

# シッポ踏みゲームを用いたアクティブ・ラーニング： 学生をエージェントとした体感型個体ベースシミュレーションとその教育的可能性

林 守人\*・溝田浩二\*

Active Learning Promoted by “Step on the Tail” Game:  
Individual-Based Ecosystem Simulations Using Students as Agents

Morito HAYASHI and Koji MIZOTA

要旨：環境教育で「移入種の影響で在来種が減少しています」と説明するのは簡単でも、これを納得のいくかたちで、実験して見せることは非常に難しい。これは生物進化や生態学の実験にも当てはまる。そこで本研究では、学生をエージェントとした、参加者体感型の「シッポ踏みゲーム」型シミュレーションを行い、この「言うは易く行うは難し」を「言うは易く行うは楽しい」にする一例を提案する。

キーワード：アクティブ・ラーニング、体感型個体ベースシミュレーション、移入種（捕食者）、在来種（被食者）、シッポ踏みゲーム

## 1. イントロダクション

環境学の授業で必ず登場する話題に「移入種による在来種の多様性減少」があげられる（鷲谷・村上 2002, 堀越ほか 2009, 荒山 2010）。ただし、これを生徒の前で実験しようとする試みは、ほとんど存在しない。なんとか実験をしようと、仮に実験用のビオトープを自分で設置し、毎年維持して、という手順を踏むと、そこには多大な労力がかかるだろう。水槽ならばもう少し簡単に実験が出来るかもしれない。そこでブラックバスを、在来種の身代わりである金魚の泳ぐ水槽に投入してみる。やってみると良く分かるが、これは一瞬で決着がついてしまい、単にブラックバスの大食漢ぶりを再確認して終わりになってしまう。

移入種問題と共に、今回モデルにした「生き物の形に多様性が生まれるメカニズム」といったテーマも、フィールドに出て簡単にその仕組みを観察できる訳では無い。同様のテーマに関しては、研究者が苦勞して研究したあげく、クリアな結果が得られないことも多い (Pryke & Andersson 2002)。こういった場合、

学生にシミュレーション (Hayashi 2020) を披露するのは一案である。ただし、パラメータを変化させ、相が変わる閾値を示すことは出来ても、学生視点で見れば「実験で確かめた」という実感は残りにくい。

結局のところ、生物の集団や群集が絡んだ現象は、授業の内容としては面白いが、これを面白く実験する事は難しい。また、テーマによっては、授業中の実験が困難なものも多い。

そこで今回は、受講者自身がシミュレーションのエージェントとなり、これらの科学現象を再現する方法を提案する。この授業は、アクティブ・ラーニング (山地 2014, 山内 2019) として、運動場や体育館でゲームを楽しみながら行うことができ、一度準備を整えてしまえば、何度でもリピートできる。

本稿では「シッポ踏み」を用いた体感型シミュレーションの報告を行うが、古くより親しまれた、鬼ごっこ、缶蹴り、ダルマさんが転んだ、雪合戦、ドッジボールなどは全て、わずかなアイデアを投入するだけで、やりがいのあるアクティブ・ラーニングに姿を変

\*宮城教育大学教員キャリア研究機構, E-mail1 : hayashimorito@gmail.com, E-mail2 : mizota64@gmail.com

える。我々が知る豊富な遊びのルールは、アレンジの幅が広く、様々な現象のメカニズムを表現する上で好都合である。

本稿では、観察に手間がかかる科学現象を、小学生から大学生に至るまで、楽しみながら簡単に体感してもらえる授業の一例を紹介する。

## 2. 方法



写真1. A: シッポの長さを記したビニルテープの印。B: 写真右側のようにシッポは長さごとに整理して並べ、ゲームの進行をスムーズにする。写真左側の学生のように、シッポはズボンの腰にはさむ。C: シッポ踏みゲームでは、捕食者にシッポを踏まれ、ズボンからシッポが抜けた被食者は、捕食された個体としてゲームエリアの外に出る。

