

緊急支援のための物資輸送ネットワークにおける最短経路解析

田尻翔吾* 中桐斉之*

*兵庫県立大学環境人間学部

1 はじめに

災害発生時の緊急支援物資輸送については、様々な研究がなされてきており、またそれらを踏まえて各自治体は物資輸送計画等を作成している。しかしながら、西脇ら[1]が指摘しているように、依然として災害における物資輸送の問題は指摘され続けている。令和6年1月1日に発災した令和6年能登半島地震においても詳細は今後の研究を待つところではあるが、支援物資輸送に関する課題は執筆現在においても見られており、未だ災害時の物資輸送が上手くいかないことは大規模な災害においては共通して発生している事象であると考えられる。

一方、支援物資輸送に関するシミュレーションの分野においては主にトラックもしくは荒谷ら[2]のように船舶による輸送が扱われ、基本的に伊坂ら[3]のように各物資拠点における物資収容力に着目したものが多く、輸送可能な物資量がトラック1台での輸送に比して大きく、同時に貨物駅の存在する地域間の輸送しかできないという制約はあるものの、高い最高速度を出すことが可能な鉄道輸送が長距離都市間輸送を担う事は、問題解決の糸口の一つとなるのではと考えた。

その上で支援物資の需要・供給、また道路や港湾・鉄道等交通情報を一括管理可能なシミュレータが、今後の物資輸送計画や実際の災害発生時において課題解決の一助となると考えられる。本研究では、このシミュレータに必要な、トラック、鉄道や船舶といった複数の輸送手段を組み合わせ、最終的には複数の避難所の要求する物資量を満たす形で最短の所要時間で物資を倉庫から避難所へ配分することを目標とし、複数輸送手段を用いた物資輸送において最短の時間をとる経路についてモデリングと計算機シミュレーションによる解析を行った。

2 モデルと方法

2.1 モデル

起点を倉庫として warehouse、中間点を物資拠点として base1, base2 の2点、終点を避難所として

An Shortest Path Analysis of Emergency Relief Supplies Network

*Shogo Tajiri, Nariyuki Nakagiri

*School of Human Science and Environment University of Hyogo

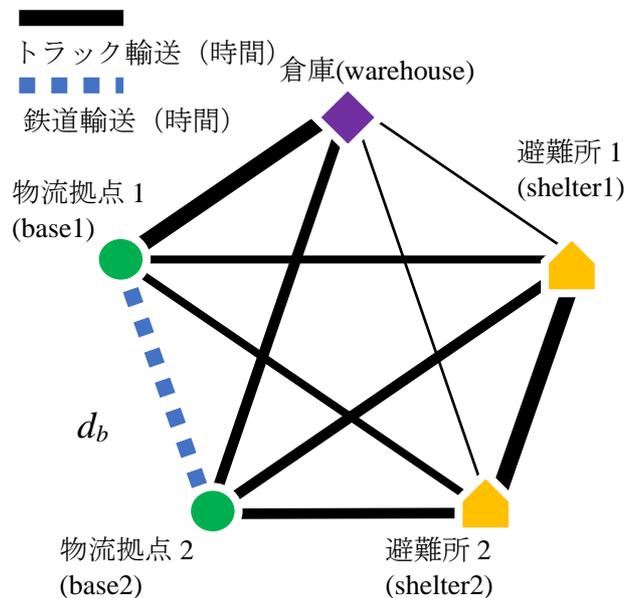


図 1:今回設定したモデル概要図

shelter1, shelter2の2点を設定し、各ノード間のリンクに所要時間の重みを設定した(図1)。その際、図1の点線の base1-base2間を鉄道輸送区間と設定し、貨物列車の速度 v_r を $v_r=110$ 、トラックでの速度 v_c を $v_c=80$ と設定した。なお、一定の区間においてどの区間を鉄道に分担させることで鉄道輸送の時間的有利性が発生するかを解析するため、base1, base2 における物資の積み替え等の時間については考慮していない。このモデルにおいて base1-base2 間の輸送時間(d_b)を変化させる。その際、 d_b が1長くなるごとに warehouse-base2間の輸送時間を $v_r/v_c=11/8$ 増加させ、base2-shelter1間、base2-shelter2間の輸送時間を $v_r/v_c=11/8$ 短縮させた。

2.2 最短時間経路の検出

最短時間経路については、Python のライブラリである NetworkX を用いダイクストラ法にて検出した。warehouse から shelter1, shelter2 それぞれまでに掛るリンクの重み(所要時間)の合計が最も小さいものを最短時間経路として検出した。

