

災害発生時の愛知県における震災被害・復旧率を考慮した救援物資輸送計画

金山 隼人¹・Wisinee Wisetjindawat²・藤田 素弘³

¹学生会員 名古屋工業大学大学院 博士前期課程学生 (〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町)
E-mail: cke13514@stn.nitech.ac.jp

²正会員 名古屋工業大学大学院助教授 工学研究科 (〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町)
E-mail: wisinee@nitech.ac.jp

³正会員 名古屋工業大学大学院教授 工学研究科 (〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町)
E-mail: fujita.motohiro@nitech.ac.jp

本研究では、愛知県の防災計画に基づき、東海・東南海地震発生後の復旧率と輸送にかかる所要時間の信頼性を考慮したトラック輸送シミュレーションモデルを提案し、評価・検討を行う。シミュレーションモデルとして、VRPモデルを使用し、目的関数は輸送時間であり、制約条件を加えそれに伴うリソースを算出をして、比較・推定を行った。所要時間の算出においては被害・復旧を考慮した確率的モデルを使用して算出した。信頼性95%の所要時間でのシミュレーションの結果、輸送先となる自治体62の内、20の自治体が輸送不可能であると予測される。愛知県内でも名古屋地区と比べると、三河から渥美半島の地域では半数近くの自治体への輸送が困難であり、これらの地域に対しては他の輸送手段などを考慮する必要がある。

Key Words : Disaster prevention, Relief goods, Truck transport, Reliability,

1. はじめに

東日本大震災時にトラック輸送は機動力を活かし、食料や水の輸送を行い復興に大きく貢献した。国土交通省によると食料の7割、水の6割がトラック輸送によるものであった。多くの救援物資輸送がトラック輸送できた背景として、震災翌日には災害対策の高速道路や国道の復旧率は90%ほどで、緊急車両が通行可能となっていたことがある。そのような中でも、救援物資が不足している地域や避難所に救援物資が届かないケースが発生した。

そこで本研究では、今後発生することが予測されている東海・東南海地震の予測震度から愛知県の緊急輸送道路の被害を予測し、東日本大震災や阪神淡路大震災などの過去の地震のデータを基にした、被害・復旧も考慮できる愛知県の震災後のトラック輸送シミュレーションモデルを提案し、輸送計画を比較・評価することを目的とする。

シミュレーションの結果から、緊急物資が輸送不可能であると予測される地域には、政策や別の輸送手段の提案を行う事できるため、救援物資を求める被災者に対して支援の向上を目指すものである。

2. 東海東南海地震時の愛知県の被害予測

本研究では自治体への救援物資輸送を対象とする。各自治体の避難所に避難する被災者数を推定するために愛知県における、住宅、ライフライン、道路ネットワークの被害を予測震度より算定する。住宅被害は建築年数に分けて、推定する。ライフライン被害は Nojima N and Sugito M による binary logit モデル¹⁾を使用して、算出した。住宅、ライフラインの被害推定によって、避難所に避難する被災者の数を推定する。

道路ネットワークの被害は道路延長によるリンクごとの被害確率を算出する。算出に使用する道路施設被害率は東日本大震災を基にしたデータであり、予測震度と共に表-1に示す。

表-1 各自治体における予測震度と道路施設被害率

地域名	予測震度	予測震度	道路施設被害率
名古屋北東	5.36	5強	0.11
名古屋北	5.42	5強	0.11
名古屋南東	5.56	6弱	0.16
名古屋南西	5.63	6弱	0.16
名古屋中央	5.39	5強	0.11
豊田	5.46	5強	0.11
尾張北部	5.07	5強	0.11
尾張西部	5.35	5強	0.11
東三河	5.86	6弱	0.16
津島・海部	5.28	5強	0.11
知多	5.59	6弱	0.16
西三河	5.71	6弱	0.16
瀬戸	5.34	5強	0.11
春日井	5.27	5強	0.11

道路の被害確率を式(1)に示す。

$$P_{ij} = 1 - e^{-\lambda \cdot l_{ij}} \quad (1)$$

P_{ij} : 道路被害確率

λ : 道路施設被害率

l_{ij} : リンク距離

ここで示した被害確率に復旧率を掛け合わせることで道路の通行の可否を決定し、復旧時の道路状況を想定する。

3. 輸送計画モデルの提案

使用するモデルの内容は県が救援物資を貯蔵する第一ストックヤードとなる自治体から第二ストックヤードとなる各自治体へと輸送を行い、再び第一ストックヤードへと戻ってくる VRP モデルである。

