

災害時輸送と物資輸送シミュレータ

間島 隆博*

Transportation under Disaster Condition and Simulator for Relief Supply

by

Takahiro MAJIMA

Abstract

The Great East Japan Earthquake on March 11th, 2011 struck the eastern coastal areas of the Japanese main island and tsunami following the earthquake posed a devastating condition. Most of the infrastructures and lifelines, such as water supply systems, petroleum gas supply systems and electric power systems including Fukushima nuclear plant were damaged. Logistics systems were no exception. The highways as trunk routes connecting the damaged areas and the other major cities in Japan also collapsed. The tsunami following the earthquake damaged not only seaports but also entire small cities facing the Pacific Ocean. It is reported that more than 470 thousand people in the damaged area were made to spend in evacuation centers as refugees. However, information on necessary relief goods was limited due to malfunctions of communication systems. The situation that the relief goods were not delivered to the refugees in the disaster site emerged as a social issue. Recently many publications relevant to the logistics under disaster situation were presented. Furthermore, the Japanese government, prefecture governments and city governments have already taken countermeasures and planned for the logistics systems in devastated condition. But they do not have a clear image whether the planned transportation system will work or not. It is also unclear whether the actual transport operations can be conducted according to the countermeasures.

In this paper, an outline on the problem regarding to the transportation in the devastated condition posed from The Great East Japan Earthquake is given. Furthermore, feature of a transportation simulator for relief supply is described and simulation examples are demonstrated.

* 運航・物流系

原稿受付 平成27年1月30日

審査日 平成27年2月23日

目 次

1. まえがき	38
2. 東日本大震災の輸送問題	38
2.1 輸送体制	38
2.2 輸送体制の変化	39
2.3 今後の対策	39
3. 災害時物資輸送シミュレータ	40
3.1 シミュレータの目的	40
3.2 マルチエージェントシステム	40
3.3 シミュレーション解析	41
3.3.1 小規模輸送システムの解析例	41
3.3.2 大規模輸送システムの解析例	42
4. まとめ	44
参考文献	44

1. まえがき

既報¹⁾では、災害時における輸送体制の調査結果と災害時輸送を支援するためのコンピュータ上の解析プログラムが持つべき仕様・要件を整理して報告した。

その後、東日本大震災が発生し、過去の大震災と同様、救援物資が避難所にまで届かない問題が再発した。本報告では、東日本大震災の輸送問題について触れるとともに、既報¹⁾の結果に沿って開発が進んだ解析ツールの1つである、「災害時物資輸送シミュレータ」について、機能、解析例を紹介する。

2. 東日本大震災の輸送問題

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は巨大な津波を伴い、東日本大震災をもたらした(地震名とそれがもたらした災害の名称とは異なる。)。電力、ガス、水道といったライフラインの崩壊、原発のメルトダウン、計画停電、帰宅困難者、日用品の不足、燃料不足といった様々な問題が噴出したが、救援物資輸送も混乱に陥った。

東日本大震災では、津波による被害が広域的であったため、避難者数は最大で47万人を超え²⁾、計画されていた備蓄拠点や輸送拠点の多くが津波により利用できなくなった。このため、救援物資が大量に必要となったが、その物資を仕分けし、さばく機能が不足した。さらに、長期間に亘る避難所生活により、従来3日程度を基準として考慮されていた備蓄量では不足が生じ、大量の物資を

長期間に亘り供給する必要が生じた。このような救援物資の輸送にかかる問題は、東日本大震災にかぎらず、過去の大規模な震災である阪神・淡路大震災や新潟県中越大震災でも発生していた。

2.1 輸送体制

東日本大震災は、国が救援物資の輸送に従事した初めての災害となった。特に、二次、三次輸送に関して問題が発生し、物資が滞ることとなったが、ここで計画上の災害時輸送の体制を図-2.1に示す。

