

地域資源活用を考慮した災害直後から稼働する 物資支援計画に関する研究

西脇 文哉¹・畑山 満則²・大西 正光³・伊藤 秀行⁴

¹正会員 日本貨物鉄道株式会社 (〒151-0051 東京都渋谷区千駄ヶ谷5-33-8)

E-mail: nishiwaki@dimisis.dpri.kyoto-u.ac.jp

²正会員 京都大学防災研究所教授 巨大災害研究センター (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

E-mail: hatayama@dimisis.dpri.kyoto-u.ac.jp

³正会員 京都大学防災研究所准教授 巨大災害研究センター (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

E-mail: onishi.masamitsu.7e@kyoto-u.ac.jp

⁴非会員 株式会社ピーアイ物流企画 (〒480-0103 愛知県丹羽郡扶桑町柏森天神287-2)

E-mail: pi0001@h3.dion.ne.jp

緊急物資支援に関する諸問題の解決のために、様々な研究や提言で民間の力の活用が推奨されている。それを受け、多くの自治体が関連企業や団体と災害協定を締結している。しかし、広範囲に甚大な被害を及ぼすような災害では、交通ネットワークの損傷や大量の支援要請が発生し、外部からの支援を早期に受けられない可能性が高く、地域内に残された資源のみで応急対応を行う必要が生じる。本研究では、このような時期を想定してトラックの確保と荷役を地域内の企業と地域住民に協力を得て行う物資支援計画を提案した。さらに、高知県四万十町におけるシミュレーションを行い、資源量を確保できることを明らかにした。そこでこのような合意を発災前から地域内の企業や住民と行政の間で行うことで、より効果的な支援物資輸送を実現できる。

Key Words : *disaster relief supplies, disaster relief agreement, disaster response plan, cooperation with private sector*

1. はじめに

(1) 研究背景・目的

災害対策基本法や災害救助法によれば、大規模な災害が発生した際に国や地方自治体は被災者に対して支援物資を配布する努力義務が課せられている。そのため、平成28年(2016年)熊本地震では国や熊本県、県内の市町村はに基づき、避難者に対して緊急物資支援を行った。しかし、必要な時に必要な量の緊急支援物資が被災者のもとに届かなかったことが東日本大震災や平成28年(2016年)熊本地震において指摘されている¹⁾。

このような緊急支援物資に関する問題は過去の大災害においても指摘されており、災害の教訓として様々な対応策が提案され、それを実装するための計画策定や関連する企業・団体との協定締結が行われている。しかし、熊本地震では物流システムの運営において民間企業のノウハウの活用が十分に行えず物資輸送が滞る事例²⁾や、発災直後の災害協定の運用におけるコミュニケーション

に問題が生じたことで災害協定が十分活用されなかったことが明らかになった³⁾。このように、計画想定を超える大災害では災害直後の緊急物資支援において課題が残されていることを示す結果となった。

さらに、南海トラフ巨大地震のような広範囲に甚大な被害を及ぼすと想定される災害では、道路や鉄道などの交通ネットワークの損傷のみならず支援を要請する自治体が大量に発生することが想定されるため、他自治体や地域外の関連企業・団体からの応援を早期に受けられる可能性は低く、支援を受けられるようになるまで地域内に残された備蓄や流通在庫、機材や人的リソースのみで応急対応を行う必要がある。

このような状況の中で、個々人が生き延びるために必要な物資は自助や共助で賄うべきであるという議論も多く存在しており、例えば南海トラフ巨大地震の対策では、家庭で7日分の備蓄が推奨されている⁴⁾。しかし、例えば高知市の調査⁵⁾では、34.9%の住民が何も備蓄していないと回答しているように、備蓄の必要性は認識されつつ

あるものの備蓄を行っている割合は低い。備蓄を行わない理由として、「何とかなると思っている」という回答や、「避難所を持っていけないから準備していない」、「津波で流されるから必要ない」といった回答が見られた。行政はこれらの住民に対して備蓄を行うことを要請する必要があるが、生き延びるために必要な物資を完全に自助と共助だけに任せるだけでは不十分であり、住宅が倒壊して備蓄を活用できない人や、津波で備蓄が流れてしまった人などに対しては、公的な物資支援も不可欠である。

以上の背景に基づき、本研究では、南海トラフ巨大地震のような大規模かつ広域に被害を及ぼすと想定される災害が発生し、発災直後の他地域からの支援が期待できないという状況を想定し、被災した地域内に残された地域資源を活用して緊急支援物資を輸送する計画を検討し、その実行可能性について考察を与えることを目的とする。

なお、本文中における「地域資源」とは、地域住民、地域内に所在する物流関連企業や団体に協力を求めて得る、1) 拠点内での物資の取扱いやトラックを運転して物資を輸送する労働力、2) 地域住民の所有する軽トラックや地域内の事業者が所有している大型トラックなどの車両やフォークリフト等の資機材の二つを指すものとする。すなわち、本研究では市町村の職員自らが輸送を実施することを想定した物資支援計画ではなく、地域の民間企業や団体、さらに地域住民や自治会の代表者に物資輸送や拠点運営の協力をしてもらうことを想定した計画の提案を行う。

(2) 先行研究

a) 緊急支援物資輸送のシミュレーション

緊急物資支援に関する問題の評価や業務のボトルネックとなる箇所を探すため緊急支援物資の輸送に関するシミュレーションが作成されている。例えば、中川⁹⁾は、震災発生時の道路網が限られた状態で、様々な交通が交錯する混乱状況を再現し、物資輸送の都市全体、ゾーンごとの時系列的な供給状況の検証を行っている。また、Balcik et al.⁷⁾は支援物資の最終拠点から避難までの輸送を対象にして、巡回セールスマン問題としてルートの候補を作成し、輸送費用と供給不足によるペナルティが最小となるルートを選択することで配送計画を作成する手法を提案している。岡林⁸⁾は総走行距離最小化と供給不足ペナルティ最小化の多目的最適化を行い、救援物資の配送先、配送量、配送経路を決める意思決定支援モデルを提案している。これらは拠点から避難所までの輸送を対象としたシミュレーションであり、拠点内の荷役待ちや積み込みによる停滞を考慮していない。間島⁹⁾はエージェントシミュレーションを用いて拠点の待機から避難所までの輸送を再現し、輸送性能の定量的評価を行ってい

る。しかし、拠点内で必要となる人員やリソースの確保に対する実現可能性までは議論されていない。

b) 災害対応における民間との連携に関する事例・研究

東日本大震災では、岩手県と岩手県トラック協会が協力して緊急物資支援を行った「岩手方式」が緊急支援物資ロジスティクスの成功例として取り上げられている¹⁰⁾。「岩手方式」では、入荷した物資を保管せずすぐに配送に回すクロスドッキング方式を採用したことと、岩手県トラック協会が包括的に物流の管理を行ったことで実現したサード・パーティー・ロジスティクスの2点が評価されている。これは、県の職員とトラック協会、物流事業者の間で緊密な連携を行い、それぞれの得意とする業務を分担して行ったことで物資支援が成功した事例である。

東日本大震災以降、この「岩手方式」を教訓として行政と物流事業者や都道府県トラック協会などの業界団体との間で協定の締結が進められている。さらに、多くの自治体で保管や物流専門家の派遣に関する協定も締結されつつある¹¹⁾。

しかし、熊本地震では物流システムの運営において民間企業のノウハウの活用が十分に行えず物資輸送が滞る事例²⁾が報告されている。さらに、西脇ら¹²⁾は発災直後の災害協定の運用におけるコミュニケーションに問題が生じたことで協定が十分活用されなかったことを指摘したうえで、協定には発災後の協議の必要性和協議の際に定めておくべきであると指摘している。さらに、協定の締結時には支援の具体的な内容、指揮系統、業務フローなどの具体的な業務について合意する必要があると結論付けている。

以上のように、行政と民間企業との協定を前提とした計画は検討されている一方で、地域住民に協力を得ることを想定した計画の分析が行われた研究は見当たらない。

2. 緊急物資支援に関する実態と問題点

筆者らが実施した熊本地震における緊急支援物資の流動実態に関する調査³⁾や先行研究をもとに、緊急支援物資ロジスティクスの一般的に想定されている流れを描くと図-1 のようになる。本章では、最終物資拠点に物資が届く時点から避難所に物資を届けるまでの図-1 において黄色で示した範囲を想定し、必要となる作業や判断を考慮してイベントツリーを作成する。

次にイベントツリーを用いて、一つ停滞するとすぐに業務全体が停滞する可能性のある作業項目について検討を行う。さらに、熊本地震における災害対応の記録等を参照して作業にかかる時間を設定し、PERT法を用いて完全には停滞しないものの、作業の遅延が物資支援全体

の遅延を招く作業を特定する。

(1) 緊急支援物資に関する業務のイベントツリー

図-1 の流れに従い、最終物資拠点に物資が届く時点から避難所に物資を届けるまでの範囲(図-1 中の黄色で示した部分)を想定し、必要となる作業や判断を考慮してイベントツリーを作成する。

行政の対応として次のようなものを考える。災害発生後に行政はまず、自らのリソースで対応しようと検討をし、それができないと分かった場合には災害協定に基づいて民間企業に支援を求める。しかし、協定に基づいた支援が得られない場合には行政職員が再度対応しようとする。本章ではこのシナリオのうち、災害協定に基づいて支援を求める時点からイベントツリーを作成している。

ここで発生する作業や判断項目は、拠点の設置完了までが表-1 に示す 14 項目であり、それ以降避難所への緊急支援物資搬入完了までが表-2 に示す 9 項目である。

これらの作業リストからイベントツリーを作成すると、図-2 および図-3 のようになる。このイベントツリーに従い、一つ停滞するとすぐに業務全体が停滞する可能性のある作業項目について検討を行う。