本研究では、県の防災計画によって第一ストックヤードには規定があるため、一宮スポーツセンター、名古屋空港、大高公園、岡崎中央公園の4つを第一ストックヤードとする。

第二ストックヤードは第一ストックヤードを基に輸送を行う各役所である。表-2 にこれらの各グループの一覧表を示し、図-1 にはアイコンで第一ストックヤードの自治体の位置を示し、これらに対応したグループごとに色分けをして示している。

使用する道路ネットワークは県の緊急輸送道路であり、リンク数は 2498 である。また緊急輸送道路は第一次と第二次と分けられており、第一次緊急輸送道路はリンク数 1361 であり、先に復旧させることが定められている。本研究では第一次緊急輸送道路を震災の復旧率を 90%、第二次緊急輸送道路はまだ復旧が始まっていないと仮定した。図-1 に第一次緊急輸送道路を青色、第二次緊急輸送道路を橙色として示す。

本研究の VRP モデルは、トラックのキャパシティや労働時間の制約の中で輸送時間を最小とする最短経路のノードの順番を与えるモデルである。

モデルの目的関数を被害・復旧確率を考慮した所要時間として、制約条件をトラック内の救援物資車載量、トラック内の救援物資のスペース、ドライバー一人あたりの最大労働時間、積荷・積み下ろし時間とする。

この VRP モデルでは最短経路に加え、輸送に費やすためのリソース（輸送総距離、燃料消費量、輸送救援物資量）の推定も行う。最短経路探索によって、24 時間以内に到達できないトラックを輸送不可能とみなす。リソースを評価・検討することで問題点が見つかり、改善策または政策の提案が可能である。所要時間の算出として被害・復旧を考慮した確率所要時間モデルによって算出を行う。

