森林原野性鳥類のラインセンサス法の研究

VIII. 数量化理論による記録率の推定法

由 井 正 敏

Studies on the Linetransect Census Method of the Woodland Bird Populations

VIII. An Estimation of the Census Effectivity by Quantification (type 1) Method

Masatoshi Yui*

Abstract 1. Census effectivities of bird species so far not treated in my previous papers are analysed by quantification method, type 1, of Hayashi (1961). 2. This method predicts $\hat{Y}_i$ from $X_1, X_2, \dots, X_m$. Where $\hat{Y}_i$ (called outsider) is the census effectivity of i species given with quantitative value and $X_1, X_2, \dots, X_m$ (called items) are given with categorized ranks of each X property, such as, call note, song, body size, etc.. A value (called score) is given to each categorized rank by computer calculation so as to minimize

$$\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

where Y_i is observed and $\hat{Y}_i$ is estimated (by $\hat{Y}_i = X_1 + X_2 + \dots + X_m$) values of the census effectivity for i species. 3. In this study, four items and several categories in each item were selected as follows; 1) call: the synthetical value of strength and frequency of call note, 2) song: frequency of song syllables, 3) vegetation: forest profile which a bird inhabits or in which it was recorded in census, 4) size: the synthetical value of body size, home range size and velocity of bird's movement. 4. Category ranking of items was decided for each bird species based on these categorized items. As an exception, a vegetation category in which a bird species was mostly recorded by strong song was always given the first rank. In categorizing size item, three ranks for 50 m and two for 25 m observation radii were set. In call and song categories of some species, lower rank were selected from analytical base. 5. Computer analyses of quantification, type 1, were made and the results are shown by 50 m and 25 m observation radii. Observed Y_i and estimated $\hat{Y}_i$ census effectivities, with standard deviation σ of the difference are tabled. Observed census effectivities were calculated under standard conditions, which are: about 150 minutes after sunrise, fine weather and census speed 1.5 km per hour. Scores given to each category rank are tabled with multi-correlations coefficient R_o between Y_i and $\hat{Y}_i$. 6. In each cases, R_o was very significant (ca. 98%), and σ was rather small. Namely, 96% (= R_o^2) of variation of Y_i can be explained by these items and categories. Suppose that samples of $Y_i - \hat{Y}_i$ fit normal distribution, then 95.4% of samples should fall between $0 + 2\sigma$ and $0 - 2\sigma$. Namely, $\hat{Y}_i$ can be estimated significantly with $\pm 9.14\%$ (50 m) or $\pm 12.56\%$ (25 m) differences. In conclusion, application of quantification theory to estimation of census effectivity is considered

Received 27 November 1981

* Tohoku Branch, Forestry and Forest Products Research Institute, Shimokuriyagawa, Morioka, Iwate Pref. 020-01

to be reasonable. 7. Based on the above results, census effectivities of birds not tested before were estimated.

I. は じ め に

これまでの報告により、ラインセンサス記録率に関与する大半の要因の解析はほぼ終了し、その影響の程度と基準化法を明らかにしてきた。残された主要な問題は、未調査の鳥種の記録率をどのようにして求めるかである。日本の森林原野に生息する多数の未調査種について、1つ1つ調べていくのは容易ではない。そこで筆者は、これまでに調べた鳥種の記録率をもとに、多変量解析法の1つである数量化理論を適用して、未知の鳥種の記録率の推定ができないものかと考えた。そして種々の要因を吟味して計算したところ、ある程度満足すべき結果を得たので報告するものである。本報告を、研究当初より御指導いただいた故池田真次郎博士に捧げる。

II. 数量化理論の適用について

数量化理論は統計数理研究所の林 知己夫博士 (1959, 1961) が体系化したものであり、ここで用いるのはそのうちの数量化 I 類である。具体的に述べれば、計量値である記録率 Y を、それに関与する種々の特性 X (たとえば Song の強い弱い、体の大きい小さいなど) に適当な数値を与えて加算し予測するものである。ここで Y は外的基準、種々の特性 X はアイテム、各特性内の分類をカテゴリー、それに付与される数値をスコアという。

数量化 I 類に関する詳細な説明は専門書 (川端 1977, 市野 1974, 近藤他 1967) に譲り、ここではその手法の要点のみを述べておく。

ある鳥種 i の記録率 Y_i の予測値 $\hat{Y}_i$ を m 個のアイテムを用いて以下の式で推定する。

$$\hat{Y}_i = X_{1(i)} + X_{2(i)} + \cdots + X_{j(i)} + \cdots + X_{m(i)}$$

鳥種 i は各アイテム X_j ごとに、特定のカテゴリーに所属する。すべてのカテゴリーはある特定のスコアを与えられている。 $X_{j(i)}$ の意味は、各アイテムについて鳥種 i の所属するカテゴリーに与えられたスコアをとるということである。

各カテゴリーのスコアは

$$\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \rightarrow \min$$

が成り立つように計算によって与えられる。ここで N は記録率を調査した鳥種で、今回の解析計算に用いた数である。

総カテゴリー数を S とすると、この問題は $X_{j(i)}$ を未知数とする S 元の連立一次方程式を解くことである。ただし階数の関係で、ある1つのアイテムについてはカテゴリー数に対応する方程式を用いるが、他の $(m-1)$ 個のアイテムについては、1つのカテゴリーに対応する方程式は不要となる。ここではそれらの第1カテゴリーに対応するスコアを0として与える。予測値 $\hat{Y}_i$ のあてはまりの良否は、 Y_i と $\hat{Y}_i$ の相関で測る。これを重相関係数 R_0 と呼ぶ。

