

## 水田におけるスクミリングガイの密度推定：最適なコードラート面積の決定と、コードラート法，ライントランセクト法，マーキング法による推定密度の比較

市瀬 克也

(九州農業試験場)

**The optimal quadrat size for estimation of density of the golden apple snail, *Pomacea canaliculata*, in paddy field and comparison in usefulness between the quadrat, line transect and marking methods.** Katsuya ICHINOSE (Kyushu National Agricultural Experiment Station, Suya 2421, Nishigosi, Kumamoto 861-1192)

Density of the golden apple snail, *Pomacea canaliculata* (LAMARCK), was estimated in a paddy field by the quadrat method using quadrats of four sizes:  $0.5 \times 0.5$  m,  $1 \times 1$  m,  $1.5 \times 1.5$  m, and  $2 \times 2$  m. WIEGERT's and HENDRICKS' methods supported the quadrats of  $2.0 \times 2.0$  m and that of 2.63 square metres as the optima, respectively. A line transect 2 m long and 0.315 m wide and the JOLLY-SEBER marking method with traps were used to estimate snail density and their usefulness was compared with the quadrat method. The line transect method was more efficient than the quadrat method for the estimation of the density. The JOLLY-SEBER marking method provided estimates of snail density similar the quadrat method, but the 95% confidence intervals of the means for the former method were generally wider than those for the latter. It is suggested that the marking method can be substituted for the quadrat method, although the estimate will be conservative to some degree.

**Key words:** density, golden apple snail, JOLLY-SEBER, line transect, quadrat

生態学の研究において、対象となる生物の密度の推定は、極めて基本的かつ重要である。そのために、さまざまな密度推定法が考えられてきた (SOUTHWOOD, 1978; KREBS, 1989)。用いる方法は、扱う生物種、推定の目的、調査条件等により決定される。スクミリングガイの密度はコードラート法により推定されてきたが、コードラートの大きさは研究者により異なっている (例えば、平井ら, 1986; 近藤・田中, 1991; 大矢ら, 1987; 小沢・牧野, 1988; 矢野ら, 1990)。それらの報告では、コードラート面積と推定効率・精度との関係について検討されていない。そこでコードラートの最適な大きさを、WIEGERT 法と HENDRICKS 法 (KREBS, 1989) により求めた。さらに、ライントランセクト法とマーキング法による貝の推定密度を、コードラート法による推定密度と比較することにより、各方法間の推定効率と精度の違いを評価した。またこの評価をもとに、これらの方法の

適切な利用条件を検討した。

本研究のため、水田での調査を許可して頂いた菊池市の宮川竜二氏と七城町の原誠一氏に厚く御礼申し上げる。

### 材料および方法

#### 1. 最適コードラート面積の決定

貝密度推定のためのコードラートの最適な大きさを、WIEGERT 法と HENDRICKS 法 (KREBS, 1989) により求めた。

WIEGERT 法では、コードラートの大きさごとに推定密度の分散を計算し、最小の分散を 1 として、他の分散をその比 ( $V_r$ ) で表す。調査時に測定した調査コスト (コードラートの設置時間と各コードラート内での調査時間の和) の平均について、密度と同様、最小値に対する比 ( $C_r$ ) で表す。各大きさについて、 $V_r$  と  $C_r$  の積を計算し、 $V_r C_r$  が最小となるコードラートの面積を最適

とする。

HENDRICKS 法では、コードラート面積と調査コストの分散を対数変換し、それぞれを  $x, y$  変数とし、最小二乗法により直線回帰式を求める。この式の傾きの絶対値を  $a$  とすると、求める最適なコードラートの面積  $\hat{A}$  は、

$$\hat{A} = \frac{a}{1-a} \times \frac{C_0}{C_x} \quad (1)$$

で与えられる。 $C_0$  と  $C_x$  はそれぞれ、調査地点に到達するまでの時間と、 $1 \text{ m}^2$  のコードラートを設置するための時間である。本調査においては、それぞれ平均33秒と12秒であったので、(1) 式は、

$$\hat{A} = 2.75 \times \frac{a}{1-a} \quad (1)'$$

となる。

熊本県菊池市の98×37mの水田（以降水田1）で、1998年6月16, 17, 18日に貝密度の調査をした。短期間の調査としたのは、調査期間の延長による植生の変化と貝の成長によって、貝の発見率及び調査コストが変化する可能性を避けるためである。設定したコードラートは、一辺が0.5, 1.0, 1.5, 2.0mの4種の正方形で、各10枚とした。各コードラート内で採集した貝の数 ( $n$ ) をコードラートの面積 ( $s$ ) で割り ( $= n/s$ )、密度を推定した。

