標本抽出による群落測定*

沼田 眞**

Makoto NUMATA: The investigation of vegetation by means of sampling method—Studies on the structure of plant communities V.

§ 1. は し が き

標本抽出法、とくに小標本によつて群落調査を行う場合に注意すべき二三の問題について検討した。はじめに、いわゆる無作為抽出法¹⁾について見のがしやすいあいまいな點を注意し、しかるのちこの方法の一つの基礎になる層分け stratification につきまとう諸問題を野外のデータにもとずいて考察した。

海岸草原の半安定帯に属するかなりこじんまりとまとまつた地域(およそ $100 \times 100 \text{ m}^2$)を、主として相観によつて5つの區 stratum にわけ、そのおのおのを 1 m^2 の小さな枠 quadrat (cell) に仕切り、しかるのち、(I) その中から任意に2この抽出單位 sampling unit をえらぶ。1抽出單位は 1 m おきに連続した5この枠 plot (1 m^2 quadrat) からなる。(II) おのおのの區から 1 m^2 枠を10こづつ任意にぬく。つまり1plot からなる抽出單位を10こ無作為にとることになる。(III) 5つの區を一緒にして、全地區を 1 m^2 の枠に仕切り、その中から無作為抽出をする。以上3つの方法を用い、主として被度と密度を測度 measure として調査を行った。

野外調査は1949年8月、千葉縣長生郡東浪見村海岸砂原において行われた。この間、香取康巧、篠崎秀次、齋藤健一、小川嘉夫、高山一昭の諸君の協力をえた。なお本研究について助言を與えられた統計数理研究員白石一誠氏に對して感謝する。

§ 2. 標 本 抽 出 法

植物群落の定量的な解析法は、今世紀に入つてから急速な進展をみせた。その發端をなしたのは Pound and Clements の quadrat method²⁾ と Raunkiaer の frequency method³⁾ とであろう。以來、群落測定に用いる測度として、頻度率、被度、密度などがとりあけられ、他にも群度その他の計量化しにくいいくつかの標識が用いられた。

また一方、枠法の發展は必然的に、群落測定を標本調査 sampling survey たらしめるに至つたが、ときには du Rietz 一派のように、それが有意選出 objective choice にもとずいており、また、他の多くの場合のように無作為抽出 random sampling が標榜されても、實際には主觀的な randomization で、客觀的なそれになつていなかったことが多かつた。とい

* 日本植物學會第15回大會(名古屋)で講演した。昭和24年度文部省科學研究費交附金による研究の一部。

** 千葉大學文理學部、東京文理科大學植物學教室。

うのは、われわれが現地に調査にのぞんだ場合に、対象である群落全体の範囲、すなわち母群落 “universe” of plant community の全貌が明確にとらえられていない。枠を無作為抽出して野外調査を行うといいながらも、“全体”と対決されていない“部分”では、部分ということの論理的な意味がなくなる。結局ある場所、たまたま諸種の都合でのぞんだ場所 *a* を母群落 *A* の代表地域とみなしたうえで、*a* の中から無作為抽出をしていることが多いのである。この場合、もし *a* の選擇が正しくなければ、そこには有意選出の誤りが混入してくる。今日において林學、農學方面のいくつかの例をのぞけば、群落學的な野外調査において、原則的には、多くの場合無作為抽出法のよいことが認められてはいるが、標本枠をたんに任意に、無作為的にぬくというだけでは、ここにいう主観的無作為抽出のそしりをうけないとはいいいがたいであろう。

quadrat ということは、語源的にみても、直線ならその長さを $1/2, 1/2, \dots$ とわつていくこと、平面ならその面積を $1/4, 1/4, \dots$ とわつていくことをあらわしている。群落調査においては後者のようにして、群落の占める地積を逐次細かく分けていつて、全体の何分の一かに相當するいわゆる quadrat (統計學でいう cell) を若干個 (これが標本の大きさ N) 抽出して、それから全体を推定しようとするわけである。

§ 3. 抽出誤差による方法の比較

同一の群落を調査しようというのに、前に示した (I), (II) いずれの方法がすぐれているかを論ずるために、植被率¹⁾ (種類ごとの被度でなく、一枠中の植物被覆全体の占める百分率をこのようによぶ) を測度とし、抽出枠の植被率の平均値 $\bar{x}$ と抽出誤差 $s.e. = S/\sqrt{N}$ を算出し、なお $s.e.$ が $\bar{x}$ の何%にあたるか ($s.e. \%$ であらわす) を計算した (但し S, N はそれぞれ標本標準偏差、標本の大きさを示す)。さらに参考のため、植被率を測度として群落の均質度係数 (植被均質度係数)⁵⁾ $\cdot h = d/\bar{x}$ を算出した。