まず、図-2 に示す業務開始から拠点整備完了までについてである。この図によれば、以下の 10 項目が行われなければならない物資支援が停滞することがわかる。

- ・ 緊急支援物資の確保(備蓄があれば利用可能かの確認)
- ・ (想定していた拠点が使えない場合)代替拠点の手配
- ・ (民間のトラックが確保できなかった場合)公用車・ドライバー(行政職員)の手配
- ・ 燃料の確保
- ・ 拠点運用のための資機材(フォークリフト、パレット等)の確保
- ・ 拠点内電源の確保
- ・ 拠点における作業人員の確保
- ・ 保管場所での積み込み
- ・ 保管場所から拠点への輸送
- ・ 拠点での物資搬入・整理

次に、拠点整備完了から輸送開始まで(図-3)である。この範囲で業務が停滞すると輸送全体が停滞する可能性があると考えられる箇所は以下の七つである。

- ・ ニーズ調査・配送先の決定
- ・ (民間のトラックが確保できなかった場合)公用車・ドライバー(行政職員)の手配
- ・ 燃料の確保
- ・ トラックへの物資積み込み
- ・ 輸送経路が通行可能かの確認
- ・ 避難所への移動

・ 避難所での荷降ろし

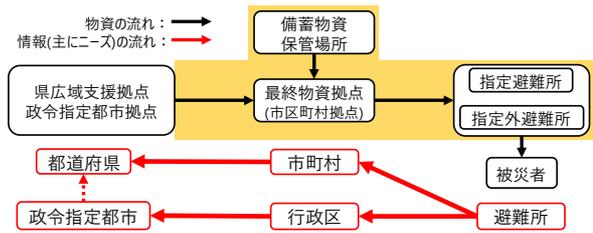


図-1 一般的に想定されている緊急支援物資の流れ

表-1 必要な作業や判断(拠点の設置完了まで)

番号	枝番	作業・判断の内容
1		緊急支援物資の確保(備蓄があれば利用可能かの確認)
2	a	想定していた物資拠点が利用可能か
2	b	(aが不可の場合)代替拠点の手配
3		拠点に既に物資があるか(備蓄倉庫と同じ場所か)
4	a	協定に基づく輸送車両・ドライバーの手配(拠点までの輸送)
4	b	(aが不可の場合)協定以外の車両・ドライバーの手配
4	c	(bが不可の場合)公用車・ドライバー(行政職員)の手配
5		燃料の確保
6		拠点運用のための資機材(フォークリフト、パレット等)の確保
7		拠点内電源の確保
8		拠点における作業人員の確保
9		保管場所での積み込み
10		保管場所から拠点への輸送
11		拠点での物資搬入・整理

表-2 必要な作業や判断(避難所への物資搬入完了まで)

番号	枝番	作業・判断の内容
12		ニーズ調査・配送先の決定
13	a	協定に基づく輸送車両・ドライバーの手配(避難所までの輸送)
13	b	(aが不可の場合)協定以外の車両・ドライバーの手配
13	c	(a, bが不可の場合)公用車・ドライバー(行政職員)の手配
14		燃料の確保
15		トラックへの物資積み込み
16		道路が通行可能かの確認
17		避難所への移動
18		避難所での荷降ろし

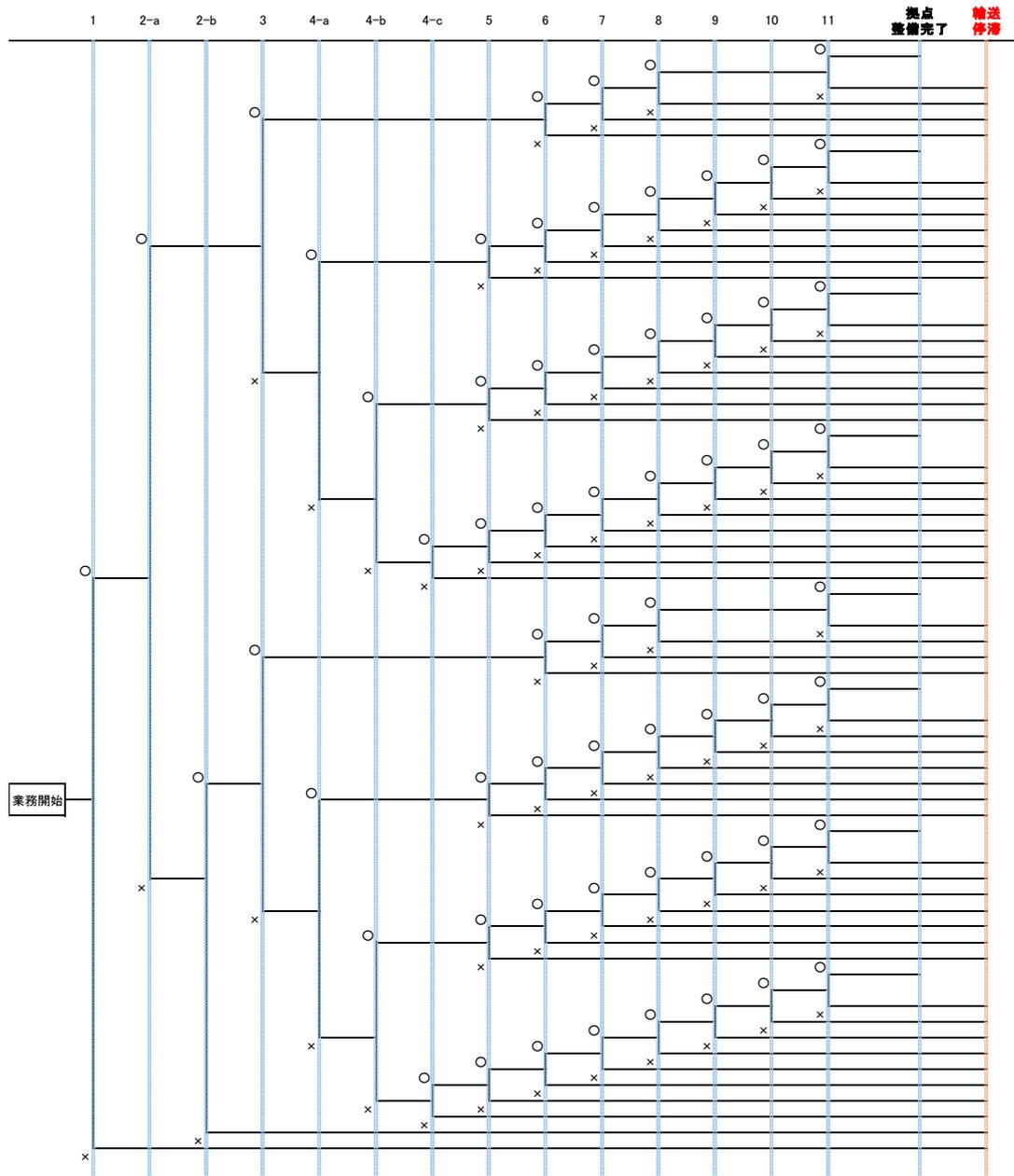


図-2 緊急支援物資輸送のイベントツリー(業務開始から拠点開設まで)

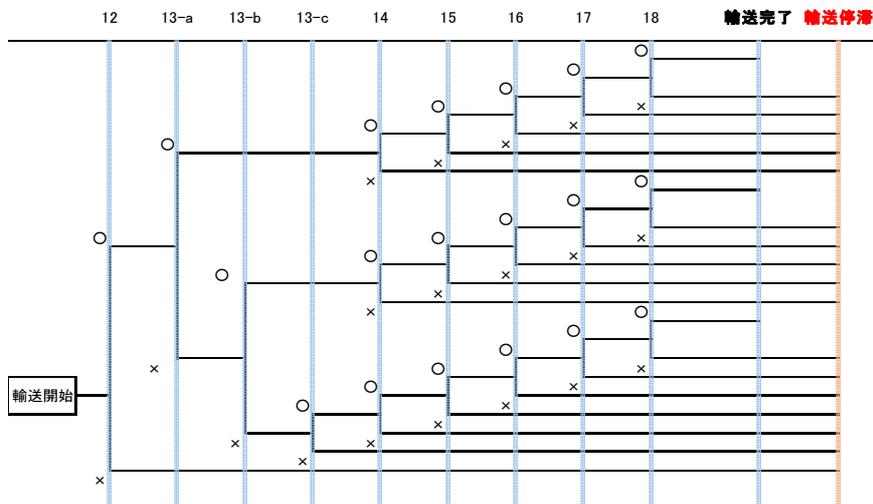


図-3 緊急支援物資輸送のイベントツリー(拠点開設から避難所到着まで)

(2) PERT 法を用いた物資支援業務の分析

(1)で述べた業務において時間を設定し、作業のクリティカルパスと作業全体の所要時間を分析する。図-2 および図-3 のイベントツリーより、物資輸送が完了するパターンは全部で 24 通りある。

このうち、表-1 および表-2 中の 2, 4, 13 の作業イベントをそれぞれの枝番のいずれかで成功したケースで一つにまとめると、物資輸送が完了するシナリオは 1) 発災後に物資を拠点に運び込むシナリオ(イベント 3 で×となる場合)、2) 発災後に物資のある場所から直接避難所へ配送するシナリオ(イベント 3 で○となる場合)の二つに集約できる。

いずれのシナリオにおいても、一つの避難所に運ぶことを考えれば「トラックへの積載→避難所への移動→避難所での荷降ろし」の工程に並行して行うべき他の作業はなく、クリティカルな工程である。そこで、この工程以前の作業を対象とする。さらに、保管場所(物資拠点とは限らない。例えば、都道府県庁や市町村役場や備蓄の保管用倉庫など)には物資が十分あるものとする。