水田1では、貝の微小棲息場所として、平均的な水田の水底（水深3-5cm）、水田内にできた人の足跡などの窪み（水深10cm以深）、稲株、の3つを区別した。各場所の占有面積とそこの貝の数を、1.6×1.6mのコードラート（5枚設定）内で、6月18日に調査した。この5つのコードラートの結果を合計し、各3つの微小棲息場所の面積の比とそれぞれで得られた貝の数の比について、G検定 (SOKAL and ROHLF, 1981) により検定した。

## 2. ライトランセクト法による密度推定

水田1で、コードラート法の調査と同期間に、巾31.5cmのざる（網目2mm）を用いて水田の泥を深さ約3cm長さ2mにわたりしゃくりとるライトランセクト法によって、貝密度の推定をした。この方法による密度推定式は、

$$n/2aL \quad (2)$$

である (SOUTHWOOD, 1978)。  $n$  は貝の数、  $L$  は線の長

さ ( $= 2 \text{ m}$ )、  $2a$  は線の有効巾 ( $= 0.315 \text{ m}$ ) である。設定した10本のラインの貝密度の分散と調査コストの平均を計算し、コードラート法と比較した。

## 3. トラップを用いたマーキング法

熊本県菊池郡七城町の61×21mの水田（以降水田2）に、畦シートで4×5mの枠を12設置し、各枠内の貝密度をコードラート法とマーキング法により推定した。密度推定日は、前者が1998年7月14日と9月12日、後者が7月14日と9月4日である。コードラート法では、各枠内に一辺1mの正方形コードラートを3つ設定し、各コードラート内の貝密度の平均をその枠内の貝密度として推定した。マーキング法では、トラップ（市瀬ら, 1998）を用いて貝を採集し、同日内にマークをし、それらの貝を捕獲した枠に放した。その後もう一度トラップにより貝を採集し、マーク個体と非マーク個体数から JOLLY-SEBER 法 (KREBS, 1989) により貝密度を推定した。

## 結果および考察

### 1. コードラートの最適面積の決定

水田1でのコードラート法による貝の推定密度と調査コスト (Table 1) から、WIEGERT 法では、一辺が2.0mのコードラート ( $VrCr = 2.97$ ) が最適であった。

このデータでは、コードラート面積の対数 ( $x$ ) と推定密度の分散の対数 ( $y$ ) の一次回帰式 (Fig. 1) は、

$$y = -0.489x + 0.469, r^2 = 0.495 \quad (3)$$

となり、これは HENDRICKS 法のための仮定、

$$-1 < a < 0$$

を満たしている。式 (1)' と (3) から、最適なコードラート面積  $\hat{A}$  は、 $2.63 \text{ m}^2$  となる。

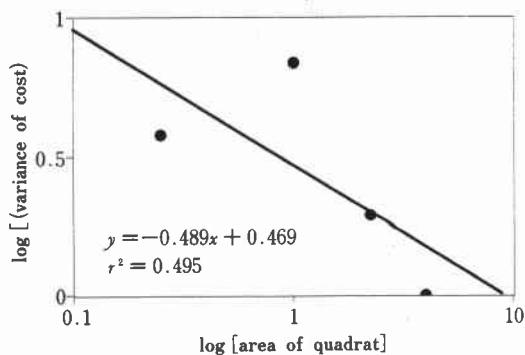


Fig. 1. Variance of relative cost of estimated density plotted against the area of the quadrat.

