

令和 3 年 6 月 18 日現在

機関番号：18001

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13871

研究課題名（和文）人工知能を応用した塩害環境評価システムの開発

研究課題名（英文）Development of a Chloride Attack Environment Evaluation System Based on Artificial Intelligence

研究代表者

崎原 康平（SAKIHARA, Kohei）

琉球大学・工学部・准教授

研究者番号：20647242

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、地域毎で異なる環境作用を考慮した飛来塩分を定量的に予測することを目的として、沖縄県および新潟県で現地観測された飛来塩分データや公開されている気象や波浪データ、さらに空中写真から測定した消波施設の距離や砂浜幅等の各種情報から、機械学習を用いて飛来塩分の予測を行い、その妥当性を検討した。その結果、各地域における飛来塩分の傾向を予測できることを確認した。さらに、地域毎で異なる環境作用を適切に設定することで予測精度が向上することを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果より、現地観測された飛来塩分データや公開されている気象や波浪データ、さらに空中写真から測定した消波施設の距離や砂浜幅等の各種情報から、機械学習を用いて定量的な飛来塩分の予測が行えることが示された。また、地域毎で特徴量が飛来塩分予測に与える影響が異なることが明らかとなり、精度の良い機械学習を行うためには、重要度等を参考にして地域毎に適切な特徴量を選択する必要があることが示された。本研究は、地域毎で異なる環境作用を考慮した塩害環境評価技術を確立するための基礎研究として位置づけられ、沖縄県だけでなく四方を海に囲まれた東南アジア諸国にも本研究成果の応用が期待できる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to quantitatively predict the airborne chloride of the beach considering the environmental effects that vary from region to region. We predicted the airborne chloride by using machine learning based on the data of the airborne chloride observed in Okinawa and Niigata prefectures, meteorological and wave data available in the public domain, and various information such as the distance of wave dissipation facilities and the width of beaches measured from aerial photographs.

研究分野：建築材料学

キーワード：塩害 飛来塩分 機械学習 環境作用 維持管理

1. 研究開始当初の背景

四方が海に囲まれた日本において、海岸付近の鉄筋コンクリート構造物は、海から供給される飛来塩分による塩害の影響を受けやすい。特に、北西からの強い季節風を受ける日本海側や多くの台風が通過する沖縄では、海から供給される非常に多くの飛来塩分により、鉄筋コンクリート構造物の重大な欠陥を引き起こす要因となるため、塩害に対する合理的な施工設計・維持管理方法の確立が求められている。

著者らはこれまでに、長期間観測した海岸付近の飛来塩分と風況（平均風速、最多風向）の関係から、海岸からの距離および標高を考慮した簡便な飛来塩分輸送推定式を提案している¹⁾。しかし、この提案式の推定精度は、様々な環境作用（海岸形状、風況、波浪、障害物の有無等）が複雑に関係しており、環境作用と飛来塩分の対応は必ずしも明確ではない。

一方、近年では AI や ICT といった最先端情報技術の活用が注目を集めており、その中でも機械学習は、過去に実測した飛来塩分や Web 上で簡単に取得できる気象・波浪の各データを学習させることで飛来塩分の定量評価が出来る可能性がある。

2. 研究の目的

本研究では、地域毎で異なる環境作用を考慮した飛来塩分を定量的に予測することを目的として、沖縄県および新潟県で現地観測された飛来塩分データや公開されている気象や波浪データ、さらに空中写真から測定した消波施設の距離や砂浜幅等の各種情報から、機械学習を用いて飛来塩分の予測を行い、その妥当性を検討した。

3. 研究の方法

本研究では、過学習が起きにくく、特徴量（説明変数）の相対的な重要度を求めることができるランダムフォレスト²⁾（以後、RF と略す）を用いて飛来塩分の予測を試みた。RF は、特徴量をランダムに選択して決定木を構築する処理を複数回繰り返す、各決定木の推定結果の平均値による回帰を行う手法である（図1参照）。本研究では、今回使用できる全データセットが少ないため、全データを k 分割し、k-1 個の集合を学習データに、残りの 1 個の集合をテストデータに使用する処理を k 回繰り返す k 分割交差検証を採用した。（図2参照）。RF のパラメータは、最適なパラメータの組み合わせを試行するグリッドサーチを行うことで決定した。