III. 解 析 の 経 過

1. アイテムとカテゴリーの設定

解析にあたってまず最初に問題となったのは、各鳥種の記録率について、どの林相で得たも

のを用いるかであった。ここで扱うすべての鳥類について、その独特の活動パターン（これは記録率に直接的に反映する）を進化定着させてきた本来の生息環境が明らかで、さらにその環境下での記録率が得られていれば良いが、実態はそうになっていない。林相構造による記録率の差異についてはすでに明らかにしてきたが（第IV報 1980）、基準となるべき各鳥種の本来の生息環境条件下にすべての記録率を修正することはまだできかねる。

したがって、ここでは林相条件も記録率に関与する1つの特性（アイテム）として扱い、従来の調査データと生息実態にもとづき、林相条件をカテゴリー化することとした。

林相条件以外で鳥種別記録率に関与する内在的な特性としては、Call 発声の強弱とその頻度、Song 発声の強弱とその頻度、および鳥体や行動圏の大きさと鳥の平均的な移動速度などが主に考えられる。

一般的に標本の大きさは最小限、総カテゴリー数の3倍は必要であるといわれている（川端 1977）。上記の各々のアイテムについてカテゴリー化するとその範囲を越えてしまう。したがってここでは予備的解析の結果をふまえて、アイテムとカテゴリーを以下のように定めた。

Call の強さと頻度をまとめて第1アイテム(Call)とし、カテゴリーは第1カテゴリーから順番に無、小、中、大、特大の5クラス、Song の強さと頻度をまとめて第2アイテム(Song)とし、カテゴリーは無、小、中、大の4クラス、第3アイテムは林相条件(Vegetation)で、カテゴリーはおおよそ第IV報(1980)に従って5クラスとした。鳥体と行動圏の大きさおよび鳥の平均的な移動速度については、それらを集めて総合勘案したものを1つのアイテムとした。これは第4アイテム(Size)となる。カテゴリーは観察半径 50 m の記録率を扱う場合、小、大の2クラス、同 25 m の場合、小、中、大の3クラスとした。観察半径 50 m と 25 m でカテゴリー数が異なったのは、予備的解析の結果その方が良い結果を得るからである。なお行動圏と体重にある程度の相関があることは Shoener (1968)、Jenkins (1981) 等が報告している。

ここで前章の説明をふまえ便宜的に、Call アイテムについては全カテゴリーにスコアを与え、他のアイテムについては各々第1カテゴリーに0のスコアを与えることとする。

なお、数量化I類の理論は $X_{j(i)}$ の加法的な効果で $\hat{Y}_i$ の変化を説明するものである。したがって本報告の解析手法は、第IV報「林相と記録率」で取扱ったような、ある要因が記録率全体に乘数的ないし定率的に影響する関係とは異なることをあらかじめことわっておく。

2. 鳥種別カテゴリー分類について

ある鳥種の各アイテムを実際どのカテゴリーに分類するかについては、予備的な解析結果を検討のうえ、以下の基準とした。

(1) Call

Table 1 に示すように、第1に発声頻度の多少でクラス分けし、上位2ランクについてはさらに発声強度で分類した。今回の解析計算の際の頻度と強度の判定は、Call 記録率そのものを裏づけ資料として一部勘案しているが、主としてフィールドの経験にもとづく相対的な区分によるものである。具体的には Table 3 にすべて示してある。

(2) Song

Table 2 に示すように、発声頻度の多少のみにもとづいて分類した。発声強度は Song の場合、観察半径 50 m 程度までは相当の密度の林でない限り、おおかたの鳥種でほぼ聞きとれる

Table 1. Category classification of Call item.

Frequency of call note	Volume of call note	Number of category	Examples of bird species	
Many	Large	5	<i>C. macrorhynchos</i>	<i>H. amaurotis</i>
	Medium	4	<i>D. kizuki</i>	<i>S. europaea</i>
	Small	4	<i>A. caudatus</i>	<i>Z. japonica</i>
Medium	Large	4	<i>G. glandarius</i>	
	Medium	3	<i>P. major</i>	<i>E. spodocephala</i>
	Small	2	<i>P. ater</i>	<i>A. hodgsoni</i>
A few		2	<i>C. diphone</i>	<i>T. chrysolaus</i>
Very few or null		1	<i>P. occipitalis</i>	<i>P. colchicus</i>

See Table 4 and 6 for abbreviation of generic names.

Table 2. Category classification of Song item.

Frequency of song note	Number of category	Examples of bird species	
Many	4	<i>C. diphone</i>	<i>E. akahige</i>
Above medium	3	<i>P. major</i>	<i>A. hodgsoni</i>
Under medium	2	<i>E. spodocephala</i>	<i>T. cardis</i>
A few	2	<i>T. chrysolaus</i>	<i>P. colchicus</i>
Null	1	<i>C. macrorhynchos</i>	<i>A. caudatus</i>

See Table 4 and 6 for abbreviation of generic names.

