拠点に対して以後の変更されたパターンの方が優位性のある結果となったが、検討 2 については逆転しており、同程度の道路ネットワークの破断率では変更前の二次拠点の組み合わせがより多くの避難所に到達できる結果となった。この逆転現象の理由を現時点で明らかにすることはできなかった。

(3) 検討 3 の結果

到達可能避難所数について箱ひげ図にまとめたものを図-3 に示す。図中右の道路寸断率 20%、30%のものは図-2 からの再掲である。先述の通り、検討 2 の結果では、道路の被災率が 30%に達した場合ほとんどの避難所に到

達することはできなかったが、図-3 より、緊急輸送道路の啓開によって到達可能避難所数が格段と増加することがわかる。被災率 30%から緊急輸送道路を復旧した場合、値のばらつきが大きいとはいえ中央値や 75%タイル値は被災率 20%の場合より改善している。「使用ネットワーク」から被災率 5%としてランダム抽出した道路のリンクについて、含まれる緊急輸送道路等のリンクの割合はリンク数ベースで平均約 1.2%、リンク長ベースでも平均約 1.5%であることから、30%の道路破断から緊急輸送道路として復旧できた道路は 10%未満である。すなわち、被災した道路の啓開・復旧の際に緊急輸送道路などの道路網を優先して復旧させることには物資輸送の成功率向上において意義があるといえる。

6. 結論と今後の課題

本研究では、南海トラフ地震を想定したプッシュ型支援の物資について、名古屋市内の避難所に対する緊急輸送に関するいくつかの分析を行った。その結果を要約すると以下ようになる。

- 1) 一次拠点から二次拠点の間の物資輸送を大容量の車両で集約することで、輸送を担う車両の延べ走行時間は大きく短縮できる。
- 2) 車両からの積荷の積み下ろしまで考慮すると、一次拠点から避難所までの輸送にかかる総時間は二次拠点を経由しない方が短くなるが、二次拠点を経由する現行計画の体系についても 1)のような輸送の集約と二次拠点の配置の最適化によって改善の余地がある。
- 3) 道路網の被災による輸送の到達確率を考えると、二次拠点という経由地を介さず輸送経路の自由度が高い一次拠点からの直送に優位性がある。
- 4) 市内の広範囲で多くの道路が被災し通行不能となるような状況下では、緊急輸送道路などの地域内の基幹的な道路網の優先的な復旧は支援物資の輸送の成功率の向上に寄与する。

また、今後の課題としては以下のような項目が挙げられる。

- 1) 二次拠点から各避難所間の輸送について、トラックの空きスペースを活用して一度の輸送で複数箇所の避難所を經由するような輸送の在り方と、それによる輸送の効率化の度合いの検討。
- 2) 各拠点について、現在指定されている施設以外で運営が可能と思われる施設の選定と、それらの拠点を活用した場合の輸送の効率性に関する検討。特に、現行の各計画で「代替施設」として指定されている施設に関する同様な検討と、現行計画での拠点も含

めた最適化の検討。

- 3) 各拠点の面積や使用可能なフォークリフトの数などのデータを取得した上での、各拠点の収容能力、荷捌き能力の設定と、時間軸での視点を含めた運用の実行可能性に関する検討。
- 4) 輸送に使用する車両の台数、人員などのデータを得た上での輸送が実行可能かどうかの評価。
- 5) 道路ネットワークの設定速度の精査。また、災害による道路ネットワークの被災について、その状態を「通行不能」でなく「所要時間の増加」等といったより現実的な指標を使用しての表現の導入と所要時間の増減の検討、または所要時間にとらわれない別のインピーダンスによる解析・評価の手法の検討。

謝辞：愛知県防災安全局および名古屋市健康福祉局、防災危機管理局より多くの情報とアドバイスを頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 愛知県：南海トラフ地震における愛知県広域受援計画 平成 31 年 3 月 https://www.pref.aichi.jp/uploaded/life/229006_702779_misc.pdf (2020/1/22 閲覧)
- 2) 愛知県：南海トラフ地震における愛知県広域受援計画 別表 平成 31 年 3 月 https://www.pref.aichi.jp/uploaded/life/229006_702780_misc.pdf (2020/1/22 閲覧)
- 3) 愛知県：南海トラフ地震における愛知県広域受援計画 別図 2-4 平成 31 年 3 月 https://www.pref.aichi.jp/uploaded/life/229006_702788_misc.pdf (2020/1/22 閲覧)
- 4) 愛知県防災会議：愛知県地域防災計画附属資料（平成 30 年修正）第 6 輸送・交通関係 https://www.pref.aichi.jp/bousai/boukei/fuzoku/30huzoku/30_fuzoku_06.pdf (2020/1/24 閲覧)
- 5) 愛知県防災会議：愛知県地域防災計画 附属資料（平成 30 年修正）第 9 避難場所・避難所関係 https://www.pref.aichi.jp/bousai/boukei/fuzoku/01fuzoku/19_fuzoku_09.pdf, <https://www.pref.aichi.jp/bousai/boukei/fuzoku/01fuzoku/hinanjo.xlsx> (2019/10/27 閲覧)
- 6) 愛知県防災会議：愛知県地域防災計画—地震・津波災害対策計画—（令和元年 6 月修正）https://www.pref.aichi.jp/bousai/boukei/aichi_taisaku_plan_R1/07_aichi_jishin-tsunami_taisaku_plan_R1_.pdf (2020/1/24 閲覧)
- 7) 伊藤秀行, Wisetjindawat,W., 横松宗太(2017)：南海トラフ巨大地震における政府調達支援物資供給計画の実行可能性の検討, 実践政策学, 第 3 巻 1 号
- 8) 伊坂早織・大窪和明(2018)：災害時における緊急支援物資の最適輸送計画モデルの提案と適用, 土木学会論文集 D3(土木計画学), Vol.74, No.5(土木計画学研究・論文集第 35 巻), 1_259-1_268
- 9) 気象庁：南海トラフ地震に関する情報 <https://www.data.jma.go.jp/svd/eeew/data/nteq/index.html> (2020/01/22 閲覧)
- 10) 国土交通省「支援物資物流システムの基本的な考え

