

レヴィウォークするエージェントベースモデルを用いたカラスロードキル頻発地点の再現 Reproducing Crow Roadkill Hotspots with a Lévy Walk Agent-Based Model

○ 佐藤 瑠一* 原科 幸爾** 田村 天*** 押切 智博****
SATO Ryuichi HARASHINA Koji TAMURA Takashi OSHIKIRI Tomohiro

1. はじめに

岩手県盛岡市では、生活ごみを餌とするカラスの問題が顕在化している。特に、農地や山林に囲まれた都市ではカラスの移動経路が都市内の幹線道路や主要道路と交差しやすく、それがロードキルの原因となり、道路走行上の安全性や生態系管理の問題を生じさせている。そのため、問題発生前にカラスの行動を予測し、適切な対策を講じることが求められる。

本研究では、山林をねぐらとするカラスの移動行動を予測する手法として、エージェントベースモデル（以下 ABM）に着目した。カラスの行動を再現するエージェントを構築・活用することで、施策立案の際に実態に即した効果予測が可能となる。そこで、ABM を用いてカラスのロードキルの頻発地点を仮想空間上で再現し、その結果を実際のロードキル地点分布と比較・検証した。これにより、カラスの移動行動特性を再現した、ロードキル予防策の提案が可能な ABM の構築を目指した。

2. 研究方法

ABM の移動先の指向は「農地指向」「宅地指向」「人口密集地指向（商業地域・オフィス街を含む）」に分けて検証した。移動パターンにはレヴィウォークを採用した。レヴィウォークは通常のランダムウォークと異なり、稀に極端に長い直線移動が発生する特徴がある。移動指向先で短い移動を行う設定にすることで、カラスに見られるような採餌場所で短い移動、それ以外で長い移動する傾向の再現を目指した。また、「人口密集地指向」は、人口に対する誘引感度の特性を「線形」「指数関数」「シグモイド関数」の 3 パターンに分け、それらを比較することで再現性の高い誘引感度を探索した。

本研究では、岩手県盛岡市の中心市街地を対象とし、国土交通省の 3D 都市空間情報プラットフォーム「Plateau」が提供する 2023 年度の盛岡市 3D 都市モデルの土地利用モデルを用いて仮想空間を構築した（図 1）。エージェントは土地利用モデルに含まれる山林で生成され、道路に侵入した際に一定確率でロードキルが発生する設定にした。また、人口密集度の指標としては、令和 2 年国勢調査の町丁・字等境界データの人口分布を用いた。ロードキル確率は 50%、25%、5%、1% の 4 パターンで検証した。これらの条件別のモデルから得られた仮想空間におけるロードキル地点データを条件ごとに 300 件に達するまで記録した。シミュレーション結果との比較検証に用いる実際のロードキル地点データには、盛岡市内の高速道路、国道、県道、市道における過去 5 年間のカラスのロードキ

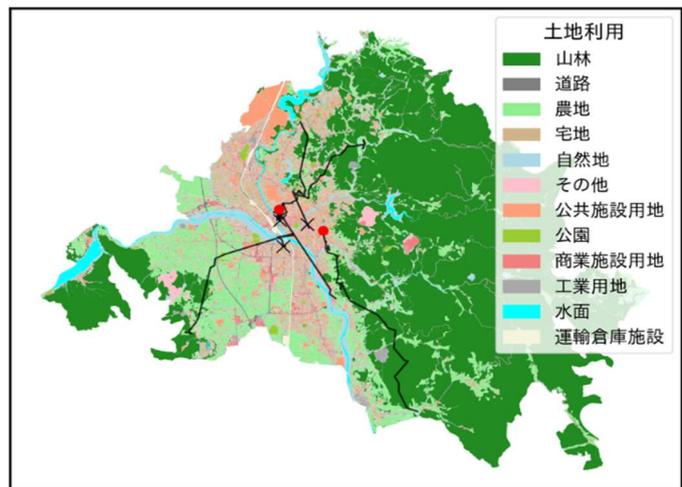


図 1 ABM の実行過程（赤丸が移動中エージェント、×印がロードキル地点、黒線が移動軌跡）

Fig. 1 The execution process of agent-based model

*岩手大学大学院総合科学研究科 Graduate School of Arts and Sciences, Iwate University, **岩手大学大学院連合農学研究科 The United Graduate School of Agricultural Sciences, Iwate University, ***岩手県交通株式会社 Iwate Prefectural Transportation, ****岩手大学農学部附属寒冷フィールドサイエンス教育研究センター Field Science Center, Faculty of Agriculture, Iwate University