と判断し、影響要因には組み込まなかった。今回の解析計算の際の頻度の判定は Call の場合と同様に行った。具体的には Table 3 にすべて示してある。

(3) Vegetation

生息林相のカテゴリー区分については、第IV報 (1980) に報告した図表を用いて、Fig. 1 のように行った。本図の区分方法はおよそ上記報告にもとづくが、具体的分類 (Table 3) ではいくつかの点について、予備的解析結果をふまえ調整している。これは上記報告では単にある林相条件をもつ調査区域に生息していることをもって、その林相条件下でのその鳥種の記録率として取扱っていたわけであるが、実際には各鳥種は各調査区のある特定の林相条件を選択して生活しているのであって、画一的な区分は不都合と判断されたからである。

そうした例としては、まずアオジ、アカハラ、ヒヨドリ、コサメビタキ、モズ、エゾライチョウのように、成長林の調査区であっても林縁的な空間を主に利用して生息する鳥種である。これらについては、その成長林のカテゴリー区分より1クラス高いスコアのところに区分した。逆に富士I区のアカハラについては、マッピングデータからみて周辺のより高い樹高の林を主生息域としているので、これは1クラス低いスコアのところに区分した。また滝沢のキジについては、本来林縁草地を选好する種ではあるが、ここでは見通しの効かないブッシュ内で主に生活しているので、そのまま滝沢成長林のクラスとした。

滝沢のカワラヒワ、サンショウクイ、ハシブトガラスについては、主として目立ちやすい林分上空の飛行中に遭遇するので1クラス高いスコアのところに区分した。

旭川調査区のものは、通常第4カテゴリーに入るのであるが、その中で林内上中下層全体に

Table 3. Category ranking of bird species

Item	No. of category	Call					Song				Vegetation					Size		
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2'	2
Species	Study area																	
<i>T. bonasia</i>	A			✓			✓									✓	(✓)	
<i>P. colchicus</i>	T	✓						✓			✓						(✓)	✓
<i>S. orientalis</i>	T	(✓)	✓					✓			✓							✓
<i>C. canorus</i>	T	✓								✓	✓							✓
<i>D. major</i>	T					✓	✓				✓							✓
<i>D. kizuki</i>	T				✓		✓				✓						(✓)	✓
"	A				✓		✓								✓		(✓)	✓
<i>A. hodgsoni</i>	FI		✓				(✓)	✓				✓				✓	(✓)	
"	FII		✓						✓			✓				✓	(✓)	
<i>P. divaricatus</i>	T	(✓)	✓							✓		✓						✓
<i>H. amaurotis</i>	T					✓	✓					✓				✓	(✓)	
<i>L. bucephalus</i>	T			(✓)	✓		✓					✓				✓		
"	FI	(✓)	✓				✓						✓			✓		
"	FII		✓				✓					✓				✓		
<i>T. troglodytes</i>	S	(✓)	✓							✓	✓					✓		
<i>E. akahige</i>	S	✓								✓	✓					✓		
<i>E. cyane</i>	F, A	✓							✓		✓					✓		
<i>T. cyanurus</i>	S	(✓)	✓							✓				✓		✓		
<i>T. sibiricus</i>	F	(✓)	✓				✓								✓		(✓)	✓
<i>T. dauma</i>	T	(✓)	✓				✓				✓						(✓)	✓
<i>T. cardis</i>	T		(✓)	✓			✓				✓						(✓)	✓
<i>T. chrysolaus</i>	T	(✓)	✓				✓					✓					(✓)	✓
"	FI		✓			(✓)	✓					✓					(✓)	✓
"	FII		✓				✓					✓					(✓)	✓
"	F		✓				✓							✓			(✓)	✓
<i>C. squameiceps</i>	A		✓							✓				✓		✓		
<i>C. diphone</i>	T, FI, II	(✓)	✓							✓	✓					✓		
<i>P. borealis</i>	S	✓								✓	✓					✓		
<i>P. occipitalis</i>	A	✓								✓				✓		✓		
<i>R. regulus</i>	S			✓				✓			✓					✓		
"	A			✓				✓						✓		✓		
<i>F. narcissina</i>	T		(✓)	✓				✓			✓					✓		
"	A	(✓)	✓					✓						✓		✓		
<i>C. cyanomelana</i>	A	✓						✓						✓		✓		
<i>M. latirostris</i>	T		✓				✓					✓				✓		
"	A		✓				✓				✓					✓		
<i>T. atrocaudata</i>	T	(✓)	✓							✓	✓							✓
<i>A. caudatus</i>	T				✓		✓				✓						(✓)	✓
<i>P. palustris</i>	A			✓			✓								✓	✓		
<i>P. montanus</i>	T, S			✓			✓				✓					✓		
<i>P. ater</i>	T		✓						✓		✓					✓		
"	S		✓						✓		✓					✓		
"	A		✓						✓					✓		✓		
"	F		✓						✓						✓	✓		
<i>P. varius</i>	T			✓			✓				✓					✓		
<i>P. major</i>	T			✓					✓		✓					✓		

Table 3. (Continued)