- 方」に関するアドバイザー会議：支援物資物流システムの基本的な考え方報告書 平成 23 年 12 月 2 日 <http://www.mlit.go.jp/common/000184634.pdf> (2020/1/22 閲覧)
- 11) 国土交通省総合政策局参事官（物流産業）室：ラストマイルにおける支援物資輸送・拠点開設・運営ハンドブック—地方公共団体における支援物資物流の円滑化に向けて— 平成 31 年 3 月 <http://www.mlit.go.jp/common/001282576.pdf> (2020/1/24 閲覧)
- 12) 国土交通省 中国運輸局・四国運輸局・九州運輸局：中国、四国、九州地域における大規模災害時の多様な輸送モードの活用による支援物資物流システムの構築に関する調査報告書 平成 29 年 3 月 <https://www.wtb.mlit.go.jp/kyushu/m-butou-1/290213-honpen.pdf> (2020/1/22 閲覧)
- 13) 中央防災会議幹事会：大規模地震・津波災害応急対策対処方針（令和元年 5 月）令和元年 5 月 27 日 http://www.bousai.go.jp/jishin/pdf/taisyo_housin.pdf (2020/1/24 閲覧)
- 14) 中央防災会議幹事会：南海トラフ地震における具体的な応急対策活動に関する計画 令和元年 5 月 27 日 http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/pdf/nankai_oukyu_keikaku_full.pdf (2020/1/22 閲覧)
- 15) 中央防災会議 防災対策推進検討会議 南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ：南海トラフ巨大地震の被害想定について（第二次報告）～施設等の被害【定量的な被害量（都府県別の被害）】～ 平成 25 年 3 月 18 日 http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/tai-saku_wg/pdf/20130318_shiryo2_3.pdf (2020/1/22 閲覧)
- 16) 中央防災会議 防災対策推進検討会議 南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ：南海トラフ巨大地震の被害想定について（第二次報告）～施設等の被害【定量的な被害量】～ 平成 25 年 3 月 18 日 http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/tai-saku_wg/pdf/20130318_shiryo2_2.pdf (2020/1/22 閲覧)
- 17) 内閣府：平成 30 年 7 月豪雨におけるプッシュ型支援について http://www.bousai.go.jp/kohou/oshirase/pdf/20180711_pushgatashien.pdf (2020/1/22 閲覧)
- 18) 内閣府：プッシュ型支援について：防災情報のページ http://www.bousai.go.jp/jishin/kumamoto/kumamoto_shien.html (2020/1/22 閲覧)
- 19) 内閣府政策統括官（防災担当）：平成 30 年 7 月豪雨における避難所の状況把握・プッシュ型物資支援について 平成 30 年 10 月 18 日 <http://www.bousai.go.jp/updates/h30typhoon7/pdf/h301018.pdf> (2020/1/22 閲覧)
- 20) 中尾聡史・小野寺哲也・片山慎太郎・東徹・川端祐一郎・藤井聡(2019)：大規模震災がもたらす道路路断の予測モデルの構築に関する研究，土木学会論文集 D3(土木計画学)，Vol.75，No.5（土木計画学研究・論文集第 36 巻），I_407-I_417
- 21) 名古屋市：毎月 1 日現在の世帯数と人口(全市・区別)（市政情報）<http://www.city-nagoya.jp/somu/cmsfiles/contents/0000013/13717/CA0010F.xls> (2020/1/23 取得)
- 22) 南海トラフ地震防災対策推進地域・南海トラフ地震津波避難対策特別強化地域 市町村一覧 http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/pdf/nankaitrough_shichouson.pdf (2020/1/22 閲覧)
- 23) 防災危機管理施策の効果的な推進に係る検討会議：名古屋市災害救助用物資供給計画（案）2019 年 3 月改定 <http://www.city.nagoya.jp/bosaikiki-kanri/cmsfiles/contents/0000114/114053/310320busshikeikaku.pdf> (2020/1/23 閲覧)

(Received October 2, 2020)

AN ANALYSIS OF LOGISTIC CHAIN OF RELIEF SUPPLIES FOR NANKAI TROUGH EARTHQUAKE

Haruki GOTO, Toshiyuki YAMAMOTO and Hideyuki ITO

Feasibility and efficiency are investigated on push-mode relief supplies to the refugees in Nagoya planned by the government at Nankai Trough earthquake. Based on the assumptions on the loading/unloading time, the time needed for delivery of relief supplies is examined considering the usages and the combinations of logistic depots within area (secondary depots). The results suggest that the delivery time can be reduced by aggregating the transport from the primary depots to the secondary depots, and becomes closer to the case skipping the secondary depots. Also, random breakdowns of the road network by the earthquake are represented in the simulation, and it is found that the priority opening of core road network within area can increase the reachability to the refugees.