なお、分析における各作業の所要時間は、熊本県トラック協会が取りまとめた熊本地震の対応に関する記録誌¹³⁾、伊藤らの先行研究¹⁴⁾¹⁵⁾、実務経験者の意見などを参考に一例として決定した。この例では体育館に荷役用通路を考慮して床面積 500m² に 1.5m の高さで積むことを想定し、1 時間あたり 8m³ の物資を搬入できる列が 6 列あると仮定して計算を行っている。この場合、およそ 1 万人分、7 日間の物資を確保していることになる。

a) 発災後に拠点に物資を搬入するシナリオ

まず、発災後に拠点以外の保管場所から物資を拠点へ搬入する。拠点に搬入後、物資を整理したのちに避難所

への物資輸送を開始する。このシナリオは、民間倉庫を拠点として輸送を行う場合など、拠点に予め備蓄を置いておくことができない場合や、広域拠点から市町村最終拠点に物資を発災後に輸送する場合を想定している。

この業務の一覧と業務間の接続関係は表-3 のとおりであり、これに基づいて作成したアローダイアグラムは図-4 のようになる。

このとき、最短所要時間は 23 時間である。また、クリティカルパスに相当する業務は、表-3 中の赤字で示した作業 3, 4, 8, 9 である。したがって、拠点への配送と拠点の整備を遅滞なく行うことが最優先である。

また、クリティカルパス中の 3→4→8 の流れは、合計で 7 時間まで短縮するとクリティカルパスが 1→5 に移ることがわかる。次に、5 を 1 時間短縮すると、クリティカルパスは 1→2→6 に移る。したがって、この順に 1~6 と 8 の業務は全体に影響を与えていることがわかる。

作業 9 は作業 10 と 11 の合計時間または作業 12 と 13 の合計時間の長い方より短くならない限りクリティカルパスから外れることはない。今回行った計算では、6 時間が境界になっていることから、作業 3, 4, 8 の作業時間を変えないとすれば、作業 9 拠点への物資搬入・整備)を短くすれば全体の作業時間が短縮される。この分析から、拠点への搬入を完了させるのにかかる時間は、ニーズ調査と配分の決定、避難所への輸送車両、輸送人員・燃料の確保を実施する時間より長い場合、全体の作業時間に直接的な影響を与えていることがわかる。

また、各作業のトータルフロートとフリーフロートは表-4 のとおりである。この表から、各作業を最早結合点時刻に実施するためには、表中に青地で示した作業 1, 2, 5, 10, 12 を遅滞なく行う必要がある。

表-3 作業一覧(発災後に拠点に搬入するシナリオ)

番号	作業内容(表1, 表2に対応する作業番号)	作業時間 [時間]	先行作業	後続作業
1	拠点の確保・安全確認(2)	2	-	2,5,7,8
2	拠点内の配置決定(2)	1	1	6
3	車両・輸送人員の確保(拠点への輸送用)(4)	3	-	4
4	燃料確保(拠点への輸送用)(5)	3	3	8
5	拠点内電源の確保(7)	5	1	9
6	拠点内運用資機材の確保(6)	3	2	9
7	拠点内人員の確保(8)	3	1	9
8	拠点への物資輸送(10)	2	1,4	9
9	拠点への物資搬入・整理(11)	15	6,5,7,8	-
10	ニーズ調査(12)	2	-	11
11	配送先・物資内容の決定(12)	2	10	-
12	車両・輸送人員の確保(避難所への輸送用)(13)	3	-	13
13	燃料確保(避難所への輸送用)(14)	3	12	-

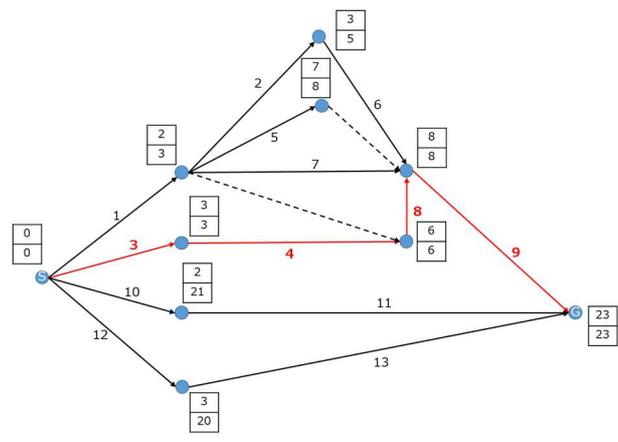


図-4 アローダイアグラム(発災後に拠点に搬入するシナリオ)

b) 発災前に物資が拠点に備蓄されているシナリオ

発災前に拠点に備蓄を行っており、拠点内の備蓄倉庫から直接拠点に取り出して拠点運用を開始する。この場合、あらかじめ物資を備蓄するスペースが必要となり、営業中の民間倉庫の活用は難しい。したがって、このシナリオは公的施設を物資拠点として活用するような状況を想定して作成している。

この業務の一覧と接続関係は表-5 であり、これに基づいて作成したアローダイアグラムは図-5 のようになる。

このとき、クリティカルパスになる作業は、表中に赤字で示した作業 1, 3, 6 である。また、最短所要時間は 22 時間である。この結果から、拠点の確保、整備と物資の搬入を遅滞なく行う必要があることがわかる。また、このシナリオにおいても前節のシナリオと同様に、作業 6(拠点への物資搬入と整理)を短くすればするほど全体の作業時間が短縮されることになる。

また、各作業のトータルフロートとフリーフロートは表-6 のとおりである。この表から各作業を最早結合点

時刻に実施するためには、表-6 中の青字で示した作業 2, 5, 7, 9 を遅滞なく行う必要があることがわかる。

(3) 緊急物資支援において優先すべき対応項目

(1)で述べた必要となる全工程のうち一つでも障害が発生すると全体に影響を与える 17 項目のうち、PERT 法による分析によればクリティカルパスになりうるものは、

- ・ 緊急支援物資の確保
- ・ 拠点の確保・安全確認
- ・ 拠点内電源の確保
- ・ 車両・輸送人員の確保(拠点への輸送用)
- ・ 燃料確保(拠点への輸送用)
- ・ 拠点への物資輸送
- ・ 拠点への物資搬入・整理
- ・ (トラックへの物資積み込み, 輸送経路が通行可能かの確認, 避難所への移動, 避難所での荷降ろしを含む)避難所への物資輸送

である。

表-4 作業の余裕時間(発災後に拠点に搬入するシナリオ)

作業	作業内容	トータルフロート	フリーフロート
1	拠点の確保・安全確認	1.0	0.0
2	拠点内の配置決定	2.0	0.0
3	車両・輸送人員の確保(拠点への輸送用)	0.0	0.0
4	燃料確保(拠点への輸送用)	0.0	0.0
5	拠点内電源の確保	1.0	0.0
6	拠点内運用資機材の確保	2.0	2.0
7	拠点内人員の確保	3.0	3.0
8	拠点への物資輸送	0.0	0.0
9	拠点への物資搬入・整理	0.0	0.0
10	ニーズ調査	19.0	0.0
11	配送先・物資内容の決定	19.0	19.0
12	車両・輸送人員の確保(避難所への輸送用)	17.0	0.0
13	燃料確保(避難所への輸送用)	17.0	17.0

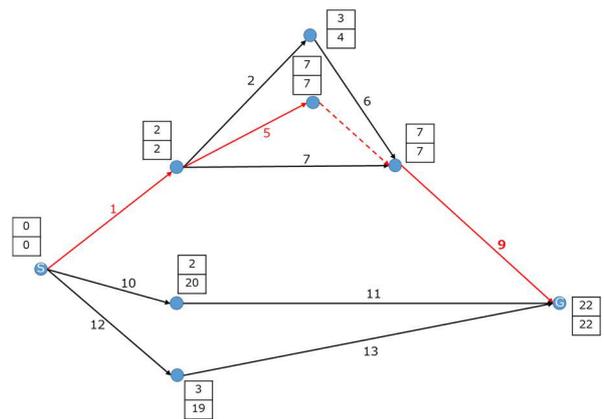


図-5 アローダイアグラム(発災前に拠点に備蓄するシナリオ)

表-5 作業一覧(発災前に拠点に備蓄するシナリオ)

番号	作業内容(表1, 表2に対応する作業番号)	作業時間(時間)	先行作業	後続作業
1	拠点の確保・安全確認(2)	2	-	2,3,5
2	拠点内の配置決定(2)	1	1	4
3	拠点内電源の確保(7)	5	1	6
4	拠点内運用資機材の確保(6)	3	2	6
5	拠点内人員の確保(8)	3	1	6
6	拠点への物資搬入・整理(11)	15	3,4,5	-
7	ニーズ調査(12)	2	-	8
8	配送先・物資内容の決定(12)	2	7	-
9	車両・輸送人員の確保(避難所への輸送用)(13)	3	-	10
10	燃料確保(避難所への輸送用)(14)	3	9	-

表-6 作業の余裕時間(発災後に拠点に搬入するシナリオ)

作業	作業内容	トータルフロート	フリーフロート
1	拠点の確保・安全確認	0	0
2	拠点内の配置決定	1	0
3	拠点内電源の確保	0	0
4	拠点内運用資機材の確保	1	1
5	拠点内人員の確保	2	0
6	拠点への物資搬入・整理	0	0
7	ニーズ調査	18	0
8	配送先・物資内容の決定	18	18
9	車両・輸送人員の確保(避難所への輸送用)	16	0
10	燃料確保(避難所への輸送用)	16	16

