

日本産アリ類生態情報 28. 種数・面積関係.

多くの生物群で、生息環境の広がりの中に種数・面積関係が成り立つ事が明らかになっている。面積の小さな地域と大きな地域を比較した場合、大きな地域ほどより多くの生物種数が見られることは古くから知られている。この面積の増加に伴いそこに見られる生物種数が一定の規則性をもって増加する現象を種数・面積関係と呼び、群集生態学における包括的な規則性の一つとなっている。種数・面積関係は取り扱う面積の規模で、パターンが異なって来るとされており、面積の規模で3つの段階が存在する。第一の小規模スケールでは、例えば植物群落内の面積と種数の関係を示し、第二段階の中規模スケールでは島嶼や樹林を単位として、種数と面積の関係を論ずるものである。第三段階では大陸間レベルでの大規模スケールで、生物地理区レベルの生物進化が種数と面積の関係に関わっている可能性があるとして示されている。

面積が $10^2 - 10^7 \text{ km}^2$ 程度の中規模レベルのスケールで地域を取り扱う場合、種数と面積の関係はべき関数のモデル式 (Power function model: $S = CA^Z$ ($\log S = \log C + Z \log A$); S, 種数; A, 面積; C, Z, パラメーター) へ適合させる場合が多い。このモデル式は Preston の対数正規則 (1948, 1962) から導き出された $S = CA^{0.262}$ を近似させた4乗根則 ($S \propto C^{4\sqrt{z}}$) により $S \approx CA^{0.25}$ の形で一般化させることもできる。ただし、種多様性には明瞭な緯度傾斜が存在することから、これを用いて地球規模で総種数を推定することは難しい。しかし、中規模レベルの地域を対象とする場合は、多くの研究例で高い相関が得られていることから、地域生物相の調査結果で示された種数が、そこに実在するであろう総種数のどのくらいをカバーしているかと言う種数の解明率を推定する方法としては利用可能であろう。対象とする生物群の標準化された種数・面積関係 (生物群によってパラメーターの値 C, Z が少しずつ異なる) の関係式が事前に出来ていれば、それを使って解明率、あるいは報告書の信頼度を評価することが可能であると考えている。例えば公園緑地の特定の生物相調査を実施した場合、調査の結果得られた値がその地域での標準化された回帰直線を有意に下回っていた場合には、回帰直線から示された値の差が調査の不十分さの程度を表わしているか、あるいは本当にその地点の種の豊富さが低いかのいずれかである場合が考えられるであろう。

以下に、日本のアリ群集の種数・面積関係を表示した研究例を示す。

1. 日本のアリ群集の種数・面積関係

種数と面積の関係をべき関数のモデル式 ($S = CA^Z$ ($\log S = \log C + Z \log A$); S, 種数; A, 面積; C, Z, パラメーター) へ適合させた結果を示す。n は島の数。

地域	(n)	Z	C	出典
北海道から南西諸島	-	0.19	16.41	桐谷(1984; 寺山, 私信)
北海道から九州	18	0.17	13.10	寺山(1986)
	30	0.10	20.87	寺山(1991, 1992)
九州北部島嶼+九州	12	0.16	15.85	衛藤・緒方(1983)
九州, 小笠原諸島, 南西諸島	20	0.17	13.10	緒方(1986)

伊豆諸島	9	0.18	17.74	寺山・村田(1987); 寺山・久保田(2002)
南西諸島	12	0.23	14.2	寺山・山根(1984)
	18	0.26	12.35	寺山(1986)
	20	0.26	12.99	寺山(1991, 1992); 寺山・長谷川(1992) ; 寺山・山根(1999); 寺山(2006)
南西諸島 (沖縄県)	27	0.23	19.86	寺山他(2009); 寺山他(2014)
小笠原諸島	5	0.31	11.15	寺山(1991)
	5	0.32	11.24	寺山・長谷川(1992)
本州, 四国, 九州 及びそれらの都府県	12	0.16	20.04	寺山(1986)

出典

衛藤真二・緒方一夫 (1983) 九州北部島嶼のアリ相. *Pulex*, 68: 304.

桐谷圭治 (1984) 移住する昆虫. 9. 帰化昆虫にとっての日本とは. *インセクトリウム*, 22: 327-335.

緒方一夫 (1986) 九州のアリ相. *蟻*, 14: 3.

Preston, F. W. (1948) The commonness and rarity of species. *Ecology*, 29: 254-283.

Preston, F. W. (1962) The canonical distribution of commonness and rarity. *Ecology*, 43: 185-215.

