

秋田県北西部における豪雨災害に着目した 物資輸送経路の推定と AI 技術活用の考察

森田 大成¹・水野 裕介¹・龍田 斉¹・宮田 秀太²

¹正会員 大日本コンサルタント株式会社 インフラ技術研究所 ICT ソリューション室
(〒102-0075 東京都千代田区三番町 6-3 三番町 UF ビル 4F)

E-mail: morita_taisei@ne-con.co.jp

²正会員 大日本コンサルタント株式会社 インフラ技術研究所 防災構造事業室
(〒102-0075 東京都千代田区三番町 6-3 三番町 UF ビル 4F)

本研究は、GIS を用いて秋田県北西部における豪雨災害前後の最短の物資輸送経路を、2 種類の輸送ケースで推定し、通過頻度に応じて対象地域内の道路の重要度を評価した。また、GIS による推定を AI 技術 (GBDT) によって簡略化と高速化を試みた。

最短経路を推定した結果、集積拠点への迂回路は土砂災害による二次被害の恐れがあること、物資輸送先の避難所が孤立する可能性を示唆した。また、能代市の中央部を東西に走る道路の重要性が非常に高く、物資輸送の観点において、優先的に点検・補修すべき道路であると示した。GBDT による検証は GIS による推定よりも非常に高速であり、道路網データに対して最寄りの拠点・避難所までのデータを説明変数として加えると、精度と再現率が向上した。以上より、GBDT による重要道路の予測の有用性を示唆した。

Key Words : GIS, torrential rain disaster, supplies transportation, machine learning, GBDT, SHAP

1. 研究背景と目的

集中豪雨の発生頻度が近年増加しており、特に線状降水帯は事前予測が難しく、平成 30 年 7 月豪雨で西日本地方、令和 2 年 7 月豪雨で九州地方に大きな被害をもたらした。激甚化する災害への対策検討が必要である。

本研究では、令和 4 年 8 月に東北地方を襲った線状降水帯による豪雨災害に着目し、既往研究^{1),2)}の手法である GIS によるシミュレーションを実施した上で、道路ネットワークに対する影響を考察する。豪雨災害前後の物資輸送経路の変化を抽出し、対象地域内の重要な道路を把握することが本研究の目的である。一方で、同手法では複数回の起終点の設定や道路ネットワークを考慮した複雑な計算過程が発生し、時間と労力が大きいことが課題である。そこで、本研究では、AI 技術を用いてシミュレーションの簡略化および高速化が可能か検討を行い、道路防災マネジメントにおける AI 技術の活用を考察した。

2. シミュレーションの概要

(1) GIS を用いた物資輸送の最短経路の推定と豪雨災害による経路変化の確認

本シミュレーションの対象は、令和 4 年 8 月の東北地方を中心とする大雨において、秋田県の中で被

害の大きい北西部の 11 市町とした。道路ネットワークを考慮した地域防災計画における最短の物資輸送経路 (以下、最短経路) を GIS によって推定し、通過頻度によりルート的重要度の評価を豪雨発生前後で実施し、比較を行う。

(2) 最短経路を再現する AI 技術を検証

本検討で用いる AI 技術は勾配ブースティング決定木 (Gradient Boosting Decision Tree, 以下 GBDT) である。GBDT とは、複数の決定木を組み合わせることでより精度の高いモデルを構築するアンサンブル手法の一種である³⁾。豪雨発生前の秋田県 11 市町に対して GBDT を用いて最短経路の推定を行い、推定結果の精度を確認する。GBDT に物資輸送に関連する説明変数を段階的に追加し、推定精度の変化を検証するとともに、推定への寄与度が大きい説明変数を確認する。

3. GIS を用いた物資輸送の最短経路の推定と豪雨災害による経路変化の確認

(1) 入力データ

入力データは ESRI ジャパン社の ArcGIS Geo Suite 道路網 (以下、道路網データ) をベースとした。秋田県における災害発生時の道路寸断箇所は災害対策本部会議⁴⁾、広域災害拠点・災害拠点は緊急輸送道路の一覧表⁵⁾、避難施設および土砂災害警戒区域は国土数値情報⁶⁾を参照した。



図-1 豪雨発生前の集積拠点への物資輸送経路

(2) 検討ケース

秋田県は災害等発生時に国や他の都道府県からの広域応援部隊等の受入支援に関するタイムラインを、災害時広域受援マニュアル⁷⁾と地域防災計画⁸⁾に示している。これらの輸送手順を参考にし、対象範囲外から対象範囲内の集積拠点、集積拠点から避難所までの輸送経路を、それぞれ豪雨発生前後の計4ケースの最短経路を検討することとした。なお、対象範囲外からの物資流入点は、対象の11市町外の備蓄倉庫の位置を考慮して決定した。また、秋田県のタイムラインでは一次集積拠点から二次集積拠点までの輸送セクションも存在する。しかし、今回の対象範囲内では一次集積拠点が2箇所と少ないため、一次集積拠点と二次集積拠点を合わせて集積拠点とした。

