

模擬探究 1

ライオンとシマウマ

— Lions and zebras —

ここでは生物学の中でも「生物群集と生態系」という分野に注目してみましょう。皆さんもよく知っているように「シマウマ」はアフリカの東部や南部に住み、主にイネ科の植物を食べる草食系の動物です。一方「ライオン」は野兎やシマウマ、イボイノシシといった哺乳類を主にえさとする肉食系で、主に夜に狩りをします。

この模擬探究では、仮に「ライオン」と「シマウマ」と「草原」しかいない生態系を想定してみます。当然ながら、ライオンはシマウマを狙う「捕食者」となりシマウマはライオンに食べられてしまう「被食者」となります。シマウマにとって大事な植物は十分にあると仮定します。

そんな生態系は、ほどなくシマウマが絶滅してライオンはほかの場所を求めて放浪しそうです。

しかし、想像で確定的なことは言えませんね。生態調査をしてみればいいのですが、そのような限られた二種類の「被食者—捕食者相互関係」を調べることは難しいことです。そこで、モデルを使って実験をしてみましょう。

この模擬探究を選んだ皆さんには、班ごとにこのモデル実験用のキットを配布します。とはいっても、このキットは身の回りにあるものを集めたものですから「こんなもので実験ができるの？」とびっくりする人もいるかもしれません。まずはこのような研究分野はどのようにして始まったのか、**研究の背景**について学びましょう。

研究の背景

ここで「被食者—捕食者相互関係」研究の一般的な「背景」を述べます。「背景」(Background)というのは、現在その分野ではどんなことが分かっている、どんなことがまだわかっていないのかという客観的な先行研究の分析と紹介です。皆さんが研究を始めるときも、その研究の関係分野でこれまでにどんなことが分かっているのかをまず調べる必要があります。それで得た知識を「背景」と呼んでいるのです。

さて、その背景について少し述べてみたいと思います。「被食者—捕食者相互関係」の研究が本格的に始まった

のは、意外な所から見つかったデータからでした。それは、カナダにあるハドソン湾会社の毛皮取引記録です。図1を見てください。カナダの森林地帯にすむオオヤマネコとカンジキウサギの毛皮の枚数の記録です。この記録は、「自然の生物たちの個体数は自然のバランスによってほぼ一定に保たれているのではないか」という生物学者たちの予想を覆すものでした。もちろん実際のカンジキウサギやオオヤマネコの個体数を調べたわけではありませんが、狩猟の方法や規模が毎年一定だとすると、その個体数と捉えられた個体数は比例するのではないかという予想は、容易に立てることができます。

ほぼ10年周期で個体数が変動しています。これは世界中で最も詳しく研究された「個体数振動」の一つ（吉田丈人 2021）とされています。この関係が「被食者—捕食者相互関係」に相当するのかは現在も研究者が多くの論文を発表しているようです。

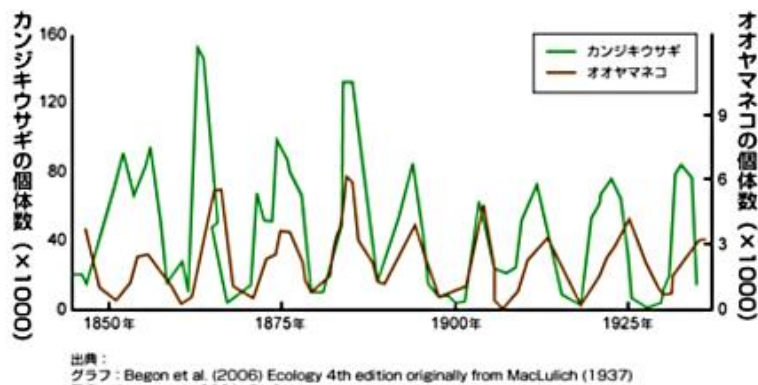


図 1

この話には続きがあります。実は、このような生物の「被食者—捕食者相互関係」で周期的に個体数が変動することは、このモデルを数式化してすでに見つけていた数学者がいたのです。イタリアの数学者ヴォルテラは、第1次世界大戦後のある日、生物学者ダンコナからイタリアのアドリア海に面する漁港の水揚げについて相談がありました。大戦中には操業が縮小されて魚はあまりとらなかったにもかかわらずサメの数が増え、食用魚の漁獲は減っていた、これはどうしてだろうという相談でした。ヴォルテラは、これをサメが捕食者、食用魚が被食者として、その関係を方程式の形に表しました。1926年のことです。

図2がその方程式です。皆さんはこれから高校の数学を学んでいきます。研究を始めると、意外な所でこんな数式に出会ったりします。この方程式は、もちろん今はよくわからないと思いますが、数学とは関係のないはず

の生物学でも数学に関係しているのはびっくりですね。現在、このような数学を使って生物学を研究する分野を「数理生態学」もっと広くには「数理生物学」と言います。

この方程式は現在では「ロトカ・ヴォルテラ方程式」または「ロトカ・ヴォルテラの捕食者—被食者モデル」などと呼ばれています。ロトカというのはアメリカの数学者で、1910年に化学物質濃度の変動を説明するためにこの方程式を見つけており、生物学でのヴォルテラの発見と合わせて二人の名前が付けられています。