Item	No. of Category	Call					Song				Vegetation					Size		
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2'	2
Species	Study area																	
<i>P. major</i>	A			レ					レ					レ			レ	
<i>S. europaea</i>	A				レ		レ								レ		(レ)	レ
<i>C. familiaris</i>	A			レ					レ						レ		レ	
<i>Z. japonica</i>	T				レ			レ			レ						レ	
"	F				レ		レ								レ		レ	
<i>E. cioides</i>	FI				レ		(レ)	レ					レ				レ	
"	FII				レ			レ				レ					レ	
<i>E. fucata</i>	FI	レ						(レ)	レ				レ				レ	
<i>E. spodocephala</i>	FI			レ			(レ)	レ					レ				レ	
"	FII			レ				レ				レ					レ	
"	T		レ						レ			レ					レ	
"	A			レ				レ			レ						レ	
<i>E. variabilis</i>	A		レ						レ						レ		レ	
<i>C. sinica</i>	T		(レ)	レ			レ				レ						レ	(レ)
<i>P. pyrrhula</i>	S					(レ)	(レ)				(レ)							(レ)
<i>E. personata</i>	T			レ					レ		レ						(レ)	レ
<i>S. philippensis</i>	T			レ				レ			レ						(レ)	レ
<i>G. glandarius</i>	T			(レ)	レ		レ				レ						(レ)	レ
<i>C. macrorhynchos</i>	T					レ	レ					レ						レ

Note: Abbreviations of study area are as follows. T: Takizawa, S: Shiga, A: Asahikawa,

F: Fuji stratified forest, FI: Fuji lower young forest, FII: Fuji higher young forest.

(レ) indicates category rank 25 m observation radius.

2' indicates middle rank in 25 m observation radius.

See Table 4 and 6 for abbreviation of generic names.

わたって常時生活するようなもの（コゲラ、キバシリ、ゴジュウカラ、ハシブトガラ、クロジ）については、林分による視聴覚のシャ断がより強いと思われるので1クラス下げた。同様に志賀調査区のもは、通常滝沢と同じ第1カテゴリーに属するが、林内全層にわたり、しかも比較的密な部分に生活するルリビタキは第4カテゴリーとした。

なお、ウグイス、メボソムシクイ、コルリなど主に強い Song で記録される種は、林相の影響がほとんどないと考え、便宜的に第1カテゴリー（スコア0）に区分した。その点センダイムシクイについては、Song 強度がそれらよりやや劣り、しかも林内全層で活動していることから第4カテゴリーとした。

(4) Size

観察半径 50 m の2カテゴリーの場合、主としてスズメクラスかツグミクラス以上かで区分したが、それ以外に移動のパターンやこれまでのマッピングデータなども比較勘案して、Table 3 のように分類した。

観察半径 25 m の3カテゴリーの場合は、まず同 50 m の大クラスのうち、各種要因を考慮して近縁の他種よりさらに上のクラスに属すると思われるものを大クラス、残りを中クラス(2')とした。次に 50 m の小クラスのうちでヒヨドリ、カワラヒワ、ビンズイについて、前者は体の大きさ、後2者は行動圏の大きさを考慮して中クラスに上げ、残りを小クラスとした。

Fig. 1. Category classification of Vegetation item. The category rank of a species of the forest edge of mature forest slides one block to the left. In Shiga and Asahikawa, the rank of a species of dense forest and uses all layers slides one block to the right.

具体的には Table 3 にすべて示してある。

(5) カテゴリー分類の例外 (Call and Song)

予備的解析のなかで、上に示したような分類基準のままでは良好な結果を期待できないケースが出てきたので、それらについては以下に述べるように処理することとした。

第V報「観察半径と記録率」(1980)のTable 2に明らかのように、半径 50 m と比べた同 25 m の相対記録率は、100 前後から 150 前後まで様々である。このバラツキには主として Call 記録率が関与していると考えられるが、本項に示したカテゴリー区分では、そのバラツキを含めた数量化解析に対応できない。

Call の各カテゴリーに付与されるスコアは、半径 25 m の場合平均的な記録率が上昇することもあるが、50 m のときより高くなるが、その場合 25 m の相対記録率が 100 前後のものでは、半径 25 m の記録率の予測値 $\hat{Y}_i$ が大きくなりすぎてしまう。そこで便宜的に相対記録率 112 以下の鳥種については、半径 25 m の記録率の予測の際、Call のカテゴリー分類を 1 クラス下げることとした。

ただし富士第I区のように、相対記録率は 100 前後が多くても、背丈より低い林相でもともと関係する鳥種の記録率が高いような条件の場合はまた別の修正が必要である。この場合には、開けた環境では鳥が観察者に反応して、25 m 内の Song は減少すると考えて、Song のカテゴリー分類を 1 クラス下げることとし、Call の分類はそのままとした。なお、Call, Song とともに、もともと最少のスコアのクラスに分類されているものは、それ以上下がらない。

次にたとえば、滝沢のアオジのように、他地域に比べ Song 記録の比率が高く、一方 Call 記録率は相対的に低下するようなことがある。このような時は、Song のカテゴリー分類を 1 クラス上げ、逆に Call を 1 クラス下げるといった操作も必要となる。その場合、何を基準に分類を変更するかであるが、ここでは後に示される数量化の計算結果の中で Song と Call の各カテゴリーに付与されたスコアの比と、野外で得たデータの Song と Call の記録数比をその鳥種について比較して、より実態に近いランクへ分類しなおすのが良いと考えられる。

そのような実態をふまえてカテゴリー分類を変更したのは、滝沢のキビタキの Call の 1 クラス格上げ、富士のメジロの Song の 1 クラス格下げがある。

その他、Song, Call 以外で鳥が出す音を考慮して、Call のランクを 1 つ上げた例がある。それはキジバトの羽ばたき（とそれによる目撃）、アカゲラ、コゲラの本を叩く音（とそれによる目撃）である。また滝沢のモズのように、センサス路が常にその生息域の真中を通る場合は、その警戒行動が非常に激しくなるので、Call を第 4 カテゴリーまで 2 ランク上げた。

