

## 單元 27: 常態機率分布 (課本 §4.5)

最被廣泛使用的連續機率分布為常態分布, 其 pdf 呈現鐘型, 正式定義如下.

定義 1.  $Y \sim N(\mu, \sigma)$ ,  $-\infty < \mu < \infty$ ,  $\sigma > 0$  若且為若機率密度函數 pdf

$$f(y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad -\infty < y < \infty$$

並稱隨機變數  $Y$  有常態機率分布 (normal probability distribution).

註. 常態隨機變數的 pdf 有兩個參數  $\mu$  與  $\sigma$ .

定理 4.7. 設  $Y \sim N(\mu, \sigma)$ , 則期望值

$$E(Y) = \mu$$

且變異數

$$\text{Var}(Y) = \sigma^2$$

<證> (略) 延至 §4.9.

註 1. 機率密度函數

$$f(y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(y-\mu)^2/(2\sigma)^2}, \quad -\infty < y < \infty$$

的圖形如下.

最大值為  $\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$ ; 兩個反曲點發生在距  $\mu$  左右各  $\sigma$  長度的位置.

註 2. 隨機變數  $Y$  落在  $[a, b]$  區間內的機率

$$P(a \leq Y \leq b) = \int_a^b \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(y-\mu)^2/(2\sigma)^2} dy$$

的完整型 (closed form, 真確值) 不存在, 故需以附錄 III 的表 4 求其近似值. 表 4 僅列出向右偏離期望值  $\mu$  有  $z$  個標準差以外的區域面積的近似值  $A(z)$  (稱作右尾機率, right-tail probability), 如下圖所示. 但透過對稱性可求一般區域的面積, 如  $P(a \leq Y \leq b)$  的近似值, 說明如下例.

例 1. 令  $Z \sim N(0, 1)$  (稱作標準常態分布). 則

(a) 因為  $\mu = 0, \sigma = 1$ , 故  $Z > 2 \Leftrightarrow$  由  $\mu$  向右偏離 2 個標準差 (std) 以外. 因此, 根據  $A(z)$  的定義及表 4,

$$P(Z > 2) = A(2) = 0.0228$$

(b) 如圖所示,

$$\begin{aligned} & P(-2 \leq Z \leq 2) \\ &= \text{在 } [-2, 2] \text{ 上 pdf 所圍出的面積} \\ &= 1 - \text{pdf 在 } -2 \text{ 左邊及 } 2 \text{ 右邊所圍出的面積} \\ &= 1 - A(2) - A(2) \text{ (根據對稱性)} \\ &= 1 - 2(0.0228) \\ &= 1 - 0.0456 = 0.9544 \end{aligned}$$

(c) 如圖所示,

$$\begin{aligned} & P(0 \leq Z \leq 1.73) \\ &= \text{pdf 在 } [0, 1.73] \text{ 上所圍出的面積} \\ &= \text{縱軸右邊去掉 } 1.73 \text{ 右邊所圍出的面積} \\ &= 0.5 - A(1.73) \\ &= 0.5 - 0.0418 = 0.04582 \end{aligned}$$

例 2. 設入學考試的成績分布  $\sim N(75, 10)$ , 則如圖所示,

$$\begin{aligned} & P(80 \leq \text{成績} \leq 90) \\ &= \text{pdf 在 } [80, 90] \text{ 上所圍出的面積} \\ &= \text{pdf 在 } 80 \text{ 右邊所圍出的面積} - \\ & \quad \text{在 } 90 \text{ 右邊所圍出的面積} \quad (1) \end{aligned}$$

又 80 的右邊  $\Leftrightarrow$  由  $\mu = 75$  向右偏移  $\frac{80-75}{10}$  個標準差以外. 同理, 90 的右邊  $\Leftrightarrow$  向右偏移  $\frac{90-75}{10}$  個標準差以外. 因此, 接續 (1) 式並根據表 4,

$$\begin{aligned} P(80 \leq \text{成績} \leq 90) &= A\left(\frac{80-75}{10}\right) - A\left(\frac{90-75}{10}\right) \\ &= A(0.5) - A(1.5) \\ &= 0.3805 - 0.0668 = 0.2417 \end{aligned}$$

註. 若  $Y \sim N(\mu, \sigma)$  則

$$Z \stackrel{\text{def}}{=} \frac{Y - \mu}{\sigma} \sim N(0, 1)$$

證明 (略), 延至第六章.