本調査結果より、分布型指標  $I$  (KREBS, 1989) を計算した (Table 1)。この  $I$  より計算した  $\chi^2$  の値は、いづれの大きさのコードラートでも  $\chi^2_{0.025}$  の値より大きく、貝の分布は集中型であったことを示した。

水田 1 での微小棲息場所面積と各場所での貝の出現数を Table 2 に示す。貝数は面積比最小の稲株で最も多く、その出現比は、各場所の占有面積比と有意に異なっていた ( $G = 277.34$ ,  $df = 9$ ,  $P < 0.01$ )。これは、貝は稲株に集中していたことを意味する。この結果と、水田での稲の均一な植栽 (株間約  $20 \times 30$  cm) から、貝は水田内の特定の場所の稲に集中して分布していたことが示唆される。

## 2. ライトランセクト法による密度推定

ライトランセクト法により推定した貝密度の平均と分散の値はそれぞれ 3.02 と 18.06, 調査コストの平均と分散の値はそれぞれ 2.71 と 1.37 であった。このラインでは、 $VrCr = 1.18$  となり、コードラートによる  $2.0 \times 2.0$  m の  $VrCr$  より小さい。これは、ライトランセクト法は、コードラート法より効率のよい貝密度推定方法

であることを意味する。

## 3. マーキング法とコードラート法の比較

水田 2 において、コードラート法とマーキング法により推定した貝の密度を Table 3 と Table 4 に示す。各方法の平均密度の 95% 信頼区間を求めた。7 月では両方法による推定密度に大きな差はなく、95% 信頼区間も比較的良好一致していた。しかし 9 月では、マーキング法の推定値がコードラートによる推定値よりも低い傾向にあった。これは、推定した日がマーキング法では 8 日早く、この間に孵化貝の加入により個体群密度が増加したことによる、マーキング法による推定はより控えめである、もしくはその両方によるためと考えられる。一方、95% 信頼区間は、マーキング法でより大きい傾向にあった。このことは、マーキング法は、密度推定の精度において、コードラート法に劣ることを示唆している。

## 4. 各方法の比較

以上より、最も効率のよい推定方法は、ライトランセクト法である。しかし、無差別に水田の底をさらうこ

Table 1. Estimated densities of golden apple snails and costs incurred in studying the density in a paddy field.

| Quadrat size<br>(m) | Density (no./m <sup>2</sup> ) |          | Cost (min/quadrat) |          | $VrCr^a)$ | $I^b)$ | $\chi^2$ |
|---------------------|-------------------------------|----------|--------------------|----------|-----------|--------|----------|
|                     | Mean                          | Variance | Mean               | Variance |           |        |          |
| 0.5                 | 3.60                          | 58.49    | 2.81               | 1.30     | 3.97      | 4.1    | 36.56    |
| 1.0                 | 7.20                          | 105.51   | 5.31               | 30.62    | 13.51     | 14.6   | 131.89   |
| 1.5                 | 4.31                          | 29.54    | 6.14               | 11.85    | 4.37      | 15.4   | 138.77   |
| 2.0                 | 4.20                          | 15.32    | 8.04               | 21.41    | 2.97      | 14.6   | 131.29   |

a) Cost is the time spent setting and sampling the quadrat.

b)  $VrCr$  is the product of the relative variance of density and the relative variance of cost, both of which are expressed as its ratio to the minimum in each category.

c)  $I$  is the index for the dispersion test

Table 2. Numbers of golden apple snails (Sn) collected in three different micro habitats in  $1.6 \times 1.6$  m quadrats in a paddy field.

| Quadrat | Habitat   |                        |         |            |                        |         |           |                        |         |
|---------|-----------|------------------------|---------|------------|------------------------|---------|-----------|------------------------|---------|
|         | Ground    |                        |         | Foot print |                        |         | Sheaf     |                        |         |
|         | Snail no. | Area (m <sup>2</sup> ) | Sn/Area | Snail no.  | Area (m <sup>2</sup> ) | Sn/Area | Snail no. | Area (m <sup>2</sup> ) | Sn/Area |
| 1       | 1         | 1.97                   | 0.51    | 1          | 0.56                   | 1.79    | 3         | 0.03                   | 95.79   |
| 2       | 5         | 2.15                   | 2.32    | 2          | 0.37                   | 5.36    | 15        | 0.04                   | 433.32  |
| 3       | 2         | 2.09                   | 0.96    | 4          | 0.44                   | 9.02    | 7         | 0.03                   | 236.10  |
| 4       | 6         | 2.21                   | 2.71    | 3          | 0.32                   | 9.41    | 9         | 0.03                   | 312.88  |
| 5       | 1         | 2.27                   | 0.44    | 2          | 0.26                   | 7.64    | 6         | 0.03                   | 197.78  |
| Total   | 15        | 10.69                  | 1.40    | 12         | 1.95                   | 6.14    | 40        | 0.16                   | 258.59  |

