

連絡事項: 中間テスト (6 月 14 日) の範囲は教科書の以下の部分とします。

1 章 pp.1-27, 3 章 pp.55-77, ただし p.77 練習問題 1-B 3 を除く。電卓等は 持ち込み不可 です。

## §2 統計量と標本分布 2.0 多次元確率変数

2 つの確率変数の組  $(X, Y)$  を 2 次元確率変数という。

以下、しばらく離散型の場合を考える。 $X$  のとり得る値を  $x_1, x_2, \dots, x_m$ ,  $Y$  のとり得る値を  $y_1, y_2, \dots, y_n$  とする。

確率変数の組  $(X, Y)$  に対し

$$P(X = x_i, Y = y_j) = p_{ij} \quad (1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n)$$

とする。これを  $(X, Y)$  の同時確率分布といい、それを表にしたものを同時確率分布表という。ここで、

$$p_{ij} \geq 0, \quad \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m p_{ij} = 1$$

である。このとき、

$$P(X = x_i) = \sum_{j=1}^n p_{ij} = p_i \quad (1 \leq i \leq m) \quad \text{を } X \text{ の周辺分布,} \quad (2.1)$$

$$P(Y = y_j) = \sum_{i=1}^m p_{ij} = q_j \quad (1 \leq j \leq n) \quad \text{を } Y \text{ の周辺分布,} \quad (2.2)$$

という。同時確率分布表では右の列が  $X$  の周辺分布、下の行が  $Y$  の周辺分布となっている。

**例 2.1** 袋の中に 1, 2, 3 の数字の書かれた球がそれぞれ 5 個, 3 個, 2 個入っている。この袋から 1 個ずつ球を取り出すとき、1 個め, 2 個めに出た球に書かれていた数字をそれぞれ

- (1) 非復元抽出のとき  $X_1, Y_1$  とし、
- (2) 復元抽出のとき  $X_2, Y_2$  とする。

このとき、 $(X_1, Y_1)$  と  $(X_2, Y_2)$  の同時確率分布を調べ、同時確率分布表をつくれ。

解: (1)  $P(X_1 = 1, Y_1 = 1) = \frac{5}{10} \frac{4}{9} = \frac{2}{9}$ ,  
 $P(X_1 = 1, Y_1 = 2) = \frac{5}{10} \frac{3}{9} = \frac{1}{6}$ ,  
 $P(X_1 = 1, Y_1 = 3) = \frac{5}{10} \frac{2}{9} = \frac{1}{9}$ ,  
 $\vdots$

と求めると、 $(X_1, Y_1)$  について右の同時分布表を得る。

(2)  $P(X_2 = 1, Y_2 = 1) = \frac{5}{10} \frac{5}{10} = \frac{1}{4}$ ,  
 $P(X_2 = 1, Y_2 = 2) = \frac{5}{10} \frac{3}{10} = \frac{3}{20}$ ,  
 $P(X_2 = 1, Y_2 = 3) = \frac{5}{10} \frac{2}{10} = \frac{1}{10}$ ,  
 $\vdots$

と求めると、 $(X_2, Y_2)$  について右の同時分布表を得る。 □

**注意** これより、 $X_1$  と  $X_2$ ,  $Y_1$  と  $Y_2$  の周辺分布はともに等しいが、 $(X_1, Y_1)$  と  $(X_2, Y_2)$  の同時確率分布は異なることがわかる。このように、同時確率分布を考察することは確率分布を理解するうえで重要である。

$X \backslash Y$	$y_1$	$y_2$	$\cdots$	$y_n$	計
$x_1$	$p_{11}$	$p_{12}$	$\cdots$	$p_{1n}$	$p_1$
$x_2$	$p_{21}$	$p_{22}$	$\cdots$	$p_{2n}$	$p_2$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$
$x_m$	$p_{m1}$	$p_{m2}$	$\cdots$	$p_{mn}$	$p_m$
計	$q_1$	$q_2$	$\cdots$	$q_n$	1

表 2.1 同時確率分布表

$X_1 \backslash Y_1$	1	2	3	計
1	$\frac{2}{9}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{2}$
2	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{15}$	$\frac{3}{10}$
3	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{45}$	$\frac{1}{5}$
計	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{10}$	$\frac{1}{5}$	1