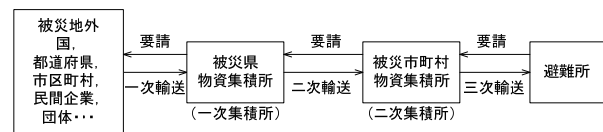


図-2.1 災害時輸送の階層構造

図に示すように、災害時の輸送は階層構造となっている。物資は市区町村の貯蔵施設から避難所へ配分されるが、市区町村の物資が不足すると、都道府県に支援要請がなされる。要請を受けた都道府県は主に、都道府県の貯蔵施設から市区町村に対して物資を輸送する。さらに、都道府県の物資が不足すると国に対して支援要請がなされ、国はその要請に応える。この際、国から都道府県への輸送を一次輸送、都道府県から市区町村への輸送を二次輸送、市区町村から避難所への輸送を三次輸送と称している。すなわち、通常時では、一次輸送は幹線輸送、三次輸送はラストワンマイル輸送と呼ばれる輸送に該当し、両者を二次輸送が補完する。さらに、階層構造とは別に、応援協定が結ばれており、都道府県間、市区町村間といった水平方向への要請、トラック協会、倉庫協会や公共性の高い民間企業と予め締結された輸送協定を根拠とした要請、自衛隊の派遣要請など、実際には様々な流れで要請と輸送が入り乱れる形となる。

東日本大震災では、一次輸送は概ね順調に輸送量が確保できた。これは、幹線道路となる東北自動車道や国道4号線の復旧が速やかに行われた影響が大きい。ここで、輸送作業の要素を表-2.1に示す。

表-2.1 にあげた要素の項目は輸送を滞り無く行うための必要条件である。すなわち、これらの要素のうち、何か一つでも欠けると、輸送は滞ってしまう。よって、災害時という混乱した状況においても、これらの要素をすべて機能させる必要が生じる。ただし、注意

しなければならないのは、これらの要素はあくまで必要条件であって十分条件ではない。さらに、これらの要素を有機的に繋ぎ、トータルシステムとして機能させる必要がある。

表-2.1 輸送作業の要素

要素	内容、例示
輸送経路	道路、鉄路、海路、空路
輸送機材 (燃料、トライパーを含む)	トラック、船舶、鉄道車両、航空機
輸送拠点	荷役設備、作業空間、作業員等
物資	品目、需要量、荷姿 (重量、体積)
情報	需要、在庫

前述の通り、東日本大震災は二次輸送以降で物資が滞った。すなわち、順調に輸送量が確保できた一次輸送により、県の荷受拠点には物資が到着したが、そこから市区町村、避難所への輸送量が確保できず、県の輸送拠点には物資が山積みとなった。二次輸送、三次輸送が滞った理由は、表2-1の要素の何かが欠落したことが原因となっているが、燃料の不足、避難所や市区町村との通信網の不全など、様々な原因が報告されており、中には相反する報告もあった。おそらく、被災地域により状況が異なり、時間的な推移の中でも状況が変化し、多くの要因が複合的に作用したことによって、様々な原因が噴出したと考えられる。

宮下ら³⁾は支援物資輸送の混乱に関する全体像の把握が困難である理由を報告しているが、簡潔にまとめると以下ようになる。

- 原因1: 支援物資管理には多様な組織や人間が携わり、支援物資が提供主体から被災者に届けられるパターンも複数種類存在する点
- 原因2: 支援物資管理を取り巻く状況が、地域、時間の経過に伴って変化する点
- 原因3: 支援物資管理に関する記録が十分に残されていない、または散逸している点

2.2 輸送拠点の変化

東日本大震災では、県の集積所（一次輸送の着地かつ二次輸送の発地）として当初予定していた施設が計画通りに機能しなかったため、変更されるケースが相次いだ。図-2.2には岩手県、宮城県の県集積所の変化をまとめる(文献^{3,4)}を参考として再構成)。図から、計画上の県集積所または発災直後に利用し

ていた県集積所が、発災後程なくして変更されていることが分かる。これより、地域防災計画で策定した輸送体制がうまく機能しなかったことが伺える。変更の理由として、保管スペースの確保、荷役・仕分けに係る作業効率の向上、市町村への輸送時間の短縮などが考えられるが、変更先の施設の要件として共通しているのは、大型車がアクセス可能で、天井が高い屋根があり、広い敷地、駐車スペースを持つ、といった特徴が挙げられる。