Table 3. Densities (Ds) of golden apple snails (no./m<sup>2</sup>) on 14 July, 1998, estimated by the quadrat method or by the marking method in 12 plots in a paddy field.

| Plot | Quadrat method   |      |          |                  |                  | Marking method |     |       |       |
|------|------------------|------|----------|------------------|------------------|----------------|-----|-------|-------|
|      | Ds <sup>a)</sup> | I    | $\chi^2$ | Dp <sup>b)</sup> | CI <sup>c)</sup> |                | Ds  | CI    |       |
|      |                  |      |          |                  | $X_L$            | $X_U$          |     | $X_L$ | $X_U$ |
| 1    | 1.3              | 1.75 | 3.50     | Random           | 0.45             | 3.20           | 3.8 | 1.09  | 12.71 |
| 2    | 2.0              | 0.50 | 1.00     | Random           | 0.87             | 4.27           | 5.1 | 1.14  | 24.62 |
| 3    | 3.3              | 0.40 | 0.80     | Random           | 1.77             | 5.88           | 1.1 | 0.44  | 3.54  |
| 4    | 1.0              | 1.00 | 2.00     | Random           | 0.27             | 2.70           | 0.7 | 0.17  | 2.94  |
| 5    | 1.0              | 0.00 | 0.00     | Uniform          | -----            | -----          | 0.8 | 0.25  | 3.24  |
| 6    | 6.3              | 1.62 | 3.25     | Random           | 3.73             | 9.66           | 1.1 | 0.30  | 8.43  |
| 7    | 2.7              | 1.62 | 3.25     | Random           | 1.10             | 4.97           | 1.8 | 0.36  | 14.03 |
| 8    | 2.7              | 1.62 | 3.25     | Random           | 1.10             | 4.97           | 1.2 | 0.39  | 4.12  |
| 9    | 1.3              | 0.25 | 0.50     | Random           | 0.46             | 3.20           | 2.6 | 1.06  | 5.78  |
| 10   | 3.7              | 0.36 | 0.73     | Random           | 1.78             | 6.35           | 1.6 | 0.64  | 3.72  |
| 11   | 1.3              | 1.75 | 3.50     | Random           | 0.46             | 3.20           | 0.8 | 0.13  | 6.96  |
| 12   | 2.3              | 0.14 | 0.29     | Random           | 1.10             | 4.59           | 1.1 | 0.34  | 3.15  |

a) Ds represents the estimated density of snails (no./m<sup>2</sup>).

b) Dp represents the distribution pattern of snails determined by the I index.

c) CI represents the 95% interval between the lower ( $X_L$ ) and upper ( $X_U$ ) confidence limits.Table 4. Densities (Ds) of apple snails (no./m<sup>2</sup>) on 12 September, 1998, estimated by the quadrat method and those on 4 September, 1998 estimated by the marking method in the same plots as those in Table 3.

| Plot | Quadrat method   |       |          |                  |                  | Marking method |      |       |         |
|------|------------------|-------|----------|------------------|------------------|----------------|------|-------|---------|
|      | Ds <sup>a)</sup> | I     | $\chi^2$ | Dp <sup>b)</sup> | CI <sup>c)</sup> |                | Ds   | CI    |         |
|      |                  |       |          |                  | $X_L$            | $X_U$          |      | $X_L$ | $X_U$   |
| 1    | 19.0             | 0.47  | 0.95     | Random           | 14.5             | 24.2           | 3.3  | 0.6   | 40.2    |
| 2    | 69.7             | 3.12  | 6.24     | Random           | 59.9             | 79.8           | 82.7 | 8.0   | 1,530   |
| 3    | 61.7             | 6.74  | 13.47    | Aggregated       | 43.3             | 83.0           | 57.2 | 6.0   | 870.2   |
| 4    | 57.0             | 0.23  | 0.46     | Random           | 48.1             | 66.2           | 3.0  | 339.0 | 3,747.0 |
| 5    | 1.0              | 1.00  | 2.00     | Random           | 0.3              | 2.7            | 0.3  | 0.2   | 0.6     |
| 6    | 13.0             | 1.00  | 2.00     | Random           | 9.2              | 17.4           | 0.2  | 0.2   | 0.8     |
| 7    | 0.72             | 15.00 | 30.00    | Aggregated       | -0.1             | 9.0            | 0.1  | ----- | -----   |
| 8    | 2.7              | 1.62  | 3.25     | Random           | 1.1              | 5.0            | 0.3  | 0.2   | 0.3     |
| 9    | 2.3              | 2.71  | 5.43     | Random           | 1.1              | 4.6            | 0.4  | 0.3   | 0.3     |
| 10   | 1.8              | 6.04  | 12.08    | Aggregated       | 0.1              | 6.9            | 0.2  | 0.1   | 0.4     |
| 11   | 1.4              | 9.88  | 19.76    | Aggregated       | -0.0             | 7.3            | 0.3  | 0.3   | 0.3     |
| 12   | 7.3              | 1.41  | 2.82     | Aggregated       | 4.59             | 10.8           | 0.7  | 0.6   | 0.7     |

