化石群相互間の類縁関係を量的に表わす方法について

化石群相互間の類縁関係を量的に表わす方法について

黒　田　啓　介※

I　ま　え　が　き

従来の化石研究では化石群相互の類縁関係を判定するのに主として主観的方法がとられていたが，最近では次第に類縁を客観的に判定するべく数式が要求されてきた。これまでの報文の中にも簡単な数式を用いた例がいくつかあるが，それらの数式には理論と実用上にいくつかの難点があって未だ広はん（汎）な効用にまでいたっていない。このときに筆者はできるだけ合理的な数式をうるための一試案として，さきに確率論[1]を応用した類似指数[2]を紹介した。しかしこれには個体数の多少を考慮してなく，まだ実用段階ではなかったが，今回はそれを更に発展させて産出量を加味した数式を導入し得たので，類似指数を定義しなおして新たに紹介を試みたいと思う。

II　従来の諸方法

化石群相互の類縁判定に古くから用いられた方法は客観法では共通種数が一方の化石群の総種数に対して占める比率を求めるという最も単純な方式であった。しかし，この方法は坂倉[3]によっても批判された如く，化石種数の大小によって大きな誤差をもたらすので適当な方法ではない。そこで坂倉は類似率（A）を提唱し，生越[4]は類似度（r）を利用したが，概して古生物学者によるこの種の研究は乏しい。現生の生態学者によるものではJaccard の共通係数（g）[5]に始まる内外の若干の報告がある。Jaccard[5]は一つの共同体に含まれる種の総数をa，他の共同体にふくまれる種の総数をb，両共同体に共通な種の総数をcとすれば，共通係数（g）は次式で表わされるものとした。

$$g = \frac{c}{a+b} \times 100$$

坂倉[3]の類似率（A）もこれに似た数式で，比較される各化石群の種数をa，bとし，両化石群の共通種をxとすると，

$$A = \frac{x}{a+b-x} \times 100$$

※文理学部専攻生

これらの数式には各種の量の大小が考慮されていない点と，両共同体それぞれの総種数の差の大きいときは大きい方の総種数の影響が強く出過ぎる欠点がある。

そこで元村(6)(7)は種の量を考慮に入れるために相関係数の形式を利用すべきであると提案した。すなわち一方の共同体の種A，B，C，・・・，I，・・・の量をXa，Xb，Xc，・・・・・ ，Xi，・・・・とし，他方の共同体のそれをYa，Yb，Yc，・・・・・，Yi，・・・・とすると，二つの共同体の種類構成の類似度Rは次式で表わされる。

$$R = \frac{\Sigma(X-\bar{X})\ (Y-\bar{Y})}{\sqrt{\Sigma(X-\bar{X})^2\ (Y-\bar{Y})^2}}$$

一般に化石群では個体数が正規分布を示さないので，これを用いることはむしろ適切とはいえない。

Gleason (8) や Whittaker (9) 等によって発展された類似度の指数または共通種係数は各種の量を考慮している点で生物学者には比較的よく用いられているようである。一つの共同体に含まれる各種の量の合計をa，他方の共同体に含まれる各種の量の合計をb，両共同体の共通種のみについて両共同体のうち量の少ない方の値だけを合計したものをwとすれば，この指数(C)は次の通りである。

$$C = \frac{2w}{a+b} \times 100$$

化石種の個体数の大小は堆積中及びそれ以後の保存の良否に大きく支配されているから，化石群の類似を比較するのにそのままこの数式を用いることは適当と思われない，また両化石群それぞれの個体数の差が大きいときは大きい方の化石群の影響が強く現われ，特殊な種名のものが大量に出れば共通種数の大小は過小評価されてしまうことになる。このことは化石群の類縁を表わす数式がより多くの補正を考えなければならないことを意味する。

最近では生越(4)の類似度(r)があり，これは二つの化石群の共通種数をそれぞれの化石群の総種数の比率で表わし，それらの相加平均をとったものである。すなわち，それぞれの化石群の総種数をa，b，共通種数をcと

すれば，類似度(r)は

$$r = \frac{c\,(a+b)}{2ab}$$

で表わされる。この式は板倉等の数式がもつ欠点をやはり持っている。

筆者はこのような不合理を更に少くするために，生越の用いた相加平均の代りに相乗平均を使い，化石種数の大小による欠点を補正し，属名のみ記載されたものも考慮に入れて類似指数を案出してみた。