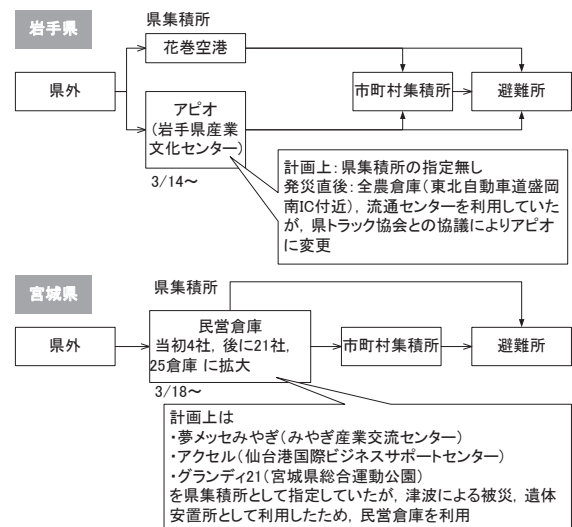


図-2.2 県の集積所の変化と物資の流れ

2.3 今後の対策

東日本大震災の後、今後の救援物資輸送に対して以下のような考えが多く聞かれるようになった。

- ・ 災害時輸送において、プル型輸送（ニーズに合わせた物資、量の輸送）が考えられていたが、プッシュ型輸送（必要と想定される物資、量の輸送）を積極的に展開する。
- ・ 従来は、届けられた救援物資の仕分け作業に自治体職員が従事せざるを得なかったが、物流業者と事前に協定を締結し、発災直後から専門家に仕分け作業を任せる。

また、計画の再考を促す報告書も数多く公開されている。数例を挙げると、東日本大震災において物資輸送に携わった関係者の経験、教訓を全国に敷衍し、今後の対策に活かすことを目的として設置された「東北地域における災害に強い物流システムの構築に関する協議会」⁵⁾では、プッシュ型輸送のありかたを議論している。また、国土交

通省は将来の大規模災害に備え、必要な物資が適時・適切に被災者へ届くよう、有識者、物流事業者、事業者団体から構成されるアドバイザー会議を開催し、その議論を踏まえて「支援物資物流システムの基本的な考え方」⁶⁾を取りまとめ、公表している。

また、輸送協定に関連した例を挙げると、千葉県では災害時における円滑な支援物資の管理供給体制を構築することを目的とし、県倉庫協会、県トラック協会、県との間で3者協定を結び、発災後、早期に民間物流事業者との連携を図ることで、円滑な管理供給体制を構築するとしている⁷⁾。その計画では、県職員と物流事業者の役割が明確化され、相補的に作業を進めることで、円滑な支援物資輸送の遂行を意図している。

さらに、今後の救援物資輸送の対策に資するべく、様々な研究、報告書も公表されている⁸⁾。

3. 災害時物資輸送シミュレータ

既報¹⁾により、災害時物資輸送シミュレータに求められる仕様、機能について報告した。その後、開発が進み、様々な条件において輸送量の履歴を出力することができるシミュレータとなった。ここでは、開発したシミュレータの概要を報告する。

3.1 シミュレータの目的

表-2.1 に輸送作業の要素を示した。前述の通り、これらの要素は輸送作業を滞り無く行うための必要条件であり、どの要素が欠けても輸送のパフォーマンスに甚大な影響を与える。地域防災計画においても、この点は十分認識されており、計画書には、拠点、機材、物資、経路などをいかに確保し、現時点で目標値をどの程度満たしているのかが記載されている。しかしながら、これらの要素を組み合わせたトータルシステムとしての輸送体制がどの程度機能するのか、あるいは、輸送のボトルネックはどこにあるのか、といった解析については未着手のようである。

災害時物資輸送シミュレータはこの疑問に対する答えを得るために開発されたシミュレータである。表-3.1 にシミュレータの入出力データをまとめる。なお、災害時のための支援システムの役割は、その利用時期が発災の前か後かで大きく異なる。本シミュレータは発災前の利用を前提としており、事前に様々な条件でシミュレーションを行うことで、計画上の輸送体制の弱点を把握することが可能となる。そのため、シミュレータの入力データは表-2.1 に示した輸送の要素を網羅し、