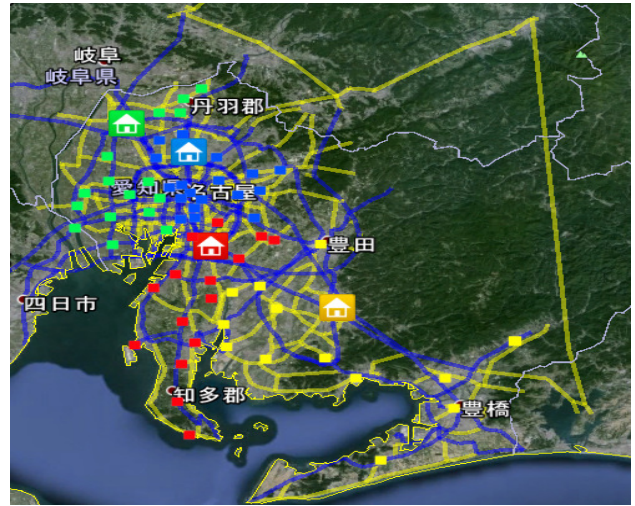


図-1 緊急輸送道路とストックヤード

表-2 愛知県自治体グループ

id	第一ストックヤード	グループ	第二ストックヤード	id	第一ストックヤード	グループ	第二ストックヤード
A1	一宮	1 勢富市役所	B1	豊山	2 小牧市役所		
A2	一宮	1 犬山市役所	B2	豊山	2 中区		
A3	一宮	1 大町役場	B3	豊山	2 東区		
A4	一宮	1 扶桑町役場	B4	豊山	2 守山区		
A5	一宮	1 本郷市役所	B5	豊山	2 幸手町役所		
A6	一宮	1 江南市役所	B6	豊山	2 長久手町役場		
A7	一宮	1 愛西市役所	B7	豊山	2 日進市役所		
A8	一宮	1 津島市役所	B8	豊山	2 瀬戸市役所		
A9	一宮	1 中村区	B9	豊山	2 岩倉市役所		
A10	一宮	1 一宮市役所	B10	豊山	2 豊山町役場(兼名古屋空港)		
A11	一宮	1 二宮市役所(一宮総合運動場)	B11	豊山	2 西区		
A12	一宮	1 稲沢市役所	B12	豊山	2 名東区		
A13	一宮	1 飛島村役場	B13	豊山	2 千種区		
A14	一宮	1 大治町役場	B14	豊山	2 尾張旭市役所		
A15	一宮	1 津区	B15	豊山	2 北名古屋市役所		
A16	一宮	1 津島市役所	B16	豊山	2 北区		
A17	一宮	1 中川区	B17	豊山	2 昭和区		
C1	緑区	3 阿久比町役場	B18	豊山	2 瑞穂区		
C2	緑区	3 南知多町役場	B19	豊山	2 熱田区		
C3	緑区	3 東浦町役場	D1	岡崎	4 岡崎市役所(岡崎中央総合公園)		
C4	緑区	3 東浦町役場	D2	岡崎	4 岩手市役所		
C5	緑区	3 武豊町役場	D3	岡崎	4 高浜市役所		
C6	緑区	3 大府市役所	D4	岡崎	4 刈谷市役所		
C7	緑区	3 東郷町役場	D5	岡崎	4 瀬都市役所		
C8	緑区	3 みよし市役所	D6	岡崎	4 知立市役所		
C9	緑区	3 豊明市役所	D7	岡崎	4 安城市役所		
C10	緑区	3 緑区	D8	岡崎	4 豊田町役所		
C11	緑区	3 天白区	D9	岡崎	4 幸田町役場		
C12	緑区	3 碧南市役所	D10	岡崎	4 豊田市役所		

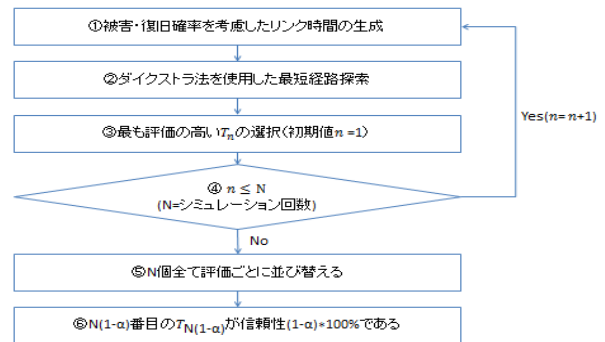


図-2 アルゴリズムフローチャート

4. 信頼性を考慮した所要時間最短経路探索

道路の被害確率や復旧率を考慮した最短経路探索では、出発地から目的地までの所要時間はシミュレーションにおいて確率的に毎回変動するため、そのような不確実な関数を求めるときなどに用いられる α -Shortest path model を使用する。

モデルの最小化のアルゴリズムは Xiaoyu Ji による Hybrid intelligent algorithm²⁾ を使用する。手順のフローチャートは図-2 に示す。フローチャートの①において、式(1)と復旧率を使用する。

この手法の特徴は信頼性による最短経路が得られるという点である。ダイクストラ法による最短経路探索を繰り返し行い、出力値を評価順に並べ、信頼性 $(1-\alpha)*100\%$ によって選ぶ経路が変わる。信頼性が50%と95%では結果として大きく違いが出てくる。完全な被害予測はできないことから信頼性は重要になってくることが推測される。

この信頼性の違いという部分は次のセクション5でも検討を行い、シミュレーションを行う。

5. シミュレーション結果

本研究におけるVRPモデルの仮定は以下に示す。

輸送時間	24(時間以内)
積荷・積み下ろし時間	70(分)
ドライバー最高労働時間	6(h/人)
トラック(4トン)の最大積載量	3500(kg)
最大スペース	8(pallets)
水/食料のトラックスペース	576/320 (kg/pallet)
車両スピード	42.3(km/h)
救援物資	オニギリとパン各2個, 水(500ml)3本(人/日)

まずはセクション4で使用した α -Shortest path modelを使用して信頼性の変化によって、救援物資輸送にどのような変化を与えるかを図-3で示す。これは愛知県内全域でどれだけの救援物資が輸送できていないかを示しており、信頼性80%では95%の救援物資が輸送できているが、信頼性90%ではいきなり大きくなり20%ほどの救援物資が輸送不可能となっており、信頼性95%では輸送可能な量は70%に満たしていないことが分かる。これは信頼性を高く設定すればするほど、道路の被害予測も最悪のケースを想定して、信頼性が高い最短経路を行うため、24時間以内に輸送不可能救援物資が大きくなる。本研究ではより信頼性の高い結果を得るために信頼性を95%と設定し最短経路探索を行い、所要時間の算出を行ってモデルに組み込んだ。結果を以下に示す。