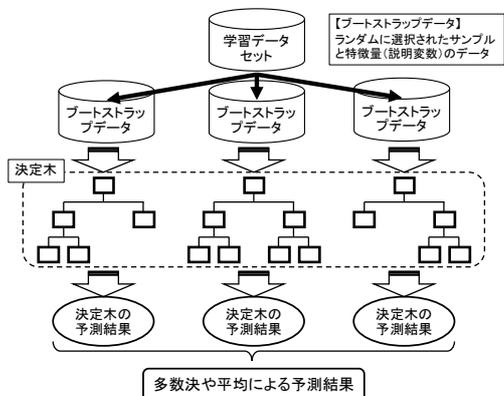


図1 ランダムフォレストの概要

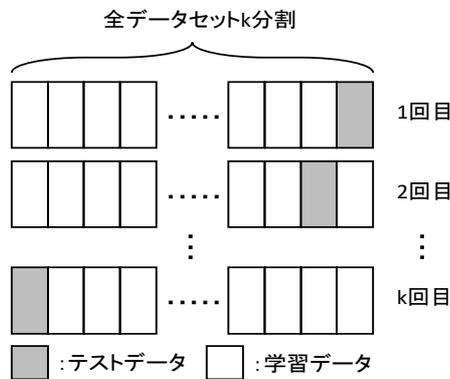


図2 k分割交差検証

4. 研究成果

(1) 沖縄県の飛来塩分予測の結果と考察

図3にRFによる沖縄県辺野喜の飛来塩分予測と実測値の比較を示す。予測値は実測値の大きな傾向を捉えているものの、冬季や台風が発生した月では予測精度は低い結果となった。

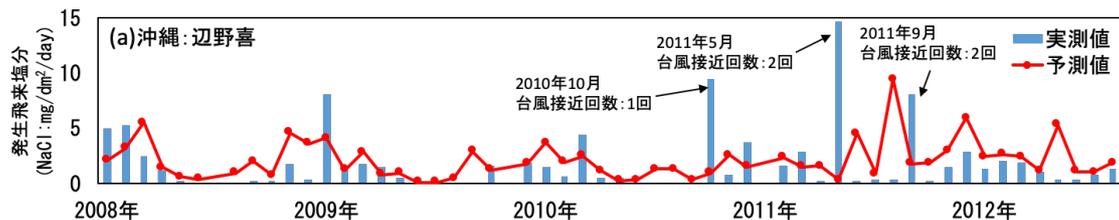


図3 RFによる予測値と実測値の比較

図4にRFによる飛来塩分予測で用いた特徴量(説明変数)の重要度を示す。ここで重要度とは、どの特徴量が予測に対して相対的に重要なのかを示す指標であり、0以上1以下で表される。同図より、沖縄県辺野喜における飛来塩分の特徴量の重要度は、平均風速(西)、波数、平均風速(北)の順に高い値を示した。これは、飛来塩分の測定を行った辺野喜暴露場が北西側にある海に面していることから、妥当な結果であるといえる。また風速以外にも、波数や平均波高などの波浪要因が飛来塩分予測に与える影響が大きいことが示唆された。なお特徴量には、防波堤の有無や距離等の影響も大きいと考えられるが今回の沖縄県の検討においては考慮していない。

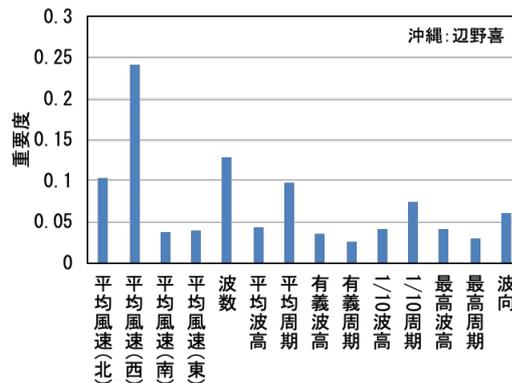


図4 特徴量の重要度 (沖縄県)