様々な条件設定が可能となっている。また、シミュレータは様々なデータを出力するが、最も重要なデータは輸送量である。入力条件を変え、輸送量を観察することを繰り返すことで、輸送体制あるいは被災状況に対する輸送性能を把握することが出来る。そのため、輸送が滞る原因を認識しやすいように、輸送拠点において荷役を待つ輸送機材の待ち行列の長さ（荷役拠点には荷役のための駐車スペースに制限を設けることができる。）や、ネットワーク上の通行台数なども出力可能となっている。

表-3.1 シミュレータの入出力データ

入出力	輸送の要素	データ内容
入力	輸送拠点：基幹的広域防災拠点、広域輸送拠点、地域内輸送拠点避難所、備蓄倉庫等	位置、荷役能力、駐車スペース、物資貯蔵量（供給地の場合）、物資需要（需要地の場合）
	輸送機材：トラック、船舶、航空機	機種、初期位置、最大積載量、移動速度、要目等
	ネットワークデータ：道路、河川、航路	ネットワークを構成するノード（位置）とノードをつなぐリンク（距離、制限速度、幅員等）
出力	拠点情報	物資在庫量、供給量、荷役待ち輸送機材台数、出荷量の履歴（供給地の場合）、荷受量の履歴、（需要地の場合）
	輸送機材情報	位置の時系列、総輸送量、スケジュール（輸送行動の履歴）
	ネットワーク情報	輸送機材の通行台数

3.2 マルチエージェントシステム

シミュレータにはマルチエージェントシステム（Multi Agent System、以降 MAS と略す）と呼ばれる技術が応用されている⁹⁾。MAS とは局所的な情報に基づき行動するエージェントがシステムの中で相互作用し、新たな環境を作り出し、その環境に影響されてエージェントの行動が決定されるというシステム全体と個の関係を表現するシミュレーション方法である。本シミュレーションでは、輸送機材（のドライバー）がエージェントである。MAS を用いる利点は、機材 1 台 1 台の動きが計算機の中で表現され、機材の位置や輸送作業の記録を残すことができる点にある。そのため利用する輸送機材（トラックや船舶）の台数分、エージェントが生成され、それぞれのエージェントは以下に示すルールに基づいて輸送作業を行う。

物資輸送の方針として、まず、物資を要求する複数の需要地に対し、輸送量が同程度に推移するような平等性を第一義的に考慮し、ついで、この平等な輸送を行うことを前提に（出来る限り）早

く物資を輸送することを考える。具体的には次に示すような2段階の選択過程でエージェントの動作が決定される。

● 1段階：配送先の決定

図-3.1に示すように、エージェントが物資の配送先を決定できるよう、シミュレータは常時、複数ある物資要求地の優先順位を更新、保持している。優先順位の基準は物資要求量に対する「発送量」の比であり、これを充足率とする。この充足率が小さい要求地ほど優先順位は高くなる。エージェント（輸送機材）は高順位の要求地に対して物資を輸送しようとするため、各物資要求地の充足率は同程度の値で時間的に推移することとなる。これはすなわち平等な物資輸送を心がけていることを意味している。なお、優先順位表のランク付けは要求地だけでなく、要求地と物資の種類の組み合わせが対象となる。