Table 1. The comparison of two methods by means of sampling error

Method	Stratum Measure	A	B	C	D	E
I	$\bar{x}^{1)}$	36.9	21.6	5.7	13.3	19.1
	$s.e.$	5.74	7.77	1.20	4.40	4.06
	$s.e. \%$	15.6	36.0	21.1	33.1	21.3
	$h^{2)}$	1.12	1.22	1.48	2.46	1.52
II	$\bar{x}$	51.0	17.4	5.2	9.5	19.4
	$s.e.$	9.15	3.55	1.77	3.70	2.67
	$s.e. \%$	17.9	20.4	34.0	38.9	13.8
	h	1.37	1.46	3.25	2.67	0.78

1) The average number of percentage of vegetational cover

2) coefficient of vegetational homogeneity

この結果 (Table 1.) からみると、抽出誤差の大きさは、主な原因として第一に植被均質度に、第二に抽出比 ($A:1/300, B:1/260, C:1/70, D:1/135, E:1/240$) にもとずくと思われる。抽出比を等しくすれば、おそらく主に植被均質度によつて抽出誤差は左右されるであろう。

群落調査において抽出誤差の大きさを 10% 程度までゆるすすれば、このような植被均質度をもつた群落において、この程度の抽出比ではいずれの方法によつて

も不十分であると思われる。しかも總括的に (I), (II) 兩方法の優劣はつけがたいことが知られるであろう。

§ 4. 層分けの良さの推定

この海岸群落の層分けにおいては、前記のように5この層(區)を區別したのであるが、果してこのような分け方がよいのであるか、または前節のごとく (I) と (II) いずれの方法がすぐれているかを判定しようというような場合に、級内相関係数⁶⁾ coefficient of interclass correlation (ρ') を利用することができるであろう。すなわち

$$\rho' = \left\{ \sigma_b^2 - \frac{\sigma_w^2}{k-1} \right\} \frac{1}{\sigma^2}, \quad -\frac{1}{k-1} \leq \rho' \leq 1$$

ここで σ_b^2 は級間分散, σ_w^2 は級内分散, σ^2 は全分散, k は級の數である。

母集團 ($A+B+C+D+E$) をいくつかの區 (family あるいは stratum) に分けたときに、その各區の中での均質の程度によつて ρ' の値がかわつてくる。すなわち 1) $\sigma_w=0, \sigma=\sigma_b$ のとき $\rho'=1$ で層分けはこのとき最高の威力を發揮する。2) $\sigma_b=0, \sigma=\sigma_w$ のときは $\rho'=-\frac{1}{k-1}$ で、集落抽出 cluster sampling の場合にはこれがもつともよいことになる。こうした見地に立つて群落調査における層分けがよく行われたか否かを論ずることができる。

相觀的に分けられた各區を stratum でなくて cluster とみなした場合、もし各構成種の組成比が母集團全體にわたつて極めて均質であるとすれば、 $A, B, C, \dots$ のいずれの區をとつても一つの代表的な cluster とすることができる。ところが実際にはかなり不均質な組成をもっているの、上記の計算によつて、層分けとして一番よいと考えられた方法は集落化として一番不適當であり、前者の良さの順位は後者の悪さの順位として現れるであろうと考えられる。なお測度としては平均被度を用いた。

そこでいま stratum あるいは cluster として、 $\overset{\circ}{1}: A, B, C, D, E; \overset{\circ}{2}: A, B+C, D+E; \overset{\circ}{3}: A, B+D, C+E; \overset{\circ}{4}: A, B+C+D+E; \overset{\circ}{5}: A/2+B+D, A/2+C+E$ の5つの grouping

Table 2. The comparison of several stratifications at a coastal vegetation by means of coefficient of interclass correlation.

Method of stratification	σ_b^2	σ_w^2	σ^2	ρ'
$\overset{\circ}{1}$	2.75	20.61	23.36	0.0197
$\overset{\circ}{2}$	3.60	27.16	30.76	0.0188
$\overset{\circ}{3}$	3.55	29.76	29.98	0.0081
$\overset{\circ}{4}$	3.96	37.23	41.20	-0.0043
$\overset{\circ}{5}$	0.03	5.96	5.97	-0.1058

σ_b^2 : variance between classeb, σ_w^2 : variance within classes, σ^2 : total variance, ρ' : coefficient of interclass correlation.