(2) 新潟県の飛来塩分予測の結果と考察
新潟県においては、現地観測された飛来塩分データや公開されている気象や波浪データだけでなく、空中写真から測定した消波施設の距離や砂浜幅等の各種情報から、機械学習を用いて飛来塩分の予測を行い、その妥当性を検討した。新潟県の現地観測は、消波施設や砂浜の影響をできる限り抽出できるように、気象および波浪条件が観測地点毎でほぼ同じである図5に示す隣接している海岸で実施した。観測点は、海岸の砂浜や消波施設の設置状況が異なる海岸に数十m~数百m程度の間隔で配置した。観測点の配置数は、観測海岸1~5に50点、観測海岸6~9に40点の合計90点とした。観測期間は、2016年12月19日から2017年4月1日の103日である。風況(風速、風向)は、観測海岸1~5では鼠ヶ関観測点、観測海岸6~9では寺泊観測点の結果を用いた。なお風況は、観測期間中の平均値を使用した。

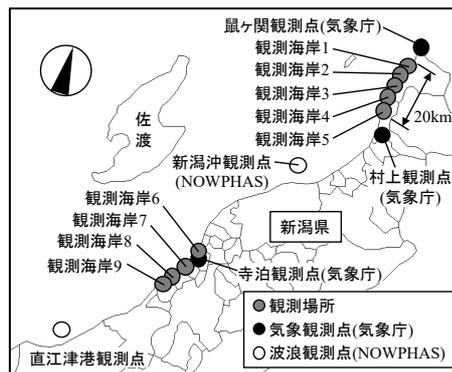


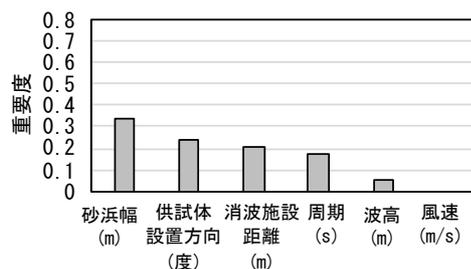
図5 新潟県の飛来塩分の観測場所

飛来塩分は、消波施設の設置位置や砂浜幅(大きさ)に影響されることが中村らの研究³⁾で報告されている。そこで本研究では、中村らの研究を参考に、飛来塩分に及ぼす影響を消波施設や砂浜の有無、供試体の設置位置から施設までの距離、砂浜の幅で定量的に評価した。消波施設までの距離と砂浜幅は国土地理院の空中写真およびGoogle Earthの距離測定機能を利用して測定した。図6に測定例を示す。飛来塩分は風向によって輸送される方向が変化するため、供試体の設置位置からの距離は観測期間中の平均化した最多風向の方向で測定した。本検討で対象とした消波施設は、消波ブロックが積まれた構造体であり、周辺に消波ブロックが設置されていない防波堤などの施設は対象から除外した。

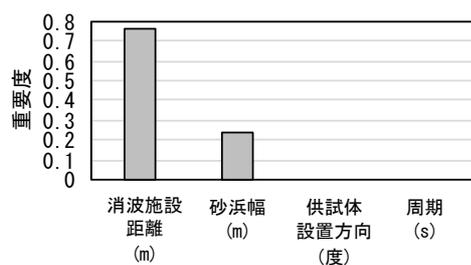


図6 消波施設距離と砂浜幅の測定方法

図7にRFで用いた特徴量に関する重要度を示す。ここで重要度とは、どの特徴量が予測に対して相対的に重要なのかを示す指標であり、0以上1以下で表される。図7(a)は砂浜幅、供試体設置方向、消波施設距離、周期、波高、風速の6つの特徴量をRFに用いた重要度の結果である。図7(a)より、6つの特徴量をすべて使用した場合、砂浜幅、供試体設置方向、消波施設距離の順に重要度が高いことが確認された。一方、波高や風速の重要度は低い値であった。この理由は、消波施設距離や砂浜幅が飛来塩分に与える影響を考慮し、気象および波浪の条件が同程度である観測地点を選定したためであ



(a) 6項目の特徴量の重要度



(b) 4項目の特徴量の重要度

図7 特徴量の重要度 (新潟県)

る。機械学習では、適切な特徴量を選定することにより、予測精度が向上する可能性があることから、特徴量を上述の6つの項目から重要度の高い砂浜幅、供試体設置方向、消波施設距離、周期の上位4項目にした際の検討を行った。