Ⅲ 類似指数の定義

類似指数（resemblance index）は二つ以上の化石群相互の類縁関係を判定する数値で，完全なる類似を示すときを100.0として基準に考え，数値は小数第一位未満を切り捨てるものとする。これを数式で説明すれば次の通りである。二つの類似関係を比べるべき各化石群の種数をそれぞれx，y（$x \geqq y$），その共通種数をr，共通属であっても共通種となるかどうか不明のものの組数をn，各組で共通種となる確率をp，量比率をkとすれば，類似指数Rは次式によって示される。

$$R = \frac{100\left(\sum_{i=1}^{r} K_i + \sum_{i=1}^{n} P_i K_i\right)\left(1 - {}_{y}C_{r}\frac{1}{2^{y}}\right)}{\sqrt{xy}} \quad \text{但し} \quad x \geqq y$$

ここで $\sum_{i=1}^{r} Ki + \sum_{i=1}^{n} = S$ とおき，Sを共通種累数（Common species cumulation），$\frac{100s}{\sqrt{xy}} = t$として，tを原類似率（primary resemblance）と呼ぶことにする。量比（quantitative proportion）は化石種の産出量の多少を次にのべる一定の条件下で採集した個体数をもとにして，abundant (A)，common (C)，few (F)，rare (R) の四段階のいずれかに当てはめ，一つの化石群中で相対的に産出量を表わす最も大きな記号を8として，次の段階を示す記号に5，以下同様に3，1の数値を与えて重みずけしたものである。一定の条件とは，一人の採集者が一露頭内（または一化石層準内）で一時間内の採集と1 lの泥土中より得た化石を整理するものとする。量比率（rate of quantitative proportion）

は二化石群間のある共通種について互に量比を比べたとき，大きい方の量比に対する小さい方のそれの比率をいう。また，$1-{}_{y}C_{r}\frac{1}{2^{y}}$ は化石群中の化石種数の大小による不合理を補正したものである。

つぎに，確率Pの求め方について附言する。Pの求め方には次の二通りがある。(1)化石群相互に属名の一致するものがあって，一方の種名だけ判っており，他方の属名がこの種と一致するかどうか不明の場合と，(2)属名が一致するだけで両方とも種名が不明の場合とであるが，今同属内にあって共通となる可能性をもつすべての種名数をmとすれば，(1)と(2)はいずれも$\frac{1}{m}$の確率となる。

n組の各確率にそれぞれ量比率を乗じて，その結果得た数値をn個総和したものは $\sum_{i=1}^{n} P_iK_i$ であり，その数値は小数第三位未満を切り捨てるものとする。

種名数mの決定法については，まずいくつかの地質時代に区分してから本邦よりこれまでにその時代に産出した化石種をもって同属内に属するすべての種名とみなすのが一般的には妥当と考えるが，産出部分によっては亜属の区別も可能の場合があるので，この時はmは亜属内に属するすべての種名に限定できる。また時代の区分は現世より古く，冲積世，洪積世，鮮新世，中新世，古第三紀，中生代と古生代の各紀を単位とするのが至当と思われるが，できるだけ細分した単位を用いる方が信頼度は増すわけである。

Ⅳ 指数の導入

1. 類似率の導入：化石群相互の類縁を数値で表わす数式をつくるには推計学の理論による方法が考えられるが，これは母集団からの任意の標本抽出ということが基本的前提であるため，抽出が任意だとは必ずしもいえない化石群の類似に応用することは適当ではないように思われる。そこで筆者はこのような類縁関係を比べるのに従来よく用いられた方法，すなわち，一方の化石群の総種数に対して占める共通種数の比率を比べる方法を基に考えを敷えん（衍）してみた。この従来の方法は二つの化石群の総種数の