(3) 最短経路算出手法とルート重要度評価の概要

最短経路算出手法とルート重要度評価方法は宮田ら^{1),2)}が提案した、輸送ケース間の時間が最短となる条件で経路を算出し、通過頻度に応じて重要度を評価する方式を用いた。本稿において、図中の赤色は通過頻度が高く、重要度の高い道路である。

(4) 推定結果の考察、まとめ

a) 対象範囲外から集積拠点への物資輸送ケース

豪雨発生前の物資輸送経路を図-1、豪雨発生後に迂回が発生した地域に土砂災害警戒区域を重ねたものを図-2に示す。図-2より、藤里町の北東部において青森県との道路が寸断されたため、藤里町東側の集積拠点への輸送経路に迂回が発生した。この迂回の発生により能代市中央部の道路の重要度が高まるが、迂回経路の周辺には土砂災害警戒区域が多く、二次災害の危険があると判断できる。

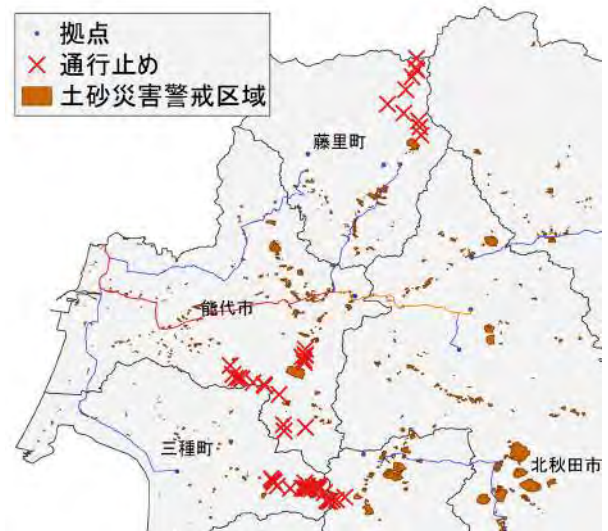


図-2 豪雨発生後の集積拠点への物資輸送経路

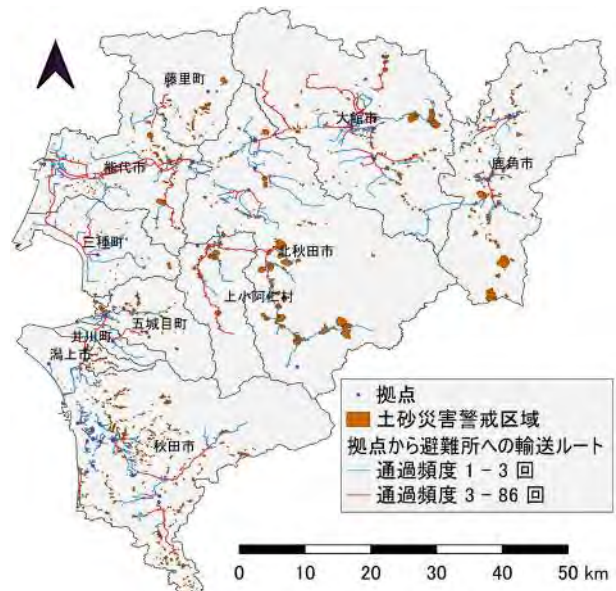


図-3 豪雨発生前の避難所への物資輸送経路

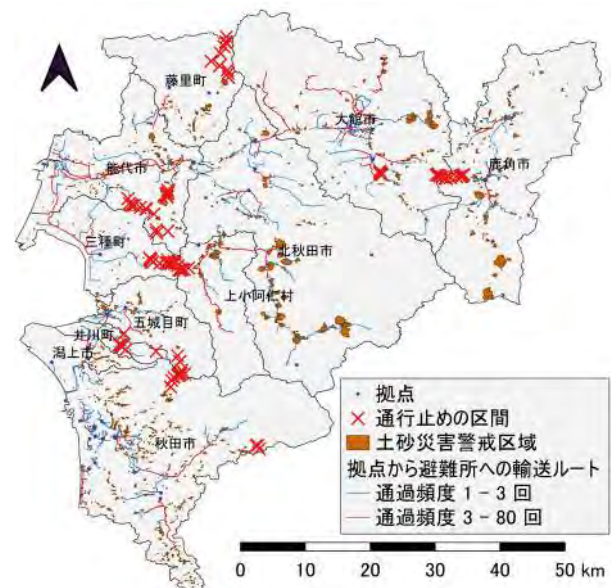


図-4 豪雨発生後の避難所への物資輸送経路

b) 集積拠点から避難所への物資輸送ケース

豪雨発生前の最短経路を図-3、豪雨発生後の最短経路を図-4に示す。大きな迂回は発生しなかったが、能代市の南東部では三箇所道路断絶が起きたため、この地域の孤立が発生した。また、北秋田市の南西部に走る道路と大館市の東部に走る道路は土砂災害警戒区域を多く通っており、周辺に迂回できる道路が少ないため二次災害によって物資輸送先の避難所が孤立する可能性がある。