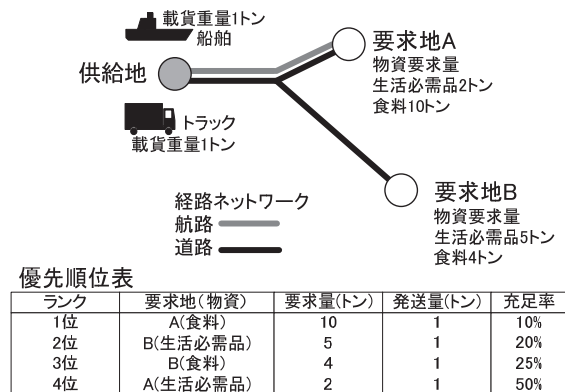


図-3.1 優先順位表の内容

● 2段階：供給地の決定

エージェント（輸送機材）が担う1つの「輸送サイクル」は、以下の4つの作業から構成される。

- ① 現地点から供給地への移動
- ② 供給地での物資の積載
- ③ 要求地への移動
- ④ 要求地での物資の荷卸し

エージェントは、ある「輸送サイクル」が終了（すなわち、④荷卸しの終了）した際、次の輸送サイクルを自ら探索して決定する。このとき、1段階で示した優先順位で高順位の要求地と物資の組み合わせ（1位の要求地や物資の輸送が不可能な場合は2位、3位と順位を落とす）への輸送を指向し、最短時間で上記輸送サイクルを終えることができる供給地を選択する。よって、複数の輸送サイクルが各エージェントにあらかじめ割り当てられているわけではなく、単一の輸送サイクルがシミュレーションの進行とともに逐次的に決定

されていく。このサイクルが決定されると、発送量が明らかになるため、優先順位表の充足率が更新される。

この方針では、平等な輸送を一義的とするために要求量が多い地点に輸送機材が集中することになる。新潟県中越地震の際、観測された事例を図-3.2に示す。

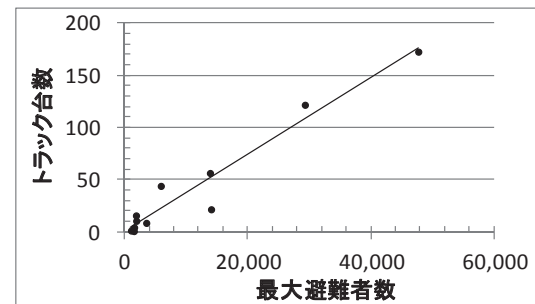


図-3.2 市区町村の最大避難者数と市区町村に物資を運んだトラック台数との関係

図-3.2の1つの点は1つの市町村を示し、市町村で記録された最大の避難者数とその市町村に物資を運んだトラック台数（トラック協会が関わったトラックのみ計上されているが、この台数が支配的であると考えられる。）との関係が表されている。概ね、最大避難者数に比例したトラック台数が向かったことから、シミュレータが一義的に考慮する平等輸送の方針から生じる機材の集中と合致する。

3.3 シミュレーション解析

前節のシミュレータを用いて解析を行う。まず、小さな輸送システムにおける解析結果を示し、シミュレータの動作やボトルネックの存在を確認する。次に、大規模なネットワークにおける解析例を示す。

3.3.1 小規模輸送システムの解析例

図-3.3に解析条件を示す。物資を保有する供給拠点(ST0)と物資を要求する要求地(ST1)とが経路ネットワーク上の距離で2.5km離れており、ネットワーク上の制限速度を15(km/hr)とする。（両地点間の移動時間は10分となる。）また、輸送機材の積載量を2トンとし、両拠点における荷役速度は100(kg/分)（荷役時間は20分となる）、荷役ができる駐車スペースは1台に限定する。これより、待ち行列がなければ輸送サイクルにかかる時間は1時間となる。

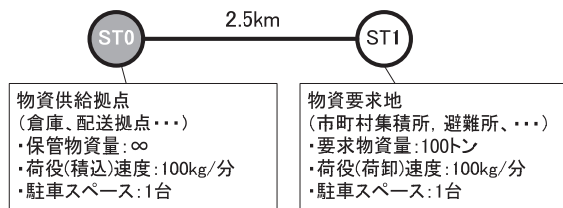


図-3.3 小規模ネットワークの解析条件

機材台数を1台とすれば、この条件におけるシミュレーションの結果として図-3.4の輸送量履歴が得られる。輸送サイクルが1時間で、1サイクルの間に2トンの物資を輸送できるため、図には2(トン/hr)の輸送量を解析解として示している。シミュレーション結果は解析解と一致するが、階段上に増加するのは、物資を下ろすときに輸送量が計上されるためである。