差が大きいときはどちらの化石群を基準にして共通種数の割合を算出するかによってその数値にかなりの相異を生ずる欠点をもっている。従ってある一つの化石群を基準にしてこれと他の種々な化石群との類似を比較したいとき，(A)前者の総種数に対する後者との共通種数の比率を求める，(B)後者の総種数に対する前者との共通種数の比率を求める，のどちらかに統一する必要がある。しかし(A)では後者の総種数が多いものでは高率を示しやすく，(B)では後者の総種数が少いものでは高率を示しやすい。従って，この不合理は(1)(A)と(B)との総種数の和に対する共通種数の比率を求める。(2)(A)と(B)との相加平均を求める，(3)(A)と(B)との相乗平均を求める，のいずれかによって削除されなければならない。これら三方法のいずれが最も適当であるかを(A)と(B)との総種数の差が大きかった場合について実感から判断すると(1)と(2)はいずれも多い方の化石群に類似率が支配されすぎるから，(3)の相乗平均が最も適当と思われる。一方，函数論から，一般に(A)と(B)は類似率に対する独立変数と考えることができるので，それらの関係式は(A)と(B)との積の形で表わされるが，完全類似を示すときを100.0とするためにその平方根をとると，すなわち理論的にも(A)と(B)との相乗平均が得られる。それ故，二つの類似関係を比較すべき化石群の種数をそれぞれx・y（$x \geqq y$），その共通種数をrとすれば類似率R_1は次式で表わされる。

$$R1=\sqrt{\frac{100r}{x}\times\frac{100r}{y}}=\frac{100r}{\sqrt{xy}} \quad \cdots\cdots\cdot(1)$$

(1)式では$x=y=r=1$の場合も$x=y=r=10$のときも$R1=100.0$となるが，これは前者よりも後者の方が類似率が大とならなければ不合理である。この不合理には二つの化石群中で種数の少ない方の化石群の総種数に対して両化石群の共通種が占める確率によって補正を行えば合理的と考える。それ故，一つの化石群から一種の化石群をとりあげたとき，他の化石群と共通となる確率は$\frac{1}{2}$，共通とならない確率も$\frac{1}{2}$で，これをy（$\leqq x$）個の種数について検討した結果，r個の共通種が得られたとき，その確率P_rは

$$P_r={}_yC_r\left(\frac{1}{2}\right)^r\left(\frac{1}{2}\right)^{y-r}={}_yC_r\left(\frac{1}{2}\right)^y \cdots\cdots (2)$$

(2)式は類似率R1に対して負の相関をもつので．正の相関になおすと

$$P_i' = 1 - {}_yC_r\left(\frac{1}{2}\right)^y \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3)$$

(3)式を(1)式の補正項と考えることができるから，類似率R_2 は

$$R_2 = \frac{100\,r\left(1 - {}_yC_r\,\frac{1}{2^y}\right)}{\sqrt{x\,y}} \cdots\cdots \quad (4)$$

化石群相互の共通種数を求める際，これまでは種名が不明で属名のみ知られている化石種も一種として計算に入れてきたが，この方法では属名のみ知られている化石種が多い場合には必然的に両者の類似率は著しく過小の傾向をもち，また属名のみ記載されたものを全く省略して考えることも適当と思われないからである。この不合理については共通種となる可能性をもつすべての種名数に対して共通種となる確率を求めることによって補うことができる。今，共通属であることは知られていても共通種となるかどうか不明のものの組数がn組あったとして，それぞれの共通種となる確率をP_1，P_2，P_3，……… P_i ……… P_nとすれば，これらの確率の総和は

$$P_1 + P_2 + \cdots + P_i + \cdots + P_n = \sum_{i=1}^{n} P_i \cdots\cdots \quad (5)$$

(5)式を共通種rに加算することによって補正されるから，(4)式は次のように書き換えることができる。

$$R_3 = \frac{100\left(r + \sum_{i=1}^{n} P_i\right)\left(1 - {}_yC_r\,\frac{1}{2^y}\right)}{\sqrt{x\,y}} \cdots\cdots \quad (6)$$

2. 産出量を考慮した類似指数（R）：類似率R_3から産出量の多少を考慮した数式を導くにはまず産出量の表わし方を定量，定性のいずれに取扱うべきかを検討しなければならない。一般的に化石はその産出量が保存の良否に大いに支配され，当時の成育（棲息）量の地域的な差をそのまま示していない場合が往々にしてあるので，産出量を化石群相互で定量的に比べてその類縁を云々することは必ずしも適当とはいえない。生育（棲息）量の地域的な大小は一つの化石産地内での各化石種の産出量の量比にむしろ相対的に表わされていると考えられるので，定性的に取扱う方が至当であろう。定