図-4には道路被害によって震災翌日には救援物資の輸送が不可能であることが予測される地域を示す。グループ1,2のような予測震度が低いとされている地域においても輸送できない自治体がある理由として、自治体までの道路ネットワークの本数の少なさ、または自治体の周りが復旧されていない第二次緊急輸送道路となっており輸送が不可能となっていることが推測される。

グループ3,4の輸送不可能な自治体が多いのは、予測震度の高さによって道路の被害確率も高くなっていることが要因といえる。全体を通して名古屋などの中心部では第一次緊急輸送道路も整っており、道路ネットワーク

の本数も多いが地震の予測震度が高い三河や知多半島の方は道路ネットワークの少なさも問題点といえる。

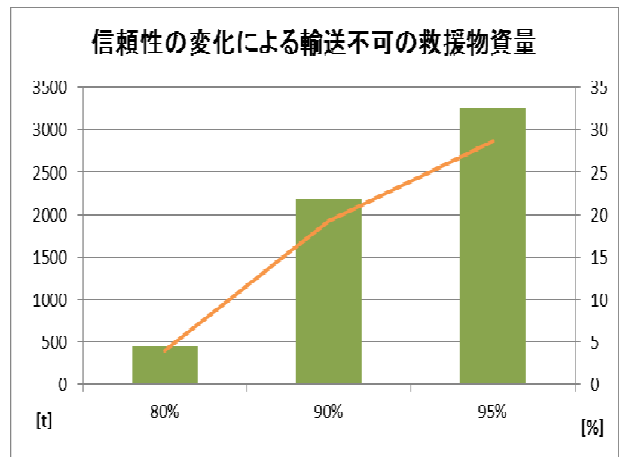


図-3 信頼性の変化による輸送不可能救援物資量

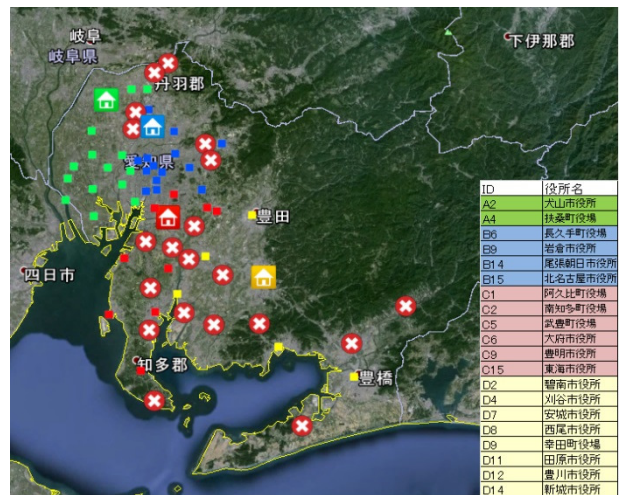


図-4 信頼性95%の救援物資輸送不可能自治体

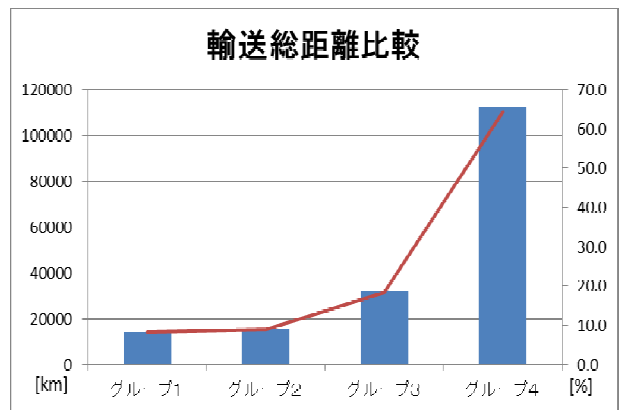


図-5 グループごとのトラック輸送距離比較

図-5は各グループにおけるトラック輸送の輸送総距離と愛知県全域における割合を示す。折れ線グラフの割合をみて分かるようにグループ1,2とグループ4を比較すると、グループ4の割合はグループ1,2に比べ7~8倍ほどとなっている。輸送範囲が広いことで救援物資の遅れ、または輸送できない状況が発生することが予測される。