をつくつてそれらの比較を行つてみた。標本抽出によつてとらえられた構成種はクカモノハシ、オニシバ、コーボシバ、オーアレヂノギク、イガガヤツリ、ヒメクダ、チガヤ、ハマヒルガオ、ビロードテンツキ、ハマニガナの 10 種で、各区内におけるこれらの量的組成が群落全體にわたつてどの程度均質であるかをみようとするわけである。その結果は Table 2. のようになる。したがつて層分けの良さの順位は $\overset{\circ}{1} > \overset{\circ}{2} > \overset{\circ}{3} > \overset{\circ}{4} > \overset{\circ}{5}$ (集落化の良さの順位はこの逆) となり、相観にもとずいた $\overset{\circ}{1}$ の正しさが證明されたわけである。

なお前に抽出誤差によつては何ともいへなかつた (I), (II) の方法の優劣に關して、それぞれ $\overset{\circ}{1}$ の層分けを行つた場合についてみると、(I) については $\sigma_b^2 = 1.40$, $\sigma_w^2 = 15.73$, $\sigma^2 = 17.17$ で $\rho' = -0.0329$ となり、(II) の場合の $\rho' = 0.0197$ よりなり小さい。つまり (II) $\overset{\circ}{1}$ で $\rho' = 0.0197$ 程度の均質性を示しているのに、(I) $\overset{\circ}{1}$ ではそれが實情にそうように捉えられていないことになり、方法的に (II) の方がまさつていると考えられる。

§ 5. 優占種による層分け

級内相関係数は級内の類似度あるいは一様性を問題にするので、優占種であるクカモノハシだけを目安として群落の均質性の程度を測りうるかどうかが問題となる。そこで層分けは前記の $\overset{\circ}{1} \sim \overset{\circ}{4}$ の方法、標本抽出は (I) によつて調べてみると Table 3. のようになる。この結果

Table 3. The comparison of several stratifications by a dominant at a coastal vegetation.

	σ_b^2	σ_w^2	σ^2	ρ'
$\overset{\circ}{1}$	54.98	58.46	133.44	0.363
$\overset{\circ}{2}$	56.91	47.52	104.42	0.494
$\overset{\circ}{3}$	47.66	41.11	88.76	0.485
$\overset{\circ}{4}$	52.49	43.11	95.60	0.500

からみると期豫に反して、相観的な $\overset{\circ}{1}$ の方法は層分けとしては好ましくない。この 4 つの方法のうちでは $\overset{\circ}{4}$ の方法が一番すぐれており、層内の均質性を獲得しているということが出来る。層分けの良さの順位は $\overset{\circ}{4} > \overset{\circ}{2} > \overset{\circ}{3} > \overset{\circ}{1}$ である。要するに特定の優占種による層分けは必ずしも所期の目的に合致せず、やはり全構成種によつて形成された相観（ここには植被均質度の概念が含まれている）によるのが正しいと思われる。

§ 6. 變量分析による方法の比較

全地區 ($A+B+C+D+E$) を層分けせずに無作為抽出するという (III) の方法を用いるにあつて、柵 quadrat (sampling plot) の大きさを 1m^2 とし、抽出單位の構成をかえて $a \sim e$ までの諸方法を規定する (Table 4.)。抽出單位をぬくには亂數表によつて行い、柵を 2 以上とる場合には間隔を一定にして ($1 \sim 3\text{m}$)、これを連続させる。これらの方法によつて調査を行つたところ、この群落を構成する種類数は 8、方法は 5 であつて、測度には平均被度をを用いてえた結果から變量分析を行うと Table 5. のようになる。すると

$$F_0 = 10.28/7.72 = 1.33 \quad (n_1 = 4, n_2 = 28)$$

$$F_0 = 395.85/10.28 = 38.51 \quad (n_1 = 7, n_2 = 28)$$

ところで F 分布の 1% の點をみると

$$F = 4.07 \quad (n_1 = 4, n_2 = 28) \quad \therefore F_0 < F$$

$$F=3.36 \quad (n_1=7, n_2=28) \therefore F_0 > F$$

すなわち5つの方法による標本が同一の正規母集団の無作為標本であるという帰無假説は棄てられない。級間平方和は交互作用に比して有意でない。つまり方法間の差異は顯著でないことになる。ところが種の間における差は著しく、帰無假説は1%の危険率ですててよいことになる。このように方法間の變動は顯著でないことがわかったが、しかもそれらの間にどの程度の優劣があるかを average comparable variance⁷⁾ によつて比較してみると Table 4. のよう

Table 4. Number of sampling units required for a given accuracy.