本研究では、「シッポ踏みゲーム」を使って、外来種の脅威（実験1）と多様性の進化（実験2）を、生徒に体感してもらう試みを行った。

### <必要な材料と道具>

- ・ビニルのより紐（200メートル×3）
- ・ビニルテープ（黒、青、緑、黄、赤）
- ・くじ引き用の適当な紙（当たりは4割）
- ・くじ引き用の箱
- ・はさみ
- ・マジック（黒、白）

当初、本講義の参加学生数は20名を想定しており、これを元に授業の準備を行った（当日は26名参加）。本講義ではまず、しっぽとして使用するビニルのより紐を切り分けることから準備をはじめた。この作業を効率よく行うために、エクセルに表1のような、紐の長さに関する計算表を作成した。準備した紐の長さは、表1に示した1.50～3.75メートルの10種類である。これらの紐の長さは0.25メートルずつ異なる。

紐の長さ	本数	長さごとの合計	ビニルテープ	
			番号	色
1.50	× 20	= 30	1	黒
1.75	× 20	= 35	2	黒
2.00	× 20	= 40	3	青
2.25	× 20	= 45	4	青
2.50	× 20	= 50	5	緑
2.75	× 20	= 55	6	緑
3.00	× 20	= 60	7	黄
3.25	× 20	= 65	8	黄
3.50	× 20	= 70	9	赤
3.75	× 20	= 75	10	赤
合計			495 m	

表1. シッポとして用いる紐の長さの計算表。紐の長さの単位はメートル。今回は、同じ長さのひもを20本ずつ準備した。これらのシッポ200本分を合計すると、495メートルの紐が必要となる。実際はエクセルで作成した。

同じ長さの紐は、クラスの人数分用意する。30人のクラスであれば、10種類の異なる長さの紐が30本ずつ、つまり300本のシッポを用意することになる。準備が大変な場合は、学生に手伝ってもらうのが良いだろう。紐を全て切り終えたところで、紐（以下シッポ）の片方にビニルテープで印をつける。おススメは、旗のようにテープを張り合わせるやり方だ（写真1A）。色は表1のように、長さごとに変わっていくと分かりやすい。ただし、このビニルテープは番号を書き込む為のものなので、色を変える必要は必ずしも無い。次に、ビニルテープの旗に番号を1～10まで書き込んでいく。一番短い1.5メートルのものは1、一番長い3.75メートルのシッポは10番になる（表1参照）。シッポに番号もしくは長さが分かる、何らかの印をつけておかないと、実

際にシッポ踏みゲームをする際に、長さが分からなくなり実験が破綻してしまう。これでシッポの準備は完了だ。

次に以下のようなクジを作成する (1セット分)。

<クジの構成 (括弧内はクジに対応したルール) >

- ・「外れ」 ×12本 (子供は生まれない)
- ・「当たり+1」× 2本 (子供のシッポが親より1長くなる)
- ・「当たり 0」× 4本 (子供のシッポが親と同じになる)
- ・「当たり-1」× 2本 (子供のシッポが親より1短くなる)

クジの材料は、紙でも、洗濯バサミに当たり外れを書いた紙をはさんでも、ピンポン玉でも良い。これを箱に入れてクジ1セット (クジ20個入) は完成だが、何セットか使った方がスピーディーにゲームが進むので、複数セットを準備したい。

## 2-1. 実験1の方法

実験1では、シッポの長さが異なる10種類の在来種 (被食者) が存在したと仮定して、これが捕食性の移入種によってどのように減少するのかを体感する。

体育館や校庭などの走り回れるスペースがあるところで、クラスのうち何名かに外来の捕食者役をやってもらう。本講義では、26名の参加学生のうち3名の男子学生に、被食者のシッポを踏む捕食者役をやってもらった。

次に、捕食者以外の学生にシッポをつけてもらい、被食者になってもらう。シッポは、番号が踏まれて外れないように、数字が書かれているビニルの旗側をジャージの腰にはさむ (写真1B)。今回の場合は、被食者が23名だったので、一つの番号につき2-3名を割り当て、10種の被食者になってもらった。なお、被食者のシッポの長さとは数は、この時点でエクセルなどに記録しておく。

