

1. はじめに

皆さんは多様性と聞くと何について思い浮かべますか。人種や宗教、性別などの多様性は勿論のこと、SDGsに代表されるように環境志向の高まる今日では生態系の多様性を思い浮かべる人も多いはずですが。生態系を考えるには、個体の生理や行動、集団、群集、そして生態系全体と様々なスケールで分析することが必要です。この記事では、複数の状況を仮定して、群集と集団のスケールから統計的な分析を行いました。群集と集団の特徴を知るとは、環境に対応した生態系の変化を予測する上での基本的な課題です。なお、記事の構成の観点から一部の数式の途中式を省略して記載しております。

2. 用語解説

この記事に出てくる一部の生物学の用語とその定義です。

- ・生態系
ある空間において相互に作用しあう物理的因子及び生物の集合体。
- ・集団(個体群)
同一空間の生息する単一種からなるグループ。
- ・群集
同一空間に生息する複数種の個体からなるグループ。
- ・片利共生
一方が利益を享受し、他方は利益も害もない関係。
- ・寄生
寄生者が宿主に害を与えて自らは利益を享受する関係。

3. 実験① 海岸生物群集の特徴

以下のデータについて考えます。

群集 A		群集 B	
種	個体数	種	個体数
(a) ヒトデ	13	(j) シオマネキ	2
(b) マテガイ	18	(k) フジツボ	18
(c) フナムシ	13	(l) イソギンチャク	15
(d) ウニ	12	(m) ナマコ	2
(e) シオマネキ	11	(n) ヤドカリ	5
(f) 巻貝	8	(o) 巻貝	8
(g) カキ	12		
(h) トビハゼ	9		
(i) イソギンチャク	10		

合計	106	合計	50
----	-----	----	----

但し、この実験に本質的に関係のないため、細かな種の同定は行っておりません。

(1) 相対的優占度 P_i

P_i は群集を構成する様々な種の相対的な割合を示します。

① P_i の計算方法

$$P_i = (\text{個体数}) / (\text{合計の個体数})$$

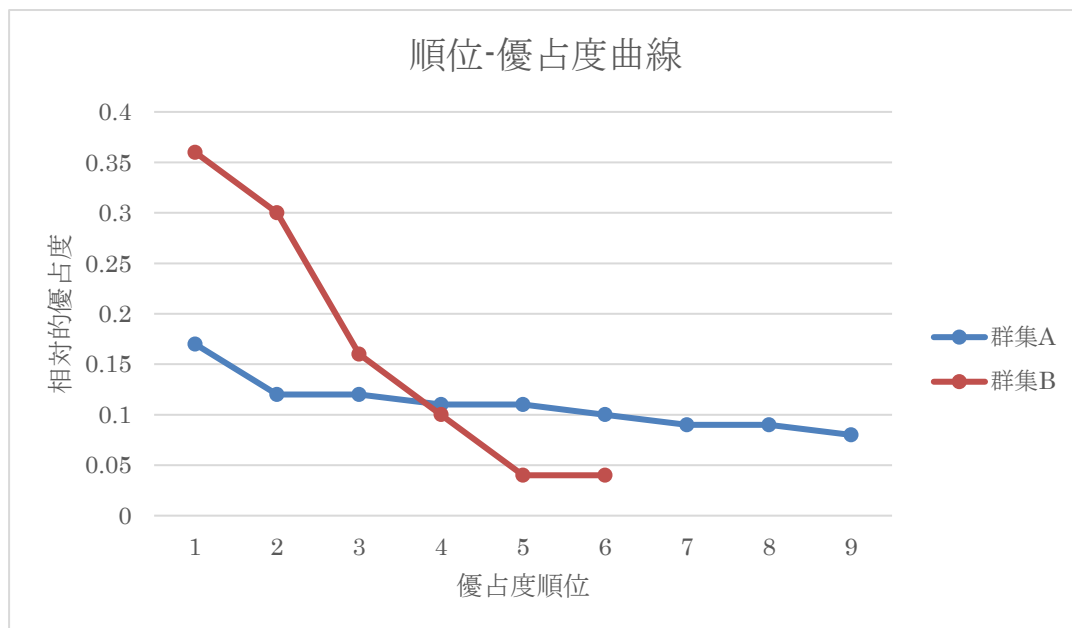
但し、各値は上表を参照します。小数第 3 位を四捨五入します。

② P_i の計算結果 (i は上表のアルファベットに対応しています。)

P_a	0.12	P_e	0.10	P_i	0.09	P_m	0.04
P_b	0.17	P_f	0.08	P_j	0.04	P_n	0.10
P_c	0.12	P_g	0.11	P_k	0.36	P_o	0.16
P_d	0.11	P_h	0.09	P_l	0.30		

(2) 順位-優占度曲線

順位-優占度曲線は、群集内での相対的優占度が高い種から順に並べて、群集の構成種と豊富さを示した図のことです。(1)で求めた値を縦軸に、優占度の順位を横軸にとってまとめました。



(3) Shannon-Wiener の多様度指数 H'

① H' の計算方法

$$H' = -\sum_{i=1}^n (p_i \ln p_i)$$

p_i : i 番目の種、 $\ln(p_i)$: p_i の自然対数、 n : 群集の種数とします。

また、小数第 3 位を四捨五入するものとします。

②H'の計算結果(計算過程を省略しています。)

