

## 階層ベイズモデリングによるセアカゴケグモの分布拡大予測

Predicting occupancy area expansion of *Latrodectus hasseltii* using a hierarchical bayes modeling considering anthropogenic transportation and environmental factors前川侑子<sup>\*1</sup> 松井孝典<sup>\*1</sup> 町村尚<sup>\*1</sup>  
MAEGAWA Yuko MATSUI Takanori MACHIMURA Takashi<sup>\*1</sup> 大阪大学大学院工学研究科  
Graduate School of Engineering, Osaka University

An alien species, red back spider (*Latrodectus hasseltii*) is toxic and the monitoring and prediction of its occupancy area expansion are required to reduce accidents. In this study, we predicted the occupancy area expansion by using a Bayesian-based metapopulation model integrating random walk and anthropogenic transportation. The random walk migration probability was estimated by the function of annual migration distance. The anthropogenic migration probability was determined by geographic attributes regarding transportation facilities and traffic intensities. We validated the predicted migration probability by comparison to the distribution map until 2016, and it is showed that the migration probability including anthropogenic transportation was more successfully simulated than the probability including only random walk.

## 1. はじめに

セアカゴケグモ (*Latrodectus hasseltii*) は熱帯から亜熱帯に生息するヒメグモ科のクモである。原産国のオーストラリアで神経毒により死者を出したこともあり、死亡率は約 5 % であるといわれている [清水 2012]。日本では 1995 年に大阪府ではじめて発見されて以来分布域が広がり、2005 年に特定外来生物に指定された。セアカゴケグモは自然拡散に加え自動車やコンテナなどに付着して運ばれる人為的移動を行うため分布域が急速に広がったといわれており [環境省 2017]、咬傷被害件数を減らすよう分布拡大予測が必要である。しかし、セアカゴケグモの人為的移動のデータが存在しないため、現在は他の外来生物の分布拡大パターンが類似した種を抽出し外挿することで予測を行っている [小池 2012]。そこで、本研究では階層ベイズモデルにより自然拡散と人為的移動を同時に考慮したセアカゴケグモの分布拡大予測モデルを開発することを目的とする。

## 2. 方法

## 2.1 目撃情報データベースと生息適地の設定

対象地域は近畿地方とした。まず昆虫情報処理研究会によるゴケグモ類の情報センターの目撃情報 [昆虫情報処理研究会 2017]に基づき、1995~2016 年の 1 年ごとのセアカゴケグモの分布図を国土数値情報の 3 次メッシュ (1 [km<sup>2</sup>]) で作成した。生態的特性と現在の目撃情報を考慮すると、生息適地は 1 月平均気温  $\geq 1.1$  °C となり、近畿地方の面積の約 74 % となった。以下、この生息適地を対象とし予測モデルを構築した。

## 2.2 土地利用クラスタの設定

交通・流通施設 4 変数 (空港、港湾、道路、物流拠点) および交通量 4 変数 (鉄道、バス、自動車、自転車のパーソントリップ量 (1 日にある地域内に出発地または到着地を持つ人の移動の合計)) の 8 変数 [国土交通省国土政策局国土情報課 2017] を用いて K-means 法により分類した 5 つのクラスタを設定した。

連絡先: 前川侑子, 大阪大学大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻, 565-0871, 大阪府吹田市山田丘 2-1, yuko.maegawa@ge.see.eng.osaka-u.ac.jp

## 2.3 HMC 法による移住確率関数の階層ベイズ推定

本研究では、以下の 2 つのモデルに対して、ハミルトニアンモンテカルロ法 (HMC: Hamiltonian Monte Carlo methods) を用いた階層ベイズ推定により移住確率関数を推定した。学習には 1995~2015、バリデーションには 2016 年のデータを使用した。なお、実装は R ver. 3.3.2 上で rstan ver. 2.14.1 を用いた。以下の各モデルで、サンプリングアルゴリズムは NUTS、チェーン数 3、サンプリング数 1000、バーンインは 500 とした。

## §1 従来モデル: 目撃地点からの距離のみに依存

セアカゴケグモの移住確率は前年の目撃メッシュからの距離で決まるとした。1 年ごとにセアカゴケグモの目撃・非目撃データに対し、式(1)~(2)に示すモデル式で移住確率を推定した。

$$p_i = \text{inv\_logit}(b_0 + b_1 x_i) \quad i = 1, \dots, N \quad (1)$$

$$\gamma_i \sim \text{Bernoulli}(p_i) \quad i = 1, \dots, N \quad (2)$$

ここで、 $p_i$  はメッシュ  $i$  への移住確率、 $x_i$  は前年の最近傍目撃メッシュからの距離 [km]、 $\gamma_i$  はセアカゴケグモの目撃・非目撃を表す 0/1 の二値 (0: 目撃メッシュ, 1: 非目撃メッシュ)、 $N$  は生息適地メッシュ数 (24,048) である。