ゲーム開始後は、決められたスペース内で、捕食者が被食者のシッポを踏みに行く。いかなる理由でも、シッポがとれた被食者は、死亡したとし、スペースから出る (写真1C)。人数が半分以下になったところでゲームを止め、生き残った被食者のシッポ長を

記録する。

本講義では、実験1はここで終わり、実験2に移ったが、生き残った種の個体数を倍にして、もう一度、被食者が半分以下になるまで、2回目のゲームを行っても良い。ゲームを繰り返すほど、シッポの短い生き残りに有利な種、の個体数が多くなっていくだろう。

## 2-2. 実験2の方法

実験2では、動物のオスが闘争に用いるツノや一部の魚類の体色が多様に進化するメカニズム、鳥の尾羽が不要とも思えるくらい長く進化したり、派手になるメカニズムを再現する。

まず、オスのシッポの長さが多様に異なる、ある一種について考える。この種のメスはシッポの長いオスを好むと仮定すると、シッポの長いオスは、子供を沢山のこすことができる。ただし、シッポが長く進化すると、捕食者に狙われ死亡する可能性が高くなる。さあシッポの長さは、どのように進化するだろうか。

実験2でも、捕食者の数は3人とした。また被食者のオス23名には4番と5番のシッポをつけて実験をスタートしてもらった。

被食者の数が半分以下に減ったところで、ゲームを止め、生き残った人がクジ引きを行う。クジは、シッポの番号の数だけ引くことができる。つまり一番シッポが長い10番の個体は10回クジを引いて子供を沢山のこすことが出来るが、一番シッポが短い1番の個体は1回しかクジを引くことが出来ない。

当たりを出した親が4番のシッポをもつ個体だとすると、子供のシッポの長さは「当たり+1」の場合は5番、「当たり 0」の場合は親と同じ4番、「当たり-1」の場合は3番のシッポというふうに変化する。子供役は、シッポを踏まれゲームエリア外に出ていた人に再登場してもらう。

生き残った被食者が全員、シッポの番号の数だけクジを引き、子供を場外からゲームエリアにチャージしてから、2回目のゲームを行う。この手順を繰り返すことにより、シッポの長さが進化していく様子を観察することができる。生き残った個体や生まれた個体のシッポの長さはゲームが終わる度に記録しておく。

### 3. 結果

種ごとにシッポの長さが異なる10種の被食者（在来種）群集に、捕食者（移入種）が侵入した場合を想定した実験1では、図1のようにシッポの長く捕食者に踏まれやすい、生存に不利な種が減少した。結果として、シッポが短くシッポが踏まれにくい、生存に有利な種が生き残り、群集全体としては、種の多様性が減少した。

実験2では、図2のように、シッポの長さは時間が経過する（実験を繰り返す）にしたがって、扇型に広がるように進化した。つまり、被食者集団において、シッポの長さの多様性は急激に増大した（多型が進化した）。

図2の時間7では、シッポの長さの最大長は8にまで達するが、このシッポ長8は、その後の時間帯では消えている。このシッポ長8より25センチ短いシッポ長7は、時間5以降つづけて存在している。このことからシッポ長7と8の間が、捕食圧と出産率の釣り合う限界の長さとなっている。つまりこれは、3.00～3.25メートルの間に、シッポが踏まれる確率と、シッポを踏まれずに生き残り、クジ引きで子供を増やす確率の拮抗する揺らぎ、があることを示している。そして、これよりシッポが長くなると、シッポを踏まれる確率が、子供を残す確率よりも上回っている。

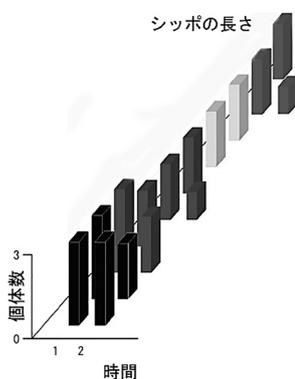


図1. 実験1の結果：捕食者（移入種）がシッポの長さが異なる10種の被食者（在来種）の群集中に侵入した場合。シッポの長さは図の上端が10（3.75 m）で下端が1（1.5 m）。時間1で10種だった在来種は、時間2で5種まで減少している。また、シッポの長い種、つまりシッポが踏まれやすく生存に不利な種が減少している。

