

空間的自己相関と拡散効果を考慮した外来植物の分布モデルの作成

○加藤成剛・渡邊 修(信州大農)

1. はじめに

近年、長野県内で外来植物の分布が急速に拡大し、生態系への影響が懸念されている。外来植物を効率的に管理するためには、発生を規定する要因を明らかにし、外来植物の発生が進みやすい環境を特定することが重要である。一般的には、外来植物の発生状況を応答変数とし、外来植物の発生に関与すると考えられる環境要因を説明変数とした回帰モデルを構築し、偏回帰係数 β の値で評価する手法が用いられてきた。

しかし、この環境要因のみでモデルを構築すると残差にしばしば空間的自己相関が残ってしまう。これは、多くの生物の発生が周辺地域の発生状況に依存する傾向があるからだと考えられ、回帰モデルが前提とする「誤差項の独立性」に反する。その結果、偏回帰係数の推定値や信頼区間を過小評価し、モデルの信頼性や解釈性が損なわれる可能性がある。そこで本研究では、(1)誤差項に iCAR 構造を導入し、未知の空間構造をランダム効果として吸収させる方法、(2)説明変数に隣接する地点の発生状況を変数として組み込み、明示的に拡散効果をモデル化する方法でこの課題に対処した。これらをモデル構造に導入することで、外来植物の発生要因をより正確かつ現実的に推定できるモデルの構築を目指した。

2. 方法

調査対象地は長野県上伊那地域と霧ヶ峰地域(約 190 km²)である。本研究ではフランスギクとオオキンケイギクの分布モデルの検討を行った。外来植物の分布情報は 2025 年に車載カメラと自作の外来植物検出用 AI モデルを利用した調査によって取得した。この分布情報をもとに得られた検出率(= 検出地点数 / 撮影地点数)を 0 から 3 までの 4 段階の発生レベルにカテゴリ分けし、これを応答変数とした。説明変数は全て標準化し、かつ変数間で多重共線性が確認されなかった 12 個の環境要因を設定した。この応答変数と説明変数を用いた順序ロジスティック回帰モデルを作成した。これらの変数は 4 次メッシュ(500 m メッシュ)内の値をもとに算出されている。また、隣接の発生状況を表現する変数として「隣接メッシュの平均発生レベル」を用意した。これは、あるメッシュに隣接する最大 8 個のメッシュの発生レベルの平均値である。

モデル作成は以下の 4 つのモデル構造を比較し検討した。比較手法は残差を用いた Moran の I 検定で行い、残差の空間的自己相関の有無を確認した。本研究で作成するモデルは応答変数がカテゴリカルデータであるため、従来の残差定義が直接使用できないことから、Dunn-Smyth 残差を用いた。

1. 環境要因のみモデル
2. 環境要因 + 誤差項への iCAR 導入モデル
3. 環境要因 + 隣接メッシュの平均発生レベルモデル
4. 環境要因 + 隣接メッシュの平均発生レベル + 誤差項への iCAR 導入モデル

3. 結果と考察

Moran の I 検定を行った結果、残差に空間的自己相関が 95%水準で統計的に有意でなかったモデル構造は残差の隣接メッシュの平均発生レベルを導入したモデル 3 と 4 であった。このことから、残差の空間的自己相関を解消するには隣接する地点の情報をモデルの説明変数として利用することが有用であることが示された。

一方で、誤差項への iCAR 導入は残差の空間的自己相関を十分に解消することはできなかった。iCAR の導入は誤差項を空間的に滑らかなものにする効果はあるが、明示的に拡散効果をモデルに組み込んでいないためであると考えられる。そのため、より正確に説明モデルの解釈や信頼性を求める場合は、本研究のように隣接地点の情報をモデルに投入することが必要であると考えられた。