今回の解析における カテゴリー分類の基準は以上のとおりであり、分類結果は Table 3 に示した。この表を反応パターン表と言う。観察半径 25m の記録率を扱う場合の、カテゴリーの変更部分は（レ）印で表わしてある。

未調査の鳥種の記録率を予測する際のカテゴリー区分は、Tables 1, 2 の分類基準や Table 3 における類縁関係および野外のデータや経験にもとづいて、ほぼ判定できると考える。

IV. 数量化計算の結果

数度の子備的計算と修正の手続きを経て、最終的に数量化 I 類の計算を行い、以下に示すような結果を得た。なお、この計算は東北農業試験場の端末と農林ライブラリーを使用して、筑波の農林水産研究センターの大型コンピュータ ACOS 800 で実行したものである。

1. 観察半径 50 m の記録率の予測

観察半径 50 m の記録率のサンプル 64 個を用いて行った数量化計算の結果を Tables 4, 5 に示す。

Table 4 は、調査して得た記録率 Y_i (ACTUAL Y と記す) と計算の結果各カテゴリーに付与されたスコアを鳥種ごとにカテゴリー区分にもとづいて合計した予測値 $\hat{Y}_i$ (EST. Y と

Table 4. Observed and estimated census effectivities, and their differences in 50 m observation radius. σ =standard deviation

Species	Study area	ACTUAL Y	EST. Y	DIFF. Y
<i>Tetrastes bonasia</i>	A	61.50	64.16	-2.66
<i>Phasianus colchicus</i>	T	44.20	44.19	0.01
<i>Streptopelia orientalis</i>	T	58.40	57.80	0.60
<i>Cuculus canorus</i>	T	94.60	101.08	-6.48
<i>Dendrocygus major</i>	T	153.50	158.01	-4.51
<i>D. kizuki</i>	T	104.60	108.06	-3.46
"	A	86.10	84.59	1.51
<i>Anthus hodgsoni</i>	FI	105.90	104.28	1.62
"	FII	84.10	82.67	1.43
<i>Pericrocotus divaricatus</i>	T	118.40	119.86	-1.46
<i>Hypsipetes amaurotis</i>	T	150.30	150.91	-0.61
<i>Lanius bucephalus</i>	T	96.10	100.96	-4.86
"	FI	50.30	53.79	-3.49
"	FII	36.60	32.18	4.42
<i>Troglodytes troglodytes</i>	S	114.10	102.41	11.69
<i>Erithacus akahige</i>	S	93.80	88.80	5.00
<i>E. cyane</i>	F, A	60.50	63.89	-3.39

Table 4. (Continued)

Species	Study area	ACTUAL <i>Y</i>	EST. <i>Y</i>	DIFF. <i>Y</i>
<i>Tarsiger cyanurus</i>	S	82.40	90.69	-8.29
<i>Turdus sibiricus</i>	F	33.90	34.33	-0.43
<i>T. dauma</i>	T	55.30	57.80	-2.50
<i>T. cardis</i>	T	97.50	94.95	2.55
<i>T. chrysolaus</i>	T	68.00	62.97	5.03
"	FI	65.70	62.97	2.73
"	FII	53.70	62.97	-9.27
"	F	49.70	46.07	3.63
<i>Cettia squameiceps</i>	A	86.50	90.69	-4.19
<i>C. diphone</i>	T, FI, II	98.20	102.41	-4.21
<i>Phylloscopus borealis</i>	S	90.20	88.80	1.40
<i>P. occipitalis</i>	A	81.70	77.08	4.62
<i>Regulus regulus</i>	S	123.40	114.65	8.75
"	A	108.60	102.93	5.67
<i>Ficedula narcissina</i>	T	101.50	114.65	-13.15
"	A	65.90	65.78	0.12
<i>Cyanoptila cyanomelana</i>	A	51.00	52.17	-1.17
<i>Muscicapa latirostris</i>	T	51.60	50.70	0.90
"	A	44.60	45.52	-0.92
<i>Terpsiphone atrocaudata</i>	T	116.60	114.69	1.91
<i>Aegithalos caudatus</i>	T	113.20	108.06	5.14
<i>Parus palustris</i>	A	56.70	59.21	-2.51
<i>P. montanus</i>	T, S	88.00	82.67	5.33
<i>P. ater</i>	T	77.60	77.50	0.10
"	S	77.40	77.50	-0.10
"	A	63.20	65.78	-2.58
"	F	48.60	54.04	-5.44
<i>P. varius</i>	T	81.70	82.67	-0.97
<i>P. major</i>	T	108.90	114.65	-5.75
"	A	105.10	102.93	2.17
<i>Sitta europaea</i>	A	83.50	84.59	-1.09
<i>Certhia familiaris</i>	A	92.60	91.18	1.42
<i>Zosterops japonica</i>	T	116.60	114.30	2.30
"	F	76.40	72.32	4.08
<i>Emberiza cioides</i>	FI	144.50	141.08	3.42
"	FII	108.70	119.47	-10.77
<i>E. fucata</i>	FI	105.00	104.28	0.72
<i>E. spodocephala</i>	FI	107.20	109.46	-2.26
"	FII	93.00	87.85	5.15
"	T	88.20	82.67	5.53
"	A	85.00	82.67	2.33
<i>E. variabilis</i>	A	56.50	54.04	2.46
<i>Carduelis sinica</i>	T	66.00	69.33	-3.33
<i>Eophona personata</i>	T	128.50	126.92	1.58
<i>Sturnus philippensis</i>	T	90.60	94.95	-4.35
<i>Garrulus glandarius</i>	T	111.80	108.06	3.74
<i>Corvus macrorhynchos</i>	T	168.30	163.18	5.12

 $\sigma = 4.5699$

Table 5. Category score and R_0 in the case of 50 m observing radius.