以上の結果から、能代市の中央部を東西に走る道路は全ケースにおいて通過頻度が高く、重要性が非常に高いことが判明した。物資輸送の観点において、優先的に点検・補修すべき道路であると判断できる。

4. 最短経路を再現する AI 技術の検証

(1) 教師データの概要

対象範囲内において、GIS で算出した集積拠点から避難所までの輸送ケースに対しての最短輸送経路を、AI を用いて再現した。AI による最短経路の再現は教師データを段階的に変更して、以下に示す 3 ケースを実施した。なお、AI による検証は輸送経路の通過頻度を考慮せず、輸送経路としての使用の有無のみを判定する。

Case.1 は、道路網データに元から付与されている情報を説明変数とした教師データである。Case.2 は、Case.1 の教師データのピーク時の旅行速度の不足箇所を昼間非混雑時旅行時間とリンク長で補完したものである。Case.3 は、Case.2 の教師データに対して、各道路データに最寄りの集積拠点・避難所までの距離と名前の属性情報を加えたものである。ただし、ノードに関する詳細な情報などを教師データに含めると、精度が 100% 近くまで上がるリーク現象が発生するため、該当するカテゴリカルデータの項目を削除した。

(2) AI モデル

GBDT は学習時に決定木を直列に作成し、それまでに作成した決定木の予測値と目的変数との残差を新しい決定木の予測値とすることで、モデルの予測精度を修正していく。GBDT のモデルは複数存在するが、本検討ではカテゴリ変数や日本語データの処理に優れる CatBoost³⁾ を利用した。

(3) 学習結果

GBDT による学習は AI 学習用の GPU を搭載した環境を使用して 5 分程度で終了したことから、GIS のシミュレーション環境（一般的なビジネス用ノート PC、頻度計算が完了するまで数時間）よりも大幅に時間を短縮できた。

各ケースの精度 (accuracy) と再現率 (recall) を表-1 示す。道路網データのみ条件である Case.1 に比べ、速度情報の不足箇所を補完した Case.2 は 0.19 ポイント精度が向上した。最寄りの集積拠点・避難

表-1 学習結果

	Case.1	Case.2	Case.3
精度	91.61%	91.80%	92.59%
再現率	31.09%	31.63%	42.03%



図-5 GBDT による物資輸送経路の再現結果

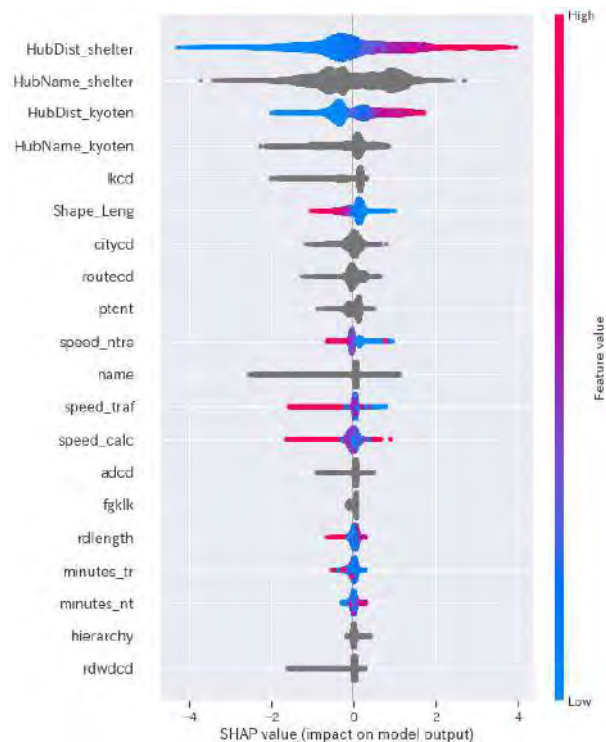


図-6 Case.3 の学習結果の SHAP 値

所までのデータを付与した Case.3 の精度は最も高い 92.59% となり、Case.2 から 0.79 ポイント上昇した。精度の上位二つの最短輸送経路の再現率は、Case.2 の 31.63% に対し、Case.3 は 42.03% となり、約 10 ポイント向上した。