筆者らが実施した熊本地震における調査³⁾や先行研究によれば、上記項目の中で生じた問題には以下のようなものがあり、優先的に対策を検討する必要がある。特にこれらの業務では時間を短縮するだけでなく、資源を確保するための対策もあわせて検討する必要がある。事前から資源を確保するための計画作成や、民間に協力を得て確保する仕組みを作成しておくことが重要となる。

a) 物資の確保

東日本大震災で被災者のもとに支援物資が届かなかった反省から、大規模な災害が発生すると国はプッシュ型支援として被災自治体からの要請を受ける前に必要と想定される量の緊急支援物資を被災した都道府県の広域拠点に送ることになった。実際に熊本地震や平成 30 年 7 月豪雨において被災自治体に対してプッシュ型支援が実施され、都道府県の広域拠点まで物資が届けられた¹⁶⁾。このように、被災した都道府県の拠点に緊急支援物資がないという状況は解消されつつあるが、ニーズ発生と供給の間のタイムラグによってニーズに合わない物資が届けられ、結果として拠点のスペースを余計に占有してしまうという問題が生じている¹⁷⁾¹⁸⁾。

b) 拠点の確保

熊本地震では、発災前に想定していた県の広域拠点が被災して利用できなくなったため、佐賀県鳥栖市と福岡市に代替りの拠点が設置された。また、東日本大震災では遺体安置所や避難所など他の目的のために多数の施設が利用されたため、物資拠点となる場所の確保が困難であったと指摘されている¹⁹⁾。このように、被災により当初想定していた拠点が利用できなくなり拠点の設置が遅れるという問題がある。

c) 車両・輸送人員の確保

物流事業者から確保することが困難な場合には、公用車や行政職員の手配を考えることとなる。しかし、不慣れた行政職員が管理を行うことで物資の整理やトラックへの積み込みに支障が発生するという問題¹⁷⁾¹⁸⁾²⁰⁾が指摘されている。さらに、緊急支援物資関係以外の大量な業務を並行して実施する必要があるため、多くの人員を割り当てることは難しい。また、公用車の多くは乗用車であり輸送用の車両ではないため、一度に運べる量に限りがあり、荷積みや荷降ろしは手作業となる。このため非効率な運用となり物資が停滞する可能性がある。このように輸送手段が確保できない問題が物資拠点と避難所間の「ラストワンマイル」における停滞の原因となる。

d) 燃料の確保

東日本大震災では、製油所の被災やガソリンスタンドの給油設備が停電で使えなくなったことなどによって、ガソリン不足が生じたと指摘されている¹⁹⁾²⁰⁾。また、今後発生すると予測されている南海トラフ巨大地震では、西日本の製油所は東日本に存在する製油所よりバックアッ

プ体制が整っているものの供給ルートが二重化されていないところが多く、それが寸断されると外部からガソリンを供給できなくなる可能性があるという指摘もある²¹⁾。

e) トラックによる輸送(積み込み, 輸送経路, 避難所への移動, 荷降ろし)

道路ネットワークの寸断や交通渋滞によって配送が遅れるという問題¹⁹⁾がここにあたる。このような問題が生じると、緊急支援物資が避難所に到着する時刻がわからない、時刻が伝えられたとしてもそれが不正確なものとなり、結果として避難所側の受け入れ態勢を長時間維持する必要が生じ、避難所を運営する担当者や避難者の負担になるという問題がある。

3. 地域資源を活用した輸送計画

(1) 背景

南海トラフ巨大地震のような大規模かつ広域に被害を及ぼすような災害が発生した場合、交通ネットワークの寸断によって被災地域に支援に入ることができない状況が発生しうる。交通ネットワークの損傷に対しては、国土交通省緊急災害対策派遣隊(TEC-FORCE)²²⁾により発災後数日以内に主要な道路を復旧させる計画である²⁴⁾が、数日間は外部から支援に入ることができない可能性がある。さらに、大規模な災害では多くの自治体が被災し同時多発的に支援の要請が行われるため、支援者が不足する可能性がある。以上の問題から地域によっては発災直後に他地域からの支援が期待できず、外部からの支援が入るまでのあいだ地域内に残された資源のみで応急対応を行う必要がある。

地域内だけで応急対応を行う場合、物資輸送を想定すると、地域内に配布できる量の備蓄が存在するかだけではなく、輸送手段があるかについて考慮する必要がある。先述のように行政職員では対応しきれない規模の輸送量が必要となった場合には、本来は輸送手段としてトラックを用い、さらにフォークリフト等の荷役用機材を活用することが最適である。しかし、地域内に運送事業者の車両が多く存在しない場合、輸送を行うのに十分な大型トラックや荷役用機材を集めることは難しい。このような状況になった場合、これまでに示した先行研究でも指摘されているように多くの場合は、まず行政職員自らが公用車を用いて輸送を行うことを考えることになる。しかし、災害対応業務は支援物資に関するもの以外にも多岐に渡るため十分な人員を確保できない可能性がある。

このように、行政が協定などを利用してでも対応できない場合には、住民が物資を拠点まで取りに来る方法も考えられ、実際に熊本地震の際に熊本県阿蘇郡西原村で行われた例がある³⁾。しかしこれは、発災前に計画されて

いた行政が配る方法が難しいと災害対応の中で判断した結果として行われたものであり、住民自らが取りに来てもらうことだけを発災前から地域防災計画などで定めている例は見当たらない。

(2) 地域資源を活用した輸送計画

前節で指摘した背景を踏まえて、発災直後からの外部から支援を得られない時期の緊急物資支援計画として以下のようなものを提案する。

発災前には、地域内にある物流事業者との災害協定を西脇ら¹²⁾が議論した内容をふまえて締結し、さらに、協定の具体的な業務内容として事前にどれだけの車両や人員を提供できるかを確認する。また、地域住民とも状況に応じて物資を住民自らや避難所ごとの代表者に拠点まで取りに来てもらう可能性があることを避難所運営マニュアルや地区防災計画の作成時に合意する。この際には必要に応じて自治会や消防団、自主防災組織との協定を締結することを検討する。さらに、拠点の運営も行政職員のみで行うことは難しいと考えられるため、人員の確保やフォークリフトなどの荷役用機材の提供を得られるよう事前に協力を求めておく必要がある。このようにまず物流事業者の持つ資源を利用し、それでも不足する場合には、地域住民に協力を得て輸送を行うという計画を作成する。

発災後には、地域内にある事業者との協定に基づいた輸送を検討し、それが難しい場合は輸送のための車両提

供と運転、拠点における物資の取り扱いを地域住民に協力を求めて実施する。

現状多くの自治体で想定されている計画や協定書では、行政だけで対応できなくなった場合には、物流事業者から協力を得るという1段階の構造となっている。本研究で提案する計画では、これに住民から協力を得るという段階を経た2段階の構造とすることが可能となる(図-6)。

これによって、2.で作成したイベントツリーのうち、図-3に示した拠点整備完了から先の工程で成功するシナリオを一つ増やすことができ(図-7)、全体では、八つの成功するシナリオが増えることになる。さらに、多くの人員を確保できれば、拠点の積み込み(図-7中の作業15)が円滑に進む可能性が高くなるという効果もある。

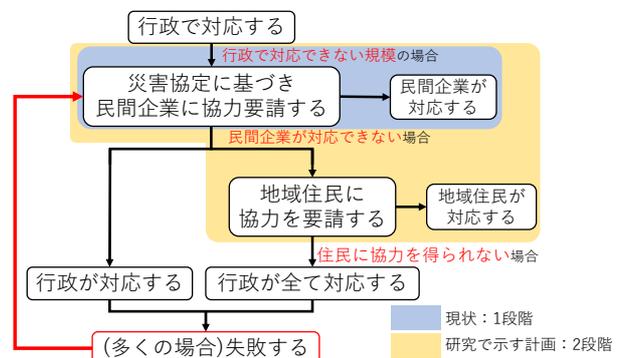


図-6 協力依頼の流れ

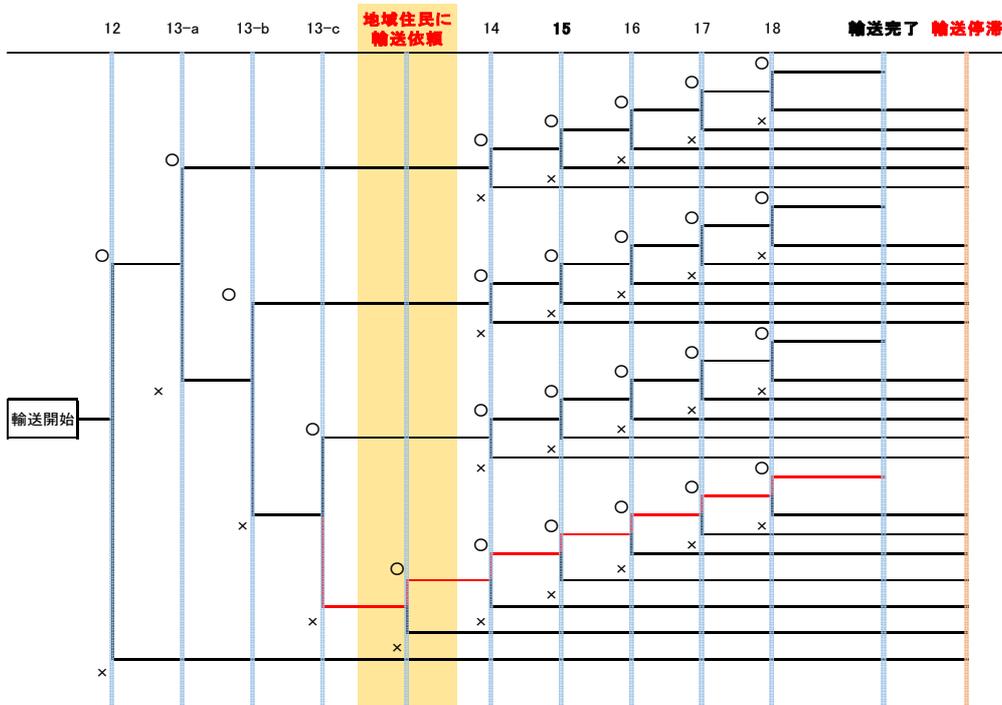


図-7 提案する計画によるイベントツリー

4. 支援物資拠点における待ち時間を考慮した支援物資輸送シミュレーション

(1) シミュレーションの概要

2.で示した支援物資の流れに基づき、支援物資が市町村最終拠点に到着した以降、避難所に物資を降ろす時点までを対象とした分析を行うシミュレーションを作成した。これを用いて、物資輸送に利用する車両の種類(軽トラック、2t 車)と台数、拠点において同時に積載する台数を変化させて、すべての避難所で支援物資が充足するまでの日数を計算した。