## §2 提案モデル: 移住先の土地利用属性にも依存

セアカゴケグモは自然拡散と人為的移動によって拡散するとし、明示的に 2 つのプロセスを分離した。セアカゴケグモの目撃・非目撃データに対し、式(3)~(8)に示すモデル式で移住確率を 1 年ごとに推定した。自然拡散による移住確率は、前年の目撃メッシュからの距離、人為的移動による移住確率は、移動先メッシュの土地利用クラスタによって決まるとした。

$$pn_i = \text{inv\_logit}(b_0 + b_1 x_i) \quad i = 1, \dots, N \quad (3)$$

$$pa_i = \text{inv\_logit}(b_2 + r[c_{k,i}]) \quad i = 1, \dots, N \quad (4)$$

$$p_i = 1 - (1 - pn_i)(1 - pa_i) \quad i = 1, \dots, N \quad (5)$$

$$\gamma_i \sim \text{Bernoulli}(p_i) \quad i = 1, \dots, N \quad (6)$$

$$r[c_k] \sim \text{Normal}(m_r[c_k], s_r) \quad i = 1, \dots, N \quad (7)$$

$$s_r \sim \text{Normal}(m_{s_r}, s_{s_r}) \quad (8)$$

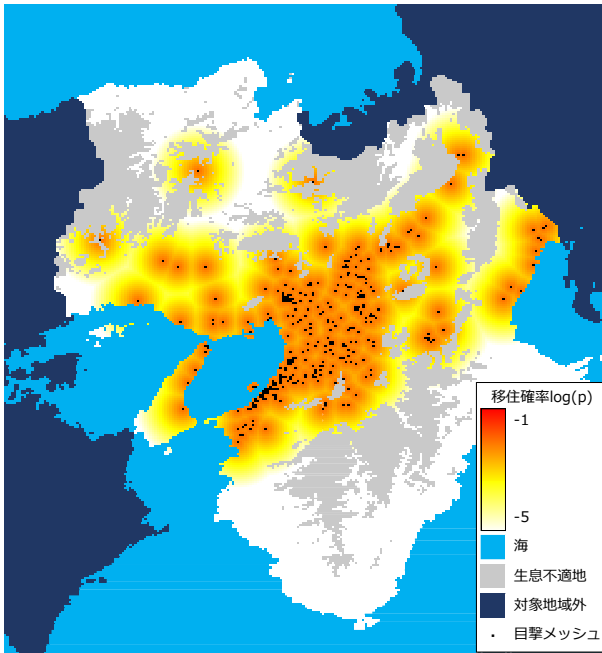


図1 従来モデルによる2016年の予測移住確率と目撃メッシュ

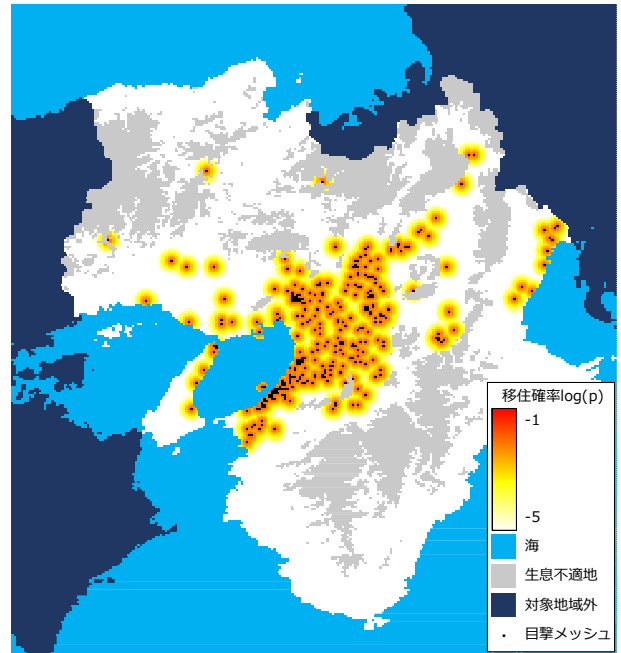


図2 提案モデルによる2016年の予測移住確率と目撃メッシュ

ここで、 $pn_i$ と $pa_i$ はそれぞれメッシュ  $i$  への自然拡散と人為的移動による移住確率、 $c_{ki}$  はメッシュ  $i$  の土地利用クラスタ  $c_k$  [ $k = 1\sim 5$ ]、 $r$  [ $c_k$ ]は土地利用クラスタ  $c_k$  ごとのランダム効果、 $s_r$  はランダム効果の標準偏差、 $m_{s_r}$ と $s_{s_r}$ はその平均と標準偏差である。なお、従来モデルの $b_0$ 、 $b_1$ ならびに、提案モデルの $b_0$ 、 $b_1$ 、 $b_2$ 、 $s_r$  は1年目は弱情報事前分布として、Normal (0, 10)を使用し、2年目以降は前年の事後分布の平均値と標準偏差を用いてベイズ更新をした。

### 3. 結果および考察

両モデルの全パラメータで、十分なサンプリング数と $\text{abs}(\hat{R}) < 1.01$ となり、サンプリングは問題なく実施された。従来モデルの各パラメータの事後平均値は、 $b_0 = -4.41$ 、 $b_1 = -0.278$ となった。提案モデルでは、土地利用クラスタ  $c_k$  [ $k = 1\sim 5$ ]は、空港・港湾型、郊外型、都心型、市街地型、山間部型となり、各パラメータの事後平均値は、 $b_0 = -3.54$ 、 $b_1 = -1.08$ 、 $b_2 = -10.2$ 、クラスタ別のランダム効果は $r$  [ $k = 1\sim 5$ ] = (0.104, 0.0883, 0.460, 1.69, 0.114)となった。市街地型のクラスタで移住確率が高くなっているが、道路や物流拠点に近いという特徴を持つため、このような地域は二次拡散の供給源となることが示唆された。2つのモデルでの1年間の移住距離の期待値を算出すると、従来モデルでは3.61 [km]であるのに対して、提案モデルのうち自然拡散  $pn$  では0.93 [km]となった。セアカゴケグモが1年間に移動する距離の平均は0.3 [km]未満であるという報告 [Nihei 2004]もあり、従来モデルと比較し提案モデルのほうが実際のセアカゴケグモの生態をより再現できていると解釈できる。

