

河川植生侵入のロジスティック回帰予測モデル

A Logistic Regression Model for Predicting Riverine Vegetation Invasion

宮 本 仁 志
Hitoshi Miyamoto

前 田 尚 哉
Naoya Maeda

1. はじめに

世界各地で洪水時の流下能力の低下や生物多様性の喪失の観点から河川の樹林化が問題となっている^{1,2)}。本研究では、河川が樹林化に至る二次遷移過程の初期段階において植物の侵入を予測するモデルを開発した。モデル開発では、樹林化が進行する日本の鬼怒川を対象にして、著者らの UAV(unmanned aerial vehicle)による空撮測量のデータとウェブ上で公開されているデータベースを用いた。モデルの構造は、機械学習や深層学習と比べて計算負荷が少なく、シンプルなモデル構成であるロジスティック回帰モデルを選択した。学習した河川以外でもモデルの適用が可能になることを意図して、平常時と洪水時、および、礫床河川と砂河川など、河川の流れと地形の特徴ごとにモデルの適用性を検討した。本稿では、植物の侵入を予測するために開発したロジスティック回帰モデルの概要を紹介する。

2. 手 法

2. 1 対象河川

図-1 に対象とする鬼怒川流域を示す。鬼怒川の幹川延長は 177 km、流域面積は 1,761 km²、河床勾配は約 1/200 から 1/2000 である³⁾。鬼怒川は、利根川との合流点から 46km よりも上流は礫床河川で、下流は砂河川である。それに対応して、河川を特徴ごとに区分した河川セグメントは、46km より上流は扇状地での礫床河川であるセグメント 1 に分類される。一方、下流の 34~46km は交互砂州が発達するセグメント 2-1 に、さらに下流の 0~34km は自然堤防帯を流れるセグメント 2-2 に分類される。本研究では、2015 年 9 月の関東・東北豪雨⁴⁾の直後から 2018 年 11 月を対象期間とした。この 2015 年の豪雨により、鬼怒川では洪水水位が水海道と平方の観測地点で観測史上最高⁴⁾を記録し、下流域の 21km 地点で破堤して常総市の大部分が浸水被害を受けた。その洪水の影響で鬼怒川の河道のほぼ全てにおいて植生が流出して滞筋が変化し、礫河原と砂州のほとんどで裸地が増加した。