なお、本文中で「避難所の支援物資が充足した」とは、ある時点までに必要となる物資(1 日目までに必要となる物資量+それ以降に必要な物資量×日数)が配送された状況のことを指すこととする。

本シミュレーションでは、図-8 に示す拠点での荷役待ち、拠点における荷物の積み込み、輸送、避難所での荷降ろしの一連のフローを再現している。

また、熊本地震において行った熊本県内の自治体へのヒアリング調査では、発災当初は多くの市町村でフォークリフトなどの機材を調達できず、職員自らが手荷役を行っていたため物資が停滞したという指摘もある³⁾。

本シミュレーションでは、手荷役を想定した荷役時間を設定する。伊藤・ウイスニーの熊本地震における計測結果¹⁹⁾を参考にして、積載、荷降ろしともに軽トラック 1 台あたり 30 分、2t トラック 1 台あたり 120 分とする。

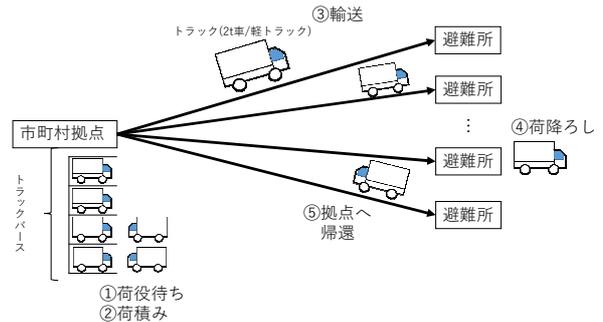


図-8 シミュレーションで再現する物資の流れ

(2) シミュレーションで利用するパラメータ

a) 必要となる物資量

必要となる物資量は伊藤の概算¹⁴⁾をもとにして表-7 のように設定する。なお、伊藤の概算では日本における年齢別人口を考慮して 1,000 人あたりに必要となる基礎的物資の体積を算出している。本研究ではこの値を 1,000 で割った数値(1 日目に配布する物資：0.03422m³、2 日目以降毎日配布する物資：0.006424m³)を 1 人あたりに必要な物資量として定めることとする。

b) トラックの積載容量

トラックの積載容量は国内メーカー各社の標準的なトラックの仕様を参照し、2t 車で 15m³、軽トラックで 4m³ とする。

c) 避難所までの距離とトラックの走行速度

国土地理院ベクトルタイル提供実験の地図情報(道路中心線)²⁰⁾のうち、道路分類が「通常部」であるものを抽出したデータから ArcGIS Network Analyst エクステンションを利用して道路ネットワークを作成し、拠点から避難所までの最短経路距離を算出する。

また、トラックの走行速度は Wisinee と伊藤の計算²⁶⁾に倣い、すべての道路において時速 16km に設定する。

d) トラックの積載、荷降ろし時間

多くの市町村では、体育館など本来物流業務を取り扱うことを想定していない場所を物資拠点として想定している場合が多い。例えば、高知県高岡郡四万十町では、地域防災計画によれば四万十窪川勤労者体育センターを拠点として設定している²⁷⁾。このような場所では、フォークリフトのような大きな機材を入れることは難しいため、トラックへの積み込みは手荷役で行われることとな

表-7 配布する支援物資の一覧

項目	体積[m ³ /1000 人]	1 日目に配布する物資	2 日目以降毎日配布する物資
毛布(0 歳児以外)	26.28	○	-
毛布(0 歳児)	0.11	○	-
水 500ml(0 歳児以外)	3.42	○	○
水 500ml(0 歳児)	0.01	○	○
食品(0 歳児以外)	0.94	○	○
粉ミルク(0 歳児)	0.003	○	○
哺乳瓶	0.03	○	-
カイロ	0.003	○	○
生理用品(成人女性)	1.02	○	○
おむつ(乳幼児)	0.13	○	○
おむつ(要介護者)	0.06	○	○
便袋(男性)	0.04	○	○
便袋(女性)	0.32	○	○
トイレットペーパー(男性)	0.02	○	○
トイレットペーパー(女性)	0.21	○	○
排泄物仮置き用袋(男性)	0.007	○	○
排泄物仮置き用袋(女性)	0.05	○	○
簡易便座	0.17	○	-
間仕切り	1.507	○	-
配布する物資の体積[m ³ /人]		0.03422	0.006424

(3) トラックの挙動

トラックは発災後の時点ですべて拠点にいと仮定し、拠点で積載を行う。この時、同時に積載できる台数を超えた場合には、順番待ちを行い順次積載する。トラックの積載が終了したら、その時点で避難所に到着している、または輸送中の物資量とその日までに必要となる物資量との比(充足率)が最も小さい避難所を選択し、物資を輸送する。避難所に到着したら積み下ろしを行い、その後拠点へ帰還する、という行動を定義し、トラックのイベント発生時刻の小さいものから順に処理を行う。

(4) 時間の処理

プログラム中の時間は分で処理を行い、すべてのオブジェクトに現在のイベントが完了し、次のイベントが発生する時間(イベントタイム)のパラメータを持たせた。すべてのオブジェクトのイベントタイムのうち最も小さいものを採り、その処理を行いその後、すべての時間を進めるという処理を実施する。

また、熊本地震におけるヒアリング調査では、物資がいつ到着するかわからず 24 時間待機する必要があり疲弊したという証言があったことから、本シミュレーションでは 1 日の運用時間を 12 時間とする。これによって、シミュレーションに基づいた運用を実際に行った場合でも避難所で 24 時間いつ荷物が届くかわからず待機しなければならないという問題を解消できる。プログラム上では、時刻が 720 分を超えた時点ですべてのオブジェクトの持つイベントタイムや倉庫の待ち時間から 720 分を減じ、負になったものは 0 として処理している。

(5) シミュレーションの出力

トラックの台数と同時積載可能台数を変更し、それぞれのパターンですべての避難所において日数が 30 日を超えない範囲で充足率が 1.0 を超えるまで繰り返し計算を行い、充足するまでにかかった日数と拠点における待ち時間の推移を出力する。

5. 高知県四万十町におけるケーススタディ

本章では、高知県高岡郡四万十町をモデルケースとして、現状の支援物資輸送計画とその問題点を地域防災計画の文献調査やヒアリング調査から明らかにする。次に、それらに対応できる地域資源を活用した輸送計画を検討し、計画の実行可能性や効果について考察を行う。

(1) 四万十町の特徴と被害想定

高知県高岡郡四万十町は、内閣府の検討会の試算²⁸⁾ 29) では、南海トラフ巨大地震で最大震度 7、広い範囲で震

度 6 強の揺れを受けると予測されている(図-9)。さらに、沿岸部の興津地区、志和地区では、津波による被害も懸念されている。

四万十町に入るための主要な道路は、高知市から沿岸部を通り愛媛県に至る国道 56 号、高知市と接続する高知自動車道、内陸部を通り愛媛県宇和島市とつながる国道 381 号の 3 本がある。これらの道路は沿岸部や山間部を通っていることから、南海トラフ地震が発生した際には津波や土砂崩れ、地震動等で寸断される可能性がある。そのため、発災すると町域全体が孤立するリスクが高い地域であり、町域が孤立した場合には外部から支援を受けられないことが懸念されている。さらに、町域内に物流事業者の支店はあるもののトラックの台数が限られるため、災害協定に基づいて支援を要請しても事前に想定していた量の業務の提供が受けられなくなる可能性がある。以上から、四万十町では 2. で議論した問題のうち、「輸送手段の確保」と「燃料の確保」の二つにおいて問題が生じる可能性が高い。

一方で、農業や漁業に従事する地域住民が多く軽トラックの所持率が高いことから、軽トラックを活用すると緊急支援物資輸送を行える可能性がある。

(2) 四万十町の緊急支援物資輸送計画

四万十町地域防災計画²⁹⁾では災害時の緊急輸送について以下のように規定されている。

配車は総務部が総合調整を行い、車両、船舶、ヘリコプター、鉄道、自衛隊、臨時職員等による人力輸送の中で適切な手段を用いて輸送することとなっている。特に車両については、まず町有車両を調整し、それでは不足すると想定される場合には他の公共団体に属する自動車、営業用あるいは自家用の自動車を利用することとなっている。さらに緊急支援物資の輸送については、「高知県トラック協会と協議して適切な措置を講ずる」と記載されている。

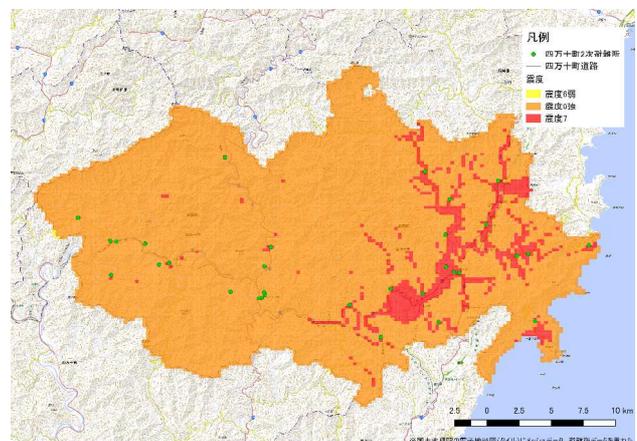


図-9 四万十町 2 次避難所と震度分布(南海トラフの巨大地震モデル検討会²⁸⁾の最大クラス震度分布²⁹⁾)