図-6は各グループにおいてグループの中の全輸送救援物資の中でどれほどの量が輸送できていないかという割合とその救援物資の量を示す。

グループ1では1%ほどであり、救援物資の99%が輸送可能といえる。輸送不可能自治体として、犬山市役所と扶桑町役場の2か所発生しているが、予測震度は低い地域であり住宅やライフラインの被害予測も低いために避難所へと避難する住民は少ないので、1%と低い値となったことが推測される。

グループ3においては避難所へと避難する被災者が多いと予測される知多市や半田市といったところは翌日には復旧がされ救援物資が届く理由として、その市までは第一次緊急輸送道路の整備がされていることが大きな理由として考えられる。しかし、第二次緊急輸送道路しか整備されていない自治体は人口自体が他の自治体に比べて少ないことが特徴としてあげられる。

グループ4では緊急物資輸送の半数近くの47%ほどの量が輸送不可能となっていることが分かる。その量としては約2600トンほどある。輸送出来ない自治体の内、刈谷、安城、西尾、豊川市役所が人口も多いことから、救援物資を求める量も多くなっている。この三河の地域は名古屋に比べると、第一次緊急輸送道路の本数は少なく、第二次緊急輸送道路も大きくは網羅されているが本数としては多くないことから、輸送に不可欠な道路が一日で復旧できない状況になってしまうことが推測される。輸送不可決と分かっている道路において先に復旧することも重要である。

6. まとめ

本研究では愛知県における東海・東南海地震発生時の被害と翌日の復旧を考慮して α -Shortest path modelを使用して最短経路探索を行い、VRPモデルを使用することで各グループごとの第一ストックヤードから各自治体へのトラック輸送シミュレーションを行った。

トラック輸送が困難とされる自治体の特徴として、そ

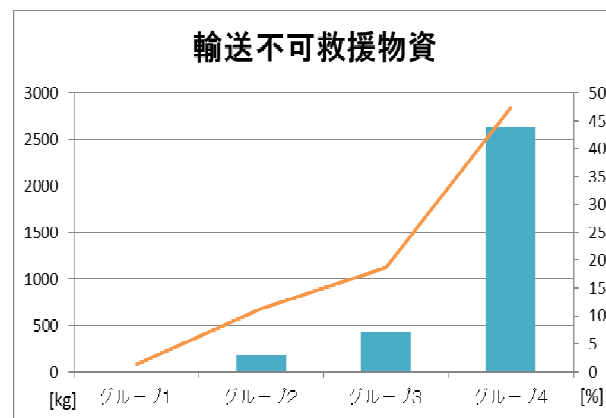


図-6 グループごとの輸送不可能となる救援物資の割合比較

の自治体までは第一次緊急輸送道路が整備されていなかったり、そもそも緊急輸送道路の道路ネットワークが少なかったりすることが要因として上げられる。

リソースのグループごとの比較では輸送総距離も輸送不可能救援物資もグループ4が大幅に大きいことが分かった。改善策としてグループ4分割化することで、輸送距離も減り、救援物資もさらに輸送可能になることが期待される。

また今後はさらなる改善に努め、震災3日目以降のシミュレーションなども行う予定である。

参考文献

- 1) Nojima N and Sugito M(2005):Probabilistic Assessment Model for post-Earthquake Serviceability of Utility Lifelines and its Practical Application,Proceeding of ICOSAR:Safety and reliability of Engineering Systems and tructures,pp.279-28
- 2) Xiaoyu Ji:Models and algorithm for stochastic shortest path problem,Applied Mathematics and computation 170(2005)503-514
- 3) 愛知県防災局 HP:愛知県地域防災計画

(?)

Relief goods transportation plan that takes into account the earthquake damage and recovery rate in the Aichi Prefecture of disaster

Hayato KANAYAMA, Wisinee Wisetjindawa and Motohiro HUIJITA

In this study, we propose a trucking simulation model based on the disaster prevention plan of Aichi Prefecture, taking into account the reliability of the time required to transport the relief goods and recovery rate of road network the model is the route travel time is stochastic consider the probability of a link being disrupted. After the Tokai -Tonankai with earthquake, to perform the evaluation and examination. A VRP model with the objective function is the response time. We simulated by programming in Java. Results of the simulation are predicted among

62 municipality as the transport destination, 20 destinations is the not transportable at 95% level of confidence. Compared to Nagoya is difficult in areas of nearly half of municipality in Atsumi.