群集 A : $H' = 2.15$

群集 B : $H' = 1.51$

(4) 結果の考察

①順位-優占度曲線から分かること

群集 B より群集 A の方が、優占度が種間でより均等です。また、群集 B より群集 A の方が、種数が豊かです。

②Shannon-Wiener の多様度指数 H'から分かること

H'とは種数に個体数分布を加えた指標として考え出されたものです。H'の値は、種数が増加すると大きくなり、ある種だけが集中して出現すると小さくなる特徴があります。(3)の②の計算結果では、群集 B より群集 A の方が大きい値をとり、①の結果と合致しています。

4. 実験② 異種間の相互作用

巻貝と二枚貝の相互作用を知るために、生息地における分布を調べます。以下のデータについて考えます。

存在数の表

二枚貝 \ 巻貝	存在する	存在しない
存在する	15	12
存在しない	6	16

期待値の表

二枚貝 \ 巻貝	存在する	存在しない
存在する	11.6	15.4
存在しない	9.4	12.6

(1) カイ 2 乗検定

①カイ 2 乗値(X^2)の計算方法

$$X^2 = \sum \frac{(\text{観測数} - \text{期待値})^2}{\text{期待値}}$$

② X^2 の計算結果

$X^2 = 3.96$ (四捨五入の都合上、3.89 でも良いです。)

③データの自由度 df

今回は、df=1 とします。

④帰無仮説の設定

帰無仮説とは、ある仮説が正しいかどうかを判断するための仮説のことです。今回は、「2種は互いに独立に分布している。」とします。

⑤有意水準(p)の設定

有意水準とは、ある仮説を棄却するかどうかを決定する基準となる確率です。今回は、 $p=0.05$ として帰無仮説を検定します。

⑥帰無仮説の棄却判断

設定したデータの自由度と有意水準の値を参考に、下記のカイ 2 乗表における X^2 の値と求めた X^2 の値とを比較して、帰無仮説を棄却するかどうか決定します。

カイ 2 乗分布の境界値表

自由度	確率 : p				
	0.99	0.95	0.05	0.01	0.001
1	0.000	0.004	3.84	6.64	10.83
2	0.020	0.103	5.99	9.21	13.82
3	0.115	0.352	7.82	11.35	16.27
4	0.297	0.711	9.49	13.28	18.47
5	0.554	1.145	11.07	15.09	20.52

$p=0.05$ とすると、 $3.96(3.89) > 3.84$ であるから、帰無仮説の内容は頻繁に起こりうることだと判断できるので、帰無仮説は棄却しません。

(2) 結論

ここで、元の分布パターンからは、片利共生か寄生の関係であると推測できます。つまり、「2種は互いに独立に分布している。」と結論づける帰無仮説に反することになります。しかし、(1)では帰無仮説を棄却しませんでした。この矛盾は、統計的にどのくらいのずれを有意と認めるかによるものとも考えられますが、カイ 2 乗値とカイ 2 乗分布に小さな誤差があることから、本来は有意差が認められないのに有意差があるという間違いが生じるリスクが生じているが故の結果とも考えられます。これを解消するために Yates の連続補正を行います。

(3) Yates の連続補正をしたカイ 2 乗検定

① X^2 の計算方法

$$X^2 = \sum \frac{(|\text{観測数} - \text{期待値}| - 0.5)^2}{\text{期待値}}$$

カイ 2 乗値が小さくなると p 値が大きくなるので、有意差が出にくくなることを利用し、誤差の割合を小さくしています。

② X^2 の計算結果

$X^2=2.89$ となります。

③ 帰無仮説の棄却判断

$p=0.05$ とすると、 $2.89 < 3.84$ となるため、帰無仮説の内容は稀に

しか起こりえないことだと判断できるので、帰無仮説を棄却します。

(4) 結論

帰無仮説を棄却したため、2種間の相互作用を認めることになりました。ちなみに、②で求めた X^2 から求めると $p=0.089$ となり、確かに有意差は認められませんでした。

5. 終わりに

この記事では、簡単な統計的手法によって群集の多様性や異種間の相互作用の捉え方を記しました。生態学は数を扱う学問なので、統計が必要不可欠であり、様々な解析方法が確立されています。私は、まだまだ浅学寡聞ですが、統計学を学び生物学だけでなく様々な学問分野で利用する中で統計の面白さや奥深さを知りました。皆さんもぜひこの記事を通じて統計について調べてみてください。また、多様性の捉え方も様々なありそれを知ることで、生物学に限らず自分のあらゆる物事の見方を広げることができます。拙い記事で分かりづらい部分も多かったと思いますが、最後までご高覧いただきましてありがとうございました。

6. 参考文献

- ・池内昌彦,伊藤元己,箸本春樹,道上達男監訳『キャンベル生物学 原書 11 版』,丸善出版,2020 年
- ・小島寛之,『完全独習統計学入門』,ダイヤモンド社,2006 年
- ・統計 Web,“カイ 2 乗分布”,BellCurve,
<https://bellcurve.jp/statistics/course/9208.html>,最終閲覧
2022-2-18
- ・野村港二,岩本浩二編『生物学オリンピック問題集 [実験編]』,みみずく舎,2015 年
- ・日本生態学会編,『生態学入門(第 2 版)』,東京化学同人,2012 年