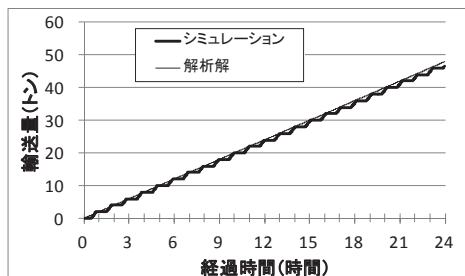


図-3.4 小規模ネットワークの解析結果

同条件で機材数を増加させた時の24時間後の輸送量を図-3.5に示す。

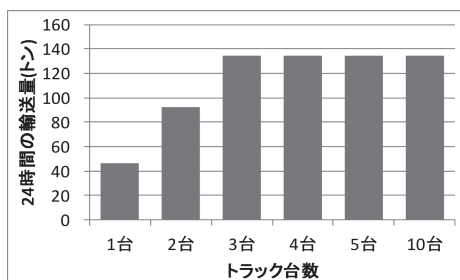


図-3.5 機材台数と輸送量の関係

機材台数が3台より多くても、輸送量は増加しなくなる。これは、供給拠点に荷役のための待ち行列が形成されたことが原因となっている。この状況を模式的に図-3.6に示す。これより、このシミュレーション条件では、供給地の荷役能力がボトルネックとなることが分かる。このボトルネックの解消方法として、駐車スペースの増加や荷役速度の向上が挙げられる。しかしながら、この改善策を施しても図-3.5に示した輸送量は大きく変化しない。なぜなら、待ち行列が要求地(ST1)

に形成されてしまうためである。

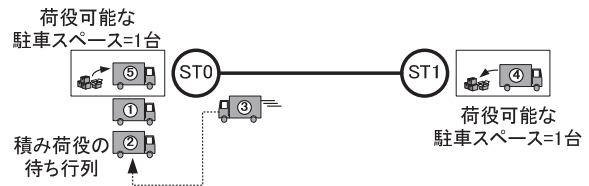


図-3.6 ボトルネックの模式図

要求地にも供給拠点と同等の荷役能力の改善を施せば、輸送量は機材数に比例して増加するが、この状態はボトルネックが機材数に移ったことを意味している。このように、ボトルネックは輸送システムのどこかに必ず存在しており、完全に解消することは出来ない。さらに、この例で分かるように、システムの一部を改善しても輸送能力の向上に反映されとは限らないため、輸送システムをトータルシステムとして捉え、全体を見通す必要がある。

3.3.2 大規模輸送システムの解析例

各地方自治体は災害時における緊急車両の通行を優先させるために緊急輸送道路を指定している。この道路を日本全国で描くと図-3.7のネットワークとなる（太線の道路は高速道路である）。同図には、船舶の航路ネットワークも描いてあるが、航路については、災害時道路のような指定は無いため、任意の2港間の最短路に大きな迂回が生じないようにネットワークとしている。

