

生物多様性の調査と評価

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 細川真也

1. はじめに

生物多様性への取り組みは、「昆明・モントリオール生物多様性枠組」に対応するための国家戦略への位置づけ（環境省 2023）、生物多様性の損失の改善を促進するための「地域における生物の多様性の増進のための活動の促進等に関する法律」の施行（令和 7 年 4 月）、もしくは、自然関連財務情報開示タスクフォース（2023）によるビジネスにおける生物多様性へのインパクトの監視・評価の提言等を背景として、今や我が国の社会活動の中で避けて通る事ができないものとなっている。しかしながら、生物多様性を評価する事は容易ではない。例えば、最もシンプルな指標である種数の観測値は、サンプルを沢山採るほど生物が多様になっているように見える調査努力量への依存がある。この依存は、種数のアンフェアな評価にもつながり、生物多様性への取り組みの根幹を揺るがすものになりかねない。生物多様性への取り組みを正当なものにするためには、それを正しく評価するための調査方法や解析方法が必要になる。

2. 観測種数の調査努力量依存とその課題

2. 1 調査努力量依存の原理

観測種数が調査努力に依存する事は、古くから知られている事実である（Good 1953）。この事は、確率の考え方を導入する事で容易に理解できる。全種数 S の群集の中で種 j が 1 回のサンプリングで出現する確率を p_j とした場合、 m 回のサンプリングによって観測される種数の期待値 $S(m)$ は以下で表す事ができる：

$$S(m) = S - \sum_{j=1}^S (1 - p_j)^m .$$

ここに右辺の第二項は m 回のサンプリングでも観測されない種数の期待値を表している。つまり、全種数 S から観測されない種数の期待値を差し引いているこの式は、 m 回のサンプリングで観測される種数の期待値を示している。この式によって図-1 の左図のような曲線が描かれ、その曲線の形状は S の大きさと p_j の分布によって変化する。

観測種数の調査努力量 (m) への依存は上述の数式で記述する事はできるが、実際の観測では全種数 S も種 j の出現確率 p_j も分からない。このため、種数の曲線は、観測した種数 (S_{obs}) と観測された群集の組成から推定した出現確率に基づいて推定する事になる（Chao et al. 2014）。なお、ここで説明した種 j の出現確率 p_j は、個体数単位の考え方（全個体数の中での種 j の割合）に基づいているが、環境 DNA のようなサンプル単位の出現確率で定義する事も可能である。

2. 2 種数曲線の使われ方と新たな課題

種数の調査努力量依存の理解不足のため、観測された総種数だけで種の豊富さを評価して誤った評価をしてしまう事はよくある（図-1 の右図）。また、調査努力量依存を理解していたとしても、選択する調査努力量によっては評価が変わる可能性は十分にあり、必ずしも調査努力量を定めれば正しく種数を評価できるとは限らない（Gotelli & Colwell 2001）。このため、種数曲線を描いて種数の大小を比較する事は不可欠である。しかし、調査努力量を横軸にした種数曲線にも弱点はある。例えば、サンプル単位の出現確率を推定する場合には方形枠を使ったコドラート調査やトランゼクトライン調査等が行われるが、これ

らの間では、調査努力量の比較自体が難しい。このように、調査努力量は、一見、コンセンサスを得られるフェアな指標のように思えるが、実際には、その根拠は弱い。

3. 考えられる方向性

Chao & Jost (2012)は、以下の sample coverage ($C_{\text{ind}}(m)$) と呼ばれる指標を提示した：

$$C_{\text{ind}}(m) = 1 - \sum_{j=1}^S p_j(1 - p_j)^m$$

この右辺第二項は、 m から 1 個体のサンプルを追加して増える平均的な種数であり、 $m=1$ の時に最大値 1 を取る。一方、右辺全体は m から 1 個体のサンプルを追加しても増えない平均的な種数を示しており、種数の増えにくさを表している。つまり、sample coverage は、生物群集側から見た調査努力量 (m) の十分さを評価したものであり、調査努力量が生物群集の構造によって標準化された指標と解釈する事ができる。この指標を使えば、例えば、異なる調査手法間でも種数の比較が可能となる。

近年は環境 DNA 技術など、生物多様性を観測するための技術の発展が目覚ましく、様々な技術が応用されていく時代である。この中で、調査努力量を標準化して種数をフェアに比較する sample coverage の指標を使う事は、生物多様性への取り組みを正当なものにするために不可欠であり、調査手法もこれを定義できるように工夫される必要がある。しかし、sample coverage は反復調査を基本としている事からコスト増の原因にもなる。今後は、低コスト化に資する新技術の開発と、その利点を活かしつつ種数をフェアに比較する調査手法の開発が必要になることが予想される。

キーワード：生物多様性評価、観測種数、調査努力、サンプルカバレッジ

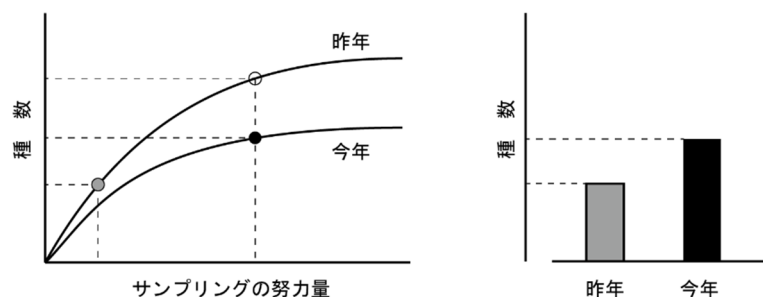


図-1 観測種数の調査（サンプリング）努力量依存。調査努力量を無視した観測種数の比較（左図）と調査努力量を考慮した比較（右図）を示している。UMI-POCHI から再掲。

参考文献：

環境省：生物多様性国家戦略 2023-2030，2023。

自然関連財務情報開示タスクフォース：自然関連財務情報開示タスクフォースの提言，2023。

Good, I. J. 1953. The population frequencies of species and the estimation of population parameters. *Biometrika* 40: 237–264.

UMI-POCHI（海ポチっ）：<https://pari.mpat.go.jp/bdhome/>

Chao, A., N. J. Gotelli, T. C. Hsieh, E. L. Sander, K. H. Ma, R. K. Colwell, and A. M. Ellison. 2014. Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: A framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs* 84: 45–67. <https://doi.org/10.1890/13-0133.1>.

Gotelli, N. J., and R. K. Colwell. 2001. Quantifying biodiversity: Procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters* 4: 379–391. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2001.00230.x>.

Chao, A., and L. Jost. 2012. Coverage-based rarefaction and extrapolation: Standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology* 93: 2533–2547. <https://doi.org/10.1890/11-1952.1>.