Item	No. of category	Score
Call	1	13.3973
	2	27.0076
	3	64.1556
	4	95.7843
	5	145.7344
Song	1	0
	2	18.5158
	3	50.4927
	4	75.4037
Vegetation	1	0
	2	5.1738
	3	26.7840
	4	-11.7232
	5	-23.4651
Size	1	0
	2	12.2746

$$R_0 = 0.98013$$

記す), および誤差 ($Y_i - \hat{Y}_i$) とその標準偏差 σ を示してある。Table 5 は各アイテムの各カテゴリーに付与されたスコア (これをスコア表という) と重相関係数 R_0 (Y_i と $\hat{Y}_i$ の) を示してある。

なお, この計算では異常に高い記録率を得たウソ (237.0%) を除いてある。またミソサザイについては, 当初のテリトリー数の判定にミスがあったので, 記録率を再計算してこの解析に用いた (144.6→114.1%)。

重相関係数 R_0 は約 0.98 と非常に高く, 寄与率 (この計算に設定適用したアイテム, カテゴリー区分が記録率の変化を説明する割合で R_0^2 で求められる) は 96.07% となり, 記録率推定のための数量化は十分満足な結果を得たと言えよう。誤差の標準偏差 σ は 4.57 であり, 誤差の分布を正規分布と仮定すれば, $0 \pm 2\sigma$ の範囲に 95.4% の標本が入

Table 6. Observed and estimated census effectivities and their differences in 25 m observation radius. σ =standard deviation

Species	Study area	ACTUAL Y	EST. Y	DIFF. Y
<i>Tetrastes bonasia</i>	A	123.00	119.37	3.63
<i>Phasianus colchicus</i>	T	50.80	57.66	-6.86
<i>Streptopelia orientalis</i>	T	65.20	66.06	-0.86
<i>Cuculus canorus</i>	T	104.50	111.48	-6.98
<i>Dendrocopos major</i>	T	190.50	197.71	-7.21
<i>D. kizuki</i>	T	151.40	153.21	-1.81
"	A	124.60	123.53	1.07
<i>Anthus hodgsoni</i>	FI	110.30	112.83	-2.53
"	FII	114.10	108.73	5.37
<i>Pericrocotus divaricatus</i>	T	121.50	116.36	5.14
<i>Hypsipetes amaurotis</i>	T	193.60	194.19	-0.59
<i>Lanius bucephalus</i>	T	98.40	106.20	-7.80
"	FI	51.50	44.25	7.25
"	FII	49.90	51.08	-1.18
<i>Troglodytes troglodytes</i>	S	81.10	85.05	-3.95
<i>Erithacus akahige</i>	S	87.50	85.05	2.45
<i>E. cyane</i>	F, A	51.70	63.41	-11.71
<i>Tarsiger cyanurus</i>	S	69.80	73.46	-3.66
<i>Turdus sibiricus</i>	F	22.60	27.97	-5.37
<i>T. dauma</i>	T	54.20	57.66	-3.46
<i>T. cardis</i>	T	92.30	84.17	8.13
<i>T. chrysolaus</i>	T	73.40	62.54	10.86

Table 6. (Continued)

Species	Study area	ACTUAL <i>Y</i>	EST. <i>Y</i>	DIFF. <i>Y</i>
<i>Turdus sibiricus</i>	FI	70.90	69.12	1.78
"	FII	77.40	89.05	-11.65
"	F	71.60	72.58	-0.98
<i>Cettia squameiceps</i>	A	98.20	99.97	-1.77
<i>C. diphone</i>	T, FI, II	86.30	85.05	1.25
<i>Phylloscopus borealis</i>	S	93.20	85.05	8.15
<i>P. occipitalis</i>	A	70.70	73.46	-2.76
<i>Regulus regulus</i>	S	153.50	145.04	8.46
"	A	135.10	133.45	1.65
<i>Ficedula narcissina</i>	T	92.80	89.92	2.88
"	A	60.20	51.82	8.38
<i>Muscicapa latirostris</i>	T	75.20	71.01	4.19
"	A	65.00	66.13	-1.13
<i>Terpsiphone atrocaudata</i>	T	113.60	111.48	2.12
<i>Aegithalos caudatus</i>	T	145.50	153.21	-7.71
<i>Parus palustris</i>	A	85.80	91.57	-5.77
<i>P. montanus</i>	T, S	124.70	121.26	3.44
<i>P. ater</i>	T	87.50	89.92	-2.42
"	S	87.20	89.92	-2.72
"	A	71.20	78.33	-7.13
"	F	54.80	60.23	-5.43
<i>P. varius</i>	T	119.00	121.26	-2.26
<i>P. major</i>	T	144.70	145.04	-0.34
"	A	139.70	133.45	6.25
<i>Sitta europaea</i>	A	135.50	123.53	11.97
<i>Certhia familiaris</i>	A	107.80	115.35	-7.55
<i>Zosterops japonica</i>	T	171.30	155.11	16.19
"	S	112.20	105.49	6.71
<i>Emberiza cioides</i>	FI	147.10	159.74	-12.64
"	FII	146.20	159.98	-13.78
<i>E. fucata</i>	FI	90.00	90.69	-0.69
<i>E. spodocephala</i>	FI	126.60	125.89	0.71
"	FII	130.80	126.13	4.67
"	T	104.20	94.79	9.41
"	A	119.50	121.26	-1.76
<i>E. variabilis</i>	A	64.60	60.23	4.37
<i>Carduelis sinica</i>	T	70.60	69.12	1.48
<i>Pyrrhula pyrrhula</i>	S	205.50	197.71	7.79
<i>Eophona personata</i>	T	161.50	163.08	-1.58
<i>Sturnus philippensis</i>	T	141.00	139.29	1.71
<i>Garrulus glandarius</i>	T	115.90	119.37	-3.47