3 結果

3.1 最短時間経路の検出

最短時間経路の検出を実施した結果、モデルが問題なく動作し、最短時間経路における所要時間

が同一となるような経路が複数見つかった場合には、より中継点となるノードの少ない経路が選択された。

3.2 base1-base2 間の所要時間の変動と warehouse-各 shelter 間の最短所要時間の関係

base1-base2 の重み(d_b)を変化させ、それに合わせて関連するリンクの重みを変化させた。warehouse から各 shelter までの鉄道を使用した場合の最短所要時間と base1-base2 間を通らずトラックのみを使用した場合の最短所要時間を図2に示す。図2では Warehouse から shelter1 までの最短時間を赤, shelter2 までの最短時間を青で示している。図2より, shelter1 においては, トラックのみの warehouse-shelter1 間の所要時間 6.5 に対し, base1-base2 間の所要時間(d_b)が 5.6 を超えると鉄道を使う経路が最短となる。また, shelter2 においては, トラックのみの warehouse-shelter2 間の所要時間 13.575 に対し d_b が 6.2 を超えると鉄道を使う経路が最短となることが分かった。以上より, 短距離ではなく長距離を輸送する際に鉄道を使う経路が最短となることが分かる。

4 考察

4.1 最短時間経路の検出

輸送手段ごとの輸送力を考慮する形にすると, 一部区間の複数回の往復が必要となる。その際, 本モデルは巡回セールスマン問題に類似した問題となり, ダイクストラ法では解くことができないことが分かった。そこで, 発表においては他の環境やモデル設定の変更等により, 輸送力を踏まえた場合についても取り扱う予定である。

4.2 base1-base2 間の所要時間の変動と warehouse-各 shelter 間の最短所要時間の関係

短距離ではなく長距離を輸送する際に鉄道を使う経路が最短となることが分かった。本研究では base1-base2 間を変動の中心とし, base1-base2 間の所要時間(d_b)が1増減するごとに $v_r/v_c=11/8$ の割合で他のエッジに影響を及ぼしたが, 現実の環境では, 中間点となりうる駅ごとに, 積み替えの所要時間が異なる。よって実際は, 今回の結果よりも長い距離でトラックの方が有利になると考えられる。また, 駅や今回は設定しなかったが港等の施設は必ずしもトラック輸送の最短経路の直上にあるわけではなく, 最短経路へ中間点から合流するまでにかかる時間は地点によって変動すると考えられる。また, 4.1 でも触れたが, 今回は輸送力についての考慮を行っておらず, また本研究は最終的に災害時の物資輸送に対する寄

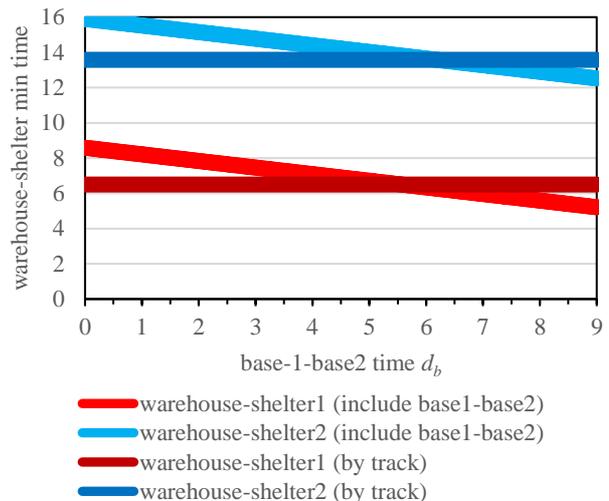


図2: base1-base2 間の所要時間の変動と warehouse-各 shelter 間の最短所要時間の関係

与を目的としているが, 今回は災害発生による物流障害の考慮を行うことはできていない。これらが今後の課題である。

5 今後の展望

本研究は最終的に災害発生時の物資輸送の選択について, 輸送力等の輸送手段の特性に着目したシミュレーションを実施するものであるが, 所要時間についての考慮しかできていない現状がある。このため発表時を目途に他の環境でのシミュレーションも検討しつつ, まずは輸送手段毎の輸送力を考慮した解析を行い, 今後は状況を設定したうえで輸送手段の障害や復旧見込み時間の考慮, また水のような重量物となりうる物資とマスクのような軽量な物資, また灯油のような危険物としての扱いの必要な物資では検討すべき事項が変わってくるものが考えられるために, 物資の特性に合わせた輸送手段の選択も要素として検討していく必要があると考えられた。

参考文献

- [1] 西脇 文哉, 畑山 満則, 災害時の緊急物資支援における課題と対応の変遷, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.77, No.5 (土木計画学研究・論文集第39巻), I_137-I_147, 2022.
- [2] 荒谷 太郎, 小濱 英司, 大矢 陽介, 間島 隆博, 大規模災害時における海上輸送の可能性に関する検討, 日本航海学会誌, 219巻, pp16-17, 2022.
- [3] 伊坂 早織, 大窪 和明, 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), I_259-I_268, 2018. I_259