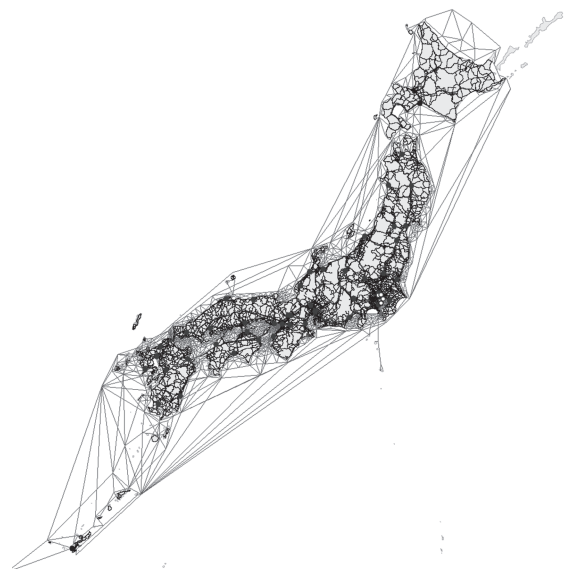


図-3.7 緊急輸送道路網と航路網

ここでは、このネットワークを用いた輸送シミュレーションを行う。設定できる条件の組み合わせ

せは限りがないため、簡易な設定条件に留めるが、それでも表-3.2のように多くの入力項目が必要となる。

表-3.2 シミュレーション条件

輸送要素	データ内容
供給拠点	- 県庁所在地（北海、沖縄除く）で代表対象機材：トラック 荷役速度：0.1(トン/分) 駐車スペース：5台 物資保有量：∞ - 苫小牧港(北海道)、那覇港(沖縄県) 対象機材：船舶 荷役速度：5(トン/分) 接岸可能隻数：5隻 x2港 物資保有量：∞
要求拠点	- 都内トラックターミナル (4箇所：京浜、葛飾、板橋、足立) 対象機材：トラック 荷役速度：0.1(トン/分) 駐車スペース：100台 x4箇所 - 東扇島基幹的広域防災拠点 対象機材：船舶 荷役速度：5(トン/分) 接岸可能隻数：20隻
輸送機材	- トラック：1584台(1府県あたり36台) 積載可能量10トン、 北海道、沖縄の保有物資以外はすべて積載可能 - 船舶：10隻+10隻 10隻、北海道物資の専用船 10隻、沖縄物資の専用船 積載可能量300トン
輸送経路	図-3.7の緊急輸送道路および航路 高速道路制限速度：40、60、80(km/hr) 一般道制限速度：15(km/hr) 航路：20(knot)=37(km/hr)
物資	- 道府県別に物資を区別 - 物資に対する平等性を考慮 (各道府県の輸送量を均一にするような輸送方法)

これは、全国の道府県から東京に向かって物資を輸送する条件となっており、物資には供給元となる道府県ごとに異なるIDを付す。これより、図-3.1に示した物資に対するランキングが形成されるために、各道府県からの輸送量が均一化され、千葉、神奈川といった東京近辺の物資に輸送量が偏ることを避けることができる。ここで注目する条件は高速道路の速度である。すなわち、高速道路の速度を変化させることによる輸送量の変化を見る。なお、東京の荷受拠点は5箇所設定されているが、この5箇所は1つのクラスターを形成している。クラスターとは複数の荷受拠点をまとめたものであり、実は、物資要求量は荷受拠点ではなく、クラスターが保持している。ここでは、「輸送先はクラスター内にある5つの荷受拠点のうちどこでも良いので、要求量分の物資を届けて

ほしい。」という要請になる。

なお、ここで設定した条件はシミュレーションの解析能力を示すために設定した内容であり、このような状況が起こる、あるいは起こりやすいといったことを主張するものではない。

図-3.8に高速道路の速度制限と輸送開始から10日後の輸送量との関係を示す。表-3.2の条件では駐車スペースが十分にあるため待ち行列は形成されない。そのため、高速道の速度にほぼ比例して輸送量は増加している。粗い計算ではあるが、高速道路の1(km/hr)の増加は輸送量の200(トン/日)の増加に貢献している。また、船舶の輸送量は高速道路の影響は受けないため、すべてのケースで19,000トンであった。図-3.8の高速道路の速度が60(km/hr)の場合は、総輸送量に対して概ね10%ほどの割合になる。

解析対象が全国であること、一般道と高速道には大きな速度差があることから、交通量は高速道に集中することになる。本条件下では、東名高速道、名阪高速道の利用率が極めて高くなっていた。そこで、これらの高速道路もダメージを受けて通行止めになり、他の高速道路は80(km/hr)の速度を維持できる状況を設定し、解析を実施した。輸送量は図-3.8の通り20万トン程度となり、すべての高速道路が健全である条件より6%程度低くなった。大きな違いが起きなかった理由は中央高速道路が迂回経路として利用されたためである。災害時という特殊な状況では、システムの冗長性にも配慮する必要がある。本シミュレータは様々な条件設定が可能であるため、このような利用方法により、冗長性についても定量的に検討することが可能となる。