燃料については、「輸送活動を円滑に行うために、各機関は燃料の調達・供給体制の整備を図る」と記載されているが具体的な記載はない。

輸送の優先順位は以下のようになっている。まず、第 1 段階として、救助・救急活動、消防、水防活動、国及び地方公共団体の応急対策活動、ライフライン事業者の応急復旧活動、緊急輸送に必要な輸送施設、輸送拠点の応急復旧、交通規制活動を行う。第 2 段階では、第 1 段階の継続、給食・給水活動、負傷者等の被災地外への輸送、輸送施設の応急復旧を行う。最後に第 3 段階として、第 2 段階の継続、災害復旧に必要な人員及び物資、生活救援物資輸送活動を行うこととなっている。

緊急支援物資は町の指定する 2 箇所の拠点(四万十町窪川勤労者体育センターおよび高知県立窪川高等学校)に集積され、避難所に配布されることになっている。四万十町役場へのヒアリング調査によれば、高知県立窪川高等学校は高知県の支援物資拠点としての活用が想定されており、四万十町として実際に利用できるのは四万十町窪川勤労者体育センターである。また、被災者への配布は町職員、住民、自主防災組織、ボランティア等が行うことになっている。

(3) 四万十町の緊急支援物資輸送計画における問題点

前節で示した計画には、二つの問題点があると考えられる。まず、町職員が輸送を行うことになり、緊急支援物資に関する業務に町職員のリソースの多くを割くこととなる。そのため、他の業務に支障が生じる可能性や、不慣れた職員による非効率な輸送や拠点整備が行われ、結果として緊急支援物資が停滞する可能性がある。

二つ目の問題として、道路が寸断され外部からの支援が入らない場合の計画について、燃料確保や使用量のコントロールが重要となるが、それらに関する具体的な計画は策定されていない。ただし、高知県燃料確保計画³⁰⁾を参照したところ、四万十町におけるガソリンと軽油の供給量は、南海トラフ巨大地震の L2 想定かつ厳しい条件であっても、軽油で 4 日以上、ガソリンで 3 日以上 4 日以内の需要が賄えると試算されている。このことから、ガソリン不足についてはコントロールを行わなくてもこの日数について供給可能である。さらに、消防や警察、物資輸送などの業務に優先的に配分するようにあらかじめ決めておけば、想定されている日数以上に外部からガソリンの供給が途絶したとしても大きな問題とならないと言える。しかし、停電によって給油設備が利用できなくなるという問題や、東日本大震災では被災地において平時の 132 倍の顧客の集中を招いた結果、燃料不足が生じたという報告²⁹⁾がある。したがって、試算では供給可能であるとされているが、燃料を行政の災害対応車両に優先的に給油できるように事前にガソリンスタンドと

行政の間で取り決めておくことは必要である。

以上の議論から、検討しなければならない事項として、町域が孤立して外部から輸送手段や物資を扱う人員を確保できなくなった場合に、輸送手段と物資を取り扱う人員を確保する方法が挙げられる。そこで、前章で提案した地域資源を活用した物資輸送計画を四万十町において適用し、その実行可能性について考察を与える。

(4) 四万十町における物資輸送シミュレーション

本節では前節で指摘した事項を検討するため、4. で作成したシミュレーションを四万十町に適用し、輸送に必要な車両台数や人員について検討を行う。

a) 計算に用いたデータと数値

・道路ネットワーク

道路ネットワークは数値地図(国土基本情報)-地図情報の道路中心線データを国土地理院ベクトルタイル提供実験²⁹⁾より取得した。このうち四万十町の町域に重なる部分を切り出し、さらに道路種別が「通常部」のものを抽出した。

避難所と拠点間の距離は、ArcGIS Network Analyst エクステンションのルート検索機能を用いて最短経路(km に変換後、小数第 3 位を四捨五入した)を定めた。

・避難所と避難者数

避難所には四万十町地域防災計画中で指定されている 2 次避難所(34 か所)のうち同じ敷地内や隣接するものをまとめた 32 か所を設定した。ここにすべての町民が避難すると仮定する。避難所別の滞在人口は、「平成 27 年国勢調査 小地域集計 町丁・字等編 男女別人口及び世帯数—町丁・字等」³¹⁾の地区別の男女別住民数を利用した。なお、同じ地域に複数の避難所が設定されている場合には避難所数で等分して人数を定めた。

・物資拠点

三つのシナリオを考える。拠点と避難所の位置関係は図-10 の通りである。



図-10 四万十町の 2 次避難所と物資拠点の候補地

(ア)拠点 1 か所のケース

四万十町窪川勤労者体育センター(四万十町香月が丘 1480 番地)を指定した。

(イ)複数拠点ケース(四万十町が検討中の拠点)

四万十町が拠点として再検討している拠点の候補地である高幡木材センター(四万十町東大奈路 505), JA しまんと(四万十町東大奈路 513), 高知県森林組合連合会高幡共販所(四万十町六反地 132-1)を含めた 4 拠点を設定する。拠点と避難所は ArcGIS Network Analyst エクステンションの最寄り施設の検出機能を用いて対応させた。

(ウ)複数拠点ケース(四万十町内の物流事業者の所在地を拠点とするケース)

i タウンページの「ビジネス > 運送・貨物・倉庫」³²⁾に分類されている企業のうち、重複する住所の場所を除いた全 6 か所を設定し、その中から ArcGIS Network Analyst エクステンションのロケーション-アロケーション機能を用いて、インピーダンスを 16km として計算を行った結果選定された、有限会社大和運輸窪川営業所(四万十町榊山町 586-2), 有限会社大和運輸本社(四万十町大正北ノ川 171-5), 有限会社十和運送(四万十町十川 99-2)の 3 か所を設定した。

ただし、物流拠点として適当な設備があるかについては検討していないため、この結果は旧窪川町域(東部), 旧大正町域(中部), 旧十和村域(西部)のそれぞれに拠点を配置した場合の参考としてのものである。

(3) シミュレーションの結果

前節で示したデータと数値を用いて、四万十町の町域内すべての道路が通行可能であると仮定して計算を行う。それぞれのケースで輸送手段として、a) 地域住民の協力を想定した軽トラック、b) 物流事業者の車両を想定した 2t 車の 2 パターン計算を行った。なお、計算結果の詳細は付録に記載する。

a) 拠点 1 か所(四万十町窪川勤労者体育センター)のケース

3 日以内にすべての避難所で物資を充足させるために最低限必要な車両台数と拠点における同時積載数の組み合わせは表-8 のようになった。この結果から、拠点において同時に積載できる車両数に応じて最低限必要となる車両数は変化する。そこで、体育館のような出入りが限られる施設では、拠点の物理的な構造を考慮して最低限調達する車両数を決める必要がある。

次に、拠点における待ち時間について検討する。この図-11 およびトラックへの積載にかかる時間をふまえると、運用開始当初(t=0)に最大数の待ちが発生する以降は多くても 2 台程度であることがわかる。

b) 複数拠点ケース(四万十町が検討中の拠点)

各拠点に対してシミュレーションを実行した結果は表

-9 のようになった。この結果から、3 日以内に充足させるために最低限必要となる車両数と同時積載数の組み合わせは、軽トラックで、(車両数, 同時積載数)=(18, 8), (21, 7), (19, 7), (22, 6), 2t 車で、(車両数, 同時積載数)=(14, 7), (15, 6)のいずれかである。

c) 複数拠点ケース(四万十町内の物流事業者の所在地を拠点とするケース)

前節の計算と同様に、各拠点に対してシミュレーションを実行した結果は表-10 のようになった。この結果から、3 日以内に充足させるために最低限必要となる車両数と同時積載数の組み合わせは、軽トラックで、(車両数, 同時積載数)=(13, 5)であり、2t 車で、(車両数, 同時積載数)=(12, 6), (13, 5)のいずれかである。

表-8 必要な車両数と同時積載数(拠点 1 か所のケース)

車種	拠点	車両数	同時積載数
軽トラック	四万十町窪川勤労者体育センター	19	6
		20	5
		21	4
2t 車	四万十町窪川勤労者体育センター	14	7
		15	6
		16	5

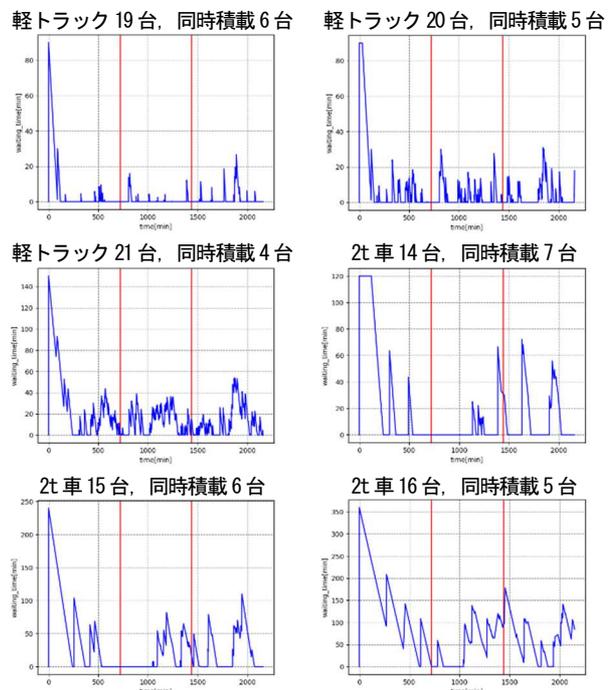


図-11 拠点における待ち時間の推移

表-9 必要な車両数と同時積載数(四万十町が検討中の拠点)

車種	拠点	車両数	同時積載数
軽トラック	高畑木材センター	1	1
	JA しまんと	3	2
		4	1
	高知県森林組合連合会 高幡共販所	2	1
	四万十町窪川勤労者 体育センター	13	3
16		2	
2t車	高畑木材センター	1	1
	JA しまんと	3	1
	高知県森林組合連合会 高幡共販所	2	1
	四万十町窪川勤労者 体育センター	8	4
		9	3

