

エゾアカヤマアリの敵対性行動の統計モデリング

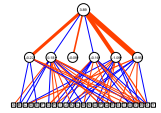
Formica yessensis

[P1-190]

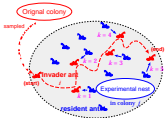
http://hosho.ees.hokudai.ac.jp/~kubo/r/formica/

岩倉美沙子, *久保拓弥, 藤原慎悟, 東正剛 (北大・地球環境) ESJ55, 2008-03-15, Fukuoka

Iwakura, M., *T. Kubo, S. Fujiwara and S. Higashi Statistical modeling on aggressive behaviors of ants



Neural network model



敵対性実験

- アリ生態学で得られる観測データはしばしば複雑な構造をとり統計モデリングに工夫が必要
- 敵対性行動実験データを階層ベイズモデル + MCMC 計算で解析して個体差・コロニー差も考慮
- また体表面炭化水素の解析にニューラルネットを使い、アリ個体の学習環境の重要性を示した

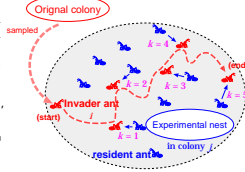
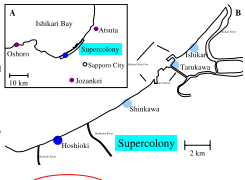
問: 石狩浜のアリは同巣識別できないのか?

[知りたいこと]

- エゾアカヤマアリの石狩浜スーパーコロニー (SC): 本当に「SC」なのか? (行動のモデリングが必要)
- アリの Antennation + 攻撃行動の確率はどのような要因に影響されているのか?

[実験方法]

- 時期: 2006 夏, 実験場所: 北海道の石狩浜 (super-colony), Atsuta, Oshoro (polydomy), Jozankei (monodomy)
- 7コロニーから invader アリ各 30 個体をとってきて、Hoshioki コロニーの巣におく
- 5 回 "contact" されるまで invader アリを追跡、resident アリの行動を観察・記録する
- また同様の実験を、巣から 30 m 離れた場所で行った。invader で、Hoshioki, Atsuta, Oshoro, Jozankei を実験巣として (注: Jozankei は八割山)



全実験結果 (I) (330 invaders × 5 contacts) の行動

| Sample | SC vs. nonSC | Diff: colony | Invader | Resident | ALLG | ALLG | ALLG | ICAR | OTHER | TRIP |
|----------|--------------|--------------|---------|----------|------|------|------|------|-------|------|
| Hoshioki | | | 0 | 53 | 0 | 95 | 2 | 1 | | |
| Ishikari | | | 2 | 0 | 93 | 4 | 49 | 6 | 1 | |
| Shinkawa | | | 0 | 90 | 3 | 57 | 5 | 0 | | |
| Tarukawa | | | 2 | 0 | 79 | 7 | 60 | 10 | 1 | |
| Atsuta | | | 1 | 0 | 71 | 23 | 51 | 5 | 0 | |
| Jozankei | | | 2 | 1 | 101 | 20 | 31 | 0 | 0 | |
| Oshoro | | | 1 | 0 | 107 | 23 | 17 | 5 | 0 | |
| Hoshioki | | | 0 | 83 | 1 | 66 | 1 | 0 | | |
| Atsuta | | | 0 | 91 | 4 | 57 | 1 | 0 | | |
| Jozankei | | | 1 | 0 | 91 | 35 | 40 | 0 | 0 | |
| Oshoro | | | 0 | 91 | 2 | 53 | 6 | 0 | | |

* Monodomy colony しかしこれだけ見ていてもアリの行動はうかがいあてられない

問: なぜ多巣性のアリは攻撃的でないのか?

[知りたいこと]

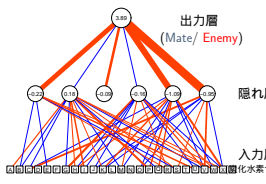
- 敵対性行動実験の統計モデリングから「自分の巣から 30 m 離れた場所の invader」に対して行動の相違がみられた:
 - Jozankei (単巣性) のアリは攻撃的である
 - その他の場所のアリ (多巣性) はあまり攻撃的ではない
- 「学習環境」のちがいが原因? 「敵」が多い場所では識別が厳密?
 - 巣間認識 ⇔ 体表面炭化水素 (CHC) データ?