### 4. 考察

実験1は、予測できる結果であるが、自然界においても、同様の現象が起こっている（堀越ほか 2009, Towns et al. 2009, Colin et al. 2010, 荒山 2010, Doherty et al. 2016）。つまりこれは、移入種に対して弱い在来種は淘汰され、移入種に対して強い種が生き残る、というシンプルな実験結果である。シッポに用いた紐が長い場合は、どんなに足の速い生徒でも、限られたスペースの中では、捕食者に踏まれやすくなる。反対に、足の遅い生徒でも、シッポが短い場合は生き残る確率が高くなる。

実験2の結果も性選択と呼ばれる進化の仕組み（Kirkpatrick 1982）で簡単に説明できる。メスにモテるシッポの長い被食者のオスは、子供を多く残すが、これらの子供たちもシッポが長いいため、捕食者にシッポを踏まれやすい。反対に、メスにモテないシッポの短いオスは、子供を残す確率は低いが、シッポを踏まれにくいために、生き残りやすい。このバランスが確率的に釣り合う場合、シッポの長さには多様性が生まれ、集団中に様々なシッポの長さが同時に存在するように進化する。

実験2の結果をさらにクリアにするアレンジとしては「親個体はゲームを一回行くと寿命がおとずれて死ぬ」という設定に変更すれば良い。このアレンジの結果は、図3のようになると予想できる。理由は、この設定変更により親がゲーム1回ごとに確実に死んだ

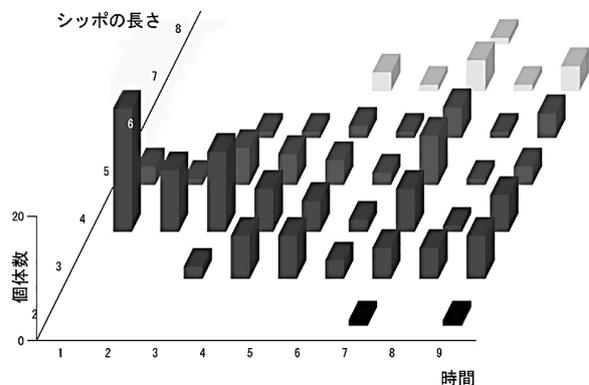


図2. 実験2の結果：捕食者（移入種）がシッポの長さが4または5の一種で構成された被食者（在来種）集団中に侵入した場合。時間1で被食者集団のシッポの長さは4と5だったが、時間9では、シッポの長さが1～7まで多様に進化した。

め、図2のような均衡が崩れ、より子供を残す事のできるシッポの長いタイプが有利になるからである。このアレンジならば、コクホウジャクのように極端にシッポの長い鳥がどうやって進化したのかなど (Pryke & Andersson 2002)、生物の極端な形態や性質がどういう仕組みで進化するのかを、より簡単に説明することが出来るだろう。今回の場合は、大学生ならば、どうしてグラフが扇型になるのか、考察できるだろうという想定のもとに、実験2のルール設定を試した。

実験2でシッポの長さだったものは、単一種の形態的な特徴であり、例としては、カブトムシの角や、鳥の尾羽でも良い。実際にカブトムシの角は、そのサイズが大きいほど、オス同士の闘争において有利であり、メスとの交尾の機会を増大する。ところが、角が大きき体格の良いオスは、カラスやタヌキなどの捕食者に狙われ、捕食される確率が高いことが分かっている (Kojima et al. 2014)。