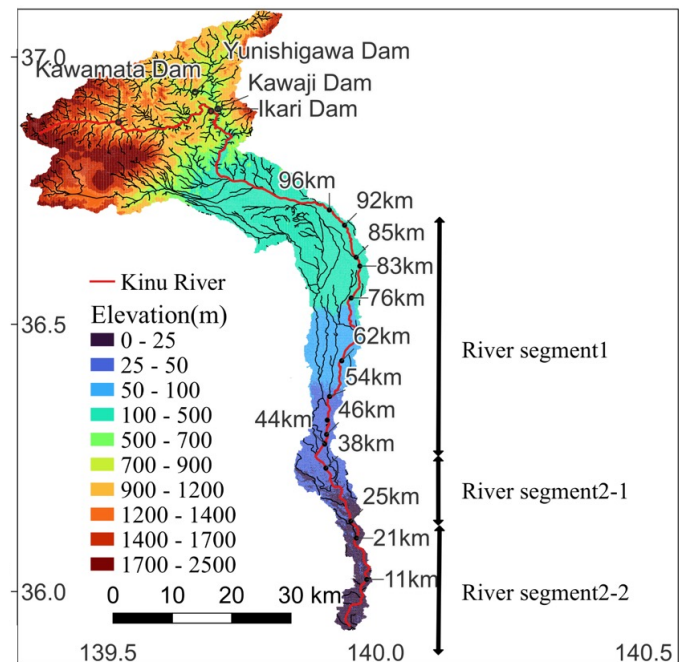


図-1 鬼怒川流域と対象地点

2. 2 データセット

本研究では、2015～2018 年のそれぞれの 10-12 月に UAV(Unmanned Aerial Vehicle)計測で得られた鬼怒川の空撮画像の地被分類結果⁵⁾と、SfM(Structure from Motion)から得られた DSM(Digital Surface Model)、および国土交通省が公開する河川環境基図⁶⁾を用いて説明変数と目的変数を作成した。本研究で用いた説明変数は、水際からの距離、比高、無次元掃流力、過去の植生分布の履歴である。目的変数は予測対象である植生分布である。本研究では、洪水時と平常時において河川セグメント毎にデータセットを纏めた。水害直後の 2015 年 10 月のデータセットを洪水時とし、続く 2016 年 10-12 月と 2017 年 11-12 月のデータセットを平常時とした。なお、2017 年のデータセットを用いて翌年を予測した正解データとしては、2018 年 11 月の UAV 空撮画像を使用した。個々のデータは、植物群落の種類が判別可能な 5m×5m の空間分解能とし、解析対象から外れる耕作地・施設地などの人工地被はデータセットから除いた。以上より作成した各河川セグメントの総データ数はそれぞれ 24,703～374,930 の範囲となった。

2. 3 ロジスティック回帰モデル

ロジスティック回帰モデルは二項分布とロジット関数による一般化線形モデルである。式(1)(2)は本研究で用いたロジスティック回帰モデル⁷⁾の生起確率 P とロジット関数 $g(x)$ である。

$$P = f(x) = \frac{1}{1 + \exp(-g(x))} \quad (1)$$

$$g(x) = \ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = \beta_0 + \sum \beta_i x_i \quad (2)$$

ここに、 $f(x)$:ロジスティック回帰関数、 x_i :説明変数、 β_0 :モデル定数、 β_i :偏回帰係数、 i :説明変数の数、である。

本研究では生起確率 P に閾値を設定して植生侵入の有無を二値化した。閾値の決定には受信者動作特性 ROC(Receiver Operating Characteristic)⁷⁾を用いた。検討した河道の礫床・砂州は、はじめは全て裸地であると仮定して、その翌年の植物の在・不在を応答変数とした。説明変数の有意性は Wald 検定を用いて、 p 値 0.05 未満を統計的有意とした。モデルの評価と最適な説明変数パターン選定には F 値(F -measure)を用いた。 F 値の算出には 5-分割交差検証を用いた。

2. 4 鬼怒川への適用

表-1 に検討した説明変数の 4 つの組合せパターンを示す。パターン A と B では説明変数として水際からの距離と比高もしくは無次元掃流力を選定した。パターン C と D では、A と B に植生分布履歴をそれぞれ加えたものである。なお、パターン設定に際して説明変数間の独立性を確認したところ、比高と無次元掃流力に相関が認められた。多重共線性を回避するため、比高と無次元掃流力は同じパターンに入れないように設定した。モデル開発とデータ前処理には Python (ver3.9.12)/scikit-learn (ver1.0.2)を使用した。

表-1 検討した説明変数の組み合わせパターン

パターン	水際からの距離	比 高	無次元掃流力	植生分布履歴
A	○	○		
B	○		○	
C	○	○		○
D	○		○	○

3. 結果と考察

3. 1 モデルの精度評価

図-2 に 5 分割交差検証で算出される平均の F 値を示す。これより、すべてのデータセットのケースでパターン C と D

の平均 F 値は、パターン A と B に比べて大きい値をとることがわかる。両者の違いは、説明変数として過去の植生履歴を含むか否かである。また、パターン C と D を比較すると、ほとんどのケースでパターン C の F 値が若干高い傾向を示す。パターン C は、説明変数として水際からの距離・植生分布履歴・比高の 3 つを含むモデルであり、パターン D はパターン C の比高の代わりに無次元掃流力が入るモデルとなる。パターン C の平均 F 値は 0.79-0.85 となった。