バリデーションについて、各モデルの2016年の予測移住確率と実測目撃メッシュを図1、図2に示す。従来モデルでは前年の目撃地点から離れても移住確率がすぐには減衰しないことがわかる。一方で、対象地域内での最大移住確率が高かったのは提案モデルであったが、すぐに移住確率が減衰することがわかる。また、2016年の予測移住確率分布と実測の目撃分布をクロスエントロピー式で汎化誤差を算出すると、従来モデルでは $2.12 \times 10^{-3}$ 、提案モデルでは $1.13 \times 10^{-3}$ となり、人為的移動を考慮した方が精度の高い結果を得た。

### 4. 今後の課題

本研究では、移動先メッシュの属性のみによって移住確率が決まると仮定し、人為的移動に関連する変数により分類した5つのクラスタを利用した。この変数だけでは人為的移動を全て説明できるとは考えにくいと、マルコフ場モデルを組み込むことで人為的移動の移住確率の算出方法を見直す必要がある。また、本研究では環境要因を生息条件としてのみ考慮した。メッシュごとのランダム効果を考えることで目撃率や環境要因にも応答するモデルを開発する必要がある。

### 参考文献

- [清水 2012] 清水裕行, 金沢至, 西川喜朗: 毒グモ騒動の真実, 全国農村教育協会, 2012.
- [環境省 2017] 環境省: セアカゴケグモ・ハイロゴケグモにご注意ください!, <[http://www.env.go.jp/nature/intro/4document/files/r\\_gokegumo.pdf](http://www.env.go.jp/nature/intro/4document/files/r_gokegumo.pdf)> (2017.02.04 参照).
- [小池 2012] 小池文人: 外来生物の分布拡大予報 セアカゴケグモ< <http://vege1.kan.ynu.ac.jp/forecast/> > (2017.02.04 参照).
- [昆虫情報処理研究会 2017] 昆虫情報処理研究会: ゴケグモ類の情報センター< <http://www.insbase.ac/woops2/modules/bwiki/>> (2017.01.10 参照).
- [国土交通省国土政策局国土情報課 2017] 国土交通省国土政策局国土情報課: 国土数値情報ダウンロードサービス< <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>> (2017.01.10 参照).
- [Nihei 2004] Nihei N, Yoshida M, Kaneta H, Shimamura R, Kobayashi M: Analysis on the dispersal pattern of newly introduced *Latrodectus hasseltii* (Araneae: Theridiidae) in Japan by spider diagram, Journal of Medical Entomology, 2004.