性的な表わし方にもいろいろ考えられるが，筆者は次のような方法を採用するのが実用的だと考える。すなわち，一つの露頭内で一人の採集者が一時間内の採集と1 *l* の泥土中から得た化石を整理した結果，化石種の個体数に応じてまず仮りに次のような量比に表わすのである。（但しこの場合は植物化石を対称とする。）

産出した一化石種の個体数	産出量を表わす記号	量比
15個以上	A（abundant）	8
14～7	C（common）	5
6～3	F（few）	3
2以下	R（rare）	1

しかし一つの露頭（又は層準）からの産出量が少ない場合はA，Cが皆無のことも考えられ，これは個々保存されにくかったり，生育（棲息）しにくい場所の露頭であったがためにかかる結果を招いたものと考えるべきで，当時の成育（棲息）量がその地域一帯にそれだけ少なかったとみるのは当らない場合が多い。むしろ，これらのわずかな産出量のものは保存さえよければAやCとなる可能性が大きなものであるところから，一露頭（層準内の各種の産出量を比較した時，その中で相対的に産出量の記号の最も大きいものを量比8に当てはめるように全体に量比をずらすことが合理的と思われる。例えばある露頭内でFとRのもののみの産出量を示すものは量比をそれぞれ8，5とし，CとRだけのときはCを8，Rを3とすればよいわけである。

かくして量比が決まると，類縁関係を比べるべき二つの化石群の中の共通種数r個と共通種になる確率をもつn個の各組について，それぞれ両化石群相互の量比の大小を比率に表わして量比率とすればよい。この比率の表わし方としては次のようにする。今，一組の共通種をとりあげて，二つの化石群の量比がa，bで且つ，a≧bであるとすると，量比率kは次式で表わすことができる。

$$k=\frac{b}{a} \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (7)$$

従って，kは最大値が1，最小値が$\frac{1}{8}$となる。(6)式の共通種数r個についてそれぞれの量比率を求めてその和をとれば

$$k_1 + k_2 + \cdots + k_i + \cdots + k_r = \sum_{i=1}^{r} k_i \quad \cdots (8)$$

同様に，共通属のみ知られていて共通種となる確率を有するn個についてそれぞれの量比率を求めて確率との積をつくり，その総和を求めると

$$p_1 k_1 + P_2 k_2 + \cdots + P_i K_i + \cdots + P_n k_n = \sum_{i=1}^{n} P_i k_i \quad (9)$$

(6)式でのrの代りに(8)式，$\sum_{i=1}^{n} P_i$の代りに(9)式を用いれば，産出量を考慮した類似率が求められる筈である。この類似率をRで表わせば，つぎのように類似指数が導入できる。

$$R = \frac{100\left(\sum_{i=1}^{r} K_i + \sum_{i=1}^{n} P_i K_i\right)\left(1 - {}_yC_r \frac{1}{2^y}\right)}{\sqrt{x\ y}} \cdots (10)$$

ここで$\sum_{i=1}^{r} k_i + \sum_{i=1}^{n} P_i k_i = s$として，sを共通種累数とする。よって類似指数sを使って表わせば，

$$R = \frac{100s\left(1 - {}_yC_r \frac{1}{2^y}\right)}{\sqrt{x\ y}} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (11)$$

更に$100s/\sqrt{x\ y} = t$とおき，(11)式を書き直すと

$$R = t\left(1 - {}_yC_r \frac{1}{2^y}\right) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (12)$$

ここでtは原類似率，$1 - {}_yC_r \frac{1}{2^y}$は原類似率の補正項である。

V 補正項の採否

類似指数の誤差の範囲は小数第一位以下であるから，t，y，rの値の如何によっては補正項$1 - {}_yC_r \frac{1}{2^y}$を省略して差支えない場合が考えられる。そこで，どのような条件のもとで省略できるかを検討してみる。

誤差の範囲は0.1以下であるから，(12)式を用いて表わせば，

$$t - t\left(1 - {}_yC_r \frac{1}{2^y}\right) < 0.1$$

$t > 0$ だから $\quad {}_yC_r \dfrac{1}{2^y} < \dfrac{1}{10\,t}$ ………… (13)

y，r が小さな数であれば，(13)式を利用して簡単に属するかどうかを決定できるが，y，r が大きな数をとると，別の近似式で判定する方が有利である。

今，$r = \dfrac{y}{2} + a$ とおき，Stirlingの公式を適用すれば，

$${}_yC_r \frac{1}{2^y} \doteqdot \sqrt{\frac{2}{\pi y}}\, l^{-\frac{2a^2}{y}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (14)$$