現在、高校の生物の授業でも出てくる捕食と被食の関係では、捕食者（ディディニウム 和名 シオカメゾウムシ）と被食者（ゾウリムシ）の実験が出てきます。そして興味のある結果が出ています。興味のある人は、調べてみてください。

ロトカ・ヴォルテラの捕食者—被食者モデル

$$\frac{dN}{dt} = aN - bNP$$

$$\frac{dP}{dt} = -cP + dNP$$

N 被食者の個体数 P 捕食者の個体数

$\frac{dN}{dt}, \frac{dP}{dt}$ 被食, 捕食者の単位時間当たりの増加数

a, b, c, d 実験で求める比例定数

図 2

研究の目的

生物学の本を読んでいた B 君は、この「ロトカ・ヴォルテラの捕食者—被食者モデル」に妙に引きつけられてしまいました。まさか、生物学に数学が登場するとは思わなかったし、数式を見ても意味が分かりません。『数学者が考えた式だから、高校生の自分にはとても解けるはずがない。』と思いました。でも、いつかはこんな式を立てて生物の生態を考えられたら、すごいだろうと思ったのです。

ある日、部活や宿題でお世話？になっている 3 年生の先輩にこの方程式を見てもらいました。先輩も初めて知ったらしく「へーえ、これ微分方程式だね。コンピュータで解けるんじゃないかな？！」と、大変興味を持った様子でした。

コンピュータで解ける？！その意味は分かりませんが、高校生でも 3 年になると「解けるんじゃないかな？！」と言えることにびっくりしました。もちろん先輩は数学や物理がすごいというのは知っていましたが…。

B 君の探究活動のテーマは、この「捕食者—被食者モデル」を解く方法を探すことに集約されていきました。そして次のような目的と仮説に達したのです。

B 君の探究の目的

ライオンとシマウマという「捕食者—被食者モデル」をシミュレーションする装置を、身の回りにあるもので制作し、実際に実験してみる。この結果から、一般に言われている個体数の周期的変動が正しいのかどうかを検証する。

実験の方法

B君は「ライオン」に見立てた磁石を斜面から転がし、岩場の影にいる「シマウマ」(クリップ)を狙うという単純な捕食者被食者モデルを考えました。以下に、その基本ルールと、装置の配置図、繁殖ルールを示しました。

パッケージ部品

草原シート 1枚 ライオン (磁石) (全部で 10 頭) シマウマ (クリップ) (全部で 150 頭程度)
岩モデル 3個 ケース 4箱 ライオン計数シート (5枚) 実験データシート (5枚)

初期セッティング

図1参照 初年度は ライオン 2 頭 シマウマ 20 頭 でスタートする。

基本ルール

1. 「ライオン」(磁石)は斜面から磁石を縦にして「シマウマ」(クリップ)を狙って転がす。
斜面のスタート位置は任意に決めてよい。
2. 「シマウマ」は岩陰に隠れるように置く。重ねておくことはできない。
3. 磁石にくっついたクリップを「ライオン」にとらえられた「シマウマの数」とする。
4. 狩りが終わった「ライオン」はクリップを付けたまま「ライオン計数シート」(図2)の該当するエリアの上に置く。
5. 現在いる「ライオン」がすべて狩りに出たら、その年の狩りはすべて終わったとし、次の年の「ライオン数」と「シマウマ数」を実験データシート(図3)に記録する。
6. 岩モデルやケースの位置は実験が始まったら変えることはできない。「ライオン」が衝突して位置が変わってもそのままにしておく。