	Sampling unit		Average comparable variance	Relative number of sampling units for a given accuracy
	Number of plots	Spacing in chains		
a	1		2.82	1.67
b	2	1	1.92	1.14
c	3	1	1.69	1.00
d	2	2	2.13	1.26
e	2	3	4.76	2.32

Table 5. Analysis of variance

Variance due to	Sum of squares	Degrees of freedom	Mean square
Methods	30.88	4	7.72
Species	2770.98	7	395.85
Interaction	287.92	28	10.28
Total	3089.78	39	

になり、したがつて同一の正確さをうるために右欄のような相対的な抽出數を要することとなる。かくて3つの連續枠からなる100この抽出單位は1枠からなる167この抽出單位と等しい知識を提供することになる。以上のことを頭に入れたうえで、時間と費用などの點で有利な方法をえらばよいのである。

またある特定種類の分布について検討しようとする場合、いまたたとえばオニシバの地上莖の分布をとくに密度(單位面積 1m^2)を目印として調べてみる。標本抽出は *A, B, C, D, E* の各區から2こづつの抽出單位を無作為にとり、その1單位は1mおきに連續した5この枠としたとき、枠の間の變動と抽出單位の間の變動を變量分析によつてみると、

枠間については $F_0 = 12.61$ ($n_1 = 4, n_2 = 36$) ところが $F(\alpha = 0.05, n_1 = 4, n_2 = 36) = 2.63 \therefore F_0 > F$.

抽出單位間については $F_0 = 3.53$ ($n_1 = 36, n_2 = 9$), $F(\alpha = 0.05, n_1 = 24, n_2 = 9) = 2.90$ かくして $F_0 > F$ となり、いずれもその變動は有意であるということになる。同様にして區間と枠間でみると、

區間では $F_0 = 2.43$ ($n_1 = 16, n_2 = 4$), $F(\alpha = 0.05, n_1 = 12, n_2 = 4) = 5.91$, $F(\alpha = 0.05, n_1 = 24, n_2 = 4) = 5.77 \therefore F_0 < F$.

枠間では $F_0 = 8.23$ ($n_1 = 4, n_2 = 16$), $F(\alpha = 0.05, n_1 = 4, n_2 = 16) = 3.01$ かくして $F_0 > F$.

となり、やはり枠間の變動は有意であるが、區間の差は著しくないことになる。このように連續した枠でもその變動が著しいということは、ここでのオニシバの分布の均質度が高くないことを豫想せしめ、また區間のテストからオニシバに關する限り區としては大きな差異を示さな

いのに、その中ではかなり不均質であることがわかるのである。すなわち、ここでも、ある特定種類によつて群落の均質性を論ずることの危険なことが示された。したがつて §5 においても見られたように、標本抽出のための層分けを特定種類によつて行うことは望ましくないと思われる。

Summary

1) I investigated the quantitative method analysing vegetation according to the theory of small samples.

2) It is recognized by most investigators that we ought to use the random sampling in our field survey, but we often based its method on subjective randomization.

3) Sampling error is controlled by vegetational homogeneity and sampling ratio. And I could not compare several sampling methods by means of sampling error.

4) The best stratification is the worst clusterization. Those order is expressed by coefficient of interclass correlation (ρ') and also the quality of sampling method is decided by the coefficient.

5) The stratification by means of a dominant does not coincide with the one by means of the whole physiognomy. The latter is better.

6) The significance of difference between several sampling methods is indicated by analysis of variance. Relative number of sampling units required for a given accuracy according to sampling methods is calculated from average comparable variance.

引用文献

- 1) 沼田眞：植物學雜誌 62, 35 (1949).
- 2) Pound, R. and F. E. Clements: The phytogeography of Nebraska (1898).
- 3) Raunkiaer, C.: Bot. Tidsskr. 30, 20 (1909).
- 4) 沼田眞：科學 18, 317 (1948).
- 5) 沼田眞：植物學雜誌 (印刷中)。
- 6) 畑村又好, 奥野忠一：標本調査法入門, 109 (1949)。
- 7) Johnson, F. A.: Jour. of Forest 47, 292 (1949)。