a) Ds represents the estimated density of snails (no./m<sup>2</sup>).

b) Dp represents the distribution pattern of snails determined by the I index.

c) CI represents the 95% interval between the lower ( $X_L$ ) and upper ( $X_U$ ) confidence limits.

の方法は、調査には実用的でない。コードラート法は調査地に対してライントランセクト法より小さい攪乱で、しかもマーキング法より高い精度の密度推定が可能である (Table 3, Table 4)。しかし、これら2つの方法では、調査中に水が濁り、貝の発見が困難となり、とりこぼしの可能性を生ずる。一方、トラップによるマーキン

グ法では、精度はコードラート法に劣るが、水田に入る必要がなく、棲息場所の攪乱は殆ど回避でき、貝のとりこぼしが少ない。また、トラップ回収と再放飼は夜間でも可能であり、時間により調査が制限されることはない。ただし、密度を推定する日以降にもう一度貝を採集する必要があるため、他の2方法に比べ、密度推定のために

より長い時間が必要となる。

これらのことから、推定値の信頼性を保ち、棲息地の攪乱をなるべく避け、調査日に密度を知りたいならば、コードラート法を用いるべきである。この時、一辺の長さが2.0mの正方形または面積2.63m<sup>2</sup>のコードラート(正方形であれば、一辺が1.6m)を用いる。コードラート法より効率のよい調査が要求され、調査地の攪乱は問題でなければ、ライントランセクト法がよい。調査地の保全が重要であれば、推定値の精度は多少下がるが、トラップを用いたマーキング法がよい。

### 摘 要

水田においてコードラート法によるスクミリングガイの密度推定のためのコードラートの最適な大きさは、正方形であれば一辺が2.0m(WIEGERT法)、または面積が2.63m<sup>2</sup>(HENDRICKS法)であった。ライントランセクト法(長さ2.0m,有効巾0.315m)では、コードラート法より効率のよい貝密度の推定が可能であった。マー

キング法(JOLLY-SEBER法)は、コードラート法に比べ、貝密度の推定精度が夏ではほぼ同程度であったが、秋には劣る傾向にあった。従って、精度と効率を重視するならば、ライントランセクト、コードラート、マーキング法の順で選択する。精度よりも棲息地の攪乱回避を重視するならば、選択順はこの逆となる。

### 引用文献

- 1) 平井剛夫・大矢慎吾・宮原義雄(1986)九病虫研究会報 32: 88-91.
- 2) 市瀬克也・和田節・横尾廣規(1998)九病虫研究会報 44: 50-52.
- 3) 近藤章・田中福三郎(1991)岡山農試研報 9: 39-42.
- 4) KREBS, C. J. (1989) Ecological Methodology. Harper Collins Publishers: 654p.
- 5) 大矢慎吾・平井剛夫・宮原義雄(1987)応動昆 31: 206-212.
- 6) 小沢朗人・牧野秋雄(1988)静岡農試研報 33: 65-77.
- 7) SOKAL, R. R., and ROHLF, F. J. (1981) Biometry. Freeman and Company, New York: 895p.
- 8) SOUTHWOOD, T. R. E. (1978) Ecological Methods. Chapman & Hall: 524p.
- 9) 矢野貞彦・森下正彦・城野晋(1990)和歌山農試研報 14: 45-50.

(1999年4月30日 受領)