図7(b)に上位4項目の特徴量のみを使用した際の重要度を示す。同図より、各特徴量の重要度は、消波施設距離が0.76、砂浜幅は0.4となり、一方、供試体設置方向と周期は0となった。また、図7(a)の重要度の結果では、砂浜幅が1位、消波施設距離は3位であったが、図7(b)では消波施設距離が1位、砂浜幅が2位と順位が逆転した。これは、特徴量が少なくなることで、各特徴量に対する相対的な指標である重要度に影響を与えたためと考えられる。

図8に、新潟県における飛来塩分の実測値と予測値の比較を示す。なお、図8(a)は消波施設、砂浜幅、供試体設置方向、周期、波高、風速の6項目、図8(b)は消波施設、砂浜幅、供試体設置方向、周期の4項目の特徴量を機械学習に用いた結果である。図8(a)より、実測値とのばらつきが大きく、決定係数も0.16と高くない結果となった。この理由として、特に実測値が予測値より大きいNo.2-7、No.5-4、No.6-3およびNo.7-7の各観測点では、消波ブロックや砂浜幅の影響により実測値が増加したためと考えられる。また観測海岸に着目すると、観測海岸6~9の方が観測海岸1~5より波高が低いため、飛来塩分が少ない傾向であった。一方、特徴量を4項目と少なくした図8(b)の結果は、決定係数が0.21となり、図8(a)より良好な結果を得た。これは、波高や風速等の重要度の低い特徴量は、飛来塩分を予測する際のノイズとなり精度を下げる要因となる可能性がある。以上より、精度の良い機械学習を行うためには重要度等を参考にして適切な特徴量を選択する必要があると推察される。

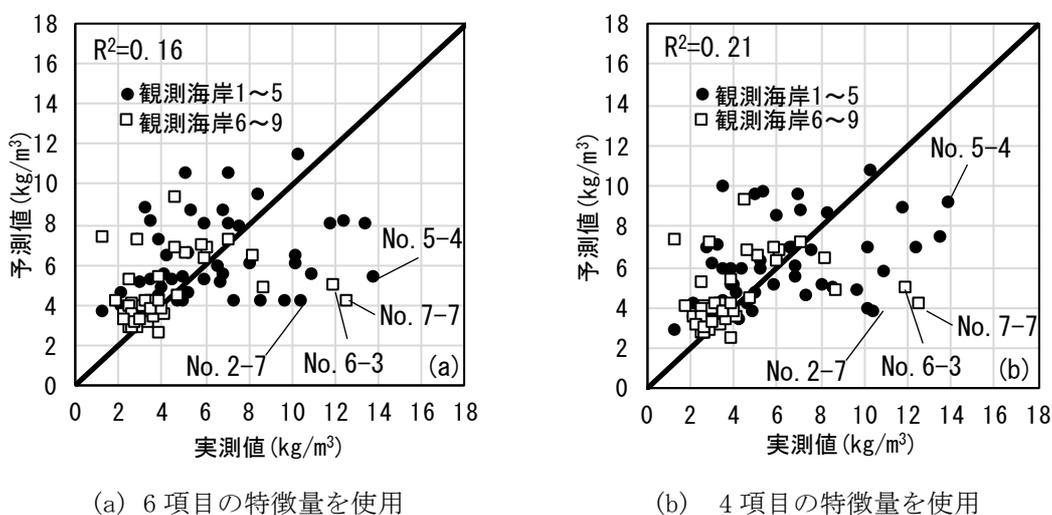


図8 新潟県における飛来塩分の実測値予測値の比較

本研究では、沖縄県および新潟県で現地観測された飛来塩分データや公開されている気象や波浪データ、さらに空中写真から測定した消波施設の距離や砂浜幅等の各種情報から、機械学習を用いて飛来塩分の予測を行い、その妥当性を検討した。以下に知見を示す。