[データ取得方法]

- 7コロニー × 10 個体から得られた
 - ガス chromatography
 - 城所碧さん (神戸大・尾崎研究室) 測定
- 全個体において「ゼロではない」25 ピーク
- CHC 量の対数が感知されると仮定 (Weber-Fechner law: 感覚の強さは刺激の強さの対数に比例する)

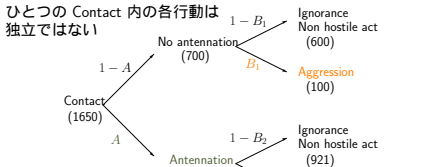
触角モデル: ニューラルネットワーク (NN) model

- CHC 組成を感知するアリの触角のしくみを NN で模倣した
- 結線の加重を変えてデータに合わせた「学習」が可能
- CHC データの「学習」によって 7 コロニーの識別が可能
- しかし現実のアリはもっと限定された「学習」環境下にいる
 - 従来の CHC 線形判別分析はこのあたり何も考慮していない



アリの行動連鎖モデル

Antennation 後の 攻撃行動 確率は?

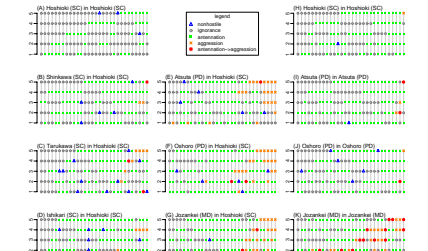


全データを統一的に説明できるモデルを構築したい

- 「定番」手法 (スコア化 + 合算値化) は行動連鎖の効果を考慮していない
- 階層ベイズモデルをつかって Antennation と 攻撃行動の生起確率をモデル化する (個体差・コロニー差も同時に考慮しつつ)
- Antennation と 攻撃行動の確率を線形 logistic モデルで記述

$$\text{invader アリの性質が} \\ \beta_0 + \beta_1 \times (\text{Diff.colony: 別コロニー invader}) \\ + \beta_2 \times (\text{nonSC: SC 外コロニー invader}) \\ + \beta_3 \times (\text{Monodomy: 実験巣が単巣性}) \\ + \beta_4 \times k \text{ (接触の第 } k \text{ 回目)} \\ + \beta_5 \times (\text{Sampled 30 m で得られた invader}) \\ + \beta_6 \times (\text{Antennation されたが攻撃確率モデルのみ})$$

全実験結果 (II) (330 invaders × 5 contacts) の行動



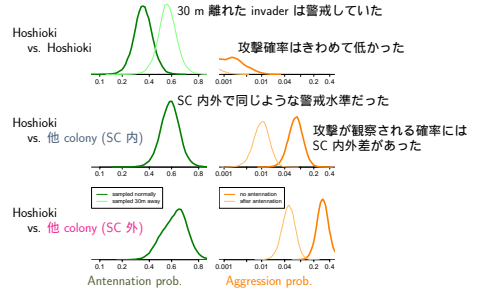
(Antennation は触角による長時間の接触である)

答: 巣認識能力は失われていない

推定結果: Antennation と 攻撃行動 のパラメータ事後分布

| Parameter | Antennation | | | Aggression | | |
|------------------------|-------------|-------|-------|------------|-------|-------|
| | 2.5% | 50.0% | 97.5% | 2.5% | 50.0% | 97.5% |
| (intercept) β_0 | -1.06 | -0.39 | 0.44 | -6.62 | -4.49 | -2.65 |
| Diff. colony β_1 | 0.03 | 0.79 | 1.55 | 0.42 | 2.29 | 4.21 |
| SC vs. nonSC β_2 | -0.64 | 0.14 | 0.62 | 0.76 | 1.61 | 2.33 |
| Monodomy β_3 | -1.22 | -0.14 | 0.97 | 0.43 | 2.80 | 4.26 |
| k β_4 | -0.08 | -0.02 | 0.05 | 0.08 | 0.22 | 0.38 |
| Sampled 30 m β_5 | 0.37 | 0.82 | 1.29 | -0.79 | 1.15 | 3.12 |
| Antennation β_6 | | | | -2.54 | -2.06 | -1.58 |

- Antennation: (本当の)「同巣」以外は「警戒」している
- 攻撃行動: 条件によって発生確率が細かく変化している

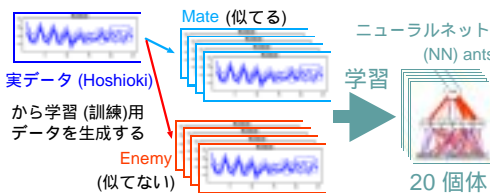


[まとめと考察]