寺山 守 (1986) アリ. 桐谷圭治(編). 日本の昆虫- 侵略と攪乱の生態学-. 東海大学出版会: 43-51.

寺山 守 (1991) アリ群集における種数・面積関係. 桐朋学園女子部研究紀要, 4: 25-50.

寺山 守 (1992) 東アジアにおけるアリの群集構造 I. 地域性および種多様性. 日本生物地理学会会報, 47: 1-31.

寺山 守 (1999) アリ科. 山根正気・幾留秀一・寺山 守 (著), 南西諸島有剣ハチ・アリ類検索図説. 北海道大学出版会, 138-317.

寺山 守 (2006) 生物多様性とその測定. 関東学園大学紀要 *Liberal Arts*, 14: 29-72.

寺山 守・村田和彦 (1987) 伊豆諸島利島におけるアリ群集と植生との関連. 日本生物地理学会会報, 42: 57-63.

寺山 守・長谷川英祐 (1992) 小笠原群島のアリ相. 小笠原研究会年報, 15: 40-51.

寺山 守・久保田敏 (2002) 東京都のアリ. *蟻* (26): 1-32.

寺山 守・久保田敏・江口克之 (2014) 日本産アリ類図鑑. 朝倉書店, 278 pp.

寺山 守・高嶺英恒・久保田敏 (2009) 沖縄のアリ類. 自刊, 165 pp.

寺山 守・山根正気 (1984) 屋久島のアリー 垂直分布を中心に-. 屋久島原生自然環境保全地域調査報告書(環境庁自然保護局): 643-667.

辻井健太郎・寺山 守 (2014) 伊豆諸島の有剣膜翅類. *昆虫と自然* 49(3): 55-59.

参考 1. 植物群落内での種数・面積関係

小規模スケールとなる植物群落内でのアリ類の、数と面積の関係を検討した結果があるので、以下に要約を示す。

用いたデータは暖温帯、亜熱帯の森林 8 ケ所で、1 m²を単位に、4~8 m²までを全面掘り取り法によって種数と巣数を測定したものをを用いた。

種数と面積関係を表現するモデル式(「参考. 2」に示した)の内、広範に用いられる以下の 3 つのモデル式(Conner & McCoy, 1979; McGuinness, 1984)にデータを適合させ、適合度の検定を行なった。

i) Power Function Model (PF モデル : log species / log area model)

$$S = CA^Z \quad (\log S = \log C + Z \log A) ; S, \text{種数}; A, \text{面積}; C, Z, \text{パラメーター}$$

ii) Exponential Function Model (EF モデル : species / log area model)

$$S = G + K \log A ; S, \text{種数}; A, \text{面積}; G, K, \text{パラメーター}$$

iii) Random Placement Model (RP モデル)

$$S_s = \sum_{i=1}^{St} [1 - (1 - As/At)^{Ni}] ; Ni, i \text{番目の種の巣数}; St, \text{種数}; At, \text{面積}; As, \text{サンプルサイズ}$$

i) 式は種数と面積の関係がべき関数に、ii) 式は指数関数に適合すると言うモデル式である、iii) 式は各種の巣(一般の昆虫では個体)の分布がランダムである仮定をもとに作られた式である。

データへの適合度検定は以下の通りで、各モデル式による予測値からの実測値のずれの大きさ(Root mean square deviation (Δ))で適合度の高さを比較した。

$$i) \Delta^2(P) = 1/K' \sum_{k=1}^{K'} [S_k - CA_k^Z]^2$$

$$ii) \Delta^2(E) = 1/K' \sum_{k=1}^{K'} [S_k - G + K \log A_k]^2$$

$$iii) \Delta^2(R) = 1/K' \sum_{k=1}^{K'} [S_k - \bar{S}(\alpha_k)]^2,$$

$$\alpha = A/\sum_k A_k, \quad \bar{S}(\alpha) = S - \sum_{i=1}^S (1 - A/\sum_k A_k)^{Ni}$$

結果 : 用いた 8 データの内、4 例が EF モデルに、4 例が RP モデルに最も高く適合し、PF モデルに最適化したデータはなかった。一方、島嶼レベルでのデータでは EF モデルよりも PF モデルに最適することから(寺山, 1991)、小規模スケールのエリアと中規模スケールのエリアとでは、適用されるモデル式が異なって来る可能性を持つ。

参考文献

Conner, E. F. & E. D. McCoy (1979) The statistics and biology of the species-area relationship. Am. Nat., 113: 791-833.

McGuinness, K. A. (1984) Equations and explanations in the study of species-area curves. Biol. Rev., 59: 423-440.