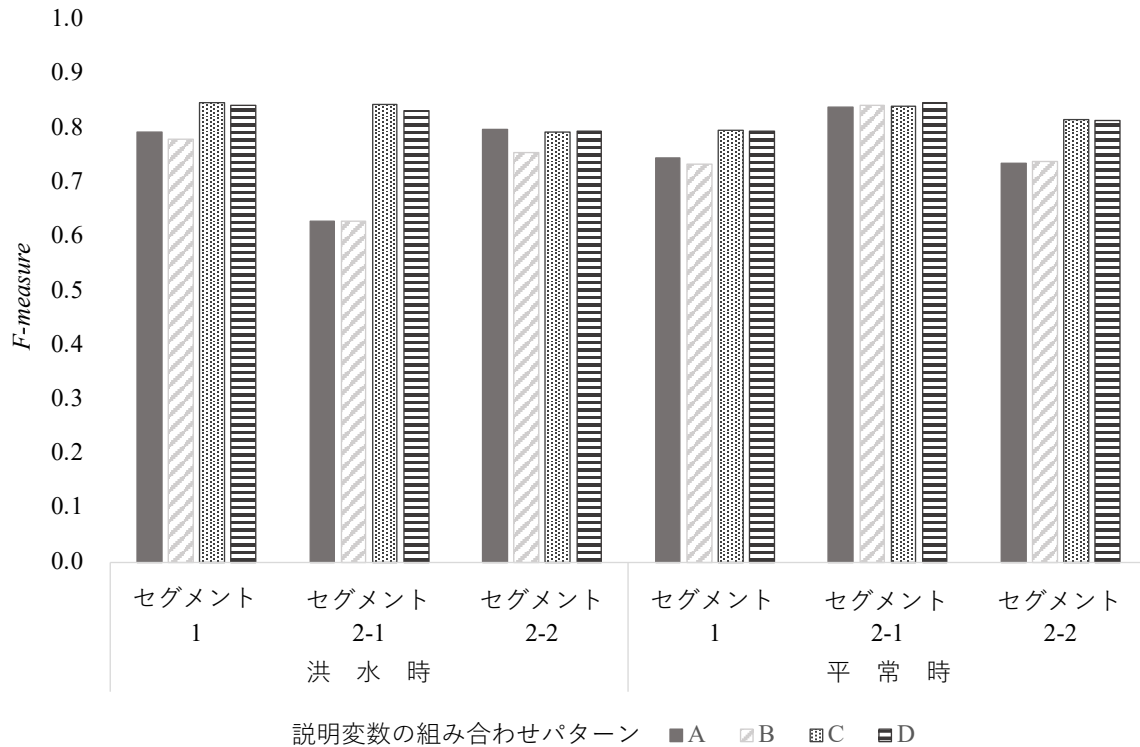


図-2 説明変数の組み合わせパターンの違いによるロジスティック回帰モデルの F 値の比較。

3. 2 河川植生侵入の予測結果

図-3 に、パターン C の説明変数（水際からの距離・比高・植生分布履歴）によるロジスティック回帰モデルを用いた植生侵入の予測結果を示す。図-3 はセグメント 2-1 の 46 km 地点における平常時 2017 年から 2018 年を予測した結果であり、 F 値は 0.84 である。左図の侵入確率 P と中央図の予測正誤の空間分布から、ほぼ全ての部分で植生侵入が良く予測されていることが確認できる。特に、右図の UAV オルソ画像を確認すると、蛇行流路の内岸砂州の水際において植生の在・不在が正確に予測されている。その一方で、植物・水もしくは植物・砂礫の境界部分では予測ができない部分があった。

4. 結論と今後の展開

本研究では、ロジスティック回帰モデルを用いて河川への植生初期侵入を予測するためのモデル開発を行った。モデル開発では、樹林化が進行する日本の鬼怒川を対象にして、UAV による高解像度の空撮測量のデータと過去の公開データベースを用いた。鬼怒川の礫床と砂州、ならびに洪水時と平常時の状況を対象として、河川の流れと地形の特性ごとにモデルの適用性を検討した。その結果、全ての河道特性に対して、水際からの距離・比高・植生分布履歴の 3 つを説明変数としたロジスティック回帰モデルで F 値が最大の 0.79-0.85 となり最適モデルとなった。この最適モデルによる植生侵入予測マップでは、河川主流部に沿う礫河原・砂州への植生侵入を十分な精度で予測できることが確認された。予測精度が低下する水辺・砂礫床から植生への遷移部分での予測モデルの改良と、植生侵入判定の閾値同定方法が今後の課題として挙げられる。