 $\sigma = 6.2839$

るので (近藤他 1967, p. 25), 記録率は $4.57 \times 2 = 9.14 \pm \%$ で推定されることになる。記録率の予測値の単純平均は 87.22% であり, $9.14/87.22 = 10.45\%$ となって, 記録率は相対誤差率 10% 程度内で予測されると言えよう。

2. 観察半径 25 m の記録率の予測

観察半径 25 m の記録率のサンプル 63 個を用いて行った数量化計算の結果を Tables 6, 7

Table 7. Category score and R_0 in 25 m observation radius.

Item	No. of category	Score
Call	1	19.6928
	2	46.2023
	3	101.3266
	4	135.1765
	5	171.2710
Song	1	0
	2	19.9293
	3	43.7145
	4	65.3552
Vegetation	1	0
	2	4.8770
	3	24.5605
	4	-11.5912
	5	-29.6871
Size	1	0
	2'	18.0383
	2	26.4358

$$R_0 = 0.97912$$

に示す。その内容は前項と同じである。この計算の際にはウソは含めてあるが、異常な記録率を示したハシブトガラス (263.9%) とオオルリ (28.2%) は除いた。

重相関係数 R_0 は 50 m の場合と同様約 0.98 で、寄与率 95.87% と、これも数量化は十分成功したと言える。 $0 \pm 2\sigma$ は $6.28 \times 2 = 12.56 \pm \%$ で、予測値の単純平均 104.00% で割った値は 12.08%, つまり半径 50 m の場合よりは劣るが、記録率は相対誤差率 12% 程度内で予測できることとなる。

V. 考 察

今回の数量化解析は、カテゴリー区分の判定がやや繁雑ではあるが、結果の有意性からみて、本法適用の有効性が確認されたものと言えよう。カテゴリー区分についてはより客観的な判定基準 (たとえば Call, Song の発声強度の実測や平均的な発声頻度の測定などによる分類) が確立されることが望ましいが、

Ⅲ章の最後に述べたように、Table 3 (反応パターン表) の類縁関係や野外の経験を踏まえれば、妥当なカテゴリー区分の判定ができるものと考ええる。なお Table 3 の近縁種間で比較してみると、Call と Song は各々比較的近傍にランクづけされており、たとえば Call, Song の両方とも近縁の他種より高いスコアのカテゴリーにクラス分けされることはほとんどないということがわかる。

今回の解析手法では第Ⅲ章 1 の最後にふれたように、林相条件の影響は加法的な形をとる。ただし Table 5 の Vegetation アイテムのカテゴリースコアについて、予測記録率の平均値 87.22% に対する割合を計算すると、第Ⅳ報 Table 2 で示した林相別記録率の相対差とそれほど変らない値を得る。つまり今回の解析手法での林相条件による記録率の差は、平均的に見れば第Ⅳ報の結果とほぼ同値で矛盾していないと言える。しかし林相条件は、Call, Visual やごく弱い Song 記録には定率的に影響すると考えるのが妥当であり、林相条件の影響の正しい修正は第Ⅳ報 Table 2 の結果にもとづくべきと考えられ、本報の扱いは記録率の数量化予測に関連した便宜的なものと解するべきであろう。

Tables 4, 6 の計算で一部除外されたウソ、ハシブトガラス、オオルリの記録率については、調査の際の対象なわばり数が少なかったため (2 つがい前後) の誤差も関与していると考えられる。オオルリの場合にはさらに、観察半径を 25 m にすると、溪谷の対岸の記録がほとんど入らなくなるようなことも関係すると思われる。

最後にこれまでの解析結果を用いて、記録率の未調査の鳥種の記録率を予測してみる。未調査の鳥種が通常生息すると思われる林相条件とその他のアイテムのカテゴリーを推測して、反

Table 8. Examples of estimation of the census effectivity.