また、シッポの長さは色彩の多型などに置き換えても構わない。グッピーの集団は、捕食者の存在しない環境で飼育すると、体色の派手なオスが進化していく。これは、派手なオスの方がメスにモテることが原因である。逆に、捕食者の存在する環境では、派手なオスは食べられてしまい、死亡率が上がるため、グッピーのオスは、背景色に似た地味な体色に進化していく (Endler 1983)。従って、このグッピーの例も、実験2の仮定と同じである。

今回紹介した「シッポ踏みゲーム」は、こういった現象を、限られた授業の時間枠で観察するアクティブ・

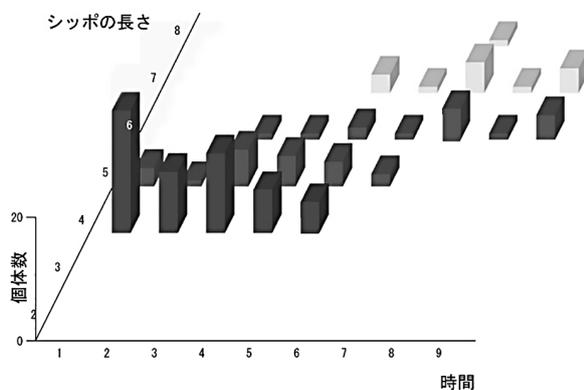


図3. 実験2で「親は子供を産むと寿命が尽き、ゲーム1回ごとに死ぬ」とルールを変更した場合は、シッポの長さはこのような進化をすると予想できる。

ラーニングである。この学生をエージェントとした、体感型のシミュレーションは、ルール (パラメータ) を試行錯誤することによって、多様な現象を表現できる。

例をあげれば、シッポをつけた2つのグループで「シッポの踏み合戦」を行うような場合は、競争関係にある2種の種間関係を表現できる。加えてここに、特定種のシッポを守る別の種を投入し、生物の共生関係を表現することもたやすい。ここに細かい味付け (ルール設定) を行うことにより、コンピュータシミュレーション顔負けの結果も期待できる。また、これらはチーム対抗戦なので、授業が大盛り上がりになることは、筆者が保障する。シッポ踏みゲームだけでも色々アレンジできるが、冒頭でも触れたように、鬼ごっこやドッジボールといった昔ながらの遊びを用いれば、さらに多岐にわたる現象を、体感型シミュレーションに造り変えることが可能だ。

今回の実験をそのまま行う場合、腰の位置が低い小学校児童の場合には、シッポの長さを、全体的にやや短くした方が良いだろう。シッポの長さの差も25センチずつでは無く、20センチくらいの方が適切かもしれない。また小学校で行うならば、実験1だけでも楽しむことが出来るだろう。

方法で説明したように「シッポ踏みゲーム」をシミュレーションに改変する場合、最初の準備は少し手間がかかる。しかし、これらのツールは、一度作ってしまえば、次回からは何度でも繰り返し使用することができる。従って、一度準備したものをリユースできるという意味では、このアクティブ・ラーニングも、通常の授業ときほど労力は変わらない。

サイドメニューとしては、ルール変更のアイデアを学生に考えてもらおうと、とても実用的で面白いものが出てくることがある。時間が許せば、授業をクラス全員で創るという意味で、こちらにもぜひ挑戦して頂きたい。

## 5. まとめ

学ぶことを楽しいと感じることが出来れば、教師が何も言わなくても、教室の学びは加速する。アクティブ・ラーニングに関して、数々のポジティブな効果

や (Prince 2004, Johnson & Johnson 2008, 山地・川越 2012, 山地 2014, 山内 2019), 成績があがるという報告 (Freeman et al. 2014) が提出されている理由は, そこに学ぶ楽しみを見出すことが出来るからだろう。

今回の「シッポ踏みゲーム」は, 遊びの形をした実験であり, 全員で頭をひねるアクティブ・ラーニングである。実験中に, 参加者が移入種や在来種の視点を得ることが出来る点も, 授業の考察を行う上で, アドバンテージとなった。また, 実験結果が, 自然界の生物現象を反映したものとなったことは, この体感型の実験が, シミュレーションとして機能したことを示している。