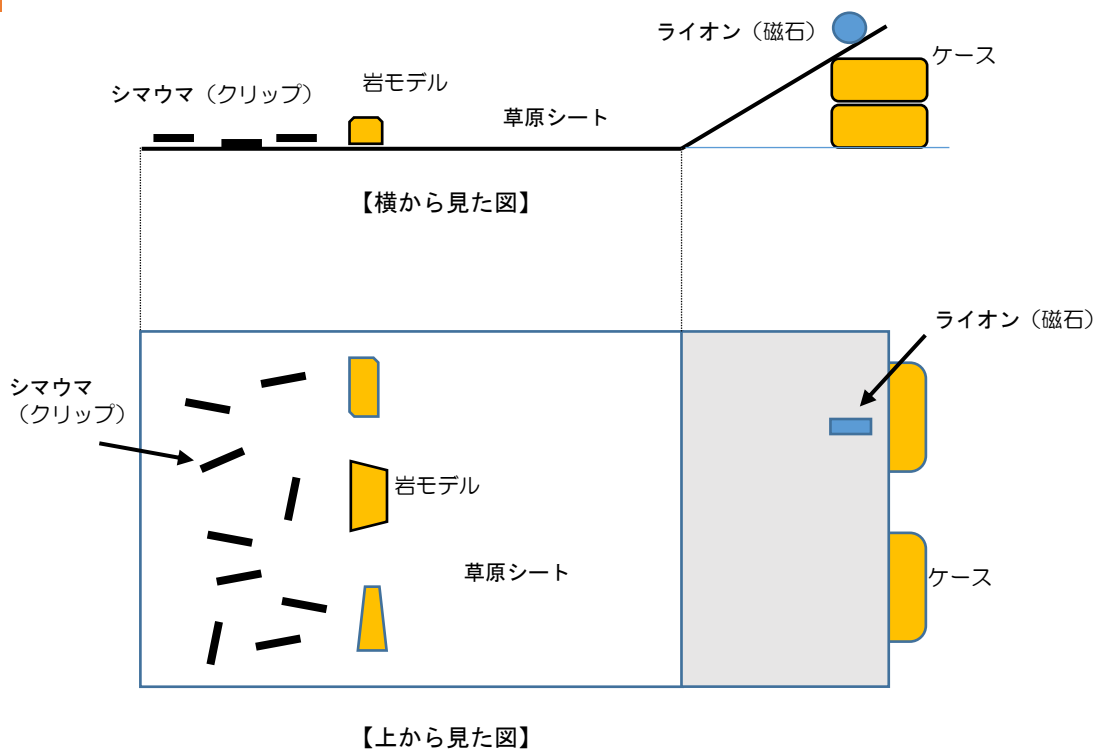


図 1

繁殖ルール

1. シマウマ

- ① 生き残ったシマウマは次の年は2倍の数になる。
- ② 全滅した場合、次の年は他の地域から3頭入ってくる。

2. ライオン

- ① シマウマを2頭以上捉えたライオンはそれぞれ1頭の子孫を残せる。つまり次の年は2倍になる。
- ② シマウマを1頭捉えたライオンは次の年も生存できる。
- ③ シマウマをとらえられなかったライオンは死を迎える。次の年はいない。
- ④ ライオンが全滅した場合、次の年は他の地域から1頭入ってくる。
- ⑤ ライオンがその年11頭以上になりライオンが足りない場合は、狩りをしながら途中でライオン計数シート(図2)の「シマウマをとらえられなかったライオン」になったライオンから借りてくる。このとき最後のデータ計測で忘れてしまわないように注意する。

ライオン計数シート

- ライオンは1頭ずつ坂からシマウマを狩りに行く。
- その年にいるすべてのライオンの狩りが終わったら、それが1年分の狩りだと仮定する。
- 狩りに出た後のライオンは、このシートにのせて数える。
- もし全滅してしまったら、次の年、他の地域よりライオンが1頭やってくる。

シマウマを2頭以上とらえたライオン 子孫を残す=来年度は2倍の数	シマウマを1頭とらえたライオン 生存する=次年度もそのままの数
シマウマをとらえられなかった ライオン 今年亡くなる=取り除く	

【ライオン計数シートの使い方】狩りが終わったライオンはクリップが付いたままこの「ライオン計数シート」に置いてください。もちろんクリップが付かなかったライオンも同様です。

図2

実験データシート

■ もし全滅してしまったら、次の年、他の地域より「ライオン」の場合は1頭、「シマウマ」の場合は3頭やってくる。

固体種/年	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目
ライオン数	2								
シマウマ数	20								
固体種/年	10年目	11年目	12年目	13年目	14年目	15年目	16年目	17年目	18年目
ライオン数									
シマウマ数									
固体種/年	19年目	20年目	21年目	22年目	23年目	24年目	25年目	26年目	27年目
ライオン数									
シマウマ数									
固体種/年	28年目	29年目	30年目	31年目	32年目	33年目	34年目	35年目	36年目
ライオン数									
シマウマ数									

【グラフ化の方法】横軸を時間、縦軸をライオン数とシマウマ数にしてグラフを作成する。時間軸は、36年目までという決まりはなく、自分たちでそれ以上もしくはそれ以下という範囲を決める。縦軸が何を意味し、横軸が何を意味しているかしっかりその量と単位を書く。

図 3

実験の結果

実験の結果は、上図の実験データシートにまとめ、縦軸をライオン及びシマウマの頭数、横軸を時間としてグラフ化する。

グラフ化で多くの生徒は、縦軸の量の名前と数値、単位などを書かないことが多く、何を表しているグラフなのか不明のことが多い。これは、研究結果としては全く評価されなくなるので注意する。

考察と結論

君自身が B 君として行ったライオンとシマウマという「捕食者—被食者モデル」のシミュレーションの結果は、何を教えてくれているのでしょうか。

B 君が仮説として立てていた個体数の周期的変動は検証されたのでしょうか。

もし検証されていたら、その周期も求められそうですね。もし、検証されていないのなら、どんな実験が必要になってくるのでしょうか。こういったことをチームでディスカッションしながらまとめていきましょう。

参考文献

参考文献の書き方は、このテキストに書かれてありますので、それを参考に正確に書きましょう。