

深層学習による道路災害検索システムを活用した災害危険度の推定

株式会社 北海道気象技術センター 正会員 ○鶴巻 亮一
株式会社 北海道気象技術センター 非会員 瀧谷 克幸
株式会社 北海道気象技術センター 正会員 松岡 直基

1. 背景と目的

北海道の厳しい気象現象は夏季の大雨に加え、冬季の大雪・暴風雪に特徴づけられる。こうした気象現象は道路交通の流れに影響を与え、そのたび道路管理者によって適切な対応がとられてきた。迅速で最適な道路管理を実施するため、過去に経験した災害事例と、そのときの気象条件に適した現場対応が実際どのように実施されてきたのかを理解することは重要である。

本研究では、過去の道路交通に関わる災害記録とそれに関連した通行止め記録をデータベースに集約することで、過去の気象条件と類似した条件から当日の道路災害の危険度を把握し、適切な道路管理状況の理解に役立てることを目的とする。

2. 道路災害検索システム

本研究ではまず、道路災害検索システムが構築された。これは主に、北海道の道路災害記録が集約されたデータベースと当該の天気と類似した過去の天気を検索する技術から構成される。図 1 に道路災害検索システムの主な特徴を示した。このシステムでは、(1) 気象学的データを用いて数値天気図が作成され、(2) Deep learning 技術により当該の天気図に類似した過去の天気図が検索され、(3) 類似日における災害記録が道路災害データベースから抽出される。

2.1. 道路災害データベース

道路災害データベースでは、管理者名、路線番号、通行止め区間、規制時刻、規制要因、災害復旧費用記録などが格納される。国道は北海道開発局より提供された昭和 45 年度（1970 年度）から令和 5 年度（2023 年度）

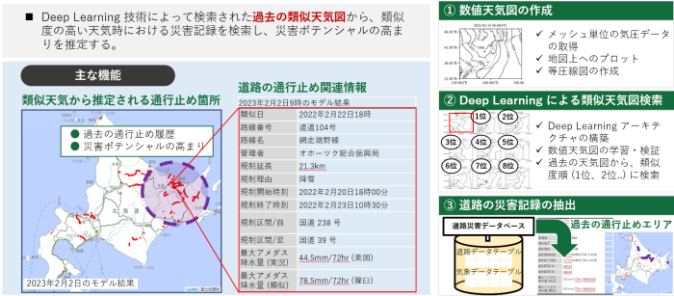


図 1. 道路災害検索システムの主な特徴。

までの計 6,765 件、北海道は北海道庁より提供された昭和 53 年度（1978 年度）から令和 4 年度（2022 年度）までの計 22,158 件である。道路災害データベースから災害情報がクエリによって抽出され、災害箇所が表および地図上に同定される（図 1）。

2.2. 数値天気図

天気予報において、日々の天気は気圧が等値線で描かれた分布図上に前線や低気圧、高気圧の位置およびその気圧値が記された天気図で解釈される。入力データは緯度と経度で位置が同定されるメッシュ平均の海面更正気圧である。表 1 にその概要を示した。約 5 km 刻みの計 102,400 個の入力をもつ。この解像度では数 km スケールの個々の雲まで分解できないが、台風や温帯低気圧、移動性高気圧などのスケール (>1,000 km) は分解できるほど十分に小さい。

2.3. 畳み込みオートエンコーダ (CAE)

類似天気検索では、過去の天気図を学習した Deep learning 技術によって類似度の高い天気図が抽出される。その方法は、教師なし学習の畳み込みオートエンコーダ (CAE) である (Masci et al., 2011)。アーキテクチャは、隠れ層が 9 層の convolutional 層、pooling 層、dropout 層から構成される。CAE では、入力の高さ（特徴マップの数）を増やしなが、空間次元を削減する。最終的に、天気図の特徴が圧縮された特徴マップ同士が Euclid 距離で比較され、より近い天気図が類似天気として抽出される。

表 1. 道路災害検索システムで用いられる海面更正気圧。

入力データ	メソ数値予報モデル (MSM) の初期値
解析範囲	日本域(約 32°N–48°N,約 130°E–150°E)
空間解像度	約 5 km メッシュ
画像スケール	320 px × 320 px (総数：102,400)
学習期間	2002 年から計算時まで

キーワード 道路災害、人工知能、深層学習、気象学、天気図

連絡先 〒001-0010 札幌市北区北 10 条西 2 丁目 13-3

株式会社 北海道気象技術センター TEL 011-708-1111

3. 結果

本研究では毎日 9 時の天気図をテストしながら、都度学習することで、結果を確認しつつ最新の気象条件を反映させ CAE の精度向上を図る。以下では、北海道の典型的な大雪事例の 1 つについて、類似天気検索と道路災害の危険度予測の結果を示した。

3.1. 類似天気検索

図 2 は北海道における大雪事例（2023 年 2 月 2 日）の類似天気検索の結果（上図）と実際の通行止め区間との比較（下図）である。この参照事例（赤枠）は、千島近海で急速に発達した低気圧により北西タイプの冬型の気圧配置が形成され、北海道は大雪・暴風雪により大荒れとなる典型的なパターンであった。これに対して、検索された 8 つの類似天気も同様に冬型の気圧配置をもち、どの事例も道内の等圧線の傾度や走向、曲率など比較的類似する。道内の 72 時間最大降水量（アメダス地点）は、参照事例でカルスの 34.5 mm に対し、