- SC 内のアリも同巣・異巣の認識能力はある
 - SC 内の他コロニーアリに対しても警戒・攻撃の確率は高くなる
 - その意味ではアルゼンチンアリ侵入 SC とは異なるのかもかもしれない
 - ただし石狩浜では攻撃確率そのものは全体に高くない (→ 下の CHC 解析)
- Antennation が 攻撃行動 の確率を下げている (隠している)
 - 理由: 攻撃衝動がおさまる? invader アリが逃げ出す?
- 遺伝的な距離の遠近は攻撃行動とほとんど関係なさそう
- [P1-199] 藤原がスターを参照してください
- そうであるならば「SC 内外」はどのように判別しているのか?
 - 体表面炭化水素 (CHC) はエサでできる (Buczkowski et al. 2005)
 - 石狩浜などどこでも得られるエサが CHC を類似させている?

Neural network アリ触角の「学習」

- CHC パターンを学習する環境のちがいは
 - 単巣性: Mate / Enemy 同じくらいの頻度で遭遇
 - 多巣性: Enemy に遭遇する頻度が低い
- 異なる環境で学習させた NN の敵味方識別能力を調べたい



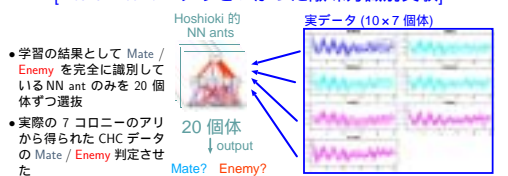
Mate: Enemy ("敵" の多い少ない) が異なる「学習」環境

- 多巣性 (SC) 的環境 (1): 180 : 20 = Mate : Enemy
- 多巣性 (SC) 的環境 (2): 100 : 20
- 単巣性 (Jozankei) 的環境: 100 : 100 ("敵" が多い!)

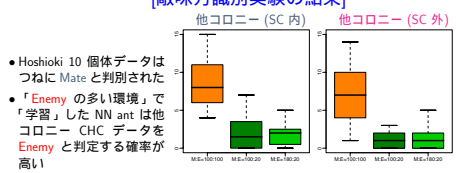
- CHC パターンのような複雑なパターン認識には neural network (NN) が優れている (線形判別法などよりも)
- 敵が多い環境で学習させた NN は敵味方の識別が厳しくなった — Jozankei の攻撃性と対応している?
- 味方が多い環境では識別は厳しくない傾向となった — 石狩浜 SC 内のアリの判断の遅さ?

答: 学習環境が認識能力を変える

[Neural network アリをつかった敵味方識別実験]



[敵味方識別実験の結果]



- Hoshioki 10 個体データはつねに Mate と判別された
- 「Enemy」の多い環境で「学習」した NN ant は他コロニー CHC データを Enemy と判定する確率が高い

Appendix 1. このポスターの用語について

- 単巣性: エゾアカヤマアリは一般に多巣性 (polydomy) であり多女王 (polygamy) である。しかしながら、Jozankei は単巣性 (monodomy) ではないかと言われている。
- コロニー: 「ある地点の巣の集合体」という意味で使っている。
- 石狩浜のスーパーコロニー (SC): もともとは石狩浜のエゾアカヤマアリのワーカーが (浜のどこでもあっても) 巣間を自由にいきまわっていることで、SC と呼ばれることになった。他の研究では SC は敵対性行動で定義されることが多い。

Appendix 2. 統計解析に使ったソフトウェア

- WinBUGS-1.4.3: 階層ベイズモデルの Markov Chain Monte Carlo (MCMC) 計算にもちいた。汎用 Gibbs sampler である。
- R-2.6.1: library(R2WinBUGS) で WinBUGS を呼びだして MCMC 計算させるのに使った。また neural network は library(mnet) で実装されているものを使った。

Appendix 3. 階層ベイズモデルとは何か?

統計モデリングのわくぐみ: 線形モデルの進化
複雑な random effects をあつためるために階層ベイズモデルが普及しつつある

[尤度をあつかう統計モデル]
パラメータを確率分布として表現する Bayes 統計学
階層 Bayes モデル など

[最尤推定法であつかう統計モデル]
パラメータの推定値を点推定する, random effects もあつたがる
経験 Bayes 法: 一般化線形混合モデル (GLMM) などなど

[一般化線形モデル (GLM)]
指数関数族の確率分布 + 線形モデル, fixed effects のみ

[最小二乗法であつかう統計モデル]
等分散正規分布 + 線形モデル
直線回帰, いわゆる「分散分析」などなど

Appendix 4. 個体差・コロニー差の事後分布

- とくに「変わった」個体・コロニー無し
- ただし推定の不確かさは無視できない