精度と再現率が最も高かった Case.3 の再現結果を集積拠点から避難所までの輸送ケースの物資輸送経

路に重ね合わせて可視化した(図-5)。GBDTでは個々のリンクに対して判定を実施しているため、道路を連続して判定するとは限らず、歯抜け区間が発生している。しかしながら、通過頻度が3-86回の重要度が高い輸送ルートに関しては精度よく再現する傾向がみられた。GBDTで通過頻度が低い細道路を判定可能な説明変数の検討や歯抜け区間を補完することができれば、再現率はさらに向上すると考えられる。

(4) 重要度

学習結果より、速度情報の不足データを補完することよりも最寄りの拠点・避難所までのデータを付与したほうが精度と再現率がともに向上したため、後者の情報が重要であると判断できる。また、Case.3の学習結果であるSHAP⁹⁾(図-6)からも、最寄りの集積拠点・避難所までのデータ(HubDist_Shelter~HubName_kyoten)の重要度が高いことがわかる。

5. まとめ

本研究では、GISを用いて秋田県北西部における豪雨災害前後の最短の物資輸送経路を推定し、対象地域内の道路の重要度を評価した。また、AI技術(GBDT)を用いてGISによる推定の簡略化と高速化を試みた。

GISによる推定は2種類の輸送ケースを想定し実施した。1つ目の推定では、藤里町東側の集積拠点への輸送経路に迂回が発生し、この迂回路が土砂災害による二次被害の恐れがあることを示唆した。2つ目の推定では、北秋田市の南西部に走る道路と大館市の東部に走る道路においても二次災害によって物資輸送先の避難所が孤立する可能性があることを示唆した。また、これらの推定結果から能代市の中央部を東西に走る道路の重要性が非常に高く、物資輸送の観点において、優先的に点検・補修すべき道路であることが見て取れる。

GBDTによる検証は、GISによる推定よりも非常に高速であることを確認し、道路網データに対して最寄りの拠点・避難所までのデータを説明変数として加えることで、精度と再現率が向上することを確認した。最短輸送経路の再現率は約42%であるが、重要度が高い道路は精度よく再現していることから、細道路における正解率向上が課題として確認できた。

以上の結果から、秋田県北西部の物資輸送における重要道路を把握し、GBDTによる重要道路の予測の有用性を示唆することができた。

参考文献

- 1) 宮田ら：防災・減災の観点を考慮した道路整備の優先度評価の試み(その1)，土木学会第75回年次学術講演会例，2020。
- 2) 徳橋ら：防災・減災の観点を考慮した道路整備の優先度評価の試み(その2)，土木学会第75回年次学術講演会例，2020。
- 3) Prokhorenkova, L. et al. : CatBoost: unbiased boosting with categorical features, Advances in neural information processing systems, pp. 6638-6648, 2018.
- 4) 第4回令和4年8月9日からの大雨に係る災害対策本部，会議資料，<https://www.pref.akita.lg.jp/pages/archive/67319> (2022年10月7日閲覧)。
- 5) 秋田県公式サイト：緊急輸送道路・一覧表，<https://www.pref.akita.lg.jp/pages/archive/55149> (2022年10月7日閲覧)。
- 6) 国土交通省国土数値情報ダウンロードサイト，<https://nlftp.mlit.go.jp/index.html> (2022年10月7日閲覧)。
- 7) 秋田県防災ポータルサイト：秋田県災害時広域受援マニュアル，秋田県，2017。
- 8) 秋田県防災ポータルサイト：秋田県の地域防災計画，第7章，秋田県，2022。
- 9) Scott, M. L. and Su-In, L.: A Unified Approach to Interpreting Model Predictions, In Proceedings of the 31st International Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS'17), pp. 4768-4777, 2017.

(2022.10.17 受付)

ESTIMATION OF SUPPLIES TRANSPORTATION FOCUSED ON TORRENTIAL RAIN DISASTER IN NORTHWESTERN AKITA PREFECTURE AND CONSIDERATION OF AI TECHNOLOGY.

Taisei MORITA, Yusuke MIZUNO, Hitoshi TATSUTA and Shuta MIYATA

This study estimates the shortest transportation routes of supplies before and after a heavy rain disaster in the northwestern part of Akita Prefecture using GIS for two types of transportation cases, and evaluates the importance of roads in the target area according to the frequency of passage. We also attempted to simplify and accelerate the GIS-based estimation by using AI technology (GBDT).

The results of the shortest route estimation indicated that the detour route to the accumulation center may cause secondary damage due to landslides, and that the evacuation center where supplies are transported may become isolated. The GBDT was much faster than the GIS-based estimation, and the addition of the data to the road network data and the data to the nearest accumulation centers and evacuation centers as explanatory variables improved the accuracy and recall of the GBDT. The results suggest the usefulness of the GBDT for predicting important roads.