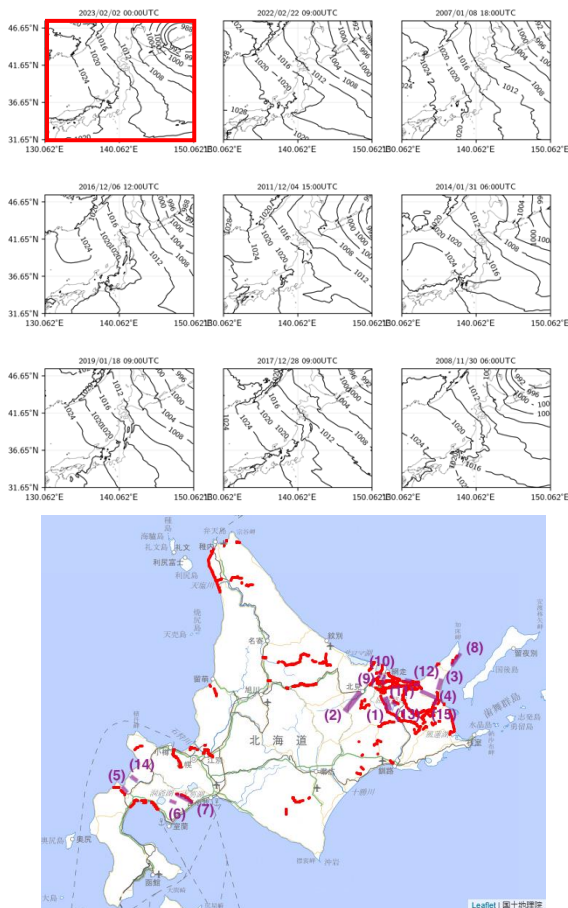


図 2. 北海道の大雪事例（参照日：2023 年 2 月 2 日）の類似天気検索の結果（上図）と、このときの実際の通行止め区間との比較（下図）。赤枠が参照事例の天気図で、ほかは左上から右下に従い類似度の高いものが並ぶ。地図中の紫線は実際の通行止め区間、赤線は類似天気の通行止め区間を表す。

類似天気は 29.0 mm（朱鞠内）から 93.5 mm（羅臼）の範囲にあった。場所や総量は様々だが、CAE は、参照日が道内のどこかで危険な大雪の降ることを察知した。

3.2. 道路災害事例の抽出

8 つの類似天気のうち、通行止めは計 95 箇所（約 12 箇所/事例）で実施されていた（図 2 下図の赤線）。その原因のほぼすべてが降雪と吹雪で、ほかには雪崩のおそれもある。実際の通行止め（紫線）は国道と北海道道あわせて計 15 箇所（国道および高速道路：4 箇所、道道：11 箇所）で、その原因はすべて類似天気と同じであった。通行止め箇所は類似天気と同じく道東に集中したが、ほかには道南の黒松内町（No.14, No.5）や登別市カルス（No.6, No.7）でもみられたことが特徴的である。このような図から、道内のいくつかで災害危険度の高い状態にあったことが推測できる。

4. 応用

図 3 は 2022 年度冬季の類似検索によって道路災害データベースから抽出された通行止め発生箇所数の集計結果である。実際に通行止めが実施されなかった日（破線）は、多くの事例で類似日の通行止め箇所数（赤）も少ない結果が得られた。このことは、少なくとも、もし類似天気の通行止め箇所が多数抽出されたときは、たしかに道内のどこかで通行止めは必要であり、災害危険度は高い状態にあると予測することができる。

この手法は予想天気図からも有効的である。今後は、災害予想地域や災害負荷の定量的な把握など、気象予測をより活かした管理手法の提案を行いたい。

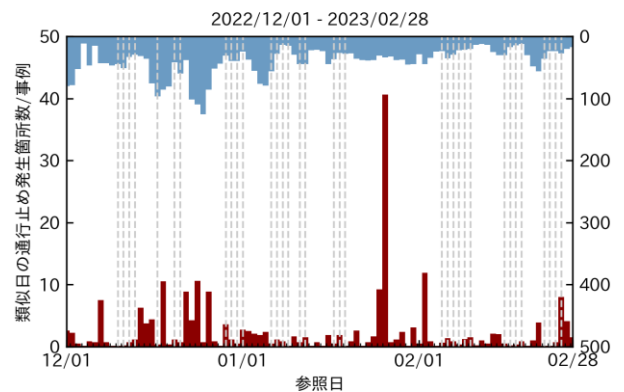


図 3. 冬季北海道の類似日における 1 日あたりの通行止め箇所数(赤)とアメダス地点(速報値)で観測された 72 時間最大降水量(青)の推移。破線は大雪に関わる通行止めが実際実施されなかった日を表す。

References

- J. Masci, U. Meier, D. Cireşan, & J. Schmidhuber, 2011, *Proceedings of the 21st International Conference on Artificial Neural Networks* 1, 52-59.