- (1) RFによる沖縄県の飛来塩分の予測結果は、実測値の傾向を概ね捉えられることが確認された。しかし、飛来塩分が多い冬季や台風の期間では、予測精度が低いため、今後は使用プログラムのパラメータチューニングにより予測精度の検討を行う。
- (2) 新潟県における特徴量6項目を機械学習に使用した予測値と実測値を比較した結果、ばらつきが大きく、決定係数も小さい値であった。一方、風速と波高を除いた4項目の特徴量を機械学習に使用した場合、特徴量を6項目使用した結果より予測精度が向上した。したがって、精度の良い機械学習を行うためには、重要度等を参考にして適切な特徴量を選択する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 崎原康平, 山田義智, 湯浅昇, 濱崎仁: 飛来塩分輸送状況予測システムの構築に関する基礎的研究, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 81, No. 727, pp. 1403-1412, 2016. 9.
- 2) Breiman, Leo.: Random Forest, Machine Learning 45(1): pp.5-32, 2001.
- 3) 中村文則, 井野裕輝, 大原涼平, 下村匠: 空中写真を利用した海岸環境の数値化とそれに応じた飛来塩分量の算定手法の開発, コンクリート工学年次論文集, Vol. 39, No. 1, pp. 745-750, 2017.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 崎原康平, 中村文則, 滝勇太, 山田義智	4. 巻 20
2. 論文標題 機械学習による沿岸周辺環境を考慮した飛来塩分予測に関する研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集	6. 最初と最後の頁 233-238
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 足立丞, 崎原康平, 滝勇太, 山田義智	4. 巻 20
2. 論文標題 機械学習による屋内促進試験に供したコンクリートの塩化物イオン浸透予測に関する研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集	6. 最初と最後の頁 227-232
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kohei SAKIHARA, Fuminori NAKAMURA, Yuta TAKI and Yoshitomo YAMADA	4. 巻 1
2. 論文標題 An Application of Machine Learning to Prediction Generated Airborne Chloride	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 6th International Conference on Construction Materials (ConMat '20)	6. 最初と最後の頁 1368-1375
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 足立丞, 崎原康平, 滝勇太, 山田義智	4. 巻 42
2. 論文標題 機械学習による屋外暴露試験に供したコンクリートの塩化物イオン浸透予測に関する研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 587-592
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 崎原康平, 中村文則, 滝勇太, 山田義智	4. 巻 19
2. 論文標題 機械学習を用いた発生飛来塩分予測に関する基礎的研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集	6. 最初と最後の頁 599-604
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中村文則, 石川嘉崇, 崎原康平, 矢島典明	4. 巻 19
2. 論文標題 湾内に設置された火力発電所構内の構造物に作用する飛来塩分の定量評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集	6. 最初と最後の頁 593-598
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kohei SAKIHARA, Yoshitaka ISHIKAWA, Fuminori NAKAMURA	4. 巻 1
2. 論文標題 A Basic Study on Evaluation of Airborne Chloride Ions Transport Situation in Thermal Power Plant	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the International Conference AILCD 2019	6. 最初と最後の頁 259-262
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 請舩慧, 崎原康平, 中村文則, 滝勇太
2. 発表標題 沖縄本島海岸付近の飛来塩分予測における機械学習の適用
3. 学会等名 日本建築学会九州支部研究報告
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 足立丞, 崎原康平, 滝勇太, 山田義智
2. 発表標題 機械学習および拡散方程式によるコンクリート中の塩分浸透予測に関する研究
3. 学会等名 日本建築学会九州支部研究報告
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 崎原康平, 中村文則, 滝勇太, 山田義智
2. 発表標題 ランダムフォレストによる海岸周辺環境を考慮した飛来塩分予測法の提案
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 足立丞, 崎原康平, 滝勇太, 山田義智
2. 発表標題 ランダムフォレストによる屋内促進試験に供したコンクリート中への塩化物浸透予測
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 足立丞, 崎原康平, 滝勇太, 山田義智
2. 発表標題 ランダムフォレストによるコンクリート中への塩化物イオン浸透予測に関する基礎的研究
3. 学会等名 日本建築学会九州支部研究報告
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 崎原康平, 滝勇太, 山田義智
2. 発表標題 ランダムフォレストによる発生飛来塩分予測の検討
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 矢島典明, 石川嘉崇, 横尾智行, 崎原康平, 山田義智
2. 発表標題 火力発電所における塩害劣化予測システムの構築に関する基礎的研究 (その4. 計6箇所の風況の再検討)
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会 (東北) 学術講演梗概集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横尾智行, 石川嘉崇, 矢島典明, 崎原康平, 山田義智
2. 発表標題 火力発電所における塩害劣化予測システムの構築に関する基礎的研究 (その5. 瀬戸内地域および関東地方における火力発電所構内の暴露期間1年間の飛来塩分量の測定結果)
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会 (東北) 学術講演梗概集
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------