表-10 必要な車両数と同時積載数(物流事業者を拠点とするケース)

車種	拠点	車両数	同時積載数
軽トラック	有限会社大和運輸 窪川営業所	8	3
	有限会社大和運輸本社	3	1
	有限会社十和運送	2	1
2t車	有限会社大和運輸 窪川営業所	7	4
	有限会社大和運輸本社	8	3
	有限会社十和運送	3	1
	有限会社十和運送	2	1

(4) 四万十町における地域資源を活用した物資輸送計画の考察

本節では、a) 車両の確保、b) 拠点の確保、c) 拠点内の人員確保の三点に分けて計画を実現するために必要な事項と、地域住民との合意の方法について考察を行う。

a) 車両確保に関する考察

平成 27 年国勢調査就業状態等基本集計³³⁾によれば、四万十町で農業に従事する住民は 15 歳以上の就業者のうち約 25%にあたる 2,825 人である。このことから、多くの世帯で軽トラックを所有していると推察される。

(3)で行ったシミュレーションの結果から、四万十町では 3 日以内に充足させるためには、拠点の配置パターンにより異なるが、地域で軽トラックを最低でも 13 台以上調達する必要があるが、避難所は全体で 32 箇所であるから、各避難所から 1 台提供してもらえば十分実現できる。

四万十町の担当者によれば、現在、各避難所で地域住民とともに避難所運営マニュアルを作成中であり、この中では物資調達についても検討が行われている。したがって、この議論の中で地域住民に軽トラックを提供してもらい、避難所から物資を取りに来てもらうような仕組みで合意できれば車両の調達も可能である。また第 3 章では、行政と民間企業の間で結ばれる協定について取り決めておくべき事項を検討したが、このような取り決めを自治会や自主防災組織、消防団といった、地域単位で住民によって構成されている組織と取り決めておくことが必要である。

また、(3)で行ったシミュレーションのように、物資拠点のサテライトを設置しそこから避難所へは住民の軽トラックを活用して輸送を行う場合、サテライトまでの輸送が必要となる。この拠点間輸送には 2t 車以上の大型トラックを利用することが望ましいが、拠点間輸送だけであれば、拠点からすべての避難所に配送するよりも

大型トラックの必要となる台数を少なくできる。また、拠点を道幅の広い国道沿いに設置すれば、避難所への輸送では道幅の関係で活用が難しい 4t トラックを利用できる可能性もある。四万十町内にはいくつかの物流事業者も所在していることから、これらの事業者が所有するトラックの台数を確認し、輸送を行う計画を作成しておくことが必要である。さらに、これらの業者が所有するトラックを提供してもらうための協定を事前に締結しておくことで、発災後速やかに運用が行えるようになる。

b) 拠点の確保に関する考察

物資拠点として、現状は四万十町窪川勤労者体育センターを拠点としているが、被災して拠点としての利用ができなくなった場合には、代替施設を速やかに整えることが必要となる。また、四万十町内には物流事業者や倉庫もいくつかは所在していることから、特に中部、西部の旧大正町や旧十和村の地域に拠点のサテライトを設置し、大型車を用いて輸送を行う、という方法も考えられる。(3)のシミュレーションでは、道路ネットワークの寸断を考慮していないが、実際には寸断するリスクがあり、拠点の分散を行うことで道路が寸断されたとしてもすべての避難所に支援物資を届けられる可能性が高くなる。したがって、町内の民間倉庫などの拠点をあらかじめ複数決めておき、発災後に確保できるようにしておくことが望ましい。

この場合、営業中の倉庫であれば発災前からすでに支援物資ではない物が保管されている可能性が高い。そのような場合に、保管されている荷物をどう扱うのか、どの程度の時間で倉庫内を空けて拠点整備できるのかについて考慮をした計画作成や倉庫業者との合意を行う必要がある。

また、倉庫の料金は、一般的に荷物の容積または利用する床面積で算出される。熊本地震において熊本県が民間倉庫を借り上げて行ったケースでは床面積を基準に算

定が行われていた。このような算出根拠を含めてあらかじめ合意しておく必要がある。

c) 拠点内の人員確保に関する考察

四万十町窪川勤労者体育センターは、図-12 のような構造になっている。本来の用途は体育館であるから、耐荷重の問題で建物内にはフォークリフトなど大型機材を入れることはできない。また、入り口には段差や引き戸のレールなどがあり、体育館から外に出す際には台車を使うことは難しい。したがって、シミュレーションで設定した拠点において手荷役で拠点の待ち時間を除いて軽トラックで 30 分以内に積載を完了するという条件を実現するためには、物資の保管場所から 1m あたり 1 人配置してバケツリレーの方式で積み込みを行う必要がある。

この条件下でシミュレーションから算出した同時積載数を可能とするためには、体育館の中から荷役スペースまで 1m おきに人員を配置して、100 人程度の人員が必要となる。

また、複数の拠点を活用するケースでも、1 列あたり 10~20 人必要であるとすれば、50~160 人程度が必要となる。ただしこの場合は耐荷重がフォークリフトに耐えられれば、そのような荷役機材を導入することで人員削減は可能であるため、機材の導入を優先的に検討すべきである。

四万十町危機管理課へのヒアリング調査では、災害時に支援物資に関する業務を行うのは税務課と町民生活課であるが、四万十町が策定した事業継続計画を考慮すると従事させられる職員は多くても 20 名程度であると回答している。また、(3) a) の 1 拠点ケースにおける待ち時間のデータから、多くてもトラックの待機列は 2 台程度であるから、待機しているドライバーに積載を手伝ってもらおうとしても人員が不足する。

ここで、企業や住民からの協力が得られず職員 20 名で運用することを考える。体育館の出入口付近まで台車で運び、そこから手作業でトラックまで運び積み込む方法を取るとする(図-13)。この場合、積み込みにかかる速度を、段ボール 1 箱を 0.85m³、歩行速度を分速 50m、体育館出入口からトラックまで 10m として分速 0.05m³ と仮定して計算すると、積み込みには軽トラック 1 台あたり 80 分かかることになる。体育館内で出入口付近まで運ぶ人員を 2 人以上、1 台の積み込みに 2 人必要であるとすれば、最大で 9 台の同時積載を行うこととなる。この条件でシミュレーションを行うと、23 台の軽トラックを用意すれば 4 日で充足させることができるが、トラックの台数をこれ以上増やしても 3 日以内に充足させることはできない。また、同時に積載する台数を減らせば、それ以上の日数がかかる。

このように、車両の確保だけでなく拠点における人員の確保も必要である。そのために、避難所への物資配分

計画の作成やニーズ調査のような行政職員が行うべき業務以外の、荷役作業のような単純作業について、住民の中から協力者を募ることも検討すべきである。この際にも、a) で考察したように、地域住民との合意を得ることができれば計画に反映できる。

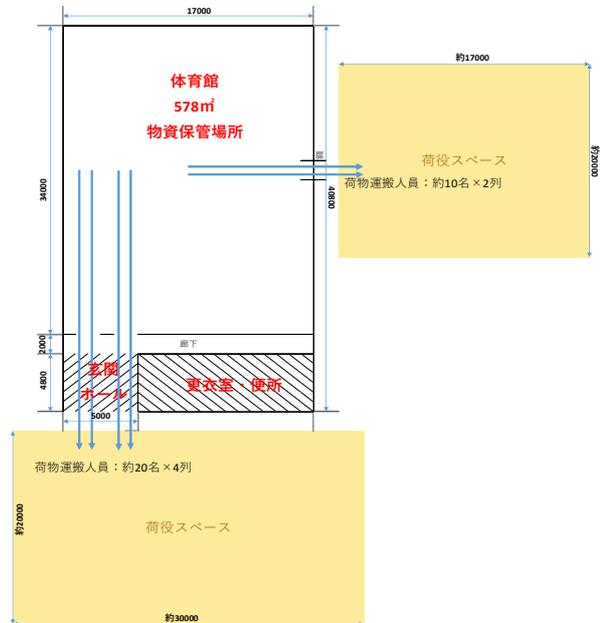


図-12 四万十町窪川勤労者体育センターの簡易図面(四万十町危機管理課提供のものを参考に作成)と人員配置

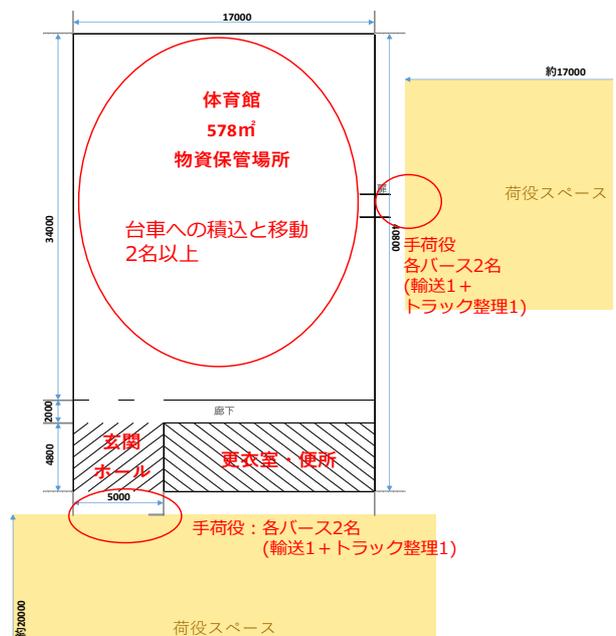


図-13 20名で運用する場合の人員配置

6. まとめ

本研究では、災害時における緊急物資支援の全体像をイベントツリーの作成と PERT 法を用いて分析し、特に、1) 緊急支援物資、拠点、拠点内電源、車両・輸送人員、燃料の確保、2) (拠点への物資輸送・搬入・整理、トラックへの物資積み込み、輸送経路が通行可能かの確認、避難所への移動、避難所での荷降ろしを含む) 物資輸送が特に緊急物資支援の停滞を引き起こす可能性が高いことを明らかにした。