本稿のシッポ踏みに限らず, 古くから慣れ親しんだ, 同様の遊びをモデルにすることで, 様々な科学現象や社会の仕組みを, 皆で楽しみながら説明することが可能である。そして, 学生～児童が, ゲームのルール改良や, 新しい授業用ゲームの開発に参加するような, 時間を設けることができれば, 実用的で面白いアイデアが増えていく。こうした時間は, 授業を創る意識を皆で共有することにつながり, 参加型学習の先にある授業創造型とも言うべき教育の可能性を拡げていくだろう。

## 謝辞

正月明け1月5日の寒い体育館で, シッポ踏みゲームに参加してくれた宮城教育大学3回生26名, 宮城教育大学教員キャリア研究機構スタッフの齋藤有季さん, 鶴岡希望さんをはじめ研究協力者の皆様のほか, 自由な講義に協力して下さった大学関係者の皆様にこの場を借りてお礼申し上げます。本研究の一部は日本学術振興会 (24770013, 16H03051, 20K20802) の研究費を元に遂行された。

## 引用文献

1. Colin, S. P., Costello, J. H., Hansson, L. J., Titelman, J. & Dabiri, J. O. 2010. Stealth predation and the predatory success of the invasive ctenophore *Mnemiopsis leidyi*. Proceedings of the National Academy of

- Sciences, 107 (40), 17223-17227.
2. Doherty, T. S., Glen, A. S., Nimmo, D. G., Ritchie, E. G. & Dickman, C. R. 2016. Invasive predators and global biodiversity loss. Proceedings of the National Academy of Sciences, 113 (40), 11261-11265.
3. Endler, J. A. 1983. Natural and sexual selection on color patterns in poeciliid fishes. Environmental Biology of Fishes 9, 173-190.
4. Freeman, S. et al. 2014. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(23), 8410-8415.
5. Hayashi, M. 2020. Simple simulation model: Successful water borne dispersal in terrestrial spiders to reach lake islands. The Journal of Island Studies, 21 (1), 1-14.
6. Johnson, R. T. & Johnson, D. W. 2008. Active learning: Cooperation in the classroom. The Annual Report of Educational Psychology in Japan, 47, 29-30.
7. Kirkpatrick, M. 1982. Sexual selection and the evolution of female choice. Evolution, 1-12.
8. Kojima, W., Sugiura, S., Makihara, H., Ishikawa, Y. & Takanashi, T. 2014. Rhinoceros beetles suffer male-biased predation by mammalian and avian predators. Zoological Science, 31 (3), 109-115.
9. Prince, M. 2004. Does active learning work? A review of the research. Journal of Engineering Education, 93 (3), 223-231.
10. Pryke, S. R. & Andersson, S. 2002. A generalized female bias for long tails in a short-tailed widowbird. Proceedings of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences, 269 (1505), 2141-2146.
11. Towns, D. R. et al. 2009. Predation of seabirds by invasive rats: multiple indirect

- consequences for invertebrate communities. *Oikos*, 118 (3), 420-430 .
12. 荒山和則 2010. 特定外来生物チャネルキャットフィッシュに捕食される魚類. *日本水産学会誌*, 76 (1), 68-70.
  13. 堀越和夫・鈴木創・佐々木哲朗・千葉勇人 2009. 外来哺乳類による海鳥類への被害状況. *地球環境*, 14, 103-105.
  14. 山内祐平 2019. 教育工学とアクティブラーニング. *日本教育工学会論文誌*, 42 (3), 191-200.
  15. 山地弘起・川越明日香 2012. 国内大学におけるアクティブラーニングの組織的実践事例. *長崎大学 大学教育機能開発センター紀要*, 3, 67-85.
  16. 山地弘起 2014. アクティブ・ラーニングとは何か. *大学教育と情報*, 1, 2-7.
  17. 鷺谷いづみ・村上興正 2002. 外来種問題はなぜ生じるのか - 外来種問題の生物学的根拠 -. In: *外来種ハンドブック*. 日本生態学会 (編), 地人書館, 東京, pp. 4-5.