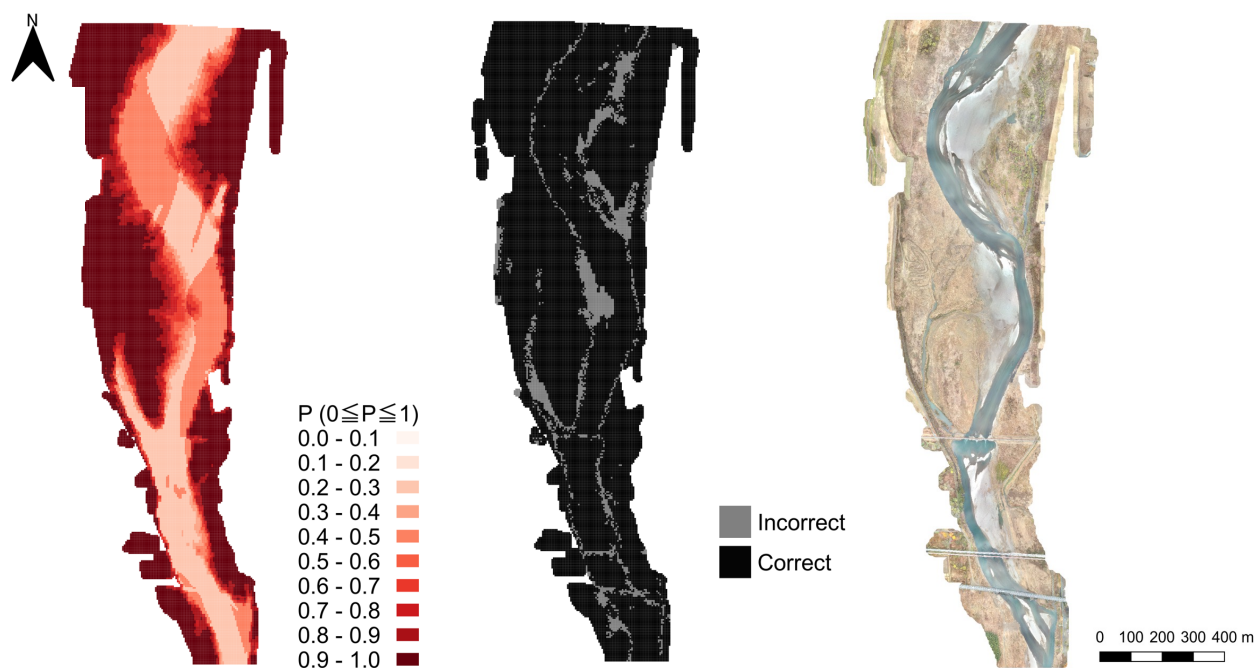


図-3 パターン C の説明変数（水際からの距離・比高・植生分布履歴）によるロジスティック回帰モデルを用いた植生侵入の予測結果。鬼怒川 46 km 地点（セグメント 2-1）。平常時の 2017 年から 2018 年を予測。（左図）侵入確率分布，（中央図）予測正誤の空間分布，（右図）2018 年 11 月の UAV オルソ画像。

参 考 文 献

- 1) 宮本仁志, 赤松良久, 戸田祐嗣: 河川の樹林化課題に対する研究の現状と将来展望, 河川技術論文集, 総説, 第 19 巻, 441-446, 2013.
- 2) Miller, K. A., J. A. Webb, S. C. de Little, and M. J. Stewardson: Environmental flows can reduce the encroachment of terrestrial vegetation into river channels: A systematic literature review, *Environ. Manage.*, 52(5), 1202-1212, 2013, doi:10.1007/S00267-013-0147-0.
- 3) 河川環境管理財団河川環境総合研究所: 鬼怒川の河道特性と河道管理の課題: 沖積層の底が見える河川, 2009.
- 4) 2015 年 関東・東北豪雨災害 土木学会・地盤工学会 合同調査団関東グループ編: 平成 27 年 9 月関東・東北豪雨による関東地方災害調査報告書, 173p., 土木学会・地盤工学会, 2016.
- 5) Momose A., Miyamoto H., Iwami S., and Nagaya T.: Examination of a UAV image classification method by using machine learning and wavelet transform, *J. JSCE*, 9(1), 284-290, 2021, doi: 10.2208/journalofjsce.9.1_284.
- 6) 河川環境データベース: <https://www.nilim.go.jp/lab/fbg/ksnkankyo/>, (2024/9/17 接続確認).
- 7) David W. Hosmer Jr., Stanley Lemeshow, and Rodney X. Sturdivant: Applied Logistic Regression, Wiley Series in Probability and Statistics, John Wiley & Sons, Inc., 2013, DOI:10.1002/9781118548387.

著 者

宮本 仁志
前田 尚哉

所員, 博士 (工学), 水工学, 河川工学, 環境水理学
芝浦工業大学大学院学生, 学士 (工学)