(1) 非復元抽出

$X_2 \backslash Y_2$	1	2	3	計
1	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{20}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{2}$
2	$\frac{3}{20}$	$\frac{9}{100}$	$\frac{3}{50}$	$\frac{3}{10}$
3	$\frac{1}{10}$	$\frac{3}{50}$	$\frac{1}{25}$	$\frac{1}{5}$
計	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{10}$	$\frac{1}{5}$	1

(2) 復元抽出

(確率変数の独立性) 確率変数  $X, Y$  が独立であるとは

$$P(X = x_i, Y = y_j) = P(X = x_i)P(Y = y_j) \quad (1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n)$$

となるときにいう。例 2.1 では (2) の  $X_2, Y_2$  は独立であるが、(1) の  $X_1, Y_1$  は独立ではない。

## 2.1 確率変数の関数

( $X, Y$ ) の同時確率分布が前ページの表 2.1 同時確率分布表で与えられるとき、関数  $\phi(x, y)$  に対して

$$E[\phi(X, Y)] = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \phi(x_i, y_j) P(X = x_i, Y = y_j) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \phi(x_i, y_j) p_{ij}$$

と定める。また、 $\phi(X, Y)$  の分散を

$$V[\phi(X, Y)] = E[(\phi(X, Y) - E[\phi(X, Y)])^2] \quad (2.3)$$

で定める。このとき次が成立する。

**定理 2.1**  $X, Y$  が独立であれば、 $E[XY] = E[X]E[Y]$ 。

**証明:** ( $X, Y$ ) の同時分布が表 2.1 で与えられているとすると、 $p_{ij} = p_i q_j$  なので、

$$\begin{aligned} E[XY] &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_i y_j p_{ij} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_i y_j p_i q_j \\ &= \sum_{i=1}^m x_i p_i \sum_{j=1}^n y_j q_j = E[X]E[Y]. \quad \square \end{aligned}$$

**定理 2.2 (平均と分散の性質)** 定数  $a, b, c$  に対して、 $E[aX + bY + c] = aE[X] + bE[Y] + c$  となる。

さらに、 $X, Y$  が独立であれば、 $V[aX + bY + c] = a^2V[X] + b^2V[Y]$  となる。

**証明:** ( $X, Y$ ) の同時分布が表 2.1 で与えられているとすると、

$$\begin{aligned} E[aX + bY + c] &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (ax_i + by_j + c) p_{ij} = a \sum_{i=1}^m x_i \sum_{j=1}^n p_{ij} + b \sum_{j=1}^n y_j \sum_{i=1}^m p_{ij} + c \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{ij} \\ &= a \sum_{i=1}^m x_i p_i + b \sum_{j=1}^n y_j q_j + c \cdot 1 = aE[X] + bE[Y] + c. \end{aligned}$$

$\mu_1 = E[X], \mu_2 = E[Y]$  とおく。 $X, Y$  が独立であれば、

$$E[(X - \mu_1)(Y - \mu_2)] = E[XY] - \mu_2 E[X] - \mu_1 E[Y] + \mu_1 \mu_2 = E[XY] - \mu_1 \mu_2 = 0$$

となることに注意する。したがって、

$$\begin{aligned} V[aX + bY + c] &= E[\{aX + bY + c - (a\mu_1 + b\mu_2 + c)\}^2] = E[\{a(X - \mu_1) + b(Y - \mu_2)\}^2] \\ &= a^2 E[(X - \mu_1)^2] + 2ab E[(X - \mu_1)(Y - \mu_2)] + b^2 E[(Y - \mu_2)^2] = a^2 V[X] + b^2 V[Y]. \quad \square \end{aligned}$$

**注意**  $\text{Cov}[X, Y] = E[(X - \mu_1)(Y - \mu_2)] = E[XY] - \mu_1 \mu_2$  と定め、これを  $X, Y$  の共分散という。

**例題 2.2** ( $X, Y$ ) の同時確率分布表が右で与えられるとする。

(1)  $X$  の周辺分布、 $Y$  の周辺分布、 $E[X], E[Y]$  を求めよ。

(2)  $E[XY], \text{Cov}(X, Y)$  を求めよ。

**解:** 授業で説明する。  $\square$

	Y		
X	1	2	3
1	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{12}$
2	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$