【キーワード】 道路計画・整備, カラス, ロードキル, 生態系

ルデータ（平成 25 年 1 月～平成 30 年 3 月，n=298）を使用した。

精度検証では，シミュレーションで得られた分布が実際のロードキル地点の確率分布の形状を再現しているかどうかを確認した。具体的には，実測データと仮想データから得られたロードキル地点を HDBSCAN でクラスタリングし，それぞれのクラスター間で確率分布の形状を比較した。このとき，確率分布はカーネル密度推定を用いて算出した。そして，確率分布の比較には KL ダイバージェンス¹⁾を尺度として採用し，条件ごとの再現精度を定量的に評価した（0 に近いほど再現精度が高い）。

3. 結果と考察

ABM による条件別の KL ダイバージェンスを表 1 に示す。「宅地指向」および「農地指向」のモデルの場合，ロードキル確率が小さいほどロードキル発生地点の確率分布の再現精度が高かった。つまり，山林から採餌先へ移動する道中の道路で過剰なロードキルが発生せず，より現実に近いロードキル状況を再現していると言える。また，「宅地指向」の方が「農地指向」よりもシミュレーションの再現精度が高くなることが示された。つまり，ロードキルに遭うカラスは，市街地内に点在する農地における採餌環境よりも，宅地住民から廃棄される生活ごみに強く誘引されている可能性が示唆された。

一方，「人口密集地指向」においては，誘引特性ごとに異なる傾向が観察され，ロードキル確率を過度に低く設定した場合，かえってモデルの再現精度が低下する傾向が見られた。この背景には，人口密集地周辺では車両の往来が集中しやすく，それに伴いロードキルリスクも高まることから，確率を過度に下げると実態との乖離が生じたと解釈できる。また，ロードキル確率を 0.1% に設定した際のシグモイド感度モデルでは，最も高い再現精度が得られた。すなわち，カラスの採餌行動は，ある一定の人口規模の範囲において誘引度が大きく変化するダイナミックレンジを有していると考察される。

表 1 移動指向・ロードキル確率別の KL ダイバージェンス比較

Table.1 Comparison of KL Divergence Based on Mobility Preference and Roadkill Probability

移動先の選択指向	ロードキル確率				
	5%	1%	0.1%	0.01%	
宅地指向	0.020098	0.004576	0.007904	0.000832	
農地指向	0.020936	0.012796	0.009702	0.001067	
人口密集地指向	線形感度	0.005993	0.136282	0.082117	0.177614
	指数感度	0.009179	0.041256	0.005666	0.025903
	シグモイド感度	0.044325	0.005950	0.002607	0.021839

4. おわりに

本研究では，岩手県盛岡市を対象に，レヴィウオークする ABM を用いて移動指向別およびロードキル確率別のロードキルの頻発地点を再現した。その結果を実際のロードキル発生地点と比較し，モデルの妥当性を検証した。これにより，以下の知見を得た。

- 1) ロードキルに遭うカラス個体の移動の特徴として，主に宅地や農地への指向が見られ，特に宅地の生活ごみに強く誘引されている可能性が示唆された。
- 2) 人口密集地では，宅地や農地よりもロードキルリスクが増大し，一定の人口規模の範囲内で誘引感度が急激に増加する傾向が見られた。
- 3) 構築したエージェントモデルは，上述のようなカラスの移動特性を一定程度再現し，ロードキル防止策の効果予測に向けた基盤を提供しうることを示された。

参考文献

- 1) Taboga, Marco (2021). "Kullback-Leibler divergence", Lectures on probability theory and mathematical statistics. Kindle Direct Publishing. Online appendix.
<https://www.statlect.com/fundamentals-of-probability/Kullback-Leibler-divergence>.