東日本大震災以降、これらの問題の解決のために多くの研究や災害対応に関する提言で物資支援において民間の力を活用した災害対応を行うことが推奨されている。それを受けて、様々な自治体が災害対応の計画中で民間協力を検討し、関連する企業や団体との災害協定の締結が進められている。

しかし、南海トラフ巨大地震のような広範囲に甚大な被害を及ぼすと想定される災害では、道路や鉄道などの交通ネットワークの損傷のみならず支援を要請する自治体が大量に発生することが想定される。そのため、他の自治体や地域外の関連企業・団体からの応援を早期に受けられる可能性は低く、支援を受けられるようになるまで地域内に残された備蓄や流通在庫、機材や人的リソースのみで応急対応を行う必要がある。そこで、本研究では、トラックの確保と荷役について民間企業だけでなく地域住民にも協力を得て行う緊急物資支援計画について提案した。

次に、高知県高岡郡四万十町を事例として、この計画の適用を検討した。四万十町では高知県が作成した燃料供給計画に基づくと燃料確保の問題は大きな問題にならないと考えられたため、1) 拠点の確保・整備と 2) 輸送の 2 点に焦点を当てて、必要となる車両数と拠点における作業人数を算出した。そのために拠点での荷役待ちから避難所への輸送までを再現したシミュレーションを作成した。この結果から、資源量としては地域住民に協力を得ることで確保できることが明らかとなった。

このような住民協力を通じた効果的な支援物資輸送を実現するためには、発災前から自治会や自主防災組織と行政の間でコミュニケーションを取り、合意しておく必要がある。

本研究では、四万十町役場の担当者へのヒアリング調査を中心にして計画の実行可能性に関する分析を行った。しかし、実際に協力を求める地域住民への意識調査や、どのように受容されるかについての分析は行っていない。したがって、今後は住民に協力を求める手法や行政と住民の間のコミュニケーションについて検討する必要がある。また、四万十町のように軽トラックが地域に多くあるとわかる地域においては計画の実現性がある。しかし、

例えば熊本地震で被災した熊本市や、南海トラフ地震で大きな被害が想定される高知市などでは、第 1 次産業に従事する世帯が少なく、軽トラックを確保することは難しい。しかし一方で、運送事業者の車両が多く存在しており、これを確保できる可能性が高い。このように、地域特性に応じて依頼する資源の内容が変化することがあることは考慮する必要がある。

将来的に発生すると予測される大災害に対応するためには民間協力は不可欠である。今後は、本研究で考察を行ったような民間との協定や合意の内容を検討するだけでなく、実際に運用するにあたって行われる住民と行政のコミュニケーションのあり方を考えることが求められる。

参考文献

- 1) 読売新聞：避難所物資届かず熊本地震，2016/4/19 東京朝刊，p.3.
- 2) 毎日新聞：提携：災害支援物資輸送で県と物流事業者 3 社／熊本，2017/9/15 地方版／熊本，p.23.
- 3) 西脇文哉：熊本地震における緊急物資支援の計画と実態に関する考察，京都大学工学部地球工学科卒業論文，2017.
- 4) 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対策について(最終報告)，http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/pdf/20130528_honbun.pdf，p.6，2013。(最終確認：2019年1月29日)
- 5) 高知市：平成28年度高知市防災意識調査調査結果報告書，<http://www.city.kochi.kochi.jp/uploaded/attachment/48940.pdf>，2016。(最終確認：2019年1月29日)
- 6) 中川大，若山真樹，伊藤雅：シミュレーションを用いた震災時の緊急物資輸送計画に関する研究，土木計画学研究・論文集，No.14，1997.
- 7) Burcu Balcik, Benita M. Beamon, Karen Smilowitz: Last Mile Distribution in Humanitarian Relief, *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 12(2), pp.51-63, 2008.
- 8) 岡林楠博，中村有克，安東直紀，山田忠史，谷口栄一：災害時における配送量の優先度を考慮した救援物資配送モデルの構築，土木学会論文集D3(土木計画学)，Vol.67, No.5(土木計画学研究・論文集第28巻)，pp.I 887-I 897, 2011.
- 9) 間島隆博：災害時における救援物資に輸送体制とシミュレータ（サプライチェーンリスク管理と人道支援ロジスティクス，久保幹雄・松川弘明編），近代科学社，pp.201-234, 2015.
- 10) 内閣官房：物資輸送の集積拠点の整備「岩手方式」

- (国土強靱化民間の取り組み事例集(平成28年5月)),
https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo_kyoutjinka/h28_minkan/pdf/2275.pdf, 2016. (最終確認: 2019年1月29日)
- 11) 国土交通省: 都道府県と物流事業者団体との災害時の協力協定の締結状況の推移,
<http://www.mlit.go.jp/common/001122279.pdf>, 2016. (最終確認: 2019年1月29日)
 - 12) 西脇文哉, 畑山満則, 大西正光, 伊藤秀行: 熊本地震での緊急支援助物資輸送における当事者間コミュニケーションに関する考察, 土木学会論文集 D3(土木計画学), Vol.74, No.5, pp.I_389-I_397, 2018.
 - 13) (公社)熊本県トラック協会: 熊本地震記録誌, 2016.
 - 14) 伊藤秀行: 救援物資ロジスティクスの主体間・地域間連携と効率化に関する研究: 京都大学大学院工学研究科博士論文, 2018.
 - 15) 伊藤秀行, ウィセットジンダワット ウィスニー, 横松宗太: 南海トラフ巨大地震における政府調達物資供給計画の実行可能性の検討, 実践政策学, Vol.3, No.1, pp.31-38, 2017.
 - 16) 朝日新聞: (時時刻刻) 必要な物資、どう届ける 西日本豪雨, 2018/7/12 朝刊, p2
 - 17) 総務省消防庁: 緊急物資等の備蓄・調達に係る基本的な考え方, pp.1-20, 2006.
 - 18) 総務省消防庁: 緊急物資等の備蓄・調達に係るヒント集(参考事例の紹介), pp.11-23, 2006.
 - 19) 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助物資の流動実態の定量的把握, 平成23年国土政策関係研究支援事業研究報告書, 2012.
 - 20) 苦瀬博仁, 矢野裕児: 市民を兵糧攻めから守る「災害ロジスティクス計画」, 都市計画, Vol.60, No.3, pp.87-90, 2011.
 - 21) 新建新聞社: 車両燃料の不足はなぜ起きた|誌面情報 vol53 | リスク対策.com (リスク対策ドットコム), <http://www.risktaisaku.com/articles/print/575>, 2016. (最終確認: 2019年1月29日)
 - 22) 佐伯琢磨, 清野純史: 東日本大震災におけるガソリン供給問題に関する検討とシステムダイナミクス・モデルの適用, 日本地震工学学会論文集, 第14巻, 第1号, pp.34-43, 2014.
 - 23) 国土交通省: TEC-FORCE-国土交通省水管理・国土保全局, <http://www.mlit.go.jp/river/bousai/pch-tec/index.html>. (最終確認: 2019年1月29日)
 - 24) 国土交通省: 南海トラフ巨大地震におけるTEC-FORCE活動計画, <http://www.mlit.go.jp/river/bousai/pch-tec/pdf/TEC-FORCE3-4-2.pdf>, 2016. (最終確認: 2019年1月29日)
 - 25) 国土地理院: GitHub - gsi-cyberjapan/vector-tile-experiment: 国土地理院ベクトルタイル提供実験レポジトリ, <https://github.com/gsi-cyberjapan/vector-tile-experiment>, 2017. (最終確認: 2019年1月29日)
 - 26) Wisinee Wisetjindawat, Hideyuki Ito, Motohiro Fujita: Integrating a stochastic failure of the road network and a road recovery strategy into the planning of goods distribution in the aftermath of a large-scale earthquake, Transportation Research Board 94th Annual Meeting, 2015.
 - 27) 四万十町防災会議: 四万十町地域防災計画【一般対策編】, 2017.
 - 28) 内閣府 南海トラフの巨大地震モデル検討会: 南海トラフの巨大地震モデル検討会: 防災情報のページ-内閣府, <http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/index.html>. (最終確認: 2019年1月29日)
 - 29) 内閣府 南海トラフの巨大地震モデル検討会: 強震断層モデル(1)データセットA-データセット, <https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/1201>, 2016. (最終確認: 2019年1月29日)
 - 30) 高知県: 高知県燃料確保計画, http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/010101/files/2018053000128/file_2018724216382_1.pdf, 2018. (最終確認: 2019年1月29日)
 - 31) 総務省統計局: 国勢調査 平成27年国勢調査 小地域集計 39高知県 人口等基本集計に関する集計 2男女別人口及び世帯数 一町丁・字等, https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00200521&tstat=000001080615&cycle=0&tclass1=000001094495&tclass2=000001094538&stat_infid=000031522254&second2=1, 2017. (最終確認: 2019年1月29日)
 - 32) NTTタウンページ株式会社, https://ftp.ne.jp/kouchi/39412/genre_dir/unsou_kamotu_souko/?ngr=1&nad=1&sr=1. (最終確認: 2019年1月29日)
 - 33) 総務省統計局: 国勢調査 平成27年国勢調査 就業状態等基本集計(労働力状態, 就業者の産業・職業など) 都道府県結果 39高知県 労働力状態・産業・職業・従業上の地位 6-3 産業(大分類), 男女別15歳以上就業者数及び産業別割合 一 都道府県, 市区町村, https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00200521&tstat=000001080615&cycle=0&tclass1=000001095955&tclass2=000001095956&tclass3=000001095975&stat_infid=000031542426&cycle_facet=cycle&second2=1, 2017. (最終確認: 2019年1月29日)