となるから，これを(13)式に代入して書きかえると，

$$l^{-\frac{2a^2}{y}} < \frac{1}{10\,t}\sqrt{\frac{\pi y}{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (15)$$

両辺に対数をとって簡単にすると

$$a^2 > \frac{y}{08686}\,(0.902 + \log t - \frac{1}{2}\log y) \cdots\cdots (16)$$

$a = r - \dfrac{y}{2}$ であるから，(16)式に代入して整理すると，

① $r = \dfrac{y}{2}$ のとき：

$a = 0$ であるから，(15)式に代入すると

$$1 < \frac{1}{10\,t}\sqrt{\frac{\pi y}{2}}$$

$y = 2r$ >だから

$$r > \frac{100}{\pi}\,t^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (17)$$

② $r \neq \dfrac{y}{2}$ のとき：

1) $r > \dfrac{y}{2}$ のとき

$$r > \frac{y}{2} + 1.07\sqrt{y\,(0.902 + \log t - \frac{1}{2}\log y} \cdots (18)$$

2) $r<\frac{y}{2}$ のとき

$$r<\frac{y}{2}-1.07\sqrt{y\left(0.902+\log t-\frac{1}{2}\log y\right)}\cdots\cdots(19)$$

rがそれぞれ上の不等式を満足するような領域に属するときは $1-{}_yC_r\frac{1}{2}y$ の補正項は省略してよいわけである。例えば，$y=50$，$r=10$，$t=20.0$ のときを考えると，$\frac{y}{2}=25$ で r（$=10$）よりも大きいから(19)式を用い，その右辺の所定の数字を代入して計算すると16.2となり，r はこれよりも小さいから誤差範囲に入っているわけで，補正項は省略してよいことになる。また，このようなやや複雑な計算をしなくても，補正項の採否をおよそ知るために変量 t，y，r によって決定される誤差の範囲をグラフに表わしたものが附図である。このグラフで，二つの曲線に囲まれた部分は補正項の計算を省略できないことを示している。例えば，$y=60$ $r=20$ とすれば，$t=20$ のときは省略してよいが，$t=30$ のときはいけないことになる。

Ⅵ　算　出　例

次の二つの化石群は静岡市東方にある有度山の草薙泥層と呼ばれる洪積層から産する植物遺体の一部である。堆積環境は似ており，水平距離にして3㎞の隔りがあるが，植物組成の変化の様子から同層準とみなせるものである。これを例にして，類似指数を求めてみよう。

A　群

		産出量	量比
○	Abies firma S.etZ.	R	3
○	A. Veitchii LINDL.	F	5
○	Larix gmelini GORD.	F	5
○	Picea bicolor MAYR.	F	5
○	P. jezoensis CARR.var.	C	8
○	Tsuga Sieboldii CARR.	R	3
○	Chamaecyparis pisifera ENDL	R	3

		算出量	量比
△	Crataegus sp.	F	5
△	Rosa sp.	R	3
	Staphylea Bumalda S.et Z.	R	3
△	Styrax sp.	R	3
	Scirpus sp.	R	3

B 群

		算出量	量比	量比率
	Taxus cuspidata S.et Z.	F	5	
○	Abies firma S.et Z.	R	3	1
	A. homolepis S.et Z.	F	5	
○	A. Veitchii LINDL.	F	5	1
○	Larix gmelini GORD.	C	8	$\frac{5}{8}$
○	Picea dicolor MAYR.	R	3	$\frac{3}{5}$
○	P. jezoensis CARR.var.	C	8	1
	Pinus sp.	R	3	
○	Tsuga Sieboldii CARR.	R	3	1
○	Chamaecyparis pisifera ENDL.	R	3	1
	C. obtusa S.et Z.	R	3	
	Alnus hirsuta RUPR.	F	5	
	Alnus firma S.et Z.	R	3	
	Carpinus Tschonoskii MAXIM.	R	3	
△	Crataegus sp.	R	3	$\frac{3}{5}$
△	Rosa sp.	R	3	1
	Vitis sp.	R	3	
	Stewartia monadelpha S.et Z.	R	3	
△	Styrax Obassia S.et Z.	R	3	1