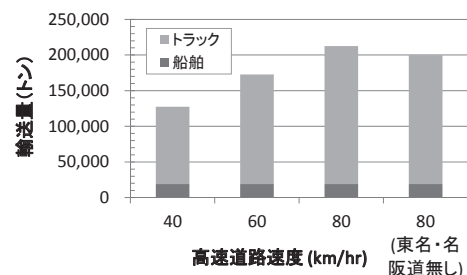
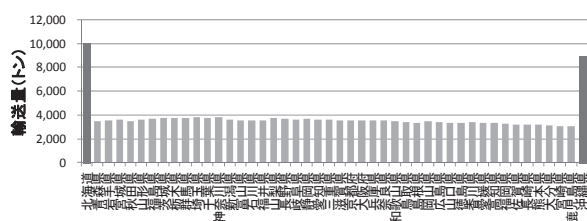


図-3.8 高速道路の速度と10日後の輸送量

図-3.9には都道府県別の輸送量(高速道路60(km/hr)、10日後)を示す。物資に対する平等性の効果が表れ、ほぼすべての府県の物資輸送量が均一化されている。なお、北海道、沖縄県の輸送は船舶によるものである。前述のとおり、輸送量全体からみれば船舶の輸送量は1割ほどであるが、

道府県あたりの量ではトラックによる輸送量よりも大きくなった。



図－3.9 道府県別輸送量

船舶輸送の特徴は速度が遅くとも、大量輸送できる点にある。異なる輸送モードの特徴をうまく組み合わせて活用できれば、災害時輸送に対する新たな輸送体制を提案できる可能性がある（時間の経過とともに必要とされる物資の品目は変化することが報告されている。例えば、早急に必要ではない物資については、遠方から船舶で大量輸送する方法などが考えられる。）。

4. まとめ

東日本大震災では救援物資の輸送に支障をきたし、避難所へ物資が届かない問題が発生した。この問題は、東日本大震災にかぎらず、過去の大震災（阪神・淡路大震災、新潟県中越大地震）でも発生していた。東日本大震災の後、この問題に対して国や自治体は対策を施し、輸送体制を再考している。地域防災計画の中で、以前は物資や拠点といった項目に分散していた災害時輸送の取り組みに関する記述が、輸送体制に係る新たな章を設けてまとめる自治体もでてきた。災害時における輸送が重要視され始めたことが伺える。

防災計画では、輸送機材や輸送拠点など、輸送システムを構成する要素毎に様々な準備がなされているが、輸送システムはこれらの輸送要素をまとめ、繋ぎ合わせたトータルシステムとして機能しなくては意味がない。そのため、輸送システムの性能を定量的に把握する目的で開発した「災害時物資輸送シミュレータ」の機能を紹介するとともに、全国規模の輸送シミュレーションの解析例

を示した。ここに記載した内容はシミュレータが持つ一部の機能であり、さらに複雑、詳細な設定状況で動作する能力を持つ。過去の大震災において計画や当初予定していた輸送体制が変化したことを記したが、シミュレーションを通して様々な輸送体制が予め評価できる。本解析ツールが災害時輸送を担う防災機関の方々の一助となれば幸甚である。

参考文献

- 1) 間島隆博、渡辺大輔、鳥海重樹：災害時における緊急・代替輸送支援システムの開発、海上技術安全研究所総合報告、Vol.7、No.4、（2007）、pp.87-102
- 2) 内閣府：防災白書平成 25 年版（2013）
- 3) 宮下侑子、福本潤也：東日本大震災における支援物資の流動実態の解明、土木計画学研究・講演集、Vol.45、（2012）
- 4) 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ロジスティクスの定量評価：一次集積所における搬入／搬出記録の分析、土木計画学研究・講演集、Vol.45、（2012）
- 5) 国土交通省東北運輸局：東北地域における災害に強い物流システムの構築に関する協議会議事録、
http://www.tb.mlit.go.jp/tohoku/kk/kk-saigaibutsu_uryu-giji1.pdf、（2012）
- 6) 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>、（2011）
- 7) 千葉県：災害時における物流計画、
<http://www.pref.chiba.lg.jp/bousaik/press/2012/documents/buturyukeikaku.pdf>、（2013）
- 8) 花岡伸也：東日本大震災における緊急支援物資輸送に関する文献レビュー、日本物流学会誌、No.21、（2013）、pp.373-376
- 9) 例えば、大内東、山本雅人、川村秀憲：マルチエージェントシステムの基礎と応用、コロナ社、（2002）