Item	Call					Song				Vegetation				Size		EST. Y	
No. of Category	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1		2
<i>Species</i>																	
<i>Accipiter nisus</i>	✓					✓					✓				✓	30.8	
<i>Lagopus mutus</i>		✓				✓					✓→				✓	32.2	
<i>Bambusicola thoracica</i>		✓						✓		✓					✓	77.5	
<i>Phasianus soemmerringii</i>	←✓					✓							✓		✓	27.6	
<i>Sphenurus sieboldii</i>	✓						✓							←✓	✓	17.4	
<i>Picus awokera</i>					✓	✓				✓					✓	153.5	
<i>Motacilla cinerea</i>				✓			✓				✓				✓	131.7	
<i>Cinclus pallasii</i>			✓				✓			✓					✓	95.0	
<i>Prunella collaris</i>			✓				✓					✓			✓	121.7	
<i>Prunella rubida</i>		✓						✓				✓			✓	104.3	
<i>Erithacus calliope</i>	✓							✓				✓			✓	90.7	
<i>Saxicola torquata</i>		✓→						✓				✓			✓	104.3	
<i>Acrocephalus</i>																	
<i>arundinaceus</i>		✓							✓		✓				✓	107.6	
<i>Phylloscopus tenellipes</i>	✓								✓	✓					✓	88.8	
<i>Emberiza sulphurata</i>		✓						✓		✓					✓	77.5	
<i>Uragus sibiricus</i>				✓			✓				✓				✓	119.5	
<i>Cyanopica cyana</i>					✓	✓					✓				✓	163.2	
<i>Nucifraga</i>																	
<i>caryocatactes</i>				✓		✓					✓				✓	113.2	
<i>Corvus corone</i>					✓	✓					✓				✓	184.8	
<i>Passer montanus</i>				✓		✓					←✓→				✓	101.0	
<i>Hirundo rustica</i>			✓				✓				←✓→				✓	100.1	
<i>Sturnus cineraceus</i>				✓		✓					←✓→				✓	113.2	

応パターン表を作れば Table 8 のようになる。同表内の矢印は条件によっては近接のカテゴリーに変る可能性を示す。観察半径 50 m では、Table 5 を用いて各鳥種のカテゴリーの対応スコアを合計すると、Table 8 右欄の数値となり、これが予測記録率である。

繁殖期には主として人家周辺に生息する、スズメ、ツバメ、ムクドリについて、Vegetation のカテゴリーを仮に第 2 カテゴリー（森林でもないし、背の低い草原でもないことから）として、記録率をあえて予測すれば Table 8 下欄のようになる。

このようにして予測した記録率は、あくまで筆者の記録率レベルのものであり、観察者が異なれば実際の値は変化する。しかし、第Ⅲ報「観察者条件と記録率」（1980）で述べたように、観察者間で個々の鳥種の記録率がばらばらに異なってくるわけではなく、普通的能力をもつ観察者間ではせいぜい ±10% 程度の一定方向のレベル差が出てくるだけである。

鳥類群集の優占度構成を見るだけであれば、本報告による予測記録率で記録個体数を修正すれば、かなり正確な把握が可能であろう。

摘 要

1. ラインセンサス法の研究の第Ⅷ報として、本報告では未調査の鳥種の記録率を、多変量解析手法の 1 つである数量化 I 類を用いて推定する方法を明らかにした。

2. 記録率の変化に関与する特性（アイテム）として、① Call の頻度と強弱、② Song の頻度、③ 林相条件、④ 鳥体や行動圏の大きさないし移動速度の 4 つを取り出し、各々を 2~5 個のカテゴリーに分類した。

3. 実際のカテゴリー区分は野外の観察経験にもとづき Fig. 1, Tables 1, 2 を用いたり、Table 3 の類縁関係から判定する。それらにはいくつかの例外規定が含まれる。

4. 既往の調査で得た 63~64 個のサンプルについてカテゴリー区分し (Table 3), 大型計算機で数量化 I 類の計算を行なった結果、観察半径 50 m および同 25 m の場合とも、非常に説明力のあるスコア表 (Tables 5, 7) を得ることができた。

5. 実測と予測した記録率 (Tables 4, 6) の重相関係数は 98% と高く、誤差の標準偏差もごく小さい。この結果、未知の鳥種の記録率は相対誤差率 10% 前後で推定する可能性が得られ、記録率推定のための数量化は成功したと言える。

6. この結果を用いて、いくつかの未調査の鳥種の記録率を推定したところ、Table 8 のような結果を得た。

引 用 文 献

- 林知己夫 1959. 数量化と予測に関する根本概念. 統計数理研究所彙報 7. 1.
 Hayashi, C. 1961. Sample survey and theory of Quantifications. Bull. Int. Statist. Inst. 38, IV.
 市野省三 1974. 多変量解析のはなし (3) 数量化理論第 I 類. 統計 昭和 49 年 1 月号: 44-54.
 Jenkins, S. H. 1981. Common patterns in home range-body size relationships of birds and mammals. The American Naturalist 118: 126-128.
 川端幸蔵 1977. 林業試験場電算機プログラミング報告 (5) 数量化 I 型. 林試研報 (288): 1-54.
 近藤良夫他 1967. 技術者のための統計的方法. 共立出版: 658 pp.
 Shoener, T. W. 1968. Sizes of feeding territories among birds. Ecology 49: 123-141.
 由井正敏 1980. 森林原野性鳥類のラインセンサス法の研究Ⅲ 観察者条件と記録率. 山階鳥研報 12: 7-13.
 ——— 1980. 同上Ⅳ 林相と記録率. 同上 12: 79-84.
 ——— 1980. 同上Ⅴ 観察半径と記録率. 同上 12: 85-94.

由井正敏: 林業試験場東北支場. 〒020-01 盛岡市下厨川字鍋屋敷 72.