(1) 上表から，A群の種数は12，B群の種数は19であるが，$x \geqq y$によって$x=19$，$y=12$。

(2) 共通種数$r=7$（○印のもの）。

(3) 共通属であっても，共通種となるかどうか不明のものの組数$n=3$（△印のもの）。

(4) ◎Crataegus属は種名が不明であるが，両群のものは同一であるから$m=1$と考えて$P=1$。

◎Rosa属もこの場合同一であるから$m=1$と考えて$P=1$。

◎Styrax属は洪積世から確実に2種産出するから$m=2$で，共通種となる確率$P=\frac{1}{m}=\frac{1}{2}$。

(5) 量比率kは上表の通りである。

(6) 共通種累数$S=\sum_{i=1}^{7} k_i+\sum_{i=1}^{3} P_i k_i$

$=(1+1+\frac{5}{8}+\frac{3}{5}+1+1+1)+(1\times\frac{3}{5}+1\times1+\frac{1}{2}\times1)=8.325$

(7) 原類似率$t=\frac{100s}{\sqrt{xy}}=$

$\frac{100\times8.325}{\sqrt{19\times12}}=\frac{832.5}{15.1}=55.1$

(8) 補正項の採否を誤差曲線で決める。$y=12$，$r=7$，$t=55.1$だから補正項を省略できない。

(9) 補正項$=1-{}_{12}C_7\frac{1}{2^{12}}=1-$

$\frac{12!}{(12-7)!7!}\times\frac{1}{2^{12}}=0.805$

(10) 類似指数$R=55.1\times0.805=44.3$

Ⅶ 類似指数の応用

化石群の総種数を用いて相互の類緑を類似指数で求めるときは，少くとも地質時代，生活環境，堆積環境の三要素が混成してその類緑を表わていることに留意しなければならない。すなわち，この三要素がそろって似ているとき，高度な指数を示すわけで，地質時代と生活環境が似ていても，堆積環境が異なれば組成はかなり変ってくる場合が考えられる。従って，化石群相互の類緑判定には従来行われていたような総種数について求めるような方法以外に，堆積環境の似ている化石群間で類似指数を用いることに限定した次の方法を併用するのも，興味ある考察となるであろう。まず両化石群に記載された総種数を生活環境別に分けて，各生活環境のグループの間でそれぞれ相互の化石群の類似指数を求める。そしてその結果をスペクトル型のように表わせば，各生活環境における古生態学的類似がわか

り，ある環境グループの中で，量の少ない方の化石群の種数を重みづけたその加重平均を求めれば，時代の同時性を推定できる。或いは本指数を他の種々な対比要素に応用することに成功できれば，地層の対比そのものも客観的な数値で判定できるであろう。

VIII あとがき

類似指数がいかなる値をとった時，両化石群に類縁があると断定できるかという問題や指数の地質学的考察上の意義についての検討は今後の研究にまたねばならない。これらの諸問題の解明には過去の経験に基いた帰納法とか推計学の検定理論を応用すれば可能の筈である。

筆をおくにあたり，有益なる御助言を戴いた今村学郎博士並びに当地学教室の諸先生方に深謝する。

文献

1) Bahngrell, W.B. (1958) : Stochastic geology
Bull.Geol.Soc.Amer.Vol.69, No.12, Part2, PP.1724

2) 黒田啓介 (1958)：類似指数の適用について　地学しずはた17，PP10−16

3) 坂倉勝彦 (1935)：千葉県小櫃川流域の層序II　地質雑42−507，PP.753−784

4) 生越　忠 (1959)：千葉県君津郡富来田町当日の地蔵堂砂層から産する軟体動物化石の混合の型について　地質雑65−760，PP.31−45

5) Jaccard, P. (1901) : Etude compative de la distribution florae dans une portion des Alpes et du Jura.
Bull.Soc.Vaud.Sci.Nat. 37, PP.547−579

6) 元村　勲 (1935)：群聚の統計法に於ける相関係数の利用
生態学研究1，PP.339−341

7) 元村　勲 (1952)：相関係数による群相の比較
生態学研究13，PP. 67−71

8) Gleason, H.A. (1920) : Some applications of the quadrat method. Torrey Bot.Club.Bull. 47, PP.21−33

9) Whittaker, R.H. (1952) : A study of summer foliage insect communities in the Great Smoky Mountains.
Ecol.Monogr. 22, PP.1−44