参考 2. 種数・面積関係モデル式

近年, 環境調査報告書や地域生物相の調査報告書等が多く印刷されるようになって来たが, これらの調査結果による種数とその調査地域の総種数, あるいは対象とする特定生物群の所産種数のどのくらいに該当するかを推定することは, 調査精度を数値化し, さらに欠落している種数を推定するためにも重要な意味を持つ. ある地域の所産種数を推定する方法として, 1)小面積であれば, 調査面積を拡大させて行き, あるいは調査時間を増して行き, 追加して得られる種数の増加を調べる累積種数曲線(species accumulation curve)や 2)種数・面積曲線(species-area curve)からの推定, 3)個々の種の量的分布から種数個体数関係式 (例えば対数級数則や対数正規則, 負の二項級数則への当て込み)に基づく方法, 4)ジャックナイフ法やブートストラップ法を用いるノンパラメトリックな推定法等がある(Palmer, 1990; Baltarás, 1992; Gaston, 1996). 1), 3), 4)は個体数データが必要であり, いずれも大規模な地域での種数推定は不可能である. 地域の分布種リストのような種の採集データのみが存在する場合, 得られた種目録から母群集中の総種数を推定する方法は, 実質的には 2)の種数・面積関係(species-area relationship)を用いるしかないのが現状である.

表にこれまでに提出されている種数・面積関係のモデル式を示した. 1)-3)は開放型のモデル式で, 面積の増加とともに種数は増大する. ただし, 面積の最大値は陸上生態系であれば陸地面積と言う事になり実質上限が存在する. 一方, 4)-16)は閉鎖型のモデル式で標本面積が大きくなるとともに, 標本種数は一定の上限値に収束する.

表. 種数・面積関係を表現するモデル式の例. a, b, c, d: パラメーター. (Tjorve, 2003; Williamson et al., 2001; Lomolino, 2001; Scheiner, 2003 を参照: 寺山(2006)より).

モデル式の名前	モデル式	パラメーター	漸近線の 有無	グラフの 形状
1) Power function	ax^b	2	no	convex
2) Exponential function 1	$a + b \log(x)$	2	no	convex
3) Exponential function 2	$a \exp(1 + x/b)$	2	no	convex
4) Monod	$a(x/(b+x))$	2	yes	convex
5) Negative exponential	$a(1 - \exp(-bx))$	2	yes	convex
6) Asymptotic regression	$a - bc^{-x}$	3	yes	convex
7) Rational function	$(a + bx)/(1 + cx)$	3	yes	convex
8) Logistic function	$a / (1 + \exp(-bx + c))$	3	yes	sigmoid
9) Gompertz mode	$a \exp(-\exp(bx + c))$	3	yes	sigmoid
10) Extreme value function	$a(1 - \exp(-\exp(bx + c)))$	3	yes	sigmoid
11) Morgan-Mercer-Flodin	$ax^c / (b + x^c)$	3	yes	sigmoid
12) Lomolino function	$a / (1 + (b \log(c/x)))$	3	yes	sigmoid
13) Chapman-Richards	$a(1 - \exp(-bx))^c$	3	yes	sigmoid
14) Culmative Weibull distribution	$a(1 - \exp(-bx^c))$	3	yes	sigmoid
15) Kobayashi	$a(1 - (1 + x/b)^{-c})$	3	yes	sigmoid
16) Cumulative beta-P distribution	$a(1 - (1 + (x/c)^d)^{-b})$	4	yes	sigmoid

参考文献

- Baltanás, A. (1992) On the use of some methods for the estimation of species richness. *Oikos*, 65: 484-492.
- Gaston, K. J. (1996) Species richness: measure and measurement. *In* Gaston, K. J. et al. (eds.), *Biodiversity: A Biology of numbers and differences*. Blackwell Science: 77-113.
- Lomolino, M. V. (2001) The species-area relationship: new challenges for an old pattern. *Prog. Phys. Geogr.*, 25: 1-21.
- Palmer, M. W. (1990) The estimation of species richness by extrapolation. *Ecology*, 71: 1195-1198.
- Scheiner, S. M. (2003) Six types of species-area curves. *Global Ecol. & Biogeogr.*, 12: 444-447.
- 寺山 守 (2006) 生物多様性とその測定. 関東学園大学紀要, *Liberal Arts*, 14: 29-72.
- Tjorve, E. (2003) Shape and functions of species-area curves; a review of possible models. *Jour. Biogeogr.*, 30: 827-835.
- Williamson, M., K. J. Gaston & W. M. Lonsdale (2001) The species-area relationship does not have an asymptote! *Jour. Biogeogr.*, 28: 827-830.